ANNUAL REPORT NO.17

工 学 院 大 学

総 合 研 究 所 年 報

第17号　2009年度

平成22年6月発行

工学院大学総合研究所

RESEARCH INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
KOGAKUIN UNIVERSITY

工学院大学
総合研究所年報



研究と教育のはざまに

学長　水野　明哲

ここに、プロジェクト研究課題の報告などがまとめられた総合研究所年報が発刊されることを皆様と共にお喜びしたいと思います。総合研究所が設置されたのは1994年のことで、2004年、ちょうど私が総合研究所の所長をしているときに10周年の記念行事を開催しました。当初は文系と理工系の二つの研究所を作ろうという構想もあったようですが、議論されるうちにそれらを統合した「総合研究所」になったと聞いています。思い起こせば、総合研究所所長を務めておられた三浦宏文先生が学長になられたため、2003年4月から私が所長を引き継ぐことになりました。総合研究所所長はその後、木村雄二先生から藤江裕道先生へと引き継がれ、本年 4 月に小野幸子先生に就任していただいています。その間、小泉先生(初代SMBC長)、藤江先生は他大学へ転出され、三浦先生は6年間2期の学長任期を全うされ、私が学長を引き継いでいます。ほんの数年の間にずいぶんさまざまな展開があったことに感慨を覚えるものです。

さて、大学においては「教育」と「研究」が車の両輪である、というように言われることが少なくありません。それは、「研究」の無い「教育」はありえない、という意味でしょう。ではなぜ研究の無い教育はダメなのでしょうか。本来、研究者と教育者は求められる資質が異なるはずです。研究者はオリジナリティーのある研究を進めるための着想力や粘り強い研究を展開する上での忍耐力などが求められるのに対して、教育者は学生の立場に立って、時には冗談も交えながら楽しく学生に学ばせるという力量が求められるでしょう。そのように考えると研究者と教育者とでは異なる能力を要求されるようにも思えます。それでは大学における研究の必要性は何か、について考えてみると、すぐに思いつくだけでも以下の様なものが考えられます。1) 教員が研究を行うことにより、最先端の学問分野を吸収し、また研究発表や質疑応答を通じて、論理的思考力および教育力の向上が図れる。2) 学会活動を通じて、講義にリアリティーが出てくる。説得力のある講義ができる。最先端の研究内容を講義に絡めることで学生を惹きつけることができる。3) 学生とともに研究することにより、教育効果を上げると同時に、学会発表をさせることにより学生のレベルアップが図れる。そのほかさまざまなメリットが考えられます。それらを総合して「大学における教育と研究は車の両輪」というのでしょう。したがって、教員それぞれにおいて、研究の意味をどのように理解するかはかなりのばらつきがあるものと思われます。

いずれにしても、大学における研究の遂行は重要なものですが、その一方で十分な設備や予算が研究のために用意されているとは言い難い状況にあり、総合研究所のプロジェクト研究費などが少しでも研究の推進に役立てばと願っております。また、だからこそ先生方には、科研費を初めとする外部の補助金を獲得いただくようにお願いし、大学における研究の重要性について構成員が共通認識を持ち、教育にも大学の発展にも良い影響を与えることができるよう皆様のご尽力をお願いするものです。



大学における教育と研究

総合研究所　所長　小野幸子

本年 4 月から，転出された藤江前所長に替わって総合研究所所長を拝命しました。本研究所は 1994 年に設立され，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，科学研究費補助金など公的，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など多岐にわたっておりますが，事務局として研究推進課にこれらの業務が統括され今日に至っております。

総合研究所設立の目的として「**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**」と謳われています。このことは，総合研究所予算の恩恵に浴して来た私自身，本職に就任するまで正確な認識がありませんでした。しかしこの文辞は，真に明確に大学における研究の意味を言い表しております。昨年度の年報巻頭に水野学長は「研究と教育は車の両輪に例えられ，研究のない教育はありえないと言われるが，それは，活発な研究活動を行い最新の学術情報を修得する教員が，生き生きとした教育者として学生から魅力ある存在に映り，学生の興味を喚起するからである」と述べておられます。高校や専門学校と一線を画する大学の意味はこの点にあり，研究を推進する総研の存在意義に通ずるものでもあります。学生は先端のもの，一級のものに敏感に反応します。これら研究と教育の成果は，論文出版ばかりでなく，学生の巣立ちの形をとって，社会に還元されていくでしょう。

本学の教育研究設備・装置は他大学に比較しても充実しており，これは研究・教育に設備投資を惜しまない本学法人の事業方針の表れで，誇るべき点です。これらの恩恵の下で，外部資金の導入に対する努力も各教員には求められます。科研費の申請率は大学評価基準のひとつであり，本学には申請者に対する研究資金助成の制度も設けられています。限られた時間の中で申請書を作文する大変さは私自身も身に染みていることではありますが，研究に携わる大学教員に社会的に要請される課題として，どうぞ科研費申請を逃すことのありませんように。

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」と更に強く思える状況を整えるために，2 年間の任期を過ごしたいと思います。

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（２００９年度研究終了）

・ 近代日本における科学言説の浸透と変容をめぐる文化研究
責任者　吉田　司雄…… 15

・ MPGDによる位置分解能の最適化
責任者　渡部　隆史…… 27

・ 原子炉の地震時安全性に関する研究（炉心伝熱に及ぼす地震加速度とその方向の影響）
責任者　大竹　浩靖…… 37

・ センサ・ネットワーク用新構造弾性表面波センサ装置の開発
責任者　疋田　光孝…… 43

・ 顕著な生物活性を有する高次構造天然物の全合成研究
責任者　宮下　正昭…… 53

・ 次世代End-to-End QoS制御のためのネットワーク資源管理方式の研究
責任者　淺谷　耕一…… 63

（２００６年度研究終了・追加報告）

・ 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
責任者　長谷川　憲…… 75

2．総合研究所プロジェクト研究報告（２０１０年度継続研究）

・ 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…… 89

・ 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…… 95

・ Innovative Identity Matrixing Model in the Trans－Cultural Era
責任者　カーニー　マイケル…… 101

・ 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…… 111

・ 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…… 117

・ 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…… 123
・ 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…… 127
・ 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…… 135
・ 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…… 139
・ 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…… 145

3．総合研究所一般研究報告（共同研究）

・ 古代東アジアの図書館に関する研究
責任者　榎本　淳一…… 157
・ 超高感度 X 線 CCD の研究開発
責任者　幸村　孝由…… 161
・ 超音速フリージェット PVD による多結晶 Si 膜の形成
責任者　湯本　敦史…… 165
・ IT クリエイティブ人材の調査・育成手法に関する研究
責任者　椎塚　久雄…… 169
・ 自然エネルギー利用建築設計のための環境工学的研究
責任者　宇田川　光弘…… 173
・ 建築の維持保全運用コストの効果的配分法に関する研究
責任者　吉田　倬郎…… 179
・ 伝統的建造物の維持保全に資する資材改質技法の開発
責任者　田村　雅紀…… 183

4．総合研究所一般研究報告（個人研究）

・ 貴金属コロイドを用いた感染症の迅速診断法及び触媒開発
渡部　正利…… 191
・ 大学院教育における数式処理の利用
牧野　潔夫…… 192
・ 大学の数学教育における挿図教材の開発と活用の研究
北原　清志…… 193

・ 確率過程に対応するFeynman経路積分の研究
熊ノ郷　直人…… 194
・ 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…… 195
・ ブラジル国、米国における剣術流派の普及についての基礎的研究
数馬　広二…… 196
・ 氷海船舶の小氷片密集水路航行時抵抗評価手法の開発
金野　祥久…… 197
・ モデルベースド手法による制御システムの異常検出
濱根　洋人…… 198
・ 単発放電による局所結晶方位制御のための基礎研究
武沢　英樹…… 199
・ 多孔質金属材料の作製と成形
塩見　誠規…… 200
・ IV型コラーゲン会合体を用いた抗血栓性ハイブリッド人工血管の開発
辛　　英哲…… 201
・ 高等植物の代謝制御に関する研究
杉山健二郎…… 202
・ 中国砂漠化地域における新規土壌改良技術の構築及び評価
酒井　裕司…… 203
・ パーフルオロカーボンスルフォン酸ポリマーの組成分布の解析
川井　忠智…… 204
・ 多くの分散電源を受入れることのできる配電系を実現するための限流器の適用研究
荒井　純一…… 205
・ 脳情報通信技術による対話認知解析
田中　久弥…… 206
・ 都市文化の象徴としての劇場の持続的再生手法に関する研究
澤岡　清秀…… 207
・ 災害復興を視野に入れた平時の都市計画のあり方に関する研究
野澤　　康…… 209

２０１０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（共通課程教授）
大学院運営委員会委員長	野澤　　康（建築都市デザイン学科教授）
共通課程互選	蔵原　清人（共通課程教授）
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	淺谷　耕一（情報通信工学科教授）
建築系学科互選	山下 てつろう（建築学科教授）
情報学部互選	小野　　諭　（コンピュータ科学科教授）
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）
ＢＥＲＣ ｾﾝﾀｰ長	大竹　浩靖（機械工学科教授）
Ｕ Ｄ Ｍ ｾﾝﾀｰ長	久田　嘉章（建築学科教授）
学長指名委員 （ＮＡＳＩＣ ｾﾝﾀｰ長）	長木　英俊（環境エネルギー化学科教授）

2009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：2010年度 （　）は在職時
・2009年度研究終了		
近代日本における科学言説の浸透と変容をめぐる文化研究	吉田　司雄	共通課程教授
MPGDによる位置分解能の最適化	渡部　隆史	共通課程教授
原子炉の地震時安全性に関する研究(炉心伝熱に及ぼす地震加速度とその方向の影響)	大竹　浩靖	機械工学科教授
センサ・ネットワーク用新構造弾性表面波センサ装置の開発	疋田　光孝	機械創造工学科教授
顕著な生物活性を有する高次構造天然物の全合成研究	宮下　正昭	（応用化学科教授）
次世代 End-to-End QoS 制御のためのネットワーク資源管理方式の研究	淺谷　耕一	情報通信工学科教授
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	共通課程教授
・2010年度継続研究		
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	共通課程教授
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	雑賀　　高	機械創造工学科教授
Innovative Identity Matrixing Model in the Trans－Cultural Era	カーニー マイケル	共通課程准教授
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
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
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

（一般研究）

	研究課題	研究責任者	所属学科・職名：2010年度 （　）は在職時
共同研究	古代東アジアの図書館に関する研究	榎本　淳一	共通課程教授
	超高感度X線CCDの研究開発	幸村　孝由	共通課程准教授
	超音速フリージェットPVDによる多結晶Si膜の形成	湯本　敦史	（機械システム工学科講師）
	ITクリエイティブ人材の調査・育成手法に関する研究	椎塚　久雄	情報デザイン学科教授
	自然エネルギー利用建築設計のための環境工学的研究	宇田川光弘	建築学科教授
	建築の維持保全運用コストの効果的配分法に関する研究	吉田　倬郎	建築学科教授
	伝統的建造物の維持保全に資する資材改質技法の開発	田村　雅紀	建築都市デザイン学科准教授
個人研究	貴金属コロイドを用いた感染症の迅速診断法及び触媒開発	渡部　正利	（共通課程教授）
	大学院教育における数式処理の利用	牧野　潔夫	共通課程教授
	大学の数学教育における挿図教材の開発と活用の研究	北原　清志	共通課程准教授
	確率過程に対応するFeynman経路積分の研究	熊ノ郷直人	共通課程教授
	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	共通課程准教授
	ブラジル国、米国における剣術流派の普及についての基礎的研究	数馬　広二	共通課程教授
	氷海船舶の小氷片密集水路航行時抵抗評価手法の開発	金野　祥久	機械工学科准教授
	モデルベースド手法による制御システムの異常検出	濱根　洋人	機械システム工学科准教授
	単発放電による局所結晶方位制御のための基礎研究	武沢　英樹	機械創造工学科教授
	多孔質金属材料の作製と成形	塩見　誠規	機械創造工学科教授
	IV型コラーゲン会合体を用いた抗血栓性ハイブリッド人工血管の開発	辛　　英哲	応用化学科准教授
	高等植物の代謝制御に関する研究	杉山健二郎	応用化学科講師

研究課題		研究責任者	所属学科・職名：2010年度 （　）は在職時
個人研究	中国砂漠化地域における新規土壌改良技術の構築及び評価	酒井　裕司	環境エネルギー化学科講師
	パーフルオロカーボンスルフォン酸ポリマーの組成分布の解析	川井　忠智	応用化学科准教授
	多くの分散電源を受入れることのできる配電系を実現するための限流器の適用研究	荒井　純一	電気システム工学科教授
	脳情報通信技術による対話認知解析	田中　久弥	情報デザイン学科准教授
	都市文化の象徴としての劇場の持続的再生手法に関する研究	澤岡　清秀	建築都市デザイン学科教授
	災害復興を視野に入れた平時の都市計画のあり方に関する研究	野澤　　康	建築都市デザイン学科教授

１．総合研究所プロジェクト研究報告

（２００９年度研究終了）

近代日本における科学言説の浸透と変容をめぐる文化研究

工学院大学　工学部共通課程　吉田司雄
工学院大学　工学部共通課程　林　真理
横浜国立大学　教育人間科学部　一柳廣孝

Cultural Studies on the acceptance of western sciences in Modern Japan

YOSHIDA　Morio　　Department of General Studies
HAYASHI　Makoto　　Department of General Studies
ICHIYANAGI　Hirotaka　　Yokohama National University

ABSTRACT : There have been many studies on Japanese acceptance of western sciences. But they mainly focused on professional discourses. But the process of popularization of sciences is not limited in professional research and education. Public acceptance of scientific knowledge is the important part of modernization of Japanese society. We studied some aspects of Japanese acceptance of scientific knowledge in the public, and the relationship between scientific ideas and their representations in Japanese modern culture.

1．はじめに

本プロジェクト研究は、科学言説と文学言説を中心とする他の言説群との相互関連性を問題とし、脱領域的なレベルでの積極的な議論を行える場所をつくることを通して、文化研究の新たな地平をひらこうとするものである。とりわけ、科学との関わりに目を向ける文学研究と非専門家の科学理解を視野に入れ始めた科学史研究とを接合し、新たな研究領域を切り開きたいという構想を実現すべく企図され、２００４年から２００７年までの４年間、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（Ｃ）、研究課題番号 16520111）を、さらに２００６年から２００９年までの４年間、工学院大学総合研究所プロジェクト研究費をベースとすることで、研究活動を続けてきた。これまでの日本を対象とした科学史研究においては、著名な幾人かの科学者の研究の足跡を明らかにし意義付けるという内在史的な研究が主で、科学的概念や疑似科学的思考の非専門家的な受容についての歴史的研究はほとんど行われてこなかったが、科学的概念の理解が前提となる歴史的状況や社会的環境にどのように左右されるものであるかを探り、科学的なるものと非科学的なるものとの線引きがどのようになされるかを検証することが、これからの文化研究のためにも必要だと考えたからである。科学的知識に対する非専門家の理解は、啓蒙主義的な科学観が想定するように「正しい」科学理解（＝専門家による科学理解）の未熟な形体を取るのではなく、むしろ様々な価値観によって「正しい」科学理解を読み替え、それぞれ独自の知識理解を達成するものではないかと考えられる。こうした視座に立つとき、文学言説と科学言説とがいかに交差したかを探ることが改めて課題として浮上してきた。必ずしも専門家的な「正しい」知識を有しない文学者たちの科学言説受容や、それゆえに可能となったとも言いうる想像力の在り方、そして様々なメディア空間における科学言説と文学言説とのせめぎあいを検証することには大きな意義があると確信している。

と同時に広範な研究領域をわずか三人でカバーすることはとても出来ないため、出身大学や専門領域の敷居を越えた研究者ネットワークを構築することに力を注いできた。具体的には、文学研究者と科学史研究者とが情報交換をしつつ真摯に議論をたたかわすための場を用意すべく公開研究会を開催し、科学技術史、医学史、人類学史、社会学、表象文化論など多方面の専門家を招いて脱

領域的な交流をはかり、この研究課題に強い関心を示すであろう、若い研究者へも積極的な参与を働きかけてきた。これまでの開催記録を以下に挙げる（肩書きは研究会当時のもの）。

第１回　２００５年２月１１日（金曜・祝日）
午後３時～６時３０分
感染文学論－科学は文学の糧たり得るか
奈良崎英穂
（プール学院大学非常勤講師　日本近代文学）
進化論の成立と日本における受容
松永俊男（桃山学院大学教授・日本科学史学会生物学史分科会会長　生物学史・進化論史）
〔コメンテーター〕
谷口薫（工学院大学非常勤講師・哲学・フランス近現代思想）
慎蒼健（東京理科大学専任講師・東アジア科学史）

第２回　２００６年２月１９日（日曜）
午後２時～５時３０分
林髞（木々高太郎）：パブロフ学説の導入と頭のよくなる法
溝口元（立正大学社会福祉学部教授・発生生物学・生物学史・心理学史）
昭和初年のフロイト・ブームについて
曾根博義（日本大学文理学部教授・日本近代文学会代表理事　日本近現代文学）
〔コメンテーター〕
住家正芳（工学院大学非常勤講師・宗教社会学）
小松史生子（金城学院大学助教授・日本近現代文学）

第３回　２００６年１２月１６日（土曜）
午後１時～５時３０分
犯罪者と科学的まなざし―寺田精一と心理学
安齊順子（明海大学外国語学部専任講師・臨床心理学・心理学史）
『変態心理』『変態性欲』読者による「変態」概念の受容
竹内瑞穂（名古屋大学大学院生　日本近代文学）
１９２０年代アメリカ大衆社会におけるフロイト及び精神分析の受容について
小倉めぐみ（一橋大学大学院生　アメリカ大衆文化史）
科学者の虚像と実像～文学のなかの科学者像
井山弘幸（新潟大学人文学部教授　科学思想史）

第４回　２００７年１２月９日（日曜）
午後２時－５時３０分
未発見動物の歴史
－大海蛇殺しとしてのリチャード・オーウェン
下坂英（東洋英和女学院大学教授・科学史（特に地質学史）・科学論）
未確認動物の民俗学－忘れられたツチノコたち－
伊藤龍平（南台科技大学日本近世文芸・口承文芸）
〔コメンテーター〕
齊藤純（天理大学文学部教授・日本民俗学・民間説話研究）
菊地原洋平（九州工業大学非常勤・科学史）

第５回　２００９年２月１４日（土曜）
午後２時－５時３０分
「健康の元」を分配する機械
－昭和初期の紫外線発生装置を中心に－
金凡性（東京大学特任助教　科学史）
バイオリズム・ブームとは何だったのか
－生命リズムの科学・文化誌－
岩崎秀雄（早稲田大学理工学術院准教授・科学術振興機構さきがけ研究者兼任　時間生物学・微生物学・バイオアート）
〔コメンテーター〕
姜竣（城西国際大学准教授・工学院大学非常勤講師　民俗学・文化人類学・表象文化論）

第６回　２００９年６月２１日（日曜）
午後３時－６時
サイボーグ表象と自己の変容
浅見克彦（和光大学表現学部教授）
サイボーグ化は何をもたらすのか
高橋透（早稲田大学文化構想学部教授）

第７回　２０１０年３月１３日（土曜）
午後２時３０分～６時００分
ナノテクノロジーとＳＦ、架空の科学と真のフィクション
タヤンディエー・ドゥニ（リヨン第三大学大学院博士課程院生　日仏共同博士コンソーシアムのプログラムで慶応大学に留学中　ＳＦ研究）
古典ＳＦと近代日本の想像力
長山靖生（評論家）
〔コメンテーター〕
小林敦（東京都立大学大学院博士課程退学）

最後に、本年度の研究成果の中から林真理による論考（「国立民族学博物館調査報告」vol.90）を再録するただし、巻末の文献リストは紙幅の関係から割愛した。

２．細胞概念の展開　科学史研究における比較の事例として（林真理）

はじめに

比較を主たる関心とする科学史研究業績は多数存在している[1]。ところが、その場合の比較の意味は必ずしも一通りではない。そもそも、科学史研究における比較とは何だろうか。ここでは、そういった関心も考慮に入れながら、「比較科学史」とあえて称する場合に見られるような比較に限定せず、むしろあらゆる科学史は比較科学史であるという観点から考えてみたい。

すべての歴史研究は、それが特定の時代、地域、人物、団体に的を絞った場合であっても、歴史研究である限りにおいて、何らかの意味での比較を行うものであること

は間違いない。あるできごとや言説を歴史上に位置づける際には、全体と部分を相互依存的に定義することになるという例の循環問題が常に生じることになる。そのこと自体がまさに、歴史研究そのものが比較であることの証明に他ならないであろう。こういった意味での比較というものは、歴史研究において一般的に行われていると言って良い。

ある時代・地域の文化全体の中のある要素を、別の時代・地域の文化全体の中のある要素と比較する場合、比較されるべき対象を確定するためには、何らかの同一性の基準が必要となる。まったく異質なもの同士は互いに比較される対象とはならず、ある視点から見た場合に何らかの等価性を持つもの同士が比較の対象となるからである。つまり、通常最初に何らかの同一性の基準を設けて、その視点から同じカテゴリーに属するとされる対象をそれぞれの文化から抽出し、それらの対象について合わせて論じることによって、比較というものが成立するのである。もちろん実際には、一旦比較が終了したその結果を受けて、さらに別の同一性の基準が求められ、また新たな比較が行われるという、ダイナミックな比較活動というものがあるだろう。また基準や対象が必ずしも最初から確定しているわけではなく、探索的研究の中で比較の基準と対象とが同時に成立していくといったことも十分にありうることである。しかしながら、いずれの場合であっても、その都度その都度における対象と基準は何らかの意味で固定されたものでなければならない。

そういった場合の同一性の基準とはいったいどのようなものだろうか。様々な観点から分類が可能であると考えられるが、ここでは少なくとも、対象、概念、研究活動の３通りがあると考えて論じたい。

自然科学は、自然現象という普遍的であり、認識主体の外側に存在する対象を相手にしていると考えられているため、その研究対象を客観的に同定できるという考え方が、おそらく社会科学や人文科学の場合よりもより有力に主張されうる[2]。そのため、同一の対象について語られている言説、同一の対象を巡って行われている研究とされるものが比較の対象となりうる。植物学の比較、発生現象の科学（発生学）の比較、霊長類研究の比較といった場合には、対象に規定される側面が強いと考えられる。

他方で、自然科学は対象としての自然現象を記述、操作するにとどまらず、現象を概念化、理論化して把握する試みでもあるため、科学的概念あるいは科学理論に着目し、それらの概念的内容や理論の枠組み、有効範囲の違いなどの観点から比較が行われるということがありうる。例えば、遺伝子概念の比較、進化論の比較といったものはこういった側面が強いと考えられる。

さらに、研究活動を実践的あるいは行為論的観点から見た場合には、社会的レベルでの同一性と差異性に着目することが可能である。東洋医学と西洋医学の比較といった場合には、診断や治療という実践をめぐっての比較になるであろうし、植民地科学という観点は様々な学問領域における科学研究活動をその社会的意味によって並置したものと言えるだろう。

以上、ここまで科学史研究における比較を、その同一性の基準に目をつけて分類してみた。しかし、もちろんあらゆる比較がこの３通りに分けられるというわけではない。むしろ以上のような分類は理念的な枠組みに過ぎず、それぞれの比較には固有の方法があるに違いない。ここでは、上記の３つの分類で言えば、２つ目にあたる方法の典型的なものである概念史の手法[3]にしたがって、細胞説・細胞概念の歴史について言われてきた[4]ことにも適宜言及しながら、細胞概念の歴史を追いつつ、科学史における比較の一例を紹介したい。

細胞概念の由来

生物学的な意味での細胞を初めて観察したのはロバート・フック(Robert Hook) であった、と言われることは多い。こういった遡及は、初期に細胞説を広く伝えた書物において、既に見られる伝統的なものである（例えばStrasburger 1910)。しかし、英語における細胞(cell)の語それ自体は、生物に関する学問上の術語として用いられる前から流通していた。たしかに、当時発明されたばかりであった顕微鏡による観察結果を描いたその著書『ミクログラフィア』(Hooke 1665) においてコルクの切片が観察対象の一つとされ、コルクの切片を描いた図版に細胞壁が描かれ、またこの細胞壁に囲まれた部分のことをフックが孔(pore)、小箱(little box)、洞(cavern)、泡(bubble)などの呼び方とともに細胞(cell)とも呼んでいる。対象と言葉を対応させたというその重要な一点はまさにフックに遡るとされるがゆえに、生物学上の細胞の概念はフックから始まったとされることが多いのもわからないではない。

しかし、フックは後で述べる細胞説におけるような意味で、細胞という言葉を用いたわけではなかった。それどころか、孔、小箱、洞、泡といった単語とまったく対等な使用法をしているのであり、術語として用いているという意識すらなかったに違いないと考えられる。対象に着目すると、確かにフックは細胞（壁）をわかりやすく描いた初期の人物の一人である。ところが、概念の点から見れば、その言葉が十分に術語になりきってはいないという意味で、細胞概念の先駆者とは言いにくい。

他方で、今から見ると細胞にあたるものを顕微鏡で観察し、その結果を図版として残したという点に関して言えば、フック以外の多数の顕微鏡学者(microscopist)たち[5]もまた、最初の細胞研究者の列に数え入れることができるであろう。有機体は、それが「被造物」と見なされたこともあって、キリスト教的な背景のもとで研究を行っていた科学革命期の顕微鏡学者による主な研究対象の一部となっていた。また、初期の顕微鏡研究に用いられた顕微鏡の倍率は、せいぜい百倍強程度であり、これは（もちろん細胞の大きさは様々であるのだが一般的に

言って）細胞の存在を確認するにはちょうどよい程度でもあった。こういった顕微鏡学者たちの観察対象にはいわゆる単細胞生物も存在している。こういった意味で、顕微鏡学者たちは明らかに細胞を（それと知らずに）観察し、その有様を言葉と絵で残しているのである。かれらもまた、最初に細胞を観察した人々の中に入れて良いし、その意味では細胞研究の歴史の一幕を形作る。

そもそも、光学顕微鏡の発明[6]によって初めて、人類は細胞現象の観察に到達しうる観察装置を入手した。細胞の概念の登場に最も貢献があったのは、実際的な意味では顕微鏡の発明者であると言っても良いかもしれないぐらいである。

このように顕微鏡のおかげで、細胞観察は17世紀にスタートを切った。その後さらに顕微鏡が発達し、普及するに伴って実際に多数の細胞観察が進行する一方で、細胞という言葉の使用は限定的なものにとどまることになる。細胞とは植物（あるいは動物）において、特定の組織を構成する小胞状の要素のことを指す言葉とされた。すなわち現在細胞とされるものの一部（そして時にはおそらく現代では細胞と見なされないようなもの）が特に細胞という名称で呼ばれたのである。そして「細胞」によって構成される特定の組織を指す表現として、細胞組織（cellular tissue, tissu cellulaire）といった言葉が使われた。このような語用法（すなわち特殊な細胞だけを細胞と呼ぶ今から見れば誤った使用法）は、18世紀には比較的広く行き渡っていた(Willson 1944; Baker 1949)。したがって、この時代において、その後の細胞にあたるような概念を探そうとするならば、むしろ細胞という言葉は避けなければならないということになる。では、フック以後細胞説が登場するまでのあいだのこの時代に、細胞という言葉に代わる比較対象となる同等物を示す概念を探そうとすれば、いったい何になるだろうか。

後で述べるように、生命論的な観点から見た細胞概念における最も重要な含意の一つには生命の単位という考え方があるのだが、18世紀においてはこの生命の単位というアイデアが様々な形で提唱されていた。例えば、有名な生理学者のハラー(Albrecht von Haller)は、有機体が「繊維」から成っていると考えた。また小球体を生命の単位とする考え方があった（河本 1982)。

あるいは原植物(Urpflanze)、原動物(Urtier)といった、いわゆる原型の考え方に細胞の考え方の由来を見ることもできる[7]。それぞれの動植物種において、それらの固有の機能を取り除いて考えるようにして、基本的な機能だけを残す単純な有機体を想定したとき、それは植物あるいは動物のイデアにあたるようなものになるはずであり、それが原植物、原動物と呼ばれたのであった。これは、生命の基本形という観点で、細胞の観念に類似していると言える。

以上に挙げたことが、細胞説に関連して、細胞説に先行するすべてであるわけではない。しかし、細胞概念が19世紀において意味上の真空の中に突然現れたわけではなかったことについて、十分に明らかになったと思う。多数の先駆観察と、様々な先駆概念を持ちつつも、一般的にそれと考えられている細胞概念は、それらを越えたところに、いわゆる細胞説（すべての生物は細胞からなるという説）の登場を待って成立する。それが19世紀の中頃のことであった。細胞の概念の成立とその変容を見る中で、細胞を起点にして生命の見方が広がっていく様子を次に見ることにしたい。

細胞概念の展開

細胞説は、1838年にシュライデン(Matthias Jakob Schleiden)が植物について(Schleiden 1838)、1839年にシュヴァン(Theodor Schwann)がそれに加えて動物について(Schwann 1839)、すべてが細胞から成り立っていると述べたことによって始まったとされている。このような記述は多数の科学史、生物学史、細胞学等の文献に見られる(例えば、八杉 1984)[8]。実際ここで、細胞の概念はかなりの程度確定し、また何を細胞とするかという外延もかなりはっきりとしてくる。ある概念が確立した時点というものを歴史上のある時点に求めるということは、その時点でその概念が私たちの知っているそれに極めて接近してきたということを意味していると考えて差し支えないだろう。したがって、細胞概念が私たちのそれに相当するものになったのは、この細胞説の成立を待ってであるということができる。しかしながら、このことは細胞という概念が不動のものになったことをも、一意的なものになったことをも決して意味してはいない。シュライデンあるいはシュヴァンの細胞概念が、今から見ればまったく不十分なものであったことについては、細胞の増殖の原理について細胞分裂を挙げていないという一点からもただちにわかることである。細胞概念の形成というできごとは、他の生物学的概念あるいは生物学以外の概念との相互作用の中で、様々な概念的揺らぎを持ちつつ進んでいった。

このような事態であるため、細胞説登場から百年を数える20世紀半ばの時期においても、俯瞰的な観点から記述を行う論者はいくつかの命題を束ねて細胞説と呼ぶより他なかった。例えば、細胞学者であったベーカーは、細胞説を構成する命題を、(1)生物が細胞からなる、(2)細胞は決まった構造をもつ、(3)細胞は細胞から分裂によって生じる、(4)細胞は物質合成の場、(5)個体としての特徴をもつ、(6)多細胞生物の細胞一つ一つが原生生物の全体に対応、(7)多細胞生物は原生生物が集合して誕生した、という七つであるとする(Baker 1949 105-106)。このベーカーの分析は大変詳細である。いわゆる細胞説は、このうちの(1)のみを指すであろうが、それだけでは十分でないものとして細胞説を描いている。しかし、それでもまだ細胞説とその当時呼ばれていた考え方の内容を十分に尽くしているとは言えない。たとえば、(4)については多様な意味を考えることができるであろう。また現代の知識に基づけば、(6)や(7)は首をかしげざるを得ない

であろうし、当時としても異論をはさむ余地があったに違いない。そして、このベーカーの定義に見られる不確定性の理由の一つは、生命そのものについて私たちがいまだに十分な理解に到達していないことであると考えられるが、もしそうであるならば決して今に至っても細胞の定義の問題は解決されているとは言えず様々な新しい見方(例えばBaluska(2004))が登場することにもなる。

以下ではこういった概念の広がりについて見ながら、様々な細胞概念、細胞説を比較する。中でも、日本に導入された細胞説の内容が「本来の細胞説」（というべきであるかどうかは微妙であるが）とどのように同じか、異なっているかに着目する。そして、そういった作業を通じ科学史における比較とは何かを考える。

ただし、本稿では、とりわけ生命論（生命とはどのようなものであるかについての議論）の側面から細胞について考える。細胞概念は、単なる一学説にとどまらず、20 世紀には細胞学という分野を形成するに至る。また、遺伝学、分類学と関連し、後に生化学、分子生物学へと至る道筋をつけるのが細胞概念である。このように生物学史内部で大きな影響力をもっているが、この点についてはここでは十分に扱うことはできない。こういった個別具体的な影響の背景に存在している、生命に対する一般的、普遍的な観点を中心として扱う。このような観点から見た場合、細胞概念は少なくとも以下に示すような四つの側面を持つと言える。これらを順に扱う。これらの側面は、個々に切り離される別のものではなく、むしろ互いに重なり合うところもある。しかし、そういった関係性とそれが生み出す帰結についてはまた別の機会の課題にしたい。

生命の単位体としての細胞

第一の側面として、細胞概念は生命の世界における単位体の存在の考え方ときわめて強く連関していることを挙げることができる。もちろん、生命の単位体という発想はしばしば登場し、またその内容は多様であり、細胞説登場以前の 18 世紀に多数のバリエーションが存在していたことは既に見たとおりである。しかし、そういった他の説の存在が霞んでしまうほどに、細胞説にとって最も重要な側面として常に強調され、注目されてきた側面でもある。こういった強調は、細胞説の始祖とされるシュライデン、シュヴァンにまで一応遡ることができる。

シュヴァンは、細胞のことを何度も「要素的部分(Elementalteile)」と呼んでおり(Schawnn 1839)、細胞が有機体全体の部分であることをはっきりと示している。それに対して、シュライデンは「すべての細胞は二重の生活を営んでいる」(Schleiden 1838:138)と述べており、細胞の要素性以上に全体性を重く見るところがある。この違いは、両者の研究対象が、シュライデンは植物、シュヴァンは動物と違っていることとの関連で理解可能である。しかし、このようにニュアンスの差はあったとしても、シュライデン、シュヴァンに由来する細胞説が、単位体の説として始まったということは間違いのないことである。

ただ、先に「一応遡ることができる」と書いたのは、このシュライデンとシュヴァンによる細胞説の提唱が、決してこの単位体という側面を全面的に強調したものではなかったからである。両者とも（シュヴァンについては、３つめの側面のところで具体的に見る）生物の形態が形成される際にしたがう発生あるいは増殖の法則を求めており、したがって構造ではなく機能と関連づけて細胞を理解していた。構成要素としての単位体という見方は、必ずしも重要な位置を占めていないのである。

ところが、この単位体という見方は、両者の説を引き継いだ論者によって、少しずつ強調されるようになっていく。たとえば、シュライデン、シュヴァン以降、細胞が分裂によって増えるという学説が確立していく中で「細胞はすべての細胞から（Omnis cellula e cellula)」というフレーズを主張して、細胞説をまとめあげると同時にそれを生理学および病理学に応用したことで知られているウィルヒョウ(Rudolf Virchow)は、講演をまとめた記念碑的著作である『細胞病理学』において、植物細胞についての記述の後に次のように述べている。

> まったく同じことが動物の形態についてもいえます。いかなる動物も、生命単位の総和に他ならず、その単位はそれぞれが生命の完全な特質をそなえています。(Virchow 1858:12)

生命の単位体としての生物という見方が、ここではいっそう明確に、つまりシュライデン、シュヴァン以上に現れている。

また、ウィルヒョウの弟子でもあったドイツの生物学者でダーウィン主義者のヘッケル(Ernst Hackel)は、1904 年に初版が出た後、何度も再版されて読み続けられた啓蒙的な著作『生命の不可思議』[9]における「細胞の概念」と記した項目において次のように述べている。

> 細胞説の真の確立者であるシュライデンの大きな功績は、植物の様々な組織が本来そういった細胞から成り立っているということを証明したところにある（1838 年)。その後すぐにテオドール・シュヴァンは、動物の組織に関して同じことを証明した（1839 年)。彼は、『動物と植物の構造ならびに成長における一致に関する顕微鏡的研究』によって細胞説を有機体の全領域に拡張したのである。両者は、細胞とは、その本質において、しっかりした膜が流動体を包含し、その中にしっかりした小体すなわち 1833 年にブラウンによって発見された細胞核が存在するような小胞であると見なした。(Hackel 1904)

ウィルヒョウの理解を受け、さらに一般向けの著作という場で行われたヘッケルの理解は、ますます単位体としての細胞という側面を強める。単位体という見方が持つわかりやすさは、細胞説の一般的な受容についても大きな役割を演じたことが予想される。細胞と言えば生命の単位体という見方は、このように専門家のあいだで広

がっていくと同時に、一般にも流通する言説として形を為していったのである。

こういったヘッケルやウィルヒョウ理解は、江戸末期の開国と1868年の明治維新を通じて、積極的に欧州の科学を吸収するよう努めるに至った日本にも伝わっていくことになる。明治期における代表的な動物学研究者の一人であり、日本に日本語で進化論を紹介し、動物学の基本的な教科書や啓蒙書を多数書いた石川千代松は、たとえば次のようにすべての生物を「細胞の群衆」であると述べている。これは、日本において細胞説（つまり近代的な生物学が、ということでもあるのだが）が紹介された際の典型的な記述である。

> 吾人ガ今日知ル所ノ最下等ノ生物ハ動物モ植物モ共ニ皆一個ノ細胞タルニ過キスシテ、高等ナルモノニ至リテハ細胞ノ群集ヨリ成立スルモノナリ（石川他1894）

生物学における細胞は、化学における「原子」に喩える表現となって現れることもあった。東京帝国大学の植物学教授であった三好学は、次のように述べている。

> 細胞ハ植物体ノ原子ニシテ、其連続、聚合ニ由リテ、導管ト為リ。繊維ト為リ、組織ト為リ、以テ根、茎、枝、葉ヨリ、花、實、種子ニ至ルマデ、複雑ナル植物体ヲ構成ス（三好 1890:14）

有機体の単位体としての細胞の理解は、細胞概念の根幹として強固に根付いていった。そして、遅れて細胞説を輸入した明治期の日本ではとりわけそうであった。

生命と非生命の違いを巡る細胞

こういった理解に対して、生命と非生命の違いという観点から、またそれとは正反対の方向性をもつものになるのだが生命と非生命の同一性という観点から細胞概念を捉える見方がある。これが第二の見方である。こういった見方は植物細胞に限定した議論を行っていたシュライデンには見られない一方で、動物を中心としつつも生物界全体を念頭においていたシュヴァンにおいてはきわめて明確に表現されている。ここではシュヴァンにおいてこの両面が明確に現れていることを見たい。

まず、すぐに気づかされるのはシュヴァンの著作のタイトル「動植物の構造ならびに成長における一致」がこの点を内容として含んでいることである。これは具体的には次のような言葉で表現されている。

> すべての有機的な生産物には、ひとつの普遍的な形成原理があり、そしてその形成原理とは細胞形成である、という命題の発展、ならびにこの命題から出てくる結論に、広い意味での細胞説という名を与えてもよいであろう。(Schwann 1839:197)

ここで「すべての有機的な生産物」と言われているところに、まず着目したい。西洋自然誌の伝統には、自然の中を鉱物界、植物界、動物界の３つの領域に区別し、それらを自然の三界と呼ぶ考え方があった。それに対して、これらのうち動物界と植物界を合わせて有機的な世界と考える発想がこの言葉に現れている。もちろんそういった発想はシュヴァンが最初というわけではないし、必ずしも細胞説という形をとって表明されるわけではなかった[10]のだが、著書のタイトルにもあるように、この点が細胞説における重要なポイントであったことをシュヴァン自身が強く意識していたことは確かである。この意味で、細胞は生物の世界という一つの世界の存在を示す重要な鍵概念にあった。

この動物と植物の共通性の理解という観点は、19世紀になる頃には一般的な理解として成立しつつあった。例えば、生物学という単語が、植物学と動物学を合わせたような意味でフランス語(biologie)およびドイツ語(Biologie)で登場したのは、それぞれ同じ1802年と言われている。そういった中で、細胞説は動物と植物の共通性を基礎づけるものであった。

ところが、シュヴァンはこのような潮流の中にいた一方で、別の側面も持っていた。例えば、同じ1839年の著作の中で、細胞を有機体（生物）にとって本質的なものとしながら、それが結晶の形成と同じように物理的な力によって形成されるとしている。

> 生物体の要素的部分の形成は、膨潤することのできる物質の結晶形成に他ならず、生物体とは、膨潤できるこのような結晶の集合体以外の何ものでもない。(Schwann 1839:254)

結晶とは、物質の種類ごとに決まった形をしており、また周期的に繰り返される配置を特徴とするものである。したがって各個体、部分が固有性をもつ生命という存在と結晶とは、相容れない存在であるように思える。このような観点からすれば、シュヴァンは動物と植物のあいだにあった壁を取り去ったのみならず、生命の世界と非生命の世界のあいだの壁をもまた開こうとしているように見える。生命は細胞の集合体に他ならず、細胞は物質の集合体に他ならないのなら、生命と非生命との相違はその存在を否定されるか、あっても本質的なものではないということになりかねないからである。このように生命と非生命の違いを乗り越えるその境界領域に置かれたものが細胞であった。

アリストテレスに由来するとも主張される生気論（生きているものは持っており、生きていないものは持っていないような何らかの実体を想定する考え方）の発想は、こういった細胞の見方によって否定的に捉えられることになり、その逆の機械論あるいは物理（化学）還元主義的な発想が細胞と結びつく。簡単に言うならば、機械論とは、有機体も（複雑な機械がそうであるように）物質の集合体に他ならないという見方であり、物理（化学）還元主義とは、生命現象に固有の法則性は存在せず、生命現象は物理学（あるいは化学）の言語で記述可能であり、生命の理解は物理学および化学によって可能であるという見方である。

機械論は、「魂を持つ人間」という見方を否定し、「自由意思の存在」の考え方に挑戦する決定論的世界観にも

つながりうる。そういった意味で、シュヴァンのこの主張は非常に重要な意味を持つ。機械論自体は、特にこの時代に典型的なものというわけではなく、広くとればいつの時代にも存在してきたものといえる。特徴的なことは、シュヴァンにおいては細胞がその根拠とされたということである。細胞は、生命と非生命の橋渡しの機能を果たす概念であったと言えるだろう[11]。

細胞説の登場に対して２世紀も先行する 17 世紀において、既に機械論や物理（化学）還元主義といった見方自体は既に広く見られる。例えばデカルトが生命を機械に喩えたことはよく知られている。しかし、生命現象の詳細な仕組み自体が未解明であった 17 世紀的な機械論は、その後生命現象の複雑さが明らかになるにつれてその挑戦を受けることにもなった。時計や人形やからくりになぞらえる安易な機械の比喩では理解できないほど生命現象が複雑で精巧であることが明らかになるからである。しかし、18 世紀において化学的知識が充実していくことによって、機械論は新たな戦略をとることができるようになる。生命現象が、生命以外の場面において見いだされる化学反応と同じ法則に従って起こっていることを示すことが可能になったのである。シュヴァンの位置はまさにこのようなところにある。結晶形成という化学的な知識を用いて細胞形成を理解しようとしたことは、まさに同時代の機械論の上にのった態度であると言える。生命は（生気論の言うような）固有性をもつと同時に、（機械論の言うような）物質的基礎を持っている。このような理解を細胞という概念で基礎付けようとしたのが、シュヴァンであった。

なお、日本には必ずしも自然の三界という考え方は根付いておらず、また機械論と生気論を巡る論争からも無縁であったため、シュヴァンのような議論はそもそも入り込む土壌を持っていなかった。したがって、この第二の点は日本における細胞説の中でほとんど位置を占めていないように見える。

生物学の原理としての細胞

さらに次に、この見方に加えて、第三の見方すなわち細胞という一つの基盤ができることで、生命の世界が統一的に捉えられるという見方が存在したことに着目したい。第一の見方は、細胞を単なる構成物としての単位として見るものに過ぎない。ところが、細胞研究（２０世紀前半にはしばしば「細胞学」と呼ばれた）は、細胞を研究すれば生物のことがわかる、という前提があってこそ重要な研究と見なされる。そういった研究の前提となるのが、この第三の考え方であった

この考え方は、例えばウィルヒョウの細胞病理学に現れている。腫瘍細胞など様々な病理学的な細胞研究を通じてウィルヒョウが到達した考え方は、すべての病理現象は細胞の現象として把握されなければならないというものであった。ここでは、細胞という概念は、生命体を理解する基礎と見なされている。例えば先の引用の続きでは次のように述べられている。

> 生命の特質、生命の単位は、高次の体制におけるいずれかある場所、例えば人間の脳にではなく、個々の要素、すなわち、体内の至るところに恒常的に出現する一定の構造にのみ求められるべきものです。(Virchow 1858:12)

また、体液病理学説とそれに対抗する固体病理学説の両方を批判しながら、次のように述べる。

> いま、私たちが公正であろうとするならば、体の大部分を構成する成分に正当な認知を与え、神経を全体としてのまとまり、あるいは関連しあう単一の装置とみなしたり、血液を、単に液性の素材として足れりとする、こういう単純な見方をやめ、血液も神経系も、その内容はじつは活動的な小さな中心の集団であることを認めるべきであります。(Virchow 1858:16-17)

細胞について、あらゆる生物に通底し、それを研究することで生命についての理解が進む基本構造という見解が強く示されていることがわかる。現実には生命は多様であり、植物細胞と動物細胞、あるいは動物細胞であっても動物の種類によって、また構成する組織によって細胞の形態が大きく異なっているということは明白である。しかし、そういった差異を超越し、細胞という単位体が共通した何かをもっているはずであるという見方、どんな生物でもそれが生物である限りは細胞から成っているはずだという見方、逆に言えば細胞からできていないならばそれは生命とは言えないというほどの見方がここに現れている。こういった確信は、観察経験からの帰納的帰結というよりは、むしろ主観の側にある原理的な見解と言って良いであろう。

他方で、この考え方は、生物学の専門家の領域を越えて、その外にまで広がりを見せていた。生物学者以外でこういった観点を明確にしている人物の一人に、エンゲルス(Friedrich Engels)がいる。

> ところが、同じころ経験的自然科学が非常に大きな躍進をとげてじつに輝かしい成果をあげたので、これによって 18 世紀の機械論的一面性を完全に克服することが可能になったばかりでなく、自然科学自身も、自然そのもののなかに存在している、さまざまな研究領域（力学・物理学・化学・生物学などなど）の諸連関を立証することによって、経験的学問から理論的学問に変わり、また、既得の成果を総括することによって、唯物論的自然認識の一体系に変わった。（中略）決定的に重要であったのは、しかし、三つの偉大な発見であった。
>
> （中略）
>
> 第２の発見—時代から言えばこちらのほうが早い—は、シュヴァンとシュライデンとによる生物細胞の、最下等の生物を除くすべての生物がその増殖と分化とによって発生し成長する単位としての細胞

の、発見である。この発見によってはじめて、生きた有機的な自然産物の研究―比較解剖学および比較生理学ならびに発生学―は、しっかりした土台を獲得した。生物の発生と成長と構造とから秘密は一掃された。これまで不可解な驚異であったものは、解消されて、すべての多細胞生物にとって本質的には同一な或る法則に従って行われている一過程になったのである。（エンゲルス 1999:341-342）

この第三の見方は、生命観のみならず自然観全般に関わる問題でもあり、したがって生物学の領域を越えて広がっていくのも無理もないことである。

また、日本においては大正期になると見られるようになる。明治期の細胞説は、単位体としての細胞を重視する紹介が中心であった(Hayashi 1998)が、アメリカ留学から帰ってきて東京大学の動物学教室に勤めることになった谷津直秀は、そういった状況を打破しようとして次のように述べている。

細胞學(Cytology)とは云ふまでもなく細胞(cell)の學問なれど、是れを單に解剖學及び組織學と同様なる形態學的系統の學科と考ふるは誤りにて、細胞學とは其より意味廣く生理・發生・遺傳乃性の問題即ち細胞に關係したる諸項にわたりて研究するものにて、cellular biology と云う方或はよからん。（谷津 1912:14）

谷津において日本の生物学は、実験科学化されたと言われることがよくある（福井 2001:31）。また谷津は、科学としての動物学という意識、科学方法論的関心をもっていた、それまでとは異なるタイプの研究者でもあった（Hayashi 1998）。第三の観点はこのように、幅広い関心を伴って現れてくるものである。他方で、谷津以前においては、こういった観点を見ることはほとんどない。

自然の階層性の象徴としての細胞

最後に、自然の階層性の一つのレベルとしての細胞という考え方を取り上げる。細胞はそれ自体が個体的な要素を持つと同時に、より上位のレベルの有機体（細胞の場合は「個体」など）の構成物という側面をも持っている。このように考えると、階層構造の一レベルとしての細胞という観点が明らかになる。先に述べたように、シュライデンは「二重の生活」という表現をしており、既にこの側面を明確に意識していた。しかし、こういった細胞の性質は単に細胞自身に現れているそれとして理解されるだけにとどまらず、別の何かにおいて再発見され、細胞という言葉がメタファーとして用いられるようになっていく。最もよく知られているのは、有機体における細胞と、国家あるいは社会における人間とを重ね合わせる見方である。

たとえば、ウィルヒョウは次のように述べている。ここで「要素」と言われているのは、当然有機体においては細胞のことを指している。

これによって明らかなように、ある規模をもった体というものは、けっきょくのところ、つねに一種の社会的体制、社会という性格を帯びた体制に帰するものであり、個々の存在は互いに依存しあう――しかも各要素はそれ自体として独自の働きをもち、たとえその働きが他の要素に由来する刺激に触発されるときも、なおかつその固有の機能は自発のものとして発揮されるのであります。(Virchow pp.12-13)

これが、いわゆるウィルヒョウの「細胞国家(Zellstaat, cell state)」論とされたものである。こういったウィルヒョウの記述は、たしかに一面では、生命を理解する際に社会のアナロジーを用いたものと考えることができる。しかし、自律しつつ互いに影響し合い全体として体制を作り上げるというこの細胞の見方は、社会運動家でもあり、後に国会議員を務めたウィルヒョウに固有の社会意識の投影されたものと考える方が理解しやすい。そうすると、単に社会を描写したものというより、社会のあるべき姿を述べたものということもでき、またそういった姿を細胞に投影して、細胞のあり方を根拠に社会のあるべき姿を述べることができるとしたものと見ることが可能である。

さらにこういったウィルヒョウのメタファーを別の方向に延長しようとしたのが、またしてもヘッケルであった。

高等な動植物の身体をその箇々の器官に分解することにより、比較解剖学者等は、すでに簡単な有機体と複合した有機体を区別したが、次いで十九世紀の後半において、細胞説のさらに発達するにおよんで、吾人は、細胞をもってあらゆる生物に共通な解剖学的基礎だと認めるに至った。この細胞をもって「基本有機体」だとする見解は、さらに吾人自身の人体もまた、すべての高等動植物の身体と等しく、元来一個の「細胞国」で、顕微鏡的の国民である箇々の細胞の幾千万から集成され、これらの細胞は、多少独立して作業し、全国家の共同の目的のために戮力するものであるとの見解を導き至った。現代細胞説におけるこの根本思想は、殊にルードルフ・ウィルヒョーによって、病中の人体に応用されて最大の効果を奏し、その『細胞病理学』は、医学上に最も重要なる改革をなした。」(Hackel 1923:163-4)

ただし、この引用からもわかるように、ウィルヒョウと比べて細胞の自発性、独立性をあまり重んじていないところにヘッケルの細胞観の特徴がある。また、それと関連して、国家主義的な響きをもった社会観があからさまに見える。この点もまた、自由主義運動家であったウィルヒョウには見られないところである。しかし、それにもかかわらずヘッケルは、ウィルヒョウの細胞国家説を継承したつもりでおり、その連続性を明言している。

このような細胞理解は、単なる一般向けのアナロジーとすべきであろうか。たしかに、そういった側面はある。しかし、国家と国民という喩えによって曖昧に表現された細胞のあり方こそが、生命科学の他分野（生理学、発

生学、遺伝学その他）に同じ概念が同時に導入されるさいにむしろ意味のあることであったという評価もできる(Reynolds 2007, 2008)。科学におけるアナロジー、メタファーの機能は決して学説否定的、前進阻害的なものばかりではないし、科学にとってアナロジーやメタファーが本質的なものでないとも限らない(Hesse 1963)。したがって、科学にとって内的、外的双方で意味のあった捉え方が、この階層性の一つのレベルとしての細胞という見方であったと言って良いであろう。

このような見方は日本にも輸入されることになった。例えば、日本における動物学上の文献から、以下のような記述を発見することができる。

> 之ヲ生理上細胞ノ分業ト謂フ、乃チ高等動物ト下等動物トノ別ハ稍ゝ此分業ノ度ニ歸スルモノニシテ、之ヲ人間社會ニ比較スルトキハ、其理の愈ゝ然ルコトヲ視ルベシ(岩川・佐々木 1885:8-9)

> 人間の體は社會である計りでなく、分業の大層進んだ社會であつて、此の社會を構成して居る一つ一つの細胞は此の社會が要する仕事の一部づゝをするものであります。(石川 1935:134)

いずれも一般向けの教科書的記述であり、多細胞生物の理解を進めるための比喩としての役割を果たしている。「分業」といった表現がいずれも見られるが、こういった理解は日本では大変典型的なものである。

日本の科学者たちは、ウィルヒョウのような政治的背景を必ずしももっておらず、したがってさほど深い思い入れの入った表現として用いられているわけではなかった。また、進化論が生物学の議論というよりは社会学の議論として日本に導入されたことに対応するような、科学の領域を超えて進んでいく側面（齋藤(2003)、上野(2003)）もそれほど強くなかった。そういう側面が決してないとはいえないが、あくまでも喩え話でとどまっているのが日本的な細胞の階層性の議論であると言える。

むしろ、細胞を個体に喩えるのではなく、個人を細胞に、社会を有機体に喩えるという逆の比喩の方が日本では頻繁に用いられている。ここでは、喩えるものと喩えられるものの逆転が起こっている。これは、「工場細胞」「経営細胞」といった語用法として現れる。既に第３の側面に関して触れたように、日本ではむしろ細胞自身の方が、客観的存在物とされ自明のものと見なされていた。シュライデン、シュヴァンにおいてとりわけそうであったが、細胞は対象の側というより、見方の側に関わる概念であった。ウィルヒョウにとってもそうであった。ところが、その後、とりわけ日本においてははっきりしているのだが、細胞は発案されるべき学説ではなく、発見されるべき客体となっていった。そのことを考えれば、細胞が解かれるべき謎ではなく、むしろ別のものを理解する助けとされる何かと考えられたのも理解できることである[12]。

本稿における比較の意味との限界

ここまで、細胞という対象と概念のそれぞれにこだわって、細胞に関する自然科学研究を追いかけ、科学史における比較の事例を見てきた。細胞概念は一通りではなく、様々な含意を持っていることを、その含意の内容を４つに分類することで明らかにしてきた。

以上からわかるように、概念史における比較とは、意味の同一性を見いだすのに重要な貢献をすることができる。シュライデン、シュヴァンから始まった細胞説が、ウィルヒョウやヘッケルにおいて、また日本の生物学者たちの中で、どのように変化していくかということについて、４つの軸にそって見ることができた。

また、細胞概念の多面性を見ることによって、細胞概念が他の概念とどのようにつながっているかと言うことを明らかにすることができた。たとえば、機械論的な生命理解や、社会思想の問題とのつながりを一部に見ることができた。諸概念のネットワークについて、一結節点を中心にしながら見たものということができるだろう。

他方で、こういった軸をはずれる部分について、十分に解読することができていないとも言うことができる。とりわけ、西洋に登場した19世紀の細胞説の中から主要な論点を抽出しているため、日本における固有性をこれらの軸と異なったところに見いだすということはできていない。これが一つの限界と言えるであろう。

さらに、こういった系譜を追うタイプの概念史の手法は、まったく新しい概念の登場を描写するのに向いていないということも言えるであろう。変化や非連続性というよりはむしろ同一性、連続性を追う手法だからである。

おわりに

現在、人工細胞という考え方が登場している[13]。これまで、対象としての細胞は、「自ずから成った」それに限定されるものとして考察を進めてきた。つまり、自然界における「被造物」としての生命体における細胞に限定した議論を進めてきた。ここで「被造物」と述べているのは、造物主の技によるという積極的な意味においてではなく、むしろ人間が意識的に創造したわけではないという消極的な意味においてである。

ところが、構成生物学の発展は、細胞様の構成物を比較的単純な物質を材料にしながら人工的に造り出すことを可能にしつつある。仮にそれは言い過ぎであるとしても、それを長期的な目標の一つとして研究が進められつつある。もちろん、人工物があくまでも自然の模倣の範疇にとどまるならば、細胞の意味の拡張は起こらないであろう。しかし、意図するかしないかにかかわらず、人間の行為は自然を超えて進むであろう。そのとき、どのような新しい細胞説が生まれるだろうか。また歴史的に見た細胞概念の意味がどのように変化していくだろうか。今生じつつある歴史もまた、歴史に関心があるものにとって極めて興味深いものである。

(1)日本では、伊東・村上編(1989)他。また比較科学史研究自体を論じたものとして、Pyenson(2002)がある。
(2)もちろん絶対的な「客体」という考え方をとる必要はない。一群のものとされる現象のまとまりが存在していれば、それらが十分に「対象」の同一性を形成する。
(3)ここで用いる概念史の手法は、Lovejoy(1936)によって確立された科学思想史における一つの歴史の描き方である。フランスのいわゆる科学認識論 epistemologie もある意味で類似した方法を用いていると見ることができる。
(4)細胞に関する歴史記述については、Sachs(1875)以降様々なものがある。詳細は林(1999)参照。
(5)オランダのレーウェンフック（Antonie van Leeuwenhoek）、イタリアのマルピギー(Marcello Malpighi)ら、初期に顕微鏡観察をした研究者たちについて、このようにまとめて呼ばれることがある。これは、研究方法あるいはもっと言えば初歩的な光学顕微鏡という研究手段の同一性によって包括される概念である。
(6)顕微鏡はいわゆる中世アラビア科学に遡るとも言われるが、実際に科学革命期の研究に影響を与えた顕微鏡はオランダ由来の顕微鏡であり、16 世紀末にヤンセン親子による制作の記録、顕微鏡に関する特許を巡る争いが存在したことが知られている。
(7)こういった概念を提唱したことで知られる一人が、文学者として著名なゲーテである。ゲーテの原植物概念については、日本では高橋義人(1988)らの研究がある。資料としては、Goethe(1982)を参照。
(8)他方でもちろんシュライデン、シュヴァンの貢献をあまり高く見積もらない評価も存在している（Aschoff et al. 1938; Gerould 1922)。詳細は林(1999)。
(9)日本語訳のタイトルがこうなっている。後藤格次訳の他に、大日本文明協会からも翻訳の出ている著名な科学啓蒙書である。
(10)このような観点に立てば、細胞説の先駆概念として単位体説などとはまったく異なった考え方を挙げることができる。例えば、非有機的な世界においては作用せず、有機的な世界のみで作用する生命力(Lebenskraft)という概念が 18 世紀末から 19 世紀初頭において提唱されていたが、こういった概念に着目することが可能である(林1990)。
(11)ただし、シュヴァン自身は敬虔なキリスト教徒であったということもあり、このあたりの事情は簡単ではない。
(12)もちろん欧語にもこのような用法は存在する。原田(2004) による NSBO (Nationalsozialistische Betriebszellenorganisation)の例を参照。
(13)詳細は、「細胞を創る」研究会のウェブページ http://www.jscsr.org/等を参照のこと。

本研究の成果（2006～2009）

① 発表論文

［編著］

一柳廣孝・吉田司雄編『ナイトメア叢書２　幻想文学、近代の魔界へ』（2006・05・23、青弓社）

一柳廣孝・吉田司雄編『ナイトメア叢書３　妖怪は繁殖する』（2006・12・18、青弓社）※一柳廣孝「薄明を歩む―熊倉隆敏「もっけ」」104～116頁

一柳廣孝・吉田司雄編「ナイトメア叢書４　映画の恐怖」（2007・05・24、青弓社）※一柳廣孝「書棚の隅に何かいる　天命学院講習録―最後の気合術師・濱口熊嶽の教え」136～142頁

一柳廣孝・吉田司雄編「ナイトメア叢書５　霊はどこにいるのか」（2007・12・12、青弓社）※一柳廣孝「書棚の隅に何かいる　新聞記者が見た「千里眼事件」―薄井秀一『神通力の研究』」211～216頁

一柳廣孝・吉田司雄編『ナイトメア叢書６　女は変身する」（2008・05・23、青弓社）※一柳廣孝「書棚の隅に何かいる　その後の大霊道―日本霊道会と機関誌「霊界」をめぐって」169～177 頁

一柳廣孝編『オカルトの帝国　1970年代の日本を読む』（2006・11・27、青弓社）※一柳廣孝「オカルト・エンターティンメントの登場―つのだじろう「恐怖新聞」」207～224頁、吉田司雄「メディアと科学の〈聖戦〉－一九七四年の超能力論争」259～291頁

吉田司雄編『オカルトの惑星　1980年代、もう一つの世界地図』（2009・02・23、青弓社）※一柳廣孝「カリフォルニアから吹く風―オカルトから「精神世界」へ」229～253頁、吉田司雄「ネス湖への旅は終わらない―あとがきにかえて」255～263頁

中山昭彦・吉田司雄編『機械＝身体のポリティーク』、2006・11・27、青弓社、※吉田司雄「ピグマリオン神話の現在形－押井守『イノセンス INNOCENCE』の向こうに」、245～262 頁

［単行本所収論文］

吉田司雄「ファンタスマゴリアの一水脈－佐藤春夫と江戸川乱歩」（『近代的心性における学知（テクネー）と想像力（ファンタスゴマリア）』、2007・03・31、慶應義塾大学出版会、47～72 頁）

一柳廣孝「「霊」から「無意識」へ―明治期の言説編成をめぐる覚書」（『近代的心性における学知（テクネー）と想像力（ファンタスゴマリア）』、2007・03・31、慶應義塾大学出版会、187～202頁）

一柳廣孝「「こっくりさん」の変容」（横浜国立大学留学生センター編『国際日本学入門―トランスナショナルへの12章』（2009・03・24、成文社、161～176頁。）

一柳廣孝「心霊データベースとしての『遠野物語』―神秘主義の視点から」（『遠野物語と21世紀　近代日本への挑戦』、2009・06・29、三弥井書店、69～79頁）

林真理「科学研究成果の出版 scientific publishing」（生命倫理百科事典翻訳刊行委員会編『生命倫理百科事典』vol.1、2007・01、丸善、570～577頁）

林真理「生命 life」（生命倫理百科事典翻訳刊行委員会編『生命倫理百科事典』vol.3、2007・01、丸善、1859～1866頁）

林真理「遺伝子組み換え作物」（加藤尚武編集代表『応用倫理学事典』（2008・01、丸善、326～327頁）

［雑誌等論文］

一柳廣孝「霊術を売る―日本心霊学会の言説戦略をめぐって」（2006・09、「比較日本文化研究」10、9～26頁）

一柳廣孝「怪談の時代」（2007・08、「國文學」特集「怪談」、學燈社、16～23頁）

一柳廣孝「「心理研究」とフロイト精神分析」（2008・12、「名古屋近代文学研究」22号、41～59頁）

一柳廣孝「オカルティスト、芥川龍之介」（2008・12、「幽」10号、メディアファクトリー、16～21頁）

一柳廣孝「心霊としての「幽霊」　―近代日本における「霊」言説の変容をめぐって」（2009・03、「物語研究」9号、12～19頁）

林真理「細胞概念の展開　科学史研究における比較の事例として」（2010・03、「国立民族学博物館調査報告」vol.90、57～75頁）

林真理「駆け巡る細胞たち」（2008・07、「現代思想」36巻8号、青土社、213～229頁）

林真理「未確認動物の存在論」（2008・04、「生物学史研究」no.80(2008)、日本科学史学会生物学史分科会、17～27頁）

吉田司雄「満月の夜、男は狼となる- 狼男の映画誌のために」（2007・03、「國文學」特集「月光」、學燈社、53～61頁）

吉田司雄「ハイセイコーが負けた日から- 競馬と文学との交差」（2006・10、「別冊國文學」No.61「ギャンブル　破滅と栄光の快楽」、172～178頁）

吉田司雄「代替歴史小説の日本的文脈」（2006・04、「思想」984号、岩波書店、111～123頁）

② 学会発表

林真理：招待講演「細胞を創ることの意味をいろいろ考えてみる」、「細胞を創る」研究会、2008年10月17日

一柳廣孝：招待講演「「学校の怪談」という問題系」、花園大学国語国文学会、2006年7月2日

Yoshida Morio “Detectives Standing Still: The Sherlock Holmeses of the Meiji Period”、日本文学研究学会（Association for Japanese Literary Studies）第17回大会、2009年8月21日

③ 特許出願

なし

MPGDによる位置分解能の最適化

工学院大学工学部共通課程　渡部隆史

工学院大学工学部共通課程　幸村孝由

東京農工大学大学院共生科学技術研究院　仁藤　修

Optimization of Position Resolution with MPGD

Takashi Watanabe , Department of General Education, Kogakuin University
Takayoshi Kohmura, Department of General Education, Kogakuin University
Osamu Nitoh, Tokyo University of Agriculture and Technology

ABSTRACT : A Time Projection Chamber (TPC) is a strong candidate for the central tracker of the international linear collider experiment. We have been studying about a TPC using Gas Electron Multiplier (GEM), one of Micro Pattern Gas Detector (MPGD), with Ar-CF_4-$isoC_4H_{10}$ mixture gas. In this study, we showed that Ar-CF_4-$isoC_4H_{10}$ mixture gas is the good candidate for LC-TPC operation.

１．　研究の学術的背景

１．１　ＩＬＣ

現在、高エネルギー実験分野においては、将来計画としてInternational Linear Collider (ILC)計画が検討されている（図１）。ILC計画は電子・陽電子線形衝突型加速器でTeVエネルギー領域の素粒子実験を目的とした計画であり、宇宙のビッグバン直後に匹敵する超高

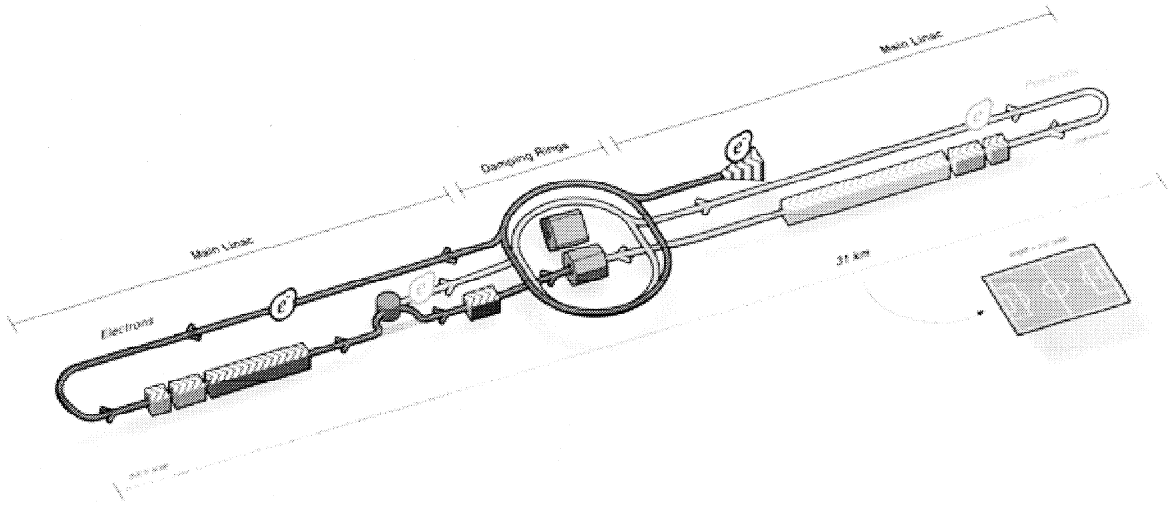


図１．ILC計画の概念図

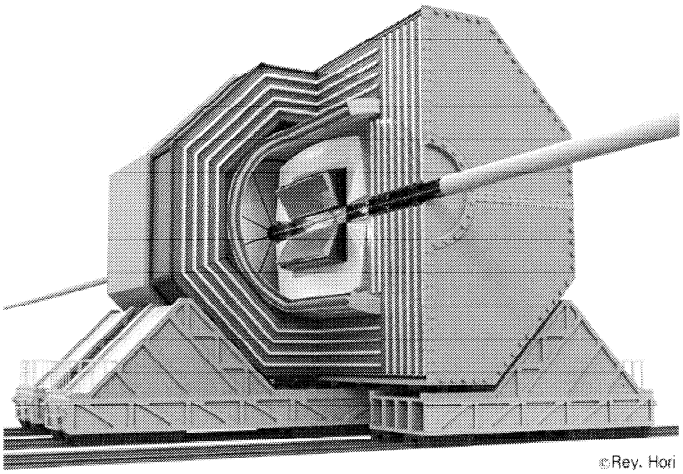


図２．高分解能測定器の概念図

エネルギー状態を実験室に実現し、素粒子の基本法則の解明を通じて、宇宙創成の研究を行うものである。我が国においては、従来 JLC 計画（後に GLC と名称を変更）という名称で計画の検討を行ってきたが、2004 年 8 月に International Technology Recommendation Panel が世界に複数あった加速器の基本技術を一本化する決定を行ったことを受け、ILC 計画実現のために活動を進めている。

１．２　ＩＬＤとＬＣＴＰＣ

ILC のような高エネルギー粒子衝突実験においては、一般的に複数の飛跡検出器やエネルギー検出器を組み合わせた大規模複合型検出器が用いられる(図２参照)。現在、ILC 計画においては、Letter of Intention (LOI)の提出が求められている。当初、ILC 計画に対しては、４つの Detector Concept が挙げられていたが、そのうち、アジア主体に提案されていた Global Detector Concept とヨーロッパが主体となって提案していた Large Detector Concept が一つにまとめ上げられ、International Large Detector (ILD)として提案が行われている。本研究代表者は、この ILD 提案グループに参加しており、主に主要飛跡検出器の研究を行っている。

ILD においては、主要飛跡検出器として TPC を提案している。このとき、ILC の主な研究対象とされている Higgs 粒子探索、超対称性粒子探索、Top quark に関する精密測定を十分な形で行うために TPC に求められる性能は、

- 運動量分解能で $\Delta p_t/p_t \sim 5\times10^{-5}$
- 位置分解能では 100μm

といわれている[1][2]。このような性能を TPC において実現するためには、飛跡情報の読み出し部分における電子増幅機構としてこれまで使われてきた Multi-Wire Proportional Chamber (MWPC) を使用したものでは限界があり実現が難しいため[3]、Micro Pattern Gas Detector (MPGD)を用いることを主張している。このとき、この分解能性能を決める要素として考えられるのが、以下の MPGD 固有の問題である、

- MPGD による電子増幅時の拡散、
- 電子検出用電極の形状、拡散された電子群に対しての大きさ、配列、

であり、それらに加え、TPC 固有の問題である、

- 荷電粒子による一次電子の生成の不確定性
- 二次電子の生成機構
- 電子遷移領域の電場、磁場の一様性
- 電場中を電子が遷移する際の拡散、希ガス依存性

などがあげられる。これらの内容については、個々の現象についての理解は進められてきたものの、それらの相関、その他の不確定要素については研究が行われていない。また、電極によって得た電気パルスをデータ化し、飛跡を再構成する際にも、χ^2 検定法や likelihood 法による違いなどが指摘されてきた。この点については、現在ではベイズ統計法に基づいた解析方法も検討されている。本研究代表者は、2004 年よりドイツ、フランス、フィリピン、日本からなる研究グループに参画し、小型の TPC (MP-TP)と超伝導電磁石を用いることにより、複数の MPGD に関する増幅率、稼動安定性などの動作研究を行ってきた[4][5]。さらに、2007 年より ILD に限らず、Linear Collider に向けての TPC の開発共同研究グループとして LCTPC Collaboration が組織され MOA が取り交わされている。また、この枠組みのもと、ドイツ電子シンクロトロン研究所 (DESY)において Large Prototype phse1 (LP1)の test chamber による電子ビームを使った試験研究が続けられている。

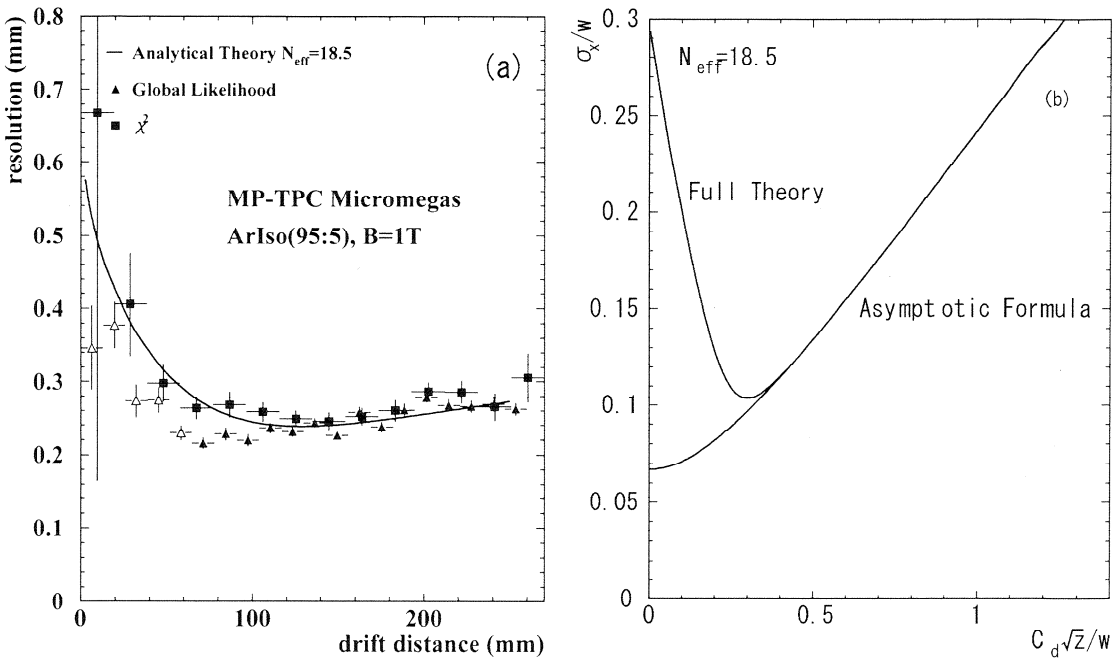


図３．電子信号の拡散と繊維距離の関係。(a) MP-TPC を使った測定データ、(b) 理論計算による遷移距離依存性

一方、これまでの研究によって、MPGD による電子増幅によって得られた信号での位置分解能は、電子信号の遷移距離の領域によって、

① 読み出し電極が大きく影響する場合
② 増幅領域のガスの性質が大きく影響する場合

がある（図３参照）ことがわかっている。高エネルギー物理学実験においては①、②いずれの場合についてもその理解が重要となってくるが、そのほかの場合、例えばX 線天文学、γ 線天文学といった他の科学分野、医療目的においては、遷移距離が短くなることが予想されるため、　①の理解が非常に重要になってくる。

現在、LP-TPC collaboration 内では、MPGD としてGEM[6]をアジア、ドイツを中心として、Micromegas[7]をフランスが中心として研究を進めている。

２．ＬＣＴＰＣの開発

２．１　ＴＰＣ

Time Projection Chamber (TPC)は、希ガスが封入された電子遷移領域(Drift Volume)と遷移してきた電子を増幅し、電気信号に変換する信号読み出し部によってなる(図４)。

電子遷移領域において希ガス中を荷電粒子が通過した場合、荷電粒子が希ガスの起動電子を電離し、電子と正イオンが生じる。このとき、電子遷移領域に一様電場をかけておくことにより、電子を信号読み出し部へ遷移させる。また、電場と平行に磁場をかけることによって、荷電粒子の飛跡が曲率を持つことになり、その曲率により荷電粒子の運動量を測定することが可能となる。このとき、磁場の大きさが大きければ大きいほど、荷電粒子

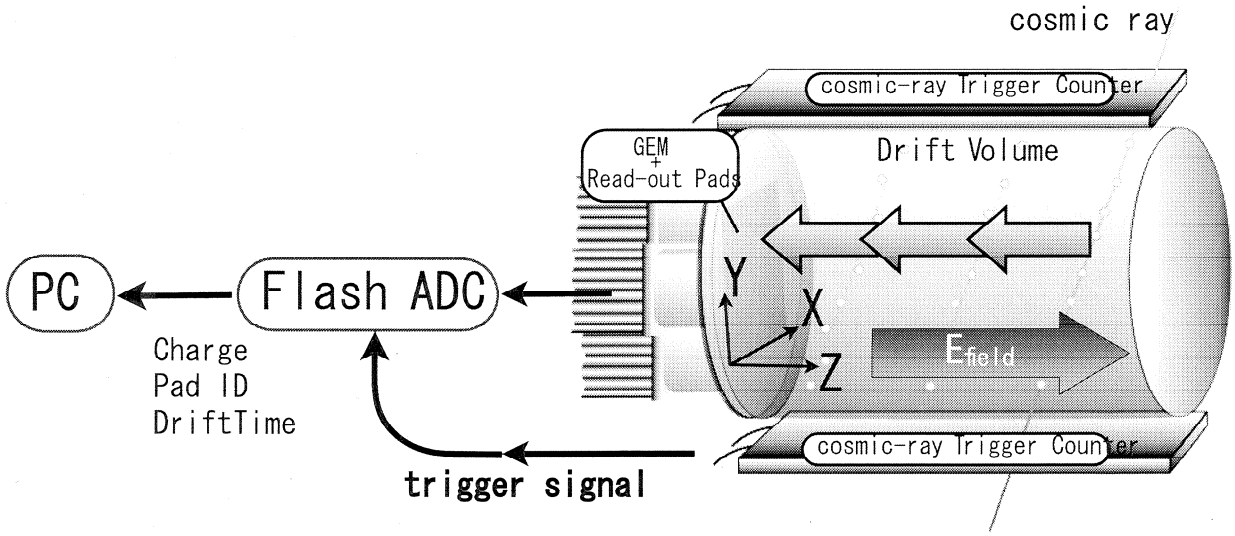


図４．TPC(宇宙線測定を前提とした Setup)

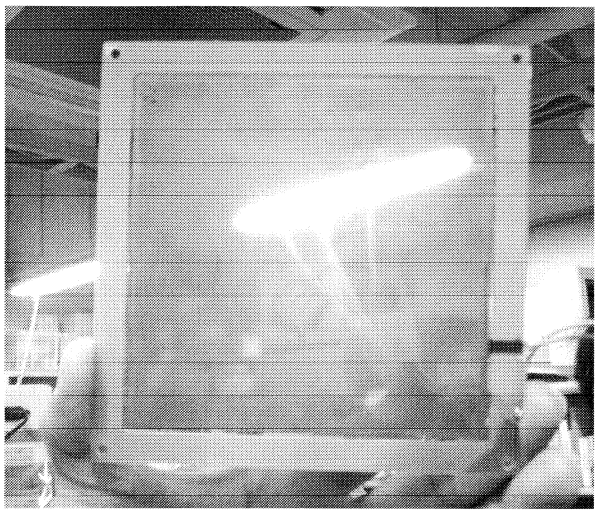


図５．GEM

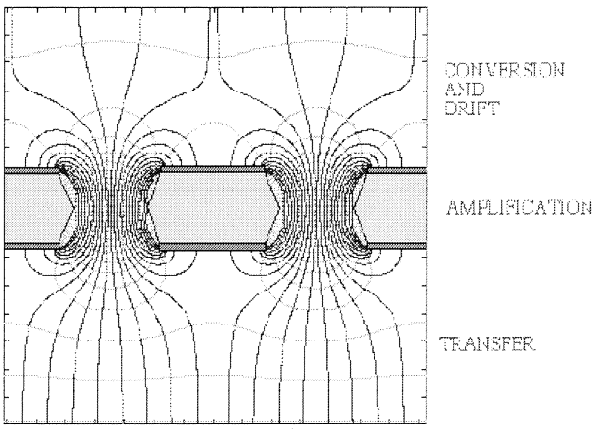


図６．GEM による発生電場（理論計算）

の運動曲率は大きくなるため、TPC を含めた検出器全体の大きさを小さく抑えることができる。現在、ILD においては、3~4T の磁場をかけることが検討されている。

信号読み出し部においては、Multi Wire Proportional Cube (MWPC)や MPGD などにより電子を増幅させ電気信号とし、Flash ADC などによる DAQ によって、電荷、電子の到達した位置情報、電子の遷移時間情報などを記録する。

２．２　ＧＥＭ

Gas Electron Multiplier (GEM)は、1996 年に Fabio Sauli によって開発された電子増幅装置である（図５）。薄膜の絶縁体の両面に薄膜電極があり、エッチングによって約 100μm 間隔で数 10μm の貫通孔が空けられている。誘電体を挟んだ電極には、数 100V の電圧がかけられる。この結果、GEM の空孔内には高電場が発生し（図６）、この結果、空孔内で電子雪崩が起こり、10^2 程度の増幅が見込まれることになる。

現在利用できる GEM は Sauli により開発され、CERN において製造されているバイコニカル・タイプ（図６）と SciEnergy 社（日本）によって開発されたストレートホール・タイプタイプがあり、日本グループはストレートホールタイプの GEM を用いている。これは、製造元が国内メーカーであることによる開発の利便性を考えた結果である。

これまで、MP-TPC による実験研究においては、

- 誘電体・・・厚さ 50μm のポリミド
- 電極　・・・厚さ 5μm の銅箔
- 空孔間・・・140μm
- 孔直径・・・70μm
- 面積　・・・100×100mm^2

のものを 3 段用いていた。GEM 間の電圧は使用するガスの種類によって変わるが、200~400V 程度である。この場合、電子の収率などの関係により、増幅率はおおよそ 10^4 程度となる。MP-TPC による GEM の動作検証実験の結果については、現在投稿論文としてまとめる作業を行っている。

一方、ILD で提案されている TPC の大きさは、半径が約 1,800mm の円を底面（端板）とする円柱状であり、GEM をこの円に敷詰めることになる。その分割セグメントの大きさは 230×180mm^2 程度となるため（図７）、GEM の張力の維持、サポート・フレームの物質量を減らす目的で誘電体を厚さ 100μm のものとして、２段による増幅へと変更されることとなった。

２．３　読み出し電極

読み出し用電極の極板サイズをいくつにするかは、飛跡測定の位置/運動量分解能を向上させるための非常に重要な要素となる。たとえて言えば、コンピュータ・グラフィックの分解能に相当する。極板の大きさを小さくすればするほど位置分解能は良くなることが見込まれるが、極板の数が莫大なものとなってしまい、その結果、読み出し用のエレクトロニクスにかかるコストがそれに伴って増大してしまう。また、集積回路による発熱量などを考えると（1×6mm^2 の電極で数 mW/m^2 程度が予想される）、現状のテクノロジーにおいてミクロン単位の電極を

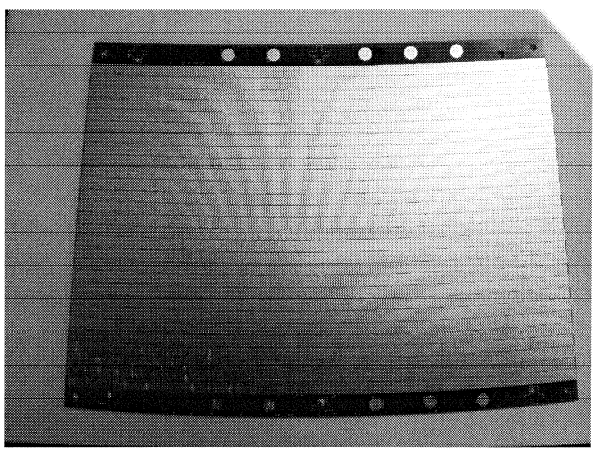


図７．Prototype 用信号用見出し電極

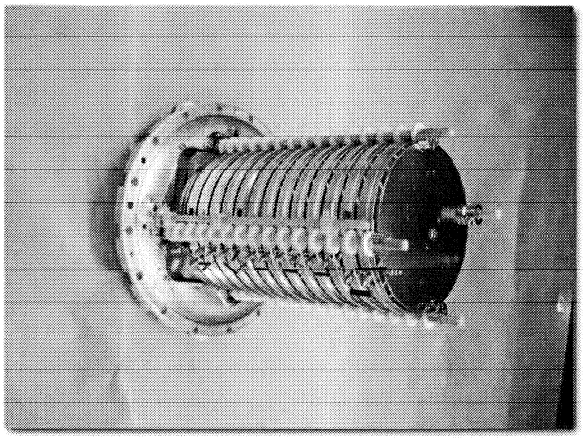


図８．MP-TPC の field cage 電極

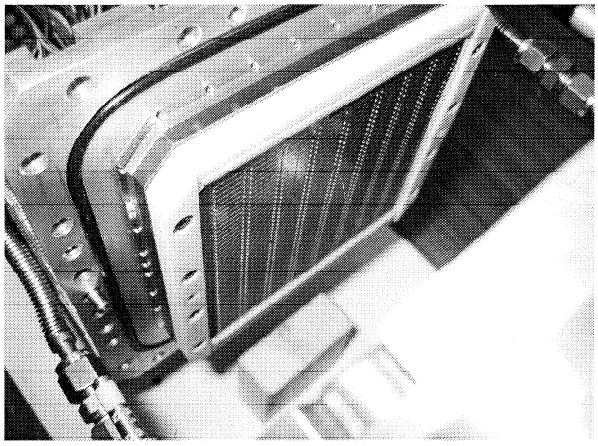


図９．MP-TPC の読み出し電極部

仮定することは非現実的と言える。また、飛跡は円形の端板に対して動径方向に伸びていくため、電極の縦横を同一にする必要はなく、その割合を最適化することは、大変意味のあることと言える。

２．４　ＴＰＣ開発の方向性

LCTPC の開発の進め方としてオーソライズされているのは、

- TPC 全体のメカニカルな研究、十分に長い電子群遷移距離に関する研究：LP1 の枠組みの中で行う。
- 読み出し部（電子増幅機構、読み出し機構）に関する研究：個々の研究グループによる個別の研究

である。アジアグループとしては、電子増幅機構については GEM を用いたものをこれまで通りに進めていき、さらに読み出し機構との組み合わせを幾通りか試みることにより、より最適な解を求めていくことになっている。

本研究の目的は、この読み出し部に関して、読み出し基板の配列、飛跡再構成に対する磁場の影響、増幅用ガスの影響など分解能向上の意味でより効率的でコストを抑える方法を研究、検討することを目的としている。ただし、研究当初、小型テストボックスによる読み出し基板設計に重きを置いて研究を進めてきたが、MP-TPC を使った実験において使用していた超伝導磁石の使用期間に変更が生じた関係で、位置分解能に対しての増幅用ガスの影響、磁場の影響について重点を置いた研究を進めることとなった。

３．MP-TPC による分解能測定

３．１　MP-TPC

Multi-prototype TPC (MP-TPC)は長さ 261mm、直径 145mm の円筒形の電子遷移領域(field cage)と信号増幅部からなる TPC である。field cage 内には 15mm 幅の円形の電極が 3.2mm 間隔で並んでおり（図８）、機密性の高い円筒形のケースの中に固定されている。一方、信号増幅部は 100×100mm^2 の MPGD と読み出し電極が取り付けられるようになっている（図９）。MP-TPC の特徴は信号増幅部の交換が容易なところにあり、これまでの実験においては、MWPC、GEM、Micromegas などの電子増幅機構の比較研究を目的とした実験に使用されてきた。図１０は MP-TPC を 1T の超伝導磁石に内に設置する様子を表したものである。この超伝導電磁石は、高エネルギー加速器研究機構共通基盤研究施設の一つである超伝導低温工学センターが製作、所有しているもので、構造体の中に 1T の一様磁場を発生させるものである。信号増幅部には読み出し電極と 100μm 厚の GEM×2 が設置されており、Flash ADC 等の DAQ システムにより電気信号の電荷、電極の位置情報、電荷の遷移時間が記録される。今回使用した読み出し電極部は、6.3×1.27mm^2 の電極が横 32 枚の並びが縦に 12 列のものである。ただし、DAQ の読み出し Channel の関係で、読みだしたものは 32 枚並びのものが 7 列であった。図１１は、MP-TPC による宇宙線データの例である。

