

2011

ISSN-0386-4952

RESEARCH REPORTS OF
THE FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MEIJO UNIVERSITY
NAGOYA JAPAN

名城大学
理工学部研究報告

第 51 号

平成 23 年

グラフのスペクトルと代数体

寺西鎮男 (数学科)

グラフの隣接行列やラプラス行列は有理整数を成分とする正方行列であるので、それらの行列の固有値は代数的整数である。従って、固有値の属する代数体の性質がグラフの性質に反映されると予想される。しかしながら、現在までのところ、それらの関係については、あまり知られていない。著者によって得られた、いくつかの結果を交えてグラフの固有値と代数体の関係について解説する。

1

柔軟なグループ通信アーキテクチャに関する研究

鈴木秀和 (情報工学科)

ユビキタスネットワークでは、暗号化通信、移動通信、エンドツーエンド通信を同時に実現することが重要である。本研究では安全性と柔軟性を両立させたネットワークの概念としてFPNを提唱し、これを実現するための通信アーキテクチャとしてGSCIPを提案してきた。本稿ではGSCIPの概要および提案アーキテクチャによるIPv4ネットワーク特有の移動透過通信システムについて紹介する。



4

音声分析における声道断面積関数とそのスペクトル表現

板倉文忠 (情報工学科)

音声信号から抽出されたPARCOR係数は、擬似声道断面積関数に変換することができ、その等価的な境界条件は、(a)口唇端で完全開放、(b)声門端で整合抵抗終端である。ここでこの音響系の唯一のエネルギー損失要素である声門での境界条件を、完全開放あるいは完全閉塞に近づければ、この声道音響系は無損失系に近づき、擬似声道の伝達関数の全ての極は、 z -平面上の単位円上に移動する。これに対応して、声道伝送関数は、1) 一つの境界条件に対応する極周波数とその留数、または、2) 二つの境界条件に対応する一対の極周波数 (LSP) により表現される。

12

帯電微粒子群の螺旋構造

上村鉄雄 (情報工学科) ほか

プラズマ中に存在する微粒子がクーロン結晶を作り、そのクーロン結晶が螺旋構造体を成す可能性があることが報告されて、最近注目を浴びている。本研究では独自に、プラズマ中のダストクラスターが形成するクーロン強結合構造およびその安定性の分子動力学シミュレーションを行い、外部閉じ込めポテンシャルの非等方性の制御によって、微粒子クラスターが1次元鎖状の安定構造となること、鎖状構造に揺らぎが発生するとこの構造が不安定になり、2次元ジグザグ構造を経て3次元2重螺旋構造が形成されることを見出した。



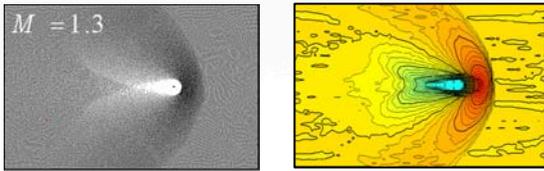
19

ダスト超音速流中の衝撃波面形成

上村鉄雄（情報工学科）ほか

実験室プラズマ中で微粒子の作るクーロン結晶が発見されて以来、コンプレックスプラズマの分野でいろいろな研究が行われている。最近では、結晶構造中に格子音速で伝搬する波の存在が注目されている。

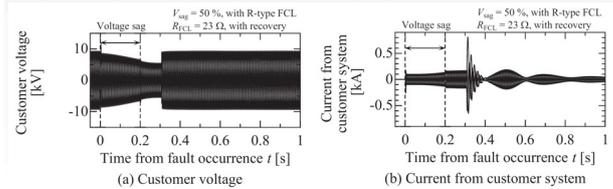
この論文では、格子音波がかかわる非線形現象として、超音速微粒子流体中の障害物を作る静電ポテンシャル障壁と微粒子の相互作用により生成される衝撃波について報告する。



故障電流抑制用限流器の開発と応用

飯岡大輔（電気電子工学科）

筆者は、限流器と呼ばれる電力機器を電力システムに導入した場合の効果について明らかにしてきた。本稿では、その成果の一部として、ウインドファームシステムに導入する限流器の過電流抑制効果と同期発電機連系システムへの限流器導入による瞬時電圧低下の緩和について述べる。



これまでの研究概要

堀田一弘（電気電子工学科）

私はこれまでコンピュータに学習や認識能力を持たせるための研究を行ってきた。学習したサンプルや環境と違いが少なければ現在の技術では高い認識精度を得ることができる。しかし、実際の環境下では変動が含まれてしまい、こうした場合への対処が重要な課題となる。本稿では部分的な隠れに影響を受けにくい認識法およびそれを建築材料からの自動アスベスト検出に応用した例を紹介する。



名城大学での研究・教育生活46年を回想して

河村英昭（電気電子工学科）

本論文は筆者の名城大学における46年間の研究・教育生活を回想したものである。電力ケーブル用高分子絶縁材料のtree破壊に関する研究、太陽光発電システムの発電性能に関する研究などに従事し、電力・エネルギー分野における多くの工学的知見を得、それら研究成果の一端を述べている。教育生活では「卒業研究」という一つの授業科目を通して、各時代の学生に対する教育の取り組みを回想している。



生体用β型チタン合金の熱処理プロセスと疲労強度の関係

赤堀俊和（材料機能工学科）ほか

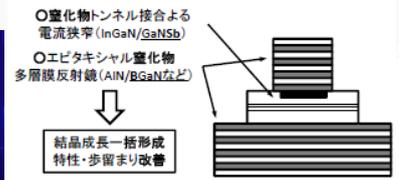
近年、金属系バイオマテリアルで構成された硬組織（骨）代替インプラントを体内に埋入した場合（写真参照）、摩耗を伴う繰り返し負荷等による破断および骨と金属系バイオマテリアルとの弾性率の相違による骨吸収あるいは骨の薄化などの不具合が報告されており、最悪の場合、再手術を余儀なくされる。そのため、金属系バイオマテリアルにはさらなる高力学機能が求められている。そこで、本研究では、低弾性率を有するβ型Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr（TNTZ）合金に着目し、熱処理プロセスによる力学的特性、特に疲労特性に優れた次世代型金属系バイオマテリアルの創出を目的とした。



窒化物半導体面発光レーザの可能性

竹内哲也（材料機能工学科）

本報告では、今後筆者が研究を進めようと考えている窒化物半導体面発光レーザの可能性について述べる。まず、その応用先として、高効率・高出力・高速通信機能を実現する次世代固体照明を紹介する。次に、この発光素子実現を目指して、トンネル接合や、BやSbを含む新規窒化物半導体混晶を積極的に利用した多層膜反射鏡および電流狭窄構造の実現について言及する。



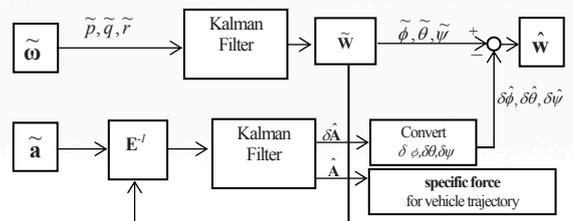
秒速12kmで伝播する衝撃波に伴う電離現象

松田 淳（機械システム工学科）ほか

秒速12kmで伝播する高速衝撃波で発生する電離機構を実験的に調べた。衝撃波背後の電子密度分布を調べたところ、衝撃波直後の領域でも多量の電子の存在が示唆され、熱化学モデルとの大きな差異が見られた。更にこの差異について考察するために衝撃波前方の領域に着目し、計測したところ、 $10^{18}m^{-3}$ 程度の電子が存在することがわかった。衝撃波前方領域における電子の生成機構として、衝撃波背後からの放射光による光電離を考慮した簡易モデルでその電子生成率や電子温度が説明出来ることがわかった。以上の考察から、衝撃波背後での電子密度分布の予測精度向上には、前方での電子生成を考慮したモデルの構築が必要であることが示された。

自動車走行軌跡・姿勢角計測に適用するGPS-IMU融合法の研究
高畑健二（交通科学科）

自動車の走行軌跡を計測するためには、計測データを地上計測座標系へ座標変換する必要がある。GPS 測位値と加速度、角速度から走行軌跡を求めるための座標変換・融合アルゴリズムの研究の進展を述べ、最適な走行軌跡・姿勢角計測方法を研究成果として導く。

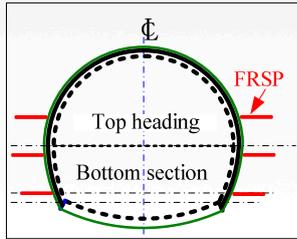


Conception of Trajectory and Attitude estimation

小土被りトンネル掘削時サイドパイル工の地盤沈下抑制効果に関する数値的検討

崔 瑛 (建設システム工学科) ほか

本研究の目的は、未固結地山に小土被りトンネルを掘削する際、地盤沈下対策として採用されてサイドパイル工の効果とそのメカニズムを解明するものである。本稿では、実現場を対象とする数値解析により得られた、サイドパイルの地盤沈下抑制効果および長さがその効果に及ぼす影響、またこれらの結果から予想されるメカニズムについて紹介する。



都市高速道路の需要交通量の予測に関する研究

松井 寛

都市高速道路の役割分担が増大するにつれ、都市高速道路の渋滞対策やそのための交通管制に交通需要量の正確な予測方法の確立が重要である。本研究は高速道路の潜在的な需要交通量の予測方法や、交通量配分の際に重要となるリンクコスト関数や高速道路転換率について研究したものである。

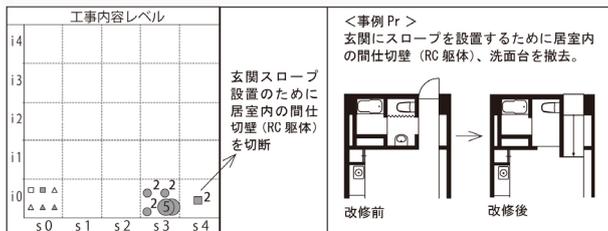


高齢者専用賃貸住宅の他用途施設からの転用改修に関する研究

生田京子 (建築学科)

筆者の研究室では、これまで高齢者福祉施設や高齢者住宅に関する研究を進めてきた。

人口減少社会を迎え、昨今、戦後に大量に供給された建物ストックの再生・活用が検討されつつある。本稿では余剰している他用途施設を、今後ニーズの高まる高齢者住宅へ転用改修を行う研究について紹介する。



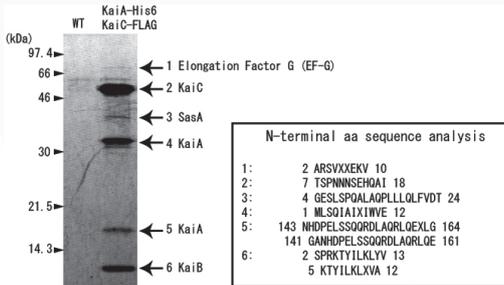
放射線化学反応法を用いたパーフルオロスルホン酸系イオン交換高分子膜のプロトン伝導機構改良技術の開発

土屋文 (教養教育) ほか

本研究では、固体高分子型燃料電池の固体電解質として使用されているパーフルオロスルホン酸系イオン交換高分子膜の水素吸収および水素透過能力を放射線化学反応法を用いて向上させることを目指した。その結果、疎水性のラジカルおよび不飽和結合がわずかに約 50kGy のガンマ線吸収線量だけで形成されると共に、室温および大気雰囲気におけるプロトン伝導度が未照射高分子膜のプロトン伝導度の約 3 桁高い値を示し、プロトン伝導機構の改良に成功した。本稿では、その結果について紹介する。

**シアノバクテリア時計蛋白質複合体と
蛋白質伸長因子 FusA の相互作用**
景山伯春 (教養教育)

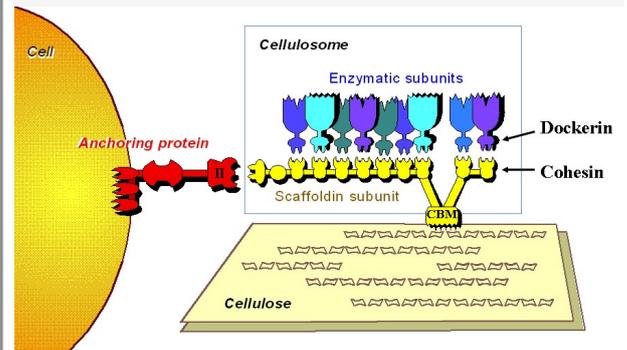
1990年代から、次々と時計遺伝子が同定され、概日時計の分子機構が解明されつつある。本稿では、筆者らの未発表データを中心に、概日時計を持つ最も単純な生物であるシアノバクテリアの概日時計機構の新知見を紹介する。



113

バイオマス分解嫌気性細菌 *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 のセルロソームに関する研究
神藤定生 (教養教育)

本稿ではバイオマス分解嫌気性細菌 *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 株由来の植物細胞壁分解酵素複合体、セルロソーム機構の新知見を紹介する。



119

継続審査に向けた取り組み
山中 三四郎 (電気電子工学科)

電気電子工学科は去年 11 月 JABEE の継続審査を受審した。本学科では今回の継続審査にあたって、最大のポイントは PDCA のサイクルを使って恒常的に教育改善を続けていることを審査員に納得させることに絞って、証拠資料の収集および自己点検書の作成作業に入った。

その結果、今回の継続審査では証拠資料の不備等はあったものの、電気科の 5 年間にわたる恒常的な教育改善の努力が認められて 6 年間の認定が得られた。

本報告では継続審査に向けた電気電子工学科の取り組みを紹介する。

124

WEB システムを用いた授業評価アンケート等による学生・教員支援システムの開発
新井 宗之 (建設システム工学科)

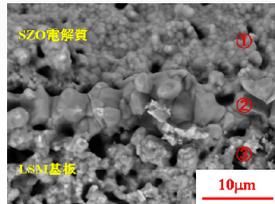
ここで開発した WEB システムは管理者用機能を含め 9 つの機能を有している、(1) 授業評価アンケート、(2) 履修閲覧、(3) レポート提出管理、(4) 卒業研究活動時間管理、(5) 学生カード、(6) 学習状況確認、(7) 意識調査、(8) お知らせ・質問、(9) 管理者用、である。(1) から (4) は教員・学生の授業に関する授業関係の機能であり、(5) と (6) は学生の指導および学生の教務支援の機能である。また、(7) および (8) は学生の意見や質問等を収集する機能で、(9) はシステムの管理用の機能である。平成 20 年度から 22 年度が開発期間であるが、平成 22 年度前期より全ての機能の運用が始まっている。

128

In を添加した SrZrO₃ プロトン伝導性厚膜の作製と評価

伊藤充紀（材料機能工学科）ほか

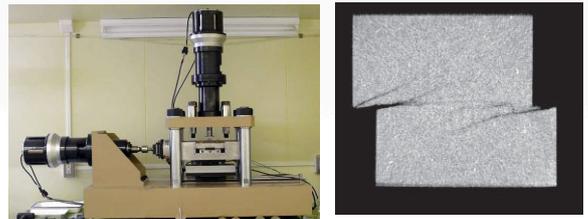
石油に代わる代替エネルギーとして水素エネルギーシステムに期待が寄せられている。このシステムを構築するためには、水素デバイスに用いる電解質材料の特性向上が不可欠である。本稿では、プロトン伝導体を電解質に用いた燃料電池セルを安価かつ簡便に製造するため、In をドーピングした SrZrO₃ 電解質膜をセラミックス基板にスクリーン印刷法で成膜し、種々の作製条件が電気伝導特性に与える影響を膜と基板との界面反応とともに検討した。（写真は、電解質膜とセラミックス基板の界面近傍の SEM 画像）



圧縮ベントナイト緩衝材の損傷実験

元山泰久（建設システム工学専攻）ほか

高レベル放射性廃棄物の地層処分用いる圧縮ベントナイト緩衝材が、地殻変動等により損傷を受けた場合を想定した性能評価試験を実施している。本研究では、供試体密度および珪砂混合率を変えて作製した供試体のせん断強度特性を調べるとともに、損傷を受けた供試体の内部構造変化をμ-X線CTを用いて観察した。



高塑性粘土の各種力学特性

福沢宏樹（建設システム工学科）ほか

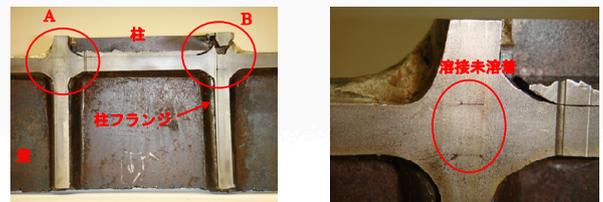
高塑性の鋭敏粘性土が堆積した自然粘土地盤の力学特性を解明するため、各種室内試験を実施した。三軸試験と単純せん断試験の比較を通し、自然粘土が有する構造の効果について検証するとともに、地震時の繰り返しせん断挙動について詳細に検討した。



完全溶け込み溶接部に未溶着を有する鋼はり一柱隅角部の耐震性能

鈴木俊光（社会環境デザイン工学専攻）ほか

本研究では、鋼製橋脚の隅角部を模擬した供試体を製作し、実橋において発生応力が高く、完全溶け込み溶接が要求される梁・柱交差部に溶接未溶着を導入し、定振幅変位制御および1サイクルごとの漸増変位振幅繰り返し荷重実験を行っている。



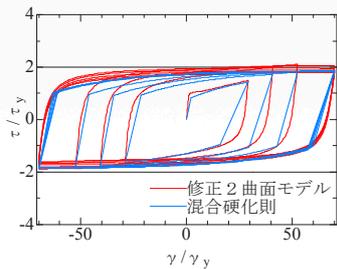
(a) 梁・柱交差部切断面

(b) A部拡大 梁・柱交差部切

高機能無補剛せん断パネルダンパーの復元力特性に関する解析的研究

大場孝太（建設システム工学専攻）ほか

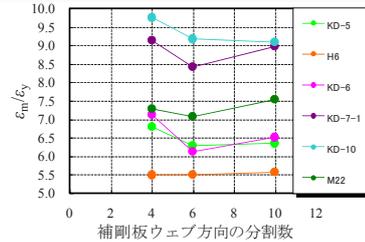
本研究では、高機能SPDの開発に着目し、幅厚比パラメータが厚肉な鋼板からなるSPDについて、修正2曲面モデルを用いた解析を実験との比較を行い、その結果を利用して、混合硬化則という概念を適用することによって、実験データの復元力モデルをうまく模擬することができる新たな復元力モデルの構築を行っている。



鋼部材のファイバーモデル解析における要素と断面分割に関する一検討

萩野勝哉（建設システム工学専攻）ほか

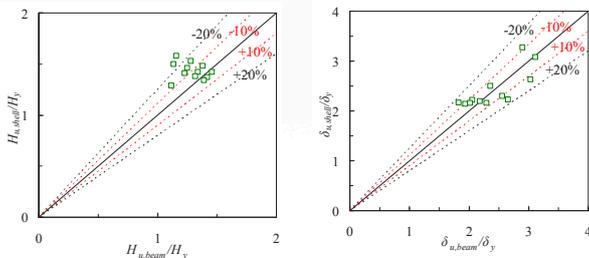
本検討では、単柱式鋼製橋脚を取り上げ、はり要素を用いたファイバーモデルによるPushover解析を行い、ひずみ評価領域の終局時平均ひずみや終局時基部曲げモーメントなどに及ぼす分割の影響について調べて、分割数のできるだけ粗いひずみ評価領域とひずみ評価領域以外の要素分割数、断面の層分割数に関する提案を試みた。



薄肉補剛箱形断面を有する鋼部材の簡易耐震照査法

垣内一輝（日本電機株式会社）ほか

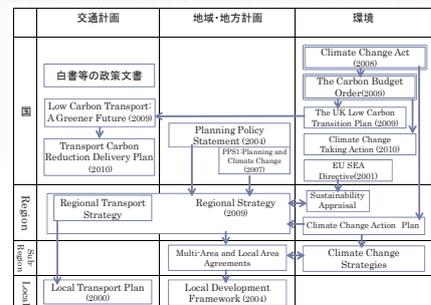
本研究では薄肉断面部材の局部座屈を考慮して材料特性（降伏点を座屈応力に置換したバイリニア型応力-ひずみ）を適切に設定し、はり要素を用いたファイバーモデルのPushover解析により終局点を精度よく解析する手法の提案を試みている。



英国の交通、地域・地方計画体系における気候変動考慮と我が国への示唆

吉田知樹（建設システム工学専攻）ほか

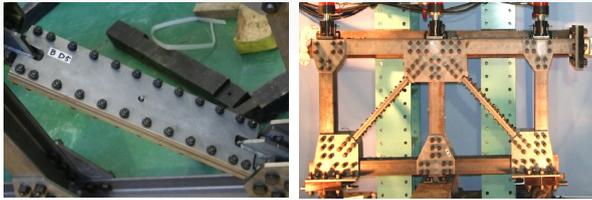
近年、気候変動問題が国際的な課題となっている。欧州諸国では、気候変動に対応した計画制度に改良してきている。そこで、本研究では、欧州の中でも積極的に活動している英国に着目をして、交通、地域・地方計画体系を調査し、我が国の今後の計画体系の在り方に関する示唆を得る。



座屈拘束ブレースによるトラス構造の耐震性向上効果

舟山淳起（理工学研究科）ほか

近年、大地震の発生リスクが高まっており、橋梁の耐震設計、耐震補強を行うことは非常に重要であると同時に急務である。本研究室ではこれまで制震ダンパー（座屈拘束ブレース（BRB））についての研究を行ってきた。本論文では、このBRBを鋼トラス模型に設置し、制震構造化したことによる耐震性能の向上効果を実験的に検証した。

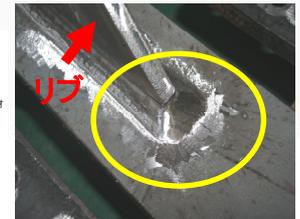
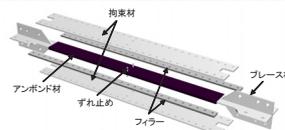


193

鋼製高機能BRBの低サイクル疲労特性

舟山淳起（理工学研究科）ほか

本研究室では、過去に鋼製高機能BRBの低サイクル疲労実験を行っており、この実験結果から、十分な低サイクル疲労性能を有していることが確認できた。今回は、さらなる低サイクル疲労性能の向上を目的として、溶接止端部に仕上げを施したBRBを製作し、実験を行った。



201

FRPグリッドの付着挙動に関する実験的研究

金光男, 岩下健太郎（建設システム工学科）ほか

FRP格子筋（以下、FRPグリッドと呼称）を吹付型のポリマーセメントによりコンクリート表面に固定する増厚巻き立て工法は、トンネル覆工コンクリートや橋脚、床版等の補修や補強に広く用いられている。本研究では、低価格で2.5%を超える伸度を有しながら、ある程度の引張強度や弾性率を有しており、最近、中国や欧米で盛んに研究が進められている玄武岩（バサルト）繊維を用いたFRP（以下、BFRPと呼称）のグリッドに着目して、高伸度繊維を用いたFRPグリッドのコンクリートに対する付着挙動を実験的に検討し、付着強さに関する既往の評価式の適用性を検証した。



209

繰り返し軸力を受けるブレースの終局挙動について

児玉佳大（建設システム工学専攻）ほか

等辺山形鋼（アングル）は規格製品のため安定した形状、品質が得られることから目的に応じた設計、製作が容易である。本研究では、アングルを背合わせにしたブレースを高力ボルトでガセットに接合し、引張および圧縮軸力を作用させることでブレースの終局変形性能を確認した。



217

SVMを用いた都市高速道路における所要時間の付加的情報の提供可能性に関する一考察

日比野亮（建設システム工学専攻）ほか

本稿では、都市高速道路において、所要時間情報に付加的な情報を与えることにより、より質の高い情報をドライバーに提供することを検討した。

ドライバーの到着時における所要時間の変動を考慮した付加的情報を新たに定義し、Support Vector Machine (SVM)を用いて予測モデルを構築した。

[所要時間延長の場合]



[所要時間短縮の場合]



意識データに基づく駅前広場に対する利用者ニーズの把握

宮地祐麻（建設システム工学専攻）ほか

本研究では、駅前広場の整備状況に対する評価を捉えるため、駅周辺住民を対象に意識調査を行った。その結果に基づき、施設規模・数などに対する満足度評価と総合満足度の関係性を把握し、施設において改善が必要となる項目を明確にすることにより、今後の駅整備のあり方について考察していく。



三岐鉄道北勢線のリニューアル事業による利用転換者の特性分析

中嶋俊介（建設システム工学専攻）ほか

本稿では、近年、利用が増加傾向にある三岐鉄道北勢線を取り上げ、転換者と継続利用者の特性の把握を試みた。数量化理論Ⅱ類を用いた分析の結果、定期券以外による利用者の多くが転換者であることなどがわかった。



中川運河における暑熱環境の緩和効果に関する現地観測

鈴木宏佳（建設システム工学）ほか

筆者の研究室では、ヒートアイランド緩和策として、河川のもつ大気冷却効果に着目してきた。名古屋市の中川運河は広大な水面域をもつことから、水塊としての熱的效果と、開放空間としての風の道効果をもつと期待されている。本稿では、中川運河の暑熱環境緩和効果を評価するため、運河周辺での現地観測結果を報告する。



目 次

招待論文

グラフのスペクトルと代数体	数学科	寺 西 鎮 男	1
柔軟なグループ通信アーキテクチャに関する研究	情報工学科	鈴 木 秀 和	4
音声分析における声道断面積関数とそのスペクトル表現	情報工学科	板 倉 文 忠	12
帯電微粒子群の螺旋構造	理工学部 / 理工学研究科 横浜国立大学大学院工学研究院 理工学部 / 理工学研究科	上 村 鉄 雄 石 原 修	19
ダスト超音速流中の衝撃波面形成	理工学部 / 理工学研究科 横浜国立大学大学院工学研究院 理工学部 / 理工学研究科 理工学部 / 理工学研究科 宇都宮大学工学研究部 横浜国立大学大学院工学研究院	上 村 鉄 雄 石 原 修 瀬 戸 章	29
故障電流抑制用限流器の開発と応用	電気電子工学科	飯 岡 大 輔	36
これまでの研究内容の紹介	電気電子工学科	堀 田 一 弘	40
名城大学での研究・教育生活 46 年間に回想して	電気電子工学科	河 村 英 昭	45
生体用 β 型チタン合金の熱処理プロセスと疲労強度の関係	材料機能工学科 東北大学金属材料研究所 大同特殊鋼(株)	赤 堀 俊 和 新 家 光 雄	53
窒化物半導体面発光レーザの可能性	材料機能工学科	竹 内 哲 也	60
秒速 12km で伝播する衝撃波に伴う電離現象	機械システム工学科 宇宙航空研究開発機構 宇宙航空研究開発機構	松 田 淳 藤 田 和 央	68
		安 部 隆 士	

自動車走行軌跡・姿勢角計測に適用する GPS-IMU 融合法の研究	交通科学科	高畑健二	.....	76
小土被りトンネル掘削時サイドパイル工の地盤沈下抑制効果に関する数値的検討	建設システム工学科	崔瑛		
	京都大学大学院工学研究科	岸田潔	.....	84
	京都大学大学院工学研究科	木村亮		
都市高速道路の需要交通量の予測に関する研究	建設システム工学科	松井寛	.....	92
高齢者専用賃貸住宅の他用途施設からの転用改修に関する研究	建築学科	生田京子	.....	98
放射線化学反応法を用いたパーフルオロスルホン酸系 イオン交換高分子膜のプロトン伝導機構改良技術の開発	名城大学理工学部教養教育	土屋文		
	東北大学金属材料研究所	永田晋二	.....	106
	東北大学金属材料研究所	四竈樹男		
シアノバクテリア時計蛋白質複合体と蛋白質伸長因子 FusA の相互作用	教養教育 化学	景山伯春	.....	113
バイオマス分解嫌気性細菌 <i>Ruminococcus flavefaciens</i> FD-1 のセルロソームに関する研究	教養教育 化学	神藤定生	.....	119
継続審査に向けた取り組み	電気電子工学科	山中三四郎	.....	124
WEB システムを用いた授業評価アンケート等による学生・教員支援システムの開発	建設システム工学科	新井宗之	.....	128

論 文

In を添加した SrZrO ₃ プロトン伝導性厚膜の作製と評価	理工学研究科修士課程材料機能工学専攻	伊藤充紀		
	理工学研究科修士課程材料機能工学専攻 現リンナイ(株)	富本佳佑	.....	133
	材料機能工学科	池邊由美子		
	材料機能工学科	坂えり子		
圧縮ベントナイト緩衝材の損傷実験	大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻	元山泰久		
	大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻	平手寿大	.....	138
	建設システム工学科	小高猛司		

高塑性粘土の各種力学特性			
.....大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻	福 沢 宏 樹		
大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻	三 好 直 輔	.....	146
建設システム工学科	小 高 猛 司		
常勤理事	板 橋 一 雄		
完全溶け込み溶接部に未溶着を有する鋼はり-柱隅角部の耐震性能			
.....大学院理工学研究科	鈴 木 俊 光		
大学院理工学研究科	曹 輝	.....	154
建設システム工学科	葛 漢 彬		
高機能無補剛せん断パネルダンパーの復元力特性に関する解析的研究			
.....大学院理工学研究科	大 場 孝 太	.....	162
建設システム工学科	葛 漢 彬		
鋼部材のファイバーモデル解析における要素と断面分割に関する一検討			
.....大学院理工学研究科	萩 野 勝 哉	.....	170
建設システム工学科	葛 漢 彬		
薄肉補剛箱形断面を有する鋼部材の簡易耐震照査法			
.....日本電技株式会社	垣 内 一 輝		
大学院理工学研究科	曹 輝	.....	177
建設システム工学科	葛 漢 彬		
英国の交通、地域・地方計画体系における気候変動考慮と我が国への示唆			
.....大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻	吉 田 知 樹	.....	185
建設システム工学科	鈴 木 温		
座屈拘束ブレースによるトラス構造の耐震性向上効果			
.....名城大学大学院理工学研究科	舟 山 淳 起	.....	193
建設システム工学科	宇 佐 美 勉		
鋼製高機能 BRB の低サイクル疲労特性			
.....名城大学大学院理工学研究科	舟 山 淳 起		
名城大学大学院理工学研究科	王 春 林	.....	201
建設システム工学科	宇 佐 美 勉		
FRP グリッドの付着挙動に関する実験的研究			
.....大学院理工学研究科	金 光 男		
建設システム工学科	岩 下 健 太 郎		
茨城大学工学部都市システム工学科	呉 智 深	.....	209
JCK 株式会社	呉 智 仁		
建設システム工学科	山 崎 雅 和		
建設システム工学科	柳 澤 和 哉		

繰り返し軸力を受けるブレースの終局挙動について.....名城大学大学院理工学研究科 名城大学理工学部	児玉佳大 渡辺孝一	.....	217
SVMを用いた都市高速道路における所要時間の付加的情報の提供可能性に関する一考察.....大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 建設システム工学科	日比野亮 松本幸正	.....	223
意識データに基づく駅前広場に対する利用者ニーズの把握.....大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 建設システム工学科	宮地祐麻 松本幸正	.....	229
三岐鉄道北勢線のリニューアル事業による利用転換者の特性分析.....大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 建設システム工学科	中嶋俊介 松本幸正	.....	235
中川運河における暑熱環境の緩和効果に関する現地観測.....大学院理工学研究科修士2年 建設システム工学科4年 建設システム工学科4年 建設システム工学科	鈴木宏佳 前田知洋 堀島健司 原田守博	.....	241

資 料

名城大学理工談話会開催記録 -平成22年度- 理工談話会世話人会	249
平成22年度研究費補助金交付者一覧表	253
平成22年度受託研究一覧	256
平成22年度共同研究一覧	257
平成22年度学外研究助成一覧	257
平成22年度奨学寄付金一覧	258
平成22年度発表論文題目	259
名城大学理工学部研究報告投稿内規.....	346
投稿内規細則.....	347
名城大学理工学部研究報告掲載発表論文題目原稿作成要領.....	348

CONTENTS

Invited Papers

Spectra of Graphs and Algebraic Number Fields

Department of Mathematics

..... Yasuo TERANISHI 1

A Study on Flexible Group Communication Architecture

Department of Information Engineering

..... Hidekazu SUZUKI 4

Vocal Tract Area Function in Speech Analysis and its Spectral Representation

Department of Information Engineering

..... Fumitada ITAKURA 12

Stable Helical Structure of Coulomb Cluster

Department of Information Engineering

..... Tetsuo KAMIMURA
Yokohama National University
..... Osamu ISHIHARA 19

Department of Information Engineering

..... Yuta SUGA

Formation of Bow Shock in Supersonic Dust Flow in a Plasma

Department of Information Engineering

..... Tetsuo KAMIMURA
Yokohama National University
..... Osamu ISHIHARA

Department of Information Engineering

..... Akira SETO
Department of Information Engineering 29
..... Hayato YONEZAWA

Utsunomiya University

..... Yoshifumi SAITOU

Department of Information Engineering

..... Yoshiharu NAKAMURA

Development and Application of Fault Current Limiter

Department of Electrical and Electronic Engineering

..... Daisuke IIOKA 36

Introduction of my research results

Department of Electrical and Electronic Engineering

..... Kazuhiro Hotta 40

Recollection of "a study and education" for 46 years in MEIJO University		
	Department of Electrical and Electronic Engineering	
.....	Hideaki KAWAMURA	..... 45
 Relationship between Heat Treatment Process and Fatigue Strength of Biomedical b-Type Titanium Alloy		
	Department of Materials Science and Engineering	
.....	Toshikazu AKAHORI	
	IMR, Tohoku University	..... 53
.....	Mitsuo NIINOMI	
	Daido Steel Co. Ltd.	
.....	Michiharu OGAWA	
 Potentialities of GaN-based Vertical Cavity Surface Emitting lasers		
	Department of Materials Science and Engineering	
.....	Tetsuya Takeuchi	..... 60
 Ionization Phenomena associated with Shock Wave of 12km/s Propagation Velocity		
	Department of Mechanical Engineering	
.....	Atsushi Matsuda	
	Japan Aerospace Exploration Agency	..... 68
.....	Kazuhisa Fujita	
	Japan Aerospace Exploration Agency	
.....	Takashi Abe	
 Research of GPS-IMU Fusion Method for Vehicle Trajectory and Attitude Measurement		
	Department of Transportation Engineering	
.....	Kenji TAKAHATA	..... 76
 Control of Ground Subsidence Using Foot Reinforcement Side Pile during Shallow Overburden Tunnel Excavation		
	Dept. of Civil Engineering	
.....	Ying CUI	
	Dept. of Urban Management, Kyoto University	..... 84
.....	Kiyoshi KISHIDA	
	Dept. of Urban Management, Kyoto University	
.....	Makoto KIMURA	
 Research on Traffic Demand Forecast of an Urban Expressway		
	Department of Civil Engineering	
.....	Hiroshi MATSUI	..... 92
 A Study on the Conversion from Another Type of Building into the Rental Housing Exclusively for the Elderly		
	Department of Architecture	
.....	Kyoko IKUTA	..... 98

Development of Modification Technique for Protonic Conduction Processes of Perfluorosulfonic Acid Ion Exchange Polymer Membranes Using Radiation Chemical Reaction Method

Department of General Education, Faculty of Science and Technology, Meijo University

.....	Bun TSUCHIYA	
	Institute for Materials Research, Tohoku University	
.....	Shinji NAGATA	106
	Institute for Materials Research, Tohoku University	
.....	Tatsuo SHIKAMA	

Association between the Clock Protein Complex and Elongation Factor G, Fusa, in Cyanobacteria.

Department of Chemistry

.....	Hakuto KAGEYAMA	113
-------	-----------------	-----

Cellulosome analysis of the ruminal cellulolytic bacterium *Ruminococcus flavefaciens* FD-1

Department of Chemistry

.....	Sadanari JINDOU	119
-------	-----------------	-----

The Examination for Continuous Accreditation

Department of Electrical and Electronic Engineering

.....	Sanshiro YAMANAKA	124
-------	-------------------	-----

Development of an Integrated Web System on Questionnaire of Lecture Evaluation and others for Students and Teachers

Department of Civil Engineering

.....	Muneyui ARAI	128
-------	--------------	-----

Papers

Fabrication and characterization of proton conducting SrZrO₃ thick films doped with In

Master Course of Materials Science and Engineering

.....	Mitsunori ITO	
	Master Course of Materials Science and Engineering Rinnai Co.	
.....	Keisuke TOMIMOTO	133
	Department of Materials Science and Engineering	
.....	Yumiko IKEBE	
	Department of Materials Science and Engineering	
.....	Eriko BAN	

Damage tests for compacted bentonite buffer material

Master Course of Civil Engineering

.....	Yasuhisa MOTOYAMA	
	Master Course of Civil Engineering	
.....	Toshio HIRATE	138
	Department of Civil Engineering	
.....	Takeshi KODAKA	

Various mechanical properties of highly plastic clay		
.....	Master Course of Civil Engineering	
.....	Hiroki FUKUZAWA	
.....	Master Course of Civil Engineering	
.....	Naosuke MIYOSHI	..... 146
.....	Department of Civil Engineering	
.....	Takeshi KODAKA	
.....	Trustee	
.....	Kazuo ITABASHI	
Seismic Performance of Steel Beam-Column Connections with Welding Defects		
.....	Graduate School of Science and Technology	
.....	Toshimitsu SUZUKI	
.....	Graduate School of Science and Technology	..... 154
.....	Hui CAO	
.....	Department of Civil Engineering	
.....	Hanbin GE	
Analytical Study on Hysteretic Characteristics of High Performance Unstiffened Shear Panel Dampers		
.....	Graduate School of Science and Technology	
.....	Kota Oba	..... 162
.....	Department of Civil Engineering	
.....	Hanbin Ge	
Study on Effects of Element and Section Divisions in Fiber Model Analysis of Steel Members		
.....	Graduate School of Science and Technology	
.....	Katsuya HAGINO	..... 170
.....	Department of Civil Engineering	
.....	Hanbin GE	
Simplified Seismic Evaluation Method for Steel Members with Thin-walled Stiffened Box Sections		
.....	Nihon Dengi Co. Ltd.	
.....	Kazuki KAIITO	
.....	Graduate School of Science and Technology	..... 177
.....	Hui CAO	
.....	Department of Civil Engineering	
.....	Hanbin GE	
Climate change consideration of transport, region and local planning system in United Kingdom and suggestion for the planning system in Japan		
.....	Master Course of Civil Engineering	
.....	Tomoki YOSHIDA	..... 185
.....	Department of Civil Engineering	
.....	Atsushi SUZUKI	

The seismic upgrade effect of a truss structure by using a buckling restrained brace		
	Graduate School of Science and Engineering, Meijo University	
.....	Junki FUNAYAMA	..... 193
	Department of Civil Engineering	
.....	Tsutomu USAMI	
Low-cycle Fatigue Performance of Steel High-performance BRBs		
	Graduate School of Science and Engineering, Meijo University	
.....	Junki FUNAYAMA	
	Graduate School of Science and Engineering, Meijo University	
.....	Chunlin WANG	..... 201
	Department of Civil Engineering	
.....	Tsutomu USAMI	
Experimental study of bond behavior between FRP grid and concrete		
	Graduate School of Science & Technology	
.....	Guangnan JIN	
	Department of Civil Engineering	
.....	Kentaro IWASHITA	
	Department of Urban & Civil Engineering, Ibaraki University	
.....	Zhishen WU	..... 209
	JCK co., ltd.	
.....	Zhiren WU	
	Department of Civil Engineering	
.....	Masakazu YAMASAKI	
	Department of Civil Engineering	
.....	Kazuya YANAGISAWA	
Ultimate Behavior of Braces under Cyclic loading		
	Graduate School of Civil Engineering	
.....	Yoshihiro KODAMA	..... 217
	Department of Science and Technology, Meijo University	
.....	Koichi WATANABE	
Provision of Additional Information to Travel Times using SVM in Urban Expressway		
	Master Course of Civil Engineering	
.....	Ryo HIBINO	..... 223
	Department of Civil Engineering	
.....	Yukimasa MATSUMOTO	
Analyzing Factors of a Station Square Required to be Improved based on Opinions of Inhabitants around a Station		
	Master Course of Civil Engineering	
.....	Yuma MIYAJI	..... 229
	Department of Civil Engineering	
.....	Yukimasa MATSUMOTO	

Relationship between redesigned project and passengers changing to Hokusei Line of Sangi Railway from other modes of transportation

Master Course of Civil Engineering Shunsuke NAKASHIMA	235
Department of Civil Engineering Yukimasa MATSUMOTO	

Field Investigations for Reduction Effect of Heat-Island Phenomena in the Nakagawa River

Student of Graduate School of Science and Technology Hiroyoshi SUZUKI	
Undergraduate Student of Civil Engineering Tomohiro MAEDA	241
Undergraduate Student of Civil Engineering Kenji HORISIMA	
Department of Civil Engineering Morihiro HARADA	

Materials

Records of Faculty Seminar (RIKO-DANWA-KAI) ——— 2010 Academic Year ——— Committee of Faculty Seminar	249
--	-----

List of Grant-in-Aid for Scientific Research ——— 2010 Academic Year ———	253
--	-----

List of Contract Researches ——— 2010 Academic Year ———	256
---	-----

List of Cooperatative Researches ——— 2010 Academic Year ———	257
--	-----

List of Extramural Research Funds ——— 2010 Academic Year ———	257
---	-----

List of Subscriptions for Encouragement of Reseach ——— 2010 Academic Year ———	258
--	-----

List of Publications in 2010 (※ indicates the Title of the Environmentally-related Thesis)	259
---	-----

Internal Rule for Contribution to Research Reports of the Faculty of Science and Technology, Meijo University	346
--	-----

Detailed Regulation of Internal Rule for Contribution	347
--	-----

Guide Line for Preparation of Manuscript of List of Publications in Research Reports of the Faculty of Science and Technology, Meijo University	348
--	-----

招待論文

グラフのスペクトルと代数体

寺西鎮男¹⁾

Spectra of Graphs and Algebraic Number Fields

Yasuo TERANISHI ¹⁾

Abstract

Let G be a graph. Let $A(G)$ and $L(G)$ be the adjacency matrix and Laplacian matrix, respectively. Since all entries of $A(G)$ and $L(G)$ are rational integers, their eigenvalues are all algebraic integers. This article is a survey on some aspects of the relationships between spectra of graphs and algebraic number fields generated by spectra of graphs over the rational integers.

1 緒論

グラフの隣接行列やラプラス行列は有理整数を成分とする正方行列であるので、それらの行列の固有値は代数的整数である。従って、固有値の属する代数体の性質がグラフの構造に関係することが期待される。これは代数的グラフ理論における重要な問題の一つであると思われるが、現在までのところ、それらの関係については、あまり知られていない。この小論では、著者によって得られたいくつかの結果をまじえてグラフの固有値とそれらが属する代数体の関係について解説する。

最初にこの小論で用いられる記号やグラフ理論からの用語について説明する。

$G = (V, E)$ を頂点集合 $V(G) = \{1, 2, \dots, n\}$ と辺集合 $E(G)$ をもった単純有限グラフとする。頂点 i の次数を $d_G(i)$ で表し、対角行列

$$D(G) = \text{diag}(d_G(1), d_G(2), \dots, d_G(n))$$

をグラフ G の次数行列という。 G の隣接行列を $A(G)$ で表したとき次の行列

$$L(G) = D(G) - A(G)$$

をグラフ G のラプラス行列という。 $L(G)$ は半正定値行列であることはよく知られている。 $L(G)$ の相異なる固有値を大きさの順に

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r, 0$$

とする。

2 重複度が1より大きなラプラス固有値と生成木の個数

この節では、固有値はグラフのラプラス行列の固有値を意味する。固有値 λ に対して、その重複度を $m_G(\lambda)$ で表す。また、グラフ G の生成木 (spanning tree) の個数を $\kappa(G)$ で表す。次の定理は行列-木定理 (matrix tree theorem) とよばれている。

Theorem 2.1 (¹⁾ 行列-木定理) G を連結グラフとするととき、

$$\kappa(G) = \frac{\lambda_1^{m_1} \lambda_2^{m_2} \cdots \lambda_r^{m_r}}{n}$$

である。ここで、 m_i は固有値 λ_i の重複度で、 n はグラフの頂点数を表す。

¹⁾数学科

¹⁾Department of Mathematics

Theorem 2.2 ⁽⁷⁾Corllary 1, Proposition 1.2)

$$\mu(G) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_r}{n}$$

とすると、 G が連結グラフのとき $\mu(G)$ は正整数で $\kappa(G)$ は $\mu(G)$ で割り切れる。

K_n と $K_{1,n-1}$ をそれぞれ頂点数 n の完全グラフおよびスターグラフを表すこととする。Cayley のよく知られた定理によれば、 $\kappa(K_n) = n^{n-2}$ である。

研究の出発点になったのは次の定理である。

Theorem 2.3 ⁽²⁾Theorem 2.1) T を木とするとき、 λ が重複度が 1 より大きな $L(T)$ の固有値で整数ならば $\lambda = 1$ である。

Theorem 2.1 と Theorem 2.2 から Theorem 2.3 を一般化した次の定理が得られる。

Theorem 2.4 ⁽⁷⁾Theorem 1.4) G を連結グラフとすると、 λ が重複度が 1 より大きな $L(G)$ の固有値ならば $\kappa(G)$ は代数的整数のなす環の中で λ で割り切れる。

この定理で G が木の場合には定理 2.3 の一般化である次の定理を得る。

Theorem 2.5 T を木とするとき、 λ が重複度が 1 より大きな $L(T)$ の固有値ならば λ は単数である。

Theorem 2.4 はグラフ G の生成木の個数 $\kappa(G)$ と代数体の類数との類似性を暗示する。他の例としてグラフのゼータ関数を考える。井原ゼータ関数⁴⁾ はグラフ G に対して、

$$Z_G(u) = \prod (1 - u^{l(C)})^{-1}$$

により定義される。ただしここで、積は primitive closed backtrackless, tail-less cycle の同値類すべてに亘るものとする。橋本喜一郎氏³⁾ は次の定理を証明した。なお、行列-木定理を用いた証明が⁸⁾ にある。

Theorem 2.6 (Hashimoto) G を頂点数 n 、辺の数 m の連結グラフとすると

$$\begin{aligned} Z_G(u)^{-1} (1 - u)^{n-m-1} \Big|_{u=1} \\ = 2^{m-n+1} (n - m) \kappa(G). \end{aligned}$$

である。

3 Laplacian integral graph

ラプラス固有値がすべて有理整数であるグラフをラプラス整数グラフ (Laplacian integral graph(L.I.G)) という。

Theorem 3.1 ⁽⁶⁾ 木 T が L.I.G である必要十分条件は T がスターグラフであることである。

頂点を共有しない 2 つのグラフ G_1 と G_2 に対して新しく辺 $(u, v), u \in V(G_1), v \in V(G_2)$ を付け加えてできるグラフを $G_1 * G_2$ で表し G_1 と G_2 の join という。

L.I.G について次の性質は容易に示される。

- G が L.I.G である必要十分条件は G の連結成分がすべて L.I.G であることである。
- G が L.I.G である必要十分条件は G の補グラフ G^c が L.I.G であることである。
- $G_1 * G_2$ が L.I.G である必要十分条件は G_1 および G_2 が L.I.G であることである。

これに関連して、

Theorem 3.2 ⁽⁷⁾Proposition 3.3) G を頂点数が素数の連結グラフとすると G は 2 つのグラフの join である。

G 及びその補グラフ G^c がともに、連結であるグラフを原始的であるという。Theorem 3.1 が示すように与えられた $\kappa(G)$ をもつ L.I.G の個数は一般に有限個ではないが次の定理が成り立つ。

Theorem 3.3 ⁽⁷⁾Theorem 3.7) 与えられた $\kappa(G)$ をもつ原始的な L.I.G の個数は有限個である。

Theorem 3.4 ⁽⁸⁾Theorem 3.3) G を次数 $n \geq 3$ の連結な L.I.G で $\kappa(G)$ が素数とする。このとき $\kappa(G) = 3$ で G は次数 $n - 1$ の頂点を持ち、その他に次数 2 の頂点を 2 個持ち、残りの頂点はすべて次数 1 である。

Theorem 3.1 や Theorem 3.4 が示すように、 $\kappa(G)$ が 1 または素数のときは、L.I.G は原始的でない。組織的な L.I.G の構成法はいくつか知られているが、それらはいずれも原始的でない。原始的な L.I.G の構成法があればたいへん興味深い。S. Kirkland ⁽⁵⁾ によって、最大次数が 3 の L.I.G は決定されている。

4 グラフの自己同型群と代数体

この節では、グラフのラプラス行列ではなく、隣接行列の固有値を考える。 λ をグラフ G の隣接行列 $A(G)$ の固有値、 $m(\lambda)$ をその重複度とする。グラフ G の自己同型群が $V(G)$ に推移的に作用するとき、そのグラフを頂点-推移的 (vertex-transitive) なグラフという。 V を $V(G)$ 上の複素数値関数のなすベクトル空間、 V_λ を λ に対応する V の固有空間とする。グラフ G の自己同型群を Γ で表すとき、 Γ は V_λ に線形に作用する。この群 Γ の表現の指標を χ_λ で表す。 Γ が $V(G)$ に推移的に作用するとき、 G を頂点可移 (vertex-transitive) グラフという。 λ を頂点可移グラフ G の隣接行列 $A(G)$ の重複度 1 の固有値とすると、Petersdorf と Sachs の定理により、 λ が整数であることが知られている⁽¹⁾ Proposition 16.6)。次の定理はこの結果の一般化である。

Theorem 4.1 ⁽⁹⁾**Theorem 3.1)** G を頂点可移グラフで λ を G の隣接行列の固有値とする。このとき、 χ_λ が任意の $g \in \Gamma$ に対して有理数の値をとれば、

$$m(\lambda) \geq [\mathbb{Q}(\lambda) : \mathbb{Q}]$$

である。

参考文献

- 1) N.L. Biggs, *Algebraic Graph Theory*, 2nd Edition, Cambridge Unibersity Press, Cambridge, 1993.
- 2) R. Grone, R. Merris and V.S. Sunder, *The Lapracian Spectrum of a graph*, SIAM J. Matrix Anal. Appl., 11, 1990, 218-238.
- 3) K. Hashimoto, *On zeta and L-functions of finite graphs*, Internat.J.Math.1, 1990, 381-396.
- 4) Y. Ihara, *On discrete subgroups of the two by two projective linear group over p-adic fields*, J. Math. Soc. Japan 18, 1966, 219-235.
- 5) S. Kirkland, *Laplacian integral graphs with maxxum degree 3*, Electron J. Combin. 15, 2008

- 6) R. Merris, *Characteristic vertices of trees*, Linear Multilinear Algebra 22, 1987, 115-131.
- 7) Y. Teranishi, *The Hoffman number of a graph*, Discrete Math. 260, 2003, 255-265.
- 8) Y. Teranishi, *The number of spanning forests of a graph*, Discrete Math 290, 2005, 259-267.
- 9) Y. Teranishi, *Eigenvalues and automorphisms of a graph*, Linear Multilinear Algebra 57, 2009, 577-585.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

柔軟なグループ通信アーキテクチャに関する研究

鈴木秀和¹⁾

A Study on Flexible Group Communication Architecture

Hidekazu SUZUKI¹⁾

Abstract

In ubiquitous networks, it is important to simultaneously realize an encrypted communication, a mobile communication and an end-to-end communication. The study advocates Flexible Private Network (FPN) as the concept of a network which balances security with flexibility, and we propose a communication architecture GSCIP (Grouping for Secure Communication for IP) that can realize an FPN in IPv4/IPv6 networks. This paper introduces the outline of GSCIP and an IPv4-specific mobility system based on the proposed architecture.

1. はじめに

近年の携帯端末の高性能化・小型化により、いつでも、どこでも、誰でもネットワークにアクセスできるユビキタスネットワーク技術への期待がますます高まっている。ユビキタスネットワーク社会では、あらゆるユーザが自宅、外出先、職場などを自由に移動しながら個人間の通信を行う状況が想定されるため、通信の安全性とユーザの移動性を両立できる技術が求められる。これらの要求を満たす技術として IPsec¹⁾ や MobileIP²⁾³⁾ などがあるものの、IPv6 ネットワークでの運用を前提としているものが多いため、エンドユーザレベルでの利用は進んでいない。IPv4/IPv6 環境が当分の間混在することを鑑みると、両環境において暗号化通信、移動透過通信、エンドツーエンド通信を同時に実現することが重要である。

本研究では上記3つの通信を同時に実現できるネットワークの概念として FPN (Flexible Private Network) を提唱し、IPv4/IPv6 混在環境で FPN を実現するためのグループ通信アーキテクチャ GSCIP (Grouping for Secure Communication for IP ; ジースキップと発音) を提案している。暗号鍵と1対1に対応したセキュア通信グループをメンバ間で構築し、このメンバ間では暗号化通信、移動透過通信、エンドツーエンド通信に必要な情報をユーザが設定するのではなく、システムが自律的にネットワーク構成の変化を学習して動的に設定することができる。

本論文は主に4つの研究成果を取りまとめたものであり、GSCIP は下記プロトコルにより構成されている。

- (1) エンドノード間の通信に先立ち、認証および通信の暗号化に必要な情報を相互に交換し、設定情報を動的に生成するプロトコル DPRP (Dynamic Process Resolution Protocol) の提案⁴⁾。
- (2) NAT やファイアウォールを通過することが可能で、本人性確認、パケットの完全性保証、高スループットを実現する暗号化通信方式 PCCOM (Practical Cipher Communication) の提案⁵⁾。
- (3) アドレス変換処理により IP アドレスの変化を隠蔽するエンドノード主導型移動透過性プロトコル Mobile PPC (Mobile Peer-to-Peer Communication) の提案⁶⁾。
- (4) 外出先から自宅の NAT (Network Address Translator) のポートマッピングを行う外部動的マッピング方式の提案と NAT-f (NAT-free) プロトコルの設計⁷⁾。

本稿では紙幅の関係上、FPN と GSCIP の概要および上記(3)・(4)を融合した IPv4 ネットワーク特有の移動透過通信システムについて述べる。

2. FPN と GSCIP

2.1 FPN

Fig. 1 に FPN の概念を示す。FPN では個人単位とドメイン単位の要素が混在する環境に対してセキュア通信グループの定義ができる。同一グループに属するノード間の通信はその安全性が保証され、異なるグループに属するノードからのアクセスを拒否したり、平文で通信したりすることができる。ノードおよびドメインは複数のグ

1) 情報工学科

1) Department of Information Engineering

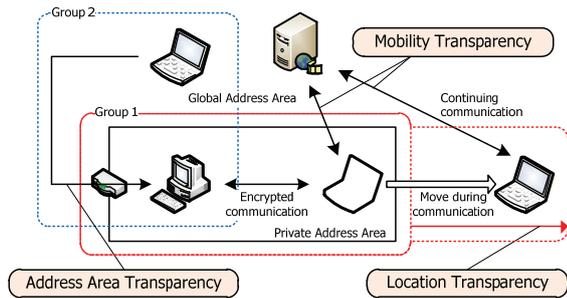


Fig. 1 The concept of FPN

グループに多重帰属することが可能で、個人単位やドメイン単位というグループの違いを意識する必要はない。またセキュリティドメインが階層的に構築されていたり、セキュリティドメイン内に異なるグループに属するノードが存在するような環境（多段構成ネットワーク）であってもかまわない。

FPN は上記に加えて、以下に示す位置透過性、移動透過性、アドレス空間透過性を同時に実現する。

- 位置透過性：ノードやドメインは移動可能であり、かつノードが特定のドメインの内外を移動するなどしてネットワーク構成が変わっても、あらかじめ定義されているグループの関係は維持される。このときグループの設定情報や暗号化通信に必要な情報をユーザが更新する必要はなく、システムが自動的にネットワーク構成の変化を学習する。位置透過性は暗号化通信を低い管理負荷で実現するために必要な機能である。
- 移動透過性：ノードは通信中の状態において移動することもありうる。通信中に別のネットワークへ移動したり、複数の通信デバイスを切り替えたりすると、ノードの IP アドレスが変化するため、そのままでは通信が継続できない。上位アプリケーションに対して IP アドレスの変化を隠蔽することにより、通信の継続を実現できる。移動透過性は快適な移動通信を実現するために必要な機能である。
- アドレス空間透過性：IPv4 の通信環境においては、NAT によりプライベートアドレス空間がグローバルアドレス空間から隠蔽されるため、グローバルアドレス空間側からプライベートアドレス空間側のノードに対して通信を開始することができない（NAT 越え問題と呼ばれている）。NAT とノードが連携することにより、アドレス空間の違いを意識することなく自由に通信できる。アドレス空間透過性は IPv4 ネットワークにおいてエンドツーエンド通信を実現するために必要な機能である。

FPN の概念を実現するには様々な方式がありうる。た

Table 1 Protocols making up GSCIP architecture

プロトコル	実現する透過性	実現する機能
DPRP	位置透過性	端末間の認証および暗号化通信に必要な情報の生成
PCCOM	—	暗号化通信
Mobile PPC	移動透過性	移動透過通信
NAT-f	アドレス空間透過性	IPv4 におけるエンドツーエンド通信

例えば、既存技術では IPv6 ネットワークを基盤として IPsec と Mobile IP を利用する方法がある。IPv4 においても実現することもできるが、Mobile IP は IPv4 と IPv6 の互換性がないため別々のシステムを構成する必要がある。また、IPv4 ネットワークにおいてエンドツーエンド通信を実現するために、NAT 越え技術を適用する方法が考えられるが、従来の NAT 越え技術は IPsec や Mobile IP との連携を考慮せずに検討されている。IPsec や Mobile IP は NAT との相性が悪く、NAT 越えを行うために別途カプセル化処理などを行う必要がある⁸⁾¹⁰⁾。したがって、これらの技術と親和性を保ちながら連携することが可能か別途議論する必要がある¹¹⁾¹²⁾。

2.2 GSCIP

本研究では FPN を実現するために、統一した概念のもとに Table 1 に示すプロトコルを新たに定義し、これらを統合してグループ通信アーキテクチャ GSCIP として設計する。各プロトコルは IPv4/IPv6 のいずれにおいても同様のアーキテクチャを採用しており、両者の互換性を有する設計となっている。さらに、個々のプロトコルが連携して動作することはもちろん、単独で動作することも可能である。

Fig. 2 に GSCIP の基本となる通信グループの定義方法を示す。GSCIP におけるグループの構成要素を GE (GSCIP Element) と呼び、ソフトウェアをインストールして実現するホストタイプの GES (GE for Software)、サブネットを構成するルータタイプの GEN (GE for Network)、重要なサーバの直前に設置して GES と同じ役割を果たすブリッジタイプの GEA (GE for Adapter) がある。GEN の配下に存在する一般ノード (Host) は、GEN により一括して保護される。

GSCIP では同一の暗号鍵を所持する GE の集合を同一グループとして定義する。この暗号鍵をグループ鍵 GK (Group Key) と呼ぶ。グループとグループ鍵を 1 対 1 に対応づけるため、IP アドレスに依存することなく論理

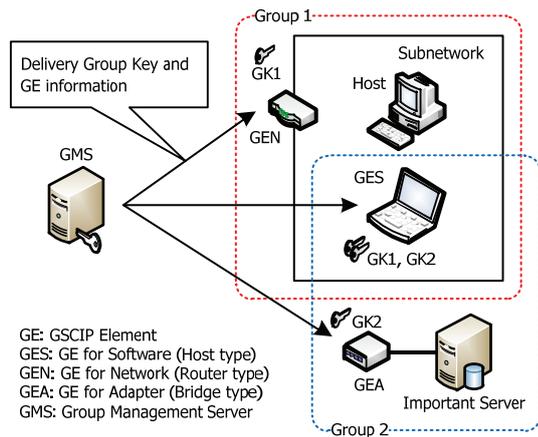


Fig. 2 Definition method of communication group

的にグループを定義でき、個人単位/ドメイン単位が混在したり、1 ユーザに対して複数のグループを重複して定義したりできる。またサブネット内に存在する個々のGEに対して、そのサブネットとは別のグループを定義することもできる。なお、セキュア通信グループの定義は管理装置 GMS (Group Management Server) で行われ、グループ鍵 GK の生成・更新処理なども行う。

通信開始時に、通信相手とグループ情報を交換して同一グループに属しているか確認し、暗号化通信に必要な動作処理情報を生成する。

2.3 提案アーキテクチャのシステム構成

Fig. 3 に GSCIP のシステム構成の概要を示す。GSCIP はあらゆるアプリケーション間でやりとりされる TCP/UDP パケットを対象とするため、OS の IP 層へモジュールを実装する。カーネルに実装されるモジュールを GPACK (GSCIP Package) と呼ぶ。GE が送受信する TCP/UDP パケットは IP 層の入出力処理部から GPACK へフックし、3 種の通信を実現するための処理が行われる。処理に必要な情報がない場合は、処理中の TCP/UDP パケットを一旦待避させてから各プロトコルによるネゴシエーションが行われる。ネゴシエーション完了後は待避していたパケットを復帰させ、生成された情報に基づいて暗号化などの処理が行われる。その後、TCP/UDP パケットは IP 層の入出力処理部へ差し戻され、通常送受信処理が行われる。

このような仕組みとすることにより、プロトコル処理をユーザランドで行う場合と比較して高速に行えることや、カーネルへの変更を最小限に抑えるなどの利点がある。なお、上記処理の手順は各プロトコルが単独で動作する場合も同様である。

カーネルに実装するモジュール以外に、ユーザランドで動作する各種設定ツールや、GMS 間との通信や移動検

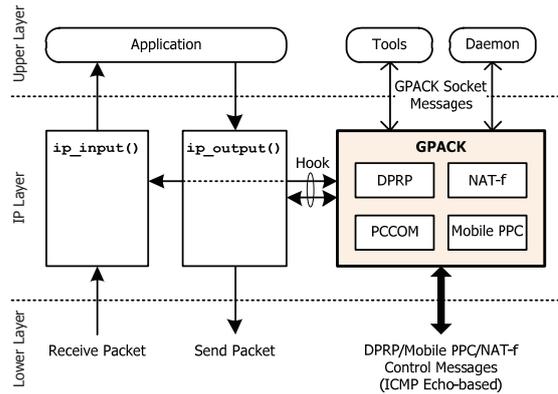


Fig. 3 System configuration of GSCIP

知などを行う各種デーモンがある。これらはソケットを通じて GPACK と相互に情報交換することができる。

3. IPv4 ネットワーク特有の移動透過通信システム

IPv4 ネットワークでは NAT の存在により、グローバルアドレス空間からプライベートアドレス空間に対して通信を開始できなかつたり、また NAT がパケットの IP アドレスとポート番号を変換したりするなど、IPv4 ネットワーク特有の現象が発生する。このようなネットワークにおいて移動透過通信システムを実現するためには、NAT による弊害を除去する必要がある。本章ではアドレス空間透過性を実現する NAT-f を既存の移動透過性プロトコルと組み合わせることにより、新たな通信ケースを実現する手法¹³⁾について示す。

3.1 要素技術の概要

3.1.1 NAT-f

NAT-f は、グローバルネットワーク上の外部ノード EN (External Node) とホームゲートウェイ HGW (Home Gateway) が連携することによりホームネットワーク内の内部ノード IN (Internal Node) に対して通信を開始できる NAT 越え技術である。Fig. 4 に NAT-f による通信手順を示す。EN は通信開始時にホームネットワーク内に存在する IN の名前解決処理を行う。この過程において、EN は HGW のグローバル IP アドレスを取得するが、GPACK において DNS 応答メッセージを解析し、取得した IP アドレスを IN の FQDN をもとに生成した仮想 IP アドレスに書き換えて上位層へ渡す。

アプリケーションは仮想 IP アドレス宛に TCP/UDP パケットを送信することになるが、このとき EN は GPACK において送信パケットを一時的に待避させ、HGW に対してマッピング処理を行う。このマッピング処理により、

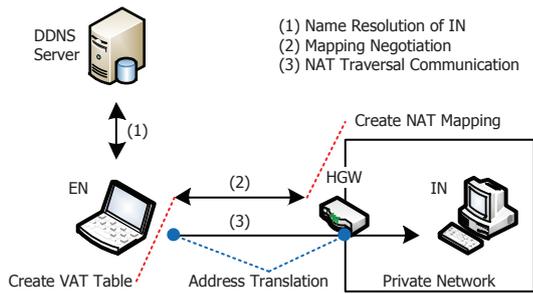


Fig. 4 NAT-f communication procedure

HGW は EN と IN が通信するために必要な NAT マッピングを生成する。EN は仮想 IP アドレスと HGW で割り当てられたマッピングアドレスの対応関係を示した仮想アドレス変換テーブル (VAT Table) を GPACK 内に生成する。

EN は VAT テーブルに基づいて、待避させていた TCP/UDP パケットの宛先を仮想 IP アドレスから HGW のマッピングアドレスに書き換えて送信する。HGW にはすでに NAT マッピングが生成されているため、通常の NAT によるアドレス変換処理を実行し、EN からのパケットを IN へ転送する。

このような処理により、エンドツーエンド通信を確立する。NAT 越え技術としてよく知られている STUN (Session Traversal Utilities for NAT)¹⁴⁾ などと比較して、NAT-f は IN に NAT 越えにかかわる機能をいっさい実装する必要がないため、一般の PC はもちろん、情報家電機器などをそのまま利用することができる。

3.1.2 Mobile PPC

Mobile PPC は、エンドエンドで移動透過性を実現する方式であり、移動ノード到達性¹⁾と通信継続性²⁾を明確に分離した点に特徴がある。移動ノード到達性には DDNS (Dynamic DNS) サーバを利用し、通信継続性に関わる機能を Mobile PPC で実現する。

Fig. 5 に MN (Mobile Node) から CN (Correspondent Node) へ通信を開始する場合における Mobile PPC の通信手順を示す。MN は DDNS サーバを利用して CN の名前解決を行い、IP アドレスを取得する。MN と CN は通信開始に先立ち、Cookie 交換及び Diffie-Hellman (以下 DH) 鍵交換による 2 往復の認証鍵共有ネゴシエーションにより認証鍵を共有する¹⁵⁾。更に TCP/UDP パケットのコネクション識別子 CID (Connection ID) を用いて、CIT (Connection ID Table) と呼ぶアドレス変換テーブルを GPACK 内に生成しておく。なお、移動前は CIT による

¹⁾ 相手ノードがどこにいても通信を開始ができる性質。

²⁾ 通信中にノードが移動しても通信を継続できる性質。

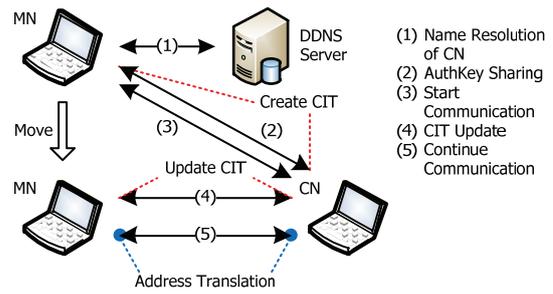


Fig. 5 Mobile PPC communication procedure

アドレス変換は行われぬ。

MN が通信中に移動して IP アドレスが変化した場合、CN に対して移動前後の IP アドレスの関係を CIT Update (以下 CU) 処理により直接通知する。CU 処理では通信開始時に共有しておいた認証鍵による相手認証を行い、CIT を更新する。その後両ノードは更新した CIT に基づいて、該当するすべての TCP/UDP パケットに対してアドレス変換処理を行う。これにより、IP 層より上位では移動前の IP アドレスとして処理される。その結果、上位層から IP アドレスの変化を隠ぺいすることができる。

3.2 通信ケースの定義

従来の IPv4 における移動透過通信の研究では、MN の移動前・移動後のネットワークの組み合わせにより、以下の 4 つのパターンが検討されている。

- Pattern 1 : グローバルネットワークからグローバルネットワークへの移動
- Pattern 2 : グローバルネットワークからプライベートネットワークへの移動
- Pattern 3 : プライベートネットワークからグローバルネットワークへの移動
- Pattern 4 : プライベートネットワークから異なるプライベートネットワークへの移動

Pattern 1 は最も基本的な移動パターンである。Pattern 2, Pattern 3 は移動前もしくは移動後の通信経路上に NAT が介在することになる。Pattern 4 はプライベートネットワークが階層的に構築された環境での移動が想定される。いずれのパターンにおいても、CN はグローバルネットワークに存在することが前提である。

一方、近年では外出先からホームネットワーク内の情報家電機器と通信するための研究が盛んに行われている^{16),17)}。このような場合、既存技術の前提とは異なり、CN はプライベートネットワーク内に存在することになる。そこで上述した MN の移動パターンに CN の位置を組み合わせた通信ケースを定義する。Table 2 に IPv4 ネットワークにおける通信ケースを示す。既存技術は CN がグ

Table 2 Definition of communication case in IPv4 network

MN の移動パターン	CN の位置	
	GNW	PNW
Pattern 1 (from GNW to GNW)	Case 1	Case 5
Pattern 2 (from GNW to PNW)	Case 2	Case 6
Pattern 3 (from PNW to GNW)	Case 3	Case 7
Pattern 4 (from PNW to PNW)	Case 4	Case 8

GNW : Global Network, PNW : Private Network

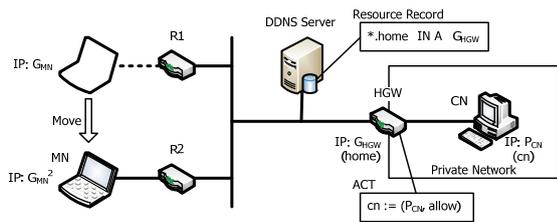


Fig. 6 System configuration and initial settings

ローカルネットワークに存在することを前提としているため, Case 1 から Case 4 に対応している. Case 5 から Case 8 のような新たな通信ケースを実現するためには, CN 側の NAT 越えを実現する必要がある.

3.3 NAT-f と移動透過性プロトコルの融合

CN 側の NAT 越え問題を解決するために, NAT-f を移動透過性プロトコルと融合することにより, 新たな通信ケースを実現する. NAT-f は Mobile IP, Mobile PPC のどちらも共存することが可能であるが, ここでは Mobile PPC を中心にその方法を述べる. NAT-f は通信開始時, Mobile PPC は移動時にアドレス変換テーブルを生成する. そのため, 両者の技術には独立性があり, かつ大きな修正を加えることなく組み合わせることができる.

3.3.1 システム構成

Fig. 6 に想定するシステム構成を示す. グローバル IP アドレス G_{MN} を持つ MN が, HGW 配下のプライベートネットワークに存在する CN へ通信を開始する. その後, MN は CN と通信中にルータ R1 配下のネットワークから R2 の配下ネットワークに移動して, 新しいグローバル IP アドレス G_{MN}^2 を取得したことを想定する. R1 と R2 は DHCP サーバ機能を有していると仮定する. MN と HGW はそれぞれ NAT-f と Mobile PPC を実装しており, CN はこれら機能を有さない一般ノードでよい.

NAT-f を利用するための必要な事前設定として, DDNS サーバには HGW のホスト名 "home" とグローバル IP アドレス G_{HGW} の対応関係がワイルドカード A レコードとして, また HGW には CN の名前 "cn" とプライベ

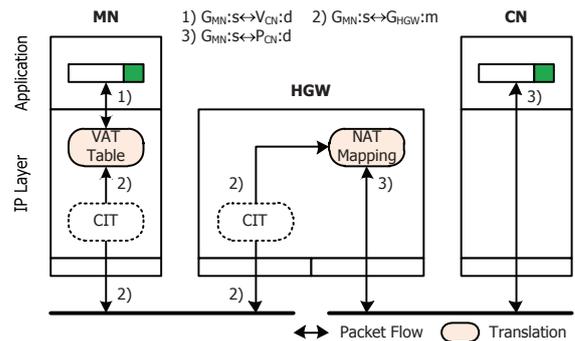
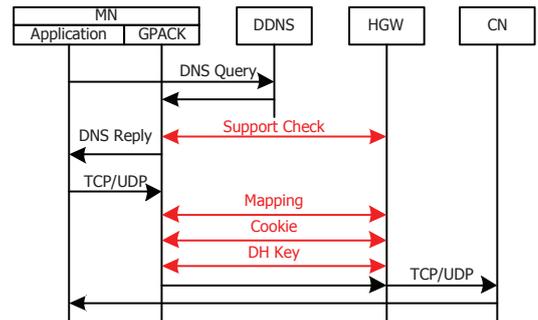


Fig. 7 Sequence when MN starts communication and IP address/port number transition of TCP/UDP packets

ト IP アドレス P_{CN} の対応関係がアクセス制御テーブル ACT (Access Control Table) に登録されているものとする.

3.3.2 通信開始手順

Fig. 7 上に通信開始時にシーケンスを示す. MN は CN の IP アドレスを取得するために, ホスト名 "cn.home" の名前解決を行う. DDNS サーバは HGW の IP アドレスを応答する. MN は受信した DNS 応答を GPACK 内に一時待避させてから, HGW と Support Check ネゴシエーションを行う. これは HGW が NAT-f に対応しているかを確認する処理であり, MN は HGW が NAT-f に対応していることを確認したら, 待避させた DNS 応答に記載されている IP アドレスを仮想 IP アドレス V_{CN} に書き換え, アプリケーションへ通知する.

以後, 3.1.1 項で述べた NAT-f の一連の処理を行うが, Mapping ネゴシエーションが完了した後, 続けて 3.1.2 項で述べた Mobile PPC の通信開始時の処理を行う. 上記の処理が完了すると, MN には VAT テーブルと CIT が, HGW には NAT マッピングと CIT が生成され, また両者に認証鍵が共有される. MN は待避していた TCP/UDP パケットを復帰させ, NAT-f に基づく通信を開始する. MN と CN 間で送受信される TCP/UDP アドレスの IP アドレスとポート番号は, Fig. 7 下のように遷移する. すなわち, MN では VAT テーブルに基づくアドレス変換処理により, 宛先が仮想 IP アドレスとポート番号 " $V_{CN}:d$ "

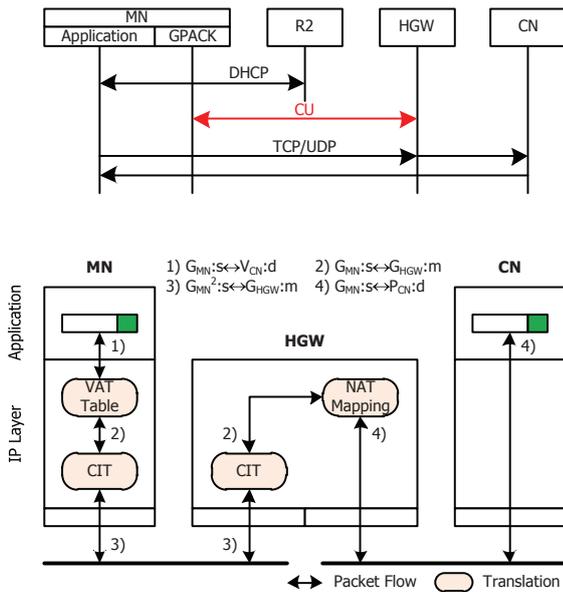


Fig. 8 Sequence after MN moves and IP address/port number transition of TCP/UDP packets

から HGW にマッピングされたアドレスとポート番号 “ $G_{HGW}:m$ ” となり送信される。HGW では NAT により宛先が “ $P_{CN}:d$ ” へ変換され、CN へ転送される。

3.3.3 通信継続手順

Fig. 8 上に MN が R2 配下へ移動した後の通信シーケンスを示す。MN は別のネットワークに移動したことを検知すると、DHCP 処理を実行して新しい IP アドレス G_{MN}^2 を取得する。アドレス取得後、MN は IP アドレスの変化を通知するために Mobile PPC の移動通知処理、すなわち HGW に対して CU ネゴシエーションを行う。この処理でやりとりされるメッセージは通信開始時に共有した認証鍵を用いて署名を付加され、認証処理を終えた後に CIT を更新する。MN も HGW と同様に自身の CIT を更新する。

上位層から渡された TCP/UDP パケットは、Fig. 8 下に示すように、VAT テーブルに基づくアドレス変換、及び CIT に基づくアドレス変換が行われる。すなわち、送信元が移動前から移動後の IP アドレスへ、あて先が仮想 IP アドレスからマッピングアドレスへ変換され、HGW へ送信される。HGW は受信パケットに対して、CIT に基づくアドレス変換及び NAT に基づくアドレス変換が行われる。すなわち、送信元が MN の移動後から移動前の IP アドレスへ、あて先がマッピングアドレスから CN のプライベート IP アドレスへ変換され、CN へ転送される。

以上の処理により、MN の上位アプリケーションと HGW の NAT アドレス変換処理部及び CN は、移動が発生して MN の IP アドレスが変化したことに気づくこと

Table 3 Device specifications

	MN	HGW	CN
CPU	Pentium M 1.73 GHz	Geode LX800 500 MHz	Core2 U7600 1.2 GHz
RAM	512 MB	256 MB	2037 MB
OS	FreeBSD 6.1	FreeBSD 6.1	Windows Vista

Table 4 TCP throughput on the proposal method using Iperf

提案方式実装の有無	スループット [Mbps]
未実装時 (移動前)	69.3
実装時 (移動前)	69.1
実装時 (移動後)	67.9

なく、通信を継続することができる。

4. 性能評価

MN と HGW で行われるアドレス変換処理が、MN と CN のエンドツーエンドのスループットに与える影響を明らかにするために、Iperf を用いて TCP スループットを測定した。また、通信開始時に発生するオーバーヘッド及びデーモンによる移動検知から通信継続までに要する時間、すなわち通信断絶時間を測定した。

測定環境は Fig. 6 に示す構成とし、HGW、DDNS サーバ及び R1/R2 を 100BASE-TX スイッチで接続した。Table 3 に各装置の仕様を示す。MN の移動は UTP ケーブルを R1 から R2 につなぎなおすことでエミュレートした。Cookie と認証鍵の生成に用いるハッシュ関数には MD5 を使用し、DH 鍵交換における DH グループは Group 1 (768 bit) とした。

4.1 スループット性能

Iperf により MN から CN に対して TCP トラフィックを 60 秒間送信した。NAT-f と Mobile PPC を実装したシステムにおいて、移動前と移動後のスループットを測定した。また比較のため、同一装置により NAT-f と Mobile PPC を実装していない通常のシステムにおいても測定した。この場合は HGW にあらかじめ静的マッピングを設定し、MN が CN へ通信を開始できるようにした。

Table 4 に TCP スループット測定結果を示す。未実装時のスループットが 69.3 Mbps であったのに対して、実装時の移動前は 69.1 Mbps、移動後は 67.9 Mbps であった。実装時の移動前は MN において VAT テーブルに基づくアドレス変換処理が加わるが、スループットに対する影響はほとんどないといえる。実装時の移動後は、更に

MN と HGW において CIT に基づくアドレス変換が加わるため、未実装時のスループットから約 2 %低下していた。低下の要因は HGW における CIT のアドレス変換処理にあることがわかった。

なお、提案方式の実装の有無に関わらず 70 Mbps 程度のスループットしか得られなかったが、この原因は NAT アプリケーションに FreeBSD 標準の natd を採用したためである。natd はユーザランドで動作し、受信したパケットを IP 層から Divert socket により取得する。このとき、カーネルではフラグメントされたパケットの再構築処理と、カーネルとユーザランド間のメモリコピーがパケットを処理するたびに発生するため、装置の仕様に応じてスループットが大幅に低下してしまう。

以上の結果より、NAT-f と Mobile PPC を組み合わせても、スループットの低下は十分に小さく、実用上問題ないといえる。

4.2 通信開始時のオーバーヘッド

Table 5 に通信開始時に発生するオーバーヘッドとその内訳を示す。MN が最初の TCP/UDP パケットを送信する際、カーネルに一時待避させてから実際に送信されるまでに行われる処理は Table 5 のうち、a) NAT-f による DNS 応答書き換え、b) マッピング処理、及び c) Mobile PPC の Cookie 交換の合計処理である。したがって、通信開始までのオーバーヘッドは上記処理時間の合計、すなわち 11.51 msec となる。認証鍵共有処理の後半部分 (DH 鍵交換と認証鍵生成) は Cookie 交換後に開始される TCP/UDP 通信のバックエンドで行われるため、通信開始時のオーバーヘッドには含まれない。

上記結果より、NAT-f と Mobile IP を組み合わせたシステムにおいても、通信開始時に発生するオーバーヘッドは十分許容できる範囲であるといえる。

4.3 通信断絶時間

Table 6 に移動時の通信断絶時間とその内訳を示す。表中の処理内容はそれぞれ下記の間処理である。

- ネットワーク移動：UTP ケーブル抜線～挿線
- 移動検知：リンク確立判断～ping タイムアウト
- IP アドレス取得：DHCP 処理実行～IP アドレス設定
- アドレス重複確認：Gratuitous ARP 送信～タイムアウト
- CU 処理：CU Request 送信～CIT 更新

通信断絶時間の合計は 4.51 sec であった。このうち、ネットワークの移動に 1.64 sec を要しているが、実際は無線 LAN における L2 ハンドオーバーに該当するため、50～400 msec になると推測される¹⁸⁾。上記時間を除いた通信

Table 5 Details of overhead when MN starts communication

処理内容	処理時間 [msec]
a) DNS 応答書き換え ^{*1}	2.74
b) マッピング処理 ^{*2}	5.49
c) Cookie 交換 ^{*2}	3.28
d) DH 鍵交換 ^{*2}	98.72
e) 認証鍵生成 (MN)	5.40
f) 認証鍵生成 (HGW)	38.92
通信開始までの総オーバーヘッド (a+b+c)	11.51

*1 処理時間+1RTT (RTT は MN～DDNS 間の RTT)

*2 処理時間+1RTT (RTT は MN～HGW 間の RTT)

Table 6 Details of communication break time

処理内容	処理時間
ネットワーク移動 (手動)	1.64 [sec]
移動検知 (デーモン)	28.70 [msec]
アドレス取得 (DHCP) ^{*1}	2.11 [sec]
アドレス重複確認 (カーネル)	0.69 [sec]
CU 処理 (Mobile PPC) ^{*2}	41.26 [msec]
総通信断絶時間	4.51 [sec]

*1 処理時間+2RTT (RTT は MN～R2 間の RTT)

*2 処理時間+1RTT (RTT は MN～HGW 間の RTT)

断絶時間に着目すると、DHCP によるアドレス取得と Gratuitous ARP によるアドレス重複確認の合計が 97.6 % を占める結果となった。一方、提案方式特有の処理時間は十分に短いことがわかる。

上記の結果より、移動にともなうパケットロスを抑えるためには、アドレス取得に関する処理時間を短縮することが重要である。これについては複数の無線インタフェースを効果的に切り替えることにより、パケットロスを無くす方法を別途提案している¹⁹⁾。

5. 各通信パターンへの対応

移動透過アーキテクチャの実用性を評価する上で、対応可能な通信ケースの広さは重要な指標と考えられる。本章では 3.2 に示した Case 5 の実現方法を取り上げたことになる。提案方式が他の通信ケースを実現する可能性について考察した。

Mobile PPC では Pattern 2 から Pattern 4 に対応するため、NAT 越え技術として知られている Hole Punching の原理を導入する方法を提案している²⁰⁾。通信開始時の認証鍵共有処理または移動後の CU 処理において通信経路上に

NAT の存在を確認すると、MN から CN に対して Hole Punching を実行し、MN 側の NAT にマッピング情報を生成する。MN は CN からの応答により、MN 側 NAT の外側に割り当てられた IP アドレスとポート番号を取得する。これにより、CN は MN 側 NAT のアドレス変換に対応した CIT を生成することができる。提案方式は移動透過性プロトコルの機能をそのまま利用しているため、そのまま Case 2 から Case 4 に対応することができる。

Case 6 はグローバルネットワークからプライベートネットワークへの移動のため、Case 5 とは移動後の処理だけが異なる。移動後の処理に着目すると、Mobile PPC に関する処理しか行わない。したがって、Case 2 と同様の処理を行うことにより Case 6 は実現可能である。Case 7 についても、Case 3 と同様の処理を提案方式に適用すれば実現可能である。Case 8 は Case 4 の実現方法と同じ考え方で対応することが可能である。すなわち、Case 7 の通信開始時の処理と Case 6 の移動後の処理を組み合わせることで実現できる。

6. まとめ

本稿では柔軟性とセキュリティを兼ね備えたセキュア通信グループを構築できる FPN と呼ぶネットワークの概念を提唱し、位置透過性、移動透過性、アドレス空間透過性を同時に実現するための通信アーキテクチャ GSCIP の概要を紹介した。暗号化通信、移動通信、エンドツーエンド通信を IPv4 ネットワークにおいて同時に実現できることを確認し、ユビキタスネットワークを実現できるアーキテクチャとしての有効性を示した。

参考文献

- 1) S. Kent and K. Seo: Security Architecture for the Internet Protocol, RFC 4301, IETF, 2005.
- 2) C. Perkins: IP Mobility Support for IPv4, RFC 3344, IETF, 2002.
- 3) D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko: Mobility Support in IPv6, RFC 3775, IETF, 2004.
- 4) 鈴木秀和, 渡邊晃: フレキシブルプライベートネットワークにおける動的処理解決プロトコル DPRP の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.11, pp.2976-2991, 2006.
- 5) 増田真也, 鈴木秀和, 他: NAT やファイアウォールと共存できる暗号通信方式 PCCOM の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.7, pp.2258-2266, 2006.
- 6) 竹内元規, 鈴木秀和, 渡邊晃: エンドエンドで移動透

過性を実現する Mobile PPC の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3244-3257, 2006.

- 7) 鈴木秀和, 宇佐見庄五, 渡邊晃: 外部動的マッピングにより NAT 越え通信を実現する NAT-f の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3949-3961, 2007.
- 8) T. Kivinen, B. Swander, et al.: Negotiation of NAT-Traversal in the IKE, RFC 3947, IETF, 2005.
- 9) A. Huttunen, B. Swander, et al.: UDP Encapsulation of IPsec Packets, RFC 3948, IETF, 2005.
- 10) H. Levkowitz and S. Vaarala: Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC 3519, IETF, 2003.
- 11) D. Wing, J. Rosenberg and H. Tschofenig: Discovering, Querying, and Controlling Firewalls and NATs, Internet-draft, IETF, 2007.
- 12) H. Tschofenig and G. Bajko.: Mobile IP Interactive Connectivity Establishment (M-ICE), Internet-draft, IETF, 2008.
- 13) 鈴木秀和, 渡邊晃: プライベートネットワーク内のノードを通信相手とした移動透過性の実現方式, 電子情報通信学会論文誌(B), Vol.92-B, No.1, pp.109-121, 2009.
- 14) J. Rosenberg, R. Mahy, et al.: Session Traversal Utilities for NAT (STUN), RFC 5389, IETF, 2008.
- 15) 瀬下正樹, 鈴木秀和, 他: 分割 Diffie-Hellman 鍵交換による移動ノードの鍵共有方式の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.7, pp.1725-1734, 2009.
- 16) Y.-J. Oh, H.-K. Lee, et al.: Design of an Extended Architecture for Sharing DLNA Compliant Home Media from Outside the Home, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.53, No.2, pp.542-547, 2007.
- 17) S. Motegi, K. Tasaka, et al.: Proposal on Wide Area DLNA Communication System, Proc. CCNC2008, pp.233-237 (2008).
- 18) A. Mishra, M. Shin and W. Srbaugh: An Empirical Analysis of the IEEE802.11 MAC Layer Handoff Process, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol.33, No.2, pp.93-102, 2003.
- 19) 金本綾子, 鈴木秀和, 他: IPv4 移動体通信システムにおけるパケットロスレスハンドオーバの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.133-143, 2009.
- 20) H. Suzuki, K. Terazawa and A. Watanabe: Implementation of NAT Traversal for Mobile PPC with the Principle of Hole Punching, Proc. IEEE TENCON 2009, pp.1-6, 2009.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

音声分析における声道断面積関数とそのスペクトル表現

板倉文忠¹⁾

Vocal Tract Area Function in Speech Analysis and its Spectral Representation

Fumitada ITAKURA¹⁾

Abstract

It has been well known that PARCOR coefficients of speech signal can be transformed into a pseudo vocal tract area function, whose boundary conditions are (a) a complete opening at the lips and (b) a matched resistance termination at the glottis. If the boundary condition at the glottis is replaced by a complete opening or a complete closure, all the poles of the resulting vocal tract transfer function will move onto the unit circle in z -plane. Using this fact, it is possible to describe the original PARCOR coefficients in terms of two sets of pole frequencies corresponding to two modified boundary conditions at the glottis, or a set of pole-residue pairs corresponding to one of the two conditions.

1. はじめに

音声のスペクトル包絡情報をフォルマント周波数とそのバンド幅により表現する方法は、その量子化に必要なビット数が少ないこと、また物理的・聴覚的な意味づけが可能なことなどの点で優れた方法であり、音声スペクトルの表現法として最も基本的なものである。フォルマンと周波数の抽出法としては、種々の方法が提案されている¹⁾が、線型予測分析に基づく方法の一つとして、最尤スペクトル推定法がある。最尤スペクトル推定法²⁾では、音声のスペクトルを p 次の全極形の伝達関数で近似し、線型予測係数を多項式の係数とする p 次の代数方程式の解を求め、伝達関数の極を求める。こうして得られる p 個の極のうち

には、声道の伝達関数の極のほかには声帯波形のスペクトル、口唇からの放射特性などの影響が含まれている。真のフォルマント周波数を抽出するためにはフォルマント周波数の大局的な動特性や統計的性質を利用する必要があり、一種のパターン認識問題とみなされ、その自動化は容易ではない。

この論文では、PARCOR 係数によって定まる擬似声道モデルに人為的な理想的境界条件を導入することにより、全極形伝送関数を線スペクトル化して表現する方法を述べる。この方法により、従来のフォルマント抽出法におけるヒューリスティックな決定過程を回避し、音声スペクトルをフォルマント周波数とバンド幅に類似した特性をもつ有効なパラメータで表現することができる。

1)情報工学科

1)Department of Information Engineering

2. PARCOR 係数による擬似声道モデル

音声信号のスペクトル包絡は、全極形伝送関数で近似することができる。全極形伝送関数を表現する方法には、種々のものがあるが、ここでは異なる断面積を持つ無損失音響管の縦続接続による方法を取り上げる。(図 1)

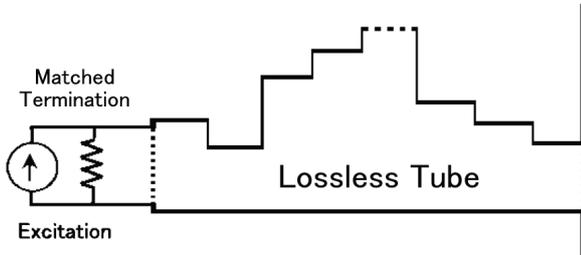


図 1 無損失音響管を用いた擬似声道モデル。口唇は完全開放,声門は整合抵抗終端。

この擬似声道モデルの伝送特性は、両端の境界条件に依存する。以下では、数理的な取り扱いの便宜上、次のような境界条件を仮定する。

- (1) 口唇端で完全開放
- (2) 声門端で整合抵抗終端

上記の境界条件を満たす音響管系を擬似声道モデルと呼ぶことにする。隣接する音響管の断面積の不連続点での反射係数を PARCOR 係数に対応させると、この擬似声道の伝送関数は、音声のスペクトル包絡を近似することができる。⁽¹⁾

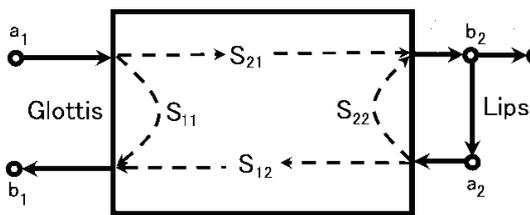


図 2 無損失擬似声道モデルの S-行列表示

3. 擬似声道のパワー伝送関数と口唇端駆動点イミタンス関数^{(2), (5)}

擬似声道の声門整合終端抵抗を除けば、この擬似声道モデルは無損失系である。この無損失形を S-行列を用いてあらわし、その性質を調べてみる。

図 2 に示す 2 端子対無損失線型受動系において、

端子 1, 2 における入射波, 反射波の振幅を (a_1, b_1) , (a_2, b_2) であらわす。この系の入出力特性は、S-行列を用いて次のようにあらわされる。

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ただし、入射波, 反射波のパワーは、振幅の絶対値の 2 乗で与えられるものとする。系が無損失であれば、入出力のパワーが保存されるので S-行列は、ユニタリ行列である。よって、

$$\left. \begin{aligned} |s_{11}|^2 + |s_{21}|^2 &= 1 & \bar{s}_{11}s_{11} + \bar{s}_{21}s_{22} &= 0 \\ |s_{12}|^2 + |s_{22}|^2 &= 1 & \bar{s}_{12} &= s_{21} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

端子 2 は、口唇に対応し、 b_2 が完全に反射して a_2 に帰還されるものとする。このとき声門 (端子 1) から唇までの伝送関数およびパワー伝送関数は、それぞれ、次式(4)で与えられる。

$$T_{12} = \frac{s_{21}}{1 - s_{22}} \quad (3)$$

$$|T_{12}|^2 = \frac{|s_{21}|^2}{1 + |s_{22}|^2 - (s_{22} + \bar{s}_{22})} \quad (4)$$

他方、口唇から見たイミタンスおよびその実数部が、それぞれ、次式(5)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{1 + s_{22}}{1 - s_{22}}, \\ \text{Re}[R] &= \frac{1 - |s_{22}|^2}{1 + |s_{22}|^2 - (s_{22} + \bar{s}_{22})} = |T_{12}|^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

すなわちパワー伝送関数 $|T_{12}|^2$ は、口唇から見たイミタンス関数 R の実数部に等しい。また R は口唇端から見た反響インパルス応答 s_{22} によって一義に定まる。

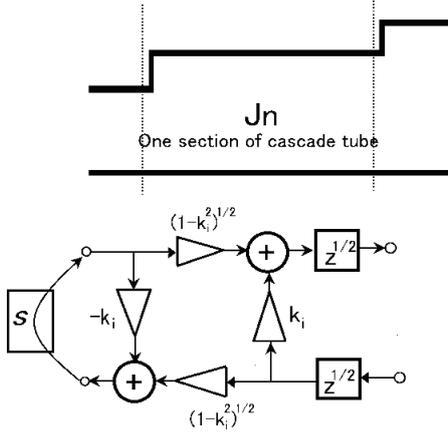


図3 PARCOR 係数による音響管接合部の等価回路

4 PARCOR 係数からの口唇端駆動点イミタンス R の導出

隣接する音響管の接続部を図3のように定め、この接続部 J_n の S -行列を、次式(6)に示す。

$$S_n = \begin{pmatrix} -k_n & \sqrt{1-k_n^2} z^{1/2} \\ \sqrt{1-k_n^2} z^{1/2} & k_n z \end{pmatrix} \quad (6)$$

ただし、 $z = \exp(-j\omega\Delta T)$, $\Delta T = 2\Delta L / c$, $\Delta L =$ 音響管の長さ、 $c =$ 音速 である。 S -行列は、図3のようなブロック線図で表される。 J_n の左端に反響インパルス応答 s を持つ暗箱を接続したときの J_n の右端から左側を見た反響インパルス応答

$$s_n(z, s) = \frac{k_n + s}{1 + k_n s} \quad (7)$$

同様に J_n, J_{n-1}, \dots, J_1 , を左から右の向きに縦続接続した系の左端を s で終端したときの、 J_1 の右端から見た反響インパルス応答を $S_n(z, s)$ とすると、

$$S_1(z, s) = \frac{k_1 + s}{1 + k_1 s} z, \\ S_2(z, s) = \frac{k_1 + k_2 z + (k_1 k_2 + z)s}{(1 + k_1 k_2)z + (k_1 z + k_2)s} z \quad (8)$$

一般に、 $S_n(z, s) / z$ は、 z の多項式を係数として持つ双一次形式で表される。そこで分子分母の係数多項式を C_n, D_n, E_n, F_n とすれば、

$$\frac{S_n(z, s)}{z} = \frac{E_n + F_n s}{C_n + D_n s} \\ = \frac{(E_{n-1} + k_n z E_{n-1}) + (E_{n-1} + k_n z F_{n-1})s}{(C_{n-1} + k_n z D_{n-1}) + (D_{n-1} + k_n z C_{n-1})s} \quad (9)$$

したがって、多項式 C_n, D_n, E_n, F_n は次の漸化式(10)を満たす。

$$\left. \begin{aligned} C_n &= (C_{n-1} + k_n z D_{n-1}), & C_1 &= 1 \\ D_n &= (z D_{n-1} + k_n C_{n-1}), & D_1 &= k_1 \\ E_n &= (E_{n-1} + k_n z F_{n-1}), & E_1 &= k_1 \\ F_n &= (z F_{n-1} + k_n E_{n-1}), & F_1 &= 1 \end{aligned} \right\} (10)$$

5 口唇端イミタンスの漸化式とその部分分数展開

n 段従属接続した系の口唇端イミタンス関数は、式(5),(9)により

$$R_n(z) = \frac{1 + S_n(z, s)}{1 - S_n(z, s)} = \frac{C_{n-1} + z E_{n-1}}{C_{n-1} - z E_{n-1}} \\ = \frac{(C_{n-1} + k_n z D_{n-1}) + z(E_{n-1} + k_n z F_{n-1})}{(C_{n-1} + k_n z D_{n-1}) - z(E_{n-1} + k_n z F_{n-1})} \quad (11)$$

したがって、 $A_n(z), B_n(z), A_n^*(z), B_n^*(z)$ を次式(12)

$$\left. \begin{aligned} A_{n-1}(z) &= (C_{n-1} + k_n z E_{n-1}) \\ B_n(z) &= (z D_{n-1} + k_n F_{n-1}) \\ A_{n-1}^* &= (C_{n-1} + k_n z E_{n-1}) \\ B_{n-1}^* &= (z D_{n-1} + k_n F_{n-1}) \end{aligned} \right\} (12)$$

で定義すれば、口唇端イミタンス関数は、次式(13)で与えられる：

$$R_n(z) = \frac{1 + S_n(z, s)}{1 - S_n(z, s)} = \frac{A_n^*(z)}{A_n(z)} \quad (13)$$

ただし, $A_n(z), B_n(z), A_n^*(z), B_n^*(z)$ は, 次の漸化式(14),(14)' を満たす:

$$\left. \begin{aligned} A_n(z) &= (A_{n-1}(z) + k_n z B_{n-1}(z)), & A_0(z) &= 1 \\ B_n(z) &= (z B_{n-1}(z) + k_n A_{n-1}(z)), & B_0(z) &= -1 \\ A_n^*(z) &= (A_{n-1}^*(z) + k_n z B_{n-1}^*(z)), & A_0^*(z) &= 1 \\ B_n^*(z) &= (z B_{n-1}^*(z) + k_n A_{n-1}^*(z)), & B_0^*(z) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

すなわち, 式(13)の分子, 分母の多項式は, 同一の漸化式を満たすが, 初期値が異なっている. 式(13)を部分分数展開すると, 次式(15)がえられる:

$$R_n(z) = \sum_{i=1}^n \mu_i \frac{1 + z/z_i}{1 - z/z_i} \quad (15)$$

ただし, z_i は, $A_n(z) = 0$ の解であり, μ_i は次式(16)のように $R_n(z)$ の解 z_i における留数である.

$$\mu_i = \frac{-A_n^*(z_i)}{2z_i A_n'(z_i)}, \quad \sum_{i=1}^n \mu_i = 1 \quad (16)$$

式(4),(5)により, $R_n(\exp(j\lambda))$ の実数部が擬似声道のパワー伝送関数である.

$$\begin{aligned} P_n(\lambda) &= \text{Re}[R_n(\exp(j\lambda))] \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{(r_i^2 - 1)m_i + 2r_i \sin(\lambda - \lambda_i)n_i}{r_i^2 - 2r_i \cos(\lambda - \lambda_i) + 1} \end{aligned} \quad (17)$$

ただし,

$$\begin{aligned} \mu_i &= m_i + jn_i, \\ z_i &= r_i \exp(j\lambda_i), \quad |r_i| \geq 1 \\ &(i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

式(17)の総和記号内の各項は, 図4に示すような共振曲線で表され, その区間 $[-\pi, \pi]$ における定積分は常に z_i, n_i によらず一定値 $2\pi m_i$ となる. また r_i が 1 に近いとき, 共振周波数は λ_i であり, 共振の半値幅は $2(r_i - 1)$ である. また式(16)により

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1 \quad (16)'$$

であるから, m_i は, 信号の全パワーを 1 に正規化したときの極 z_i に対応する共振のパワーの相対強度であると解釈できる. このようにパワー伝送関数は $(\lambda_i, r_i, \mu_i), (i = 1, 2, \dots, n)$ によってあらわされるが, これらのうち, n 個のパラメータが独立である.

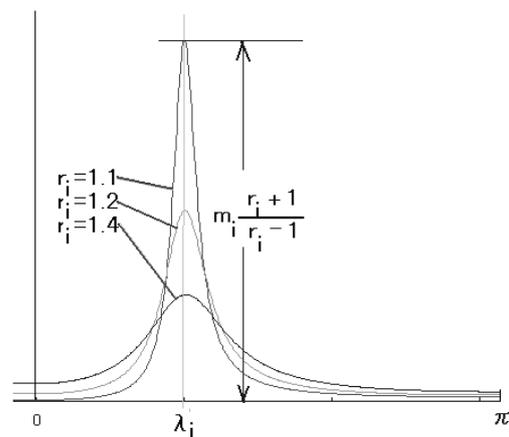


図4 パワー伝送関数の共振曲線

6 擬似声道のパワー伝送関数の線スペクトル化

図1の擬似声道において, パワーの損失は, 声門における整合抵抗による声門方向に進む進行波の吸収によってのみ生じる. そこで声門での境界条件を完全反射 (すなわち完全閉塞 $k_{p+1} = -1$, 完全開放 $k_{p+1} = 1$) に近づけると, 擬似声道モデルの中ではパワー損失は 0 に近づく. これに対応して, $A_{p+1}(z) = 0$ の全ての解は単位円上の点 $z_i^{(\pm)} = \exp(j\lambda_i^{(\pm)})$ に近づく. (ただし, この式の複号は, $k_{p+1} = \pm 1$ の複合に対応する.) また μ_i は, 負の実数 m_i に近づく. こうして,

$$\frac{(r_i^2 - 1)m_i + 2r_i \sin(\lambda - \lambda_i)n_i}{r_i^2 - 2r_i \cos(\lambda - \lambda_i) + 1} \xrightarrow{r_i \rightarrow 1} 2\pi\delta(\lambda - \lambda_i)m_i \quad (18)$$

ただし $\delta(\lambda - \lambda_i)$ は、デルタ関数である。このように、無損失化された擬似声道のパワー伝送関数は、周波数 λ_i における重みが m_i で与えられるデルタ関数列になる。

$$P^{(\pm)}(\lambda) = 2\pi \sum_{i=1}^{p+1} m_i^{(\pm)} \delta(\lambda - \lambda_i^{(\pm)}) \quad (19)$$

ただし、 $P^{(\pm)}(\lambda)$, $m_i^{(\pm)}$, $\lambda_i^{(\pm)}$ の複合は、 $k_{p+1} = \pm 1$ の複合に対応する。

全極形のパワー伝送関数を線スペクトル強度と線スペクトル周波数の対 $(m_i^{(\pm)}, \lambda_i^{(\pm)})$ で表現する方法を全極形スペクトルの線スペクトル表現 (LSR; Line Spectral Representation) と呼ぶ。口唇イミタンス関数は、 $k_{p+1} = \pm 1$ に対応して、

$$R_{p+1}^{(\pm)}(z) = \frac{A_{p+1}^{*(\pm)}(z)}{A_{p+1}^{(\pm)}(z)} = \frac{A_p^*(z) \mp zB_p^*(z)}{A_p(z) \mp zB_p(z)} \quad (20)$$

は、 $z = \exp(j\lambda)$ に関するリアクタンス関数であり、次の性質を持つ。

- (i) $R_{p+1}^{(\pm)}(z)$ の極、零点とも単位円周上にあり、その次数はすべて 1 である。
- (ii) $R_{p+1}^{(\pm)}(z)$ の極における留数 μ_i はすべて実数で非負である。
- (iii) $R_{p+1}^{(\pm)}(z)$ の極と零点は、単位円周上で交番する。
- (iv) $R_{p+1}^{(+)}(z)$ と $R_{p+1}^{(-)}(z)$ の零点は、単位円周上を交番する。

これらの性質から、 $R_{p+1}^{(\pm)}(z)$ の極と零点の配置は、 p の奇偶および k_{p+1} の正負に応じて表 1 のように 4 種類に分類される。ただし $R_{p+1}^{(\pm)}(z)$ の分母・分子の

多項式の係数が実数であることから、極と零点はそれぞれ共役対をなすので、 $\lambda > 0$ の範囲のみを示した。

p	k_{p+1}	Pole-Zero Pattern $R_{p+1}^{(\pm)}(z)$ × poles ○ zeroes
$2n+1$	$+1$	
$2n+1$	-1	
$2n$	$+1$	
$2n$	-1	

図5 口唇端イミタンス関数の極・零点パターン

7 線スペクトル周波数と強度の計算法

PARCOR 係数が与えられた時、線スペクトル周波数と強度を求める具体的な計算法を考察する。アルゴリズムの詳細は、 p の奇偶、 k の符号によって異なるが、ここでは第一の場合について、詳細に述べる。

$p = 2n + 1, k_{p+1} = 1$ の場合、 $A_{p+1}^{(+)}(z)$ は、 $(1 - z^2)$ で整除される。よって

$$A_{p+1}^{(+)}(z) = (1 - z^2)a_{2n}(z) \\ A_{p+1}^{(+)}(z) = (1 - z^2)a'_{2n}(z) - 2za_{2n}(z) \quad (21)$$

$A_{2(n+1)}(z)$ は、単位円上に n 対の複素解を持つ多項式であるから、係数は z^n に関して対称であ

$$a_{2n}(z) = \sum_{i=0}^{2n} a_i z^i \\ \text{る.} = z^n (a_n + 2 \sum_{i=0}^n a_{n-i} \frac{z^i + z^{-i}}{2}) \quad (22) \\ = z^n (a_n + 2 \sum_{i=0}^n a_{n-i} T_i(x)) = (2z)^n q_n(x)$$

ただし、 $T_i(x)$ はチェビシエフの多項式であり、

$$T_i(x) \equiv \cos(i \arccos x), \\ x = (z + 1/z) / 2 = \cos \lambda \quad (23)$$

同様に、 $A_{p+1}^{*(+)}(z)$ は、因数 $(1 - z)$ 、 $(1 + z)$ を持た

ないから、

$$\begin{aligned}
 A_{p+1}^{*(+)}(z) &= A_{2(n+1)}^{*(+)}(z) = \sum_{i=0}^{2(n+1)} b_i z^i \\
 &= z^{n+1} (b_{n+1} + 2 \sum_{i=0}^{n+1} a_{n+1-i} T_i(x)) \quad (24) \\
 &= (2z)^{n+1} r_{n+1}(x)
 \end{aligned}$$

式(21),(22),(23)を、式(16)に代入することにより、線スペクトル強度は、次式(25)により求まる:

$$\left. \begin{aligned}
 m_0 &= \frac{1}{2} \frac{r_{n+1}(1)}{q_n(1)}, \quad \text{at } x=1 \\
 m_{n+1} &= -\frac{1}{2} \frac{r_{n+1}(-1)}{q_n(-1)}, \quad \text{at } x=-1 \\
 m_i &= -\frac{1}{2} \frac{r_{n+1}(x_i)}{(x_i^2 - 1)q'_n(x_i)}, \quad \text{at } x=x_i
 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

ただし、 $x_i, i=1,2,\dots,n$ は、 $q_n(x)=0$ の解である。

このように、線スペクトル表現

$$\begin{aligned}
 P^{(+)}(\lambda) &= 2[m_0 \delta(\lambda) + \\
 &\quad \sum_{i=1}^n m_i (\delta(\lambda - \lambda_i) + \delta(\lambda + \lambda_i))], \quad (26) \\
 \lambda_i &= \arccos x_i
 \end{aligned}$$

このように、線スペクトル周波数を求める際、 $2(n+1)$ 次の代数方程式を解く必要はなく、 n 次の代数方程式を解けばよい。また、全ての解 x_i は、実数であり、区間 $[-\pi, \pi]$ に存在し、かつ、重複度は1である。このように代数方程式 $q_n(x)=0$ は、大変性質のよいので、Newton-Raphson 反復法により、容易に求めることができる。

8 線スペクトル対の計算法

口唇イミタンス関数 $R_{p+1}^{(+)}(z)$ の分母 $k_{p+1}=1, -1$ に対応して、

$$\left. \begin{aligned}
 P_{p+1}(z) &= A_p(z) - zB_p(z) \\
 Q_{p+1}(z) &= A_p(z) + zB_p(z)
 \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

の解は、単位円上にあり、互いに交番する。(7)また、式(14)により $B_p(z) = z^p A_p(z^{-1})$ であるから、

$$\left. \begin{aligned}
 P_{p+1}(z) &= A_p(z) - z^{p+1} A_p(z^{-1}) \\
 &= 1 + \sum_{i=1}^p (a_i - a_{p+1-i}) z^i - z^{-(p+1)} \\
 Q_{p+1}(z) &= A_p(z) + z^{p+1} A_p(z^{-1}) \\
 &= 1 + \sum_{i=1}^p (a_i + a_{p+1-i}) z^i + z^{-(p+1)}
 \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

明らかに、 $P_{p+1}(z)$ は奇対称、 $Q_{p+1}(z)$ は偶対称で

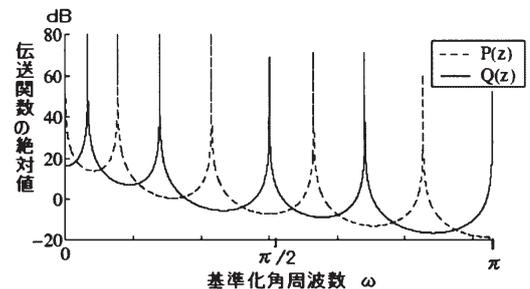
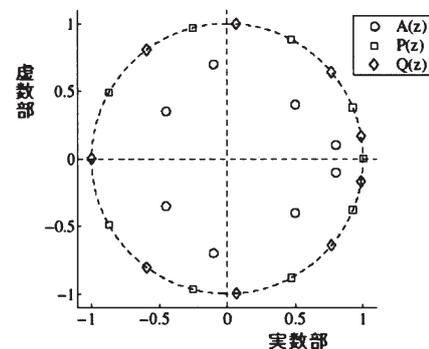


図6 口唇端イミタンス関数の極・零点パターン

あるから、 $A_p(z)$ は、次式(29)により回復される。

$$A_p(z) = (P_{p+1}(z) + Q_{p+1}(z)) / 2 \quad (29)$$

多項式 $P_{p+1}(z), Q_{p+1}(z)$ には、次の重要な性質がある。

- (i) $P_{p+1}(z), Q_{p+1}(z)$ の全ての零点は、単位円上にある。
- (ii) $P_{p+1}(z)$ と $Q_{p+1}(z)$ の零点は互いに交番する。

(iii) $P_{p+1}(z)$ は解 $z = 1$ をもち, $Q_{p+1}(z)$ は $z = -1$ をもつ.

(iv) p が偶数のとき, $P_{p+1}(z)$ と $Q_{p+1}(z)$ は, それぞれ $p/2$ 対の単位円上の零点を持つ.

以上の性質により, $P_{p+1}(z)$ と $Q_{p+1}(z)$ は, 次のように因数分解される :

$$\left. \begin{aligned} P_{p+1}(z) &= (1-z) \prod_{i=1}^{p/2} (1 - 2 \cos \omega_i z + z^2) \\ Q_{p+1}(z) &= (1+z) \prod_{i=1}^{p/2} (1 - 2 \cos \theta_i z + z^2) \end{aligned} \right\} (30)$$

ここで, 性質(ii)により,

$$0 < \theta_1 < \omega_1 < \theta_2 < \dots < \theta_{p/2} < \omega_{p/2} < \pi \quad (31)$$

また不等式(31)が満たされるとき, またそのときに限り, $A_p(z) = 0$ の解は, 全て単位円の外にあり,

したがって伝送関数 $1/A_p(z)$ は, 安定である. 式

(30),(31)で定義される $\theta_i, \omega_i \quad i = 1, 2, \dots, p/2$ を

線スペクトル対(Line Spectrum Pair, LSP)と呼ばれている.^{(3),(4),(5),(6)}

図 6 から予想されるように, 口唇端イミタンス関数の極・零点パターンは, 元来の全極型声道伝達関数の極の周波数と密接な関係がある.

9. むすび

音声分析において, 音声波形から声道の共鳴特性を正確に推定する場合, 従来, 線形予測係数, PARCOR 係数, 声道断面積関数などが広く用いられていたが, 本論文では, 声道断面積関数を周波数領域のパラメータである線スペクトル周波数とその強度, あるいは, 線スペクトル対 (LSP) で表現する問題を解説した. 音声分析や合成のためのパラメータとして, 旧来のフォルマンと周波数に代わることができる性質を持っている. また, LSP パラメータは量子化に対する頑健性や補間特性が優れているため, 音声信号の低ビットレート符号化における音声スペクトルのパラメータとして, 世界標準にも採用されている.

今後の理論的課題としては, 声道断面積の形状が連続的になった場合の, 線スペクトル周波数の高周波帯域での漸近的分布などがあげられる.

LSP は, 現在の音声分析において広く用いられているが, 本論文で述べた理論的考察は LSP のより高度な応用において, 参考になれば幸いである.

参考文献

1. F. Itakura, "Line Spectrum Representation of Linear Predictive Coefficients of Speech Signals", J.A.S.A., 57, S35(A), 1975
2. H. W. Schussler, "A stability theorem for discrete systems," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-24, pp. 87-89, 1976.
3. S. Sagayama, "Stability condition of LSP synthesis digital filter", Proc. Acoust. Soc. Jpn., pp.153-154, 1982
4. P. Kabal and R.P. Ramachandran, "The Computation of Line Spectral Frequencies using Chebyshev Polynomials", IEEE Transactions on Acoustics and Signal Processing, Vol. ASSP-34, No.6, 1986
5. Y. Bistriz and S. Peller "Immittance spectral pairs (ISP) for speech encoding", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-93 Vol 2., 1993
6. F.K. Soong and B.-H., Juang, "Optimal Quantization of LSP Parameters", IEEE Transactions on Speech Audio Processing, Jan 1993
7. 藤原 松三郎: 『代数学』第1・第2巻 (内田老鶴圃, 1928-1929年)

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

帯電微粒子群の螺旋構造

上村 鉄雄¹⁾・石原 修²⁾・須賀 裕太¹⁾

Stable Helical Structure of Coulomb Cluster

Tetsuo KAMIMURA¹⁾・Osamu ISHIHARA²⁾・Yuta SUGA¹⁾

Abstract

Structures of Coulomb clusters formed by dust particles in a plasma are studied by numerical simulation. Our study reveals the presence of various types of self-organized structures of a cluster confined in an electrostatic potential. The stable configurations depend on the number of dust particles in a cluster as well as on the form of the confining potential. One-dimensional strings, two-dimensional Coulomb lattices and three-dimensional Coulomb crystals found in the simulation agree well with the observation in the laboratory dusty plasma experiments. Formation of helical structure is found to be a stable structure resulted from the double string structure.

Keywords : Coulomb crystal, Fine particles, Dust particles

1. はじめに

最近、プラズマ中に存在する微粒子がクーロン結晶を作り、そのクーロン結晶が螺旋構造を作る可能性があることが報告されて、注目を浴びている [1-3]. 数値計算によって見出された螺旋構造はコンプレックスプラズマの中で自己組織化されて存在し、自然界の有機生命体、DNA との類似性が指摘されている。我々は、独自にプラズマ中の微粒子が形成する構造安定性のシミュレーションを行い、安定構造の中に基本となる微粒子構造が存在することを突き止めた [4]. 微粒子クラスターが鎖状の安定構造となること、鎖状構造に揺らぎが発生するとこの構造は不安定になり、ジグザグ構造を経て螺旋構造が形成されることを見出した [5]. この論文では、研究の背景となる物質の構造という観点から歴史的な研究の流れを概観し、コンプレックスプラズマにおける微粒子構造形成という我々の研究の位置づけを明らかにし、螺旋構造を見出した研究の内容について紹介する。

19 世紀の末、J. J. Thomson による電子の発見以来、原子構造について様々な理論的アプローチがとられた。同種の電荷を帯びた粒子がどのような構造を作るかという事は 20 世紀の初頭から研究の対象になっていたのである。J. J. Thomson が一様に正の電荷をおびた背景に存在する環状に並んだ電子の安定性により原子構造を説明しようとしたのは 1904 年のことであり [6], 1918

年には E. Madelung が静電エネルギーの計算からイオン結合物質の構造を論じている [7]. 1934 年に Wigner は金属中では電子が秩序だった結晶構造をとるという理論を発表した [8]. 多粒子系では粒子の温度が下がり、運動エネルギーが平均的なポテンシャルエネルギー以下になると、粒子間の相関が系において支配的になると Wigner は考えたのである。実際、Wigner のいう結晶は金属では観測されなかったものの、この Wigner crystal はのちにさまざまところで観測されることになる。有限の数の相互作用する荷電粒子の構造形成に本格的な興味注がれたのはまだ最近のことといえるだろう。1979 年、液体ヘリウム表面で電子が Wigner 結晶を形成することが Grimes と Adams により観測された [9]. さらにこの 2 次元系電子が作る構造について詳細な研究がされたのは 1990 年代になってからである [10, 11].

1 種類の帯電粒子を外場を使って閉じ込める方法は Wuerker 達 [12] や、その後ノーベル賞を与えられることになった電場の閉じ込めを使った Paul トラップの提唱者である Paul や磁場の閉じ込めを使った Penning トラップの提唱者である Dehmelt によって開発されてきた [13, 14]. 1970 年代の終わりまでにはイオンの運動を抑えるために、レーザー冷却の技術が確立している。イオンを外場の中に閉じ込めて、イオン結晶ができることや、結晶が鎖状になったり、螺旋構造を作ることが観測されている [15, 16]. 天体物理領域の白色矮星内部のよう

1) 理工学部 / 理工学研究科情報工学専攻

2) 横浜国立大学大学院工学研究院

1) Department of Information Engineering

2) Yokohama National University

な高密度状態では 10^7K といった温度で強結合状態になるが、レーザー冷却技術でミリケルビン (mK) 領域にまで冷やしたイオンが強結合状態を作り、秩序構造を示すようになることが見出されたのである。

一方、1960年代から活発になった研究分野にプラズマ物理がある。プラズマ中では電子とイオンと中性粒子が共存し、全体として電気的な中性を維持している。プラズマの空間特性は電子の温度 T_e 、イオンの温度 T_i とイオン密度にほぼ等しい電子密度 n を使って、遮蔽長 $\lambda_D = (\epsilon_0 \kappa / ne^2)^{1/2} (T_e^{-1} + T_i^{-1})^{-1/2}$ を用いて表わされる。ここで κ はボルツマン定数、 ϵ_0 は真空の誘電率である。様々な要因によりプラズマは不安定になりやすく、またプラズマ中では電子とイオンの再結合も起こるため、プラズマを外から加える電場や磁場によって閉じ込めておくことが非常に困難であることが分かっていた。そうした状況下で、プラズマ物理の研究分野では、1960年代後半から1970年代に特にアメリカを中心に、通常の中性プラズマ (Neutral Plasma) に対して非中性プラズマ

(Nonneutral Plasma) の研究が盛んになっていた [17, 18]。非中性プラズマは電子またはイオンのみからなるプラズマであり、磁場と電場によって安定に長時間保持することができるのが特徴である。また保持される空間的スケールが粒子(電子またはイオン)の温度 T と密度 n を使って $\lambda_D = (\epsilon_0 \kappa T / ne^2)^{1/2}$ で定義されるデバイ長に比べて十分大きく、閉じ込め電磁場が荷電粒子の動きを押しとどめることにより、1成分荷電粒子が集団的な振る舞いをする。そのため非中性であってもプラズマと呼ばれているわけである。非中性プラズマの例は純電子プラズマ、正イオンプラズマ、陽電子プラズマ、電子-反陽子プラズマ等がある。非中性プラズマの研究では円筒容器で軸方向に一樣磁場をかけ、荷電粒子の半径方向への移動を制限し、円筒両端に電位障壁をもうけて軸方向の捕捉を達成する Malmberg-Penning トラップにより、荷電粒子を閉じ込めていた。閉じ込められた粒子が Coulomb cluster を作り、体心立方構造の形成、同心のシェル構造、Coulomb chain と呼ばれる1次元鎖や2次元の円盤状構造になることも報告されている。

1980年代後半になると、半導体の微細構造加工技術の発展により量子ドットの研究が進み、ポテンシャルに閉じ込められた電子の取れるエネルギーが飛び飛びになることがわかり、古典的なモデルである原子核の周りの電子の様子と似ているため少数個の電子しか存在しない量子ドットは人工原子と呼ばれるようになった。人工原子の研究は閉じ込めポテンシャルの中に存在する有限個の荷電粒子の作る古典的な系の振る舞いを調べることに対応する。2次元量子ドットにおける電子の Wigner 結晶化と溶解の様子がシミュレーションによって示されている。

一方、最近になって、同種の電荷を帯びた粒子が作る構造が、プラズマ中の微粒子の研究において注目されるようになってきた。最近のような爆発的な興味は微粒子プラズマに集まる前の1940年代に、プラズマ中に存在する1ミクロン程度の大きさの微粒子(ダスト)は、まず宇宙空間における塵として、星の形成に結びついて研究されていた [19, 20]。微粒子の表面に星間空間プラズマの構成粒子である電子と正イオンが飛び込み、その結果微粒子は負に帯電していると考えられた。宇宙空間におけるダストの研究は続いていたが、1980年代にはいつて深宇宙探査機ボイジャーが太陽系惑星の詳細なデータをもたらした。ハッブル宇宙望遠鏡がさまざまな天体の映像を送ってくるようになると、ダストの存在がプラズマ研究者の間で注目を集めるようになってきた。ボイジャー2号がもたらした土星の映像は、不思議なスポーク状の特徴(車輪の輪に向かって中心から放射状に出ている輻のように見えるもの)が土星の密度の濃いB環の外側の部分のまわりを回転していることをはっきりと示していたのである [21]。ボイジャーが土星に近づくとスポークは明るい背景に影のように見えており、ボイジャーが土星を通過してしまうとスポークは周辺よりも明るく輝いて見えた。スポークを構成する物質が前方方向により効率的に太陽光線を散乱しているという観測結果は、その構成物質が微粒子(ダスト)に他ならないということを示していたのである。この物質は定常的な構造を持たず、驚くほど短時間に生成されては消滅していた。さまざまな理論的考察がなされたが、帯電した微粒子が土星の環の上に静電的に浮いていると考えられている [22]。2004年7月に土星に到着した土星探査機カッシーニ/ホイヘンスには微粒子観測のためのプローブも搭載されていたが、軌道に入って最初の14ヶ月の間、スポークを観測できず、カッシーニ探査機がスポークを観測したのは2005年の9月である [23, 24]。2008年7月には土星B環にみられるスポークについての分光測定がなされた。それによると微粒子は $1.9\mu\text{m}$ を中心に $0.5\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ の大きさを持つ氷の微粒子であることが明らかになっている [25]。

宇宙空間プラズマに含まれる微粒子はプラズマ粒子を表面に蓄積したり、紫外線があたると電子を放出したりして帯電していて、惑星の環の詳細な観測から微粒子が宇宙空間において重要な働きをしていることが明らかになってきたのである。帯電した惑星間微粒子は惑星の環と相互作用したり、また環自身を形成する可能性が指摘されている。

宇宙空間での帯電微粒子の研究とは別に、1990年代に入って、半導体製造に関連したプロセスプラズマ中で発生する高い化学反応性をもつミクロンサイズ以下の微粒子の除去をめぐる研究が進められていた。そうした

微粒子は薄膜やエレクトロニクスデバイス製造の大敵であった。ところが1994年になって、プラズマ中で微粒子によるクーロン結晶（プラズマ結晶）が発見されたのである。プラズマの中では荷電粒子（電子とイオン）は、それらのポテンシャルエネルギーが熱エネルギーに比べて桁違いに小さく、ランダムな運動をしている。そのためプラズマは弱結合物質と考えられている。一方、プラズマ中に大量の微粒子が存在すると、微粒子のポテンシャルエネルギーが熱エネルギーを大きく上回り、微粒子間に大きな相互作用が働き、強結合の状態となり大きな結晶ができたのである。プラズマ中の微粒子がつくるクーロンクラスターの構造はCCDカメラを通して肉眼で観測可能という巨視的なスケールを持っており、新たな研究材料として急速に着目されるようになり、宇宙プラズマの研究と実験室プラズマ研究の接点が見出されるようになった [26-31]。実験室プラズマ中でクーロン結晶が形成される様子や、いったん形成されたクーロン結晶が溶解する過程がこれまでに観測されている。この結晶形成や相転移現象の観測は個々の微粒子の運動そのものを追いかけて観測できるというこれまではない観測条件を作り出している。クーロンクラスターの研究には実験室における実験のみならず、分子動力学法やモンテカルロ法といった手法によるコンピュータシミュレーションも行われている。それによりポテンシャルの中に閉じ込められ互いにクーロン反発する荷電粒子の構造が明らかにされている。中心に向かう対称的なポテンシャルに閉じ込められた2次元構造では環状構造 [32]、3次元では粒子数に応じて殻構造、体心立方構造をとることが報告されている [33]。また縦方向と横方向の閉じ込めの強さを変えることによって2次元環状構造が層状構造に移行し、三次元的な殻構造になることが示されている [34]。我々はプラズマ中で静電ポテンシャルによって閉じ込められた有限個の微粒子の構造に着目し、非対称なポテンシャルに対しては縦に伸びた微粒子が一本ないしは複数の鎖構造をもつことをシミュレーションで明らかにした [4, 35]。また複数の鎖構造が磁場の存在下で回転運動することも明らかにし、実験室実験での観測に一致することを示した [36, 37]。さらに、プラズマ中のダスト微粒子が空間的に静電ポテンシャルによって閉じ込められ、その中で形成された多角形構造、鎖状構造およびそのダイナミクスについてのシミュレーションの結果を報告した [38]。

非対称ポテンシャルの中で閉じ込められたクーロン結晶がとる構造に対しては、非中性プラズマの研究とともに発展してきたといえる [39-42]。それが微粒子プラズマの登場とともに、実験的に裸眼で観測できることから、さらなる展開が図られている [43-45]。実験室微粒子プラズマでも1本鎖からジグザグ構造ができるこ

とが確認されている [46]。

この論文では非対称ポテンシャルに閉じ込められたプラズマ微粒子の構造のシミュレーションについて報告する。第2章で粒子モデルとその解法、第3章で極小エネルギー状態の構造形成について述べ、第4章で相転移の理論モデルとシミュレーションの比較を行い、第5章でまとめを述べる。

2. 粒子モデルと解法

外部ポテンシャル $\Phi(\mathbf{r})$ によって3次元空間に閉じ込められた N 個のダスト微粒子からなる系を考える。個々の微粒子は同じ電荷 Q と質量 M を持つと仮定すると、位置座標 \mathbf{r}_i の微粒子 i の運動は

$$M \frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = -\nabla_i H - \nu \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 ∇_i は \mathbf{r}_i に関する空間微分、 ν は微粒子 i と背景中性粒子との衝突による粘性を表わす。また、 H はこの系のポテンシャルエネルギーをあらわし、微粒子 j の位置座標を \mathbf{r}_j 、プラズマ中の電子・イオンによる微粒子の遮蔽長を λ_D とし、

$$H = \sum_{i=1}^N \Phi(\mathbf{r}_i) + \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, (i \neq j)}^N \frac{1}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} e^{-|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|/\lambda_D} \quad (2)$$

で与えられる。外部ポテンシャルとして、ここでは実験的にも重要な次式で表わされる放物型ポテンシャルを考える。

$$\Phi(\mathbf{r}_i) = \frac{1}{2} M \omega^2 (x_i^2 + y_i^2 + \frac{1}{\kappa} z_i^2) \quad (3)$$

ここで、 ω は調和振動数、 κ は x, y 方向と z 方向の閉じ込めポテンシャルの非等方性を表わす係数である。 $\kappa=1$ のときポテンシャルは、3次元の球対称配位となり、 $\kappa \gg 1$ では z 軸に沿って伸びた線状の非等方配位となる。

更に、(1) 式を、特性長 $\ell \left(\equiv (2Q^2/4\pi\epsilon_0 M \omega^2)^{1/3} \right)$ 、特性エネルギー $E \left(\equiv M \omega^2 \ell^2 / 2 \right)$ 及び特性時間 $\tau \left(\equiv \sqrt{2}/\omega \right)$ を導入してそれぞれ規格化すると、

$$\frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = -\nabla_i H - \nu \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

を得る。ここで、 ν は $M\tau^{-1}$ で規格化され、規格化された H は

$$H = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + \frac{1}{\kappa} z_i^2) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, (i \neq j)}^N \frac{1}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} e^{-\kappa|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} \quad (5)$$

となる。遮蔽長の逆数 K ($\equiv \ell/\lambda_D$) は微粒子のプラズマ振動数 ω_d ($\equiv (nQ^2/\epsilon_0 M)^{1/2}$) と

$$K = \left(\frac{2}{3}\right)^{1/3} \left(\frac{\omega_d}{\omega}\right)^{2/3} \frac{d}{\lambda_D} \quad (6)$$

で関係付けられる。ここで、 n は微粒子の密度、 d ($\equiv (3/4\pi n)^{1/3}$) は微粒子間の平均距離である。典型的なコンプレックスプラズマの実験では、 $d/\lambda_D \approx 0.3-10$ である。ダスト微粒子の最小エネルギー配位 (CME: Configuration of Minimum Energy) は粒子の個数パラメータ N 、非等方性パラメータ κ 及び遮蔽パラメータ K によって決定されることになる。ダスト微粒子の安定な構造はプラズマ中の電子・イオンによる遮蔽効果により凝集する傾向にある。我々は遮蔽の長さを変えてその効果についても詳細に調べたが [5]、構造自体にはそれほど大きな影響はないので (5) 式の代わりに、ここでは遮蔽効果を見捨てた ($K=0$)

$$H = \sum_{i=1}^N \left(x_i^2 + y_i^2 + \frac{1}{\kappa} z_i^2\right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{1}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} \quad (7)$$

による安定構造について話を進める。これにより構造は粒子の個数パラメータ N と非等方性パラメータ κ のみ依存することになる。(7) 式から帯電微粒子群の具体的な安定構造 (CME) を得る直接的な方法として分子動力学法が用いられる。個々の微粒子の運動を運動方程式に従って直接追跡する方法である。規格化された運動方程式は

$$\frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = \mathbf{F}_i - \nabla \Phi_i - \nu \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} \quad (i=1, \dots, N) \quad (8)$$

となる。ここで、 \mathbf{F}_i は $F_0 \equiv M\ell\omega^2/2$ で規格化した微粒子 i に働く力

$$\mathbf{F}_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^3} \quad (9)$$

である。またポテンシャルは

$$\Phi_i = x_i^2 + y_i^2 + \frac{1}{\kappa} z_i^2 \quad (10)$$

で与えられる。(8) 式により N 個のダスト微粒子の動的挙動を直接追跡することができる。ダスト微粒子と背景の中性粒子との衝突を想定して導入された右辺第3項の粘性項によって微粒子の運動エネルギーを減少させ、結果として系の平衡状態への収束を図る。

3. 帯電微粒子群の安定構造

ここでは、外部ポテンシャルの非等方性パラメータ κ の値の異なる種々な領域に対して、分子動力学法によるシミュレーションで得られた安定な構造 (CME 構造) と κ 依存性について述べる。

3.1 1次元クーロン鎖と Zigzag 構造

まず、非等方ポテンシャルに閉じ込められた少数微粒子からなる系の安定構造に注目する。Fig. 1 は、 $N=24$ とした場合で、 $\kappa \geq 100$ では微粒子は z 軸に沿って整列し、図(a)に示すような1次元のクーロン鎖を形成する。隣接粒子の間隔は一定ではなく、鎖の中心からの距離の関数となり、先端に向かって広がる。 κ 値が50付近では隣接粒子同士の反発力が径方向の閉じ込め場に勝るようになり、 z 軸に垂直に互いに反対方向に広がり図(b)のようにジグザグ状の2次元安定構造になる。

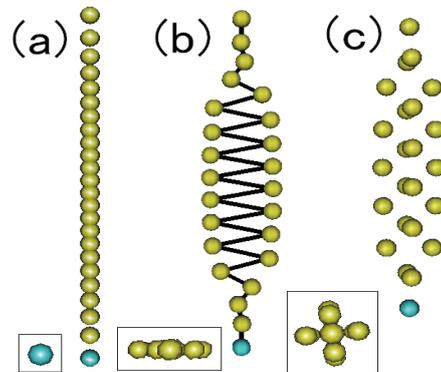


Fig. 1. Transition of structures for a small number of particles $N=24$. (a) $\kappa=100$, (b) $\kappa=50$, (c) $\kappa < 50$

(図中の実線は粒子同士の位置関係を明確にするために描いたものである。)

図(b)からも明らかなように鎖の両端付近の粒子は垂直方向への変位は小さい。これは既述のように先端付近では粒子間距離が広いためである。さらに κ 値が下がるとそれら2本のジグザグ鎖が振れて、図(c)のような4本鎖の3次元構造となる。下方の矩形線で囲まれた図は、それぞれの構造体を z 軸方向から投影したもので、図(a), (b), (c)の構造体がそれぞれ1次元、2次元、及び3次元構造を成していることを明白に示している。

Fig. 2 は、1次元クーロン鎖から始まって、 \Rightarrow 2次元ジグザグ \Rightarrow 4本鎖へ遷移する κ の閾値 κ_c が粒子数によって異なる様子を示している。以上の安定な構造遷移は粒子数が多い系にもほぼ共通している。Fig. 3 は $N=200$ の場合の1次元クーロン鎖 \Rightarrow 2次元ジグザグ遷移を示したものである (以下、本論文では断らない限り、適度な粒子数として $N=200$ を選んで得られた結果を基に議論を進める)。

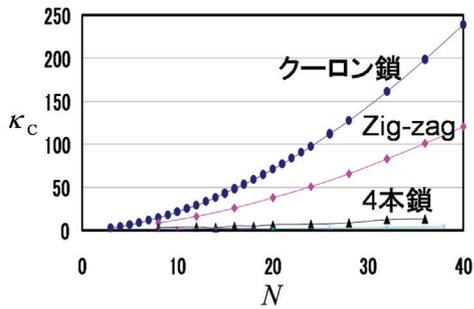


Fig. 2. κ_c vs number of particles N .
The three lines show the boundary between the Coulomb chain, zig-zag structure and the 4 string structure.

Fig. 3の左図は、 $\kappa = 4400$ の場合で、上段の z 軸方向投影図からも明らかなように一次元クーロン鎖を示し、Fig. 1(a)に示したものと本質的に変わりはない。同右図は、 $\kappa = 2100$ の場合で、Fig. 1(b)と同様なジグザク状安定構造を示している（但し、粒子間には実線で結ばれてはいない）。

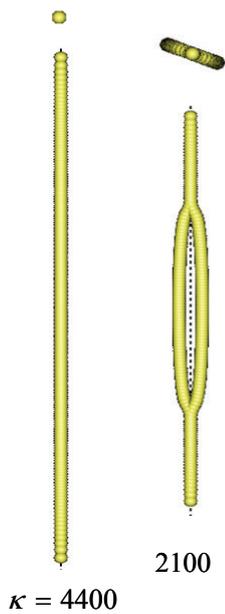


Fig. 3. A string structure ($\kappa=4400$) and the zig-zag structure ($\kappa=2100$) for $N=200$.

この場合、上段の z 軸方向投影図からも分かるようにジグザク面は少し斜め方向を向いているが、やはり粒子が反発力で z 軸に垂直方向に変位し、2次元のジグザク安定構造を成していることは明らかである。注意すべき点は構造体全体が z 軸方向に縮まっていることと、クーロン鎖の上下部に位置した全体の約半数ほどの粒子は z 軸に垂直方向に未だ変位せず、一次元のクーロン鎖を保ったままである。

3. 2 螺旋構造

さらに κ 値の小さい領域では、ジグザグ状に別れた2本の鎖が捩れを起こし、2次元ジグザグ \Rightarrow 3次元螺旋構造へ転移する。Fig. 4は、 κ 値に依る螺旋構造の違いを示したものである。 $\kappa = 2000$ では鎖は捩れてはいるが方位角方向に1回転はしていない。さらに小さい κ 値では螺旋の捲数が増え、 $\kappa = 1900, 1800, 1700$ に対してそれぞれ2, 4, 6回転している様子が見て取れる。これらの様子をさらに詳しく見るために、まず、 $\kappa = 1800$ のときの螺旋構造について構造体の中心を原点として各微粒子の方位角方向の回転角を測定した。Fig. 5は、これらの回転角を各粒子の z 軸方向の位置座標に対して図示したものである。

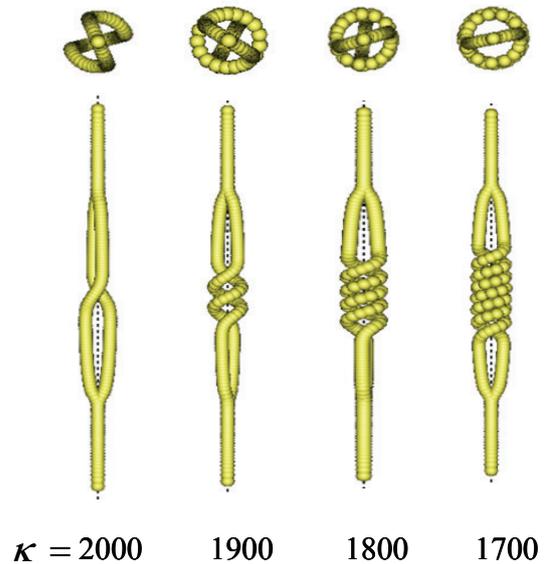


Fig. 4. Double helical structure.
(図は螺旋構造を見易くするために z 軸方向には1/16に縮めている.)

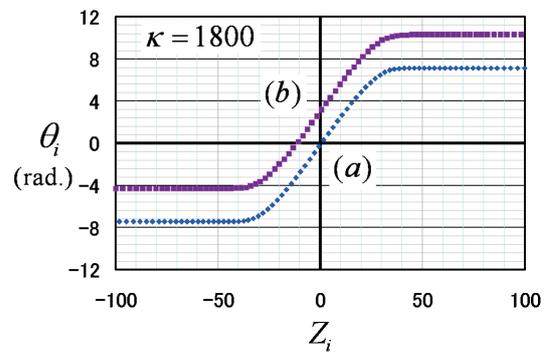


Fig. 5. Rotational angle vs particle z -position for $\kappa = 1800$

微粒子 (i) の回転角は微粒子 ($i+1$) の回転角と π だけ差があり、一個おきの微粒子がそれぞれ 1 本の螺旋 (図中 (a), (b)) 上に配列している. 明らかに 2 重螺旋鎖を成しそれぞれの螺旋鎖の回転角は $-30 < z < 30$ 間で直線的に変化し、ほぼ 2 回転している. 一方 $|z| > 30$ では鎖の回転角は一定で、構造体の上下部分では微粒子が 1 本の 1 次元クーロン鎖を構成している.

2 重螺旋鎖の安定な構造を形成する κ 値が 2000 から 1500 に対しても同様に各粒子の回転角を測定し Fig. 6 に示した. 但し、2 重螺旋の一方 (Fig. 5 (a) に対応) のみが図示されている.

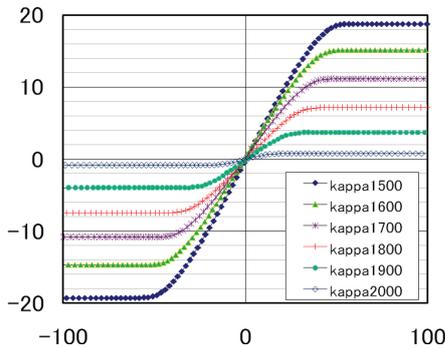


Fig. 6. Rotational angle vs particle z-position for $\kappa = 1500 \sim 2000$.

κ 値が小さくなるにつれて構造体の中央部分の螺旋の回転数が増え、螺旋部分の長さも増加する. 注目すべきは粒子間の回転角の差、即ち、 $\theta_{i+2} - \theta_i$ も増加している点である. 僅かではあるが構造体全体の長さも変化している. 次に、2 重螺旋鎖のポテンシャルエネルギーの分布を見るために、次式のようにポテンシャルエネルギーの径方向及び軸方向成分を定義し、鎖を構成する各粒子について測定した.

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \Phi_i = \Phi_R + \Phi_Z \quad (1.1)$$

ここで、

$$\Phi_R = \sum_{i=1}^N \Phi_{Ri}; \quad \Phi_{Ri} = x_i^2 + y_i^2 \quad (1.2)$$

および、

$$\Phi_Z = \sum_{i=1}^N \Phi_{Zi}; \quad \Phi_{Zi} = \frac{1}{\kappa} z_i^2$$

また、

$$\Phi_{Ci}(\mathbf{r}_i) = \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq i)}}^N \frac{1}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} \quad (1.3)$$

である. Fig. 7 は、 $\kappa = 1800$ の場合について、2 重螺旋鎖の構造体と共に各粒子のポテンシャル・エネルギーを z 軸に沿って図示したものである.

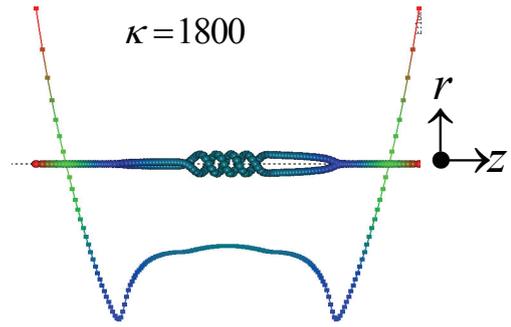


Fig. 7. Potential energy as a function of z , mapped with the winding structure ($\kappa=1800$).

また Fig. 8 は、ポテンシャルエネルギーの径方向及び軸方向成分の分布を示している. 1 次元のクーロン鎖が振じれて 2 本の鎖に分れるあたりから中央よりの部分では ($|z| \leq 80$) 各粒子が径方向に変位しているため、エネルギーの径方向成分が大きく、特に螺旋部 ($-30 < z < 30$) ではさらに増えている. 両端のクーロン鎖の部分では径方向成分はほぼゼロになり、エネルギーの軸方向成分のみが z 軸に沿って大きくなっている.

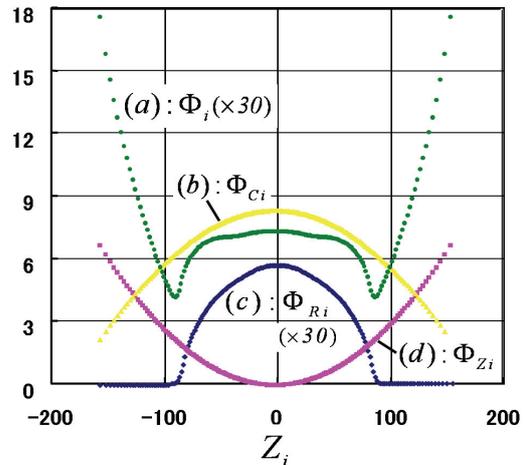


Fig. 8. Radial and axial energy distribution as a function of z .

3.3 螺旋構造へのエネルギー緩和過程

ここでは、前節 3.2 で示した、「1 次元クーロン鎖から始まって、 \Rightarrow 2 次元ジグザグ \Rightarrow 2 重螺旋鎖へ遷移」のプロセスで得られた各構造体が、 κ の値を連続的に減少させて得られたものではなく、 κ の値の違いのみによる安定な構造であることを示すことにする. κ 値を $\kappa = 1800$ に選び、一次元クーロン鎖を構成する各微粒子の径方向の位置座標を、ある大きさの範囲でランダムに与え、これを初期値とし、各粒子の運動を第 2 章で説明

した解法に従って時間的に追跡し、構造体全体のエネルギーを緩和させた。その結果を Fig. 9 に示した。図(a)は、ポテンシャルエネルギーの径方向成分 Φ_R および軸方向成分 Φ_Z の初期値からの変化分 $\Delta\Phi_R$ 、 $\Delta\Phi_Z$ の時間変化を示し、図(b)は、ポテンシャルエネルギー Φ の初期値からの変化分 $\Delta\Phi$ ($=\Delta\Phi_R + \Delta\Phi_Z$) の時間変化を示している。また、図(c)は、サンプルした時刻における構造体の形状を図示している。ランダムな初期形状からスタートした構造体が時間の経過と共に安定な構造へ緩和していく様子が分かる。ポテンシャルエネルギーが減少し、最終的に図(c)の右端の構造体の形状から明らかのように、Fig. 4 に示したものと同一 2 重螺旋鎖の構造体が得られた。注目すべきは、緩和の過程でエネルギーの変化は一様ではなく、螺旋の巻数が増える毎 ($t \cong 0.8$, $t \cong 1.6$ 付近) に緩和の割合が急に変わる点である。巻数は比較的短時間に変化している。ここで示された緩和時間のスケールは (8) 式で用いる粘性パラメータ ν の大きさに依存することは言うまでもない。

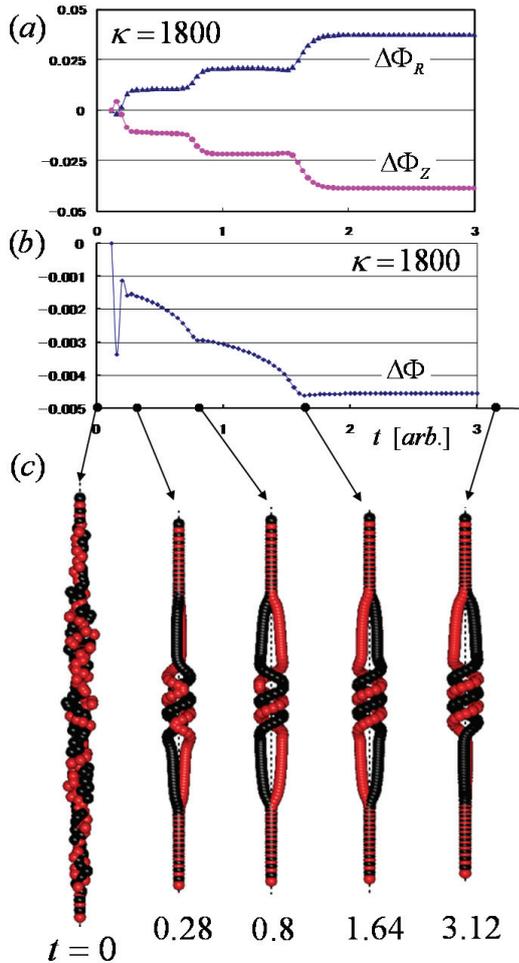


Fig. 9. Temporal evolution of helical structure. (a) Differential radial and axial potential energies. (b) Differential potential energy. (c) Winding structures.

4. 相転移の理論モデルとシミュレーションの比較

第3章では、微粒子数 $N=200$ の場合を例にとり、外部閉じ込めポテンシャルの非等方性パラメータ κ の値によって1次元クーロン鎖、ジグザグ、2重螺旋鎖の安定な構造体が形成されることを示した。本章では、このような構造体の安定性を理論モデルによって論じ、構造間の相転移に微粒子間距離が重要な鍵であることを説明する。

最小エネルギー状態(CME)にある1次元クーロン鎖を構成する微粒子同士の間隔は一定ではないが、微粒子数が充分多い系では鎖の中心部ではほぼ等間隔と見なすことが出来るであろう。従って、ここでは $N \rightarrow \infty$ として、粒子間隔を一定と仮定し、CMEの螺旋状に並んだ微粒子 i の位置座標を

$$\mathbf{r}_i = (R \cos i\theta, R \sin i\theta, i\Delta) \quad (14)$$

とする。ここで、 R は螺旋の半径、 Δ は粒子間隔と共に一定、又、 θ は方位角である。 $R=0$ とすれば、(14)式は1次元のクーロン鎖の粒子の座標を表す。(14)式を(8)式に代入し、 $d/dt=0$ として平衡状態の径方向の力の釣り合いから

$$\Delta^3 = 2 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\sin^2(j\theta/2)}{D_j^{3/2}} \quad (15)$$

が得られる。ここで、

$$D_j \equiv j^2 + \left(\frac{2R}{\Delta}\right)^2 \sin^2(j\theta/2) \quad (16)$$

である。また、系全体のポテンシャルエネルギーを最小とする条件から

$$\sum_{j=1}^{\infty} \frac{j \sin(j\theta)}{D_j^{3/2}} = 0 \quad (17)$$

を導くことが出来る。(15)及び(16)式で表される系の平衡状態の安定性を調べるため、平衡位置から微小変化した粒子の座標を

$$\mathbf{r}_i = [(R + \delta\rho_i) \cos(i\theta + \delta\phi_i), (R + \delta\rho_i) \sin(i\theta + \delta\phi_i), i\Delta + \delta z_i] \quad (18)$$

とし、微小変化分を

$$(\delta\rho_i, \delta\phi_i, \delta z_i) \propto \exp[-i\varphi_i(k, \omega)] \quad (19)$$

$$\varphi_i(k, \omega) = \omega t + ik\Delta$$

と仮定すると、分散関係式を得ることが出来る。その結果、1次元クーロン鎖の径方向モードの不安定条件から、

粒子間隔の臨界値

$$\Delta_z = \left(4 \sum_{j=1}^N \frac{\sin^2(jk\Delta/2)}{j^3} \right)_{k\Delta=\pi}^{1/3} \quad (20)$$

$$= \left(\frac{7}{2} \zeta(3) \right)^{1/3} \approx 1.614$$

が求まる。ここで、 ζ は Riemann のツエータ関数である。即ち、粒子間隔がこの臨界値より狭くなるとクーロン鎖は径方向に不安定になりジグザグ構造に相転移する。

Fig. 10 は、 $\kappa = 4400, 2100, 2000, 1900, 1800, 1700$ の場合について、それぞれの安定鎖を構成する微粒子の間隔 Δ を粒子の z 座標に対して描いたものである。ここで、粒子 i の座標を z_i として間隔 Δ 及び粒子の z 座標を

$$z \equiv (z_{i+1} + z_{i-1})/2, \quad \Delta \equiv (z_{i+1} - z_{i-1})/2$$

で定義した。 κ の各値に対応する間隔 Δ の曲線は座標 z について対称であり、 $z = 0$ で最小値となる。これらの Δ 曲線と理論モデルから求めた (20) 式の臨界値 Δ_z を比較するため $\Delta = \Delta_z$ を示す横線を書き加えた。

図から明らかのように、 $\Delta (\kappa = 4400)$ 曲線の最小値は Δ_z より大きく、ジグザグへの相転移の条件を満たしていない。一方、 $\Delta (\kappa = 2100)$ 曲線から $\Delta (\kappa = 1700)$ 曲線は形が溢れている辺りで $\Delta = \Delta_z$ 直線と交わる ($z = z_c$)。

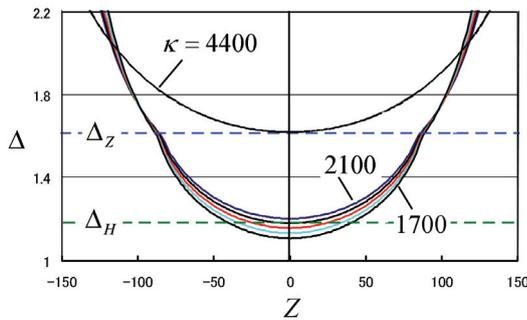


Fig. 10. Interparticle distance vs particle z position

$|z| \leq z_c$ の範囲では Δ 曲線は Δ_z 以下となり、相転移条件を満たしている。従って、この範囲 ($|z| \leq z_c$) の微粒子はジグザグ状に径方向に変位することになり、Fig. 3 および Fig. 4 の結果と整合性を持つ。

ジグザグにおける径方向の粒子の変位と粒子間隔については、径方向の力の釣り合い条件から

$$D(\equiv 2R) = \Delta \left[\frac{2\sqrt{2}}{(\Delta^3 - 4S)^{2/3}} - 1 \right]^{1/2} \quad (21)$$

なる関係式が得られる。ここで、

$$S \equiv -1 + \left(1 - \frac{1}{2^3}\right) \zeta(3) \quad (22)$$

である。

更に、分散関係式において、ジグザグ粒子の方位角方向の不安定条件から、粒子間隔の臨界値

$$\Delta_H = 4^{1/3} \left[\left(\frac{2\sqrt{2}-1}{3} \right)^{3/2} + S \right]^{1/3} \approx 1.182 \quad (23)$$

が求まる。

即ち、粒子間隔がこの臨界値より狭くなるとジグザグは方位角方向に不安定になり螺旋構造に相転移する。Fig. 10 の下方の横線 Δ_H はこの臨界値を示す。

$\kappa = 1900, 1800, 1700$ に対応する各 Δ 曲線は $|z|$ がある値以下で臨界値 Δ_H 以下となっていて、この範囲に微粒子は2重螺旋を形成する。さらに、条件を満たす z の範囲幅は κ 値が小さくなるほど大きくなっている。このことは Fig. 4 の結果と整合性を持つ。

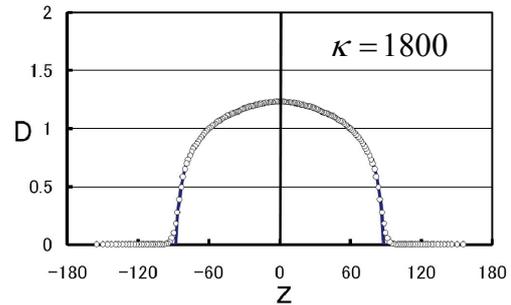


Fig. 11. Radial displacement vs z position

Fig. 11 は、 $\kappa = 1800$ について、ジグザグおよび螺旋を構成する微粒子の径方向変位の2倍 (D) を z 座標に対して図示したもので、 \circ 印は測定値、実線は測定から得られた Δ (Fig. 10) を用いて (21) 式から計算した D 曲線である。両者は非常に良い一致を示している。

以上のように、理論モデルから予想される粒子間隔 Δ の臨界値は、1次元クーロン鎖 \Rightarrow 2次元ジグザグ \Rightarrow 3次元2重螺旋への相転移を非常に良く説明し、対応する測定結果の解釈の補助となるものである。

5. まとめ

本研究では、実験室で観測されたプラズマ中のダストクラスターが形成するクーロン強結合構造を分子動力学シミュレーションによって再現し、クーロン結晶としての特性を明らかにした。特に外部閉じ込めポテンシャル

ルの非等方性の制御によって1次元鎖状, 2次元ジグザグ状及び3次元2重螺旋状のクーロン結晶構造の形成過程を解明した. こうした異なる構造の形成過程を相転移ととらえ, 線形理論に基づいた安定性理論により, 相転移の臨界条件を説明することができた. クーロン結晶構造体はポテンシャルのみならず背景プラズマによる遮蔽効果や磁場の影響を受け, 構造体の縮小, 回転や振動など興味ある動的挙動を示す. これらの詳細の解明は今後の研究課題である.

参 考 文 献

- [1] V. N. Tsytovich, N. Gusein-Zade and G. E. Morfill, IEEE Trans. Plasma Sci. **32**, 637 (2004).
- [2] V. N. Tsytovich, G. E. Morfill, V. E. Fortov, N. G. Gusein-Zade, B. A. Klumov and S. V. Vladimirov, New J. Phys. **9**, 263 (2007).
- [3] V. N. Tsytovich, G. E. Morfill, S. V. Vladimirov and H. Thomas, *Elementary Physics of Complex Plasmas* (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008), Chap. 8.
- [4] T. Kamimura, Y. Suga and O. Ishihara, Phys. Plasmas **14**, 123706 (2007).
- [5] O. Ishihara and T. Kamimura, The 9th International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in Laboratory and Space, (5-10 Aug. 2007, Cairns, Australia).
- [6] J. J. Thomson, Phil. Mag. Ser. 6 **7**, 237 (1904).
- [7] E. Madelung, Phys. Z. **19**, 524 (1918).
- [8] E. Wigner, Phys. Rev. **46**, 1002 (1934).
- [9] C. C. Grimes and G. Adams, Phys. Rev. Lett. **42**, 795 (1979).
- [10] E. Rousseau, D. Ponarin, L. Hristakos, O. Avenel, E. Varoquaux, and Yu. Mukharsky, Phys. Rev. B **79**, 045406 (2009).
- [11] F. Peeters, Physics **2**, 4 (2009).
- [12] R. F. Wuerker, H. Shelton, and R. V. Langmuir, J. Appl. Phys. **30**, 342 (1959).
- [13] H. G. Dehmelt, in Adv. Atom. Molec. Phys. Vol. **3**, 53, ed. by D. R. Bates and I. Estermann (Academic, New York, 1967); F. M. Penning, Physica **3**, 873 (1936).
- [14] W. Paul, O. Osberghaus and E. Fischer, *Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen* **415** (1958), pp.1-42.
- [15] F. Diedrich and H. Walther, Phys. Rev. Lett. **58**, 203 (1987).
- [16] M. Block, A. Drakoudis, H. Leuthner, P. Seibert and G. Werth, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **33**, L375 (2000).
- [17] R. C. Davidson, *Theory of Nonneutral Plasmas* (Benjamin, Reading, MA, 1974).
- [18] H. E. Dubin and T. M. O'Neil, Rev. Mod. Physics **71**, 87, (1999).
- [19] L. Spitzer Jr., *Diffuse Matter in Space* (Interscience Pub., New York, 1968).
- [20] L. Spitzer Jr., *Physical Processes in the Interstellar Medium* (John-Wiley, New York, 1978).
- [21] B. A. Smith et al., Science **215**, 504 (1982).
- [22] C. K. Goertz, G. Morfill, Icarus **53**, 219 (1983).
- [23] G. E. Morfill and H. M. Thomas, Icarus **179**, 539 (2005).
- [24] C. Mitchell, M. Horanyi, O. Havnes and C.C. Porco, Science **311**, 5767, 1587 (2006).
- [25] E. D'Aversa et al., Geophys. Res. Lett. **37**, L01203 (2010).
- [26] 渡辺征夫他: 小特集『ダストプラズマの現状と課題』, プラズマ・核融合学会誌, **73**, 1220-1261, 1997.
- [27] 石原修: コンプレックスプラズマの物理, 日本物理学会誌 **57**, 476 (2002).
- [28] 石原修: 「遍在するプラズマ中の微粒子—半導体産業から土星の環まで [翻訳], パリテイ, Vol. **20**, No. 5, pp. 7-17 (2005).
- [29] 石原修他: 小特集『宇宙における微粒子プラズマ』, プラズマ・核融合学会誌, Vol. **82**, pp. 75-76 (2006).
- [30] O. Ishihara, Journal of Physics D: Appl. Phys. **40**, R121 (2007).
- [31] 石原修, 上村鉄雄: お勧め論文・気になる論文 (Dubin and O'Neil, 1999), プラズマ・核融合学会誌, Vol. **81**, No. 6, 464 (June 2005).
- [32] V. M. Bedanov and F.M. Peeters, Phys. Rev. B **49**, 2667 (1994).
- [33] H. Totsuji, T. Kishimoto, C. Totsuji, and K. Tsuruta, Phys. Rev. Lett. **88**, 125002 (2002).
- [34] Y. G. Cornelissens, B. Partoens and F. M. Peeters, Physica E **8**, 314 (2000).
- [35] T. Kamimura, K. Hirose, G. Uchida, S. Iizuka and N. Sato, J. Plasma Fusion Res. Series **4**, 480 (2001).
- [36] O. Ishihara, T. Kamimura, K. Hirose, and N. Sato, Physical Review E **66**, 046406 (2002).
- [37] O. Ishihara, T. Kamimura, K. Hirose, and N. Sato, AIP Conf. Proc. **669-1**, 536 (2003).
- [38] 上村鉄雄, 石原修, 広瀬敬一: プラズマ中のダスト微粒子群の構造形成, 名城大学理工学部研究報告, 第 45号 6-11 (2005).
- [39] R. W. Hasse and J. P. Schiffer, Ann. Phys. (N.Y.) **203**, 419 (1990).
- [40] D. H. E. Dubin, Phys. Rev. Lett. **66**, 2076 (1991).
- [41] J. P. Schiffer, Phys. Rev. Lett. **70**, 818 (1993).

- [42] J. P. Schiffer, in *Non-neutral Plasma II*, edited by J. Fajans and D. H. E. Dubin (AIP, New York, 1995), p. 191.
- [43] N. G. Gusein-Zade and A. M. Ignatov, *Plasma Phys. Reports* **29**, 485 (2003).
- [44] N. G. Gusein-Zade and V. N. Tsytovich, *Plasma Phys. Reports* **31**, 392 (2005).
- [45] N. G. Gusein-Zade and V. N. Tsytovich, *Plasma Phys. Reports* **31**, 824 (2005).
- [46] A. Melzer, *Phys. Rev. E* **73**, 056404 (2006).

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

ダスト超音速流中の衝撃波面形成

上村 鉄雄¹⁾・石原 修²⁾・瀬戸 章¹⁾
米澤 逸人¹⁾・齋藤 和史³⁾・中村 良治²⁾

Formation of Bow Shock in Supersonic Dust Flow in a Plasma

Tetsuo KAMIMURA¹⁾・Osamu ISHIHARA²⁾・Akira SETO¹⁾
Hayato YONEZAWA¹⁾・Yoshifumi SAITOU³⁾・Yoshiharu NAKAMURA²⁾

Abstract

Formation of bow shock by dust particles in a plasma is studied by molecular dynamic simulation. Negatively charged dust particles in a plasma are subject to interact each other through the Debye-Hückel potential. In a two-dimensional cluster of dust particles a lattice wave is confirmed to propagate with a lattice sound velocity in a plasma and the dependence of the screening parameter on the phase velocity is confirmed. Dust particles move as a flow in two-dimensional plane around a potential barrier which is placed in the flow as a fixed point charge. When the flow velocity exceeds the lattice sound velocity, dust particles move away from the potential barrier and form the pattern of bow shock. The bow shock boundary in front of the potential barrier is clearly defined in the simulation and the critical density at the boundary edge in front of the potential barrier is in good agreement with the theory.

Keywords : Coulomb crystal, Fine particles, Dust particles, Bow shock

1. はじめに

プラズマ中に微粒子が混入しているとき、微粒子は帯電し、それ自身がクーロン相互作用して反発しあいながらもプラズマ中に閉じ込められて、さまざまな振る舞いをする。微粒子はサブミクロンからミクロンの大きさを持ち、微粒子を含むプラズマは微粒子プラズマという呼び名で呼ばれる。また、微粒子がプラズマ中に混入した塵(ダスト)のようであることからダストプラズマとも呼ばれてきた。プラズマ中に存在する1ミクロン程度の大きさの微粒子は宇宙空間における塵として星の形成に結びついて研究されていた。宇宙空間プラズマに含まれる微粒子はプラズマ粒子を表面に蓄積したり、紫外線があたると電子を放出したりして帯電している。帯電した惑星間微粒子は惑星の環と相互作用する可能性が指摘されていた。1977年に打ち上げられた深宇宙探査機ボイジャー1号と2号は、1981、1982年に、土星の環に、断続的に現れる半径方向の構造であるスポークを発見して、宇宙の塵の存在はさらに注目されることになった [1]。このスポークの現象にはダスト微粒子がかかわっていると考えられた [2]。

一方、荷電微粒子の多く存在する惑星の環の中では、超音速で動く物質がその背後に作り出すマッハコーン (Mach cone) と呼ばれる V 字型の航跡現象の存在が議論された [3,4]。

プラズマは集団運動をすることが特徴であるが、微粒子が入ることにより、微粒子同士の集団運動と、微粒子とプラズマの相互作用による新たな集団運動も現れることになり、その複合系としての性質からコンプレックスプラズマとも呼ばれている。1994年に実験室でクーロン結晶が発見されて以来、dusty plasma, complex plasma 関連の論文数は年々増え、10年間で3000件を超え、2005年以降は年間500件を超えるようになっている (ISI Web of Knowledge 参照)。微粒子プラズマの最近の研究はいろいろところで紹介されているのでここでは代表的な参考文献を挙げるにとどめる [5-12]。

クーロン結晶の発見以来、さまざまな研究がおこなわれる中で、微粒子の作る格子状の結晶構造中の格子波の伝搬が議論され [13]、実験室でも見出されてダスト格子波として知られるようになった [14]。実験室ダストプラズマ中ではミクロンサイズの微粒子が肉眼でも見ることができるが、レーザーを当てて、光を散乱させることに

1) 理工学部/理工学研究科 2) 横浜国立大学大学院工学研究院 3) 宇都宮大学工学研究部

1) Department of Information Engineering 2) Yokohama National University 3) Utsunomiya University

より、微粒子一つ一つがプラズマ中に輝く点として観測できる。こうしてダスト格子波は、波を構成する一つ一つの粒子レベルの運動として観測できるという、新しい側面を物理の世界に提供することになった。

宇宙研究の中で議論されたマッハコーンは実験室の微粒子プラズマで観測されている [15-18]。実験室ダストプラズマではレーザーを当てて、一つ一つの微粒子をプラズマ中に輝く点として観測できるが、もっとパワーの強いアルゴンレーザービームをシース中に浮かぶ単層の微粒子に当て、力を加えることで微粒子を動かし微粒子クラスターの中にマッハコーンを作り出すことに成功している。

マッハコーンは超音速で飛ぶ航空機が空中に作り出す雲の円錐状をした航跡として観測することができるが、微粒子プラズマではプラズマ中を超音速で進むのも微粒子であり、雲を形成するのも微粒子となっている。このように微粒子プラズマは流体としての振る舞いも示すことがある。

マッハコーンは物体が超音速で流体中を動く場合を考えたが、ここでは物体が止まっていて、流体が超音速で動く場合を考えてみる。流れが、障害物にぶつかる場合を考えてみよう。流れが超音速になるとき、障害物が有限の大きさを持てば、障害物近傍で急激に圧力上昇が起こり、障害物前面に亜音速領域が形成される。こうして障害物周辺に圧力の不連続面が形成されることになる。磁気圏プラズマでよく知られる現象にバウショックがある。これは太陽風の中に置かれた地球の周りに、衝撃波面が形成されている現象である。バウショックの形成は、プラズマ粒子の流れである太陽風がイオン音波の速度を越えて超音速で、地球に向かって進んできて、地球の作る双極子磁場と相互作用することによって引き起こされる。プラズマがもたらす圧力と双極子磁場の磁気圧が等しくなるところで、太陽風の上流にあたる昼側の磁気圏の境界に沿って進路を曲げられて、上下左右に分かれ夜側に流れていくことによる。こうして地球の昼側では太陽に向かって進む船の船先 (bow) のような形をすることになる。

微粒子流体では、障害物に向かって進んできた微粒子が障害物を作る静電ポテンシャルと相互作用することによって同様なことが起こる。障害物を作る静電ポテンシャルは障害物から遠ざかるにつれて弱くなる。帯電微粒子の持つ圧力と障害物を作る静電エネルギー密度 (圧力に相当する) が等しくなるところで、微粒子流は進路を曲げられ、静電ポテンシャルの境界に沿って上下左右に分かれ下流側に流れていく。これは地球の周りに形成されるバウショックと似た構造を持つことになる。

地上の実験室ではプラズマ中で重力とシース電場のつり合いにより微粒子を浮遊させ、2次元平面で結晶構造

を作ることができる。また、実験的には2次元平面を傾けることにより、微粒子に流れを作り出すこともできる [19,20,21]。微粒子は2次元平面で格子を形成しており、格子波が伝搬することができる。格子波は固体におけるフォノンモードに相当し、長波長領域で格子音速で伝搬する。微粒子流の速度が、格子音速を超えると衝撃波の形成が期待できる。こうした非線形現象はコンプレックスプラズマで予想される現象で、最近注目されている現象である [22, 23]。

この論文では、微粒子流体が超音速で流れ、その流れの中に障害物があるとき、障害物の周りで衝撃波ができることを研究しようとするものである。

ここでは最近開発したコンプレックスプラズマ実験装置 (YCOPEX) 専用のシミュレータの概要、及びそれを使った超音速微粒子流のシミュレーション、特に2次元衝撃波の形成について研究報告する。第2章でYCOPEXシミュレータとその解法、第3章でダストプラズマ中の波動、第4章でダスト流とポテンシャル障壁について述べ、微粒子流中の衝撃波面形成について議論する。最後に、第5章でまとめを述べる。

2. YCOPEX シミュレータ

高周波放電によって、ステンレス基板上に大面積 (15 × 90 cm²) の単層2次元の微粒子クーロンクラスターを作ることが出来る、新しいタイプのコンプレックスプラズマ実験装置 (YCOPEX) が開発された。ステンレス基板を傾斜させることで、容易に斜面に沿う方向に定常な微粒子流を作ることが出来る。これらの特徴を活かして、現在、クーロン結晶の相転移の空間的变化、障害物周りの微粒子流の挙動及びダスト波動の伝搬などの実験が進められている。

一方、YCOPEX 実験に対して相補的研究手段となる専用の計算機シミュレータの開発を行った。本章ではその概要について述べる。Fig. 1はYCOPEXの単層2次元の微粒子システムをモデル化したものである。

実際の装置では、微粒子は高周波放電で生成されたプラズマのイオンシースの端に、重力と釣り合って基板上に

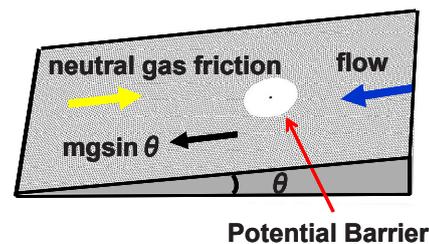


Fig. 1. YCOPEX simulator configuration

浮遊し、2次元の単層構造を成している。しかしながら、シミュレータ・モデルでは微粒子を基板上に浮遊させる力は直接には考慮しない。基板が傾斜角 θ だけ傾いたとき、質量 m の微粒子には重力の斜面に平行な成分 $mg \sin \theta$ のみが働く想定する。従って、この力と背景に存在する中性粒子による粘性力及びクーロン力によって、微粒子は斜面上を運動する。また、個々の微粒子は湯川型クーロンポテンシャルを持つとする。即ち、空間位置 \mathbf{r}_i にある電荷 q_i を持つ微粒子 i による位置 \mathbf{r} におけるポテンシャル U は背景プラズマによる微粒子電荷のデバイ遮蔽距離を λ_D として次式で与えられる。

$$U(\mathbf{r}) = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_i|} e^{-\frac{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_i|}{\lambda_D}} \quad (1)$$

従って、微粒子 i の運動方程式は

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = q_i \mathbf{E}_i - m_i g \sin \theta - \nu \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} \quad (2)$$

$(i = 1, \dots, N)$

$$\mathbf{E}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^3} \left(1 + \frac{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|}{\lambda_D} \right) e^{-\frac{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|}{\lambda_D}} \quad (3)$$

となる。 ν は微粒子 i と背景にある中性粒子との衝突による粘性を表す。

シミュレータは、式 (2) 及び (3) を基礎に分子動力学的手法を用いて微粒子群の挙動を追跡する。斜面を傾けて、ある時間経過の後には重力による力 $mg \sin \theta$ と中性粒子によるドラッグ力が釣り合って微粒子は斜面に沿って一定の速度（終端速度）で運動し、微粒子群全体

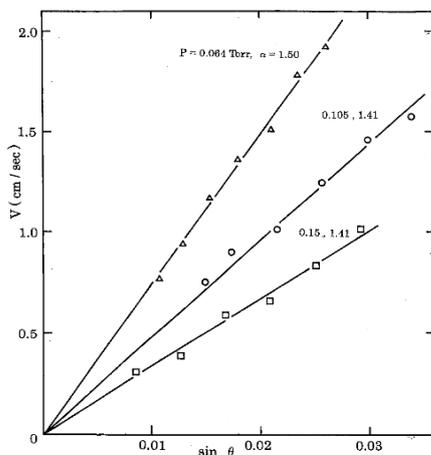


Fig. 2. Measured velocity v vs. $\sin \theta$ [Ref. 24]

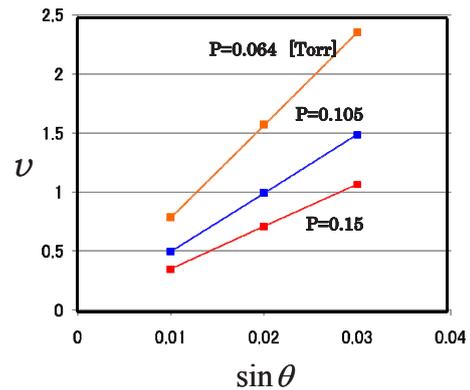


Fig. 3. v vs. $\sin \theta$ (simulation)

としても一定速度の定常流を形成する。微粒子群の流速は斜面の傾斜角 θ と粘性係数 ν の大きさに依存することになる。従って、 ν の値の決定は重要で、以下の説明のように YCOPEX 装置による実験結果を用いた。

Fig. 2 は、アルゴンガスを用いた実験において、異なる3つのガス圧の条件下で実測された微粒子の終端速度で、基板の傾斜角が小さい領域でほぼ $\sin \theta$ に比例している [24]。実験で使用された微粒子は直径 $5 \mu\text{m}$ 、密度が 2.6g/cm^3 のシリカ粒子である。微粒子に対するドラッグ力 F_n については、Epstein によって提案された次式がある [24]。

$$F_n = \alpha(4\pi/3)N_n m_n a^2 c_n \nu \quad (4)$$

ここで、 N_n と m_n は中性粒子の密度と質量、 c_n は熱速度である。また、 a と ν は微粒子の半径と速度で、 α は反射のタイプで決まる定数(通常 $1.0 \sim 1.44$)である。実験の結果は、定数 α が $1.41 \sim 1.50$ の範囲で、Epstein の式 (4) と良い一致を示している。

シミュレータでは式 (4) を使って実験と同じ条件で粘性係数 ν を決めた。実際、シミュレータで流速を測定した結果を Fig. 3 に示した。実験とほぼ同じ微粒子流が再現されていることが確認できる。

3. ダストプラズマ中の波動

2次元平面を形成する微粒子中を伝搬できる波動として、縦振動モード(圧縮波)と横振動モードの波がある。これらの波はいずれも微粒子が形成するクーロン格子の変形に起因するもので、その長波長領域の線形分散式はそれぞれ

$$\omega^2 = k^2 C_{DL}^2 \tag{5}$$

及び

$$\omega^2 = -\frac{1}{21 + \kappa + (\kappa^2/2)} k^2 C_{DL}^2 \tag{6}$$

で与えられる。ここで、 κ は格子パラメータと呼ばれ、微粒子間の平均距離 d とデバイ遮蔽距離の比 $\kappa \equiv d/\lambda_D$ を表し、 C_{DL} は格子波 (Dust Lattice Wave, DLW) の位相速度で、微粒子の質量と電荷量をそれぞれ m_d と q として、次式で与えられる。

$$C_{DL} = \sqrt{\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m_d}} \sqrt{\frac{e^{-\kappa}(\kappa^2 + 2\kappa + 2)}{d}} \tag{7}$$

Fig. 4 は、 $q = -4 \times 10^4 \times e$ [C], $m_d = 1.7 \times 10^{-13}$ [kg], とし、シミュレータで測定したDLWの位相速度 v_p を理論式 (7) と比較したものである。ここで、遮蔽距離 λ_D は実験と同じ $\lambda_D = \lambda_{Di} = 0.13$ mm とした。2つ異なる平均粒子間距離に対して両者は良い一致を示している。

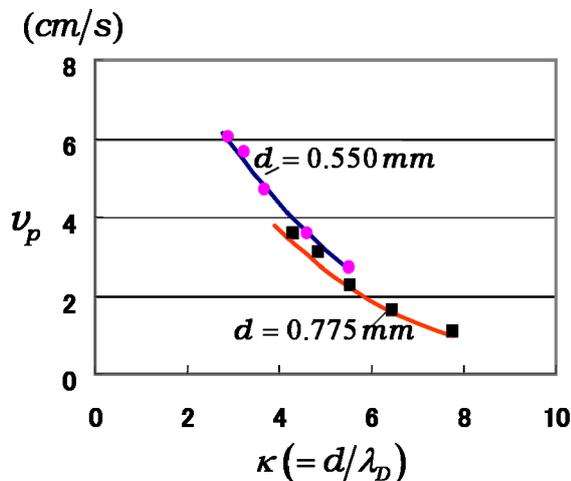


Fig. 4. Phase velocity of DLW measured in simulation

4. ダスト流とポテンシャル障壁

この章では、微粒子の流れの中にポテンシャル障壁を置いた場合に起こる流れの変化について述べる。

実際の実験では微粒子の密度が約 300 個/cm² で、装置全体(15×90 cm²)の粒子数は 40 万個以上になる。しかしながら、GPGPU (General-purpose computing on graphics

processing units) の使用によってシミュレータの高速化を図っているが、机上計算機的能力限界からシミュレータで扱える粒子数は数万程度に抑えられる。その為シミュレーション領域を、流れの方向に 15cm, 垂直方向に 10cm に取り、粒子密度を出来るだけ実験に近い値を得ることとした。流れに垂直方向の両端には壁を設定し、微粒子を反射させるための仮想電場を加えた。但し、この電場は微粒子間距離の数倍程度の短距離で空間的に急速に減衰させ、壁の影響を最小限に抑えた。一方、流れの下流から出た粒子は上流に戻るよう、主領域の流れの方向に周期性を仮定して計算を行った。一方、流れに対する障害としては、微粒子に比べて大きい電荷を持つ一個の粒子を流れの中の適当な位置に固定し、この粒子が作る湯川型ポテンシャルを微粒子流に対する障害物(以下、ポテンシャル障壁と呼ぶ)とした。

流れのない微粒子群の中に障害物を入れるとそのポテンシャル障壁の周りに円形のボイド(微粒子が存在出来ない空間)が形成される。流れが小さいときに円形であったボイドの形は流速の増大と共に変形し、下流に向かって細長く伸びる。

上流から終端速度 v で流れてきた微粒子流はボイドの前面で分流し、その外縁に沿って流れ、ボイド側面で速さが最大となる。微粒子流はボイドの背後で再び合流し、下流へ流れ去る。一部の微粒子はボイドの背後に廻り込み、そこに停留し、澱みを形成する様子が観察された。流速が大きくなるに従ってこれらの停留粒子も下流に流されて、ポテンシャル障壁の形も円形から大きく変形し、下流に向かって尾を引くように伸び、流線型のボイドとなる。

微粒子の数密度 n を 100, 150 及び 200 個/cm² に設定し、それぞれの n についてデバイ遮蔽距離 λ_D も 0.13, 0.2 及び 0.23[mm] の 3 つの値を選び、計 9 個の異なる格子パラメータに対して、傾斜角を制御して流速をいろいろ変化させ、多数のシミュレーション・ランを行なった。これ

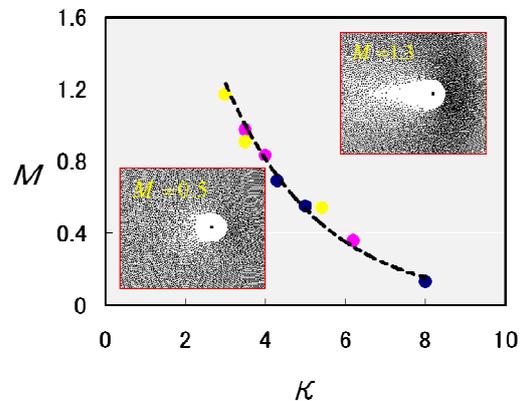


Fig. 5. Boundary of void formation

らの結果から停留粒子の存在する領域と停留粒子が無い領域の流速の境界値を求めた. Fig. 5 は, これらの境界流速の値を, 格子パラメータに対して図示したものである. ここで, 縦軸は境界流速を, 各格子パラメータの値を使って式 (7) から計算した DLW の値で除して得られた値 (マッハ数) である. また, 点線は得られた値に対する近似曲線である. 図の点線の左下は停留粒子が存在する領域, 右上が微粒子が停留できない領域である. 各領域における微粒子流のスナップショットが添えてある. いずれも定常流で, 微粒子群は右側 (上流) から左側 (下流) に向かって流れている.

さらにシミュレーションの詳細な観察から, 停留粒子

の存在するパラメータ領域は液相と固相領域に別れることが明らかになった. 固相では停留微粒子群がクーロン結晶を形成する. これらの興味ある結果の詳細は別途報告することとし, ここでは省略する. 次に, 格子パラメータ κ を固定し, 傾斜角を制御して流速を変化させ, 微粒子流の変化の様子を観察する. Fig. 6 は, $\kappa \cong 4.58$ ($\lambda_D \cong 0.12\text{mm}, d \cong 0.55\text{mm}$) とし, 流速 (終端速度) を変化した場合の粒子位置のスナップショットである. また Fig.7 は, 同じ定常流に対する粒子密度(右側)と粒子速度の絶対値(左側)の空間分布を等高線で表した図である.

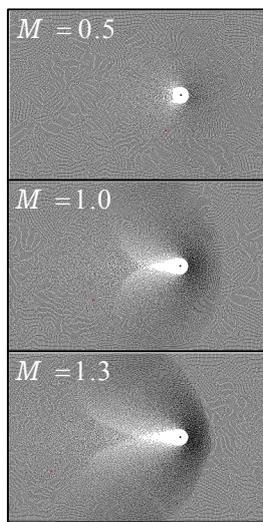


Fig. 6. Particle positions in the flow for various Mach numbers.

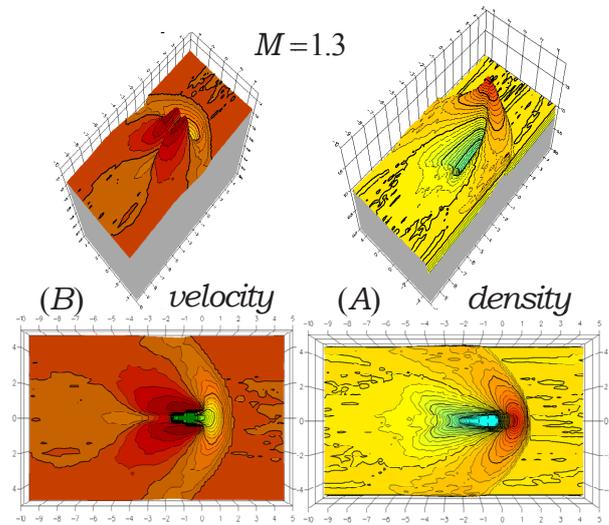


Fig. 8. Bow shock in dust flow of $M=1.3$

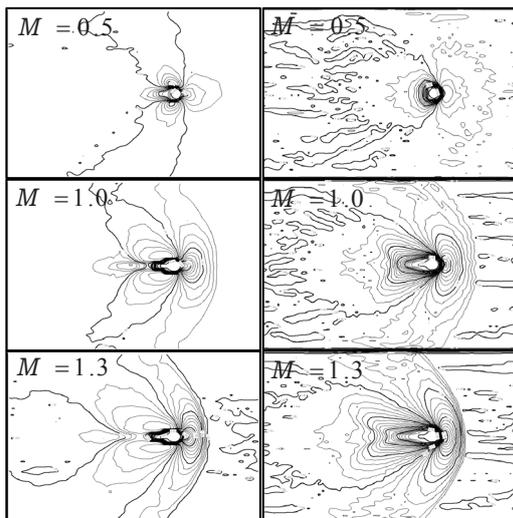


Fig. 7. Contour map of particle density & velocity

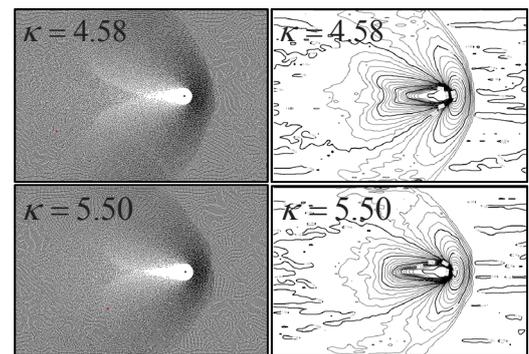


Fig. 9. Bow shock for $\kappa=4.58$ and 5.50 . Particle positions (left) and density profile (right) are shown.

微粒子流の流速がダスト格子波の伝搬速度を超えると (マッハ数 >1 , 超音速流) ポテンシャル障壁 (ボイド) の上流側前面で粒子密度が急に上昇し, 定常な2次元の弧状衝撃波面が形成される. 一方, 微粒子の速度は対照的に障壁の前面で急激に減少し, 側面で平均流の2倍程度に上昇する. 流速が増加するとこの様子は顕著になる.

Fig.8 は, マッハ数が 1.3 の場合の流れの密度 (A) と速度 (B) の空間分布を立体 (上図) と平面 (下図) で描いた等高線図である. 但し, 密度と速度は流れの最上流におけるそれぞれの値で規格化されている. これらから, ショックフロントにおける密度の急上昇, 速度の急減少や障壁側面の流速の上昇, 障壁背後のボイドなど, 衝撃波の構造をより視覚的にとらえることが出来る.

Fig. 9 は, 流速を $M=1.3$ とし遮蔽距離と粒子間平均距離をそれぞれ $\lambda_D \cong 0.1\text{mm}$ 及び $d \cong 0.55\text{mm}$ に選んで, 格子パラメータを $\kappa \cong 4.58$ から $\kappa \cong 5.5$ に変化した場合の衝撃波の様子を比較したもので, 左図は粒子位置のスナップショット, 右図は粒子密度の等高線図である. 衝撃波面の厚さや密度のピーク値が Fig. 6~Fig. 8 に比べてやや減少しているが, ほぼ同じものが観測される.

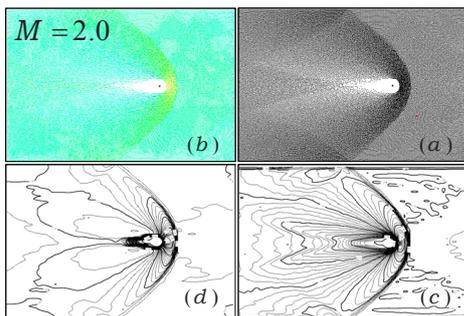


Fig. 10. Bow shock formed in dust flow of $M=2$

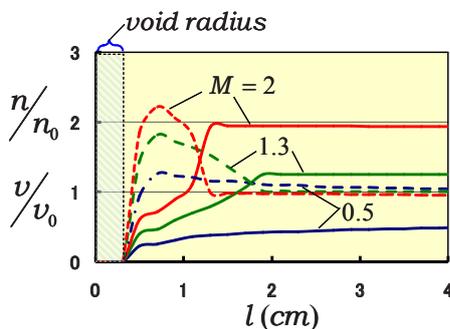


Fig. 11. Density and velocity near the shock front

さらに微粒子流の流速を増し, マッハ数を $M=2$ とした場合の定常な衝撃波の様子を Fig. 10 に示した. 図中の (a), (b), (c) 及び (d) はそれぞれ粒子位置のスナップ, 各粒子の短時間の運動の軌跡 (流線に相当), 粒子密度および速度の等高線図である. 衝撃波はさらに成長し, その構造もよりシャープになる. 一方, 流れに垂直方向に設置した, 閉じ込め壁の影響が避けられなくなり, 図(a)に見られるように壁で反射された微粒子の影が下流域に及んでいる.

Fig. 11 は, ポテンシャル障壁の中心から微粒子流の流れに沿って上流方向に測った距離 l に対する粒子密度 (点線) と流速 (実線) の変化を, 3つのマッハ数の異なる流れについて測定したものである. 測定値は流れに垂直な方向にボイド幅の2倍で空間平均し, 微粒子が衝撃波を通過するのに十分な時間で時間平均したもので, それぞれ最上流の値で規格化した値である. 流速が増すに従ってボイド前面の密度のピーク値が大きくなる. 一方, 流れの速度はボイド前面に向かってゼロまで減少する.

さらに, マッハ数を変えて, Fig. 11 で示した粒子密度のピーク値 n_{dp}/n_{d0} を測定した結果を Fig. 12 中の ■印で示した. 一方, 通常の流れ理論から得られる衝撃波前面における密度はマッハ数の関数として次式で与えられる.

$$\left(\frac{n}{n_0}\right)_{3D} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (\text{for } M < 1) \quad (8)$$

$$\left(\frac{n}{n_0}\right)_{3D} = \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \frac{M^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2} \left(\gamma - \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (\text{for } M \geq 1) \quad (9)$$

ここで, 自由度を N として $\gamma = 1 + (2/N)$, 添え字 3D は 3次元を表し, シミュレーションでは微粒子が $z=0$ 平面で単層に並ぶことが想定されており, 面密度 n とは

$$n_{3D} = n\delta(z) \quad (10)$$

で関係付けることが出来る. Fig. 12 には自由度を 1, 5/3, 2 及び 3 に選んだときの理論式 (8) 及び (9) の曲線が描いてある. $N=5/3$ とした場合の理論曲線が測定値に良く一致する. 理由は定かではないがクーロン結晶のフラクタル次元に関するものと考えられる.

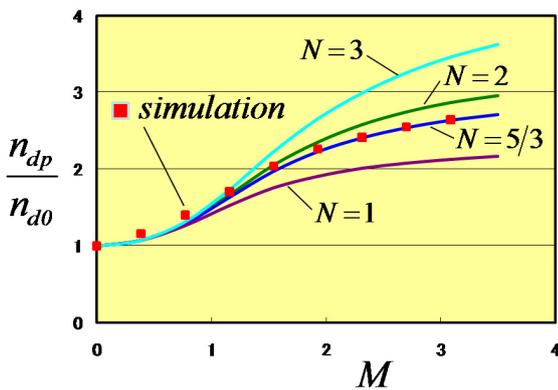


Fig. 12. Maximum density at the shock front vs. Mach number

4. まとめ

本研究では、新しいタイプのコンプレックスプラズマ実験装置 (YCOPEX) で実現された大面積を持つ 2 次元単層の微粒子プラズマを念頭に置き、そのシステムをモデル化した専用シミュレータを開発した。

最初の適用として、微粒子の定常な流れとその中に置かれた障害物を作るポテンシャルとの相互作用についてシミュレーションを行った。その結果、微粒子流による障害物ポテンシャル周りのボイドの形成とその変形、ボイド背後の停留粒子の存在、さらに超音速の微粒子流によるボイド前面の 2 次元の弧状衝撃波面形成など、定常な微粒子流の動的挙動が明らかになった。

また、停留粒子群の液相、固相の存在は、通常の流体が作るカルマン渦生成等との対比も絡んで、今後の重要な研究課題である。さらに重要なことは、シミュレーション結果と YCOPEX 装置実験データとの詳細な比較検討であり、現在進行中である。

他方、現在は GPGPU の使用によってシミュレータの高速化を図っているが、微粒子数の増加と高速な可視化などについて更なる工夫・開発が必要である。

参考文献

[1] B. A. Smith et al., *Science*, 215, 504 (1982).
 [2] C. K. Goertz, G. Morfill, *Icarus*, **53**, 219-229 (1983).
 [3] O. Havnes, T. Aslaksen, T. W. Hartquist, F. Li, F. Melandsø, G. E. Morfill and T. J. Nitter, *Geophys. Res.*, **100**, 1731 (1995).
 [4] O. Havnes, F. Li, F. Melandsø, T. Aslaksen, T. W. Hartquist, G. E. Morfill, T. Nitter and V. Tsyтович, *J. Vac. Sci. Technol. A* **14**, 525 (1996).
 [5] 渡辺征夫他：小特集『ダストプラズマの現状と課題』,

プラズマ・核融合学会誌, **73**, 1220 (1997).
 [6] 石原修他：小特集『ダストプラズマの基礎物理とその広がり』, プラズマ・核融合学会誌, **78**, 293 (2002).
 [7] 石原修：コンプレックスプラズマの物理, 日本物理学会誌, **57**, 476 (2002).
 [8] 石原修：「遍在するプラズマ中の微粒子—半導体産業から土星の環まで」[翻訳] パリテイ, Vol. 20, No. 5, pp. 7-17 (2005).
 [9] 石原修他：小特集『宇宙における微粒子プラズマ』, プラズマ・核融合学会誌, Vol. 82, pp. 75-76 (2006).
 [10] V. E. Fortov, A. V. Ivlev, S. A. Khrapak, A. G. Khrapak and G. E. Morfill, *Physics Reports* **421**, 1-103 (2005).
 [11] O. Ishihara, *Journal of Physics D: Appl. Phys.* **40**, R121-R147 (2007).
 [12] P. Shukla and B. Eliasson, *Rev. Mod. Phys.* **81**, 25 (2009).
 [13] F. Melandso, *Phys. Plasmas* **3**, 3890 (1996).
 [14] Homan et al, *Phy. Lett. A* **242**, 173, 1998).
 [15] K. Jiang, V. Nosenko, Y. F. Li, M. Schwabe, U. Konopka and G. E. Morfill, *Europhysics Lett.* **85**, 45002 (2009).
 [16] D. Samsonov, J. Goree, Z. W. Ma, A. Bhattacharjee, H. M. Thomas and G. E. Morfill, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 3649 (1999).
 [17] D. Samsonov, J. Goree, H. M. Thomas and G. E. Morfill, *Phys. Rev. E* **61**, 5557 (2000).
 [18] A. Melzer, S. Nunomura, D. Samsonov, Z. W. Ma, and J. Goree, *Phys. Rev. E* **62**, 4162 (2000).
 [19] 齋藤和史, 中村良治, 石原修：微粒子流中におかれた障害物の下流における微粒子の振り舞い, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (平成 21 年 9 月 25-28 日, 熊本大学), 26pYL-7 (2009).
 [20] 瀬戸章, 上村鉄雄, 齋藤和史, 中村良治, 石原修：帯電微粒子流におけるボイド構造のシミュレーション, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (平成 21 年 9 月 25-28 日, 熊本大学), 26pYL-8 (2009).
 [21] 米澤逸人, 瀬戸章, 上村鉄雄, 齋藤和史, 中村良治, 石原修：帯電微粒子超音速流のシミュレーション, 日本物理学会第 65 回年次大会 (平成 22 年 3 月 20-23 日, 岡山大学), 23pTJ-5 (2010).
 [22] S. Ghosh, *JETP Lett.* **87**, 281 (2008).
 [23] S. Ghosh, *Phys. Plasmas* **16**, 103701 (2009).
 [24] Y. Nakamura and O. Ishihara, *Rev. Sci. Instrum.* **29**, 033504 (2008); *Phys. Plasmas* **16**, 043704 (2009).

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

故障電流抑制用限流器の開発と応用

飯岡大輔¹⁾

Development and Application of Fault Current Limiter

Daisuke IIOKA¹⁾

Abstract

Fault current may increase with an interconnection of distributed generator to the power utility system. A fault current limiter is expected to be installed into the power system to suppress the fault current. The impedance of the fault current limiter increases immediately after a short-circuit fault occurs in the power system. This paper introduces several fault current limiting technologies which have been reported in the literatures. Then, the impacts of fault current limiter on the fault current and customer voltage are described.

1. はじめに

これまでに、筆者は、限流器と呼ばれる電力機器を電力系統に導入した場合の効果を一覧に示してきた。電力系統において落雷などを原因とした短絡・地絡故障が発生した場合、電力系統内に過電流が発生するが、保護リレーシステムの働きによりこれを除去することができる。しかしながら、近年、都市部における電力需要の集中や分散型電源の系統連系増加により、従来と比較して、故障時における過電流が大きくなる懸念されている。限流器は故障電流の増大を抑制できる手段の一つとして期待されている¹⁾。

本稿では、限流器の効果を示す成果の一部について述べた。その成果を示す前に、第2章では、限流器の基本的な動作を示し、各国で開発されたさまざまな限流器の方式について述べた。

第3章では、ウインドファーム系統への限流器の導入を想定し、過電流抑制効果を検討した結果を示す。ここでは、限流器の設置場所として集中配置した場合と分散配置した場合を比較した結果と、限流方式として抵抗型とリアクトル型の効果を比較した結果を示す。

第4章では、短絡電流抑制用限流器を、発電機連系需要家の瞬低対策装置に応用することについて検討した成果を述べる。同期発電機を有する需要家が配電系統に連系することを想定し、抵抗型限流器あるいはリアクトル型限流器を導入した場合について、瞬低期間中の電圧補償効果を明らかにした。

2. 限流器の役割と開発状況

限流器を導入する第一目的は、電力系統内に発生する過大な故障電流を高速に抑制することである。そのために、限流器は電力系統の主回路に直列に接続される。また、平常時は限流器自体の損失を最小化するために、限流器のインピーダンスは極めて小さくする必要がある。さらに、故障電流が流れた場合にのみ高インピーダンスを発生させて、故障電流を十分に抑制するように設計される必要がある。

Fig. 1 は限流器の基本的な動作を等価回路的に示している。検出部は故障電流を検出し、制御部に動作指令を出力する。転流部は、故障電流を系統からバイパスさせるスイッチの役割を有している。限流インピーダンスには抵抗あるいはリアクトルなどを挿入し、故障電流を抑制する部分である。限流器は系統に直列に挿入される機器であるため、各構成要素に確実な動作が要求される。

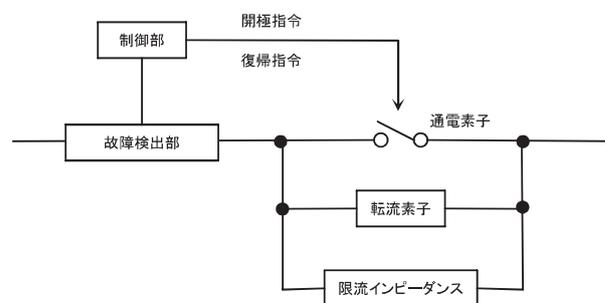


Fig. 1 Equivalent circuit representing basic function of fault current limiter.

