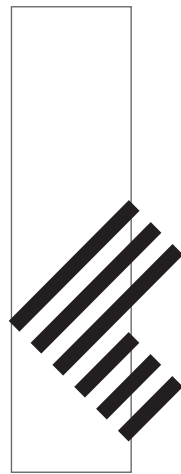


工学院大学
総合研究所年報

第18号 2010年度



平成23年7月発行

工学院大学総合研究所

RESEARCH INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
KOGAKUIN UNIVERSITY



ポール・ミクレアのこと

学長 水野 明哲

ポールと知り合ったのは、たぶん 1990 年代の前半、いまから 20 年ほど前ではなかったかと思う。トンネルの換気、制御、安全などのテーマで、ヨーロッパを中心に毎年のように国際会議が開催され、頻繁に参加していた。何回かの会議で会って、顔と名前は分かる程度の知り合いの一人であった。2001 年 4 月のこと、マドリッドで開催されたトンネルの安全国際会議に参加した折、軽いおつまみと飲み物が出るレセプションでたまたま隣り合わせになったポールと「やあ」と声を掛け合った。私は彼のことを、カリフォルニアのオークランドにあるコンサルタント会社の人、という程度にしか知らなかった。年は私より 10 年ほど上か。私が「どちらのご出身ですか」と聞いたのかもしれない、彼は身の上話を始めた。『実は私はルーマニアの出身なんだ。エンジニアとして働き、妻と二人の子供があったが、共産党政権下の独裁体制で、自由が奪われ強い不満を持っていた。』そういえば、独裁者チャウシェスクが処刑されてから 10 年余りが経っていたことに気付いた。『なんとかルーマニアから脱出したいと機会をうかがっていて、ようやく亡命に成功した。妻と子供一人は連れ出すことができたが、もう一人の子はルーマニアに残すことになった。大変心配であったが、一年後によりやく合流できた。』命からがらの逃避行を淡々と語るのであった。

それから数年後に会った時には、女性を同伴していて、『その後妻を亡くした。しばらく一人暮らしをしていたが、パリで幼馴染と会った。彼女はフランス人の医師と結婚して長年パリに暮らしていたが、夫に先立たれた。それで再婚することにしたんだ。それがこのルチアなんだ。』と。『彼女はアメリカに来てしばらく経つが、英語がうまくならず、家にこもりがちなんだ。』とも言った。フランス語の方が自由になるようであった。家庭では母国語のルーマニア語をしゃべっているのだろう。

2006 年 4 月、ポールとルチアは日本へ観光旅行に来た。一緒に東京を歩いたり、日本食を共にしたりした。日本をエンジョイして帰ってくれたことだろう。同年 7 月にはスロベニアで開催された会議でポールにあったが、その時ルーマニアに里帰りをした、と言っていたような気がするが記憶は定かではない。

今年の 5 月にスコットランドのダンディーで 5 年ぶりに会ったポールは少し年を取ったような気がした。『お前は今のところ忙しそうだね。』と慰めてくれた。ルチアはいなかった。『今回は留守番だ。いまだ彼女は英語で苦勞しているよ。』とのこと。

海外での研究発表は、自分の成果を発表したり、情報交換することも大切であるが、さまざまな人たちと親しくなれる貴重な場でもある。私はずいぶん前から国際学会参加が病み付きになった理由もそこにあるのかもしれない。『Hi, Akisato!』と言ってくれる友人たちを持てたことを幸せに思っている。



総合研究所の役割

総合研究所 所長 小野幸子

本年報は平成 22 年度に研究期間を終了したプロジェクト研究（学内外の研究者グループによる研究活動助成）と、23 年度以降も継続するプロジェクト研究，ならびに 22 年度に実施された一般研究（学内の個人研究助成）の成果を報告するものです。これらは本学独自の研究支援体制による研究助成であり，研究活動の活性化を目的として継続的に推進されてきた総合研究所の研究振興策のひとつです。

1994 年に設立された総合研究所の設立目的は次のように謳われています。「科学技術の基礎及び応用，ならびにこれらが直面する人間文化的側面に関する特色ある研究を行うと共に，その研究に基づいて本学の教育の向上に資し，本学研究者を主体とした産学共同研究をも推進する。また，その研究成果を社会に還元する」。この理念の下に運営される本研究所において，その任務は文部科学省からの私学助成を受けた複数のセンターの運営を始め，科学研究費補助金，CREST，NEDO などの公的外部資金，あるいは私的な外部からの補助金や共同研究，プロジェクト研究，指定寄付，に関わる業務，知的財産権の申請・管理や産学連携の推進，またこれらに関わる報告書や業績の出版，講演会の開催，規程の整備，など多岐に亘ります。総合研究所の役割は，これらの業務の遂行に加え，高等教育研究機関としての大学の重要な使命のひとつである研究活動をさらに振興することにあります。教育の重要性が叫ばれていますが，大学，特に理工系大学において，最先端を目指す研究が存在しなければ，教育の実を上げることが困難なためです。幸い本学では，年々外部資金の取扱量や導入金額が増大し続けています。

現在総合研究所では，文部科学省の「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」への応募・採択に基づく生体医工学研究センター（BERC）と都市減災研究センター（UDM）の 2 件の研究センターを擁しており，さらに 23 年度に開始のエネルギー変換エコマテリアルセンター（ECEC）プロジェクトの採択が決まったことは，高いレベルでの学生の教育を効果的に遂行する上でも真に喜ばしいことです。今後の課題のひとつは，それらの資金で導入された設備・装置の全学的な共同利用の体制整備かもしれません。

本学の研究環境の一層の充実によって，ここに集う学生達が「工学院大学で学べて本当によかった」と強く実感できる状況を整えるために，力を尽くしたいと考えております。

目 次

学 長 水野 明哲
総合研究所所長 小野 幸子

1. 総合研究所プロジェクト研究報告（2010年度研究終了）

- ・ 教員資質論の動向を踏まえた教員資格制度のあり方に関する歴史的研究
責任者 蔵原 清人…………… 13
- ・ タールレスガス化炉を搭載したバイオマス燃料自動車の研究開発
責任者 雑賀 高…………… 21
- ・ 緊急回避時における違和感の無いアシスト制御技術について
責任者 野崎 博路…………… 29
- ・ 高分子両性電解質液噴霧による新しい気中揮発性有機化合物の吸着除去技術の検討
責任者 並木 則和…………… 39
- ・ 憲法と制度改革：国際化と地域化の市民生活への影響に関する研究
（2006年度研究終了・追加報告）
責任者 長谷川 憲…………… 49

2. 総合研究所プロジェクト研究報告（2011年度継続研究）

- ・ Innovative Identity Matrixing Model in the Trans-Cultural Era
責任者 カーニー マイケル…………… 57
- ・ 湿式プロセスを用いた半導体ナノ・マイクロ規則構造の創製と高効率デバイスへの応用
責任者 小野 幸子…………… 67
- ・ 高密度情報ストレージシステムにおける多端子情報理論に基づく多次元信号処理方式の研究
責任者 斎藤 秀俊…………… 73
- ・ 集積化近紫外発光素子のための透明導電膜の検討
責任者 本田 徹…………… 81
- ・ ストリートファッション画像データベースの構築とトレンド検知手法の研究
責任者 小西 克巳…………… 87
- ・ 人口過疎地域における人口、生活圏域、域内生活基盤施設の相互関係
責任者 山下てつろう…………… 93
- ・ 古代東アジアにおける学術と支配制度に関する研究
責任者 榎本 淳一…………… 99
- ・ 政党政治再編成期ドイツにおける3政党間関係の変容に関する理論的・実証的分析
責任者 小野 一…………… 105
- ・ 科学衛星搭載用放射線検出器の開発
責任者 幸村 孝由…………… 115

・ 氷海船舶の船体氷荷重分布推定手法の高度化	責任者 金野 祥久	123
・ 原子間力顕微鏡による上皮成長因子受容体の1分子計測技術の開発及び数理モデルベース解析への応用に関する研究	責任者 中荃 隆	131
・ シンセティックジェットの流れ特性に関する研究	責任者 佐藤光太郎	137
・ キチンの潜在能力を化学とバイオテクノロジーで拓く	責任者 小山 文隆	145
・ 複雑な多環性構造を有する新規抗腫瘍天然物の全合成研究	責任者 南雲 紳史	151
・ 血液環境で使用する医療機器の生体適合性の改善	責任者 木村 雄二	155
・ 解体を迎える半世紀供用した鉄筋コンクリート造建築物の後期健全度評価と解体排出物のゼロエミッション型再資源化モデルの構築	責任者 田村 雅紀	161

3. 総合研究所一般研究報告（個人研究）

・ 日本における地方金融界の変遷に関する研究	吉田 賢一	169
・ 生命科学概念の文化的広がりに関する歴史的研究	林 真理	170
・ ヒドリドアミダト架橋二核ルテニウム錯体の合成とその反応	河野 博之	171
・ 国際インターアクティブポータルサイト	ブルック セバスチャン	172
・ 中学校技術科における検定外教科書の開発に関する研究	尾高 進	173
・ ニュートリノ質量の起源と素粒子標準模型を超える物理の探求	進藤 哲央	174
・ 超臨界ジメチルエーテル噴霧の活用によるディーゼルエンジンの高性能化研究	是松 孝治	175
・ 競泳用ストロークの最適化	伊藤慎一郎	176
・ 金属光造形複合加工法によるオーダーメイド焼結チタン合金人工骨の最適化検討	何 建梅	177
・ 微小精密部品的高速成形加工技術の開発	久保木 功	178
・ カーボンマイクロコイル充填熱可塑性エラストマー複合材料を用いたセンサ材料の開発	西谷 要介	179

・ 人間シミュレータとしての患者ロボット	高信 英明	180
・ 拡張現実 (AR) をもちいた作業支援インターフェースに関する研究	見崎 大悟	181
・ 非リソグラフィー技術に基づくアルミニウムの表面微細加工	阿相 英孝	182
・ キトサン誘導体の薬物送達システムへの応用	菅原 康里	183
・ 細菌由来新規糖質分解酵素の取得と特性解析	坂口 政吉	184
・ ヒドロキノン構造含有ポリマーの光還元能	山口 和男	185
・ リン酸塩ガラス異常現象を利用した高レベル放射性廃棄物固化ガラスの開発	大倉 利典	186
・ オオミジンコの腸内への取り込みを用いた毒性評価	釜谷 美則	187
・ ナノ積層構造を有する新規熱電酸化物の創製	桑折 仁	188
・ 中国砂漠化地域における新規土壌改良評価モデルの構築	酒井 裕司	189
・ エレクトロスプレー法を用いた有機薄膜の製膜方法の研究	坂本 哲夫	190
・ ハード的手法とソフト的手法の組み合わせによる電気鉄道の省エネルギー化に関する基礎研究	高木 亮	191
・ 近隣圏ユーザインタフェースの研究	高瀬 柔郎	192
・ 地域情報流通を指向したパーソナルユビキタス方式の基本検討	水野 修	193
・ ベイズ統計へのクリフォード代数の導入と映像認識への応用	橘 完太	194
・ カラーユニバーサルデザインのための色カテゴリー	市原 恭代	195
・ 太陽熱利用システムシミュレーション手法の検証	宇田川光弘	196
・ 建築の長寿命化における曳家の意義と課題に関する研究	吉田 倬郎	197
・ 温熱環境の選択性と総意形成のメカニズムに関する基礎的研究	野部 達夫	198
・ 欧州にみる劇場保存再生手法の基本理念と実践手法の研究	澤岡 清秀	199

2011年度総合研究所運営委員

総合研究所所長	小野 幸子 (応用化学科教授)
所長代理	蔵原 清人 (基礎・教養教育部門教授)
大学院運営委員会委員長	野澤 康 (まちづくり学科教授)
機械系学科互選	立野 昌義 (機械工学科教授)
化学系学科互選	長島 珍男 (環境エネルギー化学科教授)
電気系学科互選	浅谷 耕一 (情報通信工学科教授)
建築学部互選	吉田 倬郎 (建築学科教授)
情報学部互選	椎塚 久雄 (情報デザイン学科教授)
グローバル エンジニアリング学部互選	疋田 光孝 (機械創造工学科教授)
基礎・教養教育部門	蔵原 清人 (基礎・教養教育部門教授)
BERC センター長	大竹 浩靖 (機械工学科教授)
UDM センター長	久田 嘉章 (まちづくり学科教授)
ECEC センター長	鷹野 一朗 (電気システム工学科教授)
学長指名委員 (NASICセンター長)	長本 英俊 (環境エネルギー化学科教授)

2010 年度総合研究所研究一覧（学内研究費）
（プロジェクト研究）

研 究 課 題	研究責任者	所属学科・職名は 2011 年度
・ 2010 年度研究終了		
教員資質論の動向を踏まえた教員資格制度のあり方に関する歴史的研究	蔵原 清人	基礎・教養教育部門教授
ターレスガス化炉を搭載したバイオマス燃料自動車の研究開発	雑賀 高	機械創造工学科教授
緊急回避時における違和感の無いアシスト制御技術について	野崎 博路	機械システム工学科教授
高分子両性電解質液噴霧による新しい気中揮発性有機化合物の吸着除去技術の検討	並木 則和	環境エネルギー化学科准教授
憲法と制度改革:国際化と地域化の市民生活への影響に関する研究（2006 年度研究終了・追加報告）	長谷川 憲	基礎・教養教育部門教授
・ 2011 年度継続研究		
Innovative Identity Matrixing Model in the Trans – Cultural Era	カーニー マイケル	建築学科准教授
湿式プロセスを用いた半導体ナノ・マイクロ規則構造の創製と高効率デバイスへの応用	小野 幸子	応用化学科教授
高密度情報ストレージシステムにおける多端子情報理論に基づく多次元信号処理方式の研究	斎藤 秀俊	情報通信工学科准教授
集積化近紫外発光素子のための透明導電膜の検討	本田 徹	情報通信工学科教授
ストリートファッション画像データベースの構築とトレンド検知手法の研究	小西 克巳	コンピュータ科学科准教授
人口過疎地域における人口、生活圏域、域内生活基盤施設の相互関係	山下てつろう	建築学科教授
古代東アジアにおける学術と支配制度に関する研究	榎本 淳一	基礎・教養教育部門教授
政党政治再編成期ドイツにおける 3 政党間関係の変容に関する理論的・実証的分析	小野 一	工学部准教授
科学衛星搭載用放射線検出器の開発	幸村 孝由	基礎・教養教育部門准教授
氷海船舶の船体氷荷重分布推定手法の高度化	金野 祥久	機械工学科准教授
原子間力顕微鏡による上皮成長因子受容体の 1 分子計測技術の開発及び数理モデルベース解析への応用に関する研究	中荃 隆	機械システム工学科講師
シンセティックジェットの流動特性に関する研究	佐藤光太郎	機械創造工学科教授
キッチンの潜在能力を化学とバイオテクノロジーで拓く	小山 文隆	応用化学科教授

・ 2011 年度継続研究

複雑な多環性構造を有する新規抗腫瘍天然物の全合成研究	南雲 紳史	応用化学科教授
血液環境で使用される医療機器の生体適合性の改善	木村 雄二	環境エネルギー化学科教授
解体を迎える半世紀供用した鉄筋コンクリート造建築物の後期健全度評価と解体排出物のゼロエミッション型再資源化モデルの構築	田村 雅紀	建築学科准教授

(一 般 研 究)

	研 究 課 題	研究者	所属学科・職名は2011年度
個 人 研 究	日本における地方金融界の変遷に関する研究	吉田 賢一	基礎・教養教育部門教授
	生命科学概念の文化的広がりに関する歴史的研究	林 真理	基礎・教養教育部門教授
	ヒドリドアミダト架橋二核ルテニウム錯体の合成とその反応	河野 博之	基礎・教養教育部門准教授
	国際インターアクティブポータルサイト	ブルック セバスチャン	機械創造工学科准教授
	中学校技術科における検定外教科書の開発に関する研究	尾高 進	基礎・教養教育部門准教授
	ニュートリノ質量の起源と素粒子標準模型を超える物理の探求	進藤 哲央	基礎・教養教育部門准教授
	超臨界ジメチルエーテル噴霧の活用によるディーゼルエンジンの高性能化研究	是松 孝治	機械工学科教授
	競泳用ストロークの最適化	伊藤慎一郎	機械工学科教授
	金属光造形複合加工法によるオーダーメイド焼結チタン合金人工骨の最適化検討	何 建梅	機械工学科准教授
	微小精密部品的高速成形加工技術の開発	久保木 功	機械工学科准教授
	カーボンマイクロコイル充填熱可塑性エラストマー複合材料を用いたセンサ材料の開発	西谷 要介	機械工学科准教授
	人間シミュレータとしての患者ロボット	高信 英明	機械システム工学科准教授
	拡張現実 (AR) をもちいた作業支援インターフェースに関する研究	見崎 大悟	機械システム工学科講師
	非リソグラフィ技術に基づくアルミニウムの表面微細加工	阿相 英孝	応用化学科准教授
	キトサン誘導体の薬物送達システムへの応用	菅原 康里	応用化学科准教授
	細菌由来新規糖質分解酵素の取得と特性解析	坂口 政吉	応用化学科講師
	ヒドロキノン構造含有ポリマーの光還元能	山口 和男	応用化学科講師
	リン酸塩ガラス異常現象を利用した高レベル放射性廃棄物固化ガラスの開発	大倉 利典	環境エネルギー化学科教授
	オオミジンコの腸内への取り込みを用いた毒性評価	釜谷 美則	環境エネルギー化学科准教授

研 究 課 題		研究者	所属学科・職名は 2011 年度
個 人 研 究	ナノ積層構造を有する新規熱電酸化物の創製	桑折 仁	環境エネルギー化学科准教授
	中国砂漠化地域における新規土壌改良評価モデルの構築	酒井 裕司	環境エネルギー化学科講師
	エレクトロスプレー法を用いた有機薄膜の製膜方法の研究	坂本 哲夫	電気システム工学科准教授
	ハード的手法とソフト的手法の組み合わせによる電気鉄道の省エネルギー化に関する基礎研究	高木 亮	電気システム工学科准教授
	近隣網ユーザインタフェースの研究	高瀬 柔郎	情報通信工学科准教授
	地域情報流通を指向したパーソナルユビキタス方式の基本検討	水野 修	情報通信工学科教授
	ベイズ統計へのクリフォード代数の導入と映像認識への応用	橘 完太	情報デザイン学科准教授
	カラーユニバーサルデザインのための色カテゴリー	市原 恭代	情報デザイン学科准教授
	太陽熱利用システムシミュレーション手法の検証	宇田川光弘	建築学科教授
	建築の長寿命化における曳家の意義と課題に関する研究	吉田 倬郎	建築学科教授
	温熱環境の選択性と総意形成のメカニズムに関する基礎的研究	野部 達夫	建築学科教授
	欧州にみる劇場保存再生手法の基本理念と実践手法の研究	澤岡 清秀	建築デザイン学科教授

1. 総合研究所プロジェクト研究報告
(2010年度研究終了)

教員資質論の動向を踏まえた教員資格制度のあり方に関する歴史的研究

（最終年度報告）

工学院大学 工学部共通課程 蔵原清人
東洋大学 文学部 山崎準二
日本女子体育大学 体育学部 田子健
京都橘大学 文学部 八木英二
京都府立大学 福祉社会学部 吉岡真佐樹
日本女子体育大学 体育学部 蔵原三雪
青山学院女子短期大学 清水康幸
愛知大学 文学部 加島大輔
大阪市立大学 大学院文学研究科 瀧本知加

What should be the Teacher's License System

— Historical Study (3) —

Kiyohito Kurahara, Kogakuin University

Junji Yamazaki, Toyo University

Takeshi Tago, Japan Women's College of Physical Education

Hideji Yagi, Kyoto Tachibana University

Masaki Yoshioka, Kyoto Prefectural University

Miyuki Kurahara, Japan Women's College of Physical Education

Yasuyuki Shimizu, Aoyama Gakuin Women's Junior College

Daisuke Kashima, Aichi University

Chika Takimoto, Osaka City University

ABSTRACT : This is a historical study on the teacher's licensing system based on the idea of how school teachers should be defined. In 2010, as the third year of this study, we have had three meetings and presented two reports about a part of this study on a meeting of JSSTE (Japanese Society for the Study of Teacher Education).

The main themes we studied in this year are as follows:

- 1) Teacher of 'Senmongakko' (Post Secondary Vocational School) — its actual situation and necessary nature and qualification
- 2) Seminar on Teaching Practice in Teacher Training Course
- 3) The Teachers in Edo period
- 4) The Reform on Teacher Education System in Germany
- 5) On Legal Features of Japanese Laws on the Teacher's Licensing System

1. はじめに

1.1 研究の目的と計画

今日、教員の問題行動や指導力不足などに関心が集まり、教員の資質についての議論が行われている。特に教員の養成や研修などについて焦点が当てられているが、単なる現象からの対症療法的議論ではなく原理的な検討を踏まえての議論が期待される場所である。本研究はその一助となることをめざして2008年度より3カ年の研究として進めてきた。

研究の計画は第1年度の間報報告(工学院大学総合研究所年報第16号2009年掲載)にのべたが、要点を記せば以下の通りである。

- 1) 教員資質論の系譜研究 日本及び東アジア、ヨーロッパ
- 2) 免許制度の変遷研究
- 3) 教員資格・免許制度の原理論の研究

なお、同じ期間、科研費基盤研究(C)「教員の実践的指導力を担保する教員免許制度の法的枠組みに関する研究」を並行して進めており、両者連携して研究を進めた。この研究の2010年度の研究成果をまとめた報告書を2011年3月に刊行しているので合わせて参照されたい。

1.2 研究の特色

これまでの教員論は教員資質論を中心に論じられており、教員の資格や免許についての検討が十分行われてこなかった。本研究はこの欠を補うものである。

また本研究のメンバーはこれまで教師教育学会などで教師教育の研究を進めてきており、地域的には離れているものが緊密な共同研究を進めるものとして特色がある。

2. 今年度の研究の経過

今年度は瀧本知加が大阪市立大学に着任したので共同研究者に加えた。2010年度の研究活動の要点は以下の通りである。

工学院大学総合研究所年報に中間報告「教員資質論の動向を踏まえた教員資格制度のあり方に関する歴史的研究(第2年度の間報報告)」を掲載。文責は蔵原清人。

2010年9月25日 日本教師教育学会研究大会で、瀧本知加が「専門学校教員の実態とその資質・資格」を発表

2010年12月5日 第13回免許法研究会 於：京都私学会館 専門学校教員と大学教員との比較検討について(養成制度から)(瀧本知加)などの報告を受けて討議した。

2011年1月16日 第14回免許法研究会 於：学士会館本館 資格・免許概念の整理(瀧本知加)、E U圏に見る学校評価と教員評価(八木英二)などの報告を受けて討議した。またプロジェクト研究の報告書の作成について協議した。

2011年2月27日 第15回免許法研究会 於：工学院

大学 江戸時代に教師の資格はあったのか—学修歴を通して教師資格要件を探る—(関山邦宏・和洋女子大学：ゲスト報告者)の報告を受けて、討議した。

2010年3月22日 工学院大学プロジェクト研究報告書(2009-2010年)発行(内容は、本稿末に掲載した研究成果を参照されたい。)

3. 2010年度の研究成果

以下では2010年度の成果を紹介し、次章で3年間の本研究の成果と今後の課題をまとめておく。

今年度の研究では、まず、専門学校教員の資格と1校校の教員資格を比較した瀧本知加の2つの報告(科学研究およびプロジェクト研究)に注目したい。専門学校(専修学校専門課程)は、高等学校卒業生を受け入れて教育している。瀧本は専門学校教員と高等学校教員、大学教員の資格要件について比較しているが、こうした比較の観点は重要であろう。さらに瀧本は法制面からの研究とともに専門学校の教育実態と、高等学校、大学との比較研究の両面から検討しようとしている。今後研究を進めることで、より問題を整理して課題を提示することを期待したい。

第2に、教員の実践的指導力の問題に関して、先の法改正により大学の教職課程に導入された教職実践演習の実践について蔵原が報告した。本学では教職特別課程生を対象に2010年度より教職実践演習を開講することとした。この科目は教職課程履修の最後の科目として位置づけられ、教育実習を振り返ってその成果を確認するとともに「教員として必要な知識技能を修得したことを確認するもの」(教育職員免許法施行規則)である。この規定は教員としての適格性の判定ではないことに注意すべきであろう。しかしながらなにをもって「必要な知識技能」とするのか、「修得」とはなにをもって認定するのかが大きな課題となっている。それに対して本報告は、教師の重要な職務として6点を提示したが、その基礎には特に現代社会の特徴について理解することが重要であるとしてその内容を5点示した。学生には、これをふまえて教育実習を振り返り、自らの実習の成果と不十分な点を整理し、今後の研修の課題を明らかにするレポートをまとめることを求めた。その際、2回の報告及び個人面談での指導を行った。その他、教職実践演習の実施にあたっての課題について報告した。

第3に、江戸時代の教師についての報告がある。これは和洋女子大学の関山邦宏氏のゲスト報告である。これは2009年度に行われた剣道師範についての報告(数馬広二氏・工学院大学：ゲスト報告)に続くもので、明治以前の時期におけるわが国の教員資格についての研究の一環である。関山氏は、幕府の昌平坂学問所、藩校の教師として米沢藩興譲館、

私塾の教師として咸宜園の事例、寺子屋の師匠としては明治に入ってから東京府の調査に基づいて個別事例を検討し、家元制度や相伝は見いだせるが「ある一定の修学歴や資格取得が要求されていた痕跡は全く見いだせない」と結論している。このことは教員に免許を要求する考えは明治期に入ってからのものであり、ヨーロッパの制度の導入によるものということがわかる。

第4に、EU圏の学校評価と教員評価の動向について、八木英二の報告がある（科研報告書に掲載）。

4. 3年間の研究成果と今後の課題

以下では3年間の研究成果と共に、その中で明らかになった研究上の課題を、多分に私見を交えることになるがまとめておきたい。なお、本研究は同じ期間行われた科研費研究基盤(c)「教員の実践的指導力を担保する教員免許制度の法的枠組みに関する研究」と連携して行われたので、内容的にやや重なる部分があることをお断りするとともにそちらの研究成果報告も参照していただければ幸いである。

本研究の内容として、課題申請書には、1) 教員資質論の系譜研究①日本及び東アジア②ヨーロッパ、2) 免許制度の変遷研究、3) 教員資格・免許制度の原理論の研究、の3つを記載した。このそれぞれについて述べる。

4.1 教員資質論の系譜研究

まず①については、日本の近世を中心に研究を行った。ゲスト報告をしていただき本研究の視点から考察した。

免許という言葉は近世から使われているものの、剣道や算学をはじめ芸事を中心に行われており、今日のような学校教育の教員免許制度とは大きく異なるものである。それは具体的には、(1) 修得した技術内容のレベルによって何段階か区分されているが、教授免許は最高レベルに達したものにだけに許される（免許皆伝あるいは師範免許）、(2) これは弟子の誰にでも授与されるものではなく一子相伝など、ごく限られた者にだけ授与されるものである。また(3) 他流派に対してもあるいは社会全体に対しても通用するというものではなく、当該流派の内部だけで意味を持つものであった。すなわち、当該流派の学習階梯を示すと共にいたずらに流派に属さない者に教授しないようにして流派の内部秩序を保つものであることということができる。そもそも入門に際してはしばしば許可なく他に教授しない旨の誓約を求めることがある。社会的には、それぞれの流派が自らの権威を高めるために独自の免許制度をもつとともに、教授活動は普及ではなくむしろ技術の伝承を確実に行うことを第1の目的としたものであるといえる。

剣道と異なって学問の世界では一般には免許制度をとらない。算学については免許制度が作られたが、学問というよりむしろ芸事としてとらえる傾向があったことが

指摘されている。藩校や幕府の昌平坂学問所の教員については制度的に教員の資格が定められていたわけではない。庶民の教育機関であった寺子屋の師匠に至ってはさらに特別の資格はなく、手習いができれば師匠となったといわれるほどである。幕府や藩は寺子屋に関して把握もせず特別に統制の対象とはしていなかった。

国家や政府が教員の資格を定め、それに適合するものを教員として認める今日のような免許制度は明治期に入ってからのものである。しかしそれすらも必要な数の教員として十分な有資格者が確保されるようになるには長い時間がかかった。そうした量的な整備の問題に先立って、明治初期には質的な相違の問題が起こっている。それはわが国の伝統的な教師像と、お雇い教師の考える欧米の教師像とのギャップである。(1) それまでのわが国では家臣は主人が「抱える」のであり、予め特定の業務だけに従事することが決められているのではない。主人（雇用主）の指示に従って「何でもやる」ことが一般的である。これに対して欧米では契約の考えに基づいて、予め特定の業務への従事を定める。このためお雇い教師の場合、雇用主たる日本側の事情によって契約時には提示されなかった新たな業務を行うことを求めるとき、お雇い教師は仕事が増える以上は契約を更新してそれにふさわしい給与を要求することになる。それは日本側にはなかなか理解できないことであった。(2) さらに日本の教師が教授する学問は分科されていないが、欧米では学問の分科が進み、教科を限って教授する教員の専門性を認めることが課題になっていた。

これ以上に重要なことは、明治期になって国家が教員資格に関心を持つようになったことである。それは社会における教育の意味が江戸時代と比べて大きく変わったからである。すなわち、江戸時代のように慣例を維持し変わらないことが重要な意味を持つ社会ではなく、国家社会の発展を重視し、それを積極的に推進するために、国民の知識水準を引き上げるべきだという立場に大きく舵を切った。それは職業選択の自由や近代技術の導入に伴って、多くの者に新しい知識や技術を教授し官吏、実業家、技術者やその下で働く者を育成することが必要となったためである。

この教育の水準を確保しまた教育を普及するために、教員資格を定め積極的に教員の養成に乗り出したのであった。このため国家のための教師という考えが色濃くしみこんでいくとともに、制度上も政府の官吏として位置づけられることになる。他方江戸時代の儒教的な教師像、ただ知識を教えるだけでなく人格的に優れていること、利を求めないことといった考えも受け継がれた。こうして師範学校が設立され、欧米の教育理論や技術が導入された。そこでは、寺子屋の個別指導とは異なった、学年制に基づく一斉授業の方法が伝習された。

1908（明治41）年になると、それまでの義務教育4年制から6年制に延長され教員数も急速に増加するようになり、名望家の篤志的な活動だけではなく職業として教

師をとらえる考えが強まっていく。そうした中で経済的問題から教師をとらえる主張が登場するが、それはそれまでの儒教的教師像とは大きく異なる。いかえれば理想主義的な教師像から、教師という存在の社会科学的な理解へと変わっていくのである。その後、労働運動や社会主義運動が広がる中で、教師の中でもそれに同調する運動が出てくる。また貧困や不況の影響を受け止めるものとして子守学校や夜間教育、さらには給食や職業指導なども登場するが、そうした教育活動をになうものとしての教師像も形成されていった。

他方、新教育運動の中での教師像は、儒教的ではないが理想主義的な子どもを育てる存在としての教師像であり、その基礎に子どもの能力や発達の可能性をみとめる子ども観がある。国民の生活が次第に向上する中で、子ども服やおもちゃ、絵本、雑誌など子ども向けの商品が作られるようになり、労働に追われない「子ども期」が広がってきたことも背景にあった。こうした教師観ではそれまで行われてきた注入教授ではなく、子どもの自発性を重視する開発教授がとられることになり、子どもの自主的学習や活動が推奨される。したがって教師も子どもというものをよく観察し、発達やその特性を理解することが求められる。こうして教師には教育心理学的知識が求められるようになるのである。

昭和に入ってから、国体明徴、日本精神などが強調され教育勅諭に基づく道徳教育が強調されるようになる。それは戦争の進行と共にさらに強化され、学校も軍隊的な教育、国体明徴の思想教育が進められる。したがって教育もふたたび注入教授が中心となり、教育内容に対しては疑問を許さないものとされ、規律や訓練が徹底されるようになる。

戦後は、こうした状況から一転する。新しい憲法が定められ、平和と民主主義を目指した教育が進められると、生徒同士が考え合い自ら結論を導くことが尊重されるようになる。教師は、「正しいこと」を教え込むのではなく、生徒に考えさせることが求められることになる。このためには教師自身が、物事を批判的にとらえ、自らの考えに基づいて判断を下す人物になることが重要であり、学問の自由が保障される大学で養成されなければならない（大学における養成）とされた。また特別の学校だけでなく、条件を満たす大学では教員養成を行うことができることとなった（開放制の原理）。

近年、学習指導要領に基づく教育活動が強調され、指導力不足教員の問題が指摘されている。こうした中で県教育委員会などが教師養成塾といった形で、直接学生を集め教員養成に関わる活動を始めるようになった。特に教員として学習指導要領に基づく実践的指導力をたかめることを目指しているというが、実践的指導力についてはその必要性からの説明が多く、具体的な内容やどうしたら身につくかの方法手順については必ずしも明確ではない。それは近年の教員養成制度改革論についても同様である。また教員採用試験についてもさまざまな改善の

努力をして優れた教員を採用する上で寄与していると思われるが、それについての客観的研究は十分ではない。

さらに教員と生徒・保護者の関係についても、たとえば体罰に見られるようなパワー・ハラスメントや近年散見されるセクシャル・ハラスメントといった教員の問題行動や、モンスター・ペアレントなどの保護者の問題、さらにはさまざまな障害や思想・信仰などに基づく信念に教員はどう対応するかなど、人権や社会的通念を尊重する立場から教員の資質能力の問題も積極的に検討する必要が生まれている。

この戦後の時期については、免許法の変遷と共に、今後の研究課題として残されている。

②については、ゲスト報告としてコメンユウスの教師論、19世紀アメリカのハイスクールなどの他、科研費研究としてドイツ、イギリス、EU、ユネスコなどの教員養成動向の調査を行った。

ヨーロッパにおける教師論としては、近代ではコメンユウスをはじめとして、ルソー、ヘルバルト、ペスタロッチ、フレーベル、デューイなどの思想を見る必要がある。同時に、1800年前後からの国民教育の成立、19世紀半ば以降の公教育制度の確立、教科の成立と教科担任制度の普及などを見るべきであり、その中で教員資格や免許がどのように定められてきたのかを研究する必要がある。近年においてはユネスコの教師論、特に教員の地位に関する勧告の内容を十分に検討する必要がある。しかしこれらの問題の多くはこの間には十分取り上げることができず、今後の課題として残されている。

4.2 免許制度の変遷研究

これについては十分取り組めなかった。科研費研究で免許法および施行規則の変遷を整理したほか、愛知大学における教職課程の変遷について資料を整理したが、十分な研究とはなっていない。

戦前については、小学校教員については師範学校における教員養成を正規のものとしながら、試験検定でも免許状が取得できる。しかし現実にはほぼコンスタントに2～3万人程度の代用教員がいた。これらは資格制度が作られていても必要な数の有資格者を確保することはなかなかできないことを示す。このために教員資格制度としてはどのように対応していたのか今後研究したい。また師範学校は長い間、中等教育として位置づけられていたが、1944（昭和19）年には専門学校に昇格され、それまでの府県立から官立（今日の国立）となった。これは社会の変化による教員のレベルアップである。

また中等学校の教員資格は高等師範学校の他、専門学校や大学でも取得できる無試験検定と、学歴にかかわらず受験できる試験検定があった。この場合は、今日のような多くの教職科目の学習や教育実習が要求されていたわけではない。戦前の私立の専門学校や大学にとっては、教員資格の無試験検定が認められていることが、徴兵猶

予と高等文官試験資格認定と並んで重要な条件であった。このことは今日多くの私立大学が教職課程の課程認定を受けていることと関わる。戦前の無試験検定の認定は今日の課程認定より厳しかったといえるとしても、教員養成の開放制は戦前から行われていたといえることができる。これを別の角度からとらえれば、高等教育を受けた者は比較的容易に教員資格を取得することができると共に、日本の社会の中では教員免許は地域による需要の差が大きいことや雇用された場合の社会的評価や身分の安定などから有意義な資格であるとして評価されていたことを示しているといえよう。

4.3 教員資格・免許制度の原理論の研究

免許法の分析の中で明らかになったことは以下の通りである。

第1に、免許の意義の理解である。免許は、①直接にはある活動を従事するための資格を定め、それに従わないものに従事を禁止することで、その活動の質を公的に保障する制度である。活動の質とは、手順などで保障することともあるが、免許はそれに従事する者の資質を規定することで、その者に質保障をさせることである。したがってどのような資質が求められるか、その内容を具体的に規定することになる。必要によっては資質の向上を目指して、免許に等級を設けることもある。

②その活動に従事する者を有資格者に限るためには、資格のないものには免許を出さないこと、また資格のないものの従事を禁止すること、資格を有する者が不適切な行動をしたとき取り消しその他の処置をすることでそうした者を排除しあるいはそうした者が出ることを予防することである。これは公権力の行使であり、国などが免許基準を定めることはこれを可能とするためである。それはそれだけ社会的に影響が大きく公共性の高い活動について行われる。資格のないものに免許を出さないためには、特に欠格事項が定められているが、これはそれに該当する者が第1でのべた資質を備えたとしても免許取得を認めない大前提であり、当該活動をするものと両立しない資質や条件とされたものである。それはそれぞれの免許が対象とする活動の特質にしたがって定められることになる。

③免許制度そのものとしては、自動車運転免許のように当該活動に従事する者がすべて免許をもつ必要があるか（すなわち必須資格）、あるいは調理師免許のように職場単位でその活動に従事する者の中で一人だけもてばよいのか（いわば代表資格）は、活動の形態が個人毎に行われるものであるか、集団的作業として行われるかによって異なる。教員免許の場合は授業は最終的には教員個人の責任で行われるものである以上、前者である。

第2に教員免許を何によって決めるかの問題がある。今日の資格には民間資格も少なくない。この場合は民間基準によるものとなるが、資格のないものの排除などは強制できない。業務に従事するものを有資格者に限り、

それ以外のものを排除するためには法令によって規定することが必要になる。教員免許は今日法律によって定められているが、これは戦後の法律主義によるものであり、教育に従事する教員免許については国民全体に影響を及ぼす以上、国民の代表者の集まる国会で審議決定すべきだという憲法の精神に基づく。戦前においては教育は天皇の大権とされ、教員資格についても議会の審議を経ない勅令として定められてきた。そのことは教育を国家意思の教化機関とする大きな条件であった。戦後はこうした勅令主義の反省にたって法律主義がとられたのである。

しかしながら、政令や省令は国会での審議を経ずに制定される。このためにどこまでを法律に定め、どこから制令や省令などの命令に委ねるかは大きな問題である。しかしこの分担の基準をどう考えるべきかについての研究は手がつけられていない。

第3に、教育職員免許法の法的性格の問題である。

①免許法に関して従来はもっぱら行政手続き法の側面が注目されていた。これは現に教員養成を行おうとすれば大学は文部科学省の課程認定を受けなければならず、また免許の申請にあたって都道府県教育委員会に手続きをしなければならない以上当然でもある。

②しかし一般に法は国民の権利保障でもあり、免許法も国民にとっての教育の権利法でもある。現行免許法は教員免許を制限的に認めるというのではなく、必要な要件を満たした者にはすべて授与するものであり、国民自らが教育に従事するという前提がある。そのことは多くの有資格者の中から優れた者を教員として採用することや、教員にならない有資格者が社会で教育を支えるということも前提しているといえる。したがって現在行われている行政手続きもこうした観点から点検されるべきである。

③教員養成の内容・方法の規定法という側面を見ておく必要がある。これは直接には大学での養成教育の仕方を規定するものであり、行政手続き法として考えることも可能であるが、それを行政的権力的に行うのではなく、教育活動の一環として大学の自主的な努力に委ねることも可能であるので、第3の性格としてとらえることが適当であろう。免許法が制定された初期には教員養成の教育は大学の自主性に大幅に委ねられていたが、その後政策の変化とともに次第に行政の関与が強まり行政手続き法として機能する面が広がっている。

この点での一つの問題は、免許法施行規則において教科に関する科目の規定があるが、その内容は学習指導要領の改訂に連動して改正されている。しかし学習指導要領は文部科学大臣の告示であり、施行規則は省令であるので、事実上下位のもの上位の省令を規定することが適切であるか、教科に関する科目として指定されている分野や学習すべき単位数は適切かの問題がある。

一般に免許基準は最低基準であり、その業務に従事する中で経験を蓄積し資質能力を高めていくが、上で書いた

たように免許に等級を定めることでより高い資質能力を積極的に求めることを奨励するものもある。そしてバスの運転のようにある活動に関しては上級免許がなければ従事できないとする場合もある。教員免許の場合、以前は一級免許状、二級免許状の区別があり、管理職は一級免許状が必要とされており、一般に資質を向上させる目標としてこのような制度となっただけである。しかし1988年の法改正で、幼稚園、小学校、中学校の教員免許に専修免許状が新設され、一種免許状、二種免許状とあわせて3段階となった。ここでは短大卒業の場合は二種免許状であり、4年制大学卒業には校種の区別なく一種免許状となる。また大学院修士課程修了者の場合は専修免許状である。すなわち免許の等級は学歴によって区分されたのである。この変更をどのように考えるかは重要な研究課題であろう。

さらに校種によって基本とする免許の等級をどう考えるかの問題がある。いわゆる6年制養成論は、校種に関わりなく大学院修士課程修了を基本とする主張であるが、幼稚園の場合もそうする必要はあるか問題がある。また現在では一種免許状が基本とする免許状であるが、戦後当初は高校の二級免許状は大卒であり、中学校までの学校の二級免許状は短期大学卒で取得できた。現在、教育内容が高度化している状況の中で、中高とも基本となる免許状を一級としていいかどうか、いいかえれば校種によって基本とする免許状取得の学歴要件を同じにすべきかどうか、検討の余地がある。これは免許の問題にとどまらず、それぞれの校種をどう考えるかの問題である。免許要件は学校教員としてすべてに共通する基準があるべきであるが、同時に具体的活動に関わる部分ではそもそもそれぞれの校種の位置づけにしたがって定められるべきものであることは当然であろう。

5. まとめ

本研究では以上の成果を得たのであるが、研究をはじめて見ると当初考えていたようにたやすいことではないことが次第に明らかになってきた。

これまで免許法については、教員関連法令の中では教育公務員特例法などと比べて研究者の関心は薄く、これを論ずるのは多くは行政関係者であり、大局的な意義を考えるよりも細かな手続きの話に入りこみやすい。それだけでは無味乾燥であり、免許事務担当者はともかく研究者としては主体的な解釈ができないものように見えることも確かである。しかしすでに指摘したように、免許法は教育の権利法であり教育内容方法の規定法でもある。単に行政的な手続きを規定したもののみ考えるべきではない。免許法のこうした意義を明らかにし得たことは本研究の重要な成果であった。今後はこの点からもっと多くの教育研究者、教育法研究者が関心を寄せ研究を行うことが求められる。

また、免許法は社会の変化にどのように対応すべきであるかという大問題が存在する。戦後の教育法制の原理

として教育行政の一般行政からの独立というものがある。今日の憲法では議院内閣制であるので、国会での多数党が政権を掌握する仕組みである。それに対して戦後一時議論されたように中央教育委員会は作られず、政府機構の一部として文部省（現、文部科学省）が戦前から引き続いておかれた。こうした状況の中ではややもすると免許法の改正は政治主導で行われることになる。教育が政治に振り回されてはならないことは当然のことではあるが、改正事項の中には社会の変化から自ずと免許制度の変更が迫られたものもあるはずである。これについては、過去の改正の客観的意義を評価することが必要であるが、まだ全く研究としては手がかかっていない課題である。さらに改正の手続きとして、これまでは中教審の審議を経て法改正に進むこととなっているが、教育の中立性を考えるならば、政治家である文部科学大臣の任命による委員だけの審議ではなく、教育界や学会の代表を加えるべきであろう。そこでは十分に科学的実証的研究を行い、国民世論の動向も見定めながら合理的な判断を下すべきである。いやしくも政治主導で世論誘導し、関係者には財政的な誘導をすることで一方的に押し付けることは許されない。

免許法そのものの研究もまだ十分ではない。これは主として科研費研究の課題であるが、教員の資格要件や欠格事項、免許の等級区分、免許取得のコースはどのようなものがあるかなどが取り組めたにとどまる。残された重要問題としては、免許取得に必要な単位（学習内容）の意味を分析すること、免許状は主に教科毎に出されているがその意義をどう考えるか、学校種毎に免許制度の基準を変えるべきかどうかなど、多くの課題がある。さらに法文上の解釈にとどまらず、運用実態あるいは教師の活動や教育実態を踏まえた法令研究、教員免許の研究が求められる。

さらに免許制度の切り替えを教育の混乱を招かないように実務的にどう進めるかの問題がある。戦後の切り替えに際しては、6・3制の発足とともに引き揚げ者の受け入れもあって学校の設置、校舎の建設におわれる中で進められた。特に重視されたことは、旧資格を持っている者の処遇である。その資格を新資格に基づく仮資格に読み替え、切り替えると共に正規の資格を取得するための手だてがとられた。いま新資格制度を導入するとすればその定着まで数年はかかるだろう。その実務についてどれだけの費用と労力がかかるのか調査をしておく必要がある。またそれだけの費用と労力をかけて一挙に改革を進めるほどの切迫性、必要性があるのか大きな問題である。

本研究についてひとまず研究期間は終了したが、今後残された課題の研究を進めていきたい。

研究成果

■報告書

- 報告書1 (2008年度) (2009年3月10日発行)
- はじめに
教員資格と評価に関する国際的合意形成
八木英二 1頁
- 明治初期のお雇い教師を通してみた教員像のギャップ—W. E. Griffisを事例として—
蔵原三雪 11頁
- 昭和戦後期の愛知大学における教職課程運営—愛知大学教職課程運営委員会 (1955—1983年)・教職課程委員会 (1983—1988年) 議題一覧—
田子健・佃隆一郎 21頁
- 教員の資質とジェンダー—体育科教員養成とジェンダー視点導入の課題—
蔵原三雪 37頁
- 「教員養成塾」の全国的動向と京都教師塾の検討—塾生としての経験から—
瀧本知加 45頁
- 研究会メンバー 85頁
活動の記録 86頁
- 資料1 免許法研究の課題(最初の提案) 07/07/29
蔵原清人 88頁
- 資料2 現行免許法制の構造について07/09/09
蔵原清人 92頁
- 報告書2 (2009—2010年度) (2011年3月22日発行)
- はじめに
専門学校教員の実態とその資質・資格
瀧本 知加 1頁
- 教職実践演習をどう実施したか—工学院大学における初年度の経験—
蔵原 清人 19頁
- 資料 教師教育改革のめざすところ
蔵原 清人 29頁
- 近世剣術流派における免許制度について
数馬 広二 45頁
- 学習歴からみた江戸時代における教師(師匠)点描
関山 邦宏 57頁
- ドイツにおける教師教育制度改革の現段階—学士・修士課程を通じての養成と試補制度—
吉岡真佐樹 67頁
- 研究会メンバー 75頁
- プロジェクト研究報告書1 (2008) 目次 76頁
- 科研費研究報告書1 (2008—2009) 目次 77頁
- 科研費研究報告書2 (2010) 目次 78頁

■著書

- 蔵原清人「東京教師養成塾と『大学における教員養成』」
『日本の教師教育改革』日本教師教育学会編 学事出版 2008年4月20日 第Ⅱ部第9章 152～168頁
- 山崎準二「教師のライフコース研究から国語科教育学へ

の期待」 望月善次編『国語科教育学はどうあるべきか』明治図書 2010年3月 126-128頁。

山崎準二「教師の評価」 教育目標・評価学会編『「評価の時代」を読み解く—教育目標・評価研究の課題と展望(上)』日本標準 2010年12月 64-73頁

八木英二「教育目標・評価の発達論的視点」 教育目標・評価学会『教育目標・評価研究の課題と展望』日本標準 42-51頁 2010

■論文

蔵原清人「教員免許更新制の問題点」 『日本教育政策学会年報』第15号 2008年6月30日 178～186頁

吉岡真佐樹「教師教育の質的向上策と養成制度改革の国際動向」 『日本教師教育学会年報』第17号 2008年10月 8～16頁

田子 健「教員免許更新制—予備講習から見えてきた課題と展望—」 『月刊高校教育』学事出版 2009年2月号 32-36頁

蔵原清人、山崎準二、田子健、八木英二、吉岡真佐樹、蔵原三雪、清水康幸 総合研究所プロジェクト研究報告書(H20)「教員資質論の動向を踏まえた教員資格制度のあり方に関する歴史的研究(第1年度の中間報告)」 『工学院大学総合研究所年報』第16号 2009年 151～156頁

蔵原清人「第18回大会の記録 シンポジウム21世紀における教員の資質向上論をさぐる—世界の教員政策と日本—」 および「課題研究Ⅲ免許更新制実施上の課題を考える」日本教師教育学会年報第18号 2009年10月刊 164-165、170-172頁

瀧本知加・吉岡真佐樹「地方自治体による『教師養成塾』事業の現状と問題点」 『教師教育学会年報』第18号 2009年10月 48～60頁

田子 健「教員免許更新制—愛知大学における予備講習、更新講習実施の経緯を中心に—」 『東海教師教育研究』第24号 2009年10月25日 3～19頁

八木英二「大戦直後の教育における国際的合意形成と特別なニーズ教育」 『京都橘大学研究紀要』 第36号 2010年1月29日 115～132頁

蔵原清人、山崎準二、田子健、八木英二、吉岡真佐樹、蔵原三雪、清水康幸、加島大輔 総合研究所プロジェ

クト研究報告書 (H21) 「教員資質論の動向を踏まえた教員資格制度のあり方に関する歴史的研究(第2年度の間中間報告)」『工学院大学総合研究所年報』第17号 2010年 89～94頁

山崎準二「田中耕治編著『時代を拓いた教師たち：実践から教育を問い直す』」(書評) (全国私立大学教職課程連絡協議会編『教師教育研究』第23号 2010年4月 109-111頁。

蔵原清人「教師教育改革のめざすところ」関私教「会報」第67号2010.5.25刊 41～74頁、全私教協『教師教育研究』第23号 2010年3月

八木英二「大戦直後の教育における国際的合意形成と特別なニーズ教育」『京都橘大学研究紀要』第36巻 2010年 115-132頁

瀧本知加「戦後専修学校制度の成立- 各種学校制度の展開-」『人文研究』(大阪市立大学大学院文学研究科紀要)第62巻 2011年 77-92頁

■学会発表

日本教師教育学会第18回研究大会公開シンポジウム「21世紀における教員の資質向上論をさぐる-世界の教員政策と日本-」工学院大学 2008年9月15日

シンポジウムの趣旨	蔵原清人
国際機関 (ILO・ユネスコ・EU) の教員政策・資質向上論	八木英二
ドイツにおける教員政策・資質向上論 (要旨と発表資料)	吉岡真佐樹
日本における教員政策・資質向上論 (要旨と発表資料)	山崎準二

田子 健 「更新講習を行う大学として-予備講習を実施して-」日本教師教育学会第18回研究大会 課題研究Ⅲ 免許更新制実施上の課題を考える 報告 2008年9月15日 工学院大学

蔵原三雪「W. E. Griffis' Journals (1872.1.23～1874.9.17)の研究(3) -グリフィス(W. E. Griffis)とリッテル(H. Rittr) -」日本科学史学会2009年度第56回年会 2009年5月24日 九州大学

瀧本知加「『教員育成塾』の現状と問題点：教員志望者の職業意識形成の観点から」日本教師教育学会第19回研究大会 2009年10月3日 弘前大学 (青森)

蔵原三雪ほか「調査『ジェンダー平等教育の教育実践と大学で受けた授業科目との関係』に関する報告」日本教師教育学会第19回研究大会課題研究Ⅲ教師教育にお

けるジェンダー視点の必要性 (I) ジェンダー平等教育の教育実践と教員研修の現状 2009年10月4日 弘前大学

蔵原清人「教師教育改革のめざすところ」全国私立大学教職課程研究連絡協議会 2009年度教職課程運営に関する研究交流集会特別講演 2009年11月14日 青山学院大学

田子 健「教員免許状更新講習の本実施を終えて」全国私立大学教職課程研究連絡協議会 2009年度教職課程運営に関する研究交流集会シンポジウム 2009年11月14日 青山学院大学

八木英二「教員評価基準をめぐる国際的合意形成にあらわれた二律背反-アセート勧告とかかわって-」教育目標・評価学会 2009年11月29日

瀧本知加「専門学校教員の実態とその資質・資格」日本教師教育学会第20回大会 日本大学文理学部 2010年9月26日

■特許出願

なし

タールレスガス化炉を搭載したバイオマス燃料自動車の研究開発

—二塔式ガス化炉による木質バイオマスのガス化—

工学院大学グローバルエンジニアリング学部機械創造工学科 雑賀 高
工学院大学工学部環境エネルギー化学科 長本 英俊
工学院大学工学部環境エネルギー化学科 酒井 裕司
エコ・エンジニアリング株式会社 小屋 敏行

Research and Development of a Biomass Fuel Vehicle with a Tarless Gasification Furnace

—Gasification of Wood Biomass with Dual Fixed Bed Gasifier—

Takashi Saika, Dept. of Mechanical Innovative Engineering
Hidetoshi Nagamoto, Dept. of Environmental and Energy Chemistry
Yuji Sakai, Dept. of Environmental and Energy Chemistry
Toshiyuki Koya, Eco Engineering LTD

ABSTRACT: Converting the fossil-fueled vehicles to wood biomass fueled vehicles that the biogas is produced by a tarless gasification furnace is estimated to reduce global fossil emissions of CO₂. In this study, a production device of solid fuel, a gasification furnace and a compact gas engine system with high efficiency and security are designed and developed experimentally to completely remove tar occurring by thermolysis with the solid fuel. At the optimal air fuel ratio of 0.3, two gasification experiments that changed the loads were performed. As a result, the increase of loads decreased the rate of the radiation loss and caused the increase of the temperature in the furnace. Therefore, the calorific value of produced gas and the cold gas efficiency increased. And the continuous operation of the dual fixed bed gasifier could be performed. Moreover, the scaled-up fixed bed gasifier was designed and produced, the capacity of producing gas was estimated. In the introduction of produced gas to engine, the reduction of the use of the light oil and the increase of calorific value were confirmed. Result of this study must lead to diversification of an energy source for vehicles and contribute to reduction of greenhouse gas discharge.

1. 緒言

木質バイオマスは再生可能な資源であることやカーボンニュートラルであることから、化石資源の代替として注目されているが、分散型資源であるため、小規模で高効率なエネルギー転換技術が求められている。

バイオマスのガス化利用においては、発生するタールを低減する必要がある。当研究室で、木質バイオマス熱分解由来のガスを 600°C 以上のチャー層に通すことで

タール濃度が減少し、発熱量が増加することを確認している¹⁾。そして、二塔式ガス化炉では、切り替え操作を繰り返すことで定常的に生成ガスを高温のチャー層に通すことができ、タールの削減が確認できた²⁾。

本研究では、これまで空燃比を変化させて二塔式ガス化炉における生成ガス組成や炉内温度挙動を解析し、高効率かつ安定的に熱量を得るための最適な運転条件について検討してきた。そして、エネルギーバランスから考えて負荷量(原料投入量)の増加は放熱損失の割合を低下

させ、高効率化に繋がると考えられる。

本報告では、ガス化実験では、負荷量を変化させたときのガス化炉内温度挙動や生成ガス組成を解析し、より高効率な運転条件について検討した結果を報告し、さらに、バイオマス燃料を自動車燃料として用いる方法について検討した。

2. ガス化実験

2.1 二塔式ガス化炉の原理及び実験装置

A 塔、B 塔二つに分割したガス化炉から構成される (Fig. 1)。A 塔頂よりペレット状のバイオマス原料、塔底より空気を供給する。その際、A 塔底から順に酸化層、還元層、乾留層となる。A 塔で発生したガス中タール成分は、B 塔タール吸着層 (チャー層) へ吸着し、熱分解することによりガス化できる。一定時間経過後、原料及び空気供給方向を B 塔に切り替え、以後、上述の操作を繰り返す。

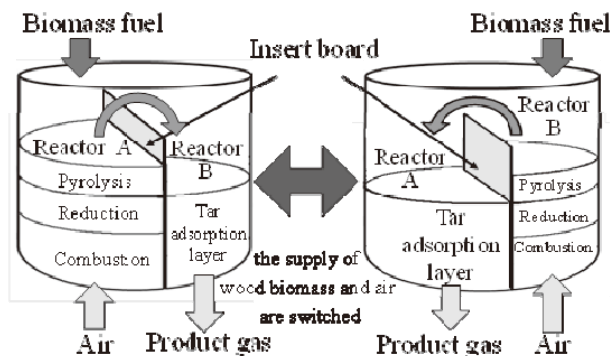


Fig. 1 Principle of the dual fixed bed gasifier

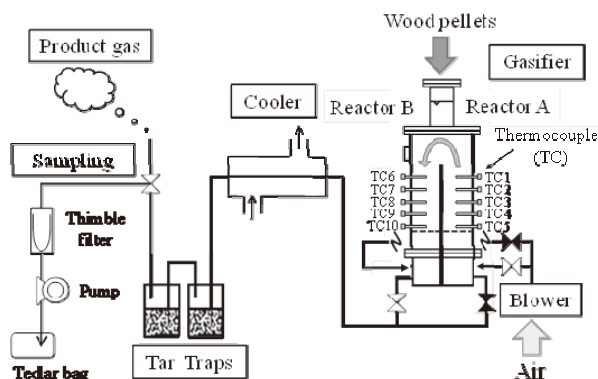


Fig. 2 Diagram of the dual fixed bed gasifier system

実験装置は二塔式固定床ガス化炉(153 mmΦ×420 mmH, 常圧, 炭素鋼)、空気ブロワー、熱交換器、及びタールトラップなどから構成される。ガス化炉の予熱に炉外周にマイクロヒーターと断熱材を用いた。ガス化炉

内温度の計測には、各炉内部に取り付けた計 10 本の熱電対(各塔底より 5 cm 間隔で設置, TC1~10) (Fig. 2) とデータロガーを用いた。生成ガスは吸引ポンプによりバッチ毎にテドラーバッグにて捕集し、ガス組成(H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , CH_4)を GC/TCD (GC-14B, SHIMADZU) によって分析した。実験装置図を Fig. 2 に示す。

2.2 実験方法

マイクロヒーターにより約 300°C まで予熱後、両塔に着炭、チャーをそれぞれ 100g、350g 投入して、空気を送風して還元層温度を約 900°C まで昇温した。前報³⁾より、最適ガス化空燃比は 0.3 と考えられるため、空燃比は 0.3 に固定し、切り替え時間(12min)も固定する。負荷量を前報³⁾の 260g から下げて 220g で実験を行い、比較を行った。チャーの初期投入量を含めた予熱方法やサンプリング方法は前報と同じであるが、今回の実験では、予熱終了後、マイクロヒーターは切り、自然による運転を試みた。

3. ガス化挙動に及ぼす負荷量の影響評価

3.1 炉内温度挙動

Fig. 3 に各負荷量 (220g, 260g) における炉内温度の測定結果を示す。なお、負荷量 220g/batch においては、TC8 が熱伝対断線の影響で測定できなかった。

結果から、炉内温度挙動は安定しており、空燃比が両者とも 0.3 であったため、安定した運転が行えたと考えられ、負荷量は極端な変動が無い限り、ガス化炉の安定性に大きく影響しないと考えられる。

実験中、マイクロヒーターを用いなくても、安定した連続運転ができ、本ガス化炉では外熱を必要とせず自然による運転が可能であると言える。これは、燃焼反応を起こしている塔と逆側の塔のチャー層がチャー(木炭)の発火点 250-300°C 以上に保持できているからだと考えられる。

各層の温度を見ると、酸化層の温度は両者とも 1000°C に達し、大きな違いは見られなかった。還元層の温度は負荷量が高い(b)の方が 50-100°C 程度高かった。これは、放熱損失割合の低下により、炉内温度を高く保てたためと考えられる。乾留層の到達温度は両者とも 500°C 程度だが、負荷量 220g/batch では、原料投入直後の温度低下が見られなかった。これは、チャー層高が高く、TC8 が定常的にチャーに埋まっていたためと考えられる。しかし、負荷量 220g/batch においても安定した連続運転が行えていたことから、運転条件によるものではなく、予熱終了時のチャー層高が高かったためだと考えられる。

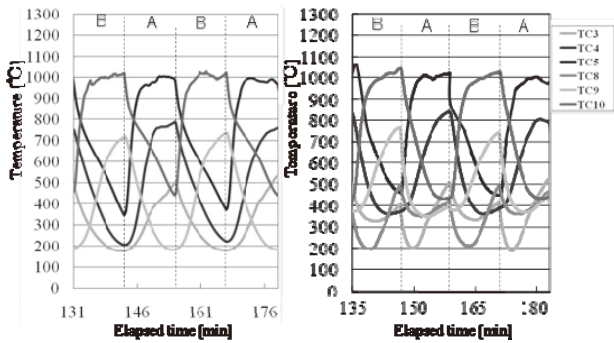


Fig. 3 Comparison of the temperature distribution in each load (a:220g/batch, b:260g/batch)

3.2 生成ガス

各負荷量における平均生成ガス組成を Fig. 4(a)に、平均発熱量を(b)に示す。負荷量が高い方が CO₂ が少なく、CO が多いことがわかる。これは、還元層の温度に起因すると考えられる。そのため、負荷量が高いほど高発熱量を得ることができたと考えられる。その他、冷ガス効率や炭素収率も高負荷量の方が高い(Table 1)。このことより、負荷量の増加によって、還元層だけでなく熱分解温度やタール吸着層の温度も高くできていたと考えられ、タールへの転化率が下がったと考えられる。

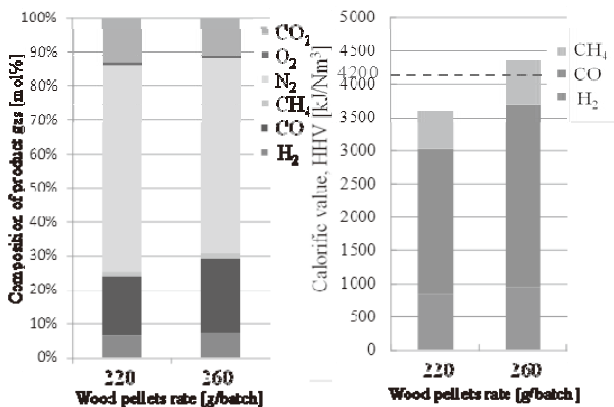


Fig. 4 Comparison of the composition of sampled produced gas (a) and the calorific value (b) in each load

Table 1 Comparison of the calorific value, produced gas rate, cold gas efficiency and carbon yield in each load

load [g/batch]	220	260
Calorific value [kJ/Nm ³]	3540	4360
Produced gas rate [L/min]	37.4	46.2
Cold gas efficiency [%]	44.6	57.4
Carbon yield [%]	67.7	78.8
Tar concentration [mg/Nm ³]	7430	8040

3.3 エネルギーバランス

負荷量 220g/batch, 負荷量 260g/batch におけるエネルギーバランスを算出し、Table 2、Table 3に示す。更に、それぞれの熱勘定図を Fig. 5に示す。生成ガス顕熱

は負荷量 260g/batch における結果と大きく変わらないが、タールの発熱量・顕熱、放熱損失は大幅に増加した。そのため、生成ガスの発熱量は少なくなったと考えられる。

Table 2 Energy balance at the load 220g/batch

Dual fixed bed gasifier			
Input	%	Output	%
Calorific value of fuel	100	Sensible heat of the gas	11.6
		Calorific value of the gas	44.5
		Calorific value of the tar	21.2
		Sensible heat of the tar	0.7
		Radiation heat loss	22.0
Total	100	Total	100

Table 3 Energy balance at the load 260g/batch

Dual fixed bed gasifier			
Input	%	Output	%
Calorific value of fuel	100	Sensible heat of the gas	11.5
		Calorific value of the gas	58.1
		Calorific value of the tar	14.1
		Sensible heat of the tar	0.5
		Radiation heat loss	15.8
Total	100	Total	100

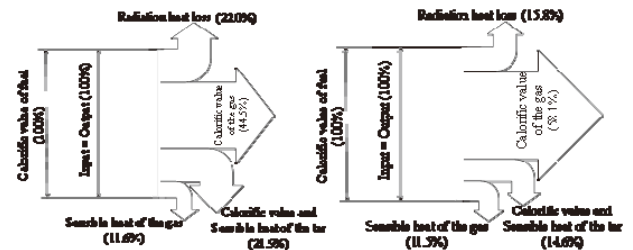


Fig. 5 Comparison of energy balance in each load (a:220g/batch, b:260g/batch)

3.4 まとめ

既報³⁾にて得られた最適空燃比 0.3 で、2つの異なる負荷量でガス化実験を行い比較した。その結果、負荷量の増加は放熱損失の割合を低減させ、炉内温度の上昇を引き起こし、生成ガス発熱量及び冷ガス効率が増加することが示された。そして、負荷量を下げ、なおかつ外熱を利用しなくても安定した運転が行えたことから、二塔式ガス化炉は自然による連続運転が可能であると言えた。

4. ガス化炉スケールアップでの検討

4.1 ガス化炉スケールアップ

ガス化炉を電気自動車(50-80kW)の車載発電用燃料製造装置に用いることを最終目標とし、パイロットスケールとして 10kW 程度の発電規模に設計・製作した。実用化のためにさらなる低タール化、高効率化を目指し、タール吸着層で分解しきれないタールを吸着・分解することを目的にガス化炉内には触媒充填層を設けた。

以下にて、ガス化システム、スケールアップしたガス化炉の運転条件やガス生成能に関して、既往のガス化炉

での運転条件・結果を基に推算した。

4.2 スケールアップガス化炉原理図と実験方法

スケールアップした二塔式ガス化炉の原理図を Fig. 6 に示す。スケールアップ前と同様に、ガス化炉は A 塔、B 塔二つに分割したガス化炉から構成される。スケールアップ前と違い、仕切り板を 2 枚用いて A 塔と B 塔の間に触媒充填用の空間を設けてある。さらに触媒充填層を 2 つに仕切り(触媒層 α 、触媒層 β)、ガス化炉内には計 4 つの空間が存在する。それぞれ火格子を敷き灰分はガス化炉下部に溜まる。スケールアップ前と同様に、ガス化炉上部で A 塔と B 塔は繋がっている。さらに、このガス化炉では火格子の下で、触媒層 α と A 塔、触媒層 β と B 塔がそれぞれ繋がっている。

A 塔、B 塔にそれぞれチャーを充填し、触媒層にもそれぞれ触媒を充填する。ガス化炉を予熱し、運転を始める。A 塔にバイオマス原料を投入し、空気を A 塔へ送り込む。その際、空気はまず触媒層 α を通り、触媒や仕切り板を介して生成ガスと熱交換しながら空気が予熱され、A 塔下部へ導かれる。A 塔では底から順に酸化層、還元層、乾留層となり、A 塔において発生したガスとバイオマス熱分解によって生成したタールは、B 塔へ導かれ、B 塔タール吸着層(チャー層)へ吸着し、熱分解することによりガス化できる。さらにガスとタール吸着層で吸着・分解しきれなかったタール成分は触媒層 β へ導かれ、触媒によって吸着・分解される。一定時間経過後、原料及び空気供給方向を B 塔側に切り替えることで、今度は触媒層 β で空気の予熱を行い、B 塔で 3 つのガス化反応層を形成し、A 塔側に残留したチャーはタール吸着層として機能し、触媒層 α はタールの吸着・分解を行う。以後、上述の操作を繰り返す。

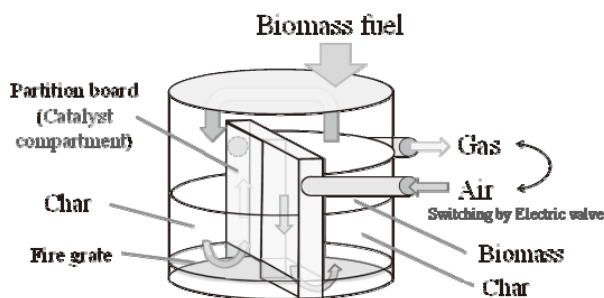


Fig. 6 Principle of the scaled-up fixed bed gasifier

実験装置図を Fig. 7 に示す。実験装置は Fig.2 の実験装置を基に、より大流量に対応する空気ブロワー(VFZ201PN, Fuji Electric System)、流量計にはカルマン渦式フローモニター(Eggs DELTA FLM32-10PCW, OVAL)を用い、タールトラップ容器はこれまでと同じものを用いたが、トラップする水・タール量が増加すると考えられるため、並列に 2 つ並べ、1batch 毎に切り替え、充填物を交換した。また、タールトラップ充填物には、脱脂綿もしくは水槽浄化用濾材ウールを用いた。送風方

向の切り替えには、電動 3 方バルブ(EXH12D-2, KITZ)を用いた。熱交換器は大流量に対応するように新たに設計・製作した。生成ガスのサンプリング方法や分析方法は前章までと同じである。これらの付帯装置はシリコンブレードホースで繋ぎ、ホースバンドで固定する。なお、ガス化炉出口から熱交換器入口までは、ガスが高温なため、シリコンブレードホースでなく、SUS304 製のフレキシブルチューブ(SY-3500, SYOEI SANGYO)を用いた。ガス化炉内温度の計測には、各炉内部に取り付けた計 6 本の熱電対(Type: K)とデータロガー(8421 Memory Hilogger, HIOKI)を用いた。熱電対の位置(高さ)を Fig.8 に示す。

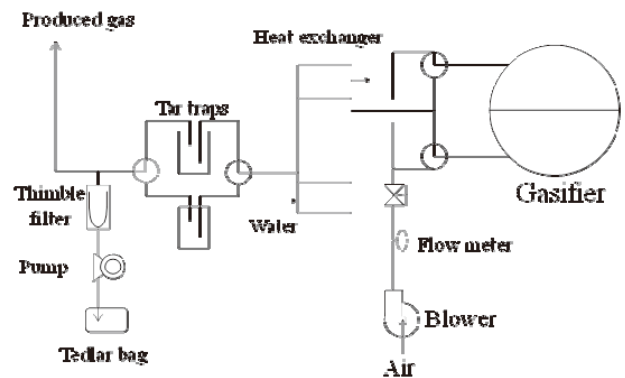


Fig. 7 Diagram of scaled-up dual fixed bed gasifier system

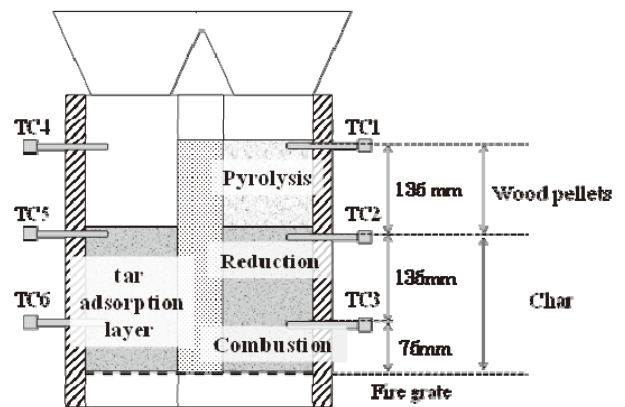


Fig. 8 Position of each layer and each thermocouple

4.3 ガス生成能の推算

既往の条件を基に実験条件を算出し、Table 4 に示す。空燃比は最適と思われる 0.3 で行い、チャーの初期投入量は Fig. 8 で示したとおり各層の温度が測定できる位置までチャーを充填し決定した。さらにそこからバイオマスの投入可能量を量り、実験条件とした。バイオマス原料、切り替え時間は変更していない。バイオマスの処理能は約 13.5 倍程度と推算される。

本ガス化炉において、最適なチャー充填量はまだ検討されてないため、より少ないチャー(バイオマス投入量に対するチャーの初期充填量の比率)で十分なガス化を行

うことができれば、より多くのバイオマス処理能を得ることができる。

更に、ガス化炉のスケールアップに伴い、放熱損失が低下することが想定されるため、ガス化空燃比を下げられる可能性がある。より低空燃比で十分なガス化反応層の温度を維持できれば、生成ガス中の窒素割合を下げることができ、より高発熱量になることが期待される。

Table 4 Experimental conditions in each gasifier

Scaling up	Before	After
Air-fuel ratio [-]	0.3	0.3
Wood pellets rate [g/batch]	260	3500
Switching time [min/batch]	12	12
Air rate [L/min]	34	470
Char [g] (each reactor)	350	6000
Catalyst	non	Fe ₂ O ₃

前述の通り、バイオマス処理能は少なくとも 13.5 倍程度と見積られる。そこから、スケールアップ前の実験結果を基に、ガス生成能に関して推算し、Table 5 に示す。生成ガスの発熱量はスケールアップ前と同等、ガス生成流量がバイオマス投入量に正比例し増加すると仮定し算出した。さらに、30%の発電効率で発電したときの電力量も算出した。

スケールメリットを考えれば、ガス生成能は算出した値以上になると考えられ、実験による解析が必要である。

Table 5 Expected productivity of each gasifier

Scaling up	Before	After
Calorific value [kJ/Nm ³]	4360	4360
Produced gas rate [L/min]	46.2	622
Thermal watts [kJ/s]	3.4	45.2
Electrical watts [kWe]	1.0	14

5. バイオマスガス実験

5.1 燃料消費量実験

ディーゼルエンジンは燃料として軽油を使用しているため、軽油の使用量を減らしていくことが重要になってくる。そのため、バイオマスガスを投入することにより、軽油の削減量の測定を行った。

まず、H₂をN₂により希釈して生成ガスを模擬したガスを混合し、燃料消費の低減効果の検証を行った。そのとき、ガスの熱量を基準にしたものと燃焼限界を基準にしたものの2種類のガスで実験を行った。2種類とも軽油の消費量を削減することができたが、特に熱量基準にしたものが大きく削減することができ、ガス流量75L/minのときに無混合時の約30%削減することができた。このガスは2種類の成分だが、より実際のガスに近い成分のガス(Table 6)による燃料消費量の削減効果について検証した。

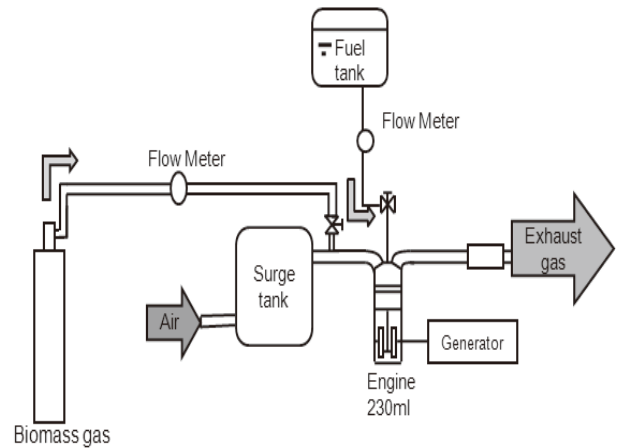


Fig. 9 Experimental apparatus

Table 6 Gas composition

N ₂	57.4%
H ₂	7.4%
O ₂	0.5%
CO	22.0%
CO ₂	11.0%
CH ₄	1.7%

5.2 排気ガス成分調査

燃焼限界を基準したガスでの燃料消費量実験で、30L/min 以降ではガスの流量を増やしても、燃料消費量が削減されないという結果になり、模擬ガスが未燃焼のまま廃棄されている可能性があるため、今回の実験では排気ガスの成分についても分析を行うこととした。排気ガスはテドラーパックで収集して、100 μL の量をガスクロマトグラフにより分析を行った。

5.3 実験結果及び考察

ガス化炉から生成されるガスと同じ成分のガスを、延長した吸気管に供給して燃料削減効果の実験を行い、Fig.10の結果を得た。ガスを投入することにより、燃料消費量を削減できることが分かった。しかし、ガス流量50L/minの時に、最大で1.58g/minまでしか削減することができず、さらに流量を増やしても削減効果があまり得られないと考えられる。

投入したガス及び軽油の発熱量とその合計を Fig.11に示す。その合計は投入量が増加すると発熱量の合計が増加する結果となった。そのため、今回も未燃焼ガスが発生している可能性があると考えられる。

次に、発電機の排気ガスを収集してガスクロマトグラフにより分析を行った結果を Fig.12に示す。ガスの投入量を増やしていくと、N₂とCO₂が増加し、酸素と未知試料が減少していった。これは、バイオマスガス中のCH₄やCOが燃焼して発生するCO₂の量が軽油の削減することで発生するCO₂の量を上回ってしまったため、全体としてCO₂の量が増加してしまったと考えられる(Fig.13)。また、分析により、少量であるが、ガスが排

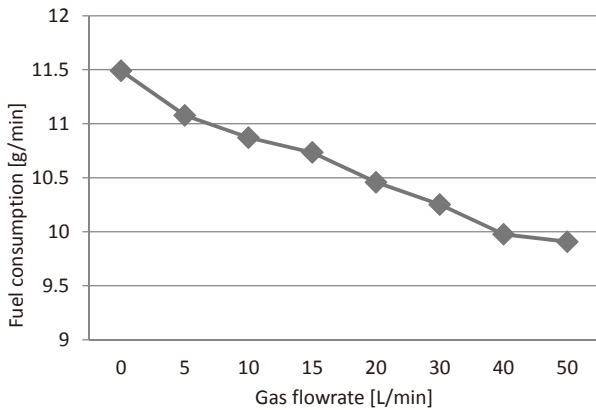


Fig. 10 Change in fuel composition

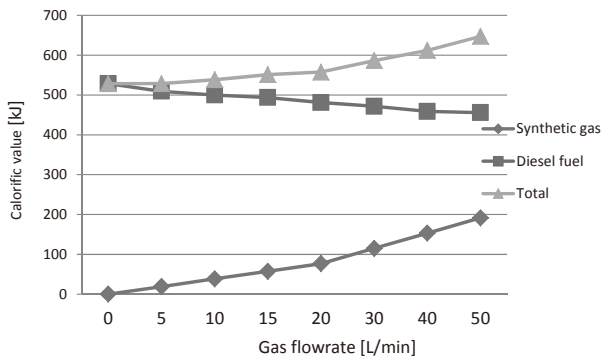


Fig. 11 Total calorific value of fuel

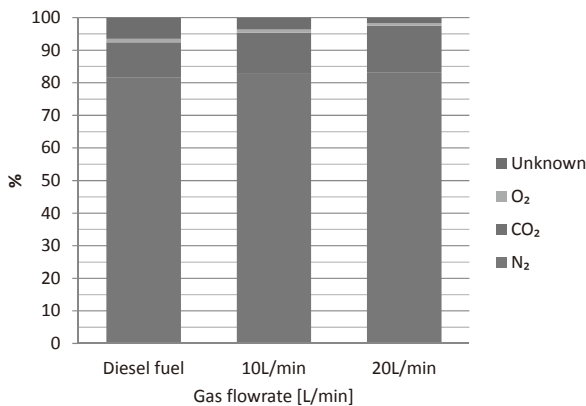


Fig. 12 Exhaust gas component

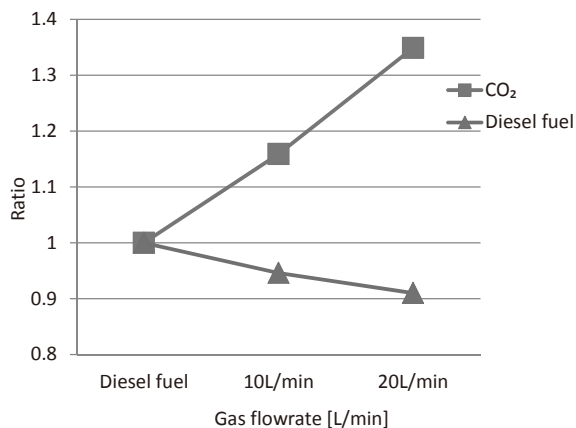


Fig. 13 Relationship between flow gas rate and CO₂ exhaust

出されていることが分かった。そのため、流量を増加に伴い、合計の発熱量が増加したのだと考えられる。

5.4 まとめ

今回の実験結果から、ガス化炉から生成されるバイオマスガスと同じ成分のガスの場合でも燃料消費量の削減効果が得られる。それにより、バイオマス燃料は、化石燃料の代替燃料として有効であると考えられる。しかし、バイオマスガスを利用すると CO₂ が増加してしまうため、今後よりクリーンなエネルギーとして利用するためには更なる開発が必要であると考えられる。

6. 結言

最適空燃比 0.3 のもと、2 つの異なる負荷量においてガス化実験を行い比較した。その結果、負荷量の増加は放熱損失の割合を低減させ、炉内温度の上昇を引き起こし、生成ガス発熱量及び冷ガス効率が增加することが示された。更に負荷量を下げ、外熱を利用しなくても安定した運転が行えたことから、二塔式ガス化炉は自然による連続運転が可能であると言える。そして、スケールアップしたガス化炉の設計、作製を行うことが出来、ガス性性能の推算も行った。さらに、エンジンへのガス化炉と同様のガス成分による実験から、ガス流量の増大による軽油使用量の削減と発熱量の増大を確認できた。

参考文献

- 1) 大嶽翔也, 工学院大学修士学位論文 (2009).
- 2) 鈴木政洋他, 化学工学会秋田大会研究発表講演要旨集, D121 (2004).
- 3) 雑賀高、長本英俊、酒井裕司、小屋敏行、ターレスガス化炉を搭載したバイオマス燃料自動車の研究開発 -二塔式ガス化炉による木質バイオマスのガス化-, 工学院大学総合研究所年報、第 17 号、95-99、2010

<研究成果>

① 発表論文
執筆中

② 学会発表

• Koji Fujimoto, Yosuke Takatani, Yuji Sakai, Toshiyuki Koya, Takashi Saika, Hidetoshi Nagamoto, Optimization of Operating Conditions of Wood Biomass Gasification Utilizing Dual Fixed Bed Gasifier, The 9th International Symposium on Advanced Technology -ISAT9-, Tokyo, Japan, Nov. 5, 2010

- Koji Fujimoto, Yosuke Takatani, Yuji Sakai, Toshiyuki Koya, Takashi Saika, Hidetoshi Nagamoto, Vehicle Fuel Production by Wood Biomass Gasification Utilizing Dual Fixed Bed Gasifier, The 2nd International Conference on Design Engineering and Science, Tokyo, Japan, Nov. 17-19, 2010
- 小屋敏行, 酒井裕司, 長本英俊, 雑賀高, バイオブリケット等によるバイオマスカーの研究開発, 日本エネルギー学会第5回バイオマス科学会議, 早稲田大学, 2010年1月
- 藤本幸児, 高谷洋介, 酒井裕司, 小屋敏行, 雑賀高, 長本英俊, 二塔式ガス化炉による木質バイオマスのガス化, 化学工学会第75回年会, 鹿児島大学, 2010年3月
- 仁ノ平拓也, 雑賀高, 長本英俊, 酒井裕司, 尾嶋桂, 小屋敏行, バイオマスガスによるディーゼルエンジン運転特性, 日本エネルギー学会関西支部第55回研究発表会, 神戸国際会議場, 2010年11月
- 佐々木大介, 大嶽翔也, 長本英俊, 酒井裕司, バイオマスカー実用化グループ, 二塔式ガス化炉における反応挙動の解析, 第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 八王子市学園都市センター, 2010年12月
- 福田康平, 藤本幸児, 長本英俊, 酒井裕司, バイオマスカー実用化グループ, 二塔式ガス化炉を用いた燃料ガス生成, 第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 八王子市学園都市センター, 2010年12月

③ 特許出願

- 特願 2003-171609、可燃物の燃焼ガス化装置とその燃焼ガス化方法（特許番号: 特許第 4325985 号、平成 21 年 6 月 19 日）

緊急回避時における違和感の無いアシスト制御技術について —新しい操舵方式制御の検討—

工学院大学 機械システム工学科 野崎博路

日産自動車 総合研究所 牧田光弘

Steering Assistance Control Technology without Sense of Incompatibility in
Emergency Evasion Maneuvers

— Study of New Steering Method Control —

Hirofumi Nozaki, Department of Mechanical System Engineering, Kogakuin University
Mitsuhiro Makita, Mobility Laboratory, Nissan Research Center

ABSTRACT : Differentiation steering assistance offers potential measures by which the control stability of a vehicle can be rapidly improved. However, for all differentiation steering methods, the inconvenience caused by the need to keep turning the steering wheel during cornering is significant. Because the steering return phenomenon of the steering wheel stop like this is not so preferable, it is preferable that the differentiation steering assistance is extremely weak (almost 0) in such a usual grip cornering driving. Alternatively, in the drift area of cornering where the grip area of the tires has been exceeded, differentiation steering assistance is helpful because the driver can control his counter steering extremely well. Moreover, because the response and settling of a vehicle shows strong improvement when differentiation steering assistance is used during lane changes, use of the technique is preferable at that time. In this background, steering method controls into which the differentiation steering assistance constant has been applied, along with perception changes in anticipated driving situations was examined. Then, proper value of the differentiation steer assistance was examined according to the above-mentioned various running situations. As a result, it has been understood that proper value exists according to various running situations. Moreover, from the result of the gaze detection with eye-mark recorder, it has been understood to be able to reduce a right and left difference of the gaze at the driver by controlling the differentiation steer assistance to a proper value in various running situations. In addition, the negative camber angle control that is proportional to the steer angle can improve lateral acceleration in critical cornering. These results clarify that three-dimensional control of the wheel posture angle according to a specific driving situation greatly improves driving stability.

1. はじめに

自動車は、今日、自動車事故を最小限に低減できる技術が望まれている。本研究は、操舵系のアシスト制御等

により、その実現化を目指す。アシスト制御がドライバーに違和感無く受け入れられる方向を明らかにする。そこで、新しい操舵方式制御（走行シチュエーションに応じ

た操舵方式制御、微分操舵アシスト、キャンバ角制御等)の研究を進め、緊急回避時に望ましいアシスト制御技術について、解明を行う。また、これからの自動車は、人に受け入れられる違和感の無い制御方式のみ取り入れられてくると考えられる。そこで、この違和感に着目して、アシスト制御の望ましい方向を明らかにする。

2. 走行シチュエーションに応じた微分操舵アシスト制御実験

2.1 ドライビングシミュレータによる実験

ドライビングシミュレータは、緊急回避等の実験を容易にできる利点がある。そこで、以前、三菱重工業㈱と共同開発致した、「ドリフトコーナリング対応ドライビングシミュレータ(図1)」（これは、各自由度を独立させ、大きなヨーイングと大きな横加速度を体感可能としている。すなわち、無限回転可能なヨーイング機構を有し、また、ロールにより、定常的な横加速度を模擬させ、並進運動により過渡的な横加速度を模擬し、合成することにより、実走行時の横加速度をシミュレートしたものである。）を用いて、緊急回避時のドライバーの操縦特性の把握を行なう。操縦特性としては、ドライバーの注視(アイマーク)の検出等を行なっている(図2)。そして、ドライバーにとって望ましいアシスト制御技術についての検討を行なっている。アシスト制御技術は、ドライバーにとって、違和感の無い特性が要求されるので、この違和感へアシスト制御の関連についても検討を行い望ましい方向を明らかとする。そして、ドライビングシミュレータ上で、ドライバーに違和感の無いアシスト制御技術の追求を行なった。

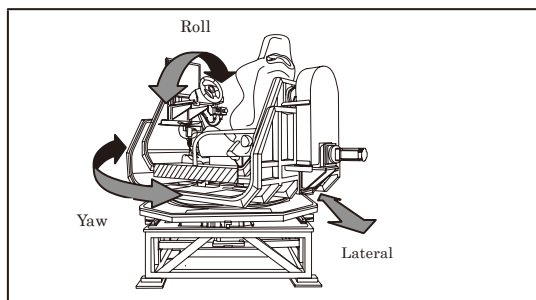


Fig.1 Driving simulator.



Fig.2 Driver wearing eye-mark recorder.

図3(a)は、レーンチェンジ時におけるハンドル角を示しているが、通常の車両の場合には、ハンドル角に対して前輪の実舵角が比例的に転舵される。一方、図3(b)は、その時のハンドル角速度の波形を示している。すなわち、ハンドル操舵角速度に応じて前輪の実舵角が転舵されるとすると、飛躍的に車両の応答の遅れが改善されることがわかる。従って、緊急回避の車線変更等が瞬時にこなすことができる。特に、後輪がグリップを失って、スピンになりかけた場合に、早いカウンターステアが必要となるが、この操作にも極めて有効となることがわかる。

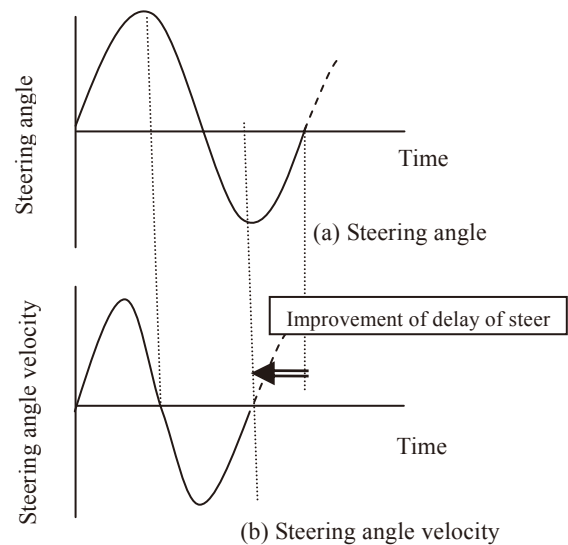


Fig.3 Steering angle and steering angle velocity (time lapse).