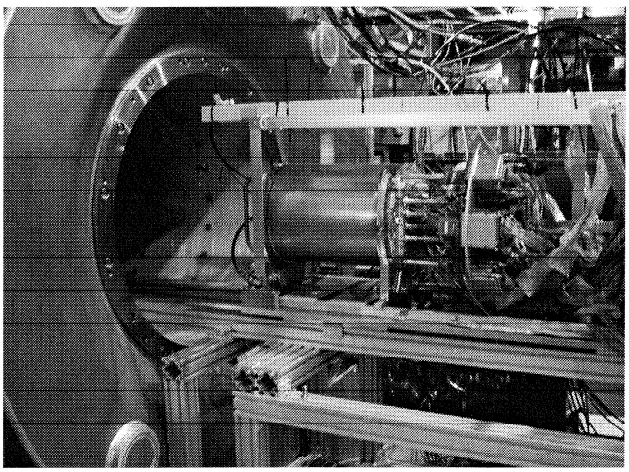


図１０．MP-TPC と超伝導電磁石

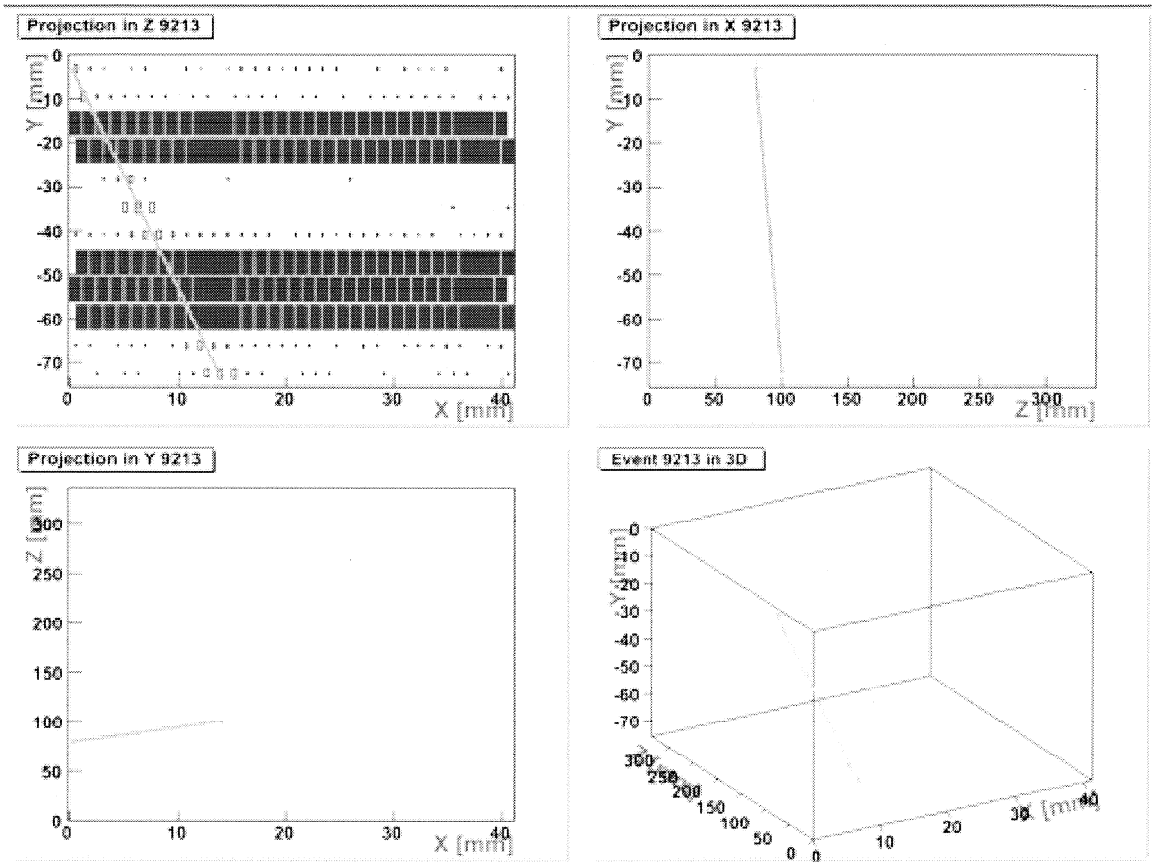


図１１．MP-TPC による宇宙線データ。左上の図が読み出し電極によって観測されたデータ、その他は空間再構成された宇宙線の飛跡を表している。

３．２　Gate 機構

ＩＬＣ計画に向けたＴＰＣ開発において大きな問題点の一つとして考えられているものにMPGD によって電子増幅が起きる際に生じる正イオン群がTPC 内の電場によって電子遷移領域に流れ出し来ること(back-drift ion)による電場の歪みがある。図１２はILC におけるビームバンチ構造を表している。337ns 間隔の2820のビームバンチを1 トレインと方、ILC 計画の要求を満たすような典型的なパラメータによるTPC が設計された場合、back-drift ion は数mm 厚の円盤状になって(ion disk)、およそ80cm 間隔で電子遷移領域を0.5cm/ms 程度で遷移することになる(図１３)。この結果、電子遷移領域の電場の一様性は乱され、目標の運動量分解能（位置分解能）の達成は難しくなってしまうことになる。この状況を避けるための有効な手段として考えられているが、電気的なゲートを設けることである。これは、電子遷移領域と電子増幅領域の間に電極を設定し(図１４)、信号が届くであろう1ms の間は電子遷移電場(Ed)や電子増幅領域の電場(Et)を乱さないような電場(図１４上)とし、残りの199ms の間はこの２つの領域を遮断するような電場(図１４下)にすることによって、ion diskの電子遷移領域への侵入を防ぐというものである。このゲート機構において、ion diskの影響を抑えることが可能となるが、その際、信号電子の信号増幅部への侵入を一部妨げることにもなるため、位置分解能の悪化にもつながる。この影響を見積もることも分解能最適化には重要な要件となる。

これまでのTPCにおけるGate機構としてはwireによる

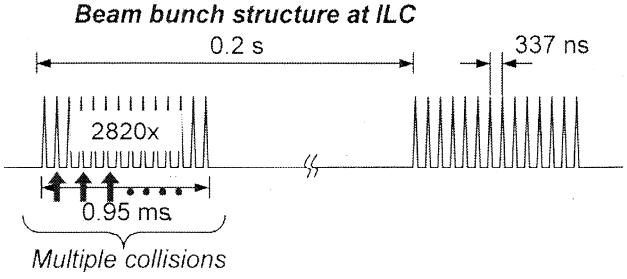


図１２．ILC のバンチ構造

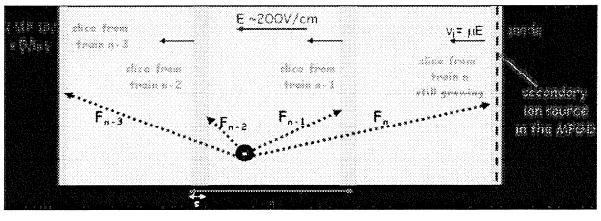


図１３．２次イオンの遷移

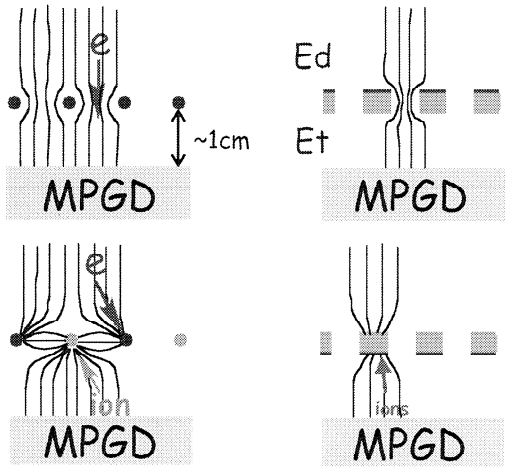


図１４．Gate 機構

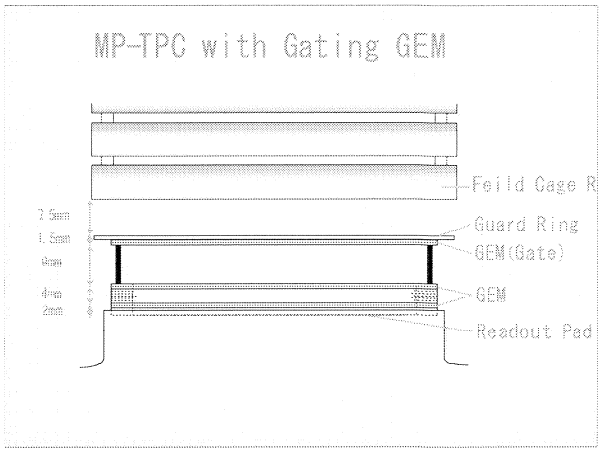


図１５．MP-TPC の Gate 機構

ものであった。しかし、wireによって生じる電場は電子遷移領域のける電場および磁場と角度を持つことになり（図１４左上）、ローレンツ力による位置の歪みが生じてしまう。そこで、GEMそのものをGate deviceとして使用することが検討されており、MP-TPCにおいても図１５に示したような配置でGate GEMを取り付け、その影響を検討することとなった。

３．３　希ガスの最適化

電子遷移領域を荷電粒子が通過する際、荷電粒子の飛跡に沿って、希ガス分子からの起動電子の電離がおき、電子と正イオンが生成される。この生成された電子は、電子遷移領域にかかった一様電場によって信号増幅部まで遷移していくが、このとき、希ガスとの衝突・散乱により電子の塊（クラスター）は拡散される。この拡散の度合いは、

- 希ガスの種類
- 遷移電場の強さ（遷移電子の速さ）

等によって決まる。したがって、希ガスの選択の際に求められる条件は、

- 平均自由時間が大きくなる...磁場による拡散を小さく抑えることができる。
- 水素を含まない...中性子によるノイズを軽減することができる。

となる。その結果、現在、LCTPC における希ガスの候補として、Ar-CF_4 混合系ガスが考えられている。

一方、CF_4 ガスは電子親和性が大きいため、電子遷移領域において遷移電子の吸収が起きてしまい、信号としての電子が減少してしまう恐れがある。したがって、Ar-CF_4 ガスに関する研究を磁場中で行うことが必要となる。

３．４　位置分解能の測定

読み出し電極部における位置分解能$\sigma_{r\phi}$は、電極の配置から来る定数σ_0、希ガスの種類によって決まる拡散係数C_D、信号を生成するのに関与した電子（増幅部に到達した電子クラスタ中の電子）の数にかかわるパラメータであるN_{eff}、電子の遷移距離 z よって、

$$\sigma_{r\phi} = \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{C_D^2}{N_{eff}} z} \qquad (1)$$

と表わされる。この結果、(1)式により$\sigma_{r\phi}$の z 依存性を調べることにより、希ガスの特徴を知ることができる。図１６は Ar-CF_4-isoC_4H_{10} が 95:3:2 に混合されている場合における位置分解能の z 依存性を示したものである。

この結果を受け、電子遷移領域における電場の強さと電子の拡散係数および電子遷移速度の関係を図１７および図１８に示した。これらの測定結果は電場および希ガスに関するシミュレーション・パッケージである GARFIELD による計算結果と良い一致を示していることが分かる。また、これらの結果を用いて、位置分解能の磁場依存性を計算したものが図１９である。この場合、希ガスはとして Ar-CF_4-isoC_4H_{10} (95:3:2)、遷移領域における電場の強さを E=200[V/cm]、N_{eff}=22 を仮定している。この結果を見る限り、測定領域における磁場の強さが B=3[T]以上であれば位置分解能を 100μm 以下に抑えることができることが分かる。

４．結論と今後の展開

MP-TPC と 1T の超伝導磁石を用いた測定実験において、混合希ガス Ar-CF_4-isoC_4H_{10} (95:3:2)を用いた位置分解能に関するパラメータを得ることができた。それらの結果は GARFIELD によるシミュレーションの結果と良い一致をみている。また、現在の読み出し電極の形状によれば、磁場の強さが B=3[T]以上であれば ILC 計画において飛跡検出器に求められている位置分解能を 100μm に抑えることができる。この結果、Ar-CF_4-isoC_4H_{10} (95:3:2)は TPC オペレーションの際の混合希ガスの候補としてあげることができる。ただし、これらの結果に関しては、読み出し電極に対する荷電粒

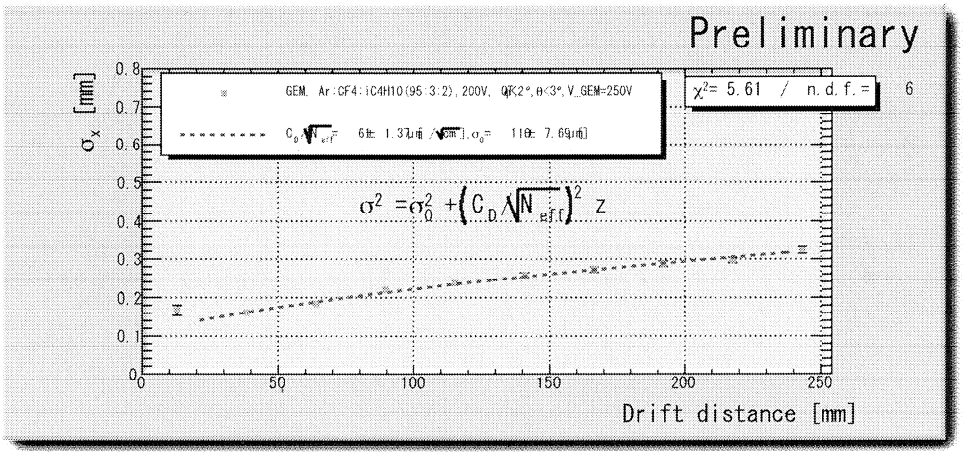


図１６．MP-TPC による位置分解能の z 依存性。Ar-CF_4-isoC_4H_{10} の 95:3:2 の混合ガスを使用した場合の、遷移電場 E=200[V/cm]、磁場 B=0[T]における宇宙線データの結果。

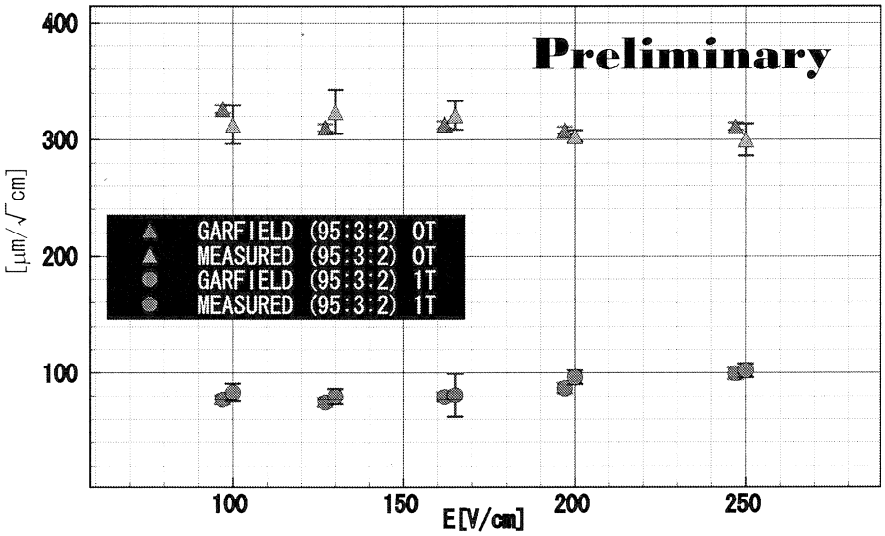


図１７．電子遷移領域における電場の強さと拡散係数の関係。測定データと GARFIELD によるシミュレーションとの比較を表したもの。

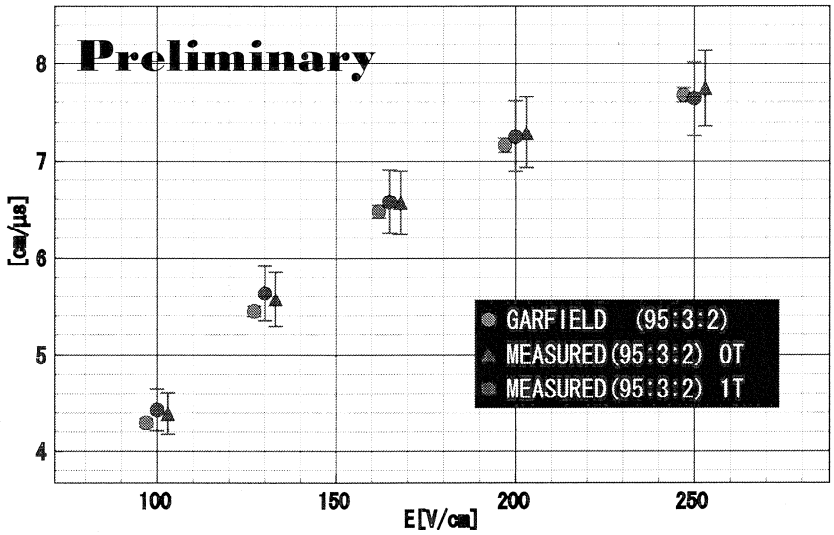


図１８．電子遷移領域における電場の強さと電子遷移速度の関係。測定データと GARFIELD によるシミュレーションとの比較を表したもの。

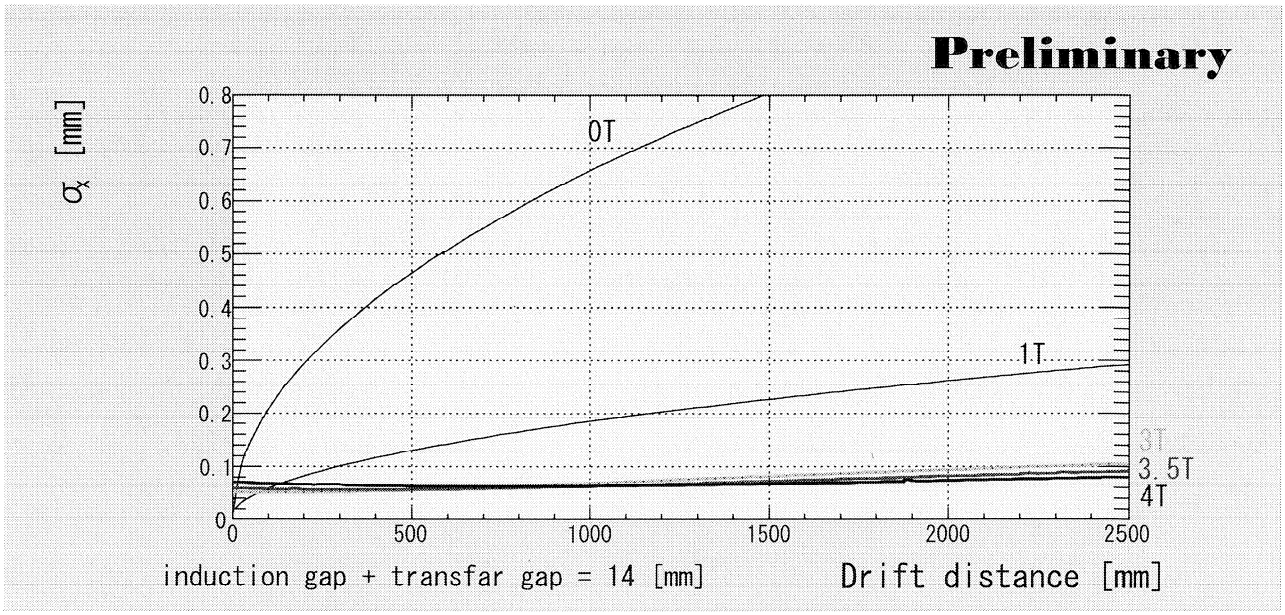


図１９．電子遷移距離と位置分解能の関係と磁場強度依存性。測定によって得られたパラメータを用いた解析的結果を表している。計算において、荷電粒子の軌跡が電極の並びに対して垂直に入射したもののみを選んで計算は行われている。

子軌跡の角度を垂直なものに限っているため、これらの角度がついた場合の位置分解能について考慮する必要がある。また、以上の結果については Gate GEM がない場合の測定結果であり、Gate GEM がある場合の測定については、現在、解析を進めているところである。

これまでの研究内容を踏まえて、今後の方針として、以下のような内容が考えられる。

① 電子飛跡と電極の並びの角度依存性の解析
② 高磁場内における位置分解能については計算における値のみが得られているため、高磁場内での測定を行い、データの比較を行う。
③ Gate 機構に関して、GEM による Gate 機構のほかに fall back option として MWPC による Gate 機構の動作確認、そのたの device による可能性の検討

以上の検討課題について、

① MP-TPC で宇宙線による磁場を伴ったデータを収集するが、必要であれば、MP-TPC にもレーザーシステムを適用する。
② ドイツ電子シンクロトロン研究所(DESY)には磁場強度 B=5[T]の超伝導磁石がある。現在、この電磁石を使った MP-TPC の測定実験が可能であるかを交渉している。
③ Gate 機構に関する研究は LC-TPC Asia グループにおいて、現在、並列に研究がすすめられている。この結果を踏まえて、様々な Gate 機構を組み込んだ分解能測定実験を進めていく。

などを今後進めていくことを考えている。

５．謝辞

今回の研究結果を進めていくにあたって、以下の方々に感謝の意を表せていただきます。これまでの研究活動に当たっては、KEK の ILC 物理グループ、LC-TPC Asia グループメンバーには多大なるご協力をいただいています。また、高エネルギー加速器研究機構共通基盤研究施設超伝導低温工学センターの皆様のご厚意により、高磁場超伝導磁石を使用した実験が可能となりました。大変ありがとうございました。

参 考 文 献

[1]. TESLA Technical Design Report, DESY 2001-011.
[2]. GLC Project Report, KEK Report 2003-7.
[3]. K.Ackermann et. al., preprint submitted to TIPP09 Proceedings in NIM A.
[4]. M.Kobayashi et. al., Nucle. Instrum. and Meth. A 851 (2007) 265.
[5]. D.C.Arogancla et.al, Nucl. Instrum. and Meth. A 602 (2009) 403.
[6]. F.Sauli, Nucl. Instrum. and Meth. A 386 (1997) 531.
[7]. Y.Glomataris et. al., Nucl. Instrum. and Meth. A 376 (1996) 29.

① 発表論文
現在、LC-TPC Asia グループ内おいて検討中。

② 学会発表
- 「ILC 実験のための GEM-TPC の性能試験」LC-TPC japan グループ、日本物理学会（甲南大学）、2009 年 9 月 11 日

- 「Ar-CF_4 系ガス中の電子のドリフト速度測定」LC-TPC japan グループ、日本物理学会(山形大学)、2008 年 9 月 20 日
- 「ILC 実験に向けた GEM-TPC におけるガス組成の最適化について」LC-TPC japan グループ、日本物理学会（山形大学)、2008 年 9 月 20 日

③　特許出願

特許検討の予定はない。

原子炉の地震時安全性に関する研究
（炉心伝熱に及ぼす地震加速度とその方向の影響）

機械工学科　大竹浩靖、宮下徹

信州大学　小泉安郎

東京電力　森治嗣

筑波大学　阿部豊

Research on safety at earthquake of nuclear reactor

ABSTRACT : Onset of nucleate boiling –ONB- and critical heat flux –CHF- on subcooled flow boiling under vibration condition, focusing on liquid velocity, amplitude and frequency of vibration, were investigated experimentally. Experiments were conducted using a copper thin-film and subcooled water in a range of the liquid velocity from 0.27 to 4.07 m/s at 0.10MPa. The liquid subcooling was 20K. The test section was set on a vibration table. The acceleration was 1.3 and 4.2 m/s^2, respectively; the frequency was 2, 4 and 20 Hz, respectively. The test section was arranged for horizontal position facing upward and for vertical position, respectively: the vibration directions were horizontal and vertical to orientation of the heater. The present experimental results showed that critical heat fluxes under the vibration conditions of both vibration directions, i.e., horizontal and vertical vibrations to the heater, were higher than those for steady flow. The CHF under the vibration condition was increased with an increasing of acceleration of vibration. According to present observations, coalesced bubble on the heater was frequently released by vibration of the test heater. This behavior causes the CHF to become higher under the vibration condition. Furthermore, some experiments were demonstrated under vibration condition of seismic shock wave at the South Hyogo prefecture Earthquake in 1995. It was confirmed from the present experimental results that thermal limit of heater was a conservative evaluation during earthquake.

1. 工業的背景

平成 18 年 9 月 19 日、25 年ぶりに「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」が原子力安全委員会により改訂された。これにより地震に対する様々な見直しがなされ、構造的安全性に関しては免震構造等の設計技術の進歩が著しく適用実績もあることから「建物・構造物は原則として剛建造とする」という規定は廃止されるなど耐震安全性評価がより一層深まった。しかし、地震は自然現象で人間が制御できないだけでなく、最近の地震学、地震工学等の進展をもってしても敷地に生じる地震動を精度良く予測することは難しい。この一例が、平成 18 年 3 月金沢地裁での地震時安全性の点からの志賀原子力発電所 2 号機の運転差し止め判決である。この判決は、知識の進歩、技術の進歩にあわせて、常に合理的判断ができるよう最新の科学的・技術的最新の知見を踏まえて

高度化していくことの必要性を指摘したことに重要性がある。

原子力発電所は我が国において重要なエネルギー供給源であるが、原子力発電所ほど耐震性に配慮した建築物はない。地震によって壊れた原子力発電所は、世界中を探してみても今までひとつもない。しかし、事故の進展にはさまざまな要因がありうるので、多様な分岐を漏れなく考える必要がある。また、地震時の原子炉炉心や配管等の熱水力学的安全性に関してはこれまでほとんど注目されていない。振動流下の熱水力学特性の研究としては、ボイラーの安全性に関して小澤ら[1]が周波数 0.1～0.5(Hz)での強制流動脈動流下の限界熱流束に関する研究を行うことにとどまっている。なお、彼らは熱流束変動を考慮し、加熱面の熱容量に注目した CHF モデルを提案している。昨年度までの研究では定置状態における定常流および脈動流実験がなされてきたが、実際の地震を見立てて試験部を振動させる実験は行われていない。そこで、本研究では地震発生時のサブクール流動沸騰系における伝熱特性および気泡挙動に関する知見を得るために振動装置を用いて試験部に対して水平方向および垂直方向に振動を付加することで、液体の振動下における熱水力学問題を沸騰開始条件（ONB）および限界熱流束（CHF）に着目し実験および解析を行う。また、それらの点を高速度カメラで視覚化しデータを検討し、定置状態における定常流および脈動流の実験結果との比較を行い、加熱面の振動が沸騰開始条件および限界熱流束へ及ぼす影響に関しそれらの機構解明を行う。

2. 従来の研究

1959 年、Zuber は加熱面から発生した上昇する蒸気が、連続かつ定常的な蒸気柱となり、加熱面上に Talor 不安定に予って決まる間隔で、円柱状の蒸気柱が並ぶ状況を想定した。上昇する蒸気と下降する液との相対速度が、Helmholtz 不安定を起こす速度以上になると、加熱面への液体の流れが阻害され、CHF が発生するとして、飽和沸騰の場合の限界熱流束値を以下に示した。

$$q_{CHF} = 0.131\rho_v H_{fg}\left[\frac{\sigma g(\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^{\,2}}\right]^{\frac{1}{4}}$$

高熱流束下の核沸騰では、加熱面上に形成した合体気泡の底部に液膜が存在し、この液膜内部には多数の蒸気茎（一次気泡）が定常的に存在する事を報告した。

甲藤・原村[2]は、気泡隗が成長し離脱するまでの滞留時間と、液膜が蒸発消耗するまでに要する時間とが等しくなったとき、限界熱流束を迎えるとした。 発泡点から生じる蒸気は、小さな蒸気流（ 蒸気茎 ）を形成し上方で球状の気泡を形成する。この蒸気方がある長さになると気液界面で Helmholtz 不安定を生じ、その結果、隣接した気泡と合体し気泡隗を形成する。この気泡隗下には液膜、蒸気茎が混在するとしている。

小澤らは任意の振幅、周波数での脈動流動を人為的に作成できる実験装置を用いることで、逆流域をも含む広範囲にわたる脈動条件で限界熱流束実験を行い、脈動流下における限界熱流束は低減し、それは流量変動に伴って発生する周期的なドライアウトとリウェッティングの関係で説明でき、また脈動振幅ならびに脈動周波数が増加するに従って低減率は増加すると発表している。

沸騰伝熱とは、伝熱面とこれに接する液体の温度が蒸気相を形成するのに十分な条件のもとで、蒸気泡あるいは蒸気塊の発生を伴って、伝熱面から液体へ熱が伝えられることである。

伝熱面の過熱度$\Delta T_{sat}=(T_w-T_s)$と伝熱面熱流束 q の関係を与える曲線を沸騰特性曲線と呼び、普通それは両対数グラフ上に図示され、**Fig.1** となる。図中の AB 間は、非沸騰の液単相の自然対流域であり、B 点が沸騰開始点である。この点を越えると急激に沸騰の現象が現れ、熱伝達は違った機構に支配されるようになる。BD 間は、核沸騰域と呼ばれ、伝熱面上に分布した発泡点から気泡が発生する。低熱流束の BC 間は孤立気泡と呼ばれ、発泡点密度が小さいため、各気泡は干渉することなく独立に、発生、成長、離脱を行う。一方、高熱流束の CD 間は、合体泡域あるいは気泡干渉域と呼ばれ、発泡点密度が大きい為、気泡間の干渉により蒸気塊が形成される。D 点は核沸騰の上限を与える点で、バーンアウト点、極大熱流束点あるいは限界熱流束などと呼ばれる。核沸騰域は、わずかな伝熱面過熱度ΔT_{sat}で非常に高い熱流束 q を与えるので、工業上重要であり、またバーンアウト点は設計上の安全限度を与えるので、特別な関心が払われる。DE 間は遷移沸騰域と呼ばれ、伝熱面温度の増加によりかえって熱流束が低下するという特異な特性を示す領域で、電気加熱のような熱流束制御形の加熱源の場合には、この領域は不安定で定常的には実現不可能である。

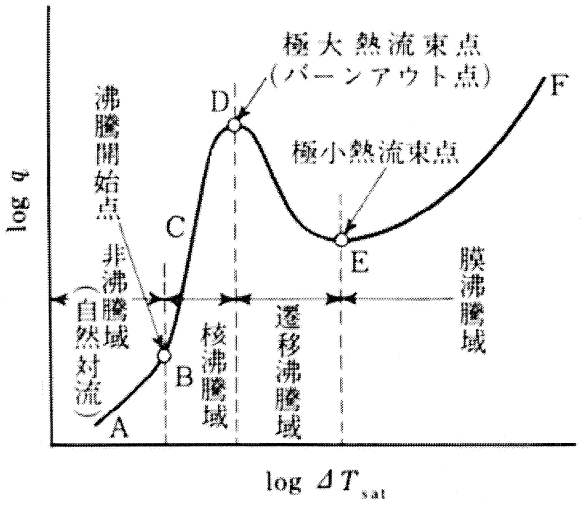


Fig.1 Boiling Curve

EF 間は膜沸騰域と呼ばれ、伝熱面は液体と直接に接することなく連続的な蒸気膜で覆われており、気泡は気液界面から発生、離脱する。E 点は膜沸騰が安定に維持される下限を与える点で、極小熱流束点と呼ばれる。

3. 研究目的

本研究では、最新の技術を駆使して、原子炉の地震時炉心伝熱の安全性検討のための情報を提供することを目的とする。初年度である 2007 年度および続く 2008 年度は、振動台を用いた振動条件下の実験を行い、地震発生時に伴う加熱面の揺れが沸騰熱伝達に及ぼす影響を検討した。特に、2008 年度は、加熱面と水平方向の振動条件とともに、加熱面と垂直方向の振動が除熱限界（限界熱流束）に及ぼす影響を検討した。また、除熱限界（限界熱流束）時の蒸気泡の挙動、観測を通して、地震加速度とその方向が除熱限界（限界熱流束）に及ぼす機構を検討した。最終年度に当たる 2009 年度は、地震波を模擬した振動下の沸騰熱伝達、特に限界熱流束の実験を通して、地震時の加熱面の熱水力学的安全性を検討した。

4. 実験装置および実験方法

実験装置は **Fig. 2** に示すような開放循環ループ系である。試験流体には十分に脱気したイオン交換水を用い、マグネットポンプにより試験液を試験部に送り込む。実験パラメータである、液サブクール度は 20K、液流速は 0.27, 1.38, 3.20 および 4.07 m/s である。試験部には上部に可視部が設けてあり、沸騰様相及び流動様相が観測可能となっている。試験流路は 10×10×500mm(水力等価直径 0.01m)の矩形流路である。伝熱面は電気回路用プリント基板を幅 3mm、長さ 26mm の長さにエッチングした銅薄膜(銅箔厚さ 35μm)を使用し定電流電源により直接通電加熱する。計測部は、電圧タップ線にはさまれた 3×10mm の領域である。伝熱面加熱量（平均熱流束）はジュール発熱量（=電圧×電流）から求め、伝熱面温度は電流と電圧の計測値とあらかじめ得た銅薄膜の温度と電気抵抗値の較正直線から求めた。

振動は、試験部を振動台（工学院大学 EEC プロジェクト仕様。水平方向最大振動加速度 5m/s^2）に載せることで実現させた。振動は、まず、正弦波状に与えた。実験パラメータである加速度 a および振動周波数 f は、a=0.4（40 Gal）、1.3（130 Gal）および 4.15m/s^2（415 Gal：震度 6 相当）、f= 2, 4 および 20Hz である。この実験条件の一部は、過去に筆者らが報告した[3]脈動流の実験条件に対応する条件（2kHz 時の a=4.15m/s^2 と振動振幅=主流比 25%とが対応）である。振動方向は、**Fig. 2** に示すように加熱面を水平に配置した流動方向と振動方向が平行な振動（以下水平振動と呼ぶ）および **Fig. 3** に示すように加熱面を垂直に配置し水平方向の振動を付加させた、流動と振動の方向が垂直関係の振動（以下垂直振動）の 2 種類を実験条件とした。なお、加熱面と水平方向の振動条件は地震時の縦波に、加熱面と垂直方向の振動条件は地震時の横波に対応する。なお、脈動流下の実験装置（ダイヤフラム型ポンプを利用）および実験条件については、文献(3)を参照されたい。

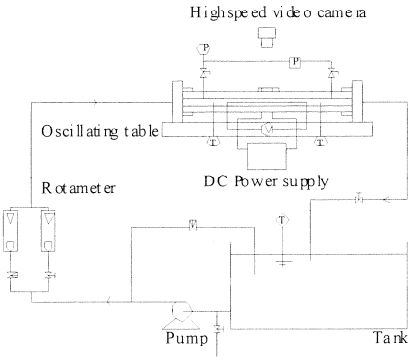


Fig. 2 Experimental Apparatus

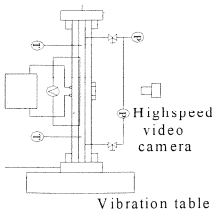


Fig. 3 Vertical vibration

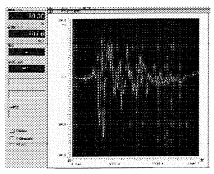


Fig. 4 Seismic shock wave

さらに、定常流実験の任意の実験条件に地震波（南兵庫県地震、1995）を模擬した振動を加えることで、地震時の加熱面の熱水力学的安全性も検討した。振動波形を **Fig. 4** に示す。

5. 実験結果および考察

5.1 振動下の熱伝達特性

Fig.5 に加熱面に対して水平方向振動の付加時の沸騰熱伝達特性を、**Fig.6** に加熱面に対して垂直方向振動の付加時の沸騰熱伝達特性を示す。**Figs. 5, 6** 中の矢印記号は、限界熱流束であり、伝熱面が焼損する直前の熱流束である。**Fig. 5** および **6** に示すように、加熱面の振動の付加により、限界熱流束、冷却限界が上昇することがわかる。

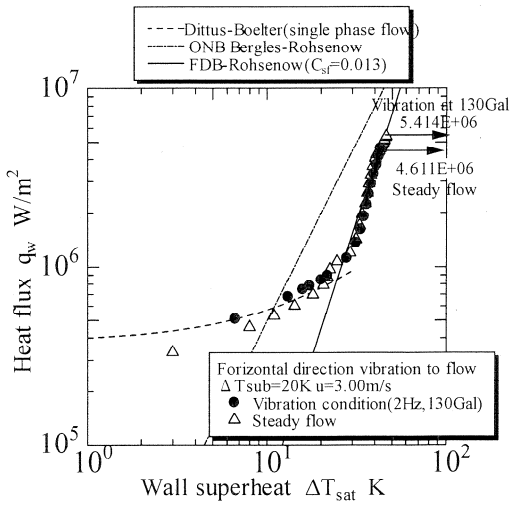


Fig. 5 Boiling curves under horizontal vibration for 3.0 m/s

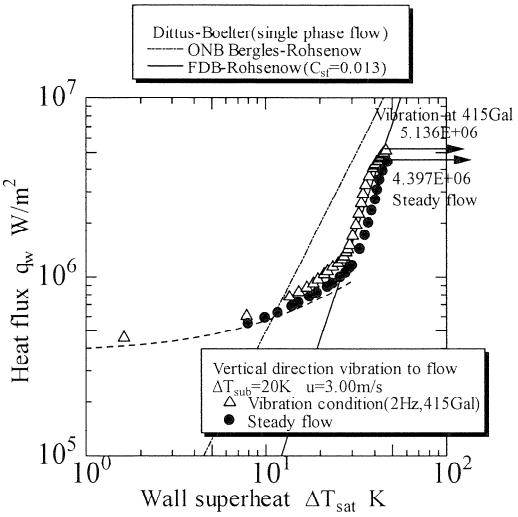
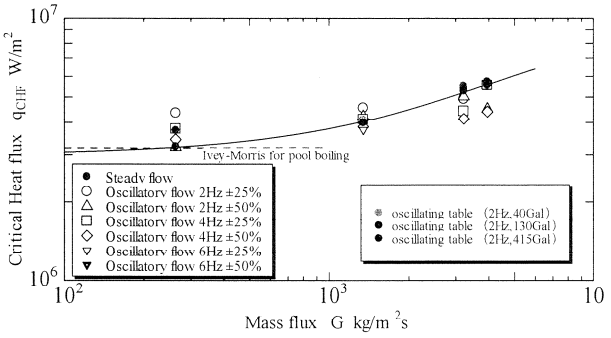
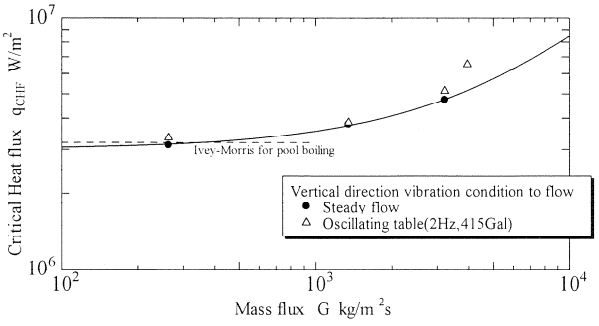


Fig. 6 Boiling curves under vertical vibration for 3.0 m/s



(a) Horizontal vibration conditions



(b) Vertical vibration conditions

Fig. 7 Critical Heat Flux under vibration conditions

5.2 振動下の限界熱流束

Fig.7 に、振動実験の各条件に対する限界熱流束(CHF)の測定値を質量流束に対して示す。**Fig.7** より、質量流量の増加とともに CHF が増加することが確認できる。CHF に及ぼす加熱面の振動の付加の影響に注目すると、振動の付加により CHF が向上する。一方、脈動の付加により CHF は減少した[3]。

限界熱流束に及ぼす加熱面振動の影響を検討するため、**Fig.8** に CHF の振動加速度の依存性を示す。**Fig.8** 中には、Lee ら[4]の実験結果を併記した。なお、Lee らの実験は、

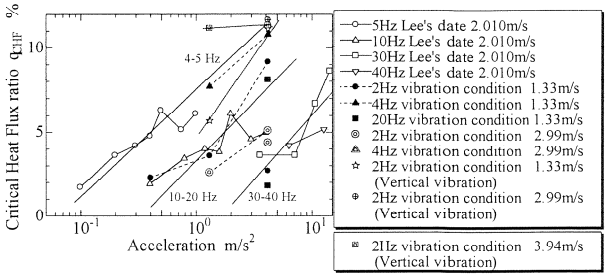


Fig. 8 Effect of CHF on acceleration under vibration

垂直円柱状の加熱管であり、**Fig.3** の実験体系に対応する。

Fig.8 より、本実験結果も Lee らの実験結果も、振動加速度(振動振幅、振動速度)の増加とともに、限界熱流束が上昇することがわかる。紙面の都合上、CHF に及ぼす振動振幅 a の依存性に関する図示は割愛するが、前報同様、限界熱流束の上昇率 En に与える振動特性の主となるパラメータは、Lee らの提案する振動振幅 d[mm](Lee らの相関式 : $En = 0.06825\ (d^{0.61683}) \times 100$ [%])でなく、振動加速度であることが確認された。**Fig.8** より、振動周波数により系統的な係数の差異がまだ認められるものの、本実験結果および Lee らの実験結果より、CHF 増加率 En と振動加速度 a[m/s^2] との間には、

$$En = C(f) \times a^{0.5} \quad \text{where C(f) : f[Hz]で決まる定数} \quad (1)$$

の関係があることがわかる。**Fig.7** を詳細に検討すると、(1) Lee らの実験結果に比べ本実験結果は CHF の増加率 En が低い、(2) 振動周波数が増大するとともに En は低下する、(3) 主流液流速が En に及ぼす影響は弱い、ことがわかる。

5.3 振動下の限界熱流束の機構

Fig.8(a)の一様流下、**Fig.8(b)**の脈動流下、**Fig.8(c)**の振動条件下における限界熱流束直前の加熱面上の合体気泡の本観察によると、加熱面振動下条件で発生する CHF 付近の合体気泡長さ(**Fig.8(c)**)は定常流条件のそれに(**Fig.8(a)**)比べ短くなる傾向を持つ。DNB 型の限界熱流束を想定すると、その限界熱流束 q_{CHF} は下式で与えられる。

$$\tau_d\, q_{CHF}\, A_w = \rho_l\, \delta_{macro}\, (A_w - A_v)\, h_{fg} \quad (2)$$

ここで、τ_d は気泡挙動の特性時間であり、流動沸騰系では、

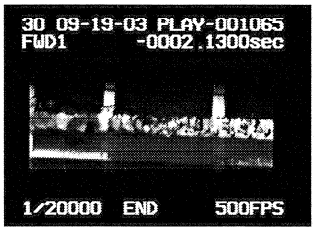
$$\tau_d = L/U \quad (3)$$

で与えられると考えられる。上式中、L は気泡代表寸法、U は気泡移動速度である。すなわち、特性時間 τ_d の減少、つまり合体気泡長さ L の減少が限界熱流束 q_{CHF} の増加を導くと考えられる。

実際、加熱面上の合体気泡の長さは、**Figs.9, 10** のように変化する。**Fig.9** に示すように垂直振動においては、合体気泡より加熱面が離れるすなわちバルク液側に動くとき、その気泡長さは短く、合体気泡が加熱面に近づく程



(a) Steady flow



(b) oscillatory flow



(c) horizontal vibration

Fig. 8 Behavior of coalesced bubble on test heater

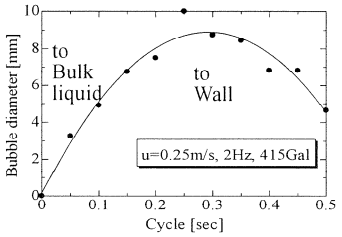


Fig. 9 Variation of bubbles in a cycle under vertical vibration

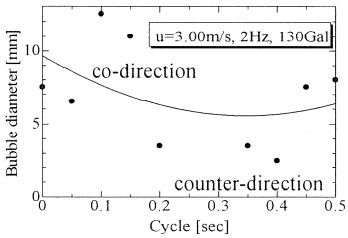


Fig. 10 Variation of bubbles in a cycle under horizontal vibration

その気泡長さは長くなる傾向を持ち、かつ後者で加熱面焼損が観察された。また、**Fig.10** に示すように水平振動においては、合体気泡と加熱面が同方向に動く（液流れの相対速度が小さくなる）ときその気泡長さは長く、合体気泡と加熱面が逆方向に動く（液流れの相対速度が大きくなる）ときその気泡長さは短くなる傾向を持つ。

この合体気泡長さの減少傾向の機構を液体側の速度分布に注目して簡単に考察を続ける。**Fig.11** は、加熱面振動状態下の流路内液体速度分布の計算結果である。この計算には以下の式を用いた。

主流速度：1/7 乗則速度分布式　$u/u_{max} = (y/r_o)^{1/7}$　(4)

加熱面振動下：ストークスの第二問題[5]

$$u(y,t)=U_0\, e^{-\square}\cos(nt-\eta) \qquad (5)$$

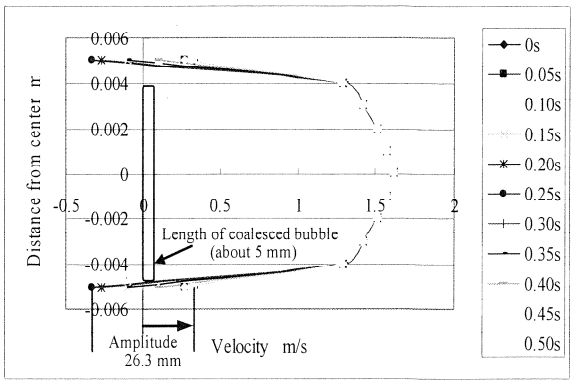


Fig. 10 Velocity profile under horizontal vibration, 2Hz, 415 Gal

流路内液体速度は、上記のストークスの第二問題の解に、主流速度を足し合わせ算出した。**Fig.11** の条件は、主流速度 1.33 m/s、加熱面振動 2Hz, 415Gal であり、**Fig.11** 内には流路内液体速度分布の時間変化を示した。**Fig.11** より、振動状態では壁面近傍での速度変化が大きく、管中心での速度変化が小さいことがわかる。なお、**Fig.11** 中に、振動振幅（26.3mm）と **Fig.8(c)**の観察から得られた、加熱面上の合体気泡の長さ L（約 5 mm）を併記した。この比較によると、壁面近傍での振幅は合体気泡の長さより大きく、合体気泡が振動の影響を大きく受けると考えられる。今後、温度場等も加えた詳細な検討が必要とされるが、この加熱面近傍の速度変動が合体気泡を過冷液範囲に導く、合体気泡下に液体を供給する等の効果により、振動下の CHF の増加につながったものと考えられる。

5.3 振動下の限界熱流束の機構

Fig.11 に加熱面に対して水平方向の地震振動の付加時の沸騰曲線を、**Fig.12** に加熱面に対して垂直方向の地震振動付加時のそれを示す。地震振動の付加時の実験データは、Fig.3 に示す最大振幅期間 2 秒間の平均値を測定値として処理した。**Figs.11, 12** に示すように、限界熱流束、すなわち伝熱面の焼損は、常に定常流下で発生した。これは、冷却限界の地震時の熱的安全性を示すものである。

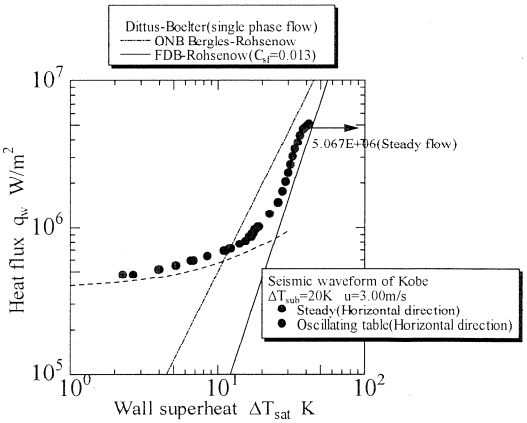


Fig. 11 Boiling curve under horizontal seismic shock wave

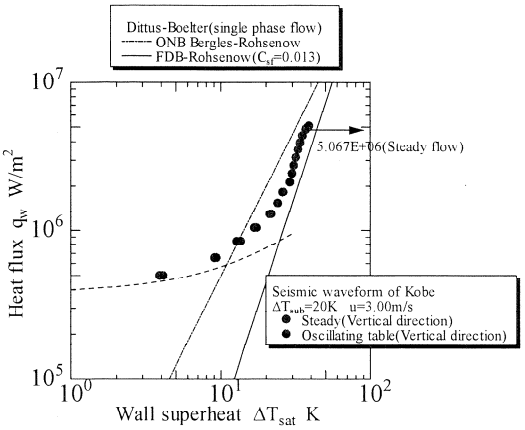


Fig. 12 Boiling curve under vertical seismic shock wave

7. 結論

地震発生時のボイラーおよび原子炉炉心の安全性を検討することを目的に、数 Hz オーダーの振動が冷却限界（限界熱流束：Critical Heat Flux, CHF）に及ぼす影響を実験的に検討し、

(1) 加熱部の加振により CHF は上昇する、

(2) 振動加速度が大きい程 CHF の上昇率は大きい、

ことを示した。

(3) この機構については、合体気泡長さ L の減少が特性時間τ_d（＝L/U）の減少となり、限界熱流束 q_{CHF} の増加を導くと考えられる。

また、

(4) 伝熱面の焼損は、常に定常流下で発生し、冷却限界の地震時の熱的安全性を確認した。

8. 参考文献

(1) 小澤ら, JSME, Int. J, SerB,39-2(1995), 412.
(2) 原村・甲籐、機論、49-445, B(1983), 1919.
(3) 大竹・肥後野・小泉, 第 13 回動力シンポ講論集 (2008).
(4) Lee ら, Nuclear Engineering and Design, 237 (2007), 982.
(5) Schlicting, H., Boundary Layer Theory, (1979).

【研究成果】

① 発表論文

(1) Hiroyasu OHTAKE, Naoki UCHIDA and Yasuo KOIZUMI, "Study on Subcooled Flow Boiling Heat Transfer under Vibration Conditions", The 17th Int'l Conference on Nuclear Engineering, ICONE17-75738 (2009), p. 1-5.

(2) Hiroyasu OHTAKE, Takehiko MAZUME and Yasuo KOIZUMI, "Study on Subcooled Flow Boiling Heat Transfer under Vibration Conditions of Sinusoids and Seismic Shock Waves", The 18th Int'l Conference on Nuclear Engineering, ICONE18-30180 (2010), p. 1-7.

② 学会発表

(1) 大竹, 内田, 馬詰, 小泉, "加熱面の振動が冷却限界及び沸騰気泡挙動へ及ぼす影響に関する研究", 第 15 回動力エネルギー技術シンポジウム（つくば）, 2009 年 6 月 29 日.

(2) 馬詰, 大竹, 小泉, "振動下伝熱面近傍気泡挙動", 可視化情報学会 全国講演会 2009（米沢）, 2009 年 10 月 24 日

③ 特許出願

な し。

センサ・ネットワーク用新構造弾性表面波センサ装置の開発

工学院大学　グローバルエンジニアリング学部　疋田　光孝
玉川大学　工学部　竹内　正男

Development of New Surface-Acoustic-Wave Sensor Installed in Sensor Network

Mitsutaka HIKITA　Faculty of Global Engineering, Kogakuin University
Masao TAKEUCHI　Faculty of Engineering, Tamagawa University

Abstract — A new concept called "Sensor Network" has been proposed with the development of mobile communications system such as cellular phone, radio LAN and Bluetooth. Sensed signals from many sensor nodes installed in a wide area are gathered to a center node by technology similar to that used in mobile communications. Home/office circumstance control, environment monitoring and protection can be conducted based on the collected data. We propose a new SAW subtle-gas sensor, which can be used in these sensor nodes. The new sensor structure removes a limited selection for piezoelectric crystal substrates, while only Quartz crystal substrates have been used in conventional SAW gas sensors. The sensing dynamic range was widely extended by utilizing both fundamental and 3rd-harmonic frequency SAWs. Moreover, our sensors are also designed to be combined with 2.4-GHz ZigBee, which has been regulated by IEEE802.15.4, and ZigBee Alliance as a wireless-communications medium for the "Sensor Network". It is predicted that our network system will possibly provide hydrogen-gas leakage sensing for future fuel-cell cars and environmental-pollution gas sensing.

1．はじめに

移動通信の進歩に伴って、最近提案されたセンサ・ネットワークと言われる新概念ある [1][2][3]。非常に多数のセンサ(センサ・ノード)を配置し、各センサからの出力信号を主に移動通信と同様の手段により構築したネットワークを介して集約し、それ等のデータに基づき、家庭やオフィスの住環境の制御[4]、ビルや市街単位での環境モニタ、大規模な地域単位での自然環境状態の観察や保護などを行うものである[1]。センサ・ネットワークは、21 世紀における携帯電話に匹敵するインパクトの大きい新概念であり、産業的にも大きく成長するといわれている。

本プロジェクト研究では、図 1 に示すように家庭あるいはオフィス等に着目し、センサ・ネットワークにより、より快適な住環境を実現することを目標に研究を行った[5]。特に将来の燃料電池自動車に対する燃料の水素ガス漏洩や環境汚染物質等のセンシングを想定している。

水晶基板の弾性表面波(以下 SAW (Surface Acoustic Wave)と略す)を用いた従来のガス・センサでは、元 Rockwell Inc.の E. J. Staples 等の研究が注目される[6]。彼等は Electronic Sensor Technology (EST 社, 1995 年設立)から SAW GC(ガスクロマトグラフィ)を発売した。高速分析システム"zNose"と称し、高性能用途向けとして世界中で採用されつつある[7]。その後山中等により水晶球を周回する SAW を用いたセンサ[8]、谷津田等により水晶の SH 波(STW)を用いるセンサ等の研究が発表されている[9] (他の用途では, 36°YX-LiTaO3 等を用いるもの[10]、その他多くの検討例がある[11])。しかし、産業的な側面から見ると、EST 社の SAW GC は一歩進んでいると言える。

SAW ガス・センサは現在でも活発に研究されているが、結晶基板が水晶に限られる点、センサ・ノード用には極端な低消費電力かつ小型化が要求される点など、従来の構造、装置等ではセンサ・ネットワークへは適用出来ない。我々は結晶に対する制約を取り除くことを目的に新しいセンサ構造を提案して来た。一方、センサ・ネットワーク用の無線媒体として、2.4GHz 帯を用いた ZigBee の標準化が進んでいる[12][13]。2.4GHz 帯の周波数信号を分周と逓倍によりセンシング用の周波数信号を作り出すことで、センサ装置回路の低消費電力化と飛躍的な簡略化を提案

して来た。更に、SAW を励振するトランスジューサを工夫することで、基本周波数と 3 倍周波数の波の併用を検討し、センサとしてのダイナミック・レンジを大幅に拡大出来る可能性を示した。本最終報告では、最初に ZigBee に関して述べ、次に EST 社の SAW GC 等との簡単な比較で、提案のセンサ・ネットワーク用 SAW ガス・センサに関して説明する。さらに SAW 素子の設計と SMBC(BERC)の MEMS 用プロセス装置を用いた試作の結果および評価結果に関して述べる。

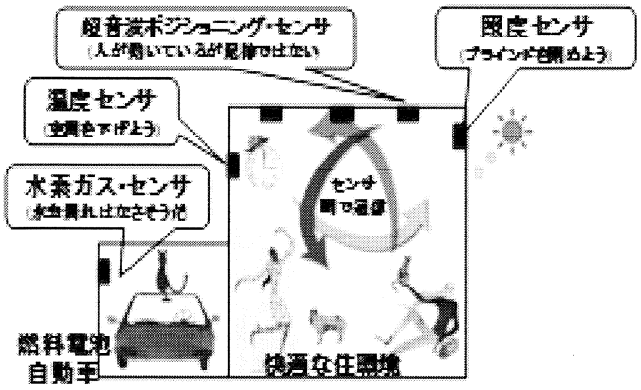


図 1　センサ・ネットワークと各種のセンサ例

2．ZigBee をベースとするセンサ・ネットワーク

表 1 に示すように、2.4GHz 帯 ISM バンドを用いる無線通信規格には、IEEE802.11b、 g に代表される無線 LAN (Local Area Network)の他に、IEEE802.15 で規格化される WPAN (Wireless Personal Area Network)がある。IEEE802.15.1 が Bluetooth、 IEEE802.15.4 が ZigBee である[12]。WPAN にはその他、3.1-10.6GHz 帯を用いる IEEE802.15.13 で規格化される UWB (Ultra-Wide Band)もある。

ZigBee は、図 2(a)に示すように、PHY(Physical Layer: 物理)層と MAC(Media Access 制御)層が、IEEE802.15.4 で規定され、周波数(2.4GHz 帯)、変調方式、データレート等が定められている[12]。NW(Net Work)層、アプルケーションインターフェースは別途 ZigBee Alliance が規格化を進めている[13]。最大の特徴は、図 2(b)に示すように、1 ケのノードは 65,535 ケのノードと接続が可能である点で、これによりセンサ同士を結びつけたセンサ・ネットワークの構築が可能になる。また、通信はスーパフレーム構成を用いた間欠動作のため、電池 1 ケで数年間の動作も可能である。

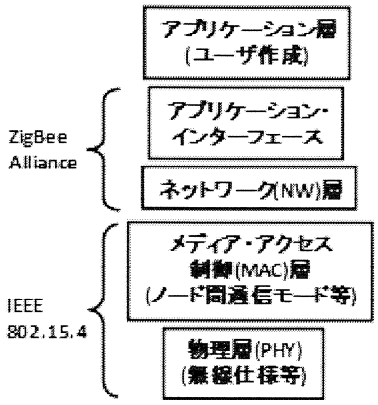
表 1 ZigBee, Bluetooth, UWB の無線規格

規格	ZigBee (IEEE802.15.4)	Bluetooth (IEEE802.15.1)	UWB (IEEE802.15.13)
周波数、変調	2.4GHz帯、OQPSK/DSSS	2.4GHz帯、GFSK/FHSS	3.1-10.6GHz、MCOFDM等
出力、レート	odBm, 250kbps	odBm, 721kbps	-41.3dBm/MHz, 数百Mbps
接続数	65,535ノード/1ネットワーク	7スレーブ/1マスタピコネット	
応用例	センサ・ネットワーク、ホーム・ネットワーク、照明/温度/空調、セキュリティ	PC、プリンタ、キーボード、オーディオセット、ハンズフリー等	

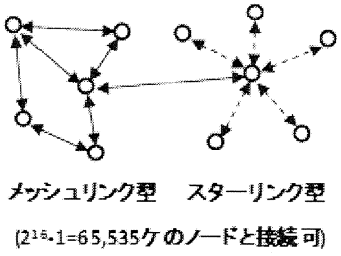
3．弾性表面波の原理と従来の弾性表面波センサ

弾性表面波は、主に圧電結晶などの基板表面に沿って伝搬する波で、縦波と横波が結合することにより基板表面の境界条件(応力フリー)を満足する。図 3 に示すように粒子変位の軌跡は基板表面のみに集中し、表面に沿った伝搬方向への減衰は無く、基板の深さ方向へは指数関数的に減衰する。振動のエネルギは、表面から約 1 波長程度の深さにトラップされる。弾性表面波の速度は、3,000~5,000m/s である。従って、100MHz の弾性表面波では波長は 30~50μm、500MHz では 6~10μm となる。表面から数～数十μm 内に振動の全エネルギが集中しているため、基板表面からの摂動を受けやすく非常に微量な空気中の分子等をセンシング出来る可能性がある。将来の環境センサ、燃料電池に対する水素センサ等への応用が期待され、色々な角度から研究されている。

図 4(a)に簡略図を示すように、従来の弾性表面波センサ装置は、出力信号を増幅して、再び入力側へ帰還することにより、発振器を構成する。弾性表面波が伝搬する圧電基板(水晶基板)の表面に、センシングする微量分子と特異的に結合する物質を薄膜状に形成する。センシング分子が薄膜物質と結合すると、弾性表面波の伝搬条件が変化するため、これが発振器の発振周波数の変化として現れるものである[6]。また、最近では、図 4(b)に示すように球状の水晶を用いて、弾性表面波を球の表面に沿って伝搬させ等価的に伝搬路長を長くすることにより、センシングの感度を高めることも研究されている[8]。



(a) プロトコル構成



(b) ネットワークトポロジ

図 2　ZigBee の特徴

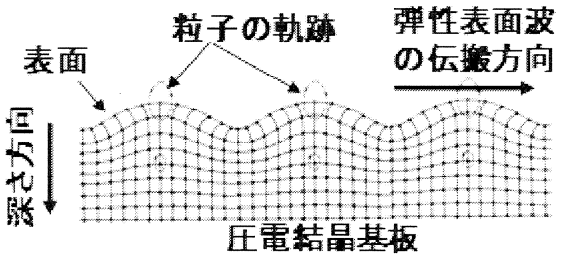


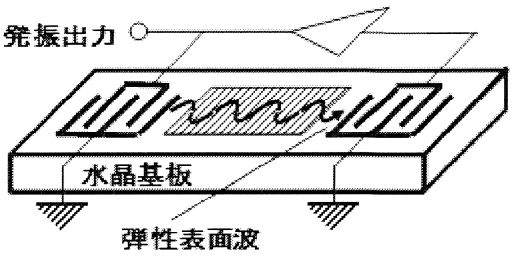
図 3　弾性表面波の原理

4．新提案のＳＡＷセンサ装置

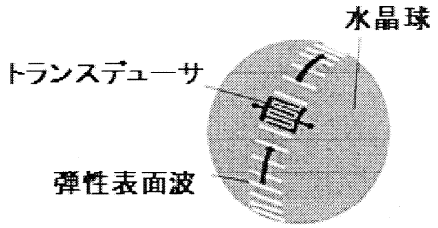
センサ・ネットワークのノードとして用いる SAW センサには、以下の条件が要求される。

1) 装置の小型化
2) 希薄なガスのセンシング
3) 超低消費電力での動作
4) 長時間の動作保証

EST 社，Vectron 社等の既存の SAW センサ装置では、SAW 遅延線からの出力信号を増幅して再び入力側へ帰還することにより発振器を構成する[7][14]。センシングする微量分子以外では、SAW 発振器の発振周波数の変化は許されない。従って、圧電基板は温度特性の良い水晶基板に限られている。水晶基板は、温度特性は良いが圧電効果は弱く、電気信号との変換効率も低いため、遅延線の損失も大きい。そのため、図 4(a)の帰還増幅器の利得も大きくする必要があり、電力消費も大きい。また、センサ出力が発振周波数の変化となるため、この変化をモニタする回路も必要である。



(a) 帰還増幅器を用いた発振器型弾性表面波センサ



(b) 水晶球を用いた弾性表面波センサ

図 4　従来の弾性表面波ガス・センサの例

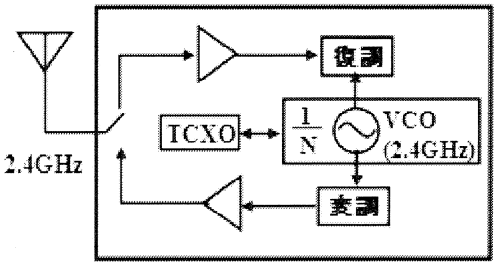


図 5　ZigBee のノードブロック図

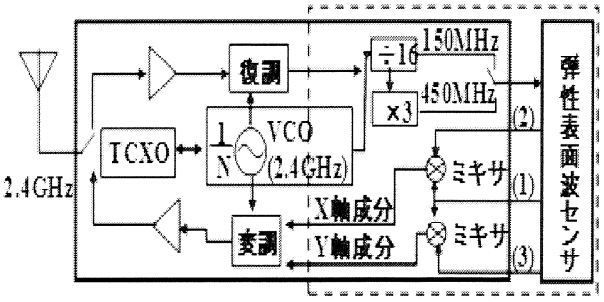


図 6　ZigBee をベースにした新 SAW センサ装置

センサ・ネットワークでは、標準化が進んでいる2.4GHz帯のZigBeeを無線媒体として用いる[12]。センサ・ネットワークの各ノードは，図5に簡略化したブロック図を示すように、TCXO (Temperature-Compensated X'tal Oscillator: 温度補償型基準発振器)にロックした2.4GHz帯のVCO (Voltage-Controlled Oscillator: 電圧制御発振器)等で構成され、これ等が送信信号の生成と受信信号の復調に用いられる。従来のSAWセンサの問題点を明確にし、ZigBeeをネットワーク媒体とするセンサ・ネットワーク内に、センサ・ノードとして導入可能な低消費電力で高性能なSAWセンサ装置を提案した[15][16][17][18][19]。

本提案の特徴(i)は、従来のSAWセンサと異なり、ZigBeeの2.4GHzの信号をベースとして用い、センシングを行う。すなわち、従来のような固有のSAW発振器は必要としない。図6に例を示すように、ZigBeeの無線回路内で生成する2.4GHzの信号を用い、分周あるいは逓倍することによって得られる信号でセンシングを行う（図6では，16分周で150MHz、その3逓倍で450MHzを得ている)。これにより、装置を大幅に簡素化出来、小型・低消費電力化が要求されるセンサ・ノードでも用いることが可能になる。

提案の特徴(ii)は、基本波と3倍波の両方を用いてセンシングすることで、精度の高いダイナミックレンジの広いセンサを実現する。センシング分子が非常に微量の場合は、3倍波(図6では450MHz)を用い高い感度でセンシングする。分子濃度がある程度高い場合は、基本波（図6では150MHz）へ切り換えることで、大幅に精度の高いかつダイナミックレンジの広いセンシングを可能にする。

提案の特徴(iii)は、本 SAW センサでは、圧電基板として水晶以外の基板を用いることを可能にする。これにより、従来と異なり、温度特性は良くないが圧電効果の強い、すなわち、変換効率の高い基板も採用出来る。かつ、センシングすべき微量分子と結合し易い相性の良い基板の採用も可能となり、センサとしての用途も非常に広げることが出来る。

特徴(i)、(ii)、(iii)は、以下の考えに基付いて提案したものである。図 6 のセンサ部を図 7 に示す。150MHz の基本波の入力に対して、出力(1)、(2)、(3)が得られる 3 ケの SAW 遅延線 D-1、D-2、D-3 を用いる。D-1 の入出力トランスデューサ間は L で、D-2、D-3 はそれぞれ L+λo/8, L-λo/8(ここで，λo は SAW の波長)である。したがって、出力(1)、(2)、(3)の位相関係は、出力(2)の位相をゼロ(X 軸上)と仮定すると、図 8(a)に示すようになる。出力(3)は、D-2 と D-3 の入出力トランスデューサ間が、λo/4 だけ異なることより、理想的にはπ/2 だけ位相が進み Y 軸上となる。出力(1)は、(2)と(3)の中間に位置する。出力(1)の X 軸成分および Y 軸成分は x1、y1 である。図 6 のブロック図で、ミキサ(混合器)の性質より、出力(1)と(2)のミキサ出力からは X 軸成分、すなわち x1 が、出力(1)と(3)のミキサ出力からは Y 軸成分、すなわち y1 が得られる。D-2、D-3 は基準位相を生成する遅延線として外気から遮断する。D-1 をセンシング用素子として用いると、微量分子との結合により出力(1)の位相は、図 8(a)の(1)の位置からずれるが、このずれ量は微量分子の濃度に比例する。また、位相のずれ量はミキサ出力 x1、y1 でモニタ出来るため、従来の SAW センサのような発振器を構成する必要はない(特徴(i))。

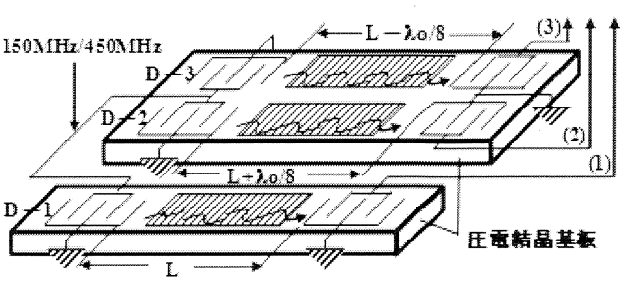
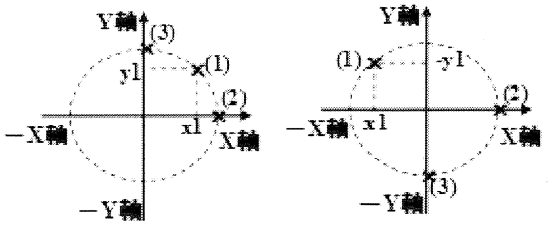


図 7　図 6 のセンサ部（D-1 はセンサ部、D-2、D-3 は基準位相生成用 SAW 遅延線）

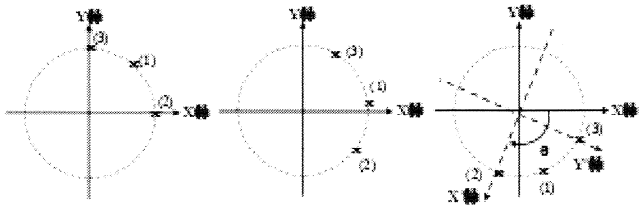


基本波の位相　　(b) 3 倍波の位相

図 8　各出力(1)、(2)、(3)の位置関係

温度に対する出力(1)、(2)、(3)の位相の変動は、全て同一の条件のため、ミキサ出力には互いに打ち消しあって表れない。すなわち、本提案の構成は SAW の温度特性は互いに打ち消し合う自己温度補償機能を有しており、用いる基板の温度特性は特に考慮する必要は無い(特徴(iii))。

一般に、SAW を励振する櫛の歯状のトランスデューサは、原理的には基本波と 3 倍波を励振することが出来るが、励振効率や位相の関係等に課題がある。種々の工夫により、図 7 の各入出力トランスデューサが 3 倍波(図 7 の例では 450MHz)も効率良く励振出来るとすると、3 倍波に対する各出力の位相関係は、図 8(b)に示すようになる。すなわち、同様に出力(2)の位相をゼロ(X 軸上)と仮定すると、出力(3)は理想的には 3π/2(-Y 軸上)となる。これは、図 6 のミキサ出力で y1 のみ符号を反転すれば、基本波に対する議論と同様の議論がそのまま成立することを表している。3 倍波に対しても同様のセンサの構築が可能であり、しかも波長が基本波の 3 分の 1 のため、センシング感度を 3 倍にすることが出来る(特徴(ii))。



(a) 室温での位相 (b) 温度が上昇時 (c) 新座標軸 X'、Y'

図 9　温度に対する各遅延線の出力の位相関係

基本波の出力(1)、(2)、(3)に対して、図 9(a)に示すような位相関係が得られる。一般に、SAW の速度は、温度に対して負の温度係数を持っており、高温ほど速度が遅くなる。図 9(a)は、室温状態とすると、温度が上昇すると図 9(b)に示すように、位相が遅れるため右回りに回転する。この回転量は、温度に比例するため、さらに温度が上昇すると図 9(c)に示すようにさらに回転する。しかし、これら温度による寄与は、3 ケの遅延線 D-1、D-2、D-3 全てに対して同等である。図 9(c)の角度θだけ回転させた新たな座標軸、X'軸と Y'軸を想定すると、各出力の位相間の相対関係には変化は無いと考えられる。遅延線 D-2、D-3 の出力(2)、(3)の位相を基準として、遅延線 D-1 のセンサ出力(1)の相対位相のみを求める本センサでは、温度特性は互いに打ち消し合う自己温度補償機能を有していると言える。これが、本提案の特徴(iii)の根拠であり、従来の水晶基板に代わって、任意の基板を採用出来る裏付けでもある。

5．励振用トランスデューサの考察

SAWガス・センサで既に実績のあるEST社のガス・クロマトグラフィでは、高精度化のためにセンサ部以外でも多くの処理を行っている。センサ・ネットワークのセンサ・ノードのように非常に低消費電力で長時間の動作が要求されるにも関わらず、野外を含めた過酷な条件で使用される場合は、EST社のガス・クロマトグラフィと同等の性能を要求することは難しい。しかし、温度条件、センシングガス濃度の変動幅等を考慮すると、ダイナミックレンジの広いセンサは特にガレージ内での使用などを想定すると大きなメリットと考えられる。また、従来の帰還発振回路型のSAWセンサでは実現出来ない、基本波と3倍波を併用することでダイナミックレンジを大幅に拡大出来る可能性を検討した。

図10左下に拡大して示すように、各々の電極指の幅W(M)はおおよそλo/4で、電極指間の間隔W(S)もおおよそλo/4に設定するのが従来のSAW励振用トランスデューサの設計である。センサには、図7または、図10の上図に示すように入力トランスデューサと出力トランスデューサの間隔が、Lの遅延線D-1、L+λo/8の遅延線D-2、L-λo/8の遅延線D-3を用いる。本提案では、D-2とD-3は基準位相を定め、この位相を基準にセンサ出力(1)の位相を求める。したがって、D-2とD-3は入出力トランスデューサ間の位相関係が非常に重要であり、それ等の位相差は正確にπ/2となる必要がある。

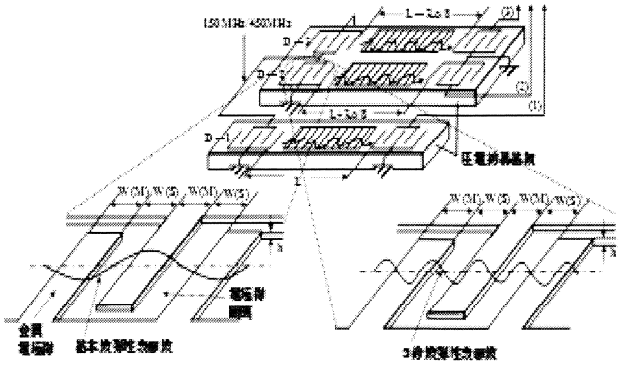


図10　SAWセンサとトランスデューサ部の拡大図

次に、3 倍波の励振を考察する。図 10 右下に示すように、3 倍波の波長$\lambda o^{(3)} = \lambda o/3$ に比べて電極指幅 W(M)，電極指間隔 W(S)は、共に相対的に非常に大きい。さらに、金属電極指の厚さ h の影響も基本波に比べ大きくなる。3 倍波は、基本波より励振効率が基本的に低いと考えられるため、遅延線 D-2、D-3 の出力(2)、(3)の振幅も基本波に比べ小さくなる。これらの出力の振幅と位相を基準に、遅延線 D-1 よりなるセンサの出力(1)の X 軸および Y 軸成分を求めると、図 8(b)の x1、-y1 自身も小さくなり、十分な S/N(Signal/Noise: 信号対雑音比)が確保出来ない場合が生ずる。特に温度が高くなると、系全体の損失も大きくなるため、重要な課題である。3 倍波の励振効率が十分大きい、新しい SAW 励振用トランスデューサ構造の設計を行った。

6．トランスデューサの設計と試作

基本波と3倍波の励振が両立するトランスデューサ構造の検討を以下の手順で行った。(1)シミュレーションによる設計、(2)本学SMBC(BERC)のMEMS用プロセス装置を用いた試作と評価。図11に一般的なトランスデューサである、図10の電極指幅W(M)と間隔W(S)が等しい場合(これをパターン1と呼ぶ)のシミュレーション設計結果を示す。基本波に対して3倍波の励振はほとんどゼロであることが分かる。図12にSMBC(BERC)の装置を用いた試作素子の写真を示す。約1cm$^{\phi}$のTO-8と言われる金属パッケージ上に素子を実装した。圧電基板は128°YカットX伝搬LiNbO3を用い、基板厚は0.35mmである(山寿セラミック(株)製)。図13(b)にパターン1の試作素子拡大写真を示

す。W(M)=W(S)=13μmである。図13(a)に試作素子の測定結果を示す。基本波周波数は75MHz、3倍波周波数は225MHzである。シミュレーションから予測されるように3倍波の励振はほぼゼロで、本研究の目的には、従来型のトランスデューサは採用出来ないことが分かる。

図14に、図15(b)に素子の拡大写真を示すように電極指を微細化しW(M)=5μm、W(S)=21μmとした場合(パターン2)のシミュレーション結果を示す。図15(a)にパターン2の測定結果を示す。図16に、図17(b)に素子の拡大写真を示す。電極指の微細化(W(M)=5μm/18.5μm)と狭間隔化(W(S)=5μm)を組み合わせた場合(パターン3)のシミュレーション結果を示す。図17(a)に測定結果を示す。パターン2、3共に3倍波が大きく励振されているが、パターン2の場合は基本波の励振が減少する結果となった。総合的に判断すると、現時点ではパターン3が本研究の目的に向いた構造であるとの結果を得た。以上のシミュレーション設計と試作結果を基に、今後はさらに励振効率の良い電極構造を検討する必要がある。以降の実験では、パターン3を用いて実際のセンサとしての基本動作の確認を行った。

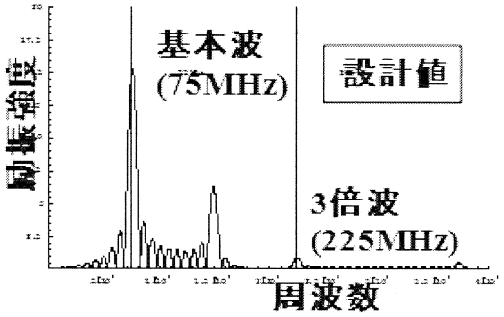


図 11　パターン 1（W(M)=W(S)=13μm）の従来トランスデューサの励振特性（設計）

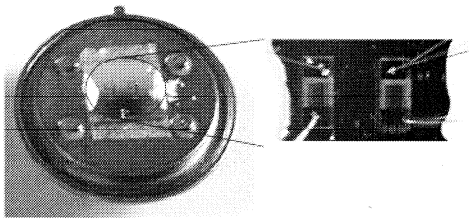
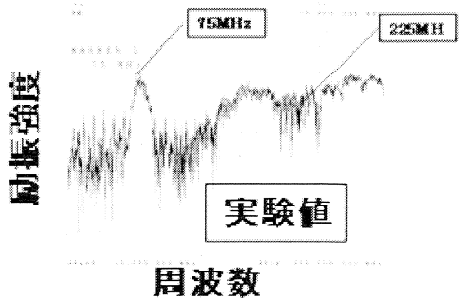
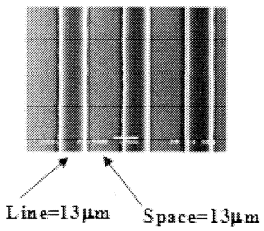


図 12　SMBC(BERC)での試作素子



(a)　周波数特性



(b)　拡大写真

図 13　パターン 1 素子(従来トランスデューサ)の測定結果

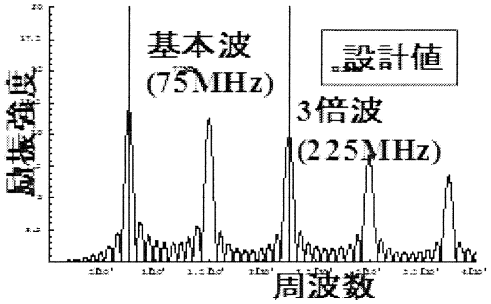
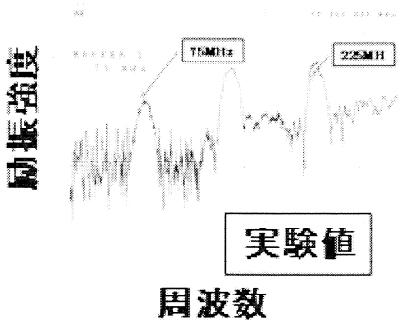
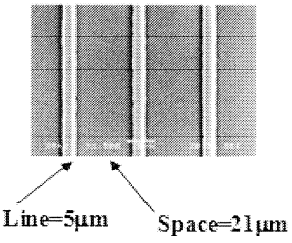


図 14　パターン 2（W(M)=5μm、W(S)=21μm）トランスデューサの励振特性（設計）



(a) 周波数特性



(b) 拡大写真

図 15　パターン 2 素子の測定結果

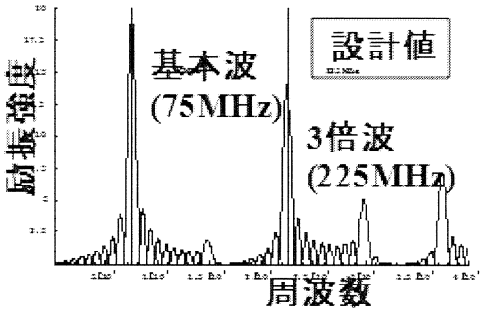
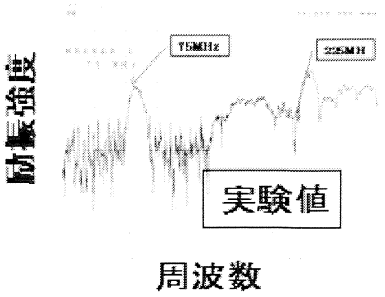
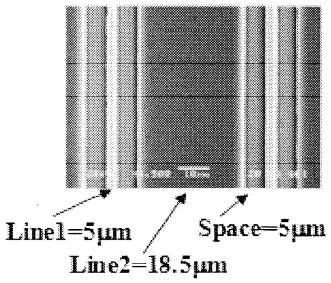


図 16　パターン 3（W(M)=5μm/18.5μm、W(S)=5μm）トランスデューサの励振特性（設計）



(a) 周波数特性



(b) 拡大写真

図 17　パターン 3 素子の測定結果

7．自己温度補償機能の確認実験

本プロジェクト研究の目標の一つである自己温度補償機能を以下の実験で確認した[19][20]。実験では、図 7 の構成ではなく、図 18 に示す簡易的な構成により機能確認を行った。図 18 では、SAW 遅延線は全て同じ物を 3 ケ用い、各遅延線の外部に伝搬に伴う位相角が θ_i (i=1、2、3)の伝送線路を各々付加する。これにより等価的に図 7 のセンサ遅延線 D-1 と基準位相を与える遅延線 D-2、D-3 を実現する。ただし、外部伝送線路は高周波ケーブル等を用いて実現するため、必ずしも図 7 に対応した位相角を実現することは出来ない。今回は、室温基本周波数（75MHz）でθ_1=230°、θ_2=60°、 θ_3=150°の値の線路を用い組み合わせることで実現した。

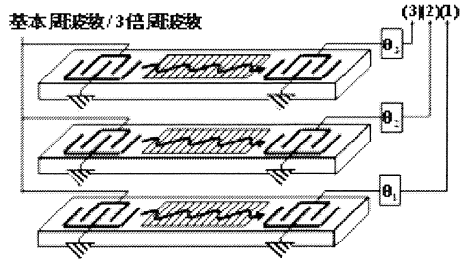


図 18　図 7 と等価な実験用 SAW センサ

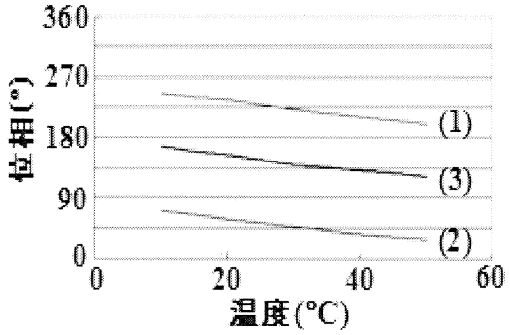


図 19　基本周波数（75MHz）での各出力位相の温度特性

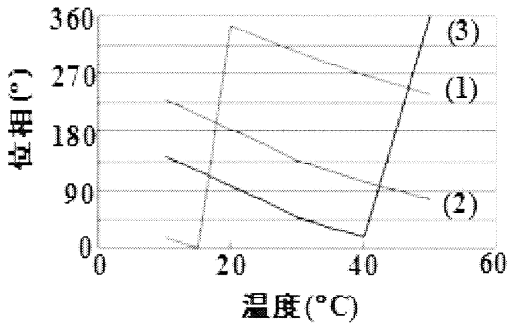


図 20　3 倍周波数（225MHz）での各出力位相の温度特性

図 19 に 75MHz の基本周波数に対する SAW センサ遅延線（等価的な図 7 の D-1）からの出力(1)の位相、基準位相用遅延線（等価的な図 7 の D‐2、D‐3）からの出力(2)、(3)の位相の実測値を示す。温度範囲は 10～50°C、室温ではθ_1=230°、θ_2=60°、 θ_3=150°である。LiNbO3 は負の温度係数を持ち温度の上昇と共に速度が小さくなるため位相の遅れが増大する。図 19 より 3 ケの位相の温度に対する傾斜特性は全て同じであり、D-2、D-3 の出力位相は互いに完全に直交（90°）していることが分かる。このことはセンサの出力(1)の位相は、基準位相を与える遅延線 D-2、D-3 の出力(2)、(3)の位相を基準に測定すれば良いことを意味する。温度とは無関係にセンシング分子の影響による位相の変化のみを評価可能である点が確認された。本研究の目標の一つである基本周波数に対する自己温度補償機能が実験的にも示された。

本研究の更なる目標である感度の高い 3 倍周波数に対する確認実験を行った。3 倍周波数に対する各出力の位相関係は、図 8(b)に示すようになることが予想される。基本周波数と同様に出力(2)の位相をゼロ(X 軸上)と仮定すると、出力(3)は理想的には 3π/2(‐Y 軸上)となる。これは基本周波数と同様の手法で得られる出力で、y1 のみの符号を反転すれば、基本周波数に対する議論と全く同じ議論が成立することを表している。図 18 に示す簡易的な構成により、3 倍周波数に対しても同様の機能確認実験を行った。

図 20 に 225MHz の 3 倍周波数に対する SAW センサ遅延線（等価的に図 7 の D-1）からの出力(1)の位相、基準位相用遅延線（等価的に図 7 の D-2、D-3）からの出力(2)、(3)の位相の実測値を示す。温度範囲は同様に 10～50°C、室温では約θ_1=330°、θ_2=180°、 θ_3=90°である。温度に対する特性は基本周波数の場合と全く同様である。温度に対する位相遅れの傾斜は基本周波数の約 3 倍となる。しかし、D-2、D-3 の出力位相は互いに完全に直交（ただし、‐90°）している点、センサ遅延線の出力位相も同じ温度傾斜特性を有するなど、基本周波数と同じ扱いが可能であることが分かる。すなわち、3 倍周波数でも自己温度補償機能が実現されることが確認出来た。

一般に 3 倍波周波数は，基本周波数に比べ SAW の波長が 3 分の 1 になるため、同一条件のセンシング分子の吸着に対する感度は 3 倍となると考えられる（この点に関する実験的検証はまだ行っていない）。従って、基本周波数と 3 倍波周波数を切り替えることによって、センシングのダイナミックレンジを非常に大きく拡大することが出来る可能性がある（本点も本構造の特徴の一つであり、今後具体的に確認する予定）。図 20 に示す特性の課題として、温度に対して若干湾曲した特性を成しており、現状原因は不明である。実用的な面からは今後原因の解明など更なる検討が必要であると思われる。

8．結論

移動通信の進歩に伴い、次世代の小規模インフラ的な位置づけとして提案されているセンサ・ネットリークの家庭やオフィスへの適用を目指した研究を行って来た。燃料電池自動車の水素漏洩や環境汚染物質等のセンシングに関する検討を行った。SAWを用いた新構造のセンサ装置を提案し、センセ・ネットワーク用のセンサ・ノードとして適用の可能性を示した。本学SMBC(BERC)のMEMS用プロセス装置を用いて試作を行い、本センサの特徴の一つである基本波と3倍波の励振が両立するトランスデューサの条件が存在することを示した。さらに最も大きな目標である自己温度補償機能に関して実現可能であることを実験的にも確認した。今後も設計，試作，評価を進め同時に素子単体の性能向上を図る予定である。

センサ・ネットワークの無線媒体として、2.4GHz帯の標準化ZigBeeを想定している。センサ・ネットワークの各ノードは、TCXOにロックした2.4GHz帯のVCO等を内蔵している。従来のSAWセンサと異なり、ZigBeeの2.4GHzの信号を分周あるいは逓倍することによって得られる信号でセンシングを行う。これにより，装置を大幅に簡素化出来、小型・低消費電力化が要求されるセンサ・ノードでも用いることが可能になる。本点に関しては、今回の研究期間内では実験的な検証は出来なった。引き続き検討を継続する予定である。

参考文献

1) 豊田, “センサネットワークを活用した環境モニタリング, ” 信学誌, Vol. 89, no. 5, pp. 419-423, 2006.
2) Intel. HP, “Intel Mote, Sensor Nets / RFID,” (http://www.intel.com/research/exploratory/motes.htm).
3) 2007 Crossbow Technology Inc. HP, “Solutions for Wireless Network,” (http://www.xbow.com).
4) 森, 野口, 佐藤, “センサネットワークと生活行動, ” 信学誌, Vol. 89, no. 5, pp. 430-435, 2006.
5) 工学院大学研究室 HP, (http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwa1022/).
6) G. Watson, H. Worton, and E. J. Staples, “Gas chromatography utilizing SAW sensors,” in IEEE Ultrason. Symp. Proc., 1991, pp. 1991-1995; E. J. Staples, “Dioxin / Furan detection and analysis using a SAW based electronic nose,” in UEEE Ultrason. Symp. Proc., 1998, pp. 521-525.
7) Electronic Sensor Technology HP, “Chemical sensor for the 21the century,” (http://www.estcal.com/)
8) K. Yamanaka, S. Ishikawa, N. Nakaso, N. Takeda, T. Mihara, and Y. Tsukahara,”Ball SAW device for hydrogen gas sensor,” in IEEE Ultrason. Symp. Proc., 2003, pp. 299-302.
9) 谷津田, 奈良, 小貝, 愛澤, 黒澤, “STW 素子を用いたガスセンサの検討,”2005 年 EM シンポジューム講演論文集, pp. 69-72, 2005.
10) 塩川, 近藤, “弾性表面波マイクロセンサ, ”信学論 (C-I), Vol. J78-C-I, No. 11, pp. 573-579, 1995.
11) 例えば, 野村, 齋藤, “弾性表面波による多チャンネル化学センサ, ” 信学技報, Vol. US2006-73, pp. 43-46, 2006 等.
12) IEEE Standard 802.15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
13) “ZigBee の普及団体 ZigBee SIC ジャパンの設立準備を開始 －三菱電機など１０社が参加－,” EDN Japan, p.20, 平成１７年４月
14) Vectron International HP, “VECTRON acoustic sensors,” (http://www.vectron.com/products/visensors/landing.html).
15) K. Minami, K. Takimoto, Y. Hiraizumi, and M. Hikita, “Study of Novel SAW Gas Sensor for Sensor Network,” in Proc. of Symp. on Ultrasonic Electronics, Vol. 28, 2007, pp. 99-100.
16) 疋田光孝、南圭哉、滝本宏紀、平泉康志、“センサ・ネットワーク用弾性表面波希薄ガス・センサの研究（第１報）,” 工学院大学研究報告書, Vol. 103, pp. 63-69, 2007.
17) Y. Hiraizumi, H. Aoki, J. Matsuda, T. Watanabe, M. Hikita “Study of SAW Excitation Efficiency for Novel Gas Sensor Installed in Sensor Network,” Proc. of Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol. 29, pp. 247-248, 2008.
18) 疋田光孝、平泉康志、青木宏融、松田潤治、渡邊友章、“センサ・ネットワーク用弾性表面波希薄ガス・センサの研究 （第２報）,” 工学院大学研究報告書, Vol. 105, pp. 1-10, 2008.
19) M. Hikita, K. Minami, K. Takimoto, and Y. Hiraizumi, “Investigation of Surface Acoustic (SAW) Gas Sensor Used in Sensor Network,” Proc. of Progress in Electromagnetics Research Symposium (査読有), pp. 301-305, 2008.
20) H. Hikita, Y. Kato, J. Matsuda, T. Watanabe and A. Nakano, “Self-temperature-compensation characteristics at 1st- and 3rd-harmonic frequencies for SAW gas sensor used in sensor network,” in IEEE Ultrasonics Symposium Proc. 2009, pp. 1-4.
21) M. Hikita, Y. Hirashima, H. Aoki, J. Matsuda and T. Watanabe, “Experiments for self–temperature compensated characteristics of SAW gas sensor at fundamental and third-harmonic frequencies,” Electronics Letters Vol. 45, No. 21, 2009, pp. 1101-1102.