¹⁾電気電子工学科

¹⁾ Department of Electrical and Electronic Engineering

限流器の導入により故障電流の抑制を期待できる。故障電流の最大値を抑制することは、電力機器の内外に生じる電磁力の最大値を低減することにつながる。また、故障電流の実効値を抑制することは故障電流遮断までの電力機器の温度上昇を抑制することを意味する。さらに、電力系統の短絡容量が小さくなるため、電力系統構成の自由度が大きくなることも期待できる。

また、故障電流の抑制の他に、限流器適用によるその他の波及効果として、故障時における電力系統の瞬時電圧低下を緩和する効果、系統安定度の維持・向上、遮断器による故障除去後における過渡回復電圧の抑制、回転機系発電機における軸ねじれ現象の抑制など、多くの効果が期待できる。

これまでに種々の限流方式を有する限流器が国内外で活発に研究・開発されている。近年は超電導技術を応用した限流器が積極的に開発されている。中でも、超電導体の S/N 転移を利用する抵抗型超電導限流器²⁾、故障電流が直接超電導体に流れない磁気遮へい型超電導限流器³⁾、リアクトルの磁気的な特性を応用した可飽和リアクトル型超電導限流器⁴⁾の開発進捗が著しく、高電圧化・大容量化が進められている。

3. 風力発電機の系統連系を想定した限流器導入効果

3.1 シミュレーションモデル

3.1.1 系統モデル

Fig. 2 にウインドファーム系統モデルを示す。容量が 1 MW である風力発電機 10 台で構成されるものとした。各風力発電機は、6.6 kV 系統に連系されるものとし、変圧器を介して 77 kV 系統に接続されているものとした。また、各風力発電機の一般的な隔離距離を確保することを想定し、各風力発電機間の線路インピーダンス値を設定した。

風力発電機として、同期発電機モデルを使用した。また、風力発電機へ限流器を導入した場合の基本的な効果を容易に把握するために、同期発電機と 6.6 kV 系統間に変換器や変圧器などの機器を接続しない場合を想定した。

3.1.2 限流器モデル

本稿では、限流器のモデルとして、純抵抗を発生する抵抗型 (R 型) 限流器と純インダクタンスを発生するリアクトル型 (L 型) の二種類を想定した。R 型および L 型限流器はそれぞれ時間変化する抵抗 R およびインダクタンス L によりモデル化した。Fig. 3 には、本稿で想定した限流器が発生する抵抗およびインダクタンスの時間

変化を示している。抵抗 R とインダクタンス L の時間変化は、限流器の最も基本的な二つの要素に注目してモデル化した。一つは、故障発生から故障を検出し、抵抗 R あるいはインダクタンス L を発生し始めるまでの時間である。本稿では、限流器を流れる電流の瞬時値が所定の値を超えた瞬間に、抵抗 R あるいはインダクタンス L を発生し始めるものとした。もう一つは、インピーダンスの発生時間 (発生し始めから最終値に達するまでの時間) である。本稿ではこれを 1 ms とした。

限流器の設置位置として、ウインドファームの受電点に集中配置した場合 (限流器 A) と各風力発電機の連系線に分散配置した場合 (限流器 B1, B2, ..., B10) の二通りを想定した。また、限流器が発生するインピーダンスの大きさ (抵抗型の場合は Fig. 3 の R_{FCL} 、リアクトル型の場合は系統周波数を f とすると $2\pi f L_{FCL}$) は、分散配置の場合は風力発電機の過渡リアクタンス相当の値とし、集中配置の場合はその 10 分の 1 とした。

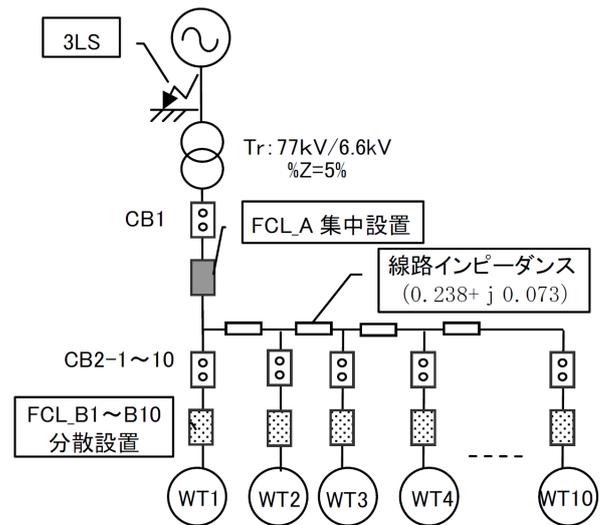


Fig. 2 Wind farm model with fault current limiter.

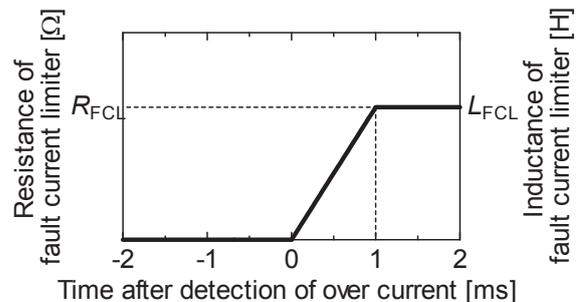


Fig. 3 Time variation in resistance or inductance of fault current limiter.

3.1.3 計算条件

ウインドファームの連系点において三相短絡故障(3LS)が発生することを想定した。故障発生後における遮断器の解列時間を3サイクルとした。以上の条件下において、遮断器CB1の電流、各風力発電機WT1~WT10の電流を計算した。

3.2 計算波形例

Fig. 4に、R型限流器を集中配置した場合の電流波形を示す。限流器を導入しない場合のCB1電流最大値は4.0kA_{peak}であったが、限流器を導入することで2.7kA_{peak}まで限流された。また、WT1の電流は0.42kA_{peak}、WT10の電流は0.22kA_{peak}に限流されることがわかった。

3.3 限流器の集中配置と分散配置の特性比較

Fig. 5は、受電点および各風力発電機から流れる電流の最大値を示す。同図には、限流器設置位置として集中配置および分散配置の場合、限流器が発生するインピーダンスの種類としてR型限流器およびL型限流器を導入した場合の結果を示している。また、参考のため、限流器を導入しない場合の結果を併記している。

集中配置についてみると、受電点からの電流だけでなく、すべての発電機からの電流が抑制されており、優れた限流効果を得ることができる。また、R型とL型を比較すると、本計算条件下ではR型の方が効果的であることがわかった。

分散配置した場合、風力発電機の位置によって、故障電流が抑制される場合とされない場合があることが判明した。これは、限流器の限流開始電流値に起因していることを明らかにした。つまり、故障電流が抑制されない風力発電機端の場合、故障電流の最大値が限流開始電流値に達していなかった。また、限流方式の効果を比較すると、集中配置の場合と同様に、R型の方がL型よりも高い効果が得られることがわかった。

4. 同期発電機を有する需要家の瞬低補償

4.1 系統モデル

Fig. 6に、同期発電機を有する需要家が限流器を介して高圧配電線に連系しているモデルを示す。配電系統の上位系統で故障が発生することを想定し、配電用変電所の送出電圧が残存電圧 V_{sg} [%]まで低下することを想定した。瞬低の継続時間を200msとして検討した。

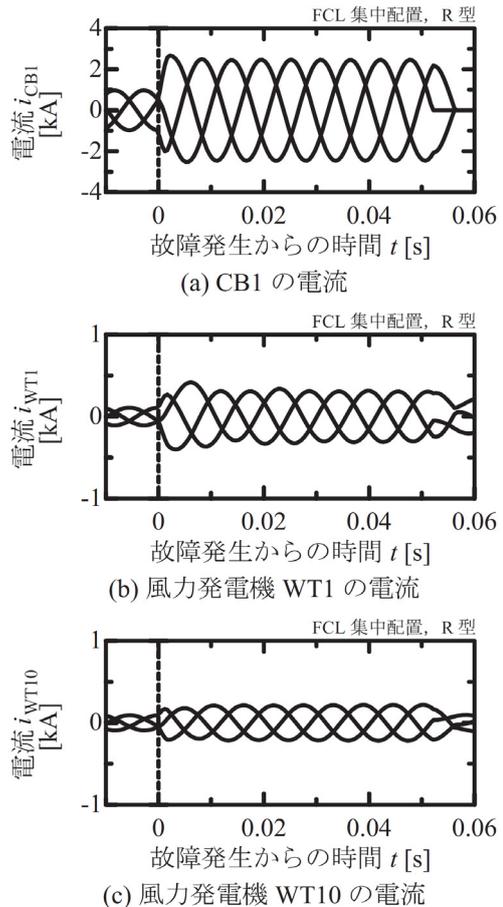


Fig. 4 Waveforms of fault current.

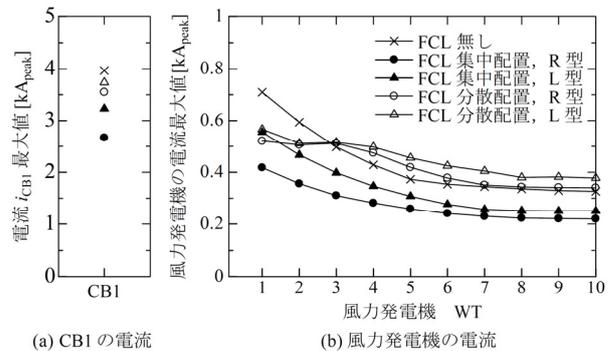


Fig. 5 Effect of fault current limiter on fault current.

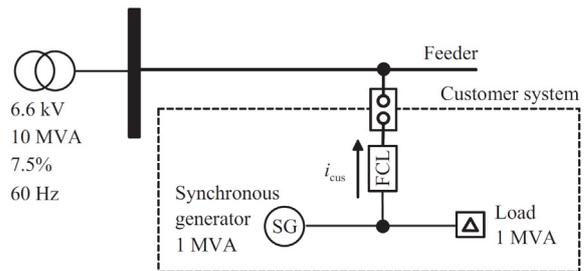


Fig. 6 Distribution system model.

限流器を流れる電流が $247 A_{peak}$ を超えると、限流器が 23Ω のインピーダンスを発生するものとした。この電流の値は、発電機の定格電流ピーク値の2倍に相当する値である。また、このインピーダンスの値は、発電機の過渡リアクタンスの2倍に相当する。限流器は、Fig. 3 に示したモデルと同様であり、R型限流器とL型限流器を想定した。

4.2 計算波形例

Fig. 7(a) および (b) は、それぞれ限流器を導入しない場合の需要家内電圧および連系線電流の波形である。需要家内電圧は、瞬低発生により50%まで低下し、瞬低終了とともに定常値に戻っている。また、瞬低発生により連系線には過電流が流れており、瞬低発生直後の連系線電流最大値は $558 A_{peak}$ である。瞬低終了直後も連系線電流が大きくなるが、瞬低発生直後のものよりも小さく、その大きさは $373 A_{peak}$ である。

Fig. 8 (a) および (b) は抵抗型限流器を導入した場合の需要家内電圧および連系線電流である。Fig. 7 と同じ50%の瞬低を発生させているが、限流器の導入により、瞬低期間中の需要家内電圧は、83%まで回復することがわかった。

4.3 瞬低に対する限流器の影響

Fig. 9 には、瞬低期間中の電圧実効値と残存電圧との関係を示している。同図から、抵抗型限流器とリアクトル型限流器の効果を比べると、残存電圧が50~75%の瞬時電圧低下が発生したとしても、両者ともに、需要家内電圧を80%以上に補償できることがわかった。詳細に見ると、残存電圧が50~70%の範囲では、抵抗型限流器の場合の補償効果が若干高いことも明らかとなった。

5. まとめ

本稿では、系統故障時の過電流を抑制する限流器を電力系統に導入した場合の効果について、ウインドファーム連系系統への導入による過電流抑制効果と同期発電機連系系統への導入による瞬時電圧低下の緩和効果について述べた。

謝辞

本研究は、筆者が名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻松村研究室に在籍していた当時における成果である。また、本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B) 19760196)の援助を受けた。ここに感謝

の意を表します。

参考文献

- 1) M. Noe, M. Steurer, High-temperature superconductor fault current limiters: concepts, applications, and development status, *Supercond. Sci. Technol.*, 20, R15-R29, 2007
- 2) T. Yazawa, K. Koyanagi, M. Takahashi, K. Toba, H. Takigami, M. Urata, Y. Iijima, T. Saitoh, N. Amemiya, Y. Shiohara, T. Ito, Development of 6.6 kV/600 A superconducting fault current limiter using coated conductors, *physica C*, 469, pp.1740-1744, 2009
- 3) A. Usoskin, F. Mumford, R. Dietrich, A. Handaze, B. Prause, A. Rutt, K. Schlenga, Inductive Fault Current Limiters: Kinetics of Quenching and Recovery, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 19, Issue 3, pp. 1859-1862, 2009
- 4) F. Moriconi, N. Koshnick, F. De La Rosa, A. Singh, Modeling and Test Validation of a 15 kV 24 MVA Superconducting Fault Current Limiter, 2010 IEEE T&D Conf. and Exposition, N. Orelans, USA, April 19-22, 2010

(原稿受理日 平成22年9月30日)

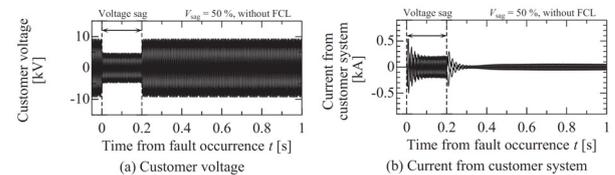


Fig. 7 Waveforms of voltage and current without fault current limiter.

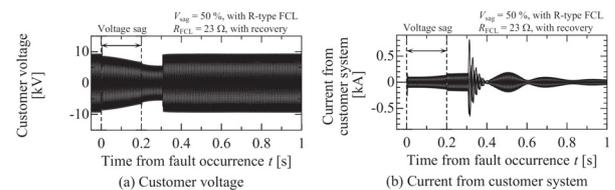


Fig. 8 Waveforms of voltage and current with R-type fault current limiter.

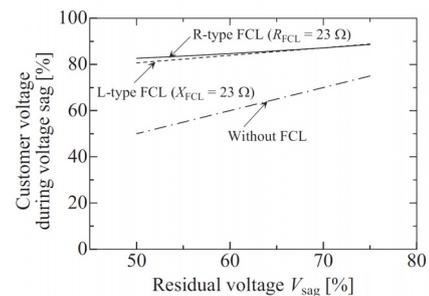


Fig. 9 Customer voltage during voltage sag as a function of residual voltage.

これまでの研究内容の紹介

堀田一弘¹⁾

Introduction of my research results

Kazuhiro Hotta¹⁾

Abstract

This paper describes the overview of my research. First, I explain a recognition method using local summation kernel which is inspired biologically. The effectiveness of the method is demonstrated by the comparison with a standard Gaussian kernel in face recognition task. After that, the method is extended and applied to automatic asbestos detection problem in building materials. Experimental results show that our method detect asbestos accurately.

1. はじめに

機械に人間のような知力を持たせたいというのは長年の人類の夢である。それは知力の発生そのものはもちろん、応用面からも実に興味深い。その1つとしてパターン認識の研究が行われてきた。しかし、今日までのところ、その到達点は人間の能力には遠く及ばず、単純な対象以外では安定した認識を行うことは難しい。

私は、心理学、脳科学、統計物理等の異分野の知見をヒントにして統計手法の枠組みに導入することにより、変動に頑健な認識を実現してきた。本稿では脳の情報処理をヒントにして局所カーネル関数を導入した認識法とそれを建築材料中からの自動アスベスト検出に応用した研究例を紹介する。

2. 局所カーネルの和統合に基づく部分的な隠れに頑健な認識法

パターン認識や機械学習の分野ではSupport Vector Machien(以下SVM) [1, 2] と呼ばれる方法の有効性が報告されている。我々の脳内では局所的なパターンに反応する細胞があることが知られているが、SVMを用いた従来の画像認識法では学習サンプルから抽出した大域的な特徴に1つのカーネル関数を適用するのが一般的であった。しかし、大域的な特徴は部分的な隠れ等の影響を受けやすいため、そのままでは人間のように実環境下で安定した認識を行

うことは難しい。一方、近年、画像認識の分野では局所特徴の有効性が報告されている[3]。これらのことから汎化性能に優れたSVMでも局所特徴を使うことは理にかなっている。しかし、学習サンプルから抽出した特徴量を局所特徴に分割し、各局所特徴にカーネル関数を適用した場合、多数のカーネル関数の出力値が得られてしまう。SVMで使うためには、カーネル関数の定義を満たすようにこれらを統合して1つの値にする必要がある。カーネル関数として利用するためにはMercerの定理を満たす必要があるが、カーネル関数の和や積は定理を満たすことが知られている[4, 5]。そこで、ここでは各局所特徴に適用したカーネル関数(以下、局所カーネル)を積と和で統合する方法を考える。

まず、局所特徴に適用したカーネル関数の出力値を積で統合する場合を考えてみる。積による統合では、ある一つの局所カーネルが部分的な隠れ等の影により0に近い値を出した場合、他の局所カーネルがいくら期待通りの値を出してもその掛け算により0に近い値となってしまう。これは、積による統合が部分的な隠れや情報の欠損に影響を受けやすいことを意味している。では局所カーネルの出力値を和で統合した場合はどうだろうか？もちろん、足し算をしても隠れ等の影響を受けるが、その影響は積の場合よりも格段に小さい。実環境下での画像認識では、他の物体により認識対象の一部が隠れたり、光源方向の変化により認識対象に影ができることがあるので、この性質が有効となる[6]。

1) 電気電子工学科

1) Department of Electrical and Electronic Engineering

今回は局所カーネルという観点から従来法でよく使われているガウシアンカーネルを見てみよう。実は、サンプルから抽出した全特徴量に適用したガウシアンカーネルは、全特徴量を重なりがないように分割し、それらに対して適用したガウシアンカーネル(以下、局所ガウシアンカーネル)を積で統合した特別な場合に一致する。ここでは、最も単純な場合の例として、1つのサンプルから抽出した全特徴量の1要素毎にガウシアンカーネルを適用した場合を考えてみる。全ての局所ガウシアンカーネルの分散が一定であると仮定した場合、以下の式のように局所ガウシアンカーネルの積と全特徴量に適用した1個のガウシアンカーネルが一致することが分かる。

$$\begin{aligned}
 K(\mathbf{x}, \mathbf{z}) &= \prod_p^N \exp\left(-\frac{(\mathbf{x}(p) - \mathbf{z}(p))^2}{\sigma^2}\right) \\
 &= \exp\left(-\frac{\sum_p^N (\mathbf{x}(p) - \mathbf{z}(p))^2}{\sigma^2}\right) \\
 &= \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{z}\|^2}{\sigma^2}\right)
 \end{aligned}$$

ここで、 $\mathbf{x}(p)$ は特徴ベクトル \mathbf{x} の p 番目の要素を表す。上述のように局所特徴の積は部分的な隠れや情報の欠損に影響を受けやすい。つまり、従来の画像認識法でよく使われているサンプルから抽出した全特徴量に1つのガウシアンカーネルを適用するやり方は隠れ等の影響を受けやすいと言える。



図1 人工的な隠れを付与した顔画像の例

それでは、この方法の有効性を確かめるために顔画像認識に応用する。顔画像認識は学習サンプルから識別器を学習し、入力されたテスト顔画像の個人のラベルを出力する問題である。ここでは、ORL 顔画像データベース[7]に含まれる40人の顔画像を利用し、識別器としてSVM(1クラ

ス-1 クラス法[8])を用いた。局所カーネルに基づく認識法の隠れに対する頑健性を評価したいのだが、ORL データベースには隠れのある顔画像が含まれていない。そこで、人工的な隠れをテスト画像上にランダムに配置し、それらを実験に用いる。図1は、人工的な隠れ(白か黒の正方形)の大きさを10x10画素から50x50画素まで10画素間隔で変えた例である。隠される面積が大きくなると人間が見ても分かりにくくなる。

ここでは、人工的な隠れである正方形の一辺の長さ(単位は画素)を変えながら、局所ガウシアンカーネルの和に基づくSVMと全特徴量に1つのガウシアンカーネルを適用したSVMの認識率を評価する。結果を図2に示す。図の横軸は隠れの一辺の長さであり、0は隠れがない場合を意味している。図から分かるように、隠れの大きさが大きくなるにつれ、全特徴量に適用したガウシアンカーネルの認識精度は劇的に低下してしまう。これは、全特徴量に適用したガウシアンカーネルが、局所ガウシアンカーネルを積で統合した特別な場合に一致するからである。一方、各局所特徴にガウシアンカーネルを適用し、それらを和で統合した方法は隠れの大きさを変えてもあまり認識率が低下しない。これにより、カーネル関数を局所特徴に適用して和統合することの有効性が確認できた。

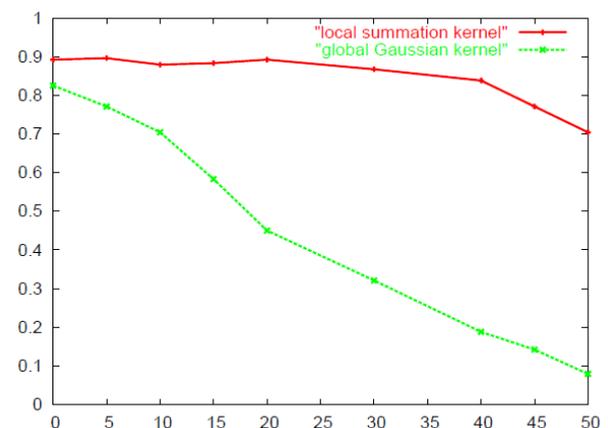


図2 局所ガウシアンカーネルの和と通常ガウシアンカーネルの比較

3. アスベスト検出への応用

次に、建築材料のサンプルを顕微鏡で撮影した画像からアスベスト粒子を検出する例を紹介する。建材サンプルが有害か否か(サンプル中にアスベスト粒子が一定の割合以上含まれているか否か)は法律で規定されている。現在は

検査員がアスベスト粒子やその他の粒子の個数を顕微鏡を用いて目視でカウントすることにより、有害か無害かを判定している。この作業の問題点は効率が悪いことと検査員の負担が大きいことである。そこで、作業の効率化と検査員の負担軽減を目指し、コンピュータによりアスベスト粒子やその他の粒子を自動検出、計数する研究が進められている[9, 10, 11].

ここではSVMを用いて顕微鏡画像からのアスベスト検出器を作成する。アスベスト粒子は色と形状に特長があり、検査員はそれを利用して計数している。そこで、コンピュータによる検出器でもアスベスト粒子の特長である色と形状の特徴を利用する。(以下では2つの特徴量をそれぞれ x_c, x_s と記述する)。しかし、2つの特徴を単に連結した1つの特徴ベクトル $x=(x_c, x_s)$ にカーネル関数を適用しても十分な精度は期待できない。それは、カーネル関数を類似度を測る指標と見なした場合、色と形状特徴を連結して類似度を測ることが必ずしも有効であると言えないからである。例えば、撮影条件の変化により画像中のアスベスト粒子の色が薄くなってしまった場合、連結した特徴量に1つのカーネル関数を適用する方法では、形状特徴が安定していても色の影響を受けて類似度が低下してしまう(もちろんその逆も考えられる)。そこで、各特徴にカーネル関数を適用して色と形状特徴毎に類似度を測り、それらの出力値を統合する。ここでは各カーネル関数の出力値を統合する際に重み付き和を用いた。このカーネル関数を以下に示す。

$$K(x, z) = \alpha K(x_c, z_c) + (1 - \alpha)K(x_s, z_s)$$

ここで、 α は重みを表している。重み α が0 から1の値を取る場合 ($0 \leq \alpha \leq 1$) , その重み付き和はMercerの定理を満たし、カーネル関数として利用できる。実験では、色と形状特徴の各カーネル関数の出力値が同じ位の値となるように正規化多項式カーネル[12]を利用し、経験的に $\alpha = 0.6$ とした。

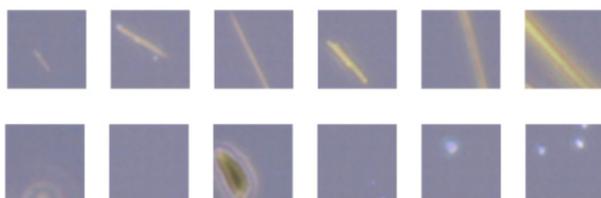


図3 アスベストとアスベスト以外の学習サンプル例

次に、アスベスト検出器の作成法について説明する。アスベスト粒子の大きさ、方向、形状は一定でないため、アスベスト粒子全体を検出する検出器を作ることは難しい。そこで、解くべき問題を局所領域内にアスベスト粒子が含まれるか否かという2クラス問題とした。実験では局所領域の大きさを 40×40 画素とし、600枚のアスベストを含む領域と6,000枚のアスベストを含まない領域から検出器を学習した。学習画像の例を図3に示す。様々な大きさや向きのアスベスト粒子が含まれていることが分かる。

学習した検出器を用いてテスト画像からアスベスト粒子を検出、計数する流れを図4に示す。まず、テスト画像から学習画像と同じサイズである 40×40 画素の局所領域を切り出し、そこから色と形状特徴を抽出して学習した検出器に入力すれば良い。そして、この局所領域を切り出した画像内の元の位置(領域の中心点)に検出器の出力値を貼り付けていくことにより、確率マップを作成することができる。図中の白い領域はアスベストが存在する確率が高いことを表している。この確率マップを二値化してラベリングすることによりアスベスト粒子を自動的に検出、計数することができる。

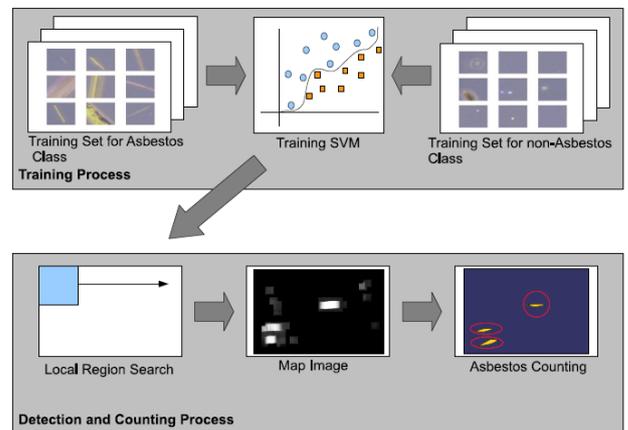


図4 アスベスト検出の概略

次に、作成した検出器の評価を行う。精度の評価には、学習に用いていないテスト画像99枚(これらの画像中には137個のアスベスト粒子が含まれている)を用いる。カーネル関数の重み付き統合に基づくSVM及び色と形状特徴を連結した特徴ベクトルに1つの正規化多項式カーネルを適用したSVMの精度を表1に示す。表中の#True positive (Rate) はアスベスト粒子を正しくアスベストであ

ると検出した個数（検出率），#False positive はアスベスト以外のものをアスベスト粒子であると誤検出した個数である．表から分かるように，カーネル関数を各特徴に適用し，それらを重みづけ統合することにより精度が向上する．

最後に，図5にテスト用の顕微鏡画像に提案手法を適用して得られた検出結果と確率マップの例を示す．枠で囲われた部分が検出されたアスベスト粒子である．その下段にある画像は上段画像に対する確率マップである．これらの結果から様々な大きさや向きのアスベスト粒子を正しく検出できていることが分かる．

表1 アスベスト検出の精度

	#True positive (Rate)	#False positive
カーネル関数の重み付き和	122 (89.1 %)	15
1つのカーネル関数	115 (83.9 %)	19

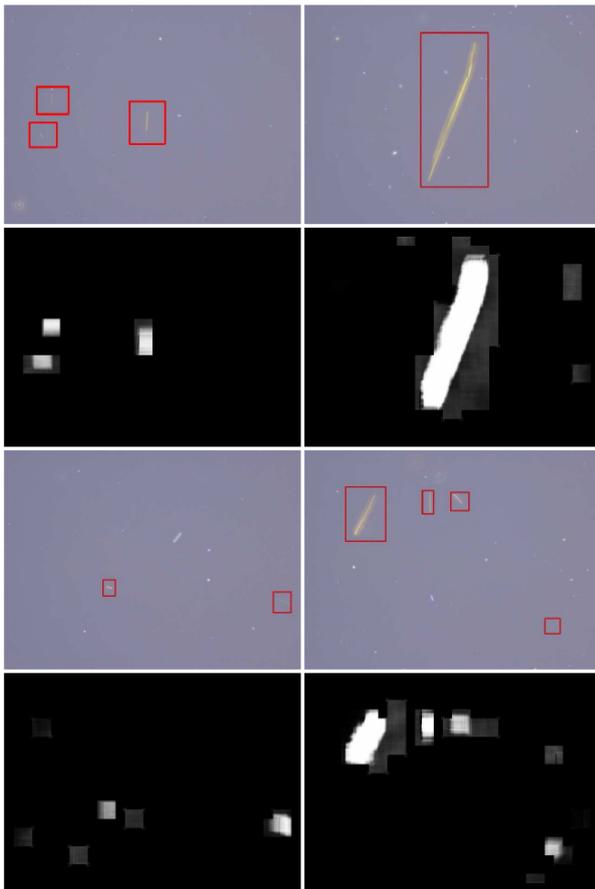


図5 検出例と確率マップ

謝辞

本研究を遂行するにあたり，科学研究費補助金 若手研究 (B) (18700170) 及び環境省産業廃棄物処理等科学研究費補助金 (K1920,K2061) の援助を受けました．ここに感謝の意を表します．

また，アスベスト検出の研究において実験をして頂いた野本敦夫君にも感謝の意を表します．

参考文献

- 1) V. Vapnik: Statistical Learning Theory, Wiley, New York, 1998.
- 2) 高橋治久, 堀田一弘: 学習理論, コロナ社, 2009.
- 3) D. Lowe, "Distinctive image features from scale invariant keypoints," International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp. 91-110, 2004.
- 4) J.Shawe-Taylor and N.Cristianini, Kernel methods for Pattern Analysis, Cambridge University Press, 2004.
- 5) D.Haussler, "Convolution kernels on discrete structures," Technical report, UCSC-CRL-99-10, 1999.
- 6) K. Hotta: Robust face recognition under partial occlusion based on support vector machine with local Gaussian summation kernel, Image and Vision Computing, Vol.26 , No.11, pp.1490-1498, 2008.
- 7) ORL face database <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/facedatabase.html>
- 8) C.-W. Hsu, C.-J. Lin, A comparison of methods for multiclass support vector machines, IEEE Transaction on Neural Networks 13 (2) (2002) 415-425.
- 9) A.Nomoto, K.Hotta, and H.Takahashi: Asbestos Detection in Building Materials Through Consolidation of Similarities in Color and Shape Features, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No.4, pp. 496-505, 2010.
- 10) K.Kawabata, S.Morishita, H.Takemura, K.Hotta, T.Mishima, H.Asama, H.Mizoguchi, and H.Takahashi, "Development of an Automatic Microscopic System for Asbestos Qualitative Analysis by Dispersion Staining Method," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No.2, pp.186-192, 2009.
- 11) Y.Moriguchi, K.Hotta, and H.Takahashi, "An Asbestos Detection Method from Microscope Images Using Support Vector Random Field of Local Color Features," IEEE Trans.EIS, Vol.129, No.5, pp.818-823, 2009.
- 12) R. Debnath and H. Takahashi, Kernel selection for the

support vector machine, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E87-D, No.12, pp.2903–2904, 2004.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

名城大学での研究・教育生活 46 年を回想して

河村 英昭¹⁾

Recollection of "a study and education" for 46 years in MEIJO University Hideaki KAWAMURA¹⁾

Abstract

It was assumed that I retired from MEIJO University on March 31, 2011. In this paper, I decide to try to look back about contents of "a study and the education" that I wrestled with in MEIJO University for 46 years.

The main theme in the first half of a study was "a study on AC treeing breakdown of a polymer insulator" and "a study on DC treeing breakdown and the space charge formation of a polymer insulator" and so on. As for the latter half of a study, "a study on generation performance and a generation electricity fall diagnostic method of a PV module and a PV system for studies" was done. These results of research were used for a generation performance diagnosis of a PV system installed in MEIJO University. It became clear that PV system generation performance in the winter season deteriorated to a little less than 50% of rating value by influence of a shadow of "tower 75".

Through an action by "a graduation study" that was one subject of a curriculum, I tried to look back on education life for 46 years. From longtime practice, the education at a university was able to confirm that it was two wheels with a study again. In a Japanese university, evaluation for education began. In 2004, an education curriculum of electrical and electronic engineering in MEIJO University caught the first outside evaluation since a university began and was able to receive a certificate from "JABEE". "JABEE" goes for continuous deliberation for six years in 2009 and now is continuing. A "PDCA" cycle is practicing it as an action for substantiality of education.

"A study and education" for 46 years in MEIJO University have been supported by many people. I thank you last.

1. はじめに

厄年を過ぎた頃、経緯は定かでないが「若さとは、肉体的年齢で決まるものではないよ、精神的に若いと思っていればそれが若さだよ。」と言うような内容のことを恩師である名古屋大学名誉教授・故 家田 正之先生から言われたことを思い出す。4年前に大病を患い、昨今では精神的にも研究・教育に対する「私なりの基準」を著しく低下してしまった。自分的には「漫然と研究・教育」を続けることは生に合わず、退職を決意した。72歳の定年まで4年間を残しての決断である。名城大学での46年間の研究・教育生活は、自分ににとっては十二分に燃焼できたと思っている。

本論文では46年間の研究・教育生活を回想してみる。旧電気工学科の「電気応用研究室・高電圧実験室」に身を置き、研究の前半は「浴面放電現象」^{1),2)}「高分子材料のtree破壊現象」³⁾⁻⁸⁾「高分子材料の電気的特性と空間電荷に関する研究」¹⁰⁾⁻¹⁷⁾「空間電荷を抑制した高分子絶縁材料の開発」^{18),19)}をはじめ、雷サージなどから機器を保護することを目的とした「避雷器用ZnO セラミックスの結晶構造と電気的諸特性」²⁰⁾⁻²²⁾など種々のテーマで研究を行ってきた。研究後半の十数年は、電気電子工学科の研究室改変により新「電気エネルギー研究室」を率い、長年続けてきた「電

気絶縁材料の電気絶縁性に関する研究」と決別し、新テーマ「太陽光発電システムの発電性能と発電性能低下診断法に関する研究」²³⁾⁻³²⁾に取り組むこととなった。これら研究生活の一端を振り返ってみる。本論文の後半は「46年間の教育現場」で経験した出来事を振り返ってみる。18歳人口の約50%が大学生である現在を含め、時代の流れと共に学生気質の異なる多くの学生を相手に取り組んできた「卒業研究」と言う一つの授業科目を通して各時代の教育を回想する。最後に「JABEE」導入による大学教育の取組の奮戦記についても触れ、締めくくりにする。

2. 46年間の研究生活を振り返る

「太陽光発電(以降、PVと言う)システムに関する研究」を最後の研究テーマとして大学を去ることとなった。これまでの自分の人生をも重ねてみると、こじつけになるかもしれないが大学での研究の内容は何かしら運命的な出会いを感じる。物心ついた戦後のどさくさの時期、父が三井鉱山の機械技術者であったことから、当時の一大産業であった北海道の「石炭産業」の町々を転々としていた。戦後間もない日本を支えた「石炭産業」は1960年代に始まった低価格の石油輸入によって駆逐されることとなった。

1) 電気電子工学科

1) Department of Electrical and Electronic Engineering

北海道での少年時代は日本の「石炭産業」の栄枯盛衰を自分の目で見、肌で感じて育った。

石油の到来は我々の身の回りをプラスチック製品で置き換えた。「電力ケーブル」の絶縁材料もプラスチック化され、筆者の研究テーマの一つである「高分子絶縁材料の絶縁性能に関する研究」に従事することとなった。20世紀の後半には「地球環境問題」が世界の関心事となり、発電技術の面においても改革が進められてきた。戦後日本の復興を支えた発電技術の主軸は、水力から化石燃料を用いた火力発電に移行し、今や「地球環境」に配慮した発電技術の研究開発が望まれている。まさに「PV システムに関する研究」は地球環境に配慮した発電技術の一つとして位置づけることができる。

気が付けば資源「石炭」に始まり、電力ケーブルの絶縁材料である高分子の電気絶縁性能に関する研究に携わり、研究の終点は地球環境に配慮した分散型電源である「PV システムに関する研究」で締めくくることがとなった。本章では46年間に取り組んできた主な研究の内容について回想してみる。

2.1 電気絶縁材料の電気特性に関する研究

大学教員としての研究生活の原点は昭和39年の卒業研究テーマ「沿面放電に関する研究」¹⁾である。当時は気体・液体の放電現象に関する研究が中心であった。Fig. 1は導電性溶液面上を進展するグレートビュッセルの沿面放電とこのときの電圧波形²⁾である。いずれの写真も研究室の一角に設けられた、夏にはサウナのように蒸し暑い暗室で苦戦しながら焼き付けた作品である。



Fig.1 Surface discharge on an electro-conductive surface and a voltage wave

早速、「電気学会(学生員)」に入会した。手にした最初の学会誌の表紙は、出番を待つ「0系ひかり号」が新幹線操車場に勢ぞろいした写真であった。この年は東海道新幹線が開通し、東京オリンピックが開催された年でもあった。

電力ケーブルの絶縁材料として高分子材料が使われ始めた頃、その破壊形態が樹枝状(以降、tree と言う)であることから Treeing Breakdown などとして外国雑誌で紹介された³⁾。絶縁材料中にボイドや不純物等が存在すると、その箇所に電界の集中が生じてそこから tree が発生する。Fig. 2はアクリル樹脂(以降、PMMA と言う)中に設けた針状ボイドから発生した交流 tree (以降、AC tree と言う)の進展状況である⁴⁾。ボイド内圧力の低下は放電パルス電圧を低下させ、累積パルス数を増加させて tree の伸び長さを大きくした。この tree 劣化はボイド内で生じた間欠放電による電子衝撃作用などによるものとして考察した⁴⁾。Fig. 3はPMMA 中に挿入した針電極から発生した室温における AC tree の形状である⁵⁾⁶⁾。Fig. 2

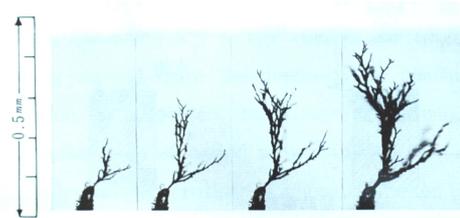


Fig.2 Extension progress of AC tree from a needle shaped void in PMMA

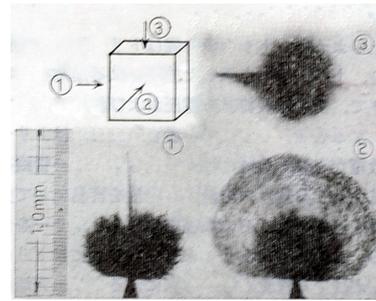


Fig.3 Tree extension with a flat type of crack occurred from the needle electrode in PMMA

の形状とは異なり、針電極先端からはクラックを伴う扇状 tree が発生した。室温での PMMA はガラス状態であり、扇状 tree のクラックは針先端電界のマックスウエル応力によって発生し、その後クラック内で生じた間欠放電によって樹枝状 tree が発生したものと考察した。Fig.4は電圧印加中に長時間露光して得られた樹枝状 tree と電力ケーブル(以降、CV ケーブルと言う)用絶縁材料のベースポリマーである低密度ポリエチレン(以降、LDPE と言う)中の針端から発生した球状のマリモ状 tree の間欠放電写真である⁵⁾。ガラス転移温度以上の80°Cにおける PMMA の tree 形状は LDPE と同様のマリモ状 tree となった。AC tree の進展と形状は、電圧の大きさと印加時間、tree 管内で発生した放電の電荷量、絶縁材料の構造とその物性などに大きく依存することが明らかとなった⁵⁾。

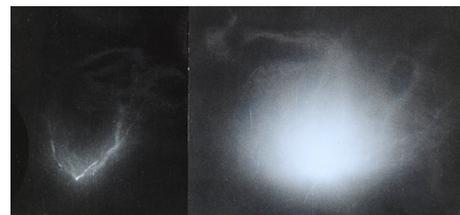


Fig.4 Gas discharge occurred in tree channels

電力を輸送する送配電線路は自然界に曝されている。送配電線への落雷は交流電圧にインパルス電圧が重畳した状況となり、CV ケーブルの絶縁破壊に対する脅威でもある。負極性インパルス電圧で発生した tree (以降、インパルス tree と言う)の伸び長さ⁶⁾は気体放電と同様に tree 先端は扇状に広がり、その伸び長さは正極性のそれよりも小さい極性効果のことが明らかとなった⁷⁾。

LDPE は結晶性高分子であり、tree 破壊は材料の結晶構造にも関連する。Fig. 5 は球晶半径をコントロールできるポリプロピレン (以降、PP と言う)の球晶構造と正極性インパル

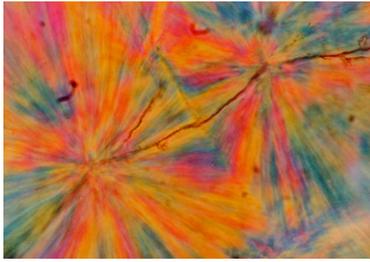


Fig.5 Relation between the impulse tree and the spherulite structure of PP

tree 進展との関係である。Tree は球晶界面と球晶中心部分でその進展方向を変え、球晶の中心に向かって進展する結晶構造依存性を示した⁸⁾。

以上の研究成果は、昭和 50 年代に我が国が世界に先駆けて実現に成功した「500kV CV ケーブル」の開発研究のための基礎データの一部になっていることを確信している。交流 tree、インパルス tree、分路貫通破壊⁹⁾などの一連の研究成果は、恩師 縄田 正人先生の「博士論文」としてまとめられている。

時を同じくして、我が国の本格的な直流送電が 1979 年に北海道・本州間連系線で開始した。油浸絶縁紙を絶縁体とした「250kV 直流海底 OF ケーブル」で運転が開始された。当然、「高分子絶縁材料直流ケーブル」の実現に向けた研究も活発に行われていた。筆者も直流電圧に対する tree (以降、DC tree とする) の発生・進展に関する研究をも平行して行っていた。Fig.6 は LDPE に挿入した針電極に電圧上昇速度の異なる直流電圧を印加した場合の DC tree 発生電圧とその極性効果である¹⁰⁾。この結果は針電極先端近傍に印加電圧と同極性のホモ空間電荷が形成され、針先端電界が緩和されたことを示唆している。電圧印加後、電極間を短絡して発生した「短絡 tree」の伸び長さは電圧上昇速度、電圧印加時間、電圧の極性、試料温度、針電極材料などに依存することが明らかとなった¹⁰⁾。Fig.7 は針電極材料の仕事関数に対する負極性短絡 tree の伸び特性であり、針電極から注入された電子によるホモ空間電荷の形成を示唆する有力な情報となった¹⁰⁾。

電力融通に不可欠な極性反転時に生ずる「極性反転 tree 現象」についても研究を行った¹¹⁾。極性反転 tree の伸び長さは直流前課電電圧の上昇速度、印加時間、電圧の極性と大きさ、極性反転に用いた電圧の極性と大きさなどによって複雑に

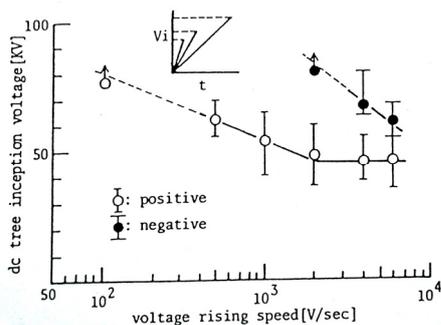


Fig.6 Tree inception voltage for the voltage rising speed

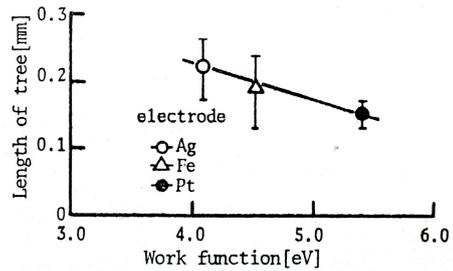


Fig.7 Effect of electrode work function on the length of Short-circuit tree

変化することが明らかとなった。この tree の伸び長さは直流電圧の前課電によって試料中に形成されたホモ空間電荷による「空間電荷電界」と極性反転時に印加した「外部電界」との重畳作用によるものとして考察した¹¹⁾。Fig.8 は、極性反転 tree の伸び長さの直流前課電後に極性反転電圧を印加するまでの時間、即ちレスト時間依存性である。直流前課電によって形成された空間電荷は時間とともに消滅していくことが明らかとなった¹²⁾。これらの結果から負極性の針電極先端近傍での空間電荷形成モデルを提案した^{13),14)}。

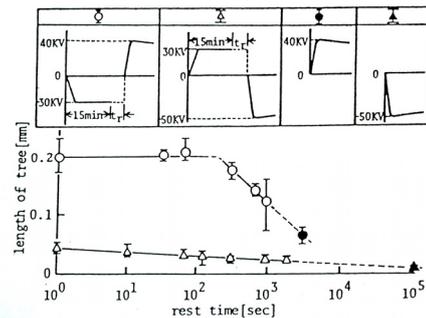


Fig.8 The length of polarity reversal tree for the rest time up to the reverse polarity

空間電荷の情報を得る手段として「熱刺激電流 (以降、TSC とする)」による解析法がある¹⁵⁾。DC tree に及ぼす空間電荷効果を定量的に検討するために不平等電界下での TSC の測定にチャレンジした。バックグラウンドノイズを取り除き、情報量との分離を行うための測定系構築に時間を要した。試行錯誤の末に外部とのシールドに成功し、pA 程度の微弱電流の測定に成功した¹⁶⁾。Fig.9 は CV ケーブルの絶縁材料である架橋 PE (以降、XLPE とする) とこの試料を熱処理して架橋剤分解残渣を取り除いた熱処理 XLPE の TSC である。約 45°C 付近の TSC ピークの大きさは熱処理によって約 1/2 に低下することが明らかとなった¹⁶⁾。TSC に及ぼす電極材料依存性¹⁷⁾をも考慮するとき、XLPE 中の架橋剤分解残渣は空間電荷の形成に関与するキャリアトラップと考えると、DC tree の発生・進展に及ぼす空間電荷の影響をよく説明している¹⁶⁾。XLPE 中に形成されるホモ空間電荷は極性反転の時などに予期せぬ絶縁破壊の原因となることが明らかとなった。結局、

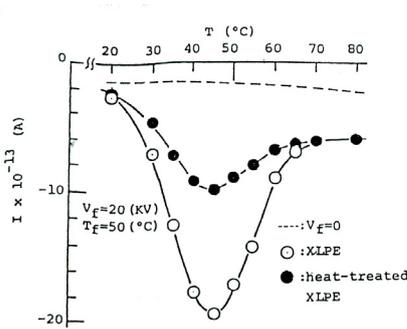


Fig.9 TSC spectrum for XLPE and heat-treated XLPE

「直流電力ケーブル」用絶縁材料への高分子絶縁材料の使用は、断念せざるを得ない結果となった。

今後を見据えて「高分子絶縁直流電力ケーブル」の開発を目指し、空間電荷の形成を抑制した絶縁性能に優れた高分子絶縁材料の開発研究にも一歩踏み込んだ。LDPE をベースポリマーとして共重合、ブレンド¹⁸⁾ 試料を作成し、耐DC tree 性と空間電荷効果に関する研究を開始した。Fig. 10 はその一例であり、LDPE にイオン性共重合体であるアイオノマをブレンドした試料に形成された空間電荷量のブレンド量依存性を示したものである¹⁸⁾。空間電荷量はTSC から求めたものであり、アイオノマブレンド量の増加と共に減少している。この結果は極性反転 tree の伸び長さをも抑制する結果となった¹⁸⁾。この成果は電力中央研究所、日本ユニカー (株) との共同研究によるものであり、「特許」として結実した¹⁹⁾。これらの結果は今後の「高分子直流電力ケーブル」開発を手がける際の一つの指針を与えている。

これらの研究成果は筆者の「博士論文」としてまとめることが出来た。

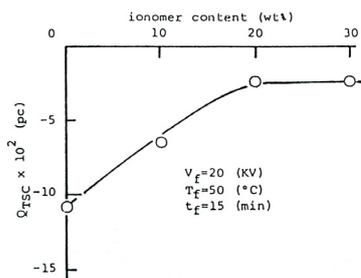


Fig.10 Dependence of the total trapped charge on ionomer content

2.2 DC tree 実験の失敗から学んだ教訓

DC tree は媒質である油中コロナ放電が発生した高電圧においても、発生には至らなかった。この電圧値はすでに AC tree 発生電圧をはるかに超えている。研究の行き詰まりにあせっていたとき、油中放電という DC tree の実験に失敗した試料の針先端部を顕微鏡で観察したところ、偶然にも tree の発生が確認され、興奮を覚えたことを今でも思い出される。この教訓は、直流電圧を印加した後、人為的に電極間を短絡して発生した「短絡 tree」の研究に生かされることとなった。実験

の失敗も見方を変えると新たな発想の転換に有益に作用するという教訓を得た。

2.3 Tree 破壊研究に関する我国と世界の取組

我国における高分子絶縁材料の tree 破壊に関する研究は、筆者が名城大学に奉職した年の春に開催された「昭和 40 年電気四学会連合大会」で東大の鳳 誠三郎研究室と旧武蔵工業大学の鳥山 四男研究室からの二件の発表から始まったと記憶している。筆者の tree に関する研究は遅れを取ることに 1 年、「昭和 41 年電気四学会連合大会」において「有機絶縁材料における treeing について」と題して発表したのが始まりである⁴⁾。また、この年には東京大手町にある電力中央研究所で年 2 回開催されていた「絶縁劣化研究懇談会」に出席する機会を得て、大いに鍛えられることとなったのを思い出す。このとき、後々ご指導を仰ぐこととなる恩師 家田 正之先生がアメリカ留学から帰国した時でもあった。

昭和 43 年には「電気学会第 1 回電気絶縁材料シンポジウム」が開催された。更に、電気絶縁材料に関する研究に従事する若手研究者を対象とした「電気学会若手セミナー」が昭和 46 年からスタートした。このセミナーは時代と共に名称を変え進化し、現在も若手研究者の研鑽の場として続けられている。当時このセミナーに参加し、昼夜を問わず議論した若手研究者たちとは、以後の研究発表の場である学会活動、国際会議等々で顔を合わせ、議論し、互いに切磋琢磨していくこととなった。

1972 年には「International Symposium on High Voltage Engineering (1st ISH)」⁷⁾ が西ドイツミュンヘンで開催され、以後 4 年に 1 回、欧州の国々での開催されることとなった。しかし、1989 年の「6th ISH」からは 2 年に 1 回の開催となり、欧州を離れて米国で開催(ニューオーリンズ)された。その後、欧州諸国とそれ以外の国々が交互に会議場となった。1993 年の「8th ISH」は、我国(横浜)がホスト国をつとめた。筆者は 1986 年「直流 tree に関する研究」で名古屋大学から「工学博士」の学位を取得し、翌 1987 年に西ドイツ・ブランシュヴァイクで開催された「5th ISH」²¹⁾ が国際会議への初デビューとなった。これを機会に国際会議へも積極的に参加することとなった。その後、1985 年には環太平洋諸国を中心として「1st International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (1st ICPADM) : Xian, China」¹⁷⁾ が開催された。

以上のように筆者の研究生活の前半は「高分子絶縁材料の電気絶縁性能に関する研究」が世界を駆け巡り始めた時代と共に歩み続けてきたことになる。

2.4 避雷器用 ZnO 素子の電気特性研究から

太陽光発電システムに関する研究まで

電力需要の増大は超高压送電の長距離化を余儀なくし、

「雷」などの自然の驚異に曝される機会を増やすことになる。しかも、最近の家電を含む電気機器はコンピュータ制御化が進み、一層の「電気の質」「電圧安定度」の向上が望まれる。研究生活の中盤は、雷保護装置である避雷器の素子として開発中であった ZnO セラミックスの非直線性電気的特性、粒間絶縁相を考慮した材料物性、劣化機構などの基礎研究²⁰⁾²²⁾に取り組んだ。これらの研究成果をも含めて、我が国の ZnO 素子避雷器は小型化に成功し、送電線鉄塔や配電用変圧器の傍などに設置が可能となった。ZnO 素子避雷器の実現は今や「停電」という言葉を忘れさせてくれる一要因となっている。

筆者の研究生活の最終章は「太陽光発電システムに関する研究」となった。電気電子工学科の研究室再編成に伴い「電気絶縁材料に関する研究」に終止符を打たざるを得ない状況となった。新「電気エネルギー研究室」は教授 1 名、講師 2 名、助手 1 名の計 4 名での船出となった。おりしも地球環境問題、特に地球温暖化問題が顕在化し、「太陽光発電」などの新エネルギーへの期待が高まりつつある時期であった。一方、我国の「太陽電池・太陽光発電システムに関する研究」は、1973 年の「一次オイルショック」と時を同じくして立案された「サンシャイン計画」に始まり、1993 年の「ニューサンシャイン計画」への改組を経て約 40 年の歴史を持っている。

「PV モジュール」の発電性能と影などの二次的要因による発電電力低下を診断する方法の構築に関する研究からスタートした。Fig. 11 は冬期の PV モジュールにおける発電電力の日射強度依存性である。日の出直後の時間帯における発電電力は定格値の「75%ライン」よりも低下しており、影の影響を受けていることが明らかとなった。この「75%ライン」は二次的要因による発電電力低下を診断する「簡易型診断法」として提案した²³⁾²⁴⁾。更に、I-V 特性の形状変化は、I-V 特性のシミュレーションによる検討をも加え、「発電性能低下」を診断する一方法として使用可能であることをも明らかにした²⁵⁾。

二次的な要因による PV モジュールの発電電力低下を診断することは重要である。そのために PV モジュールの発電特性に及ぼす(-dI/dV)-V 特性²⁶⁾、恒常的な一時的損失因子である太陽光の直達成分・散乱成分の入射角依存性、PV モジュールの直列抵抗、温度などの影響をシミュレーション、等価回路等を考慮して検討した²⁷⁾。

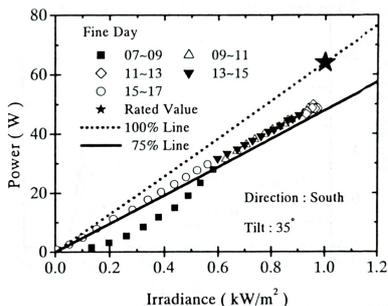


Fig. 11 Irradiance - generated power characteristic and 75% line

地球規模での環境問題・エネルギーセキュリティ問題が深刻化する中、PV システムの電力系統への連系が 1992 年からスタートしている。Fig. 12 は当大学二号館屋上に、研究用として設置した 3kW 一般家庭用を想定した PV システムである。PV システムの発電電力に及ぼす損失要因、発電性能低下診断法の実証研究を実施した。PV システムの損失要因には、新たに最大出力追従(以降、MPPT と言う)制御のミスマッチによる損失が付加されることとなった。この MPPT ミスマッチをアレイ電圧変動の標準偏差より評価する方法を提案した²⁸⁾。PV アレイの故障診断への I-V 特性、(-dI/dV)-V 特性の適用により、「断線・短絡」などの回路的原因による異常²⁹⁾、PV アレイの「部分的影」に起因する異常の判定、温度補正、直列抵抗を考慮に入れ、規準日射強度で規格化した発電電力の「80%閾値」を用いた「発電性能診断法」を構築し、PV アレイの周辺に存在する建造物の影による電力損失の存在を確認した³⁰⁾。



Fig. 12 PV array for studies installed in the roof of MEIJO University Building No. 2

本大学では平成 13 年に創立 75 周年を迎えたのを記念して「タワー75」「共通講義棟南館」が建設された。「共通講義棟南館」屋上には 40.3[kW]の PV システムが設置された。以上の PV モジュール、研究用 PV アレイの基礎研究の成果を実際に運用されている PV システムに適用し、その発電性能の評価を行った。Fig. 13 は秋期の快晴日における最大出力動作電圧・電流の時間的変化である³¹⁾³²⁾。この結果はFig. 14 のように PV アレイにかかる部分的な影の時間変化に対応していることが明らかとなった。Fig. 15 はこの PV システムの各月の発電電力量を示したものである³¹⁾。4 月から 8 月にかけての夏期の発電効率は 80 % 以上と高い値を示したが、冬期に向けて大きく低下し始め、12 月には PV システムの発電電力量

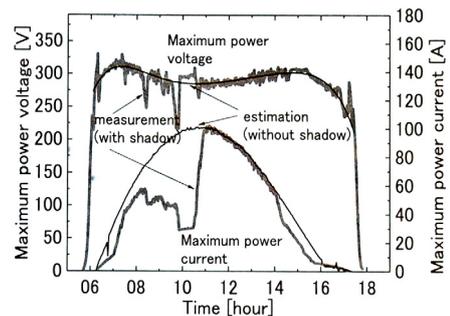


Fig. 13 Time dependence of maximum power voltage and maximum power current



Fig. 14 A shadow on a PV system installed in MEIJO University south building covered with "Tower 75"

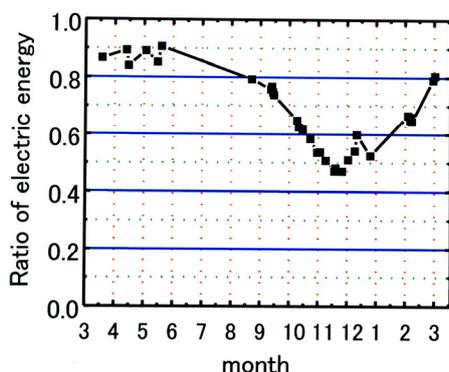


Fig. 15 Monthly generation electric energy of PV system installed in MEIJO University south building

の47%まで低下することが明らかとなった。この大きな効率低下の原因はPVシステムの南東に位置するタワー75の影であることが明らかとなった。これらの結果は、今後、PVシステムの設置方法の基準作り、影や回路損傷などの二次的要因による発電性能低下診断法を確立するなど、PVシステム的设计指針の必要を示唆している。更に将来の電気エネルギーの有効利用を視野に入れて、余剰電力を蓄電池に貯蔵することを考慮した「蓄電池付きPVシステムの構築³²⁾」に向けた研究も開始している。今後の研究成果に期待したい。

近年、産油国においても地球環境問題、エネルギーセキュリティ問題などを背景に、将来のエネルギー確保に向けた取り組みが始まっている。新興国、発展途上国も含めて再生可能エネルギーを利用した分散型電源は勿論、「原子力カルネッサンス」を合言葉に大容量集中型電源としての原子力発電システムの設置計画が目じり押しである。つい最近、「脱原発」をとんでいたドイツでも原子炉の稼働年数を延長したいとの意向を明らかにした。

3. 46年間の教育生活を振り返る

今思い返せば、大学教育に携わるようになったきっかけは、約10年間にわたる大学紛争が解決³³⁾し、新生「名城大学」をスタートさせるために若手技術者を必要としていた「偶然」と、筆者がその時期に卒業期を迎えたという「運」とが重なり合ったことによる。昭和40年3月に名城大学一部理工学部電気工学科の卒業と同時に名城大学技術員として奉職した。

奉職当初「私学は研究をするところではない。教育だけを

行なっておればよい」などの言葉を学内で漏れ聞いた覚えがある。しかし、大学での教育は「研究活動」に裏打ちされたものでなければならないと常に言い聞かせて実践してきた。時代の先端をリードする研究に携わるとき、オリジナルな未知の実験事実との遭遇は、広範な考えに基づいた検討に迫られ、生みの苦しみを味わい続ける結果となった。これらの経験は大学での教育に繁栄されないはずはなく、学生にとっての大学生生活の集大成とも言うべき「卒業研究」の教育現場に実践できたと自負している。毎年入れ替わり研究室にやってくる新卒研究生と一緒に、昼夜を問わず研究に没頭してきた。大学の教育者としての学生に対する真の教育現場であったような気がする。大学院が併設されていない時代には、夏休み前の数ヶ月は前年度の繰り返しであり、時間的ロスではあったが、卒研究生との密度の濃いコミュニケーションの時間でもあった。このロスは夏休み期間に精力的に行なった実験研究の成果として十二分に取り戻すことができたのが常であった。研究のみならず、コンパ、スポーツ、旅行なども、である。実験研究での苦勞、その後の充実感という果実を若い学生と分かち合えたことは、大学での教員冥利に尽きる。口先だけの研究指導ではなく、実践的苦勞と一緒に経験せずして味わうことの出来ない経験である。

今の学生は恵まれている。博士号を持った、優れた立派な教授陣の講義が聞け、研究指導を受けることが出来るからである。二昔前の名城大学とは言えば、大学紛争の後遺症を抱え、博士号を持った教員とは言えば、退職後の第二の人生として大学に席を置いた教授先生サマだけであった。中には自ら率先して研究指導に当たり、若者に対する範となって指導をしてくれた「本物の大学教師」もおられたが、今思い返せばレアケースであった。いずれにせよ「本物の教師」「反面教師」を見ながら、研究・教育に学生を巻き込み、共に名城大学という場の中で一所懸命に頑張ってきた。加えて、この紛争後の混乱時代に苦勞を共にしてきた多くの理工学部同輩の先生たちがいたことは、切磋商磨する原動力の一つとなっていたことも事実である。この苦勞を共に乗り越えてきた頑張りこそが現在の理工学部を東海地区私学のトップと言わしめる基盤を作ったといえる。

教育の現場は時代とともに大きく変化してきた。「暗記することが勉強である」と教え込まれ、「思考して学問をし、自力で問題を解決する」ことの「楽しさ?・苦しき!」を知らない大学生が増えている。「予習・復習時間 Zero」「問題を解こうとせず、すぐに答えをほしがる」大学生たちが増えている。巷では「偏差値」と言う数字のマジックに一喜一憂するありさまである。大学紛争当時、紛争解決直後の名城大学理工学の学生は、私も含めて、地方から落ちこぼれて名古屋にたどり着いた青年たちであった。しかし、卒業時には本当の意味での付加価値を身に付けて社会に羽ばたいて行った。現在では「就職に特化した大学」と言わしめる基盤を社会に植えた先輩卒業生たちである。大学ではその卒業生たちが社会

に残した「貯金」で受験生集めをいとも言える。本来、大学が持つべき「研究・教育の実績」で受験生を集めようとするのではなく、である。

日本の大学でも「教育」に力を入れ始めた。「JABEE」の導入である。電気電子工学科の JABEE への取組は、機械系・建設系の学科に後れを取った。しかし、学科のチームワークの良さによって遅れを取り戻し、名城大学始まって以来の大学教育に対する外部評価である「JABEE」の認定証を、機械システム工学科・交通科学科の両学科と同時に取得できた。Fig.18 はその認定書である。2 年後の中間審査、5 年目を迎えた 2009 年には継続審査を受審し、見事 6 年間の継続が許可された。これを機会に、今の学生に即した「大学教育」を模索してはどうだろうか。「知識の押し売り」をするのではなく「思考して学問をし、自力で問題を解決する」と言う学問スタイルを、である。人間は本来、生まれながらにして「なぜ(Why?)、どうして(How?)」と好奇心が旺盛な動物であるはずである。18 年間の短期間にそぎ落とされてしまった「人間本来の個性」を「大学の教育現場」で取り戻してやる必要があるのではなからうか。



Fig.16 A JABEE certificate of Electric and Electronic Engineering in MEIJO University

周辺の各大学の動向を察知するにつけ、これからがまさに「名城大学理工学部」の正念場である。他の大学にはない名城大学理工学部の「研究・教育のカラー」を模索し、若者に魅力のある学部・学科作りに期待したい。

4. おわりに

大学出立の若者が大学での研究・教育の場で「丁稚奉公」的に「見様見真似」でがむしゃらに進んでいるうちに 46 年が過ぎようとしている。

「放電工学、高電界工学、電気絶縁工学、電力機器工学、エネルギー変換光学、エネルギー発生・伝送工学」と旧「強電分野」の研究に従事し、これらの研究成果はそれぞれの工学分野の応用に多くの知見を与えてきたと自負している。

「大学での教育」とは「研究活動」に裏打ちされて確かなものになることを実践することで、実感することができた。しかし、「教えない教育」は模索することで終り、実践するには至らなかった。学生気質は時代と共に変化し、学力レベル

も大きく異なる。受身スタイルの最近の若者に対する「教授法」はいまだ暗中模索である。今まで通用してきた教育スタイルもままならない現実に直面し、「教えない教育」どころ、ではなかった。大病を患って 4 年目を迎え、精神的にも若さを失い、研究・教育に対するモチベーションが一気に低下するのを感じている昨今である。口先だけの指導になりがちな「反面教師」的存在となってしまったようである。研究・教育の現場から去る時が来た。

大学での 46 年間の研究・教育生活にピリオドを打とうとしている当の本人・河村英昭という「人間」といえば、刺だらけの駄菓子「金平糖」の一部の特定の「刺」のみが伸びすぎた歪な人間になってしまっていたことに気付いた。今後の短い人生ではあるが山川草木、天空などの自然に学び、忘れてしまっている人間らしさの「刺」を少しでも伸ばし、大きな「球形」の人間を目指したいと思っている。

46 年間の研究・教育生活を支えてくれた多くの方々に「ありがとう」の感謝の言葉でペンを置くことにする。

謝辞

恩師 名城大学名誉教授・故 石橋 新太郎 先生には、名城大学に研究と教育の場を得ることに対し尽力をいただいた。この場を借りて感謝申し上げ、ご冥福を祈り申し上げます。

恩師 名城大学名誉教授 縄田 正人 先生には、名城大学第一理工学部電気工学科 4 年生の卒業研究以来、研究のみならず大学教員の心得、大学での教育運営など多くの事柄についてご指導をいただいた。この場を借りて感謝申し上げます。

恩師 名古屋大学名誉教授・故 家田 正之 先生には、絶縁材料の電気絶縁性能に関する研究において、半導体工学を基礎とした電気物性を考慮した検討スタイルを指導いただきました。筆者の研究・教育の基盤であり、学生に対する研究・教育の指導基盤ともなっています。この場を借りて感謝申し上げます、ご冥福を祈り申し上げます。

旧電気工学科、現電気電子工学科の諸先輩の先生方、同僚の先生方には学生教育に対し有益なご助言、ご協力を頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。また、筆者の研究室を巣立って行った大学院生、卒業研究に携わった学生諸君には研究のみならずスポーツ、旅行と多くの楽しい時間も頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

名古屋大学「旧家田研究室」の諸先生方、巣立っていかれた大学院生の方々には「家田研談話会」において有益な議論とコメントを頂きました。また、恒例の「家田研夏ゼミ」では材料物性に関する Book 1 冊をコメント付きで読破し、更にスポーツに、旅行へと楽しさも数知れずいただいた。この場を借りて感謝申し上げます。

新「電気エネルギー研究室」の立ち上げではスタッフにも恵まれ、「PV システムに関する研究」の一大テーマを掲げて軌道に乗せることが出来た。大学を去るに当たり、山中 三四郎教授にバトンタッチ出来たことに安堵している。この場を

借りて感謝申し上げます、今後の活躍を期待いたします。

大学入学当時に思いをはせるとき、北海道の地から名古屋へ快く送り出してくれた亡き父母に感謝いたします。

最後に、4年前に「右腎臓癌」を全摘し、その後「左腎臓」も「慢性腎臓病」と診断され、精神的にも落ち込んだ小生を支えてくれている家族に感謝します。

参考文献

- 1) 縄田, 河村, 中山: 導電性液面上の衝撃閃絡特性, 昭和 39 年電気四学会東海支部連合大会, S-2-18, p. 40, 1964
- 2) 例えば, 縄田, 河村: 電解質溶液面における衝撃電圧閃絡特性, 名城大学理工学部研究報告, No. 7, pp
- 3) 例えば, J.H.Mason: The Deterioration and Breakdown of Dielectrics resulting from Internal Discharges, Proc. Inst. Elect. Engrs., 98, pp.44-59, 1951
- 4) 縄田, 河村: 有機絶縁材料における treeing について, 昭和 41 年電気四学会連合大会・放電物理, 106, 1966
- 5) 例えば, 縄田, 河村, 家田: 有機固体絶縁物中におけるトリーイング破壊の電圧および温度依存性, 電気学会雑誌, Vol. 91, No. 7, pp. 1358-1366, 1971 (「電気学会論文賞」受賞論文)
- 6) 例えば, 縄田, 河村: インパルスによるトリーイング, 電気学会第 1 回電気絶縁材料シンポジウム, pp. 50-51, 1968
- 7) M. Nawata, H. Kawamura, M. Ieda: Voltage and Temperature Dependence of Treeing Breakdown in Plastic Insulator, 1st ISH (Munich, West Germany), 1972
- 8) 例えば, 河村 他: ポリプロピレンの結晶構造とトリーイング破壊, 電気学会絶縁材料研究会, EIM-81-19, pp. 47-54, 1981
- 9) 例えば, 縄田, 河村, 家田: 固体絶縁物の表面を滑走する部分油中放電による分路貫通破壊, 電学論, Vol. 92-A, No. 8, pp. 390-395, 1972
- 10) 例えば, 河村 他: 直流電圧によるポリエチレンのトリーイング破壊現象, 電学論, Vol. 95-A, No. 10, pp. 423-430, 1975
- 11) 河村 他: ポリエチレンの空間電荷形成に関連した直流トリーイング破壊の極性効果, 電学論, Vol. 96-A, No. 10, pp. 495-501, 1976
- 12) 河村 他: 正樹生直流電圧によるポリエチレンのトリーイング破壊に及ぼす温度効果, 電学論, Vol. 96-A, No. 11, p. 558, 1976
- 13) 例えば, H.Kawamura, etc.: DC Electrical Treeing Phenomena and Space Charge, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.5, NO.5, pp.741-747, 1997
- 14) H.Kawamura, etc.: DC treeing Breakdown Phenomena of LDPE at Cryogenic Temperature, Eight International Conference Dielectric Materials, Measurements and Applications, (Edinburgh, UK), pp.98-101, 2000
- 15) 例えば, 天川 等: 酸化および未酸化ポリエチレンの熱刺激電流, 電学論, Vol. 93-A, No. 12, pp. 533-543, 1973
- 16) 例えば, 河村 他: 架橋ポリエチレンの直流トリーイング破壊と空間電荷形成に及ぼす架橋剤分解残査の影響, 電論, Vol. 103-A, No. 8, pp. 443-449, 1983
- 17) H.Kawamura, etc.: Thermally Stimulated Current of Polyethylene under Divergent Field, International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, (1st ICPADM: Xian, China) D5, pp.88-91, 1985
- 18) 例えば, H.Kawamura, etc.: Effect of Additives on DC Treeing Breakdown in PE under Divergent Field, IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol.25, NO.3, pp.527-534, 1990
- 19) 電力中央研究所, 名城大学, 日本ユニカー(株): 直流電気絶縁用樹脂組成物, 特願昭 53-067750, 1986
- 20) 河村, 李 杏霖, 他: 酸化亜鉛素子の電気伝導と誘電特性, 電気学会絶縁材料研究会, EIM-86-103, pp. 97-104, 1986
- 21) H.Kawamura, etc.: Studies on Degradation Mechanism of Zinc Oxide Ceramics Varistor by TSC, 5th International Symposium on High Voltage Enging. (5th ISH), 82.06, pp.1-4, 1987
- 22) 例えば, 河村, 山田, 他: ZnO セラミックスの直流前駆電による電気的特性の変化とこれに及ぼす試料の熱処理効果, 電学論, Vol. 111-A, No. 10, pp. 932-938, 1991
- 23) 河村, 山中, 浅野, 小島, 河村 他: 太陽電池の曇りによる発電能力低下診断に関する研究, 電学論, Vol. 120-B, No. 10, pp. 1323-1329, 2000
- 24) 例えば, N.Yonekura, H.Kawamura, S.Yamanaka, H.Kawamura, etc.: A Diagnostic Method of Generating Power by utilizing the rated Value of a Photovoltaic Module, 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-12), pp.697-698, 2001
- 25) 例えば, 河村, 米倉, 山中, 河村 他: 太陽電池モジュールの I-V 特性に及ぼす影の影響, 日本太陽エネルギー学会・太陽エネルギー, Vol. 27, No. 6, pp. 41-49, 2001
- 26) R. Suzuki, H. Kawamura, S. Yamanaka, H. Kawamura, etc.: Loss Factors affecting Power Generation Efficiency of a PV Module, 29th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), pp.1557-1560, 2002
- 27) 岡田, 山中, 河村 他: PV モジュールにおける損失要因を考慮した発電電力診断法 — 発電電力に恒常的に含まれる損失要因の分析と評価 —, 電気設備学会誌, Vol. 25, No. 8, pp. 658-666, 2005
- 28) Y. Abiru, H. S. Yamanaka, H. Kawamura, etc.: The Evaluation Method of the MPPT Mismatch utilizing the Array Voltage, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp.2289-2292, 2004
- 29) M. Miwa, S. Yamanaka, H. Kawamura, etc.: Diagnosis of a Power Output lowering of PV Array with (-dI/dV) -V Characteristic, The 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-4), pp.2442-2445, 2006
- 30) 奥野, 山中, 河村 他: 基準状態に規格化した発電電力を閾値に用いた PV アレイの発電性能診断法, 日本太陽エネルギー学会・太陽エネルギー, Vol. 35, No. 2, pp. 45-52, 2009
- 31) S. Suzuki, S. Yamanaka, H. Kawamura, etc.: Evaluation of the Output Performance of a Large-scale PV System, 15th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-15), pp.1260-1261, 2005
- 32) 篠田, 山中, 河村 他: 影のかかる太陽光発電システムの発電電力向上に関する研究, 日本太陽エネルギー学会・太陽エネルギー, Vol. 35, No. 4, pp. 41-48, 2009
- 33) 学校法人 名城大学 名城大学史編纂委員会: 名城大学小史, 1976 (原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

生体用 β 型チタン合金の熱処理プロセスと疲労強度の関係

赤堀俊和¹⁾ 新家光雄²⁾ 小川道治³⁾

Relationship between Heat Treatment Process and Fatigue Strength of Biomedical β -Type Titanium Alloy

Toshikazu AKAHORI¹⁾ Mitsuo NIINOMI²⁾ and Michiharu OGAWA³⁾

Abstract

Relationships between fatigue properties and microstructures of hot-forged Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr alloy (TNTZ) in under aged, peak aged, and over aged conditions at aging temperatures of 673 K and 723 K are investigated. The changes in the fatigue properties of TNTZ subjected to thermomechanical treatments, which includes an aging treatment at 673 K or 723 K for 259.2 ks after a severe deformation process by cold rolling, are also investigated.

At an aging temperature of 673 K, ω phase precipitates at the early stage of aging, but α phase precipitates at relatively longer aging time. The precipitation site of α phase changes from intra-grain to grain boundary at around peak aging time when TNTZ is aged at 673 K and 723 K. The elastic modulus of TNTZ increases simply with increasing aging time at both 673 K and 723 K. The fatigue strength of TNTZ increases considerably when α phase precipitates compared with when $\omega + \alpha$ phases co-exist. The fatigue strength of TNTZ decreases slightly due to the coarsening of α phase precipitated in β grain and its grain boundary. TNTZ aged at 723 K for 259.2 ks after cold rolling exhibits the highest fatigue strength in both the low- and high-cycle fatigue life regions. Furthermore, the fatigue limit of about 770 MPa (fatigue ratio: 0.71) is nearly equal to that of hot-forged Ti-6Al-4V ELI alloy subjected to aging after solution treatment with equiaxed α structure.

1. 緒 言

既存の生体用金属材料である SUS316L ステンレス鋼, コバルト・クロム合金および Ti-6Al-4V ELI 合金の弾性率は, それぞれ皮質骨のその約 10 倍, 8 倍および 6 倍とかなり大きい.¹⁾ そのため, 人工骨等の硬組織代替材料として生体内にて長期間使用する場合, 上記材料周囲の骨組織が, 生理的荷重の遮蔽 (ストレスシールド) を受ける. その結果, 破骨細胞による骨組織の吸収が起こり, 骨の強度が低下することが報告されている.²⁾ 著者らは, 動物由来の細胞を用いた毒性試験の結果および他の研究者より生体に対して毒性が報告されていない遷移元素である Ti, Nb, Ta および Zr から構成される低弾性率 β 型 Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 合金 (以下 TNTZ 合金と略記) を研究・開発した.^{3,4)} TNTZ 合金の細胞毒性は, 整形外科用の生体用金属材料として広く使用されている工業用純チタンおよび Ti-6Al-4V ELI 合金と比較して, 前者に対しては同等もしくはやや優れ, 後者に対してはより良好と報告されている.²⁾ また, 骨との親和性に関しても, Ti-6Al-4V ELI 合金と比較して, 優れて

いることが示されている.²⁾ また, TNTZ 合金では, 冷間加工と種々の溶体化時効処理とを組み合わせた熱処理プロセスを施し, ミクロ組織を制御することで, Ti-6Al-4V ELI 合金と同等の機械的性質が得られることも報告されている.⁵⁾ しかし, 本合金の時効処理によるミクロ組織変化と力学的特性, 特に疲労特性との関係を系統的に調査・検討した例はない. そこで, 本研究では, TNTZ 合金熱間鍛造丸棒材に種々の時効処理を施し, 疲労強度に及ぼすミクロ組織の影響を調査・検討することを目的とする. また, 同試料に冷間加工を含む熱処理プロセスを施した場合での疲労強度も併せて調査し, 熱処理プロセスによる同強度の変化についても報告する.

2. 実験方法

2.1 供試材および熱処理プロセス

供試材には, TNTZ 合金の熱間鍛造丸棒材 (ϕ 20 mm) を用いた. 供試材より, 機械加工により時効硬化挙動評価試験片用として直径 20 mm, 厚さ 5.0 mm の試料および疲労試験片用として直径 20 mm, 長さ

1)材料機能工学科 2)東北大学金属材料研究所 3)大同特殊鋼(株)

1)Department of Materials Science and Engineering 2)IMR, Tohoku University 3)Daido Steel Co. Ltd.

90mm の丸棒を切り出した。上記試料および丸棒に対して、真空雰囲気中にてβトランザス（約 1013 K）よりも 50 K 高い 1063 K で 3.6 ks 保持後水冷の溶体化処理（ST）を施した（以下、TNTZ_{ST} 材と略記）。さらに、TNTZ_{ST} 材に対し、真空雰囲気中にて 673 K および 723 K にて 10 ks から 5443.2 ks (723 K では 3628.8 ks) の時間内で段階的に加熱保持後水冷の時効処理をそれぞれ施した。この場合、種々の時効温度における亜時効、完全時効および過時効状態での疲労特性の変化を調査するため、後述する時効硬化曲線を作成し、それぞれの時効状態とするための時効処理時間を決定した。

本熱間鍛造丸棒材を厚さ 2.5 mm まで冷間圧延（CR）後（圧下率：87.5 %）、同板材に対して ST を施した（以下、As-CRST と略記）。また、ST 後、真空雰囲気中にて 673 K および 723 K にて 259.2 ks 保持後水冷の条件にて時効処理を施した。本論文では、まず各時効温度において亜時効状態と考えられる条件を選択し、上述した TNTZ 合金の熱間鍛造丸棒材と比較することとした。以下、本熱処理プロセス条件における ST 状態（As-CRST）および上述の各温度で時効処理を施した試料を As-CRST 材、CRST_{673K} 材および CRST_{723K} 材とそれぞれ略記する。

CR および ST の条件を上記と同様にし、本熱間鍛造丸棒材を ST 後、CR を施した熱処理プロセス（以下、STCR と略記）も同時に作製した。また、CR 後、上述した CRST と同様に真空雰囲気中にて 673 K および 723 K にて 259.2 ks 保持後水冷の時効処理をそれぞれ施した。この時効時間は、CRST と同様に各時効温度において亜時効状態と考えられる。以下、CR 状態および CR 後上述の各温度で時効処理を施した試料を As-STCR 材、STCR_{673K} 材および STCR_{723K} 材とそれぞれ略記する。

ここで、As-CRST および As-STCR ならびに同材料に各時効処理を施した場合については、TNTZ_{ST} 材および同材料に種々の熱処理を施した場合における力学的特性の変化を比較・検討するため、後述の引張および疲労試験を主に調査することとした。

2.2 ミクロ組織の評価

TNTZ_{ST} 材の時効硬化挙動を調査するため、673 K および 723 K の各温度で種々の時効処理を施した上述の時効硬化挙動評価試験片につき、ビッカース硬さ（HV）を測定した。HV は、押し込み荷重 98 N および押し込み荷重保持時間 15 s の条件にて行った。

ミクロ組織の評価は、X 線回折によるミクロ組織構成相の同定および透過型電子顕微鏡（TEM）観察にて行った。

2.3 力学的特性の評価

TNTZ_{ST} 材および 673 K および 723 K の各温度で種々

の時間時効処理を施した同試料から、機械加工により弾性率測定用棒状試験片（幅：2.0 mm、厚さ：1.0 mm、長さ：40 mm）および引張・疲労試験用平滑試験片（幅：5.0 mm、厚さ：3.0 mm、標点間距離：20 mm）を作製した。また、As-CRST 材、As-STCT 材、CRST_{673K} 材、CRST_{723K} 材、STCR_{673K} 材および STCR_{723K} 材から機械加工により引張・疲労試験用平滑試験片（幅：3.0 mm、厚さ：1.5 mm、標点間距離：10 mm）を作製した。全ての試験片表面に、#1500 までのエメリー紙による湿式研磨を行い、疲労試験片に対してのみ、さらに二酸化シリコン懸濁液によるバフ研磨を施し鏡面に仕上げた。弾性率測定は、自由共振式弾性率測定装置を用いて室温の大気中にて行った。引張試験は、容量 20 kN のインストロン型引張試験機を用いて、クロスヘッド速度 8.33×10^{-6} m/s にて、室温（295 K）の大気中にて行った。また、荷重は試験機のロードセルより測定し、歪の検出は試験片標点間に貼り付けた歪ゲージにて行った。

疲労試験は、容量 25 kN の電気・油圧式疲労試験機にて、周波数 10 Hz の正弦波および応力比 0.1 の引張-引張条件で室温（295 K）の大気中にて行った。

3. 結果および考察

3.1 TNTZ_{ST} 材の時効硬化特性

Fig. 1 に 673 K および 723 K にて時効処理を施した TNTZ_{ST} 材の時効硬化曲線を示す。また、同図に TNTZ_{ST} 材の HV も破線で表記する。両時効温度においていずれの時効時間でも、HV は 673 K にて全体的に高い値を示している。673 K および 723 K の各時効温度で最も大きい HV を示す時効時間は、それぞれ 3024.0 ks

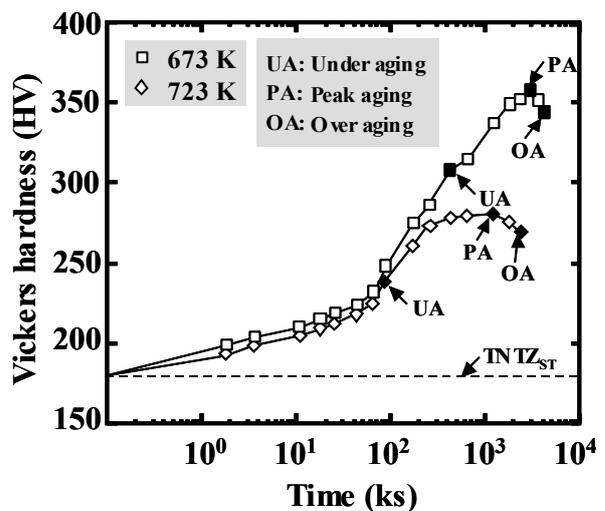


Fig 1 Relationship between Vickers hardness and aging time of TNTZ_{ST} conducted with aging at 673 K and 723 K.

および 1209.6 ks 付近である。また、各 HV は、それぞれ 359 および 281 である。

本研究にて疲労特性を評価する時効処理条件を各時効温度のHVの変化から、亜時効条件、最高時効条件および過時効条件（それぞれUA, PA およびOA と略記）の3条件をそれぞれ選択した。PAには、各時効温度にて最高の硬さを示した時効時間を選択した。すなわち、673 K および 723 K での時効処理では、それぞれ 3024.0 ks および 1209.6 ks とした。OAには、上述した各時効温度におけるPAより、それぞれ時効時間を 2419.2ks 延長した時間を選択した。また、それ

らのHVは、673 K および 723 K でそれぞれ 345 および 271 である。723 K での時効処理の時効硬化曲線にて、PAよりHVが短時間側にて急激に減少している時効時間 86.4 ks の条件を基準となるUAに選択した。673 K での時効処理におけるUAは、PAから短時間側にて、HVが723 K での時効処理におけるPAに対するUAのHVの低下割合（約15%）と同様となる時効時間を選択した。その結果、673 K では、UAとなる時効時間として、432.0 ks を選択した。また、各時効温度にてUAの時効処理を施したTNTZ合金のHVは、673 K および 723 K で、それぞれ 309 および 239 である。

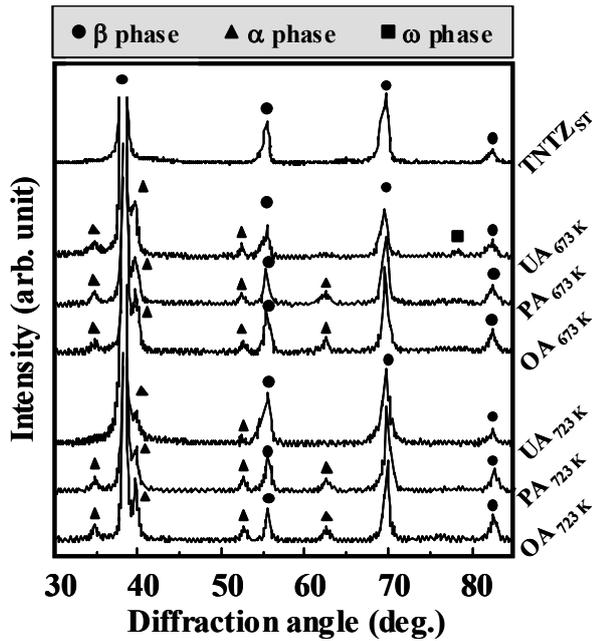


Fig.2 XRD profiles of TNTZ_{ST} and TNTZ_{ST} subjected to various aging treatments.

3.2 TNTZ_{ST} 材および種々の熱処理を施した同材のミクロ組織

Fig. 2 に TNTZ_{ST} 材、673 K および 723 K にて種々の時効処理を施した同材の X 線回折結果を示す。X 線回折による結晶構造の同定では、TNTZ_{ST} 材にて β 相の回折ピークのみが認められる。この場合、β 相の平均粒直径は 25 μm であった。TNTZ_{ST} 材を 673 K にて時効した場合の UA 状態（以下 UA_{673K} と略記）における X 線回折結果では、β 相の回折ピークに加えて ω 相および α 相の回折ピークが認められる。しかし、TNTZ_{ST} 材を 673 K にて時効した場合の PA および OA 状態（以下、それぞれ PA_{673K} および OA_{673K} と略記）における X 線回折結果では、β 相および α 相の回折ピークが認められるが、ω 相のピークは認められない。TNTZ_{ST} 材を 723 K にて時効した場合の UA, PA および OA 状態（以下、それぞれ UA_{723K}, PA_{723K} および OA_{723K} と略記）における X 線回折結果では、β 相および α 相の

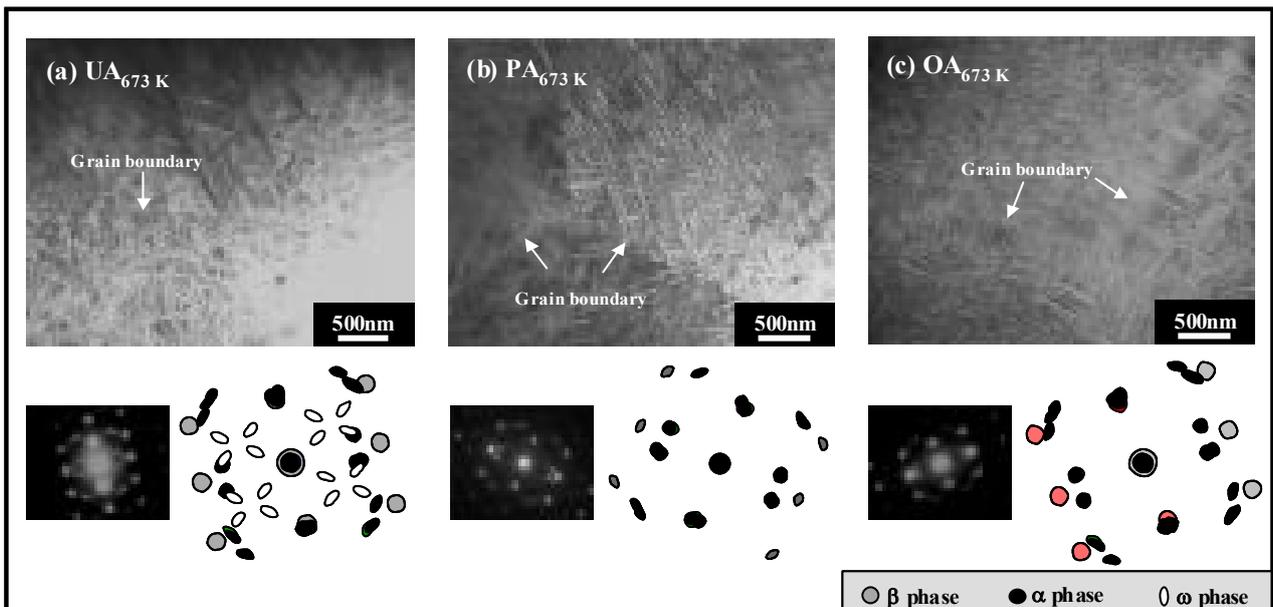


Fig. 3 Results of TEM observations of TNTZ_{ST} subjected to aging at 673 K in (a) under age (UA_{673K}), (b) peak age (PA_{673K}) and (c) over age (OA_{673K}) conditions. Beam direction is parallel to [110].

回折ピークが認められる。したがって、723 K 時効では、α相のみが析出すると考えられる。

TNTZ 合金では、時効処理により析出する析出相がその時効温度により変化することがわかる。すなわち、723 K での比較的高温での時効処理では、ω相析出温度範囲より上に位置するためβ相中にα相のみが析出する。また、同温度より50 K低い673 Kでは、その保持時間初期にてω相が析出し、さらなる時効時間の経過によりω相等を析出サイトとしてα相が析出する。

Fig. 3にUA_{673 K}、PA_{673 K}およびOA_{673 K}のTEM観察による明視野像(BF)、制限視野回折像(SAD)およびキーダイヤグラム(KD)をそれぞれ示す。いずれのBFでも、ラス状の析出相が確認できる。また、その析出相は、時効時間の増加とともに緻密になり粗大化している。UA_{673 K}、PA_{673 K}およびOA_{673 K}でのそれぞれのラス状析出物の平均短軸幅は、12.4 nm、19.4 nmおよび21.1 nmであった。また、PA_{673 K}およびOA_{673 K}では母相の粒界近傍にもラス状析出相が確認できる。その析出相は、PA_{673 K}では母相の粒界に沿って析出し、OA_{673 K}では析出相の長軸が粒界に対し垂直方向に連続析出している。それらのSADを解析した結果、β相およびα相の回折パターンと一致した。そのため、このPA_{673 K}およびOA_{673 K}のマイクロ組織にて、母相であるβ相の粒内および粒界に析出する析出相はα相であることがわかる。また、UA_{673 K}のSADを解析したところ、β相、ω相およびα相の回折パターンと一致し、これらの結果は、X線回折結果と一致した。

Fig. 4にUA_{723 K}、PA_{723 K}およびOA_{723 K}のTEM観察によるBF、SADおよびKDをそれぞれ代表的に示す。いずれのBFでも前述したFig. 3と同様にラス状析出

相が認められる。また、これらの析出相は、673 Kでの時効処理にて析出するそれと比較して、平均短軸ラス幅が大きく、UA_{723 K}、PA_{723 K}およびOA_{723 K}で、それぞれ、29.5 nm、40.4 nmおよび47.8 nmであった。723 Kでの時効処理では、673 Kでの時効処理と比較して、時効温度が50K高いため、α相の成長が促進され、その短軸ラス幅が大きくなったと考えられる。また、OA_{723 K}では、その母相の粒界に析出相が確認できる。それぞれのSADを解析した結果、β相およびα相の回折パターンと一致し、X線回折結果と一致した。TEM観察により、673 Kおよび723 Kでの時効処理では、PA付近の時効時間にて、主に粒内に析出していたα相が粒界からも析出していることが確認できる。673 Kおよび723 Kでの時効処理では、PA付近の時効時間までβ粒内のα相の析出量が増大し、かつ成長する。そのため、α相の析出に起因する析出強化により硬さが増加すると考えられる。しかし、PAからOAにかけての時効時間では、α相の析出サイトが粒界へ移るため、粒内でのα相の析出量はほとんど増加せず、かつ粗大化するためその析出強化への寄与は低下すると考えられる。

3.3 TNTZ_{ST}材および種々の熱処理を施した同材の弾性率

Fig. 5にTNTZ_{ST}材、UA_{673 K}、PA_{673 K}、OA_{673 K} UA_{723 K}、PA_{723 K}およびOA_{723 K}の弾性率を示す。β単相組織を有するTNTZ_{ST}材の弾性率は約67 GPaである。また、種々の時効処理を施したTNTZ_{ST}材の弾性率はいずれも、TNTZ_{ST}材のそれと比較して高い。マイクロ組織中にω相およびα相が析出する673 Kでの時効処理では、時効時間の増加に伴う弾性率の増加率は低く、完全時効

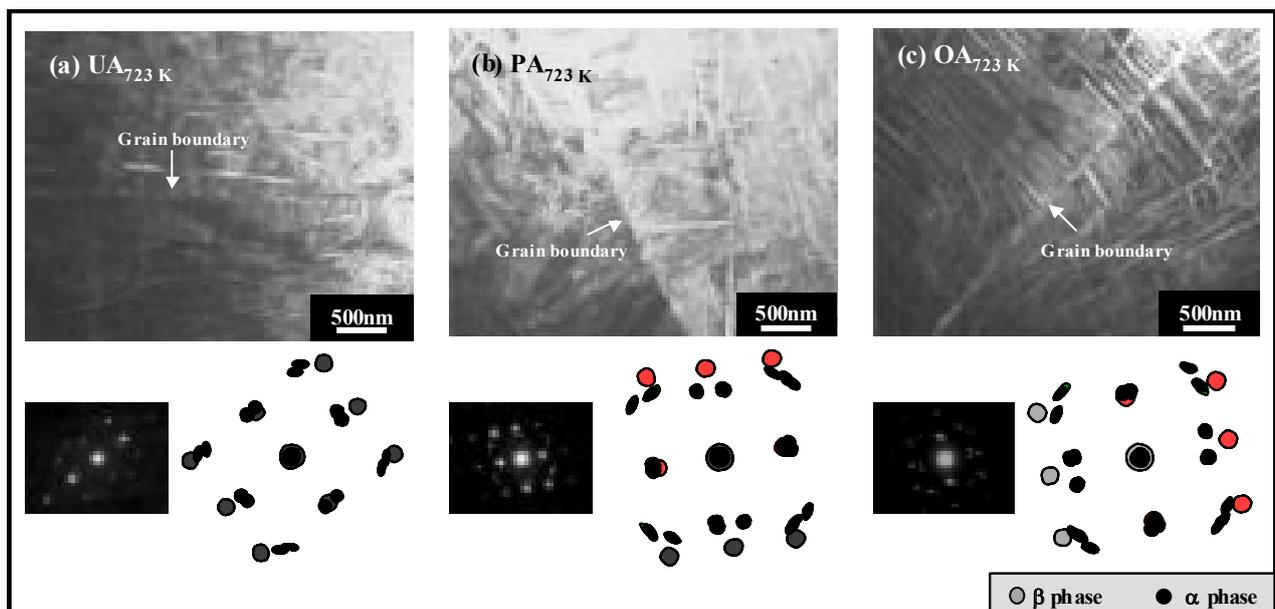


Fig 4 Results of TEM observations of TNTZ_{ST} subjected to aging at 723 K in (a) under age (UA_{723 K}), (b) peak age (PA_{723 K}) and (c) over age (OA_{723 K}) conditions. Beam direction is parallel to [110].

以降の値はほぼ一定となる。これは過時効のけるβ相中のα相の体積率が完全時効のそれとほぼ同等であるためと考えられる。UA_{673 K}、PA_{673 K}およびOA_{673 K}における弾性率はそれぞれ、約93 GPa、約98 GPaおよび約99 GPaである。UA_{723 K}の弾性率は、他の時効材と比べて最も低い。PA_{723 K}およびOA_{723 K}では、その弾性率がPA_{673 K}およびOA_{673 K}とほぼ同様である。UA_{723 K}、PA_{723 K}およびOA_{723 K}における弾性率は、それぞれ約85 GPa、約96 GPaおよび約98 GPaである。いずれの時効温度においても、弾性率は時効時間とともに

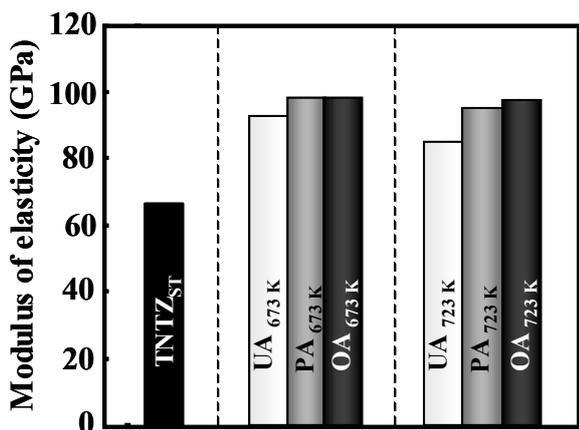


Fig. 5 Modulus of elasticity TNTZ_{ST} and TNTZ_{ST} subjected to various aging treatments.

に増加する。これは、析出相の体積率の増加に起因すると考えられる。また、既存の生体用チタン合金であるTi-15Mo-5Zr-3Al合金焼鈍材(α相とβ相の混合組織)およびTi-6Al-4V ELI合金溶体化時効材(等軸α組織)の弾性率はそれぞれ約88GPaおよび108GPaであることから^{5,6)}、熱処理プロセス、特にα相のみ析出する723Kの時効処理条件によっては、本合金の弾性率を十分低く保ちつつ、比較的良好な力学的特性を示す可能性が示唆される。

3.4 TNTZ_{ST}材および種々の時効処理を施した同材の疲労特性

Fig. 6にTNTZ_{ST}材, UA_{673 K}, PA_{673 K}, OA_{673 K}, UA_{723 K}, PA_{723 K}およびOA_{723 K}のS-N曲線ならびに疲労限, 疲労比(疲労限/引張強さ)および伸びの値を示す。673 Kでの時効における疲労強度は、いずれの時効時間でも低および高寿命領域ともに、TNTZ_{ST}材のそれらと比較して最大で200 MPa向上している。なお、TNTZ_{ST}材, UA_{673 K}, PA_{673 K}およびOA_{673 K}の疲労限は、それぞれ320 MPa, 680 MPa, 685 MPaおよび640 MPaであり、過時効条件においても疲労限の著しい低下は見られない。TEM観察より、粒界へのα相の析出が確認できたPA_{673 K}での疲労比を求めたところ0.57で、UA_{673 K}のそれ(0.59)と比較して低くなっている。さらに、α相の粒界への析出がPA_{673 K}と比較して顕著に見ら

れたOA_{673 K}の疲労比を求めたところ0.54で、これらの時効条件の中で最も低くなる。したがって、過時効条件にてα相の粒界への析出が顕著であったことから、同部位にてき裂が発生し、疲労強度をやや低下させた可能性が示唆される。

UA_{723 K}, PA_{723 K}およびOA_{723 K}の疲労限は、それぞれ590 MPa, 680 MPaおよび637 MPaあり、673 Kでの時効処理の場合とほぼ同様の変化を示すが、各時効条件ともに673 Kでの時効の場合に比べ疲労限が若干低下し、亜時効から過時効までの疲労限の変化も大きい。また、OA_{723 K}のようにα相が粒界に析出することで673 K時効材とほぼ同様に、疲労比が若干低下する。なお、いずれの時効処理温度でも最高時効の場合にて最も疲労限が大きくなっていることがわかる。この理由については次節にて説明することとする。

Sample	Fatigue Limit	Fatigue Ratio	Elongation
◇ TNTZ _{ST}	320 MPa	0.58	24%
○ UA _{673 K}	680 MPa	0.59	4.0%
○ PA _{673 K}	685 MPa	0.57	2.9%
● OA _{673 K}	640 MPa	0.54	0.9%
□ UA _{723 K}	590 MPa	0.60	12%
▨ PA _{723 K}	680 MPa	0.64	11%
■ OA _{723 K}	637 MPa	0.63	7.9%

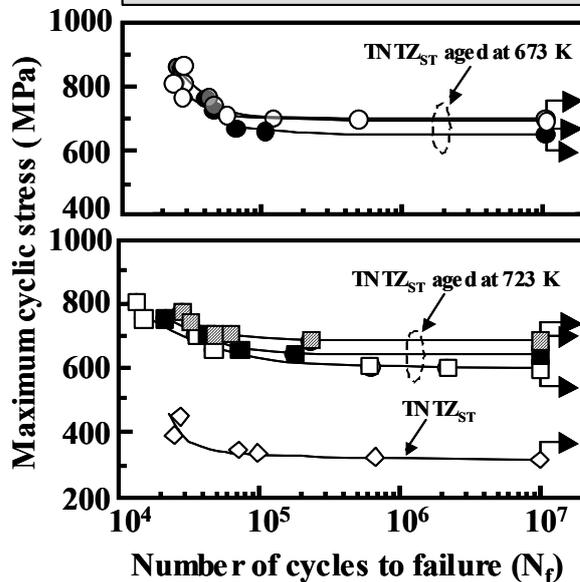


Fig.6 S-N curves, and data of fatigue limits, fatigue ratios and elongation of TNTZ_{ST} and TNTZ_{ST} subjected to various aging treatments.

3.5 熱処理プロセスによる疲労特性の改善

Fig. 7にAs-CRST材(平均粒直径20μmのβ単相を呈する), As-STCR材(不定形状のβ単相を呈する), 673 Kおよび723 Kにて259.2 ks保持の時効処理を施したCRST材およびSTCR材のS-N曲線ならびにそれらの疲労限, 疲労比の値および伸びを示す。またFig. 6で示した673 Kおよび723 Kにて時効処理を施した

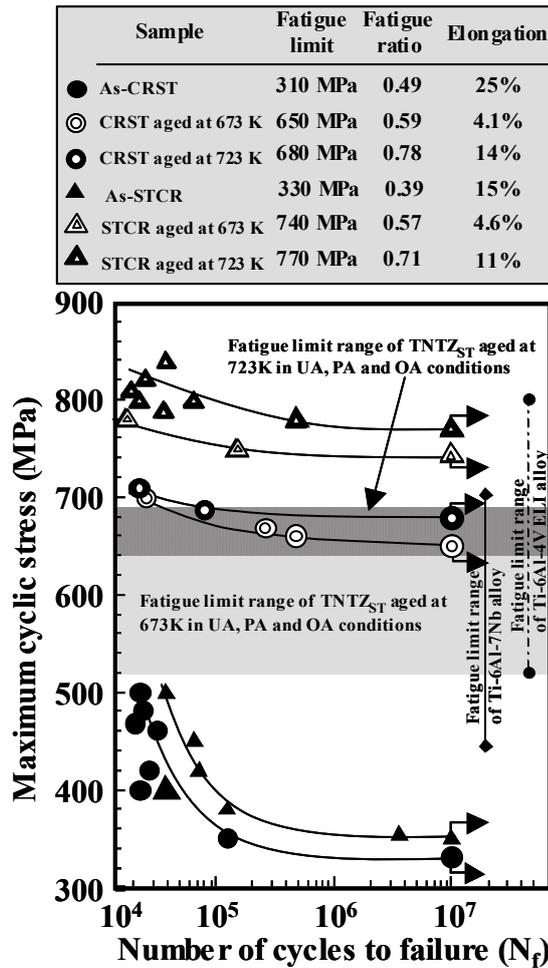


Fig 7 S-N curves, and data of fatigue limits, fatigue ratios and elongation of As-CRST, As-STCR, CRST and STCR aged at 673 K and 723 K along with fatigue limit ranges of TNTZ_{ST} aged at 673K and 723 K in UA, PA and OA conditions, and Ti-6Al-4V ELI and Ti-6Al-7Nb alloys.

TNTZ_{ST} 材, 溶体化時効処理を施した既存の生体用α+β型チタン合金である Ti-6Al-4V ELI 合金および Ti-6Al-7Nb 合金熱間鍛造材 (上限: 等軸α組織を呈する), および精密鑄造法にて作製された Ti-6Al-4V 合金および Ti-6Al-7Nb 合金 (下限: 針状α組織を呈する) の疲労限範囲^{7,8)}も併せて同図に示す. 673 K および 723 K にて時効処理を施した STCR 材の疲労強度は, 低および高寿命領域において 673 K および 723 K で時効処理した CRST 材のそれらよりも 90~110 MPa 以上の上昇が認められる. また, 673 K および 723 K で時効処理した STCR 材の疲労限は, それぞれ約 740 MPa および約 770 MPa を示しており, 等軸α組織および針状α組織を有する Ti-6Al-7Nb 合金および針状α組織を有する Ti-6Al-4V ELI 合金のそれより十分高い値となっている. また, 同図から種々の時効処理を施した TNTZ_{ST} 材においても, 時効条件により Ti-6Al-7Nb 合金の上限に位置することがわかる. 強加工を含む熱処理プロセスにより, 亜時効条件においても疲労限を最大 100 MPa 程度改善させることができる. これは Fig.

8 に示したように, 強加工により転位密度が上昇し, UA_{723 K} と比較して多数のバリエーションを有する析出相 (主にα相) がさらに緻密に分布することおよび 10% 以上の高延性を示したことにより, 疲労き裂発生および伝播抵抗を向上させたためと考えられる. この場合, 723 K で時効処理した STCR 材の安定き裂領域におけるストライエーション幅は, UA_{723 K} のそれと比較して, 1/10 倍程度であった.

以上の結果から, 亜時効条件下においてもβ相中に微細で緻密な析出相 (主にα相) をβ相内に析出させることにより, 引張・延性バランスおよび疲労比において比較的良好な特性を獲得することが可能である.

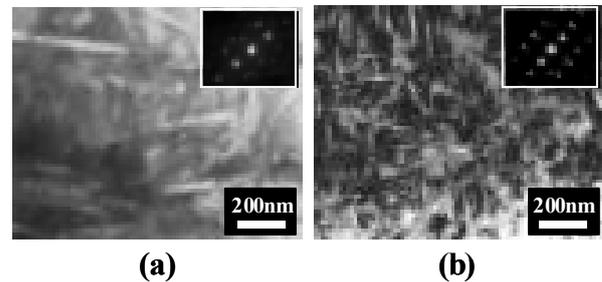


Fig 8 Results of TEM observations of (a) UA_{723 K} and (b) STCR aged at 723 K for 259.2 ks. Beam direction is parallel to [110].

4. 結言

TNTZ 合金熱間鍛造材に種々の時効処理を施した場合における疲労強度に及ぼすマイクロ組織の影響および同試料に冷間加工を含む熱処理プロセスを施した場合における疲労強度を調査・検討した結果, 以下の結言を得た.

- (1) 673 K の時効処理の場合, 保持時間初期にてω相が析出するが, その時効時間の経過によりα相へと相変態する. また, 723 K での比較的高温にて時効処理した場合, β相中にα相が析出する. 両時効温度にて時効処理した場合, 最高時効付近の時効時間にて, α相の析出サイトが主に粒内から粒界へ遷移する.
- (2) 673 K および 723 K にて時効処理を施した場合の弾性率は, いずれの時効温度においても時効時間とともに増加する. これは, 析出相の体積率の増加に起因すると考えられる. また, α相単体よりもα相およびω相の混合する組織を呈する場合, 弾性率がより上昇する.
- (3) 673 K および 723 K にて時効処理を施した場合の疲労強度は, 完全時効状態にて最大値を示し, 過時効状態にて低下傾向を示す. これはα相が粒界へ過剰に析出することが原因と考えられる.
- (4) 冷間圧延後, 723K の時効温度にて 259.2ks の時効処理を施した場合の疲労強度は, 低および高寿命領域において最も高くなる. また, その場合の疲労限の

疲労比は、約 0.71 を示す。

参考文献

- 1) M. Niinomi, "Recent metallic materials for biomedical applications", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 33A, No. 3, pp. 477-486 (2002).
- 2) M. Niinomi, T. Hattori, K. Morikawa, T. Kasuga, A. Suzuki, H. Fukui and S. Niwa, "Development of β -type titanium alloy for biomedical applications", Materials Transactions, Vol. 43, No. 12, pp. 2970-2877, (2002).
- 3) M. Niinomi, "Recent titanium R & D for biomedical applications in Japan", JOM, Vol. 51, No. 6, pp. 32-34, (1999).
- 4) T. Akahori, M. Niinomi, H. Fukui and A. Suzuki, "Fatigue, fretting fatigue and corrosion characteristics of biocompatible beta type titanium alloy conducted with various thermo-mechanical treatments", Materials Transactions, Vol. 45, No. 5, pp. 1540-1548, (2004).
- 5) M. Niinomi, "Development of β type titanium alloys for implant materials", Materia Japan, Vol. 37, No. 10, pp. 843-846, (1998).
- 6) M. Niinomi, T. Akahori, T. Yabunaka, H. Fukui and A. Suzuki, "Fretting fatigue characteristics of new biomedical β -type titanium alloy in air and simulated body environment", Tetsu-to-Hagane, Vol. 88, No. 9, 553-560, (2002).
- 7) T. Akahori, M. Niinomi, K. Fukunaga and I. Inagaki, "Effects of microstructure on the short fatigue crack initiation and propagation characteristics of biomedical α/β titanium alloys", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 31A, No. 8, pp. 2949-1958, (2000).
- 8) M. Niinomi, T. Akahori, and A. Suzuki, "Improvement in mechanical properties of dental cast Ti-6Al-7Nb by thermochemical processing", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 33A, No. 3, pp. 503-510, (2002).

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

窒化物半導体面発光レーザの可能性

竹内哲也¹⁾

Potentialities of GaN-based Vertical Cavity Surface Emitting lasers

Tetsuya Takeuchi¹⁾

Abstract

This report describes potentialities of GaN-based vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs). First, possible applications with the GaN-based VCSELs are reviewed. The main target of the VCSELs that the author conceives is high efficiency and high power solid state lightings, playing an important role in the sustainable society. Next, issues for the VCSEL realization are discussed, and approaches against the issues are also provided. GaN-based distributed Bragg reflectors and GaN-based apertures for current confinement are key structures for the GaN-based VCSELs. New GaN-based alloys containing B and/or Sb are possible solutions.

1. はじめに

筆者は本年 4 月より理工学部材料機能工学科の准教授に着任した。これまでの 20 年間、企業において光半導体デバイスに関する研究開発に従事する機会に恵まれた。今後は、その経験から得た知見を活かして、社会に広く貢献できる光デバイスを実現したいと考えている。ゆえに、現時点で研究テーマの柱として、窒化物半導体光デバイスの高効率化と低コスト化を考えている。

本報告では、窒化物半導体光デバイスの高効率化として、比較的短期の目標としている窒化物半導体を用いた面発光レーザ (VCSEL) について述べる。まず初めに、この窒化物半導体 VCSEL の応用について述べる。続いて、この窒化物半導体 VCSEL を実現する上での課題と対策について詳細に述べる。筆者が今後進めようと考えている具体的な研究内容を中心に議論を進める。

2. 窒化物半導体面発光レーザの応用

2.1 固体照明

窒化物半導体は今や III-V 族化合物半導体で最も有名な半導体である。高品質結晶を得るためのブレイクスルーとなった低温バッファ層を、当時名古屋大学 (現名城大学) の赤崎、天野らが発明してから 20 年以上の歳月が経過し

た¹⁾。今日では、携帯電話に使われている白色発光ダイオード (LED)、Blu-ray の記録用光源である紫外レーザ、そしてごく最近、白熱灯の代替である LED 電球が実用化され、今後爆発的に社会に浸透することが予想されている。

この窒化物半導体では、GaN と InN で構成される InGaIn 混晶半導体を発光層とすることで、原理的に可視光の全領域をカバーする発光・受光素子の形成が可能である。白色で発光する LED は、青色発光する InGaIn 活性層をもつ LED で黄色蛍光体を励起、発光させることによって実現されており、最近では 150 ルーメン/W (外部量子効率 60% に相当) という極めて高い効率を持つ光源が販売されるに至っている²⁾。

ところで、近年、CO₂ などの温室効果ガスが引き起こす地球温暖化は、地球的規模で環境に影響を及ぼし、人類の生存基盤に関わる大きな問題となっている。省エネルギーセンターによると、2005 年時点での日本の CO₂ 総排出量は約 13 億トンであり、そのうち電力による排出分が 4 億トン、うち 6 千トンが照明によるものと報告されている³⁾。現在、照明の 7 割以上を蛍光灯が占めるが、その発光効率は 80 ルーメン/W 程度である。経済産業省が策定している「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」では、蛍光灯など既存の照明を全て 150 ルーメン/W の次世代高効率照明に置き換えて、照明に必要な消費電力を半分にすることを目論んでいる⁴⁾。つまり、国内 CO₂ 排出量の約 3 千トン

1) 材料機能工学科

1) Department of Materials Science and Engineering

分（電力排出分の1割弱に相当）を削減し、環境に対する負荷を低減する。

この次世代高効率照明の最右翼として、上述した 150 ルーメン/W の効率をもつ窒化物半導体 LED が挙げられる。この窒化物半導体による青色 LED は、しかしながら、高出力を求めて投入電力（または注入電流）を大きくすると、その発光効率が半減してしまう現象（ドループ）が生じ、結果、蛍光灯と大差ない効率まで落ちてしまうことが報告されている⁵⁾。その様子の概念図を図1（点線）に示す。既存の照明と置き換わるためには、高注入電流時でも高効率を保つ、すなわち、高効率と高出力を同時に満たすことが必要で、そのための改善が急務となっているが、このドループは窒化物半導体のバンド構造に起因すると言われ、本質的な解決は難しいと考えられている⁶⁾。

この点、半導体レーザーは、その発光効率はもはやバンド構造にあまり依存せず、レーザーを構成する共振器、特にその反射率で人為的に制御・操作が可能である。すなわち、適切に設計された共振器をもつ半導体レーザーであれば、窒化物半導体で構成されていても大電力投入時に高効率と高出力を両立することが期待される。その様子を同じく図1（実線）に示す。

面発光レーザーも窒化物半導体と同じく、日本発の技術であり、当時東京工業大学の伊賀によって1977年に考案された⁷⁾。通常の半導体レーザーはウエハ面内（水平）方向に共振器を形成するため、へき開による反射鏡形成を兼ねたチップ化が必須であった。面発光レーザーはこの常識を大きく覆すウエハ垂直方向に共振器および反射鏡をもつ構造である。この構造では必然的に、①共振器長が短く、また②共振器方向（光取り出し方向）と電流注入方向が同一、という特徴を有し、この特徴から面発光レーザー特有の要素構造（①の理由で多層膜反射鏡が、②の理由で電流狭窄構造）が必要になる。この面発光レーザーは、特性においても様々な特徴を有し、効率が非常に高い、しきい値電流が低い、二

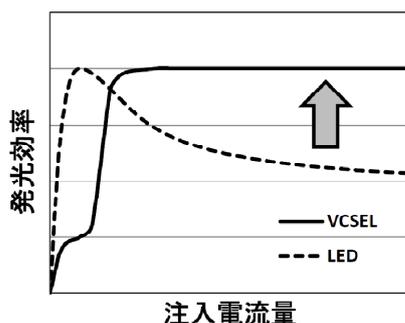


図1 発光効率の注入電流依存性

次元アレイ化が容易などが挙げられる。効率について、赤外で発光する InGaAs 活性層にもつ面発光レーザーでは 60% 以上もの極めて高い効率がすでに報告されている⁸⁾。

ゆえに、窒化物半導体で VCSEL を形成すれば、共振器によって制御され、高電力投入時であっても 60% の高い効率を実現できる可能性がある。60% の効率で青色発光し、かつ黄色蛍光体による白色光を発生させれば、その発光効率は 150 ルーメン/W に相当し、上述した目標を実現できる。この数値を用いて、VCSEL と LED の諸特性を具体的に見積もると表1のようになる。VCSEL では、その高い効率と高い電流注入量を反映して、単位面積あたりの発光強度は LED の実に 30 倍にもなる。VCSEL の場合、単一素子の大面積化による高出力化は難しいが、200 素子同時形成による二次元アレイ構造の形成が可能である。この構造で、同一チップ面積あたりの総光出力を比較すると、高出力 LED の 6 倍近い高出力化が可能と見積もられる。つまり、光出力あたりのチップコストが 1/6 になる可能性がある（実際には発熱に対する対策も必要にはなる）。

さらに、VCSEL では 10Gbps という高速変調が可能である⁹⁾。ゆえに、窒化物半導体 VCSEL による照明が実現されれば、ブロードバンド通信におけるラスト 10m を担う高速通信機能を兼ね備えた「スマートライティング」としても大いに期待できる。米国では国立科学財団 (NSF) の出資（約 17 億円）によるスマートライティングを目指した 5 年プロジェクト (Smart lighting ERC) が 2008 年に開始されたが、その通信速度の目標は LED の性能限界である 0.5Gbps であり、VCSEL はこの点でも LED の特性を大きく凌ぐ。このような VCSEL による通信照明ならば一つの設備で済み、消費電力も増やす必要がない。

以上の議論から、VCSEL による照明は LED 照明よりも数段進化した照明であり、特に温暖化緩和のための低炭素社会実現に大きく貢献することが期待される。

2.2 網膜走査ディスプレイ

さらに面発光レーザーの特徴を活かした応用として、網膜走査ディスプレイが挙げられる。この網膜走査ディスプレイでは、ごく最近企業において開発がなされた¹⁰⁾。このディスプレイは、網膜に直接光を当てて映像を映し出す。目に入れても安全な明るさの光を網膜に直接当てることで、視覚として認識される。このため、像は実際の視野と重ねて表示されることになり、あたかも目の前に映像が存

素子	発光サイズ (um ²)	注入電流 (mA)	変換効率 (%)	光出力 (mW)	単位面積あたり光出力 (W/cm ²)	1mm ² チップ内の総素子数 (個)	1mm ² チップの総光出力 (W)	1mm ² チップの総電流 (A)
VCSEL	10×10	10	0.6	16	1620	200	3.24	2
LED	1000×1000	700	0.3	567	57	1	0.57	0.7

表1 VCSELとLEDの特性比較

在しているかのように表現されるという。また、個人の網膜に直接投影されることから機密性にも優れる。

この網膜ディスプレイでは、レンズが必要なく、軽量小型が可能である。一方で、光源としては直進性に優れたコヒーレント光を必要とするため、レーザー光が望ましい。ところが、目に入れても安全な明るさが必要なため、μW以下の強度にする必要がある。通常の半導体レーザーでは、mW程度の強度があるため、強すぎて逆に問題となる。このため、フィルタなどで強度を落とす必要があるが、安全性や消費電力の観点から好ましくない。この点、面発光レーザーはその体積を極力小さくする、あるいは反射率を高めるなど、適切な設計を行うことで最初から低出力でコヒーレント光を得ることも可能であり、この応用には極めて適した光源と言える。

ディスプレイ光源としてRGBの三原色が必要であるが、赤色はInGaPによりすでに実現されている。青色はInGaN活性層による端面発光レーザーがすでに実用化されており、緑色も実用化間近である¹¹⁾。ゆえに、青色および緑色窒化物VCSELが実現されれば、RGB三原色の高効率低出力コヒーレント光源が揃うことになり、超軽量小型網膜ディスプレイの実現が期待できる。

3. 窒化物半導体面発光レーザーの課題と対策

3.1 課題

このように窒化物半導体VCSELが実現すれば、照明からディスプレイまで光に関する様々な分野への応用が期待されるが、その実現は容易ではない。窒化物半導体による面発光レーザーの検討は1990年代からなされた。東工大の本田らの検討が最初であろう¹²⁾。最近になり、ようやく電流注入によるパルス発振や室温連続発振が報告されるに至っている¹³⁾。その素子構造を図2(1)に示す。この構造は現在までに得られている赤外や赤色領域でのVCSELと大きく異なっており、またその特性も不十分である。一方、筆者が実現したいと考える窒化物半導体VCSEL構造を図2(2)に示す。

窒化物半導体は大きなバンドギャップをもつことから状態密度が大きく、反転分布による利得を生じるまでのキャリア密度が赤外や赤色に比べ大きくなり、本質的にしきい値電流が高くなる。さらに、前述した面発光レーザーに必要な要素構造、すなわち電流狭窄構造と多層膜反射鏡の実現が窒化物半導体では容易でなく、しきい値に至るまでの損失増大を引き起こすため、さらに問題が悪化する。以下に、この二点について議論する。

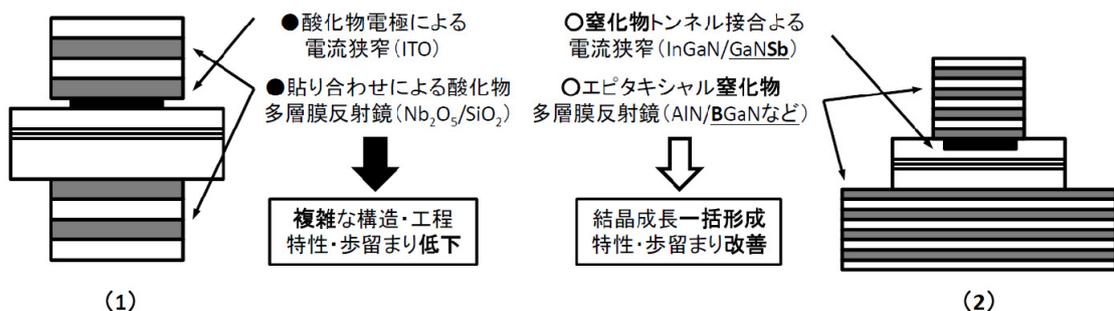


図2 従来と本研究の窒化物半導体VCSEL構造比較

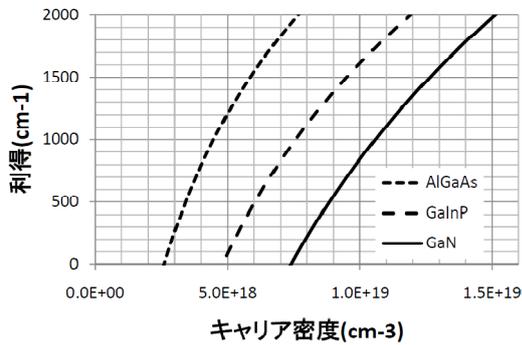


図3 利得のキャリア密度依存性

図 3 に窒化物半導体とその他の半導体における利得のキャリア密度依存性の報告例を示す¹⁴⁾。赤外領域の材料である GaAs は低いキャリア濃度で利得を生じるが、赤色の材料である GaInP、さらに青～紫外領域の材料である GaN になるに従って利得を生じるためのキャリア密度が高くなっていくことがわかる。

この値を用いて、赤外、赤色、青色 VCSEL の外部微分量子効率 (またはスロープ効率) η_d としきい値電流 I_{th} の関係を計算した。筆者の計算結果と同時に、他研究機関で得られた実験結果¹⁵⁾も図 4 にプロットした。また、青色 VCSEL では、異なる二種類の構造の計算結果 (青色 A、青色 B) を示してある。一般に、外部微分量子効率が高いほど、またしきい値電流が低いほど、注入電流を有効に使用できることになる。各々は下記のように書き表すことができる¹⁶⁾。

$$\eta_d = \eta_i \frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m} \quad (1)$$

$$I_{th} = \frac{qVBN_{th}}{\eta_i} e^{2(\alpha_i + \alpha_m)/\Gamma g_0} \quad (2)$$

ここで、設計によって主に制御できるパラメータは、

- α_m : ミラー損失
- V : 活性層体積
- Γ : 光閉じ込め係数

材料によって主に決まってしまうパラメータは、

- g_0 : 利得係数
- N_{th} : 透明キャリア密度
- B : 発光再結合係数
- α_i : 内部損失

である。上式からもわかるように、一般に外部微分量子効率を高めようとミラー損失 α_m を大きくする (反射率を小さくすると、発振しきい値は上昇する、すなわちトレー

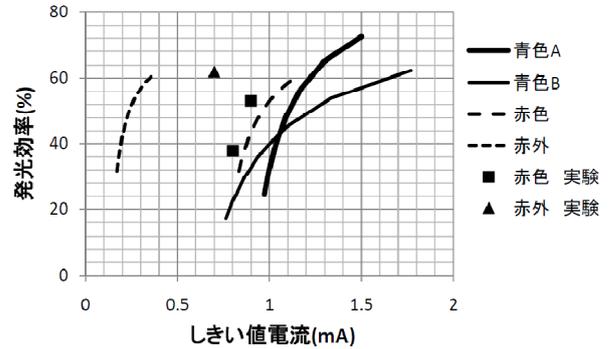


図4 発光効率としきい値電流の関係

ドオフの関係になっている。また、図 4 において、赤外、赤色、そして青色としきい値電流が増大する傾向は、利得を得るためのキャリア密度が増大するためである。

ここでポイントとなるのは内部損失の α_i である。投入した電力が無駄に使用されている部分であり、小さくすればするほど微分量子効率は上昇し、しきい値電流は低減する。この内部損失はフリーキャリア吸収が大部分を占め、ほぼ素子内のキャリア密度 (あるいはドーピング濃度) で決まる。したがって、材料固有のパラメータであるものの、必要な導電性が得られる最低限のキャリア濃度に設計することで不必要な損失を低減することが可能である。さらに、VCSEL の場合は、共振器方向に振幅の大きな定在波が生じるため、定在波の腹では大きな吸収を生じるが、節では生じない。こうした光分布を丁寧に考慮して、ドーピング量を設計することができる。それを考慮して変調ドーピングを行った構造の結果が青色 A である。考慮していない青色 B に比べ、大きく特性が改善し、赤色とあまり大差ない値まで特性が向上しているのがわかる。また、この青色 A では活性層の光閉じ込め係数 Γ が大きくなるような工夫も施してある。このように VCSEL では適切な設計を盛り込むことで材料の特性を補うことが可能であり、この設計自由度が LED にはない特徴となっている。

3.2 対策

続いて、上記計算結果を実現するために必要な要素構造について述べる。VCSEL は共振器が短く、共振器方向と電流注入方向が同一であるとすでに述べた。共振器長が短いと、単位長さ当たりのミラー損失の割合が大きくなるため、ミラーの反射率を極めて大きくして (99%以上)、実効的なミラー損失を小さくする必要がある。そのために屈

折率の異なる二層のペアを多層積層した多層膜反射鏡が必要である。赤外や赤色では AlAs/GaAs、または AlAs/AlGaAs を用いて反射鏡を形成するのが一般的である。この系では、格子不整合が 0.1%以下で 20~40 ペア積層しても結晶欠陥が導入されず、99.5%以上の高反射率を実現する高品質な多層膜反射鏡が、発光材料と同じ半導体材料で形成可能である（実際には、0.1%の格子不整合が存在すると結晶欠陥は生じないものの、ウェハは大きく反る（中央で数 10 μ m 程度）ことが知られている）。半導体で形成できることから、電流注入可能な多層膜反射鏡が形成でき、共振方向と電流注入方向が同一になるという観点においても極めて使いやすい反射鏡となっている。

一方、窒化物半導体で多層膜反射鏡を形成するのは困難である。その理由は、屈折率差が大きく、かつ格子整合する材料の組み合わせが存在しないためである。ゆえに、SiO₂ などの酸化物誘電体を用いた誘電体多層膜が用いられることが多い。図 2(1)が示すように、現在、室温連続発振まで至っている素子はこの構造である。ただし、この方法では、酸化物多層膜を窒化物半導体短共振器（~1 μ m）の両側に形成する必要があり、煩雑なプロセスが必要となる。

一方、窒化物半導体を用いた多層膜反射鏡に関する検討も進んでおり、現在までに検討が進められている組み合わせとして、①Al(GaN)/Ga¹⁷⁾、②AlInN/GaN¹⁸⁾、③AlN/BGaN¹⁹⁾、が挙げられる。①は最も大きな屈折率差が得られ、かつ、各層は高い成長速度が得られるため、多層膜反射鏡形成に適しているものの、格子定数が約 2%異なるために、多層積層することは容易ではない。②は AlInN が In 組成 17%で GaN に格子整合するため、多層積層が可能である。しかしながら、AlInN の成長速度を大きくできず（0.2 μ m/h 程度）、また、成長温度、キャリアガスも大きく異なるため、成長時間が膨大になる点が欠点である。また、屈折率差もそれほど大きくなく、ゆえにさらなる多層膜が必要なことが成長時間をさらに長くしている。③は、BGaN の B 組成が 10%程度で AlN に格子整合する。しかしながら、BGaN 成長に関する報告例が少なく、最適成長条件の特徴がわかっていないのが現状である。どの組み合わせも一長一短あることがわかるが、図 2(2)が示すように、窒化物半導体の組み合わせにより多層膜反射鏡が形成できることが理想である。そこで、以下に各組み合わせに対する対策を述べる。

①AlN/GaN では、歪の制御がポイントである。AlN/GaN 多層膜反射鏡は平均的に見れば、ほぼ Al_{0.5}Ga_{0.5}N に相当するため、多層膜形成開始前の下地層として Al_{0.5}Ga_{0.5}N に相当するものを用意しておけば、クラックや転位の発生を低減できる可能性がある。段差基板上成長や超格子構造により格子緩和しつつも高品質な Al_{0.5}Ga_{0.5}N を形成し、その上に多層膜反射鏡を成長する。あるいは、適切な設計を施すことで多層膜反射鏡内部に最初から超格子構造を組み込ませることで、GaN 基板上に直接形成させることも可能であると考えている。実際、多層膜反射鏡内に超格子構造を内蔵することでクラックのない AlN/GaN 多層膜を形成し、低温ではあるものの電流注入で発振した例が報告されている²⁰⁾。しかし、この構造では超格子構造の格子緩和効果と多層膜反射鏡の反射率がトレードオフの関係になっているため、両方を同時に達成する構造設計の工夫が期待される。

②では、AlInN の成長速度を稼ぐ工夫が必要となる。現在、0.2 μ m/h 以上では表面の劣化が見られる。ゆえに、現在必要な 40 ペア積層するのに 20 時間もかかってしまう。今後は、成長条件を最適化して高速成長させても表面平坦性を保つことができる条件を探ることが重要である。成長温度や成長圧力を大きく変えた成長条件とその膜の特性の相関を系統的に明らかにし、高速成長と表面平坦性を両立できる成長条件を模索する必要がある。

③は BGaN の成長条件を最適化するところから始める必要があるが、格子整合しつつも成長速度が稼げる条件を見出すことができれば、①②をも凌ぐ組み合わせとなり得る。

いずれにせよ、多層膜反射鏡を窒化物半導体で形成するメリットは大きく（少なくとも基板側だけであっても）、この窒化物半導体多層膜反射鏡の形成可否が窒化物半導体 VCSEL の実現可否に大きく関わってくる。

次に、電流狭窄構造について述べる。半導体レーザーでは、キャリアと光の相互作用により誘導放出を起こすが、そのためには、光が集中する共振器内に電流を効率よく注入することが重要である。いわゆる大きな光閉じ込め係数が効率的なレーザー発振には必要である。VCSEL では光も電流も縦方向であるため、お互いが邪魔にならないように、どちらかを曲げる必要がある。一般的に光を曲げるのは難しいため、通常は電流を曲げることになる。すなわち、光射出領域の外側に電極を設けて電流を注入し、活性層手前で電流経路を狭窄して共振器内に注入する電流狭窄構造が

必要である。すなわち、横方向に導電率の低い領域と高い領域をもつ構造を作り込む必要がある。これは、横方向の制御が難しい結晶成長では形成できない。AlGaAs などの赤外材料では AlAs、もしくは Al 組成の極めて高い AlGaAs を用いて、水蒸気雰囲気中で加熱することにより AlAs または AlGaAs を安定的な Al_2O_3 に変質させることが可能である²¹⁾。この手法を用いて、電流狭窄構造が形成されている。窒化物半導体では AlN は極めて安定的な材料であり、水蒸気雰囲気中であってもほとんど酸化されず、同じ手法は採用できない。

さらに、窒化物半導体の場合、p 型の導電性は n 型の導電性に比べ 100 倍低い。このため、p 型半導体で横方向に電流を拡散して、その後電流狭窄するというこれまでの半導体の手法では、その抵抗が大きくなりすぎて連続発振は困難な状況となると予想される。したがって、現在の主流は、図 2(1)が示すような透明導電性酸化物 ITO を用いた電流狭窄構造にならざるを得ない。この構造では、p 型窒化物半導体の導電性の低さを逆に利用して電流狭窄している。しかしながら、この構造では、ITO と p-GaN の接触比抵抗が高い、ITO の光吸収が大きいなどの課題があり、レーザー特性の劣化に繋がっていると考えられる。

筆者が有効と考えている構造はトンネル接合を用いた電流狭窄構造である。この手法は、すでに赤外 VCSEL で実績がある構造であり²²⁾、窒化物半導体においても筆者を含むグループが過去に検討を行っている²³⁾。図 5 に示すように p 層上部に一部のみトンネル接合部を形成し、その上にさらに n 層を再度形成する。すなわち、エッチングによる加工と再成長が必要になるが、電流は導電性の低い n 層を横方向に拡散することになり、その後、抵抗の低いトンネル np 接合のみ電流が通過できる仕組みである。ここでは、ごく最近、筆者らが作製したトンネル接合と LED を組み合わせた素子の発光の様子を図 6 に示す。トンネル接合の上部に低抵抗 n-GaN 層が存在するため、透明電極が存在しなくても電流が横方向に広がり、その下に存在す

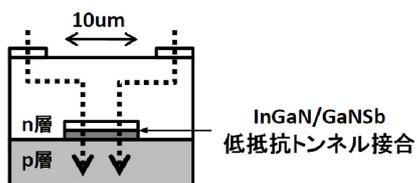


図5 トンネル接合による電流狭窄構造

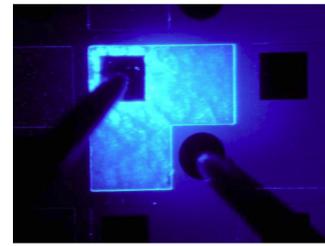


図6 トンネル接合LEDの発光の様子

るLEDが発光していることが確認できる。

トンネル接合による電流狭窄構造のさらなる改善のポイントはトンネル接合自体の低抵抗化である。その手法として、①バンドギャップの小さい材料を用いる、②ドーピング濃度を極力高める、そして、③窒化物半導体特有のピエゾ分極を積極的に利用する、などが挙げられる。興味深いことに、②と③は、ドーピング濃度の観点では全く逆方向のアプローチとなる。②を主に実験的に検証し、③は計算による十分な設計を行った後に、実験的に検証を進めることが肝要と考えられる。さらに、筆者は、①として新たにバンドギャップが小さく、またバンドアライメントがトンネル接合に適した p-GaN/Sb/n-InGaN 構造を用いることを提案し、トンネル接合の大幅な低抵抗化を狙う予定である。GaN/Sb は新しい窒化物半導体混晶であり、報告例も少ないため²⁴⁾、その結晶成長条件の最適化が重要な研究課題となる。

いずれにせよ、現時点では多層膜反射鏡および電流狭窄構造ともに満足のいく特性が得られていない。これは、現在利用可能な窒化物半導体材料が、GaN、InGaN、AlGaInなどに限られていることが要因の一つであろう。ゆえに、B や Sb を加えた新規窒化物半導体混晶の結晶成長から研究を進め、高品質化、要素構造化を進めて最終的に素子に組み込むことで図 2(2)に示すような窒化物半導体 VCSEL が実現すると考えている。

4. おわりに

以上、これまでに得られた結果、情報をもとに窒化物半導体の応用と実現の可能性について議論した。VCSEL は LED よりも複雑な構造であり、現時点で十分な特性をもつものは得られていない。しかし、新たな材料や構造を導入し、その材料や構造を制御することができれば、その発光特性も人為的に制御することが可能になる。LED 照明

を凌駕する次々世代照明として VCSEL が活用されることを信じて今後研究活動に邁進していきたい。

謝辞

本報告内の議論を進めるにあたり、ご指導いただいた名城大学 赤崎勇終身教授、理工学部材料機能工学科 上山智教授、岩谷素顕准教授に感謝致します。

本報告の一部(図6)は、名城大学材料機能工学科四年生山下浩司君、加賀充君、矢木康太君が行ったものです。

また、本報告の一部は平成22年度科学研究費補助金(研究活動スタート支援)の援助を受けています。

参考文献

- "Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer", H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki, Y. Toyoda, Appl. Phys. Lett., 48 (1986) 353.
- <http://www.nichia.co.jp/jp/product/led.html>
- <http://ecotech.nies.go.jp/library/report/detail.php?id=21>
- <http://www.meti.go.jp/press/20080305001/20080305001.html>
- "Auger recombination in InGaN measured by photoluminescence", Y. C. Shen, G. O. Mueller, S. Watanabe, N. F. Gardner, A. Munkholm, and M. R. Krames, Appl. Phys. Lett. 91, 141101 (2007).
- "Auger recombination rates in nitrides from first principles", Kris T. Delaney, Patrick Rinke, and Chris G. Van de Walle Appl. Phys. Lett. 94, 191109 (2009).
- "面発光レーザの基礎と応用", 伊賀健一、小山二三夫編, 共立出版株式会社 1999.
- "A recorded 62% PCE and low series and thermal resistance VCSEL with a double intra-cavity structure", K. Takaki, N. Iwai, K. Hiraiwa, S. Imai, H. Shimizu, T. Kageyama, Y. Kawakita, N. Tsukiji and A. Kasukawa, 21st International Semiconductor Laser Conference, Sorrent, Italy, PDP1, (2008).
- "Top surface-emitting vertical-cavity laser diodes for 10-Gb/s data transmission", U. Fiedler, G. Reiner, P. Schnitzer, and K.J. Ebeling, IEEE Photon. Technol. Lett. 8, 746 (1996).
- <http://www.brother.co.jp/news/2008/rid/index.htm>
- "InGaN laser diodes with 50 mW output power emitting at 515 nm", Adrian Avramescu, Teresa Lermer, Jens Müller, Sönke Tautz, Désirée Queren, Stephan Lutgen, and Uwe Strauß, Appl. Phys. Lett. 95, 071103 (2009).
- "Threshold Estimation of GaN-Based Surface Emitting Lasers Operating in Ultraviolet Spectral Region", Tohru Honda, Atsushi Katsube, Takahiro Sakaguchi, Fumio Koyama, Kenichi Iga, Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) 3527.
- "Improvement in Lasing Characteristics of GaN-based Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers Fabricated Using a GaN Substrate", Kunimichi Omae, Yu Higuchi, Kyosuke Nakagawa, Hiroaki Matsumura, and Takashi Mukai, Appl. Phys. Exp. 2 (2009) 052101.
- "Theory of optical gain in ideal GaN heterostructure lasers", A. T. Meney and E. P. O'Reilly, Appl. Phys. Lett., 67 (1995) 3013.
- "Red vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs) for consumer applications", Geoffrey Duggan*, David A. Barrow, Tim Calvert, Markus Maute, Vincent Hung, Brian McGarvey, John D. Lambkin, and Torsten Wipiejewski, Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers XII. Proceedings of the SPIE, 6908, 69080G (2008).
- "Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits", Larry A. Coldren and Scott W. Corzine, John Wiley & Sons, Inc. chapter 2, 1995.
- "Vertical cavity violet light emitting diode incorporating an aluminum gallium nitride distributed Bragg mirror and a tunnel junction", M. Diagne, Y. He, H. Zhou, E. Makarona, and A. V. Nurmikko, J. Han, K. E. Waldrip, J. J. Figiel and T. Takeuchi, Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 3720.
- "High-quality AlInN for high index contrast Bragg mirrors lattice matched to GaN", J.-F. Carlin and M. Illegems, Appl. Phys. Lett. 83 (2003) 668.
- "BGaN materials on GaN/sapphire substrate by MOVPE using N₂ carrier gas", A. Ougazzaden, S. Gautier, C. Sartet, N. Maloufi, J. Martin, F. Jomard, J. Crst. Growth 298 (2007) 316.
- "CW lasing of current injection blue GaN-based vertical cavity surface emitting laser", Tien-Chang Lu, Chih-Chiang Kao, Hao-Chung Kuo, Gen-Sheng Huang,

- and Shing-Chung Wang, Appl. Phys. Lett. 92, 141102 (2008).
- 21) "Native-oxide defined ring contact for low threshold vertical cavity lasers", D. L Huffaker, D. G. Deppe, and K Kumar. Appl. Phys. Lett., 65 (1994) 97.
 - 22) "Lateral electron current operation of vertical cavity surface emitting lasers with buried tunnel contact hole sources" J. J. Wierer, P. W. Evans, N. Holonyak, and D. A. Kellogg, Appl. Phys. Lett. 71, 3468 (1997).
 - 23) "GaN-Based Light Emitting Diodes with Tunnel Junctions", T. Takeuchi, G. Hasnain, S. Corzine, M. Hueschen, R.P. Schneider, Jr., C. Kocot, M. Blomqvist, Y.-L. Chang, D. Lefforge, M.R. Krames, L.W. Cook and S.A. Stockman, Jpn. J. Appl. Phys. 40 (2001) L861.
 - 24) "Strong below band gap absorption of N-rich side GaNSb by metal-organic chemical vapor deposition", Se-Hoon Moon, Hyung-A Do, Joonmo Park, and Sang-Wan Ryu, J. Mater. Res., Vol.24, No.12, (2009) 3569.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

秒速 12km で伝播する衝撃波に伴う電離現象

松田 淳¹⁾ 藤田和央²⁾ 安部隆士²⁾

Ionization Phenomena associated with Shock Wave of 12 km/s Propagation Velocity

Atsushi Matsuda¹⁾, Kazuhisa Fujita²⁾, Takashi Abe²⁾

Abstract

The ionization phenomena associated with the strong shock wave in pure nitrogen whose propagation velocity is 12.4 ± 0.1 km/s has been investigated. The electron density behind the shock wave has been measured by means of spectroscopic technique. The measured ionization velocity is surprisingly high compared to the conventional thermochemical model. This phenomena is hypothesized as photo ionization. Also in order to demonstrate this hypothesis, the electron properties have been measured by the method of electrical probe in the region ahead of the shock wave. By comparing the experimental result with the simple photo-ionization-model, the behaviors of the measured electron properties are well explained.

1. はじめに

2010年6月に地球に帰還した「はやぶさ」のミッションは小惑星の岩石サンプルを地球に持ち帰るサンプルリターンミッションであった。本ミッションでは地球への帰還の際、惑星間軌道からの直接再突入を行い、その再突入速度は秒速 12km 程度にも及んだ。このような高速での再突入においては、非常に過酷な空力加熱環境に曝されることが容易に想像がつく。安全に地上まで帰還できるための耐熱設計の観点からは、加熱率の予測が重要である。はやぶさミッションにおける耐熱設計には、再突入飛行環境予測に広く用いられていた Park モデルによる解析に基づく予測が反映された¹⁾⁻⁶⁾。しかし、Park モデルの妥当性は秒速 10km 以下の条件では実験との比較により検証されているが⁶⁾、秒速 12km を超えるような高速再突入飛行環境に対する妥当性は未知である。そのため、はやぶさミッションのカプセル設計においては、予測された加熱率に十分なマージンを考慮することで予測の不確定性に対応するという手段が取られた。

このような問題を解決するために、秒速 12km 程度という従来のモデルの検証範囲より速い速度領域でのモデルの妥当性の検討を行うことが期待される。そのため、はやぶさミッションを契機に高速衝撃波背後の非平衡現象について調べる研究が盛んに行われるようになった⁷⁾^{8),9),10)}。その結果、衝撃波管を用いた実験により、数々の

高速衝撃波背後での非平衡現象が報告されてきた^{8), 9), 10)}。

本報告では、特に、高速衝撃波に伴う電離現象に焦点を当て、得られた結果とその解釈について論じる。

2. 実験装置および計測方法

2.1 実験装置

強い衝撃波の発生には宇宙科学研究所に設置されている二段膜自由ピストン衝撃波管を用いた。この衝撃波管では初期圧 0.3 torr の窒素または空気中に、最高秒速 13km の衝撃波を発生させることができる¹¹⁾。Fig. 1 は本装置の x-t 線図を示したものであり、図中の Test Time と示された部分が試験気流に相当する。本実験では現象の単純化のために純粋窒素を試験気体とした。

2.2 計測方法

衝撃波背後の電子密度計測は文献⁹⁾の手法と同様に衝撃波背後からの放射光の分光スペクトルに基づき行なった。また、衝撃波前方の電子状態計測には放射が計測されないため、静電プローブ法により行なった。以下にその詳細を紹介する。

2.2.1 分光計測

Fig. 2 は、衝撃波背後からの放射光の分光スペクトル

1) 機械システム工学科 2) 宇宙航空研究開発機構

1) Department of Mechanical Engineering 2) Japan Aerospace Exploration Agency

を取得する際の光学系である。衝撃波背後からの放射光

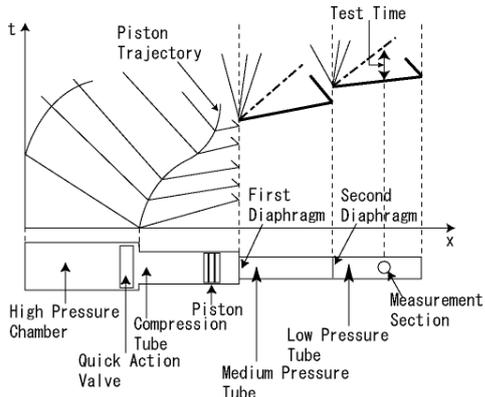


Fig. 1 x-t diagram of shock tube.

は観測部への衝撃波の到来を検知するレーザーシュリーレン法のための光源である。分光器と反対側に設置された Pin Photo Diode は放射の全光量を測定するためのものである。

この方法では、一回の実験で衝撃波背後の任意の空間点、1 点のスペクトルしか得られないので、空間方向各点のスペクトル分布を得るためには遅延時間を変えて繰り返し実験を行わねばならない。実験の再現性の確認は、衝撃波速度、全光量の時間履歴、圧力センサーからの信号の形を比較することで行った。得られたデータにおける衝撃波速度のばらつきは±0.1km/s の範囲内にある。

電子密度の決定には、水素原子のバルマー線に対する

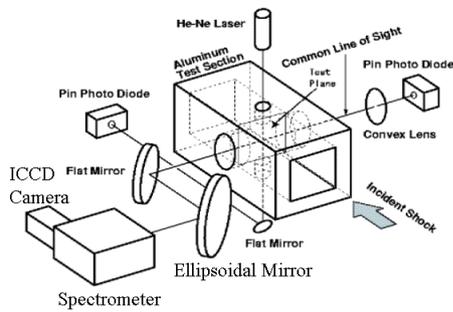


Fig. 2 Optical measurement system.

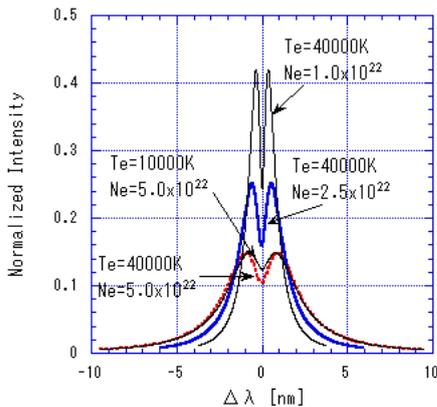
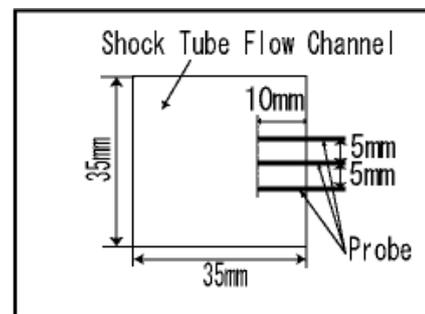
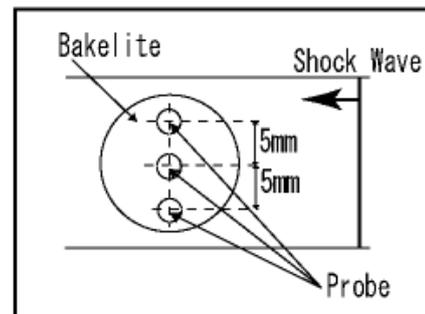


Fig. 3 Stark effect of Blamer line.

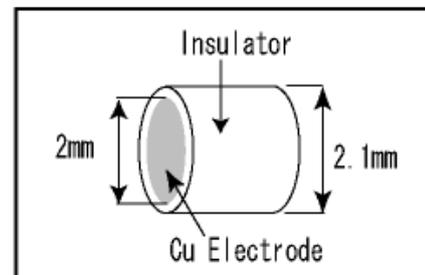
は図のように平面鏡，楕円鏡を経て分光器入りロスリットに至る。分光器出口には Image Intensified CCD (ICCD) カメラが取り付けられており、コンピューター上でスペクトルデータが取得できる。この ICCD カメラのシャッタータイミングは、上流に設置された圧力センサーからの信号を基準として遅延回路による遅延時間後に発生するパルス信号により決定される。図中の He-Ne レーザー



(a) Along the Flow Direction



(b) Perpendicular to the Flow Direction



(c) Probe Shape

Fig. 4 Probe setup.

Stark 効果利用している(Stark Fitting). 本実験で水素のバルマー線が観測される理由については実験結果の節(3.1 節)で紹介する. 本電子密度決定手法は, バルマー線の広がり具合が電子密度に依存していることを利用している. Fig. 3 に示す通り, 線広がりには電子温度にはほとんど依存せず, 電子密度には大きく依存していることがわかる. このデータベース作成のための計算は文献¹²⁾に基づいている.

2.2.2 静電プローブ計測

プローブ計測には, トリプルプローブ¹³⁾を用いた. 本手法は, 電圧掃引の必要が無いため, 瞬間計測が可能である. 本節では計測の概要を紹介する.

Fig. 4 は, 衝撃波前方(プリカーサ領域)での計測プローブの形状及び, 衝撃波管への支持方法の概略を示したものである. Fig. 4 (c)に示すように, 計測プローブには, 直径 2mm の銅棒の先端を円筒形に加工し, 側面を絶縁物で被覆したものをを用いた. これらのプローブ 3 本を一組として, Fig. 4(a)に示すように管壁から 10mm 挿入し, 衝撃波管内のプラズマ量を測定できるようにした. 3 本のプローブの相対的な位置関係は Fig. 4(b)に示すように, 中心間隔 5mm で 3 本縦一列で衝撃波波面に平行になるように設定されている. 本衝撃波管では, 衝撃波波面に平行な平面内では物理量は一様と考えられるため, 3 本のプローブ位置による物理量の空間変化は無視できると考えられる.

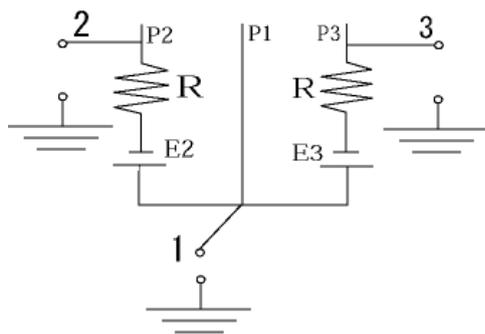


Fig. 5 Measurement circuit for probe.

Fig. 5 は, トリプルプローブによる計測回路を示したものである. 図中, E2 と E3 はプローブ間バイアス電圧であり, 本実験では E3 には 1.5V, E2 には 9V の乾電池を使用した. R は電流電圧変換抵抗であり, 10Ω から 1kΩ の抵抗を用いた. 各プローブの先端電圧を入力インピ

ダンス 1 MΩ のオシロスコープで計測した.

実験で得られた信号から計測対象プラズマの電子温度, 電子密度等の物理量の算出を行う方法は以下の通りである. 算出の単純化のために, 計測対象プラズマに対して以下のように仮定する¹³⁾.

- シース領域を除き準中性プラズマ
- 電子のエネルギーはマクスウェル分布
- シース厚は電子の平均自由行程より小
- プラズマ重心速度は平均熱速度より十分小

これらの仮定のもとでプローブ流入電流は次のように表せる. ただし, イオン電流はプローブ電位によらず一定と仮定している.

$$I_j = \frac{eSN_e}{4} \sqrt{\frac{8kT_e\alpha}{\pi m_i}} - \frac{eSN_e}{4} \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} \exp\left(\frac{e\phi_j}{kT_e}\right) \quad (1)$$

ここで, $j=1,2,3$ でプローブ番号を示し, I_j は, j 番目のプローブを流れる電流, ϕ はプラズマ空間電位からの相対的なプローブ電位, N_e は電子密度, S はプローブの荷電粒子捕獲表面積, T_e は電子温度, α は電子温度とイオン温度の比で式 (2) の定義の通りであり, k はボルツマン定数である. 上式で, 右辺第一項はイオン電流 I_i を表し, 第二項は電子電流 I_e を表している. ただし, 本プローブ法では, イオン温度を実験から定めることはできないので, α をパラメーターとして扱う. 試験気体(窒素ガス)の初期温度が室温程度であり, イオン温度は中性ガスと電子温度の間にあると考えるとイオン温度と電子温度の比 α は 0.01 から 1 の範囲と考えられる,

$$\alpha = \frac{T_i}{T_e} \quad (2)$$

3. 実験結果

3.1 衝撃波背後

Fig. 6 に衝撃波速度 12.4km/s, 衝撃波背後 1.4mm での輻射スペクトルを示す. この図から, この波長範囲では $N_2(2+)$, $N_2^+(1-)$ からの発光が支配的であることが分かる.

図中, N とあるのは窒素の原子線である. また, H(β) とあるのは水素のバルマー線であり, 衝撃波管管壁に付着した水分子に由来するものと考えられる. このバルマー線を高解像度のスペクトルとして取得し, 理論スペクトルとの Fitting により電子密度を算出した.

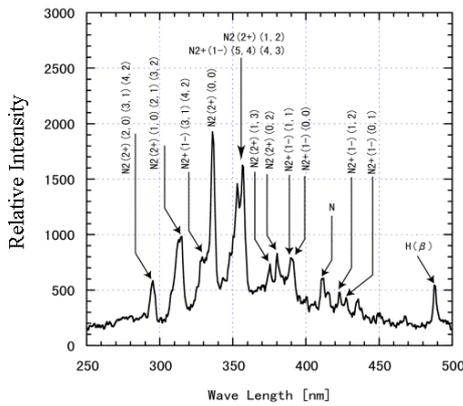


Fig. 6 Radiation spectrum at 1.4mm behind the shock front; 12.4km/s.

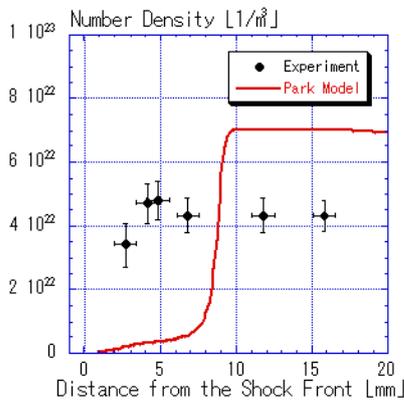


Fig. 8 Electron density distribution ; 12.5km/s

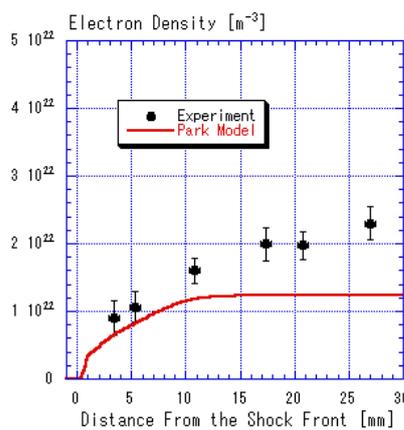


Fig. 9 Electron density distribution; 10.0km/s

かる。

Fig. 8 は、ノミナル速度 12.5km/s の場合の衝撃波背後での電子密度分布である。図中の実線は Park モデルから予測される電子密度分布である。特に衝撃波背後 10mm までの部分で実験と計算との間で大きな差異が見られる。計算では徐々に電離が進行しているのに対して、実験では衝撃波直後の領域でも既に多量の電子が存在し、この領域での電子の振る舞いが Park モデルとは本質的に異なることを示唆している。

Fig. 9 はノミナル速度 10km/s の時の衝撃波背後での電子密度分布を示している。この速度は、Park モデルによる予測が妥当と考えられている速度領域である⁶⁾。Fig. 8 に示すように、速度 12.5km/s では実験結果と大きな差異が見られた衝撃波直後の電離の立ち上がり領域（非平衡領域）については、Fig. 9 のように 10.0km/s では、実験の電子密度分布の挙動は計算でも捉えている。

Park モデルの電離機構は以下の 3 段階で構成されている。速度 10km/s ではこのモデルが実験結果を良く捉えていたことから、速度が 12km/s と大きくなると、以下の 3 段階が急速に進行するため、Fig. 8 のような不一致が見られる可能性がある。しかし、機構の 2 段階目の電子緩和が進行するには十分な時間が必要と考えられており⁶⁾、実験結果を説明可能なほど急速になるとは考えにくい。そこで、速度が大きくなると、Park モデルで仮定されている電離機構とは異なる電子生成機構が卓越する可能性が考えられる。その仮説の一つとして、衝撃波背後の輻射エネルギーによる光電離が考えられる。輻射エネルギーは衝撃波前方へ輸送されるので、衝撃波前方（プリカーサ領域）でも光電離により生成された電子が存在することが予想される。

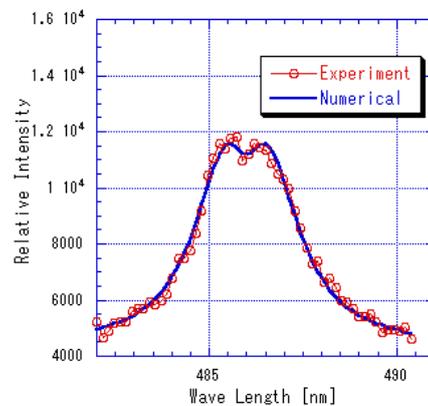
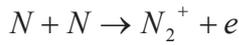


Fig. 7 Spectrum fitting for Balmer line at 4.85 mm behind the shock front; 12.4km/s.

Fig. 7 は電子密度決定のための Stark Fit の一例であり、バルマー線スペクトルの広がりをも良く捉えていることがわ

1. 再結合電離



2. 電子緩和
窒素原子との衝突による電子温度の増加及び電子衝撃電離閾値までの電子密度の増加
3. 電子衝撃電離 (アバランシェ電離)



3.2 衝撃波前方領域

前節で挙げた仮説の検証のために、静電プローブにより衝撃波前方領域での電子状態計測を行った。Fig. 10 はプローブの出力信号を示している。横軸の負号は衝撃波前方であることを示している。ノミナル速度は 12.4km/s

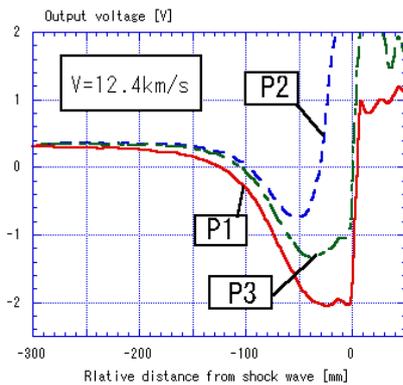


Fig. 10 Probe output voltage ;12.4km/s

である。Fig. 10 では衝撃波前方 150mm より衝撃波に近い領域では3本のプローブに顕著な電位差が見られる。衝撃波直前 20mm より近傍の領域では出力電圧がオシロスコープ計測時の設定レンジより大となり、有意な結果は得られていない。Fig. 11 はプローブを流れる電流を示したものであり、衝撃波に近づくほど流れる電流値が大きくなっている。Fig. 12 はプローブ出力信号と式(1)を基に $\alpha=0.1$ として算出した電子温度分布を示している。6000K から 9000K 程度で衝撃波に近づくにつれて漸増している様子がわかる。Fig. 13 は電子密度分布を示したものである。この図から、 α の値によって最大 10 倍程度値が異なることがわかる。また、衝撃波に近づくにつれて電子密度も大きくなって行くことがわかる。

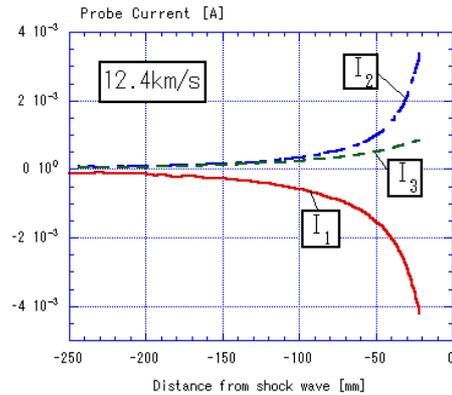


Fig. 11 Probe current distribution ;12.4km/s.

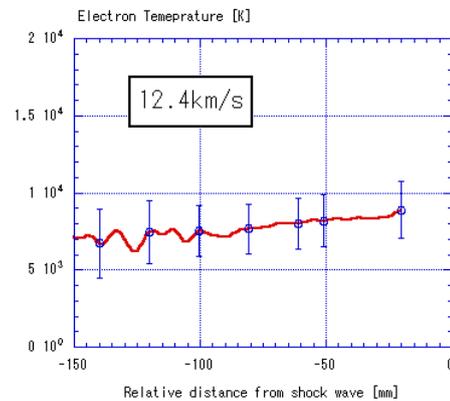


Fig. 12 Electron temperature distribution; 12.4km/s

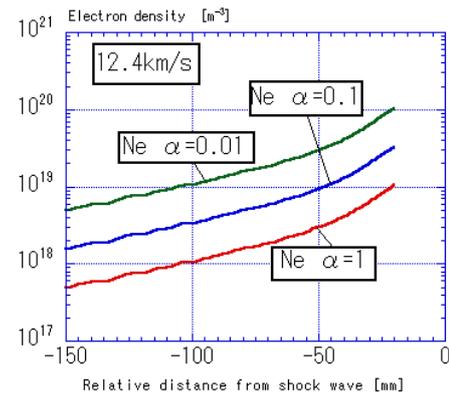


Fig. 13 Electron density distribution; 12.4 km/s

3.3 プリカーサ領域での電離機構の考察

前節の実験結果から、プリカーサ領域にも少なくとも $10^{16}m^{-3}$ 以上の電子が存在するが、その電子温度は 10^4K 程度であり、電子衝撃電離を引き起こす程のエネルギーではない。従って、プリカーサ領域での電子生成に必要な電離エネルギーの源として、衝撃波背後からの輻射光

が挙げられる。

そこで、衝撃波と共に速度 U で移動する座標系で簡単なモデル化を行うことにする。この座標系ではプリカーサは定常流れ系と考えられるので、電子の質量保存則とエネルギー保存則はそれぞれ式 (3)、式 (4) のようになる。

$$\frac{\partial N_e U}{\partial x} = \dot{\omega}_+ + \dot{\omega}_- \quad (3)$$

$$\frac{3}{2} k \frac{\partial N_e T_e U}{\partial x} = e \mu_e E^2 N_e + \frac{3}{2} k T_0 \dot{\omega}_+ - \frac{3}{2} k T_e \dot{\omega}_- - \frac{3}{2} N_e k T_e \kappa f \quad (4)$$

式 (3) の右辺は順に、電子の生成、消滅を表している。ここでは、生成は光電離によるものを、消滅は三体再結合のみを考えている。式 (4) の右辺は順に、電場加速エネルギー、電離で生成された電子のエネルギー、再結合消滅エネルギー、衝突損失エネルギーを表す。ここで T_0 は、電離で生成された電子の平均電子温度で、 f は衝突頻度で、 κ は衝突損失係数である。式 (3) の各項のオーダー比較から消滅項を省略できる。また、式 (4) の各項で、電場加速エネルギーと再結合消滅エネルギーが他に比べて著しく小さいので、省略して考えることにする。輻射光について Planck 放射を仮定した場合、輻射光の振動数 ν と $\nu + d\nu$ の間の微小振動数間に存在する単位振動数当たりの光子数は式 (5) のようになる。式中の輻射場温度 T はパラメーターとして扱う。Fig. 14 は輻射解析

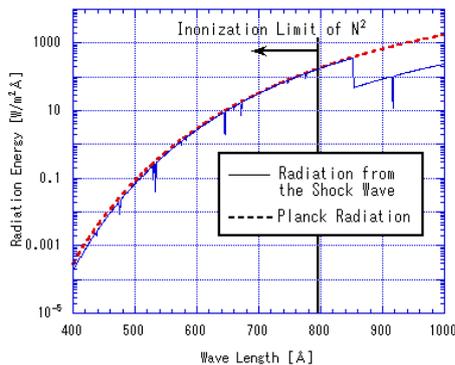


Fig. 14 Comparison between Planck radiation and radiation behind shock wave.

ソフト SPRADIAN¹⁴⁾により計算された衝撃波背後の輻射光とプランク放射強度を比較したものである。Fig. 14 から、 N_2 の電離エネルギー相当の波長以下では両者が良く一致しており、仮定の妥当性を示していると言える。

$$I = \frac{2\pi}{c^2} \frac{\nu^2}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (5)$$

電離エネルギー以上のエネルギーを持つ光子の総数は I を用いて式 (6) のように表せる。

$$I_0 = \int_{\nu_i}^{\infty} I d\nu \quad (6)$$

ここで ν_i は電離エネルギーに相当する光子の振動数である。更に、光子の吸収係数を μ とし、光子の吸収がプリカーサでのみ起こり、電離エネルギー以上のエネルギーを持つ光子一個の吸収で電子一個が電離すると仮定すると、衝撃波から距離 x の点での電離生成電子数は次のようになる。

$$\dot{\omega}_+ = \mu I_0 \exp(-\mu x) \quad (7)$$

輻射場温度 T をパラメーターとして、この光電離モデルに基づく電子生成率と、実験から得られた電子生成率を、Fig. 15 に示す。ここで、実験から得られた電子生成率とは、式 (3) の左辺に実験で得られた電子密度と衝撃波速度を代入して勾配を算出したものを意味する。熱化学モデルによる計算では、衝撃波背後の平衡状態における温度が 12,000K と予測されているため⁸⁾、輻射場温度を 13,000K から 15,000K に仮定することは、オーダー的に妥当と考えられる。図中-50mm 付近では実験から得られた電子生成率を光電離モデルでもかなり良く捉えていると考えられる。-50mm より遠方の領域では実験との差異が大きくなるが、その原因としては、輻射光の立体角による広がりの影響がモデルで考慮されていない等が考えられる。

一方、電子温度の挙動については以下のように光電離モデルから考察できる。電離エネルギーを E_i とした場合、電離生成された電子の平均エネルギーは次のようになる。

$$kT_0 = \frac{\int_{\nu_i}^{\infty} (h\nu - E_i) d\nu}{\int_{\nu_i}^{\infty} \mu I d\nu} \quad (8)$$

この T_0 と実験から求めた電子密度を用い、式 (4) を T_e について解いた結果と実験から求めた電子温度

を Fig. 16 に示す. この図から, 電子温度の挙動, 特にほぼ一定の分布を示す点が, 光電離モデルにおいて良く捉えられている. 実験値と良く合う放射場温度が 10,000K と電子生成率の場合よりも数千 K 程度低く見積もられているがその原因は次のように考えられている. 光電離モデルの式 (4) 中の衝突頻度の計算に用いている衝突断面積の値を本モデルでは簡単化のため一定としているが, 本来は電子温度 (エネルギー) により変動し, その変動幅は 1 桁程度である.

以上のように, 現象を単純化した光電離モデルであるにもかかわらず, 衝撃波プリカーサ領域での電子生成率と電子温度の挙動を良く捉えていると考えられる. それゆえ, プリカーサ領域での電離には, 衝撃波背後からの放射光による光電離が深く関わっている可能性が高いと考えられる.

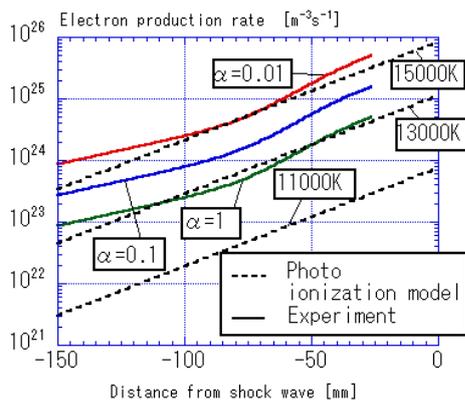


Fig. 15 Comparison of electron production rate between experiment and photo ionization model.

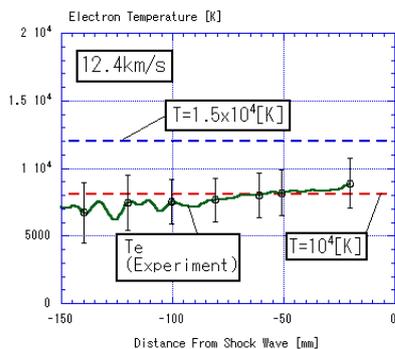


Fig. 16 Comparison of electron temperature between experiment and photo ionization model.

4. まとめ

純粹窒素中を $12.4 \pm 0.1 \text{ km/s}$ で伝播する強い衝撃波に伴う電離現象を調べた. 衝撃波背後の電子密度計測には, 発光分光法を用いた. その結果, 衝撃波直後で熱化学モデルに基づく予測より急激に電離が進行しているという結果が得られた. その急速な電離進行の原因として衝撃波背後の放射光による光電離が仮説として考えられ, この仮説の実証のために静電プローブ法により衝撃波前方領域の電子特性計測を行った. その結果, 衝撃波前方でも 10^{18} m^{-3} 程度の電子が存在することが示された. この電子の挙動について, 現象を単純化した光電離モデルを構築し実験結果と比較したところ, 電子生成率と電子温度分布の挙動を良く捉えていることがわかった. このため, 衝撃波速度が大きくなると光電離の影響が大きくなり衝撃波前方でも電子が発生するようになり, 衝撃波背後の電子密度分布に影響を及ぼすと可能性が高くなるなると考えられる.

今後, 光電離モデルについて, 放射光の立体角による広がりや電子の衝突断面積の電子エネルギー依存性を考慮したより詳細な解析モデルを構築することが課題である.

謝辞

本論文執筆に当たり, 本学理工学部機械システム工学科小島晋爾教授には, 丁寧な文章校閲を行って頂きました. ここに謝意を表します.

参考文献

- 1) Park, C. : Two-Temperature Interpretation of Dissociation Rate Data for N_2 and O_2 , AIAA Paper, AIAA-88-0458, January, 1988.
- 2) Park, C. : Review of Chemical Kinetic Problems of Future NASA Missions, I; Earth Entries, Journal of Thermophysics and Heat Transfer vol.7, No.3, pp385 – 398, 1993.
- 3) Park, C., : Assessment of a Two-Temperature Kinetic Model for Dissociating and Weakly Ionizing Nitrogen, Journal of Thermophysics and Heat Transfer vol.2, No.1, pp8-16, 1988.
- 4) Park, C., : Assessment of a Two-Temperature Kinetic Model for Ionizing Air, Journal of Thermophysics and Heat Transfer vol.3, No.3, pp233 – 244, 1989.
- 5) Park, C., : A Review of Reaction Rates in High Temperature Air, AIAA Paper, AIAA-89-1740, June, 1989.

- 6) Park, C., : Nonequilibrium Hypersonic Aerothermodynamics, John Wiley Sons, Inc., 1990.
- 7) Furudate, M., Nonaka, S., and Sawada, K., : Calculation of Shock Shapes over Sharp Cone in Intermediate Hypersonic Airflow, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, vol.17, No.2, 2003.
- 8) Fujita K., Sato S., and Abe T., : Experimental Investigation of Air Radiation Behind a Strong Shock Wave, Journal of Thermophysics and Heat Transfer vol.16, No.1, pp77 – 82, 2002.
- 9) Fujita K., Sato S., Abe T., and Ohtsu H., :Electron Density Measurements Behind Strong shock Waves by H β Matching, Journal of Thermophysics and Heat Transfer vol.17, No.2, pp210-216, 2003.
- 10) A. Matsuda, K. Fujita, S. Sato, T. Abe, : Nonequilibrium Phenomena behind Strong Shock Waves Generated in Super-Orbital Re-entry Flight, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol.18, No.3, pp342-348, 2004.
- 11) 小倉栄二, 船曳勝之, 佐藤俊逸, 安部隆士, : 自由ピストン 2 段膜衝撃波管の試作, 宇宙科学研究所報告, 第 96 号, 1997 年.
- 12) Grim, H.R., Kolb, A. C., and Shen, K. Y., : Stark Broadening of Hydrogen Lines in a Plasma, Phys.Rev., vol.116, pp4, 1959.
- 13) 提井信力 : プラズマ基礎工学, 内田老鶴圃, 第二版, 1997.
- 14) Fujita, K., and Abe, T., : SPRADIAN, Structured Package for Radiation Analysis; Theory and Application, The Institute of Space and Astronautical Science Report, No.669, September, 1997.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

自動車走行軌跡・姿勢角計測に適用する GPS-IMU 融合法の研究

高畑 健二¹⁾

Research of GPS-IMU Fusion Method for Vehicle Trajectory and Attitude Measurement

Kenji TAKAHATA¹⁾

Abstract

Various fusion methods to measure a vehicle trajectory and attitude using the Global Positioning Systems (GPS) and Inertial Measurement Unit (IMU) are proposed ordinary. We have started this study of the fusion algorithm for the vehicle trajectory measurement systems. At a midterm of this study, we developed the measurement systems to solve the cycle slip phenomenon and verified the vehicle precise trajectory for the short time. The applied positioning algorithm was Time Differential (TD) method. Continuously, we have developed the real-time GPS-IMU fusion algorithm based on the discrete-time Kalman filter, which was described by a simplified linear state equation, through the higher performance of computer. Finally, we have developed the vehicle trajectory and attitude estimation method by the acceleration error separation about this trajectory and attitude estimator simultaneously. Our techniques showed good performances under various driving condition for the findings of this development process.

1. はじめに

自動車の走行軌跡を求める技術は地球座標における平面または空間上で位置と姿勢を計測する技術である。これらは移動する自動車の上から計測する車上計測と地球上の固定点から計測する地上計測とに分類¹⁾される。

近年、GPS を利用した測位技術が発達すると、上記分類の中間的な考え方が必要となってきた。すなわち、座標系の視点からみると、GPS 測位座標は地上計測にあたり、自動車の走行軌跡の基になる加速度、角速度の計測は車上計測になる。地上固定座標系での GPS 測位データと車両固定座標系で計測した加速度、角速度からの走行軌跡を算出するためには、座標系を統一する必要がある、通常は地上固定座標系で走行軌跡が算出される。この GPS 測位値と座標変換を伴う速度、角速度から走行軌跡を算出するための融合アルゴリズムを適用した自動車走行軌跡・姿勢角計測方法の 4 フェーズにわたる研究について GPS-IMU 融合法の進展を述べ、最適な走行軌跡・姿勢角計測方法を研究成果として導く。

2. 研究の進展

筆者らは GPS の測位方式と GPS-IMU の適切な融合方

法について研究し、その組合せ固有の成果を得るとともに、課題をも明らかにして、研究を進展させてきた。その研究の進展を表 1 (次ページ参照) にまとめた。

2.1 フェーズ 1

初期の研究では走行軌跡が有する実用性についての研究が主体であった。鈴鹿サーキットレーシングスクールにおいて、インストラクタと受講生の操縦するレーシングカーの走行軌跡が判別可能な計測精度を実証し、走行軌跡計測によって自動車の操縦技量の評価が可能であることを確認²⁾できた。

2.2 フェーズ 2

GPS 測位方式のひとつであるキネマティック (Kinematic) GPS 方式について、複雑なシステム構成および脆弱点であるサイクルスリップを克服するために、システム構成を単独 GPS 方式、測位アルゴリズムを TD (Time Differential) 方式とした走行軌跡計測システムへと展開し、走行軌跡計測は自動車の過渡的な運動性能の測定³⁾が可能であることを確認できた。

(1)TD 方式による測位アルゴリズム⁴⁾

各時刻で計測した GPS 電波の搬送波位相計測による距離には伝播誤差およびアンビギュイティ (ambiguity, 不確定性) が含まれる。そのため、各時刻の測位誤差は

1) 交通科学科

1) Department of Transportation Engineering

Table1 Evolution of research and development

phase	Themes of R&D	Purpose	GPS positioning algorithm	GPS-IMU fusing algorithm
1	Development of measurement sensor for vehicle trajectory and verification of practical usage	Estimation device for the driving skill	Kinematic positioning by mobile and base station	Batch smoothing GPS update : 5Hz, IMU update : 50Hz
2	Development of vehicle trajectory measurement system using standalone GPS	Estimation device for the vehicle dynamics	TD positioning by mobile station	Batch smoothing GPS update : 5Hz, IMU update : 50Hz
3	Development of vehicle trajectory estimation system using GPS and IMU fusion		Kinematic positioning by mobile and base station	Real time Kalman filter GPS update : 5Hz, IMU update : 100Hz
4	Development of vehicle attitude estimation algorithm based on acceleration error separation			

大きい、各時刻の測位差と衛星間一重差 (異なる GPS 衛星に対する位相差) をとることにより、衛星時計のドリフト以外の伝播誤差、受信機時計誤差は同一のためキャンセル⁵⁾できる。

この原理を用いた測位アルゴリズムを TD 法という。

- ・走行軌跡：衛星時計の誤差以外をキャンセルした走行軌跡を計測することができるが、衛星時計の誤差累積による走行軌跡のドリフトが生じる。
- ・対地速度：各時刻における搬送波位相による距離の変化率を求めるため、衛星時計の誤差 (ドリフト) は累積せず、高精度に対地速度を計測することができる。

(2) GPS-IMU 融合アルゴリズム

TD 方式による GPS 測位周期が 0.2 秒では、過渡的な走行軌跡を取得できないが、加速度、角速度の積分による走行軌跡補間を周期 0.02 秒で行うことにより、過渡的な挙動の走行軌跡が取得できるようになる。加速度、角速度を時系列順に時間更新積分 (DR, Dead Reckoning) して求められる位置および、方位角の積分誤差を抑制するため、その DR データを TD 方式による GPS 測位値で 0.2 秒毎に観測更新する。さらに一旦、前向きに融合した走行軌跡を、逆の時系列順にスムージングすることで GPS データと DR データをさらに平滑に融合している。

(3) 精度実証試験

走行軌跡、対地速度について、同時に取得したキネマティック GPS 方式による走行軌跡、対地速度に対して、10 秒間程度の計測時間に限定すれば走行軌跡はキネマティック GPS 方式と TD 方式とで、ほとんど差がないことが実証できた。

3. フェーズ 3

フェーズ 2 で述べたシステムの GPS-IMU 融合方法では、融合時に発生する誤差をバッチでしか補正できないこと、および軌跡データを実時間で取得できないという

短所を有していたため、実時間処理が可能な GPS-IMU 融合方法による走行軌跡計測アルゴリズムを開発⁶⁾した。

3.1 システムの構成および性能

図 1 に示すようにシステム構成は、ビークルに搭載される移動局、および地上に設置される基準局、実時間融合処理装置から構成される。実時間キネマティック GPS 測位計算を行うため、実時間融合処理装置は GPS の位置データおよび IMU からの加速度、方位角を移動局から受信する。その受信データを用い、カルマンフィルタによる融合計算によって走行軌跡を算出する。

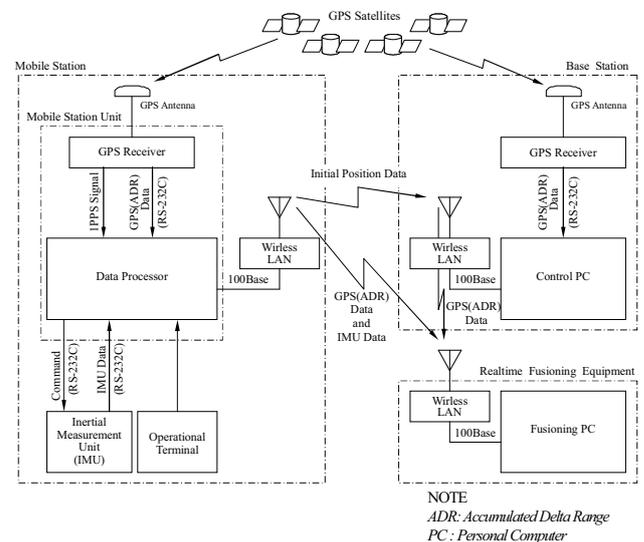


Fig.1 Block diagram of systems

ビークルの運動を並進系と回転系を併せて記述した式(1)の運動方程式 (ビークル座標系, 離散時間状態方程式) は, システム行列の並進系に座標変換行列 E^l , 回転系に角速度変換行列 e^l , および遠心力, コリオリ力の原因となる角速度の歪対象行列⁷⁾ (テンソル) $\omega \times$ を含むため非線形システムとなる. この非線形性により, カルマンフィルタの収束性を保証できなくなる⁸⁾ため, 状態方程式の線形化・簡略化を行い, 線形で極めてシンプ

ルな線形状態方程式として式(2),(3)を得ることができる。
なお、本節では状態方程式を参考文献 6) のとおり離散系で示してある。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{X}_{t+1} &= \mathbf{F}_t \cdot \mathbf{X}_t + \mathbf{G}_t \cdot \mathbf{w} \\ \mathbf{Y}_t &= \mathbf{H}_t \cdot \mathbf{X}_t + \mathbf{v} \end{aligned} \right\} (1)$$

where,

$$\mathbf{X}_t = [R_G \quad v \quad a \quad \varepsilon_{da} \quad W \quad \omega \quad \varepsilon_{d\omega}]^T$$

$$\mathbf{F}_t = \begin{bmatrix} I & E^{-1}\Delta T & \frac{1}{2}E^{-1}\Delta T^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I - \omega \times \Delta T & \Delta T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-\alpha\Delta T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I & e^{-1}\Delta T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I & I \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{-\beta\Delta T} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G}_t = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1-e^{-\alpha\Delta T}}{\alpha} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1-e^{-\beta\Delta T}}{\beta} \end{bmatrix}, \mathbf{H}_t = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 \end{bmatrix}$$

\mathbf{Y}_t : observation data,

$\mathbf{w} = [w_{da} \quad w_{d\omega}]^T$: driving noise each for $w_{da}, w_{d\omega}$,

w_{da} : driving noise of ε_{da} , $w_{d\omega}$: driving noise of $\varepsilon_{d\omega}$,

ε_{da} : fluctuation of acceleration, $\varepsilon_{d\omega}$: fluctuation of angular velocity,

$\mathbf{v} = [v_{R_G} \quad v_a \quad v_w \quad v_\omega]^T$: observation noise each for R_G, a, W, ω

$R_G = [X, Y, Z]$: position, $\mathbf{v} = [u, v, w]$: velocity on vehicle coordinate,

$a = [a_x, a_y, a_z]$: acceleration on vehicle coordinate,

$W = [\phi, \theta, \psi]$: attitude, $\omega = [p, q, r]$: angular velocity,

I : unit matrix, α, β : 1/time constant, ΔT : sampling interval

$E^{-1} =$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta \cos\psi & \sin\phi \sin\theta \cos\psi - \cos\phi \sin\psi & \cos\phi \sin\theta \cos\psi + \sin\phi \sin\psi \\ \cos\theta \sin\psi & \sin\phi \sin\theta \sin\psi + \cos\phi \cos\psi & \cos\phi \sin\theta \sin\psi - \sin\phi \cos\psi \\ -\sin\theta & \sin\phi \cos\theta & \cos\phi \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$e^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix}, \omega \times = \begin{bmatrix} 0 & -r & q \\ r & 0 & -p \\ -q & p & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 ドライバモデル

加速度データのパワースペクトル密度 (PSD) の直流 (極低周波数) 成分をドライバの運転の揺らぎと同日し、システム雑音と定義した。PSD の直流成分は、旋回が定常的に発生する走行条件では、パワーレベルは、ほぼ同一のまま周波数のみが、旋回周波数分だけ直流からシフトする。PSD がシフトする理由は車上計測であれば、旋回時の求心加速度は、定常的に同一極性で発生するが、この加速度を地上固定座標系に座標変換することで、周波数成分を持つようになるためである。

driver model1

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{X}_{t+1} &= \mathbf{F}_t \cdot \mathbf{X}_t + \mathbf{G}_t \cdot w_{da} \\ \mathbf{Y}_t &= \mathbf{H}_t \cdot \mathbf{X}_t + \mathbf{v} \end{aligned} \right\} (2)$$

where,

$$\mathbf{X}_t = [R_G \quad V \quad A \quad \varepsilon_{da}]^T$$

$$\mathbf{F}_t = \begin{bmatrix} I & \Delta T & \frac{1}{2}\Delta T^2 & 0 \\ 0 & I & \Delta T & 0 \\ 0 & 0 & I & \Delta T \\ 0 & 0 & 0 & e^{-\alpha\Delta T} \end{bmatrix}, \mathbf{G}_t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{I - e^{-\alpha\Delta T}}{\alpha} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_t = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_{R_G} \\ v_A \end{bmatrix}$$

driver model2

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{X}_{t+1} &= \mathbf{F}_t \cdot \mathbf{X}_t + \mathbf{G}_t \cdot w_{da} \\ \mathbf{Y}_t &= \mathbf{H}_t \cdot \mathbf{X}_t + \mathbf{v} \end{aligned} \right\} (3)$$

where,

$$\mathbf{X}_t = [R_G \quad V \quad A]^T$$

$$\mathbf{F}_t = \begin{bmatrix} I & \Delta T & \frac{1}{2}\Delta T^2 \\ 0 & I & \Delta T \\ 0 & 0 & e^{-\alpha\Delta T} \end{bmatrix}, \mathbf{G}_t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{I - e^{-\alpha\Delta T}}{\alpha} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_t = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}, \mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_{R_G} \\ v_A \end{bmatrix}$$

$R_G = [X, Y, Z]$: position vector,

$V = [V_x, V_y, V_z]$: velocity vector on inertial coordinate,

$A = [A_x, A_y, A_z]$: acceleration on inertial coordinate,

ε_{da} : fluctuation of acceleration,

$\varepsilon_{d\omega}$: fluctuation of angular velocity,

w_{da} : driving noise, $\mathbf{v} = [v_{R_G}, v_A]$: observation noise each for R_G, A ,

I : unit matrix, α, β : 1/time constant

ΔT : sampling interval

ここで式(2) のドライバモデル 1 はシステム雑音を加速度変化率 (ジャーク) とするモデル、式(3)のドライバモデル 2 はシステム雑音を加速度とするモデルである。

3.3 カルマンフィルタによる GPS-IMU 融合

状態更新レートと観測更新レートが異なるカルマンフィルタに対し、表 2 の走行条件 1 でフィルタ定数をチューニングした結果、100Hz 更新の IMU 観測データと 5Hz 更新の GPS 観測データを融合し、滑らかな走行軌跡を得ることができた。

さらに、走行条件 1 でチューニングしたフィルタ定数が、同表の走行条件 2 のような多様性のある走行条件へも適応できるかを検証した。ドライバモデル 1 については、走行条件 1 におけるフィルタ定数がそのまま適用でき、目標性能を満足することが確認できた。これは、ドライバモデル 1 はシステムの駆動雑音を加速度変化率としているため、加速度変化率への追従ができていたものと考えられる。ドライバモデル 2 については、穏やか

な旋回切返し, および直進は走行条件 1 におけるフィルタ定数の値が適用できるが, 横加速度の変化率が大きい旋回切返し時点で, 図 2 に示すような鋸歯状波の走行軌跡が発生し, GPS-IMU の融合が滑らかでないことが判る. これは, ドライバモデル 2 は加速度変化率への追従ができていないためと考えられる.

Table2 Driving condition

condition	#1		#2
maneuvering	J turn	Eight figure	Racing course driving
test vehicle	arbitrary sedan		
velocity(max) (km/h)	52.13	22.19	92.32
yaw rate(max) (rad/s)	0.52	0.76	0.87
lat. acc(max) (m/s ²)	3.20	5.64	10.55
jerk(approx.) (m/s ² /s)	110	180	600

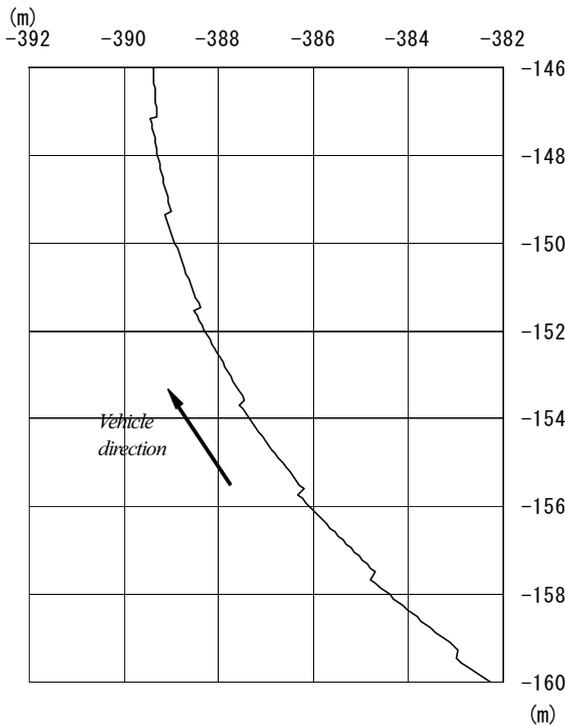


Fig.2 Saw toothed trajectory at racing maneuver

4. フェーズ 4

フェーズ 4 ではフェーズ 3 で開発したアルゴリズムをさらに発展・統合させたビークル走行軌跡・姿勢角推定アルゴリズムについて, 高精度な GPS 測位値によって位置データの精密な補正が可能なることに着目した線形カルマンフィルタを用いて走行軌跡と姿勢角を一体的に推定する研究を実施した. フェーズ 3 で開発した線形カルマ

ンフィルタに対し, 姿勢角推定を GPS と IMU の融合アルゴリズム内に取り込むことで, 加速度誤差の中の姿勢角誤差に起因する加速度成分を抽出するアルゴリズムの開発⁹⁾を行った. このアルゴリズムは, 姿勢角誤差に起因する加速度誤差成分を計測加速度から分離することで specific force (後述) の推定を行い, この specific force を車体固定座標系から地上固定座標系へ座標変換した specific force と地上固定座標系で計測される GPS 測位値を融合することでビークルの走行軌跡および姿勢角を一体的に推定するものである. この方法によれば, 姿勢角計測器を準備することなく GPS-IMU 融合の一体システムとしてアルゴリズムを構築することが可能になり, 計測アルゴリズムがシンプルになり, ひいては計測器材のコスト低減を狙って研究した.

4.1 地上固定座標系で記述した状態方程式

フェーズ 3 と同様な方法を用いて状態方程式の線形化・簡略化を行い, 線形で極めてシンプルな状態方程式を得ることができた. なお, 本節では状態方程式を参考文献⁹⁾ のとおり連続系で示してある.

(1) 式(4)に示す回転系の状態方程式に基づくカルマンフィルタで推定した姿勢角誤差を含む姿勢角を用いて, IMU が車両固定座標系で計測した加速度を地上固定座標系へ変換する.

(2) (1)項によって, 状態方程式のシステム行列内の座標変換を除くことができ, 座標系の地上固定座標系への統一, 状態方程式の線形化が可能となる. その状態方程式を式(5)に示す.

(3) 式(5)はフェーズ 3 と同様に加速度データの PSD の直流(極低周波数)をシステム雑音と見做すものである.

(4) 一般的には specific force **A** のみで示す状態方程式の状態量に対して, 主に姿勢角誤差から生じる加速度誤差 $\delta\mathbf{A}$ を状態量として加法追加している.

4.2 姿勢角推定

姿勢角推定の概念を図 3 に示すとともに, 以下に説明する.

(1) 式(4)で示す回転系の状態方程式は, 姿勢角 **W** が不可観測であり, カルマンフィルタによる姿勢角推定はできないため, カルマンフィルタの構成を利用した時間更新ループのみで角速度積分した姿勢角誤差を含む姿勢角を用いて, 慣性センサが車両固定座標系で計測した加速度を地上固定座標系へ変換する.

(2) 式(5)に示す並進系の状態方程式に基づくカルマンフィルタによって specific force **A** と加速度誤差 $\delta\mathbf{A}$ を区別して推定し, specific force **A** は走行軌跡推定用, 加速度誤

差 $\delta\mathbf{A}$ は姿勢角誤差推定用として弁別される. **specific force** \mathbf{A} は白色雑音で駆動される積分過程とし, 加速度誤差 $\delta\mathbf{A}$ は白色雑音を整形フィルタに通した有色雑音で駆動される弱定常 2 次過程¹⁰⁾として扱うものである.

(3) 加速度に加速度誤差を付加した観測値 $\tilde{\mathbf{A}} = (\mathbf{A} + \delta\mathbf{A})$ を実際の IMU (加速度計) の計測値に対応させることとした.

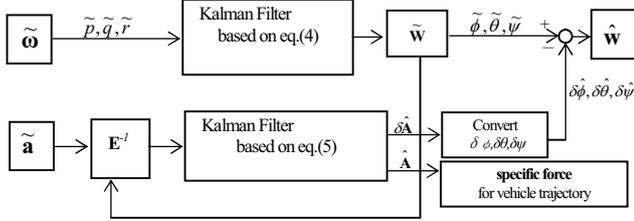


Fig.3 Conception of Specific force and Attitude error estimation

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{W} \\ \dot{\omega} \\ \dot{\varepsilon}_\omega \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \\ 0 & 0 & -\alpha \cdot I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W \\ \omega \\ \varepsilon_\omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \alpha \cdot w_\omega \end{bmatrix} \\ y &= \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W \\ \omega \\ \varepsilon_\omega \end{bmatrix} + v_\omega \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

where,

$W = [\phi, \theta, \psi]$: attitude,

$\omega = [p, q, r]$: angular velocity,

ε_ω : fluctuation of angular velocity,

w_ω : driving noise,

v_ω : observation noise for ω

I : unit matrix, α : 1/time constant

4.3 姿勢角誤差による加速度誤差

カルマンフィルタで推定した加速度誤差 $\delta\mathbf{A}$ は地上固定座標におけるもので, ビークルに搭載して計測した加速度の座標変換精度に影響する姿勢角 (方位角, ロール姿勢角, ピッチ姿勢角) 誤差が主な原因で発生するものである.

(1) 方位角誤差による加速度誤差

地上固定座標へ変換したビークルの運動を加速度計の観測データを基に, 式(5)の **specific force** \mathbf{A} と加速度誤差 $\delta\mathbf{A}$ を加えた形で表すと, 式(6)になる.

観測誤差, および重力成分を含まないビークルの運動加速度を **specific force**⁷⁾と定義する. なお, **specific force** は単位質量 1kg に対する実体力¹¹⁾を表し, 単位質量で割ることで加速度と等価な次元になる. なお, 地上固定座標系で表す **specific force** は \mathbf{A} , 車両固定座標系で表す **specific force** は \mathbf{a} と表記している

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{R}_G \\ \dot{V} \\ \dot{A} \\ \dot{\varepsilon}_A \\ \dot{\varepsilon}_{dA} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\gamma \cdot I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_G \\ V \\ A \\ \delta A \\ \varepsilon_A \\ \varepsilon_{dA} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ w_A \\ \gamma \cdot w_{dA} \end{bmatrix} \\ y &= \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & I & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ V \\ A \\ \delta A \\ \varepsilon_A \\ \varepsilon_{dA} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_R \\ v_A \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

where,

$R_G = [X, Y, Z]$: position vector,

$V = [V_x, V_y, V_z]$: velocity vector on inertial coordinate,

$A = [A_x, A_y, A_z]$: acceleration on inertial coordinate,

$\delta A = [\delta A_x, \delta A_y, \delta A_z]$: acceleration error on inertial coordinate,

ε_A : fluctuation of acceleration,

ε_{dA} : fluctuation of acceleration error,

w_A, w_{dA} : driving noise,

$[v_R, v_A]$: observation noise each for R_G, A ,

I : unit matrix, γ : 1/time const

$$\tilde{\mathbf{A}}_\psi = \mathbf{A}_\psi + \delta\mathbf{A}_\psi \quad (6)$$

where,

$$\tilde{\mathbf{A}}_\psi = \begin{bmatrix} \cos \tilde{\psi} & -\sin \tilde{\psi} \\ \sin \tilde{\psi} & \cos \tilde{\psi} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{a}_\psi, \quad (7)$$

$\tilde{\psi} = \psi + \delta\psi$,

$\mathbf{A}_\psi = [A_x \quad A_y]^T, \mathbf{a}_\psi = [a_x \quad a_y]^T$: specific force

式(7)の座標変換行列を変形し, $\delta\psi$ が微小とすると, 式(8)を得る.