一方、問題点もあり、この方式の場合、円旋回中は、ハンドルを回し続けなければ、旋回が続けられないという問題点がある。そこで、ハンドル角に応じて前輪が転舵される分とハンドル角速度に応じて前輪が転舵される分を組み合わせた微分操舵アシストとし、その配分を走行シチュエーションに応じて変化させることが望ましいと考えた。

上記の理由により、グリップコーナリングにおいては、微分操舵アシストが大きいとハンドル角を止めたとき、実舵角が切れ戻る現象が発生するので、微分操舵アシス

ト係数は0としている。加えて、コーナリング時と、レーンチェンジ時のシチュエーションの判別は、操舵パターンの違い(図4)より行い、段付操舵の場合はコーナリング時と判別し、滑らかな正弦波状の操舵の場合はレーンチェンジ時と判別している。(コーナリング時は、ラインに沿う為の修正操舵が加わるので、このような操舵パターン傾向を示す。)

従って、図5示すように、コーナリングにおいては、グリップコーナリング時には、微分操舵アシストを行わないで、ドリフトコーナリング時には微分操舵アシストを加える適値の検討実験として、①ドリフト円旋回実験と、②Jターン実験(グリップ～ドリフト旋回の繋がりの場合において)の2つの実験において、適値の検討を行った。そして、次に、緊急回避を模擬した③ダブルレーンチェンジ実験において、適値の検討を行った。

また、段付操舵の場合すなわちコーナリング時において、タイヤ特性に基づき、車体スリップ角が10deg以下の場合にはグリップコーナリングと判別し、10degを超えた場合はドリフトコーナリングと判別し、ドリフトコーナリングにおいてのみ、微分操舵アシストを加え、そして、その適値の検討を行っている。すなわち、図5のような制御フローを実行して、レーンチェンジ時及びドリフトコーナリング時等の適値検討を行っている。

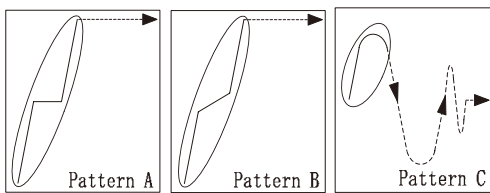


Fig.4 Steering pattern

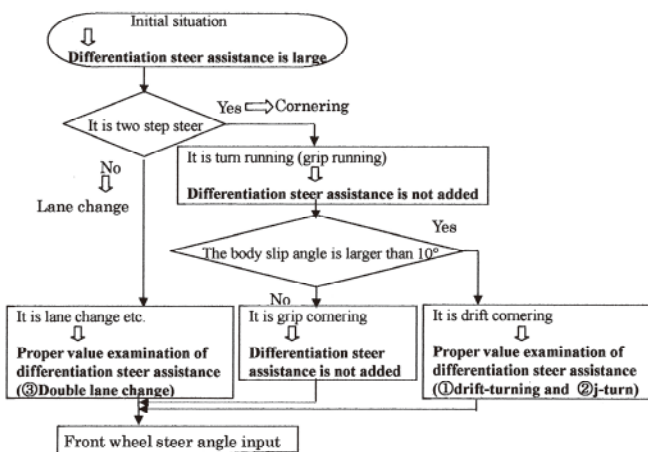


Fig.5 Flow chart of steer method control.

①ドリフト円旋回走行実験

実験コースは半径75mの円旋回コースを、通過可能最大車速85km/hの条件下で、後輪がパワースライドとなり、カウンターステアによるドリフトコーナリングを1周またはスピンに至るまで、各5回ずつ走行した。

そして、ドリフトコーナリング時の注視(アイマーク)も検出した(図6)。

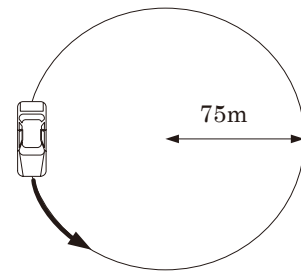


Fig.6 Drift-turning course.

②Jターン走行実験

一定車速90km/hで200mの直進後、半径75mの半円を旋回し直線へ抜けるコースを、自然にドリフト走行になるように設定して、完走またはスピンに至るまで、各5回ずつ走行した。そして、注視(アイマーク)はJターンのコーナーで検出した(図7)。

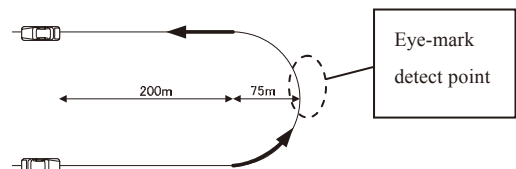


Fig.7 J-turn course.

③ダブルレーンチェンジ走行実験

実験は、図8のダブルレーンチェンジコースを、通過可能車速135km/hで走行した。そして、注視(アイマーク)ダブルレーンチェンジコースの出口において検出した。

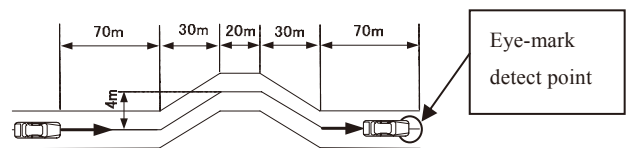


Fig.8 Double lane change course.

車両特性は、微分操舵アシストの度合いを段階的に変化させて行っている。

微分操舵アシストの適値の検討実験では、式(1)に示すように操舵角入力にステアリングギヤ比を乗算した値と微分したものに微分操舵アシスト定数Pを乗算した値の和を前輪実舵角を入力する方法を用いた。このPの値を変化させることにより微分操舵アシストの効きに強弱をつけることができる。実際にはドライビングシミュレータ内にあるSimulinkのステアリングの部分に図9に示す微分操舵アシストの制御ブロックを構築して走行実験を行い、微分操舵アシストの適値について検討

を行った。

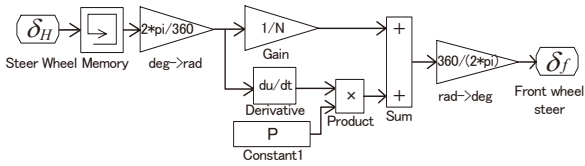


Fig.9 Block diagram of differentiation steer assist system.

$$\delta_f = \delta_H / N + P \cdot \dot{\delta}_H \quad \dots(1)$$

δ_f : 前輪実舵角, δ_H : 操舵角, $\dot{\delta}_H$: 操舵角速度,
 N : ステアリングギヤ比,
 P : 微分操舵アシスト定数(走行シチュエーション対応)

2.2 ドライビングシミュレータによる実験結果例

実験結果例として、前項①のドリフトコーナリング(円旋回)時の微分操舵アシスト定数 P の適値検討を行った例を示す。 $P=0, 0.07, 0.14$ の3つのケースから検証した。微分操舵アシスト定数のうち、 $P=0.07$ は予備実験において、小刻みに P の値を変化させ、フィーリングにより最も良かったケースを引用している。アイマーク(視線)検出実験結果はすべて失敗せずに走行したものにおける比較を示す。

図10は車体スリップ角の時系列波形を示し、図11は走行軌跡を示す。図10より、 $P=0$ の時はドリフトコントロールがうまくできず車体スリップ角が増大しスピンに至ってしまっているが、 $P=0.07, 0.14$ の時はドリフトコントロールがうまくできていることがわかった。そして、図11の走行軌跡より、 $P=0.07$ の時はうまくライントレースに成功しているが、 $P=0.14$ 時はコースアウトしていることがわかった。以上から、比較により $P=0.07$ の時に最も良い結果であることがわかった。

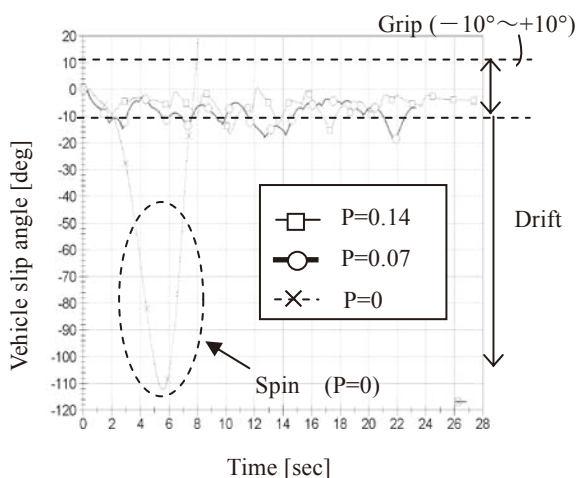


Fig.10 Experiment result of drift turning (vehicle body slip angle, subject A).

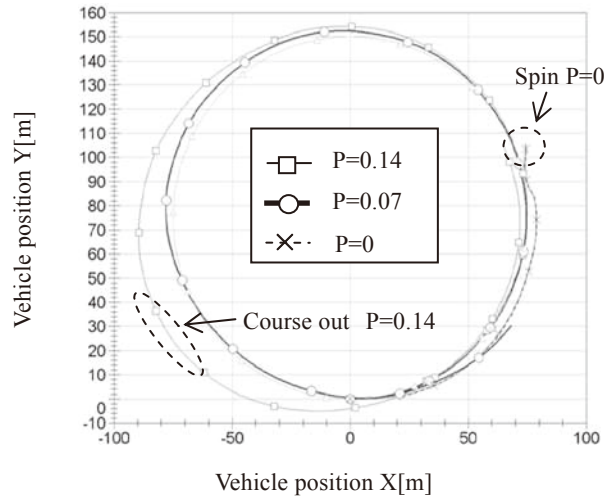


Fig.11 Experiment result of drift turning trajectory (subject A).

また、他の被験者においても、同様の傾向であり、 $P=0.07$ の時に最も良い結果であった。ドリフトコーナリング(円旋回)時の成功率(図12)では被験者の全員が $P=0.07$ 時が最も良い結果であった。従って、微分操舵アシスト定数 $P=0.07$ が適値だということがわかった。

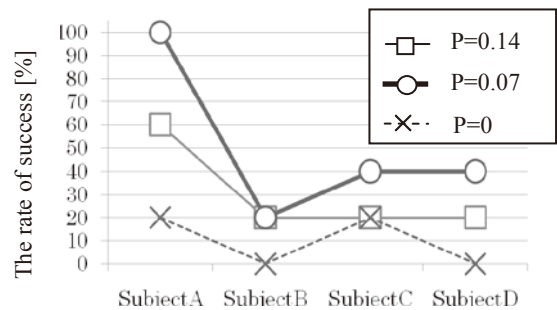


Fig.12 Drift turning success rate.

アイマークレコーダによる視線検出の結果の代表例を図13に示す。

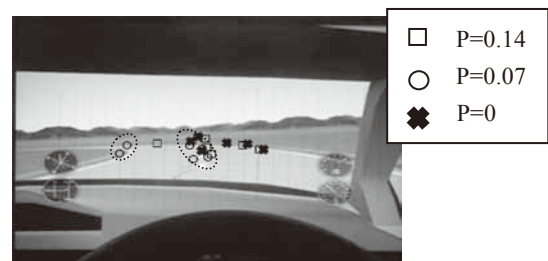


Fig.13 Eye-mark point of drift turning.

主に微分操舵アシスト定数 $P=0, P=0.14$ の時は、主に視線がコース外側等にばらつく傾向がみられる。

$P=0.07$ の時は主にセンターラインに視線が集中し、上手なドライバーが注視するクリッピングポイントであるインコースを目標にできた被験者もいた。 $P=0.14$ の時の視線のバラツキは微分操舵アシストの影響が強すぎて前輪が早く動き過ぎ、逆に車体揺れが大きくなり視線が定まらなかったためと見られる。

以上のような代表的な走行結果と視線検出の結果より、微分操舵アシスト定数 P のケースごとの走行の特徴が顕著になった。そして $P=0.07$ の場合は、成功率が高く安定しており、加えて最も視線の集中と視点の位置が良かった。

同様に、② J ターン走行実験、③ ダブルレーンチェンジ走行実験を行い、各々において、微分操舵アシストの適値を導いている。

更に、ステアリングギヤ比が異なる場合の微分操舵アシストの適値の変化、そして、車両挙動の体感の有無よりも、微分操舵アシストの効果がはるかに大きいこと等についても確認実験を行っており、走行シチュエーションに応じた操舵方式制御の効果を明確化している。

2.3 模型車両による確認実験

ドライビングシミュレータによる実験に並行して、模型車両により実車実験的な模擬的確認を行っている。すなわち、遠隔操作により模型車両を走行させて、アシスト制御技術として前項の走行シチュエーションに応じた操舵方式制御の効果を模型車両にて確認している。また、その時、ドライバーがアシスト制御に違和感が無いかどうかについても確認している(図14)。

これにより、ドライビングシミュレータと遠隔操作による模型車両の両面から、違和感の無いアシスト制御として走行シチュエーションに応じた操舵方式制御の効果を明らかにしている。

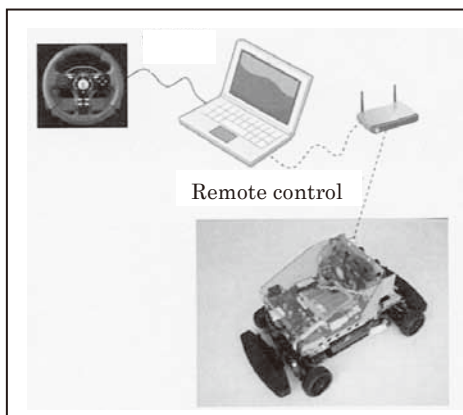


Fig.14 Model vehicle by remote-control.

実験結果例として、J ターン時の微分操舵アシスト定数 P の適値検討を行った例を示す。

実験は、模型車両を用いて、図 15 の J ターンコースを以下の条件で走行した。

- ・最大通過可能車速 1.8m/s で 1.2m の直進後、半径 0.8m の半円を旋回し直線へ抜けるコースを、本操舵方式を用いた車両 ($P=0.07, 0.14$) と用いていない車両 ($P=0$) で各 5 回ずつ走行した。
- ・被験者は 4 人とし実験のスペックを知らせずランダムに 5 回行うこととする。

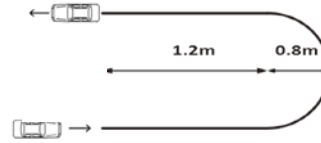


Fig.15 J-turn course.

実験結果は以下のようなになった。

最大通過可能車速 1.8m/s における J ターン走行実験を、本操舵方式を用いた車両 ($P=0.07, 0.14$) と用いていない車両 ($P=0$) の比較を行った。図 16、図 17 に代表例としての結果を示す。図 16 は微分操舵アシスト定数 P の値に応じた車両の前輪実舵角、図 17 は車両のヨー角速度である。また、図 18 は J ターン走行時の成功率である。

図 16、図 17、図 18 より、 $P=0$ の時は、ステアリング操作が難しくコースアウトやスピンを頻繁に起こしてしまうが、ヨー角速度からも発散傾向を示し走行不安定となっていることがわかり、フィーリング評価も良くない。 $P=0.14$ の時は $P=0$ の時より格段に操りやすくなったが、フィーリング評価では、やや被験者に違和感が感じられる傾向にあった。 $P=0.07$ の時は、車両が安定して、前輪実舵角に収束傾向が見られコースアウトやスピンの少ない、さらに成功率とフィーリング評価が共に良いことがわかった。また、最速走行実験結果では $P=0.07$ において通過可能車速の向上が得られた($P=0$ の時は $V_{max}=1.8[m/s]$ 、 $P=0.07$ の時は $V_{max}=1.9[m/s]$)。

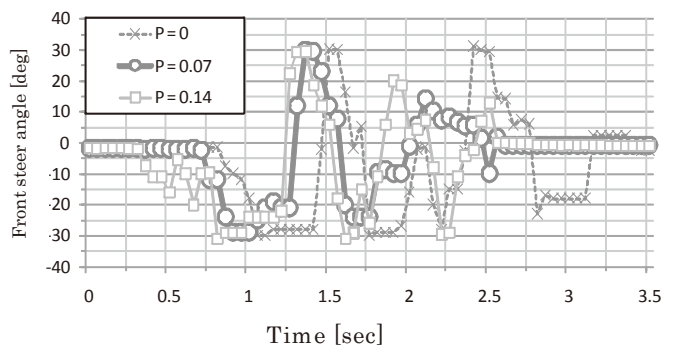


Fig.16 Front steer angle.

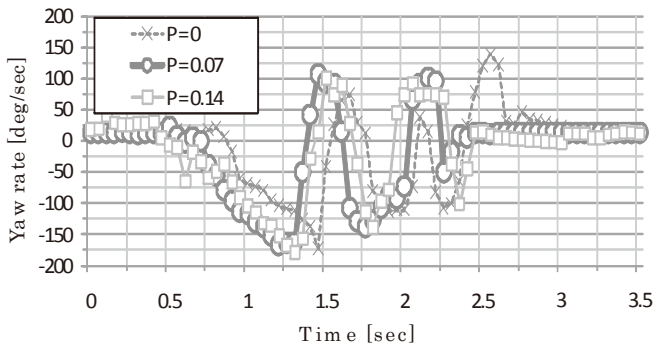


Fig.17 Yaw angle velocity (yaw rate).

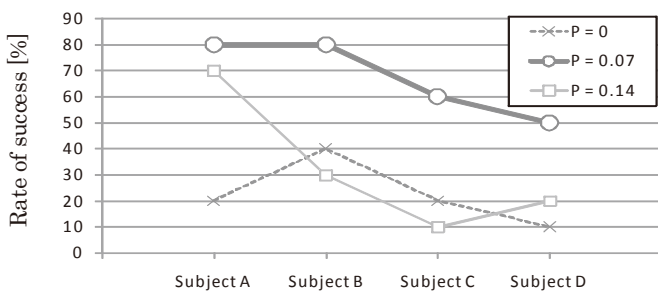


Fig.18 Rate of success.

2. 4 走行シチュエーションに応じた微分操舵アシスト制御の望ましい方向のまとめ

前項までの実験結果より、走行シチュエーションに応じた微分操舵アシストの望ましい制御手法は、図 19 のようになることがわかった。

すなわち、図 19 示すように、コーナリングにおいては、グリップコーナリング時には、微分操舵アシストを極小が望ましく、ドリフトコーナリング時には微分操舵アシストを違和感が無い程度中位が望ましいことがわかった。そして、次に、緊急回避を模擬したレーンチェンジにおいては、レーンチェンジ～グリップコーナリング～ドリフトコーナリング間の切り替わりにドライバに違和感が感じない範囲で効果を大きめが望ましいことがわかった。

また、段付操舵の場合すなわちコーナリング時において、タイヤ特性に基づき、車体スリップ角が 10deg (注：最大コーナリングフォース発生時車体スリップ角) 以下の場合にはグリップコーナリングと判別し、10deg を超えた場合はドリフトコーナリングと判別し、ドリフトコーナリングにおいてのみ、微分操舵アシストを加えている。すなわち、図 19 のような操舵方式制御フローが望ましいことがわかった。そして、次の結果を得た。

- レーンチェンジ～グリップコーナリング～ドリフトコーナリング間において、ドライバが違和感の無い範囲で各走行シチュエーションに応じた操舵方式制御の望

ましい効果が得られた。

- 遠隔操作式模型車両においても、ドライビングシミュレータによる実験結果と同様の傾向であることがわかった。

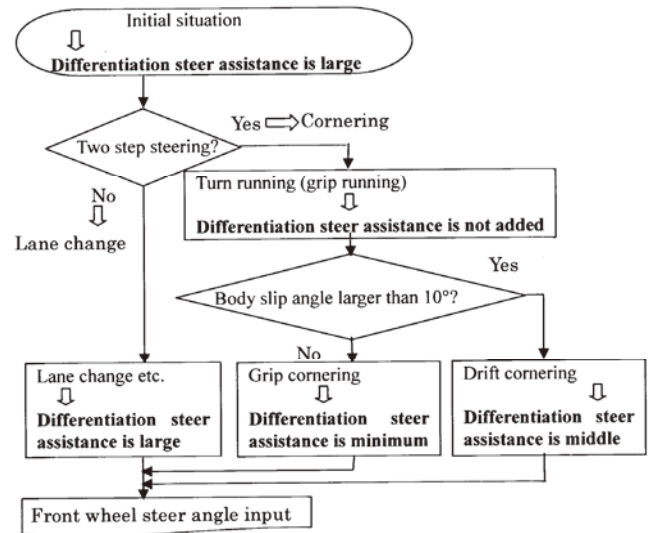


Fig.19 Flow chart of differentiation steer assist control.

3. 操舵角に伴うキャンバ角制御実験

3. 1 模型車両による実験

前項の操舵方式制御により、緊急回避性能の向上、そして、グリップ限界を越えドリフト領域に入った時のカウンターステアのコントロール性は改善されることわかる。一方、旋回限界横加速度の向上の面では、4輪のキャンバ角制御が有効と考えられる。前項の前輪のステア方向の制御にこの4輪のキャンバ角方向の制御が加わることで、トータルの車輪の姿勢角がより望ましく制御されることになると判断できる。

図 20 は、モーターサイクル用のタイヤにて、キャンバ角を大きく変化させた時のタイヤサイドフォース特性 (マジックフォーミュラによる計算値) を示している。ハンドル角に応じて4輪のキャンバ角がネガティブキャンバ方向に変化させるようにすると、限界コーナリングフォースを高める方向に作用させることができる。

(図 20 において、コーナリング限界付近のスリップ角 10° 付近において、キャンバ角の効果は大きいことがわかる。) 従って、モーターサイクル用のタイヤのような比較的丸い形状のタイヤとの適合により、操舵角に比例したネガティブキャンバ角制御を行うことにより、コーナリング限界性能を飛躍的に向上させることができると判断できる。

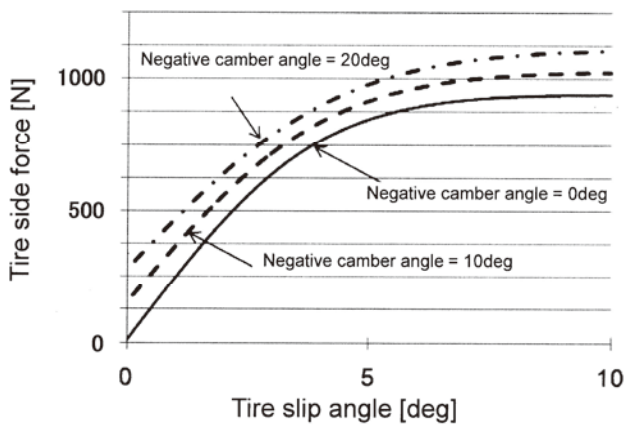


Fig.20 Increase of maximum cornering force (side force) by a negative camber angle. (calculation value by the Magic formula ; vertical load of motorcycle tire: 1000 N)

図 21 に示す前項と同様の遠隔操作式の模型車両により、操舵角比例方式キャンバ角制御(±20°)の実験を行い、次の結果を得た。

- コーナリング限界横加速度において、0.1~0.2Gの向上が確認でき、コーナリング限界における、舵の効きと安定性が共に向上することが確認できた。
- 同様の内容は前項に示すドライビングシミュレータによる実験でも同様の傾向であることがわかった。

具体的には、実験は、遠隔操作による模型車両を用いて、キャンバコントロールの有無の比較を、円旋回コースとダブルレーンチェンジコースにて行った(図 22)。通過可能車速は横加速度の変化と関連させて比較した。

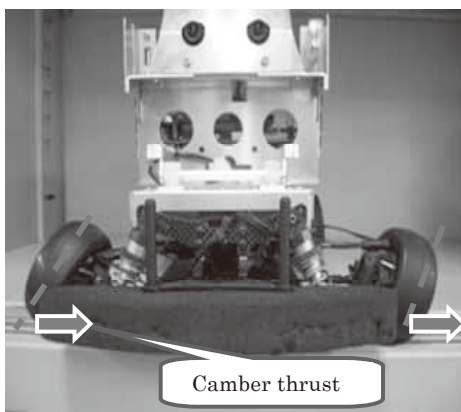


Fig.21 Remote-controlled model vehicle.

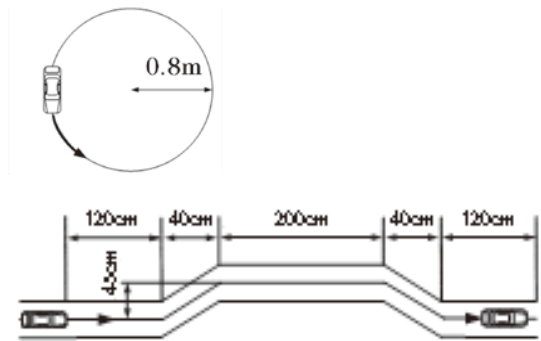


Fig.22 Turning course and double lane-change course.

円旋回コースにおける走行実験結果の代表的結果を図 23 に示す。キャンバコントロールを行った場合は行っていない場合に比べて、横加速度は約 0.10~0.15G 程度向上していることがわかった。また、キャンバコントロールを行った場合は車速が 2.3m/s となり、キャンバコントロールを行わなかった場合は 2.1m/s となり、コーナリング時の通過可能車速が向上した。

次に、ダブルレーンチェンジにおける走行実験結果の代表的結果を図 24 に示す。キャンバコントロールを行った車両は行っていない車両に比べて、横加速度は約 0.1G 程度高い走行が可能となっていることがわかった。また、キャンバコントロールを行った場合の通過車速 2.4 m/s に対して、キャンバコントロールを行っていない場合は 2.1m/s であり、通過可能車速が向上した。

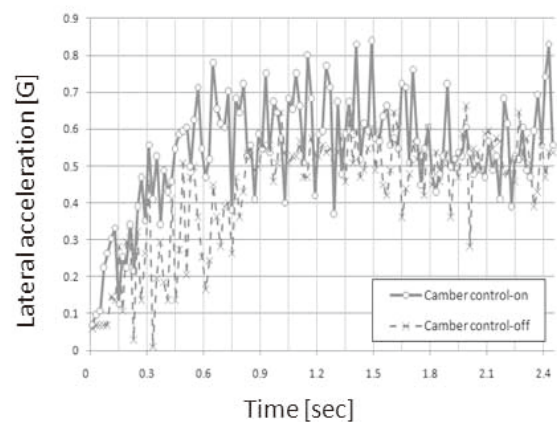


Fig.23 Experimental results (turning).

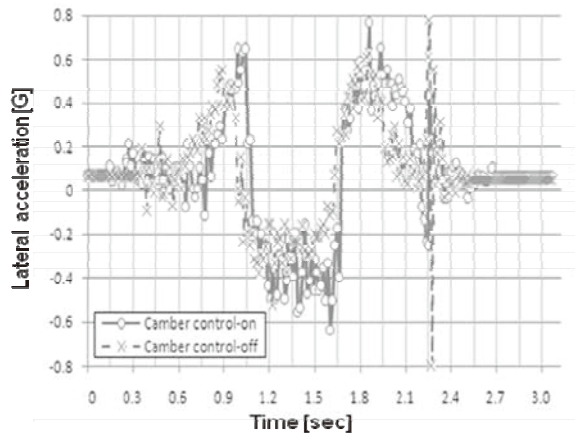


Fig.24 Experimental results (double lane change).

3. 2 小型電気自動車を用いた実験

模型車両による実験に続いて、小型電気自動車を用いて確認実験を行った。図 25 はサスペンションのアップパーアーム長を電動アクチュエータを用いてコントロールするメカニズムを示す。図 26 は製作したハンドル角比例方式アクティブキャンバコントロールシステムを実車の後輪に搭載した様子を示す。(キャンバコントロールの稼動範囲は約 -5deg ~ $+10\text{deg}$ である。)

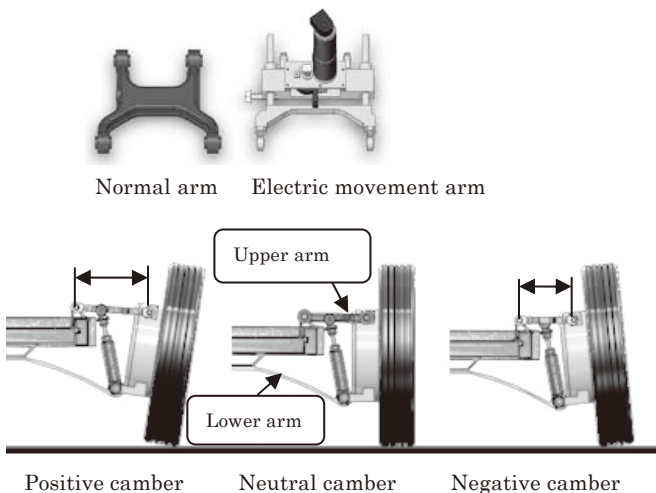


Fig.25 Camber control mechanism.

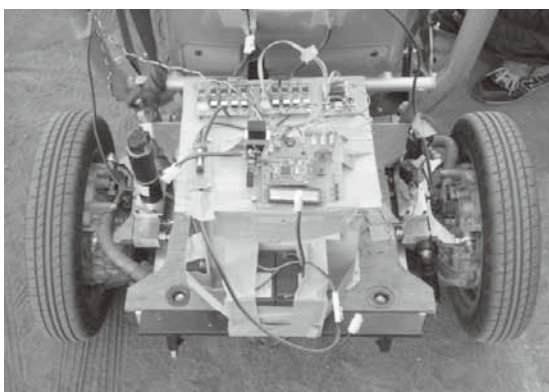


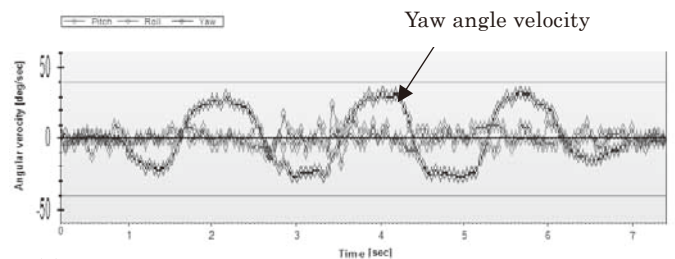
Fig.26 Active camber control system

走行実験は、図 27 に示すパイロンスラロームコースにおいて車速 25km/h にて行った。

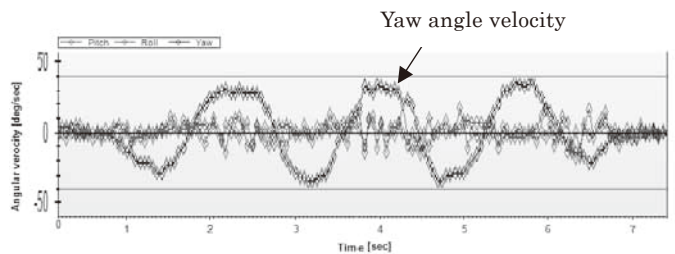


Fig.27 Pylon slalom course

実験結果を図 28 に示す。実験結果より、後輪において、キャンバコントロールを行った場合、行わなかった場合(ニュートラルキャンバ)に比べ、最大ヨー角速度が約 8deg/s 低減できており、後輪が横滑りしにくく、グリップ限界の高い走行が可能となっていることがわかった。



(a) Camber control-on



(b) Camber control-off

Fig.28 Experimental results (pylon slalom)

従って、3.1 項の模型車両において得られた実験結果に定性的な傾向が対応するような結果が得られた。

すなわち、コーナリング限界コントロール性を高める為には、キャンバコントロールが非常に有効な手段であることがわかった。

4. おわりに

緊急回避時において違和感の無いアシスト制御技術として、新しい操舵方式制御（走行シチュエーションに応じた操舵方式制御、微分操舵アシスト等）の研究を進め、緊急回避時に望ましいアシスト制御技術について、解明を行った。ドライビングシミュレータでの種々の走行シチュエーションに応じた新しい操舵方式制御として微分操舵アシスト制御の効果を確認し、違和感が生じないように適値の検討を行った。次に、模型車両を用いて確認実験を行い、ドライビングシミュレータによる実験結果と同様の傾向を示していることがわかった。従って、シチュエーションに応じて適正な操舵方式制御を行うことにより、問題点を克服し、違和感の無い操舵方式制御が可能となることがわかった。

更に、操舵角に比例したネガティブキャンバ角制御がコーナリング限界横加速度へ及ぼす効果の確認が模型車両実験及び実車実験により得られた。

すなわち、走行シチュエーションに応じて、車輪の姿勢角を3次元に制御することで、格段の走行安定性向上が得られることがわかった。

以上の新技術を明らかにできたので、これからの自動車へ反映させていきたい。

電気自動車の時代に対応し、今後、より一層新しい走行安定性の技術が発展し、交通事故を抑制に寄与していくことが望まれる。

ギヤ比の研究”、自動車技術会関東支部学術研究講演会（2009年度）、2010年3月5日

- (2) 神田祥彰, 菊池佑介, 野崎博路, “ドリフトコーナリング時の操縦特性の研究”, 自動車技術会関東支部学術研究講演会（2009年度）、2010年3月5日
- (3) 幸路直也, 荻野満, 野崎博路, “模型車両によるネガティブキャンバコントロールの研究”, 自動車技術会関東支部学術研究講演会（2009年度）、2010年3月5日
- (4) 清田圭太郎, 坂本裕輔, 野崎博路, “模型車両を用いた操舵方式制御の研究 —コーナリング時と緊急回避時における検討—”, 自動車技術会関東支部学術研究講演会（2009年度）、2010年3月5日
- (5) 小林和幸, 宇津野翔, 長野裕樹, 野崎博路, “模型車両を用いた車両の姿勢角制御の研究”, 自動車技術会関東支部学術講演会（2010年度）、2011年3月9日
- (6) 吉野貴彦, 細野拓真, 青木博, 五十幡匡好, 野崎博路, “キャンバ角コントロール車両の研究”, 自動車技術会関東支部学術講演会（2010年度）、2011年3月9日
- (7) 増川努, 水野絢彰, 蒲生海, 野崎博路, “操縦性安定性を高める操舵方式制御の研究 —微分操舵アシストに後輪アクティブステアと可変ステアリングギヤ比を加えた効果把握—”, 自動車技術会関東支部学術講演会（2010年度）、2011年3月9日

③ 特許出願

出願検討中（日産自動車㈱との共同出願）

参考文献

- (1) Nozaki, H., :Effect of Differential Steering Assist on Drift Running Performance, *SAE Technical Paper Series*, 2005-01-3472 (2005), pp.1-8.
- (2) Nozaki, H., :Consideration of Steering Method Control Based on Driving Situations, *Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.75, No.752 (2009), pp.781-788.

① 発表論文

- (1) 野崎博路, 電気自動車の時代に対応する操舵方式制御の考察, JAHFA (JAPAN AUTOMOTIVE HALL OF FAME), 10 83-86, 2010年11月
- (2) Hiromichi Nozaki, Mitsuhiro Makita, Tsutomu Masukawa, PROPER PD STEERING ASSISTANCE CONSTANT BASED ON THE DRIVING SITUATION (accepted), *International Journal of Automotive Technology*, (2011)
- (3) Hiromichi Nozaki, Mitsuhiro Makita, Takahiko Yoshino, Consideration of Steering Control Method Corresponding to Electric Vehicle Age (accepted), *SAE Technical Paper Series*, 2011-01- (2011), pp.1-8.

② 学会発表

- (1) 増川努, 清水惇, 野崎博路, “走行シチュエーションに応じた微分操舵アシスト制御 —ステアリング

高分子両性電解質液噴霧による新しい気中揮発性有機化合物の 吸着除去技術の検討

工学院大学 環境エネルギー化学科 並木則和

国立保健医療科学院 生活環境研究部 鍵 直樹

Removal of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Exhaust Air by Atomizing Acrylamide Polyampholytes (APAs) Solution

ABSTRACT : The release of volatile organic compounds (VOCs), which bring about air pollution such as secondary formation of particulate matters and photochemical oxidants, from various production activities such as painting metal bodies and printing brochures, cleaning precision parts by solvents, into the atmospheric air has been of great concern. Recently, attention has been focused on the method for VOC removal from exhaust gas by spraying water containing acrylamide polyampholytes (APAs) has been focused. In this study, we attempted to characterize the removal of toluene vapor by spraying APAs solution establish a new sophisticated small-scale VOC treatment system. As a result, it reveals from the preliminary experiments using one-fluid nozzle that toluene vapor can be removed by sprayed APA mist, even though it has poor removal performance, and that the removal performance depends on the temperature of fed liquid. In addition, it was found from the comparison of specific removal rate among various kinds of atomizing device that the removal rate of internal -mixing type two-fluid spray nozzle was relatively higher than that of other types of atomizing device, strongly depending on the size of APA droplets.

1. はじめに

産業の発展に伴い化学プロセスや塗装工程,印刷工程などの様々な分野における工業原料や有機溶剤の使用により,揮発性有機化合物(VOC : Volatile Organic Compound)の排出量が増加している。これらの VOC が適正に処理されず大気へ排出された場合,光化学反応により生成する浮遊粒子状物質や光化学オキシダントの原因物質となるため,人体の健康影響が懸念されている。

これらの要因を鑑み,環境省は大気汚染防止法を改正し, **Table 1** に示すような VOC 排出規制を平成18年4月1日に施行した¹⁾。これは,大規模事業所への法規制と中小規模事業所の自主的取り組みによる効率的な排出削減を目指したものである。

Table 1 Regulation level of VOC concentration in exhausts gas¹⁾

Exhaust plant of VOC	Regulation of exhaust
Coating plant of automobiles (Exhaust gas flow rate over 100,000 m ³ /h)	700 ppmC
Drying process in printing plant (Exhaust gas flow rate over 27,000 m ³ /h)	700 ppmC
Drying process in chemical plant (Exhaust gas flow rate over 3,000 m ³ /h)	600 ppmC
Cleaning plant of semiconductor devices (Area exposed to air over 5 m ³)	400 ppmC
Storage bank of gasoline and oil (Storage amount over 1,000 kL)	60,000 ppmC

従来 VOC 処理技術として, **Fig. 1** に示すように水溶液噴霧法や生物処理法,触媒酸化法,活性炭吸着法などが挙げられる²⁾。水溶液噴霧法では界面活性剤溶液を吸収剤として使用した方法があり,除去率が高いもののガス体積流量と

界面活性剤溶液の体積流量がほぼ同じである点や界面活性剤を含む排水処理に問題がある。生物処理法については、微生物を利用した処理法であり、低温で稼働することができる。しかし、高濃度の VOC に対して担体微生物の劣化を引き起すため濃度の変動に対して処理が不安定である。触媒酸化法は、触媒を担持したハニカム型反応器を用いて揮発性有機化合物を 350~500 °C で燃焼し、100~2000 ppm までの濃度範囲の VOC を処理することができる。活性炭吸着法は、最も一般的な処理技術であり、通常 VOC は活性炭に物理吸着によって除去される。その後、活性炭上に吸着して濃縮された VOC の燃焼処理法には、温度スイング法と圧カスイング法が使用されている。しかし、方式に共通する点は装置が大型化することである。

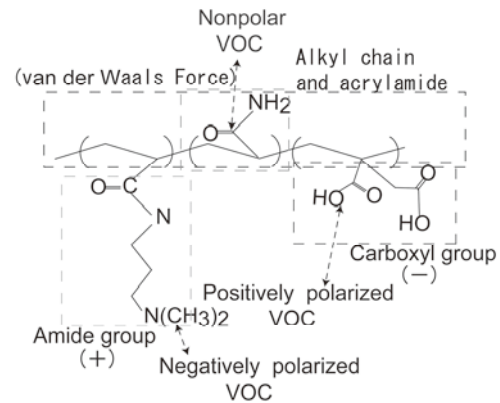


Fig. 2 Schematic diagram of structural formula of acrylamide polyampholytes (APAs).

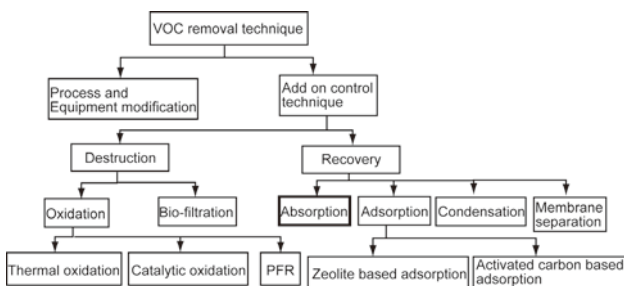


Fig. 1 Classification of VOC control techniques.²⁾

そこで本研究では、特に低濃度の VOC を含む排ガス処理用にアクリルアミド高分子両性電解質 (APA : Acrylamide Polyampholytes) 水溶液噴霧法に着目した。APA は、界面活性剤とは異なり環境に対して無害である。現在、APA 水溶液噴霧法が大規模な工場で採用され始めているが、将来中小規模事業所にも法規制が適用される恐れがあるため、小型の除去装置の開発が必要となる。そこで、小型 VOC 除去システムを構築するための効率的な噴霧法を探索するため、様々な噴霧法により APA 水溶液を噴霧した場合の VOC の基本的な除去特性を把握することを目的とする。

2. APA の特性

Fig. 2 に APA の構造を示す。本研究で用いた APA は、分子量 2.0×10^7 kg/mol、分子主鎖の長さ 35.6 μ m の両性高分子電解質である。Senzaki *et al.* (2006)³⁾によると、APA はカルボニル基(陽極性)とアミド基(陰性基)を含む重合体であり、自己凝集性を活かし、従来から上下水道浄化用の凝集沈殿剤等に使われてきた。近年では、極性を有するアミド基とカルボニル基の側鎖に加えて、アクリルアミド基の側鎖を含む主鎖は無極性であるために、VOC の極性の有無を問わずに吸着する能力があると考えられている。また、一般に両性高分子電解質は、温度や pH の変化に対しても構造を変化させる性質を有する。液温が上昇すると、極性基を内側にして収縮し表面が疎水性になる⁴⁾。

3. APA 水溶液の基本特性と一流体スプレーを用いたトルエン蒸気の除去

3. 1 実験装置および方法

3. 1. 1 平衡ガス吸収量の実験

Fig. 3 に平衡ガス吸収量を測定するための装置概略図を示す。VOC 試料(トルエン)蒸気の発生には、パーミエータ (PD-1B-2; ガステック) の中にトルエン原液を入れたディフュージョンチューブ (以下、D-tube) を挿入して一定温度に保ち、希釈ガスを一定流量送ることで一定濃度の校正用ガスを発生させる方法を用いた。発生したトルエン蒸気を APA 水溶液の入ったガス吸収瓶に通気させた。本実験で使用した APA 水溶液は、市販品の濃縮液(ノーズパル KY-104; エスポ化学)を 150 倍に希釈したもの(10 ppm)を使用した。恒温槽 (30°C) 内に APA 水溶液 150 mL の入ったガス吸収瓶を設置した。そして、ガス吸収瓶の前後で試料空気を、フィルタを装着したシリンジを用いて採取し、ガスサンプラ (HGS-2; 島津製作所) 付きの GC-FID (GC-14B; 島津製作所) により吸収瓶下流のトルエン濃度を測定した。そして、トルエン濃度の破過曲線を求めることで平衡吸収量 q_e を算出した。

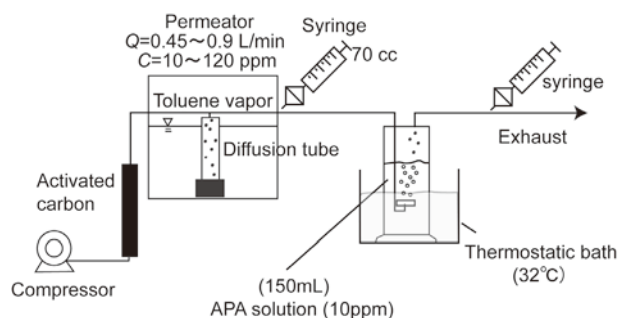


Fig. 3 Setup for measuring absorbed amount of toluene vapor into APA solution in equilibrium.

3. 1. 2 トルエン蒸気の除去

Fig. 4 に一流体スプレーノズルを用いた装置概略図を示す。一流体スプレーノズルは、実機に用いられている二流体スプレーノズルと異なり圧縮空気を用いないため、装置の小型化が可能であると考え検討対象とした。試料 VOC 蒸気発

生系では、恒温槽を用いて発生させたトルエン蒸気を希釈空気と混合させ、トルエン濃度 $C_{in}=80$ ppm, 流量 5 L/min で噴霧塔(内径 ϕ 80 mm, 噴霧有効長さ 925 mm)に送った。APA 水溶液(10 ppm)は、一定温度に保たれた水槽に入れたポリタンクに充填された。そして、プランジャーポンプ(MWISP 05 EX 200W; マルヤマエクセル)により一定圧力で送り、Fig. 5 に示す一流体スプレーノズル(M-19; 共立合金製作所)を用いて塔内に噴霧された。そして、GC-FIDを用いてAPA 溶液および水噴霧時のダクト出口濃度(C_{APA} , C_{in})を用いて以下の式から算出した。

$$R[\%] = \left(1 - \frac{C_{APA}}{C_{in}}\right) \times 100 \quad (1)$$

本実験で使用したスプレーノズル(M-19)は、細い管から出た高圧の水を凹面状の窪みに衝突させることで微細な液滴を生じるフラットパターンスプレーノズルである。なお、噴霧水圧 3 MPa のときの平均液滴径(ザウター径)は 24 μ m, 噴霧量は 83 mL/min である。

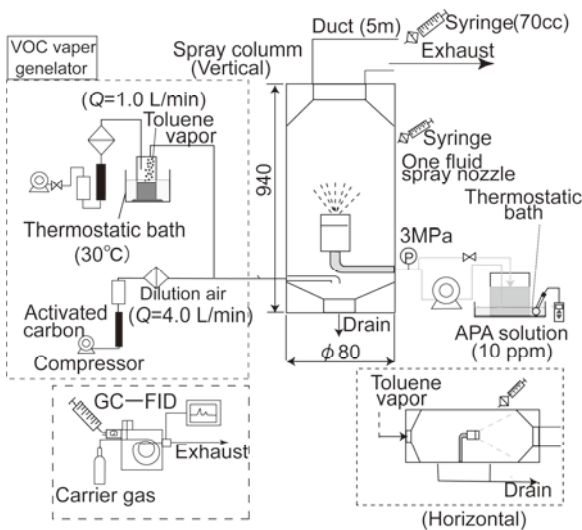


Fig. 4 Setup for removal of toluene vapor by APA solution atomized by a one-fluid spray nozzle.

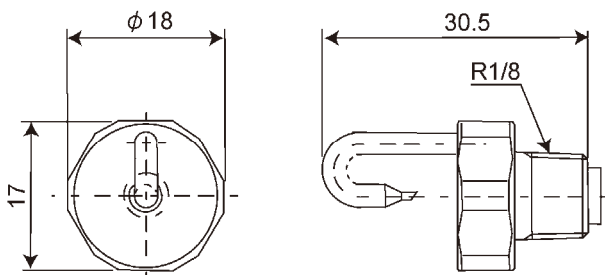


Fig. 5 Diagram of the impaction-type one-fluid spray nozzle used.

3. 2 実験結果および考察

3. 2. 1 平衡ガス吸収量

Fig. 6 にトルエン蒸気濃度に対する平衡吸収量 q_e の変化を

示す。本実験の濃度範囲において、直線関係になっていることから Henry 型になっていることがわかる。なお、比較のために水を用いて同様の実験を行い、APA 水溶液と比較した図を Fig. 7 に示す。図より、水はほとんど吸収しなかったことから、APA 水溶液はトルエンに対して吸収能力を有することが確かめられた。

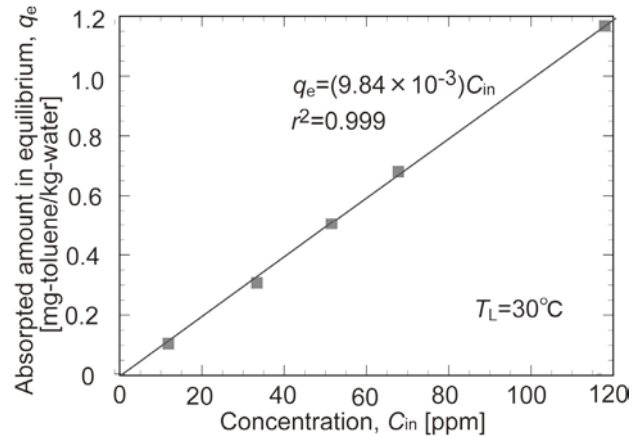


Fig. 6 Absorbed amount of toluene into APA solution in equilibrium.

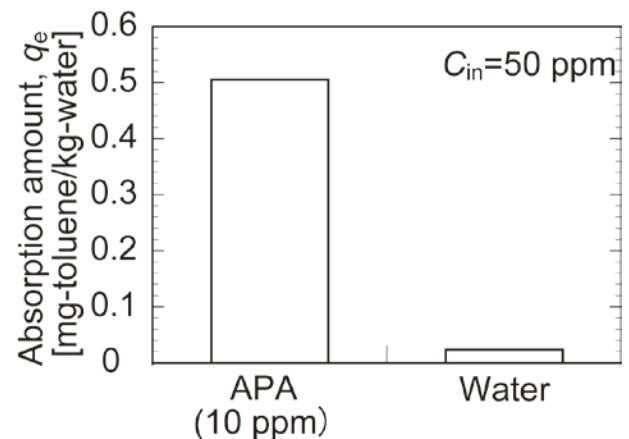


Fig. 7 Absorbed amount of toluene into APA solution and water.

3. 2. 2 トルエン蒸気の除去

Fig. 8 に、APA 水溶液 26°C の時の噴霧塔上部とダクト出口での除去率を示す。図より、除去率が 10 % 強程度であることがわかる。これは、スプレー噴霧域(約 300 mm 四方)に対して、噴霧域の直径(ϕ 80 mm)が小さいため、大半の液滴が非常に短い滞留時間で壁に衝突してしまい、VOC の除去に十分利用できていないためと考えられる。また、ダクト出口の除去率が噴霧塔出口のそれに比べてわずかに低下している。これは、液滴中の APA に吸着しているトルエン蒸気が脱離している可能性がある。

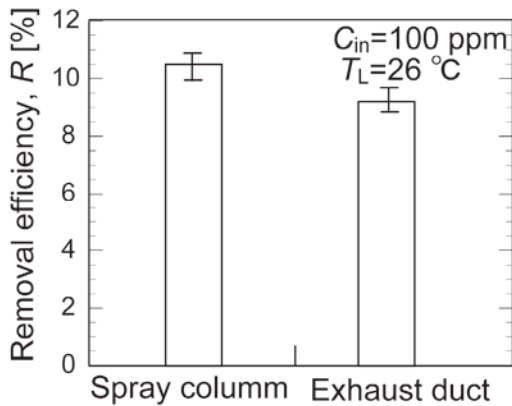


Fig. 8 Comparison of removal efficiency of toluene at the outlet of spray column and exhaust duct.

Fig. 9 に, APA 水溶液の温度に対するトルエン除去率の変化を示す。図より, 液温 40℃までは除去率が上昇し 40℃以降で低下する傾向にある。

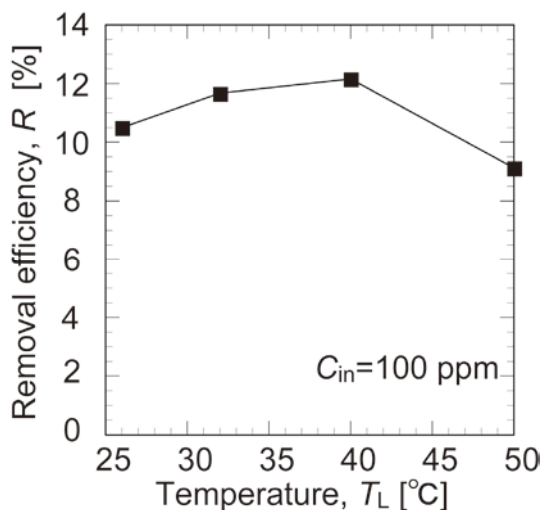


Fig. 9 Change in removal efficiency of toluene with temperature of fed APA solution.

Fig. 10 に, $T_L=40$ °Cの時のトルエン蒸気濃度に対する除去率の変化を示す。さらに, このデータと Fig. 6 の平衡吸収量 q_e との比である飽和度 S を Fig. 11 に示す。図より, 供給された APA のうちトルエン除去に使用されている割合は 10^{-4} 程度であることがわかる。

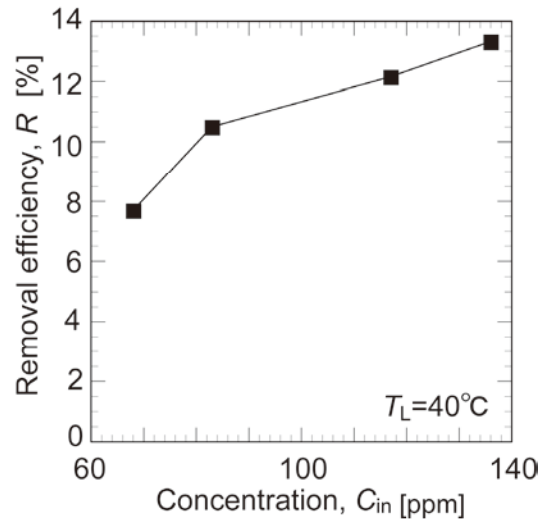


Fig.10 Change in removal efficiency of toluene with concentration at $T_L=40$ °C.

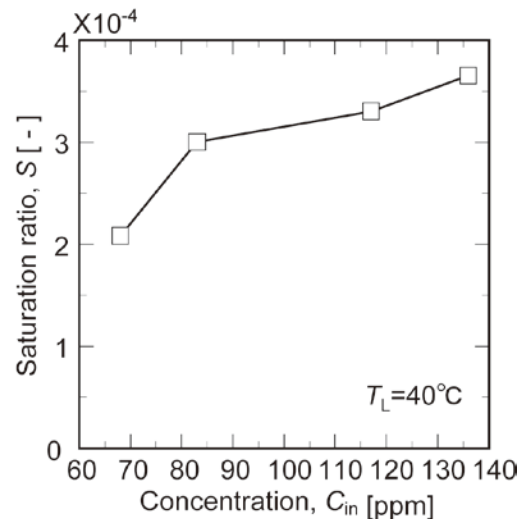


Fig. 11 Change in saturation ratio with toluene concentration at $T_L=40$ °C

Fig. 9 に示される温度依存性のメカニズムとして, Fig. 12 に示すように両性高分子である APA は自己凝集能力があり, 液温の上昇に伴い極性基を内側にして APA が凝集することにより, APA 外表面は相対的に疎水性を帯びようになると考えられる。そして, 水滴外表面へ APA の疎水性基が押しやられる形になることで, 水滴表面でトルエンのような難水溶性の有機化合物が APA に直接吸着すると考えられる。一方, 液温 50℃で除去率が低下するのは, 液温がある温度以上になることで表面に偏在している APA の熱運動が活発になることで, 水滴の外部に現れる吸着サイトが減少するためと考えられる。

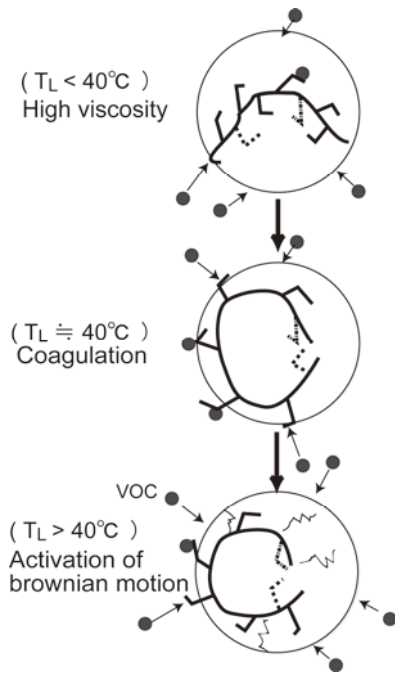


Fig.12 Predicted mechanism of structural transformation in APA in a droplet.

Fig. 13 に、APA 水溶液($C=10$ ppm)の液温を変化させて、オストワルド粘度計を用いて動粘度を求めた結果を示す。図より、APA 水溶液の液温 40°C 手前で動粘度の低下率が大きくなっていることがわかる。これは、このあたり温度域で APA の構造の鎖状構造から凝集体構造への変化が起きたことが示唆される。

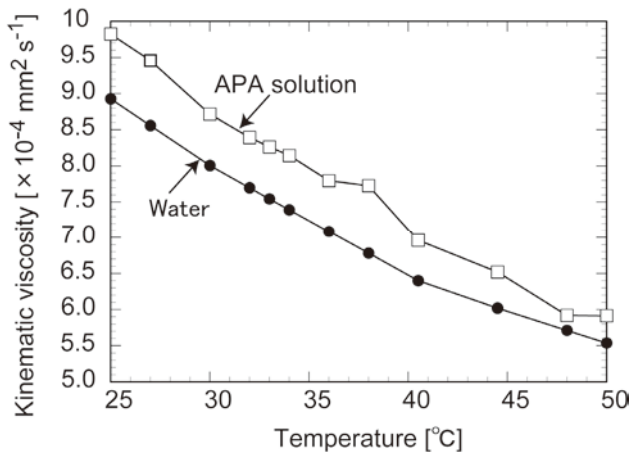


Fig. 13 Change in kinematic viscosity of water and APA solution with fed liquid temperature.

以上のように、噴霧塔の直径がスプレー噴霧範囲に比べて小さいことから噴霧塔を大型化すると共に、一流体スプレーノズル以外の様々な噴霧方式の除去特性を調べることにした。

4. 様々な噴霧方式の除去特性の比較

4. 1 実験装置および方法

4. 1. 1 噴霧装置の概要

前章で使用した一流体スプレーノズルに加え、実験に使用した計 6 種類の噴霧装置の仕様を Table 2 に示す。

Table 2 Typical operating conditions of six kinds of atomizing device to be tested.

Atomizing device	Water	Air	Sauter mean diameter
One-fluid spray nozzle	3 MPa 0.083 L/min	Not used	24 μm
Two-fluid spray nozzle (internal mixing)	0.3MPa 0.038 L/min	0.3 MPa 40 L_N /min	15 μm
Two-fluid spray nozzle (external mixing)	Not compressed 0.018 L/min	0.3 MPa 34 L_N /min	10 μm
Collison atomizer	Not compressed 0.00012 L/min	0.3 MPa 7 L_N /min	3 μm
Raskin nozzle	Not compressed 0.00045 L/min	0.3 MPa 20 L_N /min	3 μm
Ultrasonic atomizer	Not compressed 0.003 L/min	Not compressed 16 L_N /min	8 μm

内部混合型の二流体スプレーノズル (KSMMMD075 \times 3-A10W045; 共立合金製作所) は、圧縮空気と加圧した水をスプレーノズル内部で混合させて微細な液滴を発生させる噴霧装置であり、実機での APA 水溶液噴霧に使用されている (Fig. 14)。一方、外部混合型 (SU-1.0E; スプレイングシステム) は、圧縮空気がノズル先端で噴出する際に生じる圧力低下により水を自然誘引させて噴霧するノズルであり、液を加圧する必要が無い⁵⁾。

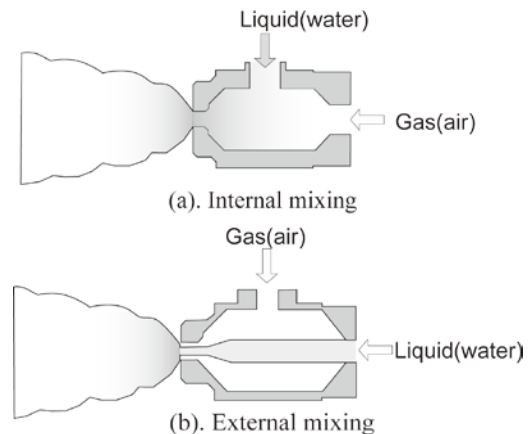
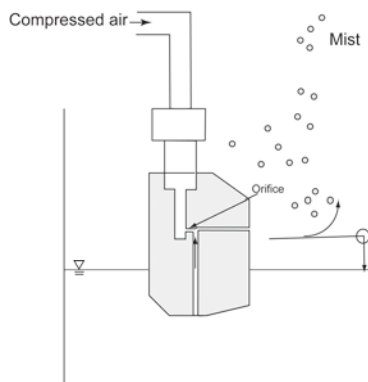


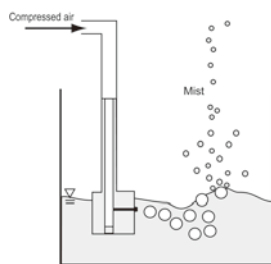
Fig. 14 Two types of two-fluid spray nozzle to be tested.

残りの 3 種類のアトマイザー (Fig. 15) は、数 μm 以下の試験粒子の発生に用いられる噴霧装置である。コリソニアトマイザは、前述の外部混合型の二流体ノズルの作動原理と同様であり、圧縮空気がオリフィスを通じた際に乗じる圧力低下で液を誘引して噴霧する。なお、噴霧された粗大液滴は壁面に衝突し、衝突しなかった微細液滴のみが排出される。次に、ラスキンノズルは、圧

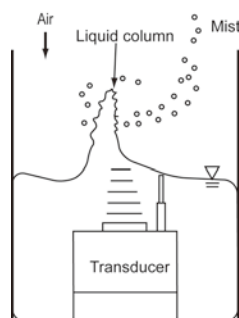
縮空気によって液体に送り込んで発生した気泡が液面で圧壊する際に発生する微細液滴を供給するものであり、エアフィルタの捕集効率試験に使用される。最後の超音波エネルギーを液面に集中させ、そのエネルギーで液滴を飛散させる方法である。超音波振動子(HM-303N; 本多電子)を液面に向けて設置し、強力な超音波を共振すると、音圧が高い中心位置で波が立ち、さらに超音波エネルギーが集中して水柱を作り出す。このとき、水柱の表面では表面波が発生し、この表面波の定在波がキャピラリー波と呼ばれ、この波の先端から液滴が飛散する。



(a). Collison atomizer



(b). Raskin nozzle



(c). Ultrasonic atomizer

Fig. 15 Three types of atomizer to be tested.

4. 1. 2 トルエン蒸気の除去

本実験では前節で述べた、6 種類の噴霧装置を用いて APA 水溶液を噴霧し、どの程度の除去性能があるかを調べた。まず、Fig. 16 に一流体スプレーノズルを用いた VOC 除去装置の概略図を示す。噴霧塔は、前述の装置から内径を $\phi 80$ mm から $\phi 250$ mm に拡張し、ダクトの噴霧有効長も 1700 mm

と 2 倍弱とした。まず、30 °C に設定した恒温槽の中に入れたトルエン原液に、一定流量の空気を流すことで、一定濃度のトルエン蒸気を発生させた。噴霧塔塔内に流入したトルエン蒸気と一流体スプレーノズルから噴霧される APA 水溶液の液滴を接触させる装置である。噴霧装置の底部には噴霧液のドレインを設けた。

次に、トルエン蒸気発生系では、20 mL のトルエン原液を入れたビーカーをガラス容器内に設置し、50°C の恒温槽に設置し加温させることでトルエン試料蒸気を発生させた。空気を流量約 0.2 L/min で供給し、断面中央の風速が 0.1 m/s (流量 147 L/min) になるように希釈空気と混合し一定濃度に調製して噴霧塔に導入した。APA 水溶液は、原液を 150 倍に希釈し APA 濃度を 10 ppm に調製した上で、容器に充填し恒温槽内に設置した。そして、一流体スプレーノズルの水圧を 3 MPa に設定して噴霧した。液滴を含む試料空気は、石英フィルタを装着したシリンジを用いて液滴を除去した上で、サーマルガスサンプラーに導入し、GC-FID を用いてトルエン濃度を測定し、(1)式を用いて除去率 R を求めた。

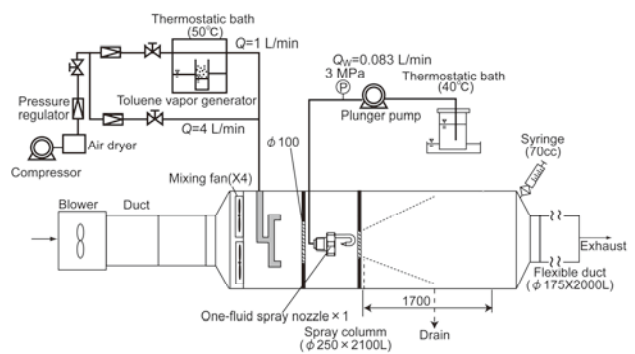


Fig. 16 Setup for removal of toluene vapor by atomizing APA solution with the one-fluid spray nozzle.

Fig. 17 に、二流体スプレーノズル(内部混合型)を用いた VOC 除去装置の概略図を示す。一流体スプレーノズルの場合とほぼ同様であるが、同様に調製した APA 水溶液を圧力タンク(CV-18N-LG; リキッドシステム)に充填し、二流体スプレーノズルの水圧を 0.3 MPa、空気圧を 0.3 MPa (噴霧水量を 38 mL/min) に設定し噴霧した。次に、同様に発生させたトルエン蒸気を流量 0.2 L/min に設定して噴霧塔に流入させ、小型のファンを稼働させて噴霧塔内の風速を 0.3 m/s に設定した(総流量 654 L/min)。試料空気を前述のように GC-FID に導入して、トルエン濃度を測定し除去率 R を求めた。

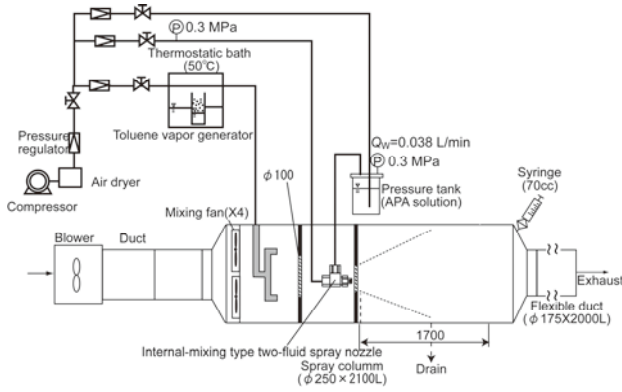


Fig. 17 Setup for removal of toluene vapor by atomizing APA solution with the two-fluid spray nozzle (internal mixing type).

Fig. 18 に、二流体スプレーノズル(外部混合型)を用いた VOC 除去装置の概略図を示す。装置は Fig. 17 とほぼ同様であるが、APA 水溶液の供給方法として APA 水溶液を入れた容器を一定の高さに置くことで、水頭差を利用して液を供給し、ノズルの空気圧を 0.3 MPa(流量 34 L/min)に設定して噴霧した。同様に発生させたトルエン試料蒸気を流量 0.3 L/min に設定して噴霧塔に流入させ、小型のファンを稼働させて噴霧塔内の断面中央風速を 0.24 m/s(465 L/min)に設定した。トルエン濃度の定量の手順は同様である。

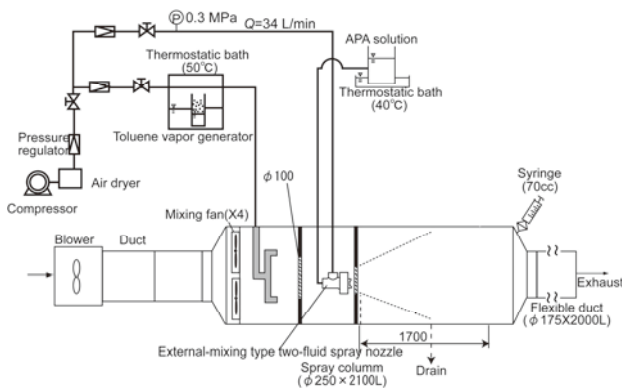


Fig. 18 Setup for removal of toluene vapor by atomizing APA solution with the two-fluid spray nozzle (external mixing type).

Fig. 19 に、コリソニアトマイザを用いた VOC 除去装置の概略図を示す。噴霧塔は、2 つダクト(下部ダクト φ 80×1050, 上部ダクト φ 130×420)で構成されており、コリソニアトマイザで圧力 0.3MPa(流量 8 L/min)で APA 水溶液を噴霧し、塔内に流入したトルエン蒸気(流量 1 L/min)と接触混合させた。トルエン濃度の定量の手順は同様である。

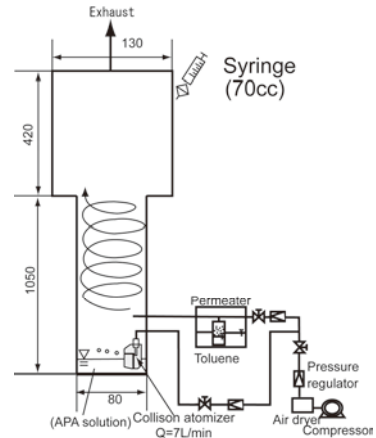


Fig. 19 Setup for removal of toluene vapor by atomizing APA solution with the Collison atomizer.

Fig. 20 に、ラスキンノズルを用いた VOC 除去装置の概略図を示す。Fig. 19 と同様に、塔内に 1 L/min で流入したトルエン蒸気とラスキンノズルから圧力 0.3MPa(流量 20 L/min)で噴霧された APA 水溶液の液滴を接触させた。以下の手順は、前述の通りである

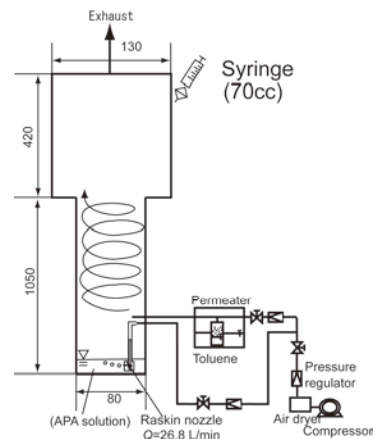


Fig. 20 Setup for removal of toluene vapor by atomizing APA solution with the Raskin nozzle

Fig. 21 に超音波アトマイザを用いた VOC 除去装置の概略図を示す。装置は、前述のラスキンノズルとほぼ同様であり、下部ダクト内に超音波発振子を設置した。同様に発生させたトルエン試料蒸気を流量 1 L/min で供給し、流量 16 L/min 空気と混合させて噴霧塔に導入した。それ以降は同様の手順で行った。

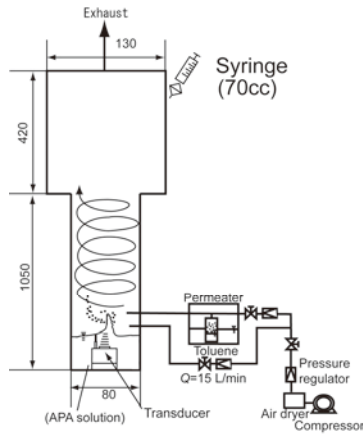


Fig. 22 Setup for removal of toluene vapor by atomizing APA solution with the ultrasonic atomizer.

4. 2 実験結果および考察

Fig. 23(a)に新旧噴霧塔の除去率 R の比較を示す。噴霧塔の内径を $\phi 80$ mm から $\phi 250$ mm に拡張するのに伴い送風系統を圧縮空気から送風機に変更したため、同じ風量に調整することが困難であることから、除去率で比較することに意味が無い。そこで、下記の式で示される比除去速度 r_s [mol/kg-water]を求めることで、異なる風量や噴霧量、トルエン濃度でも比較可能となる。その比較を同図(b)に示す。

$$r_s = \frac{RC_{in}Q_t}{m_w} \quad (2)$$

ここで、 Q_t は総空気流量[m³/s]、 C_{in} は入口トルエン濃度 [mol/m³]、 m_w は液供給質量流量[kg/s]である。図より、新塔の比除去速度が旧塔に比べて 20 倍に向上しており、スケールアップによる液滴の滞留時間の拡大により大幅に増加していることがわかる。しかし、Fig. 10 に示す飽和度に換算しても 7%強にしかならず、ラボ実験において実機スケールと同等の除去性能を得ることは困難であると言える。しかしながら、各噴霧装置間の相対的な比較は可能であることから、次に各噴霧装置の比較結果を示す。

Fig. 24 に、各噴霧装置における比除去速度 r_s の比較を示す。図より、 r_s の順は内部混合型二流体ノズル、外部混合型二流体ノズル、一流体ノズル、超音波霧化の順となっており、コリソニアトマイザおよびラスキンノズルでは全く除去されなかった。 r_s が相対的に大きかった内部混合型の二流体ノズルでは、空気圧および水圧の噴霧条件を変えて除去率を求めて r_s を算出した。

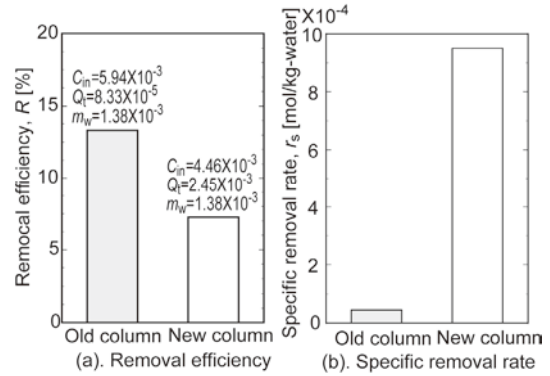


Fig. 23 Comparison of removal efficiency and specific removal rate of toluene for the one fluid spray nozzle used in the old column and the new one.

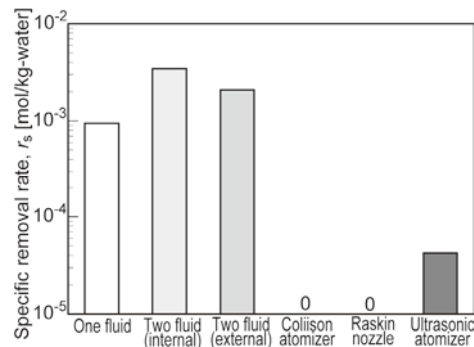


Fig. 24 Comparison of removal efficiency and specific removal rate.

Fig. 25 に、追加の二流体ノズルのデータを含めた全データを、ザウター径 D_p に対して r_s をプロットした図を示す。図より、内部混合型の二流体ノズルの r_s と D_p の相関をとると $D_p^{-7.20}$ に比例する結果となった。また、内部混合型ノズルの除去速度が D_p に対して強い依存性がある理由として、比表面積の増加 ($\propto D_p^{-1}$) や滞留時間の増加 ($\propto D_p^{-2}$) 以外に APA の表面被覆率 α の向上が考えられる。そのため、より微細な液滴を噴霧できる内部混合型の二流体ノズルを用いれば飛躍的に除去性能が向上すると期待される。一方、一流体ノズルや外部混合型の二流体ノズルは前述の傾向線から外れており、除去速度が単純に粒径のみの関数ではないことを示唆している。

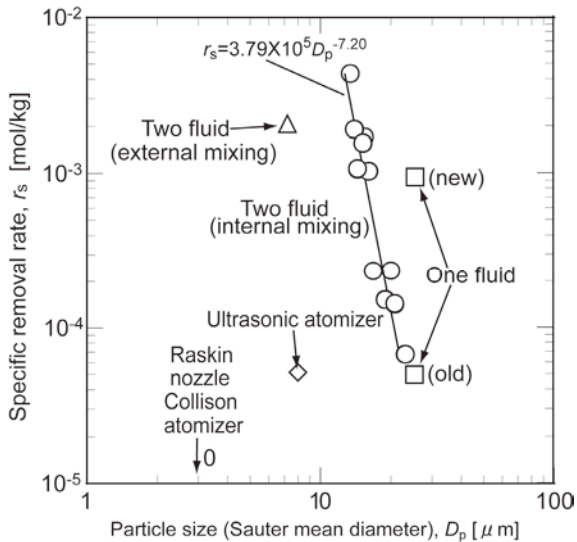


Fig. 25 Relationship between specific removal rate and droplet diameter for various kinds of atomizing device.

次に、液滴径の小さいラスキンノズルやコリソニアトマイザは全く除去性能を有しなかった理由として、Fig. 26 に示すコリソニアトマイザを例に挙げて、その理由を説明する。APA 分子は長鎖の高分子で極性を有しており、APA 分子同士で一定の集合体を形成していると考えられるため、APA が高濃度の領域と希薄な領域が存在することになる。そのため、噴霧時において粘性の高い高濃度域は相対的に粗大液滴に含まれ、微小液滴には APA が含まれないと予想される。以上のことから、高濃度の APA を含む粘性の高い領域を強い剪断力で分散できる内部混合型の二流体ノズルが APA を含む液滴の噴霧に適していると考えられる。

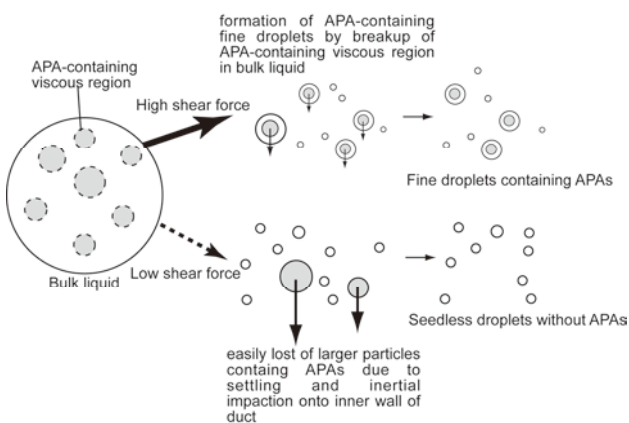


Fig. 26 Predicted mechanism for formation fine droplets containing APAs from bulk liquid.

5. 結言

本研究では、APA 水溶液噴霧による小型の VOC 除去システムを構築するため、実験室レベルでの基本的な VOC 除去特性を把握することを目的試みた。その結果、得られた知見を以下に示す。

- 1) 十分な除去率とは言えないものの二流体スプレーでトルエンの除去が可能である。
- 2) $T_L=40^\circ\text{C}$ で除去率が最大となる。この除去率の液温依存性は、APA 水溶液中での APA の構造の変化に由来すると予想される。
- 3) さまざまな噴霧法を検討した結果、内部混合型二流体スプレーノズルが最も比除去速度が高く、比除去速度と液滴径には強い依存性がある。
- 4) 内部混合型二流体スプレーノズルで $10\ \mu\text{m}$ 以下の液滴を発生させることができれば、飛躍的に除去性能を向上させることができると考えられる。

今後は、スプレー衝突式内部混合型二流体スプレーノズルを用いて、さらに微細な液滴を発生させて、さらなる除去速度の向上を図る。また、ラボスケールにおける除去特性を比較するため、実際の工場現場での実測を行う。

参考文献

- (1) 西村幸男:“国内外の VOC 規制の動向と塗装業界の対応”, 表面技術, Vol.56, No.10 (2005) 594-600
- (2) F. I. Khan, A. Kr. Ghoshal. “Removal of volatile organic compounds from polluted air”, *J. of Loss Prevention in the Process Industries*, 13 (2000) 527-545
- (3) T. Senzaki *et al.* : “Colloidal effects of acrylamide polyampholytes Part 1. Electrokinetic behavior”, *Colloidal and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspect*, Vol.281 (2006) 74-81
- (4) 川口春間 : “ポリマー微粒子の合成と利用”, *化学と教育*, Vol.47, No.5 (1999) 294-297
- (5) 並木則和 : “産業用スプレーノズルの基礎とその基本性能評価法 (総説)”, *空気清浄*, Vol.47, No.5 (2010) 4-9

本研究の業績

① 発表論文
なし

② 学会発表

- (1) 押久保悠, 並木則和, 内田雅樹, 大久保隆司, 真鍋充房, 小林俊弼, 二流体スプレーノズルを用いた両性高分子含有液滴噴霧による揮発性有機化合物 (VOC) の除去, プレ ISCC2010 研究発表会, 東京, 2010/6/9, pp.71-73
- (2) 押久保悠, 並木則和, 内田雅樹, 大久保隆司, 真鍋充房, 小林俊弼, スプレーノズルを用いた両性高分子含有液滴噴霧による揮発性有機化合物 (VOC) の除去, 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 名古屋, 2010/8/3, pp.43-44

- (4) Y. Oshikubo, T. Ohnishi, M. Uchida, N. Namiki,
Removal of Volatile Organic Compounds (VOCs) by
Atomizing Acrylamide Polyampholyte (APA) Solution
Using Spray Nozzles, The 9th International Symposium
on Advance Technology, Tokyo, 2010/11/5, pp.43-44,
p.21

③ 特許出願
なし

憲法と制度改革：国際化と地域化の市民生活への影響に関する研究

共通課程 長谷川 憲

パリ第2大学教授 アルメル・ル ディヴェレック

La Constitution et la Réforme du du système juridique

— L'étude comparative relative aux actualités de l'activité citoyenne dans la mondialisation et le régionalisme —

HASEGAWA Ken Département d'éducation générale
ARMEL LE DIVELLEC Université de Paris II

ABSTRACT : 本研究は、欧州における欧州連合の成立と地域的拡大、および東アジアにおける経済的一体化の進行の下で、急速に進む国際化および地域化現象が、市民生活と市民意識に与える影響と問題点に関して、国際機関および国家制度、並びに議会制度、司法制度および地方制度などに与える影響に関して、日仏の研究者による国際的共同研究により比較法・比較政治制度論的観点から検証することを目的として企画され、実施された。2010年度は、補論的にフランスにおける議会制について、立憲主義に関する問題を扱った。

Selon les réformes récentes dans le domaine du système judiciaire et politique, par exemple, la participation des citoyens à la justice et au processus politique, la nomination des juges parmi des avocats, la réforme d'apprentissage des juristes, et l'accroissement des populations judiciaires, etc., ont été le but d'effectuer cette réforme. Cependant, afin de renforcer le rôle social des juges et d'agrandir le rôle des praticiens du droit, il semble nécessaire de maintenir la garantie du statut réel et stable en ajoutant la garantie du statut formelle de ces derniers comme le principe d'immobilité étant la signification de la garantie stable de leur statut, en plus il y a une nécessité d'installer le lieu de l'échange avec des intéressés des autres domaines des juristes et des citoyens, et d'avoir l'espace de publication des articles, d'exprimer des paroles libres des juge, etc. L'année 2010, on discutait le régime parlementaire dans le gouvernement constitutionnel en France.

**Problèmes actuels de la démocratie en France :
La fin du parlementarisme "négatif" ?
La situation du Parlement français après la révision constitutionnelle
de 2008**

Armel LE DIVELLEC

Professeur de droit public à l'Université de Paris 2 (Panthéon-Assas)

フランス民主政治の今日的課題：
「消極的」議会制の終焉？
2008年憲法改正後のフランス議会の状況

アルメル・ル ディヴェレック

パリ第2（パンテオン＝アサス）大学教授

La démocratie française se caractérise, depuis 1958, par un système de gouvernement original, que j'ai proposé d'appeler un *système parlementaire à captation présidentielle*.

En dépit du rôle éminent joué, comme on sait, par le Président de la République, le système ne cesse pourtant pas d'être structurellement parlementaire : non seulement les règles juridiques formelles (en particulier le principe de la responsabilité politique du gouvernement devant le Parlement) y sont en vigueur, mais son fonctionnement réel rattache sans conteste la V^e République aux logiques essentielles du parlementarisme. C'est d'ailleurs grâce à ces ressorts parlementaires que le Président jouit d'une telle faculté de diriger la politique nationale : il utilise, mieux : il capte ces ressorts notamment en ce que, depuis 1962, il peut s'appuyer, pour diriger le gouvernement, sur le soutien d'une majorité parlementaire objectivement solide.

Simultanément, ce parlementarisme peut être qualifié de *parlementarisme négatif*. Je veux dire par là que la France se rattache à une variante particulière du système parlementaire, celle où les assemblées parlementaires participent de manière essentiellement négative à la direction des affaires : elles sont, au fond, surtout des institutions de limitation d'un pouvoir gouvernemental qui agit

autant qu'il peut sans elles, sans leur participation positive.

Cette orientation prise par la France en 1958 provient d'une réaction radicale à l'impuissance des III^e et IV^e Républiques (1875-1958) à fonder un gouvernement parlementaire stable et efficace. Pour en sortir, on a choisi une orientation nouvelle, permettant la rupture avec ce système de "souveraineté parlementaire" (ou de "parlementarisme absolu", selon le mot du juriste des années 1930 Raymond Carré de Malberg).

Mais l'équilibre obtenu par le parlementarisme négatif a souvent été critiqué : on a déploré la faiblesse des assemblées, qui pèseraient peu dans le processus législatif et contrôleraient trop imparfaitement le pouvoir exécutif.

Dans ce contexte, une révision de grande ampleur (39 articles modifiés, 9 ajoutés) de la Constitution formelle a été adoptée le 23 juillet 2008 et prolongée par différents textes d'application. Ce sont ses principaux aspects que j'aimerais évoquer de manière synthétique ici afin de m'interroger sur la question de savoir si l'on peut continuer à parler de "parlementarisme négatif" pour la France actuelle.

1. La rupture de 1958 : fin de la "souveraineté parlementaire"

La Cinquième République instaurée en 1958 a représenté une puissante rupture dans le parlementarisme français, dont on estimait qu'il accordait une place excessive au Parlement, au détriment de la capacité d'action de l'Exécutif et, finalement, au détriment de la démocratie. Il a été mis fin au règne de la "souveraineté parlementaire", système dans lequel les assemblées étaient en droit et en fait maîtresses du rôle qu'elle voulaient jouer au sein de l'ordre constitutionnel.

a) par l' "assainissement" du parlementarisme (à travers un sévère encadrement -- on appelle cela techniquement la "rationalisation" -- du statut et des compétences des assemblées, désormais contrôlés par le Conseil constitutionnel)

b) par l'affirmation d'un "pouvoir d'Etat", incarné par le Président de la République, en prise directe avec le suffrage universel :

- un pouvoir d'Etat (selon la formule de Georges Burdeau) : la fonction présidentielle est restaurée (par rapport à la pratique de la III^e République et au droit de la IV^e République). Elu indépendamment des assemblées, pour un long mandat (7 ans -- jusqu'en 2000), irresponsable (sauf haute trahison), doté de compétences nombreuses (par exemple, sa signature est requise pour quantité de nominations et d'actes du gouvernement de l'Etat : décrets, ordonnances, traités), dont les plus importantes sont dispensées de contreseing ministériel, c'est-à-dire lui permettent une action autonome par rapport au gouvernement (qu'il nomme et, en pratique, peut révoquer).

Mais au-delà de la lettre du droit de la Constitution, le statut et les compétences du chef de l'Etat ont pris une ampleur nouvelle par la volonté déterminée du premier Président, le Général de Gaulle, puis de ses successeurs, d'exercer le rôle de "guide de la Nation" -
- en opposition assez radicale avec les tendances dominantes du parlementarisme démocratique contemporain qui aboutissent à faire du premier ministre le chef réel de l'Exécutif (exemple de l'Angleterre, de l'Allemagne ou du Japon).

- Ce pouvoir d'Etat est appuyé sur le suffrage universel par le référendum (article 11 et 89), le droit de dissolution de l'Assemblée nationale (article 12) et (à partir d'une réforme en 1962) l'élection du Président au suffrage universel direct (article 6).

De Gaulle sut rompre avec l'esprit de la souveraineté parlementaire en prenant des initiatives et en faisant approuver sa politique par le corps électoral.

Pour la première fois depuis 1875, le Parlement français n'était plus le centre du système de gouvernement.

2. Un parlementarisme quand même, mais "négatif"

a) Caractères

- En dépit du rôle prééminent du Président de la République, la V^e République reste toutefois bien un système parlementaire : le gouvernement continue de dépendre du soutien de l'Assemblée nationale, faute de quoi il est obligé de se retirer (éventuellement après une dissolution). Les 3 phases de "Cohabitation" entre un Président et une Assemblée de tendances partisans opposées (1986-88, 1993-95 et 1997-2002) ont confirmé, s'il en était besoin, le caractère vraiment parlementaire du régime.

- En réalité, il vaut mieux le qualifier de régime parlementaire à captation présidentielle : la force profonde du Président est qu'il s'appuie sur les ressorts du parlementarisme majoritaire : sauf cas particulier de la cohabitation, la majorité parlementaire existe et reconnaît le Président pour son chef. Dès lors, elle soutient toutes ses initiatives et le Président peut "capter" les ressorts du parlementarisme majoritaire à son profit politique. Le Premier ministre est apparemment dans la même situation qu'un Premier ministre britannique ou japonais, mais il travaille pour le compte de la politique présidentielle, non pour sa politique propre.

A cet égard, le Président français est dans une situation constitutionnelle sensiblement différente de celles des autres présidents en Europe et, par ailleurs, dans une position tout à fait différente structurellement du Président des Etats-Unis d'Amérique qui, au contraire, ne peut jamais être sûr

du soutien du Congrès (il ne peut le dissoudre et ses ministres ne peuvent poser la question de confiance).

