ANNUAL REPORT NO.15

工 学 院 大 学

総 合 研 究 所 年 報

第15号　2007年度

平成20年７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



科学技術の社会還元～ロボットの実用化をめざして～

学長　三浦宏文

私は経済産業省の「『今年のロボット』大賞」の審査委員長を務めています。このプロジェクトは、ロボットを大きな産業として育てることを目的として、ロボットに対する世間の興味を喚起するべく企画されているものです。

応募されたロボットの中から、技術的な優秀性、販売額の成長率、輸出への貢献度などを評価基準として優秀賞を１０点くらい選びその中の一つを大賞にするのですが、大賞以外に審査員特別賞を一つのロボットに与えることにしています。その選定においてはロボット産業の将来性を期待させるメッセージを含ませようと心掛けています。２００７年は、「手術用医療ロボット」を審査員特別賞にしました。

手術など医療分野へのロボットの応用は非常に将来性があり期待が大きいのですが、わが国ではロボットによる手術は医師の裁量によって治験という形で施行されているのみで医療器具として認められてはいません。

欧米では、既に２００台を超すロボットが実際の外科手術に用いられ重宝されています。「ダビンチ」、「ゼウス」などと呼ばれているものでアメリカのベンチャー企業が開発したものです。１台３億円から数億円するものですが、人間が行なうより短時間で済むなどの利点も挙げられており今後ますます利用が拡大することは確かです。わが国には研究目的で９台導入されていますが実用の承認については不透明です。

上述の審査員特別賞のロボットは、九州大学、東京大学、早稲田大学、（株）日立製作所、（株）日立メディコなどが協力して開発されたもので、外国のものに比べると機能は優れており、すぐにでも実用化できるものですが、様々な規制により現段階で実用できないのは全く残念です。

２００８年の科学技術白書（５月２３日閣議決定）では、科学技術の成果の着実な社会還元を行っていくべきと述べられ、

① 科学技術の成果還元の障害となる制度的隘路の解消

② 大学等の研究成果の社会還元の促進

などが必要であると強く謳われています。

ロボットには研究開発は終了しながらも安全基準や製造者責任に関する法規の不整備などのために実用化できないものがたくさんあります。ロボット産業育成促進のためにも、この方面の障壁を打破する努力を続けねばならないと思っています。



総合研究所所長に就任して

総合研究所 所長
藤江　裕道

「工学院大学総合研究所」は，科学技術の基礎及び応用並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ともに，その研究成果に基づいて本学の教育の向上に資することを目的として 1994 年 2 月に設置されました．理工学研究部門と総合文化研究部門から構成されており，前者は主に工学部，情報学部ならびにグローバルエンジニアリング学部の専門課程を担当する教員の多様な専門分野の研究活動を，後者は共通課程で人文科学・社会科学等を専門とする教員の研究活動を支援する仕組みとなっています．そして，下記の３つの研究センターで最先端研究が展開されています．

１）ナノ表面・界面研究センター（略称 NASIC；ハイテクリサーチセンター整備事業：2005 年度－2009 年度）
２）ポスト・地震防災・環境研究センター（略称 PostEEC；学術フロンティア推進事業：2006 年度－2008 年度）
３）マイクロ先進スマート機械・マイクロバイオシステム研究センター（略称 SMBC；ハイテクリサーチセンター整備事業：2003 年度－2007 年度）（2008 年度より PostSMBC を申請予定）

また，これら３つの研究センターとは別に，産業界との幅広い共同研究を実施する場として，

４）産学共同研究センター(CORC：Collaborative Open Research Center)

を置き，多くの学外研究者とともに研究を行っています．

さらに総合研究所は研究を実施することのほかに，学外からの研究・試験等の受託，学外との共同研究の実施，工業所有権に関する取扱い，研究成果報告会，各種講演会などの開催，各種研究成果報告書の刊行等々，多岐にわたる活動を行っています．

私は７年前に国立大学から本学に移った際，当時はまだ未完成の状態であったとはいえ，学内に研究を統括する部署が存在することに新鮮さを感じました．また，本研究所がプロジェクト研究費や一般研究費などの研究予算枠を持っていて，学内の教員がこれらに申請できるシステムがあることに驚きを感じました．学生だけでなく，教員に対しても「面倒見のいい大学」だと思いました．私は過去に，国内の私立大学，国立大学，米国の公立大学の，いずれもバイオメカニクス関係の研究機関で働いてきましたが，教員の研究を支援する事務組織はあっても，研究費まで配分するような夢のようなシステムにはお目にかかりませんでした．本学の研究環境はその意味で恵まれていると言ってよいと思います．研究費申請システムだけでなく，総合研究所を通じて，上記のような研究に関するさまざまな支援を受けることができることもすばらしいことです．

プロジェクト研究も一般研究も厳正な審査を経て，研究費配分が決定されています．特にプロジェクト研究費は研究計画が精査されることはもちろん，研究実績評価も十分に加味して採択が決定されます．したがって本報告書の本編に記されている両研究の研究成果報告は本学の研究の粋を集めたものと言えます．また，各研究代表者はアクティブな教員ばかりですので，研究成果について学内報告だけでなく，国内外のジャーナル等に発表するよう努力しています．このような努力は，研究費を受けて研究を行う者として最低限のデューティーでしょう．そして，さらに言えば，研究成果をジャーナル等に発表するだけでなく，テレビや新聞等を介して一般社会にアピールすることが重要です．残念ながら，そのレベルまで到達している研究はまだ少ないようですが，我々大学教員は，研究や教育の優れた点を社会一般に正しく伝え，大学の評価を向上させるとともに，我々自身の研究，教育のレベルをその評価に負けないくらい高く保つよう努力する必要があります．本報告書の発行など，工学院大学総合研究所の活動が，そのようなプラスのスパイラル効果に寄与できるよう，研究所長として努力していく所存です．

目　　次

学 長　　三浦　宏文
総合研究所所長　　藤江　裕道

1．総合研究所プロジェクト研究報告（２００７年度研究終了）

・ 貴金属ナノ粒子合成法の開発とその応用
責任者　渡部　正利…… 13

・ 環境対応型加工における仕上げ面残留応力分布の制御
責任者　立野　昌義…… 19

・ 風力発電用直線翼縦軸風車の性能評価および性能改善に関する研究
責任者　水野　明哲…… 27

・ 演色性に優れた高輝度・高効率白色発光ダイオードの開発研究
責任者　川西　英雄…… 35

・ 超臨界流体を用いた低環境負荷型のデバイスプロセス
責任者　坂本　哲夫…… 39

・ 入札・契約制度改革が入札結果に及ぼす影響の定量的評価
責任者　遠藤　和義…… 47

・ 都市環境騒音の低減に寄与する吸音性建築物の効果に関する研究
責任者　塩田　正純…… 63

・ 平常時・災害時での利活用を目的とした観光及び防災情報共有支援 WebGIS の開発
責任者　久田　嘉章…… 83

（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…… 91

2．総合研究所プロジェクト研究報告（２００８年度継続研究）

・ 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……109

・ Generation of Selves
責任者　足立　節子……117

・ 前十字靭帯三重束再建術のロボットシステムによる解析・評価
責任者　藤江　裕道……127

・ 軸流型スパイラル粘性マイクロポンプに関する基礎的研究
責任者　佐藤光太郎…… 133
・ 外科手術用マスタ・スレイブ型ロボット鉗子システムの構築に関する研究
責任者　石井　千春…… 139
・ フレキシブル基板上の微細配線に生ずるマイグレーション損傷評価手法の確立
責任者　木村　雄二…… 143
・ 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　小泉　安郎（現　信州大学）‥ 153
・ 液滴の表面張力を利用した微小物体のマニピュレーションに関する研究
責任者　鈴木　健司…… 157
・ 基本波および３倍波併用型の高性能弾性表面波センサ装置の基礎研究
責任者　疋田　光孝…… 165
・ 特異な化学構造と顕著な生物活性を有する多環性高次構造天然物の全合成研究
責任者　宮下　正昭…… 171
・ セルロース類の化学原料化と機能性物質への展開
責任者　小野　擴邦…… 175
・ 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…… 183
・ 疑似血管デバイスを用いた内皮細胞と流れによる刺激との相互作用の解明
責任者　杉井　康彦…… 193

３．総合研究所一般研究報告（共同研究）

・ 技術系学生の英語習得の為のオンラインインターアクティブポータルサイトの構築
責任者　ブルック セバスチャン‥‥ 201
・ ポータブル型燃料電池用アンモニア分解システムの研究
責任者　雑賀　　高…… 203
・ ウルトラマイクロミストを用いたスポット冷却の提案とミストノズルの開発
責任者　大竹　浩靖…… 207
・ 環境負荷低減を目的とする硬質アモルファス炭素薄膜を付与した生分解性樹脂材料の創製
責任者　矢ケ﨑隆義…… 211
・ Ca-Co-O 系酸化物熱電半導体の作製
責任者　桑折　　仁…… 217

４．総合研究所一般研究報告（個人研究）

・ 国際化と地域化の下での国家の役割変化とその市民生活への影響に関する国際比較研究
長谷川　憲…… 223

・ 日本における地方金融界の変遷に関する研究
吉田　賢一…… 224

・ LHC／ILC 実験でのヒッグス粒子探索のためのイベントジェネレータ開発
加藤　　潔…… 225

・ 非線形拡散の特異性に起因する数理現象の研究
竹内　慎吾・…… 226

・ 中学校障害児学級における技術・家庭科の実施状況に関する調査研究
尾高　　進…… 227

・ 宇宙太陽光エネルギー利用システム用大型ラジエータの多領域最適設計
何　　建梅…… 228

・ 発泡金属の型充填・成形技術の開発
塩見　誠規…… 229

・ DNA 型多自由度柔軟ロボット
髙信　英明…… 230

・ ナノ分散構造を有する多元系ポリマー／フィラー複合材料の開発と摺動部材への応用
西谷　要介…… 231

・ 生体内ゼラチン由来ペプチドの検出法の確立
今村　保忠…… 232

・ 微粒子自己集合体をマスクとしたウェットプロセスによる固体基板の微細パターニング
阿相　英孝…… 233

・ 高分子のマテリアルリサイクルを意識したビスブタジエン系橋かけ剤の設計
山口　和男…… 234

・ 分散型電源間の協調運転を可能にするモバイルエージェントの研究
荒井　純一…… 235

・ カウンセリングロボットの会話モデルに関する研究
椎塚　久雄…… 236

・ ユビキタスネットワークにおける次世代情報ストレージの信号処理方式に関する研究
斎藤　秀俊…… 237

・ 建物の長寿命化に関する調査研究
吉田　倬郎…… 238

・ コンバージョンが生成する文化施設の空間的特質に関する研究
澤岡　清秀…… 239

・ アンシアン・レジーム期におけるソフト・パワーとしての王権建築とその様式伝播
中島　智章…… 241

２００８年度総合研究所運営委員

総合研究所所長 大学院運営委員会委員長	藤江　裕道	（機械工学科教授）
ＳＭＢＣｾﾝﾀｰ長	藤江　裕道	（機械工学科教授）
ＮＡＳＩＣｾﾝﾀｰ長	長本　英俊	（環境化学工学科教授）
PostＥＥＣｾﾝﾀｰ長	宮澤　健二	（建築学科教授）
共通課程互選	蔵原　清人	（共通課程教授）
機械系学科互選	小林　光男	（機械システム工学科教授）
化学系学科互選	塩田　一路	（マテリアル科学科教授）
電気系学科互選	荒井　純一	（電気システム工学科教授）
建築系学科互選	阿部　道彦	（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）

2007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
・2007年度研究終了		
貴金属ナノ粒子合成法の開発とその応用	渡部　正利	共通課程教授
環境対応型加工における仕上げ面残留応力分布の制御	立野　昌義	機械工学科准教授
風力発電用直線翼縦軸風車の性能評価および性能改善に関する研究	水野　明哲	機械工学科教授
演色性に優れた高輝度・高効率白色発光ダイオードの開発研究	川西　英雄	電気システム工学科教授
超臨界流体を用いた低環境負荷型のデバイスプロセス	坂本　哲夫	電気システム工学科准教授
入札・契約制度改革が入札結果に及ぼす影響の定量的評価	遠藤　和義	建築学科教授
都市環境騒音の低減に寄与する吸音性建築物の効果に関する研究	塩田　正純	建築学科教授
平常時・災害時での利活用を目的とした観光及び防災情報共有支援 WebGIS の開発	久田　嘉章	建築学科教授
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
・2008年度継続研究		
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
Generation of Selves	足立　節子	共通課程准教授
前十字靭帯三重束再建術のロボットシステムによる解析・評価	藤江　裕道	機械工学科教授
軸流型スパイラル粘性マイクロポンプに関する基礎的研究	佐藤光太郎	機械創造工学科教授
外科手術用マスタ・スレイブ型ロボット鉗子システムの構築に関する研究	石井　千春	機械創造工学科准教授
フレキシブル基板上の微細配線に生ずるマイグレーション損傷評価手法の確立	木村　雄二	マテリアル科学科教授
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)	小泉　安郎	機械工学科教授（現信州大学）
液滴の表面張力を利用した微小物体のマニピュレーションに関する研究	鈴木　健司	機械システム工学科准教授
基本波および3倍波併用型の高性能弾性表面波センサ装置の基礎研究	疋田　光孝	機械創造工学科教授
特異な化学構造と顕著な生物活性を有する多環性高次構造天然物の全合成研究	宮下　正昭	応用化学科教授
セルロース類の化学原料化と機能性物質への展開	小野　擴邦	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
疑似血管デバイスを用いた内皮細胞と流れによる刺激との相互作用の解明	杉井　康彦	総合研究所准教授

（一般研究）

	研究課題	研究責任者	所属学科・職名
共同研究	技術系学生の英語習得の為のオンラインインターアクティブポータルサイトの構築	ブルック セバスチャン	共通課程准教授
	ポータブル型燃料電池用アンモニア分解システムの研究	雑賀　高	機械創造工学科教授
	ウルトラマイクロミストを用いたスポット冷却の提案とミストノズルの開発	大竹　浩靖	機械工学科准教授
	環境負荷低減を目的とする硬質アモルファス炭素薄膜を付与した生分解性樹脂材料の創製	矢ケ﨑隆義	マテリアル科学科教授
	Ca-Co-O 系酸化物熱電半導体の作製	桑折　仁	マテリアル科学科講師
個人研究	国際化と地域化の下での国家の役割変化とその市民生活への影響に関する国際比較研究	長谷川　憲	共通課程教授
	日本における地方金融界の変遷に関する研究	吉田　賢一	共通課程教授
	LHC／ILC 実験でのヒッグス粒子探索のためのイベントジェネレータ開発	加藤　潔	共通課程教授
	非線形拡散の特異性に起因する数理現象の研究	竹内　慎吾	共通課程准教授
	中学校障害児学級における技術・家庭科の実施状況に関する調査研究	尾高　進	共通課程講師
	宇宙太陽光エネルギー利用システム用大型ラジエータの多領域最適設計	何　建梅	機械工学科准教授
	発泡金属の型充填・成形技術の開発	塩見　誠規	機械創造工学科准教授
	DNA 型多自由度柔軟ロボット	髙信　英明	機械システム工学科准教授
	ナノ分散構造を有する多元系ポリマー／フィラー複合材料の開発と摺動部材への応用	西谷　要介	機械工学科講師
	生体内ゼラチン由来ペプチドの検出法の確立	今村　保忠	応用工学科教授
	微粒子自己集合体をマスクとしたウェットプロセスによる固体基板の微細パターニング	阿相　英孝	応用化学科講師
	高分子のマテリアルリサイクルを意識したビスブタジエン系橋かけ剤の設計	山口　和男	応用化学科講師
	分散型電源間の協調運転を可能にするモバイルエージェントの研究	荒井　純一	電気システム工学科教授
	カウンセリングロボットの会話モデルに関する研究	椎塚　久雄	情報デザイン学科教授

	研　究　課　題	研究責任者	所属学科・職名
個人研究	ユビキタスネットワークにおける次世代情報ストレージの信号処理方式に関する研究	斎藤　秀俊	情報通信工学科准教授
	建物の長寿命化に関する調査研究	吉田　倬郎	建築学科教授
	コンバージョンが生成する文化施設の空間的特質に関する研究	澤岡　清秀	建築都市デザイン学科教授
	アンシアン・レジーム期におけるソフト・パワーとしての王権建築とその様式伝播	中島　智章	建築学科准教授

１．総合研究所プロジェクト研究報告

（２００７年度研究終了）

貴金属ナノ粒子合成法の開発とその応用

共通課程　渡部　正利

Development of new preparation of noble nano particles and its application

Masatoshi Watabe General education Department

Abstruct: Noble metal nanoparticles of gold, silver, platinum, and palladium , were prepared in the presence of sevelal organic compound. We are attempted to prepare single size nanoparticles which have electro conductivity when they are heated at 200 degree. Au and Ag nanoparticles prepared by us showed good electro conductivity (specific resistance, 5.40E-06).

1. はじめに

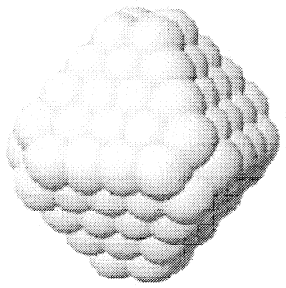


図1　金ナノ粒子

粒子の粒径が 1 nm（10^{-9} m）から 1 μm（10^{-6} m）の範囲のものをコロイド粒子といい，特に 1 nm から 100 nmの粒子をナノ粒子という。通常の原子や分子の数十倍から数千倍の大きさのこれらの塊は特異な性質を持っている。ナノ粒子の大きさを考えてみる。1 mは人の大きさ，その1000分の1の1 mmはありの大きさ，その1000分の1の1 μmはバクテリアの大きさ，その1000分の1の1 nmは DNA鎖の直径すなわち 10^{-9} m の世界である。その10分の1は原子1つの世界である。小さいといえば小さいが，原子分子を研究している私たちからみるとかなり大きい粒子である。このような粒子の性質についてはあまり研究されてきていなかった。図1にその1例を示す。これは1個の金ナノ粒子で金原子140個，短軸　1.31 nm，長軸　1.92 nm，粒子質量　23380 である。長軸が10 nm の粒子になると質量は 5,162,976 にもなる。これは金属の金で化合物ではない。これらがたくさん近くにあるとドッキングして大きな塊になっていく（凝集）。この周りに高分子や界面活性剤を付着（結合）させて，近くの同様の粒子とドッキングしないようにさせておく。数 nmから60 nmぐらいの金ナノ粒子はワインレッドの色をしているし，銀ナノ粒子は黄色や灰色をしている。白金やパラジウムのナノ粒子は黒色である。同一質量では粒子が小さくなると表面積が増加する。たとえば 2 nm の金ナノ粒子は 1 g は 150 m^2 の表面積になる。希ガス以外の原子では，1個のままの原子は安定ではいられないが，金属原子がある程度集まった塊でも，表面の原子は不安定で凝集しやすい。表面が多くなればそれだけ表面エネルギーは高くなる。そのため，融点が下がるとか，白金やパラジウムでは触媒活性が非常に高くなる。自動車のマフラーには1 nm 以下の白金，パラジウム，ロジウムナノ粒子が触媒として働いている。

貴金属ナノ粒子の合成法には金属の塊を砕いて小さくしていく方法（トップダウン法，物理的方法）と化合物を還元して塊をつくっていく方法（ボトムアップ法，化学的方法）がある。

2. 研究目的

多くの研究者が貴金属ナノ粒子の合成法の開発にしのぎをけずっている。当研究室の合成法では医療用診断検査試薬に使われる50nmのサイズのものが高濃度で合成できている。18年度の研究では白金ナノ粒子においても粒径40nmのかなり単分散のものができるようになった。また、銀のナノ粒子の合成法も進み、10nmから50nmのものが希望する粒径で得られるようになった。TEMで仔細に粒度分布を見ていく必要がある。ナノテクノロジーの分野で有用になるには粒径を10nm以下にする必要がある。当研究室で合成している貴金属ナノ粒子は現在粒径が10nm以上なので融点がまだ高い。10nm以下にできれば融点が下がり、金属配線や電極形成の技術のブレークスルーになると予想される。ナノテクノロジーの出発点はナノの原料をつくることである。私は金、銀、白金、パラジウムなどの貴金属のナノ粒子の新合成法とその応用の研究をしている。18年度は粒径のそろった高濃度のコロイド溶液の作成にとりかかったがいくつもの新法を見出し学会で発表した。金コロイドの感染症診断薬への応用は実用化した。他のコロイドも実用化を探っている。本稿では化学的合成法のうち，当研究室で毎日行っている，ビーカー中で，貴金属試薬を還元してつくる合成法について述べる。

3. 貴金属ナノ粒子の合成

3.1 貴金属ナノ粒子粒径制御

生成するナノ粒子の粒径は還元される原子の生成速度と保護剤の保護能力が関係している。金属イオンの還元されやすさ（金属の酸化還元電位），金属イオンに結合している配位子の配位力，還元剤の還元力，保護剤の保護能力（高分子保護，低分子保護）が関係している。すなわち，0価の原子は保護剤につかまるか（小粒径），仲間とくっつくか（大粒径），で粒径が決まる。

M-配位子+　還元剤　+保護剤

→　(M, M, M, 保護剤)　→　金属ナノ粒子

実際の合成反応では反応速度を変えるために，反応溶液の温度や，試薬の濃度，比率を変えて反応条件を探す。反応時間を長くすると，大きくなった粒子が小さくなっていくこともある。

3.2 金ナノ粒子の合成 [5)]

クエン酸を用いた金ナノ粒子の合成

水は通常の純水製造器で脱イオン蒸留精製したものを使用する。ガラス器具は内面を良く洗浄する。

a.13nmの金コロイド

沸騰している0.30mM塩化金酸243 mlに8.5 mlの38.8mMクエン酸ナトリウムを素早く加える。はじめ液は暗い青色であるが,沸騰15分後には赤みの強いワインレッドになる。冷却する。

b.15nm金コロイド

0.30mM塩化金酸243 mlを15分間沸騰させる.そこへ38.8 mMクエン酸ナトリウム7.5mlを素早く加え,15分間沸騰を続ける。液の色ははじめ青色であるが,やがて明るいワインレッドに変わる。

c.15nm以上の金コロイド

塩化金酸に対するクエン酸ナトリウムの量を少なくすることにより,より大きなサイズのコロイド金粒子がつくれることをFrensが報告している[7)]。

沸騰している0.01%塩化金酸50 mlに1%のクエン酸ナトリウムを素早く加える。クエン酸ナトリウム液を加えると初め青色になり,さらに沸騰を続けると突然ワインレッドになる。この時間は加えるクエン酸ナトリウムの量によって異なる。加えるクエン酸ナトリウムの量とできる金コロイドの粒子サイズを表に示す。

表　クエン酸ナトリウムの量と金ナノ粒子サイズ

1%$HAuCl_4 \cdot 4H_2O$(0.5ml)+50 mlH_2O に加える1%$C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$ 水溶液の量(ml)	金粒子の直径(nm)
3.0	13
1.0	16
0.75	25
0.5	41
0.3	72
0.2	97
0.16	147

カテコールを用いた金ナノ粒子の合成

100ml の三角フラスコに 90 ml の純水を加え，98℃の恒温水槽中で加熱した。それに，1%(w/v)塩化金酸水溶液 6.0 ml，還元剤として 1%(w/v)カテコール水溶液 2.0ml，促進剤として 0.5N-KOH 水溶液を 2.0ml 加え煮沸を続けた。45 分間，98℃の湯浴中で攪拌しながら反応させ，冷却した。100 nm ぐらいのものができている。 図 2 に TEM 像，図 3 に XRD スペクトルを示す。XRD 図からはシェーラーの式により粒径が計算できる。

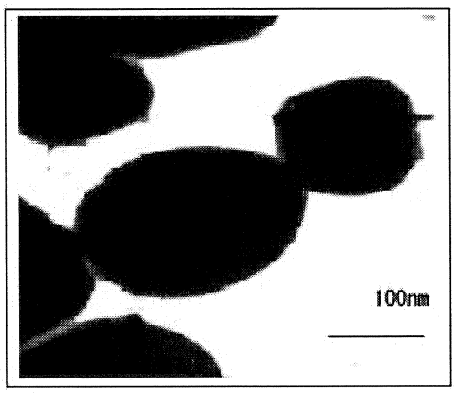


図 2 金ナノ粒子の TEM 像

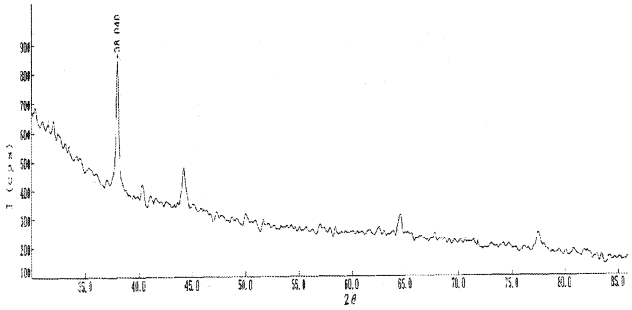


図 3　金ナノ粒子のXRD

カテコールと保護剤ポリビニルピロリドン（PVP）を用いた金ナノ粒子の合成

はじめに保護高分子を入れておくと金コロイドは小さくなる。ここでは PVP を入れる。100ml の三角フラスコに 87ml の純水を加え，98℃の恒温水槽中で加熱した。それに，1%(w/v)塩化金酸水溶液 10ml，保護剤として 1%(w/v)PVP 溶液 2.0ml，還元剤として 1%(w/v)カテコール水溶液 1.0ml，促進剤として 0.5N-KOH 水溶液を 3.0ml 加え反応母液に煮沸を続けた。

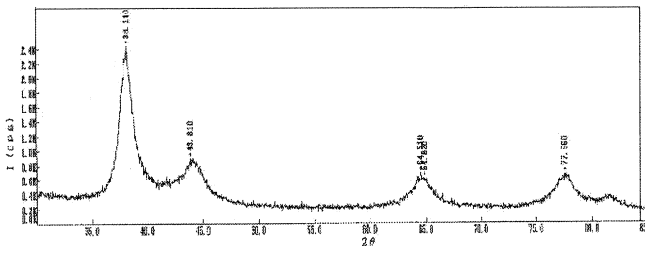


図４　金ナノ粒子のＸＲＤ

45 分間，98℃の湯浴中で攪拌しながら反応させ，冷却した。XRD 図から計算すると約 10nm であった。

HPLC によるナノ粒子の検出

どれだけの金コロイドがあるかを HPLC（C18 カラム，溶離液は水）で調べるのも良い方法である。まず，反応母液を測定する（図 5-a)。不純なピークを除くため，反応母液を遠心分離機(10000 回転，5 分)にかけてから，上澄みをすて，

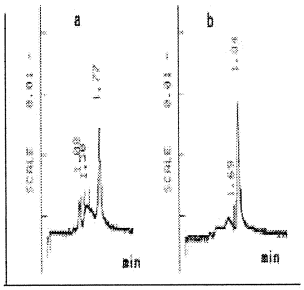


図 5-a, 5-b　ＨＰＬＣ

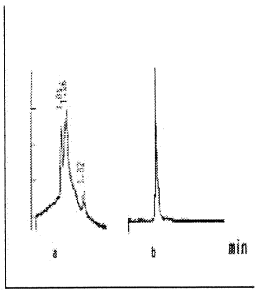
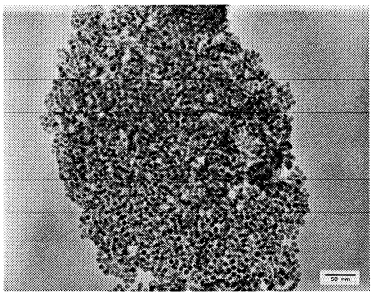


図６　ＨＰＬＣ

沈降したコロイドに水を加え，再度 HPLC で測定した（図 5-b)。粒径が 2～5 nm になると沈殿させるのに，遠心分離機の回転数は 70000 回転ぐらい必要になる。図 6 には前述のカテコールを用いて合成した金ナノ粒子の HPLC 図を示した。粒径が大きくなると，HPLC ピークはかなり遅れて現れる。

ペプチドを用いる金ナノ粒子の合成 [6)]

筆者らは，塩化金酸水溶液にペプチド水溶液を加えて加熱すると水溶液はワインレッド色になることを見出し，粒径のそろった均一な金ナノ粒子が生成することを見出した。前述のクエン酸法に比し，高濃度の金ナノ粒子を合成できる。濃縮操作を必要とせず簡便に使用可能である。このようにして



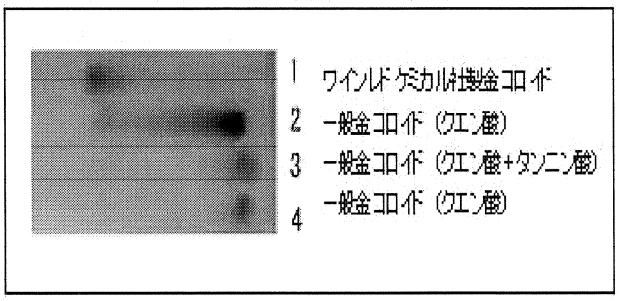
合成した金ナノ粒子は非常に安定で，中性，弱アルカリ性下では1年以上室温で凝集しない。図7に本法で合成した金ナノ粒子の200kVのTEMで測定した写真を示した。

図7 ペプチド金ナノ粒子

約8 nmのそろった金ナノ粒子が見られる。OD値100ぐらいのナノ粒子液で何カ月も常温保存しても沈殿が生じない（注）。

図8に金ナノ粒子のアガロースゲル電気泳動のパターンを示した。従来のクエン酸で合成した金ナノ

図8　金コロイドの電気泳動



粒子はほとんど移動しないが，筆者らの方法で合成した金ナノ粒子はテーリングもなく大きく移動する。粒子は大きい負電荷をもっていて，これが凝集しにくくなっている原因と思われる。感染症迅速検査法のイムノクロマトグラフィーにおいて極めて良い結果を得た。金コロイドに抗体をつける反応では用いたオリゴペプチドは小さいので，より大きなペプチドである抗体を反応させるとオリゴペプチドと入れ替わる。また，最近は細胞を電子顕微鏡で観察するとこの細胞染色にすぐれた効果を示している[7]。

注　OD値とは原液をたとえば100倍希釈し，金コロイドのピーク波長525 nmで吸光度を測定したところ，吸光度が0.3とでたら，原液の濃度はOD_{526}は30という。

還元剤にポリビニルピロリドン（ＰＶＰ）を用いた金ナノ粒子の合成

100mlの三角フラスコに75mlの純水を入れ，98℃の恒温水槽中で加温した。それに，1%(w/v)塩化金酸水溶液6.0ml，1%(w/v)PVP溶液12ml，0.5N-KOH水溶液を3.0ml加え煮沸を続けた。45分間，98℃の湯浴中で攪拌しながら反応させ，冷却した。10nmの粒径のそろった金ナノ粒子ができる。特別な還元剤および保護剤を用いなくてもよい新規合成法である。

3.3 白金ナノ粒子の合成

クエン酸を用いた白金ナノ粒子の合成

塩化白金酸カリウム1%(w/v)溶液を10ml，クエン酸ナトリウム1%(w/v)溶液を20 ml，純水260mlを三角フラスコに入れた。溶液をオートクレーブ(120℃，2気圧)に入れ，60分間反応させ，白金ナノ粒子を得た。理由は不明だが，白金ナノ粒子溶液中のナノ粒子の粒径はレザー粒度分布計では正確に測定できない。反応母液を限外ろ過(フィルターMILIPORE Centricon Plus-70)し，集めた粒子の粒径をXRDで測定した。限外ろ過をしないと，反応母液中のハロゲン化アルカリ金属の鋭いピークが大きく出て，欲しいXRDピークが隠れてしまう。TEMを測定したが100kVのTEMでは粒径が大きく出るが，200ｋVのTEMでは金平糖のように２次凝集した像が写ることがある。粒径測定はXRDがよさそうである。また，白金ナノ粒子は黒色なので吸収ピークは可視部には現れない。収量を求めるため吸収スペクトルを用いるが，OD値は500 nmで測定した。ICPにより求めたOD値と濃度(ppm)の関係は19.7 ppm/ODであった。

ピロガロールを用いた白金ナノ粒子の合成

塩化白金酸カリウム1%(w/v)溶液を15ml，ピロガロール1%(w/v)溶液を20ml，0.5N-KOH溶液を10ml，純水55mlを三角フラスコに入れ全量を100mlとした。溶液が沸騰する温度で24時間還流

を行い，白金ナノ粒子が得られた。

3.4　銀ナノ粒子の合成法

クエン酸を用いた銀ナノ粒子の合成法

三角フラスコに水 296 ml を入れ，調整した１%(w/v)硝酸銀水溶液 10ml と，１%(w/v)クエン酸三ナトリウム溶液を 2ml 加えて，90℃で撹拌しながら 30 分反応させた。その後，透析(フィルター　SPECRRUM　PS-10KD)や限外濾過で未反応配位子や不純物を除去し，UV や XRD 測定を行った。

カテコールを用いた銀ナノ粒子の合成法

三角フラスコに水 95 ml を入れ，1%(w/v)$AgNO_3$ 溶液 3 ml を加え，あらかじめ 0.5N-KOH を 0.5ml 加えた１%(w/v)カテコールを 5ml 加えて，25℃で撹拌し 30 分反応させた。その後，透析や限外濾過で未反応配位子や不純物を除去し，UV やレザー粒度分布計，XRD または TEM にてナノ粒子の測定を行った。粒径は約 15 nm であった。銀イオン塩基性にすると黒色の酸化銀が沈殿するので一般にやや酸性か中性付近で銀ナノ粒子を合成する。

3.5　ポリビニルピロリドン（ＰＶＰ）を用いた Pd ナノ粒子の合成

500ml の三角フラスコに１％（w/v）塩化パラジウム溶液 30ml，１％(w/v)ポリビニルピロリドン溶液 30ml，0.5N KOH 溶液 35ml，純水 405ml を加え，あらかじめ加温してあった 95℃湯浴中で約３時間加温，攪拌を行った。反応の終点を知るため，溶液をスポイトで数 ml 抜き取り，粉末の $NaBH_4$ を加えた。溶液が黒色（$NaBH_4$ 添加で生じた金属パラジウム）にならないことを確認し，反応液を冷却した。この溶液に 1000ml の水を加え，総量を約 1500ml にした後，10KD の透析フィルターで透析を行った。約 3nm のパラジウムナノ粒子ができる。

4.　貴金属ナノ粒子の応用

金ナノ粒子は感染症迅速検査キット（イムノクロマト法）に使われている[5]。また，生体中の細胞を電子顕微鏡で見るときも金や銀ナノ粒子に抗体をつけて細胞を染色するのに使われている。その他いろいろな形でバイオセンサーが研究されている。シリカや酸化チタンなどに担持した金ナノ粒子は化合物合成反応のよい触媒となると報告されている。白金ナノ粒子はパラジウム，ロジウムナノ粒子と混合状態で自動車の排気ガスの浄化に使われていることは前にも書いた。触媒への応用が盛んになると思われる。金や銀のナノ粒子を用い，インクジェットで電子回路の導線を描き，配線パターンを作成するという研究が盛んに行われている[8]。そのほか，導電ペーストや導電薄膜に使う研究もあり，1部は実用化しているものもある。各方面から貴金属ナノ粒子への期待は大きい。

参考文献

1）米澤徹，“金属ナノ粒子の合成・調整，コントロール技術と応用展開”，技術情報協会，2004.

2）川口春馬，”ナノ粒子・マイクロ粒子の最先端時術“，シーエムーシー出版，2004.

3）技術情報協会編，“ナノ微粒子の調整および分散・凝集コントロール”，　2003.

4）小泉光恵，奥山喜久夫，目　義雄，“ナノ粒子の製造・評価・応用・機器の最新技術”，シーエムーシー出版，　2002.

5）横田貞記，藤森修，“イムノゴールド法　コロイド金による免疫組織化学”，ソフトサイエンス社，1992.

6）渡部正利，貴金属コロイド，貴金属微粒子，組成物および貴金属微粒子の製造方法
特許国際公開番号:WO 2005/023468 A1

7）渡部正利，古川成明，赤松優，織田哲弥，金ナノ粒子を用いた簡易診断技術開発，
バイオインダストリー，No.10 Vol.22 p60-65 (2005)

8）菅沼克昭，“金属ナノ粒子ペーストのインクジェット微細配線”，シーエムーシー出版，　2006.

環境対応型加工における仕上げ面残留応力分布の制御
―冷風研削加工における先細末広ノズルの冷却特性と表面層残留応力との関係―

立野昌義（工学院大）　寺川慎二（牧野フライス製作所）
玉木響一（工学院大院），大森茂俊（明石高専）小久保邦雄（工学院大）

Control of Residual Stress on Ground Surface for Cool-Air Grinding

—Relationship between Cooling Ability of Convergent-Divergent Nozzle of A Rectangular Cross-Section and Residual Stress on Ground Surface for Cool-Air Grinding —

Masayoshi TATENO(Kogakuin University), Shinji TERAKAWA(Makino Miring Co.)
Kyoichi TAMAKI (Graduate school Kogakuin University)
Shigetoshi OMORI(Sophia University),and Kunio KOKUBO(Kogakuin University)

ABSTRACT :

This study provides a relationship between cooling ability of air spouted out of Convergent-Divergent nozzle (C-D nozzle) and surface integrity of alloy steel (SCM435H: 1.0wt%Cr-0.2wt%Mo steel) based on the practical experiments. Cool air grinding method supplies compressed cold air to the machined point to reduce the use of machined fluid. Grinding temperature can increase in cool air grinding method since heat transfer coefficient of the air is lower than that of conventional machined fluid. Tensile residual stress caused on the ground surface increases in proportion to the rise of the grinding temperature. Increase of tensile residual stress remarkably affects fatigue properties of the ground surface, such as alloy steel as used for drive shafts, since tensile residual stress can expand cracks caused on the ground surface. Fatigue properties of the ground materials depend on surface integrity. Cool air grinding needs to increase its cooling ability to reduce the tensile residual stress and to up the surface integrity.

Relationship between cooling ability of the air spouted out of C-D nozzle and residual stress on the ground surface is experimentally clarified. It also appears that optimum air supply condition in the cool air grinding method to control the intensity of residual stress. Maximum residual stress on the ground surface can be predicted on each configuration of the nozzle and initial air supply condition as well.

Key Words: C-D nozzle of rectangular cross-section, cooling air grinding, average heat transfer coefficient, cooling ability.

1．　緒　言

冷風加工は，油剤の主な役割の一つである冷却を常温もしくは低温の圧縮空気を加工部分に供給して方法である．冷風は油剤に比較して熱伝達率が低い[(1)－(14)]ため，研削点周辺温度が増大する可能性がある．被工作物の仕上面における引張残留応力は，研削点周辺温度の上昇に伴い，増大する[(8),(14)]．引張残留応力は，加工表面に生じるき裂を拡大させるため，研削加工材料の疲労特性に重大な影響を及ぼす．自動車の動力伝達に使用される合金鋼の研削加工仕上面では，残留応力分布や加工変質や軟化の程度などの表面性状が特に重要となる．冷風研削加工

を実用化するためには冷風を供給するノズル噴流の冷却性を向上させ，仕上げ加工面の引張残留応力を低減する必要がある．

本研究では，まず冷風研削加工を対象として超音速先細末広ノズルの設計手法の検討を行った．試作ノズルの噴流特性と冷却特性を明らかにした．あわせて，表面性状が特に重要となる機械構造用特殊合金(SCM435H: 1.0%Cr-0.2%Mo 鋼)を対象として，ノズル噴流冷却特性と残留応力との関係を明確にする．さらに圧縮残留応力が発生する冷却条件をあきらかにした．研削加工領域の冷却性能を無次元パラメータに置き換え，研削加工用先細末広ノズルの形状および冷風供給条件から表面残留応力の大きさを予測する．以上の結果に基づき，表面層圧縮残留応力を創生する冷風加工条件を様々な条件において明らかにし，冷風研削加工の実用性と有用性を示す．

２．ノズル性能評価

２．１　円筒研削加工モデルと先細末広ノズルの主要寸法

超音速先細末広ノズルは縮小・拡大管構造となり，流路に断面最小部（のど部：スロート部）を有する．このノズルにおける先細部からスロート部において，管内流体を音速まで，末広部分では気体速度をさらに加速し，超音速噴流を得る．先細末広ノズルの主要寸法を設定する手法は，管内流体である冷風を完全気体と扱い，かつ一次元定常エントロピー流れと仮定することにより導かれる流れの関係式[11]に基づいている．この流れの基礎式と実験で得た噴流特性と冷却特性との相関関係から，初期条件（上部圧力 p_0，冷風供給温度 T_0）毎の噴流特性に対応した主要形状を定める．

評価に用いる円筒研削モデルは,直径 55mm 厚さ 7mm の形状の工作物に，直径 300mm 厚さ 25mm の砥石が切り込む代表的なプランジカット研削モデルを想定する.この仮定により，モデルでの有効冷却長さを工作物厚さ以上(≥7 mm)，有効冷却幅を砥石と工作物の干渉領域(2 mm～3 mm)と定めることができる．この砥石と工作物の干渉面を冷却するため,有効ノズル出口断面形状（出口有効幅 w_e と有効出口厚さ b_e）を $w_e \geq 7$ mm, 2 mm$\leq b_e \leq$3 mm とする．以下に先細末広ノズルの設計手法について記述する．

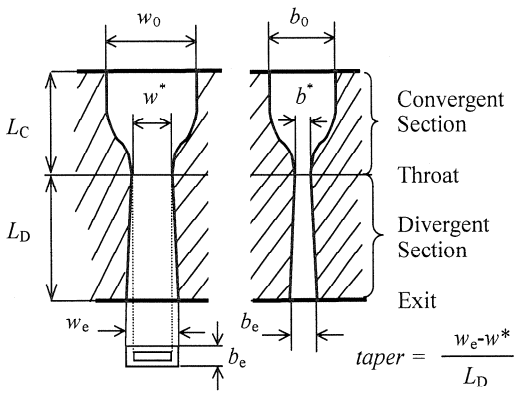


Fig.1　Configuration of C-D nozzle of rectangular cross-section

ノズル内流れを”準定常一次元等エントロピー流れ”と仮定し，適正膨張する条件下で上部圧バッファータンクの静圧 p_0 を定めれば，のど部断面積 A^*に対する有効出口断面積 A_e の比 A_e/A^*を得る．設備制限（p_{0max}<0.70 MPa[abs]，Q^*_{max}<1.2 Nm^3/min）を考慮すると，空気供給条件毎にノズル設計寸法（A_e，w_e および有効出口アスペクト比,k_e）を一意的に定めることができる．先細部における断面形状には M =1 が確保できるよう設定する以外特に制約がなく製作上の観点から決める．末広部を充分な長さに,広がり角はゆるやかに設定する．ただし,それ以外の先細部ノズル断面形状や先細部・末広部の長さを含む末広部広がり角θ_Dなど具体的な設計・製作に関連する主要寸法は実験的に決めることになる．

本研究では,(1)ノズル噴流特性に及ぼす k_e, w_e および L_D の影響,(2)ノズル噴流特性に及ぼす末広部広がり角（θ_D=(w_e - w^*)/ L_D の影響,(3)ノズル噴流特性に及ぼすのど部アスペクト比 $k^*=b^*/w^*$の影響を明らかにするため，合計 26 種類の直線的テーパーを有する矩形断面先細末広ノズルを試作した．試作ノズル出口寸法には排除厚さ t を考慮してノズル出口長辺長さ w_e'を 7.2 mm <w_e' < 9.0 mm とした．全試作ノズルの全長（先細部長さ L_C＋末広部長さ L_D=56mm）を一定および入り口形状はのど部を基準にして絞り量を一定に設定した．本研究において試作した断面矩形先細末広ノズル形状の概略を Fig.1 に示す．

２．２　噴流特性の評価方法

先細末広ノズルを試作して，出口噴流のポテンシャルコア長さ L_{PC} とノズル主要部形状との関係を明らかにした．試作ノズルの z 方向噴流全圧 P_z分布，xy 平面全圧 P_z分布を測定した．P_zは，マシニングセンタ主軸部分にノズルを設置し，マグネットスタンドを用いてテーブル上に固定した圧力センサ(キーエンス AP-23A)で測定した．ノズル出口長方形断面における対角線交点を xy 平面の原点，ノズル出口から噴流方向を z 軸方向とし，ノズル出口を z の原点とした．P_zを測定する際，z 方向を 1mm 毎に 0≤z ≤40 mm，xy 平面上の全圧測定の際には，原点を中心にして±0.5mm 毎移動させ冷却範囲全体を測定対象とした．さらに,矩形断面ノズル内流体と”準定常一次元

Table 1　Dimensions of C-D nozzles

$w_e' \times b_e'$ mm	p_0	*Throat*		*Exit*		*Divergent*	
	MPa	w^* mm	k^*	w_e' mm	k_e'	L_D mm	θ_D
9×2	0.65	8.400	0.167	9.000	0.222	15 25 41	<0.035
8×3	0.65	7.182	0.304	8.000	0.375	15 25 41	<0.035
7.5×2.5	0.65	6.801	0.265	7.500	0.333	15 25 41	<0.035

等エントロピー流れ”との相違の程度を明らかにするため，レイリーのピトー管公式[11]に z=0 における P_z を代入して算出できるマッハ数 M_{eP} と p_0 から算出できる出口マッハ数 M_e を比較した．

２．３　ポテンシャルコア長さと上部圧力との関係

試作した断面矩形先細末広ノズルの主要形状を表１に示す．この試作したノズル形状は次のとおりである．

断面形状を 9mm×2 mm, 8 mm×3 mm, 7.5 mm×2.5 mm とし，設計上部圧 p_{0I} を一定 p_{0I}=0.65 MPa と A_e/A^* を全て同一とした．各 L_D を断面形状毎に L_D =15，25，41 mm と設定した．ただし．$\theta_D \leq 0.035$ である．これらの試作ノズルにおいて噴流特性を明らかにした．

噴流全圧分布測定結果から，いずれの試作ノズルにおいても適正膨張する上部圧 p_0 が確認でき，その条件に対応するポテンシャルコア長さ L_{PC} を明らかにした．本試作ノズルは上部圧力を p_{0I}=0.65MPa(abs)と設定したノズル形状であるにもかかわらず，実際に適正膨張を得た上部圧力条件は，$p_0<p_{0I}$=0.65MPa(abs)となった．本試作ノズルにおける p_0 と L_{PC} の関係を Fig.2 に示す．この結果 p_0 の増加に伴い L_{PC} が増加する．同一上部圧の条件においては，出口アスペクト比 $k_e'=b_e'/w_e'$ の増加に伴い L_{PC} は増大する．

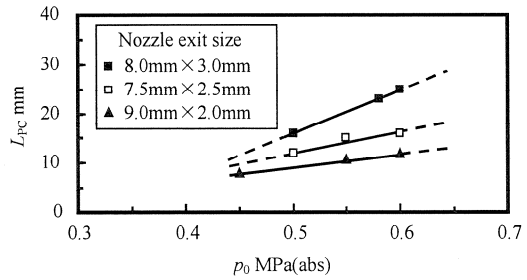


Fig.2　Effect of p_0 on L_{PC}

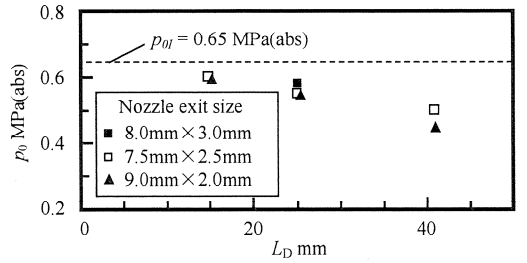


Fig.3　Effect of L_D on p_0

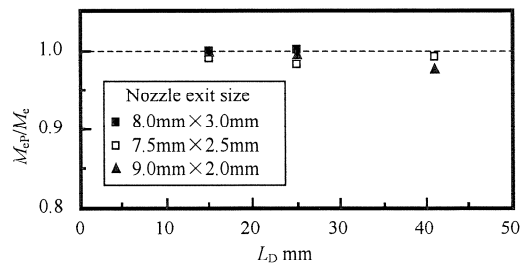


Fig.4　Relationship between L_D and M_{eP}/M_e

管内の流れが等エントロピー流れであると仮定すれば，各ノズルの p_{0I} から導かれるマッハ数 M_{eI} と適正膨張時の z=0 における Pz から導かれるノズル出口マッハ数 M_{eP} とは一致する．そこで，M_{eI} と M_{eP} との相違の程度を出口断面形状および L_D 毎に明らかにするため，M_{eI} に対する M_{eP} の比率(M_{eI}/M_{eP})に及ぼす L_D の影響を確認した．この結果より，全試作ノズルでは M_{eI}/M_{eP} =1.0 にならず，L_D の増加に伴い M_{eI}/M_{eP} が低下している．このことは，設計上部圧 p_{0I} =0.65MPa の条件下では管内の流れは等エントロピー流れの仮定を適用できないことを意味する．このことは設計上部圧 p_{0I} と適正膨張する上部圧 p_0 とが一致しないことからも理解できる．

この原因を考察するため，適正膨張が得られた上部圧条件 p_0 に及ぼす末広部長さ L_D の影響を明らかにし，それを Fig.3 に示した．この結果と Fig.2 とを対応させると，L_D >25mm の条件で p_0 と L_{PC} が著しく低下する．

このことから，設計上部圧 p_{0I} =0.65MPa を確保できなかった主原因は管内部の流体が壁面と接触することにより発生する排除厚さ t の発達が考えられる．したがって，L_D の増加に伴う排除厚さ t の増大が有効出口断面積やノズルの効率を低下させ，p_0 と L_{PC} の低下を招いたと推察される．

上述を裏付けるデータを得るため，ノズル出口部における全圧測定結果から算出したマッハ数 M_{eP} と適正膨張を得る上部圧条件から算出される出口部のマッハ数 M_e との比較を試みた．Fig.4 には，断面形状毎の M_{eP}/M_e と L_D との関係を示す．この図の縦軸 M_{eP}/M_e は矩形断面ノズル内流体と”準定常一次元等エントロピー流れ”との相違の程度を示す指標となる．この図より，L_D の上昇に伴い M_{eP}/M_e が増大する傾向が確認できる．また，L_D<25mm

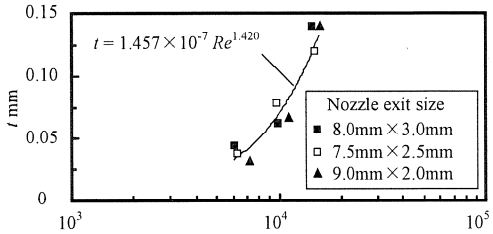


Fig.5　Relationship between Re and t

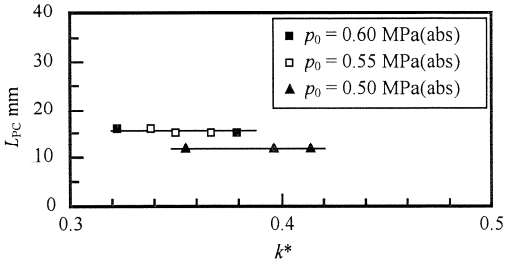


Fig.6　Relationship between k^* and L_{PC}

となる試作ノズルは k_e'や L_Dによらず M_{eP}/M_e=1.0 となることから，L_D<25mm の試作ノズル内流れは L_D の長さおよび出口断面形状によらず，排除厚さ t を考慮しなければ準定常等エントロピー流れの仮定が成立することを意味する．したがって，p_0から求めた A_eと実出口断面積 A_e'との差および実出口断面寸法 w_e', b_e'から t を算出した．これにより導かれた t と z=0 におけるレイノルズ数 Re との関係を Fig.5 に示す．この関係より t と Re との関係は次の(1)式で工学的に近似できることが明らかになった．

$$t = 1.457\times10^{-7}\,Re^{1.420} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ただし，L_D の増加は t の増大を助長するので L_D＜25mm を確保することが有効である．

２．４ L_{PC}に及ぼす末広部テーパーθ_Dの影響

のど部断面寸法を同一にしたまま，k_e'を k_e'=0.355±0.015 とほぼ一定とし L_Dが 10～25mm 程度となるようにθ_D=(w_e'-w*)/L_Dを{θ_D=0.035(2°)と 0.052(3°)}と定め，試作ノズルを製作した．設計上部圧力 p_{0I} はθ_D 毎に 0.45～0.65MPa(abs)まで 0.05MPa 毎に変化させたノズルを製作した．これらノズルの L_{PC}と適正膨張する p_0との関係を調べた．その結果からは θ_Dは L_{PC}に大きな影響を及ぼさないことが確認できた．

２．５　ポテンシャルコアに及ぼすのど部形状の影響

有効出口形状のアスペクト比 k_e を確保し，かつθ_D を 0.035<θ_D<0.052 の範囲に設定したままのど部流路断面形状を決めると L_D <25mm の条件を満足しない可能性も生じる．実際にノズルを製作する際，k*を k_eに準じて設定し，L_D <25mm の条件を満足するよう微調整できれば製作上の観点から有効である．したがって，ノズル出口形状を同一としたまま k*を系統的に変化させた試作ノズルを用いて L_{PC}に及ぼす k*の影響を明らかにする．Fig.6 には p_0 毎に L_{PC}に及ぼす k*の影響を示す．この図より，p_0が同一であれば，L_{PC} は k*によらず一定となる．したがって，k*をθ_Dを 0.035<θ_D<0.052 の範囲に設定したままL_D<25mm の条件内で決定しても L_{PC}に大きな影響を与えない．

２．６　ポテンシャルコア長さと流量との関係

同一 k_eを有するノズル 8×3 の L_{PC}と 7.2×2.7 の L_{PC}を同一p_0条件で比較すると 8×3 の L_{PC}は 7.2×2.7 の L_{PC}より長い．これは，のど部を通過する流量 Q*が増大したことに起因すると考えられる．Fig.7 に Q*と L_{PC}との関係を示した．この図より，Q*と L_{PC}との関係には正の相関があり，この関係を k_e毎に直線で近似できる．この直線の傾き K_A と切片 K_Bは k_eに依存する．Q*と L_{PC}との関係から最小自乗法で導かれる K_AおよびK_Bに対する k_eの依存性を調べた結果，K_A, K_Bは k_eを変数として扱えば式(2)で整理できる．ただし，低流量領域 Q*<0.6 Nm^3/min は除く．

$$\left.\begin{aligned} K_A &= 110.73\,k_e - 6.00 \\ K_B &= -80.95\,k_e + 14.65 \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots\cdots(2)$$

これより L_{PC}はQ*を変数とする式(3)を用いて k_e毎に推定できる．

$$L_{PC} = K_A \cdot Q^* + K_B \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

以上から L_{PC}の増大には k_eおよびQ*を増大させるよう設定することが有効である．式(2)，(3)は空気供給温度(240K<T_0<293K)によらず同様な結果を得る．

２．７　先細末広ノズル設計の仮定および主要形状設定方法

超音速先細末広ノズルにおける先細部からスロート部において，管内流体を音速まで，末広部分では気体速度をさらに加速し，M=1.8 に相当する超音速噴流を得ることが確認できた．先細末広ノズルの主要寸法を設定する手法は，管内流体である冷風を完全気体と扱い，かつ一次元定常エントロピー流れと仮定することにより導かれる流れの関係式[1]に基づいている．

Fig.8 には，矩形断面ノズル末広部の主要寸法を設定する手法を示した．以下に矩形出口を有する先細末広ノズルの設定方法を記述する．

(i) ノズル出口の流体全圧を確保できる距離（ポテンシャルコア L_{PC}）をあらかじめ設定する．

(ii) L_{PC}に対応した初期設定条件(p_0, 矩形断面先細末広ノズルの有効寸法 k_e, w_e および標準状態におけるのど部通過流量 Q*)を設備制限(Q*<Qa*)範囲内で定める．

(iii)冷風供給条件（初期圧力 p_0と初期温度 T_0）に対応したノズル出口部流速(マッハ数 M, 音速 u)と有効出口主要形状を求める．

(iv)末広部と出口形状における形状因子と流れの基礎式から噴流レイノルズ数 Re_eが定まり，粘性や境界層の

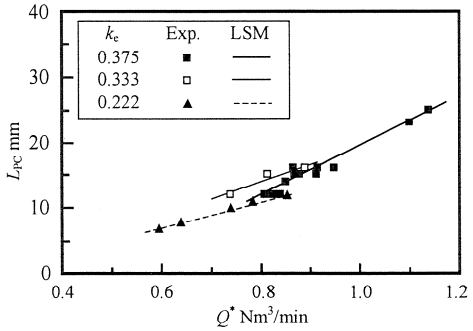


Fig.7　Relationship between Q* and L_{PC}

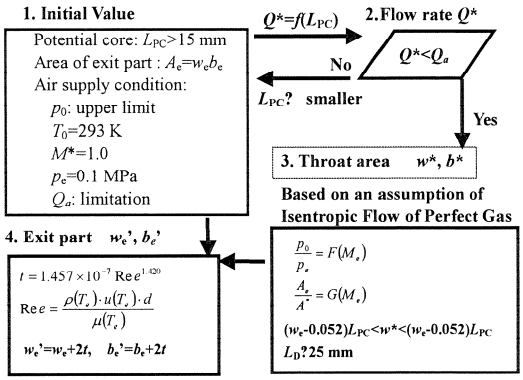


Fig. 8　Design of main part of C-D nozzle

剥離を考慮した排除厚さ t を決めることができる．これらの因子が定まれば，実験結果に基づいて排除厚さを含んだノズル出口寸法を定めることができる．

3　冷却特性評価

流れの基礎式と本実験で得た噴流特性を基礎にして，本研究で開発した超音速先細末広ノズルの冷却特性を明らかにすれば初期条件（上部圧力 p_0，冷風供給温度 T_0）毎の噴流特性に対応した主要形状を定めることが可能となる．そこで超音速先細末広ノズルの噴流冷却性能を明らかにすることを試みた．その結果の概略を以下に示す．

3．1　冷却特性と噴流特性との関係

強制対流の熱伝達に関する様々な実験結果は，流体と冷却面間の熱伝達の強さを示す無次元数ヌッセルト数 Nu，流体の運動量の伝わる度合いと熱量の伝わる度合いとを示すプラントル数 Pr および Re を用いて行われる[2]．

ただし，空気を取り扱う場合，Pr を温度に対して一定として取り扱える．著者ら[7]は，伝熱モデルを用いた冷風冷却特性評価結果より，式(4)に示す矩形断面先細末広ノズルの出口噴流特性 Re_e とポテンシャルコア領域内のノズル噴流の冷却特性 Nu との実験式を導いた[7]．その結果を Fig.9 に示す．

$$Nu = 0.0586\ Re_e^{0.657} \qquad (4)$$

ポテンシャルコア領域内におけるノズル噴流の冷却性の優劣は，上述の実験式を基礎にして把握できる．管内流体は“準定常等エントロピー流れ”の仮定が成立するため，冷風供給条件に対応するノズル出口部の静温度 T_e に対応する流速(マッハ数 M，音速 a)と流体の密度 ρ と粘性係数 μ が一意的に決まり，Re_e を求めることができる．したがって，冷風供給条件に対応する Re_e を式(4)に代入することにより，冷却条件やノズルサイズの異なるノズル噴流の冷却性を簡易に予測できる．

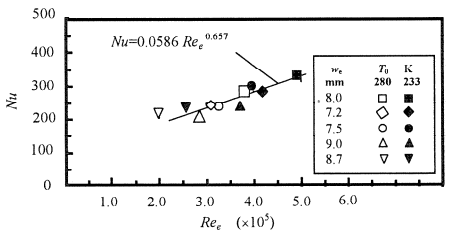


Fig.9　Relationship between Reynolds number *Re* and Nusselt number *Nu*

Table 2　Practical grinding and dressing conditions

Grinding conditions	Wheel	SA80J7V75S (OD 280 mm) *Wheel speed: 3600 m/min*
	Workpiece	SCM435H (0.2%C-0.85%Mn-1.0%Cr- 0.2%Mo) Work speed: 36 m/min (OD64 mm×width7mm)
	Grinding	23.55 mm²
	allowance	480 mm²/min
	Stock removal rate	20 rev
Dressing	Spark out	Single-point diamond dresser
		0.1mm/rev
	Dresser	OD20μm × 3・OD10μm × 2・OD5μm × 4

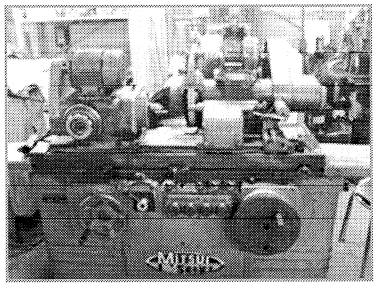
3．2　ノズル設定最適位置

Nu が最も高くなる領域はノズル種類によらずほぼ $0.8 \leqq z/L_{PC} \leqq 1.5$ である．しかしながら，既報[7]にて矩形断面の先細末広ノズル噴流において，冷却面全体に噴流全圧を均一に供給できる領域は $z/L_{PC} \leqq 1.0$ であることを確認している．それ以外の領域 $z/L_{PC}>1.0$ ではノズル角部やノズル噴流周辺部で全圧低下が生じるため，噴流冷却面中央部で得た冷却特性をノズル出口全断面および噴流冷却全断面に対して保証できなくなる．このため，最適ノズル設定位置は噴流全圧(流速)分布が冷却面にほぼ均一に確保できる領域 $z/L_{PC} \leqq 1.0$ と熱伝達が総合的に促進できる領域 $0.8 \leqq z/L_{PC} \leqq 1.5$ との交わる領域 $z/L_{PC}=1.0$ 近傍($0.8 \leqq z/L_{PC} \leqq 1.0$)となる．

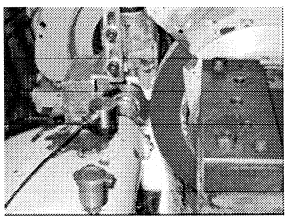
4.　残留応力と冷風供給温度との関係

4.1 冷風加工条件と加工表面層の残留応力測定方法

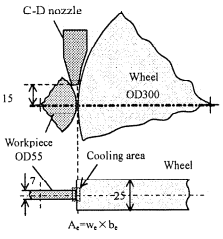
工作物対象となる機械構造用特殊合金 SCM435H を表2の条件で冷風研削加工を施した．Fig.10(a)には，工作機械として用いた研削盤（MUG－27/50），砥石（SA80J7V75S）を用いて高能率研削加工（UpCut 加工）を行った．加工後の被工作物表面粗さを Ra<3mm とした．Fig.10(b), (c)には，先細末広ノズルを取り付け加工している様子および先細末広ノズルの取り付け位置並びに冷却範囲の概略を示している．実験に用いた冷風供給ノズルは，有効出口寸法が 7.5mm×2.5mm であるものとし，



(a)　Grinder



(b)　Cool air Grinding with C-D nozzle



(c) Outlines to cool air grinding

Fig.10　Cool air Grinding for Grinder and C-D nozzle

砥粒研削点から垂直方向に15mm上方の位置にノズルを設置した．冷風供給における上部圧力および空気供給温度をそれぞれp_0=0.6 MPa(abs), -55℃<T_0<20℃に設定すると，ノズル出口噴流が適正膨張となり，M=1.83，L_{PC}=16mm の超音速噴流を得る．工作物表層部に生じる周方向残留応力をＸ線応力測地装置（理学電機株式会社MSF－2M）により回折面法線角φ一定法に基づき測定した．このときの照射野制限マスク直径を 5mm とした．残留応力算出に用いる応力定数KはK=－318 MPa/degとし，回折条件を特性Ｘ線 Cr-Ka，回折面(211)，管電圧 30kV，管電流 10mＡとした．

4．2　加工表面層の残留応力測定方法

SCM435H(1.0％Cr-0.2％Mo 鋼)を対象とした冷風加工表面層の残留応力σ_Bと冷風供給温度 T_0 との関係をFig.11 に示す．この結果から，T_0の減少に伴い残留応力は低減する．空気供給温度をT_0=－45℃（－40 ～－50℃の範囲）に設定することにより，残留応力が引張から圧縮残留応力に転ずる．空気供給温度を T_0<－45℃に設定すると，T_0の低下に伴い表層部の圧縮残留応力は増大する．この理由は，表面研削点温度が冷風供給温度の低減に伴い，被研削部の熱膨張を抑制するためである．

4．3　表面残留応力とノズル噴流冷却性との関係

Fig.12 の横軸をノズル噴流の冷却特性を示す Nu 数に置き換えて評価を行う．Nu への置き換えは，流れの関係式を基礎にして求めたノズル出口部の噴流特性 Re_eを(4)式に代入して Nu を求める．この操作により Fig.11 の横軸 T_0に対応する Nu を定めることができる．表層部の残留応力σ_Bと Nu との関係式(5)を最小自乗法により得る．

$$\sigma_B = -0.839Nu + 247.23 \qquad (5)$$

上記の関係式から残留応力σ_Bが引張から圧縮へ転じる Nu は Nu=294 となる．この冷却特性を満足する噴流特性 Re_eに対応する冷風供給条件は，流れの基礎式に基づきノズル出口アスペクト比毎に，上部圧に対応した出口形状を提示できる．その結果の一例を Fig.13 に示す．Fig.13 は T_0=－40℃，k_e=0.333 の条件において，圧縮残留応力発生条件(w_e－p_0曲線)を太線で示す．

したがって，L_{PC}＝15mm を確保し，残留応力を圧縮に転じさせたい場合は，Fig.13 内の太線と図内破線との交わる条件に設定することが有効である．表面層圧縮残留応力を創生する冷風加工条件を様々な条件において明らかにし，冷風研削加工の実用性と有用性を示すことができた．

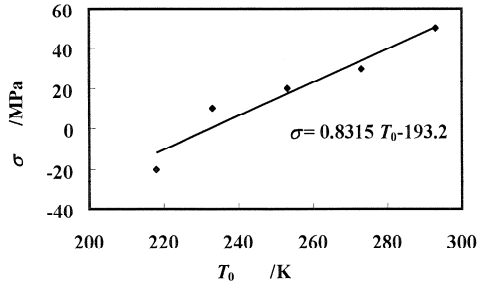


Fig. 11　Effect of T_0 on residual stress in ground surface

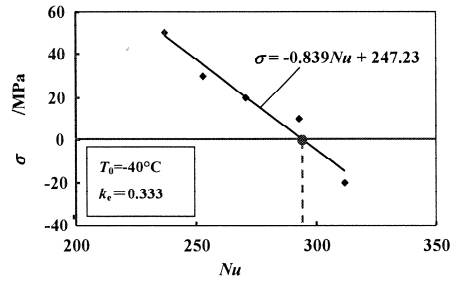


Fig.12　Relationship between Nusselt number Nu and Residual Stress

4．結　言

本研究では，表面性状が特に重要となる機械構造用特殊合金(SCM435H: 1.0％Cr-0.2％Mo 鋼)を対象として，矩形断面先細末広ノズルを用いた冷風研削加工におけるノズル噴流冷却特性と残留応力との関係を明らかにした．

(1) 冷風研削加工を対象として超音速先細末広ノズルの設計手法の検討を行った．試作ノズルの噴流特性と冷却特性を明らかにした．

(2) Nu と噴流 Re との関係を明らかにし，圧縮残留応力発生条件となる冷却特性 Nu=294 を明らかにした．

(3) T_0の減少に伴い冷風加工表面層の残留応力σ_Bは低減する．この理由は，表面研削点温度が冷風供給温度の低減に伴い，被研削部の熱膨張を抑制するためである．

(4) 圧縮残留応力発生条件に対応する冷風供給条件を無次元パラメータに置き換え，先細末広ノズルの形状および冷風供給条件から表面残留応力の大きさを予測可能とした．これらの結果に基づき，表面層圧縮残留応力を創生する冷風加工条件を様々な条件において明

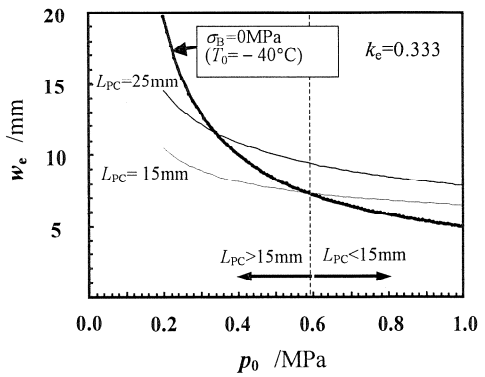


Fig. 13　Effective outlet profile of C-D nozzle for turning residual stress on ground surface compressive

らかにし，冷風研削加工の実用性と有用性を示した．

参 考 文 献

1) 横川宗彦：グリーンマシニングの動向，工業調査会，9，10,(1999)
2) 奥村成史，横川和彦，横川宗彦，公害防止のための研削油剤を用いない従来砥石による冷風研削の研究，砥粒加工学会誌，**41**，12，(1997)，465.
3) 本間宏之，横川和彦，横川宗彦，公害防止のための研削油剤を用いない CBN 冷風研削技術の研究，精密工学会誌，**62**，11，(1996)，1638.
4) 高瀬敏博，廃棄物処理関連技術－冷風による切削技術－，冷凍，**77**，895，(2002),404.
5) 横川宗彦，冷風旋削加工における冷風供給条件が加工性能に及ぼす影響，日本機械学会第３回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集，213，(2001)，61.
6) 日本機械学会：伝熱ハンドブック，丸善株式会社，(1993).
7) 山内勝利，傘　裕倫，峠　睦，渡邉純二：SG 砥石を用いた冷風研削に関する研究，砥粒加工学会誌，45，12，(2001)，586.
8) 河村末久，研削における加工メカニズムの解析，8，(1988)，74.
9) 横川宗彦，横川和彦，ボラゾン CBN ホイール(砥石)の研削性能 12，(1987)，115.
10) 松尾一泰:圧縮性流体力学，内部流れの理解と解析，理工学社，(2001).
11) 立野昌義，寺川慎二，冷風研削加工用矩形断面先細末広ノズルの開発，精密工学会掲載可.
12) 立野昌義，福島寿昭，寺川慎二，大森茂俊，小久保邦雄，冷風研削加工における先細末広ノズルの噴流冷却特性，精密工学会投稿中.
13) 塚本信也，円筒研削における研削温度の測定，砥粒加工学会誌，45，5，(2001)，215.
14) 江田弘，貴志浩三，大久保昌典，上野秀雄，有限要素法による研削加工層の残留応力シミュレーション解析（続報），精密機械，47，3，(1981)，314.

付録

付録 Fig.A-1 には，**a.** T_0=－40℃，k_e=0.375，**b.** T_0=－40℃，k_e=0.333，**c.** T_0=－40℃，k_e=0.300，**d.** T_0=－40℃，k_e=0.222 におけるポテンシャルコア長さを 15mm 確保でき，かつ圧縮残留応力を創生させる境界の w_e－p_0 曲線を示す．

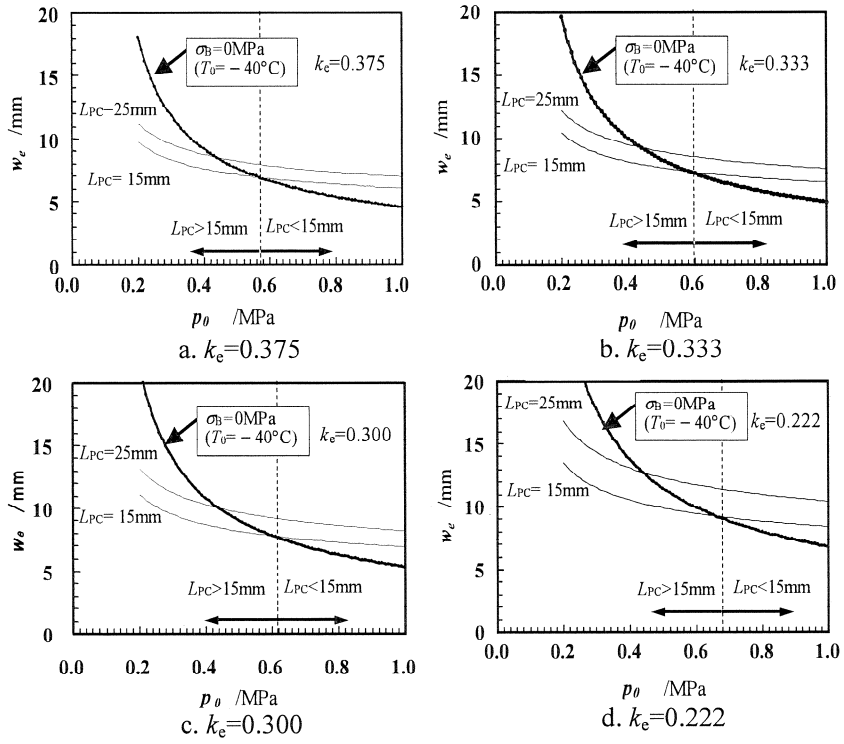


Fig. A-1 Effective outlet profile of C-D nozzle for turning residual stress on ground surface compressive

風力発電用直線翼縦軸風車の性能評価および性能改善に関する研究

工学部機械工学科　水野 明哲、飯田 明由（現　豊橋技術科学大学）、金野 祥久
東京大学生産技術研究所　加藤 千幸

Study on Performance Estimation and Improvement of a Straight Winged Vertical Axis Wind Turbine

Akisato Mizuno, Akiyoshi Iida, Akihisa Konno,
Department of Mechanical Engineering, Kogakuin University
Chisachi Kato: University of Tokyo

ABSTRACT：Wind turbines are used for power generation in order to utilize natural, renewable energy. Conventional wind turbines are mostly of horizontal-axis type. The authors have been developing Straight-Wing Vertical Axis Wind Turbines, because of its specific advantages. We have established a high accuracy performance estimation method. The performance estimation method was investigated with a multiple stream-tube two stage actuator disc theory. The flow divergence was taken into account. In the current study, we try to establish a control scheme, with which the rotational speed is controlled by means of load adjustment. In addition, we have done basic study of hydrogen generation by electrolysis, which can absorb the temporal variation of power generation by the wind turbine.

１．　はじめに

近年，環境破壊が問題視されている状況において風力発電は廃棄物を出さないクリーンかつ再生可能な自然エネルギとして注目を集めている．風力発電用風車として水平軸風車と縦軸風車があるが，現在大規模発電用風車の主流は水平軸風車にある．水平軸風車は航空機のプロペラ理論を適用できることや，古くから開発が進められてきたことから技術が確立している[(1)(2)(3)(4)]．一方，ダリウス型の縦軸風車は水平軸風車に比べると新しく，流体力学的な性能予測手法が確立されていない等の理由により実用化が遅れている[(5)(6)]．これまでに理論に基づく性能予測法として，単一流管理論[(7)]や多流管理論[(8)]を用いた方法が提案されているが，これらの多くは風が風車を通過して減速したことによる流線の広がりを無視した展開が行われている[(7)(8)]．

筆者らは、風が風車を通過して減速したことによる流線の広がりを考慮し，より精度の高い縦軸風車の性能予測法を提案することを目的とした．その際，理論による展開では，回転している風車の翼を横切る風向の変化，つまり流線の広がりを求めることは難しい．よって，本研究では一部数値解析を取り入れることにより，流線の広がりを考慮した．

上記の性能評価法の進展に伴い，試作している風力発電設備をより実用化するため，風車の回転数制御を試み，また風力発電された電力で電気分解により水素を発生させる装置を提案した．縦軸風車は風向に依存せず，発電機などの重量物を地上付近に設置可能などの利点がある．しかし，欠点として高効率運転が可能な周速比の範囲が狭い事があげられる．また安全面に関する問題として強風時における高回転により大きな遠心力が働くため破損の恐れがある事，発電電力量が不安定である事があげられる[(9)]．そのため高効率を維持し，破損させないような回転数の制御と発電電力の安定化もしく利用方法の検討が必要となる．そこで，本研究では，発電機の負荷抵抗変動により風速に追従した回転数の制御を行った．その中で風車の制御をするためにどのように負荷を掛けるか検討した．それに加えて，風力発電で得られた電力の利用方法として水の電気分解による水素発生装置を提案し，本研究室風車の回転数制御に使用できる水素発生装置を設計した．また水素の発生量に着目した設計も行った．

さらに、これまでの研究成果をもとに，制御に必要な抵抗値を算出する．また，実際の運転状況を考慮した抵抗値を決定し，負荷抵抗回路を作成する．本研究では，発電機に抵抗回路を接続し，負荷抵抗値を制御することにより風速に追従した回転数の制御を行う．そして，高効率運転域を維持し，安定した発電を行うことを目的とする．風車の回転数を制御するために，どのように負荷をかけるかを検討する．

２．　２段多流管解析

気流が風車にぶつかるとき、風車とのエネルギー交換のために減速が発生する。これに伴い、流路幅の増大が起こるが、これまでの研究では、流路幅の拡大を考慮しない解析が行われてきた。筆者らは以下のような検討を行うことで、流路の広がりを考慮した、より精度の高い解析を可能とした。

図 2-1 (a) に示すように，縦軸風車は 1 回転する間に風が翼軌道を 2 回横切るため，風車を上流と下流に分けた 2 段アクチュエータとし，微小流管ごとに区切って考える．また，本研究では図 2-1 (b) に示すように，回転軌道上にソリディティは一定のまま，無限小の翼弦長を持った翼が並んでいると考える．理論による展開を行うにあたり，風は定常，非圧縮，2 次元とする．

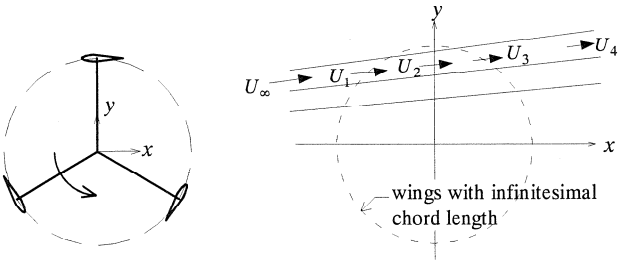


図 2-1　縦軸風車の(a)ロータ形状(b)各検査面での風速

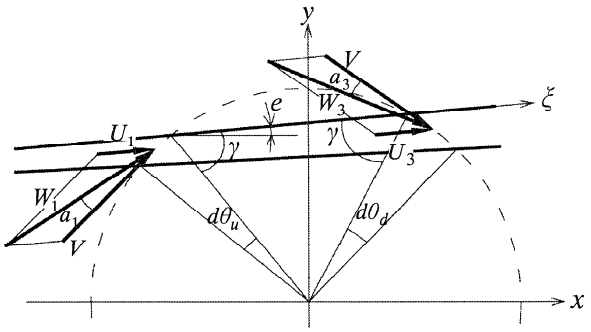


図 2-2　翼に作用する風速，流線の広がり

図 2-2 に示したのは，翼に作用する風速である．周速 V と一様流風速 U_∞の比として周速比$\lambda=V/U_\infty$を定義する．一様流風速 U_∞が翼の運動により減速し，ある角度を持って翼に風速 U_1で流入する．$U_1=(u_1,v_1)$である．流線が x 軸となす角を広がり角εとすると，εは u_1, v_1を用いて表すことができる．

$$\tan e = \frac{v_1}{u_1} \tag{1}$$

本研究では風車内部の流線を x 軸に対して広がり角εを持って直線的に広がっていると仮定し，半径と流れ方向のなす角をγとする．第 2, 3 象限におけるγは次式で表せる．

$$\gamma = \pi - \theta + \varepsilon \tag{2}$$

流線は角度εのまま直線的に広がっているため，第 1,4 象限におけるγは，第 2, 3 象限のγと等しい．流線の広がりを考慮すると上流部と下流部の境界は条件により異なる．上流部と下流部の境界は流線と円弧の接点（γ=90 °）となる回転角である．

2.1　数値解析による広がりの考慮

理論では，風が風車を通過して減速したことによる流線の広がりを考慮した展開が難しい．そこで，本研究では数値解析により流線の広がりを考慮する．本研究では，比較的シンプルな数値計算にとどめるため，風車の回転を計算メッシュが移動する移動境界問題で再現するのではなく，風車部をポーラスバッフルとし，多孔率 η を変化させることにより風が翼に流入する際の減速と広がりを再現した．数値解析には非構造メッシュの有限体積法を用い，乱流モデルは k-εモデルとし，汎用熱流体解析ソフト STAR-CD により，風車周りの流れを調べた．解析は定常で行った．解析対象は，風車中心を原点とした 2 次元領域について図 2-3 に示すような領域を設定した．表 2-1 に境界条件を示す．数値解析により，翼に流入する風速 U_1 の x, y 方向成分 u_1, v_1 が求められる．

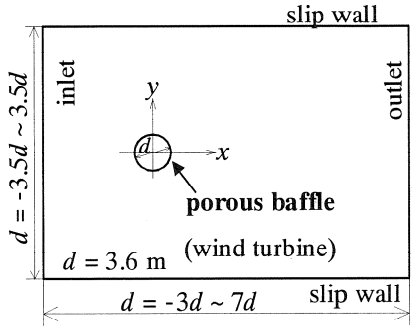


図 2-3　解析領域

表 2-1　境界条件

inlet	uniform (6m/s)
outlet	free
wall	slip wall
wind turbine	porous baffle

2.2　上流部の評価

翼に働く力から求めたξ方向の力と，運動量理論から求めた ξ 方向の力の釣り合いから翼に流入する風速 U_1 を求める．ある微小角$\delta\theta_u$での翼に働く力から求めたξ方向の力は，接線方向の力$\delta F_{T,u}$，法線方向の力$\delta F_{N,u}$から，

$$\begin{aligned} dF_{\xi,u} &= -dF_{N,u}\cos\gamma - dF_{T,u}\sin\gamma \\ &= -\frac{\rho W_1^{\,2}}{4p} Nc\left(C_N\cos\gamma + C_T\sin\gamma\right)d\theta_u \end{aligned} \tag{3}$$

と表される．ここで，C_N，C_Tは法線，接線係数である．上流部全体でのξ方向の力 $F_{\xi,u}$は上流部領域を $e \leqq \theta < f$ とすると，

$$F_{\xi,u} = -\int_e^f \frac{\rho W_1^{\,2}}{4p} Nc\left(C_N\cos\gamma + C_T\sin\gamma\right)d\theta_u \tag{4}$$

となる．また，運動量理論からξ方向の力$\delta F_{\xi u}$及び風車内部での風速 U_2 を求めると，

$$dF_{\xi,u} = 2R\rho U_1(U_\infty - U_1)\cos\gamma\, d\theta_u \tag{5}$$

$$U_2 = 2U_1 - U_\infty \tag{6}$$

となる．上流部全体でのξ方向の力 $F_{\xi,u}$ は次のようになる．

$$F_{\xi,u}=\int_e^f 2R\rho U_1(U_\infty-U_1)\cos\gamma\, d\theta_u \tag{7}$$

上流部の翼に流入する風速 U_1 は次のようにして求める．数値解析結果から翼に流入する風速 $U_1=(u_1,v_1)$ を得る．式(1)，(2) から流線の広がり角εおよびγを求める．次に，式(4)，(7)から翼に働く力と運動量理論からξ方向の力 $F_{\xi u}$ をそれぞれ求め，この２つのξ方向の力の釣り合いを調べる．釣り合いが取れない場合は多孔率ηを変化させ，力の釣り合いが取れるまで同様の手順を繰り返す．２つの力の釣り合いが取れたときその条件での多孔率ηが決まり，翼に流入する風速 $U_1=(u_1,v_1)$ が求まる．

2.3　下流部の評価

下流部も上流部と同様に翼に働く力から求めたξ方向の力と，運動量理論から求めたξ方向の力の釣り合いから，下流部の翼に流入する風速 U_3 を求める．ただし，下流部では数値解析は用いない．広がりを考慮したことにより，下流部の微小角 $\delta\theta_d$ は流管ごと変化する．$\delta\theta_d$ は次式で得られる．

$$\delta\theta_d=\delta\theta_u+2(\varepsilon_i-\varepsilon_{i-1})\quad (i=1,2,3\cdots) \tag{8}$$

風車内部での風速 U_2 と下流部の翼に流入する風速 U_3 の比を速度比 β_d とし，

$$\beta_d=U_3/U_2 \tag{9}$$

と定義する．ある微小角 $\delta\theta_d$ での翼に働く力から求めたξ方向の力は，接線方向の力 $\delta F_{T,d}$，法線方向の力 $\delta F_{N,d}$ から，

$$\begin{aligned} dF_{\xi,d}&=dF_{N,d}\cos\gamma+dF_{T,d}\sin\gamma\\ &=\frac{\rho W_3{}^2}{4p}Nc\left(C_N\cos\gamma+C_T\sin\gamma\right)d\theta_d\end{aligned} \tag{10}$$

と表される．また，運動量理論からξ方向の力 $\delta F_{\xi,d}$ および風車下流無限遠での風速 U_4 を求めると，

$$dF_{\xi,d}=2R\rho U_2{}^2\beta_d(1-\beta_d)\cos\gamma\, d\theta_d \tag{11}$$

$$U_4=2U_3-U_2 \tag{12}$$

となる．下流部の翼に流入する風速 U_3 は次のようにして求める．翼に働く力から求めたξ方向の力と，運動量理論から求めたξ方向の力の釣り合いから，流管ごとの速度比 β_d を求めることによって翼に流入する風速 U_3 を算出する．速度比 β_d は式(10)，(11)より以下のように表すことができる．

$$\beta_d=\frac{1}{1+G(\beta_d)} \tag{13}$$

$$G(\beta_d)=\frac{Nc}{8pR\cos\gamma}\left(\frac{W_3}{U_3}\right)^2\left(C_N\cos\gamma+C_T\sin\gamma\right) \tag{14}$$

速度比 β_d は式(9)，(13)，(14)を用いて求める．まず，任意で β_d の値を与え，式(9)から U_3 を求め式(14)を計算する．得られた結果を式(13)に代入し新たな β_d を得る．その β_d を再び式(9)に代入し，同様の手順を繰り返し行い計算が収束したとき，その条件での β_d が決まり，翼に流入する風速 U_3 が求まる．

2.4　風車の出力係数

風車が風から得る動力 P は上流部，下流部で風から得る動力 P_u，P_d の和 $P=P_u+P_d$ となる．風が持つ動力は $P_\infty=\rho AU_\infty{}^3/2$ となる．以上より，風車の出力係数 C_P は，$C_P=P/P_\infty$ となる．

2.5　風車の性能計算

いくつか条件を変えて計算を行った中から，本性能予測法と Homicz[10] の広がりを考慮しない場合の性能予測結果の比較について示す．計算条件は一様流風速 $U_\infty=6$m/s，回転半径 $R=1.8$m，翼弦長 $c=0.18$m，翼枚数 $N=3$ 枚とし，翼型特性（揚力係数 C_L，抗力係数 C_D）は Sandia National Laboratories の実験値[11]（NACA0018，$Re=1.6\times10^5$）を使用した．図 2-4 に広がりを考慮した場合としない場合の λ-C_P 曲線を示す．

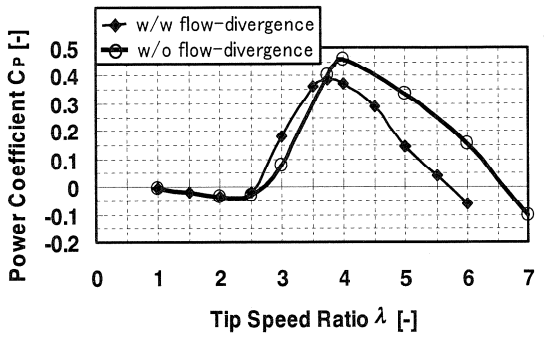


図 2-4　広がりを考慮した場合としない場合の λ-C_P 曲線

λ =1～2.5 までは広がりを考慮した場合としない場合で C_P はほぼ同じであり，広がりの影響は出ていない．λ =2.5～3.75 の比較的小さい周速比では広がりを考慮した場合の方が C_P は大きい．また，広がりを考慮したことにより最大出力係数 C_{Pmax} をとる周速比は小さくなり，C_{Pmax} の値も減少する．λ =3.75 以降の高周速比では広がりを考慮した場合の方が C_P は小さくなる．

λ =2.5～3.75 において λ =3 に着目し，広がりを考慮しない場合の方が考慮した場合よりも C_P が大きくなることについて考える．図 2-5 に λ =3 のときの回転角に対する迎え角変化，図 2-6 に回転角に対する風車が風から得る動力を示す．

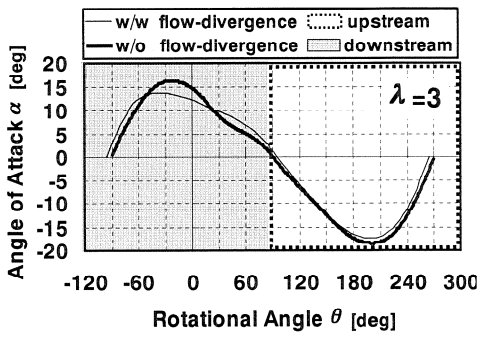


図 2-5　回転角 θ に対する迎え角 α（λ=3）

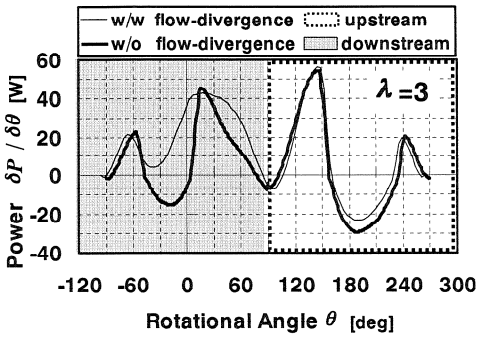


図 2-6　回転角θに対する風車が風から得る動力$\delta P/\delta\theta$（λ=3）

図 2-5 から広がりを考慮したことにより考慮しない場合に比べ，上流部では迎え角の絶対値が減少，下流部では場所により増加，減少が見られる．本研究で用いた翼型特性はα=±10°を超えると失速状態となる．α>±10°となる迎え角を見ると，広がりを考慮した場合の方が迎え角の絶対値が小さいことから，揚力係数C_Lは増加，抗力係数C_Dは減少し，風車の回転力が増加した．よって，広がりを考慮したことにより図 2-6 に示すように風車が風から得る動力が増加し，C_Pが大きくなる．

次に，λ=3.75 以降の高周速比においてλ=5 に着目し広がりを考慮しない場合の方が考慮した場合よりも C_P が小さくなることについて考える．図 2-7 にλ=5 のときの回転角に対する迎え角変化，図 2-8 に回転角に対する風車が風から得る動力を示す．

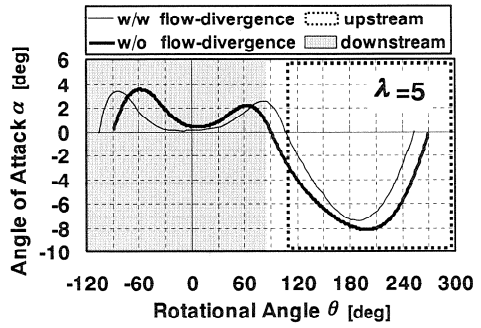


図 2-7　回転角θに対する迎え角α（λ=5）

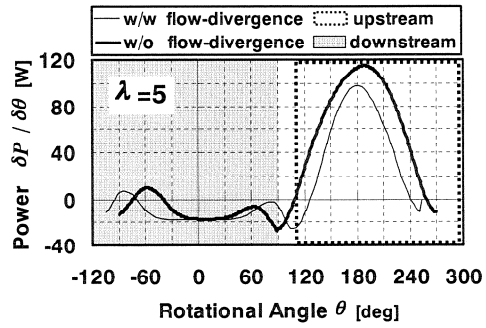


図 2-8　回転角θに対する風車が風から得る動力$\delta P/\delta\theta$（λ=5）

図 2-7 から広がりを考慮したことにより考慮しない場合に比べ，上流部，下流部共に迎え角の絶対値が減少している．しかし，λ=5 のような高周速比では迎え角の変化が小さく，失速角を超えた迎え角を取らない．よって，広がりを考慮したことにより失速角を越えていない迎え角が減少するため，C_L，C_Dが減少する．また，高周速比では翼による風のブロック効果が大きく，上流部，下流部の翼に流入する風速が小さくなる．迎え角の絶対値の減少に伴い回転力が減少し，翼に流入する風速も小さくなることから図 2-8 に示すように風車が風から得る動力が減少し，C_Pが小さくなる．翼弦長を変化させ同様の計算を行い，類似の結果を得た．

3．　風車回転数制御

3．1　制御の基本概念

直線翼縦軸風車は，鉛直回転軸の周りに複数の直線翼を固定して持つことを特徴し，簡単な翼構造によって高いエネルギー変換効率を得られることが利点である[12]．そのため，水平軸風車のような翼の角度を調整するピッチ角制御をせず，物理的なブレーキ機構，電磁的な発電機の負荷抵抗からの制御を行う．電磁的制御は発電機に負荷抵抗を取り付け，その抵抗値を変えることで風車の回転数をコントロールする．物理的な制御は一般的に回転体を制動するディスクブレーキにより制御する．

性能面

風は時間的に不規則であるためそのエネルギーをいかにして有効に取り出すか問題である．性能面は変動する風に対して風車回転数を制御し，高いパワー係数が取り出せる周速比にする．縦軸風車は高パワー係数を取得できる周速比の範囲が狭い[13]．このため縦軸風車は狭い周速比間を安定させる制御が必要となる．このことから最適な負荷抵抗が必要となる．

安全面

安全面は高い回転数により風車破損を回避するため，定格回転数を設定し制御する．基本的には負荷抵抗により風車回転数を制御するが，風速増加により対処不可能となったとき物理的なブレーキ機構の自動ブレーキによって停止させる．各制御の特徴を以下に示す．

周速比一定制御

周速比一定制御は高パワー係数を取り出すことができるが，風速により回転数を変化させなければならないので柔軟な制御が必要となる[13]．周速比は一定値 4 にする．

回転数一定制御

回転数一定制御はどんな風速でも回転数を一定にできればよいので周速比一定制御よりは比較的簡単であるが高いパワー係数は望めない[13]．回転数は定格回転数である 170rpm で一定とする．

3．2　制御領域設定

一般的に風車は風速によって制御内容が分かれるが縦軸風車のパワー係数の特徴と設定した定格回転数により次の 4 領域に場合分けする．この 4 つの領域の制御する回転数を次の図 3-1 に示す．

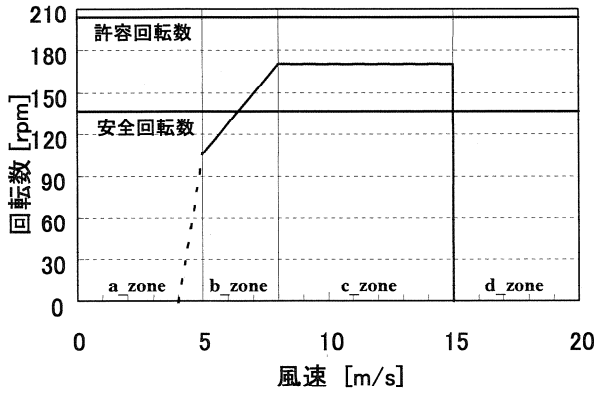


図 3-1　風速による回転数の制御

a_zone、b_zone、c_zone、d_zone の場合わけ現在設定している定格回転数は 170rpm としているが，これは発電機と現在の試作 5 号機のスペック上この値に定めている．

a_zone

カットイン風速以下(0～5m/s)の領域を a_zone とする．直線翼縦軸風車は停止状態から起動する場合，機械的な摩擦などにより大きなトルクが必要となるため自己起動性が乏しい．よって，a_zone では風車を起動させることを第一とし，発電機の負荷抵抗を一番低い状態にしておき，起動性を良くする．

b_zone

カットイン風速から定格風速時(5～8m/s)の間を b_zone とし，周速比一定制御を行う．この領域では風からの獲得エネルギーを最大にする．風速に応じて，直線翼縦軸風車が効率のよいとされている周速比 4 付近に風車回転数を制御する．

c_zone

定格風速以上（8～15m/s）時を c_zone とし，回転数制御を行う．試作機専用の発電機の定格回転数が 170rpm(風速 8m/s で周速比 4 の回転数)であるため，負荷抵抗によりこの回転数に保つ．定格回転数の 1.2 倍と定義した許容回転数を超えると風車破損の恐れがあるためこれを超えたときは自動ブレーキによって緊急停止させる．

d_zone

風車が設定するカットアウト風速（15m/s）以上になったとき，強風により風車破損の恐れがあるため自動ブレーキにより風車を強制的に停止させる．

３．３ 制御の流れ

直線翼縦軸風車の制御は図 3-2 のブロック線図のように行う．制御目標値は風車回転数である．調節部(PC)により制御内容を決定し，負荷抵抗リレー及び自動ブレーキを操作する．外乱となる風は不規則であるため，回転検出器，風速計などによりデータの計測をし，フィードバック制御を行う必要がある．

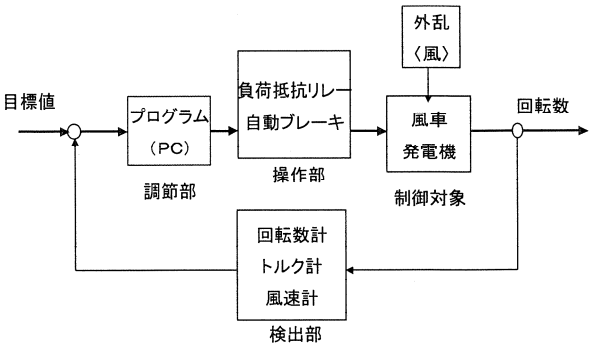


図 3-2 風車制御のブロック線図

プログラム概要

プログラムの主な処理は計測と制御である．計測した値を元にフィードバック制御を行う．計測は現在の試作機の規模からサンプリング周期 1 秒間としている。今年度は負荷抵抗リレー機構の製作を行った．

負荷抵抗値の算出

発電量 P_w は，空気密度 ρ，受風面積 A，風速 U，風車効率 C_p，発電機好悪率 μ_e の関係から，次式で与えられる[8]．

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A U^3 \times C_p \times \mu_e \tag{15}$$

また，発電量 P_w は，内部抵抗 R_{in}，合計外部抵抗 R_{out}，回転数 N，発電機定数 αからも求めることができる．

$$P_w = \frac{(\alpha N)^2}{R_{in} + R_{out}} \tag{16}$$

外部抵抗の値を決定する式として，式(16)を用いる．式(16)を外部抵抗の式に書き換える．

$$R_{out} = \frac{(\alpha N)^2}{P_w} - R_{in} \tag{17}$$

周速比一定制御の場合は λ=4 とする．また，風速を 5～8m/s の間(b_zone)とし，式(17)から外部抵抗を求めた．表 3-1 に，風速による抵抗値の計算結果を示す．

表 3-1　外部抵抗値の計算結果

U[m/s]	R_{out}[Ω]
5.0	777.2
6.0	640.8
7.0	543.4
8.0	470.4

表 3-1 から，最大抵抗値 R_{max} は 777.2[Ω]，最小抵抗値 R_{min} は 470.4[Ω]であるとわかる．しかし，実際に作成する回路の抵抗値には余裕を持たせて，最大抵抗値 R_{max} は 1000.0[Ω]，最小抵抗値 R_{min} は 400.0[Ω]とした．

３．４ 負荷抵抗回路

負荷抵抗回路基本概念

本研究では発電機に負荷抵抗を取り付け電磁的な力によって風車の回転数を制御し周測比や回転数を一定に制御する．負荷抵抗には、常に接続状態となる 400Ωの抵抗と，リレー回路で接続と遮断を行う 2.3Ω，4.7Ω，9.4Ω，18.8Ω，37.5Ω，75Ω，150Ω，300Ωの 8 個の抵

抗，すなわち合計 9 個の抵抗を使用する．このリレーを制御する事により 400～1000 Ωの抵抗を，2 進数的に抵抗値を変化させて与える．リレーの制御には PC 出力ボード＜PCI-2758A＞を使用する．

リレー回路図

PC 出力ボード＜PCI-2758A＞にはリレー接点部とトランジスタ出力部がある．負荷抵抗とリレー回路をボードに接続した時の回路図を図 2-3 に示す．図中の R は抵抗を表し，R_1=2.3Ω，R_2=4.7Ω，R_3=9.4Ω，R_4=18.8Ω，R_5=37.5Ω，R_6=75Ω，R_7=150Ω，R_8=300Ωである．

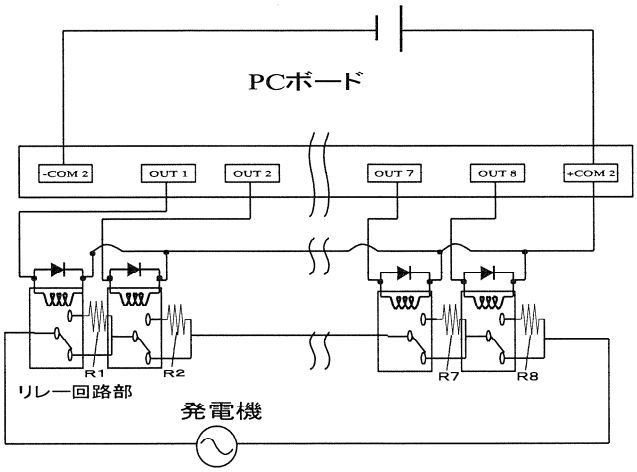


図 3-3　負荷抵抗とボードの回路図
（トランジスタ出力部に接続）

4．　水素発生装置の提案

4．1 水素発生装置の設計方針

3 章では，負荷として抵抗回路を用い，制御の可能性を確認した．発電された電力のより有効な使い方として，電気分解による水素発生装置を検討することとした．水素は燃料電池の燃料となるなど，将来性のあるエネルギー源であり，変動の多い風力の欠点をカバーできるものと考えた[14][15]．

設計案 1

水素発生装置を設計するため，以下のような設計方針を立てた．

方針 1　定期的に交換する必要がない電解液を選択する．
方針 2　各セルが 4，8，16，32，64，128，256，512Ω になるような電解液濃度，電極表面積，電極間隔を決定する．
方針 3　工学院大学 8 号館屋上の直線翼縦軸風車小屋内に設置できる大きさを目指す．
方針 4　コスト面から考え，一つの電解槽の中に複数の電極を設置し，電解液の濃度を一種類とする．

設計案 2

水素の発生量に着目した構造が簡単でメンテナンス性に優れた水素発生装置の製作を目指すため，以下のような設計方針を立てた．

方針 1　定期的に交換する必要がない電解液を選択する．
方針 2　水素発生量を多くするために，導電率の高い電解質濃度を使用する．
方針 3　抵抗値を低く抑えるために，電極の表面積を大きく、電極間隔を狭くする．
方針 4　コスト面から考え，一つの電解槽の中に複数の電極を設置し，電解液の濃度を一種類とする．
方針 5　陽極に炭素電極を使用すると定期的に交換する必要があるので，白金電極より安価である不溶性電極を使用する。

4．2　水素発生装置の概要

設計案 1

設計案 1 に沿った水素発生装置を提案する．概要を表 4-1 に示す．

表 4-1　水素発生装置の概要

電解質	硫酸
電解質濃度[mol/L]	0.04
導電率[S/cm]	0.02
電極(陽極)	不溶性電極
電極(陰極)	炭素
電極枚数	計 16（各 2）
セル数	1
起電力[V]	10

表 4-1 の条件で各セルが 4，8，16，32，64，128，256，512Ωになるような電解液濃度，電極表面積，電極間隔を表 4-2 に示す．さらに，予測される性能を表 4-3 に示す．

表 4-2　抵抗別の仕様

負荷抵抗[Ω]	表面積[mm^2]	間隔[mm]
4	8000	64
8	4000	64
16	2000	64
32	800	51.2
64	600	76.8
128	400	102.4
256	400	204.8
512	400	409.6

表 4-3　水素発生装置の性能予測

1 ワットあたりの水素発生量[L/W]	0.0439
定格回転数時の水素発生量[L/h]	118.53

表 4-2 を用いて，設計を行うと負荷抵抗として水素発生装置を使用することができる．

５．　まとめ

3 年間の研究プロジェクト期間内で，開発中の直線翼縦軸風車に関して，性能評価方法の提案，負荷制御の提案，水素発生装置の提案を行った．得られた知見は以下の通りである．

縦軸風車の性能評価

1) 数値解析により風車部をポーラスバッフルで再現することにより，風向の変化を求め流線の広がり角を得ることができた．数値解析から得られた風速および広がり角と理論による展開を組み合わせることにより，広がりを考慮したより現実的な性能予測手法を開発できた．
2) 広がりを考慮したことにより，最大出力係数が広がりを考慮しない場合に比べ小さくなった．また，広がりを考慮したことにより，考慮しない場合よりも小さい周速比で最大出力係数を取る．

負荷制御の提案

1) 風速範囲のゾーン分けによる制御アルゴリズムを確立した．
2) 過回転防止のため，自動ブレーキを設置し，規定回転数を超えたときに作動させるようにした．
3) 負荷抵抗回路図の作成と負荷抵抗の算出方法の検討をした結果，SWVAWT の回転数制御の見通しが立った．
4) 負荷抵抗を接続し実際に運転したところ，負荷抵抗の値の算出結果が適していると予測できた．
5) 実測データが少ないため，より多くのデータを集める必要がある．

水素発生装置の提案

1) 風力発電では，発電量の変動をどのように吸収するかが重要であるが，電気分解による水素エネルギーとして蓄積することを目指し，水素発生装置の基礎的な設計を行った．

参 考 文 献

(1) 松宮煇：ここまできた風力発電　pp27-28，工業調査会（2000）
(2) 牛山 泉：風車工学入門 基礎理論から風力発電技術まで pp7-16 森北出版（2003）
(3) 松宮煇，飯田誠：図解 風力発電のすべて pp15-20 工業調査会（2005）
(4) 野村卓史：風車のある風景 pp58-61 出窓社（2002）
(5) I. Paraschivoiu, Wind Turbine Design With Emphasis on Darrieus Concept, pp2-6 インデックス出版，（2007）
(6) 松宮煇，飯田誠：図解 風力発電のすべて pp20-21 工業調査会（2005）
(7) Templin. R. J, National Research Council Canada, LRT-LA-160, (1974)
(8) J. H Strickland, Sandia National Laboratories energy report, SAND75-0431, (1975)
(9) 松宮煇，飯田誠：図解 風力発電のすべて pp21-24 工業調査会（2005）
(10) G. F. Homicz, Sandia National Laboratories energy report, SAND91-1124, (1991)
(11) R. E. Sheldahl, P. C. Klimas, Sandia National Laboratories energy report, SAND80-2114, (1981)
(12) 牛山 泉：風車工学入門 基礎理論から風力発電技術まで pp63-64 森北出版（2003）
(13) 牛山 泉：風車工学入門 基礎理論から風力発電技術まで pp145 森北出版（2003）
(14) Simon Hadlington, Stepping on the gas, IEE Review, March 2005, pp.40-43.
IEE Rev Vol. 51 No. 3 Page. 40-43 (2005)
(15) Keith D W , Farrell A E, Rethinking Hydrogen Cars, Science, Vol. 301 No. 5631 Page. 315-316 (2003)

演色性に優れた高輝度・高効率白色発光ダイオードの開発研究

Development of high efficient white light emitting diodes with high color-rendering property

工学院大学・電気システム工学科　　川西　英雄

Development of high efficient white light emitting diodes with high color-rendering property

Hideo KAWANISHI
Department of Electric Engineering,
Kogakuin University

Abstract

The crystal quality of AlGaN layers was improved by alternate-source-feeding epitaxy (ASFE) in the low pressure (LP) metal-organic vapor phase epitaxy (MOVPE). Blue emission of photoluminescence (PL) from the AlGaN clad layer was reduced, indicating that point defects such as Ga or Al vacancy were reduced by the ASFE. On the other hand, the full width at half maximum (FWHM) of X-ray rocking curve was not improved at all and dislocation density observed by the transmission electron microscopy (TEM) was not reduced by the ASFE. Furthermore, the yellow emission from GaN/AlGaN multi-quantum well (MQW) grown by conventional simultaneous source feeding epitaxy (SSFE) on the ASFE AlGaN clad layer was also reduced. This fact indicates that improvement of crystal quality of the AlGaN clad layer propagates to thc crystal quality of the MQW grown on it.