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} \cos \tilde{\psi} & -\sin \tilde{\psi} \\ \sin \tilde{\psi} & \cos \tilde{\psi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \psi - \sin \psi \cdot \delta\psi & -\sin \psi - \cos \psi \cdot \delta\psi \\ \sin \psi + \cos \psi \cdot \delta\psi & \cos \psi - \sin \psi \cdot \delta\psi \end{bmatrix} \\ &\approx \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi \\ \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\delta\psi \\ \delta\psi & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式(6)から方位角誤差による加速度誤差は式(9)になる.

$$\begin{aligned} \delta\mathbf{A}_\psi &= \tilde{\mathbf{A}}_\psi - \mathbf{A}_\psi = \begin{bmatrix} \cos \tilde{\psi} & -\sin \tilde{\psi} \\ \sin \tilde{\psi} & \cos \tilde{\psi} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi \\ \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi \\ \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -\delta\psi \\ \delta\psi & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

(2) ロール姿勢角, ピッチ姿勢角による加速度誤差

方位角誤差による加速度誤差と同様にそれぞれ式(10),(11)として得る. この場合はロール, ピッチ姿勢角誤差による重力加速度成分も加算される.

$$\delta\mathbf{A}_\phi = \begin{bmatrix} \delta A_y \\ \delta A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \cdot \left\{ \begin{bmatrix} 0 & -\delta\phi \\ \delta\phi & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta\phi \\ 0 \end{bmatrix} \cdot g \right\} \quad (10)$$

$$\delta\mathbf{A}_\theta = \begin{bmatrix} \delta A_x \\ \delta A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \left\{ \begin{bmatrix} 0 & \delta\theta \\ -\delta\theta & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta\theta \\ 0 \end{bmatrix} \cdot g \right\} \quad (11)$$

4.4 加速度誤差の分離

姿勢角誤差による加速度誤差 $\delta\mathbf{A}$ は式(9)から判るよう
に, specific force に直交するので, specific force \mathbf{A} が回転
した場合, それと直交したまま $\delta\mathbf{A}$ も回転し, specific force
 \mathbf{A} と $\delta\mathbf{A}$ の幾何学的関係は一定である. すなわち, specific
force \mathbf{A} と $\delta\mathbf{A}$ の位相が 90° ずれた状態としてモデル化で
きるので, これを式(5)で示す状態方程式において specific
force \mathbf{A} は白色雑音の積分過程, 加速度誤差 $\delta\mathbf{A}$ は白色雑
音を整形フィルタに通した有色雑音で駆動される弱定常
2次過程として両者の位相関係を 90° ずらすことで, カル
マンフィルタによる加速度誤差の分離を確実にしている.

4.5 走行軌跡の推定

4.4 節の姿勢角誤差の分離によって得られた地上固定
座標系のビークルの運動加速度 (specific force \mathbf{A}) は正確
な座標変換をされたことと等価な推定値になるので, こ
の specific force \mathbf{A} と GPS 測位データから式(5)の状態方程
式に基づくカルマンフィルタによって, 加速度誤差を積
分することで生じる積分誤差を分離した高精度な走行軌
跡を得ることができる.

4.6 姿勢角の推定

走行軌跡の推定のみであれば 4.4 節の誤差分離方法で
十分であるが, さらにロール姿勢角, ピッチ姿勢角を陽
に推定するための方法についてロール姿勢角誤差 $\delta\phi$ を
求める場合を例にして述べる. ピッチ姿勢角誤差も加速
度成分を $[a_x, a_z]^T, [A_x, A_z]^T$ に読み替えることで同様に求
めることができる.

ロール姿勢角誤差は式(5)の状態方程式に基づく並進
系カルマンフィルタで specific force $\hat{\mathbf{A}}$, 加速度誤差 $\delta\hat{\mathbf{A}}$
を推定した後, ロール姿勢角誤差 $\delta\phi$ は式(12)を用いて
算出できる.

$$\delta\hat{\phi} = \tan^{-1} \frac{|\delta\hat{\mathbf{A}}_\phi|}{|\hat{\mathbf{A}}_\phi|} \equiv \tan^{-1} \frac{|\delta\hat{a}_\phi|}{|\hat{a}_\phi|} \quad (12)$$

4.7 走行軌跡・姿勢角推定結果

(1) 走行軌跡

代表例として載せたスラローム (図 4) の走行軌跡は
GPS データと加速度推定データ (specific force) による走
行軌跡が段差なく滑らかに融合されていることが確認で
きる. 走行軌跡の滑らかさはカルマンフィルタによって
推定された走行軌跡を生成するための specific force と加
速度誤差が精度良く分離されている結果と考えられる.

定量的評価は GPS 測位点を基準点として, GPS 測位
間隔 (0.1s 間) において, specific force を観測データとし

て 0.02s 毎に推定した 4 個目の地点 (最初の GPS 測位点
から 0.08s 時点) から 0.02s 後 (最初の GPS 測位点から
0.1s 時点) の評価のために外挿した地点と次の GPS 測位
点との偏差で評価した. その結果を図 4 の拡大図に示す.
その標準偏差は $0.67\text{cm}(1\sigma) \sim 1.01\text{cm}(1\sigma)$ であり, GPS 単
体精度 $2.7\text{cm}(1\sigma)$ の 1/2 以下の偏差であり, 十分に実用的
な推定精度といえる.

(2) ロール姿勢角, ピッチ姿勢角

スラローム時の姿勢角 (ϕ, θ) を図 5 に示す. 図中,
true を添え字した Gray 色の波形は光学式姿勢角計で測定
した基準データ, ^ を冠した Black 色の波形は推定データ,
~ を冠した波形は加速度誤差に依る姿勢角誤差を補正せ
ずに算出した姿勢角を示す.

ロール姿勢角 (ϕ) については同時取得した光学式
姿勢角計の計測値と比較すると, 除去しきれていない
小さな変動成分および, 図 5 のスラローム区間 20~
38s のゲイン差を除いて, ほぼ同様な波形を推定して
いる. ピッチ姿勢角 (θ) については, specific force が
安定していないと考えられる区間 (図 5 の 15~22s 付
近) において光学式姿勢角計の計測値と差がみられる.
定量的評価は光学式姿勢角計の計測値を基準 (真値)
として, その真値への適合度とし RMR(Root Mean
Residual)指標¹²⁾を用いて評価した. その結果を表 3 に
示す. 結果は $0.08^\circ_{\text{RMR}} \sim 0.50^\circ_{\text{RMR}}$ であり, MEMS (Micro
Electro Mechanical Systems)を使用した比較的安価な姿
勢角計と同等な精度 (一例, 0.75° 程度) であり, 実用
性はあるといえるが, specific force が安定していない
区間の推定アルゴリズムは改善する必要がある.

また, 加速度誤差に依る姿勢角誤差を補正せずに算
出したロール姿勢角 ($\tilde{\phi}$) およびピッチ姿勢角 ($\tilde{\theta}$)
は大きくドリフトしていることが判る. このことから
も, 姿勢角推定アルゴリズムの有効性を見て取るこ
とができる.

Table3 Fitting of Attitude measurement

Maneuvering		Fitting	ϕ ($^\circ_{\text{RMR}}$)	θ ($^\circ_{\text{RMR}}$)
Slalom	period: 1-38s		0.39	0.33
	period: 1-20s		0.26	0.39
	period: 20-38s		0.50	0.26
Steady state circular	period: 1-80s		0.08	0.22

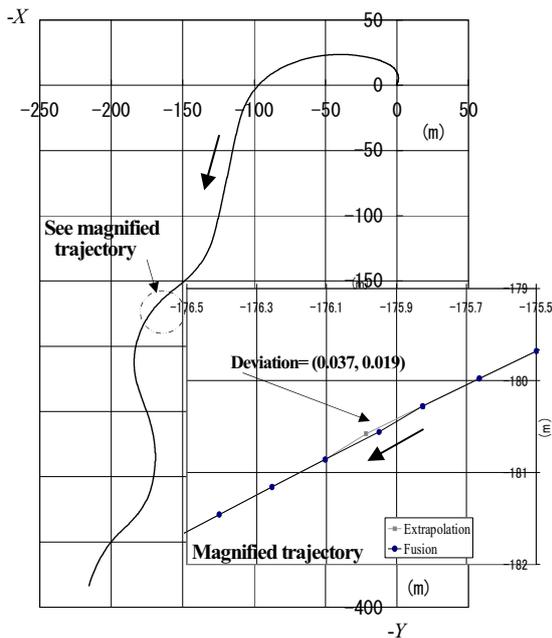


Fig.4 Trajectory of Slalom (typical)

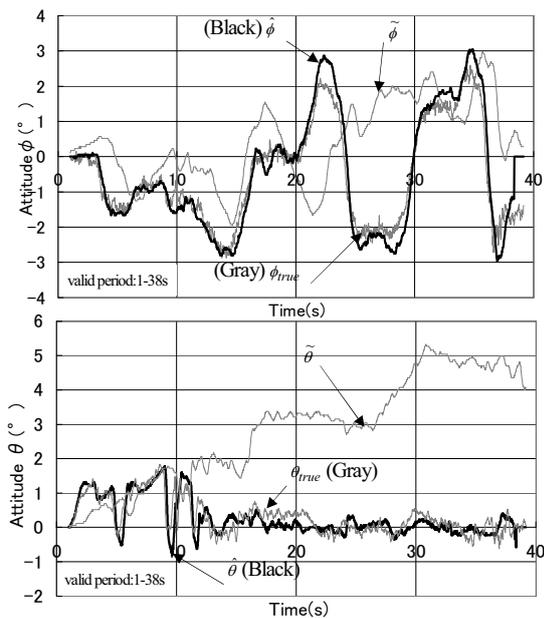


Fig.5 Attitude (ϕ, θ) of Slalom

5. まとめ

5.1 最適な走行軌跡計測方法

3章で述べた結果から判るように、GPS と IMU を使用して走行軌跡を計測するためには、システム駆動源としてドライバモデル1を用いた実時間カルマンフィルタによる GPS-IMU の融合方法は以下の優れた特性を有し、走行軌跡計測に対して、最適な方法であることが確認できた。

(1)異なる計測周期, 計測次元の物理量融合

走行軌跡計測に必要な物理量は IMU が計測する加速度を2階積分した位置(積分走行軌跡)と GPS が計測する位置(GPS 走行軌跡)である。前者には計測加速度に含まれる観測雑音成分に由来する積分誤差が蓄積するため、その誤差を抑制する必要がある。カルマンフィルタは対象システム(ビークルダイナミクス)から IMU が計測する加速度と GPS が計測する走行軌跡(位置)について、加速度は短い周期(10ms)、位置は長い周期(200ms)で観測データとして入力する。この時、周期200ms 毎の GPS 走行軌跡については、積分誤差が生じないのは自明である。一方、状態遷移を一定周期(10ms)で繰り返す時間更新ループ、観測更新ループで推定される状態変数(加速度、位置)と観測データ(加速度、位置)の差(イノベーションという)および、カルマンゲインによる最小誤差分散推定(推定誤差の2乗平均が最小という意味)により、積分誤差の原因である観測雑音成分を濾波した最適な加速度および位置が計算される。

イノベーションによる状態変数の最適推定機構により、GPS の観測データが存在しない周期においても IMU の計測加速度から観測雑音を濾波した加速度を積分することで走行軌跡の積分誤差を実時間で抑制することができる。この方法により IMU が計測する加速度計測周期と GPS が計測する位置計測周期という異なる周期、次元の物理量の実時間融合が可能になった。

(2) システム駆動源の同定モデル

通常は、駆動雑音は白色雑音とし、その白色雑音の全周波数帯域を積分することによって得られるランダムウォークモデルがシステム駆動源の駆動雑音として記述されるが、このモデルは駆動雑音のランダムウォークに対する物理的意味が抽象的であるため入力レベルの同定が困難である。一方、システム駆動源をドライバモデル1という具体的な物理モデルで記述することで、システム駆動源モデルの同定問題を整形フィルタの状態推定問題¹⁰⁾へ帰着できることが判った。

(3) 駆動雑音の物理的解釈

実走行データの加速度の PSD の直流成分を駆動雑音と見做すことで、駆動雑音の同定レベルに対する具体的な物理的解釈が可能になった。

5.2 加速度誤差による姿勢角推定

ビークルの走行軌跡を求める場合、車両固定座標系で計測した加速度を地上固定座標系で計測した位置情報と融合するための座標変換において発生する姿勢角誤差に起因する加速度誤差を利用して、走行軌跡およびロール姿勢角、ピッチ姿勢角の推定を行った。

- (1) 走行軌跡については、姿勢角誤差に伴う座標変換誤差を補正するのではなく、並進系カルマンフィルタで計測加速度から直接、姿勢角誤差に伴う加速度誤差を分離した *specific force* により連続で滑らかなで走行軌跡を得ることができ、精度についても定量的評価をすることで、このアルゴリズムの実用性を確認できた。
- (2) ロール姿勢角、ピッチ姿勢角については、姿勢角誤差に伴う加速度誤差とそれを分離した *specific force* が直交するという幾何学的関係を用いて加速度誤差から姿勢角誤差を算出することができ、精度についても定量的評価をすることで、このアルゴリズムの実用性を確認できた。
- (3) 光学式姿勢計で計測した姿勢角に対して *specific force* が安定しない区間および、スラローム振幅ピーク時において波形に差があることについては、今後の研究成果の蓄積によってアルゴリズムの更なる改善が必要である。

- International Technical Meeting 2002,Portland,OR.September, pp.12-20,2002
- 8)高浜盛雄:飛行制御におけるロバスト制御,三菱重工技報,Vol.29,No.2,pp.123-127,1992
- 9)高畑健二ほか:ビークル走行軌跡計測装置に適用する姿勢角推定アルゴリズムの開発と実用性確認,自動車技術会論文集,Vol.38,No.6,pp.241-246,2007
- 10)内田健康ほか:状態推定の理論,コロナ社,pp.96,102-103,2004
- 11)披山大三:次元解法の理論と応用,共立出版,p.30,1956
- 12)岩崎学ほか:実用統計用語事典,オーム社, p.184,2004

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

謝辞

本研究に際して、共同研究者として、元名古屋大学教授 高浜盛雄先生、名城大学教授 奥出宗重先生、元名城大学教授 松原武徳先生から絶大なるご指導・ご支援を受け賜りましたこと、および貴重な研究資料を提供していただいた三菱エンジニアリング㈱の研究スタッフ各位に対して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1)近森順ほか:走行軌跡の測定方法について,自動車技術, Vol.38,No.3,pp.350-356,1984
- 2)飯沼裕美ほか:自動車走行軌跡計測装置の開発および実用性確認試験結果,自動車技術会学術講演会前刷集,No.1 - 99,pp.17-20,1999
- 3)高畑健二ほか:単独 GPS 測位によるビークル走行軌跡計測装置の開発,自動車技術会論文集,Vol.38,No.5,pp.21-26,2007
- 4)Mami Ueno *et al.*:Development of Low-cost GPS Autopilot Sensor for Agricultural Vehicle, Proceedings of The European Navigation Conference GNSS 2002,Copenhagen. May,pp.1-9,2002
- 5)村田正秋ほか:航空宇宙における誘導と制御,コロナ社,pp.236-237,1995
- 6)樋口智明ほか:GPS-IMU 融合によるビークル走行軌跡計測装置の開発,自動車技術会論文集,Vol.37,No.6,pp.21-26,2006
- 7)T.Numajima *et al.*:INS/DGPS/VMS Integration for In-Motion Alignment, Proceedings of The Institute of Navigation,15th In-

小土被りトンネル掘削時

サイドパイル工の地盤沈下抑制効果に関する数値的検討

崔 瑛¹⁾ 岸田 潔²⁾ 木村 亮²⁾

Control of Ground Subsidence Using Foot Reinforcement Side Pile during Shallow Overburden Tunnel Excavation

Ying CUI¹⁾, Kiyoshi KISHIDA²⁾ and Makoto KIMURA²⁾

Abstract

During the construction of a new bullet train line, where a shallow overburden tunnel was excavated using NATM, the phenomenon of equal settlements of the ground surface, the crown, and the foot of the tunnel, called accompanied settlements, occurred, and the prevention of ground subsidence became a real problem. Foot reinforcement side piles (FRSP) were used to prevent ground subsidence, and it has been reported that the piles were able to prevent the settlements of the ground and the tunnel effectively. Nevertheless, the mechanics on how the FRSP control such settlements is still not yet clear. In this study, 2-D elasto-plastic FEM analyses were carried out to clarify the mechanism of the effect of FRSP. The phenomenon of accompanied settlements was simulated pertinently and the results indicate that FRSP can prevent surface settlement by increasing the effects of the load distribution, the shear reinforcement, and the internal pressure.

1. はじめに

未固結地山での小土被りトンネルの施工は、従来、開削工法が主流であったが、近年では、施工・計測技術の向上を背景に、周辺環境への影響度が小さいこと、経済的であることなどの理由により、NATMを採用した施工例が増えつつある。しかしながら、NATMは切羽の自立や地山の耐力を前提として開発された工法であるため、小土被り未固結地山に適用する際には、地盤およびトンネルの沈下の抑制が重要な課題となる。

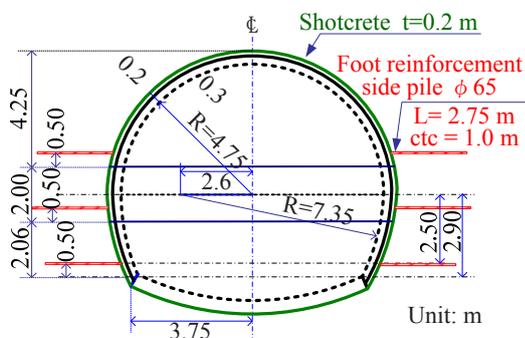


Fig. 1 Example of FRP (Tunnel K)

東北新幹線の八戸～七戸のトンネル工事区間では、地形的な制約や線形的な制約により、未固結地山においてNATMを用いた小土被りトンネルの掘削が行われた。沈下の抑制が重要な課題となるこれらの現場では、地盤とトンネルが同等に沈下すると下がり現象が報告された。

現場では、トンネルと地表面が同等に沈下することに着目し、「トンネル脚部の沈下を抑制すれば地表面の沈下も収まるだろう」との考えから、脚部補強工の一種であるサイドパイル工が採用されている¹⁾⁻³⁾。Fig. 1³⁾に、Kトンネルでのサイドパイルの実施工例を示す。この工法は、

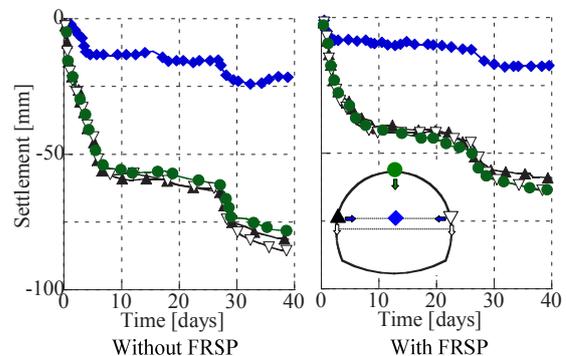


Fig. 2 Effect of FRSP on tunnel settlement and convergence (Measured in Tunnel K)

1) 建設システム工学科 2) 京都大学大学院工学研究科
1) Dept. of Civil Engineering 2) Dept. of Urban Management, Kyoto University

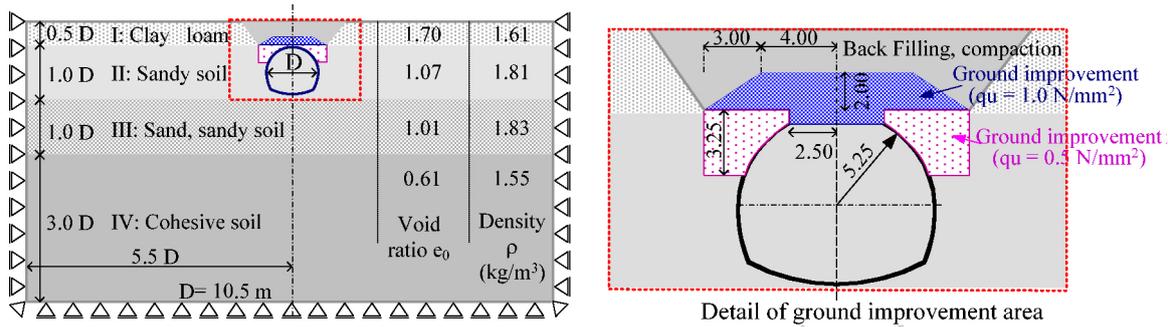


Fig. 3 Analytical object and boundary condition

鋼製支保工建込み直後にパイルを Fig. 1 に示す位置に水平方向に圧入打撃し、そのパイルを両側の鋼製支保工に渡した補強プレートに溶接した後、吹付けコンクリートを施工することで鋼製支保工、パイル、補強プレートを一体化させるものである。Fig. 2^{2)~4)}に、K トンネルで計測された、サイドパイル工を設置する場合と設置しない場合のトンネル掘削時の内空変位、トンネル天端と脚部の沈下の経時変化を示す。計測地点は異なるものの、図より、サイドパイルを設置することにより、天端沈下、脚部沈下、内空変位が減少することが確認できる。

このように、サイドパイル工は実際にいくつかの現場で使用されており、効果があるとの報告がなされている^{1)~3)}。しかしながら、サイドパイル工の適切な設計方法が定まっておらず、現場では経験によって試行錯誤的に採用しているのが現状である。

サイドパイル工の沈下抑制効果およびその作用メカニズムに関しては、いくつかの研究がなされている。北川ら^{4)~5)}は、逆 T 字型の断面を持つ覆工模型でトンネルの脚部をモデル化し、サイドパイル工地表面沈下抑制効果について検討を行った。その結果、サイドパイル工設置により地表面沈下やトンネルの変位を抑制できること、また一定の長さを確保すること、トンネル支保工に十分に固定すること、剛性を高めることによりその効果が高まることが確認された。また、崔ら⁶⁾は、北川ら^{4)~5)}の模型実験に改良を加え、L 字型の断面を持つ覆工模型でトンネルの脚部をモデル化し、3 次元降下床模型実験および模型実験を対象とする数値解析を行い、サイドパイル工地盤沈下抑制効果について検討した。その結果、降下床の下降に伴い、降下床右端から発達するすべり線が生じ、そのすべり線より模型側でとも下がり現象が発生していることを確認した。さらに、サイドパイルはこのすべり線を交差することで、せん断補強効果および荷重再配分効果を発揮し、地盤沈下を抑制できるという結論を示している。

このように、室内試験においては、サイドパイル工の

作用メカニズムについてある程度の成果が得られているが、実現場を対象とする検討はまだ行われていない状態である。実現場では、地盤状態や施工過程によりトンネルの応力状態は模型実験と大きく異なるため、サイドパイル工の設計手法の提案にあたり、室内模型実験の結果のみでは不十分である。

そこで本稿では、実際の施工現場を対象とした 2 次元有限要素解析を通じて、未固結地山に小土被りトンネルを掘削する場合、サイドパイル工の地盤沈下抑制効果について地盤の変形やパイルの断面力を含んだ検討を行う。

2. 数値解析の概要

2.1 解析対象および数値手法

Fig. 3 に解析領域、地質条件および境界条件を示す。地質定数は、K トンネル周辺地盤の室内土質試験結果に基づいている²⁾。本現場で土被りは、最小約 0.2 D ~ 最大約 1 D (平均約 0.6 D) である。地質は、トンネル周辺で砂質土層(ts)が主体である。

本解析では、Ye et al.⁷⁾により開発された弾塑性有限要素解析コード DBLEAVES を用いて 2 次元弾塑性有限要素解析を行った。トンネル掘削前の有限要素メッシュは、節点数 10757 個、要素数 10166 個である。

2.2 地盤モデル

地盤の力学特性は、Nakai & Hinokio⁸⁾により提案された subloading t_{ij} model⁸⁾を用いて弾塑性体としてモデル化した。本モデルでひずみ増分は式(1)で与えられる。

$$d\epsilon_{ij} = d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p \quad (1)$$

弾性ひずみは一般的な Hooke 則により与えられる。

$$d\epsilon_{ij}^e = \frac{1+\nu_e}{E_e} d\sigma_{ij} - \frac{\nu_e}{E_e} d\sigma_{kk} \delta_{ij} \quad (2)$$

ヤング係数 E_e は、膨潤指数 κ とポアソン比 ν_e および平均主応力 p を用いて式(3)で示される。

$$E_e = \frac{3(1-2\nu_e)(1+e_0)p}{\kappa} \quad (3)$$

塑性ひずみ増分は負荷条件を含めた以下の式で与えた。

$$d\varepsilon_{ij}^p = \langle \Lambda \rangle \frac{\partial f}{\partial t_{ij}} = \left\langle \frac{df_\sigma}{h^p} \right\rangle \frac{\partial f}{\partial t_{ij}} \quad (4)$$

ここに $\langle \rangle$ の表記は Macaulay ブラケットであり、 $A \geq 0$ ならば $\langle A \rangle = A$ 、それ以外の場合 $\langle A \rangle = 0$ となる。

subloading t_{ij} mode は、中間主応力・密度・拘束応力が材料の強度・変形特性に及ぼす影響、および正負のダイレイタンシー特性を考慮することができる。解析に用いる土質パラメータは、破壊時の主応力比 M_f 、密度 ρ 、ポアソン比 ν 、間隙比 e_0 、密度項 a 、応力-ダイレイタンシーパラメータ β 、圧密指数 λ 、膨潤指数 κ 、過圧密比 OCR である。

Table 1 に、本解析で用いた各地層の地盤定数を示す。現場での試験データは密度と間隙比のみである。破壊時の主応力比 M_f 、ポアソン比 ν は、それぞれ見かけの液性限界を仮定した上（土被り部分およびトンネル左右部分地盤は $Ip = 40$ 、トンネル下部地盤は $Ip = 8$ 、埋戻し・圧密部分地盤は $Ip = 5$ ）、Iizuka & Ohta⁹⁾の方法に準拠し決定した。その他の土質パラメータについては参考文献8)の値を準用した。

Table 1. Properties of model ground

Layer (Fig. 3)	I	II	III	IV
Density (kg/m ³)	1.609	1.805	1.832	1.550
Poisson's ratio ν	0.360	0.360	0.290	0.290
Void ratio (e_0)	1.704	1.071	1.012	0.613
Coefficient of earth pressure at rest k_0	0.562	0.562	0.409	0.409
Principal stress ratio at critical state R_{cs}	2.550	2.550	3.888	3.888
Compression index λ	0.137	0.070	0.070	0.082
Swelling index κ	0.030	0.005	0.005	0.018

2.3 サイドパイルのモデル化

K トンネルでは、とも下がり現象が計測され、その対策として全線 2,070 m の内の 90%以上の区間でサイドパイル工が採用された。同現場では、Fig. 1 に示すように、直径 $\phi=65$ mm、長さ $L=2.75$ m の鋼管を、1 m 間隔で上半 2 本、下半 4 本で、計 6 本ずつ打設している^{2),3)}。解析で用いたサイドパイルの諸元は、現場と同様である。

サイドパイルは、Zhang ら¹⁰⁾の研究を参考とし、ビー

ム要素の周囲にサイドパイルの曲げ剛性の 1 割を分配した弾性ソリッド要素を配置したハイブリッド要素でモデル化した⁶⁾。弾性ソリッド要素を用いることで、サイドパイルの体積効果を表現することができる。本解析では、サイドパイルに隣接した地盤要素は、弾性ソリッド要素と同じ節点を有しており、地盤の変形はサイドパイルの変形に追従する。これは、サイドパイルと地盤間の摩擦が非常に大きく、相対変位が絶対的に発生しない状態をモデル化したこととなる。

2.4 改良体のモデル化

Fig. 3 に、対象現場の地質状況および地山改良の様子を示す。対象現場は、土被り部分はローム層、トンネル左右部分の地盤は砂質土層で、いずれも N 値が 10 以下の軟質層であり、さらに小土被りであった。そこで現場では、トンネル掘削前に浅層混合処理および事前混合処理など地山改良を行った後、NATM 工法を用いてトンネル掘削が行われている。

改良地盤は、弾性体としてモデル化し、ヤング率 E は一軸圧縮強さ q_u より式(5)、(6)を用いて計算した¹¹⁾。

$$N = \frac{q_u \times 8}{100} \quad (5)$$

$$E = 2800 \times N (kN/m^2) \quad (6)$$

ここで、 E ：地盤のヤング率 (kN/m^2)

q_u ：地盤の一軸圧縮強さ (kN/m^2)

地山を改良する際、固化材の添加量は 50 kg/m^3 で³⁾、周辺地盤の単位体積密度約 $1,800 \text{ kg/m}^3$ に比べると、改良による密度の増加は 2.78%と僅かであったため、本解析では簡単のため改良前後地盤の単位体積重量が変化しないと仮定した。

2.5 鋼製支保工と吹付けコンクリートのモデル化

本解析では便宜上、吹付けコンクリートと鋼製支保工を一体化させて合成梁（弾性 Beam）としてモデル化した。この際、式(7)、(8)¹²⁾を用いて合成梁の等価弾性係数および等価断面二次モーメントを求めた。

$$E_e = \frac{E_C \cdot A_C + E_S \cdot A_S}{A} \quad (7)$$

$$I_e = \frac{E_C \cdot I_C + E_S \cdot I_S}{E_e} \quad (8)$$

ここで、 E_e は合成梁の等価弾性係数、 I_e は合成梁の等価二次モーメントである。 E_C と E_S はそれぞれ吹付けコンクリートおよび鋼製支保工の弾性係数、 A_C と A_S はそれぞ

れ吹付けコンクリートおよび鋼製支保工の断面積、 I_s と I_b はそれぞれ吹付けコンクリートおよび鋼製支保工の断面二次モーメントであり、Fig. 1 に示す K トンネルの断面により計算した。また A は、断面の総面積であり、 $A = A_c + A_s$ により計算された。鋼製支保工の弾性係数は $2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ 、吹付けコンクリートの弾性係数は $4.0 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ である。

Table 2. Analytical procedure

STAGE	Construction process	Image	Days
STAGE1	Initial condition (initial stress)		
STAGE2	Equivalent in-situ stress due to top heading excavation		
STAGE3	Top heading face pre-settlement		4
STAGE4	support & shotcrete ↓ Top heading excavation complete		22
STAGE5	Equivalent in-situ stress due to bottom section excavation		
STAGE6	Bottom section face pre-settlement		2
STAGE7	support & shotcrete ↓ Tunnel excavation complete		10

Release rate a: 40 (top heading)
b: 15 (Bottom section)

2.6 トンネル掘削過程の模擬

トンネルのように縦断方向に連続して形状の変化が少ない構造物の力学挙動は、二次元の平面ひずみ状態で表現することが可能である¹²⁾。ただし、トンネル掘削解析においては、切羽近傍の三次元挙動を表現する必要がある。その対応策として、切羽の進行を考慮して掘削相当外力を段階的に開放することで、模擬的に三次元効果を表現する手法がとられる¹²⁾。

具体的には、三次元解析によって得られるトンネル内空変位に二次元解析の変位を一致させるように掘削相当外力を調整するもので、変位特性曲線を用いる考え方が多い。本解析では、実現場での施工過程を表現するため、トンネル内空変位の現場計測値に解析結果を一致させるように、上半および下半の応力解放率 a, b を決定した。

Table 2 に本研究での解析手順を示す。

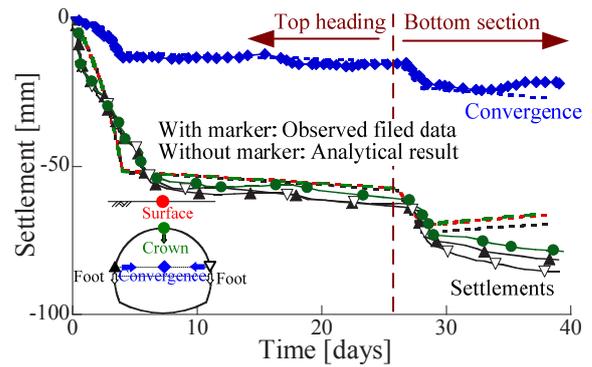


Fig. 4 Comparison of field data with analytical data

Table 2 に示す手順および Table 2 のパラメータを用いて、まず内空変位を実現場でのトンネル内空変位に一致するような応力解放率 a および b について試行錯誤的に検討した。

Fig. 4 に、 $a = 40\%$ 、 $b = 15\%$ の条件で計算した内空変位および地表面、天端、脚部沈下の経時変化を現場実測値と併せて示す。図より、解析値は現場データとほぼ同じ変形挙動を示し、トンネル掘削過程を正確に表現することができている。これにより、地盤定数および応力解放率の設定は適切であると考えられる。さらに、同図に示す解析結果より地表面、トンネル脚部および天端の沈下量が同程度であることが確認でき、とも下がり現象が再現できたものとする。

実現場での計測結果では、下半に支保工を設置した後も (Fig. 4: STAGE7) トンネルが沈下し続けることに対して、解析結果では天端と脚部の沈下量が小さくなる傾向が見られる。本解析では、掘削相当外力を徐々に解放することでトンネル掘削を模擬しているため、掘削領域の下方部分に対しては相対的に地山を引き上げる上向きの荷重を与えることになる。下半掘削時は、上半部分がすでに解放されているため、下半の掘削相当外力は下半の壁面とインバート分に与えることになり、上向きの荷重が相対的に大きくなる。これにより、STAGE7 でトンネルと地盤がリバウンドするような結果が見られたと考えられる。

以上より本研究では、上半掘削ではまず 40% 応力を開放させた後、支保工と吹付けコンクリートを施工したし、22 日後応力を 100 % まで開放させる。さらに、下半掘削においては 15 % 応力を開放させ、支保工および吹付けコンクリート施工後に 100 % まで開放させる、という手順で数値解析を行う。

3. 実トンネルでのサイドパイル工の効果

3.1 地盤の挙動

Fig. 5 に、サイドパイルを設置しない場合と長さ 2.75 m のサイドパイルを設置した場合の沈下量の経時変化を示す。図より、サイドパイルを設置することにより、トンネル天端・脚部および地表面沈下がいずれも約 20% 程度減少する。各施工段階での効果は、上半掘削完了時 (STAGE4) で約 15%、下半掘削開始から下半支保工設置前まで (STAGE6) で約 4%、下半支保工設置後から掘削完了まで (STAGE7) で約 1% であり、STAGE 4 と STAGE 6 でその効果が顕著に現われる。STAGE 4 と STAGE 6 は、いずれも上半のみにサイドパイルを設置した状態であることから、下半に設置した 4 本のサイドパイルは沈下抑制にあまり寄与していないことが考えられる。さらに、サイドパイルを設置したケースでもトンネルおよび地表面が同程度沈下しているが、沈下量は全体的に大きく解消されている。

Fig. 6 に、トンネル掘削完了後のトンネル天端に沿った水平線上に作用する鉛直土圧分布を示す。サイドパイルを設置することにより、トンネル上部地盤に作用する鉛直土圧が小さくなり、サイドパイル設置部分の上部地盤に作用する鉛直土圧は大きくなる。これは、サイドパ

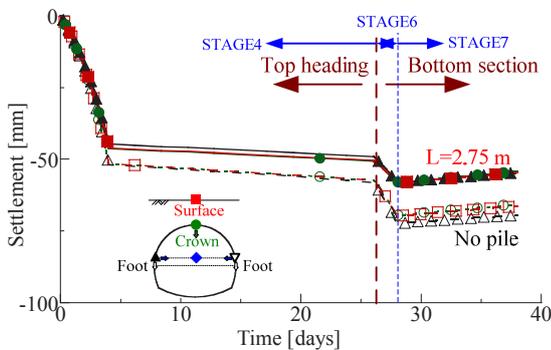


Fig. 5 Effect of FRSP on settlements of tunnel and ground surface (Analytical result)

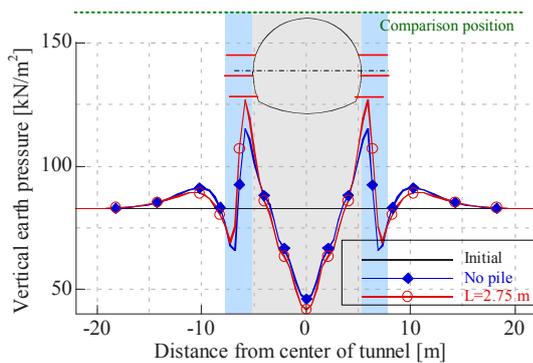


Fig. 6 Effect of FRSP on vertical load distribution (analytical result)

イルの設置により、荷重がトンネル周辺地盤に再配分されたことを示している。この傾向は、著者ら⁹⁾が行った模型実験およびその数値解析で得られた荷重再配分効果と同じである。

Fig. 7 に、せん断ひずみ分布を示す。パイルを設置しない場合、トンネル脚部および改良地盤のコーナー部分に大きいせん断ひずみが発生し、斜め上に地表面に向かって発達する。サイドパイルを設置することにより、改良地盤のコーナー部分に生じるせん断ひずみが大きく減少する。これは、改良部分のコーナーから発達したせん断ひずみが、サイドパイルにより遮断されたためであると考えられる。すなわち、サイドパイルはすべり線を交差することで補強効果を発揮し、地表面およびトンネルの沈下を抑制することができると考えられており、これも模型実験及びその解析⁹⁾と同じ傾向を示す。

3.2 サイドパイルに作用する部材力

Fig. 8 は、長さ 2.75 m のサイドパイルを設置した場合、各ステージでのパイル全長に生じる曲げモーメント分布を示す。図より、上半部分に設置したサイドパイルは、上部が引張られるような傾向を示し、片持ち梁のような挙動をすることが確認できる。上半に設置したサイドパイルに着目すると、トンネル掘削に伴い曲げモーメント

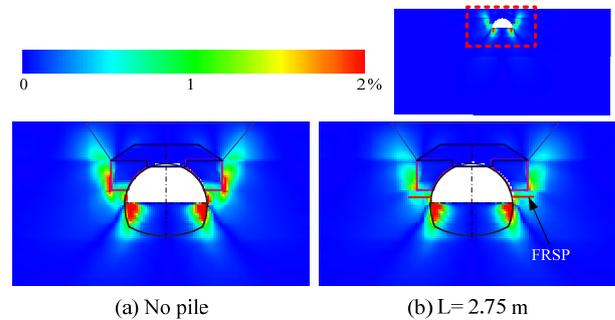


Fig. 7 Effect of FRSP on shear strain distribution (STAGE 4)

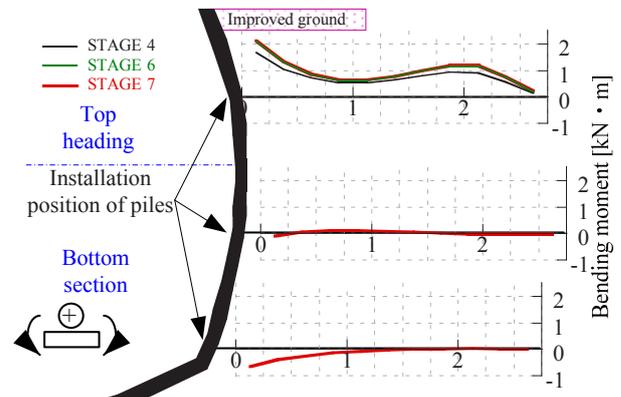


Fig. 8 Bending moment distribution (L=2.75 m)

は増加するが、その変化は僅かであり、STAGE6 と STAGE7 で曲げモーメントはほぼ同じ値を示す。下半に設置したサイドパイルには、下部が引張られるような曲げモーメントが僅かしか生じない。この結果により、下半に設置するサイドパイルは、トンネルおよび地表面に対する沈下抑制効果を発揮しないと考えられ、その必要性について検討する必要がある。

Fig. 9 に、各ステージでのサイドパイルに作用する軸力を示す。図より、上半に設置するパイルが引張られるような挙動を示し、その値は僅かながらトンネル掘削に伴い大きくなる。サイドパイルに作用する引張力は、トンネル壁面ではトンネルが周辺地盤を拘束する内圧として作用する。これにより、トンネル近傍の地山の拘束力が増大し、結果として地山のゆるみを防ぎ、地盤沈下を抑制する。すなわち、サイドパイル工はロックボルト¹³⁾のような内圧効果が期待できると考えられる。

4. パイルの長さによる影響

ここでは、K トンネルと同じ施工条件に対し、サイドパイルの長さを 0.5 m~6 m 間で変化させ、地盤およびサイドパイルの力学挙動について検討する。

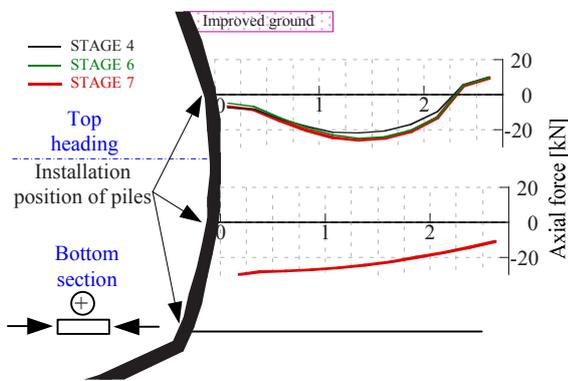


Fig. 9 Axial force distribution (L=2.75 m)

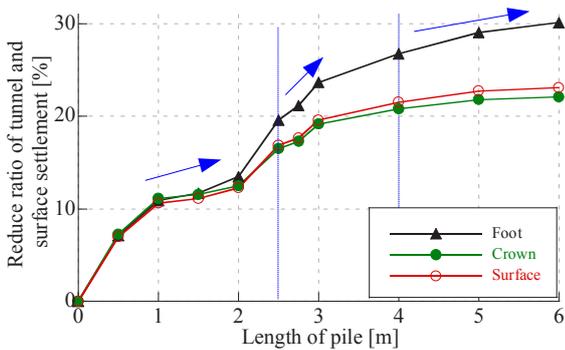


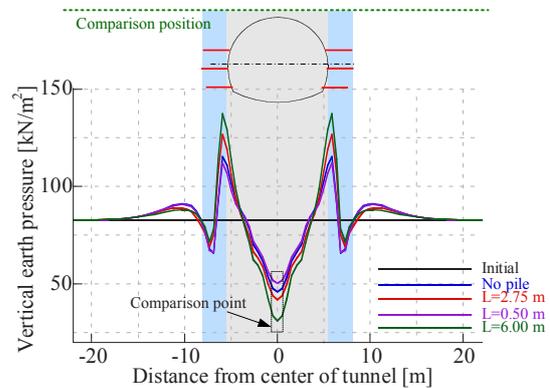
Fig. 10 Effect of preventing settlement of tunnel and ground at different length

4.1 長さが地盤の力学挙動に及ぼす影響

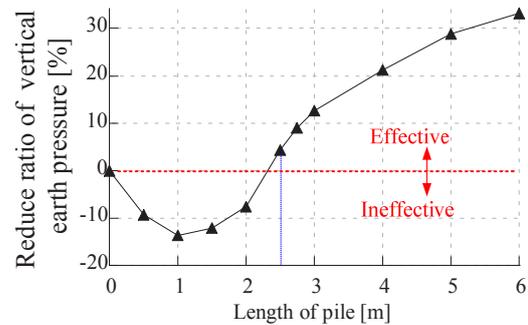
Fig. 10 は、サイドパイルの長さが、地盤およびトンネルの沈下抑制率に及ぼす影響を示す。図より、長さにかかわらずサイドパイルの設置するにより沈下抑制効果が得られ、長さが長くなるほどその効果が大きくなる。パイル長さが 2.5 m 以上になると、沈下抑制効果が急激に増加し、4 m 以上になるとその増加率が緩やかになる。

Fig. 11(a) に、異なるサイドパイル長での、トンネル掘削完了後のトンネル天端に沿った水平線上に作用する鉛直応力分布を示す (Fig. 6 と同じ位置)。図より、L=2.75 m, L=6.00 m のケースでは、サイドパイルを設置しないケース (No pile) に比べて、トンネル上部地盤に作用する鉛直土圧が減少する。しかしながら、L = 0.50 m のケースでは、No pile のケースより鉛直土圧が大きくなる。

Fig. 11(b)に、各パイル長さでトンネル上部地盤の中央部分 (Fig. 11(a)の点線で囲んだ部分) に作用する鉛直土圧の減少率を示す。鉛直土圧の減少率は、No pile に対して鉛直土圧がどれくらい減少したかを示し、正の符号は No pile に比べて鉛直土圧が減少したこと、すなわち、荷重分散効果が得られたことを意味する。図より、パイルが 2.5 m より長くなると荷重分散効果が得られ、トンネル上部地盤に作用する土圧が減少する。これは、サイドパイルが 2.5 m より長くなると、Fig. 10 に示す沈下量の抑制効果が急激に増加することと一致する。



(a) Vertical load distribution



(b) Reduce ratio of vertical earth pressure

Fig. 11 Vertical earth pressure at different length

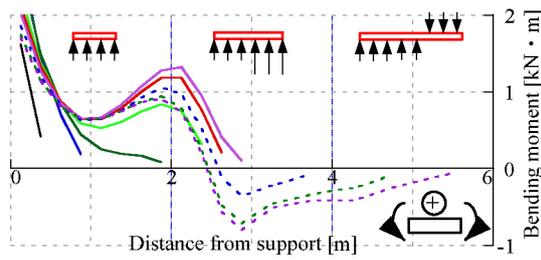


Fig. 12 Bending moment distribution at different length

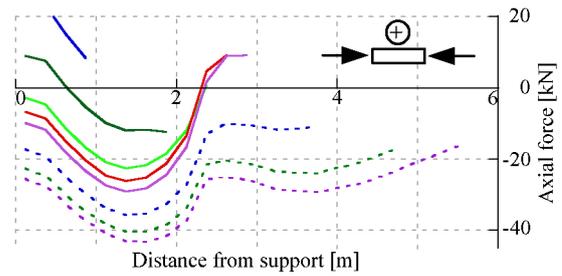


Fig. 13 Axial force distribution at different length

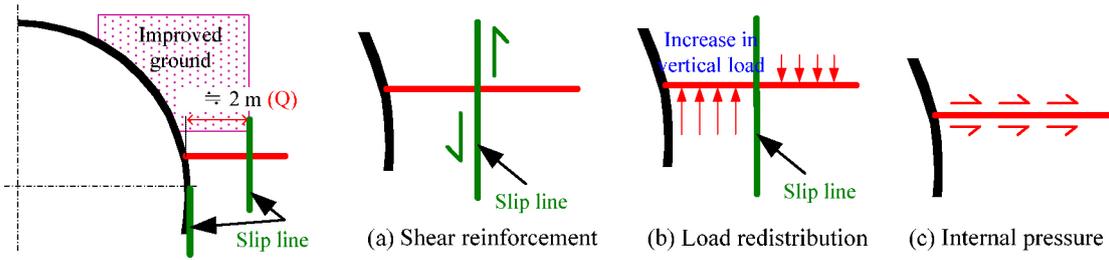


Fig. 14 Slip line and the mechanism of the effect of FRSP

4.2 長さがサイドパイルの部材力に及ぼす影響

Fig. 12 に、長さが異なるサイドパイルを設置した諸ケースで、上半に設置したサイドパイルの、トンネル掘削完了時における曲げモーメント分布を示す。同図には、各長さでの曲げモーメント分布図から考えられるパイルに作用する力の状態を併せて記す。

図より、サイドパイルが4mより短い場合サイドパイルは上部が引張られるような挙動を示す。サイドパイルが4mより長くなると、トンネル付近部分は、下部地盤により上向きに押され、上部が引張られるような挙動を示す。一方、サイドパイル先端付近部分は、上部地盤に押され下部が引っ張られるような挙動を示す。さらに、サイドパイルに生じる曲げモーメントの最大値は、サイドパイルが長くなるほど大きくなるが、4mより長くなると頭打ちになり、長さ5mと6mのケースでは顕著な差異が見られない。これらの傾向は、Fig. 10 に示すパイルの長さが地盤沈下抑制効果に及ぼす影響と同様の傾向を示す。

Fig. 13 に、トンネル掘削完了時、長さが異なる諸ケースでの上半に設置したサイドパイル全長に生じる軸力分布を示す。図より、サイドパイルが1mより長くなると、いずれのケースでもサイドパイルが引張られる挙動を示す。さらに、軸力の最大値はサイドパイルが長くなるほど大きくなる。以上から、サイドパイルの長さが1mより長くなると、内圧効果が得られる。

5. まとめ

本研究では、実トンネルを対象として数値解析を実施し、とも下がり現象の発生原因および沈下対策工としてのサイドパイル工の地盤・トンネル沈下抑制効果について検討した。

5.1 サイドパイル工沈下抑制効果のメカニズム

解析結果により、サイドパイルは、せん断補強効果、荷重再配分効果、内圧効果を発揮し、地盤とトンネルの沈下を防ぐことが確認された。Fig. 14 に、各効果のイメージを示す。

サイドパイル工の地盤沈下抑制効果は、トンネル覆工からトンネル掘削により生じるすべり線までの距離と大きく関係する。解析結果により、トンネル上半掘削時、トンネル脚部周辺および改良体のコーナー周辺部分地盤にFig. 14 に示すようなすべり線が生じると考えられる。本研究では、トンネル覆工から改良体コーナーから発生するすべり線までの距離をQとして議論を行う。参考までに、Kトンネルにおいて、上半掘削におけるトンネル覆工からすべり線までの距離Qは、約2mである。

a) せん断補強効果

サイドパイルは、改良体コーナーより発生するすべり線を交差することにより、主要なせん断ひずみの発生を阻止し、地盤沈下を抑制する。しかしながら、脚部より発達するすべり線に対しては効果が得られない。

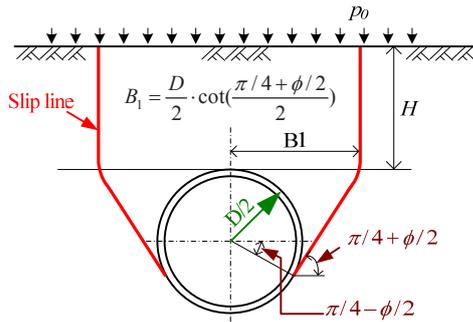


Fig. 15 Position of the slip line¹⁴⁾

b) 荷重再配分効果

サイドパイルが、トンネル覆工からすべり線までの距離 Q より長くなり、すべり線を交差すると、荷重再配分効果を発揮し、トンネルおよび上部地盤の荷重をトンネル周辺地盤に分散させ、トンネルと上部地盤のさらなる沈下を防ぐ。一方、サイドパイルの長さが Q より短い場合は、荷重再配分効果を発揮しないだけでなく、トンネル上部地盤に作用する鉛直荷重が大きくなる。これにより、サイドパイルの長さはトンネル覆工からすべり線までの距離 Q より長く設定する必要がある。

c) 内圧効果

サイドパイルは、いずれの長さにおいても、内圧効果を発揮し、周辺地盤を補強する働きをする。これにより、トンネルと周辺地盤を一体化させ、トンネルと周辺地盤の沈下を抑制できると考えられる。

以上の結果は、筆者が既往に行った模型実験および数値解析結果と同様の傾向を示す⁶⁾。

5.2 トンネル掘削によるすべり線の発生位置

トンネル覆工からすべり線までの距離 Q は、サイドパイルの選定において非常に重要なパラメータであり、トンネル掘削により生じるすべり線の発生位置をなるべく正確に推定することが望ましい。

例えば、周辺地盤が均一、もしくは多層地盤で水平方向に均一である場合、すべり線の発生位置は、Fig. 15 に示すトンネル掘削時覆工に作用する緩み土圧を算出する際の Terzaghi の仮定¹⁴⁾により推定することができる。これにより、トンネル側壁からすべり線の距離を算定することは可能である。しかしながら、Terzaghi の土圧理論が適用される範囲は限定されており、小土被りや未固結など、種々の現場条件を考慮する場合は、数値解析等を援用する必要がある。

5.3 サイドパイルの長さの選定について

サイドパイルはトンネル覆工からすべり線までの距離 Q より短い場合は、内圧効果のみ発揮する。サイドパ

イルが Q より長くなり、すべり線を交差すると、せん断補強効果および荷重再配分効果も加わり、その沈下抑制効果が大きく増加する。

以上により、サイドパイルの長さを選定する際には、すべり線の位置を計算し、覆工からすべり線までの距離 Q より長く設計するのが効果的である。

参考文献

- 1) 北川 隆, 後藤 光理, 磯谷 篤実, 野城 一栄, 松長 剛: 低土被り土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析, トンネル工学報告集第 15 巻, pp.203-210, 2005.
- 2) 社団法人日本トンネル技術協会: 東北新幹線における未固結小土被りトンネルの設計施工対策評価報告書 (別冊), P5, 2008.
- 3) 北川 隆, 磯谷 篤実, 奥津 一俊, 川口 隆徳: 地山改良とサイドパイルで小土かぶり土砂地山を掘削-東北新幹線 牛鍵トンネル, トンネルと地下, Vol.35, No.4, pp.255-262, 2004.
- 4) 北川 隆, 後藤 光理, 田村 武, 木村 亮, 岸田 潔, 崔 瑛, 野城 一栄: サイドパイルによるトンネル沈下抑制効果に関する実験的研究, 土木学会論文集 F, Vol.65, No.1, pp.73-83, 2009.
- 5) 北川 隆, 後藤 光理, 田村 武, 木村 亮, 岸田 潔: サイドパイルの沈下抑制効果に関する数値解析, トンネル工学報告集, 土木学会トンネル工学委員会, 第 16 巻, pp.63-70, 2006.
- 6) 崔 瑛, 岸田 潔, 木村 亮: 小土被りトンネル掘削時におけるトンネル脚部および地表面沈下対策工に関する実験的検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.3, No.3, pp.261-272, 2008.
- 7) B. Ye, G. L. Ye, F. Zhang and A. Yashima: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.3, 547-558. 2007.
- 8) Nakai, T. and Hinokio, M.: A Simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, Vol. 44, No.2, pp. 53-70, 2004.
- 9) Iizuka, A. and Ohta, H.: A Determination Procedure of Input Parameters in Elasto-Viscoplastic Finite Element Analysis, *Soils and Foundations*, Vol. 27, No.3, pp. 71-87, 1987.
- 10) Zhang, F., Kimura, M., Nakai, T. and Hoshikawa, T.: Mechanical Behavior of Pile Foundations Subjected to Cyclic Lateral Loading Up to the Ultimate State, *Soils and Foundations*, Vol. 40, No.5, pp.1-17, 2000.
- 11) 社団法人セメント協会: セメント固化工材による地盤改良マニュアル, 技報堂出版株式会社, P73, 20007.
- 12) 土木学会: トンネルライブラリー第 16 号 山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務, 丸善 (株), pp.150-173, 2006.
- 13) 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構: 山岳トンネル設計施工標準・同解説, pp.81-92, 2008.
- 14) 土木学会: トンネル標準示方書 シールド工法・同解説, 丸善 (株), pp.42-45, 2006.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

都市高速道路の需要交通量の予測に関する研究

松井 寛¹⁾

Research on Traffic Demand Forecast of an Urban Expressway

Hiroshi MATSUI¹⁾

Abstract

This paper describes a summary of some research papers concerning traffic demand estimation of an urban expressway done for these several years.

1. パス解析モデルによる名古屋都市圏の交通需要関数の予測¹⁾

1-1 はじめに

名古屋高速道路は昭和46年に建設に着手し、これまでに計画延長81.2kmのうち、69.2kmが整備され、1日あたりの平均利用交通量は約27万台/日に達しており、いまや名古屋都市圏における重要な基幹交通網としての役割を担っている。一方、近年の社会情勢により、高速道路の通行料金制度の在り方が問われてきており、将来交通量と料金制度との関連性、あるいは採算性との関連を明らかにしておくことは重要であり、そのためには高速道路利用将来交通量を予測する際のベースとなる名古屋都市圏内の需要関数を合理的かつ科学的に設定することが必要となる。そこでTable 1に示す3つの指標を選び、整備延長当たりの利用台数と相関の最も高い名古屋大都市圏内々交通量を名古屋都市圏における交通需要関数とみなして、これを精度よく予測する方法について検討した。

1-2 分析方法

本研究では、「名古屋大都市圏内々交通量」などを被説明変数(目的変数)とし、人口指標として「愛知県人口」、経済指標として「愛知県内総生産額」、自動車指標として「愛知県自動車保有台数」を説明変数としてパス解析分析をおこなう。パス解析²⁾とは変数間にいくつかの因果を仮定し、共分散行列や相関行列をもとに因果推論を行う統計的な分析方法である。パス解析の利点は重回帰分析では各説明変数から目的変数への一方向の因果のみを仮定す

るのに対し、パス解析では変数間に自由に因果関係を仮定してモデルをつくることが可能である。また、変数間に因果関係が仮定される場合や目的変数が複数仮定される場合には重回帰モデルでは説明しきれない場合にも適用できる。

Table 1 名古屋高速整備延長当たり交通量とOD交通量3指標

年度	整備延長あたり交通量(台/km)	名古屋市流出入交通量(台/日)	名古屋市関連交通量(台/日)	名古屋大都市圏内々交通量(台/日)
55	1,518.5	807,484	2,474,405	5,053,876
60	2,081.1	876,225	2,716,725	5,866,299
2	3,615.3	1,045,820	3,066,981	7,027,836
6	3,629.9	1,142,932	3,081,152	7,640,233
11	3,973.6	1,190,031	3,075,014	7,942,802
17	4,123.1	1,205,694	3,031,838	8,241,420

1-3 分析結果

名古屋大都市圏内々交通量を目的変数とする需要関数の重回帰分析の結果は以下のとおりである。

$$y = -1.24x_1 + 1.31x_2 + 7.15x_3 + 8585000 \dots \dots (1)$$

ここに

1) 建設システム工学科

1) Department of Civil Engineering

y : 名古屋大都市圏内々交通量 (台/日)

x₁ : 愛知県人口 (人)

x₂ : 愛知県自動車保有台数 (台)

x₃ : 愛知県内総生産額 (億円)

名古屋大都市圏内々交通量を用いた名古屋都市圏交通量の需要関数は決定係数が 0.9988 という結果となり、かなり精度の高い需要関数と考えられる。この結果をパス図に示すと Fig. 1 のとおりとなる。図中矢印の数字は編回帰

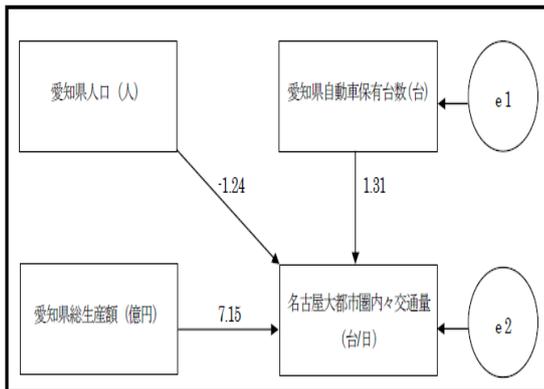


Fig. 1 重回帰分析によるパス図

係数を示す。また e1、e2 が誤差変数を表している。

次にパス解析モデルによる結果を Fig. 2 に示す。

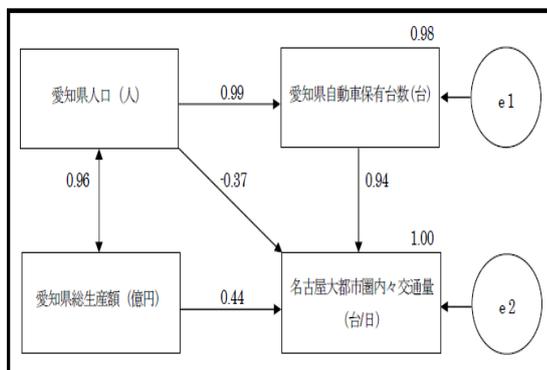


Fig. 2 パス解析モデルによるパス図

図中の四角の右上の数値は決定係数を表す。また矢印の数値は標準化された編回帰係数である。パス解析とは共分散構造解析を応用した解析で、SPSS の Amos の計算プログラムを使用した。パス解析では「因果モデル」つまりデータ生成のメカニズムをモデル化した数式であり、パス解析における編回帰係数は、その因果的影響を表していることから、「パス係数」とも呼ばれる。

Fig. 1 において矢印にある編回帰係数を標準化すれば、Fig. 2 のパス解析による結果と一意する。したがって重回帰分析による結果では、愛知県自動車保有台数が名古屋大都市圏内々交通量に最も影響という要因と考えられる

が、パス解析の結果では愛知県人口が直接的および間接的な影響を含め、

$$0.99 \times 0.94 + 0.96 \times 0.44 - 0.37 = 0.98$$

となり、愛知県人口が最も支配的な要因であることが明らかになった。

1-4. 将来需要交通量の予測

先に求めた分析結果に基づいて、将来の愛知県人口、愛知県内総生産額、愛知県自動車保有台数を代入して将来の需要交通量(名古屋大都市圏内々交通量)を予測する。なお、愛知県人口の予測値は社会保障人口問題研究所の予測³⁾を採用し、愛知県内総生産額は内閣府が発表している GDP 伸び率⁴⁾をもとに推計し、愛知県自動車保有台数⁵⁾は「愛知県生産年齢人口」×「愛知県自動車保有率」で算出する。

愛知県人口、愛知県自動車保有台数、愛知県内総生産額の将来の推移を Table 2 に示す。愛知県人口は 27 年度を境に減少する傾向にあり、また愛知県自動車保有台数においても 22 年度を境に減少する傾向にあると言える。愛知県内総生産額の場合には常に増加傾向であったが 20 年度、21 年度においては世界的な景気後退により大幅に減少したが、その後は徐々に増加する傾向であると言える。

Table 2 説明変数の将来推移と将来交通量の予測

年度	愛知県人口 (千人)	愛知県内 総生産額 (百億円)	愛知県 自動車 保有台数 (千台)	名古屋 大都市圏 内々交通量 (台/日)
18	7297*	3666*	4,676*	8,283,921
19	7314*	3,735*	4,686*	8,324,814
20	7367*	3,605*	4,709*	8,196,436
21	7,367*	3,486*	4,715*	8,119,063
22	7,367	3,510	4,718	8,140,264
27	7,392	3,879	4,670	8,309,898
32	7,359	4,282	4,687	8,661,733
37	7,276	4,613	4,681	8,993,430
42	7,152	4,970	4,559	9,242,296

*は実績値

Table2 に示す説明変数の将来値を代入して予測した名

古屋大都市圏内々交通量の予測値を同じ Table 2 の右欄に示す。この結果によれば、平成 42 年度には平成 21 年度比で 113.8 まで増加することが予測された。

2. リンクコスト関数の改良による交通量配分精度向上の検証⁶⁾

2-1 はじめに

交通需要予測は都市交通計画を行なう上で必要不可欠であり、かつ精度の良いものが要求されている。交通量配分を行なう際に、適正なリンクコスト関数を用いれば、将来の交通需要予測を精度良く行なうことができるのにもかかわらず、従来のリンクコスト関数は渋滞領域にあるデータを無視しているため、本来あるべき容量制約の無いものが多く、推定した交通量と実測値がかけ離れているという結果も少なくない。

そこで、本研究では渋滞を理論的に考慮し、容量制約のきいたリンクコスト関数のパラメータ値を用いて実際に配分を行ない、従来の渋滞を考慮せずに設定したリンクコスト関数を用いた配分結果と比較検討する。

2-2 リンクコスト関数について

リンクコスト関数とは、ネットワークを構成する個々のリンク上での交通量と単位旅行時間を表す関数である。本研究では次式で与えられる BPR 型リンクコスト関数を用いる。

$$T = T_0 \left\{ 1 + \alpha (q/c)^\beta \right\} \quad \dots (2)$$

ここに、 T : 単位旅行時間(分/km) T_0 : 自由走行時間 q : リンク上の時間交通量(pcu/時) c : リンク上の時間交通容量(pcu/時) α, β : パラメータ値 である。

本研究では平成 11 年度道路交通センサスを使用し、道路種別ごとに設定を行った。道路種別は、道路交通センサスの調査の対象路線は指定市の主要市道を含む一般都道府県道以上の道路であり、道路を①国土開発幹線自動車道等(都市間高速道路)、②都市高速道路、③一般国道、④主要地方道(都道府県道)、⑤主要地方道(指定市市道)、⑥一般都道府県道、⑦指定市の一般市道の 7 つに分類している。しかし道路交通センサスの道路種別は主として道路管理者によるものであって、機能面から種別しているとは考えにくい。したがって、機能面や道路規格などをふまえ以下の 6 つのタイプに区分を変更した。高速道路については①都市間高速道路、②都市高速道路の 2 つに分け、一般道路については①幹線道路 2 車線、②幹線道路多車線、③

準幹線道路 2 車線、④準幹線道路多車線の 4 つに分類し、設定を行った。

平成 11 年度道路交通センサスのデータから旅行速度(旅行時間)に影響を与えると考えられるデータを抽出する。一般道路では愛知県の市街化地域内のデータを用いる。なお市街化地域は、道路交通センサスにおける市街化延長を区間延長で割った値が 0.5 以上の地域とする。単位旅行時間(分/km)に影響を与える要因としては、□混雑度(交通量/交通容量)、□信号交差点密度(信号交差点数/区間延長)、□指定最高速度(km/h)、□DID(人口集中地区)率(%)を考え、高速道路では、□混雑度、□指定最高速度、□車線数(本)を考えた。

1) 混雑度の算出

混雑度は以下の式から算出する。

$$\text{混雑度} = \frac{\text{交通量}}{\text{交通容量}} \quad \dots (3)$$

2) 信号交差点密度の算出

信号交差点密度は以下の式で算出する。

$$\text{信号交差点密度} = \frac{\text{信号交差点数}}{\text{区間延長}} \quad (\text{個数/km}) \quad \dots (4)$$

3) DID 率の算出

DID(人口集中地区)の算出は以下の式で算出する。

$$\text{DID 率} = \frac{\text{DID 区間延長}}{\text{区間延長}} \quad \dots (5)$$

非渋滞領域の単位旅行時間と上で求めた説明変数を重回帰分析して、式(1)の非渋滞領域のデータ値をもちいて α, β の値を以下の式より算出する。

$$\begin{aligned} T &= a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a' (q/c)^\beta \\ &= T_0 + a' (q/c)^\beta \\ &= T_0 \{ 1 + \alpha (q/c)^\beta \} \quad \dots (6) \end{aligned}$$

設定するパラメータ値は α, β の 2 種類である。 α は混雑度 1 の時の単位旅行時間が単位自由旅行時間 t_0 の $(1 + \alpha)$ 倍となることを示すパラメータ値であり、 β は関数の湾曲度を示すパラメータ値である。 β については、BPR 型リンクコスト関数は非線形であるため、混雑度にかかる偏重回帰係数を 0.5 から 10.0 まで 0.1 刻みで変化させて重回帰分析を行ない、その中から重相関係数 R の最も高くなる時の値を β とする。 α は、混雑率の偏重回帰係数を T_0 で割った値となる。

従来のリンクコスト関数の設定にあたっては、渋滞領域のデータは考慮されないため、重回帰分析によって求められたリンクコスト関数はやや勾配の小さい(すなわち β の小さい)ものを用いたため、実測データとの乖離がみられた。現実の交通状態は渋滞領域ではきわめて動的な現象であり、特定時間帯の平均値として実測データから走行時間を直接求めることは困難であるため、理論的に設定する方法を考えた。⁵⁾

平均渋滞遅れ時間は、残留交通量=流入交通量-流出交通量が表現できることを前提とし、以下で示す仮定より導かれたものである。

- 仮定 1：時間帯の幅 (T) > 最長トリップ時間
- 仮定 2：各OD交通量は時間帯内で一様に発生し、また、各リンクの流入交通量は時間帯内で一様に流入する。
- 仮定 3：渋滞による行列は、設定した各リンクの進行方向における終端から生じるものとするが、その渋滞行列は明示的な長さをもたないものとして、その影響は無視する。

平均渋滞遅れ時間 $T_{\omega a}$ は、

$$T_{\omega a} = (X_a - Z_a)T / (2Z_a) \quad \dots (7)$$

ここで、

$T_{\omega a}$ ：平均渋滞遅れ時間(分)

X_a ：その時間帯におけるリンク a への流入交通量 (pcu/T/車線)

Z_a ：リンク a の終端部における可能交通容量 (pcu/T/車線)

となる。

この平均渋滞遅れ時間 $T_{\omega a}$ を非渋滞領域の関数と組み合わせ、渋滞を理論的に考慮したリンクコスト関数は以下のようなになる。

$$C_a(X_a) = \begin{cases} L_a \times \{a + b(X_a / Z_a)^c\} & (X_a \leq Z_a \text{ のとき}) \\ L_a \times (a + b) + (X_a - Z_a)T / (2Z_a) & (X_a > Z_a \text{ のとき}) \end{cases} \dots (8)$$

$C_a(X_a)$: リンク a の走行時間 (分)

L_a : リンク a の区間延長 (km)

a, b, c : パラメータ

この関数の両辺を区間延長で割って、単位旅行時間の関数式とすると以下のようなになる。

$$C_a(X_a) / L_a = \begin{cases} a + b(X_a / Z_a)^c & (X_a \leq Z_a \text{ のとき}) \\ (a + b) + (X_a - Z_a)T / (2Z_a L_a) & (X_a > Z_a \text{ のとき}) \end{cases} \dots (9)$$

以上をもとに非渋滞領域の実測データ値と渋滞領域の理論値を合わせて改めて重回帰分析を行った結果、Table 3 の右欄に示す結果を得た。表から明らかなように、渋滞領域の遅れ時間を考慮することによって β の値が一般的に大きくなり、渋滞による旅行時間の増加傾向がより顕著に表れる結果となっている。

Table3 設定されたパラメータ値の一覧

	従来の設定		渋滞を考慮	
	α	β	α	β
幹線道路 2 車線	0.3930	1.3	0.7798	4.5
幹線道路多車線	0.1128	3.8	0.9448	4.6
準幹線道路 2 車線	0.1610	2.1	0.3730	5.0
準幹線道路多車線	0.2296	2.7	0.4194	7.5
都市間高速道路	0.1879	4.3	0.2534	7.6
都市高速道路	0.4640	2.3	0.3654	9.3

2.2 時間帯別交通量配分結果の精度分析

名古屋都市圏道路網を対象に高速道路転換率内生型時間帯別利用者均衡配分⁷⁾を行い、リンクコスト関数の改良による配分精度の検証を行った。配分対象道路網を Fig.3 に示す。

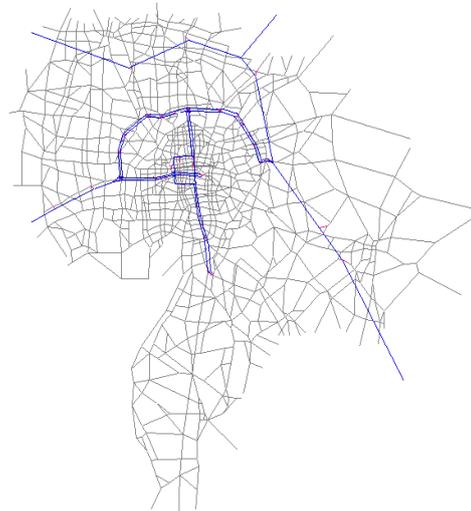


Fig.3 名古屋都市圏配分対象道路網

ネットワーク規模は、ノード数1241、セントロイド数279、往復リンク数4209の規模である。需要交通量としては、平成 8 年のデータを基準とした OD データを用いて交通量配分を行なった。例として朝ピークの 8 時台と昼間時の 12 時台における交通量配分の結果と平成 6 年実測リンク交通量との適合度比較を以下に示す。

1) 一般道路での分析結果

8 時台における一般道路における推定リンク交通量と実測リン

ク交通量の精度比較を Table4に示す. また 12 時台の精度比較を Table 5 に示す

Table 4 一般道路の推定精度評価分析結果(8 時台)

	センサス (実測値)	従来の 設定	渋滞を 考慮
平均値	2351.9	3155.3	3005.6
標準偏差	1123.3	1539.5	1270.5
重相関係数		0.6304	0.7378
RMS 誤差		1448.1	1094.3

Table 5 一般道路の推定精度評価分析結果(12 時台)

	センサス (実績値)	従来の 設定	渋滞を 考慮
平均値	1895.3	1204.7	1220.3
標準偏差	1180.3	897.4	825.7
重相関係数		0.2407	0.6392
RMS 誤差		1471.6	1133.3

この結果によれば、従来のリンクコスト関数を用いた結果よりも、今回提案した渋滞領域を考慮したリンクコスト関数を用いた結果のほうが精度がいずれの時間帯においても向上していることが明らかとなった。

2) 高速道路での分析結果

次に同じ朝 8 時台および 12 時台における高速道路への配分結果を Table 6 および Table 7 に示す。

Table 6 高速道路の推定精度評価分析結果 (8 時台)

	センサス (実測値)	従来の 設定	渋滞を 考慮
平均値	3078.7	1805.7	3074.6
標準偏差	1218.6	1321.2	1694.1
重相関係数		0.8664	0.8773
RMS 誤差		1435.7	855.9

Table 7 高速道路の推定精度評価分析結果(12 時台)

	センサス (実績値)	従来の 設定	渋滞を 考慮
平均値	1359.9	478.3	490.1
標準偏差	741.1	279.3	289.4
重相関係数		0.8933	0.8760
RMS 誤差		1017.1	1006.8

一般道路の場合と同様に全般的に配分精度が改善されていることが明らかとなった。

3 高速道路転換率の予測⁸⁾

3.1 高速道路転換率について

本研究では都市高速道路を含む道路ネットワークを対象に交通量配分を行う上で必要となる高速道

路転換率のモデル構築を行う。交通量配分モデルとして、本研究では高速転換率内生利用者均衡配分モデルを採用する。高速転換率内生利用者均衡配分モデルの考え方に基くと、高速転換率の予測を行うためのモデル式は次式で表される。

$$\ln \frac{P_{rs}^E}{P_{rs}^G} = -\theta(T_{rs}^E - T_{rs}^G) - \psi \quad \dots (10)$$

ここに

P_{rs}^E : OD ペア rs 間の高速転換率,

P_{rs}^G : OD ペア rs 間の一般道路転換率,

T_{rs}^E : OD ペア rs 間の一般道路のみ利用の旅行時間,

T_{rs}^G : OD ペア rs 間の高速道路利用の旅行時間,

θ, ψ : パラメータ

3.2 研究方法

高速転換率内生利用者均衡配分モデルの考え方をを用いて、高速道路の走行速度をそれぞれ 60km/h, 70km/h, 80km/h の 3 種に想定して平日と休日それぞれの高速転換率の予測を行う。出発地 (O), 目的地 (D) は各市町村の役所と設定し、高速道路は名古屋高速道路のみを対象とする。時間価値原単位は、名古屋高速道路の全車種を対象としたものを用い、48.14 (円/分・台) とする。

3.3 分析結果

本研究で得られた回帰分析結果は次の通りである。平日 (高速道路 60km/h 設定) の高速転換率 (Fig.4), 休日 (高速道路 60km/h 設定) の高速転換率 (Fig.5), 平日 (高速道路 80km/h 設定) の高速転換率 (Fig.6) の散布図を示す。また各モデルの決定係数 R^2 とパラメータ Table 8 に示す。Table8 の結果によれば、平日、休日とも高速道路上の走行速度を 80 km/h に設定した場合が決定係数が最も高くなっていることが分かる。これは現実の高速道路利用車の走行速度が 80 km/h 程度となっていることを示しているといえる。このときに得られた高速転換率の一部を以下に示す。

平日 (高速道路 60km/h 設定) の高速転換率

$$\ln \frac{P_{rs}^E}{P_{rs}^G} = -0.113(T_{rs}^E - T_{rs}^G) - 0.602 \dots (11)$$

休日（高速道路 60km/h 設定）の高速転換率

$$\ln \frac{P_{rs}^E}{P_{rs}^G} = -0.117(T_{rs}^E - T_{rs}^G) - 0.317 \dots (12)$$

平日（高速道路 80km/h 設定）の高速転換率

$$\ln \frac{P_{rs}^E}{P_{rs}^G} = -0.101(T_{rs}^E - T_{rs}^G) - 1.173 \dots (13)$$

休日（高速道路 80km/h 設定）の高速転換率

$$\ln \frac{P_{rs}^E}{P_{rs}^G} = -0.094(T_{rs}^E - T_{rs}^G) - 0.972 \dots (14)$$

平日（高速道路 60km/h 設定）の高速転換率において決定係数が 0.399 と低い値を示したのは、名古屋高速道路の規制速度は一宮線、小牧線を除いて 60km/h となっているが、名古屋高速道路の現状では 60km/h 以上で走行している車がほとんどで実際の現状と合っていないからではないかと考えられる。

3.4 まとめ

高速道路の設定速度を上げることで、平日、休日ともに高速転換率の精度は高くなることが分かった。また平日と休日を比較すると平日の方が高速転換率の精度は低い。これは説明変数には道路料金を時間に換算することになっているが、平日は会社の経費などで道路料金を考慮せずに利用している人が多く含まれているからではないかと考えられる。今後の課題として高速道路の利用目的別に高速転換率の予測を行う必要がある。

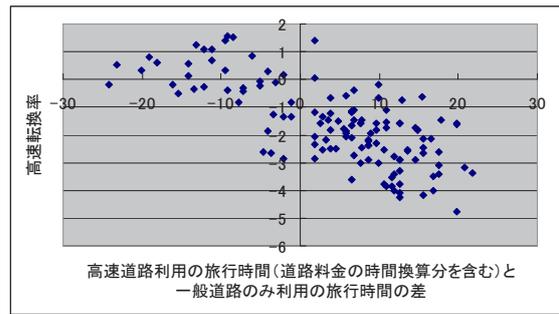


Fig. 6 平日（高速道路 80km/h 設定）

Table 8 パラメータと決定係数

	θ	ψ	R^2
高速道路 60km/h 設定	0.113	0.602	0.399
高速道路 70km/h 設定	0.115	0.755	0.491
高速道路 80km/h 設定	0.101	1.173	0.534

休日

	θ	ψ	R^2
高速道路 60km/h 設定	0.117	0.317	0.568
高速道路 70km/h 設定	0.110	0.541	0.606
高速道路 80km/h 設定	0.094	0.972	0.631

参考文献

- 1) 滝川幸平: バス解析モデルによる名古屋都市圏交通量の需要関数の開発、卒業論文、2010
- 2) 狩野裕、三浦麻子: グラフィカル多変量解析(増補版)、現代数学社、2007
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所: 将来推計人口、<http://www.ipss.go.jp/>
- 4) 内閣府* 国民経済計算 <http://www.esri.cao.go.jp/jp/toukei.html>
- 5) 中部運輸局愛知運輸支局: 自動車の推移 <http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/aichi/index.html>
- 6) 柊川幸詩: 時間帯別利用者均衡配分手法の実用化と地球環境影響評価の適用分析、修士論文、2006
- 7) 土木学会: 道路交通需要予測の理論と適用 第II編、利用者均衡配分モデルの展開、2006
- 8) 奥村貴紀: 都市高速道路の転換率の予測に関する研究、卒業論文、2009
- 9) 名古屋高速道路公社: 第12回名古屋高速道路自動車起終点調査報告書、2004

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

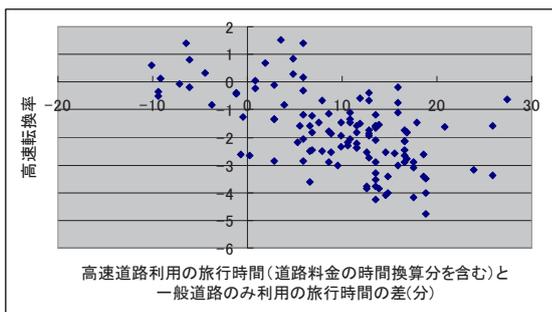


Fig. 4 平日（高速道路 60km/h 設定）

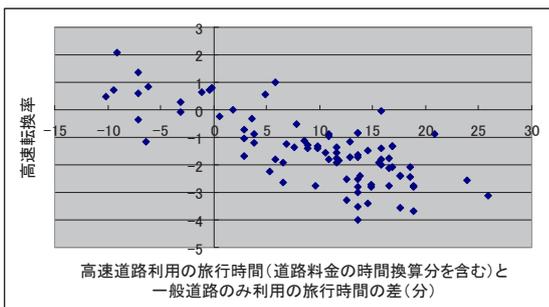


Fig. 5 休日（高速道路 60km/h 設定）

高齢者専用賃貸住宅の他用途施設からの転用改修に関する研究

生田京子¹⁾

A Study on the Conversion from Another Type of Building into the Rental Housing Exclusively for the Elderly Kyoko IKUTA¹⁾

Abstract

An investigation on the conversion from buildings built for another purpose into the rental housings exclusively for elderly is carried out.

- a) Questionnaires to all converted and newly-built rental housings exclusively for the elderly revealed that converted cases had less toilets, bathrooms and kitchens in each dwelling house compared to newly-built cases.
- b) Through hearing investigations on the converted cases, different conversion tendencies were observed. Conversions from apartments required barrier-free renovations, which included utility re-works such as moving toilets.

4)「高齢者住宅としての居住性能向上」とそれに伴う「改修工事内容」の関係を明らかにすること。

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

本論は、生田研究室でこれまで取り組んできた高齢者住宅への転用改修に関する研究について紹介するものである。

高齢者人口が急増する中で福祉施策など様々な取り組みがなされているが、その居住環境について考える際、虚弱な高齢者を対象とした特別養護老人ホーム等の介護保険3施設は先進諸外国と同等の数的整備率に達しつつある中で^{註1)}、次なる課題は介護保険施設の枠外の高齢者住宅の整備といわれている。一方、わが国では戦後の住宅不足に伴い大量の集合住宅が建設されたが、これらの多くは老朽化の進行、人口構成の変化等により現在優良なストックであるとは言い難く、他用途施設においても同様のことが考えられる。

この2点から今後ニーズが高まるであろう高齢者住宅の需要を既存の他用途施設に負担させることにより双方に寄与する可能性がある。そこで、ここでは、高齢者専用賃貸住宅（以下、高専賃）に着目し、以下の4点を目的とする。

- 1) 全国の高専賃の現状とその中における改修転用事例の位置づけを把握すること。
- 2) 従前用途別の改修内容の傾向を把握すること。
- 3) 改修前後の高齢者住宅としての居住性能の変化を評価すること。

2. 研究の概要

2.1 研究対象および事例の抽出方法

分析を行う高専賃事例の抽出は以下1)～3)の順に従った。

1) 財団法人高齢者住宅財団ホームページから情報抽出
高専賃の情報公開制度を利用し、財団法人高齢者住宅財団ホームページ^{註2)}（以下、ホームページ）から高専賃の基本情報を抽出した。

2) アンケート調査による改修事例の抽出
ホームページの掲載情報をもとに高専賃全数（2007年2月時点 374件）に対して、郵送自記式アンケート調査を実施、改修事例に対してアンケートへの回答を依頼、他の事例についてはパンフレット等の返信を依頼した。アンケート調査の概要をTable 1 に示す。

3) 詳細な改修情報を得るためヒアリング調査先の抽出
更に詳細な情報を得るため、改修事例に対するヒアリング調査を行った。ヒアリング調査先は改修前用途ごとに1～2事例を抽出した。ヒアリング調査項目の概要をTable 2 に示す。

2.2 研究方法

本研究は、以下の4段階の方法で行う。

- 1) 高専賃の現状と改修事例の位置づけの把握

1) 建築学科

1) Department of Architecture

Table 1 アンケート調査の概要

対象	全国の高専賃管理者
依頼内容	改修事例 新築事例
アンケートの票質問内容	アンケート票の記入、パンフレット等の返信 パンフレット等の返信
配票数	374件 (2007.02現在の全国の高専賃全数)
回収数	108件
有効回答率	29%

Table 2 ヒアリング調査の概要

対象	改修事例5事例の管理者 (集合住宅：2事例、寮・社宅：2事例、宿泊施設：1事例)
調査内容	管理者へのヒアリング、建物内の視察、入居者数名へのヒアリング
ヒアリングの質問内容	改修前の様子、改修計画、運営、改修の詳細内容、入居者の様子

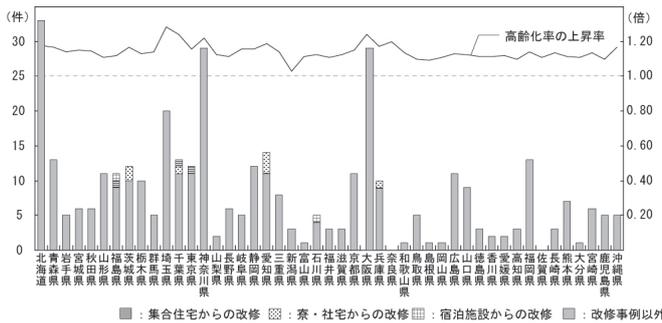


Fig. 1 高専賃の全国分布と高齢化率

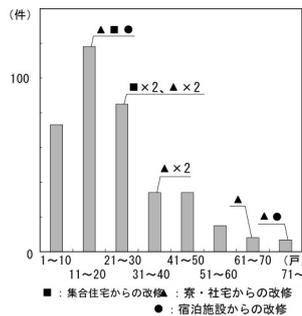


Fig. 2 住戸数

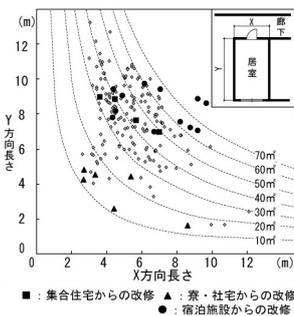


Fig. 3 個室面積

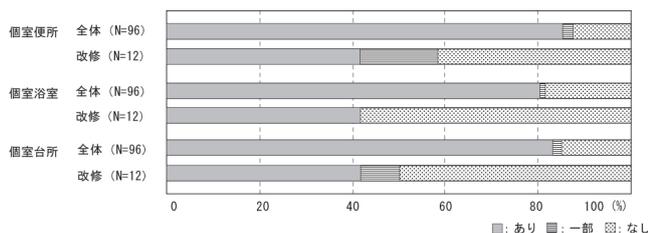


Fig. 4 個室内設備

ホームページに掲載されている高専賃の情報と、高専賃管理者に対して行ったアンケート調査の結果をもとに、高専賃の地域ごとの整備状況、住戸数、個室面積、個室設備の有無の現状と、その中での改修事例の位置づけを把握する。

2) 従前用途ごとの改修傾向の把握

高専賃管理者に対するアンケート調査によって得られた改修事例の結果より改修金額、改修内容の概要、個室設備等の内容を把握し、従前用途ごとにその傾向を把握する。

3) 改修内容の評価

改修事例の中から数事例を抽出し分析を行う。改修内容によりどの程度の性能の向上がみられたかを明らかにすべく、以下の a), b) の評価軸の設定を行い各々の評価を行う。a) 性能レベル—改修の内容による性能の向上度合い, b) 工事内容レベル。

4) 性能の向上と工事内容レベルの関係の抽出

改修内容の評価結果をもとに性能レベルの向上と工事内容レベルとの関係を専用空間、共用空間、性能評価項目別の部位の3つの視点から考察する。

以上を通して、他用途施設から高専賃への転用改修実態を把握し、転用改修の課題や可能性を検討する。

3. 高専賃の現状と改修事例の位置づけ

以下では、高専賃全数 (N=374) とアンケート調査に返答のあった108事例を対象に分析を行う。

3.1 地域ごとの分布 (N=374)

Fig. 1に全国における高専賃の分布と高齢化率の上昇率を示す。アンケート回収事例のうち12が改修事例であった。高専賃全体は、首都圏など、高齢化率の上昇率が高い都市部に数量的集中がみられ、集合住宅・寮からの改修事例の多くは、高専賃が集中している都市部の周辺地域に、宿泊施設からの改修事例は地方都市にみられた。

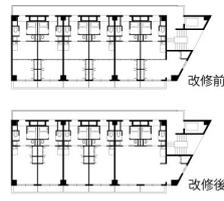
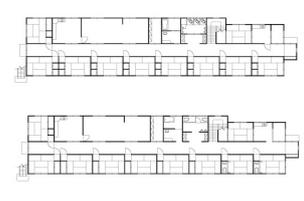
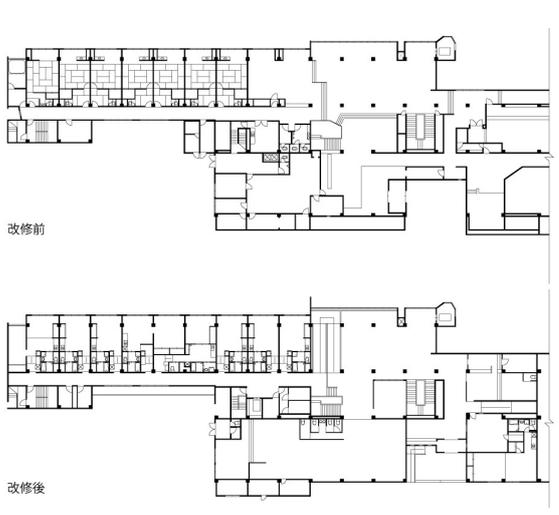
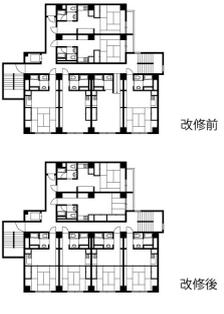
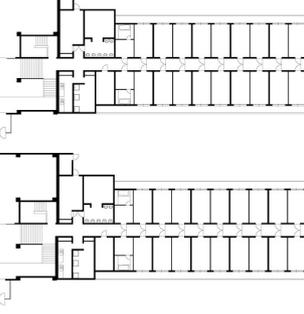
3.2 住戸数の分布 (N=374)

Fig. 2に全体の住戸数の分布と該当する改修事例を示す。全体の約55%が11戸~30戸に集中している。集合住宅からの改修事例は、その中に含まれる一方、寮・社宅、宿泊施設からの改修事例は広く分布しており、全体と比較すると比較的規模の大きなものが多い。

3.3 個室面積の分布 (有効回答 N=86)

Fig. 3に横軸に居室のX方向長さ、縦軸Y方向長さをとった居室面積の分布を示す。全体の多くが30~50㎡に集中しており、またX方向よりY方向の長い事例が多い。集合住

Table 3 改修の概要

集合住宅からの改修事例	寮・社宅からの改修事例	宿泊施設からの改修事例
<p>事例 Si</p>  <p>改修前 改修後</p> <p>新築マンションからの設計変更。居室内間仕切を除去。</p>	<p>事例 Mh</p>  <p>改修前 改修後</p> <p>2戸のみ住戸内に便所、洗面を新設。共用便所、共用浴室のバリアフリー化。</p>	<p>事例 Yh</p>  <p>改修前 改修後</p> <p>大規模改修。構造体以外ほぼ全ての部分を改修。プールや宴会場などを居室や廊下へ変更するなどの用途変更工事もあり。</p>
<p>事例 Pr</p>  <p>改修前 改修後</p> <p>一部住戸の玄関周りをスロープ、引戸使用へ変更。</p>	<p>事例 Aa</p>  <p>改修前 改修後</p> <p>10戸のみ2戸1改修、さらに便所、台所設置。倉庫部分にエレベーターを新設。全体の仕上げを更新。</p>	

※省略部分は、改修内容不明部分又は高齢者住宅以外の用途に改修された部分

Table 4 事例の概要

建物名称	Si ^{*1}	Pr	Kt	Mh	Aa	Wt	Wk	Yna	Yk	Ynn	lr	Yh	
所在地	千葉県	福島県	東京都	兵庫県	茨城県	茨城県	千葉県	愛知県	愛知県	愛知県	福島県	石川県	
改修前施設	集合住宅	集合住宅	集合住宅	寮・社宅	宿泊施設	宿泊施設							
基準法上の用途	共同住宅	共同住宅	*	寄宿舎	共同住宅	寄宿舎	寄宿舎	*	*	*	共同住宅	共同住宅	
建築年	2006	1985	1978	1983	198	1990	1992	1965	1999	1992	1975	1973	
改修年	2006	2003	2006	2004	2006	2005	2004	2005	2003	2003	2003	2004	
建築構造	RC(ラーメン)	RC(ラーメン)	RC(ラーメン)	W	RC(ラーメン+壁)	RC(ラーメン)	RC(ラーメン)	RC	S	RC	RC(ラーメン)	RC(ラーメン)	
改修金額(円)	4,000,000	43,000,000	270,000,000	16,000,000	160,000,000	120,000,000	80,000,000	65,000,000	50,000,000	50,000,000	170,000,000	1,100,000,000	
高専賃・高専賃区分	(非適合)高専賃 ^{*3}	(非適合)高専賃 ^{*3}	高専賃	(非適合)高専賃 ^{*3}									
住戸数(戸)	16	28	27	18	81	64	30	39	25	40	20	73	
延床面積(m ²)	894	1,885	1,674	552	2,947	2,296	1,055	1,631	788	1,319	1,892	8,670	
個室面積(m ²)	32-46	37-89	43-48	12-13	13	13	14	13-18	17	15	22-53	34-91	
建物 個室設備 ※2	浴室	○(○)	○(○)	○(○)	×(×)	×(×)	×(×)	×(×)	×(×)	×(×)	○(×)	○(×)	
	便所	○(○)	○(○)	○(○)	△(×)	△(×)	×(×)	×(×)	×(×)	×(×)	○(×)	○(○)	
	台所	○(○)	○(○)	○(○)	×(×)	△(×)	×(×)	×(×)	×(×)	×(×)	○(×)	○(×)	
改修	坪単価(円)	14,765	75,279	532,344	95,652	211,454	172,442	250,135	131,514	209,511	125,095	296,510	418,680
戸当たり単価(円)	250,000	1,535,714	10,000,000	888,889	1,975,309	1,875,000	266,667	166,667	2,000,000	1,250,000	8,500,000	15,068,493	

※1：新築マンションを建設途中で設計変更したもの。 ※2：△は1部住戸で満たしているものを示す。○内は改修前の個室設備の有無を示す。 ※3：高専賃基準を満たしていない高専賃のこと。 *：不明

宅からの改修事例は全体とほぼ同様の分布を示しているが、宿泊施設からの改修事例は面積が大きく、一方、寮・社宅からの改修事例は小さい傾向にある。

3.4 個室設備の有無 (N=108)

Fig. 4に全体と改修事例の個室設備の有無を示す。全体では個室便所、浴室、台所の整備率が80%以上であるのに対して、改修事例では、3点共に全住戸で満たしている割合は40%程度であった。また、全住戸ではなく一部の住戸にのみ個室設備を設置している事例が多い点も改修事例の特徴的な点である。

3.5 小結

以上、高専賃の現状と改修事例の位置づけを把握した。寮・社宅からの改修事例では個室面積、宿泊施設からの改修事例では立地した地域に特性があり、また改修事例全体としては個室設備の整備率の低さが顕著であった。

4. 従前用途ごとの改修の傾向

以下、アンケート調査より得られた改修事例12事例を用いて考察を行う。12事例の概要をTable 4に示す。

従前用途としては、全12事例のうち、寮・社宅からの改

Table 5 性能レベルの評価軸 (専用空間)

評価項目	等級 1	等級 2	等級 3	等級 4	等級 5
居室全体	住戸面積 規定なし		25㎡以上(共有部分が十分な面積を満たしていれば18㎡以上)		
	必要な設備 規定なし		台所、水洗便所、収納設備、洗面設備及び浴室		
	配置すべき居室 規定なし	便所		浴室	洗面所、脱衣室等
	床面の段差 規定なし		下記以外段差のない床		
玄関	出入口段差 規定なし	階差と外側の高低差20mm以下かつ階差と土間の高低差が5mm以下			
	上り階段差 規定なし			110mm以下	
	手すりの設置 規定なし		上り階段、靴着脱のために設置		
	出入口幅員 ^{※1} 規定なし		750mm以上		800mm以上
	広さ 規定なし			ベンチ等が設置できる空間	
便所	手すりの設置 規定なし		立ち座り補助のために設置		
	広さ 規定なし	長辺1,300mm以上	+短辺1,100mm以上	短辺1,300mm以上	
	出入口幅員 ^{※2} 規定なし		750mm以上		800mm以上
浴室	手すりの設置 規定なし			浴槽入りの高に設置	+その他3箇所設置
	広さ 規定なし	短辺2,000mm×1,800mm以上	短辺1,300mm×2,200mm以上	短辺1,400mm×2,250mm以上	
	出入口幅員 ^{※1} 規定なし		600mm以上	650mm以上	800mm以上
	出入口段差 規定なし		20mm以下の単純段差		段差なし
洗面	手すりの設置 規定なし		衣服着脱のために設置		
	出入口幅員 ^{※2} 規定なし		750mm以上		800mm以上
環室	広さ 規定なし		9㎡以上		12㎡以上
玄関	広さ 規定なし			ベンチ等が設置できる空間	
設備	調理器具等 規定なし		安全装備の備わった調理器具設備等		
	非常通報装置 規定なし		居室内、便所、浴室等に設置		

※1：開戸にあたっては建具の厚み、引戸にあたっては引渡しを勘定した寸法とする。 ※2：工事を伴わない撤去等により確保できる長さを含む。 ※：寸法は全て内法寸法とする。

Table 6 性能レベルの評価軸 (共用空間)

評価項目	等級 1	等級 2	等級 3	等級 4	等級 5
手すり(内部)	規定なし		少なくとも片側に設置 (700mm~900mmの高さ)		
高低差のない共用廊下	手すり(外部) 規定なし		護壁等の高さから650mm以上1,100mm未満の高さにあっては床面から1,100mm以上の高さに護壁等の高さが650mm未満の場合は護壁等から1,100mm以上の高さに設置+床面及び護壁等からの高さが800mm以内の手すり子間隔110mm以下		
	幅員 ^{※1} 規定なし				1,400mm以上
高低差のある共用廊下	手すり 規定なし			少なくとも片側に設置 両側設置 (700mm~900mmの高さ)	
	勾配 規定なし		勾配が1/12以下の傾斜及び段又は高低差が80mm以下で勾配が1/8以下の傾斜路	勾配が1/12以下の傾斜及び段が認められており、かつそれ以外の有段傾斜が200mm以上ある場合は連続的かつ一定勾配(以下で傾斜路)として認められなければならない。かつその傾斜路が1,200mm以上	
	幅員 ^{※1} 規定なし		800mm以上勾配1/12以下の傾斜路又は1,200mm以上高低差80mm以下で勾配1/8以下の傾斜路もしくは勾配1/15以下の傾斜路		1,200mm以上
共用階段	勾配など 規定なし	踏面が240mm以上かつ550mm≤2R+T≤650mm		勾配が7/11かつ550mm≤2R+T≤650mm	
	蹴込み 規定なし	蹴込み寸法30mm以下		蹴込み寸法30mm以下 蹴込み寸法20mm以下かつ蹴込み板設置	
	形式など 規定なし	蹴場付折階段又は直道階段かつ連続等への急戻り階段、及び直下段の連続等への突出禁止			
	すべり止め 規定なし			すべり止めは踏面同一面	
	手すり(内部) 規定なし		少なくとも片側に設置 (700mm~900mmの高さ)	両側設置 (700mm~900mmの高さ)	
	手すり(外部) 規定なし		護壁等の高さから650mm以上1,100mm未満の場合は、踏面の先端から1,100mm以上の高さに設置 護壁等の高さから650mm未満の場合は護壁等から1,100mm以上の高さに設置		
	幅員 ^{※2} 規定なし		900mm以上		
エレベーター	配置 規定なし		対象住戸から出入口のある階へ到達可能、かつ建物出入口からEVホールまで段差なし		
	有効幅員 規定なし		奥行き1,350mm以上		
	出入口幅員 規定なし				800mm以上
	ホールの広さ 規定なし		1,500mm以上×1,500mm以上		

※1：工事を伴わない撤去等により確保できる長さを含む。 ※2：エレベーターがない事例のみ評価対象とする。 ※：寸法は全て内法寸法とする。

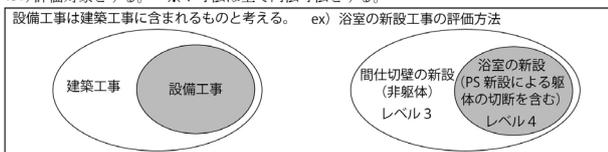


Fig.5 建築工事と設備工事の関係性に関する概念図

Table 7 工事内容レベルの評価軸

工事分類	工事内容レベル	工事内容	工事内容の例
建築工事	レベルs 4	躯体 ^{※1} 工事	戸境壁の新設、梁の新設
	レベルs 3	下地 ^{※2} 工事	間仕切壁の新設、天井の高さ変更
	レベルs 2	仕上 ^{※3} 工事	仕上の変更、仕上の更新
	レベルs 1	設置 ^{※4} など	手すりの設置、扉の更新
設備工事	レベルi 4	躯体の変更を伴う工事	EVの新設、浴室の新設 (PSの新設)
	レベルi 3	下地の変更を伴う工事	トイレの位置変更、流し台の位置変更
	レベルi 2	上記以外の新設工事	照明計画の変更、IHの新設
	レベルi 1	既設物の更新、修繕	空調機の更新、便器の更新

※1：建物の仕上、設備等を除いた部分、主に構造体を指す。 ※2：構造体以外の骨組みを指す。 ※3：表面に見えている部分 ※4：仕上材の上に取り付けること。

修事例が半数以上を占めており、その全てが、浴室や便所を共同使用する集団生活型の平面プランをもつものであった。個室面積をみると、寮・社宅からの改修事例は12~18㎡と非常に小さい。そのため、他用途からの改修事例では改修により個室設備が整備されているのに対して、寮・社宅からの改修事例は、ほぼ未整備のままである。

5. 改修内容の評価

改修事例のうち従前用途が集合住宅のSiとPr、寮・社宅のMhとAa、宿泊施設のYhである5事例を対象として管理者に対してヒアリング調査を行った (Table 2)。これらの結果を用い分析を行う。なお改修の概要をTable 3に示した。

5.1 評価軸の作成

改修による性能の向上度合いを明らかにするために1) 性能レベル、改修の内容を明らかにするために2) 工事内容レベルの2つの評価軸を設定し、考察を行う。

1) 性能レベル

国土交通省の定める2つの指標、高齢者等配慮対策等級^{※3)}と高優賃整備基準^{※4)}の項目を参考とし、性能レベルを設定した。高齢者等配慮対策等級は高齢者の生活に配慮した空間措置が1~5の等級により専用空間と共用空間に対して定められている。また、高優賃整備基準も同様に高齢者の生活に配慮した空間措置が講じられているが高齢者等配慮対策等級のように等級の設定は行われていない。高優賃基準は、高齢者等配慮対策等級において等級3以上を満たしていることを前提条件としているため、高優賃整備基準において講じられている項目を等級3以上であると定義した上で、これら2つの指標を整理し評価軸を設定した。専用空間の評価軸をTable 5に、共用空間の評価軸をTable 6に示す。高齢者が生活する空間における建築のバリアフリー対応化の重要性は先行研究⁹⁾においても教示されていることから、高齢者等配慮対策等級、高優賃整備基準を参照とした本指標を用いることとした。

2) 工事内容レベル

改修の際の工事内容を「建築工事—レベルs 1からs 4」「設備工事—レベルi 1からi 4」に分類し評価を行うため、評価軸を設定した。設定した評価軸をTable 7に示す。なお、建築工事と設備工事の関係性に関する概念図をFig. 5に示す。

5.2 評価結果とその考察

5.2.1 改修前後の性能レベルの向上

1) 専用空間

専用空間における改修前後での性能レベルの変化をTable 8に示す。集合住宅からの改修では、従前から「居室全体」の項目で高い性能レベルであったが、玄関などの出入口段差・幅員に関しては配慮がされておらず、改修後の性能レベルの向上もみられない。事例Prのbでは、玄関の出入口幅員、上り框段差で性能レベルが向上しているが、それに伴い必要な設備等の性能レベルが低下している。具体的には、玄関の上り框段差を解消するためにスロープ設置工事が行われたが、玄関付近の空間の不足により隣接する水回り空間へも影響を及ぼし、洗面台を撤去せざるを得ない状況となっていた。寮・社宅からの改修は、全てが集団生活型の平面プランであることから建物のエントランスで履替を行うため、玄関の上り框などの段差がなく従前から段差に関する性能レベルが高い。一方で、居室内に便所や浴室がなく面積も比較的小さい。改修後も一部の住戸でしか改善が見られず、性能レベル平均の相対的な低さに影響している。宿泊施設からの改修では大幅な改修工事をうけ、ほぼ全ての項目で性能レベルが向上している。特に従前は住戸以外の用途であった空間から住戸へと改修が行われた事例Yhのd, eでは便所の広さ、浴室の出入口幅員を除く全ての項目で等級5を満たし、全体平均も4.9と非常に高い。

2) 共用空間

共用空間における改修前後での性能レベルの変化をTable 10に示す。共用空間では従前から性能レベルの高い項目が多い。廊下や階段などの手すりの設置項目やエレベーター新設によりエレベーター項目で性能レベルが大きく向上している。宿泊施設からの改修事例である事例Yhのbでは、専用空間と同様に他用途の空間から廊下やエレベーターへの改修が行われ、性能レベルが大幅に向上している。寮・社宅からの改修事例である事例Mhでは、改修後もエレベーターが新設されておらず、同評価項目は低いままである。

5.2.2 工事内容レベルと工事費用

各事例の工事内容の工事内容レベル別分類をTable 10に示す。集合住宅、寮・社宅からの改修事例では工数の多くが工事内容レベルs2, i2までに集中しており仕上の更新や水周り機器の更新等の既存性能の向上が工数の大部分を占めている。工事内容レベルs3, i3以上では、集合住宅からの改修事例において床の段差解消や間仕切壁の新設・撤去等の建築工事が、寮・社宅からの改修事例では水回り機器の新設等の設備工事、それに伴う間仕切壁の新設等の建築工事が行われている。寮・社宅、からの改修事例の工事費坪単価平均は約17万円であった。集合住宅からの改修事例については抽出事例にばらつきが大きく一般化

Table 8 改修前後の性能レベルの変化 (専用空間)

従前用途	事例名	改修タイプ	対象時 対象時 住戸面積	居室																平均					
				居室全体 必要な設備	床面 段差	出入口 段差	玄関 上り框段差	手すり の設置	出入口 幅員	広さ	便所 手すり の設置	出入口 幅員	広さ	浴室 手すり の設置	出入口 幅員	洗面 手すり の設置	幅員	設備 調理器具等	非常 通報装置						
集合住宅	Si	a	前後	5	5	5	5	1	3	1	5	2	1	3	2	1	2	2	1	1	5	5	2	2.8	
		後差	5	5	5	5	1	3	5	5	5	3	2	5	2	2	1	5	5	5	5	5	5	4.0	
	Pr	a	前後	5	5	5	1	1	3	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	5	5	5	2.4	
		後差	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	3	1.0	
	寮・社宅	Mh	a	前後	5	5	5	1	1	3	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	5	5	2	2.4
			後差	5	2	4	5	5	5	5	5	5	2	1	2	2	1	2	2	1	1	5	5	2	3.9
Aa		a	前後	0	-3	-1	4	4	2	4	3	0	4	0	3	0	0	0	0	4	0	0	3	1.5	
		後差	2	2	1	5	5	5	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1.5	
Yh		d	前後	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	
		後差	2	2	3	5	5	5	5	5	2	2	5	3	5	0	0	0	0	0	5	5	0	3.0	
宿泊施設	Si	a	前後	0	0	2	0	0	0	4	0	0	5	3	5	0	0	0	0	5	5	0	3	1.5	
		後差	2	2	1	5	5	5	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1.5	
	Pr	a	前後	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
		後差	2	2	1	5	5	5	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	1.5	
	Yh	d	前後	5	2	3	5	5	5	1	4	2	5	2	2	0	0	0	0	0	5	5	5	2.7	
		後差	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	2	2	0	0	0	0	0	2	5	3	1.2	

Table 9 改修前後の性能レベルの変化 (共用空間)

従前用途	事例名	改修タイプ	対象時 手すり	廊下				平均	階段				平均	エレベーター				平均				
				幅員	手すり	幅員	平均		幅員	平均	幅員	平均		幅員	平均							
集合住宅	Si	a	前後	5	4	-	-	-	4.5	4	5	5	5	1	-	4.0	5	5	5	5	5.0	
		後差	5	4	-	-	-	-	4.5	4	5	5	5	5	-	4.8	5	5	5	5	5.0	
	Pr	a	前後	1	4	-	-	-	2.5	-	-	5	5	1	-	3.7	2	5	5	5	4.2	
		後差	1	4	-	-	-	-	2.5	-	-	5	5	4	-	4.7	5	5	5	5	5.0	
	寮・社宅	Mh	a	前後	1	4	-	-	-	2.5	4	5	5	5	4	2	4.2	0	0	0	0	0
			後差	5	4	-	-	-	-	4.5	4	5	5	5	4	2	4.2	0	0	0	0	0
Aa		a	前後	1	5	1	-	-	2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		後差	1	5	1	-	-	-	3.0	4	5	5	5	1	-	4.0	0	0	0	0	0	
Yh		a	前後	0	0	4	-	-	0.0	0	0	0	0	0	3	-	0.8	5	5	5	5	5.0
		後差	1	4	2	1	3	2	2.4	4	5	5	5	4	-	4.6	2	5	5	5	5	4.2

できなかった。宿泊施設からの改修事例は、多くの項目で工事内容レベルs, i共に4の工事が行われており、建物全体において大規模な工事が行われている。工事費坪単価平均も約35万円と他の2用途からの改修事例と比較して高額であった。

5.3 小結

以上、性能レベルと工事内容レベルの2つの評価軸を設定し、従前用途ごとの改修による性能の向上度合いと改修内容の特徴を明らかにした。集合住宅からの改修事例では段差の解消や出入口幅員の拡大のために工事内容レベルの高い建築工事が行われており、寮・社宅からの改修事例では設備工事が行われていた。宿泊施設からの改修事例では、性能レベルは大きく向上しているが、建築、設備共に工事内容レベルの高い工事が行われており費用も他の2

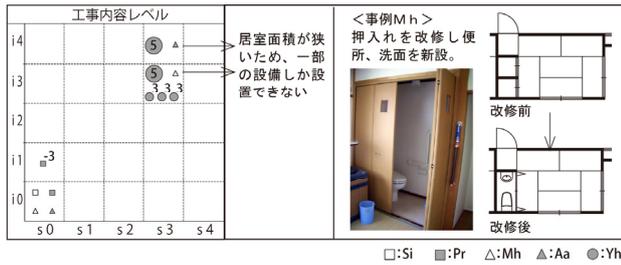


Fig.6 住戸内に必要な設備

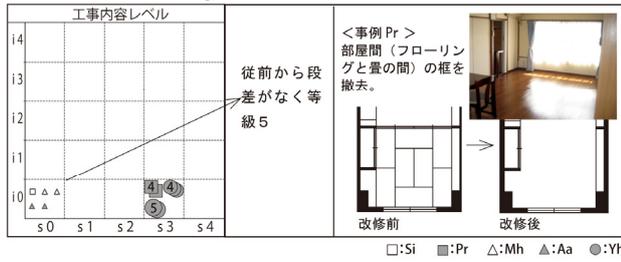


Fig.7 床面の段差

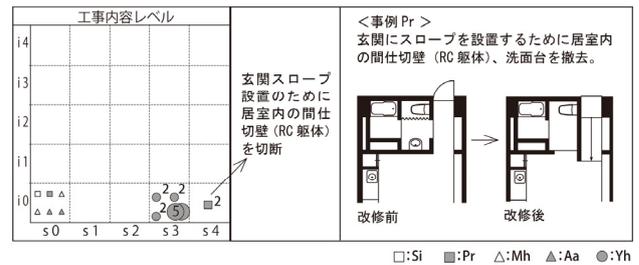


Fig.8 玄関の上り框段差

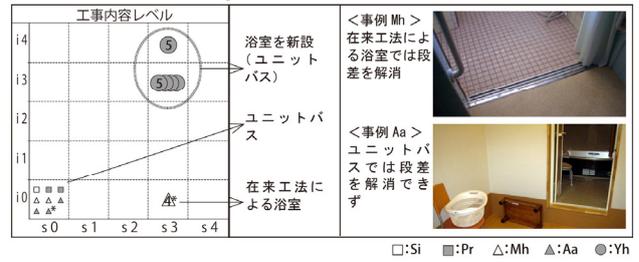


Fig.9 浴室の出入口段差

用途と比較して高額であった。

6. 性能レベルの向上と工事内容レベルの関係性

6.1 性能評価項目別の部位

性能評価項目別に性能レベルと工事内容レベルの関係を示したものをFig. 6～9に示す。建築と設備の工事内容レベルをそれぞれ横軸と縦軸にとり、それらと性能レベルとの関係を示した。各記号の大きさと数字は改修前後での性能レベルの差を表しており、大きな記号ほど性能レベル向上が大きいことを示す（Table 10参照）。双方のレベルに比例関係がみられなかった専用空間に着目し、より特徴的な4項目を取上げ考察を行う。

1) 住戸内に必要な設備 (Fig. 6)

工事内容レベルs 3, i 3～i 4という大規模改修が行われている事例の中でも、大幅に性能レベルが向上しているもの、変化のないものと性能レベルの変化にばらつきがある。住戸面積が小さい・社宅からの改修事例である事例Mh, Aaでは、限られた設備しか居室内に新設することができず性能レベルの向上は小さい。また、集合住宅からの改修事例である事例Prでは、玄関スロープの設置に伴い洗面台が撤去され、性能レベルが低下している。

2) 床面の段差^{註4)} (Fig. 7)

改修後は、全事例で性能レベル等級5を満たしている。事例Pr, Yhの段差は主に部屋間の框等の段差で、工事内容レベルs 3の工事により解消されている。一方、事例Mh, Aaは、従前からワンルームタイプのため居室内に段差がなく、未改修だが等級5であった。

3) 玄関の上り框段差 (Fig. 8)

玄関の上り框段差を解消するため、スロープ設置工事が行われている。スロープ設置は通常工事内容レベルs 3程

度の工事であるが、集合住宅からの改修事例である事例Prでは玄関周りスペースの不足により規定のスロープの勾配を確保することができず、室内の間仕切壁（RC躯体）の切断工事、さらには洗面台の撤去工事が併発し、工事内容レベルs 4の大規模工事となっている。

4) 浴室の出入口段差 (Fig. 9)

在来工法による浴室では、工事内容レベルs 3の工事で段差が解消され性能レベルが大幅に向上している（新築工事を除く）。一方、ユニットバスは従前の性能レベルが低いにも関わらず未改修のまま段差が放置されている。既存のユニットバスでは改修により出入口段差を解消することは困難である。

以上に示した項目以外についても同様に分析を行った。性能評価項目別の部位ごとにみる改修のやりやすさについてTable 11に示す。

6.2 小結

以上、専用空間、共用空間、専用空間の性能評価項目別の部位において性能レベルの向上と工事内容レベルの関係性を明らかにした。共用空間では、工事内容レベルと性能レベルの間に比例関係がみられたが、専用空間では、工事内容レベルが高いにも関わらず性能レベルの向上が低い事例もみられた。他の工事を併発する工事は工事内容レベルに対して性能レベルの向上が低い。特に便所の広さ、浴室の出入口幅員、浴室の出入口段差項目など設備工事を伴う工事ではその傾向はより顕著であり、水回り空間の壁の構造、浴室においては工法の違いが工事内容レベルと性能レベルの向上に影響を及ぼしていることが分かった。

Table10 改修項目の工事レベル別分類

対象空間	従前用途	事例名	改修タイプ	主な工事内容	対象数	建築工事 (s レベル) 工事項目				設備工事 (i レベル) 工事項目											
						s1	s2	s3	s4	i1	i2	i3	i4								
						腰掛の新設	手すりの新設	建具の新設・撤去・更新	仕上の更新・変更	床高さ・天井の変更	スロープの新設・段差解消	間仕壁の新設・撤去	界壁の新設・撤去	躯体の切断	照明器具の更新	非常通報装置の新設	簡易昇降機の新設	便器・洗面台の位置変更	流し台の新設	便器・洗面台の新設	流し台の新設	便器・洗面台の新設	EVの新設
専用空間	集合住宅	寮・社宅	居室 a	仕上の変更	n=16	●					●	●									
			居室 a	仕上の変更	n=21	●	●	●	●			●	●								
			居室 b	仕上の変更	n=5	●	●	●	●			●	●								
			居室 a	仕上の変更	n=16	●	●	●	●			●	●								
			居室 b	便所と洗面を新設	n=2	●	●	●	●						●						
	宿泊施設	寮・社宅	居室 a	仕上の変更	n=71	●	●	●	●			●	●								
			居室 b	2戸1改修	n=8	●	●	●	●			●	●								
			居室 a	仕上の変更	n=23	●	●	●	●			●	●								
			居室 b	複数居室を併合	n=26	●	●	●	●			●	●								
			居室 c	居室と浴室を併合	n=3	●	●	●	●			●	●								
共用空間	集合住宅	寮・社宅	廊下 a	工事なし	n=4																
			階段 a	手すりの設置		●															
			E V a	工事なし																	
			廊下 a	手すりの設置		●															
			階段 a	手すりの設置		●															
	宿泊施設	寮・社宅	E V a	EVの更新			●														
			廊下 a	仕上の更新		●						●									
			階段 a	簡易昇降機を新設		●						●									
			廊下 a	仕上の更新		●						●									
			階段 a	仕上の更新		●						●									
宿泊施設	寮・社宅	E V a	EVの新設															●			
		廊下 a	天井・床高さの変更		●	●	●														
		廊下 b	他用途から廊下		●	●	●														
		階段 a	仕上の更新		●																
		E V a	EVの更新		●																

※1：PSの新設工事を含む ※2：躯体の切断工事を含む PS：パイプスペース、UB：ユニットバス

Table11 性能評価項目別の部位にみる従前用途ごとの改修傾向

性能評価項目別の部位	住戸面積	住戸内に必要な設備	床面の段差※	玄関の上り框段差	玄関の出入口幅員	浴室の広さ	浴室の出入口幅員	浴室の出入り口段差	
従前の性能レベル	集合住宅	△ 全国の高専賃全体と同等の居室面積。	○ 個室設備が整備されている。	△ 大きな段差はないが、居間と和室の間など部屋間に段差が存在。	× 通常の住宅と同等の高さの玄関の上り框段差。	△ 基準を満たしているもの、満たしていないものとさまざま。	× 通常の集合住宅と同程度の広さしか確保されていない。UB。	× 十分な幅員は確保されていない。	× 段差があり。
	寮・社宅	× 全国の高専賃全体より狭い。	× 個室設備が整備されていない。	○ 居室内段差なし。	○ エントランスではき替えを行うため、居室玄関に上り框が存在しない。	○ 基準を満たしているもの、満たしていないものとさまざま。	○ 居室内に浴室なし。共用浴室では十分な広さを確保。UB、もしくは在来工法。	○ 居室内に浴室なし。共用浴室では十分な幅員は確保。UB、もしくは在来工法。	○ 居室内に浴室なし。共用浴室では段差が存在。
	宿泊施設	○ 全国の高専賃全体より広い。	△ 便所、洗面台は整備されている。	× 部屋間に段差あり。段差は集合住宅のものよりも大きく複数の段差が存在。	× 玄関の上り框段差。	× 従前の用途が住居系ではないため、出入口幅は狭い。	○ 居室内に浴室なし。便所、洗面台はあり。大浴場利用を想定。	○ 居室内に浴室がない。便所、洗面台等水周りはあり。大浴場利用を想定。	○ 居室内に浴室なし。
改修後の性能レベル	集合住宅	○ 従前のレベルが高く、未改修のものが多い。	○ 従前のレベルが高いため、更新程度の改修が多い。	○ 段差を解消。	○ スロープの設置により段差を解消。	○ RC 躯体の界壁を切断し幅員を拡大。扉を開戸から引戸へ変更。	× 機器交換は行われているが、広さに関しては未改修。	× UBの更新は行われているが、広さに関しては未改修。	△ 機器交換は行われているが、広さに関しては未改修。
	寮・社宅	× 従前のレベルは低いが、未改修のものが多い。	× 改修されていないものが多い。改修後も、必要な設備が完備されているものはない。	○ 従前のから段差が存在しないため未改修。	○ 従前から性能レベルが高いため、改修の必要なし。	△ 従前性能に関わらず未改修。	○ 未改修、浴室未整備のまま。共用浴室は従前から十分な広さのため機器交換のみ。	× 未改修、浴室未整備のまま。共用浴室は従前から十分な幅員を確保。	× 未改修、浴室未整備のまま。共用浴室では在来工法のみに限り段差を解消。
	宿泊施設	○ 従前のレベルは高いが、さらに改修されていた。	○ 大規模工事により、必要な個室設備が完備。	○ 複数の段差を解消し床面の高さを統一。	○ スロープの設置、居室前の廊下の高さ変更により段差を解消。	○ RC 躯体の界壁を切断し幅員を拡大。扉を開戸から引戸へ変更。	○ 全住戸に浴室を新設。一部の住戸には十分な広さを確保。	○ 全住戸に浴室を新設。一部の住戸には十分な幅員を確保。	○ 浴室を新設。全住戸に段差のないUBを導入。
性能レベル向上に有効な工事	2戸1、3戸1改修	未整備設備の新設	段差の解消	玄関周りの空間の広さ、壁の構造	界壁の切断	間仕壁の変更	間仕壁の切断	出入口段差の解消	
改修のやりやすさに関する考察	戸境壁がRC躯体の場合大規模工事になる。非躯体や木造の場合は小規模工事での改修が可能。また、宿泊施設からの改修では非居室空間(大空間等)からの改修に工夫が必要。	個室設備が未整備の場合PSの新設工事が必要。大規模工事となる。一部の設備のみ整備されている場合はその他の設備の追加が必要。従前から設備が完備されている場合は機器交換のみでよい。	1R形式の居室は居室内に段差がない。居室内に部屋が複数ある場合は、部屋間に段差が存在する。柱をとる、畳とフローリングの高さを合わせるなどの改修が必要となる。	段差解消のスロープを設置するには、規定の勾配を確保のため、玄関周りの広さが必要。玄関の広さが不足している場合は他の空間へ影響を及ぼすような工事が発生する可能性もある。	界壁の構造が工事規模に影響する。界壁がRC躯体である大規模工事となり、非躯体もしくは木造であると小規模工事となる。	居室面積に対する水周り面積の広さと、その中の浴室の面積の割合により広さが決定される。従前から居室内に浴室がある事例は未改修。新設された事例は同等かそれ以上の面積が確保。	UBの規格では、事例にみられる従前の広さの浴室の場合、十分な幅員の確保は困難。新しい事例は同等かそれ以上の幅員を確保。いつにせよ高齢者対応には大規模工事が必要。	在来工法の場合は、比較的小規模工事での段差の解消が可能。UBは既存設備の改修により段差を解消する際には、新設工事と同程度の規模の工事が必要となる。新設工事では段差なしUB導入可能。	

PS：パイプスペース、1R：ワンルーム、UB：ユニットバス、-：評価する部位が存在しないため評価対象としない

7. 総括

1) 全国の高専賃事例と改修転用事例を比較し、高専賃の地域ごとの整備状況、住戸数、個室面積、個室設備の有無の現状と、その中での改修事例の位置づけを把握した。住戸数は寮・社宅・宿泊施設の場合、高専賃の標準的な戸数規模(11～30戸)よりも比較的大規模である事例が

見られた。また改修事例全体としては個室設備(浴室・便所・台所)の整備率の低さが顕著であった。

2) 従前用途ごとの改修傾向を明らかにした。従前用途としては、集合住宅、寮・社宅、宿泊施設がみられ、その半数以上が寮・社宅であった。寮・社宅からの改修事例では個室面積が小さく、改修後も個室設備がほぼ未整備のままであった。

3) 改修に関する「性能レベル」と「工事内容レベル」と

いう2つの評価軸を作成し、評価を行った。集合住宅からの改修事例では工事内容レベルの高い建築工事が行われており、寮・社宅からの改修事例では設備工事が行われていた。宿泊施設からの改修事例では、性能レベルは大きく向上しているが、建築、設備共に工事内容レベルの高い工事が行われており費用も他の2用途と比較して高額であった。

4) 性能レベルの向上に伴う工事内容レベルの関係を明らかにした。共用空間では、工事内容レベルと性能レベルの間に比例関係がみられたが、専用空間では工事内容レベルが高いにも関わらず性能レベルの向上が低い事例もみられた。特に他の工事を併発する設備工事は工事内容レベルに対して性能レベルの向上が低かった。また浴室の工法も工事内容レベルと性能レベルの向上に影響を及ぼしていた。

以下、従前用途別の改修の傾向、やりやすさについて述べる。集合住宅からの改修事例は、従前より居住性能がある程度満たされているため、主にバリアフリー対応の建築工事が求められる。バリアフリー対応の建築工事を行う際に、設備工事が併発することも多く、大規模工事となる可能性が高い。従前の性能レベルは高いが、それ以上の性能レベルの向上には困難が伴う。寮・社宅からの改修事例では、従前からの段差が少ないため段差解消が行やすい傾向がみられた。一方、居室面積が高専賃全体と比較して著しく小さいため、その拡大が必要である。居室面積の拡大(2戸1改修など)は、間仕切り壁の仕様によっては軽度の建築工事のみで行うことも可能である。加えて十分な居室面積を確保した後に個室設備の整備を行う必要がある。宿泊施設からの改修事例では、多様な要素(宴会場、プールなど)をもつ空間の有効活用が必要であり、それに伴う工事費用をどのように抑制するかが課題である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、椋山女学園大学 生活科学部 教授 村上心氏と(株)石田敏明建築設計事務所 熊澤暢子氏の助言・援助を受けました。ここに感謝の意を表します。

注

注1) 参考文献1)より介護保険3施設の高齢者人口に対する整備率は3.2%程度である。

注2) 財団法人高齢者住宅財団ホームページ
<http://www.koujuuzai.or.jp/>

注3) H13国土交通省告示第1347号(最終改定H19国土交通省告示第1522号) H13法律第26号高齢者の居住の安定確保に関する法律

注4) 評価対象に含まれる段差(玄関の出入口段差、浴室の出入口段差など)以外に存在する居室内の段差を示す。

参考文献

- 1) 園田真理子：世界の高齢者住宅－日本・アメリカ・ヨーロッパ、日本建築センター、2003
- 2) 北尾真哉・塩崎賢明：高齢者向け優良賃貸住宅の居住実態に関する研究－東京都と神奈川県の実例に着目して－、日本建築学会大会学術梗概、No.5678, pp.323-324, 2002
- 3) 谷武：公団が管理する高齢者向け優良賃貸住宅の居住者属性と入居までの経緯に関する研究、日本都市計画学会、都市計画論文集、No.39-3, pp.415-420, 2004
- 4) 西村秀之・松村秀一・清家剛：既存集合住宅の改修に関する基礎的研究－その1－発生する改修工事の内容についての考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、No.5281, pp.561-562, 1995
- 5) 荒平剛史・深尾精一・門脇耕三・小野木智也：全国の公共住宅供給主体における住戸規模の変更を伴う大規模改修の実績－公共集合住宅における住戸規模の変更を伴う大規模改修に関する研究 その1－、日本建築学会大会学術講演梗概集、No.5367, pp.733-734, 2003
- 6) 荒木源希・深尾精一・門脇耕三：事務所ビルの共同住宅へのコンバージョンに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、No.5276, pp.551-552, 2002
- 7) 佐藤幸一・松村秀一・西瑠衣子：コンバージョンの実施可能性に関する研究－オフィスビルから集合住宅への用途転換、日本建築学会計画系論文集、第597号、pp.31-36, 2005
- 8) 高齢者専用賃貸住宅研究会：高齢者専用賃貸住宅の手引き－安心して暮らせる住まいのために－、大成出版社、2006
- 9) 介護サービス提供に対応した住まいのあり方に関する調査報告書、財団法人高齢者住宅財団、2007

(原稿受理日 平成22年9月30日)

放射線化学反応法を用いたパーフルオロスルホン酸系 イオン交換高分子膜のプロトン伝導機構改良技術の開発

土屋文¹⁾ 永田晋二²⁾ 四竈樹男²⁾

Development of Modification Technique for Protonic Conduction Processes of Perfluorosulfonic Acid Ion Exchange Polymer Membranes Using Radiation Chemical Reaction Method

Bun TSUCHIYA¹⁾, Shinji NAGATA²⁾, Tatsuo SHIKAMA²⁾

Abstract

New protonic conduction processes of perfluorosulfonic acid membranes by gamma-ray irradiation at a dose of up to 532 kGy at room temperature in air have been found by direct current resistance and alternative current impedance measurements. The conductivities of the membranes at 373 and 300 K in vacuum are enhanced to approximately one and two orders of magnitude higher, respectively, than the conductivities of an unirradiated membrane. The new and original activation energies required for the conductivities in the temperature range below and above 343 K are determined to be 0.12 ± 0.05 and 0.84 ± 0.03 eV, respectively, which correspond to the potential energy of the hydrogen diffusion due to radiation-induced defects and the existing sulfonate group. By means of ultraviolet, visible, and infrared optical absorption and by hydrogen-ion-exchange capacity measurements, it is revealed that radiation-induced defects such as fluorocarbon and peroxy radicals, and C=O bonds included in carbonyl groups are related to the new proton conduction processes. The modification of hydrogen absorption characteristics due to the radiation-induced defects in near-surface regions induces the enhancement of the proton conductivity.

1. はじめに

固体高分子型燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC) は、電気自動車用の高性能でクリーンな駆動電源や携帯機器用電源ばかりでなく、電気と熱を同時利用 (コジェネレーション) する家庭向けなど低地用途に向けて活発に開発が進められている¹⁾。100°C以下の作動温度で高いプロトン導電性を示すパーフルオロスルホン酸系イオン交換高分子膜を固体電解質に用いるため、高エネルギーの熱源を必要としない、腐食の問題がないため材料の選択や保守が容易、高電流密度電解が可能、ガス純度が高い、高圧化が可能などの優れた特徴を有している。しかしながら、現状の燃料電池による出力は、ガソリンを燃料とした出力に比べて極めて低い。高出力および低コスト化を目指すためには、より高いプロトン伝導

度を有する固体電解質を必要とする。

パーフルオロスルホン酸系高分子は、疎水性のきわめて強い主鎖部分、親水性のスルホン酸基および水分子からなるイオンクラスター領域、そしてその中間に存在する側鎖エーテル基部分の3領域から構成された構造を持つ。この相分離構造の改良がプロトン伝導特性の向上において極めて重要となる。特に主鎖部分の疎水性から親水性への変化、スルホン酸基に似た水素イオン交換基の生成が求められる。

本研究は、放射線照射による化学反応を利用してパーフルオロスルホン酸系イオン交換高分子膜の材料改質を行い、放射線との相互作用による膜構造の改良、または新しい水素イオン交換基の作成を試み、イオン交換高分子膜の水素吸収および水素透過能力を向上させることを目的とした。

1) 名城大学理工学部教養教育, 2) 東北大学金属材料研究所

1) Department of General Education, Faculty of Science and Technology, Meijo University, 2) Institute for Materials Research, Tohoku University

2. 実験方法

実験に用いた試料は、寸法約 10x10x0.117 mm³ のプロトン伝導性高分子膜(AcipleX-SF1004(旭化成社製))であった。日本原子力研究開発機構高崎研究開発センターに設置された ⁶⁰Co ガンマ線源からの 1.17 および 1.33 MeV のガンマ線を約 532 kGy の線量まで室温および大気雰囲気あるいは真空雰囲気において照射した。照射された高分子膜のプロトン伝導度を直流(DC)電気抵抗測定および交流(AC)インピーダンス測定を用いて測定した。このときの電極には厚さ 1 μm のアルミニウムあるいはプラチナを使用した。さらに、紫外、可視および赤外波長領域において光吸収測定を行い、照射された高分子膜中に生成された欠陥種の判別、東北大学金属材料研究所に設置されたタンデム加速器からの高エネルギーヘリウムイオンビームを用いた反跳粒子検出(Elastic Recoil Detection : ERD)法²⁾によって、高分子膜表面の水素濃度分布および中和適定法による高分子膜中の水素イオン交換容量を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 プロトン伝導度に対するガンマ線照射誘起効果

ガンマ線照射後高分子膜試料の室温における線量に対するプロトン伝導度の変化を Fig. 1 に示す。約 50 kGy の線量まで照射された場合、照射試料のプロトン伝導度は線量の増加に伴い指数関数的に上昇しており、未照射試料に対して約 1000 倍の値を示した。

次に、173 kGy の線量までガンマ線照射された高分子膜

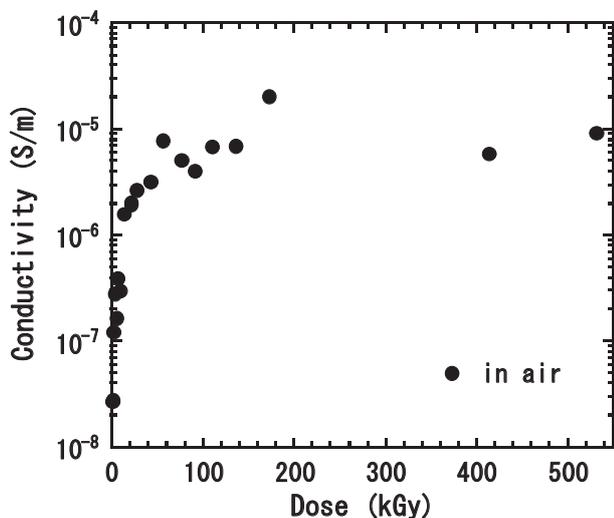


Fig. 1 Dose dependence of the conductivities of gamma-ray-irradiated perfluorosulfonic acid membranes at 300 K in air.

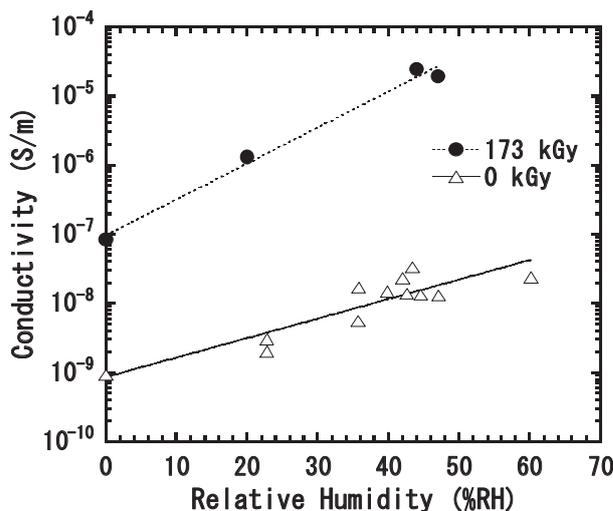


Fig. 2 Conductivities of the irradiated membrane up to 173 kGy at 300 K in air as a function of the humidity compared with those for the unirradiated membrane.

試料および未照射試料のプロトン伝導度の湿度依存性を Fig. 2 に示す。照射された試料のプロトン伝導度は相対湿度の値が増加すると共に増加し、未照射試料の伝導度よりも 2~3 桁高い値を示した。従って、プロトン伝導が照射によって促進されることが判明された。このガンマ線照射によるプロトン伝導度の増加の要因について、ガンマ線と高分子膜試料の相互作用を考慮して考える。ガンマ線のエネルギーが 1.17 および 1.33 MeV であること、また試料の主な構成元素が炭素、酸素およびフッ素の軽元素であることから、ガンマ線と試料との相互作用では主に電子励起、電離およびコンプトン散乱等の現象が生じていると考えられる。コンプトン散乱では、エネルギー保存則に従って放出される MeV のエネルギーを有する二次電子が試料との相互作用によって励起および電離を引き起こし、高分子膜のプロトン伝導特性に変化を及ぼしたと考えられる。

プロトン伝導度の温度に対する変化について、アレニウスプロットした結果を Fig. 3 に示す。アレニウスの式は、

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (1)$$

と表すことができる。ここで、 σ 、 k および T はそれぞれプロトン伝導度、ボルツマン定数および絶対温度である。温度変化 $1000/T$ に対して未照射試料のプロトン伝導度は指数関数的に変化する。このときアレニウスの式から得られる活性化エネルギーは約 0.84 ± 0.03 eV であった。この値は、プロトンが高分子膜中のスルホン酸基を介して伝導するために必要なエネルギーであると考えられる。

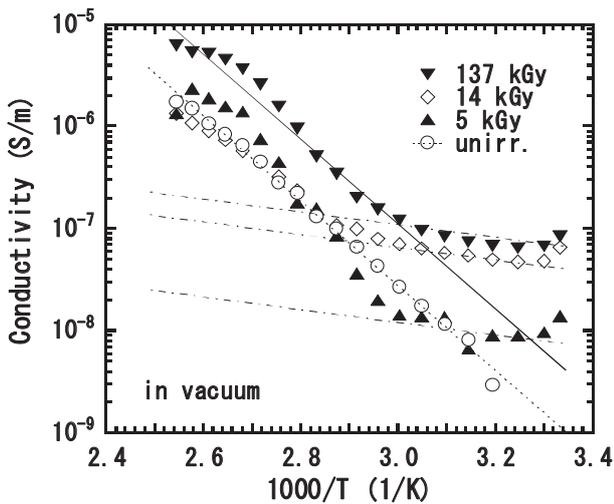


Fig. 3 Arrhenius plots of the conductivities in vacuum for the irradiated membranes at 5, 14, and 137 kGy, in comparison with the conductivity of the unirradiated membrane.

一方、ガンマ線を照射した高分子膜試料においては、室温から 70°C 付近まで未照射試料とは異なる温度依存性を示す。室温から 70°C 付近および 70°C から 120°C での活性化エネルギーはそれぞれ 0.12 ± 0.05 および 0.84 ± 0.03 eV であった。70°C 以上では未照射試料と同様のプロトン伝導であるが、70°C 以下ではプロトンの易導度が向上した新しい伝導機構であることがわかる。また、137 kGy まで照射された高分子膜試料の場合、70°C 以上のプロトン伝導度の活性化エネルギーは 0.84 eV であり、未照射試料と同一の活性化エネルギーであるが、pre-exponential factor (σ_0) の値が約 1 桁高い値である。これは、プロトンの易導度は変化しないが、プロトンの移動量が増加したと考えられる。

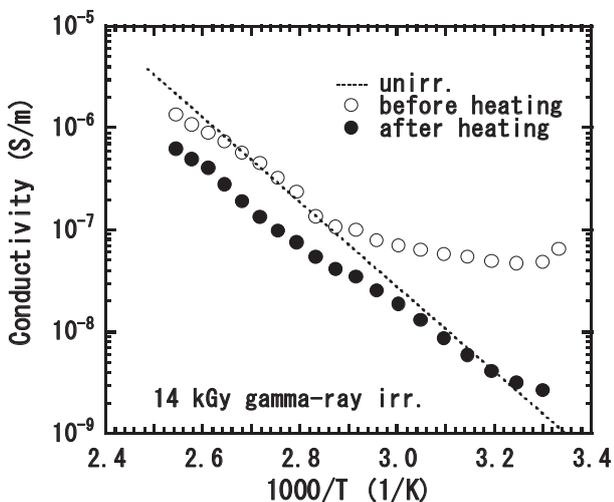


Fig. 4 Arrhenius plots of the conductivities in vacuum for the irradiated membrane at 14 kGy before and after heating to 393 K.

14 kGy の線量までガンマ線照射された高分子膜試料のプロトン伝導度における温度依存性を Fig. 4 に示す。ガンマ線照射された高分子膜試料のプロトン伝導度における温度依存性は、70°C 以下では未照射試料とは異なる温度依存性を示すが、試料を真空中において 120°C まで加熱した後に再び室温から 120°C までプロトン伝導度を測定すると観測されなくなり、70°C 以下でも未照射試料と同様の温度依存性を示すようになる。この照射試料を大気中に十分に放置した後、再度プロトン伝導度測定を行ったところ、未照射試料のプロトン伝導度に対して約 300 倍の値を示した。120°C までの真空加熱前の伝導度と比較して減少しているが、照射によるプロトン伝導度の増加が再び観測された。ここで、大気雰囲気中で未加熱、真空雰囲気中で未加熱、真空雰囲気中で加熱後および真空加熱後に大気放置された四つの異なる測定条件において、各線量まで照射された高分子膜試料の室温におけるプロトン伝導度を Fig. 5 に示す。14 kGy 以外の他の線量まで照射された高分子膜試料においても同様の結果が得られた。以上のことから、真空加熱によるプロトン伝導度の減少は高分子膜構造の熱的な効果による回復ではなく、大気から吸収された水含有量の減少であると考えられる。すなわち、ガンマ線照射によって生成された欠陥は水に対して真空加熱および大気放置において可逆的な反応を引き起こし、この水吸収特性の変化がプロトン伝導度の変化に大きな影響を与えたと考えられる。

真空雰囲気中でガンマ線照射された高分子膜試料のその場測定によって得られたプロトン伝導度における線量依存性を Fig. 6 に示す。真空雰囲気中の照射前的高分子膜試料のプロトン伝導度は約 1×10^{-9} S/m である。ガンマ線照射初期においてプロトン伝導度は照射前に比べて約

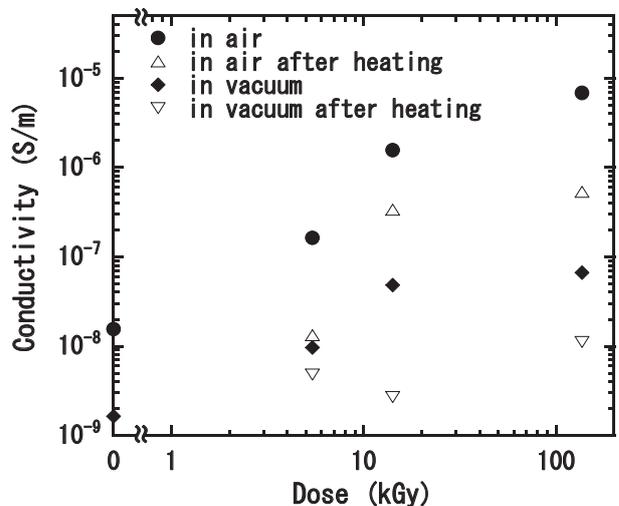


Fig. 5 Changes due to water vapor in the conductivities of the gamma-ray-irradiated membranes.

3 倍程度上昇する。上昇した後のプロトン伝導度には大きな変化は見られずほぼ一定の値を示す。また、200 kGy の線量で照射を停止するとプロトン伝導度は急激に減少し、照射前の伝導度に戻る。さらに、ガンマ線を再照射したときにプロトン伝導度は再び増加する。価電子帯の電子がガンマ線からのエネルギー付与によって伝導帯に励起され、伝導電子密度の増加が生じており、照射誘起伝導度 (Radiation Induced Conductivity : RIC) と呼ばれる照射誘起現象が現れている。しかしながら、450 kGy の線量で照射を停止したとき、プロトン伝導度は照射中の伝導度とほとんど同じであり、RIC は観測されない。これは高分子膜のプロトン伝導機構が改良されたためであり、RIC が隠れて観測されていないためである。また、大気雰囲気中のガンマ線照射下における高分子膜試料のその場プロトン伝導度測定も行われた³⁾。この場合も同様に、プロトン伝導度は未照射試料のプロトン伝導度に対して約 1000 倍まで増加した。しかしながら、大気中では照射を停止した時のプロトン伝導度は照射中と同一の値を示し、RIC は観察されなかった。Fig. 6 中の真空および大気雰囲気における未照射試料のプロトン伝導度の差は約 10 倍であるが、この差は湿度の違いによるもので、Fig. 2 および 5 に示す結果と一致する。大気および真空雰囲気中で照射された高分子膜試料のプロトン伝導度には、約 3 桁程度の大きな差がある。この伝導度の差は湿度の違いの他に照射雰囲気に影響することを示している。真空中で 523 kGy の線量までガンマ線照射された高分子膜試料を大気に曝すと、プロトン伝導度は約 1×10^{-5} S/m の値まで急激に増加する。この値は大気中において同線量まで照射を行った試料のプロトン伝導度 (8×10^{-6} S/m) とほぼ一

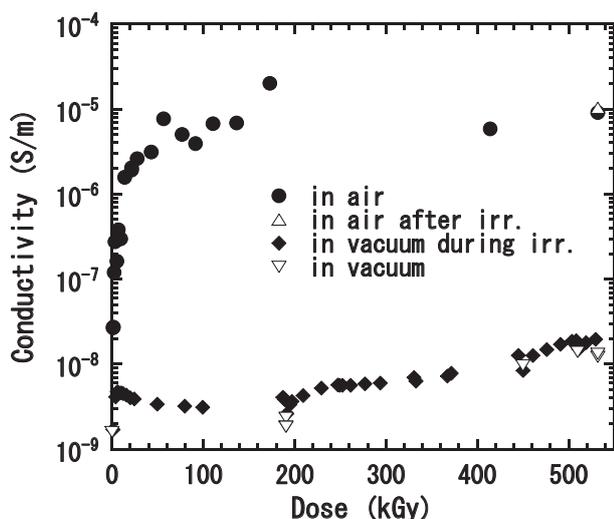


Fig. 6 Conductivities of the membranes after gamma-ray irradiation in air at room temperature and under gamma-ray irradiation in vacuum at room temperature.

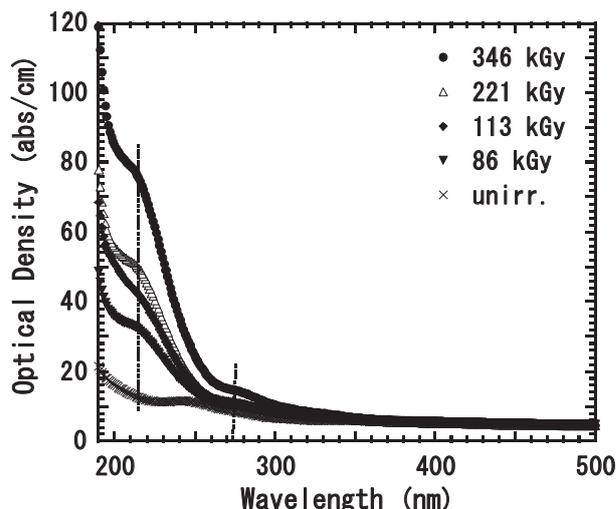


Fig. 7 UV-Vis optical absorption spectra of the gamma-ray-irradiated membranes.

致した。この結果は、Fig. 5 に示した真空加熱後の試料を大気に放置した後のプロトン伝導度の変化と同様の結果である。これより真空雰囲気から大気に放出することでガンマ線照射された高分子膜試料と大気中の水との相互作用により高分子膜試料中の水含有量が増加し、プロトン伝導度を向上させたと考えられる。

これまでの結果をまとめると、室温から 70°C 以下の温度範囲において、照射された高分子膜試料のプロトン伝導度は未照射試料とは異なる温度依存性を示した。この結果より、プロトンが高分子膜内部で親水性のスルホン酸基を中心としたクラスター構造を介して水和物イオンとして伝導する以外に、ガンマ線との相互作用により形成された新しい水素基を介して伝導していると推測された。また、増加した伝導度は、120°C の真空加熱によって減少し、未照射試料の伝導度とほぼ一致するようになるが、再び大気に曝すと未照射試料の伝導度よりも高い値を示すことがわかった。形成された水素基は、大気中に含まれる水分子を容易に吸収する特性(親水性)を有すると推測された。

3.2 紫外・可視・赤外光吸収特性に対するガンマ線照射誘起効果

未照射およびガンマ線照射された高分子膜試料の照射後の紫外・可視光吸収 (UV-Vis) スペクトルを Fig. 7 に示す。横軸は検出される透過光の波長を示し、縦軸は光が試料内部を通過するときに吸収された光の強度の割合を示す。未照射高分子膜試料では、200 および 275 nm にそれぞれ吸収帯を持つ。光吸収率は 275 nm から 900 nm の範囲ではほぼ 0 であり、各波長の光は吸収されない。Fig. 7 から、未照射試料の光吸収率を基に各線量後に得られた光吸収

率を規格化した値を 200, 215 および 275 nm の波長に対してプロットした結果を Fig. 8 に示す. 200 および 215 nm の波長における光吸収率は線量の増加に比例して増加するが, 275 nm での光吸収率は線量に依存せずほぼ一定の値である. 200, 215 および 275 nm における光吸収はそれぞれフルオロカーボンラジカル ($-\text{CF}_2-\dot{\text{C}}-\text{F}-\text{CF}_2$ または $-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\dot{\text{C}}\text{F}_2$), ペロキシラジカル ($-\text{CF}_2-\text{CF}(\text{OO}\cdot)-\text{CF}_2-$ または $-\text{CF}_2-\text{CF}_2\text{OO}\cdot$), 不飽和結合である $\text{C}=\text{O}$ 結合の生成によると報告されている⁴⁾. これらのラジカルはガンマ線照射による電離および励起作用によって生成されたと考えられる. また, 不飽和結合は生成されたラジカル同士, またはラジカルと大気中分子との反応によって生成されたと考えられる. 実際, これらのラジカルおよび不飽和結合の生成は, ポリテトラフルオロエチレン ($-\text{CF}_2-\text{CF}_2\text{--}_n-$) を骨格とする試料へのガンマ線照射におい

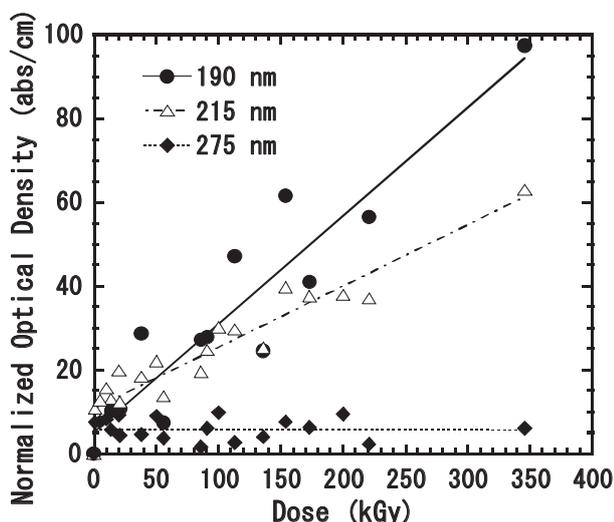


Fig. 8 Dose dependence of the normalized optical densities of the gamma-ray-irradiated membranes at 190, 215, and 275 nm.

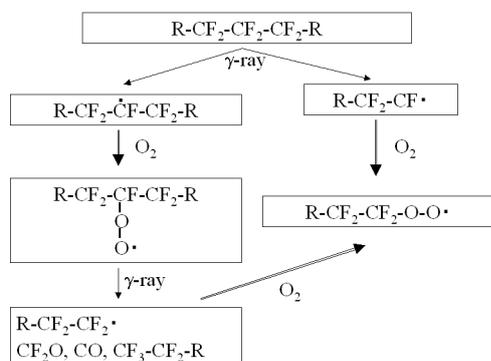


Fig. 9 Mechanism on the productions of radicals by ionizing effects.

ても確認されている^{5)~7)}. ポリテトラフルオロエチレンのガンマ線照射によるラジカルの生成機構を Fig. 9 に示す. このことから, 光吸収率測定で観察されたラジカルおよび不飽和結合は, 主に高分子膜試料の骨格部であるテフロン骨格の共有結合鎖がガンマ線による電離および励起作用によって切断されたために生成されたと考えられる. その疎水基である主鎖の切断によって生成されたラジカルは, 水分子の解離および高分子膜内部への水分子の侵入を促進すると考えられる.

ガンマ線照射された高分子膜試料の各線量後に測定された赤外光吸収 (FT-IR) スペクトルを Fig. 10 に示す. Fig. 10 中では, 高分子膜の構成分子の結合に起因する吸収ピークが現れている. 主な吸収帯として 970 および 980 cm^{-1} の $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, 1060 cm^{-1} の SO_3^- 基, 1150 および 1200 cm^{-1} の CF_2 , 1300 cm^{-1} の $\text{C}-\text{C}$ による伸縮振動が存在する^{8)~10)}. 970 – 1300 cm^{-1} におけるスペクトルの形状は線量に対して変化しない. このことは, 構成元素間の結合状態がガンマ線照射によって変化しないことを示す. 特に $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ や SO_3^- 基は高分子膜構造中の側鎖部分に関連しており, 照射による側鎖の変化は生じないと考えられる. 1400 から 1900 cm^{-1} の範囲におけるガンマ線照射による FT-IR スペクトル変化を Fig. 11 に示す. 170 kGy 以上において 1740 cm^{-1} に鋭いピークが観察される. このピークの強度は線量の増加に伴い増加する. この波長での吸収は, カルボキシル基 $\text{R}-\text{COOH}$ 中の $\text{C}=\text{O}$ 結合による伸縮振動により現れる. このカルボキシル基は, 照射環境下および照射後において大気雰囲気中の水と COF 基との加水分解によって試料の表面付近で生成されることが報告されている^{11), 12)}. 紫外可視光吸収率測定によって観察された $\text{C}=\text{O}$ の不飽和結合の一部が表面付近で大気中の水分子と反応し, カルボキシ

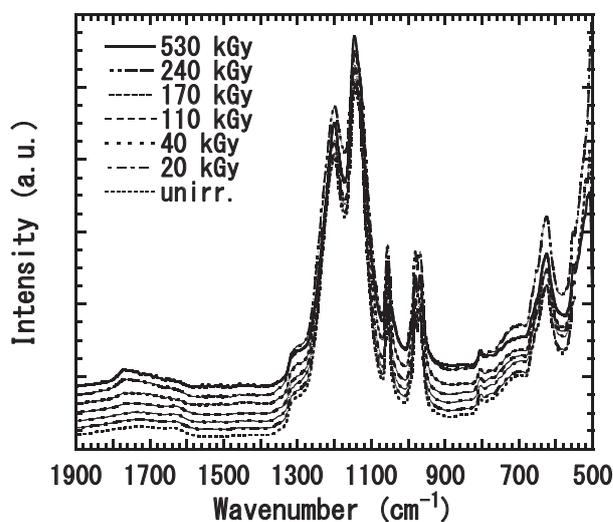


Fig. 10 ATR-FTIR optical absorption spectra for the gamma-ray-irradiated membranes.

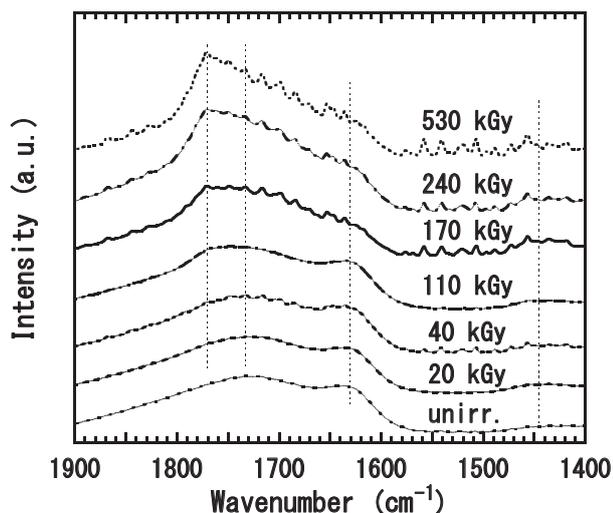


Fig. 11 ATR-FTIR optical absorption spectra in the wavelength ranges 1400-1900 cm^{-1} of the unirradiated and irradiated membranes.

ル基が形成されたと考えられる。生成されたカルボキシル基のプロトン伝導度への寄与は、カルボキシル基自体の伝導、疎水基である主鎖骨格に親水性を示すカルボキシル基が生成することによる試料内部の含水率の増加およびカルボキシル基を介したプロトン伝導が考えられる。

以上の結果から、放射線エネルギーが高分子膜中の主鎖骨格である $(-\text{CF}_2-\text{CF}_2)_n$ 部分の共有結合鎖に与えられ、フルオロカーボンラジカル、ペロキシラジカルおよび $\text{C}=\text{O}$ 不飽和結合が形成されることがわかった。これらのラジカルおよび不飽和結合欠陥種の生成量は線量に大きく依存し、新しい伝導機構に大きく関わることを推測された。

3.3 反跳粒子検出法によるガンマ線照射された高分子膜中の水素濃度分布測定

173 kGy の線量までガンマ線照射された高分子膜試料の ERD スペクトルを Fig. 12 に示す。横軸はヘリウムイオンとの弾性衝突によって前方に反跳された水素イオンのエネルギーであり、試料の深さ方向の情報を与える。縦軸は反跳された水素イオン量であり、試料の深さ方向に対する水素濃度を表す。Fig. 12 から、水素濃度は最表面において照射および未照射試料ともに高く、試料バルク方向へ深くなるにつれて徐々に減少することがわかる。最表面の高い水素濃度は高分子膜試料表面に付着した水分子の水素を表すと考えられる。173 kGy の線量まで照射された試料の水素濃度分布は未照射試料の水素濃度分布と比較して表面近傍から試料バルク内部まで増加しており、測定範囲内(約 1200 nm)におけるその水素含有量は未照射試料の水素含有量の約 2 倍である。この結果は、水吸収

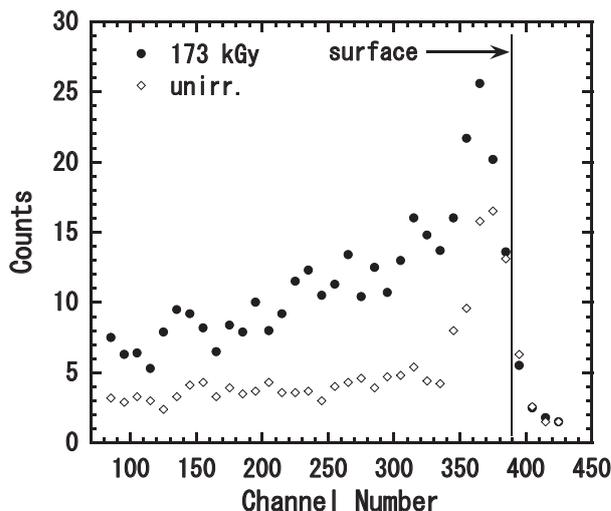


Fig. 12 ERD spectra of hydrogen recoiled from the membranes before and after gamma-ray irradiation at a dose of 173 kGy.

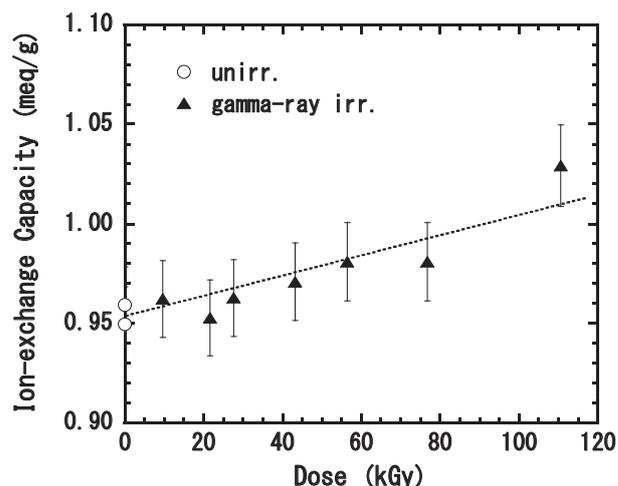


Fig. 13 Changes in hydrogen-ion-exchange capacities of gamma-ray-irradiated membranes as a function of dose.

特性がガンマ線照射により生成されたラジカルや不飽和結合により促進されたことを示す。

3.4 水素イオン交換容量測定

ガンマ線照射された高分子膜試料の線量に対する水素イオン交換容量の変化を Fig. 13 に示す。試料を 1 mol/l NaCl 溶液に浸し、滴定溶液としてフェノールフタレイン溶液を 1 滴入れた後攪拌し、0.01 mol/l NaOH 溶液で中和滴定を行い、試料中で置換された Na イオン量を算出することで水素イオン交換容量を求めた。Fig. 13 より、未照射試料の水素イオン交換容量(0.95 meq/g)は線量の増加と共に増加することがわかる。この水素イオン交換容量

の増加はガンマ線照射による親水性のラジカルおよび不飽和結合の生成によると考えられる。

4. まとめ

パーフルオロスルホン酸系イオン交換高分子膜は、水素の輸送率(プロトン伝導度)が極めて高いことから水素燃料電池の固体電解質に適応されている。しかしながら、現状の燃料電池による出力は、ガソリンを燃料とした出力に比べて極めて低い。本研究では出力増加を目指すため、ガンマ線照射による放射線化学反応法を利用したナノ領域における膜構造およびプロトン伝導機構の改良を試みた。

ガンマ線照射された高分子膜の室温におけるプロトン伝導度の線量依存性から、プロトン伝導度は約 50 kGy の線量までは急激に増加するが、それ以降においてほぼ一定を保ち、未照射高分子膜のプロトン伝導度の約 3 桁高い値を示した。また、室温から 343 K までの温度範囲におけるプロトン伝導度の温度依存性は、未照射試料のプロトン伝導度における温度依存性とは異なることが判明した。その活性化エネルギーは約 0.12 ± 0.05 eV であり、高分子膜を構成するスルホン酸基を介したプロトン伝導度の活性化エネルギー(約 0.84 ± 0.03 eV)よりも低い値であった。ガンマ線照射により高分子膜中に生成された欠陥種は、紫外・可視・赤外分光器を用いることによりフルオロカーボンラジカルやペロキシラジカルおよび C=O グループの不飽和結合であることが観測され、これらのラジカル欠陥種の生成量は線量の増加と共に増加することが判明された。さらに、高分子膜表面の水素濃度分布および膜中の水素イオン交換容量も線量の増加と共に増加することも ERD 法および中和適定法を用いて判明された。これらの実験結果により、ガンマ線照射によるプロトン伝導度の増加および低い活性化エネルギーは、大気中の水の解離が高分子膜表面に形成された分子鎖の切断やラジカル欠陥種との相互作用により促進され、プロトン生成量および高分子膜表面からバルク内へのプロトン移動量の増加によって生じたと考えられる。

放射線化学反応法によるイオン交換膜の改良において、電気特性に関しては有益な結果が得られたが、実際にラジカル欠陥等の架橋を持つ高分子膜の実用化を考えるには機械的特性に関する情報を取得する必要がある。今後の研究では、引張り試験等の機械的特性に対するラジカルの影響および電子スピン共鳴 (Electron Spin

Resonance : ESR) を用いてラジカル形成プロセスのメカニズムについて明らかにする方針である。

参考文献

- 1) C. Folonari, G. Lemmi, F. Manfredi and A. Rolle, *J. Less-Common Met.* 74 (1984) 371.
- 2) B. Tsuchiya, S. Nagata, K. Toh and T. Shikama, *Nucl. Instru. and Meth. B* 249 (2006) 370.
- 3) T. Adachi, S. Nagata, N. Ohtsu, B. Tsuchiya, K. Toh and T. Shikama, *J. Nucl. Mater.* 329-333 (2004) 1499.
- 4) S. H. Almeida and Y. Kawano, *Polym. Degrad. Stab.* 62 (1998) 291.
- 5) A. Oshima, T. Seguchi and Y. Tabata, *Rad. Phys. Chem.* 55 (1999) 61.
- 6) A. Saika and H. Ohya, *J. Polym. Sci.* 15 (1977) 1073.
- 7) T. Matusgashita and K. Shinohara, *J. Chem. Phys.* 35 (1961) 1652.
- 8) Z. Liang, W. Chen, J. Liu, S. Wang, Z. Zhou, W. Li, G. Sun and Q. Xin, *J. Membr. Sci.* 233 (2004) 39.
- 9) M. Ludvigsson, J. Lindgren and J. Tegenfeldt, *Electrochem. Acta* 45 (2000) 2267.
- 10) A. Gruger, A. Regis, T. Schmatko and P. Colombari, *Vib. Spectrosc.* 26 (2001) 215.
- 11) D. Fischer, U. Lappan, I. Hopfe, K. -J. Eichhorn and K. Lunkwitz, *Polymer* 39 (1998) 573.
- 12) M. M. Senna, H. A. Aly, Z. I. Ali and A. M. El-Naggar, *Polym. Degrad. Stab.* 71 (2001) 53.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

シアノバクテリア時計蛋白質複合体と蛋白質伸長因子 FusA の相互作用
景山伯春¹⁾

Association between the Clock Protein Complex and Elongation Factor G, FusA,
in Cyanobacteria.

Hakuto KAGEYAMA¹⁾

Abstract

The clock proteins KaiA, KaiB, and KaiC are essential for generation of circadian rhythm in cyanobacteria. In this report, we show that the elongation factor G (FusA) was associated with KaiABC protein complex in cyanobacterial cells. This result indicates the possibility that circadian clock regulates protein translation system in cyanobacterial cells.

1. 緒論

1.1 概日時計の基本分子機構

概日時計は、細胞内で起こる約 24 時間周期の様々な生理現象であり、地球の自転に伴う 24 時間周期の環境変化に適応するために、多様な生物が進化の過程で獲得したと考えられている。一般的に体内時計と呼ばれるこの現象を利用することで、例えば植物はより効率的に光合成を行ない、動物は安全な活動時刻を選択することができる。

概日時計は 3 つの生理学的な基本性質を持つ。即ち、I) 恒常環境下（一定温度、光照度条件下）において自律的に振動が持続すること（内因的自律性）、II) 周期

が温度変化によって変化しないこと（周期の温度補償性）、III) 環境変化にตอบสนองし、環境サイクルと同じ周期で振動すること（同調性）である。この性質により、厳密には 24 時間周期ではない概日時計も環境変化に同調し、時刻合わせを行うことができる。

概日時計は、様々な生物種で研究が進められており、その分子機構が徐々に明らかになりつつある。基本的には、時計遺伝子と、その翻訳産物である時計蛋白質から成るネガティブフィードバックループによって約 24 時間という長い周期を生み出しているとされている (Fig. 1)。このモデルでは、時計蛋白質のうち、負の制御因子とよばれる蛋白質が、自身の遺伝子発現を抑制することでこのループを閉じていると考えられている。負の制御因子は、遺伝子発現を抑制する前に、様々な時計関連蛋白質と相互作用し、翻訳後修飾を受ける過程で、転写抑制因子としての酵素活性を調節する。この過程に発生するタイムラグが、生体内の化学反応としては極めて長い約 24 時間という周期の安定性に寄与していると考えられている。ヒトを含む哺乳類においては、脳の視交叉上核とよばれる組織中で起こるこのネガティブフィードバック機構（中枢時計）が、肝臓や皮膚などの末梢組織細胞中の概日時計（末梢時計）の時刻合わせを行うことで、身体全体の体内リズムを同調させている。本稿における対象生物であるシアノバクテリアにおいては、単細胞生物という性質上、中枢時計-末梢時計という概念は持たない。

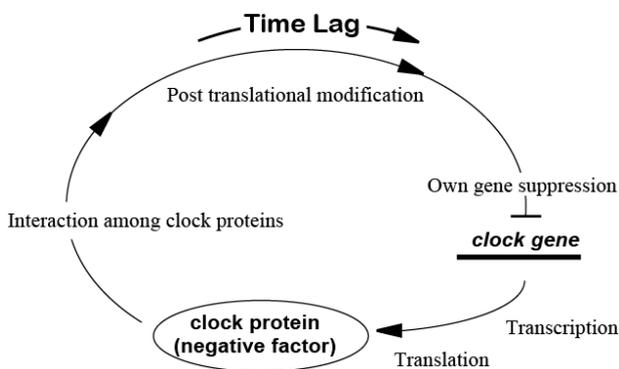


Fig.1 Transcription-translation based negative feedback loop model

1) 教養教育 化学

1) Department of Chemistry

1.2 シアノバクテリアの概日時計

シアノバクテリアは光合成を行なうことのできる原核生物であり、現在の地球上にふんだんに存在する酸素を約 35 億年前にはじめて作り出したとされる。また、シアノバクテリアは概日時計を獲得している最も単純な生物としても知られており、概日時計をつくり出している遺伝子として、*kaiABC* 遺伝子が同定されている¹⁾。この遺伝子は *kaiA*, *kaiB*, *kaiC* の 3 遺伝子から成るオペロン構造をとっており、その中でも *kaiC* の翻訳産物である KaiC 蛋白質は上述の負の制御因子とされており、シアノバクテリアの概日時計において、ネガティブフィードバックループを構成する中心的な役割を担っていると考えられている。KaiC については、筆者らもネガティブフィードバック機構の詳細解明に向けて、精力的に生化学的な解析を進めてきた^{2,3)}。そして、2005 年には、名古屋大学の研究グループにより、これまでの概日時計研究の根幹を覆す結果が発表された。精製した KaiC 蛋白質を試験管の中で KaiA 蛋白質, KaiB 蛋白質, ATP と共に混合し、30°C で保温することで、KaiC 蛋白質の化学修飾であ

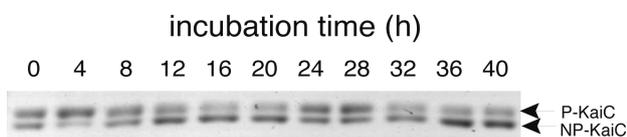


Fig.2 *in vitro* KaiC phosphorylation/dephosphorylation cycle. Purified recombinant KaiC protein was incubated with KaiA, KaiB, and ATP at 30°C for 40 hours. Each sampled solution at indicated time was subjected to SDS-PAGE analysis.

るリン酸化の度合いが約 24 時間周期で変動することが示されたのである (Fig.2)⁴⁾。この結果は、概日時計の中心振動体だと考えられてきた負の因子による時計遺伝子のネガティブフィードバックループが無い状態でも、時計蛋白質と ATP さえ存在すれば、約 24 時間周期の化学振動成分を生み出すことができるという点で極めて画期的であり、今のところシアノバクテリア以外で同様の報告は無い。その後の研究により、シアノバクテリア細胞内では従来から提唱されていたネガティブフィードバックループと、KaiC 蛋白質のリン酸化サイクルが協調的に働いて概日リズムをより安定なものにしていると考えられている。筆者らは、こ

の試験管内の KaiC リン酸化リズムを詳細に調査し、その分子機構を断片的に明らかにした^{5,6,7)}。今後の研究の焦点の 1 つは、KaiC 蛋白質が保持している約 24 時間周期のリン酸化サイクルが、細胞内でどのように情報伝達され、様々な生理活性を制御しているのか、その分子メカニズムを明らかにしていくことである。本論文では、シアノバクテリアから KaiA, KaiB, KaiC から成る蛋白質複合体を単離精製し、この複合体と相互作用している蛋白質の同定を試みた。その結果、蛋白質の生合成に関与する伸長因子 FusA が時計蛋白質複合体と結合していることが明らかになった。このことは、時計蛋白質が細胞内の蛋白質生合成を概日制御している可能性を示唆するものである。

2. 材料と方法

2.1 シアノバクテリアと培養

用いたシアノバクテリアは、*Synechococcus elongates* PCC 7942 (以下 PCC7942) の野生株および、遺伝子改変処理して KaiA, KaiC 蛋白質にエピトープタグを融合させた、*kaiA-his₆-kaiC-flag* 株を用いた。BG-11 液体培地を用いて、30°C、連続明条件下 ($46 \mu \text{mol}^2 \text{s}^{-1}$) で培養した。

2.2 蛋白質抽出液の調整

シアノバクテリアの液体培養 5 L を、吸光度が $\text{OD}_{730} = 0.8$ になるまで培養し、12 時間の暗処理によって概日時計をリセットした。その後 20 時間明条件下で培養した後に、細胞を遠心分離機 (5k r.p.m., 15 min, 4°C) により回収した。回収した細胞に、30 mL の抽出緩衝液 [50 mM Tris-HCl, 100 mM NaCl, 5 mM MgCl_2 ; pH8.0] を加えて懸濁した。その懸濁液をフレンチプレス機により処理することで、細胞を破碎した。細胞破碎時には、処理液を常に 4°C に保った。破碎液を遠心分離処理 (18k r.p.m., 30 min, 4°C) し、上清を回収することで、これを蛋白質抽出液として、目的蛋白質精製の材料とした。

2.2 時計蛋白質複合体の精製

時計蛋白質複合体は、KaiC および KaiA に対する 2段階のアフィニティー精製を行なった。まず、蛋白質

抽出液を、抗 FLAG 抗体によるアフィニティーカラムに通液し、KaiC-FLAG 蛋白質を含む蛋白質複合体をカラムに吸着させた。吸着させたカラムを抽出緩衝液で数回洗浄した後、過剰量の FLAG ペプチドをカラムに加えることで吸着した蛋白質複合体を溶出させた（一段階目の精製）。次に、溶出液を KaiA-His₆ を特異的に吸着する Ni-NTA カラムに通液し、KaiA-His₆ を含む蛋白質複合体を吸着させた。20 mM もしくは 40 mM のイミダゾールを含む抽出緩衝液で数回洗浄した後、150 mM のイミダゾールを含む抽出緩衝液で吸着した蛋白質複合体を溶出した（二段階目の精製）。

2.4 時計蛋白質複合体に含まれる蛋白質の同定

シアノバクテリア細胞より単離精製した KaiC および KaiA を含む時計蛋白質複合体を SDS-PAGE 解析した。ゲル中で分離した蛋白質を PVDF 膜へブロットし、CBB 染色して蛋白質を可視化した。確認できた蛋白質の各バンドを切り出し、アミノ酸シーケンサーを用い、エドマン分解法によって N 末端からのアミノ酸配列を決定した。シアノバクテリア PCC7942 のゲノムデータベースを用いて検索することで、得られたアミノ酸配列を含む蛋白質をコードする遺伝子を同定した。

3. 結果と考察

3.1 時計蛋白質複合体に含まれる蛋白質の同定

シアノバクテリア細胞内において、KaiC を中心とした時計蛋白質複合体と相互作用する因子として、これまでにヒスチジンキナーゼ SasA 蛋白質の存在が知られている⁸⁾。SasA は、さらに RpaA 蛋白質と結合し、リン酸化されることが明らかになっており⁹⁾、このシグナル伝達経路が細胞内の包括的な概日転写制御に関与していると考えられている。このように、時計蛋白質が生体内の分子機構を概日制御するためには、その機構を制御している蛋白質や遺伝子との相互作用が必須である。しかしながら、シアノバクテリアの時計蛋白質や時計遺伝子と相互作用する因子の探索研究は、これまであまり行なわれてこなかった。そこで今回、私はシアノバクテリア細胞抽出液から KaiC および KaiA に対してアフィニティー精製することにより、

時計蛋白質複合体を高純度で単離し、この複合体に含まれている蛋白質の同定を試みた。Fig. 3 に各精製段階の SDS-PAGE 解析結果 (Fig. 3A) および、PVDF 膜にブロットした時計蛋白質複合体構成蛋白質 (Fig. 3B) を示す。結果として、精製産物に含まれていた蛋白質由来のバンドは 6 つ検出され、これらのバンドについて、N 末端アミノ酸配列解析を行なったところ、既に時計蛋白質複合体の構成因子として知られている KaiA, KaiB, KaiC, および SasA 蛋白質が同定できた (Table. 1)。バンド # 4 および 5 は共に KaiA のアミノ酸配列だったが、# 5 については KaiA の予想分子量よりも小さいことから、KaiA が精製過程で分解した産物と考えられる。既知蛋白質以外には、蛋白質の生合成機構に関わっている伸長因子、FusA が同定された (Table. 1)。この結果は、時計蛋白質複合体が蛋白質生合成機構と相互作用して細胞内で蛋白質の翻訳過程を概日制御している可能性を示唆している。これまでに、前述の SasA-RpaA のシグナル伝達経路のように、シアノバクテリアの時計蛋白質が細胞全体の遺伝子の転写を制御しているというモデルを支持する報告がいくつかあるが、蛋白質生合成レベルにおける報告はない。従って、この結果はシアノバクテリア時計蛋白質の新たな機能を知る手がかりとなり得るだろう。

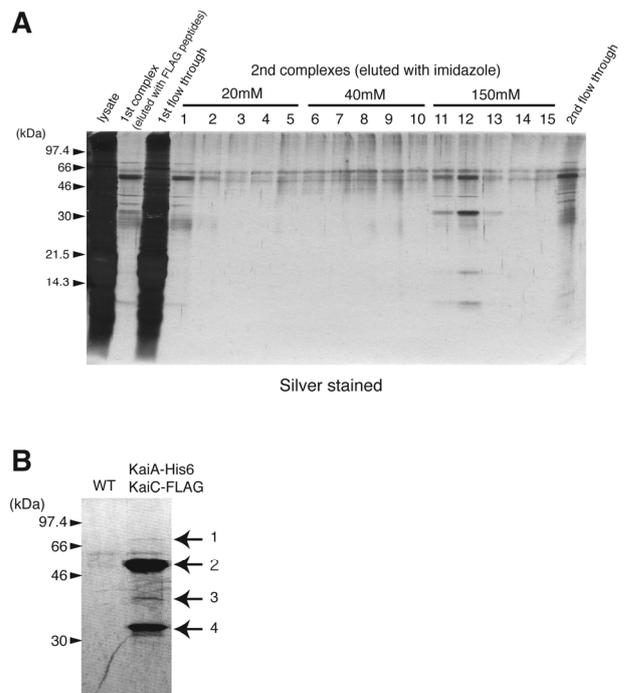


Fig.3 Purification of cyanobacterial clock protein complexes. A. SDS-PAGE analysis of the fractions of each purification step. The gel was stained with silver. B. The profile of the components of cyanobacterial clock protein complexes. The purified clock protein complexes were subjected to SDS-PAGE, followed by CBB staining.

Table. 1 The results of N-terminal amino acid sequencing analysis

band #	amino acid sequences	protein name
1	2 ARSVXXEKV 10	Elongation Factor G (FusA)
2	7 TSPNNNSEHQAI 18	KaiC
3	4 GESLSQPALAQPLLLQLFVDT 24	SasA
4	1 MLSQIAIXIWVE 12	KaiA
5	143 NHDPELSSQQRDLAQRLQEXLG 164 141 GANHPELSSQQRDLAQRLQE 161	KaiA
6	2 SPRKTYILKLYV 13 5 KTYILKLXVA 12	KaiB

FusA	1 – MARSVPLEKVRNIGIAAHIDAGKTTTTTERILFYSGVVHKIGEVHDGNAVTDWMEQERERG – 60
FusB	—MQDHKLGRRNIAIVGPGYSGKTSLLESLLAELGAINRPGRVDAGNTVGDSSPEARSRQ
 * * * * * * * * * *
FusA	61 – ITITAAAISTSWKYRVNIIDTDPGHVDFTIEVERSMRVLDGVVAVFCSVGGVQPQSETVW – 120
FusB	MTVEINVANT—DSLTFLDCPGSVEFQQETWNALIGVDGAIIVCEADPDRALTLPPIF
	: * : . . . * . . . : : * * * * * * . : : : * * : . * : : : : : : : : : : : : : : :
FusA	121 – RQADRYVPRIVFNKMDR–TGADFFKYVGQIRDVRANAVPIQIPIGAESDFQGIIVDLV – 179
FusB	HFLDSWEIPHCVFINKLERATEARWQATLDSLRSRPLVAQQYPLFGDRAVGFVLDL
	: * : : * : * * * * * * * : . . . : * * . . . * : . . . * * * * :
FusA	180 – EMKAHIYTNLDGTDILVTDIPAELQETAAEWRSKMVEAVAETDEALLDKYFEDGDLSDI – 239
FusB	SEQSHSFGALN————LPLSMAESVARNTLLETLADYDHLLEELLEEIEPPVEE
	. : : * : : * * * * : * * * : : * : : : : :
FusA	240 – IKAGLRKGVLIQGNDRVPMLCGSAFKNKGVQLLLDAVVPELLPSPQDIPPIQGTLPDGEV – 299
FusB	I LDLRQDVSA—DLIVPVLGSAQLYWGISALLAALQEMPTPAETVQHRRLIP—
	* . * : . * . . . * * * * * * * . . . * * * * : : * * : . . : : * . . .
FusA	300 – ALRPSDEAPFSALAFKIMADPYGRLTFVRVYSGILQKGSYVYNATGKKKERSRLIILK – 359
FusB	———CDRPVAQVLKTFHPQAGKLSLIRLWQELQEGDGLD———GDRPSGIYRMM
	: * : : . . . : * : * * * * * : * * * * * : . . . : * * : . . : : . . .
FusA	360 – ADDRIVEDEL RAGDLGAVLGLKDTFTGDTLGDQNPILLESFIPEPVISVAVEPKTKND – 419
FusB	GDQLQSVQQRSGEIVALGRMESALTGDSLGLDAVDSPLPRVAIQTPVYALALTPERRSD
	. * : . * : * * * : * . . : : * * * * * * * . . . * . . . * * * * : * : . * : . . .
FusA	420 – MEKLSKALQALSEEDPTFRVSVDSNTQTVIAGMGELHLEILVDRMLREYKVEANIGAPQ – 479
FusB	EVKLGNCLRRLQEEDPSLQWEGHGDTHEVILWGGQEIHLQVALDRRLRRKYNLPMSTHLPQ
	* * : . * : * . * * * * : : . . . * * * * * : * * * * * : : * * : * * * : . . . * * *
FusA	480 – VAYRETVRKAVK–AEGKFVRQSGGKQYGHVHVELEPAEPGTGFVSKIVGGTVPKEYV – 538
FusB	VPFRETI R SAVSGVHGRIKHQGTGGHGQFQGVYLDIQPLPRGEGFRFQETVVGGVPRQYI
	* . * * * * * * . . . * : : * * * * * * * . . . * * * * * . . . * * * * * : : * . . .
FusA	539 – GPAEQGMKETCESGVLAGYPLIDIKATLVDSYHVDSEMAFKIAGSMAIKEAVRKADP – 598
FusB	PGVESGVREFLERGPLG—FPLVDVEVTLTHGSYHSVDSSEQAFRQAARLAMQSGIPAAEP
	. * . * * * * * * . * * * : : * * * * * * * * * * * * * * . * . * : : : . . . * * *
FusA	599 – VLLEPVMKVEVPEPFLGSVMGNLISRGGQIEGQATTN—GTATVSAKVPLAEMFGYA – 658
FusB	LLLEPILQVELFAPAVFTSSMLRLLSGHRGQILGYEACDNRGWDQVSAYLPGAEMQALG
	: * * * * * * * * . * . * * * : * . * * * * * * . . . * . . . * * * * * * : . . .
FusA	661 – TDLRSMTQGRGIFTMEFSQYEEVPRVAETIIAKNKGNA – 694
FusB	IELRSVTQGVGFHWRHSHLAEVPERLQQQLLSDRSQ—
	: * * * * * * * * * . . * . * * . . . : : :

Fig.4 Alignment of amino acid sequence of FusA and FusB protein of *Synechococcus elongates* PCC7942.

3.2 シアノバクテリアの蛋白質伸長因子, EF-G

蛋白質伸長因子 (Elongation Factor, EF) とは, mRNA から蛋白質を合成する翻訳過程において, ポリペプチド鎖の伸長に関与する蛋白質である. 蛋白質伸長因子は複数種存在し, そのうち EF-Tu および EF-G は全生物が保持している. また, シアノバクテリア PCC7942 は, 2 種類の EF-G を保有している. このように, 2 種類の EF-G を持つシアノバクテリア種としては, 他に *Synechocystis* sp. PCC6803 (以下 PCC6803) 等が知られている. PCC6803 の EF-G はそれぞれ *fusA*, *fusB* 遺伝子とよばれ¹⁰⁾, そのうち *fusA* 遺伝子はリボソーム遺伝子や, EF-Tu 遺伝子とのオペロン構造をとっている. これらの種において, EF-G が重複して存在している理由は不明である. 今回私が PCC7942 を用いて同定した伸長因子は, EF-G と相同性が高く, EF-Tu やリボソーム遺伝子とオペロン構造をとっているため, *fusA* 遺伝子の翻訳産物, FusA 蛋白質と考えられる. Fig. 4 に PCC7942 の FusA, FusB 蛋白質のアミノ酸配列比較を示す. FusA と FusB のアミノ酸相同性は, 31% となり, それほど高くはなかったが, 両蛋白質とも EF-G としての機能ドメインが保存されているため, 蛋白質の伸長に関わっていると思われる. 今回の実験では, FusA のみが時計蛋白質との相互作用因子として同定されたが, FusA は蛋白質合成過程において, リボソーム蛋白質や, FusB, EF-Tu など他の蛋白質合成に関わる因子と高次複合体を細胞内で形成していると考えられる. 従って, シアノバクテリア時計蛋白質は, これらの FusA 以外の蛋白質合成関係因子と相互作用していることも考えられる. 今回の実験では, 時計蛋白質複合体の精製過程において, このような相互作用が外れてしまった可能性がある.

また, 私は, *fusA* 遺伝子の機能を調査する目的で, PCC7942 細胞における *fusA* 遺伝子の破壊を試みたが, 現在までのところ, 遺伝子が破壊された細胞を得ることができていない. *fusA* 遺伝子は, PCC7942 の生育に対する必須遺伝子である可能性がある.

4. 今後の展望

細胞内の蛋白質合成機構と概日時計の関連性につ

いては, シアノバクテリア以外の生物種においてもこれまでに全く解析されておらず, 新規の知見である. 従って, 今回シアノバクテリア時計蛋白質複合体と蛋白質合成系の因子である伸長因子 FusA が相互作用していることを見出した点は意義深く, 概日時計研究のブレイクスルーとなり得る. 今後の展望として, 引き続き調査すべき点を以下に挙げる. まず, 1 日の中のどのタイミングで, 時計蛋白質と, FusA が最も強く相互作用しているかを確認する必要がある. そして, 時計蛋白質複合体が FusA と結合することで起こる蛋白質合成機構への作用メカニズムを解明する必要がある. また, 時計蛋白質は, 既に知られているように, シアノバクテリア細胞内のほぼ全ての遺伝子の発現調節を約 1 日周期で制御していると考えられている¹¹⁾. これと同様に, 蛋白質合成も細胞内で包括的に概日制御しているのか, それとも特定の蛋白質のみに限定した機構なのかという点も興味深い.

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたって有益な議論をしていた名古屋大学大学院理学研究科・生命理学専攻植物学第一講座の近藤孝男教授, 研究スタッフに感謝したい. また, 本研究は日本学術振興会の援助 (04J05806) を受けた.

6. 参考文献

- 1) Ishiura M, Kutsuna S, Aoki S, Iwasaki H, Andersson CR, Tanabe A, Golden SS, Johnson CH and Kodo T. Expression of a gene cluster *kaiABC* as a circadian feedback process in cyanobacteria. *Science* 281 (5382): 1519-1523 (2005)
- 2) Kageyama H, Kondo T and Iwasaki H. Circadian Formation of Clock Protein Complexes by KaiA, KaiB, KaiC, and SasA in Cyanobacteria. *J. Biol. Chem.* 278: 2388-2395 (2003)
- 3) Nishiwaki T, Satomi Y, Nakajima M, Lee C, Kiyohara R, Kageyama H, Kitayama Y, Temamoto M, Yamaguchi A, Hijikata A, Go M, Iwasaki H,

- Takao T, Kondo T. Role of KaiC phosphorylation in the circadian clock system of *Synechococcus elongatus* PCC 7942. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 101(38):13927-13932 (2004)
- 4) Nakajima M, Imai K, Ito H, Nishiwaki T, Murayama Y, Iwasaki H, Oyama T and Kondo T. Reconstitution of circadian oscillation of cyanobacterial KaiC phosphorylation in vitro. *Science* 307 (5707): 251-254 (2005)
- 5) Kageyama H, Nishiwaki T, Nakajima M, Iwasaki H, Oyama T, Kondo T. Cyanobacterial Circadian Pacemaker: Kai Protein Complex Dynamics in the KaiC Phosphorylation Cycle *in vitro*. *Mol. Cell.* 23 (2):161-171 (2006)
- 6) Ito H, Kageyama H, Mutsuda M, Nakajima M, Oyama T and Kondo T. Autonomous synchronization of the circadian KaiC phosphorylation rhythm. *Nat. Struct. Mol. Biol.*14(11):1084-8.
- 7) Yoshida T, Murayama Y, Ito H, Kageyama H and Kondo T. Nonparametric entrainment of the in vitro circadian phosphorylation rhythm of cyanobacterial kaiC by temperature cycle. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 106 (5):1648-1653 (2009)
- 8) Iwasaki H, Williams SB, Kitayama Y, Ishiura M, Golden SS and Kondo T. A KaiC-interacting sensory histidine kinase, SasA, necessary to sustain robust circadian oscillation in cyanobacteria. *Cell* 101 (2): 223-33 (2000)
- 9) Takai N, Nakajima M, Oyama T, Kito R, Sugita C, Sugita M, Kondo T and Iwasaki H. A KaiC-associating SasA-RpaA two-component regulatory system as a major circadian timing mediator in cyanobacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 103 (32):12109-12114 (2006)
- 10) Welch PL, Johnson DR, Zhang Y and Breitenberger CA. *Synechocystis* sp. PCC6803 fusB gene, located outside of the str operon, encodes a polypeptide related to protein synthesis factor EF-G. *Plant Mol. Biol.* 25 (4): 735-738 (1994)
- 11) Nakahira Y, Katayama M, Miyashita H, Kutsuna S, Iwasaki H, Oyama T and Kondo T. Global gene expression by KaiC as a master process of prokaryotic circadian system. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 101 (3):881-885 (2004)
- (原稿受理日 平成22年9月30日)

バイオマス分解嫌気性細菌 *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 のセルロソームに関する研究
神藤定生¹⁾

Cellulosome analysis of the ruminal cellulolytic bacterium *Ruminococcus flavefaciens* FD-1
Sadanari JINDOU¹⁾

Abstract

Anaerobic bacteria harness a multi-protein complex termed the cellulosome for efficient and synergistic degradation of plant cell wall polysaccharides. This complex organizes numerous catalytic subunits through interaction between dockerin domains which are present on the enzymes and cohesin domains which are present on a scaffoldin subunit. *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 is one of the major cellulolytic bacteria cultured from the rumen of herbivores, which plays an important role in plant material breakdown. The organization of the cellulosomal scaffoldin gene cluster (*sca* genes) in the two most studied strains of *R. flavefaciens* (17 and FD-1) is strongly conserved (*scaC-scaA-scaB-cta-scaE*). However, significant differences in the modular architecture of the scaffoldin proteins were discovered, implying strain-specific divergence in cellulosome organization. This is a short summary of my research work conducted during five years at Prof. Raphael Lamed laboratory of Tel Aviv University in Israel.

1. はじめに

太陽エネルギーを大量にトラップしているバイオマスの中で、未利用資源として多いものが難分解性のセルロース性物質である。食料と競合しない、この難分解性基質を燃料用エタノールに変換し、少しでも化石燃料への依存度を減らすことで、温室効果ガス25%削減達成の一助になると考える。

このセルロース性物質を微生物変換するため克服しなければならない初期の生物反応として分解可溶化があげられる。バイオマスの効率的な分解可溶化に貢献する微生物としては、*Trichoderma reesei*などの糸状菌のほかに堆肥や反芻胃に生息する *Clostridium thermocellum* および *Ruminococcus flavefaciens* 等のセルロース分解性嫌気性細菌が知られている³⁾。これらの嫌気性細菌は基質特異性の異なる複数の酵素からなるセルラーゼ複合体「セルロソーム」を形成している⁴⁾。

セルロソームはイスラエルの Bayer&Lamed らにより発見され、その形成機構のドグマが解明された⁵⁾。すなわち、セルロソームは70～200種類の酵素サブユ

ニットとそれらが結合する骨格タンパク質から構成され、分解酵素の高集積を実現し、酵素分子群の相乗効果によりセルロソームは難分解性バイオマスの分解効率を高めている (Fig. 1)。

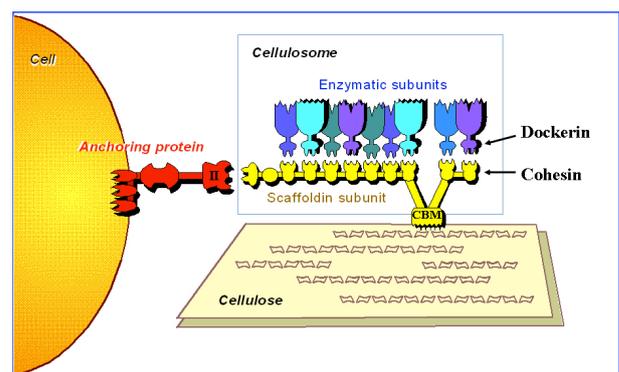


Fig. 1 The cellulosome system of *Clostridium thermocellum*

1) 教養教育 化学

1) Department of Chemistry

家畜の反芻胃に生息するルーメン細菌のなかで植物細胞壁分解に寄与する主要なものとして *R. flavefaciens* FD-1 株が報告されている⁶⁾。すでに Marco らによって *R. flavefaciens* 17 株由来の Scaffoldin (Sca) 骨格タンパク質から構成されるセルロソームアーキテクチャが報告されており *Clostridium* 属が産生するそれよりも比較的高度な複合体を形成することが明らかにされた (Fig. 3)。本研究では Antonopoulos らにより報告された *R. flavefaciens* FD-1 株のドラフトゲノム情報を用い、ルーメン環境における新規のセルロソームアーキテクチャを明らかにする事を目的とした。なお本稿では、筆者がイスラエルのテルアビブ大学で行った研究について報告する。

2. 研究成果

2.1 バイオインフォマティク解析

R. flavefaciens 17 株由来の scaffoldin 遺伝子クラスター (AJ278969)、すなわち *scaC*, *scaA-scaB*, *cta*, *scaE* の配列情報は EMBL/GenBank に登録されたものを用いた。それぞれのアクセッションナンバーは AJ585075, AJ278969, AJ810898, AJ810899 である。この骨格遺伝子に相同的な配列を持つ *R. flavefaciens* FD-1 株由来の断片配列をアセンブルし、さらに PCR によるマニュアルシーケンスから得られた配列情報も併せることで、全長 17 kb の骨格遺伝子クラスター配列 (AM262974) を明らかにした (Fig. 2A)。次に、*R. flavefaciens* FD-1 株の骨格遺伝子クラスターがコードするところの ScaC, ScaA, ScaB, CttA, ScaE のアミノ酸配列を推定した。Marco らにより報告した骨格タンパク質アミノ酸配列⁷⁻⁹⁾と比較した結果、いずれの *R. flavefaciens* FD-1 株由来骨格遺伝子も N 末端側にコヘシン様ドメイン、C 末端側にドックリン様ドメインが存在し、コヘシンおよびドックリンの配置構成は *R. flavefaciens* 17 株由来のそれと同様のものであった (Fig. 2B)。しかしながら、*R. flavefaciens* FD-1 株は 2 つの異なる特徴を示した。すなわち、第 1 に、*R. flavefaciens* 17 株由来 ScaA は 3 つのコヘシンドメインを持つが、*R. flavefaciens* FD-1 株由来 ScaA は 2 つのコヘシン様ドメインを持つ事が推定された。第 2 に、ScaB において、*R. flavefaciens* 17 株由来のそれはタイプ B コヘシンを

7 つもつが、*R. flavefaciens* FD-1 株においては、タイプ B コヘシン様ドメインが 5 つ、さらに ScaA に含まれるタイプ A コヘシン様ドメインを 4 つ含んでいる事が示唆された。

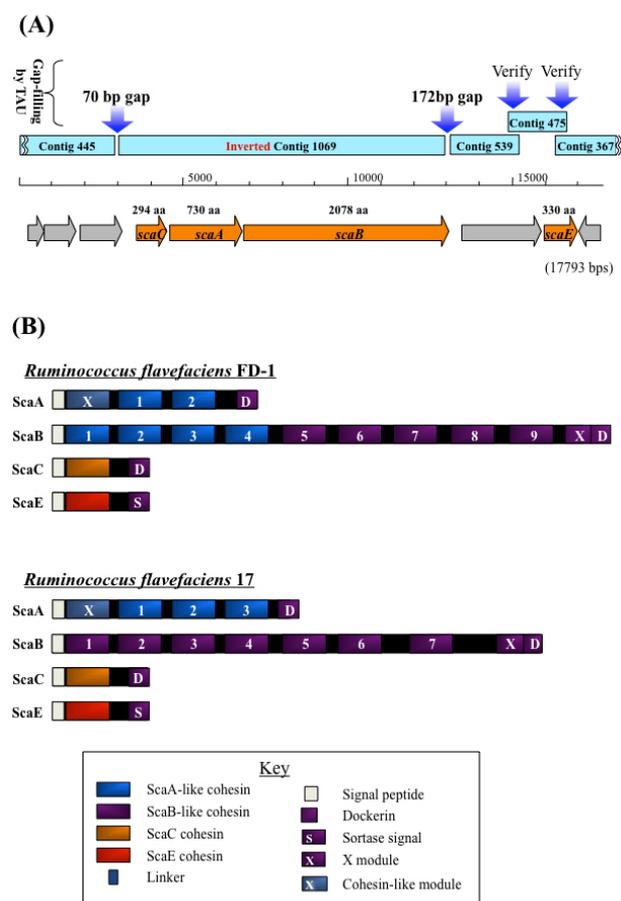


Fig.2 The scaffoldin gene cluster in *R. flavefaciens* FD-1 (A) and modular composition of the expressed scaffoldins versus strain 17 (B). Gaps were closed by manual sequencing and inverse PCR in the FD-1 scaffoldin cluster (A) and in new scaffoldins identified elsewhere on the genome. Interestingly, the FD-1 ScaB exhibited divergent types of cohesins, as opposed to that of strain 17 (B).