- Je qualifie le parlementarisme français de "négatif" car on peut dire que prévaut le principe suivant : tout ce qui n'est pas expressément autorisé au Parlement lui est interdit. Il ne peut s'exprimer qu'à travers des procédures strictement limitées. Ainsi :

- les ministres ne peuvent plus simultanément être membres des assemblées

- le Gouvernement, nommé par le Président (art. 8), n'a pas besoin d'une investiture de l'Assemblée nationale ; elle peut seulement prendre l'initiative de voter une motion de censure contre lui (art. 49). C'est ce que l'on appelle le principe de la "confiance présumée" (jusqu'à preuve du contraire, on présume que le Gouvernement possède la confiance d'une majorité à l'Assemblée. C'est aussi ce qui arrive dans certains pays nordiques, comme au Danemark, où l'on parle volontiers de "parlementarisme négatif")

- les assemblées ne siègent plus quand elles le veulent mais seulement en 2 sessions annuelles de 3 mois (des sessions supplémentaires sont possibles, mais elles peuvent être refusées par le Président de la République)

- leur règlement intérieur est contrôlé par le Conseil constitutionnel (par opposition au principe traditionnel de l'autonomie interne des parlements)

- l'ordre du jour de leurs travaux est déterminé en priorité par le Gouvernement,

- les assemblées ne peuvent s'organiser comme elles le veulent : la Constitution limite à 6 le nombre de ses commissions permanentes et le statut et les pouvoirs des commissions d'enquête sont très limités (par une loi organique initialement élaborée par le gouvernement)

- le Gouvernement dirige, grâce à diverses prérogatives, l'essentiel de la procédure législative (sans compter qu'il détient un pouvoir réglementaire plus large qu'auparavant)

- Le Gouvernement peut engager sa responsabilité politique sur le vote de tout projet de loi (article 49, alinéa 3) afin de forcer les députés à ne pas s'opposer à ses projets sinon au prix de la chute du cabinet

- les assemblées ne peuvent plus voter de résolutions sur la politique générale : elles ne peuvent que :

--> 1° discuter et voter la loi (article 45)

-->2° poser des questions écrites et orales aux ministres, sans conséquence juridique (art. 48)

-->3° voter une motion de censure contre le Gouvernement (article 49, alinéa 2), arme décisive mais qui ne peut pas être maniée quotidiennement.

Ainsi, les assemblées sont juridiquement presque cantonnées à un rôle passif : elles peuvent s'opposer aux menées d'un Exécutif formé en dehors d'elles, mais elles n'ont plus vraiment l'initiative de la politique. D'où mon terme de "parlementarisme négatif".

b) Défauts

- Si l'on oublie un instant la spécificité française du rôle du Président, on peut noter que les assemblées françaises connaissent les mêmes contraintes que leurs homologues de tous les régimes parlementaires modernes (la stricte dualité entre la majorité et l'opposition, la stricte discipline de vote des députés, l'encadrement du travail du député par le groupe politique). Et l'Exécutif y est prédominant comme au Royaume-Uni, en Allemagne, au Japon, etc...

- Mais il s'ajoute, dans le cas français, une propension des parlementaires à se satisfaire de leur condition. Ils ont intériorisé leur abaissement.

- Outre le manque de dynamisme de l'opposition (qui préfère souvent l'obstruction au travail de fond), c'est surtout le "Self restraint" des députés de la majorité vis-à-vis de l'Exécutif qui caractérise la situation du parlementarisme français. Ces députés sont souvent trop dociles et n'exigent pas suffisamment du gouvernement la contrepartie à leur soutien. Les causes de cet état de fait ne sont pas uniquement juridiques (d'autant que des réformes ponctuelles ont déjà été adoptées avant 2008). Il s'agit plus profondément d'un changement de culture parlementaire qu'a provoqué la V^e République.

3. Révision de 2008 et ses prolongements

Dans ces conditions, la révision constitutionnelle de 2008, élaborée en partie sur les propositions d'une commission de réflexion présidée par l'ancien Premier Ministre Edouard Balladur) a tenté de

modifier de nombreux points de détail de la Constitution pour donner un peu plus d'autonomie aux assemblées vis-à-vis de l'Exécutif.

Désormais -- et je me limiterai ici aux points principaux, plus directement en lien avec ma thèse du parlementarisme négatif :

1) En ce qui concerne le statut

- les anciens ministres issus du Parlement peuvent retrouver automatiquement leur siège au Parlement un mois après qu'ils ont quitté leurs fonctions (art. 25 et loi organique). C'est une manière de rapprocher "culturellement" l'Exécutif et le Parlement, car cela facilitera la fluidité des carrières.
- le nombre des commissions permanentes a été porté à 8 (au lieu de 6)
- L'ordre du jour des séances du Parlement est réorganisé : seule une grosse moitié (et non plus la quasi-totalité) sera déterminée en priorité par le Gouvernement, le reste au choix des parlementaires (art. 48). En outre, une séance par mois est réservée aux groupes de l'opposition et groupes minoritaires.

2) En ce qui concerne le contrôle de l'Exécutif

- les commissions parlementaires peuvent s'opposer aux principales nominations aux grands postes de l'Etat (au premier chef pour les membres du Conseil constitutionnel, mais aussi pour les présidents des autorités administratives indépendantes, etc...) (art. 13, alinéa 5)
- les assemblées peuvent voter des résolutions sur la politique générale (art. 34-1)
- l'Exécutif a l'obligation d'informer le parlement de l'envoi des forces armées à l'étranger. Si l'intervention se prolonge au-delà de 4 mois, l'approbation par un vote public du Parlement est nécessaire (art. 35)
- tout groupe parlementaire peut obtenir qu'un débat en séance publique soit organisé (art. 50-1)
- l'opposition aura de plus grandes facilités pour obtenir la création d'une commission d'enquête à l'Assemblée nationale (art. 141 du R.A.N : seule une majorité des 3/5e peut s'opposer à la demande)

3) Les contraintes sur la procédure législative sont assouplies :

- Le Gouvernement ne pourra plus engager sa responsabilité sur le vote de n'importe quel projet de loi : désormais, il ne pourra le faire que pour le projet de loi de finances (et le projet de loi de financement de la sécurité sociale) ainsi que pour un seul texte par session (art. 49, al. 3)

*les conditions de recevabilité d'un projet de loi (i.e. émanant du Gouvernement) sont renforcées (art. 39, al. 3 et Loi organique)

*des délais entre le dépôt du texte et sa discussion sont imposés (art. 42, al. 3)

*les Conférences des Présidents (organe directeur) des deux assemblées peuvent conjointement s'opposer à l'application de la procédure accélérée (permettant au Gouvernement de déclarer l'urgence pour la discussion des textes) (art. 45, al. 2)

*la discussion en séance publique s'engagera (sauf exceptions) sur le texte issu des travaux de la commission et non plus sur le texte du Gouvernement (art. 42, al. 1)

*les présidents des deux assemblées peuvent convoquer une commission mixte paritaire (7 députés et 7 sénateurs) pour aplanir les désaccords entre les deux chambres sur une proposition de loi (art. 45, al. 2). (Auparavant, seul le Premier ministre pouvait le décider.)

4. Appréciation

Cet ensemble de dispositions nouvelles assouplit donc considérablement les contraintes juridiques pesant jusque-là sur les assemblées parlementaires françaises.

Est-on donc pour autant sorti de la version "négative" du parlementarisme ?

Je ne le crois pas.

- Sans doute, plusieurs des réformes que j'ai indiquées donneront-elles davantage de marges de manœuvre aux parlementaires, tant en matière législative qu'en matière de contrôle du gouvernement et de l'administration. De plus, l'opposition est désormais mieux reconnue et a vu ses capacités d'initiative renforcées (proposition de débats, ordre du jour, commission d'enquête).

- Mais ce mouvement restera, je crois, limité pour deux raisons principales :

1) D'abord, il faut comprendre que les normes juridiques ne produisent pas automatiquement des résultats attendus par ceux qui les élaborent. C'est particulièrement vrai en matière constitutionnelle, puisque le droit constitutionnel est un droit politique : il est fabriqué par ceux-là mêmes auquel il s'applique. De plus, il est un droit d'habilitations davantage que d'obligations strictes. Ainsi n'est-on pas certain que les parlementaires se serviront des instruments nouveaux mis à leur disposition. L'expérience passée a plutôt montré qu'ils manquent de volonté d'exercer pleinement toutes les possibilités que leur offre le droit formel.

Mon estimé collègue le Professeur Guy Carcassonne dit souvent, à juste titre, que le Parlement français a suffisamment de pouvoirs mais qu'il manque de parlementaires déterminés à les exercer. Il note que la pratique française du cumul des mandats (un député ou un sénateur exerce le plus souvent un mandat électif local, par ex. maire d'une grande ville) est un frein à l'investissement complet du parlementaire dans son mandat national.

Bref, il ne suffit pas d'avoir toute cette gamme de pouvoirs, il faut de la volonté d'être dynamique : le Parlement français, je le crains, ne changera fondamentalement pas sur ce point.

2) Ensuite, la réforme de 2008 n'a pas véritablement touché à l'armature centrale du régime, à l'équilibre général entre le Président, le Gouvernement et le Parlement.

En vertu de l'organisation générale des pouvoirs, et compte tenu de la culture constitutionnelle française depuis 50 ans, la Présidence semble être destinée à continuer de jouer le rôle majeur pour déterminer la politique. Tous les principaux acteurs de la vie politique travaillent d'ailleurs en ce sens.

Dès lors, le Gouvernement continuera d'être ce qu'il est depuis de Gaulle : un organe au service du Président de la République.

Le Parlement n'intervient pas formellement pour sa nomination et il n'y a pas vraiment de raison que cela change.

La conséquence fondamentale est que le gouvernement, même en harmonie partisane avec la majorité du Parlement, se considère d'abord comme l'obligé du chef de l'Etat et non du Parlement. Il se méfie généralement des initiatives émanant des députés de sa majorité et cherche à les dominer. Cela est vrai également dans les régimes parlementaires étrangers (Royaume-Uni, Allemagne, Japon) mais la grande différence est que, dans ces pays, le Parlement est responsable de la création du Gouvernement, responsable seulement devant lui.

Tandis qu'en France, le gouvernement est, de fait, doublement responsable : devant le Parlement mais aussi devant le Président, lui-même élu par le suffrage universel.

Ainsi, la relation à deux (Gouvernement/Parlement) habituelle dans les régimes parlementaires modernes est-elle, dans le cas français, une relation à trois (Président/Gouvernement/Parlement), qui complique le jeu assez simple de la confiance et de la responsabilité.

Le maintien d'une conception et d'une pratique "présidentialistes", c'est-à-dire reconnaissant au Président le rôle dirigeant majeur pour déterminer la politique du pays, contribuera encore à maintenir les assemblées parlementaires françaises dans cette logique "négative" (on peut s'opposer mais pas déterminer soi-même) qu'avait souhaité le Général de Gaulle pour restaurer l'Etat dans son autorité et son efficacité.

Aujourd'hui, l'évolution du monde est telle que l'Etat n'a plus la puissance qu'il avait à l'époque du Général. Mais le parlementarisme français, je crois, continuera à être "négatif". Ce n'est malheureusement pas forcément une bonne direction pour la démocratie*.

(*Le texte original de la conférence de l'Université Kogakuin, le 21 janvier 2011)

2. 総合研究所プロジェクト研究報告 (2011年度継続研究)

Innovative Identity Matrixing Model in the Trans-Cultural Era

Michael Kearney

Setsuko Adachi

Shuichi Kawasaki

General Education, Kogakuin University

General Education, Kogakuin University

The Japanese Red Cross College of Nursing

Transcultural な時代の創意的アイデンティティ - マトリクシング-モデル

工学院大学 共通課程外国語科 カーニー マイケル

工学院大学 共通課程外国語科 足立 節子

日本赤十字看護大学 川崎 修一

ABSTRACT: With the development of Advanced Information and Communications Systems (AICS), the dissemination of cultural constructions has become more rapid and has broadened in scope to include almost every region of the world. The cultural systems being transmitted globally through AICS are primarily Euro-American ideologies, which include concepts regarding economics, consumerism, civil rights, politics, gender roles, morality, lifestyle, notions of success, fashion, and diet. These concepts have permeated traditional regional cultural systems causing irreversible alterations. The idea of concise homogeneous cultures is antiquated. Current cultures are hybridizations. In the global paradigm of *informatization* (from Michael Hardt and Antonio Negri's book *Empire*) regional societal sets are transcultural. Holding that identity is constructed internally within an individual from external cultural factors, then it may be concluded that identities today are culturally hybrid. In order to better address the forging of identity under the forces of globalization, the authors have developed a theoretical model of the identity formation process, termed Identity Matrixing, which accounts for the conditions of transculturality. Understanding this model will foster the creation of transcultural frameworks to better engage and traverse globalizing cultural landscapes. Furthermore, the application of the model, and the concepts that the model proffers, to the development of educational programs will assist in the creation of courses that prepare individuals to navigate, with an underlying schema of benevolent coexistence, the ever globalizing world landscape. The report will introduce the Identity Matrixing Model (IMM) and the applications of the IMM in case studies eliciting the problems and suggesting the probable solutions to the problems. It will also include relevant developments and interests from various interdisciplinary backgrounds that the model has been receiving as addressing the complexities of multicultural existence. The second part of the report will focus on the success that the innovative application of the model and its ancillary concepts, through their utilization in educational programs at Kogakuin University, namely the English Communication Skills Program (ECSP) and the Postgraduate Intercultural Communications Course (PICC), has achieved. Furthermore, a development is taking place to foster non-program oriented students where four content-based courses that utilize the IMM theories are to be implemented in the year 2011.

1. はじめに

高度情報コミュニケーションシステム
(Advanced Information and Communications

Systems, AICS)の発達とともに、諸文化構築の伝播はますます加速して行われ、その範囲は世界のほぼ全地域にわたっている。AICSによってグローバル規模で伝播されている文化システムは基本的に欧米のイデオロギーであり、

それらは経済、消費主義、公民権、政治、ジェンダー役割、道徳、ライフスタイル、成功観、ファッション、食物に関する概念を含んでいる。これらの概念は諸地域の伝統的な文化システムに浸透し二度と元に戻せない変化をもたらし、正確な意味での単一文化は廃れたのである。今日の文化はハイブリッド化している。すなわち情報化(Infomatization)のパラダイム(Hardt & Negri Empire)にある地域的社会的存在はすべて transcultural、混文化的存在なのである。

アイデンティティは、個の内に外在する文化的要素から構築されると考えられるが、であるとすれば今日のアイデンティティは文化的にハイブリッドであると結論づけられる。グローバリゼーションの流れの中におけるアイデンティティを扱うためにアイデンティティ・マトリクス Identity Matrixing と呼ぶ理論モデルを筆者たちはこれまで展開してきている。本研究はこのモデルが transculturality/混文化性の状態をも明らかにするのに有効であること示す。なぜならばこのモデルを理解することは、グローバリゼーションが展開しつつある諸文化の状況に個がより適切に関わり、歩んでいくために必要な transcultural な/混文化的構造をアイデンティティの内につくりだすことを可能にするからである。

そこで本 2010 年度の報告書は、混文化を必然とする情報化パラダイムの中で、その状況に対応したアイデンティティ形成の理論モデル、Identity Matrixing を応用した研究成果を示すとともに、本アイデンティティモデルの新たな展開のよりダイナミックな方向性を示唆し、混文化性との関連付けの中で重要となる概念の提示に対する国際的な反応を取り上げていく。次に、本 Identity Matrixing 理論モデルをプログラム編成のバックボーンとして作られている教育プログラム English Communication Skills Program (ECSP)、Postgraduate Intercultural Communication Course (PICC)の成果、および進捗状況を昨年度に引き続き紹介する。そして新たに次年度より ECSP プログラムには登録していないが、高いモチベーションのある学生のために提供していく content-based の科目、すなわち「英

語」の習得のみを狙いにしたものから、それを超えて専門的な批評理論的知識をも英語で知識を習得し活用していく科目の導入を紹介する。本共同研究に通底する認識に日本の intercultural な現場への現実感の欠如があげられるが、いずれもその欠如間の克服と、混文化性を特徴とするグローバリゼーションで活躍するために必要な構造をアイデンティティのうちに養成することを目標とする英語のプログラムである。

2. Identity Matrixing Model 展開と反応

本研究代表者、Michael Kearney はとくにその研究業績の優れた貢献を認められ、イギリスの Oxford 大学 Mansfield College で 2009 年 9 月に開催された 3rd Global Conference on Multiculturalism, Conflict and Belonging が出す本の編集執筆を依頼された。その本は From Conflict to Recognition: Moving Multiculturalism Forward と題されすでに編集作業は終了、出版を待つのみとなっている。を依頼があり、本書には 2009 年 9 月に発表した論文、*An Identity Matrixing Model for Transculturality* が、2 倍程度まで大幅に加筆され Kearney M. and S. Adachi, *Mapping Hybrid Identities: A Matrixing Model for Transculturality*, という題で From Conflict to Recognition: Moving Multiculturalism Forward (M. Kearney (ed), Inter-Disciplinary Press, Oxford, 2011)に収められている。

また、2010年9月に4th Global Conference on Multiculturalism, Conflict and Belonging では Kearney は *Designing Singaporeans: A Project in Identity Construction*、足立は *Undermining Coexistence: Japanese Discursive Formations Related to Empathy*をそれぞれ発表し、それぞれ書籍掲載用にと執筆依頼があり、すでに書籍用に加筆詐欺用を終了、編集者 Tina Rahimy, Albin Wagener と編集作業中である。本年度は足立の貢献も認められ、Steering Committee として学会運営側に参加することを要請され、受諾し、すでに 2011 年度 9 月に開催される 5th Global

Conference on Multiculturalism, Conflict and Belonging のための 200 通から 50 通に絞り込むという abstract 査読作業を行って貢献している。2011 年 9 月に開催される本学会では IMM に対する反応のセクションで述べるように、本 Inter-Disciplinary Net. の Research Director, Alejandro Cervantes-Carson との共同研究第一陣としてのシンポジウム・パネル発表が企画されている。

さて、*An Identity Matrixing for Transculturality* の概要であるが、Jacques Lacan が唱えたアイデンティティ形成理論と Identity Matrixing Model の関連を説き、グローバルな規模の global consumer の出現を扱っている。その出現は、さまざまな地域に経済的急成長をもたらすと同時に、問題の種類となっているが、AICS が地域的／文化的な構築を、有無を言わずハイブリッド化 transcultural 化することに大きな一因がある。そのグローバル規模で起きている経済的・政治的影響や変化を Identity Matrixing でもって本論は解明している。なお、global consumer, グローバル消費者に関しては Kearney & Adachi の *The Production of the Global Consumer: Economic Booms and the Destruction of Cultures* を参考にされたい。

本セクションでは本モデルが用いる Lacan の Symbolic Order と本モデルの関係、そして筆者らが提示する Identity Matrixing を理解する上で重要な概念の概略を記すのにとどめる。

2.1 Symbolic Order の複数性

Lacan の Symbolic Order(象徴界)は言語、文化、シニフィエの領域で、人間が「私」という個として出現する領域である。すなわち象徴界は個に個を形成する中身と構造、思考を生成するイデオロギー、現実、信念を供給し、それを支配する言説編成(discursive formation)を授与するのである。この Lacan のモデルは人間のアイデンティティがいかにか形成されるかを考える上で有効なものであるが、transcultural な、混文化的な状態、すなわち一つ以上の象徴界が作用している状態を考慮には入れていなかった。そこで筆者たち

が強調したいのは、すべての人間の文化には数多くの象徴界が存在しており、極端な状況下でない限り一つだけの象徴界のみに存在するというのではないという点である。

2.2 本理論モデルが提示する重要概念: Vertical Matrixing, Horizontal Matrixing, Meta-Symbolic Order, Global Hodological Maps

本理論モデルが提示する重要概念は、1. Vertical Matrixing, 2. Horizontal Matrixing, 3. Meta-Symbolic Order, 4. Global Hodological Maps である。

2.2.1 Vertical Matrixing and Horizontal Matrixing

多数の象徴界が個のアイデンティティに取り込まれていく仕組みを筆者たちは垂直方向におきるマトリクスと水平方向に起きるマトリクスとに分けて考えている。詳細は本論を参照して頂きたいが、ある象徴界の中で互いに関わることなく生成される個別のアイデンティティを垂直方向、vertical になされる Identity Matrixing とみなし、それらの個別のアイデンティティが共通する象徴界、たとえば同じ学校に進学したのであればその学校の象徴界、は水平、horizontal に、すなわち彼らに共通する象徴界としてそれまでの個別の垂直な Vertical Matrixing に橋をかけるような形で matrixing が起こると考えられるのである。このように各アイデンティティは Vertical Matrixing、Horizontal Matrixing を、恒常的に行っており、さまざまな変化を経つづけていく。

2.2.2 Meta-Symbolic Order

今日の transcultural 性を促進し特徴付けているのが、高度情報コミュニケーションシステム(Advanced Information Communications Systems, AICS)である。この発達によって、ほぼ世界の全地域的象徴界にまたがる、グローバルな象徴界の層が出現したのであり、この層を筆者たちのモデルでは Meta-Symbolic Order と呼んでいる。この象徴界は地域性を超えて AICS へのアクセスがあるところならば、どこでも浸透していくという混文化性の特徴を持つ。グローバルに世界を覆う Meta-Symbolic Order の層は AICS によって

受信機能のあるありとあらゆる文化に情報を、つまり欧米文化システム、経済に関するイデオロギー、消費主義、公民権、政治、ジェンダー役割、道徳、ライフスタイル、成功観、ファッション、食物に関する概念を伝播する。注意しておかなければならないのは、これは単一世界文化の形成を意味しているわけではないという点である。Meta-Symbolic Orderの文化的構築は、地域的文化的システムにさまざま影響をさまざまな度合いで及ぼすが、それを受容することもあれば、拒絶することもある、だが、いずれにしろこのアイデンティティ形成に影響していることには変わらない。このようにして Meta-Symbolic Order がもたらすものと地域的文化的システムは混ざり合い、新たにハイブリッド化したこれまでになかった融合アイデンティティを各地域に作り出し、多様な transcultural な状況をつむぎつづけるのである。

ハート・ネグリらのいう *informatization*(情報化)パラダイムを、Meta-Symbolic Order と AICS の関係で解明すると、*informatization* の時代というのは transculturality の一つで、経済的な存在が AICS を通してグローバル市場で商品の販売をより拡大・促進する広告を出すことを可能にしたパラダイムである。それにとどまらず AICS は消費のためのイデオロギーと文化システムをも地域社会の象徴界に吹き込んで transcultural なアイデンティティをつくり、その人々をやがてグローバル化した消費者に仕立てるのである。経済的な存在は AICS を用いて個が Meta-Symbolic Order をアイデンティティとして内在化させるとその人は消費者になるというイデオロギーを Meta-Symbolic Order のうちに生成したということが理解される。

2.2.3 Global Hodological Maps

グローバル化時代には、すべての文化がその他の地域発の文化構築によって浸透されている。ハート・ネグリが *informatization*(情報化)の第三パラダイムを特徴づけるのは経済的/文化的帝国主義だと主張したが、第三パラダイムに移行する地域のアイデンティティは自立的な判断力を喪失するように入れられる。Meta-Symbolic Order によって発信されるシステムに知らず知らずのうちにプログラムされ

ることで個は無力化するわけである。Meta-Symbolic Order がどのように機能し作用するののかの仕組みを理解しておくことで、個はこの知識を用いて Global Hodological Maps をつくり、グローバルな状況の中でポジティブに機能する、無力化することを防ぐことが可能なのである。

Jean-Paul Sartre は Being and Nothingness の中で hodological map を個に内在化された、個が他者と遭遇したときに用いる行動様式とコミュニケーションパターンのシステムであると説明している。Hodological map は生まれてから成長とともに言語と文化を通して個の内に生成されていく。Hodological map は、アイデンティティとは異なるが、Identity Matrixing の過程と同じ文化構築であるところの象徴界から作られる。つまり、hodological map はアイデンティティを形成するものと同じ要素から構成されているといえるし、個が社会／文化を渡り歩くときのガイダンス・システムだということができる。Transcultural な時代にあっては、個がアイデンティティ形成の過程と Identity Matrixing の際にどのような要素が作用しているのかを把握していることによつてのみ、第三パラダイムが形作っている transcultural な状況のなかで自ら舵をとって進んでいくために必要な Global Hodological Maps は作り得るのである。

2.3 Identity Matrixing Model の応用と反応

2.3.1 応用

Identity Matrixing Model を応用し本年度発表した論文には以下の4点がある。

Adachi, S. *A Monolingual Identity in Transculturality: Japanese and Foreign Languages*

本論は University Putra Jaya Malaysia にて開催された Malaysia International Conference on Foreign Languages (MICFL) 2010 にて、12月に発表したものである。日本人アイデンティティを有するものが英語で機能できないという事態は文部科学省も憂慮しているところだが、日本の象徴界を支配する言論編成を分析すると、そ

れが monolingual identity の支配による複数言語の存在の排除が日本語ロゴス中心主義によって起きていることが明らかになる。そのため憂慮を表明する文部科学省の対応すらじつは反複数言語機能となっていることが明らかになる。マレーシアは multicultural 及び multilingual な国であり、monolingual identity が抱える問題点に関しての聴衆の反応、なかでも日本に留学滞在したマレーシア人研究者たちからのコメントは大変有意義なものであった。本論は学会側から論文選集に採用したい旨、連絡を受けている。

Adachi, S. *Undermining Coexistence: Japanese Discursive Formations Related to Empathy*

本論は日本語における empathy という概念の欠落に着目した。非日本を排除しようとする日本の言説編成の仕組みを明らかにすると同時に、アイデンティティのマトリクシングの仕組みを用いて、今日のグローバル化に不可欠な多様性と共存に適しているアイデンティティ形成が、その象徴界のなかでは困難であることを論じたものである。

Kearney, M., *Designing Singaporeans: A Project in Identity Construction*

本論はシンガポールを取り上げ、シンガポール人というアイデンティティが、いかに社会的、経済的に、意図的に作られているかを論じたものである。歴史的、政治的な背景と聞き取り調査、また現地からの写真等のビジュアル資料をふんだんに駆使して論じて、「権力」がいかに巧みに自分たちを益するように多文化共生を謳いつつ、また中に対立を含めつつ、それらを一つの「シンガポール人」としてデザインしているかを明らかにしている。

Kearney, M., *Transcultural Identity Formation: The Matrixing of Language(s) and Regional and Global Cultural Constructions*

本論は University Putra Jaya Malaysia にて開催された Malaysia International Conference on Foreign Languages (MICFL) 2010 にて、12月に発表したものである。本論は Identity Matrixing Model と言語の関連、そして transcultural 性を William Burroughs の作品をはじめとする文学

との関連で論じていったものである。聴衆には本学会の基調講演者 Dr. Michael Byram と Dr. Shih Shu-mei が含まれ、Shih Shu-mei 氏ははメロン基金の director であるが、Kearney が提示した Identity Formation の概念に共鳴、chaos monde 論と対比しながらコメント、氏の講演でも Kearney の貢献を高く評価する趣旨を述べた。Byram 氏との間のやりとりは、意見を深化する議論の模範の様相を呈し、map、absolute、relativism といったキー概念をめぐる議論となった。本論は学会側から論文選集に採用したい旨、連絡を受けている。

以下に IMM の業績が国際的なスケールで評価を受け始め、具体的な成果が表れはじめていることを簡潔に述べる。。

2.3.2 学術的応答と展開

シンポジウム

Identity Matrixing Model はシンガポール NTU の研究者 Jeremy Fernando の fyk4 関心を惹き、シンポジウムのパネリストとして招待を受けた。Transcultural Identity Formation: Regional Cultural Identity and Globalization Nanyang Technological University (NTU), Singapore 11月29日

パネリストとして Lim Lee Ching と Michael Kearney と足立節子で登壇。Kearney は Joy Division というグループを取り上げ、音楽と transcultural なアイデンティティを、また、足立日本アイデンティティを論ずるに当たって peripheral centrism という言葉をキー概念として造語し、その作用が憲法から AKB48 にいたるまで現れていることを論じた。

また、MCB 学会の Research Director である Alejandro Cervantes-Carson からは氏のアイデンティティ形成理論との共同研究を依頼されており、その第一回目の試みが 2011 年度 MCB 学会にてシンポジウム形式で発表する予定となっている。

3. Identity Matrixing と諸概念の教育的応用: ECSP、PICC プログラム

本学では学部が 2006 年度より English

Communication Skills Program (ECSP)を、また大学院では2008年度より Postgraduate Intercultural Communications Course (PICC)を実施している。ECSPは2010年度6名、PICCは2名の修了生を出した。

両プログラムが目指すところの基本的思想は共通している。工学院大学の学部生、大学院生が、グローバル化が進む今日の世の中で有効に共通言語が英語である場で機能・貢献できるようになること、人間としての視線で、人類全体・社会全体に貢献できる思考を展開する個として育成されることである。

本教育プログラムのカリキュラムの詳細およびデザインについては、本学 HP シラバス (<http://www.kogakuin.ac.jp/syllabus/index.html>)、Bibliography に掲げてある Adachi & Kearney 共同執筆論文、*Educating Engineers for the 3rd Paradigm: Identity Matrixing and Global Hodological Mapping* (2008) および *Forging Global Hodological Maps for the Meta-Symbolic Order* (2008) を参照されたい。

筆者たちは ECSP/PICC の両プログラムのデザインを手がけ、教鞭をとっている立場にある。現在 ECSP 運営上で生じてきている問題は、大きく2点ある。1つはニーズがあるにも関わらず、本学の時間割システムが弊害となって、多くの学生にとって ECSP 科目の取得が困難となっていることである。もう1つは、運営母体の不透明性である。プログラムの質の保証は批評理論を専門とし、プログラムをデザイン、プログラムの思想と教育を主導している Kearney が最適であることは自明であるが、それを反映する仕組みづくりがなされていない。言い換えればプログラムのデザイン、また教育的に最良な内容を提供するためには Kearney との連携が重要になるが、残念ながらほかの語学科目と統一に扱われ、各科目に適した担当者の選任や時間割の変更等が実質のプログラム運営者である Kearney・足立のとの連携がないうちに行われ、後から Kearney 足立がその変更気づき修正を求めるといふ、プログラムの質を低下させる事態が起きている。早急の対応が望まれる。

さて、今日の transcultural な時代を生きていく学生たちのアイデンティティのうちに、学生たち自らが主体的に舵を取れるようになるための Global Hodological Maps を形成することに筆者たちは力をおく。そのために学生が、世界的視野を獲得するために必要な知識と知識欲を伸ばすために、語学的スキル習得ベースを中心とする授業の他に、content base な授業を展開している。この content base と語学的スキル習得の両者のかけあわせによって、学生はグローバル/地域社会と人間関係を理解、共存尊重・福祉への貢献、地域性豊かなアイデンティティと批評的思考力、critical thinking skills、発信力、受信力を養っていくのである。それらは、すべて英語で実施される。

この方式は immersion 方式と呼ばれるものであるが、この immersion 方式というのはすなわちプログラムのターゲットとする言語(この場合は英語)ですべてを運営することで、カナダ等複数文化主義政策を推進する国々で多く採用されているものである。日本語で英語を教えるというシステムは学生に英語での現実的な機能的運用性をもたらしにくい。

さて、グローバル化し、多様性が共存するなかでポジティブな舵取りを学生がするためには、「自立性」「自発性」と「主体性」が重要であり、それが ECSP/PICC の対人関係の基盤におかれる。そのはじめの一步が、ECSP/PICC にチャレンジするかどうかを決めるところから始まると考える。無力にならず、受身にならず、自発的、自立的に関与していくことを常に要求している。はじめる当初の英語力は問わない。

卒業要件を超えた単位数を取得せねばならず、なおかつ積極的に参加、習得していることをコミュニケーションしていかなければ、修了できないプログラムに加わり、継続しつづけることは、受講者本人の明瞭な意思と決意が必要となる。

Critical theories や cultural studies という学際的分野が発達させた分析方法及び理論を用いて少人数編成のクラスにチームティーチングを含めた immersion 方式で行っていく方法は、文化差異についての理解を確実にし、人間性を基にした視線とはどういうこと

かを考えていく、そして摩擦や対立の原因、解決への思考を深めていく。また Identity Matrixing と言語・文化の関係への理解は学生のアイデンティティのうちに Global Hodological Maps を形成していく。

ここで Kogakuin English Lecture Series(KELS)について触れておく。シラバスに詳細は書かれていたが、広範囲な分野をその専門家たちに英語で講演あるいは workshop として開催してもらおうという企画である。この企画の利点は学生が、いままでプログラムで育成してきた知識とその時点で彼らが生成している Global Hodological Maps の総合的な実践の場であるということである。2010年度は以下のように計5回開催した(A.F. Mathew氏は2回連続講演)。

Jeremy Fernando氏 Nanyang Technological University, Singapore

Randori with Franz Kafka; on reading, irony and the law...

Lim Lee Ching氏 Nanyang Technological University, Singapore

Globalising Nostalgia in Zhong Guo Feng Music

Alejandro Cervantes-Carson氏

Social Construction of Identities

A.F. Mathew氏 Mudra Institute of Communications Ahmedabad (MICA), India

Screening of the Documentary:

Lesser Human Beings

Lecture: *Political Narratives and the 'Image'*

講演の内容は文学、音楽、批評理論、社会学と多岐にわたるが、ECSP/PICCの学生は、時には無関係として触れてこなかった、あるいは無関心でもって切り捨ててきた分野に触れ、視野を広げ、関心をつむいでいく。こうした知的作業は、つねに知的態度の変化を伴うと同時に、多くの学生にとって講演者のも

たらず非日本文化・言語圏との対峙の機会であり、自分が試される場でもある。この機会は学生自身が自分で感じられる国際的通用度の尺度となるものであり、場数を踏んでの明らかな向上が経験されるという効用がある。

そうした観点から企画者としては必ず講演会のほかに、飲食を共にする社交の場を設けることをプログラムの一環としてやっている。こうして客観的言葉ベースの交流、また社交スキルの経験をつむ機会を提供するのである。向上していく学生たちは積極的にこの機会を活用するものが多い。自発的に来日講師たちに東京案内等の名目に関わっていく学生たちも多くみられるが、このように学生は英語の運用力、英語環境での機能力は自立して渡り歩くことができるスキルをこうした過程を経て習得していく。またいうまでもなく、筆者たちにとって、こうした第一人者たちとの交流は貴重な学術交流であり、将来的な研究の展開、学生・学者交流のネットワークを広げていくことになる。これが工学院大学にとっては国際社会での立場をより向上させていくことを意味するのはもちろんである。

学部生に関しては、2011年度に向けて時間的労力の負担の高いECSPの履修希望まではしないが、それでも高いモチベーションのある学生のためにもカリキュラムが展開される運びとなった。これらの科目は情報学部、建築学部の新設準備の過程で Kearney・足立に依頼されたものです。そのリクエストにこたえる形で Non-Japanese Communication Strategies, Transculturality: Cultural Hybridization, History of Humanities, Cultural Identityの4科目が単に語学スキルの科目ではなく、各学生の専門分野への視点をも広げる知識をも提供する content-base 科目として考案され、それらの提供準備が筆者たちによって進められた。

また、大学院で提供している PICC に関しては、国際的マネジメント、コミュニケーション力を謳って次年度新設する System Design 専攻において選択必修として提供することが決定している。

Bibliography

Adachi, S. *A Monolingual Identity in Transculturality: Japanese and Foreign Languages*, Proceedings of International Conference on Foreign Languages (MICFL), University Putrajaya Malaysia, Malaysia 2010.

Adachi, S. *Undermining Coexistence: Japanese Discursive Formations Related to Empathy*, 4th Global Conference on Multiculturalism, Conflict and Belonging, Mansfield, Oxford, September 2010.

Adachi, Setsuko & Michael Kearney, *Educating Engineers for the 3rd Paradigm: Identity Matrixing and Global Hodological Mapping*, International Cooperation in Engineering Education 2008 JSEE Annual Conference, pp. 20-27, August, 2008.

Adachi, Setsuko & Michael Kearney, *Forging Global Hodological Maps for the Meta-Symbolic Order*, Re-visioning English Studies in Asia, 2008 ELLAK International Conference Proceedings, pp. 209-214, November, 2008.

Adachi, Setsuko & Michael Kearney, *Globalization and Identity: A Case Study of Japanese Amae*, Proceedings International Conference On Social Sciences and Humanities 2008 Crossing the Borders of Knowledge for the Future, CD-ROM, June, 2008.

Adachi, Setsuko & Michael Kearney, *Japan and the United States: An Inter-Cultural Analysis of Depictions of, and Attitudes toward, War*, 29th Annual Meeting of the Southwest/Texas Popular Culture and American Culture Association,

February 14, 2008.

(口頭発表)

Adachi, Setsuko & Michael Kearney, *Maintaining Japanese Harmony: A Subjugating Silence, Sound, Silence and the Arts Symposium*, Nanyang Technological University, February 28, 2009. (口頭発表)

Doi, Takeo. [trans. John Bester], 1978. The Anatomy of Dependence. Tokyo: Kodansha International.

Hardt, Michael & Antonio Negri, 2001. Empire. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Kearney, Michael & Setsuko Adachi, *An Identity Matrixing Model for Transculturality*. In Katherine Wilson (ed.) 2010. Looking At Ourselves: Multiculturalism, Conflict & Belonging. Inter-Disciplinary Press: <http://www.inter-disciplinary.net/at-the-e-interface>.

Kearney M. and S. Adachi, *Mapping Hybrid Identities: A Matrixing Model for Transculturality*, in From Conflict to Recognition: Moving Multiculturalism Forward. M. Kearney (ed), Inter-Disciplinary Press, Oxford, 2011.

Kearney, Michael & Setsuko Adachi *The Production of the Global Consumer: Economic Booms and the Destruction of Cultures*, International Conference On Social Sciences and Humanities 2008 Crossing the Borders of Knowledge for the Future, CD-ROM, June, 2008.

Kearney, M., *Designing Singaporeans: A Project in Identity Construction*, 4th

Global Conference on
Multiculturalism, Conflict and
Belonging, Mansfield, Oxford,
September 2010.

Kearney, M., *Transcultural Identity
Formation: The Matrixing of
Language(s) and Regional and Global
Cultural Constructions, Proceedings
of International Conference on
Foreign Languages (MICFL),
University Putrajaya Malaysia,
Malaysia 2010.*

Sartre, J., H. Barnes (trans), *Being and
Nothingness*. Washington Square Press,
New York, 1993.

(Adachi, Setsuko and Michael
Kearney)

湿式プロセスを用いた半導体ナノ・マイクロ規則構造の創製と 高効率デバイスへの応用

工学院大学 応用化学科 小野幸子

工学院大学 応用化学科 阿相英孝

東京大学大学院新領域創成科学研究科 大友順一郎

スイス連邦材料試験研究所 Laetitia Philippe

Fabrication of nano- and micro-structured semiconductors by wet process
and their application to high efficiency devices

Sachiko Ono, Department of Applied Chemistry, Kogakuin University

Hidetaka Asoh, Department of Applied Chemistry, Kogakuin University

Junichiro Otomo, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

Laetitia Philippe, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research

ABSTRACT : We describe two techniques for the fabrication of nanohole arrays on semiconductor surfaces based on the principles of electrochemical processes:

- (1) The fabrication of silicon nanohole arrays using self-ordered anodic porous alumina as a mask for metal-assisted chemical etching of a silicon substrate, and
- (2) The fabrication of porous semiconductors by anodic etching without the use of dry etching techniques. In particular, we focus on our attempts to fabricate ordered nano- and micro-structured semiconductors with a high aspect ratio (ratio of diameter to depth), which is not achievable by conventional lithographic techniques based on the dry process.

1. はじめに

本研究は、シリコンを始めとする半導体基板，GaAsに代表される化合物半導体，さらに亜鉛やチタンなどの金属基板上に，物質固有の自己組織化能を最大限に活かし，既存のフォトリソグラフィ技術を用いずに高精度のナノ・マイクロ規則構造体を容易に作製するプロセスを開発すること，さらにその構造由来の特性を利用した高効率デバイスの創製をその分野の先端的研究者と国内・国際共同研究を通じて実現することを目的とする。

2. 研究計画

我々は，既存のリソグラフィ技術の抱える，高コスト，複雑な加工工程などの課題を克服すべく，物質固有

の規則構造に着目し，種々の化学処理を併用することで新たな発想に基づくナノ・マイクロ規則構造作製技術の開発に取り組んできた。この基本概念は，現在実用段階にあるナノインプリント技術などとも類似し，普通の実験室で特別な設備を用いずに大面積でナノ・マイクロ加工を実現することを目的にしている。我々の提案するプロセスは，単純なネガ・ポジの転写プロセスに留まらず，様々な湿式プロセスを組み合わせることで，マスター構造から位置情報のみを抽出し，多様なパターンを生み出すことが可能である。また，マスター構造の作製も既存のリソグラフィ技術に依存せず，物質固有の自己組織化能を利用する。具体的には，以下の項目を3年間で順次実施する。

- ①. 代表的な半導体であるシリコン基板を加工対

象として、シリコン基板上に形成したポリスチレン微粒子の自己集積膜をマスクとして用いた、湿式プロセスによるナノ・マイクロメートルオーダーの規則的な周期を持つ二次元パターン形成法の確立。さらに、機能発現を目指した汎用性のある材料創製技術として種々の半導体 (GaAs, InP など)・金属材料 (亜鉛, チタン, ニオブ) への適用を検討する。

②. 化学反応 (めっき, 化学エッチング), 化学修飾 (自己組織化単分子被覆), 電気化学反応 (アノード酸化, 電解エッチング) などの湿式プロセスを組み合わせた二次加工により, さらに複雑な高次構造を持つナノ・マイクロ構造体を構築する。

③. 亜鉛やチタンの酸化物は化合物半導体として色素増感太陽電池への応用が期待されるが, 酸化物の微細構造 (比表面積・結晶性) をアノード酸化の手法を適用することで高度に制御できる。東大友准教授との共同研究により太陽電池セルを試作して特性評価を行う。

3. 湿式プロセスを用いた半導体基板上への二次元パターンの形成

プロジェクトの初年度 (平成 21 年度) は, 主にポリスチレン (PS) 微粒子の自己組織化構造をマスクとして利用し, 金属触媒エッチングを施すことで Si(100) 基板あるいは Si(111) 基板に対して, ミクロン周期の開口部を持つ Si ホールアレイを作製した。

本年度 (平成 22 年度) は, 湿式プロセスに基づく二次元パターンの作製に関して, Si の微細加工条件の最適化を検討すると共に, Si 以外の半導体基板への適用性を確認するため, 化合物半導体 (GaAs あるいは InP) を加工対象として規則的な孔周期を持つポーラス構造体の作製を中心に検討を進めた。さらに, 電気化学をベースとした加工プロセスに結晶異方性エッチングなどの二次加工を組み合わせることで, 初期パターンの周期を維持しつつ, 既存のリソグラフィ技術では作製困難な高次構造を持つナノ・マイクロ構造体の作製を目指した。

3.1 金属触媒エッチングによる Si ナノホールアレイの作製

これまでに著者らの研究グループは, ポーラスアルミナ皮膜をマスクとしシリコン (Si) の局所アノード酸化で生成した SiO_2 を選択的に溶解除去することでポーラスアルミナの孔配列を転写した Si ナノホールアレイが作製できることを報告してきた^{1,2)}。しかしながら, SiO_2 の選択的な溶解除去によって形成される Si のホールアレイは深さ約 10 nm 程度と非常に浅いものであった。本研究ではポーラスアルミナの周期構造を反映した金属ナノドットパターンを Si 基板上に形成後³⁾, 金属触媒エッチングを施すことで, 高アスペクト比を持つ Si ナノホー

ルアレイの作製を目的とした。

ポーラスアルミナ皮膜をマスクとし局所アノード酸化した Si 基板を $2 \text{ mmol dm}^{-3} \text{AgNO}_3 / 5 \text{ mol dm}^{-3} \text{HF}$ 混合溶液に 15 s 浸漬した後の Si 基板表面を図 1a に示す。ポーラスアルミナの規則的な孔配列が転写され直径 40 nm の Ag 粒子が 100 nm 周期で Si 基板上に配列した。Si の局所アノード酸化により $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ 界面に形成した SiO_2 が HF に溶解し, SiO_2 が存在した位置に Ag が還元析出した。次に Ag を析出した試料を $5 \text{ mol dm}^{-3} \text{HF} / 1 \text{ mol dm}^{-3} \text{H}_2\text{O}_2$ 混合溶液に 20 s 浸漬した際の Si 基板表面を図 1b に示す。Ag/Si 界面で位置選択的に Si が酸化溶解し Ag が基板内部へ沈降した。図 1c に HF/ H_2O_2 混合溶液への浸漬時間を 1 min に延長しエッチングを施した Si 基板の破断面を示す。ホール深さが $1.2 \mu\text{m}$ (アスペクト比: 30) になり, ナノメートルオーダーの孔径を持つ高アスペクト比 Si ホールアレイを作製できた。

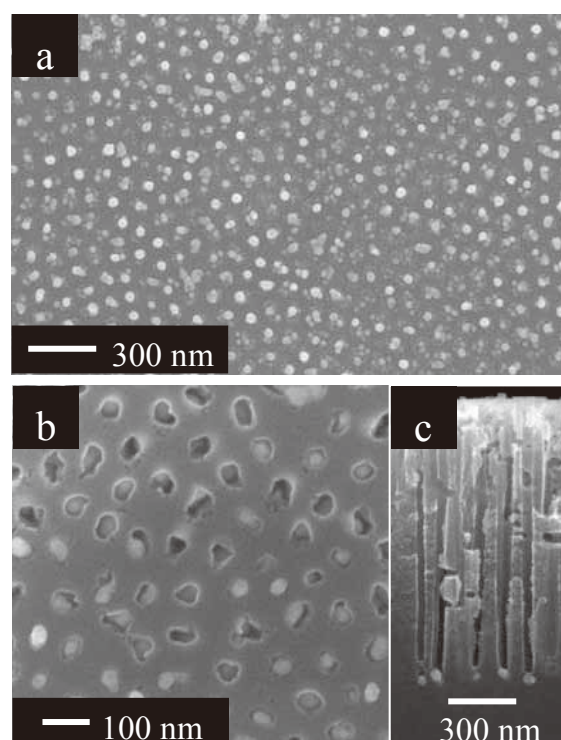


Fig. 1 SEM images of (a) Ag nano dot patterns, (b) Si nanohole arrays after Ag-assisted chemical etching in HF/ H_2O_2 for 20 s and (c) a cross-sectional view of Si nanohole arrays after etching for 1 min.

3.2 高アスペクト比 GaAs ホールアレイ, ピラーアレイの作製⁴⁾

本研究では貴金属触媒を使用しない化学エッチングによって基板上にプレピットを形成後, 定電流電解を施すことで, 高アスペクト比を持つマクロポーラス GaAs の作製を目的とした。併せて, 孔発生位置の制御に及ぼすプレピット形状の影響ならびにポーラス GaAs の孔径に

及ぼす電流密度の影響を検討した。

SiO₂ 微粒子(φ3 μm)をマスクとしたフォトリソグラフィにより、*n* 型 GaAs (111)基板上に 3 μm 周期の開口部を持つレジスト製ハニカムマスクを作製した。H₂SO₄, H₃PO₄, または NH₄OH に H₂O₂ を混合した水溶液中で化学エッチング後、HCl 水溶液中で定電流電解 ($I=1\sim 10\text{ mAcm}^{-2}$) を行い (図 2), 基板表面及び孔形態を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した。

基板を H₂SO₄/H₂O₂ あるいは H₃PO₄/H₂O₂ 水溶液中に浸漬することでハニカムマスクの開口位置におそらく {110} への選択的な異方性エッチングが進行し、開口形状が三角形で底面が平坦な 3 μm 周期の GaAs ピットアレイ構造を得た。一方、NH₄OH/H₂O₂ ではエッチングがより速く進行するため、浸漬時間 20 秒において深さ約 2 μm の逆三角錐構造を形成した。プレピットを形成した基板を陽極として定電流電解を行った場合、NH₄OH/H₂O₂ の場合のみ、形成されたピットの中心に孔が発生した (図 3a)。孔径は約 0.2 μm であり、基板垂直方向にエッチングが進行し深さは約 70 μm でアスペクト比 300 を超えるポーラス構造が得られた。プレピット形成後、ハニカムマスクを外して定電流電解した場合には、孔の発生はプレピットの位置に限定されなかった。バルク基板にハニカムマスクを作製後、定電流電解した場合、マスク開口部に孔が形成されるものの発生位置はランダムで、規則的な孔配列が得られないことから、電解エッチングの際に絶縁性のレジストマスクが基板表面を保護し、逆三角錐構造のピット頂点に電流が集中したことで孔の発生を誘導したと考えられる。電流密度を高くした場合には、孔径が約 0.7 μm と拡大し、深さは約 90 μm となった (図 3b)。電流密度を高くすることで、より孔径の大きなポーラス GaAs が得られることが分かった。

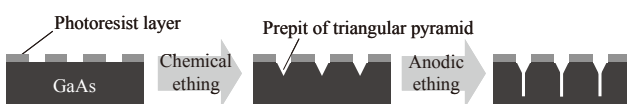


Fig. 2 Schematic illustration of the present experimental process.

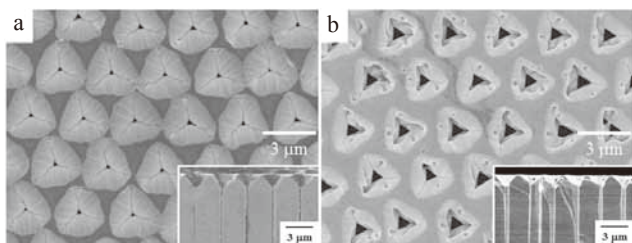


Fig. 3 SEM images of ordered GaAs porous structures obtained by a combination of chemical etching in NH₄OH/H₂O₂ and subsequent anodic etching at (a) 1 mAcm⁻² and (b) 10 mAcm⁻².

さらに得られたポーラス GaAs 構造の二次加工として、結晶異方性エッチングを施した結果を図 4 に示す。アノードエッチングで形成した孔の孔壁に対して異方性エッチングが進行し、隣接する孔同士が接した時点で、三つの孔に囲まれた三重点がピラー状に残存した。孔形状もピラーの断面構造も三角形であり、基板の結晶方位を利用することで、初期パターンの周期を維持しつつ、既存のリソグラフィ技術では作製困難な高次構造を容易に作製することができた。

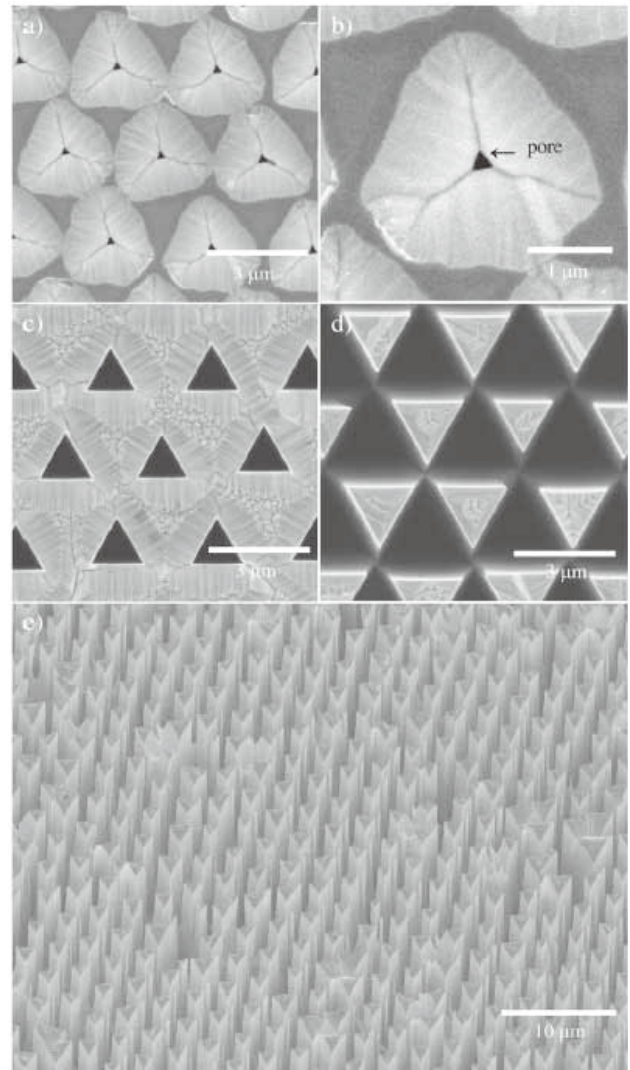


Fig. 4 Plan view SEM images of surface of chemically etched GaAs after anodization at current density of 1 mA cm⁻² for 10 min. The anodized GaAs substrate was chemically etched in a mixture of ammonium hydroxide and hydrogen peroxide: (a) the etching time was 0 s; (b) high-magnification image of Fig. 4a; the etching times were (c) 1 min and (d) 3 min. Figure 4e shows tilted (30°) SEM image of GaAs prismatic pillar arrays.

3.3 アノードエッチングによるポーラス InP の構造制御

GaAs 基板同様に化合物半導体である InP 基板に対しても、同様にレジスト製ハニカムマスクを介したアノードエッチングにより孔の成長位置を限定し、マスク開口部の配列を反映した二次元幾何学パターンを持つポーラス InP を作製した (図 5)。図 5a に作製したレジスト製ハニカムマスクの表面 SEM 像および破断面の拡大像を示す。自己組織化した SiO₂ 微粒子を介して露光することで微粒子が集光レンズとして作用するため、微粒子直下のレジストのみ選択的に感光する条件を選定した。レジスト上での集光面の直径は約 800 nm であり深さ方向にはほぼ垂直に孔が形成されたことから、SiO₂ 微粒子/レジスト界面に集光した光は拡散せずレジスト内を伝播したと考えられる。レジスト製ハニカムマスクの開口径および厚さは SiO₂ 微粒子径、露光時間およびレジスト塗布条件により制御可能であった。

レジスト製ハニカムマスクを介して Au を厚さ 5 nm 付与した後、電解エッチングを 10 s 行った InP 基板の表面及び破断面 SEM 像を図 5b に示す。表面像から、マスクの開口部を起点として放射状にエッチングが進行し、マスク開口部間の二等分線上にドメインの境界を持つ六角形状のパターンが観察された。エッチングは基板深さ方向に放射状に進行するため、孔は隣接したドメインと接した後成長方向を基板深さ方向へ変え、最終的に素地に垂直な直管状のポーラス構造を形成した。

しかしながら、形成したポーラス InP の孔径にはゆらぎが観察されるため、孔径のゆらぎを抑制するため、孔の直進性に及ぼす電解液種、電解液濃度および電圧の影響についてさらに検討した。

電解液に HCl を用いてアノードエッチングを 6 V, 10 s 行った InP (100) 基板の破断面 SEM 像を図 6 に示す。1 mol dm⁻³ HCl を用いた場合では、深さ約 9 μm のポーラス層が形成された (図 6a)。表面から深さ約 1 μm の領域では、孔形状が不規則かつ孔に直進性の無い層が観察されたが、その下層部には垂直方向に直進性の高い孔が形成された。しかし、孔壁は波状であり、孔径のゆらぎが観察された。1 mol dm⁻³ HCl/0.3 mol dm⁻³ HF 混合浴を用いた場合、ポーラス層は約 11.5 μm (図 6b) と厚くなったが、表層部の孔形状が不規則な層も厚くなり、深さ約 8 μm の領域からは孔が枝分かれし、著しく直進性が失われた。一方、2 mol dm⁻³ HCl を用いた場合では、図 6a と比較して表層部の孔形状が不規則な層の厚さは減少し、ポーラス層全域における孔径のゆらぎも改善され、ポーラス層はさらに厚く約 13.5 μm となった (図 6c)。同条件で電解を 30 min まで継続した場合においても孔の直進性は失われず、孔径約 100 nm、深さ約 300 μm、アスペクト比 3000 のポーラス InP が形成された。結局、孔径にゆらぎのない高アスペクト比ポーラス InP は、電圧 5 ~ 9 V, HCl 濃度 1.5 ~ 5 mol dm⁻³ の範囲において形成された。また InP (111) においても同様に、基板垂直方向に直

進性の高い孔が形成され、結晶方位の依存性は見られなかった。

4. 有機-金属酸化物複合型太陽電池の作製

有機薄膜太陽電池は、低コスト化、用途拡大などの観点から次世代太陽電池として関心が高い。変換効率向上のためには、有機半導体の特性向上のみならず、p 型、n 型の 3 次元的な界面構造の制御が重要である。本研究では、p 型に有機半導体 (銅フタロシアニン)、n 型に金属酸化物としてアノード酸化で形成したポーラス酸化チタン (チタニアナノチューブ) を用い、光電変換効率の向上を目的として研究を進めてきた。しかしながら、酸化チタンとフタロシアニンを組み合わせたセルによって一部光電流が確認されることもあったが、極めて不安定であり、すぐに失活する現象が確認された。光照射時の界面構造が非常に不安定であると推察されることから、試料調製時の条件の最適化、特に酸化チタン孔内への p 型半導体の充填条件の確立が必要である。また、有機-無機接合型と並行して、無機-無機接合型等の他の界面モデルに関しても再設計、モデルシミュレーションを行う。

5. 今後の予定

半導体基板を湿式プロセスにより直接加工する研究課題に関しては、基礎データの集積を通じて、実験条件の最適化が進み、有益な知見が得られている。本プロジェクトを通じて得られた知見・技術は、国内外で開催される会議等で発表を行い、その一部は既に学術論文として投稿・掲載に至っている。今後も継続して、研究成果を報告すると共に、実用化に向けた生産技術の開発という観点から各専門企業との共同研究も視野に入れ、応用研究分野に関しても積極的に模索する。

一方、有機-金属酸化物複合型太陽電池の開発に関しては、モデル電極の作製条件の最適化に課題が残されている。再現性に優れた材料創製技術は、デバイス特性をも左右する重要なプロセスであるため、早期に問題点・課題点を把握し、必要に応じてプロセスの見直し・再設計、総合的な実験条件の修正・改善に努める。

参考文献

1. H. Asoh, M. Matsuo, M. Yoshihama and S. Ono, *Applied Physics Letters*, **83**, 4408 (2003)
2. A. Oide, H. Asoh and S. Ono, *Electrochem. Solid-State Lett.*, **8**, G172 (2005)
3. S. Ono, A. Oide and H. Asoh, *Electrochimica Acta*, **52**, 2898 (2007)
4. H. Asoh, S. Kotaka and S. Ono, *Electrochemistry Communications*, **13**, 458 (2011)

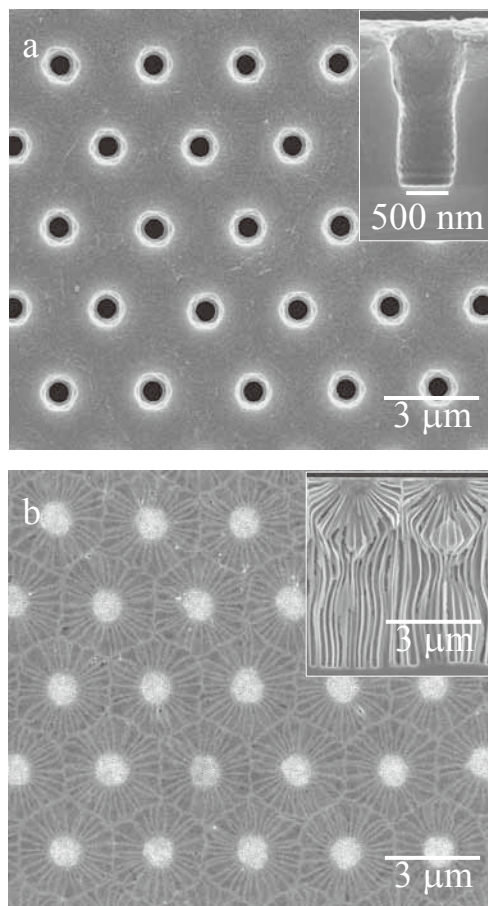


Fig. 5 SEM images of (a) honeycomb resist mask formed by sphere photolithography and (b) InP surface after anodic etching through the resist mask. The insets show cross-sectional views.

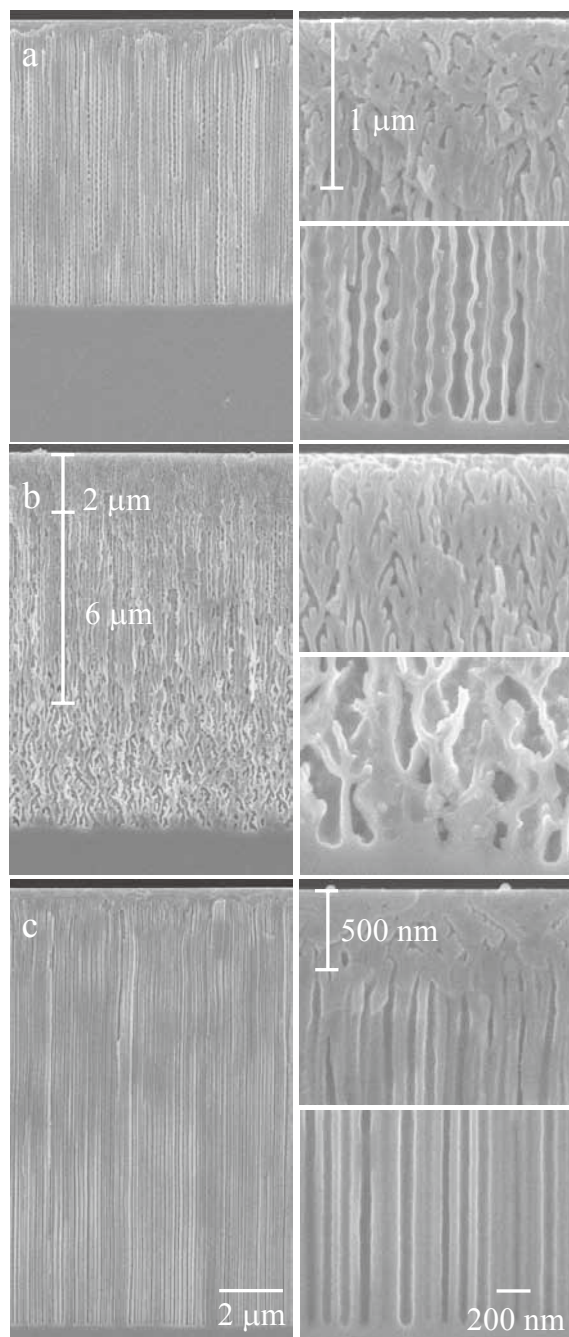


Fig. 6 SEM images of anodized InP at 6 V for 10 s in (a) 1 mol dm⁻³ HCl, (b) 1 mol dm⁻³ HCl/0.3 mol dm⁻³ HF, and (c) 2 mol dm⁻³ HCl.

高密度情報ストレージシステムにおける 多端子情報理論に基づく多次元信号処理方式の研究

工学院大学 工学部情報通信工学科 斎藤秀俊

横浜国立大学大学院 工学研究院 河野隆二

A Study of Multidimensional Signal Processing Schemes for High Areal Density
Recording based on Multiterminal Information Theory

Hidetoshi Saito, Department of Information and Communications Engineering, Kogakuin University

Ryuji Kohno, Graduate School of Engineering, Yokohama National University

ABSTRACT: Recently, the areal density of magnetic data storage on hard disk drives exceeds an 600 Gb/in² with the growth rate of about 30% per year in recent years. Unless dramatic innovations are made in the current recording process, this growing pace will soon face a fundamental physical limit, namely, the thermal stability of the polarizations of the magnetized grains within the magnetic medium. In recent years, substantial effort has been spent on two alternative recording technologies: heat-assisted magnetic recording (HAMR) and bit patterned media recording (BPMR). More recently, microwave-assisted magnetic recording (MAMR) has been proposed. However, it is pointed out that these leading alternative technologies all require significant changes in the hardware comprising the drive, particularly in the magnetic medium. Motivated by the challenges of fabricating novel media for HAMR, BPMR or MAMR, most recently, a technique called two-dimensional magnetic recording (TDMR) has been proposed. TDMR has the advantage of exploiting conventional media, and transfers the technological challenges to more innovative writing, reading, signal processing, and coding. TDMR is known to be an alternative technology for approaching magnetic recording densities of about 10 Terabits/in² of user data (0.5 user bits per grain) and higher. For example, for a rate 1/4 error-correction code and an average grain size of two code bits, each grain will store 0.5 user bits; alternatively, each user bit is effectively recorded across two grains. By contrast, modern systems achieve only 0.05 to 0.06 bits per grain. Such a recording strategy will require shingled writing, a write process in which a given track partially overwrites the previous track, resulting in very narrow tracks and no intentional guard bands (although there may still be a region along the seam between tracks where there may be much noise and little signal from either track). The read electronics for signal processing and decoding will have to be vastly different from present-day designs. First, because of the unavoidable (nonlinear) inter-symbol interference affecting each recorded bit from all four sides, the detector will have to employ two-dimensional techniques. Second, because of the nature of the interference, described in later sections, lower code rates than those used in today's disk drives are necessary. Of course, such multi-dimensional signal processing necessitates multiple read heads, or at least a single read head and sufficient memory to store samples read successively from multiple tracks. In this research, we propose several effective signal processing systems for BPMS and TDMR in the multiple-track recording system.

1 Introduction

It is known that the superparamagnetic effect causes a serious obstacle to increase the areal density in perpendicular magnetic recording. Bit-patterned magnetic recording (BPMR) is one method to avoid the density limitations imposed by this effect. For future ultrahigh density magnetic recording, the BPMR systems based on a two-dimensional magnetic recording (TDMR) [1] is expected to one of attractive technologies which are required for hard disk drives (HDDs) with the areal density from 2 to 5 Tb/in². To develop any BPMR systems, it needs to consider some kinds of two-dimensional (2D) signal processing schemes. As a first step, we have introduced an effective signal processing scheme based on maximum a posteriori (MAP) estimation with an autoregressive conditional heteroskedastic (ARCH) process for signal detection in the BPMR system in 2009. To improve the effective rate, we have proposed new 2D generalized partial response maximum likelihood (GPRML) systems for signal detection in a multi-track recording channel using bit-patterned media (BPM) in 2010. In most of conventional signal detection techniques for a multi-track recording channel using BPM, the data of the center track are eventually decoded from 2D partial response (PR) equalized sequences and data on sidetracks are used for reliable information to estimate data on the center track. For another way, it is possible to design the multi-tracks recording system that data are written in a group of adjacent tracks simultaneously and read back these parallel tracks by one head. In this latter multi-track recording system, it treats data from a group tracks collectively and the decoding process leads to an increase in effective transfer rate. Our simulation results show that the proposed 2D GPRML systems provides a significant bit error rate (BER) performance improvement for the conventional system with the 2D equalization and one-dimensional (1D) GPR target design.

From the aspect of physical and engineering limits, existing perpendicular magnetic recording technologies using continuous magnetic thin film media will approach these critical problems which may prevent its use at extremely high recording densities in future [1]. Recently, it considers that a recording system using bit-patterned media (BPM) is one of the future promising

technologies [2], [3], [4]. The recording system using BPM will have been closer to practical use to overcome these problems for the exiting recording technology and will attain areal density of over a few terabits per square inch (Tb/in²). The recording density over Tb/in² needs to keep up with the increasing demand for future data storage. Compared to existing recording systems, it points out that the systems using BPM have advantages of reduced transition, track edge noise, non-linear bit shift, and simplified tracking because of the nonmagnetic regions between single-domain magnetic islands [5], [6]. However, while the system with BPM offers the above advantages over the system currently in use, it also presents new challenges from the read-channel design perspective and specific impairments, such as write errors, side readings, island size, location, and shape variations, etc. High recording density is achieved by reducing the intertrack distance, which causes side reading and the associated intertrack interference (ITI) becomes a major impairment for the system using BPM. The conventional single-track equalization uses a one-dimensional (1D) equalizer to filter the signal read back from a single track, which includes some side reading from adjacent tracks, and equalizes the channel to a 1D generalized partial response (GPR) target. It needs to take account of the fact that the 1D target is only for the desired track and the ITI in the readback signal is simply treated as additive noise during the optimization of the equalizer and target. Therefore, the performance of the single-track equalization is severely degraded in proportional to the magnitude of ITI. The other approach is the 2D equalization considered in [7], where the readback signals from multiple tracks are filtered by a 2D equalizer and the channel is equalized to an adaptive 1D GPR target based on the criterion for the minimum mean-squared error (MMSE). It is recognized that the 2D equalizer employed in [7] is equivalent to a 1D equalizer which processes the readback signal from a desired track. From the result of [7], the 2D equalization achieves significant gains over single-track equalization and is a very useful technique to mitigate the impact of ITI. Another approach is the 2D equalization employed with the reliable estimate value of data recorded on the adjacent sidetracks [8]. During detection on a desired track, it is

necessary to estimate the data on the sidetracks to fully benefit from the equalization with the 2D GPR target in this multi-track detection. This multi-track detection technique gives the more reliable data estimation method for the data recorded on a desired center track compared to the first detection technique shown by [7]. In general, it is the appearance feature that the BPM recording channel alternates uniformly distributed non-magnetic and magnetic regions. Therefore, statistical characteristics of noise occurred in the BPM recording channel will differ from those of noise in the continuous magnetic thin film media recording channel except fundamental problems in manufacturing tolerances and variations related to processes of BPM formation. As a consequence, the noise power of the BPM increases or decreases with time in frequency as compared to continuous media because the BPM have two separated areas of magnetic and nonmagnetic materials. It is naturally assumed that the parameter for variance of noise is variable for each recorded bit patterns. From the above observation, the new signal estimation technique based on the combined 2D GPR equalization and nonstationary time series analysis by using an autoregressive conditional heteroskedastic (ARCH) process for the BPM recording channel is proposed in this paper. Furthermore, the conventional 2D equalization techniques provide the reliable sequence detection for the one desired track only. But, these 2D equalization techniques have the same efficiency as 1D equalization techniques in the aspect of the effective transmission rate. Then, to improve the transmission rate, it makes a study on the other new multi-track detection technique, too.

2 Bit-Patterned Media Recording Channel Model

2.1 Analytical 2D Island Pulse Response

For the 2D island response for a BPM recording channel, we use an analytical 2D pulse which fits to the 2D numerical pulse obtained in [9]. It is defined that the Gaussian pulse response in the along-track or cross-track direction to model the isolated island response as it provides a good match with the numerical results obtained in [9]. For an example, this Gaussian

pulse response in the along-track is given by

$$G_x(x) = \exp \left\{ -c_x \left(\frac{x}{T_{50x}} \right)^2 \right\}, \quad (1)$$

Here, T_{50x} is the time interval for the transition response to rise from negative 50% amplitude to positive 50% amplitude, in the along-track direction. Furthermore, c_x is a parameter depending on various head/media parameters, such as the recording density, the sizes of the island and the giant magneto resistive (GMR) read-head, the flying height, the soft-underlayer (SUL) spacing, etc. For the head/media parameters, the optimum value of c_x can be obtained by minimizing the mean square error (MSE) between and the numerical pulse obtained from [9]. For the case including media noise, the parameters of island position jitter and size fluctuations follow the truncated normal distributions with zero means. In this model, the island position jitter $x + \Delta x$ adding randomness Δx to a position x . On the other hand, the island size fluctuation has influence on both the amplitude and width of the island pulse response and it can be expressed as the linear function $m_1 \Lambda_x + b_x$ with the island size fluctuation Λ_x , the gradient m_1 and y -intercept c_x of this linear function.

$$G_x(x + \Delta x, \Lambda x) = \exp \left\{ -c_x \left(\frac{x + \Delta x}{T_{50x}} \right)^2 \right\} (m_1 \Lambda x + b_x), \quad (2)$$

Similar modeling can be applied to the cross-track pulse. Furthermore, combining the analytical pulse responses in both along-track and cross-track directions, we obtain a 2D island pulse response given by

$$\begin{aligned} & G(x + \Delta x, z + \Delta z, \Lambda x, \Lambda z) \\ &= G_x(x + \Delta x, \Lambda x) G_z(z + \Delta z, \Lambda z) \\ &= A_{xz} \cdot \exp \left\{ -c_x \left(\frac{x + \Delta x}{T_{50x}} \right)^2 \right\} (\Lambda x + d_x) \\ &\quad \times \exp \left\{ -c_z \left(\frac{z + \Delta z}{T_{50z}} \right)^2 \right\} (\Lambda z + d_z) \end{aligned} \quad (3)$$

with $A_{xz} = m_1 m_2$, $d_x = b_x / m_1$ and $d_z = b_z / m_2$. Here, the island size fluctuation for the cross-track direction z can be expressed as the linear function $m_2 \Lambda_x + b_z$ with the gradient m_2 and y -intercept b_z . Furthermore, Δz and Λz are the island position jitter and island size fluctuation, respectively. T_{50z} is the time interval for the transition response to rise from negative 50%

amplitude to positive 50% amplitude in the cross-track direction. Similar to c_x for the along-track pulse, c_z is a parameter for the cross-track pulse depending on the system parameters. This island pulse response is obtained from [3] for a recording density of 2Tb/in², flying height of 10 nm, and with island geometries as shown in Fig. 1. In this research, it is assumed that a GMR read-head with an element thickness of 3 nm, element width of 18 nm, both along-track and cross-track sensor to shield gap of 11 nm. The media to SUL spacing is assumed to be 3 nm.

2.2 Block Diagram

Fig. 1 shows the block diagram of the coded GPR system with the 2D equalization and ML detection. In this read/write system, a raw data sequence $\{a_{i,k}\}$ of the i -th track with bit rate f_b is inputted into the modulation encoder which gives run-length limited $(0, k)$ constraints (RLL $(0, k)$) for output sequences. The run-length limited sequence of the i -th track from this modulation encoder is transformed into the codeword sequence $\{b_{i,k'}\}$ by using the precoder which has polynomial $(1 + D)^{-1} \text{mod } 2$ where D corresponds to an unit shift in the along-track. In this encoding process, the sequence $\{b_{i,k'}\}$ satisfies the modulation constraints with $(0, k + 1)$ for each track. The sequence $\{b_{i,k'}\}$ with additional symbols which terminate a trellis diagram of the targeted GPR system is transformed into the sequence $\{c_{i,k'}\}$ at the precoder output. The precoder output sequence $\{c_{i,k'}\}$ is NRZ-recorded on the double layered BPM with a soft under layer. Here, the readback signal with media noise can be written as

$$r(x, z) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{i,k} G(x - kT_x + \tilde{\Delta}x_{i,k}T_x, z - iT_z + \tilde{\Delta}z_{i,k}T_z, \tilde{\Delta}x_{i,k}L_x, \tilde{\Delta}z_{i,k}L_z) Q_L(kT_x, iT_z) + n(x, z), \quad (4)$$

where the $a_{i,k} \in \pm 1$ represents the k -th data bit of the i -th track and $Q_L(kT_x, iT_z)$ is the impulse response of a 2D low-pass filter (LPF). The notations of T_x , T_z , L_x and L_z are island periods and island lengths in the along-track and cross-track directions, respectively. Here, $\tilde{\Delta}x$, $\tilde{\Delta}z$, $\tilde{\Delta}x$ and $\tilde{\Delta}z$, and are the normalized along-track and cross-track island position jitters, respectively, and the normalized along-track and cross-

track island size fluctuations, respectively. The normalization factors are T_x , T_z , L_x and L_z , respectively. Furthermore, $\tilde{\Delta}x$, $\tilde{\Delta}z$, $\tilde{\Delta}x$ and $\tilde{\Delta}z$ are all truncated to the range of $[\pm 1/2]$, with variances of $\tilde{\sigma}_{\Delta x}^2$, $\tilde{\sigma}_{\Delta z}^2$, $\tilde{\sigma}_{\Delta x}^2$ and $\tilde{\sigma}_{\Delta z}^2$, respectively. In addition, $n(x, z)$ represents additive white Gaussian noise (AWGN) with zero mean and variance σ_n^2 . Sampling $r(x, z)$ and $n(x, z)$ at integer multiples of T_x and T_z , the 2D discrete-time readback signal and AWGN are given by $r_{i,k}$ and $n_{i,k}$. The reproducing waveform corresponding to the recording sequence read back by the reading head is inputted into the equalizer which consists of a 2D low-pass filter with the cut-off frequencies x_h and z_h normalized by bit rate $f_b = 1/T_x = 1/T_z$ and the 2D transversal filter with $(2N_x + 1)(2N_z + 1)$ taps. Using a 2D equalizer, a 2D target of length $N_{gx} \times (2N_{gz} + 1)$, the equalizer output $y_{i,k'}$ and the PR target output $d_{i,k'}$ are given by

$$\begin{aligned} y_{i,k'} &= \sum_{m=-N_z}^{N_z} \sum_{n=-N_x}^{N_x} f_{m,n} r_{i-m,k'-n} = \mathbf{f}^T \mathbf{r}_{i,k'} \\ d_{i,k'} &= \sum_{m=-N_{gz}}^{N_{gz}} \sum_{n=0}^{N_g-1} g_{mn} a_{i-m,k'-n} = \mathbf{g}^T \mathbf{a}_{i,k'} \end{aligned} \quad (5)$$

The MSE can be obtained as follows.

$$\begin{aligned} &E \{ (e(k))^2 \} \\ &= E \left\{ (\mathbf{f}^T \mathbf{r}_{i,k} - \mathbf{g}^T \mathbf{a}_{i,k}) (\mathbf{f}^T \mathbf{r}_{i,k} - \mathbf{g}^T \mathbf{a}_{i,k})^T \right\} \\ &= \mathbf{f}^T \mathbf{R} \mathbf{f} - 2 \mathbf{f}^T \mathbf{T} \mathbf{g} + \mathbf{g}^T \mathbf{A} \mathbf{g}. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= E \left\{ \mathbf{r}_{i,k'} \mathbf{r}_{i,k'}^T \right\}, \\ \mathbf{T} &= E \left\{ \mathbf{r}_{i,k'} \mathbf{a}_{i,k'}^T \right\}, \\ \mathbf{A} &= E \left\{ \mathbf{a}_{i,k'} \mathbf{a}_{i,k'}^T \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

where the notation E denotes the expectation, \mathbf{R} is the auto-correlation matrix of the channel output data, \mathbf{T} is the cross-correlation of the input data and the channel output data and \mathbf{A} is the auto-correlation of the input data. When minimizing the MSE in 6, it can minimize the following Lagrange functional to achieve constrained minimization of the MSE.

$$\begin{aligned} J &= \mathbf{f}^T \mathbf{R} \mathbf{f} - 2 \mathbf{f}^T \mathbf{T} \mathbf{g} + \mathbf{g}^T \mathbf{A} \mathbf{g} + 2 \boldsymbol{\lambda}^T (\mathbf{E}^T \mathbf{g} - \mathbf{c}), \\ \mathbf{E}^T \mathbf{g} &= \mathbf{c}, \end{aligned} \quad (8)$$

where \mathbf{E} , \mathbf{c} are any given matrices which are satisfied with the constraint for the GPR target in \mathbf{g} . $\boldsymbol{\lambda}$ is a vector containing the Lagrange multipliers. By setting the

gradients of J with respect to \mathbf{f} , \mathbf{g} , $\boldsymbol{\lambda}$ to zero vectors. The optimized target and equalizer coefficient vectors are defined as follows.

$$\boldsymbol{\lambda} = \left(\mathbf{E}^T (\mathbf{A} - \mathbf{T}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{T})^{-1} \right)^{-1} \mathbf{c}. \quad (9)$$

$$\mathbf{g} = (\mathbf{A} - \mathbf{T}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{T}^{-1})^{-1} \mathbf{E} \boldsymbol{\lambda}. \quad (10)$$

$$\mathbf{f} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{T} \mathbf{g}. \quad (11)$$

For an example, it shows a GPR target of size 3×3 which represents the length of inter-symbol interference (ISI) and ITI are 3, respectively. The constraint for the GPR target in \mathbf{g} is given as

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ g_{0,-1} & 1 & g_{0,1} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$\mathbf{g} = \left[0 \ 0 \ 0 \ g_{0,-1} \ 1 \ g_{0,1} \ 0 \ 0 \ 0 \right]^T. \quad (13)$$

The constraint of the GPR target shown in (12) is the form of a matrix and (13) is a vector. The above constraint can be expressed as follows.

$$\mathbf{E}^T \mathbf{g} = \mathbf{c}, \quad (14)$$

where

$$\mathbf{c} = \left[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \right]^T, \quad (15)$$

and

$$\mathbf{E}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T. \quad (16)$$

In this read/write system, the noise at the reading point consists of AWGN with two-sided power spectral density equal to $N_0/2$ and media noise which is subject to island position jitter and size fluctuations. The equalization is performed so that the overall characteristic between the input of recording head and the output of the equalizer is equal to the aimed GPR characteristic. The signal-to-noise ratio (SNR) at the reading point is defined as

$$a = \frac{A_p}{\sigma_n}. \quad (17)$$

In decoding process, the equalizer output sequence $\{d_{i,k'}\}$ is decoded by the ML(Viterbi) detector and the estimated sequence $\{\hat{b}_{i,k'}\}$ is given as the detector outputs. The output data sequence $\{\hat{a}_{i,k}\}$ is obtained after demodulation (RLL decoding). The BER of this read/write system is evaluated by computer simulation.

3 ARCH Processes

The AR channel model is known to be generate the good approximate data of the channel with inter-symbol interference (ISI) and data-dependent Gauss-Markov noise in the original ideas. The idea of AR channel model can be applied to the ML or MAP detector with a linear predictor based on an AR process. The AR model is defined as follows. Let $\{a_k\}$ be the channel input sequence of binary symbols, then for $k-I \leq k$ the column vector collecting samples $a_{k-I}, a_{k-I+1}, \dots, a_k$ is denoted by

$$\boldsymbol{\alpha} = [a_{k-I} \ a_{k-I+1} \ \dots \ a_k]^T, \quad (18)$$

where the notation $\boldsymbol{\alpha}$ is a vector which denotes a binary column vector of size $I+1$ for $I \geq 0$ and $k \geq 0$ and I is called the data memory length[?]. The sampled channel output is

$$z_k = y_k(\boldsymbol{\alpha}) + n_k, \quad (19)$$

where $y_k(\boldsymbol{\alpha})$ is the noiseless channel output which depends on the $I+1$ input symbols $\boldsymbol{\alpha}$ and $\{n_k\}$ is the additive noise sequence. To include channel non-linearities in this noise sequence, $y_k(\boldsymbol{\alpha})$ is constructed as a look-up-table beforehand which is corresponding to one of 2^{I+1} patterns of $\boldsymbol{\alpha}$. The noise term n_k is the output of

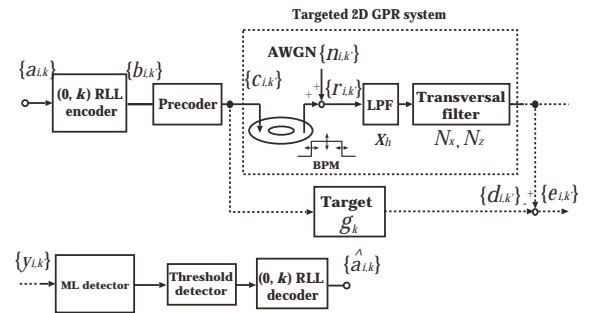


Fig. 1: The block diagram for the generalized partial response system using bit-patterned media.

a signal-dependent autoregressive filter whose input is white Gaussian noise sequence $\{n_k^e\} \sim \mathcal{WN}(0,1)$.

$$\begin{aligned} n_k &= \sigma(\boldsymbol{\alpha})n_k^e + \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})n_{k-i} \\ &= e_k + \hat{n}_k, \\ e_k &= \sigma(\boldsymbol{\alpha})n_k^e, \\ \hat{n}_k &= \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})n_{k-i}, \\ \frac{1}{N} \sum_{k=L}^{N+L-1} (n_k^e)^2 &= 1, \end{aligned} \quad (20)$$

where $\sigma(\boldsymbol{\alpha})$ is the standard deviation of residual between n_k and \hat{n}_k , $\phi_1(\boldsymbol{\alpha}), \phi_2(\boldsymbol{\alpha}), \dots, \phi_L(\boldsymbol{\alpha})$ are the tap-weights which are the coefficients of the filter at time k , and N is the number of all input symbols a_k ($N \gg L$). (20) gives variance of $\{e_k\}$ as

$$\begin{aligned} E\{e_k^2\} &= E\left\{\left[n_k - \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})n_{k-i}\right]n_k\right\} \\ &+ \sum_{j=1}^L \phi_j(\boldsymbol{\alpha})E\left\{\left[n_k - \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})n_{k-i}\right]n_{k-j}\right\} \\ &= \rho(0) - \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})\rho(i) \end{aligned} \quad (21)$$

where $\rho(\cdot)$ is autocorrelation function which is defined as

$$\begin{aligned} \rho(\tau) &= E\{n_{k+\tau}n_k\} \\ &\simeq \frac{1}{N} \sum_{k=L}^{N+L-1} n_{k-L+i}n_{k-L+j} \\ &= \rho(|i-j|) \quad \text{for } 0 \leq i \leq L, \\ &\quad 0 \leq j \leq L \text{ and } -\infty < \tau < \infty, \\ n_k &= 0 \quad \text{for } k < L \text{ or } k > N + L - 1. \end{aligned} \quad (22)$$

In (21), n_{k-j} depends on e_t for $0 \leq t \leq k-j$ and there is no correlation between e_k and $e_{k-\ell}$ ($\ell \geq 1$) because $\{e_k\}$ is white Gaussian noise sequence. Therefore, (21) is written as

$$\sigma(\boldsymbol{\alpha})^2 = \rho(0) - \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})\rho(i) \quad (23)$$

The transfer function can be obtained by taking Z-transform of both sides of (20) and written as

$$E(z) = N(z) - \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})z^i N(z), \quad (24)$$

where $E(z)$, $N(z)$ are Z-transforms of e_k, n_k , respectively. The transfer function $H(z)$ is obtained as $E(z)$ over $N(z)$ and written in terms of all pole model as

$$H(z) = \frac{E(z)}{N(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^L \phi_i(\boldsymbol{\alpha})z^i}. \quad (25)$$

From (25), it is able to determine stability criterion for AR(L) process whether the roots of the transfer function $H(z)$ given by a denominator polynomial are on the inside of a unit circle. Therefore, the conventional AR channel model is assumed to be satisfy stability condition implicitly. From the observations of sampled channel output sequences $\{z_k\}$, it is possible to estimate the autocovariance function $\gamma(\cdot)$ of the underlying process $\{z_k\}$ in order to gain information concerning its dependence structure. To estimate $\gamma(\cdot)$, the sample autocovariance function is used. The sample autocovariance function of $\{n_k\}$ is defined as

$$\begin{aligned} \gamma(\tau) &= E\{(z_k - \mu)(z_{k-\tau} - \mu)\} \\ &= E\{\hat{n}_k \hat{n}_{k-\tau}\}, \\ \gamma(\tau) &= \gamma(-\tau), \end{aligned} \quad (26)$$

where μ is the sample mean and $\hat{n}_k = z_k - \hat{y}_k(\boldsymbol{\alpha})$. Then, the sample autocorrelation function is defined in terms of the sample autocovariance function as

$$\rho(\tau) = \frac{\gamma(\tau)}{\gamma(0)}, \quad (27)$$

where the autocovariance functions of the AR(p) process are obtained as

$$\gamma(\tau) = \begin{cases} \sum_{i=1}^p \phi_i \gamma(i) + \sigma^2(\boldsymbol{\alpha}), & |\tau| = 0 \\ \sum_{i=0}^{|\tau|-1} \phi_{|\tau|-1-i} \gamma(\tau-1-i) \\ + \sum_{i=1}^{p-|\tau|} \phi_i \gamma(i), & 1 \leq |\tau| \leq p \\ \sum_{i=0}^{|\tau|-1} \phi_{|\tau|-1-i} \gamma(\tau-1-i), & |\tau| > p \end{cases} \quad (28)$$

In general, the partial autocorrelation function $\rho_{pa}(\tau)$ of $\{n_k\}$ at lag τ is defined as $\rho_p(\tau) = \phi_{\tau,\tau}$, $\tau \geq 1$, where

$\phi_{\tau,\tau}$ is uniquely determined by the equation

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \rho(0) & \rho(1) & \cdots & \rho(\tau-1) \\ \rho(1) & \rho(0) & \cdots & \rho(\tau-2) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \rho(\tau-1) & \rho(\tau-2) & \cdots & \rho(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{\tau,1} \\ \phi_{\tau,2} \\ \vdots \\ \phi_{\tau,\tau} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \rho(1) \\ \rho(2) \\ \vdots \\ \rho(\tau) \end{bmatrix}, \quad \tau \geq 1. \end{aligned} \quad (29)$$

If $L = p$ in (22) and (23), the partial autocorrelation function $\rho_{pa}(p+t)$ of the AR(p) process at lag $p+t$, $t = 1, 2, \dots$, is given as

$$\begin{aligned} \rho_{pa}(p+t) &= \frac{E \left[\left(n_k - \sum_{i=1}^p \phi_i n_{k-i} \right) n_{k-p-1} \right]}{\sigma(\alpha)^2} \\ &= \frac{E [e_k n_{k-p-1}]}{\sigma(\alpha)^2} = 0, \\ \sigma(\alpha)^2 &= E \left[\left(n_k - \sum_{i=1}^p \phi_i n_{k-i} \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (30)$$

For $k \geq p$ the value of the partial autocorrelation function of an AR(k) vanishes from (30). From (28) ~ (30), e_k is the uncorrelated, zero mean white noise with constant variance $\sigma(\alpha)^2$. If the variance of e_k changes in time, it is able to be assumed that the conditional variance of e_k takes a changing value. To consider such a condition, it takes one approach to model e_k^2 as a new AR(M) model as

$$\begin{aligned} e_k^2 &= \sigma_a(\alpha) w_k^e + \sum_{i=1}^M \theta_i(\alpha) e_{k-i}^2 \\ w_k &= \sigma_a(\alpha) w_k^e, \\ \frac{1}{N} \sum_{k=M}^{N+M-1} (w_k^e)^2 &= 1, \end{aligned} \quad (31)$$

where w_k is a white noise sequence with zero mean and constant variances $\sigma_a(\alpha)^2$. In this notation e_k is said to follow an autoregressive conditional heteroskedastic process of order M , ARCH(M). To generalize the ARCH model, it assume that the error can be represented as

$$e_k = \sqrt{h_k} \cdot v_t \quad (32)$$

where v_t is independent and identically distributed with

zero mean and variance one, and

$$h_k = E(e_k^2 | e_{k-1}^2, e_{k-2}^2, \dots) = \sum_{i=1}^M \theta_i(\alpha) e_{k-i}^2. \quad (33)$$

From (32) and (33), it is given as

$$w_k = h_t \cdot (v_t^2 - 1). \quad (34)$$

4 Effective Multi-track ML Detection Systems

In the BPM, each bit is recorded on a single-domain magnetic island which is surrounded by the nonmagnetic region. Therefore, statistical characteristics of noise occurred in the BPM recording channel will differ from those of noise in the continuous magnetic thin film media recording channel. In this BPM simulation model, we consider additive AWGN at the reading point. Fig. 2 shows the BER performances of the coded GPRML systems. For the modulation code, the 64/65 (0,8) RLL code is used with one symbol delayed precoder in the GPR channel. The recording condition corresponds to the areal density of 2Tb/in² in [9] and the parameters of $x_h = 0.4$, $T_{50x} = 12.4$, $T_{50z} = 13.0$, $A_{xy} = 0.0069$, $c_x = 0.82$, $d_x = 12.07$, $c_z = 0.81$ and $d_z = 11.95$. Furthermore, it sets equalizer length ($2N_x + 1$) to 5, equalizer rows ($2N_z + 1$) to 5 and GPR target length N_g to 3. In all simulations, the SNR is defined as $\text{SNR} = 20 \log_{10}(A_p/\sigma_n)$, where $A_p = 1$ is the normalized amplitude of the readback signal. The symbols \circ , \bullet show the BER performances of the system using the proposed 1D GPRML with ARCH(4)

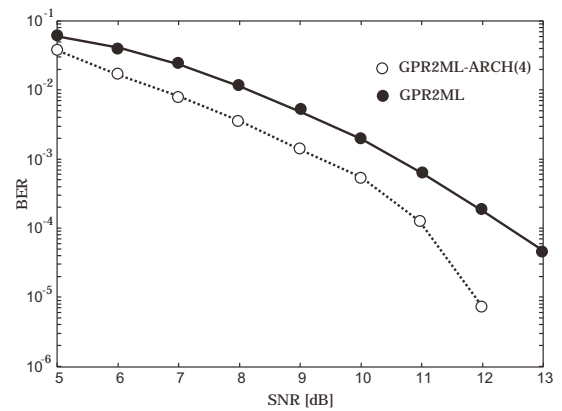


Fig. 2: BER performances for the coded 1D GPR systems with 2D Equalization.