1．はじめに

窒化物半導体を用いた青色、緑色の LED、青紫色ﾚｰｻﾞ・ﾀﾞｲｵｰﾄﾞ(LD)が実用化され，次の研究開発競争はより短波長の紫外 LED および LD に向けられている．これらの紫外 LED および LD の開発は，InGaN を動作層とした青色、緑色の LED、LD と比べて、開発の速度が可成り遅く感じられる。AlGaN 層を活性領域とする LED、LD の最短波長はそれぞれ 222nm, 343nm であるが、発光効率はまだまだ低い。一番問題なのは低転位の高品質 AlGaN 結晶の成長が難しい点である。AlGaN の最適成長温度は GaN の成長温度より高く、且つ InGaN のような局在準位を利用することが出来ないので、転位や点欠陥が直接発光効率に効いてくる。工学院大ではこの問題を Multi Buffer Layer Structure (MBLS) で歪を加えることにより転位を減らし、交互供給法で点欠陥を減らして、光励起とは言え、世界再短波長の 241nm でのレーザ発振に成功している。

交互供給法に似た MOVPE 法は既に幾つかの研究機関から報告されている。ｻｳｽｶﾛﾗｲﾅ大の Khan のグループは、Migration Enhanced (ME-)MOCVD 法で良好な紫外 LED が出来たと報告している。しかし、彼らは報告ごとにこの成長法の名前を変えていて、はじめは Switched Atomic Layer Epitaxy (S-ALE)と言っていた。次に Pulsed ALE と言い、最近は ME-MOCVD と言っている。成長ｼｰｹﾝｽも少しづつ異なる。もともとこの方法は GaAs 系で NTT から Flow Modulation Epitaxy (FME)と言う名前で報告された。理研では Alternating Pulsative Supply (APS) と言う名前を使っていた。このように多くの言葉が使われていると言うことは、この方法の本質が何か、結晶性の何が改善されるのかが未だよく判っていないと言う事である。我々の結果では 1cycle で数 monolayer 成長するので、少なくとも ALE ではない。

ここでは、我々の言う交互供給 MOVPE 法で AlGaN 層の何が改善されるかを検討する。

2.実験

測定に用いたサンプルの構造を図1に示す。最初に6H-SiC基板上にAlN/GaN MBLSを成長する。単膜用のサンプルについてはその上に交互供給法で n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 層を 0.5μm 成長した。比較の為、通常の同時供給法(SSFE)で成長したサンプルも作った。多重量子井戸(MQW)型試料は、上記の n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 層上に 3 nm-GaN の井戸と 7 nm-$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 障壁層を 3 層、同時供給法で成長し、表面に 20 nm の $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$ ブロッキング層を付けた。

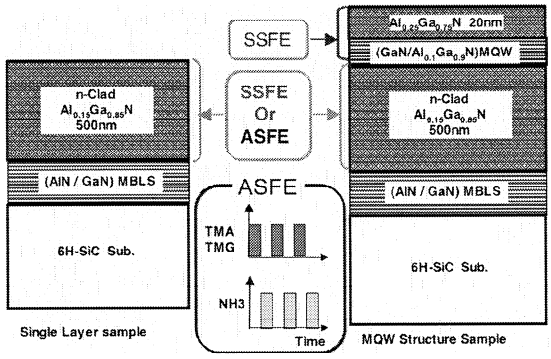


Fig. 1, Structure and growth sequence of the measured samples.

TEM用の試料は、別の装置で同時供給AlN層の上に $Al_{0.7}Ga_{0.3}N$ 層を交互供給で成長したものである。

PL測定は、ArF ｴｷｼﾏﾚｰｻﾞで励起強度を変えて行った。

3.実験結果と考察

3.1、転位の成長法依存性

XRDの結果を図2に示す。半値幅はかなり広くて、必ずしも良い結晶ではないが、同時供給法(SSFE)と交互供給法(ASFE)で差がないことが分かる。らせん転位を反映する(0002)面の半値幅では、同時供給の方がむしろ小さくなっている。即ち、転位を反映しているXRD半値幅は交互供給で改善されない。

更に直接的に転位の挙動を見るために、TEMで[g=(-1-120)]回折点の暗視野像を観測した。結果を図3に示す。AlN層は同時供給、$Al_{0.7}Ga_{0.3}N$ 層は交互供給で成長しているが、その界面で転位が減少している様子は見られない。図2、3の結果は、交互供給によっては転位は減少しないことを意味している。

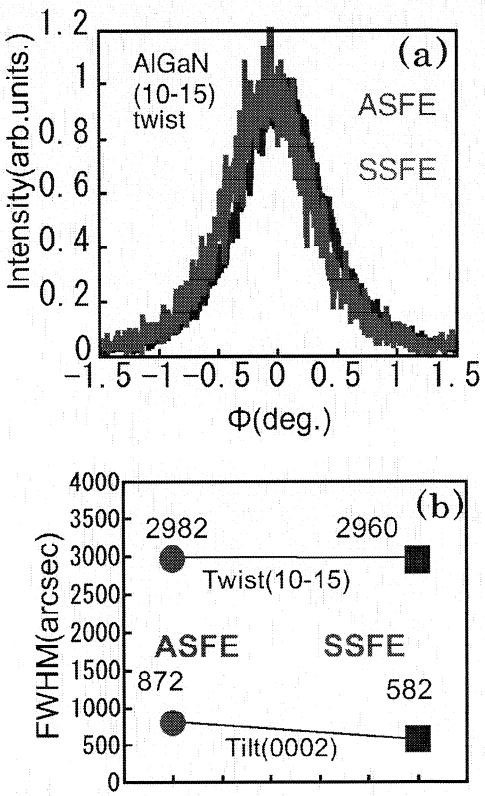


Fig. 2. The (10-15) plane phi-scan rocking curves of both the ASFE and SSFE n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ clad layers (a) and comparison of the resultant FWHM values of both symmetric (0002) plane omega-scan and asymmetric (10-15) plane phi-scan rocking curves (b).

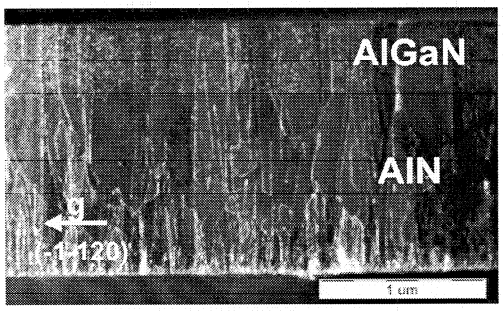


Fig. 3. Dark field TEM image of g=-1-120 diffraction spot. The $Al_{0.7}Ga_{0.3}N$ layer was grown by the ASFE on a conventional SSFE grown AlN template continuously in a different growth apparatus from the one used for the PL measurement samples. White lines include both of edge and mixed dislocations.

3.1、バンド端より長波長の発光

しかしながら現実に交互供給法でクラッド層等を成長することにより、深紫外光励起レーザのしきい値励起強度は、図4に示すよう

に大幅に低下している。この原因を探るためにバンド端より長波長の PL 発光を調べた。

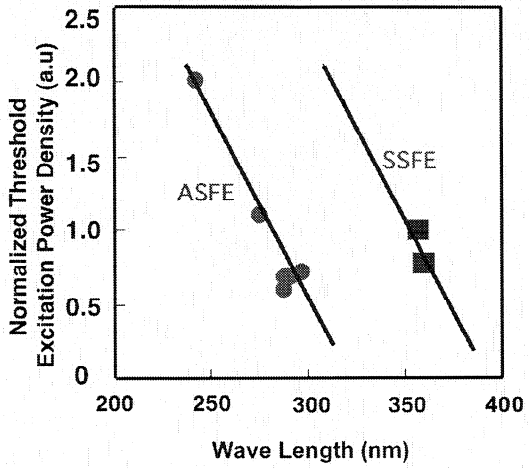


Fig. 4. Comparison of threshold pumping power densities of optically pumped UV-LDs grown by the ASFE and SSFE.

図 5 に交互供給法で成長した n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ と同時供給法で成長した n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ の PL を示す。発光強度はバンド端発光で規格化している。450 nm の長波長発光は、交互供給法で成長することにより大幅に減少している。規格化しない発光では、青色発光は同じぐらいで、バンド端発光が強くなっていた。

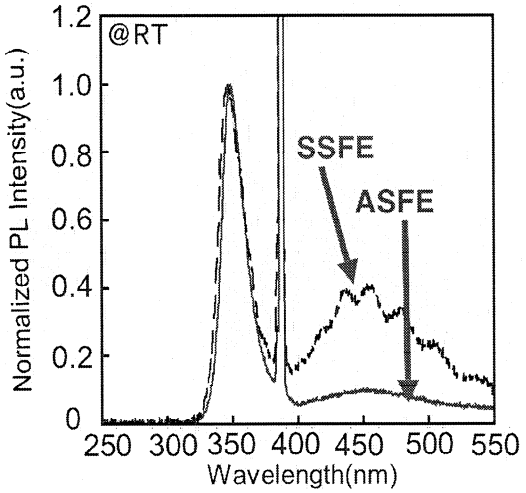


Fig. 5. Comparison of PL spectra between n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ clad layers grown with ASFE and SSFE. A 386 nm peak is a stray light of the ArF exima laser.

長波長発光の強度は、励起強度に依存することが知られている。図 6 は長波長発光強度の励起強度依存性を示したものである。確かに長波長発光強度は、励起強度に依存するが、常にバンド端発光で規格化された交互供給の長波長発光強度は同時供給の長波長発光強度の半分程度であることが分かる。

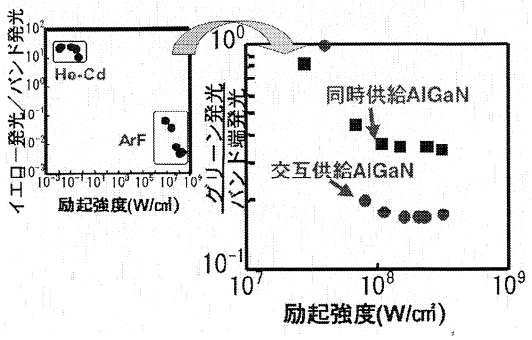


Fig.6. Excitation intensity dependence of blue emission normalized by the band edge emission for both ASFE and SSFE $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ layers.

イエロー発光に代表される長波長発光の起源については昔から多くの議論がある。しかし共通しているのは、Ga や Al の空格子と C などの不純物との複合体が原因と考えていることである。転位が関係しているとの報告もあるが、転位は容易に空格子を放出するので、転位の影響と空格子の影響を区別することは難しいと考えられる。したがって、相対的な長波長発光が強いと言うことは、Ga や Al の空格子が多いと考えても大きな間違いはないであろう。したがって、交互供給法によって相対的な長波長発光が減ったと言うことは、点欠陥などによる非発光センターが減少していることを意味していると考えられる。

一般に GaN からのイエロー発光がよく知られているが、図 5 の n-$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からの発光は 450 nm の青色発光である。図 7 は同一装置で成長された GaN、$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$、$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$/ GaN/$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ MQW からの発光を示したものであるが、GaN、GaN を井戸層にした MQW からは 550 nm のイエロー発光が見える。$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ からの長波長発光は、Al が関係して 450 nm の青色発光になっているものと考えられる。

興味深いことは、交互供給で成長された $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 上の同時供給 MQW からのイエロー発光は、同時供給で成長された $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 上の同時供給 MQW からのイエロー発光より弱いことである。実験結果が図 8 に示されている。この長波長発光が同時供給 MQW からの発光であって、$Al_{0.15}Ga_{0.85}N$

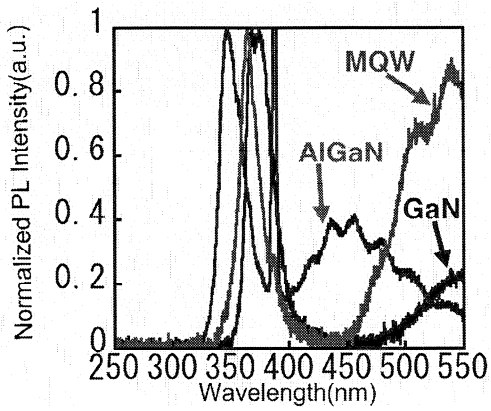


Fig. 7. PL spectra of GaN, AlGaN and GaN/AlGaN MQW. Yellow emission (about 550 nm) is observed on GaN and GaN/AlGaN MQW but blue emission (about 450 nm) is observed on an AlGaN sample. A 386 nm peak is a stray light of the ArF exima laser, and it is eliminated with a filter for the GaN and GaN/AlGaN MQW samples.

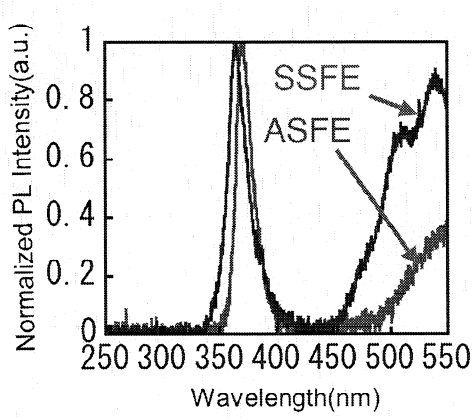


Fig. 8. PL spectra of SSFE grown MQWs grown on both ASFE and SSFE $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ clad layers. The PL is from the GaN/$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ MQWs, not from the $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ clad layer.

クラッド層からの発光ではないことは、発光波長が 450 nm ではなくて、550 nm であることから明らかである。この結果は、クラッド層あるいはバリア層が交互供給で成長されて点欠陥が少ないと、その上に同時供給で成長された薄い MQW の点欠陥も少なくなる事を意味している。多分成長中に薄い MQW 中に発生した点欠陥は、下又は上のより点欠陥の少ないバリア層、クラッド層に拡散して平均化されてしまうのであろう。その結果実際には交互供給で成長された $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ クラッド層上の同時供給 MQW からのバンド端発光は同時供給で成長された $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ クラッド層上の同時供給 MQW からのバンド端発光よりずっと強いのであろう。これが、図4に示した「交互供給で成長することにより、レーザのしきい値励起強度が大幅に減少した」理由と考えられる。

交互供給法によって非発光センターとなる点欠陥が減少する理由としては次のように考える。我々の交互供給法では 1 cycle 当たり 5 ー 7 monolayer 成長されるから、原子層エピタキシーでないことは明らかである。しかし TMA と NH_3 の気相での反応が防げられること、数原子層堆積された Ga や Al が、次の NH_3 供給時に完全に窒化されて、よりストイキオメトリに近い GaN あるいは AlGaN が成長することによって、交互供給法は Ga や Al の空格子の少ない高品質な結晶成長を可能にするのであろう。これが原子層エピタキシーでなくても、交互供給法で深紫外の発光を可能にする理由であると考えている。

4，まとめ

交互供給 MOVPE 法で AlGaN の結晶の何が良くなるのかを検討した。XRD および TEM の観測では、転位が減っているわけではないことが分かった。PL 測定の結果、青色あるいはイエロー発光が相対的に減少（バンド端発光が相対的に増大）していることから、非発光センターになる点欠陥が減少しているものと考えられる。

謝辞

本研究は大学院生、磯野（現 ULVAC）、大滝（現サンケン電気）、村川、新倉君によってなされたものである。彼らの協力に心より感謝する。

研究成果（抜粋）

1) K. Isono, E. Niikura, K. Murakawa, **F.** Hasegawa, H. Kawanishi., "Improvement of Crystal Quality of n-AlGaN by Alternate-Source-Feeding Metal Organic Vapor Phase Epitaxy". Jpn. J. Appl. Phys. Vol. **46**, No. 9A, pp. 5711-5714, Sept. , 2007.

2) K. Murakawa, E. Niikura, F. Hasegawa and H. Kawanishi, "Reduction of threading dislocations in AlGaN/AlN/SiC epitaxial layers by controlled strain with (AlN/GaN) multi-buffer-layer structure", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. **46**, No. 6A, pp. 3301-3304, June 2007.

超臨界流体を用いた低環境負荷型のデバイスプロセス

工学部 電気システム工学科　坂本 哲夫
（分担者）東京大学環境安全研究センター 尾張 真則

Development of a Manufacturing Process for Electronic Devices with Small Load on Environment

Tetsuo Sakamoto, Department of Electrical Engineering, Kogakuin University
Masanori Owari, Environmental Science Center, The University of Tokyo

ABSTRACT: A novel process to make organic thin films was developed aiming at environment-friendly natures. Supercritical fluid, which is a state above critical point defined with pressure and temperature, was used as a solvent to deliver materials to substrate surfaces. An instrument for this purpose was constructed and utilized for organic deposition. Organic material (anthracene and Alq3) was successfully dissolved in supercritical CO_2, and deposited onto an ITO glass substrate. Anthracene was deposited as microcrystalline particles or thin-films, and their shape depend on the fluid temperature. Another method of organic thin film deposition was also devised named "RESS". In this method, polyer material (MEH-PPV) was successfully deposited onto an ITO glass.

１．はじめに

電子デバイスは今日の生活になくてはならないものとなっている。デバイス開発の目標は新しい機能の付与や性能の向上、あるいはコストの削減が主であった。しかしながら、近年はRoHS指令、WEEE指令など電子・電気機器に関わる環境規制強化を背景に、デバイス作製の際の省資源化や環境負荷低減も大きな課題となっている。

本研究は単なる新しいデバイスの開発や性能追及は目的とはせず、環境負荷の低減が可能な製造プロセスの基礎を検討することを目的としている。具体的には、各種デバイス材料を超臨界流体に溶解し、減圧することで成膜あるいは結晶化する方法を検討する。これにより、低温下（室温付近～100℃前後まで）、即ちエネルギー投入量の極めて低いプロセスとすることを目指す。

２．超臨界流体とは

先ず、本研究で用いる超臨界流体(Supercritical Fluids)について特徴をまとめる。物質は温度、圧力に依存して、固体・液体・気体の状態をとる。横軸に温度、縦軸に圧力をとった状態図を考えてみる（Fig.1）。図中の実線はそれぞれの状態の相転移線であり、三重点では気体、液体、固体の三相が共存する状態である。沸点曲線には、高温、高圧側に終点があり、臨界点（critical point）と呼ばれ、物質を特徴付ける重要な点である。臨界点は、液体と気体との区別がつかなくなる状態で、気液の境界面もなくなる。この臨界点より高温では、気液共存状態を生じることなく液体と気体の間を移り変わることができる。この臨界温度以上でかつ臨界圧力以上の状態にある流体を超臨界流体と呼ぶ。超臨界流体は高いエネルギーを有する高密度流体として解釈できるが、密度を気体から液体相当まで大幅に変化させることができるという特性を持っている。すべての物質が臨界点を持ち超臨界状態になるが、よく

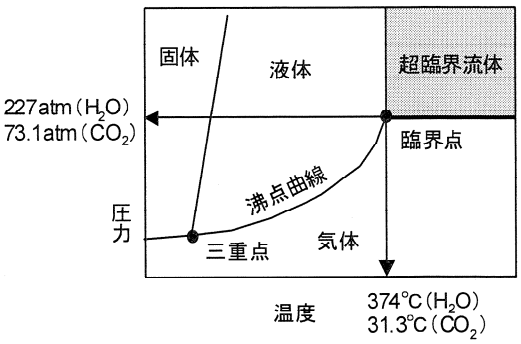


Fig.1 Phase diagram of material

Table 1：Critical temperatures and pressures of typical fluids.

Fluids	Temperature [°C]	Presssure [atm]	Critical Density [g/cm³]
H_2O	374.2	218.3	0.316
CO_2	31.3	72.9	0.47
N_2O	36.5	72.5	0.45
NH_3	132.5	112.5	0.24
Ethane	32.2	48.2	0.20
Propane	96.8	42.4	0.22

利用される物質について、その臨界温度、圧力、密度を Table 1 に示しておく。

一般に溶媒としての性質を決める因子は、分子間相互作用であり、その大きさは分子種と共に分子間距離に強
く依存する。液体溶媒は非圧縮性であり、分子間距離がほとんど変化せず、単一の溶媒では大幅な特性の変化は期待できない。一方、超臨界流体では気液の相転移がないため、密度を気体のように希薄な状態から液体に匹敵する高密度な状態まで連続的に変化させることが可能である。即ち、超臨界流体は、温度や圧力を操作変数として密度、分子間距離を調整することができる流体といえる。一般に溶媒を特徴づける物性には種々あるが、その多くは密度の関数として表すことができるため、超臨界流体は温度あるいは圧力を操作変数として溶媒特性を目的に応じて制御することが可能ということになる。具体的には、

- 密度の関数として溶媒特性の調整が可能
- 熱に不安定な物質に対し、低温操作が可能
- 低粘性・高拡散性であるため、多孔性物質中での高い物質移動速度が期待できる。

という特長が挙げられる。

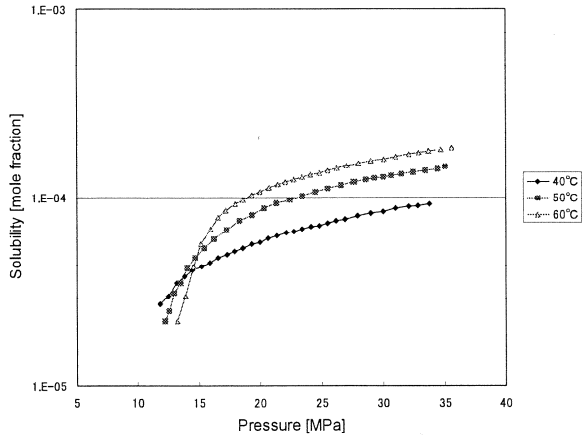


Fig.2 Solubility of anthracene into supercritical CO_2 at three temperatures [1)]

超臨界流体を用いた成膜法を考えるうえで、超臨界流体に対する溶質の溶解度に関する知見は重要である。一般に、固体溶質の超臨界流体に対する溶解度は下記の式で表される。p は系の圧力、y_2 は超臨界流体に対する溶質の溶解度、p_2^{sat} は溶質の飽和蒸気圧、ϕ_2^G はフガシティー係数、v_2^s は部分モル体積」である。溶解度は圧力、温度という流体条件、ならびに、部分モル体積と蒸気圧といった溶質の物性値によって決まることが判る。但し、溶解度の実測データは限られているうえ、理論的計算も種々の検討が行われている段階である。Fig.2 にアントラセンの溶解度（実測値 [1)]）を示しておく。

$$y_2 = \frac{p_2^{sat}}{p}\frac{1}{\varphi_2^G}\exp\left[\frac{v_2^S\left(p - p_2^{sat}\right)}{RT}\right]$$

3．研究計画

本プロジェクト研究では、前述のような超臨界流体のユニークな特性に着目して、有機物薄膜を基板上に堆積する技術を開発する。これらの薄膜は従来の各種真空蒸着法、スピンコート法やインクジェット法に相当するものであるが、高温を要しないことや装置の運転に大きなエネルギーや特殊な薬剤が必要ないことが特徴である。H17 年度はこのための装置を製作するとともに、多環芳香族材料が超臨界流体へ溶解すること、ならびに減圧によって析出が起こることを確認した。H18 年度は析出の挙動の把握および析出法とは別に急速膨張法について検討を進めた。H19 年度は析出法および急速膨張法について有機膜形成の条件探索および膜の評価を行った。

4．析出法の検討

析出実験に用いた装置は H17 年度に製作、その後改良を続けている。装置は超臨界 CO_2 生成部、有機材料溶解部、析出セル、圧力調整弁から成る。構成の概念を Fig.3 に示す。CO_2 は市販のボンベから供給するが、ボンベ圧(約 60 気圧)では超臨界圧力には達していないため、送液ポンプで圧縮する。この加圧ポンプは高速液体クロマトグラフ(HPLC)用の送液ポンプを流用したものであるが、液体しか送液できないため、CO_2 は-5℃程度に冷却した液槽を通して安定液化したうえで、加圧ポンプに送る。送液ポンプは液体 CO_2 を最大約 400 気圧(40 MPa)まで圧縮して送り出す。以降の配管類をこれ以上の耐圧にしておくことにより、装置としての最高圧力は 40 MPa を実現できた。圧縮された CO_2 は恒温槽内に導入され、所定の温度まで昇温さ

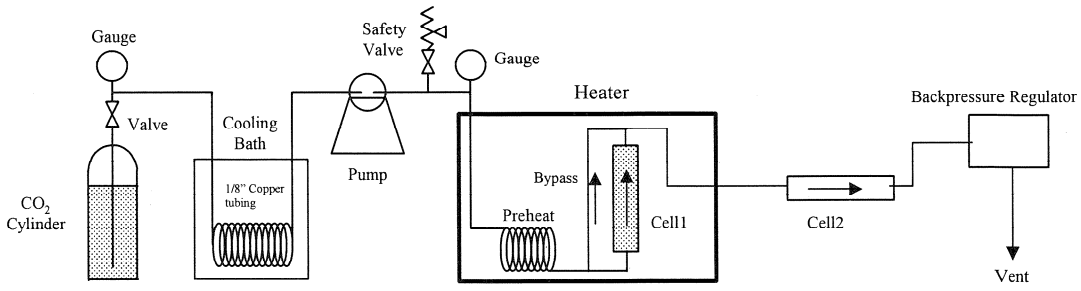


Fig.3: Schematic diagram of a supercritical fluid deposition apparatus.

れる。超臨界CO_2の最低温度は31℃であるが、40℃～100℃の範囲が多用されるとの予想から、高温側に余裕のあるガスクロマトグラフィー用オーブンを用いた。恒温槽にはステンレス配管により作製した材料供給セル(Cell1)を配置した。膜の材料となる化合物をこのセルに入れておき、下流へと材料を溶解して運ぶ。材料の溶出速度は超臨界 CO_2 の流量と、材料の溶解度で制御することができる。材料の溶解度は主として超臨界 CO_2 の圧力と温度により決まるため、たとえば温度を変化させるだけでも溶出速度を制御できる。

材料セルから溶出した材料物質は配管を通り、成膜セル(Cell2)内に供給される。材料セルと成膜セルの間には圧力差は余りないと思われるが、成膜セルを外に出し、材料セルとの温度差を付けることにより、溶解度を低下させて材料を析出させる仕組みとなっている。析出セル内には基板である ITO ガラスを入れておき、材料を析出させる。成膜セルまでは超臨界状態を保つが、流れを作るためには最後に減圧が必要である。今回は一次側の圧力を一定に保ちながら大気圧まで減圧が可能な特殊な保圧弁を用いることで全体の安定化をはかった。超臨界流体の圧力はこの保圧弁によって調整する。

成膜方法については２種類の方法を検討した。ひとつは緩やかな溶解度変化による析出である。これまでに、種々の条件で実験を試みたが析出条件と析出物のモフォロジーのはっきりとした関係は判っていない。しかしながら、圧力操作ではなく温度を自然冷却によってきわめて緩やかに下げていった場合、結晶性の析出物(Fig.4a)が得られ、比較的低温(30℃)一定としながら流体条件を変えず、流通を続けた場合は膜状の析出物(Fig.4b)が得られる傾向を把握した。膜状析出物は低分子系有機 EL 材料

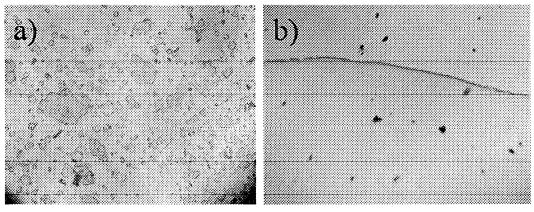


Fig.4: Optical microscope images of a) anthracene crystals and b) thin films deposited on ITO glass plate in supercritical CO_2.

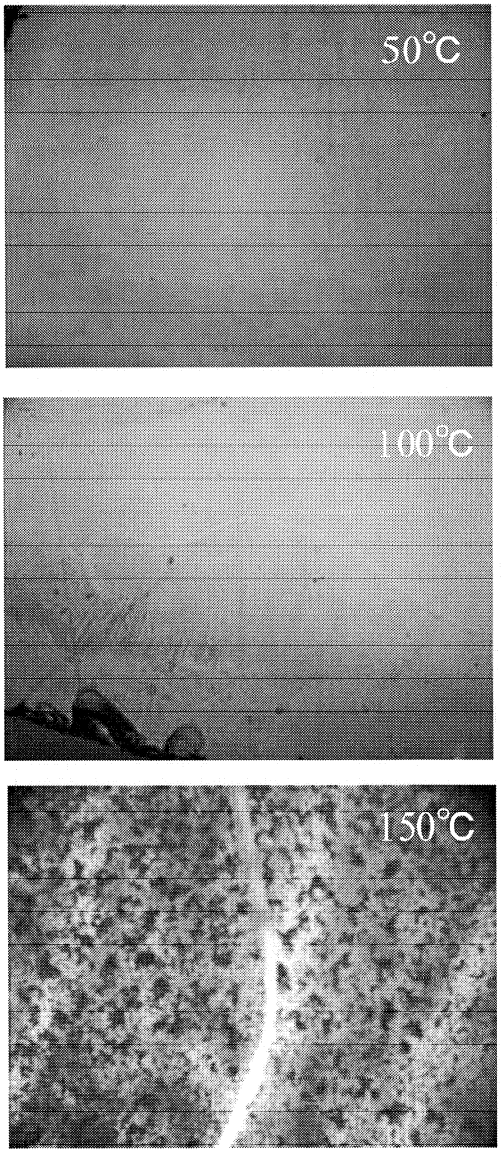


Fig.5: Optical micrograph images of Alq3 deposited on ITO glass substrates at three kinds of temperatures.

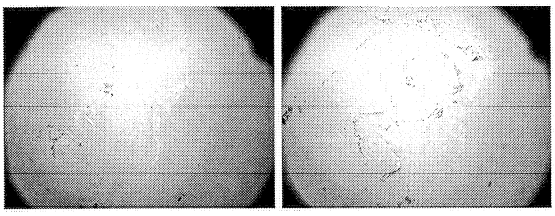


Fig.6: Optical micrograph images of Alq3 thin film on ITO glass plate. (left: as-received, right: scratch)

である Alq_3 においても見られたが、その条件は低分子系とは大きく異なった。Fig.5は流体温度を50, 100, 150℃としたときのITO基板上の Alq_3 の顕微鏡写真である。圧力は10 MPa(10分間)→8 MPa(30分間)とした。写真では見えにくいが、温度が上がるにつれて析出物の量が多くなることが分かった。これは温度の上昇により材料セル内における溶解度が増した結果だと思われる。しかしながら、どの場合も粒状の析出物しか得られなかった。

種々の試行錯誤を繰り返し、以下のような条件で膜状の析出物が得られることが分かった。温度100℃、圧力20 MPaにて10分間材料を流通させ、その後、材料セル・ヒーターを通らないバイパス経路を開き、超臨界流体のみを 60 分間流通させた。その結果、Fig.6に示すように膜状の Alq_3 析出物が得られた。本実験条件では、バイパス経路に切り替えた後、低温の超臨界流体が徐々に析出セルに供給される形となり、析出セルはゆっくりと温度が下がっていくことになる。また、膜状物質は析出セル内に置いた基板表面のうち、超臨界流体が流れ込む付近にできやすい傾向があったため、過飽和の状態にある材料セル内に溶解力の低い状態の低温の超臨界流体が流れ込み、析出が起こったものと思われる。

5. 急速膨張法の検討

超臨界流体を急激に容器外(大気圧)に放出することにより、溶解度は急激に低下し、溶媒である CO_2 は瞬時に気化する。その過程で溶質は微粒子化すると考えられる。この方法は急速膨張(Rapid Expansion of Supercritical Solution; RESS)法と呼ばれる。RESS法はスプレー法の一種でありながら有機溶媒を使用しない完全な乾式法による成膜方法である。単層薄膜ならばスピンコート法やインクジェット法などが容易であるが多層構造化となるとこれらの作成方法は一転して不向きな手法となる。その点で完全な乾式法で有機薄膜を作成する事が出来れば画期的でありこれらの問題を解決した新たな薄膜作成方法として特長付けることができる。H18年度にRESS装置の基本部分を製作し、H19 年度はノズルの詰まりなどの問題点を解決し、主として高分子系材料(MEH-PPV)での成膜を検討した。装置はFig.7に示すように、超臨界析出装置と同様であるが、セル出口に極細キャピラリーノズルを接続し、連続的に流体が大気圧に開放されるようにしてある。ノズルから基板までは数mm～数cmとしてある。

MEH-PPV の成膜はスピンコート法などの溶液法が用いられることが多い。比較のため、スピンコート法にて成膜した MEH-PPV 膜の光学顕微鏡像を Fig.8(左)に示す。一方、RESS 法では同図右に示すように何らかの膜が形成されたほか、島状の模様が見られた。MEH-PPV は目視では赤色であるが、RESS 法による膜は無色に近く、スピンコート膜とは材質的に異なる可能性があった。そのため、本研究室の Imaging-TOF-SIMS 装置[2]を用い、表面スペクトルを取得した(Fig.9)。スピンコート膜とRESS膜を比較すると、主だった質量ピークは一致しており、RESS 法においても MEH-PPV が堆積しているものと思われたが、本測定では低 mass 成分しか検出していないため、各々においての分子量分布は把握できていない。今後の検討事項であるが、仮に分子量分布がスピンコートと RESS 法で異なる場合、超臨界流体に対する高分子成分の溶解度不足が原因として想定されるため、分子量分布の確認と溶解度向上のための工夫が必要である。

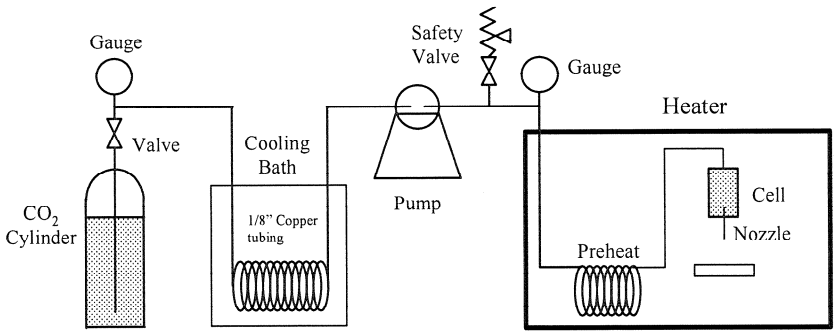


Fig.7: Schematic diagram of the rapid expansion of supercritical fluid solution (RESS) apparatus

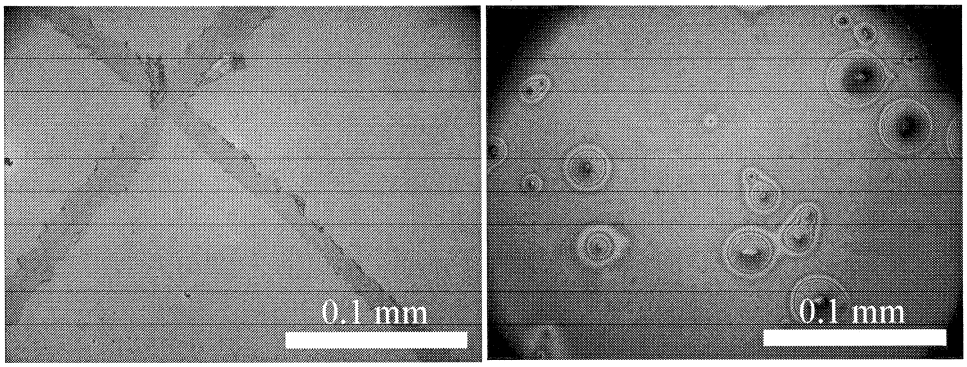


Fig.8: Optical microscope images of MEH-PPV films made with spin-coating (left) and RESS (right).

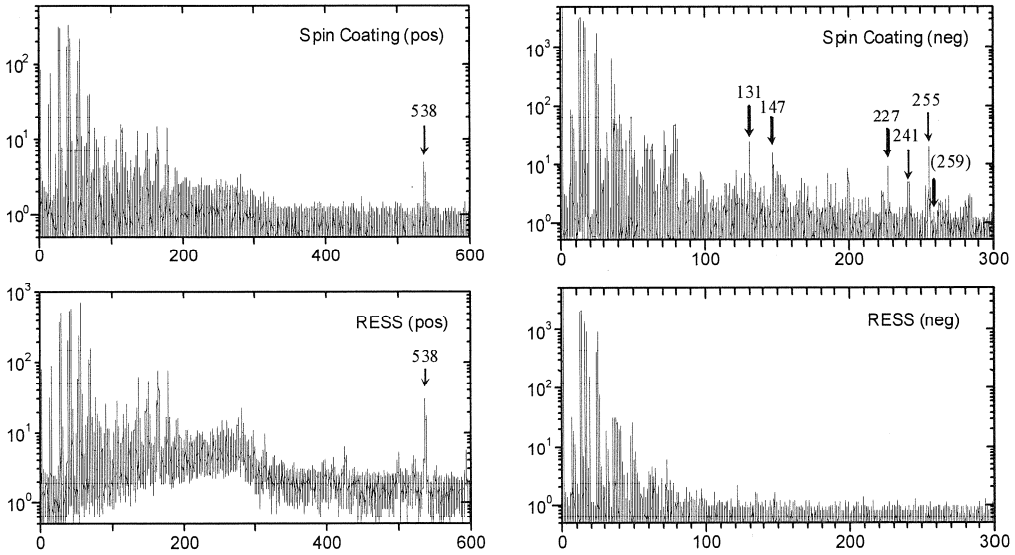
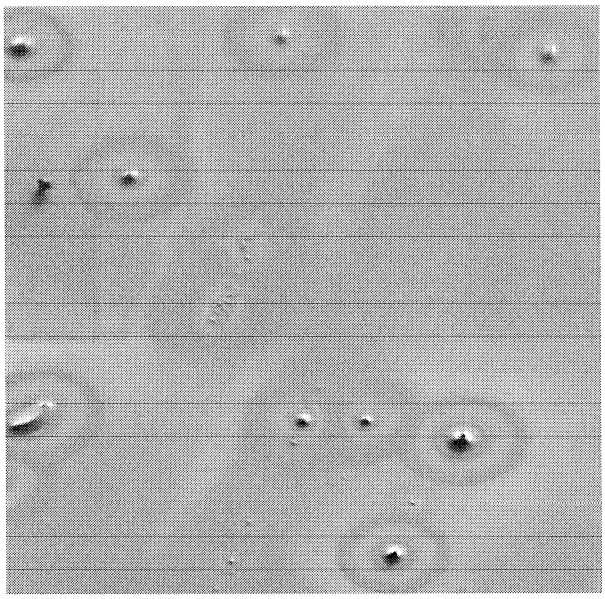


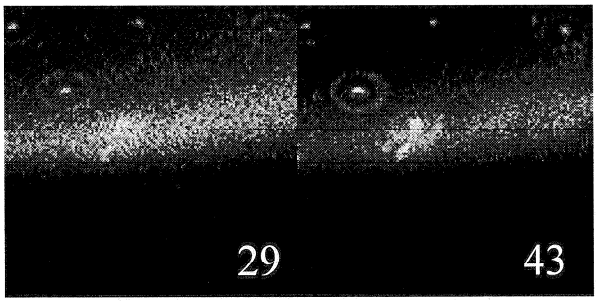
Fig.9: TOF-SIMS spectra of MEH-PPV film surfaces prepared by spin-coating and RESS methods.

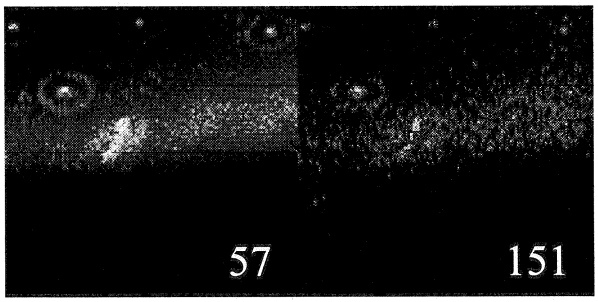
次いで、島状部分と平坦な膜部分の組成の差異を調べるため、各 mass ピークでのイメージング（マッピング）を行った。SEM 像およびマップを Fig.10 に示す。m/z が大きいマップほど島状部分が相対的に明るく見えたことから、島状部分は超臨界流体に溶解しきれなかった、あるいはノズルから噴出される過程で凝集した分子量の大きい成分が微粒子状に膜上に載ったものであることが分かった。この結果も超臨界流体に対する高分子成分の溶解度不足を示唆するものである。しかしながら、完全なドライプロセスで高分子膜が作製できたことの意味は大きい。

次に、RESS 法により堆積した成分が発光層としての物性を維持しているのかどうかを調べた。Fig.11 は堆積した部分に UV 光(254 nm)を照射した際の写真である。本来、MEH-PPV は赤色に発光する物質であるが、RESS 法により堆積した物質は緑色に発光した。現在のところ詳細は不明であるが、MEH-PPV は分子量が低下し、共役長が短くなったため、発光が短波長側に変化したとも考えられる。また、発光部分が輪状になっていることが分かる。輪の中央付近がノズルからの吹きつけ中心であることを考えると、ノズルから噴出された流体が広がりながら基板に衝突する際、緑色に発光する MEH-PPV 成分が外側に押し出される形で輪状になったものと考えられる。

光学顕微鏡により吹き付け中心と外周部をそれぞれ観察した写真が Fig.12 である。中心部は粒状物質が比較的多く、外周部に行くほど少なくなった。粒子状物質は今回の成膜プロセス中のどの段階で生成されているのか不明であるが、中心部に多いということはノズルから流体が噴出される段階ですでに微粒子化しているものと思われる。ノズルと基板の間隔は約 10 mm であったが、急速膨張においては流体の噴出速度が速く、こうした点も膜の均質性に影響を与えることが分かった。







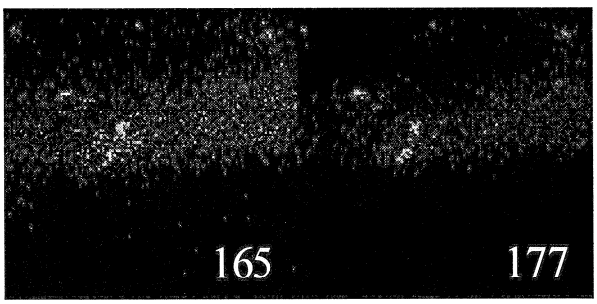


Fig.10: (Upper) SEM image of the MEH-PPV thinfilm surface and (Lower) mass selective images at m/z=29, 43, 57, 151, 165 and 177, respectively. Field of view was 300 um.

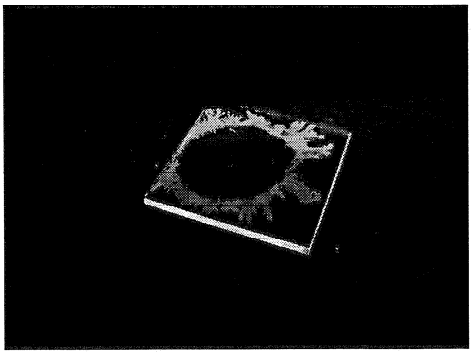


Fig.11: Photograph of MEH-PPV on ITO glass during UV-light irradiation.

6. まとめ

超臨界流体を溶媒とした有機薄膜作製方法を考案し、試行した。材料として有機EL材料として知られる低分子系のアントラセンおよびAlq3、高分子系のMEH-PPVを用いた。アントラセンは従来より超臨界流体への溶解性が確認されていた物質であるが、Alq3やMEH-PPVは超臨界流体に溶解することが始めて確認できた。とくに、高分子系のMEH-PPVはその分子量の大きさから、殆ど溶解しないのではないかという予想に反していた。

検討した方法のうち、溶解度を制御しながら超臨界流体中で材料を析出させる方法においては、微粒子状、微結晶、および薄膜状の堆積物が得られた。しかしながら、これらの堆積物を制御して作成する条件については厳密な特定は困難であった。ただし、温度制御による析出では微結晶が、流通条件における析出では薄膜が得られる傾向にあることが分かった。

一方、材料を溶解した超臨界流体をノズルから噴出させるRESS法ではMEH-PPVについては薄膜を得ることができた。しかしながら、粒状の成分が混在すること、および堆積した成分が高分子材料の平均分子量よりも低分子成分と見られることが表面解析手法により明らかとなった。UV照射による蛍光は標準的な赤色ではなく緑色であったことも低分子化を示唆している。

二つの方法を通じ、超臨界流体という溶媒を用いることで、薄膜形成が可能であることは分かったが、実デバイスに応用するためにはさらに多くの課題を解決する必要があることが分かった。しかしながら、低温（100℃以下）でのプロセスであること、有害な有機溶媒を使用しない点は特長として確認することができた。また、RESS法は完全なドライプロセスであるため、これまで困難だった有機膜の多層化やパターニングが実現できる可能性があり、従来および現行の手法とは別に研究を継続する必要のある方法であると結論できる。

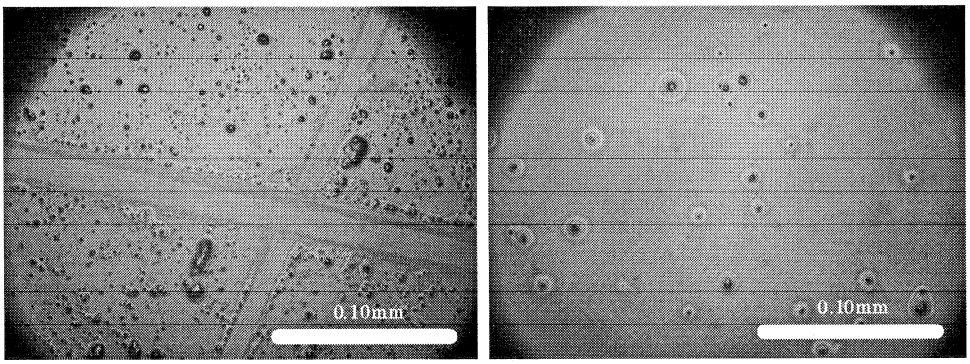


Fig.12: Optical micrograph images of MEH-PPV film surface. Center of incident point (left) and Outer part (right).

参　考　文　献

(1) G. Anitescu et al., J. Supercritical Fluids, 10 (1997) 175
(2) T. Sakamoto et al., Applied Surface Science, 2008 (in press).

入札・契約制度改革が入札結果に及ぼす影響の定量的評価

近年の制度変更と入札結果の傾向

工学院大学工学部建築学科　教授　遠藤 和義
東洋大学工学部建築学科　教授　秋山 哲一
(財)建築コスト管理システム研究所　主任研究員　岩松 準
(有)アドミックス　代表取締役　平 智之

Quantitative Evaluation of the Influence that Bid System Reform Gives to Bidding Behavior

A trend of bid results by recent system changes

Kazuyoshi Endo, Professor, Dr. of Engineering, Department of Architecture, Kogakuin University
Tetsukazu Akiyama, Professor, Dr. of Engineering, Department of Architecture, Toyo University
Jun Iwamatsu, Senior Researcher, Dr. of Engineering, Research Institute on Building Cost
Tomoyuki Taira,　Representative Director, ADMIX Co., Ltd.

ABSTRACT: In the Japanese construction sector where the bidding system has been recently reformed, the data of the tender results in areas of public construction works and/or consultancy services are now being made open, enabling objective analysis of such data from various viewpoints. In this research, such open data of a nation-wide coverage in the last two years or so has been collected comprehensively for academic analysis by some statistical methods. Also, public investments are seen to be decreasing sharply and the jurisdictional control to bid-rigging practices is being strengthened. The analysis of these data clarifies the tendency that severe competition among the bidders taking place and bidders resorting to price-dumping practices, which is becoming remarkable among the concerned part of the industry. The authors objectively describe the competitive situation in tenders and the characteristics of related corporate behaviors, as observed through this data analysis.

1. 研究の背景と目的

1993 年(平成 5 年)の東京地検特捜部による「ゼネコン汚職事件」の摘発を契機に、政府は、明治中期以来の約 1 世紀にわたって安定的に運用されてきた公共工事の入札・契約制度を抜本的に見直している。

同年 12 月の中央建設業審議会建議「公共工事に関する入札・契約制度の改革について」では、現行制度の改善策として一般競争入札制度の適用範囲の拡張、工事完成保証人制度の廃止、履行ボンドの導入、経営事項審査などが盛り込まれた。

また、その後のいわゆる官製談合の摘発を受けて、2001 年(平成 13 年)には、「公共工事の入札および契約の適正化の促進に関する法律」が施行され、入札の透明性確保、公正な競争促進、適正な施工の確保及び不正行為の排除の徹底を基本原則とし、発注者に入札・契約制度にかかる情報の公表、施工体制の適正化、談合等の公取への通知が義務化された。

こうした動きを受け、入札結果等の情報については、国土交通省地方整備局をはじめとする中央政府機関や地方自治体などの公的発注者においても近年積極的に開示されるようになっている。

表 1 は地方自治体の入札・契約制度の「透明化」の動向について、国土交通省(旧建設省を含む)による実態調査の結果をまとめたものである。多くの自治体で、近年、入

表1 地方自治体における近年の入札契約手続き「透明化」の動向(単位:%)

	都道府県					指定都市					市町村				
	H17	H16	H11	H10	H9	H17	H16	H11	H10	H9	H17	H16	H11	H10	H9*4
透明性・競争性の高い入札方式の導入*1	76.6	74.5	93.6	89.4	87.2	85.7	100.0	83.3	75.0	75.0	11.8	9.0	10.3	7.7	6.5
指名基準の公表*2	100.0	100.0	95.7	95.7	95.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	80.7	72.3	46.7	46.1	34.5
指名業者の公表*3	51.1	51.1	87.2	95.7	100.0	35.7	30.8	75.0	91.7	91.7	48.3	52.1	58.7	65.6	65.2
入札結果の公表*2	—	—	100.0	100.0	100.0	—	—	100.0	100.0	100.0	—	—	87.6	85.6	83.1
発注標準の公表*2	—	—	95.7	95.7	—	—	—	100.0	91.7	—	—	—	31.9	29.5	—
指名審査委員会設置*2	—	—	100.0	100.0	100.0	—	—	91.7	91.7	91.7	—	—	93.6	93.5	93.3
工事完成保証人の廃止(全部廃止)	100.0	100.0	95.7	95.7	93.6	100.0	100.0	91.7	91.7	91.7	91.0	89.5	78.5	74.6	57.3
談合情報対応マニュアルの策定*2	—	—	87.2	87.2	87.2	—	—	91.7	75.0	75.0	—	—	35.2	30.6	23.0
低入札価格調査制度導入	—	—	93.6	91.5	—	—	—	100.0	100.0	—	—	—	6.6	2.8	—
予定価格の事後公表	—	—	95.7	59.6	—	—	—	100.0	66.7	—	—	—	20.9	6.3	—
予定価格の事前公表	—	—	14.9	—	—	—	—	41.7	—	—	—	—	1.9	—	—
予定価格の事前公表・事後公表の併用	27.6	44.7	—	—	—	42.9	61.5	—	—	—	22.4	19.1	—	—	—
最低制限価格の事前公表	14.3	14.3	—	—	—	45.5	40.0	—	—	—	19.5	14.9	—	—	—
最低制限価格の事後公表	54.8	54.8	—	—	—	54.5	50.0	—	—	—	26.5	26.1	—	—	—
有資格業者等級公表	—	—	42.6	21.3	—	—	—	41.7	33.3	—	—	—	6.0	5.3	—
不良不適格業者の排除(CORINS登録)	100.0	100.0	100.0	100.0	—	92.9	100.0	100.0	100.0	—	25.9	22.0	22.5	21.5	—

(注) 建設省「地方公共団体の入札・契約手続に関する実態調査」(3カ年分)と国土交通省、総務省、財務省「共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律に基づく入札・契約手続に関する実態調査及び公共工事の品質確保の促進に関する施策の実施状況調査の結果について」(平成18年3月9日)より作成(なお、調査対象母数は調査年度により異なる。)

凡例 1:公募型指名競争入札の導入実績
2:一般土木についての数字
3:平成11年度調査は「入札前」に指名業者名を公表した団体について聞いている
4:H9年度調査分については、市及び町村に分かれていた調査結果をまとめた数値を計算した

札・契約制度改革に取り組み、一部の項目ではほぼ徹底される状況に至っている。

この入札・契約に関わる情報公開によって、当該自治体が実施した入札の結果(工事名称、落札企業名、落札額はもとより、参加全企業名、それらの入札額、予定価格等)の多くが、各自治体のホームページ等を通じて公開されている。

後に述べるように、欧米ではこうしたデータの分析が、建築学、土木工学、経済学、経営学、オペレーションズ・リサーチ(OR)等諸学の複合された一つの学問分野を形成しているが、わが国では固有の入札・契約制度の変遷の経緯があり、この分野の既往研究はごく少ない。

工学院大学建築学科遠藤研究室では、過去に卒論生、大学院生および今回の共同研究者とインフォーマルグループを設け、これら一連の改革によって公表されるようになった入札結果の分析を試行してきた。

本研究は、よりインテンシブに制度変更の効果の定量的把握を課題とし、今後の制度設計に寄与する基礎資料を得ることを目的としている。

2. 研究の方法

本研究は、具体的に以下の方法によって研究を進める。

①入札・契約制度の変遷の把握

まず検討すべき入札・契約制度の変遷について、文献調査から整理する。入札結果が公表されるようになったのはごく近年であり、それ以前の制度の変更の効果については、当然実証することはできない。しかしながら、近年の入札・契約制度改革の意味をより正確に把握するための基本的なステップである。

②海外における入札研究

欧米では、わが国と異なり、入札・契約にかかわる制度設計、入札者の戦略に関わる研究領域が確立している。本研究では、これらに関する文献を広く収集し、それを解題することによって、わが国の制度の位置づけの把握や後の定量的分析の手法を発掘する。

③入札データの入手

今回目的としている研究成果を得るためには、網羅的かつ長期にわたる入札結果の収集が必要である。本研究では、国土交通省地方整備局、政府関連発注団体、地方自

治体等のホームページからそれらのデータを収集している。

④入札データの定量的分析

海外の既往研究等から抽出した定量的分析の手法等を参考に現在実施されつつある入札・契約制度改革の効果を把握し、それらに関する評価をおこなう。さらにそれら手法の改良および独自の分析手法開発を試みる。

3. わが国における入札・契約制度の変遷とその周辺

表 2 は、文献調査に基づき、わが国における入札・契約制度の変遷に関わる事項を年表にしたものである。以下に左欄の時代区分に則してその変遷を概観する。

3.1 会計法以前

わが国における入札制度の原型ができたのは、武田(1999)によると、16 世紀、豊臣秀吉の時代に遡るという。建設の分野でも、近世には商人による材料納入等が請負入札に付されるようになっている。

また、同じく武田によれば、1661 年に江戸幕府が小普請奉行に対し、談合の存在に注意を促す文書を発したという。

明治の文豪森鴎外は、その短編小説「普請中(1899 年刊)」で主人公に「日本はまだ普請中だ」と言わせている。当時、近代国家建設を急ぐ政府は大型プロジェクトを多数発注したが、その中心は随意契約によるものであり、効率的な発注には限界もあった。

3.2 指名競争入札を基本とするが指名競争入札拡大期

明治政府は、1889 年に会計法を公布し、政府の工事又は物件の売買貸借は全て公告し、一般競争入札を基本とする入札・契約制度が確立した。なお随意契約については勅令によってごく限定的に認めた。

その結果、渋沢栄一らが公共事業の独占を狙って 1887 年に創立した日本土木会社は、そのため 1892 年に解散することとなった。

しかしながら、1900 年には勅令第 280 号で指名競争入札の導入が認めら、一部の入札が指名競争へと移行した。この変更が、建設市場の拡大による利権の巨大化を背景に、談合を誘発したと言われている。これは、本研究で扱おうとしている制度変更による入札者のビヘイビアの変化のごく初期の例といえる。

東京建設業協会の「建設業の五十年」には、東京中央停車場(今の東京駅)の業者決定におけるそうした顛末が描かれている。

こうした談合の横行に対し、1902 年に政府は会計法で、談合に加わった業者の入札参加を2年間禁じ、1941 年には、談合を処罰するための刑法改正案を帝国議会に上程した。審議は紆余曲折し、「公正な価格を害したり、不正な利益を得たりする目的」の談合のみを処罰の対象とするという決着に至った。

なお、「公正なる価格を害する目的」で行われる談合については、公正なる価格を「競争価格説」と「利潤価格説」とするかによって判例、学説が割れた。競争価格説とは、「公正な自由競争によって形成されたであろう落札価格」を言い。最高裁は一貫してこの見解を採用した。一方、利潤価格説は、「当該入札において最も有利な条件を有するものが実費に適正な利潤を加算した価格」とし、高裁判決で採用された判例がある。しかしながら後者はすべて最高裁では否定されている。

背景には、当時摘発された談合の多くが談合金を伴ったため、それらは「不正な利益」を原資とし、競争価格説と関係づけることによって、有罪の結論が確立していった。ただし、「公正な価格を害する目的」と「不正な利益を得たりする目的」は独立で、並記されており、それらを関係づけた論理構成自体を疑問視する向きもあった。

その後 1968 年の大津判決は、利潤価格説によって無罪が言い渡されたが、検察官がそれを控訴せずに確定した特異な例である。既に述べた通り、最高裁は競争価格説を採り、こうした判決を全て退けてきた経緯がある。

その判決では、「利潤を無視したいわゆる叩き合いの入札の場合に到達すべかりし落札価格を、通常の利潤の加算された価格にまで引き上げようとの意図をもってする協定は、公の機関において当然受忍すべきものであり、敢えて刑法の干渉すべきからざるものというべく、同条には該らないと解するのが正当である」とした。

また、談合金を伴わない談合については「業界においては、通常の利潤を確保し、工事の完全施工を期するとともに、…工事を業者間に適当に配分し、もって企業体としてのかなりの規模の組織を維持している…。してみれば右の如き談合はまさに、公の入札制度に対処し、通常の利潤の確保と業者の共存を図ると同時に完全な工事という入札の最終目的をも満足させようとする経済人的合理主義の所産である」と積極的に評価している。

一方、談合金を伴う談合については「特に利潤を削減してその捻出を図る意図であったことが認められるべき格別な事情のない限りは、原則として同条(談合罪の規定)に該当する」との見解を示した。

この判決は、談合金を伴わない談合に対する検察の摘発を困難にし、建設業界内では談合金を伴う入札談合が減る一方、業者間の利害を調整した配分型の談合システムが形成されるモメントになったと言われている。

また、「不正な利益を得る目的」の談合に対する談合罪は、入札者の義務違反の重大さゆえに入札等の公正の制度的

保障という抽象的利益の損害を本質としている。その処罰の根拠を、利益の額、利益獲得と当該談合との対価関係の直接性、利益の性格によるとしている。

3.3 独禁法強化

1947年に定められた独禁法は1977年に課徴金制度を導入し、以後談合は経済事犯としての性格も強く持つようになった。建設工事の談合に対して独占禁止法違反の審決が最初に出されたのは、1979 年の熊本県道路舗装協会入札談合事件である。

1982 年の静岡建設業協会の談合事件では、初めて大手ゼネコンが立ち入り検査を受けた。これをめぐっては、国会で公正取引委員会(公取委)の姿勢を批判する意見も出されたという。結果的に課徴金納付を命じられたのは地元の中小業者にとどまった。公取委は84年、自民党や業界の要望を受け、業者間の一定の調整を「原則として独禁法違反にならない行為」とする内容の建設ガイドラインを作成している。

3.4 国際化

談合の摘発は1990年代に入って再開されたが、それは、日米構造協議での米国政府からの外圧を契機としている。公取委は、1988年、米軍横須賀基地工事の入札談合を摘発した。これは日米の貿易不均衡解消を求める米国政府による、わが国建設市場への参入障壁となっている入札制度の改善要求を背景にしていると言われている。

3.5 入札・契約制度改革期

この後も、1993年の山梨県建設業協会建設入札談合事件、1994 年に日本下水道事業団談合事件が摘発されたが、これらは入札談合行為に発注者側も積極的に関与するいわゆる「官製談合」という性格を持っていた。

これらをうけて、政府は2000年に「公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律」を公布した。この法律による「適正化指針」は、2001 年 3 月 29 日に告示された。その主な内容は次の通り。

①入札・契約の過程及び契約の内容の情報公開ー公表することを基本

- 法律・政令で義務づけている事項(当該年度の発注見通し、入札者・入札金額、落札者・落札金額、契約の相手方・契約金額・契約内容、入札参加資格・資格者名簿、指名基準、指名業者名・指名理由、低価格調査の基準等)
- 有資格者名簿での業者の評点・順位、等級区分の決め方、予定価格(国においては事後公表)、積算内訳、公募型指名入札の際の非指名者・非指名理由、入札監視委員会の構成・審議概要等、指名停止者の名称等

②学識経験を有する者等の第三者の意見を適切に反映させる方策

③入札・契約の方法の改善

- 審査体制の整備等による一般競争入札の適切な実施、公募型の活用等による指名競争入札の適切な実施、VE方式等の民間の技術提案を受ける方式の活用など
- 参加資格の適切な設定(地域要件の適正化)、中小・中堅建設業者に対する受注機会の確保、運用基準の策定等によるJV制度の適切な活用、設備工事等に係る分離発注の適切な実施、工事完成保証人制度の廃止、入札金額の内訳書提出の要求、適正な積算の徹底など

④苦情を処理する方策

⑤談合その他の不正行為の排除の徹底

- 談合情報等への適切な対応(公正取引委員会への通知、談合情報への対応要領の策定等)
- 一括下請等建設業法違反への適切な対応(施工体制の把握に係る要領の策定・公表等)
- 不正行為の排除のための捜査機関等との連携
- 不正行為への厳正な対応(建設業法の処分、指名停止等の厳正運用、損害賠償の請求等)
- 談合に対する発注者の関与の防止

⑥公共工事の適正な施工の確保

- 公共工事の施工状況の評価の方策(工事成績評価要領の策定・公表)
- 適正な施工体制を確保するためのダンピング防止(低入札価格調査制度・最低制限価格制度の適切な活用、不採算工事の受注強制の厳禁と入札の自由の確保等)
- 施工体制の把握の徹底等(監理技術者専任制等の把握の徹底、監督・検査の基準の策定等)

⑦その他

- 不良・不適格業者の排除(発注者支援データベースの活用等)
- 国際標準化機構(ISO) 規格の活用
- 入札・契約のIT化の推進(電子入札システムの導入、情報公開へのインターネット活用等)
- 発注者相互の連絡・協調体制の強化

さらに 2003 年には「札談合等関与行為の排除及び防止に関する法律(官製談合防止法)」が施行されている。その一方で、この時期、「公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律」による制度変更が一般競争入札の広範囲な適用、予定価格や最低制限価格等の事前公表等ドラスティックな内容を持っていたため、おりからの建設不況も加わって、入札の競争性が相当に高まり、ダンピングや低価格の落札、くじ引きによる落札者の決定等が相次いだ。

これを受けて、2005 年には「公共工事の品質確保の促進に関する法律」が施行され、価格のみによらない総合評価

表２　わが国における入札・契約制度の変遷に関わる年表

区分	西暦	年号	月	出来事	詳細
会計法以前	16世紀末			入札制度の原型がはじまったとされる	
	1661年	万治4年		江戸幕府が小普請奉行に談合への注意を喚起する文書	
一般競争入札を基本としつつも指名競争入札の拡大期	1882年	明治15年	1月	旧刑法施行	入札を妨害したる者を業務妨害罪の一形態として扱う
	1887年	明治20年		有限責任日本土木会社創立	大倉喜八郎、渋沢栄一、藤田伝三郎が公共土木事業の独占を目的に資本金200万円で設立
	1889年	明治22年		明治会計法制定	政府の工事又は物件の売買貸借は全て公告して一般競争入札を基本とする契約制度が確立。随意契約を勅令によって限定的に認める
	1892年	明治25年	11月	有限責任日本土木会社解散	有限責任日本土木会社は解散し、翌年その事業を大倉喜八郎氏単独経営の大倉土木組に継承。その後、数度の改組を経て、終戦後の財閥解体によって大成建設株式会社へ
	1900年	明治33年	6月	明治33年勅令第280号による指名競争入札の導入	
	1902年	明治35年		会計法改正	談合業者に2年間の入札参加禁止
	1908年	明治41年		東京中央停車場（現在の東京駅）の建設工事（1908年～1914年）の入札	東京建設業協会の「建設業の五十年」に、東京中央停車場の建設工事で談合が行われ、「天の声」によって決着がついた経緯が描かれる
				現行刑法制定	公の入札の妨害は業務妨害罪の対象外。単なる談合は処罰の対象外に。
	1921年	大正10年		大正会計法制定による一般競争の原則の緩和	会計法全面改正によって、一般競争を原則としつつも、それが不利な場合の指名競争入札、随意契約の法的根拠明確化
独禁法強化	1941年	昭和16年	2月	刑法に談合罪新設	帝国議会で原案を大幅修正し、処罰の対象を限定。牧野良三委員が談合擁護論を展開。談合には違法なものと、適法なものがあると結論
	1947年	昭和22年	3月	現行会計法制定	契約関係規定は大正会計法と変更なし
			8月	大蔵大臣通牒「指名競争契約及随意契約に依る場合大蔵大臣との協議について」	指名競争、随意契約について各省庁内で独立して処理が可能
				独占禁止法成立	
	1949年	昭和24年		岡山県発注の土木工事の談合	39人が談合罪などで起訴されるが、昭和51年に全員無罪の判決
	1952年	昭和27年		会計法改正	指名競争、随意契約について、政令で定めるものついては大蔵大臣との協議不要
	1968年	昭和43年	8月	大津判決	利潤価格説による無罪、控訴なし。その後の建設業界の行動規範と談合罪捜査に影響
国際化	1977年	昭和52年		独禁法改正	課徴金制度導入
	1979年	昭和54年		熊本県発注舗装工事で談合	熊本県道路舗装協会に排除勧告。建設談合が初摘発
			9月	静岡談合事件	静岡建設業協会などに排除勧告。ゼネコンは課徴金納付命令の対象外に。自民党の小委員会が「調整行為は違法ではない」と見解
	1980年	昭和55年		昭和55年政令第300号「国の物品等又は特定役務の調達手続の特例を定める政令」制定	一定の範囲の物品の調達等について、一般競争については官報による「公示」、指名競争入札については「指名されるにために必要な条件」等の公示が義務づけられる
	1981年	昭和56年	1月	「政府調達に関する協定」が発効	政府調達の分野に内外無差別、内国民待遇等の規律が設けられる
	1984年	昭和59年		公取委が建設ガイドライン作成	建設談合の摘発に枠
	1986年	昭和61年		米国通商代表部が運輸大臣に関西国際空港プロジェクトで国際入札を求める	アメリカを中心とした外国企業の建設市場参入問題がおこる。参入障壁となっている日本的な生産システム、業行政、入札・契約制度が問題となる
	1988年	昭和63年		米軍横須賀基地工事談合の摘発	日米構造協議の進むなか、米国からの強い働きかけによって摘発されたといわれている
	1990年	平成2年		日米構造協議最終報告書	独占禁止法の運用強化盛り込む。公取委が積極的な刑事告発の方針を発表
				公取が談合告発の方針公表	
	1991年	平成3年		独禁法改正	課徴金算定率の大幅引き上げ
			5月	埼玉土曜会事件摘発	大手ゼネコンを含む建設業者に排除勧告、翌年9月には課徴金納付命令。大手ゼネコンを中心とする大規模な入札談合
	1992年	平成4年		独禁法改正	法人の罰金を500万円から1億円に
	1993年	平成5年		東京地検特捜部による「ゼネコン汚職事件」の摘発	発注者側の入札者指名の恣意的運用、発注者と業者の癒着が明るみに
			12月	中央建設業審議会で入札・契約制度の改革を審議	建議した入札・契約制度改革は、一般競争入札制度の導入、工事完成保証人制度の廃止、履行ボンドの導入、経営事項審査の改善などを進める
			12月	ガット（関税と貿易に関する一般協定）の合意成立	
	1994年	平成6年	1月	公共事業の入札・契約手続きの改善に関する行動計画」が閣議決定	約7億円以上の工事には一般競争入札を採用。その後、日米間で成果を毎年レビュー
	1995年	平成7年		公取委が下水道談合を刑事告発	発注者側の日本下水道事業団の幹部も告発され、初の官製談合の摘発
	1996年	平成8年		WTOによる国際条約「政府調達に関する協定」が発効	一定規模以上の政府調達案件についてWTO加盟国にオープン
			6月	土工協が「人と自然の共生を目指して―開かれた土木建設業界ビジョン―」を策定	プロセスの透明性の確保と自己責任の原則を追求する「国民にわかる開かれた産業」、全ての人が生き生きと生活できるような環境を創造する「人と技術を大切にする産業」という二つの方向を掲げる
	1998年	平成10年	2月	中央建設業審議会の建議「建設市場の構造変化に対応した今後の建設業の目指すべき方向について」	技術提案総合評価型入札の導入等
入札・契約制度改革期	2001年	平成13年		「公共工事の入札および契約の適正化の促進に関する法律」施行	入札の透明性確保、公正な競争促進、適正な施工の確保及び不正行為の排除の徹底を基本原則とし、発注者に入札・契約制度にかかる情報の公表、丸投げの全面的禁止等施工体制の適正化、談合等の公取への通知等を義務化
	2003年	平成15年		官製談合防止法施行	北海道岩見沢市の談合で初適用
	2004年	平成16年		新潟市官製談合事件	
	2005年	平成17年	4月	公共工事の品質確保の促進に関する法律の施行	発注者と受注希望事業者との間で提案技術の改善交渉が可能に
			5月	公取委が橋梁談合を刑事告発	
			11月	成田空港公団電気設備工事談合事件	
	2006年	平成18年	1月	独禁法改正施行	課徴金の算定率引き上げ、違法行為を自主申告した事業者への課徴金の減免、公正取引委員会 に立ち入り調査などでの強制調査権を付与
				防衛施設庁建設工事談合事件	現職幹部2名、OB1名が逮捕された官製談合事件
				汚泥処理施設談合事件	

方式の活用、発注者と受注希望事業者との間で提案技術の改善交渉等が可能になった。

さらに、2006 年の独禁法改正では、課徴金の算定率引き上げ、違法行為を自主申告した事業者への課徴金の減免、公取委に立ち入り調査などの強制調査権を付与するなどの内容が盛り込まれた。

その後、一般競争入札の拡大(低額工事への適用)と総合評価方式の全面的導入が進められている。

4. 海外の既往研究の解題

ここでは、この分野の海外における既往研究を解題しておく。

建設分野の入札に関する研究論文の発表の場としてよく知られているのは、国際的な建築分野の研究組織である CIB の W-55 (Building Economics) や W-65 (Organization and Management of Construction)等の他、英国レディング大学(University of Reading)が中心となって編集している *Building Economics and Management*、米国では ASCE (American Society of Civil Engineering)の雑誌 (*ASCE Journal of Construction Engineering and Management; ASCE Journal of Construction Division*) 等である。他に海外においては、経済学や OR 等の分野でも入札戦略に関する研究は行われている。

競争的な入札戦略について初めて定式的に論じたのは、当時米国のケース工科大学 (Case Institute of Technology)の OR 研究者 Laurence Friedman (1956)の "A competitive bidding strategy"であろう。これは競争的入札戦略モデル(competitive bidding strategy model)の原型を示すものであった。米国 MIT の R. de Neufville(1991)によれば、この Friedman 論文に代表される、入札者の入札期待値を最大にする戦略を論じるモデルを第一期として、その後、競争者同士の中での落札可能性をそれとは異なった方法で計算するモデル(Gates(1967)等)、利益を扱うのではなくコストを確率的な変数として扱うモデル(Carr(1982, 1983)等)といった発展があった。

さらに、これら金銭的な期待価値を最大にするモデル(expected monetary value models)とは別のアプローチとして、入札者の効用概念を取り入れたモデルが考えられた(Willenbrock (1973), de Neufville et al.(1977), Ibbs and Crandall (1982)等)。これにより競合する入札者の数のみでなく、複雑な入札プロセスの力学を論じることができるようになった。これらの研究では、入札者自身の効用に影響を及ぼす入札時の要因調査等、実証的な検討も行われている。

また、経済学分野でも、ゲーム理論を適用して建設談合による超過利得の試算を行った(McMillan(1991) 等)や、研究室で入札を模した実験を行うもの(Artale(1997)、宇根・西條(1995)等実験経済学の研究)など、理論的にも実証的にも多くの取り組みがある。

さらに、米国の AASHTO(アメリカ州道路・運輸協会)では、コンピュータによる入札分析運用システム(BAMS)を 1985 年より利用しているが、そのモデュールの一つである意思決定サポートシステム(BAMS/DSS)は、建設会社の受注の地域的な偏在のチェックや発注側の積算の妥当性、さらには談合などの入札監視のために、詳細なデータ収集と分析が可能なものである。

要するに、海外においては、学術的にも実務的にも入札における競争戦略という分野について、比較的オープンな議論が行われてきたと言ってよい。

5. 我が国の入札の競争性に関する定量的評価

5.1 入札契約適正化法の施行と入札データの公表

2000 年 11 月に入札契約適正化法が制定され、翌年 4 月から施行された。この法律は「国、特殊法人等及び地方公共団体が行う公共工事の入札及び契約について、その適正化の基本となるべき事項を定めるとともに、情報の公表、不正行為等に対する措置及び施工体制の適正化の措置を講じ、併せて適正化指針の策定等の制度を整備すること等により、公共工事に対する国民の信頼の確保とこれを請け負う建設業の健全な発達を図ること」を目的としている。

この法律の制定により、国土交通省地方整備局などの公共発注機関は、入札結果の情報をホームページなどで提供し始めた。具体的に提供対象となるのは、建設工事(以下、「工事」という)とこれに密接な関連がある建設コンサルタント業務(以下、「業務」という)である。

この 5.で扱うデータは、両カテゴリーとも平成 17～18 年度における約 17,000 件の応札情報を網羅的に収集したものである。これら入札結果はすべてインターネットを通じて入手したものである。それらは、2006 年秋時点で入手可能であった国土交通省地方整備局を中心とする 10 の発注機関の入札結果データである。

入札結果情報は大きく「工事」に関するものと、「業務」に関するものに分かれる。期間が若干長い沖縄データを除いて、2005 年 4 月～2006 年 8 月契約分までの約 1 年半にわたるものであり、前述したような建設業界の全般的な過当競争の状況下に得られたデータといえる。それぞれのデータ数を表 3 に示す。

得られる情報の内容は、入札プロジェクト名、発注部局名、工種や業務の種類、入札方式の別、入札回数、予定価格、入札者名、入札価格(3 回まで)、落札者名、落札価格、総合評価の有無、総合評価得点などである。

表 3 分析用データの概要

発注体別	工事		業務	
	件数	入札数	件数	入札数
01 北海道開発局	3,871	33,005	4,427	44,998
02 東北地方整備局	1,971	20,885	1,538	16,316
03 関東地方整備局	2,674	27,647	2,194	25,919
04 中部地方整備局	1,623	14,070	1,208	13,533
05 北陸地方整備局	1,235	10,807	969	10,869
06 近畿地方整備局	1,724	15,284	1,628	16,455
07 中国地方整備局	1,460	12,719	1,347	14,263
08 四国地方整備局	844	7,671	736	7,869
09 九州地方整備局	2,552	26,713	1,993	20,485
10 沖縄総合事務局	312	3,188	434	2,469
合計	18,266	171,989	16,474	173,176

（注）データ収集期間は 2005 年 4 月～2006 年 8 月。ただし、「10 沖縄総合事務局」のみ、工事が 2004 年 3 月～2006 年 8 月、業務が 2004 年 1 月～2006 年 8 月。

5.2 分析の方針

入札結果の分析は2つの方向から行う。一つは、個々の入札に着目して競争状況を把握するものであり、もう一つは、入札に参加した企業に焦点を当てて分析を行うものである。この視点は岩松・秋山・遠藤(2001)など筆者らの以前の研究においても採られた方法である。前者については、入札への参加者数、個々の入札における入札値のバラツキ状況、応札率や落札率などの指標を使った分析を行う。また、後者については、個々の入札企業の競争力を表す指標を定義し、その指標の分析から得られる建設企業の入札行動のパターンを検討する。

5.3 個別入札の分析

①入札参加者数

わが国では明治 33(1900)年の会計法の大改正以来、戦前戦後を通じて、長らく指名競争入札が一般的であった。指名競争入札においては、発注側の意向によって入札参加者数が決められる。かつて建設省の通達で 10 者を指名することが定められていたことがあり、現在はその規定は外されたにもかかわらず、慣例的に 10 者による競争が行われる場合が多い。

なお、90 年代半ばからの運用改正によって、工事を中心として、一般競争入札や工事希望型指名競争入札などの多様な入札方式が、広範に導入されている。

図 1 は 1 回目の入札参加者数の集計結果をヒストグラムで示したものである。工事と業務に分けて示している。図 1 をみると、工事では 10 者の参加が最も多いが、やや分散の大きい分布を示す。一方、業務ではデータの採取時に指名競争が卓越していたためと思われるが、10 者に極端に偏った分布となっている。

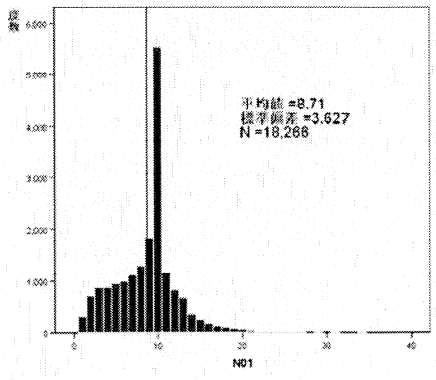


図 1-1 入札参加者数のヒストグラム（工事）

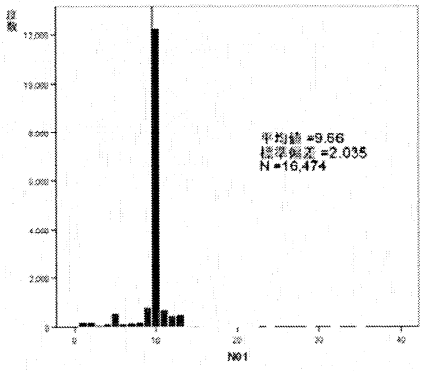


図 1-2 入札参加者数のヒストグラム（業務）

②入札値の変動係数

上述のように、入札は複数の競合者によって行われている。その競争状況の違いを記述するために、ある入札における複数の入札値が統計的観点からどの程度ばらついているのかを検討したい。

入札値の変動係数がその際の一般的指標となる。変動係数は、各入札における入札値の標準偏差を当該入札における平均値で割って求めたものであり、数値が小さいほど入札値のバラツキがないことを示す。表 4 には工事及び業務全データについて、入札値の変動係数の集計値を示した。両者を比較すると工事の平均が 5.80 で、業務の平均が 9.30 であるから、業務の方が若干ばらついていることが分かる。業務は、次に述べる落札率の相対的な低さとも関係すると思われるが、入札者にとって予定価格の推定が難しいことを伺わせる。工事に関しては、1998～1999 年とやや古いが、同じ国土交通省の工事データを用いた筆者らによる過去の研究では、この平均値が 2.9 であった。また、欧米データを使って、同様の分析をしている複数論文を整理した Skitmore (1988)では、この値は 5～8.4 程度が多いということからも、変動係数が小さく、かつてはかなりまとまりの良かった日本の公共工事の入札においても入札値にばらつきが生じ、欧米研究結果のレンジに入ってき

たことになる。

この急激な変化の理由は、入札における競争的環境が厳しさを増しているという変化が影響していると思われる。次にみる落札率の低下にもそのことは反映される。つまり、談合ばかりではない、本来的な価格競争が行われる市場環境へと変化しつつあるということであろう。

そのことを、工事種類別の入札値変動係数の集計からも検討してみよう。表 4 にはそれ以外の指標も含めて、入札状況の統計値をまとめている。まず、随意契約を除いて入札方式別では大きな違いはみあたらない。つづいて工事種類別では、入札値の変動係数は建築や設備においてやや高い一方、土木工事は低くなっている。圧倒的な入札数を数える土木では、競争者間では僅差でまとまりのある中での競争が行われている。このように工事種類別に分けてみた場合には、入札値の変動係数の値には違いがある。その理由としては、工事種類により、競争状況が違うであろうこと、その技術的差異などにより工事費用予測の精度に違いが生じるであろうことなどが考えられる。

③落札率

落札率は、わが国では入札における競争性を表す指標として一般に理解され、利用されている。しかし、この指標は一面的であることやこの指標のみが過度に議論の対象となっていることの弊害は指摘できよう。たとえば、市民オンブズマン全国会議は落札率が 95%を上回っていることをもって、談合行為の存在を判断する基準としているが、この線引きには明確な根拠がない。にもかかわらず、「95%ルール」と称し、落札率が 95%を下回るように談合していたという例さえもあるという。ここでは、そのような点には十分留意しつつ、落札率という指標からみえる入札の実態を述べておく。

表 4 での集計のとおり、工事の平均落札率は 1.74%、

表 4-1 入札方式別・工事種類別の入札状況の統計値(工事)

		有効データ数	1回目の入札 入札数	平均応札率(%)	平均入札参加者数	入札値の変動係数(%)	平均落札額(千円)	平均落札率(%)
入札方式別	1. 指名	14,339	131,511	102.06	9.16	5.65	69,568	92.24
	2. 一般	2,339	17,894	97.56	7.07	6.07	173,976	90.25
	3. 随契	1	30	100.61	1.90	3.69	42,722	95.26
	4. その他	1,286	9,795	98.33	7.13	6.95	258,628	89.23
概略工種別	1. 建築	871	7,239	**110.21**	8.26	**10.71**	63,719	89.39
	2. 土木	14,247	130,124	100.03	9.04	4.51	106,448	92.09
	3. 設備	2,543	18,986	107.15	7.00	**11.12**	58,200	91.02
	4. 他・不明	304	2,881	99.38	9.59	7.28	168,520	88.22
詳細工種別	01. 一般土木工事	6,385	59,557	100.12	9.28	4.11	149,765	92.35
	02. ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装工事	1,505	15,344	99.37	10.17	2.87	123,628	94.11
	03. 鋼橋上部工事	205	1,816	**83.80**	8.07	**13.02**	213,070	**74.44**
	04. 造園工事	626	6,513	99.37	10.39	4.82	30,421	90.59
	05. 建築工事	850	7,057	**110.24**	8.25	**10.80**	64,098	89.36
	06. 木造建築工事	10	103	106.93	10.30	7.94	29,543	87.38
	07. 電気設備工事	708	6,639	103.56	9.22	6.02	62,041	91.03
	08. 暖冷房衛生設備工事	240	2,201	105.71	8.98	8.65	66,450	89.64
	09. ｾﾒﾝﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装工	35	301	102.40	8.60	3.88	165,314	**95.28**
	10. ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ工	241	2,065	96.75	8.50	6.11	248,720	88.16
	11. 法面処理工事	180	1,685	99.52	9.31	5.88	66,907	89.61
	12. 塗装工事	419	4,827	95.87	11.44	6.11	24,939	85.84
	13. 維持修繕工事	4,523	36,967	101.73	8.03	4.88	46,185	92.97
	14. 河川しゅんせつ工事	39	296	100.28	7.22	5.37	244,291	91.37
	15. グラウト工事	50	423	101.93	8.46	3.65	68,302	**95.16**
	16. 杭打工事	5	54	102.29	10.80	6.17	121,900	92.06
	17. さく井工事	34	276	104.41	7.89	9.16	38,823	91.05
	18. プレハブ建築工事	11	79	**112.40**	7.18	6.24	65,409	93.73
	19. 機械設備工事	593	4,010	104.57	6.18	**11.59**	69,337	89.64
	20. 通信設備工事	854	5,097	**112.87**	**5.41**	**14.38**	48,171	92.44
	21. 受変電設備工事	148	1,039	**114.99**	6.66	**18.92**	41,404	90.27
	27. その他・不明	304	2,881	99.38	9.59	7.28	168,520	88.22
	合計	17,965	159,230	101.33	8.71	5.80	98,310	91.74

表 4-2 入札方式別・業務区分別の入札状況の統計値(業務)

		有効データ数	1回目の入札 入札数	平均応札率(%)	平均入札参加者数	入札値の変動係数(%)	平均落札額(千円)	平均落札率(%)
入札方式	1. 競争	16,250	159,141	103.31	9.77	9.30	11,223	86.61
	2. 随契	0	205	97.41	1.00	.	27,410	97.34
	3. その他	16	140	95.13	7.78	8.61	6,138	88.35
業務区分別	1. 測量業	3,846	37,759	100.60	9.78	8.43	9,669	87.20
	2. 地質調査業	1,363	13,825	98.52	10.12	6.52	14,189	87.74
	3. 土木設計業	7,626	74,480	102.24	9.74	9.35	12,867	86.41
	4. 建築設計業	769	6,968	**129.11**	9.05	**25.30**	3,666	**79.07**
	5. 補償ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	2,431	24,119	105.98	9.91	6.46	9,205	88.47
	6. その他不明	231	2,335	104.14	5.57	**15.31**	18,444	89.01
	合計	16,266	159,486	103.30	9.66	9.30	11,407	86.73

(注) 「有効データ数」は落札額の値でとった。つまり、この表における各指標の有効数は指標により若干異なっていることに留意。「入札数」には入札辞退者は含まず。ハッチした太字は特異値。

業務のそれは 86.73%であり、業務のほうが平均値は低く、やや幅のある分布といえる。

5.4 業界別の企業行動の分析

5.4.1 業界の抽出

以下では、競争入札に参加する建設企業の入札行動に着目した分析を行いたい。議論の焦点としたい業界別の区分がたやすいなど分析上の都合で、ここでは工事データのみを利用し、業務データの分析は行わない。

今回得られた工事の入札データを企業別に集計すると、入札回数や落札額が大きな企業から、入札回数が少なくて、落札実績がない企業までであり、競争への参加状況はさまざまである。また落札額の実績についても大小さまざまである。また、入札行動を観察することを目的に考えると、入札や落札の回数の多い企業を対象とするのが都合がよい。一般に、競争は得意分野をめぐって行われると考えられるから、特定の業界に着目して、分析対象企業を絞り込んで、相互の比較を行うのがよい。そこで、本研究では、工事種類別の集計や企業名の検索などの検討を経て、下記のとおり、特徴のある3つのグループ(業界)を抽出した。さらに、本データの中に5回以上の応札と1回以上の落札実績のあることを条件として、各カテゴリー・グループの企業を絞った。

① 業界1:橋梁工事会社 33 社

談合事件により公正取引委員会の課徴金納付命令が出た企業リストから抽出。中～大企業が含まれる。

国土交通省地方整備局等が発注する鋼鉄製橋梁工事において、K会(旧・紅葉会;17社加入、先発メーカー)とA会(旧・東会;30 社が加盟、後発メーカー)という 2 つの談合組織に属する 47 社が、入札談合を繰り返していたという事実が、2004 年 10 月に公正取引委員会が行った立ち入り検査により発覚した。その後、談合組織は解散し、関係したメーカーの中には橋梁工事から撤退したところもある。業界の混乱は橋梁工事の発注にも影響を与え、2005 年度には発注件数、発注額共に大きく落ち込んだ結果となり、業界は厳しい環境の中での競争を強いられている。

本分析データでは、公正取引委員会が 2006 年 3 月に課徴金納付命令を出した 44 社のうち、事業撤退などで一定数の入札実績のない11社を除く、33社についての事件発覚後の状況を捉えている。

② 業界2:道路工事会社 84 社

明らかに道路工事を中心とする企業(社名に「道路」という文字が含まれる企業)を抽出。小～大企業が含まれる。

わが国の土木投資のうち大きな比重を占めるのが道路投資である。業界 2 は道路舗装工事に主軸をおく業界である。大手から零細までがひしめいているが、本データに含まれる 83 社は国工事の実績があるわけで、比較的大きな会社に属する。道路舗装工事はやや特殊な技術を要する専門的工種であり、この業界に属する会社に優位性がある。

③ 業界3:総合工事業者(大手ゼネコン)47 社

建設業界紙調査の建設業売上げデータの上位 50 社より、本データに含まれている入札実績のある企業を抽出。大企業のみ。建設業売上高のトップ 50 社からの抽出であり、日本の建設業界を代表する大手企業のグループである。多分野にわたる多くの技術者を抱えており、入札に参加する工種も幅広い。表 3 からも分かるが、比較的に金額が大きな工事に関わっている。

抽出したデータの企業行動に関する分析結果の概要を表 3 にまとめておく。なお、以下の分析で用いる「競争力値(competitiveness)」は、各入札(ここでは、第1回目の入札のみに注目)において、式(1)により定義した。

$$\text{競争力値} = (\text{入札価格} - \text{落札価格}) / \text{落札価格} \times 100 \quad (1)$$

そして、表 5 における「平均競争力値」とは、各企業の全ての入札における競争力値の単純平均値であり、そして、その平均値とは複数企業の平均競争力値の単純平均を意味する。

表 5 3業界の企業行動データ概要

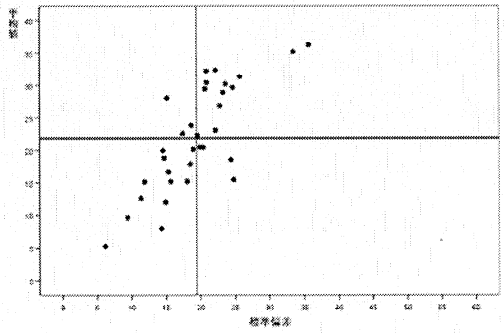
	業界 1 橋梁工事	業界 2 道路工事	業界 3 大手ｾﾞﾈｺﾝ
企業数(社)	33	84	47
延べ入札数	1,522	8,387	3,258
延べ落札数 (入札案件数)	159	826	381
平均落札額 (千円)	235,221	148,614	412,868
平均落札率(%)	74.65	94.86	90.57
同・標準偏差	17.03	4.86	9.40
平均競争力値の平均値	21.96	5.79	10.26
同・標準偏差の平均値	19.44	6.36	13.13

(注) 本分析データの集計。延べ入札数には入札辞退を含まず。

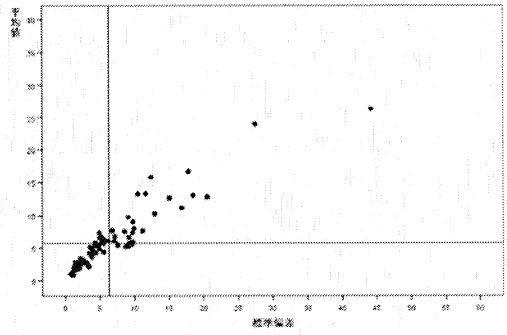
5.4.2 競争力値を用いた三業界の競争状況の比較

先述した競争力値を用いて三業界に属する各企業の入札行動を散布図にプロットした(図 2)。図の縦軸が

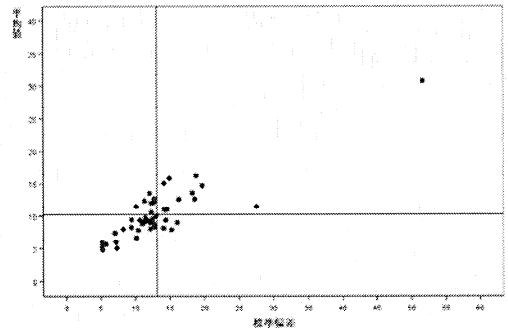
(1) 橋梁工事業界



(2) 道路舗装業界



(3) 大手ゼネコン業界



凡例：

平均競争力値		
	(ii)non-serious 不真面目	(i)silly おめでたい
	(iii)sensible 常識的	(iv)suicidal 自滅的

その標準偏差

Cf. Drew, Skitmore and Lo (1993)

(注) 各図の平均ラインの値は表3に示した。

図2 競争力値による各業界企業のタイポロジー

各企業の複数の入札結果データから得られる競争力値の平均値であり、横軸がその標準偏差である。縦軸は原点に近いほど競争的であることを示し、横軸は原点に近いほどそれが安定的であることを示す。

各々の業界の全体単純平均値で縦横を区分すると4つの象限に分けられる。第1象限に属する企業は個々の入札において競争的でなく、しかもその振る舞いが不安定であるということから、おめでたい(silly)という性格付けができる企業群である。同様に第2象限は不真面目(non-serious)、第3象限は常識的(sensible)、第4象限は自滅的(suicidal)となる。この区分名ならびに分析手法はDrew, Skitmore and Lo (1993)にならったものである。

図2は三業界別に同一のスケールでプロットしてあり、業界間の比較ができる。平均競争力値とその標準偏差の値が大きく、原点から外れているのは業界1(橋梁工事業界)である。談合摘発後、厳しいダンピング競争に突入しているとされる業界であり、それが裏付けられる。

逆に最も原点に近く、僅差での競争を行っているのが業界2(道路舗装業界)である。そして、業界3(大手ゼネコン業界)はその中間に属する。

Drew, Skitmore and Lo(1993)は香港の住宅建設業界のデータを使ったものであった。平均競争力値は14.13、その標準偏差は13.79であり、本分析における業界3(大手ゼネコン業界)よりやや原点から離れた辺りに位置している。

また、筆者らの岩松・秋山・遠藤(2001)では、1998～99年の国土交通省の入札データを用いて建設企業118社の状況を捉えているが、平均競争力値が4.24、その標準偏差は4.33であり、本分析における業界2(道路舗装業界)の値とほぼ同じである。118社には大手ゼネコンが多数含まれていることを考えると、その7～8年後にあたる現在では、ややこれらの値が大きくなったことになる。すなわち、かつては僅差の競争であったものが、一定のばらつきを持った競争に変化しつつあるといえる。

冒頭に示したように、この間、大幅な建設投資の減少があり、より競争的な市場環境を呈していることを考えると、この分析結果からは、競争的な環境になるほど、競争力値の平均値およびその標準偏差は原点から離れる関係にあるといえよう。また、現時点のわが国の建設企業においては、その属する業界により競争状況が大きく異なることをも意味している。

6. 入札参加者数が与える影響

入札者が多すぎるのは、全体として入札者側の負担を大きくしている。建設会社にとっては、入札にかかる費用(主として積算費用)は無視できない大きさだからである。豪州での研究によれば、政府見積価格に対して、数量書(BQ)付き入札では0.14%、それ以外では0.46%の入札コストがかかるということだから、例えば10者が入札に参加す

るとなれば、全体として 1.4%～4.6%のコストの押し上げを行っている計算になる。日本の実態は必ずしも明らかではないが、そのままあてはまるとすれば、これは、政府がかつて目標として掲げた公共工事のコスト縮減目標値(3 年間で10%の削減)に比べてもかなり大きな値である。建設会社としても失注の場合はその積算費用等は回収困難となるのだから、経営上のリスク要因の一つである。

一方では、指名数を減らすとチャンスを失うことにも繋がるということは、この議論の際に忘れてはならない。一般の建設会社では、競争入札のスタート地点へ立てるだけでも営業的な評価が与えられる。しかし、競争者があまりにも多いという状況では、上述のように積算費用が嵩み、単純に考えても落札する確率は低くなるわけだから、入札参加者の数はどれくらいが適当かというのは、建設会社にとってはジレンマがあるといえる。

6.1 入札モデルによる考察

建設会社の入札行動に与える要因はさまざま上げうるが、この問題を単純化したモデルによって考察することは有益である。欧米の初期の入札研究では競争入札における参加企業の期待利益を最大化する戦略をモデル化したものがみられる。代表的なものは 2 つある。

6.1.1 フリードマンの方法

競争入札におけるマークアップと落札確率の関係を用いて、Friedman, L.(1956)が入札モデルを提示している。すなわち、ある建設会社(以下、当社と呼ぶ)の見積価格と競争相手の入札価格の実績データから、当社のマークアップをどの程度に設定したら当社の利益の期待値(マークアップ×落札確率)が最大になるかを数学モデル的に検討した。

ここでいうマークアップとは、原価(コスト)に付加される利益分と考えてよい。当社のコスト見積額 C に対して入札提示額を x とすると、r=x/C の比率は同一の入札に参加した会社について観察できる数値である。これは各社毎に一定の確率分布を示す(フリードマン論文ではガンマ分布を想定)。今回入札で当社が x/C の提示をした場合の落札確率は、他社が x/C を上回る確率が同時に起こる場合であるから、(2)式で表される。利得の期待値 EV は(3)式のように、マークアップ分(x−c)と落札確率を掛けて求められる。

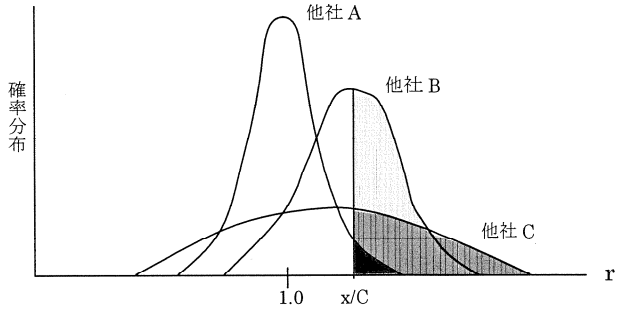
(3)式の最大化する条件を与える x が今回入札値として当社が提示すべきものとなる。C より低い部分はコストを下回るので期待利得 EV はマイナス値を示し、x が大きくなるとそれはプラス値に転じるが、一方で落札確率は低くなる関係があるから、理論的にはEV最大のポイントを経てゼロに近づく。(図 4)

$$(p) = (p_i)^n = \left[\int_{x/C}^{\infty} f(r)dr \right]^n \qquad (2)$$

$$EV = (p)(x - C) \qquad (3)$$

ここで、
x:今回入札提示予定額
C:今回入札における当社のコスト見積額
EV:期待利益、(p):n 社参加入札における受注確率
f(r):平均的競合他社の確率分布(ガンマ分布を想定)

上式に含まれる入札者数 n の影響については、もう一つのモデルの説明後に述べる。



当社コスト見積り額に対する各社入札額の比率
(競合各社の過去実績の分析と今回の当社の受注確率分布の検討)

(注) 過去入札結果実績から得られる情報は当社の見積もり額と他者の入札額であり、各社の比率の確率分布が得られる。当社の今回入札の見積り C に対する入札提示予定額 (x) が他社に勝つ確率部分をハッチしている。

図 3 受注確率の分析(Freidman (1956))

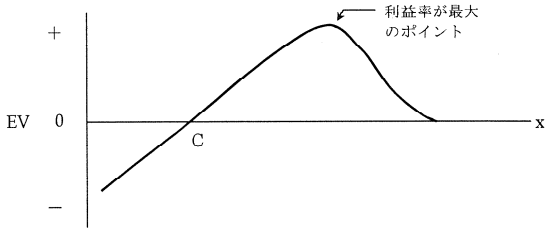


図 4 入札予定額(x)と期待利益(EV)の関係(Freidman(1956))

6.1.2 ゲイツの方法

期待利得を最大化するという意味ではフリードマンと同じであるが、落札確率を(4)式のように想定したのが Gates, M.(1967)による方法である。ゲイツは民間積算事務所の経営者であり、後に大学教育にも関わった人物である。フリードマンの式と違い、当社の受注確率(p)とその期待利益 EV をゲイツは次のように定式化した。

$$(p) = \frac{1}{n\left[\dfrac{1-(p_i)}{(p_i)}\right]+1} \qquad (4)$$

$$EV = (p)P \qquad (5)$$

ここで、(p):当社の受注確率、n:入札者数(p_t):「平均的な他社」の受注確率、P:利益率

ゲイツの式は、フリードマンの式に比べると直感的には分かりにくいと思われるので、若干説明を加える。入札に当社の他に n 社が参加すると単純には 1/(n+1)の確率で落札する計算だが、n 社は異なる受注確率を持っている。ここで、3 社を相手にする入札を考え、(p_A), (p_B), (p_C) をそれぞれ当社が A, B, C 社に勝つ確率とすると、当社が 3 社ともに勝つ確率(p)は、場合の数の考え方から、

$$(p) = \frac{1}{\frac{1-(p_A)}{(p_A)} + \frac{1-(p_B)}{(p_B)} + \frac{1-(p_C)}{(p_C)} + 1} \qquad (6)$$

で表される。これを一般化して、A, B, C 社に代わり、「平均的な他社」を考えて、当社がこれに勝つ確率を(p_t)とすれば(4)式となる。

ゲイツの方法は、フリードマンの方法が他者の確率分布をガンマ分布で想定し、計算も複雑なのに対して、落札額(当社が落札の場合は 2 位の入札額)と当社の入札額のみで計算が可能になっている点が特徴であり、また実務的でもあり優れたモデルといえる。

表 6 の設例は Gates(1967)に記載のあるもので、ある期間のある建設会社(当社)の入札結果をまとめている。この表では当社の入札提示額の比率の順表中(4)欄でソートされている。30 件の入札案件のうち受注したのは最初の 5 件であり、平均的な工事利益が 5%であったと想定している。

表中(7)欄の落札確率と表中(8)欄の工事から得られる利益率とは相反する関係にあり、両者のかけ算により得られる期待利益を表中(9)欄で計算している。表の計算によれば 11 番目のハッチしたデータにおいて期待利益が最も大きく、入札値をあと 1.46%低くして受注量を増やすように入札する戦略がこの会社にとって最も期待利益が大きくなることを示している。

利益率 P(%)と落札確率(p)との関係を図 5 に示す。両者の関係は期待利益が最大となる近傍では 1 次式 $(p) = a + bP$ で近似させてよいから、

$$EV = (p)P = (a + bP)P = aP + bP^2 \qquad (7)$$

である。期待利益 EV が最大となる境界条件は上式を微分して求めればよい。 a+2bP=0, ∴ P_{opt} = −a/2b である。なお、パラメータ a, b は建設会社毎に異なってくる。設例の場合は、例えば No.9〜No.12 の 4 ポイントの (p)と P の値を利用して(表中では太字表示)求めると、(p)=0.754−0.127P であり、期待利益が最も大きくなる利益率は P_{opt}=−a/2b=2.96(%)と計算される。

表 6 「ゲイツの方法」の設例(当社の分析)

(1) No. (t,T)	(2) 落札価格 1000$	(3) 当社入札値 1000$	(4) (2)/(3) (%)	(5) 100%−(4) (%)	(6) 入札者数	(7) 落札確率 (p)=t/T	(8) 利益率 P (%)	(9) 期待利益 EV=(p)P
1	2,094*	1,989	105.28	−5.28	5	0.03	10.28	0.34
2	7,302*	7,207	101.32	−1.32	4	0.07	6.32	0.42
3	104*	103	100.97	−0.97	7	0.10	5.97	0.60
4	895*	892	100.34	−0.34	4	0.13	5.34	0.71
5	8,505*	8,502	100.04	−0.04	3	0.17	5.04	0.84
6	6,958	7,049	98.71	1.29	4	0.20	3.71	0.74
7	4,954	5,021	98.67	1.33	4	0.23	3.67	0.86
8	7,464	7,570	98.60	1.40	6	0.27	3.60	0.96
9	7,897	8,003	98.68	1.32	3	***0.30***	***3.68***	1.10
10	2,830	2,882	98.20	1.80	3	***0.33***	***3.20***	1.07
11	3,507	3,559	98.54	1.46	5	***0.37***	***3.54***	1.30
12	2,796	2,874	97.29	2.71	3	***0.40***	***2.29***	0.91
13	10,494	10,850	96.72	3.28	3	0.43	1.72	0.74
14	9,114	9,480	96.14	3.86	6	0.47	1.14	0.53
15	7,593	7,907	96.03	3.97	6	0.50	1.03	0.51
16	6,340	6,620	95.77	4.23	4	0.53	0.77	0.41
17	7,572	8,020	94.41	5.59	7	0.57	−0.59	−0.33
18	3,989	4,275	93.31	6.69	7	0.60	−1.69	−1.01
19	10,907	11,787	92.53	7.47	7	0.63	−2.47	−1.56
20	8,691	9,395	92.51	7.49	5	0.67	−2.49	−1.66
21	2,153	2,329	92.44	7.56	2	0.70	−2.56	−1.79
22	4,801	5,330	90.08	9.92	8	0.73	−4.92	−3.61
23	4,646	5,144	90.32	9.68	9	0.77	−4.68	−3.59
24	4,061	4,637	87.58	12.42	11	0.80	−7.42	−5.94
25	107	125	85.60	14.40	9	0.83	−9.40	−7.83
26	59	70	85.32	14.68	3	0.87	−9.68	−8.39
27	3,027	3,519	86.02	13.98	6	0.90	−8.98	−8.08
28	1,126	1,349	83.47	16.53	4	0.93	−11.53	−10.76
29	595	747	79.65	20.35	3	0.97	−15.35	−14.84
30	1,657	2,155	76.89	23.11	3	1.00	−18.11	−18.11

(注) M.Gates(1966)の表をまとめた。ある会社がある期間に参加した 30 の入札記録より計算したもの。30 の結果は(4)欄数値によりソートされている。この会社のこの期間の工事実績の平均利益率を 5%と想定して(8)欄は計算してある((5)欄＋(8)欄＝5%)。なお、No.1〜No.5 は当社が落札したもので、(2)欄の*マークは 2 位企業の数値である。

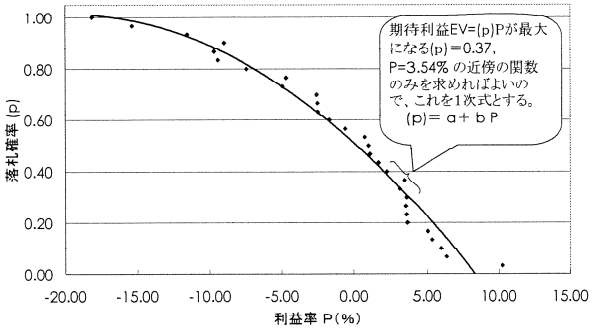


図 5 利益率 P(%)と落札確率(p)との関係

さて、このゲイツモデルでは入札者数 n の影響はどう扱われるかを考える。当社の場合と同様に、平均的な他社の $(p_t) = a' + b'P$ とおけば、(4)式から、

$$EV=(p)P=\frac{P}{n\left[\frac{1-(p_t)}{(p_t)}\right]+1}=\frac{P}{n\left[\frac{1-(a'+b'P)}{(a'+b'P)}\right]+1} \qquad (8)$$

これをPについて微分すると、その導関数の分子はPの2次式になる。これをゼロとおいて解くと、

$$P=\frac{a'+(1-a')n-\sqrt{n[a'+(1-a')n]}}{b'(n-1)} \text{（但し } n\neq 1) \qquad (9)$$

となり、これが期待利益最大の利益率 P(%)を与える。(9)式の結果を上で求めた a=0.754, b=−0.127 を使って描くと図 6 となる。つまり、モデル的に考えてみても、入札参加者数(競合者)が増えれば受注確率は下がるので、工事で見込める利益率を下げてでも受注するのが建設会社にとって有利な選択行動となることが示される。

以上は、ゲイツが提示したモデルと設例に基づいて考察したものであるが、フリードマンモデルの中でも入札参加者数が増えるとマークアップを下げるのが最適だと示されている。また、Carr(1983)等にも、競争者が増えるとマークアップが低くなることが示されている。

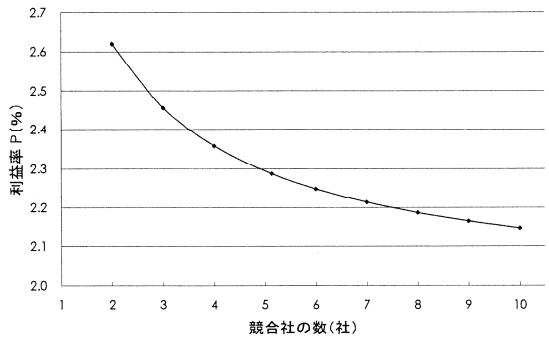


図 6 入札参加者数と利益率の関係

6.2 6.で用いた分析データ

ここで、入札参加者数の実態やその数の大小がどう競争環境に影響するのかを、公表されている入札結果データでみることとする。利用データは、ホームページ上で詳細データが入手可能であった 31,539 件の入札結果データ(総入札数 256,112)である。これは国のデータであり、岩松・遠藤・秋山(2007)で利用した約 1.8 万の工事関係データにその後の公表結果を加えたもので、2005 年 4 月から 2007 年 7 月末契約までのデータがほぼ網羅的に含まれている。なお、このデータで留意すべきなのは、2006 年を境にして指名競争と一般競争の割合が逆転し、直近では一般競争が支配的になっている点である。

6.3 入札参加者数の実態

すでに日本の入札では長らく 10 者程度の参加による指名競争が多かったと述べたが、本分析データではどうか。発注体別、入札方式別、工種別等でその違いをみてみたい。まず全体サンプルの入札参加者数のヒストグラムを示す(図 7)。やはり 10 者の入札が突出している。

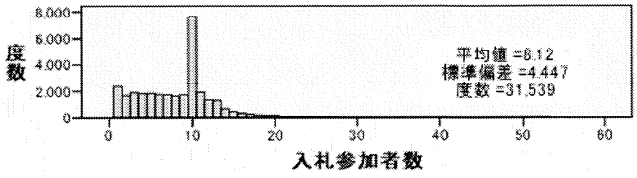


図 7 入札参加者数のヒストグラム(全サンプル)

6.4 入札参加者数と競争性の関係

ここでは、入札参加者数と入札の競争性を検討する。ここでは落札率を使い統計的な方法で検討する。一般的には落札率が低くなるほど、競争的な環境となることを検証する。

落札率を縦軸に、入札参加者数を横軸にして全体及び入札方式別、工事種別に全入札データを箱ひげ図で描く(図 8)。箱ひげ図は落札率の分布状態を記述しており、箱の中にはいる 50%のケースの範囲の上下限値や箱の中の中央値が示す値を横につなげてみていく。もちろん隣り合う個々の箱ひげ図で逆転するなど例外はあるが、全体及び各類別(入札方式別、工事種別)で全般に、入札参加者数が増えるほど落札率が低く推移する(右下に動く)傾向にあるといえる。これが顕著なのは図 8 の「2-2)一般競争入札」であり、他方の「2-1)指名競争入札」はそれほど明確でない。図 8 の他各図の違いを決定しているのは入札方式別の影響も大きいとも考えられる。

6.5 考察

以上を簡潔にまとめると、理論的に得た知見(入札者数が増えると競争的になる＝競争的な価格付けが行われる)を一定程度に裏付ける統計処理の結果が得られたといえる。つまり、競争的な価格付けをする入札者がいる結果、落札率が下がるといえるから、入札参加者数と落札率の関係をいろいろな類別で集計することで入札参加者数の大小が入札競争に与える影響を推し量ろうとした。しかし、落札率の高低は入札参加者数だけではなく、その他多くの要因で複合的に決まるものでもある。本論で具体的に言及した入札方式別や工事種別の他にも、地域の建設マーケットの状況、入札実施の時期、業者間の談合の存在の有無などがそれに影響する。そのため、落札率という指標

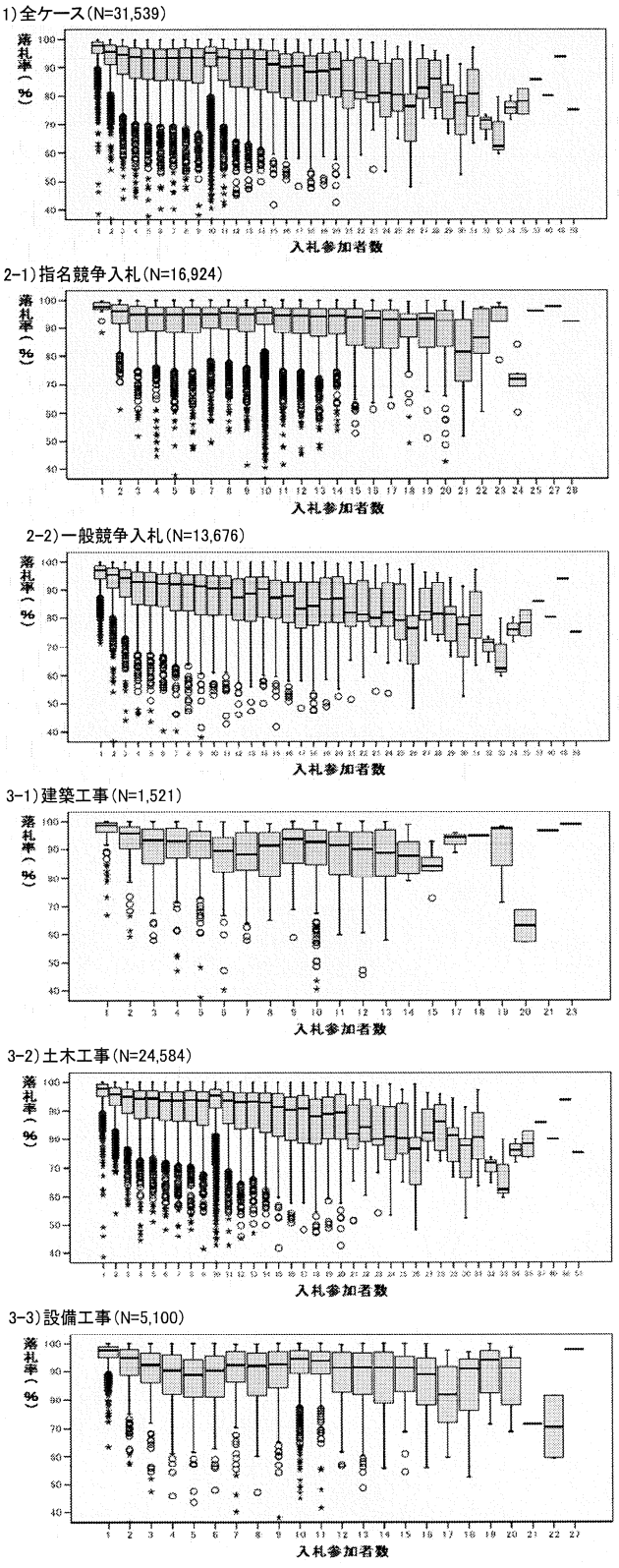


図 8 入札参加者数別の落札率の分布(箱ひげ図)

のみに焦点を当てて因果関係を証明するのは難しい部分もある。指名競争の場合は、入札参加業者にとってはある程度、競争相手がどんな会社かを類推可能であり、10 社ないし 20 社程度の競争相手があることが事前に認識可能なのに対して、一般競争ではそもそも競争相手がどんな相手か、また何者入札するかは事前にわからない。各業者の入札値の決定には入札参加者数の大小の他に競争相手の認識可能性の有無も大きいのではないかと思われる。そもそも競争入札には「勝者の呪い(winner's curse)」という心理現象が存在することはゲーム理論の研究で広く知られている。この点を強調すると論理矛盾となるが、一般競争の場合は、魅力的な工事は入札者が増え、かつ積極的価格付けをする業者がいる結果、落札率が下がると考えるべきと思われる。

ところで、日本の入札参加者数は、諸外国と比べてもまだ多い方ではないかと思われる。筆者の一人が調査に参加した豪州(N.S.W 州)では 2 段階の選定プロセスで、詳細な見積を要求されるショートリスト段階では 3〜4 社程度の参加が常識である。英国財務省の調達に関するガイドでは 6 社(Design-Build では 4 社)を越えてはならないとしている。また、米国連邦補助道路工事の過去約 30 年の入札結果統計では年平均入札参加者数は 3.8〜6.0 者で推移するという。

これら諸外国の例と比べても、日本の入札参加者数はまだかなり多いといえる。また、現下の急激な市場環境の変化により、改修関連など一部工事での入札不調が発生していることや、そもそも入札参加者が一定程度確保できない工事があることも伝えられる。日本の場合、さまざまな理由や経緯で現状に落ち着いたとみられるが、建設業者側の適度な利潤確保、社会的費用の低減、これと密接に絡む談合防止への寄与等の観点から再検討する余地があると考える。

7.研究の総括

本研究は入札制度の改革の進行と並行して、逐次公表される入札結果を統計的に分析することによって、その効果や影響を定量的にとらえることを目的とした。

とくに本研究では、入札方式別・工事種類別・業界別の入札の競争性の分析、入札参加者数と入札の競争性の分析を扱った。制度改革の途上であり、制度に対する業者の反応もまだ安定していないことから結果のシャープさについては一定の限界もあった。

しかしながら、本研究の成果は、日本建築学会の論文報告集(審査付)掲載論文2編(うち 1 編は 2008 年 8 月号掲載予定)と、分析のために開発した入札データ取り込み、分析のためのワークシートは、本学総合研究所研究支援課リエゾンオフィスおよび TAMA−TLO の支援のもと「入札監視システム(特願 2007-196492)」の出願という具体的な成果も生んだ。また筆者らはこうした研究成果によって、

実際に中央官庁、自治体等の入札監視委員会委員に登用され、一定の社会貢献も果たすことができた。

最後に本テーマに研究助成いただいた工学院大学総合研究所に感謝の意を表する。

参考文献

1) 岩松・秋山・遠藤(2001)「建設プロジェクトにおける入札戦略に関する研究:公開された入札データから読みとれる入札者の行動」日本建築学会計画系論文集, No.548,2001.10.