2.2 ドックリン・コヘシン融合タンパク質の調製

前項のバイオインフォマティク解析により明らかにされたそれぞれの骨格タンパク質に存在するコヘシンとドックリンの結合特異性について、生化学的な解析を試みた。

コヘシン・ドックリン結合解析は Barak らにより報告された融合タンパク質を用いた ELISA (Enzyme-linked

Table 1. Primers used in this study

Name	Nucleotide sequence	Location	Comments
scaA-Coh1-F	<u>AGATCT</u> ACATCAGCTCAGCCTGTTG	ScaA Cohesin 1	Cohesin expression
scaA-Coh1-R	<u>CTCGAG</u> AGCAGATGTTGTTGGATCATCA	ScaA Cohesin 1	
scaB-Coh6-F	<u>GGATCC</u> GTAGTTGCTGAAGGCACAGC	ScaB Cohesin 6	Cohesin expression
scaB-Coh6-R	<u>CTCGAG</u> TACAGGTGTATCACCAACAACG	ScaB Cohesin 6	
scaC-Coh-F	<u>GGATCC</u> CACAGTGCAGATATCCGCCAG	ScaC Cohesin	Cohesin expression
scaC-Coh-R	<u>CTCGAG</u> TACTTCTGCTGAAGGAACAG	ScaC Cohesin	
scaE-Coh-F	<u>AGATCT</u> CTCACAGACAGAGGAATGACTTAC	ScaE Cohesin	Cohesin expression
scaE-Coh-R	<u>CTCGAG</u> CTCAGGCTCACCAGCCTTG	ScaE Cohesin	
ScaA-Doc-F	<u>GGTACC</u> TACAACATCTGCTACAACAGC	ScaA Dockerin	Dockerin expression
ScaA-Doc-R	<u>GGATCC</u> TAGCCCTTAGCAGGGAGTGTG	ScaA Dockerin	
ScaB-Doc-F	<u>GGTACC</u> TAATTCGGTGATAATGTATCTG	ScaB Dockerin	Dockerin expression
ScaB-Doc-R	<u>GGATCC</u> TTATGGAACGGTCAATTCAGG	ScaB Dockerin	
ScaC-Doc-F	<u>GGTACC</u> TGGTACAGACAACAGCAGTATC	ScaC Dockerin	Dockerin expression
ScaC-Doc-R	<u>GGATCC</u> TCAAAGTTCTGTGATGAGAGTAAGC	ScaC Dockerin	
Cel44A-Doc-F	<u>GGTACC</u> TGCAAAACGTAACATACGGCGATG	Cel44A Dockerin	Dockerin expression
Cel44A-Doc-R	<u>GGATCC</u> TTATGCTTCGGGAAGCTTGTGCG	Cel44A Dockerin	
Ce3B-Doc-F	<u>GGTACC</u> TAGGATCACAGGCTCGGCTTC	Ce3B Dockerin	Dockerin expression
Ce3B-Doc-R	<u>GGATCC</u> TTAGGGGATATCCCTTGATGAAGG	Ce3B Dockerin	

immunosorbent assay) 法で行った¹⁰⁾。*R. flavefaciens* FD-1 株由来のコヘシン様ドメインを5つ選抜し、それぞれを Table 1 に示した特異的プライマーを用いて増幅させ、pETCBMCohカセットプラスミドへ導入した。一方、ドックリン様ドメインについても同様にPCRで増幅後、pETXynDocカセットプラスミドへ導入した。構築した発現ベクターで大腸菌BL21(DE3)株を形質転換させた後、Terrific培地にて37°Cで振とう培養し、IPTGにより大量発現させた。得られた菌体を遠心分離により集菌し、超音波破碎後Hisタグアフィニティー精製により、SDS-PAGEにて単一バンドとなるよう精製した。なお、触媒サブユニットのドックリンとして、*R. flavefaciens* 17株で明らかにされていたCe3BおよびCel44A触媒サブユニットにオルソログスな、*R. flavefaciens* FD-1株由来Ce3BおよびCel44Aドックリン様ドメインをそれぞれ用いた。

2.3 ELISA法による結合特異性解析

ELISA法によるドックリン・コヘシン結合を解析した結果、Table 2に示すように、ScaAドックリン融合タンパク質は特異的にScaBコヘシン6に結合し、ScaBドックリン融合タンパク質は特異的にScaEコヘシンに結合した。一方、ScaCドックリン融合タンパク質および

Cel44Aドックリン融合タンパク質は特異的にScaAコヘシンに結合した。また、Ce3Bドックリン融合タンパク質は特異的にScaCコヘシンに結合した (Fig. 3)。

Table 2. Cohesin-dockerin interactions in *R. flavefaciens* FD-1 by ELISA assay. The designated CBM3-fused cohesin (0.1 ml; 15 nM) was coated onto microtiter plates, and incremented concentrations of the specified xylanase T6-fused dockerin were applied. Anti-xylanase T6 was used as probe.

Name	ScaB-Dock	ScaA-Dock	ScaC-Dock	Cel44A-Dock	Ce3B-Dock
ScaA-Coh1	-	-	+++	+++	-
ScaB-Coh6	-	+++	-	-	-
ScaC-Coh	-	-	-	-	+++
ScaE-Coh	+++	-	-	-	-

3. まとめ

本研究では *R. flavefaciens* FD-1 株由来の骨格遺伝子クラスター配列を明らかにした、その結果、既知の17株由来のそれとは本質的には同一のものであっ

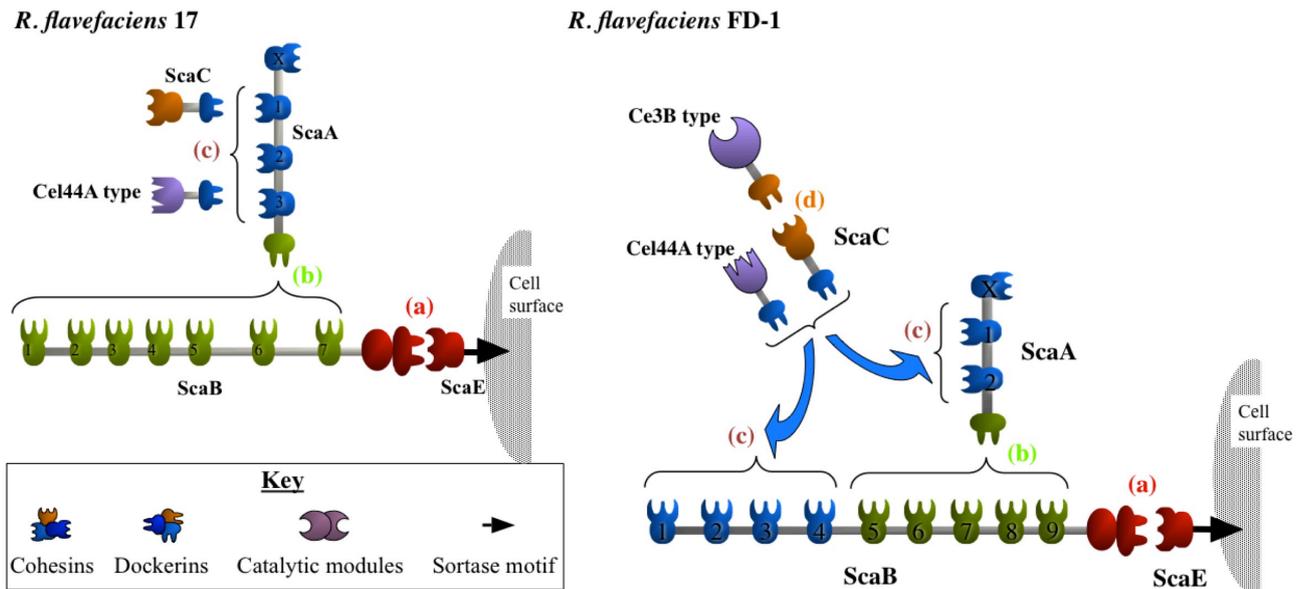


Fig.3 Schematic representation of the proposed cellulosome architecture in *R. flavefaciens* FD-1 versus strain 17. In both strains, the cellulosome is implanted into the cell surface via a sortase-like signal motif, located at the C-terminus of the ScaE sequence. (a) The ScaE cohesin binds to the bimodular ScaB dockerin. (b) In strain FD-1, cohesins 5 through 9 of ScaB bind to the ScaA dockerin, whereas in strain 17, all seven ScaB cohesins bind to the ScaA dockerin. (c) In strain 17, the ScaA cohesins bind either to Cel44A-type dockerin (representative of numerous other enzyme-borne dockerins) or to the ScaC dockerin. In strain FD-1, the “Cel44A” and ScaC dockerins similarly bind to the ScaA cohesins, but are additionally recognized by the first 4 ScaB cohesins. (d) The ScaC cohesin of strain FD-1 binds to the “Ce3B” dockerin.

た。すなわち、いずれにおいても骨格遺伝子クラスターは4つのオルソログスな *scaC*, *scaA*, *scaB*, *scaE* 遺伝子から構成されていた。しかしながら、2つの点において *R. flavefaciens* FD-1 株が新規な特徴を持つことを明らかにした。第一に、ScaA および ScaB において、株間によってそれらに含まれるコヘシンの数が異なっていた。第二に、ScaB において、株間によってそれらに含まれるコヘシンの種類が異なっていた、すなわち、*R. flavefaciens* 17 株はタイプ B コヘシンのみを保持する一方、*R. flavefaciens* FD-1 株はタイプ B コヘシンのみならず、タイプ A コヘシンのも含んでいる事を明らかにした。同じルーマン環境に存在する2つの細菌が異なるアーキテクチャのセルロソームを持つという事実は、それぞれが互いのニッチな環境に適応するため、独自に進化させたものと考えられ、興味深いところである。

4. 謝辞

本研究は、イスラエルのThe Weizmann Institute of

ScienceのProfessor Edward. A. Bayer研究室の協力のもと、イスラエルのTel Aviv UniversityのProfessor Raphael Lamed研究室で行ったものである。ご指導いただいた両教授並びに両研究室構成メンバーに感謝します。また、本研究はISFイスラエル科学財団 (394/03) およびBSF米国-イスラエル2国間科学財団 (442/05) の援助を受けた。それぞれの機関に感謝の意を表します。

5. 参考文献

- 1) Rincon, M. T., T. Cepeljnik, J. C. Martin, R. Lamed, Y. Barak, E. A. Bayer, and H. J. Flint. Unconventional mode of attachment of the *Ruminococcus flavefaciens* cellulosome to the cell surface. *J. Bacteriol.* 187 : 7569-7578 (2005)
- 2) Antonopoulos DA, Nelson KE, Morrison M, and White BA. Strain-specific genomic regions of *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 as revealed by combinatorial random-phase genome sequencing

- and suppressive subtractive hybridization. *Environ. Microbiol.* 6: 335–346 (2004)
- 3) Flint HJ, Bayer EA, Rincon MT, Lamed R, and White BA. Polysaccharide utilization by gut bacteria: potential for new insights from genomic analysis. *Nat. Rev. Microbiol.*, 6 (2) :121-131 (2008)
- 4) Bayer, E. A., J.-P. Belaich, Y. Shoham, and R. Lamed. The cellulosomes: multi-enzyme machines for degradation of plant cell wall polysaccharides. *Annu. Rev. Microbiol.* 58: 521–554 (2004)
- 5) Bayer EA, Lamed R, White BA., and Flint HJ. From cellulosomes to cellulosomes. *Chem. Rec.* 8(6): 364-377 (2008)
- 6) Dehority, B. A., and H. W. Scott. Extent of cellulose and hemicellulose digestion in various forages by pure cultures of cellulolytic rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 50:1136–1141 (1967)
- 7) Rincon, M. T., S.Y. Ding, S. I. McCrae, J. C. Martin, V. Aurilia, R. Lamed, Y. Shoham, E. A. Bayer, and H. J. Flint. Novel organization and divergent dockerin specificities in the cellulosome system of *Ruminococcus flavefaciens*. *J. Bacteriol.* 185: 703–713 (2003)
- 8) Rincon, M. T., J. C. Martin, V. Aurilia, S. I. McCrae, G. Rucklidge, M. Reid, E. A. Bayer, R. Lamed, and H. J. Flint. ScaC, an adaptor protein carrying a novel cohesin that expands the dockerin-binding repertoire of the *Ruminococcus flavefaciens* 17 cellulosome. *J. Bacteriol.* 186: 2576–2585 (2004)
- 9) Rincon, M. T., S. I. McCrae, J. Kirby, K. P. Scott, and H. J. Flint. EndB, a multidomain family 44 cellulase from *Ruminococcus flavefaciens* 17, binds to cellulose via a novel cellulose-binding module and to another *R. flavefaciens* protein via a dockerin domain. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 4426–4431 (2001)
- 10) Barak, Y., T. Handelsman, D. Nakar, A. Mechaly, R. Lamed, Y. Shoham, and E. A. Bayer. Matching fusion-protein systems for affinity analysis of two interacting families of proteins: the cohesin-dockerin interaction. *J. Mol. Recognit.* 18: 491–501 (2005)
- (原稿受理日 平成22年9月30日)

継続審査に向けた取り組み

山中 三四郎¹⁾

The Examination for Continuous Accreditation

Sanshiro YAMANAKA¹⁾

Abstract

The Department of Electrical and Electronic Engineering have received the Examination for Continuous Accreditation in JABEE in November, last year. The evaluation for the education system was high, and the recognition for 6years was got. In this paper, education improvement activity for 6 years of this Department is mainly reported.

1. はじめに

電気電子工学科は平成15年にJABEEの試行審査を受けた。この審査はあくまでも試行なので審査というよりも指導の意味合いが強かった。電気科ではこの審査結果を参考にしてシステムを改善し、平成16年に本審査を受信審査した。このとき、審査チームと我々の間にJABEEに対する基本的な考え方の違いがあり、多くのD判定を受けることになった。これに対し、異議申し立ておよび改善報告書の提出によりD判定は覆り、2年間の認定を得ることができた。2年後の平成18年に中間審査を受けて3年間の延長が認められた。平成21年にJABEEの認定期間(5年間)が終了したので、継続審査を受けることになった。

電気科では今回の継続審査にあたって、最大のポイントはPDCAのサイクルを使って恒常的に教育改善を続けていることを審査員に納得させることに絞って、証拠資料の収集および自己点検書の作成作業に入った。

その結果、今回の審査では証拠資料の不備等はあったものの、電気科の5年間にわたる恒常的な教育改善の努力が認められて6年間の認定が得られた。

本報告では継続審査に向けた電気電子工学科の取り組みを紹介する。

2. 基本方針

電気科では平成15年に試行審査を受けるにあたり、基本的な方針の確認を行っている。まず第1にJABEEの認定を得るための特別な教育システムは導入しない。すなわち、電気科でこれから行うであろう教育改善はあ

くまで学生への教育効果改善を目指すものであり、JABEEの認定をとるための改善は行わない。

JABEEで求められている教育水準は電気科が想定している最低レベルに設定する。すなわち、電気電子工学科の卒業生であれば持っている最低レベルを水準とし、全卒業生がこの水準を超えることを基本方針とした。

ただし、平成15年当時、理工学部には他学部、他学科履修の精度が存在していた。これは文科省の方針に基づき大学が設定した制度であり、電気科だけがこの制度から離脱することはできなかった。他学部他学科履修をJABEEの制度に組み込むことは事実上不可能であったので、その回避策として1学科2プログラムを両立させることになった。すなわち、電気科の中に技術創造プログラムと技術応用プログラムを設け、技術創造プログラムをJABEE対応プログラムとした。

3. 組織

最初に述べたように電気科ではJABEEの認定を得るための教育改善は行わないことが確認されているが、審査のための自己点検書の作成や証拠資料の収集等JABEEの方針に沿った作業は欠かせない。そこで、電気科では既存の委員会とは別に下記のWGを立ち上げて、JABEEの審査に備えた。

教育改革WG：本WGは学習・教育目標、教育方法、総合評価、学生支援等の自己点検等の改善策について検討し、その結果を学科会議に提案することを目的としている。

1) 電気電子工学科

1) Department of Electrical and Electronic Engineering

実際に本WGでは、おもに教育点検システムの改善および継続審査に向けての準備について話し合われた。これ以外に、本WGでは卒研の従事時間を学生自身が記録した行動記録表の保存、管理も行っている。また、学生自身が学習教育目標の到達度をチェックする学習教育目標達成チェックシートを配布し、学生自身に達成度を確認させている。さらに、総合評価の結果を、学科会議に諮っている。

教育点検WG：本委員会は卒業生が多く就職している企業に対する意見聴取、卒業生・在学生へのアンケート・ヒアリングを実施し、結果を教育改革WGに報告することを目的としている。また、各種資料(たとえば、成績原簿および関連記録)の保存、管理を行うこともこのWGの仕事である。

教員間連絡ネットワーク：このネットワークは専門性を考慮して下記のように構成されている。「基礎系教員間連絡ネットワーク」として「電気磁気」「電気回路」「電子回路」「情報基礎」の4グループ、「分野別教員間連絡ネットワーク」として「電気エネルギー」「制御システム」「物性・電子応用」「情報通信」4グループ、共通科目の教員間連絡ネットワークとして「ゼミナール」「学生実験」「卒業研究」の3グループがある。

基礎系、分野別教員間連絡ネットワークでは各科目の単位修得率を学科に開示している。特に、電気磁気学および電気回路は同時に4人の教員で講義を行うため、教員間の教育水準等のレベルを調整するために大事な資料となる。また、この資料をもとに講義の問題点、改善点等も話し合われる。

分野別教員間連絡ネットワークでは複数科目の教育内容に関する分担の調整、確認も行われている。

一方、ゼミナール、学生実験、卒業研究の共通科目の教員間連絡ネットワークは実務的なWGである。ゼミナールの教員間連絡ネットワークは2年生前期に開講されているゼミナールⅠと3年生後期に開講されているゼミナールⅡの計画を行っている。また、学生実験の教員間連絡ネットワークでは電気電子工学実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの実施計画、非常勤講師およびTAの配置、成績の取りまとめ等を行っている。

卒業研究の成果を報告するための卒業研究発表会は卒業研究の教員間連絡ネットワークで実施計画が練られる。また、このネットワークでは卒業研究の最終成績の取りまとめや学科会議への優秀発表者の報告等も行っている。

プログラム運営WG：このWGは毎年1月下旬に2年生に対してプログラム説明会を実施し、技術創造プログラムの参加を呼び掛けると共に、応募者の面接にあたっている。たとえば、平成21年1月13日に2年生を対象に技術創造プログラムの説明会を開催している。ここで技術創造プログラムの詳細な説明をし、プログラム履修者を募っている。また、履修希望者に面接をし、適当と認めただけを履修者候補として学科会議に諮っている。

情報発信WG：このWGはホームページなどの情報発信コンテンツの作成を行っている。

申請書作成WG：このWGは審査のための自己点検書作成を統括するWGである。これまでの自己点検書の作成はこのWGを中心として行われた。

また学外の点検システムとして下記の委員会を設けた。

EE (Engineering Education) 外部評価委員会：EE外部評価委員会は卒業生と企業人、他大学教員からなり、教育点検システムを点検する外部委員会である。この委員会は、教育点検システムを点検すると共に、社会の要求や教育の水準についての提言を行う委員会としての役割も担う。

4. 改善活動

JABEEの継続審査ではPDCAのサイクルを使った恒常的な教育改善を重視している。電気科では前回の本審査から5年の間に数々の教育改善を行ってきた。しかし、これらの改善はJABEEのために行われたのではないので、JABEEが求めている証拠資料が十分そろっていない状態であった。そこで、自己点検書ではこの状態を正直に書くことにした。以下に改善活動の実施状況を教育点検システムのシステム自体の改善と、教育の改善に分けて説明する。

(a) 教育点検システムの改善

教育改革WGは教育点検システムの改善を行い、変更が必要な場合は学科会議に提案することになっている。これまでに、教育点検システムについて、教育改革WGで検討した内容を以下に示す。

① 卒業研究の従事時間の記録方法について前回の中間審査の時に改善を求められた。教育改革WGではこれを受け、記録方法について審議をし、改善された行動記録表を学科会議に提案することになった。改善の要点は、

従来実験、データ整理、文献調査、ゼミ等の項目だけを記載していたが、これらの項目の具体的な内容を明記するようにした。学科会議では教育改革WGからの提案を審議し、承認した。これ以降、卒研の従事時間の記録は教育改革WGから提案された行動記録表に記録することになった。

② 教育改革WGでは現在の学習・教育目標の改正について審議した。その結果、改正は必要であるが、近々、学部学科再編、カリキュラム改正の可能性があるが、カリキュラム改正に合わせて学習・教育目標の改正を考慮することで意見が一致した。

③ 電気電子工学科では現在、技術創造プログラムと技術応用プログラムの2つのプログラムが動いている。教育改革WGでこの2つのプログラムを統合して、学科内で1プログラム(JABEEプログラム)にすることが検討された。審議の結果、プログラムの統一は教育上望ましいが、近々、学部学科再編、カリキュラム改正の可能性があるが、カリキュラム改正に合わせてプログラムの統合を考えていくことで意見が一致した。

④ 教育改革WGで、現在実施されている総合評価について改善の提案(数値化の提案)があった。審議の結果、現在実施されている総合評価の方法は実施後日が浅く、しばらく現在の方法で実施し、実績を蓄積することが確認された。

⑤ 教育改革WGでは教育点検システムの見直しを行い、WGの統廃合、委員の交代等を学科会議に提案した。学科会議では審議の結果、教育会改革WGからの提案を承認し、教育点検システムを変更することとなった。

⑥ 教員間連絡ネットワークの活動を活性化させる方法について審議した。その結果を教室会議に提案し、承認された。

⑦ 講義に対する学生からの意見聴取方法について審議された。アンケート方式では無記名となるので無責任な結果になりかねないこと、学生の様々な意見を吸い上げることができないことなどが指摘された。その対策として、「学習到達目標の達成度に関する調査」の自由記入欄を充実させ、学生からの意見を積極的に吸収する方法が提案された。この提案は学科会議で承認され、現在実施されている。

⑧ 総合評価のためのスケジュールを明確にする作業が行われ、学科会議に提案された。学科会議でこの提案が承認され、現在このスケジュールに沿って総合評価が実施されている。

(b) 教育の改善

電気電子工学科ではこれまでに構築したシステムを

通して、多くの教育改善を行ってきた。現在進行している教育改善の活動は教育水準の維持、基礎学力重視、発表能力の向上、実感教育の4分野に大別される。それぞれの分野における具体的な改善例を下記に示す。

○教育水準の維持

①基礎科目の小テスト、レポート、中間試験

学生の基礎学力向上を目指して、電気磁気学、電気回路理論等の基礎科目を中心にして小テストの実施あるいはレポートの提出を求めることが多くなった。また、中間試験も実施している。

②個人面談

近年、電気電子工学科では成績不良の学生が急増している。一方、卒業生等の意見では教育水準を維持するようにとの強い要望が多い。そこで、電気電子工学科では成績不良の学生に対して、親子面談を実施している。この面談は親も交えて勉学の意思を確認することにある。また、勉学の意思のない学生には退学等の進路変更を勧めている。

○基礎学力重視

①主要必修科目 4クラス制(少人数教育)

電気磁気学と電気回路理論の主要必修科目は基礎学力向上の観点から4クラス編成で少人数教育を実施している。特に、電気磁気学Iおよび演習では、今年さらに新2年生のクラスと再履修(留年した2年生、3、4年生対象)クラスに分けて習熟度別のクラス編成を行った。

②再履修制度(2期連続履修)

電気電子工学科では基礎学力向上の観点から、今年度から、電気磁気学および電気回路理論の主要必修科目について、半期の学習で単位を修得できなかった学生に、引き続き、次の学期で再履修科目として同じ科目を履修できる制度(2期連続履修制度)を実施することになった。

○発表能力

①電気電子ゼミナールI

電気電子ゼミナールIでは4回にわたって日本語、レポートの書き方を指導している。1回目は報告書の構成や書くときの心構えを教える。2回目は日本語の作文技術を教える。3回目はグラフ・図の描き方を教える。4回目は電気電子工学実験の計画書、報告書の書き方を習得する。

②電気電子工学実験II・III

電気電子工学実験II・IIIでは学生の発表能力向上のために、実験結果についてのプレゼンテーションを実施している。電気電子工学実験IIでは2回、電気電子工学実験IIIでは4回実施している。このプレゼンテーションに

よって資料の作成、発表方法、質疑応答について学ぶ。

③卒業研究

電気電子工学科の卒業研究では学生 1 人に 1 テーマを与え、卒業論文を作成させる。また、1 年間の研究成果を卒業研究発表会で発表させる。この発表会は 2 月下旬（卒業論文提出後）に 2 日間かけて学会の発表と同じ形式で実施する。発表の結果を複数の教員で審査し、成績優秀者を卒業式の時に表彰している。

○ 実感教育

①電気電子工作

電気電子工学科では学生の電気電子工学への興味を引き出すための実感教育に力を入れている。この一環として電気電子工作を取り入れている 1 年生に対しては理工学概論Ⅱに設けられているオープンラボで、うそ発見器、デジタル時計、電子ピアノ、ラジコン送信機の中から 1 つを選んで作らせている。2 年生になる直前の 3 月には学科配属後のセミナーの中で半日かけてスモウ・マンを作らせている。また、電気電子ゼミナールⅠでは 6 回をテスター、DC モーター、Ge ラジオの製作にあてている。

②電子回路の製作

基礎通信工学と電子回路Ⅱでは講義の学習内容を実感させるために、ブレッドボードを使って、簡単な回路を作らせ、電子回路の動作確認をさせている。基礎通信工学では発振回路と変調回路、パルス幅変調回路（サーボモーター制御回路）を製作する。電子回路Ⅱではオペアンプを用いた増幅回路、MOSFET と IC を用いた直列制御電源回路を作らせている。回路製作のための組立キットは学生 1 人に 1 セット準備している。

②MATLAB/simulink によるシミュレーション

制御工学Ⅰでは制御理論を仮想体験させるために、MATLAB/simulink の使い方を教え、シミュレーションをさせている。

③電卓の設計

デジタル回路Ⅱではデジタル回路を実感的に習得させるため、電卓の設計を課している。

④外部講師による単発の講義

電気電子工学科では授業の活性化を図るため、授業内容が実社会においてどのように役立っているのかを実感的に理解させ、授業に対する学習動機を高めるため、1 日限りの外部講師を招聘している。特に、制御工学Ⅰ、Ⅱの講義は数式の多い抽象的な授業内容になりがちであるが、これが自動車などの制御において、なくてはならない重要な技術であることを多くの実例とともに教え、学生の理解を深めることに寄与している。

5. おわりに

電気科では初回の審査から 5 年間、さまざまな教育改善を行ってきた。これらの改善は個々の先生が自分の教育体験に基づいた提案が多い。個々の先生の提案を改善につなげていくためには広い意味で、普段からの教員間連絡ネットワークを通じた話し合いが欠かせない。

各先生方の地道な努力が実り去年 11 月の継続審査では非常に高い評価を得ることができた。その結果、たまたま継続審査の現場責任者を任された私が平成 21 年度名城大学理工学部教育貢献表彰をいただくことができた。これも電気科の先生方の努力のたまものであり、電気科の初先生方に改めて感謝いたします。

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

WEB システムを用いた授業評価アンケート等による

学生・教員支援システムの開発

新井 宗之¹⁾

Development of an Integrated Web System on Questionnaire of Lecture Evaluation and others for Students and Teachers Muneyui ARAI¹⁾

Abstract

It was developed an integrated Web system for education. It has nine systems as follows, 1) questionnaire of lecture evaluation, 2) lists of lectures and students for teaching, 3) accepting the student's report, 4) time records of activities on graduation thesis, 5) student sheet with individual data, 6) simulation or check on graduation for individual case, 7) questionnaire of demands and evaluation of students, 8) information and FAQ, 9) functions for system administrator.

1. はじめに

現在, 大学を取り巻く環境のなかでここ 10 年来取り組まれている事柄の中に, 教育に関わる改善が日常的・継続的に求められていることがある. 工学系の学科においては, 特に, JABEE (Japan Accreditation Board for Engineering Education) の技術者教育プログラムの認定を受けるために, 教育内容とともに教育システムそれ自体が審査され, そのための証拠資料を整備する等の必要が生じている. 著者の所属する学科でも JABEE の教育プログラムの認定を受けており平成 22 年度継続審査を受ける予定である. この JABEE 認定に代表されるように, 現在の大学教育では教育の内容とともに教育の評価や教育組織・システムそれ自体が教育体制(機関)として問われている状況がある. このため教員一人一人も教育・研究とともに教育評価, 教育組織, 教育システムに取り組むことが要請されている. この教育評価システムは欧米のシステムを取り入れているが, 著者の知る欧米の大学では教育・研究を支援する人員が割り当てられているため, 授業時の学生の出席を管理する人, 教員の実験を補助する人, 資料を整理する人等が配置され, 教員は授業等による教育や専門の研究に従事することが確保されている. しかし, 日本の事情は大きく異なっており, 教育に関わる証拠資料の整備をはじめとして教員側に多くの負担を強いら

れる状況にある. このため, TA (Teaching Assistant) や EA (Educational Assistant) が多く導入され教員側の負担は軽減されているものの, TA や EA は旧来

助手や技術職員の教員・職員側の組織の中で行っていたものを一部学生にアルバイトとして負担する形態になっているとも言える面がある. しかし, TA や EA に任せることのできない事柄は多々あり, 教員側がより教育し易くするための支援システムが急務の課題であると言える.

そこで, 本学科では, 従来用紙を用いていた授業評価アンケートや学生の意見・要望のアンケート, 学生指導のための「学生カード」等, WEB システムを用いた統合的なシステムとして開発を行った. このシステムは多岐にわたる多くの機能を有しているがここではその基本的な機能の要点をおもに教員の権限の立場で説明することにする.

2. システムの概要

本システムは「<http://cjb.meijo-u.ac.jp/meijo/>」にアクセスすることによりグローバル環境でこのWEB システムを使用することができる. システムの概念図をFig. 1に示す.

本 WEB システムは, WEB サーバーとデータサーバーによる 2 台の専用サーバーを用いて構成されている. 一般的に使用されているように WEB サーバーは

1) 建設システム工学科

1) Department of Civil Engineering

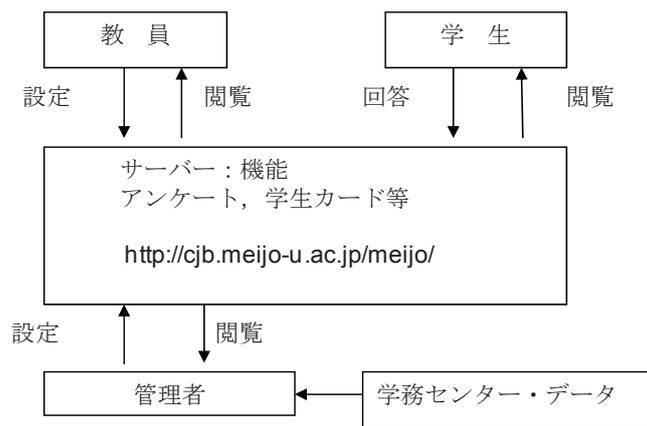


Fig. 1 システムの概念図

事項	機能
授業関係	(1) 授業評価アンケート
	(2) 履修閲覧
	(3) レポート提出
	(4) 卒業研究活動時間
学生指導	(5) 学生カード
	(6) 学習状況確認
学生の意見・要望	(7) 意識調査
	(8) お知らせ・質問
その他	(9) 管理用機能

Table 1 機能と対象事項

グローバルアドレスを用い、データサーバーはセキュリティーの関係からローカルアドレスを用いている。学生の個人情報が多く含まれているためセキュリティーには十分配慮している。

利用形態は、教員、学生および管理者の権限での利用形態であり、ユーザIDで利用形態を切り替えている。TAやEAの教員と学生の中間的な権限の付与も検討したが、学生がTAやEAを担当する場合には権限の位置づけが必ずしも明確にできないため本システムでは取り入れていない。システムの開発にあたり、対象とする学生は学科規模の学生で約600名程度である。したがって、授業科目数等も1学科規模のデータ数を処理する。しかし、システムのアーキテクチャーそれ自体は1学科のものではなく全学的な任意の学部・学科として処理可能なものとして開発している。1学科規模とは単にサーバーのスペックの問題である。サーバーのOSはLinux、データベースはPostgreSQL、開発言語はJava、Java Scriptを用いている。

3. システムの機能・考察

システムの機能はTable 1に示すようにその他を含め9つの機能で、(1)授業評価アンケート、(2)履修閲覧、(3)レポート提出管理、(4)卒業研究活動時間管理、(5)学生カード、(6)学習状況確認、(7)意識調査、(8)お知らせ・質問、(9)管理者用、である。(1)から(4)は教員・学生の授業に関する機能であり、(5)と(6)は学生の指導および学生の教務支援の機能である。また、(7)および(8)は学生の意見や質問等を収集する機能で、(9)はシステムの管理用の機能である。Fig. 2は本WEBシステムにログインした時のトップ画面である。

1) 授業評価アンケート :

授業評価アンケート機能は、教育課程の専門科目の内、専任教員が担当する授業科目について基本的到達目標と発展的到達目標の学生自身の自己評価と授業担当者の授業内容、授業時の状況、授業準備等の評価



Fig. 2 トップ画面

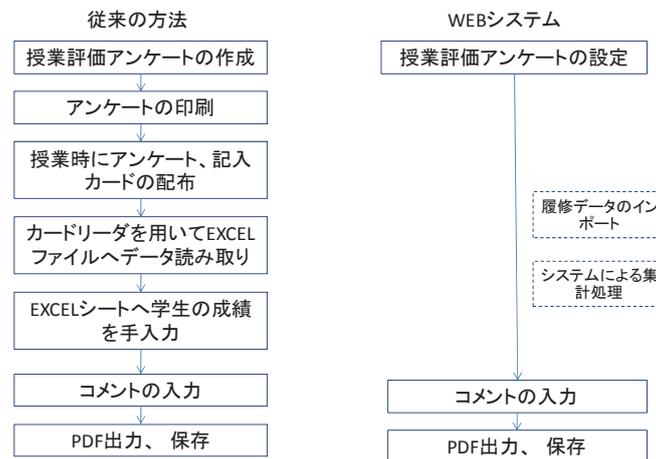


Fig. 3 従来とWEBシステムのアンケート方法

に関するものである。Fig. 3の左側に示すように、従来A4用紙を用いたアンケート様式で実施していたのである。用紙を用いていた場合にはアンケートの作成、印刷、授業時の配布、回収、集計のためのカード読み取り機操作、アンケート処理エクセルシートへの学生成績手入力、集計結果の印刷およびファイル保存の作業を担当科目ごとに行うことが必要であった。この方法は作業量の負担とともに精神的な負担も大きい。しかし、Fig. 3の右側に示すようにこのWEBシステムにより、教員は基本到達目標の3項目(3行)と発展到達目標の3項目(3行)をWEB上から入力し、アンケート締切り期限を設定するだけで後は集計結果をプリント出力やPDFファイルをPCに保存するだけの作業となり大幅な労力の軽減を図ることができた。メニュー画面でアンケートを選択した場合の初期画面で担当している授業科目一覧が表示される。この後科目を選

択してアンケートの基本到達目標やアンケート期間等を設定する。このアンケート機能の中には、アンケート回答期間中でもその時点での集計結果を知ることができるとともに学生の回答者、未回答者の一覧機能もあり、未回答者への喚起を促すことが可能である。また、アンケートには自由に意見を記入する欄があるが、従来の用紙の方法に比べ学生の記入も増加し、学生のアンケート項目以外の意見を多く収集することができるようになるとともに、集計結果の中に学生の意見の一覧を添付するようになっている。これらはWEBシステム側であるため教員の負担は生じない。この授業評価アンケートは学生自身も回答している科目についていつでも集計結果を閲覧することができるようになっており、アンケート結果を学生に公開する形態となっている。

2) 履修閲覧：

履修閲覧の機能は、教員側に有している機能で担当授業科目とその履修学生を閲覧することができる。学生名には学生カード機能がリンクされており個々の学生の情報を知ることができる。学生カードについては後述する。

3) レポート提出：

レポート提出管理機能は、授業科目ごとに教員がWEB上で課題を提示して学生が作成したMSワード等のファイルを受け付けるシステムである。レポートの再提出等の指示ができるとともにレポートファイルを個別あるいは一括して教員側のPCに保存できる。

4) 卒業研究活動時間：

卒業研究活動時間管理機能は、4年生の卒業研究の活動時間の内訳をJABEE認定の証拠資料の一つとして記録する必要があり、従来これはA4の用紙を用いA4表裏に1月分を1日毎の時間として記入するようにしていた。そしてその1月ごとの時間を教員が手入力で学科共有フォルダーに記録していたものである。このWEBシステムにより学生はWEB上で卒業研究時間を1日単位で入力し、教員はそれを確認するのみとなり負担の軽減が図られた。また、学生も活動時間の集計計算から解放され、活動時を入力すると同時にその累計時間も確認できるようになった。さらに、自分の活動時間が他の学生の中でどのように位置づけにあるのか視覚的にとらえる機能も付加しており学生の向上心を喚起する機能も付加している。卒業研究活動時間の集計結果では突出する学生もいることが分かる。

5) 学生カード機能：

学生カード機能は、学生の住所、出身高校、生年月日、趣味、学業成績等を閲覧する機能である。これは従来厚紙の用紙を用い、手書きで記入しファイルに綴じてクラス担任が保管していたものである。学生指導用の目的で「学生カード(カルテ)」として作成していたものであるが、記入・記録に多くの負担があるため未記入の部分が多く、また使用勝手もよくないため現実的にはクラス担任が保管しているだけでほとんど有機的な利用は難しい状態であった。しかし、このWEBシステムにより教員は学生の住所、成績等基本的な入力作業から解放されるとともにいつでもWEB上で学生の基本的な情報を得ることができる。また、チュータ

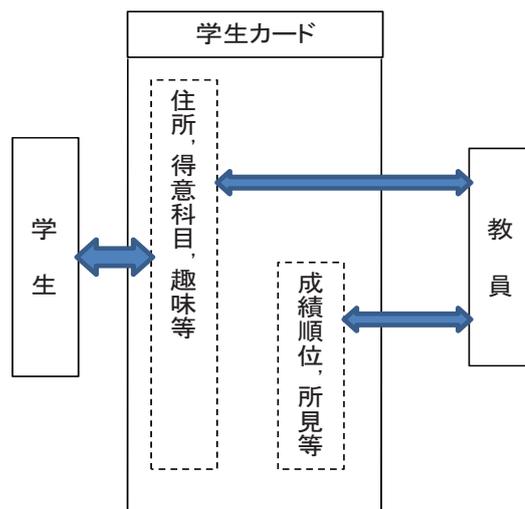


Fig. 4 学生カード概念図

担当の学生との面談内容をこのWEB学生カードに記述しておくことにより教員相互で情報を共有することが可能である。また、面談ばかりでなくゼミ、卒業研究、授業時での学生指導や就職指導の参考になる事柄も記述して共有することが可能である。この「学生カード」の概念的な機能はFig. 4に示すように学生の入力内容とは別に教員のコメント等を記入し教員相互が閲覧できるようになっているが、これを学生は閲覧することができない。この学生カードについては学生指導のための情報提供としての負担は増加することになった。しかし、これはアンケートなどの単純で機械的な作業の軽減部分を本来の教育・学生指導等に費やす時間・労力を確保したとも言える。

6) 学習状況確認：

学習状況確認機能は、学生の卒業要件等の判定をシミュレートする機能である。特にJABEE認定のプログラムコースを選択している学生は細かく複雑な要件を満たす必要がありその確認の補助機能である。これは従来教員が作成した簡易のエクセルシートで実施していたが、学生の入力内容について教員が取得単位の確認をチェックすることはほとんど不可能に近いことであった。しかしこのシステムでは取得単位は学務センターからの履修データにより自動的に反映されるため教員側の確認作業は不要であり、学生も習得予定科目のみチェックすれば判定処理をする。これにより学生、教員の負担を軽減するとともに、科目選択を視覚的にも分かり易くしているため履修方法の多様性を助けている。また、学生と教員が同じ環境で関

覧できるため指導学生と画面を見ながら話し合っ
て履修内容を定める助けとなることが出来る。

7) 意識調査 :

意識調査機能は、学科内では通称「なんでもアンケート」と称されているアンケート形式の学生意見収集方法である。従来、これもA4用紙を用いて2~4年生を対象に配布・回収し、クラス担任が学生意見を分類し、手入力でエクセルシート等に記入、集計していたものである。このWEBシステムにより学生の意見を教員が即座に閲覧することができるとともに、意見の分類や集約にコピー&ペーストの作業で教員側の負担も軽減している。

8) お知らせ・質問 :

お知らせ・質問機能は、教員・システム管理者か学生への一斉連絡や学生から教員・システム管理者への質問をする機能である。学生から利用方法等の問い合わせがある。

9) 管理者用機能 :

管理者用機能は、教員、学生の全ての機能および教員・学生データ等のインポート・エクスポート、設定、管理するすべての機能を含んでいる。

4. セキュリティー・個人情報の取り扱い

(1) 本システムでは学生の履修情報等のデータをシステム管理者がサーバーにインポート(入力)する必要がある。このために学務センターからその必要データを受け取ることになる。これは、現在システムの開発途中であるということもあり、学務センターからのデータは担当者から理工学部事務長に申請し、事務長から学務センター事務部長に申請するという手続きが取られていて、データの管理責任のすべてを担当者が負うことになっている。基本的には担当者(申請者)以外の他者に提示することは難しい内容になっている。このため、学科の会議で上記の説明とWEB上に学生データを表示することの理解と了解を得る必要があり、学科内でその手続きを取っている。また、学科会議上で学生の個人データをWEB上で見る時には学生に見られないように配慮することやプリンターに出力しないなどの合意を得ている。

(2) システム(サーバー)構成上での対応については、一般的に用いられているように、学生データ等に対しては高いセキュリティーを要するため、独立したロー

カルアドレスのサーバーを用い、グローバルアドレスのWEBサーバーとは切り離して用いている。その他システム構成上のセキュリティーの配慮がされている。

(3) WEBシステム上での対応については、いくつかの対応がされている。はじめに、本WEBシステムにログインした場合に、個人情報を取り扱っていることの説明・注意と同意を求める文書を提示し、同意をもとめたうえでアクセスするようにしている(Fig. 2 参照)。また、前述のように多くの機能を有しているため画面等の切り替えが多数必要になり、その移行でのセキュリティーの確保がなされている。学生カードの場合には、学生の所見等を教員が記入するところがあるが、学生の了解のもとに記録を残している事ではないため、学生の人権が守られるように配慮する必要がある。このため、この記入には記入者の氏名が記録され、記入者・管理者以外の他者がそれを削除できないようになっている。さらに、学生カードについては閲覧を含めすべてのログが記録されている。そして、この履歴の記録については管理者もWEB上では削除できないようにしてある。

5. 結語

このWEBシステムの開発は、平成20年度から平成22年度の3年間の予定で開発がすすめられ実施されている。平成21年度前期に授業評価アンケートがこのWEBシステムで試験的に実施され、それ以降改良を行うとともに他の機能も加えられ、平成22年度前期より全ての機能による試験運用が実施されている。アンケートに関わる教員側の負担が軽減されるとともに学生カードによる学生情報の教員間の共有、学生自身による学習状況の確認等、またJABEE継続審査におけるアドバンテージ・ツールとして本WEBシステムは有用に運用が始まっている。

謝辞

このシステム開発においては、建設システム工学科教員の一丸となった協力により達成できたものです。ここに記して深甚の謝意を表します。また、このシステムの開発は文部科学省私立大学等経常経費補助金特別補助対象事業の「教育・学習方法等改善支援」として行った事業であり、ここに記して関係各位に深謝いたします。

(原稿受理日 平成22年9月30日)

論 文

In を添加した SrZrO₃ プロトン伝導性厚膜の作製と評価

伊藤充紀¹⁾ 富本佳佑^{1),*}
池邊由美子²⁾ 坂えり子²⁾

Fabrication and characterization of proton conducting SrZrO₃ thick films doped with In

Mitsunori ITO¹⁾, Keisuke TOMIMOTO^{1),*},
Yumiko IKEBE²⁾ and Eriko BAN²⁾

Abstract

Proton conducting SrZrO₃ films doped with In were fabricated on polycrystalline ceramics substrates using a screen printing method. LaCoO₃ and LaMnO₃ used as cathode substrates were sintered in air by a conventional solid state reaction. From the view point of the proton conductivity and the sinterability, SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} for the electrolyte and La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-α} and La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} for the substrate were employed as a starting stoichiometric composition. After heat-treatment at 1400°C or 1500°C for 5h in air, excellent connectivity between the film and La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} substrate was observed, contrast to the poor joining for the case of La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-α} substrate. Electrolyte films thus sintered showed pure SrZrO₃ without secondary phases in X-ray diffraction pattern. The highest electrical conductivity of SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} film sintered at 1500°C was $2.1 \times 10^{-4} \text{Scm}^{-1}$ at 900°C in 1%H₂+Ar atmosphere. This electrical conductivity was one order of magnitude smaller than that of the bulk SrZrO₃ sample.

1. はじめに

近年のエネルギー・環境問題への関心の高まりを背景に、従来の石油に代わる代替エネルギーとして原子力発電や太陽光・風力による発電など様々な方法により電気エネルギーを生み出す技術が求められている。このような次世代技術による代替エネルギーの研究が推進される中で、水素エネルギーシステムは有力な候補に挙げられている。このシステムにおいて重要となる技術は、水素を造り出すための水素製造と、水素から電気エネルギーをつくり出す燃料電池である¹⁾。

こうした水素デバイスに用いる電解質材料は多種多様であるが、水素イオンがキャリアとなる高温型プロトン伝導性セラミックス材料は幅広い温度域で利用が可能であることから実用化が期待されている^{2,3)}。この材料は、化学式 ABO₃ で表されるペロブスカイト型の結晶構造をとり、イオン半径の小さな B サイトへ、それより低原子価のカチオンが置換されることにより電気的中性を保つために酸素イオン空孔が形成され、格子欠陥型プロトン

伝導性が発現する⁴⁾。格子欠陥型プロトン導電体の中で SrZrO₃ (SZO) は、機械的強度と化学的安定性に優れている⁵⁻⁷⁾。一般に、Zr サイトに置換するドーパントの種類とその量により、SrZrO₃ の電気伝導特性とそれを担う導電種は異なることが知られている。中でも、SZO にドーパントとして In を 20mol% 添加した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} は比較的高い導電率を有し、500 °C 以上の高温域においてもプロトンが主たる導電種であることから、広い温度範囲で水素デバイスへの応用が可能である⁸⁾。

一方、このような固体電解質材料をデバイスに応用するには電解質材料の特性向上はもちろんのこと、用途に応じた形状に加工する技術も重要であり、小型化、軽量化には薄膜への加工技術が不可欠である^{9,10)}。パルスレーザー堆積法 (Pulsed Laser Deposition: PLD 法) で作製した水素分離膜型燃料電池 (HMFC) 用の薄膜では、400 ~ 600 °C の中温域で良好な燃料電池特性が得られている⁹⁾。しかしながら、PLD 法による薄膜作製は製造コストが高く大面積化が困難であるなどの問題がある。さらには、膜を形成する基板材料にも、電解質材料との整合性やガス透過性など種々の特性が求められ、固体酸化物燃料電

1) 理工学研究科修士課程材料機能工学専攻 2) 材料機能工学科 * 現リンナイ(株)

1) Master Course of Materials Science and Engineering 2) Department of Materials Science and Engineering *Rinnai Co.

池の空気極材料としては、LaCoO₃、LaMnO₃ の La サイトの一部を Sr で置換したセラミックス基板材が広く用いられている¹¹⁻¹⁴⁾。

本研究では、プロトン伝導体を電解質に用いた燃料電池を安価かつ簡便に製造する方法を確立するため、スクリーン印刷法により La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-α}(LSC) および La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α}(LSM)セラミックス基板の上に SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} 電解質膜を作製した。膜と基板との適合性および試料の熱処理条件が SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} 電解質膜の電気伝導特性におよぼす影響、さらには膜と基板との界面反応について検討した。

2. 実験方法

電解質母材粉末は、一般的な固相反応法により作製した。出発原料となる試薬 SrCO₃、ZrO₂、In₂O₃ に In を添加し、化学量論組成が SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} となるよう秤量した。これらの粉末をジルコニアボール(Φ10 mm, Φ5 mm)、エタノールとともにジルコニア容器に入れ、遊星型ボールミルを用いて 200 rpm で 1 h 混合した。その後、50 °C のホットプレート上で 1 h 乾燥させ、大気中で 1200 °C、5 h の仮焼を行った。仮焼粉末に溶媒としてアセトンを加え、混合時と同様に遊星型ボールミルを用いて 250 rpm、3 h 粉砕した。この粉末を乾燥させた後、#350 のステンレスメッシュに通して二次粒子径を揃え、120 °C の乾燥機で一晩乾燥し電解質粉末を得た。

一方、セラミックス基板も同様に固相反応法により作製した。試薬として La₂O₃、SrCO₃、Co₃O₄、Mn₃O₄ を用いて、組成が La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-α}、La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} となるよう秤量した。この粉末に溶媒としてエタノールを加え、遊星型ボールミルにより 150 rpm で 1 h 混合した。混合粉末を乾燥させた後、大気中 1100 °C で 5 h 仮焼した。仮焼粉末に溶媒としてアセトンを加え、ボールミルにより 200 rpm、1 h の粉砕を行った。これを十分に乾燥させ、#350 のステンレスメッシュで二次粒子径を揃えた後、120 °C の乾燥機で一晩乾燥させた。これらの粉末は、空気極基板がガス透過性を有する多孔質にするため、中空微小球(以下、ビーズ)を重量比で試料：ビーズが 10：1 となるよう混合した。混合粉末を一軸加圧して円柱状ペレットに成型した後に 2 tonf/cm² の静水圧プレス(CIP)を行った。成型した試料を、LSC は大気中 1200 °C、LSM は 1400 °C で 5 h 焼結し、焼結体基板とした。

厚膜はスクリーン印刷法を用いて成膜した。電解質仮焼粉末と有機ビヒクルを混練したペーストを基板上に #200 ステンレススクリーンメッシュを通して塗布し、大気中でオープン乾燥後、1200 ~ 1600 °C で熱処理した。

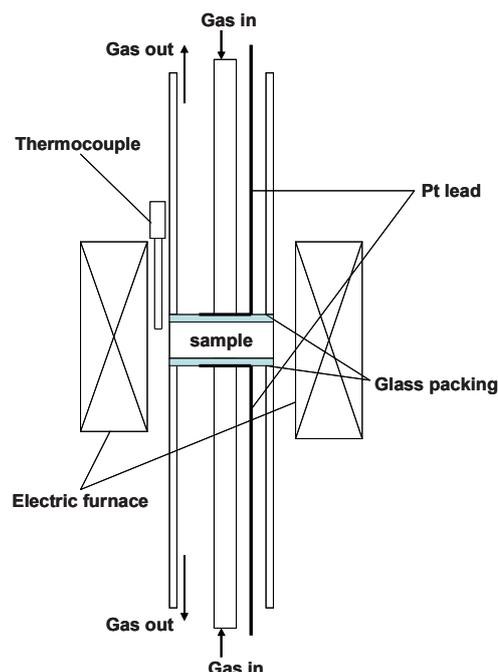


図1 導電率測定装置の模式図

熱処理後の厚膜試料は XRD による結晶相の同定および SEM による微細構造の観察および EDX による組成分析を行った。膜厚は断面 SEM 観察より求めた。また、電気伝導特性の評価は、電極に Pt ペーストを使用し、図1のような装置を構成し、交流二端子による複素インピーダンス法を用いて湿潤 1 % H₂+Ar ガスの雰囲気下において SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} 膜試料の導電率を測定した。

3. 実験結果と考察

予備実験より、In を添加したバルク状 SZO については、湿潤 1 % H₂ 雰囲気中における導電率、イオン輸率、燃料電池特性が報告されている⁸⁾。この報告では、In の添加量が 50mol%程度までは添加量の増大に伴って導電率が向上し、測定温度 900°C において In を 20mol% 添加した試料では導電率が $3.7 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ であるのに対して、50 mol%では $1.8 \times 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$ まで向上する。しかしながら、イオン輸率測定の結果から In-20 mol% の試料では温度によらずプロトン伝導が支配的だが、In-50 mol% の試料では 800 °C において酸素イオン輸率が 40 % 近くまで増加するため、導電率の向上は酸素イオンによる寄与が大きい。これらの結果から、本実験ではプロトン伝導体を電解質として用いた燃料電池の構成を目指すという観点から、広い温度範囲でプロトン伝導が支配的な In-20 mol% 添加した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} を電解質として用いて実験を進めた。

最初に、2 種類のセラミックス基板上に成膜した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3.5} 膜を大気中 1200 ~ 1600°C で熱処理した試料について焼結性の評価を行い、その結果を表 1 に示す。

SLC 基板上に成膜した試料では 1400 °C の焼結において基板材が溶融し、図 2(a) の写真に見られるようにそれ以下の温度では膜が割れて剥離するという結果となった。これは、基板の LSC と SZO の熱膨張係数がそれぞれ 9.69 × 10⁻⁶ K⁻¹ と 23 × 10⁻⁶ K⁻¹ と大きく異なるため、焼成の段階で剥離したものと考えられる。一方、LSM 基板を用いた試料では 1400 °C および 1500 °C の温度で熱処理した場合に良好な焼結体が得られ、試料断面の SEM 観察から電解質膜の厚さは約 30 μm であったが、1600 °C 以上の焼成温度では基板が溶融した。以上の結果より、これ以降の実験は LSM 基板上に成膜した試料について評価を行った。

表 1 電解質膜の焼結性の評価

	焼成温度(°C)			
	1200	1400	1500	1600
LSM 基板	△	○	○	溶融
LSC 基板	×	溶融	—	—

○ : 焼結良好, △ : 焼結不足, × : 剥離,

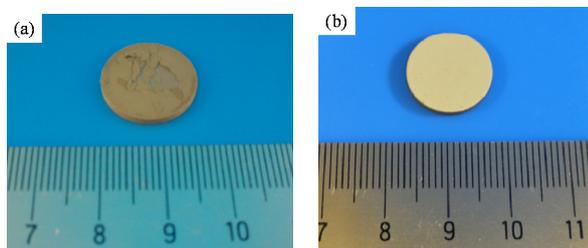


図 2 (a)LSC 基板(b)LSM 基板上に成膜した SZO 膜の写真

図 3 に成膜後 1400 °C および 1500 °C で焼結した試料の XRD パターン、図 4 に 1400 °C で焼結した試料の電解質と基板の界面付近の破断面 SEM 写真を示す。XRD パターンでは、微小な LSM のピークも見られるが主たる回折ピークは SZO のものであり、電解質膜はほぼ SrZr_{0.8}O₃ の単相からなっている。

これらの試料について、電解質と基板の界面の SEM 観察を行ったが、図 4 に見られるように電解質が多孔質であるため、また、接合面積が小さく界面反応層の有無を明確に判断できなかった。接合面での界面反応および反応生成物を確認するため、SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3.5} と La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} のペレットを CIP により圧着させ熱処理

を行った。この試料の界面付近の破断面 SEM 写真を図

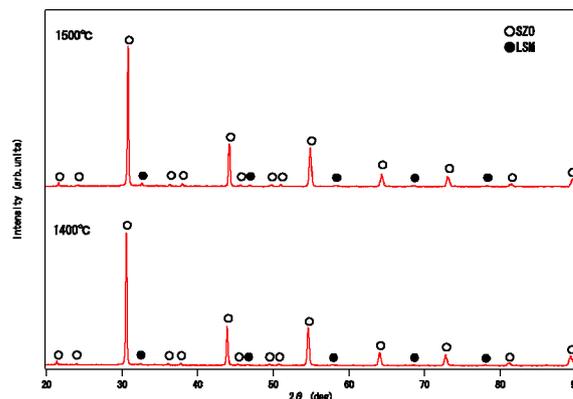


図 3 異なる温度で焼成した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3.5} 厚膜の XRD パターン

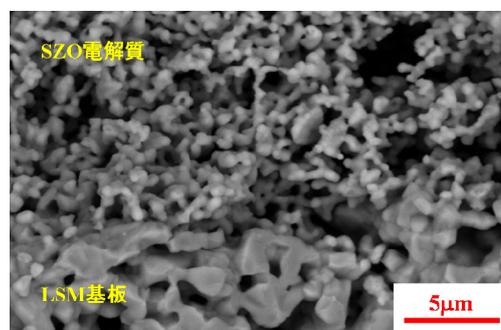


図 4 SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3.5}/La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} 界面近傍の破断面 SEM 写真

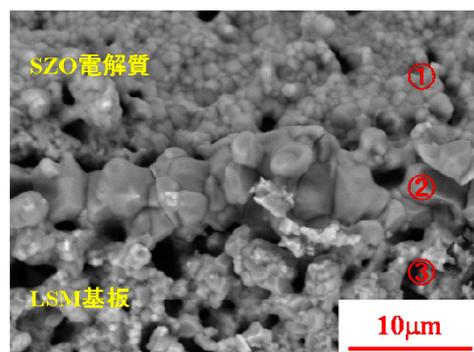


図 5 SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3.5} と La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} を圧着させた試料の界面近傍の破断面 SEM 写真

表 2 SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3.5}/La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} 界面近傍の EDX 分析結果 at%

領域	Mn	Sr	Zr	In	La
①	8.5	48.1	37.4	4.5	1.4
②	38.2	37.3	8.7	2.0	13.7
③	46.6	23.9	4.8	0.8	23.9

5 に、図中の番号に対応した領域の EDX 分析結果を表 2 に示す。これらの結果より、界面においては SZO および LSM と組成の異なる反応物が生成しており、反応生成物は Mn と Sr を多く含むものであることが確認された。

Tolchard らによれば、BaZrO₃ 膜を LSM 基板上に作製した場合は、界面での反応により La₂Zr₂O₇ が生成することが報告されているが¹¹⁾、この化合物に相当する XRD ピークは得られていない。また、空気極材料 La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_{3- α} と酸素イオン伝導体である YSZ の界面では、1250°C 以上で空気極側の La と Mn が YSZ 側に拡散するという報告があり¹⁴⁾、今回の実験でも La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3- α} 基板から SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3- δ} 厚膜へイオンが拡散し反応生成物を形成したと推測される。この界面反応によって SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3- δ} と La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3- α} の間の付着が良好になると考えられる。

次に、1400°C および 1500°C で焼成した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3- δ} バルクと厚膜試料の導電率測定の結果を図 6 に示す。測定は湿潤 1% 水素雰囲気中で 500~900°C の温度範囲で行った。焼結温度の上昇に伴い導電率はいずれの試料も増大しているが、バルクと厚膜を比較すると、バルク試料の導電率は一桁程度高い値となっている。最も高い導電率は測定温度 900°C において 1500°C で焼結した厚膜試料で $2.1 \times 10^{-4} \text{ Scm}^{-1}$ であり、1500°C 焼結バルク試料では $3.7 \times 10^{-3} \text{ Scm}^{-1}$ であった。

図 7 に 1500°C 焼結のバルクおよび厚膜試料の SEM 写真を示す。その写真から、バルク試料では粒成長が進み緻密な焼結体となっているのに対して、厚膜試料では空隙が多く密度が低い。この原因としては、以下のような理由が挙げられる。①バルク試料は一軸加圧の後に 2 tonf/cm² で CIP を行っているが、厚膜試料では成膜後の加圧はなく、またインクを作るための溶媒が蒸発した部分にも空孔ができる可能性がある。②表 3 に示した EDX の分析結果から、焼結後では膜の表面から In が蒸発し、その量が著しく低下していることが分かる。In を添加した SZO バルク体の場合、In の添加量の増大に伴い焼結性が向上することが報告されている⁸⁾。これは、熱処理の間に生成した低融点の SrIn₂O₄ が液相状態となり、試料全体に広がることで SZO の結晶粒成長を促進すると考えられる。今回の実験では焼結時に膜表面から In が蒸発し、In 量の減少が SZO の焼結性を低下させた一因と思われる。さらに EDX による元素分析の結果から、基板の成分である Mn と La の電解質膜への拡散が確認された。Mn や La が SZO のドーパントとなる場合、SZO のドーパントのイオン半径と導電率の関係から、In を添加した場合よりも導電率は低下することが Yajima らの報告で述べられている⁶⁾。このことも厚膜試料の導電率低下の

原因であると考えられる。このように、いくつかの理由により、厚膜試料では焼結が十分に進まず、粒子間の結合性が悪いことが導電率の低下につながったものと考えられる。

また、図 6 に見られるように、バルクと厚膜試料とでは導電率の温度依存性の傾向が異なっているが、これは厚膜試料では電解質と基板を含めた試料全体を測定しているため、測定温度の上昇により La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3- α} の酸素イオン伝導が付加されたことによるものと推測される。

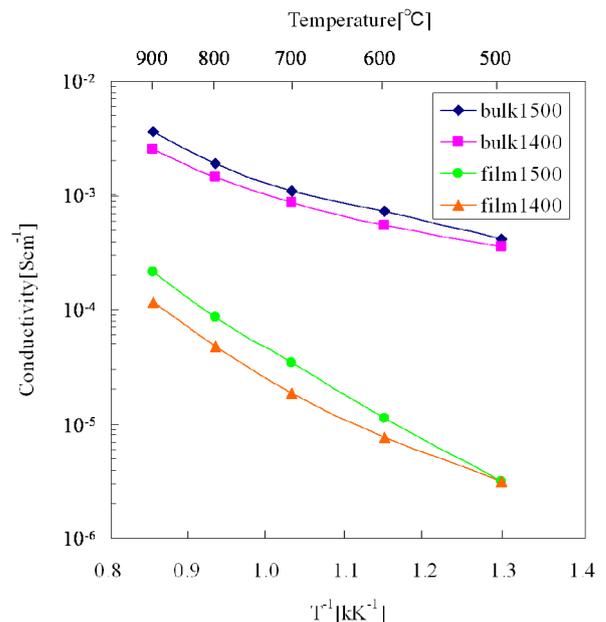


図 6 異なる温度で焼結した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3- δ} バルクおよび厚膜の導電率と温度の関係

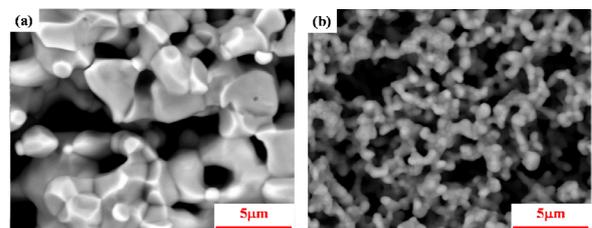


図 7 1500°C で焼結した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3- δ} (a)バルクおよび (b)厚膜の破断面 SEM 写真

表 3 焼結前と 1500°C で焼結した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3- δ} 膜の表面 EDX 分析結果

	Mn	Sr	Zr	In	La
焼結前	0.0	49.5	41.7	8.7	0.1
焼結後	1.3	48.8	48.3	1.2	0.3

4. まとめ

スクリーン印刷法により、La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-α} および La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} 基板上に SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} を成膜し、膜試料の焼結性および電気的特性について調べた結果、以下の結論を得た。

LSC 基板を用いた場合は、焼成後の電解質膜は基板と SZO の熱膨張係数の大きな差異により、電解質膜は基板から剥離した。一方、LSM 基板を用いて成膜した SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} 電解質膜の厚さは約 30μm であり、焼成後の膜表面は SZO の単相であることが確認された。La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_{3-α} と SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} の界面では Mn と Sr を主とする反応生成物が出来ており、これにより良好な付着が得られた。この膜試料の導電率は、500~900°C の測定温度範囲で 10⁻⁶~10⁻⁴ Scm⁻¹ が得られ、900°C における導電率は、1500°C 焼結試料で 2.1×10⁻⁴ Scm⁻¹、1400°C 焼結試料では 1.2×10⁻⁴ Scm⁻¹ であった。SrZr_{0.8}In_{0.2}O_{3-δ} 厚膜の表面 EDX 分析結果から、出発組成に比較して焼結後は電解質膜内の In の量は著しく減少し、基板の成分である Mn および La の電解質膜への拡散が確認された。

参考文献

- 1) 岩原弘育: マテリアルインテグレーション, 18 No.7 (2005) 2-4.
- 2) 岩原弘育:セラミックス, 40, No.2 (2005) 62-76.
- 3) 松本広重: まてりあ, 第 44 巻, 第 3 号, (2005) 226-232.
- 4) H. Iwahara, T. Shimura, H. Matsumoto: Electrochemistry, 68, No.3 (2000) 154-161.
- 5) H. Iwahara, T. Yajima, T. Hibino, K. Ozaki, H. Suzuki: Solid State Ionics, 61 (1993) 65-69.
- 6) T. Yajima, H. Suzuki, T. Yogo, H. Iwahara Solid State Ionics, 51 (1992) 101-107.
- 7) T. Schober: Solid State Ionics, 145 (2001) 319-324.
- 8) 富本佳佑 片平幸司 坂えり子 松岡是治: 名城大学総合研究所紀要, 第 12 号 (2007) 173-180.
- 9) N. Ito, M. Iijima, K. Kimura, S. Iguchi: Journal of Power Source, 152 (2005) 200-203.
- 10) T.H. Lee, S.E. Dorris, U. Balachandran: Solid State Ionics, 176 (2005) 1479-1484.
- 11) J.R. Tolchard, T. Grande, Solid State Ionics, 178 (2007) 593-599.
- 12) N. Gunasekaran, N. Bakshi, C.B. Alcock, J.J. Carberry: Solid State Ionics, 83 (1996) 145-150.

- 13) T. Yao, Y. Uchimoto, T. Sugiyama, Y. Nagai: Solid State Ionics, 135 (2000) 359-364.
- 14) G.J. Li, Z.R. Sun, H. Zhao, C.H. Chen, R.M. Ren: Ceramics International 33 (2007) 1503-1507.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

圧縮ベントナイト緩衝材の損傷実験

元山泰久¹⁾ 平手寿大¹⁾ 小高猛司²⁾

Damage tests for compacted bentonite buffer material

Yasuhisa MOTOYAMA¹⁾, Toshio HIRATE¹⁾, Takeshi KODAKA²⁾

Abstract

Compacted bentonite is planned for use as a buffer material in the geological disposal of the high-level radioactive waste. The buffer material is required a sealing performance against a leakage of ground water contaminated by radioactivity. In the present paper, density changes of damaged compacted bentonite due to shear failure are studied. A series of constant volume direct shear tests was performed to observe the failure behavior of both unsaturated and saturated compacted bentonite. Various values of dry density and bentonite-silica sand mixing ratio were adopted for the shear test specimens. In the case of unsaturation, the angle of shear resistance increases with containing of the silica sand. In the saturation case, the dry density of the specimen increases the angle of shear resistance. The insides of sheared specimens were observed with a micro-focus X-ray CT scanner in order to evaluate the performance as the buffer materials. According to the results of the X-ray CT observation, no shear bands or cracks were generated in the center of the saturated specimen, and no density change was also confirmed. Furthermore, the results of numerical simulation for the direct shear test showed the similar tendency of X-ray CT observations.

1. はじめに

我が国では、原子力発電で使用済みの燃料を有効利用の観点から再処理し、再利用することを方針としている。しかし、再処理によりウランやプルトニウムを回収した後には高い放射能を持った廃液（以下、高レベル放射性廃棄物と呼ぶ）が発生する。我が国では、高レベル放射性廃棄物を長期間に渡って化学的および物理的に安定した地下深部の地層中に処分することを決めている。地層処分における基本的な考えは、1999年に、旧核燃料サイクル開発機構（現：日本原子力研究開発機構）が公表した「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—」において、わが国における最終処分場の基本設計の概念を示している¹⁾。

人工バリアに用いられる緩衝材の力学的役割には、オーバーパックを支持するだけでなく、周辺岩盤のクリープ変形による応力の緩衝性能や核種移行を抑止する機能などが必要であり、その候補材料に高圧で圧縮されたベントナイトが有効視されている。珪砂を混合することにより、熱伝導性や透気性など、性能を向上させるだけで

なく、現場における施工性や経済性にも有利な方向になるため、珪砂を混合した材料においても検討されている。現場施工時では不飽和状態であるが、長い時間が経過するうちに、地下深部に存在する地下水が高レベル放射性廃棄物最終処分場を覆う状態（以下、再冠水と呼ぶ）になる。再冠水に伴い、ベントナイト自身の膨潤による緩衝材内の圧力の上昇、オーバーパックの腐食膨張など、周囲の環境が変化すると考えられている。

研究の目的は、急激な地殻変動や周辺岩盤のクリープ破壊により、現場施工後の最終処分場が損壊し、緩衝材も損傷を受けた場合を想定し、緩衝材の基本性能の維持について検討することである^{2),3)}。本論文では不飽和および飽和圧縮ベントナイト供試体において、各種の供試体条件がせん断特性に及ぼす影響を検討する。具体的には、高拘束圧一面せん断試験を実施し、圧縮ベントナイト混合体における供試体密度と珪砂混合率が強度特性に及ぼす影響を検討する。さらに、一面せん断試験時に CCD マイクロスコープにより、せん断中の破壊挙動を供試体表面から PIV 画像解析によって観察を行うとともに、せん断後の供試体に対して、マイクロフォーカス X 線 CT を用いて、表面上では観察できない損傷を受けた緩衝材の内部構造変化を詳細に観察する。

1) 大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 2) 建設システム工学科

1) Master Course of Civil Engineering 2) Department of Civil Engineering

2. 不飽和供試体の一面せん断試験

最終処分場で処理した後も緩衝材は数十年から百年の間、不飽和状態であると考えられ、不飽和状態の圧縮ベントナイトにおける強度特性を把握することは重要である。しかし、不飽和三軸試験は難しいために、ほとんど実施されておらず、不飽和状態のベントナイトの変形・強度特性はほとんど解明されていないのが実情である。また、先述の地層処分研究開発第2次取りまとめにおいて、緩衝材の設計をする場合に考慮すべき要件が示されている¹⁾。その中で、現場締め固め方式や機械成型加工方式の両方に求められる機能を満足する緩衝材仕様（珪砂混合率、乾燥密度）の最適化が図られている。

本章では、珪砂混合率および乾燥密度が不飽和圧縮ベントナイトの力学特性に及ぼす影響について検討するとともに、せん断帯の生成・発達について観察した。

2.1 供試体作製方法および試験方法

供試体試料には、ベントナイト（クニミネ工業(株)製 Na 型ベントナイト・クニゲル V1）に三河珪砂 6 号を乾燥質量比 30%混合したものを用いる。ベントナイトの含水比は 10%で、珪砂の含水比は 0%である。圧縮成型時の乾燥密度が 1.55, 1.65, 1.70, 1.75 Mg/m³になるようにそれぞれの質量を決定し、よく攪拌させ、高拘束圧一面せん断試験機内で圧縮成型し、供試体を作製する。また乾燥密度 1.55 Mg/m³においては、珪砂混合率を 40%および 50%に増加した供試体も作製した。緩衝材は高压で圧縮成型され、かつ硬質であるために、せん断試験機も高压性能が必要である。そのため、本研究では Photo 1 に示す高拘束圧一面せん断試験機を使用する。荷重機構には、メガトルクモータを採用しており、垂直および水平方向の荷重容量はそれぞれ 15 MPa と 12.5 MPa である。ひずみ速度は垂直、水平ともに 0.001mm/min~1.0mm/min の範囲で可変である。垂直荷重計測用のロードセルは、加圧盤側に付けると、せん断に伴う供試体の体積膨張により発生するせん断箱内部との摩擦力を計測できないので、荷重軸とは反対側のせん断箱の下部に設置している。

供試体寸法は、せん断帯を長手方向に観察するために、50mm×50mm の正方形断面、厚さ 40mm の矩形供試体を基準とした。せん断箱前面に硬質のアクリル板を取り付けることで、せん断帯の観察を容易とした。せん断は、上部せん断箱を高剛性ボルトで連結固定させ、下部せん断箱を水平移動させることで実施している。またメガトルクモータを任意の高さで固定することができるため、定体積条件で一面せん断試験を実施することが可能である。本論文では、圧縮成型時の垂直荷重を加圧したまま

せん断する供試体（以下、正規圧密供試体と呼ぶ）と圧縮成型時の垂直荷重を 0MPa まで除荷してせん断する供試体（以下、過圧密供試体と呼ぶ）の 2 種類の供試体を用いて、ひずみ速度 0.4mm/min で水平変位 6.0mm まで定体積条件で一面せん断試験を実施した。

せん断帯の生成・発達過程を観察するために、せん断箱前方に CCD マイクロスコープを設置し、デジタル画像を撮影する。せん断箱前面に設置している硬質アクリル板を通して、せん断箱のエッジ部分から伝播してくるせん断帯を観察できるように、Photo 2 に示す枠線で囲った箇所をせん断終了まで撮影する。撮影した画像より PIV（Particle Image Velocimetry：粒子画像流速測定法）画像解析をすることにより、速度ベクトルを計測する。また、せん断終了後の供試体を取り出し、マイクロフォーカス X 線 CT 装置 KYOTO-GEOμXCT（東芝製 TOSCANER-3 2250μHDK）を用いて、供試体内部の観察を行った。

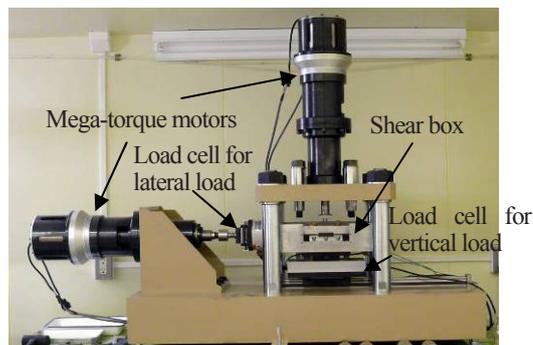


Photo 1 High pressure direct shear apparatus.

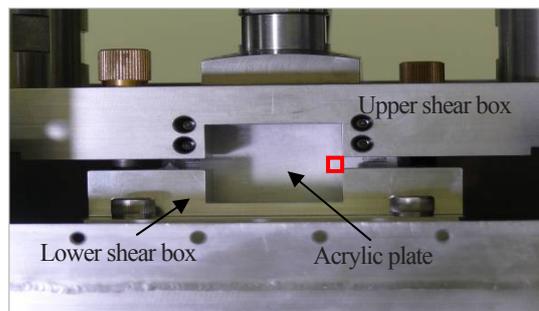


Photo 2 Enlarged image of direct shear apparatus.

2.2 不飽和供試体の一面せん断試験結果

Fig.1 に珪砂混合率を 30%に限定して、供試体の乾燥密度を 1.55, 1.65, 1.70, 1.75 Mg/m³に変えて実施した試験結果を示す。凡例の数字は乾燥密度を示しており、正規圧密供試体には N、過圧密供試体には O を記す。Fig.1(a) のせん断応力～変位関係を見ると、正規圧密供試体ではせん断初期に急激にせん断応力が増加し、水平変位 1.5mm 付近で最大せん断応力に達して、その後減少している。乾燥密度が高いほど、最大せん断応力が大きく、その後の減少幅が大きくなっている。一方、過圧密供試

体は、せん断初期に緩やかにせん断応力が増加し、水平変位 2.0mm 付近で一定もしくはわずかな減少となり、明確なピークは確認できない。次に Fig.1(b)の応力経路を見ると、正規圧密供試体では乾燥密度が高くなるほど供試体の圧縮成型時に高い垂直応力を要するため、初期の垂直応力に違いが見られる。しかしながら、各乾燥密度においてせん断が進むにつれて、負のダイレイタンスの発現により、塑性圧縮を伴うひずみ軟化の挙動を示している。原点と各々の乾燥密度の最大せん断応力を直線で結ぶことでせん断抵抗角を求めると、 $\phi' = 33^\circ$ となり、乾燥密度による有意な差は生じなかった。過去に実施されている緩衝材の飽和三軸試験における内部摩擦角 $\phi' = 16.6^\circ$ よりも大きい値を示している。一方、過圧密供試体では正のダイレイタンスにより、せん断応力が増加するとともに垂直応力も増加する挙動を示している。

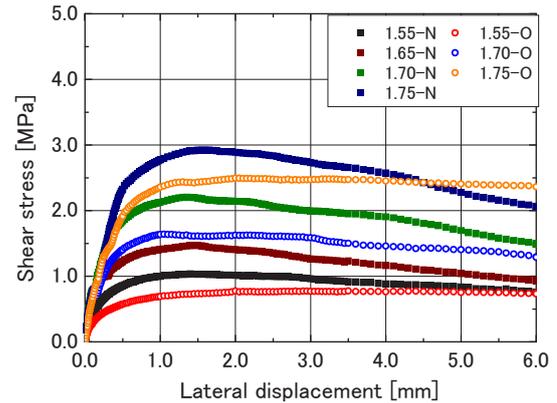
Fig.2 には供試体の乾燥密度 1.55 Mg/m^3 において、珪砂混合率を種々に変えて実施した試験結果を示す。凡例は、正規圧密供試体にはN、過圧密供試体にはOを記し、数字は珪砂混合率を示している。Fig.2(a)のせん断応力～変位関係を見ると、正規圧密供試体では珪砂混合率が高くなるほど最大せん断応力が小さくなっている。過圧密供試体の O-40%および O-50%においては、せん断初期に急激に増加したせん断応力がわずかに減少した後、再び増加する挙動を示している。Fig.2(b)の応力経路を見ると、正規圧密供試体においては、珪砂混合率が高くなるほど、高圧を要する要因となる粉末状のベントナイトの割合が少ないために、初期の垂直応力は小さくなっている。せん断抵抗角を求めると正規圧密供試体 N-40%および N-50%では N-30%よりも大きく $\phi' = 37^\circ$ となり、珪砂混合率が高くなるとせん断抵抗角が大きくなることを示している。

2.3 PIV 画像解析によるせん断帯の観察

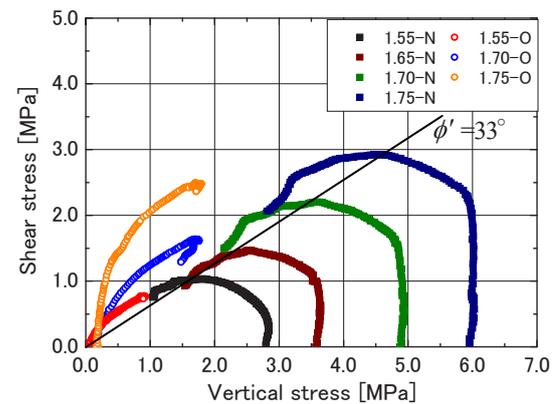
一面せん断試験中のせん断帯の生成・発達を観察を行った。2.2節で示した Fig.1 の乾燥密度 1.70 Mg/m^3 の正規圧密供試体および過圧密供試体の一面せん断試験中に撮影した写真に速度ベクトル分布を重ねたものを示す。

デジタル画像の 15 ピクセル四方を 1 要素として、縦 31 要素×横 40 要素の計 1240 要素で写真全領域をカバーしており、1 ピクセルあたりの実際の長さは約 0.01mm となっている。ベクトルの速度の色表示に、最大値 $10\mu\text{m/s}$ を赤色、最小値に $0\mu\text{m/s}$ を青色で評価した。

Fig.3(a)の正規圧密供試体の速度ベクトルを見ると、水平変位 1.5mm で斜めの亀裂が発生し、変位が進むにつれて小さな亀裂を伴い、速度ベクトルの領域を拡大している。せん断初期に斜めに入った亀裂は徐々に水平に近づ

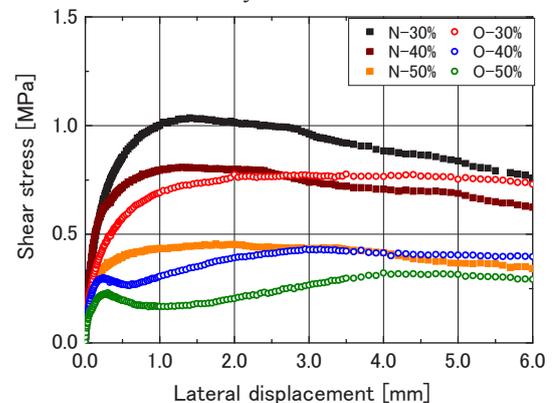


(a) Shear stress – lateral displacement relations

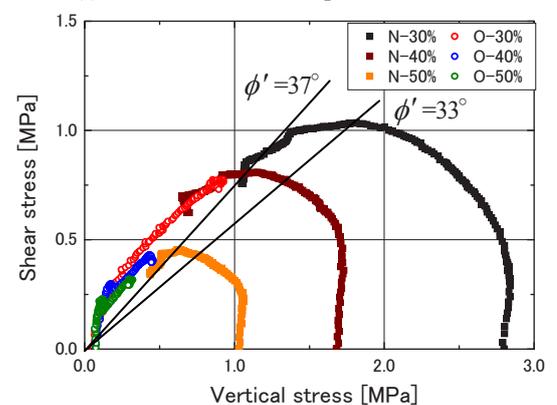


(b) Stress paths

Fig.1 Shear test results for unsaturated specimens with various dry densities.



(a) Shear stress – lateral displacement relations.



(b) Stress paths

Fig.2 Shear test results for unsaturated specimens with various mixing rate of silica sand.

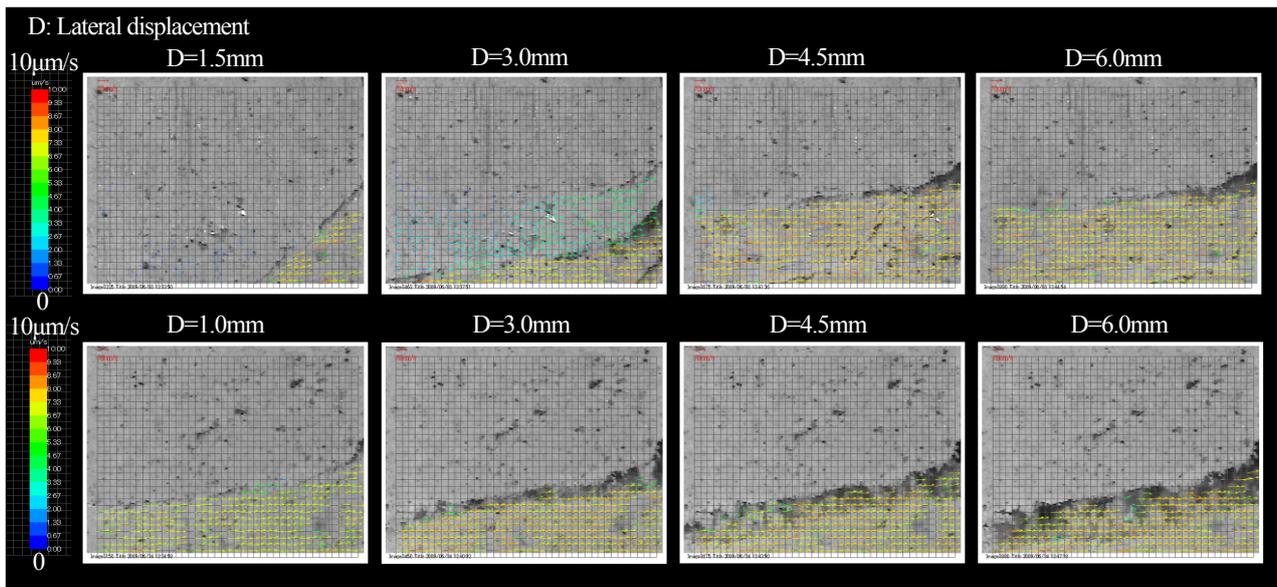


Fig.3 velocity vector;(a) normally consolidated specimen, (b) overconsolidated specimen.

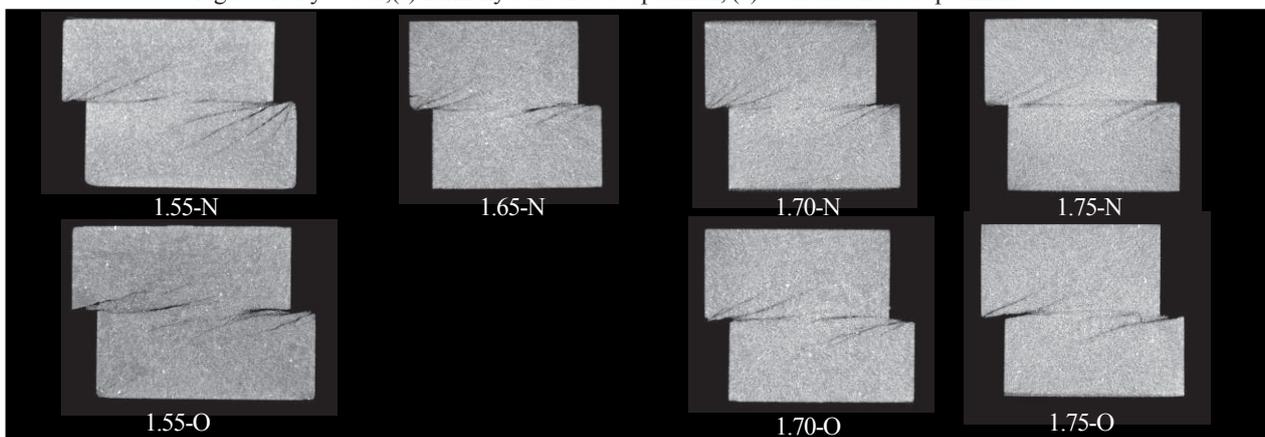


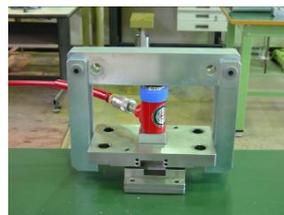
Fig.4 CT images of unsaturated specimens.

く。次に Fig.3(b)の過圧密供試体の速度ベクトルを見ると、早い段階の水平変位 1.0mm で観察領域全体に水平な亀裂が生じ、この亀裂より下側の領域が右方向に移動している。また、正規圧密供試体とは異なり、初期に発生した水平な亀裂はそのまま観察できる。その下側の領域がせん断に伴いゆっくりと移動し続けていることがわかる。また、下側領域の移動に伴い、亀裂の開口部が大きくなっている。

2.4 X線CTによる供試体内部の観察

前節では、PIV 画像解析による結果から、供試体表面上におけるせん断帯の生成・発達の観察を行ったので、本節では、供試体の内部構造変化について観察する。

Photo 3 にせん断終了後に供試体を取り出す手順を示す。せん断箱ごと供試体を一面せん断試験機本体より取り出し、専用の器具を取り付け、油圧ジャッキを用いて、せん断箱から供試体を取り出す。一面せん断試験によって損傷を受けた供試体は脆性的であるため、すべて



(a) Removing the upper shear box



(b) Taking out of the upper shear box



(c) Removing the lower shear box



(d) Specimen taken out of the shear boxes

Photo 3 Shear boxes removal procedure

の工程を慎重に行う。取り出した供試体は含水比が変化しないように、真空パックし、京都大学に搬入し、X線CT撮影を行った。

Fig.4に正規圧密供試体および過圧密供試体のX線CT

撮影結果を示す。供試体名は Fig.1 で用いたものと同様である。供試体のほぼ中央を撮影しており、X線の透過量が多いほど黒くなり、低密度領域を示している。正規圧密供試体および過圧密供試体ともにせん断箱端部から供試体内部に向かって、斜めの亀裂が発生していることが確認できるが、供試体中心部では連続した水平な亀裂は確認できない。また、正規圧密供試体と過圧密供試体のX線CT結果が類似しているのは、Fig.1 で示した結果における残留応力が近い値だからである。しかしながら、高密度供試体である 1.75N および 1.75O については、中心部でうっすらと連続した低密度領域が確認できる。

3. 飽和供試体の一面せん断試験

3.1 飽和供試体作製方法

本試験では飽和供試体作製用モールドを用いて飽和供試体を作製する方法を基本としているが、その作製過程は、最終処分場での緩衝材の状態を模擬していないことが懸念されるため、本論文では一面せん断試験機内で圧縮成型し飽和させ供試体を作製する方法も用いた。

3.1.1 飽和モールドを用いた供試体作製方法

Fig.5 に飽和モールドの概略図を示す。不飽和供試体を作製する際と同様に、ベントナイト供試体の試料を混合し、飽和モールドの一部である内径 80mm、高さ 20mm の高剛性圧縮リングに詰め、油圧ジャッキにより、リング高さまで圧縮する。圧縮リングごと供試体を飽和モールドにセットし、上部载荷ピストンを設置した後に、剛なフレームによって、軸変位を固定する。供試体の上下にはポーラスメタルがあり、吸水が可能となっている。アクリル円筒内に蒸留水を入れ、浸潤飽和させるが、浸潤初期は片面注水で供試体内の空気の逃げ道を確保しながら実施し、その後両面注水させる。その際に、ロードセルにより膨潤圧を計測し、膨潤圧がある程度一定になった時を飽和の目安とした。今回の試験ケースでは1ヶ月および3ヶ月浸水飽和した。飽和後、モールドを解体し、供試体を取り出す。専用のガイドカッターを用いて、50mm×50mm×20mm 厚の矩形供試体に成型し、飽和時に計測した膨潤圧と同等の垂直荷重を作用させた後、一面せん断試験を実施した。

3.1.2 一面せん断試験機を用いた供試体作製方法

不飽和供試体を作製する際と同様に、配合した試料をせん断箱に入れ、高拘束圧一面せん断試験機により圧縮成型し、不飽和供試体を作製する。供試体寸法は飽和モールドと同様の 50mm×50mm×20mm 厚とした。本論文

では正規圧密供試体と過圧密供試体の2種類の供試体を飽和させた。Fig.6 に試験機中心部の概略図を示す。供試体上下にポーラスメタルがあり、吸水が可能となっている。浸潤初期は上下せん断箱間まで蒸留水を入れて、空気の逃げ道を確保しながら実施し、その後、せん断箱上

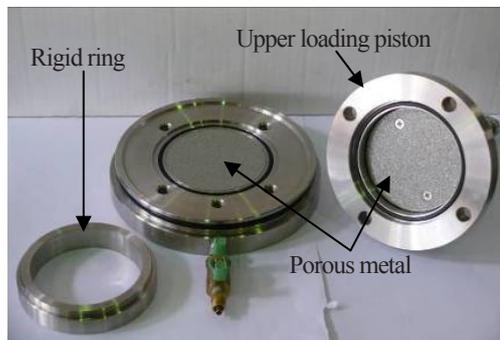


Photo 4 Saturation mold.

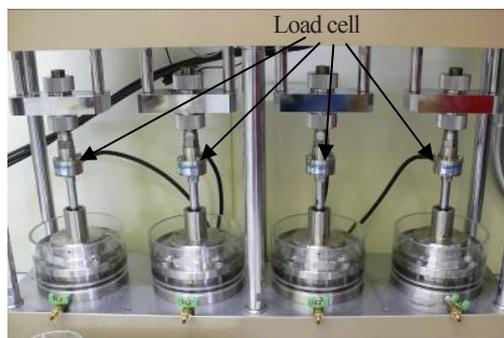


Photo 5 Loading frame.

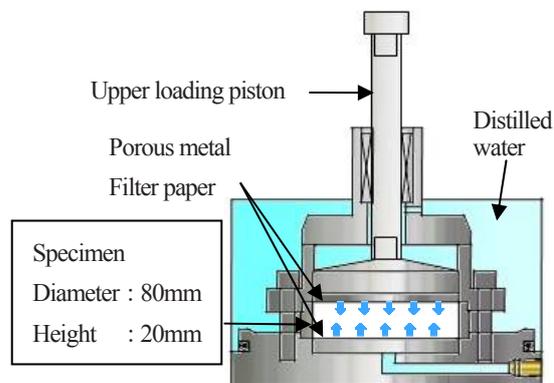


Fig.5 Schematic view of saturation mold.

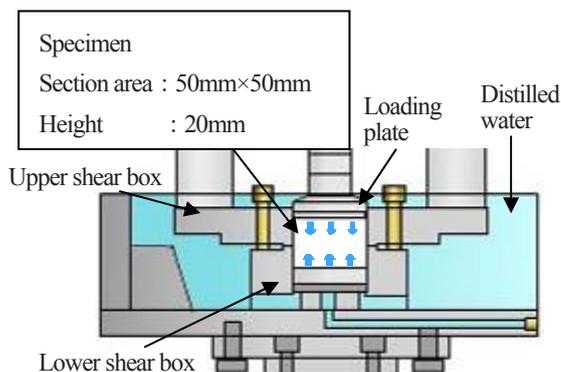


Fig.6 Schematic view of enlarged image of direct shear apparatus.

部まで入れて最終的な飽和化を約1ヶ月間行った。その際、飽和過程の膨潤圧をせん断箱下部に設置されたロードセルにより計測した。最終的な膨潤圧は正規圧密供試体、過圧密供試体いずれも同様な値を示した。飽和後、蒸留水を排水し、一面せん断試験を実施した。

3.2 飽和供試体の一面せん断試験結果

Fig.7に飽和モールドで作製した供試体の乾燥密度1.55, 1.60, 1.70, 1.75, 1.80 Mg/m³の一面せん断試験結果を示す。凡例は乾燥密度を示している。また、各供試体とも飽和過程時に測定した膨潤圧と同等の垂直応力を加圧した状態でせん断を行った。

Fig.7(a)に示すせん断応力～変位関係を見ると、せん断開始時より急激にせん断応力が上昇し、ピークに達すると、緩やかにひずみ軟化する挙動を示している。また、乾燥密度が高くなるほど、最大せん断応力が大きく、ピーク後の減少幅が大きいことがわかる。Fig.7(b)に示す応力経路を見ると、せん断開始時よりせん断応力が上昇し、負のダイレイタンスにより供試体体積を収縮するとともに垂直応力が減少している。不飽和供試体と同様にせん断抵抗角を求めると、1.55, 1.60および1.70では $\phi' = 18^\circ$ 、1.75および1.80では $\phi' = 20^\circ$ となり、乾燥密度が高くなるにつれて、せん断抵抗角が高くなる傾向が見られる。また緩衝材の飽和三軸試験⁴⁾から得られた内部摩擦角 $\phi' = 16.6^\circ$ と比較すると近い値であるが、2.2節に示した不飽和供試体のせん断抵抗角と比較すると小さい値である。

Fig.8に乾燥密度を1.60 Mg/m³に限定し、試験機内で飽和させた供試体の一面せん断試験結果を示す。なお、飽和モールド内で作製した供試体の試験結果も比較のため掲載した。凡例において試験機内で飽和させた供試体の頭にはSをつけ、浸潤させる前の供試体の状態が正規圧密の場合をN、過圧密の場合をOとした。

Fig.8(a)に示すせん断応力～変位関係を見ると、試験機内で飽和させた供試体の方がピークに達する水平変位が若干小さく、最大せん断応力に大きな差が見られ、ピーク後のせん断応力の減少幅が大きいことがわかる。

Fig.8(b)に示す応力経路を見ると、膨潤圧の違いのために初期垂直応力に差が見られ、モールド内と試験機内で飽和させた供試体とはせん断開始時の立ち上がりに違いが生じている。これはせん断開始前に、上下せん断箱間隔を空けるために上部せん断箱を引き上げた際に、供試体とせん断箱壁面の間の摩擦力により、供試体に負荷していた垂直応力が減少したために、供試体が過圧密挙動を示したと考えている。ただし、試験機内で作製した供試体のせん断抵抗角は、飽和モールドで作製した供試

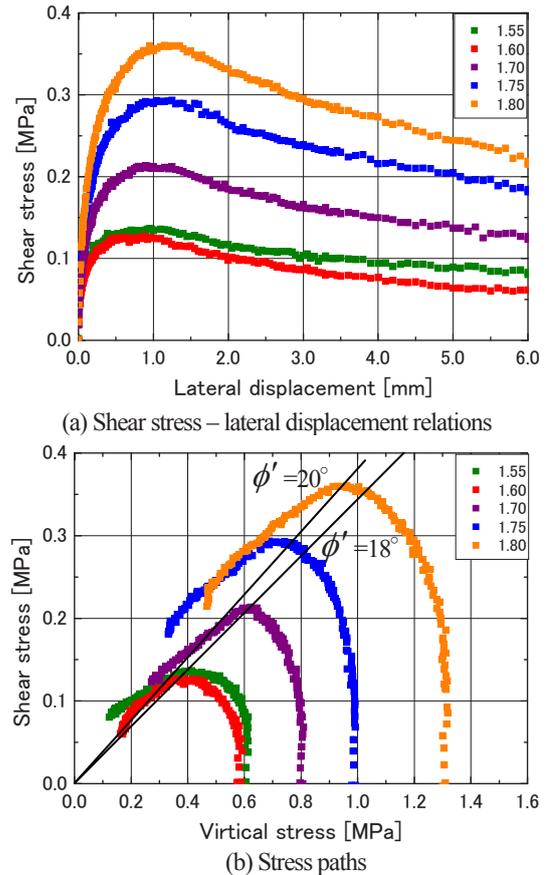


Fig.7 Shear test results for saturated specimens with various dry densities.

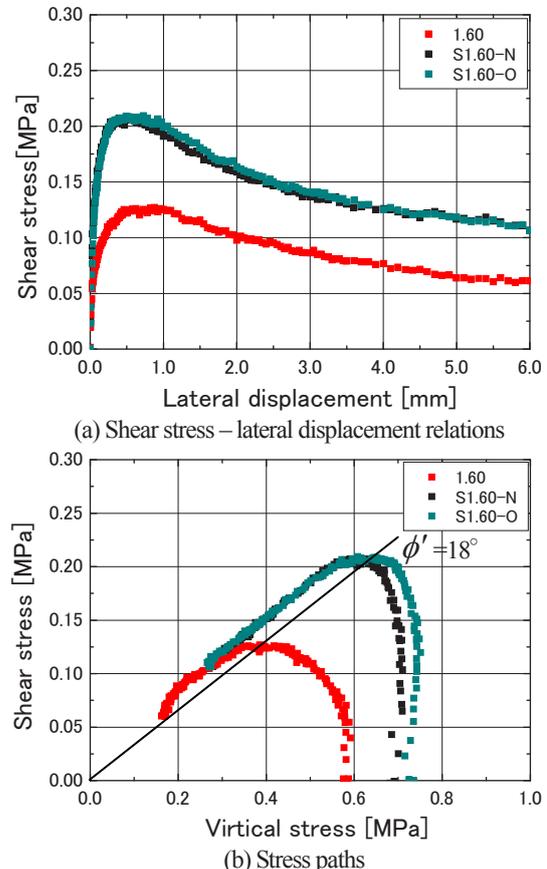


Fig.8 Shear test results for saturated specimens comparing with two preparing methods.

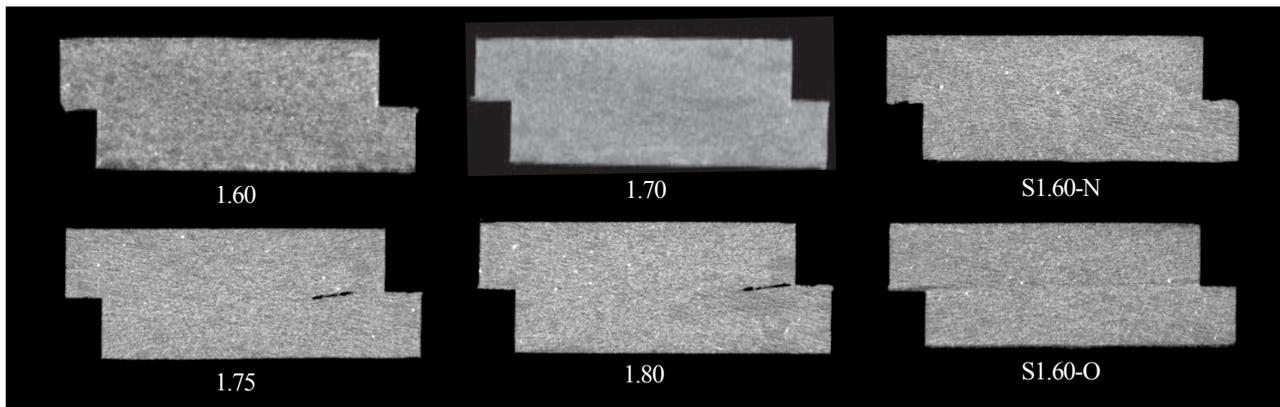


Fig.9 CT images of saturated specimens.

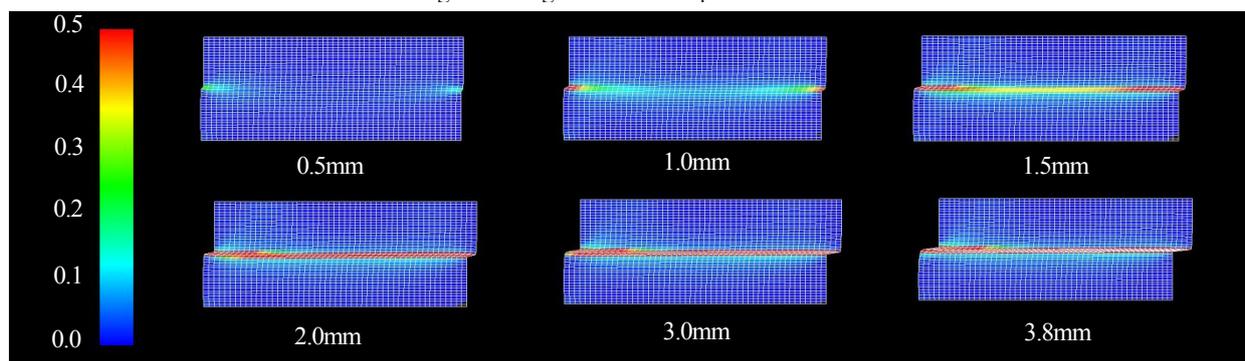


Fig.10 Simulation of direct shear test (shear strain).

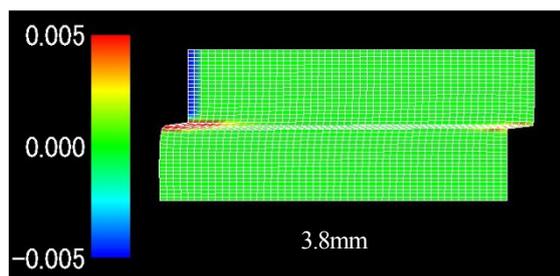


Fig.11 Specific volume.

体のせん断抵抗角と同じ $\phi' = 18^\circ$ となり、作製方法による違いは生じなかった。

3.3 X線CTによる供試体内部の観察

不飽和供試体と同様に、飽和供試体でも供試体内部の構造変化を観察した結果を Fig.9 に示す。供試体名は、Fig.7 および Fig.8 で用いたものと同じである。全体的に密度のばらつきが見られるが、特に 1.75 および 1.80 では上下せん断箱間の端部より左斜め下に向かって明確な亀裂が生じているのが確認できる。S1.60-O においては、上下せん断箱境界の両端部から供試体内部に向かう水平な低密度領域が見られ、内部に行くほど、不明確になっている。

飽和供試体による一面せん断試験について、2 次元平面ひずみ条件下でシミュレーションを実施することで、供試体内に発生するせん断帯近傍の密度構成について調べた⁹⁾。解析には GEOASIA を用い、SYS カムクレイモ

デルの基本的なパラメータは、日本原子力研究開発機構 (JAEA) の緩衝材の基本特性データベースで一般公開されているベントナイト珪砂混合供試体の一次元圧密試験および非排水三軸試験の結果より設定した⁴⁾。それ以外の弾塑性パラメータは、初期有効拘束圧 0.9 MPa における実験結果を説明するように設定した。シミュレーションにおける供試体寸法は前述の飽和供試体の試験と同様にした。要素数は横 50 要素×縦 40 要素の合計 2000 要素である。境界は、下部せん断箱と接する部分は固定境界とし、上部せん断箱と接する部分は唐変位境界とした。せん断は、上部せん断箱を右方向に強制変位させた。

Fig.10 に一面せん断試験の数値シミュレーション結果におけるせん断ひずみ分布を示す。水平変位 0.5mm から 3.8mm まで示したものである。上下せん断箱間の両端から発生したせん断ひずみの集中領域が水平変位 1.0mm を超えるあたりで明確に水平につながり、せん断帯を形成している。S1.60-O で生じた低密度領域と類似するものをシミュレーションでも生じている。Fig.11 は比体積変化の分布であり、圧縮を青、膨張を赤とする。せん断帯の両端には、応力解放ならびに引張ひずみの発生によって膨張する領域が発生しているが、試験時に亀裂が発生する場所と調和している。これは、今回の亀裂がせん断箱の端部という特殊な境界条件下で発生していることを示している。なお、解析でも試験でも供試体の中心部では低密度領域は見られない。

4. 結論

本論文において、各種供試体条件における不飽和および飽和圧縮ベントナイトの高拘束圧一面せん断試験を実施した結果、以下のような知見が得られた。

- (1) 乾燥密度が異なる不飽和圧縮ベントナイトにおいて、正規圧密供試体ではピーク後に負のダイレイタンスの発現により塑性圧縮を伴うひずみ軟化挙動を示している。乾燥密度が変化しても、せん断抵抗角に有意な差は生じなかった。
- (2) 珪砂混合率の異なる不飽和圧縮ベントナイトにおいて、正規圧密供試体では、珪砂混合率が高くなるほど、せん断抵抗角は大きい値を示した。
- (3) 不飽和条件下の正規圧密および過圧密供試体における PIV 解析よりせん断に伴う亀裂を観察することができた。過圧密供試体では、せん断が進むにつれて、下部領域で亀裂が大きくなることが示された。
- (4) せん断後の不飽和供試体において、X 線 CT を用いて、供試体内部を観察した結果、供試体内部に向かって、斜めに亀裂が生じていることが確認されたが、供試体中央部では、低密度領域は確認されなかった。
- (5) 乾燥密度の異なる飽和圧縮ベントナイトにおいて、乾燥密度が高くなるほど、せん断抵抗角は大きくなるが、不飽和供試体よりも小さい値を示した。
- (6) 供試体作製方法の異なる飽和圧縮ベントナイトにおいては、挙動に違いが見られたが、せん断抵抗角に有意な差は生じなかった。
- (7) せん断後の飽和供試体において、X 線 CT を用いて、供試体内部を観察した結果、乾燥密度が高くなるほど、せん断箱端部という条件下では亀裂が生じやすいことが示された。
- (8) 飽和供試体の一面せん断シミュレーションでは、X 線 CT と同様な傾向が得られた。

以上の結果より、不飽和圧縮ベントナイトは珪砂混合率が高くなることで大きなせん断強度を有するが、大変位による亀裂を生じやすくなることが示唆された。そのため、せん断強度、亀裂の発生を考慮して、その両方を満足する乾燥密度および珪砂混合率を求める必要がある。再冠水後を考慮した飽和圧縮ベントナイトでは、大変位が生じて、低密度領域が発生しないことが分かった。

謝辞

本研究は中部電力基礎技術研究所の研究助成で実施したものである。また X 線 CT による観察に関し、京都大学の岡二三生教授、肥後陽介助教にご協力いただいた。

記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—, 分冊 2 地層処分の工学技術, 第 IV 章 処分場の設計に関する検討, 4.1 人工バリアの設計・製作, pp.IV-1-IV-205, 1999.
- 2) 小高猛司, 寺本優子: 不飽和および飽和条件下での圧縮ベントナイトのせん断破壊特性, 地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.1, pp.59-69, 2009.
- 3) 小高猛司, 寺本優子, 平手寿大, 元山泰久: 圧縮ベントナイト緩衝材のせん断破壊時の性能評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.207-218, 2010.
- 4) 高治一彦, 鈴木英明: 緩衝材の静的力学特性, 核燃料サイクル開発機構報告書, JNC TN8400 99-041, 1999.
- 5) 小高猛司, 寺本優子, 平手寿大, 元山泰久, 高稲敏浩: 飽和圧縮ベントナイトの一面せん断破壊挙動の数値解析, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 1927-1928, 2010.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

高塑性粘土の各種力学特性

福沢宏樹¹⁾ 三好直輔¹⁾ 小高猛司²⁾ 板橋一雄³⁾

Various mechanical properties of highly plastic clay

Hiroki FUKUZAWA¹⁾, Naosuke MIYOSHI¹⁾, Takeshi KODAKA²⁾, Kazuo ITABASHI³⁾

Abstract

The aim of the present study is to investigate the mechanical properties of highly plastic clay. Both natural intact sensitive clay and reconstitute highly plastic clay were used for the monotonic and cyclic shear tests, and various types of laboratory tests were performed, i. e. triaxial compression and extension tests, simple shear test, and hollow cylinder torsional shear test. Some test results have newly shown the following important properties of the highly plastic clays: Strain softening behavior of sensitive clay can be observed only by the triaxial test. The strength anisotropy observed by the triaxial test is caused by the induced anisotropy and/or the effect of intermediate principal stress, not by the initial anisotropy. Cyclic shear behavior of the normally consolidated intact clay includes the characteristics of over-consolidated clay, and so on.

1. はじめに

自然堆積粘土の力学挙動は、構造、過圧密、異方性などの種々の要因が複雑に影響を及ぼしあっており、それぞれの影響度合いを評価することは容易ではない。その難しさは、構成モデルにおけるパラメータ設定の困難さに直結する問題でもあり、近年高性能な構成モデルが開発され、複雑な力学挙動を説明できるようになってきた一方で、種々の影響因子の評価については、パラメータフィッティングに委ねられることが多い。本研究では、自然堆積粘土の静的ならびに動的な力学挙動に影響を及ぼす要因を実験的に明らかにすることを目的としている。特に、粘性土の繰返しせん断時の力学挙動については、特にひずみレベルが大きな領域では、実験的にも検証されていない事項が多い。従来、動的解析の主流であった粘性土地盤の全応力地震応答解析では、等価剛性と履歴減衰率の非線形性を考慮しているものの、それほど大きなひずみレベルは想定していない。しかし、長周期かつ継続時間が長い海溝型地震を検討対象とする場合には、より大きなひずみレベルを想定した繰返しせん断挙動を説明できる構成モデルが必要となる。特に、鋭敏な自然堆積粘土であれば、繰返しせん断時の構造劣化に伴う強度低下も危惧されており、動的挙動の解明が急務となっている。

本研究では、高い鋭敏性を有する東大阪沖積粘土 Ma13 を不攪乱試料として用い、その力学挙動を詳細に検討する。はじめに、不攪乱試料と攪乱試料との比較を通して、

自然堆積粘土固有の性質について検討する。次に、より系統的な実験を実施するために、高塑性粘土である再構成有楽町粘土供試体を用いて、三軸試験、中空ねじりせん断試験、単純せん断試験を実施し、粘性土の力学特性に影響を及ぼす諸要因について検討を行う。

2. 実験試料

本実験に用いた試料は、東大阪地区で採取した不攪乱の自然堆積粘土（以下、不攪乱赤井粘土）と再構成の有楽町層粘土（以下、再構成有楽町粘土）である。

不攪乱赤井粘土は大阪府大東市赤井で採取した Ma13 沖積粘土であり、大阪平野における内湾部の汽水環境で堆積しており鋭敏性が高い¹⁾²⁾。今回の試験では、シンウォールサンプラーで採取した不攪乱試料を用いた。液性限界は 70~80%、塑性限界は約 35%、塑性指数は 40~50 である。自然含水比が液性限界を上回る、高塑性かつ鋭敏性の高い粘土である。

再構成有楽町粘土は、東京湾で浚渫したいわゆる有楽町層粘土である。420 μm のフルイで裏濾しして貝殻などの固形物を取り除き、液性限界の 2 倍程度まで蒸留水を加えてスラリー状にして、ミキサーで十分に攪乱した。アクリル円筒にて 24 時間真空ポンプを用いて脱気した後、圧密荷重を 5 日ほどかけて徐々に増加させてゆき、最終的に 100kPa の圧密荷重で 2 週間、1 次元的な予備圧密を行った。なお、再構成有楽町粘土の物理特性は、液性限界が 86%、塑性限界が 31%、塑性指数が 55 である。

1)大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 2) 建設システム工学科 3) 常勤理事

1) Master Course of Civil Engineering 2) Department of Civil Engineering 3) Trustee

3. 試験装置の概要と試験手順

3.1 三軸試験機

単調載荷による圧縮・伸張試験に関しては、DC サーボモータによる軸ひずみ速度制御とした。一方、繰返し載荷試験に関しては、空圧サーボ式アクチュエータによる載荷周波数を制御した正弦波荷重を載荷する方式とした。荷重計測は、内部ロードセルを用いている。供試体は直径 5cm、高さ 10cm の円柱形である。

3.2 単純せん断試験機

載荷機構はパルスモーターであり、単調および繰返し載荷ともに、軸ひずみ制御としている。荷重の計測は、鉛直荷重、水平荷重ともに内部ロードセルで、水平変位は上部ペDESTALの移動量をギャップセンサーで計測している。供試体寸法は直径 6cm、高さ 3cm であり、シンウォールサンプラーで採取した自然堆積粘土の試験を無理なく実施できる。上下ペDESTALには刃付きのポラスストーンを設置しており、十分に摩擦を確保した上で、上部ペDESTALを水平移動させることにより単純せん断試験を行う。

3.3 中空ねじりせん断試験機

載荷機構は AC サーボモーターであり、電磁クラッチ及び電磁ブレーキで軸載荷を制御し、正転、反転を瞬時に進行。荷重計測には 2 方向内部ロードセルを用いている。供試体は外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm である。

中空ねじりせん断試験は、単純せん断試験と同様に異方圧密条件下での実験が可能である。ただし、試験が煩雑であり、また比較的大きな供試体を必要とする欠点もある。本研究では、単純せん断試験は中空ねじりせん断試験の欠点を補完する役割を期待している。

3.4 試験手順

いずれの試験においても、成型した供試体をセルに設置後、二重負圧法により飽和化を行った。背圧を 200kPa 作用させ、各試験所定の圧密条件で、単純せん断試験では 20 時間、三軸試験および中空ねじりせん断試験では 24 時間圧密後、非排水条件でせん断を行う。ひずみ制御の試験では、基本的に単調載荷試験では 0.1%/min、繰返し載荷試験では 0.5%/min のせん断ひずみ速度とした。正弦波による繰返し載荷試験では載荷周波数を 0.01Hz とした。

4. 単調載荷試験による高塑性粘土の力学挙動の検討

4.1 不攪乱赤井粘土の三軸試験

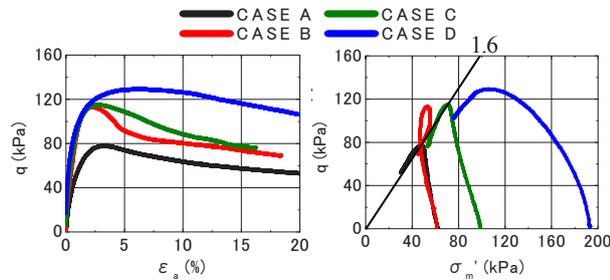
Table 1 に不攪乱供試体の採取深度、有効土被り圧と実験時の初期有効拘束圧を示す。別途実施した圧密試験結果より、CASE A と CASE B の深度に相当する赤井粘土の圧密降伏応力は約 70~90kPa であったことから、原地盤の異方応力状態を勘案して初期有効応力を 60kPa とした。一方、CASE C および CASE D では CASE B とほぼ同深度の供試体であるが、有効拘束圧の影響を検討するために、初期有効拘束圧を 100kPa、200kPa と大きく作用させることにより実験を実施した。

Fig. 1 に軸差応力~軸ひずみ関係ならびに有効応力経路を示す。CASE A の有効応力経路を見ると、ピーク強度を過ぎてからは顕著に塑性圧縮を伴うひずみ軟化挙動を示しており、典型的な鋭敏粘土のせん断挙動が観察できる。CASE B の実験結果を見ると、軸差応力~軸ひずみ関係ではピーク強度直後に急激なひずみ軟化挙動を示しているが、有効応力経路ではせん断途中で正のダイレイタンシーが現れている。これは過圧密挙動であることから、CASE A と同じ有効拘束圧では過小であったことを示唆している。一方、CASE B と同深度の供試体を用いた CASE C では、ピーク強度を超えると塑性圧縮を伴うひずみ軟化の挙動を示し、軸差応力~軸ひずみ関係、有効応力経路ともに CASE A の相似形となっている。したがって、この深度の供試体にとっては 100kPa の初期有効拘束圧の方が適当であったことが示唆される。さらに、同深度の供試体で初期有効拘束圧を大きくした CASE D では、CASE C と同様にピーク強度が現れ、その後、塑性圧縮を伴うひずみ軟化の挙動を示すが、CASE C と比べてひずみ軟化の度合いが小さく、破壊応力比の値も小さくなった。これは、圧密過程での過大な等方圧密応力履歴により、原地盤の異方応力状態で構成された鋭敏な粘土の骨格構造が劣化したことに起因している。以上より、室内試験で原地盤粘土のせん断挙動を正確に予測するためには、適切な初期有効拘束圧を用いる必要があることがわかった。

次に、載荷速度の影響を検討するために、載荷速度を変えて試験を行った。Table 2 に不攪乱供試体の採取深度、有効拘束圧および載荷速度を示す。Fig. 2 に軸差応力~軸ひずみ関係および有効応力経路を示す。軸差応力~軸ひずみ関係を見ると載荷速度が大きい CASE F の方が、軸ひずみが小さい段階で大きなピーク強度が現れ、軸ひずみが大きくなるにつれてひずみ軟化し、CASE E に近づいている。有効応力経路を見ると CASE E と CASE F ではひずみ軟化の程度は異なるが、最終的な有効応力状

Table 1 Basic test cases for intact Akai clay

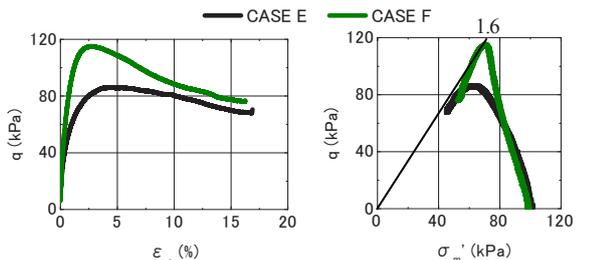
CASE	Depth	Effective overburden pressure	Effective confining pressure	Void ratio
A	8.6m	59kPa	60kPa	2.27
B	11.1m	72kPa	60kPa	2.05
C	11.2m	73kPa	100kPa	1.86
D	10.9m	71kPa	200kPa	1.63



(a) Deviator stress-axial strain relations (b) Effective stress paths
Fig. 1 Triaxial test results for basic cases (Intact Akai clay)

Table 2 Test cases for comparing effects of strain rate

CASE	Depth	Effective overburden pressure	Effective confining pressure	Strain rate
E	10.7m	70kPa	100kPa	0.005%/min
F	11.2m	73kPa	100kPa	0.1%/min



(a) Deviator stress-axial strain relations (b) Effective stress paths
Fig. 2 Triaxial test results for strain rate dependency (Intact Akai clay)

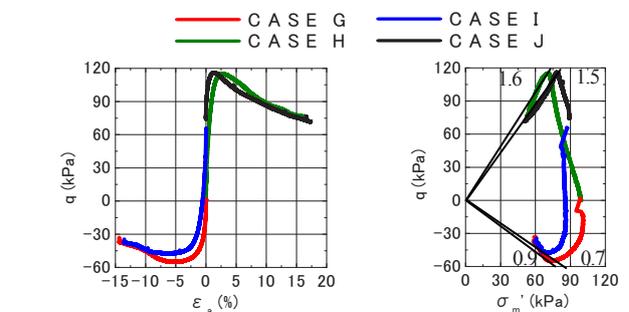
態は近くなる。以上より、赤井粘土のような鋭敏性の高い粘土においては、ひずみ速度依存性が顕著に現れるが、最終的な有効応力状態は同一となる。

次に、原地盤の応力状態に近い異方圧密条件で試験を実施した。Table 3 に不攪乱供試体の採取深度、圧密条件および荷重条件を示す。Fig. 3 に軸差応力～軸ひずみ関係および有効応力経路を示す。圧縮荷重の CASE H と CASE J では、最大軸差応力はほぼ同じとなるが、伸張荷重の試験では、異方圧密の CASE I は等方圧密の CASE G に比べて最大軸差応力が若干小さい。圧縮、伸張のいずれも異方圧密の供試体の方が、若干破壊応力比が小さいものの、総じて、等方圧密条件と同等のせん断挙動を示している。

Fig. 4 に繰り返して作製した攪乱供試体の三軸試験結果を示す。ここでは、試験後の不攪乱試料を十分に手で繰り返して、攪乱供試体を再構成している。ただし、繰り返して赤井粘土は液状になってしまうために、

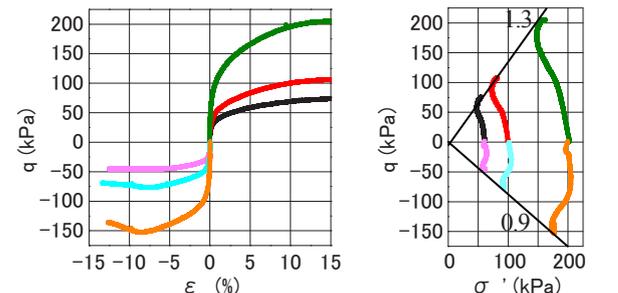
Table 3 Test cases for comparing effects of consolidation condition

CASE	Depth	Effective overburden pressure	consolidation condition	Loading condition
G	10.8m	70kPa	$K_c=1.0$ (Isotropic)	Extension
H	11.2m	73kPa	$K_c=1.0$ (Isotropic)	Compression
I	11.4m	74kPa	$K_c=0.5$ (Anisotropic)	Extension
J	11.7m	75kPa	$K_c=0.5$ (Anisotropic)	Compression



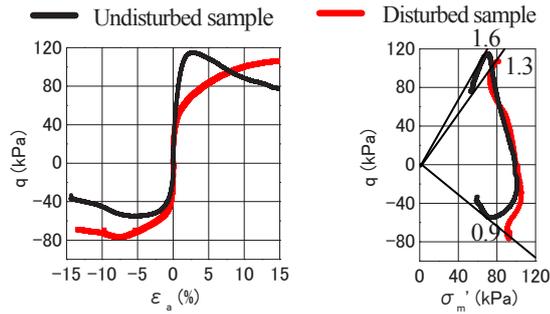
(a) Deviator stress-axial strain relations (b) Effective stress paths
Fig. 3 Triaxial test results for anisotropically consolidated clay (Intact Akai clay)

— Compression, $\sigma_{m0}'=60\text{kPa}$ — Extension, $\sigma_{m0}'=60\text{kPa}$
 — Compression, $\sigma_{m0}'=100\text{kPa}$ — Extension, $\sigma_{m0}'=100\text{kPa}$
 — Compression, $\sigma_{m0}'=200\text{kPa}$ — Extension, $\sigma_{m0}'=200\text{kPa}$

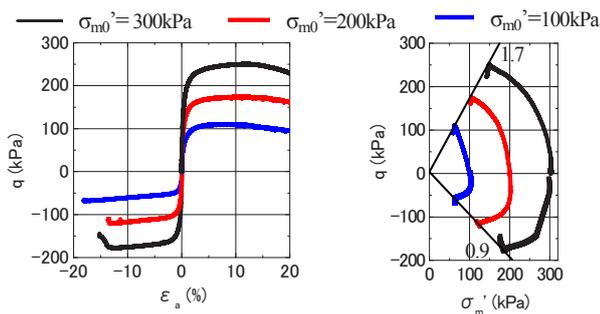


(a) Deviator stress-axial strain relations (b) Effective stress paths
Fig. 4 Triaxial test results for disturbed Akai clay

ペーパータオルによって試料表面から徐々に水分を減じてゆき、自立するまで含水比を低下させた後、円柱形に供試体を成型した。図の軸差応力～軸ひずみ関係を見ると、軸差応力は単調に増加して、ピーク強度が見られないまま実験が終了している。また、有効応力経路においては、いずれの CASE においても、せん断後半で正のダイレイタンスの発生が見られる。Fig. 5 に攪乱、不攪乱のせん断挙動を比較するために、Fig. 3, Fig. 4 の同深度かつ同拘束圧の供試体による三軸試験結果を同時に示す。有効応力経路より、不攪乱供試体では塑性圧縮を伴う軟化挙動を示すが、攪乱供試体ではせん断途中で正のダイレイタンスが発生し、全く異なる挙動となった。これは、繰り返したことにより、不攪乱粘土の骨格構造が大幅に低位化したことに起因すると考えている。また、圧縮側の破壊応力比は不攪乱および攪乱粘土でそれぞれ 1.6 および 1.3 であり、繰り返しによる構造劣化により、破壊応力比は大幅に低下することがわかる。以上の不攪



(a) Deviator stress—axial strain relations (b) Effective stress paths
Fig.5 Triaxial test results for comparison of disturbance



(a) Deviator stress—axial strain relations (b) Effective stress paths
Fig.6 Triaxial test results (Reconstituted Yurakucho clay)

乱粘土の三軸試験から得た知見を、以下に整理して示す。

- ① 圧縮载荷時の破壊応力比は非常に大きく、顕著なひずみ軟化挙動が観察される。
- ② 原地盤以上の過大な有効拘束圧で等方圧密された供試体では、破壊応力比は若干小さくなり、ひずみ軟化の度合いも低くなる。
- ③ ひずみ軟化挙動はひずみ速度に大きく依存し、ひずみ速度が低下するとひずみ軟化の度合いも低くなる。
- ④ 異方圧密供試体と等方圧密供試体は、圧縮、伸張ともに大きな違いは見られず、適正な有効拘束圧であれば等方圧密で三軸試験を実施することに問題はない。
- ⑤ 不攪乱供試体の圧縮と伸張の強度差は2倍程度あり、破壊応力比にも大きな差が現れる。
- ⑥ 攪乱することによりひずみ軟化挙動は見られなくなり、圧縮時の破壊応力比は小さくなるものの、伸張時の破壊応力比には大きな変化は見られない。
- ⑦ 攪乱試料でも圧縮と伸張の強度差は大きく、破壊応力比にも大きな差がある。この差は初期構造に由来するものではない。

4. 2 再構成有楽町粘土の三軸試験

Fig. 6 は再構成有楽町粘土の三軸圧縮および伸張試験結果である。軸差応力～軸ひずみ関係を見ると、不攪乱粘土のような明確なピーク強度はみられない。有効応力経路を見ると、圧縮側と伸張側に明確な強度差があり、

破壊応力比にも差がある。また、破壊応力比を含む有効応力経路の形状には、有効拘束圧の違いによる差はそれほど見られないことから、100kPaでの予備圧密の一次元圧密履歴の影響は小さいと考えられ、圧縮と伸張の強度差は、供試体の初期構造の異方性によるものではなく、圧縮と伸張の载荷モードの違いによって現れていると考えられる。

4.3 不攪乱赤井粘土の単純せん断試験

Table 4 に不攪乱粘土供試体の採取深度、圧密条件を示す。Fig. 7 にせん断応力～せん断ひずみ関係および有効応力経路を示す。いずれのCASEにおいても、三軸圧縮試験で観察されたひずみ軟化挙動は見られず、せん断応力が単調増加したまま破壊に到達している。また、原地盤の有効土被り圧程度で圧密した供試体 (CASE A, E, F) では、等方圧密 (CASE A, F) であっても異方圧密 (CASE E) であっても破壊応力比に大きな差はない。一方、過大な有効拘束圧で圧密した供試体 (CASE B, C) や、繰り返した攪乱供試体 (CASE G) については、破壊応力比が大きく低減している。この破壊応力比の差は、不攪乱粘土の有する骨格構造によるものと考えられる。

4.4 再構成有楽町粘土の単純せん断試験

正規圧密供試体と過圧密供試体で単純せん断試験を実施した。過圧密供試体は、一旦300kPaで圧密した後に、100あるいは60kPaまで除荷することにより、OCR=3あるいは5の供試体とした。Fig. 8 に試験結果を示す。過圧密比は異なるが、せん断時の間隙比が近いために、せん断応力～せん断ひずみ曲線はいずれのCASEも近いものとなっている。また、有効応力経路も最終状態は近づいていることがわかる。破壊応力比はほぼ0.6となるが、これは、圧密条件を種々に変えて実施した試験³⁾で観察された破壊応力比と同じである。

4.5 三軸試験と単純せん断試験の結果の比較

Fig. 9 は、4.2 節、4.4 節で示した再構成有楽町粘土の三軸圧縮・伸張試験および単純せん断試験の結果をさらに中空ねじりせん断試験の結果も加えて示したものである。ただし、すべての試験を同一尺度で比較するために、せん断応力としては偏差応力テンソルの第2不変量 $\sqrt{2J_2}$ (以下、偏差応力と呼ぶ) を用い、せん断ひずみとしては偏差ひずみテンソルの第2不変量 ϵ_s (以下、偏差ひずみと呼ぶ) を用いた。なお、今回の実験試料は、せん断中に大きな正のダイレイタンスが発生する材料ではないことから、単純せん断試験においては、スリッピングと供試体の間に発生する相互作用力は無視して

Table 4 Consolidation conditions for simple shear test (Intact Akai clay)

CASE	Depth	Effective overburden pressure	K_0	σ_1'	σ_3'	σ_m'
A	7.4m	53kPa	1.0	50kPa	50kPa	50kPa
B	7.4m	53kPa	1.0	100kPa	100kPa	100kPa
C	7.4m	53kPa	0.5	120kPa	60kPa	80kPa
D	8.2m	57kPa	1.0	60kPa	60kPa	60kPa
E	9.5m	64kPa	0.5	80kPa	40kPa	53kPa
F	9.7m	65kPa	1.0	60kPa	60kPa	60kPa
G	Disturbed		1.0	60kPa	60kPa	60kPa

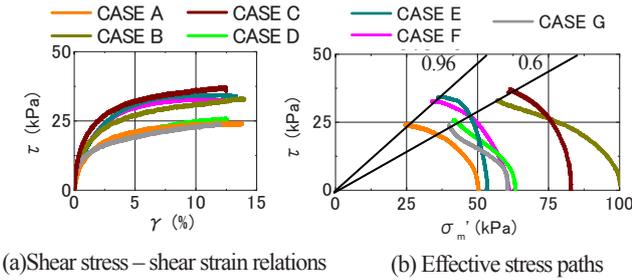


Fig. 7 Simple shear test results (Intact Akai clay)

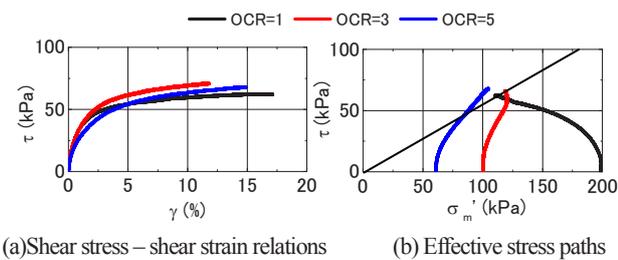


Fig.8 Simple shear Test results for over-consolidated specimen (Reconstituted Yurakucho clay)

いる。いずれの試験においても、応力～ひずみ関係に明確なピーク強度は見られず、偏差応力が一定値で収束している。異方性と中間主応力の効果が現れやすい地盤材料にとっては、三軸圧縮と三軸伸張は両極端の载荷条件と言える。今回の試験でも両条件の差が顕著に現れている。単純せん断試験と中空ねじりせん断試験は、その間に位置すると考えられるが、今回の試験結果はいずれも三軸伸張試験結果を若干下回るものになった。しかし、限界状態線の傾きについては、三軸伸張が最も小さくなっている。

Fig. 10 は 4.1 節、4.2 節で示した不攪乱赤井粘土の三軸圧縮・伸張試験および単純せん断試験の結果を示したものである。三軸圧縮と伸張の破壊応力比に大きな差があるのは再構成有楽町粘土と同様であるが、単純せん断試験における破壊応力比は、三軸圧縮の破壊応力比に等しい。ただし、練り返して攪乱した赤井粘土の単純せん断試験については、破壊応力比は三軸伸張に近くなっている。

以上の実験より、不攪乱粘土が有する高位な骨格構造によって、三軸圧縮と単純せん断では破壊応力比が大き

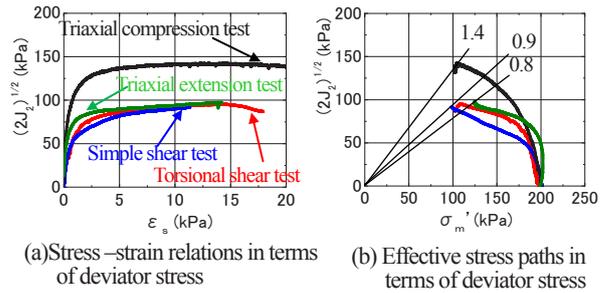


Fig.9 Monotonic loading test results with various loading modes (Yurakucho clay)

- Triaxial compression test, Intact, Depth 8.6m
- Triaxial extension test, Intact, Depth 10.9m
- Triaxial compression test, Intact, Depth 11.2m
- Triaxial compression test, Remould, Depth about 9m
- Triaxial extension test, Remould, Depth about 9m
- Simple shear test, Intact, Depth 9.7m
- Simple shear test, Intact, Depth 7.4m
- Simple shear test, Intact, Depth 7.4m
- Simple shear test, Remould, Depth about 9m

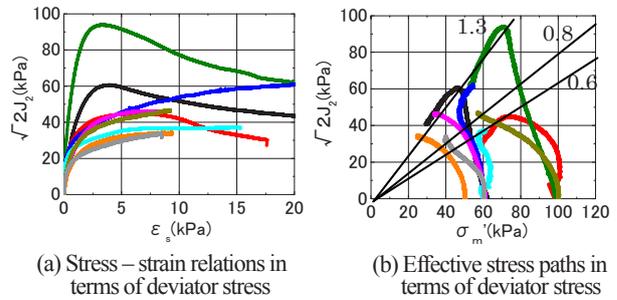


Fig. 10 Monotonic loading test results with various loading modes (Akai clay)

く現れる。ただし、骨格構造が低位である再構成粘土や練返し粘土であっても、三軸圧縮時にだけは破壊応力比が大きく現れる傾向がある。これは、初期構造に起因する異方性とは異なる载荷モードに依存した誘導異方性の効果であると考えている。したがって、高塑性粘土の場合、三軸圧縮試験では圧縮時のせん断強度や破壊応力比を過大に評価している可能性があることに注意すべきである。

5. 繰返し载荷試験による高塑性粘土の力学挙動の検討

5.1 再構成有楽町粘土の繰返し単純せん断試験結果

Table 5 および 6 に、繰返し単純せん断試験を実施した正規圧密および過圧密供試体の圧密条件をそれぞれ示す。正規圧密供試体では、異方圧密も実施した。代表として、Fig. 11 に正規圧密・等方圧密 (CASE A)、正規圧密・異方圧密 (CASE C) および過圧密 (CASE F) の繰返し単純せん断試験結果を示す。有効応力経路の図中の直線は、同条件の供試体の単調载荷試験で得られた破壊線である。等方圧密状態から繰返しせん断を開始した正規圧密

供試体 CASE A の結果を見ると、(a)に示すせん断応力～せん断ひずみ関係は、正負のせん断ひずみがほぼ均等に発生し、徐々に増加している。(b)に示す有効応力経路では、第一波目の载荷に伴う有効応力の減少が顕著であり、その後減少の程度が小さくなる。せん断ひずみが大きくなると、破壊線に漸近しながらサイクリックモビリティに似た挙動が観察できる。(c)は Fig. 9 の整理に使用した偏差応力を縦軸として整理した有効応力経路である。等方圧密状態を初期状態とする本 CASE では、通常の有効応力経路(b)を、正の領域のみで描いた形となっている。

異方圧密状態から繰返しせん断を開始した CASE C の結果を見ると、せん断応力～せん断ひずみ関係、有効応力経路ともに、CASE A の結果と大きな差異は見られない。しかし、(c)に示す偏差応力の有効応力経路では大きな違いがある。すなわち、比較的大きなせん断応力を一定振幅で繰返し载荷しているにも拘わらず、繰返しせん断初期には偏差応力の変動は小さいが、せん断の進行に伴い有効応力状態は破壊線に漸近しつつ原点に近づき、偏差応力の変動は徐々に大きくなる。これは、せん断開始時には異方応力状態だった粘土が、繰返しせん断に伴い等方応力状態に近づいてゆくことを表している。

過圧密供試体の CASE F の結果を見ると、有効応力経路ではせん断初期から過圧密粘土特有の正のダイレイタンスーが現れているが、繰返しせん断に伴い、有効応力は徐々に減少してゆくことがわかる。最終的には、有効応力経路は破壊線近傍で収束して繰り返しているが、せん断ひずみは徐々に発生し続けている。

5.2 せん断モードによる繰返しせん断挙動の違い

再構成有楽町粘土により、200kPa で正規圧密した同条件の供試体を用いて繰返し载荷による三軸試験、単純せん断試験および中空ねじりせん断試験を実施した。Fig. 12 に代表的な結果を示す。三軸試験では伸張側に偏重して偏差ひずみが発生するのに対して、単純せん断試験と中空ねじりせん断試験は正負同様にひずみが発生している。同じ応力振幅での繰返しせん断であるが、中空ねじりせん断試験の方が繰返し回数が若干多い。

5.3 不攪乱赤井粘土の繰返し単純せん断試験結果

Table 7 に、繰返し単純せん断試験を実施した供試体の採取深度ならびに圧密条件を示す。Fig. 13 は代表的な試験結果である。試験の応力レベルが小さいために、せん断ひずみの発生に偏りが見られるが、有効応力経路ではせん断応力の正負によらず、上下対称の挙動となっている。1 回目の载荷で有効応力は大きく減少するものの、2 回目以降は逆に正のダイレイタンスーを生じる挙動に転

じており、再構成粘土の過圧密粘土と類似した挙動が見られる。

5.4 繰返し強度曲線

Fig. 14 に再構成有楽町粘土と不攪乱赤井粘土の繰返し強度曲線を示す。横軸は両振幅ひずみが 10% で整理した繰返し回数、縦軸は繰返し応力比である。繰返し応力比はせん断応力 τ もしくは最大非排水せん断応力 ($q/2$) を初期平均有効応力 σ_{m0} で除した値と定義した。全般的に不攪乱赤井粘土の方が再構成有楽町粘土に比べ繰返し強度が大きい。また、再構成有楽町粘土と不攪乱赤井粘土を個々にみても、いずれにおいても異方性の度合いが大きいほど (K_0 値が小さいほど) 繰返し強度が大きくなっている。CASE C と D では初期有効応力は異なるが K_0 値が同じであるため、繰返し強度曲線は一致している。過圧密供試体においては、過圧密比 OCR が大きいほど繰返しせん断強度は大きくなる。同条件の再構成有楽町粘土供試体を用いてもせん断試験機が異なれば、偏差応力～偏差ひずみ関係、偏差応力の有効応力経路の挙動に明らかな差異がみられるが、繰返し強度曲線をみると多少のバラツキはあるものの、有意な差は見られない。

Fig. 14 では繰返し応力比として、せん断応力 τ もしくは最大非排水せん断応力 ($q/2$) を初期平均有効応力 σ_{m0} で正規化していたが、等方圧密および異方圧密供試体、ならびに過圧密供試体による試験結果を統一的に解釈するために、再構成有楽町粘土では等価平均有効応力 σ_{me} を、不攪乱赤井粘土では先行圧密応力 σ_{mc} を用いて繰返し応力比を定義する。等価平均有効応力 σ_{me} とは、繰返しせん断時の間隙比から仮想的等方応力条件の正規圧密状態に相当する平均有効応力を算定したものである。なお、異方圧密条件の σ_m から等方圧密条件の σ_{me} を求めるに当たり、単調载荷試験で得られた限界状態係数 M と標準圧密試験から得た圧縮指数 λ と膨潤係数 κ から予測される非排水経路を用いて算出した。この繰返し応力比 (τ/σ_{me}) を用いて整理した繰返し強度曲線を Fig. 15 に示す。図より、これらの正規化を施すことにより、圧密過程の応力履歴によらず、再構成有楽町粘土、不攪乱赤井粘土それぞれにおいて繰返し強度曲線が近くなることがわかる。

次に、再構成有楽町粘土の繰返し強度曲線に着目する。単純せん断試験による各種の繰返しせん断試験結果は、等価平均有効応力 σ_{me} による正規化によって一本の曲線に近似できるが、三軸試験と中空ねじりせん断試験は単純せん断試験に比べてわずかに上側に位置している。Fig. 9 の再構成有楽町粘土の単調载荷試験結果を振り返ると、三軸圧縮試験の破壊応力比が突出して大きく、三軸伸張、

Table5 Consolidation condition of normally consolidated clay

CASE	K_0	σ_1'	σ_3'	σ_m'
A	1.0	200kPa	200kPa	200kPa
B	0.67	300kPa	200kPa	233kPa
C	0.5	400kPa	200kPa	267kPa
D	0.5	200kPa	100kPa	133kPa

Table6 Consolidation condition of over-consolidated clay

CASE	K_0	OCR	σ_{mc}'	σ_m'
E	1.0	3	300kPa	100kPa
F	1.0	5	300kPa	60kPa

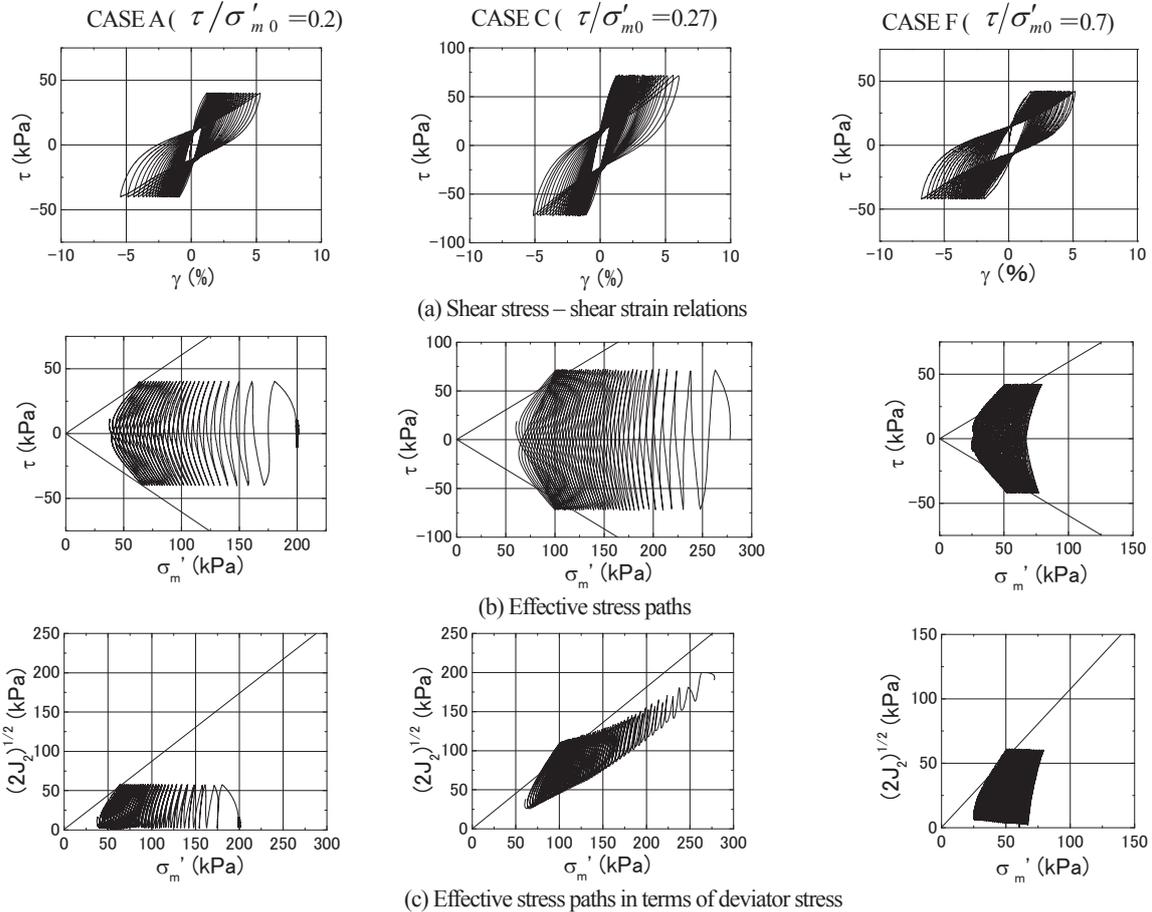


Fig.11 Cyclic simple shear test results with various consolidation conditions (Reconstituted Yurakucho clay)

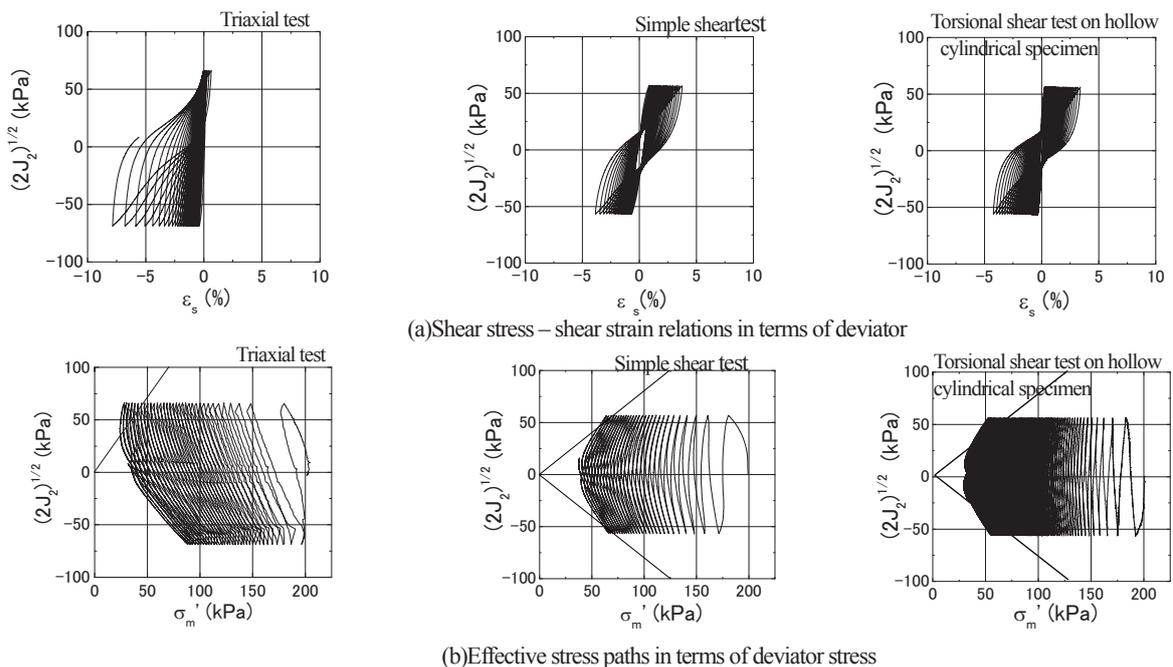
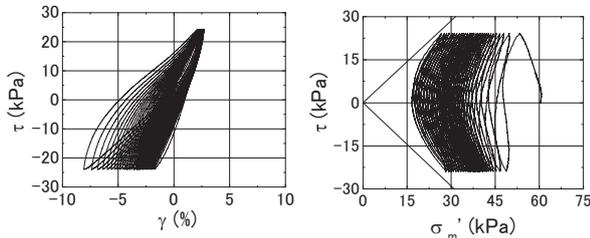


Fig.12 Cyclic loading test results with various loading modes (Reconstituted Yurakucho clay)

Table7 Consolidation conditions for intact Akai clay

CASE	Depth	Consolidation condition	σ_1'	σ_3'	σ_m'
G	9.3m	$K_r=1.0$	60kPa	60kPa	60kPa
H	9.3m	$K_r=0.5$	80kPa	40kPa	53kPa



(a) Shear stress - shear strain relations (b) Effective stress paths
Fig.13 Cyclic simple shear test results for intact Akai clay (CASE G)

- CASE A ■ CASE C ○ CASE E ▲ CASE G
- ▼ CASE B ▲ CASE D □ CASE F ▼ CASE H
- ⊞ Triaxial test
- ⊕ Torsional shear test on hollow cylindrical specimen

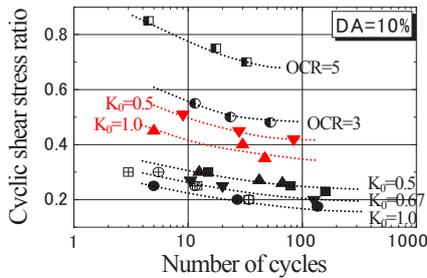


Fig.14 Cyclic shear strength curves ($\tau/\sigma_m' \sim N$ relations)

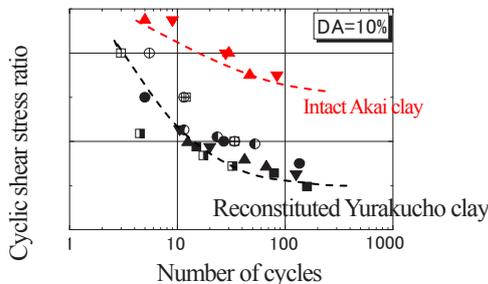


Fig.15 Cyclic shear strength curves ($\tau/\sigma_{me}' \sim N$ relations)

中空ねじりせん断，単純せん断の破壊応力比は小さい。繰返し三軸試験では，破壊応力比が小さい伸張側の影響を強く受けると考えられる。三軸伸張，中空ねじりせん断，単純せん断の破壊応力比はいずれもほぼ同じであるが，Fig. 9 の応力～ひずみ関係を見ると，三軸伸張も中空ねじりせん断も単純せん断に比べてせん断ひずみの発生速度は小さい。そのため，繰返しせん断においても同じせん断ひずみに到達する繰返し載荷回数は，単純せん断試験よりも多くなり，単純せん断試験の繰返し強度曲線よりわずかに上側となる。

一方，不攪乱赤井粘土では，Fig. 10 に示した単調せん断試験結果においては，単純せん断でも大きな破壊応力比を有することが示されており，また Fig. 13 の繰返し載

荷時の有効応力経路においても，せん断の進行に伴い疑似過圧密性を発揮することが明らかになっている。これらより，繰返し強度曲線は再構成有楽町粘土に比べて大きくなっていると考えられる。

今後，不攪乱粘土，攪乱粘土ともに，動的変形試験を実施し，せん断ひずみに伴う剛性劣化の観点からも詳細に繰返し強度について検討する必要がある。

6. まとめ

不攪乱粘土のせん断挙動の特徴として筆頭に挙げられるのは，ひずみ軟化を伴う脆性破壊であるが，本研究の一連の試験より，その挙動は三軸試験，特に圧縮載荷で顕著に観察される特有の現象であることがわかった。その際のピーク強度はひずみ速度に大きく依存する。しかし，破壊応力比は，構造が高位な不攪乱粘土であれば単純せん断試験でも三軸圧縮試験と同様に大きい。一方，再構成粘土の場合，三軸圧縮試験の軸差応力と破壊応力比が突出して大きくなり，三軸伸張，中空ねじりせん断，単純せん断は応力～ひずみ関係，有効応力経路ともに類似している。このような載荷モードの違いによる非排水せん断挙動の相違は，誘導異方性や中間主応力の効果が考えられる。不攪乱粘土では，この効果よりも構造の効果がより強く現れる。

繰返しせん断挙動については，繰返しせん断強度の大きさは，単調載荷時の特徴を反映した値となる。より詳細に不攪乱赤井粘土の繰返し載荷時の有効応力経路を見ると，再構成有楽町粘土の過圧密供試体で見られる特徴が明確に現れており，繰返し載荷時には疑似過圧密性を示すことがわかる。この疑似過圧密性は，不攪乱粘土の構造の効果によるものと考えられるが，単調載荷の単純せん断試験では破壊応力比が大きくなることは示されているものの疑似過圧密性までは読み取れない。

今後，単調載荷試験のみならず，繰返しせん断挙動までも合理的に表すことができる構成モデルの開発が急務である。また，その一方で，境界値問題としての種々のせん断試験法による試験結果の解釈も進める必要がある。

参考文献

- 1) KG-NET 関西圏地盤研究会：新関西地盤 大阪平野から大阪湾，2007.
- 2) 大島昭彦，盛岡学，山本浩司，濱田晃之：東大阪地域の鋭敏粘土層の分布域とその成因の再考察，第43回地盤工学研究発表会，pp.257-258, 2008.
- 3) 福沢宏樹，小高猛司，板橋一雄，加藤信二郎：単純せん断試験による異方圧密粘土の繰返しせん断強度特性の評価，第21回中部地盤工学シンポジウム論文集，pp.63-70, 2009.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

完全溶け込み溶接部に未溶着を有する鋼はり一柱隅角部の耐震性能

鈴木俊光¹⁾ 曹輝¹⁾ 葛漢彬²⁾

Seismic Performance of Steel Beam-Column Connections with Welding Defects

Toshimitsu SUZUKI¹⁾, Hui CAO¹⁾ and Hanbin GE²⁾

Abstract

In this study, cyclic loading tests were conducted to clarify the extremely low cycle fatigue crack (ductile crack) initiation and final failure mode in thick-walled steel structures with welding defects. Welding defects were installed into the butt flange joint of beam-column connection at which full penetration welding should be usually made against the earthquake motion. Five test specimens, considering actual details and welding method of beam-column connection of steel pier, were manufactured. As a result of experiment, properties of ductile crack initiation which depend on the difference of the width of welding defect were clarified.

1. はじめに

1995年1月に発生した兵庫県南部地震では多くの建築鋼構造物をはじめ、鋼製橋脚においても過去に経験したことのない甚大な被害を受けた。中でも神戸ハーバーハイウェイ P75 橋脚の隅角部においては鋼橋において初めて脆性的な破壊モードが確認された¹⁾。以降、鋼構造物に対する地震時挙動、破壊性状に関する研究が多く行われてきた。一方、近年溶接構造物の施工時における溶接不具合(欠陥)の内在が問題視されてきており、三木ら²⁾によって鋼製橋脚隅角部の施工の不具合に関する報告がなされている。しかしながら、これらの構造物は地震などの過大な外力を受けた場合にどのような破壊モードを呈するについては、土木鋼構造物、特に鋼製橋脚を対象とした研究は今までにほとんど行われていない。

筆者らはこれまでに単柱鋼製橋脚の脆性破壊を防止する観点より延性き裂発生に着目し、実験的および解析的検討を数多く行ってきた^{3)~9)}。これらの実験結果を元にシェル要素を用いた有限要素解析を行い、Miner 則および Manson-Coffin 則に基づく損傷度により延性き裂発生を精度よく評価できることを示した。次式の損傷度指標により欠陥のない鋼製橋脚の延性き裂発生を推定できることを示した。

$$D = C \sum (\varepsilon_{pr})^m \quad (1)$$

ここで、 C 、 m は鋼種によって決まる定数で、 ε_{pr} は塑性ひずみ範囲である。

既往の研究においては鋼製橋脚の基部または隅角部を対象とした極低サイクル疲労試験が坂野ら^{10)~12)}、三木ら¹³⁾、佐々木ら¹⁴⁾、陵城ら¹⁵⁾により行われてきたが、応力集中部における溶接部の健全性が低サイクル疲労寿命に及ぼす影響については検討されておらず、溶接欠陥を有する溶接構造物の低サイクル疲労試験によるき裂発生・進展やその評価方法に対する載荷履歴の影響について詳細に検討した研究例は非常に少ない。

本研究では、鋼製橋脚の隅角部を模擬した供試体を製作し、実橋において発生応力が高く、完全溶け込み溶接が要求される梁・柱交差部に溶接未溶着を導入し、定振幅変位載荷および1サイクルごとの漸増変位振幅繰り返し載荷実験を実施し、溶接構造の内部溶け込み深さが延性き裂発生に及ぼす影響を明らかにし、その挙動に関する基礎的データを得ることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

実験供試体は鋼製橋脚と横梁の剛結構造からなる隅角部を模擬した無補剛厚肉断面の梁・柱の接合部としている。使用材質は実橋脚で使用が多い SM490Y で

1)大学院理工学研究科 2) 建設システム工学科

1) Graduate School of Science and Technology 2) Department of Civil Engineering

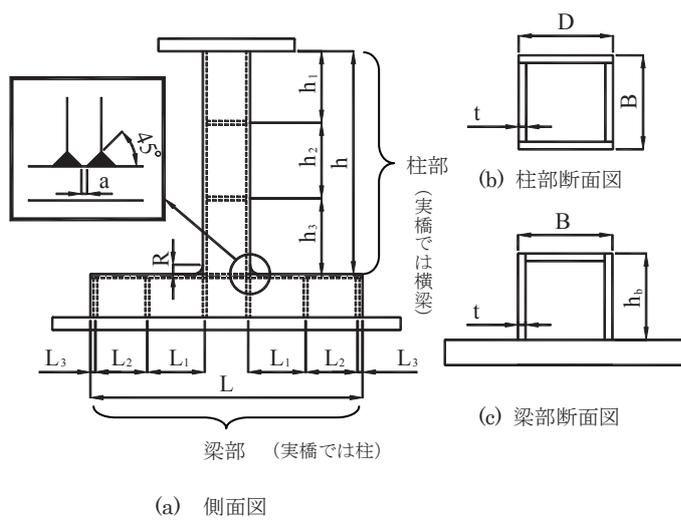


Fig. 1 Test specimen

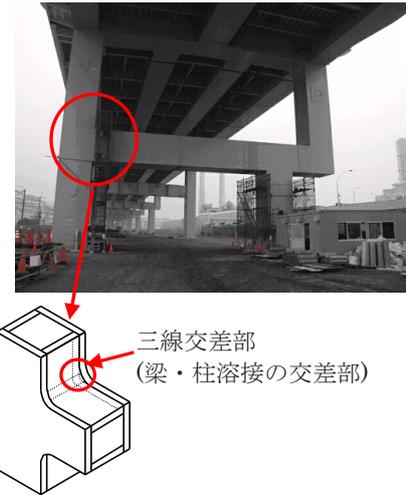


Fig. 2 beam-column connection

Table 1 Dimensions of specimens

供試体名	h	h_1	h_2	h_3	h_b	L	L_1	L_2	L_3	B	D	t	R	a
S25-0-CC	708	227	240	246	136	858	181.5	164	16	149	149	11.84	29	0
S25-2-CC	705	227	240	246	137	858	181.5	164	16	149	148	11.84	28	2
S25-2-VC	706	227	240	246	137	858	181.5	164	16	149	148	11.84	28	2
S25-5-CC	706	227	240	246	137	854	181.5	164	16	149	148	11.84	31	5
S25-5-VC	705	227	240	246	138	857	181.5	164	16	149	148	11.84	28	5

注)

- ① h =柱部高さ, L =梁部長さ, B =フランジ幅, D =ウェブ幅, t =板厚, R =フィレットの曲率半径, a =溶接未溶着高さ
- ② 供試体名について, 例) S $\circ\circ$ - Δ \times , S: 鋼製, $\circ\circ$: 幅厚比パラメータの小数点以下2桁, Δ : 未溶着高さ, \times : 載荷パターン(CC: Constant Amplitude Cyclic Loading, VC: Varying Amplitude Cyclic Loading)

Table 2 Parameters of specimens

供試体名	R_f	$\bar{\lambda}$	H_y (KN)	δ_y (mm)
S25-0-CC	0.254	0.376	141	5.83
S25-2-CC	0.254	0.378	139	5.83
S25-2-VC	0.254	0.378	139	5.83
S25-5-CC	0.254	0.381	136	5.82
S25-5-VC	0.254	0.378	139	5.83

あり, 板厚は 12mm とした. 供試体の概要図を Fig. 1 に, 実測寸法と供試体の構造パラメータを Table 1, Table 2 にそれぞれ示す.

Fig. 1 に示すように供試体の梁・柱部交差部には溶接未溶着高さ a の溶接欠陥が導入されている. また, 比較のために, 完全溶け込み溶接で製作された供試体も準備した. 供試体には柱部からそれぞれ h_1, h_2, h_3 の間隔で, 梁部には L_1, L_2, L_3 の間隔でダイヤフラム

が設置されている. なお, 供試体は Fig. 2 のように比較的小さなフィレットを有する既設鋼製ラーメン橋脚の隅角部 (Fig. 1 では $R=100$) を想定しており, 実橋脚との対比では供試体の柱部が実橋の梁, 梁部が実橋の柱となる. さらに本研究で扱う供試体では, 実構造の鋼製橋脚隅角部の板組や隅角部の溶接仕上げ方法を再現しており, 隅角部の三線交差部 (梁, 柱の溶接交差部分) の溶接を滑らかに仕上げしている. これは本実験では溶接内部の未溶着の影響に着目しており, 溶接したままのビードの形状に起因する応力集中部からのき裂発生を避けるためである. また, 供試体の柱については, クラック発生前に繰り返し載荷に伴う母材の局部座屈による耐荷力低下を防止するために幅厚比パラメータ R_f を 0.25 として設計を行った. 幅厚比パラメータは次式により定義される.

$$R_f = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 \cdot 4n^2}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (2)$$

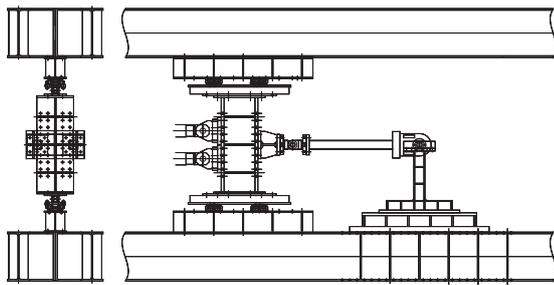


Fig. 3 Loading system

ここに、 b = フランジの板幅、 t = フランジの板厚、 σ_y = 降伏応力、 E = 弾性係数、 ν = ポアソン比、 n = サブパネル数 (本研究の対象は無補剛断面であるため、 $n = 1$) である。

Fig. 1 中の側面図の寸法は全て板厚中心間距離である。供試体の名称はそれぞれ、S (鋼製部材) 25 (幅厚比パラメータの 100 倍の値) - a (溶接未溶着高さ: 単位 mm) - CC or VC (载荷パターン) を表している。

2.2 実験装置概要

本実験の実験装置の概略図を Fig. 3 に示す。水平方向の荷重は载荷フレームの柱に固定したアクチュエータ (± 1000 kN) により载荷を行った。2本のアクチュエータの水平ストロークにより、供試体頂部に水平変位が与えられる仕組みになっている。またアクチュエータの先端にはヒンジを取り付け、常に水平方向に载荷できる。供試体と架台および载荷版、架台と载荷フレーム間はそれぞれ高力ボルトで連結した。

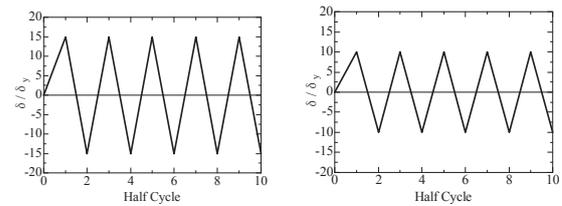
2.3 载荷パターン

载荷方法については、一定変位振幅繰り返し载荷および変動変位振幅繰り返し载荷とし、Fig. 4 に示すような 3 種類の载荷パターンとした。Fig. 4 (a) (b) は $10\delta_y$ および $15\delta_y$ を目標変位とする定振幅変位载荷、Fig. 4 (c) は 1 サイクル毎の漸増変位振幅载荷のである。なお、载荷パターンにおける振幅を $10\delta_y$ および $15\delta_y$ と比較的大きな振幅としたのは、筆者らの既往の実験⁷⁾において延性き裂の発生点が $10 \sim 15\delta_y$ 付近で確認されていることによる。

3. 実験結果

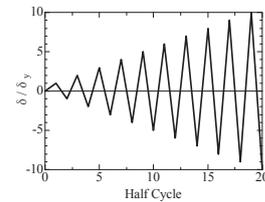
3.1 水平荷重-水平変位関係

各供試体の無次元化された水平荷重-水平変位関係を Fig. 5 に示す。なお同図においてそれぞれ、○ : 完全溶け込み $a=0$ mm の供試体のき裂発生点、△ : 未



(a) 载荷パターン No.1
定変位振幅载荷 ($15\delta_y$)

(b) 载荷パターン No.2
定変位振幅载荷 ($10\delta_y$)



(c) 载荷パターン No.3
漸増変位振幅载荷

Fig. 4 Loading patterns

Table 3 Loading pattern for each specimen

供試体名	载荷パターン
S25-0-CC	No.1
S25-2-CC	No.1
S25-2-VC	No.3
S25-5-CC	No.2
S25-5-VC	No.1

溶着高さ $a=2$ mm の供試体のき裂発生点、□ : 未溶着高さ $a=5$ mm の供試体のき裂発生点を示している。

同図中(a)の定変位振幅载荷 ($\pm 15\delta_y$) では未溶着高さ a がそれぞれ 0mm, 2mm の履歴ループを比較しているが、履歴ループの外形からは顕著な違いは見られない。また、(c)の漸増変位振幅载荷では未溶着高さ a がそれぞれ 2mm, 5mm の履歴ループを比較しているが、やはり履歴ループに大きな違いは見られない。供試体の初期剛性についても(a)、(c)のグラフにおいてよく一致していることから、マクロ的には水平荷重-水平変位関係に溶接未溶着高さの違いが与える影響は少ないと考えられる。

3.2 き裂の発生および進展状況

S25-0-CC のき裂進展状況を Photo 1 に示す。以下にき裂進展状況の詳細を述べる。

i) Photo 1 (b) : 6 半サイクル载荷後の $+9\delta_y$

この時点で初めてき裂を確認した。き裂はウェーブフランジ溶接部の溶接ビード上に発生した。詳細な位置は Photo 1 (b) に示す通り、フィレット中心近傍である。この時のき裂長さは $L_c=2$ mm 程度であった。

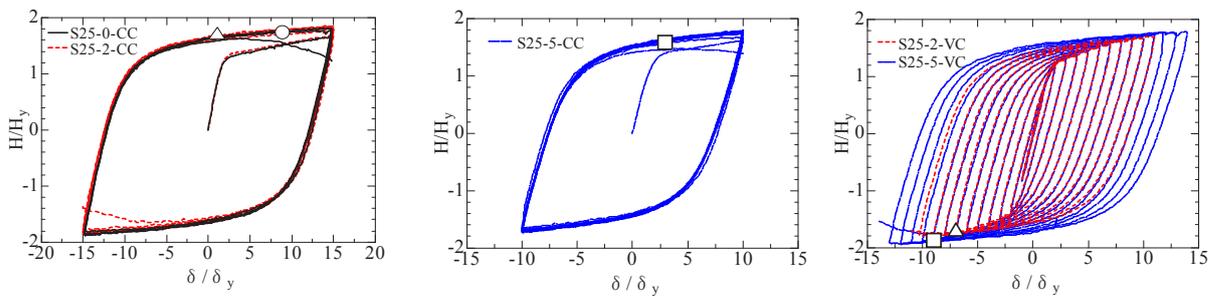


Fig. 5 Hysteretic curves of load-displacement relationship

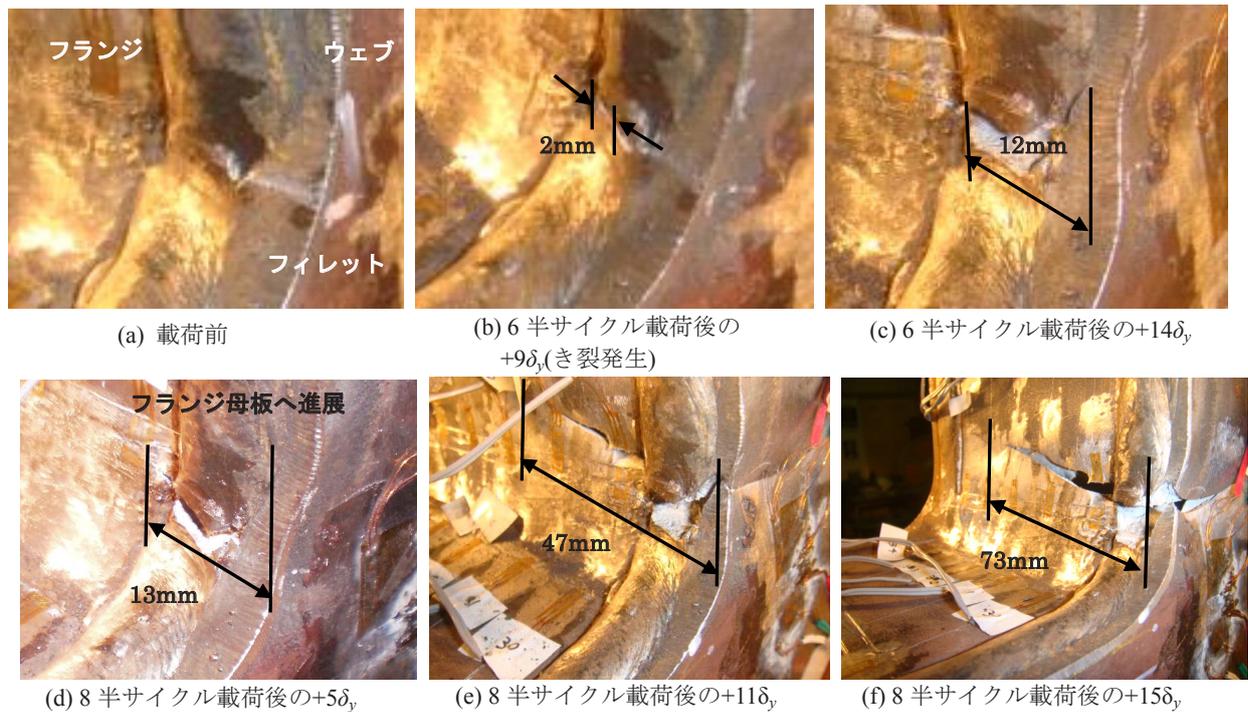


Photo 1 Crack initiation and growth of S25-0-CC

ii) Photo 1 (c) : 6 半サイクル載荷後の+14 δ_y

この時点でき裂が溶接ビード幅全長まで進展し、この時のき裂長さは $L_c=12\text{mm}$ 程度であった。溶接ビード上のき裂は上部に昇るように進展し、この写真の時点ではU字型のようになっていた。

iii) Photo 1 (d) : 8 半サイクル載荷後の+5 δ_y

き裂は柱幅方向に進展し、この時のき裂長さは $L_c=13\text{mm}$ 程度であった。この時点でき裂はフランジ母材まで進展した。き裂が発生した箇所はフィレットの中心近傍であったが、フランジ母材へは基部仕上げの上端を沿うように進展していった。

iv) Photo 1 (e) : 8 半サイクル載荷後の+11 δ_y

ここで、き裂がウェブ母材に大きく進展した。母材でのき裂形状の破面はなめらかで、脆性的な破壊モードを呈していた。ウェブ母材へはフィレット上端を沿うように進展していった。この時点でのフランジき裂長さは $L_c=47\text{mm}$ 程度であった。

v) Photo 1 (f) : 8 半サイクル載荷後の+15 δ_y (実験終了)

ウェブ幅方向、フランジ幅方向共に、き裂が大きく進展しき裂長さは $L_c=73\text{mm}$ 程度となった。この時点で写真のようにフランジ幅方向のき裂が幅の 1/2 程度まで進展し、荷重も大きく低下していたため実験を終了した。

次に S25-5-VC のき裂進展状況を Photo 2 に示す。以下にき裂進展状況の詳細を述べる。

i) Photo 2 (b) : 17 半サイクル載荷後(18 半サイクル載荷前の折返し点)の-9 δ_y

この時点で初めてき裂を確認し、三線交差部の溶接ビード上より発生していた。詳細な位置は Photo 2(b) に示すように梁部のフランジ表面から 9.75mm の位置である。この時のき裂長さは $L_c=3\text{mm}$ 程度であった。

ii) Photo 2 (c) : 23 半サイクル載荷後の 0 δ_y

き裂発生後から徐々に進展し、この時点でき裂長さが $L_c=6\text{mm}$ 程度となったが、この後き裂の進展が緩やか

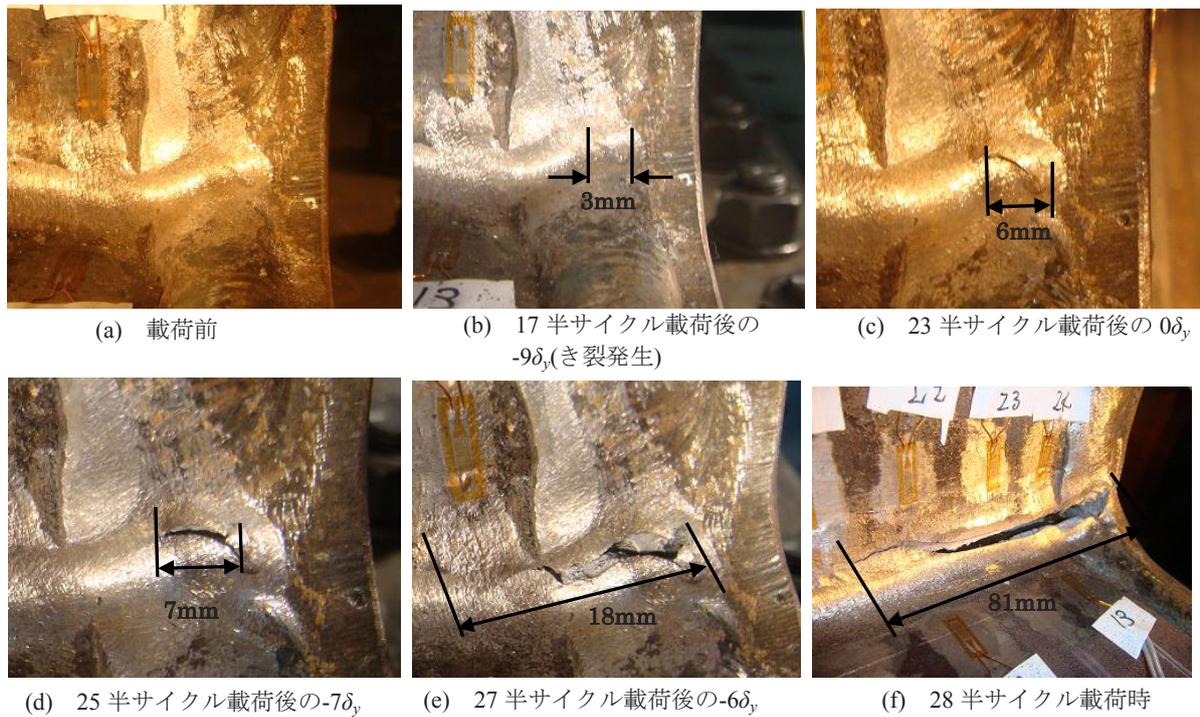


Photo 2 Crack initiation and growth of S25-5-VC

となった。

iii) Photo 2 (d) : 25半サイクル載荷後の $-7\delta_y$

この時点で再びき裂が進展をはじめ、この時のき裂長さは $L_c=7\text{mm}$ 程度であった。この後からき裂が急速に進展し始めた。

iv) Photo 2 (e) : 27半サイクル載荷後の $-6\delta_y$

初期に発生したき裂が付近のき裂と合体して急激に成長し、荷重低下が見られた。この時点でのフランジき裂長さは $L_c=18\text{mm}$ 程度であった。また、ここでのき裂進展は他の供試体とは異なり、十字継手部に沿って進展していることから、溶接欠陥が内部で成長していたと考えられる

v) Photo 2 (f) : 28半サイクル載荷時(実験終了時)

十字溶接部に沿ってき裂が大きく進展し、き裂長さは $L_c=81\text{mm}$ 程度となった。この時点で荷重低下が顕著となったため実験を終了した。

3.3 き裂発生点の比較

Table 4 に本実験で得られた延性き裂発生点の関係を示す。き裂発生箇所は、S25-0-CC および S25-2-CC においては初載荷時に引張を受けた面、それ以外の供試体では初載荷時に圧縮を受けた面であった。また、Fig. 7 に各供試体におけるき裂の発生位置およびき裂進展方向を示す。

同一載荷パターンで比較した場合において、S25-0-CC と S25-2-CC($\pm 15\delta_y$ の定変位振幅載荷)を比べると、

Table 4 Crack initiation point

供試体名	実験でのき裂発生点	定義上でのき裂発生点
S25-0-CC	6 Half Cycle (+9 δ_y)	5 Half Cycle
S25-2-CC	5 Half Cycle (+1 δ_y)	4 Half Cycle
S25-2-VC	14 Half Cycle (-7 δ_y)	13 Half Cycle
S25-5-CC	12 Half Cycle (+3 δ_y)	11 Half Cycle
S25-5-VC	17 Half Cycle (-9 δ_y)	16 Half Cycle

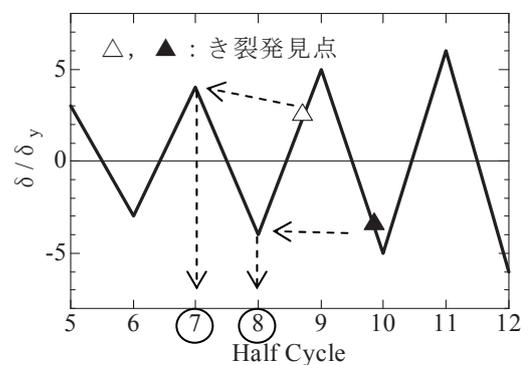


Fig. 6 Definition of crack initiation point

溶接未溶着高さ 2mm の S25-2-CC が 1 半サイクルではあるがき裂が早く発生した。これは、き裂の発生



Fig. 7 Location of crack initiation and crack growth direction



Photo 3 Cut off picture of S25-5-VC at beam-column connection

点が溶接内部からのき裂ではなく、フィレット上部近傍からのき裂であり、溶接未溶着がき裂発生に影響を及ぼさなかったためと考えられる。これについては実際の隅角部の構造ディテールにもある応力集中の緩和を目的としたフィレットのために、応力集中点が梁・柱交差部に起こらず、フィレット上端部に応力集中が発生し未溶着部からき裂が進展しなかったためと考えられる。

次に、S25-2-VCとS25-5-VCを比較すると、き裂発生はS25-5-VCが4半サイクル遅くなっているが、これについてはFig. 7中に記載の通り、S25-2-VCについては供試体柱部に溶接欠陥が存在し、早期に柱中間部からき裂が進展したためである。

3.4 溶接未溶着部からのき裂進展

S25-5-VCについては3.2節に記載の通り、き裂が

溶接三線交差部近傍から発生した。Photo 3 に S25-5-VC の実験終了後における梁・柱交差部の切断面写真を示す。本供試体では応力集中効果のあるフィレット内の溶接部からき裂が発生したことより、断面欠損が大きい溶接未溶着部先端における応力集中からき裂が溶接ビード表面に貫通し、梁・柱交差部の十字溶接継手に沿って延性き裂が進展したものと考えられる。

本実験で使用した板厚は 12mm であるが、未溶着高さ 2mm の供試体 (S25-2-CC: 母板に対する断面欠損率 17%) ではフィレットの上端部からき裂が発生したことを考えると、未溶着高さ 5mm の供試体 (S25-5-VC: 母材に対する断面欠損率 42%) は溶接部における断面の欠損率が大きいことが破壊モードの違いに繋がったものと考えられる。

なお、溶接未溶着高さ 5mm の S25-5-CC に関しては Fig. 7 に示したとおりき裂発生の高さが 32mm であった。これはフィレット端部より高い位置である。この原因としては、柱のフランジの溶接ビードのラップがあり、その部位に応力集中が生じたためであると考えられる。

また、今回の実験では梁・柱交差部にフィレットを有しているため理論上最も応力が集中する三線交差部からのき裂発生は溶接未溶着の高さ (断面欠損率) の違いにより破壊モードが異なったが、一般的な溶接継手を考えるとこのような内部欠陥を生じた高い応力が作用する溶接構造物では、地震時等に延性き裂の発生から脆性的な破壊を生じる危険性があるものと考えられる。これらについては今後、さらに構造のディテールを変え実験、解析の両面から検討を行っていく必要がある。

4. 結論

本研究では、鋼製橋脚隅角部を模擬した 5 体の縮小モデルにおいて、本来完全溶け込み溶接が必要な部位に溶接未溶着部を導入し地震時における極低サイクル疲労き裂発生性状 (延性き裂) と、最終的な破壊モードを確認するために繰り返し載荷実験による検討を行い、フィレットを有する隅角部における溶接未溶着高さの違いによるき裂発生性状の違いを示した。

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

1) 繰り返し載荷による水平荷重-水平変位履歴において、溶接未溶着の有無による履歴のマクロ的な相違は見られなかった。

- 2) フィレットなどの応力集中緩和のための構造が有る場合、溶接未溶着高さが 2mm (母材の板厚に対する完全溶け込み溶接部の断面欠損率 17%) の場合においては溶接未溶着部からのき裂進展は見られなかった。
- 3) 一方、溶接未溶着高さ 5mm (母材の板厚に対する完全溶け込み溶接部の断面欠損率 42%) の場合においては溶接未溶着部からき裂が発生し、十字溶接部に沿って延性き裂が進展した。
- 4) 溶接未溶着部から延性き裂が発生した場合、母板から進展する延性き裂の進展に比べ、き裂が急激に進展する傾向が見られた。

謝辞

本研究の一部は、平成 21 年度科学研究費補助金・基盤研究(C)「土木鋼構造物の延性破壊照査法の開発に関する研究」(研究代表者: 葛 漢彬; 課題番号: 21560509) および文部科学省私学助成ハイテクリサーチセンター整備事業で名城大学に設置された「高度制震実験・解析研究センター」の助成を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 岡下勝彦, 大南亮一, 道場康二, 山本晃久, 富松実, 丹治康行, 三木千壽: 兵庫県南部地震による神戸港港湾幹線道路 P75 橋脚隅角部におけるき裂損傷の原因調査・検討, 土木学会論文集, No.591/I-43, 243-261, 1998.4.
- 2) 三木千壽, 平林泰明: 施工の不具合を原因とする疲労損傷, 土木学会論文集 A, Vol.63 No.3, 518-532, 2007.7.
- 3) 鈴木俊光, 葛 漢彬, 藤江渉: 繰り返し荷重を受ける鋼製橋脚隅角部の延性き裂発生評価に関する実験データによる検証, 第 13 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.229-234, 2010.2.
- 4) 鈴木俊光, 葛 漢彬, 小野恵亮: 溶接未溶着を有する鋼厚肉部材の延性き裂発生に関する実験的研究, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 1-40, pp.79-80, 2010.9.
- 5) 小野恵亮, 葛 漢彬, 鈴木俊光: 溶接未溶着を有する鋼厚肉部材の繰り返し弾塑性挙動に関する解析的研究, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 1-41, pp.81-82, 2010.9.
- 6) 葛 漢彬, 藤江渉, 岩田勝成: ランダムな繰り返し載荷を受ける鋼製橋脚の延性き裂発生・進展挙

- 動及び照査法の検証, 構造工学論文集 Vol.56A, pp.342-355, 2010.3.
- 7) 葛 漢彬, 大橋正稔, 田島僚: 鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂の発生とその進展に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.493-502, 2007.3.
- 8) 葛 漢彬, 津村康裕: 鋼製厚肉断面橋脚における延性き裂発生の評価に関する実験的および解析的研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.605-616, 2009.3.
- 9) 葛 漢彬, 藤江渉, 田島僚: 鋼構造物の延性き裂発生の評価法の実験データによる検証, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.617-628, 2009.3.
- 10) 坂野昌弘, 三上市蔵, 村山 宏, 三住泰久: 鋼製橋脚基部の超低サイクル疲労破壊挙動, 鋼構造論文集, 第2巻, 第8号, pp.73-82, 1995.
- 11) 坂野昌弘, 三上市蔵, 鷹羽新二: 鋼製橋脚隅角部の低サイクル疲労挙動, 土木学会論文集, No.563/I-39, pp.49-60, 1997.
- 12) 坂野昌弘, 岸上信彦, 小野剛史, 三上市蔵: 鋼製ラーメン橋脚柱梁接合部の超低サイクル疲労破壊挙動, 鋼構造論文集, 第4巻, 第16号, pp.17-26, 1997.
- 13) 三木千壽, 四十沢利康, 穴見健吾: 鋼製橋脚ラーメン隅角部の地震時脆性破壊, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.273-281, 1998.
- 14) 佐々木栄一, 高橋和也, 市川篤司, 三木千壽, 名取暢: 鋼製ラーメン橋脚隅角部の補剛構造がその弾塑性挙動に及ぼす影響, 土木学会論文集, No.689/I-57, pp.201-214, 2001.10.
- 15) 陵城成樹, 足立幸郎, 猪瀬幸太郎, 杉浦邦征, 渡邊英一: 鋼製橋脚基部の地震時低サイクル疲労挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.649-655, 2002.3.
- 16) 佐々木栄一, 荒川泰二, 三木千壽, 市川篤司: 鋼製橋脚における地震時脆性破壊防止に必要な鋼材の破壊靱性レベル, 土木学会論文集 No.731/I-63, pp.93-102, 2003.4.
- 17) 田村洋, 佐々木栄一, 山田均, 勝地弘: 地震時の脆性破壊発生起点における応力三軸度変化, 鋼構造年次論文報告集, 第17巻, pp.49-56, 2009.11.
- 18) 荒川慎平, 木下幸治: 荷重伝達型十字溶接継手の疲労き裂発生点に及ぼす未溶着寸法の影響, 土木学会第64回年次学術講演会, I-165, pp.329-330, 2009.9.
- 19) 木下幸治, 三木千壽, 市川篤司: 円柱を有する既設鋼製ラーメン橋脚の耐震性能に関する検討, 土木学会論文集, Vol.64, No.3 pp.571-587, 2008.7.
- 20) 木下幸治, 荒川慎平: 荷重伝達型十字溶接継手の未溶着寸法が疲労き裂発生点に及ぼす影響, 鋼構造論文集, 第16巻第64号, pp.65-70, 2009.12.
- 21) 貝沼重信, 森猛, 一宮充: 荷重伝達型十字溶接継手の疲労破壊起点の評価方法の提案, 土木学会論文集, No.668, pp.313-318, 2001.1.
- 22) 宇佐美勉 編著: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 日本鋼構造協会, 技報堂出版, 2006.
- 23) Kuwamura, H. and Suzuki, T.: Low-cycle fatigue resistance of welded joints of high-strength steel under earthquake loading, 10th World Conference of Earthquake Engineering, pp.2851-2856, 1992.
- 24) 桂大輔, 宮澤秀明, 桑村仁: 繰り返し載荷による鋼梁の延性破断, 日本建築学会構造系論文集, No.588, pp.157-164, 2005.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

高機能無補剛せん断パネルダンパーの復元力特性に関する解析的研究

大場孝太¹⁾ 葛 漢彬²⁾

Analytical Study on Hysteretic Characteristics of High Performance Unstiffened Shear Panel Dampers

Kota OBA¹⁾, Hanbin GE²⁾

Abstract

Bi-linear hysteretic model is generally used to simulate the cyclic characteristics of high performance shear panel dampers (SPD) in practice. However, from previous studies, it is found that excessively small evaluations may be achieved by using the model. Here in the study, a new hysteretic model constructed by mixed hardening rule is presented. Based on the experimental and numerical analysis results, parameters (C_1 , C_2 , D_1 , D_2) to determine the mixed hardening model in detail are suggested and it is verified that the recommended model has good accuracy.