〔雑誌論文〕（計 12 件）

1) M. Hikita, Y. Hirashima, H. Aoki, J. Matsuda and T. Watanabe, “Experiments for self–temperature compensated characteristics of SAW gas sensor at fundamental and third-harmonic frequencies,” Electronics Letters Vol. 45, No. 21, 2009, pp. 1101-1102.
2) H. Hikita, Y. Kato, J. Matsuda, T. Watanabe and A. Nakano, “Self-temperature-compensation characteristics at 1st- and 3rd-harmonic frequencies for SAW gas sensor used in sensor network,” Proc. of IEEE Ultrasonics Symposium, 2009, pp. 1-4.
3) T. Watanabe, A. Nakano, J. Matsuda, Y. Kato and M. Hikita, “Study of Accuracy Improvement for Ultrasonic Positioning Method Installed in Sensor Network,” Proc. of 30th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2009, pp. 225-226.

4) J. Matsuda, T. Watanabe, Y. Kato, A. Nakano and M. Hikita, "Generation of Rotary Motion Using Straight Moving Ultrasonic Motors," Proc. of 30th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2009, pp. 101-102.
5) 疋田光孝、松田潤治、渡邊友章、加藤義隆、中野彰、"介護環境用弾性表面波嗅覚センサの基礎研究(第1報)," 工学院大学研究報告書, Vol. 107, pp. 1-7, 2009.
6) M. Hikita, Y. Hiraizumi, H. Aoki, J. Matsuda, T. Watanabe, "Investigation of Novel Ultrasonic Positioning Method Installed in Sensor Networ," Proc. of Progress in Electromagnetics Research Symposium 2009, pp. 1676-1682.
7) Y. Hiraizumi, H. Aoki, J. Matsuda, T. Watanabe, M. Hikita, "Study of SAW Excitation Efficiency for Novel Gas Sensor Installed in Sensor Network," Proc. of 29th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2008, pp. 247-248.
8) M. Hikita, K. Minami, K. Takimoto, and Y. Hiraizumi, "Investigation of Novel Surface Acoustic Wave (SAW) Gas Sensor Used in Sensor Network," Proc. of Progress in Electromagnetics Research Symposium 2009, 2008.
9) 疋田光孝、平泉康志、青木宏融、松田潤治、渡邊友章、"センサ・ネットワーク用弾性表面波希薄ガス・センサの研究 (第2報)," 工学院大学研究報告書, Vol. 105, pp. 1-10, 2008.
10) K. Takimoto, K. Minami, Y. Hiraizumi, and M. Hikita, "Study of Novel Ultrasonic Positioning Method for Sensor Network," Proc. of 28th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2007, pp. 373-374.
11) K. Minami, K. Takimoto, Y. Hiraizumi, and M. Hikita, "Study of Novel SAW Gas Sensor for Sensor Network," Proc. of 28th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2007, pp. 99-100.
12) 疋田光孝、南圭哉、滝本宏紀、平泉康志、"センサ・ネットワーク用弾性表面波希薄ガス・センサの研究(第1報)," 工学院大学研究報告書, Vol. 103, pp. 63-69, 2007.

〔学会発表〕(計8件)

1) H. Hikita, Y. Kato, J. Matsuda, T. Watanabe and A. Nakano, "Self-temperature-compensation characteristics at 1st- and 3rd-harmonic frequencies for SAW gas sensor used in sensor network," IEEE Ultrasonics Symposium, 2009, Rome.
2) T. Watanabe, A. Nakano, J. Matsuda, Y. Kato and M. Hikita, "Study of Accuracy Improvement for Ultrasonic Positioning Method Installed in Sensor Network," 30th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2009年11月18日、京都.
3) J. Matsuda, T. Watanabe, Y. Kato, A. Nakano and M. Hikita, "Generation of Rotary Motion Using Straight Moving Ultrasonic Motors," 30th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2009年11月18日、京都.
4) M. Hikita, Y. Hiraizumi, H. Aoki, J. Matsuda, T. Watanabe, "Investigation of Novel Ultrasonic Positioning Method Installed in Sensor Networ," Progress in Electromagnetics Research Symposium 2009, 2009年3月27日, 北京.
5) Y. Hiraizumi, H. Aoki, J. Matsuda, T. Watanabe, M. Hikita, "Study ofSAW Excitation Efficiency for Novel Gas Sensor Installed in Sensor Network," 29th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2008年11月12日、仙台.
6) M. Hikita, K. Minami, K. Takimoto, and Y. Hiraizumi, "Investigation of Novel Surface Acoustic Wave (SAW) Gas Sensor Used in Sensor Network," Progress in Electromagnetics Research Symposium 2009, 2008年3月24日,杭州(中国).
7) K. Takimoto, K. Minami, Y. Hiraizumi, and M. Hikita, "Study of Novel Ultrasonic Positioning Method for Sensor Network," 28th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2007年11月16日, つくば.
8) K. Minami, K. Takimoto, Y. Hiraizumi, and M. Hikita, "Study of Novel SAW Gas Sensor for Sensor Network," 28th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2007年11月14日, つくば.

〔特許〕(計1件)

1) 疋田、"弾性表面波ガス・センサ装置" 特願2007-280020

顕著な生物活性を有する高次構造天然物の全合成研究

—特異な化学構造と顕著な生物活性を有するゾアンタミン系アルカロイドの全合成—

工学院大学　工学部　応用化学科　宮下正昭

北海道大学　理学研究院　化学部門　谷野圭持

工学院大学　工学部　応用化学科　南雲紳史

Synthetic Studies on Natural Products Having a Unique Chemical Structure and Distinctive Biological Properties

— Total Synthesis of the Zoanthamine Alkaloids with Unique Molecular Structures and Biological Activities —

Masaaki Miyashita, Department of Applied Chemistry, Kogakuin University

Keiji Tanino, Graduate School of Science, Hokkaido University

Shinji Nagumo, Department of Applied Chemistry, Kogakuin University

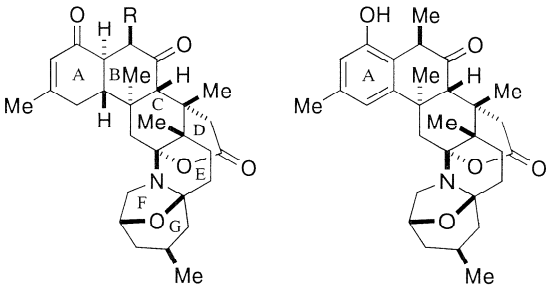
ABSTRACT： The zoanthamine alkaloids, a family of marine metabolites produced by the zoanthid *Zoanthus* sp., not only have a novel array of structures with stereochemical complexity, but also exhibit distinctive biological and pharmacological properties. For example, norzoanthamine (**1**, Figure 1) isolated from the colonial zoanthid *Zoanthus* sp. by Uemura in 1995 can suppress the loss of bone weight and strength in ovariectomized mice without any problem of side effects and has been expected as a promising candidate for an anti-osteoporotic drug. On the other hand, zoanthamine (**2**), isolated by Rao and Faulkner in 1984, has exhibited potent inhibitory activity toward phorbol myristate-induced inflammation in addition to powerful analgesic effects. The remarkable biological properties of norzoanthamine (**1**) and zoanthamine (**2**), combined with their novel molecular architectures make this family of alkaloids extremely attractive targets for chemical synthesis. We have been engaged in synthetic studies of the zoanthamine alkaloids and so far achieved the first total syntheses of norzoanthamine (**1**) and zoanthamine (**2**), which involved stereoselective synthesis of the crucial precursor triene via the sequential three-component coupling reactions, the key intramolecular Diels-Alder reaction, and subsequent crucial bis-aminoacetalization as the key steps. Having achieved the efficient chemical syntheses of norzoanthamine (**1**) and zoanthamine (**2**), we next focused on the synthesis of zoanthenol (**3**), another representative member of the zoanthamine alkaloids having a unique aromatic ring. Zoanthenol (**3**) has been reported to exhibit potent anti-platelet activity on human platelet aggregation same as norzoanthamine derivatives. The total synthesis of zoanthenol (**3**) has been impeded, however, in spite of vigorous synthetic studies by a number of research groups based on their distinctive strategies. Herein, we report the first total synthesis of zoanthenol (**3**) by the use of the synthetic intermediate **7** in our synthesis of norzoanthamine and development of an efficient synthetic route from the commercially available norzoanthamine hydrochloride to zoanthenol (**3**).

１．ゾアンタミン系アルカロイド

1984年、Raoと Faulknerはインドの Visakhapatnam 海岸に群生していた未同定スナギンチャク (*Zoanthus* sp.) の成分の解析を行ない、新規アルカロイドを発見した。このアルカロイドに対しゾアンタミンと命名するとともに、当時のマススペクトル、^{1}H NMR、^{13}C NMR および X 線結晶解析などを駆使して構造解析を行なった。その結果、ゾアンタミンの構造は **Fig.1** のように決定され、全く新しい炭素骨格を有する７環性アルカロイドであることが判明した。[1] また、ゾアンタミン (**2**) は生物活性試験の結果、発ガンプロモーターであるホルボールにより発症したマウスの皮膚の激しい炎症を強力に抑える優れた抗炎症作用を有することが明らかにされた。[2]

1995年、上村大輔教授（名古屋大学）の研究グループは奄美大島近海のスナギンチャク (*Zoanthus* sp.) の成分の化学的解明を行い、新たにノルゾアンタミンを含む５種類のゾアンタミン系アルカロイドを単離した。これらの天然物の構造解析は最新のマススペクトル、^{1}H NMR、^{13}C NMR および X 線結晶解析などを用いて行われ、ノルゾアンタミンの構造は絶対構造を含めて、**Fig.1** のように決定された。[3] また、ノルゾアンタミン (**1**) は生物活性試験の結果、IL-6（インターロイキン-6）に対して顕著な産生阻害活性を示すとともに、卵巣を摘出した骨粗鬆症モデルマウスの骨重量および骨強度の低下を強力に抑制することが明らかにされた。[4] なお、ノルゾアンタミンの塩酸塩は、活性の強さ、用量共に骨粗鬆症治療薬として海外で使用されている女性ホルモンの 17β-エストラジオールと同等であり、しかも、エストラジオールの投与時に見られる子宮肥大や子宮重量の増加など女性ホルモン特有の副作用は全く見られないことが判明した。また最近の研究により、ノルゾアンタミンの誘導体がマウス白血病細胞の増殖阻害による優れた抗癌作用を示すことも明らかにされている。

このようにノルゾアンタミン(**1**) とゾアンタミン (**2**)



Norzoanthamine (**1**): R = H　　Zoanthenol (**3**)
Zoanthamine (**2**): R = Me

Fig. 1 Molecular structures of norzoanthamine (**1**), zoanthamine (**2**), and zoanthenol (**3**).

の特異な化学構造ならびに顕著な生物活性は内外の科学者の注目を集め、1995年から2000年にかけてスナギンチャクの代謝産物の解明が精力的に行なわれた。その結果、A 環が芳香環化されたユニークなゾアンテノール (**3**) を含め、これまでに１０数種のゾアンタミン系アルカロイドが新たに単離され構造が解明されている。[5] ゾアンテノール (**3**) は血小板凝集作用に対する顕著な抑制効果を示すことが報告されている。[6]

２．ユニークな生物活性を有するゾアンタミン系アルカロイドの合成研究

2．１　ノルゾアンタミンおよびゾアンタミンの全合成

上述のように、ゾアンタミン系アルカロイドは新規な化学構造に加え顕著な生物活性を示すことから、内外の多くの合成化学者の注目を集めており、特にノルゾアンタミン (**1**) およびゾアンタミン (**2**) の化学合成をめぐって活発な研究が行われてきた。しかし、これらのアルカロイドは７つの環が縮環した非常に複雑な立体構造を有するため、全合成研究は難航していた。筆者らはゾアンタミン系アルカロイドのユニークな化学構造と顕著な生物活性に興味を持ち、1999年にノルゾアンタミン (**1**) の全合成研究に着手した。ノルゾアンタミン（**1**）およびゾアンタミン（**2**）は、**Fig.1** に示すように、炭素６員環、ラクトン環、アミノアセタール環など７つの環構造

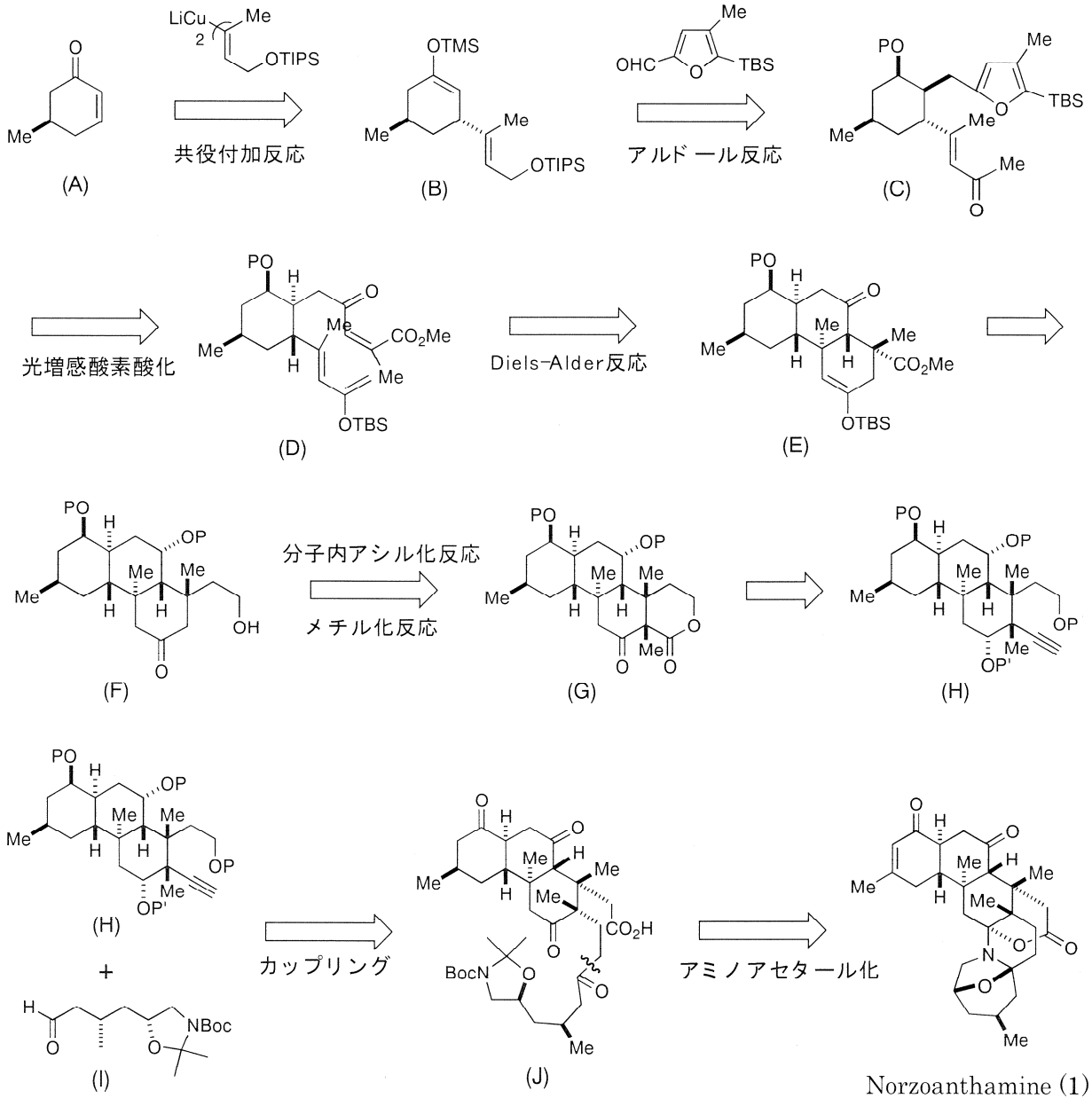
が複雑に結合するとともに、C12 位のメチル基と架橋したラクトン構造（D 環）およびアミノアセタール環（G 環）は、いずれもアキシアル結合しており、これらの間には 1,3-ジアキシアル結合による大きな立体反発が存在する。そのため、これらの立体反発をいかに克服して 7 つの環構造を構築してゆくかが合成上の大きな課題となる。ゾアンタミン系アルカロイドの合成上の重要課題を以下に記す。

(1)　C環上に隣接する3個の四級不斉炭素の立体選択的構築。

(2)　トランス-アンチ-トランスに縮環したパーヒドロフェナントレン骨格（ABC 環）の立体選択的合成。

(3)　2 個のアキシアル結合を含む架橋ラクトン構造および 2 個の架橋したアミノアセタール環を含む DEFG 環の立体選択的合成。

中でも、隣接した 3 個の四級不斉炭素を含むパーヒドロフェナントレン骨格（ABC 環）の立体選択的合成が最重要課題となる。これらの課題を解決するため、**Scheme 1** に示すノルゾアンタミン（**1**）の合成ルートを考案した。すなわち、(*R*)-5-メチルシクロヘキセノン（A）を出発原

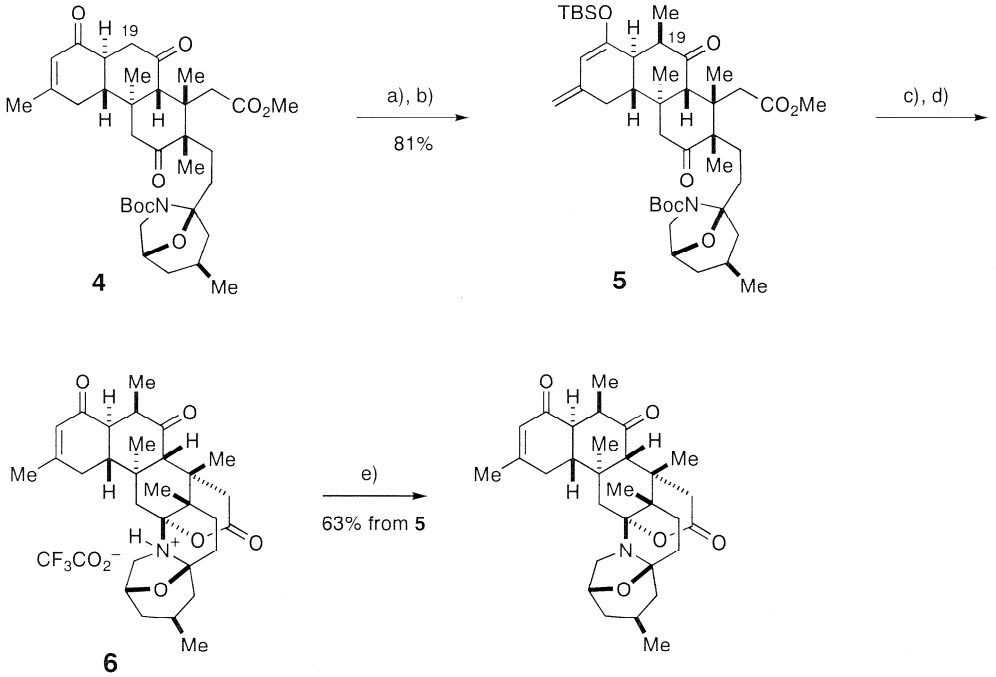


Scheme 1. Synthetic strategy for norzoanthamine (**1**).

料とし、ビニル銅試薬の共役付加反応（B）とアルドール反応を組み合わせた3成分連結反応による四置換シクロヘキサン（C）の合成、続くフラン環の光増感酸素酸化によりトリエン（D）を合成した後、キーステップとなる分子内Diels-Alder反応を行い、ゾアンタミン系アルカロイドの最重要課題であるトランス-アンチ-トランスに縮環したパーヒドロフェナントレン骨格（ABC環）（E）を立体選択的に合成する。次に（E）をケトアルコール（F）に変換し、（F）の分子内アシル化反応とメチル化反応を連続的に行い、C環上に3個の四級不斉炭素を有する四環性ケトラクトン（G）を立体選択的に合成する。さらに（G）をアルキン誘導体（H）に変換し、アミノアルコール鎖（I）を導入してケト酸（J）を合成した後、重要課題であるビスアミノアセタール化を行ってノルゾアンタミン（**2**）へ導く合成ルートである。本合成経路ではフラン環の光増感酸素酸化によるトリエン（D）の立体選択的合成および分子内Diels-Alder反応による2個の四級不斉炭素を含むパーヒドロフェナントレン骨格（E）の立体選択的構築が最重要課題となる。特に、キーステップとなるDiels-Alder反応は速度論的に有利な分子内反応であるが、報告例の少ない2個の四級炭素の構築を含んでおり、反応温度が非常に高くなることが予想された。そこでDiels-Alder反応の温度をできるだけ低くするため、ジエン部をシリルジエノールエーテル構造にする（ジエンのHOMOを上げる）とともに、ジエノフィルのLUMOをできるだけ下げるため、電子吸引基で二重に活性化したジエノフィルを含むシス γ ケト不飽和エステル（D）を考案した。

Scheme 1の合成経路に従い、5年余りの歳月をかけ、2004年にノルゾアンタミン（**1**）の化学合成を内外に先駆けて達成した。[7] 本合成は出発原料の(*R*)-5-メチルシクロヘキセノン（A）から41工程、通算収率3.5%であり、各工程の平均収率は92%という極めて効率的な全合成である。[7]

ノルゾアンタミン（**1**）の全合成に続き、ゾアンタミン（**2**）の全合成研究に着手した。**2**の合成法として、二つ



Scheme 2. Total synthesis of zoanthamine (**2**).
Reagents and conditions: a) TBSOTf, Et_3N, CH_2Cl_2, -70 ℃; b) LDA, THF, then MeI, -50 ℃; c) aq. AcOH, 105 ℃, d) aq. TFA, 110 °C; e) Et_3N, MeOH.

のルートが考えられる。一つはノルゾアンタミン（**1**）のC19位にメチル基を導入するルートであり、もう一つは適当な合成中間体のC19位にメチル基を導入した後にゾアンタミンに導く合成ルートである。最初にノルゾアンタミンのC19位にメチル基を導入するルートについて検討したが、良い結果は得られなかった。そこで、ノルゾアンタミンの合成中間体に予めメチル基を導入した後にゾアンタミンに導く合成ルートを検討した。その結果、後者のルートによりゾアンタミン（**2**）の全合成を達成することができた。すなわち、A環に二重結合を導入したエノン**4**をトリエチルアミンの存在下でTBSOTfと反応すると、定量的にジエノールシリルエーテルを与え、これをLDAとヨウ化メチルを用いてメチル化反応を行うと、メチル基がC19位に立体選択的に導入され、目的の**5**が81%の収率で得られた。**5**から二段階を経てビスアミノアセタール化を行って**6**へ導き、最後にトリフルオロ酢酸を除去してゾアンタミン（**2**）の全合成を達成した。[8] 合成品は天然のゾアンタミンと全ての点で一致した。なお、本合成は原料の（*R*）-5-メチルシクロヘキセノンから43工程、全収率 2.2%であり、各工程の平均収率は 91% である。[8]

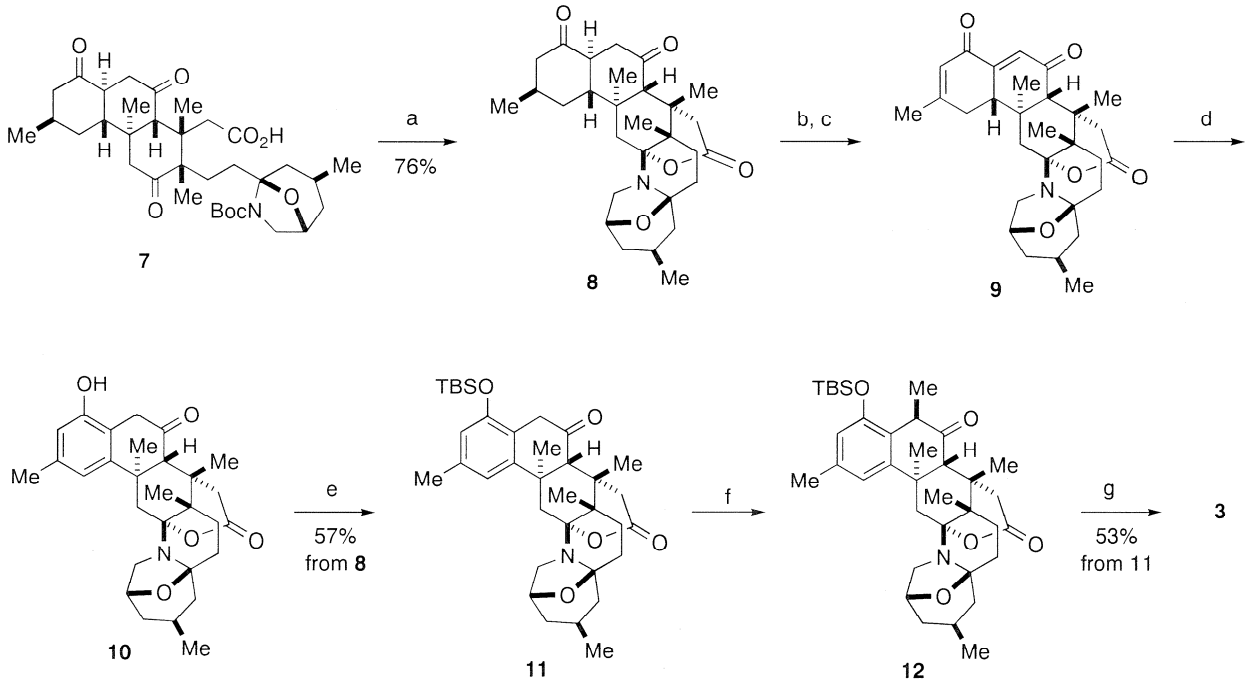
2. 2 ゾアンテノールの全合成

ゾアンテノール（**3**）はゾアンタミン系アルカロイドの中で唯一、A環に芳香環を含む化合物であり、血小板凝集作用への顕著な抑制活性を有することから内外の多くの科学者の注目を集めている。[5,6] ゾアンテノール（**3**）の合成研究も内外で活発に行なわれているが、ノルゾアンタミン（**1**）やゾアンタミン（**2**）と同様に難航している。筆者らは、ノルゾアンタミン及びゾアンタミンの全合成に続き、ゾアンテノール（**3**）の合成研究に着手した。ゾアンテノールの合成上の最重要課題は以下の二点であるが、特に芳香環（A環）の合成が鍵となる。

(1) 芳香環（A環）の構築

(2) C19位へのメチル基の位置及び立体選択的導入。

これらの点を念頭に置き、ノルゾアンタミンおよびゾアンタミンの中間体のA環を芳香環に変換する方法を種々

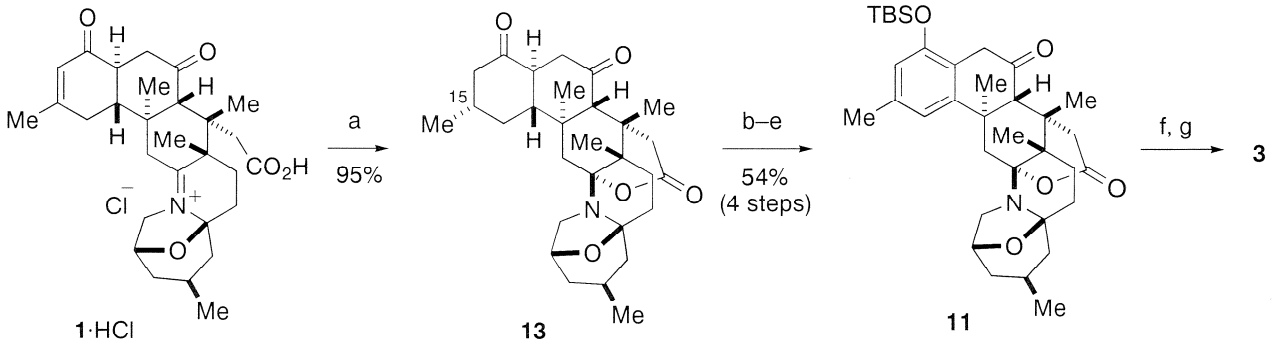


Scheme 3. Total synthesis of zoanthenol (3).

Reagents and conditions: a) AcOH (aq.), 100 °C, 76%; b) TMSCl, LDA, THF, -50 °C; c) $Pd(OAc)_2$, $CaCO_3$, CH_3CN, 55 °C; d) TFA, 50 °C, 57% (4 steps); e) $TBSNO_3$, pyridine, THF, RT; f) LDA, THF, -78 °C, then MeI; g) TASF, acetone, RT, 53% (2 steps). TBS=tert-butyldimethylsilyl, TFA=trifluoroacetic acid, TMS=trimethylsilyl.

検討した。その結果、ジエノンを酸で異性化することによりA環を望む芳香環に変換できることを見出し、最終的にScheme 3に示す合成ルートによりゾアンテノール（3）の最初の化学合成を達成した。[9] 合成品は天然のゾアンテノール（3）と完全に一致した。なお、ゾアンテノールおよび芳香環を有する合成中間体はいずれも空気酸化を受け易く、不安な化合物であることが判明したので、これらの反応と精製は全てアルゴン気流下で行なった。

さらに、ノルゾアンタミン塩酸塩からゾアンテノール（3）へ導く別の合成ルート（Scheme 4）を開発した。[8] このようにして、ゾアンテノール（3）の二通りの効率的な化学合成ルートを確立することができた。[9]



Scheme 4. Conversion of norzoanthamine (1) hydrochloride into zoanthenol (3).
Reagents and conditions: a) Pd/C, H_2 (1 atm), MeOH, RT, then Et_3N, 95%; b) TMSCl, LDA, THF, -50 °C; c) $Pd(OAc)_2$, $CaCO_3$, CH3CN, 55 °C; d) TFA, 50 °C; e) $TBSNO_3$, pyridine, THF, RT, 54% (4 steps); f) LDA, THF, -78 °C, then MeI; g) TASF, acetone, RT, 53% .

おわりに

以上述べてきたように、「特異な化学構造と顕著な生物活性を有するゾアンタミン系アルカロイドの全合成研究」に取り組み、代表的な化合物であるノルゾアンタミン（1）、ゾアンタミン（2）およびゾアンテノール（3）の最初の化学合成を達成するとともに、ゾアンタミン系アルカロイドの効率的な合成ルートを開発した。今後、これらのアルカロイドの作用機序の解明や構造活性相関並びに新規医薬品の開発に弾みがつくものと期待される。

なお、本研究は科学研究費基盤研究（B）（19350027）ならびに総合研究所プロジェクト研究費の助成により遂行ならびに達成できたものであり、ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

1) C. B. Rao, A. S. R. Anjaneyula, N. S. Sarma, Y. Venkatateswarlu, R. M. Rosser, D. J. Faulkner, M. H. M. Chen, J. Clardy, *J. Am. Chem. Soc.*, **1984**, *106*, 7983-7984.
2) C. B. Rao, A. S. R. Anjaneyula, N. S. Sarma, Y. Venkatateswarlu, R. M. Rosser, D. J. Faulkner, *J. Org. Chem.*, **1985**, *50*, 3757-3660.
3) (a) S. Fukuzawa, Y. Hayashi, D. Uemura, A. Nagatsu, K. Yamada, Y. Ijuin, *Heterocycl. Commun.*, **1995**, *1*, 207-214; (b) M. Kuramoto, K. Hayashi, Y. Fujitani, K. Yamaguchi, T. Tsuji, K. Yamada, Y. Ijuin, D. Uemura, *Tetrahedron Lett.*, **1997**, *38*, 5683-5686.
4) (a) K. Yamaguchi, D. Uemura, T. Tsuji, *BIO INDUSTRY*, **1997**, *14*, 13-20; (b) M. Kuramoto, K. Hayashi, K. Yamaguchi, M. Yada, T. Tsuji, D. Uemura, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **1998**, *71*, 771-779; (c) M. Kuramoto, T. Chou, D. Uemura, *J. Synth. Org. Chem. Jpn.*, **1999**, *57*, 105-115.
5) A. H. Daranas, J. J. Fernandez, J. A. Gavín, M. Norte, *Tetrahedron,* **1999**, *55*, 5539-5546.
6) R. M. Villar, J. Gil-Longo, A. Daranas, M. L. Souto, J. J. Fernández, S. Peixinho, M. A. Barral, G. Santafé, J. Rodríguez, C. Jiménez, *Bioorg. Med. Chem.* **2003**, *11*, 2301–2306.
7) M. Miyashita, M. Sasaki, I. Hattori, M. Sakai, K.

Tanino, *Science*, **2004**, *305*, 495-499.
8) F. Yoshimura, M. Sasaki, I. Hattori, K. Komatsu, M. Sakai, K. Tanino, M. Miyashita, *Chem. Eur. J.*, **2009**, *15*, 6626-6644.
9) Y. Takahashi, F. Yoshimura, K. Tanino, M. Miyashita *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2009**, *48*, 8905-8908.

発表論文

1) Recent Progress in the Synthesis of Bioactive Polycyclic Natural Products.
M. Miyashita, *Pure and Applied Chemistry,* **2007**, *79*, 651-665.
2) Novel Construction of Hydro-2-benzazepines Based on 7-*Endo*-selective Friedel-Crafts-type Reaction of Vinyloxiranes.
S. Nagumo, M. Mizukami, K. Wada, T. Miura, H. Bando, N. Kawahara, Y. Hashimoto, M. Miyashita, H. Akita, *Tetrahedron Lett.*, **2007**, *48*, 8558-8561.
3) Palladium-catalyzed Stereospecific Substitution of α,β-Unsaturated γ,δ-Epoxy Esters by Alcohols with Double Inversion of Configuration: Synthesis of 4-Alkoxy-5-hydroxy-2-pentenoates.
X-Q. Yu, F. Yoshimura, F. Ito, M. Sasaki, A. Hirai, K. Tanino, M. Miyashita, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2008**, *47*, 750-754.
4) Stereospecific Epoxide-Opening Reactions of 1,1-Dibromo-3,4-epoxy-1-alkenes with Carbon Nucleophiles.
F. Yoshimura, M. Takahashi, K. Tanino, M. Miyashita, *Tetrahedron Lett.*, **2008**, *49*, 6991-6994.
5) Stereospecific Interconversion of *cis*- and *trans*-γ,δ-Epoxy α,β-Unsaturated Ester Systems.
X.-Q. Yu, F. Yoshimura, K. Tanino, M. Miyashita, *Tetrahedron Lett.*, **2008**, *49*, 7442-7445.
6) An Efficient Synthetic Method for 3-Bromofuran Derivatives via Stereoselective Cyclization of γ,δ-Epoxy-(*E*)-α-bromoacrylates.
F. Yoshimura, M. Takahashi, K. Tanino, M. Miyashita, *HETEROCYCLES*, **2009**, *77*, 201-206.
7) Synthetic Studies of the Zoanthamine Alkaloids: The Total Syntheses of Norzoanthamine and Zoanthamine.
F. Yoshimura, M. Sasaki, I. Hattori, K. Komatsu, M. Sakai, K. Tanino, M. Miyashita, *Chem. Eur. J.*, **2009**, *15*, 6626-6644.
8) Stereoselective S_N2'-Alkylation Reaction Sequence of the γ,δ–Epoxy α,β–Unsaturated Ester System via γ,δ–Chlorohydrin Intermediates by the Use of a R_3Al-CuCN Reagent.
F. Yoshimura, A. Matsui, A. Hirai, K. Tanino, M. Miyashita, *Tetrahedron Lett.*, **2009**, *50*, 5126-5129.
9) Total Synthesis of Zoanthenol.
Y. Takahashi, F. Yoshimura, K. Tanino, M. Miyashita, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2009**, *48*, 8905-8908.
10) Stereoselective Synthesis of the C25-C36 Segment of Arenicolide A and B: Determination of the Configuration of the Trisubstituted Epoxide.
S. Nagumo, T. Nakano, K. Hata, M. Mizukami, M. Miyashita, *Org. Lett.*, **2009**, *12*, 908-911.
11) Intermolecular [6+2] Cycloaddition Reactions Using Dicobalt Acetylene Complexes.
K. Mitachi, T. Shimizu, M. Miyashita, K. Tanino, *Tetrahedron Lett.*, **2010**, *51*, in press.
12) Total Synthesis of Furanether B. Construction of a Hydroazulene Skeleton via a Novel [5+2] Cycloaddition Reaction of Silyloxyallene.
K. Mitachi, T. Yamamoto, F. Kondo, T. Shimizu, M. Miyashita, K. Tanino, *Tetrahedron Lett.*, **2010**, *51*, in press.

著　書

1) 「ゾアンタミン系アルカロイドの合成」
宮下正昭、*天然物化学　－海洋生物編－*
山村庄亮，長谷川宏司，木越英夫　編
アイピーシー出版、2008、第３章５節、275-292ページ。
2) 天然物の全合成（2000-2008（日本）
有機合成化学協会編
化学同人、2009。
3) 「ゾアンタミン系アルカロイドの全合成」
宮下正昭、谷野圭持、吉村文彦
天然物全合成の最新動向　北　泰行　監修
シーエムシー出版、2009、第13章、191-212ページ。
4) 「挑戦者からのメッセージ」
宮下正昭、*ファルマシア*、45巻、10号、2009、959-963ページ。

学会発表

1) Tedanolideの合成研究
神田紘一、井上貴章、南雲紳史、宮下正昭、*日本薬学会第１２８年会*、パシフィコ横浜、2008年3月26日。
2) Secothrixide の全合成研究
寺山直樹、南雲紳史、宮下正昭、*日本薬学会第１２８年会*、パシフィコ横浜、2008年3月26日。
3) Lepranthinの合成研究
高田久嗣、南雲紳史、宮下正昭、*日本薬学会第１２８年会*、パシフィコ横浜、2008年3月26日。
4) グリシノエクレピンAおよびBの不斉全合成
椎名康裕、遠又慶英、谷野圭持、宮下正昭、*第５０回天然有機化合物討論会*、福岡国際会議場、2008年10月2日。
5) Lepranthinの合成研究

高田久嗣、南雲紳史、宮下正昭、*第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、東洋大学、2008年10月26日。

6) Cortistatin Aの合成研究
小林優太、古川諒一、坂田樹理、南雲紳史、宮下正昭、*第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、東洋大学、2008年10月26日。

7) アザジラクチンのEFG環部の合成研究
逢坂修平、中川大輔、谷野圭持、宮下正昭、*第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、東洋大学、2008年10月26日。

8) ソラノエクレピンAの全合成研究
戸倉引嗣、椎名康裕、谷野圭持、宮下正昭、*第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、東洋大学、2008年10月26日。

9) 高次付加環化反応を基軸とするPolyanthellin Aの全合成研究
上田晃一郎、長谷川将司　　宮下正昭、谷野圭持、宮下正昭、*第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、東洋大学、2008年10月26日。

10) γ,δ-エポキシ-α,β-不飽和エステルの*cis-trans*立体特異的相互変換
吉村文彦、X.-Q. Yu、谷野圭持、宮下正昭、*第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、東洋大学、2008年10月26日。

11) γ,δ-エポキシ-α,β-不飽和エステルの立体特異的アルコキシ置換反応
X.-Q. Yu、吉村文彦、伊藤文人、佐々木実、平井敦谷野圭持、宮下正昭、*第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、東洋大学、2008年10月26日。

12) Cortistatin Aの合成研究
古川諒一、小林優太、坂田樹理、南雲紳史、宮下正昭、*日本薬学会第１２９年会*、国立京都国際会館、2009年3月26日。

13) Cripowellin Aの合成研究
佐々木直里、南雲紳史、宮下正昭、水上徳美
日本薬学会第１２９年会、国立京都国際会館、2009年3月26日。

14) Arenicolide Aの合成研究
畑　響美、中野妙子、山田春樹、南雲紳史、宮下正昭、*日本薬学会第１２９年会*, 国立京都国際会館、2009年3月27日。

15) アセチレンジコバルト錯体を用いた新規タンデム環化反応
田所真介、高田久嗣、南雲紳史、宮下正昭、水上徳美、*日本薬学会第１２９年会*、国立京都国際会館、2009年3月27日。

16) 複素環化合物のイミニウムカチオンによるFriedel-Crafts 反応
今井幹典、岸　伸彦、水上徳美、南雲紳史、*日本薬学会第１２９年会*、国立京都国際会館、2009年3月28日。

17) Cortistatin Aの合成研究
古川諒一、小林優太、坂田樹理、南雲紳史、宮下正昭、*第５７回有機合成化学協会関東支部シンポジウム*、早稲田大学、2009年5月9日。

18) Arenicolide Aの合成研究
山田春樹、畑　響美、中野妙子、南雲紳史、宮下正昭*第５７回有機合成化学協会関東支部シンポジウム*、早稲田大学、2009年5月9日。

19) Cripowellin Aの合成研究
佐々木直里、南雲紳史、宮下正昭、水上徳美
第５７回有機合成化学協会関東支部シンポジウム、早稲田大学、2009年5月9日。

20) Sekothrixide　の合成研究
寺山直樹、田中　肇、南雲紳史、宮下正昭
第５７回有機合成化学協会関東支部シンポジウム、早稲田大学、2009年5月9日。

21) Lepranthin　の合成研究
高田久嗣、南雲紳史、宮下正昭
第５７回有機合成化学協会関東支部シンポジウム、早稲田大学、2009年5月9日。

22) アセチレンジコバルト錯体を用いたMannich型中員環形成反応
田所真介、高沢祥平、南雲紳史、宮下正昭、水上徳美斉藤寛、*第39回複素環化学討論会*、さわやかちば県民プラザ、2009年10月14日。

23) Arenicolide Aの合成研究
中野妙子、畑　響美、南雲紳史、宮下正昭
第53回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会、奈良先端科学技術大学院大学、2009年11月8日。

24) Arenicolide C の合成研究
山田春樹、南雲紳史、宮下正昭
第53回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会、奈良先端科学技術大学院大学、2009年11月8日。

25) Cripowellin Aの合成研究
佐々木直里、南雲紳史、宮下正昭、水上徳美
第53回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会、奈良先端科学技術大学院大学、2009年11月8日。

26) アセチレンジコバルト錯体を用いたMannich型中員環形成反応
田所真介、高沢祥平、南雲紳史、宮下正昭、水上徳美、斉藤　寛、*第53回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会*、奈良先端科学技術大学院大学、2009年11月8日。

招待講演および特別講演

1) カチオンケミストリーを基盤とする種々の新規環化反応
南雲紳史
有機合成化学協会関東支部ミニシンポジウム、招待講演、東邦大学、2009年12月5日。

2) Total Synthesis of the Zoanthamine Alkaloids Norzoanthamine, Zoanthamine, and Zoanthenol.
Masaaki Miyashita, *Special Lecture at Depart ment of Chemsitry, University of Pittsburgh,*
2009年9月22日。

3) Total Synthesis of the Zoanthamine Alkaloids.
Masaki Miyashita, *The Paul A. Grieco Symposium*, Invited Lecture, Montana State University,
2009年9月25, 26日。

4) 有機合成へのこだわり
宮下正昭
東京理科大学記念講演会、特別講演、東京理科大学、2010年3月13日。

次世代 End-to-End QoS 制御のためのネットワーク資源管理方式の研究

工学院大学　工学部情報通信工学科　淺谷耕一，山口実靖

早稲田大学　　早稲田大学大学院国際情報通信研究科　　松本充司

A Network Resource Management Scheme for Next Generation End-to-End QoS Control

Koichi Asatani, Saneyasu Yamaguchi, Department of Information and Communications Engineering

Mitsuji Matsumoto, Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies , Waseda University

ABSTRACT : IP network technology is widely used. However, it does not have strong QoS support. In this work, we propose a QoS guarantee method using dynamic routing tables. We evaluated our proposed method with computer simulations. The results demonstrated that our proposed method can decrease maximum end-to-end hop counts, and end-to-end delay time.

１．　はじめに

IP ネットワークによる情報基盤の充実に伴い，さまざまな通信アプリケーションのプラットフォームとして，インターネットが広く用いられている．今後，インターネットにおいては，音声通信の需要が増加すると予想される．現在 ISP(Internet Service Provider)の管理するネットワークではルーチング・プロトコルとして，AS(Autonomous System)内では RIP(Routing Information Protocol)や OSPF(Open Shortest Path First)，AS 間では BGP(Border Gateway Protocol)などが用いられている[1]．

しかし，これらのルーチング・プロトコルではトラヒックの増減によって音声通信サービスの品質にばらつきが生じ，利用者の要求を満たす品質が保証されるとは限らない．固定電話と同等の品質クラスの音声通信のエンドエンド間の遅延の上限は 150ms とされている[2]．そのため，音声通信など遅延の要求が厳しいリアルタイム通信に対して QoS(Quality of Service)を保証する経路制御手法の実現は IP ネットワークにおける重要な課題の１つである[3]．

音声通信サービスはネットワークの輻輳などの負荷状況によって品質が変化する．ネットワークにおける輻輳は主にルータのバッファで発生し，輻輳による遅延やパケットロスはサービス品質の低下につながる[4]．そのため，ネットワークの混雑の度合いや可用帯域などに応じてルーチングを行うことが考えられている[5]．また，その問題を解決するためのルーチング・プロトコルが多数提案されている．例として，TE(Traffic Engineering)に基づいた QoS 制御が挙げられる[6]．

TE は，トラフィックの性能を向上しネットワーク資源を有効利用することを目的とし，信頼性のあるネットワークの運用を可能にする技術である．TE では MPLS(Multi-Protocol Lavel Switching)などを利用し，トラフィックの経路を明示的に指定することによってネットワークの静的な負荷分散を行うこと，障害発生時にトラフィックを迂回させることによって障害の回復を行うことなどを実現する．

しかし，これらのルーチング・プロトコルでは，経路を選択する際の指標として，ネットワーク管理者が静的に設定したコストを使用している．また，単一の経路表を用いてデータ転送を行うため，エンドエンド間の遅延やジッタ，パケットロスなど制約条件が異なるトラフィックに対して，トラヒックの特性を区別せずルーチングするため，トラヒックごとの品質を制御できないという問題がある．そのため，VoIP(Voice over IP)をはじめとする遅延に厳しい通信を行う際に最適なルーチングを行うことが困難である．

既存のルーチング・プロトコルでは，経路を選択する際の指標として，ネットワークの管理者が静的に設定し

たコストを使用する．１つの経路表によりデータ転送を行うため，リアルタイムトラフィックとそれ以外のトラフィックに対して同様にルーチングを行う問題がある．そのため，トラヒックが増え輻輳が大きくなると VoIP をはじめとするリアルタイム通信を行う際に通信品質を保証することが困難である．

この問題を解決するため，我々はリアルタイム通信のエンドエンド間の遅延を考慮してルーチングを行う手法を提案した[7]．本手法では，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとで通信経路が可能な限り重複しないよう Kruskal のアルゴリズムを用い２つの経路表を作成する．通信経路が重複する箇所ではトラフィックの優先制御を行うことにより非リアルタイムトラフィックを制限し，非リアルタイム通信のトラヒックに影響されるリアルタイム通信の遅延を抑制するものである．この従来手法ではこれらのアルゴリズムにより，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックをそれぞれ別々の経路でルーティングすることにより，負荷を分散し，リアルタイム通信の遅延を低減することが可能である．

しかし，この手法では通信経路を設定する際に，リンクコストとルータ番号を基準に最小全域木の計算を行う．そのため，ネットワークの構成によっては，エンドエンド間のホップ数が多くなる可能性がある．エンドエンド間のホップ数が増加すると，遅延の要因であるルータのバッファを通過する回数が増え，遅延が増加する確率が高くなる．また各リンクで発生する伝送遅延の影響を多く受ける．

本研究では，リアルタイム通信用と非リアルタイム通信用の２つの経路表を作成し，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックをそれぞれ別々の経路でルーティングすることにより，負荷を分散する．そして，リアルタイム通信用経路のエンドエンド間のホップ数を少なくすることでリアルタイム通信の遅延を低減すること目指す．

２．　従来手法

我々は，リアルタイムトラフィックのエンドエンド間の遅延を考慮し，複数の経路表を用いてルーチングを行う手法を提案した[7]．本稿では，本手法を従来手法と呼ぶ．本章では，従来手法の概要とアルゴリズム，問題点について述べる．

２．１　概要

エンドエンド間の遅延を考慮した複数の経路表を用いるルーチング手法は，トラヒックの特性ごとに２種類の経路表を用いてルーチングを行う．従来手法はルート情報の共有，経路表の作成，トラフィックの優先制御で構成される．

(1)ルート情報の共有

まず各ルータは隣接ルータとの間で，隣接ルータまでのリンクやコストの情報といったネットワークの経路情報（ルート情報）を交換し，ネットワーク全体の接続構成を把握する．

(2)経路表の作成

ネットワーク全体の接続構成を把握した後，kuruskal のアルゴリズム[8]と Dijkstra のアルゴリズムを用い，リアルタイム通信用の経路表と非リアルタイム通信用の経路表を作成する．リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとを異なる経路表によってルーチングする．通信を行う際，トラフィックごとに使用する経路表を選択する．リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックの通信経路を分けることにより，リアルタイム通信の遅延を低減する．

(3)トラヒックの優先制御

リアルタイム通信用経路と非リアルタイム通信用経路を比較すると，通信経路の重複する箇所がある場合がある．通信経路の重複する箇所ではトラヒック多くなることで輻輳が発生し，リアルタイム通信の遅延が増加する可能性がある．そこで通信の重複する箇所ではトラヒックの優先制御を行い，非リアルタイム通信のトラヒックを抑え，輻輳を抑える．

２．２　ルート情報の共有

各ルータは隣接ルータとの間で，ネットワークの経路情報を交換し，ネットワーク全体の接続構成を把握する．まず，起動直後のルータにはダイレクト経路だけが経路表に登録されている．各ルータは，自身の経路情報を格納した Hello パケット内を一定時間ごとに隣接ルータに送信する．隣接ルータから Hello パケットを受信したルータは，Hello パケット内の経路情報を経路表に反映させる．隣接ルータへの Hello パケットの送信は，一定時間ごとに行う．これを繰り返すことにより経路表を完成させる．ネットワーク全体の接続構成を各ルータが把握した後，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとを異なる経路表を作成する．

ルート情報の共有を行う過程を図 2-1 に示す．また，ルート情報の共有アルゴリズムを図 2-2 に示す．ルータ A, B, C の NIC(Network Interface Card)A1, A2, B1, B2, C1, C2 にそれぞれ経路 1, 2, 3, 4 が接続されている．各ルータは隣接ルータと情報をやり取りし自分が持っていない経路の情報を追加していく．

２．３　経路表の作成

エンドエンド間の遅延を考慮した複数の経路表を用いるルーチング手法では，通信を行う際，各トラフィックの優先度に応じて，使用する経路表の切り替えを行う．本手法では，リアルタイムトラフィックと非リアルタイ

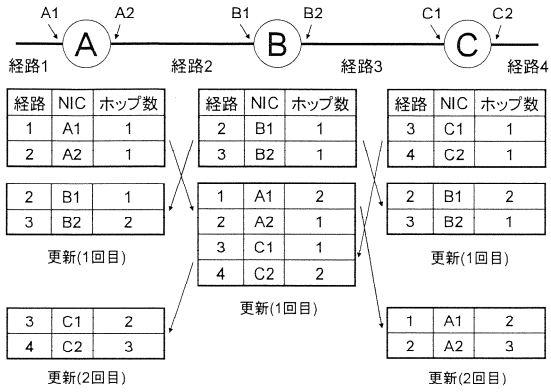


図 2-1　Hello パケットの交換によるルート情報の共有

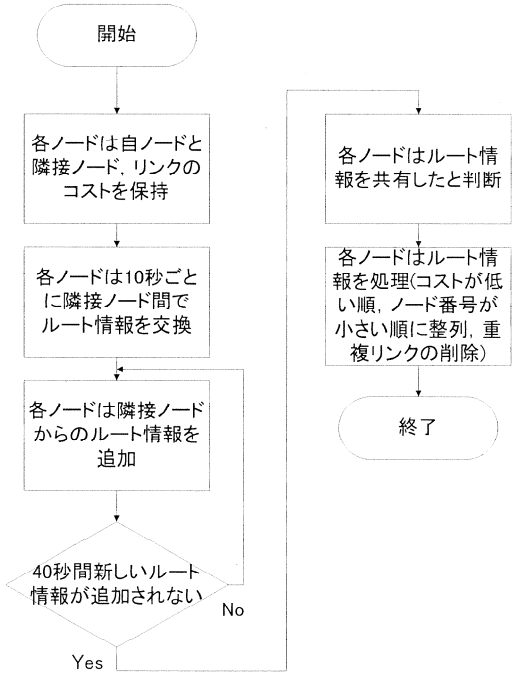
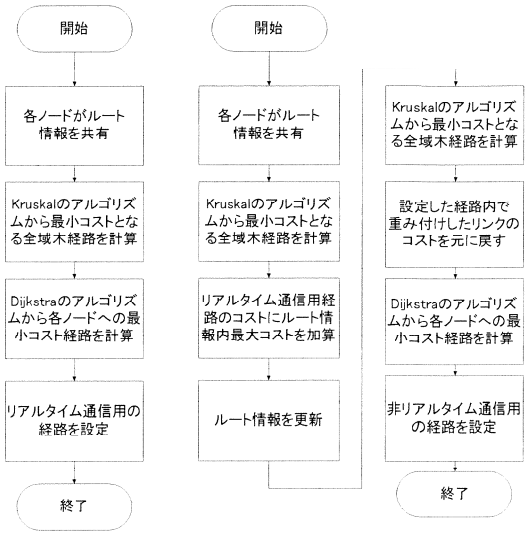


図 2-2　ルート情報の共有

ムトラフィックとで通信経路が可能な限り重複しないよう，2 つの経路表を作成する．リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックの通信経路を分けることにより，リアルタイム通信の遅延を低減する．経路表を作成する過程で Kruskal のアルゴリズム[8]を用いる．Kruskal のアルゴリズムは，コスト最小の全域木を求めるアルゴリズムである．

ルータ間でのルート情報の交換によってネットワーク全体の接続構成を各ルータが把握した後，Kruskal のアルゴリズムに基づき，まず，リアルタイム通信用の経路を設定する．次に，リアルタイム通信用の経路に設定されたリンク以外のリンクを用い，Kruskal のアルゴリズムに基づき非リアルタイム通信用の経路を設定する．

経路表を作成するアルゴリズムを図 2-3 に示す．



(a)リアルタイム通信用の経路　　(b)非リアルタイム通信用の経路表

図 2-3　経路表の作成アルゴリズム

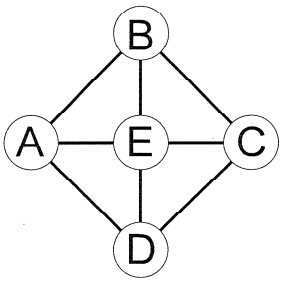
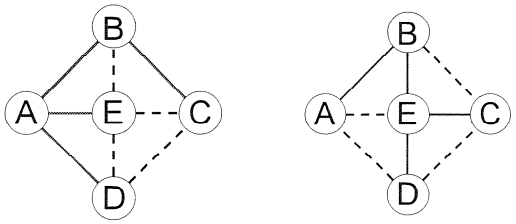


図 2-4　ネットワーク例



(a)リアルタイム通信用経路　　(b)非リアルタイム通信用経路

図 2-5　経路表作成アルゴリズムによって作成される経路表のルート接続図

図 2-3 において，Kruskal のアルゴリズムは，コスト最小の全域木を求めるアルゴリズムである．また，Dijkstra のアルゴリズムは，始点となるルータから，他のルータまでの最小コスト経路を求めるアルゴリズムである．

また，リアルタイム通信用経路に設定されたリンクのコストにルート情報内の最大コストを加えるのは，リア

ルタイム通信用経路に設定されたリンクが非リアルタイム通信用経路に極力設定されないようにするためである．

経路表の作成アルゴリズムにより，リアルタイム通信用の経路と非リアルタイム通信用の経路が可能な限り重複しないよう，2つの経路を作成することが可能である．経路表作成後は，OSPFと同様，コストが最小となる経路を使用して通信を行う．

経路表作成アルゴリズムによって作成される各通信用の経路を，5つのルータにより構成されたネットワークモデルを用いて説明する．ネットワークモデルを図 2-4 に示す．図 2-4 において，各リンクのコストは全て同じとする．図 2-3 の経路表作成アルゴリズムによって作成される経路表のルート接続図を，図 2-5 に示す．

２．４　優先制御

エンドエンド間の遅延を考慮した複数の経路表によるルーチング手法においてリアルタイム通信用の経路と非リアルタイム通信用の経路は可能な限り重複しないよう作成する．しかし，作成したリアルタイム通信用経路の経路表と非リアルタイム通信用経路の経路表を比較すると，通信を行うリンクが重複する箇所が存在する可能性がある．リアルタイム通信用の経路と非リアルタイム通信用の経路は，ルータ数に対してネットワークに存在する総リンク数が少ないときに重複する可能性が高い．図 2-5(a),(b)を比較すると，ルータ A-B 間において通信経路が重複する．通信経路が重複する箇所に対して，リアルタイムトラフィックのパフォーマンスを保つことが望まれる．そのため，トラフィックの優先制御を行うことにより非リアルタイムトラフィックを制限し，リアルタイムトラフィックのパフォーマンスを保つ．

トラフィックの優先制御を行う方法として，アドミッションコントロール，IntServ (Integrated Service)，DiffServ (Differentiated Service)などの方法が考えられる．

インターネットにおいて音声通信の同時接続数には制限はないが，その数が多くなると，遅延などにより品質が劣化する可能性がある．そこで，インターネットにおいて音声通信の同時接続数に閾値を設けて制限をかける方法が，アドミッションコントロールである．

IntServ は帯域と最大遅延の保証を行い，遅延を一定値に抑制するためにトラフィックの流量を制御するものである．

DiffServ は IP ネットワークにおいて IntServ のように通信フローごとに QoS 保証(通信品質保証)を行うのではなく，複数のフローをまとめて数種類程度のクラスを作成する．そして，クラスごとに決まった QoS 保証法の組み合わせを適用する[9]．ネットワークが輻輳すると，全ての種類のトラフィックに対して平等に QoS を保証することが困難となる．DiffServ ではトラフィックをいくつかのクラスに分け，それらを優先度付けするなど，差をつけて制御を行う．また，Web，音声，画像など，メディアの種類ごとに異なるクラスを割り当てることも可能である[10]．しかし，エンドエンド間の遅延を考慮した複数の経路表によるルーチング手法では，作成された2つの経路表において通信経路が重複する箇所に対してのみトラフィックの優先制御を行うため，アドミッションコントロールや IntServ，DiffServ などの優先制御の方法をそのまま適用することは困難である．

通信経路が重複する箇所においては，パケットがバッファの閾値を超えた際に非リアルタイムトラフィックのパケットを廃棄する方法が考えられる．また，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックに対して，それぞれのパケットを同じ確率で廃棄する方法や，廃棄確率を変える方法が考えられる．また，リアルタイムトラフィックによる負荷が大きくなった際は，アドミッションコントロールのように，リアルタイムトラフィックを制限する必要があると考えられる．

２．５　問題点

エンドエンド間の遅延を考慮した複数の経路表を用いるルーチング手法では，リアルタイム通信用の経路と非リアルタイム通信用の経路をあらかじめ分けることによって，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとの混在を防ぐ．これにより，リアルタイム通信における遅延の低減が可能である．

しかし，経路表の作成アルゴリズムで用いている Kruskal のアルゴリズムはコスト最小の全域木を求めるアルゴリズムであるため，リアルタイム通信用経路にも非リアルタイム通信用経路にも設定されないリンクが存在する可能性がある．未使用のリンクが存在することは，ネットワークの資源を有効に利用できていないことを示す．また，経路がツリー状に構築されるため，設定されたツリーによっては各通信用経路の直径(ルータ間のホップ数の最大値)や平均最短距離(ルータ間のホップ数の平均値)が大きくなり，遅延が発生しやすくなると考えられる．

また，経路表の作成アルゴリズムでは，リンクのコストが同じ場合は接続されているルータの番号順にソートしている．そのため，番号の小さいルータと接続されているリンクは通信経路として設定されやすく，逆に番号の大きいルータと接続されているリンクは通信経路として設定されにくい．これにより，ルータの番号によって各通信用経路におけるルータごとの次数(ルータが持つリンクの本数)には大きな差が生じる．そのため，ネットワーク構成によって構築される通信経路の直径や平均最短距離にばらつきが生じる可能性がある．そこでネットワーク構成によらず，通信経路の直径や平均最短距離を小さくするために，ルータの番号のような静的な指標ではなく，ネットワーク構成により動的に変化する指標が必要であると考えられる．

３．　ノード中心性とエンドエンド間遅延を考慮した複数経路表によるルーチング手法

本章では，従来手法の経路表作成アルゴリズムを改良することにより，エンドエンド間のホップ数を少なくすることで，エンドエンド間の遅延を小さくする手法を提案する．

３．１　概要

ノード中心性とエンドエンド間遅延を考慮した複数経路表によるルーチング手法は，従来手法と同様，ルーチング方法，経路表の作成，優先制御から構成される．提案手法では従来手法の経路表作成アルゴリズムに加え，各通信用経路に設定する際にノードの中心性を指標とした経路計算を行う．中心性の高いルータが多くの通信を媒介することでリアルタイム通信用経路のエンドエンド間のホップ数を少なくすること目的とする．またこれらにより，リアルタイム通信のエンドエンド間の遅延を低減し，スループットを向上させることを目的とする．

(1)ルート情報の共有

まず各ルータは隣接ルータとの間で，隣接ルータまでのリンクやコストの情報といったネットワークの経路情報（ルート情報）を交換し，ネットワーク全体の接続構成を把握する．

(2)経路表の作成

ネットワーク全体の接続構成を把握した後，各ノードの媒介中心性を計算する．各ノードの媒介中心性を指標とし kuruskal のアルゴリズム[8]と Dijkstra のアルゴリズムを用い，リアルタイム通信用の経路表と非リアルタイム通信用の経路表を作成する．リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとを異なる経路表によってルーチングする．通信を行う際，トラフィックごとに使用する経路表を選択する．リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックの通信経路を分けることにより，リアルタイム通信の遅延を低減する．また媒介中心性を指標とすることでエンドエンド間のホップ数を小さくし遅延を小さくする．

(3)トラヒックの優先制御

リアルタイム通信用経路と非リアルタイム通信用経路を比較すると，通信経路の重複する箇所がある場合がある．通信経路の重複する箇所ではトラヒック多くなることで輻輳が発生し，リアルタイム通信の遅延が増加する可能性がある．そこで通信の重複する箇所ではトラヒックの優先制御を行い，非リアルタイム通信のトラヒックを抑え，輻輳を抑える．

３．２　ルート情報の共有

ルート情報の共有は 2.1.1 で示した従来手法と同様である．

各ルータは隣接ルータとの間で，ネットワークの経路情報を交換し，ネットワーク全体の接続構成を把握する．まず，起動直後のルータにはダイレクト経路だけが経路表に登録されている．各ルータは，自身の経路情報を格納した Hello パケット内を一定時間ごとに隣接ルータに送信する．隣接ルータから Hello パケットを受信したルータは，Hello パケット内の経路情報を経路表に反映させる．隣接ルータへの Hello パケットの送信は，一定時間ごとに行う．これを繰り返すことにより経路表を完成させる．ネットワーク全体の接続構成を各ルータが把握した後，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとを異なる経路表を作成する．

３．３　ノードの中心性を指標とした経路計算

提案手法では通信経路を計算する際，ルータ番号のようにネットワーク構成に依存する静的な指標とネットワーク構成によらない動的な指標を用い，構築される経路の直径や平均最短距離がなるべく小さくなるようする．そこで提案手法は各ルータの中心性を指標とし，各通信用経路を設定する際にその指標に基づいて経路を計算する．

中心性とは各ノードがネットワークの中でどの程度中心的であり，どの程度末端な存在なのかを測定するための指標である．中心性の概念が最初に用いられたのは，Bavelas によってであり[12]，それ以来，多くの中心性の指標が提案されてきた．しかし，どのような視点から中心的なノードを捉えるかによって，さまざまな指標が存在する[13]．現在では，Freeman によってまとめられた，以下の３つの中心性が一般的に用いられる[14],[15]．

・次数中心性(Degree)

各ノードが持つリンクの数．ネットワーク内のノードとどの程度直接繋がっているのかを示す指標である．ネットワークの規模(ネットワークに存在するノードの数)に依存しない指標を求めるためには，正規化する必要があり，次数に関するノード i の中心性 C_i^D は式(3-1)で表せる．k_i はノード i を一端とするリンクの数，N はネットワークに存在するノード数である．

$$C_i^D = \frac{k_i}{N-1} \tag{3-1}$$

・近接中心性(Closeness)

あるノードから他の全てのノードに到達する最短ホップ数の平均である．ネットワーク内でのコミュニケーションの効率を示す指標である．近接性に関するノード i の中心性 C_i^C は式(3-2)で表せる．L_i は任意のノード j からノード i への最短経路のホップ数 d_{ij} の平均値である．L_i の値の範囲は $1 \leqq L_i \leqq N$ であり，ネットワークの規模

に応じて増加するため，C^C は L の逆数をもって正規化する．

$$C_i^C = (L_i)^{-1} = \frac{N-1}{\sum_{j\in\{1,\ldots,N\}} d_{ij}} \qquad (3\text{-}2)$$

・媒介中心性(Betweenness)

ノードペアの最短経路に寄与する程度[16]．情報伝達におけるフローのコントロールの可能性を示す指標．なお，次数の大きなノードほど媒介中心性が大きくなる傾向にある[17]．媒介中心性に関するノード i の中心性 C_i^B は式(3-3)で表せる．ただし $path_{jk}$ はノード j,k 間の最短経路の数，$path_{jk}(i)$ は $path_{jk}$ の経路にノード i が含まれている最短経路の数であり，ノード i 以外の 2 つのノードの最短経路上にノード i が存在する割合を求めている．

また媒介中心性における最短経路とはエンドエンドの合計コストが最小である，最小コスト経路と置き換えることが出来る．

$$C_i^B = \frac{\sum_{j<k\in\{1,\ldots,N\}-\{i\}} path_{jk}(i)/path_{jk}}{(N-1)(N-2)} \qquad (3\text{-}3)$$

提案手法では，ノードの中心性を求める式より，ネットワークに存在する各ルータについて中心性を求め，それを指標としてリアルタイム通信用経路と非リアルタイム通信用経路を計算する．リアルタイム通信用の経路に関して，エンドエンド間のポップ数が少なく，またコストが小さい経路を設定することを目的とする．

提案手法ではリアルタイム通信用の経路はツリー上に構築される．これはリアルタイム通信に割り当てるリソースを必要最小限確保し，非リアルタイム通信に割り当てるリソースを多く確保するためである．これはリアルタイム通信が非リアルタイム通信に比べ流れるトラヒックの量は小さいと考えられるからである．

ここであるネットワークでツリー状に経路を構築した際の平均最小距離と直径の関係を考察する．

ルータ 4 個リンク 5 本で構成されたネットワークからツリー状に通信経路を設定した．図 3-1(a)に直径が小さくなる例を，図 3-1(b)に直径が大きくなる例を示す．

このネットワークにおいて起こりうる通信の組み合わせは A-B，A-C，A-D，B-A，B-C，B-D，D-A，D-B，D-C，の 9 通りである．図 3-1(a)の経路では直径は 2 であり，平均最小距離は約 1.4 となる，図 3-1(b) の経路では直径は 3，平均最小距離は 2 となる．このとこからツリー状に構築される経路は直径が小さくなれば，各通信のエンドエンド間のホップ数も小さくなることがわかる．

ここでルータ 4 個リンク 5 本で構成されたネットワークについて，ルータ A，D は次数が 2 である，ルータ B，C は次数が 3 である．つまりルータ B，C は他のルータに比べ次数中心性が高い．また近接中心性，媒介中心性の観点から見ても，ルータ B，C は中心性の高いルータである．図 3-1 を見ると中心性の高いルータから多くの枝が出ているツリーは直径や平均最小距離が小さくなることがわかる．

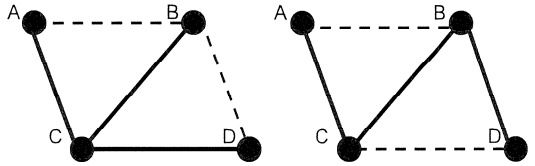
このことから，リアルタイム通信用の経路を構築する際，各ルータの中心性を指標に経路を計算することで各通信のエンドエンド間のホップ数を少なくすることが出来ると考えられる．

エンドエンドのホップ数のみに着目すると，次数中心性，近接中心性，媒介中心性のそれぞれが有効であると考えられる．しかし，ルータ間を接続するリンクの伝送品質は全て同じではない場合が多い．OSPF などはリンクに設定されたコストを下に，最短距離で通信するのではなく最小コスト経路で通信を行う．そこで，提案手法でノードの中心性を求める際にはエンドエンドのホップ数だけでなく，各リンクのコストを考慮することが望ましいと考えられる．

ここで次数によりルータの中心性を求める方法であるが，式(3-1)より，求められるルータの中心性はネットワーク内のノード数とリンク数のみによって求められるため，リンクコストを考慮することが困難である．

近接性によりルータの中心性を求める方法では，式(3-2)より最短経路のホップ数を指標として中心性を計算する．そのため，リンクコストを考慮することが困難である．

媒介中心性では式(3-3)より，ある 2 つのノード間の最短経路を指標として中心性を計算するため，多くの通信を媒介するノードの媒介中心性が高くなるという特性がある．媒介中心性において最短経路は最小コスト経路と置き換えることができる為，媒介中心性はリンクコストを考慮することが可能である．



(a)直径が小さくなる例　　(b)直径が大きくなる例

図 3-1　ツリー状に設定した経路

３．４　経路表の作成

ノード中心性とエンドエンド間遅延を考慮した複数経路表によるルーチング手法では，従来手法と同様に通信を行う際，各トラフィックの優先度に応じて，使用する経路表の切り替えを行う．本手法では，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとで通信経路が可能な限り重複しないよう，2 つの経路表を作成する．リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックの通信経路を分けることにより，リアルタイム通信の遅延を低減する．各ルータの媒介中心性を求め，各ルータの媒介中心性を指標としてエンドエンド間のホップ数，コスト値が小さくなるよう Kruskal のアルゴリズムを用いリアルタイム通信用経路を計算することで遅延時間

を少なくする．

提案手法では，ルータ間でのルート情報の交換によってネットワーク全体の接続構成を各ルータが把握した後，各ルータの媒介中心性を求める．各ルータの媒介中心性を元にKruskalのアルゴリズムより，リアルタイム通信用の経路を設定する．次に，リアルタイム通信用の経路に設定されたリンク以外のリンクを用い，Kruskalのアルゴリズムに基づき非リアルタイム通信用の経路を設定する．ここでどちらの経路にも設定されない未使用リンクがある場合は未使用リンクを非リアルタイム通信用の経路に設定する．

提案手法で用いた媒介中心性 BC(x)は式(3-4) を用いて表される．ここで$\sigma_{s,t}$は 2 つのノード(s,t)間の最小コスト経路の総数であり，$\sigma(x)_{s,t}$は$\sigma_{s,t}$ の中でノード x を通る最小コスト経路の数である．また提案手法で経路表を作成するアルゴリズムを図 3-2 に示す．

$$BC(x)=\sum_{s,t}\frac{\sigma(x)_{s,t}}{\sigma_{s,t}} \tag{3-4}$$

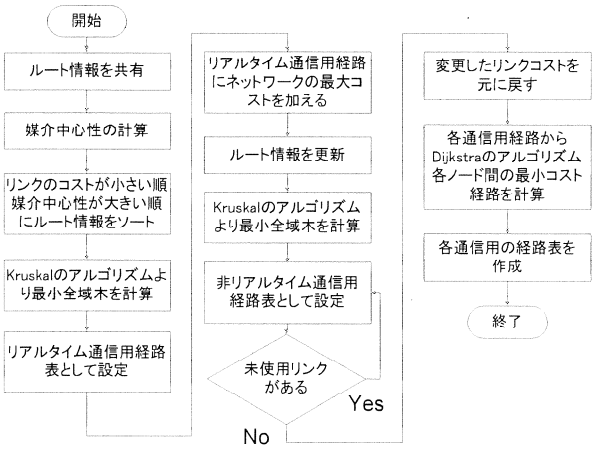


図 3-2　経路表の作成アルゴリズム

媒介中心性が大きい順にルート情報をソートすることで中心性の高いルータを優先的にツリーに取り込み，多くの通信を媒介させるように経路を構築することが可能である．

また，リアルタイム通信用経路に設定されたリンクのコストにルート情報内の最大コストを加えるのは，リアルタイム通信用経路に設定されたリンクが非リアルタイム通信用経路に極力設定されないようにするためである．またどちらの経路にも設定されていない未使用リンクを非リアルタイム通信用経路に設定する．

経路表の作成アルゴリズムにより，リアルタイム通信用の経路と非リアルタイム通信用の経路が可能な限り重複しないよう，2 つの経路を作成することが可能である．経路表作成後は，OSPF と同様，コストが最小となる経路を使用して通信を行う．

経路表作成アルゴリズムによって作成される各通信用の経路を，5 つのルータにより構成されたネットワークモデルを用いて説明する．ネットワークモデルを図 3-3 に示す．図 3-3 において，各リンクのコストは全て同じとする．図 3-2 の経路表作成アルゴリズムによって作成される経路表のルート接続図を，図 3-4 に示す．

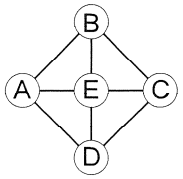
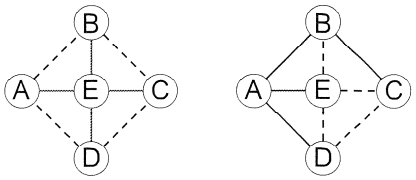


図 3-3　ネットワーク例



(a)リアルタイム通信用経路　　(b)非リアルタイム通信用経路

図 3-4　経路表作成アルゴリズムによって作成される経路表のルート接続図

図 3-4 を見ると，リアルタイム通信用経路は図 2-5 で示した従来手法により構築されたリアルタイム通信用経路と比較して経路の直径が小さくなっていることがわかる．この例では提案手法によりエンドエンドの直径や平均最短距離が小さくなることがわかる．

３．５　優先制御

提案手法ではリアルタイム通信用の経路と非リアルタイム通信用の経路は可能な限り重複しないよう作成する．しかし，作成したリアルタイム通信用経路の経路表と非リアルタイム通信用経路の経路表を比較すると，通信を行うリンクが重複する箇所が存在する可能性がある．リアルタイム通信用の経路と非リアルタイム通信用の経路は，ルータ数に対してネットワークに存在する総リンク数が少ないときに重複する可能性が高い．図 3-4(a),(b)を比較すると，ルータ A-E 間において通信経路が重複する．通信経路が重複する箇所に対して，リアルタイムトラフィックのパフォーマンスを保つことが望まれる．そのため，トラフィックの優先制御を行うことにより非リアルタイムトラフィックを制限し，リアルタイムトラフィックのパフォーマンスを保つ．

トラフィックの優先制御を行う方法として，アドミッションコントロール，IntServ (Integrated Service)，DiffServ (Differentiated Service)などの方法が考えられる．

エンドエンド間の遅延を考慮した複数の経路表によるルーチング手法では，作成された 2 つの経路表において通信経路が重複する箇所に対してのみトラフィックの優先制御を行うため，アドミッションコントロールや IntServ，DiffServ などの優先制御の方法をそのまま適

用することは困難である．

通信経路が重複する箇所においては，パケットがバッファの閾値を超えた際に非リアルタイムトラフィックのパケットを廃棄する方法が考えられる．また，リアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックに対して，それぞれのパケットを同じ確率で廃棄する方法や，廃棄確率を変える方法が考えられる．

また，リアルタイムトラフィックによる負荷が大きくなった際は，アドミッションコントロールのように，リアルタイムトラフィックを制限する必要があると考えられる．

４．　評価

本章では，提案手法の有効性を検証する為にエンドエンド間の最大ホップ数，エンドエンド間の最大遅延，ネットワークのスループットの観点から従来手法と提案手法，OSPF を比較し評価を行う．

４．１　シミュレーションモデル

シミュレーションモデルはランダムモデル[18]と BA モデル[19]，二次元格子を用いた．それぞれノード数を 50 から 500 までの 50 きざみとし，ランダムモデルのリンク数はノード数の 5 倍，BA モデルのリンク数はノード数の４から５倍程度とした．リンク帯域を 10Mbps，各出力インターフェースのキュー長は 32 とした．遅延算出に当たり，リンク伝送遅延を 1[ms]，パケット処理遅延を 1.2[ms]とした．

４．２　評価結果

４．２．１　エンドエンド間の最大ホップ数

従来手法と提案手法において，リアルタイム通信用の経路のエンドエンド間の最大ホップ数を評価した．また，エンドエンド間の最大ホップ数の理論上の最小値を OSPF を用いて算出したものを同時に示す．BA モデル，ランダムモデル，二次元三角格子を用いシミュレーションを行った．シミュレーション結果を図 4-1 から図 4-3 に示す．図 4-6 から図 4-8 において，縦軸はリアルタイム通信用経路におけるエンドエンド間の最大ホップ数である．また横軸をノード数とした．エンドエンド間の最大ホップ数は OSPF で示した最小値に近づくことが望ましい．エンドエンド間のホップ数が小さくなれば，それだけ遅延が小さくなる可能性は大きくなる．

各プロットは 100 のシミュレーションにおける 95%値(シミュレーションにおける最大値，最小値からそれぞれ合計 5%のデータを除いたもの)の平均値を表し，プロットから延びる線の上端と下端はそれぞれ標準偏差を表す．

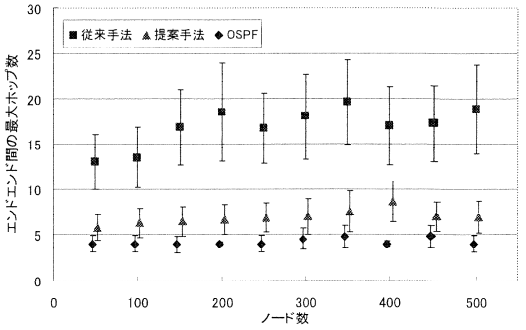


図 4-1　エンドエンド間の最大ホップ数（BA モデル）

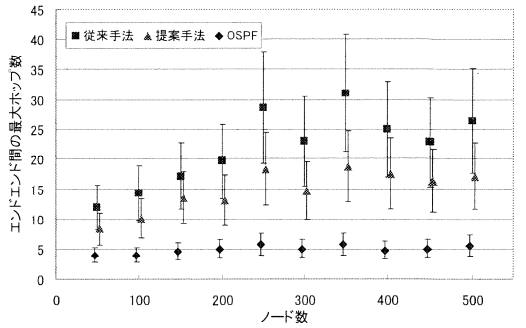


図 4-2　エンドエンド間の最大ホップ数
（ランダムモデル）

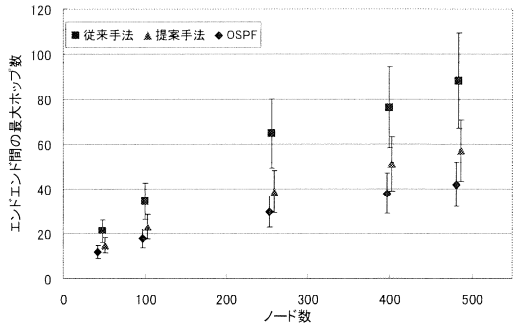


図 4-3　エンドエンド間の最大ホップ数
（三角格子モデル）

シミュレーションの結果，BA モデルについては，エンドエンド間のホップ数が最短経路に近い値になり，ホップ数が小さくなることがわかる．またランダムモデルや三角格子モデルではネットワークの規模が大きくなるにつれ，エンドエンド間のホップ数が増えることがわかる．

４．２．２　エンドエンド間の最大遅延時間

従来手法と提案手法において，リアルタイム通信用の経路のエンドエンド間の最大遅延時間を評価した．また，OSPF を用いて算出したものを同時に示す．BA モデル，ランダムモデル，二次元三角格子を用い，背景負荷率を変化させてシミュレーションを行った．リアルタイム通

信は UDP トラヒックを用い，非リアルタイム通信は TCP トラヒックを用いそれぞれの通信の比率は 1 対 9 程度を想定した．リンク帯域を 10Mbps，各出力インターフェースのキュー長は 32 とした．遅延算出ではリンク伝送遅延を 1[ms]，パケット処理遅延を 1.2[ms]とした．ネットワークの平均負荷率は 0.5 とした．シミュレーション結果を図 4-4 から図 4-6 に示す．図において，縦軸はリアルタイム通信用経路におけるエンドエンド間の最大遅延時間である．また横軸をノード数とした．エンドエンド間の最大遅延時間が小さいほど効率的なルーチングを行っていることを示す．各プロットは 100 のシミュレーションにおける 95%値の平均値を表し，プロットから延びる線の上端と下端はそれぞれ標準偏差を表す．

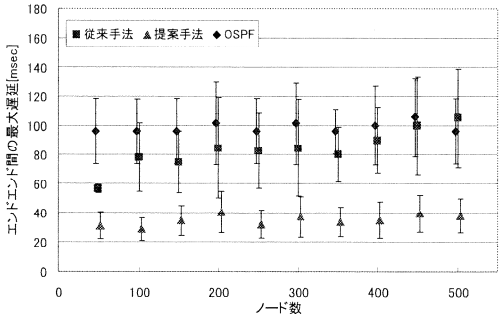


図 4-4　　エンドエンド間の遅延時間（BA モデル）

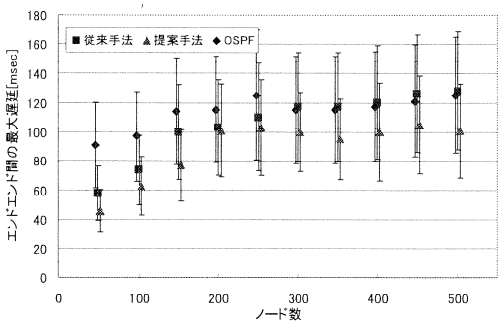


図 4-5　エンドエンド間の遅延時間（ランダムモデル）

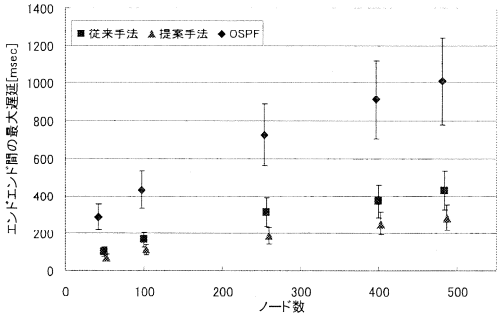


図 4-6　エンドエンド間の遅延時間（三角格子モデル）

シミュレーション結果より，提案手法は BA モデル，ランダムモデル，三角格子モデルにおいて負荷やネットワークの規模によらず OSPF に比べリアルタイム通信のエンドエンド間の遅延が小さくなる可能性があることを示した．

BA モデルでは負荷率が変わってもネットワークの規模による遅延の変化は小さいことがわかる．ランダムモデル，三角格子モデルではネットワークの規模が大きくなるとリアルタイム通信のエンドエンド間の遅延は大きくなることがわかる．

また提案手法は負荷が高くなるにつれ効果が大きくなることがわかる．

４．２．３　ネットワークのスループット

従来手法と提案手法において，ネットワークの１エンドエンド間あたりのスループットを評価した．また，OSPF を用いて算出したものを同時に示す．ランダムモデル，BA モデル，二次元三角格子を用い，背景負荷率を変化させてシミュレーションを行った．リアルタイム通信は UDP トラヒックを用い，非リアルタイム通信は TCP トラヒックを用いそれぞれの通信の比率は 1 対 9 程度を想定した．リンク帯域を 10Mbps，各出力インターフェースのキュー長は 32 とした．遅延算出に当たり，リンク伝送遅延を 1[ms]，パケット処理遅延を 1.2[ms]とした．ネットワークの平均負荷率は 0.5 とした．

シミュレーション結果を図 4-7 から図 4-9 に示す．図において，縦軸はネットワークのスループット．また横軸をノード数とした．ネットワークのスループットが 100%より大きいほど効率的なルーチングを行っていることを示す．

各プロットはネットワーク上の遠隔地における１エンドエンド間あたりスループットであり 100 のシミュレーションにおける 95%値の平均値を表し，プロットから延びる線の上端と下端はそれぞれ標準偏差を表す．

また，各ルーティング方式によりネットワークの使用効率がどの程度になるかシミュレーションを行った結果を図 4-10 から図 4-12 に示す．

TCP の理論スループットは端末の Windowサイズおよび往復遅延時間(RTT : Round Trip Time)に依存する．シミュレーションで用いた TCP スループットの算出式を式 4-1 に示す[20].

$$T < \frac{(1.5\sqrt{\frac{2}{3}}) * B}{R * \sqrt{p}} \qquad (4\text{-}1)$$

ここで T はトラヒック量を表しており単位は[byte/sec]である．B はパケットサイズ p はパケットロス率，R は RTT を表している．単位を[bps]にした式を式 4-2 に示す．

$$T < \frac{(1.5\sqrt{\frac{2}{3}}) * B * 8}{R * \sqrt{p}} \qquad (4\text{-}2)$$

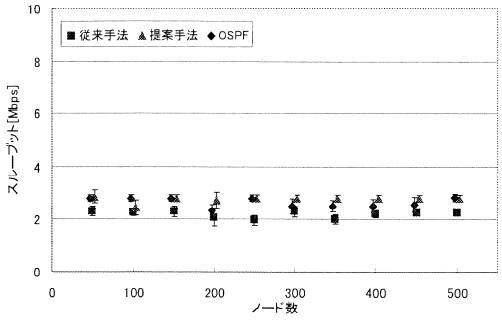


図 4-7　エンドエンド間スループット（BA モデル）

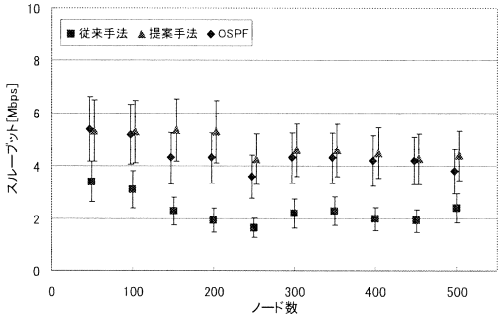


図 4-8　エンドエンド間スループット（ランダムモデル）

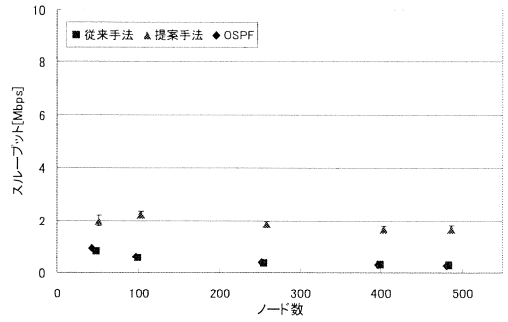


図 4-9　エンドエンド間スループット（三角格子モデル）

シミュレーション結果より，各モデルについて，従来手法に比べ高いスループットを得ることができた．また三角格子モデルではネットワークの規模が大きくなるとスループットが大きくなることがわかった．また提案手法では負荷率が変化してもスループットは一定の値を推移することがわかった．

BA モデルやランダムモデルに比べ三角格子モデルではノード数 500 のとき OSPF に比べ 6 倍程度のスループットになることがわかった．

また以下に OSPF，従来手法，提案手法のそれぞれのルーティング方式よりルーティングを行った場合のネットワーク使用効率についてのシミュレーション結果を示す．

横軸はネットワークの規模を現しており，ノード数が増えるほどネットワークが大きくなる．縦軸はネットワーク内の通信経路のスループットである．

シミュレーションで用いたネットワークモデルは，BA モデル，ランダムモデル，三角格子モデルである．図より，提案手法のネットワーク使用率が最も高く提案手法が有効であることが分かる．

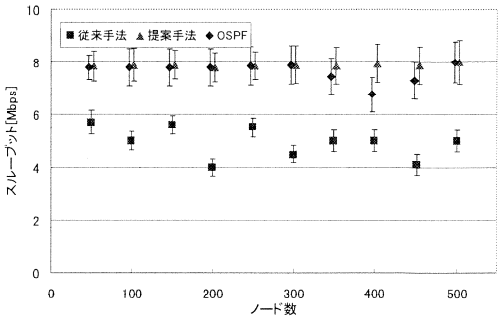


図 4-10　エンドエンド間スループット（BA モデル）

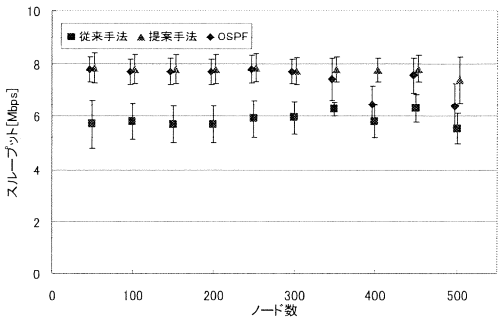


図 4-11　エンドエンド間スループット(ランダムモデル)

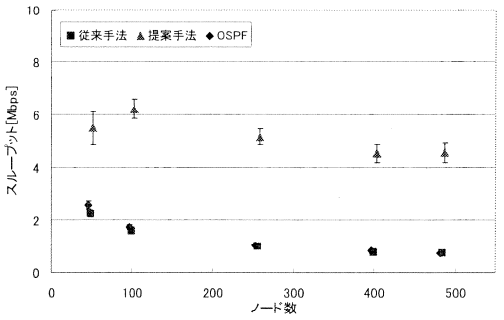


図 4-12　エンドエンド間スループット(三角格子モデル)

５．　まとめ

既存のネットワークを管理するルーチング･プロトコルは VoIP などのリアルタイム通信を行う際にリアルタイムトラフィックと非リアルタイムトラフィックとが混在し，リアルタイム通信の遅延を抑制することが困難である．リアルタイム通信の遅延を抑制するため，我々はエンドエンド間の遅延を考慮した複数の経路表を用いるルーチング手法を提案した．

しかし，従来手法では，通信経路を設定する際に，リンクコストとルータ番号を基準に最小全域木の計算を行うため，ネットワークの構成によっては，エンドエンド間のホップ数が多くなる可能性があるという問題点があった．

これらの問題点を解決するため，従来手法の経路表作成アルゴリズムを改良し，各ルータの中心性を指標とし，各通信用経路を設定する際にその指標に基づいて経路を計算することでエンドエンド間のホップ数を少なくする手法を提案した．

シミュレーションの結果，提案方式は従来手法と比較してエンドエンド間のホップ数を少なくすることがわかった．また，今回行った遅延評価例，スループットの評価例より，提案方式は従来手法やOSPFと比較してリアルタイム通信のエンドエンド間の遅延を低減し，ネットワークのスループットを向上させることがわかった．以上より，提案方式の有効性を確認した．

今後の課題として，リアルタイム通信と非リアルタイム通信の比率を変えてシミュレーションを行う必要があると考えられる．リアルタイム通信が非常に多く行われると，トラヒックが増加し，遅延の原因となる．本研究ではリアルタイム通信用の経路に割り当てるリソースが最小限の値であり，未使用リンク全てを非リアルタイム通信用の経路に割り当てている．今後は未使用リンクをそれぞれの経路に割り当てるとき，その比率を変えて評価を行う必要があると考えられる．

参考文献

（１）竹下隆史，村山公保，荒井透，苅田幸雄，“マスタリングTCP/IP入門編，”オーム社，Feb. 2007.