2) 岩松・秋山・遠藤(2003)「建設プロジェクトにおける入札戦略に関する研究;その 2.入札企業の経営規模別の競争力分析を中心に」日本建築学会計画系論文集, No.565, 2003.3.

3) 岩松・遠藤・秋山(2007)「公開データによる近年の入札行動の変化に関する分析」日本建築学会計画系論文集, No.622, 2007.12

4) 岩松・遠藤(2004)「入札参加者数が競争入札に与える影響」建築経済委員会第 20 回建築生産シンポジウム論文集, 2004.7

5) Capen, et al.(1971) "Competitive bidding in high-risk situations", Journal of Petroleum Technology, 1971

6) Carr, R. I.(1983) "Impact of number of bidders on competition", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.109, No.1,1997

7) Friedman, L.(1956) "A Competitive-Bidding Strategy", Operations Research, Vol.4, 1956

8) Gates, M.(1967) "Bidding Strategy and Probabilities", ASCE Journal of Construction Division, Vol.93, No. Co1, March, 1967

9) Akiyama, T., J. Iwamatsu and K. Endo (2002). "Bidding Strategies in Japanese Construction Projects." CIB W55&W65 Joint Conference in Ohio, U.S.A., Proceedings, 2002.10

10) Drew, D., M. Skitmore and H.P. Lo(1993). "Competitiveness in bidding: analysing the influence of competitors." CIB W-65 Trinidad W.I., September 1993, Proceedings

11) Drew, D. and M. Skitmore (1997). "The effect of contract type and size on competitiveness in bidding." Construction Management and Economics,1997

12) Skitmore, M. (1988). "the distribution of construction project bids."(fundamental research in bidding for estimating), CIB W-55 Haifa, Israel, Proceedings, 1988

13) 宇根・西條 (1995)「談合実験:制限付き一般競争入札の有効性」ISER DP. No.362,1995

14) 島崎 (1996)「ゲーム理論による談合の分析」建設マネジメント研究論文集 Vol.4,土木学会,1996

15) 島崎 (1997)「しきい値モデルによる談合の成立可能性の分析」建設マネジメント研究論文集 Vol.5,土木学会,1996

16) 津田・谷下・鈴木 (1997)「室内実験による入札行動の分析」建設マネジメント研究論文集 Vol.5,土木学会,1997

17) 古川・秋山・遠藤・岩松 (1994.1～1999.1)「入札あれこれ(1)～(16)」建築コスト研究 (連載),建築コスト管理システム研究所

18) 武田晴人(1999)「談合の経済学ー日本的調整システムの歴史と論理集英社,1999

19) 森本・滑川・山中 (2005)「公開入札結果情報を用いた入札競争状態の統計分析」建設マネジメント研究論文集 Vol.12,土木学会,2005

20) 郷原信郎 (2006)「入札関連犯罪の理論と実務 談合構造解消に向けての捜査のすべて」東京法令出版,2006

21) AASHTO (info tech) (1994) 'BAMS: system overview and sample output.' Manual, Release 2.0

22) Artale, A. (1997) 'Rings in auctions.' LNEMS 447, Springer,1997

23) Beeston, D.T. (1983) 'Statistical methods for building price data.' E & FN Spon, London,1983

24) Carr, R. I. (1982) "General bidding model." ASCE Journal of the construction division,1982

25) de Neufville, R., et al. (1977) "Bidding models: Effects of bidders' risk aversion." ASCE Journal of the construction division,1977

26) de Neufville, R. and Daniel King (1991) "Risk and need-for-work premiums in contractor bidding.",1991

27) Friedman, L. (1956) "A competitive-bidding strategy." Opr. Res., 4,1956

28) Ibbs and Crandall (1982) "Construction risk: multi attribute approach." ASCE Journal of the construction division,1982

29) McMillan (1991) "Dango: Japan's price-fixing conspiracies." Economics and Politics,1991

30) Willenbrock J. (1973) "Utility function determination for bidding models." ASCE Journal of the construction division,1977

都市環境騒音の低減に寄与する吸音性建築物の効果に関する研究

建築学科　塩田　正純

Study on the effect of the sound absorption buildings concerning to the reduction of urban environmental noise

Masazumi　SHIODA,　Department of Architecture

ＡＢＳＴＲＡＣＴ：This study shows the field measuring experiment and this consideration concerning to the insertion loss between the green wall and the concrete wall. This field measuring experiment methods as follows.

1) sound pressure level of each measuring point depends on the difference of sound source : the case of the green wall and the concrete wall
2) the frequencies characteristics of each measuring point depends on the difference of sound source : the case of the green wall and the concrete wall
3) the comparison between the sound pressure level of the green wall and the concrete wall in each measuring point depend on the difference of sound source
4) the comparison between the frequencies characteristics of the green wall and the concrete wall in each measuring point depend on the difference of sound source
5) the sound pressure level difference between the green wall and the concrete wall
6) the frequencies characteristics difference between the green wall and the concrete wall

The results of the field measuring experiment make clear the followings.

1) The main theme of the green wall is to preserve the heat environment. However, it has very possible for the green wall to reduce noise. This noise reduction value is about 2 dB. The difference of the frequency sound pressure level is about 0.5 dB to 10 dB, but differing by the frequency.
2) The sound pressure level difference by each sound source (i.e.; white noise, pink noise and band noise) differs each.) The sound pressure level of the white noise and the pink noise shows just about the same tendency. In the case of the sound pressure level of the band noise, the sound pressure level above the 250 Hz becomes the reduction tendency.
3) The relation between the sound speaker and sound meter microphone, and the wall gives the influence the acoustical phenomenon, especially in the sound pressure level difference.
4) Considering these acoustics condition too, the green wall makes clear to contribute noise reduction.

1．はじめに

我が国の伝統的な「静かさ・静寂さ・静穏さ」を感知しにくくなってから久しい。特に、人口が集中している大都市圏では、２４時間活動しているライフスタイルとなっている。経済発展とともにエネルギーの増大は、騒音発生にも大きな影響を与えてきている。流通による全国均一化は、益々活発になってきている中で、沿道地域で生活している人達は、騒音暴露を逃れることはできない。このような状況の中で、インフラストラクチャー整備による騒音低減の努力は、図１及び表１のように実施してきている。

本研究の目的としている「壁面緑化による音響性能」に関しては、手付かずの状態にある。「壁面緑化による吸音効果」が、表１に示すように２～５ｄＢ程度の騒音低減が期待できれば、特に，沿道地域の騒々しい環境を静穏な環境に転換することが可能となる。本研究は、建築物や土木構造物に壁面緑化を施工している場所に音源を設置してその挿入損失による騒音低減効果を現地調査測定を行うことにより検証するものである。

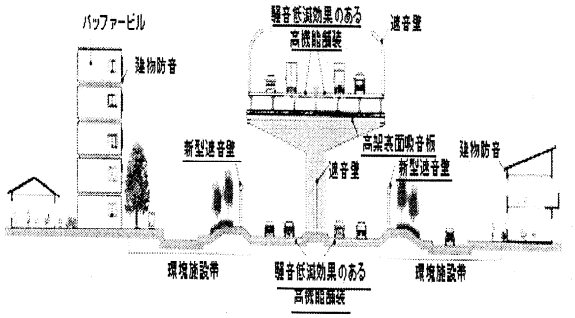


Fig.1 The means of urban environmental noise reduction

Table.1 The possibility of noise reduction depend to the green wall to stand in a row the buildings along the road

	対　策	理　由	減衰量
実効	高機能舗装（吸音性、二層式）	発生音の低減	3dB 程度
実効	遮音壁	回折効果による音の低減	10dB 前後
実効	環境施設帯	距離減衰による音の低減	5~10dB程度
実効	高架裏面吸音板	平面道路からの反射音の低減	2~ 5dB程度
研究段階	壁面緑化による吸音	高架／平面道路からの反射音の低減	2~ 5dB程度

○ 道路沿道の騒音低減は、上記の項目を達成すれば、22~33dB、期待できる。

○ 道路沿道の騒音が、90dBあれば、57~68dB程度となる。

2．研究計画

平成１８年度は、下記の研究計画に基づいて実施したが、課題が残ったため、本年度はその課題を実行するための研究計画を立案し実施に移した。

（1）平成１８年度の研究計画

1）　既往の研究文献調査について
2）　緑化している壁面の騒音低減効果に関する現場測定調査について
3）　緑化の有無における都市環境騒音のシミュレーションについて

1）については、研究文献調査により、緑化に関する研究の傾向を見出すことができた。しかし、本研究の目的を履行している文献は見出せなかった。2)については、研究設備の不足等もあり、緑化している壁面の騒音低減効果を見出すことができなかった。3）についても同様であった。騒音発生源を道路交通としたため、季節変化、時系列な交通量等の対応が見出せなかったため、本年度は、固定発生源を想定した。

（2）平成１９年度の研究計画

建築物の壁面や土木構造物の壁面に緑化している場所と同じ場所にあるコンクリート壁面に固定音源を想定した「音源用スピーカ」を設置して、ノイズジェネレタを通して、ホワイトノイズ、ピンクノイズおよびバンドノイズを発生して、挿入損失による壁面の騒音低減を計測することとした。 挿入損失による壁面の騒音低減効果を表現するために、下記について調査計測を実施した。

1）音源の違いによる測定場所毎の音圧レベル（壁面緑化とコンクリート壁面）
2）音源の違いによる測定場所毎の周波数特性（壁面緑化とコンクリート壁面）
3）音源の違いによる測定場所毎における壁面緑化とコンクリート壁面の音圧レベルの比較
4）音源の違いによる測定場所毎における壁面緑化とコンクリート壁面の周波数特性の比較
5）壁面緑化とコンクリート壁面の音圧レベル差
6）壁面緑化とコンクリート壁面の周波数特性における音圧レベル差

本計画に基づく共同研究内容および研究者は、下記の通りである。

（1）共同研究内容は、下記に示したとおりである。

1）既往の研究文献調査・・・・・・・平成１８年度
2）緑化している建築物の騒音低減の現地調査・・・・
平成１９年度

（2）これらの研究を実施するための共同研究者は、下記の通りである。

○今泉　博之：(独) 産業技術総合研究所　主任研究官
○鹿島　教昭:横浜市環境科学研究所　主任研究員
○末吉　修三：(独) 森林総合研究所　室長
○小林　真人：飛島建設（株）技術研究所 主任研究員

3．理論的背景

3．1　共鳴周波数について

壁面緑化における防音機能を理論的に展開するために、植栽、樹木の枝振りにおける葉っぱの音の吸音を仮定する。例えば、葉っぱの直径ｄ、葉っぱの厚さｔ、葉っぱと葉っぱのピッチD，その開口率P，剛壁と葉っぱの空間＝空気層Ｌとすると、その共鳴周波数ｆｏ（Ｈｚ）は，

$$P = \frac{\pi d^2}{4D^2}$$

$$f0 = \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{P}{(t+0.8d)L}}\ (\mathrm{Hz}) \qquad (1)$$

となる。その時の周波数特性は、パラメータにより変化するが、一般には、中高音域における吸音が期待される。

3．2　多孔質吸音材料の吸音率について

また、多孔質吸音材料のインピーダンスＺにより、その吸音率を計算する方法を下式に示す。

$$Z = \frac{\gamma d}{3} + j\left(\frac{\omega dm\rho}{3} - \frac{\rho C^2}{\omega Pd}\right) \qquad (2)$$

これから，絶対値｜Ｚ｜を求めると、

$$|Z| = \{(\gamma d/3)^2 + (\omega dm\rho/3 - \rho C^2/\omega Pd)^2\}^{1/2} \qquad (3)$$

ここで、

γ　：　単位容積当りの材料の直流音響抵抗　（ｇ／ｃｍ^3・ｓｅｃ）（音響オーム）
ρ　：　空気の密度（ｇ／ｃｍ^3）、一般には、１．２ｘ１０$^{-3}$（ｇ／ｃｍ^3）
ｄ　：　材料の厚さ　（ｃｍ）
ｍ　：　細孔中にある空気の実効密度と空間における密度の比（一般に、ｍ＝１．５）
Ｐ　：　開口率　、　Ｃ　：　音速（ｃｍ／ｓ）
（Ｃ＝３．４ｘ１０^4　ｃｍ／ｓ）
ω　：　角速度（Ｒａｄ／ｓ）（ω＝２πｆ）　、
ｆ　：　周波数　（Ｈｚ）

となる。よって，求める吸音率αは、

$$\alpha = 1 - \left|\frac{Z-41}{Z+41}\right|^2 \qquad (4)$$

4．現地調査による実験

4．1　調査方法

4.1.1 音源について

（1）ホワイトノイズ

任意の１Ｈｚ幅の周波数帯域（中心周波数±０．５Ｈｚ）において，一定のエネルギをもつ非周期波である。１／１オクターブバンドフィルタを通すと１／１オクターブバンドごとに３ｄＢ／オクターブの右上がりの傾斜で増加する。

（2）ピンクノイズ

右下がりの一定のエネルギスペクトルレベルをもつノイズである。１／１オクターブバンドフィルタを通すと１／１オクターブバンドごとに，一定になる。

（3）バンドノイズ

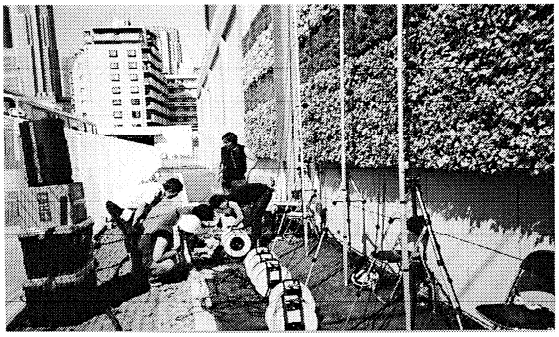
特定の１オクターブの周波数帯域のエネルギーだけを取り出したノイズである。したがって，１／１オクターブバンドフィルタを通しても同様なノイズとなる。スピーカは、地上より１．８ｍの位置におよび壁面より２．５ｍ（西新宿の場合）、４．８ｍ（船堀駅付近）の位置に設置した。そして下記に示す音源をスピーカから（１）から（３）を発生させた。

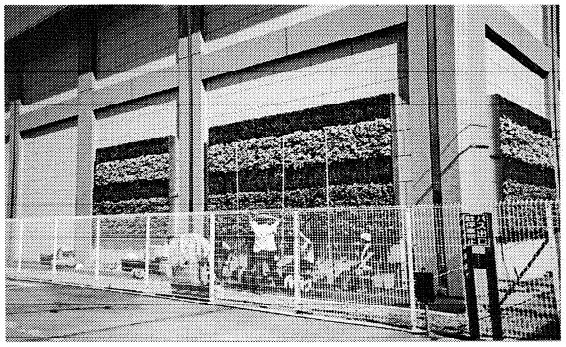
（１）　ホワイトノイズ　：　３０秒間
（２）　ピンクノイズ　：　３０秒間
（３）　バンドノイズ　：　３０秒間
（６３～８０００Ｈｚ：８バンド）

4．1．2　受音側について

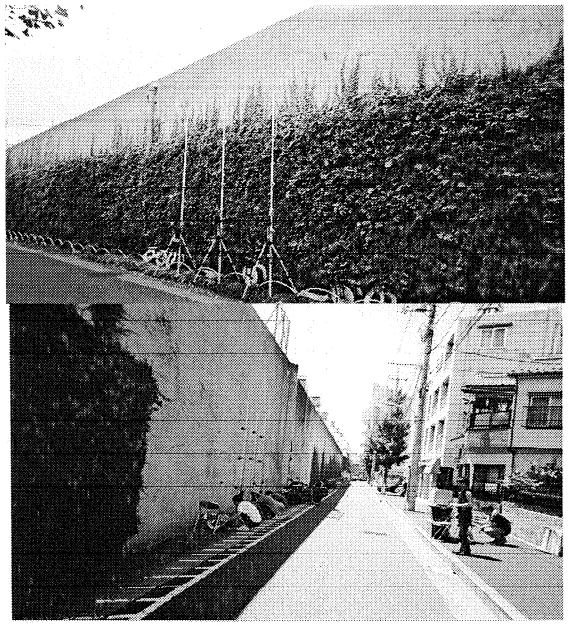
緑化壁面及びコンクリート壁面から、３４ｃｍ離れた位置に、マイクロホンを９点設置（３点ｘ３点）した。それぞれ地上より高さ１．５ｍ、２．０ｍおよび２．５ｍとした。
また、マイクロホン間の間隔は、１．５ｍとした。したがって、４．５ｍｘ４．５ｍの面を９本のマイクロホンで同時計測を実施した。

4．1．3　計測場所について





Phot.1 The case of Nishi-shinjyuku ventilation



Phot.2 The case of Funabori station nearby

4．2　計測方法

4．2．1　使用計測機器について

表２に，音源用スピーカ，騒音発生器，４チャンネルデータレコーダおよび騒音計等を示した。

Table.2　The measuring equipments

機器名	型番	数量	写真
普通騒音計	NL-20、NL21	９台	
４チャンネルデータレコーダ	DA-20	３台	
ノイズジェネレータ	SF-08	１台	
スピーカ	MSR100	１台	
アンプ	A-977	１台	

機器名	型番	数量	写真
三脚	CX-444、SDV-10	３本	
ポール	5[m]	３本	
電源コード	3[m]	３本	
水分計	TG-101	１個	

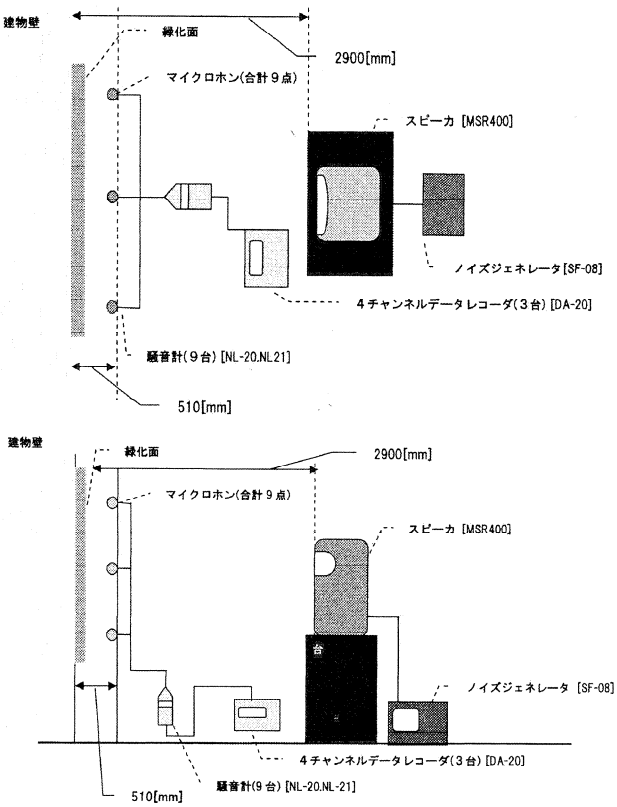


Fig.2 The measuring equipments and the measuring points (Nishi-Shinjyuku)

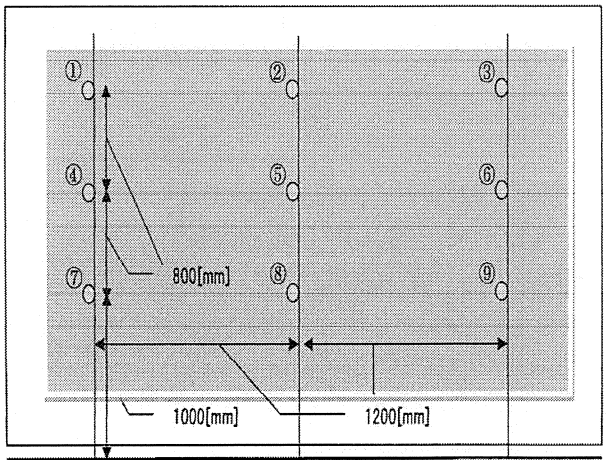


Fig.3 The noisemeter microphone between the green and the concrete wall (NishiShinjyuku)

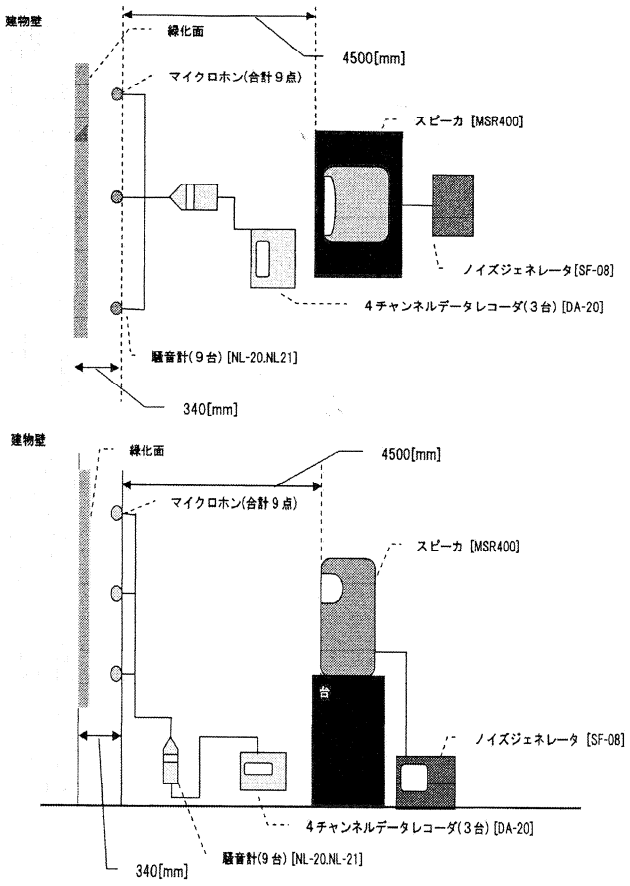


Fig.4 The measuring equipments and The measuring points (nearby Funabori station)

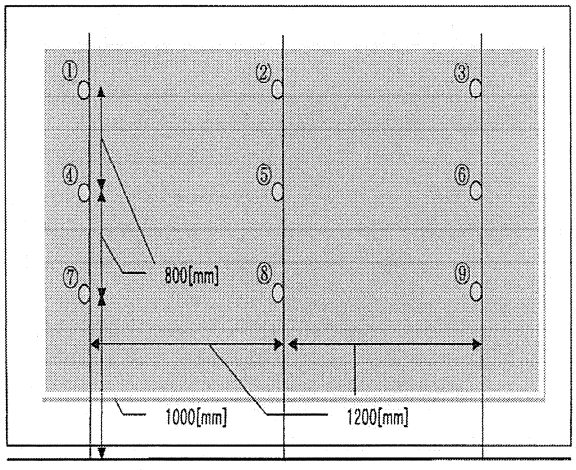


Fig.5 The noisemeter microphone between the green and the concrete wall (nearby Funabori station)

４．３　解析方法

ノイズジェネレータ　——＞　スピーカから発生した各種ノイズをそれぞれ４チャンネルデータレコーダ３台に同時にメモリーカードに録音して、波形処理ソフトおよびデータ処理ソフトを内蔵したパーソナルコンピュータにより、解析処理した。

図６は，音源側および受音側の計測器によって，測定したデータをパソコンを利用して解析するブロックダイヤグラムを示したものである。

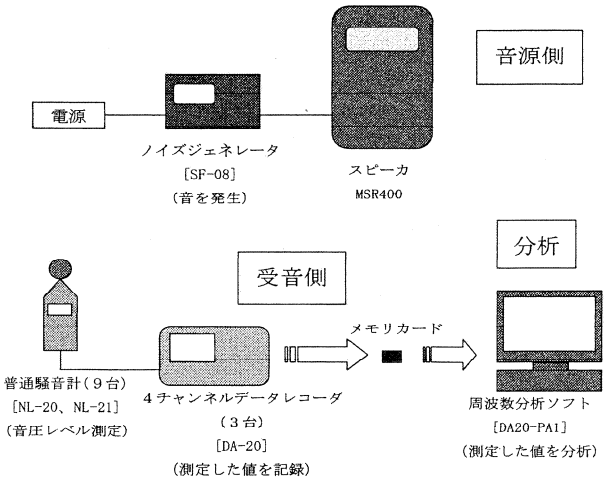


Fig.6 The block-diagram of data analysis

５．実験結果

５．１　西新宿換気所建築物の壁面について

本建築物における壁面緑化の構造と緑化植物を図７から図９と表３に示した。また、写真１は，換気所建築物の壁面緑化を示したものである。

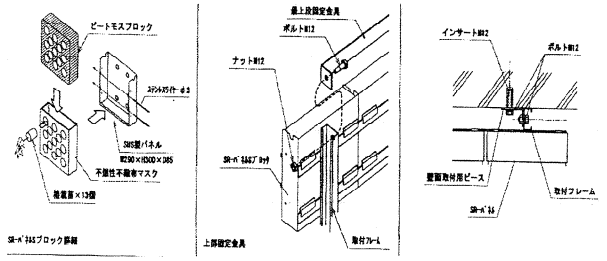


Fig.7 The structure of the green wall-1

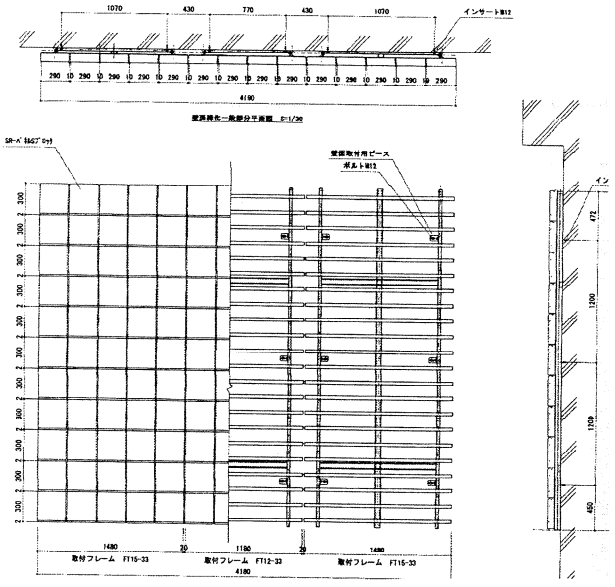


Fig.8 The structure of the green wall-2

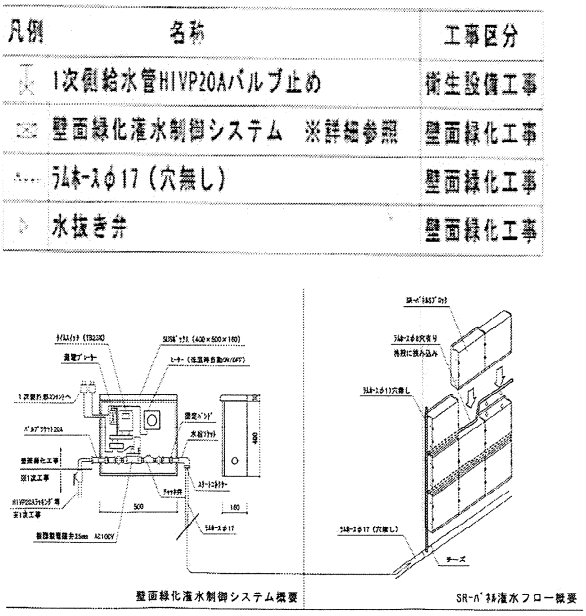
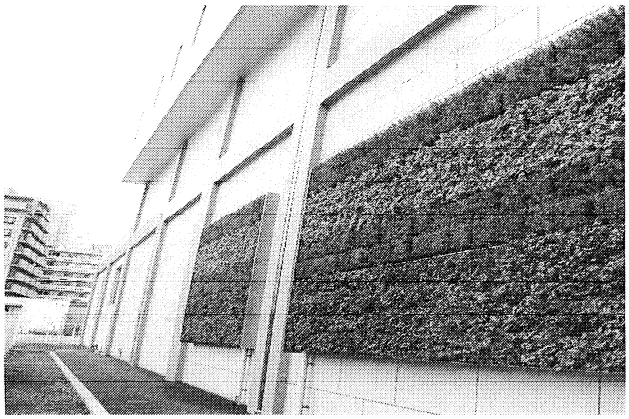


Fig.9 The structure of the green wall-3



Phot.3 The green wall of the ventilation building

Fig.3 The green plants

壁面緑化部	植物名称	学名	科名	基盤の厚み
最上部2段	アメリカツルマサキ	Euonymus fortunei var.Radicans	ニシキギ科	80mm
中央上部3段	ヘデラゴールデンチャイルド	Hedera helix cv."gold Child"	ウコギ科 ヘデラ属	
中央下部2段	アメリカツルマサキ	Euonymus fortunei var.Radicans	ニシキギ科	
下部3段	ヘデラピッツバーグ	Hedera helix cv. Pittsburgh	ウコギ科 ヘデラ属	

ただし：壁面から植栽基盤まで64mm

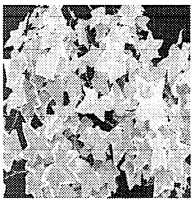
1）アメリカツルマサキ　：



アメリカツルマサキ

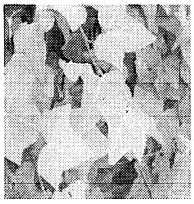
種　類：常緑本木類
付着形式：付着根型
原産地：北米
日当たり：好陽
草　丈：10cm以上
植栽地域：北海道～沖縄で可能
特　徴：耐乾性、耐湿性がややあり、耐暑性がある。また、風に耐える。

2）ヘデラ類（アイビー）　：



ヘデラ
・ゴールデンチャイルド

種　類：常緑本木類
付着形式：付着根型
原産地：ヨーロッパ
日当たり：陽～陰
草　丈：10cm程度
植栽地域：日本全国で可能
特　徴：成長が早い。耐乾性がややあり、耐暑性がある。



ヘデラ・ピッツバーグ

5．1．1　音源毎の音圧レベルと相対レベル

図10及び図11は，ホワイトノイズ音源とピンクノイズ音源における「壁面緑化の有無における各測定点の音圧レベル測定結果」を示したものである。

（1）音源　：ホワイトノイズの場合

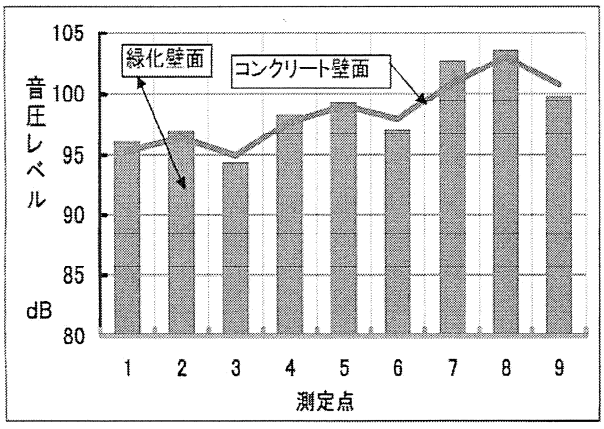


Fig.10 The comparison of the sound pressure level in each measuring points the green wall and the concrete wall

（2）音源　：ピンクノイズの場合

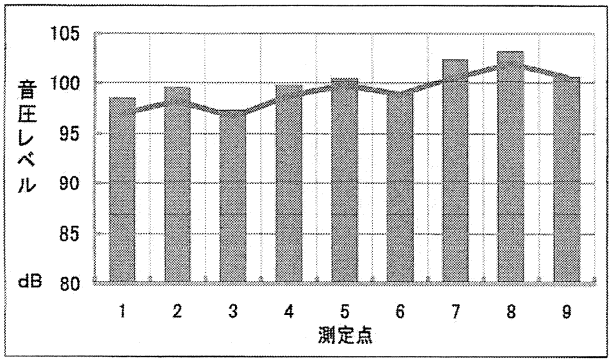


Fig.11　The comparison of the sound pressure level in each measuring points the green wall and the concrete wall

（3）バンドノイズの場合

図１２から図１９は，バンドノイズにおけるオクターブバンドごとの各測定点における音圧レベル測定結果を示したものである。

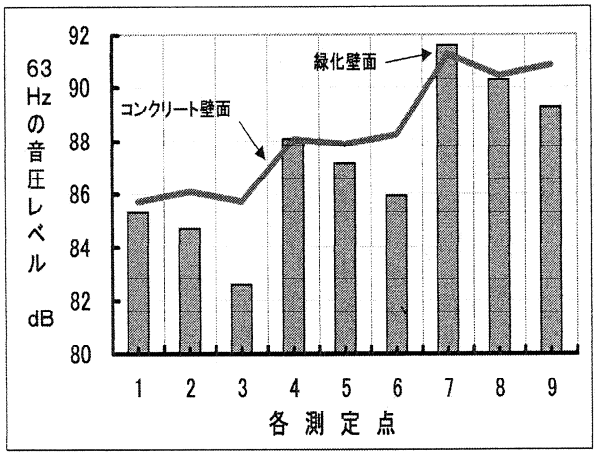


Fig.12 The comparison of 63Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

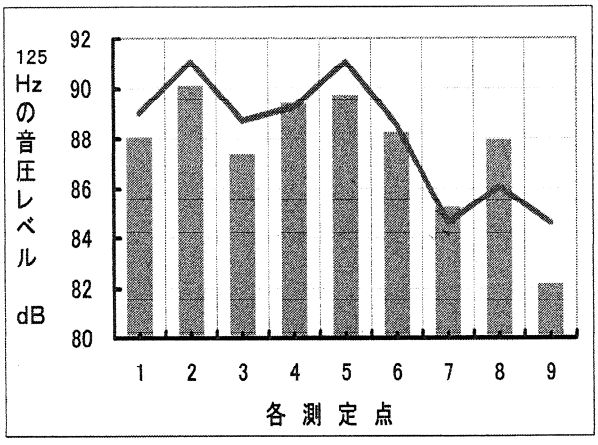


Fig.13 The comparison of 125Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

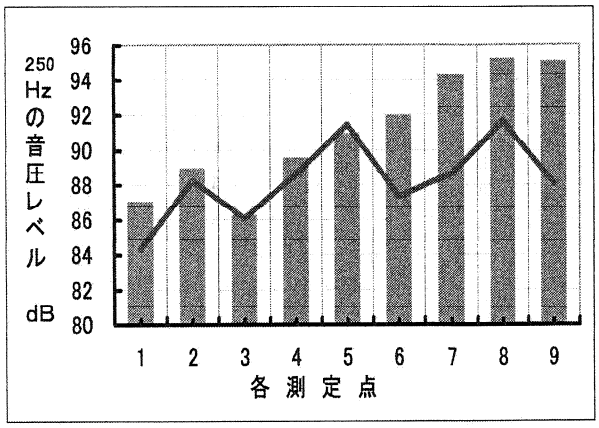


Fig.14 The comparison of 250Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

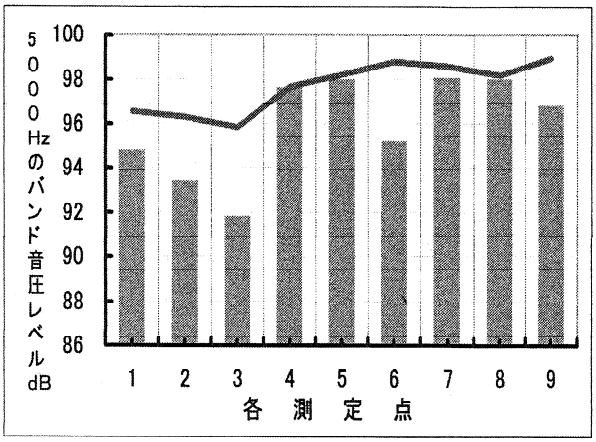


Fig.15 The comparison of 500Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

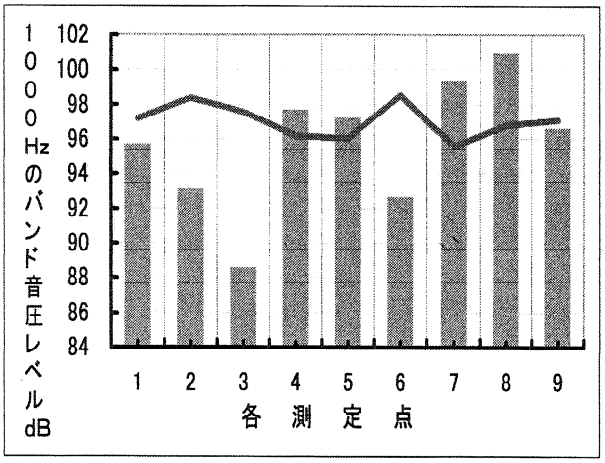


Fig.16 The comparison of 1000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

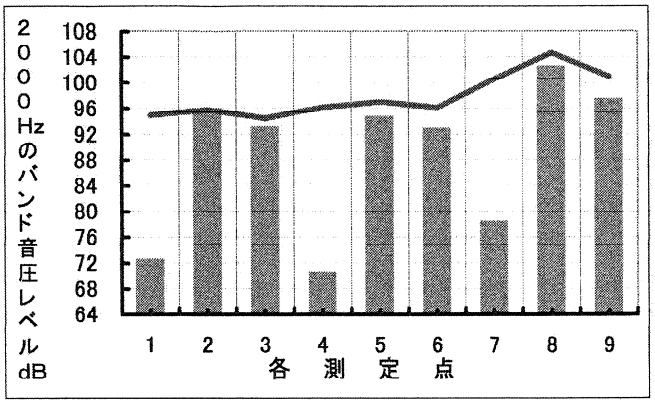


Fig.17 The comparison of 2000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

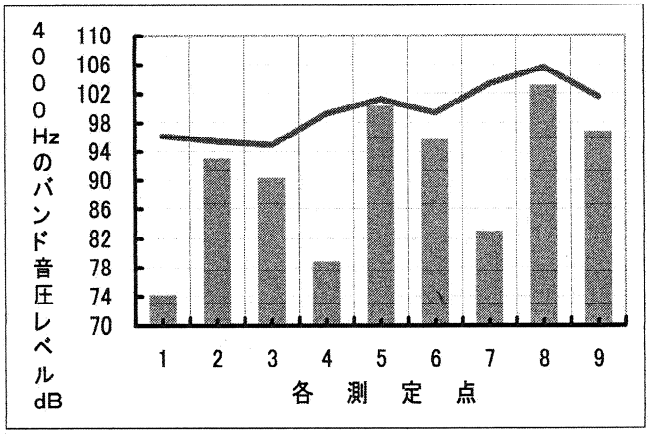


Fig.18 The comparison of 4000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

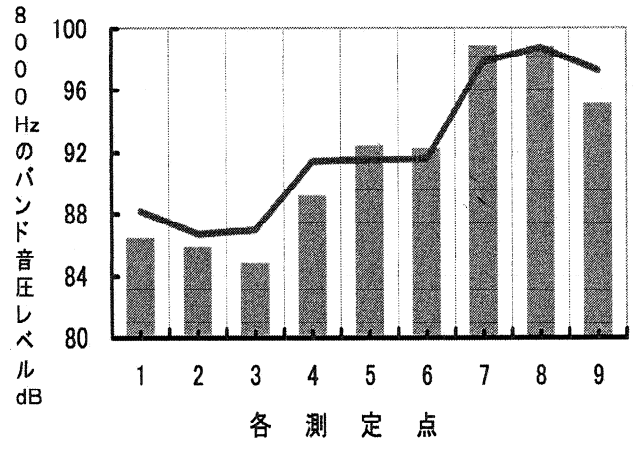


Fig.19 The comparison of 8000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

5．1．3　周波数分析結果

図２０から図２２は，各種音源における「壁面緑化の有無における各測定点の周波数分析結果」を示したものである

（1）音源　：ホワイトノイズの場合

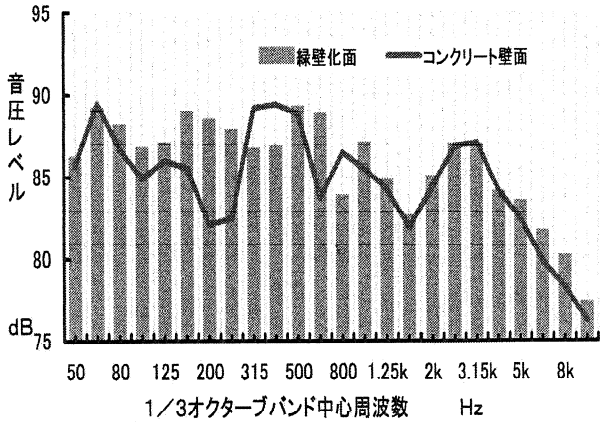


Fig.20 The comparison of sound pressure level between the green wall and the concrete wall

（2）音源　：ピンクノイズの場合

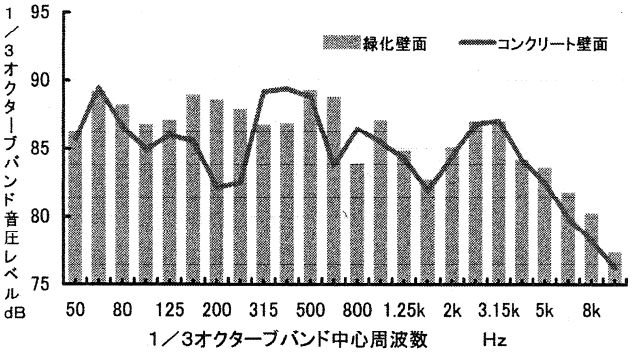


Fig.21 The comparison of sound pressure level between the green wall and the concrete wall

（3）音源：バンドノイズの場合

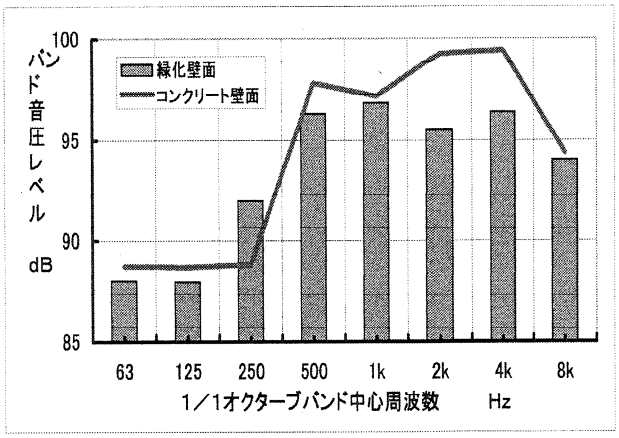


Fig.22 The comparison of band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

５．１．４　壁面緑化の有無による比較

（１）音源　：ホワイトノイズの場合

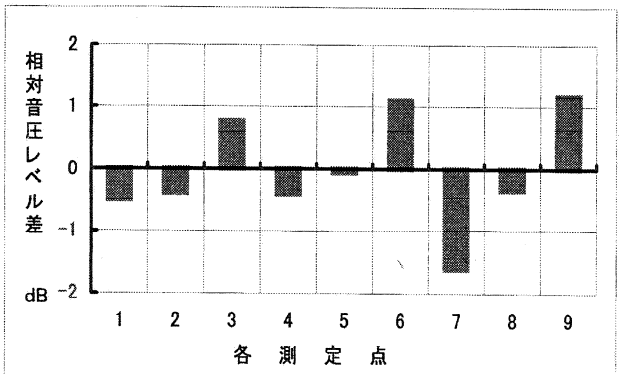


Fig.23 The difference of sound pressure level between the concrete wall and the green wall

（２）音源　：ピンクノイズの場合

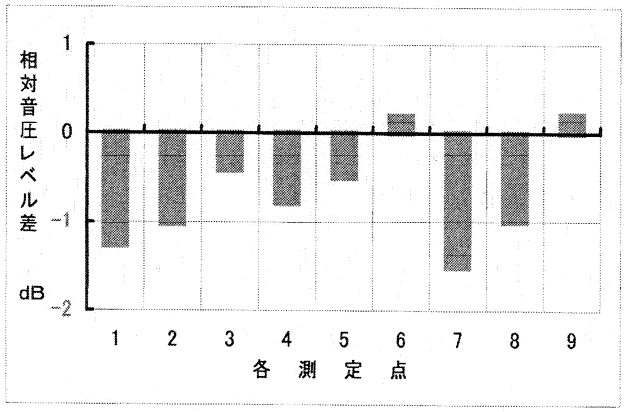


Fig.24 The difference of sound pressure level between the concrete wall and the green wall

５．１．５　壁面緑化の有無による周波数特性の比較

（１）音源　：ホワイトノイズの場合

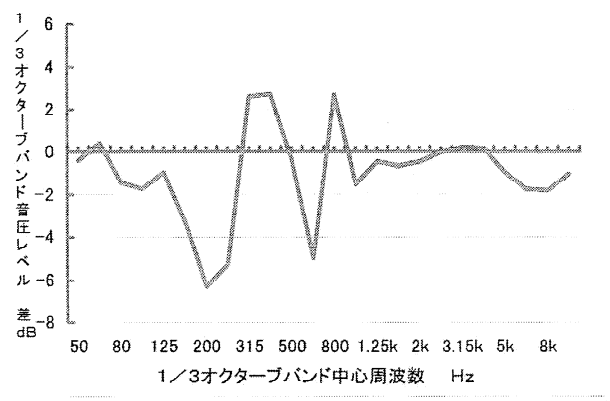


Fig.25 The difference of 1/3 octave band sound pressure level between the concrete wall and the green wall

（２）音源　：ピンクノイズの場合

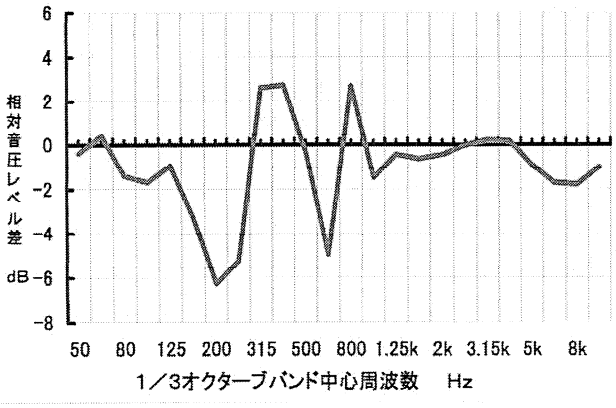


Fig26 The difference of 1/3 octave band sound pressure level between the concrete wall and the green wall

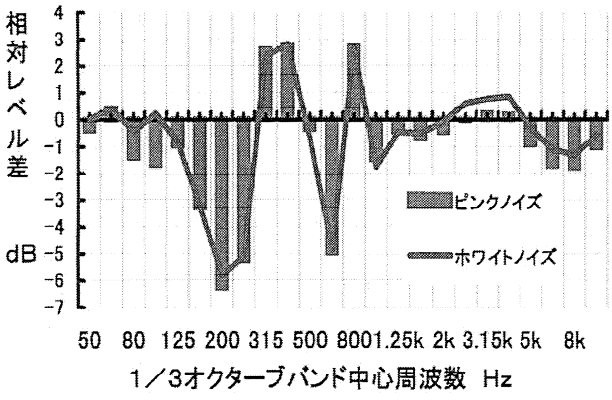


Fig27 The difference of 1/3 octave band sound pressure level between the concrete wall and the green wall
(sound source;pink noise/white noise)

（３）音源：バンドノイズの場合

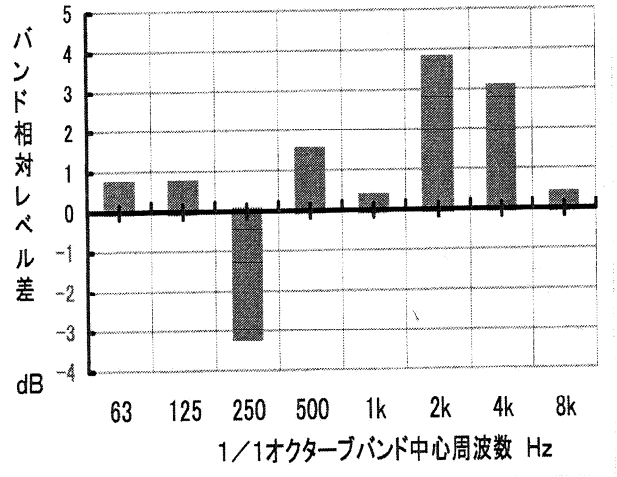


Fig28 The difference of 1/3 octave band sound pressure level between the concrete wall and the green wall

5．2　都営地下鉄線船堀駅付近のカルバート壁面について

5．2．1　緑化植物

■ナツヅタ



ナツヅタ

種　　類：落葉木本類
付着形式：付着盤型
原 産 地：日本
日当たり：陽～陰
草　　丈：-
植栽地域：北海道～沖縄で可能
特　　徴：成長が早い。耐寒性がややあり、耐暑性、耐雪性がある。風に耐える。

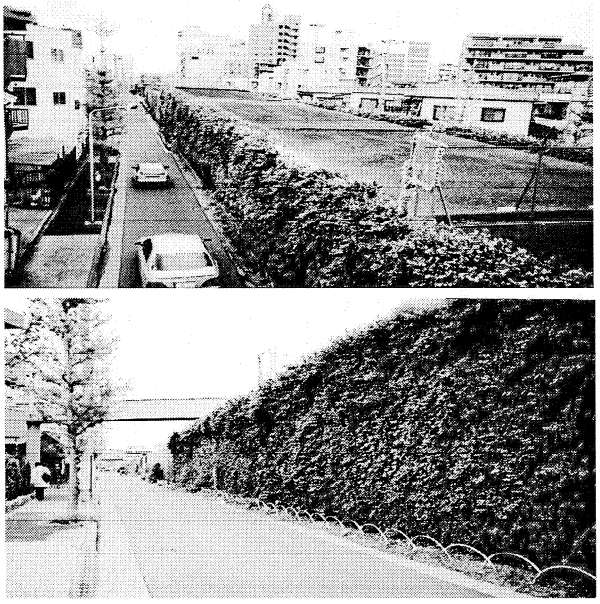
■イタビカズラ



イタビカズラ

種　　類：落葉木本類
付着形式：付着根型
原 産 地：西アジア
日当たり：好陽
草　　丈：-
植栽地域：関東～沖縄で可能
特　　徴：実がやや目立つ。耐湿性がややあり、耐暑性がある

実例：地下鉄道のカルバート壁面緑化



Phot.4 The green wall of the culvert nearby Funabori station

5．2．1　音源毎の音圧レベル

（1）音源　：　ホワイトノイズの場合

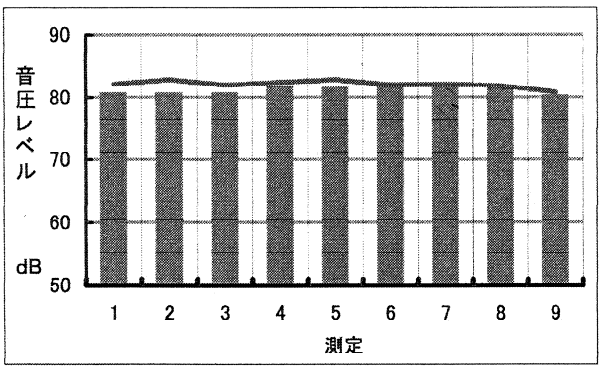


Fig.29 The comparison of the sound pressure level in each measuring points the green wall and the concrete wall

（2）音源　：　ピンクノイズ

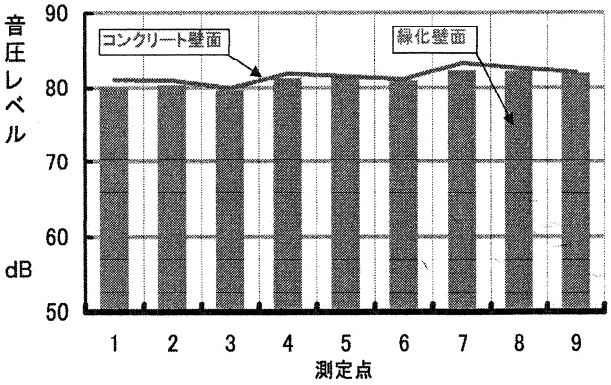


Fig.30 The comparison of the sound pressure level in each measuring points the green wall and the concrete wall

5．2．2　バンドノイズにおけるオクターブバンドごとの各測定点における音圧レベル

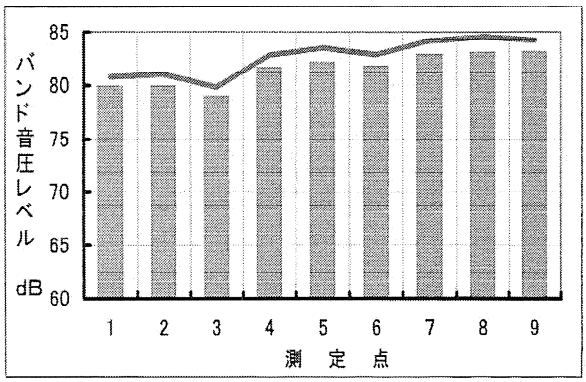


Fig31 The comparison of 63Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

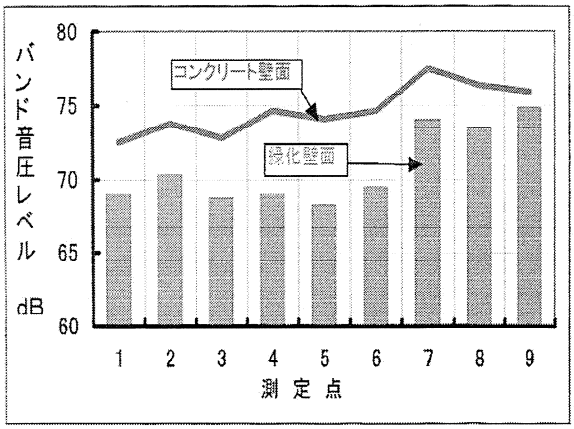


Fig32 The comparison of 125Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

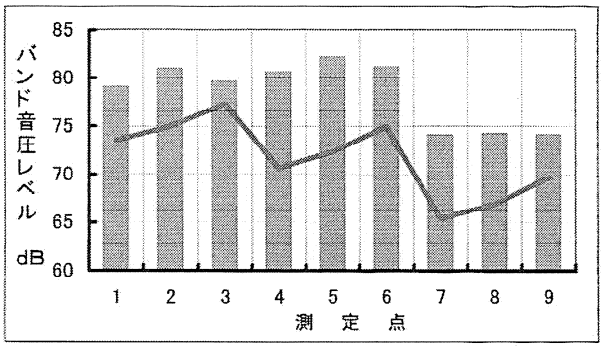


Fig33 The comparison of 250Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

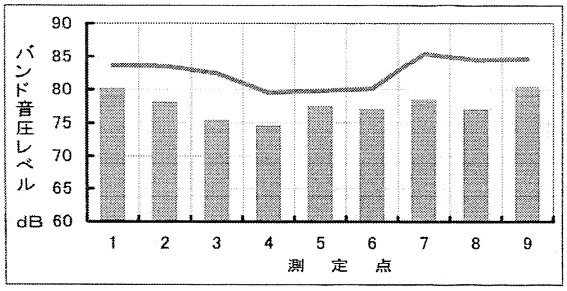


Fig34 The comparison of 500Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

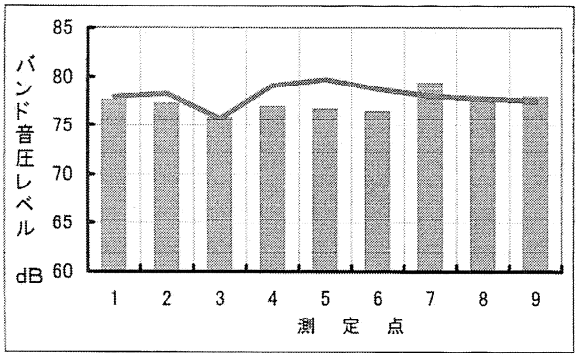


Fig35 The comparison of 1000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

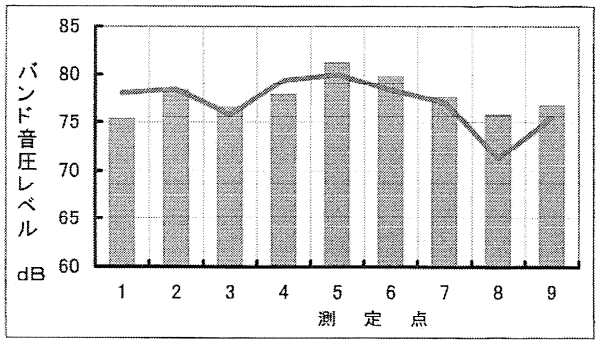


Fig36 The comparison of 2000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

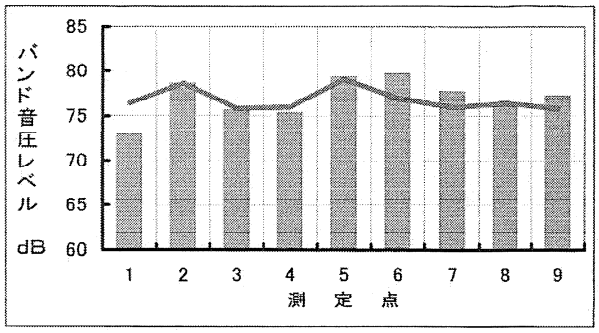


Fig37 The comparison of 4000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

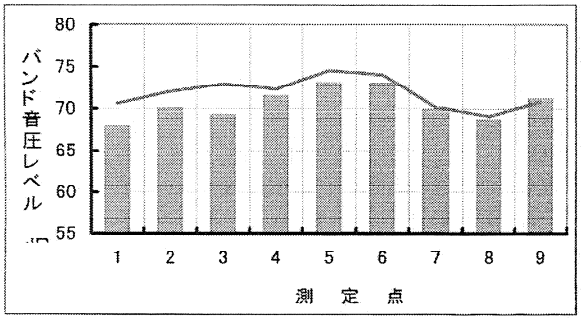


Fig38 The comparison of 8000Hz-band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

5．2．3　周波数分析結果

（1）音源　：ホワイトノイズの場合

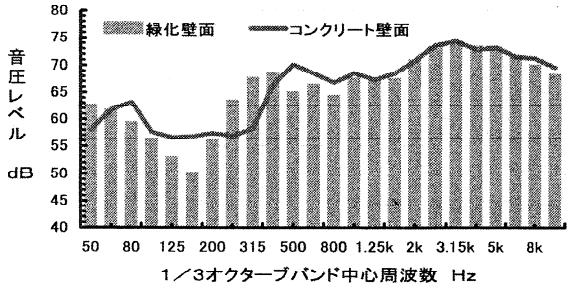


Fig.39 The comparison of sound pressure level between the green wall and the concrete wall

（2）音源　：　ピンクノイズの場合

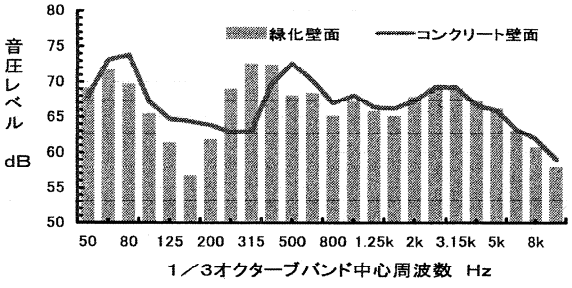


Fig.40 The comparison of sound pressure level between the green wall and the concrete wall

（3）音源　：　バンドノイズの場合

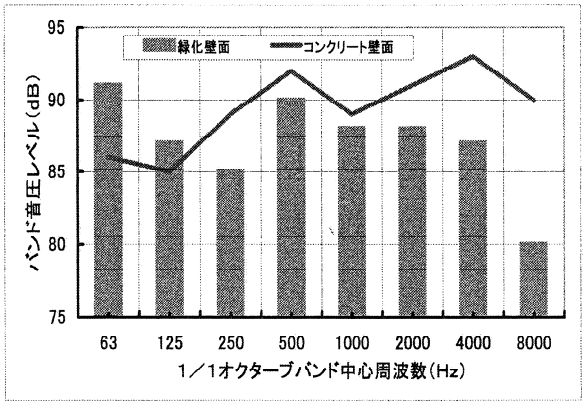


Fig.41 The comparison of band sound pressure level between the green wall and the concrete wall

5．2．4　壁面緑化の有無による比較

（1）音源　：ホワイトノイズの場合

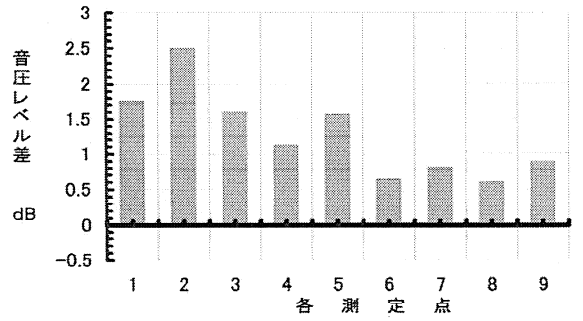


Fig.42 The difference of sound pressure level between the concrete wall and the green wall

（2）音源　：　ピンクノイズの場合

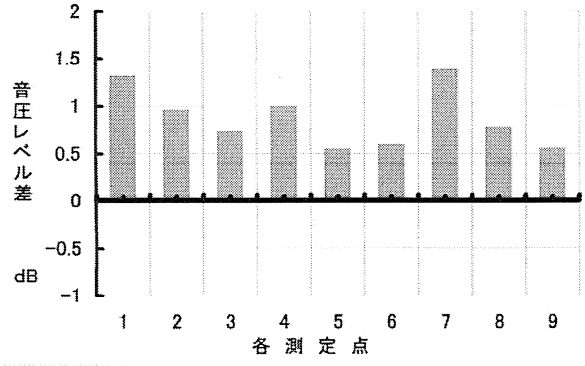


Fig.43 The difference of sound pressure level between the concrete wall and the green wall

5．2．5　壁面緑化の有無による周波数特性の比較

（1）音源　：ホワイトノイズの場合

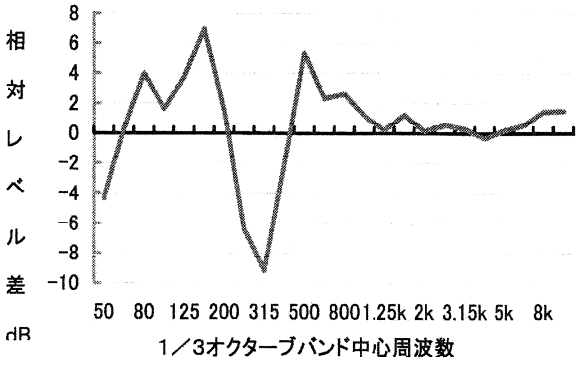


Fig.44 The difference of sound pressure level depend to the frequency between the concrete wall and the green wall

（2）音源　：　ピンクノイズの場合

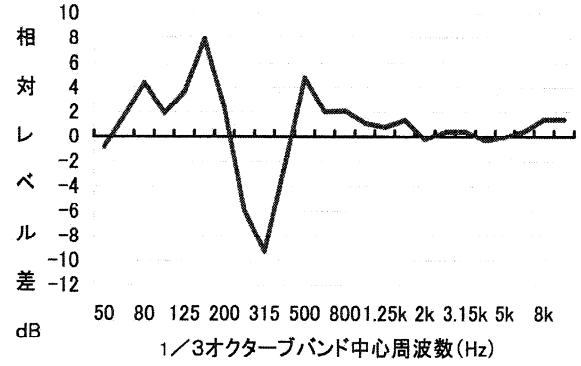


Fig.45 The difference of sound pressure level depend to the frequency between the concrete wall and the green wall

（3）音源　：　ホワイトノイズとピンクノイズの場合

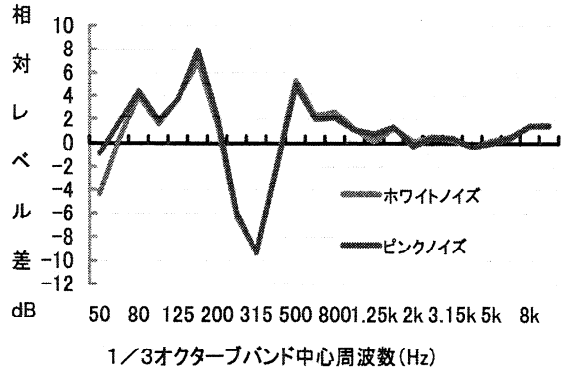


Fig.46 Thedifference of 1/3 octave band sound pressure level between the concrete wall and the green wall

（3）音源　：　バンドノイズの場合

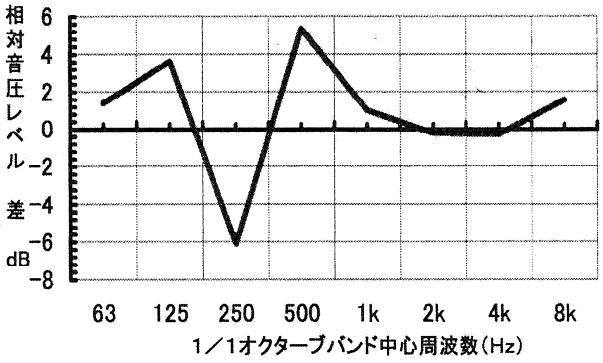


Fig.47 The difference of octave band sound pressure level between the concrete wall and the green wall

5．3　各場所における壁面緑化の有無の比較

5．3．1　音源ごとの音圧レベル差

（1）音源　：　ホワイトノイズの場合

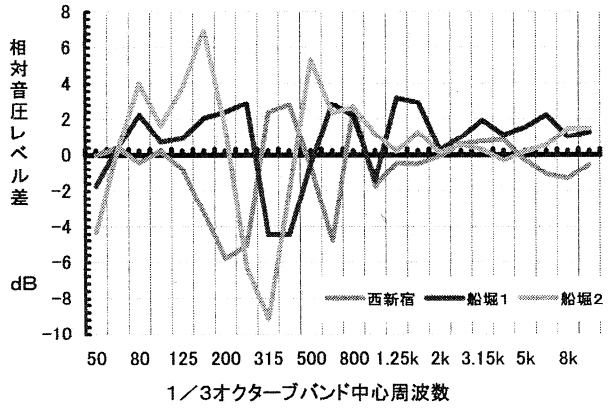


Fig48 The comparison of the relative sound pressure level difference between the concrete wall and the green wall (each measuring points)

（2）音源　：　ピンクノイズの場合

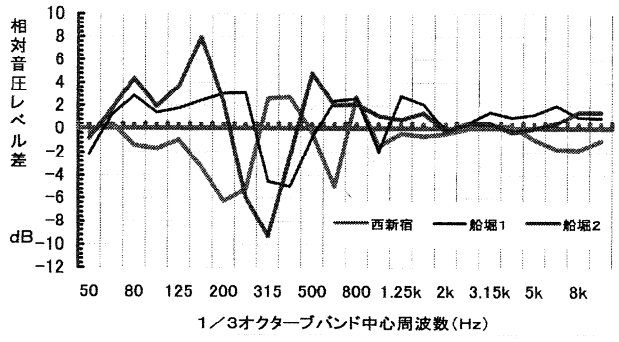


Fig49 The comparison of the relative sound pressure level difference between the concrete wall and the green wall (each measuring points)

（3）音源　：　バンドノイズの場合

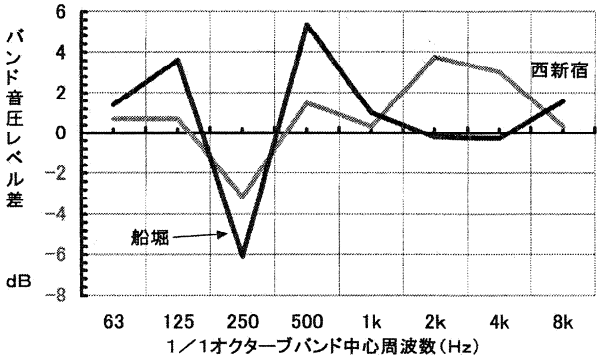


Fig50 The comparison of the relative sound pressure level difference between the concrete wall and the green wall (each measuring points)

6．結果の考察

西新宿換気所建築物における緑化壁面の有無における挿入損失および都営地下鉄線船堀駅付近のカルバートにおける緑化壁面の有無における挿入損失の結果について、下記に考察をした。

6．1　西新宿換気所建築物の壁面について

5．1の表3に、緑化植物を記しているが、これは、騒音低減のために緑化壁面としたわけではなく、景観をメインに考慮したものである。そのため、音響的な考慮がなされているわけではないため、緑化植物の組合せも造園的な視点となっている。更に、まだ、完全に成長して、植物同士が絡んでいないため所々には隙間があり、コンクリート面が見えている状況である。このような条件の中で、4章で記した方法にて、現地実験を実施した。緑化壁面、騒音計用マイクロホン及び音源用スピーカの位置関係は、干渉の影響を受けない距離として、緑化壁面から３４ｃｍ（１／４波長：２５０Ｈｚ）に設置することとしたが，実際は，５１ｃｍ（３／８波長）となってしまった。音源は、３種類使用し、音源の違いによる比較、周波数特性について考察した。

6．1．1　緑化壁面とコンクリート壁面の各測定点における音圧レベルの比較

（1）音源がホワイトノイズの場合：　図１０は、その結果を示したものである。

緑化壁面において、測定点５が、音源用スピーカ面内にあり、直接音、と反射音を受けている位置となっている。また、測定点１，４，７、測定点２，５，８及び測定点３，６，９は、鉛直方向から見て同じ列にある測定点である。スピーカから発生している音源の音圧レベルは、１００ｄＢに設定してある。が、各測定点間の音圧

レベルは、９９ｄＢ±５ｄＢの範囲になっている。左列測定点１，４，７の音圧レベルは、スピーカ面内に想定できる測定点ほど大きな音圧レベルとなっている。ここでは、測定点ごとの音圧レベルは、測定点７＞測定点４＞測定点１となっている。中央列測定点も同様な傾向となっている。右列測定点３，６，９も同様な傾向であるが、音圧レベルは、他列の測定点の音圧レベルよりも低くなっている。これは、スピーカ面内よりもはずれている可能性はあるためである。同様に、コンクリート壁面において考察すると、緑化壁面の音圧レベルの傾向とほぼ同様な傾向となっている。音源の音圧レベルは、１００ｄＢに設定してある。が、各測定点間の音圧レベルは、９９ｄＢ±４ｄＢの範囲になっている。

（２）音源がピンクノイズの場合：　図１１は、その結果を示したものである。

緑化壁面において、（１）と同様な傾向を示している。各測定点の音圧レベルは、（１）よりも安定しており、各測定点間の音圧レベルは、１００ｄＢ±３ｄＢの範囲になっている。同様に、コンクリート壁面において考察すると、（１）と同様な傾向を示している。各測定点間の音圧レベルは、１００ｄＢ±３ｄＢの範囲になっている。

（３）音源がバンドノイズの場合：　図１２から図１９は、その測定結果を示したものである。

バンドノイズのバンド音圧レベルは、１００ｄＢに設定してスピーカから発生した。

ａ）中心周波数６３Ｈｚについて

緑化壁面において、左列測定点１，４，７のバンド音圧レベルは、８５ｄＢ，８８ｄＢおよび９３ｄＢとなって、スピーカ面内に相当する測定点でのバンド音圧レベルが大きくなる傾向を示している。中央列測定点および右列測定点での音圧レベルも同様な傾向を示しているが、測定点が右側に行くほど音圧レベルが低い傾向を示している。各測定点間のバンド音圧レベルは、８７ｄＢ±４ｄＢの範囲となっている。同様に、コンクリート壁面において考察すると、緑化壁面の傾向と異なって、上段測定点１，２，３、中段測定点４，５，６および下段測定点７，８，９は、ほぼ同様なバンド音圧レベルとなっている。その各測定点間の音圧レベルは、８９ｄＢ±３ｄＢの範囲となっている。

ｂ）中心周波数１２５Ｈｚについて

緑化壁面において、左列測定点１，４，７のバンド音圧レベルは、測定点７において，低下している。中央列測定点２，５，８は，８９ｄＢ±１ｄＢの範囲となっている。また，右列測定点３，６，９におけるバンド音圧レベルは，変動している。更に，上列，中列及び下列でのバンド音圧レベルも上下している。これは，中心周波数１２５Ｈｚにおける１／４波長：６８ｃｍ内に測定点が存在し，且つそれぞれの測定点までの距離Ｌは，入射角 $\cos\theta$ となり，変化することなどが微妙に影響しているものと推察できる。また，同様に，コンクリート壁面において考察すると、緑化壁面の傾向と同様な傾向が見られるが，測定点によって，緑化壁面のバンド音圧レベルが大きくなっている。

ｃ）中心周波数２５０Ｈｚについて

緑化壁面およびコンクリート壁面において、中心周波数６３Ｈｚ及び１２５Ｈｚと異なったバンド音圧レベルとなっている。緑化壁面において、左列，中央列及び右列測定点でのバンド音圧レベルは，９１ｄＢ±５ｄＢの範囲にある。それぞれの列で右上がりの音圧レベルとなっている。これは、中心周波数２５０Ｈｚの遮断周波数は、１７６．７５－３５３．５Ｈｚにあり、その低域遮断周波数１７６．７５Ｈｚの１／４波長は、４８ｃｍである。緑化壁面とマイクロホンの直線距離が４８ｃｍであれば、ある位置では、音圧レベルは、低下する。が、その距離が微妙に異なっていると波長に影響するため、干渉が起きて、音圧レベルが、上昇することになる。そのような傾向が、見えている。また、コンクリート壁面においては、それぞれの列で変化しておるが、中央列でのバンド音圧レベルに対して、他列は、２ｄＢ程度低くなっている。同様に、中心周波数２５０Ｈｚの遮断周波数は、１７６．７５Ｈｚ－３５３．５Ｈｚにある。中心周波数２５０Ｈｚの１／４波長は、３４ｃｍであるが、マイクロホン位置は、５１ｃｍであるので、その波長は、３／８波長となる。この３／８波長に相当する距離では、バンド音圧レベルが、低下する傾向にある。そのような測定点は、１，３，６，９に相当としている可能性がある。

ｄ）中心周波数５００Ｈｚについて

壁面緑化において、左列，中央列及び右列測定点でのバンド音圧レベルは，９６ｄＢ±２ｄＢの範囲にある。右列測定点でのバンド音圧レベルは，他列よりも低くなっている。また、横列においては、上段＜中段＜下段のバンド音圧レベルとなっている。コンクリート壁面においては，各列とも安定したバンド音圧レベル（９７±１ｄＢ）となっている。

ｅ）中心周波数１０００Ｈｚについて

緑化壁面において、左列，中央列及び右列測定点でのバンド音圧レベルは，９５ｄＢ±６ｄＢの範囲にある。右列測定点でのバンド音圧レベルは，他列よりも低くなっている。また、５００Ｈｚと同様に、横列においては、上段＜中段＜下段のバンド音圧レベルとなっている。コンクリート壁面においては、各列および各段とも安定したバンド音圧レベル（９７±１ｄＢ）となっている。

f）中心周波数２０００Ｈｚについて

緑化壁面において、左列，中央列及び右列測定点でのバンド音圧レベルは，１０２ｄＢから７０ｄＢの範囲にあり、それぞれの測定点で異なっている。特に、左列測定点でのバンド音圧レベルは，他列のバンド音圧レベルよりも３０ｄＢ前後低くなっている。これは、入射角θと高周波数による影響が現れているものと考えられる。中心周波数２０００Ｈｚの波長λは１７ｃｍで、左列測定点（１，４，７）は、平均２．５ｍから、その距離まで約１７波長となる。ちょうど、測定点が１／４波長に近いものとなっていたためと考えられる。右列測定点（３．６，９）は、逆になっていることから低下しなかったためと考えられる。中央列（２，５，８）は、反射成分も影響していることから低下しなかったためと考えられる。これらは、緑化植物による特徴も加味されている。コンクリート壁面においては、左列，中央列及び右列測定点でのバンド音圧レベルは，９９ｄＢ±５ｄＢの範囲にある。ほぼ一定のバンド音圧レベルとなっている。

g）中心周波数４０００Ｈｚについて

緑化壁面およびコンクリート壁面において、中心周波数４０００Ｈｚとほぼ同様なバンド音圧レベルの傾向となっている。傾向の現象は、２０００Ｈｚと同様に考えることができる。

h）中心周波数８０００Ｈｚについて

緑化壁面において、中心周波数２０００Ｈｚ，４０００Ｈｚと異なった傾向を示している。左列（１，４，７）のバンド音圧レベル、中央列（２，５．８）及び右列（３，６，９）のバンド音圧レベルは、横列の下段＞中段＞上段となっている。そのバンド音圧レベルは，９２ｄＢ＋７ｄＢの範囲にあり、それぞれの測定点で異なっている。その現象は２０００Ｈｚで記したとおりである。コンクリート壁面では、左列（１，４，７）のバンド音圧レベル、中央列（２，５．８）及び右列（３，６，９）のバンド音圧レベルは、それぞれの横列でほぼ一定になっている。そのバンド音圧レベルは，９３ｄＢ±６ｄＢの範囲にあり、それぞれの測定点で異なっている。

６．１．２　音源別における周波数特性の比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：図２０は、その結果を示したものである。

緑化壁面における周波数特性は、５０Ｈｚから１０００Ｈｚまでは、８６±３ｄＢにあり、若干の変動となっている。１２５０Ｈｚ以上では、変動が見られるが、高周波数になるにつれて音圧レベルは、低下している。コンクリート壁面では、５０Ｈｚから２５０Ｈｚ，３１５Ｈｚから１６００Ｈｚおよび２０００Ｈｚ以上の周波数範囲で特徴を示している。５０Ｈｚから２５０Ｈｚの範囲では、低下傾向示している。３１５Ｈｚから１６００Ｈｚの範囲でも、低下傾向示している。更に、２０００Ｈｚ以上の周波数範囲でも同様である。ただし、２００Ｈｚ，２５０Ｈｚ、６３０Ｈｚおよび１６００Ｈｚに低下のデップが見られる。それぞれの１／４波長は、４２．５ｃｍ、３４ｃｍ、１３．５ｃｍおよび５．３１ｃｍに相当している。これらに相当する距離の範囲外か、直接音と反射音の相互影響により発生している可能性を示している。

（２）音源がピンクノイズの場合：図２１は、その結果を示したものである。

緑化壁面およびコンクリート壁面においてもホワイトノイズと同様な傾向を示している。

（３）音源がバンドノイズの場合：図２２は、その結果を示したものである。

緑化壁面における周波数特性は、６３Ｈｚ，１２５Ｈｚおよび２５０Ｈｚは、音圧レベルは低くなっているが、５００Ｈｚ以上では、ほぼ一定の音圧レベル（９５ｄＢ±１ｄＢ）にある。コンクリート壁面においても６３Ｈｚ，１２５Ｈｚおよび２５０Ｈｚは、音圧レベルは低くなっているが、一定の音圧レベル（８８ｄＢ）となっている。５００Ｈｚから８０００Ｈｚの範囲では、９６±３ｄＢとなっている。緑化壁面およびコンクリート壁面における周波数特性は、異なった傾向を示している。

６．１．３　各測定点の壁面緑化の有無における比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：図２３は、その結果を示したものである。

本結果は、コンクリート壁面の音圧レベルから緑化壁面の音圧レベルを差し引いて音圧レベル差として表示してある（以下同様）。その結果から判断すると、右列測定点（３，６，９）では、１ｄＢ程度、音圧レベルが低減している。が、他の測定点では、最大１．５ｄＢ程度音圧レベルが、大きくなっている。このような結果は、上述したような現象等が相互的に影響して現れているものと言える。

（２）音源がピンクノイズの場合：図２４は、その結果を示したものである。

ほとんどの測定点において、緑化壁面の音圧レベルが、大きくなっている。その音圧レベルは、最大で、１．５ｄＢとなっている。

６．１．４　壁面緑化の有無における周波数特性の比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：図２５は、その結果を示したものである。

５０Ｈｚから２５０Ｈｚの範囲では、緑化壁面の音圧レベルが、大きくなっている。３１５Ｈｚ及び４００Ｈｚでは、緑化壁面の音圧レベルが、２ｄＢ小さくなっている。５００Ｈｚ以上では、±で変動しているが、ほぼ同程度で変化のない音圧レベルとなっている。

（２）音源がピンクノイズの場合：　図２６は、その結果を示したものである。

ホワイトノイズの場合と同様な傾向を示している。

（３）音源がホワイトノイズ／ピンクノイズの場合：図２７は、その結果を示したものである。

両音源による比較でも同様な傾向となっている。

（４）音源がバンドノイズの場合：　図２８は、その結果を示したものである。

２５０Ｈｚでは、緑化壁面の音圧レベルが、３ｄＢ程度大きくなっている。が、ほとんどの周波数では、緑化壁面の音圧レベルが、０．５ｄＢから４ｄＢ程度低くなっている。

６．２　都営地下鉄線　船堀駅付近のカルバート壁面について

５．２．１に緑化植物の特徴について記した。本実験をした壁面緑化の緑化植物は、「ナツズタ、イタビカズラ」で、両植物を絡ましたものである。本壁面緑化は、周辺の環境を保全するための方法として施工したとのことであるが、その主体は、温熱環境の保全ということであった。騒音低減については、考慮していない。そこで、西新宿換気所と同様な方法にて、現地実験を実施した。その現地実験は、４．２．２　測定ブロックダイヤグラムと測定位置（図７，図８）に示したとおりである。また、解析方法は、図９のとおりである。実際の緑化壁面、騒音計用マイクロホン及び音源用スピーカの位置関係は、干渉の影響を受けない距離として緑化壁面から３４ｃｍ（１／４波長：２５０Ｈｚ）に設置した。

６．２．１　緑化壁面とコンクリート壁面の各測定点における音圧レベルの比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：　図２９は、その結果を示したものである。

壁面緑化において、測定点にかかわらず、ほぼ一定の音圧レベル８０ｄＢ前後となっている。コンクリート壁面においても、同様に、ほぼ一定の音圧レベル８１ｄＢ前後となっている。

（２）音源がピンクノイズの場合：図３０は、その結果を示したものである。

（１）と同様に、壁面緑化において、測定点にかかわらず、ほぼ一定の音圧レベル８０ｄＢ前後となっている。コンクリート壁面においても、同様に、ほぼ一定の音圧レベル８１ｄＢ前後となっている。

（３）音源がバンドノイズの場合：図３１から図３８は、その結果を示したものである。

バンドノイズのバンド音圧レベルは、１００ｄＢに設定して音源用スピーカから発生した。

ａ）中心周波数６３Ｈｚについて

壁面緑化において、各測定点におけるバンド音圧レベルは、８１±２ｄＢの範囲にあり、ほぼ一定となっている。コンクリート壁面においても若干の変動があるものの各測定点におけるバンド音圧レベルは、８２±３ｄＢの範囲にあり、ほぼ一定となっている。

ｂ）中心周波数１２５Ｈｚについて

壁面緑化において、横列の上段（１，２．３）、中段（４，５，６）におけるバンド音圧レベルは、ほぼ、６９ｄＢ前後で一定しているが、下段（７，８，９）でのバンド音圧レベルは、５ｄＢ程度大きくなっている。コンクリート壁面においても、各段でのバンド音圧レベルは、７５±２ｄＢの範囲内にあり、若干の変動が測定点ごとのに見られる。

ｃ）中心周波数２５０Ｈｚについて

壁面緑化において、横列の上段（１，２．３）、中段（４，５，６）におけるバンド音圧レベルは、８１ｄＢ±１ｄＢ前後で一定しているが、下段（７，８，９）でのバンド音圧レベルは、５ｄＢ程度小さくなっている。コンクリート壁面においては、各段でのバンド音圧レベルは、変動している。また、左列測定点（１，４，７）の下段になるほどバンド音圧レベルは、小さくなっている。同様に、中央測定点（２，５，８）および右列測定点（３，６，９）も同様な傾向を示している。

ｄ）中心周波数５００Ｈｚについて

壁面緑化において、横列の上段（１，２．３）、中段（４，５，６）および下段（７，８，９）におけるバンド音圧レベルは、７８ｄＢ＋３ｄＢ前後で、ほぼ一定となっている。コンクリート壁面において、そのバンド音圧レベルは、中段＜上段＜下段となっている。そのバンド音圧レベルは、８２ｄＢ±２ｄＢの範囲にある。

ｅ）中心周波数１０００Ｈｚについて

壁面緑化において、横列の上段（１，２．３）、中段（４，５，６）および下段（７，８，９）におけるバンド音圧レベルは、７７ｄＢ±２ｄＢ前後で、ほぼ一定となっている。が、中段（４，５，６）におけるバンド音圧レベルは、７６ｄＢ前後にある。コンクリート壁面において、そのバンド音圧レベル

は、７７ｄＢ±２ｄＢの範囲にある。が、中段（４，５，６）におけるバンド音圧レベルは、７９ｄＢ前後にある。

ｆ）中心周波数２０００Ｈｚについて

壁面緑化において、各段のバンド音圧レベルは、若干変動しているが、中断＞上段＞下段となっている。そのバンド音圧レベルは、７８ｄＢ±３ｄＢの範囲にある。コンクリート壁面において、そのバンド音圧レベルは、７６ｄＢ±４ｄＢの変動範囲にある。特に、下段（７，８，９）におけるバンド音圧レベルは、変動しており、７７ｄＢ，７２ｄＢ，７５ｄＢとなっている。

ｇ）中心周波数４０００Ｈｚについて

壁面緑化において、各段のバンド音圧レベルは、変動している。また、各列においてもバンド音圧レベルは、変動している。そのバンド音圧レベルは、７６ｄＢ±２ｄＢの範囲で変動している。コンクリート壁面においては、そのバンド音圧レベルは、７７ｄＢ±１ｄＢの範囲にある。特に、下段（７，８，９）におけるバンド音圧レベルは、一定となっている。

ｈ）中心周波数８０００Ｈｚについて

壁面緑化において、各段のバンド音圧レベルは、変動している。また、各列においてもバンド音圧レベルは、変動している。そのバンド音圧レベルは、７０ｄＢ±３ｄＢの範囲で変動している。コンクリート壁面においても同様に変動している。そのバンド音圧レベルは、７２ｄＢ±２ｄＢの変動範囲にある。特に、下段（７，８，９）におけるバンド音圧レベルは、ほぼ一定となっている。

６．２．２　音源別における周波数特性の比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：　図３９は、その結果を示したものである。

緑化壁面において、５０Ｈｚから２５０Ｈｚの範囲における音圧レベルは、低下傾向にあり、３１５Ｈｚから２５００Ｈｚの範囲における音圧レベルは、変動しながら上昇傾向を示し、３１５０Ｈｚ以上からまた、低下傾向を示す周波数特性となっている。コンクリート壁面についても、緑化壁面と同様な傾向を示しているが、コンクリート壁面の方が、若干、音圧レベルが、高い傾向にある。

（２）音源がピンクイズの場合：　図４０は、その結果を示したものである。

緑化壁面において、５０Ｈｚから２５０Ｈｚの範囲での音圧レベルは、低下傾向にあり、３１５Ｈｚから２５００Ｈｚの範囲における音圧レベルは、変動しながら上昇傾向を示し、３１５０Ｈｚ以上からまた、低下傾向を示す周波数特性となっている。ほとんど、（１）と同様な傾向を示している。ただし、音圧レベルには、音源の特性が示されている。コンクリート壁面についても、緑化壁面と同様な傾向を示しているが、コンクリート壁面の方が、若干、音圧レベルが、高い傾向にある。

（３）音源がバンドクイズの場合：図４１は、その結果を示したものである。

緑化壁面において、６３Ｈｚから２５０Ｈｚの範囲における音圧レベルは、低下傾向にあり、５００Ｈｚから８０００Ｈｚの範囲における音圧レベルは、変動しながら下降傾向を示している。コンクリート壁面について、１２５Ｈｚから５００Ｈｚの範囲における音圧レベルは、上昇傾向にあり、１０００Ｈｚから８０００Ｈｚの範囲における音圧レベルは、変動しながら下降傾向を示している。コンクリート壁面の方が、若干、音圧レベルが、高い傾向にある。

６．２．３　各測定点の壁面緑化の有無における比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：　図４２は、その結果を示したものである。

全ての測定点において、緑化壁面の方が、音圧レベルが低くなった事から、その音圧レベル差は、最大２．５ｄＢとなっている。横列の音圧レベル差は、ほぼ上段＞中段＞下段のようになっている。算術平均による音圧レベル差は、１．３ｄＢとなっている。

（２）音源がピンクノイズの場合：　図４３は、その結果を示したものである。

音源がホワイトノイズの場合と同様に、全ての測定点において、緑化壁面の方が、音圧レベルが低くなった事から、その音圧レベル差は、最大１．４ｄＢとなっている。横列の音圧レベル差は、ほぼ上段＞中段＞下段のようになっている。算術平均による音圧レベル差は、１．０ｄＢとなっている。

６．２．４　壁面緑化の有無における周波数特性の比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：　図４４は、その結果を示したものである。

６３Ｈｚから２００Ｈｚにおける周波数範囲では、音圧レベル差が、最大６ｄＢにあったが、２５０Ｈｚから４００Ｈｚにおける周波数範囲では、音圧レベル差が、最大－１０ｄＢになって、緑化壁面の音圧レベ

ル方が大きくなっていることを示している。５００Ｈｚ以上では、音圧レベル差がでているが、高周波数になるにつれて、その差が無くなってきている。２５０Ｈｚから４００Ｈｚにおける周波数範囲において、音圧レベル差がマイナスとなっているのは、音源とマイクロホンの位置関係、反射による干渉や共鳴および緑化植物による散乱などの相互的な影響によるものと推定している。

（２）音源がピンクノイズの場合：　図４５は、その結果を示したものである。

周波数における音圧レベル差は、（１）とほぼ同様な傾向を示している。

（３）音源がホワイトノイズ／ピンクノイズの場合：　図４６は、その結果を示したものである。

両音源の周波数における音圧レベル差は、ほぼ同様な傾向を示している。

（４）音源がバンドノイズの場合：　図４７は、その結果を示したものである。

６３Ｈｚ、１２５Ｈｚでは、緑化壁面の音圧レベルが大きいため、その音圧レベル差は、－５ｄＢ、－２ｄＢとなっている。２５０Ｈｚ以上では、その音圧レベル差があり、０．５ｄＢから１０ｄＢとなっている。

６．２．５　各場所における壁面緑化の有無による比較

（１）音源がホワイトノイズの場合：　図４８は、その結果を示したものである。

音源用スピーカー，騒音計用マイクロホンおよび壁面（緑化，コンクリート）の距離関係が，周波数（すなわち，波長）に影響を与えている結果を示している。できるだけ，１／４波長となるように設定しているが，実際は，そのようになっていないため，音響的な現象により，２００Ｈｚから３１５Ｈｚ前後に音圧レベルの上昇が見られている。これは，反射による干渉や植栽による散乱が，その周波数範囲で発生しているものと推察している。その他の周波数では，反射による干渉や植栽による散乱よりも植栽相互による空間の吸音性能が寄与しているものと推察できる。特に，「ナツヅタとイタビカヅラ」の組合せは，音圧レベルの低減に寄与している可能性を示している。５００Ｈｚ以上からは，ほぼ＋２ｄＢ前後で推移している。

（２）音源がピンクノイズの場合：　図４９は、その結果を示したものである。

（１）と同様な傾向を示している。

（３）音源がバンドノイズの場合：　図５０は、その結果を示したものである。

本結果においても（１）および（２）と同様な傾向を示している。が，植栽の違いや登はんの違いにより音圧レベル差も異なっているが，全般的には，音圧レベルの低減に寄与している可能性を示している。

７．結　論

本研究は，建築物の壁面を吸音性にすることで，都市環境騒音の低減に貢献することが可能であるかを明らかにしようとしたものである。その方法として，温熱環境，景観あるいは心理的な癒しにも寄与していると言われている植栽をベースに，現地調査測定から，挿入損失による音圧レベルの低減について，明らかにした。挿入損失による音圧レベルの低減の傾向は，下記の通りである。

１）音源用スピーカー，騒音計用マイクロホンおよび壁面（緑化，コンクリート）の距離関係が，周波数（すなわち，波長）に影響を与えている

２）音源の種類（ホワイトノイズ，ピンクノイズおよびバンドノイズ）により，測定点の位置によって，音圧レベルが異なっている。が，全体的な傾向は，ほぼ同様であった。

３）周波数による音圧レベル差は，２００Ｈｚ～３１５Ｈｚにデップがあるもののほぼ緑化による音圧レベルの低減が見られるものとなっている。特に，バンドノイズでは，５００Ｈｚ以上で，低減傾向を示している。

４）本現地調査における緑化は，音響的な検討をして，登はんしているわけではなく，取敢えず，景観あるいは心理的な癒し程度にて施工しているのみである。このような条件においてもある程度の音圧レベルの低減が見られることから，本格的に，音響的な条件を加味して設計登はんを実施して，建築物の壁面に施工することによって，２ｄＢから５ｄＢの音圧レベルの低減を期待できるものといえる。

８．今後の課題

現地調査測定においては，周辺条件において，音響学的な条件を満足できることはほとんど期待できないが，できるだけ音響学的な条件を満足できるような場所を見つけることによって，測定精度を向上させることが重要である。今回は，ホワイトノイズ，ピンクノイズおよびバンドノイズの３種類の音源によって，その結果の違いを明らかにした。ほぼ，同様な傾向を示したので，今後は，バンドノイズを主体に，多くの植栽について現地調査測定を実施することで，基礎的な

データを蓄積する。このデータに基づいて，プレジェクター:環境騒音予測シミュレーションプログラム(B&K：デンマーク）を駆使して，都市環境騒音の低減を図っていく。

参考文献・資料

（1）塩田　正純　:「都市環境騒音の低減に寄与する吸音性建築物の効果に関する研究」　平成１８年度工学院大学　総合研究所　ＰＪ研究　Ｐ．Ｐ１８７－２００

（2）Voichita Bucur :　“ Urban Forest Acoustic “ Springer ２００６

（3）Istvan L.Ver & Leo L. Beranek　“ Second Edition Noise and Vibration Control engineering　Principles and Applications “ John Wiley & Sons　２００６

（4）Colin Hansen　“ Noise Control from Concept to Application “ Taylor & Francis ２００５

（5）Springer　“ Handbook of Acoustics “ Springer ２００７

（6）国土交通省　都市・地域整備局　公園緑地課　緑地環境推進室　:「屋上・壁面緑化空間はどの程度創出されているか－全国屋上・壁面緑化施工面積調査（平成１２～１８年）について－」、平成１９年６月２２日

（7）環境省水･大気環境局　環境の街作り検討会　:「環境の街作り　報告書」、平成１８年１２月２７日

（8）(財) 自然環境研究センター　:「平成１８年度　環境影響評価技術手法（景観関連）調査報告書」、平成１８年度環境省請負調査報告書

（9）都市技術緑化　:「特集　緑化による環境負荷低減～公害対策と植物」、(財)都市緑化技術開発機構、２００６、AUTUMN、Ｎｏ．６３

（１０）長濱　庸介　他　:「壁面緑化植栽基盤の吸音性評価」、Ｐ．Ｐ２９－３２、(社) 日本騒音制御工学会　秋季研究発表会　公園論文集　２００６年９月

（１１）池谷　公一　他　:「ツタと金属製遮音板の斜入射吸音率測定結果」、騒音・振動研究会資料　資料番号　Ｎ－２００５－３７，２００５年７月２２日、(社) 日本音響学会　騒音・振動研究会

（１２）松江　正彦　他　:「公園施設等における壁面緑化技術開発等に関する調査」、国土交通省研究期間平成１６～１７年度、Ｐ．Ｐ９－１４

（１３）長濱　庸介　他　:「１－２－０３　壁面緑化植栽基盤の吸音性能評価」、Ｐ．Ｐ２９－３２，(社) 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集　平成１８年９月

（１４）木村　和則　他　:「道路交通騒音に対する建物群の吸音対策効果」、騒音・振動研究会資料　資料番号　Ｎ－２００３－１７，２００３年３月２８日、(社) 日本音響学会　騒音・振動研究会

（１５）飯野　香　:「防音装置の設計」、ＰＰ．８６－１７８，理工図書

（１６）末岡　伸一：「都市部における騒音の目安について」、Ｐ．Ｐ２０９－２１４　東京都環境科学研究所報、２００５

（１７）日本学術会議　農学基礎委員会　農業と環境分科会　:「対外報告　魅力ある都市構築のための空間緑化－近未来のアーバン･グリーニング－」、平成１９年９月２０日

平常時・災害時での利活用を目的とした観光及び防災情報共有支援 WebGIS の開発

建築学科　久田　嘉章

オートノミー株式会社　市居嗣之

Web GIS System for Local Governments and Residents to Share Contents of Sightseeing and Earthquake Disaster Mitigation

Yoshiaki Hisada 、Department of Architecture
Ichii Tsuguyuki 、Autonomy K.K

ABSTRACT : Today, there are many contents provided by electric materials or paper materials. Local government is also not exceptional to provide contents to local people for services. However, contents which are important for people's life, deal with individually, for instance, disaster control, security control, environment and so on. These contents are difficult to understand properly and keep their consciousness continually. This study is to propose the contents matrix process into the integrated WebGIS system of local government. This approach can discuss the accurate meaning of contents by provided as compound contents. The process consists of four steps, which is to 1) collect contents; 2) compose relations; 3) compose into contents matrix; 4) whom to provide and how it use.