1. はじめに

構造物の耐震性能を向上させる方法として、現在のところ大きく分けて耐震構造、制震・免震構造の2種類が確立されている。耐震構造は土木分野においては昔から精力的に研究されてきている¹⁾²⁾。しかし、制震・免震構造は土木分野においては最近になって研究が盛んに行われるようになってきている。制震構造は、主構造の損傷を極力小さくしほぼ弾性域内に収め、地震後に交換・補修が容易な2次部材にエネルギー吸収を集中させ、耐震性能を向上させる構造である。エネルギー吸収部材は以上のような特徴から犠牲部材とも呼ばれる。本研究ではこの犠牲部材の1つでせん断降伏型の履歴ダンパーであるせん断パネルダンパー(Shear Panel Damper, 以下SPDと称す)を無補剛の場合に限定して取り扱う。

制震構造物の性能設計をする際には応答値を導くために犠牲部材やその周辺部材の復元力モデルが必要であり、また、定めた限界値を満たす性能をその犠牲部材等が有していることが必要である。軸降伏型の履歴ダンパーである座屈拘束ブレース(Buckling-Restrained Brace, 以下BRBと称す)に関しては近年土木構造分野でも研究が進み、BRBに要求される性能、鋼橋に効率的に配置する方法などが研究されてきた。その結果、ラーメン式橋脚、鋼アーチ、鋼トラス橋、吊橋などの耐震性向上に有効であることが実証されている¹⁾²⁾。

鋼アーチにBRBを設置した際の限界値については研

究が進んでおり、その限界値は最大応答ひずみ 3.0%程度、累積塑性ひずみは余震の影響も考慮して 70%程度である³⁾。Fig. 1は履歴ダンパーの導入例について示したもののだが、BRBの代わりに同じ位置にSPDを設置した場合の限界値を幾学的な考察により算定すると、最大応答せん断ひずみ 12%程度、CID(累積塑性ひずみ)280%程度がSPDの限界値となる⁴⁾。

本研究では、高機能SPD開発⁵⁾⁶⁾に着目し、幅厚比パラメータ(R_w)が 0.14, 0.20, 0.25の厚肉な鋼板からなるSPDについて、修正2曲面モデル⁷⁾を用いた解析によるデータ、実験によるデータ⁸⁾との比較を行い、その結果を利用し、混合硬化則という概念を適用することによって、実験データの復元力モデルをうまく模擬することができる新たな復元力モデルの構築を行う。その結果から混合硬化則に適用されるパラメータの推奨値の提案も行う。

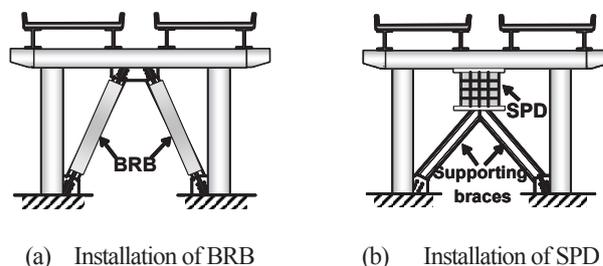


Fig. 1 Example of hysteretic dampers

1) 大学院理工学研究科 2) 建設システム工学科

1) Graduate School of Science and Technology 2) Department of Civil Engineering

2. 解析概要

2.1 解析モデル

解析モデルは Table 1 と Fig. 2 に示すように SPD の弾塑性繰返し挙動を調べるためにシェルモデルで解析を行った。また、モデルは幅厚比パラメータを変えた3種類で行った。

2.2 解析条件

SPD-0.14 についてはウェブ部分が低降伏点鋼 LY225、フランジ部分が普通の構造用鋼材 SM490Y、他のモデルはフランジ、ウェブともに SS400 を用いた。

境界条件は $x=0$ を完全固定とし、フランジについては x 方向を除き固定とした。分割数はウェブが x 方向、 y 方向をウェブと同様に 18 分割、 z 方向を 12 分割した。

残留応力は、短形分布を用い、引張残留応力が生じる部分に降伏応力 σ_y を、それ以外の要素に圧縮残留応力 σ_{rc} を与えた。なお、 σ_{rc} は $0.3\sigma_y$ である。残留応力の幅はつりあいを保つように $b_c : b_t = 1 : 0.3$ とし、メッシュ分割は引張残留応力部に各 3 要素、圧縮残留応力部に 15 要素とした(Fig. 3 参照)。

また、ウェブの初期たわみは、載荷・載荷直角方向ともに半正弦波を仮定し、最大初期たわみ δ_p は $b_w / 150$ とした⁹⁾(Fig. 4 参照)。

2.3 構成則

構成則は、名古屋大学で開発された修正 2 曲面モデルを用いる。修正 2 曲面モデル⁷⁾は繰返し荷重を受ける鋼部材(SS400, SM490, SM590)に対して実験結果に極めて近い挙動を予測できる構成則である。この構成則における材料パラメータは普通の構造用鋼材 SS400, SM490, SM590 におのみ提案されているが、今回実験で用いた低降伏点鋼 LY225 については SS400 に近い材質であるため SS400 のパラメータを代用することにより算定した。

また、修正 2 曲面モデルは 1) 累積相当塑性ひずみ概念の導入、2) 累積相当塑性ひずみ量による降伏曲面の大きさの減少、3) 降伏棚の長さの減少・消失を考慮することによる降伏棚内の繰返し変形特性の再現、4) 形状パラメータの修正、5) 記憶曲面と仮想境界曲面の導入、および 6) 境界曲面の大きさ、傾きおよび移動の考慮、といった修正と追加を 2 曲面モデルに行ったものである。また、モデルのパラメータとしては引張試験から定められる 5 個の材料定数(ヤング係数 E 、降伏応力 σ_y 、ポアソン比 ν 、ひずみ硬化開始時の硬化係数 E_{st} およびひずみ硬化開始時のひずみ ϵ_{st}) 以外に 12 個あるが SS400, SM490, および SM570 鋼材に対するそれらの値は、引張

試験から得られる材料定数の値が決まれば決定できるようになっている。

2.4 載荷方法

Fig. 5 に各ケースの載荷方法を示し、以下に載荷方法の概要を示す。載荷パターンはいずれのモデルも漸増載荷を主体とする。まず、平均せん断ひずみを $\pm 5\%$ 、 $\pm 7\%$ 、 $\pm 9\%$ と漸増載荷を行い、そしてその後 $\pm 12\%$ で定振幅繰返し載荷を行う。なお、定振幅載荷の回数は累積塑性ひずみ 280% を満たす回数とする。定振幅載荷は CID が 280% に達した時点で終了する。ここで、CID は式(1)で定義される(Fig. 6 参照)。

$$CID = \sum \gamma_{pi} \tag{1}$$

ここで、 γ_{pi} は各ハーフサイクルにおけるせん断塑性ひずみである。

Table 1 Structural parameters and dimensions

供試体名	ウェブ						フランジ	
	a (mm)	b_w (mm)	t_w (mm)	a	b_w/t_w	R_w	b_f (mm)	t_f (mm)
①SPD-0.14	250	250	16.00	1.0	15.63	0.14	150	14
②SPD-0.20	250	250	11.00	1.0	22.73	0.20	150	14
③SPD-0.25	250	250	8.84	1.0	28.57	0.25	150	14

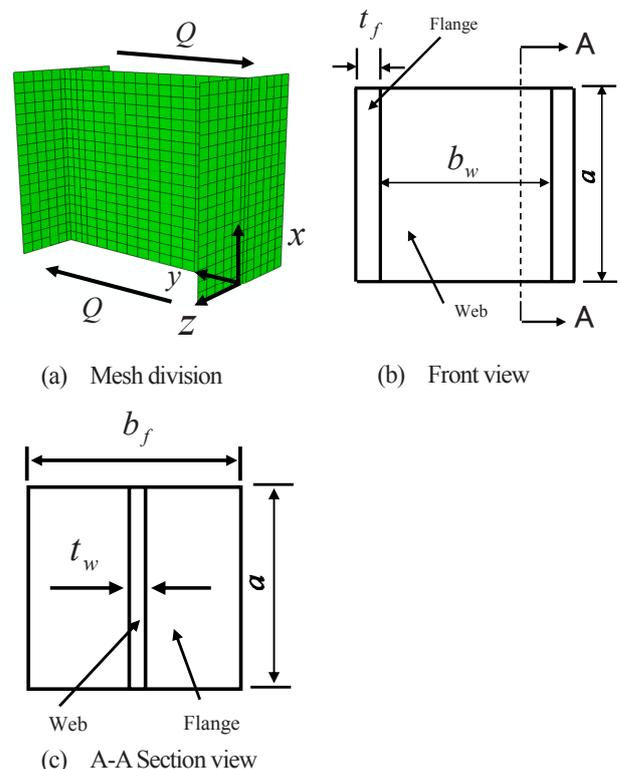


Fig. 2 Analytical model

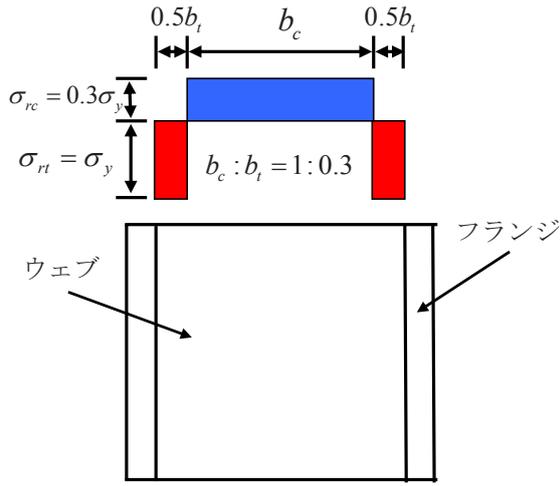


Fig. 3 Residual stress distribution of web

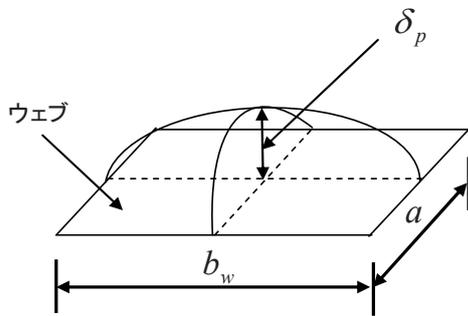


Fig. 4 Initial deflection of web

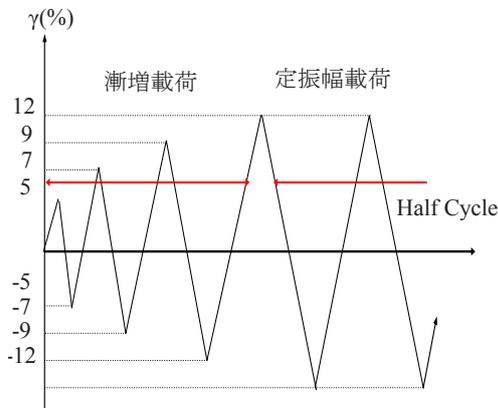


Fig. 5 Loading pattern

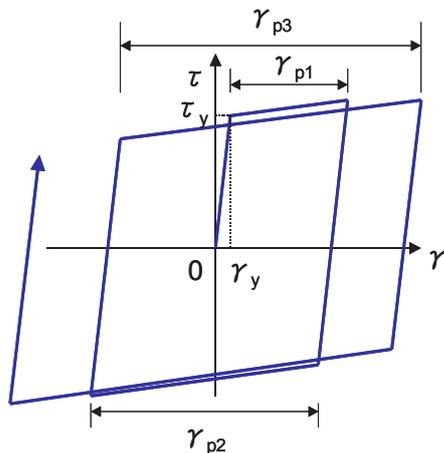


Fig. 6 Definition of CID

3. 解析結果

3.1 実験結果との比較

本解析ではSPD-0.14, SPD-0.20, SPD-0.25の3ケースについての解析を行ったが、ここでは実験データがSPD-0.14のケースしかないため、SPD-0.14の場合のみ実験データとの比較検討を行う。その結果がFig. 7である。

Fig. 7において、縦軸、横軸はそれぞれ平均せん断応力 τ 、平均せん断ひずみ γ であり、降伏せん断応力 τ_y 、降伏せん断ひずみ γ_y (式(2), (3)参照)で無次元化してある。なお、平均せん断応力 τ は $x=0$ に位置する節点における y 方向節点力の合計を Q とし式(4)より算定し、 γ は式(5)より算定している。

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \tag{2}$$

$$\gamma_y = \frac{\tau_y}{G} = \frac{\sigma_y / \sqrt{3}}{E/2(1+\nu)} \tag{3}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w \cdot b_w} \tag{4}$$

$$\gamma = \frac{\delta}{a} \tag{5}$$

ここで、 δ はせん断方向の変位である。

Fig. 7に示す修正2曲面モデルで解析した履歴曲線の形を見てみると、正の方向に载荷した場合、負の方向に载荷した場合の両方とも実験結果と比べて復元力モデルをほぼ正確に評価していることがわかる。

また、実験結果、修正2曲面モデルの両方とも、負の方向に载荷した場合よりも正の方向に载荷した場合のほうが復元力モデルを大きめに評価しているが、おおむね評価できている。

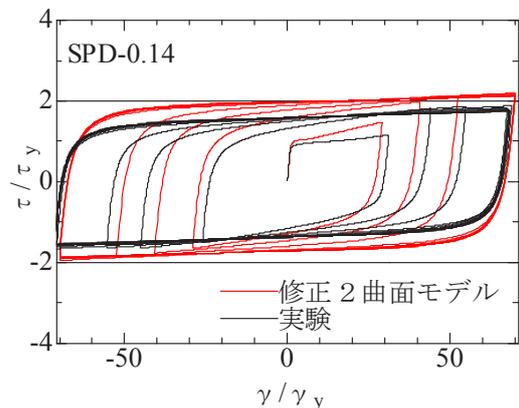


Fig. 7 Hysteretic curves

3.2 復元力モデルの構築

3.2.1 混合硬化則の概要

混合硬化則 (Fig. 8 参照) は塑性域での挙動を弾性域の変化、背応力の変化をもとに表現し、また弾性域や背応力の変化を考慮した構成則⁽⁶⁾⁽¹¹⁾である。混合硬化則のパラメータは、弾性域の大きさを定める等方硬化パラメータ C_1 、 C_2 と背応力を定める移動硬化パラメータ D_1 、 D_2 があり、それぞれ C_1 : 弾性域の最大変化量、 C_2 : 塑性変形に伴う弾性域の大きさの変化を定めるパラメータ D_1 : 初期の移動硬化係数、 D_2 : 塑性変形に伴う弾性域の中心位置の変化を定めるパラメータである。

混合硬化則では、弾性域の大きさ τ'_y は以下の式(6)で与えられる。

$$\tau'_y = \tau_y + C_1 \left\{ 1 - \exp(-C_2 \bar{\gamma}_p) \right\} \quad (6)$$

ここで、 τ_y は初期のせん断降伏応力、 $\bar{\gamma}_p$ は累積塑性せん断ひずみであり、塑性せん断ひずみを γ_p とすると式(7)で表される。

$$\bar{\gamma}_p = \int |d\gamma_p| \quad (7)$$

また、背応力 α は以下の式(8)で表される。

$$\alpha = \frac{D_1}{D_2} \left\{ 1 - \exp(-D_2 \gamma_p) \right\} + \alpha_1 \exp(-D_2 \gamma_p) \quad (8)$$

ここで α_1 は各サイクルの初期の背応力である。以上より、混合硬化則では降伏後のせん断応力は式(9)で表される。

$$\tau = \tau_y + C_1 \left\{ 1 - \exp(-C_2 \bar{\gamma}_p) \right\} + \frac{D_1}{D_2} \left\{ 1 - \exp(-D_2 \gamma_p) \right\} + \alpha_1 \exp(-D_2 \gamma_p) \quad (9)$$

式(9)では、弾性域の大きさである第1項と第2項の和は履歴を繰り返すことにより累積塑性せん断ひずみが大きくなり、一定値に収束する。降伏後の挙動は背応力である第3項と第4項の和に依存し、各サイクルで同じ形状のループを繰り返す。この状態を定常サイクルと呼び、以上を考慮して移動硬化パラメータを定める。ここで第4項にある α_1 はハーフサイクルごとの降伏後の初期の背応力である。定常サイクル時には γ_p の値が一定値となるため、背応力の値は一定値に収束する。

定常サイクルでは、背応力は式(10)で表される。

$$\alpha_i = \tau_i - \tau_{ec} \quad (10)$$

ここで τ_{ec} は弾性域の大きさの収束値であり、せん断降伏応力 τ_y と最大せん断応力 τ_u を用いて式(11)で表される。

$$\tau_{ec} = \frac{\tau_y + \tau_u}{2} \quad (11)$$

式(8)より背応力もまた、 γ_p を大きくすると D_1/D_2 に収束する。そのときの背応力の収束値を α_c とする。また、式(11)を式(10)に代入し τ_i が最大応力 τ_u であるときの背応力を α_c と仮定すると式(12)を導くことができる。

$$\alpha_c = \frac{D_1}{D_2} = \tau_u - \tau_{ec} = \tau_u - \frac{\tau_y + \tau_u}{2} = \frac{\tau_u - \tau_y}{2} \quad (12)$$

ここで、本来は定常サイクルの実験データを得るために定振幅荷の実験結果が必要であるが、本実験ではそのような実験データは得られていない。よって、せん断変形12%の1回目の履歴ループを定常サイクルと仮定して式(10)より修正2曲面モデルで解析した背応力の値を算出し背応力を求める。また、式(8)から得られる背応力が式(10)から得られた背応力の値に近似的に近づくように移動硬化パラメータ D_1 、 D_2 の値を求めていく。また、等方硬化パラメータについては、解析データから各サイクルの弾性域の大きさ τ'_y とそのときの累積塑性せん断ひずみ $\bar{\gamma}_p$ を抽出し、式(11)と比較することにより C_1 、 C_2 を求めていく。なお、本研究では履歴ループからは明確に降伏点(折れ曲がり点)を判断しにくいいため、常に降伏点は τ_y であると仮定している。

3.2.2 混合硬化則のモデルパラメータの推奨値の提案

ここでは実験結果ではなく解析結果を使って混合硬化則を適用したときに、算出したパラメータを Table 3 に示す。なお、パラメータを算出する際に今回の修正2曲面モデルを用いた解析ではハーフサイクルごとの弾性域の大きさ τ_{ec} の変化が正負間における復元力モデルの相違や、鋼材特有の定常サイクルにおける耐力低下などの影響で安定しないため、各ハーフサイクルにおいて隣り合わせの弾性域の値と累積塑性せん断ひずみ(CID)の平均を取ることで耐力低下が顕著になる前、つまり定常サイクル1回目終了時の値までのデータのみに有効にするなどしてパラメータの推奨値を算出した。

算出方法を詳しく述べると、 C_1 、 C_2 は Fig. 9 に示すような縦軸に弾性域の大きさの収束値 τ_{ec} 、式(6)、横軸に累積塑性せん断ひずみ $\bar{\gamma}_p$ をとったグラフを使って求める。このグラフ上の修正2曲面モデルにおける曲線に混合硬化則における曲線が近似的に近づくような C_1 、 C_2 を算出する。

また、同じように D_1 、 D_2 も Fig. 10 に示すように、縦軸に背応力 α [式(8)]、横軸に塑性せん断ひずみ γ_p をとったせん断ひずみ12%の1サイクル目の時のグラフを使って求める。このグラフ上のこのグラフ上の修正2曲面モ

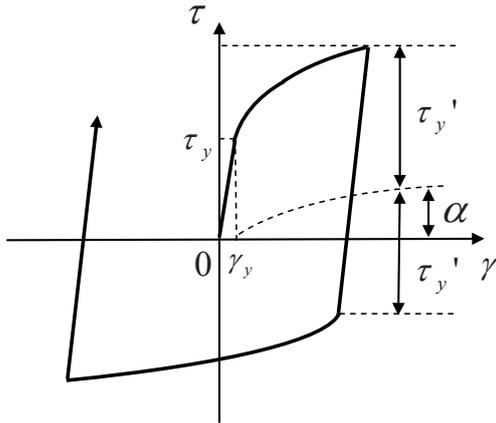


Fig. 8 Concept of combined hardening rule

Table 2 Values of combined hardening rule parameter on each model

モデル名	等方硬化パラメータ		移動硬化パラメータ	
	C_1	C_2	D_1	D_2
SPD-0.14	65.23	15.12	9.13×10^2	12.27
SPD-0.20	63.21	19.36	9.16×10^2	14.75
SPD-0.25	58.33	25.94	1.03×10^3	23.81

Table 3 Recommendation values of combined hardening rule parameter for unstiffened SPD

等方硬化パラメータ		移動硬化パラメータ	
C_{1Ave}	C_{2Ave}	D_{1Ave}	D_{2Ave}
62.26	20.14	9.54×10^2	16.94

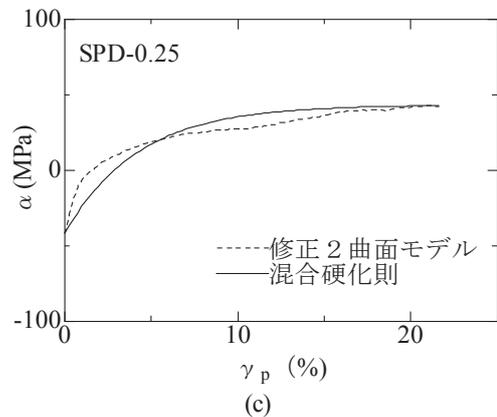
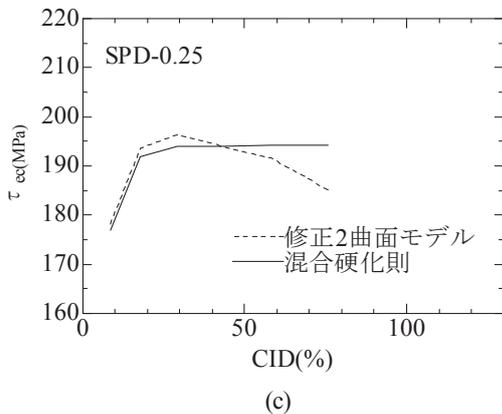
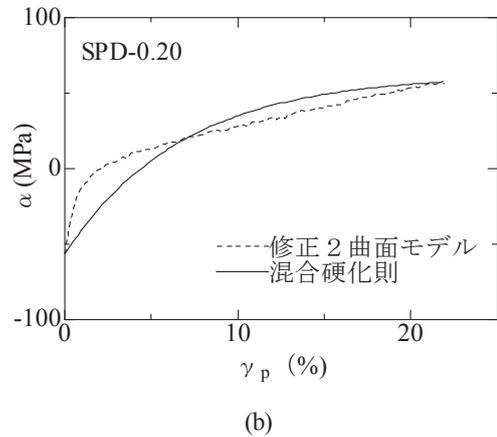
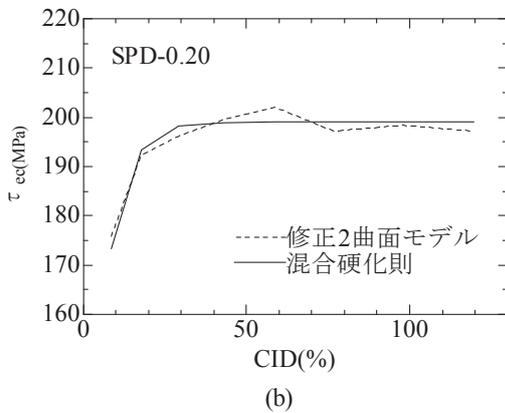
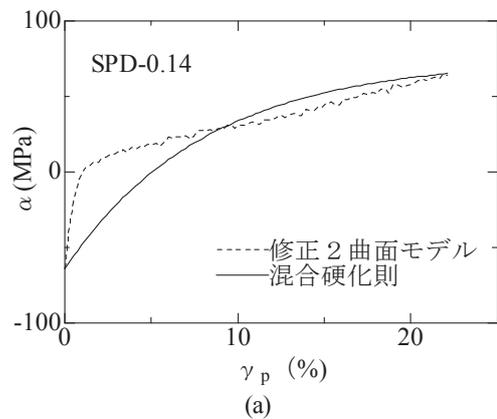
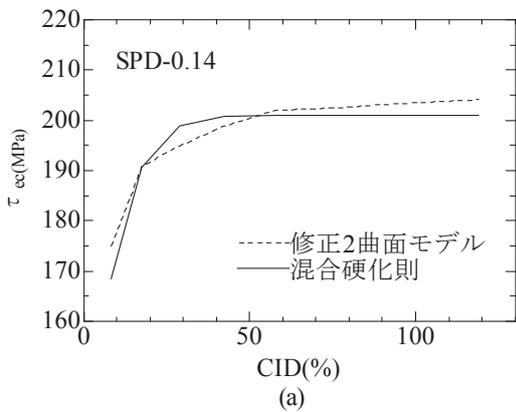
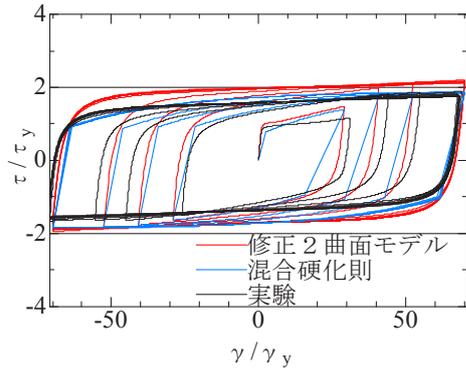
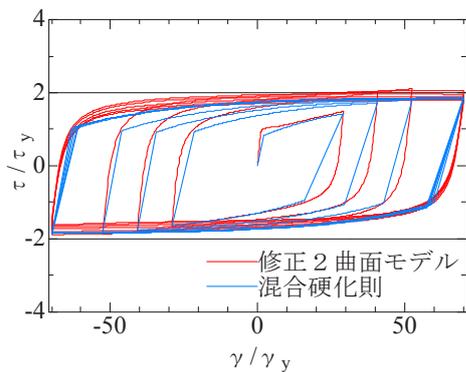


Fig. 9 Variation of elastic range

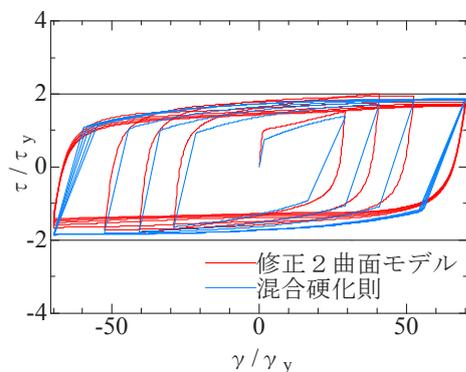
Fig. 10 Variation of back stress



(a) SPD-0.14



(b) SPD-0.20



(c) SPD-0.25

Fig. 11 Comparison of hysteretic curves

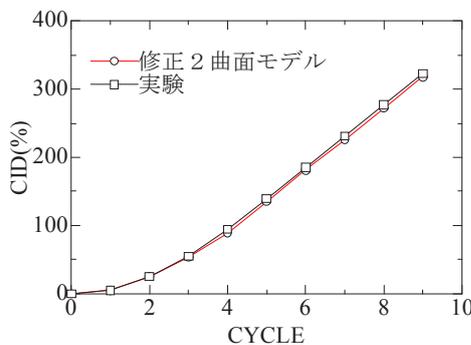


Fig. 12 Comparison of CID on SPD-0.14

デルにおける曲線に混合硬化則における曲線が近似的に近づくような D_1, D_2 を算出する。

また、Table 2 より、3 種類のモデルの平均を取ること
で無補剛せん断パネルダンパーの混合硬化則パラメータ
の推奨値を提案する。無補剛せん断パネルダンパーの混
合硬化則パラメータの推奨値を Table 3 に示す。

3.2.3 解析モデルの精度検証

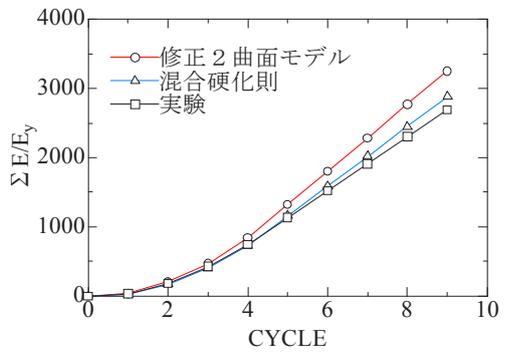
3.2.2 節で算出したパラメータを使って、混合硬化則
による新たな復元力モデルを提案した。その履歴曲線の
様子を Fig. 11 に示す。また、解析と実験の CID の各サイ
クルの変化の様子、修正 2 曲面モデルと実験、混合硬化
則の各サイクルのエネルギー吸収量の変化の様子、修正
2 曲面モデルを用いた解析における 9 サイクル終了時の
変形図をそれぞれ、Table 4, Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14, お
よび Fig. 16 に示す。また、サイクル数の定義を Fig. 15
に示す。

まず、Fig. 12 からわかるように修正 2 曲面モデルによる
解析と実験の CID がほぼ等しくなっている。

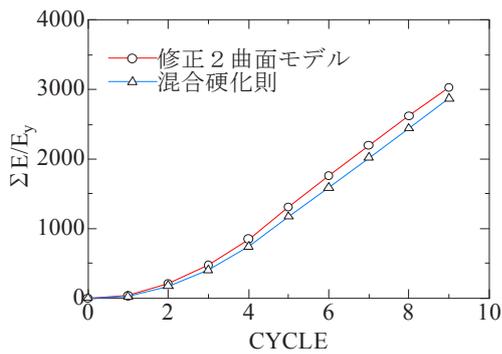
Fig. 13, Fig. 14 のエネルギー吸収量については、縦軸
は累積エネルギー吸収量を $E_y = Q_y A_y / 2$ で無次元化したも
の、横軸はサイクル数を示している。

Fig. 11 からわかるように実験結果がある SPD-0.14 の
場合についていえば修正 2 曲面モデルよりも混合硬化則
のほうが実験結果に近いエネルギー吸収量を示している
ことがわかる。SPD-0.20, SPD-0.25 の場合は実験結果が
推測になるが、エネルギー吸収量は定常サイクル時にお
ける座屈による耐力低下がウェブの板厚が小さくなるご
とに減少することが予想される。さらに、Fig. 16 からわ
かるようにウェブの幅厚比パラメータ R_w を 0.14~0.25
の間で変化させたときに R_w の値が増加するほどウェブ
表面における変形が大きくなっている。また、修正 2 曲
面モデルで解析を行った場合のエネルギー吸収量の減少
は極めて大きくウェブの幅厚比パラメータを少し変化さ
せたぐらいではこのような著しい耐力低下は起こるとは
言い切れない。ここで混合硬化則の各モデルのエネルギ
ー吸収量の値を見ると鋼材に適度な値の耐力低下を確認
できたので、無補剛 SPD のエネルギー吸収量を解析によ
り算出する際に、混合硬化則を用いる方法はエネルギー
吸収量を実験値に非常に近い値を算出しているので、高
精度の復元力モデルであると結論づけることができる。
また、この簡易なモデルは修正 2 曲面モデルのように材
料レベルの構成則ではなく、あくまで部材レベルでの構
成則を前提としているモデルなので、このモデルを基に
してシェル要素を用いた SPD を簡単な梁やトラス部材
に置き換えることができる。そして、実際に SPD の性能

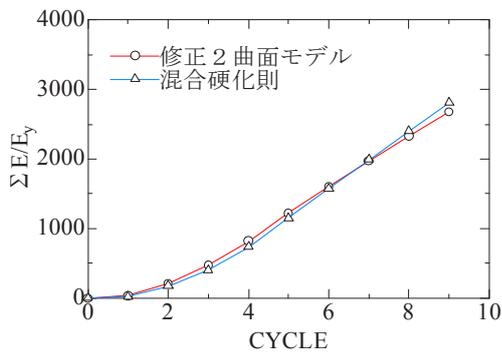
を解析によって評価するために、アーチ橋を代表とする各種橋梁に SPD を容易に橋梁内に取り入れることが可能となる。



(a) SPD-0.14

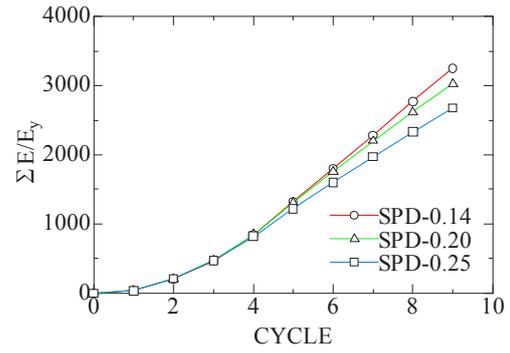


(b) SPD-0.20

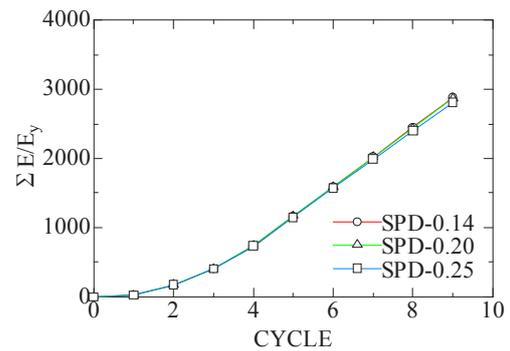


(c) SPD-0.25

Fig. 13 Energy absorption capacity of each model



(a) Modified two surface model



(b) Combined hardening rule

Fig. 14 Effect of R_w on energy absorption capacity

Table 4 Comparison of energy absorption capacity

モデル名	無次元化エネルギー吸収量 ($\gamma=12\%$ の6CYCLE終了時)		
	修正2曲面モデル	混合硬化則	実験
SPD-0.14	3250	2880	2690
SPD-0.20	3030	2870	
SPD-0.25	2680	2810	

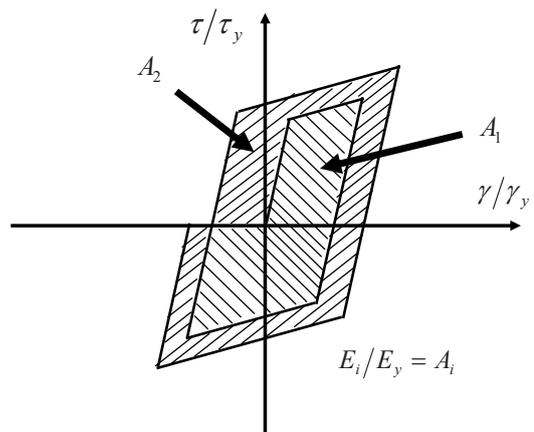


Fig. 15 Definition of cycle counting

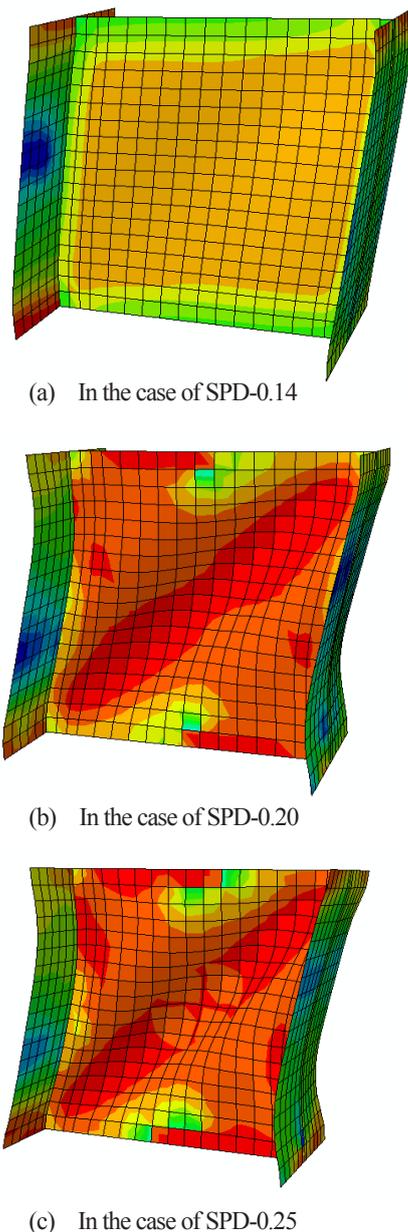


Fig. 16 Deformation at the end of 9th cycle from the analysis using the modified two surface model

4. 結論

本研究では、実験結果と解析結果を基に、高機能無補剛せん断パネルダンパーの復元力特性についての検討を行った。以下に本研究によって得られた主な結論をまとめる。

- 1) 混合硬化則を適用することにより復元力モデルの提案ができた。
- 2) 提案するパラメータの方法により、実験結果だけでなく、解析結果でも、精度の良いエネルギー吸収量を得られるような復元力モデルを作成するためのパラメータの推奨値を算出することができた。
- 3) SPD-0.14 の場合については、実験データに比べて、

修正 2 曲面モデルを用いた場合はエネルギー吸収量を大きめに評価する傾向にある。また、混合硬化則を用いた場合はエネルギー吸収量を精度良く模擬しており、高精度の復元力モデルの構築をすることができた。

- 4) 実験データと比較することにより混合硬化則を用いた復元力モデルの妥当性を検証した。

参考文献

- 1) 宇佐美勉編著, 日本鋼構造協会編(2006): 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂, p.107, p.241, 2006.9.
- 2) 土木学会(2008): 鋼・合成構造標準示方書, 丸善, pp.1-8, pp.98-109, 2008.2.
- 3) 葛 漢彬, 日沖堅治, 宇佐美勉(2005): 鋼アーチ橋に設置した座屈拘束ブレースの応答値, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, 論文番号 No.136.
- 4) 宇佐美勉: 高機能制震ダンパーの開発研究, 第 10 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.11-22, 2007.2.
- 5) 小池洋平, 谷中聡久, 宇佐美勉, 葛漢彬, 尾下里治, 佐合大, 鶴野禎史(2008): 高機能せん断パネルダンパーの開発に関する実験的研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.54A, pp.372-381, 2008.3.
- 6) 葛 漢彬, 宇佐美勉, 金子恵介(2010): 高機能補剛せん断パネルダンパーの繰り返し弾塑性挙動と復元力モデルに関する研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.56A, pp.522-532, 2010.3.
- 7) Shen, C., Mamaghani, I. H. P., Mizuno, E. and Usami, T.: Cyclic Behavior of Structural Steels. II: theory. J. Engrg. Mech., ASCE, 121(11), pp.1165-1172, 1995.
- 8) 小池洋平, 谷中聡久, 尾下里治, 春日井俊博(2008): せん断パネル型ダンパーを用いた鋼上路アーチ橋の耐震性能向上に関する解析的検討, 土木学会構造工学論文集, Vol.54A, pp.382-393, 2008.3.
- 9) 日本道路協会(2002): 道路示方書・同解説, I 共通編 II 鋼橋編, p.430.
- 10) Ge, H.B., Chen, X. and Matsui, N.: Seismic Demand on Shear Panel Dampers Installed in Steel Framed Bridge Pier Structures, to be published in Journal of Earthquake Engineering.
- 11) Lemaitre, J. and Chaboche, J.L. (1990): Mechanics of Solid Materials, Cambridge University Press.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

鋼部材のファイバーモデル解析における要素と断面分割に関する一検討

萩野勝哉¹⁾ 葛 漢彬²⁾

Study on Effects of Element and Section Divisions in Fiber Model Analysis of Steel Members

Katsuya HAGINO¹⁾, Hanbin GE²⁾

Abstract

In this study, using a beam-element based fiber model, influences of the different division number are investigated and the strain and bending moment at the column base are selected as two investigated variables. To present proposals for feasible models with mesh generations as coarse as possible for practical use, pushover analyses are conducted on single-column steel bridge piers by using the fiber model. Different divisions in the part of the pier where strains are evaluated, different divisions in the other part of the pier where strains are not evaluated and different divisions of cross sections in the pier are generated, investigated and compared. Through the comparison, the validity of the fiber model is verified and the influences to the two variables, i.e., strain and moment at the pier base, are examined in detail.

1. はじめに

鋼構造物の強度と変形能は、繰り返し載荷実験および Shell 要素を用いた繰り返し弾塑性解析により求められるが、実用上、はり要素を用いる Pushover 解析 (Fiber モデル解析) により求めることがよく用いられている¹⁾。この種の解析では、局部座屈を考慮できないため、終局判定に部材セグメントの破壊基準 (終局ひずみ) が必要である。すなわち、はり要素による Pushover 解析を行ったときの終局状態の算定の際に、破壊基準が用いられる。また、はり要素による動的解析を行ったときの安全性照査終局を判定する際にも用いられる。これらのときには、指標としてひずみを用いる。

ひずみを用いた照査は、ひずみが最も大きな部材セグメントの、部材軸方向の平均ひずみが終局ひずみに達したときとしている。部材セグメントの長さは有効破壊長と称され、この長さをひずみ評価領域ともいう。平均ひずみはひずみ評価領域の要素分割数や断面の分割数に依存するが、これまでの研究では、収束解が得られるように分割数を決めて解析が行われている²⁾⁴⁾。しかし、分割の影響を詳細に検討した事例が少ないのが現状である。また、実務においてはコストなどの面から、解の精度を確保できれば、できるだけ粗い分割が望ましい。

そこで、本検討では、単柱式鋼製橋脚を取り上げ、はり要素を用いたファイバーモデルによる Pushover 解析を

行い、ひずみ評価領域の終局時平均ひずみや終局時基部曲げモーメントなどに及ぼす分割の影響について調べる。詳細には、ひずみ評価領域の要素分割数、ひずみを評価しない領域 (ひずみ評価領域以外の部分) の要素分割数および断面の分割数 (すなわち、層分割数)、の3つについて検討を行う。これらの分割による影響を明らかにし、分割数のできるだけ粗いひずみ評価領域とひずみ評価領域以外の要素分割数、断面の層分割数に関する提案を試みる。また、これらの要因が、弾塑性解析結果に与える影響についても考察を行い比較検討する。

2. 解析手法

2.1 解析モデル

解析モデルは、Fig. 1 に示すように、柱頂部に一定鉛直力のもとで、強制変位を受ける一様断面の補剛箱形柱としている。

解析の対象となる単柱式鋼製橋脚は、KD-5, KD-6, KD-10, KD-7-1, H6, M22 である⁵⁾⁶⁾。各供試体の諸元を Table 1 に示す。KD-5, KD-6, KD-10 および KD-7-1 の断面図⁵⁾を Fig. 2(a)に示す。H6, M22 の断面図⁶⁾をそれぞれ Fig. 2(b), (c)に示す。各供試体の諸元が Table 1 に示すように断面積 A , 降伏応力 σ_y , 終局変位 δ_m などが異なる。

また、表中の記号はそれぞれ B_f =フランジ幅, t_f =フランジ厚, D_w =ウェブ幅, t_w =ウェブ厚, b_s =補剛材長さ, t_s

1)大学院理工学研究科 2)建設システム工学科

1) Graduate School of Science and Technology 2) Department of Civil Engineering

=補剛材板厚, L =供試体の基部から水平荷重作用位置までの距離, A =断面積, I =水平力載荷方向の断面2次モーメント, α =供試体基部の補剛板の縦横比, $\gamma\gamma^*$ =補剛材剛比, P/P_y =軸力比 (供試体に与える鉛直荷重 P と全断面降伏荷重 P_y の比), λ =細長比パラメータ, R_R =縦方向補剛材で区切られたパネルの幅厚比パラメータおよび R_r =補剛板の幅厚比パラメータである.

なお, 本解析には, 汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS⁷⁾を用いた.

2.2 構成則

材料構成則は, Fig. 3 に示したバイリニア型応力-ひずみ関係に移動硬化則 (二次勾配 $E_{st}/E=1/100$) を適用したものである.

2.3 要素分割, 断面の層分割

供試体のひずみ評価領域での要素分割数とひずみ評価領域以外での要素分割数, 断面の層分割数を示すために, 例として, 供試体 KD-5 の要素分割, 断面の層分割について説明する. Table 2 に示すようにひずみ評価領域での要素分割についてはフランジ幅 $B=750\text{mm}$ に相当する高さまでを 10 分割, ひずみ評価領域以外を 10 分割, 断面の層分割を 10 分割したものを基本ケースとした. また, 基部からフランジ幅 B に相当する高さまでの分割を細かくしたのは, 塑性化領域であること, 平均ひずみの算出に使用する領域としたことを考慮したためである.

2.4 解析方法

Table 2 に示された分割数を用いて供試体 KD-5, KD-6, KD-10, KD-7-1, H6, M22 について一方向への強制変位を与えた Pushover 解析を行った.

各供試体の解析には, ひずみ評価領域での要素分割数とひずみ評価領域以外での要素分割数は Table 2 に示された分割数をそのまま用いた. しかし, 汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS には, 補剛断面を直接表現するための断面がないために補剛断面を等価無補剛断面に置換した後に断面を層分割し解析を行った. 等価断面の計算方法を 2.5 節に示す.

なお, 解析では, 幾何学的非線形性を考慮し, 水平変位, 曲げモーメントの算出では, 曲げ変形だけでなく, せん断変形も考慮した.

2.5 等価断面の決定⁸⁾

正方形補剛箱形断面の解析においては, 計算の簡略化のために,

①断面積 A は不変

②断面の外形は不変

③ z 軸まわりの全塑性モーメントは不変

の 3 つの条件を満足する等価な無補剛断面に置き換える. この 3 つの条件により, 等価な無補剛断面のフランジの板厚 \bar{t}_f , ウェブ板の板厚 \bar{t}_w は次式のように示される.

$$2\{B\bar{t}_f + (D - 2\bar{t}_f)\bar{t}_w\} = A \quad (1)$$

$$B\bar{t}_f(D - \bar{t}_f)\sigma_{yf} + \frac{1}{2}(D - 2\bar{t}_f)^2\bar{t}_w\sigma_{yw} = M_p \quad (2)$$

ここに, σ_{yf} =フランジの降伏応力, σ_{yw} =ウェブの降伏応力, A =補剛箱型断面の全断面積, M_p =補剛箱型断面の全塑性モーメントである. 式(1), (2)において, フランジとウェブの降伏応力が等しいとすることで, \bar{t}_f および \bar{t}_w は次式のようにして求めることができる.

$$\bar{t}_f = \frac{4Z - AD}{2(BD - A)} \quad (3)$$

$$\bar{t}_w = \frac{A - 2B\bar{t}_f}{2(D - 2\bar{t}_f)} \quad (4)$$

ここに, Z は補剛箱形断面の塑性断面係数を表し, $Z = M_p / \delta_y$ とすることで求められる.

2.6 平均ひずみの求め方

補剛箱形断面鋼製橋脚を対象とした一方向への強制変位を与えた Pushover 解析では, 水平荷重作用位置での変位が終局変位 δ_m 時の平均圧縮ひずみ ϵ_m を求める. 具体的には, 解析結果より基部からフランジ幅 B に相当する高さまでのひずみ評価領域 L_e を対象に, その領域における水平荷重作用位置での変位が終局変位 δ_m に達した時の圧縮側フランジの全要素のひずみ (板厚中心位置) を算出し, そのひずみの平均値 ϵ_m を求める.

2.7 比較方法

各供試体の解析において Table 1 に示される終局変位に達した時の平均ひずみ ϵ_m を降伏ひずみ ϵ_y で除した ϵ_m/ϵ_y または M_m を指標として比較検討する.

Table 2 に示される分割数を用いて, 各供試体の Pushover 解析の解析結果から得られた ϵ_m/ϵ_y , 曲げモーメント M_m を縦軸に, 分割数を横軸にとり分割の影響による値のばらつきを示すことにより, ひずみ評価領域, ひずみ評価領域以外の要素分割数, 断面の層分割数がどの程度, 値のばらつきに影響を及ぼすのかを比較する.

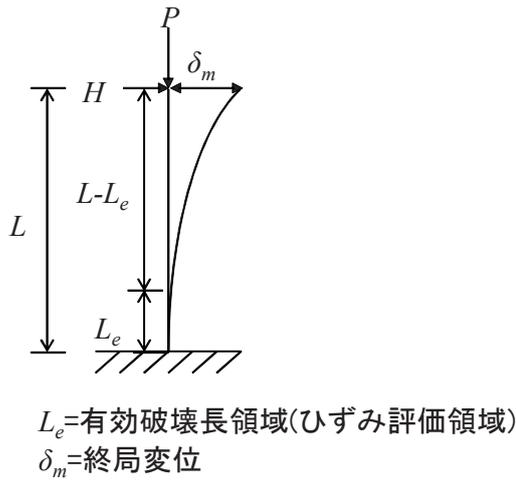
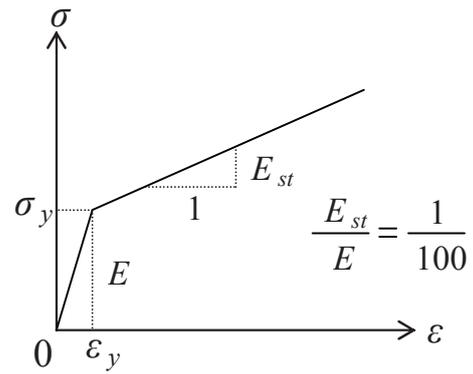
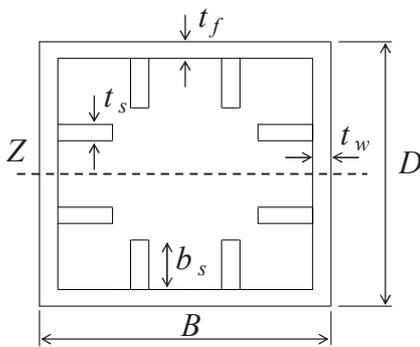


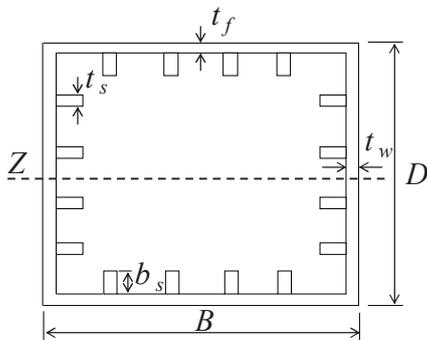
Fig. 1 Analytical model



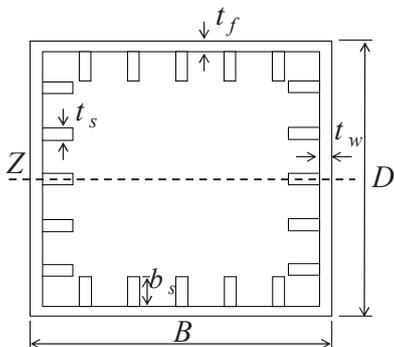
(a) Stress-strain relation



(a) Cross section of KD-5, KD-6, KD-10 and KD-7-1

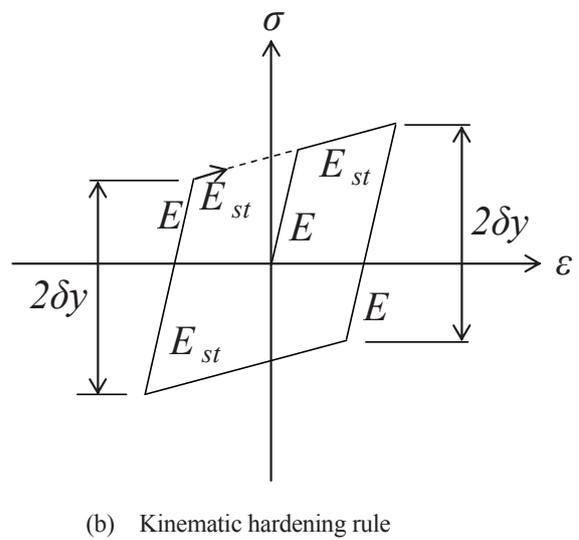


(b) Cross section of H6



(c) Cross section of M22

Fig. 2 Cross section of specimens



(b) Kinematic hardening rule

Fig. 3 Constitutive laws

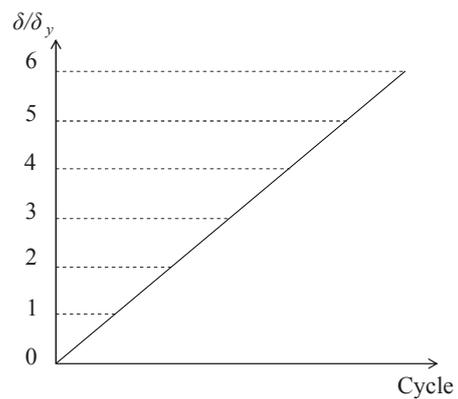


Fig. 4 Monotonic loading

Table 1 Structural parameters and dimensions of tested specimens

供試体名	KD-5	KD-7-1	KD-10	KD-6	M22	H6
B_f (mm)	738	536	706	590	890	809
t_f (mm)	12	10	14	10	10	9
D_w (mm)	738	536	706	590	890	791
t_w (mm)	12	10	14	10	10	9
b_s (mm)	90	75	90	73	91	68
t_s (mm)	9	7	10	8	10	9
フランジリブ本数	2	2	2	2	5	4
ウェブリブ本数	2	2	2	2	5	4
L (mm)	3303	3303	3303	3303	3423	6000
A (mm ²)	41904	25640	46736	28272	53800	38916
I ($\times 10^4$ mm ⁴)	359530	11510	366412	154334	652343	379963
α	0.68	0.69	0.52	0.68	0.68	0.46
γ/γ^*	3	3.1	4	3	1.8	3.2
P (kN)	2430	902	2195	1205	2528	1284
σ_v (N/mm ²)	350	374	318	390	354	421
E (N/mm ²)	200000	200000	200000	200000	200000	200000
P/P_v	0.17	0.09	0.15	0.11	0.13	0.08
λ	0.3	0.42	0.3	0.39	0.26	0.55
R_R	0.45	0.41	0.36	0.46	0.33	0.42
R_F	0.27	0.24	0.19	0.27	0.24	0.25
H_{max} (kN)	1245	676	1401	774	2058	862
δ_m (mm)	64	113	84	85	84	186
δ_{95} (mm)	75	128	102	106	98	212

Table 2 Divisions of element and section

Pushover解析	ひずみ評価領域	ひずみ評価領域以外	断面
case1 (基本ケース)	せん断変形無視	10	10
	せん断変形考慮	10	10
case2	せん断変形無視	5	10
	せん断変形考慮	5	10
case3	せん断変形無視	3	10
	せん断変形考慮	3	10
case4	せん断変形無視	10	4
	せん断変形考慮	10	4
case5	せん断変形無視	10	2
	せん断変形考慮	10	2
case6	せん断変形無視	10	10
	せん断変形考慮	10	10
case7	せん断変形無視	10	10
	せん断変形考慮	10	10

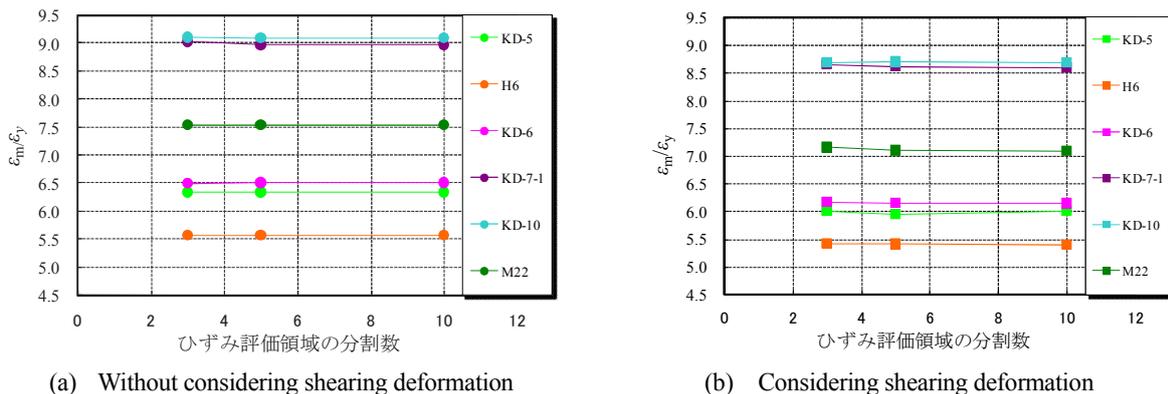


Fig. 5 Effects of divisions of strain evaluation part on ϵ_m/ϵ_y

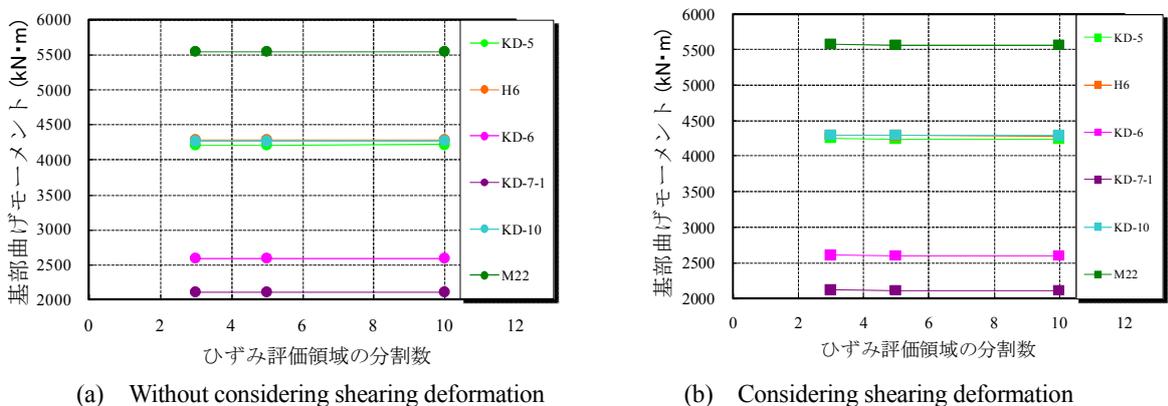


Fig. 6 Effects of divisions of strain evaluation part on M_m

3. 解析結果および考察

3.1 ひずみ評価領域の分割数の影響

Fig. 5 と Fig. 6 に Pushover 解析から求めたひずみ評価領域の分割の影響による終局時平均ひずみ ϵ_m/ϵ_y と終局時基部曲げモーメント M_m の値のばらつきを示す。

Fig. 5 と Fig. 6 をみると、全ての供試体における ϵ_m/ϵ_y と M_m の値のばらつきの誤差が 5% 以内に収束しており、ほぼ一定範囲内にあることがわかる。よって、ひずみ評価領域での分割の影響が ϵ_m/ϵ_y と M_m の値にほとんど及ぼさないことから、分割数の提案として、3 分割が妥当であると言える。

次にせん断変形考慮と無視で比較した場合の考察を行う。Fig. 5 と Fig. 6 に示すように、 ϵ_m/ϵ_y の値が、せん断変形無視と考慮で比較した場合、せん断変形無視の方が数値が若干高いことがわかる。また、 M_m の値には、せん断変形無視と考慮で誤差がほとんど生じていないことがわかる。

3.2 ひずみ評価領域以外の分割数の影響

Fig. 7 と Fig. 8 に Pushover 解析から求めたひずみ評価領域以外の分割の影響による ϵ_m/ϵ_y と M_m の値のばらつき

を示す。分割の影響による値のばらつきと、せん断変形考慮、無視による影響で比較した場合の考察は、3.1 節と同様である。この場合、分割数の提案として、2 分割が妥当であると言える。

3.3 断面の層分割の影響

Fig. 9 と Fig. 10 に断面の補剛板ウェブ方向の層分割の影響による ϵ_m/ϵ_y と M_m の値のばらつきを示した。Fig. 9 と Fig. 10 をみると M_m の値は、ばらつきの誤差が 5% 以内に収束し、ほぼ一定範囲内である。また、10 分割から 6 分割にかける ϵ_m/ϵ_y の値は、ほぼ一定範囲内にある供試体や低下している供試体があることがわかる。また、6 分割から 4 分割にかける ϵ_m/ϵ_y の値は、ほぼ一定範囲内にある供試体や上昇している供試体があることがわかる。この場合、10 分割から 6 分割にかける ϵ_m/ϵ_y のばらつきの誤差が、6 分割から 4 分割にかけるばらつきの誤差よりも低くなり、6 分割と 10 分割の ϵ_m/ϵ_y のばらつきの誤差が 5% を超過しているが、概ね 5% 以内に収束することが明らかとなった。よって、6 分割で十分であると考えられる。せん断変形考慮、無視で比較した場合の傾向も同様である。

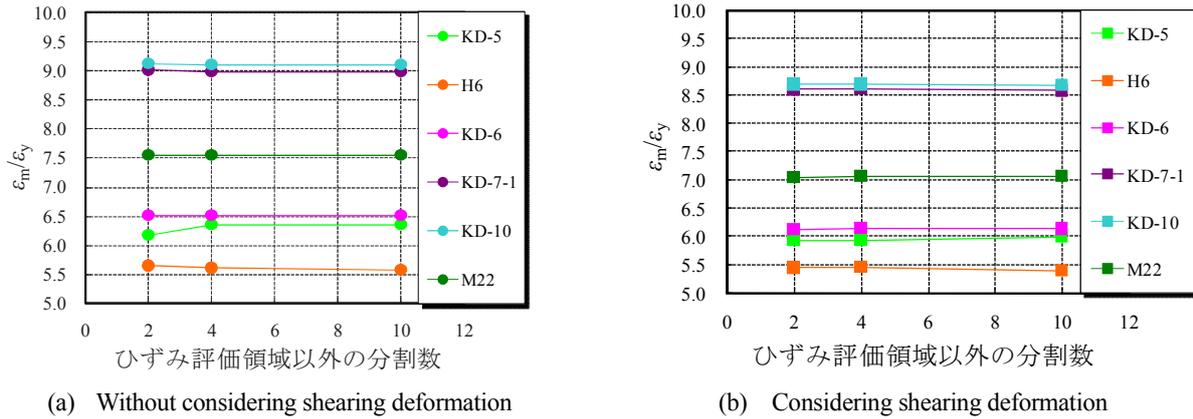


Fig. 7 Effects of divisions of non-strain evaluation part on ϵ_m/ϵ_y

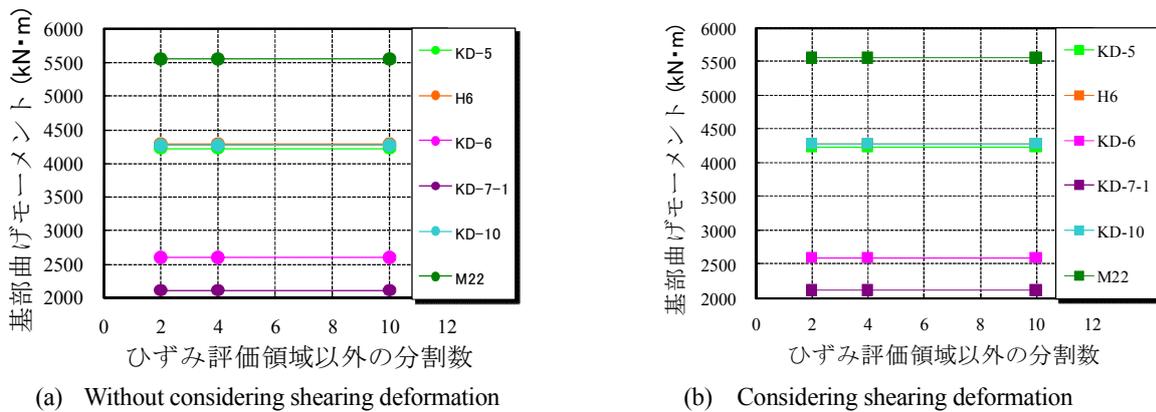


Fig. 8 Effects of divisions of non-strain evaluation part on M_m

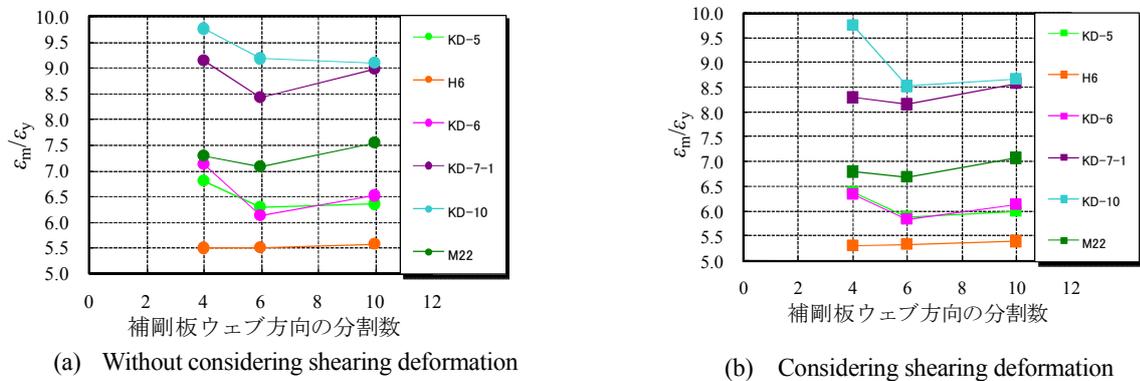


Fig. 9 Effects of divisions of section on ϵ_m/ϵ_y

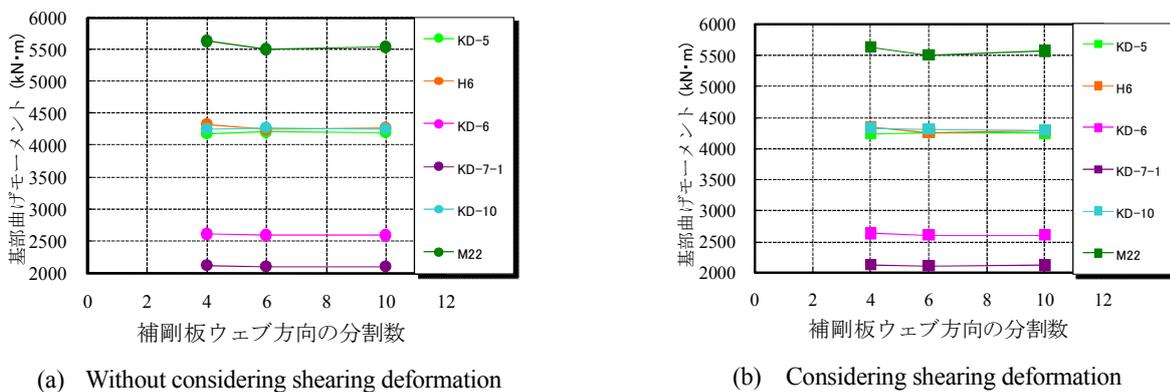


Fig. 10 Effects of divisions of section on M_m

4. 結論

本研究では、単柱式鋼製橋脚におけるはり要素を用いたファイバーモデルの終局時平均ひずみ $\varepsilon_m/\varepsilon_y$ 、終局時基部曲げモーメント M_m の値が分割の影響によりばらつくことに着目した。ひずみ評価領域とひずみ評価領域以外での要素分割数、断面の層分割数を変化させた場合の Pushover 解析を行った。分割の影響を明らかにし、粗い要素分割について提案を試みた。

本研究から得た知見を以下にまとめる。

1. ひずみ評価領域、ひずみ評価領域以外の分割の影響によるばらつきは、5%以内に収束することがわかった。したがって、ひずみ評価領域の分割数は3分割、ひずみ評価領域以外の分割数は2分割でよい。
2. 断面の補剛板ウェブ方向の分割の影響によるばらつきは、10分割から6分割にかける $\varepsilon_m/\varepsilon_y$ の誤差が、6分割から4分割にかける誤差よりも低く、6分割と10分割の $\varepsilon_m/\varepsilon_y$ のばらつき誤差が概ね5%以内にほぼ収束することがわかった。よって、断面分割は6分割でよい。

5. 今後の課題

幅厚比パラメータや細長比パラメータのような力学パラメータが $\varepsilon_m/\varepsilon_y$ と M_m の値のばらつきにどの程度影響を及ぼすのかも検討する必要がある。また、動的解析の場合についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 宇佐美 勉, 日本鋼構造協会編(2006): 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 技報堂出版, 2006年.
- 2) 天野麻衣, 葛西 昭, 宇佐美勉, 葛 漢彬, 岡本真悟, 前野裕文(1988): コンクリート部分充填鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する実験的及び解析的研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.44A, pp.179-188, 1995年3月.
- 3) Zheng, Y., Usami, T. and Ge, H. B. (2000): Ductility evaluation procedure for thin-walled steel structures, J. Structural Engineering, ASCE, Vol.126, No.11, pp.1312-1319.
- 4) 葛 漢彬, 河野 豪, 宇佐美勉 (2004): 圧縮と曲げを受ける鋼部材セグメントの終局ひずみと鋼アーチ橋の動的耐震照査法への応用, 土木学会構造工学論文集, Vol.50A, pp.1479-1488, 2004年3月.
- 5) 中村聖三, 安波博道, 小林洋一, 中川知和, 水谷慎吾(1997): 少補剛コンパクト断面鋼製橋脚の耐震性能に関する実験的研究, 鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集, pp.331-338, 1997年5月.
- 6) 建設省土木研究所・首都高速道路公団・阪神高速道路公団・名古屋高速道路公社・(社)鋼材倶楽部・(社)日本橋梁建設協会(1997): 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書 (VI), 平成9年4月.
- 7) ABAQUS/Analysis User's Manual, Version 6.7-4.
- 8) 宇佐美勉, 鈴木森昌, Iraj H. P. Mamaghani, 葛 漢彬(1995): コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案, 土木学会論文集, No.525/I-33, pp.69-82, 1995年10月.
(原稿受理日 平成22年9月30日)

薄肉補剛箱形断面を有する鋼部材の簡易耐震照査法

垣内一輝¹⁾ 曹 輝²⁾ 葛 漢彬³⁾

Simplified Seismic Evaluation Method for Steel Members with Thin-walled Stiffened Box Sections

Kazuki KAIITO¹⁾, Hui CAO²⁾ and Hanbin GE³⁾

Abstract

This study is aimed at developing a simplified seismic evaluation method for steel members with thin-walled stiffened box sections. To determine ultimate strength and ductility of such members, shell element-based FEM analysis is carried out. Then pushover analysis using fiber model is performed in which the effect of local buckling is taken into account in the assumed stress-strain relation. Predicted strengths and ductility are compared with those of the shell model analysis, and the accuracy of the proposed method is discussed.

1. はじめに

日本の土木構造物、特に 1970 年代以前の古い構造物においては鋼部材に比較的薄肉な断面部材が多く使われている。現在まで耐震性能照査のため数多くの準静的載荷実験及び解析が行われており、設計に関する多くの知見が得られている。しかしながら、これは 1970 年代以降に用いられている比較的厚肉な断面への適用が多く、薄肉断面への適用は極々限定的なものでしかない。一方、鋼上路式アーチ橋のような薄肉鋼部材で構成される橋梁の耐震補強が検討されつつあるが、ファイバーモデルによる耐震解析において薄肉鋼部材の応力-ひずみ曲線の設定が問題になってくる。したがって、薄肉断面部材が鋼構造物に使われている場合における耐震性能照査法の確立が急務である。

一般に、薄肉断面を持つ鋼構造物に地震動などの繰り返し荷重が作用する場合、主要な破壊形式は局部座屈である。これについてはシェル要素を用いた有限要素解析を実施すれば、局部座屈による影響を考慮でき実挙動の再現が可能と考えられる。しかしながら、はり要素を用いたファイバーモデルによる解析においては局部座屈による影響を考慮できない。

本研究では補剛箱形断面の鋼部材を対象とした解析的検討を行う。薄肉断面部材の局部座屈を考慮して材料特性を適切に設定し、はり要素を用いたファイバーモデルの Pushover 解析により終局点を精度よく解析する手法の提案を試みる。

2. シェル解析による鋼部材の局部座屈挙動

薄肉断面鋼部材（即ち、幅厚比パラメータ R_f が 0.5 以上）の水平荷重-水平変位履歴曲線の包絡線を得るには、修正 2 曲面モデルや 3 曲面モデルなどの高度な構成則を用いるまでもなく、バイリニア型の応力-ひずみ関係に移動硬化則を適用した従来の構成則で十分である^{1),2)}。このことから、本研究では、薄肉断面を対象にしているため、バイリニア型の応力-ひずみ関係に移動硬化則を適用した構成則を用いることとした。

2.1 解析モデルの妥当性の検証

ここで、西川ら³⁾によって行われた実験供試体 No.2 を用いシェルモデルで解析を行い、実験結果と比較することにより本解析モデルの妥当性を検証する。供試体諸元^{3),5)}を Table 1 に、材料定数^{3),5)}を Table 2 に、解析に用いたモデル及び断面図、要素分割数を Fig. 1 に示す。解析モデルは基部から高さ $3B$ までをシェル要素、残りの部分にはり要素を用いた。

解析は構造と荷重の対称性から 1/2 モデルとして行い、残留応力と初期たわみは考慮しない。なお、解析ソフトウェアは SeanFEM を使用した。構成則は、前述したように Fig. 2(a)に示すようにバイリニア型の応力-ひずみ関係に Fig. 2(b)に示す移動硬化則を適用したもので、1 次勾配を E として、2 次勾配は $E/100$ とした。載荷パターンは上部構造重量を載荷した後、Fig. 2(c)に示すように強制変位で漸増変位繰り返し載荷を行った。

1)日本電技株式会社 2)大学院理工学研究科 3)建設システム工学科

1) Nihon Dengi Co. Ltd. 2) Graduate School of Science and Technology 3) Department of Civil Engineering

Table 1 Parameters and dimensions of No.2 specimen

R_f	0.56	h (mm)	3403
$\bar{\lambda}$	0.26	b (mm)	891
γ/γ^*	0.89	t (mm)	9.1
α	1.0	b_s (mm)	80
$\bar{\lambda}_s$	0.63	t_s (mm)	6.2
$\bar{\lambda}'_s$	0.63	P/P_y	0.122

注) R_f :フランジの幅厚比パラメータ, $\bar{\lambda}$:細長比パラメータ, γ/γ^* :補剛材剛比, α :アスペクト比, $\bar{\lambda}_s$:補剛材細長比パラメータ, $\bar{\lambda}'_s$:補正補剛材細長比パラメータ, h :供試体高さ, b :供試体断面幅, t :板パネル厚, b_s :補剛材幅, t_s :補剛材厚, P/P_y :軸力比 (供試体に与えられる鉛直荷重 P と全断面降伏荷重 P_y の比)

Table 2 Material constants

板パネル, 補剛材			
σ_y (MPa)	E (GPa)	ν	E/E_{st}
379	206	0.3	100

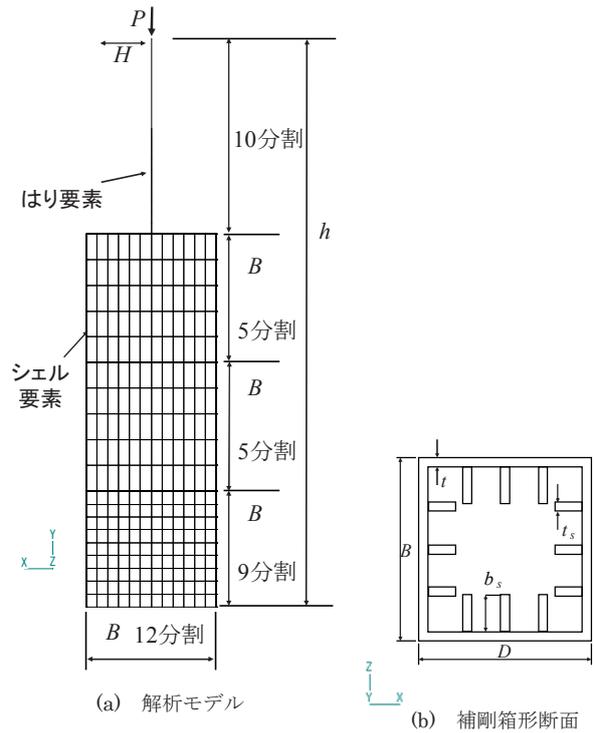


Fig. 1 Analytical model for No.2 specimen

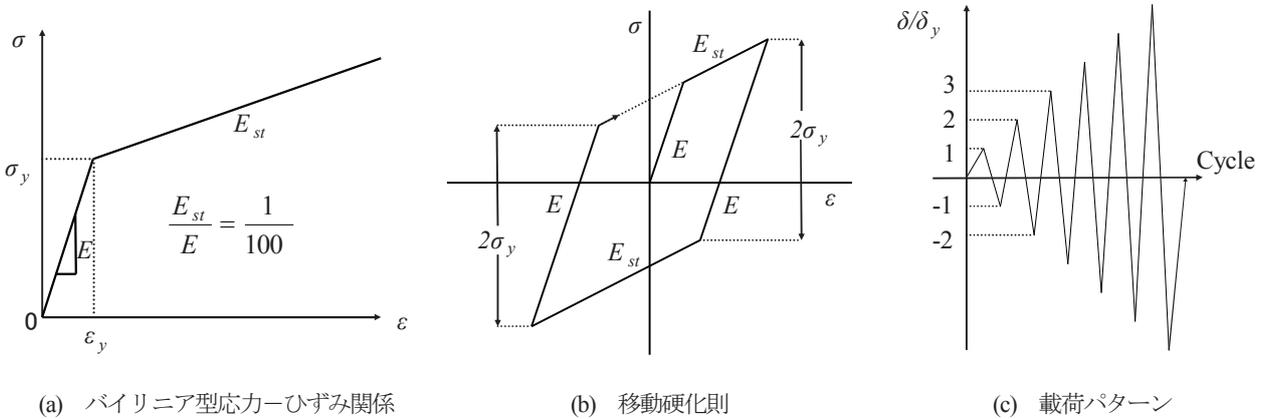


Fig. 2 Stress-strain relationship and loading pattern

Fig. 3 に実験と解析それぞれで得た水平荷重-水平変位関係をプロットした。グラフは横軸に供試体上端部の水平変位 δ を降伏水平変位 δ_y で無次元化したもの、縦軸に荷重 H を降伏荷重 H_y で無次元化したものである。グラフより、解析は実験とほぼ一致しており、本解析モデルの妥当性が示された。

2.2 パラメトリック解析

次に、パラメトリック解析を行った。解析は補剛箱形断面12ケースを考えた。幅厚比パラメータ R_f は0.5~0.8、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は0.3~0.5として、軸力比 P/P_y は

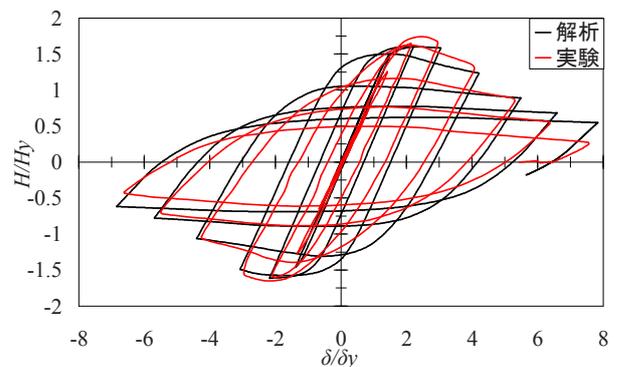


Fig. 3 Hysteretic loops from test and analysis

Table 3 Parameters and dimensions of stiffened box members for parametric analysis

No.	R_f	$\bar{\lambda}$	γ/γ^*	α	$\bar{\lambda}_s$	$\bar{\lambda}'_s$	h (mm)	b (mm)	t (mm)	b_s (mm)	t_s (mm)	P/P_y	H_y (kN)	δ_y (mm)
S1	0.5	0.3	1.0	1.0	0.534	0.534	7025	1461	20	133	20	0.176	2242	30.2
S2	0.5	0.4	1.0	1.0	0.534	0.534	9366	1461	20	133	20	0.139	1760	53.4
S3	0.5	0.5	1.0	1.0	0.534	0.534	11708	1461	20	133	20	0.115	1449	83.9
S4	0.6	0.3	1.0	1.0	0.659	0.659	8463	1753	20	140	20	0.167	2506	34.5
S5	0.6	0.4	1.0	1.0	0.659	0.659	11284	1753	20	140	20	0.132	1967	61.1
S6	0.6	0.5	1.0	1.0	0.659	0.659	14105	1753	20	140	20	0.109	1619	96.0
S7	0.7	0.3	1.0	1.0	0.788	0.788	9901	2045	20	146	20	0.158	2721	38.1
S8	0.7	0.4	1.0	1.0	0.788	0.788	13201	2045	20	146	20	0.125	2136	67.5
S9	0.7	0.5	1.0	1.0	0.788	0.788	16501	2045	20	146	20	0.103	1759	106.1
S10	0.8	0.3	1.0	1.0	0.935	0.935	11338	2338	20	152	20	0.148	2890	41.0
S11	0.8	0.4	1.0	1.0	0.935	0.935	15118	2338	20	152	20	0.117	2269	72.7
S12	0.8	0.5	1.0	1.0	0.935	0.935	18897	2338	20	152	20	0.097	1869	114.2

1次設計により算出された。モデルの諸元を Table 3 に示す。ただし、補剛材本数は図4(b)に示すように1面につき2本とした。なお、材料定数は、降伏応力 $\sigma_y=314\text{MPa}$ 、ヤング率 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ および2次勾配 $E_{st}=E/100$ を用いた。パラメトリック解析でも検証解析の場合と同様、Fig. 2(a)に示すバイリニア型応力-ひずみ関係に移動硬化則を適用したもので、荷重パターンは Fig. 2(c)に示すように、上部構造重量を荷重した後に降伏変位 δ_y を 1δ として、強制変位で漸増変位繰り返し荷重を行った。また、構造と荷重の対称性から 1/2 モデルとして解析を行った。なお、残留応力、初期たわみは考慮していない。また、補剛断面部材の Shell モデルの要素分割を Fig. 4 に示す。

解析で得られた水平荷重-水平変位履歴曲線の一部を例として Fig. 5 に示す。グラフは縦軸に水平荷重 H を降伏水平荷重 H_y で無次元化したもの、横軸は水平変位 δ を降伏水平変位 δ_y で無次元化したものである。

Fig. 5 においてそれぞれで比較を行うと、細長比パラメータ λ が大きくなるにつれて水平荷重 H/H_y が小さくなっていることが確認できる。一方、いずれの解析でも幅厚比パラメータ R_f が大きくなるにつれて水平荷重の低下が顕著に見られる。

3. ファイバーモデルによる終局点の予測に関する簡易解析手法

提案する簡易解析手法は、ファイバーモデルを用いる Pushover 解析であるが、薄肉断面部材の座屈の影響を応力-ひずみ関係に簡単に取り入れたものである。

解析においては、Fig. 6 に示すように分割数を 20 分割

(基部から $0.7B$ までの有効破壊長領域を 3 分割、残りの部分を 17 分割)とした。はり要素を用いるこの種の解析では局部座屈を考慮できないため、これまでは局部座屈による影響を軟化型の応力-ひずみ関係として近似的に考慮したモデルが提案されている⁶⁾⁹⁾。これは Shell 要素等を用いて解析を行って局部座屈の影響を含んだ等価な平均応力-平均ひずみ関係を求め、幅厚比などの陽な関数として定義したものを応力-ひずみレベルの復元力モデルとしてファイバーモデルに導入する方法である。このようにすると、Shell 要素を用いずに局部座屈を考慮した解析が近似的に可能となることが実験との比較によっても明らかにされている。しかしながら、解の有限要素メッシュ分割への依存性等の問題がある。これらの問

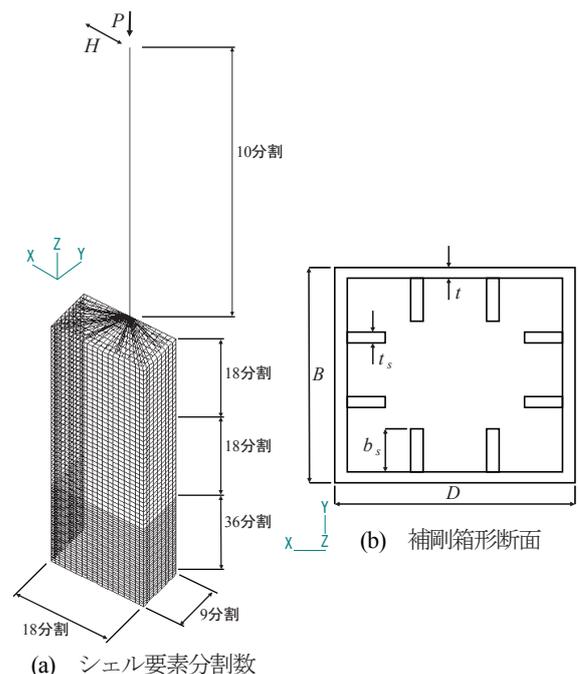


Fig. 4 Analytical model for parametric analysis

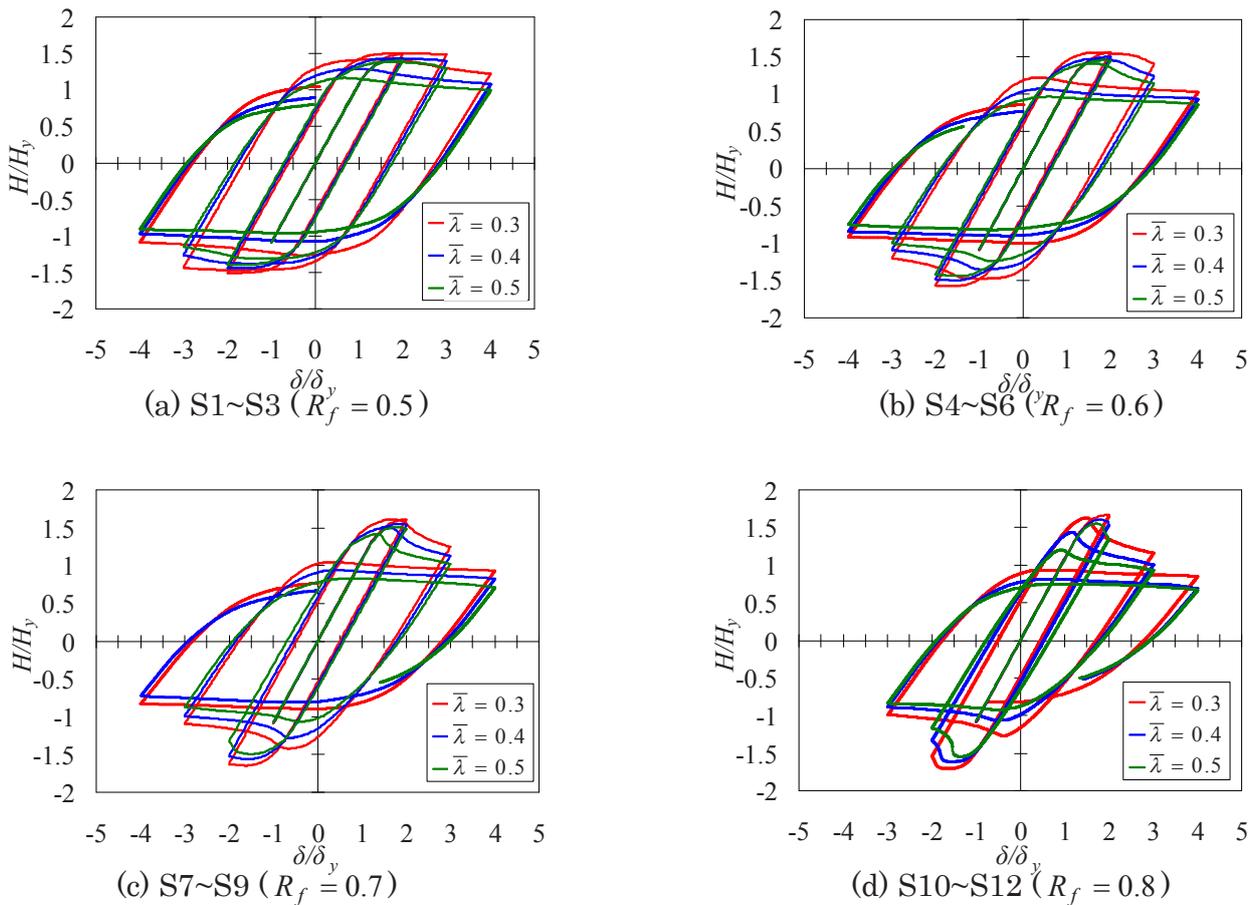


Fig. 5 Hysteretic loops of S1-S12 from shell model analysis

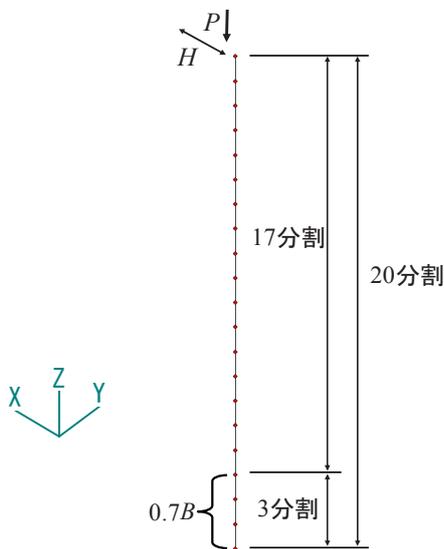


Fig. 6 Fiber model

題に関する検討は不十分であり、一般的な構造への適用は難しく実務への導入は困難である。その後、構造諸元をもとに軟化領域を表す座屈要素長の算定式とこれに応じた軟化型の平均応力-ひずみ関係を提示することで局部座屈を考慮した Pushover 解析に適用できる手法が提案されている¹⁰⁾⁻¹¹⁾。

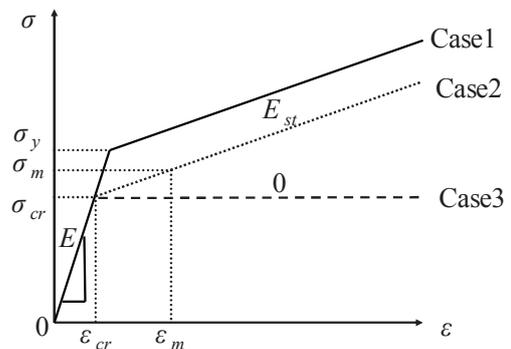


Fig. 7 Stress-strain relationships for cases 1 to 3

本研究では、前述の研究と同様に、薄肉断面部材の局部座屈を考慮して材料特性を適切に設定し、はり要素を用いたファイバーモデルの Pushover 解析によって終局点を精度よく解析するという簡便な手法の提案を試みる。

そのために、Fig. 7 に示すような 3 種類の応力-ひずみ関係を用いる。Case1 は Shell モデルと同様に設定している。Case2 は文献 12) では降伏応力を局部座屈強度（終局強度） σ_m に置き換え、二次勾配は一次勾配と同様にしていたが、ここでは局部座屈強度の代わりに座屈応力

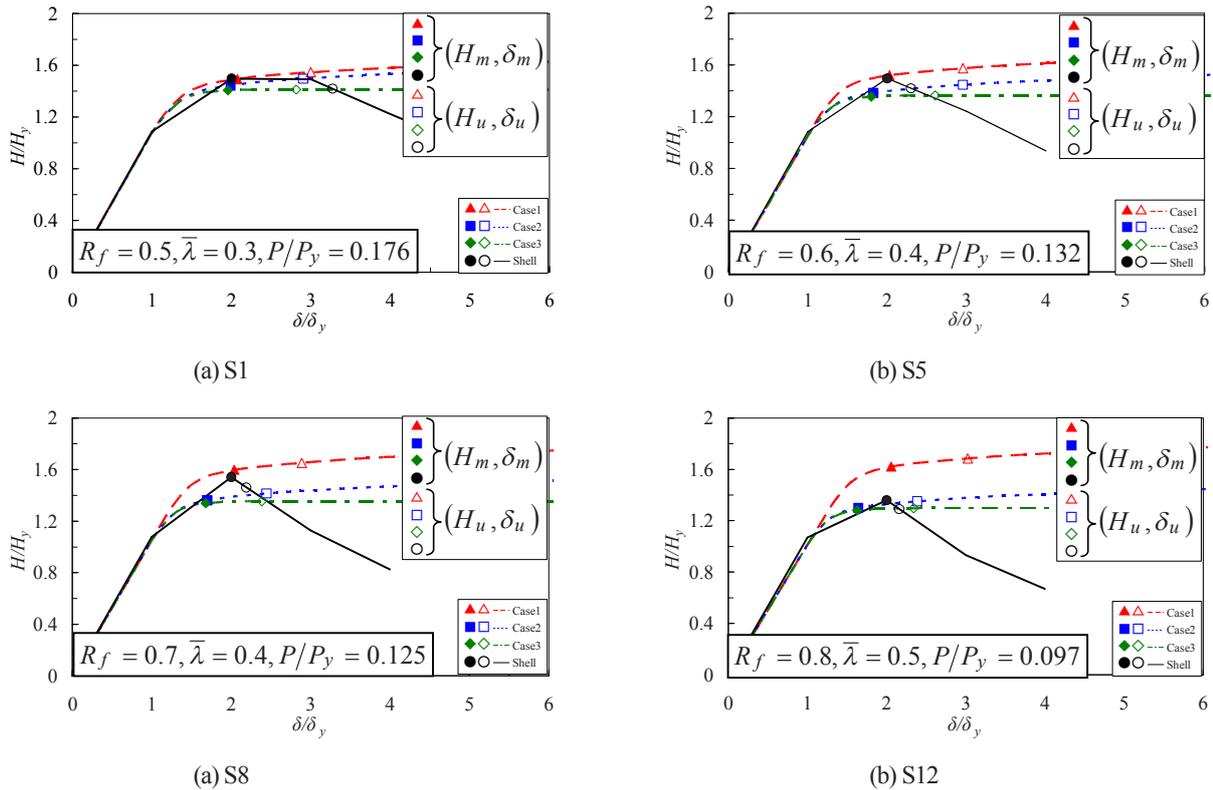


Fig. 8 Comparisons of ultimate points

度 σ_{cr} を用い、座屈応力度における点と局部座屈強度における点を繋いだときの勾配を二次勾配とした。Case3 は降伏応力点を座屈応力点に置き換えた上で、二次勾配を 0 と設定している。また、硬化則は図-2(b)に示す移動硬化則を用いた。Fig. 7 に示す σ_{cr} は座屈応力であり、補剛断面の場合、以下の式¹³⁾で表される。

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = 1.5 - R_f \leq 1.0 \quad (1)$$

このように仮定した 3 種のモデル(Case1~Case3)で Pushover 解析を行った。解析で得られた水平荷重-水平変位履歴曲線の結果を Fig. 8 に示す。グラフは縦軸に水平荷重 H を降伏水平荷重 H_y で無次元化したもの、横軸は水平変位 δ を降伏水平変位 δ_y で無次元化したものである。なお、図には Shell モデル解析で得られた包絡線も示してある。Fig. 8 から分かるように、Case1 から Case2、続いて Case3 へと履歴曲線は下方に推移している。

終局点は最大荷重点と 95%荷重点の 2 つを仮定する。終局点の判定のために、著者らが行った圧縮と一軸曲げを受ける補剛箱形断面の有限要素解析より得られた終局圧縮ひずみ ϵ_m (最大曲げモーメント M_{max} 時のひずみ) と ϵ_u (95% M_{max} 時のひずみ) の算定式(3)~(6)¹⁴⁾¹⁵⁾を用いる。

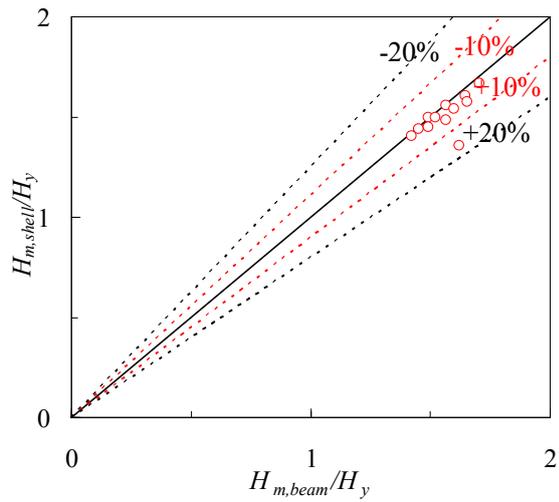
$$\frac{\epsilon_m}{\epsilon_y} = \frac{1.41}{\left(R_f \bar{\lambda}_s^{-0.18} - 0.21\right)^{0.462}} + 0.38 \leq 20.0 \quad (2)$$

$$\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} = \frac{0.7}{\left(R_f \bar{\lambda}_s^{-0.18} - 0.18\right)^{1.3} (1 + P/P_y)^2} + \frac{3.2}{(1 + P/P_y)} \leq 20.0 \quad (3)$$

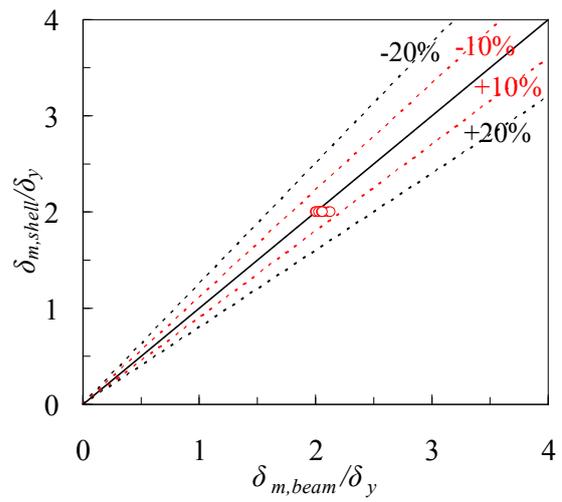
($0.3 \leq R_f \leq 0.8$, $\gamma/\gamma^* \geq 1.0$, $0.0 \leq P/P_y \leq 0.5$)
 解析モデルにおいて有効破壊長領域 (基部から $0.7B$) の 3 つの要素に対し、断面の圧縮最外縁中心のひずみを平均したものを ϵ_{avg} とおく。そして ϵ_{avg} が ϵ_m, ϵ_u となる変位をそれぞれ終局変位 δ_m, δ_u と定義し、荷重-変位関係履歴曲線において終局変位 δ_m, δ_u をとる荷重をそれぞれ終局荷重 H_m, H_u と定義する。求めた終局点の例を Fig. 8 に示す。

ファイバーモデル解析の各ケースの終局点(δ_m, H_m) 及び (δ_u, H_u) を Shell モデルの対応する終局点と比較したものを Fig. 9, Fig. 10 に示す。

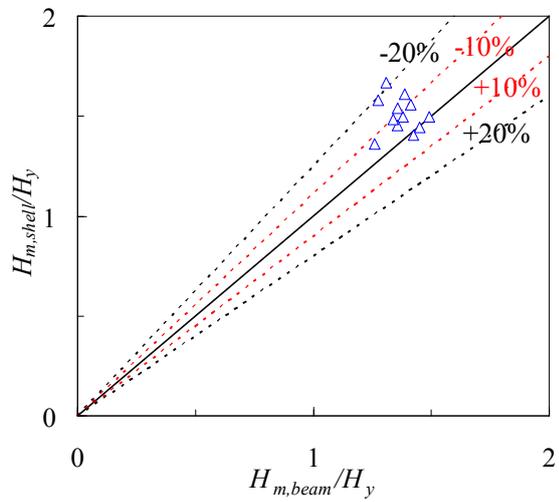
Fig. 9(a), (c), (e)で最大荷重の比較を行う。Shell モデルの場合と同じ応力-ひずみ関係を適用した Case1 では 12 モデルのうち 11 モデルが 10%以内の誤差である。ただし、Shell モデルより Fiber モデルのほうが全般的に高め (危険側) の評価となっている。Case1 に対して降伏点から座屈応力に置換した Case2 では若干安全側の評価ではあるものの、全てのモデルが 20%以内の誤差に収ま



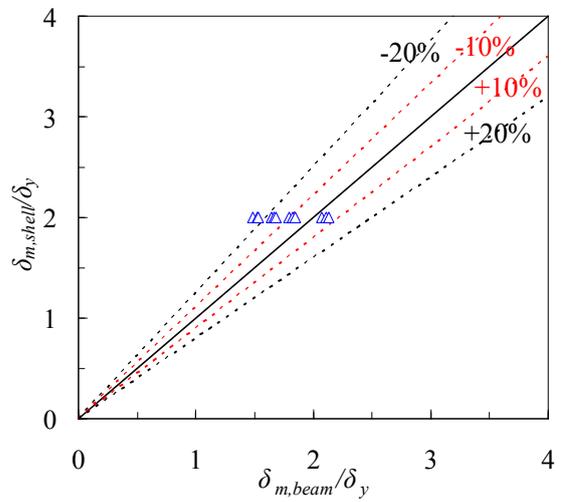
(a) Case1の終局荷重



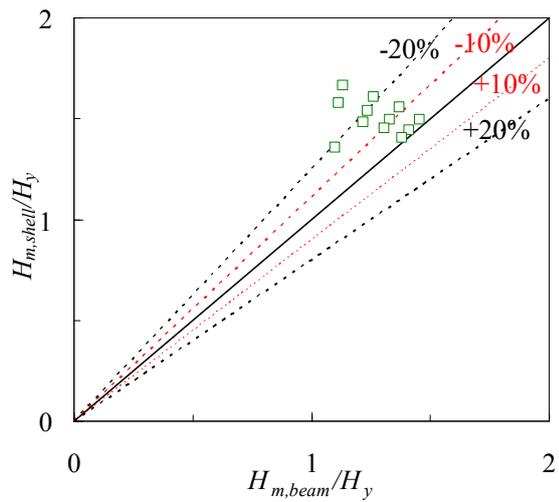
(b) Case1の終局変位



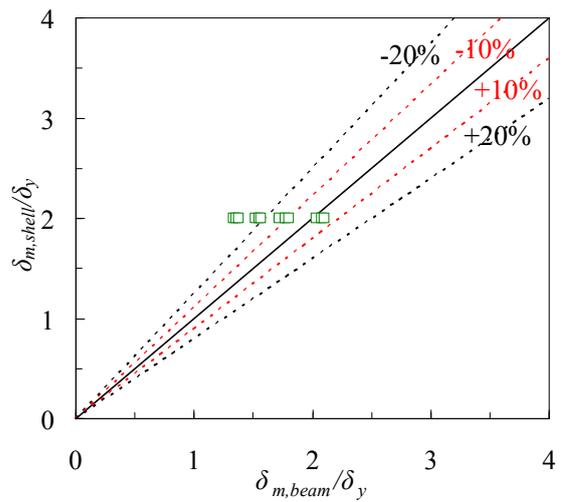
(c) Case2の終局荷重



(d) Case2の終局変位



(e) Case3の終局荷重



(f) Case3の終局変位

Fig. 9 Comparisons of ultimate points (H_m, δ_m) from fiber and shell models

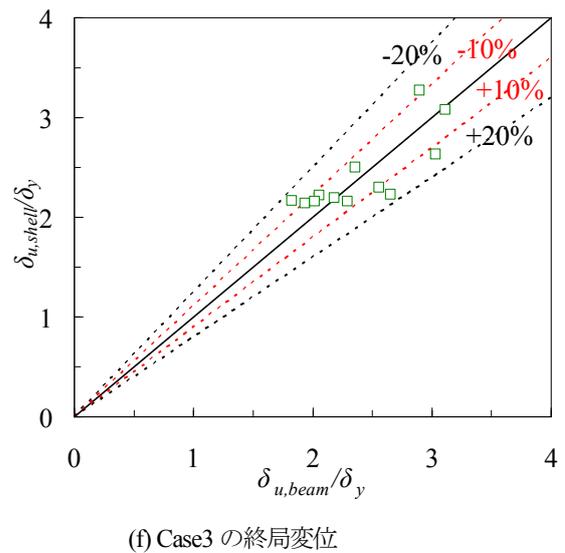
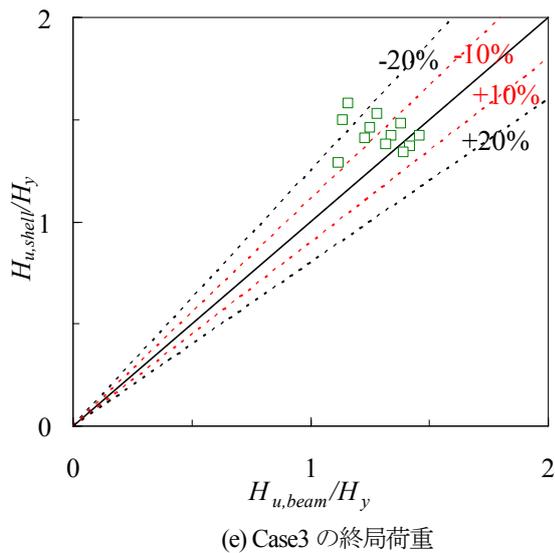
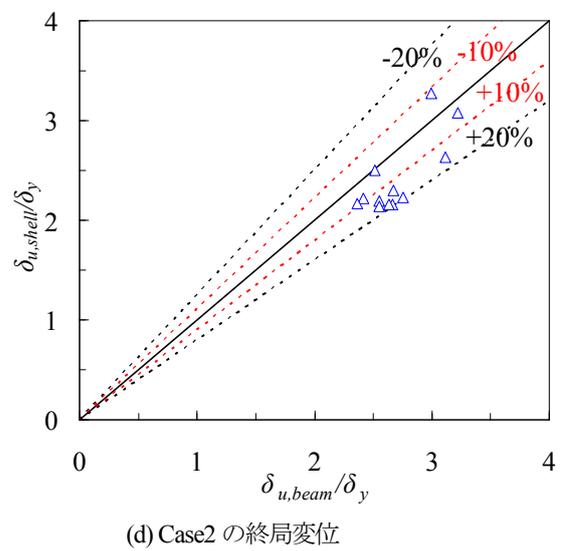
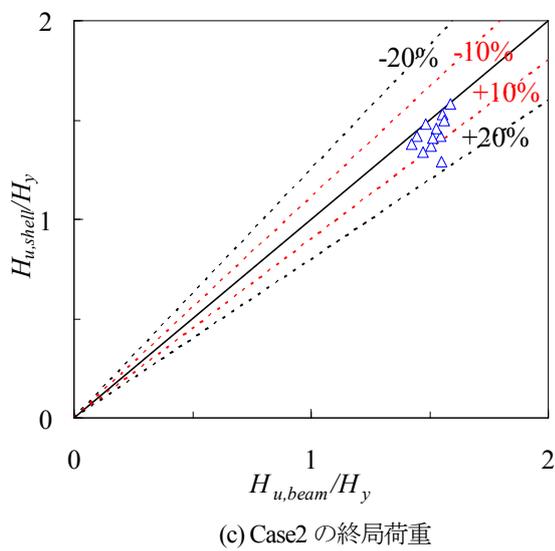
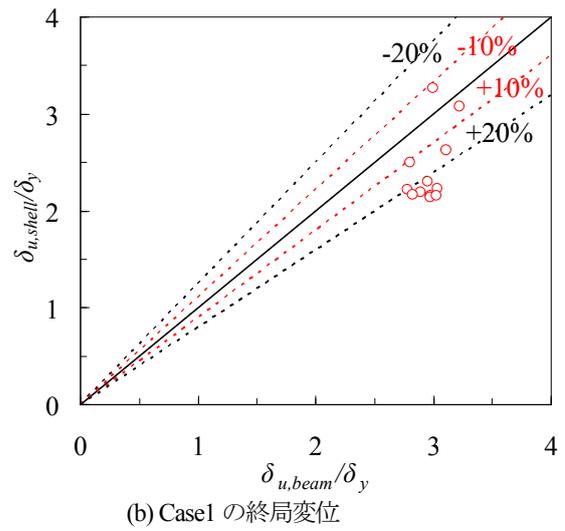
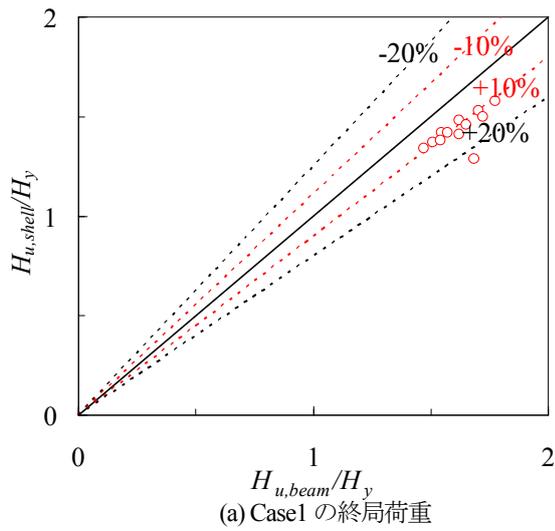


Fig. 10 Comparisons of ultimate Points (H_u, δ_u) from fiber and shell models

り予測の精度が向上した。一方、Case2 に対して二次勾配を 0 とした Case3 ではさらに安全側の評価となっているものの、2 つのモデルが 20% を超過する誤差になった。

最大荷重に対応する変位の比較をみると、Fig. 9(b), (d), (f) より、Case1 では 12 モデル全てが 10% 以内の誤差に収まっている。これに対して、Case2, Case3 では 20% を超過するケースがあるものの、全般的には安全側の評価となっている。

一方、95% 荷重点の場合、Fig. 10(a), (c), (e) での終局荷重の比較をみると、1 つのモデルは 20% を超える危険側の評価となっており、残りの 11 モデルでも +10% 前後の大きめの評価となった。これに対して、Case2 では全般的には大きめの評価になっているものの、全てのモデルが 20% 以内に改善されている。さらに、Case3 では 2 つのモデルが 20% を超える低めな評価になっているが、全般的には安全側の予測を与えている。

Fig. 10(b), (d), (f) で終局変位を比較すると、Case1 は半分程度のモデルが 20% を超える危険側の評価であった。これに対して、Case2 は若干大きめの評価となったが、全てのモデルが 20% 以内に収め、予測の精度が改善された。また、Case3 はさらに予測の精度を高くなっていることが分かる。

以上より、Fig. 9 と Fig. 10 を総括すると、最大荷重点を終局点として考慮した場合、Case2 を用いた結果が最もよい。一方、最大荷重後の 95% 点を終局荷重とした場合、Case3 を用いた結果が最もよい。

4. あとがき

本研究で得られた主な知見を以下にまとめる。

1. 実験結果との比較より、シェルモデルを用いた薄肉断面鋼製部材の解析において、バイリニア型応力-ひずみ関係に移動硬化則を適用した構成則で十分であることを再確認した。
2. はり要素を用いたファイバーモデルにおいて、最大荷重点を終局点として考えた場合、降伏点を座屈応力に置換したバイリニア型応力-ひずみ (Case2) を用いたほうがよい。
3. なお、最大荷重後の 95% 点を終局荷重として考えた場合、座屈応力に置換した完全弾塑性応力-ひずみ (Case3) を使用するとよい。

参考文献

- 1) 宇佐美勉 編著：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，日本鋼構造協会，2006 年 9 月。

- 2) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書(耐震設計編)，2008 年 1 月。
- 3) 西川和廣，山本悟司，名取暢，寺尾圭史，安波博道，寺田昌弘：既設鋼製橋脚の耐震性能改善方法に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.42A，pp.975-986，1996 年 3 月。
- 4) 葛 漢彬，宇佐美勉，高聖彬：鋼製補剛箱形断面橋脚の繰り返し弾塑性挙動に関する解析的研究，構造工学論文集，Vol.46A，pp.109-118，2000 年 3 月。
- 5) 葛 漢彬，高聖彬，宇佐美勉：鋼構造物の繰り返し弾塑性解析用構成則の実験データによる検証，構造工学論文集，Vol.44A，pp.201-210，1998 年 3 月。
- 6) 崎元達郎，渡辺浩，富田聡，中島黄太 (1997)：繰り返し水平力を受ける鋼柱の終局挙動の簡易解析法，鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集，pp.111-116，1997。
- 7) 小澤一誠，石川貴士，王慶雲，後藤芳顯 (1999)：鋼製橋脚を対象とした圧縮補剛板の単調載荷挙動における平均応力-平均ひずみ関係のモデル化，構造工学論文集，Vol.45A，pp.125-136，1999.3。
- 8) 崎元達郎，渡辺浩，中島黄太 (2000)：局部座屈を考慮した箱形断面部材の復元力モデル，土木学会論文集，No.647/I-51，2000.4。
- 9) 渡辺浩，崎元達郎 (2000)：コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震応答解析法に関する研究，土木学会論文集，No.647/I-51，2000.4。
- 10) 小澤一誠，王慶雲，後藤芳顯 (2001)：座屈モードの局所化を考慮した補剛板の軟化型構成則を用いた鋼製橋脚の Pushover 解析，土木学会論文集，No.689/I-57，pp.225-237，2001.10。
- 11) 小澤一誠，王慶雲，後藤芳顯 (2002)：座屈モードの局所化と隅角部のせん断変形を考慮したはりモデルによる鋼製ラーメン橋脚の解析，構造工学論文集，Vol.48A，pp.99-107，2002.3。
- 12) 垣内一輝，葛 漢彬：補剛薄肉断面鋼部材の簡易耐震照査法の開発に関する研究，第 13 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.235-242，2010 年 2 月。
- 13) 日本道路協会 (2002)：道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編，丸善，2002。
- 14) 葛 漢彬，河野豪，宇佐美勉：圧縮と曲げを受ける鋼部材セグメントの終局ひずみと鋼アーチ橋の動的耐震照査への応用，構造工学論文集，Vol.50A，pp.1479-1488，2004 年 3 月。
- 15) Yi ZHENG, Tsutomu USAMI and Hanbin GE: A Seismic Design Methodology for Thin-Walled Steel Structures Through The Pushover Analysis, NUCE Research Report, No.2000-01, Dept. of Civil Engineering, Nagoya University, September, 2000.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

英国の交通，地域・地方計画体系における気候変動考慮と我が国への示唆

吉田知樹¹⁾ 鈴木 温²⁾

Climate change consideration of transport, region and local planning system in
United Kingdom and suggestion for the planning system in Japan
Tomoki YOSHIDA¹⁾, Atsushi SUZUKI²⁾

Abstract

In recent years, climate change has been considered as an international problem. Some countries in Europe have improved planning system to address it. This study focuses on the transport, spatial and environmental planning system in United Kingdom and gives suggestion for how effects on the climate change are considered in it. As the results, we show that United Kingdom sets a clear reduction targets, and path to achieve one by clarify the responsibility of each agency for low carbon society. Furthermore, we suggest that Japan's planning system should be transformed to improve a consistency between transport plans and spatial ones.

1. はじめに

近年，気候変動問題は国際社会が早急に取り組むべき課題の1つとして注目されている。

我が国でも鳩山政権が提言した2020年までに温室効果ガス（GHG）排出量を1990年度比で25%、G8で合意した2050年までに1990年度比で80%削減すること目標とし、削減目標の達成に向けて、分野別のロードマップ¹⁾が示される等、目標の達成に向けた動きが進んでいる。

我が国の国内の運輸部門におけるCO₂排出量は、国内の全排出量の約2割を占めており、運輸部門からのCO₂排出量を削減することは極めて重要である。CO₂排出量を削減するためには、短期的な施策だけでなく、ロードマップの中にも記されているように、低炭素型の国土・都市構造への転換などの長期的な取り組みが必要である。

しかし、低炭素型の国土・都市構造への転換に向けた具体的な道筋などは示されていない。また、我が国の交通、地域・地方計画制度やそれらを定める法律などが気候変動に対応した形になっていない。一方、欧州諸国などでは気候変動に対応した交通、地域・地方計画制度へと改正する動きがみられている。

計画制度とは、将来の交通インフラや都市構造の方向性が決められる計画の枠組み（フレーム）のことであり、交通、地域・地方計画制度に気候変動への影響が考慮されていないと、低炭素型の国土・都市構造をどのように実現していくのか不明確となる。また、低炭素社会への

転換の実現に対する障害となり得る。

そこで、本研究では、欧州の中でも、気候変動対策に対応した政策や制度整備に、特に積極的に取り組んでいる英国に着目し、英国が交通、地域・地方計画において、気候変動をどのように考慮し、温室効果ガスの削減目標をどのような仕組みで達成しようとしているのか明らかにする。また、その知見を踏まえ、我が国の今後の交通、地域・地方計画制度のあり方に関する示唆を得ることを目的とする。

本研究では、将来の国土・都市構造の形成と関わりの深い交通計画及び地域・地方計画に着目した。また、気候変動政策や環境に対する評価との関わりを示すため環境分野のうち、気候変動に関わる計画及び環境影響評価も対象とする。

調査方法は、主に文献やインターネットを用い、関連する法律や政策に関する最新の情報を調査した。

2. 既存研究レビューと研究構成

関連する既存研究として、これまでも、英国の交通、都市計画体系の変革に焦点を当てた研究²⁾³⁾⁴⁾や英国の特定の政策・計画に絞り、その特徴と課題に関する研究⁵⁾⁶⁾など、英国の計画体系や制度に関する研究が見受けられる。しかし、これらの研究は、交通、地域・地方計画体系における気候変動考慮に特化した研究ではない。

これらの既存研究に対して、本研究では、交通、地域・地方計画の制度や体系を整理した上で、その中で気候変

1) 大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 2)建設システム工学科

1) Master Course of Civil Engineering 2) Department of Civil Engineering

動による影響や GHG 排出量の削減がどのように扱われているのか明らかにしようと試みる。

具体的には、3章で英国の計画体系の整理および気候変動考慮、4章で我が国の計画体系の整理および気候変動考慮、5章で英国の計画体系における気候変動考慮の特徴と我が国の課題、6章では我が国への示唆をまとめる。

3. 英国の交通、地域・地方計画体系と気候変動考慮

3.1 英国における気候変動関連政策の動向

本章では、英国の気候変動に対する動向と計画体系における気候変動への考慮を説明する。

英国では2000年に、交通法（Transport Act 2000）が制定され、法律にて地方交通計画（Local Transport Plan:LTP）やロードプライシング、職場駐車場への賦課金

（Workplace Parking Levy）などの政策の導入を位置付けた。また、実行計画である The Ten Year Transport Plan は、2000年から2010年までの10年間の交通に関する戦略、政策、インフラ投資を示し、交通に起因するCO₂の削減が目的の一つとして挙げられている。しかし、この時点では気候変動への影響をあまり重要視したものではなかった。

2006年10月に、Nicholas Stern氏によって気候変動問題の経済影響に関する報告書 Stern Review⁷⁾が公表された。Stern Reviewでは、気候変動に対して全く対策をとらないことによる経済的損失は甚大であり、気候変動と経済成長は両立可能であると述べられた。また、2006年12月に公表された Eddington Transport Study（Eddington Report）⁸⁾では、気候変動への取り組みを考慮することは長期的な交通戦略のために重要であると述べている。

Stern Review や Eddington Transport Study を受け、交通省（Department for Transport）は、Towards a Sustainable Transport System⁹⁾、Delivering Sustainable Transport System¹⁰⁾を立て続けに発表した。Towards a Sustainable Transport System, Delivering Sustainable Transport System では、今後の交通政策の5つの目的（Goals）の1つに気候変動への対応を挙げ、問題解決に向けた短期、長期の戦略を示している。

2008年11月には、気候変動対策を目的とした世界初の基本法である気候変動法 Climate Change Act 2008¹¹⁾が成立した。2020年までに1990年比で34%以上温室効果ガスを削減し、2050年までに全ての温室効果ガスの排出量を1990年比で80%以上削減することを法律で定めた。また、気候変動法によって、カーボンバジェットなどが導入された。カーボンバジェットとは、2050年の長期目

標達成に向けた道筋を示すために、5ヶ年ごとの3期間の温室効果ガスの排出量を設定するものである。翌年に成立した The Carbon Budget Order¹²⁾によって最初の3期間のカーボンバジェットの削減目標値が法的に定められた。カーボンバジェットは各省庁に割り当てられ、分野別の目標値が定められている。

2009年に発表された第1次経過報告書 Building a low-carbon economy - the UK's contribution to tackling climate change¹³⁾、2010年に発表された第2次経過報告書 Meeting Carbon Budgets – ensuring a low-carbon recovery¹⁴⁾ というカーボンバジェットの経過報告もすでに発表されており、積極的に気候変動に取り組むべきであるとしている。

英国政府はカーボンバジェットの目標値を達成するため、低炭素経済への移行計画として The UK Low Carbon Transition Plan¹⁵⁾を2009年7月に発表し、各部門の2020年までの計画を明確にした。さらに、翌年3月に発表された Climate Change Taking Action¹⁶⁾によって、カーボンバジェットの各部門（発電、職場の熱環境、産業プロセス、運輸、家庭とコミュニティ、公共、農林業と土地管理、廃棄物の計8部門）の道筋が発表された。Table.1に示すように、交通部門には21%の削減が割り当てられた。また、21%の交通部門への割り当ては、交通部門に関係する各主体にさらに詳細に割り振られている。

Table.1 first three budget periods by sector

	炭素排出量 (MtCO ₂ e)		
	各部門の推定		
	第1期間	第2期間	第3期間
発電	988	851	686
職場の熱環境	442	441	463
産業プロセス	85	83	82
交通	634	612	565
家庭とコミュニティ	400	342	302
公共	53	49	41
農林業と土地管理	242	255	247
廃棄物	112	108	101
合計	2955	2741	2488
欧州内排出権取引	-19	23	-17
炭素予算	3018	2782	2544
計画と炭素予算の差	-44	-64	-39

引用) Climate Change Taking Action¹⁶⁾

2010年7月には2050年までに排出量を80%削減するという法的拘束力のある目標への取り組みを明記した「2050年への道筋（2050 Pathways Analysis¹⁷⁾」が発表されている。

交通省は、The UK Low Carbon Transition Plan を受けて 2009 年 7 月に Low Carbon Transport: A Greener Future¹⁸⁾を公表し、エネルギー効率の改良、低炭素交通機関への行動変容の促進、市場メカニズムを使用した低炭素交通への転換の促進など、低炭素社会への転換を実現するために交通部門が実行すべきことを示した。2010 年 3 月に発表された Transport Carbon Reduction Delivery Plan¹⁹⁾では Low Carbon Transport: A Greener Future の活動をどのように実施していくのか、交通部門の取り組みによる他部門への貢献、他部門の取り組みから交通部門への貢献などが述べられている。また、同時期に発表された Climate Change Adaptation Plan for Transport 2010-2012²⁰⁾では炭素排出削減、経済への支援、生活の質の向上などの交通省の掲げる 5 つの目標に対して、Fig.1 に示すような Low Carbon, Adaptation, Sustainable Development の 3 つの柱を立て、計画を互いに連携して、実施することにより気候変動への対応をより確実なものにしている。環境省などの国の政策（緑の政策）の動きを受けて、交通省（青の政策）では各種政策、計画を打ち出している。次節に出てくる Fig.2, Fig.3, Fig.4 には、低炭素社会への転換に関する政策だけ抽出した。

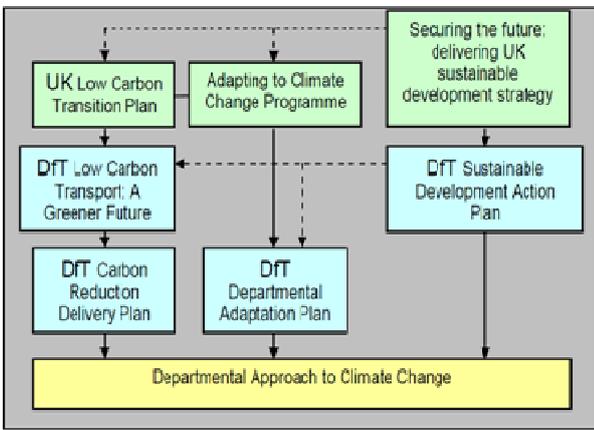


Fig.1 DfT's approach to climate change

引用) Climate Change Adaptation Plan for Transport 2010-2012²⁰⁾

なお、2010 年 3 月に示された「今後 20 年から 30 年にわたる高速鉄道ネットワーク整備に関する国の方針 (High Speed Rail²¹⁾)」は、同年 5 月の政権交代後もその政策は引き継がれている。

以上のように、英国では低炭素社会を実現するための制度作りと交通分野における気候変動考慮が着実に進められている。国が気候変動の削減目標の達成への道筋、削減目標値を具体的に示すことによって、国の気候変動に関する方向性を定めている。

3.2 英国の交通、地域・地方計画体系

英国の交通、地域・地方計画制度における気候変動考慮がどのような状況なのか整理するため、まずは英国の計画体系図を整理した。各政策・計画間のつながりを表現するため、計画体系図の横軸は計画分野（交通計画、地域・地方計画、環境）に分け、縦軸は計画主体のレベル（国、Region、Sub-Region、Local）を表している。計画体系図の中には、交通計画、地域・地方計画に関する政策と気候変動に関連している政策を配置した。図中の矢印は計画体系上のつながりがあるものを示し、二重枠の計画は法律等を示す。

英国の計画体系において、計画体系に大きな変化があった年を分岐点にし、英国の計画体系の変遷を時系列別に示していく。

まずは、異なる交通モード間の統合が図られる動きがあった 2000 年までの英国の計画体系図を Fig.2 に示す。

1998 年 7 月に発表された交通白書 A New Deal for Transport: Better for Everyone²²⁾によって、1) 異なるタイプの交通間の連携、2) 環境との連携、3) 土地利用計画との連携、4) 教育、健康および富の創造のための施策との連携の 4 つの統合が掲げられた。交通に関わる計画は Region レベルで地域交通戦略 (Regional Transport Strategy : RTS) が策定されていた。同じく、地域・地方計画では当時の政府の方針である Planning Policy Guidance を受けて、Region レベルで Regional Policy Guidance が作成されていた。また、Local レベルでは Region レベルの計画を受けて、交通計画では LTP、地域・地方計画では Structure Plan と Local Plan が策定されていた。

	交通計画	地域・地方計画	環境
国	A New deal for Transport: Better for everyone(1998)	Planning Policy Guidance (1992)	EU EIA Directive (1985)
Region	Regional Transport Strategy	Regional Policy Guidance(1988)	
Sub-Region			
Local	Local Transport Plan (2000)	Structure Plan ↓ Local Plan	

Fig.2 Planning system in United Kingdom in 2000

つぎに、2007 年までの英国の計画体系図を Fig.3 に示す。

2004 年の計画・強制収用法 (Planning and Compulsory Purchase Act 2004) によって、RTS は住宅、環境、農業等

とともに、地域空間戦略 (Regional Spatial Strategy : RSS) に包含されることとなった。さらに、RSS では地方自治体が LTP や地方開発フレームワーク (Local Development Framework : LDF) などの計画を策定する際には、RSS を踏まえることが明記されている。また、同法によって持続可能性評価 (Sustainability Appraisal : SA) が義務付けられた。

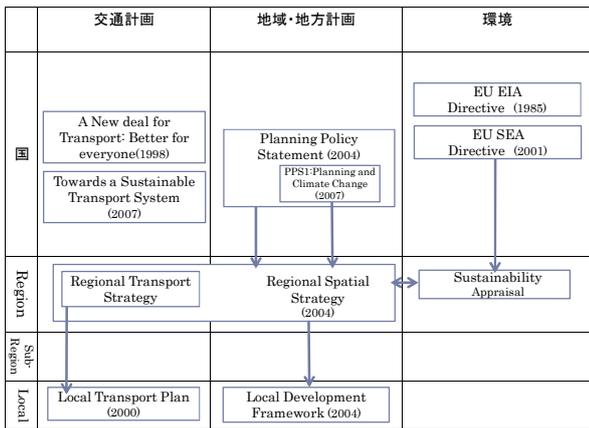


Fig.3 Planning system in United Kingdom in 2007

最後に、気候変動法が成立した 2008 年から現時点 (2010 年 9 月) までの計画体系図を Fig.4 に示す。

2008 年に気候変動法が成立したことによって、GHG 排出削減目標の達成に向けた政策や道筋を示す政策が各省庁から次々と発表されている。さらに、同法を受けて Region レベルや Sub-Region レベル等で気候変動に関する組織が形成され、独自に気候変動計画を作成するという動きが見られた。

2009 年 12 月に成立した Local Democracy Economic Development and Construction Act 2009²³⁾により、交通、地域空間戦略が、経済に関する地域計画 (Regional Economic Strategy) と統合し、地域戦略 (Regional Strategy : RS) へと改正された。

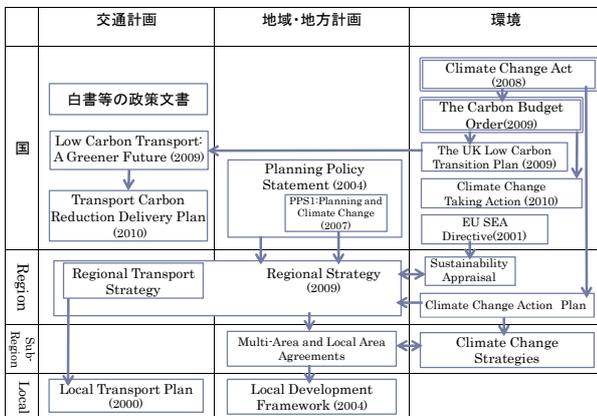


Fig.4 Planning system in United Kingdom in 2010

このように、英国では、国が白書などによって方針を示し、それをもとに政策、計画を作成する仕組みになっ

ている。また、Region レベルの地域・地方計画通して、異なる部門間との整合性を図ることのできる計画体系へと変化させてきている。

3.3 英国の交通、地域・地方計画体系における気候変動考慮

前述の英国の計画体系の中で、気候変動への影響がどのように考慮されているのか以下で説明する。

Region レベルでは、2009 年 12 月に成立した Local Democracy Economic Development and Construction Act 2009 には、「RS に、気候変動の緩和と適応に貢献するための政策を含めなければならない」ことが定められている。これにより RS は、必然的に気候変動を考慮した計画でなければならなくなった。このように、気候変動に特化した法律だけでなく、計画のもととなる根拠法に気候変動への取り組みを考慮することによって、実効性が確保されている。

また、Region レベルの気候変動計画である Climate Change Action Plan を作成している組織である Climate Change Partnership は、Region ごとの地方支分局や交通グループ、気候変動グループの代表などで構成されている。RS に Climate Change Action Plan の気候変動への取り組みを反映させるため、RS と意見交換などをし、気候変動に関する提言や促進をすることによって、気候変動への取り組みを確実に実行させる仕組みを構築している。なお、Sub-Region, Local レベルの計画は Region レベルの政策・計画をもとに作成されるため、Region レベルで上記のような仕組みを作ることで、Sub-Region, Local レベルの計画にも気候変動を考慮しなければならなくなる。

Sub-Region, Local レベルでも Climate Change Team や Climate Change Unit などの気候変動に関わる組織が中心となり気候変動計画が作られている。Climate Change Strategies などの政策には、国の目指すべき目標とは異なる地方独自の削減目標を置いているものも存在する。国の目標値と Sub-Region, Local レベルの目標値の整合性を図ることが課題として指摘されている。

このように、英国では、法律や組織によって気候変動に取り組むことに強制力をもたせ、削減目標を確実に達成させるための枠組み、仕組みを構築している。

3.4 環境影響評価における気候変動考慮

前節までは、各政策、計画がどのように気候変動への影響を考慮していくかまとめてきたが、実施される施策の影響評価がどのように評価されているのかを本節でまとめる。

英国では EU の指令に基づき戦略的環境アセスメント

(Strategic Environmental Assessment : SEA) を導入している。SEA は個別の事業の計画・実施に枠組みを与えることになる計画（上位計画段階）や政策を対象とする環境アセスメントである。早い段階から気候変動への影響を幅広く考慮することが可能である。

RS の計画プロセスと並行して行われる SA は EU の戦略的環境アセスメントの要件を満たす評価プロセスである。2007 年に英国政府の政策の方針である計画政策声明書 (Planning Policy Statement : PPS) の気候変動に関する補完文書である (Planning and Climate Change - Supplement to Planning Policy Statement 1 : PPS1) が公表された。PPS1 によって、持続可能性評価プロセスの中で RS の気候変動への影響および評価が義務付けられた²⁴⁾。

地方の交通計画である LTP の中でも、気候変動への影響が評価されている。LTP のガイダンスによると、LTP の評価指標 (Criteria for assessing quality of local transport plans) の中の 1 つとして気候変動への行動が位置付けられており、CO₂ 排出量の評価等が評価項目として挙げられている。LTP は、第 2 ラウンドが 2006 年～2011 年の予定で現在実施されている。第 3 ラウンドに備えたガイダンスが 2009 年 7 月に公表されており、気候変動法で導入された炭素予算および政府の交通戦略である Low Carbon Transport: A Greener Future の要請を踏まえ、気候変動への配慮がさらに強化される予定である。

4. 我が国の交通、地域・地方計画体系と気候変動考慮

4.1 我が国における気候変動関連政策の動向

本章では我が国の気候変動に対する動向と計画体系における気候変動への考慮を説明する。

我が国の気候変動への取り組みの第一歩として京都議定書の削減目標（2008 年から 2012 年の平均で 1990 年度比で 6%削減）の達成に向けた地球温暖化対策の推進に関する法律が 1998 年に成立した。2008 年には同法が改正され、地方自治体が地球温暖化対策実行計画を策定することになった。

近年では、前述のように新たな削減目標として 2009 年にはラクイラ G8 サミットで、先進国は 2050 年までに 80%削減することに合意している。また、鳩山政権が中期目標として 2020 年までに 25%削減することを国連総会演説にて発表するなど、削減目標が急激に上昇している。

このような動きを受け、2010 年に地球温暖化対策基本法（案）が打ち出されたが、通常国会の閉会に伴い廃案となった。内容としては、温室効果ガスの排出量について、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際的

な枠組みの構築及び意欲的な目標の合意として 2020 年までに 1990 年度比で 25%削減するといった条件付きでの法的な縛りが含まれている。また、2050 年までに 1990 年度比で 80%削減するという長期目標に関しては条件なしで法律にて削減目標を設定しようとしたものであった。

また、第 1 章で述べたようなロードマップや 2010 年 8 月には低炭素都市づくりをこれから検討していく自治体に対して、「技術的な助言」を有するものとして、低炭素都市づくりガイドライン²⁵⁾など発表されている。

4.2 我が国の交通、地域・地方計画体系

英国と同様に、我が国の交通、地域・地方計画制度の計画体系を整理する。我が国の 2010 年 9 月時点の我が国の計画体系図を Fig.5 に示す。

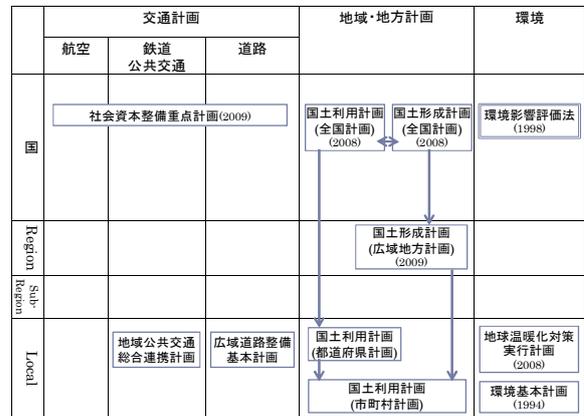


Fig.5 Planning system in Japan in 2010

我が国の交通計画体系は道路、航空、鉄道などのモード別の計画が並列して存在している。国土計画体系に関しては、2008 年に全国総合開発計画から国土形成計画へと変わり、新たに広域地方計画が策定された。広域地方計画とは、国土形成計画（全国計画）で述べた事項を、地方ブロックごとにより具体的に定めたものである。2008 年の地球温暖化対策の推進に関わる法律の改正によって、各自治体は地球温暖化対策実行計画を策定することになった。しかし、我が国の交通、地域・地方計画体系のかたちは従前からあまり変わっていない。また、我が国の計画体系は各計画間が縦割りになっていて、異なる部門との連携が希薄である。

4.3 我が国の交通、地域・地方計画体系における気候変動考慮

前述の我が国の計画体系の中で、気候変動への影響がどのように考慮されているのか、以下で整理する。

交通計画では、9 つの社会資本を 1 つにまとめた社会資本整備重点計画が 2009 年に改正されて、(低炭素型・

循環型の持続可能な社会)を形成しなければならないという記述がみられた。交通部門だけでなく、住宅や港湾など多様な部門に渡って、気候変動に関する記述が示されている²⁶⁾。

一方、地域・地方計画では、我が国の土地利用計画である国土利用計画(全国計画)には(第3章(5)環境の保全と美しい国土の形成)に持続可能な低炭素型都市構造の実現を目指すなどの気候変動に関する記述が見られた²⁷⁾。また、国土形成計画(全国計画)にも(第7章 地球保全及び景観形成に関する基本的な施策 第1節 人間活動と自然のプロセスが調和した物質循環の構築(1)地球温暖化防止の推進)には低炭素社会への転換を目指すなどの気候変動に関する記述が見られた²⁸⁾。また、地方ブロックごとに作成される国土形成計画(広域地方計画)の中部圏、近畿圏などにも(環境にやさしい先進都市圏づくり)などといった記述が示されていた²⁹⁾。

以上のように、我が国では、交通、地域・地方計画において、気候変動への影響を考慮した記述がみられるようにはなっているが、各政策、計画のもととなる根拠法には気候変動への考慮がされていない。これでは実効性がなく、政策、計画内の施策が実施される確証はない。また異なる部門との連携が希薄であり、整合性が図られていない。

4.4 環境影響評価における気候変動考慮

我が国の環境への影響を評価するものとして、事業の概略が固まった段階で評価の手続きが開始される環境影響評価(EIA)である。この段階では事業内容の変更などに反映されにくいなどの指摘があり、2007年に発表された戦略的環境アセスメント導入ガイドラインにもとづき、最近では自治体が戦略的環境アセスメントの導入を試みている地域もある。しかし、法的な評価制度としてのSEAはまだない。さらに、我が国の環境影響評価は公害、自然破壊などが中心の従来の環境問題の評価手法として開発されたものであり、環境面への影響だけを評価したもので、英国のSAのように経済面、社会面のバランスを総合的に評価するものではない。

5. 英国、我が国の交通、地域・地方計画体系における気候変動対策の特徴と課題

5.1 英国の調査結果のまとめ

前章までの結果を踏まえて、英国の交通、地域・地方計画制度において気候変動への影響がどのように考慮されているのか、また、そのために計画体系をどのよう

に工夫しているのかについてTable 2に整理する。整理の軸は、1)交通、地域・地方計画体系の特徴、2)交通計画における気候変動考慮、3)地域・地方計画における気候変動考慮、4)GHG削減の目標設定、5)GHG削減の強制力、6)SEAにおける考慮とした。

英国の交通、地域・地方計画体系について、GHG排出量の削減に向けたメカニズムの特徴と課題を以下にまとめる。

Table 2 Characteristics of planning system related to the climate change problem in United Kingdom

1) 交通、地域・地方計画体系の特徴	・国は白書などによる政策方針 ・地域レベルでの、複数モード、土地利用などとの統合
2) 交通計画における気候変動考慮	・交通も含めた地域戦略の中で、気候変動への影響を考慮することを国が指導
3) 地域・地方計画における気候変動考慮	・Regional Strategy (RS)は経済、土地利用、交通、環境を含む包括的な計画
4) GHG削減の目標設定	・カーボンバジェットによって、部門別の目標値を設定 ・地方の独自の目標値の存在
5) GHG削減の強制力	・カーボンバジェットによって、各主体の責任を明確化
6) SEAにおける考慮	・地域戦略の計画プロセスにおいて行われる持続可能性評価で気候変動を考慮

英国の特徴として以下の3つが挙げられる。

- 各部門に削減目標への道筋を明確にし、炭素削減量を割り当てることによって削減することの責任を明確にしている
- 地域・地方計画を通して、異なる部門間との整合性が図られる計画体系である。
- 気候変動に関する組織を作り、気候変動に関する意見を反映させている
- 気候変動緩和・適応に資する政策・事業の実施を法律にて明記している

このように英国では、各分野のバランスを保ちつつ、削減目標を明確にすることにより、低炭素社会への転換を実現しようとしている。

その一方で、英国では2010年3月に、PPS1に関する内容を検討したレポート Take up and application of the policies in the planning policy statement on planning and climate change: Final report³⁰⁾が公表され、財政によるインセンティブや気候変動問題に対する重み付け、気候変動問題の更なる理解など11の課題を明らかにした。また Consultation on a Planning Policy Statement: Planning for a Low Carbon Future in a Changing Climate ではこれらの課

題を受け、PPS1 の改訂に向けた作業が進められている。

5.2 我が国の調査結果のまとめ

我が国の交通、地域・地方計画制度において気候変動への影響がどのように考慮されているのか、英国と同様に整理したものを Table 3 に示す。

Table 3 Characteristics of planning system related to the climate change problem in Japan

1) 交通、地域・地方計画体系の特徴	・異なる部門間が縦割りで、政策や計画の集合体である ・各自治体が地球温暖化対策実行計画を作成
2) 交通計画における気候変動考慮	・根拠法に気候変動に対する記述がない
3) 地域・地方計画における気候変動考慮	・計画内に気候変動に取り組むことが明記されているが、実効性が確保されていない
4) GHG 削減の目標設定	・独自に削減目標値を設定している自治体が存在
5) GHG 削減の強制力	・新たな削減目標に対する法的な縛りはない
6) SEA における考慮	・SEA はまだ制度化されていない

我が国でも、前述のように気候変動問題に対して、包括的な取り組みがなされてきている。しかし、我が国の交通、地域・地方計画体系における課題がいくつか挙げられる。

- 各計画のもととなる根拠法に削減目標が設定されていない。GHG 排出削減目標だけが先行しており、それに向けた取り組みが確実に実行されるという保証はない。
- 我が国は交通モードが個別に動いている。また、地域・地方計画とのつながりも希薄であり、地球温暖化対策に関しても計画間に収まってしまっている。
- 各主体の気候変動対策への取り組み、意見交換の場などの欠如がみられ、気候変動への影響を考慮せず、各主体の事業を優先しがちである。
- 我が国は計画体系全体の連携が希薄であり、各政策、計画を束ねただけになっていて、各政策、計画間がどのように関わっているのかが不明確である

6. 我が国への示唆

前章のような課題に対し、英国の先進的な制度から以下のような示唆が得られていると考える。

- 排出量の少ない交通モードへの転換、低炭素型の国

土・都市構造に効率良く転換するためにも、交通、地域・地方計画間との整合性が図れる仕組みの構築が必要である

- GHG の排出削減目標の達成に向け、気候変動への対策を確実に実行させるためにも、気候変動に特化した法律や政策が必要である
- 基本法の中で気候変動への取り組みを示し、それを下に具体的な行動計画を位置付けるなど、GHG 削減目標を確実に達成させるための枠組みの確保が必要である
- 国と地方の削減目標などの整合性を図り、国だけでなく、地方にも目標達成の責務をもたせることによって、気候変動への取り組みの実効性を向上させる必要がある
- 環境影響評価や戦略的環境アセスメントの仕組みの中で、気候変動への影響を考慮することを明記する必要がある。また、英国の持続可能性評価のように環境面だけでなく、経済面や社会面などとのバランスを考慮することも重要である
- 国の支援のもとに、自治体レベルの施策を実施する仕組み、自治体に気候変動政策に対する意欲を起こさせるインセンティブの導入

7. おわりに

本研究では気候変動への影響の大きい運輸部門に着目し、運輸部門からのCO₂排出量に関わりの深い交通、地域・地方計画制度の中で気候変動への影響をどのように考慮すべきなのか、先進的な英国の交通、地域・地方計画体系において温室効果ガスをどのようなメカニズムで削減しようとしているのか調査を行った。

その結果、英国では明確な削減目標のもと、法律や白書によって達成に向けた道筋を示し、国、Region、Sub-Region、Local レベルに気候変動に対して責任を持たせること、各分野間などの整合性を図ることで低炭素社会への転換を実現しようとしていることがわかった。また、英国に残されている課題も明らかとなった。

今後は、英国の政権交代後の気候変動に関する動き、計画制度の変化の調査。また、各政策を詳細に調査するとともに、我が国の制度に合った提案を行うことを課題とする。

参考文献

- 1) 小沢鋭二：地球温暖化対策に係る中長期ロードマップの提案～環境大臣小沢鋭二試案～、2010
- 2) 加藤浩徳・村木美貴・高橋清：英国の新たな交通計画体系構築に向けた試みとその我が国への示唆、土木計画学研究・論文集、Vol.20、No.1、pp.243-245、

- 2003
- 3) 谷口守：土地利用・交通計画一体化のためのガイドラインの実際と課題—イングランドのPPG13 から—，土木計画学研究・論文集，Vol.15，pp.227-234，1998.
 - 4) 藤岡啓太郎・平見憲司・高橋勝美・山口行一：英国（イングランド地方）における都市計画体系の変化，都市計画 257，pp.98-103，2005.
 - 5) 鈴木温・岩佐賢治・矢嶋宏光・屋井鉄雄：イングランドにおける新たな地域空間戦略(Regional Spatial Strategy)の意義と課題，土木計画学研究・論文集，Vol.25，No.1，pp.225-232，2008.
 - 6) 高見淳史・原田昇：イングランドの地方交通計画に基づく財源配分システムの実態・問題点と改善の方向，土木計画学研究・論文集，Vol.23，No.3，pp.693-700，2006.
 - 7) HM TREASURY: Stern Review on the Economics of Climate Change,2006
 - 8) Department for Transport: The Eddington Transport Study,2006
 - 9) Department for Transport: Towards a Sustainable Transport System,2007
 - 10) Department for Transport: Delivering Sustainable Transport System,2008
 - 11) Department of Energy and Climate change: Climate Change Act 2008,2008
 - 12) Department of Energy and Climate change: The Carbon Budget Order
 - 13) Committee on climate change: Building a low-carbon economy - the UK's contribution to tackling climate change, 2009
 - 14) Committee on climate change: Meeting Carbon Budgets – ensuring a low-carbon recovery, 2010
 - 15) Department of Energy and Climate change: The UK Low Carbon Transition Plan,2009
 - 16) HM Government: Climate Change Taking Action,2010
 - 17) Department of Energy and Climate change: 2050 Pathways Analysis,2010
 - 18) Department for Transport: Low Carbon Transport: A Greener Future,2009
 - 19) Department for Transport: Transport Carbon Reduction Delivery Plan,2010
 - 20) Department for Transport: Climate Change Adaptation Plan for Transport 2010-2012,2010
 - 21) Department for Transport: High Speed Rail, 2010
 - 22) Department of the Environmental: A New Deal for Transport: Better for Everyone,1998（日本語訳が，運輸省運輸政策局監訳：A New Deal for Transport: Better for Everyone—英国における新交通政策—，財運輸政策研究機構発行，1999）
 - 23) Office of Public Sector Information: Local Democracy, Economic Development and Construction Act 2009,2009
 - 24) Communities and Local Government: Policy Statement on Regional Strategies, 2010
 - 25) 低炭素都市づくりガイドライン，国土交通省，2010
 - 26) 警察庁，農林水産省，国土交通省，社会資本整備重点計画，2009
 - 27) 国土交通省，国土利用計画（全国計画），2008
 - 28) 国土交通省，国土形成計画（全国計画），2008
 - 29) 国土形成計画（広域地方計画），国土交通省，2009
 - 30) Department for Transport: Take up and application of the policies in the planning policy statement on planning and climate change: Final report,2010

（原稿受理日 平成22年9月30日）

座屈拘束ブレースによるトラス構造の耐震性向上効果

舟山淳起¹⁾ 宇佐美 勉²⁾

The seismic upgrade effect of a truss structure by using a buckling restrained brace
Junki FUNAYAMA¹⁾, Tsutomu USAMI²⁾

Abstract

For seismic performance upgrading, it has been shown that one of the most efficient ways is to install energy dissipation devices in structure, such as buckling-restrained braces (BRB). There are various studies about BRB's. But, there are few experiments in which buckling restrained braces are set up as part of the truss structure so far. This study is aimed at confirmation of the seismic performance upgrading effect of a truss structure by BRB. In this study, a truss structure reinforced by BRB is compared with that of the truss structure without BRB.

1. 緒言

1.1 はじめに

橋梁に用いられる主な構造形式の1つにトラス構造がある。トラス構造の特徴は、基本的に部材には軸力のみが働くため材料強度を有効に使用できる、桁構造としても用いられ、剛度が高い、構成している1本1本が軽量、受ける風圧が小さいなどである¹⁾。トラス構造にはこのような特徴があり、これまで数多く用いられ、トラス構造を持つ橋梁が日本各地に存在している。

近年、大地震の発生リスクが高まっていると考えられ、構造物の耐震補強などの対策も急ぐ必要があるとされる。次に構造物の耐震性向上策を説明する²⁾。

構造物の耐震性向上の方法は大きく2つに分類されよう。

- 1) 構造的耐震性向上策—耐震構造
- 2) 制震装置設置による耐震性向上策—制震構造

第1の方法は従来から採られてきた耐震構造の考え方で、補強あるいは構造形態の変更により、部材・部品の塑性変形性能を高める、または、特定の部材・部品に塑性変形を集中させないで構造物内に広く分散させることなどにより、構造物全体の耐震性能を向上させる方策である。従来、土木鋼構造分野における耐震性能向上策に関する研究の多くはこの方法であり、既に多くのデータが蓄積されている。

第2の方法は、地震時に大きな損傷を起こさせる部材を、地震後に取替えまたは補修が容易に出来る2次

部材・部品（エネルギー吸収部材と称し、例えば横構・対傾構など）に限定し、それ以外の部材・部品の損傷を極力小さくする方法である。制震構造とは、既設橋梁の横構あるいは対傾構などをエネルギー吸収・消散機能を持つブレース材（座屈拘束ブレース (Buckling-restrained brace) で以下 BRB と略称する）に取り替える、あるいは横構、対傾構の端部にエネルギー吸収機能を持つダンパー（せん断パネルダンパー (Shear-panel damper) で SPD と略称する）を付与し、損傷（塑性変形）を制震ダンパーに集中させ、主構造の損傷を軽微なものに制御した構造のことである。

1.2 背景と目的

トラス橋に関して、レベル2地震動を考えた損傷制御の耐震設計事例はほとんどないようである。1つの理由には、トラス橋の地震損傷事例、あるいは全体系の損傷に立ち入った解析例がほとんどないため、レベル2地震時における挙動があまり理解されていないということがある³⁾。トラス構造に地震力が作用する時、どのような挙動を示すのか。破壊の順番、損傷箇所などの挙動を知ることは、トラス構造の耐震設計、耐震補強を行う際にとっても役立つ情報となるであろう。

トラス構造の耐震性向上策の1つとして BRB の設置が有効と考えられており、トラスモデルに対し、履歴型ダンパー設置による耐震性の向上についての解析的研究は宇佐美らによっても行われている⁴⁾。しかし、実際に鋼トラス構造模型に履歴型ダンパーを設置して繰り返し载荷を行った実験的研究はこれまでにない。

1) 名城大学大学院理工学研究科 2) 建設システム工学科

1) Graduate School of Science and Engineering, Meijo University 2) Department of Civil Engineering

本実験では、節点がガセットを介して高力ボルトで接合された3体の鋼トラス構造模型 (Fig.1) に、一定鉛直荷重と繰り返し水平荷重を作用する実験を行った。パラメータとしては、斜材断面 (3種類で、1体はBRB) である。本論文では、BRBを設置し制震構造化したことによる耐震性向上効果を重点的に考察することとした。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

本研究では、SM400AのH型鋼材を用い、Fig.1に示すトラス構造を作成した。H型鋼材を弱軸方向に用い、格点は板厚10mmの2枚のガセットを介してM16の高力ボルトにて摩擦接合されている (Fig.2(a),(b)参照)。支持条件は Fig.2(c)に示す両端がピン支持、Fig.2(d)に示す中央がローラー支持である。H型鋼材のウェブ、フランジ、及びガセットよりそれぞれ3本のJIS1号引張試験片を製作し、試験を行った。材料定数を Table 1に示す。3体の供試体の一覧を Table 2に示す。鉛直材、上下弦材は全て同じ断面のH型鋼材 (Fig.3)を用い、斜材はH型鋼材またはBRBを用いた。Table 2の供試体名の1番目の記号A, B, BRBは斜材の種類を表している。H型鋼斜材の全体図および断面図を Fig.3に示す。断面A, Bは Fig.3(c)のH型鋼のフランジ幅をそれぞれ50mm, 30mmに削ったものである。BRBについての詳細な説明は次の第3章ですることとする。供試体名の2番目の記号は荷重条件を表し、Cyclicは繰り返し荷重を表す。3番目の数値は鉛直材の軸力(N)と降伏軸力(N_y)の比を表し、N/N_yが20%で実験を行った。

2.2 実験装置

Fig.4に本実験の実験装置を示す。荷重フレームは梁・柱をボルト接合によって剛結した自定式構造のため、実験目的に合わせた組換えにより多様な荷重形式に対応できる。供試体に対して圧縮1000kN、引張500kNの荷重が可能なサーボアクチュエータ2機は、デジタル変位計と32bit CPUを搭載したコントローラによる1/100mmの高精度な変位制御が可能である。垂直に設置された剛柱は上下にスライドが設置されており、水平に可動する。これによって2本のアクチュエータの合計水平荷重Hが供試体に与えられるようになっている。供試体と剛柱は2個のヒンジを介して接合されており、供試体の上下による荷重の偏心を防いでいる。実験供試体の水平方向変位Δをモニターし、

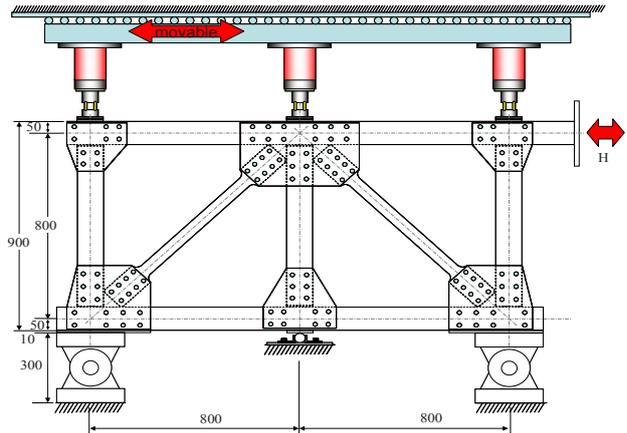


Fig.1 実験供試体概略図

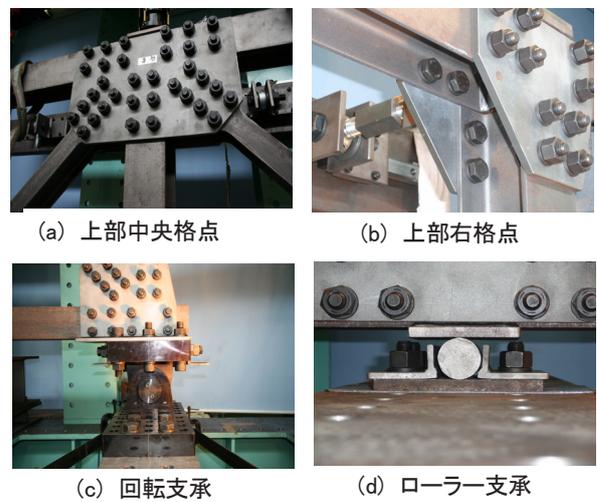


Fig.2 供試体部分写真

Table 1 材料定数

	E [GPa]	ν	σ_y [MPa]	ϵ_y [%]	σ_u [MPa]	δ_u [%]
ウェブ	205	0.28	305	0.149	438	29.8
フランジ	196	0.27	300	0.153	427	26.7
ガセット	202	0.26	276	0.136	416	30.8

Note: E: ヤング係数, ν : ポアソン比, σ_y : 降伏応力, ϵ_y : 降伏ひずみ, σ_u : 引張強さ, δ_u : 伸び

Table 2 供試体一覧

No.	供試体名	荷重条件	斜材		
			断面	ℓ/r	ℓ'/r
1	A-Cy-0.2	Cyclic	A H100x50x6x8 (弱軸)	100	47
2	B-Cy-0.2	Cyclic	B H100x30x6x8 (弱軸)	183	83
3	BRB-Cy-0.2	Cyclic	BRB PL80x10 (弱軸)	392	170

Note: ℓ =全斜材長 (接点間距離) ℓ' =斜材平行部の長さ
 r =弱軸回りの断面2次半径

2本のアクチュエータの合計水平荷重 H を制御した。3機の鉛直ジャッキが固定された鋼梁はスライドによって自由に水平方向に移動出来るため、供試体の水平移動に追従することが可能となっている。上弦材の3ヶ所の格点では、面外変形、面外倒れを起こさないように拘束してある。

2.3 荷重パターン

＋方向，－方向に繰り返し増大振幅で静的荷重を行った。A-Cy-0.2 は繰返し荷重で水平変位 Δ が+1mm から開始し，4mm～20mm まで4mm ずつの変位増分で各振幅1回ずつの両側繰り返し変動変位振幅の漸増荷重を行い，20mm 以降は6mm ずつの両側繰り返し荷重を+42mm まで行った。B-Cy-0.2，繰返し荷重で水平変位 Δ が+1mm から開始し，±2mm，±4mm，8mm～12mm は2mm ずつの変位増分で漸増荷重を行い，12mm 以降は4mm ずつの両側繰り返し荷重，22mm 以降は6mm ずつの両側繰り返し荷重を+32mm まで行った。BRB-Cy-0.2 は繰返し荷重で水平変位 Δ が+1mm から開始し，4mm～16mm まで4mm ずつの変位増分で繰り返し変動ひずみ振幅の漸増荷重を行い，16mm～28mm まで6mm ずつの変位増分で，28mm 以降は10mm ずつの両側繰り返し荷重を+58mm まで行った。

3. BRB の構造

3.1 BRB の概要

制震ダンパーの一種に履歴ダンパー（履歴減衰によって地震エネルギーを吸収・消散する装置）がある。履歴ダンパーにはせん断降伏型，曲げ降伏型，軸降伏型の3種類があり，BRB は軸降伏型の履歴ダンパーである³⁾。本章では，BRB の概要，BRB の細部構造，全体座屈の防止条件について述べる。

3.1.1 BRB とは

軸方向に働く外力を伝達するブレース材を鋼板，鋼管やモルタルなどで構成される座屈拘束材で被覆・補剛し，座屈しないようにしたブレースがBRBである。ブレース材と拘束材との隙間を確保するために，ブレース材にアンボンド材を塗布し，ブレース材にかかる軸力が拘束材に伝わらないようにする。これにより通常のブレースをBRBに置き換えた場合，ブレース材がアンボンド材を介して拘束材との隙間内で塑性変形

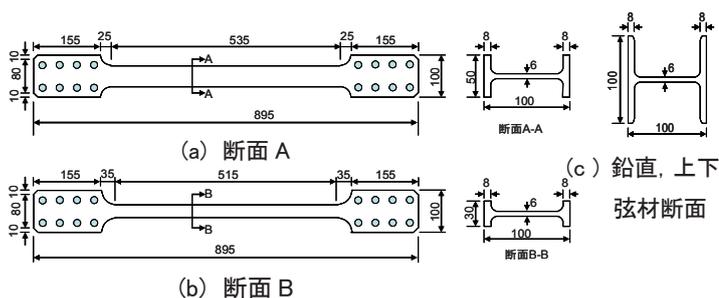


Fig. 3 斜材の全体図

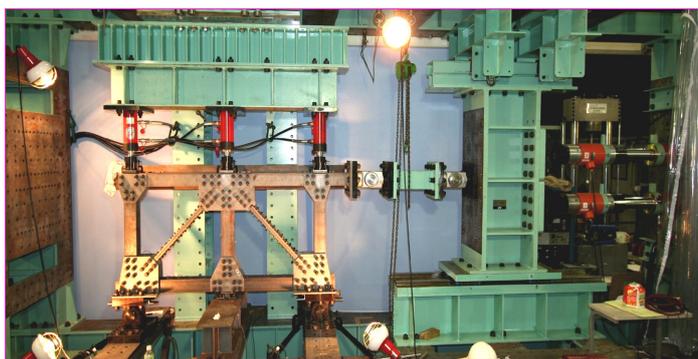


Fig. 4 実験全景

することにより，地震時のエネルギー吸収・消散能力を格段に向上させ，かつ履歴特性を単純化させることが可能となる。BRB は他の履歴ダンパーや免震装置に比べ施工面やメンテナンスが容易である。トラス橋，アーチ橋，ラーメン橋，吊橋などの橋梁に設置する場合は横構，対傾構，斜材などで効果が得られる³⁾。

現在，BRB の断面形状にはその適用構造物や適用箇所によって様々な種類があるが，BRB は部材座屈および局部座屈が起こらないように使われるのが基本であるので，圧縮と引張りの挙動はほぼ同じであり，断面積と降伏応力さえ同じであれば挙動は断面形状とは無関係である。

3.1.2 高機能 BRB

制震構造の要となる制震ダンパーの高機能化を目指した，高機能 BRB の開発研究が宇佐美ら⁵⁾によって行われた。

土木構造に用いられる制震ダンパーは，建築構造に比べより厳しい条件，すなわち大型で長期間風雨にさらされた状態で使用されるのが一般である。従って，建築構造に用いられる制震ダンパーに要求される性能に加え，土木構造特有の性能が要求される。それらをまとめると以下のようなになる⁶⁾⁷⁾。

- 1) 安定した履歴特性を持ち，高いエネルギー吸収能を持つ。
- 2) 変形能力が大きい。

- 3)低サイクル疲労強度が大きい.
- 4)高い耐久性を持つ.
- 5)製作が容易で安価である.
- 6)取り替えが容易に出来る, あるいは取り替えが不要

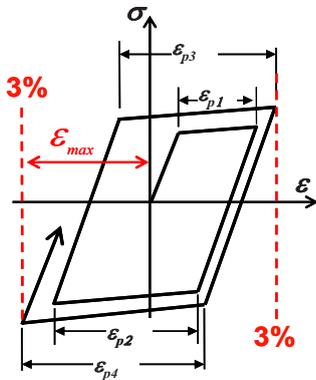


Fig. 5 累積塑性ひずみ・最大軸ひずみの定義

である.
性能 1) ~3) は, 制震ダンパーの履歴曲線が耐力低下のない紡錘形で, 式 (1) と式 (2) の照査式を満足すれば達成できると考えられ, 宇佐美らの研究では, 式 (3) を目標性能としている. 但し, 制震ダンパーと主構造との接合部は, 所用の性能を發揮する前に破壊しない

ように慎重に検討する必要がある. 4) については, 鋼材の耐腐食性, アンボンド材の経年劣化 (硬化) が問題となる. 5) は, 鋼材を使用することにより比較的容易に達成することが出来ると考えられる. さらに高機能制震ダンパーは, 1) ~5) の要求をすべて満たし, 6) の内, 橋梁のライフサイクルに渡って取り替えが不要な制震ダンパーである.

変形性能照査

$$\gamma \cdot \epsilon_{max} \leq \epsilon_u \tag{1}$$

低サイクル疲労照査

$$CID = \gamma \cdot \sum_{i=1}^n |\epsilon_{pi}| \leq (CID)_{lim} \tag{2}$$

Table 3 ブレース材諸元

鋼種	L [mm]	B [mm]	t [mm]	A [mm ²]
SM400A	485	80	10	800

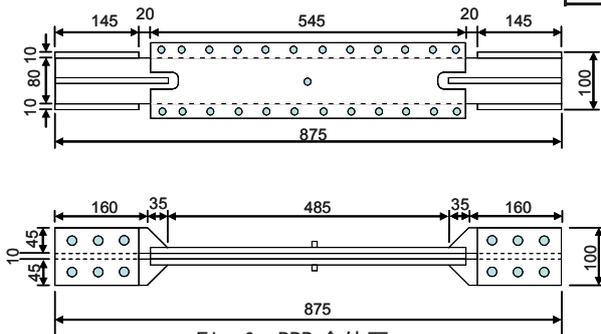


Fig. 6 BRB 全体図

目標性能

$$\begin{aligned} \epsilon_u &= 0.03 \\ (CID)_{lim} &= 0.7 \end{aligned} \tag{3}$$

ϵ_{max} =BRB の平均応答軸ひずみ (座屈拘束ブレースの軸変形を変形する部分の長さで除した量) の最大値, ϵ_u =終局ひずみ, γ =部材係数, CID =累積塑性ひずみ, ϵ_{pi} =平均応答軸ひずみの塑性成分, $(CID)_{lim}$ は累積塑性ひずみの限界値

Fig.5 に平均応答軸ひずみと累積塑性ひずみの定義を示す.

3.2 全体座屈防止条件

前項で述べた目標性能を満たすために全体座屈の防止が必須である. BRB の全体座屈とはブレース材が圧縮力によってたわみ, 拘束材に接触した後に, 拘束材の剛性や強度が十分でないと, 目標とする要求性能を満たす前に BRB 全体の面外変形が増加し, 耐力低下を起してしまう事である. 従って, 圧縮側と引張側と同様の履歴特性を得るためには, 拘束材とブレース材とが一緒になって全体座屈を起さない条件が必要になってくる. BRB の全対座屈の防止には現在, 両端単純支持の全体座屈防止条件が慣用的に用いられおり, 次式に示す.

$$v_F = \frac{1}{\frac{P_y}{P_E^R} + \left(\frac{P_y L}{M_y^R} \right) \cdot \frac{a + d + e}{L}} \geq 3.0 \tag{4}$$

Table 4 拘束材諸元

鋼種	b1 [mm]	b2 [mm]	t1 [mm]	t2 [mm]	隙間量		v_F
					面内 [mm]	面外 [mm]	
SM400	132	25	10	12	1	1	7.4

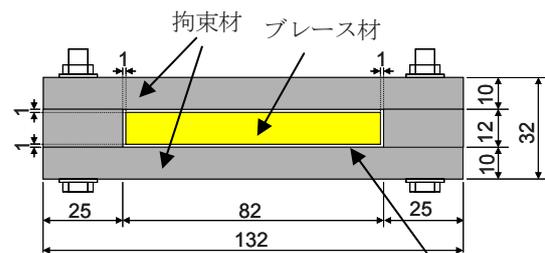


Fig. 7 BRB 断面図 アンボンド材

ここで、 v_F =安全係数、 P_{max} =ブレース材の最大軸圧縮力、 P_y =ブレース材の降伏軸力、 P_e^R =拘束材のオイラー座屈荷重、 M_y^R =拘束材の降伏モーメント、 L =ブレース材長、 $a=BRB$ の最大初期たわみ、 d =ブレース材と拘束材間の面外隙間量、 e =ブレース材に作用する軸力の偏心量である。式(4)を満たすことにより、全体座屈を防止し、高性能 BRB としての目標性能を満足するとされている⁵⁾。

3.3 BRB の細部構造

3.3.3 BRB の全体・断面構成

Table 3 にブレース材の諸元, Fig.6 に BRB の全体図, Fig.7 にブレース材, 拘束材の断面構成を示す。一对の拘束材と側方のフィラープレートでブレース材を囲む構造となっている。ブレース材と拘束材の隙間量は、面内、面外共に 1mm である。この隙間内でブレース材が塑性変形する。この隙間量は次項で説明するアンボンド材によって確保される。

3.3.4 アンボンド材

アンボンド材はブレース材と拘束材が直接接触するのを防ぎ、ブレース材がスムーズに軸方向に伸び縮み出来るようにすることで、圧縮側でのブレース材と拘束材の摩擦による軸力の上昇を防ぎ、正しい隙間量を確保する役割がある。本実験では、1mm 厚のテープ状のブチルゴムをブレース材に接着してアンボンド処理を行った。

3.3.5 BRB の組み立て方法

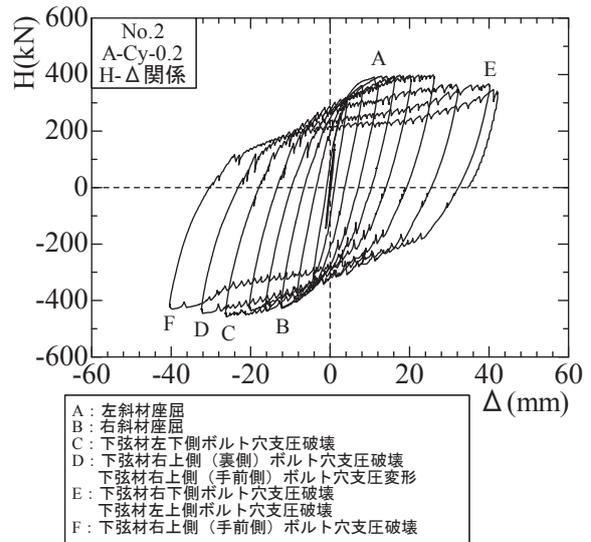
まずブレース材の平形部に拘束材とブレース材の隙間量分（面外、面内 1mm）のアンボンド材を接着し、ブレース材を 1 対の拘束材で挟み込むように装着し強力六角ボルトで接合した。ボルトは M10 を用いて供試体の長さ方向に 50mm 間隔で片側 12 本の強力六角ボルトで接合した。

3.4 安全係数

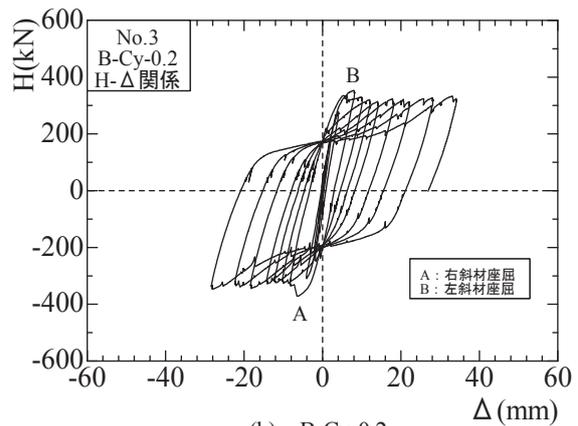
第 3 章 2 項で、全体座屈の防止条件について説明した。本実験で用いた BRB の安全係数は、ブレース材と拘束材の材料定数、諸元、断面構成より、

$$v_F = 7.4 \geq 3.0 \tag{5}$$

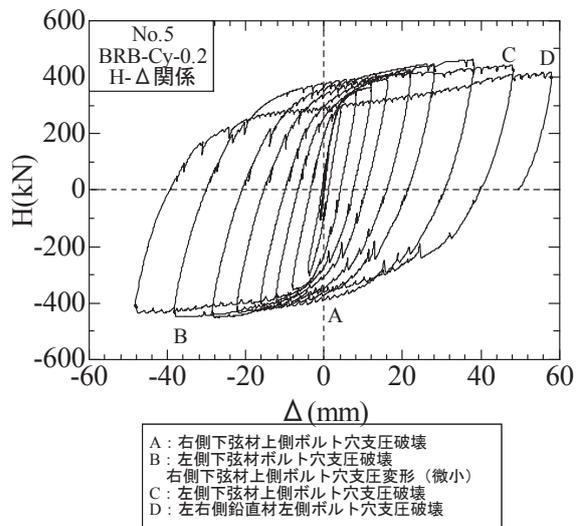
となり、全体座屈に対して安全であると言える。



(a) A-Cy-0.2



(b) B-Cy-0.2



(c) BRB-Cy-0.2

Fig.8 水平荷重-水平変位関係

4. 実験結果

4.1 水平荷重－水平変位関係

水平荷重 (H)－水平方向変位 (Δ) 関係について述べる. 縦軸に H (kN), 横軸に Δ (mm) をとり履歴曲線を描いた. そして, 供試体に変形, 損傷を生じた位置を併せて示す.

4.1.1 A-Cy-0.2

履歴曲線を Fig.8(a)に示す. $\Delta=26\text{mm}$ までは安定した履歴曲線を描いているが, $\Delta=32\text{mm}$ で荷重の低下が見られ, $\Delta=0\text{mm}$ 付近では荷重増分が小さいが変位のみ進行するピンチング現象がみられ, 不安定な状態であると言える.

4.1.2 B-Cy-0.2

履歴曲線を Fig.8(b)に示す. $\Delta=7\text{mm}$ で斜材が座屈を起こし, 急激に荷重低下している. その後履歴曲線は安定し荷重低下もみられないが, これは, 引張力が作用する側の斜材が抵抗力となっていたためだと思われる. しかし, A-Cy-0.2 と同じくピンチング現象がみられ, やはり不安定な状態であると言える.

4.1.3 BRB-Cy-0.2

履歴曲線を Fig.8(c)に示す. ブレース材の局部座屈が発生しなかったため急激な荷重低下はなく, とても安定した紡錘型の履歴曲線を描いている. 最終ループで



Fig. 11 供試体の損傷状態

は多少の荷重低下がみられるが, これは斜材の耐力低下ではなく斜材接合部の周辺部材が損傷したためであると考えられる. 部材の変形状況については後述する. (第4章 4項)

4.2 累積エネルギー吸収量

ステップごとのエネルギー吸収量の累積値とする. 今回の実験では, 载荷パターンが供試体ごとに異なり比較が困難なため, 最大耐力より 5%以上の荷重低下が確認されたループまでの累積値で比較を行った. 概念図を Fig.9に, 3つの供試体を比較したものを Fig.10に示す. BRB-Cy-0.2はその他の供試体と比較して非常に大きなエネルギー吸収能力を有していることを示している.

4.3 変形能力

3つの供試体の変形能力を, 塑性変形能, 変位塑性率の2つの指標によって比較を行った. 塑性変形能は, 構造物が外力を受けたとき, 弾性域をこえて終局に至るまでの変形量で, 全変形量から弾性変形を差し引いた塑性変形量 (Δ_p) と定義される. 変位塑性率は, 終局変位と降伏変位との比である塑性率 μ と定義される

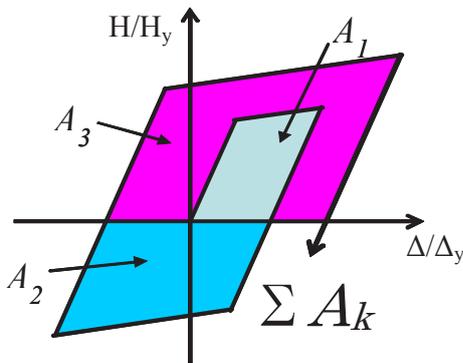


Fig. 9 累積エネルギー吸収量概念図

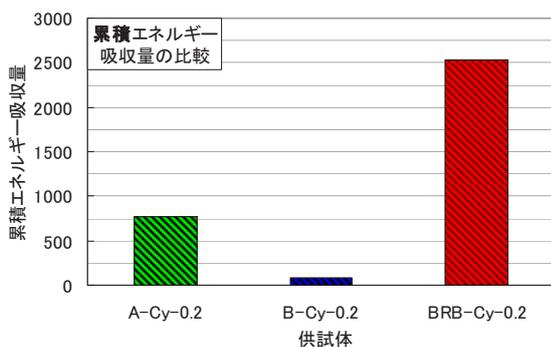


Fig. 10 累積エネルギー吸収量の比較

Table 5 変形性能

供試体	Δ_y [mm]	Δ_u [mm]	Δ_p [mm]	μ
A-Cy-0.2	0.84	32.07	31.23	38.18
B-Cy-0.2	0.89	10.06	9.17	11.3
BRB-Cy-0.2	0.63	48.09	47.46	76.33

3). それぞれ次式より求める.

塑性変形能: $\Delta_p = \Delta_u - \Delta_y$ (6)

変位塑性率: $\mu = \Delta_u / \Delta_y$ (7)

ここでは、最大耐力より 5%以上の荷重低下が確認されたループの最終変位を、終局変位 Δ_u とする.

結果をまとめたものを Table 5 に示す. BRB-Cy-0.2 は、塑性変形能を表す塑性変位 Δ_p 、変位塑性率 μ とともに他の供試体を大きく上回った値となった.

4.4 実験後の変形状況

実験終了後にガセットプレートを取り外して各部材の変形、損傷状況を確認した.

A-Cy-0.2 (Fig.11(a),(b)) は、斜材が座屈し、下弦材ボルト穴に支圧破壊、鉛直材ボルト穴に支圧変形を生じた.

B-Cy-0.2 (Fig.11(c),(d)) は、斜材が大きく座屈変形していることがわかる. この変形の様子から、圧縮力に対しては、もはや耐荷力が無かったに等しいと言えるであろう. 下弦材ボルト穴には、微小ではあるが支圧変形を生じた.

BRB-Cy-0.2 (Fig.11(e),(f)) は、斜材には局部座屈はみられなかったものの、支承部の回転に伴った斜材端部に曲げ変形、支承部周辺の部材に損傷が確認された. 下弦材ボルト穴に支圧破壊、鉛直材ボルト穴に支圧変形、支圧破壊が生じた.

5. BRB の解析的検討

5.1 解析概要

鋼材による BRB の弾塑性挙動に対する解析的研究⁶⁾は、宇佐美らによって行われている. 従来、宇佐美らによって行われてきた BRB の解析モデル⁶⁾を用いて、本実験において BRB-Cy-0.2 に設置された鋼材 BRB の弾塑性挙動の再現性の確認を行った.

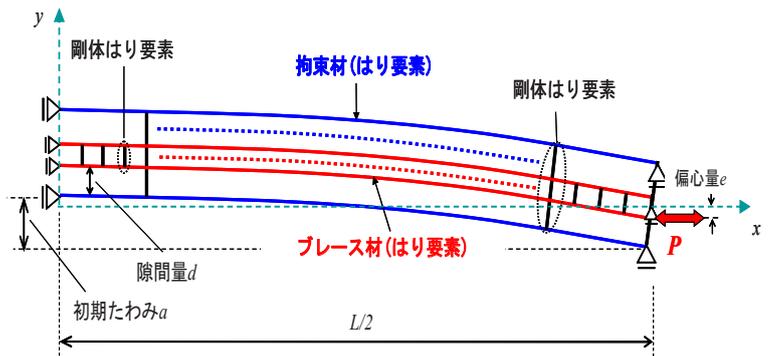


Fig. 12 解析モデル

Table 6 解析モデルの諸量

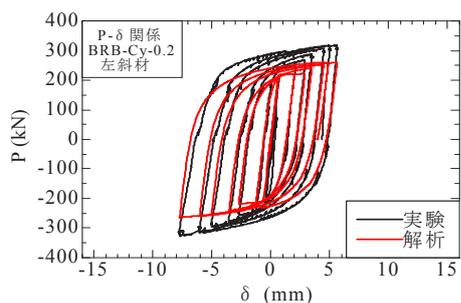
ブレース材						拘束材	
L [mm]	B [mm]	t [mm]	A [mm]	P_y [kN]	δ_y [mm]	I^R [mm ⁴]	d [mm]
505	80	10	800	220	0.681	3.49×10^5	1

5.1.1 解析モデルの概要

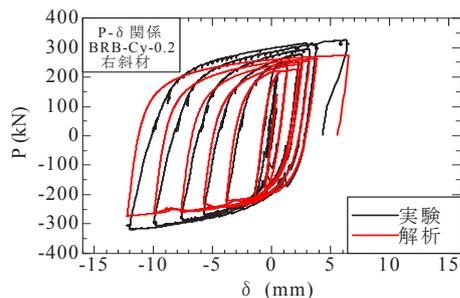
BRB はブレース材が拘束材の隙間内で変形し、拘束材に接触することで、ブレース材の座屈現象を拘束している. そのためブレース材と拘束材の接触問題として考えることができる. 本解析モデルを Fig.12 に示す. この解析モデルでは 2 次元の両端単純支持柱モデルと考へ、軸方向の対称性からその 1/2 モデルとした. なお、本解析には構造解析汎用プログラム ABAQUS version 6.7 を使用した.

Timoshenko はり理論に基づく平面はり要素 (B21) でモデル化した. また部材の平面保持を保つため、それぞれのはりの向かい合う接点を剛棒要素 (RB2D2) で結合することで 2 本のはり要素を一对のブレース材としてモデル化した. 等間隔にブレース材は 54 分割、拘束材は 108 分割にした.

アンボンド材の剛性はブレース材の挙動にほとんど影響を与えないため、本解析モデルではアンボンド材の剛性は無視している. BRB の圧縮時は、ブレース材が拘束材と接触し、次の座屈モードに進展するまで、ブレース材は拘束材と接触し続けていると考えられる. 本解析モデルには摩擦係数を導入して摩擦力の影響を考慮した. 初期たわみ a については、ブレース材と拘束材の隙間量 d が BRB の長さ方向に一定なるように、モデル中央部の初期たわみ a を最大値とする半波の正弦曲線をブレース材と拘束材に同様に与えた. 構成則には、名古屋大学で開発された修正二曲面モデル⁷⁾を用いた.



(a) 左斜材 解析結果



(b) 右斜材 解析結果

Fig. 13 軸力-軸方向変位関係

5.2 解析条件

本解析で比較検討を行う供試体のブレース材および拘束材に関する解析モデルの諸元をTable 6に示す。表の I^B は拘束材の断面2次モーメントである。初期たわみは $L/1000$ とし、摩擦係数は0.075を使用し解析を行った。載荷方法は、Fig.12の解析モデルにおける右端点の接点Bを載荷点として、軸方向に強制変位を与える変位制御により解析を行い、繰り返し載荷解析を行った。

5.3 解析結果

左右の斜材の軸荷重-軸変位量関係について実験と比較したものをFig.13に示す。解析は実験に比べ荷重が10%程度低くなった。これは、今回の実験において、支承部の回転の卓越によって正確な軸変位量の計測が不可能であったこと、トラス構造の斜材に加わる軸力は弾性微小理論より得られた数値であることが原因であると考えられる。しかし、曲線の形状は大きいズレもなく模擬できていると言える。

6. 結論

座屈拘束ブレース (BRB) 設置によるトラス構造の耐震性向上効果を調べるにあたり、斜材の強度、種類の異なる3種類の供試体に対し鉛直荷重、繰り返し水平荷重を載荷しての実験を行った。今回の実験から得られた知見を以下に述べる。

1) BRB-Cy-0.2 は他の供試体と比較して、斜材の全体

座屈は生じず、非常に大きな履歴曲線を描いた。

2) BRB-Cy-0.2 は、エネルギー吸収能力、変形能力共に圧倒的に大きな値となり、BRBを設置することにより耐震性能が大幅に向上することを示した。

3) しかし、取付け部周辺の部材損傷が大きくなったこと、支承部の回転が大きくなったことから、BRBによる補強を行う際には取付け部周辺に十分な配慮が必要であると言える。具体的には、ボルト縁端距離、ガセット形状、溶接部などの応力集中、主構造の変形挙動を十分に考慮することが必要である。

謝辞

本研究は、平成19年度文部科学省私学助成ハイテクリサーチセンター整備事業で名城大学に設置された「高度制震実験・解析研究センター(代表者:宇佐美 勉)」の助成を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 倉西茂：最新土木工学シリーズ 橋構造，森北出版，1990. 10.
- 2) 宇佐美勉，加藤基規，葛西 昭，河村洋行：制震ダンパーとしての座屈拘束ブレースの要求性能，構造工学論文集 Vol. 50A，土木学会，pp. 527-538，2004. 3.
- 3) 宇佐美勉編著，日本鋼構造協会編：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，技報堂出版，2006. 9.
- 4) 野中哲也，宇佐美勉，坂本佳子，岩村真樹：上路式鋼トラス橋の大地震時弾塑性挙動および耐震性向上に関する研究，構造工学論文集 Vol. 49A，2003. 3.
- 5) 宇佐美勉，佐藤崇，葛西昭：高機能座屈拘束ブレースの開発研究，構造工学論文集 Vol. 55A，2009. 3.
- 6) 宇佐美勉，渡辺直起，河村洋行，葛西 昭，織田博孝：制震ダンパーとしての座屈拘束ブレースの全体座屈，構造工学論文集Vol. 52A，土木学会，pp. 37-48，2006. 3.
- 7) 田中良仁，水野英二，沈 赤，宇佐美勉：降伏棚を有する鋼材の繰り返し弾塑性モデル，構造工学論文集，Vol. 37A，pp. 1-14，1991. 3.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

鋼製高機能 BRB の低サイクル疲労特性

舟山淳起¹⁾, 王 春林²⁾, 宇佐美 勉³⁾

Low-cycle Fatigue Performance of Steel High-performance BRBs

Junki FUNAYAMA¹⁾, Chunlin WANG²⁾, Tsutomu USAMI³⁾,

Abstract

The previous study on low cycle fatigue tests of buckling-restrained braces (BRBs) showed that all the specimens had good fatigue performance, but the performance in relatively small strain amplitudes was found to be affected by the welding of bracing member end ribs. In order to upgrade furthermore the performance, seven test specimens with end rib welding toes being finished with a grinder are prepared and tested under constant and variable amplitudes. As expected, improved low-cycle fatigue performance has been obtained.

1. 緒言

座屈拘束ブレース（以下、BRBと略称する）などの制震ダンパーは、地震エネルギーを鋼材等の履歴減衰により吸収・消散させるため、数サイクルから多くとも十数サイクルの大きな塑性ひずみが発生する。従って、制震ダンパーの設計には、低サイクル疲労による損傷に対する配慮が必須である。繰り返し回数が数回程度で破断する場合はしばしば極低サイクル疲労あるいは超低サイクル疲労と呼ばれるが、本論文ではそのような疲労も含めて統一的に低サイクル疲労と称する。

著者らは、鋼製高機能 BRB¹⁾の低サイクル疲労に関する実験的研究を発表している²⁾。そこでは、SM400A 鋼材よりなる BRB の一定ひずみ振幅および変動ひずみ振幅での低サイクル疲労実験を行った。用いた供試体の全ての溶接部は止端部仕上げなど行っていない、as-weld の状態で実験を行っている。得られた、主要な知見は以下のようなものである。

- (1) ひずみ範囲の小さい一定ひずみ振幅実験供試体（ひずみ振幅 $\Delta\varepsilon/2 = 0.01, 0.02$, $\Delta\varepsilon$ はひずみ範囲）は端部に溶接したリブ先端の溶接部（Fig.1）から亀裂が入って破断した。これは、ブレース材がほぼ一様なひずみで軸方向に変

形したため、最も応力集中の大きかったリブの溶接止端部で亀裂が発生したものである。

- (2) ひずみ範囲の大きい一定ひずみ振幅実験供試体（ $\Delta\varepsilon/2 = 0.03, 0.04$ ）あるいは変動ひずみ実験供試体は、ブレース材中央部のずれ止め棒（Fig.1）の溶接部近辺および中央部よりやや可動端側（右側）で亀裂が生じ破断した。これは、ブレース材が拘束材内部の隙間で高次のモードで変形するため、ブレース材が繰り返し曲げ引張りを受けて低サイクル疲労を起こしたものである。

実験より得られたひずみ範囲 $\Delta\varepsilon$ と疲労寿命 N_f をもとに Manson-Coffin 則を用いた低サイクル疲労寿命予測式を提案している。但し、用いられているひずみ振幅は、亀裂発生位置の局所的なひずみ(Local strain)ではなく、平均ひずみ（ブレース材の軸方向変位をブレース材長さで除した量—Global strain）であり、提案照査法は個々の亀裂発生位置の低サイクル疲労寿命を予測する式ではなく、構造全体の低サイクル疲労寿命をマクロ的に評価する予測式である。

1) 2) 名城大学大学院理工学研究科 3) 建設システム工学科

1) 2) Graduate School of Science and Engineering, Meijo University 3) Department of Civil Engineering

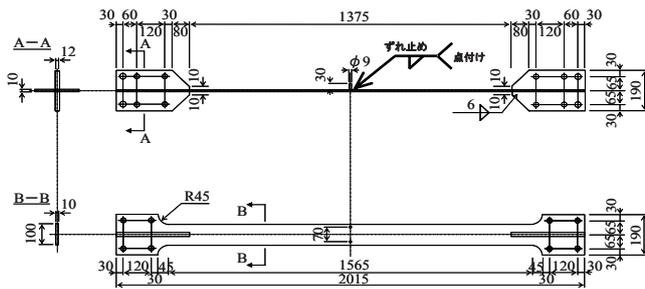


Fig. 1 ブレース材全体図

本研究は、これらの文献²⁾の知見を踏まえ、端部リブの溶接部の仕上げを施すことにより、特にひずみ振幅の小さい領域での BRB の低サイクル疲労寿命向上効果を実験的に調べることを主目的としている。

上記の目的達成のために 6 体の高機能 BRB を製作して、一定ひずみ振幅実験 4 体と変動ひずみ振幅実験 2 体を行った。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

座屈拘束ブレース BRB は、圧縮時に全体座屈が生じないように、ブレース材にカバー（拘束材）を被せた軸力部材である。拘束材を適切に設計することにより、圧縮荷重に対しても引張荷重とほぼ同様な挙動が得られ、ブレース材の塑性履歴により非常に高いエネルギー吸収が期待できる。

使用した供試体は、Fig.1~Fig.3 に示すような、著者らが従来行ってきた BRB の性能実験¹⁾、低サイクル疲労実験²⁾と同一形状の供試体 6 体である。ブレース材および拘束材とも、SM400A 材よりなる平鋼を用いて製作されている。ブレース材は、平行部全面にアンボンド材(厚さ 1mm のブチルゴム)を接着し、2 本の拘束材 (200 x 14 mm) と 2 枚のファイラープレート (50 x 12 mm) の間に設けた溝の間に装着されている (Fig.2, Fig.3)。ブレース材はアンボンド材により自由に軸方向に変形し、また拘束材との隙間 (Fig.2 の d_o, d) で面外および面内に変形することにより軸方向に大きな塑性変形を生ずる。この塑性変形による履歴作用により、地震エネルギーを吸収することができる。ブレース材端部は、補剛のために厚さ 12mm のリブが両面隅肉溶接 (脚長 6mm) され十字断面になっている。また、中央部には長さ 30mm, ϕ 9mm のずれ止め用の丸棒 2 本が片面にスポット溶接されている (Fig.1)。ずれ止め棒は拘束材

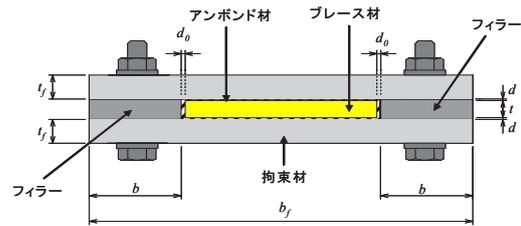


Fig. 2 BRB の断面構成図

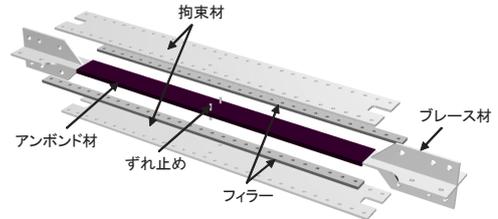


Fig. 3 BRB の組み立て図

Table 1 ブレース材の材料定数

E (GPa)	σ_y (MPa)	ϵ_y (%)	E_{st} (GPa)	ϵ_{st} (%)	σ_u (MPa)	δ_u (%)	ν
209	271	0.130	3.7	1.3	409	29.2	0.280

Note : E =ヤング係数, σ_y =降伏応力, ϵ_y =降伏ひずみ,
 E_{st} =ひずみ硬化係数, ϵ_{st} =ひずみ硬化開始点ひずみ,
 σ_u =引張強さ, δ_u =伸び, ν =ポアソン比, 鋼種:SM400A

Table 2 ブレース材の諸元

No.	供試体	L (mm)	B (mm)	t (mm)	A (mm ²)	λ
1	FT-1.0	1375	100.4	10.3	1037	452
2	FT-2.0		100.5	10.7	1071	435
3	FT-3.0		100.3	10.3	1028	451
4	FT-3.5		100.2	10.6	1060	438
5	FT-R1		100.5	10.2	1028	456
6	FT-R2		100.2	10.3	1032	450

Note : L, B, t は Fig.1 参照, A =断面積,
 λ =弱軸回りの細長比

Table 3 拘束材の諸量

供試体	E^R (GPa)	σ_y^R (MPa)	b_f (mm)	t_f (mm)	隙間量 (mm)	
					面外 d	面内 d_o
FT-1.0 / FT-3.5	212	264	201	14.3	1	2
FT-2.0 / FT-R1			201	14.3		
FT-3.0 / FT-R2			201	14.0		

Note : E^R =ヤング係数, σ_y^R =降伏応力,
 b_f, t_f, d, d_o は Fig.2 参照, 鋼種:SM400A

に設けられた穴を貫通する長さになっており、拘束材が軸方向にずれないようにしている。BRB の組み立ては、Fig.3 に示すように、10.9 等級 M10 (保証荷重=48.1 kN) の高力六角ボルトを用いて、供試体の長さ方向に片側 29 本を 50mm 間隔で接合した。

低サイクル疲労実験では、低サイクル疲労による破断までの繰り返し回数を知る必要があるため、全体座

屈が低サイクル疲労に先行して生じてはならない。全体座屈防止の条件は既に著者らによって提案¹⁾されており、それによれば全体座屈防止条件の安全係数 v_F が 3.0 以上であれば全体座屈は起こらない。本供試体の安全係数 v_F は 4.02 であり、全体座屈に対して十分余裕がある。すなわち、文献¹⁾の知見から、本供試体は高機能 BRB の目標性能を満足すると言える。

ブレース材および拘束材と同じ鋼板から JIS 1 号引張試験片をそれぞれ 3 本製作し、材料定数を求めた。Table 1 にブレース材の材料定数の平均値、Table 2 にブレース材の諸元、Table 3 に拘束材の材料定数の平均値、および諸量を示す。6 体の供試体は、すべて同一寸法で製作した。実験パラメータは、1) ひずみ振幅の大きさ、2) 载荷パターン（一定ひずみ振幅あるいは変動ひずみ振幅）の 2 種類である。これらについては、2.4 節で詳述する。なお、面内隙間量はすべて 2mm である。

2.2 溶接止端部仕上げ

文献²⁾によれば、低サイクル疲労性能の向上を目指す上で重要となることの 1 つに溶接止端部の仕上げが挙げられている。比較的小さいひずみ振幅の実験において、ほぼ一様なひずみで軸方向に変形したため、最も応力集中の大きかったリブの溶接止端部で亀裂が発生した。この結果から、溶接止端部の仕上げを行い、応力集中を緩和することにより BRB の低サイクル疲労に対する性能が向上すると考えられる。実際に多くの文献において溶接止端部を改良することによる疲労強度の向上が確認されている^{3),4),5)}。飯田らが行った低サイクル疲労試験⁶⁾では、アルミニウム合金に対してではあるが、溶接止端部をグラインダー処理することにより溶接継手の疲労強度は約 50% 向上することを明らかにしている。高サイクル疲労の分野でも疲労強度改善の方策として溶接止端形状をなめらかにする方法が推奨されており、JSSC 疲労設計指針の改訂版⁷⁾ではグラインダー処理による疲労強度の補正は、止端曲率半径 ρ (Fig.4 参照) が 3mm 以上を満たせば 1 等級向上させても良いとしている。

本実験のすべての供試体は、Fig.4 に示すように、止端曲率半径 ρ が 6mm、仕上げ深さ d_w が 0.3mm を目標にバークラインダーによる仕上げを行った。Fig.5 は仕上げ後の溶接部を示す。これらの目標値は文献⁵⁾の研究結果を参考にしたものである。載

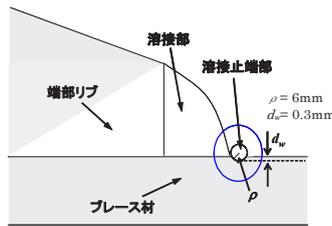


Fig. 4 溶接止端部仕上げ概念図



Fig. 5 リブ溶接止端部の仕上げ

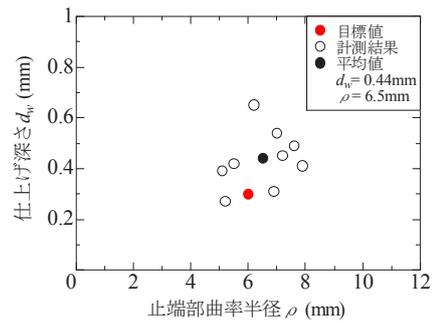


Fig. 6 溶接止端部の仕上げ計測結果

荷実験に先立って、全供試体の溶接止端部の仕上げ後の形状を歯科用印象材によって採取し、それを 1mm 程度の厚さに切断し、デジタルカメラで撮影した画像から止端曲率半径 ρ と仕上げ深さ d_w を測定した。計測結果を Fig.6 に示す。今回の供試体の止端曲率半径 ρ 、仕上げ深さ d_w の平均値は、それぞれ 6.5mm、0.44mm であり、目標値に近い値になっている。

2.3 実験装置

実験装置には、Fig.7 に示す名城大学「高度制震実験・解析研究センター (ARCSEC)」の大型構造実験



Fig. 7 実験装置の全景 (名城大学 高度制震実験・解析研究センター ARCSEC)

フレームを用いた。荷重フレームは梁と柱をボルト接合によって剛結した自定式構造のため、実験目的に合わせた組換えにより多様な荷重形式に対応できる。圧縮 1,000kN，引張 500kN の荷重が可能なサーボアクチュエータは、デジタル変位計と 32 bit CPU を搭載したコントローラによる 1/100mm の高精度

な変位制御が可能である。台座および供試体端部が降伏しないよう十分な強度を持たせると共に、剛に設計してある。供試体の軸方向に垂直に設置された剛柱は上下にスライドが固定されており、水平に可動することにより供試体には、2本のアクチュエータの合計荷重 P がブレース材の軸方向に与えられるようになっている。制御方法は供試体の軸方向変位 δ を供試体端部に設置した一対のダイヤルゲージで測定して行った。

2.4 荷重パターン

本低サイクル疲労実験は、一定ひずみ振幅で 4 体、変動ひずみ振幅で 2 体行った (Table 4 参照)。一定ひずみ振幅での実験は、Table 4 に示す 4 種類の異なるひずみ振幅で引張・圧縮対称の両振り荷重を行った。本論文では、全ひずみ範囲は、Fig.8 に示すように $\Delta\varepsilon$ とし、ひずみ振幅は全ひずみ範囲の半分 ($\Delta\varepsilon/2$) として用いる。すべての荷重はブレース材に引張ひずみが生ずる側から行った。

一定ひずみ振幅実験の供試体名の数字は、ひずみ振幅の大きさ (%) を表す。例えば、供試体 FT-1.0 では、ひずみ振幅 ε_y の一定ひずみ振幅荷重を 2 サイクル行った後、ブレース材平行部に生ずる平均ひずみ (ブレース材の軸方向変位を後述の L_0 で除した量) が 1% の状態で両振り一定ひずみ振幅荷重を行った。軸圧縮荷重 P が最大荷重から 10% 低下した時点を通り低サイクル疲労寿命とし、実験はそれまで繰り返した。他の一定ひずみ振幅実験も同様である。

Table 4 実験内容・実験結果

実験シリーズ	供試体	$\Delta\varepsilon/2$	$\Delta\varepsilon$	$\Delta\varepsilon_e$	$\Delta\varepsilon_p$	N_f	n_i	CID	荷重パターン	
本実験 溶接仕上げ有り (Toe-finished)	FT-1.0	0.01	0.02	0.004	0.016	168	—	5.45	一定ひずみ振幅	
	FT-2.0	0.02	0.04	0.004	0.036	42	—	2.96		
	FT-3.0	0.03	0.06	0.005	0.055	14	—	1.52		
	FT-3.5	0.035	0.07	0.005	0.065	9	—	1.18		
	FT-R1	0.01	0.02	0.004	0.016	—	5	2.21	変動ひずみ振幅	
		0.02	0.04	0.004	0.036	—	10			
		0.03	0.06	0.005	0.055	—	12			
		FT-R2	0.03	0.06	0.005	0.055	—	8		2.60
			0.02	0.04	0.005	0.035	—	10		
			0.01	0.02	0.004	0.016	—	32		
文献2) 溶接仕上げ無し (As-welded)	FE-1.0	0.01	0.02	0.003	0.017	111	—	3.62	一定ひずみ振幅	
	FE-2.0	0.02	0.04	0.004	0.036	29	—	1.99		
	FE-3.0	0.03	0.06	0.005	0.055	14	—	1.42		
	FE-4.0	0.04	0.08	0.006	0.074	7	—	0.96		
	FE-R	0.015	0.03	0.004	0.026	—	5	2.04	変動ひずみ振幅	
		0.025	0.05	0.004	0.046	—	8			
		0.035	0.07	0.006	0.064	—	1			
		0.03	0.06	0.005	0.055	—	10			

Note : $\Delta\varepsilon$ =全ひずみ範囲 (Fig. 8), $\Delta\varepsilon_e$ =弾性ひずみ範囲 (Fig. 8), $\Delta\varepsilon_p$ =塑性ひずみ範囲 (Fig. 8), N_f =破断までの繰り返し回数, n_i =各ひずみ範囲での繰り返し回数, CID=累積塑性ひずみ,

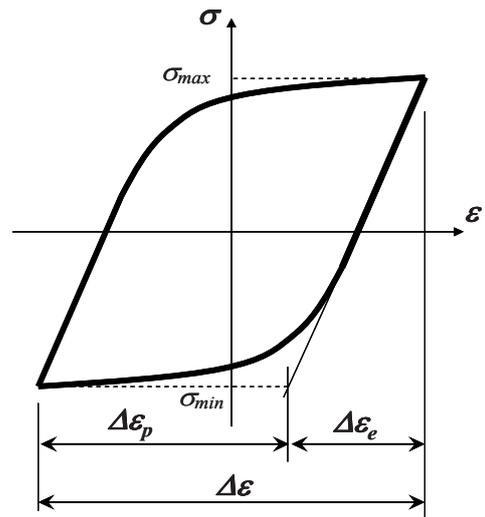


Fig. 8 ひずみ範囲 ($\Delta\varepsilon, \Delta\varepsilon_p, \Delta\varepsilon_e$) の定義

変動ひずみ振幅実験の供試体 FT-R1 は、ひずみ振幅を 1, 2, 3% と増加させ、FT-R2 は、逆にひずみ振幅を 3, 2, 1% と減少させて実験を行った。繰り返し回数 (n_i) は、それぞれの振幅に対して、FT-R1 は 5 回, 10 回, 12 回, FT-R2 は 8 回, 10 回, 32 回で、それぞれ最終のひずみ振幅 (3%, 1%) 荷重は、軸圧縮荷重 P がピーク荷重から 10% 低下した時点まで繰り返した。

3 実験結果

3.1 平均応力-平均ひずみ関係

Fig.9に実験から得られた平均応力 σ -平均ひずみ ε 関係を示す. 引張側を正とし, 縦軸は軸方向荷重 P をブレース材の断面積 A で割った平均応力 σ [MPa], 横軸は軸方向変位 δ をブレース材の平行部の長さ L (1375mm) から端部リブ前面の隅肉溶接部を差し引いた長さ $L_0=1350$ mmで割った平均ひずみ ε [%]で

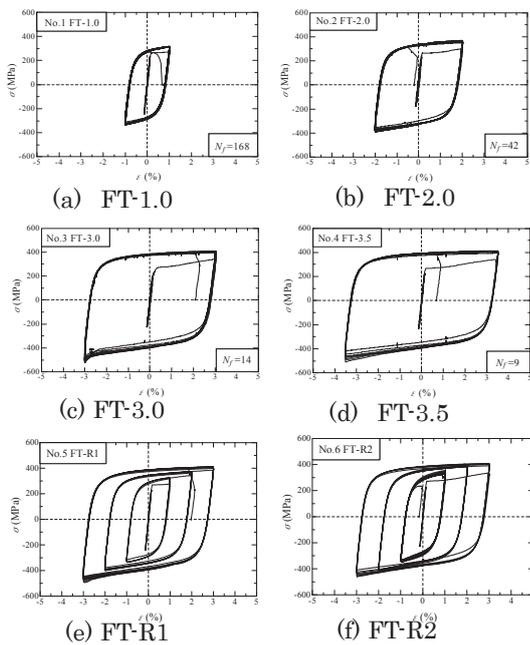


Fig.9 平均応力-平均ひずみ関係

ある. なお, 全ての供試体において, 低サイクル疲労破壊が生ずる前に BRB の全体屈服は生じなかった.

文献2)と同様に, 一定ひずみ振幅実験では, 最初のループを除いて繰り返しひずみ硬化の影響はほとんど見られなかった. ひずみ振幅が3.0%以上の実験結果では圧縮ひずみの大きい部分で繰り返すごとに少しずつ荷重が大きくなっており, 最終的に引張側の最大荷重より15~30%程度大きくなっている. これは, 過去の論文^{1),2)}で述べたように, ブレース材が面外方向に高次のモードで変形するため拘束材に接触し, 摩擦力の発生により軸方向荷重が上昇するためである.

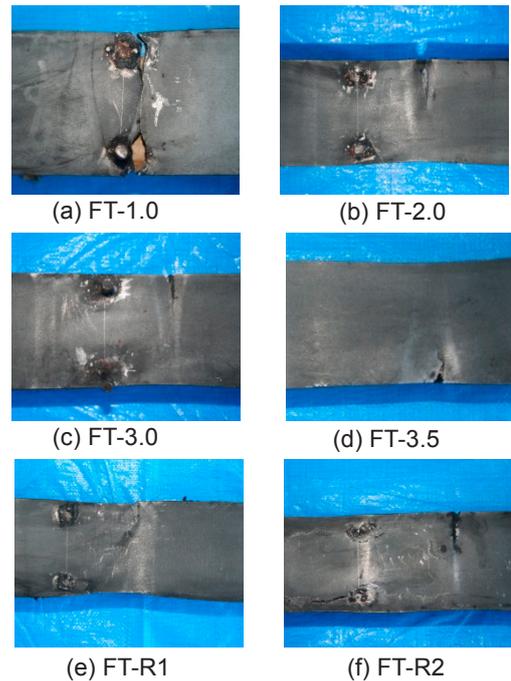


Fig.10 ブレース材の損傷状況

3.2 終局状態

Fig.11(a),(b)は本実験および文献2)の実験におけるブレース材の亀裂発生箇所を示したものである. 文献2)の低ひずみ振幅実験 (FE-1.0, FE-2.0) で見られた端部リブ溶接止端部の亀裂は今回の実験では見られず, すべての供試体はブレース材ずれ止め棒溶接止端に発生した疲労亀裂 (FT-1.0), あるいはブレース材中央部よりやや可動端側 (右側), もしくは固定端側 (左側) で発生した母材の疲労亀裂 (他の供試体) により耐力を失った. これは, 溶接止端部仕上げを行ったことによって端部リブ溶接止端部の応力集中を緩和することができ, それによって亀裂発生箇所がブレース材中央部へ移行したものである.