（２）ITU-T Recommendation G.114, ”One-way transmission time,” 2005.

（３）佐藤秀章，石井啓之，“常時遅延測定による経路選択システムの評価，”電子情報通信学会，信学技報，IN2006-118, pp. 25-30, Dec. 2006.

（４）柏崎礼生，高井昌彰，“遅延時間の情報を利用した自律的な負荷分散を実現する経路制御手法，”電子情報通信学会，信学技報，NS2006-69, pp. 101-104, Jul. 2006.

（５）D. Awduche, et al, “Overview and principles of internet traffic engineering,” RFC3272, May 2002.

（６）山田仁，岡村亜紀子，中後明，“遅延を考慮したQoSルーチング方式の検討，”電子情報通信学会，信学技報，IN2003-262, Mar. 2004.

（７）小笠航，川人直樹，杉崎義雄，山口実靖，淺谷耕一，“複数経路表によるエンドエンド間の遅延を考慮したルーチング手法の提案，”電子情報通信学会，東京支部学生会，B-7, Mar. 2008.

（８）J. B. Kruskal, ”On the shortest spanning tree of a graph and the traveling salesman problem,” Proceedings of the American Mathematical Society, 7 (1956), 48-50.

（９）R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, ”Integrated Services in the Internet Architecture an Overview,” RFC1633, Jun. 1994.

（１０）K. Nichols, S. Blake, F. Baker and D. Black, “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers,” RFC2474, Dec. 1998.

（１１）Agna, http://www.geocities.com/imbenta/aguna/

（１２）Latora, V. and Marchiori, M., “A measure of centrality based on the network efficiency,” condmat, 2004.

（１３）松尾豊，篠田孝祐，中島秀之，“中心性に着目した合理エージェントのネットワーク形成，”人工知能学会論文誌，21巻1号N, pp. 122-132, 2006

（１４）L. C. Freeman, “Centrality in social networks：Conptual clarification,” Social Networks, Vol. 1, pp. 215-239, 1979.

（１５）篠田孝祐，松尾豊，中島秀之，“複数の中心性尺度によるネットワーク生成モデル，”知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol. 20, No. 3, pp. 410-422, 2008.

（１６）L. C., Freeman, “A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness,” Sociometry, Vol. 40, No. 1, pp. 35-41, 1977.

（１７）林幸雄 他，“ネットワーク科学の道具箱，”近代科学者，Dec. 2007.

（１８）R. Albert, A. L. Barabási, ” Statical mechanics of complex networks,” Rev. Mod. Phys. 74 (1), pp. 47-97, 2002.

（１９）R. Albert, A. L. Barabási, “Emergence of Scaling in Random Networks,” Science, 286 (5439), pp. 509-512, 1999.

（２０）稲蔭正彦，村井純，http://www.soi.wide.ad.jp/class/20040008/slides/07/24.html

① 発表論文

(1) 永井慎介・山口実靖・淺谷耕一,"WDM ネットワークにおける負荷分散光波長パス設定方式",第 6 回情報科学技術フォーラム, LL-002, 2007 年 9 月 (査読付き論文)

(2) 川人直樹・山口実靖・淺谷耕一, "階層型 Mobile IPv6 における MAP ドメインを考慮したハンドオーバ時パケットロス低減手法",第 6 回情報科学技術フォーラム, LM-012, 2007 年 9 月 (査読付き論文)

② 学会発表

国際会議

(1) Shinsuke NAGAI, Hirotada KAWAKAMI, Saneyasu YAMAGUCHI,and Koichi ASATANI, “A Forward-Backward Optical Wavelength Path Establishment Scheme with Low-Blocking Probability in WDM networks,” ICC2007, Jun, 2007.

(2) T.Sugimoto, Y. Takahashi, S. Yamaguchi, K. Asatani, "A Dynamic Rate Control Scheme for Video Streaming on Inter - Building Wireless Networks," IWCMC2008, pp. 920-925, Aug. 2008.

国内学会発表

(1) 永井慎介、山口実靖、淺谷耕一、"WDM ネットワークにおける低棄却率を目的とした波長解放通知による動的光波長パス設定方式", CS2007-15、Jun、2007.
(2) 伊藤潤、杉本武之、山口実靖、淺谷耕一、"P2P ネットワークにおける大規模オンデマンド型動画像配信の検討", IN2007-12、Jun、2007.
(3) 高橋雄一、杉本武之、山口実靖、淺谷耕一、"屋外無線における帯域変動耐性の高い動的レート制御手法", CQ2007-32、Jul、2007.
(4) 森隆幸、山口実靖、淺谷耕一、"無線 LAN におけるビット誤り率に基づく動的パケット長制御の性能評価", FIT2007、L-036、Sept、2007.
(5) 滝田英勝，杉崎義雄，山口実靖，淺谷耕一，"RTT を用いたボトルネックリンクの帯域使用率推定法,"信学技報，IA2008-15，pp.13-17，Jul.2008.
(6) 齊田哲也，永井慎介，伊藤潤，山口実靖，淺谷耕一，"WDM ネットワークにおけるホップ数に応じて波長変換を行う光パス設定方式の提案と性能評価，"電子情報通信学会技術研究報告，IA2008-19，pp. 37-42，Jul. 2008.
(7) 高橋雄一，杉本武之，山口実靖，淺谷耕一，"IEEE802.11b802.11 無線システムを用いたストリーミング配信における動的レート制御手法の評価，"FIT2008，RL-004，Sep. 2008.
(8) 高橋雄一，杉本武之，山口実靖，淺谷耕一，"IEEE802.11b 屋外無線システムによるストリーミング配信における ICMP Echo 成功率と RTT を指標とした動的レート制御方式の評価，"信学技報，NS2008-158，pp. 83-88，Mar. 2009.
(9) 杉本武之，山口実靖，淺谷耕一，"異種無線環境下における複数のハンドオーバトリガを用いた無線システム選択方式の提案と評価 ，"信学技報，NS2008-159，pp. 89-94，Mar. 2009.
(10) 川人直樹，小笠航，杉崎義雄，山口実靖，淺谷耕一，"エンドエンド QoS を考慮した複数の経路表を用いるルーティング方式の提案と評価，"信学技報，NS2008-222，pp. 445-450，Mar. 2009.
(11) 滝田英勝，杉崎義雄，山口実靖，淺谷耕一，"RTT を用いたボトルネックリンクの可用帯域推定法，"信学技報，NS2008-186，pp. 245-249，Mar.2009.
(12) 小笠航，杉崎義雄，淺谷耕一，"ノードの中心性を利用しエンドエンド間の遅延を考慮する複数経路表を用いたルーチング手法の提案",電子情報通信学会技術研究報告 IN，2009 年 12 月
(13) 滝田英勝，杉崎義雄，淺谷耕一，"RTT を用いたボトルネックリンクの可用帯域推定法の実装と評価",電子情報通信学会技術研究報告 IN，2009 年 12 月

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１０大学教授　　エリック・ミヤール

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
Eric MILLARD　　Université de Paris X-Nanterre

ABSTRACT：　本研究は、欧州連合の成立と地域的拡大により、欧州および東アジアにおいて急速に進む国際化と地域化現象が、市民生活に与える影響に関して、国際機関、国家制度並びに司法制度、地方制度改革に関して検討すると共に、市民意識に関する問題点を、日仏の研究者による国際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するものである。2009 年度は、補論的にフランスにおける家族の憲法上の扱いに関しての問題を扱った。

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'apprentisage 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 2009, on discutait le vocabulaire juridique français le mot de « la famille » dans les constitutions en France.

Le droit constitutionnel de la famille

Eric MILLARD

CTAD (UMR 7074)

憲法と家族

エリック・ミヤール

Je vois au moins trois significations possibles de l'intitulé « droit constitutionnel de la Famille », qui commandent des postures différentes.

a) *La constitutionnalisation du droit de la famille*. Il peut s'agir de se demander si le droit de la famille, traditionnellement porté par des normes législatives (principalement regroupées dans le Code civil) est désormais devenu objet de normes constitutionnelles, écrites ou surtout jurisprudentielles.

On se situerait alors sur le terrain du désormais classique débat autour de la constitutionnalisation des branches du droit, et particlièrement de la constitutionnalisation du droit civil — posture dont je soupconne qu'elle constitue un véritable implicite de la présenté réflexion collective pour peu que celle-ci ne soit pas simple exercice imposé dans la dynamique commemorative de l'année 2004 —, ou de son miroir, la civilisation du droit constitutionnel.

Ce n'est néanmoins pas sous cet angle que j'aborderai la question, et cela pour deux raisons. D'abord parce qu'en matière de droit de la famille, peu d'éléments plaident pour cette constitutionnalisation/civilisation, ce qui ne permet sans doute pas d'apprécier les faits qui soutiendraient la démonstration de l'une ou l'autre des analyses, sauf à restreindre le droit de la famille à la liberté du mariage comme composanté de la liberté individuelle, et l'on conviendra que c'est peu. Surtout, parce que ce débat doit être aborde sérieusement et qu'il souleve des questions davantage théoriques que factuelles, sur la notion de branche du droit comme sur la notion de constitution : il ne suffit pas de constater que, en droit de la famille comme dans d'autres secteurs assez arbitrairement ou conventionnellement délimités du droit, des normes constitutionnelles ont un objet qui relevait antérieurement de normes d'une catégorie législative, pour pouvoir en déduire sans plus d'arguments la constitutionnalisation de ce

secteur, ou la civilisation de ces normes ; la distinction entre la substance et la structure, entre le fond et la forme, entre la norme et son contenu appelle davantage de précisions, qui occulteraient le propos sur un éventuel droit constitutionnel de la famille.

b) *Le droit de la famille constitutionnel.* Une deuxieme signification serait à rechercher alors autour de la question : quel est le droit constitutionnel (concu comme ensemble de normes pourvues d'une certaine valeur hiérarchique dans le systeme juridique) applicable a un objet juridique clairement concu, la famille ?

A vrai dire, c'est la signification la plus évidente de l'intitulé au sens strict et peut être celle qui serait la moins contestable puisqu'elle appelle la description matérielle d'un ensemble de normes identifiables régissant un ensemble d'institutions juridiques précises. Mais pour importante que soit cette question, je ne retiendrai pas non plus ici cette signification pour deux raisons.

En premier lieu parce que le droit constitutionnel positif n'est pas tres riche en la matière en ce qui concerne la France. Je l'ai déjà mentionne à propos du droit constitutionnel prétorien. Le droit écrit est tout aussi laconique, et l'on devrait se concentrer sur deux alinéas du Préambule de la Constitution de 1946, l'alinéa 10 (« la nation assure à l'individu et à la famille les conditions necessaires à leur developpement ») et l'alinéa 11 éventuellement (« Elle garantit atous, notamment à l'enfant, à la mère et aux vieux travailleurs, la protection de la santé, la sécurité matérielle, le repos, les loisirs... »). Ce relatif silence, qui a ses raisons[1], contraste avec certaines éxperiences étrangères en apparence plus précises : l'Allemagne dans sa constitution de 1919[2] et dans sa Loi fondamentale du 23 mai 1949[3]; l'Espagne démocratique en 1978[4]; la

1 V. notamment pour la proposition d'une grille d'analyse E. Millard, Famille et droit public, LGDJ, Paris, 1995.

2 Art 119 : « Le mariage en tant que fondement de la vie de famille, de la conservation et de l'accroissement de la Nation, est placé sous la protection particulière de la Constitution. Il repose sur l'egalite des droits des deux sexes. Il incombe a l'Etat et aux communes de veiller à la purete, à la sante et a l'amelioration sociale de la famille. Les familles nombreuses ont droit a des mesures qui compensent leurs charges.La maternite a droit à la protection et à la sollicitude de l'Etat ».

3 Art. 6 : « 1 - Le mariage et la famille beneficient de la protection particulière de l'ordre politique. 2 - Les soins à donner aux enfants et l'education de ceux-ci sont un droit naturel des parents et une obligation qui leur echoit en premier lieu. L'accomplissement de ce devoir est surveille par la communaute nationale. 3 - Les enfants ne peuvent être séparés de leur famille contre le gre de ceux qui ont la charge de leur education qu'en vertu d'une loi, lorsque ces derniers manquent à leur devoir ou lorsque les enfants risquent d'être laisses à l'abandon pour d'autres motifs. 4 - Toute mère a droit à la protection et à l'assistance de la communaute. 5 - La legislation doit assurer aux enfants naturels les mêmes conditions qu'aux enfants legitimes en ce qui concerne leur developpement physique et moral et leur situation sociale ».

4 Constitution du 29 decembre 1978, art. 18-1 : « sont garantis le droit à [...] l'intimité familiale » ; art. 20 : « les libertes trouvent leurs limites dans [...] les prescriptions des lois qui developpent [...le respect] du droit à la protection de la jeunesse et de l'enfance » ; art. 39 « 1 - Les pouvoirs publics assurent la protection sociale, economique et juridique de la famille. 2 - Les pouvoirs publics assurent pareillement la protection integrale des enfants, egaux devant la loi, independamment de leur filiation, et des mères, quelle que soit leur situation de famille. La loi rend possible la recherche de paternite. 3 - Les parents doivent preter assistance de tous ordres aux enfants qu'ils ont eu dans ou hors mariage, durant leur minorite ou dans tous les autres cas legalement necessaires. 4 - Les enfants en bas age

Grece en 1975[5]; l'Irlande[6]; l'Italie[7] ou le Portugal[8] pour s'en tenir à des pays géographiquement et politiquement proches. Et dans l'histoire constitutionnelle francaise, seuls la Seconde République[9] et le régime de Vichy offrent des formulations un peu plus directes. S'il est incontestable qu'il existe un droit public de la famille, dans la France actuelle tout au moins ce droit ne releve que faiblement du droit

---

beneficieront de la protection prevue par les accords internationaux qui veillent sur leurs droits ».

5 Constitution du 11 juin 1975, art. 9 : « La vie privrée et familiale de l'individu est inviolable » ; art. 21 : « 1- La famille, en tant que fondement du maintien et de la progression de la Nation, ainsi que le mariage, la maternite et l'enfance sont sous la protection de l'Etat. 2 - Les familles nombreuses [...] ont droit a un soin particulier de la part de l'Etat ».

6 Constitution du 1er juillet 1937, art. 41 : « 1-1 L'Etat reconnait la famille comme le groupement primaire, naturel et fondamental de la societe et comme une institution morale possedant des droits inalienables et imprescriptibles, anterieurs et superieurs à toute loi positive. 1-2 À cet effet, l'Etat garantit la protection de la constitution et de l'autorite de la famille, base necessaire a l'ordre social et indispensable au bien-être de la Nation et de l'Etat. 2-1 En particulier, l'Etat reconnait que par la vie dans son foyer, la femme donne à l'Etat un soutien sans lequel le bien commun ne peut-être obtenu. 2-2 À cet effet, l'Etat tentera d'empecher que les necessites economiques ne forcent les mères de famille à travailler en negligeant les devoirs de leur foyer. 3-1 L'Etat promet solennellement de veiller avec une attention speciale à l'institution du mariage sur laquelle la famille est fondée et de la proteger contre toutes les attaques. 3-2 Aucune loi accordant la dissolution du mariage ne pourra être adoptée. 3-3 Aucune personne dont le mariage a été dissous selon la loi civile d'un autre Etat, mais dont le mariage continue a être và lable selon la loi en vigueur à cette epoque à l'interieur de la juridiction [d'Irlande] ne sera capable de contracter un mariage valide à l'interieur de cette juridiction, tant que la personne avec laquelle elle etait mariée est encore en vie ».

7 Constitution du 27 decembre 1947, art. 29 : « La République reconnait les droits de la famille comme societe naturelle fondée sur le mariage. Le mariage repose sur l'egalite morale et juridique des epoux, avec les limites fixées par la loi pour garantir l'unité familiale » ; art. 30 « Les parents ont le devoir et le droit d'entretenir, d'instruire et d'elever leurs enfants, même s'ils sont nes hors du mariage. Dans les cas d'incapacite des parents, la loi pourvoit à ce que leurs devoirs soient remplis. La loi assure aux enfants nes hors du mariage toute la protection juridique et sociale compatible avec les droits des membres de la famille legitime » ; art. 31 « La République favorise, par des mesures economiques et autres, la formation de la famille et l'accomplissement des devoirs qu'elle comporte, en ayant des egards particuliers pour les familles nombreuses. Elle protege la maternite, l'enfance et la jeunesse, en favorisant les institutions necessaires pour cela ».

8 Constitution du 25 avril 1976, art. 36 : « 1 - Toute personne à le droit de constituer une famille et de contracter mariage dans des conditions de pleine egalite. 2 - [...] 3 - Les conjoints ont les mêmes droits et les mêmes devoirs... 4 - [...] » ; art. 67 : « L'Etat reconnait la constitution de la famille et en assure la protection. Il lui incombe notamment de : a) promouvoir l'independance sociale et economique des groupes familiaux b) mettre en plà ce un reseau national d'assistance maternelle et infantile, realiser une politique du troisieme age c) collaborer avec les parents a l'education des enfants, d) promouvoir par les moyens necessaires la diffusion des methodes de planning familial et mettre en plà ce les structures juridiques et techniques qui permettent l'exercice d'une responsabilite parentale e) adapter les impots et les avantages sociaux aux charges familiales ».

9 Constitution du 4 novembre 1848, Preambule, art. IV : « [La République] a pour principe la Liberte, l'Egalite et la Fraternite.Elle a pour base la Famille, le Travail, la Propriete, l'Ordre Public ».

constitutionnel et mobilise davantage des questions de droit fiscal, de droit administratif ou de droit social.

En second lieu, parce que la question alors abordée, celle de l'existence d'un droit constitutionnel applicable à la famille, ne s'integre pas dans notre sujet de réflexion, autour du Code civil et de la constitution : il vise moins (et les formulations normatives le laissent entrevoir) l'objet traité par le droit civil de la famille que les politiques familiales au sens le plus large ; en ce sens, ce droit constitutionnel ne donne pas naissance a quelque chose qui pourrait par simplification abusive être présenté comme un « droit a... » mais il définit des objectifs généraux. Des lors ce droit constitutionnel de la famille ainsi entendu pose certes des questions spécifiques au droit public, notamment celles de la plà ce de la famille et de sa représentation dans l'État ; et on trouve substance a une telle analyse par exemple dans le projet rejetée de réforme constitutionnelle de 1969 autour de l'idée de senateurs représentant la famille[10] — la famille comme la nation de Sieyes, concue non comme une réalité mais comme une idée —, ou dans le statut des représentants des associations familiales au Conseil economique et social[11]. Mais il marginalise la question de la relation entre le Code civil et d'autres normes qui le font évoluer lorsque ce code regle des questions ayant trait à la famille, qui se pose comme on le sait davantage dans la relation du Code avec le droit européen des droits de l'homme (et notamment avec la jurisprudence de la Cour de Strasbourg sur l'article 8 de la Convention) que dans celle qu'il entretient avec les normes constitutionnelles... du moins tant que le conseil constitutionnel n'aura pas admis d'examiner le controle de conventionnalité des lois comme élément indissociable du controle de constitutionnalité.

c) *Le droit constitutionnel et la construction juridique de la famille.* Il reste donc une troisieme posture possible : celle qui envisage le droit constitutionnel applicable a un objet social qui ne constitue pas un objet juridique explicite ou, c'est-a-dire une institution juridique.

Il faut redire ici que la famille n'est pas un objet explicite du Code civil qui ne traite que d'institutions juridiques particlières telles que les unions (mariage et désormais aussi PaCS et concubinage), les filiations, les transmissions de biens, etc., qui toutes évidemment donnent des éléments de statut aux familles et aux relations familiales (plus exactement aux individus dans des relations familiales), mais qui ne constituent pas un statut de la famille.

Il faut redire aussi que le droit de la famille est une construction doctrinale a visée didactique (expliciter ces relations) et/ou idéologique (prescrire des modeles de relations). De ce fait, le droit de la famille fournit un cadre intérprétatif pour les organes d'application du droit, notamment les juges, lorsqu'ils mobilisent ce type d'institutions juridiques Et ceci est vrai aussi bien du point de vue civiliste que du point de vue constitutionnaliste : le Conseil constitutionnel (dans le cadre du controle de constitutionnalité des lois portant sur des institutions comme le mariage ou la polygamie par exemple) interprete les institutions juridiques particulières au travers de ces filtres politico-moraux que la doctrine constitutionnaliste (dans son compte rendu ou sa prescription du droit constitutionnel traitant des ces questions) contribue aussi à produire. Car l'irruption du constitutionnalisme en la matière, si irruption il y a, ne change pas

---

[10] Projet de loi constitutionnelle du 27 avril 1969, art. 65, B : « Les senateurs representant la famille sont designes par l'Union Nationale des Associations Familiales. Toutefois, des senateurs sont egalement designes au titre de cette categorie par les associations nationales representatives de parents d'eleves. La moitie au moins des senateurs designes par l'UNAF doivent être de sexe feminin ». On notera au passage la reference à l'idée de parite, que certains ont pu croire plus moderne.

[11] Art 7 de l'ordonnance du 29/12/1958. Pour une illustration, CE, 4/7/2003, Marcilhacy.

fondamentalement les données du probleme : objet social et collectif, la famille n'est appréhendée par le droit qu'au moyen de techniques individualistes.

Le Code civil pouvait aisément faire l'impasse d'un questionnement sur le statut juridique du collectif : en premier lieu parce que d'inspiration politique individualiste ; en second lieu parce que le modele social qu'il saisissait était tres largement hégémonique et que les techniques du mariage comme contrat (original certes mais contrat juridique entre individus), de la filiation, de l'héritage, etc., s'accordaient assez facilement à la consécration de la famille légitime comme institution sociale.

La perte d'hégémonie de ce modele, qui n'est en rien sa disparition, met alors au jour la difficulté de cette problématique normative. On assiste à un déplà cement de l'objet « famille » vers la filiation : l'enfant « fait » la famille et on retrouve ici tout autant la permanence d'une conception démographique (qui inspire la protection de la famille au sens du Préambule dc 1946, ct la politiquc familialc à la francaisc) que l'intégration d'une construction fondée sur les droits de la personne humaine (le droit à la vie familiale au sens de l'article 8 de la Convention européenne ou de la jurisprudence administrative [12] et constitutionnelle francaise[13]). L'enfant fait la famille mais qui fait l'enfant ? : importante question que l'on retrouve autour de la problématique de la bioéthique et du statut juridique des procréations médicalement assistées ou de la fabrique juridique de la filiation (l'adoption par des couples homosexuels par exemple). L'enfant fait la famille d'ou l'apparente relégation au second plan des relations juridiques entre adultes, que la diversification des unions contractuelles (mariages, PaCS, concubinage) traduirait en enregistrant les faits, mais qu'une autre interprétation nuancerait en rappelant que la reconnaissance de la diversité par le droit est aussi quelque chose qui permet d'éviter que des situations plurielles échappent au droit (donc a l'État) pour rester dans la sphère de la liberté (le PaCS offre bien sur un statut, mais a-ton assez dit qu'il écrit egalement un cadre ?).

La lecture de ces techniques individualistes (le droit de la famille) s'est faite et pour une large part continue a se faire dans un cadre assez clairement identifiable, dont témoigne notamment ce que l'on a appele la « réécriture »[14] de la loi sur le PaCS par le Conseil constitutionnel[15]. Le droit à la vie familiale de l'individu reste un droit à la vie familiale normale ; l'infanto-centrisme ne fait pas totalement disparaît re l'evaluation des modeles familiaux ; la disparition d'un modele unique ne signifie pas l'égalité de traitément entre modeles admis. Le droit constitutionnel ne déroge pas à cette mise en ordre, autant technique que morale, et ce sont quelques pistes autour de ces idées que je voudrais brievement mettre en évidence autour du theme du droit constitutionnel de la famille : la constitutionnalisation du droit de l'individu à la vie familiale normale (I), et ses conséquences sur le traitément des unions, des couples d'adultes qui, même lorsqu'ils sont détachés de la problématique familiale moderne (l'enfant), demeurent conditionnés par la prégence d'un modele implicite de référence (II).

I – La constitutionnalisation du droit à la vie familiale normale

Dans sa décision d'aout 1993 sur la loi relative à la maitrise de l'immigration, le Conseil constitutionnel consacre deux normes complémentaires. D'une part, le Conseil affirme la liberté du mariage comme « une des composantes de la liberté individuelle » protégére par la Déclaration des droits de

[12] Ass. CE, 8/12/1978, GISTI.

[13] Decision n° 93-325 DC du 13/8/1993.

[14] N. Molfessis, La reecriture de la loi relative au PaCS par le Conseil constitutionnel, JCP, 8/3/2000, pp. 399 et s.

[15] Decision n° 99-419 DC du 9/11/1999.

l'homme et du citoyen dans son article 2[16] ; cette affirmation sera confirmée par la décision sur le PaCS en 1999, en ce que cette liberté du mariage commande l'application d'une modalité dérogatoire de dissolution immédiate du Pacte pour les individus exercant cette liberté : « là cessation du pacte à la date du mariage de l'un des partenaires met en oeuvre le principe de valeur constitutionnelle de la liberté de mariage »[17]. D'autre part, le Conseil consacre le droit a mener une vie familiale normale. Cette position duale ne doit pas surprendre : la Convention européenne des droits de l'homme par exemple connait aussi une séparation en apparence claire entre la protection du mariage (art 12) et celle de la vie familiale (art. 8). Au-delà cependant, 5 remarques meritent d'être apportées.

a) Clairement, avec cette logique, le Conseil constitutionnel retrouve et confirme l'approche juridique individualiste observée en matière civile : affirmation de la liberté de l'individu, qui comprend celle de se lier par mariage (et de ne pas être indéfiniment lié par mariage sans doute) ; droit de l'individu à la protection de sa sphère d'activité rattachable à la famille. Même si en 1986, de manière assez curieuse du point de vue sémantique, le Conseil constitutionnel avait évoqué « les droits de la famille » (« il appartient au législateur d'apprécier les conditions dans lesquelles les droits de la famille peuvent être conciliés avec les impératifs d'intéret public »)[18], l'analyse ne cherche en aucune manière a faire apparaît re juridiquement un statut juridique collectif, mais s'attache a protéger la dimension collective de prérogatives individuelles. La famille demeure un implicite, sans définition juridique précise, qui ne pourrait être que limitative de ces prérogatives individuelles. La conséquence en est évidemment la dissociation technique entre les questions relatives au mariage (modele présupposé qui fonde la famille légitime) et la notion de famille (présupposé de la vie familiale), que le conseil maintiendra a propos du PaCS, qui s'il peut s'appréhender comme un des éléments liés a l'exercice de la vie familiale éventuellement protégére, ne connait pas d'assimilation au mariage sur les questions de filiation et d'état civil.

b) Les droits et libertés individuels, même liés à cet élément essentiel de l'intimité et de la constitution sociale de la personne, ne sont pas absolus et doivent être conciliés, par le législateur, et sous le controle du juge constitutionnel, avec d'autres principes et objectifs a valeur constitutionnelle. L'affirmation est classique, mais elle permet ici de concevoir une politique à la fois évolutive, evaluatrice et concrete des modeles familiaux, tant au regard de la demande sociale (et notamment des demandes emergeantes par exemple liées aux droits des homosexuels) qu'au regard de la protection d'une morale publique que le législateur ne peut renoncer a exprimer. Le Code civil demeure ainsi la source substantielle et le droit constitutionnel n'a pas pour vocation de traduire les choix du moment, mais bien plutot d'assurer le cadre (et la possibilité) de ces choix.

c) De ce fait, les principes du Code civil

[16] Decision n° 93-325 DC du 13/8/1993.
[17] Decision n° 99-419 DC du 9/11/1999.
[18] Decision n° 86-216 DC du 3/9/1986, Loi relative aux conditions d'entrée et de sejour des etrangers en France.

en la matière ne constituent pas des principes fondamentaux reconnus par les lois de la République. Non seulement sans doute car il y aurait, quelle que soit la conception que l'on puisse se faire de ce que sont ces principes, quelque ambiguite a considèrer que l'on se situe dans le cadre républicain s'agissant du Code civil (soit que, pour les principes impériaux il ne s'agisse pas de la République, soit que pour les principes républicains, ils sont postérieurs à la période que le Conseil définit). Mais surtout parce que la démarche du controle constitutionnel ici vise la raison procédurale et non la raison matérielle.

d) Les limites du cadre admissible sont assez clairement indiquées par l'expression « vie familiale normale ». Cette technique de protection n'est en rien originale, ce qui signifie pas qu'elle soit sans raison claire. D'une part, elle traduit justement la définition du cadre des choix admissibles, et donc maintient la référence à des modeles familiaux, certes pluriels. On retrouve de manière explicite une démarche qu'avec d'autres techniques la Cour européenne des droits de l'hommêmet en oeuvre dans son interprétation de l'article 8 de la Convention. Mais on retrouve aussi une formulation normative que le Conseil d'État avait dégagée comme principe général du droit[19], et qu'il avait apparemment abandonnée lorsqu'il avait explicitement mis en oeuvre un controle de conventionalité des actes administratifs (et notamment en matière de police des étrangers) par rapport a l'article 8 de la Convention européenne des droits de l'hommêMême si la juridiction administrative continue parfois a se refèrer à ce principe général du droit, la formulation normative que le Conseil constitutionnel a utilisée en 1993 témoigne d'une réticence a admettre le controle de conventionalité des lois, et un certain réflexe souverainiste a nommer nationalement un controle que le droit européen des droits de l'homme appelle necessairement : c'est d'ailleurs le Préambule de 1946 qui sert de source au Conseil constitutionnel. On sait ainsi que le Conseil construit le standard de normalité par référence aux valeurs nationales : pour exclure la polygamie de la vie familiale protégée, il précise que : « les conditions d'une vie familiale normale sont celles qui prévalent en France »[20].

e) Si de cette manière la polygamie est privée de certains effets en France pour des étrangers qui pourraient invoquer le droit international privé des lors que leur statut dispose d'un fondement légal dans leur pays d'origine, c'est bien la le résultat de la dissociation entre les normes concernant d'une part (le droit au) statut juridique des unions, d'autre part le droit à la protection des activités (normales) liées à la vie familiale. Les deux ne sont pas reductibles l'une a l'autre et le modele de la famille légitime les conjugue sans les confondre. On sait que la Cour européenne des droits de l'homme avait ainsi pu juger que l'absence d'un droit au divorce (que l'État pouvait légitimêment prevoir)

[19] Ass. CE, 8/12/1978, GISTI.

[20] Decision n° 93-325 DC du 13/8/1993.

ne pouvait faire obstacle au respect de la vie familiale des époux et de leurs enfants respectifs[21]. Le divorce lui-même ne fait pas disparaît re la vie familiale, pas plus que les choix de vie des parents. On est bien en presence de deux questions différentes. Il n'est pas neutre ainsi que s'agissant du PaCS (statut juridique d'une union), le Conseil n'invoque pas ce droit à la vie familiale normale. Pour autant, des lors qu'est en jeu la reconnaissance juridique des unions entre adultes, parce que celles-ci quittent la sphère de l'intimité (l'invisbilité) pour celle de la visbilité juridique, resurgit la question de la normalité : l'implicite demeure au-dela de la dissociation des normes et l'unité de référence reste une certaine conception de la famille.

II – La permanence d'une référence implicite

Dans a décision sur le PaCS[22], le Conseil constitutionnel était confronte a une difficulté quasi insurmontable : sous le même statut[23], et en grande partie par le fait d'une hypocrisie du législateur qui, pour ne pas sembler reconnaitre explicitement les couples homosexuels, a fourni un statut soi-disant général, apparaissaient deux questions. La question de la lisibilite des choix de vie, qui releve essentiellement en l'état de la revendication en 1999 et de la position du législateur de la protection de la vie privée, au mieux du droit à la vie familiale normale ; et la question de la famille sous couvert d'un statut des unions entre adultes ayant vocation (ou non : telle était en partie la question) a déboucher sur la fondation d'une famille, c'est-a-dire sur la question de la filiation. Sans se refèrer a l'idée de normalité, le Conseil constitutionnel a tres minutieusement construit à cette occasion une grille de lecture qui renforce les présupposés classiques du droit doctrinal de la famille : le pacte comme contrat spécifique est comme attire, chaque fois que faire se peut, c'est-a-dire chaque fois que ce peut être fait sans remettre en cause l'institution elle-même, vers le mariage. L'exercice est difficile et, des lors que l'on ne veut ni assimiler le PaCS au mariage, ni – ce qui revient au même – traitér pareillement les unions entre personnes de sexes differents et celles entre personnes du même sexe – particlièrement revelateur de la permanence d'une référence politico-morale à la notion classique de la famille.

On a dit que le Conseil avait reécrit la loi sur le PaCS[24]. C'est en grande partie vrai, mais pouvait-il en être autrement ? Sans doute la revendication de l'égalité des droits entre adultes quels que soient leurs choix de vie était elle-même ambigue : pour certains, c'est directement la question de la famille homosexuelle qui était posée (et on le voit avec les questionnements sur le droit au mariage et le droit a l'adoption, tant en France que dans d'autres pays, aux États-Unis notamment) ; pour d'autres, dans un premier temps tout au moins, la question de l'egal traitément de l'individu (en matière de fiscalite, ou de relations avec les tiers : logement, etc.). Mais dans tous les cas de figure, c'était une revendication dont on ne pouvait occulter qu'elle provenait avant tout de l'inegal traitément sur toutes ces questions entre

---

21 CEDH, 18/12/1986, Johnston contre Irlande.

22 Decision n° 99-419 DC du 9/11/1999.

23 Deux en fait car le concubinage recoit lui aussi (mais cela est moins une nouveaute) un statut juridique au point que l'on se demande comment il faudrait nommer ceux qui en matière de vie familiale souhaitent encore qu'elle reste au maximum affaire de conscience et d'invisibilite, ceux qui pour reprendre le mot celebre « ignorant la loi, sont ignores par elle ». Y a-t-il encore plà ce pour cette indifference ?

24 N. Molfessis, *op. cit.*

homosexuels et heterosexuels, et qu'elle appelait - des lors qu'on la considerait comme légitime - soit une parfaite égalité de traitément sur tous les points (logique de l'invisbilité), soit la creation d'un statut spécifique permettant d'assurer l'égalité de traitément sur les questions pour lesquelles on pouvait juger que les discriminations etaient illégitimes (logique de la visbilité). La logique de l'invisbilité aurait consiste a admettre un egal droit au mariage (pour autant que le Code civil le refusait, ce qui était peut-être discutable avant la décision du Conseil) ou a supprimer les avantages liés au mariage ; celle de la visbilité a fournir un statut spécifique aux couples homosexuels produisant les mêmes effets que le mariage pour les homosexuels, dans les limites que le législateur pouvait fixer, notamment quant a savoir s'il s'agissait strictement de la question des unions, ou si ce statut devait resurgir sur la question de la filiation. En refusant de traitér directement de cela, c'est-a-dire en presupposant que le PaCS pouvait concerner tous les couples (un instant on a même imagine : toutes les fratries !), y compris ceux qui avaient légalement ou pratiquement acces au mariage, le législateur a imagine une solution qui laissait en suspens davantage de questions qu'il n'était possible.

C'était le cas de la notion de vie commune par exemple. Elle est interpretée par le Conseil constitutionnel comme impliquant une vie de couple, c'est-a-dire non une simple cohabitation ou une communaute d'intérets, mais une véritable communaute de toit et de lit. Que vise-t-on par la ? Le caractère obligatoire de l'aide mutuelle et matérielle entre pacses certes. L'existence d'un couple ayant des relations sexuelles sans doute, mais cela pose davantage de problemes que cela n'en resout. Ce n'est pas l'intimité qui est concernée, sauf a estimer qu'il n'y a plus de protection de l'individu ici contre un controle public ni acceptable, ni justifiable : sauf en matière de mariage avec des étrangers, la question de l'union blanche (elle-mêmêtres difficile : dans les mariages « suspectes » il s'agit en fait davantage d'une crainte que le mariage ne soit qu'un moyen pour l'obtention d'un avantage par l'etranger que d'un controle effectif sur la vie de couple) n'est d'ailleurs pas une réalité du mariage lui-même, et l'on ferait peser une exigence sur les couples pacses allant au-dela des celle attendue des couples maries ; et l'on sait, notamment en matière de rapprochement de fonctionnaires, que le PaCS dit blanc existe. Ce qui est implicite, c'est l'idée de filiation possible. Mais dans le même temps, cette vie de couple se distingue de la question de la filiation, des lors qu'elle n'est pas naturelle : le PaCS ne produit aucun des effets du mariage en matière de droit à adoption ou à procréation médicalement assistée. Et le mariage n'est pas remis en cause en l'absence de desir d'enfant. Difficulté à conjuguer l'implicite familial et l'explicite individuel, la famille et la vie privée. Le Conseil constitutionnel confronte à deux enjeux differents, celui du droit de voir une union reconnue publiquement pour ceux qui ne peuvent ou ne veulent se marier (avec l'obtention de droits spécifiques), et celui de l'union heterosexuelle susceptible de servir de base à une éventuelle famille, fait prevaloir cette dernière logique pour tous. Ce qui exclut évidemment la famille homosexuelle : la distinction du mariage et du PaCS demeure.

En effet, s'agissant des empechements a PaCS, on retrouve la même ambiguite et sur ce point le Conseil constitutionnel, au detour de sa motivation, a introduit une interprétation importante. Comme le note le Conseil : « le législateur a prevu des causes de nullite du PaCS qui soit reprennent les empechements à mariage [notamment la prevention de l'inceste], soit evitent une violation de l'obligation de fidelite decoulant du mariage ». C'est ce point qui permettait au conseil de donner du contenu à la notion de vie commune. C'est ce point aussi qui justifie le caractère absolu de ces nullites. Mais le Conseil va plus loin. A propos des avantages fiscaux dont beneficient les personnes pacsées, il considère que le législateur a pu « accorder des droits particuliérs aux personnes qui ne peuvent ou ne veulent se marier, mais qui souhaitent se lier par un pacte de vie commune ». Si les

empechements au PaCS sont aussi empechements à mariage, et si des personnes peuvent se pacser alors qu'elles ne peuvent pas se marier, si par ailleurs le PaCS suppose une communaute de vie et non d'intéret, il en resulte que pour le Conseil constitutionnel, il existe une catégorie de couples ainsi definie qui peut acceder au PaCS sans pouvoir se marier : c'est bien évidemment ici les couples entre personnes du même sexe, car on ne voit pas quelle autre genre de couple pourrait être concerne par un empechement à mariage. On sait que la possibilité d'un mariage entre personnes du même sexe à longtemps paru évidemment exclue ; mais on sait aussi que cette exclusion est fondée sur un seul enonce du Code civil, le fait que les époux se prennent pour mari et femme. Il existe de bonnes raisons de penser que, independamment de la supposée volonte du législateur à l'epoque, les concepts de mari et femme ne recoupent pas les differences biologiques entre hommes et femmes, et les théories critiques du genre ont insiste sur le caractère socialement construit de ces roles dans le couple. Une interprétation du Code civil était ainsi possible visant à admettre la possibilité juridique de mariages homosexuels. Au detour de ce considerant, le Conseil constitutionnel paraît de manière assez forte exclure cette possibilité : pour le Conseil, le Code civil est clair, et ne vise que les mariages entre personnes de sexe differents. Mais on notera que le Conseil ne semble pas faire valoir que ce principe soit un principe constitutionnel : le législateur ne semble pas contraint juridiquement à maintenir cette restriction. Manière elegante pour le Conseil peut-être de l'inviter à prendre ses responsabilites dans la définition de la morale dominante. Ce qu'il n'a pas fait à propos du PaCS.

L'attrait du PaCS vers le mariage ne debouche de ce fait pas sur une assimilation, et le Conseil constitutionnel en indique clairement les limites, quoique parfois de manière trop peu justifiée. S'il lui est aise d'ecarter l'argument des parlementaires concernant la bigamie (les empechements font que cet argument manque en faits), c'est en se fondant sur la differenciation entre PaCS et mariage qu'il ne recoit pas ceux sur l'atteinte au mariage républicain (« les dispositions relatives au PaCS ne mettent en cause aucune des regles relatives au mariage ») et sur la repudiation : la rupture unilaterale, sous reserve de publicite etant possible, le risque social de repudiation ne peut être simplement ecarte au motif que « le PaCS est un contrat etranger au mariage ». Certes la qualification de repudiation peut comme l'indique le Conseil ne pas être retenue (c'est la un probleme de définition) ; ce dont il s'agit est plus complexe et plus réel, et etroitement dependant de contextes sociaux et culturels, et des rapports de genre, et ne peut sans doute pas être reductible à une question de vocabulaire.

Le Code civil, le PaCS en etant une des manifestations les plus recentes et les plus visibles, confirme une logique technique individualiste, mais dans cette logique la pluralite des modeles sociaux conduit à l'organisation et à la prise en compte de nouveaux droits pour l'individu dans une perspective d'égalité de traitément. Alors que la constitution est muette sur ces questions, et que son inspiration démocratique et individualiste renforce la legitimite d'une apprehension de la famille à partir de l'autonomie de la personne (respect de la vie privée, droits de l'enfant, non discrimination, droit à la reconnaissance des éléments essentiels de l'identite, droit aux relations familiales, etc.) le conseil constitutionnel essaye de donner ou de maintenir de la coherence, ce qui ne peut se faire qu'à partir d'un modele de référence. Dans cette construction juridique de la famille, la pluralite des modeles collectifs qu'autoriserait l'individualisme n'exclut ni evaluation, ni hiérarchisation : tous les modeles ne sont pas admissibles (dire démocratiquement lesquels ne le sont pas releve du coeur même de l'activité politique), et tous les modeles admis ne sont pas equivalents. Pour autant, l'activité de classification et de classement n'est pas aisee, à la fois parce qu'elle necessite une grille de lecture que les enonces

juridiques ne fournissent pas, et que le législateur rechigne à devoiler. Le Conseil constitutionnel ici rencontre les mêmes difficultés que tous les juges, nationaux ou internationaux, et particlièrement le juge européen des droits de l'homme ; ses positions ne semblent pas fondamentalement différentes, même si par rapport à la jurisprudence de Strasbourg elles devront être adaptées, dans un sens ou dans l'autre, et que des évolutions sont vraisemblables. Il reste que saisies à ce niveau, ces questions révèlent moins une constitutionnalisation du droit de la famille qu'une constitutionnalisation des difficultés conceptuelles de ce prétendu droit de la famille.

*** Le texte pour la conférence du 22 janvier 2010 à l'Université Kogakuin à TOKYO.**

２．総合研究所プロジェクト研究報告

（２０１０年度継続研究）

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年度の中間報告）

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

What should be the Teacher's License System

— Historical Study (2) —

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

ABSTRACT： This is a historical study on the teacher's licensing system based on the idea of how school teachers should be defined. In 2009, as the second year of this study, we have had two meetings and presented 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) "Schools for training student teachers" supported by local governments in Japan
2) International perspectives on teacher qualifications
3) The examination of legal features of Japanese laws on the teacher's licensing system.
4) The problems of teacher's qualifications in early Meiji Era
5) The features of Kendo (Japanese swordsmanship)'s licensing system for teachers in the Edo period.

1．　はじめに

1．1　研究の目的と計画

今日、教育問題の深刻さが増す中で教員の資質論に関心が集まっている。昨年秋以来、教員養成を6年制にする提案が出され話題を呼んでいる。しかし、制度の変更はその時々の成り行きや何らかの思惑からではなく、教育の実態と免許資格制度に関する原理的な検討を踏まえて行うべきであるとの見地から、そのための基礎的研究として2008年度より本研究に取り組んでいる。

具体的な研究の計画は昨年の報告（「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）に掲載したが、要点は次の通りである。

1）教員論資質論の系譜研究

①日本および東アジア　近世まで、明治以降終戦まで、戦後の３期に分けて、文献収集および主要な論点の整理を行う。近世以前においては中国、韓国からの儒教や仏教などの影響も検討する。

②ヨーロッパ　近代教育が生み出されてきたヨーロッパにおいて教員の資格、免許制度がどのように構想されてきたか、教師論、教員資質論、市民権論との関わりで論点を整理する。

2）免許制度の変遷研究

明治からの日本の制度の変遷を整理するとともに、議会や審議会等においてどのような議論がされたか、教師論、教員資質論との関わりを分析する。

3）教員資格・免許制度の原理論の研究

1）および2）の研究をふまえて教員資格・免許制度のよって立つべき原理を検討する。特に教員免許の特殊性とともに他の免許・資格制度との整合性をどう考えるか、法的原理をどう考えるかは大きな課題となろう。

1．2　研究の特色

教員の免許についての議論が盛んであるが、これまでの研究は、教員論、資質論に偏っており、しばしば自己の見解に基づく主張を展開するものであって客観的な研究は少ない。特に免許制度、特に免許法などの法制度の研究はほとんど行われていない。昨年秋以来の教員養成6年制問題の議論はまさにこのことを示しているといえよう。これに対して本研究は教員免許制度の総合的研究に本格的に取り組むものである。

本研究のメンバーは各大学において教職課程に属して教員養成の実際に携わっている上に、これまでにも日本教師教育学会をはじめとする諸学会や私立大学教職課程の全国連絡会である全国私立大学教職課程研究連絡協議会でともに活動して制度上の課題などについての共通理解を形成してきた。こうした基盤に立つメンバーが行う共同研究という点で特徴がある。

2．　研究の経過

今年度はこれまで研究補助者としてお願いしていた加島大輔が愛知大学に助教として着任したため共同研究者としたほか、これまでの協同研究者の所属の異動があった。研究補助者としては、佃隆一郎、瀧本知加の2氏を引き続きお願いした。2009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１年度の中間報告）を掲載。文責は蔵原清人。

2009 年 7 月 11－12 日　第 9 回免許法研究会　於：工学院大学

地方自治体による「教師養成塾」事業の現状と問題点（瀧本知加）、日本における学校制度の整備と教員資格の明確化－お雇い教師の雇い入れ条件の変化から分かること－（蔵原三雪）（以上、11 日）、教員資格の国際基準化とイギリス（八木英二）、学力テスト政策の教育学的検討（蔵原清人）、高等学校工業科教員養成制度と教育職員免許法附則による特別措置（丸山剛史［ゲスト報告者］）、1989 年の教免法改正までの、愛知大学での関連資料・年表（佃隆一郎）（以上、12 日）の報告を受けて討議した。

2009 年 10 月 3 日　日本教師教育学会研究大会で、瀧本知加が「『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」を発表

2010 年 2 月 27-28 日　第 12 回免許法研究会　於：工学院大学

27 日は、近世剣術流派における免許について（数馬広二［ゲスト報告者］）の報告を受け討論を行った。また懇親及び情報交換を行う。28 日はＥＵ圏にみる教師専門性の国際基準化ほか(八木英二)、愛知大学における初期の教職課程の手引きの紹介(佃隆一郎)、新政権における教員養成政策の動向(田子健)、教育職員免許法の法的性格について（蔵原清人）のそれぞれの報告を受け議論した.また科研研究の当面の予定について報告・協議した。

以下ではこれらの報告の内容の要旨を紹介するが、多分に私見を含むことをお断りする。

なお本研究と関連して科研費（基盤研究（Ｃ））にも採択され、平成２０年度より３カ年の計画で研究を進めている。研究課題は、「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」とし、本プロジェクト研究と連携しつつ研究の仕分けをして進めており2009年度までの成果として報告書1（2008－2009年度）をまとめた。この報告と併せて参照いただければ幸いである。

3．地方自治体による「教師養成塾」事業の現状と問題点（瀧本知加）

この報告は地方自治体などによって現在17地域で設置されている「教師養成塾」の特徴をまとめ、問題点を摘出したものである。各教育委員会では教員の確保、特に小学校教員の採用試験の倍率が著しく低下しており優れた人材の確保が緊喫の課題となっている。他方で、大学における教員養成教育への不信もある。「教師養成塾」の設置には教育委員会が主導的に教員養成に関わって優れた教員を確保するというねらいがある。ただし直接には外郭団体が設置運営するところもある。

採用との関わりでは、選考にあたって「教師養成塾」出身者を優遇するものと、特には優遇しないところがあり、前者は受講料が一般に高額であるが採用された場合は免除などの特典がある場合が多い。

「教師養成塾」での養成と、大学での養成の整合性をどう考えるか、教師塾では何を要請しようとしているのか、また採用にあたって受講やそこでの活動はどのように評価されるのかなど、明らかにすべき問題が少なくない。さらに教師塾の教育内容も教員にとってのものよりも、一般的なコミュニケーション能力や人間力、教職への熱意や受容的態度など、精神的心理的側面が強調されているが、果たしてそれが教員としての実践的指導力といえるのか、問題が少なくない。

こうした制度が広がっているのは、学生の側が就活や塾などについての意識の変化もあるが、そうした意識の変化が教員としての資質にどのように影響を与えるか、むしろ深刻な問題である。

4．日本における学校制度の整備と教員資格の明確化－お雇い教師の雇い入れ条件の変化から分かること－（蔵原三雪）

1872年の学制の制定に基づいてわが国における学校の整備が進められたが当初、お雇い外国人教師の果たした役割が大きかった。同時に教員というものへの理解に日本側と外国人教師側の間で大きな違いがあったことを見ておく必要がある。当時のお雇い教師と文部省とのやりとりやお雇い教師自身の記録などを見ると、設置されている学校のレベルと教員の学歴との関係や、教師自体の職の違い、すなわち初等教師、tutor、college のprofessor などの違いや、給料は何に対する支払いであるかなどが問題にされている。

例えば、契約で確認された担当科目以外の科目の教授を認めるかどうかについて、日本側は雇っているのだから当然だとするが、お雇い教師は契約した科目以外のものを教授するには別途給料を支払うべきだという考えである。またprofessorとしては専門の科目だけを教えたいという強い主張があった。

これらは教師の専門性をどう考えるかの問題であり、近代教育のはじめの段階ですでにこのような問題が出されていることは大変興味深い。

5．教員資格の国際基準化とイギリス（八木英二）

この報告ではイギリス、具体的にはイングランドにおける教員資格基準化の動向とその課題、国際的背景、比較研究調査の動向を紹介するものであった。

イングランドでは教員のプロフェッショナル･スタンダードを5段階に分けているが、議論としてはほぼこれに落ち着いている様子であるという。しかし、これは専門職についての形式化であり、行動主義の流れをくむものという批判もある。さらに報告では教員組合であるＮＵＴが行ったこのスタンダードがどのように実施されているかの実態調査の紹介をしたが、教員からは様々な問題が明らかにされている。

この動きの国際的背景としては、ＥＵが進めるボロニア･プロセスに基づくヨーロッパ諸国共通の教員資格･コンピテンシー基準（2004）が決められたことがあげられる。そこでは十分に資格のある専門職、生涯学習のコンテキストの中にある専門職、移動する専門職、パートナーシップに基づく専門職の4つの視点から教職を位置づけた上で、「教授と教育は知識社会の経済的文化的側面に入り、それゆえ、社会的コンテキストにおいて見るべき」という立場から、教師は次のことができなければならないという。すなわち他者との協働、知識･技術･情報を用いる仕事、社会における社会との協働である。特に、「教師養成教育の終了に必要なすべての能力を身につけることは不可能であるため、それは、教師養成教育、導入教育、継続的な専門性発達を含むものである」と指摘している点は特に重要であろう。

さらに、政策立案者への勧告として、①教育専門職を十分な資格のあるものにすべきである、②教育専門職は、教師養成教育、導入教育、継続的専門職発達を含む連続対と見なすべきである、③教師の移動性が奨励されるべきである、④教師専門職の仕事は他の関係者とのパートナーシップで行われるべきである、という4つが示されているが、わが国における議論でも重要な視点であ

る。

こうした中で比較研究調査が活発化しつつある。

6．学力テスト政策の教育学的検討（蔵原清人）

この報告はもともと日本教育政策学会第 16 回大会（2009 年 7 月、四国学院大学）で発表したものであり、ここでは簡単に紹介をした。

学力テストで測定する生徒の学習成果は教師の教育の結果であり、教師の資質能力を検討する手がかりになる。同時に全国を同じ基準で評価する必要性をどう考えるか、地域や生徒の実態に応じた教育をすることは統一的なテストでは計れないのではないかという問題もある。

この点では、テスト論ないし評価論や学力論としてこれまでにも議論されてきたところである。しかし学力というものが個人の身についた内容に注目することであるため、学力像が抽象的になりがちの上学力そのものの内容が社会の変化とともに変化することを見落としがちであり、また学力を獲得するプロセスには関心が薄くなりやすいことに十分な注意が必要である。

今後の問題として、日本の教育を発展させるためには教育政策を大きく転換することが求められるが、教師の専門家としての自立性を保障すること、生徒の能力に対しては生得説ではなく発達可能性を包み込んだ見地を確立すること、生徒は現代社会で生きていくのであるから学力についても現代的内容（主権者としての自覚を含む）を重視すべきである。さらにこれまでに行われてきた「系統学習」の問題を明らかにして生徒の学習や認識のプロセスを明らかにすること、低学力の原因となっている経済格差の克服など教育政策においても社会保障の観点が必要であることを指摘した。

こうした学力問題をどう考えるかは教員養成の教育内容を左右する重要な課題となる。

7．高等学校工業科教員養成制度と教育職員免許法附則による特別措置（丸山剛史［ゲスト報告者］）

これは工業教育の専門家である丸山剛史氏（宇都宮大学）にゲスト報告をお願いしたものである。

戦後の工業科教員の供給については大学工学部の教育状況と技術者に対する産業界の需要の増大によって逼迫していた。しかし 1954 年に一部の国立大学工学部に設置された工業教員養成課程は十分機能を発揮していなかったと見られる。1961 年には国立工業教員養成所が設置され、また教育職員免許法の特例として工業教員の場合に限り教職科目の単位全部を専門科目の単位で代替できるものとした。この特例は現在でも継続されている。この措置がどのような意義を有するのか、実際工業教員の供給確保に貢献したものなのか、また教員として必要な資質という観点からその特例が適切なものといえるか、検討が必要である。

8．1989 年の教免法改正までの、愛知大学での関連資料・年表（佃隆一郎）

この報告は愛知大学教職課程委員会の活動を議事録から紹介するものである。特に同委員会の活動を免許法改正の動きとの関係を探ろうとするもので、今回は 1983 年から 1989 年までの同委員会の議事録の翻刻を行った。この間に 1988 年の教育職員免許法の大改正があり、各大学ではその対応に追われていた時期である。本資料は一大学のものとはいえ、免許法の改正に大学側がどう対応しようとしたのかを知る貴重な資料である。

9．「『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」（瀧本知加）

この報告は本プロジェクト研究を踏まえて日本教師教育学会第 19 回大会（2009 年 10 月、弘前大学）で発表したものである。この報告の前半は 3 で紹介したものを踏まえた内容であるが、後半に教職志望者の職業意識と教職観について特に焦点を当てて考察を試みた。

10．近世剣術流派における免許について（数馬広二［ゲスト報告者］）

近世における教師像の問題について、剣道史を研究している数馬広二氏（工学院大学）にゲスト報告をお願いした。

剣術流派の成立は室町時代初期にさかのぼるが、免許制度の成立は室町末期ないし戦国時代になってのことである。はじめは伝授した技術ごとにその証明書である「切紙」を与える場合が多かったが、時代が下るにつれ次第に初伝、中伝などの形式が整理されるようになった。これらの動きを、時代を追って、また諸流派の実例を踏まえて具体的な説明があった。

以上をまとめると、剣道流派における免許制度は和歌の古今伝授にならって師匠から「切紙伝授」をしたことが始まりとされ、文書資料は1500年代に遡ることができる。流派によって名称は異なるが一般に技能の段階別に「切紙」「目録」「免許」の順で授与される。

免許は家元制度のもとで行われる資格証明であり、その流派だけに通用するものであるとともに、それを受けてはじめて弟子をとる（教授する）ことが出来るとする

もので、教授者を制限する機能を持っている。また学習のプロセスと教員養成のプロセスが一体となっているところに特徴がある。すなわち近代教育のように単なる学習を目的とするプログラムと教員養成を目的とするプログラムが分離していない。いいかえれば優れた学習者は優れた教授者になるものと構想されている。しかし学習に必要な期間は人によって異なる上、最高段階まで習得するのは限られたものだけであり、結果として教授者となるものはごく少数にとどまった。

19世紀に入ると流派の分化が進み、他方他流試合が行われるようになった。こうした中で既存の流派では初伝を早く出すなど、門人のモチベーションを高め、自流にとどめるために免許制度が利用される面があった。江戸時代を通して諸流派が分立する状態が続いている。一旦衰退した剣術諸流派が剣道として統合・再生されていくのは、明治に入って警察や軍隊での採用、また学校剣道の成立による。もっとも現在でも日本古武道協会には80流派が登録されている。

以上の報告から今日の免許制度を考える上で多くの示唆が与えられる。

家元制度は、家元が成り立つ優れた知識や技術を維持、継承するためのものであるが、そのためには家元が知識や技術を独占することが必要であるがそれとともに、家元が存在し続ける経済的基盤も無視することができない。したがって門人を多くかかえ、免許を出すことで収入を得るという側面もあったといえよう。しかし師弟関係を尊重し維持する社会的必要が薄れるとともに、弟子の中でも技術的に優位に立つものが出てくるようになると、分派し独立の流派を名乗るようになっていく。

こうした点からは近世の免許制度は、知識や技術を確実に継承していくための制度であると同時に、教授者を制限する機能を持っていることに注目すべきであろう。そのことは教授者の経済的基盤を確保する意味とともに、社会的には当該知識や技術を有するものがさほど多くは必要とされていないという事実が背景にある。

しかし、他流試合が認められるとともに、様々な者の指導を受けられるようになると、家元だけが知識や技術についての優位を確保することはできなくなる。これは学習者の側から知識や技術の内容やレベルが評価されるようになることを意味する。すなわち家元の権威が相対化されることであり、社会的に比較検討され評価が行われることを意味する。幕末期には様々な番付の流行があったが、そのような社会的評価が行われたことを示すものである。そこまで行かなくとも学習者は様々な道場の評判を聞き、自分の実力を考えてどの道場で学ぶかを決めたのであろう。優れた師がいるときけば修行のために遠路をいとわず訪れて指導を仰ぐことが行われたのである。

こうした要因として武術の場合は幕末期の海防問題があげられよう。すなわち江戸期を通して実践的技術としての側面を弱めてきた武術は、ここに来て一挙に実戦のための技術が求められるようになる。一方、洋式軍事技術が導入されることで伝統的武術や兵学に対して厳しい評価がされるようになる。

こうした動きは伝来の武術の改革ともなり、藩校などでもそれまで禁止していた他流試合が認められ、また各流派の長所を総合して新たな流派とする場合もあった。藩校では武術などの学習には師範への個人的な入門が必要であったのが、それをしなくともよいとされる場合も生まれる。すなわち多くの者に短期に学習させるためには伝統的な家元制度では難しいことが明らかになってきたのである。

明治維新以降は、学校教育の整備が進み、出版や学術研究が活発に行われるようになり、移動の自由や職業選択の自由が認められて、知識や技術へのアクセスが拡大され、誰もが自由に学習する条件が広がる。こうした中では従来の家元制度に基づく免許では意味をなさなくなってきたといえる。このため急速に教員資格や免許制度の整備が進められることになるのであるが、そのプロセスについては本研究の中心的な課題の一つである。このゲスト報告から学んで、研究を進めていく必要がある。

１１．ＥＵ圏にみる教師専門性の国際基準化ほか（八木英二）

ＥＵ圏の教員養成制度は、国ごとにあるいは地方ごとに様々な方式をとっており、ＥＵは各国の教育については干渉しないという原則を持ちながらもグローバル化の影響を受けて教員の資質向上などを巡って統一の方向を探る動きがでている。特にボロニア宣言とリスボン戦略に基づいて、ＥＵ圏における教員資格の国際基準化のとり組みがある。それは欧州高等教育圏の構築を目指して高等教育の単位互換や学位の互換性などを制度化する動きと関連している。

2005年に欧州委員会によって承認された「ヨーロッパ諸国共通の教員資格･コンピテンシー基準」は、教師を、十分に資格のある専門職、生涯学習のコンテキストの中にある専門職、移動する専門職、パートナーシップに基づく専門職の4つの性格を強調し、その立場から教師ができるようにならなければならないキイ･コンピテンシーとして、他者との協働、知識･技術･情報を用いる仕事、社会における社会との協働をあげている。その上に立って、国内的、地域的な政策立案者への勧告として、①教育専門職を十分な資格のあるものにすべきである、②教育専門職は教師養成教育、導入教育、継続的専門職発達を含む連続体と見なすべきである、③教師の移動性が奨励されるべきである、④教育専門職の仕事は他の関係者とのパートナーシップで行われるべきである。

その後、2007年8月3日に欧州委員会の欧州理事会と欧州議会への文書「教師教育の質の改善」が発表され、さ

らに同年12月12日には、教師教育の質に関する2007年11月15日の欧州理事会における、ＥＵ加盟諸国政府代表と欧州理事会の協議の結論を通知している。

１２．愛知大学における初期の教職課程の手引きの紹介（佃隆一郎）

愛知大学教職課程を開設した初期の「教職課程の手引」に教職課程や教員免許についてどのように記述されているか、紹介をした。資料とした「教職課程の手引」は1955、1957、1959、1961年の4種である。

愛知大学における教職課程は1951年より始まっている。教職課程の履修についてはじめは『学生便覧』に掲載されていたものを、1954年に課程認定制度が始まるのを受けて1955年には『学生便覧』から『教職課程の手引』の独立という形で履修指導が本格的に開始されていることが注目される。こうした大学レベルでの指導の動向を免許法改正の動向の中でどう位置づけるか今後検討を進めていきたい。

１３．新政権における教員養成政策の動向（田子健）

本報告では昨年秋よりにわかにクローズアップされてきた6年制教員養成問題の動向の一つとして2010年2月27日に福井市で行われた鈴木寛文部科学副大臣の講演の内容について紹介をした。

鈴木氏は、国際的に高度専門職業人の養成は長期化している状況を踏まえて、中央教育審議会の指摘するわが国の教職課程の課題に応えるためにも、教員の自主研修の時間が短くなっている状況や小規模校の増加、さらには今後教員の世代交代で経験の少ない教員が大幅に増加する状況があることなどから、教員の資質向上の取り組みが緊急不可欠になっているとする。

これに対して、現状では教員養成をしても教員免許取得者の3分の１しか教員になっていないこと、また教育実習期間は国際的に見てきわめて短いという状況がある。したがって教員の資質向上のために抜本的に制度を見直す必要があるとして、６年制（修士）の養成課程を創設し教育実習を１年とするなどの提案をしている。資質向上の取り組みの例としては教育委員会による「教師塾」や大学での取組事例も生まれており、教職大学院も発足している。それらを生かして取り組みを進める必要があるというものである。

１４．教育職員免許法の法的性格について（蔵原清人）

教育職員免許法を法制度の中で位置づけようとするとき、教育法制全体の中での位置づけや教員法制の中での位置づけなどが考えられる。また実際に教育職員免許法が問題となる場面は、学生が免許取得をする場合や大学にとっては課程認定などの場合に、事実上限られる。そうした問題意識を持ちながら本報告では免許法の法的性格についての検討を行った。

まず、教員免許状とは公教育に携わる教員資格の公証である。わが国では免許状取得は採用と直結していない。実際に教員になるために免許取得と採用の二つの段階があることは大きな特色である。

教育職員免許法の法的性格としては、教員免許に関する行政手続き法、国民の教育に関する権利法、教員養成に関する教育内容･方法等の規定法の３つの面がある。

行政手続き法としては、免許状の効力として教員になるには免許状を持っていなければならず、免許状を持っていない者は教員になれないという業務の独占（免許）であり、それを確実にするための罰則規定がある。また免許を必要とする教育職員の定義および免許状の種類、授与の手続き、免許状の管理などが規定されている。

教育の権利法としては、免許取得の欠格条項の制限、免許状授与の手続きにおける政府の関与の制限、大学の自治と学問の自由が保障される大学における養成、国民の教育権をできるだけ制約しないなどの規定があることは大きな特色として評価するべきである。この点では戦後の憲法の保障する人権条項との関連でなお検討を進める必要がある。

さらに教員養成の教育内容･方法の規定法としては、免許状取得のために教職課程において取得を必要とする科目の単位が細かに規定されている。また学生への指導の規定や教職課程担当教員の審査などの規定があるが、これは教員としての要件を定めるものである。

近年の免許法の改正を見ると大学における教員養成に対する規制が強まっているが、特に学習指導要領の改訂にともなって教科の免許状新設や教科に関する科目や教職に関する科目の内容など教育職員免許法が改正される傾向がある。こうした教育職員免許法の動態についても、政策論的検討だけでなく、法制度的な検討が必要である。

１５．今後の課題について

2009年度は以上のように研究の第2年度として各自のこれまでの研究を中心に教員資質論に迫る研究を進めてきた。2010年度は、研究の最終年度として、3年間の研究成果をまとめる予定である。

（文責　蔵原清人）

付記　なお研究者の所属は2009年度のものである。

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—

工学院大学ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ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・エンジニヤリング株式会社　小屋　敏行

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

—Gasification of Woody Biomass with Dual Tower Gasification Furnace —

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

ABSTRACT: Converting the fossil-fueled vehicles to woody-biomass fueled vehicles, where the biogas is produced by a tarless gasification furnace, is estimated to reduce global fossil emissions of CO_2. 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. Miniaturization of the gasification furnace, increase of quantity of generation gas and reduction of tar are necessary to install the gasification furnace in a vehicle. 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，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た．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

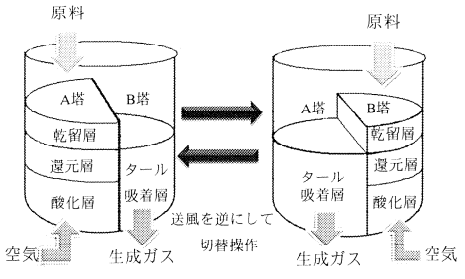


Fig. 1 二塔式ガス化炉原理図

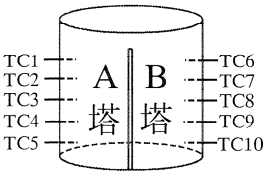


Fig. 2 熱電対設置位置

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．

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. 3 に示す．

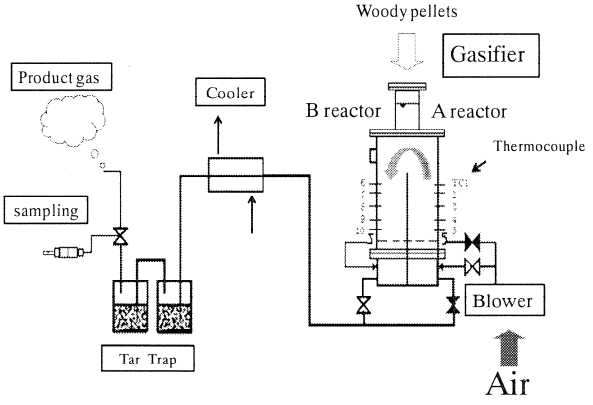


Fig. 3 実験装置図

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，両塔に着火炭，チャーをそれぞれ 100 g , 350 g 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．原料投入量(260g)及び切り替え時間(12min)を固定し，空気供給流量を 29, 34, 46 L/min（空燃比 0.25, 0.3, 0.4 に相当）の範囲で変えた．

3. ガス化実験の結果及び考察

3.1 炉内温度挙動

空燃比 0.3 における炉内温度の測定結果を乾留層，還元層，酸化層の温度である TC3 , 4 , 5 (A塔), TC8 , 9 , 10 (B塔) のみを Fig. 4 に示す．炉内温度は切り替え操作毎に周期的に変化し，乾留層温度は 600°C，還元層は 900°C，酸化層は 1150°C に達した．熱分解及び還元反応が十分に行われる温度である[3)4)]．空燃比 0.25 では 0.3 に比べ各層の最高到達温度が約 100°C 低く，0.4 では約 100°C 高い．温度が低いと熱分解が十分に行われず，高いとチャーの層高を維持できず，安定した連続運転は困難である．

3.2 生成ガス

空燃比 0.3 において行った各サンプリングガスの組成を Fig. 5 に示す．各サンプル間で大きな違いは見られず，安定的に連続運転が行えたといえる．各空燃比における生成ガス組成を窒素を基準物質として換算し，Fig. 6 に示す．空燃比 0.4 では他の空燃比に比べて CO_2 が多く，CO が少なかった．これは，チャー層高の低下により，還元反応が十分に進まなかったためと考えられる．

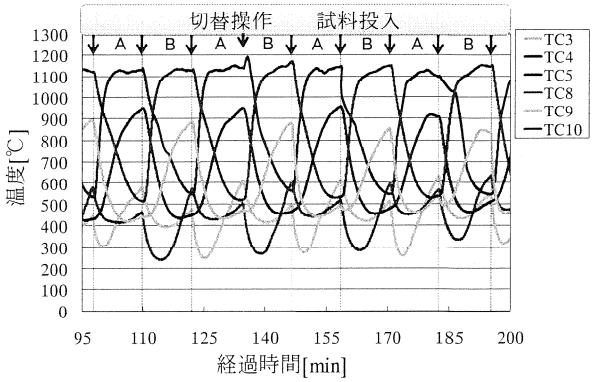


Fig. 4 炉内温度の経時変化(空燃比 0.3)

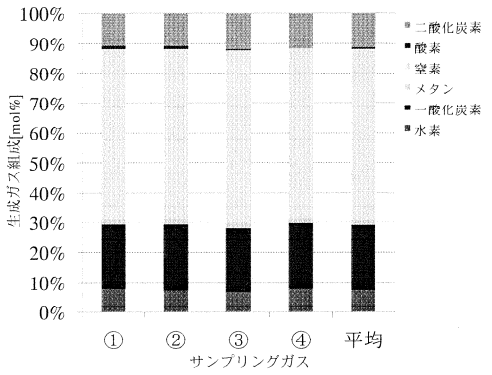


Fig. 5 空燃比 0.3 における生成ガス組成

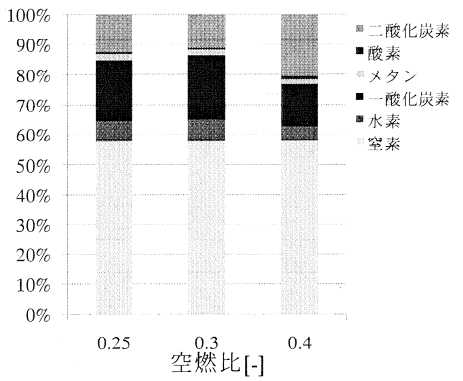


Fig. 6 各空燃比における生成ガス組成

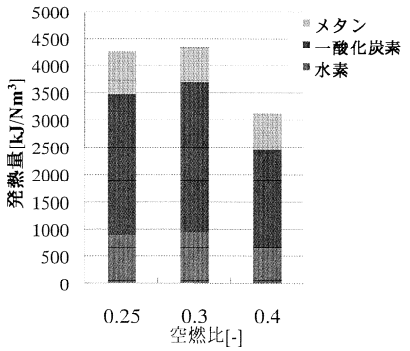


Fig. 7 各空燃比における生成ガス発熱量

各空燃比における生成ガス発熱量をFig. 7に示す. 空燃比0.3において生成ガスの発熱量は最も高く約4360 kJ/Nm³であり, 冷ガス効率と炭素収支は57.4 %, 78.8 %であった. 内燃機関へ利用可能であると考えられる4). 空燃比0.25においても4195 kJ/Nm³と高い発熱量が得られたが, 生成ガス流量が低く, 冷ガス効率, 炭素収率は46.6%, 65.8%となった.

3.3 マスバランス

炭素収率の不足分はタールと考えられるため, 空燃比0.3におけるタール生成量を熱分解温度 400-500°C における生成タールの元素分析値[5] (Table 1)を用いて算出し, 残りのH, OをH_2O として, ガス化反応における物質収支及び各元素収支をTable 2及びFig. 8に示す. 木質バイオマスの乾留によるタールへの転換率は20-30 wt%と報告されている1). 本実験における物質収支からタール成量は40 g/batch と算出され, 投入した木質バイオマス260 g/batchに対して, 15 wt%の転換率となり, タールの分解, ガス化が行われたと考えられる.

3.4 エネルギーバランス

空燃比0.3における物質収支を基にエネルギーバランスを算出し, Table 3及びFig. 9に示す. このとき, 放熱損失は入熱に対する不足分として勘定し, 実験に用いた 1kW のヒーターは, この勘定に算入していない. タールの発熱量及び顕熱として14.6%のエネルギーを損失しており, よりガス化炉内でタールを分解することにより, ガス化効率を上げることができると考えられる. 生成ガス顕熱は11.5%に及び, 無視できない量だといえる. 生成ガスを内燃機関に利用する際は, 冷却する必要であるが, 回収熱はリサイクルすることが望ましい. ガス化炉が小型であるために放熱損失も15.8%と大きくなったが, 負荷量を上げることで, その割合は小さくできると考えられる.

3.5 タール濃度

熱交換器及びタールトラップを通過後の生成ガス中に含まれるタール濃度を測定したところ, 空燃比 0.3 において 8040 mg/Nm³であった. 内燃機関へ利用するためには, 100 mg/Nm³以下であることが必要であり, 要求水準を満たせていない. タール吸着層をより高温に維持できる運転条件(切り替え時間, 原料投入量)を解析することにより, 一層のタール削減が必要であると考えられる. しかし, タール吸着層だけでタール濃度を要求水準まで下げることは困難と考えられるため, 生成ガスを内燃機関へ利用するには熱交換器及びタールトラップの改良が必要だと考えられる.

Table 1 熱分解温度400-500°Cにおけるタール元素分析値[5]

	wt%			
生成タール	C	H	N	O
	63.8	6.9	1>	29.2

Table 2 空燃比0.3における物質収支及び各元素収支[%]

	全質量	C	H	O
ガス	71.2	78.8	29.5	70.3
水	17.7	0	53.6	24.8
タール	10.8	21.2	16.7	4.9
合計	99.7	100	89.8	100

Table 3 空燃比0.3における熱勘定表

二塔式ガス化炉			
入熱	%	出熱	%
燃料の発熱量	100	排ガス顕熱	14.4
		排ガス発熱量	47.1
		タール発熱量	22.2
		タール顕熱	16.3
		放熱損失	
計	100	計	100

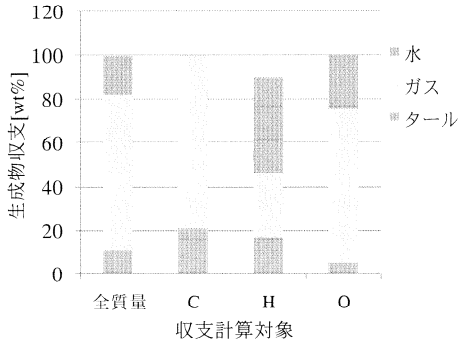


Fig. 8 空燃比0.3における物質収支及び各元素収支

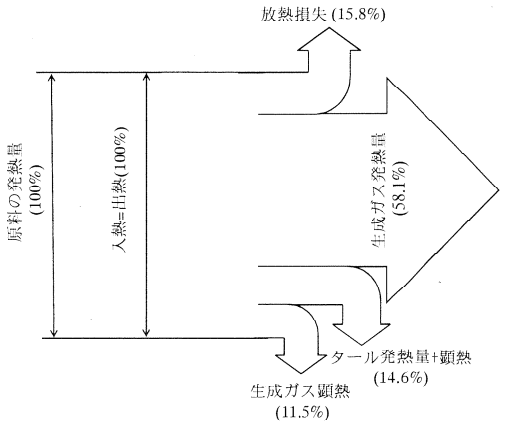


Fig. 9 空燃比0.3における熱勘定図

4. 車載用ガス化炉

本実験で用いた二塔式ガス化炉を基にスケールアップし，車載用ガス化炉を製作した．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触媒充填層を設けてある．触媒充填層を除いたガス化炉容積はスケールアップ前の6.67倍あり，本実験結果から算出される車載用ガス化炉のガス生成能は，0.3 Nm3/min, 22 kJ/s 程度と考えられる．本実験結果は最大負荷量での実験ではないため，車載用ガス化炉には，これ以上の生成能があると考えられる．スケールメリットを考えれば，ガス生成能は更に上がると考えられるが，触媒層によって熱効率が悪くなることも考えられるため，実験による解析及び最適運転条件の検討が必要である．

本実験結果では，ガス化炉出口のガス温度は400°C程度であり，触媒によるタールの分解は困難だと考えられる．よって，触媒充填層では，タールを分解するのではなく，吸着し，トラップすることで低減化することが有効だと考えられる．まずは，ガス化炉運転に再利用できるチャーを触媒層に充填し，その効果を検証する．

5. ガス利用エンジンシステム

ガス化炉から得られた生成ガスを自動車の動力へ転換する方法として，内燃機関で燃焼させ，発電機を通し電力として出力を得る方法を取った.軸出力から直接駆動させる方法に対してこの方法を取るメリットとして次の点が挙げられる．

- エンジンを一定回転で運転可能なため，最も効率的な回転数での運転が可能で，経済的である．
- ガス化炉から連続的に一定量のガスが供給されるため，回転数の上下する通常のエンジン駆動ではアイドリング時などガスが全て燃焼されず無駄になってしまうが，常に一定回転している電気駆動ではそのようなことはなくロスが少ない．
- エンジン発電機とモーターの間は電気配線であればいいのでレイアウトの自由度が高い．

発電にはディーゼル発電機を用い，生成ガスの予混合により主燃料である軽油の消費量を低減させる．

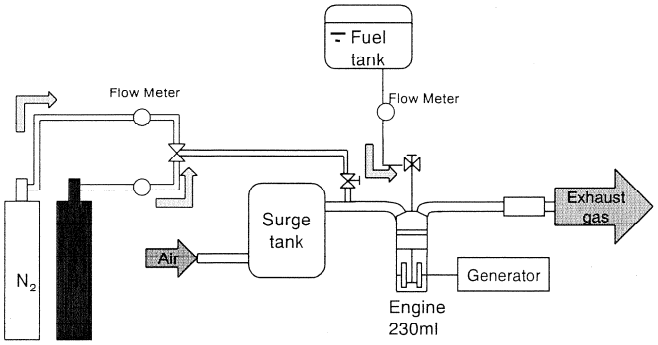


Fig. 10　実験装置の概略図

6. ガスエンジン実験装置及び実験方法

今回の実験では生成ガスを模擬したガスを混合し，燃料消費の低減効果，及びガス混合限界量の検証を行う．実験装置の概略をFig. 10に示す．

生成ガスの成分（Table 4 参照）から水素と窒素の混合により模擬ガスを作る．配合比を変えたガス 2 種類で実験を行い，熱量を基準にしたガスと燃焼限界を基準にしたガスでの削減効果を検証する．

Table 4 生成ガス成分

N_2	56%
CO	26%
H_2	6.6%
CH_4	1.5%
CO_2他	9.9%
総熱量	4.112 MJ

この条件を模擬するため，水素を以下の様に希釈する．

・ガスA熱量基準　　窒素：水素＝3：2
・ガスB燃焼限界基準　窒素：水素＝4：1

実験手順.