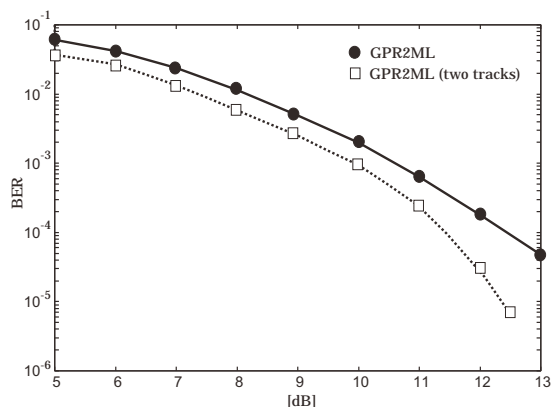


Fig. 3: BER performances of the coded 2D GPRML system for two tracks in comparison with the conventional GPRML system.

model (GPRML-ARCH(4)), the conventional GPRML, respectively. As can be seen Fig. 2, the performance of the proposed GPRML-ARCH(4) outperforms the conventional GPRML by about 1.5 dB of SNR gain at a BER of 10^{-4} . Furthermore, if it replaces ML-ARCH(4) with the joint ML detection for the two tracks, it shows that the joint ML detection system outperforms the conventional GPRML by about 1.0 dB of SNR gain at a BER of 10^{-4} in Fig. 3.

5 Conclusion

In this paper, it is shown that the maximum likelihood detector using the autoregressive conditional heteroskedastic model is proposed. This decoding method is useful to the magnetic recording channel using bit-patterned media. The result shows that the proposed ML-ARCH or two-track joint ML detection system outperforms the conventional ML detection system in the bit error rate performance using the GPR2 channel.

References

- [1] X. Che, Y. Tang, H. J. Lee, S. Zhang, K. Moon, N. Kim, "Recording performance study of PMR media with patterned track," *IEEE Tran. Magn.*, vol. 43, no. 6, pp.2292-2294, June 2007.
- [2] G. F. Hughes, "Patterned media write designs," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 36, no. 2, pp. 521-526, Mar. 2000.
- [3] A. Kikitsu, Y. Kamata, M. Sakurai, and K. Naito, "Recent progress of patterned media," *IEEE Tran. Magn.*, vol. 43, no. 9, pp.3685-3688, Sept. 2007.
- [4] N. Honda, K. Yamakawa, and K. Ouchi, "Recording simulation of patterned media toward 2 Tb/in²," *IEEE Tran. Magn.*, vol.43, no.6, pp.2142-2144, June 2007.
- [5] J. Zhu, X. Lin, L. Guan, and W. Messner, "Recording, noise, and servo characteristics of patterned thin film media," *IEEE Trans. Magn.*, vol.36, no.1, pp.23-29, Jan. 2000.
- [6] M. M. Aziz, C. D. Wright, B. K. Middleton, and H. Due, "Signal and noise characteristics of patterned media," *IEEE Tran. Magn.*, 38, 5, pp.1964-1966, Sept. 2002.
- [7] S. Nabavi, S. Jeon, B. V. K. V. Kumar, "An Analytical Approach for Performance Evaluation of Bit-Patterned Media Channels" *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.28, no.2, pp.135-142, Feb. 2010.
- [8] W. Chang and J. R. Cruz, "Inter-track interference mitigation for bit-patterned magnetic recording," *IEEE Tran. Magn.* vol.46, no.11, pp.3899-3908, Nov. 2010.
- [9] Y. Ng, K. Cai, B. V. K. V. Kumar, S. Zhang and T. C. Chong, "Modeling and two-dimensional equalization for bit-patterned media channels with media noise," *IEEE Tran. Magn.*, vol.45, no.10, pp.3535-3538, Oct. 2009.

集積化紫外発光素子のための透明導電膜の検討 —分子プレカーサー法による MgZnO 系薄膜の c 軸配向性制御—

工学院大学 情報通信工学科 本田 徹

工学院大学 共通課程 佐藤 光史

Fabrication of MgZnO films by Molecular Precursor Method

— Control of c-axis orientation in MgZnO films fabricated by molecular precursor method —

Tohru Honda, Department of Information & Communication Engineering, Kogakuin University
Mitsunobu Sato, Coordination Laboratory, Kogakuin University

ABSTRACT : MgZnO films were fabricated by the molecular precursor method (MPM) for their application as UV transparent electrodes. It was clarified that annealing under suitable conditions using an Ar gas flow is effective for the realization of c-axis-oriented MgZnO films in the time of a pyrolysis reaction. However, the orientation direction was $\langle 0001 \rangle$ along the growth direction (c^- growth). It leads to the surface roughness and columnar growth. Thus, the c^+ growth was investigated. It was found that the use of MgO bufferlayer is effective to realize the c^+ growth of MgZnO films by molecular precursor method.

1. はじめに

酸化インジウム錫 (ITO) や酸化亜鉛 (ZnO) をはじめとする導電性透明酸化物は、平面ディスプレイパネルや太陽電池の透明電極への応用が期待されている。特にインジウム錫酸化物 (ITO) は、これまでに液晶ディスプレイ用透明電極として商業的に使用されている。しかしながら、ITO 電極は可視光域に対して透明ではあるが紫外線領域で透明性を保ちながら電極として使用することは非常に困難である。我々は、紫外線に対する透明電極として酸化マグネシウム亜鉛混晶 (MgZnO) を使用することを提案している。MgZnO は、適当な Mg 組成を選ぶことにより、その禁制帯幅の大きさにより、紫外線 (UV-A) に対して透明となる [1]。また上記混晶の基本となる 2 元化合物・酸化亜鉛 (ZnO) [2, 3] は、非常に低抵抗な薄膜製作が可能である [4]。よって、Mg を混合した ZnO 薄膜がどこまで低抵抗化できるかについて、応用上非常に興味を持たれるところである。

ZnO 薄膜製作には通常、真空中における堆積が用いられる [3]。これらの薄膜を低コストで製作する

ことを考えるとスピンコート等の技術が使用できる溶液法が非常に興味深い。商業的に使用される溶液法の代表としてゾル・ゲル法があるが、今回の製作材料を考えると、Mg の安定した材料が見当たらず、今回は、分子プレカーサー法による MgZnO 薄膜形成を採用することにした。分子プレカーサー法 (MPM) は、溶液法の一つであり、有機金属錯体を用いる方法である [5]。この方法では、安定した Zn および Mg 等の金属錯体が準備可能であり、MgZnO 薄膜形成には優位であると考えられる。この方法の概略を説明すると、金属錯体溶液を製作し、これをスピンコート等の方法を用いて基板上に塗布し、熱を加えることにより、金属錯体が熱分解し、酸化物薄膜が形成される方法である。この際、残留有機物は蒸発し、薄膜中には、ほぼ残らない。

これまでに MPM 法により $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ 薄膜の形成に成功し、370nm 帯 GaN 系発光ダイオード (LED) の発光波長に対して製作した薄膜が透明であることを報告している [1]。また、Ga 金属錯体溶液を添加することにより、抵抗率が制御できることも示した [1]。しかしながら、その抵抗率は数 $\Omega \cdot \text{cm}$ 程度と比較的高く、電極に使用するには、更なる低抵抗率

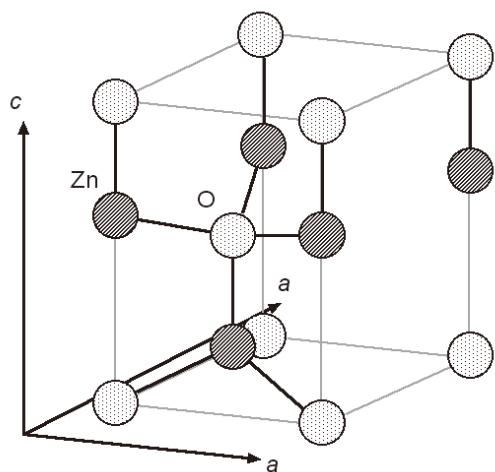


Fig. 1 Schematic diagram of ZnO crystal structure.
Here, c+ direction indicates the Zn polarity growth.

化が課題となっている。これまでに、ZnO 薄膜について電極と使用できる抵抗率が報告されているが [3, 4], これらの薄膜では、c 軸配向薄膜で実現されている。つまり、電極として使用する ZnO 薄膜は、多結晶薄膜であるが、c 軸配向性を持たせることが低抵抗化の鍵となる。参考に ZnO 結晶とその結晶軸名の関係を図 1 に模式的に示す。

そこで、本研究では、前年度 c 軸配向 ZnO および $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ 薄膜を MPM 法により実現可能であるかを明らかにし、その結果について報告した [1]。本年度は、Zn 極性 c 軸配向を目指した研究結果について報告する。

2. 実験方法

2. 1 c 軸配向 MgZnO 薄膜の製作

亜鉛原料には Zn-nta 錯体(nitriilotriacetic acid)を使用した。本錯体をアンモニア水を用いて溶液化した [1]。添加するマグネシウムおよびガリウム材料には、Mg-edta 錯体 (ethylenediamine-N, N, N', N'-tetraacetic acid)および Ga-edta 錯体を使用し、アンモニア水を用いて溶液化した。MgZnO 薄膜中の Mg 組成および Ga 不純物量は、溶液混合時のモル%を調整することにより制御した。製作した溶液は、スピコートにより基板上に塗布した。この際、回転数を途中で変更するダブルステップモードを用いた。1 段目の条件は、3000 rpm, 3 秒、2 段目の条件は、4000 rpm, 5 秒である。基板上に塗布により

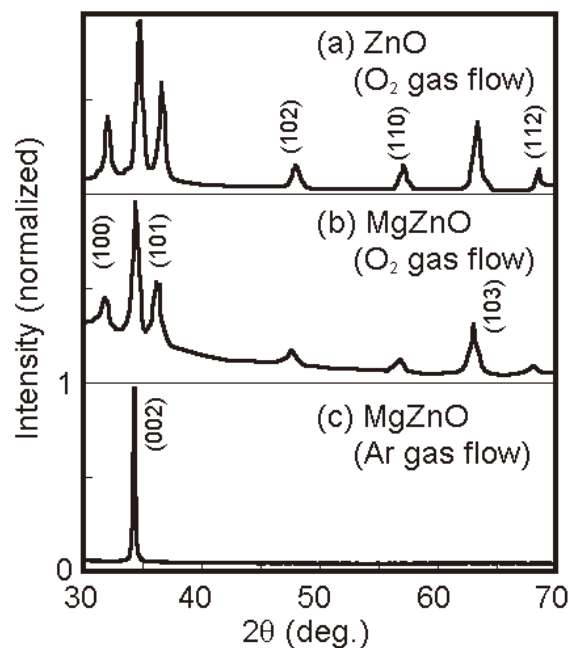


Fig. 2 XRD patterns of (a) ZnO and $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ films after pyrolysis in an O₂ flow and (b) $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ film after pyrolysis in an Ar gas flow.

製作されたプリカーサー薄膜は、70°Cで10分間乾燥させ、その後、600°Cで90分焼成した。この際、不活性ガスであるアルゴン(Ar)を流量100ccm供給する中で焼成を行った。焼成は、開管炉で行い、その際の酸素流量は100ccmであった。

この結果は、前回の報告通り、c 軸配向 MgZnO 薄膜の製作に成功している。製作した薄膜の XRD 測定結果を図 2 に示す。ここで、(a)には、酸素雰囲気中で焼成した ZnO 薄膜の結果、(b)には、酸素雰囲気中で焼成した MgZnO 薄膜の結果、および(c)には、アルゴンガス雰囲気中で焼成した MgZnO 薄膜の結果を示す。焼成雰囲気を Ar ガスにかえることにより c 軸配向が実現できた。しかしながら、角度分解 X 線光電子分光法 (AR-XPS) 測定の結果、酸素極性配向していることがわかった。ここで、AR-XPS 法による Zn 極性もしくは酸素極性配向の判別について詳しく述べる。ZnO 結晶は、六方晶結晶構造を有しており、その結晶対称性より図 1 に示す c 軸方向に大きな自発分極を持つ。このため結晶内部に c 軸方向に沿った大きな電界強度を有する。また、結晶がヘテロエピタキシャル成長のように ZnO 薄膜に残留歪みを有する場合には、さらに圧電分極による電界が生じている。サファイア基板上に成長した ZnO の場合には、通常圧縮方向の残留歪みを内在しているが、その電界方向は、自発分極と同様の方向である。つまり、今回製作しているサファイア基板上の ZnO 系薄膜の場合には、Zn 極性 c 軸配向と酸素極性 c 軸配向の場合には、薄膜内部の電界強度の

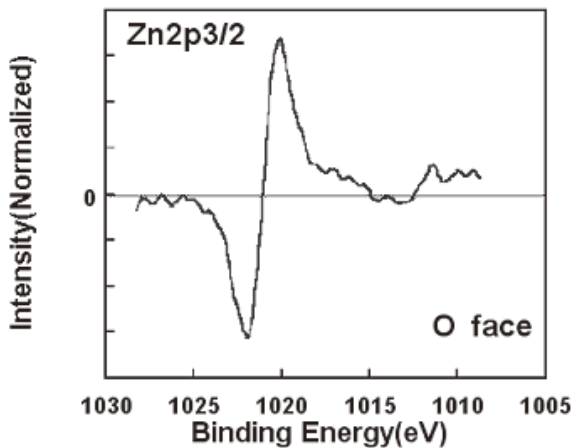


Fig. 3 AR-XPS differential spectrum of ZnO films fabricated on (0001)sapphire by molecular precursor method.

方向が、ちょうど c 軸方向に沿って逆方向となる。つまり、内部分極の電界強度方向を知ることができれば、Zn 極性 c 軸配向と酸素極性 c 軸配向のどちらであるか知ることができる。電界方向を調べる方法に AR-XPS 法を用いる。電界強度は薄膜堆積方向である c 軸方向に生じているので、薄膜中の異なる深さにおける電位差をみることにより電界強度方向を求めることができる。X 線光電子分光法では、エネルギー量一定である入射特性 X 線の照射によって薄膜中の原子内殻準位から電子が放出される(光電子)。この電子の運動エネルギーは、X 線のエネルギーから内殻電子のエネルギーおよび測定点の原子のビルトイン・ポテンシャル(内蔵電位)となる。よって、図 4 に示すように、入射 X 線の角度を変化させることにより深さ方向の光電子放出点を変化させることにより、内蔵電位の違いを観測することができる。この場合の深さ方向の位置の違いは数 nm 程度と考えられるので、内蔵電位の差は非常に小さいものとなる。今回は、数値の大きさではなく定性的に電界強度方向を知ることができればよいので、X 線入射角度 θ が 0° のスペクトルと -40° の場合の差分スペクトル(ディファレンシャル・スペクトル)で方向を検討する。

2. 2 Zn 極性 c 軸配向の必要性について

まず、Zn 極性面と酸素極性面について説明したい。図 1 に示すように、ZnO 系結晶は、ウルツ鉱型結晶構造を揺るため、 c 軸方向に自発分極が生じている。また、ヘテロエピタキシャル成長にみられるような残留ひずみを有する場合には、圧電分極を内在する。このような結晶では、電極として使用する場合、半導体との接触面について分極の影響に

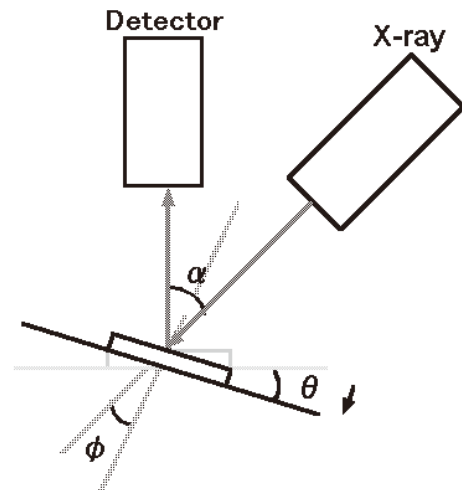


Fig. 4 Relationship between x-ray irradiation, θ and detection angles, α in AR-XPS spectra.

よる接触抵抗を考慮する必要がある。

また、結晶成長の点からも配向性制御が注目されている。真空を利用した MBE 法、スパッタ法および電子ビーム蒸着法では、抵抗率 $10^{-3}\Omega\text{cm}$ と非常に低い値が報告されている。この要因は、これらの薄膜が c 軸配向性を有しているため、結晶粒界におこる抵抗が低減するためであると考えられる。単結晶薄膜成長では、 c (酸素極性)軸に配向しやすいが、この場合、表面平坦性を維持することが難しい。これは、発光素子に対する電極応用の観点からみると、光取り出しが優位になることが想像できるが、集積化を行う際の配線の観点から問題が生じる。高い表面平坦性を実現するためにも Zn 極性 c 軸配向が必要となる。

2. 3 Zn 極性 c 軸配向 MgZnO 薄膜の製作

Zn 極性 ZnO 薄膜の分子線エピタキシャル成長では、MgO パッファ層の導入により実現できる報告がある[6]。我々が電極として検討する MgZnO 薄膜は、配向性を有する多結晶薄膜であるが、MgO プライマリ層導入が Zn 極性配向性制御に使用できると考え、MgO プライマリ層を導入した ZnO 層の製作を行った。

亜鉛原料には Zn-nta 錯体(nitilotriacetic acid)を使用した。本錯体をアンモニア水を用いて溶液化した[1]。マグネシウム材料には、Mg-edta 錯体(ethylenediamine-N, N, N', N'-tetraacetic acid)を使用し、アンモニア水を用いて溶液化した。製作した溶液は、スピコートにより基板上に塗布した。この際、回転数を途中で変更するダブルステップモードを用いた。1 段目の条件は、3000 rpm, 3 秒、2 段目の条件は、4000 rpm, 5 秒である。基板上に塗布によ

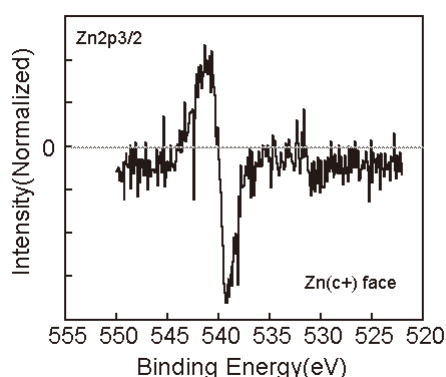


Fig. 5 AR-XPS differential spectrum of ZnO films with a MgO primary layer fabricated on (0001)sapphire by molecular precursor method.

り製作されたプリカーサー薄膜は、70°Cで10分間乾燥させ、その後、600°Cで90分焼成した。この際、酸素雰囲気中で焼成を行った。焼成は、開管炉で行い、その際のアルゴン流量は100ccmであった。MgOプリカーサー薄膜製作後にZnO薄膜の製作がおこなった。

3. 実験結果および考察

MgOプライマリー層を使用して製作したZnO薄膜のAR-XPS測定結果を図5に示す。この結果は、図3に示した、酸素極性ZnO薄膜の結果と逆の内蔵電位変化を示しており、この薄膜が亜鉛極性を有することがわかった。真空装置を利用しないZnO薄膜のc軸配向性制御を実現したのは世界初であると考えている。

Zn極性c軸配向ZnO薄膜の製作により、表面モロロジーの改善がみられた。図6に原子間力顕微鏡による表面観測結果を示す。単結晶薄膜成長の際にみられる結果[6]と同様であり、c軸配向多結晶薄膜でも配向方向と表面平坦性に関連があることがわかった。単結晶成長と同様の結果が得られたことにより、分子プレカーサー法によって製作したc軸配向ZnO薄膜のa軸方向の周期性が気になる場所である。そこで、反射高速電子線回折(RHEED)によるa軸方向の周期性の観測を行った。図7にその結果を示す。A軸方向に周期性がある場合には、ストリークパターン(線状)もしくは、スポットパターン(表面平坦性が悪い場合)が観測されるが、今回は、スポットパターンがリング上に配列する像を観測した。この像は、多結晶薄膜の場合に観測される典型的な形状をしており、酸素極性の場合もZn極性の場合もc軸方向には配向しているが、a軸方向には周期性がないことを示している。

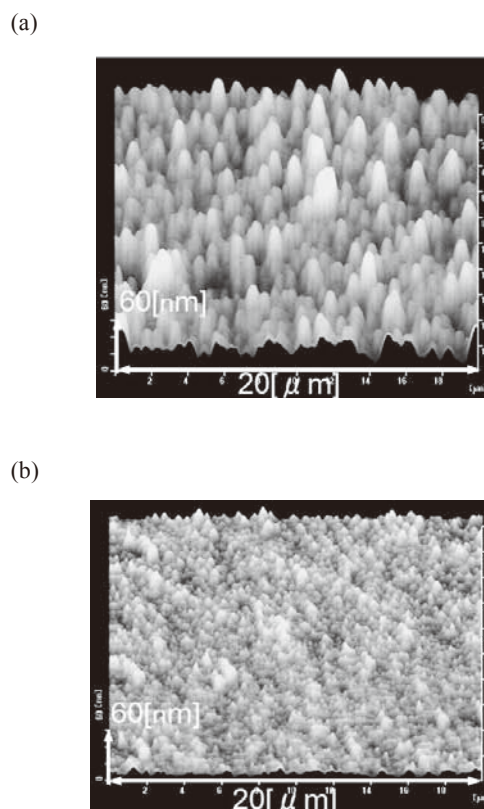


Fig.6 Surface AFM images of (a) ZnO film on (0001)sapphire and (b) ZnO film on (0001) with MgO primary layer.

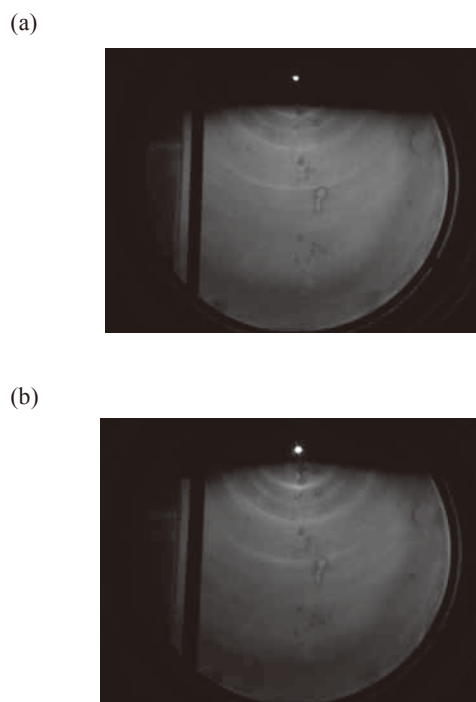


Fig.7 RHEED patterns of (a) ZnO film on (0001)sapphire and (b) ZnO film on (0001) with MgO primary layer.

4. まとめ

分子プレカーサー法(MPM)により c 軸配向 ZnO 薄膜の配向性制御を試みた。この結果、プライマリ一層に MgO 層を導入することにより Zn 極性 c 軸配向薄膜が実現できることを示した。また、RHEED 測定の結果より、これらの薄膜は c 軸配向しているが、a 軸方向については、周期性がないことがわかった。

謝辞

本研究は、電気・電子工学専攻修士学生 小田拓人氏、化学応用学専攻修士学生 鈴木達也氏の協力のもと行われた。永井裕己、望月千尋、原 広樹 各氏および山口智宏准教授の協力にも感謝する。

参考文献

- [1] Y. Mashiyama, K. Yoshioka, S. Komiyama, H. Nomura, S. Adachi, M. Sato and T. Honda, *Phys. Stat. Sol. C* **6**, 596 (2009).
- [2] D. C. Look, *Sci. Eng. B* **80**, 383 (2001).
- [3] T. Minami, *MRS Bull.* **25**, 38 (2000).
- [4] T. Minami, T. Miyata, Y. Ohtani and Y. Mochizuki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, L409 (2006).
- [5] M. Sato, H. Hara, H. Kuritani, T. Nishide and Y. Sawada, *J. Mater. Chem.* **6**, 1767 (1996).
- [6] M. W. Cho, A. Setiawan, H. J. Ko, S. K. Hong, and T. Yao, *Semicond. Sci. Technol.* **20**, S13 (2005).

本研究に関する発表

[査読付き論文]

- [1] H. Nagai, S. Aoyama, H. Hara, C. Mochizuki, I. Takano, T. Honda and M. Sato, "Photoluminescence and photoreactivity affected by oxygen defects in crystal-oriented rutile thin film fabricated by molecular precursor method," *J. Mater. Sci.*, vol. 45, pp. 5704-5710 (2010).
- [2] T. Honda, T. Oda, Y. Mashiyama, H. Hara and M. Sato, "Fabrication of c-axis oriented Ga-doped MgZnO-based UV transparent electrodes by molecular precursor method," *Phys. Status Solidi (c)*, vol. 7, pp. 2471-2473 (2010).

[国際会議発表]

- [3] T. Oda, H. Hara, C. Mochizuki, M. Sato and T. Honda, "Fabrication of c-axis oriented MgZnO transparent electrode by molecular precursor method," 8th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED2010), Peking University, Beijing, China, P16.

- [4] T. Honda, "Fabrication of RGB pixels based on UV Schottky-type LEDs," The 9th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-9), Tokyo, Japan, IL-9.
- [5] T. Suzuki, H. Nagai, C. Mochizuki, H. Hara, I. Takano, T. Honda and M. Sato, "The Electrical and optical properties of p-type cuprous oxides transparent thin films by the molecular precursor method," The 9th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-9), Tokyo, Japan, P-18.
- [6] T. Oda, T. Kizu, Y. Sugiura, H. Hara, M. Sato and T. Honda, "Polarity control of MgZnO thin films by molecular precursor method," The 9th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-9), Tokyo, Japan, P-26.
- [7] T. Oda, T. Kidu, H. Hara, Y. Sugiura, M. Sato and T. Honda, "Fabrication of c-axis oriented MgZnO transparent electrodes by molecular precursor method," The 38th Conference on the Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces (PCSI-38), San Diego, California, USA, We 1200.

[国内発表]

- [8] T. Oda, T. Kizu, H. Hara, Y. Sugiyama, M. Sato and T. Honda, "Fabrication of c-axis oriented MgZnO films by molecular precursor method," 29th Electronic Materials Symposium (EMS-29), Laforet Shuzenji, Izu, Shizuoka, Japan, We2-6.
- [9] 鈴木達也, 永井裕己, 望月千尋, 原 広樹, 鷹野一朗, 本田 徹, 佐藤光史, "分子プレカーサー法による p 型酸化銅(I)透明薄膜の形成," 第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学文京キャンパス, 長崎, 14p-NE-1.
- [10] 小田拓人, 木津拓人, 原 広樹, 杉浦洋平, 佐藤光史, 本田 徹, "分子プレカーサー法による MgZnO 薄膜の極性制御," 第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学文京キャンパス, 長崎, 17a-NE-4.

ストリートファッション画像データベースの構築と トレンド検知手法の研究

工学院大学 情報学部 コンピュータ科学科 小西克巳

共立女子短期大学 生活科学科 渡辺明日香

A Trend Detection Algorithm for Street Fashion Database

Katsumi Konishi, Department of Computer Science, Kogakuin University

Asuka Watanabe, Kyoritsu Women's Junior College

ABSTRACT: This report summarizes the project of the street fashion database and a method for detecting the fashion trend. The project consists of three parts, developing the street fashion database, an automatic extraction method of metadata from fashion images, and an algorithm for detecting the fashion trend.

1. はじめに

一般に「ファッションの流行は数年毎に繰り返す」と言われるが、この命題に対し観測データに基づいて科学的に取り組んだ研究はなかった。これはファッションと科学が掛け離れた分野であることも大きい。ファッションに関するサンプリングデータが圧倒的に不足していたことが最大の理由である。これに対し、共立女子短期大学カラー&デザイン研究室では、1970年から現在までの38年間に撮影されたストリートファッション写真が数万点蓄積されており、現在も月間数百点の割合で増加している。そこで本研究では、これらのストリートファッション写真をアーカイブし、付加情報とともにデータベースを構築することを目的としている。またデータベースに蓄積された情報に基づき、ファッションのトレンドを科学的に分析し、ファッショントレンドを検知し予測する手法の研究を行う。

本研究は、ストリートファッション画像データベースの構築、ストリートファッション画像からの付加情報抽出手法の開発、および、ファッショントレンド検知手法の開発の3つの研究から構成される。次節以降に詳細を報告する。

2. ストリートファッション画像データベース

2.1 ストリートファッション画像

ストリートファッション画像とは、ストリートスナップとも呼ばれ、繁華街でお洒落な服装を着た人を対象に撮影した全身画像のことである。本研究では、東京の主な繁華街である銀座、原宿、渋谷の路上で、毎月1回、週末に定点観測を行い撮影した画像を利用する。これらの画像は、服装色にファッショントレンドが反映されやすい若い女性を対象とし、ランダムに撮影したものである。ストリートファッション画像の例を Fig. 1 に示す。



Fig.1 Examples of street fashion images.

2.2 データベースの構築

本研究では、リレーショナル型データベースを実現するソフトウェア MySQL を利用し、データベース構築を進めている。本年度はファッションのアイテム項目と、写真に付随する情報を分離し、より効率よく検索可能なデータベースを構築した。Table 1-4 の内容の項目が登録されている

Table 1 Fashion items.

種類	トップス	ボトム	トップ&ボトム
	コート	パンツ	スーツ
	ジャケット	スカート	アンサンブル
	ブルゾン	キュロット	ワンピース/ドレス
	ブラウス	レギンス	つながぎ
	シャツ	タイツ	ジャンプスーツ
	ベスト	ソックス	その他
	セーター	その他	不明
	カットソー	不明	
	パーカー		
	その他		

Table 2 Information of photos.

写真情報			
撮影日(年)	撮影日(月)	撮影日(季節)	撮影場所
性別	クラスター1	クラスター2	クラスター詳細
年齢	年齢詳細	テイスト&ルック	テイスト&ルック詳細
年代調	用途	デザイナー・ブランド×3	ファッション・アイコン

Table 3 Information of fashion details.

トップス・ボトム・トップス&ボトム			
アイテム	アイテム詳細	シルエット・ライン・フォルム	丈
ディテール	ディテール詳細	マテリアル	柄の構図
図柄	図柄詳細	カラー	トーン

Table 4 Information of items.

小物		
帽子	ウィッグ	アクセサリ
アイウェア	ベルト	バッグ
シューズ	傘	その他

2.3 データベース登録・検索システム

昨年度に開発した Web ブラウザで利用可能なデータ登録システムを基に、操作性を向上したデータベース登録システムを構築した。開発環境には Adobe Air を利用し、計算機環境に依存せず利用可能なものとなっている。Fig.2 に作成したデータベース登録システムのインターフェースを示す。



Fig.2 Interface of fashion database

ファッション用語は不明確であるため、入力者によるばらつきが大きくなる可能性がある。そこで、ファッション用語に関する項目は全て選択式のプルダウンメニューとして実装されている。ただし、新しいファッションアイテムや名称が次々と生まれる可能性もあるため、新規に用語登録が可能となっている。

検索システムについては、Solr を利用した。Solr とは、オープンソースの全文検索エンジンとして有名な Apache Lucene をベースに様々な機能拡張を行った Web サーバアプリケーションである。Lucene との大きな違いはリクエストをサーバに対して HTTP 形式ですることができ、検索結果は様々な言語に対応したレスポンスライタの中から選択したもので受け取ることが出来る点がある。そのため様々な言語でクライアントプログラムを作成することができる。今回構築するファッションデータベースは情報量が多くなると考えられるため検索に時間のかかる順次検索方式ではなく、インデックスを使用する転置索引方式の solr を使用した。

検索結果例を Fig.3 に示す。検索結果はサムネイル画像と一緒にその画像のファッション情報が表示されるようになっている。さらにそこからファイル名、もしくはサムネイル画像をクリックすることによって個別のページに移動し更に詳しい情報を見ることが出来る (Fig.4)。個別ページのサムネイルをクリックすると元のサイズの画像が表示されるようになっている。また、ファセットナビゲーションを実装し、検索しやすくなっている。ファセットナビゲーションとは検索したドキュメントの持つ属性を抽出し、同じ属性を持つドキュメントを絞り込み検索できる機能であり、これにより絞り込み検索が行いやすくなる。



Fig. 3 Fashion search system.

1980S_0012.jpg



Fig. 4 Example of fashion search

3. ストリートファッション画像からの情報抽出

本研究では、ストリートファッション画像から色情報を抽出し、ファッションにおける色のトレンドを調査する。昨年度は静止画像から色情報を自動抽出する研究を行った。静止画の場合、背景と人物を分類することが難しく、高い精度で色の抽出精度を行うことは難しい。そこで本年度は、動画像を利用し、動画像から人物を抽出し、服飾の色情報を得る手法の開発を行った。

定点カメラで撮影した動画像の場合、Fig. 5 のように人物が歩いて移動している動画像から、容易に背景のみを抽出することが可能である。具体的には、各ピクセルの画素値を時間方向に観測した場合の最頻値を抽出すれば良い。これにより、動く物体はノイズとして除去され、Fig. 6 のような背景のみの画像を切り出すことが可能である。さらに、動画像と背景画像の差分をとることで、Fig. 7 のような人物のみの画像を切り出すことができる。

得られた画像から、肌色領域除去、現職処理を行い、色情報を抽出する。動画像から静止画像を抽出する場合、同じ人物が異なる静止画像に含まれる可能性がある。そこで、ヒストグラムインターセクションにより、似たヒストグラムになる色情報を持つ服装は同一人物と見なし、排除する。Fig. 7 から抽出された服飾の色のヒストグラ

ムをFig. 8 に示す。76人の歩行者が撮影された8分間の動画像に対し色抽出実験を行った結果、52名を正しく認識し、68.4%の精度で正しく色情報を抽出することができた。



Fig. 5 Example of movie



Fig.6 Background image



Fig. 7 Clipped image

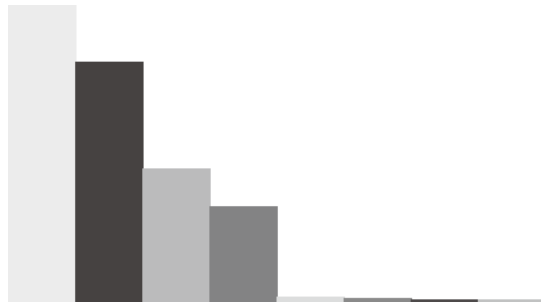


Fig.8 Histogram of colors

4. ファッショントレンド検知手法の開発

本研究では、ファッショントレンドを表現する数理モデルを構築し、数理モデルに基づいてトレンド検知を目指している。平成21年度は線形モデルを構築し検証を行った。本年度はインフルエンザの流行モデルとして知られている SIR モデルを採用し、検証を行った。

SIR モデルとは、1927 年に Kermack Mckendrick によって提唱された古典的な伝染モデルである。まだ感染せずに今後感染する可能性のある人の人口を表す感染可能者人口(S)、感染している人の人口を表す感染者人口(I)、すでに感染し治癒または死亡して今後は感染する可能性がない人の人口を表す隔離人口(R)に対し、以下の仮定を行う。

- 感染可能者は感染者との接触により感染する
- 接触率は両者の密度の積に比例
- 感染者は一定の割合で隔離者となる

上記の仮定に基づき以下の微分方程式で表されるのが SIR モデルである。

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

ただし、 β は感染率、 γ は隔離率を表す定数である。SIR モデルの時間発展例を Fig.9 に示す。SIR モデルでは、S と I と R の和が一定であるので、流行が発生したとき、一般には S は単調減少し、I はある量まで増えると、そこから減少し、R は単調増加する。S または I が 0 になると流行は終了することとなる。

ファッションの流行は疫病の流行とは少し異なる。ファッションの場合には、流行が広まるという観点では疫病と同じであるが、感染者が単調減少するとは限らない。つまり、一度流行したファッションが固定し、ある一定量で流行しつづける場合がある。そこで本研究では、SIR モデルに、固定して感染しつづける人口(F)を導入し、以下の微分方程式で表される SIRF モデルを構築した。

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma_1 I - \delta I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma_1 I + \gamma_2 F$$

$$\frac{dF}{dt} = \delta I - \gamma_2 F$$

ここで、 δ は感染者の中から固定者へと推移する比率を表す。これにより、ファッションが流行し、一部は流行から遠ざかり、一部は固定者となるモデルとなっている。

構築した SIRF モデルの数値例を Fig.10 に示す。SIR モデルとは異なり、感染者人口(I)が単調減少せず、一部は固定者となり流行しつづけることが確認できる。

本年度はモデル構築と数値シミュレーションを行ったのみである。次年度以降は具体的な観測データを利用して、モデルの検証を進めたい。

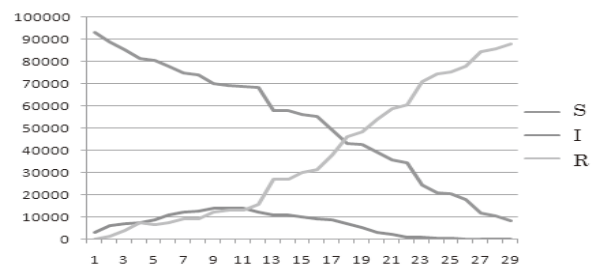


Fig.9 SIR model

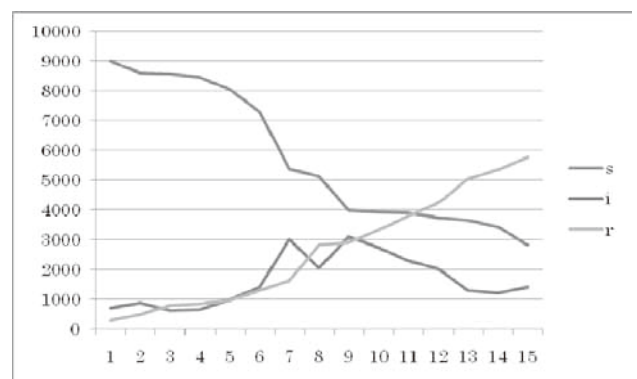


Fig.10 SIRF model

5. おわりに

本研究では、ストリートファッション画像データベースの構築を行い、ファッショントレンドを自動検知する手法の研究を進めている。本研究は、ストリートファッション画像データベースの構築、ストリートファッション画像からの付加情報抽出手法の開発、および、ファッショントレンド検知手法の開発の3つの研究から構成されており、それぞれについて報告した。

平成23年度以降は本年度に引き続き、ストリートファッション画像のアーカイブの実施、各種アルゴリズムの精度の向上、ファッショントレンドを表現する数理モデルの改善を進める予定である。

参考文献

- (1) 渡辺明日香, 城一夫, 小西克巳: ストリートファッションにおける服装色に関する研究- 3次元色空間上における分布可視化ソフトウェアの開発と検証-, 日本色彩学会全国大会, 2010.
- (2) 玉木剣史郎: 動画から服装色情報抽出の研究, 工学院大学情報学部卒業論文, 2011
- (3) 田中正孝: ストリートファッション画像データベースのためのAIRアプリケーションの開発, 工学院大学情報学部卒業論文, 2011
- (4) 鶴岡陽慧: 全文検索エンジン”Solr”を用いたファッションデータベースの構築, 工学院大学情報学部卒業論文, 2011
- (5) 杉村諒: SIR モデルを利用したファッション流行検出の検討, 工学院大学情報学部卒業論文, 2011

人口過疎地域における人口、生活圏域、域内生活基盤施設の相互関係

工学院大学	建築学部建築学科	山下てつろう
工学院大学	建築学部建築デザイン学科	笈淳夫
名城大学	理工学部建築学科	生田京子

Study on Mutual Relation of Population, Range of Living and Facilitie in Under-populated Area

Tetsuro Yamashita, Prof., Department of Arch, Faculty of Arch., Kogakuin University, Dr. Eng

Atsuo Kakehi, Prof., Department of Arch, Faculty of Arch design., Kogakuin University, Dr. Eng

Kyoko Ikuta, Assoc. Prof., Department of Arch., Faculty of Science and Engineering., Meijyo Univ., Dr. Eng

ABSTRACT : The present study aims to think about the facility placement to keep living convenience in the under-populated area. At first, we investigated the living activity in the provinces by comparing it with life in the city and we found that people in under-populated area tend to use the facilities which functions gather. Therefore, we selected Niimi City that has facilities with the clinic, the library and public office as the investigation place. The facilities are called a small base. We executed the questionnaire and understood people's living activities in Niimi City. Moreover, we derived the distance attenuation parameter by using the Huff-model type.

As a result, it has been understood that using Huff-model in the under-populated area is not necessarily effective from this investigation.

1. はじめに

1-1 研究背景と目的

近年「人口減少」、「高齢社会」という表現は、特に日新しさや珍しさを感じる言葉ではない。「過疎」という言葉に対しても同様であろう。昭和45年に「過疎地域対策緊急措置法」が立法化された（以下、一連の措置法を「過疎法」と呼ぶ）。以来、4次にわたる10年毎の期限法が制定され、平成22年3月末で失効したが、平成28年3月31日までの延長を定める「過疎地域自立促進特別措置法の一部を改正する法律案」が施行された。なおここで言う「過疎地域」とは、過疎地域自立促進特別措置法に規定されるものの他、Table 1に示すような、山村地域・離島地域・辺地地域なども視野に置いている。過疎法が立法化された当初は、「過密」と「過疎」が相互に関係して起きていた。しかし、近年の過疎の現状は質が変わり、「過密なき過疎」^{注1}という言葉に表現されるように、都市部への人口流出にとどまらず、都市においても人口減少が始まっており、全国的な縮小状態とな

っている。

こうした人口規模縮小によって問題になるのは、生活利便性に係る施設の維持である。特に商業施設は、収益が見込めなければ撤退していく、人口規模との関連が強い施設であり、その点で生活利便性と人口規模は密接に関連している。

本研究は、人口減少地域において生活利便性の維持を目的とする施設配置について検討するものである。

1-2 研究概要

研究概要は、まず地方と都市における生活の違いを把握することから始めた。これは、内閣府が行った「高齢者の地域におけるライフスタイルに関する調査」^{注2}より、居住環境によって外出頻度に違いがあることが明らかにされているためである。この調査では、人口減少が進む地域において（田畑が多い農村地域、山間地域、漁村地域）、買い物周期が長くなることが示されている。こうした結果を踏まえ、本研究では、その具体的な生活行動傾向を知るため、地方と都市の生活を調査した。得

■過疎地域（過疎地域自立促進特別措置法） 総務省

都道府県数 45 市町村数 582

1 [財政収入 / 財政需要額] 平均 ≤ 0.42
ただし、以下に該当する場合には、(H.7-S.45) 人口 / 現人口 > 0.1

- 35 年間人口減少率が ≥ 0.3
- 35 年間人口減少率が ≥ 0.25
- H.7 人口 / 65 歳人口 ≥ 0.24
- H.7 人口 / (15 歳以上 ~30 歳未満人口) ≥ 0.24

2 [財政力指数] 平均 ≤ 0.56
ただし、①、②又は③に該当する場合には、(H.17-S.55) 人口 / 現人口 < 0.1

- ① 45 年間人口減少率が ≥ 0.33
- ② 45 年間人口減少率が ≥ 0.28
H.17 人口 / 65 歳人口 ≥ 0.29
H.17 人口 / (15 歳以上 ~30 歳未満) 人口 ≥ 0.14
- ③ (S.55-H.17) 人口 / S.55 人口 ≥ 0.17

■山村地域（山村振興法） 農林水産省

都道府県数 47 市町村数 1727

- 1960 年林業センサスにおいて、林野率 ≥ 0.75
- 人口密度 1.16 > 人口 / ha
- 交通、経済、文化等条件に恵まれず産業開発の程度が低いこと

■離島地域（離島振興法） 国土交通省

都道府県数 25 市町村数 110

1 外海離島指定基準

- 外海に面する島であること
- 本土との交通が不安定な島であること
- 島民の生活が強く本土に依存している島であること
- 本土との最短航路距離が概ね ≥ 5km
- 人口が概ね ≥ 100 人 等

2 内海離島指定基準

- 本土との最短航路距離が概ね ≥ 10km
- 定期航路の寄港回数が 1 日概ね ≤ 3 回
- 人口が概ね ≥ 100 人 等

3 離島一部地域指定基準

- 本土との最短航路距離が外海の島しよで概ね ≥ 5km
- 内海の島しよで概ね ≥ 10km
- 定期航路の寄港回数が 1 日概ね ≤ 3 回
- 定期バスの運行回数が 1 日概ね ≤ 3 回 等

■辺地地域（辺地法） 総務省

都道府県数 45 市町村数 1704

当該地域についての辺地度数が一定以上であることとする

当該地域における公共施設（学校・医療機関・市役所等）までの距離や、公共交通機関の運行回数等を点数化し、自然的条件による交通困難度に応じて補正を行い、合算したものを辺地度数点とする

主な要素 * 抜粋	点数	
	交通機関無し	交通機関有り
駅又は停留所における交通機関の一日平均運行回数	1 往復以下	20
	2 往復及び 3 往復	15
	4 往復及び 5 往復	10
	6 往復及び 7 往復	5
過去三年間における自然条件による交通機関の平均運行休止期間	30 日以上 59 日以下	10
	60 日以上 89 日以下	20
	90 日以上	30
船着場から本土までの月間平均の定期運行回数	30 回以下	75
	331 回以上 360 回以上	20
主な要素（最短距離）* 抜粋	距離 (km) / 下記係数 = 点	
	交通機関無し	交通機関有り
駅又は停留所まで	0.20	
小学校まで	0.17	0.33
高等学校まで	1.00	2.00
医療機関まで	0.17	0.33
郵便局まで	0.33	0.67
近隣の市役所まで	1.67	3.33
船発着場まで	0.13	0.27

Table 1 過疎地域などの定義^{注3}

られた知見をもとに、拠点配置モデルを組み立てるべく、次に「小さな拠点」をもつ岡山県新見市での住民の生活行動を把握するというプロセスを辿る。

2. 地方と都市の生活傾向

2-1 地方での生活

2-1-1 調査概要

調査手法を簡便にする目的から、地元の協力が得られた、北海道茅部郡森町で KK 病院の外来に訪れた患者や付き添いにヒアリングを行い、調査日の前日（月曜日）、前々日（土・日曜日）の生活を収録し、その傾向を探った。

2-1-2 調査方法

ヒアリング調査によって得られた結果をもとに、住民の生活と居住地域の地理的条件との関係について分析した。ヒアリング内容は、Table 2 の通りである。

Table 2 調査概要

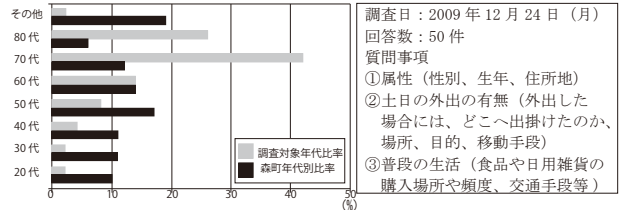


Fig. 1 森町人口と調査属性比率

2-1-3 調査結果

①外出の有無（土日）

両日とも出かけない人が約 4 割を占めており、土日において外出が少ない傾向が明らかになった (Fig. 2)。

②食品の購入頻度

「毎日」買い物に出かける人は約 2 割となり、「1 週間に 1 回」、「1 週間に 2・3 回」という人が約 7 割を占めた (Fig. 3)。また食品の購入頻度と居住地域との距離関係を見たものが Table 3 であるが、特に関係性は見られなかった。

食品を購入する場所を尋ねた結果、多く回答された店舗は互いに近距離に位置していた。このことから住民はこれらの店舗を一度にまわるという買い物の傾向がうかがえる。

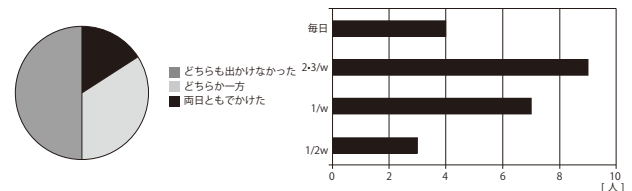


Fig. 2 外出頻度（土日） Fig. 3 食品の購入頻度

③店舗と居住地の距離関係

ヒアリングの回答者が居住する地域とそこで挙げられた店舗（ラルズ・フォレスト・ホクレン）との直線距離

を計測すると、(Fig. 4)で5km圏内の店舗利用が多いことが分かる。

Table 3 買い物頻度と距離関係

買い物頻度	容易圏内 x ≤ 500m	可能圏内 500m ≤ x ≤ 1500m	不可能圏内 x ≥ 1500m
毎日	1	1	2
2・3/w	4	3	2
1/w	0	3	4
1/2W	0	3	0

Fig. 4 各地区と各店舗間の距離分布

2-2 都市の生活

例ではあるが、比較確認のため都市（東京都三鷹市）に居住する家族の1週間の行動を記録した。調査対象の家族構成は、夫婦（共に就業者）、娘一人（高校生）の家庭である。夫（就業者A）の就業先は市外、妻（就業者B）と娘の就業・通学場所は居住市内にある。

Table 4は、調査属性ごとの移動に関する表である。夫は1トリップの移動距離は長距離であるが、就業地・通学地が域内^{註4}にある妻と娘は、平均して約1km圏内の移動である。また、徒歩・自転車の利用が多い。

Table 4 1トリップ平均移動距離と徒歩・自転車利用率

	就業・通学場所	生活圏	1トリップに対する平均移動距離(m)	徒歩・自転車利用数 / 全トリップ数 (%)
就業者A	市外	広域	10,131	2/15 (13%)
就業者B	市内	狭域	1,113	20/25 (80%)
学生(高校生)	市内	狭域	642	12/12 (100%)

2-3. まとめ

地方では買い物周期は長期となり、集約型施設利用の傾向が見られた。そして、約5km圏内の商業施設利用であり、ちなみに都市域の場合、店舗が地方と比較して、分布していることが考えられる。日常的な買い物場所の立地を見ても、平均して約600mの範囲の利用であった。この分布傾向は、コンビニエンスストアの勢力圏面積の比較からも言える。店舗（タウンページより取り出した）を域内の面積でポロノイ分割すると、森町では約1272ha、都市（調査属性居住地）では約33haであった(Fig. 5)。



地方（森町） 都市（三鷹市）

Fig. 5 コンビニエンス勢力圏

3 拠点配置（意識調査）

3-1 調査概要

前章の結果より、地方では拠点機能として集約した施設が適当ではないかと考えた。そこで、KH複合施設（以後、K施設とする）をもつ岡山県新見市を調査地とし、意識調査を行い、そこから得られた結果より、距離と施設利用の関係を探った。施設概要を、Table 5に記す。

Table 5 K施設概要

敷地面積	23,000 m ²
建築面積	6,020 m ²
施設機能	行政支局、内科・歯科診療所、生涯学習センター、文化センター図書館 保健福祉センター
施設利用指数	16.3(年間利用 / 地域人口)

3-2 調査方法

周辺住民（A調査）とK施設利用者（B調査）との双方に対してアンケート調査を実施した。配布方法、配布数、回収率はTable 6の通りである。調査Aでは、①属性（性別、生年、居住地区）、②生活の不便（「市町村合併」によって生活の変化）、③日常生活（買い物場所・頻度・交通手段・目的地までの時間等）を質問した。A調査での調査票配布地と施設立地場所はFig. 6の通りである。各地区を、西の店舗集積地からアルファベット順に記号付けを行った（以後、各地区をこの表記とする）。調査Bでは、①属性（性別、生年、居住地区）、②K施設までの交通手段と時間、③K施設ができたことによる生活の変化（施設への満足度、診療・外出回数の増減、各機能利用頻度等）を質問した。

Table 6 各調査方法と回収率

対象者	調査方法	配布数・世帯	回収数	回収世帯	回収率 (%)
A 周辺住民	調査票を郵便受けに直接投函	1,000	319	156	15.6
B 施設利用者	施設入口で調査票配布	66	66	—	100

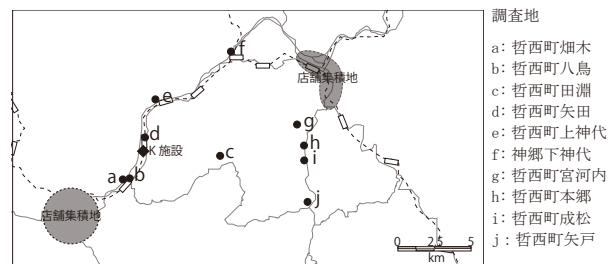


Fig. 6 施設立地と各調査地区

3-3 調査結果

3-3-1 A調査の結果

①属性

Fig. 7は、新見市年代別人口比率と調査属性の年代別比率である。調査では60代比率が高いものの、概ね同じ分布形となった。Table 7は各調査地の基礎情報で、Fig. 8とTable 8は調査地における施設配置の実態であ

Table 7 調査地区の基礎情報^{注5}

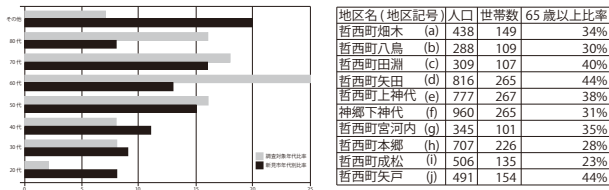


Fig. 7 新見市人口^{注5}と調査属性比率

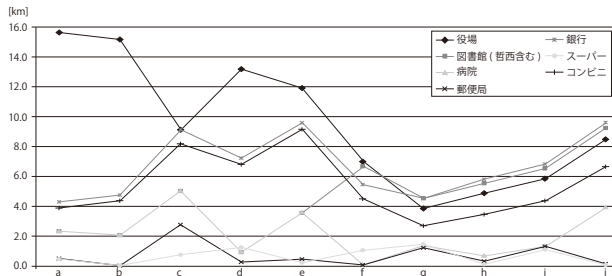


Fig. 8 各施設までの距離 (地区別)

Table 8 各施設までの距離

経営機関	施設	単位: km											平均	標準偏差	
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j				
公的	役場(合併後)	15.6	15.2	9.1	13.2	11.9	7.0	3.8	4.9	5.8	8.5	9.5	4.3	9.5	4.3
	役場(合併前)	2.4	2.1	5.2	0.9	3.6	0.1	1.5	0.1	1.0	3.8	2.1	1.7	2.1	1.7
	図書館	15.9	15.4	9.5	13.3	11.9	6.7	4.4	5.6	6.5	9.2	9.8	4.1	9.8	4.1
	図書館(K施設含む)	2.4	2.1	5.2	0.9	3.6	6.7	4.4	5.6	6.5	9.2	4.7	2.5	4.7	2.5
	病院	2.4	2.0	5.1	0.9	3.6	0.1	1.4	0.7	1.3	4.0	2.1	1.6	2.1	1.6
民営	郵便局	0.5	0.0	2.7	0.3	0.5	0.1	1.3	0.3	1.3	0.2	0.7	0.8	0.7	0.8
	銀行	4.3	4.7	9.1	7.2	9.6	5.4	4.5	5.8	6.8	9.6	6.7	2.1	6.7	2.1
	スーパー	0.5	0.0	0.8	1.2	0.2	1.1	1.4	0.1	1.1	0.1	0.7	0.5	0.7	0.5
	コンビニ	3.9	4.3	8.1	6.8	9.2	4.5	2.7	3.5	4.4	6.7	5.4	2.2	5.4	2.2
		*各施設までの最短距離													

る。機能によって、配置状況が異なることが分かる。

②生活の不便・不安

合併により「行政サービスの低下」を感じる人が、約5割であった。これは、合併前まで分散していた役場が、一つに集約してしまったことが要因と考えられる。分散配置であった場合(合併前)、各地域から役場までの平均距離は2.1kmであるのに対し、合併後では9.5kmである(Table 8-「役場」の項目)。

また、図書館は、K施設ができる以前は、新見市役所周辺に集まり、平均距離は9.8kmだったが、K施設ができ分散されたことにより平均距離が4.7kmとおよそ半分の距離になったことで、Fig. 10で示されるように、K施設内の図書館利用頻度が高いと考えられる。

郵便局に関しては、一部の地域を除いてスーパーと同距離にあり、週に数回、月に数回の頻度でスーパーを利用する際に郵便局も同時に利用することが可能と考えられ、合併前の役場、病院も同様の関係で施設配置がなされていることがわかる。

③日常生活

Fig. 9は、買い物に対する片道にかかる時間、利用頻度、店舗選択理由を尋ねた結果である。

片道にかかる時間：買い物に出かける際の「片道にかかる時間」は、「10分未満」、「10～30分未満」と回答する人が全体の約9割であった。地区ごとにみると、市街地に近い地区ほど短く、遠い地区では長い傾向がみられ

た。市街地から遠方でも、地区内の商業施設利用ではなく、市街地に立地する施設まで買い物をしていることが伺える。

利用頻度：「週に数回」、「月に数回」と回答する人が全体の約9割であった。地区ごとにみると、店舗まで近距離だから利用頻度が高いという関係は見られなかった。地理的条件と利用頻度の間には、関係が見られなかった。店舗選択理由：全体では、「店舗内容」、「立地」が主な理由として挙げられていた。地区ごとにみると、遠距離の地区でも「立地」を選択理由に挙げている。Table 7において、スーパー、コンビニまで遠距離にある地区を挙げると、スーパーの場合c, d, f, g, i、コンビニの場合c, d, e, jとなり、スーパーが遠距離の地区は、役場、病院、郵便局がスーパーに近接していることが見られ、またコンビニが遠距離の地区は役場、図書館、銀行がコンビニに近接していることが見受けられる。これは、買い物に加え、周辺施設などでその他の用事を済ませているまたは、職場に近く、仕事帰りに寄る事のできるため、立地を選択理由に挙げていると考えられる。

ここで注意すべきは、Fig. 9の選択理由内に「立地」、「周辺施設」とあるが、アンケート方法で店舗選択理由は自由筆記だったため、二つが混在してしまったと考えられる。

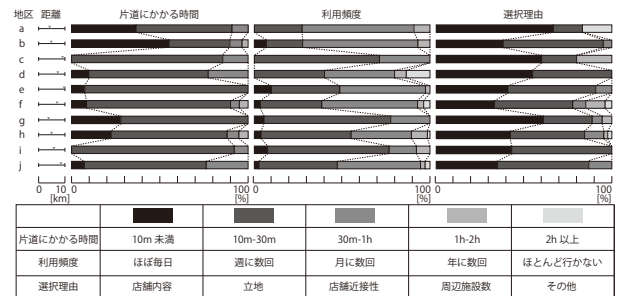


Fig. 9 各居住地ごと店舗までの時間・利用頻度・選択理由

3-3-2 B 調査の結果

K施設の立地に満足しているか、を尋ねたところ、「大変満足」「満足」が約8割を超えた。この結果は、調査の大半が、5km圏内に居住している人がしめていたことに起因している(Table 9)。そして、K施設ができる前後での外出・診療回数を尋ねたところ、共に「変わらない」という回答が多かった。これは、施設機能が日常的に利用するものではないためと考えられる。

Fig. 10は、K施設の利用頻度を各機能ごとに聞いたものである。役場、内科診療所、文化ホールでは、「ほとんど行かない」という回答が多く占めているが、図書館では約1割強であり、日常的に利用されていることがわかる。

Table 9 施設利用に対する意識調査

施設までの距離	立地条件				外出回数			診療回数		
	大変満足	満足	やや不満	その他	増えた	変わらない	減った	増えた	変わらない	減った
~10 km	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
~5 km	10	30	2	2	15	27	1	10	31	1
計	10	31	2	2	16	27	1	10	32	1

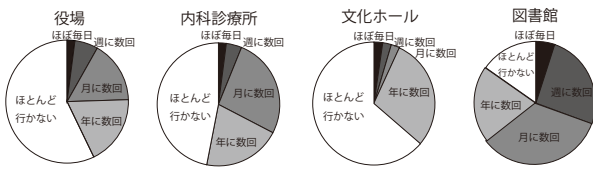


Fig. 10 利用頻度 (K 施設機能別)

$$P_{ij} = \frac{S_i / T_{ij}^\lambda}{\sum (S_i / T_{ij}^\lambda)} \quad \text{式 (1)}$$

$$\sum P_{ij} = 1$$

P_{ij} : 居住地 i における商業施設 j の店舗選択率
 S_i : 商業施設の魅力度
 T_{ij} : 居住地 i から商業施設 j への距離
 λ : 距離減衰パラメーター

3-4 ハフモデルによる分析

施設周辺住民を対象としたアンケート結果 (居住地と買い物場所

) をもとに、ハフモデル 式 (1) を用いて距離減衰パラメーター (以後 λ とする) を導出した。

地域を 1km x 1km の 3 次メッシュに区分し、居住地をそのメッシュ地図におとしこみ、そのメッシュの重心から店舗選択率を P_{ij} とし、実際の店舗選択率、予測値との相関を求め、相関の高い値を信頼できる λ 値とする。また、店舗の魅力度 (周辺店舗数を魅力とする) を 1 と固定し、 λ を順次 0.1 から 0.1 刻みで変動させる。

最も相関の高い λ は 0.1 となり ($\lambda = 0$ を投入できないため、 λ 値は 0.1 からの値となる)、距離は店舗利用に殆ど影響しない。次に店舗の選択には、域内店舗数や店舗の魅力が影響すると考えられるので、まず域内店舗数について検討した。すなわち、域内店舗の有無により地域を二つに分類し、域内店舗が無い地区を 1 グループ (c, d, f, g, i)、店舗が有る地区を 2 グループ (a, b, e, h, j) に分類し、分析を再度行った。

2 分類した結果は、Fig. 12 (図中 A1、A2) である。

A 分析の特徴として、 $\lambda = 0.1$ に固定し距離による影響を受けないと仮定し分析を行うと、A1 の域内店舗無しと A2 の域内店舗有りとは、どちらの場合が距離による影響を受けるかを明らかにする分析である。次に魅力度を与えた場合の相関を図中 B1、B2 として示す。

B 分析の特徴としては、店舗選択に店舗の魅力度を与えることで A1 の域内店舗無し、A2 の域内店舗有りとは、どちらの場合が魅力度の影響を受けているのかを明らか

にする分析である。

最も高い相関値を見たのが、Table 10 である。高い相関が得られてはいないが、「域内施設が無い」場合、施設選択に距離は影響しない逆に「域内施設が有る」場合、周辺店舗数が店舗選択に影響を及ぼしていることがわかる。

このことから、拠点の配置を考える際、必ずしも集約型配置が良いとは言えず、むしろ周辺施設の配置状況等を勘案する事が必要といえる。

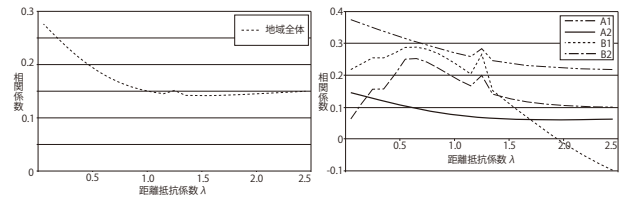


Fig. 11 地域全体 λ と 相関係数
 Fig. 12 λ と相関係数 (A・B 分析)

Table 10 各グループの分析別最大値
 Table 11 各グループの影響要因

	A 分析	B 分析	地区内 ←	→ 地区外
1 グループ (域内施設無)	$\lambda=0.1, R=0.37$	$\lambda=0.7, R=0.29$	●	●
2 グループ (域内施設有)	$\lambda=0.1, R=0.15$	$\lambda=0.7, R=0.25$	●	●

4 総括

本研究は、第一段階として地方・都市での生活傾向の特徴を探る

ことから人口減少地域において機能集約型施設が適しているのではないかと仮説をたて、第二段階で、複合施設が実在する地域を例にして、拠点配置モデルを組み立てるべく分析を行った。拠点配置には域内施設の有無が関係しており、域内施設が有る場合には、施設までの距離と周辺の施設が関係している可能性があることが分かった。しかし域内施設が無い場合には、距離・施設とともに影響は殆どなく、利用施設が遠くても利用されるという結果になった。

すなわち、必ずしも機能集約型施設を設ければ自動的に利用が期待されると言えず、拠点の構成と配置計画については、更に検討すべきことが明らかになった。

謝辞

本研究は、平成 21-23 年度 工学院大学総合研究所プロジェクト研究費「人口過疎地域における人口、生活圏域、域内生活基盤施設の相互関係」(代表者: 山下哲郎) を得て、実施したものである。

また、本研究の調査では、多忙の中施設関係者、周辺住民の方々に多数ご協力いただいたことに深く謝意を表します。

注

注1) 総務省：定住自立圏構想の推進に向けた総務省の取り組みについて（資料4）から出典

注2) 「高齢者の地域におけるライフスタイルに関する調査」は、平成21年、全国の60歳以上の男女を5000人を対象とした、内閣府が行った調査である。

注3) 各省庁へ電話での聞き取りによる、平成22年4月1日時点、また辺地に関しては、平成16年3月31日時点

注4) ここで「域内」とは、市町村の町内の地域を言う。

注5) 国勢調査による平成17年10月1日時点

参考文献

- (1) 大野晃：限界集落と地域再生，高知新聞社，2008
- (2) 大野秀敏：シュリンキング・シティー縮小する都市の未来戦略，鹿島出版会，2008
- (3) 日本建築学会編著：図説 集落，都市文化社，1989
- (4) 荒井義雄：生活の空間 都市の時間，古今書院，1989
- (5) 海道清信：コンパクトシティー持続可能な社会の都市像を求めて，学芸出版会，2001
- (6) 石川義孝：空間相互作用モデル，地人書房，1988

古代東アジアにおける学術と支配制度に関する研究

工学院大学 基礎・教養教育部門 榎本淳一

工学院大学 機械創造工学科 塚本剛

明治大学 文学部 河内春人

Study on Governing System and Academic in Ancient East Asia

ENOMOTO Jun'ichi, Division of Liberal Arts

TSUKAMOTO Tsuyoshi, Department of Basic Engineer in Global Environment

KOCHI Haruhito, Meiji University

ABSTRACT: It is considered that in premodern times there existed in the East Asian region an international order centered on China and a historical world known as the “East Asian world” in which various countries and peoples were structurally interconnected. Because of shared cultural phenomena such as a Sinographic culture, Confucianism, the *lu-ling* system, and Buddhism, the “East Asian world” can, it is maintained, also be understood as a sphere of Chinese culture mediated by the Chinese script.

1. はじめに

本研究は、古代東アジアにおける学術と支配制度の関係性について、多様な視点から実証的に解明することを目的とする共同研究である。研究期間は、2010～2012年の3年間であり、今回はその初年度の研究成果について、途中経過報告という形で報告したいと思う。

2. 研究実施体制

2.1 研究組織

本研究においては、多様な視点から実証的な検討を加えることに重要性があるため、共同研究者に加え、研究協力者を募集し、研究体制の強化を図った。本研究に関わる研究者（専門・所属）は以下の通りである。

研究責任者	榎本淳一	日本古代史
共同研究者	塚本剛	東洋史
共同研究者	河内春人	日本古代史
研究協力者	小林春樹	東洋史 大東文化大学
研究協力者	小林岳	東洋史 早稲田高等学院

研究協力者 濱田寛 漢文学 聖学院大学

研究協力者 野田由紀子 日本古代史 お茶の水女子大学

研究協力者 吉永匡史 日本古代史 日本学術振興会以上、8名により昨年度は共同研究を遂行したが、必要に応じて今後更に増員することも考えている。

2.2 研究体制

研究責任者及び共同研究者による個別研究と、研究責任者・共同研究者・研究協力者による研究会によって、研究を推進する体制をとっている。最終的には、その両方の研究成果を、研究書としてまとめ、刊行することを目指している。

3. 研究の成果と途中経過

3.1 公表・刊行された研究成果(2010年度分)

(1) 著書

①榎本淳一(共著)『遣唐使船の時代』角川学芸出版、

pp. 126-147

- ②榎本淳一（共著）『古代国家と天皇』同成社、pp. 131-146
 ③河内春人（共著）『日本の対外関係 1 東アジア世界の成立』吉川弘文館、pp. 141 - 163

(2) 論文など

- ①ENOMOTO Jun'ichi, Japan's *Ritsuryo* system in "East Asian World", ACTA ASIATICA 99, pp. 1-17
 ②河内春人「唐代史から世界史へ 石見清裕著『唐代の国際関係』『環』41、pp.402 - 405
 ③河内春人「仁藤敦史著『卑弥呼と台与 - 倭国の女王たち』『歴史と地理』635、pp.45 - 48
 ④河内春人「佐藤長門著『日本古代王権の構造と展開』『日本史研究』581、pp.71 - 79

(3) 口頭発表

- ①榎本淳一「来日した唐人たち」遣唐使船再現プロジェクト・春日大社シンポジウム、2010年4月24日
 ②榎本淳一「遣隋使は何をもたらしたのか」『日本書紀』を考える会、2010年8月7日

3. 2 研究会実施状況

第1回研究会

日時：2010年8月31日

場所：本学第4会議室

発表：①吉永匡史「律の受容と明法道の成立(一)——律附釈の性格をめぐる——」
 ②榎本淳一「推古朝の礼制改革の再検討」

第2回研究会

日時：2010年11月20日

場所：本学共通課程応接室

発表：①河内春人「五経博士をめぐる学術の流通」

第3回研究会

東日本大震災により、中止

3. 3 研究の進捗状況

(1) 榎本淳一

2010年度の研究は、上記の公表した成果以外に、遣唐使の蒐書活動に関する検討を行った。その第一段階として、遣唐使を取り巻く国際環境について考察を行い、通説の問題点を明らかにした。その要点は、以下の通りである。

歴史用語は、歴史的な理解を深め、具体的な時代イメージを作る上で大変有益なものである。しかし、有名に

なり流布するにつれ、その内容が過大に膨らみ、誤ったイメージを生み出すことがある。本書で扱う「遣唐使」という用語にも、そのような弊害が生じているように思う。遣唐使という用語は、本来、「唐へ派遣される(た)使い」という意味でしかないのだが、現在、多くの方は遣唐使という用語から「活発な国際交流の担い手」や「唐代の最新文化を次々にもたらした文化的使節」などのイメージを抱かれるのではないだろうか？そのような遣唐使のイメージから、さらに平城京が国際都市であったとか、シルクロードの終着駅であったといった理解を持たれている方が少なくないように思われる。結論から言えば、このようなイメージ・理解は、遣唐使や平城京の実態から大きく逸脱したものである。

遣唐使が派遣されていたからといって、その当時が国際交流活発な時代であったかという決してそうということはない。遣唐使が派遣された期間は、約二六〇年ほどだが、「遣唐使一覧表」をご覧頂ければ分かるように、この間に実際に唐へ派遣されたのは十数回(派遣回数については、十三回、十五回、十六回など諸説がある)である。平均すると約20年に1回ほどの頻度になる。この当時と現代とは交通手段をはじめとして様々な違いがあるので、同じレベルで比較することは正しくないが、同じく東アジアに属する新羅や渤海などは日本の十倍以上の頻度で遣唐使を派遣していたことと比較しても、この時代の日本が国際交流に活発であったとはとても言えないだろう。むしろ、新羅・渤海など他の東アジア諸国に比べ、国際交流が不活発であったと言わなければならない。後で詳しく述べるが、平城京を訪れた外国人はそれほど多くではなく、八世紀の百年間に遣唐使の連れてきた唐人は五十人前後(俗人・僧侶のみで、唐の官人は含まれない)と推定され、東アジア以外を出身とする外国人はほんの数人にすぎなかった。ちなみに彼らも唐から遣唐使と一緒に来日したのであって、天竺(インド)や林邑(ベトナム)などから直接渡ってきたわけではない。平城京をシルクロードを通じて世界と活発に交流した国際都市とするのは、幻想以外何ものでもないと思ふ。

遣唐使は、確かに唐代の先進文化を日本にもたらしたことは事実だが、唐代の最新の文物を何でも自由にもたらしたとまで考えることは事実と反していると言わなければならない。遣唐使が何でも自由に持ち帰ることができたかのようなイメージが作られた背景には、唐が開放的な王朝であったという通説的な理解が大きく関係していると思う。唐王朝は多くの外国人や様々な外国文化を受け入れ、また唐の先進的な文化を惜しげ無く諸外国に与えたとされるが、こうした唐に対する基本的な理解自体に誤りがあると考えられる。また、遣唐使の唐文物の入手を国家間貿易とか朝貢貿易と理解する方もおられるが、当時の文物入手を単なる経済的な行為と考えているならば、これも正しくない。何がどう正しくないのか、どこがどのように誤っているかを理解してもらうためには、

遣唐使が派遣されていた時代の国際環境を説明する必要がある。

ここで言う国際環境というのは、外交秩序や国際関係の仕組みと言い換えてもよい。国家間関係である外交においては、常に互いの利害が衝突し、対立・紛争が引き起こされ、戦争などの危機的な状況を生み出すことが少なくない。そうした危機を回避するために、国際関係のルールや秩序を作ることが古くから行われてきた。本書で扱う東アジア地域においても、中国を中心とする国際秩序が漢代の頃から作られてきた。その時代にどのような決まりやルールがあったかを知らないでは、事件や行為の意味を正しく理解することはできない。八〇キロのスピードで車を運転することの意味は、一般道と高速道路では違うように、同じような事件・行為であっても、ルールが異なれば全く意味合いが違ってしまいうだろう。殺人者が犯罪者となるのか、英雄となるのか、それはその時代のルール（価値観・常識も含む）により決まるのである。また、なぜ八〇キロで走ったのか、どうして人を殺すことになったのか、そうした行為の理由や結果についても、その時代の枠組みの中で考える必要があるだろう。遣唐使が為したことの歴史的な意義は、その時代の国際的なルールや秩序に基づいて理解されなければならないのである。

遣唐使はどのような国際環境の中で活動したのかを明らかにすることにより、遣唐使の虚像を排し、その実像がどのようなものであったか、特にその文化活動（菟書活動）の実態を明らかにすることが可能になるものと考ええる。

2011年度は、上記の検討を踏まえ、具体的に菟書活動の実態について検討する予定である。

(2) 塚本剛

2010年度の研究成果としては、『漢書』編纂過程の問題に最も注力した。従来より『漢書』という正史にはいくつかの問題点が投げかけられており、それを整理すれば、大体以下のようになるといえる。

1つは、『漢書』王莽伝の異常な分量であり、それは、本来最も重要な部分である帝紀のいずれの皇帝の記述よりも大部な記述であるということである。臣下の記述である「伝」の方が長いことは異常であり、ましてや王莽は漢王朝から見れば最初こそ輔政の功臣ではあったが、後には史上初の禪譲という美名の形式を踏んで、事実上漢王朝より帝位を篡奪した叛徒に当たり、その異常性は際だつと言える。

2つめには、儒学の国教化の問題に重大に関係する問題である。所謂、「五経博士」設置の問題についてであるが、一般的には（高校世界史のいかなる教科書でもそうであるが）『漢書』の武帝紀にある、武帝の建元5年に五経博士を置く、という記述をもって前漢の武帝時代に早くも儒学の国教化、もしくは儒学の官学化が成立したとする。そしてその立役者となったのが董仲舒なる人物であり、『漢書』董仲舒伝には、董仲舒が、武帝に対して3

度にわたり對策文を奉り、その建言がいられて儒教が国教化されていったことが、詳述される。

しかし、いままでも多くの論者が指摘する通り、まず、帝紀の記述には体裁があり、その形式から武帝の建元5年の記載は著しくはずれていることが、問題点としてあげられる。通常は、年のあとに、月日が明記されるはずなのに、それが無いなどである。

また、董仲舒については、武帝期という同時期を記録するもう一つの正史である『史記』には独立した伝が立てられておらず、儒林列傳に、言わば抱き合わせにされ、その記述も極めて簡素であり、分量も数十分の一であり、對策文を奉り儒教を国教化したという『漢書』でのハイライト一切確認されず、ただ当時は異端だった災異説を展開し、世に入れられず不遇だったことが記されるのみである。周知の通り、『漢書』は後漢初期に成立し、その記録する内容は同時代ではあり得ず、言わば後世の編纂物である。これに対して司馬遷の『史記』は、司馬遷の死期には諸説あるものの、武帝時代を過ごしたことは間違いなく、よって『史記』の記録するところは同時代であり、言わば同時代記録と言える。そこから武帝時代には、さしたる活躍も見られなかった董仲舒が、後に災異説が儒教の潮流において主流を占めるにいたり、だんだんとその存在が大きく取り上げられるようになり、前漢末、王莽期、後漢時代に至って、儒教のウエイトが大きくなるに従って、儒教の国教化の立役者として、仮託されるようになったと解釈でき、本来遡っても王莽期、正式には後漢に成立する儒教の国教化が、災異説の創始者である董仲舒が既に武帝期に決定的な役割を果たしたという虚構が、『漢書』編纂時に作られたかもしくはそれまでに徐々に醸成された仮託譚が『漢書』編纂時に整備されたと考えられる。勿論、現状『史記』の武帝紀が散逸したため、『史記』の武帝紀にも五経博士を置いた、という記述はあったはずだという反対意見が東洋哲学を専攻する学者を中心に多いのも事実ではあるが、これらは、現状、存在しない史料を証拠とするものであり、確かに記載してあった可能性も否定できないが、だからといって同時に記載していなかった可能性も否定できないものであり、論理学の初歩の観点から言っても、証拠、もしくは反証とするに足りないものである。またかりに『史記』の記載をの有無を暫く置くにしても、『漢書』武帝紀の不自然な記載は動かしようがないのである。さらに言えば、董仲舒伝の對策文も当時の文書形式から逸脱したものであること、さらにその内容に後世の歴史事実が記載されていることなど（一例を挙げれば、建元5年以降に行われた武帝の西域遠征の成果が對策文に記載されている）からも『漢書』という正史の史料性は極めて慎重に吟味せねばならないものなのである。

ではどうしてこのように疑義が残る状態になっているのか、それこそが問われねばならず、また それによって史料として使用する際の留意も理解できるはずである。そしてこれらの問題が解決できれば、併せて儒教国

教化の問題や、漢堯後説＝漢火徳説についても一定の解決がなされるはずである。

福井重雅氏は『漢代儒教の史的 연구』の中で、漢堯後説＝漢火徳説は班固の同時代では極めて異端な思想によるものが極めて色濃く反映された結果だとしていて、特に漢代では一貫して博士官が設置されることのなかった学派＝左伝の影響が彼に強く作用している。また、前漢末期から流行した予言＝讖緯、図讖は一貫して漢堯後説＝漢火徳説を採用しているが、それも左伝説によってのみ裏付けられるとする。そしてその思想的師に当たるのが、劉向、劉歆であり、彼らは董仲舒の極めて強い思想的影響下にあり、いわば思想的系譜では弟子筋に当たるとしている。そのため、この思想的系譜をいただく集団においては徐々に董仲舒に儒教国教化の立役者たる位置づけがおかれはじめ、いわば定説化し、班固はそれをもとに『漢書』を編纂したのだということになる。

しかしこれには検討の余地が残る。まず左伝を学官にたてられなかったことを思想的に正当性がないものだからであると結論づけているが、そのような問題の立て方でよいのであろうか。思想の正当性によらず、国家にとって都合の悪い教義は国家として正式に採用することはないはずである。逆に言えばいかに思想的には正当性があろうとも、国家に都合が悪ければ、立てられることはないのであり、それはキリスト教を国教としている国家においていかにゾロアスター教が思想的に正当性があっても採用されることがないのと同じである。よって思想の正当性から論ずるのでは無しに国家理性の観点から論ずるべき問題であると考え。今文である公羊学が立てられている以上、漢王朝は今文である公羊学によってたつ、立脚する国家なのである。実際、讖緯、図讖の暦法は一貫して公羊学のもものが使用されているということはずとに藪内清氏によって指摘されている。よって讖緯、図讖と左伝を安易に同一視することには留保が必要であるし、ましてや漢堯後説＝漢火徳説は左伝の学説に依拠し、それによってのみ証明されるというのは明らかに錯誤であり、むしろ藪内清氏の見解によれば、今文である公羊学でなければ、讖緯、図讖の予言は生きてこないし、それをフル活用して成立した後漢王朝からみても、国家公認の学説は今文である公羊学であり、故に学官に左伝が立てられることがなく今文である公羊学を中心に学官が立てられたと理解する方が自然である。また讖緯、図讖の暦法は一貫して公羊学のものであり、その予言の正統性、永遠の孔子王朝の実現が漢王朝によってなされるという教義の構想からしても、むしろ今文である公羊学説でなければ漢堯後説＝漢火徳説は証明できないとするのが妥当なのである。

ここで問題となってくるのが、班固の『漢書』編纂の執筆態度なのであるが、左伝を使用しながらも根本となる姿勢、依拠すべき理論・構想は今文である公羊学説に依っていたべきであろう。そこで班固が父の業をついでいたときに、私に国史を改作していると告発された事

件を取り上げたい。

多くの論者がこれを密告としているが、密告というのは正式な手続きを経ない告発である。しかし『後漢書』の該当箇所の史料を読む限り、

人の顯宗に上書して、固は私に国史を改作する告するもの有り

とあるだけで、密告を示唆する語は見いだせない。そもそも上書が、署名無しという書式はずれで取り上げられるかどうか自体が極めて疑問である。ただ単に上書した人の事績が伝わっていないとするのが自然ではあるまいか。

また、福井重雅氏は、多くの論者が、「当時は正規の史官の職にない者が、勝手に歴史を執筆することは禁止されていた」ことを主な理由に挙げていることに対し、「前漢後期以降においてすら、その地位になくして『史記』を続成しようとした人物は劉向以下、跡を絶たない状態にあった。したがって班固が逮捕投獄されたのは、正式な作史の官職になくして私的に国史を改作したという理由からではない。」とし、図讖的な内容を記したからだと推定し、班超のとりなしで明帝がこれを奇として、班固が自由に国史を改作できる自由を得たとしている。

福井氏が、班固が逮捕投獄されたのは、正式な作史の官職になくして私的に国史を改作したという理由からではない、としていることに対しては全面的に賛意を表するが、図讖的な内容を記したから、とされることに対しては疑義を呈したい。確かに、図讖的な内容を記されてはいるが、それが直ちに禁忌にふれたのではない。それがまさに国史を改作するに該当すると判断されたからであろう。つまり図讖的な内容についても漢王朝に基づく今文である公羊学説よる国家公認の解釈があったのであり、この解釈を改めると判断されたと考えべきであろう。ここで想起すべきは安居香山氏の「今日現存する緯書の中には王莽に関連するものが見あたらない(劉漢関係緯書の五徳終始説)」という指摘である。

漢王朝では同じく図讖の予言によって王朝を成立した新王朝は絶対に認められない立場にあった。つまり図讖の王莽的解釈は許されないのである。そうであるならば、班固はそのような疑義をかけられたと考えられるのである。言うまでもなく班固個人は漢王朝の復興を早くから確信した人物の一人である。それなのにも関わらず、そのようなレッテルが貼られたのはなぜか。私は今回、班氏の系図を作成して、班氏が金日磾の金氏を通じて王莽と親戚関係にあったことを突き止めた。また同じく成帝の私親の外戚に当たる王氏と班氏は親しく通行があったことなどを考え合わせれば、班固個人はともかく、班氏となると、札付きの王莽シンパと見られていたのではないだろうか。故に班固とその父、班彪はそのくびきから逃れるため、かなり早くから断固として漢王朝復興指示の立場を表したのではないだろうか。それにも関わらず班氏に対するイメージで告発されたのであろう。であるならば、福井氏の言うとおり、自由に国史を改作したの

ではなく、むしろ漢王朝の国是と合致した立場だったからこそ採用されたのであり、その路線で正史は編纂され、歴史的事実よりも王朝側からしての理想＝こうであるべきだという記載がなされていったものと考えられる。ザインよりもゾレルンで記録されたのが班固の『漢書』であり、漢堯後説＝漢火徳説も儒教の国教化もその延長線であろう。最後に王莽伝の異常な分量は恐らく、解釈を避けて残存記録をそのままに編集するという処世術の果てとは考えられないだろうか。

(3) 河内春人

2010年度は、日本律令国家成立以前においてヤマト王権が学術をどのように受容したのかという課題を中心に、列島への学術の政治的受容について研究を進めた。対象とする時期は三 - 七世紀となるが、主に倭王権が形成される五世紀を中心に検討を進めた。また三世紀及び六 - 七世紀については、研究を進めるための基礎作業として研究史並びに史料の整理を中心に行なった。以下、時期別に三世紀、五世紀、六 - 七世紀と項目を分けてその詳細を述べる。

三世紀

三世紀は弥生時代後半から古墳時代初頭にあたるが、この時代の学術受容の全貌を究明する前提として、関連する文献資料の史料批判が要請される。その作業を進めたが、その過程で研究史の再整理を並行して行なった。その一環として、書評 B を公表した。本書評において、当該期の文献史料の成立過程が問題となることを指摘し、その論点の問題の所在を明確にすることが可能になった。その成果は来年度に公にすることが可能となる予定である。

五世紀

五世紀の列島社会は古墳時代にあたり、学術の受容は不十分なものと考えられがちであるが、『宋書』倭国伝に記す倭王武の上表文における多様な漢籍の引用から明らかかなように、漢籍に基く知識が支配者層を中心に理解されていたと見なされる。このことは以前に論文として公表したことがある(拙稿「倭王武の上表文と文字表記」『国史学』181、2003)。すなわち、当該期において学術は単なる学問ではなく、政治的な意思疎通の手段としての役割が大きかった。

本年度はこの点をさらに追究する必要性を認め、そうした漢籍の受容を積極的に進めた政治体制の解明について研究した。当該期の政治体制は、考古学においては倭王権を中心としながらも政治的には諸地域の首長の連合体を形成していたという前方後円墳体制論が唱えられている。そうした考古学的な研究動向をふまえながら、倭王権が王族や有力豪族と連合する体制であったことを明らかにした。また、その一方で倭王権は中国南朝の宋から倭国王に任命されることによって列島内において府

官制を導入することを可能にし、その体制のもとに渡来人を自己の臣僚として組み込んだという結論を得た。以上の成果は、論文 A として公表した。これによって当時の倭国は王権や有力豪族の連合体であると同時に、倭王権のもとに渡来系人士を軸とした原初的な官僚機構が形成されつつあり、そうした知識階層が倭国の外交を担ったことが判明した。倭王権は渡来系人士の漢籍の知識を外交に活用して、さらには外交を独占し、その一方で中国に対して王族・有力豪族への官爵授与を要請するなど、中国の官爵を再分配することによって自らの権力を維持したものと考えることができる。

六 - 七世紀

本年度は二つの点に特に留意して研究史を整理した上でその実相を明らかにすることに取り組んだ。

第一に、当該期の王権の政治的性格の究明である。五世紀の項目でも述べたが、古代における学術の受容とは政治的な側面を強く有するものであり、六 - 七世紀の受容について考察する場合にも、その政治性に注目すべきである。そのため論点としてクローズアップされるのは、学術のいかなる面が政治的に需要があり導入されたのかということである。それは換言すれば、王権がいかにしてその支配を正当化したのか、またそのために学術はいかに利用されたのかということが課題となる。

第二に、学術の受容を媒介する交流の手段が問題となる。学術の継受は人的交流を前提とするものであり、その古代的特質を明らかにすることが必要である。特にその受容が政治的性質を強く持つものであることからすれば、その交流の形態としては外交のあり方に注目しなければならない。

前者については倭王権の性格をその政治的構成から明らかにする必要性を認め、王権論という課題からこれを検討する視座を設定した。そして、その考察の前提として研究史整理を行ない、その成果の一端を書評 C 及び D として公表した。書評 C では、六 - 七世紀に王権がすでに専制的であったとする佐藤長門氏の研究を批判し、当該期を八世紀に律令国家において古代天皇制が専制を確立する過程の時期として捉えるべきであることを述べた。これは論文 A において五世紀に王権と王族・有力豪族が連合的に政権を構成したことを引き継ぐものとして位置付けることができるだろう。また、特に七世紀において王権が支配を正当化する根拠として仏教が挙げられることに注目しその仏教的論理を重視する古市晃氏の研究に対して、一面としてそれは認められるものの儒教との並立的体制を重視すべき旨を書評 D において論じた。こうした研究史整理によって政治・支配において儒教や仏教といった学術がいかに利用されたかという論点を明確化することができ、その成果をふまえて報告 A を研究会において報告した。

後者においては、外交において学術が継受されるシステムを明らかにすることが要請されると考え、外交を制

度として研究すべき旨を指摘する中野高行氏の研究を批判的に継承することに努めた。そこで書評 E を執筆し、外交制度史の論点整理を行なった。また、外交使節が国境を越えて移動する時の実態を『日本書紀』等の史料から検討し、論文 B を執筆した。外交使節には送使が付され送送されることを明らかにした。これによって当時の中国からの学術の継受も、朝鮮半島諸国の介入を受けざるを得ないという見通しを得ることができた。

なお、倭国が学術を受容するに当たって、それを保有していた中国の対外政策や意識をふまえる必要がある。その研究動向を整理し、その過程で得られた成果の一端を書評 A を公表した。

総括

本年度は主に研究を進める土台となる研究史の整理に重点を置き、その成果を書評というかたちで公表することが多かった。ただし、五世紀については論文 A を著して当該期の学術と政治の関係の構造を見通すことができた。また、六・七世紀についても共同研究報告 A において出席者と意見を交換することができた。

これらの成果をふまえて次年度の研究を進める予定である。

4. 2011年度の研究計画

本年度も引き続き、研究責任者・共同研究者の個別的な研究をベースに、研究協力者との研究会により研究の総合化を図り、本研究の目的を果たしたいと考える。

研究会は、年3～4回の開催を考え、今年度末までに研究テーマ（論文名）を決定し、来年度中に単行本として発行できるよう準備を進めたいと考えている。また、その段階で新たに検討が必要なテーマが明確になれば、そのテーマに適切な研究協力者の増員を行うことも考えたい。

本年度第1回目の研究会は、6月4日（土）に本学で開催する予定で、小林 岳 氏 「章懐太子李賢の『後漢書注』について」、塚本 剛 氏 「『漢書』成立に関する一考察～班固の立場とその作用」という2本の研究発表と討議を行うことになっている。

《参考資料》

『朝日新聞』2010年6月19日掲載
「井真成は「長期留学生」だった 中国の「短期」説に反論」

「9世紀になると日本と唐を結ぶ交通網はそれなりに整備されるが、8世紀の段階では様相がまったく違う。9年たったから日本へ帰れといわれても、とうてい不可能だった。平安時代になると、留学より巡礼のために唐に渡る僧の方が増える。新唐書の記録はそうした時期のものと考えべきだ」と東野さんは指摘する。

717年の遣唐使に選ばれた吉備真備や僧玄昉が735年に帰国するまで勉学を続けるなど、次の遣唐使船が迎えに行くまで長期滞在するのが奈良時代の留学制度の基本だとされてきた。井真成もその一人と日本では考えたが、それを否定したのが中国からの異論だった。

工学院大の榎本淳一教授によると、北朝の隋は589年に南朝の陳を平定すると、沿海部に大船建造の禁令を発したという。騎馬民族の系譜を引く隋にとって南朝の船は脅威だったのだろう。隋を倒した唐も同じ北方の出身で、この禁令を引き継いでいた可能性があるようだ。

墓誌の発見当初から東野さんと並んで議論をリードしてきた国学院大の鈴木靖民教授は、「論争がここまで続いたのは、日中ともに自国の制度について研究の蓄積があったからです。広く関心を集めたテーマでもあり、両国の専門家が集まり議論する場を設けることができるといいのですが」と語った。（渡辺延志）

http://www.asahi.com/culture/news_culture/TKY201006180350_01.html

政党政治再編成期ドイツにおける3政党間関係の変容に関する 理論的・実証的分析

工学院大学 工学部 小野 一
北海学園大学 法学部 山本 佐門
北海学園大学 法学部 本田 宏

Die theoretische und empirische Analyse über die Umformierung des deutschen Parteiensystems
— Bezüglich der Beziehungen zwischen der SPD, den
Grünen und der Linke in einer Transformationsphase —

Hajime Ono, Department of Technology, Kogakuin University

Samon Yamamoto, Department of Law, Hokkaigakuen University

Hiroshi Honda, Department of Law, Hokkaigakuen University

ABSTRACT: The transformation processes of party-politics in the present German Federal Republic are proceeding more explicitly than in other European countries. The purpose of this research project is to grasp interparty relations between the Social Democrat (SPD), the Greens and the Left Party and to explain about those developments theoretically and empirically. It is also expected that trans-disciplinary dialogues and comparative studies would increase our knowledge about political parties, social movements and engagements in the recent civil societies.