１．はじめに

１．１　研究の背景

地方自治体における住民への情報提供は、道路や下水道、土地に関するものだけでなく、防災、防犯、観光、環境、健康、教育、福祉等、住民の日常生活の中で密接に関わる情報の提供も不可欠である。自治体はこうした情報の流通・活性化を図ることで、「住民ニーズに対応した質の高い行政サービスの提供」を促す努力が必要となる。

そのひとつに総務省が推奨している「統合型 GIS」がある。自治体で所有する各部署のコンテンツを掌握し、コンテンツの二重投資を防ぎ、職員あるいは住民に広く情報を共有していくことを目的としたものである。総務省[(1)(2)]では、統合型 GIS の整備指針や調達仕様書等を提供し、導入支援を行っている。この中で統合型 GIS のシステム導入に際して①システム構築面と②データ整備面について記述されている。①については WebGIS（インターネットを活用した GIS システム）を利用して容易に職員が閲覧できるようなシステム導入について記載されている。②については共用空間データと個別空間データの構築について記載されている。共用空間データとは 5 大業務（都市計画、上水道、下水道、道路、固定資産税）の空間データを整備し、庁内横断的に地図関連業務を展開することが可能となるデータのことである。また個別空間データとは住民に密接に関わる情報である防災や環境、福祉といったデータとなる。

これら空間データの運用・管理について先進的に行っている事例として三重県や藤沢市などがある。三重県[(3)]では、空間コンテンツ流通マトリックスを作成し、各部署が提供している地図に関わる全てのコンテンツに対して調査を行い、統合型 GIS 導入に際しての評価を行った結果が公表されている。これに基づいて各部署で所有する空間情報を一目でわかるようにし、かつ統合型 GIS を導入することの事後評価につながる役割を担うと評価し、情報流通を活性化させるためのシステムとして統合型

GIS の導入する必要性があると判断している。この点では、単に基盤データの整備だけにとどめず、より住民生活に関わるコンテンツまで検討した結果として評価できる点である。また、藤沢市[4]では登録した住民が地域の情報に地図を用いて登録することができる統合型 GIS を導入している。「電縁マップ」といわれる住民向けに公開しているインターネットサイトは、都市計画図を基盤図にした上で住民が観光施設やグルメ、福祉や安心安全情報などのテーマに応じたコンテンツを登録することができる。

しかしながら、この空間データの整備の傾向として多くの統合型 GIS を導入した自治体では個別空間データの整備は進んでおらず、共用空間データ基盤が先行的に整備されているケースが多い。これは市居ら[5]による統合型 GIS を導入している自治体によるアンケート調査でも明らかとなっている。個別空間データは住民生活に必要なコンテンツであるだけに自治体、あるいは住民から膨大なデータ提供が見込まれる。上記で示した事例でも現状の方法だけでそれらを収集・提供していくにはより煩雑になり、コンテンツの流通と活性化どころか、より住民にとって使い勝手の悪いコンテンツとして判断され、ひいては日常では活用しにくいシステムとして評価されてしまう。現状で提供されているコンテンツを取りまとめ、日常から常に個別空間データの意識を高める手法が必要であると考えられる。

１．２　研究の目的

このようなことから本研究では、自治体における住民サービス向上の一環として推奨されている統合型 GIS をより効果的に運用するために、防災や防犯、観光などの部署が所有するすべてのコンテンツを絞り出し、それらのコンテンツがデジタルコンテンツなのか、あるいは紙ベースなのかなどを明確にするためのマトリックスを作成する。そしてそれらをすべての部署が認識し、他部署で所有のコンテンツで必要性があるコンテンツの抽出を行う。これらの作業によって、より必要度の高いコンテンツを見出すことができ、効率的なコンテンツの構築が可能かについて実証することを目的とした。また、必要性の高いコンテンツを活用し、WebGIS をベースとしたシステムを用いてコンテンツを容易に共有することが可能か実証実験を行った。なお、本論では観光と防災のコンテンツを対象に情報収集し考察した。

２．従来の手法と空間コンテンツデザインの違い

空間コンテンツデザインの構築は、現状のコンテンツの構築状況について職員だれもが容易に把握でき、かつ自部署が提供しているコンテンツを他部署がどれだけ必要としているか一目で理解することを目的としている。空間コンテンツデザインでは、地理情報として整備されたコンテンツ（以下、空間コンテンツ）だけでなく、各部署で所有するすべてのコンテンツを列挙することでどの程度のコンテンツを所有し、それらを利活用しているのかを把握することができるマトリックス（以下、空間コンテンツマトリックス）を作成する。Fig1 に空間コンテンツマトリックスの構造を示す。

従来総務省より提案されている空間コンテンツ流通マトリックスは、空間コンテンツを対象とし、位置情報がないコンテンツは対象外とされている。そして、所有している空間コンテンツと業務上で必要なコンテンツでマトリックス化し、現示を行っている。つまり、共有されるコンテンツは空間コンテンツのみとなってしまい、所有するコンテンツのほとんどが共有されない状況となっている。

そこで空間コンテンツデザインを利用することで、第一ステップとして、各部署が所有するコンテンツをすべて土俵に上げる。第二ステップとして、これらのコンテンツがどのような手法で構築されているのかを確認する。このことで、コンテンツが容易に GIS 上に展開できるものか否かを確認できると共に、構築されていないコンテンツの種類についても把握が可能となる。第三ステップとして、第二ステップの結果を庁内で共有し、各部署の所有するコンテンツの中で必要と思われるコンテンツをチェックする。第三ステップは本研究において新規提案するものであり、多数の部署が必要であると認識したコンテンツが、共有する上で優先度の高いコンテンツであると判断することができる。この手法は、統合型 GIS がすでに導入されている場合、あるいはこれから導入を検討している自治体においても以下に示すようなメリットを有していると考えられる。

1) 職員が容易に作成でき、コンテンツ共有ができる。
2) コンテンツの構築手法の如何に問わずすべてのコンテンツを現示することができる。
3) 「現状のコンテンツ構築手法の把握」から「新たなサービス創造のためのコンテンツ選び」へのプロセスが同じマトリックス上で展開することができるため、コンテンツ構築計画をスムーズに行うことができる。
4) 必要性の高いコンテンツが容易にわかるため。構築の優先度をつけることができる。
5) 空間コンテンツに限らず、所有するすべてのコンテンツ把握ができるため、必要なコンテンツがすぐに利活用できるのかなどの判断をすることができる。
6) すべてのコンテンツを抽出するため、重複を容易に見つけ出すことができる。
7) 一般公開されているコンテンツを中心に抽出をしているため、住民公開向けコンテンツとしての適用がスムーズとなる。
8) 更新日等のコンテンツの鮮度をコンテンツ上に併記することで、コンテンツの整備体制の管理に

利用拡充ができる。

9) 横軸にユーザの項目を追加することで、ユーザ認証におけるレイヤ制御等のDB構築に適用することが可能である。

10) コンテンツは自治体の地域特性に応じて自由に追記が可能である。

11) 統合型 GIS が導入されていない自治体においても庁内のコンテンツ管理としてのツールとして活用することが可能である。

12) 統合型 GIS の設計を行う上での計画策定に活用することが可能である。

さらに、この手法はステップ一から三までの過程に加え、WebGIS におけるコンテンツ活用の検証を行うまでを1サイクルとし、繰り返し見直しを行うことでより精度の高いコンテンツの抽出を行うことが可能となる。Fig2 にサイクルのイメージを示す。

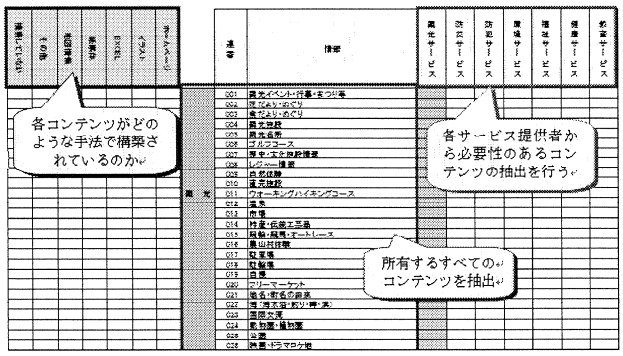


Fig1 Structure of spatial contents matrix

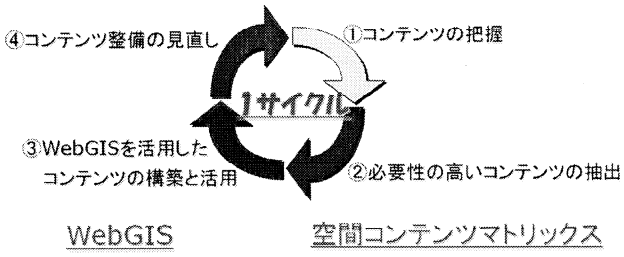


Fig2 Cycle of spatial contents design

3.情報を整理するための空間コンテンツマトリックスの作成

3．1 概要

統合型 GIS を導入している自治体を対象に空間コンテンツデザインの作成を依頼した。ここでは、空間コンテンツデザインの手法が適用できるかの検証が目的であるとともに、統合型 GIS を導入している自治体におけるコンテンツの作成手法の実態調査を行う目的として行った。対象とした自治体は、統合型 GIS を導入している団体とし、部署は観光担当と防災担当とした。配送は郵送で行い、回収は FAX によるものとした。また調査についての不明な点については電話での対応を行った。なお、本調査における問い合わせは3件あり、回答に際して主観的な回答でよいか、調査用紙を該当する別の部署に転送してもよいか、何の目的か再度説明してほしい、といったことであった。

3．2 実態調査

調査は2つのステップに分けられており、まずコンテンツの整備状況についての調査を行った。具体的には、整備されている状況を①ホームページで構築、②イラストで構築、③EXCEL で構築、④紙媒体として構築、⑤地図情報として構築、⑥その他の手段による構築、あるいは⑦構築していない、に分けて質問を行った。なお、観光部署では 26 コンテンツの状況について質問をし、防災部署では、34 コンテンツの情報について質問を行った。

次に、各部署で取り扱うコンテンツ以外で他部署が構築しているコンテンツについて必要性があるかどうかについてのアンケート調査を行った。ここでは、他部署で取り扱うコンテンツに対して、①全然必要でない、②あったらほしい、③必要である、に分けて質問を行った。

3．3 実態調査結果

2007 年 8 月 2 日から 3 週間の期間で回収し、観光部署が必要としているコンテンツと防災部署が必要としているコンテンツの抽出を行い集計した。また、観光部署が必要とする防災コンテンツに対して防災部署ではどの程度構築しているのかについて、または防災部署が必要とする観光コンテンツの構築状況についてまとめた。

空間コンテンツデザインの作成結果として、観光部署への依頼に対しては、50 自治体中 18 件(回答率 36%)の回答があった。なお、Fig3 に観光部署が回答した結果を示す。●は過半数の自治体が回答、▲は半数の自治体が回答したことを示す。観光部署の構築手法については、統合型 GIS を導入している自治体を対象としたにも関わらず、観光課ではコンテンツのほとんどがホームページ(174 件)や紙媒体(106 件)によって構築されており、地理情報として構築、管理されているコンテンツは 26 件であった。また、地理情報に変換するなど、デジタル化する上で比較的容易となる Excel による構築については 39 件となった。さらに Fig4 に観光部署が他の部署の所有するコンテンツの必要性についての調査の結果を示す。観光部署が各分野のサービスで所有するコンテンツの必要性について「必要である」「あったらほしい」「全く必要でない」の3択で選ぶ形となっている。なお、一部の自治体では空欄の無回答になっているものもあった。図中の青枠で囲ったコンテンツについては「必要である」と回答したものが「必要でない」を上回ったものである。その結果、トイレや消火器、避難所、病院などのコンテンツが観光部署にとって必要なコンテンツであることが明らかとなった。

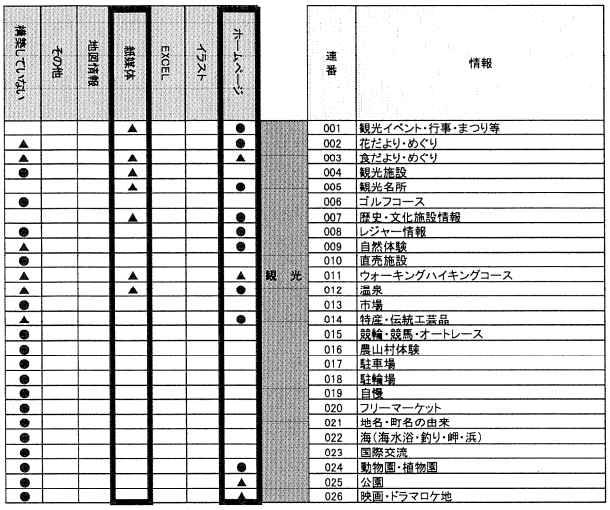


Fig3 Result of spatial contents matrix by the division of tourism

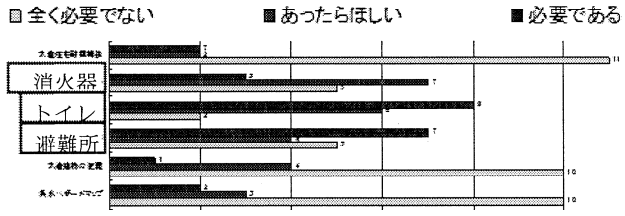


Fig4 Result of necessity in the disaster control contents by the tourism division

空間コンテンツデザインの作成依頼結果として、防災部署に関しては、49 自治体中 15 件(回答率 31%)の回答となった。Fig5 に防災部署におけるコンテンツ作成手法の回答結果について示す。なお観光部署同様、●は過半数の自治体が回答、▲は半数の自治体が回答したことを示す。構築されているコンテンツは、ホームページ上で作成されている場合が 5 項目、EXCEL で作成されている場合が 7 項目、紙媒体で作成されている場合が 5 項目、地図情報として作成されている場合が 1 項目となった。Fig6 に防災部署が他部署の所有するコンテンツの必要性についての調査の結果を示す。防災部署が各分野のサービスで所有するコンテンツの必要性について「必要である」「あったらほしい」「全く必要でない」の 3 択で選ぶ形となっている。なお、一部の自治体では空欄の無回答になっているものもあった。図中の青枠で囲ったコンテンツについては「必要である」あるいは「あったらほしい」と回答したものが「必要でない」を上回ったものである。

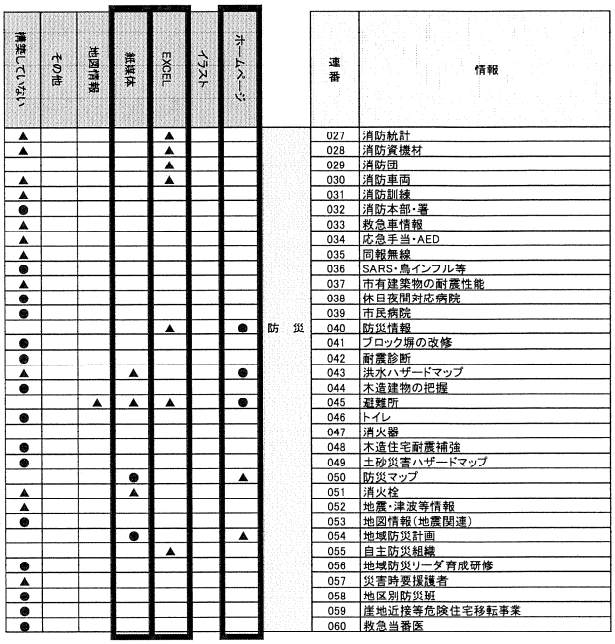


Fig5 Result of spatial contents matrix by the division of disaster control

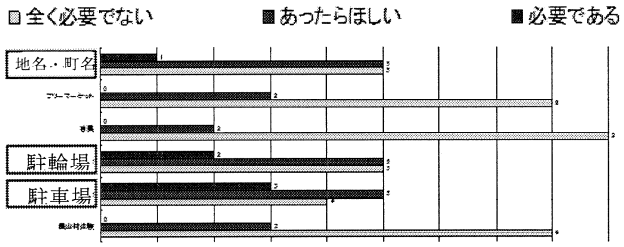


Fig6 Result of necessity in the tourism contents by the disaster control division

４．空間コンテンツデザインを活用した実証実験

４．１ 概要

前章で空間コンテンツデザインを作成した自治体の中で、静岡県伊東市についてコンテンツの利活用と共有についての実態把握を行うために地震時を想定した災害対策本部内における被害対応訓練について防災課と観光課を取り上げて実施した。ここでは、地震時の被害状況について、スムーズかつ適切な対応をとることができるだけのコンテンツがそろっているかについての検証を行うことを目的としている。訓練を始めるに当たり、伊東市観光課および環境防災課担当者へ 2 度にわたって 2 時間程度の説明を行った。実験当日は、伊東市災害対策本部室を利用し、対面に被害対応する防災班と観光班を設け、中心に状況付与班と本部司令班を設けて災害を想定した災害対策本部をイメージした。Fig7 に災害対策本部の見取り図を示す。

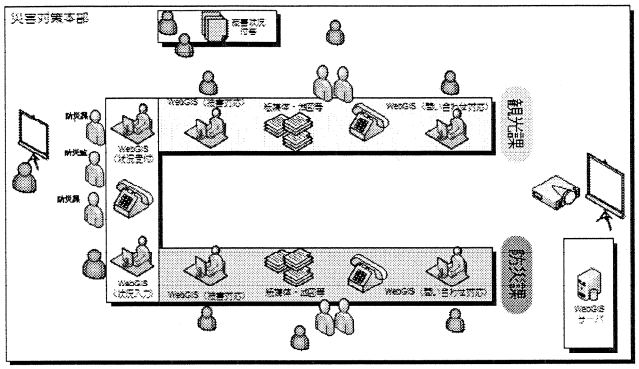


Fig7　A plan 伊東市災害対策本部内見取り図



Fig8　Spatial contents matrix of Ito city

４．２　作成された空間コンテンツマトリックスと実証実験の流れ

1) 空間コンテンツマトリックスの作成

伊東市における空間コンテンツマトリックス作成の結果を Fig8 に示す。観光経済部では、26 項目ある観光コンテンツの中でホームページ(14 件)や紙媒体(11 件)で構築されているものが主な手法であった。また、10 件のコンテンツは構築されていないことが明らかとなった。その他 2 件については、伊東市では該当しない観光コンテンツであった。一方、環境防災課に配布した調査の回答として、34 項目ある防災コンテンツの中でホームページ(13 件)や紙媒体(14 件)で構築されているものが主な手法であるほか、EXCEL(1 件)での構築も見受けられた。構築されていないコンテンツは 11 件明らかとなった。また、高齢者福祉課では、15 項目ある福祉コンテンツの中でホームページ(4 件)、EXCEL(6 件)、紙媒体(4 件)、地図情報(3 件)での構築が主な手法であった。また、教育委員会、および学校教育課では、16 項目ある教育コンテンツの中でホームページ(3 件)、紙媒体(4 件)、地図情報(3 件)での構築が主な手法であった。

他部署が必要であると認識したコンテンツについて、観光、防災、福祉、教育の各担当部署のすべてが「必要である」と回答したコンテンツが合計 6 コンテンツあり、観光コンテンツでは、市場、動物園・植物園、公園、防災コンテンツについては、市民病院、防災情報、救急当番医がそれぞれ必要なコンテンツとして認識されていた。

2) 実証実験の流れ

2007 年 10 月 22 日 14 時から 16 時まで伊東市役所庁舎内災害対策本部室にて行った。担当職員は防災課より防災監、防災専門官、防災課職員 6 名。観光課からは観光経済部部長と観光課職員 1 名が参加して行われた。また、状況付与の作成には危機管理コンサルティング業務を行っているクライシス・インテリジェンス社(CI)による協力を得て行った。学生には情報共有支援 WebGIS における被害情報の入力支援、および被害情報への対応時間と対応状況についての状況観察やカメラ撮影等を行っていただいた。

なお、本実験では、中央防災会議の「防災情報の共有化に関する専門調査会」の中で、“IT が防災情報の共有を高度化することは事実であるが、過度の依存は危険である。ローテクには災害時にも機能不全を起こしにくいという特徴があり、IT の導入によってローテクが切り捨てないようにしなければならない”としており、本実験においても情報共有支援 WebGIS を用いつつも、既存で災害対応を行う紙媒体も活用した。部署間では被害対応の連絡は内線電話を通じて行った。状況付与は合計で 20 個出した。本実験で活用した情報共有支援 WebGIS は、工学院大学と株式会社インフォマティクスによって共同開発を行ったものである。Fig9、10 に WebGIS のインターフェイスを示す。



Fig9　Log in interface in the WebGIS

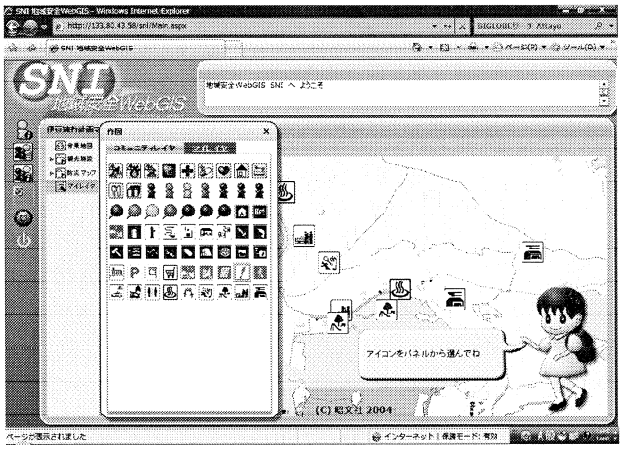


Fig10　Contents registration interface in the WebGIS

４．３　実証実験の結果

本実証実験の結果は、状況付与ひとつひとつに対してまとめた。通常では、実験全体の対応能力について評価し、関連機関との連携やコミュニケーションの優劣で検証することが多いが、本実証実験では、一つ一つの被害状況付与に対して①どのくらいの時間を要し、②既存の情報をどれだけ活用できたか、③的確な被害対応を行っているのか、についてまとめた。なお、本実験の結果については実験後にヒアリングを行っており、結果をまとめる際にそれらも反映されている。また、状況付与された情報の中で必要と思われるコンテンツについては地理情報コンテンツとして整備し検証の一助とした。

整備した地理情報コンテンツは、市や観光協会、民間業者等から提供されているホームページを参照し、EXCELを利用してリスト化した。次にパンフレット等の紙媒体で提供されている場合には、市や観光協会、民間業者等からパンフレットを直接入手し、リスト化できるところは一覧表を作成した。地理情報コンテンツとして作成を試みたのは、病院、避難所、温泉・宿泊施設、学校である。なお、コンテンツ作成者はGISの知識について大学講義による2時間程度の概要のみで実質的な空間コンテンツ構築作業等については今回が初めてである。

状況付与への対応であるが、ここでは20件の状況に対して2件について示す。

状況付与4では、観光施設「ラビィエ川良」からの避難地の選定が検証対象となった。Table1、4、Photo1、Fig11に状況付与4に対しての検証について示す。災害対策本部では、和田湯会館への誘導を指示している。ここでは、ラビィエ川良の観光客をどのように誘導するかが焦点となった。結果、付近の和田湯会館を避難場所として設定した。この対応についても対策本部担当者は特に資料等の確認を行わず、経験値での決断を行った。

Table1　Flow of case 4

時刻	対応	対応内容
21:20	現場	ラヴィエ川良の施設に損害が出ているので、観光客を避難させたい。どうしたらいいか。
	災害対策本部	何名くらいの人が避難を希望しているのか。和田湯会館で対応可能ならば避難させること。川良の客が何人か確認する。和田湯会館があと何人まで対応可能か状況の連絡がほしい
21:42 21:48	観光課	川良の客が何人か確認する。和田湯会館があと何人まで対応可能か状況の連絡がほしい。
22:09	現場	4返－現在のラヴィエ川良の収容人数４３０名。残り２０名程の空室あり。和田湯会館にいたっては、３０名程の受け入れが可能。

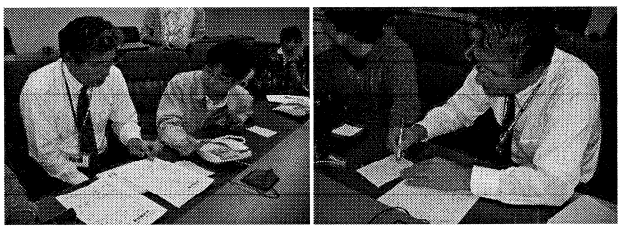


Photo1　View of correspondence to the scenario

Table2　Result of analysis in scenario 4

状況付与4の検証	
①検証目的	和田湯会館を避難場所とした対応策について
②コンテンツ構築	観光施設、および避難所のコンテンツを構築
③検証	実際にコンテンツを作成すると、付近に2か所の避難選定箇所があることがわかった。また、その2か所は和田湯会館よりも距離的に近いことが挙げられた。
④ヒアリング結果	津波の可能性がある場合に、この2か所ともに川を越えなければいけないといった環境にあり、状況に応じては、和田湯会館を選択することは妥当であると考えられる。
⑤懸念事項	今回使用した地図ではある程度周辺のコンテンツが把握できるが、温泉会館などの一部リストが作成されていないため、今後も同様の状況が想定される。

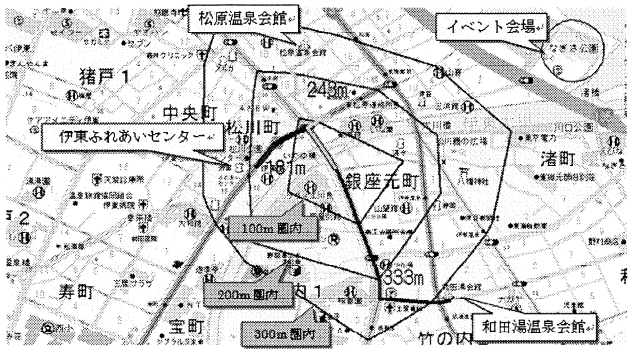


Fig11　Analysis of correspondence in scenario 4

状況付与 12 については、宿泊施設「はとや」で影響が出た場合を想定した状況を提示した。海岸沿いにあるホテルであることから、津波を警戒し、観光客を近隣高台の施設へ誘導する指示を行った。一方でペンションや民宿などの情報を平常時に整備しておらず、どの施設でどの程度の受け入れが可能であるかを把握することは時間を要する状況にあった。

Table3　Flow of case 12

時刻	現場	対応内容
21:25	現場	はとや施設に一部損壊がでています．住民を避難させたいが，どうしたらいいか？
	災害対策本部	ホテル職員により下水処理施設へ避難させること．
21:45 21:49	観光課	津波注意報で津波が大丈夫か確認がとれていないため，当該施設は危険であると考え，付近の高台に誘導した．
22:16	現場	返－承知しました．ただ，830名程度いるので，助けてくれるとありがたい．他の所に泊まらせることはできないか．他のホテルに連絡がとれないので調整してほしい．
	災害対策本部	観光班で調整すること．
22:24 22:25	観光課	花火会場にいる職員と連絡を取って対処．宿泊施設の被害状況を旅館組合で調査中でありますので，わかり次第連絡いたします．
22:37 22:41	防災課	ハトヤホテルの人を他の施設に分散させたいことを観光課へ電話にて依頼．
22:42	現場	返返－旅館組合から花火大会のため，ほぼ満員であるのと，水などが止まっているため受入れが難しい．そちらで何とかできないか．
	災害対策本部	ペンション，民宿等の受入れ確認．
22:56 22:57	観光課	先ほどとの情報が違います．旅館組合加盟以外の他の宿泊施設等（民宿組合，P協同組合，寮，保健所組合）にも確認いたします．

Table4　Result of analysis in scenario 12

状況付与 12 の検証	
①検証目的	はとや施設から周辺の宿泊施設への宿泊者移送の対応について
②コンテンツ構築	宿泊施設コンテンツ
③検証	はとや周辺への宿泊施設について宿泊者が移送できる個所の選定に時間を要した点についての検証
④ヒアリング結果	ホテル等の施設についてはデータがあるが、その他ペンションや民宿については情報がないため、情報の収集に時間がかかってしまう。
⑤懸念事項	大規模宿泊施設への避難が難しい場合に備え、その他宿泊施設の情報と連絡体制を整備する必要性がある。

以上の状況付与の結果を含め、本実験における伊東市の災害対応の傾向をまとめると以下のような結果となった。

1) 地元の情報はおおむね頭の中に知識や地図が入っており、防災マニュアルなどの具体的な値を確認しなくても、支持することができる。
2) 被害対応が非常に迅速であった。これは頭の中で対応するべき情報が入っていることによるものであった。
3) 頭に入っていない上に関しても、整備されていれば即時対応が可能である一方、整備されていない場合には対応力が極端に落ち、指示を出すまでに時間を要した。

これらの傾向に対して、地理情報としてコンテンツを整備し、空間コンテンツデザインとして情報共有することで、以下の点についての知見を得られた。

1) 紙媒体等で管理されていたコンテンツは地理情報として構築することで施設や避難所の距離や位置関係を容易に判断でき、妥当な対応ができると認識できることがわかった。
2) 観光コンテンツや防災コンテンツを一元的に表示することで観光客を避難所へ誘導するだけでなく、観光施設へ誘導する判断が容易になるといった点についても確認ができた。
3) 担当者の頭だけで判断されていたものが、共有され部署全体での対応が可能となり、今までのような主観的な判断だけでなく、客観的な判断が可能となる。
4) 訓練を通じて整備されていないコンテンツの整備への意欲が高まり、空間コンテンツデザインとの併用によって高い効果が得られることがわかった。

実際にコンテンツを活用する事象を仮想的に与え、コンテンツの必要性について実地の中で浮き彫りにさせることは、単に空間コンテンツデザインを作成するだけでなく、より現実的なコンテンツ構築する上で重要な過程であると評価した。なお、本論では、今回のみの訓練を実施したが、さらにさまざまな状況を想定した訓練を積み重ねることで効果的にコンテンツ構築計画を立てることができ、空間コンテンツデザインの精度を上げることができるのではないかと判断した。

5．まとめと今後の課題

本研究では、自治体における住民サービス向上の一環として総務省で推奨されている統合型 GIS の導入仕様に基づいて、自治体と利用者が保有する日常生活に欠かせない個別空間データを体系化するためのコンテンツマトリックスを構築した。また、静岡県伊東市の職員を対象に災害時を想定した情報共有について、WebGIS を用いた有用性の検証を行った。

空間コンテンツデザインの作成によって得られた知見として、①自治体職員が容易に作成することができるものであり、かつ②容易に他部署が所有するコンテンツを把握することができる。また、③他部署が必要とするコンテンツを抽出することができることからコンテンツ作成における優先順位をつけることができる、といった有用性を見出した。さらに空間コンテンツデザインを用いた現状の把握の中で、空間コンテンツの構築レベルが少ないことが明らかになり、統合型 GIS の稼働率の低さを裏付けるような結果を見出した。

WebGIS を活用した検証結果として、平常時における防災活動ではコミュニケーションツールとして活用できることが明らかになったほか、容易に空間コンテンツを作成することができるといったメリットを有していることが実証できた。また、災害時を想定した防災訓練では専門的な知識を要さずに活用できることやリアルタイムに部署間での情報共有が可能であることが実証でき、迅速な被害対応への有用性が見出せた。

今後の課題として、空間コンテンツデザインの効果を検証するために、自治体と密接に関わる自衛隊や警察，消防などとの情報共有についての検証も行う必要があると考えている。また、WebGIS についてはインターフェイスをよりユーザに応じて変容できる形にし，機能の充実と操作性の向上を図る必要性がある。また，統合型 GIS を運用する上でのツールとしては，まだセキュリティの面や運用面において検討を重ねる必要性があると考えられる。

謝 辞

本研究では、文部科学省の「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」及び、「科学技術振興調整費」による研究助成によって行われました．本システムを構築するに当たり，株式会社インフォマティクスの生井氏による多大なる尽力を頂きました．また，本サイトで活用したアイコン等はセーフデザイン株式会社よりご提供いただいた．ここに記して感謝の意を示す。

参 考 文 献

（１）NPO 国土空間データ基盤推進協議会，統合型 GIS ポータル
http://www.gisportal.jp/tgis/pdf/seibi.pdf，PP10-28，総務省自治行政局地域情報政策室
（２）NPO 国土空間データ基盤推進協議会，統合型 GIS ポータル
http://www.gisportal.jp/tgis/pdf/seibi.pdf，PP4-12，総務省自治行政局地域情報政策室
（３）三重県：調査報告書，
http://www.pref.mie.jp/JOHOS/plan/GIS/TYOSA/tyosa3_1.htm
（４）神奈川県藤沢市，藤沢 e-community トータルサイト，
http://gis01.city.fujisawa.kanagawa.jp/Portal.do;jsessionid=E74EC713C519E52AFEF33079D0219C01
（５）市居，村上，久田：地方自治体における WebGIS 利用現況調査，地域安全学会，2005

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　　ヴェロニック・シャンペイユ=デスプラ

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
Véronique CHAMPEIL-DESPLATS　　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。2007 年度は、補論的にフランスにおける男女均等政策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 2007, on discutait le vocabulaire juridique français le mot de « parité ».

La parité : mise en œuvre ou rupture du principe d'égalité ?

Véronique Champeil-Desplats

パリテ：平等原則の実現か破壊か？

ヴェロニック・シャンペイユ=デスプラ

1．Introduction

Jusqu'au milieu des années 1990, lorsqu'on utilisait dans le vocabulaire juridique français le mot de « parité », c'est surtout aux modalités de représentation dans les instances professionnelles que l'on se réfèrerait. Les représentants patronaux ou de « l'Etat-employeur » s'agissant la fonction publique compose avec les représentants des personnes employées des organismes paritaires, c'est-à-dire comprenant un nombre égal de représentants d'employeurs et d'employés. A la fin des années 1990, le mot « parité » a pris un tout autre sens, et c'est celui-ci qui fera l'objet de notre étude. La notion de « parité » a en effet été promue par des mouvements féministes afin d'exiger une présence égale d'hommes et de femmes dans les instances politiques ou, plus largement, constituants un lieu de pouvoir. La France reste en effet l'un des Etats démocratiques où le taux de présence des femmes au sein des instances de décisions politique, administrative ou professionnelle est le plus faible. Même les mesures récentes visant à instituer la parité rencontrent des difficultés à faire évoluer substantiellement cette situation.

Qu'est-ce que la « parité »? On peut définir la parité comme une exigence de présence d'un égal nombre d'hommes et de femmes dans les instances décisionnelles. En France, la « parité » et les moyens progressivement mis en œuvre pour l'atteindre, constituent une forme de compromis entre, d'une part, un attachement à l'universalisme et à une conception essentiellement formelle du principe d'égalité et, d'autre part, des revendications de type communautariste, justifiant des discriminations positives et le recours à des quotas. Cette position communautariste reste toutefois, dans sa forme extrême, assez faible en France. C'est précisément pour cette raison qu'une grande partie des féministes, comme de tous ceux qui estimaient qu'une simple égalité formelle ne suffisait plus pour assurer la présence des femmes dans les instances décisionnelles, ont assez rapidement été séduits par le concept souple et nouveau de « parité».

Avant d'étudier les formes, la portée et les résultats actuels des mesures adoptées en vue d'assurer la parité homme/femme dans les instances de décisions (II), il semble

nécessaire de procéder à un rappel plus des débats sur la question en France. Comment la France, Etat dans lequel beaucoup sont attachés à l'universalisme et à l'indifférenciation des individus devant le droit, a-t-elle pu s'engager dans une réforme de type sinon communautariste, du moins particulariste ? (I)

2 . La parité, réaction aux conséquences inégalitaires de l'égalité formelle

Sur les plans politique et juridique, l'émergence de l'exigence de parité homme/femme dans les instances de décisions est le produit de deux principaux facteurs : la prise de conscience d'un énorme décalage entre les principes juridiques et les faits (A) ; une opposition idéologique sur les moyens pertinents pour remédier à ce décalage (B).

2・1 La prise de conscience d'un décalage

Les principes qui structurent l'ordre juridique français sont très égalitaires. Aucune discrimination n'est admise à l'encontre des femmes (1). Pourtant, l'inégal accès des hommes et des femmes aux fonctions décisionnelles est patent (2).

2・1・1 Les principes juridiques

L'affirmation du principe d'égalité est héritée de la Révolution française. Selon l'article 1 de la Déclaration des droits de l'Homme et du Citoyen de 1789 « les hommes naissent libres et égaux en droits » tandis que, selon l'article 6 de la Déclaration, « tous les citoyens (...) sont également admissibles à toutes les dignités, places et emplois publics, selon leur capacité et sans autre distinction que celle de leur vertus et e leurs talents ». Ce principe sera plus précisément rappelé à l'égard des femmes après la deuxième mondiale. A partir de 1944, trois types de texte vont affirmer l'égalité entre les hommes et les femmes :

a) Les femmes françaises se voient tout d'abord reconnaître l'égalité en matière d'exercice du suffrage par l'article 17 de l'Ordonnance du 21 avril 1944. Pour la première fois, « les femmes sont électrices et éligibles dans les mêmes conditions que les hommes ».

b) Cette première mesure est confirmée par le 3ème alinéa du Préambule de la Constitution de la IVème République du 26 octobre 1946 selon lequel « La loi garantit à la femme, dans tous les domaines, des droits égaux à ceux des hommes ». Ce préambule fait aujourd'hui partie des normes constitutionnelles puisque le préambule de notre actuelle constitution opère un renvoi à celui de la constitution de 1946, et que le Conseil constitutionnel lui a reconnu une valeur constitutionnelle lors de sa grande décision du 16 juillet 1971.

c) Enfin, l'après guerre est marquée par l'adoption du très égalitaire statut de la fonction publique. Il rompt, s'agissant des hommes et des femmes, avec les inégalités de l'avant guerre. Ainsi, à la fin de la IIIème République, le Conseil d'Etat refusait encore de contrôler les motifs pour lesquels l'administration écartait une femme de l'accès à un emploi public. Par exemple, si dans un arrêt du 3 juillet 1936, Demoiselle Bobard, le Conseil d'Etat affirmait l'égale aptitude des hommes et des femmes aux emplois publiques, il estimait que des dérogations pouvaient y être apportées pour « des rasions de service ». Or, le juge ne contrôlait pas ce que recouvraient exactement ces « raisons de service », laissant au chef de service un pouvoir d'appréciation discrétionnaire.
En 1946, sous l'influence des partis de gauche et des syndicats qui jouissaient d'un poids très importants à la Libération, le législateur est devenu beaucoup plus strict quant au principe d'égalité dans la fonction publique. Les lois portant sur le statut général de la fonction publique (la loi du 19 octobre 1946) et plus tardivement, sur le statut de la fonction publique territoriale (loi

26 janvier 1984) interdisent toute discrimination entre les hommes et les femmes s'agissant de l'accès à la fonction publique et du déroulement des carrières. Il n'existe que de très rares exceptions qui doivent être strictement justifiées par la nature des fonctions à pourvoir ou par les conditions de leurs exercices. Ces exceptions doivent figurer dans une liste établie par décret adopté en Conseil d'Etat ; elles ne doivent porter que sur les modalités d'accès au corps de la fonction et non sur le corps lui-même. En d'autres termes, tous les corps de la fonction publique doivent être mixtes ; aucun n'est fermé aux hommes ou aux femmes. La seule différence acceptée porte sur les modalités de recrutement des hommes et des femmes. Ces modalités peuvent notamment consister en l'organisation de concours distincts pour les hommes et les femmes. Ces mesures dérogatoires ne concernent aujourd'hui plus que deux corps : celui des attachés d'éducation de la Légion (corps spécial de l'armée) et celui des surveillants des services pénitentiaires.

Hormis ces deux exceptions, l'accès à la fonction publique française est très égalitaire dans son principe, grâce en particulier à l'anonymat des concours. Les problèmes surgit alors lorsque le concours comporte des épreuves orales et brise ainsi l'anonymat. C'est le cas pour les concours des grades supérieurs de la fonction publique, nous y reviendrons.

2 • 1 • 2 De troublantes statistiques

La publication de statistiques faisant apparaître une forte inégalité des hommes et des femmes françaises dans l'accès aux fonctions supérieures des entreprises privées et de l'administration, ou aux postes à responsabilité politique, a vite jeté le trouble. D'ailleurs qu'au nom de l'universalisme, la France est longtemps restée le seul pays de l'Union européenne à ne pas disposer de statistiques sur la place des femmes et des hommes dans les lieux de pouvoir et instances décisionnelles. Celles-ci n'ont été élaborées et systématisées qu'à partir du milieu des années 1970. Avant que les réformes en matière de parité ne soient engagées, les données étaient les suivantes :

a) Les élections politiques

- au niveau national : en 1995, le Sénat comprenait 5,6% de femmes, soit 18 femmes sur 321 sénateurs ; L'Assemblée Nationale était composé de 5, 9% de femmes, soit 32 sur 577 députés. Aux élections législatives de 1997, est enregistré une légère progression : 59 femmes sont élues à l'Assemblée Nationales soit 10, 92%. Mondialement, ces chiffres placent la France parmi les Etats les plus mal classés quant à l'accès des femmes au Parlement (au 84ème rang mondial en 2000 s'agissant du nombre de femmes députées). Au sein de l'Union Européenne, seule la Grèce était sur ce point derrière la France.
- au niveau local : En 1995, les femmes représentaient 22 % des conseillers municipaux et ne composaient que 7,5% des maires ; une seule (C. Trautmann) était maire d'une ville de plus de 100 000 habitants (sur 35 villes de plus de 100 000 h.). Les femmes ne représentaient que 5, 5% des conseillers généraux (niveau départemental), 12 conseils généraux ne comprenaient aucune femme et une seule femme était présidente de Conseil général. Une légère progression est observée en 1998 (6,3%) et en 2001 (10,9%). Enfin, toujours en 1995, les femmes ne représentaient que 11,3% des conseillers régionaux, une seule était Présidente de Région (M-Ch. Blandin). Partout, on observe une nette baisse de la présence des femmes au fur et à mesure que l'on se progresse vers le sommet de la hiérarchie des pouvoirs exercés dans collectivités locales.

b) Le pouvoir exécutif

Les femmes ont toujours été très peu nombreuses au sein des gouvernements et elles y occupaient le plus souvent des postes

subalternes (ministres des ministères les moins prestigieux ou Secrétaires d'Etat). Beaucoup avaient par exemple ironisé en 1995 sur les 4 « Jupettes », membres du gouvernement formé par A. Juppé. En 1997 avec le retour de la gauche au pouvoir un effort est fait en nommant une dizaine de femmes ministres (soit un tiers du gouvernement) à la tête de ministères valorisants, comme celui de la Culture, du Travail ou de la Justice. Par ailleurs, une seule femme a été jusqu'à présent premier ministre, Madame E. Cresson. Mais, elle ne l'a été que moins d'un an (1991) et s'est heurté de forte hostilité dont certaines reposaient sur des considérations sexistes. Enfin, il faut attendre les élections présidentielles de 2007 pour que, pour la première fois, un parti politique soutenant un candidat ayant des chances d'accéder à la Présidence de la République, désigne une femme, à savoir Ségolène Royal.

c) La fonction publique

On a vu que, dans leur principe, les conditions d'accès à la fonction publique française sont très égalitaires. Globalement, les femmes sont même majoritaires dans la fonction publique. Mais le bât blesse dès lors que l'on considère plus précisément la répartition des femmes dans les différentes administrations ainsi qu'à chaque niveau hiérarchique. Plus on monte dans la hiérarchie de la fonction publique, moins on trouve de femmes. Les femmes se font rares dans les fonctions d'encadrement et les postes à responsabilité. Le phénomène correspond à ce que certains sociologues appellent « le plafond de verre ». Alors que rien n'interdit l'accès des femmes à certaines fonctions qui manifestent une avancée de carrières et une ascension professionnelle et sociale, elles en sont exclues pour différentes raisons de types socio-psychologiques allant des réticences de certains hommes à voir les femmes accéder à des postes de pouvoirs qui les concurrencent, aux difficultés pour une mère de famille de consacrer plus de temps à l'exercice de sa profession ou à l'auto-censure. Il existe au bout du compte une fort décalage entre le niveau de diplôme des femmes, souvent plus élevés que celui des hommes, et la traduction de ce niveau en terme professionnel.

Prenons quelques exemples au sein de la fonction publique.

- répartition par administrations : les femmes représentent 71, 5 % dans l'administration des affaires sociales ; 65, 2% à l'Education Nationale ; 26,6 % au ministère de l'Intérieur ainsi qu'au ministère de l'Equipement (chiffres pour 2003).
- D'un point hiérarchique, les femmes composent 52% de la Catégorie C (la plus basse), 66% de la Catégorie B%, 50 % de la Catégorie A, 12, 5% % des emplois supérieurs de la fonction publique de l'Etat (chiffres pour 2003).
- s'agissant des grandes Ecoles en 1997, on recensait 39% de femmes candidates à l'ENA et 30% d'admises. A l'école Polytechnique, les femmes représentaient 13,3% des admises.

Il est très intéressant de relever l'existence du « plafond de verre » dans les administrations ou corps de l'Etat très féminisées. Dans les magistratures par exemple, chaque année, il y a environ 55% de femmes parmi les reçus au concours d'accès à l'Ecole Nationale de la magistrature. Mais ensuite, la proportion des femmes diminue de façon très importante au fur et à mesure que l'on monte dans la hiérarchie du corps des magistrats. En 2003, seules 6% des chambres des juridictions nationales étaient présidées par des femmes ; ce chiffre est de 12% pour les juridictions territoriales. Un constant semblable peut être fait dans l'enseignement. Tandis que le nombre de femmes dans l'enseignement primaire et secondaire reste élevé, il baisse sensiblement s'agissant de l'enseignement supérieur. Au sein de celui-ci, le nombre de femmes professeurs des universités est beaucoup plus faible que le nombre de maître de conférences ; très peu de femmes deviennent doyennes et encore moins présidente d'Université. La situation est

encore plus accentuée dans la fonction publique hospitalière. Tandis que 80% des infirmiers sont des femmes, celles-ci ne constituent plus que 30% des cadres de directions et 7% des directeurs d'établissement. Des observations comparables pourraient être formulées dans le secteur privé.

Face à la précision grandissante et implacable des statistiques, face à la maturation des idées féministes dont l'influence dépasse le cadre des militantes actives, la nécessité d'agir s'est progressivement imposée. A ces facteurs s'ajoute celui d'une prise de conscience de la nécessité de renouveler une classe politique en crise de légitimité et qui a vu, à tort ou à raison, dans la parité homme/femme un moyen de favoriser ce renouvellement. Reste à déterminer comment faire. C'est sur la question des moyens qu'un véritable débat idéologique a émergé au milieu des années 1990. Le débat s'est surtout focalisé sur la question de la présence des femmes dans les instances politiques mais les arguments déployés avaient une portée bien plus étendue.

2・2 L'opposition idéologique sur les moyens de remédier au décalage

Le débat qui s'est engagé a dépassé les clivages politiques traditionnels. Certes on peut constater qu'il y avait plus de personnes hostiles aux mesures visant à instituer une parité homme/femme dans les partis de droite. Mais, l'opposition s'est avant tout structurée autour des partisans de la tradition universaliste française (1) et des différentialistes, ceux-ci se décomposant en « paritariste dogmatique » (2) et en « paritariste pragmatique » (3).

2・2・1 Les universalistes : la parité contre l'égalité

La position universaliste s'oppose à toute mesure différentialiste en faveur des femmes, comme de quelconque autre groupe, en estimant que ce type de mesures constitue une atteinte au principe d'égalité tel qu'on le conçoit depuis la Révolution Française et qui caractérise l'esprit républicain français. Des mesures paritaires en faveur des femmes constitueraient une forme d'officialisation juridique des discriminations et contribueraient alors à les accentuer plus qu'à les résorber. Elles ouvriraient la voie du communautarisme et des discriminations positives qui caractérisent le modèle américain. Sur ce fondement, les universalistes combattent alors toute forme de mesures paritaires que ce soit en politique ou dans l'administration.

S'agissant des fonctions politiques, beaucoup d'universalistes se sont appuyés sur une maxime de Monstesquieu selon laquelle, il est préférable de changer les mœurs plutôt que les lois. C'est donc un travail en profondeur au sein de la société française, et plus particulièrement ici, au sein des partis politiques, qui est alors privilégié. C'est dans cette perspective que R. Badinter, alors sénateur, avait proposé d'agir sur l'organisation des partis politiques et non sur l'organisation des élections. En effet, en se focalisant sur l'organisation élections, on restreint la liberté de choix des électeurs car ces derniers sont contraints de voter pour un candidat en raison de son sexe et non en raison de la pertinence de ses idées politiques.

S'agissant des fonctions administratives, plutôt que d'instaurer des quotas lors du recrutement, les universalistes insistent sur les causes structurelles de la lenteur de la féminisation dans la haute fonction publique. Ils estiment que la forte sélectivité des concours à l'égard des femmes n'est pas seul en cause. Ils mettent en perspective, en amont, des facteurs de types sociaux, culturels et psychologiques qui ralentissent la progression sociale et professionnelle des femmes. Et c'est sur ces facteurs qu'ils préconisent d'agir. C'est ce qu'exprime très bien le titre d'un ouvrage des sociologues C. Baudelot et R. Establet : « Allez les filles » (Paris, le Seuil 1992). Plutôt que par des

quotas, ces auteurs estiment c'est par des mesures d'encouragement, de soutien, d'information, de lutte contre les stéréotypes que l'on convaincra les femmes d'envisager autrement leur carrière, et de développer d'autres images d'elles-mêmes. Certains rapports invitent aussi, en aval, à modifier les « usages sociaux du temps » en repensant l'organisation du travail et la répartition des tâches au sein des familles. Un très beau parallèle sur ces deux questions est présenté par P. Bourdieu dans son ouvrage La domination masculine, (Paris Seuil, p. 85). « Le monde du travail », nous dit-il, « est ainsi rempli de petits isolats professionnels (service d'hôpital, bureau de ministère, etc..) fonctionnant comme des quasi-familles où le chef de service, presque toujours un homme, exerce une autorité paternaliste, fondée sur le développement affectif ou la séduction, et, à la fois chargé de travail et prenant en charge tout ce qui se passe dans l'institution, offre une protection généralisée à un personnel subalterne principalement féminin (infirmières, assistantes, secrétaires), ainsi encouragé à un investissement intense, parfois pathologique, dans l'institution et celui qui l'incarne ». Ces mécanismes de reproduction de la domination des rapports homme/femme dans la cellule familiale au sein des rapports de travail, seraient d'autant plus importants dans l'administration que celle-ci se heurte à de nombreuses rigidités bureaucratiques qui freinent l'évolution des rapports de travail et donc des rapports entre les hommes et les femmes au travail.

Sur ces fondements, beaucoup d'universalistes ne sont pas hostiles à la féminisation des jurys de concours qui comportent des épreuves orales, comme c'est le cas de tous les concours de la haute fonction publique. La féminisation des jurys de concours par l'obligation d'une présence égalitaire d'hommes et de femmes est perçue comme un moyen, d'une part, d'éviter des processus d'intimidation auxquels seraient sujettes les femmes, d'autant plus dans un rapport inégalitaire d'examinateur à l'examiné et, d'autre part, d'éliminer des processus d'identification. Sur ce dernier point, il ne s'agit pas grossièrement de considérer que les hommes favoriseraient les hommes tandis que les femmes favoriseraient les femmes, mais de prendre en compte que, dans une interface comme celles d'épreuves orales, des processus d'identification (notamment fondés sur le sexe des personnes) des candidats aux membres du jury et surtout l'inverse, déterminent la prestation du candidat ainsi que l'appréciation de celle-ci par les membres du jury. Pour ces raisons, si les universalistes sont opposés à l'instauration de quotas hommes/femmes parmi les reçus aux concours, ce qui violerait le principe d'égal accès aux emplois publics qui doit rester fondé sur les seuls mérites et talents, ils peuvent accepter une action en amont sur les jurys de concours.

Jusqu'à la fin des années 1990, les universalistes trouvent un entier soutien dans le droit positif français. L'universalisme prédomine en effet chez les juges suprêmes et en particulier au sein du Conseil d'Etat ou du Conseil constitutionnel.

Jusqu'à une période récente, le Conseil d'Etat n'a jamais vraiment eu l'occasion de prendre explicitement position sur la question des quotas homme/femme. En revanche, il s'était prononcé sur la question de l'organisation de concours distincts pour les hommes et les femmes à propos de l'accès à certaines fonctions. A chaque fois, le Conseil d'Etat a défendu une conception universaliste du principe d'égalité en n'admettant des dérogations qu'à titre exceptionnel, lorsqu'elles sont justifiées par des conditions d'exercice des fonctions, par des motifs d'intérêt général, par des nécessités de protéger de la femme ou par la promotion de l'égalité des chances entre les hommes et les femmes. Toutefois, le Conseil d'Etat livre une interprétation très stricte de ces motifs dérogatoires. S'il estime que le recrutement séparé « homme/femme » des gardiens de prison est justifié par les conditions d'exercice

de la fonction (les hommes gardent les prisons d'hommes et les femmes gardent les prisons de femmes), en revanche, le Conseil d'Etat ne trouve pas justifiée une représentation distincte homme/femmes au sein des conseils de discipline des maîtres d'internat et des surveillants d'externat d'école (Conseil d'Etat, 26 juin 1989, Fédération des syndicats généraux de l'éducation nationale et de recherche). De même, est illégale une limitation à 20% des candidats le nombre des femmes recrutées dans le corps des commissaires de l'armée de terre. (Conseil d'Etat, 11 mai 1998, Mlle Aldige).

Le Conseil constitutionnel adopte aussi une position universaliste. Ceci ressort formidablement de sa décision du 18 novembre 1982 dans laquelle il a jugé contraire à la constitution une loi qui prévoyait que les listes de candidats aux élections municipales ne pouvaient comporter plus de 75% de personnes du même sexe. Le Conseil estime, qu'une telle mesure est contraire au principe d'égalité énoncé à l'article 6 de la Déclaration des droits de l'Homme et du citoyen ainsi qu'à l'article 3 de la Constitution qui proclame l'égalité et l'universalité de l'expression du suffrage.

La chose paraissait entendue et le législateur ne s'est longtemps plus risqué à ce type de mesure. Mais, en plein débat sur la parité, est adoptée une loi qui vient obliger les partis politiques à assurer la parité homme/femme sur les listes de candidats présentés aux élections régionales. Le Conseil constitutionnel réaffirme sa position mais en signifiant qu'elle est liée à « l'état du droit ». Il ne tient donc qu'au pouvoir constituant de changer cet état du droit. Ainsi, affirme le Conseil constitutionnel dans sa décision 14 janvier 1999 : « en l'état du droit, (...) la qualité de citoyen ouvre le droit de vote et l'éligibilité dans les conditions identiques à tous ceux qui n'en sont pas exclus ni pour une raison d'âge, d'incapacité ou de nationalité, ni pour une raison tenant à préserver la liberté de l'électeur ou l'indépendance de l'élu, sans que puisse être opérée aucune distinction entre électeurs ou éligibles en raison de leur sexe ». Dans ces conditions, seules une révision constitutionnelle pouvait permettre d'instituer des mesures inspirées par la parité.

2・2・2 Le « paritarisme dogmatique » : la parité pour la parité

Cette position consiste, sur le fondement d'une distinction radicale entre les hommes et les femmes, à instituer « la parité pour la parité ». En d'autres termes, la parité est à la fois un moyen et une fin. La revendication de la parité est en partie fondée sur le présupposé que seules les femmes pourront défendre les intérêts des femmes. Il s'agit d'une tendance très minoritaire en France qui est inspiré par un féminisme radicale de type communautariste.

2・2・3 Le « paritarisme pragmatique » ou modéré : la parité pour l'égalité

C'est cette position qu'a adoptée la grande majorité du parti socialiste au pouvoir à l'époque, appuyé par une partie des intellectuels. Il ne s'agit pas ici de fonder la parité sur une distinction radicale entre les hommes et les femmes au détriment de l'unité du genre humain, mais de concevoir les mesures en faveur de la parité comme un moyen provisoire en vue d'instituer une égalité d'accès des hommes et des femmes aux fonctions décisionnelles. Devant l'étendue des questions à envisager, c'est d'abord au champ de la place des femmes dans les fonctions politiques que les partisans de la parité se sont attaqués.

Les justifications du recours à la parité sont ici très pragmatiques. Elles s'appuient :

sur le décalage entre les principes et les statistiques,

sur l'impasse de l'universalisme républicain qui, en refusant de distinguer juridiquement les hommes et les femmes, ne permet pas de lutter rapidement et efficacement contre les discriminations dont sont victimes les

femmes,
sur l'insuffisance de mesures électorales traditionnelles (l'expérience du scrutin proportionnel aux élections législatives de1986 n'a pas conduit à l'élection supplémentaire de femmes),
sur l'impossibilité de compter sur la simple discipline des partis politiques,
sur la conviction que la peur de la diffusion des revendications communautaristes est infondée, la différence sexuelle ne délimitant pas une catégorie identitaire comparable aux autres, c'est-à-dire celles fondées sur la religion, l'orientation sexuelle, la couleur de peau par exemple. A ce titre, le philosophe A. Comte Sponville, fait même valoir que « les femmes ne sont pas une communauté. (...) C'est l'humanité qui est sexuée ». Pour cette raison, « l'objection du communautarisme ne parait pas » opposable à la parité. Ou encore, à ceux qui craignaient une contagion des revendications communautariste,s le juriste G. Carcassonne répond que « la division de l'humanité entre femmes et hommes offre le seul cas de division limitée à deux, d'importance à peu près égale, répondant à des critères totalement objectifs. Ce qui n'est ni le cas des catégories religieuses, ni ethniques ou raciales. Il ne s'agit donc, en aucun cas de mettre le doigt dans quelque engrenage que ce soit ».

Ainsi, l'esprit « de la parité à la française » n'est pas communautariste. Il reflète un compromis entre des exigences universalistes et une égalité que l'on souhaite plus réelle. C'est d'ailleurs pourquoi la consécration constitutionnelle de l'exigence de parité ne va pas prendre la forme d'une obligation générale, mais va s'inscrire dans un registre normatif incitatif ou promotionnel, comme dirait N. Bobbio. Il s'agit de favoriser, de promouvoir certaines mesures dans un champs délimité, et non d'imposer en toute généralité au législateur d'établir la parité. Il reste que, face aux décisions du Conseil constitutionnel, le seul moyen juridique de consacrer la volonté politique de promouvoir la place des femmes en politique était de modifier la constitution. Ce sont maintenant les mesures concrètement adoptées, leur portée et leurs résultats que l'on va envisager.

3 . La parité, moyen imparfait de l'établissement de l'égalité homme/femme

En réalité, la majorité au pouvoir n'avait pas attendu la décision du Conseil constitutionnel pour engager la révision constitutionnelle qui allait permettre l'adoption de mesures tendant à favoriser la présence des femmes dans les instances politiques électives. Anticipant de quelques semaines la décision du Conseil constitutionnel, un projet de loi constitutionnelle est déposé à la mi-décembre 1998 à l'Assemblée Nationale. Après un désaccord entre les députés favorables à la parité et les sénateurs qui y étaient plutôt hostiles et qui préféraient agir sur l'organisation interne des partis politiques sur le modèle suédois, un compromis est finalement trouvé. La constitutionnelle du 8 juillet 1999 ajoute un 4ème alinéa à l'article de 3 de la constitution selon lequel « La loi favorise l'égal accès des femmes et des hommes aux mandats électoraux fonctions électives » ainsi qu'un 2ème alinéa à l'article 4 : les partis et groupements politiques « contribuent à la mise en œuvre du principe énoncé au dernier alinéa de l'article 3 dans les conditions déterminées par la loi ». Il ne s'agit donc pas d'obliger le législateur à imposer des mesures paritaires mais seulement, dans une perspective promotionnelle, de lui permettre de favoriser « l'égal accès des hommes et des femmes aux mandats électoraux fonctions électives ». Sous l'influence des sénateurs, les partis politiques sont mis à contribution pour atteindre cet objectif. Restent à déterminer les fonctions concernées par la révision (A) et les mesures que celle-ci permet d'adopter (B).

3 • 1 La notion de « mandats électoraux et de fonctions électives »

Sitôt la révision constitutionnelle

adoptée, le législateur est intervenu pour la mettre en œuvre. La première loi (6 juin 2000) impose la présentation d'un nombre égal d'hommes et de femmes aux élections municipales. Saisi de cette loi et prenant acte de la révision de la constitution, le Conseil constitutionnel la déclare conforme à la Constitution, à l'exception d'une disposition qui excluait les communes de moins de 2500 habitants du dispositif. Cette censure s'explique en raison du caractère artificiel de ce seuil au regard du système électoral global. C'est en effet celui de 3500 habitants qui est d'ordinaire utilisé pour fixer des modes de scrutins spécifiques.

Par ailleurs, le Conseil constitutionnel veille à ce que les mesures paritaires soient appliquées sur l'ensemble du territoire français, quitte à admettre certains aménagements pour des systèmes électoraux spécifiques (en Polynésie, en Nouvelle-Calédonie par exemple). Mais ces aménagements doivent être dûment justifiés. C'est ainsi que dans une décision n° 2003-468 DC du 3 avril 2003 relative à une loi mettant en œuvre la révision constitutionnelle pour les élections régionales et pour l'élection des députés au parlement européen, le Conseil constitutionnel a rappelé que si « le principe d'égalité ne s'oppose ni à ce que le législateur règle de façon différente des situations différentes ni à ce qu'il déroge à l'égalité pour des raisons d'intérêt général », il faut que cette différence de traitement « soit en rapport direct avec l'objet de la loi qui l'établit ». Or, aucune justification de la sorte ne permet d'instituer des mesures moins contraignantes en Corse que sur le reste du territoire aux élections régionales. Le Conseil constitutionnel déclare donc contraires à la constitution des dispositions qui prévoyaient qu'en Corse, les listes électorales devaient comprendre un nombre égal d'hommes et de femmes sans exiger d'ordre spécifique (les femmes pouvaient être les dernières de la liste), alors que sur le reste du territoire français les listes devaient strictement alterne les hommes et les femmes. Les femmes corses ne sont donc pas dans une situation différente des autres femmes françaises. Pour éviter toutefois que la censure de la loi prive la Corse de toute mesure paritaire, le Conseil accepte que, provisoirement, ces mesures s'appliquent, mais en enjoignant au législateur d'intervenir pour harmoniser les modalités d'élection en Corse avec celles applicables l'ensemble du territoire. En ce sens, une loi relative parité entre hommes et femmes sur les listes de candidats des membres de l'assemblée de Corse est adoptée le 10 décembre 2003.

La révision constitutionnelle contraint dorénavant le Conseil constitutionnel à devenir le principal garant de la mise en œuvre de la réforme visant à favoriser l'égal accès des hommes et des femmes aux mandats électoraux et aux fonctions électives. Il devient aussi le premier interprète de l'étendue et de la portée de la réforme. Face aux différentes lois mettant en œuvre la réforme constitutionnelle, le Conseil constitutionnel, qui reste imprégné d'un esprit universaliste, va interpréter de façon à la fois restreinte et ambiguë la notion « de mandats électoraux et de fonctions électives ».

Ainsi, dans une décision du 19 juin 2001 portant sur une loi organique au Conseil supérieur de la Magistrature, le Conseil constitutionnel refuse de considérer que les fonctions exercées au sein du Conseil de la magistrature constituent des mandats électoraux ou des fonctions électives. L'élection au Conseil supérieur de la Magistrature présente un caractère professionnel et n'entre donc pas, selon lui, dans le champ de la réforme voulue par le constituant. Le Conseil déclare ainsi contraire au principe d'égalité, et notamment à l'article 6 de la Déclaration des droits de l'Homme, la disposition de la loi qui imposait la parité entre les candidats de l'un et l'autre sexe. Le Conseil constitutionnel confirme cette position dans les décisions du 16 mars 2006 portant sur la loi relative à l'égalité

salariale entre les femmes et les hommes et du 30 mars 2006 portant sur la loi relative à l'égalité des chances. La loi relative à l'égalité salariale contenait un titre III relatif à « l'accès des femmes à des instances délibératives et juridictionnelles ». Les articles composants ce titre III imposaient, selon les cas, une parité ou des quotas (par exemple 20% de femmes au moins) pour la composition de nombreux organes délibératifs des secteurs publics et privés : conseils d'administration et de surveillance des établissements publics, des entreprises publiques et des sociétés du secteur public, commissions administratives, comité d'entreprises, délégués du personnel, conseil de prud'homme. En se fondant notamment sur l'article 6 de la Déclaration des droits de l'Homme et le préambule de 1946, le Conseil déclare contraire au principe d'égalité l'ensemble du dispositif en précisant que non seulement il n'entre pas dans le champ de la révision constitutionnelle de 1999 mais, qu'en outre, si la recherche de l'égalité entre les hommes et les femmes n'est pas en soi inconstitutionnelle, elle ne saurait aboutir à faire prévaloir le critère du sexe de la personne sur celui de ses capacités.

Le Conseil va cependant adopter une position plus souple au sujet de la composition des jurys de concours. Dans une décision du 12 janvier 2002, il soulève d'office la question de la constitutionnalité d'une disposition de la loi de modernisation sociale qui complétait une loi antérieure du 9 mai 2001 relative à l'égalité professionnelle. Le Conseil constitutionnel applique ici, ce qu'on appelle dans le jargon des constitutionnalistes français, « la Jurisprudence Nouvelle-Calédonie ». Celle-ci consiste à ce que le Conseil examine, de façon dérogatoire au caractère a priori de son contrôle, la constitutionnalité d'une loi déjà promulguée à l'occasion de l'examen de la constitutionnalité d'une loi dont il est saisi. Ainsi, la loi du 9 mai 2001 relative à l'égalité professionnelle entre les hommes et les femmes prévoyaient que « les jurys (de concours) dont les membres sont désignés par l'administration, sont composés de façon à concourir à une représentation équilibrée entre les femmes et les hommes ». La loi de modernisation sociales de janvier 2002 étend ces dispositions aux jurys chargés de prononcer « la validation des acquis de l'expérience professionnelle » aux fins de l'obtention d'un diplôme. Le Conseil constitutionnel se montre ici plus ouvert que dans le cas posé par la composition du Conseil Supérieur de la Magistrature ou par les élections professionnelles. Toutefois, la solution qu'il retient reste ambiguë. En effet, il admet la constitutionnalité des dispositions examinées, sous réserve qu'elles n'aient « pas pour objet » ni « pour effet de faire prévaloir, lors de la constitution » des « jurys, la considération du genre sur celle des compétences, des aptitudes et des qualifications ». En d'autres termes, l'administration peut composer des jurys de concours paritaires à condition que les femmes et les hommes soient choisis à compétence égale. Il ne s'agit pas de promouvoir une personne sur la seule considération de ce qu'elle est une femme. Par ailleurs, la constitutionnalité de ces mesures doit aussi à ce qu'elles ne sont pas impératives mais qu'elles restent incitatives. Il s'agit seulement de « à concourir à une représentation équilibrée entre les femmes et les hommes ».

Le Conseil adopte une position semblable à propos d'autres dispositions de la loi de mars 2006 sur l'égalité salariale. En effet le titre IV de cette loi fixait un objectif d'accès équilibré des femmes et des hommes aux différentes filières de formations professionnelles qui doivent être instituées par les régions. Le Conseil accepte cette mesure, dès lors que la prise en compte du sexe de la personne ne l'emporte pas sur le critère des capacités, c'est-à-dire dès lors qu'elles fixent « une obligation de moyens et non de résultat » (voir les Cahier du Conseil constitutionnel, 2006, n° 20, p. 45).

3・2 Les mesures destinées à favoriser la présence des femmes.

Compte tenu des incertitudes de l'étendue exacte du champ d'application de la réforme et de ce qu'admet ou non le Conseil constitutionnel, les mesures adoptées par le législateur, tout comme les pratiques administratives, sont variables. Nous verrons tout d'abord les formes de l'exigence de parités pour les mandats électoraux et les fonctions électives (1) puis, ensuite, les pratiques administratives et institutionnelles (2).

3・2・1 Les mesures adoptées pour les mandats électoraux et les fonctions électives.

Le Conseil constitutionnel admet une grande variété de dispositifs visant à obtenir l'égal accès des hommes et des femmes aux mandats électoraux et aux fonctions électives. Le législateur peut ainsi adopter des mesures contraignantes mais n'y est pas obligé. En d'autres termes, le Conseil constitutionnel laisse libre le législateur de prévoir ou bien des dispositifs contraignants imposant une présence égale d'hommes et de femmes parmi les candidats à un mandat électoral, ou bien des mesures à simple caractère incitative. Il admet aussi, par la force des choses, que le législateur ne prévoit rien pour mettre en oeuvre la réforme. La seule chose qu'exige le Conseil constitutionnel est, comme on l'a vu au sujet de la Corse, que lorsque des mesures sont prévues, elles fassent l'objet d'une application identique sur tout le territoire français.

Après plusieurs interventions législatives le plus souvent destinées à durcir les conditions de mis en œuvre de la réforme face à la mauvaise volonté de certains partis politiques, la situation est aujourd'hui la suivante.

Elections municipales. Il s'agit d'un scrutin de liste. La nouvelle loi du 31 janvier 2007, qui s'appliquera aux prochaines élections, exige une alternance d'hommes et de femmes sur la liste présentée, en admettant une présence supplémentaire d'un homme ou d'une femme quand la liste est en nombre impair. En termes techniques, il s'agit d'une obligation de présence égalitaire d'hommes et de femmes à une unité près. La sanction est stricte. Les listes qui ne respectent pas les conditions posées par la loi ne sont pas enregistrées et ne peuvent donc pas être présentées à l'élection. (Avant cette loi, les listes étaient composées par séries successives de 6 candidats. Il fallait que dans chaque série de 6, il y ait au moins trois hommes et trois femmes, sans obligation spécifique de classement. Cela pouvait être trois hommes puis trois femmes par exemple). Sont exclues de ces mesures paritaires, les municipalités de moins de 3500 h dont les élections s'effectuent à un mode de scrutin complexe.

Elections cantonales. Pendant longtemps rien n'a été envisagé pour ces élections en raison de fortes résistances et pressions des élus locaux. Finalement la loi de janvier 2007, modifie le système électoral en prévoyant que chaque candidat aux élections cantonales serait pourvu d'un suppléant devant être de sexe différent. La mesure n'est pas très contraignante mais elle permettra sans nulle doute une progression du nombre de femmes élues dans les Conseils généraux où elles sont traditionnellement très peu présentes.

Elections régionales : Elles sont soumises aux mêmes règles que les élections municipales.

Elections au parlement européen : depuis l'origine (loi de 2000), les élections au parlement européen sont soumises aux règles qui s'appliquent dorénavant aux élections municipales et régionales, à savoir l'obligation d'alternance.

Elections à l'Assemblée Nationale : Le scrutin est ici uninominal ce qui rend plus difficile l'institution d'une exigence stricte de parité. Pour rester dans un cadre de compromis entre les universalistes et les partisans de la parité, les mesures envisagées ne définissent pas une obligation de résultat mais seulement une obligation de moyens. Si la loi incite les partis politiques à présenter un nombre identique d'homme et de femme

aux élections législative, elle n'exige pas que soit élu à l'Assemblée Nationale un nombre identique d'homme et de femme. Le mécanisme est donc ici incitatif et non prohibitif, comme c'est le cas pour les élections au scrutin de liste. La loi du 6 juin 2000 exige ainsi des partis politiques qu'ils présentent un nombre égal d'hommes et de femmes aux élections législatives, en admettant toutefois un écart de 2% entre le nombre de candidat de chaque sexe. Si l'écart entre dépasse ces 2%, la dotation financière que donne l'Etat aux partis politiques pour financer la campagne électorale est réduite. Il reste que les partis politiques les plus riches, de gauche comme de droite, ont préféré une diminution de leur aide financière plutôt que de respecter l'exigence de la loi. Aussi, la loi janvier de 2007 qui s'est appliquée aux élections de juin dernier, a durci la sanction financière, et donc réduit le montant des aides accordées aux partis récalcitrants.

Elections sénatoriales. Il existe de fortes résistances des sénateurs face à la parité. Cela s'est même traduit par un recul des exigences législatives. Depuis la loi de 2000, il est en effet prévu que le système de l'alternance homme/femme s'applique pour les départements qui élisent leurs sénateurs au scrutin de liste. En revanche, aucune mesure n'est prévue pour les départements qui les élisent leurs sénateurs au scrutin uninominal. Or la loi portant réforme de l'élection des sénateurs du 30 juillet 2003 a augmenté le nombre de ces départements en prévoyant que le scrutin uninominal s'appliquerait dorénavant aux départements qui élisent 4 sénateurs et moins alors qu'auparavant ce scrutin s'appliquait au département qui élisait 3 sénateurs et moins... Le Conseil constitutionnel a admis la constitutionnalité de cette disposition législative (Décision n° 2003-475 DC du 24 juillet 2003). Résultat : en 2004, le taux de sénatrices élues dans les départements qui élisent trois sénateurs est de 4% alors qu'il était de 20% auparavant.

Elections présidentielles : le scrutin est uninominal. Aucune mesure de type paritaire n'est prévue. Compte tenu de la particularité technique et politique de cette élection, de telles mesures seraient difficilement envisageables. La responsabilité retombe alors sur les partis politiques qui désignent leur candidat. Comme vous le savez, l'an passé pour la première fois, un parti pourvu d'un candidat en position présidentiable a désigné une femme, S. Royal, qui a été présente au deuxième tour de l'élection.

Face à la persistance des résistances, outre un resserrement des mesures aux élections municipales et législatives et une innovation pour les élections cantonales, la loi du 31 janvier 2007 a également imposé la parité au sein des exécutifs locaux. Car, certes les femmes ont été élues en nombre plus important dans les Conseils soumis à la réforme (conseil municipal ou régional), mais cette présence n'a pas été suivie d'une augmentation substantielle du nombre de femme à la tête de ces conseils, c'est-à-dire aux fonctions de maire, d'adjoint au maire, de président ou vice–président du Conseil régional. Ainsi on compte aujourd'hui 47,6% de conseillers régionaux femmes, mais celles-ci ne composent seulement que 37,3% des pouvoirs exécutifs de la région. Les femmes représentent 47,4% des conseillères municipales mais seulement que 36,8% des membres des exécutifs locaux (en retirant les municipalités de moins de 3500h où les chiffres sont bien inférieurs). Les prochaines élections permettront de mesurer l'efficacité des mesures (2008, pour les élections municipales, 2010 pour les élections régionales).

3・2・2 Les mesures applicables dans la fonction publique

Le Conseil constitutionnel a admis, comme le prévoit la loi du 9 mai 2001 que le principe d'égalité « ne fait pas obstacle à l'intervention des mesures temporaires prises au seul bénéfice des femmes visant à établir l'égalité des chances entre hommes et femmes, en particulier en remédiant aux

inégalité de fait qui affectent les chances des femmes ». Le Conseil a toutefois a pris le soin de préciser que les compétences doivent l'emporter sur le critère du genre. La loi du 9 mai 2001 renvoie au pouvoir exécutif, sous la forme d'un décret en Conseil d'Etat, le soin de fixer les conditions de son application, et notamment « la proportion des membres des jurys appartenant à chacun des sexes ».

Un décret a été adopté le 3 mai 2002 sur la composition des jurys de concours pour l'accès aux corps de l'Etat à statut particulier. Ce sont des concours où il existe une épreuve orale. L'article 1 du décret prévoit que « pour la désignation des membres des jurys et des comités de sélection constitués pour le recrutement de fonctionnaires de l'Etat, l'administration chargée de l'organisation du concours doit respecter une proportion minimale d'un tiers de personnes de chaque sexe justifiant des compétences nécessaires ». Toutefois l'article 2 précise que des statuts particuliers peuvent déroger à cette proportion minimale, « compte tenu des contraintes de recrutement et des besoins propres des corps ». Cette possibilité de dérogation a peu été levée. Elle l'a été dans le cas particulier des concours d'agrégation des professeurs des universités en droit, sciences politique et d'économie. Il est vrai que deux difficultés se conjuguent ici. Pour des raisons techniques sur lesquelles je ne m'étendrai pas, il existe un doute que sur l'application du décret aux concours d'agrégation de l'enseignement supérieur car celui-ci est organisé par un décret spécifique qui n'a pas été abrogé. Par ailleurs, le nombre de femmes agrégées de l'enseignement supérieure en ces matières étant encore faible, il n'est pas toujours aisé de trouver des volontaires disponibles…

Il reste que certains ont douté de la constitutionnalité du décret du 3 mai 2002 en raison son caractère impératif. En effet, le Conseil constitutionnel n'aurait admis dans sa décision sur la loi modernisation sociale que des mesures à portée incitative. Compte tenu de l'impossibilité pour le Conseil constitutionnel de se prononcer sur cette question (il n'a pas la compétence pour le faire), la question ne peut être tranchée que par le Conseil d'Etat. C'est ce qu'il a récemment fait dans un arrêt du 22 juin 2002, M. Lesourd (AJDA, 2007, p. 2130). Le Conseil d'Etat aurait pu prendre appui sur la décision du Conseil constitutionnel de janvier 2002. Il a préféré adopter une position propre, en minimisant l'étendue de l'autorité de la chose jugée de la décision du Conseil constitutionnel. Néanmoins, il ne s'est pas significativement écarté sur le fond de la position adoptée par le Conseil constitutionnel. Guidé selon nous par une volonté pragmatique de sauvegarder le dispositif du décret tout en permettant certaines dérogations quand l'objectif paritaire est difficile à atteindre, le Conseil d'Etat admet clairement la constitutionnalité du décret de 2003 au prix d'une interprétation très constructive et minimisante de sa portée. Ainsi alors même que le décret fixait une obligation de « respecter une proportion minimale d'un tiers de personnes de chaque sexe justifiant des compétences nécessaires », le Conseil d'Etat affirme que « ce décret se borne à imposer à l'administration de prendre en compte l'objectif de représentation équilibrée entre les hommes et les femmes énoncé par la loi du 9 mai 2001 ». En d'autres termes, le verbe « devoir » dans le décret doit être interprété comme signifiant « pouvoir »…. Le Conseil d'Etat poursuit en expliquant que les dispositions du décret « n'ont pas pour objet et n'auraient pu légalement avoir pour effet de fixer, pour la composition des jurys, une proportion de personnes de chaque sexe qui s'imposerait à peine d'irrégularité du concours ». En l'espèce, le Conseil d'Etat relève qu'il ne ressort pas du dossier examiné que « l'objectif de représentation équilibrée n'ait pas été pris en considération ». On voit donc l'embarras du Conseil d'Etat qui renverse totalement les raisonnements. Pour ne pas conclure à l'inconstitutionnalité du décret au regard de l'article 6 de la

Déclaration des droits de l'homme, il en minimise la portée et admet que l'obligation qu'il posait ne soit pas respectée. Mais, il faut que l'irrespect de l'obligation (irrespect qui, pour sa part, s'avère conforme au sens donné à l'article 6 de la Déclaration des droits), soit justifié en montrant que tous les efforts avaient pourtant été faits pour la respecter... Cela permet a posteriori de justifier le fait que la parité ne soit pas respectée dans les jurys de concours d'agrégation du supérieur pour lesquels il est tout à fait possible de se prévaloir de l'insuffisance du nombre de femmes disponibles.

Dans ce climat « paritaire », beaucoup de pratiques administratives se sont développées pour favoriser la présence de femmes dans divers organismes décisionnelles : comité de pilotage pour l'égal accès des hommes et des femmes aux emplois supérieurs de la fonction publique, demande de promotion des femmes dans les fédérations sportives... Mais, compte tenu des doutes sur la constitutionnalité de mesures contraignantes, il n'existe aucune réforme globale. Les responsables administratifs comme le législateur restent prudent et préfèrent ne pas sortir du registre de la particulière attention.

* * *

La propagation du principe de la parité homme/femme dans les instances de décisions est indéniable ; certains vont jusqu'à évoquer une « culture paritaire ». Toutefois, des zones de résistances persistent notamment au sein de la classe politique. Ces résistances se manifestent dès qu'il s'agit d'adopter des mesures concrètes et, surtout, de les mettre en oeuvre. Autrement dit, le principe de la parité est accepté par volonté d'affichage politique, mais on lui résiste au moment où il s'agit de l'appliquer. Aussi, les résultats obtenus par les lois sur l'organisation des élections restent mitigés, et c'est pour renforcer leur effets que le législateur est une nouvelle fois intervenu en janvier 2007. Finalement, on pourrait presque affirmer que, paradoxalement, c'est dans les domaines où le législateur n'est pas intervenu que la « promotion des femmes » se fait sentir le plus.

Ainsi, s'agissant des élections, les résultats sont variables en fonction du degré d'obligation imposé par la loi. Aux élections municipales de 2001 par exemple, la loi a permis l'élection de 33,1% de femmes (contre 21% en 1995 avant la loi). Le taux atteint 47, 4% si on retire des statistiques les municipalités de moins de 3500habitants de la réforme. Or ces municipalités sont très nombreuses en France. Comme on l'a évoqué, au sein de conseils municipaux, très peu de femmes étaient élues maires (7, 5% en 1995, 10, 9 % en 2001). La loi de janvier 2007 devrait permettre des évolutions plus substantielles à l'issue des prochaines élections qui auront lieu dans deux mois. S'agissant des députés, on le rappelle, les grands partis ont préféré renoncer à une partie de leurs aides financières. Aux élections de 2002, le taux de candidates était 38,5% (avec fortes disparités selon les partis politiques) et les élues représentaient seulement 12,3% des députés (soit 76 députés). Elles étaient 10,9% avant la réforme, ce qui ne représente pas un changement significatif. En 2007, on enregistre une progression mais qui reste en deçà des espérances. Les femmes représentent dorénavant 18,5 % des députés, soit 107 députées. Au Sénat, le pourcentage des femmes élues étaient de 10,9% en 2001 contre 6, 2% en 1998 ; il est depuis les dernières élections de 2007 d'environ 18 % de femmes (60 sénatrices sur 324). Mais, comme on l'a vu, la progression a été freinée par la réforme de 2003 que l'on a évoquée sur le mode de scrutin.

Que l'on soit favorable à la parité ou que l'on reste universaliste, ces deux dernières élections sont révélatrices des résistances qui existent encore de la part de certaines hommes à accepter l'égale vocation des femmes à participer à des fonctions de pouvoir, ou à leur céder leur place. Les

hommes ont déployé toute forme de ruses pour contourner la loi ou pour en minimiser les effets : présentation de candidate jugée « potiche », chantages et pressions (candidature acceptée si la candidate s'engage à décider conformément à la volonté d'un membre du parti qui la dirige), présentation des candidatures féminines dans les circonscriptions jugées « imprenables » et perdue par avance).

Ce type d'attitudes tranche avec un climat paritaire qui conduit, dans les administrations ou dans des instances qui ne sont pas couvertes par la réforme, à prendre parfois volontairement les devants.

Ainsi, par exemple, au Conseil constitutionnel, il n'existe aucune règle relative à la présence des femmes mais, depuis une petite dizaine d'années, les autorités de nomination prennent garde à ce que les femmes représentent un tiers du Conseil. Seuls les dernières nominations y ont fait exception, puisque aucune femme n'a été nommée et que le taux de féminisation est affaibli en raison de la présence de droit de deux anciens Présidents de la République.

S'agissant de la composition du gouvernement, il n'existe non plus aucune règle. Il reste que dans un clair but d'affichage politique, le Président Sarkosy avait promis un nombre égal d'hommes et de femmes. C'est ce qu'a réalisé son Premier Ministre, en acceptant de nommer des femmes à des postes clés comme le ministère de l'intérieur, de la justice ou de l'économie. Toutefois, cette « parité » ne vaut qu'en considérant le nombre de ministres ; elle n'existe plus dès lors que l'on intègre les secrétaires d'Etat dans le décompte.... Il reste que cette attitude est très significative d'une position favorable de Nicolas Sarkosy envers les discriminations positives et les quotas sur le modèle américain. Le Président de la République défend, par exemple, dans un tout autre domaine, une politique de quotas en matière d'immigration. Dans ce contexte, sa conception de la parité s'écarte en réalité de l'esprit général de la réforme engagée en 1999. Elle est en effet davantage fondée sur une idéologie communautariste qu'universaliste aménagée par un souci pragmatique.

***Le texte pour la conférence du 25 janvier 2007 à TOKYO.**

２．総合研究所プロジェクト研究報告

（２００８年度継続研究）

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

共通課程　　吉田司雄

共通課程　　林　真理

横浜国立大学　　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 literature.

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、２００５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、さらに昨年からは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位のづ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のである。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核心。

もちろん限られた研究期間内で、近代日本における西洋近代科学言説の受容という広範なテーマのすべてに目を向けることは不可能である。そこで、１９世紀の近代生物学を特徴づけた重要な概念である「進化」「遺伝」「細胞」に

注目し、また同時期以降台頭してきた人類学・心理学・ロボット工学において「身体」と「内面」（心、精神世界）とがどのように語られてきたかに着目している。これらのキータームはいずれも「人間」という観念の再考を促し、文学言説においても多様な意味作用を担ってきたものだからである。

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。これまでに開催された公開研究会は以下の通りである。

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－文学は科学の糧たり得るか
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
林醵（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時ー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）

２００７年度の第４回についてのみ報告内容の概要を記すが、下坂英氏は、昔から目撃談のある、巨大で細長い、未知の海洋動物「大海蛇」（sea serpent）を取りあげ、１９世紀にその実在性をめぐってイギリスなどで起こった論争について、動物学者リチャード・オーウェンの主張などに注目しながら論じられ、その後の、マスコミにおける大海蛇の取り上げられ方についても語られた。伊藤龍平氏は、一九七〇年代の未確認動物ブーム以来「幻の蛇」というイメージがすっかり浸透してしまったツチノコについて、しかしブーム以前のツチノコは、今日の定義でいう妖怪にあたる存在であったことを明らかにし、ブーム以前と以後のツチノコ像を、文献資料や民俗資料を用いつつ紹介・考察し、妖怪から未確認動物へという道筋を辿ってみせた。さらに齊藤純氏からは民俗学や翻訳論の視座から、菊地原洋平からは博物誌の視点から問題提起がなされ、活発な議論が交わされた。日本科学史学会生物学史分科会２００７年度シンポジウムを兼ねる形での開催であったが、科学史の研究者だけでなく、様々な領域から５０名以上もの参加者が集まり、大変盛況であった。なお、このシンポジウムの様子は、日本科学史学会生物学史分科会の機関誌「生物学史研究」に掲載される。また、２００８年度も引き続き公開研究会を開催する予定である。

２．今後の展開

さて、２００７年度は先に述べた科学研究費補助金支給の最終年度にあたったこともあり、これまでの成果を踏まえつつ新たな研究計画を考える期間でもあった。次に、今後の研究計画の一端を報告する。

第一は、科学者（自然哲学者、賢者、博士、博物学者、医師を含む）あるいは科学の成果を表象する近代日本の文学作品を集約するデータベースを構築しながら、個々の作品や事例の内在的な分析を進めると共に、科学との関わりを主軸とする新たな文学史像を提出することである。著名作家に関してであれば、小山慶太『漱石が見た物理学』（1991年、中央公論社）『漱石とあたたかい科学』（1995年、文藝春秋）、長山靖生『鴎外のオカルト、漱石の科学』（1999年、新潮社）、宮澤賢治関係の一連の書物など先行する研究も皆無という訳ではないが、科学との関わりについてほとんど考察のなされていない作家も多く、まして歴史的に日本近代文学と科学との関わりを鳥瞰するような試みはなされていない。科学史関係でもわずかに井山弘幸氏が「科学者の誕生と方法的自覚」（『講座・科学史Ⅰ』1989年、培風館）、「科学の中の文学・文学の中の科学」（大野誠他編『科学史の世界』1991年、丸善）、「科学者の虚像と実像」（「無限大」No101、1997年5月）などで積み重ねてきた仕事が目を引くくらいである。井山氏の『鏡のなかのアインシュタイン- つくられる科学のイメージ』（1998年、化学同人）は科学の専門家ではないジャーナリストや思想家が抱いてきた様々なサイエンス・イメージを考察した書物であり、とりわけ「Ⅱ部　小説家の見たサイエンス・イメージ」「Ⅲ部　文学者の見たサイエンス・イメージ」には２７名の作家・評論家が取り上げられているが、近代日本の文学者はそのうちのわずか４名（萩原朔太郎、夏目漱石、小林秀雄、唐木順三）に過ぎない。しかし、英語圏においては Roslynn D. Hayne, *From Faust to Strangelove : Representation of the Scientist in Western Literature*（1994年）や Christopher Frayling, *Mad, Bad and Dangerous？ : The Scientist and the Cinema*（2005年）など、文学作品や映画における科学者像の変遷を主題とした研究が次々となされている。本研究プロジェクトはこれらの研究の方向性を受け継ぎつつ、文系／理系という区分けが無意識に抑圧してきたこの未踏の研究領野を大きく切り拓くことを目指したいと考えている。

第二に、文学者における科学イメージを考える場合に重要となるのは、その時代の先端的な専門研究ではなく、むしろ当時の大衆的な科学受容の状況であり、その検証が急務の課題だと考えるに至った。吉田司雄は「少年よ、「猿」から学べ- 教育装置としての『少年世界』」（金子明雄他編『ディスクールの帝国』2000年、新曜社）で「少年世界」（博文館、明治28・1～36・12）などの明治期の少年向け科学記事や書籍を分析し、林真理は日本動物学会の学会誌「動物学雑誌」および Annotationes Zoologicae Japoneses（欧文誌）掲載の論文約1000編をデータベース化し、「1890年代における日本の動物学者の論文発表について」（「生物学史研究」No.68、2001年）等で明治期の日本動物学の進展を専門家以外への広がりまで視野に入れつつ考察しているが、研究期間内で実現したいのはそれらを踏まえた上での大正期から昭和戦前期における日本のポピュラー・サイエンスの状況調査である。また、一柳廣孝は『〈こっくりさん〉と〈千里眼〉』（1994年、講談社）『催眠術の日本近代』（1997年、青弓社）などで近代日本における心霊学や精神分析の移入を、戦前期における「人間」概念の変容を文学史と科学史とが交差する地点で掘り上げてゆくことも重要な課題である。このような調査と分析を踏まえてこそ、第一に挙げた新たな文学史像も明瞭なものとなってくるはずだからである。

大正から昭和前期にかけての時期、西洋近代科学の知識が大衆化すると同時に専門家との乖離も進んでゆく。この二律背反的な状況を捉えるためには著名な科学者や専門分野の達成に目を向けるだけでなく、当時の日本におけるポピュラー・サイエンスの状況調査が不可欠だと思われる。本プロジェクトでも今後、「科学知識」（大正10・7～昭和25・3、科学知識普及協会）、「科学画報」（大正12・4～昭和36・6、誠文堂新光社）、「科学ペン」（昭和11・10～16・12、科学ペン社）およびその後継誌「科学思潮」（昭和17・1～19・2、科学思潮社）等の調査を行ない、そこに執筆した文学者の言説も含め、当時の文学者の科学イメージと大衆レベルでのそれとの連関や差異を明らかにしてゆきたいと考えている。実はこれら大衆向け科学雑誌は科学史の領域においてもほとんど無視されており、復刻等もなされていない（前２誌については国会図書館がマイクロ資料化している）。その目録化を進めつつ内容分析を行なっていくことは文化史の新たな領域を切り拓いてゆくのに大変有意義なものとなるはずである。

また、同時期の心理学史の動向と一般大衆向けの啓蒙戦略を調査し、「人間」概念が再編されてゆく様を検証することも大きな課題である。近年「変態心理」（日本精神医学会、大正6・10～12・11）の研究が盛んに行なわれているが、大正期における心理学受容や文学言説と科学言説との交差を考えるには、より広範な目配りが必要なはずだからである。この時期の一般大衆による科学受容を考える際には明治の中期頃から盛んに行なわれるようになった学術普及を目的とする講話会、例えば理医学講談会（明治17～）、大学通俗講話会（明治20～）、東京学士会院（明治19～39）、東京数学物理学会（明治40～42）、心理学通俗講話会（明治42～大正8）などに注目することが必須だが、とりわけ日本最初の心理学専門誌である「心理研究」（明治45・1～大正14・10、心理学研究会）は心理学通俗講話会での講話をまとめた「心理学通俗講話」（大日本図書）を前身としており、またアカデミズム色の濃い「日本心理学雑誌」が大正１２年に岩波書店から創刊されると、専門家と民衆との仲介者としての立場に立つことを表明するなど、日本のポ

ピュラー・サイエンスの歴史を構築するにあたって見逃せないものとなっているのである。

私自身について言えば、この数年間、海外の学会やワークショップに幾度か参加し、本研究プロジェクトに深く関わるテーマで報告する機会を与えられたことが大きかった。順番に記せば、

①２００５年８月３１日から９月３日までオーストリアのウィーン大学で開催されたＥＡＪＳ（European Association for Japanese Studies、ヨーロッパ日本研究協会）第１１回国際会議での、「近代文学」セクションにおけるパネル発表「The Representation of Boys and Girls during Japan's Total War（総力戦下における少年少女の表象）」のメンバーの一人（Chair）として、「科学読物と近代動物説話（*Kagaku yomimono* and Modern Animal Tales）」という題で発表。

②２００６年３月２４日から２５日にかけて開催されたフランス・コルマールのアルザス日本学研究所（CEEJA)主催によるワークショップ「PERSPECTIVES DE LA LITTERATURE CONTEMPORAINE JAPONAISE（日本現代文学の展望）」で「La vogue des ≪Virus Horror≫, et l,actualite de la recherche」（ウィルス・ホラーの流行と研究方法の現在）」という題で発表。

③２００６年６月２日にフランスのパリ大学ドフィーヌ校舎内の INALCO（国立東洋言語文化大学）で開催された「加工／仮構される身体－ロボット・女性表象・断片の政治学」（Le corps fabrique, le corps fabule－Discours des corps dans la culture japonaise moderne）というワークショップで、これは科学研究費補助金基盤研究（Ｂ）「中仏との比較による近代日本の視覚・活字・文学メディアの女性表象に関する多元的研究」を展開する北海道大学文学部の映像・表現文化論講座と INALCO の CEJ(日本研究センター）との共催によるものであり、このワークショップの全容はすでに２００６年１２月、『機械＝身体のポリティーク』という書名で青弓社から刊行されている。

このうち、本報告書では①のＥＡＪＳ第１１回国際会議でのパネル発表「The Representation of Boys and Girls during Japan's Total War（総力戦下における少年少女の表象）」における報告原稿の中から、特に本研究課題と関わる章のみを抜粋し、併せてディヴィッド・ヘンリー氏による同文の英訳を掲載した。このパネル発表は久米依子氏、坪井秀人氏に吉田を加えた三人を報告者とし、ディスカッサントの中山昭彦氏を交える形で行なわれた。応募に際して用意した趣旨文を引用しつつまとめれば、「日清戦争（1884～85 年）が始まる前の時期、国民国家のアイデンティティを支えるものとして創造された、巌谷小波の創作や昔話再話によって幕を開けた近代日本の児童文学の歴史は、大正期になると、鈴木三重吉主宰の雑誌「赤い鳥」（1918～1936 年）を中心に、自由主義で国際的なものとして花開いた」が、「この大正期の「童心」主義思想がアジア太平洋戦争期のプロパガンディズムにどう接続していったのか」というのが、本パネルの掲げたテーマであった。「１９３１年の満州事変に始まり、１９４１年からの太平洋戦争につながってゆくこの時期は、戦場で戦う男性兵士たちだけでなく、銃後の女性や子どもも本格的に戦時体制へと動員された、日本近代史上最初の総力戦期」にあたる。ドイツの軍人エーリヒ・ルーデンドルフの『国家総力戦』(1935 年）によって用語として定着した「総力戦」（total war）とは、国家が持てる国力のすべてを投入して戦う形態の戦争であり、軍事力のみならず経済力や技術力が勝敗を左右し、それゆえ国民生活すべてが総力戦体制に組み込まれ大きな影響を受けることとなる。日本でも１９３８年の国家総動員法制定によってすべての人的物的資源が国家による戦争遂行のために統制を受けることとなり、それまで非戦闘員と考えられた人々までが戦時体制に組み込まれてゆく。その過程において、「少年」「少女」の表象がどのように再編されていったかが、このパネル発表での中心的な争点であったが、

３．明治の科学読み物

近代日本の児童文学研究において、これまで十分な注目があてられてこなかった領域は少なくないが、「科学読み物」と呼ばれるジャンルもその一つである（1)。最近でこそ、ミネルヴァ書房から出ている『はじめて学ぶ日本児童文学史』(2001 年 4 月)という概説書では、編者の鳥越信の意向が働いて、創作児童文学「こがね丸」誕生以前を概観した「近代日本児童文学の夜明け」という第一パートにかなりのページ数が割かれ、キリスト教布教のための子ども向け読み物や『イソップ物語』『ロビンソン・クルーソー』などの翻訳と並んで、「日本の近代化と科学読み物」という章が立てられている。また、本全体の序章で鳥越信は、１８６８年、明治維新の年に出た福沢諭吉の『訓蒙　窮理図解』という科学読み物こそが、近代日本児童文学史の起点であると述べている。

科学読み物の歴史に目を向けるとき、私たちは今日何となくそう思い込まされていることが、過去には決して自明ではなかったことによく気づかされる。例えば例えば日本ではなぜか女性の方が文系向きで男性の方が理系向きだという思い込みがあり、実際工科系大学への進学者の男女比率などは圧倒的に男性の方が高い。しかし、１８７０年代、日本の科学読み物の出発期においては、母親が子どもに語りかける形式のマルセット夫人著・土居光華訳『母の導き－水陸談』(1874 年)や登場人物がすべて少女というとりやまひらく（鳥山啓）著『きうりいちろく』(1874 年）など、女性を主役とする科学読み物が刊行されている。『母の導

き－水陸談』の原著は *Conversation for Children on Land and Water*（1938年）、現著者であるジェイン・マーセット Jane Marcet （1769～1858）は、イギリスのヴィクトリア朝を代表する啓蒙的な教育読み物の書き手の一人で、『化学対話』*Conversations of Chemistry* （London：longmn, Hurst,Rees,& Orme、1806年)は女性教師と二人の女生徒との会話スタイルで化学の新発明を解説し、一九世紀前半のイギリスやアメリカで最も読まれた科学読み物である（２)。文明／自然と男性／女性とを重ね合わせるジェンダー構成の反映もあると思われるが、自然の不思議をやさしく説き明かす Natural Phylosophy はむしろ女性のものだったのだ。

日清戦争を経て一九〇〇年代に入っても、樋口勘次郎『理科童話』（一九〇〇、同文館）がその序文で「此の書が家庭に於ける婦女童蒙の伴侶となりて未来の国民及び其の母たるものに理科思想を与へむとの希望」を表明しているように、まだ科学 Natural Phylosophy は、家庭の「婦女童蒙」に与えられるべきものであったのである。しかし、「少年世界」が刊行されたこの時期から、科学を学ぶことは確実に「少年」たちの領分とされていった。

１８８６年に刊行されたバックレー著・山縣悌三郎補訳『理科仙郷』 全１０冊は、明治期を代表する画期的な科学読み物だと言える。原著はアラベラ・Ｂ・バックレー Arabella B. Buckley の *The Fairy Land of Science* (London: Edward Stanford、1879年)という本で、２０世紀の初頭までイギリスでは広く読まれた。バックレーも女性ライターであるが、シェイクスピアやワーズワースの詩が引用されるなどロマン派的な思想と文体を駆使しながら、最新の科学知識が語られている。山縣悌三郎の訳文も「文意の足らざるを補うなど、訳述者の良心的用意が窺い知られる」もので、「殆ど翻訳の臭みを解消して、寧ろ漢文調に優り、朗々唱すべき名文に成る」と評されている（木村小舟『改定増補　少年文学史　明治篇』上巻、1949年２月、童話春秋社）が、漢文読み下し調の訳文からは女性らしさは消えてしまった。第一冊目の「第一講　理科ノ仙郷ニ遊ブノ道之ヲ用フルノノ術　其快楽ヲ受クルノ方法」では「理科ノ仙郷ハ、常ニ諸氏ノ身辺ニ在リ」と日常生活の中から科学への関心と好奇心を引き出そうとし、「観察」と「想像力」との必要性が強調されている。「第二講　日光及ビ其事業」「第三講　空気の大海」「第四講　一滴水の巡歴」と物理学や地学の解説が続き、「第五講　水ト氷ハ地球ノ二大彫刻者タリ」では世界各地の名勝を取り上げ、自然界の生んだ「驚異」を強調する。後半に入ると「生物ガ如何ニシテ無生物ノ変化ヲ利用スルヤヲ論述シ、且ツ其地球上ノ事物ニ感触スル所以ノ理ヲ明ニセント欲ルナリ」ということで、生物の世界へと目が向けられる。「第六講　自然界ノ音声及ビ人ノ之ヲ聴ク所以」（音波や人間の聴覚器官・鼓膜の説明）「第七講　桜草ノ生涯」「第八講　石炭ノ来歴」と続くが、今回注目しておきたいのは、この本の最後、「第九講」「第十講」がミツバチ（の社会）に関する説明で終わっているという点である。「第九講　蜜蜂及ビ其巣」では「蜂巣製造ノ次第」や「女王蜂」「伝婢蜂」の暮らしぶりが語られ、「第十講　蜜蜂ト花ノ関係」では昆虫と植物の共生関係に焦点が当てられている。人間社会と類比する形でミツバチの社会生活を観察する叙述には、それまで日本にはおそらく存在しなかった動物への新たな眼差しが含まれているからである。

古来日本でも動物は様々な伝説や昔話に登場してきた。しかし、鶴女房説話など異類婚姻譚的な話型が多くみられることからも想像されるように、動物とはあくまでも人間とは異なる「異類」であって、伝説や昔話では、人間と異類との交渉が物語の核をなしてきた。イソップ寓話のように、動物が人間の性格類型を指し示すアレゴリーとして用いられることは少なかったのである。とはいえ、異類婚姻譚においてもしばしば両者の間に子が生まれているように、人間と動物とは住む世界こそ違えども、決して別の存在ではなかったのだとも言える（逆に言えば、陰陽師の安倍晴明説話のように、超常的な能力を持った者は例えば人間と狐との間に生まれたに違いないと見做すような異類婚姻譚的な発想が、日本文化には根強くあった)。近代の児童文学でも、例えば新美南吉の「手袋を買いに」や「ごんぎつね」は、人間の側からではなく、異類である狐の側から人間世界へと接近しようとする様が描かれているが、これは異類婚姻譚的な話型を反転させたものだと考えることができるだろう（３)。しかし、『理科仙郷』に描かれたミツバチの生活は、それ自体として一つの社会を構成しており、その社会構造自体が人間社会との同質性を類推させたり差異に気づかせたりするアレゴリカルなものとなっている。「観察」と「想像力」の結合による新たな動物認識がここでは強調されているのである。

「少年世界」にしばしば掲載された動物記事も、従来の動物説話とは違った性格を有するものである。１８９６年は申年ということもあって、「少年世界」誌上にも多くの「猿」に関する記事が掲載される（４)。その中には、例えば巌谷小波による昔話の再話など説話的要素の強いものも含まれるが、もう一方にはゴジラやオランウータンなど珍しいサル（とりわけ類人猿）を紹介する理科記事が多く載っている。動物記事が紹介する新しい「猿」たちによって、人間と動物との間にははっきりとした境界が引かれ、人間の理性や知恵をひきたてる敵役にサルは貶められてしまう（ただし「未開」国の「野蛮」人は、「文明」国の「人間」と「猿」との中間に位置する存在だとする進化論的な階層化も同時になされることになる)。博物学的に世界各地の動物たちを次々と紹介する眼差しは、消失点にいる観察者の

主体に対して、異類としての動物とは切断された人間という確固たるポジションを用意する。それは『理科仙郷』的な眼差しをもってミツバチの社会生活を観察し、人間社会のそれと比較する行為と等価だと言える。科学読み物が子供たちに与えたものは、単に珍奇な動植物などの知識ではなく、何よりこうした「観察者」の視線だったと考えられるのである。

もう一つ、出発期の「少年世界」で注目しておきたいのは、「科学」欄に連載された霞城山人（中川重麗）「万有探検　少年遠征」(1896年1月15日号～5月1日号)である。中川重麗は科学の教科書を多数翻訳したほか、霞城山人名義で『理科春秋』(1899年)などを刊行した人物で、山縣悌三郎や石井研堂と並ぶ明治中期の代表的な科学読み物の書き手である。「万有探検　少年遠征」も珍奇な動物たちの挿絵からは博物学的な読み物を想像させるが、これは東野太郎・二郎の兄弟が、日清戦争後の日本においては「理化博物学の講究は、最も大切なる学科になるとして「蛮地に遠征を試みて、珍しき獣猟するなど」を目的に「亜弗利加」奥地へ出かけるという冒険小説の形式を採っている。このテクストでは、世界各地の風俗や珍奇な動植物に向けられる「観察者」の眼差しが未知の空間へ向かう「冒険」の「想像力」と見事に結合し、さらに帝国主義的なナショナリズムとも連動しているのである（５）。

注

（１）科学読み物に関する基本的な歴史研究としては他に、板倉聖宣「科学読物の生い立ち―日本最初の科学読物」「日本の科学読物」（板倉聖宣・名倉弘『科学の本の読み方すすめ方』(1993年4月、仮説社）などがある。

（２）マーガレット・アリーク『男装の科学者たち―ヒュパティアからマリー・キュリーへ』（上平初穂・上平恒・荒川泓訳、1999年5月、北海道大学図書刊行会）によれば、『化学対話』のイギリス版は１６刷を重ね、二種のフランス語版と少なくとも１５のアメリカ版があり、アメリカ版は１８５３年以前に約１６万部が売られたという。マイケル・ファラデーが製本屋見習工だった１３歳の時に出会い、化学の道に進むきっかけを与えた本としても知られている。

（３）鈴木啓子「『ごんぎつね』をどう読むか」（「日本文学」2004年8月）に「ごんぎつね」の「ごんが異類婚姻譚の女性と共通する側面を持つ」との指摘がある。

（４）拙稿「少年よ、「猿」から学べ―教育装置としての『少年世界』」（金子明雄・高橋修・吉田司雄編『ディスクールの帝国―明治三〇年代の文化研究』、2000年4月、新曜社）を参照のこと。

（５）高橋修「「冒険」をめぐる想像力―森田思軒訳『十五少年』を中心に」（前掲『ディスクールの帝国―明治三〇年代の文化研究』）がこの時期における「冒険」と「博物学」との結びつきについて論じている。

４．*Kagaku yomimono* in the Meiji Period

In the area of modern Japanese children's literature research there are several areas which have not received enough attention up until now. The genre called *kagaku yomimono*, (科学読み物, entertaining stories and writing that introduces scientific knowledge) is one of these areas.[i] In the recent overview of children's literature in Japan *Hajimete manabu Nihon jido bungaku shi*[ii] we can see the preference of Torigoe Shin [鳥越信] in giving attention to events before the publication of the story *Kogane-maru* in 1891 by Iwaya Sazanami, which is usually taken as the starting point of modern Japanese children's literature. The work's large first section *Kindai nihon jido bungaku no yoake* (The Dawn of Japanese Children's Literature) includes sections on proselytizing Christian children's stories, on translations of "Aesop's Fables" and "Robinson Crusoe", and on "Japan's Modernization and *Kagaku yomimono*". Torigoe goes on to assert that Fukuzawa Yukichi's [福沢諭吉] *Kinnmou kyurizukai* (訓蒙　窮理図解, A Visual Science Reader), which was published the same year as the Meiji Restoration in 1868, was actually the starting point for modern Japanese children's literature.