(1) 通常の運用と同様に軽油を使用しての燃焼で十分な暖気を行う．
(2) ガバナ(調速機)でエンジン回転数を3200 rpmに調整.
(3) 暖気完了後吸気管中へガスを投入．回転数が上がるため同様に回転数を調整し一定に保つ.
(4) 回転が安定した後，軽油の供給を燃料タンクから計量管からの供給に切り替え，時間当たりの燃料消費量を計測する.

7. ガスエンジンの実験結果及び考察

7.1 ガスA熱量基準

生成ガスを熱量で模擬したガスでの実験結果がFig. 11である．ガス投入量の増加に比例し，主燃料である軽油の消費量は低減されていき，75 L/min 混合時に燃料消費量は2.5 g/minとなり，無混合時の8.4 g/minに対し約30% にまで削減できた．

投入したガス及び軽油の発熱量とその合計をFig. 12に示す．その合計は投入量の増加に関わらず若干の上下はあるもののほぼ一定であり，投入されたガスが全域でほぼ完全に燃焼されている結果であると考えられる．投入ガスが全て燃焼されていることから，実際に生成ガスを燃焼させた場合でも今回行った実験の範囲であれば生成ガス中に含まれる有害成分であるCOや危険性の高い水素がそのまま排出されることもないため，安全性も確保される．

7.2 ガスB　燃焼限界基準

ガス混合比を燃焼限界を基準に混合した実験の結果を Fig. 13に，投入したガス及び軽油の発熱量とその合計をFig. 14に示す．ガスの体積当たりの熱量が低いためガスAほど消費量の

削減効果は得られなかった.

また期待していた混合限界量であるが，今回測定可能であった範囲では限界量まで達せず，混合限界量は測定不能であった.投入熱の総和に関してはこちらの条件でもほぼ等しく推移し，完全燃焼はしているものと推測される.

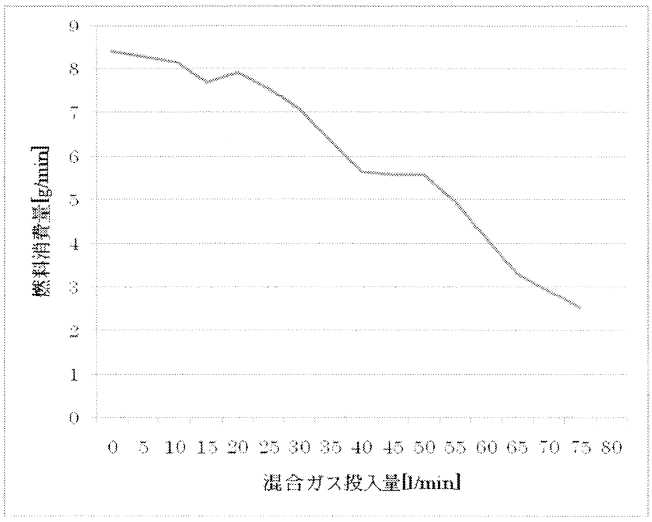


Fig. 11　ガスＡによる燃料消費量削減効果

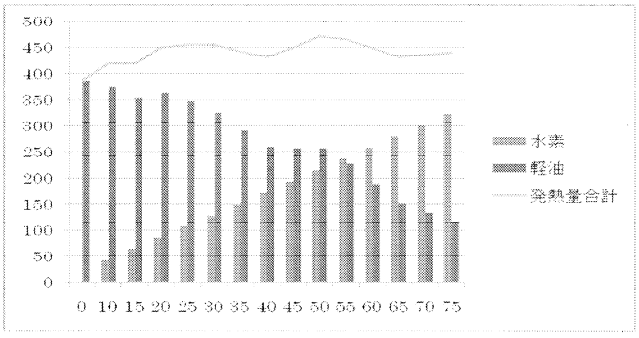


Fig. 12　条件Ａガス・燃料発熱量合計

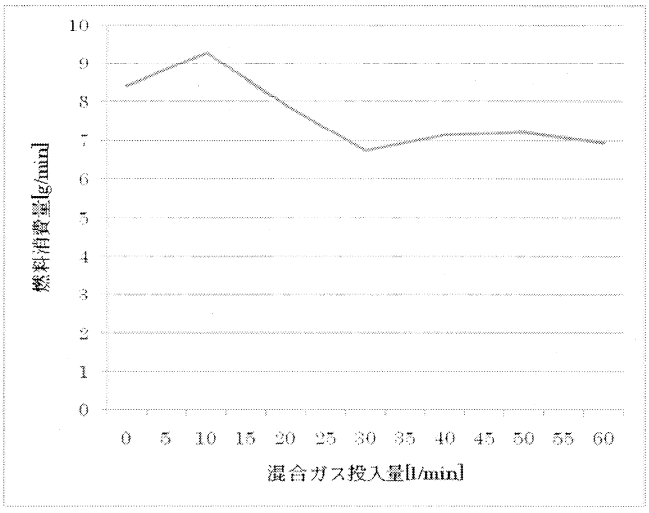


Fig. 13　ガスＢによる燃料消費量削減効果

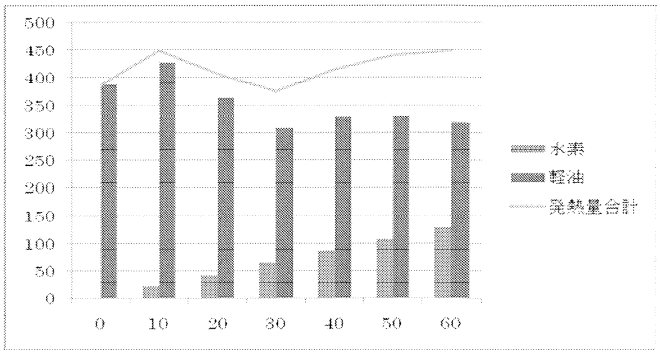


Fig. 14 条件Ｂガス・燃料発熱量合計

8. 結言

空燃比 0.3 において，ガス化反応に必要な各層の温度を維持でき，内燃機関に利用可能な発熱量を達成できたが，タール削減の必要性が示された.

エンジンの実験の結果から，体積当たりの熱量が同等の生成ガスを用いた場合でも同様に燃料消費量の削減効果が得られるものと推測される.

生成ガスを自動車燃料として用いることで駆動に必要な燃料を大幅に削減することが可能になる．ガス自体は木質資源を原料とするため，完全にクリーンなエネルギーであり，着火燃料としてバイオディーゼル燃料等を用いることで完全にクリーンなエネルギー源としても利用可能になる.

引用文献

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)　日本エネルギー学会，バイオマスハンドブック，オーム社 (2002).
4)　塩ノ屋幸造，木炭自動車，パワー社 (1996).
5)　蓬莱堅一他　「木質系バイオマスを用いた高効率熱分解ガス化発電」クリモト技報，　No.53 (2006).

Innovative Identity Matrixing Model in the Trans-Cultural Era

Michael Kearney **General Education, Kogakuin University**
Setsuko Adachi **General Education, Kogakuin University**
Shuichi Kawasaki **The Japanese Red Cross College of Nursing**

Transcultural な時代の創意性をもたらすアイデンティティ - 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 begin with a discussion of the Identity Matrixing Model and its relevant concepts. 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. The last section of the report will consider Japanese cultural/linguistic interferences. Here it will be demonstrated that the discursive formations currently dictating cognitive processes in Japan inhibit individuals from operating at maximum efficiency in the paradigm of hybridization and globalization; rather these discursive formations will be shown as operating in a manner that undermines mutually benevolent and successful interaction on the world platform. The culturally constructed mechanisms controlling this scenario have been revealed by the group's research into Japanese identity formation from the latter half of the Nineteenth Century to the current period and the lasting effects that these mechanisms of the Japanese Symbolic Order have on Japanese perceptions of non-Japanese individuals and culturally constructed systems is considered.

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(Informatization)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・マトリクシング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2009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、その状勢に対応したアイデンティティ形成の理論モデル、Identity Matrixingを論じ、混文化性との関連付けの中で重要となる概念の提示を行う。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、進捗状況を紹介する。これは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英語のプログラムである。その鍵となるのが、1つはGlobal Hodological Mapsであり、もう1つは多様性と相互尊重を基盤にした共存のためのアイデンティティである。この相互尊重と人類の平等な共存を推し進める英語プログラムの実施は、共存をむしろ脅かすことにつながる言語的／文化的干渉を浮かび上がらせてきている。そこで、本報告はこの言語的／文化的干渉のあり方の分析、特に日本人アイデンティティのうちの日本／非日本観の調査、分析の経過報告でもってしめくくる。

2. An Identity Matrixing Model for Transculturality

本論文、*An Identity Matrixing Model for Transculturality* はイギリスのOxford大学Mansfield Collegeで2009年9月に開催された3rd Global Conference on Multiculturalism, Conflict and Belongingで発表したものである。なお、本論はInter-Disciplinary Pressよりe-bookシリーズ、At The Interface: Cutting-Edge Reasearchの一巻 Looking At Ourselves: Multiculturalism, Conflict & Belonging (Katherine Wilson編 2010年 http://www.inter-disciplinary.net/at-the-interface)に所収されている。また、本論は別途、書籍掲載用に依頼があり、現在その書籍用に増幅加筆といった執筆作業中である。さらに、学会側が本の企画段階でこの分野の最適人者として、本研究代表者、Michael Kearneyに編集を依頼があり、氏はすでに本の編著作業に入っている。それに加えてKearneyは足立との共著論文は無論、学会での発言、貢献がDr. Robert Fisher, Dr. Alejandro Cervantes-Carsonらの目に留まりSteering Committeeとして学会運営側に参加することを要請され、受諾していることは特筆に価する。また2010年9月に4th Global Conference on Multiculturalism, Conflict and Belongingが開催されるが

Kearney は *Designing Singaporeans: A Project in Identity Construction*、足立は *Undermining Coexistence: Japanese Discursive Formations Related to Empathy* の abstract が通り、発表が決定している。

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、問題の種となっているが、AICS が地域的／文化的な構築を、有無を言わさずハイブリッド化 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、非常に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こと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シングと水平方向に起きるマトリクシング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の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変えられる。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ヴに機能する、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ってのみ、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。

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。

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。

ECSPは2009年度、文部科学省の大学教育・学生支援推進事業に『国際的発信力を高める体系的な人材養成教育』という取り組み名称で申請を出した(A31032)。結果は不採択であったが、大学教育推進プログラム審査結果表には「意欲的な取り組みとして高く評価

できる」という評価があり、「将来の規模拡大に向けた実施体制の強化についても検討し、見通しを示すことが必要」と見通しが弱い点を指摘されているが、大規模な実施には大学をはじめ各学部からの後押し、さらなる協力が望まれると同時に、ECSP/PICC を担当できる教員の増員が必要不可欠である。

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。

このセクションでは、本研究のテーマにあわせて、transcultural な時代のアイデンティティ形成という視点から ECSP／PICC の成果を論じていく。ECSP／PICC とも 2009 年度はじめて正規の修了生を出している。

筆者たちは ECSP/PICC の両プログラムのデザインを手がけ、現在その運営にあたり、プログラムで教鞭をとっている立場にある。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／地域社会と人間の関係を理解、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。そのはじめの一歩が、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。

Citical 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いてるが、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 として開催していもら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。2009 年度は以下のように計 4 回開催した。

Dax Thomas 氏 Meiji Gakuin University
Digging Up the Past: A Very Brief Introduction to Archaeolgy

Keith Hopper 氏 Kellogg College, Oxford
Negative Capability: The Strange Case of John Duffy's Brother

Neil Murphy 氏 Nanyang Technological University, Singapore
Literature and Beauty: Reading Literature as Art Objects

Alan Vardy 氏 University of Dundee, Scotland
Tunnels and Sonic Booms
Cross-Cultural Discussion

講演の内容は考古学、文学、美術、流体力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す非日本文化·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。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。

4.1 Transculturalな時代と共存意識

Transcultural な時代にポジティブに対応できるアイデンティティの形成に Meta-Symbolic Orderの理解が重要であることは上述したとおりである。もう一つ transcultural な時代に生きる者にとって重要なのは「共存」への意識である。共存は「異なり」と多様性の認知とその人たちの存在を尊重することに始まるといえる。ECSP/PICC に携わっていると日本文化／日本語による言説編成が、英語コミュニケーションおよび「共存」を考える上で干渉、障害となっていることを体験する。自立して思考する個の養成に対する日本文化／日本語による干渉は、時に非日本に対する非人間的な側面をみせる。以下簡潔に具体例をあげる。これらはECSP/PICC の学生や本学の教職員から悪意なく無邪気に出てきたものだが、日本語／日本文化の言説編成に見受けられる二項対立が透けて見える例である。

2010 年 5 月日本人とは外人とはということにまつわる興味深い見解がある会議で述べられた。日本国籍はもっているが、ただし 1 歳からアメリカ合衆国に住んでいるので「日本語はきっと話せないから、実質外人であろう」という趣旨の発言である。これに同調の笑いがこぼれていた。これは発言者、および同調者に彼らにとって日本人というのは日本という空間にいて日本語でプログラミングされている人を意味し、日本人は日本語を喋らなければ日本人でないという前提があることを示している。

これは「帰国」生が直面する問題と同質である。帰国生たちは、日本国籍保持者でも日本語のほかに日本語以外のプログラミングをされている人ゆえに日本人のカテゴリーが疑問視されるということを、多かれ少なかれ経験している。

これらの例からは日本の言説編成のうちに排他的な、反共存的になる要素が含まれていることがわかる。 日本人とそうでない人の線引きの先に現れてくるのは日本人優越主義である。こうした心理的仕組みを持つ日本人に英語(外国語)拒絶が多いのもうなずける。多様性への拒絶が浸透しているからである。その良い例が以下のものである。

学生がくしゃみをした。たまたま居合わせた

教員が「Bless you(お大事に)」と言ってくれた。学生は、労わってくれた人を目の前にしながら、「英語、怖い」と横にいる友人に向かって言ったのである。学生は自分がその人に向かって「無礼」であり、相手の人間に侮辱的な態度をとっているということには気づいていない。

別のケースでは、海外からの客人を連れてキャンパスを歩いていたら、知り合いの日本人教員に遭遇した。そしてその教員は、その客人を目の前にしながら、和やかに「誰なの、この人」と私に聞かれた。この先生も客人を無視するという失礼に気がついていない。

こうしてみるとどうやら非日本を対等のものとして受容する心理的仕組みが、近年の日本では貧弱になっている傾向にあるようである。ある意味、日本中心が全世界になってしまっており、国際的世界の中の日本という視線が、日常的に、大学である本学からですら欠落傾向にあるのである。裏を返せば、世界にいる多様な人々の存在の認識が欠落しているといえる。この日本をスタンダードとし、そこの規範、場に従うこと、同調すること、場合によっては忠誠を示すためにか「過剰」適応すること、自分を無力化する形で適応すること、それが安心感をもたらす点について、そしてそれがいかに強い日本という枠組みを出ないようにする圧力によって成り立っているのかについて『まわりにあわせすぎる人たち』という本に以下のような記述がある。

> みんながなにか同じことをする、同じ方向に進んでいっているという一つの熱気や連帯感を感じることが、コミュニケーションや意思疎通だと思ってしまうところがあると思う。そういう思い込みがあるから、逆に、相手と一から相違点を話し合うような対話コミュニケーションから遠ざかってしまう。つまり苦手なわけですね。
>
> この国[日本]は、一つの問題が起こると、真剣に考えることは決してせず、ただ脇を固めることだけはすごい同調圧力をかけてやってきた。。。(名越&ロブ@大槻、pp.30-31)

ここに示されている心理的な仕組みは、場の力関係を読み、そこの力に従うことを好む仕組みである。これに関連する興味深い心理構造に、適応しなければならない先が、それ以前にいた場とは異見を持っているとき、別の場ではAに同調したが、ここの場では以前とは異見のBに同調するという心理構造がある。そしてこの一貫性の無さ、無力化した個の存在を往々にして日本的言説編成は容認していることである。保身のための、ダブル(あるいはそれ以上の数の)スタンダードをもつことが、日本の枠組みの中にある限りであるが、従の立場にあるものの態度として寛容に受け入れられるのである。この仕組みについては甘えをキーワードとして論じている Adachi & Kearney の *Globalization and Identity: A Case Study of Japanese* Amac を参照されたい。個に人格の一貫性、Integrity を要求しないシステムとなっていることを甘えと場の分析から解明してある。

こうした中では非/異日本スタンダードを持ち、一貫性をもつ個で、initiative をもち自立的であることは排撃の対象となりかねないのであり、それは今日の多様性、ハイブリッド化したグローバル化した世界の中で共存をもたらすアイデンティティ形成のための障害となっている。

個の同調性と無力化した個に基盤を置く文化的プログラミングでは、異質性を否定的に認知しがちな上、先の引用にあるように相違点をベースにした客観的な言葉を媒介として交流するということがおきにくい。Global Hodological Maps への理解とそのマトリクシングが重要なのは、それが干渉の解消への重要な役割を担うからである。

さて、以上で日本人の非日本人観を駆け足で観察、分析したが、本共同研究者グループはこれまでも今日のハイブリッド化し、グローバル化したパラダイムの中で日本人の個が最大限に積極的な貢献力を発揮できない言説編成、というよりもむしろ、相互に尊重を重んじた寛容な交流を封じる言説編成を研究対象としてきた。このように思考、行動を阻むようにコントロールする仕組みを、19 世紀後半から今日にいたるまでの日本人のアイデンティティ形成を対象にして分析し、それらが今日に至るまでいかばかり日本的象徴界における非日本人の認知に影響し、そして文化的に構築されている

かを明らかにしている。すでに述べた同調性と無力化と非日本人観は、それらの研究と合致するものである。その研究をさらに深化させるためには、同調性と無力化と非日本人観が端的に表出する戦争時を調査する必要がある。すでに以前、第二次世界大戦をどのように捉えているのか、を日本とアメリカで作成された映画を題材に比較研究し、場面が表現すべきと思われる感情、態度の相互の文化的認識の食い違い、同じ場面を鑑賞しながらほぼ正反対の日米観客による感情移入の違い等をあぶり出す発表を行った。今回は第二次世界大戦中、勝利した直後から残虐行為を大量に一般市民に行ったシンガポールにわたって調査取材を行うことにした。3月にシンガポールに渡り、Nanyang Technological University の English Division で戦争詩、また人間のアイデンティティを研究している Dr. Lim Lee Ching および同大学の Research Center Fellow である Dr. Jeremy Fernando、氏はその著書(T)error でもってテロリズムがメディアの虚構性によってあおられていることを解体してみせるが、こうした研究者と会談の時間を持ち、シンガポール史では暗黒の時代と捉えられる日本統治時代を取材した。「憲兵隊」への憎悪、また一般、特に中国系市民を恐怖に落とし込んだ「粛清」という大虐殺に関する資料を収集してきた。日本は大勝を納めてシンガポールを手にした。にもかかわらず、すでに敗北した人間に無残極まりない行為を行っている。「粛清」と呼ばれる残虐行為に対する日本側の関心は現在非常に低い。数少ない日本側研究に林博史の『シンガポール華僑粛清　日本軍はシンガポールで何をしたのか』がある。その中に従軍記者松本直治の以下のような文章が引用されている。

> 「『奸漢狩りがある。一緒に来たまえ、取材の一つになる』と、若い顔見知りの中尉に誘われ、長屋と出かけることにした。チャンギ俘虜収容所の近くだった。(中略)鉄網で囲んだ地域の中に壕が掘られていた。深さ約一・五メートル、幅二メートル、長さ約百メートルの細長い壕を前に、後手に縛られず数珠つなぎになった約二百人が座らされていた。座った人々は次々に目隠しされていくのたが、首を振って拒否するものもいた。日本刀が振り上げられ、首が切り落とされると血が噴き上がり、体が壕の中に落ちる。十人ほど切られるのを見ていたが、気分が悪くなった。『もう行かなあかん、長屋君』彼を促して、その場を離れた。若い将校は笑っていた」(pp.134-5)

筆者たちも、実際に切り取った首を片手ににっこり笑って写っている記念写真を目にした。赤ちゃんを放り投げて突き刺していた、と言った記述も残っている。これらが示すのは、この時、日本人は殺す対象を人間として尊重してはいないということである。自分たち以下である存在、忌むべきものとしての視線を心理的に生み出している。それは今日の異質なものへつながっている視線であると考えられる。そしてこれまた記録に残っているように多くの現場にいた日本人が起きていることを酷すぎると感じていた。だがその個はそう思っても、個として、それを止めるための意思は、行動は発揮できなかった。日本という力への同調と適応というシステムのうちに個は無力化しており、非日本への残虐行為に加担することになったのである。

このことは特攻隊の隊員たちにも言えるようである。保坂正康は『「特攻」と日本人』で次のように書く。

> 彼ら特攻隊員ののこされた遺稿は、＜人間＞が＜兵器＞になることを拒みつづけた叫びである。…　彼らが不条理な道を受けいれる以外に道はなかったあの時代の真の残酷さ…　(p. 222)

特攻隊のパイロットになるということはすなわち、お前は爆弾であって人間ではないと通告されているのと同じで、もはや人間であることをカミ扱いにすることで否定されてしまっていることから生じる反発を、彼らは日記で、遺書で残している。

> 「如何なるところに於て如何なる場に直面しても人間としての自己を失はないと云ふ事を申し上げて征きます」(前掲書 p. 218)

彼らは文面で一貫性のある人間としての姿

を保ちつつ、それでも外の行動は同調と適応のシステムのうちに従順を着て、無力化することをしかできず、死を生きていった。保坂の書くとおり、人間性という観点から見たとき、残酷である。じつに巧妙な、そして残忍な無力化のシステムの機能が言説編成のうちにつくられていると言える。そして、それが今なお日本的言説編成の非日本人観の中に息づいているのが見受けられるのであり、解明と対策が必要である。今、これらの研究は進行中であり、次年度以降に成果報告は俟たれたい。

Bibliography

Adachi, Setsuko & Michael Kearney, *Educating Engineers for the 3rd Paradigm: Identity Matrixing and Global Hodological Mapping*, International Cooperation in Engineering Education2008 JSEE Anual 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)

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

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

林博史『シンガポール華僑粛清　日本軍はシンガポールで何をしたのか』高文研、2007年。

保阪正康『「特攻」と日本人』講談社現代新書、2005年。

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-interface.

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.

名越康文　&　ロブ@大槻『まわりにあわせすぎる人たち』、IBCパブリッシング、2005年。

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

Maintaining Japanese Harmony: A

Subjugating Silence, Sound, Silence and the Arts Symposium, Nanyang Technological University, February 28, 2009.

(Adachi, Setsuko and Michael Kearney)

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 —

Hiromichi 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.

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、解明していく。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していく。

２．　研究内容と結果

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有る。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の操縦特性の把握を行なう。操縦特性としては、ドライバの注視（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～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、ドライバに違和感の無いアシスト制御技術の追求を行なう。

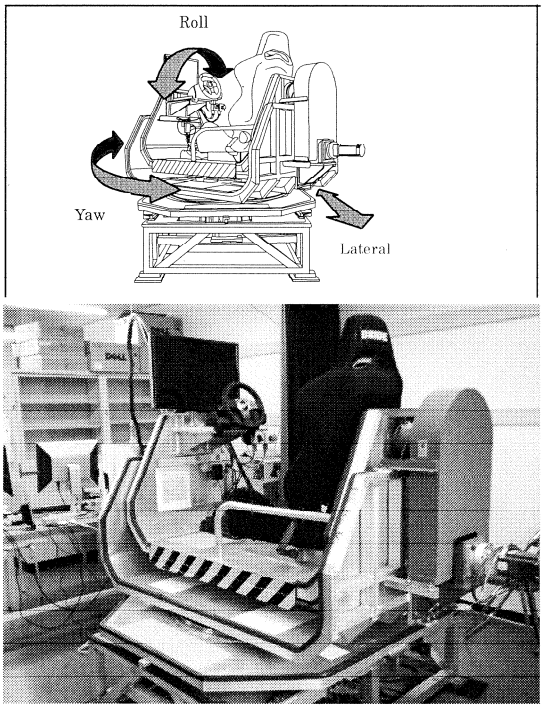


Fig.1　Driving simulator.

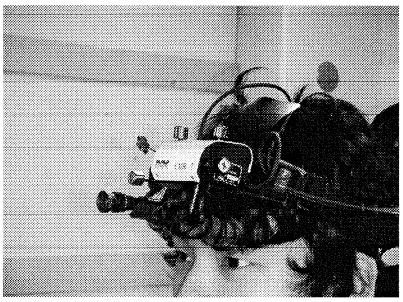


Fig.2　Driver wearing eye-mark recorder.

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行えることがわかる。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。

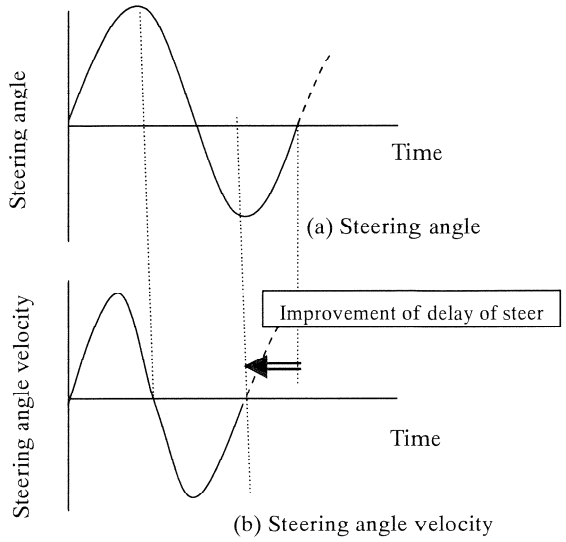


Fig.3　Steering angle and steering angle velocity (time lapse).

一方、問題点も有り、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有る。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、この様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おいては、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おいて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。

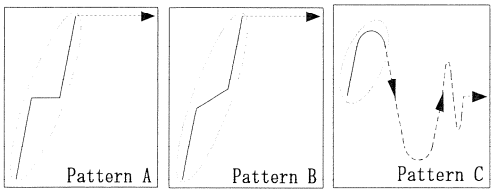


Fig.4　Steering pattern

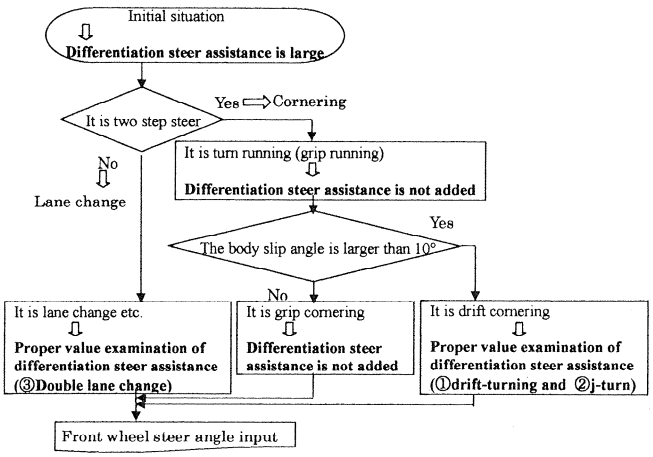


Fig.5　Flow chart of steer method control.

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ぎみとなり、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)。

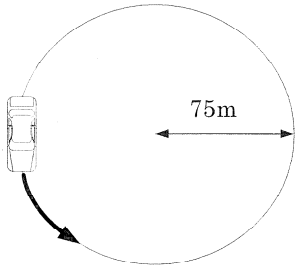


Fig.6　Drift-turning course.

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)。

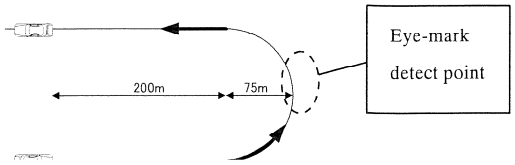


Fig.7　J-turn course.

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。

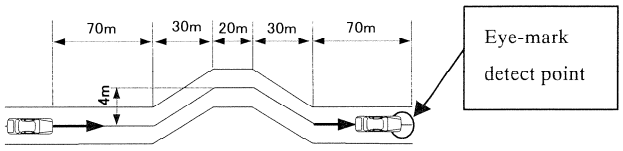


Fig.8　Double lane change course.

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に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。

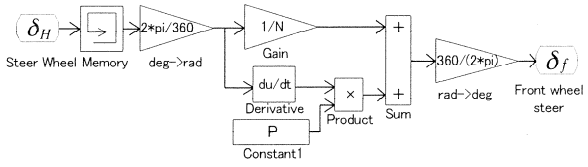


Fig.9　Block diagram of differential steering assist system.

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

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

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いての比較を示す。

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。

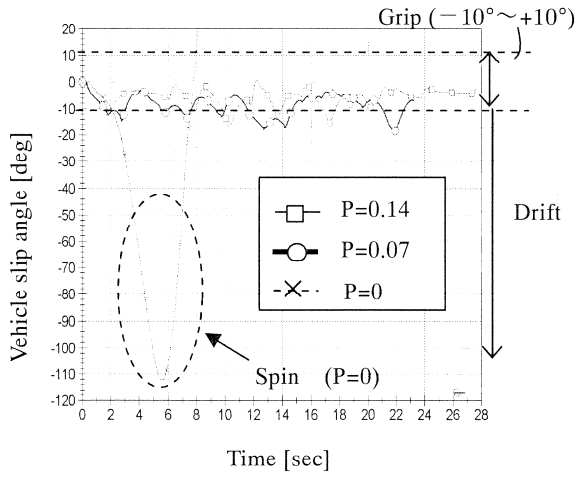


Fig.10　Experiment result of drift turning (vehicle body slip angle, subject A).

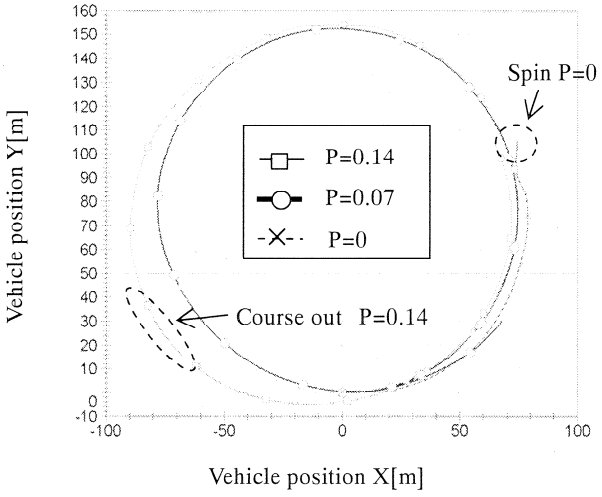


Fig.11　Experiment result of drift turning trajectory (subject A).

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。

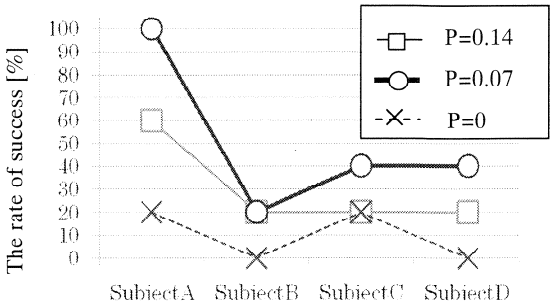


Fig.12　Drift turning success rate.

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。

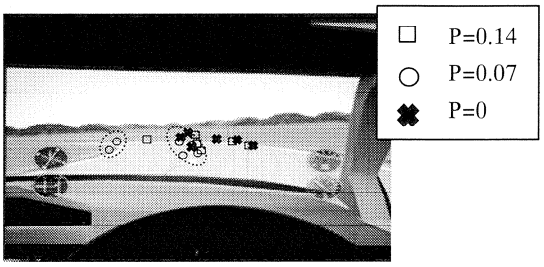


Fig.13　Eye-mark point of drift turning.

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、成功率が良く安定しており、加えて最も視線の集中と視点の位置が良かった。

同様にして、②Ｊ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

また、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。

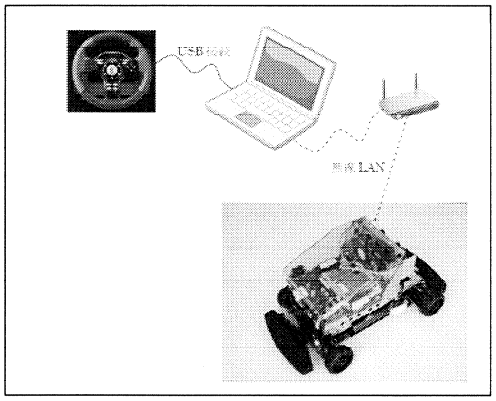


Fig.14　Model vehicle by remote-control.

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。

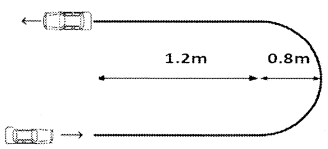


Fig.15　J-turn course.

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 15、図 16 に代表例としての結果を示す。図 15 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 16 は車両のヨー角速度である。また、図 17 はＪターン走行時の成功率である。

図 15、図 16、図 17 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が少ない、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 Vmax=1.8[m/s]、P=0.07 の時は Vmax=1.9[m/s])。

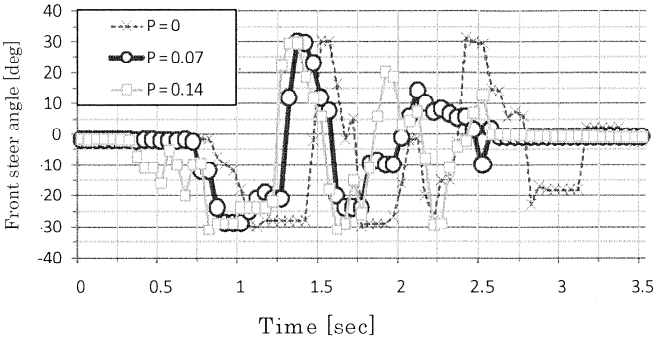


Fig.16　Front steer angle.

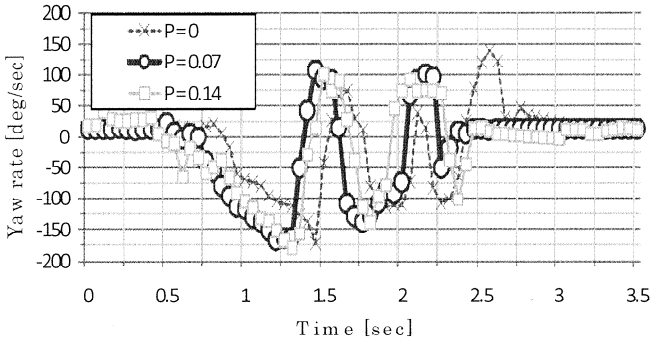


Fig.17 Yaw angle velocity (yaw rate)

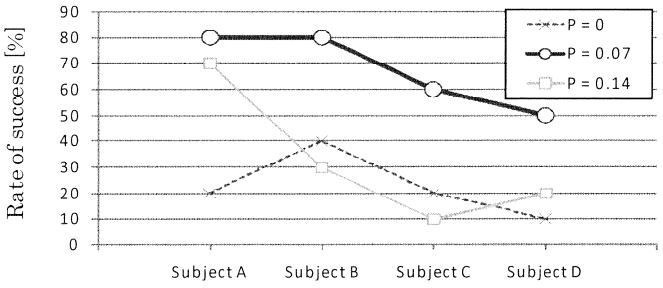


Fig.18　Rate of success

３．　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、解明を行っている。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。更に、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。

また、以上の新技術を確立し、これからの自動車へ反映させていきたい。

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.

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-/microstructured 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：Semiconductors with ordered nano-/microstructures are expected to be used for improving the light-emitting properties and conversion efficiency of solar cells. In this study, the fabrication of porous semiconductors, semiconductor nanowire arrays, and porous oxide semiconductor was investigated by wet process including metal-assisted chemical etching, anodic etching, and anodization. The obtained ordered structures were evaluated by electron microscopy, reflective spectrophotometry, and photoelectrochemical reactions such as a solar cell.

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ー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ー技術の抱える，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ー技術に依存せず，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の形成法を確立する。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）への適用を展開する。

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。これらを適用し高度化したトライボロジー特性，誘電特性，光学特性を持つナノ・マイクロデバイスを創製する。これらの特性評価はスイス連邦材料試験所の Philippe 博士と共同で行う。

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

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)基板にカラム及びホールアレイを作製できることをこれまでに報告してきた[1]。本研究では，同プロセスを Si(111)基板に適用し，エッチング速度および孔の形成に及ぼす基板結晶面の影響について検討した。

p 型 Si(111)（比抵抗値 3-5 Ωcm）基板上に周期 3 μm の PS ハニカムマスクを介し，スパッタ法でマスクの開口形状を反映した円形の Au 薄膜パターンを作製した[2]。この基板を HF-H_2O_2 混合溶液に浸漬し，金属触媒エッチングでホールアレイを作製した。また孔の開口部を結晶異方性に依存した形状に制御する目的で，NaOH 溶液を用いて異方性エッチングを施した。

15 mol dm^{-3} HF-1 mol dm^{-3} H_2O_2 混合溶液で Au 触媒エッチングを 1 min 行い，マスクを除去した Si(111)基板表面と破断面の SEM 像を図 1a に示す。Au 薄膜が付与された箇所で位置選択的にエッチングが進行し，直径 約 1.3 μm，周期 3 μm のホールアレイを得た。エッチングは基板に対して垂直方向[111]へ進行し，孔の深さは約 6 μm であった。エッチング速度は *p* 型 Si(100)（比抵抗値 1-20 Ωcm）基板に対して同条件でエッチングを行った場合とほぼ等しく，どちらも基板表面に対し垂直なホールアレイを得たことから，薄膜状の Au 触媒を用いたエッチングの場合，エッチング特性に及ぼす基板結晶面の影響は小さいと考えられる。

金属触媒エッチングで形成される孔の開口形状は基本的に付与した触媒形状に一致する。図 1b~1d に金属触媒エッチングでホールアレイを事前に形成した Si(111)基板を 6 wt% NaOH 溶液に浸漬した結果を示す。浸漬時間が 5 min では開口径が約 2 μm に拡大した（図 1b）。浸漬時間を増加させることで Si(111)基板の異方性エッチングが進行し，開口形状は 10 min では六角形（図 1c），20 min では三角形（図 1d）になったが，底面はいずれも三角形であった。孔底部には触媒として用いた Au 薄膜が凝集して残存した。これらの結果は，各処理の組み合わせを最適化することで，初期パターンとは異なるテクスチャ構造が作製できることを示している[3-5]。

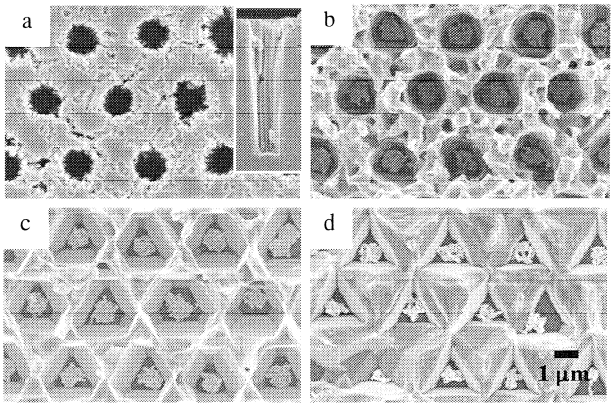


Fig. 1 SEM images of Si(111) substrates after Au-assisted chemical etching in HF-H_2O_2 for (a) 1 min, and subsequent chemical etching in NaOH for 5 (b), 10 (c), 20 (d) min, respectively. The inset shows cross-sectional view.

Si 基板以外にも，GaAs，InP に関しても同様の検討を行った。図 2 に GaAs 基板上に形成したマイクロホールアレイの SEM 像を示す。GaAs の場合，Si とは異なり，基板の二次元平面においてエッチングが結晶方位に著しく影響を受けるために異方性エッチングが進行した。図 2a，2b は膜厚~20 nm の Au を触媒とし，1 $moldm^{-3}$ H_2O_2 を酸化剤とした 5 $moldm^{-3}$ HF との混合液で 60 秒，180 秒間それぞれエッチングをした結果である。図 2a では開口形状が楕円形で，その径はエッチング速度の速い方位と遅い方位に対応して ~1.3 μm/~1 μm，深さは~1.4 μm となった。経時変化により金属触媒エッチングによる異方性エッチングに加えてサイドエッチングも進行し，孔壁の溶解が進んだ結果，ホールの開口は菱形となった(図 2b)。図 2c は膜厚~6 nm の Pt/Pd を触媒とし，同濃度の H_2O_2 を含む 7.5 $moldm^{-3}$ の HF で 60 秒間エッチングした結果を示す。これも同様に異方的形態を示したが開口は六角形となり，エッチング速度の速い/遅い方位に対応する開口径はそれぞれ~2.8 μm 及び~1.6 μm，深さは~0.9 μm であった。これは，付与した Pt/Pd が薄いために金属触媒エッチングだけでなく，主にエッチング速度の速い方位において基板がエッチャントから化学エッチングを受けた複合効果により得られた構造と推測できる。結晶方位に対するエッチング速度は触媒の種類によって異なるため，用いる触媒により最終的に得られるホールの形態が異なったと考えられる[6]。

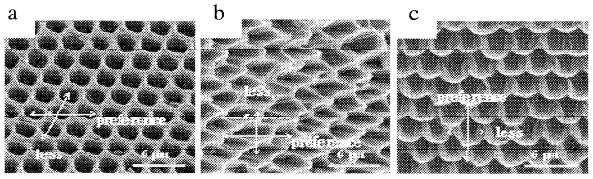


Fig. 2 GaAs hole arrays structured by Au [(a) and (b)]- and Pt/Pd [(c)]-assisted chemical etching observed from an angle of 45° to the surface.

図3aには，直径3 μmのPS微粒子マスクを介してPt薄膜を成膜した後，化学エッチングを施したInP基板表面のSEM像を示す。マスク間隙部のPt薄膜が付与された基板面で位置選択的にエッチングが進行する一方で，マスクによってPt薄膜付与から保護された基板面はエッチングを受けず残存し3 μm周期の微粒子規則配列を反映したInPのドットアレイを形成した。Ptを触媒として局所的に生成した酸化物が硫酸によって溶解することでエッチングが進行したと考えられる。図3bに直径3 μmのPS微粒子をマスクとし，1 mol dm^{-3}塩酸を用いて電解エッチングを施したInP基板表面のSEM像を示す。マスク間隙部の基板露出部がエッチングを受け，直径約60 nmの微細孔が形成する一方で，化学エッチングと同様にマスクと基板の接着面はエッチングを受けず規則配列したInPのディスクアレイを形成した。エッチング後のInPの表面形態は電解液の塩酸濃度によって異なり，3 mol dm^{-3}塩酸ではマスク間隙部に形成した多孔質層は溶解除去され，図3cに示すInPのカラムアレイを形成した。電解エッチングは化学エッチングと比較してエッチング速度が速く，深さ方向へ優先的にエッチングが進行するため，液濃度，生成電圧などの最適化を図ることによって高アスペクト比を持つInPピラーの作製も可能と考えられる[7]。

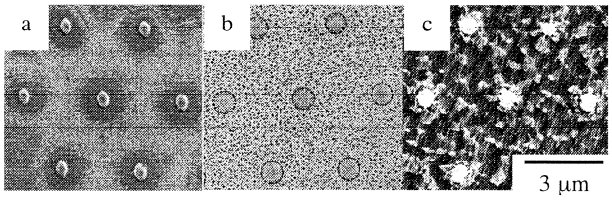


Fig. 3 SEM images of ordered structure formed on InP substrate. (a) dot arrays formed by Pt-assisted chemical etching in H_2SO_4/H_2O_2, (b) disk arrays formed by electrochemical etching in 1 mol dm^{-3} HCl, (c) column arrays formed by electrochemical etching in 3 mol dm^{-3} HCl.

４．　Siナノワイヤアレイの作製

粒径の異なるPS微粒子をマスクとしてSi基板上に無電解めっきによりAg微粒子を析出後，エッチングを施した試料のSEM像を図4に示す。Agが付与された部分のみエッチングが生じ，規則的に配列したSiワイヤアレイを作製できた。得られたSiナノワイヤの周期は触媒として用いたAg微粒子パターンの周期に対応し，マスクとして用いるPS微粒子の粒径を変えることで微細化が可能であった。Siナノワイヤの径は使用した微粒子径に対応して1.6 μmから360 nmへと変化したが，PS微粒子径に対するSiナノワイヤの径の割合は約75%と一定であった。これはPS微粒子とSi基板との接触面積の比率がPS微粒子の粒径に依らず一定であること，及びエッチングが基板に対して垂直方向に進行し，サイドエッチングが生じていないことを示している。図5に異なるエッチング時間で生成した周期0.9 μmのSiナノワイヤアレイの破断面SEM像を示す。エッチング時間に比例してSiナノワイヤの長さが増加し，15 minのエッチングで長さ9 μm，アスペクト比13を持つSiナノワイヤアレイが得られた。

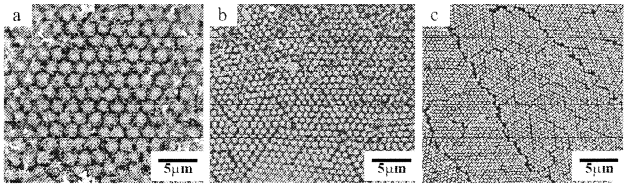


Fig. 4 SEM images of Si nanowire arrays formed on Si using Ag catalyst. (a) Periodicity 2 μm, (b) 0.9 μm, (c) 0.5 μm.

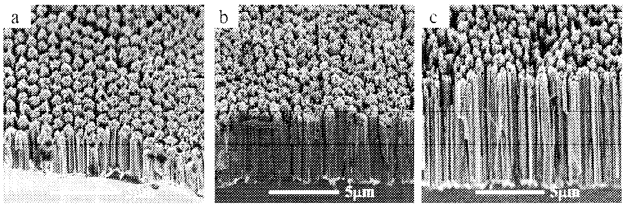


Fig. 5 Cross sectional SEM images of Si nanowire arrays with 0.9 μm periodicity. (a) Etching time was 5 min, (b) 10 min, (c)15 min.

図6a, bに異なる周期及び長さを持つSiナノワイヤアレイの表面反射率を測定した結果を示す。Siナノワイヤの周期が短いほど，また長さが短いほど表面反射率が低下する傾向が見られた。マスクとして用いるPS微粒子の粒径を縮小し，エッチング時間を最適化することでさらに表面反射率の低下が可能と考えられ，Si製太陽電池の効率向上や遮光膜の作製技術などとしての応用が期待される。なおこれらの特性評価は，当研究室所属の大学院生がスイス連邦材料試験所のPhilippe博士のもとへ短期留学し実施した結果である。

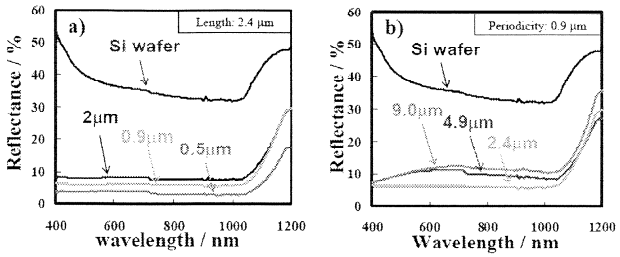


Fig. 6　Reflection spectrum for Si nanowire arrays formed on Si substrate. (a) Periodicity: 0.5 μm, 0.9 μm, and 2 μm, (b) length: 2.4 μm, 4.9 μm, and 9 μm.

5．　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，図 7），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行った。図 8 に本研究で意図するバルクヘテロ接合型構造の界面モデルを示す。本年度は特にチタニアナノチューブ孔内への銅フタロシアニンの充填方法の検討，ならびに太陽電池セルを試作し電流－電圧特性を評価した。

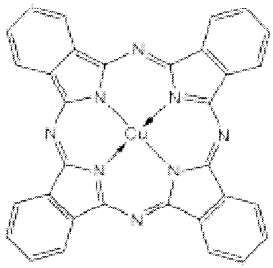


Fig. 7　Phthalocyanine blue.

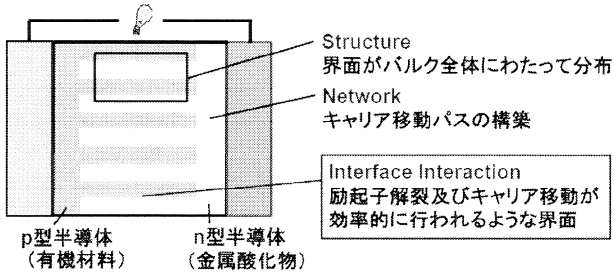


Fig. 8　Heterojunction interface model.

バルクヘテロ接合型構造の界面モデルのシミュレーションにより，p/n 界面における理論的な電荷密度分布を算出した結果，100nm 程度の深さであれば光は十分に吸収され，生成した電荷を効率的に回収できると考えられ，n 型半導体の構造としてチタニアナノチューブ層の構造が適していることを確認した。図 9 にアノード酸化で形成した典型的なチタニアナノチューブの SEM 像を示す。孔周期，孔径，皮膜厚さは生成電圧により任意に制御が可能であり，図 9 の場合，孔径は 80 nm，膜厚は 300 nm であった。

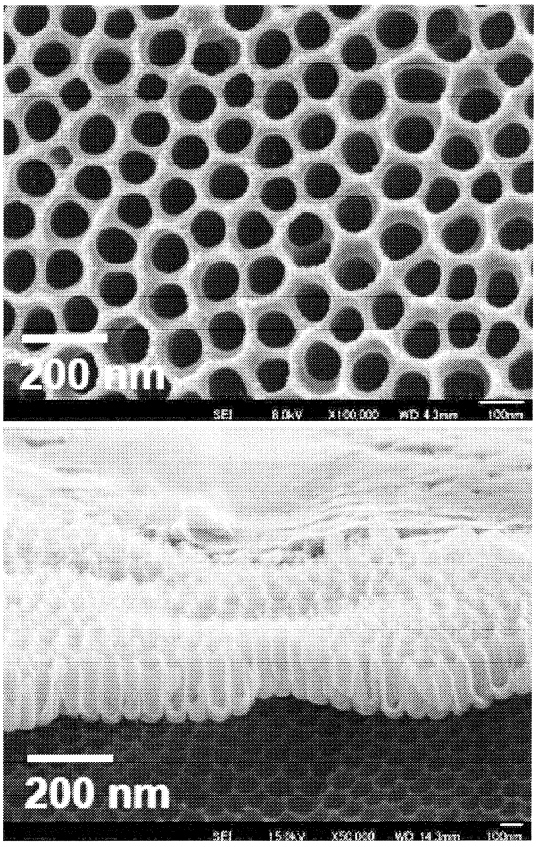


Fig. 9　SEM images of the TiO_2 nanotube layers formed by anodization of titanium in NH_4F - ethylene glycol at 60 V for 30 s. (Upper) Surface view, (lower) cross-sectional view.

電気泳動法を用いることで孔内への銅フタロシアニンの充填が可能であることを見出し，試作したセルにおいてフラットバンド電位のシフトにより光吸収による電荷の発生は確認できたが，光電流は観測できなかったことから，今後も継続して p/n 界面および n 型半導体の構造の最適化を図る。

６．　今後の予定

次年度は，①作製条件の確立，②デバイス応用・物性測定，③プロセスの見直し・再設計の3要素のフィードバックを効率的に回すことで，早期に問題点・課題点を把握し，総合的な実験条件の修正・改善に努める。また，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の発表，学術論文の投稿だけに留まらず，実用化に向けた生産技術の開発を各専門企業との共同研究を通じて積極的に展開する。

参 考 文 献

1. H. Asoh, F. Arai and S. Ono, *Electrochem. Commun.* **9**, 535 (2007).
2. H. Asoh, F. Arai, K. Uchibori and S. Ono, *Appl. Phys. Exp.* **1**, 067003-1 (2008).
3. S. Ono, F. Arai and H. Asoh, *ECS Transactions*, **19**, 393 (2009).
4. H. Asoh, F. Arai and S. Ono, *Electrochimica Acta*, **54**, 5142 (2009).
5. S. Bauer, J. Brunner, H. Jha, Y. Yasukawa, H. Asoh, S. Ono, H. Bohm, J. P. Spatz and P. Schmuki, *Electrochem. Commun*, **12**, 565 (2010).
6. Y. Yasukawa, H. Asoh and S. Ono, *J. Electrochem.Soc.*, **156**, H777 (2009).
7. T. Yokoyama, H. Asoh and S. Ono, *Physica status solidi* A, **207**, 943 (2010).

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　建築衛生部　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 using a one-fluid spray nozzle to establish a new sophisticated small-scale VOC treatment system. As a result, it reveals 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.

1．はじめに

近年，塗装工場や印刷工場から排出されている揮発性有機化合物(VOCs : Volatile Organic Compounds)による大気汚染が問題となっている。これは，人体への健康被害(呼吸疾患やめまいなど)や農作物の生育等へ悪影響を及ぼす浮遊粒子状物質(SPM)および悪臭や光化学オキシダントの発生原因物質となっており，環境省よりTable 1に示すような大気汚染防止法のVOC規制(2006年4月1日施工)[1]が設けられている。

従来の主なVOCの排ガス処理法(活性炭吸着法や触媒燃焼法など)は，装置が大型化してランニングコストが高くなる欠点がある。現在，アクリルアミド両性高分子(APAs : Acrylamide Polyampholytes)吸着剤水溶液噴霧によるVOC除去技術が注目されている。

そこで本研究では，高コストの圧縮空気を用いない一流体スプレーノズルを用いたAPA水溶液噴霧によるVOC小型除去システムを構築するための基本的な検討として，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としている。

Table 1 Regulation level of VOC concentration in exhausts gas[1]

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

2. APA の特性

Fig.1 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 μm の両性高分子である。

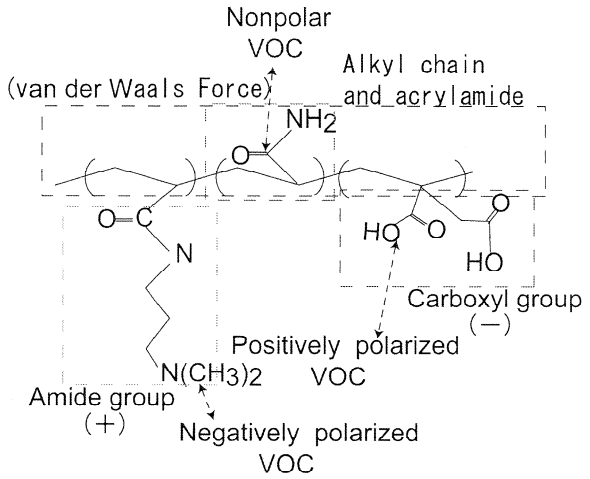


Fig. 1 Schematic diagram of structural formula of acrylamide polyampholytes (APAs)

Senzaki et al. (2006)[2]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中性であるために，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[3]。

3. 実験装置および方法

3. 1 平衡ガス吸収量の実験

Fig. 2 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，トルエンの入ったディフュージョンチューブを一定温度に保ち，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する方法を用いた。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℃)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 q_e 平衡吸収量を算出した。

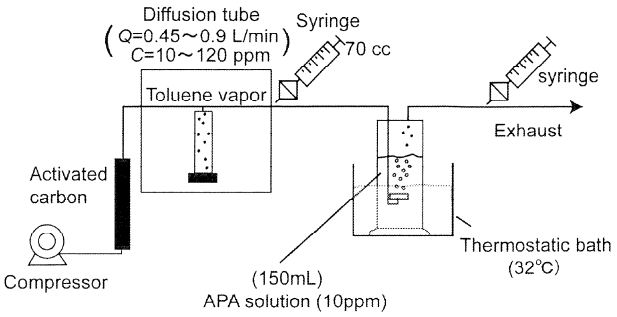


Fig. 2 Setup for measuring absorbed amount of toluene vapor into APA solution in equilibrium

3.2 トルエン蒸気除去実験

Fig. 3 に一流体スプレーノズルを用いた装置概略図を示す。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 80 ppm，流量 5 L/min で噴霧塔(内径 φ80 mm，噴霧長さ 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，一流体スプレーノズル(共立合金製作所; M-19)を用いて塔内に噴霧された。そして，GC-FID を用いて噴霧塔前後の濃度を測定し，除去率を算出した。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 23.9 μm，噴霧量は 83 mL/min である。

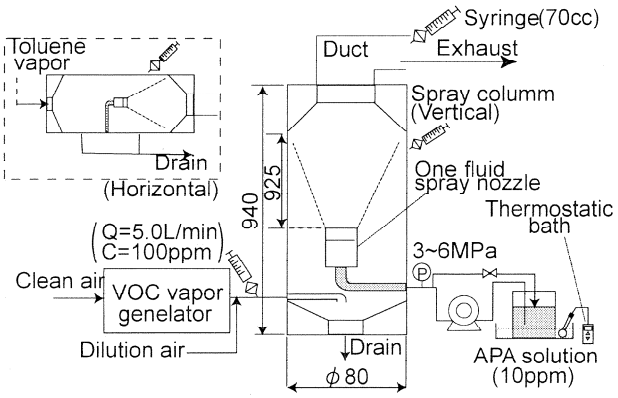


Fig. 3 Setup for removal of toluene vapor by APA solution atomized by a one-fluid spray nozzle

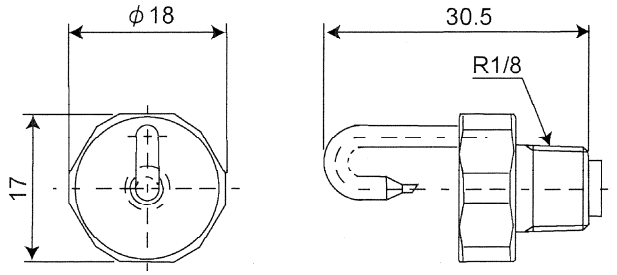


Fig. 4 Diagram of the impaction-type one-fluid spray nozzle used.

4. 実験結果および考察

4.1 平衡ガス吸収量

Fig. 4 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. 5 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。

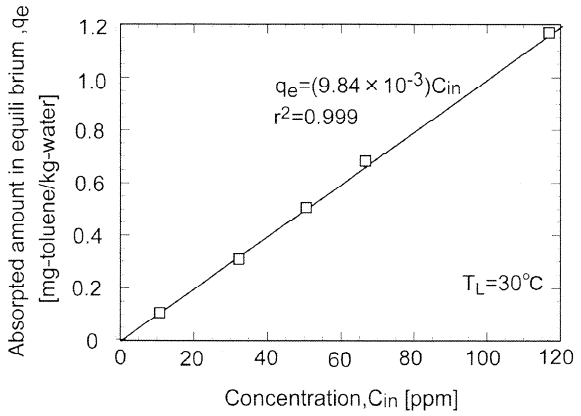


Fig. 4 Absorbed amount of toluene into APA solution in equilibrium

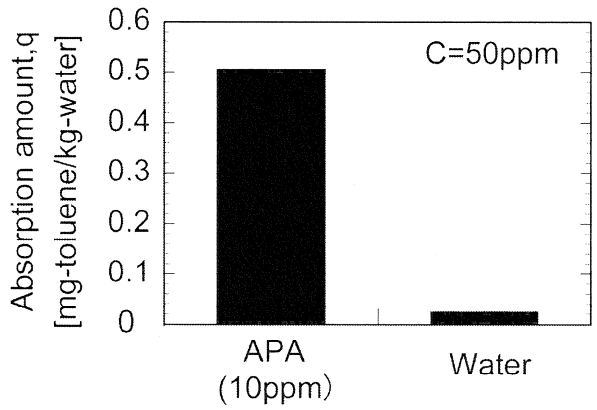


Fig. 5 Absorbed amount of toluene into APA solution and water

4.2 トルエン蒸気の除去

Fig. 6 に，APA 水溶液 26℃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(φ80 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. 7 に，APA 水溶液の温度に対するトルエン除去の変化を示す。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。

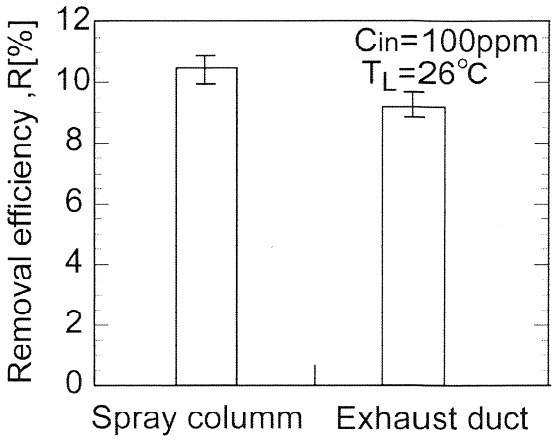


Fig. 6 Comparison of removal efficiency of toluene at the outlet of spray column and exhaust duct

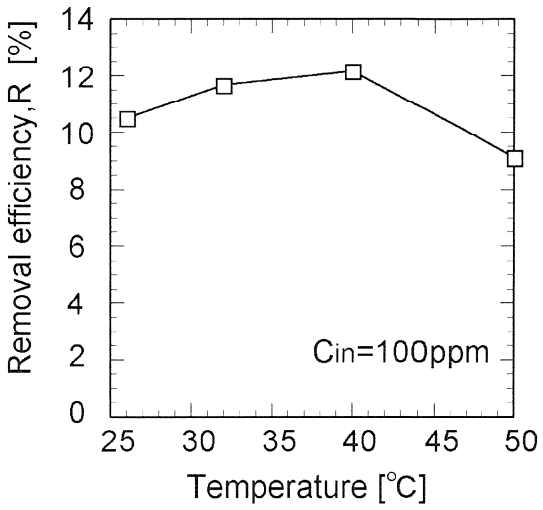


Fig.7 Change in removal efficiency with temperature of fed APA solution

以上の予測されるメカニズムとして，Fig. 8 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る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. 9 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℃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。

5. 結言

本研究では，圧縮空気を用いない一流体スプレーノズルを用いた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一流体スプレーでトルエンの除去が可能である。
2) T_L=40℃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。

今後は，より実機に近いスケールでAPA噴霧によるVOC除去特性を調べる予定である。

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）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

（3）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

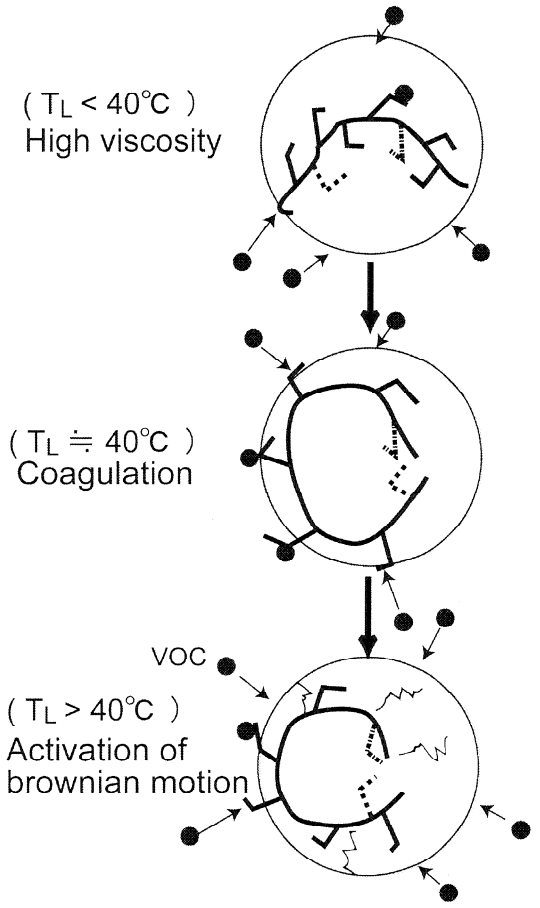


Fig. 8 Predicted mechanism of structural transformation in APA in a droplet.

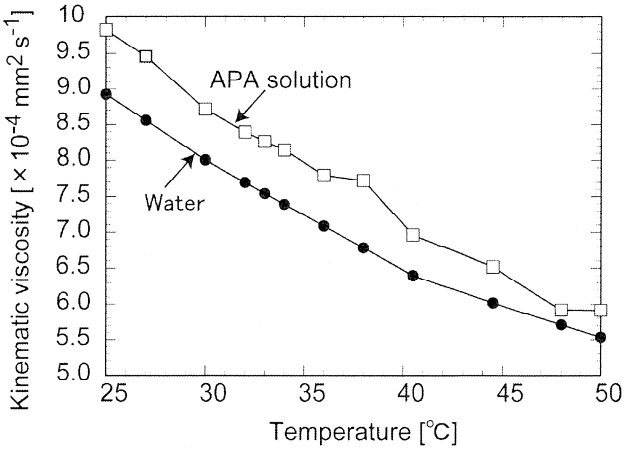


Fig. 9 Change in kinematic viscosity of water and APA solution with fed liquid temperature.

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, it needs to introduce two dimensional (2 D) signal processing techniques for future advanced magnetic recording systems. It is known that bit-patterned media storage (BPMS) is one of the candidates for future ultrahigh density magnetic storage beyond 1 Tb/in^2. In BPMS, each bit is recorded on a single domain magnetic island (a single grain) and the areal density is increased by reducing the spacing between islands in along track and cross-track directions, respectively. The readback signal is corrupted by a 2-D interference that consists of inter-symbol interference and inter-track interference, which degrades the performance of the data recovery channel. For BPMS, an advanced 2-D signal processing technique is needed to eliminate 2-D interferences effectively. Furthermore, it is said that a future recording system differs from existing track recording in the bit-size-to-grain-size ratio is drastically reduced. That is to say, the recoding symbols are roughly of the same sizes as those of the magnetic media grains. Two-dimensional magnetic recording (TDMR) is known to be an alternative technology for approaching magnetic recording densities of 10 Tb/in^2 and higher. The basic difference between TDMR and BPMS is that TDMR does not require the media to be redesigned to accommodate the technology change. TDMR attempts to extend the use of conventional media, but requires radical changes in writing, reading, signal processing and data access software integration, etc. The system based on TDMR is envisioned to be achieved by such a writing-process as shingled writing in which the corner-writer partially overwrites the previously written adjacent track and writes very closely spaced narrow tracks with no guard bands. Since the tracks are very narrow, they can be read by an array of read-elements whose spacing is equal to the narrow track pitch, creating a 2-D array of readback signals (the two dimensions being the cross-track and the down-track dimensions). In the absence of an array of read elements, the same 2-D readback can be obtained by progressive scans of a single read element that reads one narrow track at a time and stores the readback signal in a 2-D array. In this research, we propose several effective signal processing systems for BPMS and TDMR, respectively.

1 Introduction

For future ultrahigh density magnetic recording, it proposes several attractive technologies which include a two-dimensional magnetic recording (TDMR) system [1] and a bit-patterned magnetic recording (BPMR) system [2], [3]. To develop these systems, it needs to consider some kinds of two-dimensional (2-D) signal processing schemes. As a first step, we introduce a signal processing scheme based on one of new maximum a posteriori (MAP) estimation with an autoregressive conditional heteroskedastic (ARCH) process for signal detection in a BPMR system. Most of conventional signal estimation techniques assume to use the constant variance of media noise within the specified frame sizes. But, the signal power of each recoded symbol on the discrete track recording media is decreased as compared to continuous media because the bit-patterned media (BPM) have two separated areas of magnetic and nonmagnetic materials. From a view point of signal estimation problem, the estimation technique based on non-stationary time series analysis for a stochastic process is considered to be effective in the recording channel with BPM. For any magnetic recording system, the signal-to-noise ratio (SNR) in the readback signal depends on the number of magnetic grains per symbol (recorded bit). High areal density recording requires a reduction in the size of each magnetic grain because a recorded bit size comes to increase areal density while maintaining satisfactory SNR for readback signals [4], [5]. Therefore, existing perpendicular magnetic recording technologies using continuous magnetic thin film media will approach or reach their physical and engineering limits in future [6]. Recently, recording systems using bit-patterned media will have been closer to practical use to deal with these problems and will attain areal density of over a few Tb/in^2 for one of the future promising systems, [7], [8], [9]. 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 for the signal sequence detection problem [10], [11]. In existing continuous magnetic thin film media recording channels, it is well known that partial response (PR) equalization with maximum likelihood (ML) sequence detection is usually referred to as partial response maximum likelihood (PRML) technique and has been commonly used to shape the channel pulse response to some optimized intersymbol interference target to minimize the noise correlation [12]. For the above current recording channels, it is known that ML or maximum a posteriori (MAP) sequence detection with linear prediction using finite-order Markov processes or autoregressive (AR) models are effective to improve the block error rate (BER) performances [13],[14]–[17]. For a representative example, Viterbi decoding with linear prediction based on the AR process in a partial response (PR) channel is called a PRML-AR system or PRML system using AR channel model [16]. It is known that the BER performance of a PRML-AR system is superior to that of the conventional PRML system in a high density magnetic recording channel. In general, it is the main feature that any system using BPM alternates uniformly distributed nonmagnetic and magnetic regions. Therefore, statistical characteristics of noise occurred in the BPMR channel will differ from those of noise in the continuous magnetic thin film media recording channel except fundamental problems related to processes of BPM formation. It is not necessarily imply that these signal estimation methods using AR models are effective for discrete BPMR channels. In this research, the conventional ideas of linear prediction for a PR channel are reconsidered in terms of the bit-patterned media recording channel. It is found that the parametric conditional probability density function for likelihood is based on the stationary process for such regression and time series models in the continuous magnetic thin film media recording channel. Most of conventional signal estimation techniques assume to use the constant variance of media noise for each specified bit patterns within a received data frame. But, the noise power of the discrete track recording media increases or decreases with time in frequency as compared to continuous media because the discrete media have two separated areas of magnetic and nonmagnetic materials. It is naturally assumed that the parameter for variance of noise is variable for each recoded bit patterns. From the above ideas, it is considered that the signal estimation technique is based on nonstationary

time series analysis to use an ARCH process for signal sequences recoded on the BPM.

2 Read/Write Channel Model using Bit-Patterned Media

Fig. 1 shows the block diagram of the coded PR system with the proposed MAP decoding system using linear prediction. In this read/write system, a raw data sequence $\{a_k\}$ with bit rate f_b is inputted into the modulation encoder which gives run-length limited $(0,k)$ constraints (RLL $(0,k)$) for an output sequence. The run-length limited sequence from this modulation encoder is transformed into the interleaved codeword sequence $\{b_{k'}\}$ by using the convolutional encoder which has $\left[1,(1+D^2)/(1+D+D^2)\right]_{mod\ 2}$. In this encoding process, the sequence $\{b_{k'}\}$ satisfies the modulation constraints with $(0,k+1)$. The sequence $\{b_{k'}\}$ with additional symbols which terminate a trellis diagram of the PR system is transformed into the sequence $\{c_{k'}\}$ at the precoder output. The precoder output sequence $\{c_{k'}\}$ is NRZ-recorded on the double layered bit-patterned medium with a soft under layer. Here, an isolated reproducing waveform at the reading point is assumed to be a hyperbolic tangent function-like waveform given by

$$h(t) = A_p \tanh\left(\frac{\ln 3}{T_{50}}t\right), \tag{1}$$

where A_p is a half of the amplitude. T_{50} is the time interval which following waveform $g(t)$ needs to rise from $A_p/4$ to $3A_p/4$.

$$g(t) = A_p\left[\tanh\left(\frac{\ln 3}{T_{50}}(t+\frac{L_i}{2})\right) - \tanh\left(\frac{\ln 3}{T_{50}}(t-\frac{L_i}{2})\right)\right], \tag{2}$$

where L_i is an inland length. The normalized linear density (user density) is defined as

$$K_p = \frac{T_{50}}{T_b}, \tag{3}$$

where T_b is a user bit interval which is equal to an inland period and $L_i < T_b$. The reproducing waveform corresponding to the recording sequence readback by the reading head is inputted into the equalizer which consists of a low-pass filter with the cut-off frequency x_h normalized by bit rate f_b and the transversal filter with N_t taps. In this read/write system, the noise at the reading point consists of additive white Gaussian noise with two-sided power spectral density equal to $N_0/2$ and signal-dependent media noise which is subject to transition noise. Transition noise comprises transition jitter and transition width fluctuations and its power increases with recording density. 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 PR characteristic. It assumes that these total mixture noise whose power in the bandwidth of $0.6f_b$ is σ^2. The signal-to-noise ratio (SNR) at the reading point is defined as

$$a = \frac{A_p}{2\sigma}. \tag{4}$$

In the decoding process, the equalizer output sequence $\{d_{k'}\}$ is decoded by the proposed inner MAP detector. The log-likelihood ratio (LLR) sequence $\{L(\hat{b}_{k'})\}$ correspond to the soft output sequence of $\{b_{k'}\}$ is obtained from the MAP detector output sequence. The sequence $\{L(\hat{b}_{k'})\}$ is corresponding to the estimated sequence $\{\hat{b}_{k'}\}$ generated by encoding process. After iterative decoding, punctured dummy symbols are inserted and the codeword LLR sequence is decoded by a revised message-passing decoding algorithm in the outer detector with N_1 iterations. The output data sequence $\{\hat{a}_k\}$ is obtained after demodulation and the recursive decoding process between the proposed detectors with N_2 iterations. The BER of this read/write system is evaluated by computer simulations.

3 AR and ARCH Processes

The AR channel model is known to be generate the good approximate data of the channel with inter-symbol

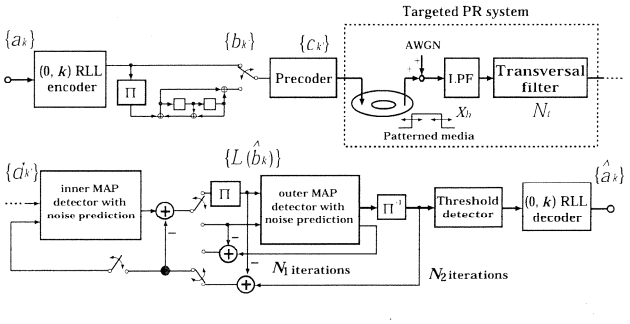


Fig. 1: The block diagram for the partial response system using bit-patterned media.

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},$\cdots$,a_k is denoted by

$$\boldsymbol{\alpha} = \left[\begin{array}{cccc} a_{k-I} & a_{k-I+1} & \cdots & a_k \end{array} \right]', \tag{5}$$

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[16]. The sampled channel output is

$$z_k = y_k(\boldsymbol{\alpha}) + n_k, \tag{6}$$

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

$$\begin{aligned} n_k &= \sigma(\boldsymbol{\alpha}) n_k^e + \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) n_{k-i} \\ &= e_k + \hat{n}_k, \\ e_k &= \sigma(\boldsymbol{\alpha}) n_k^e, \\ \hat{n}_k &= \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) n_{k-i}, \\ \frac{1}{N} &\sum_{k=L}^{N+L-1} (n_k^e)^2 = 1, \end{aligned} \tag{7}$$

where $\sigma(\boldsymbol{\alpha})$ is the standard deviation of residual between n_k and $\hat{n}_k$, $\phi_1(\boldsymbol{\alpha})$,$\phi_2(\boldsymbol{\alpha})$,$\cdots$, $\phi_L(\boldsymbol{\alpha})$ 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 ($N >> L$). Eq.(7) gives variance of $\{e_k\}$ as

$$\begin{aligned} E\{e_k^2\} &= E\left\{ \left[n_k - \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) n_{k-i} \right] n_k \right\} \\ &+ \sum_{j=1}^{L} \phi_j(\boldsymbol{\alpha}) E\left\{ \left[n_k - \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) n_{k-i} \right] n_{k-j} \right\} \\ &= \rho(0) - \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) \rho(i) \end{aligned} \tag{8}$$

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

$$\begin{aligned} \rho(\tau) &= E\{n_{k+\tau} n_k\} \\ &\simeq \frac{1}{N} \sum_{k=L}^{N+L-1} n_{k-L+i} n_{k-L+j} \\ &= \rho(|i-j|) \quad \text{for } 0 \leq i \leq L, \\ &\quad 0 \leq j \leq L \text{ and } -\infty < \tau < \infty, \\ n_k &= 0 \quad \text{for } k < L \text{ or } k > N+L-1. \end{aligned} \tag{9}$$

In Eq.(8), 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, Eq.(19) is written as

$$\sigma(\boldsymbol{\alpha})^2 = \rho(0) - \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) \rho(i) \tag{10}$$

The transfer function can be obtained by taking Z-transform of both sides of Eq.(18) and written as

$$E(z) = N(z) - \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) z^i N(z), \tag{11}$$

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

$$H(z) = \frac{E(z)}{N(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^{L} \phi_i(\boldsymbol{\alpha}) z^i}. \tag{12}$$

From Eq.(12), 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

$$\begin{aligned} \gamma(\tau) &= E\{(z_k - \mu)(z_{k-\tau} - \mu)\} \\ &= E\{\hat{n}_k \hat{n}_{k-\tau}\}, \\ \gamma(\tau) &= \gamma(-\tau), \end{aligned} \tag{13}$$

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

$$\rho(\tau) = \frac{\gamma(\tau)}{\gamma(0)}, \tag{14}$$

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

$$\gamma(0) = \sum_{i=1}^{p} \phi_i \gamma(i) + \sigma^2(\boldsymbol{\alpha}),$$

$$\gamma(\tau) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{|\tau|-1} \phi_{|\tau|-1-i}\gamma(\tau-1-i) \\ \quad + \sum_{i=1}^{p-|\tau|} \phi_i \gamma(i), \ 1 \le |\tau| \le p, \\ \sum_{i=0}^{|\tau|-1} \phi_{|\tau|-1-i}\gamma(\tau-1-i), \\ \quad |\tau| > p \end{cases} \tag{15}$$

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

$$\begin{bmatrix} \rho(0) & \rho(1) & \cdots & \rho(\tau-1) \\ \rho(1) & \rho(0) & \cdots & \rho(\tau-2) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \rho(\tau-1) & \rho(\tau-2) & \cdots & \rho(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{\tau,1} \\ \phi_{\tau,2} \\ \vdots \\ \phi_{\tau,\tau} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho(1) \\ \rho(2) \\ \vdots \\ \rho(\tau) \end{bmatrix}, \quad \tau \ge 1. \tag{16}$$

If $L = p$ in Eqs.(9) and (10), the partial autocorrelation function $\rho_{pa}(p+t)$ of the AR(p) process at lag $p+t$, $t = 1, 2, \cdots$, is given as

$$\rho_{pa}(p+t) = \frac{E\left[(n_k - \sum_{i=1}^{p} \phi_i n_{k-i}) n_{k-p-1}\right]}{\sigma(\boldsymbol{\alpha})^2} = \frac{E\left[e_k n_{k-p-1}\right]}{\sigma(\boldsymbol{\alpha})^2} = 0, \tag{17}$$

$$\sigma(\boldsymbol{\alpha})^2 = E\left[(n_k - \sum_{i=1}^{p} \phi_i n_{k-i})^2\right].$$

For $k \ge p$ the value of the partial autocorrelation function of an AR(k) vanishes from Eq.(17). Fig.2 shows the partial autocorrelation function of an AR process in the PR(α,1,α) system ($0 < \alpha < 1.0$). From this figure, each partial autocorrelation function $\rho_{pa}(k)$ of the AR process at lag k of $\{\hat{n}_k\}$ does not converge to 0 for large lags. From results of Fig. 2, it is not necessarily imply that media noise in the PR2 system is subject to an AR process. From Eqs.(15) $\sim$ (17), e_k is the uncorrelated, zero mean white noise with constant variance $\sigma(\boldsymbol{\alpha})^2$. 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

$$\begin{aligned} e_k^2 &= \sigma_a(\boldsymbol{\alpha}) w_k^e + \sum_{i=1}^{M} \theta_i(\boldsymbol{\alpha}) e_{k-i}^2 \\ w_k &= \sigma_a(\boldsymbol{\alpha}) w_k^e, \\ \frac{1}{N} &\sum_{k=M}^{N+M-1} (w_k^e)^2 = 1, \end{aligned} \tag{18}$$

where w_k is a white noise sequence with zero mean and constant variances $\sigma_a(\boldsymbol{\alpha})^2$. 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

$$e_k = \sqrt{h_k} \cdot v_t \tag{19}$$

where v_t is independent and identically distributed with zero mean and variance one, and

$$h_k = E(e_k^2 | e_{k-1}^2, e_{k-2}^2, \cdots) = \sum_{i=1}^{M} \theta_i(\boldsymbol{\alpha}) e_{k-i}^2. \tag{20}$$

From Eqs. (19) and (20), it is given as

$$w_k = h_t \cdot (v_t^2 - 1). \tag{21}$$

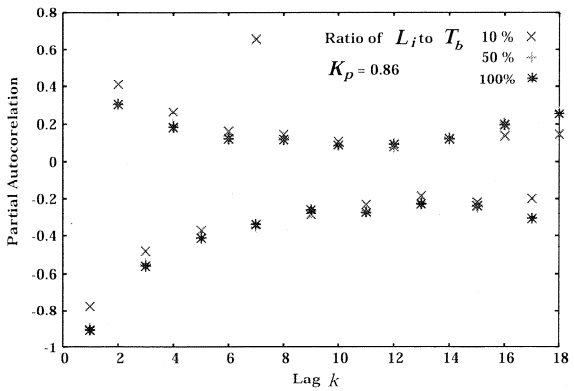


Fig. 2: Partial autocorrelation functions for a PR(α, 1, α) system using AR processes.

Fig.3 shows the partial autocorrelation function of an ARCH process in the PR(α, 1, α) system. From this figure, each $\rho_{pa}(k)$ of the ARCH process at lag k of $\{\hat{n}_k^2\}$ does converge to 0 for large lags. From results of Fig. 3, it is found that the power of media noise in the PR(α, 1, α) system is subject to an AR process. As a result, it is to be expected that the estimate performance of linear predictor with an ARCH process will be superior to that with an AR process.

4 Error Rate Performances

In bit-patterned media, transition noise is diminished because each bit is represented by a single-domain magnetic island and the nonmagnetic region between these magnetic islands reduce transition noise or eliminate nonlinear bit shift, simplifying tracking. The most important sources of media noise are the variations in island sizes and positions. In this simulation, we consider additive white Gaussian noise (AWGN) and inland jitter noise. the power ratio of media noise of total noise at the reading point are assumed to be 50 %. Fig. 4 shows the BER performances of the coded PR systems in iterative decoding with iterations N_1 = N_2 =5. For the modulation code, the 64/65 (0,8) RLL code is used with one symbol delayed precoder in the PR channel. The recording condition corresponds to the areal density of 1 Tb/in^2 in [18] and the ratio of L_i to T_b is equal to 50 %. The symbols •, △ show the BER performances of the system using the proposed MAP decoding with ARCH(6), AR(6) models (MAP-ARCH(6), MAP-AR(6)), respectively. The symbol □ indicate the BER performance of the same efficiency coding system using MAP decoding based on the conventional message-passing decoding algorithm where K_p=0.86, x_h = 0.4, and N_t = $N_{t_{opt}}$. The symbol $N_{t_{opt}}$ is the optimum value of N_t which gives the near minimum BER of 10^{-5}. As can be seen Fig. 4, the performance of the proposed decoding system with MAP-ARCH(6) improves the SNRs by about over 0.6, 1.3 dB over the conventional MAP-AR(6), MAP decoding systems at a BER of 10^{-5}, respectively.

5 Conclusion

In this report, it is shown that the maximum a posteriori probability decoding 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 iterative decoding system outperforms the conventional systems in the bit error rate performance using the PR(α,1,α) channel.

References

[1] K. S. Chan, R. Radhakrishnan, K. Eason, M. R. Elidrissi, J. J. Miles, B. Vasic, and A. R. Krishnan, "Channel Models and Detectors for Two-Dimensional Magnetic Recording, "IEEE Tran Magn., vol. 46, no.3, pp804-811, Mar. 2010.

[2] S. Nabavi, B. V. K. V. Kumar and J. A. Bain "Two-Dimensional Pulse Response and Media Noise Modeling for Bit-Patterned Media, "IEEE

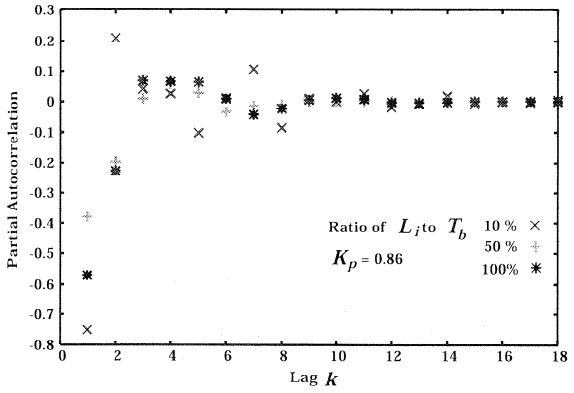


Fig. 3: Partial autocorrelation functions for a PR(α, 1, α) system using ARCH processes.

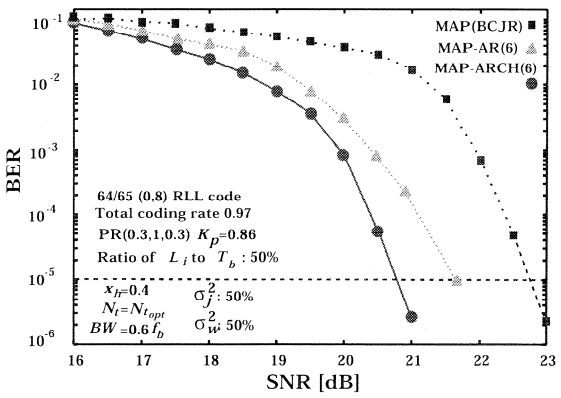


Fig. 4: Bit error rate performances for the coded PR(α, 1, α) systems and iterative decoding systems.

Tran. Magn., vol. 44, no.11, pp.3789-3792, Nov. 2008.

[3] S. Karakulak, P. H. Siegel and J. K. Wolf, "A Parametric Study of Inter-Track Interference in Bit Patterned Media Recording, "IEEE Tran. Magn., vol.46, no.1, pp.819-824, Mar. 2010.

[4] R. Wood, "The feasibility of magnetic recording at 1 terabit per square inch, "IEEE Tran. Magn., vol.36, no.1, pp.36-42, Jan. 2000.

[5] S. H. Charrap, P. L. Lu, Y. He, "Thermal stability of recorded information at high densities, "IEEE Tran. Magn. part 2, vol. 33, no. 1, pp.978-983, Jan. 1997.

[6] 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.

[7] G. F. Hughes, "Patterned media write designs, "IEEE Trans. Magn., vol. 36, no. 2, pp. 521-526, Mar. 2000.

[8] 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.

[9] N. Honda, K. Yamakawa, and K. Ouchi, IEEE Tran. Magn., "Recording simulation of patterned media toward 2 Tb/in^2, "vol.43, no.6, pp.2142-2144, June 2007.

[10] J. Zhu, X. Lin, L. Guan, and W. Messner, "Recording, noise, and servo characteristics of patterned thin film media, "IEEE Trans. Magn., pp.23-29, vol.36, no.1, Jan. 2000.

[11] 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.

[12] H. Yang and G. Mathew, "Joint design of optimum partial response target and equalizer for recording channels with jitter noise," *IEEE Tran. Magn.*, vol. 42, no. 1, pp.70–77, Jan. 2006.

[13] H. Sawaguchi, Y. Nishida and T. Nakagawa, "Performance analysis of soft-output post-processing detection for data-dependent media noise channels," *IEEE Trans. Magn.*, vol.40, no.4, pp.3108–3110, July 2004.

[14] Y. Nakamura, Y. Okamoto, H. Osawa, H. Saito, H. Muraoka, and Y. Nakamura,"A study of turbo decoding with embedded AR channel model for perpendicular recording," *IEEE Trans. Magn.*, vol.39, no.5, pp.2570–2572, Sep. 2003.

[15] J. Moon and J. Park, "Pattern-dependent noise prediction in signal-dependent noise," *IEEE J. Selc. Areas Commun.*, vol. 19, no. 4, pp.730–743, April 2001.