1. はじめに

総合研究所プロジェクト研究「政党政治再編成期ドイツにおける3政党間関係の変容に関する理論的・実証的分析」は、2010年度より3ヶ年計画で実施される、現代欧州政治をテーマとした共同研究である。

五党制の定着をはじめ、戦後二度目の政党政治再編成の渦中にあるドイツを主たる対象に、社会民主党（SPD）、緑の党、左翼党の3党間の新たな関係、および、それと党内外の政治過程との相互規定性についての理論的・実証的分析を行い、かつ、他のヨーロッパ諸国の事

例との比較や、社会運動論・市民社会論などとの学問的対話を通じて知見を豊富化することを目的とする。グローバル経済の下での格差拡大などの問題に答え切れていない政党政治を、政治思想史的視点と結びつけつつ問い直す試みだが、それを通じて、市民社会のあるべき姿を模索する現代の議論にも多大な理論的貢献をなす。

本プロジェクトのメンバーは、同時に、学術振興会基盤研究B「政党政治再編成期欧州における市民社会論研究の再構築」を審査申請中である。総合研究所プロジェクト研究は、それ自体、独立した研究課題である。だが学術振興会の科研費を得て実施される本格的な現地調査とあわせ、大規模研究プロジェクトの重要な構成部分として位置づけるなら、より高いレベルでの学術的成果へ

と発展させることができる。

研究代表者は小野一が務め、共同研究者として北海学園大学教授の山本佐門（敬称略、以下同じ）および本田宏が加わる。両氏はいずれも、ドイツを中心に現代政治学や、政党論、社会運動論、市民社会論などに造詣の深い研究者である。2011年度よりは、東原正明（福岡大学法学部専任講師）が共同研究者に加わる。同氏は、オーストリア自由党をはじめとする研究業績を有する他、2010年夏まで在壇日本大使館専門調査員としてウィーンに赴任していたため、その知見が本研究プロジェクトの深化と視野の拡大に寄与すると期待される。

このような研究計画と布陣の下で、2010年度には、小野がドイツ出張で現地調査（インタビューも含む）を行うとともに、3回の国内研究会を開催した。その成果は学術論文等のかたちで順次発表されている。以下では、これまでの主要な研究活動の経緯と成果を概説するとともに、初年度の総括と今後の展望を述べ、本プロジェクト研究の中間報告とする。

2. 第1回研究会

第1回研究会は、2010年5月15日、工学院大学にて開催された。研究の方向性を規定する初会合に際し、近年のSPDの党内外の動向と連立問題を整理しておくことが肝要と考え、この方面に明るい西田慎（神戸大学非常勤講師）をゲストスピーカーとして招致した。基調報告のテーマは「ドイツ左翼再生のカギ？：SPDと左翼党の連携を巡る近年の論争について」。これは、自身の雑誌論文原稿¹に多少の加筆修正を行ったものだという。今回の会合は公開研究会として企画され、本プロジェクトのメンバー以外にも、住沢博紀（日本女子大学教授）および大重光太郎（獨協大学教授）も参加し、交流を深めることができた。

ドイツ左翼再生のカギは赤赤緑連立（SPD＋緑の党＋左翼党）にあるという立場の西田報告は、まず、1990年代なかば以降の赤赤緑連携史を振り返る。PDS²との協力関係がタブーだった時代のこと、このようなことに興味を示すのは（旧西ドイツ側では）SPDや緑の党のごく一部のグループに限られていた。そうした中でもザクセン＝アンハルト州の赤赤緑連立少数派内閣（94～98年）やメクレンブルク＝フォアポンメルン州の赤赤連立（98～2006年）やベルリンの赤赤連立（2001年～）など、左翼党（PDS）を含む連携が州レベルで常態化していく。ドイツ政治の一大転換点である2005年連邦議会選挙を前に、「アジェンダ2010」³路線への反発から生まれた西側新興組織「労働と社会的公正のための選挙オルターナティブ」（WASG）が東側PDSと合同候補者名簿を形成することが合意され、左翼党の前身となる組織が誕生する（正式合同は2007年）。左翼党は、旧西ドイツ地域でも州議会に進出を始めている。

その後の動向として特に重要なのが、「ヘッセンの実験」である。2008年1月の同州議会選挙では、五党制の下

で中道保守も赤赤緑連立も過半数を制し得ない議席配置が出現したが、大連立も赤赤緑連立も忌避されたために、首相不選出という異例の事態が起こる（約1年後のやり直し選挙で中道保守連立政権が成立）。西田報告は、州代表アンドレア・ユプシランティ（Andrea Ypsilanti）⁴の下でいったんは赤赤緑連立（左翼党の閣外協力による赤赤緑連立少数派内閣）の方向に舵を切ったかに見えた同州SPDにおいて、党内右派の造反によりそれが挫折する経緯を詳しく紹介する。

ここで、80年代におけるSPDと緑の党との関係が回想される。この時代、新社会運動起源の緑の党の定着により、同党との協力なしにはSPD主導の政権奪回が事実上困難になったのだが、（ヘッセンのパイオニア的事例を別にすれば）州レベルで赤赤緑連立が定着していくのは90年代に入ってからのことである。SPDエリートの間で緑の党との協元に頑迷な拒否的態度が支配的だった頃とのアナロジーから、西田報告の基本テーゼが導かれる。今日のSPDを取り巻く状況には80年代と多くの共通点があり、そこから教訓を導き出すことにこそ混迷から抜け出すカギがある。80年代末以降、新しい価値志向を持った若いリーダーの登場もあって、まず州レベルで地歩を得た赤赤緑連立が国政レベルでの政権獲得の基礎となったように、今日のSPDも、同党の左に定着した左翼党を無視しては政権獲得は困難という現実を見据え、赤赤緑連立の実現をめざすべきである。

このテーゼに沿うかたちで、左翼党との連立可能性をいくつかの側面で検証する。たしかにハルツIV⁵をはじめとする労働市場政策をめぐる対応、外交・安全保障政策をめぐる態度には3党間の相違が見られるものの、左翼党やSPDには歩み寄りの兆しもあり、将来的には連立を妨げるほどのものではない。支持者レベルでも、労組も含め大きな問題はなく、党指導者間の信頼関係も、世代交代が進めば自ずと解決する。それゆえ、中長期的には、SPDと左翼党の連立は可能と結論づける。さらには、赤赤緑以外の連立の可能性を比較検討するとともに、他の西欧諸国では左翼党に相当する政党を含んだ連立が今や例外的ではないことも紹介する。

こうした議論をふまえ、今後の展望として、SPDは中道左派の国民政党として、左翼党、緑の党と棲み分けを図りつつ、彼らとの連携・連立で政権獲得を目指すしかない、まず州レベルで連立の経験を積み重ねることで、SPD内での左翼党へのアレルギーを取り除くとともに左翼党を現実的な政党へ生まれ変わらせるべき、などといったことが指摘される⁶。

基調報告に続き、質疑応答が行われた。特に重要と思われるのは、次のような論点である。まず、赤赤緑連立の実現可能性をめぐるものである。西田報告は、新党の登場が既存の連立パターンに変容を迫るという意味で80年代との類似性に注目するが、政治的経済的条件や言説状況において、当時と現在とでは意味が違っているのではないか。たしかに、脱物質主義的価値観の強まりに伴

い誕生した緑の党と、アジェンダ 2010 路線への反発から SPD を離反した活動家を主要な構成部分のひとつとする左翼党とでは、それぞれの性格や結党過程は大きく異なる。西田は、赤赤緑連立に対する主要な反対論に批判的に言及するが、それらが根拠薄弱であることを理論的に示せたとしても、現実政治における当事者間の接近には容易ならざるものがあるのではないか。反グローバルズム運動や平和運動も、活動家レベルでの共通性は見出し得ても、それだけでは有権者を引きつける対抗軸を形成しにくいのではないかと指摘もなされた。

それとともに重要な論点は、緑の党の性格規定を今いちど問い直すことである。緑の党＝左翼政党という大雑把な理解だけでは十分でない場合があると同時に、同党の支持者層も今と昔とは変わっているのではないか。ドイツの学界では、緑の党の支持基盤が、新中間層（高所得層）に重点があるという意味でむしろ自由民主党（FDP）のそれと近接していることに注目し、ふたつのリベラル政党の潜在的な同盟可能性を論じる者⁷も少なくない。こうした観点は、今日の政党政治再編成における対抗関係の複雑性を示唆するものであり、本研究プロジェクトの主題とも関わる重要な論点である。

第1回研究会では、直前（5月9日）に行われたノルトライン＝ヴェストファーレン州議会選挙をどう見るかについても、討論がなされた。中道保守も赤赤緑連立も過半数に達しない議席配分の下で、連立問題をめぐって憶測が渦巻いた。研究会の時点では、同州の保守的な風土の中では赤赤緑連立の実現可能性は低く、結局は大連立へと向かうのでは、というのが有力な見方だった。実際には、左翼党の閣外協力を得た赤赤緑連立少数派内閣が成立するという予想外の展開があり、今後のドイツの政党連立戦略⁸を見越して大いに注目される。

なお、基調報告では、赤赤緑連立の前提として有権者に訴える共有理念の模索の必要性を指摘する文脈で、超党派シンクタンク「連帯的近代のための機構」⁹への言及がなされる。小野は、同機構の設立宣言を和訳して雑誌に紹介するとともに¹⁰、以下に述べるように、2010年夏のドイツ出張に際し、同機構関係者へのインタビューを含む集中的調査を企画した。すなわち、第1回研究会で西田氏より得た情報は、本プロジェクトの遂行の上で決定的に重要なものとなったのであり、この場を借りて重ねてお礼を申し上げたい。

3. 海外調査および出張報告会（第2回研究会）

研究代表者である小野は、2010年8月30日から9月9日まで、ドイツへ出張した。資料収集および聞き取り調査（インタビュー）が主たる目的である。さらには、この海外調査の成果を共同研究者と共有することを目的に、9月17日、北海学園大学（札幌市）を訪問し、報告を行った（これを第2回研究会としてカウントする）。

3. 1 海外調査概要

8月31日および9月1日には、ベルリンにあるハインリッヒ・ベル財団の緑の思想文書館¹¹を訪問した。到着後アンネ・フェヒテル（Anne Vechtel）氏と面談した上で、関連する資料を調べた。一次資料というわけではないが、*Blätter für deutsche und internationale Politik* や *Zeitschrift für Parlamentsfragen* 等の雑誌等を調べ、必要な論文はコピーした。その後、ベッカー＝シャウム（Becker-Schaum）氏（同氏とは4年前の訪問時にも面談したことあり）と話す機会があり、貴重な助言を得ることができた。私の未発表論文（英文）を渡したが、興味を示してくれたようである。

同じく9月1日には、ドイツ連邦議会（在ベルリン）内に左翼党連邦議会議員のシュテファン・リービヒ（Stefan Liebich）氏¹²を訪問してインタビューを行った。いわゆる「オスロ・グループ」の目的・性格、および同グループと政党や「連帯的近代のための機構」との関係、3党間協力の見通しなどを中心に聞き取りを行う。拙著『ドイツにおける「赤と緑」の実験』および「連帯的近代のための機構」設立宣言の拙訳を贈呈。

9月2日には、フランクフルト大学社会学研究所にソニヤ・ブッケル（Sonja Buckel）教授を訪問し、「連帯的近代のための機構」に関して説明を受ける。政治情勢のみならず、その背後にある理論的問題にも話が及んだ。ここでも、事前に送付した質問票（面談相手により質問内容は変えてある）に沿うかたちでインタビューを行った。拙著・拙訳贈呈。

ボンのフリードリヒ＝エーベルト財団の図書館・社会民主主義文書館¹³は、小野のドイツ留学中および在外研究中（2001年度）によく利用したが、それ以後も繰り返し訪れている。今回の訪問（9月3～6日）では、まずシュテファニー・クレーガー（Stephanie Kröger）氏と面談する。同文書館ではテーマ別の新聞切り抜きを作成しており、もしそれが利用できれば研究遂行上極めて有益だが、私のテーマは時期的に新しいため、それに該当する新聞切り抜きはできあがっていないとのこと。そのため心当たりのあるところを自ら探さねばならず、「連帯的近代のための機構」設立と前後する時期の主要紙の報道をマイクロフィルム資料にて参照した。*Forschungsjournal Soziale Bewegungen* 誌の2010年第1号は「国民政党的終焉？」という特集を組んでおり、現下の研究テーマとの関連で重要。他に、*Aus Politik und Zeitgeschichte* 誌をはじめドイツ政治研究のための基礎的な刊行物を調べた。フリードリヒ＝エーベルト財団には、拙著を贈呈。日本語の図書ではあるが、文書館を利用した者には公刊された研究成果を寄贈することが求められており、今回ようやくそれを果たしたことになる。

9月7日には、ヘッセン州議会（在ヴィースバーデン）で SPD 州議会議員のユプシランティ氏に面会した。上述のように、同氏は元ヘッセン州首相候補として注目された

左派の論客だが、「連帯的近代のための機構」設立に際しても最重要人物のひとりである。ここでもインタビュー用の質問票をあらかじめ送付しておいたが、それに限定することなく、多岐にわたる話を聞くことができた。急激な状況変化の中での新しい政治的課題、政党と社会グループとの新しい関係、政治的関与における数十年前と現在との比較などが、私にとっては特に興味深かった。拙著・拙訳を寄贈するが、ユプシランティ氏の側からも、彼女の演説等を収めた本¹⁴およびヘルマン・シェア(Hermann Scheer)との共同執筆ペーパー¹⁵の贈呈を受けた。

3. 2. インタビュー記録(抜粋)¹⁶

3. 2. 1. シュテファン・リービッチ氏

リービッチ氏は、1972年生まれ。18歳でPDSに入党し(それ以前にも同党青年組織のメンバーだった)、ベルリン議会で議員団長を務めたこともある。2009年連邦議会選挙では、ベルリン・パンコー選挙区(小選挙区)から当選。左翼党の若手が、SPDの超大物政治家ヴォルフガング・ティールゼを破るとは、政治における構造的变化と世代交代を予感させる出来事である。

そもそもこのインタビューを思い立ったのは、同氏が「オスロ・グループ」の主要メンバーだからである。オスロ・グループとは、赤赤緑連立を目指す超党派の議員の集まりである。ノルウェーの連立政権がそのような組み合わせであるため、それにちなんで命名だという。参加者は自らのことを、党の周縁グループではなく、現実主義者だと考える。若い政治家が主体のため、世代プロジェクトと称されることもあるが¹⁷、上の世代にも門戸を開いている。2010年1月には、それぞれの所属政党に赤赤緑連立への討論をよびかける声明を出した。

訪問に先立ち質問票を送っておいて、それに答えてもらうかたちでインタビューを行った。リービッチ氏は、周到な答えを用意してくれていたもので、50分程度の短い時間にもかかわらず、充実した話を聞くことができた。

小野：左翼党の連立政策について説明して下さい。

リービッチ：人々のためによりよい政治ができるのならそれ(政党連立)をやるべきだ、というのが党内多数派の意見です。

小野：「赤赤緑連立」が左翼党にとり唯一の可能性なのですか？

リービッチ：はい。世論調査によれば、現時点では赤緑連立だけでも多数派形成は可能ですが¹⁸、支持率は再び低下する可能性もあります。

小野：マグデブルク・モデル¹⁹への用意もありますか？

リービッチ：ドイツでは、閣外協力というのはとても不幸なことです。かつてはザクセン＝アンハルト州で、現在ではノルトライン＝ヴェストファーレン州でそれが試みられています。私の理解では、(そのような場合は)3党は正式な連立協定を追求すべきで、さもなくば連立政

権は成り立ち得ないと思います。

小野：3党間の共通点と相違点について説明して下さい。

リービッチ：税制、教育、環境・エネルギー(脱原発)、個人情報保護、消費者保護など、多くの重要政策において、3党間には合意があると思います。しかし大きな相違もあり、その最たるものは、外交・平和政策です。シュレーダー政権の下で、ドイツ連邦国防軍が旧ユーゴスラビア(コソボ)に派遣されました。左翼党の立場からすれば、ドイツは軍事介入から距離を置くべきで、国連決議のない多国籍軍の派兵など考えられません。

小野：「オスロ・グループ」に対する左翼党執行部の反応はどうですか？

リービッチ：左翼党執行部は、私たちの党における多様な意見を反映しています。他党との協働に懐疑的な者もいれば、州議会での経験からそれに寛容な者もいます。オスロ・グループの活動は、党のプロジェクトではありませんが、党執行部はそれを好意的に見守っている、という感じです。

小野：「連帯的近代のため機構」についてはどのような意見をお持ちですか？

リービッチ：オスロ・グループとは別の組織であり、私はそのメンバーではありません。しかし、「連帯的近代のため機構」のような組織があることは、よいことだと思います。両者は基本的に同じ目標を持っていますが、私たちのほうが、赤赤緑連立政権の形成をより具体的なレベルで考えています。

小野：今日において「左翼である」とはどういうことだと思いますか？

リービッチ：これは私にとって重要な問いです。私は東ドイツで大きくなりました。1990年に東ドイツは連邦共和国(西ドイツ)に加入しましたが、東ドイツを防衛する唯一の政党がPDSだったのです。当時、私にとって「左翼である」とはそういうことでした。多くの人が西ドイツを支持するのを苦々しく思いましたが、20年後の今ではそれを受け入れています。今日ではもっと別のテーマがあるのです。「左翼である」ことの意味を、私は、連帯と公正という古典的な意味において理解しています。強き者が弱き者を助け、担うべき責任をみんなで負担しあって、決して個人の運命任せにしない社会。このような考え方は、私たちの税制政策などに反映されています。

小野：どうもありがとうございました。

リービッチ氏とのインタビューから浮かび上がるのは、左翼党は赤赤緑連立に対して比較的オープンな立場をとっているということ。そして、東ドイツの現実を見据えそれにプラグマティックに向き合っていこうとする若手政治家が育ちつつある、ということである。彼らにとり、体制移行期の葛藤は筆舌に尽くしがたいものがある。しかし、旧東独体制に固執した後ろ向きな態度をとるのではなく、逆に西側に迎合するのではなく、「左翼であること」に現代的意味を読み込んで新たな可能性を追求しよ

うとしていることには、強い共感を覚える。しかし同時に、赤緑連立だけで多数派形成できるならば左翼党は用済みとされてしまうという現実を、クールにとらえている。今度は、投げ返されたボールをどのように受け止めるのか、SPDや緑の党の側の態度が問われているのかもしれない。

3. 2. 2. ソンヤ・ブッケル氏

オスロ・グループが赤赤緑連立をめざす議員有志の集まりなら、この方向での理論的研究を目的とした超党派シンクタンクが「連帯的近代のための機構」である。同組織は2010年1月に発足した新しい組織だが、設立の中心メンバーには、ユブシランティ（SPD）、シェア（SPD）、左翼党副党首のカチヤ・キッピング（Katja Kipping）²⁰、緑の党ヨーロッパ議会議員のスヴェン・ギーゴルド（Sven Giegold）²¹などが名を連ねる。各種社会運動団体、労働組合²²、アカデミズムなどからも参加者を得ている。

その後同機構は、6月26日に大会を開き、理事会メンバーを正式に確認するなどした。新聞報道によれば、会員数はこの頃までに1,446名。産業界などから支援を受けるロビー組織とは異なり、会費や寄付金により賄われる年間予算はわずか8万6,000ユーロで、役員も名誉職だという²³。この間、ギリシア経済危機への声明発表、ノルトライン＝ヴェストファーレン州赤赤緑連立に向けての3党間対話の仲介、教育問題をテーマとする夏期集会などの活動を行っている。先のリービヒ氏のインタビューから推測すれば、左翼党はこの種の超党派的活動には比較的寛容なようだが、他の政党からは懐疑的な声も聞こえてくる。ユブシランティ氏はこの組織への参加をSPD執行部に公式には伝えておらず²⁴、緑の党の立場も微妙である²⁵。

同機構の理事会メンバーのひとりソンヤ・ブッケル氏に話を聞くことができた。

小野：「連帯的近代のための機構」の新しさは、どのようなところにあるのでしょうか？

ブッケル：ドイツではこれまでのところ、3党を横断したシンクタンクは、例がありませんでした。今では、オスロ・グループのような組織もあります。しかし私たちの活動の重点は、政党間の協働ではなく、「もうひとつの社会」を打ち立てるための政治的・知的プロジェクトに置かれています。

小野：「古い」左翼と「新しい」左翼の違いを超えての、多様なグループの間での協働はうまくいきますか？例えば、80年代のSPDにおける「物質主義」と「脱物質主義」との対立²⁶は、今なお克服されていないように思えますが……

ブッケル：それは決して克服されないでしょう。……。それにもかかわらず、「連帯的近代のための機構」に結集

している人々は共通の問題関心を持っており、根本的な対立はこれまでのところ現れていないと思います。

小野：「連帯的近代のための機構」の設立宣言（2010年1月）は、現代において解決すべき課題を列挙していますが、それに対する回答は与えていませんね。

ブッケル：そのとおりです。

小野：それらに回答を与え、完成したテキストはいつ読めるのでしょうか？

ブッケル：まだまだ時間がかかるでしょう。個々のテーマごとに、問題点を、具体的に検討していく必要があります。例えば、社会政策分野では、基礎的社会保険がいいのか、ベーシック・インカム²⁷がよいのか。これなどは重要な問題です。……。

ブッケル氏には、理論的・概念的なことを中心に聞いてみたいと思っていた。だが私の期待をいい意味で裏切ったのは、彼女が左派の協働可能性を、具体的問題に即してプラグマティックに考えていることである。「連帯的近代のための機構」の設立宣言には、印象的な一節がある。「左翼であること」の観念的意味に固執するあまり、左翼はしばしば分裂し、自らの交渉力を弱めてきたことへの反省である。理論研究に従事する者も含め、プラグマティックな思考態度が育ちつつあるのかもしれない。もしそうなら、左翼のお家芸ともいべき内部分裂を克服し、新たな課題を前に協力し合う展望は、意外に（？）明るいのではないか。だが一方で、価値観の多様性と個人主義の伸張を特徴とする現代社会で、社会的公正と連帯をいかに実現するのかという難問は、依然として残る。そんなことを考えながら、フランクフルトを後にした。

3. 2. 3. アンドレア・ユブシランティ氏

9月7日午後、私はヘッセン州議会のロビーにいた。この日は開会日で、州首相への質疑の模様がモニター画面に映し出される。報道陣や議会関係者が慌ただしく動き回る中で、私は面会相手を待った。あの番狂わせさえなければ、今ごろ隣室のひな壇で、一挙一動をテレビカメラに注視されていたであろうその人を。

その人の名は、アンドレア・ユブシランティ。2003年以来、ヘッセン州SPDの党首を務める。2008年1月の同州議会選挙では、首相候補として選挙戦を指導するが、この時には赤赤緑連立の可能性はないと言明していた。選挙後、左翼党の協力も得て首相になろうとしたことが党内外から批判を浴び、結局は立候補を断念せざるを得なかった。赤緑連立少数派内閣を形成するという再度の試みも党内反対派の抵抗により挫折し、2009年1月のやり直し選挙敗北の責任をとって党首を辞任した。いつしかドイツの「左翼アイコン」となっていた彼女は、「連帯的近代のための機構」設立の中心人物である。

小野：「連帯的近代のための機構」内での連携関係はう

まくいっていますか？

ユブシランティ：今日、特にSPDや緑の党は左翼政党とは必ずしも言えず、その中の一部の人が左翼的な傾向を持っているのです。政党の境界を超えた連携が必要で、それが将来的には政権交代につながるかもしれません。これがひとつ目の意義ですが、それとともに重要なことは、3つの政党だけではなく、社会運動や批判的研究者にも参加してもらうことにあります。

小野：あなたが「連帯的近代のための機構」に参加することを、SPD執行部は快く思っていないのではないですか？

ユブシランティ：そうですね（笑）。執行部はそれを望んでいないでしょうから。しかし私たちは、執行部に対抗しようとしているわけではありません。そしてそれは、党の利益にも適うことです。

小野：あなたは「連帯的近代のための機構」のウェブサイト、全体的コンセプトを作り上げるのが目的だと書いています²⁸。しかし、個々の具体的な問題で解決策を探るほうが重要だと考える人もいないのですか？

ユブシランティ：もちろんそうです。私たちはこれまで、個々の「小さな」問題に取り組んできました。しかし、例えば社会政策上の「小さな」問題が経済的な「大きな」問題と関連していることからわかるように、私たちは、さまざまな政策領域を結びつけて考える必要があります。時として、ある分野の解決策が他の分野にマイナスに作用することもあります。経済が環境にどう影響するか。社会政策と教育政策の相互作用は。労働と家庭との関係は。そういったことが総合的に考えられなければならないのです。

小野：最近になって重要になってきたテーマがいくつかありますね。

ユブシランティ：はい。例えば、社会環境が急激に変化する中で、子どもの創造性をいかに育むか、という問題があります。そのためには、教育制度が変わらなければなりません。両親が働きに出ていて、家庭で子どもとの接触がないケースもあります。日本には、「全日学校」のようなものはありますか？ それから（エネルギー）資源の問題もあります。とても重要なことですが、以前はほとんど考慮されませんでした。

小野：あなたの活動には、ヴィーチョレク＝ツォイル氏²⁹を連想させるものがあるのですが……。

ユブシランティ：20～30年前の時点では、彼女は時代に先駆けた女性でした。彼女の問題提起は今日なお有効だと思いますが、私たちの世代には新しい課題があります。例えば、徹底した男女均等待遇の問題。かつては、彼女のような先進的な女性にとり、この課題に取り組むことは容易ではありませんでした。それから、民主主義の新しいスタイルをどのように構築していくか、という問題もあります。現行の議会も、すでに多くの問題を抱えています。今日、政党は大規模化しすぎて、社会運動

との関係が希薄になりました。政党だけでは、民主主義を全うすることはできません。それゆえ、「連帯的近代のための機構」は、その設立宣言において、多くの人との協働を重視しました。私たちはここで、政党、労働組合、社会運動、研究者などの間の交流を行わなければならないのです。

小野：今日において、「左翼である」とはどういうことでしょうか？

ユブシランティ：社会全体の利益を考えて政策決定を行うことです。大企業だけではなく、すべての人によくなるように。平等で尊厳に満ちた人生のために。子どもたちの未来のために、環境を重視した学校教育や、女性が同権的に扱われる労働市場を推進する必要があります。

小野：「多様性の承認」ということがキーワードなのだと思います。しかし「違い」を認めることの中には、貧富の差も含まれてしまうのではないですか？

ユブシランティ：もちろん、私たちはそれぞれ異なっています。しかし目下のところ、経済格差は異常なまでに拡大しています。それは危険でさえあり、貧富の差は縮められなければなりません。裕福であることの意味が、他者を搾取し貶めることだとすれば、それは受け入れられません。裕福な人が地球環境に対する責任を免除されているなら、私はそれを容認することはできません。

小野：どうもありがとうございました。

3. 3. 出張報告会（第2回研究会）

2010年9月17日、小野が北海学園大学を訪れ、ドイツ出張の成果を報告した。この会合（第2回研究会）には、本プロジェクト研究のメンバーの他に、北海学園大学教授の田口晃も出席した。インタビューを通じて新たにわかったことや、ここで得た知見を今後どう取り扱うのかなどについて質問が出された。

勘案すべきは、第1回研究会以降、緑の党が急激な党勢回復³⁰を見せ、赤緑連立だけでも多数派形成が可能な（したがって赤赤緑連立は必要ない）ほどの支持率を得ている、ということである。世論調査動向はもとより流動的なものではあるが、引き続き注意が必要であることの確認とともに、緑の党が急伸した原因は何なのかについても議論が交わされた。

この日の会合は、次年度の科研費申請の是非についての話し合いも兼ねる。いろいろと困難は予想されるが、次回も申請することで合意した。

4. 第3回研究会

第3回研究会は、2010年12月4日、工学院大学にて開催された。ドイツの左翼が時代の転換点に際して、「環境と経済」の根本問題でどのような戦略的見通しを持つのかについて考察するのが目的で、第2回研究会の暫定的な出張報告を深化・体系化させる意味合いもある。主報告

者の小野は「ドイツ社会民主党左派の新エネルギー・コンセプト／ドイツ出張報告も兼ねて」というレジュメを用意した。これは、2008年ヘッセン州議会選挙に向けて執筆されたユプシランティとシェアの戦略ペーパーを基にした小冊子「経済システム危機からの脱出路／財政・気候・資源問題に対する総合戦略のための試行的イニシアチブ」（以下、「脱出路」という）の一部を和訳し、コメントを付したものである³¹。今回も公開研究会として企画され、外部のメンバーとしては喜多川進（山梨大学専任講師）が参加した。この時点ではまだ共同研究者ではなかった東原正明も出席している。

「脱出路」はその序文において、3つのグローバルな経済危機、すなわち2006～07年の気候変動危機、2007～08年の（化石燃料）資源危機および2008～09年の金融危機は、いずれも、長期の生成プロセスを伴う構造的なもので、反エコロジ的な産業主義と越境する資本主義の加速化が招いたシステム危機だと特徴づける。金融危機が焦眉の課題だとしても、気候変動危機や資源危機を二義的なものとするなら、重大な結果をもたらす。多国籍企業のさらなる集中を促すような方策が国民経済を不安定化させ、政治機構への信用失墜がデモクラシー危機へと発展する恐れもある。気候変動や資源問題を解決するための政治的・経済的構想力を獲得し、複眼的視野から長期的要請に適うかたちで、短期的戦略を考えることが求められる。

このような問題関心の下、「脱出路」は、その前半部分で新自由主義やグローバル経済を批判的に分析し、後半で現状打開のための政策提言を行う。そのうち、研究会レジュメに訳出したのは、「第6節 将来性ある経済基盤への『システムの』キーとしての資源の転換」、「第7節 公共財における生産性向上」、および「第8節 経済的転換のための総合戦略（オーケストレーション）」である。

再生可能でクリーンな資源への転換ないしは資源効率の飛躍的向上が将来性ある実体経済への「システムの」キーであるとの認識の下、第6節では、電気自動車や再生可能エネルギー技術をはじめ、さまざまな部門における具体的構想が列挙される。特徴的なのは、経済のエコロジー化はほとんどすべての部門で利益になるとされている点である。資源転換の場合には、化石燃料が新技術により代替され、従来型の原料政策が新しい原料作物栽培や技術集約型再利用政策により代替されるゆえ、より多くの雇用創出効果を持つ³²からである。「脱出路」には、ドイツ版グリーン・ニューディールとも言い得るような発想があるのはたしかである。

新しい経済政策の第二の中心的課題は、公的インフラ整備を全国的に推し進めることである。第7節は、公共財の重要性が新自由主義の経済理論では著しく過小評価されてきたことを批判し、過去20年間の民営化のトレンドが経済的にもマイナスだったと指摘する。それをふまえて第8節では、経済・社会秩序の転換のための総合戦略が提示される。具体的には、「金融市場における投機規

制と実体経済指向秩序」、「環境および資源経済的基準に照らした補助金予算の仕分け」、「エネルギー課税に代わる汚染物質課税」、「資源転換のための政策的順位づけ」、「国土利用・建設計画における再生可能エネルギーの優先利用」、「『自然独占』における公共的役割」、「『新資源経済』に向けての研究開発計画」、「国際的市場規則の差異化」、「国民経済総体的評価の新しい方法」、「普遍的教育のルネサンス」といった項目がある。

「脱出路」は、環境、世界金融危機、再生可能エネルギーなど、現下の問題状況に対する左派社会主義者の基本的立場を示しているとともに、それが提出された政治的文脈が再編成途上の現代左翼に与える影響という意味でも、興味深い。主報告者の小野は、いくつかの論点を、「政党政治再編成とSPDヘッセン」、「新エネルギー・コンセプトの政治的位置」、「ポスト国民政時代時代の政治的関与のあり方」のグループに大別した上で提示した。第3回研究会での質疑応答において議論が集中したのは、SPD左派が、資源構造の転換とそれを達成するための総合戦略を掲げることの、政治的意味をめぐってである。

「脱出路」の第5節では、経済全般（そこには環境政策上好ましくない活動も含まれる）に関わるような景気刺激策ではなく、社会経済的構造変革を促す投資で危機を克服するような方策が、将来の景気対策の重点とされるべき、という認識が示される³³。この発想はSPDにとり、新しいものではない。全般的な経済成長ではなく、選択的成長やそれに対応する技術革新を重視し、ケインズ主義的福祉国家と段階を異にする「エコロジックな社会国家」³⁴を確立するという方向への転換が、ベルリン綱領（1989年）をめぐる議論の中で打ち出されているからである。だがこの間の状況変化を勘案するなら、今日の左翼のエネルギー・コンセプトが80年代のオルターナティブ思考の再来だとする議論は、一面的である。

環境問題への関心が党派を超えて共有される今日では、環境政策が経済成長とトレードオフ関係にあるとは必ずしも考えられていない。米国オバマ政権のグリーン・ニューディール政策に至っては、それは経済危機克服のチャンスだとさえとらえられている。実はこうした変化の兆しは、90年代の欧州社会主義にも現れていた。英国労働党の「第三の道」の理論家ギデンズは、当初、環境保全と経済発展とがたやすく両立し得るという考えに警鐘を鳴らしていたが、そうした主張はわずか数年の後にはニュー・テクノロジーへの楽観的期待へと退行する。それはまるで、ベルリンからハンブルクへと至るSPDの綱領的発展の縮図を見ているかのようである³⁵。

もしかすると人類は、かつてのようにストイックなまでに経済成長に批判的な態度をとらなくても、環境問題を解決していける方法を発明したのかもしれない。だがそれが可能だとすれば、そのために求められる政治的パートナーもベルリン綱領の頃とは違ったものとなろう。環境ビジネスの育成こそが問題解決のカギだとすれば、

「人間の搾取」と「自然の搾取」に反対するという共通性を基礎に新旧社会運動勢力の同盟を構築するというレトリックは、時代遅れに思えてくる。むしろ、モダンでリベタリアンな価値と親和性を有するのであり³⁶、部分的には新自由主義的な価値の担い手とも重なるのではない。すなわち、進歩的な改革政策が、必ずしも左翼と結びつく保証はない。だとすればここに、左翼リベタリアン空間の再活性化を通じて新たな展望を拓くというポスト赤緑連立時代の左翼の戦略が、重大なジレンマを抱えていることが見て取れる。

こうした小野の議論に対しては、ベルリン綱領前夜のSPDでも原理主義的エコロジーはむしろ少数派で、エコノミーとエコロジーの両立可能性をプラグマティックに追求する立場のほうが主流だったのだから、今日の左翼における環境と経済の両立可能性への楽観論を過度に強調するのはいかなるものか、との指摘もなされた。ただし、テクノロジーをめぐる態度など、左翼陣営の思考には、近年、著しい重点移動が見られるのであり、第三の道やグリーン・ニューディールなどの新しい動向ともあわせ、注視すべきであることなどが確認された。

また、脱原発政策の位置も話題になった。脱原発は、80年代のエコロジー運動の象徴的テーマであり、それが左翼の公式見解であることには現在でも変わりはない。だが、「脱出路」では、再生可能エネルギーの実現可能性を、依然として原子力や化石燃料に固執するエネルギー・コンツェルンの時代錯誤性に対置するという論理構成が取られ、原子力政策に正面から異議を申し立てたかつての印象は薄れている。たしかにドイツの左翼は、CO₂を排出しない原子力発電はエコロジー政策上有利であるなどと、かつての環境保護運動の常識からは考えられないような主張からは距離を置いているようである。だが、メルケル政権の脱原発政策や地球温暖化問題への対応などともあわせ、今後の動向には注意が必要である。

5. 研究成果

2010年度における研究代表者および共同研究者の研究業績のうち、本プロジェクト研究と関わりのあるものは、以下のとおりである。なお、研究代表者の単著の場合にも、共同研究者の協力の下に作成されている場合が多い。

【著書・発表論文】

小野一 2010a 「環境問題をめぐる政治過程／ドイツ・赤緑連立が遺したものと、環境政治の新たな展開」(賀来健輔・丸山仁編著『政治変容のパスpekティブ [第2版]』ミネルヴァ書房、第8章)、146～162頁。

小野一 2010b 「欧州経済危機に揺れる左翼オルターナティブの可能性／ノルトライン＝ウエストフアーレン州議選の惨敗に直撃されたメルケル政権」『労働運動研究』

410 (2010年7月)、63～66頁。

小野一 2010c 「研究ノート：ドイツ政党政治再編成を読み解くための論点整理(1)／「赤と緑」の実験以後の緑の党を中心に」『工学院大学共通課程研究論叢』48-1 (2010年10月)、1～15頁。

小野一 2010d 「左翼の『新しい』アイデンティティとは何か？／左翼党、『連帯的近代のための機構』、ヘッセン社民党幹部との対話」『労働運動研究』411 (2010年12月)、19～26頁。

小野一 2011 「研究ノート『経済システム危機からの脱出路』の抄訳と解説／構造変化と政党政治再編成の中での社会民主党左派の動向」『工学院大学共通課程研究論叢』48-2 (2011年2月)、1～19頁。

【学会報告・口頭報告(本プロジェクトの研究会を除く)】

小野一 「ドイツ政治とベーシック・インカム」(埼玉大学経済学会・講義援助者授業、2010年7月9日)。

小野一 「ドイツの政党再編と左派の可能性」(オルタ研究会、2011年2月25日)。

6. 中間総括および2011年度に向けての展望

本研究プロジェクト1年目の中間総括は、国内研究会活動、海外調査、研究成果(発表論文)といった側面ごとになされるべきである。いずれの意味でも重要な成果を上げているため、研究計画の進捗は順調であると総括できる。

刻々と移り変わるドイツ情勢を適確に把握・解釈するために、研究者間の定期的な意見交換は欠かせない。それだけでも年間数度にわたる研究会の意義はあるのだが、本プロジェクトでは体系性を持った論究を行うことに成功している。初回の研究会でゲストスピーカーからの情報も得て分析対象と方法を絞り込み、海外調査の企画に役立て、年度後半の研究会で分析を深化させていった一連のプロセスは、意義のあるものだった。

国内研究会のもうひとつの重要な役割として、本プロジェクトのメンバー以外の参加者も含めて研究交流を活性化させることがある。その場合、本学の地理的条件は極めて有利である。上記のように2010年度の研究会には外部からの参加者も得て学術的交流を深めることができた。とりわけ第3回研究会は、その前日に工学院大学で開催した「環境政策史研究会」にあわせてのスケジュール設定で、希望者には両方の研究会に参加できるような便宜を図った。このようなことは2011年度以降も継続されるべきである。

2010年夏には、本プロジェクト研究による最初の海外調査を行った。聞き取り調査を含む一次資料収集に基づき

本格的な共同研究を行う第一段階としての成果は、それなりに得られたが、今後の継続的な調査により解明すべき点が見えてきたのも事実である。例えば、政党政治の関係者だけでなく、市民運動系団体や労働組合などの社会グループへと、可能であればより小規模な学習サークル等も含めて、調査の対象を広げる必要がある。政党関係でも、左翼党に関してはわが国での研究蓄積はまだ手薄なため、ここでも集中的な調査が求められる。その意味で、ベッカー＝シャオム氏（緑の思想文書館）よりローザ＝ルクセンブルク財団の担当者の連絡先を教えて頂いたことは大きな成果だった。

こうした研究活動の成果は、論文などのかたちで具体化されている。本年度は、特に、「連帯的近代のための機構」という興味深い組織について論稿が生まれたことが特徴である。それ以外の政党、組織、運動についてもさらなる分析の深化が求められる。特に、左翼党の動向についてはもっと知見を豊富化する必要がある。

2年目以降の研究プランは、基本的に1年目のスタイルを継承するが、上記のような反省点をふまえた改善は当然になされる。2010年度には、どちらかといえば、個々の分析対象についての情報収集と整理が目標だったが、2年目以降はそれらを体系化していくことが求められる。本プロジェクトの場合、政党政治再編成の政治的意味を解明することが大きな目標である。このような試みは、例えば小野の未発表論文などでも端的に試みられているのだが、この方面での研究成果の充実が課題のひとつである。またそれを、単なる政党研究に限定することなく、社会運動論や市民社会論の知見ともあわせた総合化を行うなら、政治学研究の新領域開拓に寄与し得る。これはまさに、このテーマを共同研究というかたちで遂行することの意義とすべきだろう。

ドイツ政治は現在なお再編成の途上にある。メルケル政権の下でなされた脱原発路線の修正が、「フクシマ」以後の事態を受けて再修正される可能性もあるのは、典型的である。2010年以降の緑の党の急伸や、「シュトゥットガルト 21」³⁷などに見られるような市民運動の新たな動きについても、適切な政治学的解明が必要である。赤赤緑連立をめぐる超党派活動でも、最近、新しいシンクタンクの誕生により三つどもえ状態が出現した³⁸。それとともに、ドイツ以外の地域に視野を拡大することも必要だが、オーストリアを主たる研究対象とする新メンバーの参加などにより、この方面での充実も期待される。

1 「混迷深めるドイツ社会民主党／左翼党との連携を巡る論争について」『ドイツ研究』44（2010年5月）、160～169頁。

2 PDSは、社会主義統一党（旧東独共産党）の後継政党である。旧西ドイツ地区ではほとんど支持がなく、「会派」の要件である得票率5パーセントを超えられず、旧東独地区（小選挙区）から直接選出された議員のみが議席を得ている状態が長らく続いた。

3 2003年3月、シュレーダー首相の施政方針演説の中で発表された総合的改革構想。ドイツ経済の活性化と社会保障制度の立て直しをねらうが、社会福祉受給者には厳しい内容を含み、第二次シュレーダー政権の新自由主義路線を象徴するものとなった。

4 同氏のウェブサイトは、www.andreaypsilanti.de/。

5 ハルツIV法とは、2002年2月に設立された「失業問題の克服と職業安定所の再編のための委員会」の答申に基づき2004年はじめごろから施行された一連の法律の総称であり、アジェンダ2010の重要な構成部分とされる。そこに改革の行き詰まりへの突破口を見出す者もいれば、社会国家解体の予兆を見る者もいる。

6 西田前掲論文、169頁。

7 フランツ・ヴァルターは、近年、そうした立場からの議論を展開するが、同時に、両党は高額所得者ミリュエーの中で別々の生活世界を形成しており、その間の相互交流は多くはないという（Franz Walter 2010: *Gelb oder Grün?: Kleine Parteiengeschichte der besser verdienenden Mitte in Deutschland*, Bielefeld: transcript Verlag, p.125）。FDPとは対照的に、緑の党には高学歴の中年女性が多いが、彼女たちには、社会国家的インフラや多様なライフスタイルを支える公的機構のほうが、個人に対する大幅減税よりも重要である。緑の党の核は古典的なブルジョアの理想主義であり、彼らは金と教育があるにもかかわらず、ゲザムトシュレー、市民的所得保障、気候変動防止などをプログラムに掲げる。緑の党をエコロジー的プロフィールを持った社会的リベラル政党ととらえるペーター・レッシェは、2005年連邦議会選挙直後、ジャマイカ連立もあり得ないわけではないとするコメントを出した（*Der Tagesspiegel*（2005年9月22日）、p.2, “Auch die Grünen sind eine liberale Partei.”）。

8 2013年連邦議会選挙を見越して大連立を回避したいSPD執行部は、赤緑連立少数派内閣を支持し、その方向で調整が図られていく。ただし同州SPDと緑の党は、左翼党は政権担当能力を欠いているという認識で一致していた。新政権の発足は、連邦レベルでの赤緑連立の再興があり得ることを示すサインだが、それはあくまでも戦術であって、政治的プロジェクトとは認識されていない（*SPIEGEL* 2010/25: 20-22）。

9 ウェブサイトは、www.solidarische-moderne.de/。設立宣言をはじめ、同機構の主要文書はここからアクセスできる。

10 「『連帯的近代のための機構』設立のよびかけ」『労働運動研究』410（2010年8月）、67～72頁。

11 www.boell.de/stiftung/archiv/archiv.html。

12 同氏のウェブサイトは、www.stefan-liebich.de/。

13 ウェブサイトは、<http://library.fes.de/library/>。

14 Andrea Ypsilanti 2008: *Im Aufbruch in die Soziale Moderne: Politische Reden und Beiträge 2006-2008*. Bochum: Ponte Press.

15 A. Ypsilanti and H. Scheer 2010: *Der Weg aus der Systemkrise des Wirtschaftens: Denkanstoß für eine integrierte Strategie gegen die universelle Finanz-, Klima- und Ressourcenkrise*.

16 ここに掲載したインタビュー記録は、既発表論文（小野 2010d）の一部である。

17 www.faz.net, “Oslo lässt grüßen”, (2010年1月23日)

18 赤緑連立による多数派形成も可能とのデータは、2010年7月終わり頃から始まっている（www.focus.de,

“Rot-Grün mit absoluter Mehrheit”, 2010年7月21日)。

¹⁹ 1994年のザクセン＝アンハルト州議会選挙の結果、SPDと緑の党だけでは過半数に達しなかったため、PDSの閣外協力を依存する赤緑連立少数派内閣が成立した。州都の名にちなんで「マグデブルク・モデル」とよばれるこの型の連立政権は、有権者の反共意識に訴える保守派のキャンペーンに格好の材料を与えた。

²⁰ 同氏のウェブサイトは、www.katja-kipping.de/。

²¹ 彼が緑の党に入党したのは、2009年の欧州議会選挙で初当選する前年のことである。それ以前には、ドイツ *attac* などでも活動していた。議会外活動家から政党政治家への転身には賛否両論あるが、彼の活動スタイルには、政党と社会運動との関係やグローバルな政治的関与のあり方を考える上で示唆的なものがある。同氏のウェブサイトは、www.sven-giegold.de/。

²² 2010年2月以降、連帯的近代のための機構のメンバーに加わったルドルフ・ドレスラーは、一貫して社会・労働政策を支持する立場から、SPDの要職を歴任してきた。アジェンダ2010により動揺させられたひとりだが、結局は左翼党への鞍替えはせず、古巣SPDにとどまる決意をした。

²³ www.taz.de, “Wenig Geld und große Ansprüche”, (2010年6月28日)

²⁴ www.zeit.de, “Vorarbeiter in der Denkfabrik”, (2010年2月2日)

²⁵ クラウディア・ロート党首は「オスロはカリブ海の島よりも近い」(カリブ海とは「ジャマイカ連立」のこと)と発言したのに対し、緑の党のある議員は、「ユブシランティ機構」の活動は保守主義陣営を利するだけ、と批判的である (*Frankfurter Allgemeine Zeitung* (2010年1月26日), p.2, “Claudia Roth für Rot-Rot-Grün”。

²⁶ 経済成長や身体的安全を重視する価値観を「物質主義」、生活の質や倫理・道徳、自己実現などといった価値を重視する態度を「脱物質主義」と定義する。両者を極とする対立軸上に政治的立場を定める分析手法が、政治学研究で使われるようになった。環境保護などの新しいテーマを重視する緑の党は典型的な脱物質主義的左翼政党であり、伝統的左翼(社会民主主義)の物質主義的な方向性とはしばしば対立することがある。

²⁷ ベーシック・インカムは、所得、社会的地位、家族形態、就労意思の有無などに関わりなく、すべての人に支給される最低限所得保障。就労などによる所得(税控除後)は本人の追加収入となるので、いわゆる「失業の畏」(失業手当への依存的態度が強まり、失業者の就労意欲が削がれること)が発生することはない。この種のアイデアはユートピア的であるとか、働かなくとも所得が得られるのは公平でない、などの批判がなされてきたが、完全雇用が自明でなくなる中で、再び注目されている。アンドレ・ゴルツは、大胆な時短に最低限所得保障を組み合わせ、既存の労働観を問い直す問題提起を行った(真下俊樹訳『労働のメタモルフォーズ』緑風出版、1997年)。ベーシック・インカムに関する標準的な解説書としては、トニー・フィッツパトリック著『自由と保障／ベーシック・インカム論争』(勁草書房、2005年)などがある。

²⁸ www.solidarische-moderne.de, “Andrea Ypsilanti wirbt für Solidarische Moderne”, (2010年3月4日)

²⁹ SPD南ヘッセン地区出身の左派の論客。緑の党との連立をめぐる動揺の中で、政治的役職に就くよりも、ベルリン綱領へ向けての党内論議に情熱を傾けた。「プログラムの刷新に成功すれば政治を刷新できると、

少なくとも人が考えた。SPDの80年代後半とは、そういう季節だったのである」(小野一『ドイツにおける「赤と緑」の実験』御茶の水書房、2009年、129頁)。ヴィーチョレク＝ツォイル氏は、シュレーダー政権の成立以後は、連邦経済協力開発大臣を務める(2009年まで)。

³⁰ *Forschungsgruppe Wahlen* のデータによれば、2010年1月15日時点で緑の党は12%の支持率で第三党に浮上し(FDPと左翼党はともに11%)、同年11月には20%にまで達した(www.forschungsgruppe.de, “Langzeitentwicklung: Politik I: Projektion seit 01/1991”)。inflatist-dimap が同年11月12日に発表した調査では、同党支持率は23%となっている(*SPIEGEL* 2010/46: 83)。

³¹ 戦略ペーパー小冊子の原文は、注15。研究会レジュメは、その後、本学紀要に掲載された(小野2011)。

³² Ypsilanti, and Scheer 2010: 25-26.

³³ *ibid.*: 18.

³⁴ 山本佐門 1995『ドイツ社会民主党日常活動史』北海道大学図書刊行会、215頁。

³⁵ 小野前掲書(2009年)、363頁。

³⁶ 小野 2010a、161頁。

³⁷ シュトゥットガルト駅の改築を柱とする再開発プロジェクト。反対派はプロジェクトの可否を問う住民投票を求めていたが、それが退けられ2010年2月に着工されると、環境保護団体や各種社会運動の参加する大規模な抗議運動が引き起こされた。

³⁸ 2011年2月になって、もうひとつのシンクタンク「赤と緑のコーディネート・ビューロー」が発足した。明らかに、連帯的近代のための機構に対抗したもので、中心メンバーはSPD連邦総務のアンドレア・ナーレス、元ユーザー代表のベンヤミン・ミックフェルト、緑の党連邦総務のシュテフィ・レームケらである(www.zeit.de, “Neues Strategieinstitut für Rot-Grün”, 2011年2月7日)。連帯的近代のための機構は、「コーディネート・ビューロー」の設立を歓迎する声明を出す、その中で自らの組織との違いを要約している

(www.solidarische-moderne.de, “ISM begrüßt Gründung eines rot-grünen Koordinierungsbüros”, 2011年2月8日)。

科学衛星搭載用放射線検出器の開発

工学院大学 基礎・教養教育部門 幸村孝由

立教大学 理学部物理学科 村上弘志

Development of the radiation detector on board science satellite

Takayoshi Kohmura , Kogakuin University, Department of Architecture

Hiroshi Murakami, Rikkyo University, Department of Physics

ABSTRACT : We have developed the radiation detector on board science satellite to observe X-ray from universe. In this the first year for this study, we have developed both X-ray CCD for ASTRO-H mission and GEM for GEMS and XACT mission.

1. はじめに

電波、可視光、X線、ガンマ線といった電磁波や、 α 線、 β 線、ニュートリノといった粒子線を検出するための放射線・粒子線検出器の検出原理は、様々な種類のものに区別できる。例えば、電磁波の中でもエネルギーが高いX線、ガンマ線の検出原理は光電吸収である。光電吸収を検出原理として利用している検出器の場合、検出器中の物質の中で生じる光電子を取得することによって、放射線・粒子線を検出することになる。また、検出器の区分の1つに、電磁波や粒子線と相互作用を起こす物質が、固体のものを固体(型)検出器、気体のものをガス型検出器などと呼ぶ。さらに、ニュートリノの検出には、固体や気体でもなく液体の水を用いているように、放射線・粒子線を検出するには、あらゆる相の物質を用いている。

固体検出器で使用する物質の代表例が、シリコンやカドミニウムといった半導体であり、これらを半導体検出器と呼ぶ。半導体中の空乏層にX線が入射し光電吸収が起こると、価電子帯の電子がエネルギーを獲得しバンドギャップを超え伝導帯に達することで電子-正孔対が形成される。入射X線エネルギーに比例した個数だけ電子-正孔対が生成されるため、X線エネルギー測定が可能である。またガス型放射線検出器に比べ

成される電子の個数が多いので、相対的な揺らぎが小さく抑えられエネルギー分解能は格段に良くなる。この半導体検出器をarray状に分割し、位置分解能を持たせた検出器がCCD (Charge Coupled Device) である。CCDは、可視光からX線にわたる広いエネルギー帯域の電磁波に感度があり、ビデオカメラや胃カメラなどに利用されるほか、宇宙望遠鏡の焦点面カメラとしても利用されている。特にX線用のCCDは、X線入射により空乏層内で生じた電子・正孔対を内部に印加した電場で電極に集め、順次転送して電子(あるいは正孔)の情報を読み出すことで、X線の入射位置とエネルギーの両方の情報と、時間情報とを得ることができる。我々が本研究において開発するX線CCDは、2014年に種子島宇宙センターからHIIAで打ち上げ予定の日本の科学衛星「Astro-H」に搭載することを目標としている。「Astro-H」は、宇宙X線 γ 線を観測し、ブラックホールの周辺や超新星爆発など高エネルギーの現象に満ちた極限宇宙の探査を通して、宇宙の進化を探ることを目的としており、4種類の放射線検出器を搭載する。X線CCDはそのうちの1台であり、主に広い視野でX線の撮像ならびに分光観測を行う。

一方、ガス型検出器は、金属製の容器中に充填したArなどの不活性ガスに入射したX線と光電吸収を起こした際に生ずる電子、イオン対の量を計測する放射線検出器である。ガス型検出器は、吸収体にガスを使っているため軽量かつ大面積化が容易で、また安定し

た動作が保証されるため初期の X 線天文衛星から現在軌道上の国際宇宙ステーション ISS の X 線全天モニター MAXI に搭載している GSC 至るまでよく用いられている。ガス型検出器は、高い増幅率を持つ一方で、ガス増幅率の不安定性から固体検出器に比べエネルギー分解能は悪く、それ自身では位置分解能を持たなかった。しかし、近年の微細加工技術の進歩に伴い、ガス型検出器も固体検出器のように位置分解能を持つように改良が進み、その 1 つが本研究で研究開発を行う GEM (Gas Electron Multiplier) である。GEM は、両面を数 μm 厚の金属で被覆した $50\mu\text{m}$ 厚の絶縁体フォイルに直径 $100\mu\text{m}$ 程度、ピッチが $100\mu\text{m}$ 程度の孔を 2 次元に配置した構造を持つ。両面の金属層が電極として働き、この電極間に電圧を印加すると GEM の穴の中に強い電場が生じ、ガス中で生じた光電子がこの孔を通過すると、強い電場により電子なだれを起こし、これを 2 次元に配置した読み出しパッドで読み出すことで、位置分解能を持つことができる。また、10000 万倍を超える増幅率をもち、大型化が容易で、高い解像度の 2 次元イメージングが可能なことから、医療機器、宇宙観測、物質の構造解析など、様々な分野への応用が期待されている。しかし、放射線の検出は検出器内に満たされたガスで行われるため、エネルギーの高い放射線に対して感度が低い。そこで本研究では、高いエネルギーの X 線にも感度を持つ新しいタイプの GEM の開発研究を進める。

また、GEMS は、2012 年に打ち上げる米国の「XACT」に搭載し、また 2014 年に打ち上げる米国の科学衛星「GEMS」への搭載も決まっている。本研究では、製造パラメータを変えた GEMS の、X 線に対するエネルギー分解能、ゲイン、ゲインの長期安定性などの基本性能を調べ、より高性能の GEM の開発を行う。また XACT や GEMS の計画に参画し、GEM による X 線偏光観測を行う。

本研究では、主として宇宙観測利用を目的とした、半導体検出器の 1 つである X 線 CCD と、MPGD の一種であるガス電子増幅器 (GEM) の研究開発を行う。研究の初年度である 2010 年度は、主に X 線 CCD の研究開発に重点をおいており、ここでは X 線 CCD の研究成果について報告する。

2. X 線 CCD の研究開発

X 線 CCD 開発の主目的は、宇宙 X 線観測用 CCD (以下 X 線 CCD) の宇宙紫外線の遮断方法を確認するために、EUV 遮断フィルムを直接 CCD 素子にコートした X 線 CCD の研究開発を行うことである。X 線 CCD は、X 線以外の電磁波 (可視光、紫外線など) にも感度がある。特に、表面照射型 CCD (FI-CCD) に比べ、1 keV 以下の低いエネルギー帯域における X 線の検出感度が格段に優れている裏面照射型 CCD (BI-CCD) は、紫外線の検出効率も格段に高い。

そのため、BI-CCD を使って宇宙空間で天体からの X 線を測定する時は、主に地球大気が放射する EUV (He からの 20eV や 41eV の紫外線) を遮断する必要がある。X 線天文衛星「すざく」と同等の、X 線望遠鏡のデザイン (焦点距離、反射率など)、サーマルシールドの素材と膜厚、CCD のサイズを想定すると、何らかの方法で BI-CCD に入射する紫外線透過率を 1% 程度に抑える必要がある。従来の紫外線遮断方法は、X 線 CCD の前面に、厚みが 2600\AA 程度の薄膜 (OBF: Optical Blocking Filter; アルミニウムとポリイミドの 2 層構造) を装備し、紫外線を遮断していた。しかし、OBF は薄膜であるため、製造も難しく、また地上での取り扱いも破損の危険性がつきまとい難しかった。そこで、我々は、OBF に替わる新技術として、アルミニウムとポリイミドからなる EUV 遮断フィルム (OBL: Optical Blocking Layer) を、直接 BI-CCD の表面に最適の厚さでコートする方法を実用化する。

2.1 研究成果

本年度の研究目標は、大きく分けて以下の 3 点であった。

① OBL を直接コートした BI-CCD (OBL-CCD) を用いて、OBL の紫外線透過率を実測し、OBL の紫外線遮断効果を実証すること。OBL の厚みの均一性も評価し、最適な OBL (ポリイミド) の厚みを決定すること。

② OBL の X 線透過率を実測し、BI-CCD の特徴である低エネルギー帯域での検出効率を決める OBL の厚みを測定する方法を確立すること。

③ OBL の可視光透過率を実測し、OBL の可視光遮断効果の検証を行うこと。

以下 2.2~2.4 では、上記①~③の順に研究成果を報告する。

2.2 OBL の紫外線遮断効果の実証

今年度 KEK-PF のビームライン BL-20A において、OBL-CCD に 15-75eV の紫外線を照射し、OBL の材料の 1 つであるポリイミド (PL) の紫外線透過率を測定した。本測定に用いた X 線 CCD を図 1 に示す。

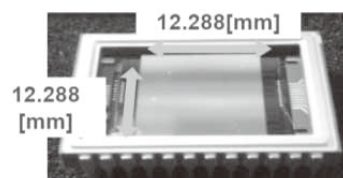


Fig.1 OBL をコートし BI-CCD。有効画素数 512×512 画素、1 画素サイズ $24\mu\text{m} \times 24\mu\text{m}$ 。素子の左半面はポリイミド (PL) とアルミニウム (Al) の両方を、右半面にはアルミニウムだけコートしている。素子に直接コートした PL と Al の厚みは、それぞれ 1100\AA 、 1400\AA である。

今年度の実験には、PLの厚みが1100 Å, 2000, 3000 Åと異なる3素子を使用した。ポリイミド(PL)をコートした左半面と、PLをコートしていない右半面とに、交互に紫外線を照射し、各面で得られた紫外線強度の比をとることで、OBLを構成するPLの紫外線透過率を求めた。図2に示した紫外線透過率の測定結果から分かるように、我々がBI-CCDにコートしたPLの紫外線透過率は、3素子とも設計値から予想した紫外線透過率と一致していることが分かった。

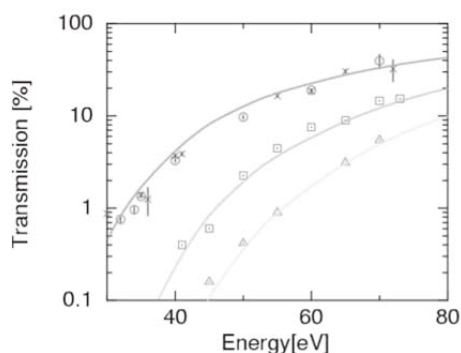


Fig.2 OBLの紫外線透過率の測定結果。グラフの○と×がPLの厚み1100 ÅのOBLの紫外線透過率の測定結果を表す。□, △はそれぞれPLの厚み2000 Å, 3000 Åの測定結果を表す。実線は、透過率の高いものから順にPLの厚み、1100, 2000, 3000 Åの紫外線透過率の予想値を表す。

さらに、PLの厚さが1100 ÅのOBL-CCDは、9カ月間の期間が経過した前年度(図中の○印)と今年度(図中の×印)の測定結果を比較したところ、紫外線透過率に統計的に有意な差がなく、9カ月間という短期間ではあるが、我々が開発したOBLの紫外線遮断効果には経年的な劣化がないことが分かった。また、ビームサイズ0.5mm×2.0mm程度の紫外線ビームを、OBL-CCD素子のPLをコートしている面にくまなくスポット照射し、OBLを構成するPLの厚みの均一性を評価した。図3に3000 Åの厚みのPLをコートしたOBL-CCDで取得した測定結果を示す。

照射した11箇所全てにおいて、得られた紫外線の強度はほぼ一定であり、PLの厚みのムラは±10%程度であることが分かった。

また2000 ÅのPLをコートした素子についても同様の評価を行い、昨年度測定した1100 Åの結果も含め、コートしたPLの厚みの斑が±10%程度(PLの設計値の厚みが3000 Åに対して、厚みの斑が±300 Å未満という意味)であること、さらに、素子

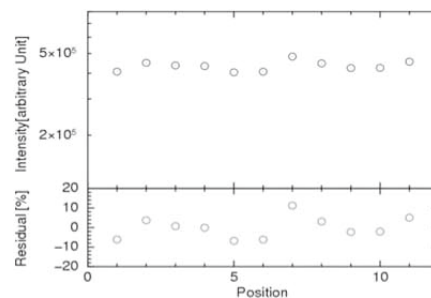


図3. PLの厚みの均一性。コートしたPLの厚みが3000 ÅのOBLの測定結果。

縦軸: 40eVの紫外線ビームを照射した時に得られた紫外線の強度(上面パネル)と、PLの厚みのバラつき具合(下面パネル)を示す。横軸: OBL-CCD上の場所を表し、計11箇所の領域に紫外線を照射したことを示す。下面パネルの結果から、厚みの斑が最大で10%(3000 Åに対して300 Å)程度であることが分かる。

の端でも得られた紫外線の強度は変わらず、PLの剥離等が原因となるような光漏れがないことが分かった。

2.3 斜入射実験法を用いたOBLの厚さ測定

X線を使ってOBLのような薄膜の厚みを求めるには、OBLへ入射するX線の絶対強度 I_0 に対する、薄膜を透過した後の透過X線の強度 I_1 の比、つまりX線の透過率を求める必要がある。ただし、入射X線の絶対強度を求めることは非常に難しく、既に検出効率が分かっている比例計数管などをレファレンス検出器として用いて、入射X線の絶対強度を求める方法など採ることが多い。ただし、レファレンス検出器自身の測定誤差などが入ることが短所である。

そこで、我々は“斜入射法実験”を用いてOBL、ならびにCCD表面の不感層(以降、不感層とする)の厚みを決定した。斜入射法実験では、OBL-CCDに入射するX線の角度を 0° , 50° と変えて、入射角度毎にX線の強度を測定する。 0° ならびに 50° 入射時のX線の強度を I_0 , I_{50} とすると、その強度比 I_{50}/I_0 のエネルギー依存性から、不感層の厚みを求めることができる。

斜入射実験では、エネルギー毎に、図4の2式の比 $(I_{50}(E)/I_0(E))$ を測定することで、入射X線の絶対強度 I_0 に依らず、OBLのX線透過率を求めることができる。OBLのX線透過率の測定結果を図5に示す。

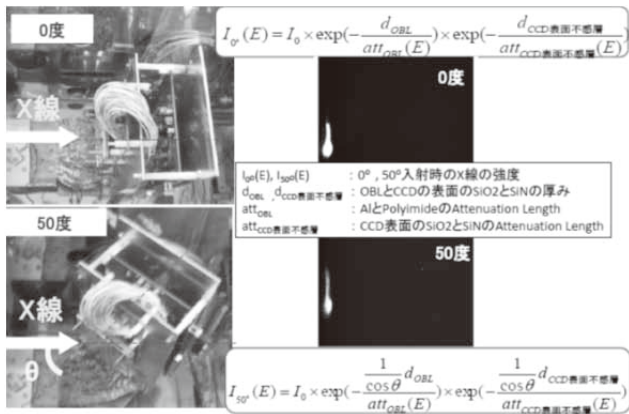


Fig.4 左(上・下) : 入射角度 0°, 50° の時の真空槽内の OBL-CCD のセットアップ。本実験には、Al の厚み 1400 Å, PL の厚み 1100 Å の OBL-CCD を用いた。右(上・下) : 入射角度を 0° と 50° に変えて 250eV の単色の X 線を照射した際に得られた X 線のイメージ。斜入射法を用いれば、X 線の入射角度を変え、不感層の厚みを変えることで、入射角度毎に OBL-CCD の X 線の検出強度が変わる。入射角度が 50° の条件(右下)では、0° 入射時(右上)に比べ不感層の厚みが約 1.6 倍になり、X 線のビームが暗く(多く吸収されたため) になっていることが分かる。

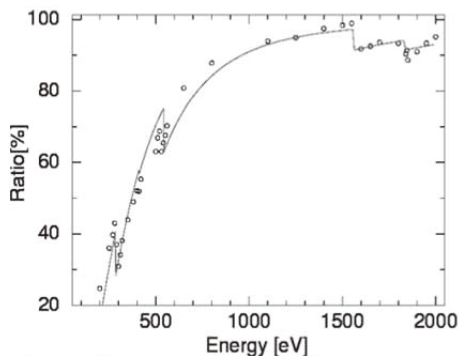


Fig.5 横軸 : X 線のエネルギー。縦軸 : $I_{50^{\circ}}(E)/I_{0^{\circ}}(E)$ の比 (OBL の X 線透過率に相当する)。図中の○は測定点、実線は OBL の設計値から予想した X 線透過率を表す。図に示すように、OBL のポリイミド(PL)を構成する、炭素、窒素、酸素、Al による K 吸収端に加え、CCD 素子表面のシリコンの不層による K 吸収端を測定することができた。各 K 吸収端の深さから、Al, PL の厚みが設計値通り 1400 Å, 1100 Å 程度であることが分かった。また、1850eV 付近に CCD 素子表面の不感層によるシリコンの K 吸収端も測定することができ、斜入射法が OBL だけでなく CCD 素子そのものの不感層測定にも有効であることが分かった。

2.4 可視光透過率の測定

我々が構築した OBL の可視光透過率測定システムを用いて、Al の厚みはいずれも 1400 Å, PL の厚みが 1100, 2000, 3000 Å と異なる 3 タイプの OBL の可視光透過率を測定した。測定結果を図 6 に示す。3 タイプとも OBL の可視光透過率が 10^{-2} [%] 程度で、設計値した Al の厚みから予想した可視光透過率よりも 2 桁程度高い透過率であることが分かった。Suzaku 衛星に搭載している OBF の Al の厚みは、この OBL と同じ 1400 Å であり、可視光透過率は 10^{-4} [%] 程度である。可視光透過率が予想よりも高い理由は、6.2 節に記述した OBL の X 線透過率から設計値通りの 1400 Å の Al 層をコートしていることがわかっているため、設計値より Al 層が薄いことは考えられない。このままでは宇宙 X 線用 CCD として要求する可視光遮断率 10^{-4} [%] を満たすことができない。対策としては、OBL の Al の厚みを厚くすることが考えられるが、BI-CCD の低エネルギー帯域の検出効率を落とすことになる。紫外線に加え可視光を十分に遮断しつつ、可能な限り薄い OBL をコートするためには、今後 Al のコート方法について継続して検討を行う。

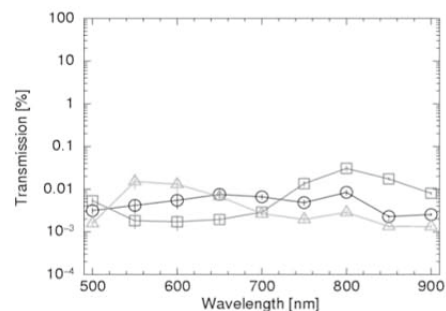


Fig.6 横軸 : 可視光の波長。縦軸 : OBL の可視光透過率。○, □, △ の順に、PL の厚みが 1100, 2000, 3000 Å の OBL の可視光透過率を表す。

2.5 赤外線遮断方法の確立

衛星に搭載する宇宙 X 線用 CCD は、カメラフード、ベースなどのデザインによっては、X 線用 CCD に主に太陽からの赤外線が照射する。現在軌道上にある国際宇宙ステーション(ISS)の全天 X 線モニター-MAXI に搭載している X 線 CCD(SSC)の観測結果から、Fig.7 に示すように、MAXI が太陽に照らされている時間帯に、遮光用のアルミニウムをコートしている X 線 CCD の表面ではなく、側面から赤外線が侵入することが分かった。

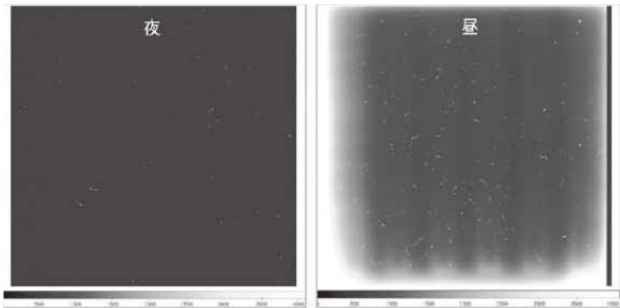


Fig.7 SSC で撮影した宇宙X線の生画像。左が MAXI が太陽からみて地球に隠れている時間帯の画像。右が MAXI が太陽に照らされている時間帯の画像。左に比べ右の画像の四隅が明るく（白く）なっていることがわかる。これは、太陽からの赤外線が SSC の側面から漏れこんでいる影響によるものと考えられる。

特に、 $1\mu\text{m}$ よりも長い波長の赤外線に対するシリコンの吸収率が 1mm 以上であるので、赤外線の遮光も重要となる。そこで、OBL-CCDについても、紫外線・可視光に加えて、赤外線遮光対策について検討を行った。赤外線の遮光対策として、CCDの側面に黒色レジストをコートすることを、Fig.8に示したように、 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ の5通りの厚みの黒色レジストを赤外線に透明なガラスにコーティングしたサンプルを製作し、黒色レジストの赤外線の透過率を測定した。

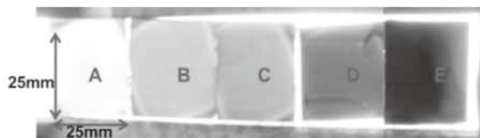


Fig.9 ガラスにコーティングした黒色レジストの赤外線透過率。縦軸：赤外線透過率。横軸：赤外線の波長。上から順に、コーティングした厚みが $0.38, 0.68, 0.70, 0.90, 5.6\mu\text{m}$ のサンプルの赤外線透過率を示す。黒色レジストの厚みを $5.6\mu\text{m}$ とした赤外線透過率は、測定装置の測定限界値($\sim 10^5\%$)以下である。この測定には、国立天文台の鎌田有紀子氏にご協力頂いた。

このサンプルの赤外線透過率の測定は、本学の情報通信工学科高橋大樹教授の研究室の sefi IUUV-1240 と国立天文台先端技術センターの分光光度計 SolidSpec370 を使用した。Solid Spec370 による結果を Fig.8 に示す。特に $\sim 5\mu\text{m}$ 程度の厚みの黒色レジストをコーティングすれば、赤外線透過率は測定限界値以下の $10^{-3}\%$ 未満に抑えられることが分かった。今後、衛星搭載用に設計するカメラフードの構造から侵入する赤外線の予想値に応じて、この基礎データをベースとして黒色レジストのコートする厚みを決定することとする。

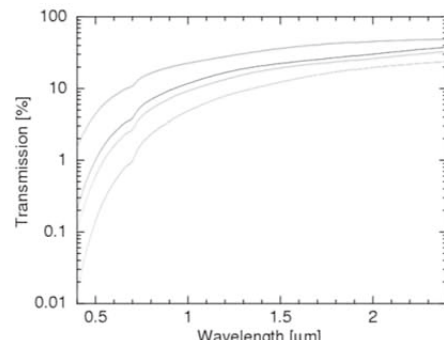


Fig.8 ガラスにコーティングした黒色レジストのサンプル。左から順に、コーティングした厚みが $0.38, 0.68, 0.70, 0.90, 5.6\mu\text{m}$ のサンプルの写真。このサンプルの製作には、情報通信工学科情報ディスプレイ研究室の高橋大樹教授と大学院博士前期課程2年の工藤幸寛さんにご協力頂いた。

3. まとめ

本研究で、OBL をコートした新しいタイプの X 線 CCD の性能評価方法を確立した。特に OBL の X 線透過率に関しては、斜入射法を用いて OBL の厚みを求めることが可能であることを示すことができた。本研究で開発した OBL を装備した X 線 CCD の試作品をベースに、次年度は ASTRO-H 衛星に搭載する X 線 CCD の開発を進める。また X 線に対する性能についても、本学に構築した X 線発生装置を用いて、エネルギー分解能、エネルギースケール等の基本的な性能の評価を行う。

GEM の開発に関しては、今年度、すでに研究開発に最低限必要と考えられる環境は整備できており、次年度は高エネルギーの X 線にも感度がある GEM の性能評価を行う。

4. 謝辞

本研究の遂行にあたり、大阪大学の常深博教授、林田清准教授、立教大学の北本教授には多くの御助言、御支援を賜りました。KEK-PF のビームライン BL-11A, 20A の責任者である伊藤健二教授、北島義典助教には多くの御助言を頂きました。国立天文台の鎌田有紀子氏には、赤外線遮断効果の実証実験において御協力を頂きました。工学院大学の渡辺辰雄氏（化学応用学専攻2年）、河合耕平氏（化学応用学専攻1年）、小川大樹氏（機械工学専攻1年）、池田翔馬氏、金子健太氏（機械工学科4年）、立教大学の坂田和也氏、轟章太郎氏、水野瑛己氏、八木橋伸佳氏、大阪大学の内田 裕之氏、上田周太郎氏には研究の協力を頂いた。ここにお礼申し上げます。

研究成果

① 発表論文

- (1) Kohmura, T., et al “Measuring the EUV and optical transmission of optical blocking layer for x-ray CCD camera”, Space Telescopes and Instrumentation 2010: Ultraviolet to Gamma Ray. Edited by Arnaud, Monique; Murray, Stephen S.; Takahashi, Tadayuki. Proceedings of the SPIE, Volume 7732, pp. 77323D-77323D-8 (2010)
- (2) Tsunemi, H., et al., “Soft x-ray imager (SXI) onboard ASTRO-H”, Space Telescopes and Instrumentation 2010: Ultraviolet to Gamma Ray. Edited by Arnaud, Monique; Murray, Stephen S.; Takahashi, Tadayuki. Proceedings of the SPIE, Volume 7732, pp. 773210-773210-11 (2010)
- (3) Takahashi, T., et al, “The ASTRO-H Mission”, Space Telescopes and Instrumentation 2010: Ultraviolet to Gamma Ray. Edited by Arnaud, Monique; Murray, Stephen S.; Takahashi, Tadayuki. Proceedings of the SPIE, Volume 7732, pp. 77320Z-77320Z-18 (2010)
- (4) Morii, M., et al., “Suzaku Observation of the Anomalous X-Ray Pulsar 1E 1841-045”, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 62, No. 5, pp. 1249-1259, 2010

② 学会発表

- (1) M. Ishida, M. Tsujimoto, T. Kohmura, M. Stuehlinger, M. Smith, H. Marshall, M. “Cross calibration of Suzaku/XMM/ Chandra with PKS2155-304”, International Astronomical Consortium for High Energy Calibration, Massachusetts, USA, 4月12日
- (2) 藤永貴久, 穴吹直久, 尾崎正伸, 堂谷忠靖, 中嶋大, 林田清, 常深博, 松田桂子, 馬場彩, 青山翔一, 森浩二, 幸村孝由, 鶴剛, 湯浅孝行 “SpaceWire を利用した ASTRO-H 衛星搭載 X 線 CCD カメラデータ取得系の開発”, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 千葉市幕張メッセ国際会議場, 5月26日
- (3) H. Tsunemi, T. Dotani., T.G. Tsuru., K. Hayashida., J. Hiraga., N. Anabuki., A. Bamba., I. Hatsukade., T. Kohmura. et al, “Soft X-ray Imager (SXI) onboard ASTRO-H” SPIE, Space Telescopes and Instrumentation 2010, San Diego, USA, 6月30日
- (4) T. Kohmura., T. Watanabe., K. Kawai., S. Kitamoto., H. Murakami., E. Takenaka., K. Nagasaki., K. Higashi., M. Yoshida., H. Tsunemi., K. Hayasida, et al, “Measuring the EUV and optical transmission of optical blocking layer for x-ray CCD camera” SPIE, Space Telescopes and Instrumentation 2010, San Diego, USA, 7月1日
- (5) 河合耕平, 幸村孝由, 渡辺辰雄, 小川大樹, 池田翔馬, 牛山薫, 金子健太, 川島成輝 (工学院大学), 北本俊二, 村上弘志 (立教大学), 常深博,

林田清, 中嶋大, 穴吹直久 (大阪大学), 鶴剛 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 森浩二 (宮崎大学), 平賀純子 (東京大学), 他 SXI チーム, “薄膜フィルムをコーティングした新型 X 線 CCD の研究開発”, 第 40 回天文・天体物理若手夏の学校, ホテル日航豊橋, 8月3日

- (6) 小川大樹, 金子健太, 幸村孝由 (工学院大), 本田章浩 (東京大学), “GEM(Gas Electron Multipulier)を用いた高エネルギー帯の X 線検出”, 第 40 回天文・天体物理若手夏の学校, ホテル日航豊橋, 8月3日
- (7) 幸村孝由, 河合耕平, 渡辺辰雄, 池田翔馬, 牛山薫, 北本俊二, 村上弘志, 八木橋伸佳, 水野瑛己, 轟章太郎, 坂田和也, 常深博, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久, 内田裕之, 上田周太郎, 鶴剛, 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 馬場彩, 藤永貴久, 森浩二, 平賀純子, “ASTRO-H 衛星搭載 X 線 CCD カメラ (SXI) の可視光・紫外線遮断用フィルムの開発”, 日本物理学会 2010 年秋季年会, 九州工業大学, 9月10日
- (8) 轟章太郎, 北本俊二, 村上弘志 (立教大理), 松本浩典 (名古屋大理), 林田清, 常深博, 中嶋大 (大阪大理), 幸村孝由 (工学院大) 小山勝二, 鶴剛 (京都大理), 森浩二 (宮崎大工) 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 辻本匡弘, 馬場彩 (ISAS/JAXA), 他すざく XIS チーム, “すざく衛星搭載 XIS の OBF の破れの評価”, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 金沢大学, 9月22日
- (9) 小川大樹, 幸村孝由, 河合耕平, 渡辺辰雄, 池田翔馬, 牛山薫, 金子健太, 川島成輝, 高橋泰樹, 工藤幸寛 (工学院大), 常深博, 林田清, 中嶋大 (大阪大), 鶴剛 (京都大), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 北本俊二, 村上弘志 (立教大), 鎌田有紀子 (国立天文台), SXI チーム, “宇宙 X 線用 CCD の赤外線遮光対策”, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 金沢大学, 9月22日
- (10) 河合耕平, 幸村孝由, 渡辺辰雄, 小川大樹, 池田翔馬, 牛山薫 (工学院大), 常深博, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久, 上田周太郎 (大阪大), 鶴剛 (京都大), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 北本俊二, 村上弘志 (立教大), SXI チーム, “X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X 線 CCD カメラ (SXI) の可視光遮断対策”, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 金沢大学, 9月22日
- (11) 藤川真里, 中嶋大, 上田周太郎, 小松聖児, 森秀樹, 内田裕之, 穴吹直久, 林田清, 常深博 (大阪大学), 尾崎正伸, 池田博一 (JAXA 宇宙研), John P. Doty (Noqsi Aerospace Ltd.), 鶴剛 (京都大学), 幸村孝由 (工学院大学), 他 ASTRO-H SXI チーム, “ASTRO-H 搭載用軟 X 線撮像検出器 (SXI) 信号処理用 ASIC の開発の現状”, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 金沢大学, 9月22日
- (12) 金子健太, 小川大樹, 幸村孝由 (工学院大学), 本田章浩 (東京大学), “工学院大学における GEM 研究の現状”, 第 7 回 Micro Pattern Gas Detector 研究会, 山形大学, 11月27日
- (13) 河合耕平, 渡辺辰雄, 池田翔馬, 牛山薫, 金子健太, 幸村孝由 (工学院大学), 北本俊二, 村上弘志, (立教大学), 常深博, 林田清, 穴吹直久, 中嶋大, 上田周太郎 (大阪大学), 鶴剛 (京

都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 馬場彩, 藤永貴久, 松田桂子 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (東京大学), 森浩二 (宮崎大学), 第 11 回宇宙科学シンポジウム, JAXA 宇宙科学研究所 相模原キャンパス, 1月6日

(14) 金子健太, 小川大樹, 幸村孝由 (工学院大学), 本田章浩 (東京大学), “ガス電子増幅器 (GEM) の硬 X 線検出器への応用”, 第 11 回宇宙科学シンポジウム, JAXA 宇宙科学研究所 相模原キャンパス, 1月6日

(15) 渡辺辰雄, 幸村孝由, 河合耕平, 池田翔馬, 牛山薫, 金子健太 (工学院大学), 北本俊二, 村上弘志, (立教大学), 常深博, 林田清, 穴吹直久, 中嶋大, 上田周太郎 (大阪大学), 鶴剛 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 馬場彩, 藤永貴久, 松田桂子 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (東京大学), 森浩二 (宮崎大学), “X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X 線 CCD (SXI) の紫外線対策”, 第 24 回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウム, つくば国際会議, 1月10日

(16) 河合耕平, 渡辺辰雄, 池田翔馬, 牛山薫, 金子健太, 幸村孝由 (工学院大学), 北本俊二, 村上弘志, (立教大学), 常深博, 林田清, 穴吹直久, 中嶋大, 上田周太郎 (大阪大学), 鶴剛 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 馬場彩, 藤永貴久, 松田桂子 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (東京大学), 森浩二 (宮崎大学), “可視光・紫外線遮光用フィルムをコートした裏面照射型 CCD の軟 X 線に対する応答の研究”, 第 28 回 PF シンポジウム, つくば国際会議場, 3月14日

(17) 幸村孝由, 河合耕平, 渡辺辰雄, 池田翔馬, 牛山薫, 金子健太 (工学院大学), 北本俊二, 村上弘志, (立教大学), 常深博, 林田清, 穴吹直久, 中嶋大, 上田周太郎 (大阪大学), 鶴剛 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 馬場彩, 藤永貴久, 松田桂子 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (東京大学), 森浩二 (宮崎大学), “ASTRO-H 衛星搭載 X 線用 CCD の可視光・紫外線遮光対策”, 第 28 回 PF シンポジウム, つくば国際会議, 3月14日

(18) 上田周太郎, 中嶋大, 林田清, 森秀樹, 藤川真里, 穴吹直久, 常深博, 幸村孝由, 他 ASTRO-H/SXI チーム, “ASTRO-H 搭載軟 X 線カメラ (SXI) 用 CCD 素子の性能評価 (II): SXI プロトモデル素子の低エネルギー応答の改善”, 日本物理学会 2011 年春季年会, 新潟大学

(19) 鶴剛, 常深博, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久, 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 馬場彩, 幸村孝由, 村上弘志, 平賀純子, 森浩二, 廿日出勇, 山内誠, 他 SXI チーム, “X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X 線 CCD カメラ SXI の開発の現状”, 日本物理学会 2011 年春季年会, 新潟大学

氷海船舶の船体氷荷重分布推定手法の高度化

工学院大学 工学部機械工学科 金野 祥久

海上技術安全研究所 流体設計系 松澤 孝俊

Enhancement of Estimation Method for Distribution of Ice Loads on Ship in Ice

Akihisa Konno, Department of Mechanical Engineering
Takatoshi Matsuzawa, National Maritime Research Institute

ABSTRACT: Finnish-Swedish ice class rules require performance estimation of ship maneuvering in brash ice condition. We have developed numerical estimation method of the above situation, and applied it to the simulation of ship navigation in a channel filled with small ice pieces. To estimate ship performance in a brash ice channel numerically, it is important to prepare an appropriate channel condition. However, effect of channel conditions against ice resistance was not extensively investigated. In addition, effect of flow field around ship hull against the resistance was not incorporated into the simulation. In this paper, we investigate the effect of flow field around the ship hull and the initial ice conditions against the ship resistance by numerical simulations. Effect of the flow field is incorporated to the simulation in one-way: the effect of fluid flow to the ice motion is considered, but the influence of ice motion to the fluid flow is ignored. Ten initial ice conditions are prepared with different ice sizes: three cases have regular ice arrangements and the others have irregular ice arrangements. As a result, it is observed that the effect of the flow field around the hull against the ship resistance is small. The effect of ice arrangements against the ship resistance is not negligible, and is not a simple relationship and depends on the size of ice pieces. The effect of shape ratio of spherical and cubic ice pieces is significant so that the appropriate ratio to represent the real brash ice channel should be investigated.