Fig.10には全ての供試体の, ブレース材の損傷状態

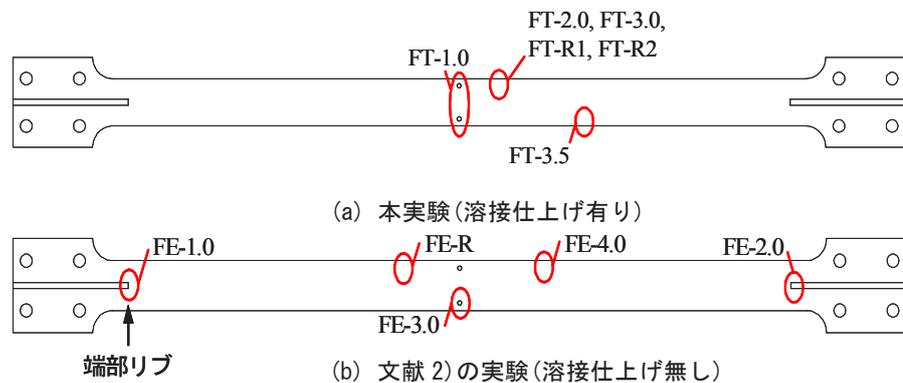


Fig.11 ブレース材の亀裂発生位置

を示す。FT-1.0 はずれ止め棒溶接止端部、FT-2.0 はブレース材中央部よりやや可動端側（右側）に生じた疲労亀裂を示している。FT-1.0 以外の供試体に見られた疲労亀裂の形状は FT-2.0 に類似している。

3.3 ひずみ振幅－疲労寿命関係

実験結果は、まとめて Table 4 に示してある。ここで、 $\Delta \varepsilon$ =全ひずみ範囲の平均、 $\Delta \varepsilon_e$ =弾性ひずみ範囲の平均、 $\Delta \varepsilon_p$ =塑性ひずみ範囲の平均、 N_f =疲労寿命、 n_f =変動ひずみ振幅実験における各振幅の繰り返し回数、 CID =累積塑性ひずみ^{1),2)}（疲労寿命に至るまでの塑性ひずみの絶対値の総和）である。ひずみ範囲の定義は Fig.8 に示してある。但し、ブレース材と拘束材の摩擦による圧縮側の荷重増分のため、弾性および塑性ひずみ範囲は、Fig.8 に示す定義からは正確に求めることが出来ない。そこで、Fig.9 から分かるように、定常状態で応力が零の点のひずみは摩擦力の影響を受けないので、零応力点に対応する正負のひずみの差の平均値から塑性ひずみ範囲をまず求め、全ひずみ範囲と塑性ひずみ範囲の差から弾性ひずみ範囲を算定した。一定ひずみ振幅実験における疲労寿命 N_f は、最初の载荷部分の引張降伏ひずみを零ひずみとし、以降引張ひずみの零点を起点として繰り返し数をカウントした。低サイクル疲労が生じたループについては、零引張ひずみ点から低サイクル疲労発生点までのひずみ量を 1 ループのひずみ量で除した値の小数点以下を四捨五入して疲労寿命を算定した。その結果、Fig.9 の最終ループはすべて 1.0 として疲労寿命にカウントされることになる。

Table 4 からわかるように、ひずみ振幅が小さい FT-1.0、FT-2.0 は、文献 2) の FE-1.0、FE-2.0 と比べて低サイクル疲労寿命 N_f が約 50% 程度高くなっており、端部リブ溶接部の仕上げの効果分かる。一方、ひずみ振幅が大きい供試体 ($\Delta \varepsilon/2 \geq 3.0$) では改善がほとんど見られない。これは、両実験供試体とも疲労亀裂の発生が端部リブの溶接部ではなく、ブレース材中央近辺に生じたためである。CID に関しては、全ての供

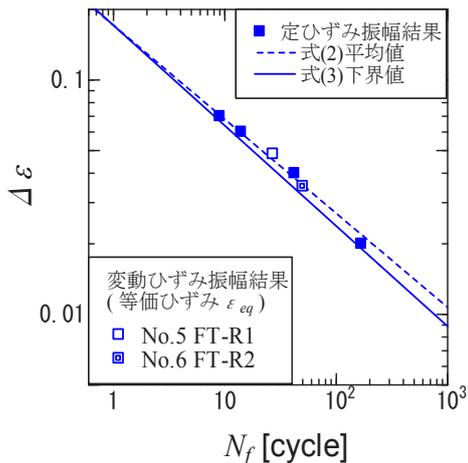


Fig. 12 低サイクル疲労寿命曲線（仕上げ有り）

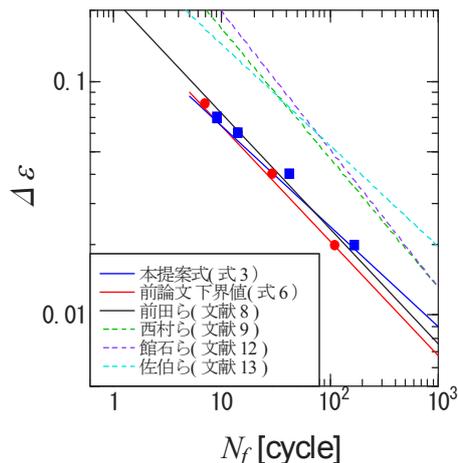


Fig. 13 低サイクル疲労寿命曲線の比較

試体について高機能 BRB の目標性能¹⁾ $CID)_{lim}=0.7$ を大幅に超えていることがわかる。特にひずみ振幅の小さい供試体に関しては、溶接部仕上げの効果により CID も大幅に上昇している。文献 2) においても高機能 BRB は低サイクル疲労に対して十分安全であるとの結果を得たが、今回の実験結果からも同様のことが言える。

4. BRB の低サイクル疲労特性

4.1 低サイクル疲労寿命曲線

文献 2) では、BRB の低サイクル疲労寿命予測式として、塑性ひずみ範囲 $\Delta \varepsilon_p$ と疲労寿命 N_f の間に成り立つ Manson-Coffin 則に、次の近似を行った式を採用している。

- 1) Manson-Coffin 則は低サイクル疲労亀裂発生位置における局所的なひずみに対して提案されたものであるが、BRB の平均ひずみに対しても適用できるものとする。
- 2) 塑性ひずみ範囲の代わりに全ひずみ範囲を用いる。即ち、弾性ひずみの影響を無視する。

Manson-Coffin 則にこのような近似を行った低サイクル疲労寿命予測式は次のように表される。

$$\Delta \varepsilon = \bar{C} \cdot (N_f)^{-k} \quad (1)$$

ここで、 \bar{C} 、 k は実験から定められる材料定数である。本論文では、式 (1) を用いて疲労実験結果を整理する。

Table 4 の一定ひずみ振幅载荷より得られた結果の $\Delta \varepsilon$ と N_f の関係から、材料定数 \bar{C} および k を求める。

材料定数 \bar{C} および k を最小二乗法により算出すると、平均相当値として $\bar{C}=0.171$, $k=0.401$, 下界相当値として $\bar{C}=0.171$, $k=0.428$ を得た。従って、式 (1) は以下のようなになる。

端部リブの仕上げをした BRB (toe-finished BRB)

$$\Delta \varepsilon = 0.171 N_f^{-0.401} \quad \text{平均値} \quad (2)$$

$$\Delta \varepsilon = 0.171 N_f^{-0.428} \quad \text{下界値} \quad (3)$$

Fig.12 に実験結果と式 (2), 式 (3) を示す。図中には、次式で求めた等価ひずみ振幅 ε_{eq} を用いて変動ひずみ振幅結果を整理した結果も示す³⁾。

$$\varepsilon_{eq} = \left(\frac{\sum \Delta \varepsilon_i^{1/k} \cdot n_i}{\sum n_i} \right)^k \quad (4)$$

これらの図から、疲労寿命曲線の下界値である式 (3) は、全ての実験結果が曲線の上側に位置しており、安全側の式となっていることがわかる。

文献 2) では実験結果を基に低サイクル疲労寿命式の平均値相当式が提案されているが、下界値相当式を新たに求め直し、次に示す。

端部リブの仕上げをしない BRB (as-weld BRB)

$$\Delta \varepsilon = 0.223 N_f^{-0.513} \quad \text{平均値} \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon = 0.196 N_f^{-0.488} \quad \text{下界値} \quad (6)$$

Manson-Coffin 則の材料定数 \bar{C} , k は、様々な文献で提案されている。Fig.13 は、本実験と文献 2) の疲労寿命曲線の下界値 (式 (3), 式 (6)), 前田ら⁸⁾が行ったモルタル充填の BRB (材質は, SN400B, LYP100, LYP235) の低サイクル疲労寿命曲線, 西村・三木⁹⁾が構造用鋼材 (SS400, SM490, SM570) に対して行った素材実験での低サイクル疲労寿命曲線, 館石ら^{10)~12)}が行った素材実験 (材質は, SM490A) での低サイクル疲労寿命曲線, 佐伯ら¹³⁾が行った素材実験 (材質は, SS400) を比較したものである。各提案におけるパラメータ値は Table 5 にまとめてある。但し、縦軸のひずみ範囲は、BRB に対しては平均ひずみ、素材に対しては局部的なひずみである。本実験の提案式 (式 (3)) は、文献 2) の提案式の下界値 (式 (6)) と比較して、ひずみ振幅が小さい領域において大幅に改善されていることがわかる。また、本実験の低サイクル疲労寿命は素材の疲労寿命に比べ低下し、佐伯らの素材実験結果と比較すると約 1/3 程度となった。

Table 5 低サイクル疲労寿命におけるパラメータ値

文献	K	\bar{C}	摘要
本論文 (Toe-finished)	0.428	0.171	BRB
文献 2) (As-welded)	0.488	0.196	
前田 (文献 8)	0.490	0.204	
西村 (文献 9)	0.551	0.594	素材
館石 (文献 12)	0.587	0.784	
佐伯 (文献 13)	0.434	0.384	

Note: 西村ら⁸⁾のパラメータ値は、3 種類の鋼材に対する値の平均値。館石ら¹²⁾のパラメータ値は素材に対する値。

5. 結言

SM400A 鋼材よりなる座屈拘束ブレース (BRB) 4 体の一定ひずみ振幅および 2 体の変動ひずみ振幅での低サイクル疲労実験を行った。実験内容は、ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon / 2 = 0.01, 0.02, 0.03, 0.035$ での一定ひずみ振幅の両振り実験、および $\Delta \varepsilon / 2 = 0.01 \sim 0.03$ の変動ひずみ振幅の両振り実験である。対象とする BRB はこれまで著者らが研究を行ってきた高機能 BRB¹⁾であるが、本実験では、ブレース材の溶接止端部に仕上げを行った。文献 2) (as-welded の状態) と本実験 (溶接止端部仕上げ) を比較し、溶接止端部に仕上げを施すことによる低サイクル疲労強度の向上について検証した。一定ひずみ振幅実験結果をもとに、Manson-Coffin 則を用いて低サイクル疲労寿命 N_f と全ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ の関係式を求め、溶接止端部に仕上げを施した場合の高機能 BRB に対する予測式を提案した。

本研究によって得られた結論をまとめると以下のようなになる。

- 1) ブレース材の溶接止端部に仕上げを施すことにより、ずれ止めのある全ての供試体で、溶接仕上げを行わない BRB²⁾ に比べ低サイクル疲労性能を改善できる。
- 2) 文献 2) において、ひずみ範囲の小さい供試体 (FE-1.0, FE-2.0 で, $\Delta \varepsilon / 2 = 0.01, 0.02$) はリブ溶接止端部に亀裂が生じたが、本実験の供試体 (FT-1.0, FT-2.0 で, $\Delta \varepsilon / 2 = 0.01, 0.02$) はブレース材中央部のみに亀裂が発生した。これは、リブ溶接止端部に仕上げを施すことによって応力集中が緩和され、亀裂発生箇所がブレース材中央部へ移行したためと考えられる。低サイクル疲労性

能についても大幅に向上し、特に FT-1.0 については 50%程度疲労強度が上昇した。

- 3) ひずみ範囲の大きい供試体 (FT-3.0, FT-3.5 で、 $\Delta\epsilon/2=0.03, 0.035$) については、ブレース材が拘束材との隙間内で高次のモードで変形し、繰り返し曲げ引張りを受けることによって低サイクル疲労を起こしたものと考えられるため、リブ溶接止端部の仕上げによる低サイクル疲労性能の向上効果は小さい。

謝辞

低サイクル疲労に関して貴重な助言を頂いた名古屋大学大学院環境学研究科の館石和雄教授、判治剛准教授に深謝致します。本研究は、平成 19 年度文部科学省私学助成ハイテクリサーチセンター整備事業で名城大学に設置された「高度制震実験・解析研究センター（代表者：宇佐美 勉）」の助成を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 宇佐美勉, 佐藤 崇, 葛西 昭: 高機能座屈拘束ブレースの開発研究, 構造工学論文集, 土木学会 Vol.55A, pp.719-729, 2009.3.
- 2) 宇佐美勉, 佐藤崇: 座屈拘束ブレースの低サイクル疲労実験と照査法, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.486-498, 2010.3.
- 3) 日本材料学会: 疲労設計便覧, 養賢堂, 2005.
- 4) 三木千壽, 穴見健吾, 谷英樹, 杉本一朗: 溶接止端部改良による疲労強度向上法, 溶接学会論文集, 第 17 巻, 第 1 号, pp.111-119, 1999.
- 5) Tateishi, K., Hanji, T., Hanibuchi, S., : Improvement of Extremely Low Cycle Fatigue Strength of Welded joints by Toe Finishing, International Institute of Welding, XIII-2232-08, 2008.
- 6) 飯田國廣, 蓑田和之, 高充宝: アルミニウム合金 5083-O 溶接継手の低サイクル疲労強度に関する一研究, 日本造船学会論文集, Vol.144, pp.371-380, 1978.
- 7) 森 猛: 改訂版 JSSC 疲労設計指針について, JSSC 疲労設計指針改定小委員会報告, JSSC, No.2, 2010.7.
- 8) 前田泰史, 中村博志, 竹内 徹, 中田安洋, 岩田 衛, 和田 章: 実大アンボンドブレースの疲労性能(その 1: 実験計画と結果概要), (その 2: 実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 第 503 号, pp.813-814, pp.815-816, C-1, 構造 III, 1999.9.
- 9) 西村俊夫, 三木千壽: 構造用鋼材のひずみ制御低サイクル疲れ特性, 土木学会論文報告集, 第 279 号, pp.29-44, 1978.
- 10) 館石和雄, 判治 剛: 画像計測を用いた試験システムによる突き合わせ溶接継ぎ手の低サイクル疲労強度の検討, 土木学会論文集, No.752/I-66, pp.277-287, 2004.1.
- 11) 館石和雄, 判治 剛, 南 邦明: 極低サイクル疲労領域における変動振幅ひずみ下の低サイクル疲労寿命予測モデル, 土木学会論文集, No.773/I-69, pp.149-158, 2004.10.
- 12) 館石和雄, 判治 剛, 鬼頭和也, 南 邦明: 溶接部を対象とした極低サイクル疲労強度予測モデル, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.1275-1281, 2005.3.
- 13) 佐伯英一郎, 杉沢充, 山口種美, 望月晴雄, 和田章: 低降伏点鋼の低サイクル疲労特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 427 号, pp.139-147, 1995.6.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

FRP グリッドの付着挙動に関する実験的研究

金光男¹⁾ 岩下健太郎²⁾ 呉智深³⁾ 呉智仁⁴⁾

山崎 雅和⁵⁾ 柳澤 和哉⁶⁾

Experimental study of bond behavior between FRP grid and concrete

Guangnan JIN, Kentaro IWASHITA, Zhishen WU, Zhiren WU,

Masakazu YAMASAKI and Kazuya YANAGISAWA

Abstract

This paper is mainly focused on developing an innovative and low price reinforcement with basalt fibers, which has high tensile ductility, high heat tolerance capacity and corrosion resistance. The Authors investigated bond capacity of the Basalt FRP (BFRP) and Carbon FRP (CFRP) grids. Double-lap shear tests are carried out to confirm the bond capacity of the FRP grids with polymer cement mortar including the layers of FRP grids. From the results, high stability of the bond behavior between FRP grids and concrete is shown experimentally. Moreover, it is also shown that the bond strength can be evaluated by the existing equations.

1. はじめに

FRP 格子筋（以下、FRP グリッドと呼称）を吹付型のポリマーセメントによりコンクリート表面に固定する増厚巻き立て工法は、トンネル覆工コンクリートや橋脚、床版等の補修や補強に広く用いられている。FRP グリッド等、FRP は特に引張特性に優れ、そのうちの炭素繊維を用いた FRP (CFRP) であれば、通常の鉄筋と同等以上の引張弾性率を有し、引張強度は 8 倍以上に相当する物理特性を有している。その上、FRP の表面はプラスチックであり、耐腐食性に優れるということもあり、コンクリート構造物、特に鉄筋コンクリート橋梁の橋桁や橋脚の表面に接着する補強に用いられるとともに、海洋周辺等の鉄筋が腐食しやすい環境における防食、長寿命化を目的として用いられることもよくある。

FRP グリッドに限らず、FRP をコンクリートの補修、補強材として用いた際の破壊モードとしては、ほとんどの場合にひび割れ近傍で励起されるせん断応力に起因する FRP の剥離破壊が想定されるため、FRP とコンクリートの接着界面の剥離挙動を対象とした研究が盛んに実施されている^{一例として 1) ~3) 他多数}。しかし、そのほとんどが、施工実績が多く優れた引張特性を有する高強度タイプの炭素繊維よりなる CFRP を用いたものである。FRP にはシートやロッドといった多種多様な形状があるが、本研究では格子筋形状の FRP グリッドを対象とする。しかし、CFRP グリッドの付着挙動については研究実績がかなりあるが、高伸度繊維材を用いたグリッドに関する検討はあまり実施されていないようである。本研究では、低価格で高伸度を有し、最近、中国や欧米で盛んに研究が進められている玄武岩（バ

1) 大学院理工学研究科 2), 5), 6)建設システム工学科 3) 茨城大学工学部都市システム工学科 4)JCK 株式会社

1) Graduate School of Science & Technology 2), 5), 6) Department of Civil Engineering 3) Department of Urban & Civil Engineering, Ibaraki University 4) JCK co., ltd.

サルト) 繊維を用いた FRP (以下, BFRP と呼称) のグリッドに着目して, 高伸度繊維を用いた FRP グリッドのコンクリートに対する付着挙動を実験的に検討した。

2. BFRP グリッドの引張特性

BFRP グリッドはバサルト繊維を格子状に設置し, 繊維含有率 (V_f) が 20% となるように常温硬化型のビニルエステル樹脂で格子状に成形したものであり, 10 本の引張試験を行ったところ, 引張強度の平均値は 2309N/mm^2 (標準偏差は 77N/mm^2), 引張弾性率は 91000N/mm^2 程度であった。ここで, これらの値を算出するにあたり, エポキシ樹脂分の断面積は無視し, BFRP グリッドに含まれたバサルト繊維の断面積をグリッドの断面積として採用した。これは, バサルト繊維に対してエポキシ樹脂の引張強度や引張弾性率がかなり小さいためである。一方, 過去の研究⁴⁾で実施した繊維目付量 365g/m^2 の BFRP シートの引張試験においても引張強度の平均値は 2392N/mm^2 , 引張弾性率は 91kN/mm^2 と同程度の値が得られていることから, 本研究で用いた BFRP グリッドはある程度安定的に製作されていることが示された。なお, 様々な形状に加工可能であり, 筋の断面積や間隔を変更することで補強量を調整できる。コンクリートに対する付着挙動を実験的に検討するため本研究で用いた BFRP グリッドは $4\text{mm}\times 5\text{mm}$ の矩形断面に成形されており, 格子間隔は 50mm のものを用いた。BFRP グリッドの寸法を Fig. 1 に, 主な物性値の一覧を Table 1 にそれぞれ示す。

一方, 本研究で比較対象としている CFRP グリッドについてはかなり多くの研究の蓄積があり, 過去の研究¹⁾から引張特性は明らかとなっている。そこで, CFRP グリッドの引張特性について, 新たに実験等は行わず, 過去の研究で示されている値を採用することにする。

3. FRP グリッドの付着試験方法

3.1 試験体の製作

鋼ボルトを事前に埋め込んだ直方体のコンクリート塊 2 体を, Fig.2 に示すように付け合わせる形で配置し,

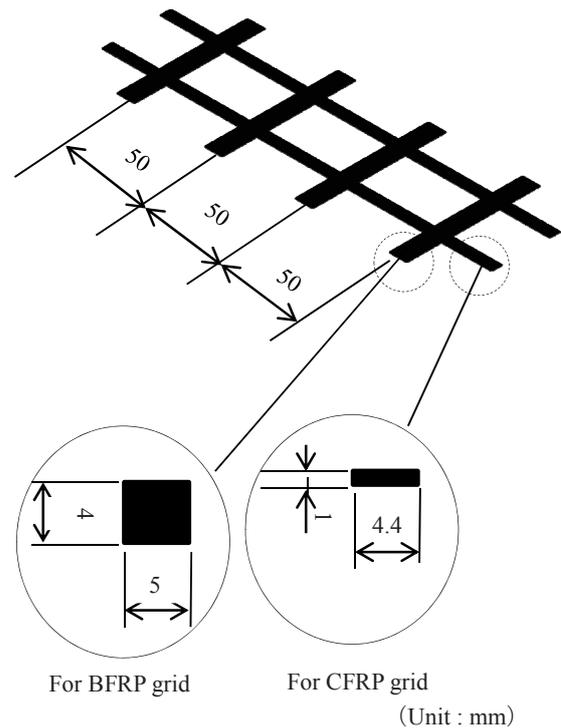


Fig.1 Detail of BFRP grid.

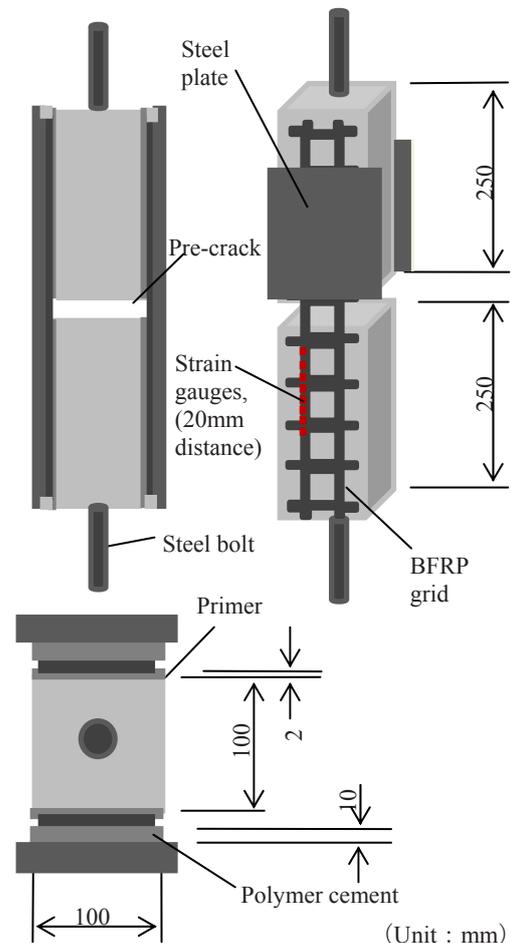


Fig.2 Detail of the double-lap shear test specimen.

Table 1 Mechanical properties of FRP grid.

BFRP grid	
Tensile strength (N/mm ² , Average value of measurement)	2309
Tensile modulus of elasticity of basalt fibers (N/mm ² , Average value of measurement)	91000
Fiber volume content (V _f , %)	43
CFRP grid	
Tensile strength of carbon fibers (N/mm ² , Manufactured value)	3400
Tensile modulus of elasticity of carbon fibers (N/mm ² , Manufactured value)	240000
Fiber volume content (V _f , %)	20
Epoxy resin	
Tensile strength (N/mm ² , Average value of measurement)	51.9
Tensile modulus of elasticity (N/mm ² , Average value of measurement)	3430
Tensile shear strength (N/mm ² , Average value of measurement)	25

ポリマーセメントモルタルを用いて 2 体にまたがる形に FRP グリッドを接着した試験体を作製した。

FRP グリッドの種類としては、BFRP グリッドを中心として、比較対象として CFRP グリッドを用いたケースについても検討を行った。試験体の作製手順としては、まず、ダイヤモンドサンダーで骨材が露出するまでコンクリート表面を削り、アセトンを含ませた布で削りくずを拭き取った上でエポキシプライマーを塗布する手順によりコンクリートの表面処理を行った。その後、

12 時間経過後に Table 2 に示す配合で練り混ぜたポリマーセメントモルタルを用いて FRP グリッドを接着した。

Table 2 Mix Design of Concrete and Polymer Cement Mortar.

Concrete	Water / Cement = 49.5% G _{max} (Maximum diameter of Aggregate) = 25mm	Cement (kg/m ³)	322
		Water (kg/m ³)	159
		Sand (kg/m ³)	755
		Aggregate (kg/m ³)	1043
		Admixture (kg/m ³)	3.220
	Slump	80 mm	
	Amount of Air	4.5 %	
	Compressive strength	30	
Polymer cement mortar	Water (W) / Cement (C)	50 %	
	Sand (S) / Cement (C)	300 %	
	Polymer (P) / Cement (C)	40 %	

試験体の作製過程の流れを Fig.3 に示す。なお、BFRP グリッドは 2 枚、CFRP グリッドは 1 枚を接着した。これは、引張弾性率×断面積を補強量の指標として考慮し、これが同程度となるように枚数を設定したことによる。各ケースで 3 体の実験を行った。ポリマーセメントモルタルの打設後、14 日間の気中養生を行ったうえで引張試験を実施した。

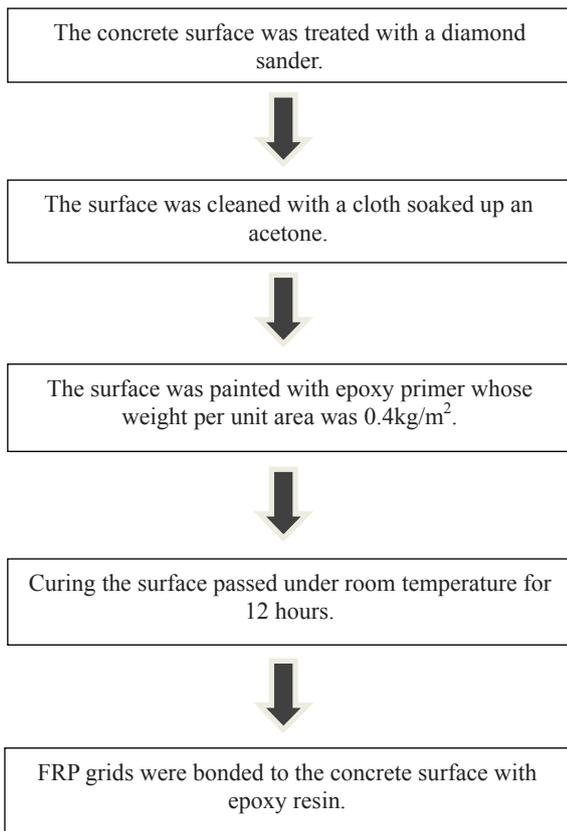


Fig.3 Process of the concrete surface treatment.

3.2 試験手順

作製した試験体両端の鋼ボルトを引っ張ることで、予亀裂近傍の FRP グリッドとコンクリートの接着界面に卓越したせん断応力を生じさせ、強制剥離させることで FRP グリッドの付着挙動を検討する。試験は 1mm/min の変位制御で行った。接着界面の付着強度を超えるとコンクリート塊の付け合わせ部からシート端部に向かって剥離が進展する。π 型変位計を予亀裂に跨るように設置し、コンクリートの弾性変形は無視して、予亀裂幅の拡大量を変位として評価した。また、FRP グリッド表面に事前にひずみゲージを設置して、FRP グリッドに生じるひずみ分布を測定した。ここで、ひずみゲージは FRP グリッドの長手方向 15mm 間隔で連続的に設置した。

4. 実験結果と考察

FRP グリッドに含まれる繊維材の種類の違いに関する荷重変位関係を Fig.4 に、BFRP グリッドの層数の違いに関する荷重変位関係を Fig.5 にそれぞれ示す。

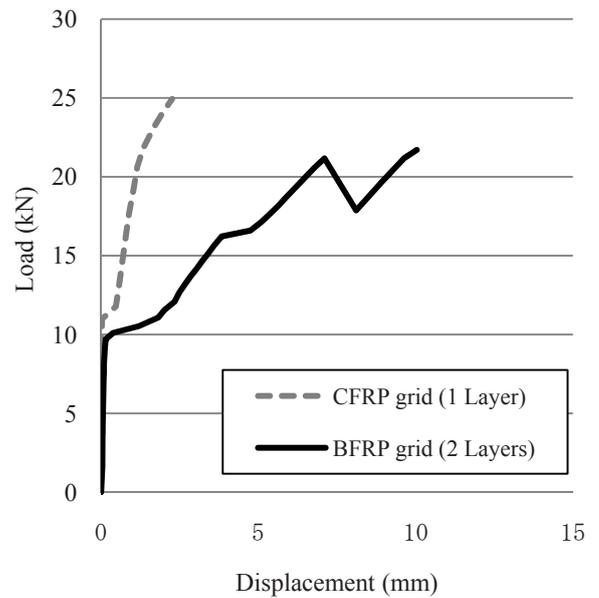


Fig.4 Relationship between load and displacement under conditions the different kind of FRP.

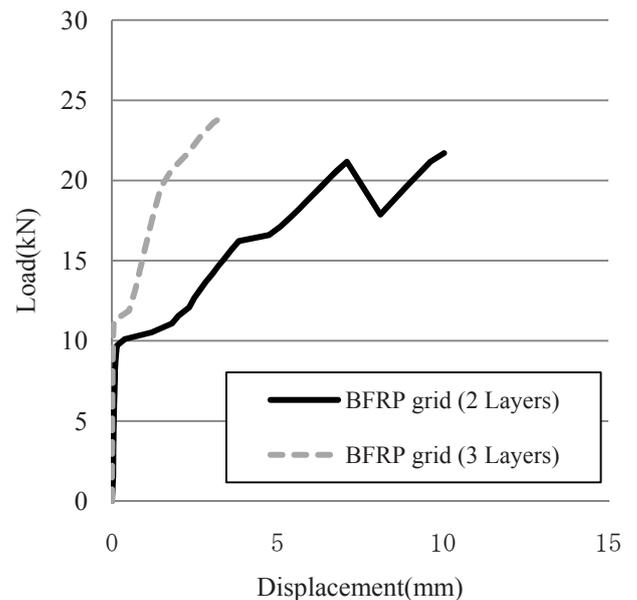


Fig.5 Relationship between load and displacement under conditions of different volume of fibers.

また、各実験水準に対して代表的な荷重変位関係を Fig.6～8 にそれぞれ示す。まず、荷重変位関係について、いずれにおいても荷重をかけ始めてからしばらくは、変位がほとんど増加しない。これは、FRP グリッドを接着しているポリマーセメントモルタルに 10mm 程度の厚みがあり、拘束力が働いたためと考えられる。

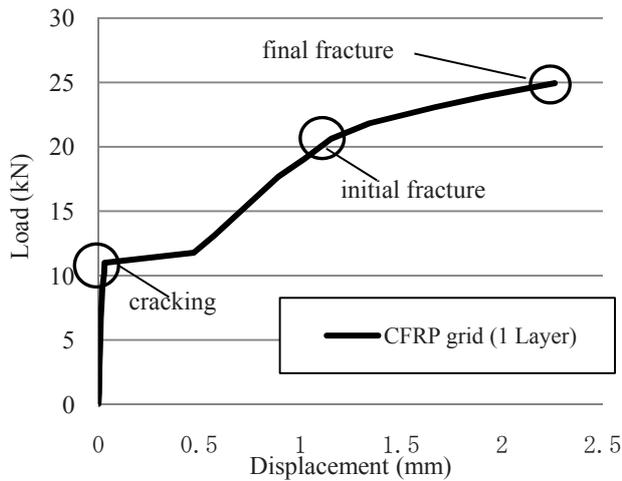


Fig.6 Relationship between load and displacement under conditions for specimen with 1 layer CFRP grids.

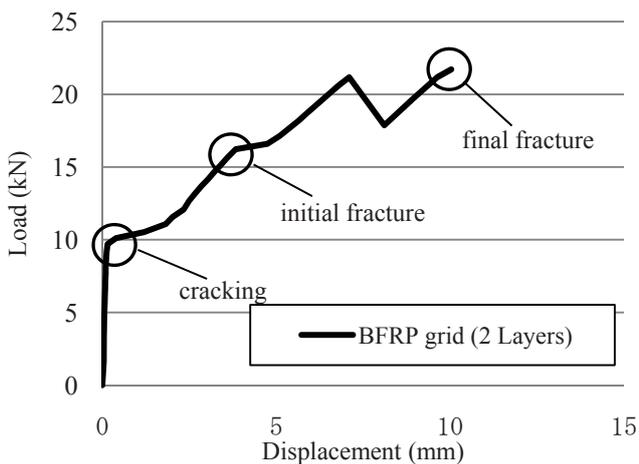


Fig.7 Relationship between load and displacement under conditions for specimen with 2 layers BFRP grids.

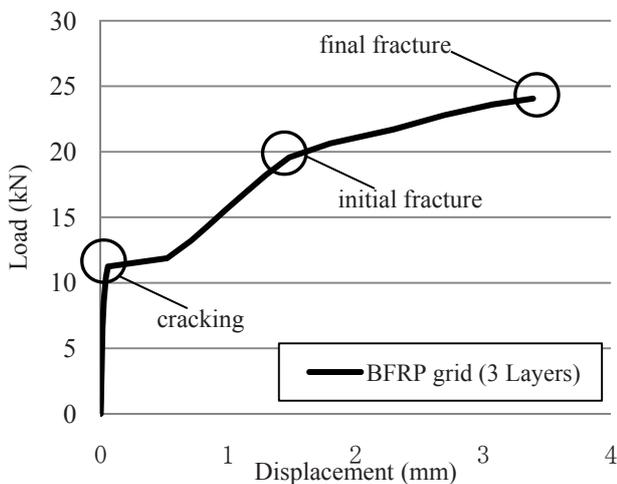


Fig.8 Relationship between load and displacement under conditions for specimen with 3 layers BFRP grids.

その後、予亀裂近傍のポリマーセメントに亀裂が入ってからは、FRP グリッドに直接的に荷重がかかるため、変位が急速に増加し始める。その後、荷重変位曲線の傾きがやや小さくなっていくところがあるが、ここはFRP グリッドの剥離が生じ始めたところと考えられる。その後、剥離がFRP グリッドの端部まで到達して、急速に荷重がゼロになった。

BFRP グリッドと CFRP グリッドの付着挙動の違いについては、ポリマーセメントの予亀裂近傍での破断後、BFRP グリッドを用いた方が CFRP グリッドを用いた場合より変位が大きくなっている。これは、CFRP グリッドの引張弾性率が BFRP のそれと比べてかなり大きいから、変位がより大きく抑制されていると考えられる。ただし、最大荷重値は同程度である。これは、1層の CFRP グリッドと 2 層の BFRP グリッドの引張弾性率×含有する繊維の断面積（一般に断面剛性と呼称）がほぼ同程度であるからにほかならない。

一方、Fig.9 と Fig.10 に全面剥離直前における FRP グリッドのひずみ分布をそれぞれ示す。予亀裂近傍（グラフ内でゼロの位置）においてひずみが卓越しており、予亀裂から離れるにつれてひずみが小さくなる傾向が見られる。ある程度小さく（予亀裂近傍におけるひずみの 3%程度まで）なる位置と予亀裂の間の距離は一般に有効付着長と呼称される。全面が剥離に至った後

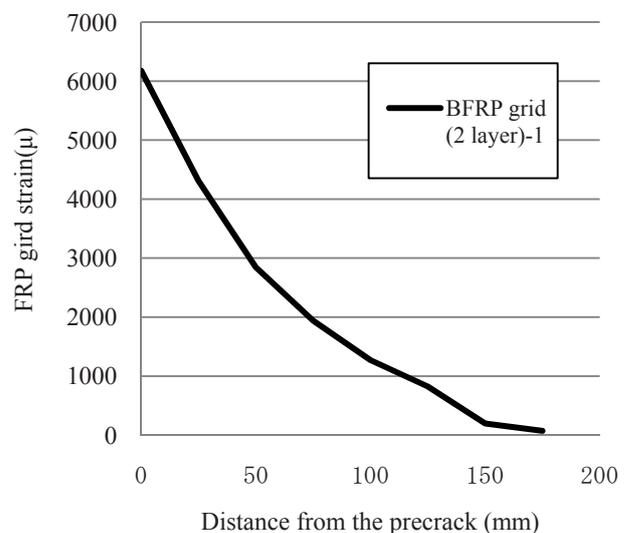


Fig.9 Strain distribution just before FRP debonding for specimen-1 with 2 layers BFRP grids.

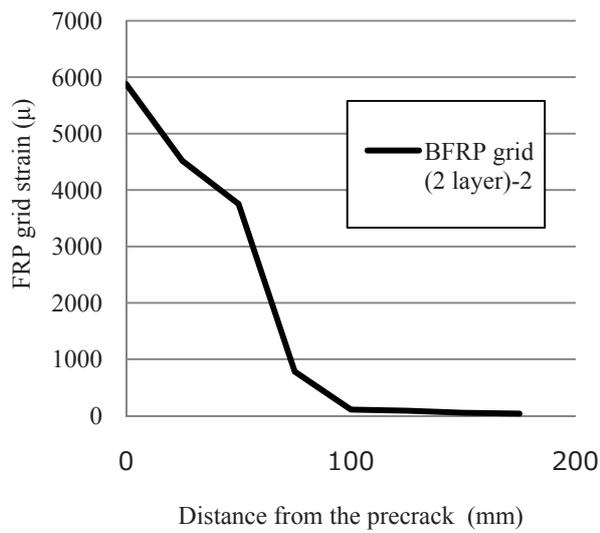


Fig.10 Strain distribution just before FRP debonding. for specimen-2 with 2 layers BFRP grids.

の試験体の写真を Photo.1～Photo.4 に示す。剥離後の FRP グリッド表面の観察を行った結果、剥離はポリマーセメントモルタルとコンクリートの表面に塗布したエポキシプライマーの界面で比較的綺麗に生じていた。



Photo.2 The specimen with CFRP grid (1 Layer).



Photo.1 The specimen after FRP debonding.

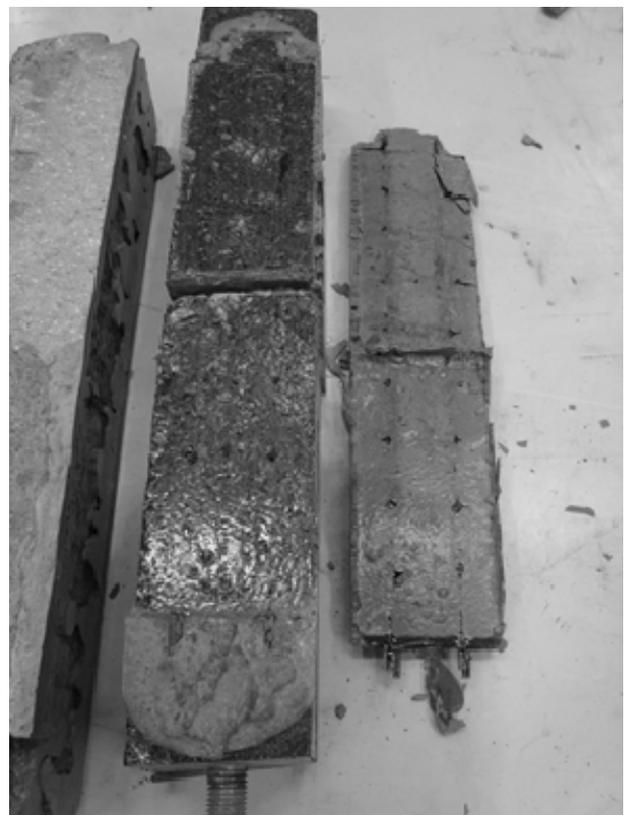


Photo.3 The specimen with BFRP grids (2 Layers).

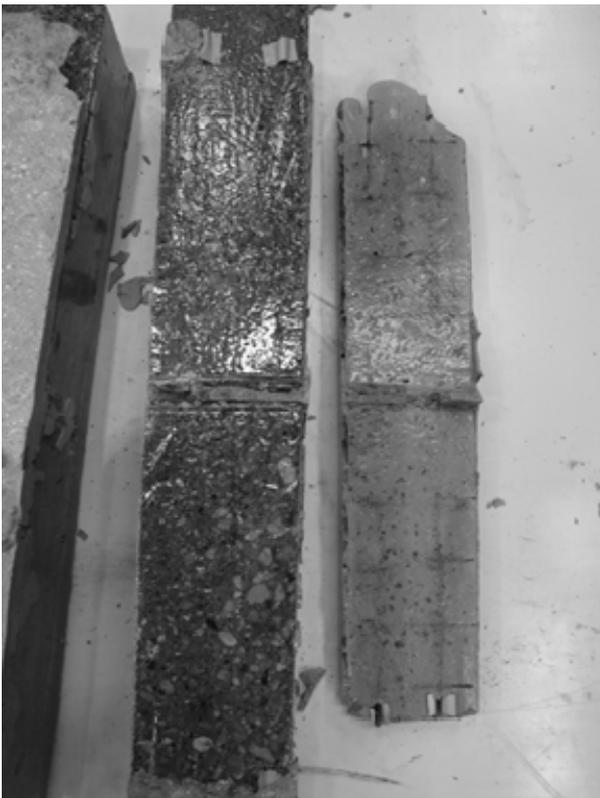


Photo.4 The specimen with BFRP grids (3 Layers).

ポリマーセメントモルタルとコンクリートの弾性率の差は FRP グリッドとの差に比べて小さいため、FRP グリッドがポリマーセメントモルタルから引き抜ける破壊が予想されたが、最終的な剥離は上記の面で生じた。これは、FRP グリッドが格子の形状をしており、ポリマーセメントモルタルの中で引っかかるように入っているため、格子の横方向の FRP が引き抜けに対して抵抗したため、FRP グリッドとポリマーセメントモルタルの付着強さが高められたのではないかと考えられる。

連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針⁵⁾に示されている下記の式(1)、(2)から求められる最大せん断応力 τ_y および剥離破壊エネルギー G_f を付着強さの指標として、各種 FRP グリッドの付着強さの評価を行う。また、式(3)から有効付着長 L_e を算出する。

$$\tau_y = \Delta \varepsilon_f E_F A_F / s_g / b \quad (1)$$

$$G_f = \frac{P_{\max}^2}{8b^2 E_f t} \quad (2)$$

$$L_e = \frac{P_{\max}}{2\tau_y b} \quad (3)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon_f$: 最大荷重時のひずみ増加区間での隣り合うゲージひずみ値の差、 E_f : FRP グリッドの引張弾性係数(N/mm²)、 A_f : FRP グリッドの断面積(mm²)、 s_g : ひずみゲージの貼り付け間隔(mm)、 b : FRP シートの幅(mm)、 P_{\max} : 最大荷重(N)、 t : FRP シートの厚さ(mm)である。なお、上記式は FRP シートに関する式のため、FRP グリッドをシート形状に換算する必要があるが、過去の研究⁴⁾ではこの換算により FRP グリッドの付着強さをうまく評価できることが示されている。FRP シートの幅は FRP グリッドの格子間隔 50mm とし、FRP シートの厚さは断面積をシート換算幅で除したものとした。算定の結果、BFRP グリッド 2 層を用いたケースでは最大せん断応力 τ_y の平均値が 1.577 (N/mm²)、有効付着長 L_e の平均値が 141 (mm)であった。各種 FRP グリッドの最大せん断応力と有効付着長の一覧を Table 3 に、剥離破壊エネルギーの一覧を Table 4 にそれぞれ示す。付着強さに関する指標 G_f の平均値について、CFRP グリッド一層を用いたケースで G_f が 0.687 (N/mm)で、BFRP グリッド 2 層と BFRP グリッド 3 層を用いたケースで G_f がそれぞれ 0.810 (N/mm)と 0.679 (N/mm)であり、いずれのケースでも界面剥離破壊エネルギー、

Table 3 Summary of the shear stress and effective bond length.

Specimen	τ_y (N/mm ²)	L_e (mm)
BFRP grid (2 layer)-1	1.822	119
BFRP grid (2 layer)-2	1.332	162
Average value of τ_y & L_e	1.577	141

Table 4 Summary of the fracture energy.

Specimen		G_f (N/mm)	Average value of G_f (N/mm)
CFRP grid (1 layer)	1	0.602	0.687
	2	0.743	
	3	0.716	
BFRP grid (2 layer)	1	0.804	0.810
	2	0.805	
	3	0.819	
BFRP grid (3 layer)	1	0.629	0.679
	2	0.695	
	3	0.713	

最大せん断応力、有効付着長のいずれに対しても同程度の値が得られた。一方、各ケースで実験結果のばらつきがある程度小さかった。

5. まとめ

本研究では、低価格で伸度の面でゆう玄武岩（バサルト）繊維を用いた BFRP のグリッドに着目して、高伸度繊維を用いた FRP グリッドのコンクリートに対する付着挙動を実験的に検討し、付着強さに関する既往の評価式の適用性を検証した。その結果、以下の知見が得られたので以下に纏める。

1. BFRP グリッドおよび CFRP グリッドをコンクリート表面に接着した場合の付着強さの評価指標である界面剥離破壊エネルギー (G_f) を実験的に検討した結果、両者でほぼ同程度の値が得られたことから、FRP グリッドに含まれる繊維材の種類に関わらず、

FRP グリッドの付着強さを既往の評価式で評価できることが実験的に示された。

2. BFRP グリッドの層数を変化させたケースにおける界面剥離破壊エネルギー (G_f) もほぼ同程度の値が得られた。
3. 本実験で得られた界面剥離破壊エネルギー (G_f) は、各ケースで実験結果のばらつきがある程度小さかった。

参考文献

- 1) 根本正幸, 坂本宏司, 呉智深, 岩下健太郎: 水中適用型エポキシ樹脂により接着した CFRP グリッドの付着性能に及ぼす補強量の影響に関する研究、コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学協会, Vol.31, No.2, pp.1459-1464, 2009.
- 2) 根本正幸, 川瀬義之, 呉智深, 岩下健太郎: 水中適用型高流動エポキシ樹脂により接着した CFRP グリッドの付着性能, コンクリート工学協会年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1633-1638, 2008.
- 3) 岩下健太郎, 呉智深, 坂本宏司: 水中エポキシパテによる連続繊維グリッド複合材の定着性能と向上法に関する実験的研究, 土木学会論文集, Vol.63, No.2, pp. 214-222, 2007.
- 4) 金光男, 岩下健太郎, 呉智深, 清水亮太, 榊原和則: 鋼線混入 FRP シートの付着挙動に関する実験的研究, 第 65 回土木学会年次学術講演会概要集, CS2-017, 2010.
- 5) 土木学会編, コンクリートライブラリ 101, 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針 2000.

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

繰返し軸力を受けるブレースの終局挙動について

児玉佳大¹⁾ 渡辺孝一²⁾

Ultimate Behavior of Braces under Cyclic loading

Yoshihiro KODAMA¹⁾, Koichi WATANABE²⁾

Abstract

The angles are industrial products that are guaranteed consistent quality and performance. Therefore, angle is widely used in building and civil engineering structures. But, researches for angle braces as a seismic damper are not enough. This study is described for ultimate behavior of angle braces under cyclic loading.

1. 序論

等辺山形鋼（アングル）は規格製品のため安定した形状、品質が得られることから目的に応じた設計、製作が容易である。そのため、土木や建築分野においてアングルを用いたブレースは様々な構造部材に使用され、構造物の安定性、耐震性能向上に寄与している。近年、構造物の耐震性能向上のために、制震性能を付加した座屈拘束ブレースが開発されるなど、ブレースに関する研究開発¹⁾が精力的に行われているが、依然として鋼製橋梁における対傾構や、トラス形式の鉄塔など、アングルを用いたブレースの適用事例は多く、常時荷重以上の軸力が作用した場合の変形性能を定量的に評価することは重要である。

本研究ではアングルに制震性能を付加するための検討の一つとして、アングルを背合わせにしたブレースを高力ボルトでガセットプレートに接合し、引張および圧縮軸力を作用させることでブレースの終局変形性能を確認した。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

(1) 実験供試体の種類

本実験の供試体は、Fig.1 に示すように全長 2440mm、辺長さ 75mm、厚さ 6mm の等辺山形鋼（以下「アングル」と記す）の両端を、ガセットプレートを介して 2 面背合わせでボルト接合したものである。実験供試体は Table1 に示すように 4 体用意した。供試体記号に示す S1、

Table1 供試体諸元

	全断面積 A(mm ²)	有効断面積 Ae(mm ²)	ボルト孔径 (mm)	供試体長さ L(mm)
S1	872.7	737.7	22.5	2440
S2	872.7	737.7		
S3	872.7	737.7		
S4	1208.7	938.7		

S2 および S3 は、ブレースの全長と接合部の細部構造は同一とし、荷重載荷パターンを変えたものである。供試体 S4 はガセットとの接合部に、板厚 6mm の板を溶接し、接合部を補強したものである。

(2) ブレース材および接合部の設計

アングルの部材長さ、およびボルト接合部の細部に関する設計式を Table2 に示す。今回使用したアングルは、2 次部材のブレースとして設計し、細長比の制限は道路橋示方書²⁾の規定にならい 150 未満となるようにした。Table2 に示す許容圧縮力および許容引張力は道路橋示方書に従って決定した。

接合部については部材への作用力と部材の全強の 75% の大きい方の力に対して設計する必要がある。しかし、今回の供試体では特定の構造物を想定しておらず、作用力を求めることができない。そのため、作用力はブレース材の全強に等しいものとし、使用ボルト本数は Table3 に示すようにブレース材の許容引張力(244.4kN)を用いて決定した。

1) 名城大学大学院理工学研究科 2) 名城大学理工学部

1) Graduate School of Civil Engineering 2) Department of Science and Technology, Meijo University

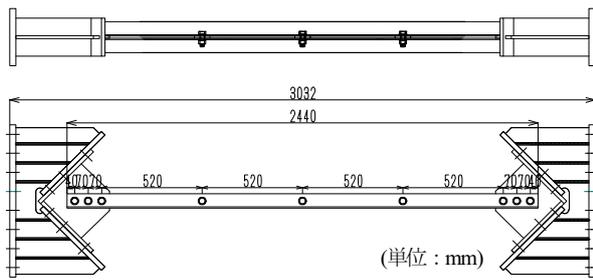


Fig.1 実験供試体

Table2 ブレース材の設計

断面及び鋼種		L-75×75×6(SS400)	
細長比L/r	87	断面2次半径 r (mm)	23
断面積A(mm ²)	872.7	部材長L(mm)	2440
許容圧縮力P _{ca}	$\sigma_{cag} = 1200000/6700+(L/r)^2 = 84.1\text{N/mm}^2$ $P_{ca} = 84.1 \times 872.7 \times 2 = 146.8 \times 10^3\text{N}$ (軸部)		
許容引張力P _{ta}	$P_{ta} = 140 \times 872.7 \times 2 = 244.4 \times 10^3\text{N}$ (接合部)		
	$P_{ta} = 140 \times 737.7 \times 2 = 206.6 \times 10^3\text{N}$		

Table3 接合部の設計

使用ボルト	M20 (F10T) 摩擦接合
許容ボルト力 F _b	F _b = 38.9×10 ³ N (ボルト1本当り)
使用ボルト本数	n = P _{ta} /(F _b ×2) = (244.4×10 ³)/(38.9×10 ³) = 3

2.2 実験装置と計測

本実験は、名城大学の高度制震実験・解析研究センターにて実施した。実験装置は、Fig.2に示すように、加力1000kN油圧アクチュエーターが2台であり、可動端も回転拘束となるガイドローラーが設置してある。供試体の軸方向に垂直に設置された剛柱は上下にスライドが固定されており、水平に可動することにより供試体には、2本のアクチュエーターの合計荷重Pがブレース材の軸方向に与えられるようになっている。

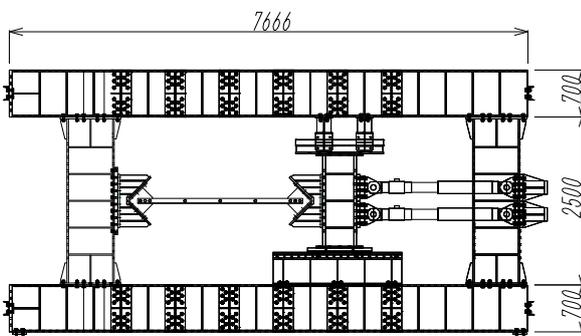


Fig.2 実験装置

2.3 荷重方法

荷重はブレース材の軸方向荷重制御によって行った。荷重パターンは単調引張荷重 (S1 供試体), 単調圧縮荷重 (S2 供試体), 繰り返し荷重 (S3,S4 供試体) の3パターンである。繰り返し荷重については Fig.3 に示すように初めに公称降伏応力を用いて算出した降伏荷重の半分を引張, 圧縮側に2回作用させ, その後, 設計上のボルトのすべり耐力を少し上回る荷重を作用させ, その後は, 降伏荷重の1割ずつ荷重を漸増させた。

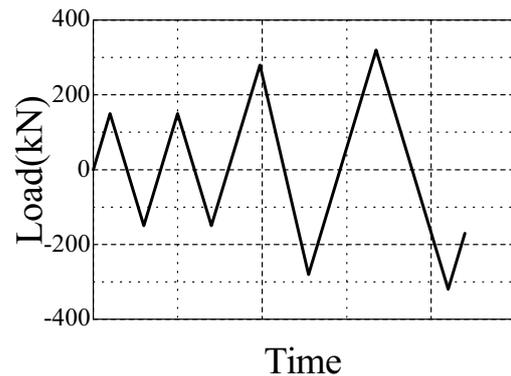


Fig.3 繰り返し漸増荷重図

2.4 材料試験

実験に先立ちアングルブレースおよびガセットプレート材料定数を決定するために材料試験を行った。試験結果を Table4 に示す。Table4 に示す Angle および Gasket plate の値はそれぞれ3本の試験より得られた値の平均値である。

Table4 材料試験結果

test plate	P _y (kN)	P _u (kN)	A (mm ²)	σ _y (MPa)	σ _u (MPa)	E (GPa)	ε _y	v
Angle	72.17	102.7	244.35	295.33	420.26	190.98	0.00155	0.275
Gusset plate	128.87	202.13	479.39	268.81	421.78	203.00	0.00132	0.29

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

本実験により得られた荷重変位曲線および破壊後の写真を Fig.4(a)~(h)に示す。縦軸は全断面有効時の降伏荷重P_yで無次元化し, 横軸は材料試験より得られた降伏ひずみε_yにアングルブレース軸部の長さを乗じて算出した降伏変位δ_yで無次元化している。各供試体の挙動を以下に述べる。

(1) 単調引張荷重 (S1 供試体)

Fig.4(a)に示すように, 実験を開始して P/P_y=0.51, δ/δ_y=0.33 に達したところでボルトのすべりが発生した。その後, 荷重が上昇し P/P_y=0.96, δ/δ_y=2.02 に達したとこ

ろで Fig.4(b)のように、接合部での破断が生じ、荷重が低下したため実験終了とした。

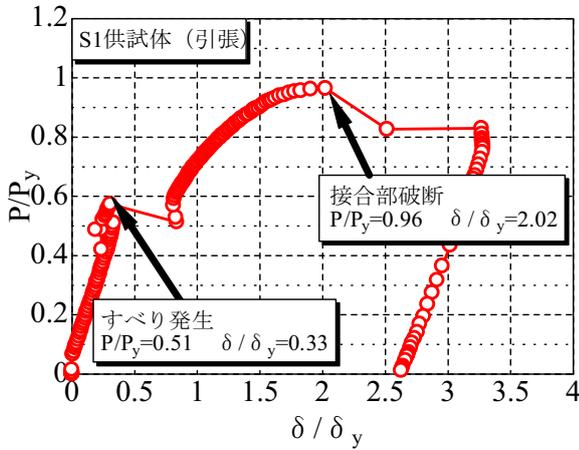


Fig.4(a) 荷重-変位関係 (単調引張载荷)

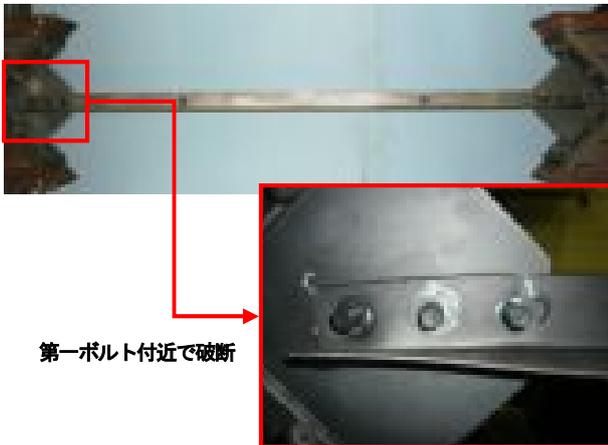


Fig.4(b) 破壊形状 (単調引張载荷)

(2)単調圧縮载荷 (S2 供試体)

Fig.4(c)に示すように、実験を開始して $P/P_y=0.51$, $\delta/\delta_y=0.50$ に達したところでボルトのすべりが発生した。その後、荷重が上昇し $P/P_y=0.65$, $\delta/\delta_y=0.03$ に達したところで Fig.4(d)のようにブレースの全体座屈が生じたため実験終了とした。

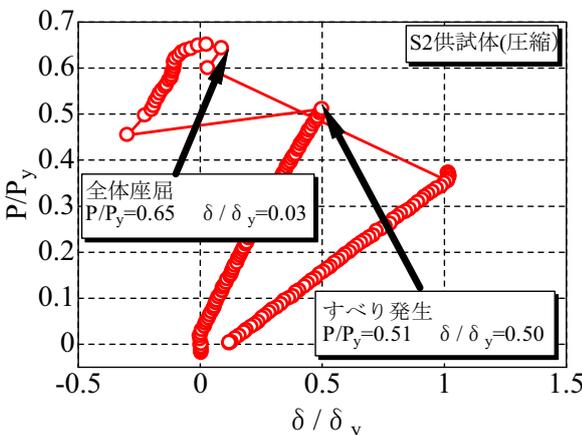


Fig.4(c) 荷重-変位関係 (単調圧縮载荷)

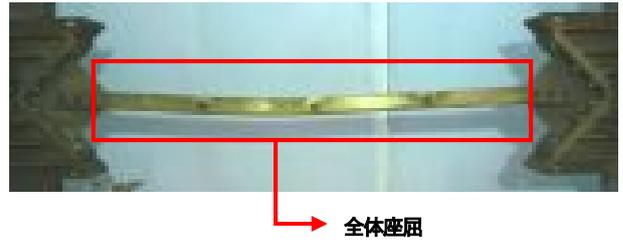


Fig.4(d) 破壊形状 (単調圧縮载荷)

(3)繰り返し载荷 (S3 供試体)

Fig.4(e)に示すように、実験を開始して $P/P_y=0.49$, $\delta/\delta_y=0.44$ に達したところでボルトのすべりが発生した。その後繰り返し引張圧縮に荷重を载荷し $P/P_y=0.54$, $\delta/\delta_y=0.08$ に達したところでアングルブレースの全体座屈が生じた。その後、さらに引張側に荷重を载荷し、 $P/P_y=0.98$, $\delta/\delta_y=2.47$ に達したところで Fig.4(f)のように接合部での破断が生じ荷重が低下したため実験終了とした。

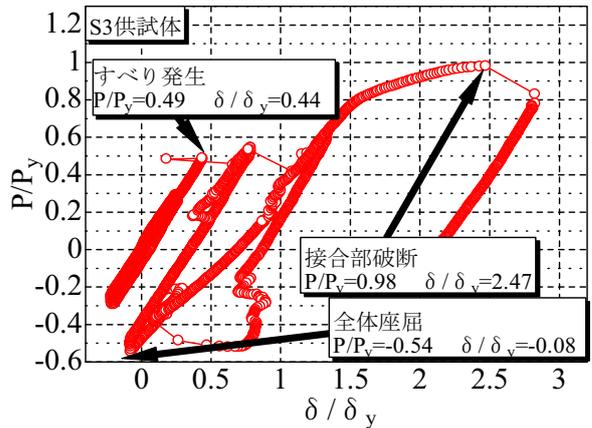


Fig.4(e) 荷重-変位関係 (繰り返し载荷)

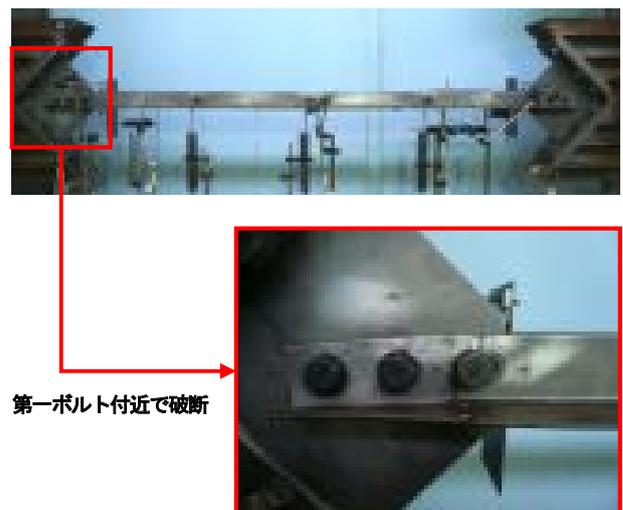


Fig.4(f) 破壊形状 (繰り返し载荷)

(4)繰返し载荷(補強) (S4 供試体)

Fig.4(g)に示すように、実験を開始して $P/P_y=0.59$, $\delta/\delta_y=0.51$ に達したところでボルトのすべりが発生した。その後繰返し引張圧縮に荷重を载荷し $P/P_y=0.75$, $\delta/\delta_y=0.46$ に達したところでアングルブレースの全体座屈が生じた。その後さらに引張側に荷重を载荷し $P/P_y=1.05$, $\delta/\delta_y=4.02$ に達したところで Fig.4(h)のようにブレース軸部でのくびれ破壊が生じ荷重が低下したため実験終了とした。

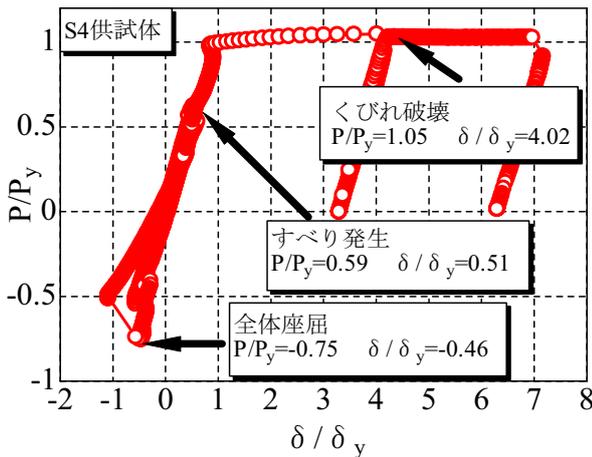


Fig.4 (g) 荷重-変位関係 (繰返し载荷 (補強))



軸部ボルト付近でくびれ破壊

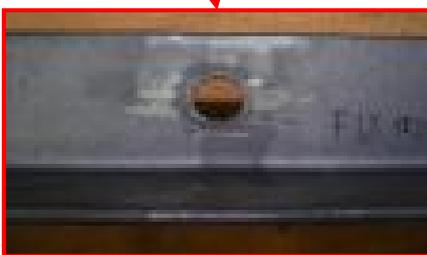


Fig.4 (h) 破壊形状 (繰返し载荷 (補強))

3.2 荷重-ひずみ関係

本実験で使用したひずみゲージの設置位置を Fig.5 に示し、ボルトのすべりが発生する前までの荷重-ひずみ関係を Fig.6(a)~(d)に示す。縦軸の荷重は全断面有効時の降伏荷重 P_y で無次元化し、横軸は降伏ひずみ ϵ_y で無次元化している。全供試体に共通している所は、ボルトのすべりが発生する前 (ボルトが摩擦接合されている時) は供試体軸部にひずみが先行している所である。S1,S2,S3 供試体 (荷重载荷パターンが異なる) に関しては、Fig.6(a)~(c)を見ると、軸一般部のひずみは線形的に

変化しているのに対し、その他の箇所では、 $P/P_y=0.4$ 前後から非線形的に変化していることが読み取れる。接合部に板を溶接して補強したS4 供試体に関しては、Fig.6(d)に示すように、全箇所ではほぼ線形的に変化していることが分かる。

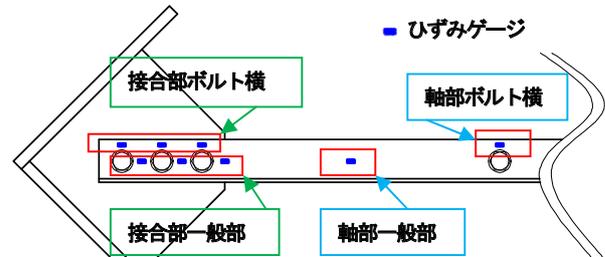


Fig.5 ひずみゲージ設置位置

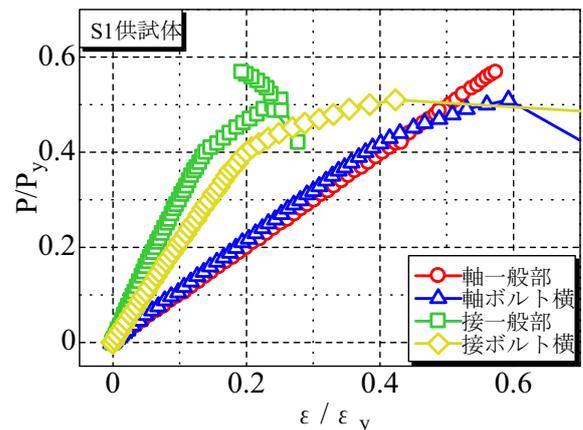


Fig.6(a) すべり発生前荷重-ひずみ関係

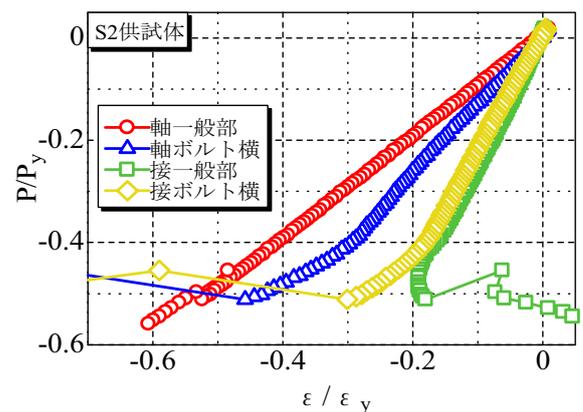


Fig.6(b) すべり発生前荷重-ひずみ関係

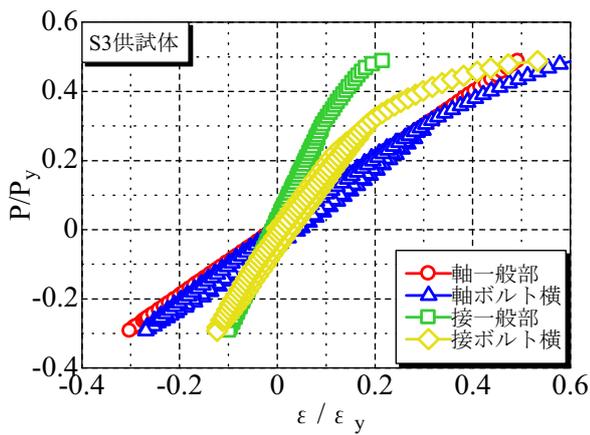


Fig.6(c) すべり発生前荷重-ひずみ関係

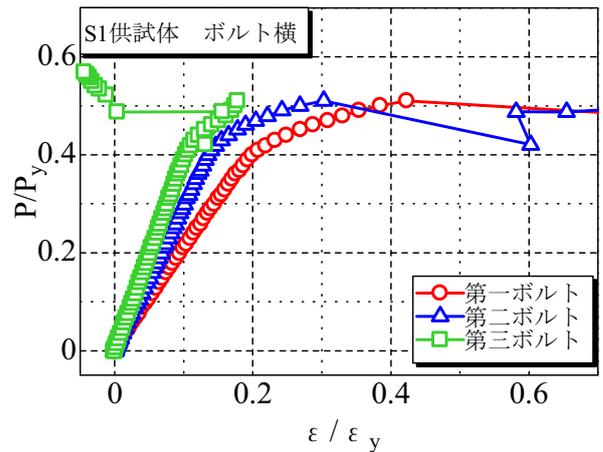


Fig.7(a) すべり発生前荷重-ひずみ関係

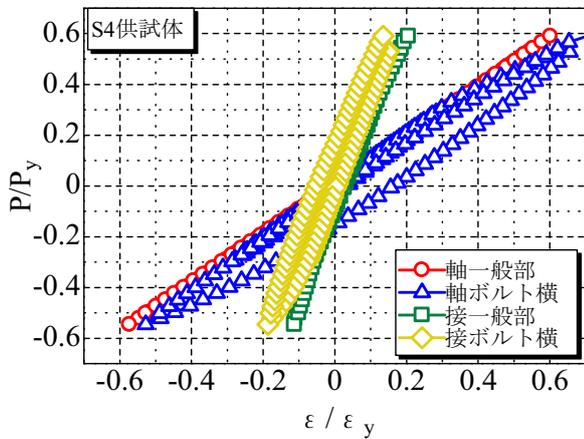


Fig.6(d) すべり発生前荷重-ひずみ関係

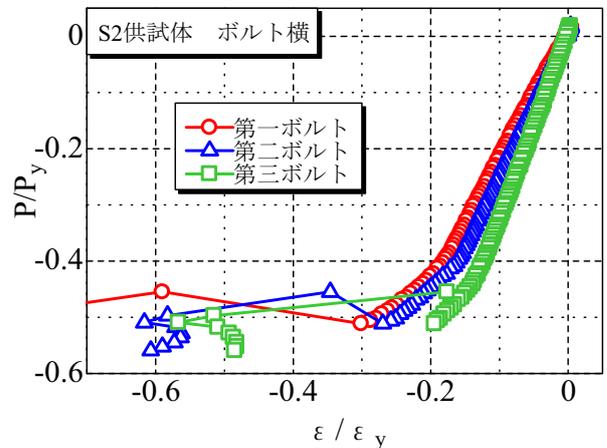


Fig.7(b) すべり発生前荷重-ひずみ関係

4. 考察

4.1 接合部のひずみについて

Fig.7(a), (b)に接合部に取り付けたひずみと荷重の関係を示す。ボルトは軸部に近い方から順に第一ボルト、第二ボルト、第三ボルトと呼ぶ。Fig.7(a), (b)を見ると第一ボルト付近から先行してひずみは増加し順に第二ボルト、第三ボルトとなっていることが読み取れる。本研究で使用了実験供試体接合部の形状では軸力を作用させた場合、第一ボルト付近に応力が集中すると考えられる。この現象は Fig.7(a)に示す引張軸力、Fig.7(b)に示す圧縮軸力のどちらが作用しても同様のことが言える。

4.2 接合部の補強効果

本研究で使用了したアングルブレースは同一断面であるため、軸力方向に荷重を作用させた場合、断面欠損のある接合部での破壊が生じる³⁾⁻⁶⁾。そこで、2章で述べたように、S4 供試体は接合部に板厚 6mm の板を溶接して補強した。S4 供試体に関しては接合部での破壊は見られず、軸部でのくびれ破壊が生じた。Fig.8(a)に接合部、Fig.8 (b)に軸部の荷重-ひずみ関係を示す。2 つのグラフを比較すると接合部よりも軸部の方の破壊が先行していることが分かる。

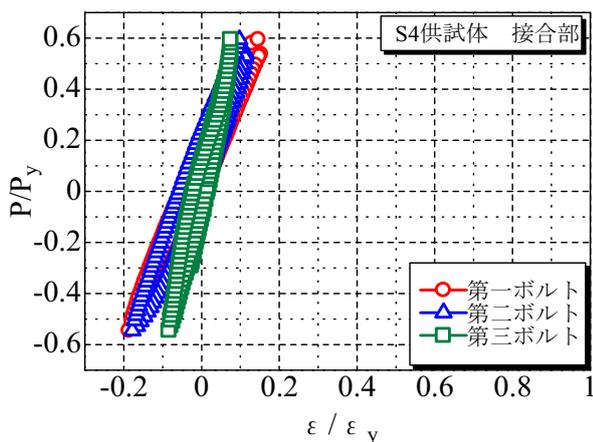


Fig.8(a) 接合部のひずみ比較

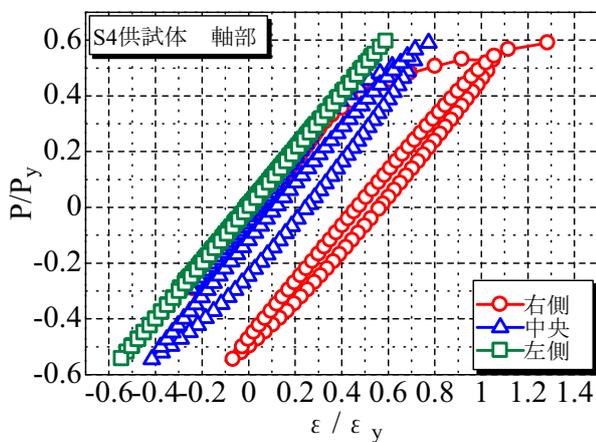


Fig.8(b) 軸部のひずみ比較

5. 結論

本論文は、アングルの両端を、ガセットプレートを通じて2面背合わせでボルト接合したブレースに軸力を作用させたときの破壊挙動について述べた。以下に結論を述べる。

- (1) 無補強のアングルブレースに引張軸力を作用させた場合、接合部での破断が生じる。
- (2) 無補強のアングルブレースに圧縮軸力を作用させた場合、全体座屈が先行し、接合部では破断が生じない。
- (3) アングルブレース接合部に板を溶接して補強すると接合部では破壊が生じず軸部で破壊が生じることが確認された。

6. 今後の研究課題

4章で述べたように本研究で使用したアングルブレースは軸部と接合部が同一断面であるため、引張方向に軸力を作用させた場合、断面欠損のある接合部での破壊が生じるが、板を溶接し接合部を補強した供試体は軸部で破壊が生じることが確認された。そこで、圧縮軸力に対し全体座屈を防ぐ座屈拘束材を取り付ければ、繰返しの軸力に対し、ブレース軸部を塑性変形させエネルギーを吸収することが可能になるのではないかと考えられる。今後の研究課題として取り組む予定である。

謝辞

本研究は、平成19年度文部科学省私学助成ハイテクリサーチセンター整備事業で名城大学に設置された「高度制震実験・解析研究センター」の助成を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 織田博考, 宇佐美勉: 既設H形ブレース材の制震ダンパー化に関する基礎的実験, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.499-510, 2010.3.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2002.3.
- 3) 河野誉之, 吉野雅之, 宇田川邦明, 山田隆夫: 高力ボルト接合された山形鋼筋違い材の破断形式と破断耐力(その1: 実験の概要と結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.881-882, 1999.9.
- 4) 河野誉之, 吉野雅之, 宇田川邦明, 山田隆夫: 高力ボルト接合された山形鋼筋違い材の破断形式と破断耐力(その2: 破断耐力の推定式), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.883-884, 1999.9.
- 5) 河野誉之, 吉野雅之, 宇田川邦明, 山田隆夫: 高力ボルト接合された山形鋼筋違い材の破断形式と破断耐力(その3: ボルト孔配置の幾何学的条件を考慮した破断耐力の推定), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.889-890, 1999.9.
- 6) 宇野暢芳, 竹内一郎, 井上一郎: 高摩擦係数を有する高力ボルト摩擦接合部の有効断面積に関する研究(その2: 複数本ボルト接合部の引張載荷実験と有効断面積の評価), 日本建築学会構造系論文集, No.533, pp.183-189, 2000.7.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

SVM を用いた都市高速道路における

所要時間の付加的情報の提供可能性に関する一考察*

日比野亮¹⁾ 松本幸正²⁾

Provision of Additional Information to Travel Times using SVM in Urban Expressway*

Ryo HIBINO¹⁾, Yukimasa MATSUMOTO²⁾

Abstract

In urban expressway, instantaneous travel time has been generally adopted as travel time information. However, it is unreliable under unstable traffic conditions. In this paper, we propose new additional information to improve reliability of travel time information. This additional information is defined whether actual travel time is longer/shorter than the travel time information. Then, the usefulness of the additional information was verified with the actual travel time obtained from AVI. We therefore made a prediction model of travel time change by the Support Vector Machine (SVM). The accuracy of the SVM model was evaluated based on dataset observed at Nagoya Urban Expressway. As a result, it is found that this model performs well even under unstable traffic conditions, but leaves room to be improved under sudden traffic congestion.

1. はじめに

都市高速道路において、目的ランプまでの所要時間情報はドライバーにとって最も重要な情報の1つである。いくつかの都市高速道路では、現在、所要時間情報として、車両感知器で計測された瞬時値ベース所要時間が提供されている。しかし、それらの情報は過去のものであり、これからドライバーが走行しようとしている本線上の交通流に則した所要時間ではなくなる。それゆえに自然渋滞や交通事故など、時々刻々と変化する道路状況に対応しているとは言い難い。このような背景から、ドライバーに対して、質の高いサービスを提供するために、所要時間情報に加えて、付加的情報を導入する検討がなされてきている。

割田ら¹⁾は付加的情報として、所要時間増減傾向の提供を提案した。これは過去の所要時間の増減を基にして、今後、所要時間が増加するのか・減少するのかという情報を、ドライバーに提供する方法である。しかし、この所要時間増減傾向は、ドライバーが情報版を見た後に本線上を走行している間中、継続することを保証するものではない。場合によっては、ドライバーに適切でない情報が提供される可能性がある。その一例を Fig.1 に示す。

図の左側は過去の提供所要時間を基にして増減傾

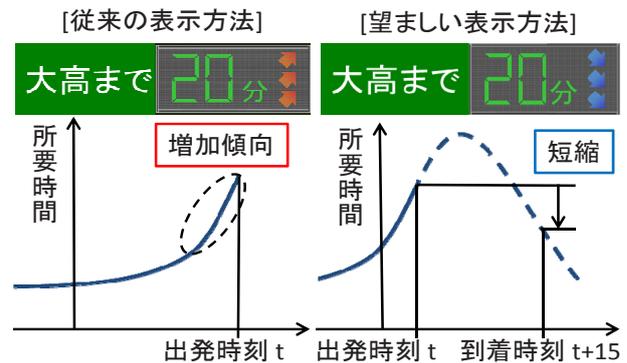


Fig.1 所要時間増減傾向と実際の所要時間

向を判定している。時刻 t において、本線に流入するドライバーは、この表示を見て、現在の提供所要時間よりも長くなると認識する。しかし実際は、図の右側のように時刻 t 以降、所要時間の増加傾向はなくなり、減少傾向に転じる場合もありうる。そのような場合において、ドライバーは、提供所要時間よりも早く目的ランプに到着することになる。このとき、提供される所要時間の増減傾向表示と、ドライバーが体験する実際の所要時間との間に相違が生じる。この相違は、ドライバーが求める情報とは異なる。ドライバーが求める情報は、提供所要時間よりも短い時間で到着するか、長くなるかである。従って、直近の所要時間が増加傾

1) 大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 2) 建設システム工学科

1) Master Course of Civil Engineering 2) Department of Civil Engineering

向であったとしても、図の右側のような表示方法が望ましいと考えられる。

以上のことから、ドライバーに有用な情報を提供するためには、付加的情報の意味を改めて定義する必要がある。また、流動的に変化する交通状況を予測するモデルの構築が必要である²⁾。

2. 付加的情報の定義

本研究では、付加的情報として、体験所要時間が提供所要時間よりも長くなるか短くなるか（以下、所要時間長短と表現する）を提供する方法を提案する。ここでいう体験所要時間とは、ドライバーが実際に体験することになる所要時間である。また、提供所要時間とは、ドライバーが対象区間を流入するときに提供される所要時間である。

はじめに、最も望ましい所要時間長短を、提供される所要時間情報と、AVIで観測されたドライバーひとりひとりの実際にかかった所要時間とを用いて定義する。その所要時間の長短の定義を基にして、ドライバーが本線流入時に、実際に体験するであろう所要時間長短を提供するために予測を行う。そして、自然渋滞時や事故渋滞時などの非定常時においても、ドライバーに正確な所要時間長短を提供することができるかを検証する。本章では、まず、提供所要時間と体験所要時間を集計し、所要時間長短の定義の明確化を行う。

2.1 分析データ概要

分析区間として、Fig.2に示す名古屋高速道路1号楠線料金所から3号大高線大高出口までの南行き区間18.15kmを対象とする。この区間の本線上には、約500m間隔で計37基の車両感知器と、楠料金所付近と大高出口付近にAVIが設置されている。

これらの設備により、この区間では以下の3つの所要時間情報を算出することができる。

①流入時刻ベース所要時間

楠料金所より流入し、大高料金所で流出した車両をAVIによって検出し、各車両が実際にかかった所要時間を、流入時刻を基準として集計する。次に3次のスプライン関数により近似曲線を作成し、近似曲線の関数からインターバルごとに所要時間を算出したものを流入時刻ベース所要時間とする。

②流出時刻ベース所要時間

上記と同様に、AVIによって検出された、各車両が実際にかかった所要時間を、流出時刻を基準として集

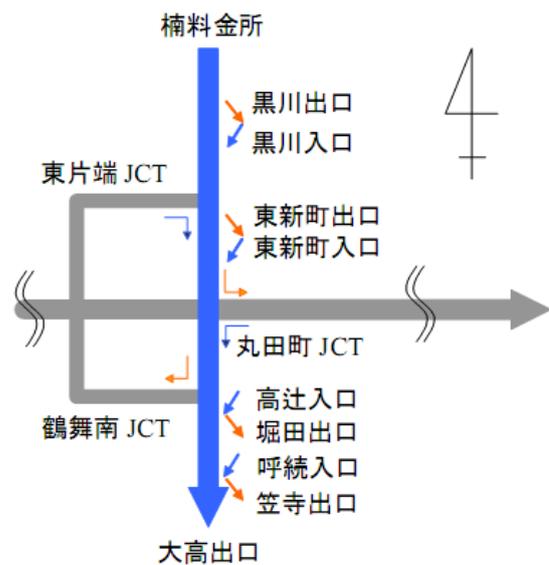


Fig.2 分析区間とした名古屋高速道路ネットワーク

計し、スプライン関数により近似曲線を作成し、近似曲線の関数から1分間隔で所要時間を算出したものを流出時刻ベース所要時間とする。

③瞬時値ベース所要時間

車両感知器より得られた速度データから、各区間の所要時間を算出し、これを同一時間インターバルで加算したものを瞬時値ベース所要時間とする。なお、1分間隔の車両感知器の速度データは、交通量が時間帯によっては計測できない場合や、変動が急激になるときがあるため、補正を行った。

分析データとして平成19年7月26日木曜日から8月9日木曜日の期間のものを用いる。この期間内に楠料金所から大高料金所までを走行した車両は40,414台である。この3種類の所要時間情報の中から、インターバル毎に算出される所要時間情報である、提供所要時間と体験所要時間を選定する。

2.2 所要時間長短の定義

都市高速道路上の文字情報板等に、所要時間情報の付加的情報として、Fig.1に示すような上向きと下向きの矢印を、目的ランプまでの提供所要時間と一緒に表示させることを考える。その付加的情報の持つ意味を、本研究では「ある目的地までにかかりうる所要時間は、現在表示されている提供所要時間よりも長く（短く）なる。」とする。長く（短く）なると判定されたときに、それぞれの矢印を表示させ、変化がない場合は、矢印を表示しない。

体験所要時間が、提供所要時間よりも長く（短く）なる原因として、2つ考えられる。1つは交通流の変化によるものであり、2つめは、たとえば、希望速度の

Table1 各所要時間と体験所要時間の誤差

	瞬時値 ベース	流出時刻 ベース	流入時刻 ベース
(短縮)95パー センタイル値	666(秒)	503(秒)	229(秒)
(短縮)99パー センタイル値	2025(秒)	1171(秒)	409(秒)
(短縮) 車両台数	30514(台)	20846(台)	21486(台)
(延長)95パー センタイル値	568(秒)	596(秒)	241(秒)
(延長)99パー センタイル値	1300(秒)	1542(秒)	430(秒)
(延長) 車両台数	9900(台)	19568(台)	18928(台)

高低といったドライバーの運転特性によるものである。付加的情報には、前者による影響をとりいれ、後者による影響をなるべく排除しなければならない。そこで、体験所要時間と提供所要時間の差が、何分以上であれば延長（短縮）とするか、延長・短縮それぞれの閾値を求める必要がある。そのためには、まず、体験所要時間と提供所要時間を、前節で述べた、対象区間で得られる3つの所要時間情報（流入時刻ベース所要時間、流出時刻ベース所要時間、瞬時値ベース所要時間）から選定する。

各車両が流入した時刻を基準とする3つの所要時間情報から、各車両が実際にかかった所要時間を減じた差の結果をTable1に示す。全車両40,414台それぞれの実際にかかった所要時間を、各所要時間よりも長くなった場合、短くなった場合にそれぞれ分けて示す。そして、延長（短縮）した分の時間を小さい順にソートし、「95パーセンタイル値」・「99パーセンタイル値」・「延長（短縮）した車両台数」をそれぞれ算出した。

流入時刻ベース所要時間においては、短縮時間の95パーセンタイル値は229秒、延長時間は241秒となった。流入時刻ベース所要時間は、実際に車両が走行する際の交通状況と時系列的にほぼ一致しているという特徴を持つため、3つの所要時間情報の中でも、実際にかかった所要時間との差が小さいことがわかる。しかし、流入時刻を基準としているため、現時刻では、実際には得ることのできない情報である。流出時刻ベース所要時間については、流入時刻ベースに次いで、実際の所要時間との差が小さいことがわかる。瞬時値ベース所要時間は、実際にかかった所要時間の方が短い場合が多く、実際にかかりうる所要時間よりも長い所要時間を算出する傾向がある。

以上のことから、本研究では、流出時刻ベース所要

Table2 所要時間増減の判定パターン

ΔT_1	+			+			-			
ΔT_2	+			≡			-			
ΔT_3	+	≡	-	+	≡	-	+	≡	-	
傾向判定	増	増	増	増	提供しない					

ΔT_1	≡									
ΔT_2	+			≡			-			
ΔT_3	+	≡	-	+	≡	-	+	≡	-	
傾向判定	増	提供しない							減	

ΔT_1	-									
ΔT_2	+			≡			-			
ΔT_3	+	≡	-	+	≡	-	+	≡	-	
傾向判定	提供しない						減	減	減	減

時間を提供所要時間とする。また体験所要時間として流入時刻ベース所要時間を用いることとする。

所要時間長短を分類する閾値は、実際にかかった所要時間と、流入時刻ベース所要時間との差の95パーセンタイル値を用いて、±4分とする。流入時刻ベース所要時間は、実際に車両が走行する際の交通状況と時系列的にほぼ一致しているという特徴を持つため、4分以内の誤差は、ドライバーの運転特性の違いにより発生すると考えられる。

2.3 所要時間長短の定義

以上の結果を踏まえ、所要時間長短の定義は、インターバル毎の体験所要時間（流入時刻ベース所要時間）と提供所要時間（流出時刻ベース所要時間）の差が4分以上長くなったときに「長い（延長）」、4分以上短くなったときに「短い（短縮）」とする。

3. 付加的情報の提供方法の検討

前章で付加的情報を定義した。本章では、従来の所要時間増減傾向と所要時間長短のどちらが付加的情報として有用であるかを、AVIから検出されたドライバーひとりひとりの所要時間を用いて検証を行う。

3.1 付加的情報の提供方法

3.1.1 提供方法1（所要時間増減傾向）

従来の所要時間増減傾向として、萩原ら³⁾による、過去の提供所要時間に基づく増減傾向の簡易な判定アルゴリズムを用いる。

T_i : i 周期前における流出時刻ベース所要時間

ΔT_i : $i-1$ 周期前と i 周期前の所要時間差

1周期前（1分前）との所要時間差： $\Delta T_1 = T_0 - T_1$

2周期前（2分前）との所要時間差： $\Delta T_2 = T_1 - T_2$

3周期前（3分前）との所要時間差： $\Delta T_3 = T_2 - T_3$

増加 (+) : $\Delta T_i > 10$ (s)

減少 (-) : $\Delta T_i < -10$ (s)

均衡 (=) : -10 (s) $\leq \Delta T_i \leq 10$ (s)

この方法では、過去の3周期分の所要時間差から、増減を、それぞれ閾値を定めて判定する。そして、各周期で判定された増減を、Table2のようにパターン分けすることにより、総合的な所要時間の増減傾向を算出する。なお、各周期における増加・減少傾向判定の閾値は10秒とする。

3.1.2 提供方法 2 (所要時間長短)

流入時刻ベース所要時間 (体験所要時間) と流出時刻ベース所要時間 (提供所要時間) の差を用いる。体験所要時間が提供所要時間よりも4分以上長い場合を「延長」とし、4分以上短い場合を「短縮」とする。

3.2 付加的情報の提供方法の検証

2つの提供方法が、ドライバーひとりひとりが実際に体験した所要時間と提供所要時間の差に合致するかどうか、検証を行った。AVIで集計された車両1台ごとの実際にかかった所要時間と、流入時の提供所要時間の差は4分を閾値とし、それより長くなれば延長とし、短くなれば短縮と判定する。

Table3に流入時に提供される所要時間増減傾向 (提供方法1) と、実際にかかった所要時間と提供所要時間から判定された長短を集計したものを示す。提供所要時間増減傾向とドライバーが体験した所要時間長短が合致したのは、増加傾向・減少傾向ともに5割ほどであった。特に、実際にかかった所要時間は長くなったのに、減少傾向を提供されたドライバーは74台であった。逆に短くなったのに、増加傾向を提供されたドライバーは205台存在していた。このことから、従来の所要時間増減傾向と、ドライバーが体験した所要時間長短とは必ずしも合致しているわけではないことがわかる。

次に、Table4にドライバーが流入した時刻における、流入時刻ベース所要時間と流出時刻ベース所要時間に基づく所要時間長短 (提供方法2) と、ドライバーが実際に体験した所要時間長短を集計したものを示す。提供所要時間長短と、ドライバーの所要時間長短が合致したのは、延長が75%、短縮が88%と過去の所要時間の変動パターンを基にした所要時間増減傾向よりも的中率が高い。実際は所要時間が長くなったのに、減少傾向を提供されたドライバーは2台、短くなったのに、増加傾向を提供されたドライバーは6台と提供方法1に比べて少なくなっている。

Table3 提供方法 1 の結果

		実際の所要時間長短		
		短縮	変化なし	延長
提供	減少傾向	1500(58%)	1021(39%)	74(3%)
	変化なし	1123(3%)	31725(92%)	1572(5%)
	増加傾向	205(6%)	1258(37%)	1936(57%)

Table4 提供方法 2 の結果

		実際の所要時間長短		
		短縮	変化なし	延長
提供	短縮	2146(89%)	270(11%)	2(0%)
	変化なし	676(2%)	32922(95%)	1151(3%)
	延長	6(0%)	812(25%)	2429(75%)

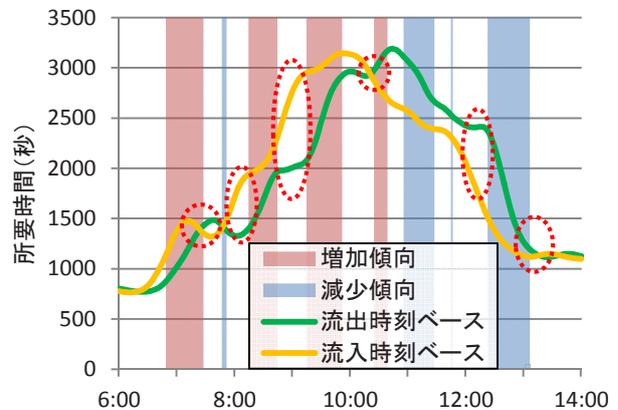


Fig.3 提供方法 1 の結果 (7月 26 日)

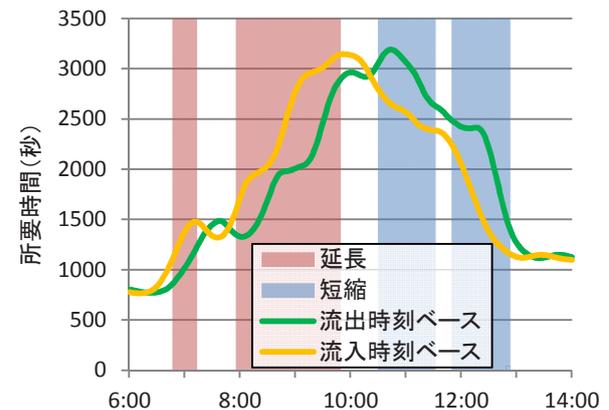


Fig.4 提供方法 2 の結果 (7月 26 日)

Fig.3, Fig.4に平成19年7月26日木曜日の混雑時における流出時刻ベース所要時間と流入時刻ベース所要時間、提供方法1と提供方法2の付加的情報を示す。

提供方法1においては、過去の提供所要時間の増減を基にしているため、Fig.3の赤枠に示すように、増加傾向から減少傾向、減少傾向から増加傾向へと変動するときに時間遅れが生じる。この際に、ドライバーの体験する所要時間長短との相違が発生すると考えら

Table5 SVM モデルの説明変数

説明変数	入手先
① 流出時刻ベース所要時間	AVI
② 直近20台の所要時間の標準偏差	AVI
③ 直近40台の所要時間の標準偏差	AVI
④ 瞬時値ベース所要時間	車両感知器
⑤ Occがx%以上の区間数(全71区間) x=10,20,30,40,50,60,70,80,90	車両感知器
⑥ ①と④の差	
⑦ ①,④,⑤の過去15分間の傾き	
⑧ ①~⑥の1周期差分	

れる。一方、提供方法2においては、Fig.4に示すように、ドライバーの実際の所要時間長短に沿った付加的情報を提供することができる。

以上のことから、流入時刻ベース所要時間と流出時刻ベース所要時間の差による所要時間長短は、実際にかかった所要時間と提供所要時間との差と、ほぼ合致していることがわかった。

4. SVMを用いた所要時間長短予測

前章で、所要時間長短の情報が所要時間増減傾向の情報よりも、ドライバーひとりひとりの実情に適しており、付加的情報として優れていることがわかった。そこで本章では、ドライバーの体験所要時間が、流入時の提供所要時間と比べて長くなるのか、短くなるのかを予測する手法を提案する。しかし、体験所要時間である流入時刻ベース所要時間は、現時刻では入手することができない。そこで、本研究ではSVM(Support Vector Machine)を用いて、現時刻で得られる情報を基にして、所要時間長短の予測モデルを構築する。

4.1 SVM (Support Vector Machine)⁴⁾

本研究で用いるSVMとは、機械学習による、パターン識別器の1種である。マージン最大化とカーネルトリックというアイデアを用いることによって、既存の識別器の中でも、高い識別率を持つ。このことから、今回のような、予測に適した手法であるといえる。

この手法を用いて、所要時間長短の「延長」、「短縮」、「変化なし」を判別させるための予測モデルを構築する。本研究では、カーネルトリックに用いるカーネル関数を、ガウシアンカーネルとした。

4.2 所要時間長短予測モデルの構築

SVMを用いた予測モデルを構築するために、目的変数と説明変数を設定する。目的変数では、体験所要時

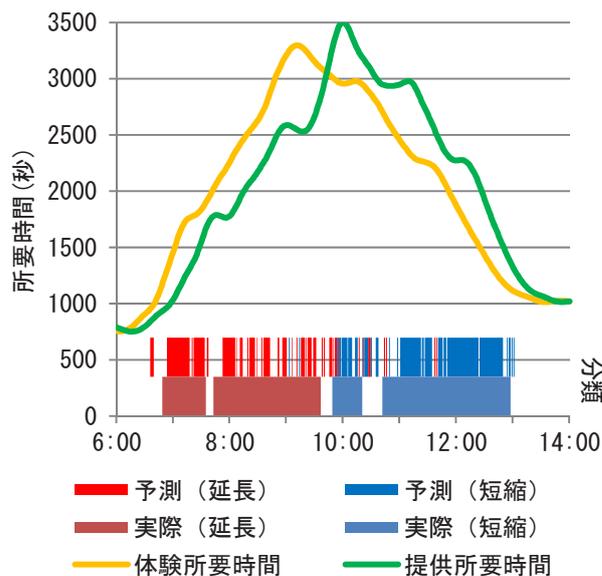


Fig.5 自然渋滞時の予測結果 (8月10日)

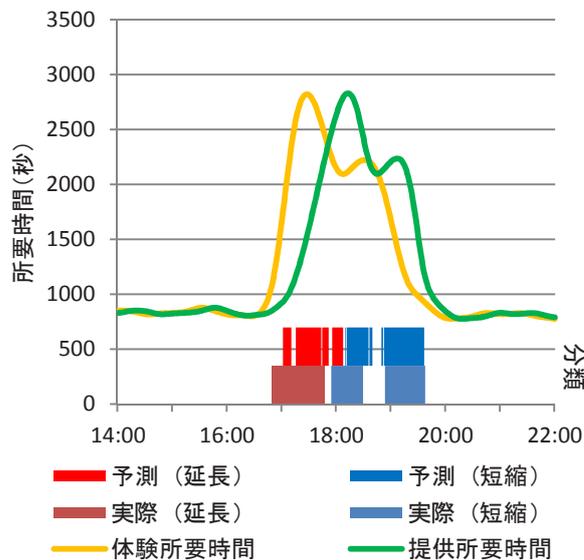


Fig.6 事故渋滞時の予測結果 (8月17日)

間と提供所要時間との差を基に、長短を判別する。差が4分より長くなった場合に「延長:1」、4分より短くなった場合を「短縮:-1」、それ以外の場合を「変化なし:0」とカテゴリ化する。本研究では、提供所要時間として流出時刻ベースの所要時間を、体験所要時間として流入時刻ベースの所要時間を、それぞれ1分間隔で算出されるものを用いる。説明変数はTable5に示すように、AVIから入手したものと車両感知器より入手したものを混合して用いる。これらのデータは、現時刻で1分間隔ごとに更新されるものである。説明変数としては、全部で42個を用いることになる。

予測モデルを構築するための学習データとして、平成19年7月26日木曜日から8月9日木曜日までのものを用いる。データ数は21,600インターバルである。予測

Table6 所要時間長短の予測結果

		予測値		
		短い	変化なし	長い
実測値	短い	320(54%)	238(40%)	34(6%)
	変化なし	92(0%)	30020(99%)	231(1%)
	長い	5(1%)	383(51%)	357(48%)

モデルの構築後、モデルの評価を行うためのデータとして、平成19年8月10日金曜日から8月31日金曜日までのものを用いる。データ数は31,680インターバルである。モデル構築データ、評価データともに大規模な自然渋滞や、事故渋滞が発生している時間帯が含まれている。

4.3 所要時間長短予測結果

評価データを用いた、全期間のインターバルごとの予測結果をTable6に示す。体験所要時間が提供所要時間よりも短くなるインターバルの予測的中率は54%、長くなるときの予測的中率は48%となり、長短を5割程度で予測できるという結果となった。実際は短縮しているのに、予測モデルでは延長していると予測したインターバルが34、実際は延長しているのに、短縮していると予測したインターバルは5となり、誤った予測を行うインターバル数は少ない。ただし、実際は延長・短縮しているのに、予測モデルでは変化なしと判定される場合が、短縮の場合は4割程度、延長の場合は5割程度となった。

次に、時系列でみた場合の予測モデルの評価を行う。Fig.5に8月10日金曜日の朝方の通勤時間帯における、実際の所要時間長短、予測された所要時間長短、提供所要時間、体験所要時間をそれぞれ示す。

全体的に、実際の延長・短縮を捉えることができていることがわかる。また渋滞の立ち上がり時においては、予測値のほうが早く延長を示している。一方、実際の所要時間長短に比べて、予測の長短の判定は断続的に現れている。また、延長から短縮へと転じる際に、予測では延長と短縮が入り交じって出現している。このようなことが原因となり、全体的な予測的中率としては低下していることがわかる。

Fig.6に、8月17日金曜日における、事故渋滞時の予測結果を示す。渋滞の立ち上がり時において、事故の影響により、体験所要時間と提供所要時間との差が急激にひろがっているが、実測値と比べて延長判定をする反応が遅れている。一方、渋滞の解消に伴って実際は所要時間が短縮しているのに対し、予測では延長と判定している。こうした事故等による、所要時間の急激な延長・短縮には今回構築したモデルは対応できて

いないことが明らかになった。

5. おわりに

本研究では、所要時間情報に付加的な情報を与えることにより、より質の高い情報を提供することを検討した。現在用いられている所要時間の付加的情報の意味を再検討し、体験所要時間が提供所要時間よりも長くなるか、短くなるかを情報提供することを目指し、所要時間長短を定義した。この所要時間長短を、従来の所要時間増減傾向と、AVIから検出された車両毎の実際にかかった所要時間で検証した結果、過去の所要時間の変動パターンから算出する増減傾向よりも、体験所要時間と提供所要時間の差から判定される所要時間長短のほうが、ドライバーの視点からすれば、有用な情報であることを示すことができた。

続いて、所要時間長短の予測モデルの構築を行った。予測モデルにはSVMを用いた。その結果として、自然渋滞時の立ち上がりや、事故等の突発事象が発生したときなどの所要時間の延長に、うまく追従することができた。また、ドライバーの感覚とは異なる所要時間長短を判定することは少なかった。しかし長短の表示が断続的に現れることや、事故発生時など、突発的事象が起きた後の長短判定が遅れることなどがあるという課題が残った。

今後は、SVMの判別性能を向上させるために、未来の本線上の交通状況を把握できる説明変数を用いることが必要である。また、車両感知器から得られる占有率等を用いて、本線上の事故発生をいち早く検知できるような工夫も必要である。さらに、AVI未設置地区間を考慮して、車両感知器のみで所要時間長短の予測を行うモデル開発が必要である。

参考文献

- 1) 割田博, 相川耕治, 原田宏之, 鈴木峰雄: 渋滞時所要時間情報における変動傾向提供理論の導入, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, pp.161-164, 2006.
- 2) 稲富貴久, 松本幸正, 松井寛, 松葉一弘: CART手法を用いた非定常時における所要時間に関する付加的情報の提供, 第25回交通工学研究発表会論文報告集, pp.181-184, 2005.
- 3) 萩原武司, 吉村敏志, 北澤俊彦, 杉野勝敏: 車両検知器による所要時間傾向表示に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol40, 2010
- 4) 辻谷将明・竹澤邦夫: Rで学ぶデータサイエンス 6 マシンラーニング, 共立出版, 2009.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

意識データに基づく駅前広場に対する利用者ニーズの把握

宮地祐麻¹⁾ 松本幸正²⁾

Analyzing Factors of a Station Square Required to be Improved based on Opinions of Inhabitants around a Station Yuma MIYAJI¹⁾, Yukimasa MATSUMOTO²⁾

Abstract

Recently, it has become more important to promote the use of public transportation in Japan. The use of public transportation is related to the level of operation service of bus or railway and also the conditions of facilities of public transportations such as a railway station, a platform and a station square. We therefore conducted the investigation to the inhabitants living around the railway station in order to grasp their opinions about the facilities of the station square. As a result, it was clarified that many of inhabitants feel dissatisfied about the facilities of the station square. In particular, Kanie station has the lowest evaluation among 12 stations investigated in this study. Moreover, it makes clear that the activation of shops around the station is indispensable to achieve the high satisfactions by the inhabitants.

1. はじめに

超高齢社会の到来やライフスタイルの変化がもたらした自動車依存型社会の影響により、近年、地域公共交通のおかれた状況は厳しさを増している。

このような背景のもと、超高齢社会への対応、中心市街地の活性化や歩いて暮らせるまちづくりなど、都市社会において公共交通が果たすべき役割は、今後ますます重要となってくる。将来を見据えた公共交通を構築していくため、自動車中心の交通体系を見直し、利用者の視点からも公共交通のあり方について検討していく必要性が高まってきている。

将来を見据えた公共交通を構築していくのに重要となる施設として、交通結節点が挙げられる。交通結節点とは、複数の交通手段をつなぐ機能をもった施設である。駅前広場を例にあげれば、鉄道と徒歩、自転車、自家用車、バス、タクシーとの乗換機能をもつ施設となる。これら関連する施設は、時代とともに変化している。駅構内に商業を展開した「駅ナカ施設」においては、それまでの移動を目的とする通過駅から集う駅へと利用形態を変化させ、利用者のニーズにこたえることにより利便性向上に寄与した。この様に、利用者のニーズに合った鉄道駅を実現することは、鉄道利用を増やすのみならず、結節するバス利用の促進や駅周辺の開発も誘発し、駅周辺地域の総合的な魅力向上につながると考えられる。

利用者がこれら交通結節点に求める施設や機能は地域によって、あるいは、駅特性によって違いがあると考えられる。現状の鉄道駅の整備は、必ずしも利用者ニーズに適切に対応しているとはいえない。そこで本研究では、鉄道駅利用者の意識を捉え、施設における改善が必要となる項目を明確にすることにより、今後の駅整備のあり方を検討するための基礎資料を得ることを目的とする。

2. 既存研究と本研究における位置付け

鉄道駅のあり方については、さまざまな研究が行われている。紀伊ら¹⁾は、東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県内の1,180駅を対象に、駅前広場の現状を捉え、駅特性に応じた新たな整備方式の検討を行い、今後の整備制度のあり方について考察している。しかしながら、駅前広場整備水準をマクロに把握し、今後の整備必要量を提示することを主眼とし、ミクロな視点となる利用者意識は考慮されていない。利用者意識を考慮した研究として、柳川ら²⁾は、神奈川県内の茅ヶ崎駅、平塚駅を対象に、アンケートによる評価のもと、駅前バスターミナルの整備のあり方について考察している。ここでは、不満側の回答割合が高い項目において整備が必要であると論じている。しかしながら、バスターミナル整備のみについて検討しており、鉄道駅における他の施設について

1) 大学院 理工学研究科 修士課程 建設システム工学専攻 2) 建設システム工学科

1) Master Course of Civil Engineering 2) Department of Civil Engineering

は述べられていない。

これらの既存研究に対して、本研究では、鉄道駅の整備状況に対する利用者意識を捉えるため、駅勢圏在住の住民を対象とした意識調査を実施する。その結果に基づき、施設規模・数などに対する満足度評価と総合満足度の関係性を把握し、施設において改善が必要となる項目を明確にすることにより、今後の駅整備のあり方について考察していく。

3. 鉄道駅の整備状況に関する意識調査の概要

3.1 調査対象駅の選定

東海三県をまたぐ、JR 東海道本線、中央本線、関西本線、高山線、武豊線、太多線、紀勢本線の計 7 本の JR 路線に位置する駅のうち、有人駅の設置対象となる 1 日平均乗車数 500 人以上の駅-85 駅を対象に事前調査を実施した。調査項目としては、施設状況、駅前広場状況、駅勢圏環境である。駅勢圏としては、本研究では、駅から 1.5 キロ圏内と設定した。

調査結果を用いて主成分分析による駅の特徴把握³⁾、ならびにクラスター分析によるグループ化を行い、駅を 4 つのグループに分類した。各グループにおいて乗車数が多い 2 駅と乗車数の少ない (2,000 人以上) 2 駅を意識調査の対象とすることを基本とし、駅を選定した。選定された対象駅および対象路線を Fig.1 に示す。

3.2 意識調査内容

平成 22 年 3 月に、各対象駅 500 部 (封筒 1 部につきアンケート票 2 部)、合計 6,000 部のアンケート票をポストイン形式で配布した。封筒 1,299 部、アンケート票 2,014 部を郵送で回収し、封筒の回収率は 21.7%、アンケート票の回収率は 16.8%となった。主なアンケート項目は、回答者属性、鉄道駅の利用頻度、鉄道駅からの移動目的、駅構内施設の評価、駅前広場の評価、駅施設の評価である。

4. 鉄道駅の整備状況に関する意識分析

4.1 基本集計

アンケート項目のうち、平日における利用頻度を「毎日」「週3~4回」「週1~2回」「月数回」「年数回」の区分で回答してもらった。回答者年齢別の利用頻度を Fig.2 に示す。「毎日利用する」に着目すると、20 歳未満~20 歳代の利用頻度が 5 割を超えていることがわかり、年齢が上がるにつれて利用頻度の減少傾向がみられる。また、週 3~4 回の利用であれば、年齢を問わないことがわか



Fig.1 Survey area

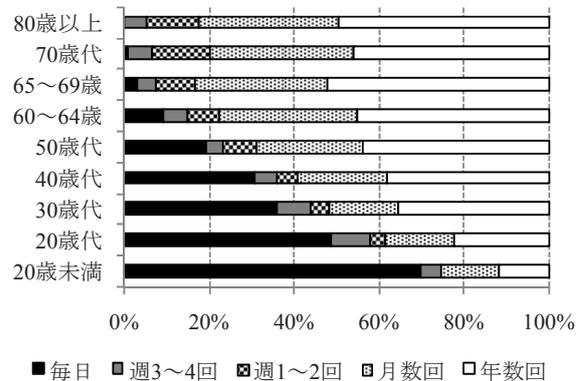


Fig.2 Frequency of going to the station on weekday by age

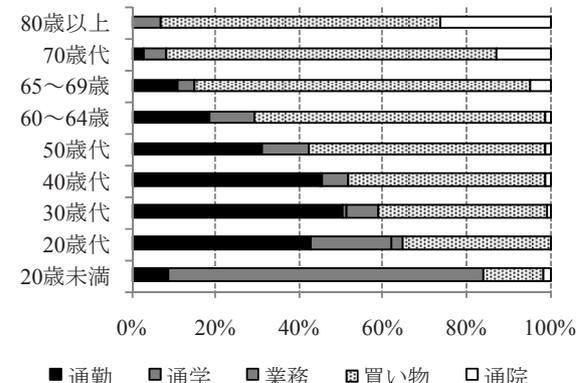


Fig.3 A purpose of going to the station by age

る。

回答者年齢別の移動目的を Fig.3 に示す。「毎日利用する」と回答した割合の高い 20 歳代~40 歳代の移動目的では「通勤」の回答割合が高い。また、50 歳代以上の移動目的をみると、「買い物」が 5 割を超え、年齢が下がるにつれて「買い物」の割合が下がっていることがわかる。65 歳以上と定義している高齢者の移動目的は、「買い物」の回答割合が高いものの、利用頻度は年数回が最も多くなっている。このことから、高齢者は駅周辺に住んでいるものの、鉄道をあまり利用していない状況にあることがわかる。

4.2 総合満足度の集計

前節では、利用者の属性として「年齢」に着目し、鉄道駅の利用頻度や最寄り駅から鉄道を利用する場合の移動目的を捉えた。本節では、年齢によって駅構内ならびに駅前広場に対する満足度の総合評価に差異が生じているのかをみていく。

駅の整備状況に対する評価指標として、アンケートでは駅構内、駅前広場、駅全体についての総合満足度を5段階で評価してもらった。ここでは駅前広場に着目する。駅前広場に対する総合満足度を年齢別で集計した結果をFig.4に示す。全体的に、不満の割合が高いのがみてとれる。30歳代と50歳代においては「満足」と評価した人がいない。鉄道駅を毎日利用していると回答した割合の高い30歳代~40歳代で不満側の回答割合が高く出ているが、全体的にみて、年齢によって駅前広場に対する総合満足度は大きく異なっているとはいえない。

対象駅別の駅前広場に対する総合満足度割合を Fig.5に示す。一般的に不満側の回答割合が高くなっていることがわかる。その中でも、蟹江、亀山での不満側の回答割合は6割以上と非常に高くなっており、駅前広場に関して何らかの改善が必要な状態であるといえる。一方、最近、駅整備が行われた枇杷島、神領においては、満足側の回答割合が2割以上あり、相対的に良い評価を得ていることがわかる。しかしながら、不満側の回答割合も同程度以上にあり、利用者にとっては必ずしも良い駅前広場であるとはいえない。

5. 駅前広場整備改善項目の分析

前章では、利用者属性、利用者意識に基づき駅前広場の評価の違いについて考察した。これらの結果から、評価の悪かった項目の改善を図ることは、駅に対する総合満足度を向上させることにつながると考えられる。しかしながら、全ての項目において対策を施しても、それらが総合満足度の向上に直接つながるとは限らない。また、何を優先的に対策すればよいかも明確ではない。

そこで本章では、駅前広場の評価項目に対する評価結果を用い、総合満足度と各評価項目間の関係の度合いを定量化する連関係数を求め、鉄道駅の評価項目に対する利用者ニーズの充足状況を視覚化する。

5.1 中間評価を考慮した満足度の定量化方法

駅前広場の整備状況に対する満足度を項目ごとに”満足”，”やや満足”，”どちらでもない”，”やや不満”，”不満”の5段階で評価してもらった。

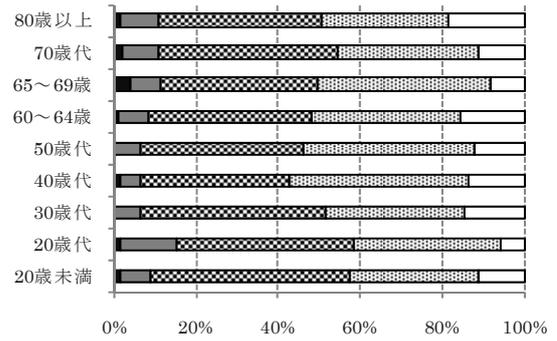


Fig.4 Satisfaction of the station square by age

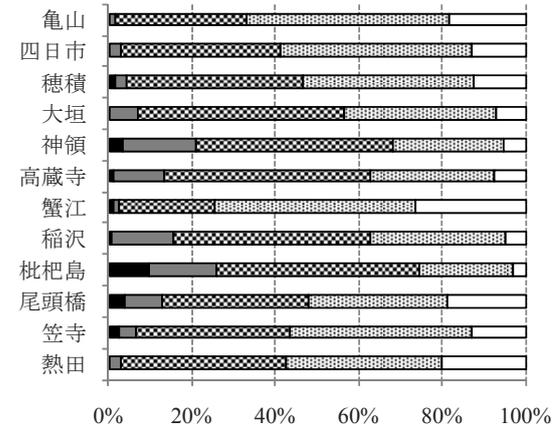


Fig.5 Satisfaction of the station square by a station

”満足”，”やや満足”，”どちらでもない”，”やや不満”，”不満”の5段階で評価してもらった。どちらでもない”という中間評価を考慮した満足度を定義するため、以下の松本ら⁴⁾の手法を適用する。

$$S_i = (g_i - b_i)(g_i + b_i) \dots\dots\dots (1)$$

$$= g_i^2 - b_i^2 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 S_i は要因*i*の満足度指標を表し、 g_i は要因*i*の満足評価割合、 b_i は要因*i*の不満足評価割合を表す。

また、質的データ間の関連の強さを連関係数により定量化する。本研究では、連関係数として、 χ^2 の基準化を行う Cramer's V を用い、鉄道駅の評価項目に対する評価結果が総合満足度におよぼす影響の大きさを定量化する。

$$\text{連関係数} = \sqrt{\frac{\chi^2}{N \min(I-1, J-1)}} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 χ^2 はカイ二乗値、 N はデータ数、 I と J はカテゴリー数である。一般に、連関係数の値が0.25以下の場合には影響度が低いと考えられる。

5.2 整備改善項目の分析結果

駅前広場に対する総合満足度を構成する評価項目とし

て、駅前広場の主要な施設を含む13項目を尋ねた。項目の詳細と略記をTable 3に示す。評価項目ごとの改善の必要性を明確化するため、横軸に満足度、縦軸に連関係数として影響度を取り、満足度-影響度分布図を作成する。

Fig.6-Fig.9において、満足度・影響度の両者が大きい右側上部に位置する項目（赤色マーカー）は連関係数が高いことから、「総合満足」とその評価項目の評価の関連が強い。また横軸に着目すると、満足度が高いことを表していることから、その評価項目に対する高い満足度が、総合満足度を高めていることになる。つまり、利用者のニーズと整備状況が合致している状態であると考えられる。この状態を本研究では、ニーズ充足状態と表現する。一方、図の左上方に位置する評価項目（青色マーカー）は、連関係数が高いことから「総合満足」とその評価項目の評価の関連が強いにもかかわらず、横軸に着目すると不満足度が高いことから、その評価項目に対する不満足度が、総合満足度を低めていることになる。つまり、利用者のニーズと駅の整備状況が合致しておらず、項目の改善が必要な状態であると考えられる。この状態を本研究では、改善必要状態と表現する。

影響度が0.25以下の場合には、評価項目（緑色マーカー）に対する評価は総合満足度との関連が低いと考えられる。右下に位置する評価項目は、高い満足度は得られているものの、その高い評価は総合満足度には影響していないことになる。同じく、左下に位置する評価項目は不満足評価が高いものの、総合満足度へは影響を与えていない項目だと考えることができる。つまり、これらの項目の改善は、総合満足度には影響を与えないため、対策の優先度としては低いことになる。

Fig.5の結果から、駅前広場の満足評価割合が高い駅、低い駅を抽出して今回の分析対象とする。総合満足割合が高い駅として枇杷島駅における満足度-影響度分布をFig.6に、総合満足割合が低い駅として蟹江駅における満足度-影響度分布をFig.7に示す。

Fig.6より、右側上部に位置する「歩行」「植栽」においてはニーズが充足状態であることがわかり、左側上部に位置する「商業」「情報」においては改善が必要とされ、枇杷島駅はこれら項目を改善することで、駅前広場の総合満足度を上げることが可能であると考えられる。

次に、Fig.7より、ニーズ充足状態の項目がみられず、全ての項目において改善が必要となっていることがわかる。満足割合の高かった枇杷島駅と比較すると、両駅の評価は大きく異なっていることがみて取れる。両駅の評価割合は大きく違うものの、特に改善が必要な項目は枇杷島駅と同様、「配置」と「商業」であることがわか

Table 3 Evaluated factors and its abbreviation

	評価項目	略記
1	バス乗り場の利用のしやすさ	バス
2	タクシー乗り場の利用のしやすさ	タクシー
3	自家用車送迎場所の利用のしやすさ	送迎場
4	駐車場の利用のしやすさ	駐車場
5	自転車置き場の利用のしやすさ	自転車
6	駅前広場の歩行空間の利用のしやすさ	歩行
7	待ちあいや休憩場所の整備状況	休憩
8	植栽やモニュメント等の整備状況	植栽
9	トイレの利用のしやすさ	トイレ
10	交通機関の乗り換え情報のわかりやすさ	乗換
11	市街地の情報の得やすさ	情報
12	駅周辺の商業施設の充実度	商業
13	駅前広場の施設(バス停、タクシー乗り場)配置の適切さ	配置

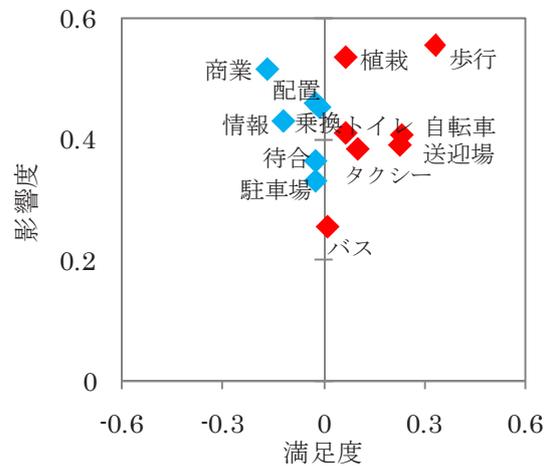


Fig.6 Distribution of satisfaction - influence index of Biwajima station

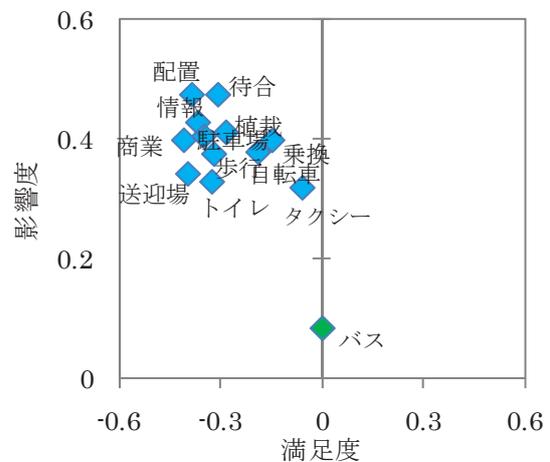


Fig.7 Distribution of satisfaction - influence index of Kanie station

る。改善が必要な項目のうち、駅前広場の「バス」項目については影響度が低く、この項目を改善しても総合満足度が上がるとは考えにくい。

5.3 属性別にみる整備改善項目の分析

意識は年齢や駅の利用頻度、利用目的によって違いがあると考えられる。それらを明確にし、利用者属性の違いにより駅前広場改善項目にどのような違いがあるかをみていく。一例としては枇杷島駅の属性別による整備改善項目に着目する。

Fig.8 に非高齢者の満足度-影響度分布を、Fig.9 に高齢者の満足度-影響度分布を示す。高齢、非高齢に関係なく「商業」「情報」「待合」においては改善が必要とされていることがわかる。「駐車場」「乗換」においては、非高齢者のみ改善が必要とされ、高齢者はニーズ充足状態となっている。非高齢者は高齢者に比べて自動車の運転を多くすること、また、高齢者よりも鉄道の利用頻度が高いことから、このような結果になったと考えられる。

ニーズ充足状態の項目をみると、高齢、非高齢で項目の違いはあまりない。特に満足度の高い項目は高齢者、非高齢者に関係なく「歩行」に関する項目であることがわかり、「歩行」に対する影響度も約 0.6 と大きくなっていることから、「歩行」に対する高い満足度評価は駅前広場の総合評価を高めているということがわかる。

6. 駅前広場評価項目のニーズ充足度と改善必要度

前章より、改善が必要となる項目が明確になった。本章では、伊東ら⁹⁾の手法を用い各項目のニーズ充足度、改善必要度を算出する。定量化することで、各項目のニーズ充足状態・改善必要状態の順位付けを行う。

6.1 ニーズ充足度と改善必要度の定義

Fig.10 に影響度分布図の例を示す。ここで、満足度を 1.0、影響度を 1.0 としたものをニーズ充足ベクトルとし、満足度を -1.0、影響度を 1.0 としたものを改善必要ベクトルとする。

これらのベクトルを用いて、ニーズ充足度、改善必要度を以下の式で定義する。

$$u_j = S_j \cos \theta \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 u_j はニーズ充足度、改善必要度を表し、原点と評価項目からの各ベクトルへの射影点との距離を S_j 、評価項目と各ベクトルへの角度を θ と表している。

6.2 ニーズ充足度と改善必要度の分析結果

各対象駅においてニーズ充足度、改善必要度を算出した結果を上位 3 項目とりあげる。Table 4 にニーズ充足状態の項目を、Table 5 に改善必要状態の項目を示す。Table 4

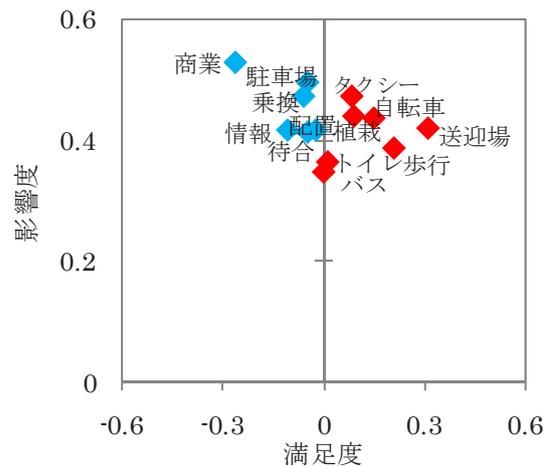


Fig.8 Distribution of satisfaction - influence index of Bwajima station by nonelderly

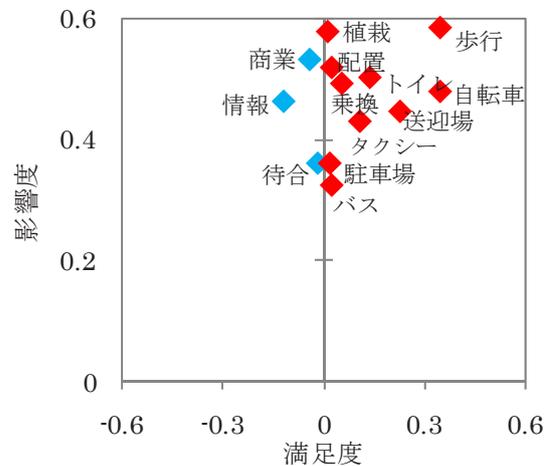


Fig.9 Distribution of satisfaction - influence index of Bwajima station by elderly

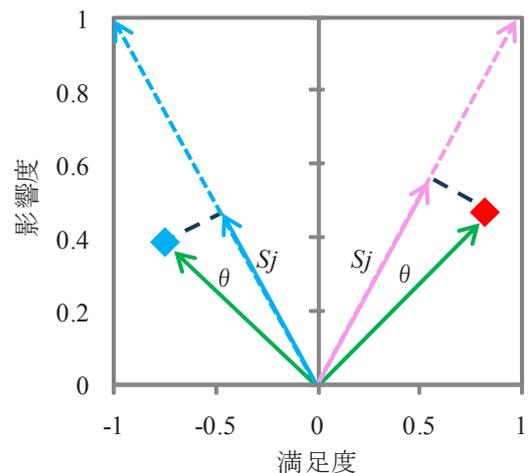


Fig.10 The example distribution of influence index

から、枇杷島、神領駅についてはニーズ充足状態の項目が多く見られる。これらは、駅前広場の総合満足度割合が高いためであり、逆に総合満足度割合の低い蟹江、熱田駅ではニーズ充足状態の項目が見られない。また、多

Table 4 Factors satisfying needs of users at each station squares

	大垣	穂積	稲沢	枇杷島	尾頭橋	熱田	笠寺	神領	高蔵寺	蟹江	四日市	亀山
1	タクシー	タクシー	歩行	歩行	送迎場	-	タクシー	歩行	タクシー	-	タクシー	タクシー
2	-	-	タクシー	自転車	-	-	-	タクシー	バス	-	バス	-
3	-	-	トイレ	送迎場	-	-	-	配置	-	-	-	-

Table 5 Factors required to be improved at each station squares

	大垣	穂積	稲沢	枇杷島	尾頭橋	熱田	笠寺	神領	高蔵寺	蟹江	四日市	亀山
1	送迎場	商業	商業	商業	商業	商業	商業	商業	商業	配置	商業	商業
2	駐車場	情報	情報	情報	配置	配置	情報	情報	情報	商業	情報	駐車場
3	商業	送迎場	自転車	配置	情報	情報	植栽	待合	駐車場	情報	トイレ	送迎場

くの駅で豊富なタクシープール、タクシー乗降場の整備がなされていることから、「タクシー」の項目はニーズ充足状態となっている。

Table 5 から、全対象駅において「商業」「情報」は改善必要状態となっていることがわかる。総合満足割合の高い枇杷島、神領駅であっても改善を必要としており、どの駅にも該当する共通項目となっている。これら2項目は駅前広場そのものの施設ではなく、駅前広場周辺の地域に関する項目である。このことから、鉄道駅のあり方を検討していく上では、鉄道駅施設のみではなく、駅周辺地域の活性化も重要であるといえる。

6.3 施設整備状況とニーズの関係

ここでは「駐車場」を例として取り挙げ、整備状況と改善必要度との関係のみをみる。現状の駐車場数と、駐車場におけるニーズ充足度・改善必要度の関係を Fig.11 に示す。縦軸に改善必要度を示すが、マイナスの値が大きくなればなるほど強く改善が求められることを意味する。また、横軸には現状の駐車場数を示す。駅の規模により駐車場の大きさも異なるため、1日平均乗車数により基準化を行う。

Fig.11 から、現状の駐車場数が多くなるにつれ、改善必要度も大きくなっていることがわかる。必要な駐車場数は、駅利用者数や周辺の開発状況によって異なるため、単純に数の多寡だけでは判断できない。駐車場がある程度整備されている駅では自動車でのアクセスが相当数見込まれていると思われ、この場合には、必ずしもニーズにあった駐車場の整備がなされていない傾向があると考えられる。現状の駐車場数が同等である駅を比較すると、改善必要度に違いがみられるものもある。なかでも改善必要度が低い枇杷島、神領駅については、最近、駅整備が行われたため、他の駅に比べ改善を必要としない結果となっていることがわかる。

7. おわりに

本研究では、JR 東海の駅周辺住民を対象に意識調査を

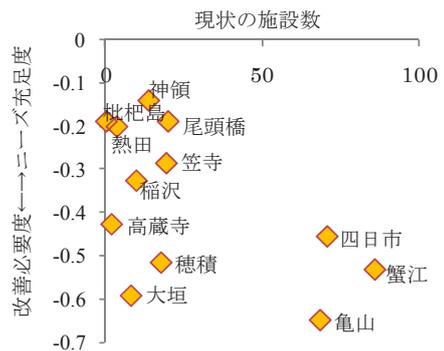


Fig.11 Relationship between conditions of parking and satisfaction indexes of needs

実施した。利用者の鉄道駅整備状況に対する評価を把握するとともに、その評価が属性により違いがあるかをみた。その結果、年齢によって駅前広場に対する総合満足度は大きく異なっていないことがわかった。満足度-影響度分布を描き駅前広場評価項目に対する利用者ニーズの充足状況を視覚化することにより、ニーズ充足状態の項目において、高齢、非高齢で違いはあまりないことがわかった。また、各項目のニーズ充足度、改善必要度を算出することにより、鉄道駅のあり方を検討していく上では、鉄道駅施設の改善のみならず、駅周辺地域の活性化も重要であることが明らかとなった。今後は駅周辺環境と対象駅の詳細な比較分析を進める必要がある。

参考文献

- 1) 紀伊雅敦, 「駅前広場の現状と今後の方向」, 運輸政策研究, Vol.7, no.1, 2004
- 2) 柳川友和, 浅野光行, 「利用者の意識からみた駅前バスターミナルの整備のあり方に関する一考察」, 土木計画学研究・講演集, Vol.30, pp.255, 2004
- 3) 古井良典, 松本幸正, 宮地祐麻, 「駅前広場および駅勢圏状況による鉄道駅の特性分析」, 第65回年次学術講演会講演概要集, IV-189, pp.377-378, 2010
- 4) 松本幸正, 古井良典, 松井寛, 「意識評価の非対象構造に基づく生活環境要因の分類と評価改善効果の分析」, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, no.1, pp.267-275, 2008
- 5) 伊東裕晃, 松本幸正, 松井寛, 「住民意識調査結果を用いた生活環境に対する住民ニーズの経年的変化に関する研究」, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, no.1, pp.23-32, 2004

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

三岐鉄道北勢線のリニューアル事業による利用転換者の特性分析

中嶋俊介¹⁾ 松本幸正²⁾

Relationship between redesigned project and passengers changing to Hokusei Line of Sangi Railway from other modes of transportation

Shunsuke NAKASHIMA¹⁾, Yukimasa MATSUMOTO²⁾

Abstract

The passengers on Hokusei Line have been decreased since 1965 until 2005. However, the downward trend has been reversed recent years. It's important to grasp how the redesigned projects influence the promotion of the passengers on Sangi Railway Hokusei Line. In this paper, the relationship between the redesigned projects and increasing tendency of the passengers is analyzed by Hayashi's Quantification Method Type II. As a result, "Arrival station", "Mode of transportation" and "Reason for choosing the mode of transportation" in some factors have a great influence on the use of Hokusei Line. Especially, parking in front of the station has good influence in the redesigned projects.

1. はじめに

近年、交通弱者の交通手段の確保、環境負荷軽減等の観点から公共交通の重要性が示されている。しかしながら、モータリゼーションの急激な進展や少子高齢化に伴い、公共交通、特に、地方部における鉄道の利用低下を招いている。そのような中、三岐鉄道北勢線においては、近畿日本鉄道株式会社から三岐鉄道株式会社へと運営移管後、輸送人員が減少傾向から増加傾向へ転じており、リニューアル事業に利用促進効果があるように思われる。

三岐鉄道北勢線の利用者減少期において、利用促進の検討を行った研究として、榎原ら¹⁾は、中京都市圏PT調査のデータを用い、沿線地域のトリップ特性・利用者特性の分析を行い、所要時間短縮や自動車から公共交通への転換を促す利用促進策の必要性を示している。これは、本格的にリニューアル事業が始まる前における利用実態等の把握はできているものの、運営移管後における利用増加期の利用実態等における把握はできておらず、今後のさらなる利用促進策を考える上で、利用者増加期に増加した利用者層の、実施済みリニューアル事業に対する評価を明らかにすることは重要である。

そこで本研究では、北勢線の需要予測をするための基礎調査における結果を使い、多変量解析手法を用いて、北勢線へと交通手段を転換した利用者の、実施済みリニューアル事業に対する評価を明らかにする。



Fig.1 Area around Hokusei Line

2. 三岐鉄道北勢線と調査の概要

2.1 三岐鉄道北勢線と調査の概要

2.1.1 三岐鉄道北勢線の概要

三岐鉄道北勢線は、三重県桑名市の西桑名駅からいなべ市の阿下喜駅までの13駅(桑名市:7駅, 東員町:2駅, いなべ市:4駅)を結ぶ鉄道路線である。Fig.1に北勢線周辺地図を示す。路線距離は20.4km, 運転最高速度は45km/hである。当初は、軽便鉄道として敷設された路線で、現在でも開通当時のままの762mmと軌間は狭く、日本に残る数少ないナローゲージの路線である。

1) 大学院理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 2) 建設システム工学科

1) Master Course of Civil Engineering 2) Department of Civil Engineering

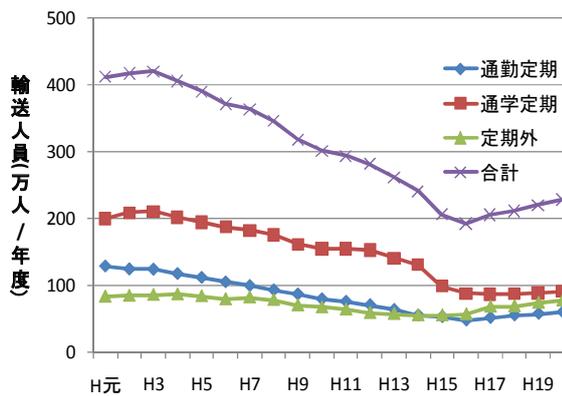


Fig.2 Changes in passengers by transport ticket type

Table 1 Changes in passengers at h15 and h20

	通勤(万人)	通学(万人)	定期外(万人)	合計(万人)
H15年度	52.7	98.4	55	206.1
H20年度	59.9	91.3	77.1	228.3
増減(万人)	7.2	-7.1	22.1	22.2

次に、北勢線の運営をする鉄道会社について、説明する。近畿日本鉄道株式会社により北勢線が運営されていたが、輸送人員は昭和40年度の約614.5万人をピークに減少し続け、平成12年には廃止の意向が表明されるに至った。平成15年に、沿線住民の鉄道存続の強い要望を受けて、三岐鉄道株式会社へ運営が移管されている。現在の輸送人員は平成16年度の約192.3万人を底に、減少傾向から増加傾向に転じ、平成20年度は約228.3万人と約36.0万人増加している。

2.1.2 券種別輸送人員の推移

増加している利用者層を捉えることを目的に、券種別輸送人員の推移に着目する。Fig.2に北勢線における券種別輸送人員の推移を示す。定期券以外を利用する輸送人員が最も増加傾向にあることが見てとれる。

運営移管後の平成15年度と平成20年度における総輸送人員と券種別輸送人員に着目する。Table 1に平成15年度、平成20年度における総輸送人員と券種別輸送人員と、その増減量を示す。この表からも、定期券以外による輸送人員の増加が顕著に見られる。

2.1.3 運営移管後のリニューアル計画

運営移管後のリニューアル計画は北勢線高速化事業、西桑名駅乗り継ぎ円滑事業、北勢線近代化事業、その他のリニューアル事業を行うもので、随時実施されてきた。平成19年度末までに実施された主なリニューアル事業は、以下のようである。

- ①駅の統廃合・移転・廃止（六把野駅と北大社駅が東員へ、大泉東駅と長宮駅が大泉駅へ統合・坂井橋駅が星川駅へ移転・上笠田駅と六石駅は廃止）
- ②駅自動化システム（馬道駅上り用を除く）
- ③車両の高速化（高速化等により阿下喜駅-西桑名駅間の運転時分が6分間短縮）
- ④車両の冷房化（7編成24両中3編成8両が改造済み）
- ⑤鉄道利用者用の駐車場・駐輪場の設置（駐車場は北勢線全13駅中8駅、駐輪場は11駅に設置済み）

2.2 調査の概要

本研究では、北勢線対策推進協議会によって行われた基礎調査の結果を用いる。

基礎調査では、平成19年11月19日（月）と11月25日（日）に北勢線沿線の公共交通利用者を対象に、利用実態・利用者意識調査が実施された。北勢線（西桑名駅、馬道駅、星川駅、阿下喜駅）、高速バスターミナル（栄、名鉄バスターミナル）、路線バスターミナル（桑名駅前）にて7,513部の調査票が手渡され、郵送回収が行われた。回収部数は1,693部、回収率は22.5%であった。また、平成19年11月19日（月）7時から19時の間に、北勢線利用者を対象に利用実態・利用者意識に関してヒアリングが実施された。ヒアリングは、北勢線（西桑名駅、星川駅、東員駅、楚原駅、阿下喜駅）にて実施され、回答者数は132人であった。

これにより、北勢線の利用促進策が本格的に開始された後の利用者増加期における、利用実態と利用者意識を捉えることができる。

3. 北勢線利用の変化と要因

3.1 北勢線への利用転換者の把握

前章により、定期券以外の利用者が最も増えてきていることがわかった。利用増加期に増えた利用者層を把握することは、北勢線の運営移管後におけるリニューアル事業の利用促進効果が、どのような人に効果的であったかを考える1つの要因になると考えられる。そこで、本節では、定期券以外による利用者の意識を把握する。

基礎調査の回答者を分類した。北勢線の利用を最近1年間利用していないと答えた回答者（以下、非利用者と表現する）、近年、北勢線へと交通手段を転換したと答えた回答者（以下、転換者と表現する）、以前と変わらず北勢線を利用していると答えた回答者（以下、継続利用者と表現する）に分けた。また、上記の転換者と継続利用者を合わせて現在の北勢線利用者（以下、利用者と表現する）として扱う。

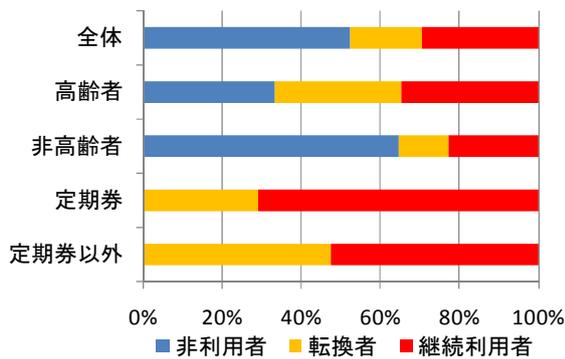


Fig.3 Share of passenger attribute

前者3者ごとに、北勢線の利便性に対する評価と、最も重要とする交通手段の選択理由をクロス集計によって捉える。

Table 2に、基礎調査時に北勢線を利用する最も重要とする理由を示す。Fig.3に、年齢、券種ごとの非利用者、転換者、継続利用者の割合を示す。

高齢者と非高齢者に着目する。高齢者においては、利用者が占める割合が66.7%であり、高齢者の多くが北勢線を利用していることがわかる。また、転換者の割合が32.1%であることから、高齢者にとって、北勢線は必要な交通手段になってきていることがわかる。一方、非高齢者においては、非利用者の割合が64.7%であることに加え、転換者の割合が12.6%であることから、非高齢者にとって、北勢線は必ずしも必要とされていないことがわかる。

次に、券種別利用者に着目する。定期券による利用者においては、転換者の割合が29.3%であり、定期券以外による利用者においては、転換者の割合が47.4%である。このことから、実施済みリニューアル事業は、定期券以外による利用者に対して、利用促進の効果があつたと考えられる。

以上のことより、利用増加期における利用状況は、高齢者と非高齢者、定期券による利用者と定期券以外による利用者では異なり、リニューアル事業によって高齢者と定期券以外による利用が伸びてきていることがわかった。

3.2 北勢線の利便性に対する評価

本節では、利用者を以下の3つの要因により分け、その集計結果から、どのような利用者が北勢線の利便性に対して、便利になったと評価しているのか、不便になったと評価しているのかなどを捉える。1つ目が券種、2つ目が北勢線を利用する最も重要な理由、3つ目が北勢

Table 2. The most important reason for choosing transportation

	最も重要とする理由	略記
①	目的地までの移動時間が短いから	時間
②	自宅から乗車駅までが近いから	アクセス
③	降車駅から目的地までが近いから	イグレス
④	運賃・料金が安いから	運賃
⑤	運転本数が多いから	本数
⑥	乗換えが少ないから	乗換
⑦	乗継ぎが最適だから	乗継
⑧	駐車場・駐輪場などが整備されているから	整備
⑨	着席できる等快適に移動できるから	快適
⑩	移動方法が決められているから	決まり
⑪	他に手段がないから	手段

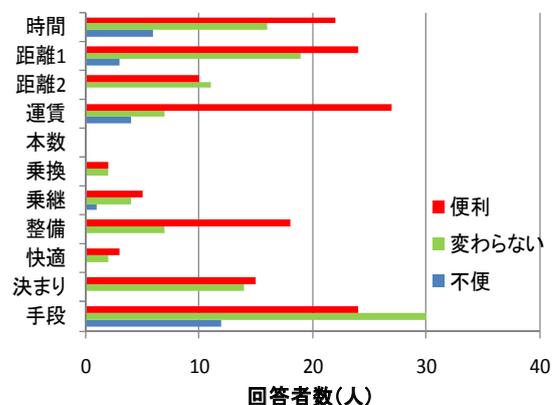


Fig.4 Reason of the choice and evaluation by user with a commutation ticket

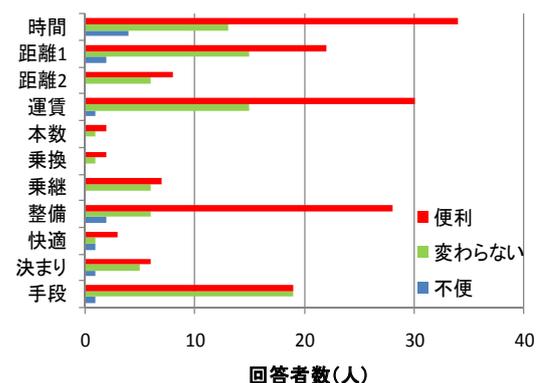


Fig.5 Reason of the choice and evaluation except user with a commutation ticket

線の利便性に対する評価である。

定期券による利用者を対象とし、Table 2に示す「時間」から「手段」の項目別に、北勢線の利便性についての回答者数を集計した結果をFig.4に示す。また、定期券以外による利用者についてはFig.5に示す。

Fig.4とFig.5における共通点より、利用者全体として、

「時間」、「アクセス」、「運賃」を最も重要な選択理由とし、北勢線の利便性に対して便利だと感じている人が多いことがわかる。実施されたりリニューアル事業の内、車両の高速化が、定期券による利用者と定期券以外による利用者の両者における、利用促進および維持の効果があると考えられる。

次に、券種別の違いを捉える。定期券による利用者においては、「時間」、「アクセス」、「運賃」に付け加え、「手段」を最も重要な選択理由とし、北勢線の利便性に対して便利だと感じている人が多いことがわかる。これは、他に交通手段の選択肢がない環境下の利用者にとっても、北勢線は、便利な交通手段として利用されていることが考えられる。

定期券以外による利用者においては、「時間」、「アクセス」、「運賃」に付け加え、「整備」を最も重要な選択理由とし、北勢線の利便性に対して便利だと感じている人が多いことがわかる。「時間」、「整備」を最も重要な選択理由としていること、かつ、北勢線が便利になったと答えている回答者が多いことから、2.1.3 に記したリニューアル事業の内、車両の高速化、駐車場・駐輪場の設置が評価されていることが考えられる。すなわち、所要時間の短縮や駅前整備により、北勢線は、便利な交通手段として利用されていることが考えられる。

3.3 北勢線への交通手段転換の要因分析

個人属性や利用者実態、利用者意識が、北勢線への利用転換に与える影響を明らかにすることを目的に、数量化理論Ⅱ類を用いて分析する。

目的変数に「北勢線への利用転換（以下、利用転換と表現する）」をとり、継続利用者か北勢線転換者かを判別する。説明変数に、属性として「性別」、「年齢」、「職業」、「運転免許の種類（以下、運転免許と表現する）」、「目的地まで自動車のみで移動できる状況にあったか（以下、条件と表現する）」、利用実態として「目的」、「乗車駅までの交通手段（以下、手段と表現する）」、「乗車駅までの所要時間（以下、所要時間と表現する）」、「乗車駅」、「降車駅」、「目的地」、「利用頻度」、意識として「北勢線の利便性に対する評価（以下、評価と表現する）」と「最も重要とする交通手段選択理由（以下、選択理由と表現する）」を取った。

分析した結果、相関比は0.3176となった。また、的中率は76.3%であった。サンプル数は497である。

上述した目的変数に対して、説明変数のレンジを Fig.6 に示す。

まず、属性、利用実態、意識に説明変数を大別し、この3つを比較する。各枠組みにおけるレンジの平均値の

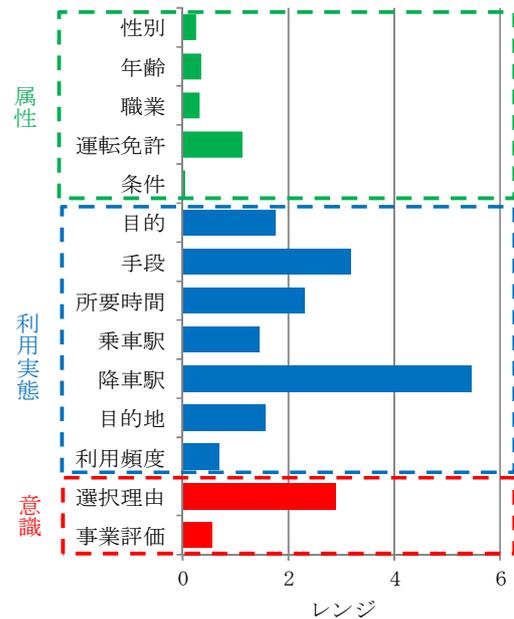


Fig.6 Range of each item

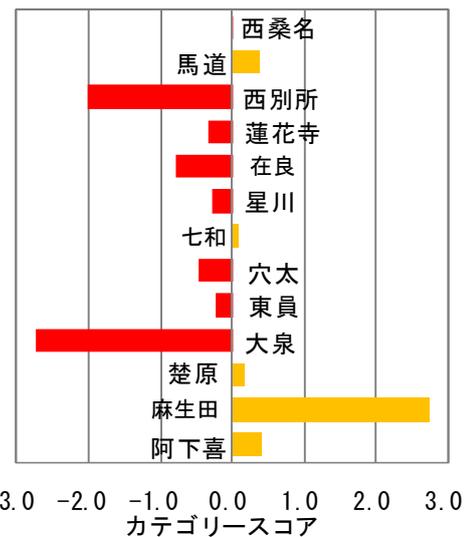


Fig.7 Category score of arrival station

大小関係を捉える。レンジの大小関係は、利用実態 (2.3) > 利用者意識 (1.7) > 属性 (0.4) となっている。このことから、利用実態に関する要因は、北勢線への利用転換に及ぼす影響が大きいといえる。

次に、大別した枠組み内において各説明変数のレンジを捉える。属性を示す説明変数においては、「運転免許」が最も影響が大きい。しかしながら、全説明変数の中で、影響の大きさが上位として挙げられる変数はない。利用実態を示す説明変数においては、「降車駅」が最も影響が大きい。これは全説明変数の中で、最も影響が大きい説明変数である。この他に「手段」、「所要時間」が全説明

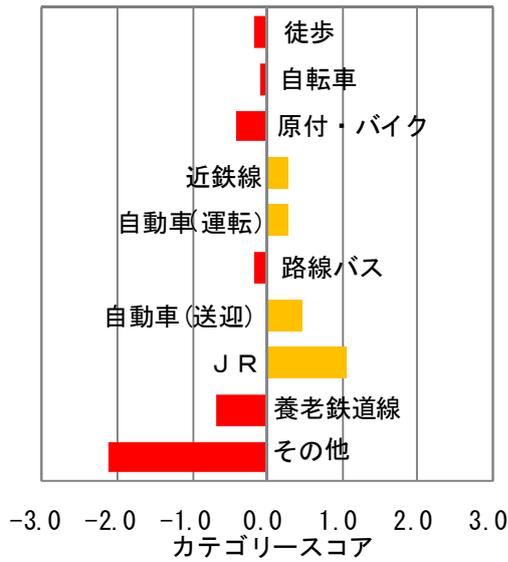


Fig.8 Category score of mode of transportation

変数の中で影響の大きさが上位として挙げられる。利用者意識を示す説明変数においては、「選択理由」が最も影響が大きい。これは全説明変数の中で、3番目に影響が大きい。

レンジの大きい上位3つの説明変数を降順に示すと、「降車駅」、「手段」、「選択理由」となる。そこで、「降車駅」、「手段」、「選択理由」に着目し、各説明変数のカテゴリースコアから、転換者の特徴を捉える。

Fig.7に「降車駅」のカテゴリースコアを、Fig.8に「手段」のカテゴリースコアを、Fig.9に「選択理由」のカテゴリースコアを示す。

転換者と継続利用者のそれぞれのグループ平均より、Fig.7, 8, 9の各項目におけるカテゴリースコアの値が正であるほど転換者、負であるほど継続利用者に判別されることになる。

Fig.7の各値から、転換者であると判別する際に、降車駅が麻生田駅であることが1つの要因になっていることがわかる。一方、継続利用者であると判別する際に、降車駅が大泉駅や西別所駅であることが1つの要因になっていることがわかる。大泉駅は、大泉東駅と長宮駅が統合された駅であり、駅舎整備や行き違い整備の増設、駅前広場の整備、鉄道利用者用の駐車場・駐輪場の整備等のリニューアル事業が実施された。しかし、分析の結果からは、転換者ではなく継続利用者に影響があることがわかる。このことから、大泉駅周辺においては、リニューアル事業による利用促進の効果は、あまりなく、転換者となりうる需要が少ないことが考えられる。

Fig.8の各値から、転換者であると判別する際に、JR線を手段としていることが1つの要因になっていることがわかる。一方、継続利用者は、その他・養老鉄道養老

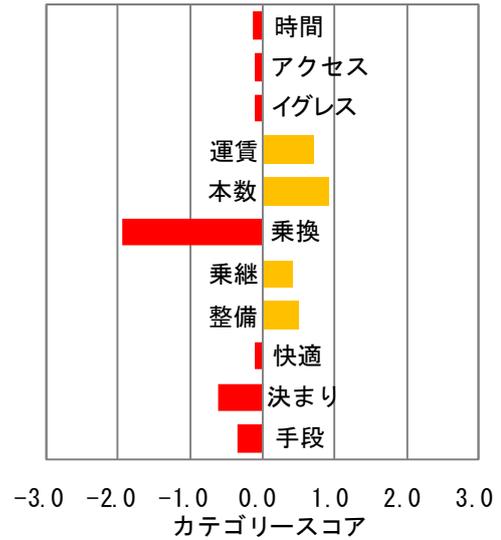


Fig.9 Category score of reason for choosing the mode

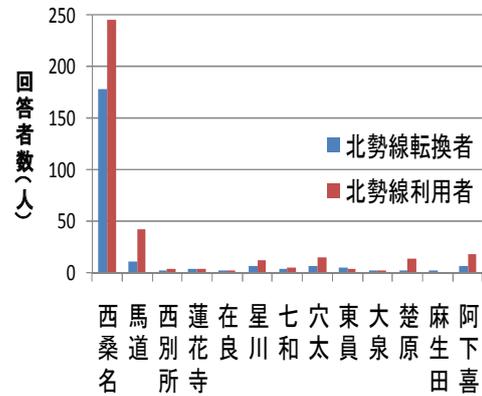


Fig.10 The number of respondents by arrival station

線を手段とし、北勢線を利用していることが1つの要因になっていることがわかる。東海旅客鉄道関西本線との連携をよりスムーズにし、養老鉄道養老線との連携を維持することが、今後も重要であると考えられる。

以上より、東海旅客鉄道関西本線および養老鉄道養老線と乗り換えが可能な西桑名駅での、乗り換えのしやすさが、転換者、利用者の両者における利用促進および維持に効果があると考えられる。

Fig.9の各値から、転換者は、運転本数が多いことや運賃・料金が安いことを理由に北勢線を利用するようになったことがわかる。また、運転本数や運賃に比べると影響は小さいが、駐車場・駐輪場などの整備がされていることを理由に北勢線を利用するようになったと考えられる。このことから、鉄道利用者用の駐車場・駐輪場の設置のリニューアル事業は、利用促進効果があったと考えられる。一方、継続利用者は、乗り換えが少ないことや移動方法が決められていること、他に利用手段がないことを理由に、北勢線を利用していると考えられる。

4. 名古屋市を目的地としたトリップ特性の考察

本節では、北勢線利用者の目的地に着目する。

まず、降車駅について、降車駅別の転換者および利用者数を集計した。集計結果を Fig.10 に示す。

利用者の 71.5%、転換者の 78.4%、継続利用者の 67.2% は、西桑名駅を降車駅としている。これは、降車駅の中でも、西桑名駅で下車する利用者が多いことを示している。西桑名駅で下車する利用者が多い理由として、西桑名駅は、東海旅客鉄道関西本線や近畿日本鉄道名古屋線、養老鉄道養老線との接続駅であることが考えられる。すなわち、西桑名駅を経由して沿線地域外へ向かう利用が多いと考えられる。

次に、Fig.11 の目的地を名古屋市と回答している割合に着目する。利用者の 32.6%、転換者の 38.9%、継続利用者の 28.7%が目的地を名古屋市としており、転換者、継続利用者ともににおいて、目的地として名古屋市の占める割合が高い。榊原¹⁾は、平成3年と平成13年における、東員町・旧員弁町・旧北勢町から名古屋市への交通分担率より、北勢線を利用せずに西桑名駅周辺に車を停め、名古屋市へ向かう Park & Ride の利用が、この10年間で増加していることを示し、名古屋市へ向かうトリップでは、北勢線の利用へとつながっていないと分析している。

しかしながら、上述したように、目的地を名古屋市とする転換者の 38.9%が、北勢線乗車駅から西桑名駅まで北勢線を利用していることから、利用者増加期においては、名古屋市を目的地とする利用者のトリップ特性が変化したと思われる。それに加え、手段選択の最も重要な理由と北勢線の利便性に対する評価を見た場合、鉄道利用者用の駐車場・駐輪場の設置のリニューアル事業が評価されていることから、西桑名駅周辺以外における鉄道利用者用の駐車場・駐輪場の設置により利用が伸びていることがわかる。すなわち、鉄道利用者用の駐車場・駐輪場の設置により駅勢圏が広がったことが、利用者の増加につながっていると思われる。

5. おわりに

本研究では、平成15年4月の運営移管後、輸送人員数が増加傾向にある三岐鉄道北勢線を取り上げ、利用が増えた人々の特徴を把握することを目的に、リニューアル事業に対する券種別利用者の評価を分析するとともに、北勢線への利用に対して影響の大きい要因について、転換者・継続利用者別に分析した。

その結果、定期券利用の有無にかかわらず、目的地ま

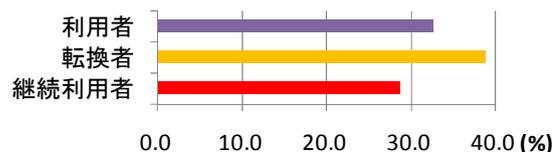


Fig.11 Share of respondents whose destination is Nagoya City

での移動時間が短いこと、自宅から乗車駅までが近いこと、運賃・料金が安いことを理由とした北勢線の利用が多いことがわかった。定期券による利用者においては、他に手段がないことを理由とした利用が多いことがわかったが、北勢線を便利な交通手段として利用していることもわかった。一方、定期券以外による利用者においては、駅前整備を高く評価し、北勢線を新たに利用していることがわかった。

利用者の属性においては、北勢線への利用転換の要因として、明確なものは得られなかった。一方、利用者の意識においては、北勢線の運転本数が多いことや運賃・料金が安いこと、駐車場・駐輪場などの整備ができていることを理由に、北勢線を利用するようになったことがわかった。このことから、近年に実施されたリニューアル事業の内、特に、鉄道利用者用の駐車場・駐輪場の設置が利用促進へと効果があったと考えられる。利用実態においては、継続利用の要因として、「降車駅」が大泉駅、西別所駅、「手段」がその他であることがわかった。いくつかのリニューアル事業が実施された大泉駅においては、今後、継続利用者が減らないような取組みが重要になってくると考えられる。

今後の課題としては、分析精度を上げる説明変数の選択が必要である。また、基礎調査の回答者全体において非利用者の割合が 52.4%と高いため、今後においては、この層に着目した利用促進を考える必要があると思われる。さらに、利用者における調査では捉えきれない沿線住民の意識の把握が必要である。

謝辞

本研究では、北勢線対策室より基礎調査におけるデータを借用した。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 榊原充輝, 松本幸正, 鈴木温: 三岐鉄道北勢線沿線地域における鉄道利用者減少期のトリップ特性の分析, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, Vol.14, pp.495-498, 2007.
- 2) 北勢線対策推進協議会: 三岐鉄道北勢線需要予測報告書, 2008.

(原稿受理日 平成22年9月30日)

中川運河における暑熱環境の緩和効果に関する現地観測

鈴木宏佳¹⁾ 前田知洋²⁾ 堀島健司²⁾ 原田守博³⁾

Field Investigations for Reduction Effect of Heat-Island Phenomena in the Nakagawa River

Hiro Yoshi SUZUKI¹⁾, Tomohiro MAEDA²⁾, Kenji HORISIMA²⁾ and Morihiro HARADA³⁾

Abstract

In recent years, the heat island phenomena in an urban area have become serious by increase of artificial heat exhaust and change of land use due to urbanization. The water area such as river and canal are expected to be preserved for mitigation of the heat island. However, the air cooling effect and mechanism in the water area have not been verified precisely. In this research, micro-meteorological observations are carried out on the Nakagawa Canal in the city of Nagoya to evaluate the radiation and heat balance and thermal storage capacity of the water body. In addition, the wind velocity and direction are observed at many points along the canal. According to the field observation results, it is shown that the Nakagawa canal has the cooling effects of air temperature.

1. はじめに

近年、都市域の気温が郊外に比べて高くなるヒートアイランド現象が深刻化している¹⁾。とくに名古屋市は、1961～2000年の気温上昇が0.37℃/10年と全国平均の0.20℃/10年を大きく上回っており、大都市の中で最も暑熱化が進行している地域である。

ヒートアイランド現象の要因としては、まず市街地の拡大に伴う土地利用の変化とエアコンや自動車等からの人工排熱の増大が挙げられる。このほか、コンクリートによる建築物や道路のアスファルト舗装、高層ビルの増加等も大きな要因である。こうした都市の暑熱化の緩和対策として、壁面緑化やドライミスト、保水性舗装、高反射塗料、遮熱フィルムなどの最新の環境技術やアイデアが検討されてきている。しかし、局所的な対策だけでなく、都市全体の広域的な暑熱化を抑えるには、主たる要因となっている土地利用変化に対応して、緑化の推進や水面域の保全が重要である。名古屋市の場合、緑地を含む都市公園が点在しているが、さらに緑地域を拡大することが求められている。しかし、土地の制約からそれは容易なことではない。

一方、都市河川などの水面域は、次のような大気を冷却する効果をもつと期待されている。すなわち、

- ① 水温と気温との差による顕熱の効果
- ② 水面からの蒸発に伴う潜熱の効果

③ 水塊としての貯熱の効果

④ 冷涼な海風による“風の道”の効果

などである。名古屋市内に流れる河川としては、堀川・新堀川・山崎川・中川運河などが挙げられるが、中川運河以外はいずれも幅が狭く、ビル群に囲まれた小河川に過ぎない。これに対して中川運河は名古屋市の中心部に南北に貫いており、水面幅が広く低層建物に囲まれていることから、水塊としての熱的效果や“風の道”による大気冷却効果が期待されている。こうした中川運河のもつヒートアイランド緩和効果を評価するためには、運河周辺において気温や風などの気象項目をはじめとして、日射や反射などの放射量や水温の測定など、さまざまな現地観測を行う必要がある。

都市河川における暑熱環境緩和効果に関する調査は全国各地で行われてきている。河川に沿った気温や風についての観測としては、広島²⁾の太田川²⁾、東京³⁾の荒川³⁾・目黒川⁴⁾、名古屋⁵⁾の堀川・新堀川⁵⁾などがある。さらに河川周辺での放射収支・熱収支を含めた微気象観測としては、東京⁶⁾の隅田川⁶⁾や荒川⁷⁾での報告がある。本研究では、これらの既往の研究を踏まえ、中川運河全域を対象に、運河に沿った各所で詳細な現地観測を実施した。

2. 観測の概要

中川運河は、Fig. 1 に示すように、名古屋港から名古屋

1) 大学院理工学研究科修士2年 2) 建設システム工学科4年 3) 建設システム工学科

1) Student of Graduate School of Science and Technology 2) Undergraduate Student of Civil Engineering 3) Department of Civil Engineering

屋駅南部にかけて市街地を南北に貫く全長約 8.4km の水域である。水面幅が 60~80m と比較的広く、運河周辺には倉庫などの高い構造物などが少ないことから、名古屋港からの風が吹き抜けやすい地理的特徴となっている。また、水深が 2~3m と深く、水塊として大きな容積をもつことから、日射などを貯熱する効果も期待される。こうした中川運河の気候冷却効果を定量的に評価することを目的に、Fig. 1 に示す各地点において、つぎの 4 項目に関する現地調査を行った。

- (1) 運河水面と陸面における放射収支・熱収支観測
- (2) 水中貯熱量の評価のための水温観測
- (3) 運河から周辺市街地にかけての気温分布の観測
- (4) “風の道”の実態を評価するための風向風速観測

本論文では、これらの観測から得られた結果を報告し、中川運河の存在価値について考察するものである。

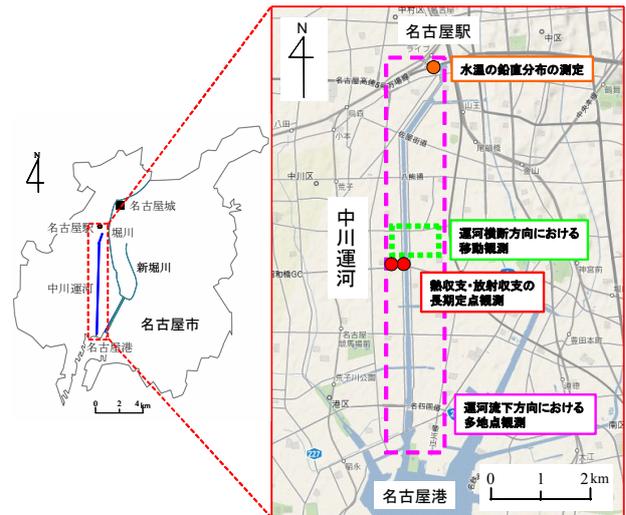


Fig. 1 中川運河における各種の観測地点の配置

3. 中川運河における放射収支・熱収支の定点観測

3.1 観測方法

中川運河中流域において、微気象と放射収支・熱収支に関する現地観測を実施した。観測では、Fig. 2 に示すような総合気象観測計を 2 台使用して、中川運河の水域と市街地の陸域で同時観測を行った。この観測計はセパレート型風向・風速計 (Young 社製)、自然通風型気温・湿度計 (DeltaOHM 社製)、長短波放射計 (Kipp & Zonen 社製 CNR1)、水面および陸面の温度計 (FieldPro 社製 Pt100 温度センサー) から成っており、長期観測が可能な太陽電池パネルを搭載している。設置地点として、運河側岸部の水面 (Photo 1 (a)) と、運河から内陸に約 100m に入ったアスファルト舗装面 (同 (b)) を選定した。水面では長短波放射計を護岸から運河へアームを用いて 60cm 突き出している。放射計の設置高さは水面・陸面ともに面上 1.5m とした。その他の機器の設置高さは、風向・風速計 2.0m、気温・湿度計 1.8m である。測定は 1 分間隔とし、10 分間毎の平均値をデータロガーに収録した。

観測は 2009 年 7 月~8 月に行われた。この期間には快晴日が 4 日間あり、その一例として 8 月 17 日における気温、水面と陸面の表面温度を Fig. 3 に示す。図を見ると、水面温度が比較的安定しているのに対して、陸面温度は日中に 60℃ 近くに達しており、変化幅が大きい。また、気温を見ると、陸面・水面ともに日が照り始める 6 時ごろ上昇するが、その上昇の程度は陸面の方が大きく、陸面の最高温度は水面のそれよりも 2℃ 程度高くなっている。また、日中の水面において気温は水温を上回っているが、夜間から明け方には気温は 30℃ 以下となり、水温との逆転が見られる。

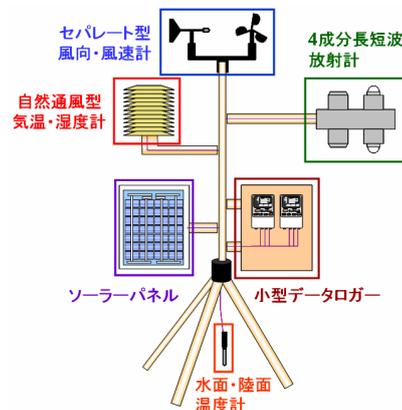


Fig. 2 総合気象観測計の模式図



(a) 水面 (b) 陸面

Photo 1 総合気象観測計の設置風景

3.2 水面と陸面における放射収支

放射収支に関する観測結果の一例として、8 月 17 日 0 時~24 時に測定された放射量の変化を Fig. 4 に示す。10 時と 16 時に日射データに欠損が見られるが、これは電柱の影による影響である。

Fig. 4 の放射観測データを次の放射収支式に代入して正味放射量 R_n を求めた。

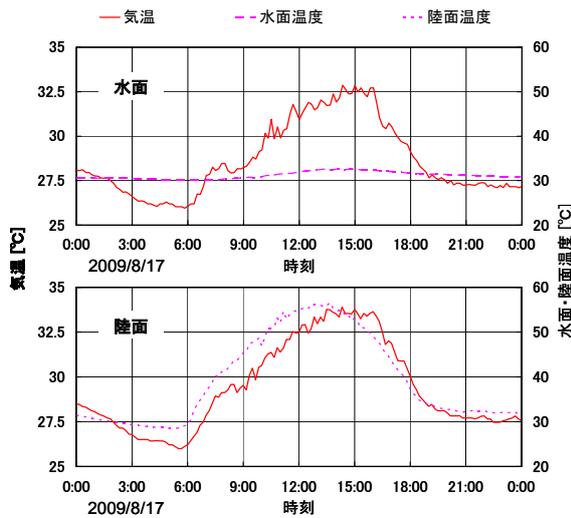


Fig. 3 気温と水面・陸面温度の時間変化

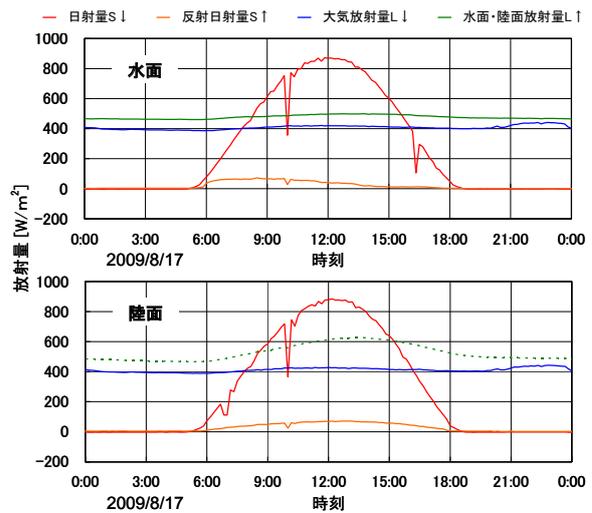


Fig. 4 水面と陸面における放射量の時間変化

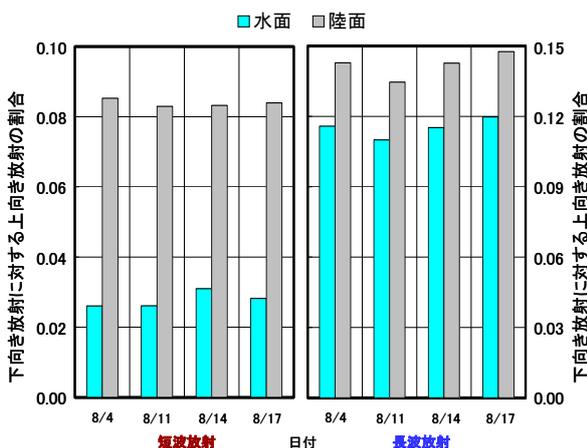


Fig. 5 下向き放射に対する上向き放射の割合 (13~15 時)

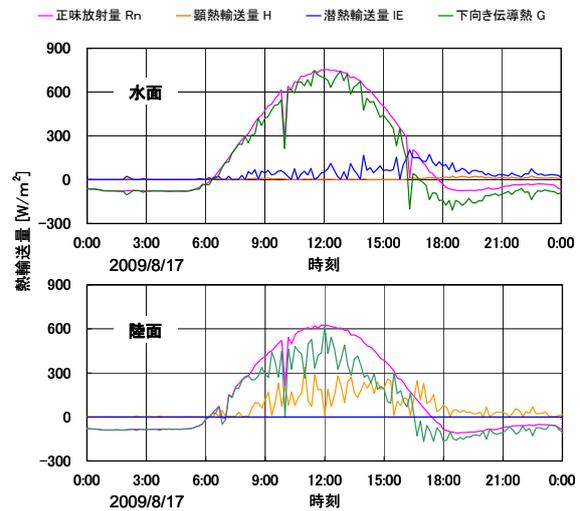


Fig. 6 水面と陸面における熱輸送量の時間変化

$$R_n = S^\downarrow - S^\uparrow + L^\downarrow - L^\uparrow \quad (1)$$

ここに、 R_n : 正味放射量, S^\downarrow : 日射量, S^\uparrow : 反射日射量, L^\downarrow : 大気放射量, L^\uparrow : 地表放射量, 単位は $[W/m^2]$ である。Fig. 5 は、日中の 13~15 時について、短波放射 S と長波放射 L について下向き放射量に対する上向き放射量の割合を示したものである。図より、短波放射の割合すなわち反射率(アルベド)は、水面の方が陸面よりも値が小さくなっており、水面での日射の反射率は陸面の約 1/3 であることが分かる。一方、長波放射の割合を見ると、水面では陸面の約 4/5 となっており、表面温度が高い陸面の方が多くの熱を放出し、逆に表面温度の低い水面は熱の放出を抑えていることが分かる。

3.3 水面と陸面における熱収支

微気象観測結果に基づき、熱収支について検討する。

水面および陸面における熱収支式は、側方の流入・流出熱量を無視すると次式となる。

$$R_n = H + IE + G \quad (2)$$

ここに、 H : 顕熱輸送量, IE : 潜熱輸送量, G : 地中または水中への伝導熱である。熱収支を求めるにあたり、顕熱輸送量 H と潜熱輸送量 IE はバルク式によって算出した。下向き伝導熱 G については R_n の測定値に H と IE の算出値を考慮して式(2)から逆算した。各項の算定結果を Fig. 6 に併せて示す。この図より、同じ日射の下でも水面と陸面では各熱輸送量の大きさに相違が見られる。

水面と陸面の熱収支の違いを一般的に議論するために、観測期間における快晴日 4 日間について熱輸送量の割合について検討する。Fig. 7 は、式(2)左辺の正味放射量に対する右辺の各熱輸送量の割合を、気温が最高となる 13~15 時を対象に水面と陸面で比較したものである。この図より、快晴日であれば、各日とも類似の熱収支状

況となっていることが分かる。4つの熱輸送量をこれら4日間について平均したものをFig. 8に模式的に示す。この図から、顕熱輸送量 H は水面において僅かながら負の値を示すのに対し、陸面では大きな正の値となっている。すなわち、水面は大気を冷やす傾向にあるのに対して、陸面は顕熱によって大気を暖めている。また、潜熱輸送量 IE は水面で一定の値をもつのに対して、陸面では蒸発が無いためゼロとなっている。さらに、下向き伝導熱 G は、水面では陸面に比べて2倍近く大きくなっている。このことは、水域の方が陸域に比べて熱容量が大きく、貯熱効果が高いことに起因すると考えられる。

4. 中川運河における水塊としての貯熱効果の評価

4.1 観測方法

中川運河の水塊としての貯熱効果を検討するため、水温分布を測定した。中川運河は河口部に防潮水門を備えているが、水門を一時的に開けることにより、一日平均7万トンの海水が取入れられ、上流部で堀川へポンプ排水されている。観測は、2010年8月27日～9月7日に行われ、運河上流端の舟泊まりにおいて水温の鉛直分布を測定した。使用した機器は、ロガー内蔵式水温センサー(Onset社製 HOBO ウォーターテンププロ)である。観測地点はFig. 9に示すように水深2.5m、水温センサーを9深度に設置した。測定間隔は1分とし、1時間平均値を算出した。

4.2 中川運河における水温の鉛直分布

運河上流端における水温分布の測定結果をFig. 10に示す。図のように、日中12～16時では浅い地点ほど日射によって高温となっているが、日没後は水温が鉛直方向に均一化されて、水深1.8m付近までは一様な分布に変化している様子が読み取れる。また、水深1.8m以深では、水温は1日を通じて安定していることが分かる。運河中流域における高木ら⁸⁾の観測においても、2.0m以深では水温が終日安定していることが報告されている。

つぎに、水温分布の測定結果に基づいて水中貯熱量を求める。前述したように、水温センサーは9深度に設置されているので、水塊をセンサーに挟まれた8つの層に分割し、各水深の水温 T から次式を用いて S_w を算出する。

$$S_w = c\rho \sum_{i=1}^8 \Delta z_i \bar{T}_i \quad (3)$$

ここに、 S_w ：水中貯熱量[J/m²]、 $c\rho$ ：水の熱容量(=4.18×10⁶) [J/m³K]、 Δz_i ：各層の層厚[m]、 \bar{T}_i ：各層の平均水温[K]である。水中貯熱量の算定結果とこの日の日射

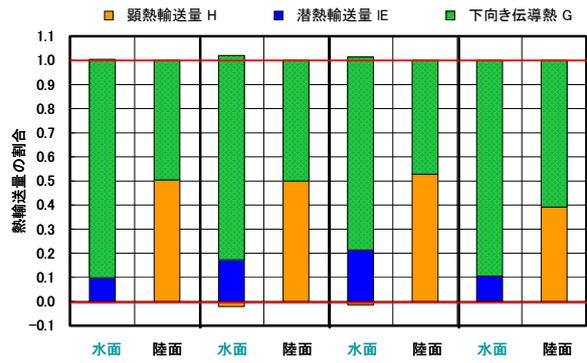
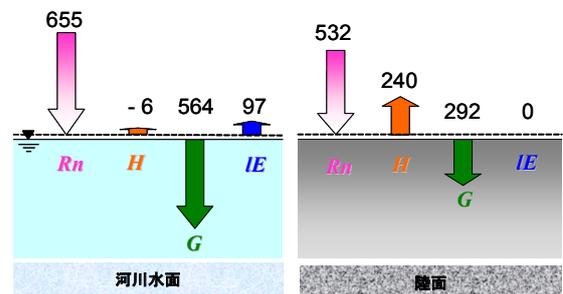


Fig. 7 熱収支式(2)における各項の割合(13～15時)



※ 数値の単位は[W/m²].

Fig. 8 水面と陸面における各熱輸送量の比較

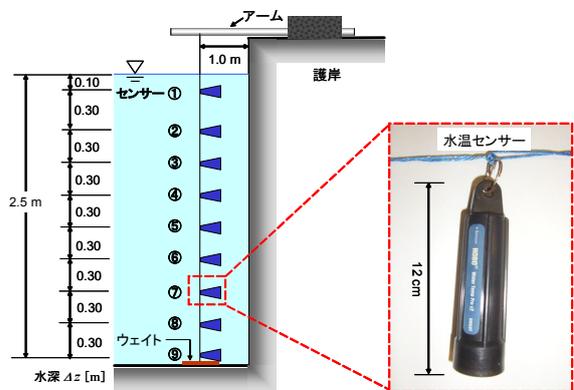


Fig. 9 水温センサーの設置状況

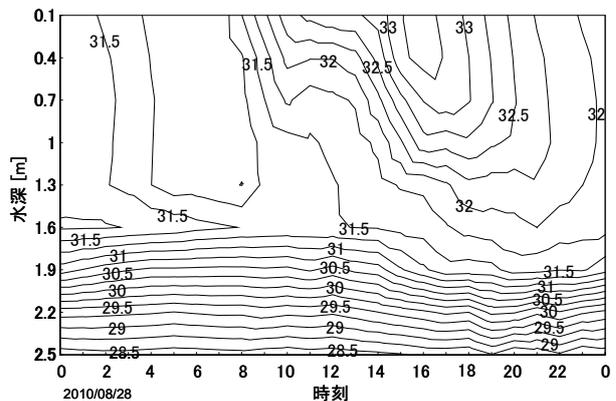


Fig. 10 運河上流端における水温分布の時間変化

量の積算値との関係を Fig. 11 に示す. この図より, 両者ともに 6 時頃から上昇を始め, 18 時前後に最大となる. また, 6~18 時の水中貯熱量の変化量は最大で $1.06 \times 10^7 \text{J/m}^2$ に達しており, これは 18 時までの全天日射量の 53% に相当する熱量である. このことから, 広大な水面域をもつ中川運河は, 多くの熱を水塊に貯めていることがわかる.

5. 運河が周辺市街地の気温へ及ぼす影響

5.1 観測方法

中川運河の存在によって周囲の市街地の気温分布がどのような影響を受けているかを把握するため, 運河を横断する東西方向について気温の移動観測を行った. 測線は, Fig. 12 に示すように, 運河中流域の蜷橋と中野橋付近に設定した. このほか, 橋梁中央において風向・風速, 気温・湿度に関する定点観測も行った.

使用した機器は, 移動観測では, 気温・湿度センサー (T&D 社製 TR71・TR72, Photo 2 (a)) であり, 1 秒間隔でデータを収録した. Photo 3 に示すように, 測定機器を自転車に取り付け, 測定地点間を速やかに移動するとともに, 測定地点ではセンサーの応答時間を考慮して 2 分間停止した. 定点観測地点では, 風向・風速・気温・湿度・気圧等が測定できる可搬型気象観測計 (Nielsen-Kellerman 社製 Kestrel4500, Photo 2 (b)) を使用した. 観測は 2010 年 8 月に, 明け方に 2 回, 日中に 8 回, 測定の開始時刻と終了時刻を統一して実施した.

5.2 観測結果

運河中央から市街地にかけての気温の観測結果を Fig. 13 に示す. まず日中での観測結果について考察する. 観測日は気温が 30°C を超える真夏日であり, 市街地において高い気温が測られている. しかし, 運河中央および運河近傍の気温は内陸部より $2\sim 3^\circ\text{C}$ 低い値となっている. 図(a)を詳しく見ると, 運河から離れるにつれて気温が上昇し, 一定値となっている. ここでは, この変化傾向を次の回帰式を用いて表現することにする.

$$T = (T_2 - T_1)(1 - e^{-\frac{x}{k}}) + T_1 \quad (4)$$

ここに, T : 気温 [$^\circ\text{C}$], T_1 : 運河近傍の気温 [$^\circ\text{C}$], T_2 : 内陸部の気温 [$^\circ\text{C}$], x : 移動距離 [m], k : 運河から市街地への気温変化に関わる係数 [m^{-1}] である. 上式を観測値に当てはめたところ, k の値として約 50 m^{-1} が得られた. 図から分かるように, 運河の存在が市街地の気温に影響を及ぼす範囲は約 150m 程度であり, これは運河の水面による冷気が市街地へ滲み出ているものと考えられる.