When considering *kagaku yomimono* it is very important to remember that certain things that seem like common sense to us today were not taken for granted back then. For example now we have the tendency to think of women going into the humanities and men into the natural sciences, and the ratio of men going into engineering fields in universities, even today, is much higher than women. However in the 1870s women were the prime actors in early *kagaku yomimono*, such as *Haha no michibiki-suirikudan* (母の導き－水陸談, 1874, Conversation for Children on Land and Water, by Jane Marcet and trans. by Doi Koka 土居光華) and Toriyama Hiraku's [とりやまひらく] book *Kyuri ichiroku* (きうりいちろく, 1874), in which all of the characters were girls. Jade Marcet (1769-1858) was a prolific author of enlightenment science writings for children in Victorian England and also penned Conversations of Chemistry [化学談義, 1806], which was perhaps the most read book in this genre and is in the form of a conversation between a female teacher and two girl students. There may have already been the idea of culture/nature and men/women dichotomies, but the

idea of easily explaining the mysteries of nature as part of natural philosophy was within the women's realm.

Even after the Sino-Japanese War and 1900, Higuchi Kanjiro's［樋口勘次郎］*Rika dowa*（理科童話，1900, Scientific Children's Stories) featured the following preface, "I hope that this work will become women and children's good partner in education and help young people to become fine citizens and their mothers". As we can see from this Natural Philosophy was still seen as the province of women in the household to teach to their children. But from around the time of the publication of the children's magazine *Shonen sekai* science was seen as the province of *shonen* (a term meaning youth generally, but later masculinized to mean only boys). Eventually this trend meant that science was seen as being important for the nation during the time of the total war as my colleague Tsuboi Hideto will explore in his presentation.

We can say that the ten volumes of *Rika senkyo*（理科仙郷，1886, Arabella B. Buckley, trans. by Yamagata Teizaburo 山縣悌三郎）were an epoch making, representative *kagaku yomimono* of the Meiji period. It was based on Arabella B. Buckley's (1840-1929) The Fairy Land of Science (1879, London: Edward Stanford) and was widely read in England until the beginning of the 20th century. Buckley was a woman writer who had mastered Romantic poetry and thought and while freely borrowing from the works of Wordsworth and Shakespeare introduced the latest scientific knowledge of the day. Translator Yamagata's style was praised by Kimura Shoshu who noted that "unclear parts of the text are filled in and we can see the translator's excellent work" and "it doesn't read like a translation but like something originally written in *kanbun-cho* that sounds wonderful when recited out loud."（木村子舟，改定増補少年文学史　明治篇)上巻、1949.2、童話春秋社) But one negative effect was that the feminine quality of the text disappeared completely in the translation.

Chapter 1 is 第一講　理科ノ仙郷ニ遊ブノ道　之ヲ用フルノノ術　其快楽ヲ受クルノ方法 (original title: The Fairy Land of Science: How to Enter It; How to Use it; And How to Enjoy It) referencing how to follow the path of science, suggests that "science is all around us all the time," and seeks to draw out both interest and curiosity in science and emphasizes the importance of observation and imagination. Going onto consider physics and geography, chapter 2 is 第二講　日光及ビ其事業 (Sunbeams and the Work They Do), chapter 3 is 第三講　空気の大海 (The Aerial Ocean in Which We Live) and chapter 4 is 第四講　一滴水の巡歴 (A Drop of Water on its Travels). Chapter 5 is 第五講　水ト氷ハ地球ノ二大彫刻者タリ(The Great Sculptors—Water and Ice), and it introduces wondrous natural sites from around the world. The latter half of the series turns its gaze towards animals. Chapter 6 is 第六講　自然界ノ音声及ビ人ノ之ヲ聴ク所以 (The Voices of Nature and How We Hear Them) (and explanation of sound waves, human hearing and the eardrums). Chapter 7 is 第七講　桜草ノ生涯 (The Life of a Primrose) and Chapter 8 is 第八講　石炭ノ来歴 (History of a Piece of Coal). But it is with the final chapters 9 and 10, which focus on bees and their social structure, that we are interested. Chapter 9 is 第九講　蜜蜂及ビ其巣 (Bees in the Hive) and it focuses on the life of the worker bee, queen bee, drone bee and male (or worker) bee. Chapter 10 is 第十講　蜜蜂ト花ノ関係 Bees and Flowers and focuses on the intersection between insects and plants. Observing bees social structure with an eye towards comparing it to human social structure introduced a kind of gaze that until then had not existed in Japan.

Even in ancient Japanese legends and old tales animals often appeared as characters. But in *setsuwa* like the *Tsuru-nyobo* (Crane Wife) story, a union between animals and humans is at the heart of *irui konintan* [異類婚姻譚] stories which are quite common. The use of animals to allegorically point to human behavior, as is often seen in Aesop's Fables, was only rarely used. But while humans and animals lived in different societies, offspring were often produced between them in *irui konintan*, so the two cannot be said to be totally without connection. (Or from another perspective we can even say that the idea is quite strong in Japan that human-animal pairings, like the one between a human and fox that produced the *onmyoji* magician Abe no Seimei, result in offspring with supernatural powers.)

Even in modern Japanese children's literature the influence of *irui konintan* stories can be felt in stories in which interspecies unions are initiated not by humans but by animals, such as in the stories *Tebukuro wo kai ni* (Going to Buy a Handbag) and *Gongitsune* (Gon the Fox) by Niimi Nankichi［新美南吉］.[iii] But in *Rika senkyo*'s study of the social structure of a bee hive, that structure itself is compared to human society and the

reader is led to consider the allegorical comparison being made. Through observation and imagination a new consciousness towards animals is being emphasized here.

And the animal articles that frequently appeared in the pages of the magazine *Shonen sekai* also introduce a different kind of gaze toward animals. Because 1869 was the year of the monkey in the Chinese zodiac, in this year *Shonen sekai* carried a variety of articles on apes and monkeys.[iv] Among these, one kind of articles were more like retellings of old tales such as those penned by Iwaya Sazanami. But another kind of articles often featured scientific reports on rare apes such as gorillas and orangutans that were more closely related to humans. By featuring reports on these apes, the line between humans and animals was more clearly drawn and the reason and wisdom of humans was compared favorably against apes that were looked down upon. (However, in the evolutionary theory of the day the "savage peoples" of developing countries were seen as a missing link between citizens of developed countries and apes.) The gaze of natural philosophy that introduced animals from around the world placed the human observer in an invisible and privileged position and animals, as an Other, were cut off and clearly distinguished from the human observer. This is similar to the gaze that *Rika senkyo* brings to the observation of the bee hive and how it uses bee society as an allegory for understanding human society. *Kagaku yomimono* didn't just give children knowledge of rare animals, but above all provided them with a new scientific gaze, making them observers of animals.

One more feature from *Shonen sekai*'s early period which I would like to call attention to is the serialized fiction carried as a science column *Banyu tanken shonen ensei* (万有探検　少年遠征 Youth Expedition: Exploring All Things. It was carried from December 1, 1931 to May 1, 1931.), but Nakagawa Jyurei [中川重麗] who wrote under the name Kajo Sanjin [霞城山人]. Along with Yamagata Teizaburo and Ishii Kendo [石井研堂], Nakagawa was one of the representative authors in this genre during the Meiji period and in addition to translating many science textbooks into Japanese he also published the book *Rika shunju* (理科春秋, 1809) under his penname of Kajo. With its drawings of exotic animals *Banyu tanken* also evokes the style of natural history writings, but it is written as a fiction story of the Higashino brothers, Taro and Jiro as they plan a trip to the interior of Africa in order to hunt big game. The reason for their expedition is that in the aftermath of the Sino-Japanese war, "Science and natural history are the most important studies" so they "planned a hunting expedition to the savage lands." In this text the flora and fauna from all over the world are introduced through an observer's gaze that unites adventure and imagination and focuses them on new and unknown spaces.[v] It is easy to see how this gaze was connected to a kind of imperialistic nationalism.

---

[i] For basic historical research into kagaku yomimono I have relied on Itakura Kiyonobu [板倉聖宣] and Nakura Hiroshi [名倉弘],科学の本の読み方すすめ方、仮説社, 1993. Specifically see chapter 「科学読物の生い立ち−日本最初の科学読物」 and the list「日本の科学読物」.

[ii] はじめて学ぶ日本児童文学史, ミネルヴァ書房. 2001, *An Introduction to the History of Japanese Children's Literature.*

[iii] This is pointed out by Suzuki Keiko [鈴木啓子] in her work 『ごんぎつね』をどう読むか (日本文学, 2004.8).

[iv] Please see my work 「少年よ、「猿」から学べ−教育装置としての
『少年世界』」 found in Kaneko Akio's [金子明雄] et. al. 『ディスクールの帝国−明治三〇年代の文化研究』(2000, 新曜社).

[v] For the link between adventure and natural philosophy see Takahashi Osamu's [高橋修]「「冒険」をめぐる想像力−森田思軒訳『十五少年』を中心に」 also found in Kaneko et. al.

Generation of Selves:

Globalization and Identity Matrixing

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

グローバリゼーションとアイデンティティ - マトリクシング

工学院大学　共通課程外国語科　足立　節子
工学院大学　共通課程外国語科　カーニー　マイケル
日本赤十字看護大学　川崎　修一

ABSTRACT: This report for 2007 presents the theoretical developments and applications of the authors' concepts in relation to identity formation. Through the research that is being conducted, the authors have developed a new model to represent how human identity is constructed. They have termed their theory on the identity formation process Identity Matrixing, and have detailed two types of matrixing, Vertical Matrixing and Horizontal Matrixing. Moreover, the theory of the Meta-Symbolic Order has been derived to represent a new layer in the Identity Matrixing process that operates on a global level through Advanced Information and Communications Systems. A key aspect of this theory is the idea of Global Hodological Mapping. This report begins with an overview of the Meta-Symbolic Order and the related concepts. The second section of the report consists of three parts: 1) an application of the theories to the expanding situation of global consumerism; 2) two case studies on regional areas undergoing globalization (one an analysis on globalization and the Japanese psychological infrastructure *amae*; the other an intercultural analysis of Japanese and U.S. depictions of, and attitudes toward war); 3) the utilization of the theories to create programs that foster Global Hodological Maps within individuals in order to develop their abilities in intercultural communications.

Keywords: Identity Matrixing, Vertical Matrixing, Horizontal Matrixing, Meta-Symbolic Order, Global Hodological Mapping, Advanced Information and Communication Systems

1. Introduction

This report for 2007 presents the theoretical developments and applications of the authors' concepts in relation to identity formation. First, an overview of the Identity Matrixing model, Vertical Matrixing, Horizontal Matrixing, the theory of the Meta-Symbolic Order, and the concept of Global Hodological Mapping will be given. The second section of the report consists of three parts: 1) an application of the theories to the expanding situation of global consumerism; 2) two case studies on regional areas undergoing globalization (one an analysis on globalization and the Japanese psychological infrastructure *amae*; the other an intercultural analysis of Japanese and U.S. depictions of, and attitudes toward war); 3) the utilization of the theories to create programs that foster Global Hodological Maps within individuals in order to develop their abilities in intercultural communications.

2. The Meta-Symbolic Order

The concept of the Meta-Symbolic Order, in relation to the process of identity formation in

what Michael Hardt and Antonio Negri have marked as the 3rd Paradigm of economic dominance since the Middle Ages and termed *informatization*, was first presented by the authors as the featured lecture at the Asia Association for Global Studies, *Asia in Global Perspective* in 2006, which was held at Kwansei Gakuin University in Nishinomiya, Japan. The theory was developed further in the paper *The Meta-Symbolic Order: 3rd Paradigm Identity*, presented at the SoLLs.INTEC.07 conference, *Language and Nationhood: Discourses across Cultures and Disciplines*, which was held by the Universiti Kebangsaan Malaysia in May 2007. This paper was published in *Language and Nationhood: Discourses Across Cultures and Disciplines, Proceedings SoLLs.INTEC.07*. The concept and the related theories are discussed in these two papers and also were reported in the 2006 Annual Report for Kogakuin's Research Institute of Science and Technology tilted: *Generation of Selves: the Meta-Symbolic Order & Identity Matrixing in the 3rd Paradigm*.

The authors' concepts are a development of Jacques Lacan's work on the process of identity formation. Lacan postulated that identity is constituted within individuals through a formatting process that begins in infancy. The agents of this process are the cultural constructions that compose the societal set of which the individual is a member. Lacan termed this set of cultural constructions the Symbolic Order. In this process, language is the mechanism by which the elements of the Symbolic Order are transmitted: its structuring of terms and syntax allow for the transmission of messages; moreover, as the system in/under which both the conscious and the unconscious function, language is a foundational element in the matrixing process. The Symbolic Order can, therefore, be held as the whole of the myriad cultural constructions, language playing the dual role of a cultural construction and the medium of transmission, that are matrixed into the human being with the result being the formation of a subjective identity (Lacan: 1998; 279); thus, the authors have termed this process Identity Matrixing. With the Symbolic Order being a set of all the aspects that make-up what can be termed a cultural group, the authors postulate that since there are various cultures on Earth, it can be argued that there are myriad Symbolic Order sets through-out the whole of human cultures.

There is now a layer of cultural constructions that is spread across the world. The development of Advanced Information and Communications Systems has added a global horizontal bridging layer to the Identity Matrixing process. This layer has been constructed across the vertical regional layers of cultural constructions that make up regional Symbolic Orders. During the Identity Matrixing process, an individual's identity is produced from the transmissions of the Symbolic Order. There are myriad cultural constructions that may be grouped into regional or social sets: that is, Symbolic Orders that function only within a particular social, economic, religious, or ethnic grouping. When operating within a closed set, this aspect of the process of identity formation has been termed Vertical Matrixing by the authors. Horizontal Matrixing is that aspect of the identity formation process when a Symbolic Order bridges two or more separate closed set Symbolic Orders. Through Advanced Information and Communications Systems, a global Horizontal Matrixing layer has been built across vertical regional Symbolic Orders: for example, a New York Symbolic Order bridging an Irish-American Symbolic Order and an Italian-American Symbolic Order. The global horizontal bridging layer is transmitted throughout the world and is infused into all the cultures that receive the transmissions; it, thus, interlinks the diverse regions of the Earth. The authors have termed this global horizontal bridging layer of cultural constructions the Meta-Symbolic Order. Michael Featherstone argues in *Genealogies of the Global*, that "a complex global dynamic is emerging which produces a new unstable field, which we are struggling to map" (Featherstone: 2006; 390). By charting the cultural constructions that are now being inculcated into the myriad regions of the world, by considering not only the surface effects,

but also the changes that are occurring in cultural/regional identities, it is hoped that a tenable grasp of this "new unstable field" can be secured. In doing this, and applying these concepts to the design of intercultural communication programs, it is hoped that Global Hodological Maps, which will aid in the efficient navigation of the global landscape, can be fostered within individuals. In Being and Nothingness (1993) Jean-Paul Sartre describes a hodological map as an internalized system of behavioral and communicative patterns that an individual utilizes during their encounters with the Other.

3. The Production of the Global Consumer: Economic Booms and the Destruction of Cultures

In the paper titled *The Production of the Global Consumer: Economic Booms and the Destruction of Cultures*, attention is focused on how economic development and increased access to Advanced Information and Communication Systems affect regional cultures and identities. The paper is to be presented in June 2008 at the ICoSSH'08 conference *Crossing the Border of Knowledge for the Future*, which will be held by the Universiti Sains, Penang, Malaysia.

Over the course of the past fifteen years, many of the regions of South and South-East Asia have been experiencing strong economic growth. Emerging from the shadow of the imperialism of Western powers, these regions utilized labor forces that were economically viable and eager for improved living standards to forge the infrastructures necessary to support modern urbanized economies. Governments eager to play leading roles in the global economic forum have been investing in education, urban development, and Advanced Information and Communications Systems. The result has been a series of economic booms that have quickly and drastically altered the cultural landscape of these regions. On March 25, 2008 Dr. Mahani Zainal Abidin, "argued that the changing demographics [associated with this situation] will be the determining factors for Asia's future;" moreover, Dr. Mahani also addressed the issues of rising incomes, the "expansion of the middle class," an increase in consumerism, and "[m]ore importantly ... changing consumer taste[s]" that are more "in line with global trends" (Mahani: 2008).

In conjunction with the changes in living standards and lifestyles that have been the result of these developments, the notions of the Self, the identities, held by the inhabitants of these areas have been greatly affected.

When a nation, or region, undergoes an economic boom, new concepts of lifestyle and new ideologies will be found imbedded within the influx of capital. As the region prospers, it becomes a market, a target, for global economic entities. They view the ever more affluent regional population as possible consumers. In order to secure the inhabitants of the area as customers, the economic entities must entice them into buying their products: they must convince the people that the products are essential, or generate within the possible consumer a feeling of need, or desire, for the items. Advanced Information and Communications Systems serve this purpose well. Television programs and movies present images of the beautiful, the successful, the cool to be emulated. The internet services as a passageway to every corner of the world; it opens a window into alien lifestyles, trends, and concepts for anyone wealthy enough to possess a computer and a modem. Obviously there are many benefits from these developments: improved living standards, expanded knowledge, and the fostering of empathy between peoples. However, many of the transmissions sent through Advanced Information and Communications Systems are opaque cultural control mechanisms that become matrixed into individuals. If these mechanisms operate internally and invisibly to the individual, then power lies with the transmitting economic entities rather than with the individual.

In *Transculturality: The Puzzling Form of Cultures Today*, Wolfgang Welsch offers the term transculturality as a new marker for how cultures can be perceived. He argues that "the traditional

concept of single cultures" no longer holds merit since "[c]ultures today are extremely interconnected and entangled with each other." Welsch also dismisses the terms interculturality and multiculturality since both retain the "conception of cultures as autonomous spheres" (Welsch: 1999; 194-197). In the concept of transculturality Welsch offers the view that "cultures today are in general characterized by *hybridization*" because "of migratory processes, as well as of worldwide material and immaterial communications systems and economic interdependencies and dependencies" (Welsch: 1999; 198). In the global era, all regional cultures are permeated with cultural constructions that originated in other regions. Considering Hardt and Negri's notions on the economic/cultural imperialism that marks the 3rd Paradigm, *informatization*, it can be held that as regions undergo economic booms and transition into the 3rd Paradigm system, regional cultural systems and regional identities are often altered in a manner that deprives the individuals of the region of their autonomous decision making, for they become programmed by the ideologies of consumerism being transmitted through Advanced Information and Communications Systems by global economic entities

Global capitalism, for its ascendancy, must promote materialism in order to generate the consumers necessary for its survival. In attempting to achieve this, the undermining of regional value systems often occurs. In their stead one finds urban ideals of affluence, represented by the display of accumulated baubles and luxury items. Extended familial and community relationships are replaced with inward focusing satisfaction tied to wealth and the procurement of goods. The growing economy, with its agents programmed by capitalist ideologies of consumerism and materialism, feeds off the flesh of the disintegrating regional culture. Global economic entities must destroy agrarian altruistic value systems; otherwise, they cannot take root in a region. Obviously this is not the image that is presented by these entities. The Japan United Stores Company (JUSCO), which is categorized as a hypermarket, is an anchor company in many South, Southeast, and East Asian shopping malls. On the Sunway Pyramid Shopping Centre website, JUSCO's self description is:

> In order to be successful, it is vital for a shopping centre to have the right environment and tenant mix. Only then will customers be willing to spend endless hours here in pursuit of activities that entertain and help them to relax. Here, the Jusco offers a wide rage of products such as ladies,men and kids wear, as well as a supermarket that brings out many different choices for your convenience! (Sunway Pyramid Shopping Centre website)

Spending "endless hours" pursuing entertainment and relaxation in a shopping centre must surely equate with spending large sums of money. This is just the aim of the Sunway Pyramid Lagoon Resort and Shopping Centre complex in Selangor Malaysia, make money. After all, it is a business. However, it is a great place to shop, offering consumers almost anything they could need or want, as well as having many dining establishments of varying price ranges, and different types of entertainment, including an ice rink and a water park. It actually would serve as a great vacation destination for a modern family.

However, individuals, in order to protect the improved lifestyles that economic development brings to a region, need to be aware of the forces formatting their identities. For it is a problematic situation when we are consuming in order to fulfill our sense of self-worth. Being unwittingly programmed by consumeristic ideologies, we become disempowered members of a society controlled by economic entities whose sole view of us is purchasers of their wares. To avoid this state, governments, educators, and parents must ensure that their charges possess a knowledge of the concepts of Identity Matrixing, the Meta-Symbolic Order, Global Hodological Mapping and Advanced Information and Communications Systems. An

awareness of these concepts will allow individuals to benefit from the positive aspects of globalization without being oppressed by its consumeristic ideologies of control.

4. Case Studies

4.1 Globalization and Identity: A Case Study of Japanese *Amae*

This case study discusses the possible failure of Japanese *amae* psychology in the 3rd Paradigm of *informatization,* where Advanced Information and Communications Systems, non-*amae* systems directly engage individuals. The paper also presents a possible adjustment to the *amae* world perception that will make *amae*-formatted individuals more capable of operating within the Meta-Symbolic Order and the global landscape. The paper will be presented in June 2008 at the ICoSSH'08 conference *Crossing the Border of Knowledge for the Future*, which will be held by the Universiti Sains, Penang, Malaysia.

In the paper the characteristics of *amae* structure are considered in comparison with Jacques Lacan's notion of the Imaginary Order. The Imaginary Order is:

> a pre-Oedipal phase where an infant is as yet unable to distinguish itself from its mother's body or to recognize the lines of demarcation between itself and objects in the world; indeed, it does not as yet know itself as a coherent entity or self. Hence, the imaginary phase is one of unity (between the child and its surroundings), as well as of immediate possession (of the mother and objects), a condition of reassuring plentitude, a world consisting wholly of images (hence "imaginary") that is not fragmented or mediated by difference, by categories, in a word, by language and signs. (Habib: 2008; 91)

Compare this to Takeo Doi's description of *amae*:

> It is obvious that the psychological prototype of *amae* lies in the psychology of the infant in its relationship to its mother. A few observations, then, on this point: first, it is interesting that no one says of a newly born child that it is *amaeru*-ing [*amaeru* is a verb form of *amae*]. A child is not said to *amaeru* until, in the latter half of the year following its birth, it first begins to become aware of its surroundings and to seek after its mother.
>
> *Amae*, in other words is used to indicate the seeking after the mother that comes when the infant's mind has developed to a certain degree and it has realized that its mother exists independently of itself. In other words, until it starts to *amaeru* the infant's mental life is an extension, as it were, of its life in the womb, and the mother and child are still unseparated. However, as its mind develops it gradually realizes that itself and its mother are independent existences, and comes to feel the mother as something indispensable to itself; it is the craving for close contact thus developed that constitutes, one might say, *amae*. (Doi: 1978; 74)

Doi is describing a transitional phase from the Imaginary Order to the Symbolic Order. It is notable that though both the Imaginary Order and *amae*'s "psychological prototype" consider the unity of the child and mother, the significant difference is in the presentation of the world where the mother-child unity exists. While Lacan's unity is about the unity between "the child and its surroundings," which includes "immediate possession (of the mother and objects), a condition of reassuring plentitude" (Habib: 2008; 91), *amae*

picks out the mother-child unity and discards the world that the unity exists in. Thus, *amae*'s focus is upon an ideal state of emotional stability, perceived by the child, from being in unity with the mother. The *amae* structure is a mechanism that forms a psychologically stable state within a child where no external threats exist; the child's mother is the child's whole world and the existence of the rest of the world is extinguished from the child's mind. It is a psychological system that was developed to maintain the psychological unity after physical separation.

The word *ba* is introduced in relation to decision-making in a group: *ba* is an *amae* unit of people devised to foster emotional unity. Decisions are made by relinquishing individual will and sharing the same will with whoever is occupying the mother (leader/protector) role: this brings stability to the group.

Discussions on three instances are based upon these characteristics. Two from where the *amae* structure helped Japan to adapt to globalizing situations: the opening of the nation in the mid-1800s and the Japanese reaction to losing World War II. The final one is from the current situation where *amae* is creating problems within Japanese identities in a global setting. The first two instances were successful because the Japanese were able to maintain a separateness from the world based on a binary oppositional view of Japan and the world outside of Japan that fixed Japan as a transcendental signified. However, the current global situation undermines the *amae* system because Japan's position as a transcendental signified is deconstructed by the operations of Advanced Information and Communication Systems. The non-*amae* world engages directly with individuals with Japanese *amae* Symbolic Orders. The Japanese, like much of the world, today find their gratification in shopping: their consumerism brings them satisfaction. The Meta-Symbolic Order is, thus, in conflict with the Japanese Symbolic Order. The Meta-Symbolic Order allows individuals to take part in the global consumer forum regardless of nationality.

The problem with *amae* is that it is an introverted child-centered system with a focus on emotional stability granted by a mother's protection. *Amae* is not capable of associating with, showing interest in, or respect for a non-*amae* structured world. The existence of a world outside Japan, unless it comes to you, is not perceived. Inter-active communications between *amae* identities and non-*amae* identities are difficult because *amae* does not have the means to perceive the other as a different independent entity, as an entity outside of a *ba*.

To survive in the global paradigm, the *amae* perception of the world needs to be rectified. A concept of global communications, with a philosophy of serving the global community needs to be fostered in the *amae* perception. The key in changing the psychological structure to better meet the needs of the global paradigm is to reconsider the role of the mother in the *amae* system. The mother is the access point to the outside world for the child. If the mother can present the child with a philosophy aimed toward global communicativeness, then Japanese perceptions of the world can be adjusted. This will enable the child, through knowledge of the Meta-Symbolic Order and the utilization of Advanced Information and Communications Systems to develop a Global Hodological Map with which to navigate the global paradigm.

4.2 Japan and the United States: An Inter-cultural Analysis of Depictions of, and Attitudes toward, War

Prior to the *amae* analysis on globalization and Japanese identity, the authors conducted a study on culturally constructed perceptions of, and attitudes toward, war in Japan and the United States. This study led to the paper titled *Japan and the United States: An Inter-cultural Analysis of Depictions of, and Attitudes toward, War*, which was presented in February 2008 at the 29th Annual Meeting of the Southwest Texas Popular/American Culture Association in Albuquerque, New Mexico, U.S.A. This work lent insight into ideological traits, particularly logocentric Japanese discursive

formations before, during, and after WWII, when Japanese concepts were contrasted with U.S. concepts. Terrence Malick's Thin Red Line, Clint Eastwood's Letters from Iwo Jima, and Stanley Kubrick's Full Metal Jacket were utilized in the study.

The instigation to investigate the attitudes and beliefs that were/are prevalent in Japan and the U.S. regarding war was the obvious discrepancy between Japanese and non-Japanese perceptions of the above films. The conceptions and beliefs regarding war that were under scrutiny in this study were garnered from historical texts, through the authors' deconstructions of representations of war, and from interviews and surveys conducted in Japan. The following are two examples from the study.

In the scene from Full Metal Jacket where the U.S. soldiers sarcastically display their respect to a dead Vietnamese soldier by celebrating his birthday, Japanese reactions were unanimously negative towards the U.S. Marines. The perception was that the US marines were mean, that they were disrespectful to the dead Vietnamese soldier. However, it was not so much the Marines sarcasm that elicited this response, but rather the fact that the Marines had killed him: the Marines were equally sarcastic regarding dead Marines; however, since they had not killed them, the Marines were not seen as being bad in this case. The attitude reflects the mind set of today's Japanese that war is bad regardless of the situation. On the contrary, non-Japanese reactions to the Marines sarcasm were not negative: the view was that the U.S. marines were honoring the dead Vietnamese soldier for his valor, that there was a feeling of camaraderie between the U.S. Marines and the Vietnamese solder.

The Japanese reading of the scene stems from the following Japanese discursive formation, which can be traced back to the late 1800s and the forging of the Japanese identity. Japan had no choice but to open the nation and end the closed-door policy when Commodore Perry visited Japan in 1853 with his squadron armed with modern weaponry. Perry requested permission to deliver a letter from the U.S. President, Millard Fillmore. The request was combined with a threat that if denied he would use the modern weaponry against Japan. Awakened to the threat of modern technology and facing the danger of colonization, building a modernized/Westernized nation became Japan's national goal. The Meiji Era (1868-1912) had two slogans: "Enrich the country, strengthen the military" (*fukoku kyohei*), and "Leave Asia, join Europe" (*datsua nyuuou*). The Meiji Restoration took place under leaders who had a strong awareness of the necessity to change Japan's feudal society into a modern industrialized country. Japan's aim was not to be on the side of the colonized but to be on a level playing field with the Western Powers.

Japan achieved its aim of becoming a modernized industrialized nation in a short span of time. Japan's rapid development as an industrialized nation was revealed in two wars. The first one was the Japanese victory in the Sino-Japanese War (1894-1895), which demonstrated its successful modernization and furthered the power shift in Asia from China to Japan. For the imperialistic powers, China's further weakened state allowed them to gain deeper inroads into the country. The second war was the Russo-Japanese War (1904-1905). Japanese victory was an unexpected turn of events in the world situation at that time: an imperialistic power losing to a rising, yet inferior nation, in East Asia. The Japanese felt that they were now ranked amongst the "first rate countries" (*ittokoku*), the Great Powers. From this time, Japan made moves to take part in the frenzy of imperialism and create its own empire: the annexation of Korea 1910, the Manchurian Incident 1931, Rehe Province 1932, Hebei and Chahar Provinces 1935, the Marco Polo Bridge Incident 1937, and war with the Dutch, English, and United States in 1941. The Japanese course of action met with successes, empire building-wise, until Japan was put on the defensive in June 1942 after the battle of Midway.

Japan was able to be successful because the leaders fabricated a Japanese identity and system to serve the national cause. First what the leaders did was to fabricate and implant a Japanese identity:

they layered a horizontal bridging Symbolic Order of Japanese-ness across the existing *han* Symbolic Orders. When Commodore Perry arrived in 1853, Japan was divided into different feudal domains, *han*, each ruled by a *daimyo*, a feudal lord. The formation of the Japanese identity was enacted when the leaders of the Meiji Restoration had *daimyos* "return" their domains to the Emperor and declared that the entire "nation" of Japan was to be governed by the Meiji Emperor's government. In the early 1900s, people were presented with the idea that all the Japanese were descendents of emperors who were descendents of the Sun-goddess.

By WWII the Emperor was seen as the embodiment of Japanese superiority: he had become the transcendental signified, the center of the Japanese Symbolic Order. However, after the Human Proclamation of the Showa Emperor, the ideology of Japanese superiority, however insubstantial it may be, remained. Thus, after the unconditional surrender, the Japanese formatted themselves with the idea that engaging in any war, no matter the reason, is bad. This attitude is held by the Japanese as signifying their superiority as the most civilized of nations. This was reflected in the Japanese reaction to the aforementioned scene: the attitude held disables them from discerning the respect the U.S. Marines display for their enemy. This discloses, without the Japanese being aware of it, their belief that Japan is superior to the U.S. regarding their civility.

In the Thin Red Line Japanese troops before and after the major battle sequence are depicted. Pre-battle, the Japanese are steady and determined for their Symbolic Orders have no perception of losing, because they are superior. However, after losing the battle, the Japanese are unnerved and psychotic; the incomprehensible defeat in battle shattered their "reality," breaking down their concept of "normal" social functioning, and leaving them deranged. Juxtaposed to this portrayal of the Japanese troops are the U.S. infantry. Before the battle the infantry convey a much greater sense of nervousness than do the Japanese. After the encounter, the infantry give no display of celebration for their victory, but rather a sense of relief at having survived can be discerned. A contributing aspect to this can be held as the general U.S. soldier's motivations in the battle, which are matrixed into their identity by their Symbolic Order: survive, protect comrades, revenge and secure "freedom."

5. Educating Engineers for the 3rd Paradigm: Identity Matrixing and Global Hodological Mapping

This paper considers intercultural interaction education at Japanese universities, particularly with students studying technology in mind, analyzes the current socio-economic systems prevalent on the global stage, projects how these systems influence identity, and offers two courses of study, one for undergraduates and one for postgraduates, which will prepare students to meet the needs that will maintain Japan's position in the world as one of the more stable nations economically and socially. The paper is to be presented in August 2008 at the 2008 JSEE Annual Conference *Engineering Education for Innovation International Session International Cooperation in Engineering Education*, which will be held by the Graduate School of Kobe University, Kobe, Japan.

While the myriad regions of the world are governed by various economic systems, on a global level the dominant economic system, the controlling system of the 3rd Paradigm, is *informatization*. In order to secure Japan's economic and social stability in this paradigm, Japanese institutions of higher education must revitalize their approach to teaching cultural studies and foreign languages, particularly when English centered since it is the *lingua franca*. To achieve these aims a thorough scientific understanding of the processes of human identity formation must be possessed to ensure that the necessary attention be given to the fostering of Global Hodological Maps within individuals when designing intercultural communication programs.

The first section of the paper provides an overview of Lacanian concepts related to the structuring and production of human identity, in particular the Symbolic Order. This section finishes

with an explanation of the authors' theoretical model of the process of Identity Matrixing through and by cultural constructions. In the second section, attention focuses on the Hardt and Negri theory of economically dictated social paradigms (1st Paradigm, Agriculture; 2nd Paradigm, Industry; 3rd Paradigm, *Informatization*) in order to reveal threads that interlink economic systems, cultural formations, and psychological patterns within and between regional *epistemes*. The authors' concept of the Meta-Symbolic is the focus of the third section. Here attention will be upon the diaspora of discursive formations, in particular those that are U.S./Euro-centric in origin. It will be shown that these discursive formations, which are fundamental in the process of globalization, act to matrix within individuals a globalized layer of identity. The paper will conclude with the outlining of two courses of study designed by the authors for students of higher education in Japan. The approach advocated in these courses of study is multifaceted in its construction so as to address both the linguistic and cultural requirements that are necessary to foster intercultural communication. Central to this is the concept, or methodology, of generating Global Hodological Maps within the students by which they can navigate the globalizing landscape while still maintaining the integrity of their regional/national cultural identities. By providing university students of engineering and technological disciplines with a critical thinking approach to intercultural interaction, Japanese universities will be enabling the students to secure a more positive and stable future not only for themselves and Japan, but also for the world in general through their contributions to a technologically advanced human society.

6. Conclusion

As seen in the four papers described in this report, knowledge of the concepts of Identity Matrixing (both Vertical Matrixing and Horizontal Matrixing), the Meta-Symbolic Order, Global Hodological Mapping, and Advanced Information and Communications Systems will help individuals better understand the effects of today's ongoing globalization on every aspect of human existence. Furthermore, this understanding will foster within individual identities a mechanism to counter the controlling ideologies being transmitted through the Meta-Symbolic Order, therefore, allowing them to benefit more fully from the positive aspects of globalization.

Bibliography

Adachi, Setsuko & Michael Kearney, 2006. *Generation of Selves: the Meta-Symbolic Order & Identity Matrixing in the 3rd Paradigm Part I&II.* In: Research Institute of Science and Technology Kogakuin University, Annual Report No. 14, for the year 2006. (pp. 137 – 162).

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

Featherstone, Mike, 2006. *Genealogies of the Global.* In: Featherstone, Mike & Couse Venn, et al (eds), 2006. Theory, Culture & Society: Special Issue on Problematizing Global Knowledge. Volume 23, Numbers 2-3, March – May 2006. London: Sage Publications. (pp. 387 – 392).

Habib, M.A.R., 2008, Modern Literary Criticism and Theory: A History, Oxford: Blackwell Publishing.

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

Lacan, Jacques, [trans: Sheridan, Alan], 1998. The Four Fundamental Concepts of Psycho-analysis. London: Vintage Random House.

Mahani Zainal Abidin, 2008. *The Impact of Changing Demographics and Need for Human Capital in Asia's Development.* Presentation at the Asian Development Bank Institute's Distinguished Speaker Seminar. http://www.adbi.org/event/2513.mahani.distinguis

hed.speaker/

Sartre, Jean-Paul, [trans: Barnes, Hazel E.], 1993. Being and Nothingness. New York: Washington Square Press.

Sunway Pyramid Shopping Centre website: http://www.sunwaypyramid.com/tenants/tenantslisting.asp

Welsch, Wolfgang, 1999. *Transculturality: The Puzzling Form of Cultures Today*. In: Featherstone, Mike & Scott Lash (eds) 1999. Spaces of Culture: City, Nation, World. London: Sage Publications. (pp. 194-213).

(Adachi, Setsuko and Michael Kearney)

前十字靭帯三重束再建術のロボットシステムによる解析・評価

工学院大学機械工学科　藤江　裕道，関口　勇，小久保　邦雄
大阪大学医学部整形外科　史野　根生

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE 3-BUNDLE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION

Hiromichi Fujie, Isamu Sekiguchi　Department of Mechanical Engineering,
Kunio Kokubo　Kogakuin University
Konsei Shino　Osaka University Medical School

ABSTRACT: Analysis and assessment of the human knee joint and its reconstruction technique in surgery were performed in the present study. A multi-degree of freedom (DOF) robotic system has been developed in which a custom made 6-DOF manipulator system was combined with a 6-DOF load transducer for a real-time 6DOF position/force feedback control. All the actuators attached to the axes of the manipulator were position control-based actuators for a reliable position/force-control, while a LabVIEW-based new control program runs on a Windows PC. Hybrid control of position of, and force/moment applied to the knee joint was possible with the system. Using the developed system, the mechanical function of the human anterior cruciate ligament (ACL), one of the most important ligaments in the knee, was determined. In particular, we focused on the mechanical function of the 3 bundles of the ACL; anteromedial bundle, posterolateral bundle, and intermediate bundle. Obtained results revealed that the function of the posterolateral bundle is important near full extension while the function of the anteromedial bundle is important at flexion angle close to 90 degree, which were similar to previously obtained data. We have also found that the function of the intermediate bundle is constantly important during all flexion angles as compared with the other two bundles. Results strongly suggest that it is better to reconstruct the three bundles individually for better clinical result than traditional single-bundle reconstructions.

1. はじめに

膝関節は不思議な構造を有する荷重関節である．同じ荷重関節でも股関節は，回転３自由度を持たせる必要性から球形状である．したがって神の設計である生体股関節も，その人工的な代替物である人工股関節も，関節面はすべて球形状である．ところが生体膝関節は，少なくとも設計工学的には説明不可能な形状を有している．神の設計方針の詳細が我々には理解できないため，その代替物である人工膝関節は千差万別な形状となっている．

股関節は大きな筋肉で囲まれているため，関節近傍の骨を触覚することは難しい．これに対し膝関節の場合は，近傍の骨を触覚することができる．これは歩行や走行時において下肢全体で消費されるエネルギーを低減させるために，膝関節が，筋肉を極力排除して靭帯で骨をつなぐ，軽量・コンパクトな構造をとっているためで，このことが，我々が唯一窺い知ることのできる膝関節の設計方針であろう．しかし，軽量・コンパクトである分，損傷頻度は高い．なかでも前十字靭帯は最も損傷しやすい靭帯であり，自然治癒が望めないこともあって，この靭帯の損傷に対してどのような治療を施すかが臨床的に大きな問題となっている．本研究では，この前十字靭帯の力学的な機能の解析と損傷時における治療法の改善に着目している．

我々の研究グループはこれまでに，大阪大学医学部整形外科との共同研究の下で，前十字靭帯の力学機能解析を行い，臨床現場に還元できる有用なデータを得てきた．また，そのデータを下に靭帯再建術の評価・改善を行い，前十字靭帯を構成する２つの線維束（前内側線維束と後外側線維束）を別々に再建した方が，再建後の膝の力学特性が向上することを明らかにした．この結果に基づいて，大阪大学関連病院では，前十字靭帯再建手術において，２つの線維束を別々に再建する２重束再建術が用いられている．しかし，近年の詳細な解剖学的観察結果によれば，前十字靭帯は３つの線維束（前内側線維束，後外側線維束，中間束）に分割できることが示されており，再建術においても，３つの線維束を独立して再建する方が，再建後の膝機能を向上させることができる，という考え方が浮上している．本研究ではこの再建方法を，前十字靭帯３重束再建術と呼ぶことにし，その妥当性について独自に開発したロボットシステムを用いて，実験的に解析・評価を行うことを目的とした．

2. 膝関節の機構と旧ロボットシステム

生体膝関節の力学機能をバイオメカニクス的観点から理解し，得られた知識を臨床に還元するためには，膝関節全体や各構成要素を多自由度において力学試験し，詳細なデータを得ることが必要となる．これは，自由度の少ない一般的な材料試験機では実現できない．本研究代表者らは産業用の多関節ロボットに改良を加えて６自由度の関節力学試験機を開発し，これを実現した実績を有している[1]．ロボットハンド先端に６軸力センサーを固定し，その先端に取り付けられた骨固定冶具に膝関節を固定する構造とした．６軸力センサは３力と３モーメントの同時計測が可能なセンサであり，膝に生じる力およびモーメントの計測および制御に用いられた．膝関節の６自由度は臨床で用いられている定義を生かしつつ，機構学的に定義されたGrood, Suntayの膝モデル[2]を用いた．このモデルはFigure 1 に示すごとく，大腿骨に水平方向に固定された大腿骨軸，脛骨の骨軸方向に固定された脛骨軸，および両軸に垂直な浮遊軸の３軸からなる．大腿骨軸に関する回転変位と直動変位を屈曲伸展と内外反，脛骨軸に関する回転変位と直動変位を内外旋と遠近位，浮遊軸に関する回転変位と直動変位を内外反と前後方とし，これら臨床的な膝自由度を用いることにより膝の運動や荷重状態を表現することの可能な機構モデルである．研究代表者らは，この膝モデルの各自由度に生じる力/モーメントと６軸力センサからの出力の関係，および膝モデルの各自由度の変位とロボット６軸の変位の関係を，それぞれヤコビ行列により記述した[3]．そして，ロボットシステムを用いることにより，膝関節の６自由度に任意の変位または力/モーメントをあたえる方法論を開拓した．

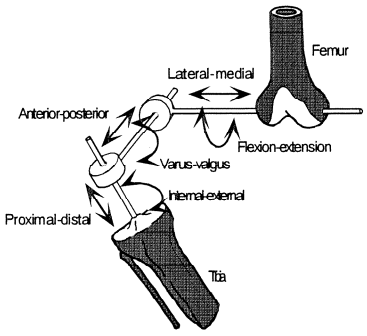


Figure 1: Six degrees of freedom model of the human knee joint [2]

これらの方法論を用いて新たなロボットシステムをFujieら[4]，およびWooら[5]が開発したが，いずれも産業用多関節型ロボットを改良したシステムであり，膝関節を力学試験するための制御性や精度および担荷能力が不十分であるという問題があった．また，

市販ロボットを基本にしていたことから力やモーメントの制御を行うことが困難であり，かつ誤差が大きいという問題があった．

3．新ロボットシステムの開発

本研究では関藤，藤江らによって関節試験用に設計，開発された直動３軸・回転３軸型マニピュレータ[6]を用いることで制御性，精度および担荷能力の向上を図り，また制御方式の変更を行うことにより，高精度かつ高速な位置および力/モーメント制御が可能なシステムの開発を試みた（Figure 2）．ロボットシステムにより，膝関節が日常動作中に受ける力/モーメントや変位を実験的に再現するためには，膝関節座標系（Figure 1）の６自由度それぞれの力/モーメントまたは変位を任意に制御することが必要となる．これを実現するために開発した制御方法について以下に示す．

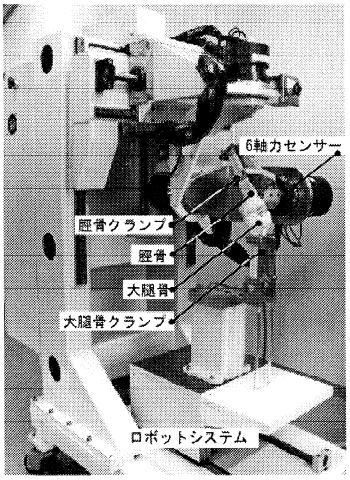


Figure 2: Robotic system for biomechanical tests of the human knee joint [6]

3.1 位置制御ベース力/モーメント制御方法１

ロボット各軸の駆動方式を位置制御（パルス制御）方式とした．Windows が充分高速化された現状を踏まえ，汎用性を考慮して OS を Windows XP（Microsoft）を用い，プログラム開発環境を考慮して LabVIEW（National Instruments）を用いることにした．LabVIEW はフローチャートを描く感覚でプログラミングすることが可能なプログラム言語であり，サブルーチンである VI の扱いも簡単であるため，従来のテキストベースのプログラム言語に比べて，プログラム開発が格段に容易になる．

膝関節座標系の６自由度それぞれの力/モーメントの偏差を膝関節座標系上で変位に変換し，この変位をロボットで制御する方法とした（Figure 4）．計算結果によりロボット各軸を少しずつ動かす方法のため低速ではあるが，手堅い方法である．

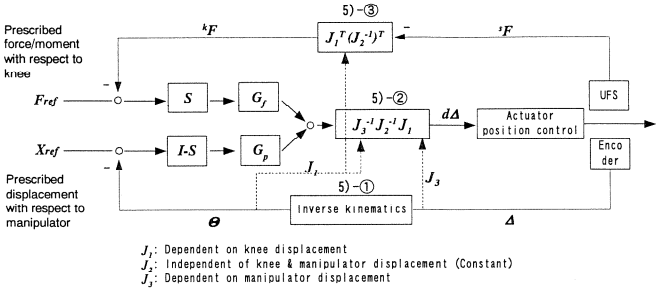


Figure 3: Flow of the position control-based force/displacement control of the knee (3.1)

3.2 位置制御ベース力/モーメント制御方法2

3.1の方法を改良し，最終的なパルスの出力を高速化し，かつ PID 制御することで，高精度かつ比較的高速な力/モーメント制御を可能にした．20 ms ごとに，膝関節座標系上で表された変位の偏差をアクチュエータ各軸に変換し，この偏差に相当するパルスを出力することで，見かけ上，アクチュエータ各軸を速度制御させた．これに加え，様々な状況に対応できるよう，LabVIEW の PID 機能を用いて PID 制御を行った．

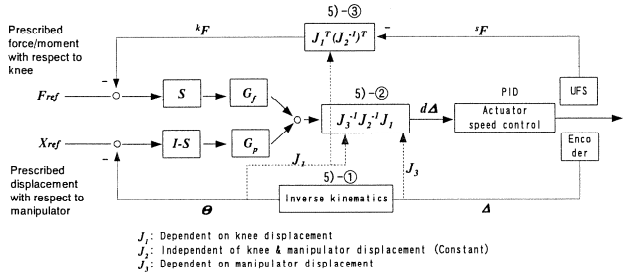


Figure 4: Flow of the modified position control-based force/displacement control of the knee (3.2)

3.3 ハードウエアのコンプライアンス

ロボットシステム全体の大腿骨クランプと脛骨クランプ間のコンプライアンスは，Figure 1 の座標系に沿って，X方向に0.003 mm/N，YおよびZ方向に0.001 mm/N となり，高剛性化が実現できていることが確認された[6]．X軸方向がやや低剛性ではあるが，膝関節の力学試験においては X 軸方向は膝の内外側方向に一致し，この方向には大きな荷重はかからない．大きな荷重のかかるYおよびZ方向に剛性が高いことから，実際の試験において問題が生じないと考えられた．

3.4 レーザービームによる膝関節座標系の固定

ロボットシステムで膝関節を試験するためには，膝関節座標系を膝関節に固定し，ロボットの座標系との位置関係を求める必要がある．そこでレーザービームを膝関節特徴点に照射し，膝関節座標系を膝関節に固定する方法を開発した（Figure 5）[7]．ロボットの回転軸にレーザー照射装置を組み込み，軸上にレーザーが照射される仕組みとした．そして，膝関節の特徴点である内側と外側の側副靭帯付着部を２方向から照射することでその位置を計算し，両付着部を結ぶ直線を大腿骨座標系のZ軸，両付着部の中点を膝関節座標系の原点とした．大腿骨座標系のY軸は鉛直下方とし，X軸は両軸に垂直な軸として求めた．求めた大腿骨座標系を大腿骨に固定した．また，試験開始時には，脛骨座標系は大腿骨座標系に一致していると仮定して脛骨に固定した．そして，両座標系間を膝関節座標系（Figure 1）で連結した．

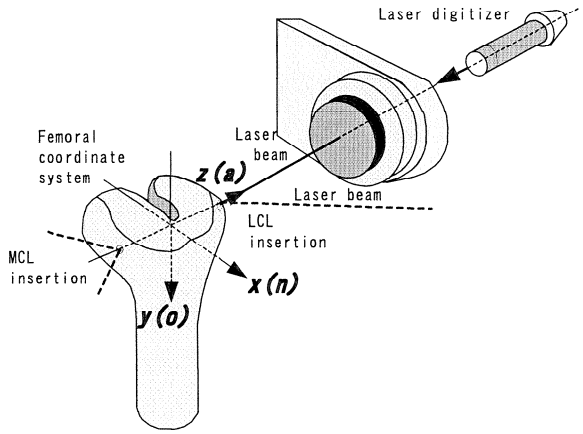


Figure 5: Laser-digitization of the medial and lateral collateral ligament insertion sites of the knee[7]

４．１ 健常膝と健常靭帯の力学機能解析

膝靭帯の中でも損傷頻度が高く臨床的に重要とされる前十字靭帯(ACL)の機能解析結果について示す．膝関節の機構をFigure 1に示す６自由度モデル[2]で表し，このモデルに沿って膝の運動と負荷を３次元で制御するアルゴリズム（**３．１の方法**に相当）[3,6]を用い，整形外科医が徒手により膝の壊れ具合を調べる臨床試験等を再現した．計測には，ヒト健常切断膝(n=6)を用いた．靭帯の力学的な機能は張力を発生させて骨と骨の相対的な運動を拘束することにあるから，その機能評価を行うためには張力を計測する必要がある．ここでは，研究代表者らが開発した，重ね合わせの原理の下，６軸力センサーの出力を座標変換させる方法[8]を用いた．ヒト健常膝関節の前十字靭帯を３つの線維束（AM束，PL束，および中間束（IM））に分けて，それぞれの線維束がどのような機能を有しているかについて検討した．この線維束の分離ではNorwoodの定義[9]に従って，先の研究で２つの線維束に分離した場合のAM束をさらに二分し，その内側をAM束，外束をIM側とした（Figure 6）．

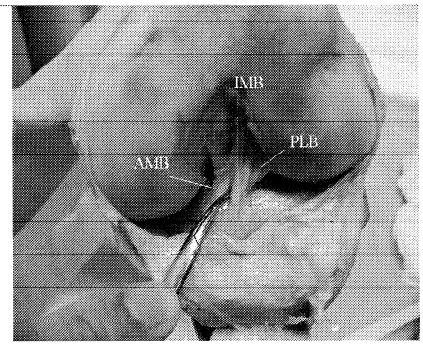


Figure 6: Division of the ACL into AM, IM, and PL bundles following a method by Norwood [9]

その結果，膝に前方力が作用する際には，伸展位ではPL束にはたらく力が，屈曲位ではPL束にはたらく張力が比較的大きくなるという，過去の報告，および臨床的事実と合致する結果が得られた（Figure 7）．これらの結果に加え，どの屈曲角度でもIM束に比較的大きな力が作用していることが分かった[10]．この結果から，ACL再建術においては伸展位ではPL束の機能を，屈曲位ではAM束の機能を再建すべきであるが，全屈曲角度において，IM束の機能再建が重要であることが分かった．

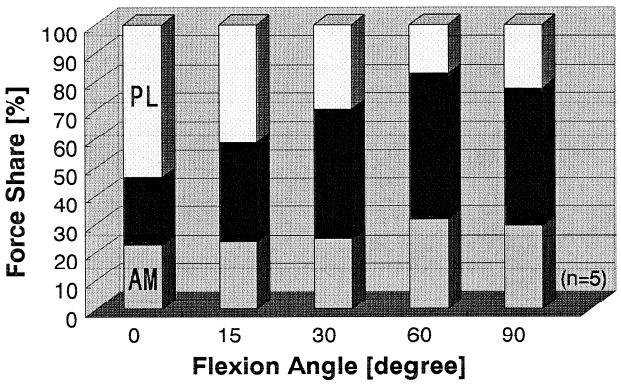


Figure 7: Force share in the 3 ACL bundles in response to 100 N of anterior load

次に膝関節に内旋モーメントを5 Nmまで与えた際の張力の割合をFigure 8に示す．屈曲角度に対する張力割合の傾向は，前方力負荷時（Figure 7）と似ているが，IN束の割合が減り，AM束の割合が増加した[10]．この結果から，膝に内旋モーメントが作用する際

には，伸展位では PL 束が重要だが，屈曲位では AM 束および IM 束が重要であることが分かった．

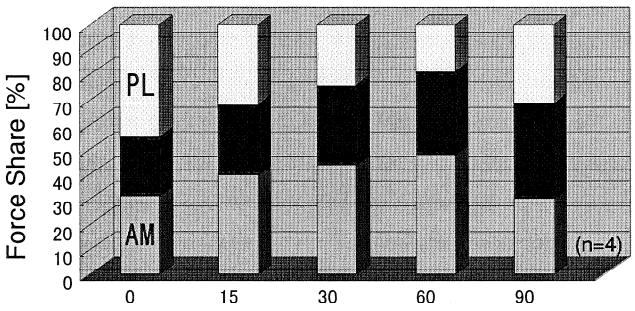


Figure 8: Force share in the 3 ACL bundles in response to 5 Nm of internal moment

5. まとめ

ロボットシステムにより得られた前十字靭帯３線維束の力学的な機能等について報告した．本研究の結果は膝関節の特性を定量的に示すデータであり，これらを詳細に把握することで，関節外科におけるより優れた治療方針や手術方針を立てることが可能となる．ロボットシステムを用いて膝関節の諸特性を調べる本研究は，臨床医学に対し，きわめて重要なデータを提供すると考えられる．

今後は，正常膝に関する基礎データを増やすと同時に，前十字靭帯再建膝の評価を行っていく．

謝　辞

本研究の遂行にあたり，平野貴志君（機械工学専攻修了生，現㈱SMC），深野祥司君（機械工学専攻２年生），大坪英則氏（札幌医科大学整形外科助手），鈴木大輔氏（札幌医科大学解剖学教室助手），史野根生氏（大阪府立大学総合リハビリテーション学部教授）の協力を得た．謝意を表する．

文　献

1) Fujie, H., Mabuchi, K., Woo, S. L-Y., Livesay, G. A., Arai, S., and Tsukamoto, Y., “The Use of Robotics Technology to Study Human Joint Kinematics: A New Methodology,” ASME Journal of Biomechanical Engineering, Vol.115 (1993) pp.211-217.

2) Grood, E. S., and Suntay, W. J., "A Joint Coordinate System for the Clinical Description of Three-Dimensional Motions: Application to the Knee," ASME Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 105 (1983) pp. 136-144.

3) Fujie, H., Livesay, G. A., Fujita, M., and Woo, S. L-Y., “Forces and Moments in Six-DOF at the Human Knee Joint: Mathematical Description for Control,” Journal of Biomechanics, Vol. 29 (1996) pp. 1577-1585.

4) Fujie, H., Mabuchi, K., Itoman, M., Tsukamoto, Y., Livesay, G. A., Woo, S. L-Y., Sasada, T., and Ikeuchi, K., “The Use of a Robotic System for the Study of Joint Biomechanics: In-Situ Force in the Human Anterior Cruciate Ligament,” Proceedings, 1995 Advances in Bioengineering (ASME), Hull M.L., ed., Vol. 31 (1995) pp. 219-220.

5) Woo, S. L-Y., Chan, S. S., and Yamaji, T., “Biomechanics of Knee Ligament Healing, Repair and Reconstruction,” Journal of Biomechanics, Vol. 30 (1997) pp. 431-439.

6) Fujie, H., Sekito, T., and Orita, A., “A novel robotic System for Joint Biomechanical Tests: Application to the Human Knee Joint,” ASME Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 126 (2004) pp. 54-61.

7) 野村良平, “６自由度マニピュレータによる膝関節の実験的機構解析,”工学院大学大学院機械工学専攻修士論文 (2004).

8) Fujie, H., Livesay, G.A., Woo, S. L-Y., Kashiwaguchi, S., and Blomstrom, G., “The Use of a Universal Force-Moment Sensor to Determine In-Situ Forces in Ligaments: A New Methodology,” ASME Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 117 (1995) pp. 1-7.

9) Norwood, LA., Cross, MJ, “Anterior cruciate ligament functional anatomy of its bundles in rotatory instabilitis,” American Journal of Sports Medicine, Vol. 7 (1979) pp. 23-26.

10) Fujie H., Hirano T., Fukano S., Imura M., Katakai D., Otsubo H., Suzuki Y., NAkata K., and Shino K., “Force Sharing in the Three Bundles of the Anterior Cruciate Ligament: Biomechanical Analysis Using a Novel Robotic System,” Proceedings of the 8th International Symposium on Ligaments and Tendons, Stanford (2008) pp.18.

軸流型スパイラル粘性マイクロポンプに関する基礎的研究
－　マイクロポンプの性能・特性解明　－

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　　佐藤光太郎
名古屋工業大学大学院工学研究科　　横田和彦

Basic Study of the Axial-Flow Viscous Micropump Using a Spiral Rotor
- Performance and Characteristic of the Micropump -

Kotaro SATO, Faculty of Global Engineering,　Kogakuin University
Kazuhiko YOKOTA,　Nagoya Institute of Technology

ABSTRACT : In the present paper, a new viscous micropump using rotor with groove is proposed. Its pressure characteristics are investigated by using a theoretical analysis and a model experiment. In the theoretical analysis, the two-dimensional lubrication theory for a straight duct is adopted. In the model experiment, the low Reynolds number flow in practical micropumps is realized by using glycerin as working fluid, and a centimeter-scale (not micrometer-scale) model pump is examined. With respect to the pressure characteristics, the theoretical results show qualitative agreement with the experimental ones. The pressure at zero flow rate obtained is quite larger than that of an existing viscous micropump.

Key Words: Micromachine, Viscous Micropump, Theoretical Analysis, Model Experience, Pressure Performance

１．緒論

マイクロポンプは MEMS(Micro-Electro-Mechanical System)の発展の中で流体駆動のキーデバイスであり，様々な分野への応用が期待されている．例えば，携帯型薬液注入装置，遺伝子搬送用液体制御，μTAS(Micro Total Analysis System)あるいは LOC(Laboratory on a Chip)と呼ばれる超小型化学分析システムでの液体輸送，ウルトラマイクロガスタービンやマイクロマシンの動力源などが挙げられる．これらの広い分野に対応するためには，現在のポンプがそうであるように，それぞれの使用環境・使用条件等に応じた多様なマイクロポンプが必要とされる．そのため様々なマイクロポンプが考案・提案され，活発な研究開発が行われている．

その例としては，Park ら[1]の共振駆動を用いた圧電式，Kondoh ら[2]のバイモルフ形 PZT 素子を用いたぜん動運動式，Yokota ら[3]の SMA(Shape Memory Alloy)駆動式，Hattori ら[4]の熱感応性高分子ゲル式，Miyazaki ら[5]の気泡による表面張力式，Hosokawa ら[6]の電磁流体力学式，Hattori ら[7]の浸透圧式，Fujiwara ら[8]の電気浸透流式，粘性式[9-15]等が挙げられる．

その中で，粘性式は，脈動が発生しない，連続的液体輸送が可能，比較的簡単な構造，流量制御が容易などの利点を持っており，様々な研究が行われている．一方で，吐き出し圧力が低いという欠点も持っている．そこで本研究では，より高圧を発生させることのできる粘性マイクロポンプを提案し，潤滑理論を用いた理論解析，センチメータスケールのモデル実験を用いて，その圧力性能を解明することを目的としている．

ここでナノメータ(nm)スケールの膜厚の流体潤滑（すなわち nm 隙間における液体流れ）を扱った研究では，

膜厚が 10 nm 以上で従来の流体潤滑理論（すなわち連続体近似である Navier-Stokes 方程式と壁面の滑り無し条件から導出された Reynolds 方程式）の有効性が示されている[16-18]．この事から，表面粗さの無視できる流れ場において，10 nm 以上の流路幅の流れでは，流れを支配するパラメータは Reynolds 数(Re)のみでよいと言える．本研究においては，作動流体は Newton 流体を想定しており，また微細加工技術による表面粗さは数 nm で，マイクロメータスケールから見れば十分に無視できる．したがって本研究では，非圧縮 Navier-Stokes 方程式と滑り無し条件を用い，流れを支配するパラメータとして Re のみを扱うこととする．具体的な研究手法としては，実験が容易なセンチメータスケールのポンプモデルを製作し，作動流体としてグリセリンを用いることにより，実機マイクロポンプで予想される低 Re での実験を行った．また，Navier-Stokes 方程式と滑り無し条件を用いた従来の流体潤滑理論による理論解析を行った．

2．おもな記号

D ：ロータ直径
n ：羽根巻き数
h ：羽根高さ
l ：流路長さ
Δp ：圧力差
Q ：体積流量
Re ：Reynolds 数（$=\rho DU/\mu$）
U ：ロータ周速度
w ：流路幅
W_0 ：ロータのポンプ部分長さ
μ ：作動流体の粘度
ρ ：作動流体の密度
θ ：羽根食違い角
ϕ ：流量係数（$=Q/(\pi DWU)$）
ψ ：圧力係数（$=\Delta p/(\frac{1}{2}\rho U^2)$）

3．ポンプ概要

図１に本研究における粘性マイクロポンプの模式図を示す．図に示すように，スパイラル状の羽根がついたロータがシリンダ内に配置してあり，ロータを回転させることで，入口から出口まで液体を輸送する軸流式のポンプである．

このポンプの形状に関するパラメータの内，ポンプ特性に大きく影響するパラメータとして，羽根巻き数 n，羽根高さ（すなわち流路高さ）h，流路長さ l，羽根食違い角 θ が挙げられる．そこで，ここではロータのポンプ部分の長さを W_0 に固定し，n を変えてその影響を調べた．なお，l，θ は n の関数となる．

4．理論解析

流体潤滑理論を用いて，本研究における粘性マイクロポンプの理論的な圧力特性式を求める．

簡単のため図２に示すような高さ h，幅 w，長さ l の長方形流路にモデル化して考える．また，ロータが周速度 U で回転しているとすると，回転系から見ればシリンダが速度 U で回転していることと等価である．さらに，羽根の食違い角が θ であることから，結局図２において，

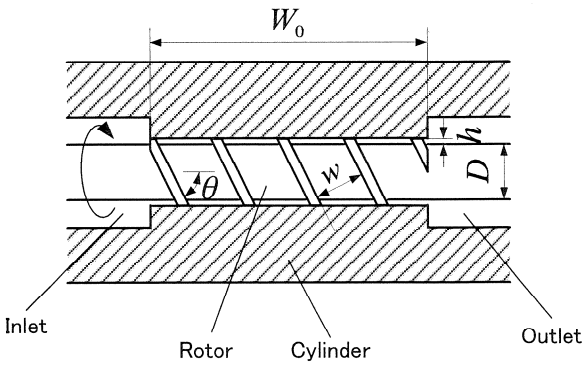


Fig. 1 Viscous micropump

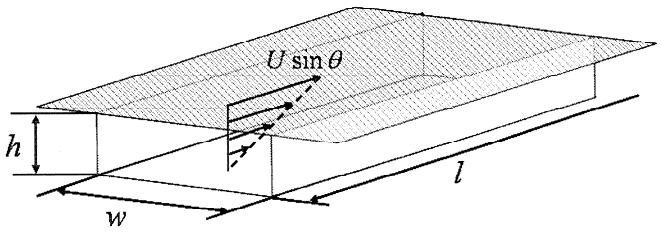


Fig. 2 Flow channel model for theoretical analysis

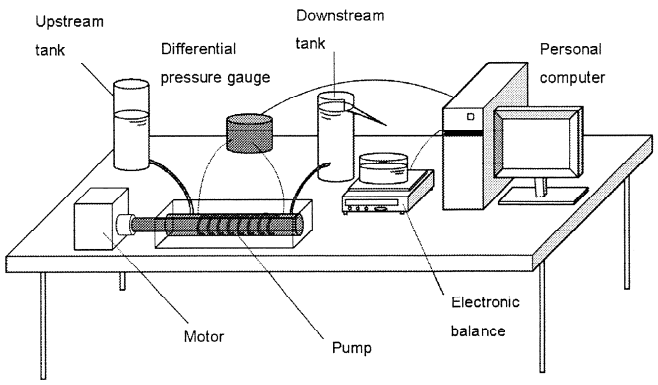


Fig. 3 Schematic of experimental apparatus

シリンダ壁面は流路方向に$U\sin\theta$で運動していることになる．流体潤滑理論から，ポンプ入口出口の圧力特性式は

$$\Delta p = 12\mu l\left(\frac{U\sin\theta}{2h^2} - \frac{Q}{wh^3}\right) \quad (1)$$

と表される．なお，μは作動流体の粘度，Qは体積流量である．ここで，Yokota ら[14]の次元解析に基づいて，以下の無次元数

流量係数：$\phi = \dfrac{Q}{\pi DwU}$

圧力係数：$\psi = \dfrac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho U^2}$

Reynolds 数：$Re = \dfrac{\rho DU}{\mu}$

（Dはロータ直径，ρは作動流体の密度）を用いて式(1)を無次元化すると，本研究における粘性マイクロポンプの圧力性能式として，

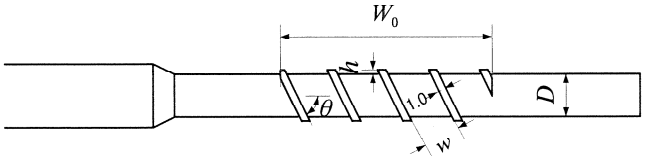
$$\psi Re = 12L\left(\frac{\sin\theta}{H^2} - \frac{2p\phi}{H^3}\right) \quad (2)$$

を得る．ただし，$L = l/D$は無次元流路長さ，$H = h/D$は無次元流路高さである．

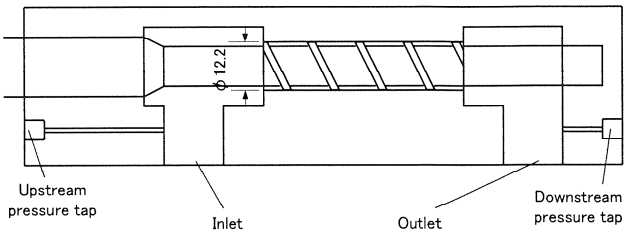
Yokota ら[14]は，粘性ポンプの圧力性能を表す際には，従来の圧力係数ψではなく，新たな圧力係数ψReを用いると，Reに依存することなく圧力性能を統一的に表せることを示している．式(2)から本研究における粘性マイクロポンプでもそれを適用できることが分かる．

5．実験方法

図３に本研究で用いた実験装置の全体図を示す．装置は上下流のタンク，ポンプ部分で構成されている．作動流体にはグリセリン水溶液を用いた．円柱はモータ（オリエンタルモータ VSD425IAU-GV，出力 25W，ギア無しで回転数



(a) Rotor



(b) Cylinder

Fig. 4 Experimental model of micropump

90~1700rpm，最小回転数刻み 10rpm，減速比 1/5 のギア付きで回転数 18～340rpm，最小回転数刻み 2rpm，減速比 1/50 のギア付きで回転数 1.8～34rpm，最小回転数刻み 0.2rpm）により駆動される．上流タンクにおいて単一筒形回転粘度計（リオン株式会社 VT-04E，測定可能範囲 0ー1.3Pa・s，最小読み取り値 0.01Pa・s）を用いて実験開始前に粘度測定を行った．ポンプ上下流の圧力差は微差圧計（effa 社 LPX9381，測定可能範囲-5000～5000 Pa，最小読み取り値 5 Pa）により測定した．また下流タンクから流出したグリセリンの重量を電子天秤（(株)島津製作所 UW-6200H，測定可能範囲 0～6200 g，最小目盛り 0.01 g）により測定し，重量法により流量を算出した．微差圧計と電子天秤からの出力をパソコンに取り込み自動計測を行った．

図４に本研究の粘性マイクロポンプのセンチメータスケールポンプモデルを示す．ロータ直径D = 10.0mm，羽根部分の直径12.0mm（すなわち羽根高さh = 1.0mm），羽根厚さ 1.0mm，シリンダ直径12.2mm である．また，ロータの羽根部分（ポンプ部分）長さW_0 = 50.0mm とし，羽根の巻き数n = 5,10,15 の３パターンで実験を行った．ポンプ上下流チャンバー部分にそれぞれ圧力測定孔を設け，その圧力差を測定した．実験に際しては，グリセリンの粘度を測定し，想定する Reynolds 数となるようにモータの回転数を設定して圧力特性を計測した．

6．結果・考察

図５に巻き数n = 10，Reynolds 数Re = 3.9, 8.3 の場合のモデル実験の圧力特性結果を示す．両者がほぼ同一直線になっていることから，式(2)で示したように，本研究における粘性マイクロポンプでも，ψReによってReによらずに圧力特性を統一的に扱えることが確認できる．

図６に巻き数n = 5,10,15 のときの理論圧力特性式およびモデル実験の圧力性能を示す．理論圧力特性式，モデル実験結果ともに，巻き数が増えるにつれて，ゼロ圧力

流量はあまり変わらないが，ゼロ流量圧力が大きくなっており，両者の定性的な傾向は一致している．しかし，定量的に見ると大きく異なっている．その原因として，理論圧力特性式の導出過程では２次元流を想定していること，実験装置の製作誤差や羽根・シリンダ間の漏れなどが挙げられる．流れの３次元性や，羽根・シリンダ間の漏れを考慮に入れた理論圧力特性式を導出し，モデル実験結果と定量的にも一致させることが今後の課題である．

図７に巻き数 $n=5$ の場合と従来の回転円柱を用いた粘性マイクロポンプ(14)との，モデル実験による圧力特性の比較を示す．ゼロ圧力流量は減少しているがゼロ流量圧力は大きく増加している．前述のとおり，巻き数を増やせばゼロ圧力流量をあまり変えずにゼロ流量圧力を増加させることができるため，本研究の目的である「粘性マイクロポンプの高圧化」に，スパイラル形状は有効であると言える．

７．結論

本研究では，スパイラル流路を用いた軸流式の粘性マイクロポンプを考案し，その性能・特性解明を行った．得られた結論は以下のとおりである．

(1) 新たな粘性マイクロポンプを提案した．

(2) 提案した粘性マイクロポンプの理論圧力特性式を導出し，その圧力特性をモデル実験結果と比較したところ，定性的な傾向は一致した．

(3) 羽根の巻き数を増やすとゼロ圧力流量はあまり変化しないが，ゼロ流量圧力は著しく大きくなる．

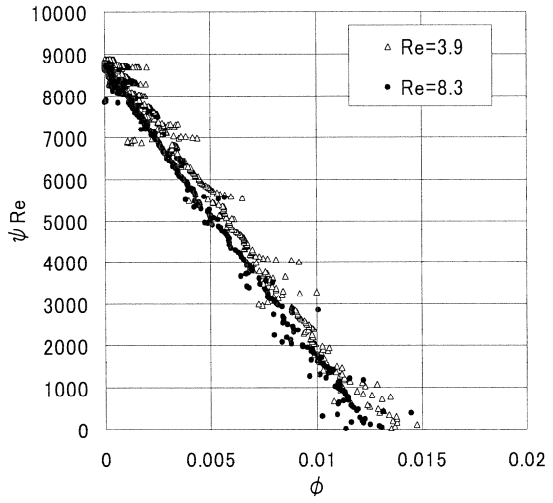


Fig. 5 Dependence of pressure characteristics on *Re* ($n=10$)

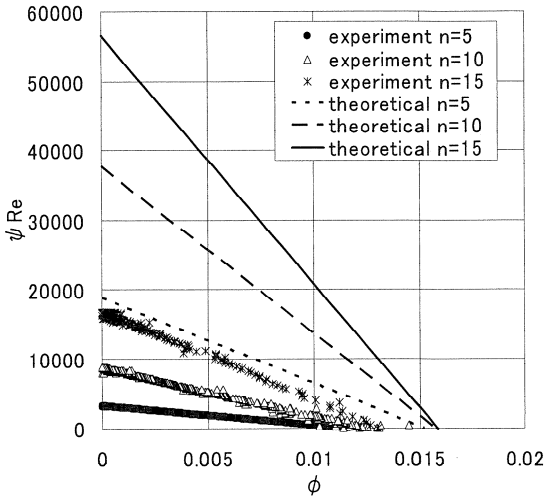


Fig. 6 Dependence of pressure characteristics on *n*

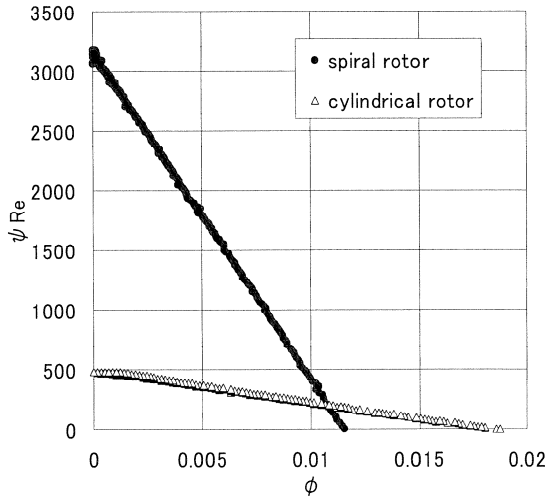


Fig. 7 Comparison of viscous micropump

(4) 従来の粘性マイクロポンプと比較して，ゼロ圧力流量は減少するが，ゼロ流量圧力は著しく増加させることが可能である．

引用文献

(1) Park, J.H. et al., A Piezoelectric Micropump Using Resonance Drive with High Power Density, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series C, Vol. 65, No. 631 (1999), pp. 1071-1077.

(2) Kondoh, Y. et al., A Peristaltic Motion Channel-Type Micro Pump with Bimorph-Type PZT Elements Allay:Fabrication of Single

Side-Type, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series C, Vol. 68, No. 666 (2002), pp. 643-649.

(3) Yokota, S. et al., An SMA-Driven Micropump Using ECF Jet Cooling, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series C, Vol. 66, No. 650 (2000), pp. 3516-3522.

(4) Hattori, S. et al., Structure and Mechanism of Micropump Using Thermoresponsive Polymer Actuator, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series C, Vol. 58, No. 550 (1992), pp. 1868-1873.

(5) Miyazaki, K. et al., Development of a Bubble Actuated Micro Pump, *Turbomachinery*, (in Japanese), Vol. 29, No. 3 (2001), pp. 176-181.

(6) Hosokawa, K. et al., Study of MHD (Magnetohydrodynamic) Micropump, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series C, Vol.59, No. 557 (1993), pp. 205-210.

(7) Hattori, S. et al., Structure and Mechanism of Microcapsule Pump Using Osmotic Pressure Actuator, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series C, Vol. 58, No. 552 (1992), pp. 2483-2488.

(8) Fujiwara, T., Kitoh, O., Basic Study for a Micro-Pump using Electroosmotic Flow, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series B, Vol. 68, No. 671 (2002), pp. 2071-2078.

(9) Sen, M. et al., A Novel Pump for MEMS Applications, *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 118 (1996), pp. 624-627.

(10) Kilani, M.I. et al., Design and Analysis of a Surface Micromachined Spiral-Channel Viscous Pump, *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 125 (2003), pp. 339-344.

(11) Sharatchandra, M.C. et al., Navier-Stokes Simulation of a Novel Viscous Pump, *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 119 (1997), pp. 372-383.

(12) DeCourtye, D. et al., Analysis of Viscous Micropumps and Microturbines, *International Journal Computational Fluid Dynamics*, Vol. 10 (1998), pp. 13-25.

(13) Day, R.F., and Stone, H. A., Lubrication analysis and boundary integral simulations of a viscous micropump, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 416 (2000), pp. 197-216.

(14) Yokota, K. et al., Model Experiments, Numerical Simulation and Theoretical Analysis on the Characteristics of a Viscous Micropump Using a Cylindrical Rotor in a Rectangular Duct, *the Japan Society of Mechanical Engineers International Journal*, Series B, Vol. 49, No. 2 (2006), pp. 393-400.

(15) Sakai, Y. et al., Influence of Duct Height on Flow Fields and Pressure Performances of a Viscous Micropump Model Using a Cylindrical Rotor in a Rectangular Duct, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, (in Japanese), Series B, Vol. 72, No. 718 (2006), pp. 1513-1521.

(16) Benard J. Hamrock, Fundamentals of Fluid Film Lubrication, McGraw-Hill, 1994.

(17) Cooper, D., and Moore, A.J., Application of the ultra-thin elastohydrodynamic oil film thickness technique to the study of automotive engine oils, *Wear*, Vol. 175 (1994), pp. 93-105.

(18) Matsuoka, H. and Kato, T., Discrete Nature of Ultrathin Lubrication Film between Mica Surface, *Journal of Tribology*, Vol. 118(1996), pp.832-838.

外科手術用マスタ・スレイブ型ロボット鉗子システムの構築に関する研究

工学院大学　　グローバルエンジニアリング学部　　石井千春
産業技術大学院大学　　創造技術専攻　　橋本洋志

Study on Construction of Surgical Master-Slave Robotic forceps systems

Chiharu Ishii　　School of Global Engineering
Hiroshi Hashimoto　　Advanced Institute of Industrial Technology

ABSTRACT : In resent years, many of multi-DOF robotic forceps manipulators for minimally invasive surgery have been proposed. We have developed a new robotic forceps manipulator using the double-screw-drive (DSD) mechanism, which enables omni-directional bending motion by rotating two linkages consisted of right-handed screw, left-handed screw and universal joint. Also we have improved the first prototype DSD forceps manipulator so that its gripper can rotate, so far. This paper presents servo experimental results for the developed second prototype DSD robotic forceps manipulator by teleoperation.

１．　はじめに

近年、様々な低侵襲外科手術用の多自由度鉗子が開発されている[1]。著者らはこれまでに、右ネジと左ネジとユニバーサルジョイントにより構成される２本の屈曲リンクの回転操作により屈曲動作を実現する全方位駆動型の多自由度鉗子、Double-Screw-Drive (DSD)鉗子を考案した[2]。また、部品数を削減して組立を容易にし、全長を短縮することにより屈曲部のガタを少なくした２号機も開発した。さらに、２号機においては狭い作業空間で縫合作業を容易にするため、把持部に回転機能を持たせる改良を行った[3]。本稿では、２号機を遠隔操作するための操作用マニピュレータを用いて、把持開閉、把持部回転の遠隔追従実験、および屈曲動作と回転動作を利用して縫合実験を行なった結果を報告する。

２．　DSD 鉗子の構造

２．１　仕様

多自由度鉗子の仕様は以下の通りである。

・ 鉗子部分外形…φ10mm（トロカール挿入可能形状）
・ 屈曲発生力…4N（肝臓の 1/3 を持ち上げ可能）
・ 動作範囲…±90°×２自由度（水平、鉛直方向）

２．２　屈曲部及び把持部

Fig.1にDSD鉗子２号機の屈曲部全体図、Fig.2にDSD機構の１ブロックの詳細図をそれぞれ示す。なお、１号機で使用していた把持開閉リンクは２号機では把持部回転リンクとして使用し、把持開閉にはワイヤを用いている。Fig.3 に把持部の開閉機構を示す。Fig.4 には把持部の回転機構を示し、Fig.5 に実際に回転させた状態を記載する。

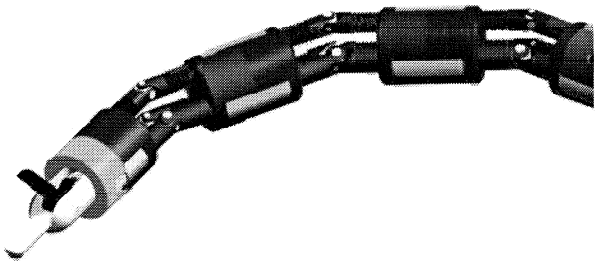
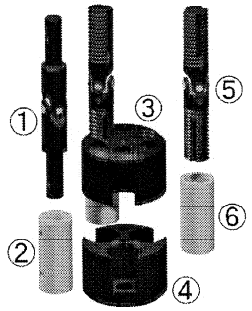


Fig. 1　The 2nd DSD forceps manipulator



①Grasping Universal-Joint
②Coupling
③Left-handed-Screw Plate
④Right-handed-Screw Plate
⑤Bending Universal-Joint
⑥Spline

Fig. 2　Details of the 2nd DSD mechanism

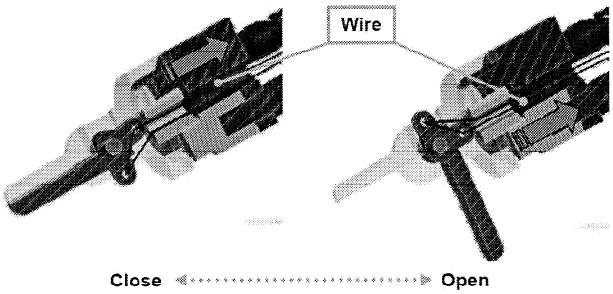


Fig. 3　Grasping mechanism

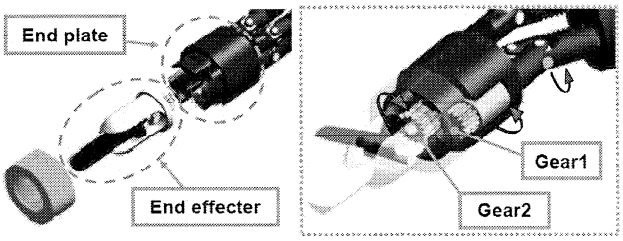


Fig. 4　Rotation mechanism

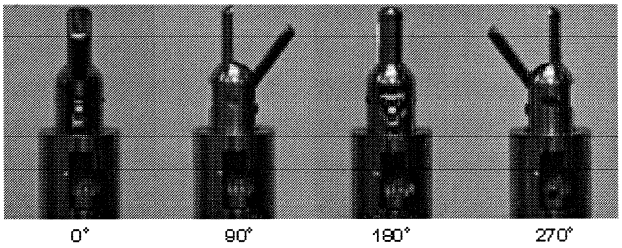


Fig. 5　Transition chart of rotation motion

3．　遠隔操作実験

既製品鉗子とジョイスティック、リニア／ロータリーエンコーダを組み合わせて製作した遠隔操作用マスターマニピュレータを Fig.6 に示す。このマニピュレータを用いて把持開閉、把持部回転の追従実験、および屈曲動作と回転動作を利用して縫合実験を行なった。

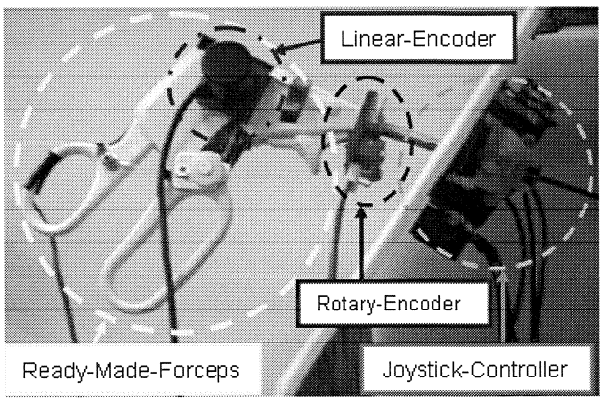


Fig. 6　Master manipulator for teleoperation

ジョイスティックからの入力を参照値とし、これらに追従するように、各リンクに対して PID 制御によるサーボ系を構成した。コントローラゲインは試行錯誤的に求めた。制御系のブロックダイアグラムを Fig.7 に示す。

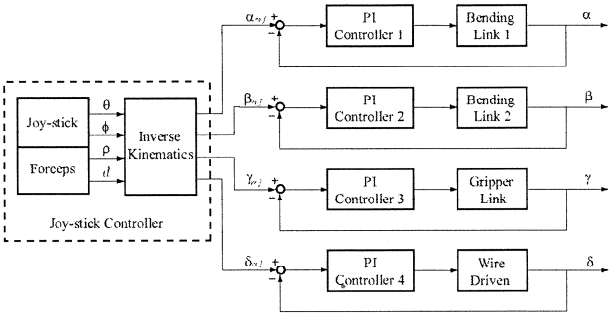


Fig. 7　Control block diagram

3．1　把持開閉動作

把持開閉機構は、把持開閉に使用しているワイヤをモータで巻き取ることによって把持部を閉じ、モータに取り付けられていない方のワイヤの他端にはバネが付いており、ワイヤを巻き取ったモータを逆回転に回しゆっくり放出することでバネの力によって把持部が開く仕組みである。この開閉動作を 3 回行なった。把持開閉動作の追従制御実験の結果を Fig.8 に示す。グラフの縦軸はモータの回転量を表している。

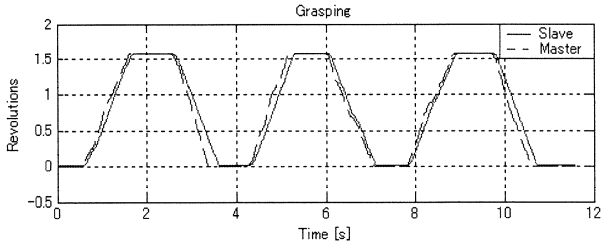


Fig. 8　Tracking results for grasping motion

3．2　把持部回転動作

把持部を 1 回転させた後、逆回りに 1 回転させて元の場所に戻す動作を行った。把持部回転動作の追従制御実

験の結果を Fig. 9 に示す。グラフの縦軸は把持部の回転量を表している。

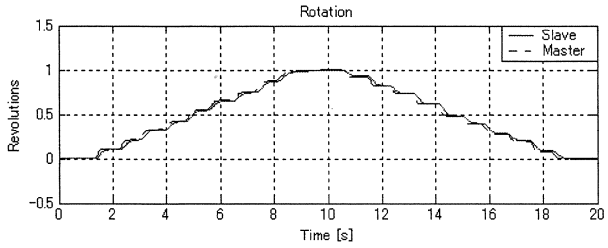


Fig. 9　Tracking results for rotary motion

3．3　縫合実験

医療用の湾曲型縫合針を使用し、市販の豚の肝臓に対して DSD 鉗子の屈曲動作と回転動作による縫合作業を行う。実験においては、屈曲動作で肝臓まで湾曲針を近づけ、回転動作で把持部を回し、肝臓に針を刺して表面に突き出すまでの一連の動作を行った。縫合作業の様子を Fig. 10 に、屈曲動作の軌道を Fig. 11 に、把持部の回転動作の軌道を Fig. 12 に示す。

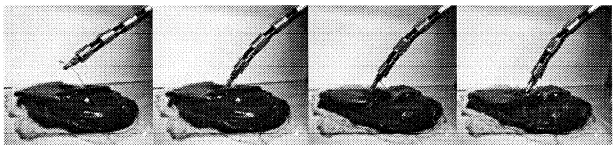


Fig.10　Chart of suture work experiment

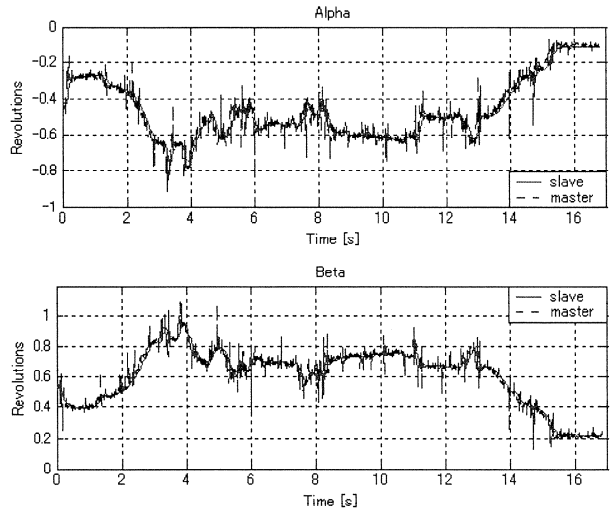


Fig.11　Tracking results for bending motion

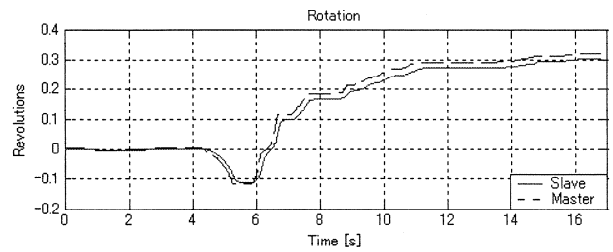


Fig. 12　Results of rotary motion for suture work

4．結論

本論文では DSD 鉗子 2 号機に対して遠隔操作による追従制御実験を行った。実験結果より、把持開閉、把持部回転の遠隔追従実験では、大きな誤差なく追従制御することができた。縫合実験では、負荷が掛かったため、把持回転動作で偏差が生じてしまった。今後は、負荷が掛かった時に生じる偏差の補正が課題となる。また、力覚のフィードバックを行うことも今後の課題の 1 つである。

参考文献

（1）山下 鉱正、金 大永、波多 伸彦、土肥 健純：多節スライダ・リンク機構を用いた腹部外科手術用鉗子マニピュレータの開発、日本コンピュータ外科学会誌、Vol.5, No.4, pp.421-427, 2004.

（2）小林 宏輔、石井 千春：Double-Screw-Drive 機構を用いた低侵襲手術用多自由度鉗子の開発(第 1 報)、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会’06, 2006.

（3）小林 宏輔、石井 千春：Double-Screw-Drive 機構を用いた低侵襲手術用多自由度鉗子の開発(第 2 報)、第 24 回日本ロボット学会学術講演会論文集, 2006.

（4）C. Ishii and K. Kobayashi: Development of a New Bending Mechanism and Its Application to Robotic Forceps Manipulator, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2007.

（5）亀井佑輔、石井千春：Double-Screw-Drive 機構を用いた低侵襲手術用多自由度鉗子の追従実験について、日本コンピュータ外科学会　第 16 回大会論文集, 2007.

（6）C. Ishii and Y. Kamei: On Servo Experiment of a New Multi-DOF Robotic Forceps Manipulator for Minimally Invasive Surgery, Proc. of IEEE International Symposium on Mechatronics and Its Applications, 2008.

研究課題：フレキシブル基板上の微細配線に生ずるマイグレーション損傷評価手法の確立

マイグレーション現象の発生による配線部の微細構造変化の把握と特性改善に向けた材料システムの最適化

工学院大学　工学部　マテリアル科学科　　木村　雄二
電気システム工学科　　鷹野　一朗
明星大学　　アジア環境研究センター　　大畑　宙生

Observation of the microstructural change of Cu wiring due to the generation of electrochemical migration and optimization of material system for its improvement

Yuji Kimura, Dept. of Materials Science and Technology, Kogakuin University
Ichiro TAKANO, Dept. of Electrical Engineering, Kogakuin University
Michi Ohata, Asian Center for Environmental Research, Meisei University

ABSTRACT

Recently, miniaturization and high density mounting have been demanded in the various electronic devices. Above all, flexible print circuit has been paid attention especially in the field of notebook computer and the cellular phone for realizing high density mounting and also obtaining higher degree of freedom in design. The insulation failure due to an electrochemical migration damage advanced in a fine pitch wire mounting becomes serious problem. Electro chemical migration is an electrochemical phenomenon related to chemical solutions under electric potential. Migration in electronic materials is caused by electrochemical phenomena related to chemical solutions and electric potential. Involved in migration are deposition reactions and metal ion transfer reactions induced by such factors as metal dissolution reactions, diffusion, and migration. Migration is especially likely to occur when electronic devices using high-density mounting are affected by both materials and environmental conditions. When migration occurs, it causes changes in electrical characteristics and results in equipment failure. Therefore, the analysis of migration behaviour in FPC (Flexible Printed Circuit) becomes important for evaluating the reliability of an electronic devices based on FPC. In this research, Steady-State Temperature Humidity Bias Life Test (THB Test) under the conditions of 85℃ and 85 %RH withapplying electric potentials of 5, 25 and 45 V was conducted using COF as a sample to understandthe electro chemical migration behaviour in FPC. Then, various investigations concerning generatedelectrochemical migration behaviour were conducted employing SEM and EDX. Then, some trials wereconducted for establishing the evaluation method of ionic migration behaviour. In addition, improvement of ionic migration character was conducted employing alternative under fill resin and manufacturing process in FPC materials system using tooth profile wiring specimen with 30 μ m pitch.

Results obtained are summarized as follows:

1. Migration behaviour such as color change that corresponded with dendrite formation was recognized in the specimen after 24 hrs THB testing, however, insulation failure of specimen was detected after 168 hrs THB testing.

2. Generated dendrite from wiring on COF was composed of Cu, and this dendrite was initiated from the interface between plated Sn coating and polyimide substrate.
3. Cl included in epoxy resin used for under fill material is dominant factor affecting migration behaviour. Absorbed moisture in under fill resin and the bias potential between anode and cathode electrodes accelerated migration behaviour.
4. Generation of migration initiated from some distant area from Sn plating. Initiation site of dendrite was understood to be Cr/Ni seed layer which is essential element for making specimen by sputtering and plating process.
5. Results of THB testing till 1,000 hrs obtained employing 30 μm pitched tooth profile wiring specimen showed that manufacturing method and types of under fill resin clearly affect migration behavior of FPC.