1. はじめに

近年の原油価格の高騰を契機として、氷海域でのエネルギー資源開発が再評価されている。我が国近郊でも、1999年にオホーツク海北部のサハリン沖で石油・天然ガスの商業生産がはじまっている。これらのエネルギー資源を輸送する目的で、砕氷型あるいは耐氷型船舶への関心が高まっており、アイスクラスを保有する船舶も年々増加している。

砕氷船または耐氷型海洋構造物を設計するに際してその砕氷・耐氷性能を予測するためには、現時点では氷海試験水槽での模型試験がもっとも有効で現実的な方法だと考えられる。特に設計の最終段階では、船型模型を作成して実験し、その設計の有効性を確認する必要がある

う。しかし設計の初期の段階で、多くの設計パラメタに対して最適な値を見つけようとするときには、氷海試験水槽での模型試験は安易に実施できる方法ではない。現在、日本で稼動している氷海試験水槽は独立行政法人海上技術安全研究所が所有する水槽など数機関に限定される。また氷海水槽の実験では氷を張る必要があり、1枚の氷に対して実施可能な実験内容は限定されるなどの理由から、多数の実験を行うには時間的・予算的な制約を受ける。

開水中を航行する船舶の抵抗等の評価では数値解析が利用されるようになってきている。氷海を航行する船舶では上記のような実験上の制約があることから、数値解析による抵抗等の評価は開水中船舶以上に意義があると考えられる。しかし実際には氷海を航行する船舶の性能解析

手法は、開水中での解析ほどに信頼できるとは言い難い。

このような数値解析による性能評価が求められている状況のひとつに、水路中に砕氷片が密集した小氷片密集水路 (**brash ice channel**) を航行する船舶の性能解析が挙げられる。北極海やバルト海では、砕氷船が先行して形成した水路を商船 (必ずしも砕氷船型ではない) が航行することが頻繁にある。**brash ice channel** 中を航行するときの抵抗は平坦水中砕氷抵抗の約 80% となる場合があることが知られている [1]。バルト海航行船舶の認証規則 (Finnish-Swedish Ice Class Rules [2], 以下 FSICR) では **brash ice channel** を航行する際の抵抗と必要機関動力の評価を義務づけている。

このルールでは数値解析での評価により認証を受けることも可能であるが、**brash ice channel** 中の抵抗評価手法の研究はほとんど行われていないのが現状である。これは **brash ice channel** 中の航行では、多数の氷片が周囲の氷片、氷板や船体および流体と相互干渉しながら並進・回転する現象が本質なので、これまで研究されてきた開水中での船体抵抗評価手法、または平坦氷砕氷時の評価手法が応用できないことが大きな要因である。

著者らのグループでは 2003 年から、船体周りの氷片運動の解析手法を研究・開発してきた。物理ベースモデリングと呼ばれる解析手法を適用し、船体まわりでの複数氷片の衝突と摩擦を伴う運動の解析を可能とした。これまでの成果として、単純形状船型模型を用いた模型実験との比較によりその正当性を確認しているほか、この解析手法に基づく船体抵抗の評価にも取り組み一定の成果を挙げている。2009 年度からは科学研究費 (若手研究 (B), 2009~2010 年度, 21760671) および造船学術研究推進機構 (2009 年度) の補助を受けて研究しており、計算規模の拡大への対処や解析条件の確立などの成果を得ている。またこれまで船体全体に作用する氷荷重を船体抵抗として捉えて解析してきたが、各氷片の衝突・接触を追跡することにより、船体に作用する局所氷荷重を評価することができるようになってきている。これにより、FSICR が求める船舶の安全性評価に対応する解析を行う見通しが得られたと考えている。

局所氷荷重評価の研究の弱点として、実験結果を用いた解析結果の検証が不十分であることが挙げられる。これは適切な比較対象となる実験データや文献が少なく、特に船型と氷片の初期条件を明記している研究報告が非常に限られることが大きな要因である。

本プロジェクト研究では、この弱点を海上技術安全研究所の所有する氷海水槽を用いた実験および実船実験によって補い、氷荷重分布を数値解析によって予測する手法を確立することを具体的な目標とする。数値解析を工学院大学で行い、対応する模型実験を海上技術安全研究所で行う。

本稿執筆の時点では数値解析による研究が先行しており、模型実験は準備段階なので、本稿では数値解析による研究成果を報告する。数値解析を用いた 2010 年度の

研究では、特に氷荷重の解析条件への依存性を詳細に調査し、氷片配置の影響はわずかにあるものの顕著ではないこと、水路遠方での氷片運動の拘束 (先詰まり) は氷荷重にほとんど影響しないこと、流れ場が各氷片に与える流体力の評価手法は氷荷重に影響するが、流れ場の解析手法はあまり影響しないこと、氷片の形状分布の影響は顕著であり、適切な形状分布を選択することで予測精度を向上できる可能性があることなどを見いだした。以降でこれらの成果の詳細を報告する。

2 解析手法と解析条件

2.1 氷片挙動の解析手法—物理ベースモデリング

氷片運動の解析のためには、氷片と船体、および氷片同士の衝突、摩擦を取り扱う必要がある。特に **brash ice channel** の解析を行うことを考えると、氷片の大きさは船幅の 1/10~1/100 のオーダーでありこれが水路中に密集しているので、多数の小物体同士の衝突、摩擦を伴った運動を取り扱う手法が必要である。

本研究では、先行する研究 [3-8] と同様に物理ベースモデリング (Physically Based Modeling) と呼ばれる手法 [9, 10] を氷片運動の解析に適用している。物理ベースモデリングとは、物体の衝突、摩擦を含めた運動を解くための手法の一つである。本研究では物理ベースモデリングのライブラリである **Open Dynamics Engine (ODE)** [11] を利用して氷片運動を解析するプログラムを作成し、解析に供する。解析手法の詳細は著者らの論文 [4] で報告している。

2.2 解析の概略と流れ場の数値解析手法

本研究の目的のひとつに、氷荷重に対する流れ場の影響を検討することがある。この影響を詳細に調査するためには、理想的には流れ場と氷片運動との相互作用を含めた解析を行いたい。しかし流れ場と氷片運動との相互作用を含めた解析は非常に困難であり著者はその技術を有していない。また流れ場の影響の大小を検討するためには、詳細な相互干渉まで解析する必要はないと考え、本研究ではまず氷片が存在しない開水中航行を仮定して流れ場を解き、次にその流れ場の影響を取り入れた氷片運動解析を行う、という手順で解析している。氷片の存在は流れの運動量を散逸する方向にはたらくと考えられることから、上記の方法は流れ場の氷荷重への影響を過大に評価する可能性があるが、この点に留意しつつ定性的な検討は可能であると判断した。

流れ場の解析にはオープンソースの数値流体解析ライブラリ **OpenFOAM** [12] が提供する非圧縮定常ソルバ **simpleFoam** を用いる。なお船体後流流れ場の影響を定性的に検討することが目的なので、船体まわりのおおよその流れ場が再現できれば十分であると考え、格子の品質や乱流モデルの選択など、解析精度の厳密な検討は省略している。

2.3 解析条件

本研究の解析では、船型として（独）海上技術安全研究所で開発された単純形状模型船型 B-063 (Fig. 1) を用い、模型実験スケールの現象を数値的に再現する。この船型は実験用の単純形状模型で、Fig. 1 に示すように六角錐台形状をしている。垂線間長は 3.04m である。船体両端のいずれも船首として実験に供することができるが、本研究では船首 (Fig. 1 の上面図、側面図で左側) を用いる。

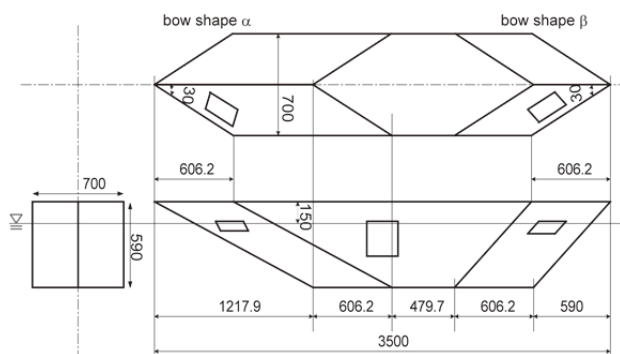


Fig. 1 Model ship B-063

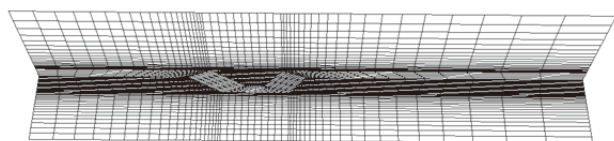


Fig. 2 Structured mesh for CFD of model ship B-063
(1/2×1/2×1/2 coarsed mesh is shown.)

流れ場の解析では、Fig. 2 に示す解析格子（構造格子・格子数約 313 万）を用いて乱流・非圧縮・定常計算を行う。模型スケールを想定してレイノルズ数を 5×10^5 とし、乱流モデルには標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いる。解析領域は（独）海上技術安全研究所の氷海船舶試験水槽に準じ、領域の幅を 6 m（ただし左右対称を仮定して 3m のみ解析）、水深を 1.8 m としているほか、Hirata and Hino [13] の船体まわり流れ解析に準じ、船体前方に 1 船長、後方に 2 船長 ($-3.5 \text{ m} < x < 10.5 \text{ m}$) の計算領域を取っている。なお、前述したように船体まわりのおおよその流れ場が再現できれば十分であると考え、格子の品質や乱流モデルの選択など、解析精度の厳密な検討は省略している。

自由表面の変形は無視し、流速の境界条件は水面を摩擦無し境界、流出は自由流出条件としている。圧力は水面で一定とし、それ以外の境界は対称境界を除いてゼロ勾配条件とする。

氷片挙動の数値解析は以下の仮定に基づいて行う。

1. 氷片と船体は剛体として取り扱う。その変形や破壊は考慮しない。
2. 模型船は定速で航行する。船体の動揺は考慮しない。また、水路を形成する左右の氷板は固定とする。氷片も初期状態では静止とする。

3. 氷片には外力として重力と浮力に加え、以下の式で示される外力（流体力）を与える。

$$F_v = C_D A \cdot \frac{1}{2} \rho (v - v_l) (\vec{v} - \vec{v}_l) \quad (1)$$

ここに C_D は氷片にはたらく抗力の抗力係数、 A は氷片の前方投影面積、 ρ は水の密度、 \vec{v} は氷片の移動速度である。 \vec{v}_l は船体まわりの局所流速である。従ってこの式は、流れの中で相対運動している氷片を流れ場と同じ速度にしようとする力を与えていることになる。

4. 浮力は静水圧のみ考慮し、数値積分により求める。流れによる圧力の変動、および自由表面の変形による静水圧の変動は考慮しない。
5. 結氷層 (consolidated layer) は存在しないものとする。物体同士は付着せず、接触時には摩擦（クーロン摩擦）および反力のみを考慮する。

氷片の抗力係数として、本研究では、 $C_D=0.4$ を採用する。本研究で採用している氷片サイズ（実船スケールに換算すると約 1 m）と船速（実船スケールで約 5 ノット）を代表長さとするレイノルズ数は 10^6 のオーダーである。氷片の運動は船体の運動よりも遅いと考えられるので、レイノルズ数 $10^3 \sim 10^5$ の領域での球の抗力係数 0.4 を採用している。流れ場の解析では模型スケールを想定しているが、この場合でも球の抗力係数はほぼ変わらない。また前方投影面積 A は球の場合は適切な値を与えることができる。

立方体氷片については、 C_D は球と同じ 0.4 とし、前方投影面積 A は、氷片の進行方向にかかわらず立方体の 1 面の面積とする。本研究の解析では氷片形状を球と立方体形状としているものの、実際の海域でこのような幾何学的な形状の氷片が多数あることは考えられない。したがって立方体の抗力係数や前方投影面積を正確に求めることで現実の状況をよりよく再現できるようになるわけではない。このため、流体力の代表値の意味で、球の抗力係数と立方体の面の面積とを採用している。

また本研究では流れ場の影響を調べるため、流れ場を考慮しない場合 ($\vec{v}_l = 0$)、および流れ場を考慮する場合の解析を行う。流れ場を考慮する場合には、 \vec{v}_l に前述した数値流体解析の結果から求めた局所流速ベクトルから船速を引いたベクトルを設定する。

解析に用いるパラメタとして、解析時間 20 s、時間刻み 0.01 s を選択する。水の密度は 1000 kg/m^3 、氷の密度は過去の研究と合わせて 950 kg/m^3 、反発係数は氷と氷、氷と船のいずれの衝突でもゼロとする。氷片同士の摩擦の摩擦係数は、過去の研究 [3] での検討に基づき 1.35 を与える。氷片と船体との摩擦係数は、Finnish Swedish Ice Class Rules の適用ガイドライン [14] に従い、0.1 を与える。船速を 1 knot = 0.514 m/s とする。

Fig. 3 に本解析で用いる氷片の初期配置を示す。

本研究では Fig. 4 に示すように氷片を規則的に配置し

た条件と、先行する研究[15]において開発した、氷片を不規則に配置した条件での解析を実施する。詳細な実験条件は Table 1 に示している。また水路幅は FSICR の適用ガイドライン[14]での模型実験条件を適用して 1.394 m とする。

Table 1 Main simulation cases

Case Name	Ice Size	Arrangement	Num. of Pieces	Channel Length
AR	Large	Regular	10000	12.095 m
AI	Large	Irregular	10000	12.069 m
BR	Medium	Regular	80000	12.095 m
BI	Medium	Irregular	80000	16.288 m
CR	Small	Regular	120000	5.644 m
CI	Small	Irregular	126000	5.251 m

In these cases, the numbers of spherical and cubic ice pieces are equal. Unequal cases correspondent to Cases AI and BI are also prepared.

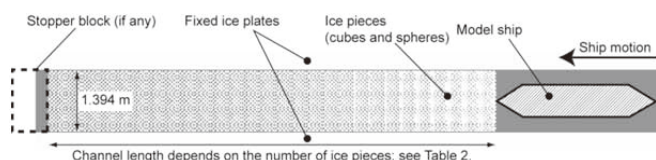


Fig. 3 Initial arrangement of ice pieces. Top view

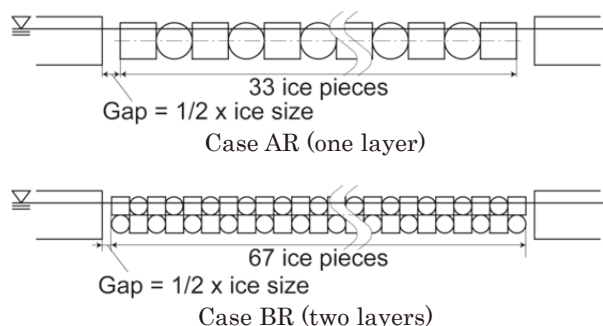


Fig. 4 Initial arrangements of ice pieces for regular arrangement. Sections normal to the direction of ship motion are shown.

3 解析結果と考察

Fig. 5 に OpenFOAM による流れ場の解析結果を示す。船尾後方から船体方向を見ている図であり、図中の白線は船首前方の水面近傍を通る流線を示している。また船体表面および対称境界面での圧力をグレースケールで表示している。

流れ場解析では、特に船体後流での流れの縦渦を解析できている。本解析の精度の検討は十分とは言えないが、今回の解析に用いた船型 B-063 が角を持ち剥離流れを形成しやすいため、一般的な船体の後流場よりも強い渦が出ていると考えられ、氷片挙動への影響を定性的に検討するには十分な前提条件が得られたと考えている。

Fig. 6~Fig. 9 には、各解析条件で船体にはたらく抵

抗（氷荷重）の時間変化を示している。このうち Fig. 6~Fig. 8 では、球形氷片と立方体氷片の個数を 1:1 とした解析結果を示している。

まず Fig. 6 に流れ場を考慮した場合としない場合との、氷荷重の差異を示す。図から明らかなように、流れ場の考慮の有無によっては氷荷重はほぼまったく変化しないことが分かる。

本研究では氷片にはたらく流体力を式(1)で与えているが、この式中の抗力係数 (C_D) を変化させると氷荷重が顕著に変化することが分かっている。具体的には抗力係数が大きいほど氷荷重は大きい。一方で今回の解析結果では、流れの影響が出やすいと考えられる流れ場と解析条件を用いたにも関わらず、氷荷重に明確な差異は観察されない。従って流体力の各氷片挙動への影響は大きいものの、式(1)において $\vec{v}_i = 0$ と与えるか、流れ場を CFD で解析して与えるかによっては氷荷重は変化しないことを意味する。

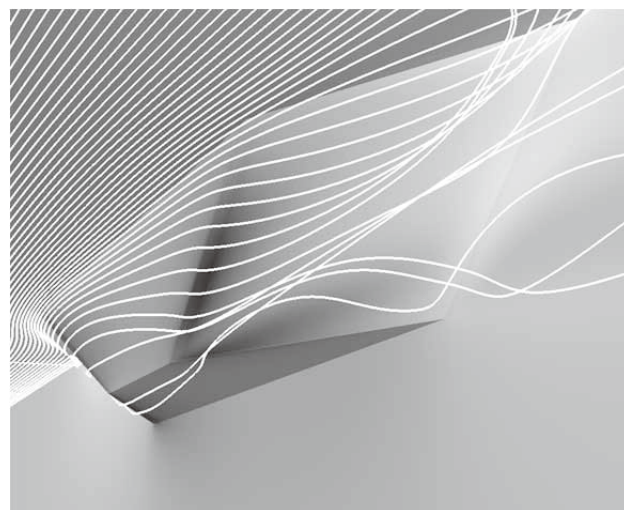


Fig. 5 Flow field around the model ship. Stern view. Streamlines started near the surface and pressure distribution on the ship hull are shown.

次に Fig. 7 に、氷片配置の違いによる氷荷重の差異を示す。

この図から、氷片が大きい場合 (Case AR, AI) には氷荷重の違いは顕著であり、氷片を規則的に配置した方が氷荷重が大きいことが分かる。しかし Case BR と BI においてはその差は小さくなっており、また Case CR と CI においては力関係が逆転し、不規則配置のほうが規則的配置の場合よりもわずかながら氷荷重が大きいという結果となっている。

本稿執筆時点ではこのような結果を得た原因を解明できていないが、氷片が十分に小さい場合には規則的配置と不規則配置との違いは小さいことが予想される。この点の解明は今後の研究課題である。

Fig. 8 に、水路遠方での氷片運動の拘束（先詰まり）の有無による、氷荷重の差異を示す。先詰まりがある解析条件では、水路遠方に壁を設置し、氷片がその壁より

も遠方には移動できないようにすることで、先詰まりと同じ効果を実現している。またこの解析においては規則的氷片配置 (Case BR, CR) を用いている。

図から明らかなように、拘束の有無による氷荷重の差異はほとんど観察されない。小さい氷片を用いた場合 (Case CR) の場合は時刻 11 s ~ 12 s のときに氷荷重が急上昇するが、これは船体が水路遠方の壁の近傍まで到達した場合である。それ以前、具体的には時刻 10 s までは氷荷重にほとんど差がない。このことから、Case CR の場合を除き、現在解析に用いている水路長さは氷荷重の評価に利用するためには十分に長く、先詰まりの有無による差が出ないと考えられる。

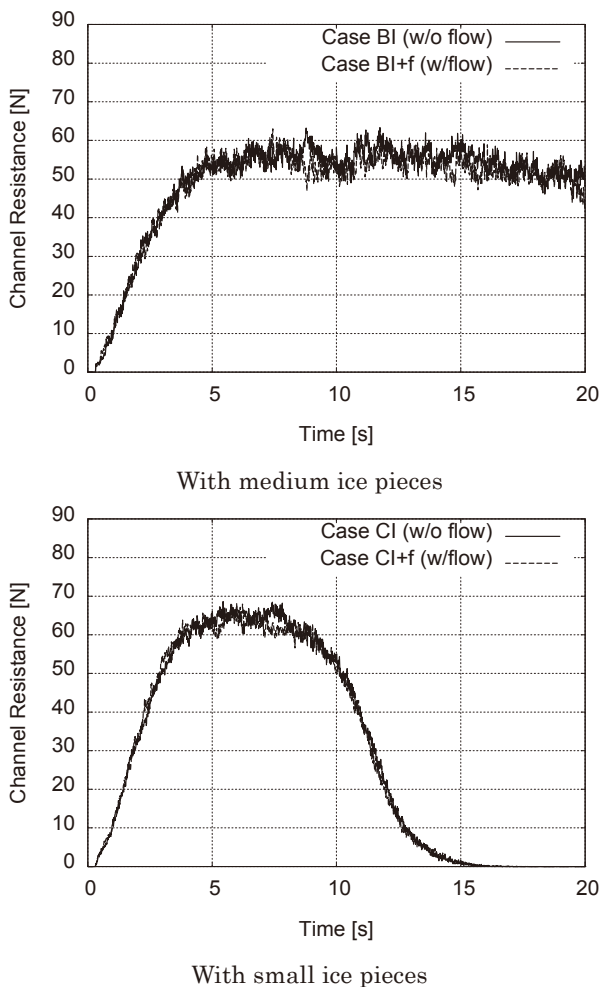


Fig. 6 Time series of channel resistances with and without consideration of flow field around the ship hull

Fig. 9 に氷片の形状分布を変えた場合の氷荷重の差異を示す。解析には不規則配置 (Case AI, BI) を用い、それぞれの場合において球形氷片と立方体氷片の個数比を 7:3, 5:5, 3:7 と変えた場合の、それぞれの氷荷重を示している。このように球形氷片と立方体氷片の個数を任意に設定できるのは、本研究に先行する研究[15]において不規則配置を可能としたためである。規則的配置では任意の個数比を設定することは難しいと考えられる。

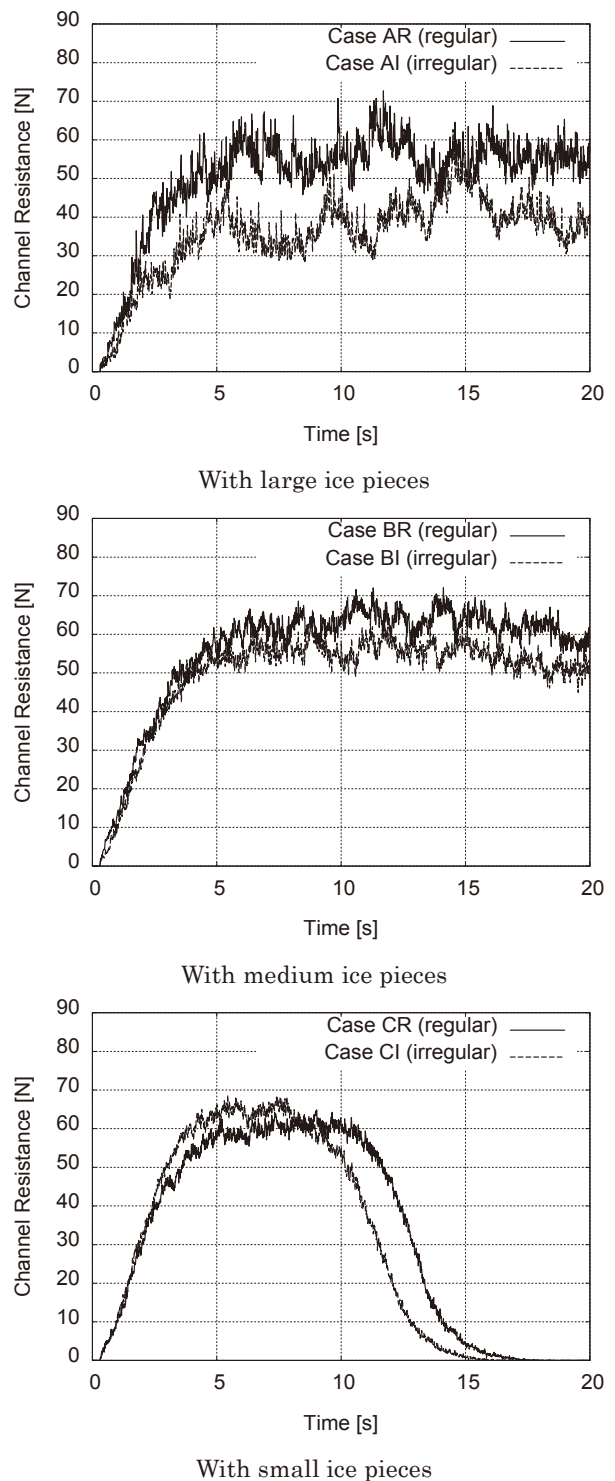


Fig. 7 Time series of channel resistances with different channel arrangements

Fig. 9 から、氷片の形状分布 (個数比) は氷荷重に大きく影響することが分かる。球形氷片が多い場合は氷荷重が大きく、立方体氷片が多いと氷荷重は小さい。

著者らの先行研究[7]において、規則的氷片配置で個数比が 5:5 の場合には、著者らの解析は氷荷重 (チャンネル抵抗) を FSICR の評価式と比較して 2 倍程度過大評価することが分かっている。本研究の結果を敷衍すると、個数比を適切に調節することで、FSICR の評価式と同程度の解析精度を実現できる可能性がある。

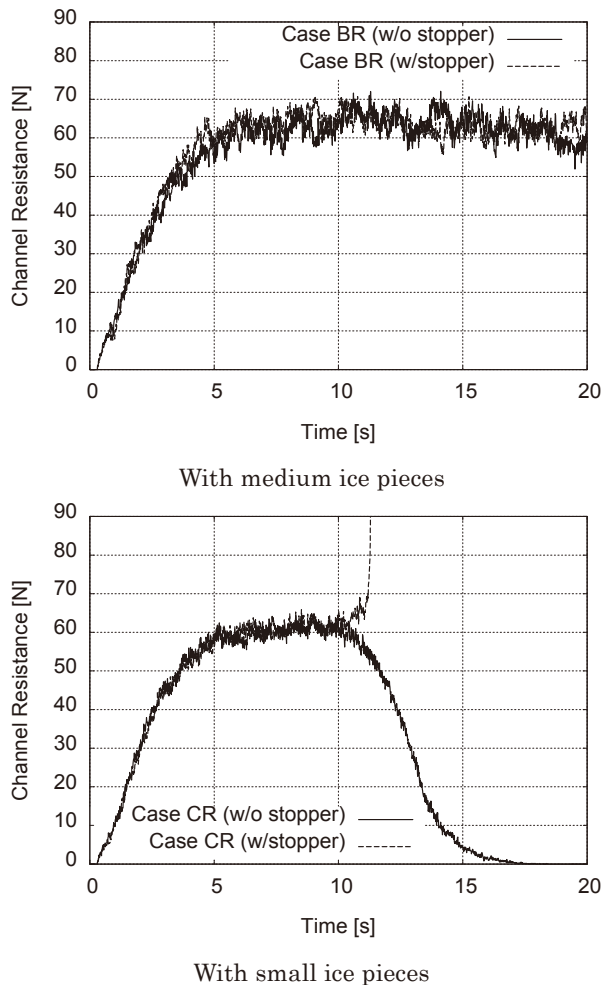


Fig. 8 Time series of channel resistance with and without stopper block. Cases with regular arrangements are used.

4 結論と今後の課題

本研究は氷荷重分布を数値解析によって予測する手法を確立することを具体的な目標としている。数値解析を工学院大学で行い、対応する模型実験を海上技術安全研究所で行うが、本稿執筆時点では数値解析の研究を先行して行っている。著者らの開発したシミュレータおよび数値流体解析ライブラリ OpenFOAM を用い、(独)海上技術安全研究所の所有する模型船型 B-063 を解析対象とし、氷荷重に対する流れ場の与え方の影響、氷片の配置方法による影響、先詰まりの有無の影響、氷片形状分布の影響について検討した。その結果、船体周りの流れ場の与え方による氷荷重の差異は小さいこと、氷片の配置による差異は観察されるが氷片が小さい場合には差異が小さいこと、先詰まりの有無による差異は小さいことが分かった。一方で氷片形状分布が氷荷重に与える影響は大きいことを示す結果を得ており、適切な分布を与えることで FSICR の評価式と同程度の解析精度を実現できる可能性がある。

本研究ではまだ特定の船型のみでの解析しか行っておらず、今後の解析の積み上げが必要である。また氷片の

形状分布や流れ場の解析精度の検討も十分ではなく、今後更なる検討を要する。2011 年度以降は、解析の妥当性を複数の船型を用いた実験によって検証すること、局所氷荷重の評価を行うことを計画している。

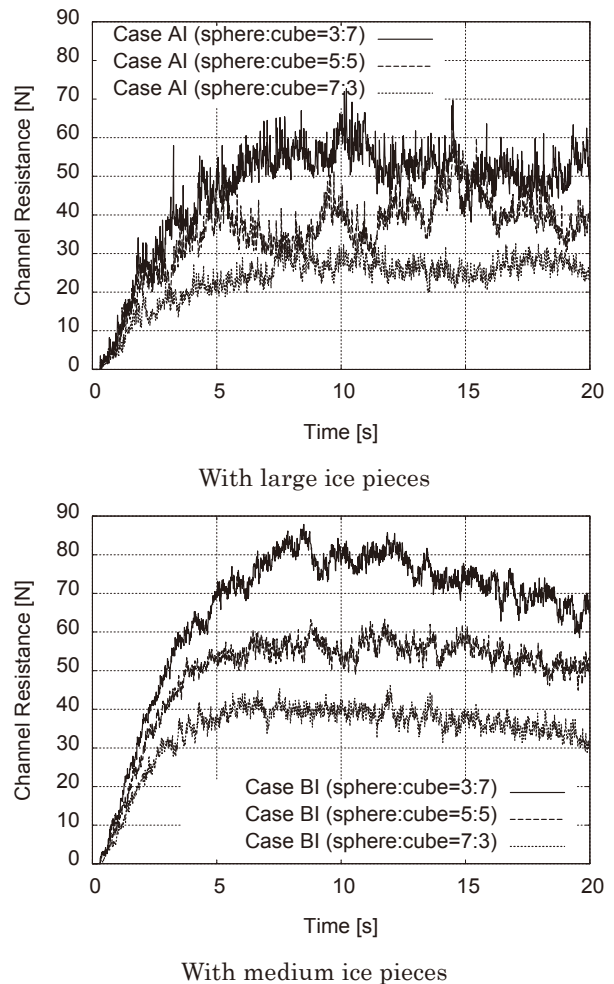


Fig. 9 Time series of channel resistances with different number ratios of spherical and cubic ice pieces. Cases with irregular arrangements are used.

謝辞

本研究は工学院大学総合研究所プロジェクト研究費 (2010 年度) のほか、科学研究費 (若手研究(B), 2009 ~2010 年度, 21760671) および造船学術研究推進機構 (2009 年度) の助成を受けて行われた。また独立行政法人海上技術安全研究所から模型船型 B-063 の船型データの提供を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 野澤和男, 氷海工学, 成山堂書店, 2006.
- [2] Finnish Maritime Administration. Guidelines for the application of the Finnish-Swedish ice class rules. Finnish Maritime Administration Bulletin No. 14/20.12.2005, 2005.

- [3] 金野祥久, 水城崇, 山本敬介, 安木正樹, 若生大輔, 瀧本忠教, 金田成雄, 下田春人, 泉山耕. 砕氷船の性能評価を目的とした船体周りの氷片挙動シミュレータの開発. 日本船舶海洋工学会論文集, Vol. 8, pp. 99-106, 2008.
- [4] 金野祥久, 吉本和弘. 物理ベースモデリングに基づく brash ice channel 航行船舶の抵抗評価手法の開発. 日本船舶海洋工学会論文集, Vol. 10, pp. 49-56, 2009.
- [5] 金野祥久, 吉本和弘. 船舶のチャンネル内氷片排除能力の数値シミュレーションによる推定. 寒地技術論文・報告集, Vol. 23, pp. 208-212, 2007.
- [6] 金野祥久, 吉本和弘. 船舶のチャンネル内氷片排除能力の数値シミュレーションによる推定(第2報: brash ice channel における氷片排除能力の評価). 寒地技術論文・報告集, Vol. 24, pp. 222-226, 2008.
- [7] Akihisa Konno, RESISTANCE EVALUATION OF SHIP NAVIGATION IN BRASH ICE CHANNELS WITH PHYSICALLY BASED MODELING, 20th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions 2009, June 2009.
- [8] 金野祥久, 齋藤耕. 船舶のチャンネル内氷片排除能力の数値シミュレーションによる推定(第3報: 氷片排除能力に対する氷片配置と垂線間長の影響). 寒地技術論文・報告集, Vol. 25, pp. 202-206, December 2009. CD-ROM.
- [9] David Baraff. Physically based modeling: Principles and practice; rigid body simulation I; unconstrained rigid body dynamics. Siggraph '97 Course notes, 1997.
- [10] David Baraff. Physically based modeling: Principles and practice; rigid body simulation II; nonpenetration constraints. Siggraph '97 Course notes, 1997.
- [11] Russel Smith. Open Dynamics Engine v0.5 User Guide, 2004. <http://www.ode.org/> (2010年10月25日確認).
- [12] Hrvoje Jasak, Aleksandar Jemcov, and Željko Tuković. OpenFOAM: A C++ library for complex physics simulations. In International Workshop on Coupled Methods in Numerical Dynamics, September 2007.
- [13] Nobuyuki Hirata and Takanori Hino. An efficient algorithm for simulating free-surface turbulent flows around an advancing ship. 日本造船学会論文集, Vol. 185, pp. 1-8, 1999.
- [14] Finnish Maritime Administration. Guidelines for the application of the Finnish-Swedish ice class rules. Finnish Maritime Administration Bulletin No. 14/20.12.2005, 2005.
- [15] Akihisa Konno and Osamu Saitoh. Preparation method of numerical ice channel and its evaluation for simulation of navigation in ice. In Proceedings of the

25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, pp. 154-159, 2010.

原子間力顕微鏡による上皮成長因子受容体の 1 分子計測技術の開発 及び数理モデルベース解析への応用に関する研究 —中間報告：原子間力顕微鏡のステージ位置制御系の性能改善—

工学院大学 機械システム工学科 中荃隆

理化学研究所 免疫・アレルギー科学総合研究センター 佐伯夕子

Development of high-speed AFM for single molecule imaging of EGFR

— Interim report : Performance enhancement of stage positioning control of AFM —

Takashi Nakakuki, Department of Mechanical Systems Engineering, Kogakuin University

Yuko Saeki, Research Center for Allergy and Immunology, RIKEN

ABSTRACT : In this report, we propose a new design method for stage positioning control of atomic force microscope (AFM). Our controller contains switching action to cope with discontinuous disturbance that is not satisfied matching condition. Since the control input signal is employed to draw a sample surface shape in the AFM system, we introduce a smoothing method in our control law to reduce undesired high-frequency switching signals, aiming to realize high-speed measurement.

1. はじめに

原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope; AFM) は、走査型プローブ顕微鏡の一種であり、カンチレバーと呼ばれるプローブでステージ上の試料を走査することで試料の 3 次元画像を得ることができる。試料表面の微小な凹凸は、カンチレバーと試料間の原子間力によって生じるカンチレバーの「たわみ」となって現れるため、このたわみ量を測定することで凹凸情報が得られる。他の走査型プローブ顕微鏡と異なり、液中での測定や絶縁体試料の測定も可能であり、その分解能はたわみ量を光てこ法で拡大することで、原子の大きさに相当するオングストロームオーダーを有する⁽¹⁾。

AFM には、Constant Height モード、Constant Force モード、Tapping モードの 3 種類の測定モードがある。Constant Height 及び Constant Force モードはカンチレバーを試料に常に接触させた状態で試料を乗せたステージを X-Y 方向に走査するのに対し、Tapping モードではカンチレバーを共振周波数付近で発振させ、試料を「叩

きながら」X-Y 方向に走査する。いずれのモードも適切な条件で測定を行うことで、高分解能の試料表面形状を得ることができるが、1 画像 (例えば 256×256 ピクセル) に分オーダーの測定時間を要するため、AFM は動解像度という点では問題点も多い。このような背景の下、近年、AFM の測定時間の短縮化 (すなわち AFM の高速化) に対する取り組みがハード改良及びソフト改良の両面から行われている。例えば、安藤らは AFM 本体サイズを小さくすることで、カンチレバーの共振周波数とピエゾスキャナの共振周波数を大きくし、測定時間の大幅な短縮化に成功させている⁽²⁾。また、藤本らの研究グループは、市販の AFM に対して、ステージ Z 軸位置制御を従来の PID 制御から表面形状オブザーバに改変することで高速化が可能であることを示した^(3,4)。しかし、このような高速 AFM の開発は未だ発展途上にあり、さらなる高速化に向けた取り組みが期待されている。

本稿では、Tapping モードにおけるステージ Z 軸位置制御系を従来の PID 制御から非線形ロバスト制御に置き換えることで AFM の高速化を図る。制御系設計はモデルベースで行われるが、AFM モデルは不連続な非線形系であるため、そのままでは制御系設計は困難である。そこ

シンセティックジェットの流動特性に関する研究

グローバルエンジニアリング学部機械創造工学科 佐藤光太郎

青山学院大学理工学部機械創造工学科 横田和彦

Study on the Flow Characteristics of Synthetic Jets

Kotaro SATO, Faculty of Global Engineering, Kogakuin University

Kazuhiko YOKOTA, Faculty of Engineering Science, Aoyama Gakuin University

ABSTRACT : The jet flows have been applied to various fields to control the flow separation. Over the last decade, several studies have investigated synthetic jets. However, there are still many clarifications needed, including details of the structure and Coanda effect of synthetic jets. The present study clarifies some fundamental flow characteristics of free synthetic jets and synthetic jets near a rigid boundary by conducting an experiment and numerical simulations. As the main results, it is found that the velocity distribution of free synthetic jets depends on $K = Re/S^2$ (the ratio of the Reynolds number to the square of the Stokes number) and can be identified by the maximum velocity at the centerline and the jet half-width. Flow visualization is carried out applying the smoke wire method. In addition, it is confirmed that the flow characteristics of the synthetic jet near a rigid boundary and re-attachment length of the synthetic jet are determined not only by H_1/b_0 (normalized step heights) but also K .

Key Words: Synthetic Jet, Coanda Effect, Velocity Distribution, Reattached Jet Flow

1. 結 論

噴流の応用範囲が急速に拡大している今日、流れの制御に二次元噴流を積極的に利用する研究が盛んである⁽¹⁾。なかでも噴流による境界層・失速制御に関する研究は数多く、実用化もされつつある。最近では循環制御翼 (CCW: Circulation Control Wing) の開発や鈍等物体の抵抗軽減などの場面で噴流をより積極的に利用して流体力制御を行なう試みもなされている。一般に噴流生成には駆動源、羽根車、ケーシング等から構成される回転機械が用いられることが多く、したがってシステム全体としては複雑で小型化・軽量化に適しているとは言い難い。

そこで最近では連続噴流の代わりにシンセティックジェットを利用する流体制御が提案されている⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。シンセティックジェットは吸引と噴出を交互に繰り返すことで、出口での時間平均速度・流量がゼロであるにもかかわらず、

出口付近で渦対あるいは渦輪が形成され、下流ではエンテインメントにより連続噴流と類似の速度分布・実質流量が生成される流れである。アクチュエータにはプラズマ方式やピエゾ駆動型、スピーカー型などが考案されており、いずれも回転部がないため小型化・軽量化に適している。そのためシンセティックジェットはマイクロ飛行体等の流体制御や高揚力装置への応用が期待される。これまでの研究では翼負圧面にシンセティックジェット・アクチュエータを取り付けて翼の失速制御^{(1),(2)}が行なわれてきた他、シンセティックジェットの基本的流動特性の解明も始まっており、噴流構造や非定常特性など^{(3),(4)}が議論されている。特に Holman らはシンセティックジェットの発生条件や生成メカニズムに言及している。

しかし、シンセティックジェットの詳細な発生機構や流動特性には未だ不明な点が多く残されており、連続噴

イン分のデータを平均化し、正規化する。

- RMS エラーの画像データを 20 ライン分のデータを平均化し、正規化する。
- 試料凹凸部の高さ $d(t)$ を正規化する。

Fig. 6 に示すように、これらのデータをサンプリング間隔ごとに入力していき、モデルの出力が実験結果に合うようにパラメータ調整を行う。同定結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7 に示すように実験値とシミュレーション値は概ね一致しており、 $T=0.01$, $a_1=800$ と得られた。

4. 制御系設計

2 節にて、システムは単純な線形システムのカスケードで近似できることを述べた。しかし、(i) 外乱 $d(t)$ は不連続であり、(ii) ピエゾスキャナのダイナミクス $G_1(s)$ は、 $G_3(s)$ に比べて十分には速くない。従って、制御系設計は、マッチング条件を満たさない不連続外乱を応答の遅いアクチュエータで補償する問題となる。不連続外乱に対しては、スイッチング動作を含む制御器を導入することが有効であることが知られており^(6,7,8)、次式で与えられる LgV スwitching 制御器を導入する⁽⁷⁾。

$$\begin{aligned} y &= \dot{x}_3 + \alpha_1 x_3 \\ u_{pz} &= -y - \gamma \operatorname{sgn}(y) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 α_1 , γ は正の定数であり、 sgn は符号関数である。拡張された状態空間 $[x_3, y]^T$ に対してリアプノフ関数

$$V = \frac{1}{2}x_3^2 + \frac{T}{2}y^2 \quad (4)$$

を定義することで、 $G_1(s)$ を無視した閉ループ系の漸近安定性が保証される。ただし、閉ループ系は制御器のスイッチング関数及び不連続外乱の存在により、右辺不連続な微分方程式で記述されるため、安定性の証明には Filippov 解と一般化リアプノフ安定論が必要となる。しかし、AFM の制御目的は制御器 $C(s)$ からの信号を用いて、試料の表面形状データを構築することであるため、スイッチング動作を有する制御器を用いた場合は、高精度な形状データを得ることは困難である。

そこで、文献 9 で提案されている不連続制御器の連続化を行うと、次式の連続化制御器が得られる。

$$\begin{aligned} u_{pz} &= \hat{\theta} \\ \dot{\hat{\theta}} &= -y - \alpha_2 \sqrt{|y|}(\hat{\theta} + \gamma \operatorname{sgn}(y)) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 α_2 は正の定数であり、スイッチング動作 $\operatorname{sgn}(y)$ は積分器を通して連続化されていることに注意されたい。

Fig. 8(a) に従来の PID 制御を用いた場合のシミュレーション結果を示す。ここで、走査速度は金属サンプルの形状測定をする際に用いる一般的な設定値とした。このとき、PID 制御による試料形状の測定は成功している

といえる。Fig. 8(b) に走査速度を 10 倍にした場合のシミュレーション結果を示す。PID パラメータの再調整を試みたが、この走査速度では試料形状を正確に測定することは困難である。一方、Fig. 9 に提案手法を用いた場合の結果を示す。スイッチング動作の連続化を行っているため、 u_{pz} からはチャタリングのような高周波信号は除去されており、10 倍の走査速度でも試料形状の測定に成功している。

5. おわりに

AFM の Tapping モードにおいて、試料表面形状測定に要する時間の短縮化を、ステージ Z 軸制御の高速化によって実現する方法を提案した。市販の AFM で一般的に搭載されている PID 制御器を連続化された LgV スwitching 制御器に置き換えることで、試料表面の凹凸に高速に追従する制御系を実現することができた。不連続外乱とスイッチング制御の存在のため、制御系全体の設計は Filippov 解と一般化リアプノフ安定論に基づいて行われており、その妥当性はシミュレーションによって検証された。本論文では、ピエゾスキャナのダイナミクスを考慮していないが、(5) 式で得られた制御則を仮想入力とし、バックステッピング法を適用することでさらなる性能の向上が期待される。

参考文献

- (1) 竹安邦夫編：ナノバイオロジー ナノテクノロジーによる生命化学，共立出版，2005。
- (2) T. Ando, N. Kodera, E. Takai, D. Maruyama, K. Saito, A. Toda : A High-speed atomic force microscope for studying biological macromolecules, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 98, 12468-12472, 2001.
- (3) 白石貴行, 藤本博志 : タッピングモード AFM における表面形状オブザーバの提案, 産業計測制御研究会 2007(116), 17-22, 2007.
- (4) 白石貴行, 藤本博志 : コンタクトモード AFM における PTC に基づく表面形状オブザーバの提案と双方向型学習制御への適用, 電気学会産業応用部門全国大会, 2, 601-604, 2008.
- (5) N. Nilus, T. M. Wallis, W. Ho : Influence of a Heterogeneous Al2O3 Surface on the Electronic Properties of Single Pd Atoms, Phys. Rev. Lett., 90, 046808, 2003.
- (6) T. Nakakuki, T. Shen, K. Tamura : Stabilizing control design for a class of discontinuous systems, T. SICE, 41, 7, 564-571, 2005.
- (7) 中荃隆, 申鉄龍, 田村捷利 : 不連続な不確かさを持つロボットシステムのロボスタ軌道追従制御-Filippov の枠組みからのアプローチ-, 電気学会論文誌 C, 125-C, 3, 463-470, 2005.
- (8) 中荃隆, 申鉄龍, 田村捷利, 逸見憲昭, 中沢徹 : 不確かな摩擦特性とパラメータをもつシステムの非線形ロボスタ制御と空気圧調節弁への応用, 電気学会論文誌 C, 119-C, 10, 1147-1153, 1999.

(9) T. Nakakuki, T. Shen, K. Tamura : Soften LgV Structure-Based Switching Control of Nonsmooth Systems, 第10回 SICE SI 部門講演会 (SI2009), 東京, 2009年12月.

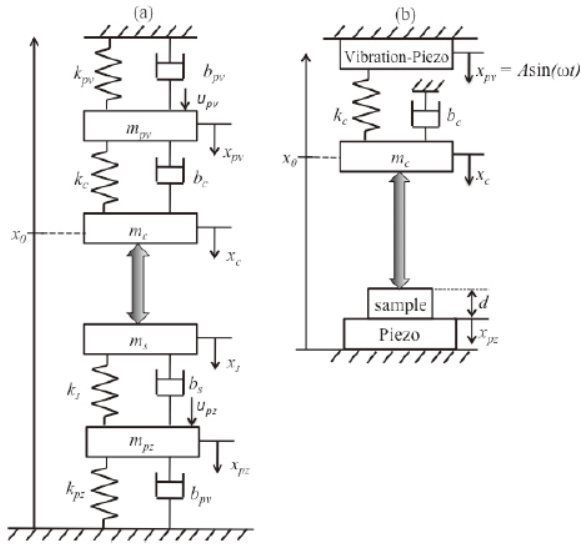


Fig.1 Mechanical models for Tapping mode.

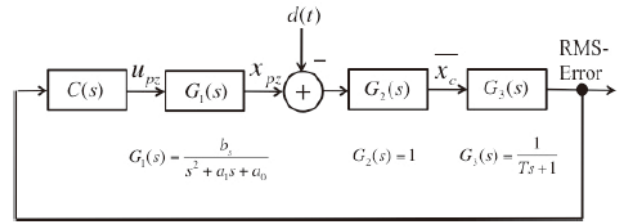


Fig.4 Block diagram of the control system.

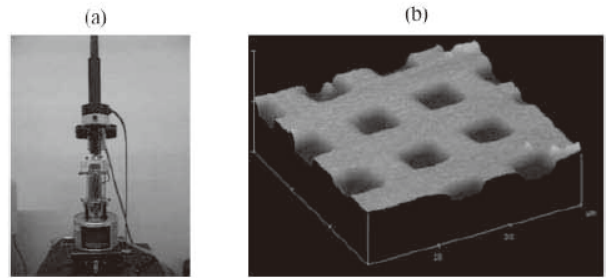


Fig.5 AFM (NanoscopeIIIa) and metallic sample.

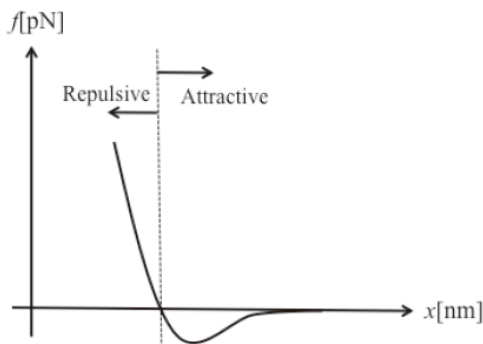


Fig.2 Illustration of atomic force derived by Lennard-Jones potential.

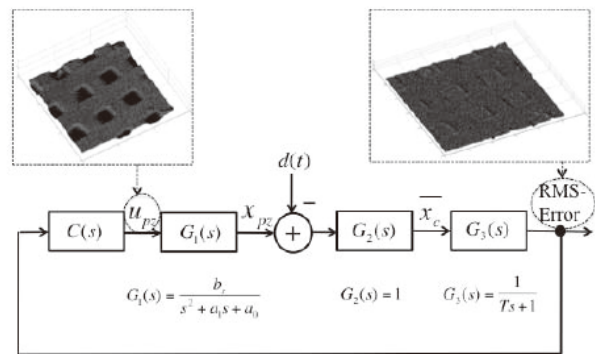


Fig.6 Parameter identification.

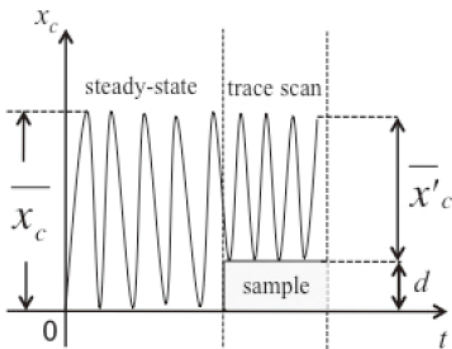


Fig.3 Change of amplitude of cantilever by tapping a sample.

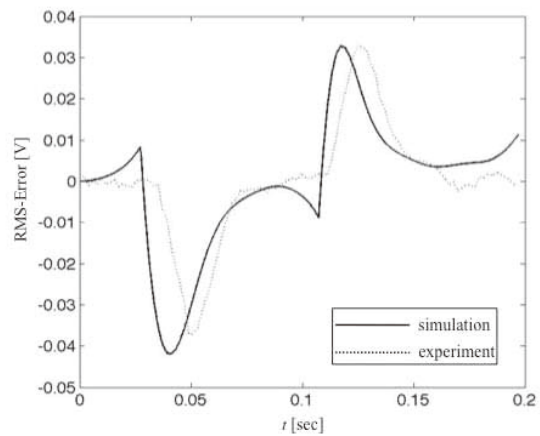


Fig.7 Parameter identification results.

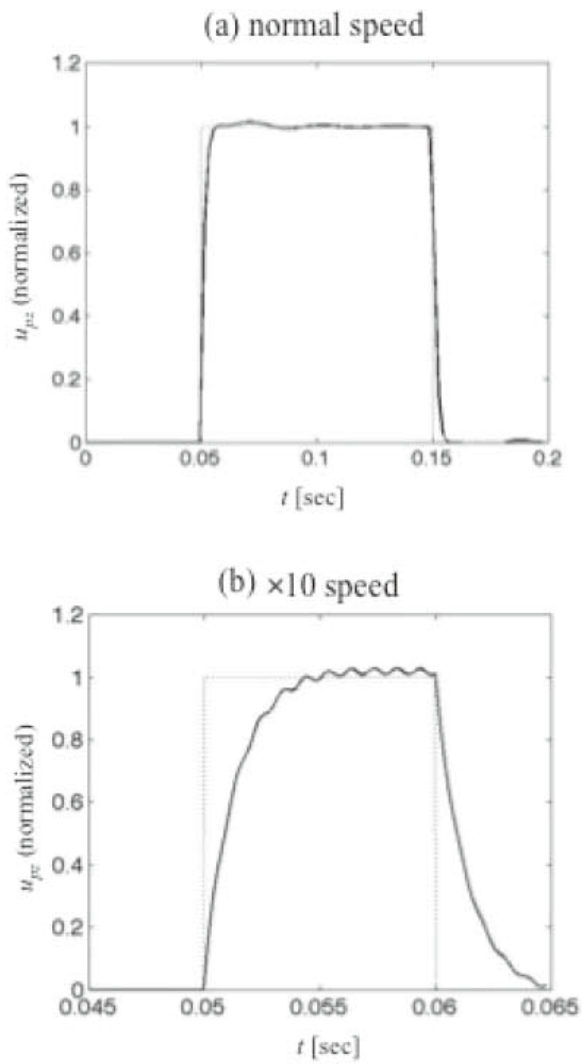


Fig.8 Results of PID controller (upper panel, normal speed; lower panel, $\times 10$ speed).

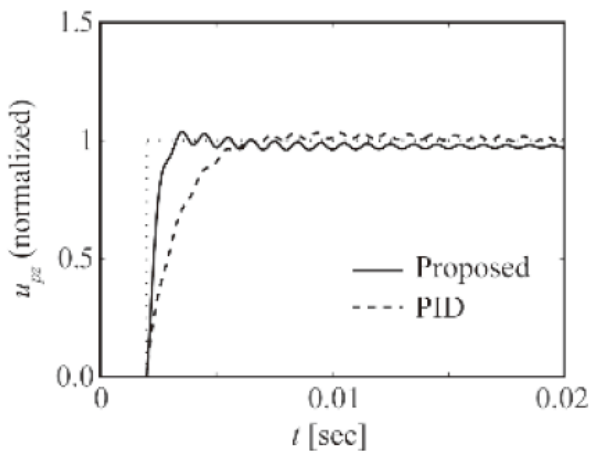


Fig.9 Results of proposed controller ($\times 10$ speed).

シンセティックジェットの流動特性に関する研究

グローバルエンジニアリング学部機械創造工学科 佐藤光太郎

青山学院大学理工学部機械創造工学科 横田和彦

Study on the Flow Characteristics of Synthetic Jets

Kotaro SATO, Faculty of Global Engineering, Kogakuin University

Kazuhiko YOKOTA, Faculty of Engineering Science, Aoyama Gakuin University

ABSTRACT : The jet flows have been applied to various fields to control the flow separation. Over the last decade, several studies have investigated synthetic jets. However, there are still many clarifications needed, including details of the structure and Coanda effect of synthetic jets. The present study clarifies some fundamental flow characteristics of free synthetic jets and synthetic jets near a rigid boundary by conducting an experiment and numerical simulations. As the main results, it is found that the velocity distribution of free synthetic jets depends on $K = Re/S^2$ (the ratio of the Reynolds number to the square of the Stokes number) and can be identified by the maximum velocity at the centerline and the jet half-width. Flow visualization is carried out applying the smoke wire method. In addition, it is confirmed that the flow characteristics of the synthetic jet near a rigid boundary and re-attachment length of the synthetic jet are determined not only by H_1/b_0 (normalized step heights) but also K .

Key Words: Synthetic Jet, Coanda Effect, Velocity Distribution, Reattached Jet Flow

1. 結 論

噴流の応用範囲が急速に拡大している今日、流れの制御に二次元噴流を積極的に利用する研究が盛んである⁽¹⁾。なかでも噴流による境界層・失速制御に関する研究は数多く、実用化もされつつある。最近では循環制御翼 (CCW: Circulation Control Wing) の開発や鈍等物体の抵抗軽減などの場面で噴流をより積極的に利用して流体力制御を行なう試みもなされている。一般に噴流生成には駆動源、羽根車、ケーシング等から構成される回転機械が用いられることが多く、したがってシステム全体としては複雑で小型化・軽量化に適しているとは言い難い。

そこで最近では連続噴流の代わりにシンセティックジェットを利用する流体制御が提案されている⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。シンセティックジェットは吸引と噴出を交互に繰り返すことで、出口での時間平均速度・流量がゼロであるにもかかわらず、

出口付近で渦対あるいは渦輪が形成され、下流ではエンテインメントにより連続噴流と類似の速度分布・実質流量が生成される流れである。アクチュエータにはプラズマ方式やピエゾ駆動型、スピーカー型などが考案されており、いずれも回転部がないため小型化・軽量化に適している。そのためシンセティックジェットはマイクロ飛行体等の流体制御や高揚力装置への応用が期待される。これまでの研究では翼負圧面にシンセティックジェット・アクチュエータを取り付けて翼の失速制御^{(1),(2)}が行なわれてきた他、シンセティックジェットの基本的流動特性の解明も始まっており、噴流構造や非定常特性など^{(3),(4)}が議論されている。特に Holman らはシンセティックジェットの発生条件や生成メカニズムに言及している。

しかし、シンセティックジェットの詳細な発生機構や流動特性には未だ不明な点が多く残されており、連続噴

流との同異についても十分な知見が得られていない。さらにコアンダ効果に代表されるシンセティックジェットと境界面の干渉問題に着目した研究報告例を著者らは確認していない。

本研究ではシンセティックジェットのコアンダ効果に主眼を置きながら、自由噴流での基本流動特性並びに固体壁面近傍における二次元シンセティックジェットの流動特性について実験と数値解析の両面から解明を試みる。特にシンセティックジェットの振動特性、壁面存在位置の影響に着目し、固体壁面近傍での二次元シンセティックジェットの流動特性を調べる。主として速度分布と K ($K=Re/S^2$ で定義⁽⁵⁾され無次元ストロークに相当するパラメータである。ここで、 S はストークス数 $S=[2\pi fb^2/\nu]^{1/2}$, f は周波数, ν は動粘性係数を表す) の関係並びに連続噴流とシンセティックジェットの流動特性の同異について議論する。また、壁面近傍でのシンセティックジェットのフローパターンについて可視化実験と数値計算で比較検討し、さらに壁面上の圧力分布計測から振動特性と噴流付着距離との関係を調べた。

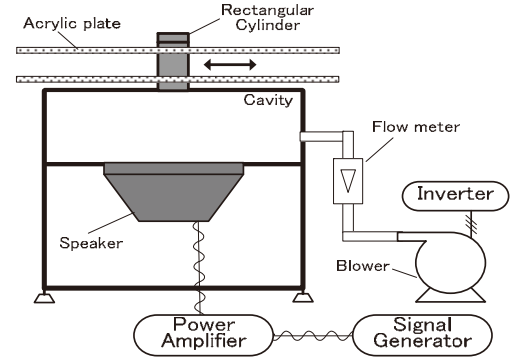
主な記号

b_0	: Slit width = 5.0×10^{-3} [m]
C	: Distance from slit to upper boundary
C_p	: Pressure coefficient [$P/0.5\rho U^2$]
f	: Frequency [1/s]
H_1	: Step height [m]
H_2	: Distance from slot to upper boundary [m]
K	: The constant $=Re/S^2$
l	: Slot length = 1.0×10^{-2} [m]
Lo	: Dimensionless stroke
P	: Pressure on the wall [Pa]
Re	: Reynolds number $=U b_0/\nu$
RMS	: Velocity turbulence [m/s]
S	: Stokes number $=[(2\pi f b_0^2)/\nu]^{1/2}$
U	: Representative velocity [m/s]
U_{sa}	: Velocity amplitude [m/s]
u	: Velocity of X-way [m/s]
v	: Velocity of Y-way [m/s]
X_{MJ}	: Formative point of mean jet from slit [m]
$y_{1/2}$: Jet half width ($u/u_m=0.5$)
X_{st}	: Reattachment length [m]
ν	: Kinematic viscosity [m^2/s]
Subscripts	
c	: Continuous jet
s	: Synthetic jet
o	: Outlet of slit (point)
m	: Maximum average velocity [m/s]

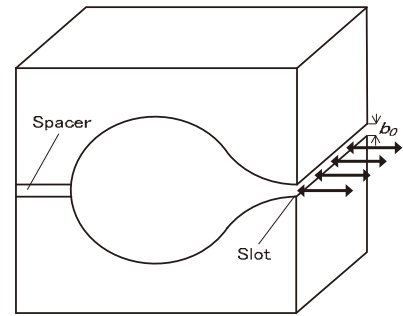
2. 実験装置及び方法

2.1 実験装置

図1に本実験で用いた実験装置の概略図を示す。本研究では、駆動動力として製作・制御が容易であることからスピーカーを用いた。作動流体は空気であり、スピーカ



(a) Speaker-driven synthetic jet actuator



(b) Nozzle configuration

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

ーボックスの上部に設置された平板中心に供試角柱を取り付けた。本実験装置ではヘルムホルツ共鳴を利用することから、ヘルムホルツ共鳴周波数 f_H [Hz] を考慮してスピーカー設置タンク体積を決定した。本研究では主に低音域で実験を行うと仮定して $f_H=30$ Hz に対する実験装置とした。なお、スピーカー箱体積の計算において供試角柱では形状が複雑なため、単純に円筒形状として考え計算を行った。ヘルムホルツ周波数 f_H [Hz] は以下で表わされる。

$$f_H = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A_p}{V(l_p + \delta)}} \quad (1)$$

したがって、タンク体積は以下で求められる。

$$V = \frac{A_p c^2}{4\pi^2 f_H^2 (l_p + \delta)} \quad (2)$$

ここで、 c は音速[m/s], V はスピーカの箱体積[m³], l_p は管長[m], A_p はポート断面積[m²], δ は管端補正(円孔の場合、ポート直径 d_p として $\delta \cong 0.8d_p$ で近似)とした。

シンセティックジェットはシグナルジェネレータ(MCP LG1100D)とアンプ(Classic Pro V3000)によりスピーカー(DIECOOK DD-15L)を駆動することで生成される。スピーカーの許出加圧レベル 91dB/1m/1w, 再生周波数特性 25~1.3kHz である。また、連続噴流は 0.4kw 交流電源を用いた送風機(昭和電機 U75-2-R313)を用いてプレナムタンクに空気供給することでスロットより噴出される。

スロット出口流速はシンセティックジェットではシグナルジェネレータで周波数及び電圧を調節し、連続噴流ではインバータ(東芝 VFNC1-2007P)によって調整を行った。供試角柱を回転させるためにスピーカーボックス上部に回転ステージ(ISAX KSW-1206)を設置した。また、流れの二次元性を保つために角柱両端は二枚の平行平板(アクリル板 1000×1000×25mm)により保持されている。

ノズルを有する供試角柱の内部は $R=30\text{mm}$ の円弧を組み合わせたノズル形状になっており、角柱スパン長は $L=100\text{mm}$ である。スロット幅 b_0 はスパーサーにより可変だが、本実験では $b_0=5\text{mm}$ 一定とした。この場合のアスペクト比は $L/b_0=20$ である。供試角柱は真鍮をワイヤ放電加工にて作成した。また、供試角柱の左右にはそれぞれ平行平板(アクリル板 320×100×15mm)が設置されている。

2.2 実験方法

本実験の流速計測には熱線流速計(KANOMAX IHW100)を使用した。流速計測条件はシンセティックジェットではインターバル $100\ \mu\text{sec}$ 、データ数 50×1024 個、連続噴流ではインターバル 1msec 、データ数 5×1024 個で測定した。プローブはI型プローブ(O251R-T5)を使用し、プローブサポート(7A 0103)をトラバース(中央精機 ALS-230-C2P)に固定して流速計測を行った。測定位置はスパン方向中央部($z/L=0$)である。熱線プローブの検定ではピトー管により 2m/s ごとに計測された値を真の値として熱線流速計の校正を行った。熱線流速計からの出力信号はAD変換器(インターフェイス PCI-3120)でデジタル化されパソコンに取り込まれ、熱線流速計ソフトウェアで処理される。なお、信号処理時の校正式にはキングの式を用いた。また、本研究では y 方向速度 $v[\text{m/s}]$ は x 方向速度 $u[\text{m/s}]$ に対して小さいと仮定して、便宜上 $\sqrt{u^2 + v^2} = |u|$ とした。したがって、大規模渦や逆流が発生した場合には速度の絶対値を u と解釈することはできず、時間平均をした場合には誤差が生じる。

また、熱戦流速計より得られた出力波形についてマルチパス FFT アナライザを用いて周波数解析を行った。パワースペクトルとは信号のパワーを一定の周波数帯域毎に分割し、各帯域のパワーを周波数の関数として表したものである。単位は時間軸波形の振幅の二乗 $[\text{Vr}^2]$ であり、振幅は時間軸波形をフーリエ変換することで求められる。実際には有限のサンプル値から数値計算を行うため、離散的フーリエ変換が用いられる。パワースペクトルの次元は $[\text{Vr}^2]$ であるが、本器ではパワースペクトルのスケールをリニアでとった場合、パワースペクトルの次

元は $\sqrt{\text{Vr}^2}$ となるので、その周波数の時間軸波形の実効値と一致する。計測においては、パワースペクトルのスケールをリニア表示として、256 回の平均化処理を行った。

さらに噴流の挙動観察にはスモークワイヤ法による可視化実験を行った。可視化実験ではスロット出口から 25mm 、 $x/b_0=5$ の位置にワイヤを設置し、煙を発生させた。スモークワイヤには直系 0.35mm のニクロム線を使用し、発煙物質には流動パラフィンを用いた。なお、撮影には 300fps の高速度カメラ(CASIO EX-F1)を使用し、測定部下流に光源(PHOTRON HVC-SL)を配した。ただし、可視化実験では流線の画質を確保するためにレイノルズ数を $Re \approx 1984$ としている。計測位置はスロット出口の位置を中心とした。

側壁表面上の圧力計測には、側壁表面上に設けた 45 点の静圧孔(孔径 1.0mm)により求め、圧力計測には微差圧計(岡野製作所 DMP301N)を使用した。ここで使用した微差圧計の測定範囲は $0 \sim 200\text{Pa}$ で測定精度は $\pm 0.25\text{FS}\%$ $\pm 1\text{dig}$ である。また、圧力計測ではシンセティックジェットでは $300 \sim 1000$ 回($f=50\text{Hz}$ では 300 回、 $f=10\text{Hz}$ では 1000 回)、連続噴流では 100 回のアンサンブル平均値を便宜上、時間平均値としたため、本研究では最大で 3% 程度の誤差が含まれる。

3.3 シンセティックジェットにおける流速の定義

図 3-4 にスロット部に入力されるシンセティックジェットの速度の時間変化を示す。縦軸が瞬間流速 u' $[\text{m/s}]$ 、横軸が時間 $t[\text{s}]$ である。シンセティックジェットの速度は正弦波で入力され、スロット出口では噴出と吸引を交互に繰り返している。このときの速度振幅の最大値を $U_{s0}[\text{m/s}]$ 、周期を $T[\text{s}]$ として、スロット出口の流速は $u_{s0}(t) = U_{s0} \sin 2\pi ft$ で表される。

本研究では Holman ら⁽⁴⁾ に倣い噴出時のみを考慮して、 $t=0\text{s}$ 付近から現れる各噴出最大値を 10 点平均した値を速度振幅 $U_{s0}[\text{m/s}]$ と定め、スロット出口での代表流速 U_{s0} を算出した。スロット出口での代表流速 U_{s0} は次式で表わされる。

$$U_{s0} = fL_0 = f \int_0^{T/2} u_{s0}(t) dt \quad (3)$$

ここで、 $f=1/T$ 、 $u_{s0}(t) = U_{s0} \sin 2\pi ft$ として式(3)に代入すると式(4)が得られる。

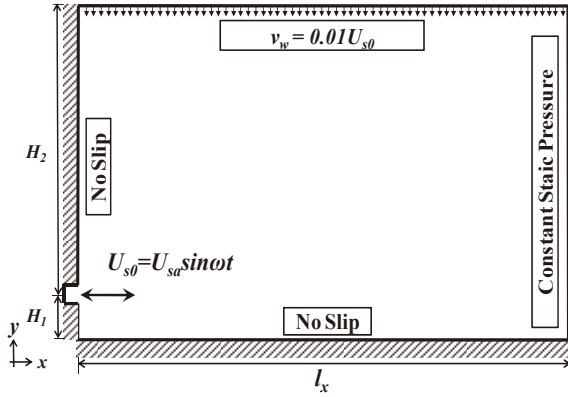


Fig. 2 Numerical simulation domain and boundary conditions

$$U_{s0} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_{sa} \sin 2\pi ft \, dt = \frac{U_{sa}}{\pi} \quad (4)$$

ここで、 U_{sa} は速度波形の振幅の最大値[m/s]、 f は周波数[Hz]、 T は周期[s]、 u_{s0} はスロット出口の時間平均速度[m/s]、 L_0 はストローク長さである。また、スロット出口における平均流速 \bar{U} は(5)式で定義した。

$$\bar{U} = \frac{2}{T} \frac{1}{A} \int_0^{T/2} \int_A u_{s0}(t, y) \, dt \, dA \quad (5)$$

ここで、 A はスロット断面積[m²]である。したがって、(4)式(5)式との関係は

$$\bar{U} = \frac{2}{A} \int_0^{b_0} \frac{IU_{sa}}{\pi} \, dy = 2U_{s0} \quad (6)$$

となる。

ところで本研究では得られた実験値をレイノルズ数 Re と無次元ストロークに対応する K (無次元周波数の逆数)で整理した。無次元ストロークとは吹出された流体塊の長さを、スロット幅 b_0 で無次元化した値である。Holman ら⁽⁴⁾によればシンセティックジェットにおけるジェット形成の有無は $K=1$ を境に判断が可能であると報告しており、 $K \geq 1$ でシンセティックジェットが生成され、 $K < 1$ ではシンセティックジェットは生成されないとしている。

レイノルズ数 Re と無次元ストロークに対応する K (無次元周波数の逆数)は以下のように定義した。レイノルズ数(シンセティックジェット)は次式で定義した。

$$Re_{\bar{U}} = \frac{\bar{U}b_0}{\nu} \quad (7)$$

ここで、 $\bar{U}=2U_0$ はスロット出口の平均流速[m/s]、 b_0 はスロット幅[m]、 ν は作動流体の動粘性係数($\nu=\mu/\rho$)[m²/s]である。一方、無次元ストロークに対応する K (無次元周波数の逆数)は以下のようになる。

$$K = \frac{1}{St} = \frac{Re_{\bar{U}}}{S^2} = \frac{L_0}{\pi b_0} = \frac{U_{s0}}{\pi f b_0} \quad (8)$$

ここで、 St はストロハル数、 S はストークス数、はストローク長さ $L_0 = \frac{U_{s0}}{f}$ である。

本研究では、連続噴流、シンセティックジェットともにスロット出口での代表流速を U_{co} 、 $U_{s0}=7.5$ m/s、 $Re=4851$ で一定とした。シンセティックジェットについては、主に $K=9.55$ ($f=50$ Hz)、 $K=15.92$ ($f=30$ Hz)、 $K=47.76$ ($f=10$ Hz) の3種類について連続噴流との比較を行った。

3. 数値シミュレーションモデル

数値シミュレーションには、非構造格子系熱流体解析システム SCRYU/Tetra for Windows [(株)ソフトウェアアクレイドル]を用いた。本研究では乱流モデルに $k-\epsilon$ モデルを採用し、二次元非圧縮粘性流れを仮定して流れ場の解析を行った。

図2に計算領域と計算条件の一例 ($H_1/b_0=5$ の場合)を示す。境界条件として噴流出口(スロット)は流速規定、壁面上では no slip 条件、計算領域出口境界($x=420b_0$)では圧力一定条件を与えた。ただし、上下で無限遠を表現する場合には $y=380b_0$ 、 $y=-380b_0$ では一定流速条件($v_w=-0.01U$ 、 $v_w=0.01U$)を与えた。なお、本計算に用いたグリッド数は約 200,000 である。

4. 結果及び考察

本研究ではレイノルズ数 $Re=Ub_0/\nu$ は、代表速度 U には連続噴流ではスロット出口速度 U_{co} 、シンセティックジェットでは Holman ら⁽⁴⁾に倣って吹き出し時のスロット出口速度(正の速度成分)のみを周期に基づき時間平均した速度 $U_{s0}=fL_0=U_{sa}/\pi$ を与えた。

図3に無限遠 ($H_1/b_0=\infty$) でのシンセティックジェット
 の時間平均速度分布を x/b_0 をパラメータとして示す。
 (a)は $K=9.55(f=50\text{Hz})$ の場合, (b)は $K=15.92(f=30\text{Hz})$ の
 場合, (c)は $K=47.76(f=10\text{Hz})$ の場合である。横軸につい
 ては y を半値幅 $y_{1/2}$, 縦軸は u を最大流速 u_m で無次元化
 した。中実プロット点は実験値, 中抜きプロット点は計
 算値である。連続噴流の無次元速度分布は一本の曲線上
 に分布することは広く知られているが, シンセティック
 ジェット(a), (b), (c)のいずれの条件下でも連続噴流同
 様, プロット点は概ね一本の曲線上に分布している。す
 なわち, 本条件範囲では無限遠における噴流の無次元速
 度分布は異なる K に対して大きな傾向の違いは認めら
 れない。ただし, 細かい点では(c) $K=47.76$ の $x/b_0=60$,
 80における実験値に値のバラツキが見られる。二次元流
 れを仮定した数値計算では見られないことから, 実験で
 はこの条件下で噴流の二次元構造が大きく崩れてスロッ
 トスパン方向に速度分布が生じることが主な原因と考え
 られる。さらに, (b) $K=15.92$ では速度分布の概形が左右
 非対称になっている。数値計算, 実験の両者とも同様の
 傾向を示しており, $K=15.92$ に対しては数値計算, 実験
 共にサンプリング時間が十分でないことが考えられる。
 すなわち, $K=15.92$ で生じる噴流は他の条件と比べて対
 称性が大きく崩れており, 瞬時的で y 方向速度 v が無視
 できない可能性がある。数値計算で得られたベクトル図
 などを見ると本条件では噴流が大きく蛇行する様子が観
 察され, 渦配列が非対称になっているものと思われる。
 従来, シンセティックジェットは渦対または渦輪によっ
 て誘起されることから連続噴流と比較して対称性が高い
 と考えられてきたが, 本条件では渦配列が千鳥配列とな
 っている可能性も否定できない。ところで, 速度分布に
 関する計算結果と実験結果は細かい点を除けば概ね一致
 しており, このことは本計算方法が妥当であることを示
 している。

図4, 図5に $K=9.55$ の場合における壁面近傍でのシン
 セティックジェットの挙動観察例を示す。図4は $H_1/b_0=$
 ∞ の場合, すなわち自由噴流(シンセティックジェット)
 の挙動であり, 図5は $H_1/b_0=20$ の壁面近傍でのシンセテ
 ィックジェットの様子である。両図とも(a)はスモークワ
 イヤ法により可視化された実験結果($Re=1984$), (b)は数値
 計算で得られたベクトル図($Re=4851$)であり, いずれも
 (i)~(v)はノズル出口速度変化の一周期に対応したフロ
 ーパターンの時間的変化を見たものである。図4の無
 限遠の場合には(a)実験, (b)数値計算の両図から(ii)に
 おいてノズル近傍に渦対を形成し, その後(iii), (iv),
 (v)で渦対が下流側(本図では右方向)に対称性を保ち
 ながら進んでいる様子が観察できる。ただし, (a)はスモ
 ークワイヤ法による可視化であるため渦対は煙の流体塊
 として捉えられる。(iv)は出口流速が $u_{s0}=-23.5$ (負)
 の場合であり, 吸引時にもかかわらず渦対は下流側に進行
 し続けることが確認できる。さらに, (b) (iv)のベクトル

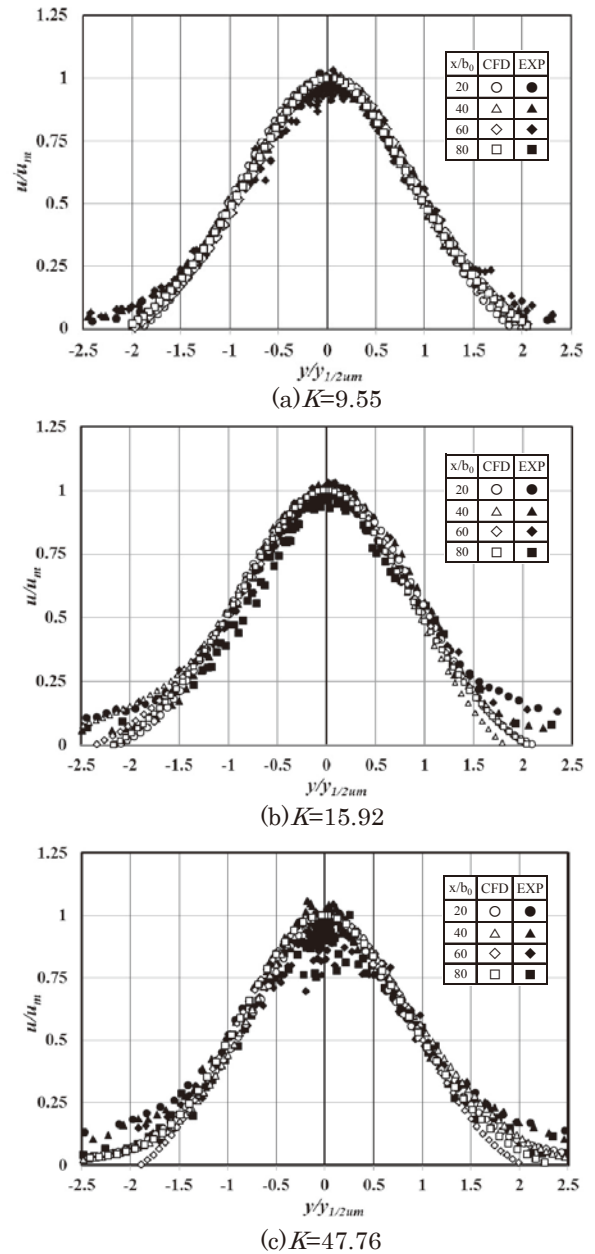
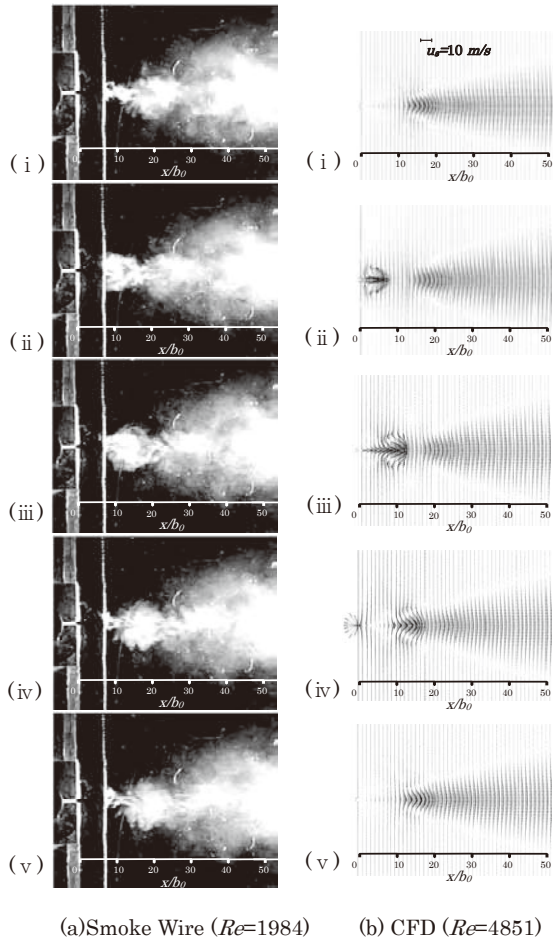


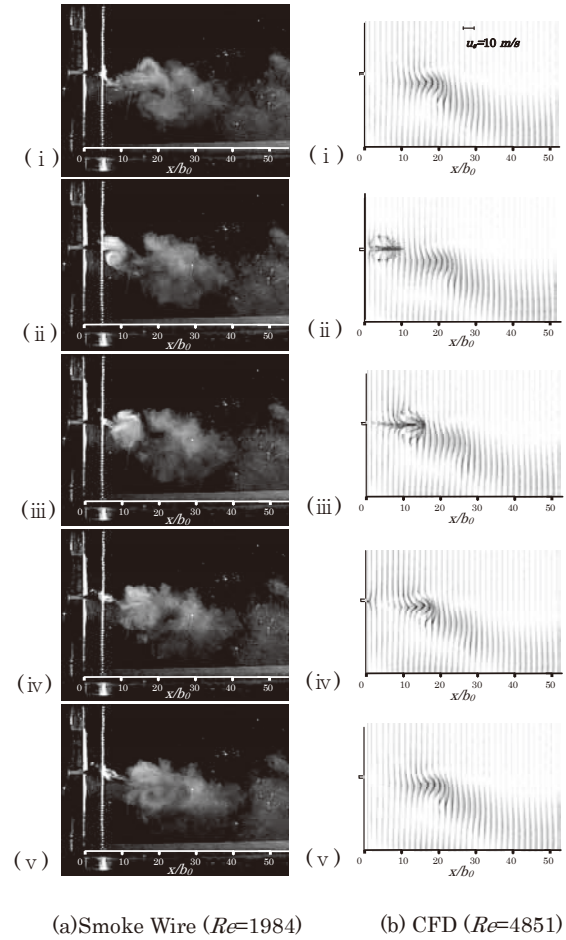
Fig. 3 Velocity distribution of two-dimensional synthetic jets. (EXP: Experiment, CFD: Numerical simulation)

図からはノズル近傍を除く広い領域で x 方向速度 u が正
 となっていることが見て取れる。なお, 噴流中心線上 $y=0$
 での速度 u に着目すると $K=9.55$ では $x/b_0>3$ で常に流速
 u が正になっており, $x/b_0=3$ 付近で脈動を伴う連続噴流
 が形成されたとすることができる。図5の壁面近傍にお
 けるシンセティックジェットの挙動では(a), (b)ともに噴
 流は渦形成を伴い蛇行しながら壁面側に引き寄せられて
 おり, 実験結果と数値計算結果とは定性的に一致してい
 ることがわかる。図5では壁面が存在するため流れ場が
 非対称となっており図4と比べて渦輪の対称性は早い段
 階で崩れている。それに伴い噴流構造も非対称になり,
 蛇行するものと考えられる。一方, $K=9.55$ では $x/b_0=3$
 付近で脈動を伴う連続噴流が形成されることから $x/b_0>3$
 では連続噴流同様, コアンダ効果により噴流が壁面に引
 き寄せられる。



(a)Smoke Wire ($Re=1984$) (b) CFD ($Re=4851$)

Fig.4 Flow Pattern of Synthetic Jet for comparison between CFD and EXP results ($K=9.55, H_1/b_0=\infty$)
 (i) $t/T=0, u_{s0}=0$ m/s (ii) $t/T=0.25, u_{s0}=23.5$ m/s
 (iii) $t/T=0.50, u_{s0}=0$ m/s (iv) $t/T=0.75, u_{s0}=-23.5$ m/s
 (v) $t/T=1.0, u_{s0}=0$ m/s



(a)Smoke Wire ($Re=1984$) (b) CFD ($Re=4851$)

Fig.5 Flow Pattern of Synthetic Jet for comparison between CFD and EXP results ($K=9.55, H_1/b_0=20$)
 (i) $t/T=0, u_{s0}=0$ m/s (ii) $t/T=0.25, u_{s0}=23.5$ m/s
 (iii) $t/T=0.50, u_{s0}=0$ m/s (iv) $t/T=0.75, u_{s0}=-23.5$ m/s
 (v) $t/T=1.0, u_{s0}=0$ m/s

図6は噴流近傍に設けられた壁面表面上の圧力分布である。(a)は $H_1/b_0=5$, (b)は $H_1/b_0=20$ の場合で、パラメータは K である。中実のプロット点は実験値、中空のプロット点が計算値を表す。また、本図には比較のため連続噴流の結果も併せて示す。実験結果と数値計算結果とは概ね一致しており、両者とも再循環領域で圧力低下が見られ、噴流付着位置のよみ点付近で圧力上昇がみられる。連続噴流の場合、広い Re 数範囲で無次元噴流付着距離 x_R/b_0 は無次元スロット高さ H_1/b_0 のみで決まることが知られており⁽⁷⁾、本研究においては実験、計算ともに $x_R/b_0 \approx 33$ となっている。一方、シンセティックジェットの場合、 x_R/b_0 は K に依存しており、噴流付着点を示す圧力係数最大値も K の値によって異なっている。

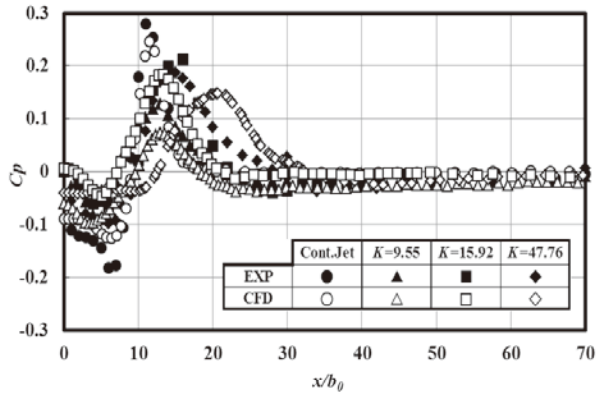
図7は無次元スロット高さ H_1/b_0 と無次元噴流付着点距離 x_R/b_0 の関係を示す。パラメータは K であり、中実のプロット点が実験値、中空のプロット点は計算値を表す。また、実線は熊田ら⁽⁷⁾による実験式である。実験結果と計算結果は定性的に一致しており、 x_R/b_0 は H_1/b_0 にほぼ比例している。さらに本図から x_R/b_0 は K の増加とともに大きくなることも読み取れる。この原因として K の増加とともに平均噴流の形成位置が下流側に移動すること、

さらに K の増加とともに噴流付着位置の変動振幅が増加して連続噴流の付着位置と比べて変動量が大きくなると時間平均した圧力最大値が下流側へ移動するためなどが考えられるが、これらは更なる検討が必要である。

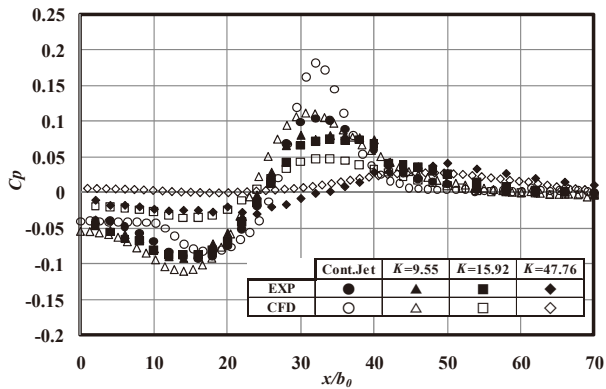
5. 結論

本研究では二次元シンセティックジェットの基本流動特性並びに固体壁面近傍での二次元シンセティックジェットの挙動を調べるため、実験並びに数値計算を行った。主な結論を以下に示す。

1. 無限遠でのシンセティックジェットは概ね対称な流れになることがわかった。
2. 可視化実験並びに数値計算からシンセティックジェットは固体壁面側に引き寄せられることが示された。
3. シンセティックジェットの付着距離 x_R/b_0 は H_1/b_0 だけでなく K にも依存し、本研究条件範囲においては K が大きくなると x_R/b_0 も大きくなることがわかった。
4. 固体壁面近傍でのシンセティックジェットに関する実験結果と数値計算結果が比較され、概ね一致していることが明らかとなった。



(a) $H/b_0=5$



(a) $H/b_0=20$

Fig. 6 Pressure distribution on a rigid wall ($Re=4851$)

参考文献

- (1) [1]Joslin,R.D.and Jones, G.S., “Applications of Circulation Control Technology”, AIAA, (2006)
- (2) [2]Duvigneau, R. et al., “Optimal Location of a Synthetic Jet on an Airfoil for Stall Control”, Journal of Fluid Engineering, Vol.129 (2007), pp.825-833
- (3) [3]Shakouchi, T. “Jet Flow Engineering”, Morikita Publishing Co., Ltd. (2004)
- (4) [4]Duvigneau, R. et al., “Optimal Location of a Synthetic Jet on an Airfoil for Stall Control” ASME J. Fluids Engineer., (2007), pp. 129, 825-833.
- (5) You, D. and Moin, P. ,“Study of flow separation over an airfoil with synthetic jet control using large-eddy simulation”, Annual Research Briefs (2007), Center for Turbulence Research, pp.311-321.
- (6) M. Amitay et.al, “Aerodynamic Flow Control over an Unconventional Airfoil Using Synthetic Jet Actuators” AIAA Journal, Vol. 39, No.3 (2001), pp.361-370
- (7) Whitehead, J. and Gursul, I., “Interaction of Synthetic Jet Propulsion with Airfoil Aerodynamics at Low Reynolds Numbers”, AIAA Journal, Vol. 44, No.8 (2006) , pp. 1753-1766
- (8) Tensi, J. et al, “Modification of the Wake behind a Circular Cylinder by Using Synthetic Jets,” Journal of Visualization, Vol.5, No.1 (2002),

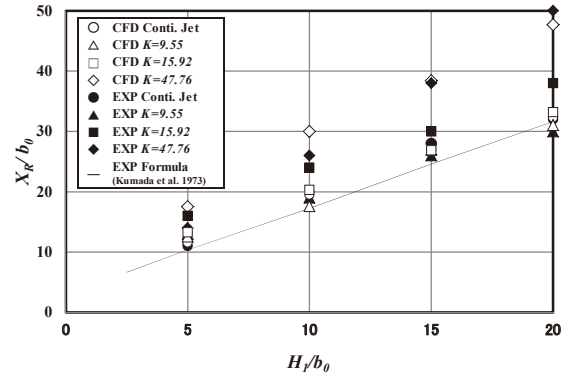


Fig. 7 Stagnation points on the rigid wall ($Re=4851$)

pp.37-44

- (9) Holman, R et al., “Formation Criterion for Synthetic Jets” AIAA Journal, Vol. 43, No.10 (2005), pp. 2110 -2116
- (10) Zhang, P.F. and Wang, J.J.,“Novel Signal Wave Pattern for Efficient Synthetic Jet Generation”, AIAA Journal, Vol. 45, No.5 (2007), pp.1058-1065
- (11) Shuster, J.M. and Smith, D.R., “An Experimental Study of the Formation and Scaling of a Round Synthetic Jet”, Physics of Fluids, Vol. 19-045109 (2007), pp.1-21
- (12) Koso, T. and Kinoshita, T., “Jet Flow Formation Using an Annular Synthetic Jet Actuator”, JSME annual meeting 2006(2), 211-212, 20060915
- (13) Heskestadt, G., “Hot-Wire Measurements in a Plane Turbulent Jet”, Trans. ASME, J. Appl. Mech., (1965) pp. 1-14
- (14) Kumada, M., Mabuchi, I., and Oyakawa, K.(1973), “Studies on Heat Transfer to Turbulent Jets with Adjacent Boundaries,” Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, 39(319), pp. 920-929.