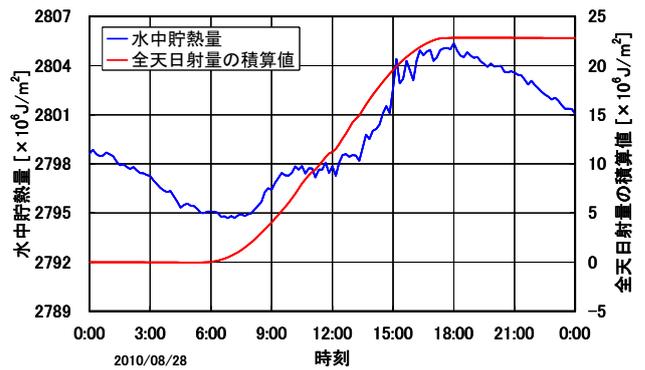


Fig. 11 水中貯熱量と日射量の積算値の時間変化

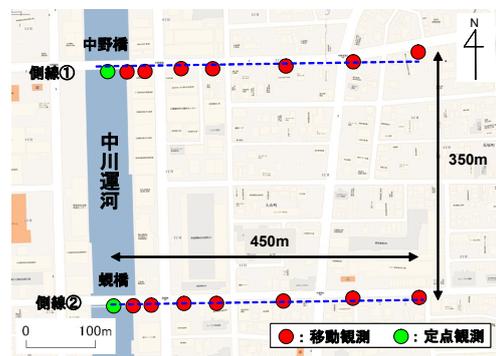
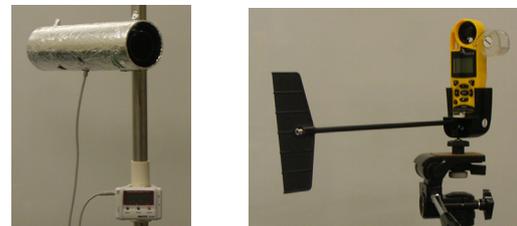


Fig. 12 気温観測地点の配置



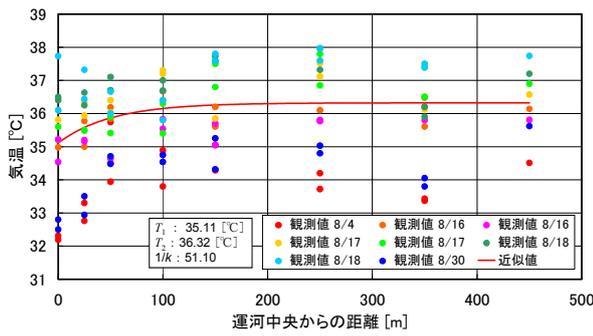
(a) 気温・湿度センサー (b) 可搬型気象計

Photo 2 観測に使用した機器

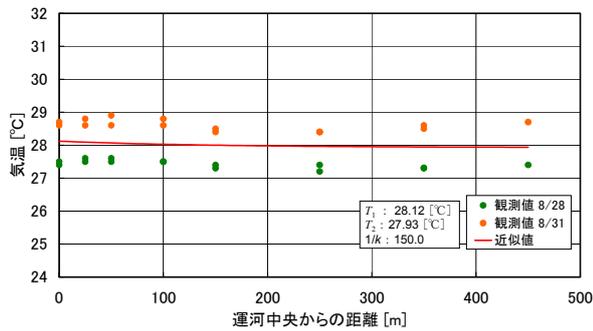


Photo 3 センサーを装備した移動観測用自転車

一方, 明け方の観測では, 運河周辺と内陸部の気温差はあまり見られない. つまり, 水面と陸面における地表面温度に差がないことを意味する. これは, 水面域である運河と陸域の市街地では熱容量が異なることにより,



(a) 日中における気温分布



(b) 明け方における気温分布

Fig. 13 運河から周辺市街地にかけての気温測定結果

日中に温められた陸面温度が夜間に大きく低下し、水面温度はあまり下がらないため、水面と陸面の温度が同程度となったものと考えられる。

6. 中川運河における海陸風の実態

6.1 観測方法

中川運河は、前述のように水面幅が広く周囲の建物が低層であるため、風が通り抜けやすい形状となっている。そこで、中川運河付近の風の実態について、鉛直方向および運河に沿った方向の詳細な観測を行った。

風の鉛直分布の観測は、Fig. 14 に示す中流域右岸に位置する鉄塔（火の見櫓、高さ 18m）に前述の可搬型気象観測計 Kestrel4500 を 8 台設置して同時観測を行った。観測風景を Photo 4 に示す。観測期間は 2010 年 6 月 16 日～17 日、6 月 30 日～7 月 1 日であり、記録間隔を 1 分とした。

つぎに、運河に沿った風の観測では、Fig. 14 の 6 地点に可搬型気象観測計を設置し、長期間にわたる同時観測を行った。機器の設置地点については、運河の側岸部の場合、周囲の建物や樹木の影響を受けることが考えられるので、水管橋などを活用して運河中央で観測することに努めた。水管橋での観測風景を Photo 5 に示す。観測



Fig. 14 観測対象地域および観測地点



Photo 4 火の見櫓の外観 Photo 5 観測風景の一例

期間は 2010 年 8 月 18 日～23 日であり、記録間隔を 5 分とした。

6.2 風の鉛直方向の分布

風速の鉛直分布に関する観測結果の一例を Fig. 15 に示す。この図は、各高度で測定された水平風速を 1 時間平均したものである。風速は地上で弱く、高度が上がるにつれて次第に強くなっていくことがわかる。一般に風速の鉛直分布は、対数関数を用いた次式で表現されることが多い。

$$U = \frac{u_*}{\kappa} \log \frac{z}{z_0} \quad (5)$$

ここに、 U : 時間平均風速[m/s], z : 地上からの高さ[m], u_* : 摩擦風速[m/s], κ : カルマン係数 (=0.4), z_0 : 粗度

高度[m]である。観測値に上式を当てはめた結果を Fig. 15 に併記した。図からわかるように、分布曲線は観測値とよく適合しており、風速の対数分布則の有効性が確認された。この結果は、中川運河周辺の3次元的な風の流れを考える上で有益な情報となる。

6.3 運河沿った風向・風速

中川運河に沿った6地点において2010年8月21日に観測された風向風速を Fig. 16 に示す。図中のベクトルは、長さで風速を、傾きで風下の方向を示している。図から分かるように、全地点において日中の風向は南寄りであり、夜間に北寄りの風が吹いているが、運河の上流・下流といった流下方向の変動は認められない。測定値には地点ごとにはばらつきが認められるので、以下では全地点についての平均を取って議論を進める。

Fig. 17 は、各地点での風向について1時間ごとに平均値を求め、それらを6地点で平均して、東西を軸とした角度で表したものである。角度の平均についてはベクトル合算法を用いている。図において、 $+90^\circ$ は南風、 -90° は北風を表す。中川運河は名古屋港から南北に伸びていることから、南風は運河に沿った海風、北風は運河上流からの陸風であることを意味する。図を見ると、風向は午前10時から午後・夜間を通じて明け方5時頃までは南寄りの風、早朝においては北寄りの風が吹いており、それぞれ海風と陸風が発生していることが確認できる。

Fig. 18 は、各地点での時間平均風速を6地点で平均した値を表したものである。風速は明け方6時から増加し始め、日中18時に最大となったのち夜間にかけて減少している。明け方の弱い風は、Fig. 17 より運河上流からの陸風に相当しているが、その風速は日中の海風に比べてはるかに小さい。

今回実施した運河中央における風の多地点観測により、中川運河では、よく晴れた夏の日において、午後と比較的強い海風が、未明から早朝にかけて弱い陸風が発生しており、明らかな海陸風の存在が確認された。

7. おわりに

本研究では、中川運河のもつ暑熱環境の緩和効果を定量的に評価するため、運河に沿った各所で現地観測を実施した。得られた知見は以下の通りである。

(1) 運河中流域において放射収支・熱収支観測を実施した。顕熱・潜熱・伝導熱について検討したところ、水面では、顕熱は負の値、潜熱は一定の値、伝導熱は陸面と比較して2倍近く大きい値であった。このことから、中川運河の水面は陸面に比べて、大気を冷やす効果がある

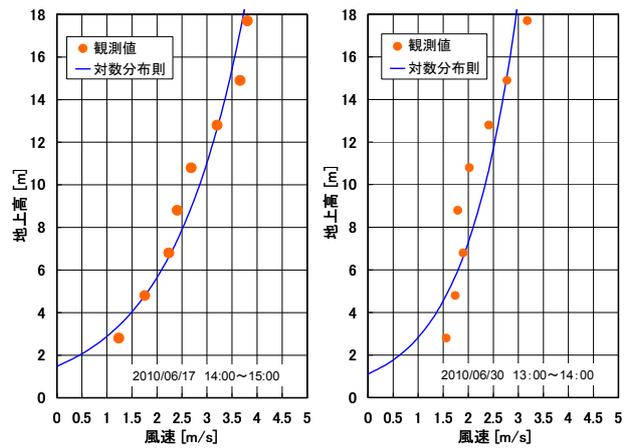


Fig. 15 風速の鉛直分布の一例

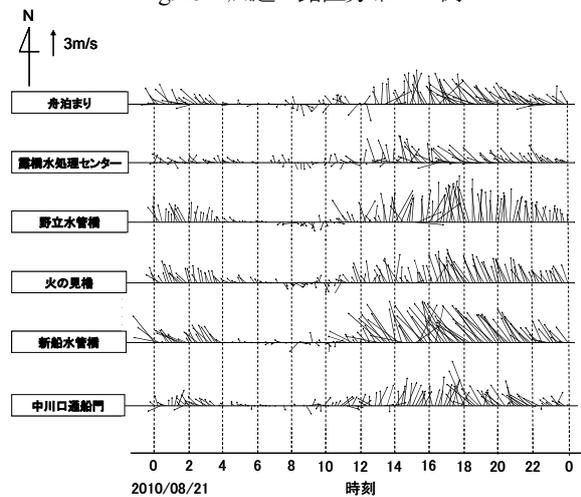


Fig. 16 各地点における風向風速ベクトル

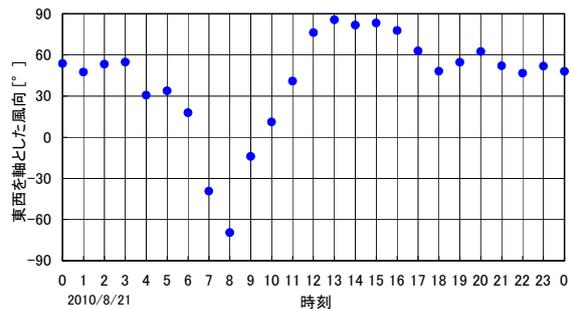


Fig. 17 6地点の平均風向

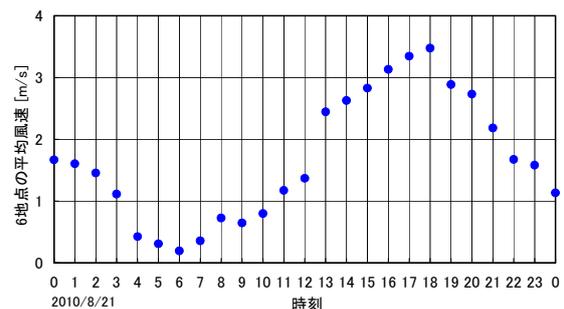


Fig. 18 6地点の平均風速

ことが明らかとなった。

(2) 運河の水塊としての貯熱効果を検討するため、水温観測を実施した。その結果、水塊の貯熱量は日射量の約半分の熱量に相当することがわかった。このことは、広大な水面と深い水深をもつ中川運河は、水塊として多くの熱を貯め込むことを示している。

(3) 運河の存在が周辺市街地の気温へ及ぼす影響について検討するため、運河横断方向における気温の移動観測を行った。その結果、運河からある一定の範囲では気温の低下が見られ、その距離は運河から約 150m という結果が得られた。このことから、運河の水面による冷気が市街地へ滲み出ていることが示唆された。

(4) 運河周辺における風の実態を明らかにするため、鉛直方向と運河に沿った方向について、風向・風速の詳細な観測を実施した。それにより、風速の鉛直分布は対数則に従っていることが確認された。また、快晴日には運河に沿って海陸風が発生しており、日中、冷涼な海風が吹き抜けていることが明らかとなった。

以上より、名古屋市内に広大な水面をもつ中川運河は、暑熱環境の緩和に一定の役割を果たしていると推察される。今後もこうした貴重な水域を保全するとともに、河川周辺地域では風を取り込むような都市計画を進めていくことが重要である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、名古屋市住宅都市局、上下水道局、消防局ならびに名古屋港管理組合に多大なる協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：平成 12 年度ヒートアイランド現象の実体解析と対策のあり方についての報告書，pp.23-39，2001。
- 2) 村川三郎，関根毅，成田健一，西名大作：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，Vol.393，pp.25-34，1988。
- 3) 加藤拓磨，土屋修一，渡邊暁人，蛭原雅之，前村良雄，森久保司，山田正：河川の気候冷却作用による熱環境緩和効果，水文・水資源学会研究発表会要旨集，pp.38-39，2007。
- 4) 成田健一，鍵屋浩司：東京臨海・都心部におけるヒートアイランド現象の実測調査と数値計算（その 9）目黒川・大崎周辺の実測調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.507-508，2006。
- 5) 橋本剛，船橋恭子，堀越哲美：海風の運河遡上による

都市暑熱環境の緩和効果—名古屋市の堀川及び新堀川における事例—，日本建築学会計画系論文集，Vol.545，pp.65-70，2001。

- 6) 成田健一，植村明子，三坂育正：都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究—隅田川における熱収支と周辺影響の検討—，日本建築学会計画系論文集，Vol.545，pp.71-78，2001。
- 7) 武若聡，池田駿介，平山孝浩，萱場祐一，財津知亨：都市内河川による大気冷却効果—都市内河川内外の夏期の熱環境および気象観測—，土木学会論文集，No.479/II-25，pp.11-20，1993。
- 8) 原田守博，高木智之，鈴木宏佳，手嶋健治：都市河川における河川水面と陸面の熱収支比較と暑熱環境の緩和効果，水工学論文集，vol.54，pp.319-324，2010。

(原稿受理日 平成 22 年 9 月 30 日)

理工談話会開催記録

名城大学理工談話会開催記録 —平成22年度—

理工談話会世話人会

Records of Faculty Seminar (RIKO – DANWA – KAI)

— 2010 Academic Year —

Committee of Faculty Seminar

理工談話会は本学部主催の行事として、昭和47年(1972年)2月にスタートしてから今日まで392回の談話会を開催してきました。この会は学問の急速な進歩、細分化にともなってお互いに見えにくくなった各学問分野の知識交流の場として開設されたものであります。講演者はそれぞれの専門分野の第一線で研究に携わられた国内外の大学、企業の方々と、講演の内容は学部高学年、大学院のレベルから研究者のレベルにわたり、工学・理学の基礎的テーマや専門分野を越えて興味を持たれているテーマについて分かりやすく解説して頂いています。現在は私たち教員の他に学生諸君、他大学や企業の方、一般の方々も多数参加されています。以下に、平成22年度に開催された談話会について報告します。

題 目	講 師	所 属	平成 年・月・日
第383回 次世代映像メディア —自由視点テレビFTV—	谷本正幸	名古屋大学工学研究科 電子情報学専攻 教授	22・7・3

講演要旨：日常、私たちはものを見るとき、見る位置を変えながら色々な視点から観察します。視点を変えれば見え方が異なるからです。視点による見え方の違いを視差と言います。ところが、映像メディアでは、視差が全くありません。それは、これまでの映像メディアがただ一つの視点の映像情報しか伝えていないからです。

これに対して、自由視点テレビFTVは、無限個の視点を持ち、視差を完全に再現できます。FTVでは限られた視点の映像情報を伝達し、これを基にして、伝達されない視点の映像を生成します。私たちはすでに、撮影から生成、表示までをリアルタイムで行うFTVを実現しています。また、MPEGにおいてFTVの国際標準化を進めています。さらにFIFAワールドカップ日本招致委員会は、2022年ワールドカップにおいて、サッカースタジアムの感動をFTVで再現し世界に配信することを計画しています。

本講演では、世界の映像メディアの頂点に立つFTVについて紹介します。

第384回 「携帯電話の今とこれから」	津田 雅之	NTTドコモ 移動機開発部 博士	22・7・3
---------------------	-------	---------------------	--------

講演要旨：i-modeから10年、今、日本の携帯電話を取り巻く環境が大きく変化しようとしている。具体的には、i-phoneやgoogle Android搭載のスマートフォンが急速に普及する中、“ガラパゴス”と揶揄されている、従来の日本の携帯電話とサービスは変革を求められている。携帯電話については、組み込み機器としての役割からコンピュータとしてのオープン性が求められ、キャリア独自のサービスからインターネット上のサービスが受けられることが求められている。

本講演では、スマートフォンと対比を示しながら、現在の携帯電話のソフトウェア構成(OS、ソフトウェア構成、競合制御の仕組み、UI等)や搭載機能を紹介する。また、ガラパゴスとしての課題やスマートフォンのビジネス的な課題などについても紹介する。さらに、今後の通信システムの動向(LTE等)についても紹介する。

第385回 名古屋大学における35年間余 りの研究・教育を振り返って	森 敏彦	前名古屋大学大学院情報科学研究科 教授	22・9・25
---------------------------------------	------	---------------------	---------

講演要旨：1974～2010年の間、助手から教授の間に行なってきた教育・研究を振り返り、研究の指針、例えば、“研究

のための研究を学生にやらせるな。”“自分に興味を持った研究こそやりがいがある。”および教育の指針“知識の切り売りはするな。”“学生の創造性を引き出す”と言った経験について述べる。さらに、研究を進めていく際に重要となった事柄、例えば、“多くの人とのつながり”を具体例について述べる。また、講師の研究の略歴（塑性加工、成膜の工学研究、複雑系科学の情報科学）について述べる。最後に今後重要になってくるとされる研究について私見を述べる。

第 386 回 “トライボロジーの授業改善と初等教育への普及” 野口 昭 治 東京理科大学 教授 22・10・2

講演要旨：トライボロジーとは、摩擦・摩耗・潤滑の総合的な科学と技術で定義されており、用語が作られて 50 年以上経過しているが、一般的には普及していない。機械工学の分野においては、機械システムを円滑に稼働させる上で、トライボロジーは非常に重要であるが、高校までの理科や物理では、摩擦はよくて一定、時には無視するような教育が行われている。大学においてもトライボロジーを専門にしている教員がいなければ講義は行われず、高校までの知識で社会（製造業）へ出てしまうことになる。

摩擦、摩耗、潤滑という個々に対しては、日常でも使われているが、それぞれが独立している訳ではなく、摩擦や摩耗を減らすために潤滑する等相互に関係している。同じ材料を摩擦しても条件によって摩擦係数が異なることは、トライボロジーの世界では常識であるが、一般的に理解されているかは相当疑問である。そこで、大学の講義においても座学だけでなく、実験を取り入れて、データで示した方が理解が深まると考えて、実験を併用したトライボロジーの講義を行っている。今回は、最初に実験を取り入れたトライボロジー講義の概要とアンケートによる効果について紹介する。

また、トライボロジーという用語が作られて 50 年以上経過しているにもかかわらず、普及していないのは初等教育で使われていないからであると考えた。東京理科大学理工学部がある野田市は大学との連携教育を行っており、小学校で出張授業をする機会を得たので、トライボロジーを対象とした出張授業（3 年生と 5 年生）を行った。後半は、小学校で行った授業の内容を紹介する。

第 387 回 ガウス・ボンネの定理と曲面上の特異点 梅原 雅 顕 大阪大学・大学院理学研究科 教授 22・10・16

講演要旨：古典的な 3 次元 Euclid 空間のガウス・ボンネの定理を、閉曲面が波面としての特異点を許す場合に拡張します。すると古典的なテーマであるにもかかわらず、曲面のガウス写像の特異点の情報と、曲面のガウス写像が負の領域の幾何学的な情報との間の関係が得られるなど、以外な視点が見えてきます。本講演では、パソコンによるグラフィックスを用いて、特異点をもつ閉局面の幾何とトポロジーについてお話します。

第 388 回 「建築をめざすみなさんへ ー学生・アトリエ事務所・大学教員の経験をとおしてー」 高橋 晶 子 建築家 武蔵野美術大学 造形学部建築学科 教授 22・10・30

講演要旨：現在私達をとりまく社会と生活は非常に早いスピードで変化しています。一世代違くとそれだけで生まれ育った環境も大きく異なり、それによって求めることも違ってきています。建築を考える上でのテーマや建築分野に求められることも同様です。計画論を例にとれば、いかに効率よく合理的に性能のいいものを生産し産業に繋げるかの時代から、現在は大量にあるストックを活かし、どう新たな枠組みをつくっていくかが問われています。

又、現在は個人をベースにした建築（ハード）と生活サービス（ソフト）が発達し、一部では過剰に空間が遮断され人同士の関係がなくなっています。これから社会にでるような世代の人たちは、最初から「途切れている」ことから始まっているので、むしろつながりたい願望が強く、時間、言い換えれば歴史を紡ぎたい願望が強いのではないのでしょうか。

ばらばらに切れすぎてしまった空間や人の行為をどのように繋げ関係性を再構築していくのかという点と、めまぐるしいスピードで変化する社会に対して目先の対応に終わらずどんな建築をつくっていけばよいのかという点を、今後とも考えていきたいです。

講演では、主としてこのような観点から、自分自身が設計の実践を通じて直面したこと、考えたことを具体的にお話していこう予定です。

第 389 回 地球温暖化は環境問題か？ 武田 邦彦 中部大学 総合工学研究所 22・11・27
教授

講演要旨：「地球温暖化」が「環境問題」であることを日本人は疑っていない。

でも、なぜ優先すべき環境問題なのだろうか？「優先すべき環境問題」になるためには、餓死（毎年 1500 万人）、大規模自然災害などに比較して格段に大きな被害が予想されることが前提だが、温暖化は「被害より恩恵」の方が大きいかもしれない。

本来、日本語には「冷害」という言葉はあるが、「温害」という言葉はなく、「温暖化」とは良いイメージ、「寒冷化」が悪いとされていた。

それが逆になったが、どのようなプロセスを経て日本では「温暖化の恩恵」が論じられずに、一気に「温暖化の被害」になったのかを自然科学的視点から考える。

第 390 回 「砂防；山腹工から土石流対策、土砂のコントロールそして危機管理へ」 水山高久 京都大学大学院農学研究科 22・12・4
教授

講演要旨：日本における砂防の歴史を踏まえて、土石流・流木対策、最近の流域の総合的な土砂管理、火山噴火や天然ダムなど危機管理型の砂防への変化について概観する。主な内容は以下のとおりです。

- I. はじまり：日本では平安時代にすでに、土砂の流出が起こるので森林の伐採を禁じた文書がある。長い間、森林の伐採など土砂の生産を助長する行為を抑えることが主で、植林、砂防堰堤などによる積極的な砂防は、社会が安定して組織的に行動する余裕ができてからと考えられる。砂防法の発布された明治 30 年では、土砂災害対策ではなく、田畑への土砂流入、扇状地河川の氾濫、下流河道や港湾への土砂堆積の原因としての上流水源地の土砂生産防止が砂防の中身だった。
- II. 山腹工：風化花崗岩の禿山、大規模な崩壊の跡地などの土砂生産源を緑化して土砂生産を抑えようとした。
- III. 扇状地の砂防：禿山の山腹工は、このように緑化の進捗とともに役割を縮小して行くのだが、これと平行して扇状地への土砂流出を砂防堰堤で抑える工法が採用された。
- IV. 流路工（溪流保全工）：上流の砂防工事が進むと扇状地の流路は河床低下し始める。河床高を固定し、護岸を整備して河道を固定することがなされた。
- V. 土石流対策：土石流が直接的に家屋を破壊する災害を防止するものである。平成になって「土石流対策技術指針」が策定されて以降、土石流を砂防えん堤の貯砂容量で捕捉するという考えで対策が進められている。
- VI. 流木対策：流木が土石流災害を大きくする。最近では鋼管製透過型砂防堰堤が流木を捕捉する工法として採用されている。
- VII. 活火山の砂防：火山が噴火し火山灰が斜面に積もると、それ以前には土石流が発生しなかった小さな雨量でも土石流が発生するようになる。最近では、溶岩流、火砕流も火山砂防の対象となって、ハザードマップを作成している。
- VIII. 総合土砂管理：山地から海岸までの土砂問題を流砂系として捉え、総合的に対応する方向である。その中で、砂防は透過型のシャッター堰堤で平時の土砂は流下させ、大量の土砂流出時のみコントロールすることを目指している。
- IX. 危機管理型の砂防（天然ダム対策）：地震や豪雨で形成され、決壊すると大きな災害になる可能性のある天然ダムについて、決壊時の災害予測手法が検討されている。
- X. おわりに：今後は、溪流の土石流・流木対策と火山噴火や地震、豪雨による大規模もしくは同時多発的土砂災害に対する砂防に二極化して進んでゆくものと考えられる。前者では、対応すべき溪流数が多いので、短期間に低コストで対応する工法の開発が必要であり、後者では平時に準備する構造物と発生後に短時間に緊急に対応する手法の開発が必要となる。

第 391 回 地下環境の利用と地球科学の役割（自然に学ぶ長期的現象評価への応用） 吉田 英一 名古屋大学博物館教授 22・12・11
環境地質学専攻

講演要旨：地下環境の利用は、エネルギー備蓄や放射性廃棄物処分などの近年の環境問題対策において欠くべからざる課題であり、近年、その重要性が急速に高まりつつある。一方で、地下環境の働きを適切に活用するためには、地下岩

盤の地質構造、変質状態や地下水の流れ、地下水の地球化学的性質などといった地下環境を構成している要素と、それらの相関を理学的および工学的観点の双方から多面的に把握することが求められる。さらに、こういった地下環境の大規模利用に共通した特徴は、数百年～数万年という時間スケールでの長期的な安全性評価が要求されることである。

このような長期的評価の内容とその信頼性を高めるためには、従来の実験的手法だけでは十分ではなく、評価対象と同等の時間スケールで生じた自然現象（ナチュラルアナログ）を活用した、長期的な安全評価に関する現象理解が不可欠である。これらのニーズに対して、地球科学（地質学）は、長期的な安全評価に関わる現象を抽出・理解し、安全評価の信頼性を高めるための唯一の手法だと言える。環境問題のような長期的複合現象を総合的に解析し、評価手法に反映させる上で、今後「自然に学び」、そして適切に応用していくという考え方・取り組みは、益々その重要度を高めていくだろう。

今回は話題提供として、地下環境利用の現状と、その応用としての LPG 地下備蓄や放射性廃棄物処分といった地下環境の長期的利用を事例に、地球科学の役割、重要性と課題について紹介したい。

第 392 回 海はどのように変わってきたか？ **中田 喜三郎** 東海大学海洋学部教授 22・12・18
またどのように変わっていくか？

講演要旨：毎日の天気予報のもとになっているのは、数値シミュレーションによる予測結果である。予測の精度はともかくとして、数値モデルが我々の生活の中で使用されている代表的な例である。

海がどのように変わってきたかを調べるために、数値モデルの果たす役割は大きい。これは過去予報 (Hind cast) と呼ばれる。どのように変わっていくかを調べる場合は、将来予報 (Forecast) である。モデル開発を行う場合、一般的には過去に起こった現象をモデルで再現し、その背後にあるメカニズムは何かを調べるのが動機となる。過去の現象をうまく説明ができると、そのモデルを使って将来も予測できるはずであると考え、この目的でこのようなモデルは環境影響評価のためにも使われてきた。

今回は過去予報の例として、三河湾や伊勢湾での適用結果、特に貧酸素水塊の発生、発達、消滅に至るまでの結果や、中海、宍道湖でのアオコの発生に関する予測結果を紹介する。また今後、環境影響評価に使われる可能性のあるモデルについての紹介を行う。

平成 22 年度研究費補助金交付者一覧表

1. 文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
建設システム工学科	教 授 宇佐美 勉	制震構造化等の新しい概念による構造物の耐震性能向上プロジェクト

2. 文部科学省地域産学官連携科学技術振興事業 イノベーションシステム整備事業 (財団法人 科学技術交流財団)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
電気電子工学科	教 授 平松美根男	先進プラズマナノ基盤技術の開発 [超高密度ラジカルソース・プロセス技術の開発]

3. 文部科学省地域産学官連携科学技術振興事業 イノベーションシステム整備事業 (財団法人 科学技術交流財団)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
電気電子工学科	教 授 伊藤昌文	先進プラズマナノ基盤技術の開発 [先進ラジカル計測・診断技術及び装置の開発]

4. 文部科学省地域産学官連携科学技術振興事業 イノベーションシステム整備事業 (財団法人 科学技術交流財団)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
材料機能工学科	准教授 岩谷素顕	高効率光・パワーデバイス部材の開発 [低消費電力高輝度高演色性LED、環境対応モニタリング用センサーの開発]

5. 文部科学省地域産学官連携科学技術振興事業 イノベーションシステム整備事業 (財団法人 科学技術交流財団)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
電気電子工学科	教 授 伊藤昌文	先進プラズマナノ科学研究拠点形成プログラム [広域化プログラム]

6. 経済産業省中部経済産業局 地域イノベーション創出研究開発事業 (財団法人 科学技術交流財団)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
材料機能工学科	教 授 安藤義則	表面にカーボンナノチューブを成長させた新型炭素繊維の開発

7. 経済産業省中部経済産業局 戦略的基盤技術高度化支援事業 (財団法人 ファインセラミックスセンター (JFCC))

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
交通科学科	教 授 小川宏隆	低熱膨張率・高熱伝導性基板等の研究開発

8. 国土交通省河川局河川計画課河川情報対策室 河川技術研究開発 (地域課題分野)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
建設システム工学科	准教授 溝口敦子	砂州挙動の解明と自然河岸形成に関する研究

9. 総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) 【地域 ICT 振興型研究開発】

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
電気電子工学科	教 授 都竹愛一郎	地上デジタル放送の受信環境評価法ならびに高性能受信機の研究開発

10. (独) 科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
情報工学科	教 授 柳田康幸	マルチモーダルディスプレイ技術の研究

11. (独) 科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
情報工学科	准教授 吉川雅弥	耐タンパプログラマブルLSI設計CAD構築

12. (独) 科学技術振興機構 (JST) 研究成果最適展開支援事業「A - STEP」

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
情報工学科	教授 渡邊 晃	セキュア通信グループを実現する通信プロトコルの実用化

13. (独) 科学技術振興機構 (JST) 研究成果最適展開支援事業「A - STEP」

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
情報工学科	助教 鈴木 秀和	高汎用性を実現する Android 向け NAT 越えプロトコルの開発

14. (独) 科学技術振興機構 (JST) 研究成果最適展開支援事業「A - STEP」

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
環境創造学科	准教授 日比 義彦	土壌汚染物質の分散係数と Knudsen 拡散係数の測定装置の改良

15. (独) 科学技術振興機構 (JST) 戦略的国際科学技術協力推進事業 (研究交流型)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
建設システム工学科	教授 宇佐美 勉	橋梁構造物の大地震被害予測技術の高度化と制震技術の開発

16. (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
材料機能工学科	准教授 岩谷 素顕	窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発

17. (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 新エネルギー技術開発 革新的太陽光発電技術研究開発 (革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)

学 科	研 究 代 表 者	研 究 課 題
材料機能工学科	准教授 岩谷 素顕	ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発 (広帯域 AlGaInN)

18. (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発

大 学 院	研 究 代 表 者	研 究 課 題
材料機能工学科	准教授 岩谷 素顕	LED照明の高効率化・高品質化に係る基盤技術開発/基板の応用によるデバイス技術の開発

19. (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (ナノテクノロジープログラム・革新的部材産業創出プログラム) ナノテク・先端部材実用化研究開発

大 学 院	研 究 代 表 者	研 究 課 題
材料機能工学科	教授 坂東 俊治	カーボンナノホーンを用いたフッ素貯蔵材料の研究開発

20. (独) 日本学術振興会 最先端研究開発戦略的強化 (頭脳循環を活性化する若手研究者海外派遣プログラム)

大 学 院	研 究 代 表 者	研 究 課 題
材料機能工学科	教授 上山 智	窒化物半導体国際共同研究

21. 文部科学省科学研究費補助研究一覧

研究種目	学 科	研究代表者	研 究 課 題
新学術領域研究	電気電子工学科	教授 伊藤昌文	プラズマと菌細胞マイクロ構造体との相互反応ダイナミクス
新学術領域研究	電気電子工学科	准教授 堀田一弘	見えの変化に頑健な細胞内画像からの自動集計、追跡、認識法の研究
基盤研究 (A) 海外	建築学科	教授 溝口明則	クメール帝国地方拠点の都市遺跡と寺院遺構に関する研究
基盤研究 (B)	情報工学科	教授 柳田康幸	香り空間の局所型制御技術に関する研究
基盤研究 (B)	理工学部	特任教授 松井徹哉	浮屋根と液体の非線形性を考慮した大型液体貯槽の地震時スロッシング理論の体系化
基盤研究 (B)	理工学部	教授 田中啓介	ナノ結晶金属薄膜の疲労損傷機構に関する微視破壊力学的研究
基盤研究 (B)	材料機能工学科	教授 坂東俊治	グラフェンエッジ状態を利用した強磁性ナノ炭素粒子の作製とキャラクタリゼーション
基盤研究 (B)	電気電子工学科	教授 平松美根男	アークジェットプラズマを用いたカーボンナノチューブの形成メカニズムの解明
基盤研究 (B)	材料機能工学科	教授 成塚重弥	Si 集積回路の限界打破のための結晶成長からのアプローチ
基盤研究 (C)	環境創造学科	准教授 谷口義則	地球温暖化及び河川工作物が世界自然遺産・知床半島の淡水魚類に及ぼす影響評価
基盤研究 (C)	情報工学科	教授 山田啓一	周辺車両ドライバの状態推定
基盤研究 (C)	情報工学科	教授 田中敏光	学生の動きと教示情報との相関から講義中の学生の集中度を評価するシステムの開発
基盤研究 (C)	建築学科	教授 武藤厚	エネルギー関連等の大規模貯蔵施設の完全埋設化に関する基礎的研究
基盤研究 (C)	建築学科	教授 寺西浩司	骨材の粒度分布を合理的に考慮できるコンクリートの調査設計法の確立
基盤研究 (C)	建築学科	教授 高井宏之	公的宿泊施設の地域に果たす役割と有効利用手法
基盤研究 (C)	材料機能工学科	教授 丸山隆浩	表面分解法によるカーボンナノチューブ/SiCヘテロ接合の作製と物性評価
基盤研究 (C)	数 学 科	教授 齊藤公明	無限次元ラプラス作用素の一般化と確率過程構成法および量子情報解析への展開
基盤研究 (C)	環境創造学科	教授 牧野内 猛	地震災害軽減と沖積層基底礫層実態把握のための濃尾平野表層地質の解明
基盤研究 (C)	建設システム工学科	教授 葛 漢 彬	土木構造物の延性破壊照査法の開発に関する研究
基盤研究 (C)	環境創造学科	准教授 日比義彦	不飽和地盤中に残留する鉱物油の探査方法に関する研究
基盤研究 (C)	数 学 科	教授 江尻典雄	複素ラグランジュ部分多様体の生成関数の研究と応用
基盤研究 (C)	数 学 科	教授 鈴木紀明	放物型ハーディ空間のポテンシャル解析
基盤研究 (C)	建築学科	准教授 岡田恭明	風力発電システムから発生する騒音の伝搬性状に及ぼす気象の影響
基盤研究 (C)	建設システム工学科	教授 小高猛司	ベントナイト・珪砂混合緩衝材の損傷時のマルチスケール性能評価
挑戦の萌芽研究	理工学部	教授 田中啓介	放射光マイクロビームによる一結晶粒内の応力マッピングを基にしたき裂進展性評価
若手研究 (A)	材料機能工学科	准教授 岩谷素顕	革新的・ハイブリッド・タンデム型白色LED
若手研究 (A)	環境創造学科	准教授 堀 和 明	河跡湖堆積物の解析にもとづく流域環境復元
若手研究 (B)	電気電子工学科	准教授 堀田一弘	大局情報と局所情報の適応的な統合と相互補正に基づく画像認識
若手研究 (B)	環境創造学科	助教 広瀬正史	降水システム群の時空間変化
若手研究 (B)	機械システム工学科	准教授 来海博央	EBS法による3次元ナノ空間ひずみ場スキャンニング技術の開発と歪シリコンへの応用
若手研究 (B)	材料機能工学科	助教 榎本和城	キャピティ通電加熱金型の適用によるポリ乳酸の射出成形サイクルの短縮化
若手研究 (B)	機械システム工学科	准教授 久保 貴	液相乱流中の物質拡散・反応過程の解明と確率モデルの構築に関する研究
若手研究 (B)	数 学 科	助教 長郷文和	自明な結び目を識別する結び目不変量の表現論的構造解析
若手研究 (B)	環境創造学科	准教授 小塩達也	過積載を含む大型車両群による自動車荷重の実態把握と道路構造物への影響の分析
研究活動スタート支援	建設システム工学科	助教 岩下健太郎	ハイブリッド連続繊維緊張材および埋め込み緊張補強技術の開発
特別研究員奨励費	電気電子工学科	DC2 飯田大輔	非極性面III族窒化物半導体を用いた高効率緑色発光素子実現のための研究
研究活動スタート支援	材料機能工学科	准教授 竹内哲也	高効率青色面発光レーザによる白色光源
研究活動スタート支援	建設システム工学科	助教 崔 瑛	トンネル掘削時脚部補強パイル工の地盤沈下制御メカニズムの解明とその設計基準の提案

平成 22 年度受託研究一覧

学 科	受託研究担当者	研 究 課 題
電気電子工学科	准教授 飯岡大輔	低圧配電系統の構成と電圧変動に関する調査研究
		スマートグリッド運用技術に関する研究
材料機能工学科	教授 宇佐美初彦	軸受表面の形状加工技術開発に関する研究
		上山 智 可視光通信の開発
	准教授 岩谷素顕	ECR-ITO/p-GaN コンタクトの研究
		GaN 基板上への ITO エピタキシャル成長の研究
建設システム工学科	教授 葛 漢 彬	鋼構造物の過大荷重による損傷を考慮した照査法・点検法に関する研究
		松本幸正 くるりんばすの利用実態と利用者意識に関する調査研究
	准教授 溝口敦子	平成 22 年度砂州挙動の解明と自然河岸形成に関する研究
		新井宗之 土砂流実験の遠隔 WEB 測定・管理システムに関する基礎的研究
助教 渡辺孝一	特殊断熱塗料 CC100 の付着強度に関する研究	
環境創造学科	教授 垣 鐸 直	夏期の冷房時における放射熱負荷低減のための冷房方法の検討に関する実態調査
建築学科	准教授 谷田 真	タイルデザインの研究
教養教育	教授 加藤幸久	なごや健康カレッジ「脳科学的発想から見る健康ウォーキングの開発」
		脳科学的発想で行う健康づくりウォーキング

平成 22 年度共同研究一覧

学 科	共 同 研 究 者	研 究 課 題
情報工学科	教 授 山田 啓一	走行音による接近車両の検出の研究 (期間延長)
	教 授 中野 倫明	車両前方視界及びワイパ視認性に関する共同研究
	准教授 山田 宗男	
電気電子工学科	教 授 辰野 恭市	遠隔操作型コンピュータ (PA10) システムにおける 3 次元距離計測技術の開発
	伊藤 昌文	環境調和型社会を実現する超小型携帯下水モニタリング装置の開発
材料機能工学科	教 授 上山 智	紫外線受光素子の研究開発全般
	准教授 竹内 哲也	
	准教授 岩谷 素顕	
	准教授 岩谷 素顕	III族窒化物半導体の革新的な結晶成長技術の探索とそのデバイス応用
	教 授 上山 智	
	准教授 竹内 哲也	
	教 授 宇佐美初彦	
		表面テクスチャーに関する研究
		鉛フリー銅合金の摺動特性の評価
	准教授 岩谷 素顕	窒化物半導体の原子層エピタキシャル成長技術に関する共同研究
		AIN 基盤上深紫外 LED の開発に関する共同研究
機械システム工学科	教 授 大道 武生	デジタルテンションメータの実用化研究
	助 教 塚田 敦史	デザインイノベーションに関する研究
交通科学科	教 授 小川 宏隆	ゾルゲル法による無機 EL 薄膜の合成と評価に関する研究
建築学科	教 授 吉久 光一	風力発電施設からの騒音伝搬予測手法の評価
教養教育	准教授 土屋 文	核融合ブランケット材料の高速中性子動的照射誘起現象の解明
		ヘリウムおよび水素の捕捉、放出、透過特性に及ぼす照射効果に関する研究
理工学部	教 授 田中 啓介	電子部品の長期信頼性評価技術の開発
		樹脂材料におけるき裂進展挙動の評価
		樹脂材料の残留応力測定技術開発

平成 22 年度学外研究助成一覧

学 科	役 職	氏 名	助成団体名	研 究 課 題
電気電子工学科	助 教	村田 英一	助堀情報科学振興財団	次世代電子線リソグラフィ装置用の高輝度・高エミッタンス電子銃の開発
材料機能工学科	准教授	岩谷 素顕	助東電記念科学技術研究所	歪・欠陥・内部電界制御による超高性能 GaInN 系緑色発光素子の実現の研究助成のため
			助日比科学技術振興財団	白色 LED 照明普及のために必要な光制御機構の確立
機械システム工学科	准教授	来海 博央	助市原国際奨学財団	SIM/EBSD 法による 3 次元微視組織損傷評価技術 (4 D 解析技術) の開発
建設システム工学科	助 教	岩下 健太郎	助日東学術振興財団	砂漠化防止のための新型化学的固体処理剤および生態修復技術の開発に関する研究 (海外派遣)
環境創造学科	准教授	小塩 達也	助内藤科学技術振興財団	軸成分を有する摩擦型ひずみゲージの開発と構造物診断への応用に関する研究
	准教授	谷口 義則	助ダム水源地環境整備センター	ダム下流域における魚類の生態
建築学科	准教授	三浦 彩子	助日東学術振興財団	ヨーロッパの近代公園史研究 - フランス式整形庭園を事例として - (海外派遣)

平成 22 年度奨学寄付金一覧

学 科	寄 付 金 受 納 者	件 数
情 報 工 学 科	教 授 高 橋 友 一	1 件
	教 授 津 川 定 之	1 件
電 気 電 子 工 学 科	准 教 授 堀 田 一 弘	1 件
	助 教 村 田 英 一	2 件
材 料 機 能 工 学 科	教 授 宇 佐 美 初 彦	1 件
	准 教 授 竹 内 哲 也	1 件
	准 教 授 赤 堀 俊 和	1 件
交 通 科 学 科	教 授 相 馬 仁	1 件
建 設 シ ス テ ム 工 学 科	教 授 小 高 猛 司	1 件
	教 授 石 川 靖 晃	1 件
	助 教 岩 下 健 太 郎	2 件
	講 師 阿 河 武 志	2 件
環 境 創 造 学 科	准 教 授 深 谷 実	1 件
建 築 学 科	教 授 寺 西 浩 司	1 件
	教 授 武 藤 厚	1 件
	准 教 授 大 塚 貴 弘	1 件
	准 教 授 吉 永 美 香	1 件
教 養 教 育	准 教 授 土 屋 文	1 件
理 工 学 部	教 授 田 中 啓 介	2 件

平成 22 年

発表論文題目

(*印 環境関連論文題目を示す)

数学科

古家 守

【学術論文】

M.Furuya, H.Niitsuma and M.Takahashi : Some regularity criteria for affine semilocal rings. *Comm.Algebra* 38 (2010), 1796-1801

北岡 良之

【著書】

北岡 良之, 深川 英俊, 川村 司 : 工科系の微分積分学の基礎, 学術図書出版社

寺西 鎮男

【学術論文】

Y.Teranishi : "eigenvalues and automorphisms of a graph", *Linear Multilinear Algebra*, Vol.58, no.6, pp.577-585, (2009-12)

鈴木 紀明

【学術論文】

M.Nishio, N.Suzuki and M.Yamada, "Weighted Berezin transformations with application to Toeplitz operators of Schatten class on parabolic Bergman sapces" *Koda Math. J.*32, pp.501-520, (2009-12).

M.Nishio, N.Suzuki and M.Yamada, "Carleson inequalities on parabolic Bergman spaces" *Tohoku Math.J.*62, pp.269-286, (2010-6).

【その他】

西尾 昌治, 鈴木 紀明, 山田 雅博, : 「放物型ベルグマン空間上の作用素について」, ポテンシャル論とベルグマン核, 数理解析研究所講究録 1694, pp.101-120, (2010-7)

齊藤 公明

【学術論文】

L.Accardi, U.C.Ji and K.Saitô : "Exotic Laplacians and derivatives of white noise", *Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics*, Vol.13 (2010)pp.1-14.

【その他】

K.Saitô : 「Exotic Laplacians and higher order derivatives of white noise」, IDAQP Sendai Seminar Graduate School of Information Sciences, Tohoku University (2010)p.25-2.

K.Saitô : 「Higher order derivatives of white noise and infinite dimensional Laplacians」, 研究集会「ウィナーカオスとその周辺」愛知教育大学(2010)

橋本 英哉

【学術論文】

H.Hashimoto, and M.Ohashi : Orthogonal almost complex structures of hypersurfaces of purely imaginary octonions,

*Hokkaido Math.J.*Vol.39, No.3, pp.351-387, (2010)

長郷 文和

【学術論文】

F.Nagasato : "On the character rings of twist knots", *Bulletin of the Korean Mathematical Society* (掲載受理).

【その他】

F.Nagasato : "On minimal elements for a partial order of prime knots", 国際研究集会「International Conference Japan-Mexico on Topology and its Applications (The5th Japan Mexico Topology Conference」, Universidad de Colima, メキシコ合衆国, 口頭発表, (2010-9)

F.Nagasato : "On a topological aspect of the Chebyshev polynomials and the character varieties", 国際研究集会「The 6th East Asian School of Knots and Related topics」, Chern Institute of Mathematics, 中国, 口頭発表, (2010-1)

情報工学科

田中 敏光

【学術論文】

後藤 優, 田中 敏光, 佐川 雄二:「ロントガラスを流れる雨滴の実時間表示」, 電気学会論文誌 C, Vol.129-C, No.12, pp.2152-2158 (2010-12)

平野 陽裕, 田中 敏光, 佐川 雄二:「床面と地面の足跡のリアルタイム生成」, 電気学会論文誌 C, Vol.130-C, No.2, pp.315-357 (2010-2)

【その他】

中島 貴裕, 田中 敏光:「照度変化にロバストな板書の検出」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP1-4 (2010-3-9)

明瀬 祐介, 田中 敏光:「バスケットボール選手のシュート分析」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP1-5 (2010-3-9)

神尾 江里華, 田中 敏光:「リハビリを目的としたゲーム環境の提案」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP3-2 (2010-3-9)

前田 裕人, 田中 敏光:「カーレースゲームにおけるカメラワークの自動生成-プレイバック機能の追加-」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP3-3 (2010-3-9)

大森 健斗, 田中 敏光:「CG による紙の破れ表現-単層モデルによる剥がれ別れ表示-」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP1-6(2010-3-9)

日吉 大樹, 田中 敏光:「窓ガラスに生じるゆがみの表現-映り込みと透過の再現-」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP1-7 (2010-3-9)

畔柳 有希, 田中 敏光:「CG 表示のための滝が凍結するシミュレーション」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP1-8 (2010-3-9)

岩井 沙織, 田中 敏光:「壁面の凹凸を考慮した蔓の成長シミュレーション」, 平成 21 年度電子情報通信学会卒業研究発表会予稿集 OP1-9 (2010-3-9)

杉 浦司, 田中 敏光, 佐川 雄二, 手島 裕詞:「類似画像検索における GPU の活用」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.27-28 (2010-3-6)

山本 茂毅, 田中 敏光, 佐川 雄二:「性格を持つロボットによる共同作業-作業途中で学習を行う条件での評価-」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.29-30 (2010-3-6)

中島 貴裕, 田中 敏光, 佐川 雄二:「照度の変化に

強い板書の検出」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.33-34 (2010-3-6)

武仲 毅知, 田中 敏光, 佐川 雄二:「人の行動による屋内の汚れの表現」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.53-54 (2010-3-6)

畔柳 有希, 田中 敏光, 佐川 雄二:「CG 表示を目的とした滝の凍結シミュレーション」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.55-56 (2010-3-6)

前田 裕人, 田中 敏光, 佐川 雄二:「カーレースゲームにおけるカメラワークの自動生成-プレイバック機能の追加-」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.57-58 (2010-3-6)

日吉 大樹, 田中 敏光, 佐川 雄二:「窓ガラスに生じるゆがみの表現-透過と映り込みの表示-」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.59-60 (2010-3-6)

大森 健斗, 田中 敏光, 佐川 雄二:「CG による紙の破れ表現-単層モデルによる剥がれ別れ表示-」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.61-62 (2010-3-6)

神尾 江里華, 田中 敏光, 佐川 雄二:「リハビリを目的としたゲームの提案」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.70-71 (2010-3-6)

瀧口 智史, 田中 敏光, 佐川 雄二:「ウェアラブル環境における片手文字・座標入力システム」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.66-67 (2010-3-6)

寺島 健浩, 佐川 雄二, 田中 敏光:「文脈に基づく用語説明文の絞り込み」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.1-2 (2010-3-6)

村石 健, 佐川 雄二, 田中 敏光:「小説登場人物の感情変化推定システム」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.3-4 (2010-3-6)

大津 ちひろ, 佐川 雄二, 田中 敏光:「構文情報の提示による英文理解支援システム」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.5-6 (2010-3-6)

加藤 大貴, 佐川 雄二, 田中 敏光:「Q&A サイト検索における追加キーワードの提案手法」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.7-8 (2010-3-6)

新美 淳也, 佐川 雄二, 田中 敏光:「感情推定手法を併用した Web からの評判情報抽出」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.9-10 (2010-3-6)

竹内 星詞, 佐川 雄二, 田中 敏光:「検索履歴を用いた Web 検索支援システム」, 照明学会若手セミナー予稿集, pp.11-12 (2010-3-6)

武仲 毅知, 田中 敏光, 佐川 雄二:「人の行動による

- 屋内の汚れの表現」, 情報処理学会第 139 回グラフィクスと CAD 研究会, IPSJ-CG10139001 (2010-7-16)
- 杉浦司, 田中敏光, 佐川雄二, 手島裕詞:「類似画像検索における GPU の活用」, 情報処理学会第 139 回グラフィクスと CAD 研究会, IPSJ-CG10139005 (2010-7-16)
- 横井孝祐, 田中敏光, 佐川雄二:「性格を持つロボット群における共同作業」, 電気関係学会東海支部連合大会 F2-2 (2010-8-30)
- 原田朋久, 田中敏光, 佐川雄二:「Wii リモコンで操作する組み合わせブロックモデラの開発」, 電気関係学会東海支部連合大会 F3-8 (2010-8-30)
- 神尾江里華, 田中敏光, 佐川雄二:「リハビリを目的とした体感ゲームの作成」, 電気関係学会東海支部連合大会 F4-7 (2010-8-30)
- 日吉大樹, 田中敏光, 佐川雄二:「タッチデバイスを使用した片手文字入力方法」, 電気関係学会東海支部連合大会 F5-4 (2010-8-30)
- 早川舞, 田中敏光, 佐川雄二:「分類の変更を考慮したごみ分別トレーニングシステム」, 電気関係学会東海支部連合大会 G5-7 (2010-8-30)
- 大橋俊由樹, 田中敏光, 佐川雄二:「空間認識能力学習のためのエデュテイメントシステムの開発」, 電気関係学会東海支部連合大会 N1-2 (2010-8-30)
- 中島貴裕, 田中敏光, 佐川雄二:「教師の動きに強い板書の検出手法」, 電気関係学会東海支部連合大会 N3-8 (2010-8-30)
- 太田勇次, 田中敏光, 佐川雄二:「野球のバッティング動作の分析」, 電気関係学会東海支部連合大会 N4-7 (2010-8-30)
- 瀧口智史, 田中敏光, 佐川雄二:「ウェブカメラを使った片手文字・座標入力システム」, 電気関係学会東海支部連合大会 Po1-28 (2010-8-30)
- 武仲毅知, 田中敏光, 佐川雄二:「人の移動による屋内の汚れの表現」, 電気関係学会東海支部連合大会 Po2-16 (2010-8-30)
- 杉浦司, 田中敏光, 佐川雄二:「CUDA を用いた類似画像検索アルゴリズムの実装」, 電気関係学会東海支部連合大会 Po2-20 (2010-8-30)
- 岩崎秀介, 田中敏光, 佐川雄二:「GPU を用いた紙の破れの実時間表示」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-1 (2010-8-30)
- 黒田貴弘, 田中敏光, 佐川雄二:「引力を考慮したフロントガラスを流れる水滴の CG 表現」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-2 (2010-8-30)
- 山中健太郎, 田中敏光, 佐川雄二:「フロントガラス上の雪の CG 表現」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-3 (2010-8-30)
- 大森健斗, 田中敏光, 佐川雄二:「建物外壁を這う鳶のシミュレーション」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-4 (2010-8-30)
- 伊藤拓也, 田中敏光, 佐川雄二:「種類の違いを考慮した鳶の成長モデル」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-5 (2010-8-30)
- 中野雄太, 田中敏光, 佐川雄二:「蟻の採餌行動のシミュレーション」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-6 (2010-8-30)
- 前田裕人, 田中敏光, 佐川雄二:「ギャラリーの意図を汲んだカメラワークのリアルタイム生成」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-7 (2010-8-30)
- 井上昌哉, 田中敏光, 佐川雄二:「スクラッチモデリングシステムの改良」, 電気関係学会東海支部連合大会 Q4-8 (2010-8-30)
- 千原弘誉, 佐川雄二, 田中敏光:「タブレット PC におけるジェスチャー操作を用いた日本語文字入力インターフェース」, 電気関係学会東海支部連合大会 F4-1 (2010-8-30)
- 河畑佳孝, 佐川雄二, 田中敏光:「ジェスチャーによる日本語入力インターフェース」, 電気関係学会東海支部連合大会 F4-2 (2010-8-30)
- 村石健, 佐川雄二, 田中敏光:「感情的に振る舞う bot」, 電気関係学会東海支部連合大会 F4-3
- 武田拓也, 佐川雄二, 田中敏光:「場面に応じた BGM を流す電子書籍リーダー」, 電気関係学会東海支部連合大会 F4-4 (2010-8-30)
- 松永雄太, 佐川雄二, 田中敏光:「台風速報記事の時間的・空間的要約システム」, 電気関係学会東海支部連合大会 F4-5 (2010-8-30)
- 上田博之, 佐川雄二, 田中敏光:「略語の説明文抽出推定」, 電気関係学会東海支部連合大会 G2-1 (2010-8-30)
- 横井謙一, 佐川雄二, 田中敏光:「略 Web ページレイアウトを用いた画像説明文抽出」, 電気関係学会東海支部連合大会 G2-3 (2010-8-30)
- 皆川薫, 佐川雄二, 田中敏光:「WEB ページの表層的特徴を利用したランクづけ」, 電気関係学会東海支部連合大会 G2-4 (2010-8-30)
- 小牧厚哉, 佐川雄二, 田中敏光:「難易度を考慮した Web ページの閲覧支援」, 電気関係学会東海支部連合大会 G2-5 (2010-8-30)
- 新美淳也, 佐川雄二, 田中敏光:「感情推定手法を併用した Web からの評判情報抽出」, 電気関係学会

東海支部連合大会 G2-6 (2010-8-30)

矢野 弘基, 佐川 雄二, 田中 敏光:「Q&A サイトにおける知的検索支援システム」, 電気関係学会東海支部連合大会 G2-7 (2010-8-30)

竹内 星詞, 佐川 雄二, 田中 敏光:「検索履歴を用いた Web 検索支援システム」, 電気関係学会東海支部連合大会 G3-2 (2010-8-30)

加藤 宏章, 佐川 雄二, 田中 敏光:「ブログの特徴づけ」, 電気関係学会東海支部連合大会 G3-3 (2010-8-30)

瀧口 智史, 田中 敏光, 佐川 雄二:「Web カメラを用いた片手文字・座標入力システム」情報処理学会第 140 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告 vol.2010-HCI-140, No.11 (2010-10-29)

阿知葉 征彦

【その他】

伊藤 仁人, 阿知葉 征彦:「Augmented Reality を利用した道路標識識別支援の検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.31-32, (2010-3)

舟橋 伸昭, 阿知葉 征彦:「画像の顔領域抽出と 3 次元モデルへの自動変換の検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.35-36, (2010-3)

大矢 信, 阿知葉 征彦:「2 眼カメラを用いた奥行情報の抽出に関する検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.37-38, (2010-3)

平野 智史, 市川 勝也, 阿知葉 征彦:「多眼画像の視差情報を利用した画像符号化の検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.39-40, (2010-3)

市川 勝也, 阿知葉 征彦:「2 眼動画像における動き／視差補償予測効率の検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.41-42, (2010-3)

渡邊 剛太, 阿知葉 征彦:「オーバーラップ付加動き補償予測の高画質化処理の検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.45-46, (2010-3)

鬼頭 卓也, 阿知葉 征彦:「ラグランジュ補間を用いた自由視点画像生成の検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.47-48, (2010-3)

加藤 大典, 阿知葉 征彦:「Bilateral Filter に対する簡易化の検討」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.49-50,

(2010-3)

中村 元, 阿知葉 征彦:「ビデオテープのノイズ除去プログラムの開発」, 平成 21 年度照明学会・映像情報メディア学会東海支部若手セミナー講演予稿集, pp.51-52, (2010-3)

鬼頭 卓也, 大塚 友博, 阿知葉 征彦:「隣接 EPI の相関性を利用した自由視点画像生成の提案」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, CD-ROM, Q1-4, (2010-8)

大塚 友博, 阿知葉 征彦:「多視点映像通信におけるリアルタイム性を考慮した中間視点画像生成」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, CD-ROM, Q1-6, (2010-8)

鬼頭 卓也, 大塚 友博, 阿知葉 征彦:「隣接 EPI の相関性を利用した自由視点画像生成」, 2010 年映像情報メディア学会年次大会講演論文集, CD-ROM, 8-2, (2010-9)

板倉 文忠

【その他】

西脇 涼介, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「話声から歌声への段階的な変化に伴うフォルマント周波数の変化」, 日本音響学会春季講演論文集, pp.465-466, (2010-3)

鈴木 千文, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「歌唱音声の類似度評価を目的としたビブラートに関する特徴量の提案」, 日本音響学会春季講演論文集, pp.467-468, (2010-3)

佐藤 奨, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「楽曲検索のためのスペクトルフラットネスと帯域分割パワーに基づく音響特徴量の提案」, 日本音響学会春季講演論文集, pp.487-488, (2010-3)

Ayanori Arakawa, Yoshinori Uchimura, Hideki Banno, Fumitada Itakura, Hideki Kawahara: "High quality voice manipulation method based on the vocal tract area function obtained from sub-band lsp of straight spectrum." Proc.ICASSP 2010, pp.4834-4837 (2010-5)

佐藤 奨, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「楽曲分類におけるラウド感を表す音響特徴量の動的特徴の分析」, 日本音響学会秋季講演論文集, pp.859-860, (2010-9)

川上 裕司, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「声道断面積関数を用いた GMM に基づく歌唱音声の声質変換」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.297, pp.71-76, (2010-11)

鈴木 千文, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「歌手によるビブラート特徴量の違いの分析」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.297, pp.89-94, (2010-11)

柴田 吉輝, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「動的特徴に着

目した音声分析合成音の明瞭性向上手法の提案」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.297, pp.101-106, (2010-11)

上村 鉄雄

【その他】

米澤 逸人, 横井 渉, 上村 鉄雄, 庄司 多津男:「帯電微粒子群の AC トラップ・シミュレーション」, 日本物理学会第 65 回年次大会講演概要集, 第 65 巻, 第 1 号, 第 2 分冊, pp.323, (2010-3)

米澤 逸人, 瀬戸 章, 上村 鉄雄, 斎藤 和史, 中村 良治, 石原 修:「帯電微粒子超音速流のシミュレーション」, 日本物理学会第 65 回年次大会講演概要集, 第 65 巻, 第 1 号, 第 2 分冊, pp.262, (2010-3)

庄司 多津男, 小澤 隆嘉, 秦 浩起, 横井 渉, 上村 鉄雄, 石崎 龍二:「AC トラップ中の帯電微粒子群の集団現象 - II」, 日本物理学会第 65 回年次大会講演概要集, 第 65 巻, 第 1 号, 第 2 分冊, pp.323, (2010-3)

米澤 逸人, 上村 鉄雄, 庄司 多津男:「帯電微粒子群の AC トラップ・シミュレーション II」, 日本物理学会 2010 年秋季大会講演概要集, 第 65 巻, 第 2 号, 第 2 分冊, pp.266, (2010-9)

庄司 多津男, 小澤 隆嘉, 秦 浩起, 米澤 逸人, 上村 鉄雄, 石崎 龍二:「AC トラップ中の帯電微粒子群の集団現象 - III」, 日本物理学会 2010 年秋季大会講演概要集, 第 65 巻, 第 2 号, 第 2 分冊, pp.259, (2010-9)

佐川 雄二

【その他】

寺島 健浩, 佐川 雄二, 田中 敏光:「文脈に基づく用語説明文の絞り込み」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.1-2, (2010-3)

村石 健, 佐川 雄二, 田中 敏光:「小説登場人物の感情変化推定システム」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.3-4, (2010-3)

大津 ちひろ, 佐川 雄二, 田中 敏光:「構文情報の提示による英文理解支援システム」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.5-6, (2010-3)

加藤 大貴, 佐川 雄二, 田中 敏光:「Q&A サイト検索における追加キーワードの提案手法」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.7-8, (2010-3)

新美 淳也, 佐川 雄二, 田中 敏光:「感情推定手法を併用した Web からの評判情報抽出」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.9-10, (2010-3)

竹内 星詞, 佐川 雄二, 田中 敏光:「検索履歴を用いた Web 検索支援システム」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.11-12, (2010-3)

杉浦 司, 田中 敏光, 佐川 雄二, 手島 裕詞:「類似画

像検索における GPU の活用」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.27-28, (2010-3)

山本 茂毅, 田中 敏光, 佐川 雄二:「性格を持つロボットによる共同作業 - 作業途中に学習を行う条件での評価 -」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.29-30, (2010-3)

中島 貴裕, 田中 敏光, 佐川 雄二:「照度の変化に強い板書の検出」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.33-34, (2010-3)

武仲 毅知, 田中 敏光, 佐川 雄二:「人の行動による屋内の汚れの表現」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.53 - 54, (2010-3)

畔柳 有希, 田中 敏光, 佐川 雄二:「CG 表示を目的とした滝の凍結シミュレーション」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.55-56, (2010-3)

前田 裕人, 田中 敏光, 佐川 雄二:「カーレースゲームにおけるカメラワークの自動生成 - プレイバック機能の追加 -」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.57-58, (2010-3)

日吉 大樹, 田中 敏光, 佐川 雄二:「窓ガラスに生じるゆがみの表現 - 透過と映り込みの表示 -」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.59-60, (2010-3)

大森 健斗, 田中 敏光, 佐川 雄二:「CG による紙の破れ表現 - 単層モデルによる剥がれ別れ表示 -」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.61-62, (2010-3)

瀧口 智史, 田中 敏光, 佐川 雄二:「ウェアラブル環境における片手文字・座標入力システム」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.66-67, (2010-3)

神尾 江里華, 田中 敏光, 佐川 雄二:「リハビリを目的としたゲームの提案」, 照明学会東海支部平成 21 年度若手セミナー, pp.70-71, (2010-3)

武仲 毅知, 田中 敏光, 佐川 雄二:「人の行動による屋内の汚れの表現」, 情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会 第 139 回研究発表会, (2010-7)

杉浦 司, 田中 敏光, 佐川 雄二, 手島 裕詞:「類似画像検索における GPU の活用」, 情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会 第 139 回研究発表会, (2010-7)

岩崎 秀介, 田中 敏光, 佐川 雄二:「GPU を用いた紙の破れの実時間表示」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-1, (2010-8)

黒田 貴弘, 田中 敏光, 佐川 雄二:「引力を考慮したフロントガラスを流れる水滴の CG 表現」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-2, (2010-8)

山中 健太郎, 田中 敏光, 佐川 雄二:「フロントガラ

- ス上の雪の CG 表現], 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-3, (2010-8)
- 大森 健斗, 田中 敏光, 佐川 雄二:「建物外壁を這う 蔦のシミュレーション」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-4, (2010-8)
- 伊藤 拓也, 田中 敏光, 佐川 雄二:「種類の違いを考慮した蔦の成長モデル」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-5, (2010-8)
- 中野 雄太, 田中 敏光, 佐川 雄二:「蟻の採餌行動のシミュレーション」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-6, (2010-8)
- 前田 裕人, 田中 敏光, 佐川 雄二:「ギャラリーの意図を汲んだカメラワークのリアルタイム生成」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-7, (2010-8)
- 井上 昌哉, 田中 敏光, 佐川 雄二:「スクラッチモデリングシステムの改良」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Q4-8, (2010-8)
- 上田 博之, 佐川 雄二, 田中 敏光:「略語の説明文抽出推定」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G2-1, (2010-8)
- 横井 謙一, 佐川 雄二, 田中 敏光:「Web ページレイアウトを用いた画像説明文抽出」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G2-3, (2010-8)
- 皆川 薫, 佐川 雄二, 田中 敏光:「WEB ページの表層的特徴を利用したランクづけ」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G2-4, (2010-8)
- 小牧 厚哉, 佐川 雄二, 田中 敏光:「難易度を考慮した Web ページの閲覧支援」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G2-5, (2010-8)
- 新美 淳也, 佐川 雄二, 田中 敏光:「感情推定手法を併用した Web からの評判情報抽出」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G2-6, (2010-8)
- 矢野 広基, 佐川 雄二, 田中 敏光:「Q & A サイトにおける知的検索支援システム」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G2-7, (2010-8)
- 千原 弘誉, 佐川 雄二, 田中 敏光:「タブレット PC におけるジェスチャー操作を用いた日本語文字入力インタフェース」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F4-1, (2010-8)
- 河畑 佳孝, 佐川 雄二, 田中 敏光:「ジェスチャーによる日本語入力インターフェース」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F4-2, (2010-8)
- 村石 健, 佐川 雄二, 田中 敏光:「感情的に振る舞う bot」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F4-3, (2010-8)
- 武田 拓也, 佐川 雄二, 田中 敏光:「場面に応じた BGM を流す電子書籍リーダー」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F4-4, (2010-8)
- 松永 雄太, 佐川 雄二, 田中 敏光:「台風速報記事の時間的・空間的要約システム」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F4-5, (2010-8)
- 原田 朋久, 田中 敏光, 佐川 雄二:「Wii リモコンで操作する組み合わせブロックモデラの開発」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F3-8, (2010-8)
- 竹内 星詞, 佐川 雄二, 田中 敏光:「検索履歴を用いた Web 検索支援システム」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G3-2, (2010-8)
- 加藤 宏章, 佐川 雄二, 田中 敏光:「ブログの特徴づけ」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G3-3, (2010-8)
- 武仲 毅知, 田中 敏光, 佐川 雄二:「人の移動による屋内の汚れの表現」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Po2-16, (2010-8)
- 杉 浦司, 田中 敏光, 佐川 雄二, 手島 裕詞:「CUDA を用いた類似画像検索アルゴリズムの実装」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Po2-20, (2010-8)
- 早川 舞, 田中 敏光, 佐川 雄二:「分類の変更を考慮したごみ分別トレーニングシステム」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, G5-7, (2010-8)
- 瀧口 智史, 田中 敏光, 佐川 雄二:「ウェブカメラを使った片手文字・座標入力システム」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, Po1-28, (2010-8)
- 横井 孝祐, 田中 敏光, 佐川 雄二:「性格を持つロボット群における共同作業」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F2-2, (2010-8)
- 太田 勇次, 田中 敏光, 佐川 雄二:「野球のバッティング動作の分析」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, N4-7, (2010-8)
- 中島 貴裕, 田中 敏光, 佐川 雄二:「教師の動きに強い板書の検出手法」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, N3-8, (2010-8)
- 日吉 大樹, 瀧口 智史, 田中 敏光, 佐川 雄二:「タッチデバイスを使用した片手文字入力方法」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F5-4, (2010-8)
- 神尾 江里華, 芹澤 隆史, 田中 敏光, 佐川 雄二, 柳田 康幸:「リハビリを目的とした体感ゲームの作成」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, F4-7, (2010-8)
- 大橋 俊由樹, 田中 敏光, 佐川 雄二:「空間認識能力学習のためのエデュテイメントシステムの開発」,

平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, N1-2, (2010-8)

瀧口 智史, 田中 敏光, 佐川 雄二:「Web カメラを用いた片手文字・座標入力システム」, 情報処理学会第 140 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会(2010-10)

高橋 友一

【著書】

高橋 友一:ロボット情報学ハンドブック, 9.1 (p.582) 近代科学社, 2010, 3 月

【学術論文】

M.Okaya, S.Yotsukura, and T.Takahashi : A Hybrid Agent Simulation System of Rescue Simulation and USARSim-Simulations from Going to Fire-Escape Doors to Evacuation to Shelters -, RoboCup 2009 : Robot Soccer World Cup XIII (LNAI5949), pp.414-424; Springer, 2010

M.Shimizu, S.Yotsukura T.Takahashi : Proposal of a Simulation Platform to Evaluate Rescue Robots in Active Disaster Environment, SICE Annual Conference 2010, 2010, Aug.

【その他】

岡谷 賢, 高橋 友一:「災害・避難シミュレーションに置ける心理表現」, 人工知能学会, 知識ベースシステム研究会(第 88 回) 1-8, (2010-3)

岡谷 賢, 高橋 友一:「災害・避難シミュレーションに置ける心理表現」, 人工知能学会, 第 31 回 AI-Challenge 研究会, 15-20 (2010-5)

岡谷 賢, 高橋 友一:「公開地図情報を用いた災害避難シミュレーションのためのマップの生成」, 電気関係学会, 東海支部全国大会(中部大学, 2010-8)

市橋 浩典, 内山 雅文, 高橋 友一:「自走駒を用いたチェスにおける移動計画」, 電気関係学会, 電気関係学会東海支部連合大会(2010-8)

内山 雅文, 市橋 浩典, 高橋 友一:「高齢者, 身体障害者向け紙シートを用いたユーザインタフェースの提案」, 平成 22 年度電気関係学会 東海支部連合大会, (2010-8)

橋本 哲也, 高橋 友一:「災害救助シミュレーションを用いた消防署管轄地域の決定方法」平成 22 年度電気関係学会 東海支部連合大会, (2010-8)

岡谷 賢, 高橋 友一:「避難シミュレーションにおける人間関係を考慮した行動モデルの提案」, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS2010), (2010-10)

津川 定之

【学術論文】

加藤 晋, 美濃部 直子, 津川 定之:「隊列走行システムにおける車内外への情報提示と HMI の一検討ーエネルギー ITS 推進事業の開発ー」, 自動車技術会論文集, Vol.41, No.5, pp.1161-1166, (2010-09)

Asami Matsushima, Sadayuki Tsugawa : 「Look-ahead-Distance for Lateral Control of Vision-based Vehicles」, Proc.17th ITS World Congress (CD-ROM), (2010-10)

Shin Kato, Sadayuki Tsugawa : 「Development of Human Machine Interface for Platooning Systems -Fundamental Proposal of HMI for Risk Avoidance-」, Proc.17th ITS World Congress (CD-ROM), (2010-10)

Katsumasa Amano, Sadayuki Tsugawa : 「Merging Assistance at a Non-Signalized Intersection with Vehicle-to-Vehicle Communications」, Proc.17th ITS World Congress (CD-ROM), (2010-10)

Makoto Okano, Sadayuki Tsugawa : 「Efficiency of Probe Data Acquisition through Vehicle-to-Vehicle Communication」, Proc.17th ITS World Congress (CD-ROM), (2010-10)

*Sadayuki Tsugawa, Shin Kato : 「Energy ITS : Another Application of Vehicular Communications」, IEEE Communication Magazine, November 2010, (2010-11)

【その他】

津川 定之, 鷺野 翔一:「ITS この 10 年」, 自動車技術, Vol.64, No.1, pp.64-70, (2010-1)

津川 定之:「2.ITS, ASV 技術」, 自動車技術会第 18 回自動車工学基礎講座講習会, 東京, (2010-3)

津川 定之:「安全運転支援システムの現状と課題」, 自動車技術会中部支部 2009 年度第 2 回技術講習会, 刈谷, (2010-3)

松島 麻美, 津川 定之:「車両ラテラル制御における前方注視距離の影響」, 電気学会 ITS 研究会, 京都, (2010-3)

津川 定之:「自動車の自動運転システムー自動車とロボットの接点ー」, 自動車技術, Vol.64, No.1, pp.25-30, (2010-5)

*Sadayuki Tsugawa : 「A View of ITS from Japan : Introduction to “Energy ITS” Project」, NSF Workshop on The Future of ITS and its Implication with regard to Mobility and Sustainability, コロンバス, 米国, (2010-5)

Sadayuki Tsugawa : 「Vehicular Safety Communications : Current Trends and Future Challenges」, 3rd IEEE WiVeC Symposium, 台北, (2010-5)

加藤 晋, 美濃部 直子, 津川 定之:「自動運転システムにおける交差点走行制御アルゴリズムの一検討ー

- エネルギー ITS 推進事業の開発-」, 自動車技術会
春季大会学術講演会, 横浜, (2010-5)
- 加藤 晋, 美濃部 直子, 津川 定之:「隊列走行システムにおける車内外への情報提示と HMI の一検討-
エネルギー ITS 推進事業の開発-」, 自動車技術会
春季大会, 横浜, (2010-5)
- 津川 定之:「自動車の自動運転システム-調査専門委
員会の活動報告-」, 電気学会 ITS 研究会, 習志野,
(2010-6)
- 天野 克正, 津川 定之:「無信号交差点における車車間
通信を用いた合流支援」, 平成 22 年度電気関係学会
東海支部連合大会, 瀬戸, (2010-8)
- 岡野 誠, 津川 定之:「車車間通信による情報の収集の
効率」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会,
瀬戸, (2010-8)
- 松島 麻実, 津川 定之:「車両ラテラル制御における前
方注視距離の影響」, 平成 22 年度電気関係学会東海
支部連合大会, 瀬戸, (2010-8)
- 三輪 吉明, 津川 定之:「デッドレコニングに基づく自
動運転車両のラテラル制御」, 平成 22 年度電気関係
学会東海支部連合大会, 瀬戸, (2010-8)
- * 津川 定之:「自動車交通の知能化による省エネル
ギー・環境負荷低減-総説」, 電気学会誌, Vol.130,
No.9, pp.596-599, (2010-9)
- 加藤 晋, 津川 定之:「隊列走行システムにおける周辺
車両への情報提供に関する一検討-エネルギー ITS
推進事業の開発-」, 自動車技術会 2010 年秋季大会
学術講演会, 北九州, (2010-10)
- * Sadayuki Tsugawa:「Energy ITS Initiative for Truck
Platooning」, 14th ITFVHA Annual Meeting, 釜山,
(2010-10)
- Sadayuki Tsugawa:「Technical Trend of New ITS Wireless
Systems: A Japanese Perspective」, 17th ITS World
Congress, 釜山, (2010-10)
- Sadayuki Tsugawa:「Inter-Vehicle Communication: A
Advantages and Issues」, The 10th International
Conference on Intelligent Transport Systems
Telecommunications, 京都, (2010-11)
- 三輪 吉明, 津川 定之:「デッドレコニングに基づく自
動運転車両のラテラル制御」, アドバンティ 2010 シ
ンポジウム講演論文集, pp.43-44, (2010-11)
- * 津川 定之:「情報通信技術による自動車交通の省
エネルギー化」, 応用科学学会秋季シンポジウム
2010, (2010-12)
- Keizou Jindou, Hatsuo Yamasaki, Osami Yamamoto,
Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and Muneo
Yamada: "An Investigation on Detection Technique
of Driver's Condition Based on Pupillary Light Reflex
Characteristics", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint
Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010),
ITS (1), P1-28, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Tatsuya Watanabe, Yoshiyuki Mohri, Keizo Jindo, Osami
Yamamoto, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and
Muneo Yamada: "Research on Detection Method for
Drunken Driving - An Approach with A Fusion of Shape
Change of The Pupil and The Driving Performance -",
Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers
of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-29,
February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Yuki Kakamu, Masatoshi Sakai, Tadashi Hattori, Yasuyuki
Yanagida, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto, Muneo
Yamada, Takayuki Shimizu and Yuji Iwata: "The Study
on Alerting Effectiveness by Fragrance Presentation
against Drowsy Driving", Proc.Sixteenth Korea-Japan
Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision
(FCV2010), ITS (1), P1-30, February 4-6, 2010,
Hiroshima, Japan
- Takashi Kato, Takashi Kitayama, Osami Yamamoto,
Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto, Muneo Yamada, Yuta
Doi, Masami Muramatsu and Hiroshi Matsumoto: "An
Examination on a Technique for Evaluating Performance
of Wipers Based on Forward Visibility", Proc.Sixteenth
Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer
Vision (FCV2010), ITS (1), P1-31, February 4-6,
2010, Hiroshima, Japan
- Tetsuya Fujimaki, Toshiaki Kasukabe (Meijo University,
Japan), Katsumi Matsuda, Osami Yamamoto, Muneo
Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano:
"Development of Simulator for Comprehensively
Measuring Driving Ability for Elderly Safe Driving",
Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers
of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-31,
February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Masahito Ando, Youhei Kondo, Hatsuo Yamasaki, Muneo
Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano:
"Training Method for Improving Cognitive Function of
Middle Age While Driving and Evaluation of Its Effects",
Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers
of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-32,
February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan

中野 倫明

【その他】

- Yosuke Nagase, Osami Yamamoto, Muneo Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano : "On a System for Screening Older Adults with Early Dementia by Driving Performance", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-33, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Takashi Kitayama, Yutaro Suzuki, Keizo Jindo, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and Muneo Yamada : "Study to Improve Detection Accuracy of Suspicious Behaviors and Intrusion Detection of Suspicious Persons Inside a Vehicle", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-34, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- 長瀬 洋輔, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明 : 「運転シミュレータでの運転行動による高齢ドライバの認知機能低下の検出法」, 動的画像処理実用化ワークショップ(DIA2010) 講演論文集, インタラクティブセッション : I-E 安心, 安全, I-26, (2010-03)
- 各務 勇気, 清水 隆行, 岩田 祐司, 柳田 康幸, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男 : 「香り提示によるドライバの覚醒効果についての研究」, 電気学会「情報処理技術委員会」「産業システム情報化技術委員会」合同研究会, (2010-03)
- 北山 隆, 松本 浩志, 村松 昌美, 土井 裕太, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男 : 「視界視認性からみた降雨時のワイパー払拭性能評価法の開発」, 電気学会「情報処理技術委員会」「産業システム情報化技術委員会」合同研究会, (2010-03)
- 加藤 千恵, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「香り提示によるドライバの疲労回復効果に関する実験検証」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-3, (2010-03)
- 高橋 佳男, 山田 宗男, 中野 倫明 : 「中高年者の運転能力の訓練 - 認知機能向上のための訓練システムの試作 -」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-7, (2010-03)
- 大石 裕介, 山田 宗男, 中野 倫明 : 「中高年者の運転能力の測定 - 測定シミュレータの改良と性能評価 -」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-8, (2010-03)
- 沼山 達哉, 山田 宗男, 中野 倫明 : 「高齢者の認知機能低下の検出 - 認知機能低下検出のシミュレータの試作 -」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-9, (2010-03)
- 吉田 真理子, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「香り提示によるドライバ覚醒効果に関する実験検証」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-4, (2010-03)
- 鈴木 隆暢, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「車載向け香り提示手法と評価システムに関する検討」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-5, (2010-03)
- 中村 勇太, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「操舵特性に基づくドライバ状態検知に関する検討」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-6, (2010-03)
- 藤巻 哲也, 春日部 利明, 松田 克巳, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明 : 「中高年からの運転能力の維持・向上支援 - 認知機能の測定・評価法 -」, 自動車技術会 2010 年春季学術講演会, No.37-10 運転行動 I, 184, (2010-05)
- 安藤 雅仁, 近藤 洋平, 山崎 初夫, 川澄 未来子, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明 : 「中高年からの運転能力の維持・向上支援 - 認知機能の訓練法とその効果 -」, 自動車技術会 2010 年春季学術講演会, No.37-10 運転行動 I, 185, (2010-05)
- 北山 隆, 加藤 剛資, 遠藤 晃一, 松本 浩志, 村松 昌美, 土井 裕太, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男 : 「自動車用ワイパー払拭性能の評価手法の開発」, 自動車技術会 2010 年春季学術講演会, No.75-10 安全・エレクトロニクス II, 364, (2010-05)
- 山田 宗男, 中野 倫明, 山本 新 : 「車室内におけるドライバおよび乗員の検知・監視技術」, センシング技術応用セミナー「自動車・自転車の安全&エコとその先端センシング技術」, 講演 3, (2010-06)
- 長瀬 洋輔, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明 : 「運転行動による高齢ドライバの認知機能低下の検出法」, 2009 年交通予防安全コンソーシアム年次報告書, 技術報告 I. ドライバの認知や判断の特性, pp.13-17 (2010-06)
- 各務 勇気, 吉川 真人, 清水 隆行, 柳田 康幸, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男 : 「香り提示システムの試作とドライバの覚醒への応用」, 2009 年交通予防安全コンソーシアム年次報告書, 技術報告 III. ヒューマンエラー防止運転行動と支援システムのインターフェイス, pp.75-79 (2010-06)
- 神道 圭造, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男 : 「対光反射特性に基づくドライバ状態検知 - 概日実験の検討 -」, 第 16 回 画像センシング

- シンポジウム (SSII2010) 予稿集, IS4 インタラクティブ&ショートオーラルセッション4「ITS・安全安心・追跡・検出」, IS4-03, (2010-06)
- 渡辺 達也, 中村 勇太, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「運転パフォーマンスに基づくドライバ状態の推定に関する研究」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-23, (2010-08)
- 中村 勇太, 神道 圭造, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射によるドライバ状態検知についての検討-概日実験の検討-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-24, (2010-08)
- 鈴木 隆暢, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車載向け香り提示システムとその効果に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-25, (2010-08)
- 吉田 真理子, 各務 勇氣, 加藤 千恵, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示による覚醒効果に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-26, (2010-08)
- 加藤 千恵, 各務 勇氣, 吉田 真理子, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示による疲労回復効果に関する実験検証」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-27, (2010-08)
- 各務 勇氣, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車室内不審行動検知手法に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-28, (2010-08)
- 遠藤 晃一, 北山 隆, 加藤 剛資, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男, 土井 裕太, 松本 浩志:「ワイパ払拭性能評価手法に関する前方視認性の検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-29, (2010-08)
- 藤巻 哲也, 大石 裕介, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転能力測定・評価シミュレータの開発-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-30, (2010-08)
- 大石 裕介, 藤巻 哲也, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転時の有効視野と注意・判断能力の測定法-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-31, (2010-08)
- 安藤 雅仁, 高橋 佳男, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転能力の訓練シミュレータの検討-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-32, (2010-08)
- 高橋 佳男, 安藤 雅仁, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「中高年からの運転能力の評価と訓練-地図表示を用いた運転能力の訓練法とその効果-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-33, (2010-08)
- 長瀬 洋輔, 畔柳 有希, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転時の認知機能低下検出システムの検討-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-34, (2010-08)
- 畔柳 有希, 長瀬 洋輔, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転行動による認知機能低下の検出法-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-35, (2010-08)
- 中野 倫明, 山田 宗男, 山本 新, 小竹 元基:「運転能力の要件と支援指針」, 自動車技術会 No.04-10 シンポジウム「高齢者の運転能力とその支援を考える」(招待講演)芝浦工業大学, 20104636, pp.1-6 (2010-10)
- 中野 倫明, 山田 宗男, 山本 新, 小竹 元基:「ドライバの運転能力評価と高齢ドライバの支援(特集:ドライバとくるまのインタフェース)」, 自動車技術, Vol.64, No.10, 20104566, pp.72-77 (2010-10)
- 北山 隆, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男, 土井 裕太, 松本 浩志, 村松 昌美:「ウォッシュ噴射方式の違いによるワイパ払拭性能評価」, ViEW2010 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集,「自動車を進化させる車載カメラ画像やセンサ情報の認識技術」セッション, E-3H (I-33), (2010-12)
- 吉田 真理子, 各務 勇氣, 加藤 千恵, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示に基づくドライバの覚醒効果に関する検討」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 1, 1-B 安全・ヒューマンインターフェース(1), 1-B-12, (2010-12)
- 加藤 千恵, 各務 勇氣, 吉田 真理子, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示に基づくドライバの疲労回復効果に関する実験検証」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 1, 1-B 安全・ヒューマンインターフェース(1), 1-B-14, (2010-12)

- 大石 裕介, 藤巻 哲也, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「運転時の高齢ドライバの視覚・認知機能の測定と運転能力評価」, 第9回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-01, (2010-12)
- 高橋 佳男, 安藤 雅仁, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「運転前的高齢ドライバの認知機能の訓練とその効果の検討」, 第9回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-03, (2010-12)
- 畔柳 有希, 長瀬 洋輔, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「運転シミュレータでの運転行動による高齢ドライバの認知機能低下の検出法」, 第9回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-05, (2010-12)
- 沼山 達哉, 長瀬 洋輔, 畔柳 有希, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「高齢者の認知症スクリーニングのための自動検査システムの検討」, 第9回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-07, (2010-12)
- 中村 勇太, 遠藤 晃一, 浅見 徳宏, 増田 光太, 神道 圭造, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射に基づくドライバ状態検知 - 瞳孔検出手法の検討 -」, 第9回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-D 車両・地図・センシング(2), 2-D-05, (2010-12)
- 中野 倫明:「ドライバを支援する ITS ~運転能力の低いドライバを ITS 技術で支援すべきか? ~」, 第9回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 企画セッション 1-2, (2010-12)
- 大石 裕介, 藤巻 哲也, 松田 克己, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバの支援 - 運転時の視覚・認知機能の測定と運転能力評価 -」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門ヒューマンインフォメーション 2, 6-4, (2010-12)
- 高橋 佳男, 安藤 雅仁, 山崎 初夫, 川澄 未来子, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバの支援 - 運転前認知機能の訓練とその効果の検討 -」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門ヒューマンインフォメーション 2, 6-5, (2010-12)
- 畔柳 有希, 長瀬 洋輔, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバの支援 - 運転行動による認知機能低下の検出法 -」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門ヒューマンインフォメーション 2, 6-6, (2010-12)
- 沼山 達哉, 長瀬 洋輔, 畔柳 有希, 山本 修身, 川澄 未来子, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバの支援 - 認知症スクリーニングのための自動検査システム -」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-7, (2010-12)
- 鈴木 隆暢, 坂井 孝太, 山崎 初男, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車室内監視映像に基づく乗員の不審行動検知の試み」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-9, (2010-12)
- 中村 勇太, 遠藤 晃一, 浅見 徳宏, 増田 光太, 神道 圭造, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射によるドライバ状態検知」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-10, (2010-12)
- 遠藤 晃一, 神道 圭造, 中村 勇太, 浅見 徳宏, 増田 光太, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男, 清水 隆行:「ハイパースペクトルカメラを用いたドライバーの疲労検出」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門ヒューマンインフォメーション 2, 6-11, (2010-12)
- 加藤 千恵, 各務 勇気, 吉田 真理子, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「ドライバへの香り提示に基づく疲労回復効果に関する実験検証」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-14, (2010-12)
- 吉田 真理子, 各務 勇気, 加藤 千恵, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「ドライバへの香り提示に基づく覚醒効果に関する検討」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門ヒューマンインフォメーション 2, 6-15, (2010-12)

柳田 康幸

【著書】

柳田 康幸, 稲見 昌彦, 苗村 健:「VR コンテンツの要素」, 『バーチャルリアリティ学』(舘 暉, 佐藤誠, 廣瀬通孝 監修), 第7章, pp.246-250, 工業調査会, (2010-1)

【その他】

柳田 康幸:「嗅覚ディスプレイの研究開発動向と MEMS」, 月刊ディスプレイ, Vol.16, No.1, pp.31-38, テクノタイムス社, (2010-1)

Y.Kakamu, M.Sakai, T.Hattori, Y.Yanagida, T.Nakano,

- S.Yamamoto, M.Yamada, T.Shimizu, and Y.Iwata : "The Study on Alerting Effectiveness by Fragrance Presentation against Drowsy Driving," Proceedings of 16th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), (2010-2)
- 柳田 康幸 : 「空気砲の原理を利用した香りプロジェクタ～最近の研究開発動向～」, AROMA RESEARCH, Vol.11, No.1 (通巻 No.41), pp.18-22, フレグランスジャーナル社, (2010-2)
- 芹澤 隆史, 柳田 康幸 : 「HMD に搭載可能なキャリブレーションレスモーショントラッカー」, 情報処理学会インタラクティブ2010 論文集, pp.151-154 (2010-3)
- T.Ohshima, T.Serizawa, and Y.Yanagida : "KHAKI : A Hemispherical, Multi-function Input Device for 3D Operation," Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2010, pp.141-142, (2010-3)
- 神尾 江里華, 芹澤 隆史, 田中 敏光, 佐川 雄二, 柳田 康幸 : リハビリを目的とした体感ゲームの作成, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 発表番号 F4-7 (2010-8)
- T.Serizawa and Y.Yanagida : "Instant First-Person Posture Estimation," International Conference on Entertainment Computing (ICEC) 2010, pp.508-510, (2010-9)
- 芹澤 隆史, 柳田 康幸 : 「HMD に搭載可能なマーカーレスモーショントラッカー : 初期姿勢推定アルゴリズムの評価」, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp.282-285, (2010-9)
- 田中 丸龍哉, 柳田 康幸, 永柳 博己 : 「扁平型香りプロジェクタの開発」, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp.324-327, (2010-9)
- 村井 康治, 芹澤 隆史, 柳田 康幸 : 「距離画像カメラと RFID タグによる個人識別を用いた歩行者待ち受け型香り場生成」, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp.328-331, (2010-9)
- 芹澤 隆史, 笠井 正, 柳田 康幸 : 「KHAKI : ドーム型掌・指先入力デバイスの開発 : 指先識別・圧力検出アルゴリズム」, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp.294-297, (2010-9)
- 柳田 康幸, 芹澤 隆史, 村井 康治 : 「実世界インタラクティブのための五感ディスプレイ技術 - 視覚だけに頼らない情報提示を目指して -」, エンタテインメントコンピューティング 2010, CD-ROM, 発表番号 10, (2010-10)
- 佐合 亮太, 柳田 康幸 : 「利用者のコミュニケーションを促進する図書館向け電子サービスの提案」, エンタテインメントコンピューティング 2010, CD-ROM, 発表番号 30, (2010-10)
- 柳田 康幸 : 「マルチモーダルディスプレイ技術の研究」, JST 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」領域第 4 回シンポジウム「表現の未来へ」ポスター(2010-11)
- 柳田 康幸 : 「バーチャルリアリティのインタフェース」, 画像電子学会誌, Vol.39, No.6, (2010-12)
- 山田 啓一**
- 【学術論文】**
- 林 紀典, 細江 尚樹, 山田 啓一 : 「交差点における対向車両の通常の右折行動からの逸脱の検出」, 自動車技術会論文集, Vol.41, No.3, pp.767-773, (2010-5)
- 紀平 和俊, 山田 啓一 : 「車両挙動からの後続車両ドライバの不注意運転傾向の推定」, 電気学会論文誌 C, Vol.130, No.6, pp.1003-1009, (2010-6)
- 【その他】**
- 細江 尚樹, 林 紀典, 山田 啓一 : 「運転行動からのドライバの歩行者への気付きの推定」, 電子情報通信学会 2010 年総合大会講演論文集, A-17-34, (2010-3)
- 村山 博紀, 竹島 徹, 山田 啓一 : 「ビデオ画像からの DP マッチングを用いた不審行動検出」, 動的画像処理実利用化ワークショップ DIA2010 講演論文集, pp.268-272, (2010-3)
- K.Nakatsubo, K.Yamada : "Detecting Unusual Pedestrian Behavior toward Own Vehicle for Vehicle-to-Pedestrian Collision Avoidance," Proc.of 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.401-405, (2010-6)
- 細江 尚樹, 山田 啓一 : 「運転行動からのドライバの歩行者・自転車への気付きの推定 - 実走行データによる検討 -」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, E4-4, (2010-8)
- 馬淵 竜紀, 山田 啓一 : 「黄信号切替り時における運転行動からのドライバの通過・停止の意図推定」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, E4-5, (2010-8)
- 村山 博紀, 古橋 竜祐, 山田 啓一 : 「連続 DP を用いたビデオ画像からの不審行動の検出」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, N4-1, (2010-8)
- 林 紀典, 山田 啓一 : 「運転行動が観測された状況の比較に基づく交差点における右折行動の通常からの逸脱の検出」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, E5-3, (2010-8)
- 中坪 宏太, 山田 啓一 : 「車両・歩行者の衝突防止のための歩行者の自車両に対する非通常挙動の検出」,

平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, E5-4, (2010-8)

旭 健作, 小川 明, 坂野 秀樹, 山本 修身, 山田 啓一:「マイクロホンアレーによる接近車両の検出システムの構築と評価」, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会, 3-Q-13, (2010-9)

坂野 秀樹, 旭 健作, 山本 修身, 小川 明, 山田 啓一:「マイクロホンアレーによる接近車両の検出における複数車両への対応」, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会, 3-Q-14, (2010-9)

細江 尚樹, 山田 啓一:「運転行動からのドライバの歩行者への気付きの推定」, 自動車技術会学術講演会前刷集(2010 年秋季大会), No.123-10, pp.1-4, 20105647, (2010-9)

H.Murayama, K.Yamada: "Detection of Unusual Human Activity based on Sequence of Actions with MHI and CDP," Proc.of the 2010 IEEE Region 10 Conference, (2010-11)

山本 修身

【学術論文】

Keizou Jindou, Hatsuo Yamasaki, Osami Yamamoto, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and Muneo Yamada: "An Investigation on Detection Technique of Driver's Condition Based on Pupillary Light Reflex Characteristics", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-28, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan (2010-2)

Tatsuya Watanabe, Yoshiyuki Mohri, Keizo Jindo, Osami Yamamoto, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and Muneo Yamada: "Research on Detection Method for Drunken Driving - An Approach with A Fusion of Shape Change of The Pupil and The Driving Performance -", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-29, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan (2010-2)

Takashi Kato, Takashi Kitayama, Osami Yamamoto, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto, Muneo Yamada, Yuta Doi, Masami Muramatsu and Hiroshi Matsumoto: "An Examination on a Technique for Evaluating Performance of Wipers Based on Forward Visibility", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-31, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan (2010-2)

Tetsuya Fujimaki, Toshiaki Kasukabe (Meijo University, Japan), Katsumi Matsuda, Osami Yamamoto, Muneo

Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano: "Development of Simulator for Comprehensively Measuring Driving Ability for Elderly Safe Driving", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-31, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan (2010-2)

Yosuke Nagase, Osami Yamamoto, Muneo Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano: "On a System for Screening Older Adults with Early Dementia by Driving Performance", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-33, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan (2010-2)

【その他】

加藤 剛資, 北山 隆, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男, 土井 裕太, 村松 昌美, 松本 浩志:「前方視認性を考慮したワイパ性能の定量評価手法に関する検討」映像情報メディア学会 2009 年冬期大会講演予稿集, 7-4, (2009-12)

藤巻 哲也, 春日部 利明, 松田 克巳, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢者向け運転シミュレータの開発 - 加齢による認知機能低下の測定法 -」, 映像情報メディア学会 2009 年冬期大会講演予稿集, 4-6, (2009-12)

長瀬 洋輔, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明(名城大):「高齢者向け運転シミュレータの開発 - 認知症の早期スクリーニングの試み -」, 映像情報メディア学会 2009 年冬期大会講演予稿集, 4-7, (2009-12)

安藤 雅仁, 近藤 洋平, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢者向け運転シミュレータの開発 - 中高年者の認知機能の訓練とその効果 -」, 映像情報メディア学会 2009 年冬期大会講演予稿集, 4-8, (2009-12)

水谷 智彰, 山本 修身:「テニスの動画像中のボールの追跡について」, 電子情報通信学会 2010 年度総合大会 情報・システムソサエティ 特別企画学生ポスターセッション予稿集, p.168, (2010-3).

長瀬 洋輔, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「運転シミュレータでの運転行動による高齢ドライバの認知機能低下の検出法」, 動的画像処理実用化ワークショップ 2010 講演論文集, pp.164-168, (2010-3)

倉橋 亨丞, 山本 修身:「変形ハノイパズルの解法について」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, D4-2, (2010-8)

河野 勇人, 山本 修身:「メッシュ上の計算による 2 次

- 元および3次元凸包の計算について」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, D4-3, (2010-8)
- 水谷 友彰, 山本 修身:「テニスの動画像中のボールの追跡について」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, N4-6, (2010-8).
- 古澤 慎一, 山本 修身「WEBカメラを用いた入力システムのための画像処理アルゴリズムについて」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-21, (2010-8).
- 渡辺 達也, 中村 勇太, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「運転パフォーマンスに基づくドライバ状態の推定に関する研究」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-23, (2010-8)
- 中村 勇太, 神道 圭造, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射によるドライバ状態検知についての検討-概日実験の検討-」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-24, (2010-8)
- 鈴木 隆暢, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車載向け香り提示システムとその効果に関する検討」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-25, (2010-8)
- 吉田 真理子, 各務 勇氣, 加藤 千恵, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示による覚醒効果に関する検討」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-26, (2010-8)
- 加藤 千恵, 各務 勇氣, 吉田 真理子, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示による疲労回復効果に関する実験検証」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-27, (2010-8)
- 各務 勇氣, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車室内不審行動検知手法に関する検討」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-28, (2010-8)
- 藤巻 哲也, 大石 裕介, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転能力測定・評価シミュレータの開発-」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-30, (2010-8)
- 大石 裕介, 藤巻 哲也, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転時の有効視野と注意・判断能力の測定法-」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-31, (2010-8)
- 長瀬 洋輔, 畔柳 有希, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転時の認知機能低下検出システムの検討-」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-34, (2010-8)
- 畔柳 有希, 長瀬 洋輔, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転行動による認知機能低下の検出法-」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, Po2-34, (2010-8)
- 旭 健作, 小川 明, 坂野 秀樹, 山本 修身, 山田 啓一:「マイクロホンアレイによる接近車両の検出システムの構築と評価」, 日本音響学会2010年秋期研究発表会講演論文集, pp.767-768, (2010-9)
- 坂野 秀樹, 旭 健作, 山本 修身, 小川 明, 山田 啓一:「マイクロホンアレイによる接近車両の検出における複数車両への対応」, 日本音響学会2010年秋期研究発表会講演論文集, pp.769-770, (2010-9)

渡邊 晃

【学術論文】

- 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「通信グループに基づくサービスの制御が可能なNAT越えシステムの提案」, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, (2010-9)
- 宮崎 悠, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「端末の改造が不要なNAT越え通信システム NTSS の提案と評価」, (2010-9)

【その他】

- H.Yamagishi, H.Suzuki, and A.Watanabe: "Study of a Remote Monitoring System for Senior Drivers," Proceedings of the IEEE International Region 10 Conference 2010 (TENCON2010), (2010-11)
- 久保 敷透, 寺澤 圭史, 渡邊 晃:「IPv6におけるネットワークの隠蔽方式に関する検討」, 情報処理学会第72回全国大会講演論文集, (2010-3)
- 山岸 弘幸, 鈴木 秀和, 寺澤 圭史, 渡邊 晃:「高齢者ドライバを遠隔地から見守るシステムの提案」, 情報処理学会第72回全国大会講演論文集, (2010-3)
- 鈴木 健太, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「NAT-fを応用したリモートアクセス方式GSRAの提案と実装」情報処理学会第72回全国大会講演論文集, (2010-3)
- 村橋 孝謙, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「NAT-fを利用したSIPのNAT越え通信の提案」, 情報処理学会第72回全国大会講演論文集, (2010-3)
- 寺澤 圭史, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「IPv6におけるMobile PPCの実現と評価」, 情報処理学会研究報告,

- 2010-MBL52, (2010-1)
- 久保 敷透, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「IPv6 におけるネットワーク構成隠蔽に関する検討」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.1153-1158, (2010-7)
- 山岸 弘幸, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「高齢者ドライバを遠隔地から見守るシステムの検討」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.1203-1209, (2010-7)
- 水谷 智大, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「NAT を跨る移動透過性実現する Mobile PPC の提案」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.281-287, (2010-7)
- 三浦 健吉, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「コンテンツ単位のグルーピングを可能とするリモートアクセス方式の提案」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2009, No.1, pp.1678-1682, (2010-7)
- 鈴木 健太, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「NAT 越え技術を用いたりリモートアクセス方式の提案と設計」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.288-294, (2010-7)
- 後藤 秀暢, 渡邊 晃:「アドホックネットワークのスループットの低下を防ぐ方式の検討」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, (2009-7)
- 森崎 明, 渡邊 晃:「通信状態を考慮したアドホックネットワークプロトコルの検討」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, (2010-7)
- 村橋 孝謙, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「通信アーキテクチャ GSCIP の管理運用評価」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.938-943, (2010-7)
- 谷口 勇樹, 渡邊 晃:「アクセスポイント配下に無線メッシュネットワークを構築する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, (2010-8)
- 加藤 大智, 山岸 弘幸, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「高齢者を見守るリモート監視システムの提案」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, (2010-8)
- 森 一養, 後藤 秀暢, 渡邊 晃:「ストロングビジットーンを用いたアドホックネットワークアクセス方式の提案」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, (2010-8)
- 福山 陽祐, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「携帯電話網と無線 LAN 間をシームレスに移動する Mobile PPC の提案」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, (2010-8)
- 三輪 亮太, 渡邊 晃:「災害発生時に電波の方向により被災者を迅速に見守る方式の提案」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, (2010-8)
- 三浦 健吉, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「コンテンツ単位のグルーピングを実現するリモートアクセス方式の提案」, 情報処理学会研究報告, 2010-DPS, (2010-11)
- 宇佐見 庄五**
- 【学術論文】**
- T.Wadayama, K.Nakamura, M.Yagita, Y.Funahashi, S.Usami and I.Takumi: "Gradient Descent Bit Flipping Algorithms for Decoding LDPC Codes," IEEE Trans. Inform.Theory, Vol.58, No.6, pp.1610-1614, (2010-6)
- 【その他】**
- 高村 祥夫, 佐原 僚介, 宇佐見 庄五, 白田 毅:「波長分割多重による広帯域量子通信路容量の達成可能性の検討」, 第 32 回情報理論とその応用シンポジウム予稿集, pp.443-447, (2009-12)
- 塚本 靖, 佐原 僚介, 宇佐見 庄五, 白田 毅:「4 相 PSK 変調を用いたスクィズド状態の通信路容量の考察」, 第 32 回情報理論とその応用シンポジウム予稿集, pp.448-453, (2009-12)
- 中山 雄太, 山口 悟, 宇佐見 庄五, 白田 毅:「真空及びコヒーレント状態量子ビットによる擬似ベル状態に対する減衰の影響」, 第 32 回情報理論とその応用シンポジウム予稿集, pp.671-675, (2009-12)
- 田中 秀平, 宇佐見 庄五:「光 CDMA システムにおける CSK 方式の多重化の検討」, 第 32 回情報理論とその応用シンポジウム予稿集, pp.793-798, (2009-12)
- 矢崎 良明, 山口 悟, 高村 祥夫, 宇佐見 庄五, 白田 毅:「異なるエンタングルメント純粋化プロトコルの性能比較」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, L1-2, (2010-8)
- 丹羽 智紀, 太田 征輝, 宇佐見 庄五, 白田 毅:「M 相 PSK コヒーレント状態信号に対する量子最適受信機の実現法の考察」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, L1-4, (2010-8)
- 坂井田 武嗣, 宇佐見 庄五:「3 次元拡張高次元パリティ符号の誤り率特性」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, M3-1, (2010-8)
- Y.Takamura, S.Usami and T.S.Usuda: "On attainment of the capacity of broadband quantum channel by wavelength division multiplexing," Proc.of 2010 International Symposium on Information Theory and Its

Applications (ISITA2010), pp.1045-1049, (2010-10)

小中 英嗣

【学術論文】

小中 英嗣, 鈴木 達也, 浅野 一哉, 飯島 慶次:「連続鋼板処理プロセスのハイブリッドペトリネットによるモデル化とモデル予測制御」, 計測自動制御学会論文誌 Vol.42, No.11, pp.562-569, (2009-11)

板倉 啓樹, 小中 英嗣:「事象駆動型ニューラルコントローラによる動的システムの離散値制御」, 電気学会論文誌 C, Vol.129, No.12, pp.2121-2128, (2009-12)

【その他】

小中 英嗣:「ニューラルネットワークを用いた離散値入力予測制御器の設計 - 出力フィードバック系への適用 -」, 第 10 回計測自動制御学会制御部門大会, CD-ROM, (2010-3)

小中 英嗣:「k 最近傍法を用いた離散値入力予測制御器の設計」, 計測自動制御学会第 47 回離散事象システム研究会講演論文集, pp.23-28, (2010-8).

戸石 大輔, 小中 英嗣:「分枝限定法による二輪走行車両の最適制御入力時系列探索」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, pp.01-4, (2010-8)

坂野 秀樹

【その他】

河原 英紀, 森勢 将雅, 高橋 徹, 坂野 秀樹, 西村 竜一, 入野 俊夫:「尖度に基づく音響的イベントの検出と音声分析変換合成システムへの応用について」, 日本音響学会春季講演論文集, pp.315-316, (2010-3)

西脇 涼介, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「話声から歌声への段階的な変化に伴うフォルマント周波数の変化」, 日本音響学会春季講演論文集, pp.465-466, (2010-3)

鈴木 千文, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「歌唱音声の類似度評価を目的としたビブラートに関する特徴量の提案」, 日本音響学会春季講演論文集, pp.467-468, (2010-3)

佐藤 奨, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「楽曲検索のためのスペクトルフラットネスと帯域分割パワーに基づく音響特徴量の提案」, 日本音響学会春季講演論文集, pp.487-488, (2010-3)

Hideki Kawahara, Ryuichi Nisimura, Toshio Irino, Masanori Morise, Toru Takahashi, Hideki Banno: "High-quality and light-weight voice transformation enabling extrapolation without perceptual and objective breakdown." Proc.ICASSP 2010, pp.4818-4821 (2010-5)

Ayanori Arakawa, Yoshinori Uchimura, Hideki Banno, Fumitada Itakura, Hideki Kawahara: "High quality

voice manipulation method based on the vocal tract area function obtained from sub-band lsp of straight spectrum." Proc.ICASSP 2010, pp.4834-4837 (2010-5)

旭 健作, 小川 明, 坂野 秀樹, 山本 修身, 山田 啓一:「マイクロホンアレーによる接近車両の検出システムの構築と評価」, 日本音響学会秋季講演論文集, pp.767-768, (2010-9)

坂野 秀樹, 旭 健作, 小川 明, 山本 修身, 山田 啓一:「マイクロホンアレーによる接近車両の検出における複数車両への対応」, 日本音響学会秋季講演論文集, pp.769-770, (2010-9)

佐藤 奨, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「楽曲分類におけるラウド感を表す音響特徴量の動的特徴の分析」, 日本音響学会秋季講演論文集, pp.859-860, (2010-9)

川上 裕司, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「声道断面積関数を用いた GMM に基づく歌唱音声の声質変換」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.297, pp.71-76, (2010-11)

鈴木 千文, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「歌手によるビブラート特徴量の違いの分析」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.297, pp.89-94, (2010-11)

柴田 吉輝, 坂野 秀樹, 板倉 文忠:「動的特徴に着目した音声分析合成音の明瞭性向上手法の提案」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.297, pp.101-106, (2010-11)

山田 宗男

【学術論文】

野口 健二, 寺本 篤司, 山田 宗男, 村越 貴行:「傾斜型 X 線 CT を用いた BGA はんだ接合部の異物検査手法」, エレクトロニクス実装学会論文誌, Vol.13, No.1, pp.63-70, (2010-1)

【その他】

Keizou Jindou, Hatsuo Yamasaki, Osami Yamamoto, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and Muneo Yamada: "An Investigation on Detection Technique of Driver's Condition Based on Pupillary Light Reflex Characteristics", Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-28, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
Tatsuya Watanabe, Yoshiyuki Mohri, Keizo Jindo, Osami Yamamoto, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and Muneo Yamada: "Research on Detection Method for Drunken Driving - An Approach with A Fusion of Shape Change of The Pupil and The Driving Performance -", Proc. Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-29, February

- 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Yuki Kakamu, Masatoshi Sakai, Tadashi Hattori, Yasuyuki Yanagida, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto, Muneo Yamada, Takayuki Shimizu and Yuji Iwata : “The Study on Alerting Effectiveness by Fragrance Presentation against Drowsy Driving”, Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-30, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Takashi Kato, Takashi Kitayama, Osami Yamamoto, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto, Muneo Yamada, Yuta Doi, Masami Muramatsu and Hiroshi Matsumoto : “An Examination on a Technique for Evaluating Performance of Wipers Based on Forward Visibility”, Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (1), P1-31, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Tetsuya Fujimaki, Toshiaki Kasukabe, Katsumi Matsuda, Osami Yamamoto, Muneo Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano : “Development of Simulator for Comprehensively Measuring Driving Ability for Elderly Safe Driving”, Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-31, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Masahito Ando, Youhei Kondo, Hatsuo Yamasaki, Muneo Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano : “Training Method for Improving Cognitive Function of Middle Age While Driving and Evaluation of Its Effects”, Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-32, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Yosuke Nagase, Osami Yamamoto, Muneo Yamada, Shin Yamamoto and Tomoaki Nakano : “On a System for Screening Older Adults with Early Dementia by Driving Performance”, Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-33, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- Takashi Kitayama, Yutaro Suzuki, Keizo Jindo, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto and Muneo Yamada : “Study to Improve Detection Accuracy of Suspicious Behaviors and Intrusion Detection of Suspicious Persons Inside a Vehicle”, Proc.Sixteenth Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), ITS (2), P2-34, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan
- 長瀬 洋輔, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明 : 「運転シミュレータでの運転行動による高齢ドライバーの認知機能低下の検出法」, 動的画像処理実用化ワークショップ(DIA2010) 講演論文集, インタラクティブセッション : I-E 安心, 安全, I-26, (2010-03)
- 各務 勇気, 清水 隆行, 岩田 祐司, 柳田 康幸, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男 : 「香り提示によるドライバーの覚醒効果についての研究」, 電気学会「情報処理技術委員会」「産業システム情報化技術委員会」合同研究会, (2010-03)
- 北山 隆, 松本 浩志, 村松 昌美, 土井 裕太, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男 : 「視界視認性からみた降雨時のワイパー払拭性能評価法の開発」, 電気学会「情報処理技術委員会」「産業システム情報化技術委員会」合同研究会, (2010-03)
- 加藤 千恵, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「香り提示によるドライバーの疲労回復効果に関する実験検証」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-3, (2010-03)
- 高橋 佳男, 山田 宗男, 中野 倫明 : 「中高年者の運転能力の訓練－認知機能向上のための訓練システムの試作－」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-7, (2010-03)
- 大石 裕介, 山田 宗男, 中野 倫明 : 「中高年者の運転能力の測定－測定シミュレータの改良と性能評価－」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-8, (2010-03)
- 沼山 達哉, 山田 宗男, 中野 倫明 : 「高齢者の認知機能低下の検出－認知機能低下検出のシミュレータの試作－」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-9, (2010-03)
- 吉田 真理子, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「香り提示によるドライバー覚醒効果に関する実験検証」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-4, (2010-03)
- 鈴木 隆暢, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「車載向け香り提示手法と評価システムに関する検討」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-5, (2010-03)
- 中村 勇太, 中野 倫明, 山田 宗男 : 「操舵特性に基づくドライバー状態検知に関する検討」, 平成 21 年度 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, オーラルセッション OA1, OA1-6, (2010-03)
- 藤巻 哲也, 春日部 利明, 松田 克巳, 山本 修身, 山田

- 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の維持・向上支援－認知機能の測定・評価法－」, 自動車技術会 2010 年春季学術講演会, No.37-10 運転行動 I, 184, (2010-05)
- 安藤 雅仁, 近藤 洋平, 山崎 初夫, 川澄 未来子, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の維持・向上支援－認知機能の訓練法とその効果－」, 自動車技術会 2010 年春季学術講演会, No.37-10 運転行動 I, 185, (2010-05)
- 北山 隆, 加藤 剛資, 遠藤 晃一, 松本 浩志, 村松 昌美, 土井 裕太, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「自動車用ワイパ払拭性能の評価手法の開発」, 自動車技術会 2010 年春季学術講演会, No.75-10 安全・エレクトロニクス II, 364, (2010-05)
- 山田 宗男, 中野 倫明, 山本 新:「車室内におけるドライバおよび乗員の検知・監視技術」, センシング技術応用セミナー「自動車・自転車の安全&エコとその先端センシング技術」, 講演 3, (2010-06)
- 長瀬 洋輔, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「運転行動による高齢ドライバの認知機能低下の検出法」, 2009 年交通予防安全コンソーシアム年次報告書, 技術報告 I. ドライバの認知や判断の特性, pp.13-17 (2010-06)
- 各務 勇気, 吉川 真人, 清水 隆行, 柳田 康幸, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示システムの試作とドライバの覚醒への応用」, 2009 年交通予防安全コンソーシアム年次報告書, 技術報告 III. ヒューマンエラー防止運転行動と支援システムのインターフェイス, pp.75-79 (2010-06)
- 神道 圭造, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射特性に基づくドライバ状態検知－概日実験の検討－」, 第 16 回 画像センシングシンポジウム (SSII2010) 予稿集, IS4 インタラクティブ&ショートオーラルセッション 4「ITS・安全安心・追跡・検出」, IS4-03, (2010-06)
- 渡辺 達也, 中村 勇太, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「運転パフォーマンスに基づくドライバ状態の推定に関する研究」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-23, (2010-08)
- 中村 勇太, 神道 圭造, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射によるドライバ状態検知についての検討－概日実験の検討－」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-24, (2010-08)
- 鈴木 隆暢, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車載向け香り提示システムとその効果に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-25, (2010-08)
- 吉田 真理子, 各務 勇気, 加藤 千恵, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示による覚醒効果に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-26, (2010-08)
- 加藤 千恵, 各務 勇気, 吉田 真理子, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示による疲労回復効果に関する実験検証」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-27, (2010-08)
- 各務 勇気, 山崎 初夫, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車室内不審行動検知手法に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-28, (2010-08)
- 遠藤 晃一, 北山 隆, 加藤 剛資, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男, 土井 裕太, 松本 浩志:「ワイパ払拭性能評価手法に関する前方視認性の検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-29, (2010-08)
- 藤巻 哲也, 大石 裕介, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「中高年からの運転能力の評価と訓練－運転能力測定・評価シミュレータの開発－」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-30, (2010-08)
- 大石 裕介, 藤巻 哲也, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「中高年からの運転能力の評価と訓練－運転時の有効視野と注意・判断能力の測定法－」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-31, (2010-08)
- 安藤 雅仁, 高橋 佳男, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「中高年からの運転能力の評価と訓練－運転能力の訓練シミュレータの検討－」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-32, (2010-08)
- 高橋 佳男, 安藤 雅仁, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「中高年からの運転能力の評価と訓練－地図表示を用いた運転能力の訓練法とその効果－」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-33, (2010-08)
- 長瀬 洋輔, 畔柳 有希, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の評価と訓練－運転時の認知機能低下検出システムの検討－」, 平成 22 年度電気関係学会東海支

- 部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-34, (2010-08)
- 畔柳 有希, 長瀬 洋輔, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「中高年からの運転能力の評価と訓練-運転行動による認知機能低下の検出法-」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, 一般講演「ITS」, Po2-35, (2010-08)
- 中野 倫明, 山田 宗男, 山本 新, 小竹 元基:「運転能力の要件と支援指針」, 自動車技術会 No.04-10 シンポジウム(ヒューマンファクター部門委員会企画のシンポジウム)「高齢者の運転能力とその支援を考える」(招待講演) 芝浦工業大学, 20104636, pp.1-6 (2010-10)
- 中野 倫明, 山田 宗男, 山本 新, 小竹 元基:「ドライバーの運転能力評価と高齢ドライバーの支援(特集:ドライバーとくるまのインタフェース)」, 自動車技術, Vol.64, No.10, 20104566, pp.72-77 (2010-10)
- 北山 隆, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男, 土井 裕太, 松本 浩志, 村松 昌美:「ウォッシュ噴射方式の違いによるワイパ払拭性能評価」, ViEW2010 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集,「自動車を進化させる車載カメラ画像やセンサ情報の認識技術」セッション, E-3H (1-33), (2010-12)
- 吉田 真理子, 各務 勇氣, 加藤 千恵, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示に基づくドライバーの覚醒効果に関する検討」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 1, 1-B 安全・ヒューマンインターフェース(1), 1-B-12, (2010-12)
- 加藤 千恵, 各務 勇氣, 吉田 真理子, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「香り提示に基づくドライバーの疲労回復効果に関する実験検証」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 1, 1-B 安全・ヒューマンインターフェース(1), 1-B-14, (2010-12)
- 大石 裕介, 藤巻 哲也, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 松田 克己:「運転時の高齢ドライバーの視覚・認知機能の測定と運転能力評価」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-01, (2010-12)
- 高橋 佳男, 安藤 雅仁, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「運転前的高齢ドライバーの認知機能の訓練とその効果の検討」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-03, (2010-12)
- 畔柳 有希, 長瀬 洋輔, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「運転シミュレータでの運転行動による高齢ドライバーの認知機能低下の検出法」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-05, (2010-12)
- 沼山 達哉, 長瀬 洋輔, 畔柳 有希, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明, 川澄 未来子:「高齢者の認知症スクリーニングのための自動検査システムの検討」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-B 安全・ヒューマンインターフェース(2), 2-B-07, (2010-12)
- 中村 勇太, 遠藤 晃一, 浅見 徳宏, 増田 光太, 神道 圭造, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射に基づくドライバー状態検知-瞳孔検出手法の検討-」, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 講演論文集, 対話セッション 2, 2-D 車両・地図・センシング(2), 2-D-05, (2010-12)
- 大石 裕介, 藤巻 哲也, 松田 克己, 山本 修身, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバーの支援-運転時の視覚・認知機能の測定と運転能力評価-」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第 6 部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-4, (2010-12)
- 高橋 佳男, 安藤 雅仁, 山崎 初夫, 川澄 未来子, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバーの支援-運転前の認知機能の訓練とその効果の検討-」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第 6 部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-5, (2010-12)
- 畔柳 有希, 長瀬 洋輔, 沼山 達哉, 山本 修身, 山崎 初夫, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバーの支援-運転行動による認知機能低下の検出法-」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第 6 部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-6, (2010-12)
- 沼山 達哉, 長瀬 洋輔, 畔柳 有希, 山本 修身, 川澄 未来子, 山田 宗男, 山本 新, 中野 倫明:「高齢ドライバーの支援-認知症スクリーニングのための自動検査システム-」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第 6 部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-7, (2010-12)
- 鈴木 隆暢, 坂井 孝太, 山崎 初男, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「車室内監視映像に基づく乗員の不審行動検知の試み」, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 第 6 部門 ヒューマンインフォメーション 2, 6-9, (2010-12)
- 中村 勇太, 遠藤 晃一, 浅見 徳宏, 増田 光太, 神道 圭造,

中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「対光反射によるドライバ状態検知」, 2010年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション2, 6-10, (2010-12)

遠藤 晃一, 神道 圭造, 中村 勇太, 浅見 徳宏, 増田 光太, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男, 清水 隆行:「ハイパースペクトルカメラを用いたドライバーの疲労検出」, 2010年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション2, 6-11, (2010-12)

加藤 千恵, 各務 勇氣, 吉田 真理子, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「ドライバへの香り提示に基づく疲労回復効果に関する実験検証」, 2010年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション2, 6-14, (2010-12)

吉田 真理子, 各務 勇氣, 加藤 千恵, 山本 修身, 山崎 初夫, 中野 倫明, 山本 新, 山田 宗男:「ドライバへの香り提示に基づく覚醒効果に関する検討」, 2010年映像情報メディア学会冬季大会, 第6部門 ヒューマンインフォメーション2, 6-15, (2010-12)

吉川 雅弥

【著書】

M.Yoshikawa: "Adaptive Ant Colony Optimization With Cranky Ants", Intelligent Automation and Computer Engineering, Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Chapter 4, pp41-52, (2010-6)

M.Yoshikawa: "Pheromone-Balance Driven Ant Colony Optimization with Greedy Mechanism", Machine Learning and Systems Engineering, Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Chapter 9, pp.111-120, (2010-10)

M.Yoshikawa: "Car Navigation System using Genetic Algorithm Processor", Service Intelligence and Service Science: Evolutionary Technologies and Challenges, IGI GLOBAL, Chapter 11, pp.216-226, (2010-11)

【学術論文】

M.Yoshikawa, and K.Otani, "Blind Alley Aware ACO Routing Algorithm", IAENG Trans.Engineering Technologies, Vol.5, pp.124-131, (2010-11)

【その他】

T.Fujino, Y.Kokusyo, T.Nishimoto, M.Yoshikawa, and G.Lemieux, "Via-Programmable Logic Array VPEX2 with Configurable DFF using 2 Logic Elements", Proc. of 12th International Symposium on Integrated Circuits, pp.21-24, (2009-12)

M.Yoshikawa, H.Nishimura, and H.Terai, "A new genetic coding for job shop scheduling problem considering geno type and pheno type", Proc.of 4th International Conference on Computer Engineering and Applications, pp.59-62, (2010-1)

M.Yoshikawa and T.Miyachi, "Selective Ant Colony Optimization Considering Static Evaluation", Proc.of International Conference on Computer and Automation Engineering, Vol.3, pp.22-25, (2010-2)

M.Yoshikawa and J.Morita, "Particle Swarm Optimization for Location Problem", Proc.of International Conference on Industry, Engineering, and Management Systems, p.26, (2010-3)

堀 遼平, 國生 雄一, 西本 智広, 山田 翔太, 吉田 直之, 藤野 毅, 吉川 雅弥「ピアプログラマブルデバイスに最適な基本論理ゲートアーキテクチャの検討」, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol.109, No.462, VLD2009-108, pp.55-60, (2010-3)

西本 智広, 北森 達也, 國生 雄一, 山田 翔太, 藤野 毅, 吉川 雅弥「ピアプログラマブルデバイス VPEX の配線遅延評価」, 電子情報通信学会, 信学技報, vol.109, no.462, VLD2009-109, pp.61-66, (2010-3)

山田 翔太, 國生 雄一, 西本 智広, 吉田 直之, 堀 遼平, 松本 直樹, 北森 達也, 藤野 毅, 吉川 雅弥「ピアプログラマブルデバイス VPEX のロジックアレイブロックと配線アーキテクチャの検討」, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol.109, No.462, VLD2009-107, pp.49-54, (2010-3)

成瀬 郷, 吉川 雅弥「プログラマブルデバイス向け GA 配置アルゴリズムの検討」, 日本知能情報フェジ学会, 第20回ソフトサイエンス・ワークショップ論文集, pp.69-70, (2010-3)

M.Yoshikawa and Kazuo Otani, "Ant Colony Optimization Routing Algorithm with Tabu Search, Proc.of International Conference on Operations Research", Vol.3, pp.2104-2107, (2010-3)

勝部 真人, 吉川 雅弥「暗号回路の FPGA 実装とその評価」, システム制御情報学会研究発表会講演論文集, pp.103-104, (2010-5)

方 国星, 吉川 雅弥「2種類の交叉手法を用いたアナログレイアウト手法の検討」, システム制御情報学会研究発表会講演論文集, pp.255-256, (2010-5)

M.Yoshikawa and Y.Shimohigashi, "Hybrid Ant Colony Optimization for Intensification and Diversification", Proc.of IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, pp.359-363, (2010-8)

磯田有哉, 横田 誠, 西本 直樹, 吉川 雅弥, 福井 正博「GPUを用いた電源シミュレーションの高精度高速処理手法の検討と評価」, 情報処理学会, Design Automation シンポジウム 2010 論文集, pp.33-38, (2010-9)

A.Hoang, M.Yoshikawa, T.Fujino, "AES Side Channel Attack Using Last to First Rounds Hamming Distance", Proc.of international workshop Integrated Circuits and Devices in Vietnam, pp.75-80, (2010-8)

K.Kojima, K.Okuyama, K.Iwai, M.Shiozaki, M.Yoshikawa, T.Fujino, "LSI Implementation Method of DES Cryptographic Circuit Utilizing Domino-RSL Gate Resistant to DPA Attack", Proc.of the 16th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies, pp.169-201, (2010-10)

浅井 稔也, 吉川 雅弥, 「FPGA への暗号回路実装方法の検討と電力差分解析に対する耐性評価」, 第 53 回自動制御連合講演会論文集, pp.1124-1127, (2010-11)

M.Yoshikawa, Y.Kokusyo, T.Fujino, "Placement Tool Dedicated for a Via-programmable Logic Device VPEX", Proc.of 23rd International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering, pp.21-25, (2010-11)

堀 達平, 北森 達也, 上岡 泰輔, 吉川 雅弥, 藤野 毅「ビアプログラマブルストラクチャード ASIC・VPEX の新アーキテクチャ提案と性能評価」, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol.110, No.315, ICD2010-91, pp.49-54, (2010-11)

旭 健作

【その他】

鈴木 康祐, 旭 健作, 渡邊 晃, 小川 明: 「LED を受光素子とする双方向可視光通信に関する基礎的検討」, 電子情報通信学会技術報告, vol.110, no.50, USN2010-2, pp.5-10, (2010-5)

茅野 圭悟, 旭 健作, 渡邊 晃, 小川 明: 「センサネットワークのための省電力化プロトコルに関する研究」, 電子情報通信学会技術報告, vol.110, no.50, USN2010-3, pp.11-16, (2010-5)

茅野 圭悟, 旭 健作, 渡邊 晃, 小川 明: 「センサネットワークにおける CSMA/CA とビーコンモードに基づく省電力化プロトコル」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.559-565, (2010-7)

鈴木 康祐, 旭 健作, 渡邊 晃: 「LED を受光素子とする双方向可視光通信に関する基礎的検討」平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集」, CD-

ROM, (2010-8)

佐藤 淳一, 旭 健作: 「携帯電話を用いた被災者の捜索に関する基礎的検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, CD-ROM, (2010-8)

坂井 佑規, 旭 健作: 「音響による複数の接近車両検出にむけた基礎的検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集」, CD-ROM, (2010-8)

佐々木 裕太, 旭 健作, 渡邊 晃: 「無線メッシュネットワークの通信品質を向上させるアクセスポイントの選択方式の検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集, CD-ROM, (2010-8)

旭 健作, 小川 明, 坂野 秀樹, 山本 修身, 山田 啓一: 「マイクロホンアレイによる接近車両の検出システムの構築と評価」, 日本音響学会 2010 年秋期研究発表会講演論文集, pp.767-768, (2010-9)

坂野 秀樹, 旭 健作, 山本 修身, 小川 明, 山田 啓一: 「マイクロホンアレイによる接近車両の検出における複数車両への対応」, 日本音響学会 2010 年秋期研究発表会講演論文集, pp.769-770, (2010-9)

鈴木 秀和

【学術論文】

宮崎 悠, 鈴木 秀和, 渡邊 晃: 「端末の改造が不要な NAT 越え通信システム NTSS の提案と評価」, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, pp.1873-1880, (2010-9)

鈴木 秀和, 渡邊 晃: 「通信グループに基づくサービスの制御が可能な NAT 越えシステムの提案」, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, pp.1881-1880, (2010-9)

H.Yamagishi, H.Suzuki and A.Watanabe: "Study of a Remote Monitoring System for Senior Drivers," Proceedings of the IEEE International Region 10 Conference 2010 (TENCON2010), pp.1-6, (2010-11)

【その他】

寺澤 圭史, 鈴木 秀和, 渡邊 晃: 「IPv6 における Mobile PPC の実現と評価」, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-MBL-52, No.5, pp.1-8, (2010-1)

山岸 弘幸, 鈴木 秀和, 寺澤 圭史, 渡邊 晃: 「高齢者ドライバを遠隔地から見守るシステムの提案」, 情報処理学会第 72 回全国大会講演論文集, CD-ROM, 講演番号 1ZA-1, (2010-3)

久保 敷透, 寺澤 圭史, 鈴木 秀和, 渡邊 晃: 「IPv6 におけるネットワークの隠蔽方式に関する検討」, 情報処理学会第 72 回全国大会講演論文集, CD-ROM, 講演番号 5ZB-5, (2010-3)

村橋 孝謙, 鈴木 秀和, 渡邊 晃: 「通信アーキテクチャ GSCIP の管理運用評価」, 情報処理学会第 72 回全国大会講演論文集, CD-ROM, 講演番号 6ZA-6, (2010-3)

- 鈴木 健太, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「NAT-fを応用したリモートアクセス方式 GSRA の提案と実装」, 情報処理学会第 72 回全国大会講演論文集, CD-ROM, 講演番号 6ZB-5, (2010-3)
- 水谷 智大, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「NAT を跨る移動透過性を実現する Mobile PPC の提案」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.281-287, (2010-7)
- 鈴木 健太, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「NAT 越え技術を応用したリモートアクセス方式の提案と設計」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.288-294, (2010-7)
- 村橋 孝謙, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「通信アーキテクチャ GSCIP の管理運用評価」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.938-943, (2010-7)
- 久保 敷透, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「IPv6 におけるネットワーク構成隠蔽に関する検討」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.1153-1158, (2010-7)
- 山岸 弘幸, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「高齢者ドライバを遠隔地から見守るシステムの検討」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.1203-1209, (2010-7)
- 三浦 健吉, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「コンテンツ単位のグルーピングを可能とするリモートアクセス方式の提案」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.1678-1682, (2010-7)
- 加藤 大智, 山岸 弘幸, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「高齢者を見守るリモート監視システムの提案」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, CDROM, 講演番号 D2-1, (2010-8)
- 福山 陽祐, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「携帯電話網と無線 LAN 間をシームレスに移動する Mobile PPC の提案」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, CDROM, 講演番号 M4-7, (2010-8)
- 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「安全性と移動性を両立する柔軟なグループ通信アーキテクチャに関する研究」, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-MBL-55, No.9, pp.1-8, (2010-8)
- 三浦 健吉, 鈴木 健太, 鈴木 秀和, 渡邊 晃:「コンテンツ単位のグルーピングを実現するリモートアクセス方式の提案」, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-DPS-145, No.1, pp.1-8, (2010-11)

電気電子工学科

伊藤 昌文

【学術論文】

S.Iseki, T.Ohta, A.Aomatsu, M.Ito, H.Kano, Y.Higashijima, M.Hori : "Rapid inactivation of *Penicillium digitatum* spores using high-density non-equilibrium atmospheric pressure plasma", *Applied Physics Letters*, vol.96, 153704-1 - 153704-3 (2010).

C.Koshimizu, T.Ohta, T.Matsudo, S.Tuchitani, M.Ito : "Low-coherence interferometry - based non-contact temperature monitoring of a silicon wafer and chamber parts during plasma etching", *Applied Physics Express*, vol.3, 056201-1 - 056201-3 (2010).

太田 貴之, 伊藤 昌文 : "マイクロホローカソード放電による吸収分光用光源を用いたプラズマプロセス中の金属元素密度のモニタリング", *電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌)*, Vol.130, 972-976 (2010).

【その他】

(Invited) M.Ito, T.Ohta, and M.Hori : "Simultaneous monitoring of In and Zn densities on indium-zinc-oxide magnetron sputtering plasma", *The 10th international workshop on Advanced Plasma Processing and Diagnostics*, p.5, Nagasaki, 8-10, January, 2010

(Invited) T.Ohta, S.Iseki, M.Ito, K.Takeda, and M.Hori : "Inactivation of fungi using high-density non-equilibrium atmospheric pressure plasma", *The 1st international workshop on plasma nano-interfaces*, p.39, Nagasaki, 10, January, 2010

T.Hiraoka, T.Kageyama, C.Koshimizu, T.Ohta, M.Ito, N.Nishizawa, M.Hori : "Accurate Monitoring System for Silicon Wafer Temperature using Super-Continuum light source on Low-coherence Interferometry", *2nd international symposium on advanced plasma science and its application for nitrides and nanomaterials (IS plasma 2010)*, PA007A, pp.120, Nagoya, 7-10, March, 2010.

T.Kanae, M.Inoue, N.Takota, T.Ohta, M.Ito, Y.Higashijima, H.Kano, S.Den, and M.Hori : "Investigation of Formation Mechanism of Indium-Zinc-Oxide Film by RF Magnetron Sputtering", *2nd international symposium on advanced plasma science and its application for nitrides and nanomaterials (IS plasma 2010)*, PA008A, pp.120, Nagoya, 7-10, March, 2010

H.Kuroda, H.Sugiura, H.Yamamoto, M.Ito, T.Ohta, K.Takeda,

H.Kondo, K.Ishikawa, M.Sekine, M.Hori : "Measurement of Si Wafer Temperature with Metal Thin Film during Plasma Process Using Low-coherence Interferometer", *2nd international symposium on advanced plasma science and its application for nitrides and nanomaterials (IS plasma 2010)*, PA032A, pp.132, Nagoya, 7-10, March, 2010.

S.Iseki, S.Uchida, S.Takashima, T.Ohta, M.Ito, Y.Higashijima, H.Kano, K.Takeda, H.Kondo, K.Ishikawa, M.Sekine and M.Hori, : "Low-Temperature Treatment Using High-Density Non-Equilibrium Atmospheric Pressure Plasma", *2nd international symposium on advanced plasma science and its application for nitrides and nanomaterials (IS plasma 2010)*, PA116C, pp.174, Nagoya, 7-10, March, 2010.

C.Koshimizu, T.Matsudo, T.Ohta, S.Tutitani, and M.Ito, "Temperature Measurement of Silicon Wafer in Plasma Etching Process Using Low-coherence Interferometry", *2nd international symposium on advanced plasma science and its application for nitrides and nanomaterials (IS plasma 2010)*, 8p-A030A, pp.66, Nagoya, 7-10, March, 2010.

T.Ohta, K.Yamamoto and M.Ito, "Analysis of plant nutrients by laser-induced breakdown spectroscopy", *The 3rd International Conference on Plasma-Nano Technology & Science*, P-60, Nagoya, Japan, 11-12, March 2010.

S.Iseki, T.Ohta, M.Ito, H.Kano, K.Takeda, H.Kondo, K.Ishikawa, M.Sekine and M.Hori, "Plasma agriculture : Effect of O related radical", *The 3rd International Conference on Plasma-Nano Technology & Science*, I-05, Nagoya, Japan, 11-12, March 2010.

T.Hiraoka, T.Ohta, M.Ito, N.Nishizawa, and M.Hori : "Measurement of silicon substrate temperature by optical lowcoherence interferometry using Super-Continuum light", *The 11th International Workshop on Advanced Plasma Processing and Diagnostics*, Jeju, Korea, 8-9, July 2010.

T.Ohta, C.Koshimizu, and M.Ito : "Temperature monitoring of Si wafer using optical low-coherence interferometry", *The SICE (The Society of Instrument and Control Engineers) Annual Conference 2010 (SICE 2010)*, SB04.02, Taipei, Taiwan, 18-21, August, 2010.

M.Ito, T.Ohta, T.Mori, S.Iseki and M.Hori : "Optical Diagnostics on Nonequilibrium Atmospheric Pressure

- Plasma for Disinfection of *Penicillium Digitatum*”, 3rd International Conference on Plasma Medicine (ICPM-3), Greifswald, Germany 19-24 September, 2010.
- T.Ohta, C.Koshimizu, S.Tuchitani, M.Ito : “Non-contact monitoring of Si substrate temperature during plasma etching using optical low-coherence interferometry” 63rd Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, TF4002, Paris, France, 4-8, October, 2010.
- T.Hiraoka, C.Koshimizu, T.Ohta, M.Ito, N.Nishizawa, M.Hori : “High resolution measurement of silicon wafer temperature using super-continuum light on optical low-coherence interferometry”, 63rd Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, CTP066, Paris, France, 4-8, October, 2010.
- T.Ohta, T.Mori, M.Ito, S.Iseki and M.Hori : “Inactivation mechanism of *Penicillium digitatum* spores by atmospheric pressure argon plasma”, 63rd Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, KWP031, Paris, France, 4-8, October, 2010.
- T.Ohta, M.Inoue, N.Takota, M.Ito, and M.Hori : “Formation mechanism of indium-zinc-oxide film using RF magnetron sputtering based on optical diagnostics of gas phase”, 63rd Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, CTP184, Paris, France, 4-8, October, 2010
- M.Inoue, T.Ohta, N.Takota, M.Ito, H.Kano, K.Yamakawa, and M.Hori : “Density and translational temperature of Pb atom in the multi-Micro Hollow Cathode Lamp measured by diode laser absorption spectroscopy”, 63rd Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, DTP210, Paris, France, 4-8, October, 2010.
- 井関 紗千子, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 加納 浩之, 東島 康裕, 堀 勝 : 「非平衡大気圧プラズマを用いた柑橘ミドリカビ胞子の殺菌手法～殺菌要因の検討～」, 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会(OME), IEICE-OME2009-83, pp.21-26, 2010年1月20日, 名城大学
- 家苗 毅司, 井上 真里, 田子多 直樹, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 堀 勝 : “Formation of indium-zinc-oxide film using RF magnetron sputtering”, 第26回プラズマプロセス研究会, A2-01, pp.29-30, 2010年2月1日-3日, 横浜市開港記念会館
- (招待) 太田 貴之, 伊藤 昌文, 西澤 典彦, 堀 勝 : 「低コヒーレンス干渉計を用いた半導体基板における温度と膜厚の同時計測」, レーザー学会学術講演会第30回年次大会, E33a II 002, pp.130-131, 2010年2月2~4日, 千里ライフサイエンスセンター
- (招待) 伊藤 昌文, 太田 貴之, 竹田 圭吾 : 「生体ミクロ構造体表面での相互反応ダイナミクス」, 第57回応用物理学会関係連合講演会, シンポジウム「プラズマとナノ界面の相互作用～プロセス揺らぎの制御を目指して～」17p-ZG-3, 2010年3月17~3月20日, 東海大学
- 太田 貴之, 田子多 直樹, 井上 真里, 伊藤 昌文, 竹田 圭吾, 堀 勝 : 「RFマグネトロンスパッタリングを用いたインジウム酸化亜鉛透明導電膜の成膜」, 第57回応用物理学会関係連合講演会, 19a-ZB-4, 2010年3月17~3月20日, 東海大学
- 堤 隆嘉, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 平岡 丈弘, 堀 勝 : 「周波数領域型低コヒーレンス干渉計を用いた高精度 Si 基板温度計測」, 第71回応用物理学会学術講演会, 15a-D-12, 2010年9月14~9月17日, 長崎大学
- 森 拓海, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 井関 紗千子, 堀 勝 : 「プラズマアグリカルチャー (IV)-プラズマ殺菌におけるミドリカビの蛍光観察」, 第71回応用物理学会学術講演会, 16a-ZH-2, 2010年9月14~9月17日, 長崎大学
- 井上 真里, 太田 貴之, 田子多 直樹, 伊藤 昌文, 加納 浩之, 山川 晃司, 堀 勝 : 「狭帯域レーザー吸収分光法を用いたマイクロホロカソード放電中の Pb 原子密度と温度測定」, 第71回応用物理学会学術講演会, 15a-D-13, 2010年9月14~9月17日, 長崎大学
- Jagath S.Kularatne, 加納 浩之, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 竹田 圭吾, 近藤 博基, 堀 勝 : 「大気圧アトマイゼーションプラズマにおけるプラズマ長, Ar 流量依存性」, 第71回応用物理学会学術講演会, 15p-D-15, 2010年9月14~9月17日, 長崎大学
- 平岡 丈弘, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 西澤 典彦, 東島 康裕, 堀 勝 : 「広帯域光源を用いた光ファイバ型キャビティリングダウン分光法の開発」, 第71回応用物理学会学術講演会, 14p-NK-5, 2010年9月14~9月17日, 長崎大学
- 井関 紗千子, 太田 貴之, 伊藤 昌文, 加納 浩之, 東島 康裕, 竹田 圭吾, 石川 健治, 近藤 博基, 関根 誠, 堀 勝 : 「非平衡大気圧プラズマによるミドリカビ殺菌速度の酸素ラジカル密度依存性」, 第71回応用物理学会学術講演会, 15p-D-17, 2010年9月14~9月17日, 長崎大学

大野 英之

【学術論文】

安藤 誠人, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:
「蓄電池付き住宅用太陽光発電システムの経済性に関する研究」, 太陽エネルギー, Vol.36, No.2, pp.65-71 (2010)

【その他】

- * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 松村 年郎:「アーク遮断試験に対する実験計画法の適用の検討」, 平成 22 年電気学会全国大会, 6-196, (2010-3)
- * 白井 幹晃, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 松村 年郎:「循環式水冷却器による回転アークの電極損耗量の抑制」, 平成 22 年電気学会全国大会, 6-202, (2010-3)
- * 松田 一徳, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「蓄電池付き PV システムにおける蓄電池の空き容量推定」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-60, (2010-3)
- * 刀根川 和弥, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「天候による分光日射分布の変化が光電流に及ぼす影響」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-68, (2010-3)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜角 90 度の西向きに設置した PV モジュールの発電電力に及ぼす日射光の影響」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-69, (2010-3)
- * 廣瀬 祥貴, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「多面設置された PV アレイの発電電力」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-78, (2010-3)
- * 岡田 康史, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「多結晶 Si 太陽電池セルにおけるホットスポットの確認方法」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-80, (2010-3)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「kW 価値を考慮した PV システムの発電量」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-85, (2010-3)
- * 三山 賢司, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「東海地方の気象データを利用した PV システム発電電力のならし効果の検証」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-86, (2010-3)
- * 黄 明明, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「交流の発電電力の閾値に用いた PV システムの診断方法」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-90, (2010-3)
- * 中森 真彦, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「経済性を考慮したメガソーラ発電の最

適設置条件の検討」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-94, (2010-3)

- * Masahiko Nakamori, Sanshiro Yamanaka, Hideyuki Ohno and Hideaki Kawamura: "STUDY ON OPTIMUM INSTALLATION CONDITION OF MEGA-SOLAR SYSTEM CONSIDERING ECONOMIC EFFICIENCY", Renewable Energy 2010, P-PV-85, (2010-6)
- * Koji Okada, Sanshiro Yamanaka, Hideyuki Ohno and Hideaki Kawamura: "AN INSPECTION METHOD OF HOT SPOT IN PV ARRAY BY USING IR IMAGE", Renewable Energy 2010, P-PV-86, (2010-6)
- * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「アーク遮断試験に対する実験計画法の適用の検討」, 2010 年電気学会 放電・静止器・開閉保護合同研究会, ED-10-46, SA-10-62, SP-10-13, pp.67-71 (2010-6)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「I-V 特性を用いた中古モジュールの性能評価」, 2010 年電気設備学会全国大会, C-13, (2010-8)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「晴天指数・太陽高度・季節を考慮した直散分離モデル」, 2010 年電気設備学会全国大会, C-14, (2010-8)
- * 樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイの出力評価に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-1, (2010-8)
- * 青山 和弘, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイにおける実測値と推定値の規格化電力の比較」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-2, (2010-8)
- * 黄 明明, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「AC 電力を利用した PV アレイの発電性能診断」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-3, (2010-8)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「中古 PV モジュールの熱画像と I-V 特性」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-4, (2010-8)
- * 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データから推定した発電電力の周期別ならし効果の検証」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-4, (2010-8)
- * 廣瀬 祥貴, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「設置条件の異なる PV アレイの発電電力」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-5,

(2010-8)

- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜面全天日射強度の推定」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-6, (2010-8)
- * 白井 幹晃, 飯岡 大輔, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭:「抵抗型超電導限流器簡易モデルの限流開始時刻と故障電流最大値との関係」, 平成 22 年電気関係学会東海支部連合大会, B3-4, (2010-8)
- * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「実験計画法の重回帰分析からみた平板状ノズルの最適形状」平成 22 年電気関係学会東海支部連合大会, B4-5, (2010-8)
- * 岡田 康史, 山中 三四郎, 大野 英之, 河村 英昭, 飯岡 大輔:「PV セルに発生したホットスポットの発熱条件の検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 126, (2010-9)
- * 樋口 顕士, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔:「PV システムの出力評価に関する検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 133, (2010-9)
- * 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データを利用した PV システム発電電力のならし効果の検証－標準偏差と相関係数－」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 136, (2010-9)
- * 松田 一徳, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔:「深夜電力を考慮した蓄電池付住宅用 PV システムにおける PV 容量の検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 147, (2010-9)
- * 樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイの出力評価に関する検討 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 42, pp.197-200, (2010-11)
- * 松田 一徳, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「深夜電力を考慮した蓄電池付住宅用 PV システムの経済性 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 48, pp.221-224, (2010-11)
- * 刀根川 和弥, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「太陽電池の光電流に及ぼす分光日射分布の影響 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 49, pp.225-228, (2010-11)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜面全天日射量の推定精度向上に関

する研究」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 91, pp.381-384, (2010-11)

- * 岡田 康史, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「太陽光発電モジュールにおけるホットスポットの調査」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 133, pp.535-538, (2010-11)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「中古 PV モジュールの性能評価－並列抵抗値の変化による I-V 特性と熱画像の関係－」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 134, pp.539-542, (2010-11)
- * 中森 真彦, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「メガソーラ発電システム構築における最適設置条件の検討」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 141, pp.565-568, (2010-11)
- * 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データを利用した PV システムの発電量推定とならし効果の検証」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 144, pp.577-580, (2010-11)

河村 英昭

【学術論文】

- * 安藤 誠人, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「蓄電池付き住宅用太陽光発電システムの経済性に関する研究」, 太陽エネルギー, Vol.36, No.2, pp.65-71 (2010)

【その他】

- * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 松村 年郎:「アーク遮断試験に対する実験計画法の適用の検討」, 平成 22 年電気学会全国大会, 6-196, (2010-3)
- * 白井 幹晃, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 松村 年郎:「循環式水冷却器による回転アークの電極損耗量の抑制」, 平成 22 年電気学会全国大会, 6-202, (2010-3)
- * 松田 一徳, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「蓄電池付き PV システムにおける蓄電池の空き容量推定」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-60, (2010-3)
- * 刀根川 和弥, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「天候による分光日射分布の変化が光電流に及ぼす影響」, 平成 22 年電気学会全国大会,

- 7-68, (2010-3)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜角 90 度の西向きに設置した PV モジュールの発電電力に及ぼす日射光の影響」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-69, (2010-3)
 - * 廣瀬 祥貴, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「多面設置された PV アレイの発電電力」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-78, (2010-3)
 - * 岡田 康史, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「多結晶 Si 太陽電池セルにおけるホットスポットの確認方法」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-80, (2010-3)
 - * 都築 裕介, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「kW 価値を考慮した PV システムの発電量」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-85, (2010-3)
 - * 三山 賢司, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「東海地方の気象データを利用した PV システム発電電力のならし効果の検証」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-86, (2010-3)
 - * 黄 明明, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「交流の発電電力の閾値に用いた PV システムの診断方法」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-90, (2010-3)
 - * 中森 真彦, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「経済性を考慮したメガソーラ発電の最適設置条件の検討」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-94, (2010-3)
 - * Masahiko Nakamori, Sanshiro Yamanaka, Hideyuki Ohno and Hideaki Kawamura: “STUDY ON OPTIMUM INSTALLATION CONDITION OF MEGA-SOLAR SYSTEM CONSIDERING ECONOMIC EFFICIENCY”, Renewable Energy 2010, P-PV-85, (2010-6)
 - * Koji Okada, Sanshiro Yamanaka, Hideyuki Ohno and Hideaki Kawamura: “AN INSPECTION METHOD OF HOT SPOT IN PV ARRAY BY USING IR IMAGE”, Renewable Energy 2010, P-PV-86, (2010-6)
 - * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「アーク遮断試験に対する実験計画法の適用の検討」, 2010 年電気学会 放電・静止器・開閉保護合同研究会, ED-10-46, SA-10-62, SP-10-13, pp.67-71 (2010-6)
 - * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「I-V 特性を用いた中古モジュールの性能評価」, 2010 年電気設備学会全国大会, C-13, (2010-8)
 - * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「晴天指数・太陽高度・季節を考慮した直散分離モデル」, 2010 年電気設備学会全国大会, C-14, (2010-8)
 - * 樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイの出力評価に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-1, (2010-8)
 - * 青山 和弘, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイにおける実測値と推定値の規格化電力の比較」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-2, (2010-8)
 - * 黄 明明, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「AC 電力を利用した PV アレイの発電性能診断」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-3, (2010-8)
 - * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「中古 PV モジュールの熱画像と I-V 特性」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-4, (2010-8)
 - * 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データから推定した発電電力の周期別ならし効果の検証」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-4, (2010-8)
 - * 廣瀬 祥貴, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「設置条件の異なる PV アレイの発電電力」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-5, (2010-8)
 - * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜面全日射強度の推定」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-6, (2010-8)
 - * 白井 幹晃, 飯岡 大輔, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭:「抵抗型超電導限流器簡易モデルの限流開始時刻と故障電流最大値との関係」, 平成 22 年電気関係学会東海支部連合大会, B3-4, (2010-8)
 - * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「実験計画法の重回帰分析からみた平板状ノズルの最適形状」平成 22 年電気関係学会東海支部連合大会, B4-5, (2010-8)
 - * 岡田 康史, 山中 三四郎, 大野 英之, 河村 英昭, 飯岡 大輔:「PV セルに発生したホットスポットの発熱条件の検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 126, (2010-9)
 - * 樋口 顕士, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔:「PV システムの出力評価に関する検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 133, (2010-9)
 - * 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データを利用した PV システム発電

- 電力のならし効果の検証－標準偏差と相関係数－, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 136, (2010-9)
- *松田 一徳, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔:「深夜電力を考慮した蓄電池付住宅用 PV システムにおける PV 容量の検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 147, (2010-9)
- *樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイの出力評価に関する検討 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 42, pp.197-200, (2010-11)
- *松田 一徳, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「深夜電力を考慮した蓄電池付住宅用 PV システムの経済性 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 48, pp.221-224, (2010-11)
- *刀根川 和弥, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「太陽電池の光電流に及ぼす分光日射分布の影響 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 49, pp.225-228, (2010-11)
- *神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜面全天日射量の推定精度向上に関する研究」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 91, pp.381-384, (2010-11)
- *岡田 康史, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「太陽光発電モジュールにおけるホットスポットの調査」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 133, pp.535-538, (2010-11)
- *都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「中古 PV モジュールの性能評価－並列抵抗値の変化による I-V 特性と熱画像の関係－」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 134, pp.539-542, (2010-11)
- *中森 真彦, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「メガソーラ発電システム構築における最適設置条件の検討」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 141, pp.565-568, (2010-11)
- *三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データを利用した PV システムの発電量推定とならし効果の検証」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 144, pp.577-580, (2010-11)
- 児玉 哲司
- 【その他】
- 小粥 啓子, 児玉 哲司, 生田 孝:「S (T)EM アレイ検出器の試作」, 真空・表面科学合同講演会予稿集, pp.4P-097, (2010-11)
- 清水 教之
- 【国際会議論文】
- Yousuke Oka, Yuji Muramoto, Noriyuki Shimizu & Shigeki Ichihara, "Electric Pulse Sterilization of Liquid Food", Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Solid Dielectrics (ICSD'10, CFP10ICS-PRT), Potsdam, Germany, G2-4, pp.777-780, 4-9 July, 2010
- Takamasa Okumura, Yuji Muramoto & Noriyuki Shimizu, "Acceleration of Plant Growth under D.C.Electric Field", Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Solid Dielectrics (ICSD'10, CFP10ICS-PRT), Potsdam, Germany, G2-5, pp.781-784, 4-9 July, 2010
- Y.Fujii, Y.Muramoto & N.Shimizu, "Analysis of Electric Double Layer in Aqueous Solutions of Sodium Chloride", 2010 IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, (CEIDP'10, CFP10CID-PRT), West Lafayette, USA, 2B-7, pp.137-140, 17-20 October 2010
- Y.Watanabe, Y.Muramoto & N.Shimizu, "Electronic Properties of TiO₂ Thin Films under UV Light Irradiation", 2010 IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, (CEIDP'10, CFP10CID-CDR), West Lafayette, USA, 2B-8, pp.141-144, 17-20 October 2010
- T.Okumura, Y.Muramoto & N.Shimizu, "Plant Growth Acceleration under D.C.Electric Field", 2010 IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, (CEIDP'10, CFP10CID-CDR), West Lafayette, USA, 7B-2, pp.616-619, 17-20 October 2010
- 【その他】
- 岡 洋佑, 村本 裕二, 清水 教之, 市原 茂幸:「電気パルスを用いた液体の殺菌」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.365, OME2009-84, pp.27-32 (2010-1)
- 奥村 賢直, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電界印加による植物の成長促進」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.365, OME2009-85, pp.33-36(2010-1)
- 清水 教之, 岡本 達希, 田中 康寛「IECTC112 ミラノ会議」電気学会誘電絶縁材料研究会 DEI-10-62, (2010-3)

- 奥村 賢直, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電界による植物の成長促進」, 平成 22 年電気学会全国大会, No.2-074 (2010-3)
- 岡 洋佑, 村本 裕二, 清水 教之, 市原 茂幸:「高電界パルスによる大腸菌の殺菌」, 平成 22 年電気学会全国大会, No.2-075 (2010-3)
- 渡辺 雄太, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電圧印加によるエタノール発酵促進」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-1 (2010-8)
- 岡 洋佑, 村本 裕二, 清水 教之, 市原 茂幸:「高電界パルスによる大腸菌の分裂阻害」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-2 (2010-8)
- 奥村 賢直, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電界がシロイヌナズナの種子の発芽に及ぼす影響」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-3 (2010-8)
- 柴田 浩希, 村本 裕二, 清水 教之:「LDPE の電界発光スペクトル」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-4 (2010-8)
- 藤井 庸平, 村本 裕二, 清水 教之:「塩化ナトリウム水溶液を用いた電気二重層の解析」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A3-6 (2010-8)
- 室賀 さちえ, 村本 裕二, 清水 教之:「シリコーンゴムの電気トリイ発生電圧に及ぼす水分の影響」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A4-4 (2010-8)
- 渡邊 悠介, 村本 裕二, 清水 教之:「紫外光を照射した酸化チタン薄膜の電子的特性」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A5-3 (2010-8)
- 中條 渉**
【その他】
- 竹内 大樹, 中條 渉, 都竹 愛一郎, 山本 伸一, 小山田 弥平:「複数の SMF を用いた光制御アレーアンテナの位相制御実験」, 2010 年電子情報通信学会総合大会, C-14-8, (2010-03)
- 千原 昇悟, 寺本 卓矢, 中條 渉, 真鍋 武嗣, 山本 伸一, 都竹 愛一郎:「状態遷移マトリクスを用いた降雨時の衛星稼働率評価と周波数ダイバーシティへの応用」, 2010 年電子情報通信学会総合大会, B-1-36, (2010-03)
- 杉山 仁, 石川 悟, 平野 公典, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「マルチパス環境における地上デジタル放送波の新しい品質評価法の検討」, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, A-5-15, (2010-3)
- 平野 公典, 杉山 仁, 岩田 健一, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「遮蔽障害エリア近傍にギャップファイラーが与える影響の検討」, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, A-5-16, (2010-3)
- 寺本 卓矢, 千原 昇悟:「状態遷移マトリクスを用いた降雨時の Ka 帯衛星の稼働率評価に関する研究」, 平成 21 年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, P-7, (2010-03)
- 竹内 大樹:「光制御フェーズドアレーアンテナの位相・振幅制御に関する研究」, 平成 21 年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会 P-9, (2010-03)
- 杉山 仁, 平野 公典, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「地上デジタル放送波の新しい品質評価法の検討」, 照明学会東海支部若手セミナー, pp.17-18, (2010-3)
- 平野 公典, 杉山 仁, 岩田 健一, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「ギャップファイラーが市販受信機に及ぼす影響の検討」, 照明学会東海支部若手セミナー, pp.15-16, (2010-3)
- 竹内 大樹, 山内 宣孝, 中條 渉, 都竹 愛一郎, 山本 伸一, 小山田 弥平:「複数の光変調器を用いた 2 素子光制御アレーアンテナの位相測定」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, L4-5, CD-ROM, (2010-08)
- 寺本 卓矢, 小山 源司, 平田 雄紀, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「LED 可視光通信用ダイバーシティ技術の基礎実験」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, M1-6, CD-ROM, (2010-08)
- 杉山 仁, 平野 公典, 早川 貴久, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「地上デジタル放送波の新しい品質評価法の検討」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-36, (2010-8)
- 平野 公典, 杉山 仁, 辻 琢矢, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「遮蔽障害エリア近傍にギャップファイラーが与える影響の検討」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-37, (2010-8)
- 辻 琢矢, 森 正典, 杉山 仁, 都竹 愛一郎, 中條 渉:「RS 復号の誤り訂正可否情報を用いたビタビ復号の改善」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-34, (2010-8)
- 寺本 卓矢, 中條 渉, 真鍋 武嗣, 山本 伸一, 都竹 愛一郎:「状態遷移マトリクスを用いた降雨時の衛星稼働率評価における継続時間増加の影響」, 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-43, (2010-09)
- 竹内 大樹, 中條 渉, 都竹 愛一郎, 山本 伸一, 小山田 弥平:「複数の SMF を用いた光制御フェーズドアレーの LD 波長制御」, 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-14-1, (2010-09)
- T.Teramoto, S.Chihara, W.Chujo, T.Manabe, S.Yamamoto and A.Tsuzuku, "Evaluation of Satellite Availability during Rain using State Transition Matrix," 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference, F4a-6, (2010-09)
- D.Takeuchi, W.Chujo, A.Tsuzuku, S.Yamamoto, and

Y.Koyamada, "Phase and amplitude control of optically controlled phased array antenna," Asia-Pacific Radio Science Conference, DC2-6, (2010-09)

D.Takeuchi, W.Chujo, A.Tsuzuku, S.Yamamoto and Y.Koyamada, "Phase Measurement and Calibration Characteristics of Optically Controlled Phased Array Antenna Using Multiple SMFs," 2010 Asia-Pacific Microwave Conference, WE4E-2, (2010-12)

T.Teramoto, S.Cihara, W.Chujo, T.Manabe, S.Yamamoto and A.Tsuzuku, "Ka- and Ku-Band Satellite Availability and Frequency Diversity Characteristics During Rain Using State Transition Matrix," 2010 Asia-Pacific Microwave Conference, FR1G-37, (2010-12)

都竹 愛一郎

【著書】

都竹 愛一郎, 他:「技術編 第6部門 無線伝送技術 第2章-2節 OFDM」, 映像情報メディア工学大事典(映像情報メディア学会編), pp.416-419, オーム社, (2010-6)

【著書(編集)】

都竹 愛一郎, 他:「技術編 第6部門 無線伝送技術 第1章-2章」, 映像情報メディア工学大事典, pp.406-425, オーム社, (2010-6)

都竹 愛一郎, 他:「データ編 第9部門 無線伝送技術」, 映像情報メディア工学大事典, pp.69-90, オーム社, (2010-6)

【その他】

T.Teramoto, S.Cihara, W.Chujo, T.Manabe, S.Yamamoto and A.Tsuzuku, "Evaluation of Satellite Availability during Rain using State Transition Matrix," 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference, F4a-6, (2010-09)

D.Takeuchi, W.Chujo, A.Tsuzuku, S.Yamamoto, and Y.Koyamada, "Phase and amplitude control of optically controlled phased array antenna," Asia-Pacific Radio Science Conference, DC2-6, (2010-09)

D.Takeuchi, W.Chujo, A.Tsuzuku, S.Yamamoto and Y.Koyamada, "Phase Measurement and Calibration Characteristics of Optically Controlled Phased Array Antenna Using Multiple SMFs," 2010 Asia-Pacific Microwave Conference, WE4E-2, (2010-12)

T.Teramoto, S.Cihara, W.Chujo, T.Manabe, S.Yamamoto and A.Tsuzuku, "Ka- and Ku-Band Satellite Availability and Frequency Diversity Characteristics During Rain Using State Transition Matrix," 2010 Asia-Pacific Microwave Conference, FR1G-37, (2010-12)

杉山 仁, 平野 公典, 岩田 健一, 米澤 彰賢, 都竹 愛

一郎:「マルチパス環境における地上デジタル放送の品質評価法の提案」, 映像情報メディア学会冬季大会, P-11, (2009-12)

平野 公典, 杉山 仁, 石川 悟, 米澤 彰賢, 都竹 愛一郎:「ギャップファイラーの回線設計~遮蔽障害エリア近傍に与える影響~」, 映像情報メディア学会冬季大会, P-12, (2009-12)

杉山 仁, 石川 悟, 平野 公典, 米澤 彰賢, 都竹 愛一郎:「マルチパス環境における地上デジタル放送波の新しい品質評価法の検討」, 映像情報メディア学会放送技術研究会, Vol.34, No.9, pp.21-24 (2010-2)

平野 公典, 杉山 仁, 岩田 健一, 米澤 彰賢, 都竹 愛一郎:「遮蔽障害エリア近傍にギャップファイラーが与える影響の検討」, 映像情報メディア学会放送技術研究会, Vol.34, No.9, pp.25-28 (2010-2)

杉山 仁, 平野 公典, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「地上デジタル放送波の新しい品質評価法の検討」, 照明学会東海支部若手セミナー, pp.17-18, (2010-3)

平野 公典, 杉山 仁, 岩田 健一, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「ギャップファイラーが市販受信機に及ぼす影響の検討」, 照明学会東海支部若手セミナー, pp.15-16, (2010-3)

杉山 仁, 石川 悟, 平野 公典, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「マルチパス環境における地上デジタル放送波の新しい品質評価法の検討」, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, A-5-15, (2010-3)

平野 公典, 杉山 仁, 岩田 健一, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「遮蔽障害エリア近傍にギャップファイラーが与える影響の検討」, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, A-5-16, (2010-3)

竹内 大樹, 中條 渉, 都竹 愛一郎, 山本 伸一, 小山田 弥平:「複数の SMF を用いた光制御アレーアンテナの位相制御実験」, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, C-14-8, (2010-3)

千原 昇悟, 寺本 卓矢, 中條 渉, 真鍋 武嗣, 山本 伸一, 都竹 愛一郎:「状態遷移マトリクスを用いた降雨時の衛星稼働率評価と周波数ダイバーシティへの応用」, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, B-1-36, (2010-3)

杉山 仁, 平野 公典, 早川 貴久, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「地上デジタル放送波の新しい品質評価法の検討」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-36, (2010-8)

平野 公典, 杉山 仁, 辻 琢矢, 中條 渉, 都竹 愛一郎:「遮蔽障害エリア近傍にギャップファイラーが与える影響の検討」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-37, (2010-8)

辻 琢矢, 森 正典, 杉山 仁, 都竹 愛一郎, 中條 渉:「RS

復号の誤り訂正可否情報を用いたビタビ復号の改善」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-34, (2010-8)

早川 貴久, 杉山 仁, 平野 公典, 森 正典, 都竹 愛一郎: 「地上デジタル放送市販受信機の性能評価」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-35, (2010-8)

森 正典, 平野 公典, 辻 琢矢, 都竹 愛一郎, 山中幸雄: 「パワーラインを用いた電波時計の受信特性改善」, 電気関係学会東海支部連合大会, Pol-38, (2010-8)

竹内 大樹, 山内 宣孝, 中條 渉, 都竹 愛一郎, 山本 伸一, 小山田 弥平: 「複数の光変調器を用いた2素子光制御アレーアンテナの位相測定」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, L4-5, (2010-08)

寺本 卓矢, 小山 源司, 平田 雄紀, 中條 渉, 都竹 愛一郎: 「LED 可視光通信用ダイバーシティ技術の基礎実験」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, M1-6, (2010-08)

寺本 卓矢, 中條 渉, 真鍋 武嗣, 山本 伸一, 都竹 愛一郎: 「状態遷移マトリクスを用いた降雨時の衛星稼働率評価における継続時間増加の影響」, 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-43, (2010-09)

竹内 大樹, 中條 渉, 都竹 愛一郎, 山本 伸一, 小山田 弥平: 「複数の SMF を用いた光制御フェーズドアレーの LD 波長制御」, 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-14-1, (2010-09)

辻 琢矢, 早川 貴久, 都竹 愛一郎: 「RS 復号の誤り訂正可否情報を用いたビタビ復号の改善」, 映像情報メディア学会冬季大会, 9-3, (2010-12)

早川 貴久, 辻 琢矢, 都竹 愛一郎: 「地上デジタル放送市販受信機の性能評価」, 映像情報メディア学会冬季大会, 9-2, (2010-12)

平松 美根男

【著書】

M.Hori and M.Hiramatsu: "Field Emission from Carbon Nanowalls", Carbon Nanotube and Related Field Emitters: Fundamentals and Applications, (Yahachi Saito Ed.), pp.193-203, Wiley-VCH, Weinheim, (2010-7)

M.Hiramatsu and M.Hori: "Carbon Nanowalls: Synthesis and Emerging Applications", Springer Verlag, Wien, ISBN-10: 3211997172, ISBN-13: 978-3211997178, (2010-8)

【学術論文】

M.Hiramatsu and M.Hori: "Preparation of Dispersed Platinum Nanoparticles on a Carbon Nanostructured Surface Using Supercritical Fluid Chemical Deposition", Materials, Vol.3, Issue 3, pp.1559-1572, (2010-3)

平松 美根男, 堀 勝: 「プラズマ CVD 法を用いたカーボンナノウォールの形成」, 表面科学, 第 31 巻, 第 3 号, pp.144-149, (2010-3)

S.Kondo, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori: "Critical Factors for Nucleation and Vertical Growth of Two Dimensional Nano-Graphene Sheets Employing a Novel Ar⁺ Beam with Hydrogen and Fluorocarbon Radical Injection", Applied Physics Express, Vol.3, 045102 (3 pages), (2010-4)

M.Hiramatsu, T.Machino, K.Mase, M.Hori, and H Kano: "Preparation of Platinum Nanoparticles on Carbon Nanostructures Using Metal-Organic Chemical Fluid Deposition Employing Supercritical Carbon Dioxide", J.Nanoscience Nanotechnology, Vol.10, pp.4023-4029, (2010-4).

S.Kawai, S.Kondo, W.Takeuchi, H.Kondo, M.Hiramatsu, and M.Hori: "Optical Properties of Evolutionary Grown Layers of Carbon Nanowalls Analyzed by Spectroscopic Ellipsometry", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, 060220 (3 pages), (2010-6)

S.Takashima, K.Takeda, S.Kato, M.Hiramatsu, and M.Hori: "Surface Loss Probability of Nitrogen Atom on Stainless-Steel in N₂ Plasma Afterglow", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, 076101 (4 pages), (2010-7)

W.Takeuchi, K.Takeda, M.Hiramatsu, Y.Tokuda, H.Kano, S.Kimura, O.Sakata, H.Tajiri, and M.Hori: "Monolithic self-sustaining nanographene sheet grown using plasma-enhanced chemical vapor deposition", Phys.Status Solidi A, Vol.207, No.1, pp.139-143, (2010-9)

【その他】

下枝 弘尚, 宮脇 雄大, 竹田 圭吾, 近藤 博基, 平松 美根男, 関根 誠, 堀 勝: 「カーボンナノウォールの結晶構造に対する O₂/Ar プラズマエッチングの効果」, 第 27 回プラズマプロセス研究会, (2010-2)

渡邊 均, 伴野 雅章, 平松 美根男, 堀 勝: 「カーボンナノウォールの親水・撥水に関する研究」, 第 27 回プラズマプロセス研究会, (2010-2)

H.Watanabe, M.Hiramatsu, and M.Hori: "Control of Hydrophilic and Hydrophobic Properties of Carbon Nanowall by Plasma Surface Treatment", 2nd International Symposium on Advance Plasma Science and its Application (ISPlasma2010), PA070C, Nagoya, (2010-3)

T.Nomura, M.Hiramatsu, and M.Hori: "Gas Flow Rate Ratio Dependence of Deposition Profile of H-Assisted Plasma CVD Carbon Films in Trench Substrates", 2nd

- International Symposium on Advance Plasma Science and its Application (ISPlasma2010), PA071C, Nagoya, (2010-3)
- H.Shimoeda, Y.Miyawaki, K.Takeda, K.Ishikawa, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : "Effect of Oxygen Etching on the Morphologies of Carbon Nanowalls", 2nd International Symposium on Advance Plasma Science and its Application (ISPlasma2010), PA082C, Nagoya, (2010-3)
- H.Mikuni, T.Kanda, S.Kondo, W.Takeuchi, K.Yamakawa, K.Takeda, K.Ishikawa, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : "Initial Nucleation in Carbon Nanowalls Growth on Si and SiO₂ Surface", 2nd International Symposium on Advance Plasma Science and its Application (ISPlasma2010), PA084C, Nagoya, (2010-3)
- S.Kondo, K.Yasuda, H.Kondo, K.Ishikawa, M.Hiramatsu, M.Sekine and M.Hori : "Effect of Ion Irradiation on Carbon Nanowalls Growth", 2nd International Symposium on Advance Plasma Science and its Application (ISPlasma2010), PA085C, Nagoya, (2010-3)
- K.Mase, S.Mitsuguchi, S.Kondo, H.Kano, K.Ishikawa, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine and M.Hori : "Effect of Plasma Surface Treatments on Supporting of Platinum Nanoparticles to Graphite Materials in Supercritical Carbon Dioxide", 2nd International Symposium on Advance Plasma Science and its Application (ISPlasma2010), PA086C, Nagoya, (2010-3)
- K.Yasuda, S.Kondo, K.Yamakawa, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : "In-situ Observations of growth processes of carbon nanowalls using spectroscopic ellipsometry", 3rd International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (IC-PLANTS2010), P-04, Nagoya, (2010-3)
- H.Kondo, W.Takeuchi, S.Kondo, K.Yamakawa, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : "Synchrotron X-ray diffraction analysis of carbon nanowalls synthesized by radical-injection plasma-enhanced chemical vapor deposition system", 3rd International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (IC-PLANTS2010), P-08, Nagoya, (2010-3)
- 安田 幸司, 近藤 真悟, 山川 晃司, 近藤 博基, 平松 美根男, 関根 誠, 堀 勝 : 「分光エリフソメトリによるカーボンナノウォール成長のその場観察」, 第57回応用物理学関係連合講演会, 19p-TE-1, (2010-3)
- 下枝 弘尚, 近藤 真悟, 近藤 博基, 平松 美根男, 関根 誠, 堀 勝 : 「酸素ラシカルエッチングによるカーボンナノウォールの形態及び結晶性制御」, 第57回応用物理学関係連合講演会, 18a-TD-7, (2010-3)
- 近藤 真悟, 下枝 弘尚, 近藤 博基, 山川 晃司, 平松 美根男, 関根 誠, 堀 勝 : 「二周波容量結合型プラズマを用いたカーボンナノウォールの反応性イオンエッチング」, 第57回応用物理学関係連合講演会, 18a-TD-9, (2010-3)
- 近藤 博基, 竹内 和歌奈, 坂田 修身, 田尻 寛男, 木村 滋, 平松 美根男, 堀 勝 : 「シンクロトロン X 線回折によるカーボンナノウォールの結晶構造解析」, 第57回応用物理学関係連合講演会, 19p-TD-15, (2010-3)
- (Invited) H.Kondo, W.Takeuchi, M.Hiramatsu, and M.Hori : "Controlled synthesis of carbon nanowalls for new functional devices", International Conference on Nanomaterials : Synthesis Characterization and Applications (ICN-2010), Mahatma Gandhi University, Kottayam, India, (2010-4)
- H.Shimoeda, Y.Miyawaki, K.Takeda, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : "Morphological modification of carbon nanowalls by oxygen plasma etching", International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, (2010-6)
- K.Yasuda, S.Kondo, K.Yamakawa, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : "Real-time monitoring of vertical-growth of nanographenes by spectroscopic ellipsometry", International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, (2010-6)
- T.Kanda, H.Mikuni, K.Yamakawa, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : "Bridging growth and electrical properties of single carbon nanowall", International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, (2010-6)
- M.Hori, H.Kondo, W.Takeuchi, K.Takeda, and M.Hiramatsu : "Controlled syntheses of carbon nanowalls for future electric device applications", International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, (2010-6)
- H.Kondo, W.Takeuchi, M.Hiramatsu, T.Kinoshita, T.Muro, S.Kimura and M.Hori : "Analyses of crystalline and electronic structures of carbon nanowalls using synchrotron radiation light", International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, (2010-6)
- H.Watanabe, K.Takeda, H.Kondo, M.Hiramatsu, and M.Hori : "Control of hydrophilic and hydrophobic properties of carbon nanowalls using plasma surface

- treatment”, 11th International Workshop on Advanced Plasma Processing and Diagnostics, Jeju, Korea, (2010-7)
- T.Kanda, H.Mikuni, K.Yamakawa, H.Kondo, M.Hiramatsu, M.Sekine, and M.Hori : “Bridging Growth and Electrical Properties of Single Carbon Nanowall”, International Conference on Solid State Devices and Materials, J-4-4, Tokyo, (2010-9)
- 下枝 弘尚, 近藤 博基, 平松 美根男, 関根 誠, 堀 勝 : 「ラジカル照射によるカーボンナノウォールの形態制御」, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 14a-ZK-3, (2010-9)
- 河合 洋次郎, 本田 善央, 山口 雅史, 天野 浩, 陳 尚, 近藤 博基, 平松 美根男, 堀 勝, 加納 浩之, 山川 晃司, 田 昭治 : 「高密度窒素ラジカル源を用いた MBE 法による高速 GaN ホモ・エピタキシャル成長の実現」, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 14a-C-8, (2010-9)
- 安田 幸司, 山川 晃司, 近藤 博基, 平松 美根男, 関根 誠, 堀 勝 : 「STM/STS によるカーボンナノウォールの核発生過程の観察」, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16p-ZM-2, (2010-9)
- 近藤 博基, 石川 健治, 竹田 圭吾, 関根 誠, 堀 勝, 平松 美根男 : 「カーボンナノウォールの成長に対する基板形状の効果」, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16p-ZM-3, (2010-9)
- 近藤 博基, 竹内 和歌奈, 廣沢 一郎, 木村 滋, 平松 美根男, 堀 勝 : 「シンクロトロン X 線を用いたカーボンナノウォールの結晶構造の解析」, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16a-ZQ-5, (2010-9)
- 神田 貴幸, 山川 晃司, 竹田 圭吾, 石川 健治, 近藤 博基, 平松 美根男, 関根 誠, 堀 勝 : 「単一カーボンナノウォールの電気特性」, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16a-ZQ-6, (2010-9)
- Y.Kawai, S.Chen, M.Yamaguchi, Y.Honda, H.Amano, M.Hiramatsu, H.Kano, K.Yamakawa, S.Den, and M.Hori : “Achieving high-growth-rate in Ga homoepitaxy by molecular beam epitaxy using high density nitrogen radical source”, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2010), AP1.8, Tampa, Florida, USA, (2010-9)
- M.Hiramatsu, Y.Nihashi, T.Horaguchi, and M.Hori : “Growth of carbon nanowalls using inductively coupled plasma-enhanced chemical vapor deposition”, 63rd Annual Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, Paris, MR1-5, (2010-10)
- Y.Kawai, Y.Honda, M.Yamaguchi, H.Amano, S.Chen, H.Kondo, and M.Hiramatsu : “High growth rate of GaN homoepitaxy by molecular beam epitaxy using high density nitrogen radical source”, 63rd Annual Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, Paris, LW4-1, (2010-10)
- H.Kondo, W.Takeuchi, M.Sekine, M. Hori, M.Hiramatsu, I.Hirosawa, and O.Sakata : “Crystallographic analyses of carbon nanowalls using synchrotron X-ray”, 63rd Annual Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, Paris, TF2-3, (2010-10)
- M.Hori, H.Kondo, S.Kondo, Y.Miyawaki, H.Sasaki, and M.Hiramatsu : “Morphological control of carbon nanowalls by reactive ion etching”, 63rd Annual Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, Paris, DTP65, (2010-10)
- T.Horaguchi, Y.Nihashi, M.Hiramatsu, W.Takeuchi, T.Obayashi, H.Kondo, and M.Hori : “Enhancement of electron field emission properties of carbon nanowalls by N₂ plasma surface treatment”, 32nd International Symposium on Dry Process, Tokyo, P2-E11, (2010-11)
- 平松 美根男 : 「ラジカル制御プロセスによる 2 次元カーボンナノ構造体の創成と新規応用に向けて」, NEC 中央研究所 × 名城大学大学院理工学研究科技術交流会, (2010-11)
- (Invited) M.Hiramatsu : “Carbon nanowalls : Synthesis and emerging applications”, International Conference on Carbon Nanotechnology : Potential and Challenges, Kanpur, India, (2010-12)

山中 三四郎

【著書】

山中 三四郎 : 「11 章対称三相交流回路, 12 章ひずみ波交流」, 『電気回路 I』(山口作太郎編), pp.116-138, オーム社, (2010-10)

【学術論文】

* 安藤 誠人, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭 : 「蓄電池付き住宅用太陽光発電システムの経済性に関する研究」, 太陽エネルギー, Vol.36, No.2, pp.65-71 (2010)

【その他】

* 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 松村 年郎 : 「アーク遮断試験に対する実験計画法の適用の検討」, 平成 22 年電気学会全国大会, 6-196, (2010-3)

* 白井 幹晃, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 松村 年郎 : 「循環式水冷却器による回転アークの電

- 極損耗量の抑制」, 平成 22 年電気学会全国大会, 6-202, (2010-3)
- * 松田 一徳, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「蓄電池付き PV システムにおける蓄電池の空き容量推定」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-60, (2010-3)
- * 刀根川 和弥, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「天候による分光日射分布の変化が光電流に及ぼす影響」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-68, (2010-3)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜角 90 度の西向きに設置した PV モジュールの発電電力に及ぼす日射光の影響」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-69, (2010-3)
- * 廣瀬 祥貴, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「多面設置された PV アレイの発電電力」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-78, (2010-3)
- * 岡田 康史, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「多結晶 Si 太陽電池セルにおけるホットスポットの確認方法」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-80, (2010-3)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「kW 価値を考慮した PV システムの発電量」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-85, (2010-3)
- * 三山 賢司, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「東海地方の気象データを利用した PV システム発電電力のならし効果の検証」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-86, (2010-3)
- * 黄 明明, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「交流の発電電力の閾値に用いた PV システムの診断方法」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-90, (2010-3)
- * 中森 真彦, 山中 三四郎, 河村 一, 大野 英之, 河村 英昭:「経済性を考慮したメガソーラ発電の最適設置条件の検討」, 平成 22 年電気学会全国大会, 7-94, (2010-3)
- * Masahiko Nakamori, Sanshiro Yamanaka, Hideyuki Ohno and Hideaki Kawamura: “STUDY ON OPTIMUM INSTALLATION CONDITION OF MEGA-SOLAR SYSTEM CONSIDERING ECONOMIC EFFICIENCY”, Renewable Energy 2010, P-PV-85, (2010-6)
- * Koji Okada, Sanshiro Yamanaka, Hideyuki Ohno and Hideaki Kawamura: “AN INSPECTION METHOD OF HOT SPOT IN PV ARRAY BY USING IR IMAGE”, Renewable Energy 2010, P-PV-86, (2010-6)
- * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「アーク遮断試験に対する実験計画法の適用の検討」, 2010 年電気学会 放電・静止器・開閉保護合同研究会, ED-10-46, SA-10-62, SP-10-13, pp.67-71 (2010-6)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「I-V 特性を用いた中古モジュールの性能評価」, 2010 年電気設備学会全国大会, C-13, (2010-8)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「晴天指数・太陽高度・季節を考慮した直散分離モデル」, 2010 年電気設備学会全国大会, C-14, (2010-8)
- * 樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイの出力評価に関する検討」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-1, (2010-8)
- * 青山 和弘, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイにおける実測値と推定値の規格化電力の比較」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-2, (2010-8)
- * 黄 明明, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「AC 電力を利用した PV アレイの発電性能診断」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-3, (2010-8)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「中古 PV モジュールの熱画像と I-V 特性」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, A3-4, (2010-8)
- * 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データから推定した発電電力の周期別ならし効果の検証」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-4, (2010-8)
- * 廣瀬 祥貴, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「設置条件の異なる PV アレイの発電電力」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-5, (2010-8)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜面全天日射強度の推定」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, J5-6, (2010-8)
- * 白井 幹晃, 飯岡 大輔, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭:「抵抗型超電導限流器簡易モデルの限流開始時刻と故障電流最大値との関係」, 平成 22 年電気関係学会東海支部連合大会, B3-4, (2010-8)
- * 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「実験計画法の重回帰分析からみた平板状ノズルの最適形状」平成 22 年電気関係学会東海支部連合大会, B4-5, (2010-8)
- * 岡田 康史, 山中 三四郎, 大野 英之, 河村 英昭, 飯

- 岡 大輔：「PV セルに発生したホットスポットの発熱条件の検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 126, (2010-9)
- *樋口 顕士, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔：「PV システムの出力評価に関する検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 133, (2010-9)
- *三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「気象データを利用した PV システム発電電力のならし効果の検証－標準偏差と相関係数－」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 136, (2010-9)
- *松田 一徳, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔：「深夜電力を考慮した蓄電池付住宅用 PV システムにおける PV 容量の検討」, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 147, (2010-9)
- *樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「PV アレイの出力評価に関する検討 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 42, pp.197-200, (2010-11)
- *松田 一徳, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「深夜電力を考慮した蓄電池付住宅用 PV システムの経済性 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 48, pp.221-224, (2010-11)
- *刀根川 和弥, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「太陽電池の光電流に及ぼす分光日射分布の影響 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 49, pp.225-228, (2010-11)
- *神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「傾斜面全天日射量の推定精度向上に関する研究」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 91, pp.381-384, (2010-11)
- *岡田 康史, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「太陽光発電モジュールにおけるホットスポットの調査」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 133, pp.535-538, (2010-11)
- *都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「中古 PV モジュールの性能評価－並列抵抗値の変化による I-V 特性と熱画像の関係－」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 134, pp.539-542, (2010-11)
- *中森 真彦, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「メガソーラ発電システム構築における最適設置条件の検討」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 141, pp.565-568, (2010-11)
- *三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭：「気象データを利用した PV システムの発電量推定とならし効果の検証」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 144, pp.577-580, (2010-11)

飯岡 大輔

【その他】

- 藪 大輔, 小池 徹, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎：「系統瞬低時における太陽光発電用インバータの瞬低耐量」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-093, CD-ROM, (2010-3)
- 飯岡 大輔, 林 泰弘：「配電系統に連系されたインバータ型分散型電源の短絡電流最大値と系統構成との関係」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-174, CD-ROM, (2010-3)
- 中村 泰規, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎, 村中 剛洋：「太陽光発電装置が連系された配電系統における負荷および電圧分布の推定に関する検討」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-012, CD-ROM, (2010-3)
- 川原 徹, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎：「YBCO 超電導限流素子を並列接続した場合における過電流通電時の分流状況」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-230, CD-ROM, (2010-3)
- 石塚 和貴, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎, 加藤 真規子, 塚越 浩章, 小道 浩也：「環境負荷と設備投資を考慮した低圧配電設備改修工事とモンテカルロシミュレーションを用いたリスク分析」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-017, CD-ROM, (2010-3)
- 石塚 和貴, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎, 加藤 真規子, 塚越 浩章, 小道 浩也：「環境負荷と設備投資を考慮した最適低圧配電設備改修工事の検討」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-016, CD-ROM, (2010-3)
- 小池 徹, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎, 水野 誠, 箕輪 昌幸：「受配電設備内 UPS の瞬低時過渡応答を模擬するシミュレーションモデルの構築」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-149, CD-ROM, (2010-3)
- 官 胤, 安田 雅, 川原 徹, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎：「YBCO 薄膜円板を用いたリアクタンス型超伝導限流器の過電流通電実験」, 電気学会全国大

- 会講演論文集, 6-231, CD-ROM, (2010-3)
- 横水 康伸, 早瀬 哲央, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「IGBT型固体遮断器による低圧直流電流遮断への基礎実験」, 電気学会全国大会講演論文集, 2010, CD-ROM, (2010-3)
- 安田 雅, 飯岡 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎:「金属保護膜付 YBCO 超伝導限流素子の過電流通電時における温度分布シミュレーション」, 電気学会全国大会講演論文集, 6-229, CD-ROM, (2010-3)
- D.Mokhtar, Y.Yokomizu, D.Iioka, T.matsumura, “Deliverable Power in Low-Voltage DC Distribution System with Parallel Loads of Various Power Shares.” 電気学会全国大会講演論文集, 6-152, CD-ROM, (2010-3)
- 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎,「アーク遮断試験に対する実験計画法の適用の検討」, 電気学会 放電・静止器・開閉保護合同研究会資料, ED-10-046/SA-10-062/SP-10-013, (2010-6)
- D.Iioka and Y.Hayashi: “Impact of Power System Configuration and Control Methodology of Inverter Based Distributed Generation on Fault Current.” Proceedings of the 16th International Conference on Electrical Engineering ICEE, PS-F-01, (2010-7)
- 飯岡 大輔, 林 泰弘:「分散型電源の連系線電圧・電流から算出する測距インピーダンスと系統構成との関係」, 電気設備学会全国大会講演論文集, C-6, CD-ROM, (2010-8)
- 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「I-V 特性を用いた中古 PV モジュールの性能評価」, 電気設備学会全国大会講演論文集, C-13, CD-ROM, (2010-8)
- 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「晴天指数・太陽高度・季節を考慮した直散分離モデル」, 電気設備学会全国大会講演論文集, C-14, CD-ROM, (2010-8)
- 廣瀬 祥貴, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「設置条件の異なる PV アレイの発電電力」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J5-5, CD-ROM, (2010-8)
- 藪 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎, 飯岡 大輔:「励磁突入電流発生時における太陽光発電用インバータの過渡応答」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J3-5, CD-ROM, (2010-8)
- 平野 豪士, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭, 飯岡 大輔, 松村 年郎:「実験計画法の重回帰分析からみた平板状ノズルの最適形状」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, B4-5, CD-ROM, (2010-8)
- 樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイの出力評価に関する検討」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, A3-1, CD-ROM, (2010-8)
- 飯岡 大輔, 林 泰弘:「ループ型配電系統に連系された分散型電源の電圧・電流から算出する測距インピーダンス」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J3-7, CD-ROM, (2010-8)
- 白井 幹晃, 飯岡 大輔, 大野 英之, 山中 三四郎, 河村 英昭:「抵抗型超伝導限流器簡易モデルの限流開始時刻と故障電流最大値との関係」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, B3-4, CD-ROM, (2010-8)
- 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「中古 PV モジュールの熱画像と I-V 特性」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, A3-4, CD-ROM, (2010-8)
- 中村 泰規, 横水 康伸, 松村 年郎, 飯岡 大輔, 村中 剛洋:「太陽光発電装置が連系された配電系統における電圧分布の逐次二次計画法を用いた推定の誤差評価」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J3-4, CD-ROM, (2010-8)
- 青山 和弘, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイにおける実測値と推定値の規格化電力の比較」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, A3-2, CD-ROM, (2010-8)
- 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜面全天日射強度の推定」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J5-6, CD-ROM, (2010-8)
- 松田 一徳, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「深夜電力を考慮した蓄電池付 PV システムの経済性」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J4-3, CD-ROM, (2010-8)
- 三山 健司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データから推定した発電電力の周期別ならし効果の検証」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J5-4, CD-ROM, (2010-8)
- 黒川 智弘, 横水 康伸, 松村 年郎, 飯岡 大輔, 加藤 真規子, 塚越 浩章, 小道 浩也:「配電系統におけるコスト最適化低圧供給設備形態の環境負荷評価」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, J3-3, CD-ROM, (2010-8)
- 官 胤, 安田 雅, 横水 康伸, 松村 年郎, 飯岡 大輔,「2

- 枚の YBCO 薄膜円板素子を用いたリアクタンス型超伝導限流器の過電流通電実験」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, B3-3, CD-ROM, (2010-8)
- 黄 明明, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「AC 電力を利用した PV アレイの発電性能診断」, 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, A3-3, CD-ROM, (2010-8)
- 樋口 顕士, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔:「PV システムの出力評価に関する検討」, 電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 133, CD-ROM, (2010-9)
- 飯岡 大輔, 林 泰弘:「系統連系されたインバータ型分散型電源への距離リレー適用に関する一考察」, 電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 162, CD-ROM, (2010-9)
- 松田 一徳, 山中 三四郎, 河村 英昭, 大野 英之, 飯岡 大輔:「深夜電力を考慮した蓄電池付き住宅用 PV システムにおける PV 容量の検討」, 電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 147, CD-ROM, (2010-9)
- 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データを利用した PV システム発電電力のならし効果の検証ー標準偏差と相関係数ー」, 電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 2010, CD-ROM, (2010-9)
- 岡田 康史, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV セルに発生したホットスポットの発熱条件の検討」, 電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 126, CD-ROM, (2010-9)
- 藪 大輔, 横水 康伸, 松村 年郎, 飯岡 大輔, 水野 誠, 箕輪 昌幸:「配電系統降圧時における UPS および変圧器の過渡応答」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会資料, PE-10-145/PSE-10-145, (2010-9)
- 飯岡 大輔, 林 泰弘:「分散型電源の連系線電圧・電流から算出するインピーダンスによる故障点標定」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会資料, PE-20-53/PSE-10-52, (2010-9)
- 中村 泰規, 横水 康伸, 松村 年郎, 飯岡 大輔, 村中 剛洋:「太陽光発電装置が連系された配電系統における逐次二次計画法による電圧・電流推定」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会資料, PE-10-083/PSE-10-082, (2010-9)
- * 樋口 顕士, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「PV アレイの出力評価に関する検討 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 42, pp.197-200, (2010-11)
- * 松田 一徳, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「深夜電力を考慮した蓄電池付住宅用 PV システムの経済性 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 48, pp.221-224, (2010-11)
- * 刀根川 和弥, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「太陽電池の光電流に及ぼす分光日射分布の影響 II」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 49, pp.225-228, (2010-11)
- * 神谷 佳則, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「傾斜面全天日射量の推定精度向上に関する研究」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 91, pp.381-384, (2010-11)
- * 岡田 康史, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「太陽電池モジュールにおけるホットスポットの調査」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 133, pp.535-538, (2010-11)
- * 都築 裕介, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「中古モジュールの性能評価ー並列抵抗値の変化による I-V 特性と熱画像の関係ー」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 134, pp.539-542, (2010-11)
- * 中森 真彦, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「メガソーラ発電システム構築における最適設置条件の検討」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 141, pp.565-568, (2010-11)
- * 三山 賢司, 山中 三四郎, 飯岡 大輔, 大野 英之, 河村 英昭:「気象データを利用した PV システムの発電量推定とならし効果の検証」, 平成 22 年度日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 144, pp.577-580, (2010-11)

堀田 一弘

【著書】

K.Hotta: Chapter 5 in the book "Pattern Recognition, Recent Advances" (Non-linear Feature Extraction by Linear Principal Component Analysis Using Local Kernel), pp.99-109, IN-TECH, Feb. 2010 (ISBN978-953-7619-90-9).

【学術論文】

K.Hotta, "Local Normalized Linear Summation Kernel for

- Fast and Robust Recognition”, Pattern Recognition, Vol.43, No.3, pp.906-913, Elsevier, Mar. 2010.
- 堀田 一弘, “顔認識の研究動向,” 映像情報メディア学会誌, pp.7-10, Apr.2010.
- A.Nomoto, K.Hotta and H.Takahashi, “Asbestos Detection in Building Materials Through Consolidation of Similarities in Color and Shape Features,” Journal of Robotics and Mecatoronics, Vol.22, No.4, pp. 496-505, Aug. 2010.
- H.Nagai, H.Takahashi and K.Hotta, “Fast Human Action Recognition Using Conditional Random Field,” Journal of Signal Processing , Vol.14, No.6, pp.499-505, Nov. 2010.
- K.Hotta, “Scene Classification Based on Local AutoCorrelation of Similarities with Subspaces”, Pattern Recognition (Accepted).
- 【解説記事】**
- 堀田 一弘, “顔認識の研究動向,” 画像ラボ, Vol.21, No.12, pp.15-20, 日本工業出版社, Dec.2010.
- 【国際会議】**
- Y.Moriguchi, K.Hotta and H.Takahashi, “Accuracy Improvement of Asbestos Detection by Rectangular Neighboring Region for SVRF of Local Color and Shape Features,” 7th IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications (SSPRA2010), pp.221-227, Innsbruck, Austria, Feb.17-19 2010.
- T.Tanaka, K.Hotta and H.Takahashi, “Object Categorization Based on Probabilistic Integration of Local and Global Features,” 7th IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications (SSPRA2010), pp.325-332, Innsbruck, Austria, Feb.17-19 2010.
- H.Nagai, H.Takahashi and K.Hotta, “Fast Human Action Recognition Using Conditional Random Field,” 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP2010), pp.648-651, Marriott Resort & Spa, Honolulu, Hawaii, USA, Mar.3-5 2010.
- S.Nomoto, H.Takahashi and K.Hotta, “The Text Regions Extraction from General Scenes Using Edge Comparing and Support Vector Machine,” 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP2010), pp.612-615, Marriott Resort & Spa, Honolulu, Hawaii, USA, Mar.3-5 2010.
- R.Sekiguchi, H.Takahashi and K.Hotta, “The Automatic Parameter Tuning for Multi-class Learning with KFDA,” 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP2010), pp.190-193, Marriott Resort & Spa, Honolulu, Hawaii, USA, Mar.3-5 2010.
- K.Aso, H.Takahashi and K.Hotta, “Recurrent Temporal Restricted Boltzmann Machine for Motion Recognition,” 2010 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP2010), pp.512-515, Marriott Resort & Spa, Honolulu, Hawaii, USA, Mar.3-5 2010.
- K.Hotta, “Scene Classification Using Local Co-occurrence Feature in KPCA Space of Local Blob Visual Words,” International Conference on Pattern Recognition (ICPR2010), pp.4230-4233, Istanbul, Turkey, Aug.23-26 2010.
- 【その他】**
- 堀田 一弘, “Visual Words から構築したカーネル主成分空間内での局所共起特徴を用いたシーン識別,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2010), IS2-71, pp.1255-1260, 釧路市観光国際交流センター, 北海道, Jul.27-30 2010.
- 森口 慶崇, 堀田 一弘, 高橋 治久, “局所特徴及び大局特徴を用いた SVRF による顕微鏡画像からのアスベスト検出,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2010), IS3-43, pp.1846-1853, 釧路市観光国際交流センター, 北海道, Jul.27-30 2010.
- 伊藤 友洋, 堀田 一弘, “高次局所自己相関特徴と回帰分析を用いたオートファゴソーム輝点の計数,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2010) サテライトワークショップ 細胞内画像処理, pp.11, 釧路市観光国際交流センター, 北海道, Jul.26 2010.
- 岡部 敏明, 堀田 一弘, “SIFT 特徴と Bayes の事後確率を用いた Griscelli 症候群メラノサイトにおけるメラノソームの追跡,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2010) サテライトワークショップ 細胞内画像処理, pp.12, 釧路市観光国際交流センター, 北海道, Jul.26 2010.
- 村本 裕二**
- 【学術論文】**
- Y.Fujii, Y.Muramoto & N.Shimizu, “Analysis of Electric Double Layer in Aqueous Solutions of Sodium Chloride”, 2010 IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, (CEIDP'10, CFP10CID-PRT), 2B-7, pp.137-140, 17-20 October 2010
- Y.Watanabe, Y.Muramoto & N.Shimizu, “Electronic

- Properties of TiO₂ Thin Films under UV Light Irradiation”, 2010 IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, (CEIDP'10, CFP10CID-CDR), 2B-8, pp.141-144, 17-20 October 2010
- T.Okumura, Y.Muramoto & N.Shimizu, “Plant Growth Acceleration under D.C.Electric Field”, 2010 IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, (CEIDP'10, CFP10CID-CDR), 7B-2, pp.616-619, 17-20 October 2010
- Yousuke Oka, Yuji Muramoto, Noriyuki Shimizu & Shigeki Ichihara, “Electric Pulse Sterilization of Liquid Food”, Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Solid Dielectrics, Potsdam, Germany (ICSD'10, CFP10ICS-PRT), G2-4, pp.777-780, 4th-9th July, 2010
- Takamasa Okumura, Yuji Muramoto & Noriyuki Shimizu, “Acceleration of Plant Growth under D.C.Electric Field”, Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Solid Dielectrics, Potsdam, Germany (ICSD'10, CFP10ICS-PRT), G2-5, pp.781-784, 4th-9th July, 2010
- 【その他】
- 岡 洋佑, 村本 裕二, 清水 教之, 市原 茂幸:「電気パルスを用いた液体の殺菌」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.365, OME2009-84, pp.27-32 (2010-1)
- 奥村 賢直, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電界印加による植物の成長促進」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.365, OME2009-85, pp.33-36 (2010-1)
- 奥村 賢直, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電界による植物の成長促進」, 平成 22 年電気学会全国大会, No.2-074 (2010-3)
- 岡 洋佑, 村本 裕二, 清水 教之, 市原 茂幸:「高電界パルスによる大腸菌の殺菌」, 平成 22 年電気学会全国大会, No.2-075 (2010-3)
- 渡辺 雄太, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電圧印加によるエタノール発酵促進」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-1 (2010-8)
- 岡 洋佑, 村本 裕二, 清水 教之, 市原 茂幸:「高電界パルスによる大腸菌の分裂阻害」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-2 (2010-8)
- 奥村 賢直, 村本 裕二, 清水 教之:「直流電界がシロイヌナズナの種子の発芽に及ぼす影響」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-3 (2010-8)
- 柴田 浩希, 村本 裕二, 清水 教之:「LDPE の電界発光スペクトル」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A2-4 (2010-8)
- 藤井 庸平, 村本 裕二, 清水 教之:「塩化ナトリウム水溶液を用いた電気二重層の解析」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A3-6 (2010-8)
- 室賀 さちえ, 村本 裕二, 清水 教之:「シリコーンゴムの電気トリートメント発生電圧に及ぼす水分の影響」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A4-4 (2010-8)
- 渡辺 悠介, 村本 裕二, 清水 教之:「紫外光を照射した酸化チタン薄膜の電子的特性」, 2010 年電気関係学会東海支部連合大会, A5-3 (2010-8)

山ノ井 基臣

【その他】

若松 裕之, 山ノ井 基臣, 辰野 恭市:「ロボットアームの適応力制御」, 第54回システム制御情報学会研究発表講演会, F13-3, (2010-5)

若松 裕之, 山ノ井 基臣, 辰野 恭市:「環境体の剛性推定を用いたロボットアームの適応力制御」, 平成22年度電気関係学会東海支部連合大会, CD-ROM, (2010-8)

H.Wakamatsu, M.Yamanoi, K.Tatsuno: “Adaptive Force Control of Robot Arm with Estimation of Environmental Stiffness”, MHS2010 & Micro-Nano Global COE P2-10, (2010-11)

村田 英一

【著書】

H.Murata and H.Shimoyama: “Simulated electric field in an array of CNTs” in “Carbon Nanotube and Related Field Emitters: Fundamentals and Applications”, Y.Saito, ed., chapter 11, pp.143-162, John Wiley & Sons Ltd. (2010-7)

【学術論文】

H.Murata, K.Sakai D.Tsubaki, H.Shimoyama, K.Sakemura, N.Negishi and A.Watanabe: “In-Situ, Real Time Observation of Operating Condition of Multi Emitters in Pulse Mode”, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Vol.8, pp.266-271 (2010-5)

K.Sasaki, H.Mori, N.Tanaka, H.Murata, C.Morita, H.Shimoyama and K.Kuroda: “Measurement of electric field distribution using a conventional transmission electron microscope”, Journal of Electron Microscopy, pp.S89-S94 (2010-10)

【その他】

Yingxin He, Tatsuya Kawai, Mikio Nako, Yuki Yasuda, Takahisa Fukuta, Hidekazu Murata and Kyoichi Tatsuno: “Development of a Remote Visitor Robot System-Attending a Meeting-”, 2009 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp.124-128 (2009-11)

Hidekazu Murata, Kentaro Sakai Daisuke Tsubaki, Hiroshi Shimoyama, Kazuto Sakemura, Nobuyasu Negishi and Atsushi Watanabe: “In-Situ, Real Time Observation of Operating Condition of Multi Emitters in Pulse Mode”, 7th Intern.Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '09 (ALC09) Activity report of ALC09, pp.279-284 (2009-12)

椿 大輔, 古橋 直也, 村田 英一, 六田 英治, 下山 宏:「高

輝度・高エミッタンス電子銃の開発 - 電子銃の電極形状の最適化 -」, 2010年春季<第57回>応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 p.07-136, (2010-3)

小池 昭史, 田上 智也, 高木 康男, 藤野 高弘, 長尾 昌善, 吉田 知也, 酒井 健太郎, 村田 英一, 青木 徹, 根尾 陽一郎, 三村 秀典:「静電レンズ一体型多段ゲートフィールドエミッターによるカラムレス電子線顕微鏡の開発」, 2010年春季<第57回>応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 p.07-134, (2010-3)

佐々木 勝寛, 村田 英一, 荒井 重勇, 森田 千明, 下山 宏, 黒田 光太郎:「超高压電子顕微鏡を用いた影像歪法の試み」, 日本顕微鏡学会 第66回学術講演会 発表予稿集 p.100, (2010-5)

野田 啓介, 森川 貴雄, 村田 英一, 森田 千明, 下山 宏:「熱電子銃の実軌道計算による電流密度分布シミュレーション」, 日本顕微鏡学会 第66回学術講演会 発表予稿集 p.190, (2010-5)

E.Rokuta, H.Murata, S.Fujita, H.Shimoyama, C.Oshima: “Formation of Atomic Scale Pyramids with three {211} facet sides on Blunt W-tip Ends”, 52nd International Field Emission Symposium 2010 (IFES 2010), p.3 (2010-7)

T.Yoshida, M.Nagao, N.Koda, A.Koike, T.Tagami, Y.Takagi, Y.Neo, H.Mimura, K.Sakai, H.Murata, T.Shimizu, S.Kanemaru: “Revised Fabrication of Field Emitters with a Multistacked Electrostatic Lens”, 23rd International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC 2010) Technical Digest of IVNC 2010, pp.54-55 (2010-7)

A.Koike, T.Tagami, Y.Takagi, T.Fujino, T.Aoki, Y.Neo, H.Mimura, M.Nagao, T.Yoshida, H.Murata, K.Sakai: “A Multi-Gated FEA for Low Energy Accerlation Micro-Column Microscopes”, 23rd International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC 2010) Technical Digest of IVNC 2010, pp.98-99 (2010-7)

Y.Takagi, M.Nagao, H.Murata, A.Koike, T.Fujino, T.Aoki, Y.Neo, H.Mimura, T.Yoshida, K.Sakai: “New Functioned Field Emission Array to Controllable Initial Emission Angle by Introducing a Suppressor Gate”, 23rd International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC 2010) Technical Digest of IVNC 2010, pp.197-198 (2010-7)

Kyoichi Tatsuno, Tatsuya Kawai, Mikio Nako, Yuki Yasuda, Takahisa Fukuta and Hidekazu Murata: “Development of a Remote Visitor Robot System - Attending a Remote Conference and Visiting to an Aged Care Center -”,

pp.3616 – 3617 (2010-8)

椿 大輔, 古橋 直也, 村田 英一, 六田 英治, 下山 宏 :
「熱電界放出された LaB₆ 電子源の電流安定性」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会 講演論文集 K5-2 (2010-8)

土田 紘佑, 村田 英一, 六田 英治, 下山 宏 : 「Field Emission Spectroscopy 用制御電源の開発」, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会 講演論文集 B2-5 (2010-8)

椿 大輔, 古橋 直也, 村田 英一, 六田 英治, 下山 宏 :
「熱電界放出された LaB₆ 電子源の電流安定性評価」, 2010 年秋季<第 71 回>応用物理学会学術講演会 講演予稿集 p.07-145 (2010-9)

六田 英治, 中川達裕, 橋本 剛, 村田 英一, 藤田 真, 下山 宏 : 「熱電界前処理による Blunt W tip 先端上 Nano-Pyramid 形成支援 : 電界放出特性と原子構造評価(I)」, 2010 年秋季<第 71 回>応用物理学会学術講演会 講演予稿集 p.07-141 (2010-9)

高木康男, 藤野 高弘, 小池 昭史, 長尾 昌善, 吉田 知也, 村田 英一, 酒井 健太郎, 根尾 陽一郎, 青木 徹, 三村 秀典 : 「サブレッサを有する新構造 2 段型 FEA の電子放射角狭小化の評価」, 2010 年秋季<第 71 回>応用物理学会学術講演会 講演予稿集 p.07-153 (2010-9)

椿 大輔, 村田 英一, 六田 英治, 下山 宏 : 「マスク描画用高輝度高エミッタンス電子銃の開発」, 電子情報通信学会技術研究報告 ED2009-128-ED2010-141, pp.27-32 (2010-10)

藤野 高弘, 高木康男, 小池 昭史, 長尾 昌善, 吉田 知也, 村田 英一, 酒井 健太郎, 根尾 陽一郎, 青木 徹, 三村 秀典 : 「放射角制御可能なマイクロカラム用電子銃の作成と評価」, 電子情報通信学会技術研究報告 ED2009-128-ED2010-141, pp.39-42 (2010-10)

Akifumi Koike, Yasuo Takagi, Takahiro Fujino, Masayoshi Nagao, Tomoya Yoshida, Hidekazu Murata, Kentaro Sakai, Toru Aoki, Yoichiro Neo and Hidenori Mimura : “Computer-Aided Analysis of a Field Emitter Array Built-in Suppressor for a Micro-Column Electron Beam Microscope”, 23rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2010), 12D-11-7 (2010-11)

【特許】

出願:

須原 浩之, 田中 昌宏, 村田 英一, 下山 宏 : 「表面電荷分布の測定方法および表面電荷分布の測定装置」, 特願 2010-199367, 出願日 : 2010 年 9 月 6 日

材料機能工学科

服部 友一

【学術論文】

佐藤 崇, 神谷 光広, 原田 敦, 梶田 幸宏, 森島 達観, 服部 友一, 子安 和弘, 廣瀬 士朗, 森将 恒, 大野 秀一郎, 佐藤 啓二: 「ヒト大腿骨頭における骨圧縮強度と二次元, 三次元骨密度の相関について」, 日本骨粗鬆症学会 Osteoporosis Japan, Vol.18, No.2 号, pp.219-223, (2010-4)

【その他】

服部 友一, 堤 定美, 他 「骨ペースト材料の特性評価」, 日本ファインセラミックス協会, 平成 21 年度経済産業省委託事業成果報告書, 「生体活性セラミックスの特性評価に関する標準化」, pp.166-175, CD-ROM, (2010-3)

K.Ushida, T.Hattori, K.Morikawa, K.Sato, T.Akahori, M.Niinomi : “Animal Study on Bone Tissue Reaction and Metal Ion Release in TNTZ Low Rigidity Titanium Alloy, Learning from failed Femoral Head Replacement in Sheep”, 3709, Abstract CD of 23th European Conference on Biomaterials, (2010-9)

林 佑亮, 服部 友一, 森川 圭造, 佐藤 啓二, 「リン酸カルシウム骨ペーストの強度評価について」, 第 29 回整形外科セラミックインプラント研究会誌, (2010-12) 印刷中

安藤 義則

【学術論文】

Kaushik Ghosh, Mukul Kumar, Takahiro Maruyama, Yoshinori Ando : “Tailoring the field emission property of nitrogen-doped carbon nanotubes by controlling the graphitic/pyridinic substitution” Carbon 48 (1), pp.191-200 (2010-1).

Y.Ando : “Carbon Nanotube : Story in Ando Laboratory” J.Siberian Federal University.Mathematics & Physics 3 (1), pp.3-22 (2010).

Y.Ando : “Carbon Nanotube : The Inside Story” J.Nanosci. Nanotech.10, pp.3726-3738 (2010-6).

Mukul Kumar and Yoshinori Ando : “Chemical Vapor Deposition of Carbon Nanotubes : A Review on Growth Mechanism and Mass Production” J.Nanosci. Nanotech.10, pp.3739-3758 (2010-6).

Tomoko Suzuki, Sakae Inoue, and Yoshinori Ando : “Catalytic Effect of Different Forms of Iron in Purification of Single-Walled Carbon Nanotubes” J.Nanosci.

Nanotech.10, pp.3924-3928 (2010-6).

B.Chen, X.Zhao, S.Inoue, and Y.Ando : “Fabrication and Dispersion Evaluation of Single-Wall Carbon Nanotubes Produced by FH-Arc Discharge Method” J.Nanosci. Nanotech.10, pp.3973-3977 (2010-6).

Huafeng Wang, Zhenfua Li, Sakae Inoue, and Yoshinori Ando : “Influence of Mo on the growth of Single-Walled Carbon Nanotubes in Arc Discharge” J.Nanosci. Nanotech.10, pp.3988-3993 (2010-6).

B.Chen, Y.Kadowaki, S.Inoue, M.Ohkohchi, X.Zhao, and Y.Ando : “New Raman Peak at 1850cm⁻¹ Observed in Multiwalled Carbon Nanotubes Produced by Hydrogen Arc Discharge” J.Nanosci.Nanotech.10, pp.4038-4042 (2010-6).

Kaushik Ghosh, Mukul Kumar, Takahiro Maruyama and Yoshinori Ando : “Controllable growth of highly N-doped carbon nanotubes from imidazole : a structural, spectroscopic and field emission study” J.Mater. Chem.20, pp.4128-4134 (2010).

M.Kumar and Y.Ando : “Carbon nanotube synthesis and growth mechanism” Nanotechnology Perceptions 6, pp.7-28 (2010-7)

【その他】

小池 晋也, 坂東 俊治, 安藤 義則: 「エアロゾルアシスト CVD 法による金属的な単層カーボンナノチューブの収率制御」第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 3P-9 名古屋(2010-3).

加藤 美紀, 等 浩太郎, 鈴木 智子, 安藤 義則, 灘井 雅行: 「カーボンナノチューブの安全性評価研究 - 呼吸器細胞への影響」名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.153-156 (2010-3).

T.Suzuki, S.Inoue, K.Nojima, A.Tsuchimoto, B.Chen and Y.Ando : “Application of Carbon Nanotubes to Nylon Composite” 2nd International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, (2010-3).

H.Wang, T.Maruyama, S.Inoue and Y.Ando : “Synthesis of B-Doped Single-Walled Carbon Nanotube Films by Arc Discharge” 2nd International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, (2010-3).

K.Ghosh, M.Kumar, T.Maruyama and Y.Ando : “Nitrogen-Modulated Wet-Chemical Decoration of Carbon Nitride/

- ZnO Hetero-Junction Film Results Enhanced Field-Emission Performance” 2nd International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, (2010-3).
- B.Chen, T.Matsuura, S.Inoue and Y.Ando : “Synthesis of SWNTs by Arc Plasma Reactor with Twelve-Phase Alternating Discharge System and Raman Spectroscopic Study” 2nd International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, (2010-3).
- Mukul Kumar, Kaushik Ghosh, Yoshinori Ando : “Role of the Molecular Structure of the Carbon Source in CNT Growth” The 11th International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT10), Montreal (Canada), (2010-6).
- T.Suzuki, S.Inoue, K.Nojima, A.Tsuchimoto, B.Chen, Y.Ando : “Application of carbon nanotubes to nylon composit” 21st European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides (Diamond 2010), P.1-71, Budapest (Hungary), (2010-9).
- 小池 晋也, 神野 誠, 安藤 義則, 坂東 俊治 : 「超音波ミスト化学気相法におけるナノチューブ成長へのボロンの影響」第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 3P-16 京都(2010-9).
- 宇佐美 初彦**
【著書】
 日本機械学会基準 S013 「摩耗の標準試験方法(改訂版)」:(2010-3)
【学術論文】
 Hatsuhiko USAMI, Yu-An TSENG and Shinnya SASAKI “Synergistic effect of oil repellence and texture combination on frictional properties in lubricated condition” The 13th Nordic International Tribology Conference Luleo Sweden No.0111 (2010-6) on CD
 Keju CHOU, Hatsuhiko USAMI, Kazuki ENOMOTO “Micro abrasive jet machining of silicon carbide (SiC) fiber reinforced ceramic matrix composite” Advanced Materials Research Vols.126-128 (2010) pp.946-951 (2010-11) Trans Tech Publications, Switzerland
【その他】
 宇佐美 初彦 「トライボロジー材料としてのカーボンナノチューブ膜」トライボロジスト 55 巻 3 号 p.154 (2010-3)
 宇佐美 初彦 「セラミックスのエロージョン」トライボロジスト 55 巻 8 号 p.543 (2010-8)
- 周 克儒, 宇佐美 初彦 「微粒子ピーニングによるセラミックスの表面改質」日本機械学会機素潤滑設計第 10 回部門講演会論文集 p.35 (2010-4)
- 曾 宇安, 宇佐美 初彦 「コンダクタンス測定によるテクスチャ面のトライボロジー特性」日本機械学会機素潤滑設計第 10 回部門講演会論文集 p.41 (2010-4)
- 宇佐美 初彦, 小出 隆夫 「低流量ピーニングの表面改質に関する適用可能性」日本機械学会機素潤滑設計第 10 回部門講演会論文集 p.137 (2010-4)
- 安藤 正文, 宇佐美 初彦 「微粒子ピーニングによって創成された傾斜組成材料の摩擦摩耗特性における熱処理の効果」日本機械学会機素潤滑設計第 10 回部門講演会論文集 p.139 (2010-4)
- 宇佐美 初彦, 岩崎 政次 「高大連携教育におけるトライボロジー教育の取り組み」F16 p.155 (2010-5) トライボロジー会議 2010 春 東京 予稿集 F16 (2010-5)
- 安藤 正文, 宇佐美 初彦 「微粒子ピーニングによって創成された傾斜組成材料の摩擦摩耗特性における熱処理効果」トライボロジー会議 2010 春 東京 予稿集 B21 (2010-5)
- 宇佐美 初彦, 樋田 雅人, 石田 貴規 「マイクロショットピーニングにより付与されテクスチャの摩擦特性」トライボロジー会議 2010 春 東京 予稿集 F37 (2010-5)
- 宇佐美 初彦 「マイクロショットピーニングのテクスチャリングへの適用可能性」 2010 年度年次大会講演論文集(1)p.107 (2010-9)
- 小出 隆夫, 宇佐美 初彦, 宮近 幸逸, 坪倉 公治 「歯車の曲げ肥料強度に及ぼす微粒子ショットピーニングの影響」2010 年度年次大会講演論文集(4)p.107 (2010-9)
- 曾 宇安, 宇佐美 初彦 「表面テクスチャリングによる超硬合金の摩擦低減に関する研究」日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集(4)p.187 (2010-9)
- 周 克儒, 宇佐美 初彦 「マイクロプラストにおける脆性材料のき裂進展挙動の評価」日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集(4)p.189 (2010-9)
- 岩瀬 広寛, 宇佐美 初彦, 安藤 正文 「転がり疲労特性に及ぼす起動面の結晶微細化の影響」トライボロジー会議 2010 秋 福井 予稿集 B18 p.123 (2010-9)
- 石川 勝規, 宇佐美 初彦 「マイクロショットピーニングにより改質処理されたステンレス鋼のトライボロジー特性」トライボロジー会議 2010 秋 福井 予稿集 C23 p.217 (2010-9)

安藤 宏伸, 宇佐美 初彦「ナノカーボン材料の摩擦特性の基礎的評価」トライボロジー会議 2010 秋 福井 予稿集 C32 p.235 (2010-9)

曾 宇安, 宇佐美 初彦「テクスチャリングに及ぼす表面材種の影響」トライボロジー会議 2010 秋 福井 予稿集 B34 p.155 (2010-9)

樋田 雅人, 宇佐美 初彦, 石田 貴規「電圧測定によるジャーナル軸受の接触状態の評価」トライボロジー会議 2010 秋 福井 予稿集 B35 p.157 (2010-9)

Chou KEJU, Hatsuhiko USAMI "Erosive wear Properties of Porous Ceramic Material" JAST Annual conference, F37 p.499 (2010-9)

Hatsuhiko USAMI, Chou KEJU "Effect of residual stress on Erosive Wear of Ceramics" JAST Annual conference, F38 p.501 (2010-9)

上山 智

【著書】

岩谷 素顕, 川島 毅士, 飯田 大輔, 千田 亮太, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇「m 面 SiC 基板上への非極性窒化物半導体の結晶成長」: “窒化物基板および格子整合基板の成長とデバイス特性”(CMC 出版)(2009).