Keywords: Electro chemical migration, FPC, Fine pitched wiring, Reliability, THB testing

1．　はじめに

近年、電子部材の分野において軽薄短小化・高容量化の需要が高まっていることは周知のとおりである。電子機器の分野では、特にこの傾向が強い。現在、小型化が可能、搭載する実装部品の設計自由度が高いことからフレキシブル基板(Flexible Printed Circuits)が汎用されている。FPC の 1 つである COF(Chip On Flex)は微細配線形成性が優れることから注目されている。しかし、電子機器における更なる配線間のファインピッチ化を考慮すると、エレクトロケミカルマイグレーション（Electoro Chemical Migration：ECM）による電子部品の絶縁不良は無視することができない[1)~4)]。これに対応すべく、FPC における ECM 挙動の把握、支配因子の整理を行うことにより、電子部材の信頼性を評価することが必要である。

本研究では、THB 加速試験により ECM を生じさせた前後での Cu 配線部の微細構造変化の確認を行うことを通じて、ECM の支配因子の明確化とこれを改善するための材料システムの最適化について検討した結果を報告する。

2. エレクトロケミカルマイグレーション現象

2.1 マイグレーションの発生メカニズム

エレクトロケミカルマイグレーションは直流バイアス電圧[5) 6)]が印加されている状況で、電極導体間が吸湿など水の影響により絶縁性が低下し、電気化学的反応によるアノードからの電極金属の溶解、それが還元析出してできる生成物によって短絡に至る絶縁劣化現象である[7) 8)]。ECM は電気化学反応によってアノードから金属イオンが溶出することから始まる。ECM の発生メカニズムは電極導体間(絶縁層)の抵抗値 100Ω位を境に 2 種に分かれる。Fig.1 に示すように、絶縁層の抵抗値が高い場合、アノードより溶出した金属イオンは絶縁層中で相互作用により還元析出、または化合物として析出してカソード側に向かって進行する。

一方。絶縁層の抵抗値が低い場合、アノード側より溶出した金属イオンが絶縁層中を拡散、移動しカソード側に至った時点で還元析出する。この場合マイグレーションはカソード側からアノード側に向かって進行する。また、本研究においてはアンダーフィル樹脂の抵抗値が 100Ω程度より高いことから、前者の反応が生じると考えられる。

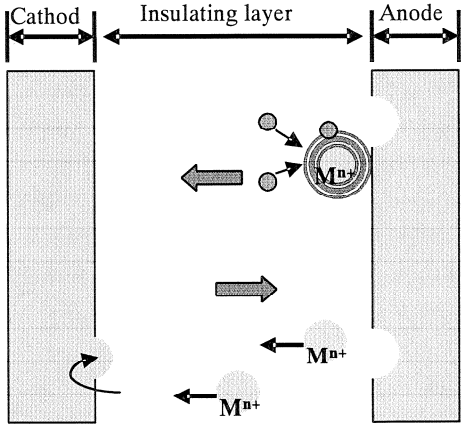


Fig.1 Electrochemical migration mechanism

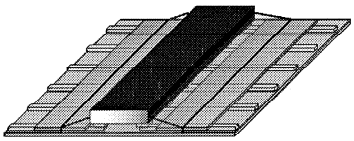
2.2 THB（Temperature humidity bias）試験：高温高湿バイアス試験

THB 試験は、ECM 発生要因である、温度、湿度を一定条件に設定し、定電位印加による加速試験を行うものである。樹脂封止パッケージに対して、チップ上の金属膜配線の腐食現象に関する耐久性の評価やパッシベーション膜からの水分侵入によるリーク現象の加速や、各種シリーズ試験などに用いられている。すなわち、高温高湿雰囲気中での使用および保管した場合、主として配線の腐食現象

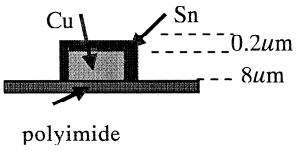
に対する耐久性を評価することを目的とし実施する。(JEITA規格番号:EIAJ、ED-4701/100、試験方法 102)

３．THB 加速試験によるマイグレーション挙動の把握

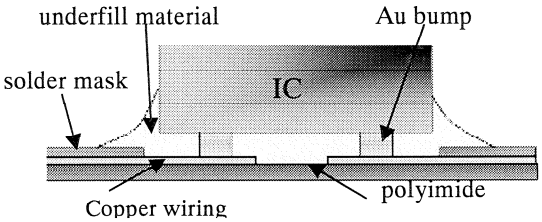
まず、供試材料として Fig. 2 に示す携帯電話に用いられる COF を使用しマイグレーション挙動の把握を行った。COF はポリイミドフィルム上に配線パターンが形成されたフレキシブル基板に LSI や抵抗、コンデンサなどを実装したものであり、従来の TCP タイプのフレキシブル基板と比較して、より配線のファインピッチ化に適している。各部材の組成として配線はスズめっきされた銅を用い、バンプは金、アンダーフィル材にエポキシ樹脂、ソルダレジストにハロゲン含有のポリイミド系樹脂を用いている。また、本実験で用いる COF はスパッタ・メッキ法を用いて用いた作製した基板を用いている。スパッタ・メッキ法の概略図を Fig.3 に示す。



(a) Outlook of COF



(b) Cu wiring geometry



(c) Detailed structure of COF

Fig.2 COF structure for test specimens

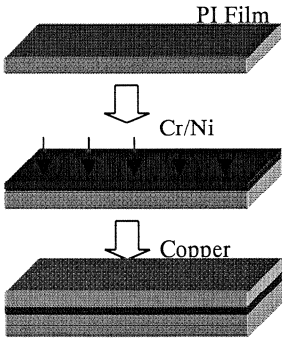
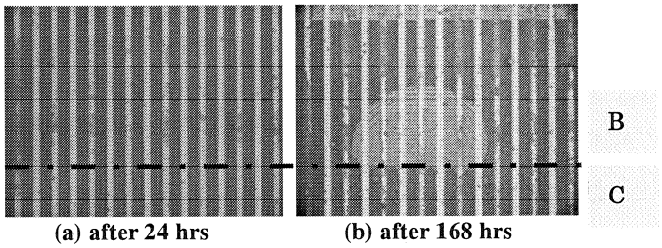


Fig.3 Sputtering and electroplating

COF サンプルに対して THB 試験を用いてマイグレーションの加速試験を行い、絶縁不良発生確認と光学顕微鏡による概観測定を行った。この実験により COF においてマイグレーションの発生している部位の特定とマイグレーションの形態の把握を試みた。THB 試験条件は温度 85℃、湿度 85％RH、DC5V、25V、45V である。

THB の結果 168 時間で絶縁不良を確認した。劣化を起こした配線は溶出による配線の変色と配線側面からのデンドライト[9]が確認できた。デンドライトはアノード側より発生しており，発生した領域は Fig.4 の A～C であった。したがってアンダーフィル材によりマイグレーション挙動が影響を受けていることが推測された。



(a) after 24 hrs **(b) after 168 hrs**

Fig. 4 Bottom view of migration damage observed by an optical microscope mainly generated in B and C regions

絶縁不良発生後はマイグレーション発生部位の観察が困難であるため、THB を 24，70，96，168 時間において、それぞれ光学顕微鏡を用いて観察し、マイグレーション成長の様子を観察するとともに THB における抵抗値との比較を行った。

COF のマイグレーションの特長として溶出により変色した配線とデンドライトであるとし、絶縁不良が発生した 168 時間以前の状態で配線の変色とデンドライト発生の有無、さらに THB の試験状況を Table1 に示した。この表によるとデンドライトおよび配線の変色は早い段階から発生していることがわかり、THB 試験の結果絶縁不良が認められない場合もマイグレーションが発生している場合があることが確認された。

Table 1 Generation of migration with time

時間	外観		絶縁抵抗値
	変色	デンドライト	
24	あり	あり	良好
70	あり	あり	良好
96	あり	あり	良好
168	あり	あり	未実施

THB により発生したマイグレーション生成物に対して各断面より SEM による観察と EDX による生成物の元素分析を行った。発生したマイグレーションの SEM 画像を Fig.5 に示す。Fig.6 は配線をそれぞれ表面、底面、

断面から観察したものである。配線表面の SEM 画像を見ると COF におけるマイグレーションの形状がデンドライト状になっていることが確認できる。また、配線の底面 SEM 画像には溶出により Cu 配線部分が外側に削れている状態が見られ、Sn メッキ部分がきれいに残っているように見られた。さらに配線断面の SEM 画像を見ると、マイグレーションが Sn メッキと基板の界面より発生しており、Sn メッキに損傷がなく内部の Cu 配線部が溶出により配線が削れていることが確認することができる。

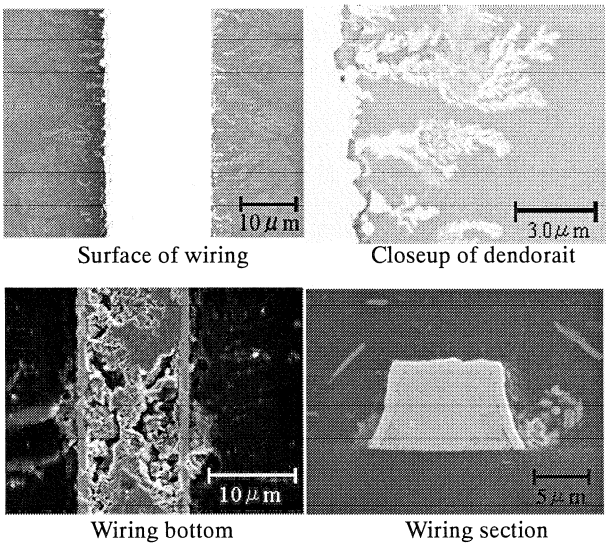


Fig.5 Observations of migration by SEM

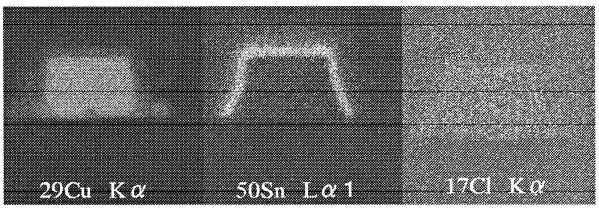


Fig.6 Analysis of migration by EDX

次に、配線の断面の EDX 測定結果を Fig.6 に示す。まず Cu の反応に着目すると、基板に接している面より Cu が溶出し、さらに Sn メッキ面よりこの Cu が滲み出している状態を確認することができる。一方の Sn の測定結果より Sn メッキは損傷のない状態であることが確認できた。この EDX 測定結果よりマイグレーションによりデンドライトとして析出している成分が Cu なのではないかという結論に至った。また、EDX 測定にあたって Cl のピークが測定され，配線全体を囲むようにピークが出ていることがわかった。これによりマイグレーション発生に Cl が関与していると示唆した。

デンドライトの更なる観察を行った結果、デンドライト発生ポイントは Sn メッキと基板の界面からではなく Sn メッキよりやや離れていることが確認された。Sn メッキより溶出している部分とデンドライトは明らかに形状が異なり、また、THB 未投入のサンプルとの比較からデンドライトでない溶出部位のスパッタ・メッキ法により基板を作成した際に見られる Cr/Ni シード層であると推察した。

EDX の測定結果よりマイグレーション発生及び Sn メッキの破壊にはアンダーフィル材に含有される Cl の影響が大きいことが推察されたため、これまでの実験に用いたエポキシ樹脂より Cl 含有量の低いアンダーフィル材により作成した COF を用いて THB による比較実験を行った結果、THB において試験時間 1,000 時間経過後、絶縁不良及び配線の外観評価ともに良好な結果得ることができた。本実験に用いた改良アンダーフィル材の成分を Table 2 に示す。したがって、マイグレーション発生が Cl により促進することが明らかになった。

Table 2 Comparison of elements of underfill material

項目	既存アンダーフィル	改良アンダーフィル
主成分	エポキシ系	エポキシ系
Cl イオン (ppm)	0.41	0.12
Na イオン (ppm)	0.32	0.15
pH	5	4.1
電気伝導度 (μm/cm)	21.2	27.7
吸水率 (%)	1～2	1.4
粘度 (Pa・s)	0.45	19

SEM・EDX の結果マイグレーションは基板とメッキの界面より発生していることが示唆された。これにより、THB により基板とメッキとの密着性が低下しているのではないかと考えられるため THB の前後で，密着強度の比較を行った。実験は IC と基板を引き剥がし、その際の密着強度の測定を行った。実験の結果を Fig.7 に示す。

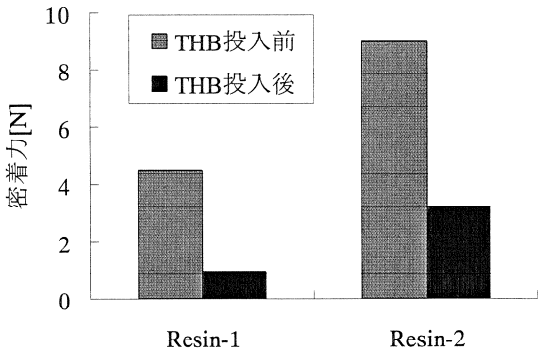


Fig. 7 Adhesion strength comparison before and after THB test

Fig. 7 において樹脂 1 が既存アンダーフィル材、樹脂 2 が改良アンダーフィル材である。Fig. 7 によると改良アンダーフィル材は既存のアンダーフィル材よりも高い密着強度を持つが、共に THB 投入後の基板の密着性は急激に下がることが確認された。したがって、基板の密着強度の評価において高温高湿環境下での密着強度低下も検討する必要が考えられる。

4．損傷発生挙動の基板作成方法ならびにアンダーフィル材依存性

上記の結果をふまえ、微細配線間の絶縁抵抗をモニタリングできる様に作成した「くし歯パターン基板」を使用したマイグレーション試験を行い，基板作成方法とアンダーフィル材による発生率の違いについてさらに検討を加えたので以下に報告する。

マイグレーション評価試験

今回使用したＦＰＣ基板の配線パターンを Fig. 8 に示す。30μm ピッチのくし歯パターンのものを使用した。今回、製作方法の異なる２種類の基材（基材ａ：キャスティング法、基材ｂ：メタライズ法）を使用した。40μm または 38μm 厚のポリイミド基材上に 8μm 厚の Cu 配線、0.2μm 厚のすずめっきがされている。ソルダレジストにはポリイミド系樹脂を用いている．アンダーフィル材としてはエポキシ樹脂が主材料で異なる５種類（Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ）を使用した。また、アンダーフィル材を塗布せず基材だけのサンプルも投入した。基板のくし歯パターン上に適量アンダーフィル材を塗布し、それぞれのアンダーフィル材の硬化条件に従って硬化させたサンプルを使用した。アンダーフィル材の塗布個所を Fig. 9 に示す。

実験に用いたＦＰＣ基板と樹脂の組み合わせによるサンプル番号の一覧を Table 3 に示す。

このＣＯＦサンプルをマイグレーション評価装置（エスペック社製：AMI-025-P）を用いて絶縁抵抗測定を行った。試験条件は温度 85℃、湿度 85％RH，バイアス電圧はＤＣ45V である。

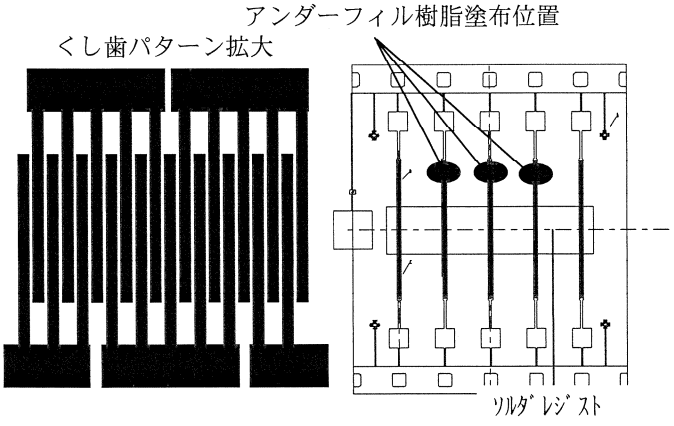


Fig.8 FPC tooth profile wiring specimen with 30 μ m pitch

Table 3 Combination of under fill resin and substrate

	基材ａ	基材ｂ
樹脂Ａ（Epoxy）	Sample A-a	Sample A-b
樹脂Ｂ（Epoxy）	Sample B-a	Sample B-b
樹脂Ｃ（Epoxy）	Sample C-a	Sample C-b
樹脂Ｄ（Epoxy）	Sample D-a	Sample D-b
樹脂Ｅ（Epoxy）	Sample E-a	Sample E-b
樹脂なし	Sample 0-a	Sample 0-b

外観観察結果

まず 200 時間経過後のサンプルを試験槽から取り出して観察した。結果、基材 a のサンプルは一部変色が確認できるサンプルもあったが、デンドライトの発生は確認出来なかった。基材 b のものは配線の変色とデンドライトの発生が確認できた。劣化を起こした配線はポリイミド面との界面部分の変色と配線側面からのデンドライトが確認でき、デンドライトはアノード側より発生していた。この基材ｂの結果は著者らのこれまでの研究で得られた結果と一致しており、変色はポリイミド層と配線パターン層の界面において配線パターン層の成分であるＣｕが溶出したものであるということが分かっている。またデンドライトは、変色部位を基点に配線基材である Cu が溶出し、デンドライト状に成長したものである。それぞれの代表的な外観写真を Fig.9 に示す。

アンダーフィル材の種類の違いでは変色やデンドライトの発生の仕方に違いがあることが確認できた。このことについては後述する。

マイグレーション試験の結果

前述の結果から基材ａと基材ｂで試験後の外観（変色とデンドライト発生）に違いがあることが確認できた。次にマイグレーション試験における配線間の絶縁抵抗値の評価結果を報告する。

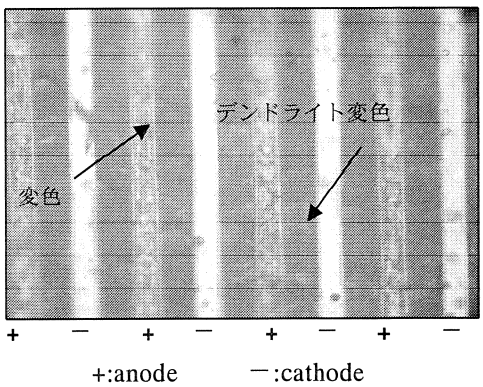


Fig. 9 Dendrite formation after 200hrs THB testing : Sample E-b

マイグレーション試験の結果を Table 4 に示す。

Table 4 Insulation degradation detected by impedance change

	基材a	基材b
樹脂A	A-a ◎	B-b ×
NG発生時間	−	4.4 時間
樹脂B	B-a ◎	B-b ×
NG発生時間	−	8.6 時間
樹脂C	C-a ○	C-b ×
NG発生時間	−	5.8 時間
樹脂D	D-a ○	D-b ○
NG発生時間	−	−
樹脂E	E-a ◎	E-b ×
NG発生時間	−	5.8 時間
樹脂なし	0-a ×	0-b ○
NG発生時間	161.8 時間	−

◎：Fairly good (I≧100MO)
○：Good(I≧1MO)
×：Degraded (I≦1kO)

同表において、1 行目がサンプル№と各サンプルの抵抗値判定結果（◎：100MO 以上キープ　○1MO 以上キープ　×:100KO 以下ＮＧ⇒今回 100kO 以下になった時点でＮＧ判定とした)、2 行目がＮＧ発生までの時間である。

結果として、絶縁抵抗値を基材で比較すると基材ａの方が良好であった。基材 a でみると抵抗値が 100MO 以上をキープしたものが 3 水準、10MO 以上をキープしたものが 2 水準あり、100KO 以下になったサンプルに関しても 161 時間耐えることが出来た。一方基材 b でみると抵抗値が 100MO 以上をキープしたものは一つもなく、10MO 以上をキープしたものが 2 水準、10 時間以内で 100KO 以下となったサンプルが 4 水準もあり、中には約 4 時間で 100KO 以下になってしまうサンプルもあった。以上のように基材に関しては基材 a と基材 b では明らかに差があり、基材 a の方が良好であった。

次にアンダーフィル材に着目してみると、基材 a に対しては樹脂Ａ，Ｂ，Ｅの３種類が 100MO 以上をキープし、残りの樹脂Ｃ．Ｄは 1MO 以上をキープした。リファレンスとして作成した「樹脂無し」でＮＧとなった Sample 0-a は、試験に失敗している可能性があるので原因の解析を行う。一方基材 b に対して 1MO 以上をキープしたのは樹脂Ｄだけであった。つまり今回の試験において、基材ａ，ｂ共に比較的良好な結果を得られた樹脂は樹脂Ｄであった。

詳細は省くが、変色及びデンドライトの観察でもこの結果と一致する結果が得られている。

絶縁抵抗値継続評

基材 a のサンプルは基材 b と比較して絶縁抵抗のＮＧ品も少なく、全体的に配線の変色などもほとんど見られなかった。しかし、さらに試験を継続すると発生するのではないかということを確認するため、200 時間の試験において絶縁抵抗が 1MO 以上で変色が無いサンプル４水準（Sample B-a, C-a, D-a, E-a）を選び、継続投入した。試験条件は前回と同じである。

結果を Table 5 に示す。500 時間を経過しても絶縁抵抗

Table 5　500 時間追加試験の絶縁抵抗値

サンプル№	絶縁抵抗値
B-a	問題なし（◎100MO 以上）
C-a	問題なし（○1MO 以上）
D-a	問題なし（◎100MO 以上）
E-a	問題なし（○10MO 以上）

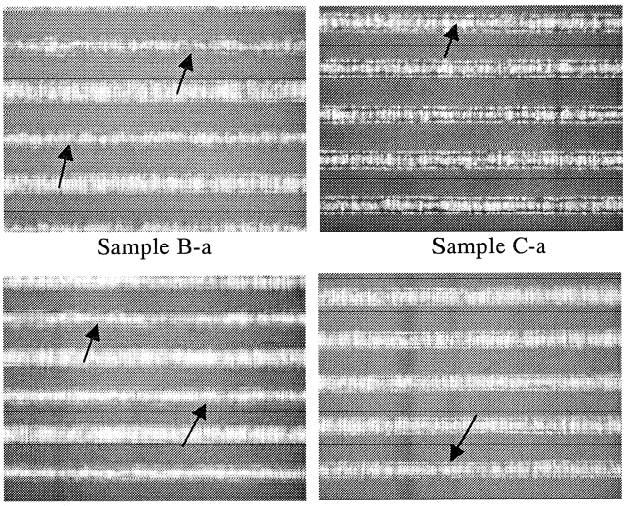


Fig.10　500 時間経過サンプル外観写真

値の異常は認められなかった。但し、外観には変化があり、２００時間では確認されなかった配線の変色が発生し始めているサンプルがあった。Fig. 10 にその代表的な写真を示す。サンプル B-a と D-a はアノード側の配線の Sn めっき部分からの変色が確認できた。サンプル C-a と E-a は Cu 配線部分が変色していることが確認できた。サンプル 21 については投入前の状態と殆ど変わりはない。これまでの研究においては、基材 b では変色はデンドライト形成が始まる前に必ず起きる現象であったが(1)、基材 a では、これらの変色がデンドライト形成の予兆なのか変色だけに留まるのかは今後更に試験時間を継続して確認する必要がある。

5．FIB を用いた ECM 過程の観察

5.1 供試材料および実験・評価方法

供試材料

本研究で用いた COF を Fig. 11 に、断面構造を Fig. 12 に

示した。この COF は、ECM 現象の再現化・明確化がしやすい、くし歯パターンをしている。配線間ピッチについては 30μm ならびに 25μm のものを用い、シード層厚みについても、0.07 ならびに 0.25μm のものを用意し検討を加えた。

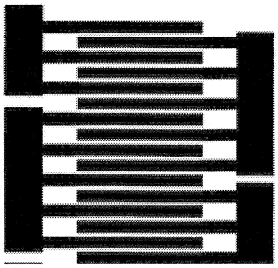


Fig. 11 Tooth profile wining specimen

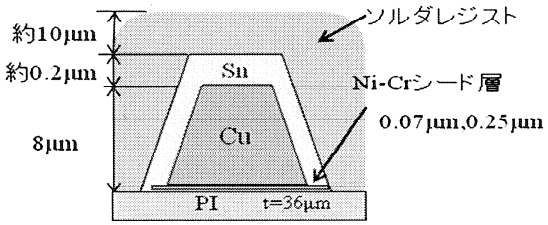


Fig. 12 COF Structure

実験方法・評価方法

THB 試験を Table 6 に示す条件で行った。

Table 6 THB Test condition

	温度/℃	湿度/%RH	印加電圧/V
試験条件	85	85	45

THB 試験後、光学顕微鏡・レーザー顕微鏡による配線部の観察を行い、変色・不良等が生じた試験片に対し、以下の詳細な観察評価を実施した。

1)配線部観察：光学顕微鏡,レーザー顕微鏡 FE-SEM, SIM

2)配線部微細構造の観察：SIM

3)溶出元素の確認・観察：EDX, XRD

また、Cu 配線の微細構造を観察するため FIB による微細加工と SIM による詳細な観察を実施した。

5.2 THB 試験投入前の試験片の微細構造

配線断面図を Fig. 13 に示した。これより、Cu 配線とめっき部分の Sn との界面で約 0.2μm 厚さの金属間化合物が形成されていることが確認できた。Fig. 14 に示した EDX 分析結果より、Sn めっき部分にも Cu が存在していることが確認でき、XRD による定性結果からも Cu_6Sn_5 の金属間化合物と断定できた。この金属間化合物は、Sn めっき後の熱処理の影響を受け形成されたと考えられる。また、金属間化合物が形成されたことにより、Cu と Sn との密着性は向上したが、その結果ボイドが形成されたものと思われる。

5.3 THB 試験後の試験片の微細構造変化

THB 試験 200 時間後の試験片において基板裏面（PI を透過）からレーザー顕微鏡による観察を行った結果を Fig. 15 に示した。基板と配線との界面に生じた変色は Fig.15 に示

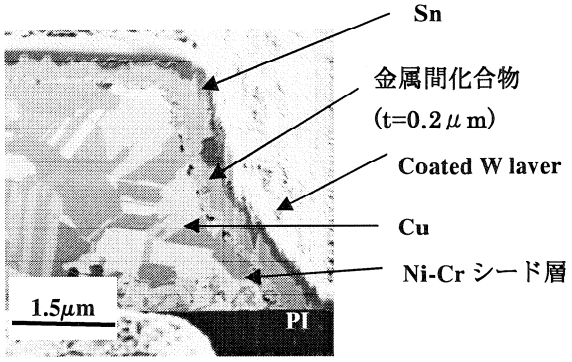


Fig.13 Cross sectional view of Cu wiring after FIB processing

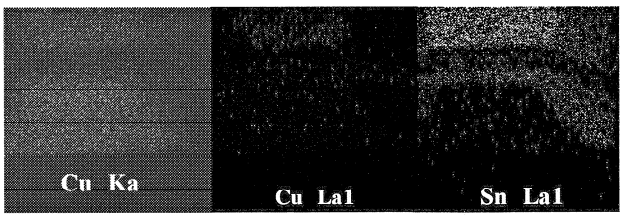


Fig. 14 Analysis of ECM by EDX

す部分から生じたことを確認した。この変色は初期の ECM 現象と推測でき、シード層の関与が示唆され、変色元素はシード層成分といえる。

また、IC 実装済みの試験片における THB 試験 168 時間後の観察結果より、デンドライト発生部位は Fig. 16 より Cu より少し離れた点であり、Ni-Cr シード層の関与が示唆されており、配線パターン形成の際に生じるシード層残渣が関与していると推測される。この部位は、アンダーフィル樹脂の下であり、アンダーフィル樹脂含有の Cl^- が加速因子として関与していると考えられ、EDX 分析を行った結果、ECM の発生部位には Cl^- が多く存在していることが確認された。そのため、配線間に存在する元素について EDX による分析を行った結果、Ni と Cr の存在が確認され、配線間の詳細確認を行うことができた。

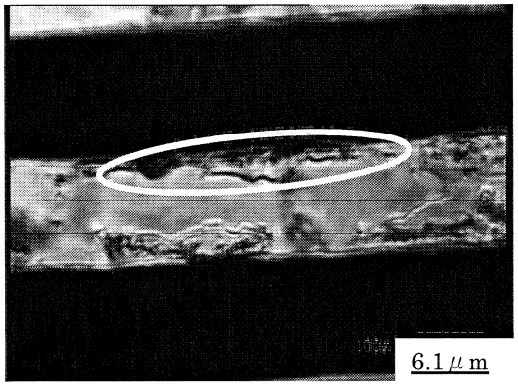


Fig. 15 Color change observed by laser microscope

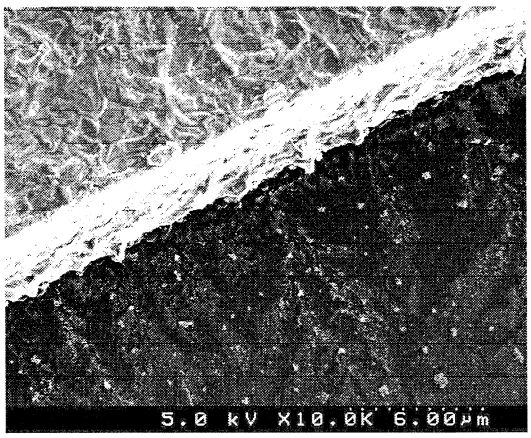
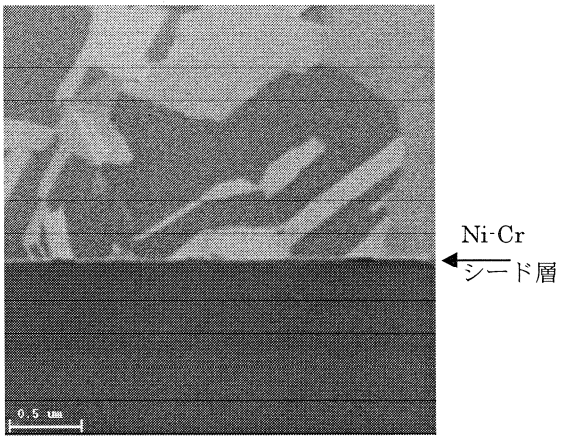


Fig.16 Dendrite generation observed by SEM image

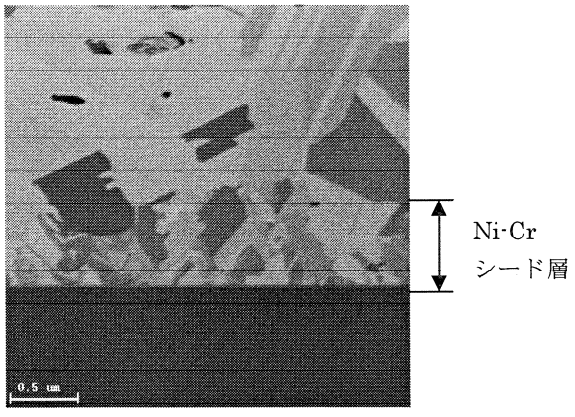
5.4 ECM の進行に対するシード層厚さの影響の検討

まず、THB 試験前における COF の微細構造の把握を行い、特にシード層厚さの差異が ECM の進行に対してどの様な影響を有するかにつて検討を行った。

その結果を Fig. 17 に示すが、同図(b)に示された試験片においては、(a)の試験片に比べてかなりの厚みを有するシード層が形成されていることが確認された。



(a) シード層薄い試験片



(b) シード層厚い試験片

Fig.17 Observation of microstructural by SIM after FIB process

したがって、THB 試験 200 時間後の試験片において基板裏面(PI を透過)からレーザー顕微鏡による観察を行った結果に示された基板と配線との界面に生じた変色が、初期の ECM 現象と推測され、これに対するシード層の関与の重要性が示唆されていることから、シード層の厚みが大きくなっている試験片における耐 ECM の改善が期待される。

Fig. 18 には、同様に FIB 微細加工を施した試験片の配線部分の長手方向の断面形状を示す。同図には厚いシード層の形成が長手方向に厚みのばらつきがなく行われていることを示している。また、金属間化合物の形成によるボイドが、Cu と Sn との界面に長手方向の各位置で同じように欠陥として存在していることを示している。

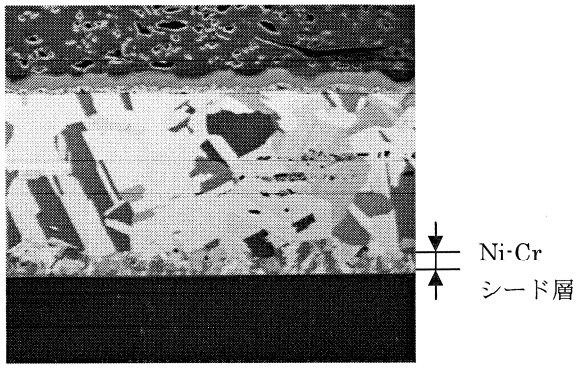


Fig.18 Observation of microstructure of longitudinal cross section by SIM after FIB process : COF(b)

次に、THB 加速試験 200hr 投入後における COF の観察結果を示す。

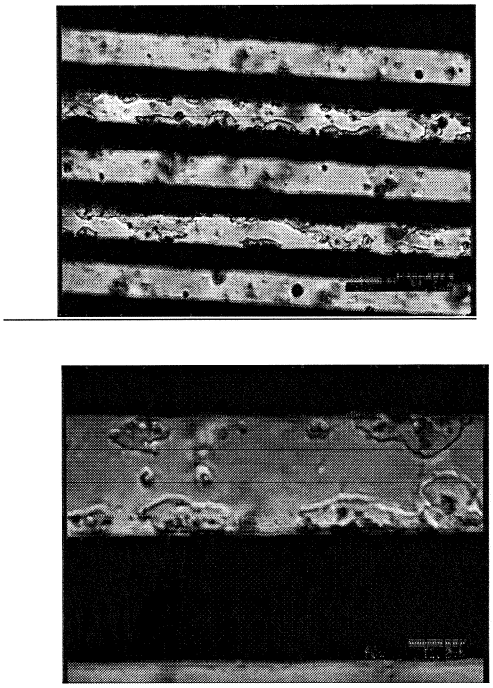


Fig.19 Observation by Laser Microscope :

(a) シード層薄い試験片

200hr THB加速試験実施後のCOFについてレーザー顕微鏡で詳細に観察した結果をFig. 20に示すが、配線に変色が観察されたのは、シード層の薄い(a)のみであった。現実には、PI基板とCu配線との境界に変色が確認さら、これらの変色は配線中心部へ向かって順次進行することがうかがえた。これに対して、シード層の薄い試験片(b)においては、この様な変色すなわちECMの初期過程の観察されなかった。したがって、Ni-Crシード層の厚みを増大することによる耐ECM性の改善が示された。

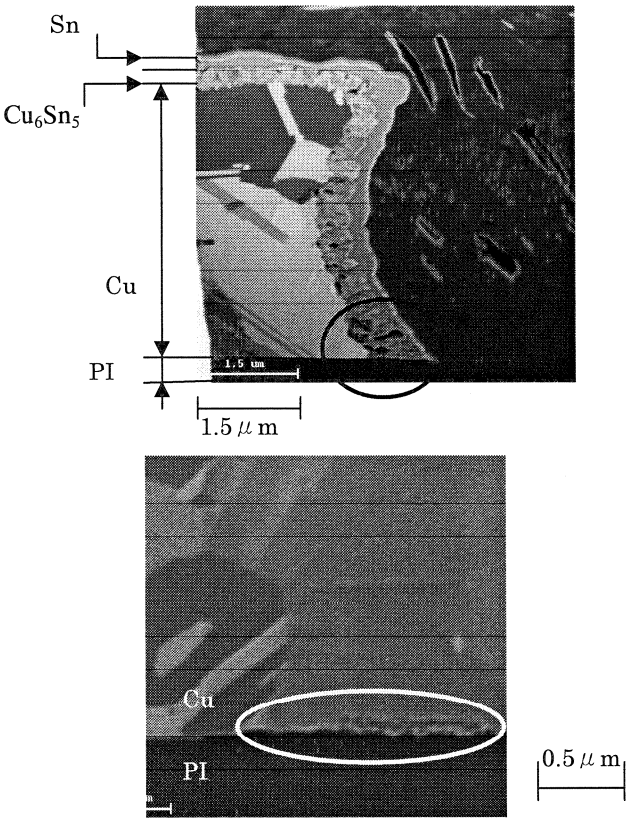


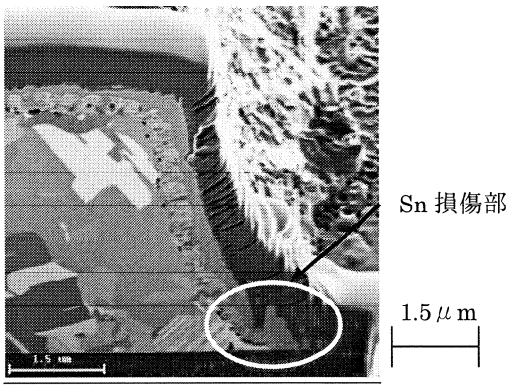
Fig.20 Observation of microstructural change by SIM after FIB process:COF(a)

そこで、200hr のTHB試験投入後の微細構造変化を把握するために、前述同様にFIBによる微細加工を施した後にSIMにより観察した結果をFig. 20に示す。

THB試験を200hr実施後の微細構造変化の把握を行うためにFIBにより微細加工を行いその後にSIMにより詳細な観察を行った結果、以下の事柄が明らかとなった。すなわち、Ni-Crシード層の変色は、溶出と思われる微細構造の変化が生じ、Cu配線とPI基板の間に存在するNi-Crシード層部分にすきまが生じた結果、もたらされたものであった。

すなわち、Fig. 20(b)には、これらの過程を示すPI基板とSnめっきとの間にすきまの存在が確認されている。これと同時に、THB加速試験の実施より金属間化合物の容積が増大した。すなわち、形成された金属間化合物Cu_6Sn_5の内部ならびにSnとCu_6Sn_5の間にボイドの形成が認められ、反応の進行に伴う金属間化合物の体積の増大よりボイドの体積増大が生じているものと判断される。

一方では、デンドライトの発生とSnめっき膜の損傷との関係を明らかにするために、168hr THB試験ごの微細構造変化を、同様にFIBにより加工後SIMにより観察した結果をFig. 21に示す。



デンドライトが発生したAnode部

Fig.21 Observation of microstructure by SIM after FIB process

その結果、すべての部位において、Cu配線とSnめっきとの間に金属間化合物の形成され、これがCu配線とSnめっきの間にボイドの生成をもたらしている。しかも、デンドライトの生じているAnodeのみSnめっきの溶出による損傷部が存在することが明らかとなった。

6．結果のまとめ

FPCのマイグレーション挙動を把握するため、携帯電話の液晶ドライバーなどに用いられるCOF(Chip On Flex)を供試材料とし、マイグレーションの信頼性試験として行われているTHB（高温高湿バイアス試験）を行い、加速的にマイグレーション発生させた。また、発生したマイグレーションに対してSEM・EDXによる評価を行い、マイグレーション評価法の確立を目的とした種々の実験検討を実施した。

その結果、COF中の配線のマイグレーションにより発生したデンドライトの成分はCuであり、Cuのマイグレーションは Sn メッキと基板との界面より発生していることが確認された。また、エポキシ樹脂中において、含有される Cl 及び樹脂に吸湿された水により配線のマイグレーションは促進される方向にあることが確認された。また、デンドライトまたはCAF発生には基点となる隙間が必要であることが示唆された。隙間発生には、スパッ

タ・メッキ法で作成した基板における Cr/Ni シード層の水分及び Cl による溶出や、樹脂中含有イオンの吸湿による溶解等が考えられる。THB により基板との密着力が落ちることから高温高湿環境下において COF におけるマイグレーション発生の基点となる基板界面における隙間の発生が促進されていることが推測され、COF におけるマイグレーション防止を考えるにあたって、いかにマイグレーションの基点となる隙間を作らないかが論点になると考えられる。

またさらに、くし歯パターン基板を使用したマイグレーション試験を行い損傷発生挙動の基板作成方法ならびにアンダーフィル材依存性を検討した結果、以下の事柄が示された。

①基材の違いにより、絶縁不良になるまでの時間に差があることが分かった。

②絶縁抵抗の試験結果がよいサンプルも、試験時間を長くすると配線に変色がみられることが判明した。シード層を持たないキャスティング工法の基材であっても長時間のマイグレーション試験では Cu の溶出による変色が起きる可能性があることが示唆された。

③アンダーフィル材の違いでマイグレーション発生に違いがあることが分かった。

これらの結果に基づき、さらに、FIB による微細加工を施し、SIM による詳細な微細構造観察を行った結果、以下の事柄が明らかとなった。

1) THB 試験投入前の試験片における観察結果より、金属間化合物形成によるボイドの発生が観察された。すなわち、Cu が Sn に向かい拡散し、金属間化合物 Cu_6Sn_5 の形成がなされた。Cu_6Sn_5 が形成されたことにより、Cu と Cu_6Sn_5 の間にボイドが生じた。

2) PI/Sn/Cu との界面にはボイドが存在する。

3)THB 試験投入後における試験片観察結果より基板と配線との界面より変色が生じており、ECM 現象の初期過程には Ni-Cr シード層が関与しているといえる。また、デンドライト状の生成物はアンダーフィル樹脂に覆われている部分から生じおり、Cu 配線から離れた箇所より発生していることからも EMC 現象の発生には Ni-Cr シード層が関与していることが強く示唆された。また、Ni-Cr シード層の厚みを増大させた試験片における耐 ECM 性の改善が確認された。

4) スパッタにより形成された Ni-Cr シード層の状態の把握を行った結果。初期過程における Cu と PI 基板の界面の変色は、Ni-Cr シード層の溶出に起因していると示唆された。これらの劣化が進行する過程としては、

①Ni-Cr シード層/Sn/PI の界面から、優先的に溶出が進む

②Ni-Cr シード層の溶出により生じたすきまを起点に Cu の溶出が進む

ことによりもたらされていることが示唆された。

5) デンドライトの生じた Anode では、PI 基板に近い部位で、Sn の溶出による Sn めっきの損傷部が存在する。

参考文献

(1) G.T.Kohman, H.W.Hermance and G.H. Dowenes, “Silver Migration in Electrical Insulation” Bell System Tech. Journal, Vol.34, No.6, pp.1115-1147, 1955.

(2) S. Krumbein, "Metallic Electromigration Phenomena," IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol.11, No.1, pp.5-15, 1988.

(3) Tsutomu Tsukui, “Insulation Deterioration and the Prevention Method by Electrochemical Migration of Electronic Equipment (Part 1)”, The Journal of Japan Institute of Electronics Packaging, Vol.8, No.4, pp.339-345, 2005.

(4) Hirokazu Tanaka, “Factors leading to ionic migration in lead-free solder”, ESPEC Technology Report No. 14, pp. 1-9, 2002.

(5) M. Pourbaix, “Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions”, NACE, 1966.

(6) J.A. Augis, D.G. DeNure, M.J. LuValle, J.P.Mitchell, Pinnel, M.R. and Welsher, T.L. “A Humidity Threshold for Conductive Anodic Filaments in Epoxy Glass Printed Wiring Boards”, 3rd International SAMPE Electronics Conference, pp. 1023-1030, 1989.

(7) T.L. Welsher, J.P. Mitchell and D.J. Lando, “CAF in Composite Printed-Circuit Substrates: Characterization, Modeling, and a Resistant Material,” Reliability Physics, 18th Annual Proceeding, pp 235–237, 1980.

(8) J.P. Mitchell and T.L. Welsher, “Conductive Anodic Filament Growth in Printed Circuit Materials,” Proceedings of the Printed Circuit World Convention II, pp. 80-93, 1981.

(9) B. S. Rudra, and M. G. Pecht, “Assessing Time-to-Failure Due to Conductive Filament Formation in Multi-Layer Organic Laminates,” Packaging and Manufacturing Techniques, Part B, Vol. 17, No. 3, pp. 269-276, 1994.

研究成果の公表

１．木村雄二　他：マイグレーション現象の発生による配線部の微細構造変化の把握と特性改善に向けた材料システムの最適化, 第 22 回エレクトロニクス実装学会講演大会論文集, Paper No.18B-11, pp.1-2, 2008.

２．Yuji KIMURA et al., Ionic Migration Behavior in Minute Wiring on Flexible Substrate, Computer Methods and Experimental Measurements for Surface and Contact Mechanics VIII, Editor : J.T.M. De Hosson, C. A. Brebbia, S. Nishida, WIT Press, pp. 75-87, 2007.

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　小泉安郎（現　信州大学）、大竹浩靖、宮下徹

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 oscillatory flow and vibration conditions, focusing on liquid velocity, amplitude and frequency of oscillations 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. Frequency of oscillatory flow was 2, 4 and 6 Hz, respectively; amplitude of oscillatory flow was 25 and 50 % in a ratio of main flow rate, respectively. For the vibration condition, acceleration of vibrator was 1.3 and 4.2 m/s2, respectively. Temperature at ONB and critical heat flux for oscillatory flow were lower than those for steady flow. The decreasing of liquid velocity by oscillatory caused the ONB and the CHF to decrease. Critical heat flux for the vibration condition was higher than that for steady flow. The effect of liquid oscillatory flow and vibration of heater on CHF examined through the liquid velocity profiles under oscillatory flow and vibration conditions. Now correlation was proposed by using the present experimental data.

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。

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する。そして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・原村らは、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。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。

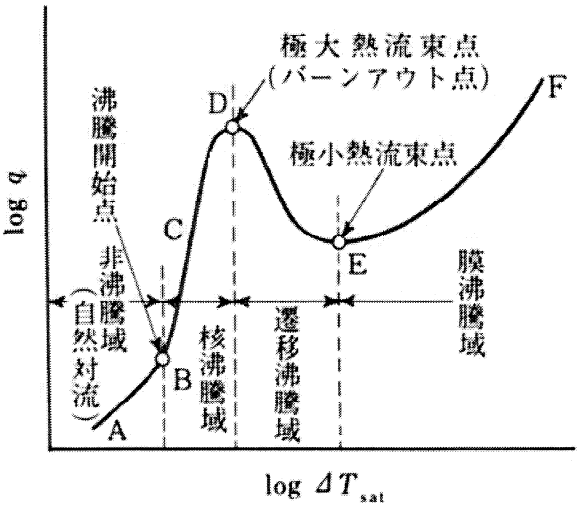


Fig.1 Boiling Curve.

3. 研究目的

平成18年3月金沢地裁で地震時安全性の点から、志賀原始力発電所2号機の運転差し止め判決が成された。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。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。

4. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略図を Fig.2 に示す。沸騰容器外寸は 160mm×180mm×300mm である。容器は加振機の性能から実験装置の軽量化が必要なのでジュラルミンで構成する。試験流体には十分脱気した精製水を用いて、液サブクール度 20K となったら実験を開始する。実験は静止系でのプール沸騰実験で行う。伝熱面加熱にはカートリッジヒーターを挿入した銅ブロックにより加熱し、沸騰容器内の試験流体はヒーターにより加熱され、容器内の液温は熱電対を介してデジタルマルチメーターにより測定する。容器内の蒸気はタンクを介して再び容器内に循環する仕組みとなっている。そして、容器の下部に置かれた加振機により振動が与えられ、これらの一連の動作を試験面表面よりの気泡発生の様子をハイスピードカメラにより撮影する。

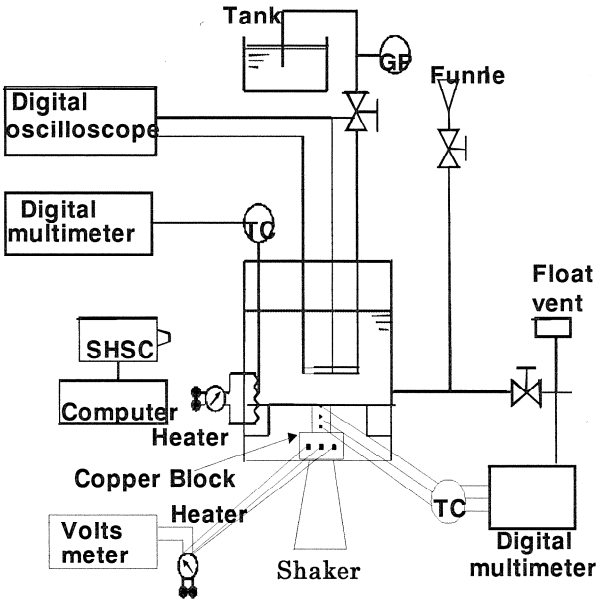


Fig.2 Experimental apparatus.

5. 銅ブロックの熱電対位置の計算

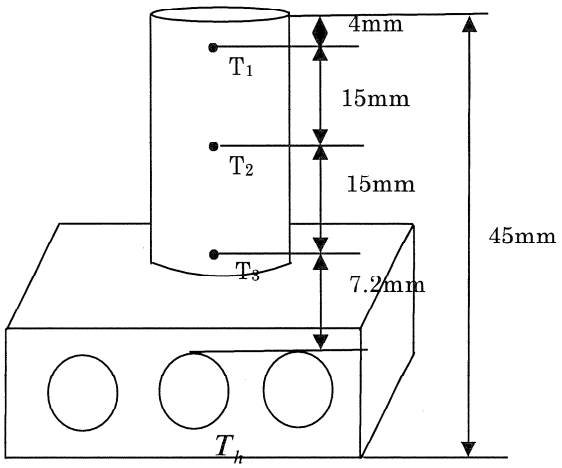
銅ブロックに差し込むカートリッジヒーターの部分の温度をT_h、加熱面から 4mm、14mm、24mm の距離の熱電対をそれぞれT_1、T_2、T_3とする。
フーリエの法則により 600℃時の銅ブロックの$T_h - T_3$、$T_3 - T_2$、$T_2 - T_1$間での温度差をそれぞれ求めると、

$$T_h - T_3 = \frac{1.2\times10^6 W/m^2 \times 7.2\times10^{-3} m}{383 W/mK}$$
$$= 22.56K$$

$$T_3 - T_2 = \frac{1.2\times10^6 W/m^2 \times 10\times10^{-3} m}{383 W/mK}$$
$$= 31.33K$$

$$T_2 - T_1 = \frac{1.2\times10^6 W/m^2 \times 10\times10^{-3} m}{383 W/mK}$$
$$= 31.33K$$

それぞれの熱電対間の温度差は$22.56K$ ℃、31.33℃、31.33℃なので、この熱電対間隔で測定可能であると



6. 実験結果及び考察

6.2 振動下の限界熱流束

Fig.3 に自然対流に近い条件 0.25m/s の実験結果を示す。限界熱流束に及ぼす加熱面振動の影響を検討するために、Fig.3 に振動加速度の依存性を示す。Fig.3 中には、Lee らの実験結果を併記した。なお、Lee らの実験は、垂直円柱状の加熱管であり、振動方向は主流方向に対して垂直である。Fig.3 より、本実験結果も Lee らの実験結果も振動振幅および振動加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。ただし、限界熱流束の上昇率に与える振動特性の主となるパラメータは、振動加速度であることがわかる。Fig.3 より、振動周波数により系統的な係数の差異が認められるものの、本実験結果および Lee らの実験結果より、CHF 増加率と振動加速度 a との間には、の関係があることがわかる。Lee らの実験の振動方向の相違および 2Hz の本実験結果の傾向が異なるものの、限界熱流束の上昇率 En に与える振動特性の主パラメータは振動加速度 a と示唆される。定常流と振動流を比較すると CHF はいずれも後者が高い値を示した。

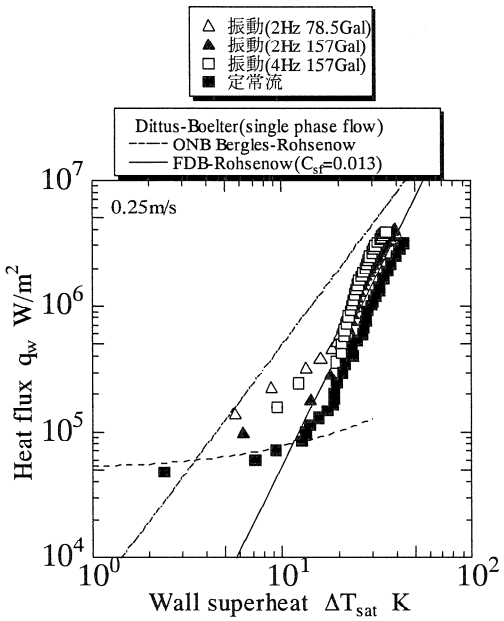


Fig. 3 Boiling curves.

謝辞

本研究に際し、実験は本大学院学生内田直樹君の協力の下行われました。記して謝意を表します。

7. 参考文献

(1) 小澤ら, JSME, Int. J, SerB,39-2(1995), p.412.
(2) Lee ら, Nuclear Engineering and Design, 237 (2007) pp. 982-987
(3) 甲藤好郎 “伝熱概論” 株式会社養賢堂版 p.322

液滴の表面張力を利用した微小物体のマニピュレーションに関する研究

機械システム工学科　鈴木　健司

Study on Manipulation of microobjects using surface tension of liquid droplets

Kenji Suzuki , Department of Mechanical Systems Engineering

ABSTRACT : This paper describes a new method for manipulation of micro objects using surface tension of water droplets. Linear and rotational transportation systems driven by electrowetting-based actuation have been developed. The device consists of a stator with electrode array, water droplets and a carried object. The water droplets are transported on the stator by using electrowetting on dielectric (EWOD) and the carried object is supported and actuated by the droplets. A rotor of 5-mm diameter supported by three droplets was successfully rotated at 320 rpm. An object which weighs 63 mg was transported linearly using four water droplets. Furthermore, droplet splitting based on EWOD was also studied for dispensing small droplets to the transportation devices. When electrodes on the left and right sides of the droplet are energized, the droplet is elongated and necking occurs in the middle, which results in cutting of the droplet. A 2-μl droplet was successfully split with 70 V applied voltage.

１．　はじめに

マイクロ機械の設計においては，スケール効果によりマクロな機械部品では無視できるような静電力，表面張力などの影響を考慮する必要がある．例えば MEMS の製作プロセスにおいては，マイクロ機械要素が液体の表面張力により基板に貼り付いてしまうことが問題となっている．しかし近年，撥水表面上の液体の表面張力を利用することにより液滴を輸送する技術[1] や，液滴を潤滑に利用する手法[2] が研究されている．本研究ではこれらの技術を応用して，液滴によって物体を支持し，かつその液滴を輸送することにより微小物体をマニピュレートする研究をおこなった．液体としては表面張力の大きい純水を使用した．本研究で製作したマイクロデバイスの概念図を Fig. 1 に示す．これは回転型のアクチュエータであり，水滴を輸送するステータ，その上に載る水滴，水滴によって支持される物体（ロータ）から構成されている．水滴を輸送する技術として化学チップなどの分野で多く用いられている EWOD (Electro Wetting On Dielectric) を利用した．

２．　ＥＷＯＤの原理

EWOD を利用した液滴輸送の原理を Fig. 2 に示す．誘電体層に挟まれた二つの電極を製作し，その上に撥水性の膜を形成する．電極間に電圧を印加すると電位の高い側の液滴の接触角が減少し，液滴が高電圧側に移動する．このことは静電力により説明できる[3]-[5].

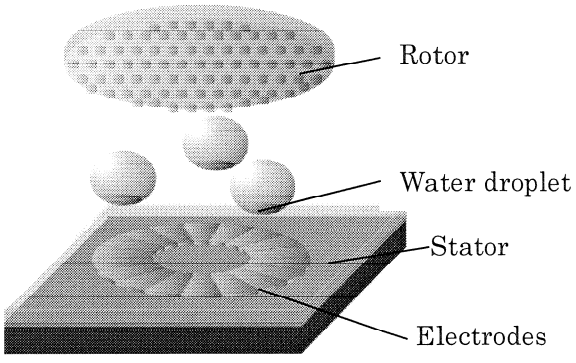


Fig.1　Micromotor utilizing surface tension of water droplets

２．１　液滴がグラウンドに接続されている場合

液滴を導体と仮定する．Fig. 2 のように電圧を印加した場合，Fig. 3 のように電極の位置がずれたコンデンサに電圧を加えることと等価となり，電極と液滴の重なりが大きくなる方向に静電力が働く．したがって液滴は図の右方向に移動し，液滴と電極が重なった位置で平衡に達する．液体，固体，気体の接触線に働く単位長さ当たりの静電力 F_e は，電圧を V，電極と液滴の間隔を d，真空の誘電率と誘電膜の比誘電率をそれぞれ ε_0，ε とすると

$$F_e = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 V^2}{2d} \tag{1}$$

と表される．液体，固体，気体の接触線における静電力と表面張力のつりあいの式は次のようになる．

$$\gamma_L \cos\theta_E = \gamma_S - \gamma_{SL} + \frac{\varepsilon \varepsilon_0 V^2}{2d} \tag{2}$$

これを変形すると，電圧を印加した側の液滴の接触角 θ_E が得られる．

$$\cos\theta_E = \frac{\gamma_S - \gamma_{SL}}{\gamma_L} + \frac{\varepsilon \varepsilon_0 V^2}{2d\gamma_L} = \cos\theta + \frac{\varepsilon \varepsilon_0 V^2}{2d\gamma_L} \tag{3}$$

θ_E はもともとの接触角 θ に比べて減少する．これは電界により濡れ性が増加したと解釈することもできる．

２．２　液滴がグラウンドに接続されていない場合

この場合は，液滴の電位は不定となる．液滴を導体と仮定すると，Fig. 5 のようなコンデンサ回路と等価である．液滴内の電荷は保存するので，コンデンサ C_1，C_2 に蓄えられる電荷量は等しい．電荷量を Q，電極の面積を S_1，S_2 とすると，

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2 \tag{4}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{S_1}{S_2} \tag{5}$$

液滴に働く左向き，右向きの静電力をそれぞれ F_1，F_2 とすれば

$$F_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 V_1^2}{2d}, \quad F_2 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 V_2^2}{2d} \tag{6}$$

$$F_1 : F_2 = V_1^2 : V_2^2 = S_2^2 : S_1^2 \tag{7}$$

液滴が中央より左にあるときは $F_1 < F_2$，右にあるときは $F_1 > F_2$ であるから，液滴は２つの電極の中央に移動して平衡に達する．

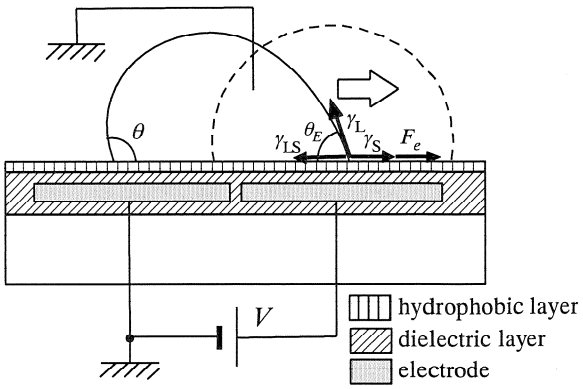


Fig. 2 Principle of EWOD. The droplet is grounded.

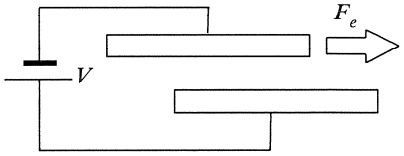


Fig. 3　Equivalent circuit

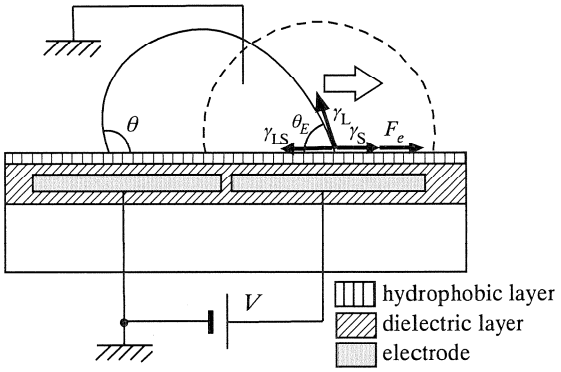


Fig. 4　ungrounded droplet

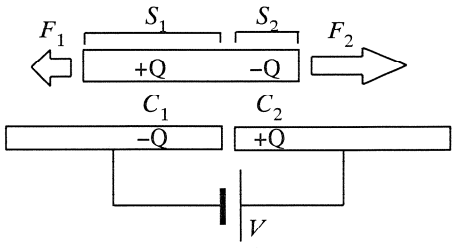


Fig. 5　Equivalent circuit

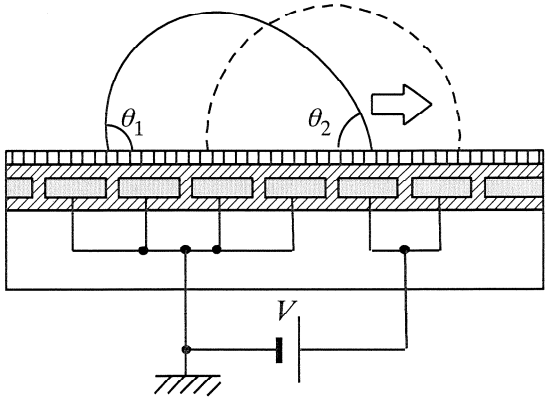


Fig. 6 Continuous actuation of ungrounded droplet

液滴を連続的に移動させるためには、Fig. 6 のように電極のピッチを水滴に比べて小さくし，電圧を印加する電極が常に水滴の移動する方向に偏るようにすればよい．

3． メニスカスによる物体支持の原理

メニスカスとは，液体が固体表面と接するとき，両者の分子間に働く付着力と液体分子間の凝集力の大小関係で生じる湾曲した液体表面のことである．メニスカスによって生じる力をメニスカス力という．撥水性表面間に挟まれた水滴は，Fig. 7 のように凸形状となり，表面張力により表面積を小さくしようとするため，メニスカスの内部では圧力が上がり,二平面間をひき離す方向に力が働く．本研究では試料の表面を撥水化することにより凸型のメニスカスを形成し，その斥力を利用して物体の支持，駆動力の伝達，固体接触の回避による摩擦力の低減を行った．

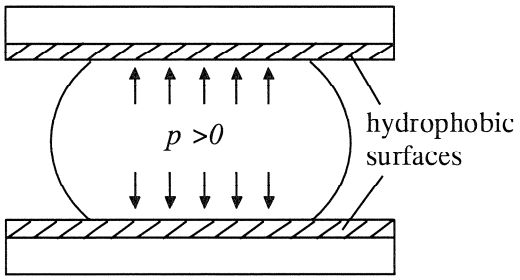


Fig. 7 Support of the normal load using meniscus force of water droplet

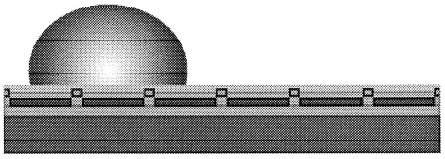
4．水滴輸送実験

2 章で述べた理論モデルを検証するため，水滴輸送実験を行った．一般に EWOD による水滴輸送では，水滴の電位を安定させるために上面にグラウンド電極を設ける場合が多い．しかし，本研究においては水滴上に被輸送物を載せるため上部に電極を配置することができない．そこでグラウンド電極を下部基板の撥水膜と誘電膜の間に配置することにした(3)．下部基板の構成を Fig. 8 に示す．幅 500μm の制御用電極を 100 μm の間隔をあけて配置し，その間に制御用電極に干渉しないよう幅 50μm の GND 電極を配置した．また表面には撥水膜として Teflon AF を塗布した．水滴とグラウンド電極は接しているわけではなく，間に撥水膜を挟んだコンデンサと等価になるが，撥水膜が十分に薄いため，その静電容量は水滴と制御電極との間の静電容量に比べて大きくなる．このため，水滴の電位は０Ｖに近くなると考えられる．

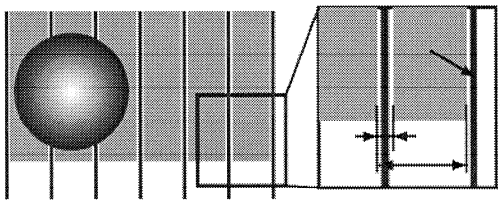
グラウンド電極を設けた場合と設けない場合で水滴輸送実験を行い，両者の比較を行った．水滴の変位の測定結果を Fig. 9 に示す．Fig.10 (a) のようにグラウンド電極を設けない場合，水滴は正負の電極の中間で停止しているのに対し，Fig.10 (b) のようにグラウンド電極を基板内に配置した場合は完全に正電極側に移動し，移動距離はグラウンド電極が無い場合のほぼ 2 倍となった．また，水滴の移動速度はどちらもほぼ等しくなった．以上の結果から，グラウンド電極の有無による水滴の挙動の違いが確認された．また，Fig. 8 のグラウンド電極の配置は水滴を接地するのに有効であることが確かめられた．

5．微小物体の回転

EWOD による水滴移動と，メニスカス力による物体支持を組み合わせた回転型のアクチュエータを製作した．製作を容易にするため，基板にはグラウンド電極を設けない構造とした．ステータは電極を円形に 18 極になるように配置した．円の外径は 4.5mm，内径は 2mm，電極間のギャップは 50μm とした．



(a) Side view



(b) Top view

Fig. 8 EWOD with ground electrodes in the bottom plate

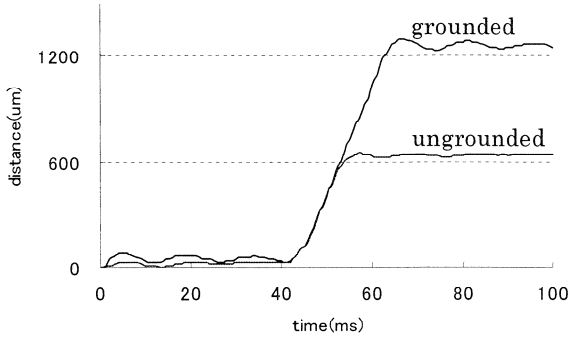
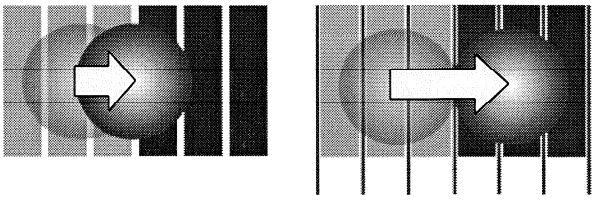


Fig. 9 Droplet motion



(a) ungrounded droplet (b) grounded droplet

Fig. 10 Motion of the droplet

Fig. 11 に製作プロセスを示す．まず Si 基板上に絶縁層である SiO_2 (膜厚 3μm) をスパッタリングし，その上に Cr (膜厚 150nm) を成膜，OFPR800 レジストを用いて電極をパターニングする．その上にさらに SiO2 (膜厚 500nm) をスパッタリングし，電極を一部露出させるために，Al をマスクとして CF_4 ガスを用いたプラズマエッチングでパターニングした．最後に撥水膜を形成するために Teflon AF をスピンコートした．

ロータは，撥水性を高めるために細かい凹凸をパターニングした PDMS（Polydimethylsiloxane）を用い，直径 5mm の円形に加工した．

水滴輸送のためのシステム図を Fig. 12 に示す．ファンクションジェネレータからの方形波を用いて，PIC により制御用の電圧パターンを生成し，FET により 100V に増圧してデバイスに入力する．電圧のパターンは，Fig. 9 のタイミングチャートに示すように，連続する３つの電極に同時に電圧を印加し，1 ステップ毎に順次隣の電極にシフトさせた．6 個の電極に対して一つの水滴を配置し，3 個の水滴を同時に輸送することができる．このステータを用いて，1μL の水滴を 0.11 m/s で輸送することができた．

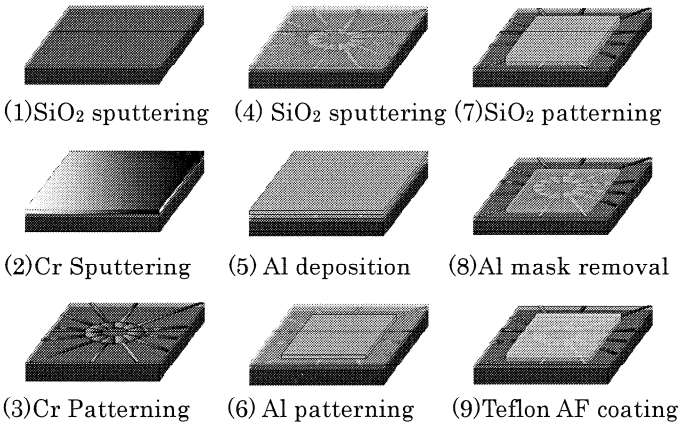


Fig.11 Fabrication process for the stator

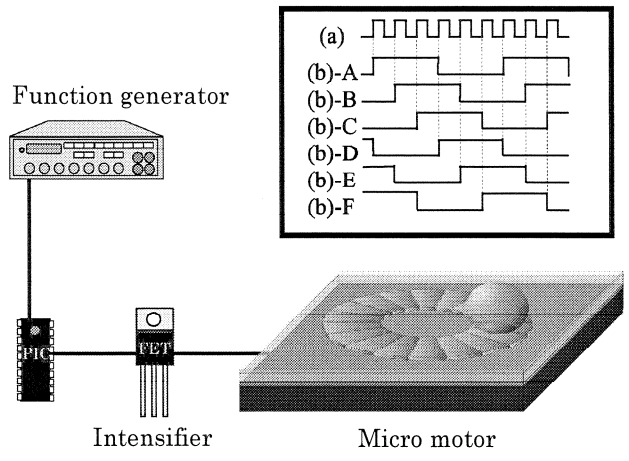


Fig. 12 Experimental setup for droplet translation

次にステータ上に 3 個の水滴　を配置し，その上に PDMS で作成したロータを載せて回転型アクチュエータの駆動実験を行った．ロータの表面には撥水性を高めるために凹凸加工を行い，撥水膜としてテフロン AF を塗布した．実験条件を Table 1 に，アクチュエータの写真を Fig. 13 に示す．質量 7.7 mg，直径 5 mm のロータを載せた状態で 320 rpm (水滴速度 0.08 m/s)でマイクロモータを駆動させることに成功した．

6．微小物体の搬送

前節と同様のシステムを用いて直線上での物体搬送実験をおこなった．実験条件を Table 2 に，写真を Fig. 14 に示す．4 つの水滴に支持された搬送台の上に４種類の質量のおもりを載せて搬送を行った．搬送台の水滴に接

Table1 Experimental conditions for rotational actuator

Liquid droplet	純水 1[μl]×3
Electrodes	OD5[mm] ID2[mm]×18
Electrode gap	50[μm]
Thickness of electrodes	300[nm]
Thickness of dielectric layer	1000[nm]
Rotor	7.7[mg]



Fig. 13 Rotational actuator

Table2 Experimental conditions for linear actuator

Liquid droplet	Deionized water, 4[μl]×4
Electrodes	8.0[mm]×0.5[mm]×24
Electrode gap	50[μm]
Thickness of electrodes	300[nm]
Thickness of dielectric layer	1000[nm]
Pay load	conveyor pad 20[mg] + pay load(PDMS) 16,30,43,65[mg]

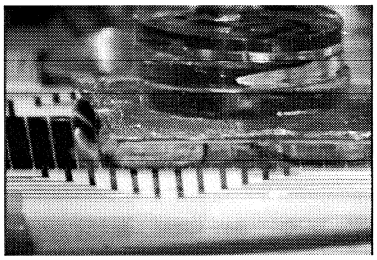


Fig. 14　Linear actuator with a PDMS weight

触する面の撥水性を高めるために，凹凸を形成したPDMS に撥水膜となる Teflon AF を成膜した．搬送実験の結果を Fig.5 に示す．積載量 63 mg までの物体搬送に成功し，その時の移動速度は 6.0 mm/s となった．搬送物の質量が増加するにつれ，搬送に必要な電圧が増加し，移動速度が減少することがわかった．

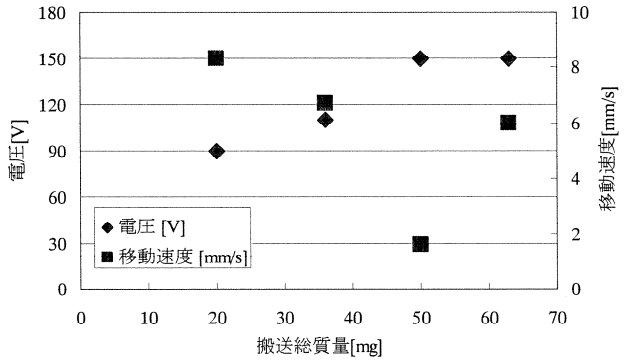


Fig.15 Experimental results of linear actuator

7．EWOD を用いた水滴分離

水滴を利用した物体搬送においては，微小水滴の供給方法が問題となる．マイクロピペットなどを用いた供給では，多数の水滴を再現性よく正しい位置に配置することが困難である．また，水を用いると蒸発によって水滴量が減少することも問題となる．そこで，EWOD 技術を利用して，水滴を分離する研究を行った．水滴の分離技術を応用すれば，一箇所に供給された比較的大きな水滴から一定量の微小水滴を自動的に分離しデバイスに供給したり，蒸発した水滴を補充することが可能になると考えられる．

水滴を分離するためには，中央部にくびれを作る必要があり，曲率が負となるくびれ部分の圧力を他の部分より高くする必要がある．このため，水滴を二平面間に閉じ込めて上下から圧力を加えるようにした（Fig.16[c]）．

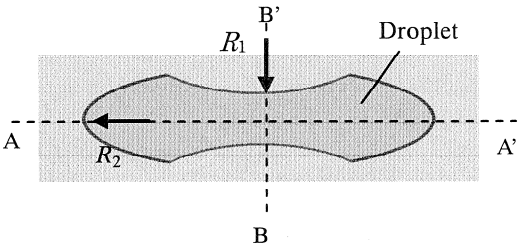
Fig. 17 に示すように，３つの電極の中央に水滴を置き，両端の電極に電圧を印加すると，両端の濡れ性が高くなるので液滴は伸びる(Fig.17[2-3])．また，このとき下面との接触角 θ_{b2} は小さくなり，水滴表面の曲率半径も増加する（Fig.16(b)）．電圧を印加していない中央の電極上は撥水性であり続ける．その結果，中央の電極上の水滴のメニスカスは凸型から凹型へ変化していき，くびれが形成され，(Fig.7[3])．最終的に水滴は分離する（Fig.7[4]）[3]．

ここで水滴の主曲率半径の関係を幾何学的に求めると

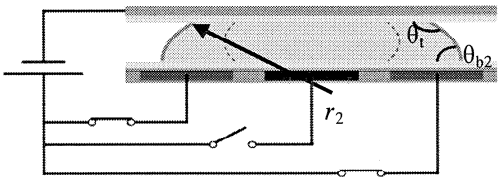
$$\frac{R_2}{R_1} = 1 - \frac{R_2}{d}\left(\cos\theta_{b2} - \cos\theta_{b1}\right) \qquad (8)$$

となる．ここで，d は二平面間の隙間，θ_{b1}, θ_{b2} はそれぞれくびれ部と両端部の下部プレートとの接触角を表している．また，R_1，R_2 はくびれ部と両端部の上から見たときの曲率半径である．液滴の中央がくびれたときの形状は凹型メニスカスとなるので，R_1 は負となる．左右の電極による接触角の変化は電位によってきまる．これを理論的に表すと

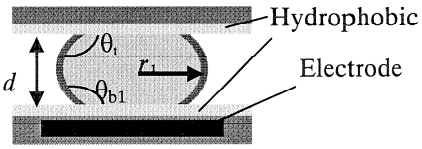
$$\cos\theta_{b2} - \cos\theta_{b1} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon V_d^2}{2\gamma_L t} \qquad (9)$$



(a) Top view



(b) Cross sectional view AA'



(c) Cross sectional view BB'

Fig. 16 Droplet configuration for cutting

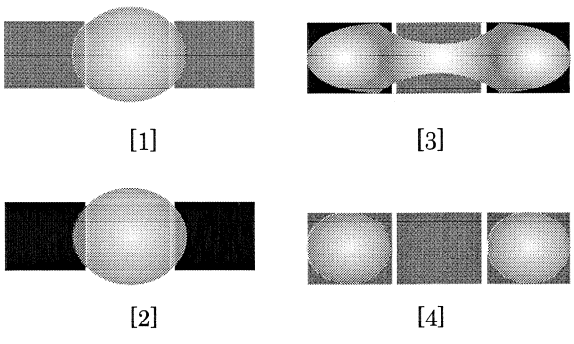


Fig. 17 Droplet cutting

ここで，$\varepsilon_0\varepsilon$ は絶縁膜の誘電率，V_d は印加電圧，γ_L は水滴の表面張力，t は絶縁層の厚さをそれぞれ示している．式（9）を式（8）に代入すると

$$\frac{R_2}{R_1} = 1 - \left(\frac{R_2}{d}\right)\frac{\varepsilon_0\varepsilon V_d^2}{2\gamma_{LG}t} \qquad (10)$$

と変形できる．くびれが起きるとき $R_1<0$ となる．一方，R_2 は常に凸型メニスカスを形成するため $R_2>0$ の関係を保っている．よって式（10）の値はくびれが発生するときに負になる．すなわち，印加電圧 V_d を上昇させ，式（10）の右辺が負になるとくびれが発生し，分離がはじまる[6]．

８．水滴分離実験

前項の原理に基づき，液滴の分離実験を行った．本実験では，水滴を十分に長く引き延ばせるように，Fig.18 に示すような電圧制御を行った．電極を 8 枚 1 グループとし，1 秒毎に電極への電圧の印加を切り替え，Fig.18 の電圧パターンを繰り返した

Table 3 に示す実験条件で複数回実験を行い，分離時間と分離後の面積比をマイクロスコープの映像から測定した． Table 4 に実験結果示す．分離時間は液滴が変形し始めてから分離が完了するまでとした．また，面積比は残る側(右端)の液滴の面積を 1 として算出した．

本実験では，分離した水滴の面積は引っ張る側の方が常に大きくなった．これは，残す側の電圧印加が電極一枚なのに対し，引っ張る側は電極 3 枚に同時に印加したこと，および液滴を引っ張る際に液滴が横に伸びて Fig.19 のような T 字型になったことが原因として考えられる．電極の形状と電圧印加パターンを変化させることにより，分離される水滴の量も調整可能であると考えられる．

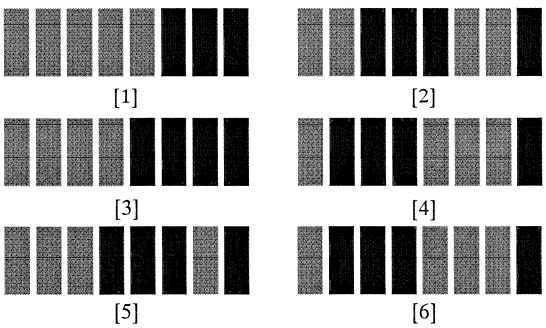


Fig.18 Voltage control for droplet cutting

Table 3 Experimental Condition for droplet cutting

Droplet volume	2μl
Applied Voltage	70V
Number of electrode	24
Dimension of electrode	1×6 mm
Electrode gap	0.1 mm
Frequency	1 step/sec
Channel gap	0.165 mm

Table 4 Experimental results of droplet cutting

Area ratio	Split time [sec]	Area ratio	Split time [sec]
1.5：1	1.9	1.4：1	14.8
5.8：1	1.3	4.6：1	13.3
2.1：1	11.1	1.1：1	5.7
3.3：1	4.5	3.3：1	2.1
2.2：1	5.2	2.2：1	6.6
1.5：1	7.1		

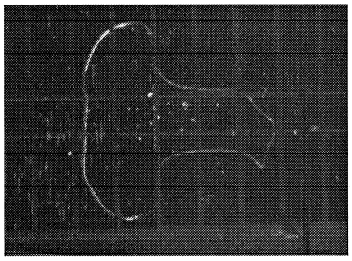


Fig.19 Droplet configuration for cutting
(Electrode gap: d=165[μm], electrode: 6× 1 [mm], Volume of water: 2[μl])

９．結言

EWOD による水滴輸送と，撥水面上の水滴による荷重支持を利用して，水滴の用いた新しい微小物体のマニピュレーション手法を提案した．本手法は，水滴の表面張力と静電力を利用しており，マイクロスケールに適した方法と言える．まず EWOD の理論モデルを実験により検証するため水滴輸送実験を行い，GND 電極の有無による液滴の挙動の違いを調べた．次に，水滴によって微小物体を支持して駆動する回転型，直動型のマイクロアクチュエータを製作した．回転型では，質量 7.7 mg，直径 5 mm のロータを水滴で支持し 320 rpm で回転させることに成功した．直動型では最高 85mg の物体を 4 個の水滴で支持し，6mm/s で搬送することができた．また，EWOD を利用した水滴の分離実験を行い，2μl の水滴

をギャップ 0.165mm の２平面間に挟み，70V の電圧を印加により分離することができた．液滴分離技術は，物体搬送デバイスへの液滴供給に応用可能であると考えられる．

参 考 文 献

（１）平塚健一，黒沢仁彦，“微小荷重における水滴滑，”トライボロジー会議予稿集，東京，2000，pp.3-4 Vol.100, No.1000 (1998) pp.11-12.

（２）Altti Torkkeli, Ari Haara, jaakko Saarilahti, Harri Harma, Tero Soukka, and Fertti Tolonen, “Droplet Manipuration on a Superhydrophobic Surface for Microchemical Analysis,”The 11th International Conference on Solid- State Sensors and Actuators, Munich, Germany, June 10-14,2001,pp. 1150-1153.

（３）Christopher G. Cooney, et al., “Electrowetting droplet microfluidics on a single planar surface,” Microfluidics and Nanofluidics, Vol. 2, No. 5, 2006, pp.435-446.

（４）Masao Washizu, “Electrostatic Actuation of Liquid Droplets for Microreactor Apprications,” IEEE Trans. on Industry Applications, 34, 4, 1998, pp.732-737.

（５）M. G. Pollack, A. D. Shederov and R. B. Fair, “Electrowetting-based actuation of droplets for integrated microfulidics,” Lab on a Chip, 2, 2002, pp.96-101.

（６）Sung Kwon Cho, Hyejin Moon and Chang-Jin Kim, “Creating, Transporting, Cutting, and Merging Liquid Droplets by Electrowetting-Based Actuation for Digital Microfluidic Circuits”, IEEE Journal of Microelectromechanical Systems, VOL. 12, NO. 1, 2003, pp70-79.

基本波および3倍波併用型の高性能弾性表面波センサ装置の基礎研究

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

Basic Investigation of High Performance Sensor Using Fundamental and 3rd-Harmonic Surface Acoustic Waves

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

Abstract — Mobile communications, e.g. cellular phones, have become very widespread. A new concept called "Sensor Network" has been proposed with the development of such communications system. 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.

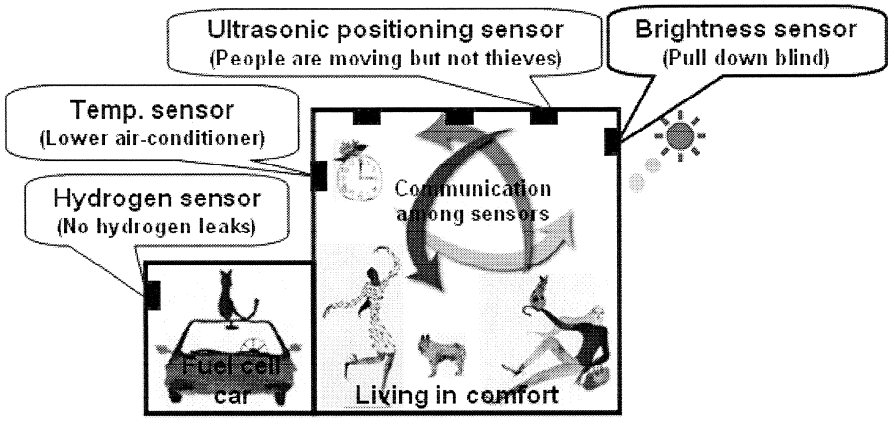


Fig. 1. Sensor network with various sensors

1. INTRODUCTION

In the last half of the twentieth century, mobile communications by means of the cellular-phone system have spread all over the world. Recently, a sensor network has been investigated to control the circumstances at homes, offices and public places. In

this system, simple radio communications network is installed in a certain area to connect many distributed sensors by similar technology to that used in cellular-phone system. The sensor network is treated as a new concept which will have a big impact on our lives and grow to a giant industry like the cellular-phone system. It will also contribute to future ecology, i.e. energy saving and environment preservation. In our laboratory, we have been studying the sensor network to achieve comfortable living circumstances by home/office sensing and control [1]. As shown in Fig. 1, many sensor nodes with various sensors will be arranged within homes and offices, where nodes can communicate one another via simple radio network. Sensed signals from all nodes are gathered to a center node. The center node not only supervises sensor nodes and processes collected data but also sends control signals to other installations.

In this paper, we propose a new sensor-node structure and a novel SAW (Surface Acoustic Wave) gas sensor which can operate within the sensor node. One of the most successful SAW gas-sensors is a SAW GC (gas chromatography) invented by E. J. Staple, et al [2][3]. However, it has a rather complicated structure using not only a SAW sensor but also a trap tube and a column tube to separate gases according to their molecule weight. Due to the rather large size and the high power consumption, it can not be adopted in sensor network. Moreover, only Quartz crystal substrates have been used in these kinds of conventional SAW gas sensors, because conventional SAW sensors require very good temperature characteristics for the piezoelectric substrates. We have invented a novel SAW gas sensor, which can remove such a limited selection for piezoelectric crystal substrates.

ZigBee has been regulated by IEEE 802.15.4 [4] and ZigBee Alliance as a wireless-communications medium for the sensor network. One important feature required for ZigBee is the extreme low-power consumption, which provides several-year operation with a single battery. In ZigBee, 2.4 GHz is used to connect sensor nodes mutually in the sensor network. They can provide not only conventional star-link but also new mesh-link types of network topology. Our sensor is also designed to be combined with 2.4-GHz ZigBee. Sensing signals with several hundred MHz are generated by division and multiplication of 2.4-GHz signal, which can remove the necessity of a SAW feedback oscillator used in the conventional SAW sensors [5][6]. Moreover, the dynamic range of our sensor is expanded by using not only fundamental but also 3-rd harmonic frequency SAWs to detect gasses. For example, 150 MHz obtained from 2.4 GHz divided by 16 is used in coarse sensing, while 450 MHz i.e. 150 MHz multiplied by 3 is used in fine sensing. The proposed sensor not only can be assembled within the sensor node but also provides self-temperature-compensated characteristics. We will give an illustration of the 2.4-GHz ZigBee-based sensor node in the 2nd Section and present a detail explanation about the SAW gas sensor in the 3rd Section. These sensor nodes with gas sensors installed in the sensor network will be used for sensing hydrogen gas leaked from fuel-cell cars as well as other pollution gases in the future.

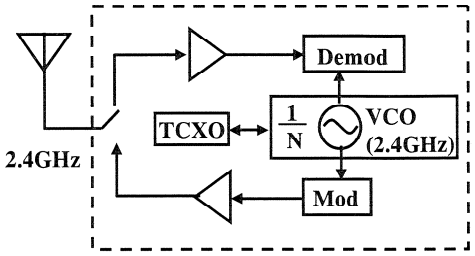


Fig. 2 Block diagram for ZigBee node

2. NEW ZIGBEE-BASED SENSOR-NODE STRUCTURE

ZigBee which uses 2.4 GHz has been regulated by IEEE802.15.4 as one of radio standards for low data-rate communications media such as a sensor network [4]. As a block diagram is shown in Fig. 2, the conventional ZigBee-based sensor node consists of 2.4-GHz VCO (Voltage-Controlled Oscillator) locked to TCXO (Temperature-Compensated Xtal Oscillator) and other circuit components.

We have proposed a new sensor-node structure which is constructed with not only Fig. 2's circuits but also a SAW gas sensor as shown in Fig. 3. In our configuration, sensing RF signals e.g. 150-MHz and 450-MHz signals which are supplied to the SAW sensor are generated from 2.4-GHz signal in the ZigBee circuit. These frequencies are obtained from 2.4 GHz divided by 16 and from 150 MHz multiplied by 3, respectively. As will be explained in the next Section, 150 MHz corresponds to a fundamental SAW, while 450 MHz to a 3rd-harmonic SAW. Both of them can be excited by a single IDT (Interdigital Transducer). When the concentration of hydrogen-gas molecule is very subtle, the 450-MHz 3rd-harmonic SAW is used for sensing with high sensitivity. On the other hand, the 150-MHz fundamental SAW is used for coarse

sensing of dense concentration. Therefore a wide sensitivity dynamic range can be achieved by changing two frequencies.

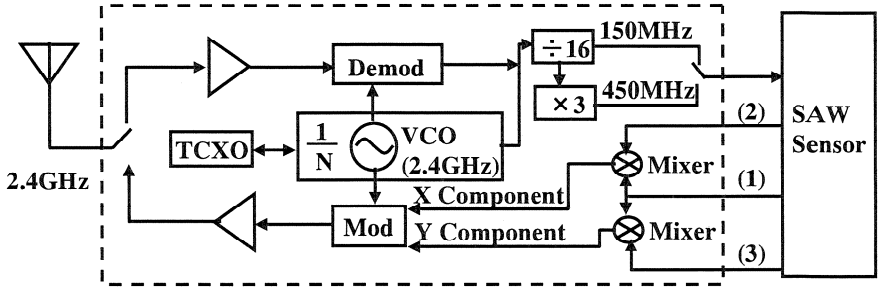


Fig. 3 New sensor node with SAW sensor based on ZigBee

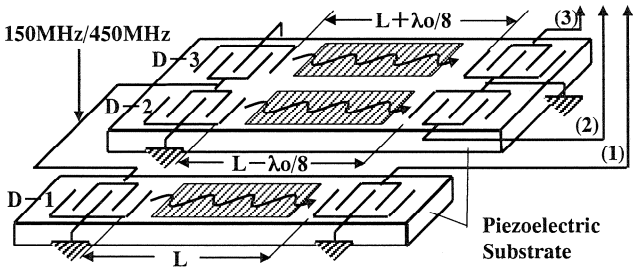


Fig. 4 Fundamental configuration for novel SAW gas sensor

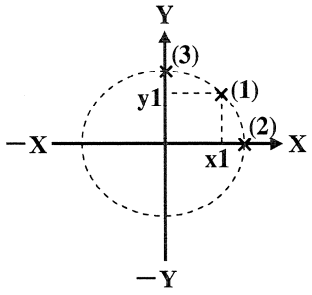


Fig. 5 Phase relations for three output signals

3. NOVEL SAW GAS SENSOR

3.1. Basic configuration of sensor

We use three SAW delay lines in our sensor as shown in Fig. 4. Each delay line has input and output IDTs, between which thin film reactive to specific gas molecule is formed. In the case of palladium (Pd) thin film, hydrogen molecule reacts with Pd to produce small mass loading along the SAW propagation path, which results in phase shift of the received SAW. As shown in Fig. 4, the propagation length between input and output IDTs for the delay line of D-1 is defined as L. Other lengths for D-2 and D-3 are L-λo/8 and L+λo/8, respectively, where λo is a SAW wavelength. The D-1 is used as a sensing delay line. The D-2 and D-3 are isolated from air and provide standard phases determined by SAW propagation lengths between IDTs.

First we assume that the 150-MHz signal which corresponds to a fundamental SAW is providing from the sensor-node circuit shown in Fig. 3. The signal is supplied to all input IDTs of three delay lines, and the received signals from output IDTs are numbered from (1) to (3) in order according to the delay lines from D-1 to D-3 as shown in Fig. 4. Phase relations of three output signals from (1) to (3) are shown in Fig. 5. If the output signal (2) is assumed to be a standard signal with 0-rad phase and to exist on X axis, the output signal (3) is located on Y axis with π/2-rad phase due to λo/4-propagation path difference. With no concentration of sensing gas, location of the sensor output signal (1) is in the middle point between two output signals (2) and (3) as shown in Fig. 5, because the delay-line length of D-1 is in-between for both D-2 and D-3. With increase of gas concentration signal (1) moves along Fig. 5's circle. This phase shift for propagating SAW is produced due to mass loading effect of sensing gas. It also can be measured based on x1 (in-phase) and y1 (quadrature-phase) components given by projected values to X and Y axes respectively as shown in Fig. 5. Moreover the delay lines D-2 and D-3 are isolated from the sensing gas, therefore they can provide standard in-phase (I) and

quadrature-phase (Q) signals unrelated to gas concentration. The x1 and y1 can be obtained by mixing the sensor signal (1) with the standard signals (2) and (3) respectively as shown in Fig. 3.

3.2. Self-temperature-compensation characteristics

SAWs propagating along the general piezoelectric substrates, e.g. LiNbO3, LiTaO3, LBO have velocities with negative temperature coefficients for rising temperature. Their values are from 20 to 100 ppm/°C, which can not be negligible when considering wide temperature range from -40° to 100°C required for the sensor network especially for use within a garage. The phase relations between sensor signal (1) and the standard signals (2)/(3) at room temperature are shown in Fig. 6(a)'s constellation, which are same as in Fig. 5. When the temperature rises the velocity of SAW is decreased, which results in increase of each delay line's phase delay. This corresponds to counter-clockwise rotation in the constellation for each output signal as shown in Fig. 6(b). The more rises the temperature, the further increases the rotation-angle as shown in Fig. 6(c). However, the temperature change has same influence to all three SAW delay lines, which keeps unchanged relative phase relations among three output signals. Therefore, if we introduce new axes of X' and Y', the values projected to X' and Y' can offer same I and Q components as x1 and y1 at room temperature. This means that the novel sensor structure provides self-temperature-compensation characteristics. The actual phase shift only due to the gas concentration can be obtained independent of the environmental temperature condition.

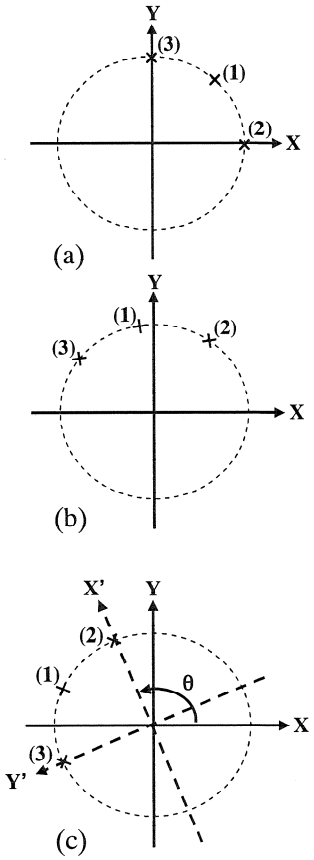


Fig. 6 Phase rotations due to temperature change
(a) Room temperature; (b) Counter-clockwise rotation due to temperature rising;
(c) New axes, X' and Y'

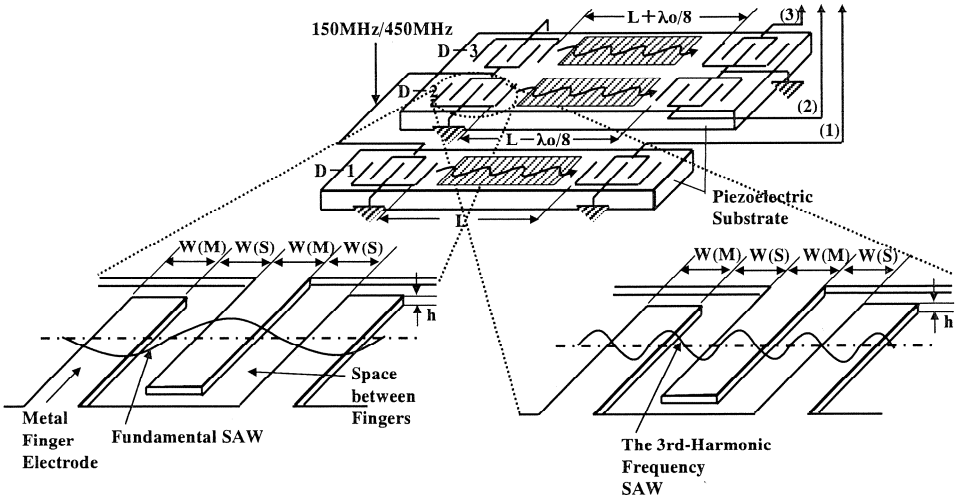


Fig. 7 Excitation of fundamental and 3rd-harmonic frequency SAWs

3.3. Sensing characteristics with 3rd-harmonic SAW

An IDT can excite both fundamental and 3rd-harmonic SAWs in principle as shown in Fig. 7. However, a problem is low excitation efficiency for the 3rd-harmonic SAW. We have been investigating finger shape of IDT electrodes versus excitation efficiency focusing on the 3rd-harmonic SAW. Various kinds of combination between Fig.7's electrode finger width W(M) and space width W(S) are possible. We have found that some combinations can provide good excitation efficiency for the 3rd-harmonic SAW as well as reasonable efficiency for the fundamental SAW. These results will be published in other paper.

Almost same excitation efficiency for both fundamental and 3rd-harmonic SAWs are assumed, which provides phase relations between the output signal (1) and the output signals (2)/(3) for the 3rd-harmonic SAW as shown in Fig. 8's constellation. In this case, if we take the output signal (2) as a standard signal on X axis with 0-rad phase, the output signal (3) is on –Y axis with $3\pi/2$-rad phase because the quarter-wavelength path difference for fundamental SAW corresponds to three-quarter-wavelength path difference for the 3rd-harmonic SAW. The sensor output signal (1) for the 3rd-harmonic SAW is located in the middle point between (2) and (3). Therefore, changing the sign of the output (3), which is equivalent to changing sign of the mixer output signal obtained from mixing between (1) and (3) shown in Fig. 3, ensures that same procedures as used in the fundamental SAW can be applied to the 3rd–harmonic SAW. The phase shift of the output signal (1) which can be monitored by x1 and -y1 provides amount of gas concentration, whose sensitivity is three times higher than that of the fundamental SAW.

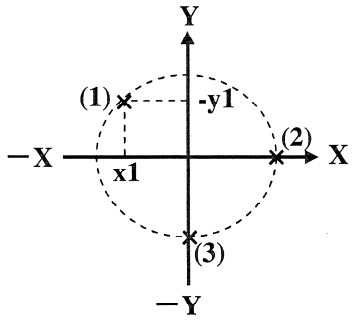


Fig. 8 Phase relations for three output signals at 3rd-harmonic frequency

4. CONCLUSION

"Sensor Network" has been investigated as a small-sized radio-communications infrastructure. We have been studying such sensor network as a method to improve home/office circumstances. In this paper, we have proposed a new sensor-node configuration based on 2.4-GHz ZigBee and a novel SAW sensor. Features of our SAW sensor are as follows: (1) Sensing RF signals are generated from the ZigBee circuit, (2) Temperature coefficients of piezoelectric substrates do not need to be considered due to self-temperature-compensation characteristics of the sensor, (3) Wide sensing dynamic range can be achieved by using both fundamental and 3rd-harmonic SAWs. The sensor and sensor node installed in the 2.4-GHz ZigBee-based sensor network will be very useful for future home/office-circumstance control.

REFERENCES

[1] Home Page of Kogakuin University (http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwa1022/)
[2] E. J. Staples, "Dioxin/Furan detection and analysis using a SAW based electronic nose," in IEEE Ultrason. Symp. Proc., 1998, pp. 521-525.
[3] Electronic Sensor Technology HP, "Chemical sensor for the 21 century," (http://www.estcal.com/)
[4] 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.
[5] K. Yamanaka, S. Ishikawa, N. Nakaso, N. Takeda, T. Mihara, and Y. Tsukahara, "Ball SAW devices for hydrogen gas sensor," in IEEE Ultrason. Symp. Proc., pp.229-302, 2003.
[6] T. Kogai, and H. Yatsuda, "Liquid sensor using SAW and SH-SAW on Quartz," in IEEE Ultrason. Symp. Proc., pp.552-555, 2006.

特異な化学構造と顕著な生物活性を有する多環性高次構造天然物の全合成研究

—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—

工学部応用化学科　宮下正昭

北海道大学理学研究院　谷野圭持

工学部応用化学科　南雲紳史

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

— Total Synthesis of the Zoanthamine Alkaloids with Unique Biological Activities —

Department of Applied Chemistry　Masaaki MIYASHITA
Hokkaido University, Graduate School of Science　Keiji TANINO
Department of Applied Chemistry　Shinji NAGUMO

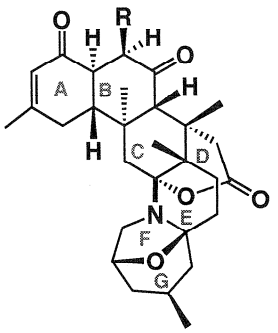
ABSTRACT : Norzoanthamine (**1**), a heptacyclic marine alkaloid isolated from the genus *Zoanthus* sp., can suppress the loss of bone weight and strength in ovariectomized mice and has been considered a promising candidate for an antiosteoporotic drug, while zoanthamine (**2**) has exhibited potent inhibitory activity toward phorbol myristate-induced inflammation in addition to powerful analgesic effects. Their distinctive biological properties and structural complexity make this family of alkaloids extremely attractive targets for chemical synthesis. We report herein the total synthesis of **1** and **2** using the intramolecular Diels-Alder reaction, the coupling reaction with the amine segment, and the crucial intramolecular aminoacetalization as the key steps.

１．　はじめに

近年の医学ならびに医薬品の長足の進歩，豊かな食糧，そして人々の健康への関心の高まりなどにより人間の平均寿命は５０年前に比べ飛躍的に延びている。ちなみに日本人の平均寿命は男性７８．１歳，女性８４．９歳で男女とも世界一であり，日本が長寿国として世界に名を馳せていることは大変喜ばしいが，一方では高齢化に伴う様々な社会問題も生じている。その一つは老齢化に伴う骨粗鬆症患者の増大である。骨粗鬆症は骨新生（骨形成）と骨吸収（骨溶解）のバランスが崩れ，骨吸収が骨新生を上回る状態が持続した場合に発症する。主要な原因として閉経，不動化，加齢などがあげられる。骨粗鬆症を発病すると骨の密度や強度が減少し，骨折の危険性が非常に高まる。老齢者の骨折は寝たきりの原因になり，また脊髄の微細骨折は腰背痛を引き起こすため生活の質を著しく低下させ，家族にも大きな負担を強いることになる。１９９０年の厚生省の統計によると，わが国では４００－５００万の骨粗鬆症の潜在患者がいると推定されており，２１世紀に入ると国内だけで１２００万人に達するという予測もある。

このような背景から優れた骨粗鬆症治療薬の開発が急がれている。現在，骨粗鬆症に用いられている薬物としてカルシウム剤，ビタミンD_3，ビタミンK，カルシト

9）



Norzoanthamine (1) R = H
Zoanthamine (2) R = CH_3

図１．ノルゾアンタミンおよびゾアンタミンの構造

ニンなどがあるが，副作用が少なくより薬効の高い化合物の開発が強く望まれている。名古屋大学理学研究科の上村大輔教授らは海の生物から顕著な薬理活性を示す化合物が数多く見出されている点に注目し，モデルマウスを用いて骨密度や骨重量の低下を抑制する物質の探索を行い，１９９５年，奄美大島近海のスナギンチャク（*Zoanthus sp.*）の代謝産物の中に骨密度および骨重量の低下を強力に抑制する物質が含まれていることを発見した。この物質を精製し，ノルゾアンタミンと命名するとともに構造解析を行った。[1] その結果，ノルゾアンタミンは**図１**に示すように７個の環が縮環した極めて複雑な化学構造を有するアルカロイドであり，モデルマウスを用いた活性試験により骨密度および骨重量の低下を強力に抑制すること，既存の骨粗鬆症治療薬とは作用機序が異なること，また女性ホルモンのように重い副作用が全く見られないことが明らかにされた。[2] このようにノルゾアンタミンは新しい骨粗鬆症治療薬として内外から非常に注目されている。しかし，この物質は５ｋｇのスナギンチャクから煩雑な精製過程を経て僅か２１ｍｇ（4.2×10^{-3}%）しか得られず，[1] 骨粗鬆症治療薬の開発研究の進展のため化学合成による供給が強く望まれている。最近，ノルゾアンタミンの誘導体が人間の血小板に対する抗血小板凝集作用やＰ-３８８ネズミ白血病細胞の成長を強力に抑制することも明らかにされた。[3] 一方，ノルゾアンタミンと同じ化学構造をもちＢ環上にもう一つのメチル基を有するゾアンタミンは顕著な鎮痛作用や抗炎症作用を示すことが報告されている[4]。

２．ゾアンタミン系アルカロイドの合成研究

２．１　ノルゾアンタミンの全合成

上述のように，スナギンチャクが産生するゾアンタミン系アルカロイドは特異な化学構造に加え、顕著な薬理活性を示すことから多くの科学者の注目を集めている。特に，ノルゾアンタミン（１）は骨粗鬆症モデルマウスを用いた生物試験により骨密度および骨重量の低下を強力に抑制することが明らかにされ，優れた骨粗鬆症治療薬として内外から非常に期待されている。しかし，これらの天然物はいずれも自然界から極微量しか入手できないため、化学合成による供給が強く望まれている。著書らは，ゾアンタミン系アルカロイドの特異な化学構造とユニークな薬理活性に興味を持ち，化学合成によるゾアンタミン系アルカロイドの効率的な供給ルートを拓き生物活性試験ならびに作用機序の解明に資することを目的として，全合成研究に着手した。

Ⅰ．合成経路の立案

ゾアンタミン系アルカロイドの合成上の重要課題は以下の通りである。

（１）　Ｃ環上に存在する３個の四級不斉炭素原子の立体選択的構築

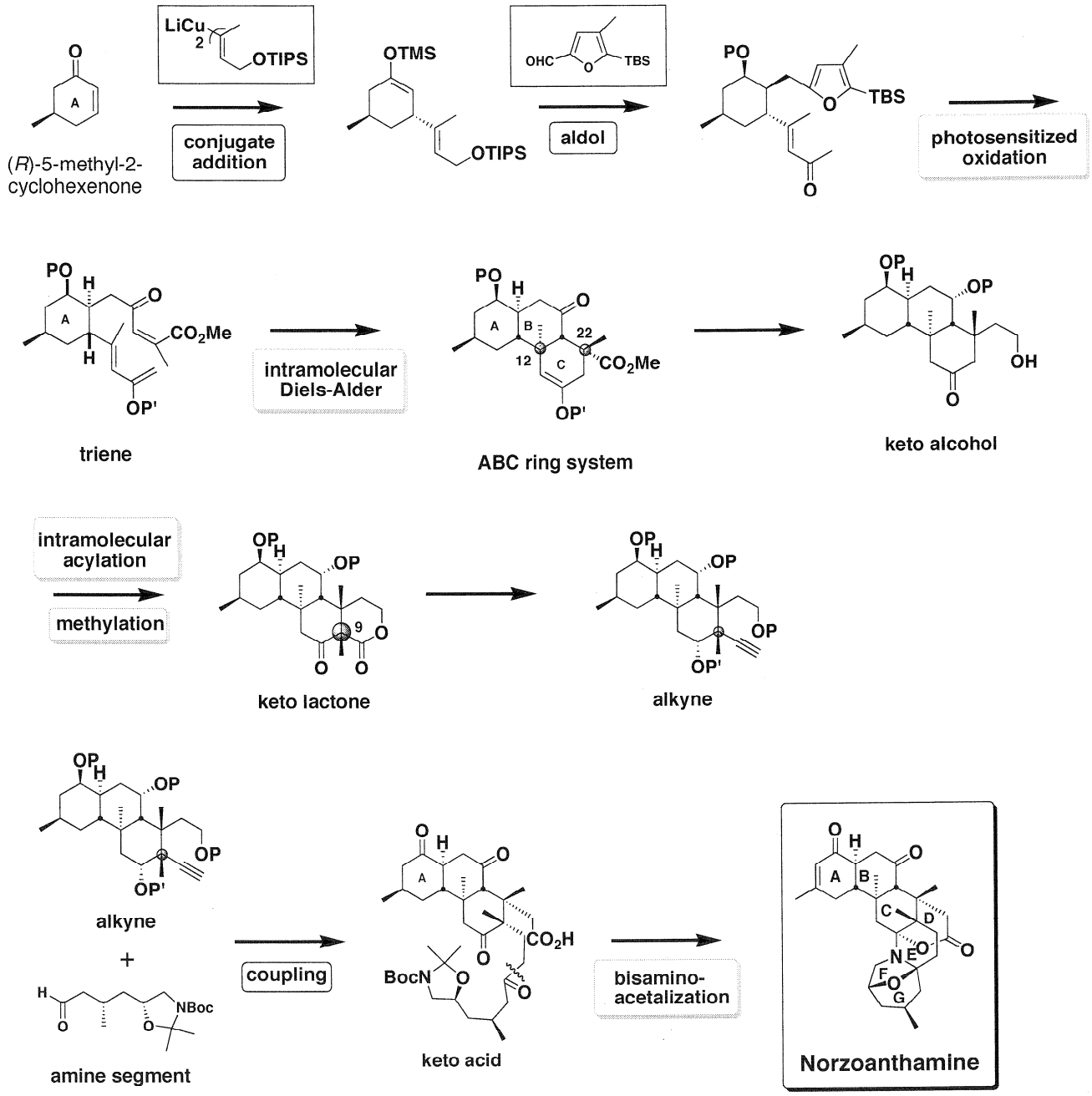
（２）　トランス-アンチ-トランスに縮環したパーヒドロフェナンスレン骨格（ＡＢＣ環）の立体選択的合成

（３）　二組のアミノアセタール構造ならびに架橋したδ-ラクトン環を含むＤＥＦＧ環部の立体選択的構築

特に３個の四級不斉炭素原子を含むＡＢＣ環部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の合成ルートを立案した。すなわちＣ１２およびＣ２２の２個の四級不斉炭素原子を含むＡＢＣ環部を立体選択的に合成するため，分子内 Diels-Alder 反応をキーステップとする合成ルートを考案した。なお **Scheme 1** に示したトリエンの Diels-Alder 反応は二通りの反応様式が考えられ，遷移状態の考察からエキソ遷移状態を経て望む３環性化合物（ＡＢＣ環）が立体選択的に得られるものと予想した。また重要中間体となるトリエンは，入手容易な（*R*）-５-メチルシクロヘキセノンから出発し，３成分連結反応（ビニル銅試薬の共役付加反応およびアルドール反応）により３置換シクロヘキサノンを合成した後，フラン環の光増感酸素酸化により立体選択的に合成する計画を立てた。残るＣ９位の四級不斉炭素原子の構築はケトアルコールの分子内アシル化反応とそれにより生成したケトラクトンのＣ-メチル化反応により高立体選択的に達成できると考えた。このようにして合成した４環性ラクトンからアルキンセグメントへ導き，アミノアルコール側鎖とのカップリング反応を行った後，Ａ環部への二重結合の導入ならびにビスアミノアセタール化を行ってノルゾアンタミン（１）へ導こうという合成ルートである。

II．ノルゾアンタミンの全合成

実際に **Scheme 1** に示す合成経路に従い，４１工程を経て全収率３．５%でノルゾアンタミンの最初の化学合成を達成した。[5] 各工程の平均収率は９２%であり，本合成の収率の高さは複雑な天然物合成としては特筆される。

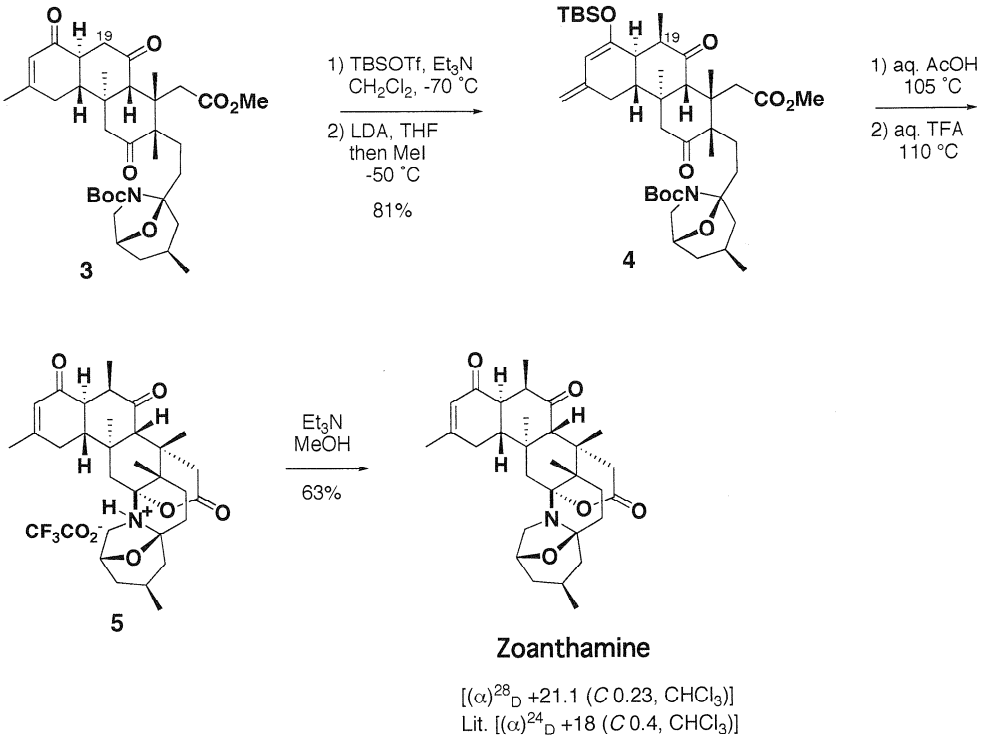


[(α)$^{24}_{D}$ -6.0 (*C* 0.23, $CHCl_3$)]
Lit. [(α)$^{24}_{D}$ -6.2 (*C* 0.23, $CHCl_3$)]

Scheme 1. Synthetic Strategy of Norzoanthamine

2．2　ゾアンタミンの全合成

ゾアンタミン（2）はノルゾアンタミン（1）のC19位にもう1個のメチル基を含んでおり，C19位の二級メチル基の立体選択的構築がゾアンタミンの合成上の最重要課題となる。ゾアンタミンの合成法として、二つ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（2）に導く合成ルートである。最初にノルゾアンタミン（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（**Scheme 2**）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3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，これを精製することなく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4が81%の収率で得られた。4から二段階を経てビスアミノアセタール



Scheme 2. Total Synthesis of Zoanthamine (1)

化を行い**5**へ誘導した後，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。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。

このようにして、ノルゾアンタミン（**1**）およびゾアンタミン（**2**）の最初の全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非常に効率的な化学合成ルートを開発することができた。本合成により，ノルゾアンタミンおよびゾアンタミンの効率的な化学合成の道が拓かれたことになり，作用機序の解明および骨粗鬆症治療薬の開発研究に弾みがつくものと期待される。

参 考 文 献

1. S. Fukuzawa, Y. Hayashi, D. Uemura, A. Nagatsu, K. Yamada, Y. Ijuin, *Heterocycl. Commun.*, **1**, 207 (1995); M. Kuramoto, K. Hayashi, Y. Fujitani, K. Yamaguchi, T. Tsuji, K. Yamada, Y. Ijuin, D. Uemura, *Tetrahedron Lett.*, **38**, 5683 (1997); M. Kuramoto, T. Chou, D. Uemura, *Yuki Gosei Kagaku Kyoukaishi*, **57**, 105 (1999).
2. K. Yamaguchi, D. Uemura, T. Tsuji, *Bio. Industry*, **14**, 13 (1997); M. Kuramoto, K. Hayashi, K. Yamaguchi, K. Yamada, T. Tsuji, D. Uemura, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **71**, 771 (1998).
3. R. M. Villar, J. Gil-Longo, A. H. Darans, M. L. Souto, J. J. Fernandez, S. Pexinho, M. A. Barral, G. Santafe, J. Rodriguez, C. Jimenez, *Bioorg. Med. Chem.*, **11**, 2301 (2003).
4. C. B. Rao,A. S. R. Anjaneyula, N. S. Sarma, Y. Venkatasteswarlu, R. M. Rosser, D. J. Fasulkner, *J. Am. Chem. Soc.*, **106**, 7983 (1984); C. B. Rao, D. V. Rao, V. S. N. Raju, B. W. Sulivan, D. J. Fasulkner, *Heterocycles*, **28**, 103 (1989).
5. M. Miyashita, M. Sasaki, I. Hattori, M. Sakai, K. Tanino, *Science*, **305**, 495 (2004).

セルロース類の化学原料化と機能性物質への展開
―セルロース由来レブリン酸のポリマーへの導入―

応用化学科　小野　拡邦

Functional Materials from Cellulose Based Chemical Platform

— Introduction of Levulinic Acid Derived from Cellulose into Polymers —

Hirokuni ONO , Department of Applied Chemistry

ABSTRACT : Poly(vinyl alcohol-co-levulinate) was synthesized by N,N- dicyclohexyl-carbodiimide assisted esterification of poly(vinyl alcohol) with free levulinic acid using 4-pyrrolidino pyridine as a catalyst in N,N-dimethyl acetamide/lithium chloride solvent system in order to optimize the reaction condition. The vinyl levulinate content in the copolymer was attained up to 0.95. The 13CNMR dyad compositional analysis indicated the block character of the copolymer was 0.92, suggesting almost ramdom poly(polyvinyl alcohol-co-vinyl levulinate) was formed.