[16] A. Kavčić and J. M. F. Moura, "The Viterbi algorithm and markov noise memory," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 46, no. 1, pp.291–301, Jan. 2000.

[17] A. Kavčić and A. Patapoutian, "A Signal-dependent autoregressive channel model," *IEEE Trans. Magn.*, vol.35, no.5, pp.2316–2318, Sep. 1999.

[18] Y. Suzuki, H. Saito, H. Aoi, H. Muraoka, and Y. Nakamura, "Reproduced waveform and bit error rate analysis of a patterned perpendicular medium R/W channel, "Journal of Applied Physics, vol. 97, 10P108, Oct. 2005.

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系薄膜の製作検討―

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
— Fundamental Study on transparent Electrodes for UV Light-Emitting Devices —

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. The resistivity of the Ga-doped $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ film was $2.5x10^{-2}$ Ω·cm. The resistivity of the c-axis-oriented MgZnO films was lower than that of polycrystalline films. This is due to the reduction of the potential barrier at the boundaries of the crystallites. The spontaneous polarization affects the potential barrier. The c-axis orientation reduces the potential barrier along the deposition plane.

１．　はじめに

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、応用上非常に興味が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き、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．文史プレカーサー法(MPM)は、溶液法の一種であり、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．

我々は，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Ω・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

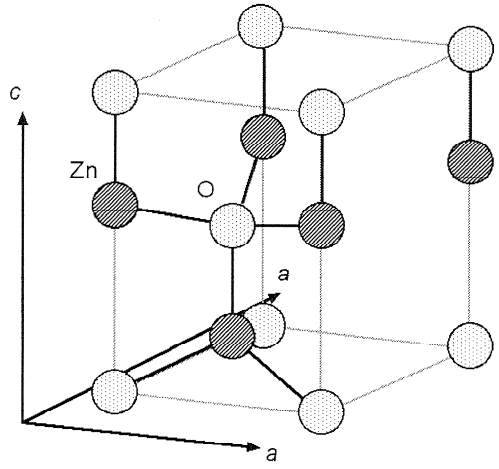


Fig. 1 Schematic diagram of ZnO crystal structure.

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、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することを目的とした．その結果について報告する．また、c 軸配向性の必要性について抵抗率の観点から考察した結果について報告する．なお、本報告は、ドイツ科学雑誌（英文誌）Physica Status Solidi に掲載予定の原稿に加筆したものである．

２．　実験方法

２．１　多結晶 MgZnO 薄膜の製作

亜鉛原料には Zn-nta 錯体(nitrilotriacetic acid)を使用した．本錯体をアンモニア水用いて溶液化した[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，スピン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製作されたプリカーサー薄膜は、70℃で 10 分間乾燥させ，その後，600℃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，その際の酸素流量は 100ccm であった．

２．２　c 軸配向 MgZnO 薄膜の製作

前節における焼成は有機金属錯体の熱分解反応を利用

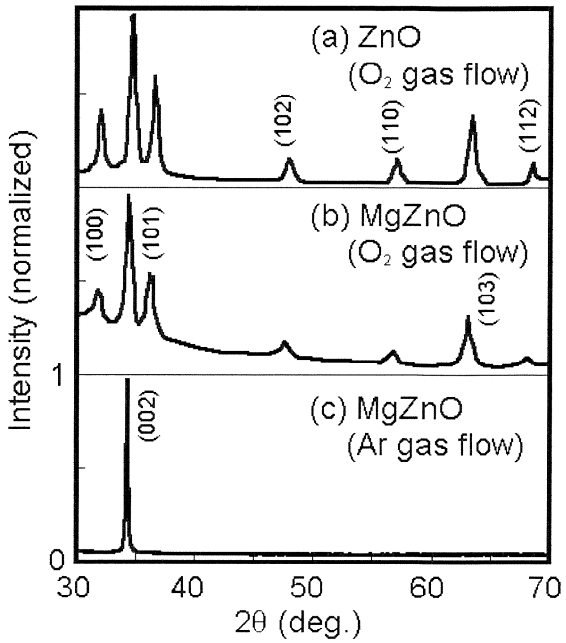


Fig. 2　XRD patterns of (a) ZnO and $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ films after pyrolysis in an O_2 flow and (b) $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ film after pyrolysis in an Ar gas flow.

している．この際に ZnO 微結晶の成長は、その面方向成長速度依存性から酸素との反応速度を制御することにより，c 軸結晶成長しやすい特性が生かされるのではないかと考え，焼成時に酸素ガスを流すのではなく、不活性ガスであるアルゴンを流量 100ccm に変更して製作した．薄膜は，表面状態を原子間力顕微鏡(AFM)にて観測した．また、結晶状態につては、X 線回折法(XRD)を用いて評価した．また，抵抗率は，4 探針法により室温にて評価

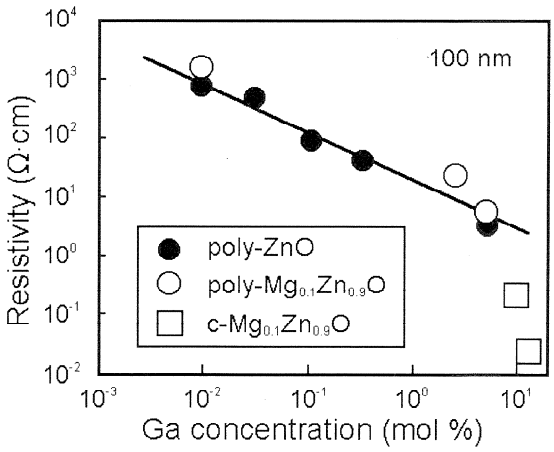


Fig. 3　Resistivity of polycrystalline ZnO and $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ films as a function of the amount of Ga precursor. The resistivity of c-axis-oriented $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ films is also shown in the figure. The thickness of layers was 100 nm.

した.

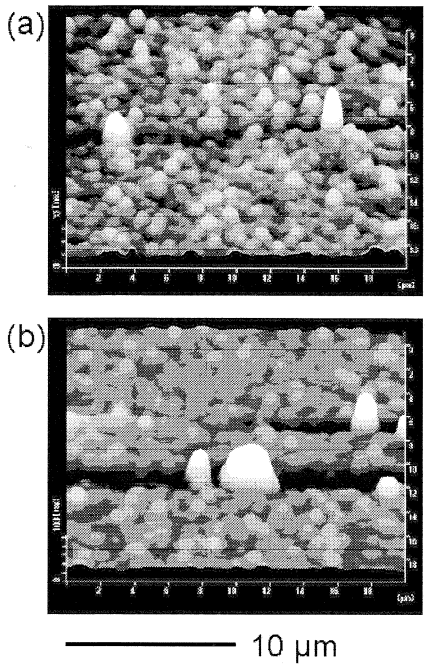


Fig. 4 AFM surface images of (a) polycrystalline and (b) c-axis-oriented MgZnO films.

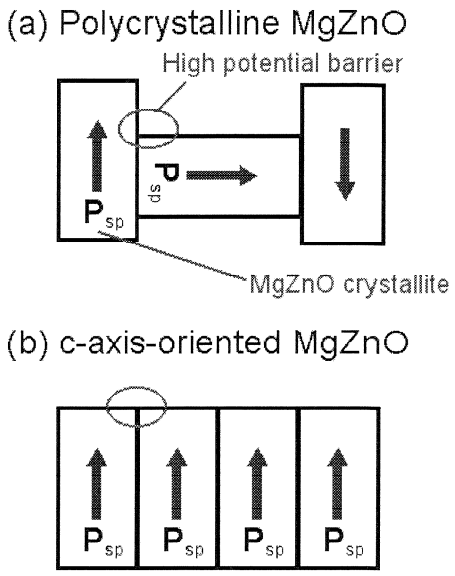


Fig. 5 Schematic drawings of spontaneous polarization in polycrystalline and c-axis-oriented MgZnO films.

3． 実験結果

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. それぞれの薄膜中の微結晶は、六方晶構造をしているが, 酸素雰囲気中で焼成した ZnO および MgZnO 薄膜は多結晶薄膜であることがわかる. 一方, アルゴン雰囲気中で焼成した MgZnO 薄膜は, c 軸配向していることがわかる. また、MgZnO 薄膜については, MgO 等の異相は観測されず, 六方晶混晶単相であることもわかる. 高速電子線回折(RHEED)測定の結果、結晶の a 軸については, ランダムであり、これら薄膜は、c 軸配向多結晶薄膜であることがわかった。この配向性変化の要因は、仮説通り, (Mg)ZnO 微結晶成長中の VI/II 比が異なり, 成長速度に違いを生じたためと解釈している.

Ga 添加による抵抗率の変化を調べた. Ga 添加の際には、Ga-edta を原料に使用し, 共通の溶媒であるアンモニア水を用いて溶液化した[1]. Ga 添加量に伴う抵抗率変化を図 3 に示す. アンドープの場合には高い抵抗率を示すが, Ga 添加量増加につれ、抵抗率低下がみられた. また、ZnO 薄膜と Mg を ZnO 薄膜製作時に添加した MgZnO 薄膜の抵抗率には大きな違いが見られない. 通常、結晶の場合, Mg 添加により禁制帯幅が大きくなると、Ga ドナー準位が深くなると同時に混晶効果により, 抵抗率の増大が懸念されるが, そのような現象は観測されなかった. これは、非常に興味深い現象である. 電流パスが薄膜中全体に広がっていないことが予想される.

4．考 察

一般に, 多結晶薄膜の場合, 抵抗率の低下は, 薄膜を構成する微結晶粒界におけるキャリア散乱が減少するためと説明されるが. 本研究の場合にも当てはまるかどうかを確認するため, AFM による表面状態の観測を行った. その結果を図 4 に示す. 図 4 における(a)は、多結晶 MgZnO 薄膜の表面状態であり、(b)は、c 軸配向 MgZnO 薄膜のものである. この結果, 微結晶それぞれの c 軸の向きは配向性制御により揃う傾向にあることがわかるが、結晶粒の大きさは、大きく変わらないことがわかった. この結果は, 微結晶粒界におけるキャリア散乱の減少による抵抗率低減と考えることが難しいことを示している. この結果について考察したい.

六方晶 ZnO および MgZnO 結晶は、その結晶対称性から c 軸方向に自発分極およびピエゾ分極を有する. 個の様子を図 5 に模式的に示す. 微結晶が無ひずみの状態を仮定すると、自発分極の影響により微結晶内部には大きな電界を有している. 微結晶表面は, 表面準位が多数存在しており, 粒界では, その準位にフェルミレベルがピニングされていると考えることができる. このような場合、粒界に生じるポテンシャル障壁の高さは, 自発分極の向きおよび大きさに依存するため, 多結晶薄膜の場合, 障壁の低いところを選択して電流が流れることとなる. これは、抵抗率増大につながることとなる. 一方, c 軸

配向薄膜の場合，微結晶内部に生じる電界の方向と粒界の位置関係により，粒界に生じるポテンシャル障壁の高さが自発分極の影響を受けにくくなるので、障壁を通過するキャリアの抵抗が低下すると考える．以上の考察により，c 軸配向実現が薄膜の低抵抗化に効果があると結論に至った．

５．まとめ

分子プレカーサー法(MPM)により 370nm 帯紫外光に対して透明な MgZnO 薄膜を製作した．この結果，焼成条件を変更することにより c 軸配向薄膜が実現できることを示した．また，Ga 添加により薄膜の抵抗率を変化できるが，c 軸配向した薄膜の方が低抵抗化できることがわかった．

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).

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が、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．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トか反映されやすい若い女性を対象とし、ランタ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行った。Table 1 は、各ストリートファッション画像に対し付加した情報の大項目である。各大項目には中項目が設定されており、項目によっては小項目が与えられている。全てを記述すると膨大になるので、Table 2 に大項目「１４．ディティール」の例を示す。

Table 1 Category of the fashion database.

項目番号	項目名
1	撮影日
2	撮影地点
3	性別
4	年齢区分
5	女性／男性クラスター
6	テイスト&ルック
7	年代
8	用途
9	デザイナー・ブランド
１０	ファッション・アイコン
１１	アイテム
１２	シルエット・ライン・フォルム
１３	丈
１４	ディティール
１５	マテリアル
１６	柄の構図
１７	図柄
１８	カラー
１９	小物

Table 1 Items in '14: Detail'.

項目番号	項目名
1	衿
2	ネックライン
3	打ち合わせ、開き
4	袖、カフス
5	ヘム、ペプラム、プリーツ
6	デザイン・アクセント
7	テクニック
8	ポケット
9	ボタン、ファスナー、ループ
１０	加工
１１	その他

２．３　データベース登録・検索システム

PHP を利用し、Web ブラウザで利用可能なデータ登録および検索システムを開発した。登録システムでは、ファッションに関する専門用語のユーザーによる記入ミスを防ぐため、親子連動型プルダウンメニューを採用した。これにより、各項目の専門用語の「ぶれ」を防ぐとともに、関係のない項目への入力を防ぐことが可能である。Fig. 2 にデータ登録画の一部を示す。

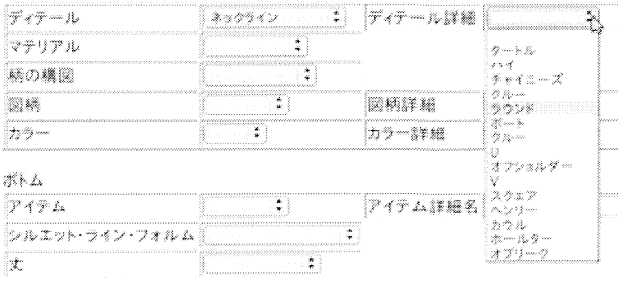


Fig. 2 Screen shot of the web.

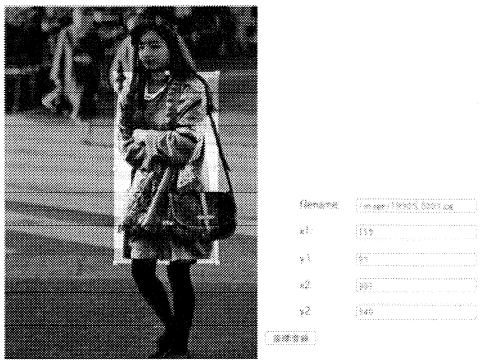


Fig. 3 Future item function.

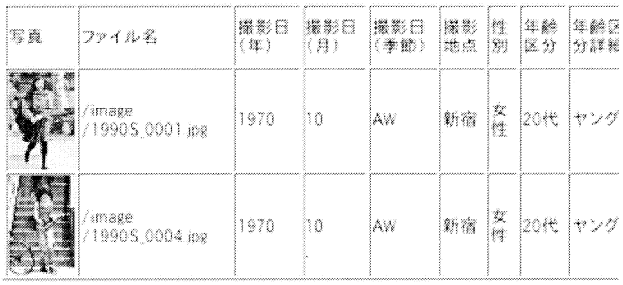


Fig. 4 Retrieval systems.

また、データベースに画像を登録するとき、登録された画像のどの部分の人物に関するファッション情報なのかを明らかにするため、Fig. 3 に示すように画像の範囲を指定する機能を javascript により実装した。ユーザーにより指定された座標は、他の付加情報とともにデータベースに登録される。

データベースからの検索は、MySQL の検索機能を利用し、テキスト検索を行う。Fig. 4 は検索システムを Web ブラウザから利用したときの検索画面である。

平成 21 年度は、ストリートファッション画像データベースの基本機能の開発を行った。平成 22 年度以降は、ユーザーに優しい情報登録ユーザーインターフェイスの開発、検索インターフェイスの開発を行う予定である。

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。ここで得られた色情報に基づき、次節で説明するトレンド検出手法の開発を行う。

３．１　人物認識による色情報自動抽出手法

撮影されたストリートファッション画像から、人物を認識することにより、その人物が着ている衣服の色を自動抽出するアルゴリズムを構築した。アルゴリズムの概略を以下に示す。

[Step 1] 画像を RGB 色空間から HSV 色空間に変換し、肌色領域を抽出する。

[Step 2] 肌色領域から顔認識により、顔領域を抽出する。

[Step 3] 顔領域、および、日本人の平均身長データから、全身領域を推定し、衣服領域を抽出する。

[Step 4] 衣服領域に対し減色処理を行い、色のヒストグラムを作成し、代表色を抽出する。

顔認識には、インテルが開発・公開したオープンソースのコンピュータビジョン向けライブラリである OpenCV を利用した。顔認識と日本人の平均身長データから推定した体領域の抽出結果例を Fig. 5 に示す。Fig. 6 は全身領域の抽出と、抽出された領域から作成したヒストグラムの例である。このヒストグラムを用いて、対象画像の代表色を抽出する。

抽出実験の結果、86.6%の画像に対し、正しく色抽出を行うことができた。平成 22 年度は検出精度の向上を目指す。



Fig. 5 Result of face and body recognition.

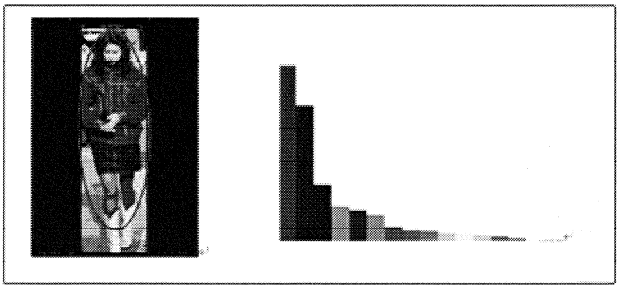


Fig. 6 Result of color extraction.

３．２　ヒューマンパワーによる色情報抽出

自動抽出アルゴリズムでは、100%の精度で色情報を抽出することは困難である。そこでヒューマンパワーを利用し色情報を抽出するソフトウェア、および、色のトレンドを可視化するためのソフトウェアの開発を行った。

色情報抽出ソフトウェアを Fig. 6 に示す。上半身と下半身に着ている服飾から各５色、被写体が身につけているファッションアイテム３個から各５色をマウス操作により抽出し、データベースに保存することが可能である。

Fig. 7 と Fig. 8 は、抽出した色情報から k-means 法により代表色を抽出し、代表色と共に RGB 空間にプロットした結果である。Fig. 7 が 2010 年 4 月に原宿で撮影されたストリートファッション画像から抽出した結果で、Fig. 8 が同時期に渋谷で撮影されたものから抽出した結果である。

平成 22 年度以降は、時系列を考慮した可視化ソフトウェアの開発を目指す。

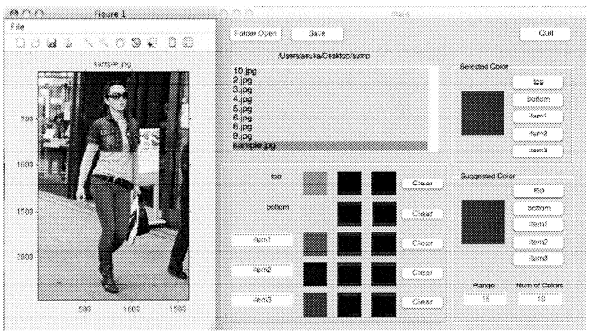


Fig. 6 Color picker software.

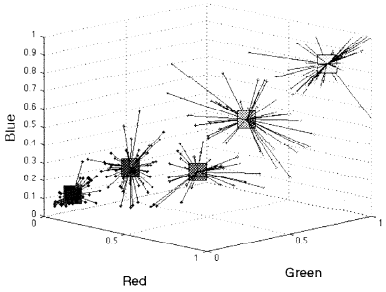


Fig. 7 Visualization of the color distribution in RGB-space (Harajuku).

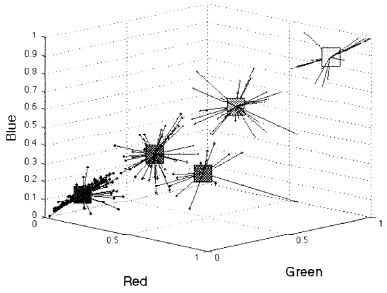


Fig. 8 Visualization of the color distribution in RGB-space (Shibuya).

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行う。平成21年度はストリートファッション画像のアーカイブ、および、色情報の抽出が一部しか進んでおらず、サンプリングデータが不足していたため、インターネット上でのソーシャルサービスの一つであるTwitterのログデータを利用し、数理モデルの構築を行った。

Twitterは、個々のユーザーが「ツイート（つぶやき）」と呼称される短文を投稿し閲覧するコミュニケーション・サービスである。ユーザーは、その時に話題となっている事柄に関する投稿をする傾向があるため、ユーザーが投稿したテキストを解析することにより、トレンドを検出ことが期待できる。また、Twitterは強力なAPIを公開しており、ユーザーが過去にテキストを投稿した時間等の詳細な情報を得ることができる。

本研究では、最もTwitter利用者が多い米国からの発言データを取得し、1日あたり700万単語で40日間のデータを取得した。40万種類の単語を得ることができたが、「aaa」「qawsedr」「ohhh」「ohhhh」等の単語と呼べない物も含まれるため、これらは除外する。このような単語の出現数は１日の出現数は少ないため、1日の出現数が3以下の物を除外する事により、これらのデータを取り除いた。この結果、一日毎の単語数約6～700万件、単語種類約10万種となり、このデータを利用て数理モデルを構築した。

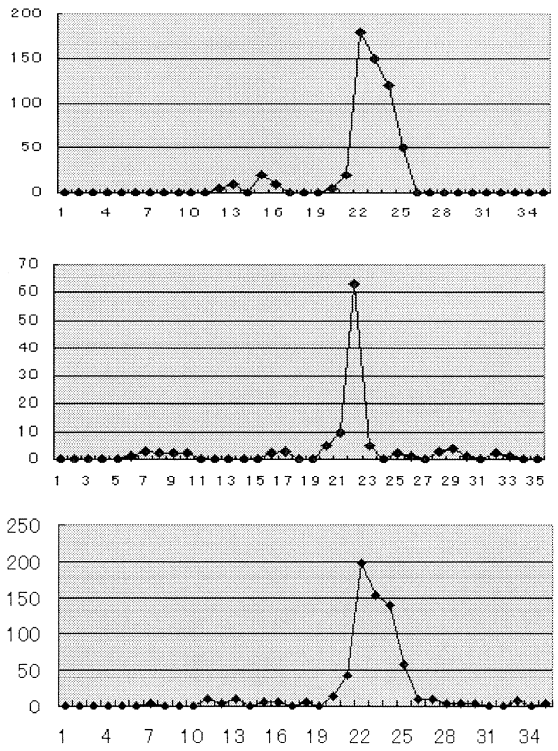


Fig. 9 Changes of keyword frequency.

Fig. 9は異なる３つのキーワードの出現頻度を示す。横軸が日数で縦軸が出現回数である。ログ取得実験の結果、日常で用いられない単語の場合は、Fig. 9のように、あるとき急激に利用頻度が増加し、その後減衰するという傾向が見られた。Fig. 10は、「Boeing」（上段）と「787」（下段）というキーワードの出現回数をプロットしたものである。両者は同日に出現数が伸び、同じ減衰率で出現回数が減衰しているのがわかる。これは、第８日に「boeing787 という飛行機がフライト実験を行った話題」があった為に、Twitter内での「boeing 787」という単語の出現回数が増加したためである。他にも同様な傾向が見られ、同じトレンドに属するキーワードは、同じ日に出現回数が増加し、同じ減衰率で出現回数が減衰することが確認できた。

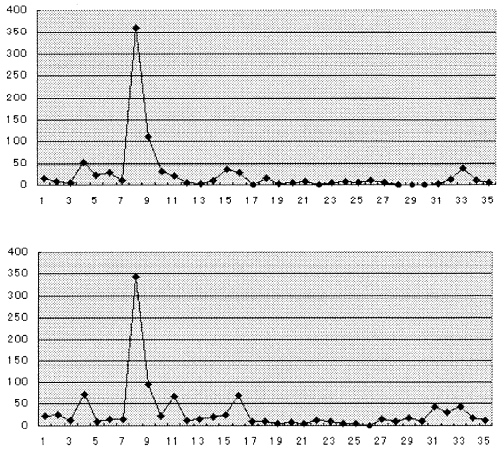


Fig. 10 Changes of keyword frequency.

以上を踏まえ、本研究では以下のような線形モデルを提案する。

$$x(n+1) = \alpha x(n) + \beta u(n) \qquad (1)$$

ただし、x(n)はタイムステップnでのキーワードの出現回数、u(n)はあるタイムステップでのみ値を持つインパルスである。これまでの議論により、減衰率α(<1)の値と、u(n)が一致すれば、同じトレンドのキーワードであることが期待できる。そこで、様々なキーワードに対し、式(1)の同定を行い、同じトレンドであるかを調査した。

調査結果のうち１つの例をFig. 11に示す。Fig. 11は４つのキーワード「Ufc」「Sanchez」「Penn」「trophy」の出現回数である。これらの４つのキーワードのうち、２つ以上が組み合わされて同時に利用される頻度は１％以下であった。つまり、これらの４つのキーワードは、それぞれ単独に利用されたキーワードである。式(1)の数理モデルに対し最小２乗法によりαを同定したところ、それぞれ0.48、0.52、0.56、0.58であった。またu(n)もn=8で１となるインパルスであることが図からわかる。この結果から、この４つのキーワードは同じトレンドに属するキーワードであることが推測される。実際に、

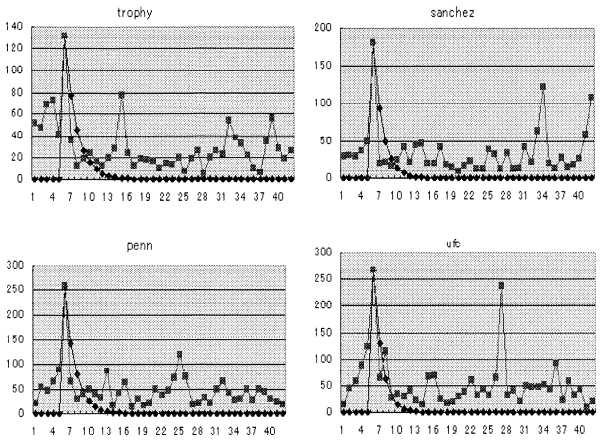


Fig. 11 Changes of keyword frequency.

これらのキーワードは、「ufc」という格闘技の大会名において、「penn」と「sanchez」は注目カードの対戦者であり、優勝者に「trophy」が贈呈された事から、同じトレンドに属するキーワードであった。他にも同様の結果が得られており、式(1)のような単純な数学モデルからでも、トレンドを抽出する可能性があることが期待できる。

しかしながら、ファッショントレンドはもっと複雑であることが予想される。平成22年度以降は、インフルエンザ等の伝染病の数理モデルであるSIRモデルも視野に入れ、数理モデルの構築を進める。

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検知する手法の研究を行った。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22年度以降は、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）小西 克巳，遠山敏章，渡辺明日香：ファッション画像共有サイトの情報を利用したインターネット上のファッション画像収集と検索”，人工知能学会論文誌，Vol. 25, No. 1, pp. 25-36, 2010

（３）Katsumi Konishi and Toshiaki Toyama : Community Identification in dynamic social networks based on H2 norm Analysis: A new approach from control theory", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 2840-2845, 2008

（４）T. Toyama and K. Konishi:KnownStyleNoLife.com: Resource Sharing System for Explicit Fashion -related Image Annotation", International Workshop on Intelligent Web Interaction for 2008 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, 152-156, 2008

（５）遠山敏章，小西克巳：KnownStyleNoLife.com: 議論活動を利用してアノテーションを行うファッション画像共有サイト”，第16回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ，2008年11月

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　　工学部建築学科　山下てつろう

国立保健医療科学院　施設科学部　筧淳夫

名城大学　理工学部建築学科　生田京子

Study on mutual relation of population , range of livelihood and facilitie at an under-populated area

ABSTRACT : The present study treates the subject of facilitie planning at an under-populated area. A decrease in population causes various ploblems and has an effect on social infrastructure and livelihood. However we don't have measures to settle these ploblems. This study is approach to the issue how maintain livelihood at an under-populated area. At first we classify a decrease in population into "the village type" and "urban". And we get the result of survey by asking at mori-machi,Hokaido-"the village type" and by investigating field of activities at mitaka-shi,Tokyo-"urban". In case of "the village type", we asked about daily life behavior at hospital where is sitated at mori-machi. We perceived that people at mori tend to use a store large in scale and concentrating. The data suggest that their store in the city ,– mori ,will shurink gradually. We thought that it is a tendency at an under-populated area. And in case of "urban" , we investigated activities of a family that live in mitaka-city and analyze field of activities in a metropolitan area. As a result ,the locational condition of working and studying religion influence field of activities and these field of activities are expressed urban structure in Japan. In the future this structure will collapse with a decrease in population . So , it is useful that our project will focuse on operational efficiency and facilitie planning at an under-populated area .

第1章　研究の背景

1-1 過疎の質の変化

昭和30年代以降、日本経済の高度成長過程付、過疎・過密が同時に進行した。地方では人の流失による人口減少が起こり、都市では人の流入による人口増加が起こった。その結果都市では、住宅供給が課題となり、地方では、生活水準や地域社会の基礎的条件維持（教育、医療、防災等）が課題となった。

そうした経緯のなか、昭和 45 年に「過疎地域対策緊急措置法」が制定された。過疎対策は、①交通通信体系の整備、情報化及び地域間交流の促進事業（市町村道路の整備、交通利便の確保）、②産業の復興（地場産業振興対策、企業誘致対策等）、③生活環境の整備（上下水道、ごみ処理、消防等）が柱とされた。配分は、下記（Fig.1）の通りである。昭和 45 年度から平成 11 年度の期間と、平成 12 年度から平成 21 年度までの間では、事業費配分の比率に大きな違いは見られない。事業費は、制定後毎年上昇していたが平成17年度では減少している(Fig.2)。「過疎地域対策緊急措置法」の制定以降、現在まで様々な対策がとられてきた（Table 1）。交通基盤、生活基盤、雇用創出等である。過疎地と都市との生活格差の是正であり、過密と過疎を同時に解消できることに期待したものである。しかし今後の全国的人口減少を考慮すると、今までのような産業の復興、雇用機会の増加を図るような地域の体質改善では、問題は解決しないことが考える。

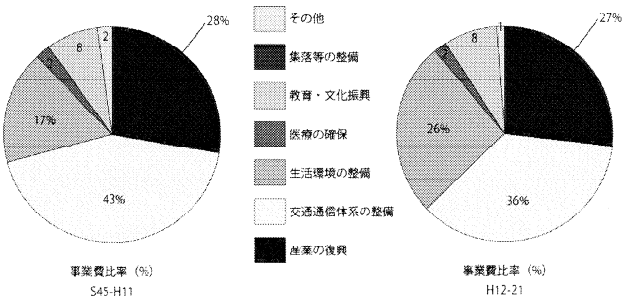


Fig.1　過疎対策における事業実績配分
（S45-H11・H12-21）

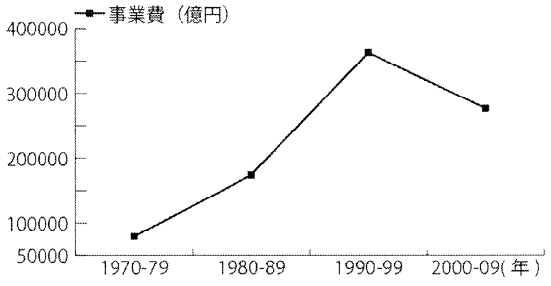


Fig.2　過疎対策事業費

1970（昭和 45）年	「過疎地域対策緊急措置法」
1980（昭和 55）年	「過疎地域復興特別措置法」
1990（平成 2）年	「過疎地域活性化特別措置法」
2000（平成 12）年	「過疎地域自立促進特別措置法」[i]
2010（平成 22）年	「過疎地域自立促進特別措置法の一部を改正する法律」（平成２７年度までの６年間、過疎対策が実施される。）

Table 1　過疎対策のあゆみ

1-2　過疎の実態

1-2-1 過疎地域が全国に占める割合

過疎地域は、人口では９％を占めるに過ぎないが、面積では国土の半分強、市町村の４割を占めている(Fig.3)。これは、過疎地域が多くの水田や山林を抱えており、その維持管理も問題となることを示している。

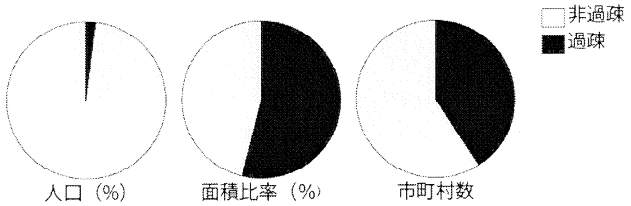


Fig.3　過疎地域の人口割合

1-2-2 過疎の財政

過疎地域は財政力指数[ii]を見てみると、全国平均が0.55であるのに対し過疎地域では 0.25 となる。これは、過疎地域が大きく地方交付税[iii]に依存しているためである。過疎地域は自主財源に乏しく、脆弱な財政構造だと言える。

人口減少は、地方税の減少を生む。過疎関係市町村の1市町村当たりの歳入に占める地方税収の割合は 16.7%と、全国平均の 39.9%と比較すると、より少ないことが分かる。過疎地域の財政は、自主財源では賄いきれない部分を、国税によって賄う。しかし、全国的な人口減少が起これば、母体は小さくなることが予想できる。母体が小さくなれば、今まで再配分されていた配分量も自ずと小さくなる。つまり今まで国税によって補填してきた部分は小さくなり、過疎地の財政状況はよりいっそう厳しくなることが予想できる。過疎現象は、地方自治の運営問題にも繋がっている。

1-2-3　実態の見えない過疎状態

1999 年に 3,232 あった自治体を 2005 年 3 月までに 1,000 にするという目標で行われた「平成の大合併」によって、2009 年 3 月までに 1,779 に再編された。合併[iv]は、国としては地方交付税の減額を図り、自治体としては過疎過密双方に共通する財政難、介護・ごみ問題などの解決、人口増による政令指定都市への昇格といった思惑など様々な動機に起因する。しかしこの市町村合併で問題となるのは、過疎状態であった地域の実態が掴みづらくなったことである。

1-3　全国的な人口減少

1-3-1　過疎地域・三大都市圏・地方圏の人口減少

今後、日本は全国的な人口減少が予測されている。それは、過疎状態となった地域からの人口移動を考慮しても、都市圏で人口減少が起こる可能性を示している。圏域での増減は(Fig.4)で示されているように、「過疎地域」では継続的に人口減少が続き、「地方圏」では低い増加率を示し、「都市圏」でも増加は見られない。

都市圏、地方圏、過疎地域の分類に関わらず、今後全国的に人口減少の問題を抱え、これに対して何らかの問題解決の必要があることを示している。

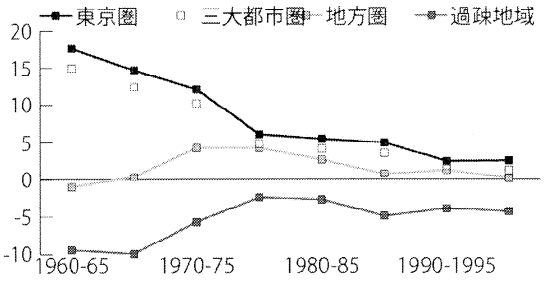


Fig.4　「過疎地域[v]、三大都市圏[vi]、地方圏[vii]の人口増減率の推移」

1-3-2　都道府県別人口減少予測

都道府県別に見ると、1960～2000 年の期間で人口増加を見せていた県も、2000 年～2030 年の人口予測では減少へと転じている。人口増加を期待できる自治体は無く、全体的な人口減少が予測されている。これは都市圏でも、人口減少が起こる可能性があることを示している(Fig.5)。

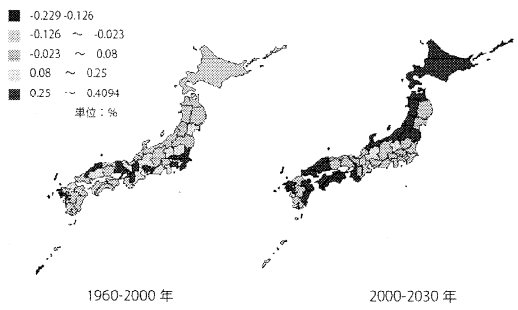


Fig.5　1960-2000 年と 2000-30 年の
都道府県別人口増減率

1-4　その他の問題

1-4-1 高齢者の増加

人口減少に伴い、人口の年齢別比率にも変化が起こることが予想されている。将来的に全体人口の 3 割～4 割近くが６５歳以上という人口構成になっていくことが予想されている（Fig.6）。

エラー! リンクが正しくありません。Fig.6　日本の将来推計人口（平成 18 年　12 月推計）

1-4-2 家族構成の変化、単身者の増加

高齢者比率の増加とともに懸念されているのは、「単身世帯」[viii]の増加である（Fig.7）。単身世帯の増加は、居住形態や地域社会に変化をもたらす。また高齢者の生活について言えば、今まで「家族」に生活の補完機能を頼っていた部分が、サービスという形で第三者に頼らざるを得なくなる事態である。そうした際、サービスを受け難い場所とは、過疎化した地域であることは容易に想像できる。こうした「サービスの受けづらさ」を生む出すことも、過疎問題の一つである。

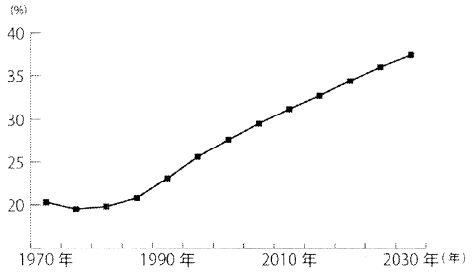


Fig.7　単身世帯の全体的動向

第2章　研究の概要

2-1 研究目的

人々の生活の多くは、社会インフラに大きく左右されており、都市への資本投入、設備投資の加減によって、人の生活内容は規定される。交通網が発達していない地域に住む人であれば、人が持つ移動抵抗は大きく、時間ロスも大きい。また、逆に交通網が発達している地域に住む人であれば、移動抵抗は低く、時間ロスも小さい。また、過疎状態になることで「生活」は大きく揺らぐと考えられる。人口規模に対しての施設供給が、人口変動に伴い難しくなる。減少した後も、更に変化量は微減を続けることが予想できる。つまり変化量が「増大」の時には、供給を考えればよいのだが、「減少」に対しての策が考えられずに、供給の策のままできている実態がある。変化量が一定になるまでの、「減少」状態をいかに問題解決するのかが、課題である。

本研究は、こうした人口変動が減少へ向かう際の地域計画・建築計画的アプローチを探るものである。

2-2 研究方法

本研究では、「集落の過疎化」と「都市の過疎化」とに分類し調査を行う。これは「集落の過疎化」と「都市の過疎化」とでは、過疎に対する対策が異なると考えるためである。集落は、集落機能[ix]の維持を目的とし、都市は都市機能の維持を目的としている。集落は「生産空間」、「生活空間」、「文化空間」の複合体であるが、都市は「生産空間」、と「生活空間」を別としている。この２種は、生活基盤をいかに維持すべきかという軸では共通するが、目的や基盤が異なるため分類する必要がある。そのため、集落型と都市型の地域構造をそこに住む人の生活を通して、対策を検討する。今年度は、集落型として北海道茅部郡森町にあてはめ調査を行い、都市型として三鷹市を対象とし、調査を行った。

1）集落型（森町における調査概要）
北海道茅部郡森町に位置する「森町国民健康保険病院」にて、外来に訪れた患者・家族に対してヒアリングにて調査を実施し、日常的（調査日の前日、前々日）な生活をヒアリングにて調査収録した。その調査結果をもとに「SIS MapModeller」（以後、SIS）という地理情報システムのソフトを利用し、生活と地理的条件との関係について分析した。
質問事項は、①～③である。

①属性（性別、生年、住所地）
②日常的な外出の有無（昨日、一昨日の外出の有無。外出した場合には、どこへ出掛けたのか、場所、目的、移動手段）、昨日：2009 年 12 月 23 日（水・休日）、一昨日：同年月 22 日（火・平日）
③普段の生活（就業、通学、趣味について、食品や日用雑貨の購入場所や頻度、交通手段について、今月の外出の有無、有る場合は、どこへ出掛けたのか）

2）都市型（東京都三鷹市における調査概要）
三鷹市に暮らすある一つの家族に対し、行動調査を実施した。調査対象の家族構成は、夫婦（共に就業者）、娘一人（学生）の家庭である。以後、夫を就業者 A、妻を就業者 B とする。就業者 A、の就業先は市外にあり、一方

就業者Bの就業先と学生の通学場所は市内にある。この家族の行動調査をサンプルにし、三鷹市在住者の就業・通学形式を探り、都市圏での生活と地理的条件を分析した。

2-3 対象地域の特徴

1）人口構成

森町、三鷹市では共に労働人口が全体人口の6割を占めている。高齢者の比率は森町が27.7%、三鷹市が18%となるが、ほぼ同じ分布形をとっている（Fig.8）。

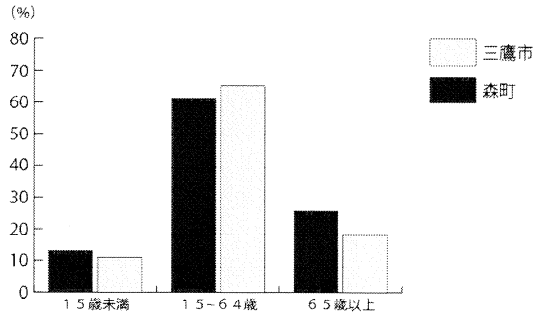


Fig.8　森町・三鷹市年齢別割合

2）産業構成

森町では、第一次産業が23%、第二次産業が32%、第三次産業が45%という比率をとる。

一方三鷹市では、第三次産業が82%と大きい比重を占めており、第二次産業は17%、第一次産業は1%と森町とは大きく異なる（Fig.9）

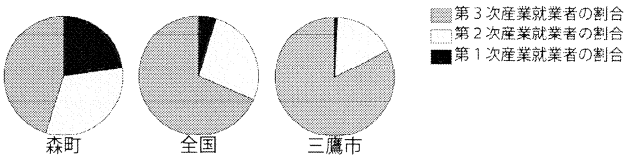


Fig.9 森町・全国・三鷹市産業３部門別割合

2-4 森町国民健康保険病院における ヒアリング調査結果の概要

1）調査対象属性

調査対象の属性は病院外来での調査であったため、70代が最も多く、次いで80代、60代という構成となり森町の実際の人口構成とは異なっている（Fig.10）。

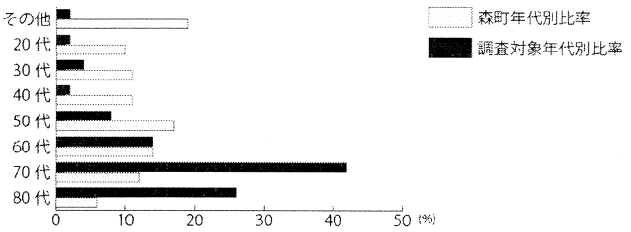


Fig.10 森町・調査対象の年代別比率（単位：%）

2）男女比

調査対象は、男性15人、女性35人。よって、男女比率は男性が30%、女性70%となる。一方森町の実際は、男性8,989人、女性10,160人であり、男女比率は男性が47%、女性が53%である。調査対象の方が、女性比率が高い（Fig.11）。

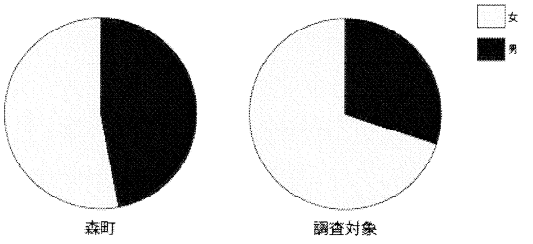


Fig.11　森町・調査対象の男女比

3）調査場所（病院）から調査対象宅（自宅）までの距離

調査対象の住む地域から、調査を行った病院までの距離をSISソフトにより計測した。その結果が、Table 2である。そして、徒歩67m/分（4.0km/時）と仮定し、a≦500m(a=直線距離)を「徒歩容易圏内」とし、そしてa≦1500mは「徒歩可能圏内」、a≧1500mは「徒歩不可能圏内」とした。「徒歩容易圏内」は、2人。「徒歩可能圏内」は、6人。「徒歩不可能圏内」は21人という結果になった。調査対象の年齢を考慮すると、徒歩容易圏内以外は徒歩不可能圏内だとも考えられる。よって、調査対象の大半が徒歩では困難な場所から病院に訪れていると言える。

エラー！ リンクが正しくありません。

Fig.12　自宅から調査場所まで距離（圏別）

エラー！ リンクが正しくありません。

Table 2　調査対象の住む地域からの距離と人数内訳

4）日常的な外出の有無

ヒアリング調査では、昨日（休日）、一昨日（平日）の外出の有無を尋ねた。両日とも出かけた人が12人。どちらか一方に出かけたと答えた人は、20人。（内、平日出かけた人は、8人。休日出かけた人は、12人。）両日とも家にいた人は、18人という結果がでた。両日とも出かけない人が約4割を占めており、日常的に外出しない傾向の人が多いことがわかる。

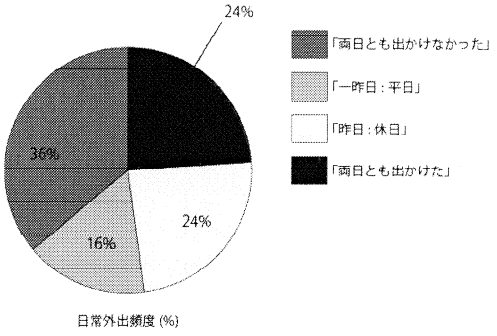


Fig.13　日常外出頻度

5）普段の生活

・食品の購入頻度

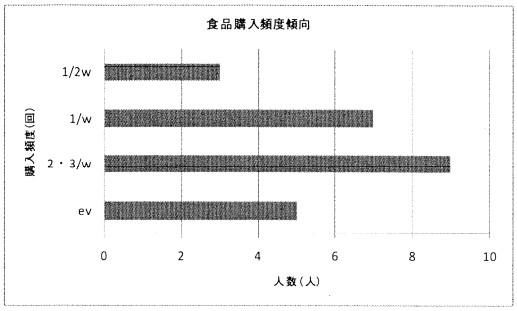


Fig.14　食品購入頻度

エラー! リンクが正しくありません。

Table3　食品購入頻度と圏域関係

ヒアリング調査では、日常的な外出の有無に加え、普段の買い物（食品・雑貨等）場所や交通手段、また購入頻度等を尋ねた。毎日買い物に出かける人は少なく、１週間に１回～２・３回という人がほとんどであった（Fig.14）。毎日と答えた人は交通手段を獲得している人であったり、年齢が若いという結果が出た。多くの人が、食品をストックしたり、配達サービスを利用する等し、買い物を工夫して生活をしていた。また、食品購入頻度と住む地域との関係を探ったものがTable3であるが、特に関係性は見られなかった。

・食品の購入場所

食品を購入する場所を尋ねた。その結果、「ラルズマート森店」（以後、ラルズ）が１６件、「共同購買会フォーレスト」（以後、フォレスト）が１３件、「ホクレンショップ森店」（以後、ホクレン）が９件、「スーパーとうかい砂原店」が１件である。ラルズ、フォレスト、ホクレンは互いに近距離に位置しており、買い物に出かけた際に一度に各所をまわり買い物をする傾向が考えられる。また、回答者の属性によって、店の選択の間には特に相関はみられない。

住む地域	ラルズ	フォレスト	ホクレン	トウカイ
上台町		1		
上台町	1			
上台町	1			
上台町		1		
上台町	1	1		
森川町		1	1	
森川町	1		1	
森川町		1		
森川町		1	1	
森川町	1	1		
富士見町	1			
富士見町		1	1	
森町	1	1	1	
清澄町		1		
砂原	1			1
砂原	1		1	
砂原	1		1	
鹿部町			1	
赤井川	1			
尾白内町	1	1		
尾白内町	1			
尾白内町	1			
濁川		1		
渡島砂原	1			
白川	1		1	
字御幸町		1		
合計(件)	16	13	9	1

Table4　食品購入場所

・商業圏面積比較

コンビニエンスストアは、人口、道路、商業圏域等を営利を目的として計算し、立地分布が考えられていると考えられる。そこで、そのまちまちの状況としてコンビニの勢力圏を、森町、三鷹市各々を比較してみる（**店舗は、タウンページより抽出**）。森町は、1軒当たり約40401,949㎡≒4040haで、三鷹市は約326,101≒33haである。森町の勢力圏が広域であるのに対し、三鷹市は、狭い面積での分布である。

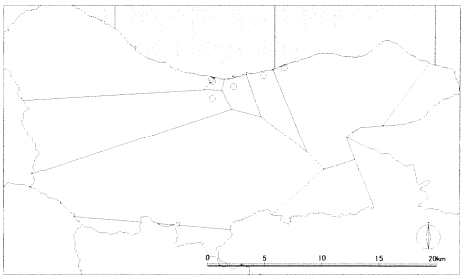


Fig.15a 森町コンビニエンスストア勢力圏



Fig.15b　三鷹市コンビニエンスストア勢力圏
（店舗は、タウンページより抽出。）

・食料品店と住まいとの距離

回答者の住む地域と、スーパーとの直線距離（道路距離ではない。）を計測した。スーパーは、調査の際に名前があげられた、「ラルズ」、「フォレスト」、「ホクレン」の三店舗を使う。結果を、散布図（Fig.16）に表わし傾向を探ると、５ｋｍ圏内に多くが分布していることが分かる。また、３店舗は集約的に立地しているため、同じような分布をとる（Fig.17）。利用者が、一定の場所の範囲に存在する商店を選択していることが分かる。

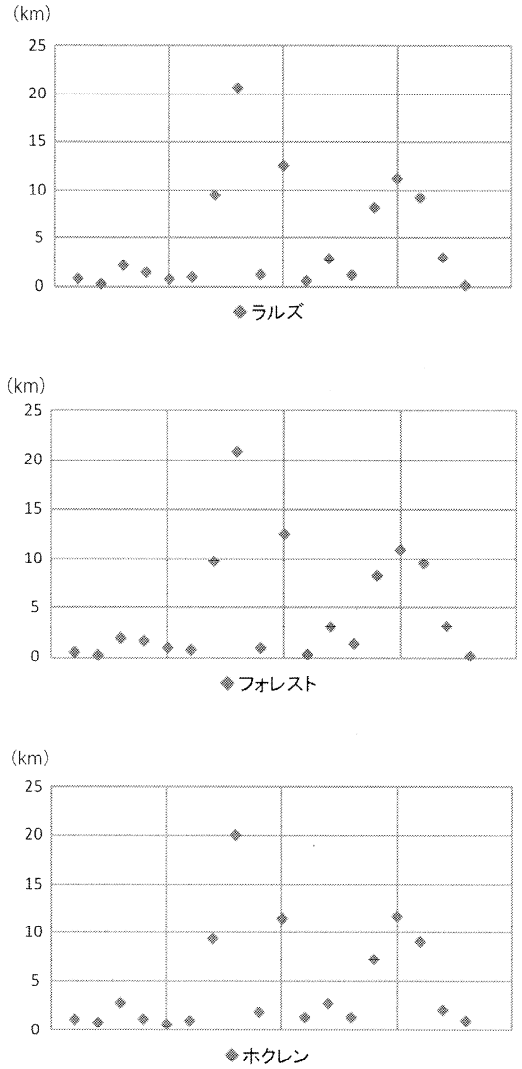


Fig.16　調査属性と各店舗間距離の散布図（単位：km）

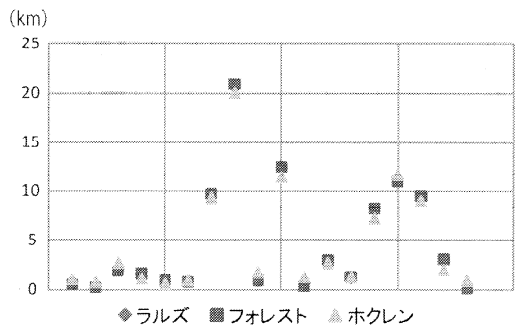


Fig.17　調査属性と各店舗との距離（単位：km）

エラー! リンクが正しくありません。

Table5　調査属性地域と店舗との距離関係（単位：km）

・利用される店舗

森町に存在する食料品店をマッピングする。(食料品店の抽出には、タウンページを利用した。抽出した店舗住所を緯度経度に変換し、地図上にマッピングする作業を行った。) 多くの店舗が一定の場所（まちの中心）に分布しているものの、市街地に沿って分布している（Fig.18）。しかし、調査結果ではそうした店舗の利用は聞こえてこなかった。これは森町生活者が市街地に分布する店舗利用ではなく、大型店舗や一度に買い物が可能な店舗を利用する傾向があることを表している（Fig.19）。今後こうした市街地に分布する店舗が消滅していくことが危惧される。

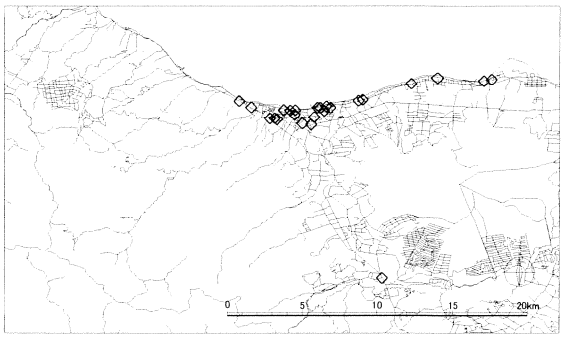


Fig.18　森町の食料品店分布



Fig.19　調査結果と重ね合わせ

・その他

函館という地域特性もあり、交通手段を持たない人にとっては、気候によって行動範囲に変化があった。夏季は徒歩で行けていた場所が、冬季になると降雪のため困難となってしまうという方がいた。そして、度々調査をして聞こえてきたのが、買い物を家族の者に頼むケースである。交通手段（主に自家用車）をもつ若い世代の者が、高齢者に代わって買い物するというかたちである。

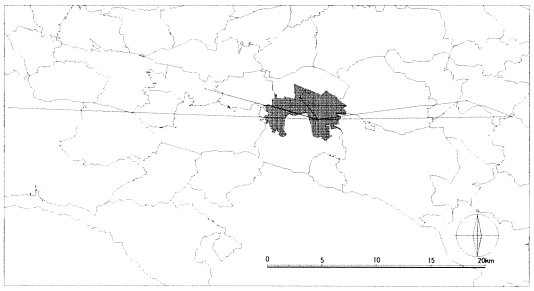
2-4　三鷹市における

行動調査結果の概要

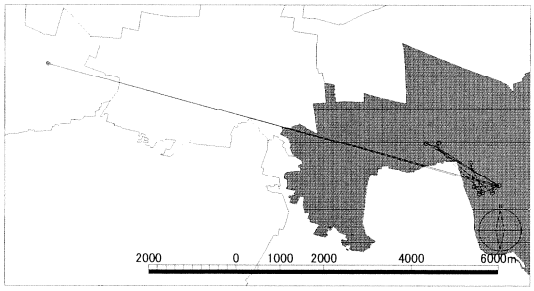
1）行動結果

調査対象の家族構成は、夫婦（共に就業者）、娘一人（学生）の家庭であり、就業者 A（夫）の就業先は市外、就業者 B（妻）の就業先と学生の通学場所は市内にある。三人の全行動経路が、Fig.20 である。

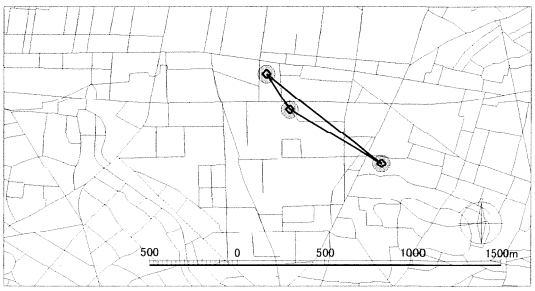
就業者 A（就業地：市外）の行動は、広範囲で行われ一日の最大移動距離は 45,684m、最小移動距離は 17,834m という結果となった。一方就業者 B（就業地：市内）の行動は狭い範囲で行われ、一日の最大移動距離は 19,210m、最小移動距離は 3,306m となった。学生は、自宅と学校（市内）との行き来のみのため、最大移動距離は 1,491m、最小移動距離は 1,476m となり、最大値と最小値の差が見られない。三鷹市在住の家族を見てきたが、行動範囲は就業先・通学先の立地場所が起点になっており、市外に就業している者は最大移動距離と最小移動距離の範囲が大きい。これは、就業地と日常生活範囲の不一致を表していると言えるのではないだろうか。一方、市内に就業・通学している者は就業・通学が常住地と一致するため、生活範囲が重ねあう。



就業者 A（夫）の全行動経路

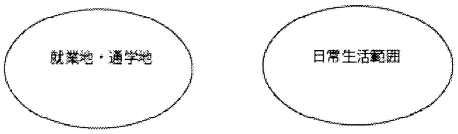


就業者 B（妻）の全行動経路

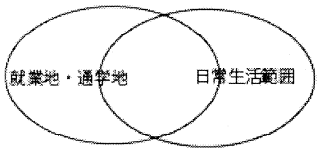


通学者（娘）の全行動経路

Fig.20　三鷹市家族の各行動経路



就業・通学地が市外



就業・通学地が市内

2）三鷹市在住者の就業・通学先

三鷹市在住者の就業先･通学先は、東京都内が最も多い。就業者では 6 割、通学者では 7 割である。そして市内に従業している者は、就業では 36%、通学では 25%である（Fig.21）。これは、遠距離においても就業・通学していることを表している。

都内に就業・通学先の内訳（Table6）は、就業では武蔵野市、千代田区、新宿区、港区という順序で武蔵野市が最も多い。武蔵野市は、隣接する市であるので近隣に就業していると言える。通学先では、豊島区、港区、中野区、文京区という順序で、豊島区が最も多い。

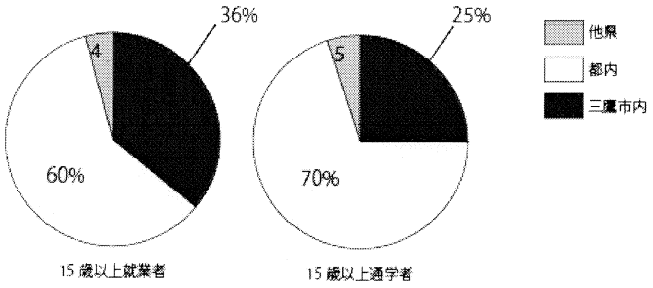


Fig.21 三鷹市在住者の通勤・通学先

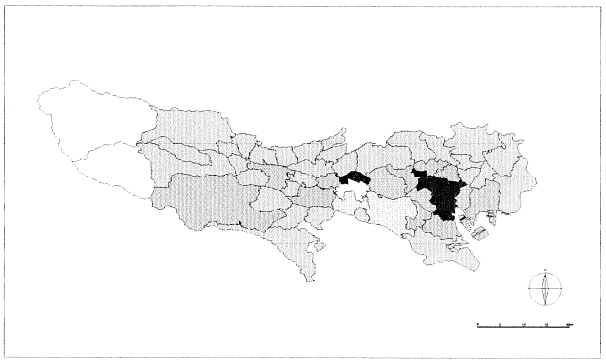


Fig.22　三鷹市在住者の通勤先分布

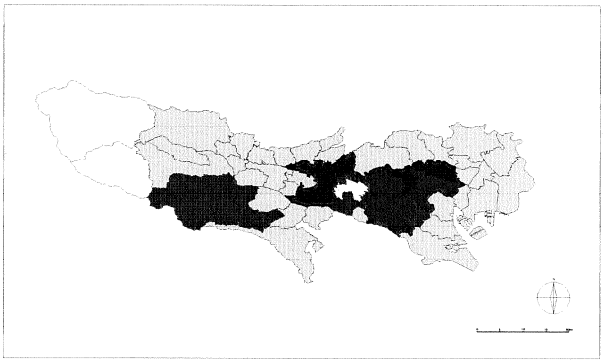


Fig.23　三鷹市在住者の通学先分布

エラー! リンクが正しくありません。 Table6　三鷹市常住者の就業者・通学者人数とその内訳

3）三大都市圏での交通手段特性

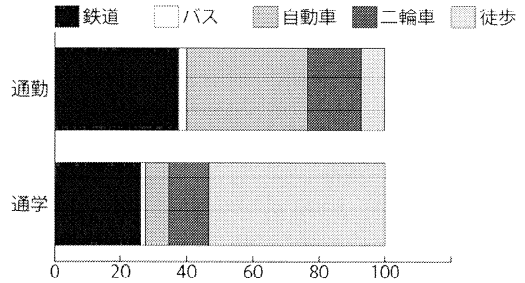


Fig.24 三大都市圏・平日の交通手段利用特性（%）

業務地と交通手段には関係性がある。就業・通学地が遠方にあれば、鉄道や自動車といった交通手段であり、逆に近距離に就業・通学地が存在すれば、徒歩での移動が主となる。

Fig.24 は、平成 11 年度全国都市パーソントリップ調査結果から、三大都市圏の平日においての通勤・通学においてどのような交通手段が利用されているのかを表したものである。通勤では鉄道 37.5%、バス 2.4%、自動車 36.6%、二輪車 16.2%、徒歩 7.2%という結果で、鉄道と自動車利用が同等程度である。そして通学では、鉄道 26.1%、バス 1.5%、自動車 6.9%、二輪車 12.2%、徒歩 53.4%と徒歩の利用が多い。三大都市圏において、通学場所は近距離に存在する傾向があり、就業地は遠方にある傾向があると言うことができる。

2-5　まとめ

1）森町ヒアリング調査

森町では、ヒアリング調査を行うことによって、以下のことが分かった。

休日、平日の外出の有無を尋ねることによって、高齢者の方は、日常的に外出しない傾向の人が多いことがわかった。そして日常的な外出の有無に加え、普段の買い物（食品・雑貨等）場所や交通手段、また購入頻度等を尋ねることによって、生活形式や施設、また調査対象の住む地域と店舗の立地分布の相関関係を探った。

森町の高齢者の方は、毎日買い物に出かける人は少なく、１週間に１回～２・３回という人がほとんどであった。多くの人が、食品をストックしたり、配達サービスを利用する等し、買い物を工夫して生活をしていた。また、買い物は家族に頼る人がいた。そして、調査対象の住む地域と店舗の立地分布の間には特に相関関係は見られなかった。多くの利用者が５ｋｍ圏内の店舗を利用しており、買い物は、一定の場所であった。「ラルズマート森店」、「共同購買会フォーレスト」、「ホクレンショップ森店」の三店舗が多く名前をあげられていた。この三店舗は互いに近距離に位置しており、利用者が買い物に出かけた際に一度に各所をまわり買い物をする傾向が考えられる。この結果から、今後森町の市街地に沿って分布している商店も、次第に大規模な商店（機能が豊富）や集約的な商店だけが残り、縮小していくことが考えられる。

2）三鷹市行動調査

三鷹市の行動調査より、就業・通学場所の立地関係により、行動範囲に違いがあることがわかった。そしてその結果をきっかけに、三鷹市常住者の就業・通学場所の傾向を探った。中心地外である、三鷹市では都内への通勤･通学者が多くを占めていることが分かった。これは、業務地が一定の場所に集積するという都市形成であることを表している。こうした都市形成がされた結果、交通網が広範囲に拡大し、都市圏が拡大した。

第3章　研究の総括と今後の課題

本研究では、「集落型の過疎化」と「都市型の過疎化」に分類し、調査を行った。

集落型では、今後市街地に分布している店舗が縮小し、大型店や集約的立地をしている店舗だけが残っていくことを、調査より予測した。そして生活利便施設の充実は

十分に人を一定の場所に引き付ける力に成り得ることが分かった。しかし、調査では商店選択理由までは質問しなかったために、大規模であることや、集約的な店舗を選択しているという仮説を立てた。次回は、生活者の商店選択理由やまた商店規模比較等を行いたいと思う。

都市型では、行動調査をきっかけに郊外地の就業・通学形式傾向を探った。都市構造を探ることにより、将来的な縮小に対しての過程を探れたと思う。しかし、全国的な人口減少事態からの人口流入による考察が十分にされていないため、分析不足だと言える。これは、人口流入規模によって、縮小過程が異なると考えるためである。今後は、そうした要素を包含した考察が必要である。

「集落型」、「都市型」とに分類し、調査、考察を行ってきたが、共に産業形態、産業基盤による分析も必要だと感じた。それは、都市圏である三鷹市において行動調査を行った際に、就業・通学地の立地条件によって行動範囲に違いが見られ、また日常生活範囲に大いに影響を及ぼしていたと考えるためである。今後、人口規模からの考察に加え、産業形態の違いについても分析していきたいと考える。また、今回は過疎に対する基礎的分析に終始してしまったために、最終的目的である都市・建築に対してのアプローチ不足であったと考える。都市・建築的にどのような対策、手段が可能かを、今後は探っていきたいと考える。

注

[i] 「過疎地域自立促進特別措置法」

目的：（法第１条より）

人口の著しい減少に伴って地域社会における活力が低下し、生産機能及び生活環境の整備等が他の地域に比較して低位にある地域について、総合的かつ計画的な対策を実施するために必要な特別措置を講ずることにより、これらの地域の自立促進を図り、もって住民福祉の向上、雇用の増大、地域格差の是正及び美しく風格ある国土の形成に寄与することを目的とする。

目標：（法第３条より）

①産業基盤の整備、農林漁業経営の近代化、中小企業の育成、企業の導入及び起業の促進、観光の開発等を図ることにより、産業を振興し、あわせて安定的な雇用を増大すること。

②道路その他の交通施設、通信施設等の整備を図ること等により、過疎地域とその他の地域及び過疎地域内の交通通信連絡を確保するとともに、過疎地域における情報化を図り、及び地域間交流を促進すること。

③生活環境の整備、高齢者等の保健及び福祉の向上及び増進、医療の確保並びに教育の振興を図ることにより、住民の生活の安定と福祉の向上を図ること。

[ii] 財政力指数

基準財政収入額を基準財政需要額で除して得た数値（過去３ケ年間の平均値を使用することが多い。）

財政力指数＝基準財政収入額(A)/基準財政需要額(B)

A：「基準財政収入額」普通交付税の算定に用いるもので、各地方公共団体の財政力を合理的に測定するために、標準的な状態において徴収が見込まれる税収を一定の方法によって算定した額。

B：「基準財政需要額」普通交付税の算定に用いるもので、各地方公共団体が合理的かつ妥当な水準における行政を行い、または施設を維持するための財政需要を一定の方法によって算定した額。

[iii] 地方交付税交付金

地方公共団体は、産業の発展の具合や住民数などによって自主財源の税収入に格差がでるため、財源の少ない地方公共団体では最小限の住民サービスすら行われないおそれが出てしまう。そこで、税収入の格差を是正し、本来、全国一律で行われる住民サービスを提供できるように、財政不足の地方公共団体に国税の一部（所得税・酒税の32%、法人税の35.8%、消費税の29.5%、たばこ税の25%）を交付している。

各団体ごとの普通交付税（交付総額の94%）の決定方法は、基準財政需要額から基準財政収入額を引いた財源不足額である。

[iv] 市町村合併

国のねらい：国が交付している普通地方交付税は 18 兆円以上だが、13兆円しか元手がなく、破綻状態。そのため今後交付税を減少させるために、地方公共団体の財政的体力増強が必要で、広域化させることがねらいである。合併を推進するために、特例措置と呼ぶ特典（合併特例債の発行、合併後の議員数の保証など）を用意した。

自治体の思惑：過疎過密双方に共通する財政難、介護・ごみ問題などの解決、人口増による政令指定都市昇格への思惑などの自治体により様々。

[v] 「過疎地域」：（平成１８年４月１日現在）

① 過疎地域自立促進特別措置法、第２条第１項に規定する市町村の区域

② 自立促進法第３３条第１項の規定により過疎地域とみなされる市町村の区域

③ 自立促進法第３３条第２項の規定により過疎地域とみなされる区域

[vi] 「三大都市圏」：東京圏（埼玉県、千葉県、東京都及び神奈川県の区域）、大阪圏（京都府、大阪府、及び兵庫県の区域）、名古屋圏（岐阜県、愛知県及び三重県の区域）

[vii] 「地方圏」：三大都市圏区域外

[viii] 単身世帯：世帯人員が一人の一般世帯をさす。

[ix] 集落機能：

①資源管理機能（水田や山林などの地域資源の維持保全に関わること）

②生産補完機能（農林水産業の生産に際しての相互扶助機能のこと）

③生活扶助機能（冠婚葬祭など日常生活における相互扶助機能のこと）

参考文献

（１）大野秀敏編著: シュリンキング・シティ-縮小する

都市の未来戦略，鹿島出版会，2008
（２）海道清信：コンパクトシティ-持続可能な社会の都市像を求めて，学芸出版会，2001
（３）NPO法人美し国づくり協会・日刊建設通信新聞社：私の美し国づくり，日刊建設通信新聞社
（４）大野晃：限界集落と地域再生，高知新聞社，2008
（５）日本建築学会編著：図説　集落，都市文化社，1989
（６）荒井義雄：生活の空間　都市の時間，古今書院，1989

（図・表の作成元）
・Fig.1・2・3･4　：総務省自治行政局過疎対策室発行、平成20年度版「過疎対策の現況」（概要）より作成
・Fig.5：大野晃著「限界集落と地域再生」のp.150･151より作成
・Fig.6：国立社会保障・人口問題研究所、「日本の将来推計人口（平成18年12月推計）」より作成
・Fig.7　：2005年までの実績値は、総務省「国勢調査」。2010年以降の「単身世帯数」「総世帯数の推計」は、国立社会保障・人口問題研究所編「日本の世帯数の将来推計（全国推計）－2008年3月推計」。
・Fig.8･9･10･11･22･Table3：平成17年度「国勢調査」より作成
・Table3：
･Fig.25：国土交通省　都市・地域整備局　都市計画課都市交通調査室、国土交通省　国土技術政策総合研究所都市研究部　都市施設研究室発行「都市における人の動き」より作成

３．総合研究所一般研究報告
（共同研究）

古代東アジアの図書館に関する研究

工学院大学　共通課程　榎本淳一

工学院大学　機械創造工学科　塚本剛

Study on Library in Ancicnt East Asia

ENOMOTO Jun'ichi , Department of General Education

TSUKAMOTO Tsuyoshi , Department of Basic Engineering in Global Environment

ABSTRACT : In this study, carried out the following three.

1. Researches on Ancient Japanese Library
2. Researches on Ancient Chinese Library
3. Researches on Distributin of Chinese Books (漢籍) in Anciet East Asia

１．　はじめに

本研究は、古代東アジアにおいて図書館がどのような役割・機能を果たしたかという問題について、支配と文化という視点から解明することを目的とするものである。この研究の目的から分かるように、図書館そのものだけを検討・分析するわけではなく、図書館に収められた、もしくは収められることが企図された図書・書籍の有り様をも検討課題とし、古代東アジアにおける漢籍流通の実態からこの問題に迫るものである。

日本古代の図書館に関する研究は榎本が担当し、中国古代の図書館に関する研究は塚本が担当し、書籍の流通も含め研究の総括は榎本が当たった。

２．日本古代の図書館、及び漢籍流通に関する研究

２．１　研究の概要

当該研究は、榎本が担当した。研究は、まず日本古代の図書館に関する史料の収集・整理と関連先行研究の検討から行った。この基礎的作業の中で、石上宅嗣が創設した日本最初の公開図書館である芸亭の重要性を再認識し、芸亭中心に史料の検討を行った。その成果の一端として収集・整理した主要史料は、後掲する。

次に取り組んだのは、古代日本への漢籍流入状況を明らかにするために、律令法典の日本への舶載時期について検討を行った。その結果、従来の通説とは異なり、唐律令の日本への到来は７世紀末以降と考えられ、それ以前においては朝鮮諸国を通じて律令制の知識を取り入れていたことが判明した。最新の律令法典がすぐさま日本にもたらされたわけではなかったことが明らかになったとともに、冊封体制により東アジア諸国に律令制が伝播したという西嶋定生氏の学説（「東アジア世界」論）の誤りを正すこともできたと考える。

３つめの研究としては、国家儀礼制度を規定した儀注という礼典の日本将来の問題について検討した。中国的な儀礼及び儀注の日本伝来は、推古朝に派遣された遣隋使によりなされたというのがこれまでの通説である。しかし、推古朝の儀礼制度を再検討してみると、隋朝の儀礼の影響は見られず、それよりも前の南朝の儀礼や朝鮮諸国の影響が確認され、律令法典と同様に儀注においても、最新の中国書籍（漢籍）が即座に日本に舶載されたわけではなかったことを明らかにすることができた。隋唐の諸制度の体系的な摂取は７世紀末以降であり、そうした制度の典拠となった漢籍の日本伝来もその時期である可能性が高いという見通しを得ることができた。

４つめには、来日唐人の文化史上の意義に関する研究を行った。日本においては伝統的に書籍を通じて外来文化を摂取するという傾向が強く、人的な文化交流が乏しいとされる。本研究は、数少ない唐人来日の実態について検討を加えることにより、唐人来日の文化史上の意義を明らかにしようという試みである。検討の結果、唐人の来日は日本政府による政策的なもので、音楽や舞踏な

ど書籍だけでは摂取困難な文化分野において秀でた唐人を政府が招請した可能性が高いことを指摘することができた。

２．２　研究成果の公開

〈論文〉

（１）ENOMOTO　Jun'ichi : Japan's *Ritsuryo* System in the "East Asian World", ACTA　ASIATICA　No.99 , 2010

（２）榎本淳一「比較儀礼論―推古朝の迎賓儀礼の再検討―」（荒野泰典・石井正敏・村井章介編『日本の対外関係』第２巻（律令国家と東アジア）、吉川弘文館、２０１０年刊行予定

〈口頭報告〉

（１）榎本淳一「「東アジア世界」における日本律令制」、「日唐宋律令法の比較研究と『新唐令拾遺補』の編纂」研究会、湯河原温泉白壁荘、２００９年９月１２日

（２）榎本淳一「遣唐使と通訳」、東アジアの古代文化を考える会、東京芸術劇場、２００９年１１月２９日

（３）榎本淳一「「国風文化」とは何か」、東アジアの古代文化を考える会、東京芸術劇場、２０１０年３月１４日

（４）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（角川文化振興財団）、春日大社（感謝・共生の館）、２０１０年４月２４日

〈新聞記事〉

（１）読売新聞（関西版）２０１０年４月９日
「奈良・西大寺旧境内　海渡り朝廷で活躍･･･須恵器に「皇甫東朝」」
（http://osaka.yomiuri.co.jp/inishie/news/20100409-OYO8T00312.htm）

（２）読売新聞（奈良版）２０１０年４月２５日
「遣唐使船、人脈構築にも役割･･･春日大社シンポ」

２．３　芸亭関連主要史料・文献の収集・整理

以下に、収集した史料・文献の主要なものを提示し、芸亭に関する研究の成果の一端を示すことにしたい。

ａ、『続日本紀』天応元年（七八一）六月辛亥条

大納言正三位兼式部卿石上大朝臣宅嗣薨ず。詔して正二位を贈る。宅嗣は左大臣従一位麻呂の孫、中納言従三位弟麻呂の子なり。性朗悟にして姿儀あり。経史を愛尚して、渉覧するところ多し。好んで文を属り、草隷を工にす。勝宝三年（七五一）に従五位下を授けられ、治部少輔に任ぜらる。稍く文部大輔に遷りて、内外に歴居す。景雲二年（七六八）に参議従三位に至る。宝亀初め（七七〇）に出でて大宰帥となる。居ること幾ばくも無くして式部卿に遷り、中納言を拝す。姓を物部朝臣と賜る。其の情願を以てなり。尋で皇太子傅を兼ぬ。改めて姓を石上大朝臣と賜る。十一年（七八〇）、大納言に転じ、俄に正三位を加へらる。宅嗣、辞容閑雅にして、時に名有り。風景山水に値ふ毎に、時に筆を援けて之を題す。宝字より後、宅嗣及び淡海真人三船を文人の首と為す。著すところの詩賦は数十首。世多く之を伝誦す。其の旧宅を捨て、以て阿閦寺と為す。寺内の一隅に、特に外典の院を置き、名づけて芸亭と曰ふ。如し好学の徒有りて、就きて閲せんと欲する者には恣に之を聴す。仍って条式を記して、以て後に貽す。其の略に曰く、「内外の両門は本と一体たり。漸く極めれば異と異なるに、善く誘けば殊ならず。僕、家を捨て寺と為して、心を帰すること久し。内典を助けんが為に、外書を加へ置く。地は是れ伽藍。事須く禁戒すべく、庶くは同志を以て入る者は、空有に滞ること無くして、兼ねて物我を忘れ、異代来たらん者は、塵労を超出して、覚地に帰せんことを。」其の院、今に見存せり。臨終に遺教して薄葬せしむ。薨ずる時、年五十三。時の人、之を悼む。

ｂ、「芸亭居士伝」（『日本高僧伝要文抄』所引「延暦僧録」）

芸亭居士石上宅嗣。法号梵行。（中略）宝字年を以て、勅によりて大唐大使たり。雲海万里、波濤億里、王命を達せんと欲す。心明覚に帰し、住宅を捨てて玄寺と為す。（中略）風色使ならず、本朝に却帰し、寺の東南に芸亭院を造る。山を堅め沼を穿ち、竹を植へ花を栽へ、橋を生死の河に渡し、船を彼崖に済し投く。芸亭の西南に禅門を構へ、心を八定に遊ばす。芸亭の東北には方丈室を建て、唯だ一床に留め、三宝に存念し、講肆有る毎に、心詳喰に至る。論弁の場に於ひて、勝義を諮詢す。（後略）

ｃ、空海「綜芸種智院式并序（天長五年（八二八）十二月十五日）」（『性霊集』巻十）

（前略）何となれば、備僕射の二教と石納言の芸亭、此の如く等の院並びに皆始め有って終り無し、人去って跡穢る。（後略）

ｄ、『日本後紀』弘仁六年（八一五）六月丙寅条

播磨守贈正四位下賀陽朝臣豊年卒す。右京の人なり。経史に該精して、射策甲科なり。操を秉り、義を守り、屈撓するところ無し。知己に非ざるよりは、造接を好まず。大納言石上朝臣宅嗣、礼待周厚にして、芸亭院に屈す。数年の間、博く群書を究む。中朝の群彦、皆以為く、釈道融・御船王も之に若かざるなりと。（後略）

ｅ、『奈良県史６寺院』阿閦寺　（奈良市）法華寺町

奈良末期に石上宅嗣がその旧宅を喜捨して創建し

た寺。本尊、阿閦如来。このことは『延暦僧録』や『続日本紀』などにつたえられるが、その所在地については明記がない。位置については、鎌倉初期、釈実叡の『建久御巡礼記』に初めて阿閦の記事がみえ、その法華寺の条に「此寺鳥居の東南幾も去らず、田中に松一本生る所、是昔の阿閦寺の跡なり」（原文を改め、書き下し文とする－榎本）とある。法華寺の東南、小字堂ノ前付近（平城左京二条二坊の地）をもってその跡と考証されている。

寺内の一隅に外典を蔵する一院を置き、芸亭と名付け、好学の徒に自由に蔵書の閲覧を許した。芸亭院ともいい、日本最古の公開図書館である。これは儒仏一体の思想から仏教の妙諦体得を目的としたもので、賀陽豊年を請じて数年間広く群書を究めさせたことが知られる（『日本後紀』弘仁六年六月条）。『経国集』の「大納言贈従二位石上朝臣宅嗣小山賦一首」に対し、播磨守賀陽豊年のこれを和する詩がみえる。芸亭は延暦（七八二－八〇六）頃まで存し、天長（八二四－八三四）頃に廃絶している。　　左京一条三坊一五坪からは庭園遺構が検出されており、現在一条高校の東側に芸亭顕　　彰碑が建てられている。

ｆ、『類聚三代格』巻十九、禁制事

勅す。図書寮に蔵するところの仏像及び内外典籍・書法・屏風・障子并びに雑面絵等の類、一物已上、自今以後、輒く親王以下庶人に及んで借すことを得ず。若し奏聞せずして私に借りらば、本司違勅罪を科せ。

神亀五年（七二八）九月六日

ｇ、『延喜式』巻二十、大学寮

凡そ寮家の雑書、輒く他人に借し与えることを得ず。但し学生の寮中に於ひて読閲するを聴す。

ｈ、『日本文徳天皇実録』斉衡元年（八五四）十二月甲寅条

是の日、木工頭正五位下石川朝臣長津、寮中に頓死す。（中略）卒時の年七十。長津の性工巧に能く、恪勤を宗と為す。故に頻りに工官を歴す。遂に此に終る。先に父貯積するところの文書数千巻。一舎に秘蔵して曾て他に借さず。死後何処に灰滅するを知らず。

ｉ、「養老雑令」８秘書玄象条

凡そ秘書・玄象の器物・天文・図書は、輒く出すことを得ざれ。観生は占書を読むことを得ざれ。其れ仰ぎ観て見へざるところは、漏泄することを得ざれ。若し徴祥災異有らば、陰陽寮奏せよ。訖りなば、季別に封して中務省に送りて、国史に入れよ。（送るところのものは、占言を載することを得ざれ。）

ｊ、「養老職制律」玄象器物条

凡そ玄象の器物・天文・図書・讖書・兵書・七曜暦・太一雷公式は、私家に有するを得ず。違はば、徒一年。（私習も亦同じ。）其の緯候及び論語讖は、禁ずる限りに在らず。（後略）

ｋ、『続日本紀』神護景雲三年（七六九）十月甲辰条

大宰府言す。「此の府は人物殷繁にして、天下の一都会なり。子弟の徒、学者稍く衆し。而も府庫但だ五経を蓄へて、未だ三史の正本有らず。渉猟の人、其の道広からず。伏して乞ふ、列代の諸史、各一本を給はり、管内に伝習せしめ、以て学業をおこすさむことを。」詔して、『史記』・『漢書』・『三国志』・『晋書』各一部を賜ふ。

ｌ、『続日本後紀』承和元年（八三四）十月辛巳条

昔没官せらる橘朝臣奈良麻呂の家書四百八十余巻を以て、弾正尹三品秀良親王に賜ふ。外戚の財を以てなり。

ｍ、『日本後紀』延暦十八年（七九九）二月乙未条

贈正三位行民部卿兼造宮大夫美作備前国造和気朝臣清麻呂薨ず。（中略）長子広世、起家して文章生に補さる。延暦四年（七八五）、事に坐して禁錮せらる。特に御詔を降して、少判事に除せらる。俄に従五位下を授けられ、式部少輔と為る。便ち大学別当に為り、墾田二十町を寮に入れ勧学料と為し、明経四科の第を裁闡せむことを請ふ。又大学にて諸儒に会して、『陰陽書』・『新撰薬経』・『大素』等を講論す。大学南辺に私宅を以て弘文院を置く。内外経書数千巻を蔵す。墾田四十町を永く学料に充て、以て父の志を終へむ。

【芸亭関連主要文献】

（１）小川徹「いわゆるわが国最初の公開図書館・芸亭について」（『法政大学文学部紀要』第二八号、一九八二年）
（２）桃裕行『上代学制の研究』（吉川弘文館、一九四七年）
（３）奈良県史編集委員会編『奈良県史６寺院』（名著出版、一九九一年）
（４）桑原蓼軒『芸亭院―日本最初の公開図書館』芸亭院創始千二百年記念会、１９６２年
（５）石上宅嗣顕彰会『石上宅嗣卿』、石上宅嗣顕彰会、１９３０年
（６）池田源太「石上宅嗣所建の芸亭とその時代」、『図書館雑志』７５－１２，１９８１年
（７）池田末則「芸亭・宇奈太理考」、『ビブリア　天理図書館報』６６、１９７７年

３．中国古代の図書館に関する研究

３．１　研究の概要

当該研究は、塚本が担当した。中国古代の図書館に関する基礎的な研究と『漢書』編纂の問題に主として取り組んだ。『漢書』編纂に関する研究内容は、以下の通りである。

『漢書』編纂の経緯と班彪・班固の立場、歴史観については数多くの論考がなされてきた。それによれば、漢王朝の歴史を儒教の世界観で正統的に位置づけ、特にそれは春秋公羊傳の理論体系が寄与しているということになっている。私見では、客観的にみていかに正しい認識や思想であっても、『漢書』が王朝の正統性を訴える目的を背負った正史である限り、これに抵触するものは捨象されると考えるべきであり、それは『漢書』が春秋公羊傳の思想を正統性のよりどころとして立脚している以上、その正統観にもとづいて実際にあったことよりも、こうでなければならないという叙述がなされているとまず認識すべきである。そこで問題となってくるのは『漢書』執筆時に班固が「私に国史を改作する」とされ当初投獄されたという事実である。これについては従来、緯書のことについて触れたとか、或いは奉勅なく叙述したからだという理解がなされてきたが、それよりも公的な漢王朝の正統観とは異なった私的な価値観で歴史叙述していると誤解されたととるべきだと考える。それは、今回初めて指摘するが班氏が王莽の縁戚であったことで班固個人は兎も角、班氏はある種札付きの・u梱､莽よりという警戒感があったと推測されるのである。

３．２　研究成果の公開

〈論文〉

（１）塚本剛「『漢書』編纂と王莽について」現在投稿準備中

４．研究の総括と今後の見通し

本研究において目的とした課題は、主に３つあったが、そのうち日本古代の図書館については、芸亭を中心に基礎的な検討ができたものと思う。また、東アジアにおける漢籍の流通についても、律令法典や儀注を検討することで、通説を修正しうる見通しを得ることができた。また、来日唐人の検討により、漢籍による中国文化摂取の問題をカバーする仕組みがあったことを明らかにできたことも有意義であったと考える。中国古代の図書館については、基礎的な検討と『漢書』編纂について一定の成果を挙げることができた。そういうことでは、ある程度予定通り研究を遂行できたといってもよいものと考える。

しかし、研究期間が１年間だけであったため、残された課題も少なくない。今後の主な課題として、以下のようなものが考えられる。

（１）日本古代の図書館に関しては、宮廷図書館の全体像と漢籍管理体制の解明

（２）中国古代の図書館に関しても、やはり宮廷図書館の全体像と書籍の管理体制の解明

（３）漢籍の日本流入経路と時期の解明

（４）日本における漢籍の管理・利用方法の解明

（５）中国における書籍の作成背景

以上の課題については、プロジェクト研究「古代東アジアにおける学術と支配制度に関する研究」（２０１０～２０１２年）において、継承し検討してゆく予定である。

参考文献

（１）榎本淳一『唐王朝と古代日本』吉川弘文館、２００８年

（２）榎本淳一「『隋書』倭国伝の史料的性格について」、『アリーナ』第５号、２００８年

（３）興善宏・川合康三『隋書経籍志詳攷』汲古書院、１９９５年

（４）矢島玄亮『日本国見在書目録―集証と研究―』汲古書院、１９８４年

（５）角川文化振興財団「遣唐使船再現プロジェクト」遣唐使船 HP
(http://www.kentoushisen.com/index.html)

（６）大庭脩『漢籍輸入の文化史』研文出版、１９９７年

（７）王勇ほか『中日『書籍之路』研究』北京図書館出版社、２００３年

（８）楊果霖『新旧唐書芸文志研究』花木蘭文化出版社、２００５年

（９）水口幹記『日本古代漢籍受容の史的研究』汲古書院、２００５年

(10) 王勇『書物の中日交流史』国際文化工房、２００５年

(11) 中国古籍文化研究所編『中国古籍流通学の確立―流通する古籍・流通する文化―』雄山閣、２００７年

(12) 静永健『漢籍伝来　白楽天の詩歌と日本』勉誠出版、２０１０年

超高感度Ｘ線CCDの研究開発

工学院大学　工学部共通課程　幸村孝由

立教大学　理学部物理学科　村上弘志

Development of Ultra-sensitive CCD for X-ray use

Takayoshi Kohmura, Department of General Education, Kogakuin University
Hiroshi Murakami, Department of Physics, Faculty of Science, Rikkyo University

ABSTRACT : We have developed the X-ray CCD camera system for the Soft X-ray Imager (SXI) which will be launched as focal plane detectors of X-ray telescope onboard the Japanese 6th X-ray astronomical satellite, Astro-H. The X-ray CCD is back-illuminated (BI) CCD which has an Optical Blocking Layer (OBL) directly coating its X-ray illumination surface with Aluminum-Polyimide-Aluminum instead of Optical Blocking Filter (OBF). The X-ray CCD is affected by large doses of extreme ultraviolet (EUV) radiation from Earth sun-lit atmosphere (airglow) in orbit. To evaluate the performance of polyimide that cut EUV, we measured the EUV transmission of both OBL and OBF at various energy range between 15-72 eV by utilizing beam line located at the Photon Factory in High Energy Accelerator Research Organization(KEK-PF), and obtained the EUV transmission to be 3% at 41 eV which is as same as expected transmission from the designed thickness of polyimide layer.