キチンの潜在能力を化学とバイオテクノロジーで拓く

工学院大学 工学部 応用化学科 小山文隆

工学院大学 工学部 応用化学科 菅原康里

工学院大学 工学部 応用化学科 坂口政吉

横浜市立大学 大学院医学研究科 神経内科学・脳卒中医学 土井 宏

Investigation of the new roles of chitin by means of chemistry and biotechnology

Fumitaka Oyama, Yasusato Sugahara, and Masayoshi Sakaguchi: Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Kogakuin University

Hiroshi Doi: Department of Neurology, Graduate School of Medicine, Yokohama City University

ABSTRACT : Chitin, an integral component of the fungal cell walls, the exoskeletons of crustaceans and insects, and the microfilarial sheaths of parasites, is the second abundant polysaccharide in nature. Although mammals do not have chitin and chitin synthase, two major chitinases, chitotriosidase and acidic mammalian chitinase (AMCase), have been identified in both human and mouse. Marked elevation of plasma chitotriosidase activity was reported in Gaucher disease, an autosomal recessive lysosomal storage disorder. In addition, significant increases in AMCase mRNA and protein were detected in an induced asthma mouse model and patients. Little is known, however, about the regulation and pathophysiological functions of the chitinases in mammals. We examined chitinase mRNA levels and patterns of alternative splicing of their pre-mRNAs in mouse. Clear tissue specificities were observed in the expression patterns in both chitinases mRNA levels. Chitinase mRNAs were predominantly expressed in stomach and moderately in spleen and lung. Alternative splicing generates distinct chitinase mRNA species. We identified chitinase cDNAs lacking N-terminal or C-terminal region. These results indicate that expression of chitinases is regulated in a tissue-type specific manner in mouse tissues.

が知られている。

1. はじめに

キチンは *N*-アセチル-D-グルコサミンが β -1,4 結合した多糖で、セルロースに次いで多いバイマスである。昆虫、エビ、酵母、真菌などに多量に含まれている。

キチナーゼはキチン分解酵素で様々な生物種でその存在が報告されている。哺乳類はキチンとその合成酵素をもたないが、ゲノム中にキチナーゼ遺伝子を有している。マウスとヒトでは二種類のキチナーゼ (chitotriosidase と AMCase) の発現

Chitotriosidase は哺乳類で最初に発見されたキチナーゼで、Gaucher 病患者の血漿中で著しく上昇することが知られている^{1,2)}。Gaucher 病は、常染色体劣性遺伝の疾患で、Glucosidase, beta, acid (GBA) のアミノ酸変異が原因で発症する遺伝病である。肝臓と脾臓の肥大、貧血、骨障害、神経障害が特徴である。最近 GBA 変異を有すると Parkinson 病を多発することが明らかになった³⁾。このことから chitotriosidase が Parkinson 病の病因解明につながる可能性がある。

Acidic Mammalian Chitinase (AMCase) は酸性領

域に至適 pH をもつキチナーゼで、喘息、アレルギーで多量に発現される^{4,5,6)}。喘息は咳、息切れ、動悸を伴う気管支の病気で、T ヘルパー 2 気道炎症が原因で発症することが知られている。この発症と AMCase の発現が議論されている⁷⁾。

ヒトは長年にわたりキチンを摂取してきた。顕著な健康被害は認められず、むしろ体に良いとされ、時には病気に効くといわれてきた。また、キチンは病気(アルツハイマー病、ガン、アレルギー・喘息、Gaucher 病、Parkinson 病など)の治療ターゲットになりうる可能性が示されている^{4,5-10)}。しかし、これまでのキチンをめぐる研究ではその有効性に関し科学的に不明確な点が多く残っている。つまり、キチンをめぐる現状は民間療法的な状態である。本研究では“Evidence Based Medicine (根拠に基づいた医療)”として認知される結果を得ることを目的に、キチンの潜在的能力を化学とバイオテクノロジーで明らかにすることを旨とする。

プロジェクト1年目は、哺乳類キチナーゼの生体内での生理的・病理的役割を明らかにする基礎データを得ることを目的に、以下の二点について研究した。1. 量的解析：各種マウス組織で発現する chitotriosidase と AMCase mRNA レベルを Real-time PCR 法で定量する。2. 質的解析：chitotriosidase と AMCase に Alternative Splicing に依存した分子多様性が存在するかどうかを明らかにする。

2. 実験方法

RNA と cDNA 合成：Clontech 社より total RNA (Mouse Total RNA Master Panel)を購入した。Total RNA 3 μg を鋳型にし、ランダムヘキサマーを primer にして MuLV-reverse transcriptase (Invitrogen 社)で cDNA を合成した。

Real-time PCR：Primer Express v1.5 (Applied Biosystems 社)のソフトウェアを用いて real-time PCR 法に用いる primer をデザインした。一つの遺伝子につき2セットの primer を合成した。マウス cDNA を鋳型にし、SyberGreen Mastermix (BRILLIANT II SYBR GREEN Q-PCR, Agilent 社)を用いて Real-time PCR マシン (Mx3005P QPCR Systems, Agilent 社)で最適の primer を選別した。Real-time PCR 反応は以下の様に行った。それぞれのキチナーゼ遺伝子の Forward primer と reverse primer 溶液 3.5 μl にマウス組織の cDNA を 3.0 μl 加え、最後に Brilliant II SYBR

Green QPCR Master Mix を 6.5 μl 加え、Mx3005P Real-Time PCR QPCR system (Agilent Technologies)により mRNA レベルの定量を行った。PCR 条件は、95 $^{\circ}\text{C}$, 10 分に続いて、95 $^{\circ}\text{C}$, 30 秒, 55 $^{\circ}\text{C}$, 1 分, 72 $^{\circ}\text{C}$ 1 分を 40 cycles 行った。それぞれの遺伝子で得られた結果は housekeeping gene である glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH) で標準化した。

マウス各種組織で発現するキチナーゼ mRNA 前駆体の alternative splicing による分子多様性：マウスキチナーゼ cDNA を PCR で増幅し、得られた産物を 1% アガロースゲル電気泳動で分離した。既知のキチナーゼ cDNA のバンドに加え、分子量が異なるバンドが検出された場合にはクローニングし、塩基配列を決定して構造を明らかにした。

3. 結果と考察

3-1. マウスキチナーゼ mRNA の定量のための Real-time PCR の確立：図 1 に chitotriosidase (図 1A), AMCase (図 1B), Housekeeping gene の GAPDH (図 1C) の Real-time PCR の増幅曲線を示した。Chitotriosidase は 23 (胃), 31 (肺) cycles, AMCase は 15 (胃), 22 (肺) cycles, GAPDH は 19 (胃), 22 (肺) cycles で増幅が認められた。なお、ここでは示さないが、cDNA を加えない場合は非特異的な増幅が認められなかった。また、PCR 産物を 1% アガロースゲル電気泳動で分析したところ、目的の cDNA のみが増幅されていた (結果は示さず)。以上の結果から、chitotriosidase, AMCase, GAPDH の mRNA レベルを評価できる real-time PCR 系が確立できたものと考えた。

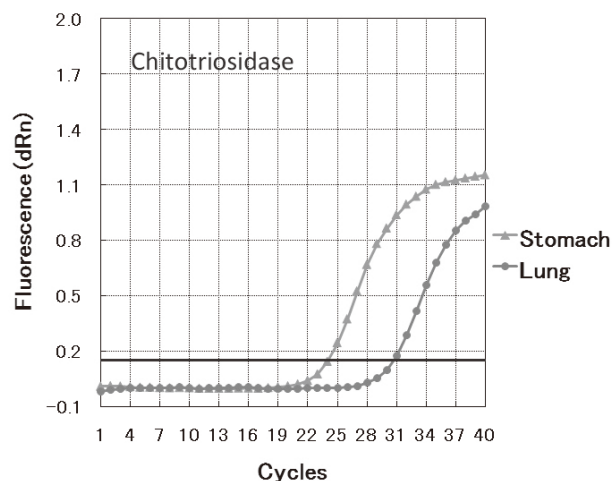


図 1A. Chitotriosidase cDNA の胃と肺での増幅曲線

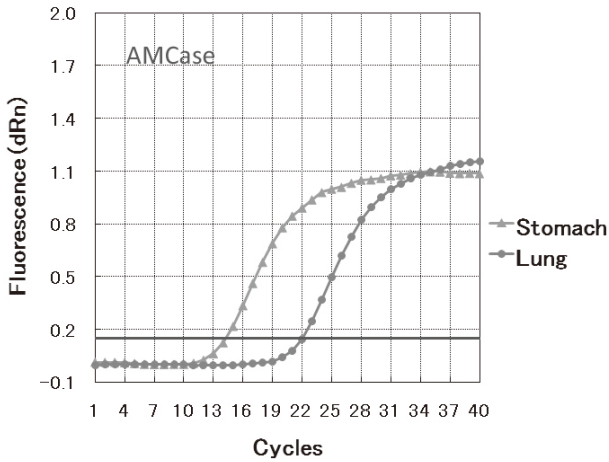


図 1B. AMCase cDNA の胃と肺での増幅曲線

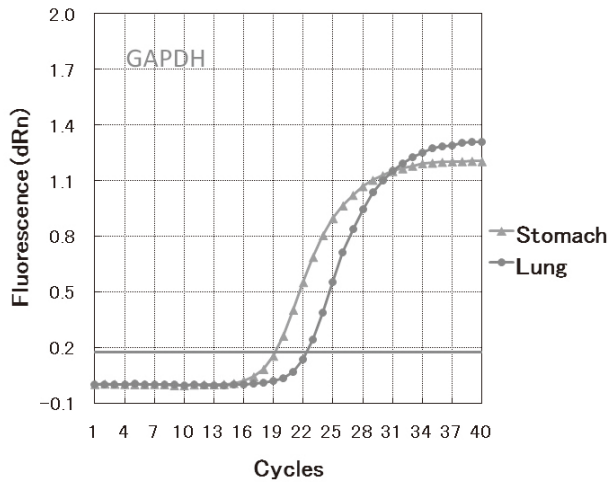


図 1C. GAPDH cDNA の胃と肺での増幅曲線

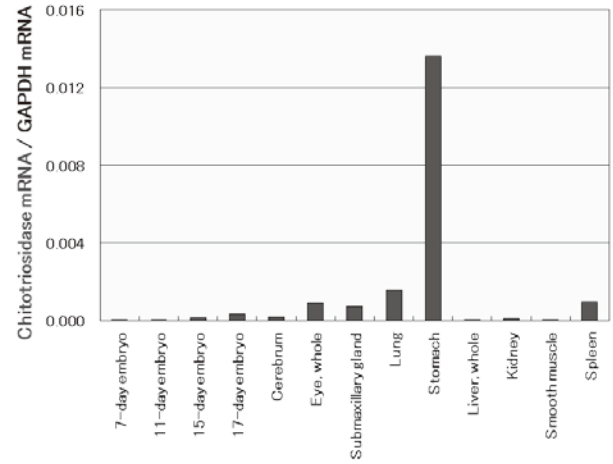


図 2A. Chitotriosidase mRNA のマウス各種組織での発現レベル

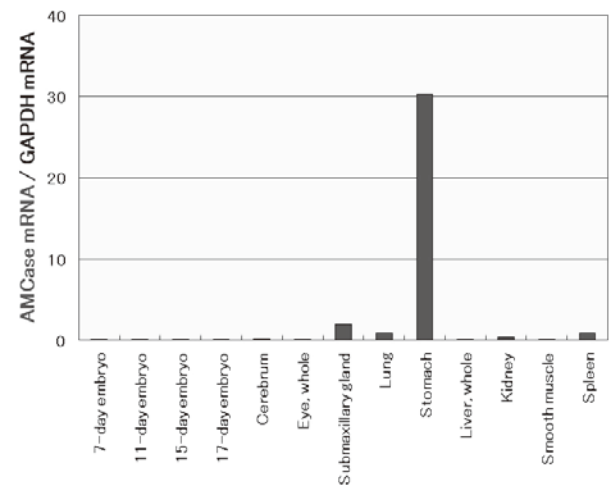


図 2B. AMCase mRNA のマウス各種組織での発現レベル

3-2. マウスの各種組織における chitotriosidase と AMCase mRNA の発現レベル: 図 1 に示した方法で、マウス胎児(4 ステージ)および成熟マウス 9 組織における chitotriosidase と AMCase mRNA の発現レベルを real-time PCR 法で測定し、得られた結果を housekeeping gene の GAPDH で標準化した。その結果を図 2 に示した。調べたすべての組織において、chitotriosidase と AMCase の発現が認められた。Chitotriosidase も AMCase も胃で最も多く発現していた。両キチナーゼの発現をみると、喘息に関わる肺、ゴーシェ病に関わる脾臓において比較的多く発現していることがわかった。

3-3. マウス各種組織で発現する mRNA 前駆体の alternative splicing によるキチナーゼの分子多様性: 真核生物における splicing と alternative splicing の概要を図 3 に示す。Splicing は mRNA 前駆体から成熟 mRNA になる際にタンパク質の情報にならない intron を除き、タンパク質の情報になる exon を再結合することである。Alternative splicing はこの過程で exon も除かれてしまう splicing のことである。Alternative splicing は mRNA レベルの出来事だが、タンパク質レベルで分子に多様性を与える(図 3 で 5 番が入った分子と抜けた分子が生産される)。

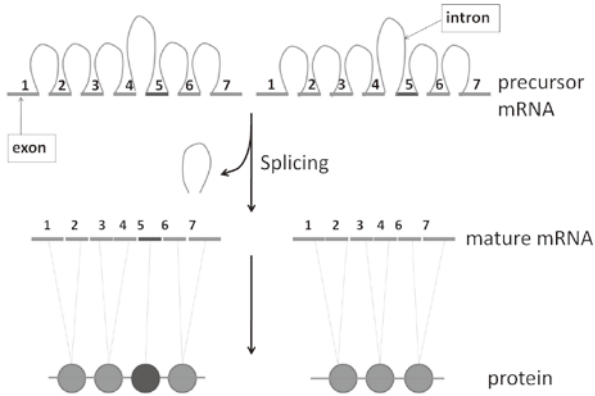


図 3. Splicing と Alternative splicing

各種マウス組織のキチナーゼ cDNA の PCR 産物を電気泳動で分析したところ、既知のキチナーゼとサイズの異なるバンドが得られた(図中の矢印のバンド). このことは、キチナーゼ mRNA 前駆体から成熟 mRNA になる際の splicing の過程で alternative splicing が起こる可能性を示唆していた. つまり、転写後のマウスキチナーゼの一次構造に多様性が存在する可能性が示唆された.

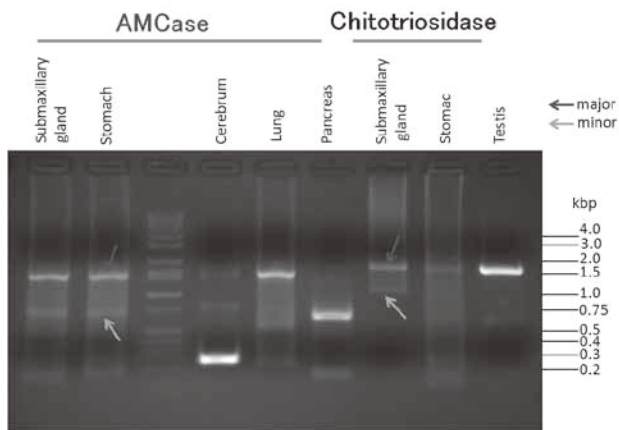


図 4. マウス各組織発現している AMCase と chitotriosidase の splicing variant の解析

そこで、それぞれの組織で発現している分子量の異なるマウスキチナーゼの cDNA をクローニングし、塩基配列を決定した. マウスゲノムと比較すると、そのキチナーゼ cDNA では特定の exon が欠失していることが分かった(図 5). マウス組織で発現する cDNA の構造解析をしたところ、微量ではあるが、AMCase, chitotriosidase とともに alternative splicing に起因する分子多様性が存在することが分かった(図 5).

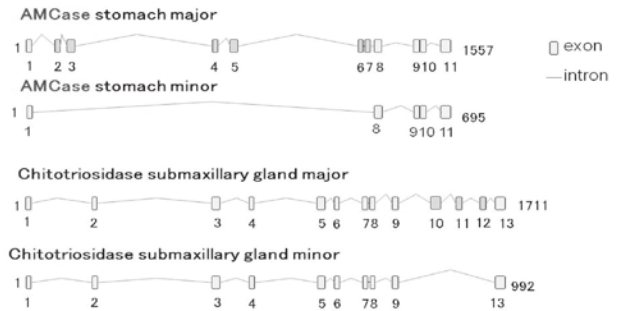


図 5. マウス組織における AMCase と chitotriosidase の alternative splicing による分子多様性のまとめ

4. 今後の方針

本プロジェクトの第一年目の研究で両キチナーゼの発現レベル、分子多様性の存在を明らかにした. 本年度の研究で哺乳類でのキチナーゼの生理的役割を解明する実験の基礎が確立した. 今後、キチナーゼがどのように生体内のキチン(主としてカビや寄生虫由来のキチンと想定される)を分解し、喘息や Gaucher 病で発現が増加する機構および病理学的意義を明らかにしたい. 次年度は特に哺乳類キチナーゼが生産する低分子キチンのサイズを明らかにしたい. その知見をもとに医薬品や機能性食品の開発につなげたいと考えている.

5. 参考文献

1. Marked elevation of plasma chitotriosidase activity. A novel hallmark of Gaucher disease. Hollak et al., *J. Clin. Inv.* 1994 **93**:1288-1292.
2. Purification and characterization of human chitotriosidase, a novel member of the chitinase family of proteins. Renkema GH et al., *J. Biol. Chem.* 1995 **270**: 2198-2202.
3. Multicenter analysis of glucocerebrosidase mutations in Parkinson's disease. Sidransky E et al., *N. Engl. J. Med.* 2009 **361**:1651-1661.
4. Identification of a novel acidic mammalian chitinase distinct from chitotriosidase. Boot RG et al., *J. Biol. Chem.* 2001 **276**:6770-6778.
5. Acidic mammalian chitinase in asthmatic Th2 inflammation and IL-13 pathway activation. Zhu et al., *Science* 2004 **304**:1678-1682.

6. Chitin induces accumulation in tissue of innate immune cells associated with allergy. Reese et al., *Nature* 2007 **447**:92-96.
7. Chitotriosidase is the primary active chitinase in the human lung and is modulated by genotype and smoking habit. Seibold MA et al., *J. Allergy Clin. Immunol.* 2008 **122**: 944-950.
8. Selective targeting of perivascular macrophages for clearance of beta-amyloid in cerebral amyloid angiopathy. Hawkes et al., *Proc Natl Acad Sci USA*. 2009 **106**:1261-1266.
9. Water-soluble chitosan derivatives as a BACE1 inhibitor. Je et al., *Bioorg Med Chem.* 2005 **13**:6551-6555.
10. Low molecular weight chitosan is an efficient inhibitor of ribonucleases. Yakovlev et al., *Biochem Biophys Res Commun.* 2007 **357**:584-588.

複雑な多環性構造を有する新規抗腫瘍天然物の全合成研究

工学院大学 応用化学科 南雲紳史

工学院大学附属高校 宮下正昭

北海道薬科大学 水上徳美

Synthetic Study of Highly Antitumor Active Natural Products Composing
of Complex Polycyclic System

Shinji Nagumo, Department of Applied Chemistry, Kogakuin University

Masaaki Miyashita, High School of Kogakuin University

Megumi Mizukami, Hokkaido Pharmaceutical University, School of Pharmacy

ABSTRACT: Cortistatin A which has abeo-9(10-19)-androstane and isoquinoline skeletons was isolated from Indonesian marine sponge *Corticium simplex*. The natural product showed the anti-proliferative activity ($IC_{50} = 0.0018 \mu M$) against human umbilical vein endothelial cells (HUVECs) with high selectivity. We carried out the synthetic study of Cortistatin A based on tandem ring closure metathesis of polyene.

1. はじめに

正常個体において血管新生は、傷の回復時など限られた場合にしか起こらない現象である。しかし、癌患者においては、腫瘍がある程度の大きさまで成長すると、血管新生促進物質を放出する。これにより周辺組織から血管のバイパスを作りだし、増殖に必要な栄養分を獲得する。したがって、血管新生の選択的阻害活性物質は固形癌の成長を抑制する一方で、正常細胞に対しては毒性を発現しない抗癌剤として期待されている。大阪大学の小林資正教授らは血管新生阻害に基づく次世代型抗癌剤の開発を目的として、正常ヒト臍帯静脈血管内皮細胞 (HUVECs) に対する選択的増殖抑制を示す化合物を海洋生物を題材として探索していた。その中で、インドネシア・フローレンス島で採集された海綿 *Corticium simplex* から極微量の Cortistatin 類が単離された。⁽¹⁾ これらのうち、Cortistatin A は HUVECs に対して選択的増殖抑制

効果 ($IC_{50} = 0.0018 \mu M$) を示し、血管新生阻害剤の有望なリード化合物として期待されている。その構造は oxabicyclo[3.2.1]octene 骨格と isoquinoline 骨格を含むステロイド系アルカロイドである。その顕著な生理活性と類例のない構造から Cortistatin A は格好の合成ターゲットであり、小林教授らの報告以来多くの合成研究グループがその合成研究に取り組んでいる。我々のグループでも独自の的方法論による本化合物の合成経路の確立を目指し合成研究に着手した。今回は新規タンデム型閉環メタセシス反応を開発し、それを基盤として用いることにより、oxabicyclo[3.2.1]octene 骨格を含む B C D 環の立体選択的構築することに成功したので報告する。

2. 合成計画

Cortistatin 類の合成を進める上での最重要課題は oxabicyclo[3.2.1]octene 骨格をいかに効率的に構築す

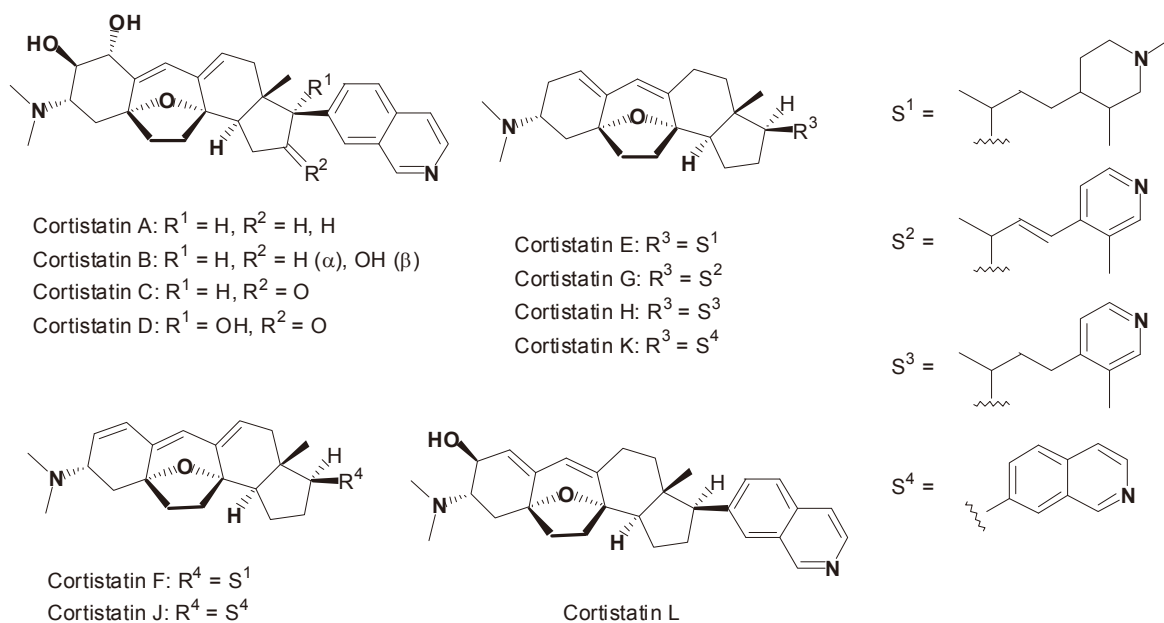


Fig. 1

るかにある。このユニークな部分構造はその周辺との間で共役ジエンシステムを併せ持っており、その構築はさらなる困難が予想された。これに対して我々は、近年飛躍的に発展した閉環メタセシス反応を基盤として解決できるものと考え、以下のような合成計画を立案した。Cortistatin A は A より一炭素増炭、分子内アルドール縮合等により 6 員環を構築し、水酸基およびアミノ基を立体選択的に導入することにより合成できるものと考えた。化合物 A はエンイン B のメタセシス反応⁽²⁾と続くクロスオレフィンメタセシス反応を連続して行うことにより得られるものと考えた。化合物 B はアシロイン C から鈴木クロスカップリング⁽³⁾等により変換可能と考えた。また、化合物 C はアルケン D のオスミウム酸化等により変換でき、D はエストラジオールの酸化分解により得られる E から合成可能と考えた。

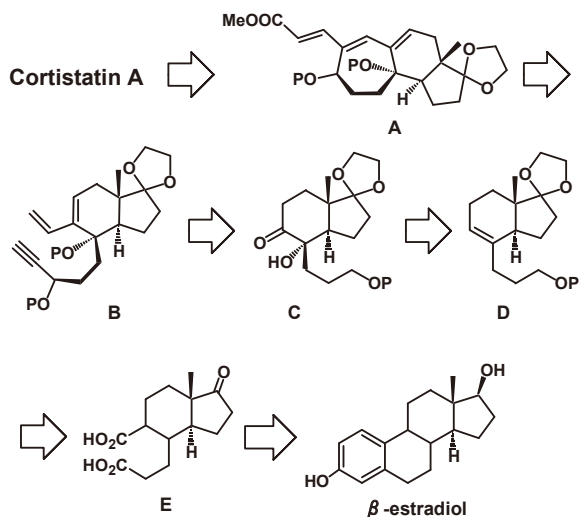


Fig. 2

3. 閉環メタセシス反応のモデル実験

3. 1 基質の合成

最初に B の閉環メタセシス反応のモデル実験をジエンイン 14 を用いることにより検討した。化合物 14 はシクロヘキセンオキッドを出発原料から 15 工程で合成した。

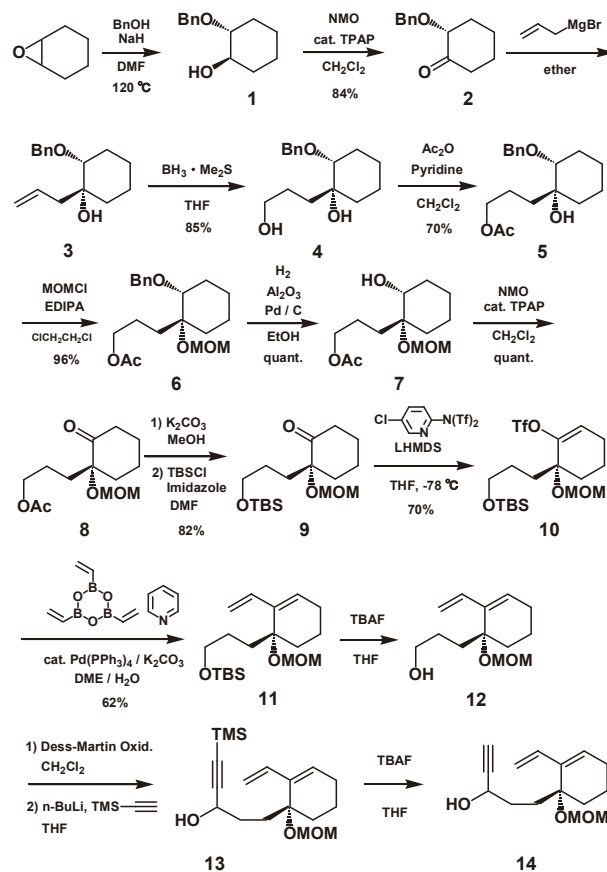


Fig. 3

NaH の存在下、ベンジルアルコールを求核剤としてシクロヘキセンオキシドの開環反応を行い、得られたアルコール **1** に対して tetrapropylammonium perruthenate (TPAP) で酸化を行いケトン **2** へ導いた。化合物 **2** に対してグリニヤル反応でアリル基を導入後、ヒドロホウ素化を行うことによりジオール **3** を得た。さらに6工程の官能基変換によりケトン **9** へ誘導後、ビニルボランとの鈴木クロスカップリング反応を行った。得られたジエン **11** は TBS 基の脱保護、Dess-Martin 酸化により対応するアルデヒドへ変換後、アセチリドイオンとのカップリング反応、TMS 基の除去を順次行い目的とするジエン **14** を合成した

3. 2 ジエンイン誘導体の閉環メタセシス反応

閉環メタセシス反応には第一世代 Grubbs 触媒 (I)、第二世代 Grubbs 触媒 (II)、第一世代 Hoveyda 触媒 (III)、第二世代 Hoveyda 触媒 (IV) を用いて行った。

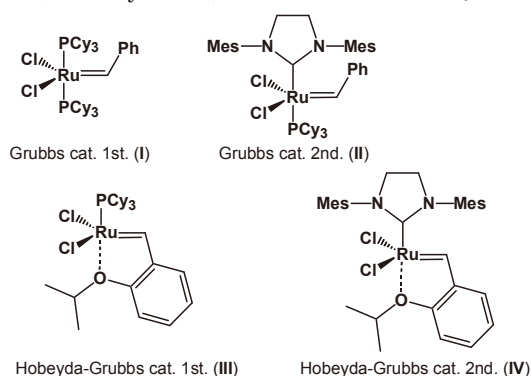


Fig. 4

最初に **13** および **14** を基質として種々条件検討を行ったが、エチレン雰囲気下、IV を用いたときにテトラエンが生成するに止まった。そこで、2級水酸基をシリル保護した **17**、MOM 保護した **21** を合成し、その閉環メタセシス反応を行った。その結果、**17** の反応を IV を用いて行ったとき 25% の収率で目的とする7員環成績体 **19** が生成したが、8員環成績体 **20** も同時に生成した。**21** の反応では、8員環成績体 **23** は生成したが7員環成績体の生成は確認できなかった。**17** や **21** の反応で8員環成績体が生成するのは、エチレンとのメタセシスにより生じるテトラエン中間体 **18**、**22** で、末端アルケン同士でのメタセシスが容易であるためと考えられる。側鎖の TBSO 基や MOM 基の立体障害が隣接する内部アルケンのメタセシスをより妨げているとも考えられる。

そこで我々はアクリル酸エステル誘導体 **24** を合成し、そのタンデム閉環メタセシス反応を行った。この基質から生じるペンタエン中間体 **A** では、側鎖に存在する末端アルケンがアクリル酸部分とメタセシスを起こすことが期待できる。その結果として中間体 **B** を経由して7員環形成を強制的に進行させることができると考えた。第二世代の Grubbs 触媒を用いて toluene 還流の条件で反応を行ったところ、期待通りに8員環形成を抑えられ7員環成績体 **25** を 50% の収率で得ることができた。

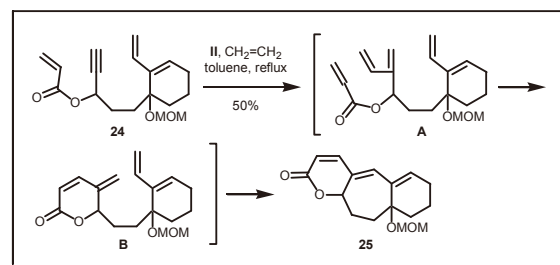
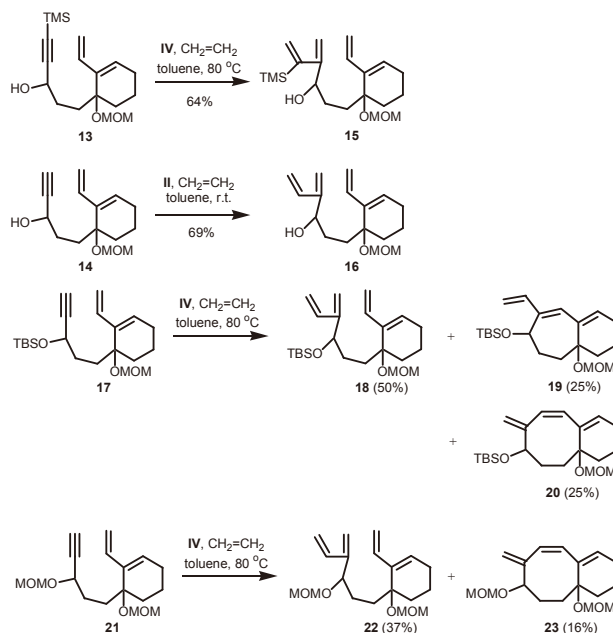


Fig. 5

4. Cortistatin 類の CD 環部の合成

Cortistatin 類の CD 環部はトランスに縮環している。これに対しては、エストラジオールの CD 環部がトランス縮環であることに着目した。すなわち、エストラジオールのベンゼン環を塩化ルテニウムにより酸化的に分解することを試みた。得られたジカルボン酸はエステル化、ケタール化に順次付し、ジエステル **27** に導いた。次に、**27** の Dieckmann 環化反応、続いて脱炭酸を行うことによりケトン **8** を得た。化合物 **8** の Baeyer-Villiger 反応は位置選択的に進行し 78% の収率でラクトン **9** が生成した。¹H NMR の解析から、ラクトン環と C 環の縮環部はシス配置であることが判明した。**26** から **29** のどの段階でエピメリ化が起こっているかはわかっていない。ラクトン **30** は LiAlH₄ 還元によりジオール **31** へ導いた後、一級水酸基を選択的に TBDPS で保護して **32** を得た。さらに、アンチ脱離反応により三置換アルケンへ誘導することを目的として **32** のメシル化を行った。得られたメシルート **33** 塩基処理したところ、予期に反し二置換アルケン **36** が主生成物となった。**35** と **36** の生成比は約 1 : 5 で、カラムクロマトグラフィーにより分離はできなかった。そこで、一度フェニルセレン **34** に変換し、そのシン脱離反応を検討した。しかし、この場合にも **36** が主生成物となった。

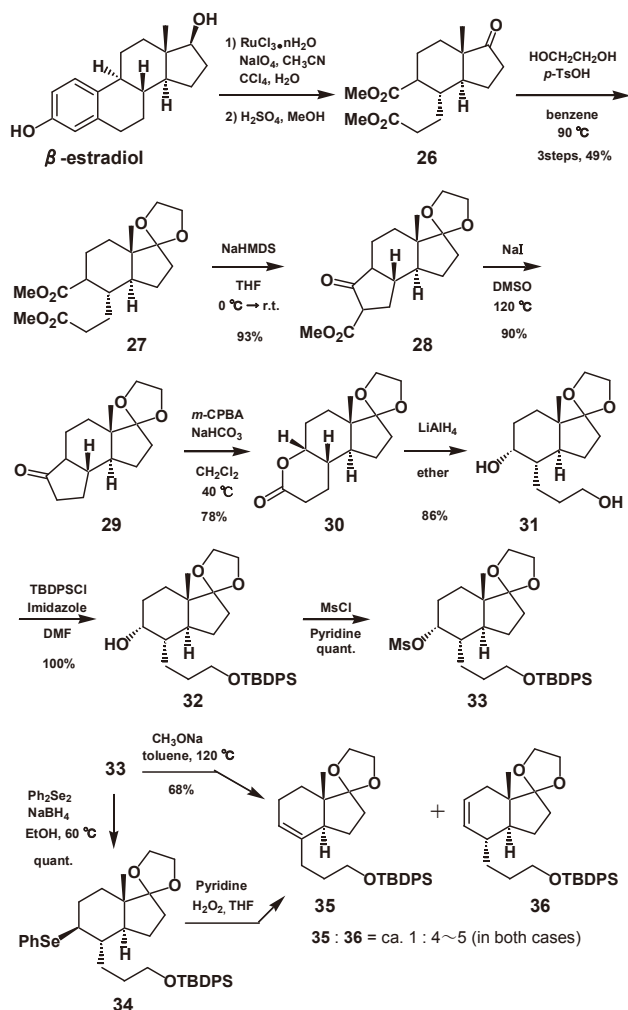


Fig. 6

アンチ脱離、シン脱離のいずれの場合にも二置換オレフィンが主生成物となるため、四置換シリルエノールエーテルを選択的に合成し、MCPBA や四酸化オスミウムによる酸化を試みる計画を立てた。実際には、アルコール **32** を TPAP で酸化してケトン **37** へ変換した後、TESOTf/Et₃N の条件でシリル化を検討したが、三置換シリルエノールエーテル **38** のみが 99% の収率で得られた。

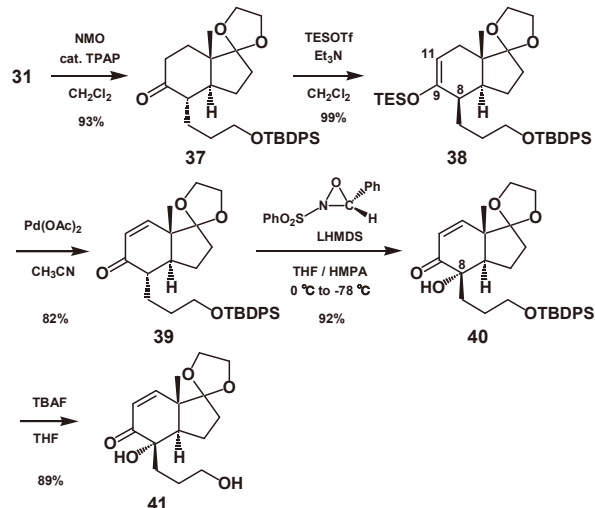


Fig. 7

そこで **38** を三枝酸化に付すことでエノン **39** に導びき、その Davis 酸化⁽⁴⁾を試みた。その結果、8 位に水酸基が導入された **40** を 92% の収率で合成することに成功した。また、この酸化反応は高立体選択的に進行しており、対応するジオール **41** の X 線結晶回折より目的とする α 配置であると判明した。

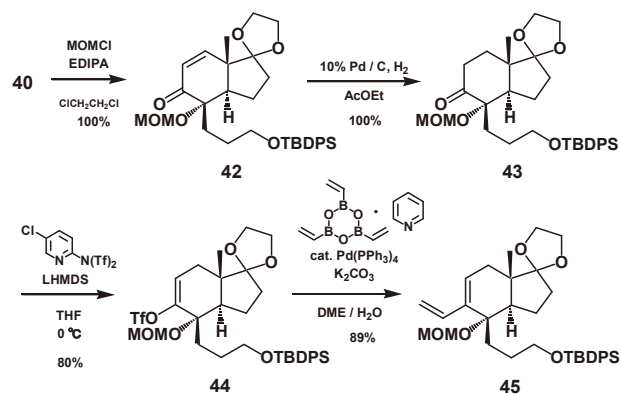


Fig. 7

次に B 環構築の手掛かりとなる共役ジエン構造の構築を検討した。化合物 **40** の三級水酸基を MOM 基で保護し、続いて接触還元を行うことによりケトン **43** を得た。化合物 **43** に対し LHMDS / Comin's 試薬の条件でビニルトリフレート **44** へ変換後、鈴木・宮浦クロスカップリング反応を行った結果、89% の収率でジエン **45** を合成することに成功した。

今年度は、**45** よりポリエニン誘導体 **B** へ導き、そのタンデム閉環メタセシス反応を検討する予定である。

参考文献

- (1) Aoki, S., Watanabe, Y., Sanagawa, M., Setiawan, A., Kotoku, N., Kobayashi, M.: J. Am. Chem. Soc., Vol. 128, No. 10 (2006) pp. 3148-3149.
- (2) Kinoshita, A., Sakakibara, N., Mori, M.: J. Am. Chem. Soc., Vol. 119, No. 50 (1997) pp. 12388-12389.
- (3) Miyaura, N., Yamada, K., Suzuki, A.: Tetrahedron Lett., Vol. 20, No. 36 (1979) pp. 3437-3440.
- (4) Vishwakarma, L. C., Stringer, O. D., Davis, F. A.: Org. Synth., Vol. 66 (1988) pp. 203-210.

血液環境で使用される医療機器の生体適合性の改善

2010 年度課題：人工透析用体外循環式血液回路チューブ強度の滅菌処理依存性

工学院大学 工学部 環境エネルギー化学科 木村 雄二

埼玉大学 工学部 森田 真史

工学院大学 客員研究員 佐藤 宜伯

Effect of Sterilization Treatment upon Tensile Strength of Blood Tubing Line for Hemodialysis

Yuji Kimura, Department of Environmental Energy Chemistry, Kogakuin Univ.
Masafumi MORITA, Faculty of Engineering, Saitama Univ.
and
Yoshinori SATO, Visiting Researcher, Kogakuin Univ.

ABSTRACT : Blood tubing line for hemodialysis has various problems concerning its cost and elution of some element from it. Sterilization of blood tube was mainly conducted by high pressure steam auto crave (AC). As other sterilization methods, γ ray sterilization and ethylene oxide gas sterilization (ETO) were well known, however, these methods do not applied to blood tubing line. And also, no evaluation was conducted concerning effects of these sterilization methods upon tensile strength of blood tubing line. From reliability view point, these evaluation of tensile strength change depending upon sterilization method is extremely important. Therefore in this study, tensile strength change in blood tubing line depending upon sterilization method was conducted. As a result, no remarkable difference in tensile strength was recognized between AC-sterilized and non-sterilized blood tube materials. And also, through employing t-test in evaluating tensile test results no remarkable difference in tensile strength of AC-sterilized blood tube was generated after stroking 3 hours.

1. 緒言

人工透析(Fig. 1 & Fig.2)用血液回路チューブは、コストや溶出物の問題がある。また、現在主に使用されている人工透析用血液回路チューブの滅菌法は高圧蒸気 (AC) 滅菌法であり、その他の滅菌法として有名な γ 線滅菌法やエチレンオキシド(ETO)ガス滅菌法などによって滅菌された人工透析用血液回路チューブはほとんど使用されていない。さらには、これらの滅菌法の影響による人工透析用血液回路チューブの強度変化に関する検討もな

されていない。滅菌法による強度の差異ならびに血液ポンプの使用による強度変化がなければ、人工透析用チューブの軽量化や輸送コストを下げられる可能性があり、総じて、医療費の抑制に貢献するものと思われる。

そこで、本研究では、人工透析用血液回路チューブの滅菌法による強度の差異、また血液ポンプの使用の前後による強度変化を検討することを目的とした。

一方では、回路の素材に関しては、厚労省通知「ポリ塩化ビニル製の医療用具から溶出する可塑剤 (DEHP) について」(平成14年10月17日医薬安発 1017003

号)¹⁾で示されている如く、可塑剤であるフタル酸ジ-2-エチルヘキシジル (DEHP) 溶出が無い素材や、環境への配慮から廃棄処分時にダイオキシン等の発生しない素材が望ましいなどの課題が残されている。すなわち、血

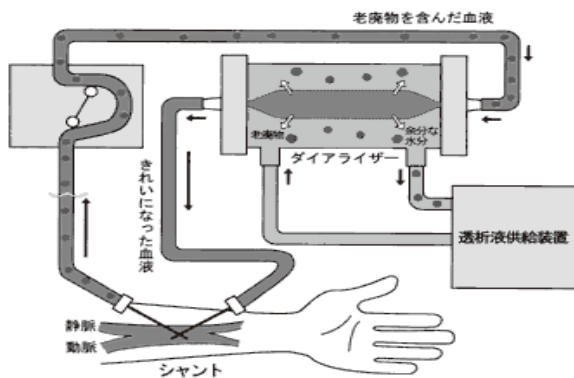


Fig. 1 Schematic illustration of hemodialysis



Fig. 2 Apparatus for hemodialysis

液回路可塑剤変更前後及び逆浸透(RO)水清浄化前後の臨床データを比較した結果を紹介している。血液回路可塑剤変更前は DEHP、変更後は TOTM(トリオクチルトリメリテート)を使用した。維持透析中の CRP (C 反応性タンパク)、 $\beta 2$ ミクログロブリン、血清アルブミン濃度、透析前ヘモグロビン濃度及びエリスロポエチン投与量を比較されている。DEHP を用いない回路の使用によって 12 か月後に有意な CRP の低下が認められたことは、透析患者において DEHP が何らかの生体反応を惹起している可能性を示唆している。以上のことから、血中に溶出しにくい可塑剤を使用することが望ましいなどの報告がなされている²⁾。

また、透析医療事故については、平成 12 年度の「透析医療事故の実態調査と事故対策マニュアルの策定に関する研究」(厚生科学特別研究事業)によると、372 件の重篤な事故が報告されており、その内訳は透析用穿刺針の抜針事故が 94 件 (25.3%) と最も多く、次いで透析回路接続部の離断事故が 60 件 (16.1%) となっている。しか

も、60 件中 44 件 (73.3%) が針一回路接続部の離断となっており、抜針事故の原因としては針の固定不良と思われる例がほとんどであった。

この点は、透析用材料のセーフティ機構を利用し、抜針や回路離断事故による出血事故防止に取り組むべきとも思われ、本研究で検討を加えた人工透析用血液回路チューブの滅菌法による強度の差異、また血液ポンプの使用の前後による強度変化に関する問題とも密接な関連を有するものと考えられ今後の課題である。

2. 供試材料及び試験方法

2-1 供試材料

供試材料には、K 社製の評価用血液回路チューブの未滅菌のものとして AC 滅菌されたものを用いた。チューブの素材はいずれもポリ塩化ビニル (PVC) であり、本実験試料には可塑剤としてフタル酸ジ-2-エチルヘキシジル (DEHP) が加えられている。ポリ塩化ビニルは、優れた柔軟性と化学的安定性から広範な分野で使用されており、その優れた物性については、現在も高く評価されている。一方で、DEHP は一時期内分泌かく乱化学物質の候補物質として議論されていたが、現在は、主として精巢毒性を有する一般毒性物質として、耐容一日摂取量 (TDI) $40\sim 140 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ が設定されている。

2-2 試験方法及び測定装置

2-2-1 試験片

試験片は JIS K 7161-1994³⁾に則り下図のサイズとした。

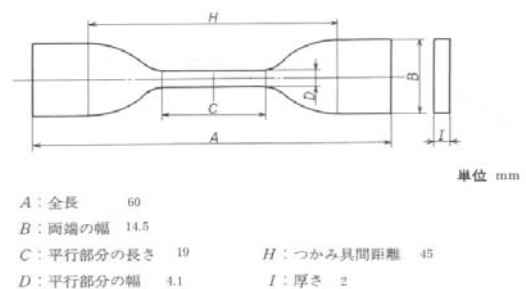


Fig. 3 Specimen geometry

2-2-2 試験片打ち抜き

Fig.4 に示す人工透析用血液回路チューブを用いた。本研究で用いたメインチューブとは同図の赤線内の部分である。Fig.5 のように人工透析用血液回路チューブからメインチューブを切りだし、これを板状に開きさらに 4 等分する。4 等分されたメインチューブを理研製の試験片打ち抜き機でダンベル状試験片を作成し、本研究の試験片とした。Fig.6 は作製したダンベル状試験片である。

2-2-3 引張試験

試験機は東洋精機社製ストログラフ V10-C を使用した。試験条件は引張速度 $200\text{mm}/\text{min}$ を選定し引張試験を行った。

擬的な試料とした。

3. 実験結果及ならびにその考察

3-1 引張試験結果



Fig.4 Blood tubing line



Fig. 7 Pump for blood tubing line



Fig. 5 Main tube of blood tubing line

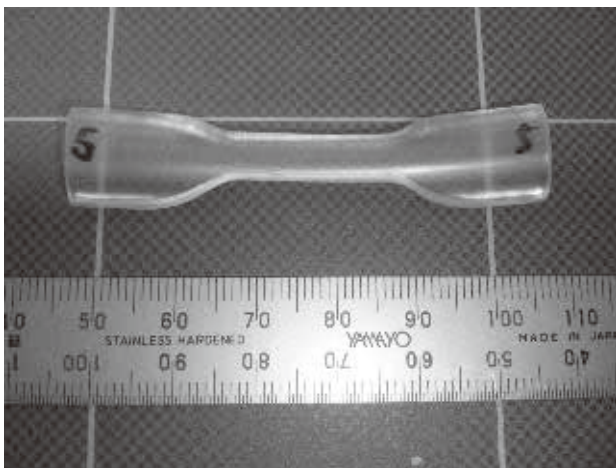


Fig. 6 Test specimen obtained from main blood tube

3-1-1 単純引張試験結果

引張速度 200mm/min で未滅菌のチューブと AC 滅菌されたチューブの引張試験を行った結果を Fig.8 及び Fig.9 にまとめて示す。

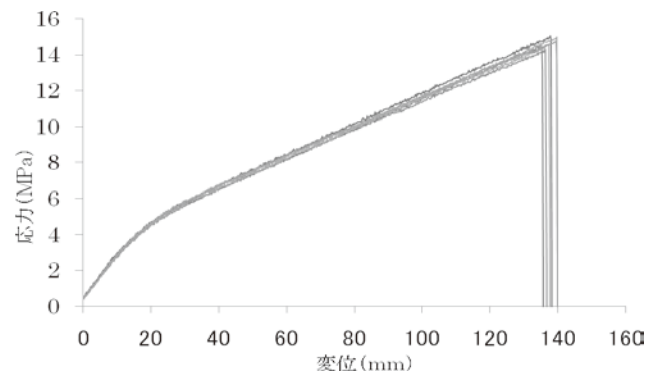


Fig. 8 Tensile test results of non-treated blood tube : n=6

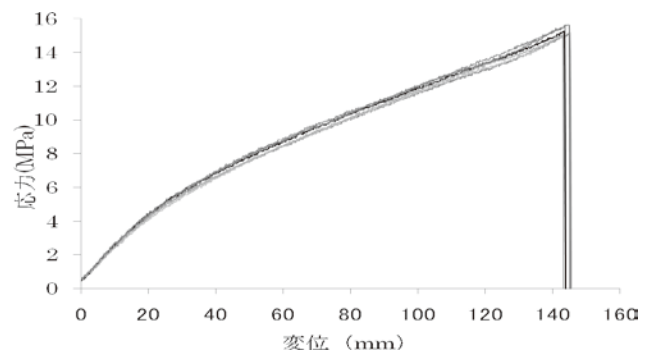


Fig. 9 Tensile test results of AC-sterilized blood tube : n=6

2-2-4 血液ポンプによる輸液循環の実施

AC 滅菌チューブに $37 \pm 0.2^\circ\text{C}$ の生理食塩水を流量 300 ml/h 流速で流すために、Fig.7 に示す血液回路ポンプにて 3 時間しごいたものを準備し、これを実際に血液ポンプに装着し透析に使用されて後の強度評価を行うための模

それぞれの応力-変位曲線を比較すると、試験片の伸びの増加に伴い多少弾性率が低下するような類似の変形挙動を示しており、グラフの形態には大きな差を見出すことはできなかった。しかしながら、AC 滅菌されたチ

ューブの方が引張試験当初から弾性率（応力—変位線図の傾き）が多少小さくなる傾向を示し、その結果として破断伸びの値が未滅菌試験に比較し若干の大きな値を示すことが明らかとなった。6本の試験片により求めた破断強度の平均値は、未滅菌の試験片のそれが14.7MPaであるのに対して、滅菌処理材のその値は15.3MPaとなり若干の増加が認められたが、滅菌処理の有無に関わらず大きな差異があるとは言えなかった。

3-1-2 有意差検定⁴⁾

引張試験の結果から、滅菌処理の有無によらず引張強度には大きな差異が認められないと考えられるが、この点について推計学的手法を用いた両者データの標準偏差（分散）には差異が存在しないとする前提に立った引張強度の有意差検定を（t検定）試みた。この判定のための計算結果をTable 1に示す。

Table 1 Result of t-test concerning tensile strength of non-sterilized and AC-sterilized tube

	未滅菌	AC滅菌
1	14.31	15.63
2	14.59	15.15
3	14.58	15.18
4	15.03	15.28
5	14.77	15.08
6	14.97	15.71
平均値	14.71	15.34
偏差の平方和	0.36	0.35
推定母分散	0.072	
t	4.07	
自由度	有意水準5%	有意水準1%
10	2.23	3.17

Table 1に示した結果より、未滅菌チューブとAC滅菌チューブにおいて引張強度は、有意水準5%においては勿論のこと有意水準を1%とやや厳しい評価をしても滅菌処理を施した試験片において、引張り強度の値が等しいとする仮説が棄却されることが明らかとなった。

3-1-3 考察

PVCの血液回路チューブには、温度115℃～130℃、圧力250kPs、時間15～25分という条件でAC滅菌処理が行われたが、AC滅菌ならびに未滅菌チューブの引張試験結果から、血液回路チューブには強度に有意な差異を生じさせるほど大きな影響が与えられたことが明らかとなった。

これと同時に、AC滅菌されたチューブの方が引張試験当初から弾性率（応力—変位線図の傾き）が多少小さくなる傾向を示し、その結果を反映して破断伸びの値が未滅菌試験に比較し若干の大きな値を取っていること

が明らかとなった。このような事柄から、AC滅菌処理には、PVCの血液回路チューブの弾性率を減少させ、その結果として引張り強度上昇ならびに破断伸びの値を若干増加させる何らかの構造変化が生じていることが推察される。

したがって、このような弾性率の若干の低下ならびに引張り強度上昇および破断伸びの増加を引き起こす原因となる、PVCの構造変化の本質の把握は今後の課題である。

3-2 ポンプによるしごき後の引張強度変化

3-2-1 ポンプによるしごき後の引張試験結果

血液ポンプで37±0.2℃の生理食塩水を流量300ml/hで3時間循環させながらしごいた後に、3-1-1と同様の試験条件で同チューブを用いて行った引張試験結果をFig.11に示す。また、しごきの前後変形挙動を比較する意味で、Fig.9と同じものをFig.10に示す。

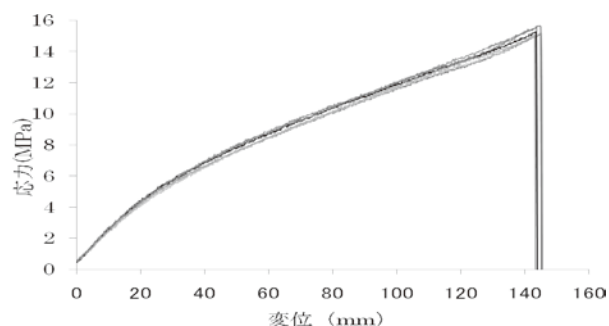


Fig. 10 Tensile test results of AC-sterilized blood tube before stroking : n=6

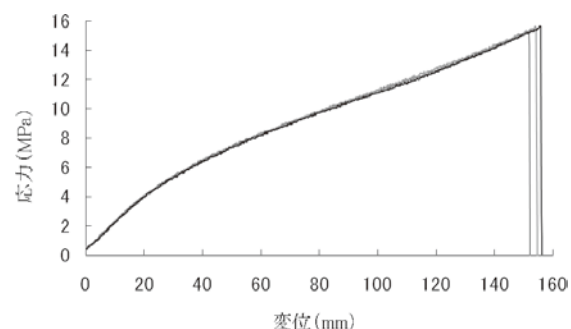


Fig. 11 Tensile test results of AC-sterilized blood tube after stroking 3 hours : n=5

輸液循環を想定したしごき前後におけるAC滅菌処理材の引張試験により求められた応力—変位曲線を比較すると、試験片の伸びの増加に伴い多少弾性率が低下するような類似の挙動をしており、グラフの形態には大きな差を見出すことはできなかった。しかしながら、3時間のしごきを受けたチューブの方が引張試験当初から弾性率（応力—変位線図の傾き）がさらに多少減少する傾向が認められ、その結果を反映して破断伸びの値がしごきを受けていない試験片に比較しさらに若干増大していることが明らかとなった。一方では、6本あるいは5本

の試験片により求めた破断強度の平均値は、未滅菌の試験片のそれは前述通り 15.3MPa であるのに対して、3 時間のしごきを受けた試験片ではその値は 15.5MPa となり若干の増加が認められたが、滅菌処理の有無に関わらず大きな差異があるとは言えなかった。

3-2-2 有意差検定

3-1-2 と同様に、しごき前後の試験片の引張強度についても有意差検定 (t 検定) を行った結果を、Table 2 に示す。

Table 2 Result of t-test concerning tensile strength of AC-sterilized blood tube before and after stroking

	しごき前	しごき後
1	15.63	15.64
2	15.15	15.42
3	15.18	15.3
4	15.28	15.63
5	15.08	15.63
6	15.71	-----
平均値	15.34	15.52
偏差の平方和	0.35	0.097
推定母分散	0.050	
t	1.32	
自由度	有意水準 5%	有意水準 1%
9	2.26	3.25

これらの検定結果から、しごき前後における血液回路チューブ引張強さには有意水準 1%ならびに 5%のいずれにおいても、しごきの前後において強度が等しいとする仮説を棄却できないという結果になった。

以上の結果より、AC 滅菌チューブの引張強度は、3 時間の透析に相当するしごきを受ける前後で、有意水準 1%においては勿論のこと有意水準を 5%とやや甘くしても、しごきの有無に関わらず両者の試験片の強度には有意差があるとは言えないという結論が得られた。

3-2-3 考察

血液回路ポンプにより 3 時間血液回路チューブをローラーで押しつぶしながら輸液を送り出すことは、PVC チューブ自身に繰返し応力が負荷されたが、引張強度に明瞭な変化を及ぼすほどの影響は与えなかったものと思われる。しかしながら、血液回路ポンプのローラーにより 3 時間繰返し押しつぶされた血液回路チューブの方が、引張試験当初から弾性率 (応力-伸び線図の傾き) が多少小さくなる傾向を示し、その結果として破断伸びの値がしごきを受けていない試験片に比較し若干大きな値を示すことが明らかとなった。

したがって、血液回路ポンプローラーにより 3 時間血液回路チューブを繰返し押しつぶす過程で、PVC の血液回路チューブの弾性率を減少させ、その結果として破断伸びの値を若干増加させることにつながる何らかの更なる構造変化を生じさせていることが推察される。

このような弾性率の若干の低下ならびに破断伸びの増加を引き起こす原因となる、PVC の構造変化の本質の把握は今後の課題である。

4. 結 言

AC 滅菌された血液回路チューブと未滅菌の血液回路チューブの引張試験による強度の比較、ならびに実際の透析治療を想定した血液回路ポンプによるしごきの繰返しによる強度劣化の有無について種々の検討を行った結果、以下の事柄が明らかとなった。

- 1) 供試材料として用いた K 社製の PVC の血液回路チューブは、AC 滅菌処理を行うことにより弾性率を減少させ、その結果として引張り強度上昇ならびに破断伸びの値を若干増加させていることが分かった。
- 2) 血液ポンプのローラーによって血液回路チューブを繰返し押し潰しながら生理食塩水を流速 300ml/h で 3 時間程度送り出すことは、血液回路チューブの引張強度に対して影響は少なく、有意な強度変化を生じさせていないことが明らかとなった。

以上の結果より、本研究で使用した K 社製の評価用血液回路チューブ厚を改良するための前提となる、強度劣化の存在が認められないところから、今後の血液回路チューブ合理的な設計の検討に歩を進めることが可能であると判断される。

参考文献

- 1) 厚生労働省医薬局安全対策課長通知「ポリ塩化ビニル製の医療用具から溶出する可塑剤 (DEHP) について」(平成 14 年 10 月 17 日医薬安発 1017003 号)
- 2) 神徳直子、佐原孝史、於土井弘子、水処理・透析液清浄化 回路可塑材の変更および RO 水清浄化による影響、腎と透析、59 巻、特殊号、別冊 (11 月) (2005)、pp.151-153.
- 3) JIS K 7161-1994、プラスチック引張特性の試験方法、第 1 部：通則、日本規格協会。
- 4) 朝香鉄一、品質管理のための統計数学、東京大学出版会、(1968)、p.126.

解体を迎える半世紀供用した鉄筋コンクリート造建築物の後期健全度評価 と解体排出物のゼロエミッション型再資源化モデルの構築 — 仕上材を対象とした製造・輸送時の CO₂ 排出に伴う環境負荷評価 —

工学院大学 建築学部 建築学科 田村雅紀
清水建設 名知洋子
工学院大学 建築学部 建築学科 阿部 道彦
首都大学東京 中村 孝也
鹿島建設技術研究所 依田 和久
八洋コンサルタント 斉藤 順一
電源開発 石川 嘉崇

Robustness assessment for Reinforced Concrete Buildings used in Long Terms and
Construction on Recycling Model for Zero Emission and Carbon Neutral
— In-transit Environmental Load Assessment of the Finishing Materials of buildings —

Masaki Tamura , Department of Architecture, School of Architecture

ABSTRACT : The environmental loads by CO₂ emission from transportation have been causing concern in Japan, and environmental loads during long-distance transportation of materials such as building finishing materials should therefore be properly assessed.

In this study, it is investigated to estimate the ton-kilometerage by trucks on the land routes and the resulting environmental loads due to CO₂ emission of various finishing materials in building. The future environmental impacts for transportation are examined based on the estimation results.

1. はじめに

現在、温室効果ガスの削減要求は世界的な活動目標となっており、中でも二酸化炭素（以下、CO₂）排出削減に対して、様々な社会・産業分野で積極的な検討が実施されている¹⁾。建設業では建築物の供用段階におけるエネルギー消費量の削減に加え、製造段階や建設段階における CO₂ 排出量の削減が図られており、最終的にライフサイクル全体におけるカーボンフットプリントによる CO₂ 排出量の算定を前提とした削減対策や²⁾、低炭素社会に向けたカーボンニュートラル化やカーボンフリー化などの新しい取り組みが始められている³⁾。

現在、経産省ではカーボンフットプリント制度の運用に向けて、実質的な取り組みを推進されており、購入機会が多い日用品や食品などの非耐久財から導入する方向で検討されている⁴⁾。しかし、建築材料に関してはその対応が遅れており、特に建築仕上材では、輸送時の環境負荷量の算定が難しく、排出量の指標化が行われた事例は少ない。

以上より、本研究では、Fig.1 の流れに従い、主要な建築仕上材の製造、輸送時に関わる環境負荷の実態調査の上、研究1では、首都圏で施工された鉄骨造（以下、S造）及び鉄筋コンクリート造（以下、RC造）のモデル建物に使用された20種類の建築仕上材に関する、生産工場から施工現場までの輸送時環境負荷評価を行い、比較を行う。

研究2では、多用される仕上材である石膏ボードに着目し、Fig.2 に示す製造段階を含めた評価領域における環境負荷量の試算を行ない、輸送時環境負荷との比較を行う。

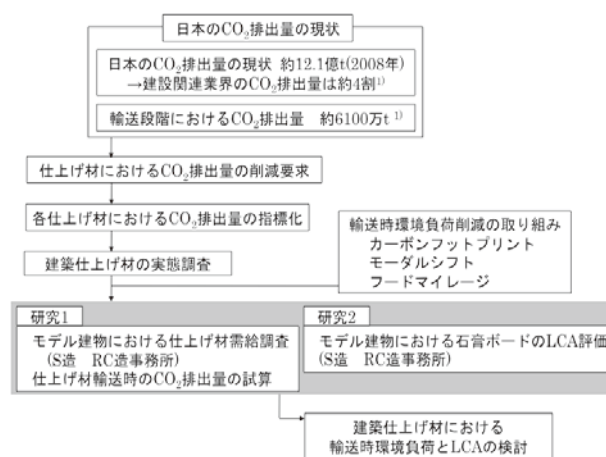


Fig.1 本研究の流れ

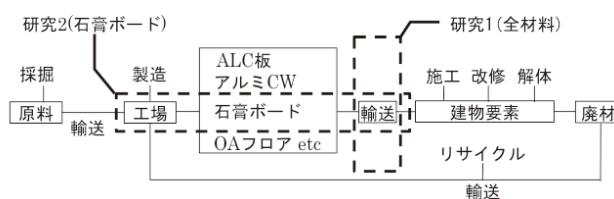


Fig.2 研究1,2における環境負荷評価の方法

2. 研究概要

2.1 建築仕上材に関するヒアリング・実態調査

Fig.3 に各種統計資料^{5) 6)}をもとに作成した主要な建築仕上材の生産量の経年変化を示す。主たる内装材である石膏ボード生産量は2000年から2007年にかけて大きな変化が見られないが2008、2009年になると10%程度の減少傾向が確認された。事務所ビル等で用いられる代表的な内装材のOAフロアも着工延床面積に相関があり、双方とも景気変動が生じた翌年に大きな変化が確認され、仕上材全体として景気動向の影響を受けやすく、それらの製造・輸送を含めた環境負荷量も同様となることが考えられる。なお、建設業関連では、一般に国内総物質投入量の50%程度が建設材料に使用されることや、建設業から生じる産業廃棄物は年間4億t程度で推移する全量の20%程度を占めること、そのうち建設廃棄物量の5~10%程度が最終処分され、最終処分全量の25%程度を占めること¹⁾等より、仕上材の環境負荷量の扱いは躯体材と合わせて重要となる。

続いて、Table 1 に建築仕上げ資材の輸送手段を、Table 2 に資材加工レベル別荷姿の特性分析を示す。建築材料の荷姿をタイプ別に分けると、「密閉」、「平積み」、「ユニット積み」、「平置き」に分類できる。荷姿は資材の加工レベル別に異なると仮定し、コンクリート原料のような液状・粉末状の資材は密閉状態で輸送され、石膏ボードやALC板の様に断面寸法の決まった資材は平積みで輸送され、サンドイッチパネルやガラスの様に3次元の形状寸法の決まった資材はユニット積みで輸送されるとする。鉄筋やスチールドアの様に複数の資材によって組立てられた資材は平置きで輸送されるとする。このように加工度・資材特性により荷姿が異なり、積載方法や積載量さらには環境負荷量に大きな違いが生じると考えられる。

2.2 試算対象としたモデル建物の選定と概要

Fig.4 に本研究で試算対象とした実施工物件であるモデル建物の概要を示す。モデル建物の構造は①S造、②RC造であり、その選定は、1都3県における2003年~2007年度の新築工事(777件)の物件に対して、構造・用途別の特性を評価するためのヒアリングを行った結果をもとに

しており、構造別ではS造が35%、RC造が51%を占め、用途では、事務所が23%を占めた。以上を踏まえ、構造、用途、延床面積に関して一般的な実施工建物を本研究におけるモデル建物に選定し、評価をおこなった。なお、抽出した建物はS造、RC造ともに東京都江東区に所在する。

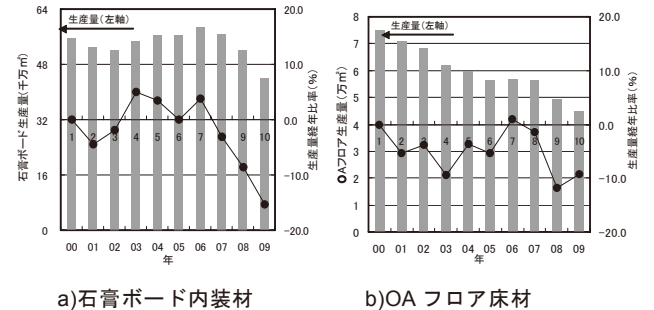


Fig.3 主たる建築仕上材生産量と経年比率

Table 1 建築仕上げ資材の輸送手段

種類	装備の説明
平トラック	荷台の側方のおりがあり、上部は無蓋で開放状態にある。資材の積載が用意であるが、用途が限定される。
幌付トラック	平トラックに対し、水漏れや荷積み防止用の布・鋼製覆い付き荷台を持つ。
ユニット付トラック	平トラックに対し、荷扱い用となる小型クレーンが荷台に設置されており、重量物、成型物の運搬が容易となる。
トレー	車両自身に原動機を持たず、専ら牽引されるための車台を有する。
アジテータ車	レディミクストコンクリートの専用運搬車であり、複数種の容量のドラムを有し、攪拌しながら輸送する
コンテナ船	45フィート(約13.7m)、40フィート(約12m)、20フィート(約6m)の標準的な鋼製貨物用コンテナを輸送する

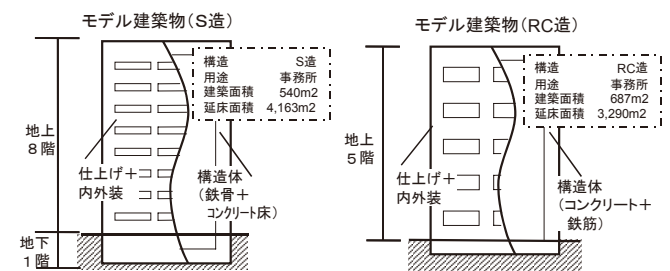


Fig.4 試算対象のモデル建物(実施工物件)

Table 2 資材加工レベル別荷姿の特性分析

タイプ	密閉	平積み	ユニット積み	平置き
説明	液状、粉末状の建設資材密閉状態で輸送される	断面(2次元寸法)のみ決定された資材。平積りで積層させて輸送	立体面(3次元寸法)が決定した資材。専門ウマ台等に梱包して輸送	大型で複数部位が組立された資材。梱包・養生を施して輸送
概念図				
加工度	原料レベル	材料レベル	製品レベル	部材レベル

2.3 建築仕上材の輸送時環境負荷評価

2.3.1 資材積載条件

Table4 に資材積載条件を示す。積載量の決定は、資材の重さで積載限度が決まる「重量型」と資材の容積で積載限度が決まる「容積型」を設定した。モデル建物では、実態調査の結果⁷⁾、原料レベルの資材は重量型のみが確認された。材料、製品、部材レベルでは資材積載条件は重量型、容積型ともに確認されたが、材料、製品レベルでは重量型が多く、部材レベルでは容積型が比較的多く確認された。

輸送時の環境負荷量を低減させるためには、容積型の資材を重量型に転換させる積載方法の改良が必要といえる。具体的には、車台容積に対する最適効率の建材に関する積載方法の提案などが該当する。

2.3.2 輸送時環境負荷試算方法

Fig.5 に輸送時 CO₂ 排出量の試算方法を、Table5 に各種ガイドライン⁸⁾より作成した輸送トンキロあたりの燃料使用量チャートを示す。トンキロあたりの CO₂ 排出量は、片道輸送距離、輸送回数、輸送重量を踏まえ、改良トンキロ法⁸⁾に基づき算定した。輸送距離の設定は、日本デジタル道路地図協会の全国デジタル道路地図データベースに準拠する GIS (地図情報システム) を用い、最短距離検索条件により試算した。輸送ルートに関しては、工場から直接現場へ輸送する場合と、工場から一度倉庫にストックした後、現場へ輸送をする場合があり、後者で倉庫前の輸送車と倉庫後の輸送車が異なる際は、当該試算を加えた形で最終的な負荷計算を行う必要がある。

2.3.3 輸送時環境負荷

Table6 に S 造資材輸送状態の計算結果を、Table7 に RC 造資材輸送状態の計算結果を、Fig.6 に輸送時における建築材料 CO₂ 排出量を、Table8 に輸送手段の改善による CO₂ 排出量削減データを、Fig.7 にシステム天井における輸送手段改善を示す。

S 造資材輸送において CO₂ 排出量が 10t 以上となっている建築仕上材は、他の建築仕上材と比較して、トンキロ値の大きいシステム天井、断熱サンドイッチパネル、OA フロアであり、RC 造資材輸送では OA フロアのみが該当した。なお RC 造では、ガラスと軽鉄下地のトンキロ値は同程度の値を示すが、CO₂ 排出量は 3 倍程度の違いがある。これは、輸送手段が 4t 平トラックと 20t 平トラックを用いている違いが考えられる。S 造に使用されているシステム天井は、輸送手段に 4t 平トラックを使用し、小容量で多数回輸送することにより CO₂ 排出量が拡大したといえる。

Table8 および Fig.7 より、環境負荷低減対策の結果を示す。システム天井の輸送過程で 2 段階の輸送を行っており、2 段階目より小口で 4t 平トラックで輸送する状況を、改善手法として 15t 平トラックに変更して再評価を行ったところ、トンキロ値が 25%程度削減、CO₂ 排出量は 50%程度削減されること可能となった。輸送手段の改善により、CO₂ 排出量は大幅に削減可能であり、輸送手段の選定は環

境負荷低減のための重要な要因といえる。

続いて、仕上材と躯体材の CO₂ 排出量を比較するため、Fig.6 に CO₂ 排出量の大きい上位 3 つの仕上材料の評価結果を示す。鉄筋コンクリート造建築物の構造材⁹⁾と建築仕上材の輸送時 CO₂ 排出量を比較すると、S 造、RC 造ともに、構造材の負荷が全体的に大きく、S 造は鉄骨、RC 造は骨材が最も大きくなっており、仕上材に関する輸送時 CO₂ 排出量は、S 造では全体の 10%程度、RC 造に関しては全体の 1%程度に止まった。

Table4 資材積載条件



A(重量型): 資材重量で積載限度を決定	B(容積型): 資材容積で積載限度を決定
$\alpha \geq \beta$	$\alpha < \beta$
α : 梱包込み資材の見かけの嵩密度(t/m ³)	
β : 車両ごとに決まる積み荷(空間込み)の見かけの嵩密度(t/m ³)	
A: $\alpha \geq \beta$ 資材の重さで積載限度が決まる	B: $\alpha < \beta$ 資材の容積で積載限度が決まる
原料: コンクリート 材料: 鉄筋, ビニールクロス, 軟鉄下地 塩化ビニールシート, 石膏ボード, 石 製品: OA フロア, タイルカーペット, ガラス, システム天井, フローリング 部材: 鉄骨	材料: ALC 板, アスファルト防水 塗膜・塗布防水, ケイラ板 製品: 断熱サンドイッチパネル, トリプル 部材: スチールドア, シャッター, アルミカーテウォール, アルミ窓
	

Table 5 輸送トンキロあたりの燃料使用量チャート

最大積載量 (kg)	輸送トンキロ当たり燃料使用量 (l/t・km)					
	積載率 (%)					
	10%	20%	40%	60%	80%	100%
~999	1.67	0.954	0.543	0.391	0.309	0.258
1,000~1,999	0.816	0.465	0.265	0.191	0.151	0.126
2,000~3,999	0.519	0.295	0.168	0.121	0.0958	0.08
4,000~5,999	0.371	0.212	0.12	0.0867	0.0686	0.0573
6,000~7,999	0.298	0.17	0.0967	0.0696	0.0551	0.0459
8,000~9,999	0.253	0.144	0.082	0.059	0.0467	0.039
10,000~11,999	0.222	0.126	0.0719	0.0518	0.041	0.0342
12,000~16,999	0.185	0.105	0.0601	0.0432	0.0342	0.0285

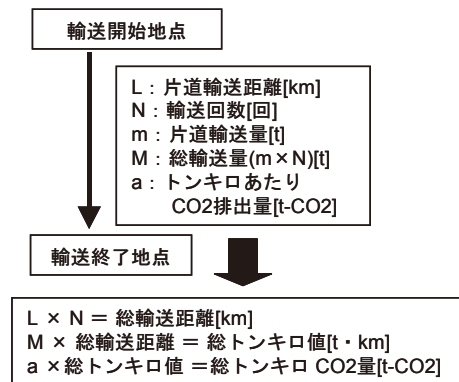


Fig.5 輸送時 CO₂ 排出量の試算方法

Table6 S造資材輸送状態の計算結果

※総輸送距離 () は、片道輸送距離を示す

分類	資材名	輸送手段 (評価重量)	荷姿	総輸送重量(t)	総輸送距離(km)	トンキロ値(t・km)	CO ₂ 排出量(t-CO ₂)
屋根	アスファルト防水	4t 平トラック(2t)	ユニット積み	4.5	318.4 (55.8・131.3)	1433	0.63
外壁	ALC板	15t 平トラック(5.5t)	平積み	17.9	258 (64.5)	4618	0.73
	断熱サッシパネ	15t 平トラック(14t)	ユニット積み	106	3532.8 (441.6)	374477	33.55
	石材	20 フィートコンテナ船 10tユニット付トラック(10t)	平積み 平積み	23.9			
建具	アルミサッシ	4t 平トラック(1.5t)	平置き	20.3	943.6 (67.4)	19155	8.43
	ガラス	4t 平トラック(4t)	ユニット積み	17.1	332 (66.4)	5677.2	1.2
	スチールドア	4t 平トラック(2.1t)	平置き	10.1	502.5 (100.5)	5075	1.6
床	OAフロア	10t 平トラック(10t)	ユニット積み	136.8	961.8 (68.7)	131574	13.44
	タイルカーペット	4t 平トラック(4t)	ユニット積み	15.4	223.2 (55.8)	3437	0.72
	塩化ビニールシート	4t 平トラック(4t)	平積み	0.61	55.8 (55.8)	34	0.02
内壁・天井	石膏ボード	4t 平トラック(4t)	平積み	15.2	185.2 (46.3)	2815	0.59
	ビニールクロス	4t 平トラック(4t)	平積み	6.8	111.6 (55.8)	759	0.16
	システム天井	28t 平トラック(28t) 4t 平トラック(4t)	ユニット積み	111.4	3921.6・(662.6) (45.2)	436866	51.73
什器	トイレブース	4t 幌付トラック(1.6t)	ユニット積み	0.56	473.9 (429.6・44.3)	265	0.36

Table7 RC造資材輸送状態の計算結果

※総輸送距離 () は、片道輸送距離を示す

分類	資材名	輸送手段 (評価重量)	荷姿	総輸送重量(t)	総輸送距離(km)	トンキロ値(t・km)	CO ₂ 排出量(t-CO ₂)
屋根	アスファルト防水	4t 平トラック(2t)	ユニット積み	7	449.7 (55.8・131.3)	3147.9	1.39
	塗膜・塗布防水	4t 平トラック(1.5t)	ユニット積み	0.06	49.8 (49.8)	2.988	0.001
外壁	タイル	20t 平トラック(20t)	平積み	14	55.8 (55.8)	781.2	0.06
	石材	20 フィートコンテナ船 10tユニット付トラック(10t)	平積み 平積み	74.4			
	アルミサッシ	4t 平トラック(1.5t)	平置き	3.4	202.2 (67.4)	687.5	0.2
建具	アルミ窓	4t 平トラック(1.5t)	平置き	0.8	67.4 (67.4)	53.9	0.02
	ガラス	4t 平トラック(4t)	ユニット積み	21.5	398.4 (66.4)	8565.6	1.8
	スチールドア	4t 平トラック(2.1t)	平置き	9.4	502.5 (100.5)	4723.5	1.5
床	OAフロア	10t 平トラック(10t)	ユニット積み	132.5	961.8 (68.7)	127419.3	13.02
	タイルカーペット	4t 平トラック(4t)	ユニット積み	0.4	55.8 (55.8)	22.3	0.005
	塩化ビニールシート	2t 平トラック(2t)	平積み	2.8	111.6 (55.8)	312.5	0.1
	フローリング	10t 平トラック(10t)	ユニット積み	2.8	80.9 (80.9)	226.5	0.02
内壁・天井	軽鉄下地	20t 平トラック(20t)	平積み	28.8	99 (99)	8553.6	0.64
	石膏ボード	4t 平トラック(4t)	平積み	16.7	46.3 (46.3)	3866.1	0.81
	ケイカル版	4t 平トラック(3.3t)	ユニット積み	1.1	28.7 (28.7)	31.6	0.008
	ビニールクロス	4t 平トラック(4t)	平積み	5.1	55.8 (55.8)	569.2	0.12
什器	トイレブース	4t 幌付トラック(1.6t)	ユニット積み	0.56	473.9 (429.6・44.3)	265	0.36

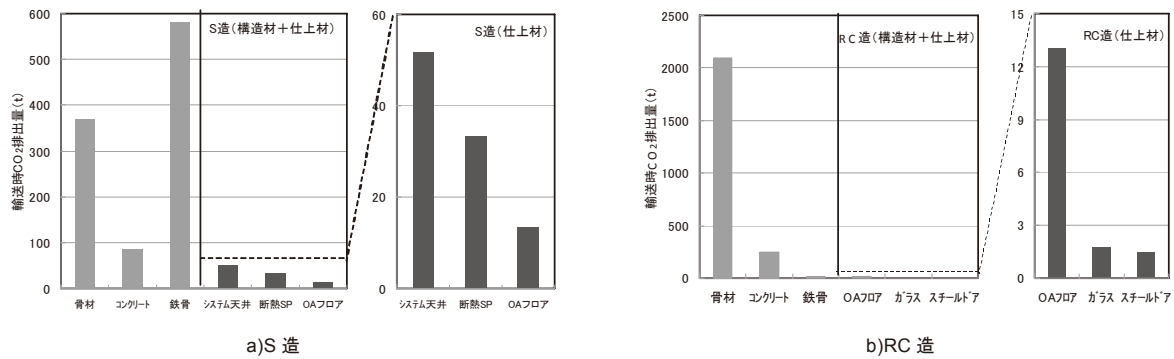


Fig.6 仕上材と構造材を区別した輸送時 CO₂ 排出量の比較

Table8 輸送手段の改善による CO₂ 排出量削減データ

資材	2段階輸送 (評価重量)	総輸送距離(km) (右:片道距離)	総トンキロ値 (t・km)	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)
システム天井	28t 平トラック (28t)	3921.6	(663.6)	436866
	4t 平トラック (4t)		(45.2)	
	28t 平トラック (28t)	3013.6	(663.6)	335715
	15t 平トラック (15t)		(45.2)	

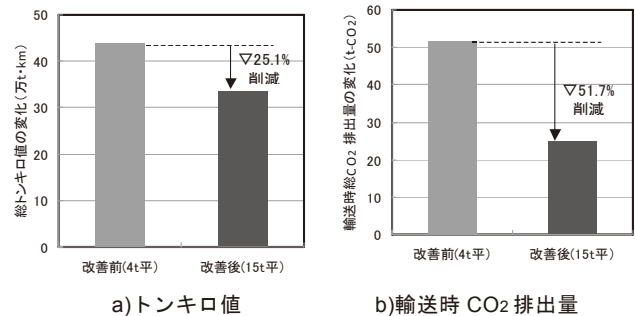


Fig.7 改善シナリオ評価例 (システム天井輸送車両の大型化)

2.4 モデル建物における石膏ボード製造・輸送時環境負荷評価

Fig.8 に石膏ボードのライフサイクルと評価領域を、Fig.9 に S 造・RC 造における単位面積あたりの各種環境負荷量を示す。Fig.8 より、輸入する天然石膏や火力発電所等から再生される回収副生石膏の輸送後から、天然石膏、副生石膏が石膏ボード製品となり施工現場に輸送されるまでの CO₂, SO_x, NO_x, 粒子状物質 (以下, PM) 発生量の試算を行い、製造段階、輸送段階との環境負荷量の比較を行った。なお、本研究では評価領域外としているが、施工現場や解体現場で発生する廃材は、環境省認可の広域認定ルートと各都道府県知事認可の中間処理業のルートで回収・再資源化されており、今後は廃材の回収を考慮した評価を行う必要がある。

石膏ボード製造は、重油、石炭、木屑、ガス、電力等のエネルギーの使用に伴い、環境負荷物質である CO₂, SO_x, NO_x, PM が発生し¹⁰⁾、CO₂ 発生量に着目すると、2008 年石膏ボード製造インベントリデータ⁵⁾より、石膏ボード製品 1t あたり 138kg の CO₂ が発生している。また、2006 年インベントリデータ¹¹⁾では CO₂ 発生量は 150kg となっており、技術の発展と効率化により 2 年間で製品 1t あたり 12kg の CO₂ 発生量の削減がなされたと考えられる。実態調査においても、他の仕上材より製造時 CO₂ 発生量の削減化が確認された。