１．　はじめに

レブリン酸（以後ＬＡと省略）は木材中のセルロースを解重合することにより得られる六単糖を希酸などで分解して得られる[1]。近年、このレブリン酸をバイオマスから比較的安価に高収率で取得する方法が開発された[2]。我々もまた、木質系バイオマスをグリコール類や環状炭酸類で加溶媒分解するとＬＡが取得できることを報告している[3,4]。従って、ＬＡは再生可能な植物中に含まれるセルロースからの持続的化学原料として可能性の高いものと考えられる。そして、多分それ故に、ＬＡやその誘導体がゴム、ポリアミド、エポキシ樹脂などに導入されている [5-8]。

近年、ＬＡを生分解性ポリマーに利用する動きが注目を集めている。これは、ＬＡのアルキルエステルが食用香料に、ＬＡのカルシウム塩がカルシウム補給剤として経口および静脈注射薬に使用されている例からいって低毒性であるということに理由があるかも知れない[9]。ＬＡはセルロース、キトサン、などの天然多糖類に導入されレブリン酸セルロースやN-カルボキシブチルキトサン等にもなっている。また、グルコースやキシロースからの微生物産生ポリエステルについてはポリ（3-ヒドロキシブチラート-3ヒドロキシバリラート）中のバリラート成分増加のためにＬＡを基質として添加することが試みられている。

ところで、ポリビニルアルコール（以下ＰＶＡと省略）は合成高分子での生分解性ポリマーであるにも拘わらず[10]、ＬＡとの複合化高分子についての検討はほとんどされていない。ＰＶＡは数少ない水溶性の高分子であり、種々の酸により特性の異なるよるエステルを形成する。エステル化物は生分解性樹脂や水溶性の生物活性物質などとして、あるいはエステル物質の残存水酸基と多官能性の分子との架橋反応物質として広範囲の応用が考えられている[11]。

ＰＶＡの均一系での典型的エステル化反応では、ジメチルスルホキシドや 1-メチル-2-ピロリドン溶媒の使用がなされてきたが[12,13]、最近、Tosh らはポリ酢酸ビニルの合成に N,N-ジメチルアセトアミド/塩化リチウム（以下ＤＭＡｃ/ＬｉＣｌと省略）混合系が適切であり、この系では結晶系は崩すもののセルロースの解重合は起きず、溶解度 6.7％までゲルを形成しない利点があると報告している[14]。しかし、この条件では酸無水物あるいは酸クロリドが使用されるので、これらの形態を取らない遊離の酸であるＬＡにとっては不都合なことになる。遊離の酸を使用するエステル化として、Carlotti らはエステル化に不利と考えられる水中でＰＶＡの乳酸エステルなどを得たという報告をしている[15]。そこで、我々

はＬＡを用いてこの反応を追試したが目的のエステルは得られなかった。

室温下での遊離カルボン酸とアルコールの縮合反応の触媒としてはピリジン誘導体とN,N-ジシクロヘキシルカルボジイミド（ＤＣＣ）の混合体が知られている。DCCを応用して、テレキーイックなオリゴエステルやポリエステルが室温で合成されており[39-41]、Hassnerらは4置換ピリジン中でも4-ピリジノピリジン（以下ＰＰと省略）と1,1,3,3,テトラメチル-4-（4-ピリジル）グアニジンがアシル化触媒として有効であると報告している[16]。

ＤＣＣ/ＰＰ混合系ではＤＣＣがN,N-ジシクロユリア（以下ＤＣＵと省略）に変換する時に遊離カルボン酸から酸無水物を生成させ、ＰＰが酸無水物に作用して活性アシルピリジウム種となってアルコール性水酸基と反応を行い目的のエステルを生成させる[16,17,18]。ここで、ＤＣＵは反応系から分離可能であり、熱処理によりＤＣＣに再生可能である。

そこで、我々はＰＶＡと遊離カルボン酸であるＬＡによるエステル化反応をＤＭＡｃ/Ｌｉｃｌ溶媒中でＤＣＣ/ＰＰ触媒系を用いて検討し、生分解性樹脂となる可能性の高いポリビニルアルコール-ポリビニルレブリン酸共重合体（以下ＶＡ-ＶＬ共重合体と省略）の合成を試みた。我々の文献調査では、この種の反応系の応用はセルロースのエステル化について報告されているが[43-45]、ＰＶＡについては皆無である。

本論文では、(1) 種々のレブリン酸置換度（以下ＶＬＣと省略）を持つＶＡ-ＶＬ共重合体の最適合成条件、(2) ＶＡ-ＶＬ共重合体の組成シーケンスの検討について焦点を当てる。

２．　実験

２．１　供資料

ポリビニルアルコールは Aldrich 社製の公称数平均分子量 89000-98000、公称水酸基置換率 99％のものをそのまま使用した。実験で使用した試薬はすべて試薬特級のものである。DMAc は使用前 1 週間前より水酸化カリウムで脱水した。LiCl は 100-105℃で乾燥し、使用までデシケータ中で保存した。

２．２　VA-VL 共重合体の合成

マグネティックスターラーを入れた温度計と窒素ガス導入口および乾燥管を装備した200ml容積の丸底3つ口フラスコ内に 70-80℃の温度で 1.1g (0.026mol) の LiCl を 110ml の DMAc 中に溶解して透明な溶液を得た。LiCl 濃度はすべての合成で Tosh らの方法に準じて 1％（wt./vol.）とした[14]。溶液は室温まで冷却し、1.1g（25mmol OH mol 当量）の PVA を添加してから、攪拌しつつ 70-80℃まで再加熱して透明な PVA 溶液とした。PVA 溶液を再度室温まで冷却し、5.1g (25mmol) の DCC と 0.37g (2.5mmol) の PP、そして 3.63g (31.3mmol:PVA の OH モル当量に対し 0.25mol 過剰) の LA を順次添加し 24 時間まで窒素雰囲気下に室温でエステル化した結果、白濁した液体を得た。

２．３　VA-VL 共重合体の精製

白濁した液体中の析出した DCU（DCU が生成したことは 1H-NMR により確認）を口過により取り除き透明な反応液を得た。ジイソブチルケトン中にこの透明液を注ぎ入れ、粗 VA-VL 共重合体を析出させ、口過して分離した。分離した粗 VA-VL 共重合体を再度メタノールに溶解させ、次いでイソブチルケトン中で再沈殿させて VA-VL 共重合体を精製した。場合によっては、精製度を上げるためこの操作を数回繰り返した。なお、メタノールは PVA は溶解しないが VA-VL 共重合体は溶解することは予め確認している。

2.　4　共重合体の NMR 測定

共重合体の 1H-NMR と 13C-NMR スペクトルは日本電子製 JEOL JNM-A500FT NMR により 20℃の条件下で、測定周波数それぞれ 500MHz および 125.6MHz で測定した。溶媒は場合に応じて DMSO-d6 および MeOH-d4 を用い Tetramethylsilane を内部標準とした。

共重合体の VA-VL 組成ダイアッドシーケンス分布を検討するために 13C-NMR においてゲート付きデカップリング法で共重合体のメチレン炭素の強度を測定した。測定にあたっては Overnall らの報告を参考として[19]、パルス幅 0.54 秒、待ち時間を 2 秒とし、10,000 以上の FID を積算した。強度は 3 サンプルの強度測定値の平均をもちいた。なお、ポリ（ビニルアルコール-ビニルアセテート）共重合体の文献では、Head-to-Head あるいは Tail-toTail 結合を特に考慮に入れていないので、ここでもこれらの結合様式を無視することとした。

2.　5　元素分析

共重合体の元素分析は Perkin-Elmer 社製の Model CHN 元素分析装置より行い、VLC（VL 置換度）を計算した。

３．結果と考察

3.　1　VL 置換度（VLC）の検討

Fig.1 に VA-VL 共重合体の 1H-NMR スペクトルの 1 例を LA および PVA のそれと比較して示す。共重合体のそれぞれのプロトンの帰属は図中に示してある。共重合体は、原料 PVA の骨格の特徴的なシグナルばかりかレブリン酸エステルの特徴をも示している。2.10ppm のシグナルと 2.43 および 2.69ppm の一対のシグナルは、それぞれレブリン酸エステルのメチル基と 2 つのメチレン基に帰属される[50]。1.2-1.9ppm の幅広い多分裂シグナルは、共重合体の主鎖部分のメチレン結合に由来する。3.76 と 5.02ppm に中心をおく多分裂シグナルは、それぞれヒドロキシル基を有するメチンとレブリン酸エステル基を持つ主鎖のメチン基に帰属される。これらの知見から均一系エステル化反応で VA-VL 共重合

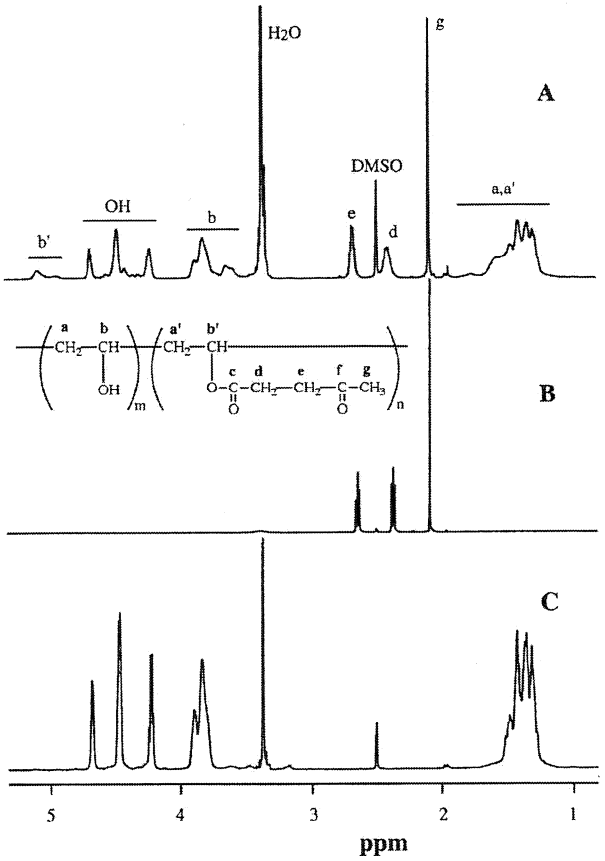


Fig. 1. ^{1}H NMR spectra of VA–VL copolymer (A); LA (B); PVA (C) in DMSO-d_6.

体が精製していることが判明した。レブリン酸のエステル化度（ポリビニルアルコールの置換度：VLC）は、レブリン酸エステル基とポリマー主鎖のそれぞれのシグナルの強度比から求められる筈である。ここで、例えば、I[CH2(d)]はFig.1中のメチレン基dのシグナル強度を、I[CH2(a+a')]はメチレン基aとメチレン基a'の強度の総和というふうに、それぞれのシグナルの前にIという符号を付けたものを対応するシグナルの強度として表すことにする。すると、VLCは以下のように表される。

$$VLC = I[CH2(d)]/I[CH2(a+a')] \quad (1a)$$
$$VLC = I[CH2(e)]/I[CH2(a+a')] \quad (1b)$$
$$VLC = 2I[CH3(g)]/3I[CH2(a+a')] \quad (1c)$$

これらの式の中では、溶媒のDMSO-d6のシグナルに近接するため、影響を受けやすいシグナルdを含む(1a)式を除いて、(1b)式および(1c)式からはほぼ一致する値を得ている。

Table 1にLAの添加量を変化させて得たVLCの異なるVA-VL共重合体を試料として1H-NMR、13C-NMRおよび元素分析から得た分析結果を示す。なお、13C-NMRでの解析法は後述する。

ここで、1H-NMRと13C-NMRの結果は元素分析値の結果とよく対応しており、NMRでの精度が確認できた。以上の結果から、以後の実験におけるVLC値を1H-NMRで求めることとした。

Table 1
Comparison of VLC values obtained from NMR and elemental analysis

^{1}H NMR	^{13}C NMR	Elemental analysis
0.14	0.15	0.12
0.24	0.24	0.28
0.58	0.57	0.55
0.69	0.70	0.65
0.91	0.90	0.95

3. 2 高いVLC値を持つVA-VL共重合体の合成

3.2.1 反応温度

エステル化の条件を、反応時間24時間，LiCl/DMAc濃度を1%（wt./vol.）、LiCl/DMAc溶媒に対するPVAの濃度を1%（wt./vol.）、LAに対するDCCのモル比を0.8、PVAの水酸基当量に対するLAとPPのモル比をそれぞれ1.25および0.1とした時の反応温度とVLCの関係をFig.2に示した。VLC値は反応温度を60℃にまで上昇させるに従って直線的に減少する傾向が見られた。この時、温度を上昇させるにつれて、不溶物量が減少することが認められた。反応温度40℃以上で得られたDCUの1H-NMRスペクトルには、カルボン酸の副反応で生成するN-アシルユリアに帰属される余分なシグナルが認められた。N-アシルユリアの生成は、DCCの活性を失わせ、エステル化反応を妨害することがMooreとStuppによって報告されている[20]。この実験事実と我々の実験設備の制限から、以後のエステル化では反応温度を25℃に固定した。

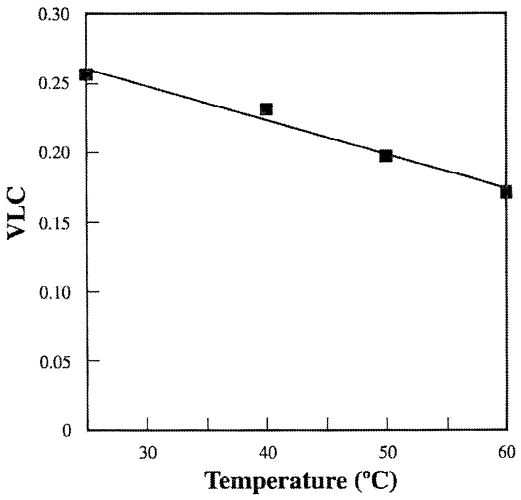


Fig. 2. VLC as a function of reaction temperature.

3.2.2 反応時間

反応温度を25℃に固定し、PP触媒の添加量を変化させてVLCと反応時間の関係を検討した。Fig.3にその結果を示す。VLCは24時間反応までは増加するが、それ以後は平衡に達する。したがって、エステル化時間は24時間程度で十分であるとの結論

を得た。

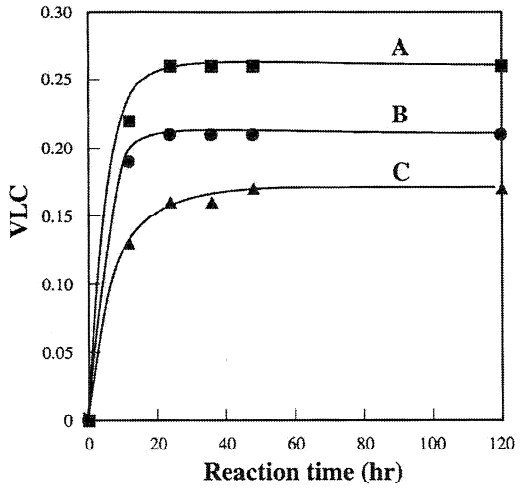


Fig. 3. VLC as a function of reaction time at different PP molar ratio based on PVA: 0.1 (A), 0.05 (B), 0.03 (C). Reaction temperature; 25 °C, LiCl/DMAc concentration; 1% (wt./vol.), PVA concentration based on the LiCl/DMAc solvent; 1% (w/v), the molar ratio of DCC to LA; 0.8, the molar ratio of LA to PVA hydroxyl equivalent; 1.25.

3.2.3 DCC 添加量

PP 触媒量を前述の 0.1 に固定し、LA に対する DCC 添加量を変化させて、VLC への影響を検討した。結果を Fig. 4 に示す。DCC 添加量が 0.8 程度で VLC は平衡となっている。このことから、以後の反応では DCC 添加量を 0.8 に固定することとした。

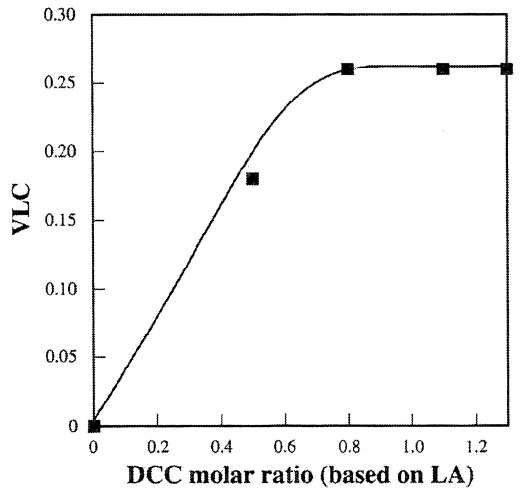


Fig. 4. VLC as a function of the charge amount of DCC based on LA. Reaction condition: reaction temperature; 25 °C, reaction time; 24 h, LiCl/DMAc con.; 1% (w/v), PVA con.; 1% (w/v), the molar ratio of LA and PP to PVA; 1.25 and 0.1, respectively.

3.2.4 PP 触媒添加量

異なる PVA 濃度における PP 触媒量と VLC の関係を Fig. 5 に示す。VLC は PVA 濃度の増加とともに増加している。そして、PP 添加量が 0.2 に至るまで増加し、それ以降は平衡となる。PP の添加率を 0.2 以上とすると高い VLC 値を得るのに有効である。

3.2.5 LA 添加量

PVA 添加量を 4 水準とし、PVA に対する LA の配合量を変化させて VLC への影響を検討した。結果を

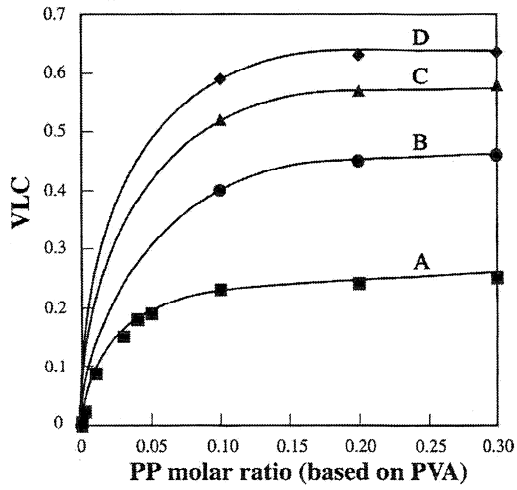


Fig. 5. VLC as a function of the charge molar ratio of PP at different PVA concentration (w/v): 1% (A), 2% (B), 3% (C), 5% (D). Reaction condition: Reaction temperature; 25 °C, reaction time; 24 h, LiCl/DMAc con.; 1% (w/v), the molar ratio of DCC to LA; 0.8, LA molar ratio based on PVA; 1.25.

Fig. 6 に示す。VLC は LA 添加量が 2.0 程度までは増加するが、PVA 濃度が 3% を超えると低下し、5%PVA 濃度では予想外に低い値を示している。LA の濃度が高く PVA 濃度 3% 以上では、反応初期に PVA の析出が起き、反応が進行するに従い再溶解することが認められた。再溶解までの時間は PVA と LA の濃度が高いほど長くなり、PVA 濃度が 5% になると反応液の粘度が 3% 時に比べて極端に高くなることを認められた。これらのことが 5% 濃度で低い VLC を与える理由であると考えている。しかし、高い VLC を得るためには、高濃度の PVA および LA の条件を選び、前述した再溶解時間を考慮して、24 時間以上の反応を行うことが必要となる。実際、反応時間を 48 時間と延長した場合に、Fig. 6 (E) に見られるように高い VLC を持つ共重合体が得られている。しかし、PVA 濃度が高ければ反応系の粘度の上昇を招

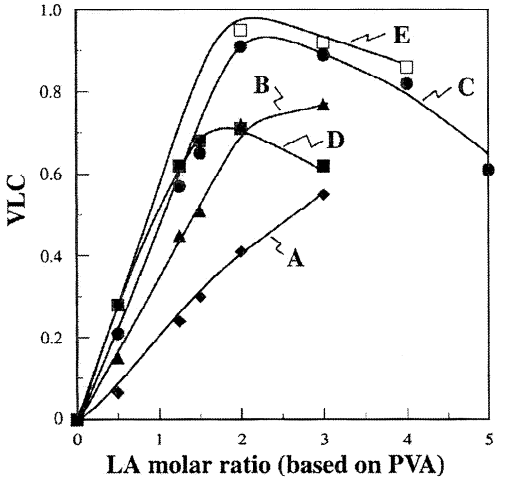


Fig. 6. VLC as a function of the charge molar ratio of LA at different PVA concentration (w/v): 1% (A), 2% (B), 3% (C), 5% (D), 3% for 48 h (E). Reation condition: LiCl/DMAc con.;1% (w/v), PP molar ratio to PVA; 0.2, DCC/LA molar ratio; 0.8, reaction temp.;25 °C, reaction time; 24 h (A)–(D), 48 h (E).

き、取り扱いにくくなるという問題が残された。VLCが0.95という高い値を与える共重合体がLAモル濃度2.0、PVA濃度3%、反応時間48時間の条件で得られていることは注目に値する。

3.3 13C-NMRによるVA-VL共重合体のVLCおよび組成的ダイアッドシーケンス分析

Fig.7にVAC値0.56のVA-AL共重合体のDMSO-d6中での13C-NMRスペクトルを示した。共重合体のスペクトルでは、レブリン酸エステル由来の173ppmのカルボキシル炭素と208.3ppmのカルボニル炭素、メチレン炭素である27.8ppmと37.3ppmの2個のシグナル、メチル炭素の28.3ppmのシグナルが観察されるとともに、種々のシーケンスを採るPVA主鎖に帰属されるメチン炭素が66.5ppmにメチレン炭素が43.0ppmに観察される。原料LAがエステル化反応すると、LA由来の174.6と208.9ppmのシグナルはそれぞれ173.0と208.3へと高磁場シフトすることが理解できる。VLCの異なる3個の共重合体のメチルおよびメチレン領域のMeOH-d4中での拡大スペクトルをFig.8に示す。スペクトル中には39.1ppmに主鎖のメチレンシグナルが存在するので、MeOH-d4を使用すればDMSO-d6の残余シグナル（39.5ppm）の影響を省くことができる。従って、定量においてはDMSO-d6の代わりにMeOH-d4を溶媒とした。ここで、27.8ppm(d)と28.3ppm(g)のシグナルは、レブリン酸エステル由来のメチレン炭素で、それぞれカルボキシル基とカルボニル基に結合しているものである。37.6ppmから46.5ppmの範囲には、それぞれがはっきりと分離している2個の多分裂シグナルとレブリン酸エステル基中のカルボニルに結合したメチレン炭素のシグナルeと重なり合った多分裂シグナルが観察される。ここで、VLCが増加すると44.5ppmに中心を置くシグナル強度は減少している。それに対して42.1ppmに中心を置くシグナルはVLCが0.5程度までは増加し、0.91では減少し、39.1ppmに中心を置く多分裂シグナルはVLCの増加に伴いその強度が増加する。以上のことから、これら44.5ppm、42.1ppm、39.1ppmにそれぞれ中心を置く多重分散シグナルは、低磁場側からビニルアルコール-ビニルアルコール（VA,VA）、ビニルアルコール-ビニルレブリン酸(VA,VL)、ビニルレブリン酸-ビニルレブリン酸(VL,VL)の組成的ダイアッドシーケンスを表していると解釈できる。このケミカルシフトの傾向はビニルアルコール酢酸エステルやビニルアルコールプロピオン酸エステルのそれと類似している[]。

以上の結果を踏まえて、共重合体の組成的ダイアッドシーケンス分析を検討した。Overnallらは置

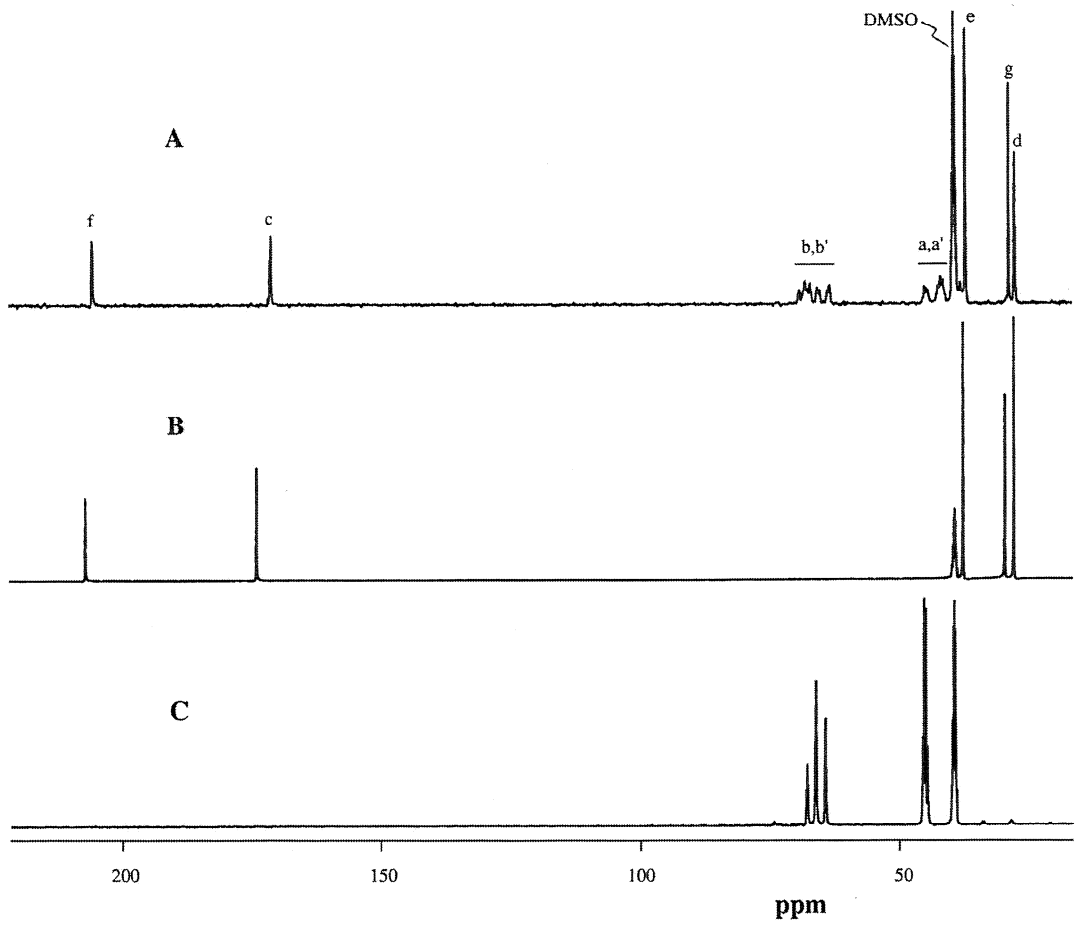


Fig. 7. ^{13}C NMR spectra of VA–VL copolymers with VLC of 0.56 (A), LA (B) and PVA (C) in DMSO-d_6.

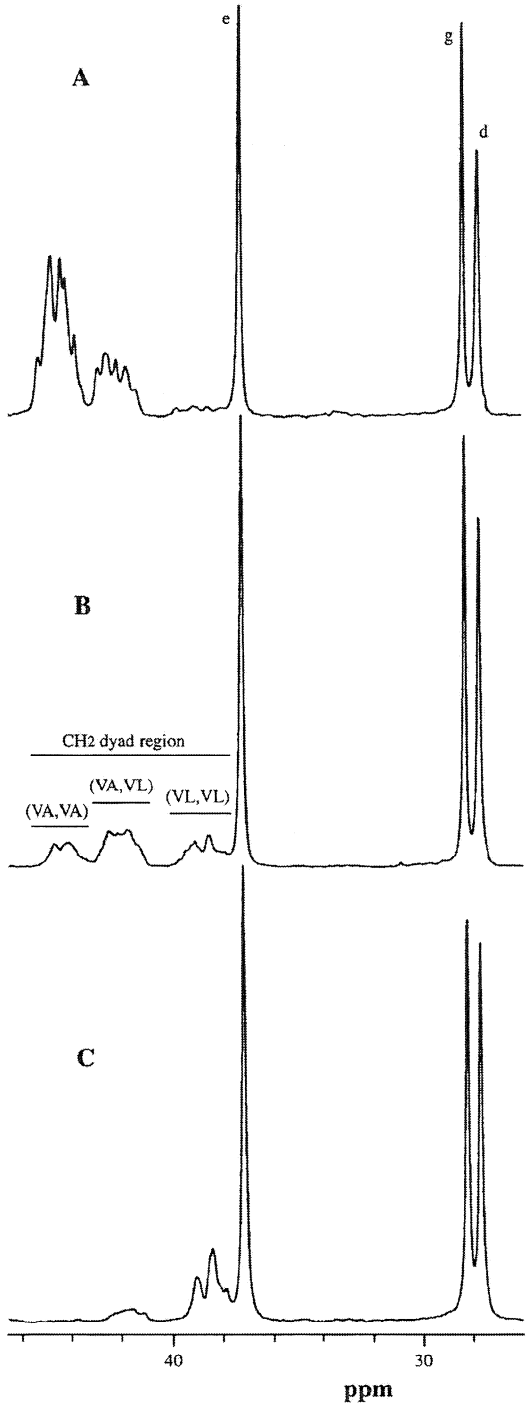


Fig. 8. Enlarged partial ^{13}C NMR spectra of VA–VL copolymers at methyl and methylene region in MeOH-d_4: VLC=0.2 (A), VLC=0.56 (B), VLC=0.91 (C).

換度 10％の酢酸ビニルの 13C-NMR におけるメチレン炭素でのゲート付きデカップリング法に対して、パルス幅約 0.2 マイクロ秒、パルス待ち時間 2 秒の条件（T1 の約 10 倍）で定量測定を行っている。そこで、我々もこの条件に準拠して定量を行った[19]。ここで、注目する 3 個のメチレン炭素シグナルと 37.3ppm(e)および 27.3ppm(d)のメチレンシグナルにおけるオーバーハウザー効果は同様であるとの仮定を置いている。

前述の VLC 測定に用いた 1H-NMR での積分強度の命名法をここでも適用すると、3 個の組成的ダイアッドシーケンスは以下のように表される。

$$[VA,VA]/[VA,Vl]/[VL,VL] = I(VA,VA)/I(VA,VL)/I(VL,VL) \quad (2)$$

ここで、[VA,VA]、[VA,Vl]、[VL,VL]は 3 種のダイアッドシーケンスのモル分率である。

さて、問題は(VL,VL)のシグナルがメチレン炭素(e)と重なり合っているため、正確な積分強度が測定できない点にある。この問題を回避するためには、I(VL,VL)と I(e)の総和から I(d)を差し引けばよい。そうすると、より正確な I(VL,VL)の値は以下のようになる。

$$I(VL,VL)=\{I(VL,VL)+I(e)\}-I(d) \quad (3)$$

式(2)、(3) を使用して、共重合体の定量的ダイアッドシーケンスの分布と乱れの程度(ランダムネス)を計算することができる。VA 単位と VL 単位のモル比は以下のように表される。

$$[VA]=[VA,VA]+[VA,VL]/2 \quad (4)$$

$$[VL]=[VA,VL]/2+[VL,VL] \quad (5)$$

これらから、VLC は以下のように表される。

$$[VLC]=[VL]/\{[VA]+[VL]\} \quad (6)$$

ビニルアルコールとビニルレブリネートの平均連鎖長をそれぞれ LOH、LLA と表すことにすれば、それらの平均連鎖長は以下で示される。

$$LOH=2[VA]/[VA,VL] \quad (7)$$

$$LLA=2[VL]/[VA,VL] \quad (8)$$

ブロックキャラクター（η）は以下で表される。

$$\eta=[VA,VL]/2[VA][VL] \quad (9)$$

以上の数式の中で、13-C-NMR を用いて式(5)、(6)から求めた VLC 値は、Table 1 で示したように 1H-NMR から求めたものと良い一致を見ている。

VA と VL の数平均連鎖長と VLC の関係を Fig. 9 に示した。LOH と LLA の間に反比例的な関係が認められ、予期したように VLC 値が 0.5 で両者は交差し、平均連鎖はほぼ 2.2 となった。このことは、100 個のダイアッド中の[VA,VA]、[VA,VL]、[VL,VL]の比率は 27、46、27 に近いことを示している。

VA のモル比に対する[VA,VL]ダイアッドのモル分率を Fig. 9 に示した。ここで、ブロックキャラクターηが 1 の時は完全なランダムポリマーを表し、ηが 2 の時は完全交互共重合体となっていることを示す。この共重合体のηを求めるために、式(9)を以下のように線形に変換する。

$$[VA,VL]/2=\eta[VA][VL] \quad (10)$$

このように変換すると、ηを傾きとして求めること

ができる。最小自乗法で求めたηの値は、相関係数0.99の精度において、0.92であった。このことから、本実験で合成したVA-VL共重合体は組成的にはほぼランダムポリマーであることが判明した。

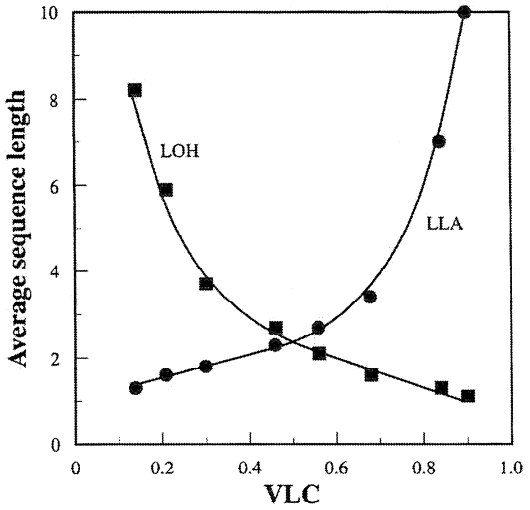


Fig. 9. Dependences of average sequence length on VLC.

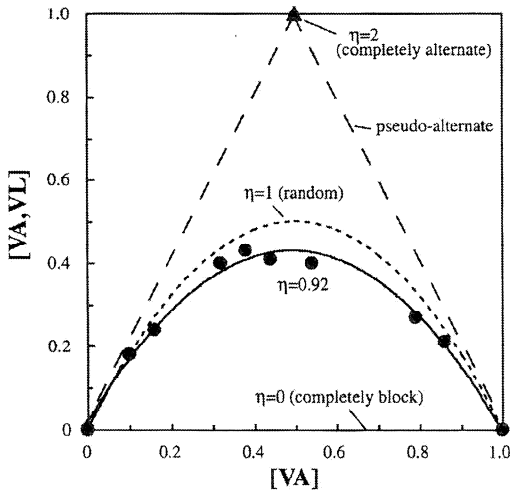


Fig. 10. Diagram of [VA,VL] dyads proportion as a function of VA molar fraction.

4 結論

1. DCCを縮合剤とし、DMAc/LiCl溶媒中でPP触媒の下PVAとLAのエステル化を25℃の条件で行った結果、VLCが0.95に達するVA-VL共重合体が得られた。
2. 共重合体の組成的ダイアッドシーケンスを13C-NMRで検討した結果、この共重合体のブロックキャラクターηは0.92であり、ほぼランダムな構造をとることが判明した。

参考文献

(1) Shilling, W. L.; Levulinic Acid from Wood Residues. Tappi, Vol.47(10) (1965) pp. 105A-108A.

(2) Bozell, J.J; Moens L.; Elliot D.C.; Wang Y.; Neuenscwander G.G.; Fitzpatrich S.W.; Bilski, R.J.; Jarnefeld J.L.; Production of luvelinic acid and use as a platform chemical for derived products. Resources, Conservation and Recycling Vol.28 (2000) pp. 227-239.

(3) Yamada, T. and Ono, H.; Rapid liquefaction of lignocellulosic waste by using ethylene carbonate. Bioresource Technology, Vo.70 (1999) pp.61-67.

(4) 山田竜彦、豊田誠資、志水一允、小野拡邦；環状炭酸類を用いる木質系物質からの樹脂原料組成物、日本特許第3343564号(2002).

(5) Noyer, G.; Caoatchouc et la Gutta-percha, Vol.13 (1916) pp.8804-8805. [CA.Vol.10:11525]

(6)Lconard, R.H.; Bordanca, C.; US Patent 2962478 (1960). [CA. Vol.55:30748]

(7) Holmen,R.E.; US Patent 3433766 (1969). [CA.70:97592]

(8) Joshi, U.R.; Limaye, P.A.; US Patent 2933472 (1960). [CA.54:77713]

(9) In Calcium levulinate, In Stedman's Medical Dictionary. 27th Ed. M. B. Pugh Ed., Lippincot Williams and Wilkins, Baltimore Maryland, 2000, p. 208.

(10) Chiellini, E.; Corti, A.; D'Antone, S.; Solaro, R.; Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials, PROGRESS IN POLYMER SCIENCE, Vol.28 (6) (2003) pp. 963-1014.

(11) Sanchez-Chaves, M.; Arranz, F.; Cortazar, M.; Poly(vinyl alcohol) functionalized by monosuccinate groups. Coupling of bioactive amino compounds. POLYMER, Vol.39 (13) (1998) pp. 2751-2757.

(12) Gimenez, V.; Mantecon, A.; Ronda, J.C.; Cadiz, V.; Poly(vinyl alcohol) modified with carboxylic acid anhydrides: Crosslinking through carboxylic groups, JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE, Vol.65 (8) (1997) pp. 1643-1651.

(13) Gimenez, V.; mantecon, A.; Cadiz, V.; *J. Appl Polym Sci.*, 59,425(1996).

(14) Tosh, B., Saikia, C. N., Dass, N. N., *J Appl Polym Sci* ., Vol. 74 (1999) pp. 663.

(15) Carlotti, S.J.; Giani-Beaune, O.; Schue, F.; J. Appl. Polym. Sci., Vol.80 (2001) pp.142-147.

(16) Hassner, A., Alexanian, V. *Tetrahedron Lett.* 46, 4475(1978).

(17) Holmberg, K.& Hansen, B. *Acta Chem. Scand.*, B 33, 410 (1979).

(18) Hassner, A.; Krepski, L.; Alexanian, V.; *Tetrahedron,* Vol.34 (1978) pp. 2069.

(19) Overnall, D.V.; Macromolecules, Vol.17 (1984) pp.1458-1464.

(20) Moore, J.S.; Stupp, S.I.; Macromolecules, Vol.23 (1990) pp.65-70.

(21) Sanche-Chaves, M. ; Arranz, F. ; Montes, M. ; Polymer, Vol. 29 (1988) pp. 2243-2248.

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

情報通信工学科 淺谷耕一 山口実靖

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

Koichi Asatani and Saneyasu Yamaguchi
Department of Computer Science and Communication Engineering

ABSTRACT : Network resources cannot be fully monitored and managed in Internet. Telecommunication network is not suitable for broadband communication. There is no broadband network system which can guarantee End-to-End QoS. We investigate QoS guarantee methods for the next generation IP networks. In this paper, we propose an End-to-End QoS guarantee scheme on multiple domain networks, and evaluate the method. The evaluation results demonstrated that the proposed method could improve End-to-Ene QoS.

１．　はじめに

近年，ADSL や FTTH が急速に普及し，インターネットの利用も WEB やメールだけではなく，テレビ会議やライブ映像配信などの動画や IP 電話などの音声などリアルタイム通信へとサービスは多様化されてきている．リアルタイム通信へとサービスが多様化されてきた中で，多種多様なトラヒックに対する通信品質 QoS(Quality of Service)を保証する必要性が高まっている[1].

メールや Web のようなデータトラヒックと，音声や動画などのリアルタイムデータでは必要なネットワーク品質が異なる．例えばメールや Web では数秒の遅延やジッタは問題ないが，音声や動画では，音声や画像品質の劣化が生じる．音声データの遅延を少なく伝送するには，あるゲートウェイで複数のパケットが待ち合わせている場合，音声パケットを他のデータパケットより優先して出力リンクに送出する必要がある．音声トラヒックが大きいと，そのトラヒックだけが伝送されて FTP(File Transfer Protocol)パケットは全く伝送されないことが考えられる．これを防ぐためにはトラヒックごとに一定のデータレートを保証する技術が必要となる．インターネット上でそれぞれのフローに対して指定された品質を保ちながら複数のフローを同時にかつ経済的に伝送する技術を QoS 技術という．

QoS 技術は輻輳を防止するとともに輻輳の影響を不公平にフローに割り付ける技術である．すなわち高い QoS を要求するフローには輻輳の影響を少なく，要求しないフローに影響を集中する．

インターネット上において QoS を保証する技術として Diffserv(Differentiated Service)[2]－[6]が提案されている．Diffserv はパケットを転送する際に優先度情報を各 IP パケットヘッダに書き込み，中継するルータでこの情報に応じた優先制御を行うことで QoS 保証する．

DiffServ は EF(Expedited Forwarding)サービス，AF(Assured Forwarding)サービス，BE(Best Effort)サービスを提供する．動画や音声などのリアルタイム通信は，最低帯域を確保できる AF サービスが最適である．AF を提供する技術に AQM(Active Queue Management)と呼ばれる輻輳制御方式がある．輻輳制御は送受信端末であるエンドホスト間で行われており，ネットワークの輻輳制御だけでは，輻輳の早期検出および公平なネットワークの帯域割り当てを行うことは困難である．そこでルータにおいても輻輳制御を行うことで，より効率的にネットワーク資源を利用することが可能になると考えられる．こ

のような輻輳制御方式をAQMと呼び，そのAQM技術としてRED(Random Early Detection)[7]-[9]などが提案されている．

リアルタイム通信では遅延やジッタが大きな問題となる．そこで本研究では，リアルタイム通信の品質向上のためにジッタ低減を目指す．具体的には，まず異なるキュー制御方式をもつ複数接続されたDiffservドメインからなるネットワークにおいて経由するドメイン数とともにキュー長ゆらぎが累積することを示す．キュー長ゆらぎはキューイングの遅延変動を発生させ，結果ジッタが増大してしまう．そして，これらを解決するためにキュー長ゆらぎを低減することでジッタ低減をする手法を提案する．

２．　Diffserv (Differentiated Service)

一般にインターネットでは，IPルーティングにより送出パケットが運ばれる．その際，それぞれのパケットに優先度を設定し，各ルータがこの優先度を設定し，各ルータがこの優先度を見ながらバッファや帯域の割当てを行うことでQoSを確保しようとする機構がDiffservである．

DiffservはIPパケットのヘッダにあるTOSフィールド(IPv6ではTraffic Classフィールド)の上位6bitをDSCP(Diffserv Code - Point)と定義して，DSCPの値を基に優先配送，帯域割り当てなど，他のトラヒックと異なるパケットの処理を行う．それにより優先されれるトラヒックのネットワーク特性は良くなり，パケットロスや遅延，ジッタなどが軽減される．

DiffservはDiffservが有効なDSドメインとインターネットもしくは他のDSドメインの境界に配置されるエッジルータと，DSドメインに配置されるコアルータから構築される．エッジルータではDSドメインに潜入してくるパケットのヘッダ情報を基にDSCPをマークして，設定されている帯域幅や優先度でDSドメイン内部へ送信する．コアルータはDSCPを基にトラックを処理する．

DSCPを基に決められるトラヒック処理のことをPHB(Per-Hop Behavior)と呼び，現在標準化されているものにEF(Expedited Forwarding PHB)[10]，AF(Assured Forwarding PHB)[11]がある．EFはVLL(Virtual Leased Linc)サービスとも呼ばれ，固定帯域幅で低遅延，低ジッタ，低パケットロスを実現することとなっている．そのためエッジルータ，コアルータともにEFのトラヒックは最高優先度で配送するように決められている．AFは廃棄優先度に差をつけることで廃棄優先度の低いトラヒックは廃棄優先度の高いトラヒックよりパケットロスが少なくなる．AFの廃棄優先度を利用することで最低保証帯域幅という設定が可能となる．

Diffservの特徴はRSVPのようなフロー毎の管理ではなくフロー を集約して扱うことであり，バックボーンなどフローの数が予測できないようなところもDiffservなら集約されたトラヒックに対してPHBを適応できるため，QoSを提供することが可能となる．また，DiffservはQoSを実現するための枠組みを定義しているだけなのでプロトコルではなく，ネットワークの下位層を規定していない．ただし，Diffservをサポートしている必要があり，Diffservをサポートしているノードとの間でのみQoSの保証が可能であるとしているが，RSVPのような絶対性はなく，トラヒックは効果を得て通過していくためシステムを移行しやすい．

２．１　Diffservドメイン(DSドメイン)

Diffservドメイン(DSドメイン)とは，クラスの構成やクラス毎の転送方法が同一のルールによって運営されるネットワーク領域である．DSドメインはドメイン境界部に配置されているバウンダリノードとそれ以外のDSドメイン内部に配置されるインテリアノードから構成される．

バウンダリノードはユーザからのアクセス回線を収容するエッジルータの相当するノードであり，あらかじめ決められたルールに基づいて，ドメイン内に流入するフローをクラスに分類する．クラスに分類されたフローには，Diffserv CodePoint(DSCP)と呼ばれる値がIPヘッダ内にセットされる．インテリアノードはコアノードとも呼ばれ，パケットヘッダ内のDSCP値に基づいてあらかじめ決められた転送処理を行う．この時のパケットの転送動作をPer Hop Behavior(PHB)と呼ぶ．

２．２　PHB (Per Hop Behavior)

PHB (Per Hop Behavior) とは，DSドメインに到着したパケットの振る舞いのことである．Diffservでは，DSドメインに流入してきたパケットを，DSCPの値に従ってクラス分けすることによってトラフィックの優先制御を行う．DSノードは，DSCPとPHBを対応付けるテーブルを保持しており，入力パケットのDSCPとテーブルを照らし合わせて対応するPHBを選択する．これは32ビットの符号なし整数で表され，その数値に対してバッファ容量や帯域幅，優先順位，さらに遅延やパケット破棄の許容量に関する規則が記述されている．それぞれのDSドメインがDSCPを定義し，それに応じた動作をルータで設定・実現させる．これはDSドメインごとに独立して決めることができるので，独自のサービスを提供することができる．以下に，Diffservで規定されている主なPHBを示す．

２．２．１　Default PHB

Default PHBとは，DSノードが受信したパケットが持つDSCPに対して，適切なPHBを割り当てることができないときに選択されるPHBである．従って最も優先度が低いBest Effortとして扱われる．

２．２．２　AF PHB

AF PHB (Assured Forwarding PHB) とは，特性の異なるトラフィックに対してそれぞれの特性に合わせたクラ

スを提供し，それらのパケットの転送を保証する．AF PHB には，パケットバッファや帯域幅などのリソースを提供する 4 個のクラスと，パケット破棄優先度を示す 3 個のレベルがある．DS ノードにおいて輻輳などが発生した場合は，破棄優先度が高いパケットから優先的に破棄される．標準では 4 個のクラスと 3 個のレベルを組み合わせることにより，それぞれのトラフィックに合わせた 12 種類のサービスが提供可能である．

２．２．３　EF PHB

EF PHB (Expedited Forwarding PHB) は，他のどのトラフィックよりも優先的に処理することを指定する PHB である．EF PHB では，すべてのトラフィックを設定された最低送出レート以下のレートにする厳格なポリシングの必要がある．これは，インターネット上に仮想専用線が構築されることを意味する．

２．３　DSCP (Differentiated Services code point)

IPv4 のヘッダの TOS (Type of Service) と呼ばれるフィールド(8 ビット)，または IPv6 パケットの Traffic Class フィールド(8 ビット) の上位 6 ビットに DSCP (Differentiated Services code point) を記述しておき，ゲートウェイのトラフィック制御機構の動作の決定の様子を Fig. 1 に示す．通常，特定の QoS 処理が必要なフローに属するパケットには同一の DSCP を与える．逆に，同じ DSCP を持つパケットは，フローにかかわらず同一のサービスを受ける．すなわち，Diffserv のサービス単位は必ずしもフローではなく，同一の DSCP を持つフローの集合(aggregate) である．

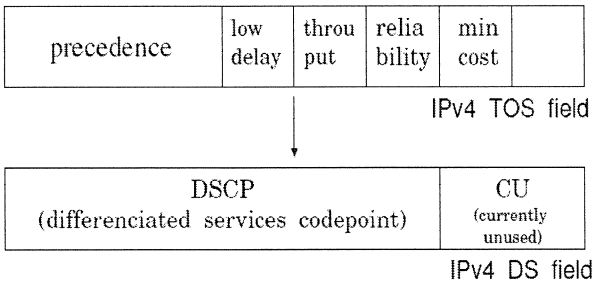


Fig. 1 IPv4 DSCP

３．　AQM(Active Queue Management)

現在のインターネットでは，信頼性のある通信を実現するトランスポートプロトコルとして TCP が広く利用されている．TCP はウィンドウ制御と呼ばれるデータ転送機構を用いて，送受信端末であるエンドホスト間における伝送レートを調整しながらデータを転送する．しかし，エンドホストによる輻輳制御機構だけではネットワークの輻輳状況を正確に把握できないため，輻輳の早期検出，および公平なネットワークの帯域割当を行うことは困難である．そこで，ネットワーク内のルータにおいても輻輳制御を行うことで，より効果的にネットワーク資源を利用することが可能であると考えられる．このような輻輳制御機構を AQM(Active Queue Management)と呼ぶ．

音声や動画といったリアルタイムの通信では，最低帯域保証を行う AF サービスが最も適している．その中でも Diffserv　AF サービスを提供する AQM 技術の一つである RED(Random Early Detection)などが有力視されている．

３．１　RED (Random Early Detection)

３．１．１　RED の概要

ネットワーク上で輻輳が発生すると，ゲートウェイのキュー長が増大し，バッファに収容しきれなくなり，パケット廃棄が生じる様子を Fig. 2 に示す．

TCP のトラヒック制御では，受信ホストが輻輳発生により発生した経路上でのパケット廃棄を検出して，送信ホストに輻輳発生を通知する．これを受けて送信ホストがデータ転送レートを抑制し輻輳を抑制する事後対策である．輻輳制御を行っている様子を Fig. 3 に示す．

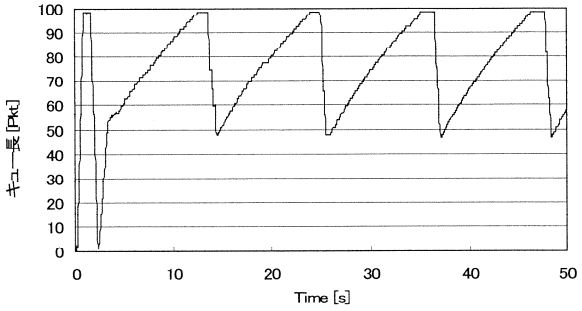


Fig. 2 Queue length (Drop Tail)

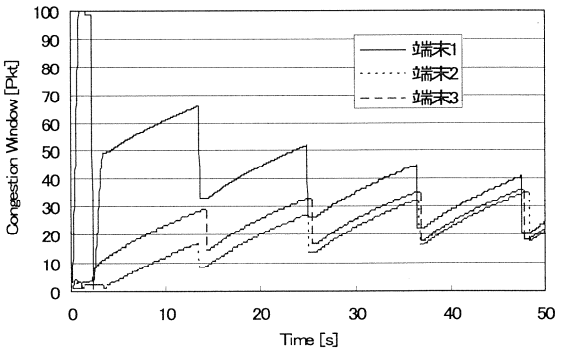


Fig. 3 Congestion Window

TCP 端末の CWND サイズを重ねてみるとキュー長のサイズになっていることがわかる．TCP の輻輳制御によって，キュー長が変動していることが Fig. 2 よりわかる．

これに対して常にゲートウェイのキュー長を測定して，キューがある程度大きい場合，輻輳発生の予兆と考えて，事前に送信ホストにフィードバックを行い，送信アプリケーションの送信レートを抑えて，輻輳の発生を予防するという考えが提案された．FIFO(First In First Out) スケジューリングではゲートウェイでよく使用されているが，このスケジューリングでは，キュー内にあるフロ

ーごとのデータ量が，そのフローへの割り当てレートに比例する．したがって，キュー内のフローごとのデータ量を制御すれば，そのフローへの割り当てレートの制御も可能である．このように，ゲートウェイのキュー長を意図的に制御する技術の一つとして RED(Random Early Detection)が提案されている[9]．

RED はバッファ溢れが生じる前から確率的にパケットを廃棄していくバッファ方式である．これにより連続的なパケット廃棄が生じにくくなる．RED はバッファ溢れが生じる前からパケットを確率的に廃棄する．RED では平均キュー長を輻輳状況のパラメタとし，平均キュー長が大きい時ほど，バッファに到着したパケットを確率的に廃棄することで，安定した輻輳制御を行うことが可能になる．

３．１．２　RED のアルゴリズム

RED では，ルータにパケットが到着するたびに，ローパスフィルタの一種である EWMA(Exponential Weighted Moving Average)を用いて式(1)より現在のキュー長 に基づき平均キュー長 を計算する．この に基づいて廃棄確率を設定することにより，トラヒックのバースト的な変動を抑えることができる.式１中の は平均キュー長に対する実際のキュー長の重みを決める制御パラメタである．

$$avg = (1 - w_q)avg' + w_q avg' \quad \cdots (1)$$

RED における平均キュー長および廃棄確率の関係を Fig.4 に示す.RED には三つの制御パラメタが設定されている．最小しきい値 $\min_{th}$ と最大しきい値 $\max_{th}$ と平均キュー長 avg を比較し，それぞれ avg に応じたパケット廃棄を行う．avg が $\min_{th}$ に満たない場合は，到着パケットをバッファに格納する．avg が $\min_{th}$ を超えると，avg に応じた廃棄確率によりパケットを廃棄する．廃棄確率は $\max_{th}$ に達するまで，avg に応じて，最大パケット廃棄確率まで増加する．avg が $\max_{th}$ を超えると，全ての到着パケットを廃棄する．

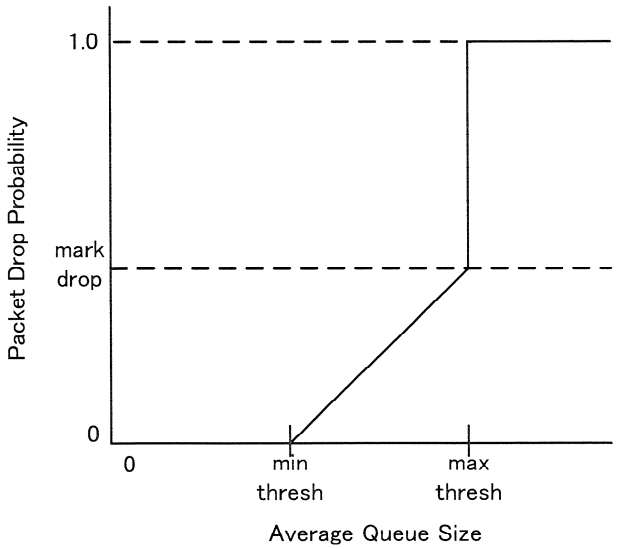


Fig. 4　Max. packet drop ratio and avr. queue length

RED における到着パケット廃棄の処理手順を以下に示す．

（１）avg が $\min_{th}$ より小さい場合

・到着パケットをバッファに格納

（２）avg が $\min_{th}$ より大きく $\max_{th}$ より小さい場合

・パケット廃棄確率 P_b を式１と式２を用いて算出し，その値に基づき，到着パケットを廃棄する

$$P_a = \frac{P_b}{(1 - count \times P_b)} \quad \cdots (2)$$

$$P_b = \frac{P_{max}(avg - min_{th})}{max_{th} - min_{th}} \quad \cdots (3)$$

※ $count$:最後にパケット廃棄を行った後に，バッファに格納されたパケット数

（３）avg が $\max_{th}$ より大きい場合

・到着パケットを全て廃棄

RED におけるキューを Fig. ５に示す．

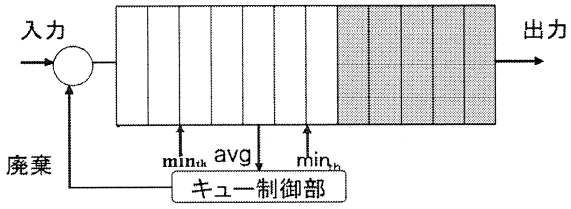


Fig. ５ RED Queue

３．１．３　RED の問題点

RED の問題点としてはトラヒックやパラメタの設定でが変わるという点である 12]－[14].

例えば入力トラヒック量が少ない場合，もしくは最大パケット廃棄率が高い場合は avg が $\min_{th}$ に近づく．また，入力トラヒック量が多い場合，もしくは最大パケット廃棄率が低い場合は avg が $\max_{th}$ に近づく．ストリーミング配信などのリアルタイム通信は平均キューイング遅延やジッタを一定に保つ必要がある．しかし，RED はこの要求を満たすことが困難である．

RED の動作を把握するためにシミュレーションを行った．ネットワークモデルを Fig. 6 に，シミュレーション条件を Table 1 に示す．

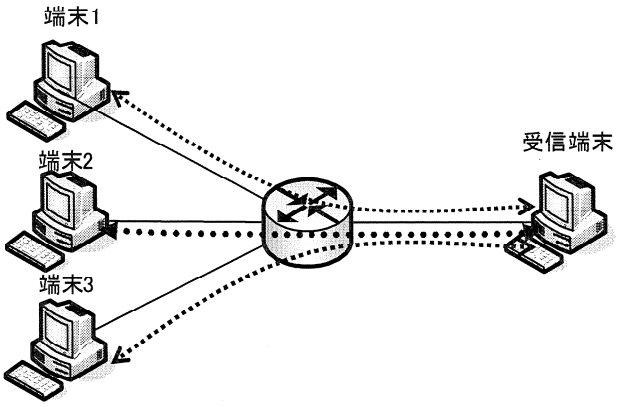


Fig. 6 Network model

Table 1 Simulation Setup

送信端末数(TCP)	3
伝搬遅延(Domain_in,Domain_out)	0.4, 40[ms]
リンク帯域	10, 1.5[Mbps]
シミュレーション時間	20[s]
キューサイズ	100[Pkts]
キュー制御	RED

RED のキュー長の変化の例と TCP のウィンドウサイズの変化の例を Fig. 7, 8 に示す. キュー長のゆらぎと端末 3 台の送信パケット数を比較するとほぼキュー長と同様の値を示した. 多少の誤差は RED による廃棄が行われたものである.

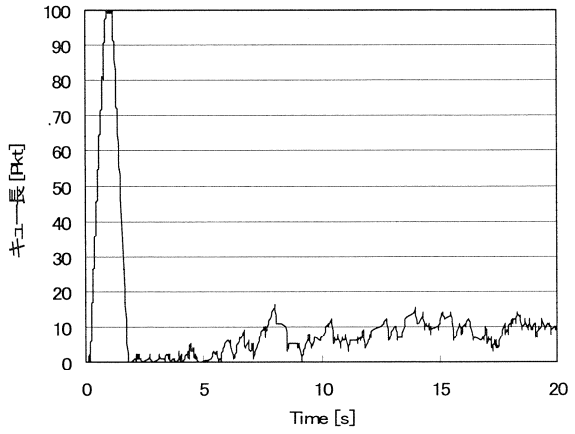


Fig. 7 Queue length (RED)

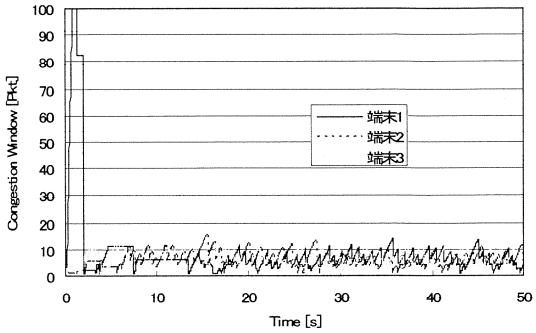


Fig. 8 Congestion Window (RED)

３．１．４ 考察

RED では, パケットが確率的に廃棄されるためキュー長がゆらいでいることが Fig. 7 よりわかる. RED のゆらぎ原因として DorpTail と同様 TCP の CWND 制御によってキュー長が揺れていることが Fig. 8 より分かる. 各端末の送信パケットとキュー長を比べるとキュー長とほぼ一致している. 一致していない部分は RED により廃棄される. これより, キュー長のゆらぎを抑制するためには TCP の CWND を抑制することが必要だと考えられる. しかし, 過剰に CWND を抑制すると TCP 端末のスループットが著しく低下する. よって, TCP の CWND を抑制しつつも的確な制御方式が必要になると考えられる.

４． 複数 Diffserv 接続ネットワーク

４．１ キュー制御方式の異なるネットワーク群における Diffserv

Diffserv がエンドエンド間の QoS 制御の技術として注目されている. Diffserv の代表的なキュー制御としては, RED(Random Early Detection)がある. RED の目的は TCP パケット損失を抑制しスループットを向上することである. ドメインが異なる Diffserv において RED のパラメタは個別に設定できる. また, 各ドメイン相異なる RED 方式を使用する環境も考えられる.

異なるキュー制御方式をもつ複数接続された Diffserv ドメインからなるネットワークにおいて経由するドメイン数とともにキュー長ゆらぎが累積することを示す. キュー長ゆらぎは不要なパケット損失や遅延変動を発生させるため望ましくないと考えられる.

４．２ 予備実験 1(同一キュー制御をもつ複数ドメイン接続時の平均キュー長)

同一のキュー制御をもつ複数ドメイン接続時における平均キュー長のゆらぎを調査するためにシミュレーションを行った. 送信端末は UDP でストリーミング, 負荷端末 TCP で FTP とした. また, 伝搬遅延はドメイン内が 25[ms], ドメイン外を 15[ms]とした RED の制御は RIO として行った.

ネットワークモデルを Fig. 9 に, シミュレーション条件を Table 2 に示す.

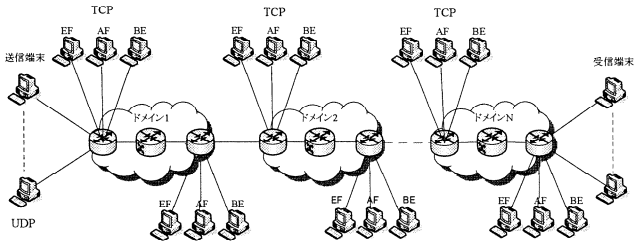


Fig. 9 Simulation Model

Table 2 Simulation setup

送信端末数UDP(EF,AF,BE)	10,10,10
シミュレーション時間	10[s]
伝搬遅延(Domain_in,Domain_o	25, 15[ms]
リンク帯域	10, 10[Mbps]
スケジューリングアルゴリズム	RR
キューサイズ	100[Pkts]
キュー制御	RIO-C
マーキングアルゴリズム	TSW
負荷端末数TCP(EF,AF,BE)	10,10,10

同一キュー制御をもつドメインを並べ，送信端末をUDP，負荷端末をTCPとし評価を行った．結果，同一キュー制御ながらもドメインが変わるたびにキュー長がゆらいでいることが分かった．

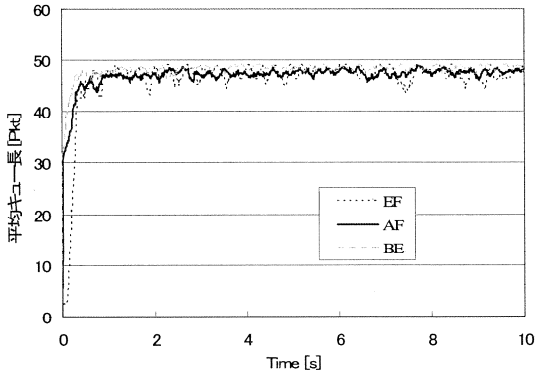


Fig. 10 Avr. queue length (Domain 1)

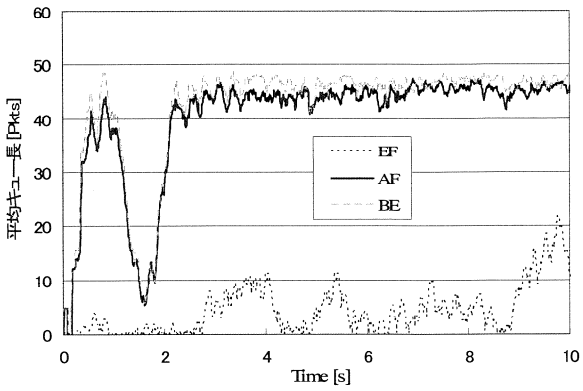


Fig. 11 Avr. queue length (Domain 2)

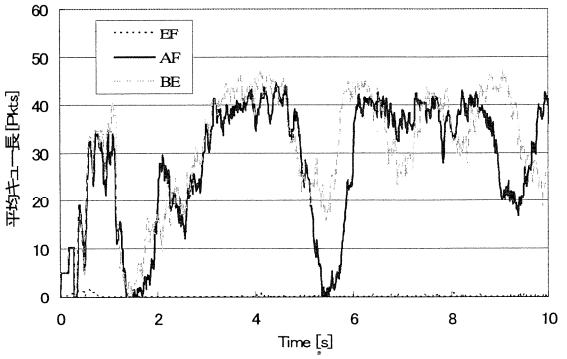


Fig. 12 Avr. queue length (Domain 3)

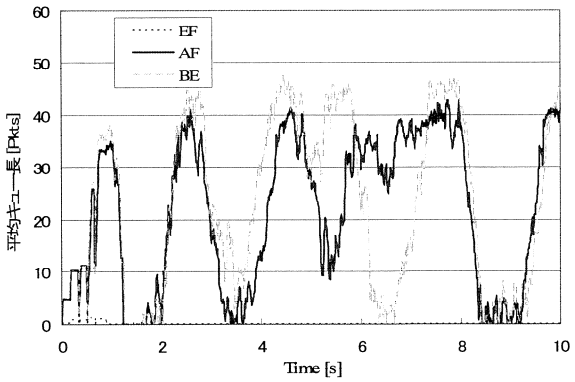


Fig. 13 Avr. queue length (Domain 4)

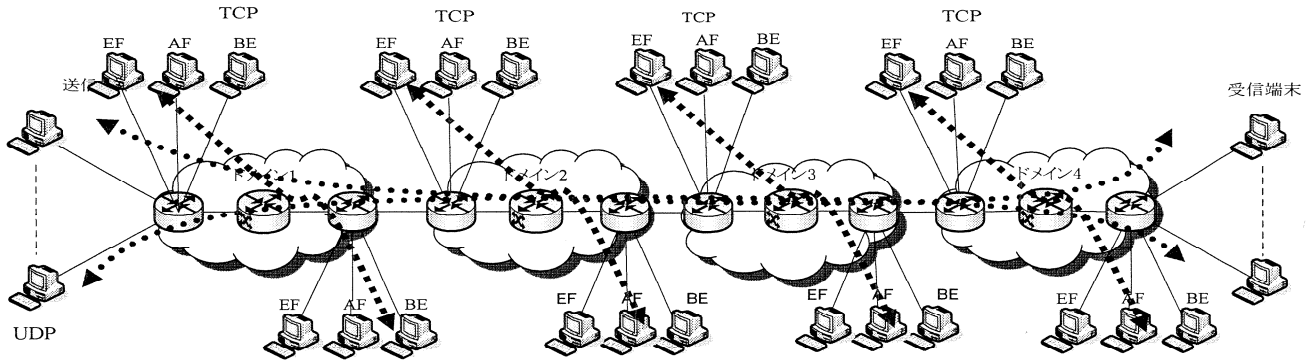


Fig. 14 Network Model

同一キュー制御をもつ Diffserv ドメインを複数接続したときの平均キュー長がゆらいでいることが Fig. １０，１１，１２，１３よりわかる．これは，TCP の制御

によるものとゆらぎが伝搬していることが原因だと考えられる．同一のキュー制御でゆらぎが伝搬していることからもより現実に想定される異なるキュー制御をもつ Diffserv 複数ドメインを接続してキュー長のゆらぎを調査する必要があると考えられる．

４．３　予備実験 2(異なるキュー制御をもつ複数ドメイン接続時のキュー長)

異なるキュー制御をもつ複数ドメイン接続時におけるキュー長のゆらぎ変動を調査するためにシミュレーションを行った．送信端末は UDP でストリーミング，負荷端末 TCP で FTP とした．また，伝搬遅延はドメイン内が 5[ms]，ドメイン外を 1[ms]とした RED の制御は各ドメインごとにドメイン 1 を DROP，ドメイン 2 を RIO，ドメイン 3 を WRED，ドメイン 4 を DROP のように接続した．以後本研究では，この接続形態を RIO-DROP-WRED-RIO，WRED-DROP-RIO-WRED と呼ぶ．

ネットワークモデルを Fig. 14 に，シミュレーション条件を Table 3 に示す．

Table 3　Simulation setup

送信端末数UDP(EF,AF,BE)	10,10,10
負荷端末数TCP(EF,AF,BE)	
伝搬遅延(Domain_in,Domain_out)	5, 1[ms]
リンク帯域	10, 100[Mbps]
シミュレーション時間	50[s]
キューサイズ	100[Pkts]
キュー制御	RIO,WRED,DROP

４．４　シミュレーション結果

DROP-RIO-WRED-DROP としてシミュレーションを行った．結果，ドメインを跨って通信を行うとドメインの増加とともにキュー長ゆらぎが大きくなることがわかる．

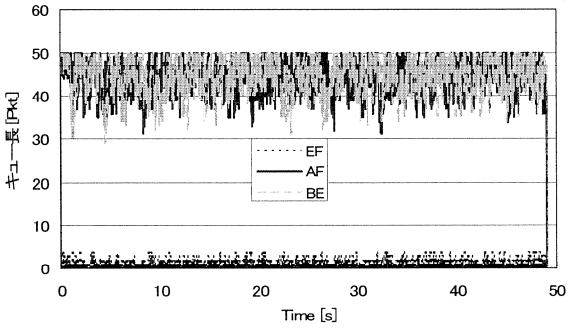


Fig. 15 Queue length (domain 1 DROP)

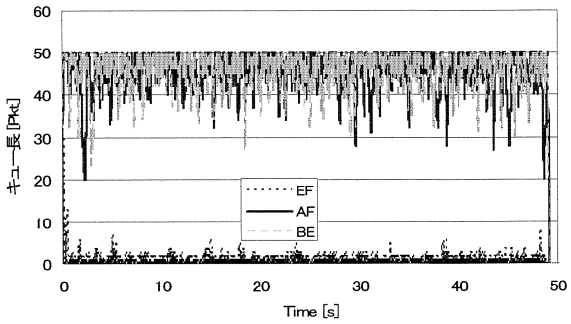


Fig. 16 Queue length (domain 2 RIO)

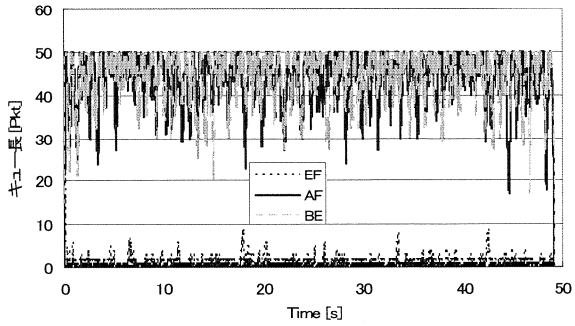


Fig. 17 Queue length (domain 3 WRED)

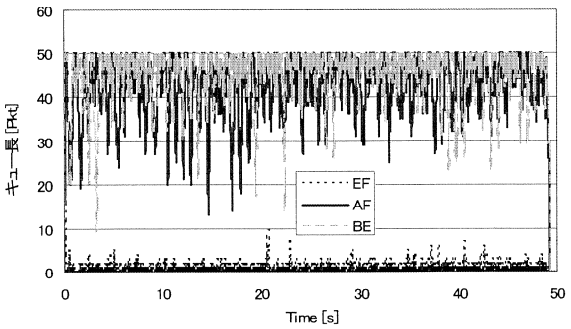


Fig. 18 Queue length (domain 4 DROP)

５．　提案手法

Diffserv の代表的なキュー制御としては，RED(Random Early Detection)がある[12]-[14]．RED の目的は TCP パケット損失を抑制しスループットを向上することである．RED の問題点としてストリーミング配信などのリアルタイム通信は平均キューイング遅延やジッタを一定に保つ必要がある．しかし，RED はこの要求を満たすことが困難である．

提案方式では異なるドメインを経由してきた場合キュー長ゆらぎが増大する問題点を解決するためにキュー長を指標として制御を行う．

キュー長がゆれている場合に を 1/2 に変更する．これにより本来のキューサイズよりもキュー長が短く設定さ

れキュー滞在時間が減り，キュー長ゆらぎの幅を減少できる．

制御してからランダム時間(1～10[s])待ちキュー長ゆらぎが低減できたら制御を元の制御に戻す．この動作により動的にゆらぎを抑制できその結果，キュー長ゆらぎが低減できる．本提案では，Y1541 で規定されているジッタの 50ms 以下を目指す．

５．１　アルゴリズム

各ドメインのコアルータでは自身のキュー長を観測している．観測しているキュー長が式(4)から(5)の状態へ変化した際に制御する．

$$\frac{Max_{th}}{2} \quad Max_{th} < (q) \qquad (4)$$

$$0 < (q) < Min_{th} \qquad (5)$$

$$Max_{th} \quad Min_{th} \leqq (q) \leqq Max_{th} \qquad (6)$$

(q) = Queue size

予備実験よりドメインを経由する際にドメイン 3 近辺にてキュー長が式(4)から式(5)へ変化するので，式(4)から式(5)への状態変化を複数ドメインを経由してきたと判断し，max_{th} を 1/2 に変更する．また，観測したキュー長が式(6)の状態ならば制御をおこなわない．廃棄確率は式(7)を用いて従来方式と同様に求められる．しかし，max_{th} を 1/2 にしているため廃棄率の傾きは Fig. 19 に示す通りになる．

$$\begin{cases} 0 & 0 < avg < Min_{th} \\ \dfrac{avg - Min_{th}}{Max_{th} - Min_{th}} p_b & Min_{th} \leqq avg \leqq Max_{th} \\ 1 & Max_{th} < avg \end{cases} \qquad (7)$$

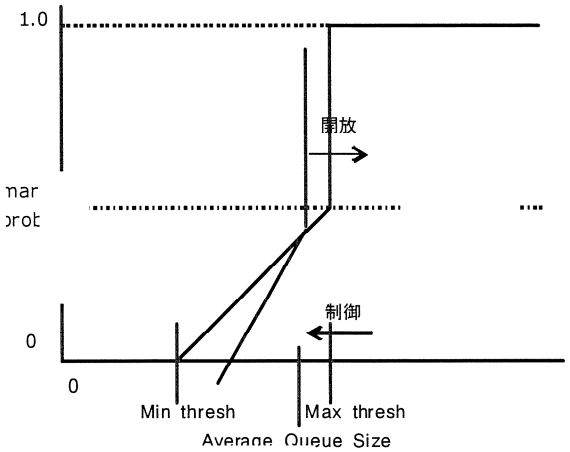


Fig. 19 Packet drop probability

本来のキューサイズよりもキュー長が短く設定されキュー滞在時間が減り，キュー長ゆらぎの幅を減少させる．その結果，キュー長ゆらぎが低減できる．

また，式(7)の状態になった際はランダム時間(1～10[s])待ち制御を元の制御に戻す．提案方式のフローチャートを Fig. 20 に示す．

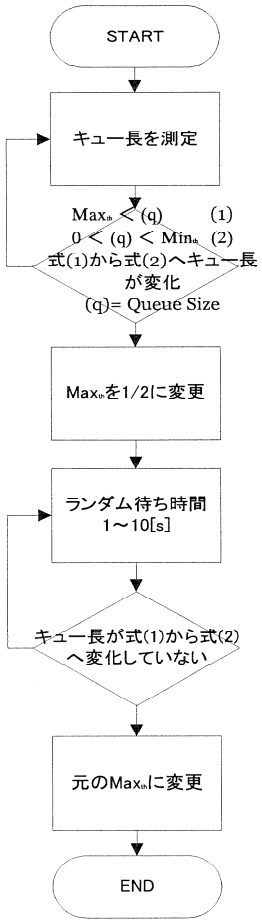


Fig. 20 Flow char of the proposed method

６．性能評価

６．１　シミュレーション条件

提案手法の有効性を示すためにシミュレーション評価を行った．ネットワークモデル，シミュレーション条件を Fig. 21, Table 5 に示す．ドメイン外のリンク容量を 100[Mbps]，ドメイン内のリンク容量を 10[Mbps]また，ドメイン外の伝搬遅延を 1[ms]，ドメイン内の伝搬遅延を 5[ms]とする．各ドメインのコアルータに提案のアルゴリズムを実装した．各ドメインの方式は RIO-DROP-WRED-RIO，WRED-DROP-RIO-WRED とした．

Table 5 Simulation setup

送信端末数UDP(EF,AF,BE)	10,10,10
負荷端末数TCP(EF,AF,BE)	
伝搬遅延(Domain_in,Domain_out)	5，1[ms]
リンク帯域	10，100[Mbps]
シミュレーション時間	50[s]
キューサイズ	100[Pkts]
キュー制御	RIO,WRED,DROP

６．２　シミュレーション結果

ドメイン 1,2 では式(4)から式(5)へのキュー長の変化が無いため従来方式と同様のキュー制御となっている．よってここではドメイン 3，4 の評価を行う．

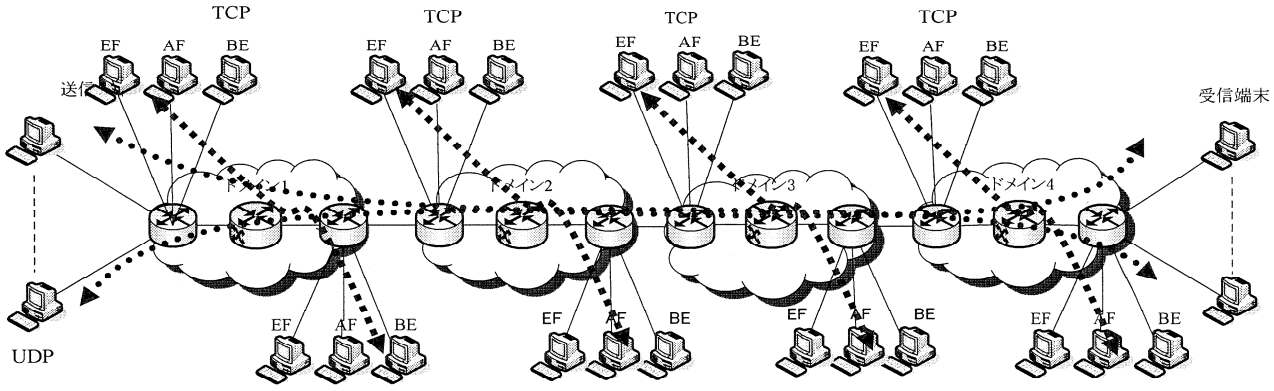


Fig.21 Network Model

まず，各ドメインの RED 方式を WRED-DROP-RIO-WRED とした．ドメイン 3,4 でのキュー長を見ると Fig. 22, 23 をみるとキュー長ゆらぎが低減できていることが分かる．

Fig. 22 の 4 秒あたりからキュー長ゆらぎ幅が抑制できていることがわかる．これは max_{th} を 1/2 にしているためである．また，制御を開放したあともゆらぎ幅が抑制できている．これは，TCP の Congestion Window を RED の廃棄によって抑制したことからである．

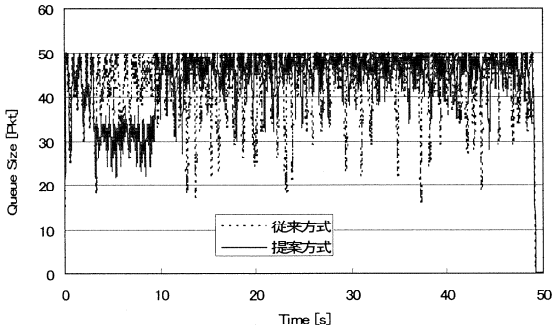


Fig. 22 Queue length (Domain 3 RIO)

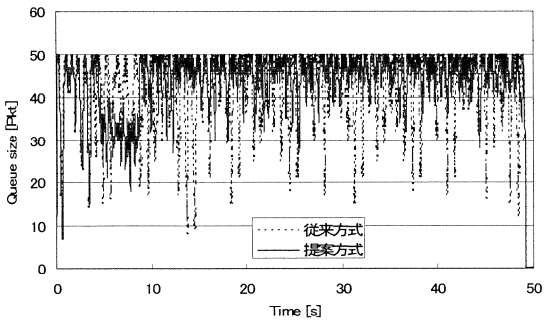


Fig. 23 Queue length (Domain 4 WRED)

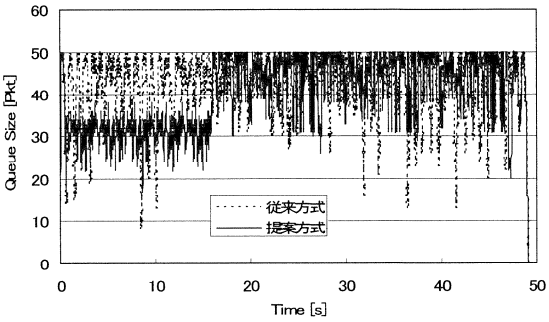


Fig. 24 Queue length (Domain 3 WRED)

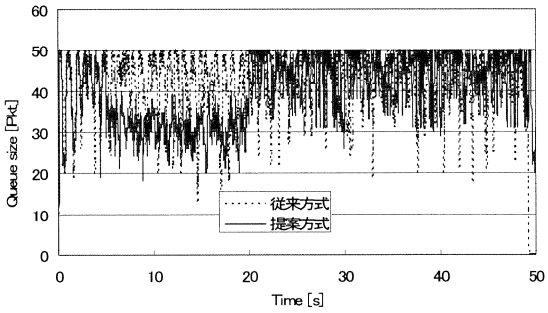


Fig. 25 Queue length (Domain 4 RIO)

間待っている間にキュー長が 以下になったため再度ランダム待ち時間に入っている様子がわかる．その後は制御が開放され，先ほどの WRED-DROP-RIO-WRED の接続と同様にゆらぎが低減できている．ゆらぎの低減によりキューイング遅延変動が低減できたこと Tbale 6 に示す．ボトルネックリンクのキューの遅延 Dq をキューの中に待機中の平均ビット数 Lq とリンクの帯域幅 bwt を利用して以下のように計算する．

$$D_q = \frac{L_g}{bwt} = \frac{(\text{キューサイズ}) \times (1000+40) \times 8}{\text{リンク帯域 [Mbps]}} \quad (8)$$

式中の 1000+40 の部分は TCP,UDP パケットのパケットサイズとヘッダサイズとする．Table 6 より従来方式に比べて提案方式では遅延変動幅が低減していることがわかる．これは，提案方式によりキュー長ゆらぎが低減したためである．

次に各ドメインのジッタ測定を行った．結果を Fig. 26 に示す．

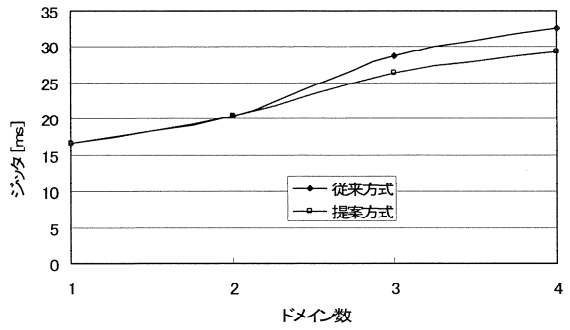


Fig. 26 Num. of domains and UDP flow jitter

６．３　考察

従来方式に比べキュー長に応じたRED方式ではキュー長のゆらぎが低減できていることがFig. ２２—２５よりわかる．キュー長に応じたRED方式では，式(4)から式(5)へ状態が変化した際に max_{th} を1/2に変化する．これにより，本来のキューサイズよりもキュー長が短く設定されキュー滞在時間が減り，キュー長ゆらぎの幅を減少させる．その結果，キュー長ゆらぎが低減できる．このとき送信側では，UDPとTCPが送信されているがTCPではパケットの廃棄によってCWNDが抑制される．そのため，キュー長ゆらぎが抑制され制御が元の状態に戻ってもキュー長ゆらぎが低減していることがわかる．

従来方式に比べてドメイン３からジッタが低減できていることがFig. ２５よりわかる．これは，キュー長ゆらぎが低減したことによりTable 6のようにキューイングの遅延変動が抑制できたためジッタが低減できていると考えられる．

７．　おわりに

本研究では，異なるキュー制御を用いる複数ドメインを空構成されるネットワークのキュー長ゆらぎがドメイン数の増加とともに増大することをシミュレーションにより示した．キュー長ゆらぎは不要なパケット損失や遅延変動を発生させるため望ましくない．そこでキュー長ゆらぎの低減方式を提案し，性能評価を行った．
性能評価の結果，従来方式にくらべ提案方式ではキュー長ゆらぎが低減できていることが分かった．これは提案方式では，max_{th} 以上から min_{th} 未満へキュー長が変化した際に max_{th} を1/2に変化する．これにより，本来のキューサイズよりもキュー長が短く設定されキュー滞在時間が減り，キュー長ゆらぎの幅を減少させる．その結果，キュー長ゆらぎが低減できる．このとき送信側では，UDPとTCPが送信されているがTCPではパケットの廃棄によってCWNDが抑制されている．

そのため，キュー長ゆらぎが抑制され制御が元の状態に戻ってもキュー長ゆらぎが低減していることがわかる．また，キュー長ゆらぎが低減できたことからキューイングの遅延変動が低減でき結果ジッタを目標値以下まで低減した．

今後は，ネットワークが変化することによりジッタの増加も考えられるので，より大規模なネットワークや格子状のネットワークなどを対象に評価する．

参 考 文 献

[1] 戸田巌 ”ネットワークQoS技術”オーム社”, 2001年５月
[2] 阪田史郎”インターネットにおけるQoS技術”電子情報通信学会誌, Vol. 85 No. 10 pp. 749-755, Oct. 2002
[3] Ramanathan, M. Parashar ” Active Resource Management for the DifferentiatedServicesEnvironment”, Active Middleware Services Work Shop, August 2001
[4] K. Nochols, S. Blake, F. Baker, and D. Black ” Difinition of the Differentiated Services Field in the Ipv4 and Ipv6 Headers”, IETF RFC2474, December 1998
[5] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss ” An Architecture for Differentiated Services”, IETF RFC2475, December 1998
[6] Takeshi AIMOTO, Shigeru MIYAKE ” Overview of Diffserv Technoloty:Its Mechanismand Implementation”, IEICE TRANS. INF. &SYST. VOL. E83-D, NO. 5, May 2000
[7] S. Floyd and V. Jacobson,” Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance” IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 1, no. 4 pp. 397-413, Aug. 1993
[8] W. Feng, D. Kandlur, D. Saha, and K. G. Shin,” A Self Configuring RED Gateway, IEEE INFOCOM’99Mar. 1999
[9] S. Floyed, R. Gummadi, and S. Shenker,” Adaptive RED:An Algorithm for Increasing the Robustness of RED’s Active Queue Management” August 1, 2001
[10] IETF-RFC2581,”””””””” An expedited forwarding PHB Group”, Feb. 2000
[11] IETF-RFC2597,”””””””” Assured forwarding PHB Group”, Feb. 1999
[12] 土井博生，横林亮介”RTOの発生抑制を考慮したREDの改良の検討” 電子情報通信学会 信学技報 NS2007-51(2007-7)
[13] B. Braden, “Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet” IETF RFC 2309, April 1998
[14]Bing ZHENG” DSRED: A NEW Queue Management Scheme for the Next Generation Internet” IEICE TRANS. COMMUN. VOL. E89-B. NO3 MARCH 2006
[15] K. kumazoe” Quality of Assured Service through Multiple Diffserv Domain”IEICE Transactions on Information Systems, Vol. E85-D, No. 8pp1226-1232
[16] 本久勝一他”複数ドメインを経由するAFサービスのためのコードポイント再設定方式の提案”信学技報 IA2003-19(2003-07)

疑似血管デバイスを用いた内皮細胞と流れによる刺激との相互作用の解明

総合研究所　杉井　康彦

広島国際大学 保健医療学部　南山　求

Relationships between endothelial cells and blood flow stimulation utilizing a blood vessel model for in vitro experiment

Yasuhiko Sugii, Research Institute for Science and Technology
Motomu Minamiyama, Hiroshima International University

ABSTRACT : In order to investigate vascular diseases such as cause of atherosclerosis and myocardial infarction, it is important to investigate relationships between endothelial cells (ECs) covered with surface on blood vessels and blood flow stimulation using both of in vivo and in vitro experiments. In this paper, a blood vessel model for in vitro experiment was developed in order to evaluate the relationship between response of ECs and shear stress caused by blood flow. ECs were cultured in polydimethylsiloxane (PDMS) microchip, which made of (PDMS) microchip fabricated using usual soft-lithographic technique, by optimizing cells cultured condition such as surface coating on the wall. The microchip consists of a straight microchannel with 400 μm width, 100 μm depth and 2 cm long. It was confirmed to be confluent using a phase-contrast microscope. Velocity distributions to estimate shear stress on the ECs were measured using micro PIV system.

１．　はじめに

現代社会において，大幅な生活様式の変化と急速な高齢化に伴い，心臓病・高血圧症・脳血管障害などに代表される循環器系疾患の有病率が高まっている.そのため，動脈硬化，心筋梗塞，脳梗塞など血管の疾患の原因解明や予防のため，血管の内側を覆っている血管内皮細胞と血流による刺激との関係が*in vivo*や*in vitro*の実験により調べられている[1-3]．これまでに，*in vivo*の実験により，流体によるせん断応力とNO産生量などに相関があること[4-5]やせん断応力による細胞の配向性[6-8]などが調べられているが，そのメカニズムは不明な点が多い．メカニズムの解明のために，マイクロ加工技術を用いて作成したマイクロデバイス内で血管内皮細胞を培養し，疑似血管マイクロデバイスが開発され，内皮細胞への白血球の付着性について調べられている[9-11]．また，層流の理論解より求めた壁面せん断速度より，動物実験によって求めた速度場から求めたせん断速度が，小さくなっていることが報告されている[12-14]．一方，数値計算を用いて計測した内皮細胞の周り流れを求め，推定されたせん断応力の分布が，円管のせん断応力の理論値より小さくなることが示されている[15]．

本研究では，マイクロ加工技術を用いて作成したマイクロデバイス内で血管内皮細胞を培養して疑似血管マイクロデバイスを開発し，マイクロPIV法を用いたデバイス内の内皮細胞近傍の速度場を計測する．

２．　疑似血管マイクロデバイス

２．１　マイクロデバイス作成方法

図１にPDMS(polydimethylsiloxane)製マイクロデバイスの作成方法を示す．スピンコータを用いてガラス基板にフォトレジスト剤であるSU-8を塗布し，ホットプレートで焼き固め，マスクアライナを用いてフォトマスクに描画したマイクロチャンネルの図面をレジスト剤に露光した．露光した後，再びホットプレートで焼き，現

像液で現像して型を作成し，その上にPDMSを流し込みオーブンで焼き固めた後，引き剥がした．酸素プラズマをチップ表面に照射して表面処理を行って流路を親水性にした後，ガラスに貼り付けて溶液導入用の内径0.3mmのチューブを取り付けた．図2に作成した幅400μm，深さ100μm，長さ2cmの直線流路から成るPDMS製マイクロデバイスを示す．入口と出口がそれぞれ１つであり，マイクロチューブを通して，流路に流体流すことができる．

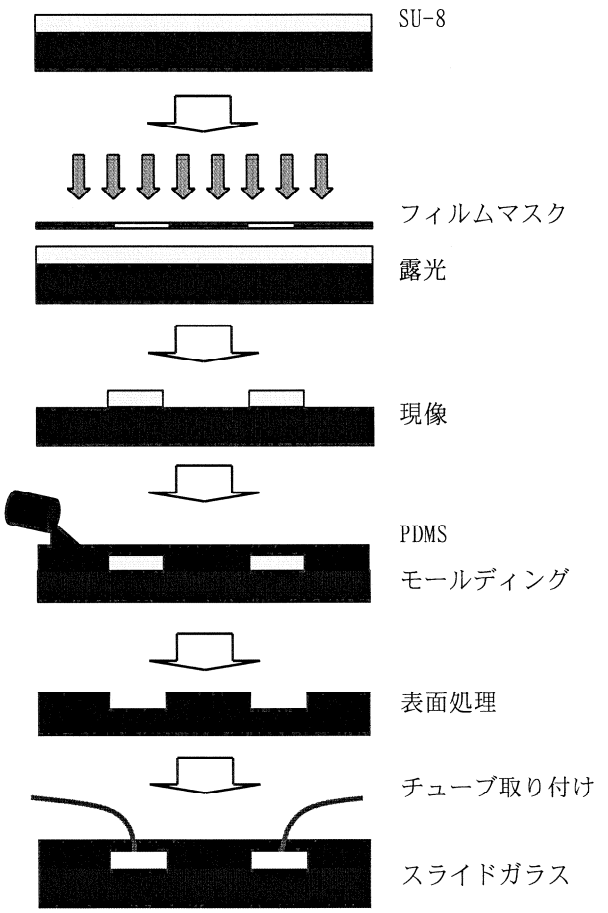


Fig. 1 PDMS microchip fabrication process

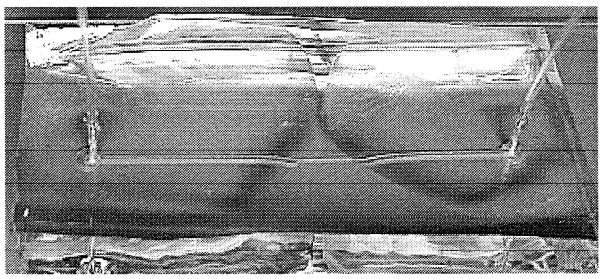


Fig. 2 PDMS microchip for a blood vessel model

２．２　血管内皮細胞の培養方法

これまでに，培養ディッシュなどにおいて以下に示すような細胞培養技術が確立されている．培養ディッシュなどに細胞と栄養である培養液を入れ，CO_2インキュベータ内で静置させると，重力によって細胞が沈み，底面に付着する．週に2，3回培養液を交換するだけで細胞分裂を繰り返して増殖し，細胞を培養すること可能である．しかしながら，マイクロデバイス内での培養は，その空間が微小であるために培養液を充填しただけでは細胞に対する培養液の量が少なく栄養や酸素が不足し，さらに老廃物が滞留するために，細胞が死滅するなどの問題がある．これらの問題を避ける方法として，新鮮な培養液を細胞に連続的に供給する必要があるが，還流の際に気泡が混入したりコンタミしたりするだけでなく，還流によって細胞が壁面より剥がれなどが発生するなどの問題が生じる．

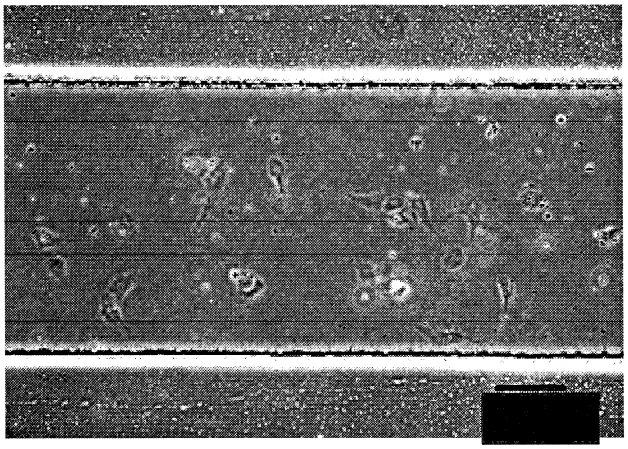
そこで，本研究では細胞の接着性を高めるために，流路壁面のコーティング方法を検討した．コーティング剤として，細胞外マトリックスの一つであるマトリゲルを用いた．作成したマイクロチップ内に1.0 mg/mlの濃度のマトリゲル懸濁液を流し，CO_2インキュベータ内で静置することによって流路壁面に吸着させた．通常，マイクロ流体デバイスなどに流体を送液する際には，シリンジポンプを用いてマイクロシリンジを押すことが行われている．しかしながら，細胞の培養では，複数の溶液を順番に流すことが必要なため，その際に針やマイクロシリンジの交換が必要となり，気泡の混入やコンタミが発生しやすく，細胞の剥がれや死滅が頻発する．そこで，シリンジポンプを用いて吸引する方法を用いることや溶液の交換方法を工夫することによって，気泡の混入やコンタミを避けることが可能となった．

正常ヒト臍帯静脈内皮細胞（Human Umbilical Vein Endothelial Cells: HUVECs）を作成した幅400μm，深さ100μm，長さ2cmの直線流路から成るPDMS(polydimethylsiloxane）製マイクロデバイス内に，前述の吸引法で1.0×10^6 cells/mlの濃度で導入を行った．細胞のチャンネル壁面への接着を確認した後，37.0℃，5.0%の濃度でCO_2インキュベータ内に静置して培養を行い，定常的に培養液の還流を行った．

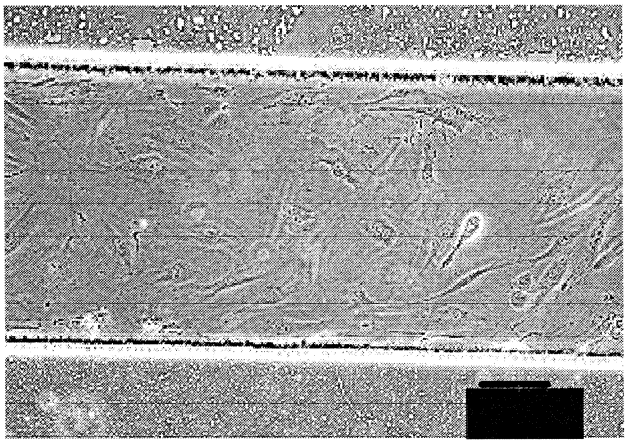
３．　結　果

図3に細胞を導入してから(a)4時間後，および(b)116時間後のマイクロチャンネル内の内皮細胞を示す．位相差用対物レンズ(20×，N.A.=0.40)とデジタル一眼レフカメラ(3872×2592 pixels, 24 bit)を取り付けた倒立型位相差顕微鏡を用いて撮影した．焦点を流路の底面に合わしている．図中の上部と下部にある白い帯状の部分がマイクロチャンネルの壁面であり，図中の右から左へと培養液を流した．細胞を導入してから(a)4時間後では，細胞を付着させるために，培養液を還流させておらず，大きさが約30～40μm程度の円形となっている．細胞密度は，71.4 個/mm² である．(b)116時間後では，長さが約70～90μm程度の横長な細胞が確認できる．これは培養液を還流しているために，細胞が流れの向きに配向し，伸展したためである．細胞密度は，191.4 個/mm² と細胞

分裂を繰り返して増殖しており，ほぼコンフルエントとなっている．図 4 にマイクロデバイス内での細胞の増殖曲線と，35mm ディッシュ内で培養した増殖曲線とを示す．ディッシュでは，50 個/mm² の細胞密度で細胞をまき，20 個/mm² の細胞が接着した．116 時間後に，230 個/mm² と細胞が増えコンフルエントになっている．一方，マイクロデバイスでは，細胞の付着が悪いため，細胞密度を 100 個/mm² とディッシュの 2 倍の密度で細胞をまいた．流路壁面をマトリゲルに修飾した事により，75 個/mm² と高い接着率を示した．116 時間後に，190 個/mm²，コンフルエントの直前にまで増加した．このことから，本研究で開発したコーティング方法やマイクロチップ内での培養方法が，有効であることが確認できた．



(a) 4 hours after seeding



(b) 116 hours after seeding

Fig. 3 Phase-contrast image of ECs cultured in the microchip

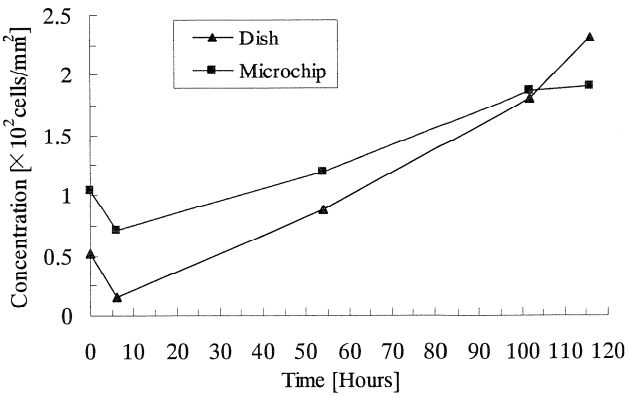


Fig. 4 Growth curves of ECs cultured in the microchip and in the dish coated with the matrigel

図 5 に示すマイクロ PIV システムを用いて，作成した疑似血管マイクロデバイス内の流れ場の速度分布の計測を行った．図 6 に撮影した蛍光粒子画像を示す．倒立蛍光顕微鏡のステージに設置した疑似血管マイクロデバイス内を水銀ランプとカラーフィルタブロックを用いて同軸落射照明し，40 倍の油浸レンズ(40×, N.A.=1.30)で拡大した像を高速度カメラ(1024×1024 pixels, 1000 FPS, 8 bit)で撮影した．撮影領域は 416μm×416μm であり，流路底面に付着した内皮細胞に焦点を合わしている．粒子径が 1.0 μm，密度が 1.05 g/cm³ であり，535 nm で励起し 575 nm の蛍光を発する染料を含有している蛍光粒子を培養液に混入し，マイクロデバイス内にシリンジポンプを用いて 10.0μl/min の流量で流した．平均流速は 4.16 mm/sec，レイノルズ数は 0.66 となる．画像中央付近に，白く明るい蛍光粒子が確認できる．これは，励起光のムラのために，画像中央部のみが照明されているためである．また，蛍光粒子を培養液で洗浄したため，粒子の細胞への付着を抑えることが出来ており，細胞近傍の速度分布を計測することが可能である．

蛍光粒子画像に高解像度 PIV 法を適用して得られた速度分布を図 7 に示す．なお，照明ムラのため，十分な輝度が得られている画像中央部のみを解析した．得られた速度ベクトルの空間解像度は，13×13μm である．画面中央付近で最大流速 0.3mm/sec となり，断面形状が矩形である流路内の層流解とほぼ一致している．しかしながら，x = 130, y = 250 や x = 230, y = 180 μm 付近では，速度が小さく計測されている．その原因として，細胞の核の付近では，細胞が 2-3μm 程度盛り上がっているなどの 3 次元性によるものと考えられる．このことから，細胞にかかるせん断応力を推定するために十分な空間解像度と計測精度を備えていることが確認できた．

図 8 に細胞を導入してから 48 時間後の細胞の形状を示す．形状を表す指標として，細胞の長さと幅の比を用いた．培養液の流量を変化させて，細胞にかかるせん断応力を 5.2，10.4，52 dyn/cm² にした．ただし，このせん断応力は，矩形流路の層流解から求めた．せん断応力が大きくなるに連れて，縦横比が大きくなっており，細

胞が伸展していると考えられる．

図 9 に細胞を導入してから 48 時間後の細胞の流れ絵に対する角度を示す．形状と同様に培養液の流量を変化させて，細胞にかかるせん断応力を 5.2，10.4，52 dyn/cm² にした．せん断応力が 0 であるディッシュでは，細胞はランダムな方向であるが，せん断応力を与えて培養をした場合には，流れの方向に配向することが確認できた．しかしながら，せん断応力の大きさによって，優位な差は見られなかった．

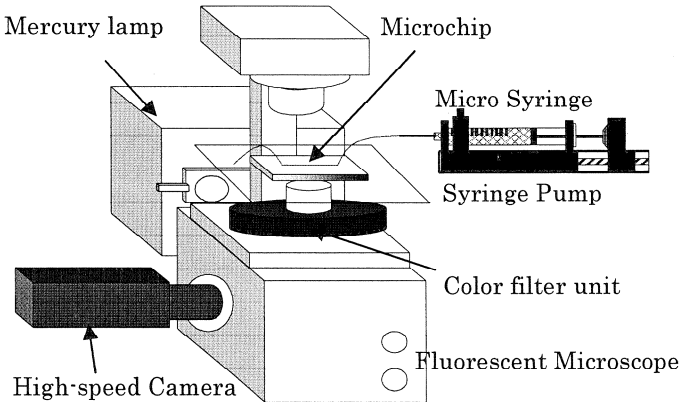


Fig. 5 Schematic diagram of the micro PIV system

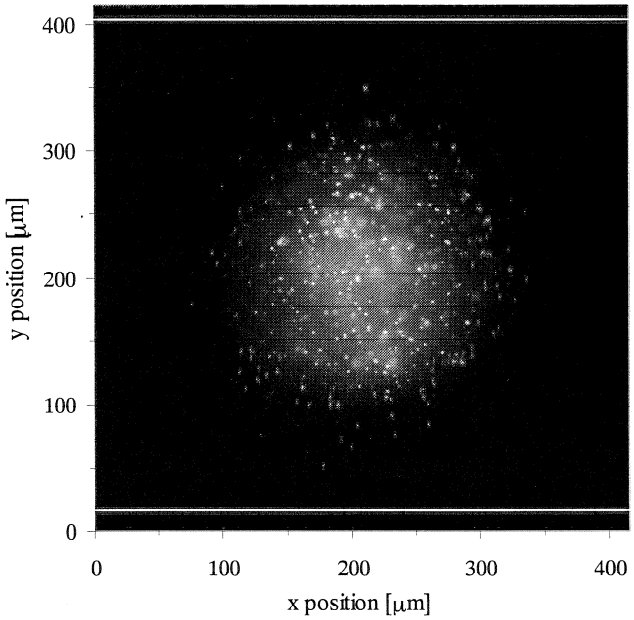


Fig. 6 Fluorescent particle image near the ECs surface in the microchip

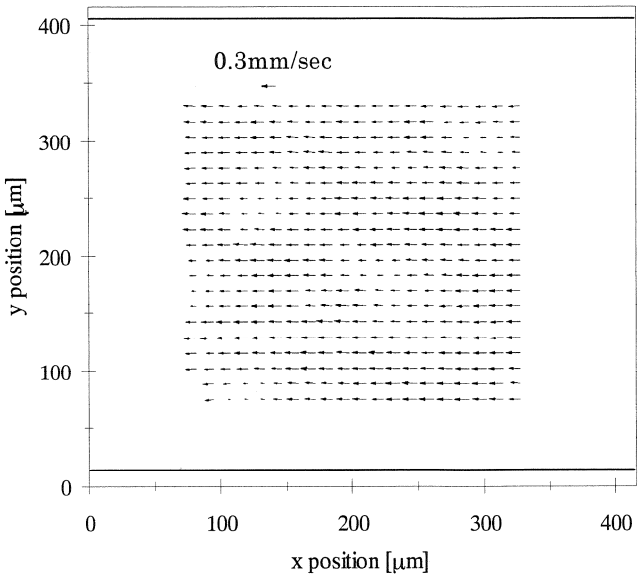


Fig. 7 Time-averaged velocity distribution near the ECs surface in the microchip

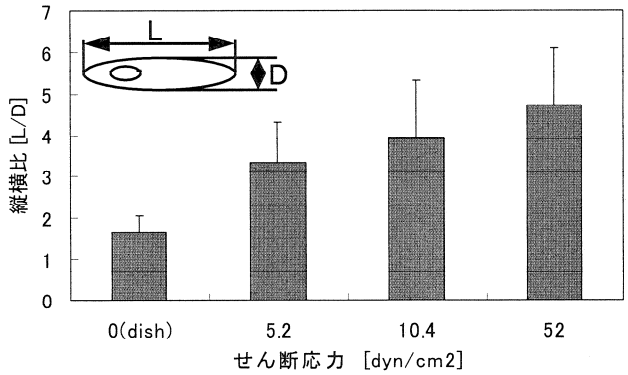


Fig. 8 ECs shape in the microchip

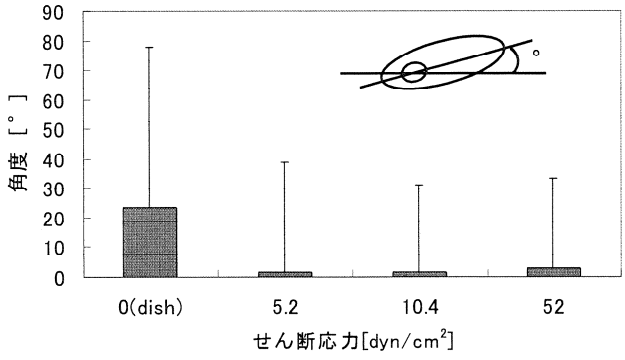


Fig. 8 ECs angle in the microchip

4．おわりに

PDMS 製マイクロデバイス作成し，マイクロデバイス内で血管内皮細胞の培養方法を検討して培養を行い，培養開始から 116 時間後にコンフルエントになったことが確認できた．マイクロ PIV システムを用いて疑似血管マ

イクロデバイス内の内皮細胞近傍の速度場を計測した．このデバイスを用いることによって，血管疾患などの原因解明などに利用が期待される．

但，本研究の一部は科学研究補助金（基盤研究(B)「疑似血管デバイスを用いた内皮細胞と流れによる刺激との相互作用の解明」，課題番号 19360089）の助成を受けた．

参考文献

(1) Gouverneur M, Berg B, Nieuwdorp M, Stroes E, Vink H., Vasculoprotective properties of the endothelial glycocalyx: effects of fluid shear stress, J. Inter. Medicine, Vol. 259, No. 4, (2006), 393-400.

(2) Flaherty J T, Pierce J E, Ferrans V J, Patel D J, Tucker W K, Fry D L, Endothelial nuclear patterns in the canine arterial tree with particular reference to hemodynamic events, Circ. Res. 30, (1972), 23–33

(3) Ohashi T, Sugawara H, Matsumoto T, Sato M, Surface Topography Measurement and Intracellular Stress Analysis of Cultured Endothelial Cells Exposed to Fluid Shear Stress, JSME Int. J. C 43(4), (2000), 780-786

(4) Mochizuki S, Vink H, Hiramatsu O, Kajita T, Shigeto F, Spaan J A. E., Kajiya F, Role of hyaluronic acid glycosaminoglycans in shear-induced endothelium-derived nitric oxide release, Am. J. Physiol Heart Circ Physiol, Vol. 285, (2003), H722-H726.

(5) Oblak T D A, Root P, Spence D M, Fluorescence Monitoring of ATP-Stimulated, Endothelium-Derived Nitric Oxide Production in Channels of a Poly(dimethylsiloxane)-Based Microfluidic Device, Anal Chem, 78(9), (2006), 3193-3197

(6) Nozawa T, Cheng C P, Noda T, Little W C, Effect of exercise on left ventricular mechanical efficiency in conscious dogs, Circulation, 90, (1994), 3047-3054

(7) Berger H J, Prasad S K, Davidoff A J, Pimental D, Ellingsen O, Marsh J D, Smith T W, Kelly R A, Continual electric field stimulation preserves contractile function of adult ventricular myocytes in primary culture, Am J Physiol Heart Circ Physiol, 266, (1994), H341-H349

(8) Xia Y, Buja L M, Scarpulla R C, McMillin J B, Electrical stimulation of neonatal cardiomyocytes results in the sequential activation of nuclear genes governing mitochondrial proliferation and differentiation. Proc Natl Acad Sci USA, 94, (1997), 11399-11404

(9) Chrobak K M, Potter D R, Tien J, Formation of perfused, functional microvascular tubes in vitro. Microvasc Res, 71(3), (2006), 185-196

(10) Wang G J, Hsu Y F, Hsu S H, Horng R H, JSR photolithography based microvessel scaffold fabrication and cell seeding. Biomed Microdevices, 8, (2006), 17-23

(11) Tanaka Y, Kikukawa Y, Sato K, Sugii Y, Kitamori T, Culture and leukocyte adhesion assay of human arterial endothelial cells in a glass microchip, Anal Sci, Vol. 23, No.3, (2007), 261-266.