【学術論文】

Toshiaki Asai, Kensuke Nagata, Toshiaki Mori, Kentaro Nagamatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "Relaxation and recovery processes of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ grown on AlN underlying layer" Journal of Crystal Growth, Volume 311, pp.2850-2852 (2009).

Hirotohi Tsuzuki, Fumiaki Mori, Kenichiro Takeda, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Novel UV devices on high-quality AlGaIn using grooved underlying layer" Journal of Crystal Growth, Volume 311, pp.2860-2863 (2009).

Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "One-sidewall-seeded epitaxial lateral overgrowth of a-plane GaN by metalorganic vapor-phase epitaxy" Journal of Crystal Growth, Volume 311, pp.2887-2890 (2009).

Tetsuya Matsubara, Ryota Senda, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "Growth of thick GaInN on grooved (10-1-1) GaN/ (10-1-2) 4H-SiC" Journal of Crystal Growth, Volume 311, pp.2926-2928 (2009).

Yohjiro Kawai, Shinya Ohsuka, Motoaki Iwaya, Satoshi

Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "InGaIn growth with various InN mole fractions on m-plane ZnO substrate by metalorganic vapor phase epitaxy" Journal of Crystal Growth, Volume 311, pp.2929-2932 (2009).

Ryota Senda, Tetsuya Matsubara, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "Strong Emission from GaInN/GaN Multiple Quantum Wells on High-Crystalline-Quality Thick m-Plane GaInN Underlying Layer on Grooved GaN" Applied Physics Express, Vol.2, 061004 (2009).

Hirotohi Tsuzuki, Fumiaki Mori, Kenichiro Takeda, Tomoki Ichikawa, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "High-performance UV emitter grown on high-crystalline-quality AlGaIn underlying layer" physica status solidi (a), Vol.206, pp.1199-1204 (2009).

Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "Activation energy of Mg in a -plane $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ ($0 < x < 0.17$)" physica status solidi (b), Vol.246, pp.1188 - 1190 (2009).

Z.H.Wu, K.W.Sun, Q.Y.Wei, A.M.Fischer, F.A.Ponce, Y.Kawai, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, and I.Akasaki : "Misfit strain relaxation in m-plane epitaxy of InGaIn on ZnO" Appl.Phys.Lett.Vol.96 (2010) 071909.

T.Asai, K.Nonaka, K.Ban, K.Nagata, K.Nagamatsu, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, and I.Akasaki : "Growth of low-dislocation-density AlGaIn using Mg-doped AlN underlying layer" physica status solidi (c), Vol.7, pp.2101-2103 (2010).

Kenichiro Takeda, Fumiaki Mori, Yuji Ogiso, Tomoaki Ichikawa, Kentaro Nonaka, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : " Internal quantum efficiency of GaN/AlGaIn-based multi quantum wells on different dislocation densities underlying layers" physica status solidi (c), Vol.7, pp.1916-1918 (2010).

* Ryosuke Kawai, Toshiyuki Kondo, Atushi Suzuki, Fumiharu Teramae, Thukasa Kitano, Kenta Tamura, Hisashi Sakurai, Motoaki Iwaya, Hiroshi Amano, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Mark Chen, Alex Li and Kidd Su : "Realization of extreme light extraction efficiency for moth-eye LEDs on SiC substrate using high-reflection electrode" physica status solidi (c), Vol.7, pp.2180-2182 (2010).

* T.Sugiyama, D.Iida, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : " Threshold voltage control using SiNx in normally off AlGaIn/GaN HFET with p-GaN gate "

- physica status solidi (c), Vol.7, pp.1980-1982 (2010).
- Akihiro Ishihara, Ryousuke Kawai, Thukasa Kitano, Atushi Suzuki, Toshiyuki Kondo, Motoaki Iwaya, Hiroshi Amano, Satoshi Kamiyama and Isamu Akasaki : "Growth and characterization of GaN grown on moth-eye patterned sapphire substrates" physica status solidi (c), Vol.7, pp.2056-2058 (2010).
- * Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "Nitride-based light-emitting solar cell" physica status solidi (c), Vol.7, pp.1807-1809 (2010).
- * Yoshinori Oshimura, Kenichiro Takeda, Takayuki Sugiyama, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Akira Bandoh and Takashi Udagawa : "AlGaIn/GaN HFETs on Fe-doped GaN substrates" physica status solidi (c), Vol.7, pp.1974-1976 (2010).
- Kengo Nagata, Tomoki Ichikawa, Kenichiro Takeda, Kentaro Nagamatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "High-output-power AlGaIn/GaN ultraviolet-light -emitting diodes by activation of Mg-doped p-type AlGaIn in oxygen ambient" physica status solidi (a), Vol.207, pp.1393-1396 (2010).
- Kentaro Nonaka, Toshiaki Asai, Kentaro Nagamatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Defects in highly Mg-doped AlN" physica status solidi (a), Vol.207, pp.1299-1301 (2010).
- Cyril Pernot, Myunghee Kim, Shinya Fukahori, Tetsuhiko Inazu, Takehiko Fujita, Yosuke Nagasawa, Akira Hirano, Masamichi Ippommatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Improved Efficiency of 255-280 nm AlGaIn-Based Light-Emitting Diodes" Applied Physics Express, Vol.3 (2010) 061004.
- Daisuke Iida, Kensuke Nagata, Takafumi Makino, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Akira Bandoh, and Takashi Udagawa : "Growth of GaInN by Raised-Pressure Metalorganic Vapor Phase Epitaxy" Applied Physics Express, Vol.3 (2010) 075601.
- Daisuke Iida, Kenta Tamura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : "Compensation effect of Mg-doped a-and c-plane GaN films grown by metalorganic vapor phase epitaxy" Journal of Crystal Growth, 312 (2010) pp.3131-3135.
- * Y.Fujiyama, Y.Kuwahara, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "GaInN/GaN p-i-n light-emitting solar cells" physica status solidi (c), Vol.7, (2010) pp.2382-2385.
- * Takayuki Sugiyama, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Temperature dependence of normally off mode AlGaIn/GaN heterostructure field-effect transistors with p-GaN gate" physica status solidi (c), Vol.7, (2010) pp.2419-2422.
- Kentaro Nagamatsu, Daisuke Iida, Kenichiro Takeda, Kensuke Nagata, Toshiaki Asai, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Atomic layer epitaxy of AlGaIn" physica status solidi (c), Vol.7, (2010) pp.2368-2370.
- T.Nishimura, K.Miyoshi, F.Teramae, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "High efficiency violet to blue light emission in porous SiC produced by anodic method" physica status solidi (c), Vol.7, (2010) pp.2459-2462.
- Zhihao Wu, Kentaro Nonaka, Yohjiro Kawai, Toshiaki Asai, Fernando A.Ponce, Changqing Chen, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "Strain Relaxation Mechanisms in AlGaIn Epitaxy on AlN Templates" Applied Physics Express, Vol.3 (2010) 111003.
- Daisuke Iida, Kenta Tamura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : "Compensation effect of Mg-doped a-and c-plane GaN films grown by metalorganic vapor phase epitaxy" Journal of Crystal Growth, Volume 312 (2010) pp.3131-3135.

【その他】

- Tomoki Ichikawa, Kenichiro Takeda, Yuji Ogiso, Kengo Nagata, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Reduction in operating voltage of UV laser diode" SPIE Photonic West, San Fransisco, January 23-28, 2010.
- T.Kondo, A.Suzuki, F.Teramae, T.Kitano, Y.Kaneko, R.Kawai, K.Teshima, S.Maeda, S.Kamiyama, M.Iwaya, H.Amano, and I.Akasaki, "Enhancement of light extraction efficiency on blue light-emitting diodes by moth-eye structure", SPIE Photonic West, San Francisco, California, USA, January 23-28, 2010.
- Daisuke Iida, Kensuke Nagata, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Growth of GaInN films by raised pressure MOVPE at 200kPa" ISPlasma2010, Nagoya, March 7-10, 2010.
- * S.Kamiyama, M.Iwaya, I.Akasaki, M.Syvajarvi, and R.Yakimova : "Light excitation and extraction in LEDs" [Invited], Intresseanmalan Sveriges Energiting 2010,

- Stockholm, March 15-16, 2010.
- * T.Sugiyama, D.Iida, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "High Temperature Operation of Normally Off AlGa_N/Ga_N Heterostructure Field-Effect Transistors with p-GaN Gate" ISPlasma2010, Nagoya, March 7-10, 2010.
- * Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "Ga_{0.89}In_{0.11}N/GaN Double Heterojunction p-i-n Solar Cells" ISPlasma2010, Nagoya, March 7-10, 2010.
- Y.Kawai, S.Itoh, K.Takeda, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "AlGa_N Growth on (100)QUOTE -Ga₂O₃ by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy" ISPlasma2010, Nagoya, March 7-10, 2010.
- Z.H.Wu, K.Nonaka, Y.Kawai, T.Asai, F.A.Ponce, C.Q.Chen, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, and I.Akasaki : "Strain relaxation of AlGa_N grown on AlN templates by misfit dislocation generation" The 8th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED2010), Beijing, China, May 16-21, 2010.
- Kenichiro Takeda, Tomoki Ichikawa, Kengo Nagata, Daisuke Sawato, Yuji Ogiso, Yoshinori Oshimura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa, Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Optical waveguide layers in UV laser diodes on the low dislocation density AlGa_N underlying layer" The 37th International Conference of Compound Semiconductors, Takamatsu, May 31-June 4, 2010.
- * H.Amano, T.Sugiyama, Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, and I.Akasaki : "Recent development and future prospects of the fabrication of GaInN-based solar cells" The 37th International Conference of Compound Semiconductors, Takamatsu, May 31-June 4, 2010.
- Y.Isobe, D.Iida, T.Sakakibara, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, I.Akasaki, M.Imade, Y.Kitaoka, and Y.Mori : "Homoepitaxial growth of m-plane Ga_N film on miscut Ga_N substrates grown by Na flux method" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- * Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "Fabrication of nitride-based solar cells on freestanding Ga_N substrate" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- K.Nonaka, T.Asai, K.Ban, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, I.Akasaki, and Z.H.Wu : "Microstructure of Thick AlGa_N Epilayers Using Mg-doped AlN Underlying Layer" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- Kengo Nagata, Kentaro Nonaka, Tomoki Ichikawa, Kenichiro Takeda, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Reduction in threshold current density of UV laser diode" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- Hiroshi Amano, Masahito Yamaguchi, Yoshio Honda, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki : "Atomic Layer Epitaxy of AlN and AlGa_N and Raised Pressure MOVPE for the Growth of High In-content GaInN" The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13, 2010.
- Tatsuyuki Sakakibara, Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Mamoru Imada, Yasuo Kitaoka, Yusuke Mori : "Transmission-electron-microscope characterization of AlGa_N/Ga_N heterostructure on miscut Ga_N substrate grown by Na flux method" The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13, 2010.
- Takuya Yokoi, Fumiharu Teramae, Shinichi Ezaki, Takuya Nishimura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : "Selective formation of porous SiC by anodic method" The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13, 2010.
- Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Tatsuyuki Sakakibara, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Mamoru Imade, Yasuo Kitaoka, and Yusuke Mori : "Optimization of Initial Growth of the Nonpolar m-plane and a-plane Ga_N Grown on LPE-GaN Substrates by Na Flux Method" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Daisuke Iida, Kenta Tamura, Kentaro Nonaka, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Compensation Effect of Mg-doped a-and c-plane Ga_N Films Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy" International Workshop on Nitride

- semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Toru Sugiyama, Yousuke Kuwabara, Yasuhiro Isobe, Takahiro Fujii, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Microstructure of GaInN/GaN Superlattice on GaN Substrate" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Kosuke Takehara, Kenichiro Takeda, Kengo Nagata, Hisashi Sakurai, Shun Ito, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Transparent Electrode for UV Light-Emitting-Diodes" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Kengo Nagata, Kenichiro Takeda, Yoshinori Oshimura, Kosuke Takehara, Hiroki Aoshima, Shun Ito, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Injection Efficiency in AlGaIn-based UV Laser Diode" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Cyril Pernot, Myunghee Kim, Shinya Fukahori, Tetsuhiko Inazu, Takehiko Fujita, Yosuke Nagasawa, Akira Hirano, Masamichi Ippommatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Development of High Efficiency 255-350 nm AlGaIn-Based Light-Emitting Diodes" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Takayuki Sugiyama, Yoshio Honda, Masahito Yamaguchi, Hiroshi Amano, Yoshinori Oshimura, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, and Isamu Akasaki : "Drain Bias Stress and Memory Effect in AlGaIn/GaN Heterostructure Field-effect Transistor with p-GaN Gate" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Hiromichi Ikki, Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Akira Bandoh, and Takashi Udagawa : "GaInN/AlGaIn Heterostructure Field-effect Transistors" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Yoshinori Oshimura, Takayuki Sugiyama, Kenichiro Takeda, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Realization of Extremely Low Leakage Current in AlGaIn/GaN HFETs by Pulsed Injection of Mg Source before Growth of Undoped GaN Buffer Layer" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Takahiro Fujii, Yosuke Kuwahara, Daisuke Iida, Yasuharu Fujiyama, Yoshiki Morita, Toru Sugiyama, Yasuhiro Isobe, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "High-InN-molar-fraction Nitride-based Solar Cells using GaInN/GaN Superlattice" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- 永田賢吾, 竹田健一郎, 市川友紀, 永松謙太郎, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇 : 「酸素雰囲気中での p 型 AlGaIn の活性化による高出力 AlGaIn/GaN 紫外 LED」第 70 回応用物理学学会学術講演会, 富山大学, 2009.9.8-11.
- 永田賢昌, 飯田大輔, 永松謙太郎, 松原哲也, 竹田健一郎, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇 : 「加圧 MOVPE 法による GaInN における InN 組成の圧力依存性」第 39 回結晶成長国内会議(NCCG-39), 名古屋大学, 2009.11.12-14.
- 永田賢昌, 飯田大輔, 永松謙太郎, 松原哲也, 竹田健一郎, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇 : 「GaInN の加圧 MOVPE における熱力学解析」電子情報通信学会 電子デバイス研究会(ED)・電子部品・材料研究会(CPM)・レーザ・量子エレクトロニクス研究会(LQE) 合同研究会, 徳島大学, 2009.11.19-20.
- 市川友紀, 竹田健一郎, 小木曾裕二, 永田賢吾, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇, 吉田治正, 桑原正和, 山下陽滋, 菅博文 : 「UV レーザダイオードの動作電圧の低減」電子情報通信学会 電子デバイス研究会(ED)・電子部品・材料研究会(CPM)・レーザ・量子エレクトロニクス研究会(LQE) 合同研究会, 徳島大学, 2009.11.19-20.
- 山川雅康, 村田一喜, 永田賢昌, 天野浩, 岩谷素顕, 上山智, 赤崎勇, 東正信 : 「昇華法による柱状 AlN 上への層状 AlN の成長」第 57 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 2010.3.17-3.20.
- 櫻井悠, 近藤俊行, 寺前文晴, 鈴木敦志, 北野司, 河合良介, 岩谷素顕, 天野浩, 上山智, 赤崎勇 :

- 「Moth-eye 構造の ITO 電極への応用」第 57 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 2010.3.17-3.20.
- * 桑原 洋介, 藤山 泰治, 森田 義己, 藤井 崇裕, 杉山 徹, 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇:「窒化物半導体を用いた太陽電池の評価」第 57 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 2010.3.17-3.20.
- 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇:「非極性・半極性窒化物半導体の結晶成長技術」第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- 野中 健太郎, 浅井 俊晶, 伴 和仁, 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇, Zhihao Wu:「Mg ドープ AlN 下地層を用いた高品質厚膜 AlGaIn の微細構造観察」第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- 永田 賢吾, 野中 健太郎, 市川 友紀, 竹田 健一郎, 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇, 吉田 治正, 桑原 正和, 山下 陽滋, 菅 博文:「UV レーザダイオードの閾値電流密度の低減」第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- * 桑原 洋介, 藤山 泰治, 森田 義己, 藤井 崇裕, 杉山 徹, 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇:「GaIn 基板を用いた窒化物太陽電池の特性評価」第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- 磯部 康裕, 飯田 大輔, 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇, 今出 完, 北岡 康夫, 森 勇介:「Na フラックス法により作製した m 面 GaN 基板上への m 面 GaN の MOVPE 成長の基板オフ角依存性」: 第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- * 一木 宏充, 磯部 康裕, 飯田 大輔, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, 坂東 章, 宇田川 隆:「GaInN チャネルヘテロ接合電界効果トランジスタの検討」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- * 押村 吉徳, 杉山 貴之, 竹田 健一郎, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaIn 基板上 AlGaIn/GaIn HFET のドレインリーク電流の低減」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- * 藤井 崇裕, 桑原 洋介, 飯田 大輔, 杉山 徹, 磯部 康裕, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaInN/GaInN 超格子構造を用いた窒化物半導体太陽電池の高性能化」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 田村 健太, 飯田 大輔, 山口 修司, 近藤 俊行, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「酸化ジルコニウムを用いたサファイア基板上 LED の作製」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- * 櫻井 悠, 近藤 俊行, 寺前 文晴, 鈴木 敦志, 北野 司, 森 みどり, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「電極および基板界面に Moth-eye 構造を形成した高効率 LED の作製」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- * 杉山 徹, 磯部 康裕, 桑原 洋介, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaIn 基板上に作製した GaInN/GaInN 超格子構造の微細構造」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 磯部 康裕, 飯田 大輔, 榊原 辰幸, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, 今出 完, 北岡 康夫, 森 勇介:「Na フラックス法により作製した非極性面 LPE-GaN 基板上への MOVPE 法による GaN の初期成長」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 深堀 真也, シリル ペルノ, 金 明姫, 藤田 武彦, 稲津 哲彦, 長澤 陽祐, 平野 光, 一本松 正道, 岩谷 素顕, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「紫外発光素子用透明電極の検討」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 竹田 健一郎, 永田 賢吾, 竹原 孝祐, 青島 宏樹, 伊藤 駿, 押村 吉徳, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇, 吉田 治正, 桑原 正和, 山下 陽滋, 菅 博文:「ELO AlGaIn 下地層上に作製した紫外レーザーダイオードの特性評価」第 71 回応用物理学学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 山川 雅康, 村田 一喜, 岩谷 素顕, 上山 智, 竹内 哲也, 赤崎 勇, 天野 浩, 東 正信:「昇華法による単結晶 AlN の高速成長」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.
- 野中 健太郎, 浅井 俊晶, 伴 和仁, 山本 準一, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, Z.H.Wu:「Mg ドープ AlN 下地層を用いた低転位 AlGaIn の転位挙動」: 窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.
- * 桑原 洋介, 藤井 崇裕, 杉山 徹, 飯田 大輔, 磯部 康裕, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaInN/GaInN 超格子構造を用いた窒化物太陽電池の特性評価」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.
- * 上山 智, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 赤崎 勇, M.Syvajarvi, R.Yakimova:「蛍光 SiC と窒化物半導体励起光源を用いた白色 LED」, 窒化物ナノエレクトロニクス材

料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-5.

成塚 重弥

【学術論文】

* T.Maruyama, K.Sato, Y.Mizutani, K.Tanioku, T.Shiraiwa and S.Naritsuka, "Low-Temperature Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes by Alcohol Gas Source Growth in High Vacuum", *J.Nanotechnol.Nanosci.*10 (2010) 4095-4101.

* K.Sato, T.Shiraiwa, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Effect of Buffer Thickness on Single-Walled Carbon Nanotube Growth using Aluminum Oxide Buffer Layer with Alcohol Gas Source Method", *J.Nanotechnol.Nanosci.*10 (2010) 3929-3933.

K.Ueda, Y.Iijima, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Effect of Annealing in a Hydrogen Atmosphere on Carbon Nanocap Formation in Surface Decomposition of 6H-SiC (000-1)", *J.Nanotechnol.Nanosci.*10 (2010) 4054-4059.

* Kuninori Sato, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Single-Walled Carbon Nanotube Growth using Al_2O_x Buffer Layer at Low Temperature by Alcohol Gas Source Method", *MRS Proceedings* 1204-K05-27 (2010).

Takahiro Maruyama, Fumiya Nakahama, Shigeya Naritsuka, "Improvement of Carbon Nanotube Films on SiC formed by Surface Decomposition by Hydrogen Peroxide Purification", *MRS Proceedings* 1204-K14-40 (2010).

Shigeya Naritsuka, Midori Mori, Yoshitaka Takeuchi, Yohei Monno and Takahiro Maruyama "XPS study of nitridation mechanism of GaAs (001) surface by RF-radical source" *physica status solidi (c)* 201000463 e-journal 版

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Temperature dependence of selective growth of GaN by ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", *J.Crystal Growth* (to be published).

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based organic molecular beam epitaxy", *J.Crystal Growth* (to be published).

* Yoshihiro Mizutani, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "SWNT Growth on $Al_2O_x/Co/Al_2O_x$ Multilayer Catalyst using Alcohol Gas Source Method in High Vacuum", *J.Crystal Growth* (to be published).

【その他】

* Kuninori Sato, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Enhancement Mechanism of SWNT Yield with Al_2O_x

Buffer Layer in Low Temperature Growth", 2009 MRS Fall Meeting K 5.27, Hynes Convention Center and Sheraton Boston Hotel, Boston, MA, USA, November 30-December 4 (2009). 11月30日

* Takahiro Maruyama, Fumiya Nakahama, Shigeya Naritsuka, "Purification of Carbon Nanotube Films Formed on SiC Substrates by Surface Decomposition", 2009 MRS Fall Meeting K 14.40, Hynes Convention Center and Sheraton Boston Hotel, Boston, MA, USA, November 30-December 4 (2009). 12月1日

D.Kanbayashi, T.Kawakami, Y.Ando, S.Naritsuka, T.Maruyama, "AlGaAs-based optical device fabricated on Si substrate using microchannel epitaxy", TMS 2010 Annual Meeting & Exhibition Seattle, USA, February 14-18, 2010

Shigeya Naritsuka, Midori Mori, Yoshitaka Takeuchi, Yohei Monno, Takahiro Maruyama, "XPS study of Nitridation of GaAs (001) Surface using RF-radical Source", The 37th International Symposium on Compound Semiconductors, Takamatsu, Kagawa, Japan, May 31-June 4 (2010) 5月31日

Y.Ando, D.Kanbayashi, T.Kawakami, H.Sato, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Fabrication of AlGaAs-based Vertical Cavity Surface Emitting Laser on Si Substrate using Microchannel Epitaxy", Extended abstracts of 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29) (2010) 109.

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama and Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", Extended abstracts of 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29) (2010) 111.

Takahiro Maruyama, Kuninori Sato, Shigeya Naritsuka, "Effects of Water Addition on Single-Walled Carbon Nanotube Growth by Alcohol Gas Source Method in High Vacuum", 11th International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT10), 278, Montreal, Canada June 27-July 2 (2010).

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based organic molecular beam epitaxy", The 14th International Summer School on Crystal Growth (ISSCG-14), Dalian, China, August 1-7 (2010).

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Temperature dependence of selective growth of GaN by ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", The 16th International Conference on

- Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).
- * Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based organic molecular beam epitaxy", The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).
 - * Yuki Nagae, Takahiro Maruyama, Shigeeya Naritsuka, Yuki Osawa, "Optimization of growth conditions for selective growth and lateral growth of GaN by RF-MBE", The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).
 - * Yoshihiro Mizutani, Takahiro Maruyama, Shigeeya Naritsuka, "SWNT Growth on $\text{Al}_2\text{O}_x/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_x$ Multilayer Catalyst using Alcohol Gas Source Method in High Vacuum", The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).
 - * 佐藤 一徳, 水谷 芳裕, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, "SWNT Growth on $\text{Al}_2\text{O}_x/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_x$ Multilayer Catalyst using Alcohol Gas Source Method in High Vacuum" (高真空中アルコールガスソース法を用いた $\text{Al}_2\text{O}_x/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_x$ 多層触媒上の SWNT 成長), 第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 3P-7, 名城大学, 3 月 2 日 - 3 月 4 日.
- 大沢 佑来, 長江 祐基, 成塚 重弥, 丸山 隆浩, 「(111)B GaAs 低角入射マイクロチャンネルエピタキシー」第 57 回応用物理学関係連合講演会 19a-TW-7, 東海大学(平塚市) 3 月 17 日 - 20 日.
- * 長江 祐基, 大沢 佑来, 成塚 重弥, 丸山 隆浩, 「RF-MBE 法による GaN 選択成長および横方向成長の条件検討」第 57 回応用物理学関係連合講演会 19a-TB-3, 東海大学(平塚市) 3 月 17 日 - 20 日.
 - * 阿部 亮太, 林家弘, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「MOMBE による GaN の選択成長, 横方向成長」, 第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会 三重大学 5 月 14-15 日.
 - * 風間 正志, 小島 春輝, 佐藤 秀治郎, 成塚 重弥, 丸山 隆浩, 「アンモニアガスを用いた液相成長による GaN 薄膜の成長」, 第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会 三重大学 5 月 14-15 日.
- Y.Ando, D.Kanbayashi, T.Kawakami, H.Sato, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Fabrication of AlGaAs-based Vertical Cavity Surface Emitting Laser on Si Substrate using Microchannel Epitaxy", 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29), Th3-3, Laforet Shuzenji, Izu, July 14-16 (2010).
- * Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama and Shigeeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29), Th3-3, Laforet Shuzenji, Izu, July 14-16 (2010).
 - * 成塚 重弥, 「MOMBE を用いた GaN の選択成長, 横方向成長」, 分子線エピタキシー結晶成長研究会, 長岡技術科学大学, 7 月 23 - 24 日(招待講演).
 - * 水谷 芳裕, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「高真空アルコールガスソース法による SWNT 成長における $\text{Al}_2\text{O}_x/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_x$ 多層触媒の役割」第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 2P-21, 京都大学, 9 月 5 日 - 7 日.
- 伊藤 宏晃, 榊原 悟史, 石黒 祐樹, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「6H-SiC (000-1) の高真空下での表面分解によるカーボンナノチューブ成長」第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 2P-22, 京都大学, 9 月 5 日 - 7 日.
- * 林家弘, 阿部 亮太, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「アンモニア系 MOMBE を用いた GaN 選択成長の結晶表面形態に与える温度の効果」14a-C-9, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
 - * 阿部 亮太, 林家弘, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「アンモニア系 MOMBE を用いた GaN 選択成長の結晶表面形態に与える温度の効果」14a-C-10, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 小島 春輝, 佐藤 秀治郎, 風間 正志, 成塚 重弥, 丸山 隆浩, 「温度差法 LPE を用いた GaAs (001) マイクロチャンネルエピタキシーのための成長条件の検討」, 14a-ZQ-9, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 佐藤 秀治郎, 小島 春輝, 成塚 重弥, 丸山 隆浩, 「電流制御型 LPE を用いた GaSb (001) の成長 - 電流値依存性 - 」第 71 回応用物理学学会学術講演会 16p-ZV-4, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 榊原 悟史, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「SiC 表面分解法により形成した CNT/SiC 接合界面の電気的特性」16p-ZQ-3, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 丸山 隆浩, 榊原 悟史, 成塚 重弥, 雨宮 健太, 「SiC 表面分解によるカーボンナノチューブ生成初期過程のその場 NEXAFS 測定を試み」17a-ZQ-3, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- * 水谷 芳裕, 佐藤 一徳, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「高真空アルコールガスソース法による SWNT 成長における $\text{Al}_2\text{O}_x/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_x$ 多層触媒の効果」17a-ZQ-7, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 五百川 隆康, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「アルコールガ

ソース法による ZnO 単結晶表面上カーボンナノチューブ成長」17a-ZQ-8, 長崎大学, 9月14日-17日.

丸山 隆浩, 上田 和史, 飯島 祐樹, 成塚 重弥, 「SiC 表面分解カーボンナノチューブ成長法における水素雰囲気中アニール処理効果」名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.165-168 (2010-3).

坂 えり子

【その他】

坂 えり子, 池邊 由美子, 鈴木 崇也: 「金属を化学ドーブした RE-Ba-Cu-O 超伝導フィラメントの臨界電流特性」, 名城大学総合学術研究所総合学術研究論文集, 第9号, pp.57-65, (2010-3)

堤 陽子, 池邊 由美子, 坂 えり子: 「遷移金属を添加した BaZrO₃ のプロトン伝導特性」, 名城大学総合研究所紀要, 第15号, pp.91-94, (2010-3)

池邊 由美子, 坂 えり子: 「Co を添加した繊維状(Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O の超伝導特性」, 名城大学名城大学理工学部研究報告, 第50号, pp.21-24, CD-ROM, (2010-3)

坂 えり子, 池邊 由美子, 西島 元, 渡辺 和雄: 「Co をドーブした繊維状(Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O の磁場中臨界電流特性」, 東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター, 平成21年度年次報告, pp.36-38, (2010-6)

池邊 由美子, 日比 健語, 坂 えり子: 「(Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O 繊維の超伝導特性に及ぼす Co の添加効果」, 日本セラミックス協会2010年年会予稿集, (2010-3)

E.Ban, Y.Ikebe, G.Nishijima and K.Watanabe: "Critical current properties in magnetic field of filamentary Sm-Ba-Cu-O with metal additions" Applied Superconductivity Conference 2010_abstract, p.417, (2010-8)

Y.Ikebe, E.Ban, G.Nishijima and K.Watanabe: "Fabrication and characterization of filamentary (Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O superconductor doped with Cobalt and Nickel" Applied Superconductivity Conference 2010_abstract, p.417, (2010-8)

E.Ban, Y.Ikebe, G.Nishijima and K.Watanabe: "Critical current properties of filamentary (Sm, Gd, Dy)-Ba-Cu-O superconductors" 23rd International Symposium on Superconductivity_abstract, p.274, (2010-11)

Y.Ikebe, E.Ban, G.Nishijima and K.Watanabe: "Preparation and properties of ternary (Nd, Sm, Gd) 123 and (Sm, Gd, Dy) 123 filamentary superconductors" 23rd International Symposium on Superconductivity_abstract,

p.274, (2010-11)

坂東 俊治

【学術論文】

H.Asano, S.Muraki, H.Endo, S.Bandow, S.Iijima: "Strong magnetism observed in carbon nano-particles produced by laser vaporization of carbon pellet in the hydrogen containing Ar balance gas", J.Phys.: Condens.Matter 22 (33), 334209 (2010).

S.Okubo, T.Okazaki, K.Hirose-Takai, K.Suenaga, S.Okada, S.Bandow, S.Iijima: "Electronic Structure of Single-Walled Carbon Nanotubes Encapsulating Ellipsoidal C₇₀", J.Am.Chem.Soc.132 (43), 15252-15258 (2010).

【その他】

Hirohito Asano, Sumio Iijima, Shunji Bandow: "Effect of high temperature annealing on the ferromagnetism of carbon nanofoam", The 38th Fullerene Nanotubes General Symposium, March 2-4 (2010), Nagoya, 1P-30.

Shinya Koike, Shunji Bandow, Yoshinori Ando, "Controllable yield of metallic single-walled carbon nanotubes by aerosol-assisted chemical vapor deposition", The 38th Fullerene Nanotubes General Symposium, March 2-4 (2010), Nagoya, 3P-9.

Takashi Yamaguchi, Ryo Nakanishi, Ryo Kitaura, Shunji Bandow, Masako Yudasaka, Hisanori Shinohara, Sumio Iijima, "Preparation of single-wall carbon nanotubes by CO₂ laser ablation method at room temperature", The 38th Fullerene Nanotubes General Symposium, March 2-4 (2010), Nagoya, 3P-28.

Shingo Okubo, Toshiya Okazaki, Kaori Hirose-Takai, K.Suenaga, Susumu Okada, Shunji Bandow, and Sumio Iijima, "Electronic Structure of Single-Wall Carbon Nanotubes Encapsulating Ellipsoidal C₇₀", The 39th Fullerene Nanotubes General Symposium, Sep.5-7 (2010), Kyoto, 1-18.

Hirohito Asano, Susumu Muraki, Takahiro Mizuno, Makoto Jinno, Sumio Iijima, Shunji Bandow, "Separation of pure carbon nanofoams and their superparamagnetism", The 39th Fullerene Nanotubes General Symposium, Sep.5-7 (2010), Kyoto, 2P-32.

丸山 隆浩

【学術論文】

* T.Maruyama, K.Sato, Y.Mizutani, K.Tanioku, T.Shiraiwa and S.Naritsuka, "Low-Temperature Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes by Alcohol Gas Source Growth in High Vacuum", J.Nanotechnol.Nanosci.10 (2010)

4095-4101.

* K.Sato, T.Shiraiwa, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Effect of Buffer Thickness on Single-Walled Carbon Nanotube Growth using Aluminum Oxide Buffer Layer with Alcohol Gas Source Method", *J.Nanotechnol.Nanosci.10* (2010) 3929-3933.

K.Ueda, Y.Iijima, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Effect of Annealing in a Hydrogen Atmosphere on Carbon Nanocap Formation in Surface Decomposition of 6H-SiC (000-1)", *J.Nanotechnol.Nanosci.10* (2010) 4054-4059.

* Kuninori Sato, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Single-Walled Carbon Nanotube Growth using Al_2O_x Buffer Layer at Low Temperature by Alcohol Gas Source Method", *MRS Proceedings I204-K05-27* (2010).

Takahiro Maruyama, Fumiya Nakahama, Shigeya Naritsuka, "Improvement of Carbon Nanotube Films on SiC formed by Surface Decomposition by Hydrogen Peroxide Purification", *MRS Proceedings I204-K14-40* (2010).

Kaushik Ghosh, Mukul Kumar, Takahiro Maruyama, Yoshinori Ando, "Tailoring the Field Emission Property of Carbon Nitride Nanotubes by Controlling the Graphitic/Pyridinic N Doping", *Carbon*, 48 (2010) 191.

Shigeya Naritsuka, Midori Mori, Yoshitaka Takeuchi, Yohei Monno and Takahiro Maruyama "XPS study of nitridation mechanism of GaAs (001) surface by RF-radical source" *physica status solidi (c)* 201000463 e-journal 版

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Temperature dependence of selective growth of GaN by ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", *J.Crystal Growth* (to be published).

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based organic molecular beam epitaxy", *J.Crystal Growth* (to be published).

* Yoshihiro Mizutani, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "SWNT Growth on $Al_2O_x/Co/Al_2O_x$ Multilayer Catalyst using Alcohol Gas Source Method in High Vacuum", *J.Crystal Growth* (to be published).

【その他】

* Kuninori Sato, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Enhancement Mechanism of SWNT Yield with Al_2O_x Buffer Layer in Low Temperature Growth", 2009 MRS Fall Meeting K 5.27, Hynes Convention Center and

Sheraton Boston Hotel, Boston, MA, USA, November 30-December 4 (2009). 11月30日

* Takahiro Maruyama, Fumiya Nakahama, Shigeya Naritsuka, "Purification of Carbon Nanotube Films Formed on SiC Substrates by Surface Decomposition", 2009 MRS Fall Meeting K 14.40, Hynes Convention Center and Sheraton Boston Hotel, Boston, MA, USA, November 30-December 4 (2009). 12月1日

D.Kanbayashi, T.Kawakami, Y.Ando, S.Naritsuka, T.Maruyama, "AlGaAs-based optical device fabricated on Si substrate using microchannel epitaxy", TMS 2010 Annual Meeting & Exhibition Seattle, USA, February 14-18, 2010

Shigeya Naritsuka, Midori Mori, Yoshitaka Takeuchi, Yohei Monno, Takahiro Maruyama, "XPS study of Nitridation of GaAs (001) Surface using RF-radical Source", The 37th International Symposium on Compound Semiconductors, Takamatsu, Kagawa, Japan, May 31-June 4 (2010) 5月31日

Y.Ando, D.Kanbayashi, T.Kawakami, H.Sato, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Fabrication of AlGaAs-based Vertical Cavity Surface Emitting Laser on Si Substrate using Microchannel Epitaxy", Extended abstracts of 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29) (2010) 109.

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama and Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", Extended abstracts of 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29) (2010) 111.

Takahiro Maruyama, Kuninori Sato, Shigeya Naritsuka, "Effects of Water Addition on Single-Walled Carbon Nanotube Growth by Alcohol Gas Source Method in High Vacuum", 11th International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT10), 278, Montreal, Canada June 27-July 2 (2010).

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based organic molecular beam epitaxy", The 14th International Summer School on Crystal Growth (ISSCG-14), Dalian, China, August 1-7 (2010).

* Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Temperature dependence of selective growth of GaN by ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).

- * Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based organic molecular beam epitaxy", The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).
- * Yuki Nagae, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, Yuki Osawa, "Optimization of growth conditions for selective growth and lateral growth of GaN by RF-MBE", The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).
- * Yoshihiro Mizutani, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, "SWNT Growth on $Al_2O_3/Co/Al_2O_3$ Multilayer Catalyst using Alcohol Gas Source Method in High Vacuum", The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13 (2010).
- Takahiro Maruyama, "Formation Mechanism and Property of Carbon Nanotubes Grown by Decomposition of SiC Surface", International Conference on Carbon Nanotechnology: Potential and Challenge, Kanpur, India December 15-17 (2010) (Invited).
- * 佐藤一徳, 水谷芳裕, 丸山隆浩, 成塚重弥, "SWNT Growth on $Al_2O_3/Co/Al_2O_3$ Multilayer Catalyst using Alcohol Gas Source Method in High Vacuum" (高真空中アルコールガスソース法を用いた $Al_2O_3/Co/Al_2O_3$ 多層触媒上の SWNT 成長), 第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 3P-7, 名城大学, 3 月 2 日 - 3 月 4 日.
- 大沢佑来, 長江祐基, 成塚重弥, 丸山隆浩, 「(111)B GaAs 低角入射マイクロチャンネルエピタキシー」第 57 回応用物理学関係連合講演会 19a-TW-7, 東海大学(平塚市) 3 月 17 日 - 20 日.
- * 長江祐基, 大沢佑来, 成塚重弥, 丸山隆浩, 「RF-MBE 法による GaN 選択成長および横方向成長の条件検討」第 57 回応用物理学関係連合講演会 19a-TB-3, 東海大学(平塚市) 3 月 17 日 - 20 日.
- * 阿部亮太, 林家弘, 丸山隆浩, 成塚重弥, 「MOMBE による GaN の選択成長, 横方向成長」, 第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会 三重大学 5 月 14 - 15 日.
- * 風間正志, 小島春輝, 佐藤秀治郎, 成塚重弥, 丸山隆浩, 「アンモニアガスを用いた液相成長による GaN 薄膜の成長」, 第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会 三重大学 5 月 14 - 15 日.
- Y.Ando, D.Kanbayashi, T.Kawakami, H.Sato, T.Maruyama and S.Naritsuka, "Fabrication of AlGaAs-based Vertical Cavity Surface Emitting Laser on Si Substrate using Microchannel Epitaxy", 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29), Th3-3, Laforet Shuzenji, Izu, July 14-16 (2010).
- * Chia-Hung Lin, Ryota Abe, Takahiro Maruyama and Shigeya Naritsuka, "Low angle incidence microchannel epitaxy of GaN using ammonia-based metal-organic molecular beam epitaxy", 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29), Th3-3, Laforet Shuzenji, Izu, July 14-16 (2010).
- * 水谷芳裕, 丸山隆浩, 成塚重弥, 「高真空アルコールガスソース法による SWNT 成長における $Al_2O_3/Co/Al_2O_3$ 多層触媒の役割」第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 2P-21, 京都大学, 9 月 5 日 - 7 日.
- 伊藤宏晃, 榊原悟史, 石黒祐樹, 丸山隆浩, 成塚重弥, 「6H-SiC (000-1) の高真空下での表面分解によるカーボンナノチューブ成長」第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 2P-22, 京都大学, 9 月 5 日 - 7 日.
- * 林家弘, 阿部亮太, 丸山隆浩, 成塚重弥, 「アンモニア系 MOMBE を用いた GaN 選択成長の結晶表面形態に与える温度の効果」14a-C-9, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- * 阿部亮太, 林家弘, 丸山隆浩, 成塚重弥, 「アンモニア系 MOMBE を用いた GaN 選択成長の結晶表面形態に与える温度の効果」14a-C-10, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 小島春輝, 佐藤秀治郎, 風間正志, 成塚重弥, 丸山隆浩, 「温度差法 LPE を用いた GaAs (001) マイクロチャンネルエピタキシーのための成長条件の検討」, 14a-ZQ-9, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 佐藤秀治郎, 小島春輝, 成塚重弥, 丸山隆浩, 「電流制御型 LPE を用いた GaSb (001) の成長 - 電流値依存性 - 」第 71 回応用物理学学会学術講演会 16p-ZV-4, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 榊原悟史, 丸山隆浩, 成塚重弥, 「SiC 表面分解法により形成した CNT/SiC 接合界面の電気的特性」16p-ZQ-3, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- 丸山隆浩, 榊原悟史, 成塚重弥, 雨宮健太, 「SiC 表面分解によるカーボンナノチューブ生成初期過程のその場 NEXAFS 測定を試み」17a-ZQ-3, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.
- * 水谷芳裕, 佐藤一徳, 丸山隆浩, 成塚重弥, 「高真空アルコールガスソース法による SWNT 成長における $Al_2O_3/Co/Al_2O_3$ 多層触媒の効果」17a-ZQ-7, 長崎大学, 9 月 14 日 - 17 日.

五百川 隆康, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, 「アルコールガスソース法による ZnO 単結晶表面上カーボンナノチューブ成長」17a-ZQ-8, 長崎大学, 9月14日-17日.

丸山 隆浩, 「カーボンナノチューブ成長技術の紹介」NEC × 名城大学大学院理工学研究科 技術交流会 名城大学, 11月18日.

丸山 隆浩, 上田 和史, 飯島 祐樹, 成塚 重弥, 「SiC 表面分解カーボンナノチューブ成長法における水素雰囲気中アニール処理効果」名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.165-168 (2010-3).

赤堀 俊和

【学術論文】

赤堀 俊和, 新家 光雄, 小野 智之, 仲井 正昭, 堤 晴美: 「生体用 Ti-Nb-Ta-Zr-O 系合金のミクロ組織と力学的機能性に及ぼすニオブおよび酸素量の影響」, 96, pp.93-100, (2010)

H.Tsutsumi, M.Niinomi, T.Akahori, M.Nakai, T.Takeuchi and S.Katsura: "Quality Improvement of a β -type Titanium Alloy Cast for Biomedical Applications by Using a Calcia Mold", Material Transactions, 51, pp.128-135 (2010)

H.Tsutsumi, M.Niinomi, T.Akahori, M.Nakai, T.Takeuchi and S.Katsura: "Mechanical Properties of a β -type Titanium Alloy Cast Using a Calcia Mold for Biomedical Applications", Material Transactions 51, pp.136-142, (2010)

堤 晴美, 新家 光雄, 赤堀 俊和, 仲井 正昭, 竹内 力, 桂 成基: 「カルシア系鋳型を用いて鋳造した生体用 β 型チタン合金の寸法精度」, 軽金属 60, 170-176 (2010)

堤 晴美, 新家 光雄, 赤堀 俊和, 仲井 正昭, 竹内 力, 桂 成基: 「カルシア鋳型を用いて鋳造した生体用 β 型チタン合金の機械的性質」, 軽金属 60, 177-182 (2010)

E.G.Obbard, Y.L.Hao, T.Akahori, R.J.Talling, M.Niinomi, D.Dye and R.Yang: "Mechanical of Susperelasticity in Ti-30Nb- (8-10)Ta-Zr Alloy", Acta MATERIALIA, 58, pp.3557-3567, (2010)

赤堀 俊和, 新家 光雄, 小野 智之, 仲井 正昭, 堤 晴美: 「生体用 Ti-Nb-Ta-Zr-O 系合金のミクロ組織と力学的機能性に及ぼすニオブおよび酸素量の影響」, 鉄と鋼, 96, pp.93-100, (2010)

M.Niinomi and T.Akahori: "Improvement of the Fatigue Life of Titanium Alloys for Biomedical Devices through Microstructural Control", Expert Reviews, 7, pp.481-

488 (2010)

赤堀 俊和, 新家 光雄, 仲井 正昭, 堤 晴美, 菅野 透, 金 容煥, 福井 壽男: 「固溶体化処理を施した歯科用銀合金の特異硬化挙動とミクロ組織の関係」, 日本金属学会誌, 74, pp.337-344, (2010)

【その他】

T.Akahori, M.Niinomi, M.Nakai, H.Tsutsumi, T.Hattori and H.Fukui: "Mechanical Performance of Newly Developed Titanium and Zirconium System Alloys for Biomedical Applications", THERMEC' 2009, Germany, September25-30, (2010)

M.Niinomi, M.Nakai, T.Akahori and H.Tsutsumi: "Anomalous Characteristics of Ti-Nb-Ta-Zr Alloy for Biomedical Applications", THERMEC' 2009, Germany, September25-30, (2010)

K.Narita, M.Niinomi, M.Nakai, T.Akahori, H.Tsutsumi, K.Oribe: "Bending fatigue and spring back properties of implant rods made of β -type titanium alloy for spinal fixture", THERMEC' 2009, Germany, September25-30, (2010)

K.Ushida, T.Hattori, K.Norikawa, T.Akahori and M.Niinomi: "nimal Study on Bone Tissue Reaction and Metal Ion Release in TNTZ Low Rigidity Titanium Alloy Learning from Failed Femoral Head Replacement in Sheep", EMB2010, Finland, September 11-15, (2010)

赤堀 俊和, 新家 光雄, 仲井 正昭, 堤 晴美, 近藤 裕介, 戸高 義一: 「各種プロセスによる (Ti, Zr) 系金属バイオマテリアルの高力学機能化」, 第146回日本金属学会春期大会, p.342, (2010)

林 和宏, 新家 光雄, 赤堀 俊和, 仲井 正昭, 堤 晴美, 安芸 志郎, 逸見 義男, 村上 昌吾, 大山 英人: 「次世代航空機用 $\alpha + \beta$ 型チタン合金のミクロ組織および力学的特性の関係」, 第118回軽金属学会春期大会, p.231, (2010)

I.Hakan, M.Niinomi, T.Akahori, M.Nakai, Y.Todaka: "Effect of severe plastic deformation on microstructure and mechanical properties of β -type Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr through high-pressure torsion", 第147回日本金属学会秋期大会, p.521, (2010)

金 容煥, 新家 光雄, 赤堀 俊和, 仲井 正昭, 堤 晴美, 福井 壽男: 「固溶体化処理による歯科用金銀パラジウム銅合金の特異硬化とミクロ組織の関係」, 第55回日本歯科理工学会学術講演会, p.174, (2010)

岩谷 素顕

【著書】

岩谷 素顕, 川島 毅士, 飯田 大輔, 千田 亮太, 上山 智,

天野 浩, 赤崎 勇「m 面 SiC 基板上への非極性窒化物半導体の結晶成長」: “窒化物基板および格子整合基板の成長とデバイス特性”(CMC 出版) (2009).

【学術論文】

Toshiaki Asai, Kensuke Nagata, Toshiaki Mori, Kentaro Nagamatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : “Relaxation and recovery processes of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ grown on AlN underlying layer” *Journal of Crystal Growth*, Volume 311, pp.2850-2852 (2009).

Hirotohi Tsuzuki, Fumiaki Mori, Kenichiro Takeda, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : “Novel UV devices on high-quality AlGaInN using grooved underlying layer” *Journal of Crystal Growth*, Volume 311, pp.2860-2863 (2009).

Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : “One-sidewall-seeded epitaxial lateral overgrowth of a-plane GaN by metalorganic vapor-phase epitaxy” *Journal of Crystal Growth*, Volume 311, pp.2887-2890 (2009).

Tetsuya Matsubara, Ryota Senda, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : “Growth of thick GaInN on grooved (10-1-1) GaN/ (10-1-2) 4H-SiC” *Journal of Crystal Growth*, Volume 311, pp.2926-2928 (2009).

Yohjiro Kawai, Shinya Ohsuka, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : “InGaInN growth with various InN mole fractions on m-plane ZnO substrate by metalorganic vapor phase epitaxy” *Journal of Crystal Growth*, Volume 311, pp.2929-2932 (2009).

Ryota Senda, Tetsuya Matsubara, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : “Strong Emission from GaInN/GaN Multiple Quantum Wells on High-Crystalline-Quality Thick m-Plane GaInN Underlying Layer on Grooved GaN” *Applied Physics Express*, Vol.2, 061004 (2009).

Hirotohi Tsuzuki, Fumiaki Mori, Kenichiro Takeda, Tomoki Ichikawa, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : “High-performance UV emitter grown on high-crystalline-quality AlGaInN underlying layer” *physica status solidi (a)*, Vol.206, pp.1199-1204 (2009).

Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : “Activation energy of Mg

in a -plane $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ ($0 < x < 0.17$)” *physica status solidi (b)*, Vol.246, pp.1188 – 1190 (2009).

Z.H. Wu, K.W.Sun, Q.Y.Wei, A.M.Fischer, F.A.Ponce, Y.Kawai, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, and I.Akasaki : “Misfit strain relaxation in m-plane epitaxy of InGaInN on ZnO” *Appl.Phys.Lett.*Vol.96 (2010) 071909.

T.Asai, K.Nonaka, K.Ban, K.Nagata, K.Nagamatsu, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, and I.Akasaki : “Growth of low-dislocation-density AlGaInN using Mg-doped AlN underlying layer” *physica status solidi (c)*, Vol.7, pp.2101-2103 (2010).

Kenichiro Takeda, Fumiaki Mori, Yuji Ogiso, Tomoaki Ichikawa, Kentaro Nonaka, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : “Internal quantum efficiency of GaN/AlGaInN-based multi quantum wells on different dislocation densities underlying layers” *physica status solidi (c)*, Vol.7, pp.1916-1918 (2010).

* Ryosuke Kawai, Toshiyuki Kondo, Atushi Suzuki, Fumiharu Teramae, Thukasa Kitano, Kenta Tamura, Hisashi Sakurai, Motoaki Iwaya, Hiroshi Amano, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Mark Chen, Alex Li and Kidd Su : “Realization of extreme light extraction efficiency for moth-eye LEDs on SiC substrate using high-reflection electrode” *physica status solidi (c)*, Vol.7, pp.2180-2182 (2010).

* T.Sugiyama, D.Iida, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : “Threshold voltage control using SiNx in normally off AlGaInN/GaN HFET with p-GaN gate” *physica status solidi (c)*, Vol.7, pp.1980-1982 (2010).

Akihiro Ishihara, Ryosuke Kawai, Thukasa Kitano, Atushi Suzuki, Toshiyuki Kondo, Motoaki Iwaya, Hiroshi Amano, Satoshi Kamiyama and Isamu Akasaki : “Growth and characterization of GaN grown on moth-eye patterned sapphire substrates” *physica status solidi (c)*, Vol.7, pp.2056-2058 (2010).

* Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : “Nitride-based light-emitting solar cell” *physica status solidi (c)*, Vol.7, pp.1807-1809 (2010).

* Yoshinori Oshimura, Kenichiro Takeda, Takayuki Sugiyama, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Akira Bandoh and Takashi Udagawa : “AlGaInN/GaN HFETs on Fe-doped GaN substrates” *physica status solidi (c)*, Vol.7, pp.1974-1976 (2010).

Kengo Nagata, Tomoki Ichikawa, Kenichiro Takeda, Kentaro Nagamatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama,

- Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "High-output-power AlGaIn/GaN ultraviolet-light-emitting diodes by activation of Mg-doped p-type AlGaIn in oxygen ambient" *physica status solidi (a)*, Vol.207, pp.1393-1396 (2010).
- Kentaro Nonaka, Toshiaki Asai, Kentaro Nagamatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Defects in highly Mg-doped AlN" *physica status solidi (a)*, Vol.207, pp.1299-1301 (2010).
- Cyril Pernot, Myunghee Kim, Shinya Fukahori, Tetsuhiko Inazu, Takehiko Fujita, Yosuke Nagasawa, Akira Hirano, Masamichi Ippommatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Improved Efficiency of 255–280 nm AlGaIn-Based Light-Emitting Diodes" *Applied Physics Express*, Vol.3 (2010) 061004.
- Daisuke Iida, Kensuke Nagata, Takafumi Makino, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Akira Bandoh, and Takashi Udagawa : "Growth of GaInN by Raised-Pressure Metalorganic Vapor Phase Epitaxy" *Applied Physics Express*, Vol.3 (2010) 075601.
- Daisuke Iida, Kenta Tamura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : "Compensation effect of Mg-doped a-and c-plane GaN films grown by metalorganic vapor phase epitaxy" *Journal of Crystal Growth*, 312 (2010) pp.3131-3135.
- * Y.Fujiyama, Y.Kuwahara, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "GaInN/GaN p-i-n light-emitting solar cells" *physica status solidi (c)*, Vol.7, (2010) pp.2382–2385.
- * Takayuki Sugiyama, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Temperature dependence of normally off mode AlGaIn/GaN heterostructure field-effect transistors with p-GaN gate" *physica status solidi (c)*, Vol.7, (2010) pp.2419–2422.
- Kentaro Nagamatsu, Daisuke Iida, Kenichiro Takeda, Kensuke Nagata, Toshiaki Asai, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Atomic layer epitaxy of AlGaIn" *physica status solidi (c)*, Vol.7, (2010) pp.2368–2370.
- T.Nishimura, K.Miyoshi, F.Teramae, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "High efficiency violet to blue light emission in porous SiC produced by anodic method" *physica status solidi (c)*, Vol.7, (2010) pp.2459–2462.
- Zhihao Wu, Kentaro Nonaka, Yohjiro Kawai, Toshiaki Asai, Fernando A.Ponce, Changqing Chen, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, and Isamu Akasaki : "Strain Relaxation Mechanisms in AlGaIn Epitaxy on AlN Templates" *Applied Physics Express*, Vol.3 (2010) 111003.
- Daisuke Iida, Kenta Tamura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : "Compensation effect of Mg-doped a-and c-plane GaN films grown by metalorganic vapor phase epitaxy" *Journal of Crystal Growth*, Volume 312 (2010) pp.3131-3135.
- 【その他】
- Tomoki Ichikawa, Kenichiro Takeda, Yuji Ogiso, Kengo Nagata, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Reduction in operating voltage of UV laser diode" *SPIE Photonic West*, San Fransisco, January 23-28, 2010.
- Daisuke Iida, Kensuke Nagata, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano and Isamu Akasaki : "Growth of GaInN films by raised pressure MOVPE at 200kPa" *ISPlasma2010*, Nagoya, March 7-10, 2010.
- * T.Sugiyama, D.Iida, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "High Temperature Operation of Normally Off AlGaIn /GaN Heterostructure Field-Effect Transistors with p-GaN Gate" *ISPlasma2010*, Nagoya, March 7-10, 2010.
- * Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "Ga_{0.89}In_{0.11}N/GaN Double Heterojunction p-i-n Solar Cells" *ISPlasma2010*, Nagoya, March 7-10, 2010.
- Y.Kawai, S.Itoh, K.Takeda, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "AlGaIn Growth on (100) QUOTE -Ga₂O₃ by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy" *ISPlasma2010*, Nagoya, March 7-10, 2010.
- Z.H.Wu, K.Nonaka, Y.Kawai, T.Asai, F.A.Ponce, C.Q.Chen, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, and I.Akasaki : "Strain relaxation of AlGaIn grown on AlN templates by misfit dislocation generation" *The 8th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED2010)*, Beijing, China, May 16-21, 2010.
- A.M.Fischer, Z.H.Wu, F.A.Ponce, R.Senda, D.Iida, M.Iwaya, and H.Amano : "Role of stacking faults in misfit strain relaxation in m-plane InGaIn quantum wells" *The 8th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED2010)*, Beijing, China, May 16-21, 2010.
- Kenichiro Takeda, Tomoki Ichikawa, Kengo Nagata,

- Daisuke Sawato, Yuji Ogiso, Yoshinori Oshimura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa, Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Optical waveguide layers in UV laser diodes on the low dislocation density AlGa_N underlying layer" The 37th International Conference of Compound Semiconductors, Takamatsu, May 31-June 4, 2010.
- * H.Amano, T.Sugiyama, Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, and I.Akasaki : "Recent development and future prospects of the fabrication of GaInN-based solar cells" The 37th International Conference of Compound Semiconductors, Takamatsu, May 31-June 4, 2010.
- Y.Isobe, D.Iida, T.Sakakibara, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, I.Akasaki, M.Imade, Y.Kitaoka, and Y.Mori : "Homoepitaxial growth of m-plane GaN film on miscut GaN substrates grown by Na flux method" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- * Y.Kuwahara, Y.Fujiyama, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano and I.Akasaki : "Fabrication of nitride-based solar cells on freestanding GaN substrate" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- K.Nonaka, T.Asai, K.Ban, M.Iwaya, S.Kamiyama, H.Amano, I.Akasaki, and Z.H.Wu : "Microstructure of Thick AlGa_N Epilayers Using Mg-doped AlN Underlying Layer" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- Kengo Nagata, Kentaro Nonaka, Tomoki Ichikawa, Kenichiro Takeda, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Reduction in threshold current density of UV laser diode" The 3rd International Symposium on Growth of III-Nitrides, Montpellier, France, July 5-7, 2010.
- Hiroshi Amano, Masahito Yamaguchi, Yoshio Honda, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki : "Atomic Layer Epitaxy of AlN and AlGa_N and Raised Pressure MOVPE for the Growth of High In-content GaInN" The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13, 2010.
- Tatsuyuki Sakakibara, Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Mamoru Imada, Yasuo Kitaoka, Yusuke Mori : "Transmission-electron-microscope characterization of AlGa_N/Ga_N heterostructure on miscut GaN substrate grown by Na flux method" The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13, 2010.
- Takuya Yokoi, Fumiharu Teramae, Shinichi Ezaki, Takuya Nishimura, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Hiroshi Amano, Isamu Akasaki : "Selective formation of porous SiC by anodic method" The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13, 2010.
- Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Tatsuyuki Sakakibara, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Mamoru Imade, Yasuo Kitaoka, and Yusuke Mori : "Optimization of Initial Growth of the Nonpolar m-plane and a-plane GaN Grown on LPE-GaN Substrates by Na Flux Method" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Daisuke Iida, Kenta Tamura, Kentaro Nonaka, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Compensation Effect of Mg-doped a- and c-plane GaN Films Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Toru Sugiyama, Yusuke Kuwabara, Yasuhiro Isobe, Takahiro Fujii, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Microstructure of GaInN/GaInN Superlattice on GaN Substrate" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Kosuke Takehara, Kenichiro Takeda, Kengo Nagata, Hisashi Sakurai, Shun Ito, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Transparent Electrode for UV Light-Emitting-Diodes" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Kengo Nagata, Kenichiro Takeda, Yoshinori Oshimura, Kosuke Takehara, Hiroki Aoshima, Shun Ito, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu

- Akasaki, Hiroshi Amano, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan: "Injection Efficiency in AlGa_N-based UV Laser Diode" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- Cyril Pernot, Myunghee Kim, Shinya Fukahori, Tetsuhiko Inazu, Takehiko Fujita, Yosuke Nagasawa, Akira Hirano, Masamichi Ippommatsu, Motoaki Iwaya, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano: "Development of High Efficiency 255-350 nm AlGa_N-Based Light-Emitting Diodes" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Takayuki Sugiyama, Yoshio Honda, Masahito Yamaguchi, Hiroshi Amano, Yoshinori Oshimura, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, and Isamu Akasaki: "Drain Bias Stress and Memory Effect in AlGa_N/Ga_N Heterostructure Field-effect Transistor with p-Ga_N Gate" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Hiromichi Ikki, Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Akira Bandoh, and Takashi Udagawa: "GaIn_N/AlGa_N Heterostructure Field-effect Transistors" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Yoshinori Oshimura, Takayuki Sugiyama, Kenichiro Takeda, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano: "Realization of Extremely Low Leakage Current in AlGa_N/Ga_N HFETs by Pulsed Injection of Mg Source before Growth of Undoped Ga_N Buffer Layer" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- * Takahiro Fujii, Yosuke Kuwahara, Daisuke Iida, Yasuhiro Fujiyama, Yoshiki Morita, Toru Sugiyama, Yasuhiro Isobe, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano: "High-In_N-molar-fraction Nitride-based Solar Cells using GaIn_N/Ga_N Superlattice" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.
- 永田賢吾, 竹田健一郎, 市川友紀, 永松謙太郎, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇: 「酸素雰囲気中での p 型 AlGa_N の活性化による高出力 AlGa_N/Ga_N 紫外 LED」第 70 回応用物理学学会学術講演会, 富山大学, 2009.9.8-11.
- 岩谷素顕: 「高品質厚膜 GaIn_N 結晶の作製とそのデバイス応用」: 第 39 回結晶成長国内会議(NCCG-39), 名古屋大学, 2009.11.12-14.
- 永田賢昌, 飯田大輔, 永松謙太郎, 松原哲也, 竹田健一郎, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇: 「加圧 MOVPE 法による GaIn_N における In_N 組成の圧力依存性」第 39 回結晶成長国内会議(NCCG-39), 名古屋大学, 2009.11.12-14.
- 永田賢昌, 飯田大輔, 永松謙太郎, 松原哲也, 竹田健一郎, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇: 「GaIn_N の加圧 MOVPE における熱力学解析」電子情報通信学会 電子デバイス研究会(ED)・電子部品・材料研究会(CPM)・レーザ・量子エレクトロニクス研究会(LQE) 合同研究会, 徳島大学, 2009.11.19-20.
- 市川友紀, 竹田健一郎, 小木曾裕二, 永田賢吾, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇, 吉田治正, 桑原正和, 山下陽滋, 菅博文: 「UV レーザダイオードの動作電圧の低減」電子情報通信学会 電子デバイス研究会(ED)・電子部品・材料研究会(CPM)・レーザ・量子エレクトロニクス研究会(LQE) 合同研究会, 徳島大学, 2009.11.19-20.
- 山川雅康, 村田一喜, 永田賢昌, 天野浩, 岩谷素顕, 上山智, 赤崎勇, 東正信: 「昇華法による柱状 AlN 上への層状 AlN の成長」第 57 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 2010.3.17-3.20.
- 櫻井悠, 近藤俊行, 寺前文晴, 鈴木敦志, 北野司, 河合良介, 岩谷素顕, 天野浩, 上山智, 赤崎勇: 「Moth-eye 構造の ITO 電極への応用」第 57 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 2010.3.17-3.20.
- * 桑原洋介, 藤山泰治, 森田義己, 藤井崇裕, 杉山徹, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇: 「窒化物半導体を用いた太陽電池の評価」第 57 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 2010.3.17-3.20.
- 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇: 「非極性・半極性窒化物半導体の結晶成長技術」第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- 野中健太郎, 浅井俊晶, 伴和仁, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇, Zhihao Wu: 「Mg ドープ AlN 下地層を用いた高品質厚膜 AlGa_N の微細構造観察」第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- 永田賢吾, 野中健太郎, 市川友紀, 竹田健一郎, 岩谷素顕, 上山智, 天野浩, 赤崎勇, 吉田治正, 桑原

- 正和, 山下 陽滋, 菅 博文:「UV レーザダイオードの閾値電流密度の低減」第2回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- * 桑原 洋介, 藤山 泰治, 森田 義己, 藤井 崇裕, 杉山 徹, 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇:「GaN 基板を用いた窒化物太陽電池の特性評価」第2回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- 磯部 康裕, 飯田 大輔, 岩谷 素顕, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇, 今出 完, 北岡 康夫, 森 勇介:「Na フラックス法により作製した m 面 GaN 基板上への m 面 GaN の MOVPE 成長の基板オフ角依存性」: 第2回窒化物半導体結晶成長講演会, 三重大学, 2010.5.14-15.
- * 一木 宏充, 磯部 康裕, 飯田 大輔, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, 坂東 章, 宇田川 隆:「GaInN チャネルヘテロ接合電界効果トランジスタの検討」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- * 押村 吉徳, 杉山 貴之, 竹田 健一郎, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaN 基板上 AlGaIn/GaN HFET のドレインリーク電流の低減」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- * 藤井 崇裕, 桑原 洋介, 飯田 大輔, 杉山 徹, 磯部 康裕, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaInN/GaInN 超格子構造を用いた窒化物半導体太陽電池の高性能化」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 田村 健太, 飯田 大輔, 山口 修司, 近藤 俊行, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「酸化ジルコニウムを用いたサファイア基板上 LED の作製」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- * 櫻井 悠, 近藤 俊行, 寺前 文晴, 鈴木 敦志, 北野 司, 森 みどり, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「電極および基板界面に Moth-eye 構造を形成した高効率 LED の作製」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 杉山 徹, 磯部 康裕, 桑原 洋介, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaN 基板上に作製した GaInN/GaInN 超格子構造の微細構造」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 磯部 康裕, 飯田 大輔, 榊原 辰幸, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, 今出 完, 北岡 康夫, 森 勇介:「Na フラックス法により作製した非極性面 LPE-GaN 基板上への MOVPE 法による GaN の初期成長」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 深堀 真也, シリル ペルノ, 金 明姫, 藤田 武彦, 稲津 哲彦, 長澤 陽祐, 平野 光, 一本松 正道, 岩谷 素顕, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「紫外発光素子用透明電極の検討」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 竹田 健一郎, 永田 賢吾, 竹原 孝祐, 青島 宏樹, 伊藤 駿, 押村 吉徳, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇, 吉田 治正, 桑原 正和, 山下 陽滋, 菅 博文:「ELO AlGaIn 下地層上に作製した紫外レーザーダイオードの特性評価」第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.
- 山川 雅康, 村田 一喜, 岩谷 素顕, 上山 智, 竹内 哲也, 赤崎 勇, 天野 浩, 東 正信:「昇華法による単結晶 AlN の高速成長」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.
- 野中 健太郎, 浅井 俊晶, 伴 和仁, 山本 準一, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, Z.H.Wu:「Mg ドープ AlN 下地層を用いた低転位 AlGaIn の転位挙動」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.
- * 桑原 洋介, 藤井 崇裕, 杉山 徹, 飯田 大輔, 磯部 康裕, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaInN/GaInN 超格子構造を用いた窒化物太陽電池の特性評価」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.
- * 上山 智, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 赤崎 勇, M.Syvajarvi, R.Yakimova:「蛍光 SiC と窒化物半導体励起光源を用いた白色 LED」, 窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-5.

小澤 理樹

【学術論文】

小澤 理樹, Yuejiang Liang, Anke Krueger:「ナノダイヤモンドの脱凝集と表面化学修飾」, ニューダイヤモンド, Vol.26, No.2, pp.27-28, (2010-4)

【その他】

山越 健司, 小澤 理樹:「層状構造と一次元構造ナノダイヤモンドの組織化」, 第39回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム講演会要旨集, p.194, (2010-9)

野澤 侑矢, 小澤 理樹, Anke Krueger:「ダイヤモンドのナノスケールへの粉碎」, 第39回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム講演会要旨集, p.195, (2010-9)

竹内 哲也

【学術論文】

- * Y.Kuwahara, T.Fujii, Y.Fujiyama, T.Sugiyama, M.Iwaya, T.Takeuchi, S.Kamiyama, I.Akasaki, and H.Amano : "Realization of Nitride-Based Solar Cell on Freestanding GaN Substrate", Appl.Phys.Exp.3 (2010) 111001.

【その他】

Tatsuyuki Sakakibara, Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Mamoru Imada, Yasuo Kitaoka, Yusuke Mori : "Transmission-electron-microscope characterization of AlGaIn/GaN heterostructure on miscut GaN substrate grown by Na flux method" The 16th International Conference on Crystal Growth (ICCG-16), Beijing, China, August 8-13, 2010.

Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Tatsuyuki Sakakibara, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Mamoru Imada, Yasuo Kitaoka, and Yusuke Mori : "Optimization of Initial Growth of the Nonpolar m-plane and a-plane GaN Grown on LPE-GaN Substrates by Na Flux Method" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

Daisuke Iida, Kenta Tamura, Kentaro Nonaka, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Compensation Effect of Mg-doped a-and c-plane GaN Films Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

Toru Sugiyama, Yousuke Kuwabara, Yasuhiro Isobe, Takahiro Fujii, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Microstructure of GaInN/GaInN Superlattice on GaN Substrate" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

Kosuke Takehara, Kenichiro Takeda, Kengo Nagata, Hisashi Sakurai, Shun Ito, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Transparent Electrode for UV Light-Emitting-Diodes" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

Kengo Nagata, Kenichiro Takeda, Yoshinori Oshimura, Kosuke Takehara, Hiroki Aoshima, Shun Ito, Motoaki

Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Harumasa Yoshida, Masakazu Kuwabara, Yoji Yamashita, and Hirofumi Kan : "Injection Efficiency in AlGaIn-based UV Laser Diode" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

* Hiromichi Ikki, Yasuhiro Isobe, Daisuke Iida, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Akira Bandoh, and Takashi Udagawa : "GaInN/AlGaIn Heterostructure Field-effect Transistors" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

* Yoshinori Oshimura, Takayuki Sugiyama, Kenichiro Takeda, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "Realization of Extremely Low Leakage Current in AlGaIn/GaN HFETs by Pulsed Injection of Mg Source before Growth of Undoped GaN Buffer Layer" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

* Takahiro Fujii, Yousuke Kuwahara, Daisuke Iida, Yasuhiro Fujii, Yoshiki Morita, Toru Sugiyama, Yasuhiro Isobe, Motoaki Iwaya, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Isamu Akasaki, and Hiroshi Amano : "High-InN-molar-fraction Nitride-based Solar Cells using GaInN/GaInN Superlattice" International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010), Tampa, Florida USA, September 19-24, 2010.

* 一木 宏充, 磯部 康裕, 飯田 大輔, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, 坂東 章, 宇田川 隆 : 「GaInN チャネルヘテロ接合電界効果トランジスタの検討」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

* 押村 吉徳, 杉山 貴之, 竹田 健一郎, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩 : 「GaN 基板上 AlGaIn/GaN HFET のドレインリーク電流の低減」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

* 藤井 崇裕, 桑原 洋介, 飯田 大輔, 杉山 徹, 磯部 康裕, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩 : 「GaInN/GaInN 超格子構造を用いた窒化物半導体太陽電池の高性能化」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

田村 健太, 飯田 大輔, 山口 修司, 近藤 俊行, 岩谷

素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「酸化ジルコニウムを用いたサファイア基板上 LED の作製」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

* 櫻井 悠, 近藤 俊行, 寺前 文晴, 鈴木 敦志, 北野 司, 森 みどり, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「電極および基板界面に Moth-eye 構造を形成した高効率 LED の作製」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

杉山 徹, 磯部 康裕, 桑原 洋介, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaN 基板上に作製した GaInN/GaN 超格子構造の微細構造」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

磯部 康裕, 飯田 大輔, 榊原 辰幸, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, 今出 完, 北岡 康夫, 森 勇介:「Na フラックス法により作製した非極性面 LPE-GaN 基板上への MOVPE 法による GaN の初期成長」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

竹田 健一郎, 永田 賢吾, 竹原 孝祐, 青島 宏樹, 伊藤 駿, 押村 吉徳, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 天野 浩, 赤崎 勇, 吉田 治正, 桑原 正和, 山下 陽滋, 菅 博文:「ELO AlGaN 下地層上に作製した紫外レーザダイオードの特性評価」第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010.9.14-17.

山川 雅康, 村田 一喜, 岩谷 素顕, 上山 智, 竹内 哲也, 赤崎 勇, 天野 浩, 東 正信:「昇華法による単結晶 AlN の高速成長」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.

野中 健太郎, 浅井 俊昌, 伴 和仁, 山本 準一, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩, Z.H.Wu:「Mg ドープ AlN 下地層を用いた低転位 AlGaN の転位挙動」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.

* 桑原 洋介, 藤井 崇裕, 杉山 徹, 飯田 大輔, 磯部 康裕, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 上山 智, 赤崎 勇, 天野 浩:「GaInN/GaN 超格子構造を用いた窒化物太陽電池の特性評価」窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-11.5.

* 上山 智, 岩谷 素顕, 竹内 哲也, 赤崎 勇, M.Syvajarvi, R.Yakimova:「蛍光 SiC と窒化物半導体励起光源を用いた白色 LED」, 窒化物ナノ・エレクトロニクス材料研究センター講演会, 東北大学, 2010.11.4-5.

榎本 和城

【学術論文】

K.Kaneko, S.Takatou, and K.Enomoto: "Study on Shear

Fatigue Fracture and Delamination Mechanism of Thermal Barrier Coatings After Thermal Loading," Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, Vol.4, No.2, pp.315-324. (2010-2)

金子 堅司, 高藤 聡, 榎本 和城:「熱負荷を受けた遮熱被膜のせん断疲労破壊とはく離機構に関する研究」, 日本機械学会論文集(A編), Vol.76, No.767, pp.853-859 (2010-7)

K.Chou, H.Usami, and K.Enomoto: "Micro abrasive jet machining of silicon carbide (SiC) fiber reinforced ceramics matrix composite," Advanced Materials Research vols.126-128 (Advances in Abrasive Technology XIII), pp.946-951 (2010-9)

【その他】

籠橋 勇太, 金子 堅司, 榎本 和城:「熱伝導ネットワーク形成による粒子添加複合材料の高熱伝導化」, プラスチック成形加工学会第 21 回年次大会予稿集, pp.223-224, (2010-6)

K.Enomoto: "Fabrication of PLA/Carbon Nanofiber Composites and Their Mechanical Properties," Proceedings of the 8th Korea-Japan Plastics Processing Joint Seminar, pp.14-22, (2010-8)

平林 正憲, 榎本 和城:「カーボンナノファイバー添加フッ素樹脂膜の摩擦特性」, 日本機械学会第 18 回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2010)CD-ROM 論文集, No.133, (2010-11)

池邊 由美子

【その他】

坂 えり子, 池邊 由美子, 鈴木 崇也:「金属を化学ドープした RE-Ba-Cu-O 超伝導フィラメントの臨界電流特性」, 名城大学総合学術研究所総合学術研究論文集, 第 9 号, pp.57-65, (2010-3)

堤 陽子, 池邊 由美子, 坂 えり子:「遷移金属を添加した BaZrO₃ のプロトン伝導特性」, 名城大学総合研究所紀要, 第 15 号, pp.91-94, (2010-3)

池邊 由美子, 坂 えり子:「Co を添加した繊維状(Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O の超伝導特性」, 名城大学理工学部研究報告, 第 50 号, pp.21-24, CD-ROM, (2010-3)

坂 えり子, 池邊 由美子, 西島 元, 渡辺 和雄:「Co をドープした繊維状(Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O の磁場中臨界電流特性」, 東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター, 平成 21 年度年次報告, pp.36-38, (2010-6)

池邊 由美子, 日比 健吾, 坂 えり子:「(Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O 繊維の超伝導特性に及ぼす Co の添加効果」, 日本セラミックス協会 2010 年年会予稿集,

(2010-3)

E.Ban, Y.Ikebe, G.Nishijima and K.Watanabe : "Critical current properties in magnetic field of filamentary Sm-Ba-Cu-O with metal additions" Applied Superconductivity Conference 2010_abstract, p.417, (2010-8)

Y.Ikebe, E.Ban, G.Nishijima and K.Watanabe : "Fabrication and characterization of filamentary (Nd, Sm, Gd)-Ba-Cu-O superconductor doped with Cobalt and Nickel" Applied Superconductivity Conference 2010_abstract, p.417, (2010-8)

E.Ban, Y.Ikebe, G.Nishijima and K.Watanabe : "Critical current properties of filamentary (Sm, Gd, Dy)-Ba-Cu-O superconductors" 23rd International Symposium on Superconductivity_abstract, p.274, (2010-11)

Y.Ikebe, E.Ban, G.Nishijima and K.Watanabe : "Preparation and properties of ternary (Nd, Sm, Gd) 123 and (Sm, Gd, Dy) 123 filamentary superconductors" 23rd International Symposium on Superconductivity_abstract, p.274, (2010-11)

機械システム工学科

宇佐美 勝

【その他】

宇佐美 勝：「混合気体不足膨張噴流の DSMC 分子シミュレーション(新衝突法と完全平衡法)」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集 No.103-1, pp.233-234, (2010-3)

宇佐美 勝, 八田 和也, 出岡 直樹：「DSMC 分子シミュレーション高速化の一考察」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集 No.10-1, Vol.8, pp.93-94, (2010-9)

宇佐美 勝, 古川 裕介, 河野 泰大：「DSMC 分子シミュレーションの高速化(並列プログラミングと U-system)」, 日本流体力学会年会 2010 講演要旨集, p.112 および CD-ROM, (2010-9)

宇佐美 勝, 八田 和也, 出岡 直樹：「DSMC 法自動プログラミングシステムの開発」, 日本流体力学会年会 2010 講演要旨集, p.113 および CD-ROM, (2010-9)

大島 成通

【学術論文】

S.Ohshima, Y.Nashida and A.Ohtsuki : "Optimization of pole characteristic in pole vaulting using three-dimensional vaulter model," *Procedia Engineering* 2, pp.3191-3196, (2010)

【その他】

大島 成通, 竹上 洋史, 大槻 敦巳：「跳躍者を考慮した棒高跳びポールの最適設計に関する基礎的研究」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.343-344, (2010-03)

大島 成通, 竹上 洋史, 梨田 裕紀, 大槻 敦巳：「マルチセグメントポールモデルを用いた棒高跳びポールの最適設計に関する研究」, *スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス* 2010 講演論文集, No.10-53, pp.301-306, (2010-11)

大槻 敦巳

【学術論文】

大槻 敦巳：「薄板／細線に対する新ヤング率測定法の開発(自重大変形片持はり法)」, *ばね論文集*, 第 55 号, pp.39-44, (2010-5)

S.Ohshima and A.Ohtsuki : "Research on Optimization of the Joint Torque in the Pole Vaulting Using Genetic Algorithm", *Procedia Engineering*, Volume 2, Issue 2., pp.3191-3196, (2010-7)

A.Ohtsuki : "An Innovative Own-Weight Cantilever

Method for Measuring Young's Modulus in Flexible Thin Materials Based on Large Deflections", *Applied Mechanics and Materials*, Vol.24-25, pp.371-377, (2010-9)

大槻 敦巳：「薄板(薄膜)・細線材料に対する斬新なヤング率測定法について (13)」, *日本ばね学会会報*, No.461, pp.6-7, (2010-2)

大槻 敦巳：「薄板(薄膜)・細線材料に対する斬新なヤング率測定法について (14)」, *日本ばね学会会報*, No.462, pp.6-7, (2010-3)

大槻 敦巳：「薄板(薄膜)・細線材料に対する斬新なヤング率測定法について (15)」, *日本ばね学会会報*, No.463, pp.7-8, (2010-4)

大槻 敦巳：「薄板(薄膜)・細線材料に対する斬新なヤング率測定法について (16)」, *日本ばね学会会報*, No.465, pp.6-7, (2010-6)

大槻 敦巳：「薄板(薄膜)・細線材料に対する斬新なヤング率測定法について (17)」, *日本ばね学会会報*, No.466, pp.6-7, (2010-7)

大槻 敦巳：「薄板(薄膜)・細線材料に対する斬新なヤング率測定法について (18)」, *日本ばね学会会報*, No.467, pp.6-7, (2010-8)

【その他】

大槻 敦巳：「自重を利用した薄板／細線の新しいヤング率測定法」, *日本機械学会東海支部*, 第 59 期総会講演会論文集, No.103-1, pp.337-338, (2010-3)

大槻 敦巳, 足立拓也：「可撓性円リング材料(薄板／細線)における自重大たわみ変形の解析」, *日本ばね学会*, 2010 年度春季講演会論文集, pp.9-12, (2010-6)

大槻 敦巳：「自重大変形を利用した可撓性積層材料の新ヤング率測定法」, *日本非破壊検査協会*, 平成 22 年度秋季講演会論文集, pp.81-82, (2010-10)

大槻 敦巳：「片持はりの自重大たわみ変形を利用した積層薄板／細線の新ヤング率測定法」, *日本ばね学会*, 2010 年度秋季講演会論文集, pp.1-4, (2010-11)

大道 武生

【学術論文】

稲山 智一, 芦澤 怜史, 黒宮 雄介, 渡辺 聖也, 大道 武生, 前田 純一郎：通番：リユースを考慮した天井石膏ボードの高速解体手法の開発, *噴流工学(日本ウォータージェット学会誌)*, Vol.26, No.3 号, (2010-2)

Satoshi Ashizawa, Yusuke Kuromiya, Toshiya Watanabe,

- Takeo Oomichi, Junitiro Maeda : Development of Dismantling Robot for Ceiling Boards -Human-Robot Cooperative System Design of the Robot-, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.2, pp.204-211, (2010-4)
- Toshiya WATANABE, Tomokazu INAYAMA, Takeo OOMICHI : Development of small flow rate water hydraulic servo valve, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.3, pp.333-340, (2010-6)
- Yusuke, Kuromiya, Satoshi Ashizawa, Daiki Ando, Takeo Oomichi : Development of Detection and Scanning Sensor Mechanism for the Concealed Objects, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.3, pp.253-261, (2010-6)
- 稲山 智一, 芦澤 怜史, 黒宮 裕介, 渡辺 聖也, 大道 武生, 前田 純一郎 : 日本機械学会論文集, リユースを考慮した天井石膏ボードのロボット高速解体手法の開発(解体可能条件の抽出), Vol.79, No.771, p.2202, (2010)
- 【その他】**
- Satoshi Ashizawa, Yusuke Kuromiya, Toshiya Watanabe, Yuta Suzuki, Takeo Oomichi, and Junichiro Maeda, Development of Dismantling Robot for Ceiling Boards Human-Robot Cooperative System and System Design of the Robot, Proc.of 2009 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A06 (CDR), (2009-11)
- Toshiya Watanabe, Tomokazu Inayama and Takeo Oomichi, Design Concept of Small Flow Rate Servo Valve for Water Hydraulic System, Proc.of 2009 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A07 (CDR), (2009-11)
- Yusuke Kuromiya, Satoshi Ashizawa, Daiki Ando, and Takeo Oomichi, Design Concept of Detection and Scanning Sensor Mechanism for Over Laid Object, Proc. of 2009 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A08 (CDR), (2009-11)
- 大道 武生 : 持続可能な社会のための RT とメンテナンス -進化するリアルタイムメンテナンスの潜在インフラ-, プラントエンジニア, 日本プラントメンテナンス協会, Vol.42, No.11pp.84 - 90, (2010)
- 大道 武生 : メンテナンス協会 : 維持可能社会のための RT とメンテナンス, (2010-6)
- 大道 武生 : 日本フルードパワーシステム学会 : 省エネルギーに着目した水圧システムとその課題, (2010-6)
- 生産管理学会年次大会:新ものつくりと社会学融合教育, (2010-9)
- 大道 武生, 渡辺 聖也, 稲山 智一 : グリーンメカトロニクスの研究-コンセプト-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, 1P1-B26 (DVD-R)
- 渡辺 聖也, 稲山 智一, 大道 武生, 神谷祐樹 : 液圧システムのエネルギーシミュレーターグリーンメカトロニクスの研究(その2) -, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, 1P1-B27 (DVD-R)
- 大道 武生(発表者), 渡辺 聖也, 神谷祐樹, 稲山 智一 : グリーンメカトロニクスの研究(その3) -グリーンメカトロニクスの提言-, 2010 年度年次大会 講演論文集, Vol.5, S1501-1-1 (CDR)
- 神谷 祐樹(発表者), 大道 武生, 稲山 智一, 渡辺 聖也 : グリーンメカトロニクスの研究(その4) -エネルギーシミュレーターによる水圧システムの省エネルギー性評価-, 2010 年度年次大会 講演論文集, Vol.5, S1501-1-2 (CDR)
- 渡辺 聖也(発表者), 大道 武生, 稲山 智一 : グリーンメカトロニクスの研究(その5) -液圧システムにおける簡易負荷適合制御-, 2010 年度年次大会 講演論文集, Vol.5, S1501-1-3 (CDR)
- 久保 貴**
- 【学術論文】**
- 久保貴, 福村佳紀, 酒井康彦, 長田孝二 : 「液相化学反応を伴う二次元噴流に関する研究」, 日本機械学会論文集(B編), 第76巻, 第761号, pp.57-65, (2010-1)
- 【その他】**
- * T.Itoh, Y.Uefuji, T.Kubo, and Y.Sakai : "Characteristics of Heat Transfer System with Supercritical Carbon Dioxide", 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, pp.NS16-1-7, (2010-2)
- 小島 悠揮, 酒井 康彦, 長田 孝二, 寺島 修, 久保 貴 : 「速度二成分・静圧同時測定用プローブの改良と二次元噴流の速度・圧力変動特性に関する研究」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, pp.77-78, (2010-3)
- 高久 翔一, 長田 孝二, 酒井 康彦, 寺島 修, 久保 貴 : 「軸対称乱流噴流中のスカラー拡散に関する実験的研究」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, pp.101-102, (2010-3)
- 山口 卓哉, 長田 孝二, 酒井 康彦, 寺島 修, 久保 貴 : 「フラクタル格子乱流の統計的性質と CO2 噴流拡散

場に関する研究」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, pp.103-104, (2010-3)

谷中 紀公, 長田 孝二, 酒井 康彦, 寺島 修, 久保 貴:「デルタ翼型ボルテックスジェネレータによる軸対称噴流の混合促進に関する研究」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, pp.105-106, (2010-3)

小嶋 真弘, 長田 孝二, 酒井 康彦, 磯田 治夫, 寺島 修, 久保 貴:「脳動脈瘤形態と瘤内流動特性の関係に関する考察」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, pp.261-262, (2010-3)

安原 大樹, 酒井 康彦, 久保 貴, 長田 孝二, 寺島 修:「反応を伴う液相二次元乱流噴流に関する研究(速度・濃度同時測定を試み)」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集 (2), pp.145-146, (2010-9)

小島 晋爾

【その他】

杉山 貴俊, 小島 晋爾:「HCCI 燃焼における NO 濃度の予測」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会・講演会論文集 (2010-3).

小林 明発

【その他】

*小林 明発, 森 大地, 鈴木 貴:「断続ゼロエミッション切削用窒化硬質薄膜の機械的特性に関する研究」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集 No.103-1, pp.275-276, (2010-3)

*小林 明発, 森 大地:「ゼロエミッション断続切削用硬質薄膜の機械的特性評価」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文 No.4, pp.273-274, (2010-9)

福田 康明

【学術論文】

山田 裕昭, 福田 康明, 小竹 暢隆, 堀越 哲美:「熟練技能の習得を目指した作業習熟の研究 - 単工程作業と多工程作業の解析 -」, 日本生産管理学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.45-52, (2010-3)

福田 康明, 富田 将大, 山田 裕昭:「輸送用機器産業における生産管理手法の活用に関する研究」, 日本生産管理学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.111-116, (2010-3)

富田 将大, 松井 康浩, 早川 優輝, 福田 康明, 早川 徹洋:「設備保全活動に関する研究 - 熱間鍛造プレス機におけるステップ展開の構築と検討 -」, 日本設備管理学会誌, Vol.22, No.3, pp.95-100, (2010-11)

【その他】

平田 将太, 福田 康明, 山田 裕昭:「ライン生産とセル生産における作業習熟の研究」, 日本経営工学会

中部支部研究会講演論文集, pp.5-6, (2010-2)

神谷 泰弘, 安藤 誓悟, 福田 康明, 斉藤 真:「組立作業における筋負担に関する研究」, 日本経営工学会中部支部研究会講演論文集, pp.24-25, (2010-2)

山田 裕昭, 福田 康明:「ナレッジ・マネジメントとしての改善活動の意義とその運用」, 日本生産管理学会第 31 回全国大会講演論文集, pp.157-160, (2010-3)

松井 康浩, 早川 優輝, 福田 康明, 早川 徹洋, 深谷 伸樹, 石神 隆志:「設備の状態監視保全に関する研究」, 平成 22 年度日本設備管理学会春季研究発表大会集, pp.117-118, (2010-6)

神谷 泰弘, 福田 康明, 斉藤 真:「組立作業における筋負担に関する研究 - 片手作業について -」 日本人間工学会第 51 回大会, pp.184-185, (2010-6)

平田 将太, 福田 康明:「セル生産における作業習熟の評価に関する研究」, 日本人間工学会第 51 回大会講演集, pp.288-289, (2010-6)

藤井 慎, ムハマドファウジィ・ビン, 高松 衛, 中島 芳男, 福田 康明:「LED 色光の視認特性に関する研究 - 濃霧中における -」, 日本人間工学会第 51 回大会講演集, pp.458-459, (2010-6)

早川 優輝, 福田 康明:「機械設備における加工点の可視化に関する研究」, 日本生産管理学会第 32 回全国大会講演論文集, pp.317-320, (2010-9)

平田 将太, 青木 雅司, 甲賀 涼, 福田 康明:「セル生産における作業習熟の転移と評価に関する研究」, 日本人間工学会東海支部 2010 年研究大会論文集, pp.58-59, (2010-10)

神谷 泰弘, 田中 志歩, 矢田 亮太, 福田 康明, 斎藤 真:「組立作業における筋負担の実験的研究」, 日本人間工学会東海支部 2010 年研究大会論文集, pp.70-71, (2010-10)

古川 裕之

【学術論文】

Takashi Watanabe, Hiroyuki Furukawa, Flows around rotating disks with and without rim-shroud gap, Experiments in Fluids, Vol.48, pp.631-636 (2010)

Takashi Watanabe and Hiroyuki Furukawa, The effect of rim-shroud gap on the spiral rolls formed around a rotating disk Physics of fluids, Vol.22-11 114107 (2010)

【その他】

田中 豪, 大橋 拓真, 古川 裕之:「テイラー渦流れの PIV 測定による速度解析と CFD との比較」, 日本機械学会 東海支部第 59 期総会講演会 講演論文集, 名城大学, (2010-3)

鈴木 雄也, 中島 雅之, 古川 裕之:「回転円盤周りの

流動様相に関する実験的研究」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, 名城大学, (2010-3)

間宮 一輝, 七種 高志朗, 古川 裕之:「ヨットのキール・バルブの抵抗軽減に関する研究」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, 名城大学, (2010-3)

川口 明宏, 古川 裕之:「回転円盤周りの螺旋渦に関する実験的研究」, 日本機械学会東海学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 名城大学, (2010-3)

近藤 祐太, 古川 裕之:「回転円盤周りのビーズ渦に関する実験的研究」, 日本機械学会東海学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 名城大学, (2010-3)

Takashi Watanabe and Hiroyuki Furukawa, Visualization of new flow pattern found in the flow around a rotating disk, Proceeding of 14th International Symposium on Flow Visualization, EXCO Daegu, Korea (2010-06)

Hiroyuki Furukawa and Takashi Watanabe, Mode analysis of Taylor vortex flow using PIV method, Proceeding of 14th International Symposium on Flow Visualization, EXCO Daegu, Korea (2010-06)

近藤 祐太, 古川 裕之, 渡辺 崇:「容器内ディスクロータ周りの端面効果に関する研究」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, 名古屋工業大学, (2010-9)

川口 明宏, 古川 裕之, 渡辺 崇:「回転円盤周りの螺旋状流動様相に関する研究」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, 名古屋工業大学, (2010-9)

渡辺 崇, 古川 裕之:「容器内回転円板周りのビーズ渦発達過程の可視化」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, 名古屋工業大学, (2010-9)

田中 豪, 古川 裕之, 渡辺 崇:「アスペクト比が小さいテイラー渦流れの流動情報抽出に関する研究」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, 名古屋工業大学, (2010-9)

渡辺 剛, 古川 裕之, 渡辺 崇:「テイラー渦流れにおける境界条件の影響に関する数値的研究」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, 名古屋工業大学, (2010-9)

ペトロス・アブラハ

【その他】

宮本 潤示, Petros Abraha:「電子ビーム励起プラズマにおける大量窒化処理」, 第 70 回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集, pp.17-18, (2010-11)

交通科学科

小川 宏隆

【その他】

菅 章紀, 小川 宏隆, 井浪 佑紀, 小森 亮祐: 「ビスマス層状構造を持つ $(\text{Bi}_{7-x}\text{Sr}_x)(\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_{3+x})\text{O}_{21}$ 固容体の合成と強誘電特性」日本セラミックス協会 2010 年年会予稿集 p.169 (2010-3)

井浪 佑紀, 小川 宏隆, 菅 章紀: 「交代層状構造を有するビスマス層状化合物 $\text{Bi}_{4.5}\text{Na}_{0.5}\text{Nb}_2\text{WO}_{15}$ の合成と粒子配向制御」日本セラミックス協会 2010 年年会予稿集 p.170 (2010-3)

N.Ikeda, H.Ogawa, Y.Terakura, A.Fujita, A.Kan: "Electroluminescence Properties of $\text{M}\text{Ga}_2\text{O}_4$: In (M=Zn, Mg) phosphor by Sol-Gel and Spray Methods" Electroceramics XII abstractbook p.128 (2010-6)

A.Kan, H.Ogawa, Y.Inami, R.Komori, T.Moriyama: "Synthesis and Ferroelectric Properties of Bismuth Layer-Structured $(\text{Bi}_{7-x}\text{Sr}_x)(\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_{3+x})\text{O}_{21}$ Solid Solutions", Electroceramics XII abstractbook p.154 (2010-6)

H.Ogawa, A.Kan, Y.Inami: "Influence of Hot Forging on Orientation and Ferroelectric Properties of $\text{Bi}_9\text{NaNb}_4\text{O}_{30}$ Ceramic", Electroceramics XII abstractbook p.158 (2010-6)

T.Moriyama, H.Ogawa, A.Kan: "Crystal Structure and Ferroelectric Properties of Mg-Substituted $\text{Ca}(\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x)\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ Ceramics" Electroceramics XII abstractbook p.168 (2010-6)

A.Kan, H.Ogawa, M.Nishizuka: "Low-Temperature Sintering and Microwave Dielectric Properties of MgO by additions of LiF and CaTiO_3 " Microwave Materials and their Application 2010 Abstract book p.64 (2010-9)

H.Nakano, H.Ogawa, A.Kan, M.Nishizuka: "Microwave Dielectric Properties of MgGa_2O_4 Ceramic", Microwave Materials and their Application 2010 Abstract book p.102 (2010-9)

M.Sumino, H.Ogawa, A.Kan, M.Nishizuka: "Synthesis and Microstructure of $(1-x)\text{MgO-xB}_2\text{O}_3$ Ceramics", Microwave Materials and their Application 2010 Abstract book p.108 (2010-9)

T.Moriyama, A.Kan, K.Kawada, H.Ogawa: "Ferroelectric Properties of $\text{Bi}_{4.5}\text{Na}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_2\text{WO}_{15}$ Solid Solution", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

H.Ogawa, T.Moriyama, A.Kan: "Ferroelectric Properties

and Crystal Structure of $\text{Bi}_7\text{Fe}_3\text{Ti}_3\text{O}_{21}$ Ceramic in $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ - BiFeO_3 System", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

M.Hayakawa, H.Ogawa, A.Kan: "Thin-film Electroluminescence Device Utilizing In-doped Y_2O_3 by RF Magnetron Sputtering", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

K.Kawada, T.Moriyama, A.Kan and H.Ogawa: "Synthesis and Properties of $\text{Bi}_{5-x}\text{Sr}_x\text{Ti}_{3+x}\text{Fe}_{1-x-y}\text{V}_y\text{O}_{15}$ ceramics by Solid State Reaction", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

A.Kan, H.Ogawa, N.Ikeda, Y.Terakura: "Synthesis and Electroluminescence Properties of In-doped Zn_2SiO_4 Thin Film by RF Sputtering", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

Y.Terakura, N.Ikeda, H.Ogawa, A.Kan, K.Inoue, A.Fujita: "Preparation of Indium and Cobalt doped ZnGa_2O_4 thick films by spray deposition technique", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

N.Ikeda, Y.Terakura, H.Ogawa, A.Kan, K.Inoue, A.Fujita: "Sol-Gel deposition and characterization of In- and Co-doped MgGa_2O_4 Phosphor films", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

杉村 忠良

【その他】

山口 健太郎, 杉村 忠良, 古谷 正広: 「障害物によって誘起された水素酸素混合気衝撃波圧縮自着火過程の数値計算」, 日本機械学会東海支部第 58 期総会講演会講演論文集, No.093-1, pp.289-290, (2009-3)

森 護人, 杉村 忠良: 「着火源からの燃焼波伝播と DDT 過程についての数値解析」, 2008 年度衝撃波シンポジウム講演論文集, No.083-1, pp.389-390, (2009-3)

山本 栄一郎, 新屋 大輔, 杉村 忠良: 「衝撃波による着火現象に関する数値解析」, 日本機械学会 87 期流体工学部門講演会講演論文集, No.09-8, pp.249-250, (2009-11)

鈴木 裕太, 杉村 忠良: 「ホットスポットと反射板による爆轟波生成」, 第 46 回日本航空宇宙学会関西・中部支部合同秋期大会講演集, pp.137-138, (2009-11)

籠橋 歩, 杉村 忠良: 「多点熱源によるデトネーション生成に関する数値解析 1」, 第 46 回日本航空宇宙学

会関西・中部支部合同秋期大会講演集, pp.139-140, (2009-11)

新屋 大輔, 杉村 忠良, 瀧 佳弘:「障害物と希釈剤による爆轟波伝播への影響」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.209-210, (2010-3)

小川 貴史, 杉村 忠良, 都築 靖行:「高温・高圧領域中における水素噴流の自己着火」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.211-212, (2010-3)

籠橋 歩, 山本 栄一郎, 杉村 忠良, 古谷 正広:「多点熱源によるデトネーション生成に関する数値解析2」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.213-214, (2010-3)

鈴木 裕太, 新屋 大輔, 杉村 忠良:「熱源と障害物によるDDT短縮について」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.217-218, (2010-3)

籠橋 歩, 杉村 忠良:「多点熱源によるデトネーション生成に関する数値解析3」, 日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, No.10-8, pp.489-490, (2010-10)

山本 栄一郎, 杉村 忠良:「障害物によるデトネーション再生成に関する数値解析」, 日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, No.10-8, pp.491-492, (2010-10)

横森 求

【その他】

伊藤 廉敬, 大野 哲也, 横森 求:「四輪電動車椅子の振動伝播特性と規午後地(ウェーブレット解析による振動の乗員に及ぼす精神的負荷について)」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, pp.199-200, (2010-3)

横森 求, 渡辺 禎隆, 星 学文:「車両運動のドライバーに与える精神的負荷-心拍のウェーブレット解析-」, 名城大学総合研究所紀要, 第15号, pp.13-17, (2010-3)

横森 求, 青野 純也, 藤原 将史, 劉 釗:「市街地走行時の草稿環境がドライバーに与える心理的負荷-昼間運転と夜間運転の比較考察-」, 名城大学総合研究所紀要, 第15号, pp.19-23, (2010-3)

吉留 忠, 劉 釗, 藤原 将史, 横森 求, 相馬 仁:「路側駐車車両によるドライバーへの精神的影響(その2)」, 日本人間工学会東海支部2010年研究大会論文集, pp.80-81, (2010-10)

田中 聖也, 中垣 宣人, 横森 求, 相馬 仁:「市街地走

行時のカーブ区間におけるドライバーの精神的負荷について」, 日本人間工学会東海支部2010年研究大会論文集, pp.82-83, (2010-10)

相馬 仁

【学術論文】

K.Tanifuji, M.Saito, H.Soma and T.Ishii: "Vibration Suppression of Car-Body Tilting Vehicle Using Air Springs with Antiroll Damper (High-Speed Curving on the Section Overlapped with Vertical Curve)," Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol.2, No.2, pp.192-203, (2009-12)

T.Iizuka, K.Tnifuji and H.Soma: "Potential of Active-Steering Bogie for Reducing Lateral Axle Load Caused at Worn Welded Joints of Outer Rail in Curved Track," Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol.3, No.1, pp.277-286, (2010-6)

【その他】

飯塚 達也, 谷藤 克也, 相馬 仁:「アクティブ操舵台車による曲線中の輪軸横圧低減の可能性」, 日本機械学会・北陸信越支部総会・講演会講演論文集, pp.267-268, (2010-3)

面川 雅博, 谷藤 克也, 相馬 仁, 上倉 彰義, 加藤 博之:「車体傾斜方式の違いによる緩和曲線通過時の乗り心地比較」, 日本機械学会・北陸信越支部総会・講演会講演論文集, pp.279-280, (2010-3)

古澤 尉訓, 相馬 仁:「自動車用自動衝突回避システムの小物体回避に関するシミュレーション解析」, 日本機械学会・北陸信越支部総会・講演会講演論文集, pp.281-282, (2010-3)

吉留 忠, 劉 升, 藤原 将史, 横森 求, 相馬 仁:「路側駐車車両によるドライバーへの精神的影響(その2)」, 日本人間工学会東海支部2010年研究大会論文集, pp.80-81, (2010-10)

田中 聖也, 中垣 宣人, 横森 求, 相馬 仁:「市街地走行時のカーブ区間におけるドライバーの精神的負荷について」, 日本人間工学会東海支部2010年研究大会論文集, pp.82-83, (2010-10)

前川 明寛

【その他】

鴨川 卓児, 前川 明寛:「ファジィニューラルネットワークによる航空機の横操縦性最適化」, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集 No.103-1, pp.11-12, (2010-3)

村上 好生

【学術論文】

村上 好生, 中島 公平, 吉田 勝志, 石原 荘一:「ボール・

カップ型少油量粘度計の試作」, 設計工学, Vol.44, No.12, pp.687-693, (2009-12)

Kohei Nakashima, Yuki Nakano, Soichi Ishihara, Yoshio Murakami and Masago Yamamoto, "Behavior of piston Rings Passing over Cylinder Ports in Two-Stroke Cycle Engines", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.24, No.1, pp.227-230, (2010-1)

Kohei Nakashima, Sumio Teramoto, Yoshio Murakami, Soichi Ishihara, Masago Yamamoto and Masao Yoshida, "Improving Cylinder Cooling Using Tapered Fins and Baffle Plates between Fins in Air-Cooled Engines", SAE Technical Paper Series 2010-01-0323, pp.1-10, (2010-4)

【その他】

中野 雄基, 中島 公平, 村上 好生, 石原 莊一, 山本 匡吾:「ピストンリングのシリンダポートからのみ出し」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.193-194, (2010-3)

村上 好生, 山下 恭平, 松野 真, 中島 公平, 石原 莊一:「ボール・カップ型粘度計のカップ挙動」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.195-196, (2010-3)

寺本 純生, 中島 公平, 吉田 昌央, 村上 好生, 石原 莊一, 山本 匡吾:「縮流フィンと導風板による空冷シリンダの冷却効果」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.197-198, (2010-3)

Kohei Nakashima, Ayumu Mitani, Tomoya Sawai, Soichi Ishihara and Yoshio Murakami, "Power Performance of Small Polymer Electrolyte Fuel Cells under Various Humidification Conditions", Proceedings 18th World Hydrogen Energy Conference, pp.1-6, (2010-5).

Kohei Nakashima, Tomoya Sawai, Ayumu Mitani, Soichi Ishihara and Yoshio Murakami, "Evaluation of Power Performance of Small Free-Breathing Polymer Electrolyte Fuel Cells", Proceedings 18th World Hydrogen Energy Conference, pp.1-7, (2010-5).

村上 清, 中島 公平, 村上 好生:「小型直接メタノール形可視化燃料電池の試作」, 日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp.117-120, (2010-10)

廣瀬 敏朗, 澤井 智哉, 中島 公平, 村上 好生:「小型自然給気型燃料電池の発電特性に対する傾き角度の影響」, 日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp.205-208, (2010-10)

夫馬 一貴, 黒川 大輔, 中野 雄基, 中島 公平, 村上 好生, 山本 匡吾:「二ストロークエンジンにおけるピストンリングのポートからのみ出しと引っか

り」, 日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp.241-244, (2010-10)

中島 公平

【学術論文】

村上 好生, 中島 公平, 吉田 勝志, 石原 莊一:「ボール・カップ型少油量粘度計の試作」, 設計工学, Vol.44, No.12, pp.687-693, (2009-12)

Kohei Nakashima, Yuki Nakano, Soichi Ishihara, Yoshio Murakami and Masago Yamamoto, "Behavior of Piston Rings Passing over Cylinder Ports in Two-Stroke Cycle Engines", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.24, No.1, pp.227-230, (2010-1)

Kohei Nakashima, Sumio Teramoto, Yoshio Murakami, Soichi Ishihara, Masago Yamamoto and Masao Yoshida, "Improving Cylinder Cooling Using Tapered Fins and Baffle Plates between Fins in Air-Cooled Engines", SAE Technical Paper Series 2010-01-0323, pp.1-10, (2010-4)

【その他】

中野 雄基, 中島 公平, 村上 好生, 石原 莊一, 山本 匡吾:「ピストンリングのシリンダポートからのみ出し」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.193-194, (2010-3)

村上 好生, 山下 恭平, 松野 真, 中島 公平, 石原 莊一:「ボール・カップ型粘度計のカップ挙動」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.195-196, (2010-3)

寺本 純生, 中島 公平, 吉田 昌央, 村上 好生, 石原 莊一, 山本 匡吾:「縮流フィンと導風板による空冷シリンダの冷却効果」, 日本機械学会東海支部第 59 期総会講演会講演論文集, No.103-1, pp.197-198, (2010-3)

Kohei Nakashima, Ayumu Mitani, Tomoya Sawai, Soichi Ishihara and Yoshio Murakami, "Power Performance of Small Polymer Electrolyte Fuel Cells under Various Humidification Conditions", Proceedings 18th World Hydrogen Energy Conference, pp.1-6, (2010-5).

Kohei Nakashima, Tomoya Sawai, Ayumu Mitani, Soichi Ishihara and Yoshio Murakami, "Evaluation of Power Performance of Small Free-Breathing Polymer Electrolyte Fuel Cells", Proceedings 18th World Hydrogen Energy Conference, pp.1-7, (2010-5).

村上 清, 中島 公平, 村上 好生:「小型直接メタノール形可視化燃料電池の試作」, 日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp.117-120, (2010-10)

廣瀬 敏朗, 澤井 智哉, 中島 公平, 村上 好生:「小型自然給気型燃料電池の発電特性に対する傾き角度の

影響」, 日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp.205-208, (2010-10)

夫馬 一貴, 黒川 大輔, 中野 雄基, 中島 公平, 村上 好生, 山本 匡吾:「二ストロークエンジンにおけるピストンリングのポートからのみ出しと引っかかり」, 日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp.241-244, (2010-10)

菅 章紀

【その他】

菅 章紀, 小川 宏隆, 井浪 佑紀, 小森 亮祐:「ビスマス層状構造を持つ $(\text{Bi}_{7-x}\text{Sr}_x)(\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_{3+x})\text{O}_{21}$ 固体の合成と強誘電特性」日本セラミックス協会 2010 年年会予稿集 p169 (2010-3)

井浪 佑紀, 小川 宏隆, 菅 章紀:「交代層状構造を有するビスマス層状化合物 $\text{Bi}_{4.5}\text{Na}_{0.5}\text{Nb}_2\text{WO}_{15}$ の合成と粒子配向制御」日本セラミックス協会 2010 年年会予稿集 p170 (2010-3)

N.Ikeda, H.Ogawa, Y.Terakura, A.Fujita, A.Kan: "Electroluminescence Properties of $\text{M}\text{Ga}_2\text{O}_4$: In (M=Zn, Mg) phosphor by Sol-Gel and Spray Methods" Electroceramics XII abstractbook p.128 (2010-6)

A.Kan, H.Ogawa, Y.Inami, R.Komori, T.Moriyama: "Synthesis and Ferroelectric Properties of Bismuth Layer-Structured $(\text{Bi}_{7-x}\text{Sr}_x)(\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_{3+x})\text{O}_{21}$ Solid Solutions", Electroceramics XII abstractbook p.154 (2010-6)

H.Ogawa, A.Kan, Y.Inami: "Influence of Hot Forging on Orientation and Ferroelectric Properties of $\text{Bi}_9\text{NaNb}_4\text{O}_{30}$ Ceramic", Electroceramics XII abstractbook p.158 (2010-6)

T.Moriyama, H.Ogawa, A.Kan: "Crystal Structure and Ferroelectric Properties of Mg-Substituted $\text{Ca}(\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x)\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ Ceramics" Electroceramics XII abstractbook p.168 (2010-6)

A.Kan, H.Ogawa, M.Nishizuka: "Low-Temperature Sintering and Microwave Dielectric Properties of MgO by additions of LiF and CaTiO_3 " Microwave Materials and their Application 2010 Abstract book p.64 (2010-9)

H.Nakano, H.Ogawa, A.Kan, M.Nishizuka: "Microwave Dielectric Properties of MgGa_2O_4 Ceramic", Microwave Materials and their Application 2010 Abstract book p.102 (2010-9)

M.Sumino, H.Ogawa, A.Kan, M.Nishizuka: "Synthesis and Microstructure of $(1-x)\text{MgO-xB}_2\text{O}_3$ Ceramics", Microwave Materials and their Application 2010 Abstract book p.108 (2010-9)

T.Moriyama, A.Kan, K.Kawada, H.Ogawa: "Ferroelectric

Properties of $\text{Bi}_{4.5}\text{Na}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_2\text{WO}_{15}$ Solid Solution", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

H.Ogawa, T.Moriyama, A.Kan: "Ferroelectric Properties and Crystal Structure of $\text{Bi}_7\text{Fe}_3\text{Ti}_3\text{O}_{21}$ Ceramic in $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ - BiFeO_3 System" 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

M.Hayakawa, H.Ogawa, A.Kan: "Thin-film Electroluminescence Device Utilizing In-doped Y_2O_3 by RF Magnetron Sputtering", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

K.Kawada, T.Moriyama, A.Kan and H.Ogawa: "Synthesis and Properties of $\text{Bi}_{5-x}\text{Sr}_x\text{Ti}_{3+x}\text{Fe}_{1-x-y}\text{V}_y\text{O}_{15}$ ceramics by Solid State Reaction", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

A.Kan, H.Ogawa, N.Ikeda, Y.Terakura: "Synthesis and Electroluminescence Properties of In-doped Zn_2SiO_4 Thin Film by RF Sputtering", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

Y.Terakura, N.Ikeda, H.Ogawa, A.Kan, K.Inoue, A.Fujita: "Preparation of Indium and Cobalt doped ZnGa_2O_4 thick films by spray deposition technique", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

N.Ikeda, Y.Terakura, H.Ogawa, A.Kan, K.Inoue, A.Fujita: "Sol-Gel deposition and characterization of In- and Co-doped MgGa_2O_4 Phosphor films", 3rd International Congress on Ceramics, abstract CD-ROM (2010-11)

高畑 健二

【著書】

高畑 健二:『メカトロニクス演習(抜刷)』, 三恵社, (2010-9)

【学術論文】

高畑 健二, 松原 武徳, 奥出 宗重:「加速度誤差分離に基づくビークル走行軌跡・姿勢角推定アルゴリズムの開発」, 日本機械学会論文誌, Vol.76, No.761, pp.4-10, (2010-1)

【その他】

高畑 健二, 岡村 浩一, 樋口 智明, 田中 龍, 伊藤 忠司, 高浜 盛雄:「単一 GPS 慣性データ(加速度, 角速度)によるビークル姿勢角の計測方法」, 特許第 4527171 号, (2010-6)

建設システム学科

宇佐美 勉

【学術論文】

宇佐美 勉, 倉田 正志, 佐藤 崇, 葛西 昭, 萩澤 亘保 :
構造用アルミニウム合金の繰り返し弾塑性構成則,
土木学会論文集 A, Vol.65, No.4, pp.980-993, (2009-
12).

宇佐美 勉, 佐藤 崇 : 座屈拘束ブレースの低サイクル
疲労実験と照査法, 構造工学論文集, Vol.56A,
pp.486-498, (2010-3).

宇佐美 勉, 馬越 一也, 齊藤 直也, 野中 哲也 (2010) :
鋼橋の耐震解析におけるブレース材のモデル化, 構
造工学論文集, Vol.56A, pp.381-392, (2010-3).

織田 博孝, 宇佐美 勉 : 既設 H 形ブレース材の制震
ダンパー化に関する基礎的実験, 構造工学論文集,
Vol.56A, pp.499-510, (2010-3).

野中 哲也, 宇佐美 勉, 岩村 真樹, 廣住 敦士, 吉野 廣一 :
連鎖的な部材破壊を考慮した鋼橋のリダンダンシー
解析法の提案, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.779-
791, (2010-3).

葛 漢彬, 金子 恵介, 宇佐美 勉 : 高機能補剛せん断パ
ネルダンパーの繰り返し弾塑性挙動と復元力モデ
ルに関する研究, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.522-
532, (2010-3).

佐藤 崇, 宇佐美 勉, 倉田 正志 : 構造用アルミニウム
合金 BRB の性能実験と解析, 土木学会論文集 A,
Vol.66, No.2, pp.356-367, (2010-6)

【その他】

齊藤 直也, 宇佐美 勉, 野中 哲也, 廣住 敦士, 菅付 絃一 :
繰り返し荷重を受ける鋼トラス構造の進行性破壊実
験, 第 13 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造
の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木
学会, pp.251-258, (2010-2).

野中 哲也, 宇佐美 勉, 馬越 一也, 菅付 絃一 : 特殊橋
梁の複合非線形解析におけるトラス部材のモデル
化, 第 13 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造
の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木
学会, pp.283-290, (2010-2).

宇佐美 勉 : 構造用アルミニウム合金制震ダンパーの
開発研究, 土木学会, 第 65 回年次学術講演会, 研
究討論会 話題提供, 研 -06 資料. (2010-9).

馬越 一也, 宇佐美 勉, 菅付 絃一, 野中 哲也 : 幅厚比
の比較的大きい部材を持つ橋梁全体系の耐震解析モ
デル化手法の一提案, 土木学会, 第 65 回年次学術

講演会講演概要集, CD-Rom. (2010-9).

児玉 喜秀, 原田 隆典, 野中 哲也, 宇佐美 勉 : 震源断
層近傍における BRB 設置の上路式鋼アーチ橋の応
答特性, 土木学会, 第 65 回年次学術講演会講演概
要集, CD-Rom. (2010-9).

宇佐美 勉, 齊藤 直也, 野中 哲也, 廣住 敦士, 菅付 絃一 :
繰り返し荷重を受けるトラス構造の破壊挙動に関する
実験的研究, 土木学会, 第 65 回年次学術講演会講
演概要集, CD-Rom. (2010-9).

舟山 淳起, 宇佐美 勉, 齊藤 直也 : 座屈拘束ブレース
によるトラス構造の耐震性向上効果, 土木学会, 第
65 回年次学術講演会講演概要集, CD-Rom. (2010-9).

倉田 正志, 宇佐美 勉 : 構造用ある身合金の繰り返し
弾塑性構成則の開発と制震ダンパーの開発研究, 土
木学会, 第 65 回年次学術講演会講演概要集, CD-
Rom. (2010-9).

Suzuki, T., Luo, X.Q., Ge, H.B. and Usami, T. : A Seismic
Verification Method for Steel Bridge Structures against
Local Buckling and Ductile Crack Initiation, The Ninth
Pacific Structural Steel Conference (PSSC), Beijing,
China, CD-ROM. (2010-10)

葛 漢彬

【学術論文】

葛 漢彬, 藤江 渉, 岩田 勝成 : 「ランダムな繰り返し
荷重を受ける鋼製橋脚の延性き裂発生・進展挙動及
び照査法の検証」, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.342-
355, (2010-3)

葛 漢彬, 金子 恵介, 宇佐美 勉 : 「高機能補剛せん断
パネルダンパーの繰り返し弾塑性挙動と復元力モデ
ルに関する研究」, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.522-
532, (2010-3)

Luo, X.Q., Ge, H.B. and Usami, T. : "Dynamic Numerical
Simulation of Steel Frame-Typed Piers Installed with
SMA Damping Devices Based on Multi-linear One
Dimensional Constitutive Model", Int.J.of Advanced
Steel Construction, Vol.6, No.2, pp.722-741, (2010-6)

Ji, B.H., Chen, D.H., Xu, S.L., Ge, H.B., and Ma, L. : "Check
Method for Seismic Performances of Single-Column
Type Steel Piers", Journal of Hohai University (Natural
Sciences), Vol.38, No.4, pp.436-441, (2010-7) (in
Chinese)

鈴木 俊光, 葛 漢彬, 小野 恵亮 : 「未溶着を有する鋼
厚肉部材の延性き裂発生評価に関する解析的検討」,

地震工学論文集, Vol.31, (2010-12)

【その他】

宇野 裕恵, 葛 漢彬, 野口 陽平:「粘性ダンパーの速度依存性が橋の応答に及ぼす影響の一考察」, 第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム, pp.1-8, (2010-2)

鈴木 俊光, 葛 漢彬, 藤江 渉:「繰り返し荷重を受ける鋼製橋脚隅角部の延性き裂発生評価に関する実験データによる検証」, 第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム, pp.229-234, (2010-2)

垣内 一輝, 葛 漢彬:「補剛薄肉断面鋼部材の簡易耐震照査法の開発に関する研究」, 第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム, pp.235-242, (2010-2)

H.B.Ge and X.Q.Luo: “A Seismic Performance Evaluation Method for Steel Structures against Local Buckling and Extra-Low Cycle Fatigue”, Proc.the 2nd International Symposium on Advances in Urban Safety Conference, Kobe, Japan, March 27-29, pp.277-287, (2010-3)

X.Chen, H.B.Ge and T.Usami: “Required Capacity for Buckling-Restrained Braces Installed in Steel Arch Bridges under Repeated Earthquakes”, Proc.the 2nd International Symposium on Advances in Urban Safety Conference, Kobe, Japan, March 27-29, pp.299-308, (2010-3)

Z.Jiang, B.H.Ji, H.B.Ge and H.Maeno: “Case Studies on Repairing and Strengthening for Steel Bridges”, Proc. the 7th International Cable Supported Bridge Operators' Conference, Zhenjiang, China, May 18-20, pp.183-191, (2010-5)

Z.Jiang, B.H.Ji, H.B.Ge and H.Maeno: “Repairing and Strengthening New Technology for Steel Bridges”, Proc. the International Symposium on Maintenance New Technologies for Long-Span Bridges, Nanjing, China, May 19-21, pp.1-7, (2010-5)

H.B.Ge and T.Usami: “High-Performance Buckling Restrained Brace Dampers for Bridges”, Proc.the International Symposium on Maintenance New Technologies for Long-Span Bridges, Nanjing, China, May 19-21, pp.8-14, (2010-5)

T.Suzuki and H.B.Ge: “Damage Index-Based Evaluation method for Steel Bridge Structures against Extra-Low Cycle fatigue”, Proc.the International Symposium on Maintenance New Technologies for Long-Span Bridges, Nanjing, China, May 19-21, pp.15-21, (2010-5)

鈴木 俊光, 小野 恵亮, 葛 漢彬:「溶接未溶着を有する鋼厚肉部材の延性き裂発生に関する実験的研究」, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, I-40, pp.79-80, (2010-9)

小野 恵亮, 鈴木 俊光, 葛 漢彬:「溶接未溶着を有する鋼厚肉部材の繰り返し弾塑性挙動に関する解析的検討」, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, I-41, pp.81-82, (2010-9)

岩田 勝成, 葛 漢彬:「鋼製橋脚の極低サイクル疲労に対する照査法の一検討」, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, I-43, pp.85-86, (2010-9)

T.Suzuki, X.Q.Luo, H.B.Ge and T.Usami: “A Seismic Verification Method for Steel Bridge Structures against Local Buckling and Ductile Crack Initiation”, Proc.9th Pacific Structural Steel Conference, Beijing, China, October 19-22, pp.1209-1215, (2010-10)

葛 漢彬, 呉 智深, 張 建東, 川島 一彦, 高橋 良和:「2008年中国四川地震によるアーチ橋の被害」, 第3回近年の国内外で発生した大地震の記録と課題に関するシンポジウム論文集, 土木学会地震工学委員会, pp.77-82, (2010-11)

高橋 良和, 川島 一彦, 葛 漢彬, 呉 智深, 張 建東:「2008年中国四川地震による橋梁の被害」, 第3回近年の国内外で発生した大地震の記録と課題に関するシンポジウム論文集, 土木学会地震工学委員会, pp.57-62, (2010-11)

小高 猛司

【学術論文】

F.Oka, T.Kodaka, H.Suzuki, Y.-S.Kim, N.Nishimatsu, and S.Kimoto: “Experimental study on the behavior of unsaturated compacted silt under triaxial compression”, Soils and Foundations, Vol.50, No.1, pp.27-44, (2010-2)

T.Kodaka, H.Fukuzawa, K.Itabashi and S.Kato: “Cyclic shear strength of clay under simple shear condition”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, ASCE Geotechnical Special Publication No.201, pp.234-239, (2010-5).

*小高 猛司, 寺本 優子, 平手 寿大, 元山 泰久:「圧縮ベントナイト緩衝材のせん断破壊時の性能評価」, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.207-218, (2010-6).

小高 猛司, 板橋 一雄, 中島 康介, 牧田 祐輝, 李 圭太, 上村 俊英, 坪田 邦治, 加藤 雅也:「河川堤防砂礫の変形・強度特性の評価手法に関する考察」, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.193-205, (2010-6)

F.Oka, S.Kimoto, Y.Higo, H.Ohta, T.Sanagawa and T.Kodaka : "An elasto-viscoplastic model for diatomaceous mudstone and numerical simulation of compaction bands", International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, n/a.doi : 10.1002/nag.987, (2010-11)

【その他】

* 寺本 優子, 平手 寿大, 小高 猛司 : 「不飽和圧縮ベントナイト緩衝材の破壊挙動の観察」, 理工学研究報告, 第 50 号, pp.147-154, (2010-3)

* 平手 寿大, 寺本 優子, 小高 猛司 : 「飽和圧縮ベントナイトの力学特性と遮水性能」, 理工学研究報告, 第 50 号, pp.163-170, (2010-3)

牧田 祐輝, 中島 康介, 小高 猛司, 板橋 一雄 : 「三軸試験による河川堤防砂礫の強度特性の評価」, 理工学研究報告, 第 50 号, pp.171-176, (2010-3)

福沢 宏樹, 小高 猛司, 板橋 一雄 : 「粘性土の繰返し単純せん断特性」, 理工学研究報告, 第 50 号, pp.155-162, (2009-3)

三好 直輔, 山田 久記, 福沢 宏樹, 小高 猛司, 板橋 一雄 : 「不攪乱赤井粘土の静的力学特性」, 土木学会中部支部平成 21 年度研究発表会講演集, pp.227-228, (2010-3)

* 元山 泰久, 小高 猛司, 寺本 優子, 平手 寿大 : 「一面せん断試験と透水性試験による飽和圧縮ベントナイトの性能評価」, 土木学会中部支部平成 21 年度研究発表会講演集, pp.245-246, (2010-3)

* 平手 寿大, 寺本 優子, 元山 泰久, 小西 一規, 小高 猛司 : 「不飽和条件下での珪砂・ベントナイト混合体のせん断破壊特性」, 土木学会中部支部平成 21 年度研究発表会講演集, pp.247-248, (2010-3)

* 寺本 優子, 小高 猛司 : 「ベントナイト緩衝材の一面せん断試験のシミュレーション」, 土木学会中部支部平成 21 年度研究発表会講演集, pp.249-250, (2010-3)

牧田 祐輝, 中島 康介, 小高 猛司, 板橋 一雄, 李 圭太, 上村 俊英, 坪田 邦治, 加藤 雅也 : 「大型ならびに小型三軸試験による河川堤防砂礫の力学特性の評価」, 土木学会中部支部平成 21 年度研究発表会講演集, pp.265-266, (2010-3)

山田 久記, 三好 直輔, 福沢 宏樹, 小高 猛司, 板橋 一雄 : 「単純せん断試験による各種圧密条件下の粘性土のせん断強度特性の評価」, 土木学会中部支部平成 21 年度研究発表会講演集, pp.267-268, (2010-3)

福沢 宏樹, 三好 直輔, 山田 久記, 小高 猛司, 板橋 一雄 : 「粘性土の繰返しせん断特性の評価に及ぼすせん断

モードの影響」, 土木学会中部支部平成 20 年度研究発表会講演集, pp.269-270, (2009-3)

奥屋 智康, 武藤 裕久, 長沼 明彦, 小高 猛司, 中野 正樹, 野田 利弘 : 「支圧抵抗力と摩擦抵抗力を組合せた盛土補強土壁の実物大施工」, 土木学会中部支部平成 21 年度研究発表会講演集, pp.293-294, (2009-3)

三好 直輔, 福沢 宏樹, 小高 猛司, 板橋 一雄 : 「高塑性粘土の力学挙動に及ぼす種々の要因についての実験的検討」, 第 22 回中部地盤工学シンポジウム論文集, pp.21-28, (2010-8)

* 元山 泰久, 平手 寿大, 小高 猛司 : 「各種の供試体条件が圧縮ベントナイトのせん断強度特性と破壊挙動に及ぼす影響」, 第 22 回中部地盤工学シンポジウム論文集, pp.37-44, (2010-8)

小高 猛司, 板橋 一雄, 福沢 宏樹, 三好 直輔, 加藤 信二郎 : 「中空ねじりせん断試験ならびに単純せん断試験による再構成粘土の繰返しせん断強度の評価」, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.193-194, (2010-8)

小高 猛司, 板橋 一雄, 三好 直輔, 福沢 宏樹, 加藤 信二郎 : 「鋭敏な東大阪沖積粘土の力学特性」, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.215-216, (2010-8)

小高 猛司, 板橋 一雄, 牧田 祐輝, 中島 康介, 李 圭太, 坪田 邦治, 加藤 雅也 : 「河川堤防砂礫のせん断強度特性に及ぼす供試体寸法・密度・排水条件の影響」, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.257-258, (2010-8)

武藤 裕久, 長沼 明彦, 奥屋 智康, 小高 猛司, 中野 正樹, 野田 利弘 : 「支圧抵抗力と摩擦抵抗力を併用した盛土補強土壁の各抵抗力」, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.513-514, (2010-8)

* 小高 猛司, 平手 寿大, 元山 泰久, 寺本 優子 : 「不飽和圧縮ベントナイトのせん断破壊挙動に及ぼす供試体密度の影響」, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1923-1924, (2010-8)

* 小高 猛司, 元山 泰久, 平手 寿大, 寺本 優子 : 「飽和圧縮ベントナイトのせん断強度特性に及ぼす供試体密度と供試体作製方法の影響」, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1925-1926, (2010-8)

* 小高 猛司, 寺本 優子, 平手 寿大, 元山 泰久, 高稲 敏浩 : 「飽和圧縮ベントナイトの一面せん断破壊挙動の数値解析」, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1927-1928, (2010-8)

三好 直輔, 福沢 宏樹, 小高 猛司, 板橋 一雄 : 「三軸試験ならびに単純せん断試験による東大阪鋭敏粘土

の繰返しせん断強度特性」, 土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会概要集, 3-261, pp.521-522, (2010-9)

福沢 宏樹, 三好 直輔, 小高 猛司, 板橋 一雄:「単純せん断試験による異方・過圧密条件下の粘性土のせん断強度特性の評価」, 土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会概要集, 3-262, pp.523-524, (2010-9)

福沢 宏樹, 三好 直輔, 小高 猛司, 板橋 一雄:「単純せん断試験による異方・過圧密条件下の粘性土のせん断強度特性の評価」, 土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会概要集, 3-262, pp.523-524, (2010-9)

牧田 祐輝, 小高 猛司, 板橋 一雄, 李 圭太, 上村 俊英, 坪田 邦治, 加藤 雅也:「河川堤防砂礫の液状化強度特性の評価」, 土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会概要集, 3-344, pp.687-688, (2010-8)

*平手 寿大, 元山 泰久, 小高 猛司:「珪砂・ベントナイト混合体のせん断強度特性に及ぼす珪砂混合率ならびに乾燥密度の影響」, 土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会概要集, CS07-15, pp.29-30, (2010-9)

*元山 泰久, 平手 寿大, 小高 猛司, 岡 二三生, 肥後 陽介:「損傷を受けた飽和圧縮ベントナイトの X 線 CT による観察」, 土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会概要集, CS07-16, pp.31-32, (2010-9)

T.Kodaka, Y.Teramoto, T.Hirate, Y.Motoyoma, Y.Higo and F.Oka: "Shear Failure Development in Compact-ed Bentonite Specimens", Proc.of the International Symposium on Geomechanics and Geotechnics: From Micro to Macro, IS-Shanghai 2010, Vol.1, pp.29-34, (2010-10)

原田 守博

【学術論文】

原田 守博, 高木 智之, 鈴木 宏佳, 手嶋 健浩:「都市域における河川水面と陸面の熱収支比較と暑熱環境の緩和効果」, 水工学論文集, Vol.54, pp.319-324, 土木学会, CD-ROM, (2010-2)

【その他】

原田 守博, 沼津 晃洋:「都市域における感潮河川と河畔地下水の水交換過程」, 名城大学総合研究所紀要, 第 15 号, pp.9-12, (2010-3)

鈴木 宏佳, 原田 守博, 勝田 篤:「中川運河における海陸風の特性と暑熱環境の緩和効果」, 平成 21 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, II -20, pp.155-156, CD-ROM, (2010-3)

沼津 晃洋, 原田 守博, 新井 啓史, 小川 裕太:「感潮河川・堀川近傍における不圧地下水挙動と水交換過

程」, 平成 21 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, II -18, pp.151-152, CD-ROM, (2010-3)

清水 泰弘

【学術論文】

清水 泰弘, 木村 弘三:「花崗岩の斜面に分布する転石群の危険度評価」, 自学災害科学, Vol.29, No.1, pp.61-71, (2010)

【その他】

清水 泰弘, 渡嘉敷 直彦, 山本 直樹:「古い掘削法による最終斜面安定性評価」, 名城大学理工学部研究報告, 第 50 号, pp.134-140, (2010)

溝口 敦子

【学術論文】

溝口 敦子:「低水護岸を有する矢田川低水路における交互砂州の変動特性」, 河川技術論文集, Vol.16, 土木学会, pp.107-112, (2010-6).

溝口 敦子:「大礫間を流れる砂の流量算定に向けた相対水深が小さい場での粗度抵抗・有効掃流力の評価に関する実験的検討」, 応用力学論文集, 第 13 卷, 土木学会, pp.869-876, (2010-8).

岩下 健太郎

【著書】

岩下 健太郎:『建設材料学レクチャーノート』, 一粒社, (2010-9)

【学術論文】

呉 智深, 岩下 健太郎, 孫 曉荷, 小林 朗:「FRP ケーブルの埋め込み緊張補強技術の確立」, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.56A, pp.630-643, (2010-3)

Z.S.Wu, X.Wang, K.Iwashita, T.Sasaki, Y.Hamaguchi: "Tensile fatigue behaviour of FRP and hybrid FRP sheets" Composites Part B: Engineering, Vol.41, Iss.5, pp.396-402, (2010-7)

【その他】

呉 智深, 岩下 健太郎:「光ファイバセンシングによる構造ヘルスマニタリング最新動向」, 第 44 回光波センシング技術研究会講演会, 招待講演, LST44-7, (2009-12)

岩下 健太郎:「連続繊維複合材の接着による RC・PC 構造物の補修・補強技術の開発」, 中部セメントコンクリート研究会第 2 回材料部会, 招待講演, (2009-12)

金光男, 岩下 健太郎, 呉 智深, 清水 亮太, 榊原 和則:「鋼線混入 FRP シートの付着挙動に関する実験的研究」, 平成 22 年度土木学会第 65 回年次学術講演会, CS2-017, pp.33-34, (2010-9)

金光男, 岩下 健太郎:「FRP グリッドの付着挙動に関

する実験的研究」, 第 54 回日本学術会議材料工学連合講演会, No.139, pp.207-208, (2010-10)

崔 瑛

【学術論文】

平坂 友里恵, 崔 瑛, 岸田 潔, 木村 亮, 井浦 智美:「改良地盤における小土被りトンネルの掘削挙動に関する実験的研究」, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学) 特集号, (2010-11) (印刷中)

崔 瑛, 岸田 潔, 木村 亮, 野々村 政一, 井浦 智美:「とも下がり発生時におけるサイドパイル工の地盤沈下抑制効果に関する数値解析」, 土木学会論文集 C, Vol.66, No.4, pp.718-728, (2010-10)

Ying Cui, Kiyoshi Kishida and Makoto Kimura: "Analytical study on the control of ground subsidence arising from the phenomenon of accompanied settlement using footing reinforcement pile", Deep and Underground Excavation, ASCE Geotechnical Special Publication, pp.307-312, (2010-5)

Ying Cui, Kiyoshi Kishida and Makoto Kimura: "Mechanism of Phenomenon of Accompanied Settlement Occurring in Tunnel Excavation under Shallow Overburden Condition", Proc.of the fourth Japan-China geotechnical symposium, Okinawa, pp.226-229, (2010-4)

【その他】

Ying Cui, Kiyoshi Kishida and Makoto Kimura: Analytical study on the control of ground subsidence arising from the tunnel excavation progress using foot reinforcement side pole. Proc.of The Twenty-Third KKCNN Symposium on Civil Engineering, Taipei, (2010-11) (in press)

平坂 友里恵, 崔 瑛, 岸田 潔, 木村 亮:「トンネル周辺地盤の適切な改良に関する実験的検討」, 第 65 回年次土木学会学術講演会講演概要集, CD-ROM, (2010-9)

崔 瑛, 岸田 潔, 木村 亮, 野々村 正一, 井浦 智美:「未固結地山の小土被りトンネルにおける地山改良の沈下抑制効果に関する数値的検討」, 第 45 回地盤工学会研究発表会 CD-ROM, (2010-8)

渡辺 孝一

【学術論文】

渡辺 孝一, 山口 亮太, 吉川 瑛人:「繰り返し軸力を受ける高機能座屈拘束ブレースとガセットの面外挙動に関する実験的検討」, 土木学会構造工学論文集 Vol.56A, pp.511-521, (2010-3)

【その他】

渡辺 孝一, 吉川 瑛人:「繰り返し軸力を受ける高機能座屈拘束ブレースを接合するガセットプレートの保

有性能に関する検討」, 第 13 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム論文集, A1-3, pp.17-24, (2010-2)

山口 亮太, 渡辺 孝一:「ガセットプレートのリブ補強効果について」, 土木学会中部支部研究発表会, I-007, pp.13-14, (2010-3)

児玉 佳大, 渡辺 孝一:「ガセットの面外剛性に与えるウイングプレート長さについて」, 土木学会中部支部研究発表会, I-006, pp.11-12, (2010-3)

山口 亮太, 渡辺 孝一:「座屈拘束ブレースを取付けるガセットのリブ補強効果について」, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, I-075, pp.149-150, (2010-9)

吉川 瑛人, 渡辺 孝一:「フィンスチフナが座屈拘束ブレース接合部の面外変形性能に与える影響」, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, I-076, pp.151-152, (2010-9)

児玉 佳大, 渡辺 孝一:「繰り返し引張軸力が作用するブレースの破壊挙動について」, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, I-481, pp.961-962, (2010-9)

Watanabe, K.: Simple Performance Check Method for Gusset Plates with Buckling-restrained Braces, Proc.the 9th Pacific Structural Steel Conference, Beijing, China, 19-22 October, 2010, pp.1531-1536, (2010-10)

環境創造学科

伊藤 政博

【講義テキスト】

- * 伊藤 政博：水域環境創造学，講義メモ・資料，(株)三恵社(2010-4)

【学術論文】

- * 伊藤 政博：「浮遊ゴミの海岸への打ち上げに関する規則波平面実験」，土木学会海洋開発論文集，Vol.26，pp.1177-1182，2010.

【その他】

- * M.Ito：“Washing-up and movement of litter along the Fuji coast, Japan, captured by live camera”，Abstracts of 10th International Conference on Littoral, p.83, (2010-9), p.83.
- * 伊藤 政博：「波による浮遊ゴミの海岸への打ち上げに関する実験的研究」，名城大学総合研究所紀要，No.15, pp.103-107, (2010)

垣 鍔 直

【学術論文】

- * 垣 鍔 直，川島 庸：「体温のサーカディアンリズムを考慮した夏期の睡眠時の温熱環境条件に関する評価」，日本生理人類学会和文誌，第15(3)号, pp.1-7 (2010-8)
- * 山北 康晃，垣 鍔 直：「大学のエネルギー管理に関する調査研究」，人間 - 生活環境系学会雑誌 人間と生活環境，第17巻2号, pp.89-95, (2010-12)

【その他】

- * T.Katsura, X.Liu, L.Shi, Y.Shimomura, N.Kakitsuba：「Effects of color temperature and illuminance of lighting on physiological responses under different stress conditions」, Int.Cong.of Physiological Anthropology, Fremantle, Australia, p.32, (2010-9)
- * K.Kakitsuba, I.B.Mekjavic, Y.Shimomura, T.Katsuura：「Seasonal differences in the core interthreshold zone as related to lighting conditions」, Int.Cong.of Physiological Anthropology, Fremantle, Australia, p.31, (2010-9)
- * 垣 鍔 直，下村 義弘，勝浦 哲夫：「Core interthreshold zoneにおける季節差と照明条件の影響に関する研究」，第62回日本生理人類学会大会要旨集, pp.76-77, (2010-5)
- * 山北 康晃，垣 鍔 直：「暑熱条件における相対湿度が人体の生理・心理反応に及ぼす影響」，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.613-614, (2010-9)

- * 正田 浩三，垣 鍔 直：「大学内のトイレの汚染度と汚れ度に関する調査研究」，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，pp.897-898, (2010-9)
- * 垣 鍔 直：「照度が変化した時の心理・生理反応 - Kruithof の chart の検証 - 」，第63回日本生理人類学会大会要旨集, pp.60-61, (2010-10)
- * 垣 鍔 直：「大規模緑地が周辺の局所気候に及ぼす影響」，日本生気象学会大会・日本生気象学会雑誌，47(3), p.S43, (2010-11)

牧野内 猛

【学術論文】

- * 牧野内 猛，森 勇司：「南海トラフで起こる巨大地震サイクルの間に内陸の地震活動に見られる特徴」，名城大学理工学部研究報告, No.50, 177-184, (2010-3)

【その他】

- * 牧野内 猛：「濃尾平野の地下地質研究における最近の話題」，日本応用地質学会中部支部総会，招待講演，名古屋大学, (2010-5)
- * 牧野内 猛，武邑 圭司，大島 武，杉浦 武：「西三河平野の碧海台地における碧海層と拳母層のN値に比較」，日本地質学会第117年学術大会講演要旨, p.46 (O-21)，富山大学, (2010-9)
- * 牧野内 猛：「土の生成と地層の形成濃尾平野の地形・地質と地盤形成史」，なごや環境大学，名城大学名駅サテライト, (2010-10)
- * 豊蔵 勇，岡田 篤正，岡村 眞，牧野内 猛，長谷川 淳，藤原 八笛：「伊勢湾断層の最新の活動時期 - 約550年前に活動したか - 」，日本活断層学会2010年度秋季学術大会及び1586年天正地震シンポジウム講演予稿集, pp.110-111, S-09 名古屋大学, (2010-11)

小塩 達也

【その他】

- * 長瀬 雅司，小塩 達也，画像測定による構造物の変位計測，土木学会第65回年次学術講演会概要集，第I部門，I-257, (2010-9)
- * 小塩 達也，実測荷重データに基づく過積載車両の分析の試み，土木学会第65回年次学術講演会概要集，第I部門，I-522, (2010-9)

日比 義彦

【学術論文】

- * Y.Hibi, K.Jinno, K.Masuoka and J.Kawabata：“Estimation of the air permeability coefficient and the radius of

vacuum influence for contaminated soil and groundwater remediation”, *Soil and Foundations*, Vol.50.No.1, pp.123-142, (2010-2)

* Y.Hibi, K.Fujinawa, S.Nishizaki, K.Okamura and M.Tasaki : “Investigation for necessity of dispersivity and tortuosity in the Dusty Gas Model for a binary gas system in soil”, *Soil and Foundations*, Vol.50, No.1, pp.143-159, (2010-2)

* 日比 義彦, 尾藤 健, 細堀 建司 : 「湖沼の塩分濃度に対する海水の影響を把握するための室内実験」, *地下水学会誌*, 第 52 巻第 2 号, pp.169-181, (2010-5)

* 日比 義彦, 田中 周佑, 杉山 秋博 : 「多孔体中の空気 - 水 - NAPL3 相状態における NAPL の残留飽和度の影響評価」, *土木学会論文集 C*, Vol.66, No.2, pp.418-429, (2010-6)

【その他】

* 加納 由貴, 日比 義彦 : 「一次元カラム実験装置を用いた土中ガス中の分散係数と Knudsen 拡散係数の測定」, *日本地下水学会 2010 年秋季講演会後援要旨*, pp.78-83, (2010-11)

堀 和明

【著書】

* 堀 和明, 斎藤 文紀 : 「ミシシッピデルタ - 典型的な鳥趾状デルタとその変遷」, 加藤 碩一・山口 靖・山崎 晴雄・渡辺 宏・汐川 雄一・薦田 麻子編 『宇宙から見た地形 - 日本と世界 - 』, pp.4-7, 朝倉書店, (2010-2)

* 堀 和明, 斎藤 文紀 : 「世界と日本のデルタ」, 日本第四紀学会編 『デジタルブック最新第四紀学』, CD-ROM, 日本第四紀学会, (2009-12)

* 堀 和明 : 「日本列島の地形と地質(概説)」, 日本第四紀学会編 『デジタルブック最新第四紀学』, CD-ROM, 日本第四紀学会, (2009-12)

【その他】

* 堀 和明 : 「海跡湖 - 浜名湖(静岡県浜松市, 湖西市)」, *地理・地図資料 2010 年度 1 学期号付録*, 帝国書院, (2010-4)

広瀬 正史

【学術論文】

* M.Hirose, R.Oki, D.A.Short, and K.Nakamura : “Regional characteristics of scale-based precipitation systems from ten years of TRMM PR data”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.87A, pp.353-368, (2009-3)

* D.A.Short, M.Hirose, and K.Nakamura : “An interpretation of TRMM Radar observations of shallow

convection with a rain cell model”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.87A, pp.67-81, (2009-3)

* S.Shimizu, R.Oki, T.Tagawa, T.Iguchi, and M.Hirose : “Evaluation of the effect of the orbit boost of the TRMM satellite on the PR rain estimates”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.87A, pp.83-92, (2009-3)

* S.K.Aonashi, J.Awaka, M.Hirose, T.Kozu, T.Kubota, G.Liu, S.Shige, S.Kida, S.Seto, N.Takahashi, and Y.N.Takayabu : “GSMaP passive microwave precipitation retrieval algorithm : Algorithm description and validation”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.87A, pp.119-136, (2009-3)

【その他】

* M.Hirose : “Diurnal features of scale-based precipitation systems observed by TRMM PR”, *International MAHASRI/HyARC workshop on Asian Monsoon*, Danang, Vietnam. Proceedings, pp.293-304. (2009-3)

* M.Hirose : “Rainfall variability grouped by the type of precipitation systems”, *Asia Oceania Geosciences Society 7th Annual meeting*, Hyderabad, India. Proceedings CD-ROM AS21-A007. (2010-7)

杉山 秋博

【学術論文】

* 日比 義彦, 中田 周佑, 杉山 秋博 : 「多孔体中の空気 - 水 - NAPL3 相状態における NAPL の残留飽和度の影響評価」, *土木学会論文集 C* Vol.66 No2, pp.418-429. (2010-6).

建築学科

鈴木 博志

【学術論文】

戴 惟, 長谷川 直樹, 鈴木 博志:「北京市における高齢者福祉施設の立地と利用率の状況に関する研究 - 高齢者福祉施設の立地のあり方についてその1-」, 日本建築学会計画系論文集, 第75巻, 第647号, pp.175-182, (2010-1)

長谷川 直樹, 鈴木 博志:「公共施設整備における市民参加の効果と課題についての考察 - 郡上白鳥中央地区の事例 -」, 日本建築学会計画系論文集, 第75巻, 第648号, pp.1419-425, (2010-2)

見玉 道子, 鈴木 博志:「家具類の転倒防止対策推進のための実践的, 方法論的研究 - 災害時要援護者へのボランティア活動「かぐてんぼう隊」運動の拡大に向けて -」, 日本福祉のまちづくり学会まちづくり研究, Vol.11, No.2, pp.29-40, (2010-1)

戴 維, 長谷川 直樹, 鈴木 博志:「北京市における住区基幹公園の整備状況に関する研究」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.45-1, pp.14-20, (2010-4)

長谷川 直樹, 鈴木 博志:「小学校区単位での自主防犯活動と犯罪発生状況 - 愛知県小牧市の事例研究 -」, 日本建築学会技術報告集, 第16巻, 第33号, pp.705-709, (2010-6)

Sachie Miyazaki, Hiroshi Suzuki, Kiyonobu Kaido, : "Studies on maintenance of residential environmental for the elderly - Analysis of the visit consultation for house improvement-", 9th International Symposium-International urban planning and Environment Association, pp.83-84, (2010-8)

HASEGAWA Naoki, SUZUKI Hiroshi, "The Situation of Community parks Use in Beijing", 7th Pacific Rim Participatory community Design Conference, pp.13, (2010-9)

Sachie Miyazaki, Hiroshi Suzuki, "Studies on Barrier Transport in Station, Bus Stop, pavement", The 3th International Conference for universal Design in HAMAMATSU 2010, CD-ROM 版 O133, pp.1-8, (2010-11)

【その他】

三津田 由衣, 戴 惟, 鈴木 博志, 長谷川 直樹:「北京市における高齢者福祉施設の立地特性に関する研究 - その1 建築年代と立地場所の状況」, 日本建築学会東海支部研究報告, 第48号, pp.441-444, (2010-

2)

瀬尾 あゆみ, 戴 惟, 鈴木 博志, 長谷川 直樹:「北京市における高齢者福祉施設の立地特性に関する研究 - その2 立地場所と入所費用・入所率の関係」, 日本建築学会東海支部研究報告, 第48号, pp.445-448, (2010-2).

長谷川 直樹, 鈴木 博志, 谷田 真:「戸建住宅団地における高齢化と立地特性による住意識に関する研究 - 岐阜県可児市の事例研究」, 2010年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 7109, pp.457-458, (2010-9)

宮崎 幸恵, 鈴木 博志:「広域化した浜松市における住宅・居住支援の現状について」, 日本福祉のまちづくり学会第13回大会梗概集, 電子版1B-5, pp.1-4, (2010-9)

三津田 由衣, 戴 維, 鈴木 博志, 長谷川 直樹:「北京市における高齢者福祉施設の立地特性に関する研究 その1: 建築年代と立地場所の状況」, 2010年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 7213, pp.465-466, (2010-9)

瀬尾 あゆみ, 戴 維, 鈴木 博志, 長谷川 直樹:「北京市における高齢者福祉施設の立地特性に関する研究 その2: 立地場所と入所費用・入所率の関係」, 2010年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 7214, pp.467-468, (2010-9)

戴 維, 長谷川 直樹, 鈴木 博志, 三津田 由衣, 瀬尾 あゆみ:「北京市における高齢者福祉施設の立地特性に関する研究 その3: 入所率の高い施設立地条件の考察」, 2010年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 7215, pp.469-470, (2010-9)

宮崎 幸恵, 鈴木 博志:「巨大合併都市における住宅・居住支援策の現状と課題 - 浜松市におけるケーススタディー -」, 2010年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 8208, pp.1529-1530, (2010-9)

高井 宏之

【著書】

高井 宏之:「空中公園を持つ高層集合住宅」, 『現代集合住宅のり・デザイン - 事例で読む「ひと・時間・空間」の計画』(日本建築学会編), 5-1, pp.66-67, 彰国社(2010-9)

【その他】

高井 宏之:「第3章 7. 芦屋浜高層住宅地区のこれまで - 居住者の特性・意識・評価と共用空間利用の経年変化」『代表的計画市街地・芦屋浜高層住宅地区の検

証と次代への展望に関する研究』, (財) アーバンハウジング, pp.71-79, (2010-3)

高井 宏之:「マンション居住者の経年変化と共用空間・施設」, マンション学, No.36, pp.133-135, (2010-4)

高井 宏之:「マンション居住者の経年変化と共用空間・施設」, 日本マンション学会名古屋大会 第5分科会(マンションと地域づくり) パネラー, (2010-4)

坪内 達彦, 高井 宏之:「動物園の特性と展示形式の変遷に関する考察」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1 分冊, pp.311-312, (2010-9)

高井 宏之, 藤本 秀一, 中野 雅士, 犬飼 理恵:「全国の事例の調査概要と調査事例の特性 公的宿泊施設の有効利用に関する研究 その4」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1 分冊, pp.1171-1172, (2010-9)

中野 雅士, 高井 宏之, 藤本 秀一, 犬飼 理恵:「所有者/経営者/運営者の意思決定の実態 公的宿泊施設の有効利用に関する研究 その5」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1 分冊, pp.1173-1174, (2010-9)

犬飼 理恵, 高井 宏之, 藤本 秀一, 中野 雅士:「宿泊施設継続と用途変更の事例の実態 公的宿泊施設の有効利用に関する研究 その6」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1 分冊, pp.1175-1176, (2010-9)

小川 みず穂, 高井 宏之:「大規模集合住宅の共用空間・施設の計画と利用実態 近年の愛知県の分譲集合住宅を対象に」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-2 分冊, pp.101-102, (2010-9)

高井 宏之:「閉鎖施設の有効利用の動向と促進課題 -大規模商業施設と宿泊施設を中心に-」, 日本建築家協会愛知地域会 第14回リレートーク(講演), (2010-10)

生田 京子

【論文】

生田 京子, 井上 由起子, 菅野 正広:「高齢者専用賃貸住宅の他用途建物からの転用改修に対する建築基準法の影響」, 日本建築学会計画系論文集 No.655, pp.2097-2106, (2010-9)

【著書】

生田 京子ほか:「設計に活かす建築計画」, 学芸出版社, 全150ページ, 共著(pp.94-97, 138-140を分担), (2010-4)

生田 京子ほか:「日本近代建築大全(西日本編)」, 講談社, 全304ページ, 共著(pp.40-41, 43-44, 48-50, 54-56, 60-63を分担), (2010-7)

【その他】

溝口 慶太・北川 啓介・生田 京子:「高齢者を対象と

した介助のある食事における行為と空間」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.127-128, (2010-9)

井上 由起子・佐藤 栄治・生田 京子:「統計情報に基づく高齢者住宅利用対象者算定の一試案 市区町村単位別の高齢者住宅需要の将来推計手法に関する研究 その1」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.151-152, (2010-9)

佐藤 栄治・井上 由起子・生田 京子:「所得分析と地域分析による高齢者住宅利用対象者 市区町村単位別の高齢者住宅需要の将来推計手法に関する研究 その2」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.153-154, (2010-9)

伊藤 義浩・生田 京子・太幡 英亮:「都市の縮退からみる東海三県の計画開発住宅市街地の分類・分析」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-2, pp.67-68, (2010-9)

広瀬 友香・生田 京子・太幡 英亮:「旗竿敷地における住宅の外形ボリュームと外部空間の構成」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-2, pp.122-123, (2010-9)

古川 智之・生田 京子・太幡 英亮:「保育園児の散歩とそのルートからみる地域環境との関係性および環境評価」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.821-822, (2010-9)

溝口 明則

【著書】

溝口 明則ほか:「3 国宝の美 30 号 建築 9 鎌倉・室町時代の仏堂」, 朝日新聞出版, 監修・共著(pp.4-11, 15-33, 36), (2010-3)

【論文】

溝口 明則, 中川 武, 佐藤 桂, 下田 一太:「ブラサート・プラムの寸法計画 クメール建築の造営尺度と設計技術に関する研究 (4)」, 日本建築学会計画系論文集, 第651号, pp.1273-78, (2010-5)

溝口 明則, 中川 武, 佐藤 桂, 下田 一太:「ブラサート・トムの伽藍寸法計画 クメール建築の造営尺度と設計技術に関する研究 (5)」, 日本建築学会計画系論文集, 第653号, pp.1567-1572, (2010-7)

下田 一太, 佐藤 桂, 溝口 明則, 中川 武:「ラサート・トムを計画軸としたチョック・ガルギヤーの寺院配置 カンボジア, コー・ケー遺跡群の建築史的再考察(その2)」, 日本建築学会計画系論文集, 第657号, pp.2709-2718, (2010-11)

【その他】

青田和也, 溝口 明則:「多宝塔の設計手法について」,

日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.37-38, (2010-9)

米澤 貴紀, 永井 規男, 中川 武, 溝口 明則, 河津 優司, 坂本 忠規, 佐々木 昌, 小岩 正樹, 伏見 唯:「『木砕之注文』における輿について」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.39-40 (2010-9)

佐々木 昌孝, 永井 規男, 中川 武, 溝口 明則, 河津 優司, 坂本 忠規, 小岩 正樹, 米澤 貴紀, 伏見 唯:「『木砕之注文』における枘の寸法について」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.41-42, (2010-9)

小岩 正樹, 永井 規男, 中川 武, 溝口 明則, 河津 優司, 坂本 忠規, 佐々木 昌孝, 米澤 貴紀, 伏見 唯:「『木砕之注文』における多宝塔上重の枝割」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.43-44, (2010-9)

古川 大輔, 中川 武, 溝口 明則, 下田 一太, 佐藤 桂:「バクセイ・チャクロン」の寸法計画(5-1) カンボジアコー・ケー遺跡群に関する研究:5」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.579-580, (2010-9)

島田 麻里子, 中川 武, 溝口 明則, 下田 一太, 佐藤 桂:「チョック・ガルギャーにおける寺院建築の材料と寺院規模の関係について(5-2) カンボジアコー・ケー遺跡群に関する研究(5)」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.581-582, (2010-9)

佐藤 桂, 中川 武, 溝口 明則, 下田 一太:「ガルギャーから発見された標石について(5-3) カンボジアコー・ケー遺跡群に関する研究(5)」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.583-584, (2010-9)

中川 武, 溝口 明則, 下田 一太, 佐藤 桂:「プレア・ヴィヘア寺院をめぐる建築学的課題」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.585-586, (2010-9)

石塚 充雅, 中川 武, 溝口 明則, 下田 一太, 佐藤 桂:「ベン・メアレア寺院の〈宮殿〉と呼ばれる付属建物に関する考察 カンボジア ベン・メアレア遺跡群に関する研究 1」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.591-592, (2010-9)

村岡 知美, 中川 武, 溝口 明則, 下田 一太, 佐藤 桂, 古川 大輔:「ベン・メアレア寺院の周辺建築遺構について(1-2) カンボジア ベン・メアレア遺跡群に関する研究 1」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.593-594, (2010-9)

百瀬 純哉, 中川 武, 溝口 明則, 下田 一太, 佐藤 桂:「ベン・メアレアのメボンより発見された彫像片について(1-3) カンボジア ベン・メアレア遺跡群に関する考察(1)」, 日本建築学会学術講演梗概集 F-2 分冊, pp.595-596, (2010-9)

三浦 彩子

【発表論文】

三浦 彩子, 鈴木 里佳:「明治期の浜松医者屋敷と庭園の建設過程に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第 648 号, pp.437-445, (2010-2)

三浦 彩子, 鈴木 里佳:「明治期浜松の開業医自邸にみる作庭趣味に関する研究」, 生活文化史学会生活文化史, 第 57 号, pp.32-43, (2010-3)

三浦 彩子, 鈴木 里佳:「明治期浜松の内田医院庭園の築庭に関する研究」, 日本造園学会ランドスケープ研究論文集, 第 5 号, pp.355-358, (2010-5)

三浦 彩子, 鈴木 里佳:「日本古典作庭書にみる石組の寸法記述に関する研究-「三尊石組」の寸法規定を例に-」, 日本建築学会計画系論文集, 第 651 号, pp.1317-1323, (2010-5)

三浦 彩子, 鈴木 里佳:「作庭書とその実用的役割に関する研究」, 日本建築学会技術報告集, 第 33 号, pp.785-790, (2010-6)

【著書】

三浦 彩子, 米山 勇, 他 12 名:「日本近代建築大全 東日本編」, 講談社, pp.262-272, (2010-5)

三浦 彩子, 米山 勇, 他 12 名:「日本近代建築大全 西日本編」, 講談社, pp.57-58, pp.86-93, (2010-7)

【その他】

三浦 彩子, 水谷 綾子:「村野藤吾と近畿日本鉄道の建築」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-2, pp.515-516, (2010-9)

三浦 彩子:「愛知用水事業計画の概要, 竹内昭八著をめぐって」, 土木技術社, 第 65 巻第 6 号, pp.43-51, (2010-6)

【学術講演】

三浦 彩子:「禅の庭-建長寺庭園を礎に-」, 第 57 回鎌倉禅研究会, (2010-4)

吉久 光一

【学術論文】

*Y.Okada, K.Yoshihisa and K.Kuno: "Simple calculation model for noise propagation in city street canyons based on a diffusion method", Journal of the Acoustical Science and Technology, Vol.31, No.1, pp.95-101, (2010-1)

【その他】

*鬼頭 秀明, 岡田 恭明, 吉久 光一, 横田 考俊, 岩瀬 昭雄:「長距離伝搬実験による地表面と風の複合影響に関する検討」, 日本音響学会若手研究者交流研究発表会資料集, p.33, (2009-12)

*K.Yamamoto, T.Iwase, K.Fujimoto, K.Yoshihisa, Y.Oshino, S.Sakamoto, Y.Okada, 他 5 名: "Road traffic noise prediction model ASJ RTN-Model 2008": Report

- of the Research Committee on Road Traffic Noise”, Journal of the Acoustical Science and Technology, Vol.31, No.1, pp.2-55, (2010-1)
- * 鈴木 一輝, 鬼頭 秀明, 岡田 恭明, 吉久 光一:「騒音の広域伝搬に及ぼす空気の音響吸収の影響(その5音源のスペクトル特性の違いに着目した数値シミュレーション)」, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第48号, pp.245-248, (2010-2)
 - * 伊藤 卓磨, 今川 和也, 岡田 恭明, 吉久 光一:「高架・平面道路併設部での騒音低減対策に関する検討」, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第48号, pp.249-252, (2010-2)
 - * 間世田 智子, 伊佐 治朗, 岡田 恭明, 吉久 光一:「都市環境騒音の常時観測(8年間の観測データを用いた予備的検討)」, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第48号, pp.253-256, (2010-2)
 - * 岡田 恭明, 今川 和也, 鬼頭 秀明, 吉久 光一:「都市騒音の伝搬に及ぼす空気の音響吸収の影響(線音源および面音源の実効的な大きさに着目した検討)」, 日本音響学会講演論文集, pp.1031-1032, (2010-3)
 - * 岡田 恭明, 吉久 光一, 久野 和宏:「中高層建築物が連担する高架・平面道路併設部における騒音予測」, 音響技術, 第39巻, 第1号, pp.23-27, (2010-3)
 - * T.Iwase, K.Suzuki, T.Kobayashi, K.Yoshihisa and Y.Okada: “Measurement of sound absorption characteristics of porous asphalt pavement and evaluation of noise reduction effect”, Invited paper, Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2010), pp.1-10, CD-ROM, (2010-6)
 - * M.Morinaga, K.Yoshihisa, et al.: “Long-term average evaluation of heavy weapon noise with considering occurrence probability of meteorological conditions”, Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2010), pp.1-8, CD-ROM, (2010-6)
 - * I.Yamamoto, K.Yoshihisa, et al.: “Heavy weapon noise prediction model with considering terrain and meteorological effects”, Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2010), pp.1-9, CD-ROM, (2010-6)
 - * Y.Okada, K.Yoshihisa and T.Iwase: “Effect of atmospheric absorption on aircraft noise propagation during takeoff and landing around airports in the various world regions”, Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2010), pp.1-9, CD-ROM, (2010-6)
 - * 鈴木 温, 松本 幸正, 吉久 光一:「理工学基礎科目の学力向上と技術者専門教育への円滑な移行支援」, 平成22年度工学・工学教育研究講演会後援論文集, pp.249-250, (2010-8)
 - * 鬼頭 秀明, 石川 晴菜, 岡田 恭明, 吉久 光一:「建物上層階への騒音伝搬に及ぼす空気吸収の影響(その1線音源および面音源の実効的な大きさに着目した検討)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.249-250, (2010-9)
 - * 岡田 恭明, 今川 和也, 吉久 光一:「建物上層階への騒音伝搬に及ぼす空気吸収の影響(その2道路交通騒音を想定した検討)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.251-252, (2010-9)
 - * 鬼頭 秀明, 今川 和也, 岡田 恭明, 吉久 光一:「都市騒音の伝搬に及ぼす空気の音響吸収の影響(その2道路交通を想定した音源の実効的な大きさの検討)」, 日本音響学会講演論文集, pp.913-914, (2010-9)
 - * 岡田 恭明, 吉久 光一:「建物上層階への交通騒音伝搬に及ぼす空気吸収の影響(気象タワーの観測データを用いた基礎的研究)」, 日本騒音制御学会研究発表会講演論文集, pp.51-54, (2010-9)
 - * 石川 晴菜, 岡田 恭明, 吉久 光一:「工学分野の基礎となる初等中等教育に関する調査研究」日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.2, (2010-11)
 - * 間世田 智子, 伊佐 治朗, 岡田 恭明, 吉久 光一:「都市環境騒音の常時観測(除外音および天気依存性に関する検討)」, 日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.3, (2010-11)
 - * 鬼頭 秀明, 岡田 恭明, 吉久 光一:「道路交通騒音の伝搬に及ぼす風の影響に関する予備的検討」, 日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.7, (2010-11)
 - * 今川 和也, 岡田 恭明, 吉久 光一:「道路一般部を走行する自動車の発生騒音パワーレベルの測定」, 日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.8, (2010-11)
- 岡田 恭明**
【学術論文】
- * Y.Okada, K.Yoshihisa and K.Kuno: “Simple calculation model for noise propagation in city street canyons based on a diffusion method”, Journal of the Acoustical Science and Technology, Vol.31, No.1, pp.95-101, (2010-1)

【その他】

- * 鬼頭 秀明, 岡田 恭明, 吉久 光一, 横田 考俊, 岩瀬 昭雄:「長距離伝搬実験による地表面と風の複合影響に関する検討」, 日本音響学会若手研究者交流研究発表会資料集, p.33, (2009-12)
- * K.Yamamoto, T.Iwase, K.Fujimoto, K.Yoshihisa, Y.Oshino, S.Sakamoto, Y.Okada, 他5名:“Road traffic noise prediction model ASJ RTN-Model 2008”: Report of the Research Committee on Road Traffic Noise”, Journal of the Acoustical Science and Technology, Vol.31, No.1, pp.2-55, (2010-1)
- * 鈴木 一輝, 鬼頭 秀明, 岡田 恭明, 吉久 光一:「騒音の広域伝搬に及ぼす空気の音響吸収の影響(その5音源のスペクトル特性の違いに着目した数値シミュレーション)」, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第48号, pp.245-248, (2010-2)
- * 伊藤 卓磨, 今川 和也, 岡田 恭明, 吉久 光一:「高架・平面道路併設部での騒音低減対策に関する検討」, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第48号, pp.249-252, (2010-2)
- * 問世田 智子, 伊佐 治朗, 岡田 恭明, 吉久 光一:「都市環境騒音の常時観測(8年間の観測データを用いた予備的検討)」, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第48号, pp.253-256, (2010-2)
- * 岡田 恭明, 今川 和也, 鬼頭 秀明, 吉久 光一:「都市騒音の伝搬に及ぼす空気の音響吸収の影響(線音源および面音源の実効的な大きさに着目した検討)」, 日本音響学会講演論文集, pp.1031-1032, (2010-3)
- * 岡田 恭明, 吉久 光一, 久野 和宏:「中高層建築物が連担する高架・平面道路併設部における騒音予測」, 音響技術, 第39巻, 第1号, pp.23-27, (2010-3)
- * T.Iwase, K.Suzuki, T.Kobayashi, K.Yoshihisa and Y.Okada:“Measurement of sound absorption characteristics of porous asphalt pavement and evaluation of noise reduction effect”, Invited paper, Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2010), pp.1-10, CD-ROM, (2010-6)
- * Y.Okada, K.Yoshihisa and T.Iwase:“Effect of atmospheric absorption on aircraft noise propagation during takeoff and landing around airports in the various world regions”, Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2010), pp.1-9, CD-ROM, (2010-6)
- * 鬼頭 秀明, 石川 晴菜, 岡田 恭明, 吉久 光一:「建物上層階への騒音伝搬に及ぼす空気吸収の影響(その1線音源および面音源の実効的な大きさに着目した検討)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.249-250, (2010-9)
- * 岡田 恭明, 今川 和也, 吉久 光一:「建物上層階への騒音伝搬に及ぼす空気吸収の影響(その2道路交通騒音を想定した検討)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.251-252, (2010-9)
- * 鬼頭 秀明, 今川 和也, 岡田 恭明, 吉久 光一:「都市騒音の伝搬に及ぼす空気の音響吸収の影響(その2道路交通を想定した音源の実効的な大きさの検討)」, 日本音響学会講演論文集, pp.913-914, (2010-9)
- * 岩瀬 昭雄, 上田 麻理, 植田 知孝, 岡田 恭明, 田近 輝俊, 福島 昭則:「道路騒音対策のあゆみからみた静音車両の影響について」, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.1-4, (2010-9)
- * 岡田 恭明, 吉久 光一:「建物上層階への交通騒音伝搬に及ぼす空気吸収の影響(気象タワーの観測データを用いた基礎的研究)」, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.51-54, (2010-9)
- * 石川 晴菜, 岡田 恭明, 吉久 光一:「工学分野の基礎となる初等中等教育に関する調査研究」日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.2, (2010-11)
- * 問世田 智子, 伊佐 治朗, 岡田 恭明, 吉久 光一:「都市環境騒音の常時観測(除外音および天気依存性に関する検討)」, 日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.3, (2010-11)
- * 鬼頭 秀明, 岡田 恭明, 吉久 光一:「道路交通騒音の伝搬に及ぼす風の影響に関する予備的検討」, 日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.7, (2010-11)
- * 今川 和也, 岡田 恭明, 吉久 光一:「道路一般部を走行する自動車の発生騒音パワーレベルの測定」, 日本音響学会東海支部 建築音響, 騒音・振動関連若手研究発表会資料, p.8, (2010-11)

吉永 美香

【学術論文】

- * E.Yandri, H.Yoshida, N.Miura, T.Fujisawa, M.Yoshinaga:“PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC AND THERMAL (PV/T) COLLECTOR”, Renewable Ebergy 2010, Yokohama, Japan, CD-ROM (4 pages), (2010-06)
- * M.Yoshinaga, R.Mizuno:“ACCURATE MEASUREMENTS OF ENERGY BALANCE OF THIN GREEN ROOFS”, Renewable Ebergy 2010, Yokohama, Japan, CD-ROM (4 pages), (2010-06)

【その他】

- * 吉永 美香, 清水 良太:「遮熱瓦による冷房熱負荷低減効果の検討－2009年夏期実証試験及びシミュレーション効果－」, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, pp.23-26, (2010-3)
- * 小林 愛里, 吉永 美香:「戸建て住宅の窓開け換気による冷房熱負荷削減効果の検証」, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, pp.65-68, (2010-3)
- * 加藤 和幸, 清水 敏春, 奥宮 正哉, 篠田 拓也, 田中英紀, 吉永 美香:「太陽熱を利用した高効率ガス空調システムの実証研究(第一報) 運用開始時点における暖房運転の実測結果」 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, pp.149-152, (2010-3)
- * 篠田 拓也, 加藤 和幸, 田中英紀, 吉永 美香, 奥宮 正哉:「業務用建物における太陽熱利用給湯・空調システムのシミュレーションに関する研究 第1報 暖房システムのモデルの開発と試算結果」, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1919-1923, (2010-9)
- * 吉永 美香:「ルーフポンドによる冷房熱負荷削減効果の検討－TRNSYSによるルーフポンドモデルの構築とRC戸建住宅への導入効果の試算－」, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.241-244, (2010-9)
- * 加藤 和幸, 清水 敏春, 奥宮 正哉, 篠田 拓也, 田中英紀, 吉永 美香:「太陽熱利用によるガス空調システムの実証研究(第一報) 暖房運転の実測及び解析結果」, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.2075-2079, (2010-9)
- * 吉永 美香:「ルーフポンドによる屋根貫流熱負荷低減効果の検証」, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.105-108, (2010-9)
- * 白井 健人, 吉永 美香:「遮熱瓦による野地板の結露抑制効果の検討」, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.253-256, (2010-9)
- * 神山 拓也, 吉永 美香, 前多 敬一郎, 山内 章:「クズを用いた緑化による被覆度と畜舎内温度上昇抑制効果の定量的関係」, 日本作物学会紀事別号(講演会要旨・資料集) Vol.229, pp.44, (2010-9)
- * 神山 拓也, 森江 昌利, 岡田 晃周, 福田 顕二, 吉永 美香, 前多 敬一郎, 山内 章:「土壌水分条件がクズの蒸散および日射遮蔽効果を通じた緑化機能に及ぼす影響の評価」, 第33回根研究集会, (2010)

寺西 浩司

【著書】

谷川 恭雄, 寺西 浩司, 平岩 陸, 他:「骨材の試験方法」および「硬化コンクリートの強度および弾性係数試験法方法」, 『やさしい構造材料実験』, 第5章および8章, pp.56-72 および 97-111, 森北出版, (2010.4)

【学術論文】

寺西 浩司, 山田 一徳:「乾燥収縮するコンクリート壁部材の拘束度分布に関する研究」, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.653, pp.1181-1188, (2010.7)

永井 伴英, 寺西 浩司:「超高強度PCa柱に先付けされたタイルの変形追従性および剥離抵抗性」, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1259-1264, (2010.7)

【その他】

- 寺西 浩司:「地域に根ざしたコンクリート技術 2.4 中部地方のコンクリート事情」, コンクリート工学, Vol.48, No.1, pp.28-30, (2010.1)
- * 永井 伴英, 寺西 浩司, 櫻井 友美子, 吉永 美香:「自律発汗機能を付与した壁仕上げ用モルタルに関する研究」, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.48, pp.1-4, (2010.2)
- 永井 伴英, 寺西 浩司:「超高強度PCa部材に先付けされたタイルの変形追従性能に関する研究」, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.48, pp.5-8, (2010.2)
- 寺西 浩司, 清水 厚年, 千田 真大, 谷川 恭雄:「骨材の粒度分布からの実積率の推定方法」, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.48, pp.65-68, (2010.2)
- 寺西 浩司, 谷川 恭雄:「骨材の粒度分布が実積率に及ぼす影響の推定」, 名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.57-60, (2010.3)
- K.Teranishi: "Prediction Equation of Drying Shrinkage of Concrete", Proceedings of the 7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vol.2, pp.760-765, (2010.5)
- 日比野 和樹, 寺西 浩司, 永井 伴英:「先付けタイルの変形追従性および剥離抵抗性」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.381-382, (2010.9)
- 永井 伴英, 寺西 浩司, 日比野 和樹, 佐々木 仁, 添田 智美, 石川 靖晃:「外装タイルの変形・剥離挙動のFEM解析」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.403-404, (2010.9)
- 野中 寛之, 寺西 浩司, 谷川 恭雄:「骨材の粒形が実積率およびフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.601-602, (2010.9)
- 齊藤 和秀, 小林 竜平, 丸山 一平, 寺西 浩司:「骨材量と骨材寸法がコンクリートの乾燥収縮に与える影

響], 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.915-916, (2010.9)

寺西 浩司:「骨材がコンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす影響(その1. 実験計画および実験結果)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.929-930, (2010.9)

樋口 優香, 寺西 浩司:「骨材がコンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす影響(その2. コンクリートの乾燥収縮ひずみとの関係の検討)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.931-932, (2010.9)

大内 千彦, 寺西 浩司, 立松 和彦, 谷川 恭雄:「載荷面の摩擦を軽減させたコンクリートの圧縮強度試験で得られる変形特異点に関する一考察」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.1221-1222, (2010.9)

平岩 陸

【著書】

谷川 恭雄, 青木 孝義, 河辺 伸二, 黒川 善幸, 寺西 浩司, 畑中 重光, 平岩 陸, 丸山 一平, 三島 直生, 山田 和夫, 山本 貴正, 渡辺 健治: やさしい構造材料実験, 森北出版株式会社, 担当 pp.161-170, (2010.4)

【学術論文】

平岩 陸, 谷川 恭雄: セメントの水和進展に伴うセメント硬化体の強度増進に関する解析的研究, セメント・コンクリート論文集, No.63, pp.91-98, (2010.2)

平岩 陸, 遠藤 大樹: 粘弾塑性サスペンション要素法によるコンクリートの収縮解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.401-406, (2010.7)

【その他】

平岩 陸, 谷川 恭雄, 遠藤 大樹, 伊藤 太郎: 粘弾塑性サスペンション要素法によるコンクリートの乾燥収縮シミュレーション, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.48, pp.45-48, (2010.2)

T.Hirawia, Y.Tanigawa: Fracture Simulation of Fiber Reinforced Concrete by Visco-Elasto-Plastic Suspension Element Method, Fracture Mechanics of Concrete Structures 7, pp.1393-1400, (2010.5)

平岩 陸, 伊藤 太郎: 粘弾塑性サスペンション要素法によるコンクリートの乾燥収縮解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), A-1, pp.939-940, (2010.9)

松井 徹哉

【著書】

松井 徹哉ほか:「容器構造設計指針・同解説」, 日本建築学会, 全 355 ページ, 共著(pp.320-330 を分担), (2010-3)

【その他】

松井 徹哉:「振動実験による視覚化地震防災教育の試み」, 名城大学理工学部研究報告, 第 50 号, pp.90-97, (2010-3)

永谷 隆志, 松井 徹哉:「シングルデッキ型浮屋根を有する円筒液体貯槽模型のスロッシング実験」, 名城大学総合研究所総合学術研究論文集, 第 9 号, pp.113-120, (2010-3)

松井 徹哉, 中藤 豊, 永谷 隆志:「シングルデッキ型浮屋根を有する円筒液体貯槽模型のスロッシング実験-その1. 実験方法-」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.381-382, (2010-9)

中藤 豊, 松井 徹哉, 永谷 隆志:「シングルデッキ型浮屋根を有する円筒液体貯槽模型のスロッシング実験-その2. 中規模貯槽想定実験-」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.383-384, (2010-9)

永谷 隆志, 松井 徹哉, 中藤 豊:「シングルデッキ型浮屋根を有する円筒液体貯槽模型のスロッシング実験-その3. 大規模貯槽想定実験-」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.385-386, (2010-9)

永谷 隆志, 松井 徹哉:「シングルデッキ型浮屋根を有する円筒液体貯槽模型の地震時スロッシング実験」, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2640-2647, (2010-11)

永谷 隆志, 松井 徹哉:「解析解と有限要素法の結合解法による浮屋根式円筒液体貯槽の非線形スロッシング解析」, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2648-2655, (2010-11)

立川 剛

【その他】

平光 悟, 立川 剛, 宿里 勝信, 矢尾 誠, 山田 正作「混合境界値問題として D.G.C の解析解とその数値解の一定式化について」日本建築学会東海支部研究報告集 第 48 号, pp.213-216, (2010-2)

村田 賢

【著書】

村田 賢,「SPACE で学ぶ構造力学 静的解析編」, Web 版, 全 360 ページ, (2010-4)

【学術論文】

日置 興一郎, 村田 賢,「等分布荷重を受ける異方性長方形断面梁の平面応力状態解の古典理論解からの誘導」, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 656 号, pp.1837-1845, (2010-10)

【その他】

村田 賢, 武藤 厚, ほか:「3次元骨組解析システム "SPACE" の機能拡張に関する検討(その1 鉄筋コン

クリート構造弾塑性解析機能の組込み)], 名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.1-4, (2010-3)

武藤 厚, 村田 賢, ほか:「3次元骨組解析システム"SPACE"の機能拡張に関する検討(その2 鉄筋コンクリート骨組の静的・動的挙動の評価)], 名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.5-8, (2010-3)

村田 賢: 第9回・新「シェル・空間構造セミナー」－設計への計算機の応用と解析上の留意点－テキスト(共著), 日本建築学会, シェル・空間構造運営委員会, (2010-7)

武藤 厚

【学術論文】

Atsushi MUTOH, Evaluation of Nonlinear Behavior of Historical Masonry Structures Subjected to Wind Load by FE Analysis, The 10-th International Conference on Computational Structures Technology, Civil-Comp Press (UK), Paper 349 (Ext.Abst.), (CD-ROM, total 8 pages), (2010-9)

Atsushi MUTOH, Makoto TAKAYAMA, Kazuhiko MASHITA and Shiro KATO, Study on Nonlinear Vibration Characteristics of Reinforced Concrete Circular Arches by Vibration Tests and Simulations, IASS, 2010, (CD-ROM, total 8 pages), (2010-11)

Atsushi MUTOH, Daisuke MAEDA and Mutsuro SASAKI, Evaluation of Nonlinear Behavior of Reinforced Concrete Free-Curved Shells Proposed in Recent Years, IASS, 2010, (CD-ROM, total 10 pages), (2010-11)

Shiro KATO, Ryo HARA, Shoji NAKAZAWA, Takashi HARA, Atsushi MUTO, Computational Morphogenesis and Its Application to Structural Design, IASS, 2010, (CD-ROM, total 12 pages), (2010-11)

【その他】

武藤 厚: 第9回・新「シェル・空間構造セミナー」－設計への計算機の応用と解析上の留意点－テキスト(共著), 日本建築学会, シェル・空間構造運営委員会, pp.47-54, (2010-7)

齋藤 太士, 前田 大介, 武藤 厚:「RC曲面構造における複合非線形挙動の予測に関する試み(その6 2方向曲率を有する高精度な型枠を目指した実験への試み)], 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.723-724, (2010-9)

原 亮, 加藤 史郎, 武藤 厚:「鉄筋コンクリートアーチの耐力特性に関する解析的分析], 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.727-728, (2010-9)

加賀野 勝貴, 武藤 厚:「合掌造の構造特性の評価に関する研究(その3 縮小模型実験による小屋組の振

動特性の評価)], 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.571-572, (2010-9)

武藤 厚, 前田 大介, ほか:「動的外乱を受ける鉄筋コンクリートアーチの非線形挙動の評価について], 名城大学総合研究所・総合学術研究論文集, No.9, pp.105-112, (2010-3)

村田 賢, 武藤 厚, ほか:「3次元骨組解析システム"SPACE"の機能拡張に関する検討(その1 鉄筋コンクリート構造弾塑性解析機能の組込み)], 名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.1-4, (2010-3)

武藤 厚, 村田 賢, ほか:「3次元骨組解析システム"SPACE"の機能拡張に関する検討(その2 鉄筋コンクリート骨組の静的・動的挙動の評価)], 名城大学総合研究所紀要, No.15, pp.5-8, (2010-3)

大塚 貴弘

【その他】

Takahiro Ohtsuka, Shojiro Motoyui:「Analytical Evaluation for Local Buckling Behavior of Steel Framed Structures], Seventh CUEE and Fifth ICEE Joint Conference, CD-ROM, (2010-3)

Takahiro Ohtsuka, Shojiro Motoyui:「Analytical Evaluation for Local and Overall Buckling Behavior of Square Steel Tube Truss Members], The Tenth International Conference on Computational Structures Technology (CST2010), CD-ROM, (2010-9)

舟橋 和毅, 大塚 貴弘, 元結 正次郎:「閉断面部材を対象とした全体および局部座屈を考慮したトラス要素モデル その1 角形鋼管トラス要素モデル], 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.279-280, (2010-9)

大塚 貴弘, 元結 正次郎:「閉断面部材を対象とした全体および局部座屈を考慮したトラス要素モデル その2 円形鋼管トラス要素モデル], 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.281-282, (2010-9)

教養教育学科

長澤 崇雄

【著書】

長澤 崇雄：『アクセス独和辞典第3版』（在問進編集責任，編集執筆者長澤崇雄他44名），全2122頁，三修社，（2010-4）

鈴木 茂廣

【その他】

鈴木 茂廣：「森林ウォーキング～人の心と健康に影響を与える森林の効果～」，刈谷市総合文化センター名城大学連携講座，（2010-7）

中山 章宏

【著書】

【学術論文】

A.Nakayama, "Meandering instability in two-dimensional optimal velocity model for collective motion of self-propelled particles", *Physical Review E* 82, 031123, 1-7, (2010).

【その他】

A.Nakayama, "Meandering Motion of Self-propelled Particles", *Conference on Computational Physics 2010* (Jun.23-26 2010 Trondheim, Norway).

A.Nakayama, "Spontaneous formation of a meander in collective motion of organisms", *Physics Meets Biology 2010*, (Sep.1-3 2010 Oxford, UK).

土屋 文

【学術論文】

B.Tsuchiya, R.Sahara, M.Oku, K.Konashi S.Nagata, T.Shikama, H.Mizuseki and Y.Kawazoe: "Correlation Between Microhardness and Electronic Charge Density of Hafnium Hydrides", *J.Alloys Comp.*, 489, pp.685-688, (2010-1)

B.Tsuchiya, A.Moroño, E.R.Hodgson, S.Nagata and T.Shikama: "Radiation-induced Changes in Electrical and Proton Conductivities of $BaCe_{0.9}Y_{0.1}O_{3-\delta}$ upon Irradiation by Electron Beams", *Solid State Ionics*, 181, pp.92-96, (2010-3)

森田 健治, 土屋 文: 常温空気水蒸気から水素を吸収貯蔵する金属・酸化物二層複合材料の環境調和型水素製造システム, 名城大学理工学部研究報告, No.50, pp.114-119, (2010-3)

B.Tsuchiya, A.Moroño, E.R.Hodgson, S.Nagata and T.Shikama: "Effects of Ionization on Migration of Hydrogen Doped into $BaCe_{0.9}Y_{0.1}O_{3-\delta}$ ", *Solid State*

Ionics, 181, pp.138-141, (2010-4)

森田 健治, 土屋 文: 「MeV イオンビーム分析による常温の空気水蒸気から水素を吸蔵する環境調和型金属・酸化物複合材料の研究」, *ISOTOPE NEWS*, Vol.4, No.672, pp.7-13, (2010-4)

H.Katsui, S.Nagata, B.Tsuchiya, and T.Shikama: "Study on Damage Accumulation in $LiAlO_2$ Single Crystal Irradiated with Deuterium and Helium Ions by Ion-channeling", *Nucl.Instr.and Meth.in Phys.Res.*, B 268, pp.3076-3079, (2010-9)

B.Tsuchiya, S.Nagata, K.Saito and T.Shikama: "Radiation-induced Phenomena Related to Electrical Properties of Hydrogen-doped Strontium-cerium-ytterbium Oxides under Reactor Irradiation", *Nucl.Instr.and Meth.in Phys.Res.*, B 268, pp.3076-3079, (2010-10)

S.Nagata, H.Katsui, K.Takahiro, B.Tsuchiya and T.Shikama: "Radiation-induced luminescence of PET and PEN films under MeV ion and pulsed UV laser irradiation", *Nucl.Instr.and Meth.in Phys.Res.*, B 268, pp.3099-3102, (2010-10)

S.Nagata, H.Fujita, A.Inouye, S.Yamamoto, B.Tsuchiya and T.Shikama: "Ion Irradiation Effects on The Optical Properties of Tungsten Oxide Films", *Nucl.Instr.and Meth.in Phys.Res.*, B 268, pp.3151-3154, (2010-10)

【その他】

* 土屋 文, 森田 健治, 永田 晋二, 斉藤 今朝美, 四竈 樹男: 「空気水蒸気から水素を吸収・貯蔵する $Pt/Li_2ZrO_3/Pt$ 複合材料の吸蔵・放出特性の最新データ」, 環境調和型水素生成原理の実用化研究会, 招待講演, (2010-3)

土屋 文, 永田 晋二, 四竈 樹男, 野澤 貴史: 「BA 活動における SiC/SiC 複合材料の第1フェーズ研究開発: SiC の電気伝導特性に及ぼす動的照射効果に関する研究」, 第8回核融合エネルギー連合講演会, CD-ROM, (2010-6)

B.Tsuchiya, S.Nagata, K.Saito and T.Shikama: "Dynamic Absorption Behavior of Hydrogen within Perfluorosulfonic Acid Polymer Electrolyte Membranes during Exposure to Water Vapor", *15th Int.Conf.on Solid State Proton Conductors*, pp.48, (2010-8)

土屋 文, 永田 晋二, 斉藤 今朝美, 山崎 正徳, 鳴井 実, 四竈 樹男: 「セラミックス材料の電気特性に対する動的照射誘起効果」, 大洗研究会, CD-ROM, (2010-9)

*土屋 文, 森田 健治, 且井 宏和, 永田 晋二, 斉藤 今朝美, 四竈 樹男:「リチウム酸化物セラミックスの水素吸収および放出特性」, 日本金属学会秋季大会第147回講演会予稿集, pp.198, (2010-9)

B.Tsuchiya, T.Shikama, S.Nagata, K.Saito, S.Yamamoto, S.Ohnishi and T.Nozaawa:「Radiation induced changes in electrical conductivity of chemical vapor deposited silicon carbides under fast neutron and gamma-ray irradiations」, 26th Symp.on Fusion Technology, CD-ROM, (2010-9)

神藤 定生

【学術論文】

K.Sakka, Y.Sugihara, S.Jindou, M.Sakka, M.Inagaki, K.Sakka, and T.Kimura: "Analysis of Cohesin-Dockerin Interactions Using Mutant Dockerin Proteins", FEMS Microbiology Letters, Accepted, (2010-10)

M.T.Rincon, B.Dassa, H.J.Flint, A.J.Travis, S.Jindou, I.Borovok, R.Lamed, E.A.Bayer, B.Henrissat, P.M.Coutinho, D.A.Antonopoulos, M.E.Berg Miller, and B.A.White: "Abundance and Diversity of Dockerin-Containing Proteins in the Fiber-Degrading Rumen Bacterium, *Ruminococcus flavefaciens* FD-1", PLoS One, Vol.5 pp.e12476 (1-9), (2010-8)

H.K.Raifer, S.Jindou, L.Bahari, Y.Nataf, Y.Shoham, E.A.Bayer, I.Borovok, and R.Lamed: "The unique set of putative membrane-associated anti- σ factors in *Clostridium thermocellum* suggests a novel extracellular carbohydrate-sensing mechanism involved in gene regulation", FEMS Microbiology Letters, Vol.308, No.1, pp.84-93, (2010-7)

S.Petkun, S.Jindou, L.J.W.Shimon, S.Rosenheck, E.A.Bayer, R.Lamed, and F.Frolow: "Structure of a family 3b' carbohydrate-binding module from the Cel9V glycoside hydrolase from *Clostridium thermocellum*. Implication for diversity and function", Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography, Vol.66, pp.33-43, (2010-1)

景山 伯春

【学術論文】

H.Kageyama, H.Ueda, T.Teizuka, A.Ogasawara, T.Kageyama, and M.Ichinose: "Differences in the P1' substrate specificities of pepsin A and chymosin", Journal of Biochemistry, Vol.147, No.2, pp.167-174, (2010-5)

名城大学理工学部研究報告投稿内規

(昭和39年 11月)
(昭和49年 10月 4日改正)
(昭和53年 6月22日改正)
(昭和54年 10月11日改正)
(平成 4年 3月10日改正承認)
(平成13年 3月12日改正)
(平成17年 10月20日改正)
(平成19年 6月 26日改正)

1. 投稿者の資格及び投稿の種類・内容について

1. 1. 研究報告への発表は、本学部の教授、准教授、講師、助教、助手、その他委員会が認めたものとする。
なお、大学院生および研究員の発表は、指導教員との連名を原則とする。
1. 2. 理工学部研究報告の構成は、招待論文・論文・資料・寄書・総説・その他とする。
1. 3. 投稿の内容は次の区分による。
 - イ. 論文 理工学部に関係のある分野の研究結果で、独創的な理論・新しい現象の実験報告あるいはその解釈、新しい機器・部品・材料の報告、施設その他の設計あるいは計画法・測定法の提案または測定器の試作報告、ならびに従来不完全であった理論や実験の補充・拡張、従来の諸説などを整理して系統づけたものなどで、客観性が高く確実であるものとする。ページ数は、図面、表、写真を含め1編刷上り8ページを超えないことを原則とするが、編集委員会の承認を得ることによりこれを超えることも出来る。
 - ロ. 招待論文 編集委員会の依頼によるもので、取り扱いと同委員会が定める。
 - ハ. 資料 設計資料・既設計画資料・施設整備・機器・部品・材料の試験報告、あるいは経験事項の報告等である。ページ数の制限は論文と同じ。
 - ニ. 寄書 論文・資料と同様な内容に関したことで、十分にまとまっていないもの、研究速報的なものまたは理工学部関係の教育研究に関するものとする。ページ数は、1編刷上り4ページを超えないことを原則とする。
 - ホ. 総説
 - ト. その他 理工学部関係のニュース・研究年表的なもの等、ページ数の制限は寄書と同じ。
1. 4. 他の書籍・雑誌・機関紙等に、すでに発表されたもの、または投稿中のものは原則として受理されない。

2. 投稿された原稿の処理について

2. 1. 投稿者は作成した電子化ファイルと A4 版で出力したコピー 1 部を論文・資料・寄書の別を明記し、所属学科を経て編集委員会に提出する。投稿者は、現行の控を手元に保存しなければならない。
2. 2. 編集委員会は、原稿を受け付けた日付を本文末尾に記入する。
2. 3. 投稿された原稿について査読を行う。査読の方法は編集委員会が定める。
2. 4. 編集委員会は査読の結果に基づき、次のいずれかに決定する。
 - イ. 採録する。
 - ロ. 軽微な修正を求めた上で採録する。(原稿中の字句について、文意を変えない程度の加除修正を行って採録する)
 - ハ. 投稿者に照会して、回答を求めた上、採否を決定する。
 - ニ. 採録しない。
2. 5. 採録された原稿は返却しない。原稿に誤り、または不明の点がある場合は、投稿者に修正を求める。掲載することが不相当と認められる場合は原稿を返却する。
2. 6. 招待論文等の扱いは、その都度編集委員会が定める。

投稿内規細則

(平成 4 年 3月10日承認)

(平成 13 年 6月 4日改正)

(平成 17 年 9月22日改正)

(平成 18 年 9月14日改正)

(平成 19 年 6月26日改正)

1. 執筆の注意事項

1. 1. 原稿の体裁は、次の構成を標準とする。

イ. **標題** 一見して内容がよくわかるような、各々 20 語程度までの日欧両文によるもの。

ロ. **Abstract** 研究のねらいと方法、およびその結果を簡単明瞭に表した 500 語以内のものを、欧文で記述する。
ただし、本文が欧文のときは、これを適用しない。

ハ. **緒論** 研究分野における位置づけおよび歴史的背景を述べたもの。

ニ. **本論** 簡潔にして適格に整理されたことにより、要点を有効に読者に伝えるように書いたもの。

ホ. **結論** 結論と今後の課題について触れたもの。

ヘ. **付録** 本論中に省略した数式の証明、その他の補足のためのもの。

ト. **文献** その研究内容に直接関係のあるもの。なお、寄書の体裁は Abstract・緒論・結論などを省略する。

1. 2. 原稿には、イ. 日欧両文による標題 ロ. 論文・資料・寄書の区別 ハ. 執筆者氏名（日欧） ニ. 所属（日欧）を記載する。

1. 3. 邦文はなるべく現代かなづかい、当用漢字を使用し、以下の注意に従う。

イ. 外国の地名・人名・固有の名詞などは、原語またはカタカナを使用する。

ロ. 数字は、原則としてアラビア文字を使用する。

1. 4. 文献の引用は、学会の研究報告誌に準ずることを原則とする。

名城大学理工学部研究報告掲載発表論文題目原稿作成要領

1. 範囲

2010年1月1日より2010年12月31日までに公開された著書、学会誌掲載論文、講演大会その他の口頭発表、各種研究発表会、一般雑誌への発表その他のもの。ただし、2009年に公開された論文で、発刊が遅れて第50号に掲載できなかったものに関しては本年分に入れること。

2. 記載形式

1) 著書：著者氏名：「題名」、出版者名、(発行年月)

例 名古屋太郎、天白次郎：「理工学の研究」、名城出版、(2010-3)

2) 学術論文：著者氏名：「題名」、雑誌名、巻、号、ページ、(発表年月)

例 東海三郎、八事四郎：「電気機械に関する研究－工学機械の研究その1－」、
理工学会誌、13巻、6号、p.108、(2010-6)

東海三郎、八事四郎：「電気機械に関する研究－工学機械の研究その2－」、
理工学会誌、13巻、8号、pp.110～115、(2010-8)

(注1) 掲載論文通りの順序を原則とする。本学以外の共著者も記載のこと。

(注2) 副題のある場合には副題も掲載のこと。

3) その他：発表者名：「題名」、発表会名、巻、号、ページ、(発表年月)

例 東京五郎、豊橋六郎：「機械工学と交通機械技術工学の発展について」、
土木建築学会春季講演大会、13巻、10号、p.23、(2010-4)

4) 外国語で発表された場合は、その分野の国際的慣例に従うこととする。

備考：1. 各学科、同一著者ごとに出来るだけまとめられたい。

2. 疑問、不明の場合には各学科の編集委員に問合せされたい。

3. 配列

見出しを著書、学術論文、その他に分け、その中を発表年月日の古いものから順に並べる。また、番号は付けない。

4. 環境関連論文について 発表論文の先頭に「*」をつけて区別する。

5. 原稿の提出締切日について

2010年11月19日(金)までに学科編集委員へご提出ください。

6. 原稿は電子化ファイルあるいは電子メールとする。

7. メールで送付するフォーマットに被せていただければ、うまく作成できる。

8. 原稿は、Wordを使い、フォントはMS明朝9にして下さい。

平成 22 年度研究報告編集委員会名簿

数 学 科	北 岡 良 之
情 報 工 学 科	山 本 修 身
電 気 電 子 工 学 科	飯 岡 大 輔
材 料 機 能 工 学 科	竹 内 哲 也
機 械 シ ス テ ム 工 学 科	ペ ト ロ ス ・ ア ブ ラ ハ
交 通 科 学 科	奥 出 宗 重
建 設 シ ス テ ム 工 学 科	松 井 寛
環 境 創 造 学 科	杉 山 秋 博
建 築 学 科	村 田 賢
委員長 教 養 教 育	高 倍 昭 洋
編 集 事 務 担 当	日 高 輝 雄

名城
大学 理工学部 研究報告第 51 号 (通卷)

平成 23 年 3 月 31 日 制 作

平成 23 年 3 月 31 日 発 行

編 集 兼
発 行 者 名 城 大 学 理 工 学 部

名古屋市天白区塩釜口 1 丁目 5 0 1 番地

郵便番号 468 - 8502 電話 (052) 838 - 2053

制 作 新 日 本 印 刷 株 式 会 社

名古屋市天白区中砂町 4 9 6

電話代表 (052) 832 - 6 8 5 1 〒 468-0065

<http://wwwrr.meijo-u.ac.jp/riko2011/index.html>

に掲載してありますので、ご利用下さい。