Fig.9 に単位面積あたりの輸送時環境負荷量の比較 (S 造, RC 造) を示す。輸送時の環境負荷物質量は、CO₂ が全体の 2~3 割程度、NO_x が 6 割程度占めており、製造時と比較して輸送時の環境負荷の占める割合が大きい。建築仕上材のライフサイクル全体の環境保全を考える上で、製造時だけでなく輸送時の低炭素化を進める必要がある。

以上より、建築仕上材の原材料調達段階から廃棄段階、再資源化段階に至るライフサイクル全体の CO₂ 発生源を明確にすることで、建築仕上材における輸送方法およびエネルギー供給システムの改善に伴う、環境負荷物質を低減する可能性が示された。

3. まとめ

- 1) 仕上材の積載パターンは、資材重量によって積載限度が決定する「重量型」と資材容積によって積載限度が決定する「容積型」があり、仕上材の形態と加工度に応じた傾向を示した。
- 2) 仕上材の輸送時 CO₂ 排出量は、躯体材と比較して小さく、S 造では全体の 10%程度、RC 造では全体の 1%程度で、輸送手段の改善により CO₂ 排出量は削減できる可能性が示された。
- 3) 石膏ボードを例とした製造段階および輸送段階に排出される環境負荷物質は、NO_x, PM の順に

輸送段階による環境負荷の影響が製造段階と比較して大きくなる傾向があり、輸送段階の技術発展により、更に環境量負荷物質を低減する可能性が考えられた。

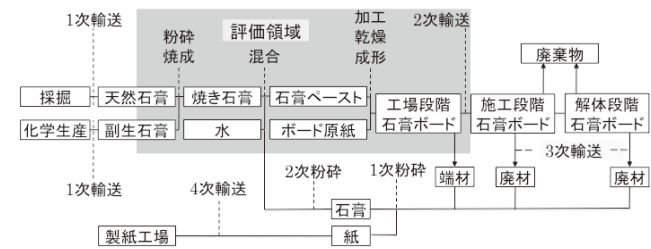


Fig. 8 石膏ボードのライフサイクルと評価領域

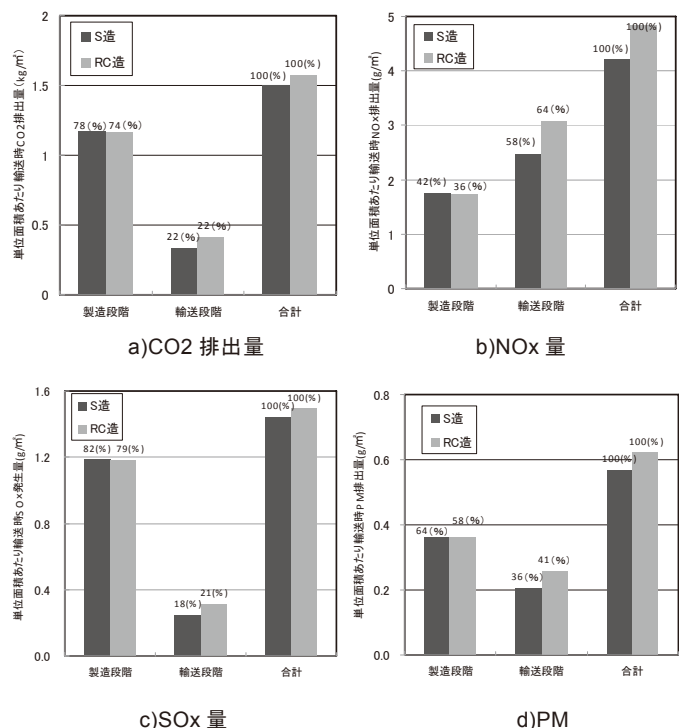


Fig. 6 単位面積あたりの輸送時環境負荷量の比較 (S 造, RC 造)

参考文献

- 1) 日本建築学会, 環境配慮施工指針 (案)・同解説, 2008
- 2) 社会資本整備審議会, 中長期的視点に立った住宅・建築物における環境対策のあり方についての中間とりまとめ, 2009
- 3) 田村, リサイクルコンクリートによるカーボンニュートラル化, コンクリート工学 Vol.48, No.9, 2009
- 4) 経済産業省, カーボンフットプリント制度の基本ルールが決定, 2009
- 5) 石膏ボード工業会, 石膏ボード業界の概況, 講演会資料, 2010
- 6) フリーアクセスフロア工業会公式 website, 市場の動き, 2010
- 7) 名知, 田村, 鈴木, 建築生産プロセスを考慮した建築資材の輸送形態に関する実態調査・分析, 日本建築学会技術報告集第 16 巻第 34 号, pp.871~876, 2010
- 8) 経済産業省, 国土交通省, 物流分野の CO₂ 排出量荷関する算定方法, 2006
- 9) 渡邊, 田村, 名知, 首都圏で実施工された鉄骨造および鉄筋コンクリート造における資材利用・輸送時環境負荷評価, 関東支部研究報告集, 2009
- 10) 土木学会, コンクリートの環境負荷評価(その 2), 技術 62, pp.39, 2004
- 11) 日本建築学会, 建築材料のマテリアルフローと資源利用, 資源利用戦略小委員 シンポジウム資料, pp.23, 2008

謝辞

本研究において、工学院大学・元卒論生水沼秀一君、千崎大輔君ならびに吉野石膏技術研究所山口雅人氏に多大な助力を得た。本研究の一部は、平成 22 年度工学院大学プロジェクト研究費、平成 22 年度工学院大学 UDM 研究費ならびに平成 23 年度科学研究費若手研究費 A による。付記して謝意を表す。

3. 総合研究所一般研究報告 (個人研究)

日本における地方金融界の変遷に関する研究

基礎・教養教育部門 教授

吉田賢一

明治6年(1873)から銀行システムの本格的な導入をみたわが国では、その後の20年間に国立銀行153行をはじめ、普通銀行・貯蓄銀行をあわせ2,000を超える銀行が設立された。まさに「濫設」であり、大方は弱小かつ縁故性濃厚の銀行群で、基盤はきわめて脆弱であった。それが、大正9年(1920)の「反動恐慌」、昭和2年(1927)の「金融大恐慌」、同5年(1930)の「昭和恐慌」という一連の危機、資本金の最低額を盛り込んだ『銀行法』の施行、さらに金融当局(大蔵省と日本銀行)による強力な合同政策(合併・買収の誘導・慫慂)によって「多数小規模銀行システム」から「少数大規模銀行システム」へと移行し、金融システムの基盤は昭和10年(1935)ごろにおいてようやく堅固なものとなった。

1868年の維新以来、近代日本(新興資本主義国家としての大日本帝国)は明治28年(1895)に日清戦争に勝利して賠償金2億テールを獲得したのを皮切りに、同38年(1905)には日露戦争にも勝利、さらには大正3~7年(1914~18)の第1次世界大戦による軍需景気をへて急膨張をとげたのであった。しかしながら、前述の大正9年の反動恐慌、同11年(1922)の銀行恐慌、同12年(1923)の関東大震災、金融恐慌および昭和恐慌などによって、あたかも坂を転がり落ちるように、破滅への道を歩んでいった。要するに日本資本主義は、日清戦争以来の四半世紀に得たもの(膨大な富)を、反動恐慌以降の四半世紀において早急に食い潰し、大戦の敗北によってその一切を失ったのである。

では、このようなマクロ的全国状況の中で、各地方金融界に位置するミクロ的主体たる諸銀行はどのような役割をになったのか。前述した一連の危機・法制・政策によって安定的な「少数大規模銀行システム」となった金融界にさらなる変化を強いたのは、二・二六事件後まもない昭和11年(1936)5月に馬場鑣一蔵相(広田弘毅内閣)によって公表されたいわゆる「一県一行主義」であった。これは各地方金融界の安定と発展の都合上、東京と大阪をのぞく45道府県のそれぞれにおける地元銀行は1行ないし2行が望ましいとしたもので、事実上かつ暗黙的な合同の強要であった。

これ以来、各地方の有力地元銀行は、大蔵省や日本銀行の局長クラスを頭取や重役に迎えつつ弱小銀行群を片っ端から吸収・併呑し、規模を急速に拡大していった。それだけではない。勝ち残った地元銀行は、中央政界による傀儡的な国債消化機関への転化を強いられることになった。つまり、政府債券(主として国債)を買い入れ、預金として集積した地元資金を中央に放出し軍需産業へと注入、総動員国家への奉仕機関となったのである。

本年度は以上のプロセスを、戦前における道内金融界の動態を中心に研究した。

生命科学概念の文化的広がりに関する歴史的研究

基礎・教養教育部門 教授
林 真理

科学概念の大衆的広がり (public acceptance of science) に関する研究は、近年新たな注目を集めるようになってきている。科学技術基本計画において、科学技術理解増進を目的とする科学技術コミュニケーション活動が重視され、サイエンスカフェのような様々な実践的試みが行われている。また、歴史研究においても、文化的な観点の一つとして科学概念を扱い、それがどのように社会的に受容され、広がりを見せたかについて、科学的な正しさとは別の視点から描き出すことが行われている。さらに、安全や倫理を巡って議論される科学技術関連問題は、熟議民主主義の観点から注目を集めている。

そういった観点を踏まえ、これまで「現代」(2000年代) および「過去」(明治および大正期) における生命科学・生物医学、あるいは生物学上の概念の広がりに関する研究を行ってきた。

「現代」については、遺伝子の概念の広がり全般について、あるいは「遺伝子治療」に関する新聞を中心とするマスメディア報道についての研究を行ってきた。「過去」については、細胞概念が明治期に輸入されることで、専門家のあいだでどのように生命の科学的理解が成立していったかといった過程、およびそれが啓蒙書等を通じて社会に広がるにつれて、どのような生命や自然界のイメージを喚起したかという結果についての研究を行ってきた。

本研究は、日本における生命科学の成立以後(おおよそ1970年代末以後)、現代までを扱っている。そこで見られるバイオテクノロジーや先端医療に対する批判的言説に焦点を当てることによって、何が「問題」であると見なされてきたのかについての考察を行った。遺伝子操作やクローン技術といった新しい科学技術の表象は、人々の想像力を喚起し、またそれに対する様々な批判を生み出している。そういった批判において、科学技術がどのような意味で問題をもたらしている(と考えられるのか)を、安全性の観点からだけでなく、倫理の観点(とりわけ人間および生命の価値の観点)から分析することを試みた。

その結果として、日本においては「人間の尊厳」といった概念より、生命の偶然性あるいは他者性という観点が実際には大きな役割を果たしており、したがって倫理的議論においても重要であり、またそういった観点から欧米における倫理論争の概念をそのまま当てはめることができないということを明らかにした。このことは、現在およびこれからの日本における生命倫理を考えていく際にも非常に重要な観点になると考えられる。また、人権論をもとにした法的規制による抑制というよりは、生命観に根ざした社会的合意とそういった合意を守るような社会的な制度整備が必要であるという示唆を得ることができた。

ヒドリドアミダト架橋二核ルテニウム錯体の合成とその反応

基礎・教養教育部門（共通課程） 准教授
河野 博之

複数の金属中心を有する多核錯体は、一方の金属中心が反応基質認識、もう一方が基質活性化といった形で機能を分担しうるので、単核錯体よりも多様な反応を高活性で実現できる可能性が高い。工業的に利用されている不均一系触媒においても、事実上複数の金属サイトが反応に関与している例が多い。したがって、均一系・不均一系のいずれの触媒反応の観点からも、構造が確定した新規多核錯体の効率的な合成法を開発し、その反応性を調べるのが重要である。

本研究では、ヒドリドルテニウム錯体 $[\text{RuClH}(\text{CO})(\text{PPh}_3)_3]$ (**1**)とアミド類との反応で生成する新規ヒドリドアミダト架橋二核ルテニウム錯体の構造と、生成機構の詳細を検討した。

アミドとして酢酸アミド、プロピオン酸アミド、イソ酪酸アミド、ピバル酸アミドを用い、ヒドリド錯体 **1** と過剰のアミドをベンゼンまたはトルエン還流下で反応させた。反応溶液の NMR スペクトルから、すべてのアミドで四種類のヒドリドアミダト架橋二核ルテニウム錯体 **2** と二種類の単核アミダト錯体 **3** の生成が確認された。四種の二核錯体のうち、ベンゼン還流下で主生成物となる type-A と、反応温度がより高いトルエン還流条件での主生成物 type-B については、それぞれ酢酸アミドが配位した二核錯体の単離に成功し単結晶 X 線構造解析で分子構造を明らかにした。その結果、type-A と type-B はいずれもルテニウム原子二個に対してアミドが一個架橋配位し、さらにヒドリド配位子とクロロ配位子が架橋した構造であった。両タイプの錯体は架橋していない配位子もすべて共通な異性体であり、末端の PPh_3 と Cl の結合位置が入れ替わっていることが相違点であった。

また、窒素上に置換基をもつ *N*-メチル酢酸アミドやラクタム類と錯体 **1** の反応では二核錯体は生成せず、単核錯体 **3** のみが生成した。このことと、立体障害の大きいピバル酸アミドの場合でも単核錯体の生成が多かったことから、二核錯体の生成機構を次のように推定した。すなわち、錯体 **1** のヒドリドとアミドのプロトン性水素間の酸塩基反応で単核錯体 **3** が生成した後、それが未反応の錯体 **1** と速やかに反応して二核錯体 type-A が生成する。アミド窒素上の置換基や立体障害の大きい置換基は単核錯体の二核化を阻害し、生成物は単核錯体のみが得られる。より高温の条件では、まず生成した二核錯体 type-A がさらに type-B へと異性化して主生成物になっていると考えられる。

以上のように、本研究ではヒドリドアミダト架橋二核ルテニウム錯体の異性体のうち二種の構造を決定し、それらの生成機構について新たな知見を得ることができた。

国際インターアクティブポータルサイト

機械創造工学科 准教授

ブルック セバスティアン

Students of Kogakuin University have very few opportunities to use English for practical communication purposes. The development of a web portal was seen as a way for students to interact with each other and other language learners across Japan and Asia in the target language of English. The web portal developed from a single internet blog page used by groups of students to share their ideas and opinions about current events and global issues in English. From this single blog page, the idea for a multi-purpose web portal arose. With the rise of online social networks in recent years a web portal with social networking functionality for groups of language learners to interact in English became the focus of this research project.

The first stage of development was completed in 2007 for this research project. Firstly, the following domain name was selected and purchased: www.liveinenglish.com. The .mobi domain name was parked for possible future access to the web portal by mobile phones, and although the usage of mobile phones has increased exponentially for internet access with the spread of smart phones, this website has not yet been readied for mobile access. That stage is being considered for a later research project, possibly in 2012 or 2013. The next stage of this project was to source a reliable and cost-efficient dedicated server to host the web portal. Given security restrictions and access complications within Kogakuin University's network, it was decided to source an external dedicated server. Layered Technologies is an American company specialising in dedicated servers and this company was eventually selected. Once the hardware was in place it was necessary to look to software options. A social networking software package called Handshakes was purchased and the development and customization process was started. Following initial customization, a further design theme package was also purchased, installed and customized in early 2008 to allow the web portal to begin pilot testing in the 2008 academic year. From 2009 the web portal has been operational and currently has approximately 1,000 students in the database from across Japan and more recently from throughout the Asia-Pacific region. The year 2009 saw an emphasis begin to be placed on inviting students from other countries to interact with Kogakuin students through this electronic medium. Informational sessions were held at several universities in Thailand in 2009 and in 2010 students studying at polytechnics and university language centers in New Zealand were also introduced to the portal site. There are currently approximately 1500 individual users of this social network for English language skill development site.

中学校技術科における検定外教科書の開発に関する研究

基礎・教養教育部門 准教授
尾高 進

1. はじめに

本研究は、中学校技術科における検定外教科書の開発を目的としている。2010年度は、その第一年度であり、教科書開発の前提的作業として、製図、材料と加工（木材加工）、材料と加工（金属加工）、エネルギー変換、コンピュータ、生物育成の6領域のそれぞれについて、教育目標＝内容の選定および授業書の作成と検討を行った。その結果、次に述べる視点を得ることができた。これらの視点は今後の課題としたい。

2. 技術科における領域構成と教育目標＝内容の扱いに関する視点

(1) 領域構成に関する視点

2008年版の学習指導要領では、技術科の内容は「材料と加工に関する技術」「エネルギー変換に関する技術」「生物育成に関する技術」「情報に関する技術」の4領域となっている。本研究では、製図に独自の意義を認める立場から製図の領域を設定したほか、後述する理由から、材料と加工領域を、さしあたり木材加工と金属加工とに分けて、教育目標＝内容の選定を行った。

領域構成についていえば、なぜ上述の領域から技術科が構成されているかについては、検討が必要であるといえるように思われる。これは以下の二つの理由による。

その第一は、教授をする上での妥当性である。例えば、材料の切断というトピックは、木材加工と金属加工の双方に登場するけれども、これを切断という切り口でくくって教えた方がよいのか、あるいは木工と金工の系統性を重視して別々に扱った方がよいのかということである。

第二は、配当時数の点での妥当性である。現状では、技術科は、家庭科と均等に時数を配当すれば、中学校3年間で87.5単位時間しか授業時間がない。この時間の中で全ての領域を扱うことにはかなりの無理があるように思われる。

(2) 教育目標＝内容の扱いに関する視点

技術科の教育目標＝内容を、安全の視点を組み込んで再組織する必要がある。この際、技術の論理からいえば、単に安全に配慮するというだけでは不十分であり、技術がその中に含まれている価値の側面である経済性（＝コスト）と安全という視点が不可欠であるように思われる。

このことに関連して、例えば、機械の保守・点検といった事項は、現状でも扱われているけれども、単に安全に配慮するといった面だけではなく、保守・点検が技術の実際の運用に果たしている不可欠の役割（それがなければ実際に技術を運用することは不可能）を認識させるという点から扱うことも重要な点と思われる。

ニュートリノ質量の起源と 素粒子標準模型を超える物理の探求

基礎・教養教育部門 准教授
進藤 哲央

ニュートリノ質量の存在は、現在知られている素粒子標準模型を超える物理の存在を示す、最も明確な実験的証拠である。また、その質量の小ささは、ニュートリノ質量の起源が、標準模型を超える新物理学模型と密接に関係していることを示唆している。ニュートリノ質量起源を説明するようなメカニズムのうち、最もよく研究されているメカニズムがシーソー機構であるが、本研究では、シーソー機構に代わる枠組みとして、TeV スケールの質量をもつ新粒子を標準模型に導入し、その輻射補正によってニュートリノ質量が生成される模型に注目して研究を行った。その結果、新物理学模型の枠組みとして、大変魅力的である超対称性模型に、この機構を組み込むことに成功した。この成果は文献[1]において査読付論文として公開されている。

さらに、この研究を発展させて、本研究では一般的な超対称性模型のヒッグスセクターを拡張した場合に、どのような現象を通して模型の検証が行なえるかを検証した。特に、標準模型ヒッグス質量と、ヒッグスの3点結合に注目することで、標準模型を超対称化した模型がさらに拡張された場合に、互いの模型を区別できる可能性があることを示した。この成果は、文献[2]として出版されている。

これらの研究は、標準模型を超える物理の詳細を調べる上で、非常に大きな意義がある。またこの研究を発展させることで、フレーバー物理やダークマター、バリオン数生成の物理などを絡めた、多角的な新物理学模型の探求が可能になる。

参考文献

1. M. Aoki, S. Kanemura, T. Shindou, and K. Yagyu, “An R-parity conserving radiative neutrino mass model without right-handed neutrinos”, JHEP 1007:084 (2010).
2. S. Kanemura, T. Shindou and K. Yagyu, “Non-decoupling effects in supersymmetric Higgs sectors”, Physics Letters B699,258 (2011).

超臨界ジメチルエーテル噴霧の活用によるディーゼルエンジンの

高性能化研究

機械工学科 教授

是松 孝治

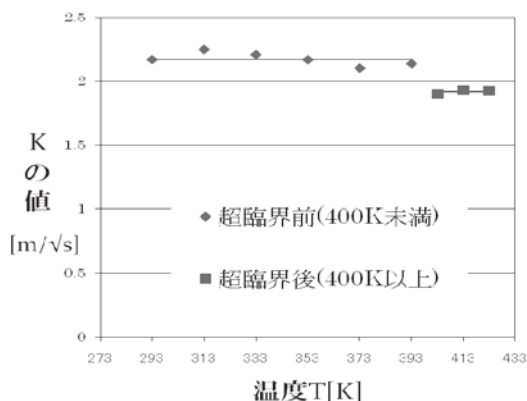
本研究は石油枯渇後をにらんだ、高性能 DME 燃料エンジンを実現するための基礎研究である。DME が単一成分燃料であることから、そのポテンシャルを最大限に生かす点に特色がある。そのなかで、DME を噴射装置内で超臨界にして、これをシリンダ内に噴射・燃焼させ飛躍的に性能向上を目指すのが、本研究の独創的なところである。これまでの DME 燃料エンジンの研究は軽油の代替燃料という位置づけ、つまり、軽油用のディーゼルエンジンが DME で問題なく運転できることを実証することに重きがおかれていたのとは、目標のレベルが大きく異なる。当該年度は、

第1実験：DME が超臨界状態になっている噴射装置内の流動解明(①窒素で加圧した DME をさらにポンプで加圧しオイルバスで加温して、超臨界圧力・温度にする。②開弁圧がコントロールできるハンドテスターにインジェクターを取り付けて、これを通じて大気に噴射する。③このときの噴射系内の圧力の時間的変化を測定する)

第2実験：超臨界 DME が燃焼室内に噴射されて形成される噴霧特性(分散性、貫徹性、微粒化性)の解明(噴霧の形状を高速ビデオで観察するとともに、外部に設けた点火装置で DME・空気混合気の着火範囲を測定する)

の2つの実験を中心に研究を進めた。

この研究のポイントは、超臨界 DME の噴霧に、超臨界特有の現象が現われるかどうかである。この観点からの代表的成果として、DME 噴流の到達距離 L と時間経過 t の間には、 $L=Kt^{1/2}$ の関係があり、本実験の観察から K の値を算出したところ、圧縮液ではほぼ一定値 $K=2.2$ の値をとり、超臨界状態では $K=1.9$ となった。つまり、臨界点を境に K の値に段階的な差があることが示された(下図)。次年度は、この原因の解明を進める。



競泳用ストロークの最適化

機械工学科 教授
伊藤 慎一郎

2008年、2009年の水着による世界記録ラッシュは目覚ましいものがあったが、2010年より再び従来型の水着に戻る事となった。この過去2年間で生まれた世界記録を打ち破るには従来のタイム向上割合から換算すると従来型水着においては20~30年を要することが予想されるが、これからの競泳は、本来の競泳である泳法技術が大いに重要視されることになる。スポーツ科学による研究は、様々な分野において人間の限界を延ばしている。本研究はメダル獲得に必要な身体的要因を調べ、競泳4種目の最速フォームテクニックを流体力学的側面から開発し、それを実行するエリート開発の必須要因の提案をすることが目的である。

揚力型泳法は大きく円を描き、水からの揚力の力を得て前に進む泳法である。一方自由形のI字泳法を取り入れた抗力型フォームの推進力は、抗力による推進力を得るために揚力を稼ぎ出す横への手の広がり小さく、抗力を生み出す体軸に縦にかく動きは旧型に比べて大きく揺る。Fig.1に示すように全体の手の動きは、旧型フォームに

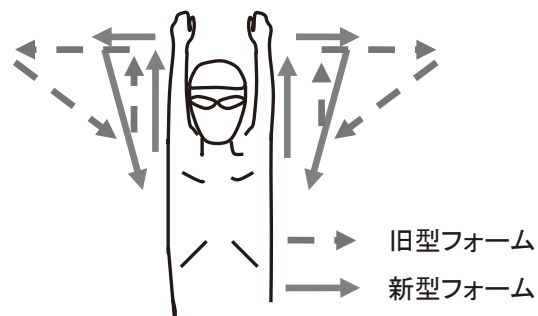


Fig.1 新型および旧型平泳ぎストローク

比べてコンパクトになっている。最適なストローク角度を見出すために手のひら模型に対して流入角を想定し、手のひらの最大推進時の迎角を調査した。その結果は自由形と同様に手のひらを水に対して直角に動かすときに最大推進力が得られることを示した。これを被験者に依頼して腕の開き具合について各選手比較を行った。Fig.2に示すように泳者は動作を理解して①は腕が最大開いた時を表し、②は最小を表している。明らかに腕の開きが異なることを示している。残念ながら、新泳法での練習を行っていない泳者であったために、すぐに効果が現れることもなく抗力型の方が揚力型よりタイムが1秒以上遅くなってしまい、ストローク数は1~3回多くなった。原因としては抗力泳法は揚力泳法と使用する筋肉がまるきり異なっているため、常日頃の練習による筋肉増強が必要であると思われる。

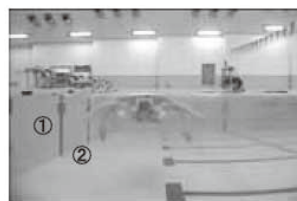


Fig. 2a 抗力泳法



Fig. 2b 揚力泳法

以上

金属光造形複合加工法によるオーダーメイド焼結チタン合金人工骨の最適化検討

機械工学科 准教授
何 建 梅

再生医療の対象となる難治性骨欠損として、脳外科領域での開頭術後の骨欠損、整形外科領域での腫瘍切除後や骨折後の骨欠損があげられる。また広範囲な骨欠損ではないが、治療困難な骨欠損として歯科領域での歯周病による骨欠損などがある。こうした骨欠損に対しては、自家骨や同種骨の移植のほか、金属・セラミックス・高分子化合物などのバイオマテリアルを用いた人工骨移植も行われている。

本研究では純チタンやチタン合金等で製作した人工骨を研究対象とする。これまでチタン等の金属材料で製品化されているインプラント用人工骨では、(A) ヒト本来の骨と比較し、弾性係数や靱性また強度などが高すぎる；(B) 骨との結合が弱いため固定部でゆるみが発生する；(C) 顎骨等の欠損部位と同じ形状を有する人工骨製品が存在しなくプレート等で固定するため機能的に修復するのみで形状再建されないため術後の患者 QOL (Quality Of Life) が低いなどといった欠点がある。これらの問題点・欠点に対し、金属光造形複合加工法による焼結チタン（チタン合金）製の人工骨は近年注目されつつある。本方法で得られる焼結チタン人工骨のメリットは、①患者さんのCT スキャンデータに基づいたため骨欠損部と同一形状を有すること；②細胞や血管が内部まで入り込む内部構造の作成が可能であること；③人骨との高い結合が見込めること等が挙げられる。また従来の人工骨製造プロセスと比較して工程数が削減でき、短納期・低コスト化が可能となる。しかしながら、金属光造形複合加工による人工骨の製造技術は現在でも開発段階にあり、生体用金属材料（チタン合金、コバルトクロム合金等）のレーザーによる焼結データがない、金属光複合加工法で製作した材料・構造の特性評価例（密度・剛性の物性データ、強度特性等）がないという技術的課題があげられる。

本研究では、金属光造形複合加工法による焼結チタン合金製人工骨の研究開発において、レーザー焼結条件（照射エネルギー密度、焼結炉機内酸素濃度など）や積層方向、

オートクレーブ処理の有無等の違いによる焼結チタン合金の材料・構造力学特性変化を把握し、得られた結果によって人骨の比強度に近い焼結チタン合金製人工骨を作成するための最適な製造・加工条件を確定し、人工骨に応用するための構造設計解析による有効性を検討した。

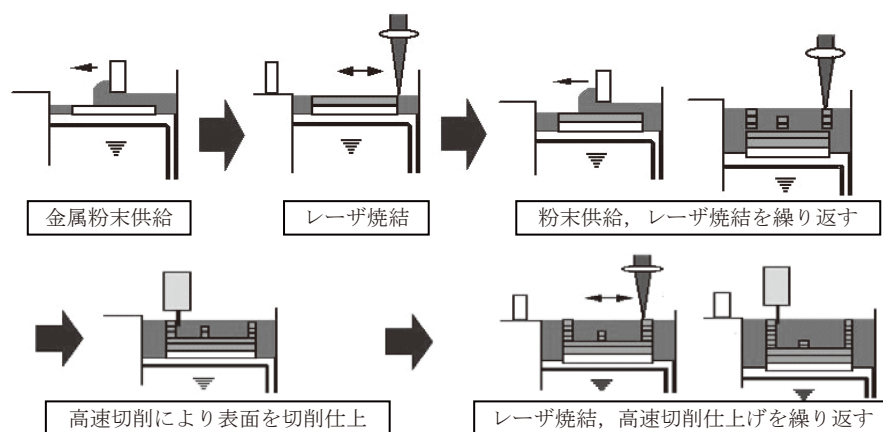


図1 金属光造形複合加工法のプロセス

微小精密部品的高速成形加工技術の開発

機械工学科 准教授

久保木 功

従来から微小精密部品の成形は切削・研削・研磨などの機械加工が中心であった。しかし、最近ではさらなる製造コストの低減が要求され、材料歩留りが良く、生産能力の高い塑性加工への工法転換が進んでいる。また、このような需要は製品の高機能・高品質化に伴い、チタン合金やマルテンサイト系ステンレス鋼などの難加工材の部品加工においても急速に増加しつつある。研究面においても微小精密部品は相対的に高精度が必要で材料の結晶粒や表面の影響（サイズ効果）を受けやすいため、マイクロ・メゾスケール（0.1～10mm）の塑性加工技術の研究も活発化している。

本研究では微小精密部品の加工法として、段や溝を持つ複雑な軸対称部品の高速加工を可能とするために、ウェッジ・クロスローリング転造を対象にした。この加工法を用い、微小径長軸の種々の難加工材について徐々に材料を移動し、溝加工させながら、その溝部の材料を増肉に利用させる転造加工を試みた。これにより溝の加工限度や欠陥の発生傾向などについて検討を行った。

使用した転造機は一對2つの平板工具間に試験片を挿入し、片方の工具をサーボモータによってボールねじを介し移動させることによって試験片が加工できる。転造加工は工具移動速度 25mm/s で、工具と試験片に潤滑油を塗布して行った。成形工具の溝入れ突起部は幅 $w=1\text{mm}$ であり、この突起部において加工領域 $l=100\text{mm}$ 間で材料を徐々に切り下げ移動し、下方に増肉させながら溝幅約 1mm まで転造する。そして最終の仕上げ領域 $l=25\text{mm}$ で溝部を整形させた。

供試材には難加工材として直径約 0.99mm の β 型チタン合金 Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al の線材を用いた。この供試材を直線加工し、長さ約 30mm に切断して、微小径長軸の試験片とした。

β 型チタン合金 Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al（以下 Ti-15-3）には、伸線したままの状態（AW）およびそれを溶体化処理した状態（ST）の線材 2 種類を用いた。まず溶体化処理した Ti-15-3（ST）材に溝転造を行った。Ti-15-3（ST）材は断面減少率 $R=75\%$ 程度まで破断せずに転造加工することが可能であった。しかし、 $R=70\%$ 以上では溝底に材料のはく離が多く、大きな表面荒れやくびれが生じ、正常な溝転造が困難であった。断面減少率は喰付側の突起高さ（ h_s ）がいずれの場合でも仕上側の突起高さ（ h_f ）が増大するほど大きくなる。また h_s が大きくなると断面減少率が多少増大する傾向にあるが、 h_f ほど大きく依存しないことがわかった。

カーボンマイクロコイル充填熱可塑性エラストマー

複合材料を用いたセンサ材料の開発

機械工学科 准教授
西谷 要介

近年、ポリマー系複合材料やナノコンポジットを用いたセンサ材料の開発が盛んに行われている。例えば、カーボンナノチューブ (CNT) を充填したナノコンポジットを用い、触覚センサや変位センサなどへの応用が検討されている。センサ材料は電気抵抗値や誘電率などの電氣的性質はもちろんのこと、それだけではなく、機械的性質や簡便な成形加工性も有することが必要である。そのため、CNT の表面改質やマトリックス樹脂の構造設計により材料内部構造を制御することで、高性能なセンサ材料の創成が行われている。ただし、CNT を用いたナノコンポジットをセンサ材料として用いた場合、直接材料に刺激 (ひずみ、外力など) が付与される接触センサとしてしか、その性能を発現することができないという問題点がある。これらの問題を解決するためには、フィラーとしてカーボンマイクロコイル (CMC) を用いることにより、直接材料に刺激が付与される接触センサとしてだけではなく、非接触で物体の接近を検知する接近センサとしても利用することができるため、この CMC を用いた新しいセンサ材料を開発する必要がある。センサ材料としては、高分子材料の特徴を最大限に活かすために、柔軟性やリサイクル性を有する熱可塑性エラストマー (TPE) をベースとした材料開発が望ましい。そこで、CMC をフィラーとした TPE 系複合材料を用いた新規センサ用材料の開発を検討した結果を報告する。特に本研究では、

① 2 軸押出機を用いた熔融混練法によるナノカーボン系 TPE 複合材料の成形条件確立

② センサ用材料として必要な物性および分散構造の評価技術を確立すること

を中心に行った結果、以下の知見を得た。

- ・ナノカーボン系材料の代表である CNT や CMC を用い、ウレタン系 TPE (TPU) をマトリックス材料とした複合材料を二軸押出機による熔融混練法を用いて調整し、センサ材料として最適なネットワーク構造を有するセンサ材料を成形するための成形条件などを明らかにした。
- ・センサ材料の特性として必要な電氣的性質を評価する試験装置を開発した。
- ・フィラーネットワーク構造を評価するためのレオロジーによる評価方法を確立した。

今後、これらの知見をもとに、CMC 充填 TPE 複合材料を用いたセンサ材料の開発を継続して検討していく予定である。

研究業績

- 1) 西谷要介, 関口勇, 石井千春, 北野武, 材料技術, 28, 135-145 (2010)
- 2) 西谷要介, 関口勇, 石井千春, 北野武, 材料技術, 28, 292-302 (2010)
- 3) Yosuke Nishitani, et. al., The Polymer Processing Society 26th Annual Meeting, July 2010, Banff, Canada, R01-134
- 4) 梶田宇, 西谷要介, 他, 第 35 回複合材料シンポジウム, 広島, 2010 年 10 月

人間シミュレータとしての患者ロボット

機械システム工学科 准教授
高信英明

1. はじめに

本研究の目的は、歯学部学生が患者ロボットを用いて歯科治療を事前実習することである。こうすることで、特に経験の浅い歯科医師が、治療時に起こりうる患者の不測の事態を事前にシミュレートすることができる。

2. 患者ロボット

患者ロボット(Fig.1)は身長 1700[mm]の全身モデルで、低圧圧縮空気を用いたアクチュエータにより駆動する。実際の治療時にはシリコン素材の皮膚を被せ、Fig.2 のように洋服を着せた状態で行う。下半身の動作を再現するために空気圧アクチュエータを搭載した脚部を製作した。股関節は最も負荷がかかるため、最大トルク 9.0[N・m]のロータリアクチュエータを採用した。

3. 結論

全身型歯科患者ロボットを開発し、全身動作の検討および実装を行った。

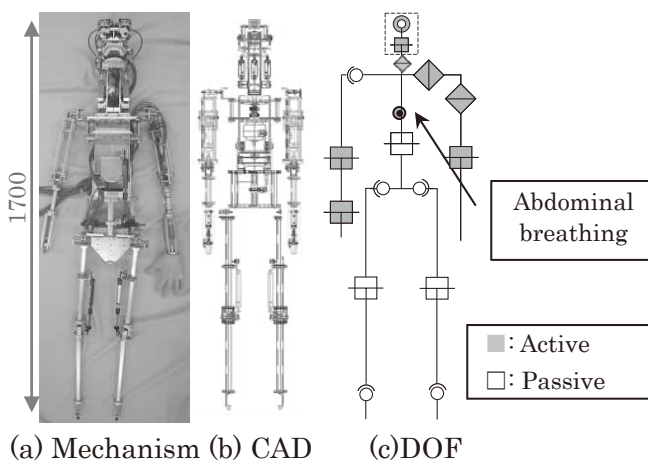


Fig. 1 Patient Robot



Fig. 2 Whole view of robot

研究業績

- [1] Hideaki Takanobu, et al., Dental Patient Robot-Whole Body Motion and Automation of Practice-, International Conference on Advanced Mechatronics 2010(ICAM2010), 2010.
- [2] 丹澤豪,間所睦,長谷川篤司, 高信英明ら, ヒューマノイドロボットを応用した歯科偶発症シミュレーション教育, 日本シミュレーション外科学会誌 Vol.18, No.1, pp.1-10, 2010.
- [3] 大久保則男, 高信英明ら, 歯科患者ロボット-全身動作と脚部の再現-, 日本 IFToMM 会議シンポジウム, 2010.
- [4] 大久保則男, 高信英明ら, 歯科患者ロボット-治療時における全身動作-, 日本ロボット学会学術講演会, 2010.
- [5] 高信英明ら, 歯科患者ロボット -全身動作と実習の自動化-, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2010.

拡張現実（AR）をもちいた作業支援インターフェースに関する研究

機械システム工学科 講師
見崎 大悟

飛行機などの大型製品から PC などの小型製品に到るまで、様々な機械の高度化により、それらを構成している機械部品の数が増えている。その結果、製品の組み立てやメンテナンス等の作業が複雑化し、熟練した技術が必要であったり作業における人的ミスも増加したりしている。通常、これらの作業では、絵や写真を用いて説明されているマニュアルがあるが、複雑な形状をした機器について説明を行うには限界がある。また、マニュアルを見ながら作業をすることで、作業が片手になったりマニュアルを見ながら作業することでミスが発生したりすることが考えられる。そこで本研究では、拡張現実を用いて機械製品などの組立作業を支援する身体装着型のインターフェースを開発し、機械分野での作業支援の有効性について調査・検討をおこなった。

本年度の研究では、図 1 に示すヘッドマウント型の作業支援インターフェースをもちいて、スライドレールをもちいた組み立て支援実験を実施した。本システムでは、図 2 に示すように拡張現実を適用し視野中にある部品に対応した組立作業の手順がヘッドマウントディスプレイを通じて作業者に提示される。被験者に、今回開発した作業支援インターフェースを使って、機械製品の組立作業を行ってもらい、アンケート調査を行った。この結果、システムのメリットとしては、初心者でも製品を組み立てることができる、作業手順が理解しやすい、作業ミスが起りにくい、マニュアルを見るための動作が不要、などが上げられた。デメリットとしては、奥行の判断が難しい、ネジ穴などの細かい部分が見えづらい、照明や材質によってマーカーの検出が不安定になる、などがあげられた。今年度は、下記の点について研究成果を得た。

- (1) 製品知識がない人でも、ミスせず組立作業を行えた。
- (2) 拡張現実では機械分野での作業支援においても有効であることがわかった。

今後の課題として、奥行感の表現、ネジ穴の検出判定、マーカーの検出精度の向上、プログラムの軽量化をおこないさらに使いやすいシステムの開発を検討していく。



図 1 装着型作業支援インターフェース



図 2 AR により提示される作業支援手順

非リソグラフィ技術に基づくアルミニウムの表面微細加工

応用化学科 准教授
阿相英孝

本研究では、既存のフォトリソグラフィ技術を用いずに、物質固有の自己組織化能を最大限に活かし、高精度にナノ・マイクロスケールでアルミニウム (Al) 表面の微細構造を制御するプロセスを開発し応用することを目的とした。以下に主な検討項目を示す。

1) Al 基板上に形成したポリスチレン微粒子の自己集積膜をマスクとし、多段階アノード酸化プロセスによりナノ・マイクロメートルオーダーの規則的な周期を持つ二次元酸化物パターンの作製法を確立する。

2) 作製した二次元酸化物パターンをマスクとした局所的な電気化学反応 (アノード酸化, 電解エッチング) を制御し, それらの二次加工を通じて, さらに複雑な高次構造を持つナノ・マイクロ構造体を構築する。具体的には, 二次元酸化物パターンをマスクとした Al の電解エッチングにより, ピット発生位置の制御, ピット発生密度の高密度化, 最終的には Al 電解コンデンサの高容量化技術の開発を目指す。

Al 基板上に形成した微粒子自己集合体をマスクとして用い, 下地 Al 基板を位置選択的にアノード酸化した結果を図 1 に一例として示す。Al 基板上にコロイド結晶を形成後, 中性の電解液中で Al をアノード酸化することで微粒子マスクに保護された Al 表面はアノード酸化されずに残存し, 周囲の Al 露出部のみ酸化アルミニウムを位置選択的に形成した。その後, 微粒子を有機溶媒中で溶解除去することでハニカム状の酸化物パターンを得た。微粒子が存在した位置とその周辺部における酸化皮膜の厚みの違いを利用することで, 皮膜の薄い領域のみに二次加工を施し, 局所的なアノード酸化でポーラス型皮膜を一定周期で形成することができた (図 1)。また, 本研究課題を通じて得た知見・技術は, 金属基板だけでなくシリコンなどの半導体基板にも適用が可能であった。本手法は, 既存のリソグラフィ技術に比べ簡便な装置・プロセスで大面積一括加工が可能であることを特徴としている¹⁾。今後も継続して新規ナノ・マイクロ規則構造作製プロセスの最適化を図り, デバイス応用を展開したい。

1) 阿相英孝, 小野幸子

自己組織化材料を利用したナノ・マイクロファブリケーション ～ナチュラルリソグラフィ～ (解説), 表面技術, **62**, 92-97 (2011).

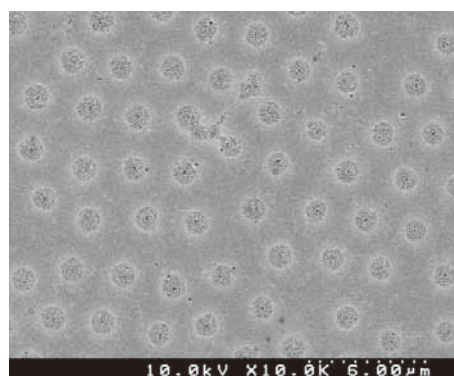


図 1 Al 上に形成した二次元酸化物パターン (周期: 3 μm)

キトサン誘導体の薬物送達システムへの応用

応用化学科 准教授

菅原 康里

1 序論 経口による薬物投与は安全でかつ患者への負担が軽く、適用範囲が広い。しかし、薬物を経口投与した場合、実際に患部に届き、効果を発揮出来るのは、投与した量のわずかな一部に過ぎず、胃酸の影響を受ける薬物や他の部位で副作用を起こすものもある。本研究では、キトサン (CS) に無水フタル酸 (PA) を反応させ、*N*-フタロイルキトサン (PCS) 誘導体を合成し、モデル試薬としてイブプロフェン (IBU) を用い、薬物送達システム (DDS) 担体としての可能性について検討を行なった。

2 実験方法 誘導体合成 キトサンを 10%酢酸水溶液に溶解させ、PA メタノール溶液を加え、反応を行なった。反応後、メタノールで十分洗浄し、未反応の PA を除去後、アセトン、エチルエーテルで処理し、乾燥した。包括量の測定 誘導体を IBU/80%エタノール水溶液に浸漬し、スターラーで攪拌させた。誘導体の包括量は上澄み液を希釈し、浸漬前後の吸光度を測定することにより、その差から算出した。IBU 放出能の測定 IBU 包括試料を pH1.2 水溶液に浸漬し、時間ごとの上澄み液を分取した。さらに、pH7.7 水溶液に浸漬し、同じく上澄み液を分取した。放出量は包括量測定時と同様に、分取した上澄み液の吸光度を測定する事により求めた。

3 結果と考察 60°C、24 時間、PA 量を変化させ反応させたところ、(置換度) DS は PA 濃度の増加とともに増大し、グルコース単位当たり 9 倍 mol 量を加えた時、最大の 0.63 になった。PCS 試料の包括量は DS の増加とともに増大し、DS の高い試料ほど大きかった。pH1.2 の溶液中では、いずれの PCS 試料においても IBU の放出が抑えられていた。また、pH7.7 の溶液中では、DS の高い PCS 試料の方が、DS の低い PCS 試料に比べ、放出量が増大しており、置換度 0.63 の誘導体では IBU 包括量の約 70%を放出した。これらの結果から、酸性から中性付近になると、PCS 試料の PA 由来のカルボキシル基が解離して、互いに反発しあい、構造が開くことによって包括していた IBU を放出したと考えられる。これは、経口投与の DDS 担体として用いた場合、酸濃度の高い胃では放出が抑えられ、薬物吸収機能の高い腸での放出の可能性が大きいことを示唆している。

細菌由来新規糖質分解酵素の取得と特性解析

応用化学科 講師

坂口 政吉

グルコアミラーゼはデンプンからグルコースを生産する酵素で、工業的にグルコース生産に用いられる重要な酵素である。しかし、酵素の性質改良という点において、比較対象となる細菌由来の類似酵素の報告例が少ない。そこで、データベース検索により、30°C近くで生育する細菌、そして60°C近くで生育する細菌のゲノム上に、グルコアミラーゼとよく似た一次配列(アミノ酸配列)が存在するを見出した。比較的低い温度と高い温度で、その機能を発揮する酵素の比較は、酵素の性質比較という点で興味を持たれる。

まず、それぞれの細菌ゲノムよりグルコアミラーゼ様遺伝子をPCR法で取得した。次に発現ベクターを構築し、大腸菌を用いた酵素の発現を試みた。

低温側の酵素の発現は、通常のタンパク質発現法では、発現したタンパク質が立体構造を形成できない場合に見出される不溶性タンパク質として得られることがわかった。そこで、培養温度を30°Cと低めに設定し、さらにN末端側に別のタンパク質を付加させた融合タンパク質として発現させることで、活性のある可溶性酵素タンパク質を得ることができた。また、この酵素の性質は、グルコアミラーゼの反応形式とよく似ており、30-35°C付近に活性の至適温度を持つ酵素であることを見出した。

好温酵素の発現は、タンパク質発現誘導物質の添加濃度の検討により、活性のある酵素の取得に成功した。この酵素は三糖を基質とした場合、60°C近くで活性を発揮する酵素であることがわかった。さらに、この酵素は、グルコアミラーゼの基質特異性と異なる性質を持つことがわかった。グルコアミラーゼは、デンプンなど重合度の高い基質を好んで加水分解する。この新規酵素は、多糖であるデンプンに対しては、三糖に対する活性の1/10以下、そして二糖に対しては1/100以下とほとんど作用しなかった。つまり、三糖以上の低い重合度のオリゴ糖を好んで加水分解することを示唆した。

今後は、種々の重合度を持つ基質を用いて、これら酵素の基質に対する速度論パラメータを算出し、それを基にサブサイトと呼ばれる基質結合部位に関する知見を得て、詳細に解析する予定である。また、温度に対する特性も追究していきたいと考えている。

ヒドロキノン構造含有ポリマーの光還元能

応用化学科 講師
山口和男

【1】緒言：過酸化水素は、使用後に酸素と水に分解するクリーンな酸化剤であり、医・食に関わる各種殺菌、半導体の洗浄などに使用されている。従来、過酸化水素の製造は、アントラヒドロキノン誘導体を有機溶剤に溶解して酸素と反応後イオン交換水で抽出することで行われているが、抽出操作、有機溶剤の除去、キノン体のヒドロキノン体への再生処理など多段階でかつ煩雑であるのが現状である。本研究では、トリメチルヒドロキノン修飾したポリスチレン樹脂を合成し、水中でそれを用いる過酸化水素を直接生成させる反応を詳しく検討した。また、可視光、紫外光などの光の効果、および反応の効率を高める可能性のある化合物の効果を検討した。

【2】実験方法：ポリビニルベンジルクロリド、トリメチルヒドロキノンおよび塩化亜鉛にジクロロエタン中でFriedel-Crafts反応を行い、トリメチルヒドロキノン基をもつ酸化還元樹脂を合成した。樹脂をメタノール、水を用いて精製した。樹脂は $^1\text{H-NMR}$ 、FT-IRによって合成確認を行った。合成した樹脂の過酸化水素生成反応はイオン交換水 300mL 中、攪拌しながら 25°C に保った恒温水槽内で溶存酸素量および過酸化水素量の経時変化を監視することで行なった。光の影響を検討するために蛍光灯とUVランプ(266nm, 24W)を使用した。使用後の樹脂は 10%亜硫酸ナトリウム水溶液で還元処理し再利用した。また、DL-酒石酸と DL-リンゴ酸などの化合物を添加し、反応効率に及ぼす影響も検討した。

【3】結果と考察：合成した樹脂を水中に入れ、過酸化水素の生成を検討した結果、暗所下<<散光(蛍光灯)下<<UV光(266nm)下の各条件順に過酸化水素生成量は増加した。従ってこの反応では光が重要な働きを演じていると判断し、その働きを更に助長させる化合物として酒石酸、リンゴ酸などの還元性を有する化合物を添加し、効果を観察した。酒石酸とリンゴ酸の添加効果を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。

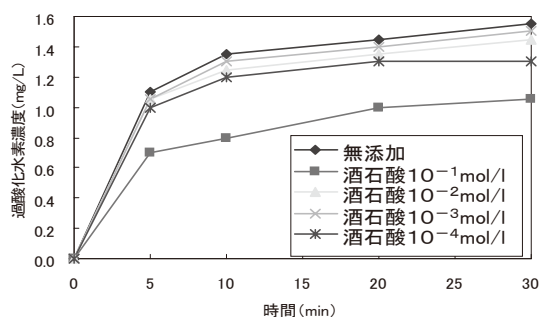


Fig. 1 酒石酸の添加効果 (散光下)

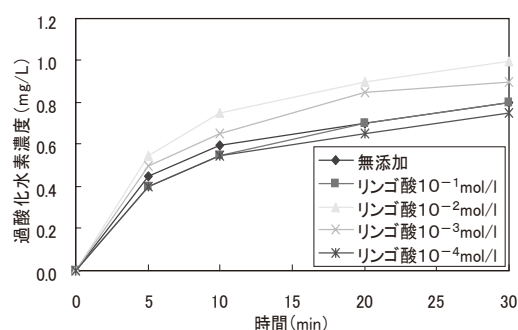


Fig. 2 リンゴ酸の添加効果 (散光下)

リンゴ酸は、酒石酸よりも反応効率を高めることがわかった。詳しい反応機構を調査中である。

リン酸塩ガラス異常現象を利用した 高レベル放射性廃棄物固化ガラスの開発

環境エネルギー化学科 教授
大倉利典

<背景と目的>

使用済み核燃料再処理工程で発生する高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化体にしたのち深地層中に保管される。固化ガラスには現在ホウケイ酸ガラスが使用されており、廃棄物含有量は最大で 25 mass% である。しかし、このガラスは P_2O_5 濃度が増加すると分相してしまう。

そこで、廃棄物固化のベースガラスに、融点が低く、より多く様々な種類の元素を取り込めるリン酸塩ガラスに着目した。本実験では、組成 - 物性間に非線形性を示し、anomalous タイプに分類される $MgO \cdot P_2O_5$ 系と normal タイプの $CaO \cdot P_2O_5$ 系のガラスについて、①水に対する浸出実験、②振動スペクトルを用いたガラスの構造変化の検討、を行った。

<実験>

$AO \cdot P_2O_5 = 45:55, 50:50, 55:45$ (mol 比) ($A = Mg, Ca$) のガラスを粉砕し、模擬廃棄物を固化ガラス中の含有率が 25・45 mass% になるように混合し、1250°C で熔融後、急冷して固化ガラスとした。この固化ガラスについて XRD、FT-IR、Raman スペクトルを測定した。浸出実験は MCC-2 法 (水 50 ml 中で試料約 1 g、90°C で 20 日間保持) を用いて行った。さらに γ 線 (Co-60) 照射試料に対しても同様の評価を行った。

<結果と考察>

Fig. 1 に浸出実験の結果を示す。現在用いられているホウケイ酸ガラス固化体の浸出率は $10^{-5} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day}$ オーダーなのに対し、 $MgO \cdot P_2O_5 = 50:50$ 、廃棄物含有量 45 mass% のものは一桁低い 10^{-6} オーダーとなった。この結果から、今回の実験の範囲においては、この組成が固化ガラスとして適していると考えられる。また、廃棄物含有量が多くなると浸出率は低下する傾向にあった。FT-IR および Raman スペクトルの結果から、廃棄物含有量が多くなると、ガラス中の架橋酸素 P-O-P は切断され、 $P_2O_7^{4-}$ および PO_4^{3-} などの構造単位が増加していくことがわかった。このことから、ガラスネットワーク中のクロス・リンケージの密度の増加が耐水性を向上させたものと考えられる。 γ 線を照射することによって、浸出率は一桁近く悪くなったが、FT-IR、Raman どちらのスペクトルにも照射前後に変化が見られず、大きな構造的変化は起きないことがわかった。

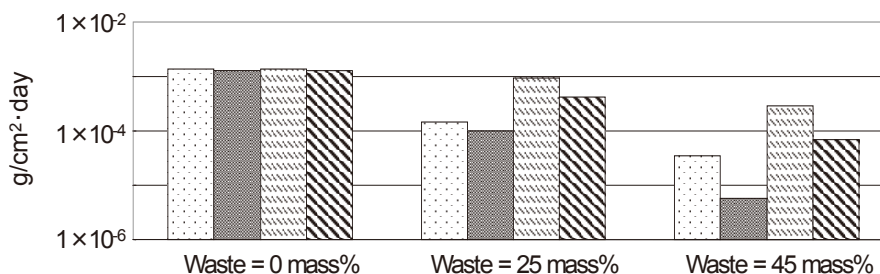


Fig.1 Leach rate of glass waste forms in water at 90 °C for 20 days.

□ MgO:P₂O₅=40:60 ■ MgO:P₂O₅=50:50 ▨ CaO:P₂O₅=40:60 ▩ CaO:P₂O₅=50:50

オオミジンコの腸内への取り込みを用いた毒性評価

環境エネルギー化学科 准教授
釜谷 美則

近年、人間活動によって排出される工場排水などの生態系への影響が問題になっている。この影響を評価する上で、これまで多くの水質指標が提示されてきているが、生き物を使った指標が最も適している。生き物の中でミジンコを使った方法は、その飼育方法が容易であり、化学物質に対する感受性が高く、さらに食物連鎖の重要な位置を占めていることから供試生物としてすぐれている。

本研究では、ミジンコを試験溶液に 30 分間暴露した後、このミジンコをマイクロビーズや蛍光染料を含む溶液に移し、これらの物質のミジンコ腸内への取り込み量から毒性評価することにした。

(1) 蛍光ビーズを用いる方法

蛍光ビーズは直径 $0.2\ \mu\text{m}$ ポリスチレン製を用いた。ミジンコ腸内への取り込みは、健全なミジンコ（コントロール）を用いた時に 5 分で腸内が満たされた。これ以上の取り込み時間では、腸内から蛍光ビーズが排出されることが分かった。このため、蛍光ビーズの取り込み時間を 5 分に決定した。次に、六価クロム、銀イオンなどの 7 種類の重金属を用いて毒性評価を行った。毒性値の求め方は、コントロールの蛍光強度に対して半分の取り込が行われる濃度を 30min-FI50 として示した。次に、公定法で用いられている 24 時間遊泳阻害試験法（24h-EC50）を求め、これらの相関関係を求めたところ良好な相関性が得られた。このことから 30 分と短時間の暴露時間により公定法で用いられている 24h-EC50 値を推測できることが分かった。この成果は、今年の 3 月 12 日にアメリカ（アトランタ）で開催された PITTSCON で発表した。

(2) 蛍光染料を用いる方法

蛍光ビーズは固形物質であるため、ミジンコへの毒性は見られなかったものの、異物として捉え腸外に排除している可能性がある。そこで、固形物でなく、エオシンの蛍光染料溶液を用いることにした。その結果、予想したようにミジンコの腸内に満たされる時間が蛍光ビーズに較べて 30 分と長くなることが分かった。蛍光ビーズと同様の金属イオンを用いて 24h-EC50 試験法と比較したところ、金属イオンによって相関性が異なる結果となった。この試験法は、今年度が初めてであったため、再度検討する必要がある。しかし、蛍光染料は蛍光ビーズに較べて価格が安いこと、さらに溶液であるため沈殿等の問題がないため、ミジンコ腸内への取り込み物質として有用であると考えている。尚、この成果は 3 月 4 日に開催された工業用水協会にて発表した。

ナノ積層構造を有する新規熱電酸化物の創製

環境エネルギー化学科 准教授
桑折 仁

1. 緒言

近年、環境・エネルギー問題対策として熱電変換材料が注目されている。飛躍的に熱電性能を向上するには、量子サイズ効果が現れるナノオーダーまで構造を制御する必要がある。そこで本研究では、酸化ビスマス層とペロブスカイト層がナノサイズで積層した自然超格子である Aurivillius 化合物の熱電変換材料としての可能性を探る。実用への応用展開がしやすいバルク状の Aurivillius 化合物の合成手法を確立し、熱電特性を解明することを目的とした。

2. 実験方法

原料には Bi (99.999 %) または Bi_2O_3 (99.999%) および V_2O_5 (99%) または V_2O_5 (99.99%) を用いた。各原料を $\text{Bi}_2\text{VO}_{5.5}$ となるよう秤量し、めのう乳鉢にて混合し、コールドプレスにてペレット状に成形した。この圧粉体は大気中にて 1000 K, 24 h 仮焼し、固相反応 (SSR) を行った。固相反応条件を Table に示す。各仮焼体は粉碎し、38 μm 以下に分級した。その後、Ar 中、1000 K にて、1 h, 30 MPa の圧力でホットプレス (HP) を行った。HP 試料は大気中、1000 K にて 48 h アニーリング (HT) を施した。

Table 1 The condition of solid state reaction

condition	Bi source	Purity of V_2O_5 (%)	Reaction time, t / h
(1)	Bi	99	24
(2)	Bi	99	48
(3)	Bi_2O_3	99	24
(4)	Bi_2O_3	99	0
(5)	Bi_2O_3	99.99	48

結晶相の同定は XRD で、微細構造の観察は SEM で行い、元素分布は EDX を用いて分析した。熱電特性は $1 \times 1 \times 10 \text{ mm}^3$ の短冊状試料を用い、DC 四端子法または二端子法にて電気抵抗率 ρ を測定し、小温度差法にて温度差 ΔT - 熱起電力 ΔE 特性を測定し、その微

分勾配よりゼーベック係数 α を算出した。

3. 結果および考察

電気抵抗率は温度の上昇にともない、いずれの試料も単調に減少した。条件 (5) のアニーリングした試料が最も低い値を示した。

Fig. にゼーベック係数の温度依存性を示す。すべての試料でゼーベック係数は温度上昇にともない減少し、600 K 以上において負の値を示した。高温において非常に大きなゼーベック係数を示したのはこの化合物はイオン伝導体として知られていることから、酸素イオン伝導の活性化や相変態などが考えられる。条件 (5) のアニーリングした試料を再測定したところ、低温においてはばらつきが多いものの非常に大きな正の値を示し、1000 K まで昇温後、降温過程においても測定したところ、(5) の初回測定値に収束した。このことからアニーリングの条件がまだ不十分であり、部分的には酸素欠損が多量に含まれた状態であることが示唆された。

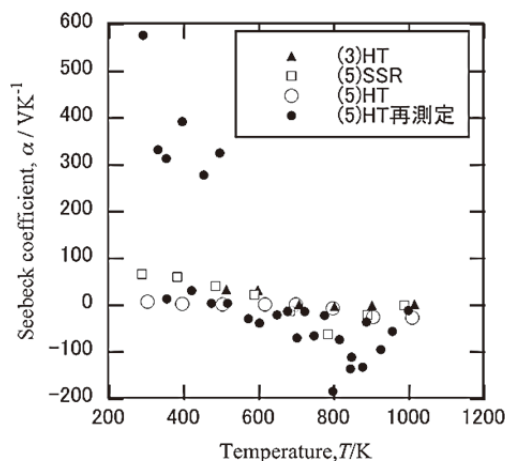


Fig. Temperature dependence of Seebeck coefficient.

4. 結言

Aurivillius 化合物である $\text{Bi}_2\text{VO}_{5.5}$ は非常に大きなゼーベック係数を有し、熱電材料として有望であるが、実用にはさらなる低抵抗化を要することが明らかとなった。

中国砂漠化地域における新規土壌改良評価モデルの構築

環境エネルギー化学科 講師
酒井裕司

1. 緒言

中国でのエネルギー消費量の急増と環境対策技術の遅れに伴う CO₂、SO₂ 排出量の増加は、地球温暖化や大気汚染の原因となり解決すべき喫緊の課題である。さらに、砂漠化の問題も深刻化している。そこで、脱硫副産物による砂漠土壌改良を行い、産業連関表を利用した環境影響や経済性を評価可能な基盤を構築して、脱硫装置(以下、DP)やバイオブリケット製造装置(以下、BM)の導入に伴う SO₂、CO₂ 排出量や経済性、土壌改良効果、また健康被害の評価を検討している。

本報告では、中国全土から遼寧省にエリアを限定し、DP 及び BM を導入した場合における環境、経済、健康影響を評価した。

2. 評価手法

2.1 環境、経済、健康影響評価基盤

遼寧省での脱硫プロセス導入時における環境影響、経済性、健康影響を評価するために評価基盤を構築した (Fig.1)。構成している経済モデルは産業連関表(遼寧省)をベースとし、土壌改良モデルは瀋陽市郊外での試験結果をもとに構築した。さらに SO₂ 濃度分布は大気拡散シミュレーションにより求め、SO₂ 濃度による患者発生と症状の変化(等級間の移動)についてモデル化した。

2.2 導入シナリオ

シナリオ 1: 遼寧省の家計部門に BM、発電所に DP(20MW 以下に簡易湿式 DP、それ以上(大規模) に湿式 DP)

シナリオ 2: 遼寧省瀋陽市の家計部門に BM、大規模ボイラ(電力、鉄鋼、化学) に湿式 DP、中小規模ボイラ(大規模以外)に簡易湿式 DP

また、湿式 DP、簡易湿式 DP、BM の脱硫率は、それぞれ 95%、70%、62%と設定した。

3. 結果及び考察

3.1 シナリオ 1 における環境、経済評価

脱硫技術(BM, DP)を導入した場合の経済変数(GDP、GDP デフレーターなど)、労働者数(農業、非農業部門)などと産業部門、家計部門からの CO₂、SO₂ 排出量の変化を検討した。省内に設置した BM(生産能力: 2.5 t/h)は約 300 台とし、発電所に設置した DP の稼働率は 70%とした。その結果、実質 GDP は 2.8%増加し、非農業部門労働者数は約 260 万人(9.4%)増加し、産業の発達に伴い、経済発展と農業部門労働者数からの移動が確認できた。CO₂ 排出量は、家計では BM 導入によるバイオマス利用による削減が確認できたが (-12.8%)、産業増加に伴う排出量は 1.8%増加し、全体では約 471 万 t-CO₂ と 1.7%増加した。一方、SO₂ は産業部門で-23.7%、家計部門で-12.7%、全体では約 35 万 t-SO₂ 削減することが示された。さらに、脱硫副産物による砂漠化土壌改良面積は約 1.36 万 km² でトウモロコシ生産は約 332 万 t(全国の約 3.0%)と算出できた。

3.2 シナリオ 2 における SO₂ 濃度、健康影響評価

瀋陽市にて脱硫技術導入に伴う呼吸器系疾患の患者発生数を算出した。地域ごとの SO₂ 濃度を計算した結果、瀋陽市内工場付近における高濃度 SO₂ 排出量が DP 導入により削減され、工場付近の最高濃度 284 ppb が 42 ppb に減少した。患者発生数は、特級、1 級、2 級、3 級患者数ともに減少し、それぞれ、-25.5%、-21.8%、-17.9%、-16.5% と減少した。

4. 結言

中国遼寧省における環境、経済、健康影響の評価基盤を構築でき、遼寧省及び瀋陽市にて脱硫プロセス導入に伴う環境、経済、健康影響の評価を行うことができた。

エレクトロスプレー法を用いた有機薄膜の製膜方法の研究

電気システム工学科 准教授

坂本哲夫

有機薄膜は、有機 EL や有機薄膜太陽電池といった有機エレクトロニクスにおいて重要な役割を果たしつつある。一般に電子材料として有機物を用いる際には数 10～数 100nm の薄膜を形成させる必要があり、さらには、異種材料を多層化させるといった構造化も必要とされる。しかしながら、無機材料と異なり、真空蒸着等のドライプロセスによる成膜が行えないことから、薄膜製造プロセスは有機電子デバイス実用化の鍵を握っているともいえる。そこで、本研究では、多層化が可能な新しい有機成膜法としてエレクトロスプレー現象を用いた手法ならびに装置を開発することを目的とした。

エレクトロスプレーは金属キャピラリーに高電圧を印加しながら材料溶液を供給することにより、微細液滴を噴霧させる手法である。装置は導電性キャピラリー、対向電極（基板）、材料送液部からなるものを自作した。有機材料には MEH-PPV を用い、これによる有機 EL 発光素子作製を目指した。有機薄膜は単に薄いだけではなく、十分に平滑でなければならないが、結晶である必要はない。種々の噴霧条件（溶液濃度、溶媒の種類等）による実験を重ねた結果、膜厚数 10nm、RMS 粗さ 10nm 以下の MEH-PPV 薄膜の形成が可能となり、素子としての発光も確認できた。

次の段階として多層化を行った。MEH-PPV に加え、第 2 層として CN-PPV からなる素子である。このような構造により、注入されたキャリアの再結合が効率よくおこり、発光効率が上がることが期待できる。エレクトロスプレーは溶液を噴霧する手法である。単純に平滑な薄膜を得たければ、微細液滴が乾燥する前に基板に到着するよう、条件を決めればよいが、多層化に際しては材料の溶解・混合が起こってしまう。一方、液滴が乾燥したあとに基板に到着するようにした場合、膜ではなく、微粒子の集合体となる。そこで、Wet～Dry の中間状態を目指して噴霧条件を探索したところ、顕微鏡観察においては混合せず多層化が達成されているような結果が得られ、発光も確認できた。そこで、MEH-PPV と CN-PPV の紫外線励起発光（蛍光）スペクトルを測定した。その結果、各物質が単独で存在する場合と分子レベルで混合している場合で蛍光スペクトルに違いが現れることがわかった。多層化した MEH-PPV/CN-PPV 素子の蛍光スペクトルは各物質が独立に存在していることを示したため、本手法により多層化が実現できたことが判った。

ハード的手法とソフト的手法の組合せによる 電気鉄道の省エネルギー化に関する基礎研究

電気システム工学科 准教授
高木 亮

電気鉄道の画期的な省エネルギー化に寄与すると期待されるさまざまな技術は、エネルギーの供給や車両の駆動制御などへの新たな設備の導入を主体とする「ハード的手法」と、新たな設備の導入は主体とせず制御アルゴリズム等の変更により省エネルギー化を図る「ソフト的手法」とに分類される。いずれも、個別の手法に関する研究開発は活発に行われている。日本の鉄道業界は過去数10年間にわたり省エネルギー化に関し積極的であったが、近年はこれまで省エネルギー化に積極的でなかった欧州でも活発な活動がみられるようになった。

だが、複数の手法を組み合わせ、省エネルギー化のため鉄道システム全体を再構成する手法の検討は不十分である。その状態で一部技術の実用化が先行しているが、部分的な評価に基づいて導入の意志決定をしているため、期待どおりの効果が得られないケースが少なくない。

そこで、本研究では、この研究の第1ステップとして、鉄道省エネルギー化に関する内外の研究開発状況について幅広い調査を行うとともに、「ハード的手法」「ソフト的手法」のいずれをも総合的に評価可能なシミュレーションモデルの開発と、それによる最適化を行うための方針を見いだすための検討を行った。

今年度は、まず内外の状況調査のため、2010年4月に英国・バーミンガム市で開催されたRTS 2010国際会議、および同年9月にドイツ・ベルリン市で開催された見本市InnoTrans 2010に参加した。RTS国際会議は鉄道の駆動システムに関する会議であったが、発表された論文の半数程度が省エネルギー化に関するものであり、このテーマに対する興味が集中しているのが明らかであった。また、欧州での研究内容の多くが「ソフト的手法」に分類されるものであり、ハード的手法が先行する日本との違いが浮き彫りになった。また、2回の海外調査を通じ、1995年に筆者が開発し、その後筆者らの研究グループが維持している直流電気鉄道饋電特性シミュレータRTSSのような汎用性の高いツールで、ソフトウェアパッケージの形で公開されているものは多くはなく、従って汎用性が高く、実績豊富、かつオープンソースといった形で一般公開されるツールの開発が鉄道コミュニティにとって有益であるとみられることも明らかになった。

このため、今年度後半においては、そのようなツールの開発に向けた努力を続けることとした。具体的には、前述の直流電鉄饋電特性シミュレータRTSSについて、ドキュメントも含めた整備をすすめ、2010年9月に不十分ながらソースコード込みでウェブサイト上に公開した。また、RTSSの機能拡張もすすめ、車載および地上設置エネルギー蓄積装置のシミュレーションが可能となるように改造した。RTSSを用いた評価や最適化についての検討もさまざまなケースについて進め、メーカーとの共同研究においてツールとして用いたほか、2010年12月のJ-Rail 2010、および2011年3月の電気学会全国大会において、成果を発表した。

近隣網ユーザインタフェースの研究

情報通信工学科 准教授
高瀬 柔郎

まえがき

我国では 2050 年頃に 3 人に 1 人が 65 才以上になると推計されており、今後恒常化する少子高齢社会において、年金制度の変質等に伴う経済的配慮、人手不足を補う介助装置の遠隔管理、多種多様なデリバリーサービスや地域に密着したボランティア活動等、様々なソーシャルサービスが必要になると考えられる。我々は、これらを課金無用で提供するために近隣地域の家庭同士を直接連結するオープンな近隣網 (Interlinked Homes Network) を提案している [1]。近隣網では UWB (Ultra Wide Band) による無線リンクを想定しているが、開発段階ではケーブルによる実験を前提とし USB (Universal Serial Bus) 2.0 を利用したユーザ網インタフェースを試作する。

1. 近隣網の概念と物理レイヤの実験

近隣網の概念および試作するインタフェースの物理レイヤにおける機能測定の実験構成をそれぞれ図 1 (a) および (b) に示す。

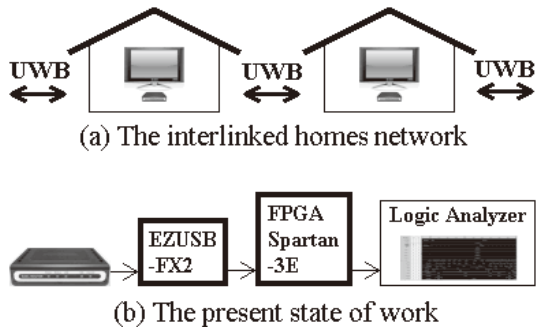


図 1 近隣網の概念と物理レイヤの実験構成

2. ハードウェアとファームウェアの概要

様々な市販の USB 機器は PC へ接続するだけで使用できるが、2 台の PC の USB 端子をケーブルで接続してもデータは伝送できない。これはケーブル自身が USB 機器と異なり USB インタフェースをもたないからである。USB インタフェースの機能はパソコン OS との通信およびデータの直並変換であるため、2 台の PC が USB インタフェースを介し伝送を行うためには、それによって並列に変換されるデータを FPGA 等で高速に直列へ戻さなければならない。このため EZUSB-FX2 と Spartan-3E を選定し、近隣網ユーザインタフェースの物理レイヤに必要なファームウェアと論理回路とを開発する。試作ハードウェアを図 2 に示す。

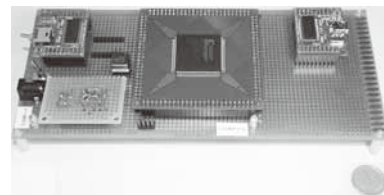


図 2 EZUSB-FX2 (左側) と Spartan-3E (中央) を搭載した物理レイヤのインタフェース
むすび

物理レイヤを RS232C から高速な USB2.0 へ変え上位レイヤにおける実験を拡大する。

【参考文献】

[1] 高瀬柔郎, "近隣網における損失率について", 信学論 B, vol. J88-B, no. 8, pp. 1393-1401, Aug. 2005.

地域情報流通を指向したパーソナルユビキタス方式の基本検討

情報通信工学科 教授

水野 修

1. 目的

災害発生時の情報共有や地域活性化に向けて、特定エリアの情報を収集し、また配信するサービスが着目されている。今回は、拠点間の情報共有を実現するために、長距離ワイヤレスアクセス (FWA) による拠点間通信の可能性を明らかにする。

2. 概要

以下の2点に 2.9GHz および 4.9GHz の仮設無線局を設置し、伝搬特性を測定する。

- ・工学院大学八王子キャンパス 5号館屋上 (東京都八王子市)
- ・早稲田大学西早稲田キャンパス 5号館 S屋上 (東京都新宿区)

選択した機器の特性として、2.4GHz 帯の機器の送信電力 $P_t=12\text{dBm}$ 、送信側給電線損失 $L_{ft}=2\text{dB}$ 、送信空中線利得 $G_{at}=22\text{dBi}$ 、受信空中線利得 $G_{ar}=19\text{dBi}$ 、受信側給電線損失 $L_{fr}=2\text{dB}$ であり、4.9GHz 帯の機器では送信電力 $P_t=15\text{dBm}$ 、送信側給電線損失 $L_{ft}=2\text{dB}$ 、送信空中線利得 $G_{at}=21\text{dBi}$ 、受信空中線利得 $G_{ar}=21\text{dBi}$ 、受信側給電線損失 $L_{fr}=2\text{dB}$ である。

両地点間の距離を地図から求め、35185m とすると自由空間伝搬損失 Γ は 2.4GHz 帯、4.9GHz 帯でそれぞれ 131dBm, 137dBm となる。

これらから、受信機の受信電力 P_r は

$$P_r = P_t - L_{ft} + G_{at} - \Gamma + G_{ar} + L_{fr}$$

で求まり 2.4GHz 帯、4.9GHz 帯でそれぞれ -82dBm, -84dBm となった。伝送速度と受信感度の関係について、メーカーの公称値によれば、それぞれ 6Mbps, 3Mbps となるため、高品質ではないが音声や映像のストリーミング通信は可能であると考えられる。

しかしながら、実際に機器を両地点において、試験データを送信し測定したところ、十分な値を得ることができなかった。八王子から早稲田にかけてはなだらかな傾斜 (高低差 約 150m) であるため経路上の障害物よりも、早稲田地区において八王子方面にあるビル群が経路を遮っていることが主な原因であると考えられる。

今後は、電波の伝搬経路の確認などを行う予定である。

ベイズ統計へのクリフォード代数の導入と映像認識への応用

情報デザイン学科 准教授

橋 完太

近年のデジタルビデオカメラやハードディスクなど半導体機器の低廉化により、映像情報が容易に取得可能となりインターネット上には大規模な蓄積がなされている。映像情報の探索や認識の技術は、防犯カメラ映像などセキュリティ分野から、人間の教育や娯楽といった感性に関わる分野まで幅広く必要とされている。大規模なカラー映像認識のためには、全画素探索に代表されるハードなコンピューティングでは限界があり、人間・動物の映像認識機能を模して開発されてきたソフトコンピューティングの技法が有望である。また、映像情報は、ほんらい三次元空間内の光源と被写体での光学的現象が「原因」となり、二次元カラー情報が「結果」として蓄積されている。「結果（データ）」から「原因（仮説）」を確率論に基づいて推論するベイズ統計は、ニューラルネットワークや群最適化など種々のソフトコンピューティング技術のコアとして横たわる。

発明者の William Kingdom Clifford にちなむクリフォード代数は、複素数や四元数を一般化した代数とみなすことができる。複素数は平面内の、四元数は立体空間内の幾何変換を効率的に記述する。クリフォード代数一般は、さらに高次元空間の幾何変換を効率的に記述する。カラー映像認識に関するソフトコンピューティングにおいては、立体空間と色空間という 2 種類の 3 次元空間が考慮されなければならない。本研究では、これまで研究が進められているソフトコンピューティング手法で用いる変数をクリフォード代数へ拡張し、この拡張した手法によってカラー映像における 2 種類の 3 次元情報を包括的に処理、認識することを目指した。さらに、ここで構築した理論が、クリフォード代数の次元を上げることでスペクトルをより細かく分析した人工衛星データにも適用できることを期待した。

本年度の研究成果としては、ニューラルネットワークに関してクリフォード代数を導入する基礎的な検討を行った。ニューラルネットワークの結合荷重および入出力変数をクリフォード代数に拡張した場合の荷重更新についての検討結果を、平成 22 年 9 月にチェコで行われた Graphics, Vision and Mathematics (GraVisMa) 2010 において口頭報告した。

Color Universal Design -Analysis of Color Category Dependency on Color Vision Type (2)-

情報デザイン学科 准教授
市原 恭代

In this paper, we propose color category of common point and uncommon point of each color vision type that trichromacy , protanopes and deuteranopes. It is follow-up report of SPIE-IS & T / Vol.7528 752805-1.

The present study investigates the tendency of individuals to categorize colors. Humans recognize colors by categorizing them with specific color names such as red, blue, and yellow. When an individual having a certain type of color vision observes an object, they categorize its color using a particular color name and assume that other people will perceive the color in an identical manner. However, there are many variation inhuman color vision caused by photoreceptor differences in the eye, including red and green confusion. Thus, another person with a different type of color vision may categorize the color using another name. To address this issue, we attempt to determine the differences in the ranges of color that people with different types of color vision is an important step towards achieving Color Universal Design, a visual communication method that is viewer-friendly irrespective of color vision type. Herein we report on a systematic comparison among people with trichromacy (C-type) , protanopes (P-type) and deuteranopes (D-type) color vision. This paper was presented on EI2010 Internet Imaging, Color Imaging XI:Processing, Hardcopy, and Application SPIE-IS&T/Vol.7866 pp .78660J-1-8, 2011.

太陽熱利用システムシミュレーション手法の検証

—太陽熱給湯ヒートポンプシステムへの適用—

建築学科 教授
宇田川 光弘

太陽熱給湯は住宅におけるエネルギー消費量低減と CO₂ 排出量削減に効果的なシステムである。一般には太陽熱給湯システムの補助熱源にはガスボイラが用いられるが、最近では全電化住宅が増加し、電気料金の安い深夜電力を利用したヒートポンプ給湯機を導入する例も多い。ここではヒートポンプ給湯機を補助熱源とする太陽熱給湯システムの運転状況についてシミュレーションプログラム EESLISM を用いて検討を行った。図 1 に太陽熱給湯システムモデルを示した。集熱器は平板型で集熱板は選択吸収膜面積 6m²、方位は南向きで傾斜角は 30° である。2 つある蓄熱槽容量はどちらも 2500とした。第 1 槽には市水が流入し、太陽熱集熱器で加熱される。第 2 槽には第 1 槽で加熱された湯が流入し、第 2 槽は深夜電力を想定し 23 時から翌朝 7 時までの間に 80℃まで補助熱源であるヒートポンプにより加熱される。給湯は第 2 槽から行われる。

図 2、3 に冬期の 3 日間のシミュレーション結果を示した。図より第 1 槽の蓄熱槽内水温は晴天日でも第 2 槽の設定水温である 80℃まで達していない。このため冬期では補助熱源による加熱が必要であることがわかる。ここでは図 1 の様な第 1 槽と第 2 槽を直列接続モデルとしたが、並列モデルとし、第 1 槽の水温が十分高い場合には第 2 槽をバイパスする制御も考えられる。

本研究では図 1 に示した 2 槽式の太陽熱給湯システムのシミュレーションにも EESLISM の適用が可能であることを示した。

参考文献 1) T.Kusunoki and M.Udagawa : Simulation Study for the Advanced Solar Hot Water Heating Systems, Proceedings of ISES EuroSun2010
2) 楠, 宇田川 : 太陽熱給湯システムの補助熱源方式の検討-太陽熱ヒートポンプシステム-, 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, 2010, pp237-240

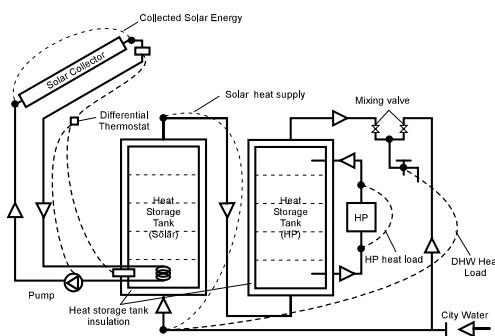


図 1 シミュレーションモデル図 3 冬

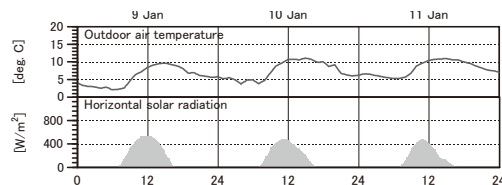
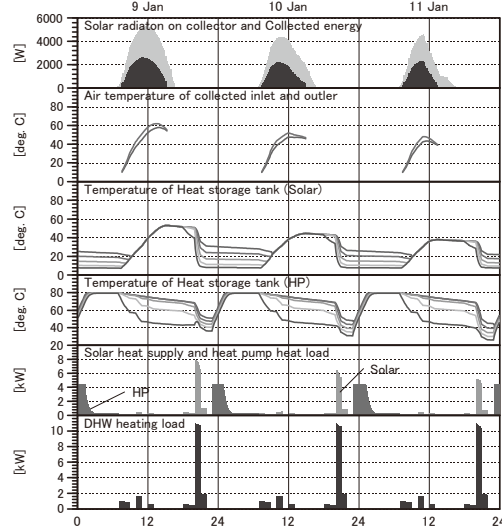


図 2 気象データ



期のシミュレーション結果

建築の長寿命化における曳家の意義と課題に関する研究

建築学科 教授
吉田 俣郎

環境負荷の削減やCO₂排出削減が求められる中で、建築の長寿命化が重要視されている。曳家は、既存建築をそのままの形状を保持したまま移動し利用を続ける技術であり、建築の長寿命化を推進するうえで重要な位置づけのものであるが、現在は実績が少ない。本研究は、曳家の事例について調査し、その特徴や問題を分析し、建築の長寿命化における曳家の意義と課題を把握することを目的としている。

本研究は、曳家専門企業を対象に曳家の事例について調査を行い、76件の事例について回答が得られた。調査は、各事例について、施工時期、面積、用途、構造、曳家工事概要、曳家をした理由、および曳家で苦勞した点を、アンケート表を用いて回答を得るというものである。

収集した曳家事例について、調査内容の相関関係などについて分析し、曳家の特徴を把握した。また、特色ある事例については、それを手掛けた曳家専門工事企業にヒアリング調査を行った。

以上の分析から、曳家の特徴、問題点、今後の課題として注目すべき点は、以下のようにまとめられる。

まず、建物を「使用したまま」曳家できることは、仮住居が不要になることにより移転補償料内に工事費が賄われる、病院・銀行の営業休止による機会損失の減少につながるができる、などの利点につながる。一方では、「使用したまま」工事するには、給排水管関係のフレキシブルな配管等のインフラ整備への配慮が必要なため、それに伴う苦勞も多い。

次に、公共事業における曳家工事費の移転補償に関しては、建物の配置状況を配慮していないことと、地盤に関わる事前の把握が困難であるといった要因から、工事費の適切な把握が難しい。また、工期の設定の難しさにもつながり、曳家専門企業が予算の確保と工期の延期に苦勞することが多い。

さらに、確認申請のために要される耐震補強や移転先の地盤改良等の補強工事によるコストの増加は工事費の予算に響き、曳家について最も苦勞する要因の一つとなっている。

以上のことも含め、都市計画事業においては、曳家による建物保存は、新たな建築資材の投資が少なく済み、移転後でも建物の従前の機能・価値が失わず保持されることができ、建物を長く使わせる上で有効な延命手段であり、曳家は既存建物の保存手段として有効であることが確認できた。しかし、移転補償料については曳家工事費以外に、移動工事に伴う補修工事費や事前に予測困難な事情に対する補償費の考慮が必要である。

温熱環境の選択性と総意形成のメカニズムに関する基礎的研究

建築学科 教授

野部 達夫

本研究では在室者に与える環境選択権を温熱環境に限定し、着衣量あるいはパーソナル空調による個人の温熱環境の選択性が、室内温熱環境に関する在室者の総意にどのように反映されるかを考察した。着衣量の調節あるいはパーソナル空調及びタスク・アンビエント空調の一部は、個人周囲の温熱環境を個々の嗜好に合わせる「環境選択権」を付与できるが、実際に権利を行使せずともそのような機能を与えられただけで「心理的適応」によって受容性が向上することも考えられる。パーソナル空調を備えながらも稼働させずに受容性が向上するのであれば、究極の省エネルギーとクレームの予防が同時に達成されることになる。

従来の保健用空調では室内空間の温熱環境を均一かつ一定に保持することを目標としてきたが、実際の執務室では着衣量や代謝量の異なる複数の執務者が同室している。執務者それぞれの至適温度は当然異なるが、現実には職場というソサエティにおいて発言力の大きい者に重み付けられた環境が共有の環境として設定されているはずである。その結果、空間の温熱環境は発言力の大きい者にとっては「選択した環境」であり、そうでない者にとっては「与えられた環境」と捉えることが出来る。ここに至り、室内温熱環境の良し悪しの判断には、従来のように個々の執務者の統計的平均値ではなく、総意あるいは世論の形成に非線形の社会科学的モデルを考慮する必要があると考えられる。従って、この課題に対しては、この社会科学的アプローチと、アダプティブ・モデルによって代表される自然科学的アプローチが必要であり、更なる研究に繋げていきたい。

被験者実験の結果からは、複数人が共有する室内温熱環境の是非は、単に熱平衡モデルに基づく個人ごとの評価の単純平均で決定されるものではなく、世論形成のメカニズムが密接に関与していることを示唆している。その結果、多数が在室する執務室の空調システムの設計は、均一かつ一定の環境を実現するための複雑・精緻なエネルギー多消費型のシステムから、偏差や変動を許容するシンプルで省エネルギーなシステムへと、方針を大きく転換するものと思われる。従来困難であった変動の大きい自然エネルギーの高度な利用や、室温 28 度における温熱環境に関するクレームの根絶など、その波及効果は大きいものとする。

欧州にみる劇場保存再生手法の基本理念と実践手法の研究

サル・プレイエル (La Salle Pleyel) の改修

建築学部建築デザイン学科 教授
澤岡 清秀

1. 歴史的背景と度重なる改修の経緯

1807年創業のピアノ会社プレイエル商会が1927年に3000人収容の大ホールをパリ市中心部に建設した。このホール(サル・プレイエル)は当時流行のアールデコ様式によるデザインによって、爾来現在までパリを代表するコンサートホールとなった。

しかし第二次大戦後、ホールの音響に対する不満が高まり、これを解決するため、1958年、1981年、1994年と3度改修が行われたが改善は見られなかった。またこの間にエントランスホールにも手が加えられ、ロトンド吹き抜けを塞いで上階と分離し、床のモザイクを取り除いて白大理石に変えるという改修を行い、座席数も2370席に削減した。

1998年、ユベール・マルティニがサル・プレイエルを買収し、2000年にはプレイエルピアノ社も買収。マルティニは3度の改修を経ても未だ不満の多い音響を改善するため、4度目の改修を決め、フランソワ・スリエに建築設計を、アルテック・コンサルタントに音響設計を依頼した。また1999年この建物はパリ市の歴史的建造物に指定された。

2. 音響性能の改善：アルテックの手法

(1) 内部空間容量の復元による拡大：1994年に取り付けられた下がり天井を撤去し、天井ふところを開放して元の天井の高さまで内部空間容量を復元した。同時に2本のテクニカルブリッジを設置して舞台照明等に対応できるようにした。(2) 側面バルコニーの新設：もともと客席の無かった両側面にバルコニー席を設置して側方反射音を増強し、1階席への音の反射と拡散を強めて、音楽に包み込まれる感覚と音の明瞭さの改善を狙った。

(3) 座席数の削減と客席再配置：座席数を従前の2370席から1913席に減らして、聴衆一人あたりの空間容量を30%増加させ、残響時間の充実を狙った。また1913席のうち162席を舞台の奥に逆向きに設置して、必要に応じて合唱団席に使い、通常はオーケストラを囲むような後部座席として活用することにした。

3. 歴史的建造物指定に伴う復元保存と改修の両立

歴史的建造物指定により、フランソワ・スリエは、ABF(フランス建造物監視官)と協議しつつ、エントランスホールとロトンドを復元した。1994年に廃棄されてしまった床のモザイクも、1927年当時の黒、白、金の美しいデザインに復元した。

保存指定箇所がエントランスホール、階段、廊下、ファサード、屋根に限定されていて、コンサートホール自体は指定からはずされていたために、大胆で自由な改修が可能となったことがわかった。外部ファサードはアールデコ様式をそのまま保ちつつ、内部は現代的感覚の響きの良いホールを擁するという二面性を持つホールはこうして実現した。

工学院大学総合研究所年報 No.18 2010年度

発行 2011年7月

発行者 工学院大学総合研究所

〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2

TEL (03) 3340-3440

編集 工学院大学総合研究所

印刷 株式会社 昌文社