１．　はじめに

本研究では、宇宙Ｘ線観測用 CCD（以下Ｘ線 CCD）の紫外線対策方法を確立するために CCD 素子の表面にEUV遮断フィルムを直接コートしたＸ線CCDの研究開発を行う。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。①Ｘ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－②CCD に入射する紫外線透過率を１％程度に抑える必要③がある。従来の紫外線遮断方法は，Ｘ線 CCD の前面に，厚みが2600Å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Ｘ線 CCD の表面に最適の厚さでコートする方法を実現化したい。

２．　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。
①OBL を直接コートしたＸ線 CCD を用いて，OBL の紫外線透過率を実測し、OBL の紫外線遮断効果の検証を行うこと。
①OBL の厚みの非一様性を調べること。
②OBL の可視光透過率測定装置を構築すること。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 2.1～2.3 では，上記①，②，③の順に研究成果を報告する。

２．１　OBL の紫外線透過率の測定結果について

KEK-PF のビームライン BL-20A において，OBL を直接 CCD 素子にコートしたＸ線 CCD に 15-75eV の紫外線を照射し，OBL の材料であるポリイミドの紫外線透過率を測定した。図１，図２に，本測定に用いたＸ線 CCD とＸ線 CCD で得られた紫外線イメージを示す。

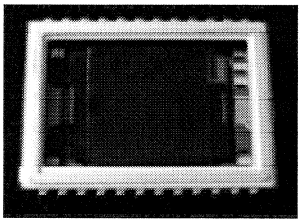


図１．OBL を直接コートしたＸ線 CCD。有効画素数 512×512 画素，１画素サイズ 24 μm×24 μm。素子の左半面にポリイミドとアルミニウムを，右半面にアルミニウムのみをコートしてある。CCD 素子に直接コートしたポリイミドとアルミニウムの厚みは，それぞれ 1100Å，1200Åである。

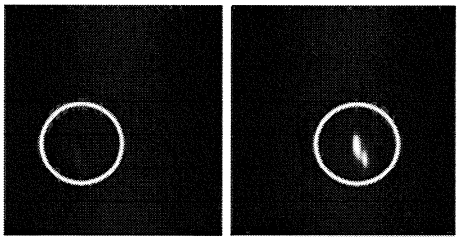


図２．OBL をコートしたＸ線 CCD で取得した 40eV の紫外線のイメージ　（白丸の位置に紫外線を照射した）。左図：ポリイミドをコートした左半面に紫外線を照射したもの。右図：アルミニウムのみコートした右半面に紫外線を照射したもの。右図に比べ左図の方が，紫外線強度が弱いことから，ポリイミドが紫外線を遮断することが分かる。

ポリイミドをコートした左半面と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を比較し，ポリイミドの紫外線透過率を求めた。図３に紫外線透過率の測定結果を示す。

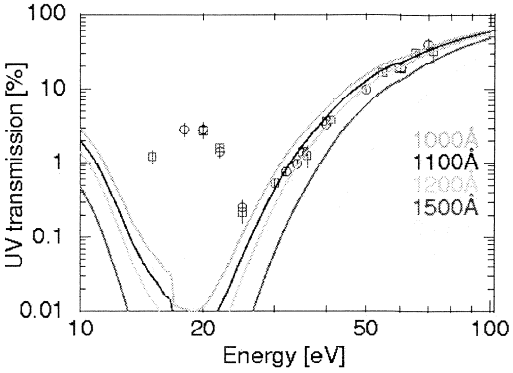


図３．OBL のポリイミドの紫外線透過率の測定結果。グラフの○と□がポリイミドの厚み 1100Åの OBL の測定結果を表す。実線は，透過率の高いものから順にポリイミドの厚み，1000，1100，1200，1500，2400Åの時の透過率の予想値を表す。35eV 以下のエネルギー帯域は，高次光除去用のアルミニウムのフィルターでは除去できない 70eV 以下の紫外線の高次光が混入しているため，紫外線透過率が設計値とズレている。特に 23eV 以下の帯域では，３次光の影響を強く受けている。

図３から分かるように，最も注意すべき～40eV（地球大気の HeII からの紫外線の波長域）での紫外線透過率が 3%程度であり，ポリイミド単体の紫外線透過率としては，我々の目標を達成していることが分かった。この結果から，厚み 1100Åのポリイミドをコートした OBL-CCD を用いれば，OBL-CCD を宇宙空間で使用する際に，遮断すべき HeII からの紫外線を目標通り遮断できることが分かった。

ただし，次年度４月まで再度 KEK-PF において，OBL をコートした同じＸ線 CCD を用いて，紫外線透過率を再測定し，ポリイミドの紫外線透過率の経年変化について調べる。さらに，ポリイミドの厚みが 2400Å，3000Åの OBL をコートしたＸ線 CCD を用いて，同様に紫外線透過率を測定し，紺年度の測定結果と比較し，OBL の厚みの最適値を決定する。

２．２　OBL の厚みの非一様性の測定結果について

２．１と同じ KEK-PF のビームラインで，ポリイミドをコートした左半面の 18 箇所に，紫外線ビームを照射し，得られた紫外線強度の違いからポリイミドの厚みの非一様性について求めた。測定結果を図４に示す。

18 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，ポリイミドの厚みのムラは±5 パーセント程度の範囲内にあることが分かった。また，素子の端でも得られた紫外線の強度は変わらず，ポリイミド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。

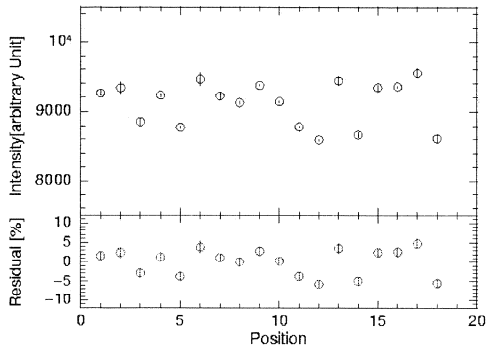


図４．横軸：CCD のポリイミドをコートした半面の紫外線を照射した場所（18 箇所）を表す。 縦軸：（上部パネル）CCD で得られた紫外線強度。（下部パネル）厚みが一定とした際の、各場所での厚みのバラつきを表す。

２．３　OBL 可視光透過率測定装置の構築と，OBL の可視光透過率測定の結果について

ハロゲンランプと分光器からなる OBL の可視光透過率測定システムを構築し，厚さ 1000Åのアルミニウムと厚さ 1200Åのポリイミドからなる OBL 単体(フィルター)に，波長 4000－9000Åの可視光を照射し，OBL の可視光透過率を測定した。 結果を図 5 に示す。厚さ 1000Åのアルミニウムの OBL では，可視光透過率が$\langle 10^{-5}$程度と分かった。 OBL の可視光透過率の目標値は$\sim 10^{-6}$であるので，これまでに開発した厚み 1200Åのアルミニウムからなる OBL-CCD を用いて、2010 年度 5 月には OBL-CCD の可視光透過率を実測する。

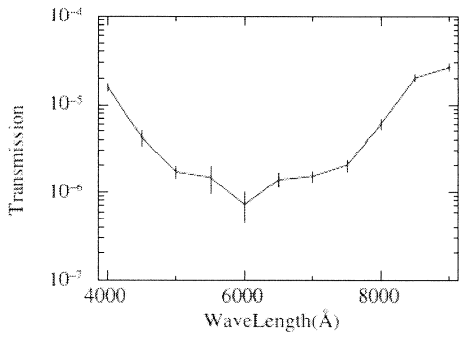


図５．横軸：可視光の波長（単位：Å）。縦軸：OBL 体の可視光透過率。ポリイミドの可視光透過率はほぼ 100％なので，左図は OBL のアルミニウムの透過率を表す。

３．　今後の課題

２で記述した本研究の今年度の目標は達成できた。ただし，次の 4 点が次年度の課題である。

1．OBL を直接コートしたＸ線 CCD のＸ線に対する性能評価（エネルギー分解能，エネルギー線形性等の測定）をすること。

2. OBL を直接コートした CCD を用いて，OBL の可視光透過率を測定すること。

3. OBL を直接コートしたＸ線 CCD を用いて，OBL を構成する炭素，窒素，酸素のＸ線吸収端の XAFS 構造も含めて，OBL のＸ線透過率を実測し，OBL がＸ線を十分に透過させるか評価する。さらに OBL の実効的な厚みを実測すること。

4. CCD 素子の断面から侵入する赤外線の遮断対策方法を確立すること。

1，2 に関しては，いずれも今年度構築した実験システムを用いて 2010 年度前半に実験を実施する。 3 に関しては，本申請者が今年度 KEK-PF のビームライン BL-11A に申請した予備実験タイプＰ型の実験テーマを採択されており，2010 年 4 月に実験を行う。さらに，4 月の予備実験の結果をもとに，2010 年に本実験タイプのＧ型の実験の申請を行い，2010 年度後期には OBL のＸ線透過率を実測し，OBL の実効的な厚みを測定する。4 に関しては，既に今年度，国立天文台先端技術センターの施設利用・共同開発研究，ならびに ISAS/JAXA の施設等利用共同研究の申請を行い，前者は既に採択頂いており，現在，Ｘ線 CCD の赤外線遮断効果の実証実験の準備を着実に進めている。OBL をコートしたＸ線 CCD の宇宙利用を実現するためには，是非次年度も引き続き研究を遂行し，上記 4 つの課題を 2010 年度中には解決したい。

４．　本研究と関連する主な発表

2009 年 6 月に開催された国際学会「The Energetic Cosmos: from Suzaku to AstroH」と 2009 年日本天文学会秋季年会と，2010 年 3 月に開催した 2010 年度日本天文学会春季年会にて，上記研究成果の発表を行った。また， 2010 年 6 月に開催する米国の SPIE において，今年度の研究成果の発表を行う。また，可視光透過率測定結果に関する詳細は，2010 年度工学院大学応用化学科卒業論文（著者：河合耕平氏）にまとめた。

５．　謝辞

本研究は，（独）宇宙航空研究開発機構・搭載機器基礎開発実験費 研究課題名「宇宙Ｘ線観測用 CCD の紫外線対策方法の確立」としても実施しているものである。
大阪大学の常深博先生，立教大学の北本先生には本研究を遂行するにあたり，多くの御助言，御支援を賜りました。KEK-PF の BL-20A のビームライン責任者である伊藤健二先生には，多くの御助言を頂きました。工学院大学大学院化学応用学専攻博士前期課程 2 年の渡辺辰雄氏，同 1 年の河合耕平氏には本研究を全面的に推進して頂きました。大阪大学の繁山和夫氏，阪口塁氏，立教大学の長崎健太氏，竹中理恵氏，吉田雅樹氏，東慶一氏には KEK での実験に御協力頂きました。ここにお礼申し上げます。

参 考 文 献

（1）Ozaki, M., et al. : NeXT SXI data processing system, Proceedings of the SPIE, Vol. 7011, (2008) pp. 70112L-70112L-9.

（2）Watanabe,T., Kohmura, T., et al. : EUV transmission of Optical Blocking Filter and Optical Blocking Layer for Soft X-ray Imager (SXI) onboard Astro-H, Proceedings of the Suzaku Conference , (2009) pp. 418-419.

（3）Tsuru, T., et al. : Soft x-ray imager (SXI) onboard the NeXT satellite, Proceedings of the SPIE, Vol. 6266(2006), pp. 62662-62670.

（4）Tsuru, T., et al. : The development of a back-illuminated supportless CCD for SXI onboard the NeXT satellite, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Volume 541 (2005), Issue 1-2, p. 392-397.

（5）Kitamoto, S., Kohmura, T., et al. : Soft X-ray transmission of optical blocking filters for the X-ray CCD cameras onboard Astro-E 2, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Volume 505(2003), Issue 3, p. 683-687

（6）Kohmura,T., et al. : Properties of the Optical Blocking Filter of the XIS for the ASTRO-E Mission, Advances in Space Research, Volume 25(2000), Issue 3-4, p. 877-880.

超音速フリージェットPVDによる多結晶Si膜の形成

工学院大学　機械システム工学科　湯本 敦史
工学院大学　機械システム工学科　廣木富士男
工学院大学　機械システム工学科　丹羽 直毅

Formation of Poly-Silicon film deposited by Supersonic Free-Jet PVD

Atsushi Yumoto , Department of Mechanical Systems Engineering
Fujio Hiroki , Department of Mechanical Systems Engineering
Naotake Niwa , Department of Mechanical Systems Engineering

ABSTRACT : The objective of this study is to produce nano-crystalline Si film onto a glass substrate with Supersonic Free-Jet PVD (SFJ-PVD). The SFJ-PVD has been developed as a new coating method in which a coating film is formed by depositing nanoparticles with very high velocity onto a substrate. The nano-crystalline Si film is produced by depositing Si nanoparticles formed in an evaporation chamber. A smooth, compact and defect-free microstructure is formed both at the interface between the substrate and the coating film and inside the coating film. The Si film has very fine, varying from 5nm to 10nm.

１．　はじめに

現在の高度情報化社会を支えているシリコン(Si)は，様々な半導体デバイスとして使用されている．中でも急速に普及しているTFT（Thin Film Transistor）や薄膜太陽電池において，Si膜の性能が非常に重要である．これらには，アモルファスシリコン（a-Si）膜が主に使用されているが，その電子移動度は多結晶Siの100分の1以下であるため，より高電子移動度を有するデバイスを形成するためにa-Si膜から微結晶Si膜への転換が必要不可欠であると指摘されている[(1)]．

a-Si膜の結晶化技術としてレーザーアニール法や金属誘起結晶化法など様々な手法が用いられているが，工程が複雑になる上，大面積の多結晶Si膜の形成が困難であることや，基板にダメージを与えること等が技術的課題となっている．したがって，後処理工程が必要なくas depositの状態で良質な微結晶Si膜を形成する技術の確立が重要であり，新しいコーティングプロセスの開発が模索されている．

新しいコーティング法により低温で微結晶Si膜の形成が可能となれば，次世代半導体製品開発に大きな役割を担うと考えられる．微結晶Si膜を形成させる新しい技術に求められることは，(1) 成膜速度が速く実用化する際に量産性が高いこと，(2) 良好なデバイス特性を確保するため緻密な膜が形成できること，(3) TFTや薄膜太陽電池に用いる基板材質としてガラス，フレキシブル金属シート（薄板），ポリマーフィルムなど様々な材質が検討されており，多様な材質に成膜できること，(4) 基板へのダメージを与えないよう低温で成膜できること，等が考えられる．

超音速フリージェットPVDは，生成直後の活性なナノサイズの粒子（ナノ粒子）を5km/s以上の超音速ガス流によって加速・基板まで搬送し，高い速度を付加したナノ粒子を基板上に堆積させることより膜形成させる新しいコーティング法である．本研究は，超音速フリージェットPVDにより，ガラス基板上にSi膜を形成させ，形成させた膜の組織観察することを目的とした．本研究の成果により既存の成膜法によるSi膜の技術的課題を克服し，半導体Si薄膜デバイスとして利用可能な新しい製造法として本法の確立を目指すための基礎的知見の集積を

試みる．

本法による成膜因子としては主に，超音速ガス流を生み出す超音速ノズル，ガス流速に影響を及ぼすノズル温度，成膜速度を決定する蒸発加熱電力などがあるが，最も重要な因子はガス流を超音速に加速させるノズルの設計である．超音速ノズルは，圧縮性流体力学の理論に基づき，一次元等エントロピ流れの考えを基にした一次元ノズル，特性曲線法を用いた特性曲線ノズルなどいくつかの設計手法が提案されている[2, 3]．本研究では，各種，一次元，特性曲線ノズルを設計製作し，各ノズル出口からの噴流を可視化することで超音速ガス流の噴流形態を調査する．さらに，各ノズルを用いてSi膜を形成させ，超音速ノズルの設計の差異が及ぼすSi膜性状への影響を明らかにする．

２．　実験方法

２．１　超音速フリージェットPVD

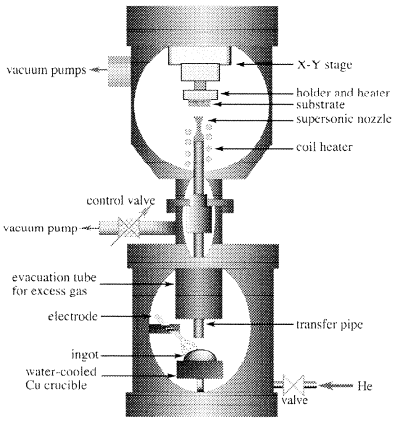


Fig.1　Schematic diagram of Supersonic Free-Jet PVD apparatus.

超音速フリージェットPVD (Supersonic Free-Jet PVD)は，不活性ガス雰囲気中で皮膜となる素材を蒸発させることにより生成させたナノ粒子をマッハ数 4.2，ガス流速が5km/s以上の超音速ガス流により搬送，基板上に堆積・成膜させる技術である．

本装置の概略図をFig.1に示す．本装置は，ナノ粒子を生成する「ナノ粒子生成室」(Fig.1の下のチャンバ)と，基板上にナノ粒子を堆積，皮膜形成をおこなう「膜形成室」(上のチャンバ)，および排気システムで構成されている．ナノ粒子生成室と膜形成室の間は，ナノ粒子を搬送するための「搬送管」により連結されている．不活性ガス雰囲気とした生成室内では，膜素材となる材料を加熱・蒸発させ，それに伴いナノ粒子の生成がおこなわれる．生成室と膜形成室の差圧により発生するガスの流れを超音速ノズルにより超音速に加速し，各々の生成室で生成させたナノ粒子を搬送，基板上に堆積させ成膜する．

本法は，ナノ粒子を超音速のガス流により高い運動エネルギを付与し，ナノ粒子を堆積させることにより膜形成させる新しい原理によるコーティング技術であり，高い成膜速度（～20μm/min）で緻密な皮膜が得られ，これまでの研究成果により既存技術には無い優れた特徴を有していることを既に実証している．本法では、膜中および界面に欠陥が無い緻密な皮膜が形成され，膜組織は，数nm～数十nm程度の微細組織を呈している．これまでの研究成果は，本法が高い成膜速度と緻密な皮膜形成を両立させると共に，皮膜組織をナノサイズで制御可能であることを示している．本研究ではナノ粒子生成室に膜原料となるSiを設置し生成室で生成させたSiナノ粒子を膜形成室内の基板上に堆積させSi膜形成を試みる．

２．２　超音速ノズルの設計

２．２．１　超音速ノズル概要

通常，差圧により生まれるガス流は，音速（マッハ数M=1）までが限界である．しかし，超音速ノズルはその特殊な内部構造によりガスの流れを超音速（マッハ数M>1）に加速させることができる．超音速ノズルは，その形状から先細末広ノズル(convergent- divergent nozzle)，あるいは1884年に最初にこのノズルを提案したラバル(C.G.P. de Laval)の名からラバルノズル(Laval nozzle)とも呼ばれる[2]．

圧縮生流体力学の基礎理論において，超音速ガス流は上流側と下流側の圧力比により，所定のマッハ数が決定する．マッハ数の決定により，ノズル内の流れに様々な理論を適用することで種々の形状の超音速ノズルを設計することができる．

２．２．２　一次元超音速流れ

一次元ノズルは，スロートと呼ばれるノズル最小断面積部（スロート断面積(A*)）を設定することで式(1)によって表されるマッハ数(M)と断面積(A)の関係のみで形状が決まるノズルである．一次元ノズルの概念では，ノズル長さ（ガスの流れ方向）と断面形状は任意に決定することができる．

このノズルは，摩擦やノズル内壁から流体への熱の授受の無い等エントロピ流れの概念を基本にしており，ノズル内の流れの圧力，速度や衝撃波の発生に関しては考慮に入れていない．

$$\frac{A}{A^*}=\frac{1}{M}\left[\frac{(\gamma-1)M^2+2}{\gamma+1}\right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \qquad (1)$$

２．２．３　特性曲線法を用いた超音速ノズル

特性曲線ノズルは，流れ場を軸対称として設計するノズルである．設計方法はノズルスロートからノズル出口までの流れの変化を特性曲線法により計算する[2]．この手法では，Fig.2のようなガス流れを物理面と運動ベクトルであるホドグラフ面に分けて特性曲線網を構築していく．Fig.2の要素1-1～1-5を既知とすると，式(2) から物理面の傾きdy/dxは，現在のガス流の傾き(θ)とマッハ角(α)の関係から各々の物理面における交点2-1～2-4が決定する．

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{I,II} = \tan(\theta \mp \alpha) \qquad (2)$$

次に式(3)からホドグラフ面のdv/duの傾きがx方向の速度ベクトル(u)，x方向の速度ベクトル(v)，音速(a)によって決定することができる．

$$\left(\frac{dv}{du}\right)_{I,II} = \frac{uv \mp a\sqrt{u^2+v^2-a^2}}{a^2-v^2} - \frac{\sigma a^2 v}{a^2-v^2}\cdot\frac{1}{y}\left(\frac{dy}{du}\right)_{I,II} \qquad (3)$$

特性曲線ノズルは，特性曲線網を逐次構築することによって最終的に軸対称ノズルの出口において希望するマッハ数の一様な軸方向速度を持つ軸対称超音速ノズルを設計することができる．

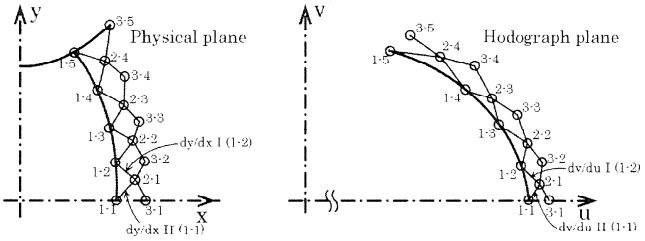


Fig.2　Design of Supersonic nozzle based on the theory of characteristics.

２．２．４　超音速ノズルのバレル部

バレルとは，ノズル出口部において超音速ノズルの末広がり終端断面積のままノズル長さ方向に伸ばした直管部のことである．HVOF溶射など一部の溶射法では，超音速ノズルにバレル部を設けるのが一般的である．バレル部を設けることにより，溶射粒子はバレル内で溶融・加速を同時に行うため，衝突速度が大きく緻密な皮膜ができると言われている[4, 5]．ナノ粒子の高速衝突により膜生成させるSFJ-PVDにおいても超音速ノズルにバレル部を設けることでの影響を検討する．

２．３　実験条件

可視化実験は，SFJ-PVD装置内のノズル出口後の噴流を大気下で再現し，各ノズルからの噴流をシュリーレン法によって観察した．噴流可視化実験の条件を Table 1 に示す．実験には供給ガスを大気下に放出するため，大気との密度差の少ない窒素を用いた．一次元ノズルの長さは特性曲線ノズルと同じ長さとし，一次元ノズル，特性曲線ノズル共にノズル出口径に対するバレル長さ比が0，1.2，6.9の３種類のバレル長さのノズルを用いた．

Table 1　Experimental conditions.

使用気体	N_2					
マッハ数	3.6					
貯気槽部圧力(MPa)	8.8					
ノズル出口圧力(MPa)	0.1					
設計方法	一次元			特性曲線		
バレル長さ比	0	1.2	6.9	0	1.2	6.9

成膜実験で用いた基板には，20mm角・板厚1mmの石英ガラス板を用い，基板の前処理はアセトン中で10分間超音波洗浄を行った．また，膜原料には純Si（6N）を使用した．成膜条件を Table 2 に示す．成膜したSi膜は，OM，SEM，TEMによる組織観察，XRDにより結晶構造と，ラマン分光分析によりSi膜中の結晶性の評価を行った．ラマン測定には，YAGレーザ（波長532nm）を用い，照射エネルギ0.5mW，露光時間10s，積算30回の条件で測定した．

Table 2　Deposition condition.

Source material	Pure Si
Primary gas	He
Nozzle	Mach 4.2
Evaporation power	1.95kW
Nozzle temperature	873K
Substrate material	SiO_2 glass
Substrate heater	No heated

３．　実験結果

３．１　噴流可視化実験結果

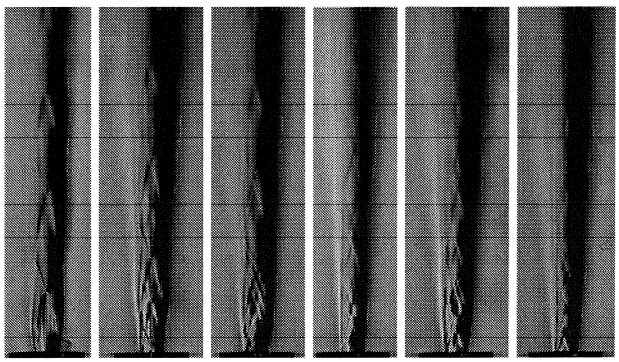


Fig.3　Instantaneous schlieren photographs of supersonic gas flow.

噴流の可視化観察結果を Fig.3 に示す．Fig.3 の結果からバレル無しの場合，一次元ノズルはノズル出口から噴流が広がるが，特性曲線ノズルはノズル出口から噴流が広がらず真っ直ぐ進むことが観察された．バレルを設けた場合，バレル無しに比べ一次元ノズルでは約 5%噴流の最大幅が減少し，特性曲線ノズルでは約 3%減少した．

３．２　噴流可視化実験結果

Fig.4 は，石英ガラス基材上に形成させたSi膜の表面写真である．皮膜表面にはき裂などの欠陥は確認されず，また，膜断面のSEM，TEM観察においても欠陥は確認されず，緻密なSi膜が形成されていることが確認された．

また，皮膜をXRD分析した結果を Fig.5 に，ラマン分光分析結果を Fig.6 に示す．Fig.5 から(111)，(220)，(311)に明瞭なピークが確認され，Fig.6 からは結晶Si成分に起因した $520cm^{-1}$ 付近の鋭いピークと，アモルファスSi成分に起因した $480cm^{-1}$ 付近の幅の広いピークが重畳し

たTOモードピークが確認された.膜断面TEM観察によりSiは数nm～10nm程度の微結晶で構成されていることが確認され，以上の結果により本法により形成されるSi膜はナノオーダ微結晶であることが明らかとなった.

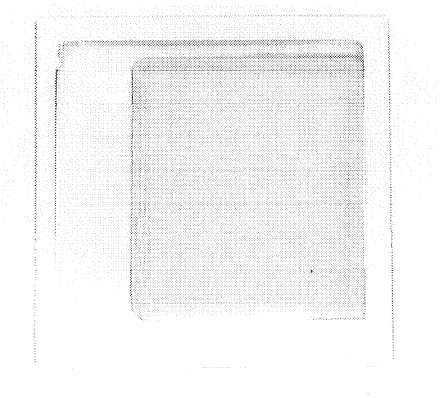


Fig.4　Surface image of Si film on glass substrate.

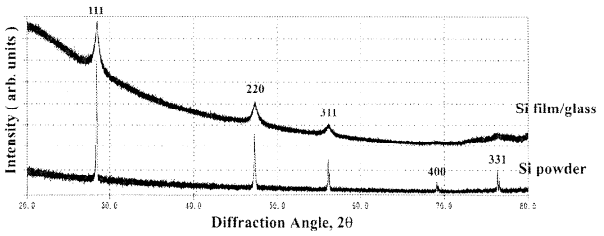


Fig.5　XRD analysis of Si film on glass substrate and Si powder.

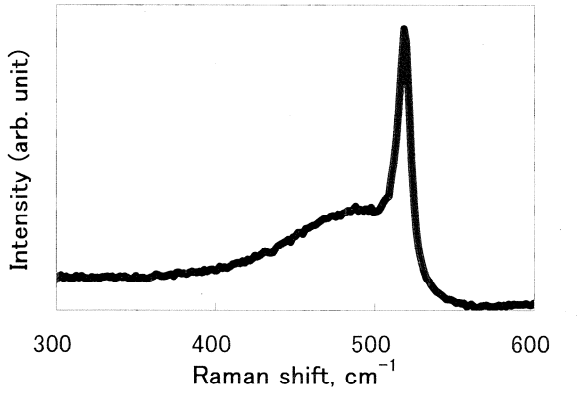


Fig.6　Raman spectra of Si film on glass substrate.

４．まとめ

本研究では，一次元・特性曲線ノズルを設計製作し，各ノズル出口からの超音速ガス流の噴流形態を可視化観察した．さらに，各ノズルを用いてSi膜を形成させ，噴流形態と膜性状の相関関係を調査し,以下の結果を得た.

1. 超音速ノズルの設計理論の差異によってノズル出口後の噴流形態が異なる.
2. バレル部を設けると一次元ノズルは噴流形態が異なるが，特性曲線ノズルは噴流形態が変わらない.
3. 形成させたSi膜は緻密であり,皮膜を構成する結晶粒径が数nm～10nmの微細な多結晶Si膜が形成されていることが明らかとなった.

参考文献

（１）池田，廣田，藤本，杉本，高田，井，中島英治，中島寛，アルミニウム誘起結晶化法による多結晶シリコン薄膜形成挙動のその場加熱観察，日本金属学会誌第71巻2号(2008)pp.158-163.
（２）松尾，圧縮性流体力学　内部流れの理論と解析，(1994)，理工学社
（３）木村，ロケット工学，養賢堂，(1994)
（４）清水，榊,高速フレーム溶射法とその応用，溶接技術，Vol.44，No.5，pp.75-81.
（５）片野田・他３名,高速フレーム溶射ガンの流動特性に関する気体力学的研究 ： 第１報,貯気圧とバレル長さの影響，日本機械学会論文集 B ，Vol.72 No.714 ，pp.271-278.

ITクリエイティブ人材の調査・育成手法に関する研究

工学院大学 情報学部情報デザイン学科　椎塚 久雄

信州大学　繊維学部　　大谷　毅

岩手県立大学　ソフトウェア情報学部　布川　博士

Research on IT creative talent's investigation and promotion technique

Hisao Shiizuka, Department of Information Design, Kogakuin University

Tsuyoshi Otani, Shinshu University

Hiroshi Nunokawa, Iwate Prefecture University

ABSTRACT : The engineer in the IT system software industry and the average has not analyzed it so much up to now. We investigate engineer's current state in a soft system IT field. A road that should be advanced of them is surveyed, and the investigation research on the strategy in the future is done. In the present study, in addition, a concrete discussion is advanced from the field of management and marketing. This paper is assumed to be common understanding of an individual discussion by describing our recognition in these, and taking a general view of the whole..

１．　はじめに

情報社会が広く深く進展するにつれ，それを支えるコンピュータソフトウェアの重要性がさらに高まっており，すでに社会基盤でありライフラインと言っても過言ではない．今後もこの状況はさらに加速し続けるであろう．コンピュータソフトウェアはハードウェア系の製造とは異なり，工業用ロボットを用いた自動生成等は困難であり，技術者が手作業で製造を行っている．その技術者はいわゆるIT系企業に属するものもいれば個人で活動をしているものもいる．この状況から見ればコンピュータソフトウェアはそもそも工業製品であるのかと言う疑問さえも出てくる．これら大きな変化の中で，その製造に関わる技術者はどのように変遷しているのか，また，これからどう変わるべきかを議論することは今後の情報社会の進展によるソフトウェア製造の増加を考えると大変重要である．これは，それら人材を供給する大学等の教育機関だけはなく，入社後の社員のキャリア形成の点からも重要である．また，個人としての技術者自身がどうなるべきなのかを考えることは単に製造装置としての技術者ではない，自分自身のキャリア形成，自分を経営して行くと言う点からも重要である．

しかしながら，これまで，IT系ソフトウェア産業やそのなかでの技術者についての分析等があまりなかったと言う現状がある．我々は以上の認識のもと，これらソフト系IT分野における技術者がどうあるのか，そして，どうあるべきなのか，そのためにどうすべきなのかを，調査研究している［1］．本研究では，さらに，経営やマーケティングの分野からも具体的な議論を進める．本稿はこれらのなかでも，我々の認識を述べ，全体を概観することにより，個々の議論の共通理解とする．

２．　歴史的認識

１９７０年代から１９８０年代頃は定型的な業務をコンピュータ化するために大量のソフトウェアを製造しなくてはならない時代であった．そのためスキルの少ない技術者を含め大量の技術者が製造を行っていた．スキルの異なる大量の技術者を用いて巨大なシステムを作成するためには，個々の技術者のスキルによらずに，生産や品質を管理する必要があり，工業製品のアナロジーを使って製造していたと考えられれる（技術者＝製造装置）．すなわち，設計（製造のための仕様）→製造→検査をい

う典型的な一方向の流れをソフトウェア製造にあてはめたモデルである（ウォーターフォールモデル）．製造もライン的な製造プロセスを取ることが多い．すなわち，この時代のソフトウェアは汎用機を用いたＢtoＢ型のソフトウェアであり，第一の顧客はその顧客企業の情報システム担当部署であり，その先の実際の利用者への利用教育は主にこの情報システム担当部署が行っていた．その後（1990年代～），コンピュータ化の対象領域の増加，さらにコンピュータの個人利用も現れはじめた．これらは，いわゆるオフィスコンピュータやパーソナルコンピュータの利用によるところが大きい．オフィスコンピュータ等は中小企業に導入されることも多く，業務にあわせ小規模なソフトウェアを多種にわたり作成することがあった．そのため，なしくずし的に，必ずしもこのウォーターフォール型の過程を経ないで作成した（してしまった）コンピュータソフトウェアも増加している．すなわち，この時代のソフトウェアはＢ to smallＢ型のソフトウェアであり，第一の顧客はコンピュータを知らない，社内に教育体制のない会社の社員である．その利用者の教育はソフトウェア製造側で担っていた．2000年以降のインターネットの利用，Web技術（java等を含むオープン技術）により，コンピュータ環境は劇的に変化した．それにあわせるように，ネットワークを介したコンピュータの個人利用が増加し，ソフトウェア製造についても変化している．たとえば，規模が大きくないもの，利用者の要求があまり明確ではなく仕様が確定できないもの，ビジネスではなく個人の便利のために個人が作成するソフトウェア（それが公開されたのちに多くのユーザの共感を呼んだりする，ある意味，個人 to Community型），個人によるある種の自己表現としてのソフトウェアなどである．これらのソフトウェアは以前のソフトウェアとは違い，対象とする利用者は必ずしも企業やそこの社員ではなく，さほど大きくなく，かつ，かれらの個々の満足を満たさなくてはならないソフトウェアと考えることができる．すなわち，パッケージソフトウェアとは別に意味でのBto C型のソフトウェアであり，利用者は実際の利用自身である．

さらに近年はXaas（SaaS（Software as a Service），PaaS，HaaSの総称）に代表されるクラウドコンピューティングによりあらたなソフトウェア利用環境が実用的に利用可能となった，そのためソフトウェアやハードウェアを所有し利用すると言う概念が大きく変化している，これにあわせるようにソフトウェア製造の仕方も変化していると考えられる．

３．　ソフト系ＩＴ分野産業の特徴

ソフト系IT産業においては受注の構造が大きく偏っていると言われている．たとえば，岸本[2]によれば，2001年度の時点で，官公需における情報システム開発は独占的市場（政府関連では4大グループで60%[2]）となっており，限られた複数の企業（ITゼネコンと呼ばれることがある）による受注と下請け構造が顕著となっている（注2）．一例として，元請け1,137万円→1次受け700万円→2次受け359万円→3次受け200万円と言うデータが紹介されている［1］．これは官公需だけによらず，大型の案件については民間需要でも同様の構造があるのではないかと推察される．ソフト系IT産業においては事業所が都市に偏在していると言われている．たとえばソフト系IT企業の事業所数は，１位：東京都23区(9,927事業所，以下同)，２位：大阪市（2,812），３位：名古屋市（1,38），...，7位：宮城県仙台市（556），...，35位盛岡市（125）となっている[2]．また，各地域（東北なら仙台市）に大きな会社の支社とその子会社が存在し，さらなる地方（たとえば盛岡市）にはその子会社の支社存在することが多い（近年経営効率化のために登記上は統合されて来ているが，実際の運用はほとんど変わっていないと思われる）

４．商品としてのソフトウェア

ソフト系IT分野は情報サービス産業と呼ばれる業界の一つである．すなわち，ソフトウェアを作るという意味では製造業ではあるが，それを利用してもらうことに対して対価を得るという提供方法もあり，この意味ではサービス（提供）業でもある．したがって，ソフトウェアを商品として見た場合，（１）ソフトウェアそれ自身が商品である場合（利用者へのソフトウェア自身の提供（たとえばパッケージソフトや受託開発））と（２）ソフトウェアを用いて提供されるサービスが商品である場合（利用者へのソフトウェア利用の提供）がある．この場合，これらに関わる技術者は，高付加価値化をする能力，サービスを創造する能力が必要である．

さらに，ソフトウェアはそれを用いてなんらかしらの事業を進めるためも道具であると見ることもできる．すなわち，ソフトウェアを用いて提供されるサービスを用いて，新たな商品を開発し事業を進めるというものであり，そのソフトウェアを用いてなにをするのかがもっと大事であると言う考え方である．すなわち，これに関わる技術者には（３）より高度に高付加価値化能力と＆事業を創造する能力が必要である．

コンピュータソフトウェアを商品，さらにには商品を創造するための方法としても，このように多くの見方をすることができる（ここの例では３つ）．また，さらに，社会の基盤であるがゆえに他の多くの領域と関わることができる．すなわち，（たとえばこのような）確固たるビジョンをもって，ソフトウェアを用いてつくるなにものか（＝構想＝デザイン）を考えることができれことが必要ではないかと推察される．すななわち，その技術者がこれを目指した向上心と技術をもつことが必要であろう．これはこの意味でのアントレプレナシップである．

さらに，その技術者をとりまく環境がそれを活かせ助長してくれれば（＝イノベーティブであれば），これまでの製造業とは異なる格段に飛躍する産業となり，その技術者はその中心となれる可能性をもっている．さらに，

製造業としてみれば，ソフトウェアの製造装置は安く（量販店で売っているパソコンでも可能＝大規模な初期投資がいらない），その考え方とその実戦方法を理解できれば，最高の人生を送れ，最大限の社会貢献をできるはずである．

近年のマーケティング分野の議論によれば，商品はその所有ではなく，その所有によってどのようなメリット（価値）があるのかを訴求すべきであると言われている．その価値は単にそれを利用して得られる直接の価値だけではなく，それを使い続けると言う体験をすることによってさらに高まる価値（体験価値）が必要であり，この高まりを感性と言う概念で高めようとする議論（感性による価値創造）もある．

このように，以前のように工業製品としてのソフトウェアだけではなく，別の考え方によるソフトウェアが増加していると考えられる．ここで言う工業製品としてのソフトウェアとは，（１）仕様が明確に存在すると考える，（２）これまでの工学的手法（設計→製造→検査）により製造し，（３）ソフトウェアという製品の提供（ものを売る）と言う考え方をし，さらに（４）より高機能（機能が豊富）な製品はより価値があり，より高額と考えるもの（プロダクトアウト型）のことである．別の考え方とは，たとえば，利用者（消費者，購買者）がその利用により価値を覚える（利用者（消費者，購買者）に価値を与える道具である）ものという考え方ものものがあると考えられる．この考えでは，（１）はじめから仕様を明確に決められず（ぼんやりしている），（２）利用者の要求は必ずしも明確に表現（表出）されず，しかしながら，（３）それを使うと利用者が便利であると感じるものであり，（４）その価値は利用者それぞれで違う，と言うものである．この例では，ソフトウェアの仕様として最初に書くべきことは，利用者にどのような価値を与えるソフトウェアであるかであり，なにをコンピュータ化するかではない．これは，B to C型のソフトウェアだけではなく，B to small B型のソフトウェアにも適用可能であろうと思われる．

５．我々の仮説

以上の議論から我々は以下の仮説を持っている．これらをまとめると，ソフト系IT技術者が持つべき能力は，”技術力＋感性力による価値創造のための能力”ということができる．

仮説1

大規模なものはITゼネコンが受けそれを地方子会社へそこから地方の中小・零細企業へという多重の下請け構造があるのではないか？．その中で製造技術しかもたないＩＴ技術者は単なる製造装置（いわゆるＩＴ土方）としてのみ活動をしているのではないか？．大学等の教育機関においても製造技術だけを教えていて，また，行政（e.g.経産省の外郭団体のＩＰＡとか）でもそうなっているのではないか？．この状況では，ソフト系ＩＴの技術者がプライドをもって仕事はできず，中小・零細企業にも将来がないのではないか．ソフトウェアとい商品の利点を生かし，この状況を打破するために必要なのは，ＩＴ技術者のアントレプレナシップと中小・零細企業のイノベーションに対する認識ではないか？．

仮説2

小型のソフトウェアで利用者に価値を与えるためにはさまざま意味でのスピードが要求される（生産プロセスの時間，利用者への訴求など）から，直感的にさまざまな見積もり（ソフトの大きさ，コスト（時間，お金．．）をすぐにできる能力が必要である（ある種の直感で，のちにそれを客観的データで裏付ける分析力能力も）．利用者へ価値を提供するには（利用者の）感性により創造される価値がよいのではないか，利用者が感性により創造する価値を計算できる技術者が必要である

５．Appleの例

Apple（以前の会社名はApple Computer，近年，社名からComputerを外した）は携帯型音楽プレーヤiPodを対象とした音楽コンテンツ販売の事業を行っている．すなわち，携帯型音楽プレーiPod，PC用のソフトウェアITunes（個人が有する音楽の保存，ネット経由での音楽の購入），およびITunesストア（ネット経由での音楽の販売）である，これら3つが一体となってこの事業が成立している．

この三位一体をハードウェアとしてみると・小型化技術，・電池技術，・ＰＣ本体，・頑丈なサーバ，・USB接続，・インターネットなどが構成要素となっている．これらのハードウェアはそれぞれ別の会社が製造しており，PC製造に関して言えば，WindowsＯＳによるコモデティ化により，その製造ビジネスは不採算事業であり，日本国内での高付加価値は困難な状況である．

この三位一体をソフトウェアとみると，・組込みソフトウェア技術（iPod），・ＰＣ用ソフトウェア製造技術，・エンコード技術，・同期（iPodとＰＣ）技術，・サーバプログラム製造技術などが構成要素となっている．このように，すべてにソフトウェアは関わっている．ただし，事業として組み上がった後に，受託開発としてそれぞれのソフトウェア製造を請け負ったのではIT土方と同じであり，多重下請け，異様なまでの値引き要求．元請けからの下請けいじめ，現場を知らない元請けのＳＥとの確執等が表出する．この三位一体を価値の提供としてみれば，・携帯音楽プレイヤをもつライフスタイル．・CD読込み，・楽曲の購入，・iPodへの転送，・楽曲の販売という要素がある．ユーザはこの三位一体となったある一つもの（あえて言えばiPiodスタイル）の体験をずっと体験し続けることに価値を見いだしている（＝アップルが提供する経験価値）．これは，技術的には，先行優位だったのはずのSony（・圧縮技術は独自のATRCを持っていた（MD等で使用），・グループにレコード会社もありコンテンツもいっぱい持っていた，・小型機器をつくる技術（最初のMacのノートの製造はソニーが担当）が現在，

追従状態であることは興味深い.

このappleの例はかなり大きな事業であり，世界でも数個あれば良い事業である．しかしながら，この考え方は，業務用ソフトウェアを含め多くのソフトウェア製造にかかわる多くの示唆を与えている.

６．まとめ

ここでは，ソフト系IT分野における歴史認識を踏まえ，今後のソフト系IT技術者が持つべき能力は，”技術力＋感性力による価値創造のための能力”であろうという仮説の根拠を述べた．この仮説に対して，多くの議論を期待している[4][5][6][7].

参 考 文 献

[1]椎塚久雄:西新宿一丁目プロジェクトﾑ「ＩＴエンジニア・クリエータ」の現状と課題，日本感性工学会第1回大会企画セッション，2008年8月

[2]岸本周平：政府調達とＩＴシステム：“ＩＴゼネコン”を育てたのは誰か，RIETI政策シンポジウム(2003年2月５日開催)報告(朝日新聞への掲載記事の紹介として乗っている)．2001年度の時点で、中央政府1.2兆円、地方公共団体1兆円、合わせて約2.2兆円規模の情報システム関係の政府調達

[3]国土計画局大都市圏計画課：ソフト系ＩＴ産業の実態調査，平成２０年３月２６日(数値は2007年9月の事業所数)

[4]矢野：西新宿一丁目プロジェクト- ソフト系IT技術者のキャリア形成の現状（１）-，日本感性工学会第11回大会

[5]綾井：西新宿一丁目プロジェクト- ソフト系IT技術者のキャリア形成の現状（２），日本感性工学会第11回大会

[6]大谷：西新宿一丁目プロジェクト- ソフト系IT技術者のもつべき経営感性（or事業創造の感性），日本感性工学会第11回大会

[7]小坂：西新宿一丁目プロジェクト- ソフト系IT技術者のもつべきマーケティング感性，日本感性工学会第11回大会，2009

自然エネルギー利用建築設計のための環境工学的研究

工学院大学　　建築学科　　宇田川光弘
工学院大学　　建築学科　　野部達夫
工学院大学　　建築都市デザイン学科　　中島裕輔

Environmental Engineering Studies for Renewable Energy Use in Building design

Mitsuhiro Udagawa, Department of Architecture
Tastuo Nobe, Department of Architecture
Yusuke Nakajima, Department of Architecture and Urban Design

ABSTRACT : In order to use the simulation effectively in designing the buildings with renewable energy use, the following were studied.
1) The simulation tool, EESLISM was validated with the experimental studies. Using the bypass factor in the simulation model, the simulated results of the room thermal environment and the heat load were close to the measured data.
2) The new measuring method was developed for the evaluation of package air conditioners.
3) The experimental study of a moisture content material, NHL was carried out for developing the simulation model.

１．　はじめに

自然エネルギー利用建築設計にシミュレーションを活用するため以下について研究を行った。

1) シミュレーションプログラム EESLISM の検証。
2) パッケージ空調機の性能測定法とシミュレーションモデル。
3) 保水性外装材のシミュレーションによる室内環境評価。

２．　建築熱環境シミュレーションプログラム EESLISM の検証

２．１．　実験建物概要と測定

これまでに地震防災・環境研究センターに設置された居住環境制御システム比較実験装置(以下 KTC)を使用し、様々な条件で実測を行い、システムシミュレーションプログラム EESLISM の計算値と実測データとの比較を行ってきた [1),2)]。本報では、2009 年夏期に行った実験結果を用いた実測値とシミュレーション値の比較結果について述べる。

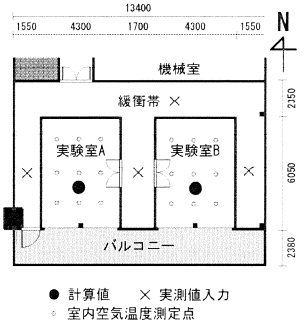


Fig.2.1　Floor plan.

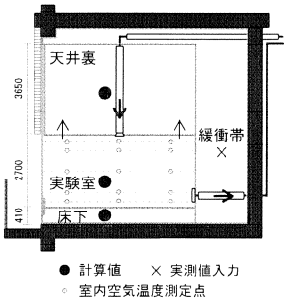


Fig.2.2　Sectional view.

Table 2.1　Measuring outline.

設定項目	実験室 A	実験室 B
実測期間	2009年6月13日～2009年8月2日	
空調運転時間	9:30～18:00	
設定室温	22℃	
運転方式	CAV方式	
給気風量	700m^3/h	1400m^3/h
測定間隔	1分	

図 2.1～2.2 に KTC の平面図、断面図を示した。KTC は同一形状の部屋が 2 室（実験室 A、実験室 B）ある。各室とも全面ガラスとなっている南面以外は熱的緩衝帯に囲まれており、実験室各室に対して空調機が 1 台ずつ設置してあるため実験に応じて任意に温度を設定することが出来る。また、外調機は一台設置してある。各実験室は間口 4.3m、奥行き 6.0m、高さ 5.5m となっている。

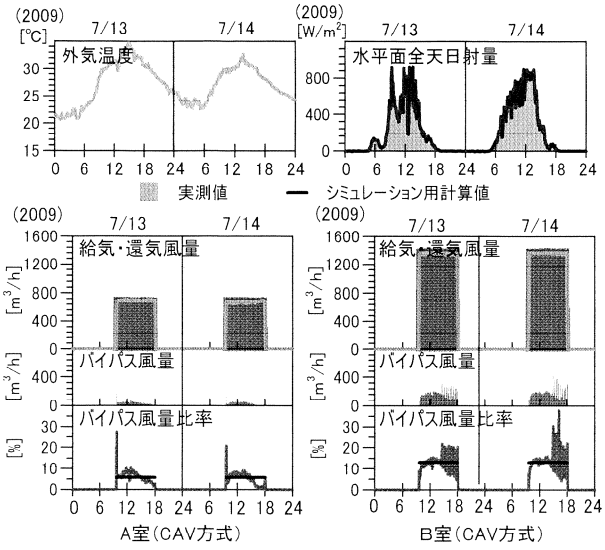


Fig.2.3　Meteorological data and bypass air flow rate.

天井高を自由に変える事ができ、今回の実測では両実験室ともに 2.7m とした。日射遮蔽シャッターは天井高まで降ろしてある。実験室の床に敷いてあるカーペットの通気性により床下に空気の移動を無くすため、カーペットの下にビニールシートを敷き通気性を無くした。

表 2.1 に実測概要を示す。実測期間は 2009 年 6 月 13 日～8 月 2 日で、空調運転時間は 9:30～18:00、設定室温は 22℃とした。本研究では 7 月 13 日～14 日の実測結果について述べる。空調運転方式は両室共に CAV 方式で天井吹出し壁吸込み方式とした。給気風量は実験室 A を 700m³/h、実験室 B を 1400m³/h とした。図 2.3 上部に気象データを示した。

２．２．　実測結果

空調運転時の 45 点の室内空気温度による平均温度と吹出口温度、吸込口温度を比較すると、室内温度より吸込口温度の方が低い傾向が見られる。これから、室内の温度分布は均一ではなく、天井からの吹出気流の一部が拡散せずに壁の吸込口への短絡流が発生していると推測される。

Table 2.2　Simulation method.

設定項目	実験室 A	実験室 B
空調機運転方式	ＣＡＶ方式（天井吹出壁吸込）	
空調機設定温度	実測値入力（室内の45点で計測した平均値）	
入射光束分布（床面）	34%	35%
室内表面対流熱伝達率	6.05W/m²K（空調運転時）	6.13W/m²K（空調運転時）
緩衝帯温湿度	実測値入力	
給気風量	実測値入力（実測の設定値は700m³/h）	実測値入力（実測の設定値は1400m³/h）
給気ファン入力電力	397W	1066W
外気導入量、温湿度	実測値入力	

２．３．　バイパス風量を考慮する計算モデル

実測の結果から室温を均一としている一般の熱負荷シミュレーションモデルにバイパス流を考慮することによりシミュレーションによる実験結果の再現性を向上させることが判明している [1),2)]。バイパス風量は実験値から次式で示される。

$$T_{ret}G_{ret} = G_{bypass}T_{sup} + T_{room}(G_{sup} - G_{bypass} - G_{leak}) \quad (2.1)$$

$$G_{bypass} = \frac{G_{ret}T_{ret} - (G_{sup} - G_{leak})T_{room}}{T_{sup} - T_{room}} \quad (2.2)$$

ここで G_{leak}:漏洩風量、G_{sup}:給気風量、G_{ret}:還気風量、G_{bypass}:バイパス風量、T_{ret}:還気温度、T_{room}:室内平均温度、T_{sup}:給気温度である。室内温度は 45 点の平均値である。

図 2.3 下部に式(2.2)で求めたバイパス風量と給気風量からみた比率を示す。実験室 A は運転開始時、実験室 B は午後に室内温度が設定温度に達した後は大きく変動しているが、二日間ともに同じ傾向である。

２．４．　シミュレーション設定条件

表 2.2 にシミュレーション設定条件を示した。実験室を周囲の緩衝帯、外気導入口の温湿度と導入量に実測値を入力した。室内対流熱伝達率は、非空調時は自然対流

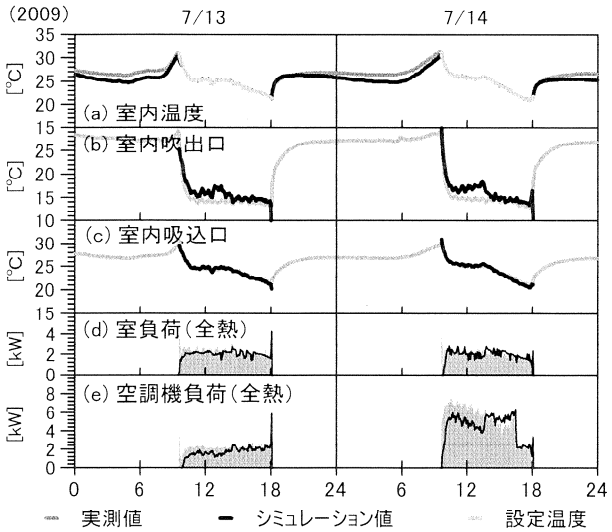


Fig.2.4　Comparison of measured data and simulation results. (Room A)

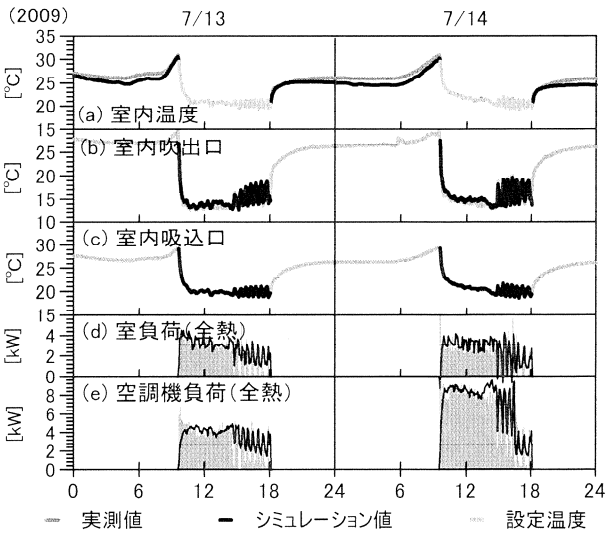


Fig.2.5　Comparison of measured data and simulation results. (Room B)

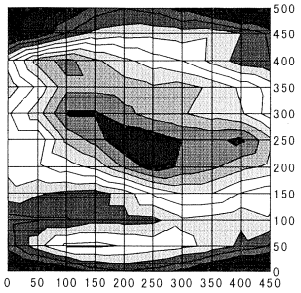


Fig. 3.1 Temperature distribution.

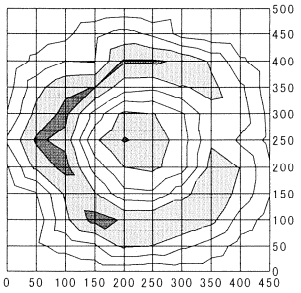


Fig. 3.2 Wind speed distribution.

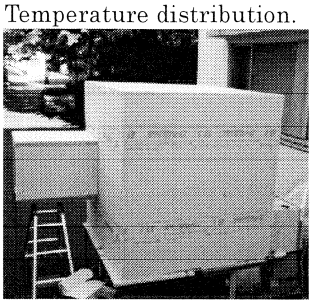


Fig 3.3 Outside view.

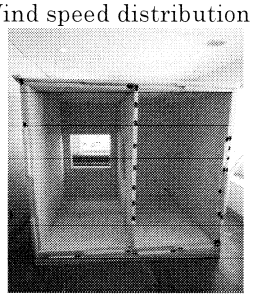


Fig. 3.4 Inside view.

Table 3.1 Measured data.

計測項目			計測点
熱交換量	室外機吸込み温度	[℃]	7
	旋回流混気箱出口温度	[℃]	4
	旋回流混気箱出口風速	[m/s]	4
熱損失	冷媒管断熱材内外温度差	[K]	1
	旋回流混気箱内外温度差	[K]	2
システム消費電力量	電力量	[kWh]	1

Table 3.2 Measuring method.

室外機吸込み温度	30℃	室内温度	27.5℃
計測対象	某社製EHP 冷房能力:4.5kW （室外機1台）	総室内負荷	約1769W （実験室境界の貫流熱損失も考慮）
計測手法	旋回流混気箱法 温度プローブ挿入法		

とした計算値を用いて、空調運転時は強制対流として壁面における風速から A 室を 6.05W/m^{2}K、B 室を 6.13W/m^{2}K と設定した。窓の熱貫流率と日射透過率は開口面積に対応した値で設定している。室内に入射する日射量については、実測結果より、窓面から入射する日射の約 35%が床面に入射し、残りの日射は面積比に応じて入射するように設定した。給気ファンの入力電力は測定時の平均値を用いた。

２．５．　実測とシミュレーションの比較

比較に用いる室負荷は式(2.3)、空調機負荷は式(2.4)で求めた。

$$q_{roomt} = \left\{c_p(T_r - T_{sa}) + r(X_r - X_{sa})\right\}\rho\, G_{sa}/3600 \quad (2.3)$$

$$q_{act} = \left\{c_p(T_{fano} - T_{ci}) + r(X_{fano} - X_{ci})\right\}\rho\, G_{sa}/3600 - E_{fan} \quad (2.4)$$

ここで、C_p:定常比熱量 1005[$J/kg\cdot K$]、ρ:空気密度 1.2[$kg\cdot m^3$]、r:水の蒸発潜熱 2501000[J/kg]である。風量は給気風量を用いた。室負荷は室内平均と吹出口の温湿度、空調機負荷はファン出口とコイル入口の温湿度にファン電力量を除いて算出した。図 2.4、2.5 に実測値とシミュレーション値の比較結果を示した。シミュレーションで

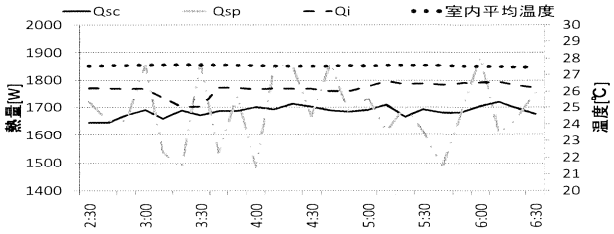


Fig. 3.5 Time-series data.

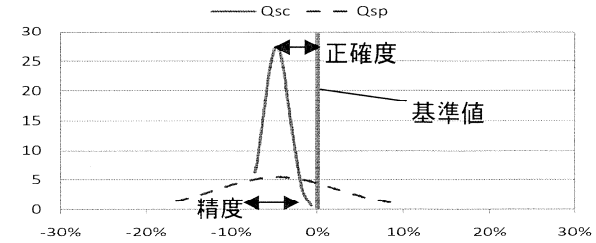


Fig. 3.6 Precision and Accuracy.

は空調運転時の室内温度を設定値としている。吹出口温度は午前中のシミュレーション値の方が高くなっているが、バイパス風量を用いたことで吸込口温度は実測と一致した。室負荷は吹出口に差がみられたように午前中はシミュレーション値が小さくなるが、午後の運転が安定してきた時間では一致する。空調機負荷も午後は実測と近くなる。午前中シミュレーションが小さくなるのは、実測の設定給気風量が少なかったため、運転が安定していなかったのが原因と考えられる。ただし、室内温度の空調停止時は実測値よりもわずかに低い。室内空気温度は実験室 A よりも給気風量が多いため、設定温度の 22℃に達している事がわかる。ただし午後に下がりすぎるため、変動が大きくなっている。吹出口、吸込口とも近くなっていることから、パイパスの効果がみられる。室負荷、空調機負荷ともに概ね一致する結果となった。

３．　パッケージ空調機熱量計測法の検証

３．１．　パッケージ空調機の計測

自然エネルギーを利用した建築においても、室内温熱環境制御の補助的手段として空調システムが併用される事例が多い。近年は中小規模の建築にはパッケージ空調機が適用される場合が多いが、とりわけマルチ型の製造熱量を評価することは技術的に困難であった。この課題に対して、温度プローブ挿入法 [3),4)]による実運用時エネルギー評価を研究してきた。温度プローブ挿入法は、実性能評価を目的とした手法であり、正確さと設置の簡易さを同時に満たすところに特徴がある。

本研究では、より正確な評価を行う手法として「旋回流混気箱法」を考案し、旋回流混気箱法、並びに温度プローブ挿入法の精度検証実験を行った。よって、「旋回流混気箱法」の概要、及び各計測手法のパッケージ空調機製造熱量計測精度の検証実験結果を報告する。

３．２．　旋回流混気箱法による計測

図3.1にパッケージ空調機の室外機吹き出し温度分布、図 3.2 に吹き出し風速 [5)] を示す。各図から室外機の吹き

出し風速、温度の分布は一様ではなく、精密な計測が困難であることが分かる。そこで、室外機の排熱量を一度チャンバー内でかき混ぜ、温度が均一となった熱フラックスを計測する手法である、旋回流混気箱法を開発した。図 3.3、3.4 に旋回流混気箱の内外観を示す。室外機吹出し空気の風圧を利用し、旋回流で混合した気流から仕切り板の開口部を通り、再度混合され、出口から抜け出ていく。そして均一となった熱フラックスを出口で計測することによって、より正確な排熱量の算出を可能とする。

３．３．　エネルギー収支式

旋回流混気箱におけるエネルギー収支式は式（3.1）、パッケージ空調機におけるエネルギー収支式は式（3.2）となる。式（3.1）、（3.2）より式（3.3）を導き出し、空調負荷を求める。

$$Qex = Qeb + Qcb \quad (3.1)$$

$$Qex = Qin + Qpi + Qs \quad (3.2)$$

$$Qs = Qeb + Qcb - Qin - Qpi \quad (3.3)$$

ここで Qeb:旋回流混気箱排気量[W]、Qex:室外機排熱量[W]、Qcb: 旋回流混気箱損失熱量[W]、Qpi:冷媒管法熱量[W]、Qs:空調負荷[W]、Qin:消費電量[W]、Qi:総室内負荷[W]である。

３．４．　計測点

表 3.1 に計測項目を示す。空調負荷を算出するため、旋回流混気箱の出口温度と出口風速 4 点、室外機吸込み側温度 7 点、室内機、室外機消費電力を計測した。また、冷媒管、旋回流混気箱からの熱損失を考慮するため、冷媒管断熱材内側温度 1 点、冷媒管断熱材外側温度 1 点、旋回流混気箱内側表面温度 2 点、旋回流混気箱外側表面温度 2 点を計測した。

３．５．　精度検証と実験方法

旋回流混気箱法の計測精度を確認するため、精度検証実験を行った。精度検証実験は、2009 年 12 月 1 日に工学院大学地震防災・環境研究センター内の居住環境制御システム比較実験装置（KTC）において行った。

実験は、夏期冷房時を想定し、空調を開始して室内温度が一定となった時の旋回流混気箱法により得られた室内機除去熱量（以下 Qsc）、並びに温度プローブ挿入法

Table 4.1　Specimen outline. (single layer type)

	NHL	骨材	混合物	配合比	厚[mm]	略称
①	2.0	珪砂4号	なし	1:2	10	4-無-10
②					25	4-無-25
③			藁すさ	1:2:0.05	10	4-藁-10
④					25	4-藁-25
⑤			籾殻	1:2:0.1	10	4-籾-10
⑥			藁すさ多め	1:2:0.1		4-藁多-10
⑦		なし	なし	-		無-無-10
⑧			藁すさ	1:0.02		無-藁-10

Table 4.2　Specimen outline. (multitiered type)

	層	NHL	骨材	混合物	配合比
A	裏	2.0	珪砂5号 + 珪砂4号 (9:8)	-	4:7
	表				8:17
B	裏				4:7
	表			籾殻	8:17:0.5

により得られた室内機除去熱量（Qsp）と総室内負荷（以下 Qi）の比較により、各計測手法のパッケージ空調機熱出力計測精度の検証を行った。実験条件を表 2 に示す。

３．７．　実験結果

図 3.5 に Qsc、Qsp、Qi、及び平均室内温度を示す。Qi に対して Qsc、Qsp 共に低い値で推移した。これは、計算見込み外での損失があったためであると、推測する。Qsc は安定した推移を示しているが、Qsp はばらつきが確認できる。各熱量の平均値は、Qsc が 1686W、Qsp が 1688W、Qi が 1769W であった。図 3.6 に Qi に対する Qsc、Qsp の誤差の割合を正規分布図で示す。各手法の正確度は Qsc が-4.69％で、Qsp が-4.58％とほぼ同値であったが、標準誤差（精度の平均値）は Qsc が 1.44％で、Qsp が 7.23％と大きな違いが表れた。

４．　保水性を持つ外装材の性能評価

４．１．　天然水硬性石灰（NHL）

天然水硬性石灰(Natural Hydraulic Lime、以下 NHL)とは、石灰石を焼成し、水を消化して得られる石灰粉末である。消石灰の持つ気硬性に加え水硬性を持ち、施工後に CO_2 を吸収しながらさらに強度を高め、再び石灰石に戻る 100%リサイクル可能な天然材料である。日本における利用事例はほとんどないが、欧州では現在のポルトランドセメント開発前に使われていた材料であり、保水性(蒸発冷却効果)・吸放湿性・断熱性・VOC 吸着性など

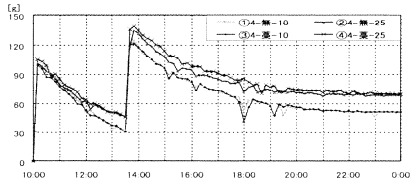


Fig.4.1　Water content variation. (specimen①～④)

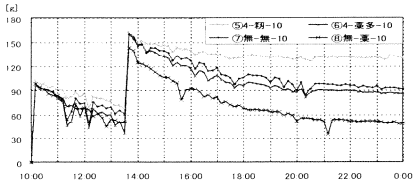


Fig.4.2　Water content variation. (specimen⑤～⑧)

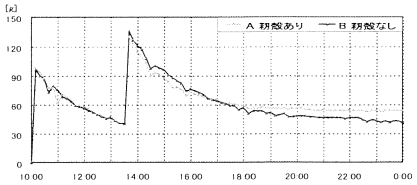


Fig.4.3　Water content variation. (specimenA･B)

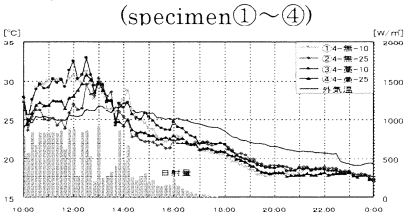


Fig.4.4　Surface temperature variation. (specimen①～④)

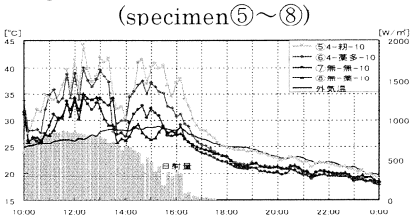


Fig.4.5　Surface temperature variation. (specimen⑤～⑧)

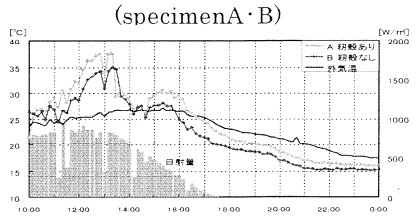


Fig.4.6　Surface temperature variation. (specimenA･B)

の多数の環境性能を持ち、骨材の種類や配合物を変えることで、用途によって性能を合わせることができる。既往研究では市販の保水性ブロックと同等の保水能力が得られている。

４．２．　外装材試験体

製作した試験体種類を表 4.1～4.2 に示す。NHL 種類は強度指標 2.0、骨材には珪砂 4・5 号を用いた。混合物については、既往調査より断熱性向上に寄与する籾殻と藁すさ、混合物無しの配合を製作した。基本試験体寸法は 250mm×250mm×10mm で、同配合での厚さの違いによる比較も行えるよう、②と④の試験体は 25mm 厚とした。

４．３．　蒸発冷却効果試験方法と試験結果

試験体の表面以外からの蒸発や熱の授受を防ぐため、断熱材で側面及び裏面を覆うように型を作成し、アルミ箔とアルミテープで覆った。気乾状態の各試験体を電子はかりに載せ、計測開始の 10 時と 13 時 30 分の２回に 100g ずつ保水させ、10 時から 24 時までの 14 時間、屋外で計測を行った。電子はかりは 1 分毎、外気温及び表面温度は 5 分毎に測定した。

試験結果のグラフを図 4.1～4.6 に示す。①～④の同配合 2 種類の厚さでの比較では、厚い試験体の含水量の減少が鈍いが、表面温度の上昇を薄い試験体と同様に抑えられている。塗り厚を厚くすると蒸発冷却の効果を落とさずに、同じ水分量でも長時間持続できるようになると考えられる。⑤～⑧の試験では⑤の籾殻を混合した試験体の蒸発量は少ないが、逆に⑧の蒸発量が多く、表面温度も低く推移している。A・Bの試験でも、籾殻ありよりなしの方が蒸発量が多いため、籾殻が蒸発冷却効果を妨げていると考えられる。それぞれの試験より、NHL と骨材だけの配合、もしくは藁すさを加えた配合が蒸発冷却効果を期待でき、厚みを持たせることが効果を長持ちさせるといえる。

４．４．　NHL 外装を使用時の室内環境予測評価

１）　シミュレーション方法

一般的な壁構成で外装材のみを窯業系サイディング・セメントモルタル・NHL の３種類に変えた場合での空調時の環境評価を、温熱環境シミュレーション THERB を用いて行った。NHL は蒸発冷却試験の試験体①・②と同配合の NHL2.0+珪砂 4 号とし、計算建物（延床面積 121 ㎡の木造 2 階建住宅）のすべての外壁面を 3 種類の外装に設定して計算を行った。計算条件は、計算期間 8/1～31、立地場所は東京、空調時間は 10～18 時、冷房設定は 27 度である。評価対象は LD 室のみとし、LD 室以外での空調は行わないものとした。また、蒸発冷却効果を THERB で再現するため、蒸発潜熱量分を日射吸収率低減率に換算して差し引いた値を入力した。その結果、乾燥時の NHL の日射吸収率 44％に対して、保水時の日射吸収率は 27％で計算をおこなっている。

２）　シミュレーション結果

1 ヶ月間の日積算冷房負荷を計算した結果、NHL は期間全体を通して他の 2 タイプより負荷が小さく、1 ヶ月間の総負荷は窯業系サイディングは 458.9[MJ]、セメントモルタルは 490.0[MJ]、NHL は 435.4[MJ]となり、NHL が他 2 種より 5％小さくなる結果となった。

５．　まとめ

本報告では自然エネルギーを利用した建築設計のための研究結果を述べた。

1) シミュレーションプログラム EESLISM の検証については、バイパス風量を用いたシミュレーションの結果、室内熱環境、熱負荷ともに実測値に近くなることを確認した。今後は他の空気経路、運転方式などの実測結果から、バイパス風量比率を一般化し、温度分布を考慮したシミュレーション方法の検討を進めていく。

2) パッケージ空調機の評価を行う手法として「旋回流混気箱法」を考案した。旋回流混気箱法による計測正確度は-4.69%、計測標準誤差 1.44%であった。旋回流混気箱法と温度プローブ挿入法の精度検証実験を行った。温度プローブ挿入法による計測正確度は-4.58%、計測標準誤差 7.23%であった。

3) 保水性外装材の評価については、最も蒸発冷却効果が高い配合は NHL と珪砂４号のみの配合、もしくはこれに藁すさを加えた配合が、NHL と骨材のみの配合がより現実的であると考えられる。また、塗り厚を厚くすることで同量の水でも長時間効果を持続できることが確認できた。シミュレーションでは NHL の蒸発冷却効果によってサイディングやセメントモルタルよりも日中の表面温度が 3℃近く低くなり、冷房負荷も 5％程度の削減効果が得られ、活用の可能性が示されたと言える。

4) パッケージ空調機および NHL の性能評価法が示されたため、これらの成果は今後総合的シミュレーションプログラムに組み込むことも考えられる。

参 考 文 献

（１）平柳，宇田川，楠，成田；KTC を利用した建築熱環境シミュレーション手法の検証，その８　室内吹出冷風のバイパス風量比率，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，2010 年 9 月
（２）楠，宇田川，平柳，成田；KTC を利用した建築熱環境シミュレーション手法の検証，その９　バイパスを考慮したシミュレーション結果，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，2010 年 9 月
（３）田中他：マルチパッケージ型空調機のオンサイト性能評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp915～916、2009
（４）中村他：マルチユニット方式のオンサイト評価手法（その 3：温度プローブ挿入法の概要）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1083～1084、2007
（５）芳賀他：マルチユニット方式のオンサイト評価手法（その 1：室外機排熱サンプラー）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1131～1132、2006

建築の維持保全運用コストの効果的配分法に関する研究

工学院大学　建築学科　吉田倬郎
東京都　財務局　山本康友

The study about the effective distribution method of the operative maintenance cost of the building.

Takuro Yoshida , Department of Architecture
Yasutomo Yamamoto, Tokyo Metropolitan

ABSTRACT : We analyzed the operative administrative expense of Kogakuin University Hachioji campus. Other than the repair cost of construction of the window and the repair cost of construction of the air conditioner, cleaning costs, light and heat water costs captured constitution of the expense with the management administration of the institution or an aging change according to the item of expenditure. We could gather the basic document of maintenance of the institution to lead to effective distribution of the expense for managing it.

1.研究の目的

建築は、大量の資材とエネルギーを費やして実現される。そのため、環境負荷削減の観点から、できるだけ長く供用されることが求められる。また、建築は、休養される間、大量のエネルギーを費やすが、長寿命化が進むほど、省エネルギーの重要性が高まる。さらに、共用期間、快適で良好な状態の保持が必要であり、適切な維持保全が求められる。

本研究は、工学院大学八王子キャンパスを対象に、窓の改修工事費や空調機の修理工事費のほか、清掃費、光熱水費など、施設の管理運営に伴う費用（以下、施設管理費と略す）の構成や費目別の経年推移などを分析し、施設管理費の特徴を明らかにし、施設の維持保全運用のための費用の効果的配分につながる基礎資料を取りまとめることを目的としている。

2.分析対象

本研究の分析対象は、平成6～平成20年度の工学院大学八王子キャンパスの施設管理費である。八王子キャンパスは、１９６３年に開設され、現存する施設は、合計で35棟、平成20年度時点の合計延床面積は、75,327㎡であり、竣工後20年以上経っている施設が全体の6割を占めている。この間、多くの施設が新築され、学生寮や食堂などが解体されている。

3.分析方法

「工学院大学八王子校舎工事台帳」（平成6～平成20年度）を基礎資料とし、以下の（１）～（３）の観点から分析した。

（１）工事台帳に記されている費目を整理し、建築工事費、設備工事費、運用管理費、その他の4つに大きく分類し、各大分類について、表1に示す、中分類、小分類を設けた。

（２）費目の分類に基づき、年度別の施設管理費用の構成、各費用の経年推移などについて分析した。

（３）各施設における施設管理費の実績と、各施設の保全年次計画案との関係をみた。

なお、分析に際しては、物価変動による影響を考慮し、国土交通省建設工事費デフレータを用い補正を行った。

表１工事項目の分類

大分類	中分類	小分類	大分類	中分類	小分類
建築費	開口部	扉	運用管理費	光熱水費	DHC料金
		ｼｬｯﾀｰ			電気料金
		窓			水道料金
		鍵・錠			燃料料金
		ｶｰﾃﾝ･ﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞ			ｶﾞｽ料金
	屋根および屋上	屋根		外構費	造園
		屋上			害虫駆除
	雨水配管				構造物
	階段				ｸﾞﾗｳﾝﾄﾞ
	外壁				テニスコート
	基礎				ﾌﾟｰﾙ
	倉庫				その他
	天井			清掃費	日常清掃
	内壁				窓
	柱				雨水配管
	床				外壁
	その他および部位不詳				ｶｰﾃﾝ･ﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞ
設備費	給排水・衛生設備	給排水			内壁
		衛生器具設備			床
		水槽・ﾀﾝｸ・ﾎﾟﾝﾌﾟ			電気設備
		熱源装置			空調設備
		排水管・蒸気管			給排水衛生設備
		配管			実験設備
		その他および給排水・衛生設備備品			厨房設備
					防災設備
					分類できない設備
	空調設備	空調機		保守・点検費	扉
		換気設備			ｼｬｯﾀｰ
		空調ユニット			窓
		その他および空調設備備品			鍵・錠
					電気設備
	電気設備	照明			空調設備
		通信			給排水衛生設備
		電源・コンセント			ｶﾞｽ設備
		配線・ｹｰﾌﾞﾙ			ｺﾞﾝﾄﾞﾗ設備
		感知器			視聴覚設備
		制御盤・盤類			実験設備
		弱電機器			昇降機設備
		その他および電気設備備品			総合設備
					厨房設備
					防災設備
	実験設備	実験機器			放送設備
		実験廃水処理設備			防犯設備
	ｶﾞｽ設備				分類できない設備
	昇降機設備			環境検査費	空気環境測定
	ｺﾞﾝﾄﾞﾗ設備				飲料水水質検査
	厨房設備				実験廃水水質検査
	防災設備				排水水質検査
	放送設備				その他の環境検査
	視聴覚設備			廃棄物等処理費	ｺﾞﾐ処理
	防犯設備				産業廃棄物処理
	総合設備				汚泥処理
	設備備品				実験廃水処理
	分類できない設備				資源回収
			その他	家具・サイン	家具
					棚・書庫
					サイン
					黒板・白板
					その他
				通信費	電話料金
					回線料金
					インターネット使用料金
					銀行オンライン使用料金
				情報システム	
				運搬・移転	
				解体・組立	
				設営	
				備品	
				賃借	
				薬品	
				その他	

4.八王子キャンパスにおける大分類の施設管理費用の特徴

4-1. 施設管理総費用の構成

平成 6～平成 20 年度の期間の八王子キャンパス全施設の総費用（建築・設備・運用管理・その他の施設管理費の合計を指す）の平均額は、1 年あたり約 5 億 3,890 万円である。また、1 ㎡あたりの年間費用は、年によって増減する延べ床面積に基づく加重平均で 9,650 円/㎡・年である。総費用に占める割合は、建築が 7%、設備が30%、運用管理が59%、その他が4%を占めている。なお、本報告は、その他を除く費用の特徴について述べる。

4-2.各年度に存在する施設の合計延床面積と年間建築工事費の構成と経年推移

図１は、各年度の建築工事費の構成と各年度に存在する施設の合計延床面積を示す。全ての年度において、その他および部位不詳の費用が大きな割合を占めている。なお、部位不詳には、部位別ではなく空間単位の工事をこれに含めている。次いで、開口部・床・屋根に多くの費用がかかっている。各年度の建築工事費の平均額は、約 3,750 万円であり、1 ㎡あたりの年間費用は、延べ面積の変化を考慮した加重平均で 712 円/㎡・年であった。

平成 6 年、8 年、11 年、13 年度において大規模な工事が行われている。平成 11 年度は、火災の復旧工事が行われ、平成 13 年度は、附属中学、高校の男女共学化に伴う工事が行われている。屋根や床は、特定の時期に改修工事などに費用がかかり、開口部は、特定の時期に行われる改修工事に加え、修繕など日々の維持管理に費用がかかっていることが分かる。

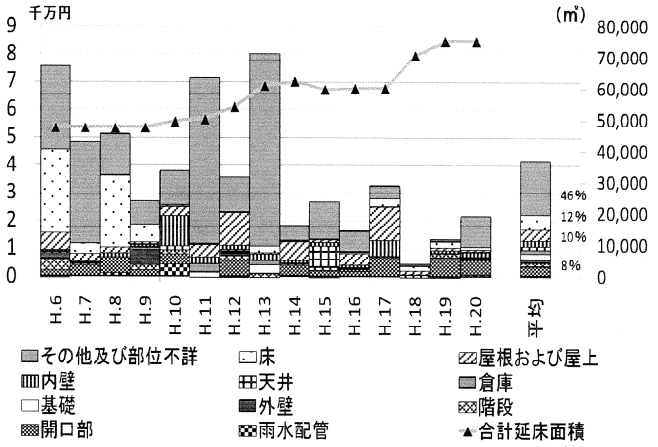


図１ 各年度の延床面積と各年度の建築工事費の構成

4-3.各年度に存在する施設の合計延床面積と年間設備工事費の構成と経年推移

図２は、各年度の設備工事費の構成と各年度に存在する施設の合計延床面積を示す。電気設備には、毎年 2,000～6,000 万円の費用がかかっており、次いで、総合設備、給排水衛生設備、空調設備、実験設備、視聴覚設備の 4 設備に費用がかかっている。

各年度の設備工事費の平均額は約 1 億 5,995 万円であり、1 ㎡あたりの年間費用は単純平均で 2,869 円/㎡・年である。電気設備や空調設備、給排水設備は、毎年費用がかかっており、費用が多い年度には、修理や改修工事などが行われている。平成 17、18 年度には、教室の AV 装置の設置を行っている。

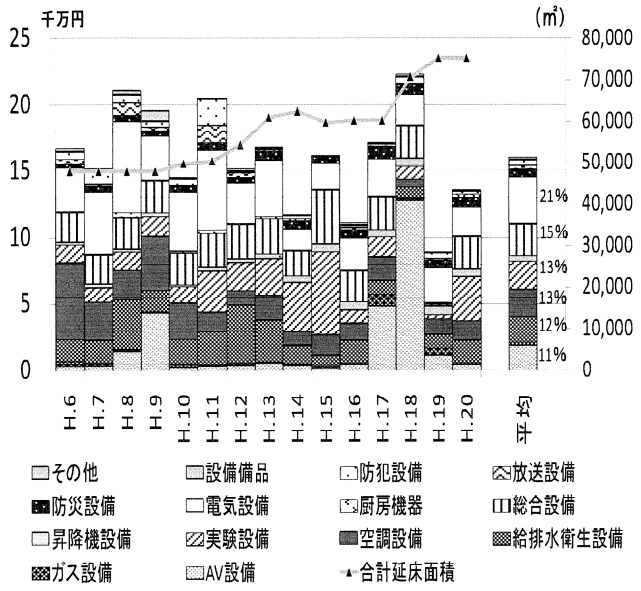


図 2 各年度の延床面積と各年度の設備工事費の構成

4-4. 各年度に存在する施設の合計延床面積と年間運用管理費の構成と経年推移

図３は、各年度の運用管理費の構成と各年度に存在する施設の合計延床面積を示す。各年度の運用管理費の費用全体に占める光熱水費は、40%～61%であり、大きい割合を占めている。光熱水費に次いで日常清掃や設備関係保守点検に費用がかかっている。

各年度の運用管理費の平均額は約３億1,680万円であり、年間の１㎡あたり費用は、加重平均で5,619円/㎡・年の規模である。光熱水費は比較的変動がみられるのに対し、その他の運用管理費を構成する各費目は、年度による変動が大きくない。

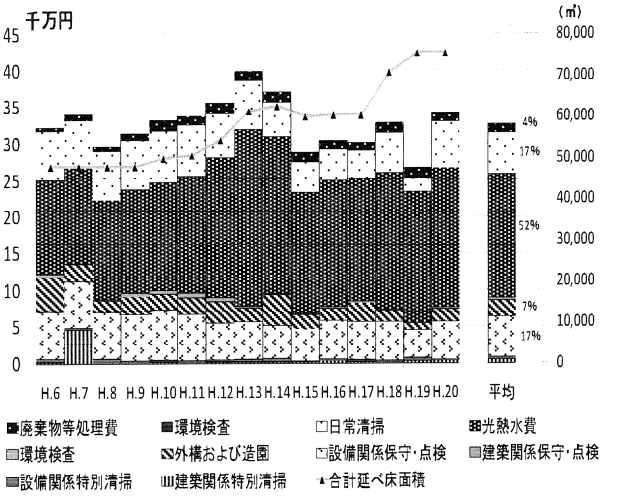


図 3 各年度の合計延床面積と各年度の運用管理費の構成

5. 八王子キャンパスの年間施設管理費と保全年次計画案

工学院大学施設課が策定したものであり、平成 17 年度～平成 26 年度における「保全年次計画案」を策定している。これは、八王子キャンパスにおける主要施設について、当該期間における、修繕更新・改修の時期と費用を計画したものである。

図４は、計画が策定されている 21 棟について、平成６年度から平成 20 年度までの各棟の施設管理費の年間費用の実績の累積と、計画が策定された平成 17 年度からの各棟の保全年次計画の年間費用の累積の関係を示したものである。

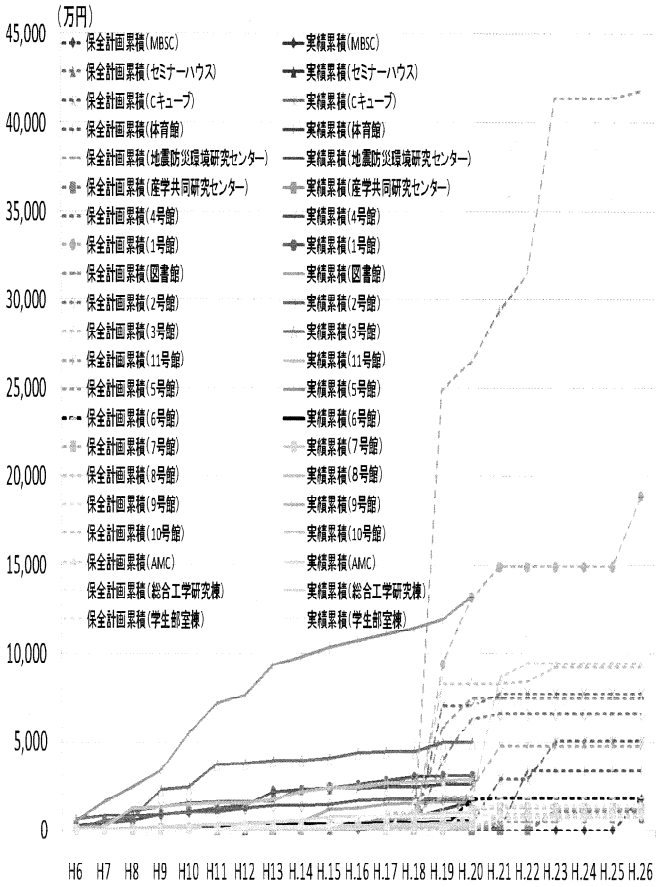


図 4 八王子校地にある 21 棟の棟毎にみる年間施設管理費の累積および保全年次計画の累積

各施設の施設管理費の実績の累積と、平成 17 年度からの保全計画における保全費の累積は、直接には関係がない。保全計画は、それが策定された平成 17 年度時において、各施設の保全に、将来どれだけの費用が、どの時期において必要だと判断したかを反映したものであり、八王子校地にある多数の施設についての、修繕などの優先度などについての当時の判断をみることができる。

図４より、施設管理費の累積が大きい棟ほど、保全計画の累積が大きい傾向にあることがわかるが、２号館は年間費用の累積が小さいにもかかわらず、平成 26 年度の保全計画における保全費の累積は大きかった。また、

計画策定当時である平成 17 年度には、1 号館、3 号館、4 号館、5 号館などについては、修繕を早めに行うことを計画していたことが分かる。総じて、築後年数が経過しており、主な施設用途が教育や研究である施設に対し、修繕などを行う計画であった。

保全計画の費用の累積は実績に比べ、総じて大きいが、保全計画は、将来必要な保全工事について、実施すればかかるであろう費用を推計し計画に反映するものであり、実績がこれを下回ることは、自然なことではある。

図５は、1 号館、2 号館、5 号館における、施設管理費の全年度合計金額の構成と、保全年次計画案の全年度合計金額の構成を示す。

図５より、1 号館においては、実績、保全計画ともに、外部建具、照明器具交換、空調機器の3項目が、いずれも高い割合であることがわかる。1 号館、2 号館、5 号館いずれも実績に対し計画は、相当大きい金額であった。各施設において、実績と計画に共通して全年度合計金額に占める構成割合が高い項目に関しては、継続的に維持保全が必要であると考えられる。

一方、外壁については、各施設の保全計画では費用が計上されているにもかかわらず、修繕の実績はない。また、照明器具については、2 号館、4 号館で、保全計画には費用が計上されていないが、修繕実績はある。

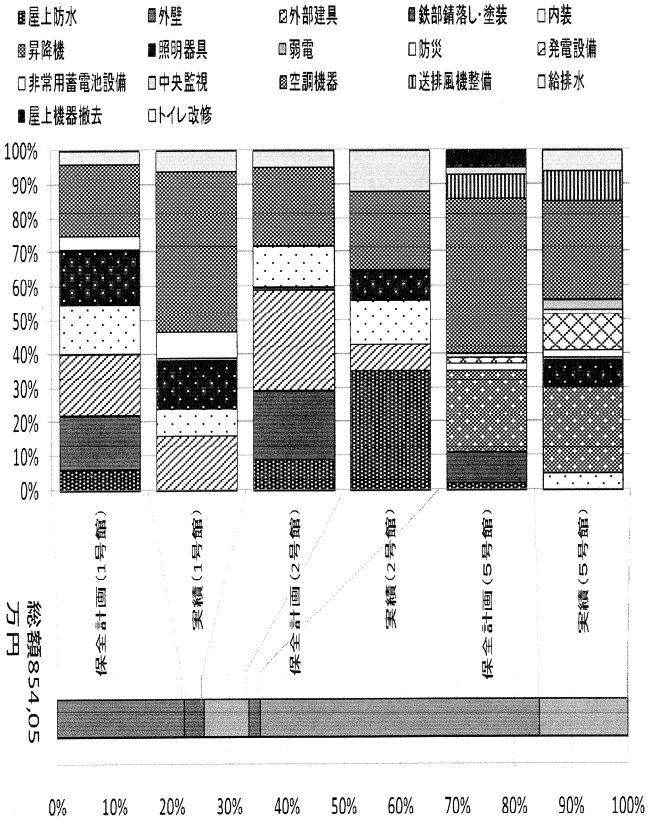


図５　1 号館、2 号館、5 号館における施設管理費の全年度合計金額構成と保全年次計画案の全年度合計金額構成

6.まとめ

本研究は、工学院大学八王子キャンパスの施設管理費を対象に、その構成や経年推移などを分析し、施設管理費の特徴の一端を明らかにした。

施設管理費を、建築工事費、設備工事費、運用管理費、その他、の 4 つに大別し、分析を行ったが、建築工事費、設備工事費は、年による変動が大きいのに対し、運用管理費は比較的安定していることが分かった。

年間建築工事費の平均額は、約 3,750 万円であり、1 ㎡あたりの年間費用は 712 円/㎡・年で、さほど大きい値ではないが、大規模な用途変更や、火災の復旧などではまとまった費用が投じられている。

年間設備工事費の平均額は約 1 億 5,995 万円であり、1 ㎡あたりの年間費用は 2,869 円/㎡・年である。電気設備や空調設備、給排水設備は、毎年費用がかかっている。費用が多い平成 18 年度には、教室の AV 装置の設置を行っている。

年間運用管理費の平均額は約 3 億 1,680 万円であり、年間の 1 ㎡あたり費用は 5,619 円/㎡・年であり、建築工事費や設備工事費に比べると、その構成も含めほぼコンスタントに推移している。

施設管理費の実績と保全計画の比較からは、実績に比べ保全計画の費用が大きいこと、保全計画では計上されている外壁が実績には表れていないことなどが分かった。

以上、施設の維持保全運用のための費用の効果的配分につながる一般性のある基礎資料とするには、なお、調査を充実させる必要があるが、参考事例としてはある程度有用な成果を得ることができたと考えられる。

伝統的建造物の維持保全に資する資材改質技法の開発

工学院大学　工学部　建築都市デザイン学科　田村 雅紀，後藤 治

High quality preservation system with usage of improved architectural materials applied for traditional architecture

Tamura Masaki and Goto Osamu, Department of Design in Architecture and Urbanism

ABSTRACT: In Japan, traditional wooden architecture would be necessary to develop technological methods and systems in order to maintain and renovate its building materials and construction methods appropriately in the long term toward the future. In this study, we took a spot of plain wood materials of Kokera roofing which is often applied for traditional wooden architecture, and its surface and microscale structure, mechanical properties, durability and exterior exposure test settle in Yamanashi were investigated.

１．はじめに

伝統的木造建築に使用されるこけら材は製造・使用による歴史性を築いてきた。近年，原材料となる天然林木の利用に関して，可採量の減少をはじめ，生育環境，樹種，更には伐採時の樹齢等，様々な環境条件の配慮が必要となってきた。また，間伐材等の人工林木の有効利用が必要とされているが，物理化学的劣化が進行しやすい等の問題が懸念されている。

本研究は，天然林木と比較して，人工林木を原料としたこけら材を製造し，伝統的建築の屋根仕上げ材として長期に維持する上で必要となる条件の抽出および山梨での屋外暴露試験を含めた表面の改質処理を含めた高度維持技法を提案することを目的とする。

２．研究概要

２．１　こけら材修繕の実態調査－京都・慈照寺銀閣

京都・銀閣寺のこけら葺き屋根の改修工事の実態調査を実施した(Table 1)。慈照寺銀閣は伝統的木造建築の代表であり，1489 年創建，1951 年の国宝指定を経て，2009 年の平成大改修は，30 年来の修繕工事となり，こけら屋根の葺き替え，床下・天井裏の耐震化工事等を経て 2009 年 12 月に完了した。伝統的木造建築におけるこけら材の修繕・更新に関わる実態と今後の見通しが確認された。

２．２　こけら材の基礎物性評価

(1)使用材料と実験方法

Table 2 に使用材料を，Table 3 に試験項目と方法について示す。こけら材の高度維持・保存技法を構築するため，国内の主要な杉産地である秋田杉の天然木(169 年)・人工木(46 年，88 年)および天然栗材(88 年)を用い，こけら材を木羽割葺伝承技法の一級技能士に製造をしてもらい，組織特性，力学特性を実験的に評価した。また，屋外暴露試験を含めた耐久性試験を行ない，こけら表面の改質処理効果を長期的に検討を開始した。

(2)寸法特性と密度の関係

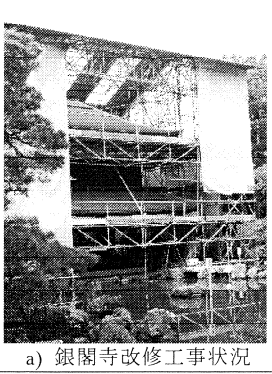
Fig. 1 にこけら材の寸法特性と密度の関係を示す。こけら材の年輪１本の平均幅は，樹齢 169 年天然杉が 1.68mm で最小，樹齢 88 年人工杉が 5.04mm で最大であった。なお，20 度の恒温室にて採取後６ヶ月以上静地した気乾密度との関係については，生育特性や樹齢の影響は明確には確認されなかった。

(3)微細表層構造分析

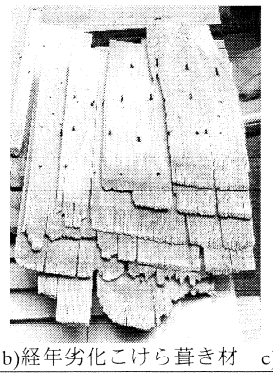
Table 4 にこけら材の微細表層構造分析の結果を示す。一般に木材は，茎や根が肥大成長して木部が発達するため，茎がやわらかい木部未発達の植物とは構造上の違いがある。維管束を発達させることで，重量耐性，乾燥耐性，組織のフェノール化，リグニン沈着による維管束強化などが進行し[1]，心材程その影響が大きいと考えられる。また，針葉樹に関しては，柔細胞

Table 1　こけら劣化状況および改修工事実態調査（京都・銀閣寺）

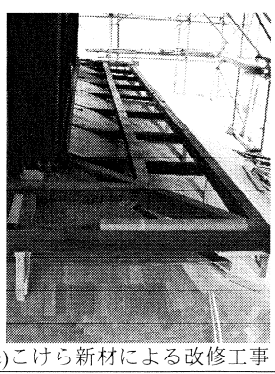
（調査結果概要）
調査実施：平成 20 年 12 月
場　　所：京都・慈照寺銀閣
調査箇所：下層こけら葺状況，
　　こけら材物性分析
結　　果：
①こけらは 1981 年に葺替えられたもので 26 年間程度供用され，風蝕破損が進行した。
②材は年輪の細かく樹齢が長い天然さわら材を使用。濡れ箇所の耐久性を高めるため，葺板を厚くして使用された。



a) 銀閣寺改修工事状況



b)経年劣化こけら葺き材



c)こけら新材による改修工事

Table 2　使用材料の基礎物性

項目	内容				
記号	A46m	A88m	N169m	N169i	Nk88m
樹種	杉				栗
生育条件	人工（秋田）		天然（秋田）		
樹齢	46 年	88 年	169 年		88 年
木取り	柾目 m	柾目 m	柾目 m	板目 i	柾目 m
試料(枚)	4	5	4	3	5
平均質量(g)	27.2	23.1	24.5	57.5	39.4
平均長(mm)	237.8	237.0	234.8	235.7	236.8
平均幅(mm)	95.0	89.5	94.9	186.0	93.0
平均厚(mm)	3.43	3.69	3.34	4.07	3.48
密度(g/cm^3)	0.35	0.29	0.33	0.32	0.51
年輪数 N(個)	23.3	17.8	56.5	---	36.8
年輪幅(mm/N)	4.09	5.04	1.68	---	2.53

Table 3　実験方法と内容

区分	試験項目と概要（○今回実施）	
組織特性	微細構造粗さ分析	高解像度観察，表面粗さ(μm)測定
	密度・吸水率	20℃平衡時高周波容量式測定
	化学組成分析	蛍光 X 線 Ca,Na,K,Si 等の濃度測定
熱的特性	示差熱熱重量	自由・結晶水，セルロース，リグニン分解炭化消失時 TG-DTA 定量
力学特性	貫入強さ試験	軟岩ペネトロ試験による観入抵抗
	圧縮強度	JIS Z2101，30-30-60mm 切断供試体
	曲げ強度・弾性係数	JIS A 1408　たわみ測定分析
耐久性	雨水流下試験	勾配 15,30,45,60 度，雨粒流下 0.1mL
	透湿抵抗試験	JIS A 1325，４水準飽和塩湿度環境
	腐朽度試験	JIS A 2475, ISO 15148 平衡含水，吸水係数
	紫外線劣化抵抗性	紫外線ｶｰﾎﾞﾝｱｰｸ式，365nm,220W/m^2
	屋外暴露試験	色差・劣化度測定，６ヶ月以上暴露

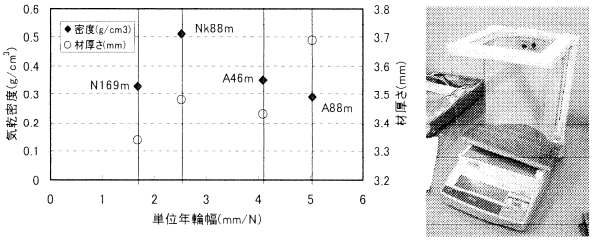


Fig. 1　こけら材の寸法特性と密度の関係

による仮導管修復や，養分貯蔵と水切れ緩和による環適応が進みやすく，心材化の進行に伴い柔細胞が活動を停止し，目が積み固い層ができると同時に，晩材は高強度化が進行する [1]と考えられる。この性質は，手割後のこけら材にも影響が考えられる。写真の高解像度レーザー顕微鏡による観察画像より，仮道管剥離状態の違い，切削による有縁壁孔の有無などの違いが確認できる(指示線幅は 100μm)。なお，形成層帯でリグニンが蓄積し，仮道管内に厚い細胞壁が形成される心材部分の木化現象までは確認できない。

2．3　こけら材の熱的性質

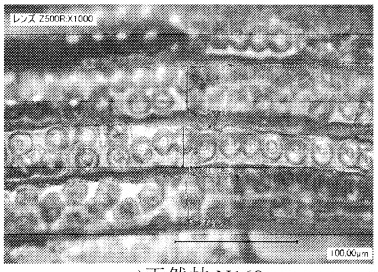
Fig. 2 にこけら材の示差熱・熱重量分析結果を示す。木材の高耐久・強度化はセルロース束になった微少繊維であるミクロフィブリルの束密度と繊維方向の配向程度が関係するといえ，熱的抵抗性にも影響するといえる [2]。また木材は，セルロース，ヘミセルロースが OH 基含む親水性を有するため，生育環境や年輪密度ならびに化学組成は難燃化の程度に，リグニンは紫外線を吸収しやすい芳香核構造を有するため，雨水にも溶解しやすく熱劣化の程度に関係するといえる。図より，人工杉は天然杉と比較し，自由水の蒸発による初期質量減少(A)，木材成分の分解による質量減少(B)，炭化消失(C)が各々10～40 度程度低い温度で生じ，熱的性質の違いが確認された。特に，炭化消失時(C)の発熱・吸熱反応の変化が著しく，炭化水素分と内部結合水の量的割合が影響することが考えられた。2.4　こけら材の表面粗さ特性

Fig.3 にこけら材の表面粗さ性状を示す。算術表面粗さ(Ra)は，高感度レーザー変位計(測定分解能 1μm，許容分解能 10μm)をセンサー部とした粗さ測定器を用い，こけら材に対し，年輪垂直方向面の凹凸波形を 3 箇所測定し，うねり成分を取り除いた粗さ曲線 f(x)における振幅の絶対値の総和を式(1)より算術表面粗さ(Ra)として算定した。天然林 N169 平均 Ra は 185μm，人工林 A46 は平均 66μm 程度であり，天然杉の単位長さ波長数ならびに振幅は大きく，溝が深く均等な断面構成をしていることが確認された。これは，雨水の流下性状に大きく関与する性質といえる。

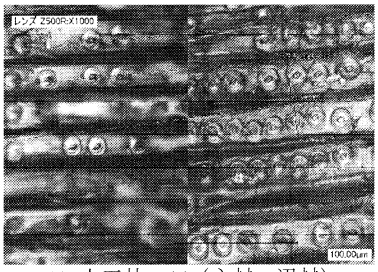
$$Ra = \frac{1}{L}\int_{o}^{L} |\, f(x)\,|\, dx \quad \cdots \text{式(1)}$$

ここに Ra(μm)：算術平均粗さ，L(μm)：測定長さ

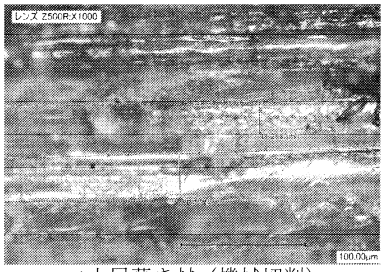
Table 4　こけら材の微細表層構造分析の結果



a)天然林 N169
天然林は，年輪幅が小さく，辺材部分を含めた材の採取は困難で，大部分は心材部分となる。多数の有縁壁孔の存在が確認でき，手割でも仮道管組織が保持される剥離をしており，心材化による壁孔の閉塞は見受けられず，液気体の通導による変形が生じにくい。



b) 人工林 A46（心材，辺材）
人工林は，年輪幅が大きく，辺材を含めた形で材が採取される傾向にある。辺材部分は有縁壁孔が閉塞せず多数存在し，水分供給が十分になされるが，心材部分は壁孔膜が壁孔口を塞ぐようになり，気体も液体も通導が困難となる微細組織の状態となる。



c)土居葺き材（機械切削）
土居葺き材は手割材と相違し，カッターで一定厚さに組織を破壊して切断するため，乾燥に伴い大きな変形を生じる来す。仮道管が斜めに切開され，表面に仮道管内腔が露出し，水が侵入しやすい組織となり，亀裂発生も考えられ，壁孔が並立している状態とはならない。

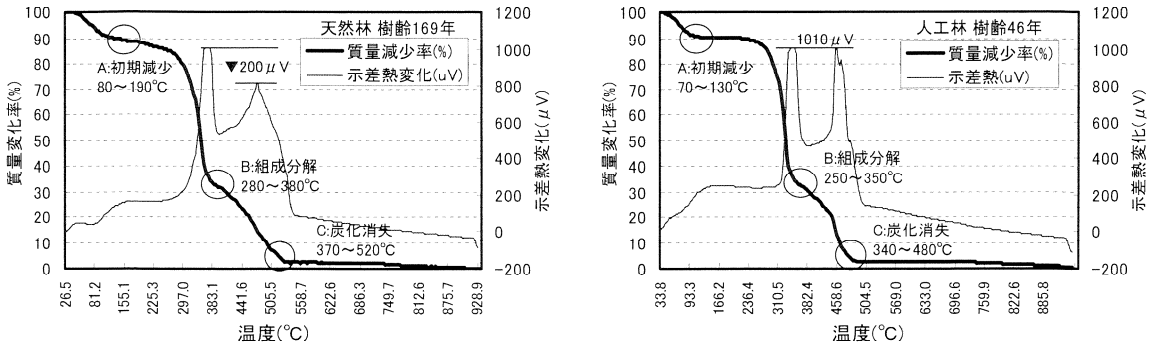


Fig. 2　こけら材の示差熱・熱重量分析結果の比較（左：N169 天然杉　右：A46 人工杉）

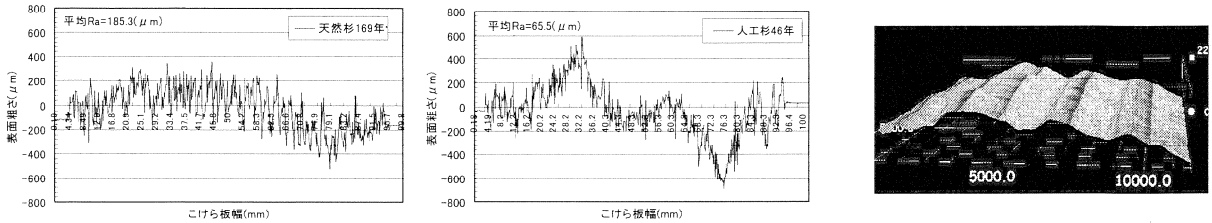
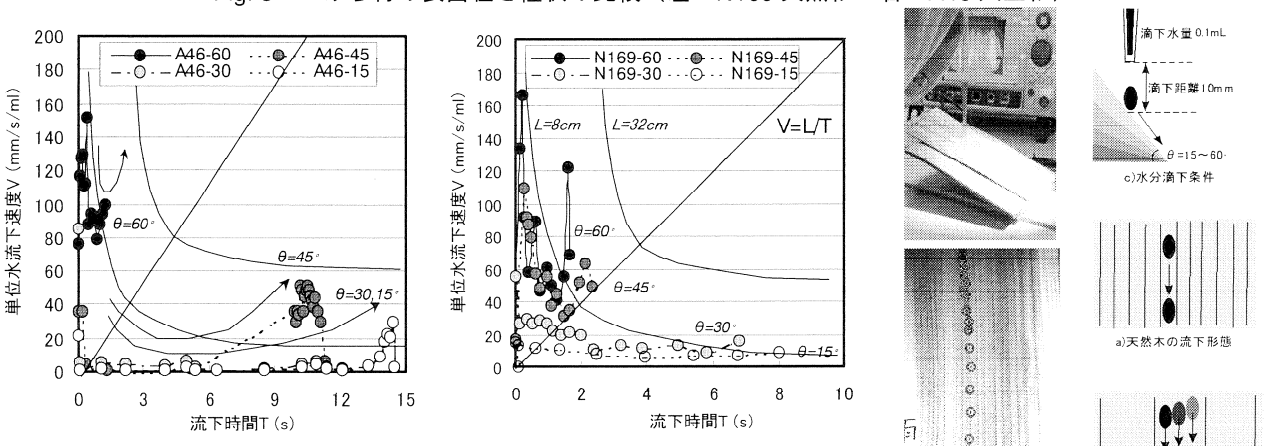


Fig. 3　こけら材の表面粗さ性状の比較（左：N169 天然杉　右：A46 人工杉）



a)雨水の流下速度（左：（人工杉 樹齢 46 年，右：天然杉 樹齢 169 年）　b)流下試験状況

Fig.4　こけら材の雨水流下特性の比較

２．４　こけら材の雨水流下特性

Fig. 4 にこけら材の雨水流下特性の比較を示す。日本の気象通報では，直径 0.5mm 以上の水滴を雨と呼び，雨の直径は通常 0.1～3mm 程度であり，地上落下速度は毎秒 9m 程度としている。本実験では，傾斜角度を４段階(15,30,45,60 度)に自由に変えられる雨水流下装置を作製し，やや大きめの雨を想定して，ピペットで 0.1ml の水粒を設置面 10mm 上位より落下させた後に，雨水流下状態を高速度カメラ(分解能 24000 コマ/秒対応 Keyence VW6000)で測定し，雨水の流下速度，流下加速度を測定・解析した。結果，天然杉 a)では，角度によらず，雨水の落下直後に速度・加速度が最大となり，その後，徐々に緩やかになる傾向が確認された。一方，人工杉 b)では，天然杉 a)と同程度の雨量では雨水が流下せず，２～４倍の雨水が滴下され，年輪幅全体に覆われた程度に到達した時点で団粒状に流下した。流下特性に大きな違いがあることが確認された。人工材で天然林の流下特性に近づけるためには，雨水を接触界面で滑らかに流下させる技術的対処が必要になると考えられる。

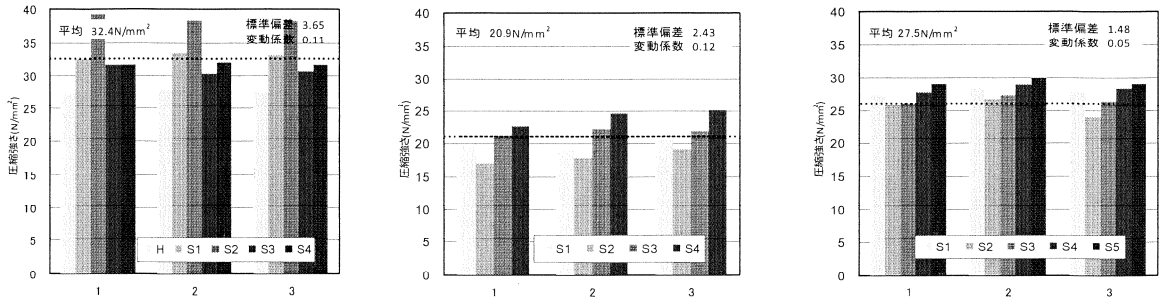
２．５　こけら材の力学特性

(1)切り出し試料による圧縮強さ

Fig.5 の圧縮強さは切り出し試料により人工杉(46,88 年)と天然杉(169 年)を比較した。辺材(H)・心材(S)を区分し，S1～5 は数が大きい程中心に向かう構成となる。人工杉 46 年を除き，樹齢が長い程，中心側の強度増加が大きく，組織の木質化の影響が生じる。また，人工杉 88 年は全体的な強度低下が確認されたが，天然杉は 169 年を経ても大幅な強度低下は確認されない。

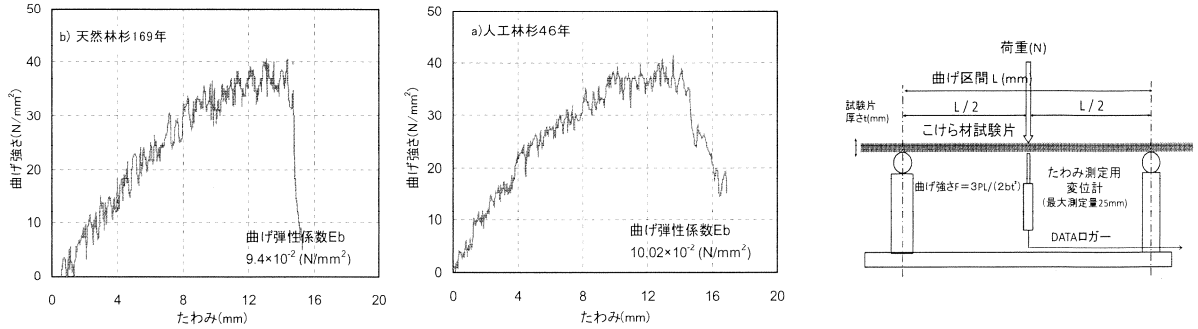
(2)こけら材による曲げ強さ

Fig.6 の曲げ強さは，３線式１点載荷の曲げ－たわみ曲線を測定した。こけら材は，表面が平滑ではなく，異方性があり，木材の弾性的性質が影響するといえ，荷重により局所的に応力が集中し，微細なひずみが生じて破壊が進んだ後，応力が再分配されて再び抵抗力を発揮するような荷重変形特性を有する。その傾向は，材種に限らず全体的に同様の傾向となった。最大曲げ強さは天然林が若干大きいが，材の生育環境や樹齢などの影響は現れにくいといえる。



a)人工杉約46年　　b)人工杉約88年　　c)天然杉約169年

Fig.5　切り出し試験体の圧縮強度



a)人工杉約46年　　b) 天然杉約169年　　c) 3線式1点載荷曲げ試験

Fig.6　こけら材の曲げ－たわみ特性

２．６　こけら台の屋外暴露試験

(1)こけら台試験体と試験条件

Table 5に使用材料と測定部厚さを，Table 6にこけら材の表面改質処理条件と試験項目を示す。全８種類のこけら材を使用し，８水準の塗装状態と銅板の有無の影響がみられるこけら台を作製し，表面および内部の長期耐久性に関わる実験・評価を行った。屋外暴露気象データは，気象観測装置により，2009年の12月から10年間に渡り測定を実施する。表面紫外線強度，表面温度，表面退色度は，２週間おきに測定を継続し，内部温湿度は自動測定とする。

(2)紫外線強度

屋根面への日差しの有無，日射垂直面の平均紫外線強度を月2回測定する。季節間の紫外線強度の違いを把握し，材の劣化度の評価要因とする。暴露開始時の2009年12月15日正午では，（日影，日向，日射垂直面）＝（696, 1056, 3590[μW/cm²]）であった。

(3)表面温度の計測

改質処理による表面温度の影響を継続的に測定する。施工時の2009年12月15日正午（天候晴れ，気温7度，湿度59%，日陰面）は，全試験体の黒色表面の平均温度が12.8度程度であり，その他は11度前後で安定していた。黒色の場合，日射により１分程度で10度程度温度があがり，熱吸収性が高い。夏期の変化は更に著しくなると考えられる。

(4)内部温度・湿度

Fig.7にこけら台の内・外部温湿度を示す。こけらの屋根面は，一定の厚さを有するため，表面と内部の温湿度環境が相違する[2]と考えられる。また，改質処理による表面色の影響が木材の熱的劣化に影響することが考えられる。従って，色差計(コニカミノルタCR-13)を用いて表面色の退色現象を確認しながら，表面と内部の温湿度を経年的に評価する。施工直後の12月は厳寒期であり，こけら台の内部湿度は，木材に一般にいわれる調湿作用の影響が確認され，平均湿度75％程度で外気の湿度変化の変動よりも振幅が大幅に抑えられる現象が生じていることが確認された。

(5)表面色の計測

Fig.7にこけら台の表面色の退色特性（初期値）を示す。色彩計によりJIS Z 8721のL*a*b*表色系で評価した結果，材料の改質処理により明度L*が大きく相違している。以後の経年変化により，明度値が低下すれば，汚れ値が増加したものとして評価が可能となる。また色相を彩度を表すa*,b*値の絶対値が小さくなる場合，無彩色に移行し退色現象が生じていることが評価できる。

(6)示差熱・熱重量分析

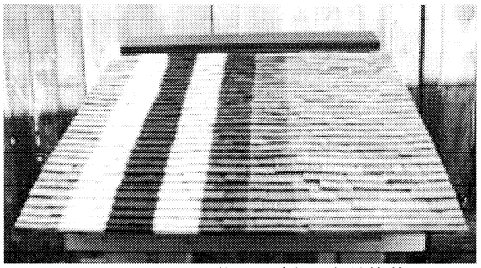
熱劣化が進行するにつれ，木質成分の流出が顕著になる[3]と考えられる。この場合，リグニンやヘミセルロース等の溶出成分の残留度に差が生じる可能性があり，結果として，熱重量変化等に影響を与える。初期値を比較対象とし，半年ごとの暴露試験片のデータを取得すると同時に，促進紫外線劣化試験を行ない，暴露試験と促進試験との相関性を分析する

Table 5　使用材料と測定部厚さ

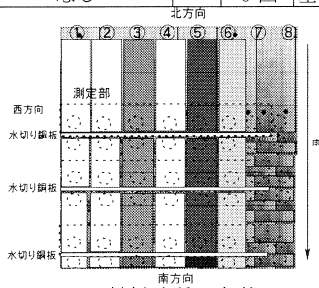
記号	種類および屋根厚／セル深さ(mm)	
As46	秋田杉　樹齢約 46 年	39 / 17
As90	秋田杉　樹齢約 90 年	41 / 18
As170	秋田杉　樹齢約 170 年	37 / 20
Ak50	秋田栗　樹齢約 50 年	37 / 19
Ms35	宮崎杉　樹齢約 35 年	51 / 24
Ms80	宮崎杉　樹齢約 80 年	43 / 22
S80	秋田さわら　樹齢 80-年	35 / 17
S40	秩父さわら樹齢約 40 年	----

Table 6　こけら材の表面改質処理条件と試験項目

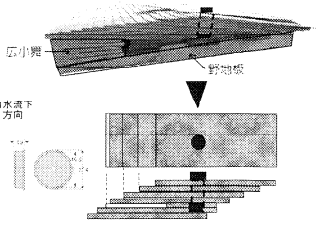
No	種類／塗布回数	色	回数	効果
1	高撥水ｼﾘｺﾝ系	ｸﾘｱ	２回	ｼﾛｷｻﾝ結合基無機ｼﾘｺﾝ溶液の撥水対策
2	高耐久ｱｸﾘﾙｼﾘｺﾝ系	白	２回	ｱｸﾘﾙ含有ｼﾘｺﾝ結合による紫外線対策
3	無・有機ｽﾃｲﾝ系	黒	ｸﾘｱ/黒	防カビ効果と黒化による熱吸収検証
4	無・有機ｽﾃｲﾝ系	白	ｸﾘｱ/白	防カビ効果と白化による反射対策
5	柿渋液	茶	４回	柿ﾀﾝﾆﾝによる防腐対策
6	木酢液	茶	４回	ﾘｸﾞﾆﾝ，ﾌｪﾉｰﾙ成分塗装による防腐対策
7	なし（銅板水切り）	---	０回	銅板水切りの蓄熱影響検証
8	なし	---	０回	基準試験体



a)こけら葺き屋根の改質状態

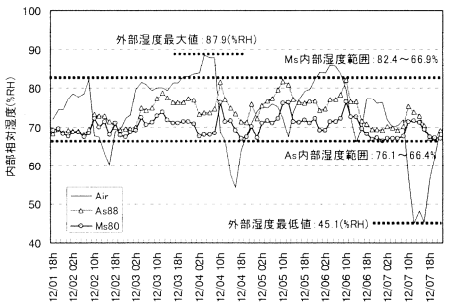


b)材料改質の条件

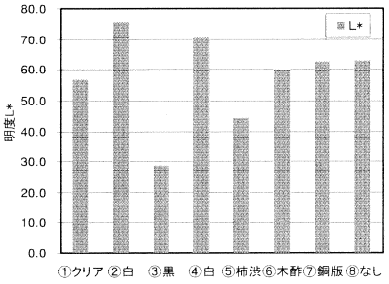


c)内部温湿度セルの埋め込み

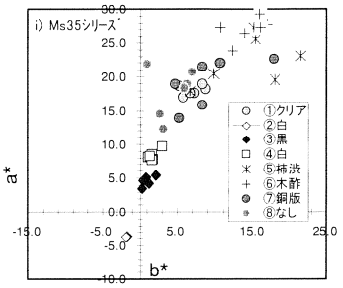
試験項目	内容
屋外暴露気象データ	2009 年 12 月～2020 年 1 月（暴露期間：10 年間）の天候，風速，雨量の日測定
こけら表面紫外線強度	屋根面（日差しあり・なし）＋日射垂直面の平均紫外線強度(μW/cm2)／月２回測定
こけら表面温度	赤外線放射温度計を用い，材料改質部分および銅板の蓄熱の影響を表面温度より評価
こけら表面退色度	色彩計(CR-13)を用い，JIS Z 8701 表面色 XYZ 三刺激値より L*a*b*表色系に変換し評価
こけら内部温湿度	こけら屋根内部および外部の温度(℃)・相対湿度(%RH)を 12 回／24 時間自動測定
こけら表面水分量測定	電気伝導率評価式水分計を用い，気象状況を考慮した保水状態を水分量で測定・評価
木材組織劣化度	示差熱・熱重量分析を用い，紫外線等劣化による有機成分の熱的抵抗性を評価



a）内外部湿度履歴(厳寒期 12 月)



b)色彩特性(L*値)



c）色彩特性(a*,b*値)

Fig.7 こけら台の内・外部温湿度と表面色の退色特性（初期値）

３．まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

1) こけら材の密度・年輪数の相関は明確ではない。
2) こけら材の伝統的な作製手法は木質繊維の破断を抑える可能性があり，収縮に伴う反りが生じにくい。
3) 天然材の表面粗さ値は，人工材よりも大きく細かな振幅が繰り替えされる断面形状を有する。
4) 天然材の雨水流下速度は，人工材よりも速いため，雨水の滞留が生じにくい。
5) 人工材の樹齢は，力学特性に影響を及ぼす。こけら材の曲げ特性の場合その影響は抑制される。
6) 人工材の熱的抵抗性は，天然材よりも若干低下し，材の耐久性に及ぼす影響が示唆された。
7) こけら台の内部湿度は，外気の変動よりも小さく変動し，調湿作用が確認された。
8) 改質処理は表面温度に影響を及ぼし，黒色表面は最も温度が高なり，季節・日射状態の影響をうける。
9) 改質処理により，色彩特性が変化し，汚れ度と耐色現象を確認することができる。

参考文献

1)日本木材学会，木材の科学と利用技術Ⅱ，1991
2)木村他：茅葺屋根の夏期の熱的特性，日本建築学会，1982
3)布村他：木質材料の難燃化処理の研究，木材学会誌，1968

謝辞

本研究の実施に際し，京都府文化財保護課鶴岡典慶氏，熊谷産業熊谷秋雄氏・磯和亮治氏，宮崎県木材利用技術センター有馬孝禮所長，伝匠社石川工務所，菊水化学工業，エスケー化研および木羽割葺伝承技法技能士の雲雀佐太雄氏関係各位に多くの協力を頂いた。本研究は，科研費基盤(A) (文化財建造物の保存に必要な木材及び植物性資源の安定確保の基礎的要件に関する研究：代表山本博一)，工学院大学総合研究所研究費(伝統的建造物の維持保全に資する資材改質技法の開発：代表田村雅紀)により実施され，清永美奈子氏(本学・田村研卒論生)，高塚里美氏(本学・後藤研院生)，田揚裕子氏(本学・村上研院生)に多大な協力をいただいた。

4．総合研究所一般研究報告
（個人研究）

貴金属コロイドを用いた感染症の迅速診断法および触媒開発

共通課程教授
渡部正利

【1】序論　現在報告されているPdコロイドは、粒径が10nm以下のものが多い。もしイムノクロマトの材料で活躍している金コロイドの様に、40nm程度の粒径のPdコロイドを合成することが出来れば、イムノクロマトの検査キットのマーカーとして利用出来るかもしれない。現在マーカーとして利用している金コロイドの色はワインレッドである。バックグラウンドには薄いピンク色になるので、見分けにくいといった欠点がある。もし黒色のPdコロイドをマーカーとして利用することが出来たら、バックグラウンドが白なので見やすくなり、抗原のあるなしを判断しやすくなる。本研究では、新規Pdコロイドの合成を行い、Pd標識抗体を用いた抗原抗体反応の凝集テストを行い、Pdコロイドのマーカーとしての利用の可能性を検討した。

【2】実験方法　新規コロイドの合成としては、還元剤の種類や添加量、操作方法を変化させた時の粒径変化を検討した。還元剤は、17種について検討した。操作は、三角フラスコにK_2PdCl_4、各還元剤、0.5N－KOH、H_2Oを入れ、オートクレーブにかけた。そして、合成したPdコロイド溶液を透析またはエバポレーター濃縮をしてTEM測定、またはXRD測定を行った。TEM像、XRD測定で得たピークの半値幅から粒径を算出した。これらの新規Pdコロイドとウサギ由来のカンジダ抗体溶液の複合体をつくり、カンジダ抗原またはカゼイン－リン酸溶液で希釈したヤギ由来の二次抗体を加え、200倍のUSBデジタルマイクロスコープで凝集を観察、撮影した。実験直後と、数日後の様子を比較した。

【3】結果と考察　新規コロイドの合成では、還元剤の添加量を変化させると粒径が変化するという事を確認出来たが、沈殿を生じた還元剤もあった。本研究で使用した還元剤は保護剤を兼ねているので、還元剤の量を減らすと保護能力が弱くなる。つまり粒径が大きくなり凝集が起きやすくなる。PVP、ピロガロール、N-アセチルD-グルコサミン、グリシンでは予想通りの結果となった。還元剤添加量が10mlの時に57.8nmという大きな粒径のPdコロイドを得る事が出来、還元剤添加量が20mlの時には、沈殿が生じた。このコロイドにNaClを用いた凝集テスト（塩析）、抗原抗体反応の凝集テストを行った。NaClによる凝集テストではある量以上のNaCl溶液添加で凝集が観察出来、タンパク質はPdコロイドの保護剤となりうることが分かった。抗原抗体反応の凝集テストでは、Pdコロイドにカンジダ抗体を付け、カンジダ抗原溶液を入れると予想通りに凝集が観察出来た。以上の結果から、還元剤にPdコロイドは、イムノクロマトマーカーとして有望であることが分かった。

大学院教育における数式処理の利用

共通課程(数学)　教授
牧野 潔夫

この報告書は工学院大学工学専攻科の『応用関数解析特論』の講義で数式処理ソフト maxima を利用した内容の報告である

講義について

昨年度（平成 20 年度）と同様用内容は直交多項式の一般論と直交多項式による関数近似（いわゆる Lagrange 補間）および近似多項式を積分してもとの関数の積分の近似積分を求めるもので昨年度は講義で例示する問題例を maxima の demo ファイルで作ったが今回は html ファイルで作った。Demo ファイルは途中のデモを実行するにも初めから行わなければならないが html file で作ればどの箇所からも始めることで使い勝手は格段に良くなった。ただ時間の関係から demo ファイルを全て書き直していないのが残念である。

講義内容は昨年度と同じなので実行結果を表示する。

(%i1) load(orthopoly);

(%o1) C:/PROGRA~1/MAXIMA~2.0/share/maxima/5.15.0/share/orthopoly/ortho¥poly.lisp　%直交多項式の自作プログラムをロード%

(%i2) l5:laguerre(5,x);　%Legendre 関数のデモを飛ばして Laguerre 関数のデモを行う

```
                    5          4          3
                   x        5 x        5 x          2
(%o3)            - --- + ---- - ---- + 5 x   - 5 x + 1
                   120       24         3
```

(%i3) l11:laguerre(11,x);　%l5 は 5 次の l11 は 11 次の Laguerre 関数

```
          11            10          9          8          7          6          5
         x           11 x        11 x       11 x       11 x       77 x       77 x
(%o3) - -------- + ------- - ----- + ----- - ----- + ----- - -----
        39916800    3628800    72576     2688        168        120        20
                                                    4          3          2
                                                 55 x       55 x       55 x
                                              + ----- - ----- + ----- - 11 x + 1
                                                  4          2          2
```

(%i4) integrate(l5*l11*exp(-x),x,0,inf);

(%i5) 0　%直交性が示された。

大学の数学教育における挿図教材の開発と活用の研究

共通課程　准教授
北原　清志

われわれ研究グループは数式処理システム（Maple, Mathematica, Scilab, Maxima）のマクロパッケージで，LaTeX 文書に図を挿入するためのソフトである KETpic を開発してきた．KETpic を用いると教育的に効果のある挿図教材を作成することができるがその主な特徴は，(1)描かれる図は単色線画なので，プリントして配付するという使い方に適している．(2)CAS を用いているので KETpic が描く図は精度が高く，学生にとって数学的な法則性を推論し易い．(3)KETpic に備わっている多くの関数を用いれば，2 次元図乃至 3 次元図の多様な変化形を描くことができる．などが挙げられる．

適切に工夫された挿図教材は，学生にとって，数学的概念を明確に理解するために大きな役割を果たしているということが，KETpic を用いて日々の教材作成を行う中で意識されてきた．2008 年，我々は図入り教材に関するアンケートを日本国内の５６高専，２３大学の数学教員に対して行った．その結果，先生方が，3 次元図を挿入した教材は使いたいが作るのが困難であると感じている傾向を読み取ることができた．本研究では，KETpic を用いて描いた 3 次元図を含む教材を作成し，授業の中で活用し併せて学生へのアンケートを実施した．教材の提示方法として印刷配布教材とプロジェクタによる提示という 2 方法を併用した．これらを併用するメリットはプロジェクタによる豊富で分かり易い図の印象が印刷教材として手元に残り，学生にとって反復学習する機会を与えられることである．この目的を実現するために印刷教材の図はプロジェクタの図の一部をそのままの形で用いている．この教材の目的は 2 変数関数の全微分の概念を理解させることである．z=f(x,y)によって与えられる曲面 S と点 Q(a,b,f(a,b))における S の接平面を考える．偏微分係数 fx(a,b)について述べる為に，曲面 S と接平面とを方程式 y=b で表わされる平面で切断した切り口の図を示す．さらに，点 Q の近傍を十分に拡大した正確で適切な図を描き，f(x,y)の全微分の式 dz=fx(a,b)dx+fy(a,b)dy が図形を見ることによって自然な形で理解できるように工夫した．

"Educational Meanings of Printed Materials with Three Dimensional Figures
---With the Use of KETpic to Insert Figures into LaTeX Documents---"
Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education, RISC, Castle of Hagenberg, Austria. July 11-13,2009.（2009 年 7 月 11 日発表）

「全微分に関する図入り教材の作成例とその研究授業報告」，京都大学数理解析研究所講究録 1674「数式処理と教育」，pp.132－145，2010 年 1 月

確率過程に対応するFeynman経路積分の研究

共通課程　教授

熊ノ郷　直人

1948年R. P. Feynmanは Schrödinger 方程式の解を経路積分の形で表現した。Feynmanは時間分割近似法を用いて、経路積分とはすべての経路に関する新しい和であると説明した。さらに Feynmanは一般的な汎関数に対する経路積分を考え、経路積分と汎関数微分をもつ経路空間上の新しい解析を提案した。しかし1960年、R. H. Cameronは経路積分の測度が数学的に存在しないことを証明した。こうした数学的不備にもかかわらず、経路積分はHamilton形式の量子力学にLagrange形式の量子力学という別の新しい視点を与え、量子力学の発展に貢献してきた。また今日、確率論ではGauss過程のWiener 測度のもとで、経路空間上の解析としてMalliavin解析が成功している。

こうした点から私は、測度の代わりに時間分割近似法を Gauss 過程に適用し、Malliavin 解析とは別の経路空間上の一つの解析として、経路積分と汎関数微分が数学的に存在する一般的な汎関数のクラスを構成した。この汎関数のクラスは、基本的な汎関数を含み、和、積、平行移動、線形変換、汎関数微分という演算に関して閉じている。このため、経路積分可能な汎関数の例を自由に創ることができる。さらに、このGauss過程に対する経路積分において、極限やRiemann-Stieltjes 積分との順序交換定理、微分積分学の基本定理、平行移動や直交変換不変性、汎関数微分による部分積分やTaylor展開が成立することを証明した。

【口頭発表】2009年6月24日Hannam大学（韓国）、7月20,21,22,23日TIFR-CAM（インド）、10月5日東京理科大学、10月21日関西大学、2010年1月9日中央大学、1月18日Wales Swansea大学、2月17日Imperial College London（英国）、3月1日日本大学、3月10日Potsdam大学（ドイツ）。

【発表文献】

1. Path integrals for Gaussian processes as analysis on path space by time slicing approximation, Integration: Mathematical Theory and Application 1 (In Press), 253-278.

2. Smooth functional functional derivatives in Feynman path integrals by time slicing approximation, More progress in Analysis, World Scientific Publishing (2009), 429-438.

国際インターアクティブポータルサイト

共通課程　外国語科　准教授

ブルック　セバスティアン

An international, interactive web portal for students studying English

Sebastian Brooke, Foreign Languages, Kogakuin University

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.

2007 saw the first stage of development completed 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. The next stage 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 have been held at several universities in Thailand and in 2009 students studying at language centers in New Zealand were also introduced to the portal site.

ブラジル国、米国における剣術流派の普及についての基礎的研究

—ブラジル移民による剣術流派の普及—

共通課程　保健体育科　教授
数馬　広二

1．はじめに

剣術流派は江戸時代場幕末期に 500 流派存在したといわれる。明治維新後、多くの流派が消滅する中、直心影流を中心に撃剣興行が開かれたことや、学校教育で剣道が正課として採用されるなどして、江戸時代以来の剣術流派の文化が継承された。明治 41 年（1908）、ブラジル国へ向かう移民船「笠戸丸」に乗船した芳賀徳太郎（愛媛県警察師範）らが剣道具を持ち、ブラジル国における剣道を植民地（コロニア）等で普及した。今研究ではサンパウロ市にある、Museo Historico da Imigrasao Japonesa（日本移民博物館）、Museu Paulista（パウリスタ博物館）での調査、および小林ルイス眞登氏らへのインタビューを通して、101 年前に海を渡った剣術流派及びその文書の存在の可能性を探った。

2．　剣術流派・剣道関係文書の調査

1）Museo Historico da Imigrasao Japonesa（日本移民博物館）：

・機関誌『O Cidadao　市民』第 2 期第 11 巻（1927.6.1 伯国サンパウロ州・聖州義塾発行）
①口絵に「聖州義塾剣道部」の写真。②聖州義塾剣道部の設立（小林美登利原稿）

・『第二百五回　りおでじゃねろ丸』移民原簿（1933 年 8 月）に「武具竹刀製造　池田茂（兵庫県）」の氏名を確認。

・「モンテ村行事」（ブラジルへ向かう移民船中の日程　3 月 12 日午後に剣道大会）

・1936 年『武徳』第 1 号（伯国柔剣道連盟発行）：起倒流柔術免許・福岡茂次郎（51 歳　イピチンガ駅マリコ植民地）、鹿島真揚流柔術師範小川龍造（ほねつぎ・聖州エスツダンテ街）

・「ウニオン青年団　剣道　優勝旗」、「聖州義塾で使用された剣道具（面、小手、胴、）」
「ソロカバナ線エスピオン駅日本人会青年団で使用された戦前の竹刀」

2）個人所蔵文書：

古本静（1893-　山口県下関出身　神陰流薙刀　16 歳で免許皆伝　明治薙刀三名士の一人）

3．日系ブラジル人へのインタビュー

リンス・マルビア地方の植民地（コロニア）に北辰一刀流の剣術道場があった。パラナ州ロンドリーナでは竹胴で剣道稽古が移住者同士の交流として行われた。日本人としてのオリジナリティーを維持する教育手段として剣道が行われた。（戸井田九二寿氏・本田文男氏）

氷海船舶の小氷片密集水路航行時抵抗評価手法の開発

機械工学科　准教授
金野　祥久

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が航行することが頻繁にあり，この場合，水路中に砕氷片が密集した小氷片密集水路（brash ice channel）が形成されることがある．バルト海航行船舶の認証規則（Finnish-Swedish Ice Class Rules）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．本研究は，氷海船舶の brash ice channel 航行時の抵抗を評価することに焦点を当てて研究した．

本研究では，これまでに我々のグループが開発してきた物理ベースモデリングに基づく解析手法を改良し，マルチコア並列計算機を用いた計算規模の拡大と高速化に取り組んだ．また改良された解析プログラムを用いてパラメタサーベイを行い，氷片の配置状況，流体力，摩擦係数などのパラメタが抵抗に与える影響を調査した．

本研究の成果として，本研究で開発した解析手法により 13 万個程度の氷片を配置した解析が可能となったこと，また並列計算技術により解析時間の短縮に成功したことが挙げられる．2009 年度の段階ではまだ実海域の状況を模擬するには至っていないが，大規模並列計算を行うことにより，近い将来に実海域と同等の氷片数，氷片サイズの解析を行う見通しが得られたと考えている．またこれに加えて，氷片を不規則に初期配置するための手順を開発した．

パラメタサーベイの結果，特に流体力の影響が大きく，それに対して氷片の配置状況や，遠方の壁の存在，摩擦係数の影響などは相対的に小さいと分かった．現時点までの解析では流体力の評価に粗い近似を用いているため，今後は特に流体力の適切な評価方法を検討する必要がある．

本研究の成果は下記の論文にて発表している．

1. 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　第 10 巻（2009），pp. 49-56.
2. 金野祥久，齋藤耕，船舶のチャ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　第 25 巻（2009），pp. 202-206.
3. Akihisa Konno, RESISTANCE EVALUATION OF SHIP NAVIGATION IN BRASH ICE CHANNELS WITH PHYSICALLY BASED MODELING, Proceedings of the 20th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (2009), CD-ROM.
4. Akihisa Konno and Osamu Saitoh, Preparation method of numerical ice channel and its evaluation for simulation of navigation in ice, Proceedings of the 25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice (2010), pp. 154-159.

モデルベースド手法による制御システムの異常検出

機械システム工学科　准教授
濱根　洋人

適応制御とロバスト制御の理論的枠組みは，それぞれ1980年代および1990年代に完成し，産業界への応用も数多く報告されてきている。これはマイクロプロセッサやセンサの組み込み技術が目覚しく発展して，従来よりも複雑な制御プログラムを実装できようになった理由による。その反面，組み込みシステムの高度化は，制御システムを構成するセンサや制御駆動部の信号系統が複雑になり，これまでよりも各部の同期性や制御演算の整合性が求められるようになった。大規模化と複雑化したシステムに対してフィードバック制御性能の高精度化だけではなく，システム異常時に安全な状態へ収束させる制御融合技術と安全確保を保証する制御理論が新しく必要となる。

本研究は、多変量系の相互干渉と複雑化した系統に対する異常検出を扱う。一般に、産業界では相互干渉を無視して調節計を設置して機械を運転している。一方、多変量系をモデル化して総合的に最適化を図ることにより、１．省エネ、２．手動介入を必要としない、３．機械が製造する製品の高品質化 が得られる。そこで、本研究は多変量系に対してモデルベース手法に基づくオブザーバによるシステム異常検出と安定性を明らかにした。異常検出には、モデル出力と制御出力の差である残差を求める必要がある。しかし、モデルの初期状態とモデル化誤差の影響により正確な残差が得られない。オブザーバにより初期状態とモデル化誤差を相殺して系のダイナミクスに追従した残差を発生させることができる。また、オブザーバに高次系を含ませることにより、装置の稼働中における不適切なハンチングに対してループの位相を制御することでハンチングを相殺することが可能となる。オブザーバにより故障した信号を擬似的に生成できるためセンサレス制御への展開も可能である。提案手法は、プロセス系、メカトロニクス等のモーション系の実機を用いて有効性を示した。研究成果は、国際的な論文誌であるエリゼビア出版等の査読論文に掲載した。また、国内ではオムロン、山武、東邦電子の３社と共著で、産業コントローラの最新動向と最新技術について出版した。基礎概念はコロナ社の教科書として出版した。

単発放電による局所結晶方位制御のための基礎研究

機械創造工学科　教授
武沢　英樹

製品の小型化，高密度化のためには精密微細加工法の確立が重要である．従来の微細加工では半導体製造プロセスに代表されるように，加工対象により加工特性が大きく影響を受ける．そのため，通常は結晶方位が明らかな単結晶材料に対してその加工が行われてきた．機械部品に用いられる通常の金属は，図１に示すように多結晶材料であるが個々の結晶粒自体は単結晶と見なすことができる．本研究は，一般的に用いられる多結晶金属材料の各結晶粒の方位を特定し，その結晶粒方位に対して局所座標を定義し，その方位を考慮した微細加工を行うシステムの構築を最終目標としている．必要であれば結晶方位の制御を行い，そこへ微細加工を行う．そのために，熱エネルギ加工の一つである放電加工を用いる．初年度は，放電加工による結晶制御の可能性を見極めるために単発放電による熱影響の調査と母材温度制御の影響を調べた．

微細放電加工には，微細な電極を準備する必要がある．本研究では，単発放電で瞬時に微細軸を成形可能な瞬時成形法を用いている[1)]．これまで，単結晶シリコンに対する放電加工を実施し，その結晶方位によって加工速度や最小放電痕の生成状態が異なることが調べられている[2)]．その理由として結晶方位により熱伝導率が異なることがあげられている．これより，放電中および放電終了後の母材温度変化が加工特性あるいは結晶粒制御に重要であると考え，ペルチェ素子を利用して材料温度を制御できる実験装置を試作し，各種条件における単発放電痕周辺の結晶方位の観察を行った．単発放電電源は従来開発しているものを使用した[3)]．試作装置を図２に示す．ペルチェ素子上に工作物を設置可能である．素子への入力電圧および極性の入れ替えにより材料の冷却や昇温が可能である．加工対象として，単結晶シリコンウエハ（t=500μm），銅箔（t=200μm），アルミ箔（t=100μm），チタン箔（t=200μm）を用い比較した．その結果，ペルチェ素子で制御可能な母材温度の差よりも材料特性による影響が大きいことがわかった．ただし，シリコンウエハにおいては，数十度の母材温度変化でも放電痕形状およびその周囲への温度影響層に差が見られたことから，単結晶部への母材温度制御は放電加工特性に影響を与えることが分かった．

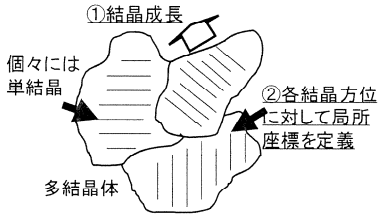


図１　多結晶の模式構造

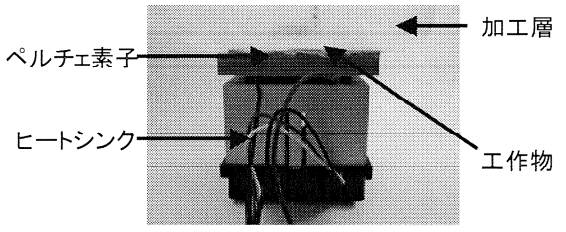


図２　ペルチェ素子を利用した温度制御装置

1）武沢英樹ほか，単発放電による微細電極の瞬時成形（１報），精密工学会誌，pp.1299-1303，Vol.67, No.8(2001)
2）橋本敬史ほか，単結晶材料の放電加工における異方性の影響，2007 年度精密工学会春季大会，pp.501-502(2007)
3）武沢英樹ほか，低融点合金を用いた単発放電に関する研究（第１報），電気加工学会誌，Vol.42, No.99, pp.5-11(2008)

多孔質金属材料の作製と成形

機械創造工学科　教授
塩見　誠規

多孔質金属は内部に多数の空孔を有し，空孔の割合が増加するにしたがい様々な特性が表れる．例えば，変形特性では空孔の増加とともに強度は低下するが，低い荷重で大きく変形して衝撃吸収性能を示すようになり，熱的特性では空孔により見かけの熱伝導率が低下して断熱性が高まる．また比重が大きく低下すると水に浮く軽量金属となり，さらに音を吸収する吸音特性も示すようになる．このような特性の変化は空孔の形状やサイズに依存し，現在では通気性を有する構造や，空孔サイズが 0.1mm～数 mm，気孔率が 90%以上のものなど様々な多孔質金属が製造されている．

近年自動車産業では環境負荷低減のため車両の軽量化が進められているが，事故時の衝突安全性を維持あるいは向上させながら軽量化を行う必要があるため，衝撃吸収性に優れた軽量構造部材の開発が強く望まれている．そこで本研究では，軽量かつ衝撃吸収性に優れた多孔質金属の自動車部品への適用を目指して，多孔質材料の作製と同時に型成形する加工方法について研究を行った．

多孔質金属材料の作製にはアルミニウム粉末と発泡剤を用いた．アルミニウム粉末に発泡剤を混合し，圧粉から加熱発泡，型充填までの行程を同一の装置で連続して行い，多孔質金属の作製と成形を同時に行った．実験装置は発泡剤を混合した粉末の側方押出しによる圧粉固化体作製部と，圧粉固化体を発泡させながら金型に押し込み成形する押出し発泡成形部とで構成される．圧粉固化体作製部では，コンテナ内にアルミニウム合金 A6061 粉末と発泡剤として用いる TiH_2 粉末の混合粉末を入れ，油圧プレスを用いて圧粉と同時に圧粉固化体を側方に押出す．そして，押出し発泡成形部において液相線温度以上に加熱された発泡ダイス内を通過させ，発泡ダイスからの伝熱により圧粉固化体を溶融，発泡させながら金型内へ押出し，型に充填する．

本実験装置を用いて，パイプを金型として粉末からの一連成形によりパイプ内に発泡アルミニウムを充填した結果，相対密度が 0.2～0.3 で分布する発泡アルミニウムの丸棒を作製することができた．さらに自動車部品への適用を考え，衝撃吸収性能について調べるために圧縮試験を行った結果，本方法でパイプに発泡アルミニウムを充填することによりパイプのみの状態に比べて衝撃吸収性能が向上することがわかった．

IV 型コラーゲン会合体を用いた抗血栓性ハイブリッド人工血管の開発

応用化学科　准教授
辛　英哲

【１】序論

人工血管は、生体内の病的な血管を置換するために用いられる、一種の人工臓器である。現在、一般的に用いられているのテフロン製の人工血管は生体内の劣化も少なく、生体内で異物反応、毒性、発癌性が少ないが、血栓の形成がみられる。血栓形成を抑制するため、テフロン製樹脂の修飾等試みられているが、血栓形成を抑制するには至っておらず、より生体内の環境に近い人工血管の作製が望まれている。

血管の内側に位置し、抗血栓形成能を担う血管内皮細胞はその直下に存在するIV型コラーゲンを主体とした基底膜に結合する。これまでに我々は、単離したIV型コラーゲン分子を単独で再会合し、生体内での形態と同様な網目状の会合体を得ることに成功している。そこで、我々は生体内環境を模した人工血管の作製を目標とし、その端緒として、IV型コラーゲン会合体上で培養した血管内皮細胞の構造と機能の検討を目指した。

【２】方法

ウシレンズキャプセルから酢酸溶液、アルカリ溶液を順に用い、IV型コラーゲンを抽出した。これら溶液を用いて会合体を作製し、血管内皮細胞の培養を行った。また、会合体の形成を行わず、培養時にそれぞれのコラーゲン溶液を添加した。さらに、IV型コラーゲン会合体上で培養した血管内皮細胞の形態を明らかにするため、抗アクチン抗体或は抗コネキシン抗体にて細胞の形態を観察した。

【３】結果と考察

酢酸溶液或はアルカリ溶液にて抽出したIV型コラーゲン溶液を用いた会合体上では、I型コラーゲン会合体上よりも増殖が亢進した。また、会合体の形成を行わず、培養時IV型コラーゲン溶液を添加した場合でも、増殖が亢進した。特にアルカリ溶液にて抽出したIV型コラーゲンによって増殖は著しく亢進した。これらの結果は、それぞれのIV型コラーゲン溶液中に内皮細胞の増殖を亢進する因子の存在を示唆しており、今後、この因子の同定を進める。また、血管内皮細胞はIV型コラーゲン会合体上では細胞間に間隙無く生育するのに比べ、I型コラーゲン会合体では細胞間に間隙が見られた。生体内では、血管内皮細胞が血管壁を間隙無く覆っていることが血液の流出を防ぎ血栓形成を防ぐのに重要である事から、IV型コラーゲン会合体上での内皮細胞の形態は生体内に近いものであると推察される。また、血管内皮細胞の形態と機能に関与するギャップジャンクションについて検討するため、蛍光標識した抗コネキシン抗体を用いて、ギャップジャンクションの観察を試みた。しかしながら、抗体の特異性が低いため、成功していない。今後、抗コネキシン抗体の選別を行い、再度ギャップジャンクションの形成について検討する。

高等植物の代謝制御に関する研究

応用化学科　講師
杉山　健二郎

高等植物では、アミノ酸などの窒素同化産物は、栄養として生体物質の原料となるだけでなく、窒素代謝関連遺伝子の発現や翻訳産物の機能を制御するためのシグナル因子として機能することが知られている。このような代謝産物をシグナル因子とした窒素代謝制御機構は、高等植物がより効率的な窒素の同化・利用を行う上で重要な機構であり、植物の生長や物質生産に直接的に関与すると考えられる。しかし、この窒素情報の受容から代謝制御に至るまでのプロセスは、現在のところ明らかとされていない。本研究では、ゲノム解析の進んでいるシロイヌナズナを研究材料として、窒素代謝制御に関与することが期待される新規 ACT domain-containing protein（ACT1, ACT2）の遺伝子発現特性の解析を行うと共に、ACT1 破壊株および ACT2 破壊株の生育調査および代謝産物の生化学的解析を行い、シロイヌナズナ ACT1 および ACT2 の生理機能の解析を試みた。

シロイヌナズナ（学名：*Arabidopsis thaliana*）の葉から、5’, 3’-RACE 法により *ACT1* cDNA および *ACT2* cDNA を単離した。得られたシロイヌナズナ ACT1 および ACT2 の推定アミノ酸の配列情報から、両タンパク質ともに ACT ドメイン（アミノ酸結合領域）および葉緑体移行シグナルを有していることが判明した。次に、シロイヌナズナの各器官における ACT1 遺伝子および ACT2 遺伝子の遺伝子産物の蓄積量を、RT-PCR 法およびイムノブロット法により調べた。供試材料は、根、茎、葉、花、および長角果とした。その結果、ACT1 遺伝子の遺伝子産物は主に葉において蓄積が認められた。一方、ACT2 遺伝子の遺伝子産物は主に根および茎において蓄積が認められた。また、公開されている Salk 研究所のシロイヌナズナ T-DNA タグラインより、ACT1 遺伝子あるいは ACT2 遺伝子が T-DNA の挿入により破壊されている変異株を獲得し、各変異株の生育調査および遊離アミノ酸含有量の測定を行った。その結果、ACT1 破壊株は、ACT2 破壊株および野生株と比較して生育の遅延が認められた。また、ACT1 破壊株の幼植物中の遊離アミノ酸含有量は、ACT2 破壊株および野生株のそれらと比較して減少していることが分かった。特に、ACT1 破壊株中のグルタミン酸、セリン、およびグリシン含有量は野生株の約 50%に減少した。これらのことから、ACT1 遺伝子の破壊が窒素同化産物であるアミノ酸の代謝に影響している可能性が示された。

中国砂漠化地域における新規土壌改良技術の構築及び評価

環境エネルギー化学科　講師
酒井　裕司

1. 緒言

中国における乾燥地および半乾燥地は国土全体の約52%に相当し、砂漠化地域の面積は年々拡大している。砂漠化は北部および西部を中心に拡大し、土壌表面にNaを中心とした塩類が集積するために土壌の物理性と化学性に悪影響を及ぼし、植物の生育は困難な状況になる。また、中国ではエネルギー消費における石炭使用量の割合が高いが、脱硫装置や集塵装置のような大気環境対策が十分に進んでいない。そのため、SO_2と煙塵による大気汚染問題も深刻化し、呼吸器系の疾患による死亡率が高く、特に、農村地域では経済的な事情などにより、民生用に高硫黄含有率の低品位炭を使用しており深刻な問題となっている。

本報告では、低品位炭とバイオマスと脱硫剤により作製した燃焼と同時に脱硫可能なバイオブリケットの燃焼灰による砂漠化土壌改良評価を、土壌分析およびトウモロコシ生育状況から行う。

2. 実験内容

2.1 改良試験区：中国遼寧省郊外康平県において、石炭2種(紅陽二矿(S: 2.03%)、紅陽三矿(S: 4.05%))とトウモロコシの茎、$Ca(OH)_2$を混合し(Ca/S=2)、高圧成型したバイオブリケットの燃焼灰(以下、BB 灰)を 0wt%、0.5wt% (1.16kg/m^2)、1.0wt% (2.32kg/m^2)、2.0wt% (4.64kg/m^2)、3.0wt% (6.96kg/m^2)施用し(3 反復、60 区画)、アンモニア肥料を施肥した。更に、Field Ⅰ、Ⅲには、有機肥料(豚糞)を追肥した(3kg/m^2) (Field Ⅰ (BB 灰(紅二)＋有肥)、Field Ⅱ (BB 灰(紅二))、FieldⅢ(BB 灰(紅三)＋有肥)、FieldⅣ(BB 灰(紅二))。

2.2 分析方法：2008 年 5、7、9 月に採取した土壌を風乾後、2mm以下に篩い分けし、調整した土壌溶液(土壌：水＝1:5)の pH、EC を pH･EC 計(HORIBA、F-55)にて、土壌溶液中イオン濃度(Na、Ca、Mg、K)を ICP-AES(SII、SPS7700)にて、SO_4、Cl のイオン濃度はイオンクロンマトグラフ(Shimadzu、VP-10)にて、また HCO_3 と CO_3 はアルカリ度を用いた硫酸による滴定にて定量した。

3. 結果および考察

3.1 土壌の化学性評価：BB 灰施用量の増加に伴い、土壌 pH、Na、CO_3、Cl 濃度などは減少傾向を示し、Ca、Mg 濃度は増加傾向を示し、アルカリ化が軽減された。

3.2 トウモロコシ生育量評価：Field Ⅰ、Ⅱともに BB 灰施用量の増加に伴うトウモロコシの生育量の増加を確認できた(Fig. 1)。また、有機肥料の施肥による生産量の増加は確認出来なかった。

3.3 相関分析評価：Field Ⅰ、Ⅱの土壌分析結果(pH、EC、ESP、Na、Ca、Mg、K、CO_3、HCO_3、SO_4、Cl)、BB 灰施用量、トウモロコシ生育量において相関分析を行った。その結果、ESP は EC(-0.824**)、Na(-0.909**)と強い相関を示した(**:P＜0.01)。また、トウモロコシ生育においては、アルカリ化に起因している Na や HCO_3 のようなイオンの増加による pH、EC、ESP 増加は悪影響を与え、BB 灰中に含有している Ca、Mg など 2 価の陽イオンは Na との交換反応に寄与するため、良い影響を与えていることが示唆された。

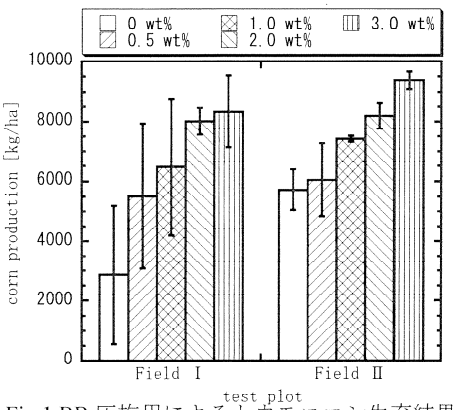


Fig.1 BB 灰施用によるトウモロコシ生育結果

4. 結言

土壌の化学性ならびにトウモロコシの生育結果から、低品位炭を用いた BB 灰における砂漠化土壌改良剤としての有効性を確認出来た。

パーフルオロカーボンスルフォン酸ポリマーの組成分布の解析

応用化学科　准教授
川井　忠智

本研究は、固体高分子形燃料電池(PEFC)や食塩電解に用いられているパーフルオロカーボンスルフォン酸高分子電解質膜(以下フッ素系電解質膜とする)の定量的組成分布解析法を確立し、材料の劣化機構解明を目標とする研究の基礎的検討である。食塩電解イオン交換膜やPEFCに使用されるフッ素系電解質膜は、高い化学的安定性と優れたイオン導電性が要求される。イオン伝導性、熱的安定性、物理的・力学的安定性、電気化学的安定性などは、相互に関連しており、材料の分子特性を反映している。分子特性は、平均分子量や平均組成などの平均値のみならずそれらの分布、すなわち分子間の不均一性、も存在する。不均一性の解析のうち、分子量分布の解析は、サイズ排除クロマトグラフィーを用い解析する試みがなされているが多くの問題が指摘されている。また、組成分布の解析は、熱抽出による試みが報告されたが十分な解析はなされておらず組成分布の決定には至っていない。機能性発現の機構や安定性の評価のためにも分子特性解析、特に組成分布、の手法の確立は重要である。しかし、実用研究が先行しこれら基本的分子特性の解析は十分になされてはいない。その原因の一つは、フッ素系電解質膜の主鎖中-CF_2-繰返単位による結晶の形成と高い化学的安定性のため、溶液的手法での分子特性解析を困難にしている点がある。

そこでまず、種々の混合溶媒について溶解性パラメータを計算した。これを元に、平均組成の異なる4種のフッ素系電解質膜の溶解性を検討した結果、室温条件にて膨潤させうる混合溶媒を6種見いだした。これらの組み合わせについて、60℃と80℃でポリマー試料を加熱溶解後PTFEメンブレンフィルタ3μmを用い濾過し、ろ液から溶解成分を回収した。その結果、2-(Perfluorohexyl)ethanol (PFHE) / N,N-dimethylformamide (DMF)、PFHE / N,N-Dimethylacetamide (DMAc)、PFHE / dimethyl sulfoxide (DMSO)の混合溶媒系が溶解温度による組成分別に有望であることが見いだされた。続いて、これら3種の溶媒系について溶媒混合比と溶解の温度依存性について検討した。60℃から180℃まで20℃毎の条件でポリマー溶液を加熱、PTFEメンブレンフィルタ3 μmを用い濾過し、ろ液から溶解成分を回収し溶解温度と回収率の相関を検討した。DMFは、高温で分解したためこの系では求められなかったが、PFHE / DMAc = 1 / 4、PFHE / DMSO = 1 / 4において、溶解温度の上昇に伴い試料回収率が増加し、かつ、平均組成によりその回収曲線は異なる結果が得られた。これら回収成分について、FT-IRにより組成解析を行った。その結果、低温ではイオン交換基の多い成分が溶解し、温度の上昇とともにイオン交換基の少ない成分、すなわち主鎖中-CF_2-繰返単位の多い成分が溶解していることがわかった。

以上より、溶解温度の変化により組成分別の可能性が示唆された。昇温溶解分別カラムクロマトグラフィーなどによる組成分別の可能性が見いだされ、定量的組成分布の決定も可能と考えている。

多くの分散電源を受入れることのできる配電系を実現するための限流器の適用研究

電気システム工学科　教授

荒井　純一

近年の環境対応として太陽光発電を代表とする分散電源が増加しつつある。これらは配電系統に接続される。すると配電系統には従来は一般家庭などの受動負荷しかなく，電流は配電変電所から供給されるのみであったところに電源がつながるので電流の流れ方が変わってくる。そのように分散電源が多く配電系統につながると，特に事故時の電流が従来より大きくなるという課題が出てくる。つまり変電所からの分と分散電源からの分が重なる。そこで本研究では，この配電系統の事故電流を抑制する限流器を対象として，従来にない新しい方式の限流器を提案し，その基本特性を解明することを目的とした。

限流器にはいくつもの種類があるが，高速性を有し，しかも従来からある回路・手段を用いて実施できる方式として，ダイオードをブリッジ接続し，その間にリアクトルを接続する整流型限流器に着目した。そこにサイリスタ制御回路を組み込むことにより，通常使用時の電圧変動の課題を解決して同時に事故時の電流を抑制する方式を考案した。そしてシミュレーションによりその動作を解析し，課題の確認，課題の解決の確認，事故時の限流効果の各種パラメータをふっての確認等を行った。

ここで検討した限流器を用いれば，分散電源が多く接続しても，過大な事故電流が流れないように抑制できるので，配電系統にさらに多くの分散電源の接続を可能にする。

この結果は，2009 年 11 月にタイにて開催された日タイ合同シンポジウムで発表し，さらに 2010 年 3 月の電気学会全国大会にて発表した。

脳情報通信技術による対話認知解析

情報デザイン学科 准教授
田中 久弥

文脈の意味的なミスマッチが引き起こす脳電位反応として N400 が知られている．本研究はこれらの実験方法に基づき，外国語の習熟度を客観的に評価する手法を提案する．日本語と韓国語は，主語，格助詞，動詞の語順が同じであり，また格助詞により自動詞か他動詞が決まる．日本語と韓国語はこの点で文法的に一致しており，この文法構造を利用することで，同じ構造の提示文を作成することができる．このとき，格助詞 “が(ga)”, ”を(wo)” に対応して自動詞か他動詞が決まる．格助詞と動詞の関係が一致する文を正文(congruity)，不一致の文を誤文(incongruity)とする．例えば，「電気を点ける(denki-wo-tsukeru)」という文は，「電気(denki)」＋「を(wo)」＋「点ける(tsukeru)」となる．この場合，誤文は「電気を点く(denki-wo-tsuku)」となる．「点く(tsuku)」は日本語で自動詞であり，文法に誤りがある(Figure 1)．日本語の助詞”が(ga)”に対応する韓国語の助詞は”이(i)”と”가(ga)”である．”を(wo)”に対応する韓国語の助詞は”을(ul)”と”를(lul)”である．提示文は日本語，韓国語それぞれについて，自動詞による文を 100，他動詞による文を 100 作成した．そのうち 30 を誤文に変換した．各語ともネイティブによるチェックを行った．提示画面の一例を図１に示す．提示文は１単語１秒の刺激間隔で提示され，３番目の単語の提示時の脳波が記録される(Figure 1)．

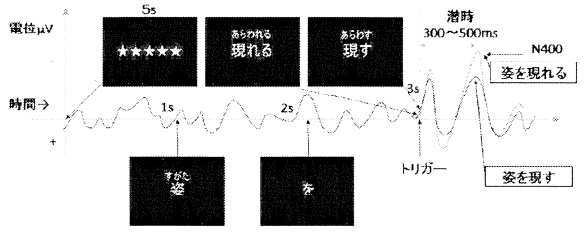


Figure 1: Presentation screen and measured N400

被験者は韓国語を母語とする韓国人留学生 7 名(Korean native)および日本語を母語とする日本人女性 1 名(Japanese native)とした．Korean native は日本語学習歴３年以上６名と６ヶ月１名である．日本語・韓国語共に誤文の方が正文に比べて N400 電位が増大した．これは誤文が文の処理過程において，刺激となっていることを示している．正文の処理に比べて誤文は文を統合する脳活動が必要とされるため電位が増大したと考えられる．一方，日本語より韓国語の方が，N400 が増大した．Cz 電極の場合それぞれ日本語は 0.67μV，韓国語は 1.18μV 増大した(Figure 2)．これは母語（韓国語）の方がより理解が容易であるから妥当な反応と言える．次に動詞の提示からボタン押下までの時間（ボタン反応時間）を比較した．被験者平均で，日本語の場合，正文 2.34 秒，誤文 2.61 秒となり誤文の方が長かった．また韓国語と日本語の比較では，韓国語 2.04 秒，日本語で 2.09 秒となり母語より外国語の方反応時間が長かった．これは母語と外国語の心的辞書(mental lexicon)へのアクセス時間の差と考えられる．一方，N400 の平均潜時(latency)を比較すると，日本語の正文 360ms に対して誤文 381ms，韓国語の正文;386ms に対して誤文 427ms であり，ボタン反応と同様に誤文の時に潜時が遅れることが分かった．しかしながらボタン反応時間は母語の方が潜時が長かった．実験後の聞き取り調査によると，日本語より韓国語の方が難しかったという意見があった．

これらの結果から，N400 電位と潜時は，日本語，韓国語でミスマッチ反応に対して増大する事が確認された．また母語に対して学習している外国語は，N400 電位が小さいことが確認された．

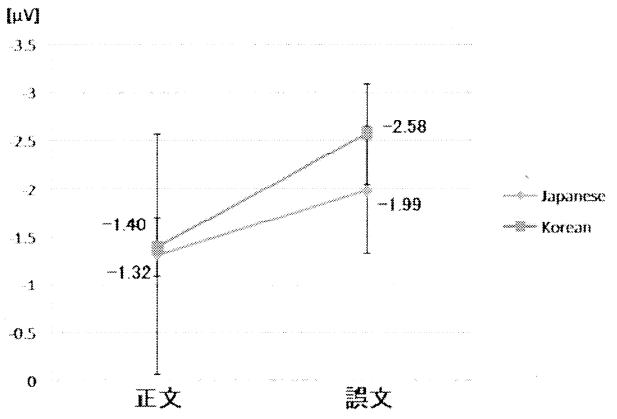


Figure 2: Averaged N400 potentials of seven Korean natives at Cz electrode

都市文化の象徴としての劇場の持続的再生手法に関する研究

建築都市デザイン学科　教授
澤岡　清秀

１．はじめに

欧州諸国において、劇場は都市の大小にかかわらず国中に広く分布しており、都市の文化を代表するシンボルとしての役割を担い、市民にとって重要な保存対象と考えられている。しかし、劇場には舞台機構の技術進化に伴う舞台上演水準の向上への要請、観客側の嗜好の変化による演目の変化への対応、防災的観点からの安全性能向上やバリアフリー化の要請などに応じて改修が必要になる。その場合、歴史的建造物の保存要請との間に微妙な均衡を保ちながら改修再生を行わなければならず、しばしば古典主義様式と現代建築様式という異なる様式の間に均衡を保つというデザイン上の課題を解決しなければならない。

本研究ではイタリアで、近年修復再生工事を行った歴史的劇場を数件選び出し、図面および各種改修にまつわる資料を収集した上で、現地調査を行い、改修を担当した建築家にインタビューを行い、「保存修復」と「改修再生」の両側面をどう解決したかを探った。調査した劇場は下記の５件。
１．スカラ座劇場（ミラノ）２．ヴェルディ劇場（ピサ）３．ダンテ劇場（カンピ・ビゼンツィオ）
４．フェニーチェ劇場（ヴェネチア）

本報告では紙面の都合から、以上５件のうちダンテ劇場の調査結果のみについて述べる。

２．イタリアの修復再生におけるインテルヴェントの手法

イタリアにおける歴史的建造物の修復再生（レスタウロ）においては、必ずしも建物の原状を「保存修復」するだけではなく、「インテルヴェント」と呼ばれる「機能蘇生のための改修改造」が重要な役割を担っている。これは機能的に時代遅れになった機能を補い追加することによって、歴史的建造物を「保存修復」しつつ「改修再生」するための設計手法である。イタリアには、現に上演活動が行われている劇場が約 1400 あり、そこには国家によって法的に規定された「オペラ財団拠点劇場」（13 件）を頂点とする階層がある。当然ながら上位の有名大劇場ほど歴史的価値の高い建物が多く原状保存への保守的な要請が強い。従ってここではインテルヴェントがより大胆に行われる可能性のある地方コムーネの小劇場を対象として、保存改修の実態を詳細に見ることとした。

３．ダンテ劇場の修復再生

そこでトスカーナ州フィレンツェ県のカンピ・ビゼンツィオ（Campi Bisenzio）にあるダンテ劇場(Teatro Dante)を取り上げた。ダンテ劇場は、1870 年、旧市街の町役場の前に、古典主義様式の正面ファサードをもつ劇場として創建され、それ以来、地域の文化的活動の中心として親しまれてきたが、その後、オペラなどの舞台芸術を上演する機会が減少し、1930 年代には専ら映画館として利用されるように改修され、舞台の奥行きもフライタワーも活用されず、映画用スクリーンが常時設置されるような状態で利用されていた。1990 年代後半になって、歴史的景観保存の運動と相まって、この歴史的建造物をもう一度地域の文化的活動の中心として再利用する機運がコムーネの中に醸成され、新しい時代に沿った多目的ホールとして改修する建築設計コンペが 1998 年～1999 年に行わ

れた。改修の目的は、演劇の公演も可能な中規模のオペラ劇場をつくることとされ、上演空間の汎用性、舞台装置の機能性、観客にとっての物理的・音響的・視覚的な快適性が中心課題であった。

コンペを制した建築家ウーゴ・ペルットの行った修復再生の要点は以下のようなものである。

(1) 正面ファサードは復原され、観客席部分のボリュームは保存されている。これはコムーネから与えられた条件であった。しかし、裏方と東側には大胆な増築が加えられている。(**写真１**)

(2) 外部に増築した部分は、その形態と材料によって、明瞭に古い既存部分とは分節されていて、異なる時代に付加された新しいボリュームであることを表現している。

(3) しかし内部においてペルットは大胆な空間構成の改変を行っている。新旧の縦断面（**図１・２**）を比較すると一目瞭然であるが、ペルットは、3 層の客席構造をワンスロープの客席構造に変更した。これに伴って、かつて１階にあった平土間部分はロビー・客用便所・オーケストラピットなどのサービスにあて、客席はその上の階（２階）にあたる部分に新たな床を造り、そこから３階床レベルまで緩やかに上昇するワンスロープに変更している。客席部分のボリューム（内部容量）は変更していないので、天井は以前とほぼ同じ高さで維持している。２階席・３階席の代わりに、側壁に２層のボックス席を設けている。これは伝統的なイタリア式劇場の形式を現代風に再解釈したもので、ボックス席の手摺り壁が側方反射面として音響的に役立つことも担っており、インテリアデザインとしてもワンスロープの客席空間に適度なアクセントを加えている。バルコニーの手摺り壁とともに天井にも反射音を跳ね返す曲面の反射板が連なっており、音響的に有効に働くことを意図している。客席は床・壁・天井ともに木材を使用して統一を図り、かつての漆喰塗りのインテリアとは全く対照的な内部空間を作り上げている。これはまさに、「インテルヴェント」と呼ばれる「改修改造による再生」にあたると考えられる。客席数は中央部 471、ボックス席 24 である。(**写真２**)

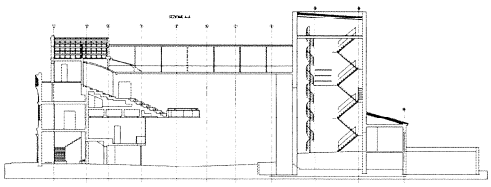


図１　改修前の断面図

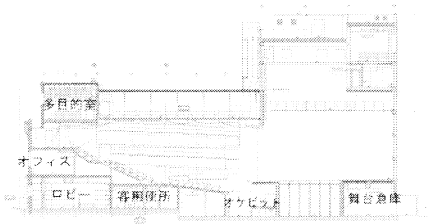


図２　改修後の断面図

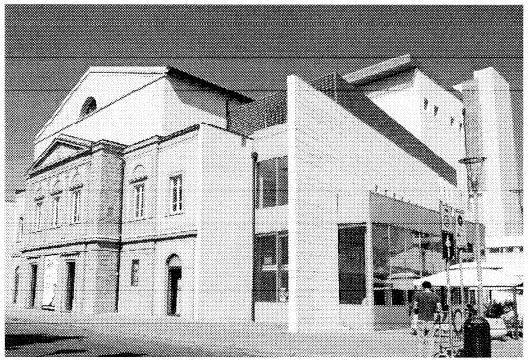


写真１　改修後の劇場外観

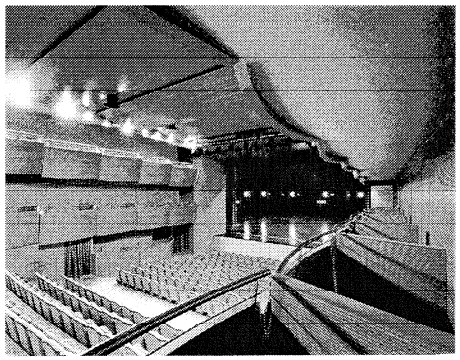


写真２　改修後の劇場内部

４．まとめ

イタリアの修復再生設計の要諦は、保存修復すべき対象を明確にした上で、改造できる場所では新しい時代の技術を積極的に盛り込んでインテルヴェントを施して改修再生し、必要に応じて新旧をデザイン的に対比して共存させるバランス感覚にあると考えられる。

（本研究の詳細は日本建築学会技術報告集 第 34 号（2010 年 10 月号）に掲載）

災害復興を視野に入れた平時の都市計画のあり方に関する研究

建築都市デザイン学科　教授
野澤　康

わが国の都市計画では、災害発生後の復興は特別なものであり、平時の計画論とは全く別のものとして扱われている感を強く受ける。しかし、私たちが経験した阪神・淡路大震災や中越地震などでの復興の状況を鑑みると、平時の計画に災害発生後の復興につながる事項を何らかの形で入れ込んでおく必要性があったのではないかと考えられる。そこで本研究は、東京都区部の災害危険度の高い区を対象として、都市計画マスタープランと災害復興マニュアル等の復興計画との比較を行い、両者の有機的な関係構築を模索することを目的としている。本稿では、特に仮設住宅市街地をいかに用意するかに着目する。

１）仮設住宅市街地の想定

震災復興マニュアルは密集市街地を抱える多くの区で既に策定されており、仮設住宅市街地を大規模な公園に一団型でつくる自治体と、区内に分散して用意する分散型を想定する自治体に分けられる。これは、大規模な公園があるかないかによるところが大きい。

仮設住宅市街地を平時の居住地からどのくらいの距離に置くべきかの前提条件はいくつか考え得る。ごく身近な小学校区程度の範囲（1～2km 圏）ですべて充足する、広域避難場所程度の密度で配置する（5km 圏）、区内であれば良しとする、などがあるだろう。区内であれば充足している場合でも、より近隣で仮設の生活を営むにはどこの区でも用地が不足している。したがって、全壊した跡地を活用したり、都市内用地を暫定的に転用したりすることなどを、計画的に事前に検討しておく必要があるだろうし、実現していくための権利問題などについて予め解決策を模索しておく必要がある。農地については、世田谷区のように農協との協定によって、土地を借り上げることを可能としている自治体も見られるので、こうした事例を参考として、暫定的利用の駐車場なども新たな対象地として常に把握して準備することが求められる。

２）杉並区におけるモデル・スタディ

ここでは、モデル的に杉並区を対象として、比較的公園・緑地が多い地区は被災の度合いが小さいと考え、緑地の一部を市街化する案を検討した。しかし、市街地に付随するべき利便施設が近隣にない、駅へのアクセスが悪いなど、平時に戻るにしたがって利便性の問題が出てくることが想定された。また、被災市街地と換地するなど、権利変換によって公園・緑地の量を維持するための工夫（権利変換手続きの進め方、被災地の緑化の方法、緑地の量と質の問題や立地の問題、など）も必要であることが明らかとなった。

３）おわりに

災害は起こってみなければ、どこでどの程度の被害が発生するかがわからない。本研究では、まだそうした不確定な要素を計画というある程度固定化された想定のもとで策定されるものと、どのようになじませていくのかが解決できておらず、今後の大きな課題として残された。

工学院大学総合研究所年報　No.17　2009年度

発　行　　2010年6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　　三陽工業株式会社