(12) 杉井　康彦，中野　厚史，西尾　茂，南山　求，高精度画像計測法を用いた微小血管内の速度分布計測，日本機械学会論文集（B編），67(662)，(2001)，2431-2436

(13) Sugii Y, Nishio S, Okamoto K, In Vivo PIV Measurement of Red Blood Cell Velocity Field in Microvessels Considering Mesentery Motion, Physiological Measurement, 23, (2002), 403-416

(14) 杉井　康彦，西尾　茂，岡本　孝司，中野　厚史，南山　求，新見　英幸，高精度画像計測法を用いた微小血管内の速度分布計測（第2報　ラット腸間膜細動脈のアンサブル流速平均解析），日本機械学会論文集（B編），70(691)，(2004)，701-706

(15) Barbee K A, Role of Subcellular Shear–Stress Distributions in Endothelial Cell Mechanotransduction, Annals of Biomedical Engineering, 30(4), (2002), 472-482.

３．総合研究所一般研究報告
（共同研究）

技術系学生の英語習得の為のオンラインインターアクティブポータルサイトの構築

外国語科　ブルック　セバスティアン

An online, interactive web portal for students studying English

Sebastian Brooke, Foreign Languages, Kogakuin University

ABSTRACT：One problem for language students in Japan and other countries throughout Asia is the lack of opportunities to interact in the target language. The creation of an online portal site allows students to interact with other language users through public blogs, interactive chat rooms, and by uploading and downloading video and other digital content.

１．　はじめに

日本人英語学習者の英語学習への動機付けを高めるためには、学習者自身が英語学習における実用的なメリットを認識する必要がある。学習者にこのことに気付かせ、言語学習の重要性を理解させるのに最も効率的な方法は、彼らに日常生活のなかで英語を使う必要のある場面を提供することである。日本人学生が英語学習を行ううえで問題となることの一つが、彼が目標言語である英語を使用して、英語の母語話者や英語を学習している他の学習者とコミュニケーションをとる機会が圧倒的に少ないということである。

本研究の目的は大きくわけて二つである。一つは、日本人英語学習者が、目標言語である英語を英語母語話者はもちろん、非英語母語話者である他のアジア諸国の英語学習者と、英語を実際に使用してコミュニケーションを図ることを促進するポータルサイトを構築するにあたり、そのニーズ分析を行うことである。もう一つの目的は、そのようなオンラインポータルサイトをとおして、言語習得研究および言語学習者の心理研究に有益となるデータを収集することである。

まず第一に、本研究における英語学習者のためのオンラインポータルサイト構築により、学習者は、ブログ・チャット・ビデオやその他のデジタルコンテンツのアップロードおよびダウンロードを通して、他者との英語でのコミュニケーションを行うことが可能になる。

工学系学部に在籍する学生は、将来における研究や開発においてはグローバルにコミュニケーションを担っていかなければならないにもかかわらず、英語学習における動機付けは非常に低いとされている。本研究において構築されるポータルサイトは特にこうした工学系学部の学生を対象としたものを目指している。

また、本研究により構築されるポータルサイトにより、学生の英語学習を支援するのみでなく、彼らの英語学習に関するさまざまなデータ（学生の言語使用・誤用・言語学習に対する考え・他のアジア諸国の学生との交流・やりとり）を収集することも可能になる。このようなデータは今後の英語教育における研究のうえで、非常に有益なものになるだろう。

本研究のようなアクション・リサーチは、言語学習環境や言語学習者に直接的なつながりを持つものである。また、このサイトをとおして日本人学生が他のアジア諸国の学生と交流を持つことが、互いの文化への理解を深め、アジア地域における建設的な関係を築くことを促進することにつながることを願っている。

2. Background

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.

3. Development

2007 saw the first stage of development completed for this research project. Firstly, the following domain names were selected and purchased:

www.liveinenglish.com

www.liveinenglish.org

www.liveinenglish.mobi

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. The two options available were to either employ a software developer to develop the software platform from scratch, or to purchase a ready-made software solution and have a developer customise it. The second, less expensive option, of purchase and customization, was selected. 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.

4. Future Development

Currently the web portal has approximately 300 users, mostly from Kogakuin University and other universities in Japan. Approaches have been made and discussions developed with universities across Asia, currently with a focus on China and Thailand. Once the initial pilot test phase has been completed, the web portal will be opened to students across Asia, giving Kogakuin University students opportunities to interact with other learners of English through blogs, interactive chat and digital media functions available in the web portal. As well as providing opportunities for students to interact in the target language, the web portal will also provide data for analysis of students' language use, which in turn will allow teachers to highlight and target areas for further instruction. As the project is currently in a pilot phase, there will obviously be a need for further customizations, modifications, and development of the portal to meet any recommendations that arise from this phase.

To date, two conference presentations have been delivered in connection with this project at conferences which bring together up to 2,000 teachers from across Asia:

(1) Brooke, S. "The development of an international, interactive, online portal for students studying English." Pan-Asian Consortium International Conference "Beyond Boundaries: Teaching English for Global Communication in Asia" 2006 年 1 月

(2) Brooke, S. "A Web Portal for Global Communication and Language Learning." 28th Thailand TESOL International Conference "English Language Teaching: Progress in Practice and Policy" 2008 年 1 月

ポータブル型燃料電池用アンモニア分解システムの研究

－ 燃料電池自動車への搭載 －

機械創造工学科　雑賀　高

Study of an Ammonia Dissociation System for Portable Fuel Cells

- Installation to Fuel Cell Vehicles -

Takashi Saika, Department of Mechanical Innovative Engineering

ABSTRACT: This paper describes an ammonia-dissociation system for fuel cell vehicles. Ammonia in the system can be easily dissociated through catalyst by heating into hydrogen, nitrogen and a very small amount of ammonia. To reduce the residual ammonia the authors have designed an ammonia separator that is necessary even in the optimal condition obtained in the experiment. The separator can be consequently demonstrated to be practical, because it has achieved that the ammonia concentration in the outlet of the separator was about 13 ppm for 160 minutes at a temperature of about 25°C. The authors have made a fuel-cell electric vehicle for trial purposes to put the ammonia-dissociation system on a small vehicle. Although further improvement of energy efficiency and safety is needed, the fuel-cell electric vehicle can be one of the clean future vehicles by assuming liquid ammonia as an alternate fuel for fuel cells.

1. まえがき

地球環境問題が話題となり多くの関心を集めている．中でも地球温暖化問題はもっとも関心を持たれている環境問題のひとつである．事実，この 100 年間で地球の平均気温は約 0.6°C 上昇し，1990 年代は過去において最も温暖な 10 年間となった．そのため自動車業界では，温室効果ガスを排出しないクリーン自動車の開発が急務となっている．

そこで，燃料電池の液体燃料としてアンモニアを提案する．アンモニアは非炭化水素系燃料であるため，水素生成時に CO_2 や CH_4 などの温室効果ガスを発生しない．本研究ではアンモニアの性質を活かし，アンモニア燃料水素生成装置を構築し，その最適条件を見つけることを目的とする．またこの装置を電気自動車に搭載し，アンモニアを燃料とした燃料電池自動車の可能性を示す．

2. アンモニア燃料水素生成システム

2.1 システムの概要

Fig. 1 にアンモニア燃料水素生成システムを示す．分解器，蒸留器の温度はコントロールユニットによって制御される．まず，液化アンモニアは気化器で気化し，熱交換器で所定の温度まで加熱され，分解器へと送られる．分解器において適切な触媒の元でアンモニアは水素と窒素に分解される．熱交換器，気化器において分解ガスの排熱は回収される．

アンモニアは 13 ppm 以上で固体高分子形燃料電池の出力低下を引き起こす(1)．そこで分解されずに残った残留アンモニアを除去するために，水に非常によく溶ける

というアンモニアの性質[2]を利用した残留アンモニア除去器へ送られる．水にほとんど溶けない水素と窒素は燃料電池に送られ，除去器内の水は蒸留器へ送られる．蒸留器でアンモニアガスと水に分離され，アンモニアはタンクもしくはラインへ，濃度が低下した水は除去器へ戻されることで，アンモニアが循環し，ゼロエミッションシステムとなる[3]．

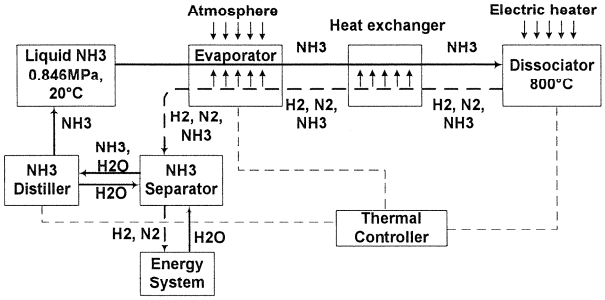


Fig. 1: Ammonia dissociation system

2.2 実験装置および方法

アンモニア分解実験の実験装置を Fig. 2 に示す．アンモニア分解実験は，実験により分解後の水素濃度，窒素濃度および残留アンモニア濃度を分析装置で分析し，触媒による分解効率の違いを比較し、このシステムでのアンモニア分解における触媒（分解）温度，空間速度，アンモニア圧力などのアンモニア分解における最適条件を求めることが目的である．

アンモニア分解実験において，触媒は卑金属触媒の Ni/Al_2O_3 触媒と貴金属触媒の Ru/Al_2O_3 触媒を使用した．分解器により窒素，水素，残留アンモニアに分解され，100 kPa，25°C で残留アンモニア除去器および分析装置に送られる．濃度分析はガスクロマトグラフ，フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）で行った．

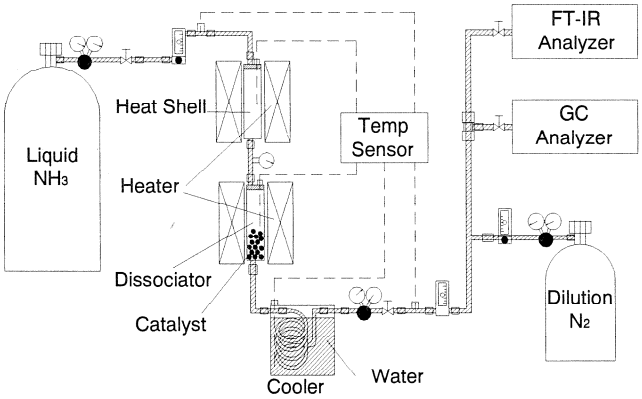
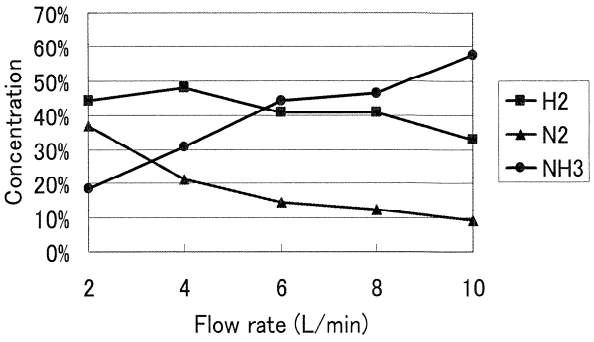
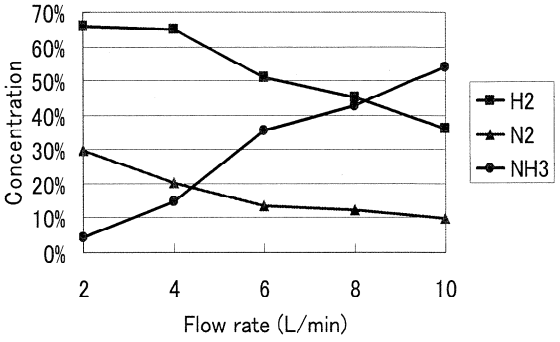


Fig. 2: Experimental apparatus

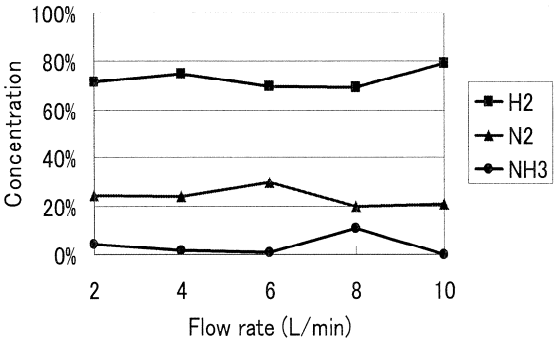


(a) Ni/Al_2O_3 Catalyst

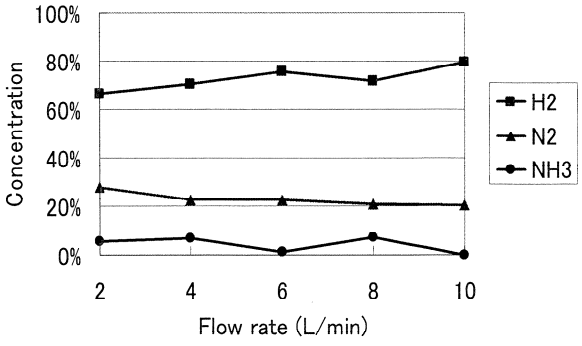


(b) Ru/Al_2O_3 Catalyst

Fig.3: Catalyst comparison experiment at 500°C

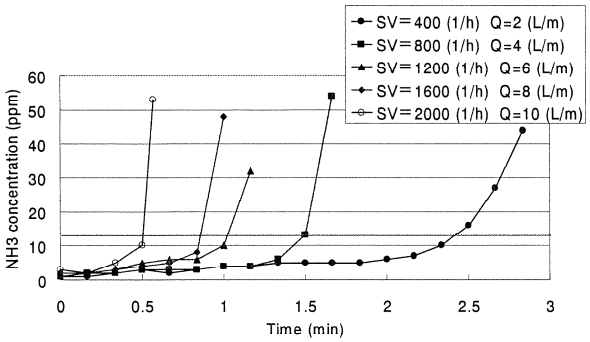


(a) Ni/Al_2O_3 Catalyst

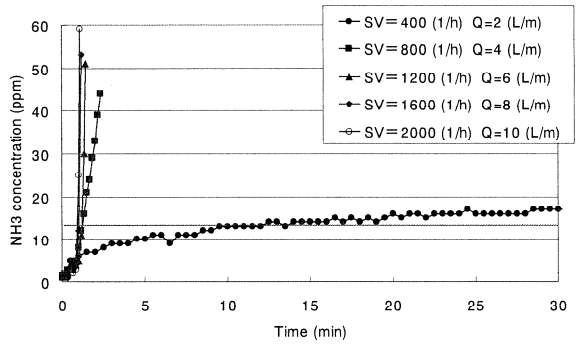


(b) Ru/Al_2O_3 Catalyst.

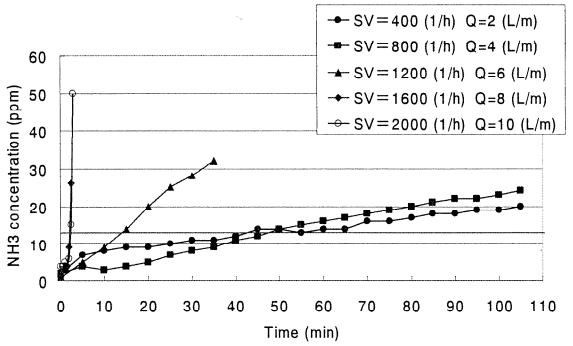
Fig. 4: Catalyst comparison experiment at 800°C



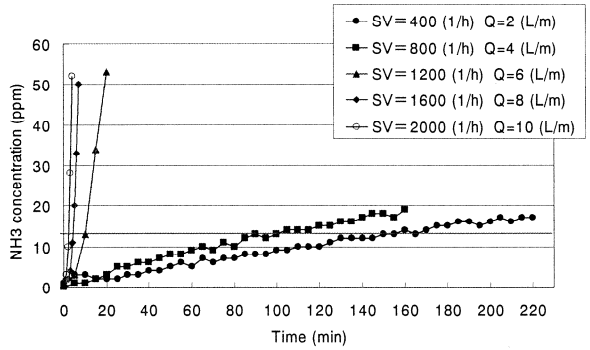
(a) Dissociation temperature of 500°C



(b) Dissociation temperature of 600°C



(c) Dissociation temperature of 700°C



(d) Dissociation temperature of 800°C

Fig. 5: Residual ammonia removal experiment

2.3 実験結果及び考察

2.3.1 分解除去実験

触媒温度を 500～800°C，圧力を 100 kPa，アンモニアガス流量を 2～10 L/min，両触媒ともに体積 100 cc の条件でアンモニア分解実験を行った．500°C におけるアンモニア分解実験結果を Fig. 3 に，800°C を Fig. 4 に示す．また，Fig. 5 に 300 cc の Ru/Al_2O_3 触媒および分解温度 500～800°C 時のアンモニア分解除去実験結果を示す．

実験の結果，分解温度 500°C の条件下では，Ni/Al_2O_3 触媒よりも Ru/Al_2O_3 触媒の水素濃度が高かった．これにより，低温度域では，Ru/Al_2O_3 触媒の分解効率が良いことが分かった．また，流量を増やすとどちらの触媒を使用したときも水素と窒素が減少し，分解しきれない残留アンモニアが増加した．分解温度を 800°C にすると，流量に関わらずアンモニアが水素と窒素へと完全分解に近い分解がされ，Ni/Al_2O_3 触媒と Ru/Al_2O_3 触媒とではさほど差が出なかった．

また，分解除去実験（Fig. 5）において，触媒温度が 800°C の場合，空間速度が 800 /h で約 100 分，400 /h で約 160 分の間，13 ppm 以下に維持できることが分かった．従って，本システムのアンモニアの分解における最適条件は，触媒温度が 800°C，空間速度が 400 /h，圧力が 100 kPa の時である．

2.3.2 分解ガス中に含まれる窒素の影響

本システムでは燃料電池に送られるのは水素だけではなく窒素も送られる．そのため，窒素が燃料電池に及ぼす影響を検証した．単セルを使い，純水素で発電している状態から，窒素を混合していき，出力低下が起こるかどうかを計測した．アンモニアは $2NH_3 \rightarrow 3H_2 + N_2$ となるので，水素 75%，窒素 25%の混合ガスになるため，水素流量 30mL/min，窒素流量 10mL/min と設定し実験した．その結果を Fig. 6 に示す．

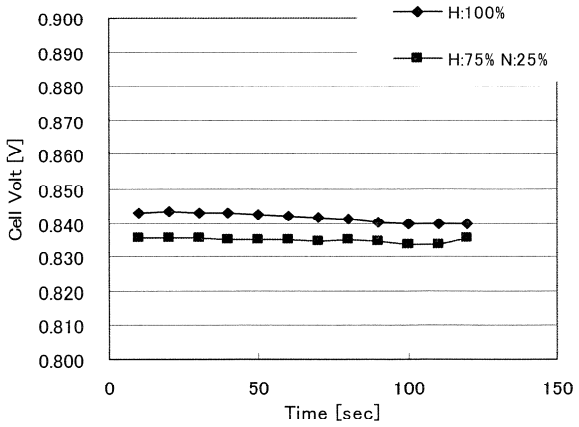


Fig. 6: Fuel cell test

この図より，純水素使用時の出力と，水素と窒素の混合ガス時の出力の変化は微小なものとなっている．これより，窒素による燃料電池への影響はほとんどないものと考えられる．これは，窒素は不活性ガスであるため，

燃料電池への影響を及ぼさないものと考えられる．これらの結果よりアンモニアを燃料として使用することが可能といえる．

3. 車載用システムおよび試作車輌

Fig. 7 に車載用のシステムを示す．液体アンモニアボンベは 10L の容量のものを使用し，分解器ヒーターは走行前に家庭用電源を用いて昇温させた後に，電源を車載バッテリーに切り替えて温度維持を行う．燃料電池は小型の PEFC で最大出力 1200 W のものを使用し，アンモニアから得た水素で燃料電池を稼動し，その電力をバッテリーに充電する．走行は車載バッテリーの電源を用い，適宜燃料電池で充電していたバッテリーと切り替える．その繰り返しを行うことで，長時間の走行が可能となる．

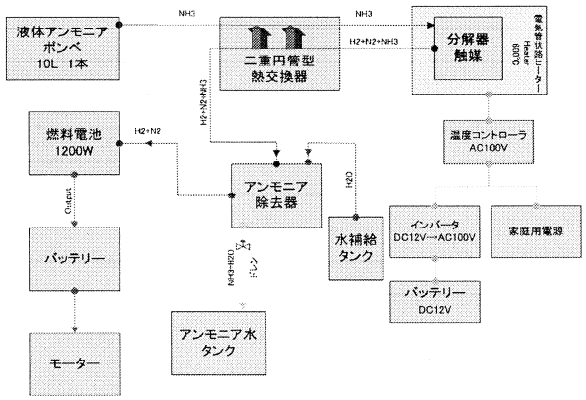


Fig. 7: Conceptual diagram of ammonia onboard system

このシステムを車両に搭載した試作車両を実際に製作した．Fig. 8 に車両搭載写真を示す．航続走行時間は約 160 分間である．これは除去水の交換が必要であるからで，前述の通り蒸留システムの導入により約 2.5 倍の時間，航続走行時間の増大が見込める．車輌の諸元は，最高速度は約 50 km/h，バッテリー総電圧は 36 V，モーター出力は定格 6.0 kW，最大 26 kW で車輌総重量は約 850 kg である．試作の結果，平均速度 30 km/h とすると航続走行距離は約 80 km であると見積もられている．

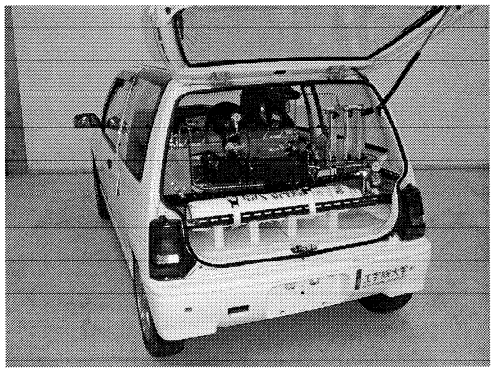


Fig. 8: Picture of ammonia onboard system

4. まとめ

本研究では燃料電池の液体燃料としてアンモニアを提案し，実際にアンモニア分解装置を搭載した燃料電池電気自動車の試作をした．試作車輌では，試作段階のため，現状では長時間の運転はできないが，さらに除去器の容量を大きくすることで，長時間の運転が可能となる．今後の課題として，エネルギー効率と安全度のさらなる向上が求められるが，アンモニアを燃料電池の代替燃料とする事で，未来のクリーン自動車の一つになる可能性を持っている．

参 考 文 献

(1) F. Uribe et al，Journal of the Electrochemical Society, 149(3)，pp293-296，2002.
(2) 日本冷凍空調学会，アンモニア冷凍技術，2000.
(3) 赤坂ら，自動車技術会 2005 年度学術研究講演会，学術研究講演会前刷集 A2-1.

ウルトラマイクロミストを用いたスポット冷却の提案とミストノズルの開発

工学院大学　大竹浩靖、宮下徹

Critical Heat Flux of High Velocity Liquid Flow

ABSTRACT: Critical heat flux experiments of high velocity thin liquid water flow were performed. The test flow channel was rectangular. The width was 2 mm and the height was 0.2 mm or 0.5 mm. The length was 25.5mm. The 2mm long heating section heated electrically was located at the just downstream of the test flow channel outlet which was abruptly open to the outlet plenum. The inlet subcooling was 30 K. The liquid velocity was varied from 1.5 m/s through 30 m/s in the experiments. A flow state was observed through a view window with a high speed camera. As the heating rate was increased, subcooled boiling was initiated and tiny bubbles detached from the heating surface. The critical heat flux condition; the physical burn-out of the heat transfer surface, was brought about by a substantial size bubble sitting at the downstream end of the heat transfer surface. The critical heat flux obtained so far in the present experimental range was up to 2.45 × 10^7 W/m^2. The general trend of the critical heat flux for the mass flow rate was close to that of the Suddo correlation. Interestingly enough, it was also close to the Koizumi - Ueda critical heat flux correlation of the film flow on a heated wall.

1. 緒言

演算素子では、様々な電子素子を高密度に実装し、高速演算処理の機能向上を続けている。高集積化に伴い、その発熱量は数十 W/m^2 にも達し、近い将来発熱密度は軽水炉の炉心に匹敵する数百 W/cm^2 に至ると予測されている(1)。これに対処するべく様々な冷却技術が検討されてきている。その１つとして、発熱が局所に集中することが多く、局所冷却技術(2)が有効な手段として注目を集めつつある。

本研究は「今後のさらなる高集積化に伴う発熱量の増加に対応できる熱輸送デバイス開発」の基礎的研究として、高い熱除去を有するミスト冷却に注目し、『ウルトラマイクロミスト流』を供給できるミストノズルの開発とそれを用いたスポット冷却法の提案を検討する。本報ではその第一段階として局所高熱負荷冷却限界を調べることを目的とし、サブミリスケールの間隙流路に高速サブクール水を流し、加熱面より液膜が形成されたときの伝熱特性と限界熱流束について実験的に調べた。また、加熱面上に形成される蒸気泡を加熱面から成長しきる前に除去することによる限界熱流束の向上を検討した。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。実験装置はテスト部、直流電源、ポンプ及びタンクで構成されている。試験流体には十分脱気したサブクール水を用いた。液のサブクール度は30Kである。試験流体は３つのポンプを用いて、一定流量でタンクからテスト部へ供給され、タンクへ戻る。

テスト部の詳細を Fig. 2, 3 に示す。テスト流路上面はポリカーボネイト板であり、その下面に幅 2mm、間隙 0.2mm 及び 0.5mm のテスト流路となる溝を機械加工により作製した。テスト流路底面には市販の銅薄膜プリント基板（膜厚 35 μm）を用いた。等方性ウェットエッチングによりテスト加熱面となる 2 × 2mm^2 を除き、流路に面する部分の銅薄膜を除去した。加熱面は、十分な助走距離をとったテスト流路内に設置され、直流電源を用いて通電加熱される。加熱熱流束はジュール発熱と熱損失から、また、加熱面の平均温度は較正実験により得られた銅薄膜の電気抵抗の温度依存性から、それぞれ算出

した。テスト部を水平に保ち、流量を一定にし、単相強制対流もしくは核沸騰状態を維持するように、加熱量をステップ上に増加させ、実験を行った。各ステップでは十分な定常状態を得ている。主な実験条件は、流路間隙、液流速、加熱面設置位置である。本実験では、前報でテスト流路途中もしくは終端に加熱面が位置していたのに対し、テスト流路出口につながる拡大部入口に加熱面を設置した。これにより、高速液膜流内に発生する気泡の速やかな除去を期待した。液流速の範囲は、5～30m/sである。テスト部上部から高速度カメラ（50,000fps）により、加熱面近傍の流動状態を撮影、記録した。核沸騰開始は、加熱面から沸騰気泡が最初に発生した時、限界熱流束（最大熱流束、もしくは冷却限界）は加熱面が物理的にバーンアウトした時とした。

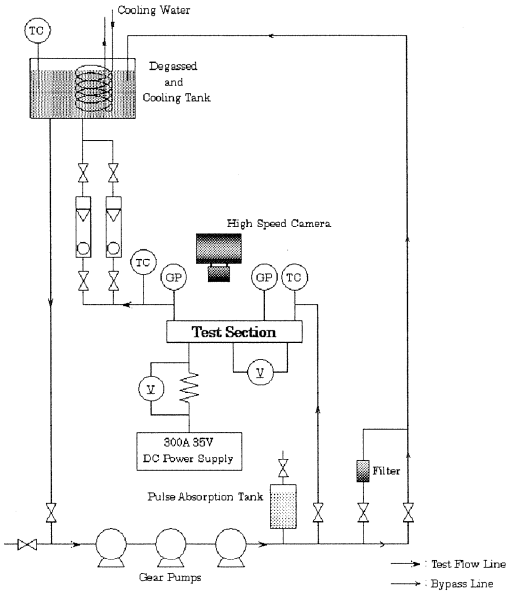


Fig. 1 Experimental Apparatus.

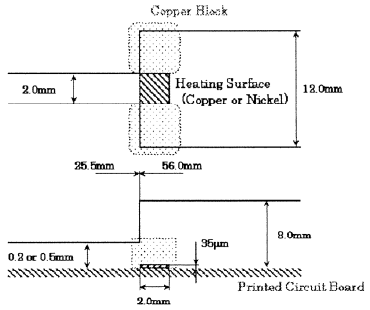


Fig. 2 Details of Test Section.

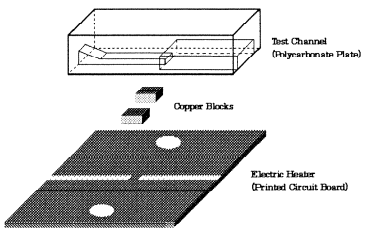
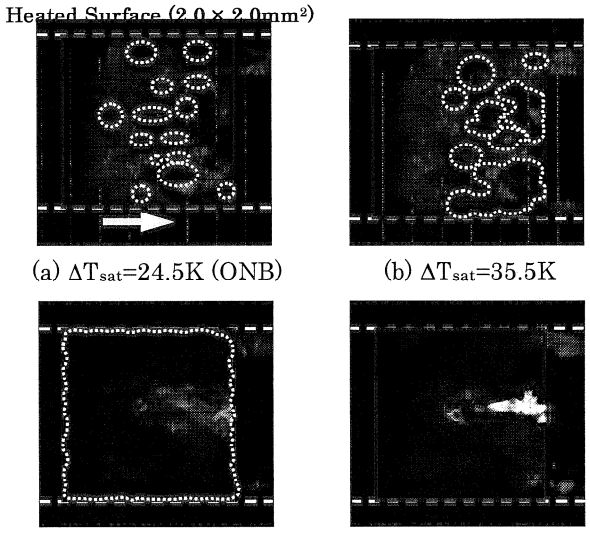


Fig. 3 Disassembling Drawing of Test Unit.

実験結果及び考察

3.1 加熱面近傍の流動状態

観察により得られた加熱面近傍の流動状態を加熱面表面過熱度をパラメータとしてFig. 4に示す。図に示すのは、流路間隙0.2mm、液流速5m/sの場合である。Fig. 4に示すように、加熱面下流側より初期気泡が認められ、その直径は約0.3mmである（Fig. 4 (a)）。加熱面過熱度の上昇とともに、この気泡直径は増加し、他の気泡と合体する（Fig. 4 (b)）。合体気泡が成長し、加熱面全体を覆い、薄い乾き面領域が下流で形成される（Fig. 4 (c)）。乾き面領域が下流から上流へ成長し、加熱面のバーンアウト（焼損）に至る（Fig. 4 (d)）。なお、初期気泡のサイズは異なるが、液流速20m/sまで、同様の流動状態であることを確認している。



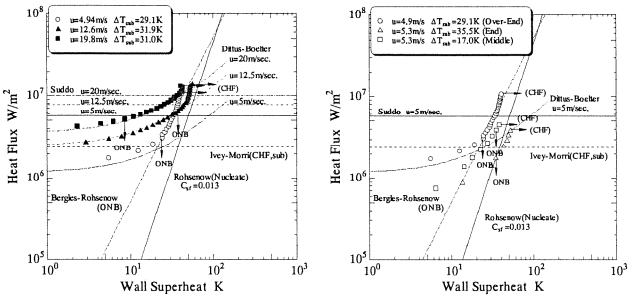
(a) ΔT_{sat}=24.5K (ONB)　(b) ΔT_{sat}=35.5K

(c) ΔT_{sat}=40.4K (CHF)　(d) Burn Out

Fig. 4 BubbleBehavior (Gap=0.2mm, Liquid Velocity=5m/s).

3.2 熱伝達特性

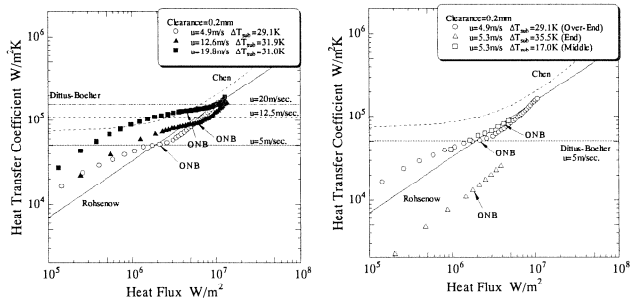
Fig. 4に示した実験条件における沸騰熱伝達特性について検討した。その結果を加熱面熱流束と加熱面表面過熱度の関係でFig. 5に示す。図中には、通常スケールにおけるBergles-Rohsenowの沸騰開始条件[3]、Rohsenowのプール核沸騰熱伝達[3]、Ivey-Morrisのサブクール沸騰限界熱流束[3]に対する各相関式の値、Dittus-Boelterの強制対流[3]、数土のサブクール強制対流沸騰限界熱流束の整理式[4],[5]による値を併記した。Fig. 5 (a)より、間隙0.2mmでは、強制対流及び核沸騰の相関式による予測値と定性的に一致することがわかる。また、Fig. 5 (b)は、加熱位置を流路途中もしくは終端に設置した同様な大竹ら[6]の実験結果を併記し、比較した結果である。Fig. 5 (b)より、加熱位置の違いによりCHFが異なっていることがわかる。本実験のCHFは大竹らの結果に比べかなり高く、本実験で意図したことの有効性が確認できる。



(a) Each Velocity. (b) Each Heated Points.

Fig. 5 Boiling Curve.

Fig. 6 は、熱伝達特性を加熱面熱流束と熱伝達率の関係で示したものである。図中には、通常スケールにおける Rohsenow のプール核沸騰熱伝達[3]に対する相関式の値、Dittus-Boelter の強制対流[3]、Chen の核沸騰及び強制対流熱伝達の各整理式[7]による値を併記した。Fig. 6 (a)より、間隙 0.2mm では、ONB 点以降、Rohsenow の核沸騰相関式及び Chen の熱伝達整理式の値との定性的な一致が確認できる。Fig. 6 (b)において、Fig. 6 (b)同様、異なる加熱面位置の実験結果[7]を併記した。本実験系は、大竹らの実験結果とほぼ同一の傾向を示している。特に、流路終端加熱と比べ、熱伝達率が非常に大きい。



(a) Each Velocity (b) Each Heated Points

Fig. 6 Heat Transfer Characteristics.

3.3 限界熱流束特性

Fig. 7 に限界熱流束に及ぼす流速の依存性を流路間隙及び加熱面位置をパラメータとして示す。図中には、Ivey-Morris のサブクール沸騰限界熱流束[3]に対する相関式の値、数土のサブクール強制対流沸騰限界熱流束の整理式[4],[5]による値、小泉・植田の垂直加熱管内ドライアウト熱流束モデル（壁面ドライアウト型）[8]の値を併記した。Fig. 7 より、加熱面位置にかかわらず、小泉・植田のモデル予測値と定性的な一致がある。比較的流下液膜系の限界熱流束整理式と近い傾向である理由として、壁面近くの液の流れに乱れが少ないことが考えられる。

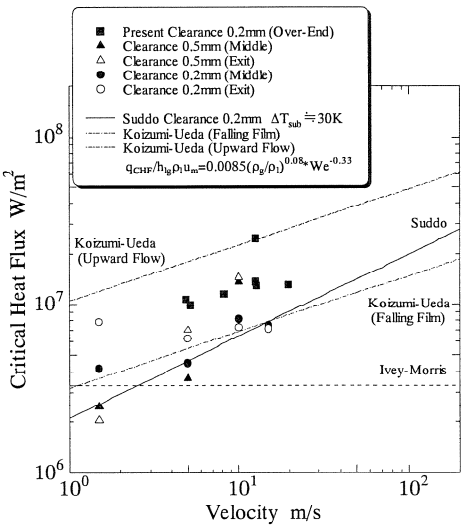


Fig. 7 Critical Heat Flux.

4. 結言

サブミリスケールの間隙を有する流路に高速な液体流れを加え、高速薄液膜の蒸発による局所高熱流束冷却を検討した。

1. 高速液膜流であっても、発生気泡が伝熱面を覆う状態となり、冷却不足が生じ、CHF に至る。
2. 最大熱流束（CHF、または冷却限界）は加熱面の位置に依存することが確認された。加熱面位置を拡大流路入口にすることにより、最大で $2.45 \times 10^7 W/m^2$ の限界熱流束が得られた。

小泉・植田の垂直加熱管内ドライアウト熱流束モデル予測値と定性的な一致が見られ、本実験系では、壁面近くの液の流れに乱れが少ないことが考えられる。

5. 参考文献

(1) 望月 正孝、混相流学会第 8 回オーガナイズドフォーラム'04、2004、pp39-49.

(2)日本伝熱学会関東支部・日本ヒートパイプ協会共催、「電子機器の冷却はどこまで可能か」シンポジウム資料集、2004.

(3)日本機械学会、伝熱工学資料 改訂第 4 版、日本機械学会、1991、pp.127-133.

(4)数土 幸夫、細管内高サブクール高流速下の限界熱流束の評価、日本機械学会論文集 B 編、Vol.63、No.608、1997、pp.1305-1311.

(5)数土 幸夫、短管内高サブクール高流速下の限界熱流束に及ぼす流路長の効果、日本機械学会論文集 B 編、Vol.63、No.609、1997、pp.1667-1673.

(6)大竹 浩靖他、第 43 回日本伝熱シンポジウム講演論文集、vol.2、2006、pp.561-562.

(7)植田 辰洋、気液二相流－流れと熱伝達率－、株式会社養賢堂、1981、pp.262－265.

(8) 植田 辰洋,小泉 安郎、垂直加熱管内流下液膜および低質量流量上昇流のドライアウト熱流束、日本機械学会論文集 B 編(別刷)、Vol.64、No.624、1998、pp.2578-2585.

Formation of a Biodegradable Ink Film on a Biodegradable Resin Substrate Using Screen Process Printing Techniques and an Evaluation of its Function and Biodegradable Character of the Coated Materials

by

Takayoshi Yagasaki*, Yuji Kimura*, Ichiro Takano and Riko Katahira*****

ABSTRACT : In order to develop a relatively low cost and environmentally friendly techniques of film formation method, screen process printing techniques were applied to prepare materials coated with a biodegradable ink film, in which carbon particles were mixed with a biodegradable resin vehicle as a function additive auxiliary material, on the surface of biodegradable resin. Then, its function and biodegradable character of the coated materials were evaluated. The investigation revealed that the printed biodegradable film shows good adhesive strength to the resin substrate. Also, the carbon particles within the film are well dispersed and coated film has electrically conductive. In addition, it is possible to control the degree of conductivity by adjusting the amount of carbon particles used in film layer. Furthermore, in these materials, it was found that a substrate with a biodegradable film undergoes faster decomposition than one without a film.

1. Introduction

In order to overcome this problem and develop a low cost, environmentally friendly method of film formation, we examined the use of screen process printing techniques to prepare materials consisting of a biodegradable resin coated with a biodegradable film (consisting of a functionality auxiliary material (after this, it is transcribed this into FAM for short) with low toxicity levels to both the environment and living bodies, and a biodegradable vehicle), and investigated the functionality and biodegradability of the resulting materials[1)~3)]. The experiment began with the application of a commercially available conductive ink to a plastic substrate used in the field of engineering, and examination of the conditions required in the drying process in order to produce a level of adhesive strength in a cold-setting type ink film which was equivalent to the strength obtained from a hot-setting type film. Based on these results, a cold-setting type conductive ink film was formed on a biodegradable resin substrate with low heat resistance; the adhesive strength of the resulting film was measured, and this value was used to benchmark the adhesive strength of the other biodegradable ink films tested. Next, experiments were conducted to test the evenness of dispersal of the FAM within the ink film. Based on these results, adjustments were made to the biodegradable ink, which was then used to form films on biodegradable resin substrates, and the adhesive

* Dept. of Materials Sci. and Tec., Kogakuin University: 1-24-2 Nishi-shinjyuku, Shinjyuku-ku, Tokyo 163-8677, Japan
** Dept.of Elect.Eng., Kogakuin.University: 1-24-2 Nishi-shinjyuku, Shinjyuku-ku, Tokyo 163-8677, Japan
*** Tokyo Kasei-Gakuin University : 2600 Aihara, Machida-shi, Tokyo 194-0292, Japan

strength and conductivity of these films were evaluated. Finally, in order to examine the biodegradability of the material, it was exposed in a biodegrading environment. The results of these tests are presented in this paper.

2. Testing materials and experimental methods

2.1 Substrate material

For the substrate, one type of engineering plastic and one type of biodegradable plastic were used. A poly ether imide (PEI) resin with ether and imide bonding, known as ULTEM（Japanese GE plastic Co. Ltd.）, was selected as the engineering plastic. Next, the biodegradable resin substrate was chosen. Among the resins produced through chemosynthesis, LACEA (Mitsui Chemistry Co., Ltd.), a poly lactic acid (PLA) resin with a glass transition point higher than room temperature, was selected as a suitable material.

2.2 Film materials (Functional inks)

Electrically conductive inks were used as the film materials. Normally, this type of ink is composed of a vehicle[4] consisting of a resin and a solvent, and a conductive FAM. In this experiment, we used two types of commercially available ink (hot-setting (100～150℃) and cold-setting (50～60℃).), and two types of prepared ink (cold-setting). The commercially available inks were formed by adding a solvent to vinyl resin to form the vehicle, and then adding silver powder as the FAM. The commercial inks were used to form print films on the surface of LACEA at room temperature in order to elucidate the conditions required to form a stable film using cold-setting type ink on a biodegradable resin surface, while the prepared inks were used to form biodegradable ink films on the surface of biodegradable resin substrates. In the prepared inks, vyloecol (Toyobo Co. Ltd., BE-400), a copolymerization-type polylactic acid resin primarily composed of biodegradable amorphous polylactic acid with a high concentration of D-lactic acid, was used as the vehicle, and carbitol acetate was used as the solvent for vyloecol. Carbitol acetate is an ester-series solvent, and therefore shows high polarity and solubility, while also being biodegradable. Vyloecol and carbitol acetate were mixed to form a 2:3 solution by weight. In addition, silver particles and carbon particles[5] were used as the FAM. The silver particles (mean diameter : 0.5, 1.0, 2.5, 5.0μm) were produced via a water atomization process, one of the methods used for producing metallic powders, and the dispersal of the particles in the vehicle was examined. Generally, powders created by this process are spherical, with a sharp particle diameter distribution, and we could therefore predict that the vehicle would possess high dispersal properties and corrosion resistance. Meanwhile, in order to produce a film with a minimal impact on the environment, carbon particles with low toxicity to the environment and to living bodies were used for the biodegradable film. Carbon black (mean diameter: 0.3μm), an aggregate-structure material often used as a pigment, was selected for the purpose. This material was heat treated at 2600°C to cause homogenization, which resulted in the formation of electrically conductive graphite.

2.3 Film formation method and equipment

Screen process printing[7] was used as a cost-effective means of forming a stable, conductive ink film on the surface of a resin substrate. The screen was prepared by stretching a piece of material made from woven polyester fibers, fixing it to the screen frame, and forming a resistant film on top. The ink film formed on the surface of the resin substrate by printing was dry-treated in a constant temperature dryer under set conditions, and then a number of evaluation tests were carried out.

2.4 Method of film observation and evaluation of film functionality

A field emission scanning electron microscope was used, mainly on the surface of the film, to observe film formation, distribution of the FAM, and the microscopic structure of the biodegrading resin, while resin degradation was observed using thermogravimetric analyzer and FT-IR and Raman spectrometry.

The strength of the adhesive bond between the resin substrate and the film was evaluated based on the critical break away load (L_c), which was obtained from a

scratch test[8] using a continuous load surface measurement device. The electrical conductivity[9] of the film was evaluated using an insulation electrical resistance tester to measure surface and volume electrical resistivities. Next, the film thickness was measured using atomic force microscopy and a device used for measuring surface roughness.

Degradation[10] of the biodegradable resin substrate material and biodegradable film was carried out using standard compost material with addition of rice bran to form a decomposing environment cell.

3. Results and discussions

3.1 Formation of functional ink film with a biodegradable resin vehicle containing carbon particles, and evaluation of film functionality

In order to create a material printed with an environmentally friendly yet conductive biodegradable film on the surface of a LACEA substrate, carbon particles, which have relatively low toxicity, were used as the FAM; these were mixed with the biodegradable resin vehicle to produce the ink. Ink containing these particles was applied as a print film to the biodegradable resin substrate, and the functionality of this material was evaluated.

The amounts of carbon particles mixed with the biodegradable resin vehicle were varied, and the average thicknesses of the films produced by inks containing various amounts of carbon are summarized

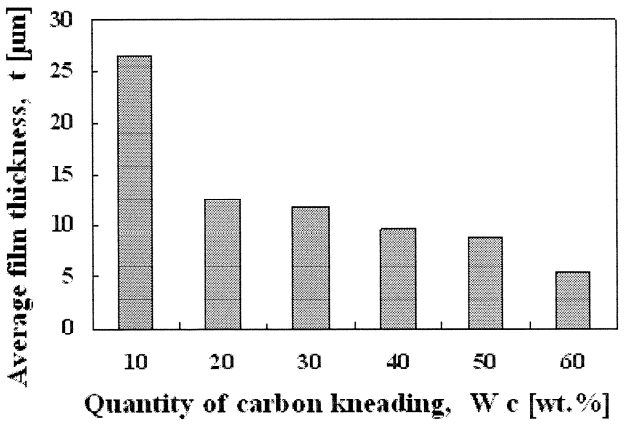
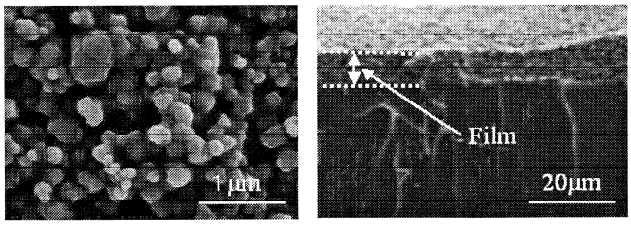


Fig.1 Changes of film thickness with a quantity of carbon kneading.



(a) Surface (b) Cross section

Fig.2 Morphologies of surface and cross section of an ink containing carbon particles (40wt.% kneading in carbon particles).

in Fig.1, and surface and cross-sectional views of an ink film containing 40wt.% carbon particles are shown in Fig. 2. Cross-sectional observation of the film showed that regardless of the amount of carbon particles added, the film maintained a relatively even distribution of particles. However, as the amount of carbon increased, the average thickness of the biodegradable film decreased, while the widths and heights of bumps in the surface of the ink film—which are generally thought to be formed when the screen mesh is lifted away—grew larger.

Next, a scratch test was performed in order to evaluate the adhesive strength of the bond between the biodegradable film and biodegradable resin substrate. The results of this test are shown in Fig. 3. In comparison to the value obtained for films containing silver particles only a few micron meter in diameter, intermixing of carbon particles produced a relatively high L_c value, indicating greater adhesive strength. In addition, while the use of a carbon particle mixture of

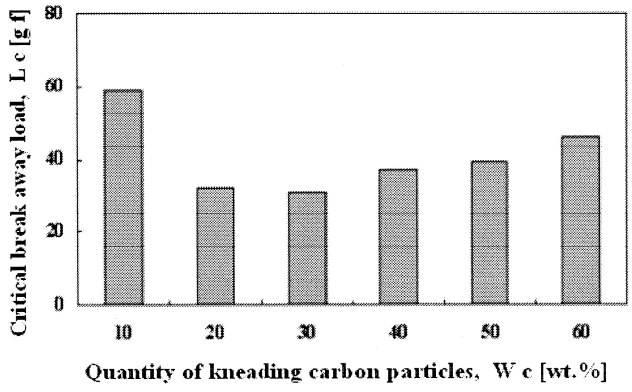


Fig.3 Results of scratch tests for the biodegradable film on biodegradable resin substrate.

20～30wt.% resulted in lower L_c values, larger amounts of carbon particles did not result in any clear reduction in L_c value, indicating that adhesive strength was maintained. Accordingly, further investigation is required to examine whether this decrease in adhesive strength can be avoided by reducing the size of the particles and whether there is a proportional relationship between particle diameter and film thickness.

To test the conductivity of the biodegradable film, the film's surface and volume resistivity were measured. These results are presented in Fig. 4. The values obtained were slightly lower than those obtained when silver particles were used as the FAM; in addition, as the amount of carbon particles was increased, both surface and volume resistivity decreased to a significant extent. In other words, by proactively varying the amount of carbon particles used, it is possible to control both the surface and depth-direction conductivity of the resulting ink film.

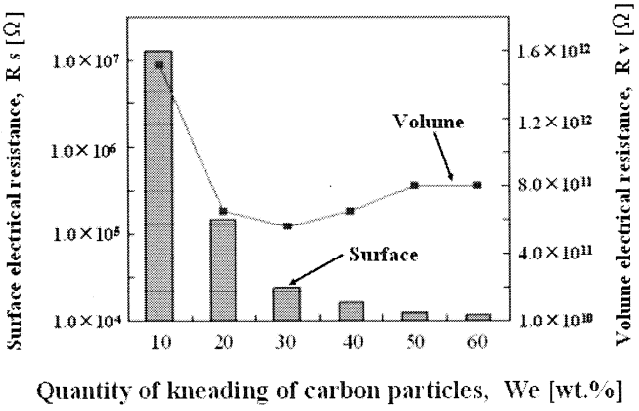


Fig.4 Changes of surface and volume resistvity with a quantity of carbon kneading.

These results show that the use of carbon particles in a biodegradable resin vehicle allows the production of biodegradable ink with a high level of functionality.

3.2 Biodegradability of resin substrate material with biodegradable film

In order to test the biodegradability of the material produced when a biodegradable ink film containing carbon particles is formed on the surface of a biodegradable LACEA substrate, this material was placed in an environmental cell reproducing the expected conditions of a composting system, and its decomposition behavior was periodically examined. The results showed that the film began to decompose after about 56 days, and had almost entirely disappeared by around the 70 days. By the way, the behaviour which film dissolved in by macroscopic did the time which biodegradation of film started with time confirmed on LACEA substrate. Fig.5 shows a comparison between a surface formed with film and one without forming after 112 days in a composting environment. And the results of FT-IR analysis are shown in Fig.6. It can be seen that the material with the film forming has progressed further towards decomposition. Thermogravimetric analysis of a test specimen of the LACEA substrate not placed in the environmental cell, a test specimen of the material with a biodegradable film placed in the cell, and a test specimen of material without the film placed in the cell was carried out. By the way, about the test

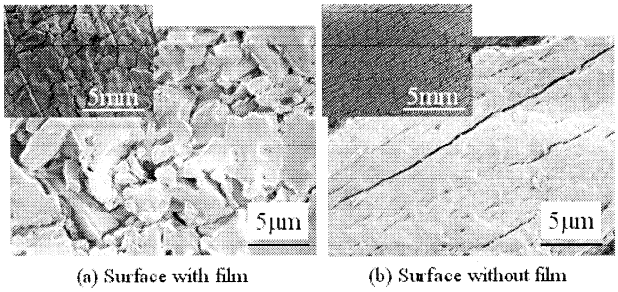


Fig.5 Comparison between surface morphology formed with film and one without forming after 112 days in a composting environmental cell.

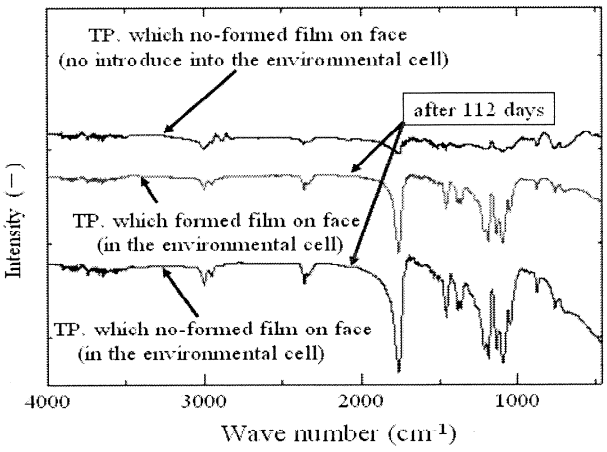


Fig.6 The results of FT-IR analysis for specimens.

specimen with film, used cutter and sharpened it politely and took the film. Compared to the substrate not placed in the environmental cell, the onset time of thermal decomposition for both materials placed in the cell was greatly reduced, and molecular weight reduction through biodegradation had undergone more progress. In addition, compared to the substrate not formed with film, the onset time of the substrate with film was reduced. It is likely that this is due to the effect of the solvent contained in the ink on the amorphous portion of LACEA substrate.

4. Conclusions

In an attempt to create a relatively low-cost, environmentally friendly material, screen printing techniques were used to coat a biodegradable resin substrate with a film composed of a biodegradable vehicle and a functionality auxiliary material with low toxicity. The functionality and biodegradability of the resulting material were then examined. Based on these results, the following points may be noted:

(1) Even when cold-setting type ink is used, the drying time and temperature can be adjusted to give a film with an adhesive bond of almost equal strength to that produced through conventional printing using hot-setting type ink.

(2) When an ink with a biodegradable resin vehicle is applied as a film to a biodegradable resin substrate, the adhesive bond between the film and the substrate may be greater than that produced with commercially available ink films.

(3) When using silver powder formed in a water atomization process as a functionality auxiliary material in an ink with a biodegradable resin vehicle, the spherical particles and even size distribution result in a high level of dispersal and sufficient conductivity to render the product useful as a conductive material.

(4) When carbon particles, which have low toxicity, are used as a functionality auxiliary material with a biodegradable resin vehicle to produce an ink film, and there is high adhesive strength between the biodegradable resin substrate and the film.

(5) When a biodegradable substrate is coated with an ink film containing a biodegradable resin vehicle mixed with carbon particles, the resulting material possesses sufficient conductivity to function as a conductive material. Furthermore, by adjusting the amount of carbon particles used in the film, it is possible to control the degree of conductivity.

(6) A substrate with a biodegradable film undergoes faster decomposition than one without a film. In all cases, the application of such a film results in quicker decomposition of the biodegradable resin base material.

References

1) T. Yagasaki, and Y. Kimura, Journal of the society of materials science Japan, **47**, 84 (1998).

2) K. Yamada, T. Yagasaki, Y. Kimura, and I. Takano, Journal of the society of materials science Japan, **54**, 79 (2005).

3) T. Yagasaki, Material stage, **6**, 18 (2006).

4) Edited by the adhesion chemistry board, "Adhesion; Theory and application", Maruzen (1965).

5) T. Shimazaki, "Applied technology with carbon" CMC (2001).

6) Edited by the Japanese society of printing science and technology, "Printing engineering handbook :1st edition", Gihoudo (1983).

7) Japanese industrial standard, JIS K 5600-5-5, "Testing methods for points-Part 5 : Mechanical property of film-section 5 : Scratch hardness (stylus method)" (1999).

8) Japanese industrial standard, JIS C 2525, "Testing method for conductor resistance and resistivity of metallic resistance materials" (1999).

9) T. Kimura, "Technology of biomass resource composting" CMC (2003).

10) Edited by the carbon society of Japan, "The latest carbon material experiment technique · analysis", Sipec (2001)

Ca-Co-O系酸化物熱電半導体の作製

マテリアル科学科　桑折　仁

サレジオ工業高等専門学校　加藤雅彦

サレジオ工業高等専門学校　大杉　功

Fabrication of Ca-Co-O Thermoelectric Semiconductor

Hitoshi Kohri, Department of Materials Science and Technology
Masahiko Kato, Salesian Polytechnic
Isao J. Ohsugi, Salesian Polytechnic

ABSTRACT: $Ca_3Co_4O_9$ is a promising material for thermoelectric generation, as it is stable up to 1173 K in the air, and shows good thermoelectric properties. Recently, it was found that $Ca_3Co_2O_6$ was stable up to 1300 K in the air. The $Ca_3Co_2O_6$ is decomposed phase of $Ca_3Co_4O_9$ and the temperature limit is higher than one of $Ca_3Co_4O_9$. The electrical resistivity of $Ca_3Co_2O_6$ was, however, higher than the one of $Ca_3Co_4O_9$. Not only high power generation performances but also excellent strength is required for practical use of the thermoelectric oxide materials. Polycrystalline samples of $Ca_3Co_2O_6$ were prepared by solid-state reaction (SSR) and hot pressing (HP). Relative density of $Ca_3Co_2O_6$ (HP) was over 98%, which is larger than the one of $Ca_3Co_2O_6$ (SSR). $Ca_3Co_2O_6$ (HP) showed larger strength and lower resistivity than $Ca_3Co_2O_6$ (SSR). The resistivity (ρ) of $Ca_3Co_2O_6$ (HP) in perpendicular to the pressurized direction decreased from 64 Wcm to 4.0×10^{-2} Wcm at the temperature range between 373 and 1173 K. In addition, the resistivity of this sample was decreased by heat treatment in the air. The Seebeck coefficients (S) of $Ca_3Co_2O_6$ (HP) was positive value and more than 160 mVK^{-1} at the temperature range between 373 and 1173 K. $Ca_3Co_{1.8}M_{0.2}O_6$ (M= Mn or V) were prepared by solid state reaction and hot pressing. The resistivity of Mn-substituted $Ca_3Co_2O_6$ (HP-Mn) and V-substituted $Ca_3Co_2O_6$ (HP-V) were lower than the one of non-substituted $Ca_3Co_2O_6$ (HP) at the temperature below 523 K for the Mn-substituted sample or 723 K for V-substituted sample. The latter showed the lowest value 1.53 Wcm of all specimens at 383 K. The power factor ($S^2\rho^{-1}$) of $Ca_3Co_2O_6$ (HP) was 88.3 $mWm^{-1}K^{-2}$, which is the largest of all specimens at 1176 K, but $S^2\rho^{-1}$ of V-substituted $Ca_3Co_2O_6$ (HP-V) is the largest of all specimens up to 773 K.

１．　はじめに

熱電材料は熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換できる材料である．この熱電材料を用いた熱電発電機の研究・開発が廃熱の有効利用の観点から精力的に行われている．熱電酸化物はその化学的安定性のため高温における材料としての応用が期待されている．それ故，窯業，鉄鋼業など工場廃熱用の熱電発電機用材料として注目されている．それらの熱源としての温度は 500 ～ 1400 K の範囲である．

熱電材用の性能の指標として無次元性能指数

$$ZT=S^2\rho^{-1}\kappa^{-1}T$$

として表される．ここで，Sはゼーベック係数(V/K)，ρは電気抵抗率(Ωm)，κは熱伝導率(W/(Km))，Tは絶対

温度(K)である．実用のために ZT は１以上が要求されている[1]．

$Ca_3Co_4O_9$ は 1000 K で ZT>1 を示す材料であり，高温用熱電発電材料として注目されている．この $Ca_3Co_4O_9$ は 1173 K まで安定であるが，それ以上の温度では分解する[1,2]．近年，その熱安定性，耐酸化性から $Ca_3Co_2O_6$ が注目されている．この化合物は $Ca_3Co_4O_9$ の分解相であり，大気中で 1300 K まで安定である．しかし，$Ca_3Co_2O_6$ は $Ca_3Co_4O_9$ より電気抵抗率が大きい[3,4]．$Ca_3Co_2O_6$ 単結晶の無次元性能指数は 1073 K で 0.15 である[5,6]．一方，$Ca_3Co_2O_6$ 多結晶の無次元性能指数は単結晶のおよそ 1/10 程度とされている．$Ca_3Co_2O_6$ の実用化のためには性能の向上が必須である．

性能の向上には Co サイトの元素置換や空格子点の導入などが検討されてきた[4,6-9]．Mn 置換した $Ca_3Co_2O_6$ に関して，673 K 以下で電気抵抗率は減少した[8]．V を置換した例の報告はみられない．

そこで，本研究では高密度 $Ca_3Co_{2-x}M_xO_6$ (M= Mn or V, x=0, 0.2)焼結体を作製し，熱電特性に対する V，Mn の置換効果を解明することを目的とした．

２．　実験

２．１　試料作製

$CaCO_3$ (99.9%), Co_3O_4 (>99.7%), MnO_2 (>90%), V_2O_5 (99%)の各粉末が出発材料として用いられた．これらの粉末は $Ca_3Co_{2-x}M_xO_6$ (M=V or Mn, x = 0 or 0.2)となるように秤量し，めのう乳鉢で撹拌した．混合粉末は冷間加圧によりペレット状に加工した．これらのペレットは固相反応(SSR：Solid State Reaction)のため，大気中で，1223 K，40 h 加熱した．得られた SSR 試料は 38 μm 以下のサイズまで粉砕・分級した．これらの出発材料粉末を BN または Al_2O_3 でコーティングした黒鉛ダイスに充填し，1223 K，60 MPa で 2 h の条件で熱間加圧焼結(HP：Hot Pressing)した．元素を置換していない試料は 20 h，Mn または V を置換した試料は 50 h 大気中でアニールした．

２．２　特性評価

結晶相の同定は粉末 XRD 法により行った．微細構造の観察には SEM を用いた．相対密度は寸法測定と重量測定から求めた．

各焼結体から 1×1×10 mm^3 の短冊状試料を切り出した．この試料を用いて，電気抵抗率 ρ，熱起電力 ΔE を同時に測定した．電気抵抗率は DC 四端子法で測定した．熱起電力は 0 ～ 3 K の温度差を試料に与えて，測定した．温度差に対する熱起電力の傾きからゼーベック係数 Sを算出した．電気抵抗率，ゼーベック係数の温度依存性は 373 ～ 1173 K の温度範囲で測定し，その測定結果から，出力因子 S^2/ρを算出した．

３．　結果および考察

Fig.1 に SSR およびアニールした HP 焼結体の XRD 回折パターンを示す．まず，元素を置換していない試料に関して，すべての試料から $Ca_3Co_2O_6$ の回折ピークが確認された．また，分解相あるいは不純物相である CaO や CoO の回折ピークも確認された．熱電特性の測定後には $Ca_3Co_4O_9$ のピークも確認された．$Ca_3Co_2O_6$ は高温安定相であるが，熱電特性の測定中に $Ca_3Co_4O_9$ へ分解したものと考えられる．今後，測定雰囲気の酸素分圧と組成の関係を明らかにしていきたい．

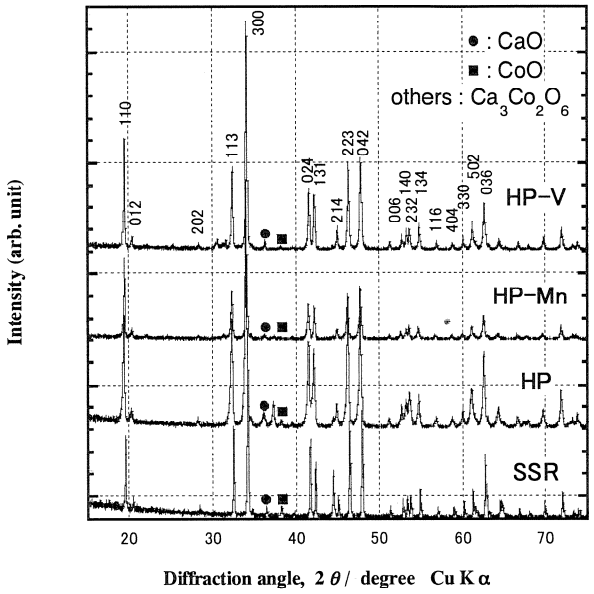
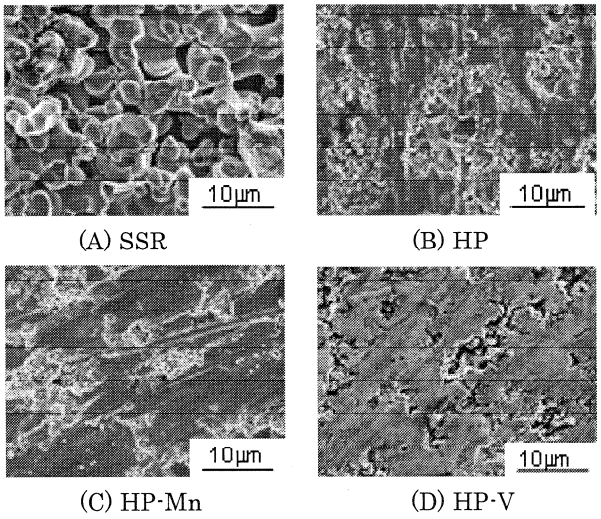


Fig.1 XRD patterns of sintered samples: [SSR] for $Ca_3Co_2O_6$ (SSR), [HP] for annealed $Ca_3Co_2O_6$ (HP) [HP-Mn] and [HP-V] for annealed Mn-substituted and V-substituted $Ca_3Co_2O_6$, respectively.

SSR 試料表面および研磨したアニール後の HP 試料表面の SEM 観察結果を Fig. 2 に示す．多数のボイドが SSR 試料表面に観察された(Fig. 2 (A))．一方，HP 試料は元素置換の有無に関わらず，ボイドは確認されなかった(Figs. 2 (B), (C) and (D))．Table 1 は SSR 試料および HP 試料の相対密度である．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料は SSR 試料より相対密度は高く，その値は 98%以上であった．相対密度の向上はホットプレスによる効果である．加えて，$Ca_3Co_2O_6$ HP 試料は SSR 試料より強かった．Mn および V 置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料(以後それぞれ HP-Mn または HP-V と表記)は無置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料の相対密度より低かった．XRD の結果と併せて考えると，Mn または V 置換試料はホットプレス中に分解し，その分解相が混在したため密度は低下したと思われる．したがって，相対密度の向上には焼結条件の絞り込みにより分解を抑える必要がある．

Table 1 Relative density of sintered samples: [SSR] for $Ca_3Co_2O_6$ (SSR), [HP] for annealed $Ca_3Co_2O_6$ (HP), [HP-Mn] and [HP-V] for annealed Mn-substituted and V-substituted $Ca_3Co_2O_6$, respectively

	SSR	HP	HP-Mn	HP-V
Relative density (%)	58	98	86	90



(A) SSR (B) HP (C) HP-Mn (D) HP-V

Fig. 2 SEM images of sintered samples surface: (A) for $Ca_3Co_2O_6$ (SSR), (B), (C) and (D) for annealed $Ca_3Co_2O_6$ (HP), annealed Mn-substituted and V-substituted $Ca_3Co_2O_6$, respectively.

電気抵抗率の温度依存性を Fig.3 に示す．すべての試料の電気抵抗率は温度上昇にともない減少した．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料の電気抵抗率は 373 K で 64 Ωcm を示した後， 1173 K において 4.0×10^{-2} Ωcm まで減少した．この値は SSR 試料の値の 10 分の 1 である．また，文献値と比較して，4.0×10^{-2} Ωcm という値はおよそ半分である．これは試料の高密度化による効果である．

HP-Mn または HP-V の電気抵抗率も温度上昇にともない減少した．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料の電気抵抗率に対して，HP-Mn は 523 K 以下で，HP-V は 723 K 以下で下回った．とくに HP-V は他の試料と温度傾向が異なり，室温に近い温度領域で傾きが低下した．その結果，373 K において HP-V の電気抵抗率が最も低い値を示した．

$Ca_3Co_2O_6$ と $Ca_3Co_4O_9$ の混相において，電気抵抗率は $Ca_3Co_2O_6$ 単相より低い値を示した[3]．本研究において HP-V がこの報告と非常によく似た温度依存性を示した．一方，HP-Mn は XRD の結果から HP-V と同様，$Ca_3Co_4O_9$ が確認されたにもかかわらず $Ca_3Co_2O_6$ 単相と同様の温度依存性を示した．

Fig.4 にゼーベック係数の温度依存性を示す．測定温度範囲においてゼーベック係数はすべて正の値を示した．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ 試料のゼーベック係数は温度上昇にともない減少し，HP 試料は 700 K 付近において，SSR 試料は 1100 K 付近において増加に転じた．一方，HP-Mn および HP-V のゼーベック係数は温度の上昇にともない増加した．

一般的な傾向として，電気抵抗率は正孔濃度および移動度に反比例する．ゼーベック係数も正孔濃度に反比例する． HP-Mn はこの物性値の相関関係と異なる傾向を示した．詳細については現在検証中である．

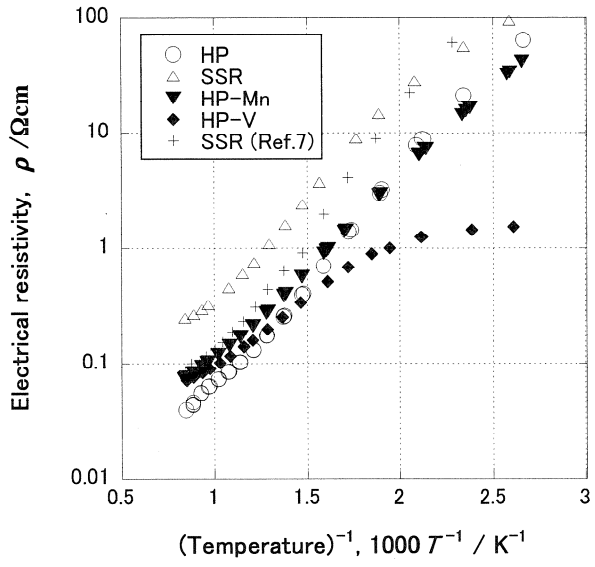


Fig.3 Temperature dependence of electrical resistivity for sintered samples: [Ref.] for cited data ρ of $Ca_3Co_2O_6$ is taken by Ref. 7.

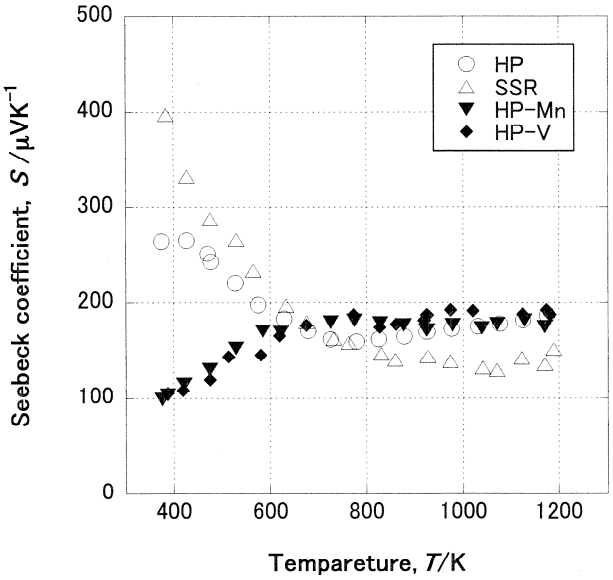


Fig.4 Temperature dependence of Seebeck coefficient for sintered samples.

Fig. 5 に出力因子 $S^2\rho^{-1}$ の温度依存性を示す．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料の出力因子が 1176 K において全試料中もっとも大きな値 88.3 $\mu Wm^{-1}K^{-2}$ を示した．773 K 以

下の温度領域では HP-V が無置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料より大きな出力因子を示した．HP-Mn や HP-V など元素置換した試料の相対密度が無置換 $Ca_3Co_2O_6$ HP 試料の相対密度より低いにもかかわらず大きな出力因子を示したことから，焼結条件の絞り込みによるさらなる高密度化により電気抵抗率は低下し，出力因子も向上できると期待できる．

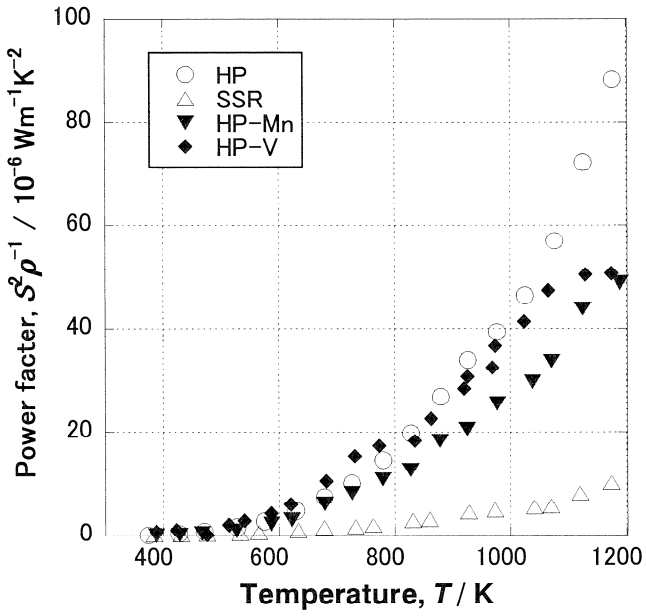


Fig.5 Temperature dependence of power factor for sintered samples.

４．まとめ

熱電特性に対する V, Mn の置換効果を解明するため，固相反応法およびホットプレス法にて高密度 $Ca_3Co_{2-x}M_xO_6$ (M= Mn or V, x=0, 0.2)焼結体を作製した．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ ホットプレス焼結体の相対密度は 98%以上であり，固相反応法により作製した焼結体の相対密度から大幅に向上した．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ 試料においてホットプレス焼結体の方が固相反応法により作製した焼結体より低い電気抵抗率を示した．これは高密度化による効果である．

Mn で置換した焼結体の電気抵抗率の温度依存性は無置換の焼結体と同様温度上昇にともない単調減少した．V 置換した焼結体の電気抵抗率の温度依存性は温度上昇にともない減少したが，温度に対する変化率が 500 K 近傍で変化した．

いずれの試料もゼーベック係数は測定温度領域において正の値を示した．無置換 $Ca_3Co_2O_6$ 焼結体のゼーベック係数は温度の増加にともない減少した後，増加に転じた．Mn または V を置換した焼結体のゼーベック係数は温度上昇にともない単調に増加した．

無置換 $Ca_3Co_2O_6$ ホットプレス焼結体の出力因子は 773 K 以上の温度領域で全試料中最も大きい値を示し，1176 K で最大値 88.3 $\mu Wm^{-1}K^{-2}$ を示した．773 K 以下の温度領域では V 置換した焼結体がもっとも大きな出力因子を示した．これは V 置換により電気抵抗率の温度傾向が変化したこととホットプレスによる高密度化の効果である．

参考文献

(1) M. Mikami, R. Funahashi, Proc. 22nd Int. Conf. Thermoelectrics (2003) pp. 200-202.

(2) R. Funahashi, I. Matsubara, H. Ikuta, T. Takeuchi and U. Mizutani, S. Sodeoka, Jpn. Appl. Phys. 39 (2000) pp. L1127-L1129.

(3) H. Fujishiro, Y. Fujine, J.Hejtmanek, D. Sendmidubsky, A. Maignan, and C. Martin, Proc. 22th Int. Conf. Thermoelectrics (2003) pp. 192-195.

(4) N. V. Nong, M. Ohtaki, Solid State Comm. 139(2006) pp. 232-234.

(5) M. Mikami, R. Funahashi, M. Yoshimura, Y. Mori and T. Sasaki, J. Appl. Phys. 94 (2003) pp. 6579-6582.

(6) T. Takami, H. Ikuta, Proc. 25th Int. Conf. Thermoelectrics (2006) pp. 480-484.

(7) K. Iwasaki, H. Yamane, S. Kubota, J. Takahashi, M. Shimada, J. Alloy Compd. 358 (2003) pp. 210-215.

(8) M. Mikami, R. Funahashi, J. Solid State Comm. 178 (2005) pp. 1670-1674.

(9) A. Maignan, S. Hèbert, C. Martin, D. Flahaut, Mater. Sci. Eng. B 104 (2004) pp. 121-125.

4．総合研究所一般研究報告
（個人研究）

国際化と地域化の下での国家の役割変化とその市民生活への影響に関する国際比較研究

工学部・共通課程・教授
長谷川　憲

本年度は、表記の課題に関連する以下の領域に関して研究を進めた。

第１に、憲法解釈の領域で次の研究を行った。

人権論の領域で、内心の自由と信教の自由に関する研究を進めた。また、思想・良心の自由に関して、教員の思想・良心の自由と行政上の管理・採用に関する訴訟に関する東京地裁での審理および判決を検討し、教育の自由と質に関する問題として、国際標準と国際評価についての事例を比較研究した。また統治制度の領域では、天皇制に関して、象徴天皇制の歴史的意義と現状について再検討すると共に、平和主義に関して、2000 年以降の現状について検討した。また、憲法制定・改正問題に関して、国会で議論・採決された国民投票法案について検討した。さらに、国籍条項に関して、血統主義と属地主義の独仏比較についての研究を進めた。これらの研究に関しては、草稿としてまとめた。

第２に、社会制度と国家制度に関連して次の研究を行った。

フランスにおける Social 概念を検討し、社会保障・社会給付・生活保護制度との関係性に関して、歴史的・比較制度的研究を進め、国家制度における異同に関し比較制度論的研究を行った。

第３に、地方制度及び地方制度改革に関連して次の研究を行った。

平成の大合併の現状とその市町村への影響に関して現状を分析した。また、市町村で進行する公役務の外注化や PFI 制度の特徴と問題点の比較制度論的分析した。これらに関しては、草稿をまとめた。また、まちづくりにおける住民参加の現状と特徴の調査を行い、市民生活における安全が注目される中で、制定が進められている生活安全条例に関する研究を進めた。

研究成果：上記研究の詳細については、共通課程研究論叢第 45-1 号「フランスにおける『社会』と国家（１）」、共通課程研究論叢第 45-2 号「フランスにおける『社会』と国家（２）」、『憲法四重奏』（第２版・有信堂・2008.）第３章・第６章・第 15 章・第 16 章、「Les Problèmes des Dernières Réformes des Collectivités Locales au Japon」（『VIIème séminaire franco-japonais de droit public：Les mutations contemporaines de la démocratie』, Monéditeur.com・2007）を参照されたい。

以　上。

日本における地方金融界の変遷に関する研究

工学部共通課程　教授
吉　田　賢　一

明治33（1900）年の創立以来約１世紀にわたり北海道金融界をリードしてきた北海道拓殖銀行（本店札幌、以下拓銀という）が不良債権処理の困難から平成９（1997）年11月に経営破綻して以来、すでに10年以上が経過した。拓銀消滅以来、北海道に本店を有する地元銀行（道内本店銀行という）は、北海道銀行、北洋銀行、札幌銀行の３行となっている。このうち、戦後の昭和26（1951）年４月に島本融・元公正取引委員会委員を頭取に迎えて創立した北海道銀行のみが本来の地方銀行（地銀協＝全国地方銀行協会加盟銀行）であり、後二者は北洋相互銀行と北海道相互銀行が平成元年（1989･2･1）に普通銀行へと転換した第二地銀（第二地銀協＝第二地方銀行協会加盟銀行）である。この２行は、平成13年（2001･4･2）に共同持株会社「札幌北洋ホールディングス」を設立し、その子会社となっているが、平成20（2008）年10月のシステム統合をメドに対等合併する予定である（行名は北洋銀行）。これが実現すれば、道内本店銀行はわずか２行、北海道は全国47都道府県中もっとも本店銀行数の少ない地域として、あたかも戦前における拓銀と(旧)北海道銀行（本店小樽、以下道銀という）の双頭体制、いわば北海道版「一県一行主義」完成前夜を彷彿とさせる状態が出現することになる。

平成２年（1990）におけるバブル崩壊に端を発し、拓銀を消滅へと追いこんだのが「平成金融恐慌」であった。この名称は拓銀破綻のちょうど70年前の昭和２年（1927･3･14）、大蔵大臣（片岡直温〈ｶﾀｵｶﾙ、1859-1934〉、第１次若槻礼次郎憲政会内閣）の失言を契機に翌15日（月曜日）に勃発した「昭和金融恐慌」をモジったものである。昭和改元後３ヶ月もたたないうちに発生したこの金融大恐慌は、第１次世界大戦による棚ボタ的空景気のあとを襲った一連の危機――反動恐慌・銀行恐慌・関東大震災――に対し当局が採用した金融政策（日銀特融＝日本銀行特別融通を中心とする）の弥縫性を暴露した究極的な噴出物であって、日清戦争（1894～95）以来異常な膨張をとげてきた日本資本主義に対して、その徹底した合理化と再編成をせまるものであった。とはいえ日本は、金融恐慌とそれに引きつづく昭和５年の昭和恐慌（前年10月にニューヨーク証券取引所の株価暴落に発端した世界経済恐慌の日本的発現形態）のもとで徐々にその軍国主義的性格を濃厚にするとともに、地方金融界の中央への牽引・再編が推進されるようになる。政府による「一県一行主義」の懲憑であるが、北海道においてその役割を担ったのは、他府県のような普通銀行と異なり、政府系特殊銀行である拓銀であった。「一道一行」体制は、道銀と百十三銀行（本店函館）という普通銀行同士の合同、そして、拓銀と道銀の合同という二大イベント（どちらも前者による後者の吸収合併）を経由して達成されたものである。本研究の課題は、この大正期から昭和前期にいたる過程において、道内本店諸銀行の動向を概観しつつ、「一道一行」体制の完成へと至る北海道金融界の動向を精査・分析することにある。

すでに発表してある関連論稿を以下にかかげる。

1.「金融危機下の北海道金融界と銀行合同――百十三銀行・(旧)北海道銀行・北海道拓殖銀行を中心として――」地方金融史研究会編『地方金融史研究』第31号（社団法人全国地方銀行協会、2000年３月）所収。
2.「両大戦間における北海道内地方銀行――函館銀行・百十三銀行・(旧)北海道銀行を中心として――」（上、中、下1、下2･完）同上誌第32～35号（2001～04年各３月）所収。
3.「北海道における銀行合同――函館銀行・百十三銀行・(旧)北海道銀行の合同関係を中心として――」石井寛治・杉山和雄編『金融危機と地方銀行――戦間期の分析』（東京大学出版会、2001年）所収（第６章）。
4. 地方金融史研究会『日本地方金融史』（日経金融新聞編、日本経済新聞社、2003年）、47道府県および３旧植民地のうち「北海道」を担当。

LHC/ILC実験でのヒッグス粒子探索のための イベントジェネレータ開発

工学部共通課程教授
加藤 潔

現在，素粒子の標準模型は多くの実験結果により支持されている。この標準模型の中で唯一実験的に検証されていないのが，ヒッグス粒子である。ヒッグス粒子はすべての物質に質量を与える機能を果たす粒子であり，その検証により標準模型が完全に確定する。いま計画されている最高エネルギーの加速器実験としては，０８年度に始まるＬＨＣ実験，および将来計画としてのＩＬＣがあり，そこでの最重要課題がヒッグス粒子の物理であることは言うまでもない。

本研究では，このヒッグスの物理のうち，トップクォーク生成に関係する事象に焦点を合わせて研究した。ヒッグスと物質粒子との結合の強さは，粒子の質量に比例するので，トップクォークはヒッグスに伴って生成されるからである。このような高エネルギー衝突現象は複雑であり，シグナルとバックグラウンドの事象の比は決して大きくなく，精密な解析が不可欠である。このためには，もちろん，第一義的には高精度の測定器とデータ処理技術が必要とされる。しかし，その結果を理論と比較するためには，理論の情報を可能な限り取り入れたモデル，具体的には，実験的イベントと同じ情報を生成するイベント・ジェネレータがなくてはならない。しかも，トップクォーク生成については大きなバックグラウンドを生み出すＱＣＤ過程に関する包括的な理解が必要となる。このプロジェクトの目的は，摂動ＱＣＤの情報を高次効果も含めて，始状態から終状態まで可能な限り取り込んだイベント・ジェネレータを作成するための基本的ツールを作成することにある。本年度は以下の基礎的な研究を行った。

１） ループライブラリの整備

従来は，内線に質量のある電弱相互作用の質量特異性を光子の質量で正則化し，質量のない粒子を扱うＱＣＤについては次元正則化法を用いていた。トップクォークの場合質量のあるループに対して次元正則化法を適用することになり，そのためのライブラリや５点，６点関数の縮約手法を開発する。

２） 摂動ＱＣＤとトップの質量

ＱＣＤは本来スケールパラメタを持たず，繰り込みスケールμ_R^2，因子化スケールμ_F^2と，プロセスのエネルギースケールの比（の対数）から補正が出てくる。しかし，トップ生成の場合，小さくないスケールM_t^2が入ってくるので，繰り込み群による補正の扱いを改善する手法の検討を行う。

［関連報文］

素粒子反応計算の自動化－ＧＲＡＣＥシステムの現状－，栗原良将，安井良彰，近匡，加藤潔，日本物理学会誌，vol.62,No.5,2007, p.320—328。

非線形拡散の特異性に起因する数理現象の研究

共通課程　准教授
竹内　慎吾

平成19年度は主に,拡散ロジスティック方程式の定常状態を記述する楕円型偏微分方程式に関する解の特異性の研究を行った．通常，同方程式の環境収容力は空間全体で一定であるとされるが，ここでは環境収容力を空間に関して変動する関数とし，拡散係数を小さくしたときに解の値が環境収容力へと収束する際に起こるある種の数理現象を発見・証明した．

平成19年度に出版された論文は以下の2件である．

1. S. Takeuchi, Partial flat core properties associated to the p-Laplace operator, Discrete Contin. Dyn. Syst. 2007, suppl., 965-973.

2. S. Takeuchi, Coincidence sets in semilinear elliptic problems of logistic type, Differential Integral Equations 20 (2007), 1075-1080.

以下，論文1，2の概要を述べる．

論文1は，American Institute of Mathematical Sciences (AIMS) が2006年にフランスのポワティエで行った国際会議 AIMS' Sixth International Conference on Dynamical Systems and Differential Equations and Applications (AIMS2006) における講演の会議録である．この国際会議において，環境収容力が空間非一様であるようなロジスティック型の反応項に対する，p-ラプラス作用素を拡散項に持つ2階の非線形楕円型偏微分方程式に関する研究を発表した．特に環境収容力が一定であるような部分領域において，解は環境収容力に厳密に一致することを証明した．空間全体で環境収容力が一定の場合には先行結果があるが，空間の部分領域でのみ一定である場合には証明に手間がかかることもあり未だなされていなかった．

論文2は，環境収容力が空間非一様であるようなロジスティック型の反応項に対する，ラプラス作用素を拡散項に持つ2階の非線形楕円型偏微分方程式に関する研究を発表した．解が環境収容力と一致する部分領域（一致集合）が存在する場合，その領域上で環境収容力が調和であることが必要であり，定数であることまでは必要とされない．しかしこれまでの先行結果はすべて，環境収容力は空間全体で一定であるという設定の下に行われてきた．本論文では環境収容力が調和であるという設定で，この条件が一致集合が存在するための十分条件でもあることを証明した．

中学校障害児学級における技術・家庭科の実施状況に関する調査研究

工学部共通課程　講師
尾　高　　進

１．研究の目的

2006 年に行われた学校教育法の改正に伴い、2007 年 4 月 1 日から、わが国の障害児教育の呼称は、従来の特殊教育から特別支援教育へと改められた。それに伴って、様々な制度上の改変も進んでいる。

障害児学級（法令上の呼称は特別支援学級、本報告では便宜的に通級指導教室を含む）は、義務教育段階で障害をもつ子ども・青年のうち、半数以上が学んでいる場である。障害をもつ子ども・青年にとって、対象となるものに直接働きかけて学ぶことが学習活動の主要な一つである技術・家庭科は、彼らの発達に重要な役割を果たしているにもかかわらず、その実施の様態は十分に明らかにされているとはいえない。そこで、2005 年に引き続き、本調査研究を実施した。

２．調査方法

調査対象は、東京都および川崎市とした。東京都は 2005 年に実施した調査との比較を行うためであり、川崎市は、市内の中学校に、1 校の例外を除き、全て特別支援学級が設置されており、ある種の政策的意図が見いだされると考えられるからである。調査は、2008 年 2 月から 3 月にかけて、東京都内の特別支援学級設置の中学校 217 校と、川崎市の 51 校の計 268 校に郵送により質問紙を送付し、返送してもらった。回収状況は、東京都 141 通（65.0 %）、川崎市 33 通（64.7 %）の、計 174 通（64,9 %）であった。

３．主要な調査結果

紙幅の関係で、技術・家庭科の実施時数と、担当教員数・免許保有に限定して述べる。

技術・家庭科の実施時数については、東京都は週 4 時間、川崎市は週 2 時間が最も多かった。また、技術・家庭科担当教員数と免許保有状況を表 1、2 に示した。これらの結果から、1)技術・家庭科の実施時数は、川崎市が通常の学級と同程度とみられるのに対して、東京都ではそれよりも多い、2)担当教員をみると、川崎市では専任教員が技術・家庭科の多くを担当しているとみられるのに対し、東京都では非常勤講師に依拠している割合が高い、3)免許保有率は、川崎市の方が概して高い、といったことがいえると思われる。

表1　技術・家庭科担当教員の免許保有状況(東京都)

		教員数	免許あり		免許なし	
			人数	割合	人数	割合
技術科	専任	224	32	14.3%	192	85.7%
	非常勤	48	17	35.4%	31	64.6%
家庭科	専任	222	26	11.7%	194	87.4%
	非常勤	61	27	44.3%	34	55.7%

表2　技術・家庭科担当教員の免許保有状況(川崎市)

		教員数	免許あり		免許なし	
			人数	割合	人数	割合
技術科	専任	132	30	22.7%	102	77.3%
	非常勤	6	2	33.3%	4	66.7%
家庭科	専任	89	30	33.7%	59	66.3%
	非常勤	8	2	25.0%	6	75.0%

宇宙太陽光エネルギー利用システム用大型ラジエータの多領域最適設計

機械工学科　准教授
何　建　梅

近年大気汚染やエネルギー消耗等による地球環境問題が深刻となっている。太陽光エネルギーの利用は地球環境問題の解決に対して最も有効であることが思われる。地上での太陽光発電も環境に対する影響が小さいが、夜や天候の影響でエネルギー確保が不安定なため太陽光発電によるエネルギーの競争力が低い。そこで1960年代の後半頃にDr. Peter Glaserによって提唱された宇宙で太陽光エネルギーを収集して地上へ送る、現在ではSSPS（Space Solar Power System）と呼ばれている考えがある。日本では1990年代からマイクロ波様式（M-SSPS）とレーザー様式（L-SSPS）の二つのシステム案を基に研究・設計検討が行われてきた。

宇宙太陽光の利用におけるエネルギー変換で発生する過大な廃熱を宇宙空間へ排出するため、図1に示すように巨大型の排熱ラジエータが必要であることが考えられる。この宇宙用大型ラジエータは二次元構造的な柔軟性を持つ大型パネル構造となり、軌道上発生する振動などのセンシングや制御問題，また太陽光の受光に伴う熱変形などの制御もシステムの成立性に対して重要なキーポイントとして挙げられる。一方、巨大型のためにラジエータの重量においても打ち上げ重量・コストの制限という観点からラジエータの軽量化問題は深刻で重要な研究課題として要求される。

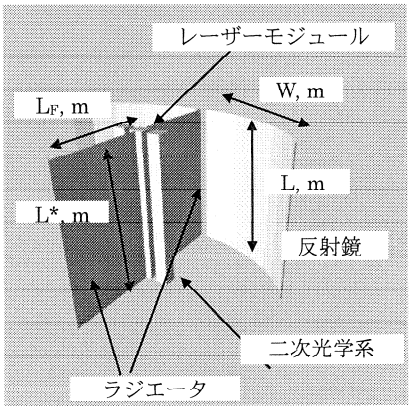


図1. L-SSPS単位モジュール（@JAXA）

H19年度では、重量制限の観点から上記のような宇宙用大型パネル構造に軽量かつ高強度なハニカムサンドイッチパネルの適用実現性について基礎的な検討を行った。具体的に異なるセルサイズと箔厚を持つアルミハニカムをコアとし、CFRP 積層板をフェースとした複合パネル（ハニカムサンドイッチパネル）を対象に、パネルの重量、剛性及び接着強度などの力学特性を実験及び解析によって把握した。

結論として、ハニカムパネルにおいて接着層での破壊とCFRPの層間剥離による破壊の二ケースに分けられた。これは接着構造のバラツキが原因で接着強度に影響を与えたと考えられる。またアルミ合金単体とCFRP積層板の単体と比較すると、ハニカムサンドイッチパネルの体積密度はアルミ合金の1/10で、CFRP積層材の1/5程度となり、曲げ剛性の方が半分程度になったことがわかった。よってハニカムサンドイッチパネルは軽量でかつ高強度の構造様式で大型宇宙構造物に広く適用できると考えられる。

発泡金属の型充填・成形技術の開発

機械創造工学科　准教授
塩見　誠規

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。また最近工業的に利用が進められている発泡金属は，軽量で吸音性，断熱性，電磁波吸収性，衝撃吸収性に優れており，リサイクル性も良い材料で自動車部品への適用が期待される材料である。しかしながら，現在製造されている発泡金属の形状は板や円柱などの単純な形状が主で，用途に合わせて切削により成形されている。発泡金属により自動車部品を製造するためには生産性の高い加工方法が求められ，発泡金属の任意形状への効率的な成形方法の確立が重要である。

そこで本研究では，発泡金属の自動車部品への適用を目指して，発泡剤を混合したアルミニウム粉末を用いて，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，発泡アルミニウムを成形する型充填・成形技術の開発を行う。さらに型成形における充填技術を利用して中空部材への充填技術の開発も進める。

作製した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から構成されている。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，油圧機器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，A6061 合金の液相線温度以上に加熱された発泡ダイス内に押し込み，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，充満度の向上および密度分布の均一化を試みた。その結果，成形時の金型温度はアルミニウム合金の固相線温度と液相線温度の間に保ち，成形後速やかに冷却することで作製した発泡アルミニウムの相対密度を 0.2～0.3 にすることが可能であることを見いだした。本研究により直径 25mm，長さ 100mm の円柱状発泡アルミニウムの作製が可能となった。

DNA型多自由度柔軟ロボット

機械システム工学科　准教授
高信英明

１．はじめに

多自由度機構についてはこれまで多くの研究事例がある[1-2]．本研究では生命の起源であるDNAをモデルとしたロボットを開発した．本報告ではその構造と動作について述べる．

２．DNAとは

本研究では，生命の根源であるDNAの二重らせん構造に着目した．DNAとはデオキシリボ核酸(Deoxyribonucleic acid)のことで，生物が形を作るための情報である．その構造は1953年にJames WatsonとFrancis Crickによって発見された[3](Fig.1)．直径2.0[nm]，長さ1.8[m]のDNAは，直径5.0[μm]の細胞の核の中に入っている．

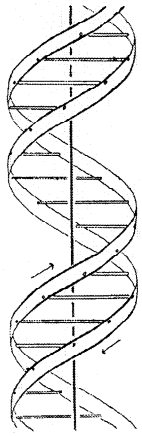


Fig. 1 DNA

３．DNA型ロボットの開発

製作したDNA型多自由度柔軟ロボットの写真 をFig. 2に示す．基本構造は，円形部材の中心にシリコーンチューブと配線を通した構造である．アクチュエータにはSMA(Shape Memory Alloy)を使用した．使用したSMAはトキ・コーポレーション株式会社製のバイオメタルBMX200である．開発したロボットを動作させたところ，超らせん形状となることを確認した[4].

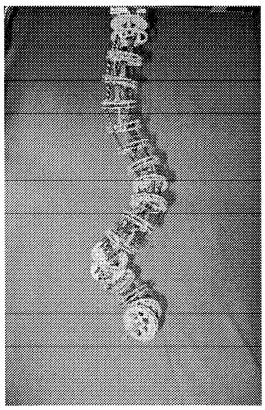


Fig. 2 DNA robot

４．結論

超らせん形状を持つDNA型多自由度柔軟ロボットを製作し，実際にらせん形状を表出可能であることを確認した．

本研究で製作したDNA型ロボットは柔軟性と伸縮性を活かし，対象物を選ばないロボットハンドとしての利用が可能だと考えられる．

[1] 広瀬茂男，馬書根：“多関節マニピュレータのモレイ駆動”，日本ロボット学会誌，Vol.8,No1,pp.9-16,1990.
[2] M. W. Hannan, I. D.Walker：“Kinematics and the Implementation of an Elephant’s Trunk Manipulator and Other Continuum Style Robots”, Journal of Robotic Systems 20(2), pp. 45-63, 2003.
[3] Francis Crick, James Watson：Molecular Structure of Nucleic Acids, NATURE (19530425), pp. 737-738
[4] 高信ほか：DNA型多自由度柔軟ロボット，日本ロボット学会学術講演会，2006.

ナノ分散構造を有する多元系ポリマー／フィラー複合材料の開発と摺動部材への応用

工学部　機械工学科　講師
西谷要介

機械の小型化・軽量化・高機能化に伴い、従来の摺動部材の設計技術では、低摩擦化および耐摩耗性向上のように相反する要求に応えることが出来ていない。また，摺動特性だけでなく，機械部材として用いるために必要な機械的性質や，射出成形に適する成形加工性を有するなど，各種性能のバランスがとれた高分子系摺動部材がないのが現状である．

本研究では、低摩擦化・耐摩耗性向上などのトライボロジー特性に優れ、簡便な成形加工性を有し、かつ機械的性質とも高度にバランスのとれた高分子系摺動部材の開発を目的に、マトリックス材料として多元系ポリマー（ポリマーブレンド）を、充填材としてナノオーダーのフィラーを用いて、フィラーの分散場所やポリマー相の形状、大きさなどを意識的に設計・制御したナノ分散構造を有する新規の多元系ポリマー／フィラー複合材料の開発を検討した．具体的には，マトリックス樹脂として摩擦摩耗特性に優れた汎用エンプラであるポリブチレンテレフタレート（PBT）を，ブレンド材としては各種官能基を付与したスチレン系熱可塑性エラストマー（TPE）を，充填材としてナノサイズのフィラーである気相成長炭素繊維（Vapor Grown Carbon Fiber，VGCF）を用い，小型二軸混練機を用いて混練し，射出成形により 3 成分系複合材料（VGCF/PBT/TPE）を成形した．ただし，TPE に付与した官能基は，PBT との反応を考慮して，エポキシ基，水酸基，アミン基である．成形した試験片を用いて，摺動特性としてリングオンディスク式摩擦摩耗試験を，機械的性質として引張り特性および衝撃特性を，成形加工性の評価として溶融状態の動的粘弾性を，SEM 観察などの内部構造観察を行い，3 成分系複合材料（VGCF/PBT/TPE）の評価を行った．

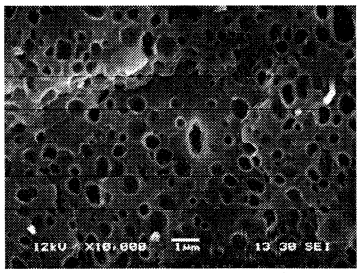


Fig.1 SEM of VGCF/PBT/TPE.

その結果，3 成分系複合材料（VGCF/PBT/TPE）は，TPE 充填により，摩擦係数はあまり変化しないが，比摩耗率は 2 成分系（VGCF/PBT）に比べて 1/10 程度の値を示し，耐摩耗性が著しく向上したこと，また機械的性質においても，若干引張り特性は低下するものの，衝撃特性が 3～6 倍程度向上した．特に，各種性能のバランスが良い材料は，官能基として水酸基を付与した系であった．これらの結果から，3 成分系複合材料（VGCF/PBT/TPE）により，ナノサイズの分散を有し，かつ摺動特性をはじめとした各種物性のバランスがとれた高分子系摺動部材を開発することができた．

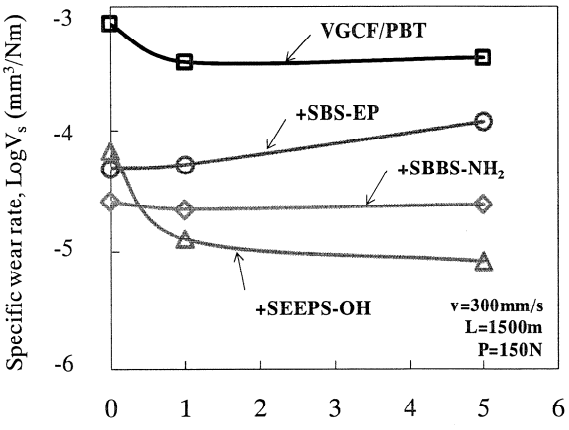


Fig.2 Specific wear rate vs. Vf.

参考文献(1)西谷要介，他，2007 年度材料技術研究協会討論会，2B-03 (2007)p.59

生体内ゼラチン由来ペプチドの検出法の確立

応用化学科　教授
今村　保忠

本研究は、生体中のゼラチンである3本らせん構造を持たないIV型コラーゲンポリペプチド鎖の性状と分泌機構の解明を目指す研究の一環である。アスコルビン酸はIV型コラーゲンがゼラチンフォームか3本らせんフォームの2つのフォームのいずれかを決定する因子であること報告してきた。その作用はコラーゲン修飾酵素の活性に影響することで間接的なものか、あるいはその他にあるのか厳密には分かっていない。アスコルビン酸の作用に干渉しうる薬剤があれば、作用機序を解析するよいツールになると期待される。このような研究は主に科学研究費補助金によって行っているが、本研究では生体内ゼラチンやそれ由来ペプチドを検出する方法を確立することにした。血液や尿中のゼラチン由来ペプチドの検出・定量法は、病態との関連を追跡する上で大変重要となる。

3本らせん構造を持たないIV型コラーゲンポリペプチド鎖にはユニークな糖鎖が付加される点で、3本らせんフォームの分子由来のポリペプチド鎖とは異なる。ゼラチンフォームに特異的なレクチンを用いることで両者を識別することは原理的に可能である。本研究では、3本らせんフォームを特異的に認識するモノクローナル抗体(JK132)とマッシュルームレクチンABAを用いたサンドウィッチELISAの検討をまず行った。しかし入手可能なレクチンでは、親和性に限界があり、特異的な検出は困難であることが分かった。ペプチド抗体の作成を行ったが、現在までに利用可能な抗体は得られていない。また3−ヒドロキシプロリンはこのゼラチンの細胞内での生成との関連が指摘されている。アミノ酸組成分析をHPLCおよびガスクロマトグラフィーを利用して検討してきたが、現時点では3−ヒドロキシプロリンの検出は可能になったので、ゼラチンの分析を行う予定である。

また、TOF-Massを用いた分析条件の検討も行った。ある程度の量があれば、コラーゲン由来ペプチドは分析可能であることがわかった。しかし、コラーゲンに固有の翻訳後修飾の情報を含んだデータベースが存在しないためにペプチドの同定は困難で、翻訳後修飾を受けたペプチドのデータベースの構築が必要である。一方3本らせん構造を持たないIV型コラーゲンポリペプチド鎖の翻訳後修飾についてレクチンABAで認識される糖の修飾があること以外には分かっていないので、さらに基礎的な研究が必要である。

以上のように本研究ではさまざま試みを行ったが、この期間には生体内ゼラチンの特異的な検出法を確立することはできなかった。JK132以外に利用可能な抗体の探索、アミノ酸分析による分析、質量分析法の検討などを引き続き行い、検出法を開発する予定である。

微粒子自己集合体をマスクとしたウエットプロセスによる固体基板の微細パターニング

応用化学科　講師　阿相英孝

近年，電子機器の軽量化・小型化に伴い，半導体関連技術は益々重要性を増し，ナノレベルでの構造制御が要求されている。本研究では，シリコンを始めとする半導体基板（GaAs，InPなど）あるいはアルミニウム，チタンなどの金属基板上に形成した微粒子の自己集合体をマスクとし，アノード酸化ならびに化学エッチング，無電解めっきなどの種々のウエットプロセスを利用することで基板表面の露出部における局所的な化学反応を制御し，構造転写に基づく微細パターニング法を確立することを目的とした。半導体あるいは金属基板上に作製したナノ・マイクロ規則構造体はバルク材料にない電子的，光学的，磁気的特性を示すため，それらを作製する加工技術は多様化しているが，ウエットプロセスとボトムアップテクノロジーの代表的な製造法として期待の高い自己組織化技術を併用することで，トップダウン技術のみでは実現が困難とされる高次構造を持つナノ・マイクロ規則構造体をより簡便に作製できると考えられる。特に本研究で意図する微粒子の自己組織化を応用した微細加工技術は，既存のリソグラフィー技術に比べて，パターンの多様性や加工精度には劣るものの，量産面，コスト面での利便性に加え広範囲における一括加工ができる特徴を持つ。構造転写プロセスにより表面幾何学形状を制御した各種固体基板は，種々の反応場あるいは触媒担体材料としての応用が可能であり，次世代の機能材料・デバイス開発を実現するキープロセスとして本研究課題の遂行は急務と考えた。図1に一例として，単結晶シリコン上に形成した微粒子自己集合体マスクを用い，下地シリコン基板に位置選択的な無電解めっきを行った結果を示す[1]。微粒子マスクに保護されたシリコン表面はめっきされずに残存し，その周囲の露出部でのみ選択的な金属析出反応が進行することでマスク形状を反映したハニカム状のメタル（銅）パターンが得られた。また，本研究課題を通じて得た知見・技術を基にシリコン表面へのメタルパターン形成以外にもシリコン[2]あるいはアルミニウム[3]の微細加工へ同プロセスの適用を検討した。本手法によれば，既存のリソグラフィー技術に比べ簡便なプロセスで大面積一括加工が可能であり，新規ナノ・マイクロ規則構造作製プロセスの一つとして応用可能性を示した。

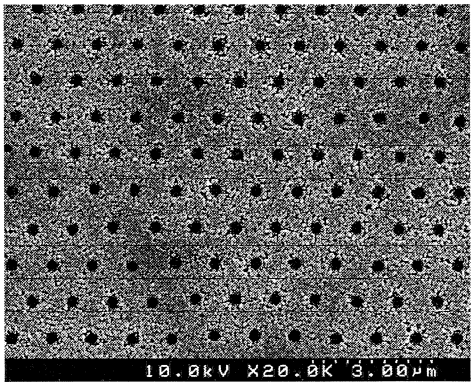


Figure 1　SEM image of Cu honeycomb pattern with 1 μm periodicity. Electroless plating was conducted in $CuSO_4$/HF for 15 min through a colloidal crystal mask.

(1) H. Asoh, S. Sakamoto and S. Ono: *J. Colloid and Interface Science*, **316** (2), 547-552 (2007)

(2) H. Asoh, F. Arai and S. Ono: *Electrochemistry Communications*, **9** (4), 535-539 (2007)

(3) H. Asoh, K. Nakamura and S. Ono: *Electrochimica Acta*, **53** (1), 83-86 (2007)

高分子のマテリアルリサイクルを意識したビスブタジエン系橋かけ剤の設計

応用化学科　講師
山口和男

１．緒言

合成高分子材料は、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリエステルなどの樹脂をそのまま使用する方法に加え、橋かけなどの高分子反応を利用してその樹脂単体では実現できない特殊な物性を付与する方法で実用に供される。不飽和ポリエステル樹脂、ガラス繊維などの補強材、スチレンモノマーを用いて橋かけ補強した複合材料であるFRP(Fiber Reinforced Plastic：繊維強化プラスチック)は、浴槽、小型船舶、自動車部品、建築材の分野で大量に使用されている。しかし使用後に廃材と化したFRPは処理が困難で、殆どが埋め立て材やセメント工場などの燃料に使われ、FRPの原料ポリマーへのリサイクルは不可能であるのが現状である。本研究では、FRPに使用される不飽和ポリマーの可逆的橋かけ反応が期待できる橋かけ剤としてビス型ジエン化合物を設計・合成し、マテリアルリサイクルを実現するための基礎的検討を行った。

２．実験

橋かけ剤としてのビス型ジエン化合物はWittig反応により合成した。再少量のDMF中、*p*-キシレンジクロリドとトリフェニルホスフィンとの反応からイリド中間体を合成した。これに3-フラルデヒドを無水エタノール中、ナトリウムメトキシド存在下で反応させることにより、1,4-ビス[2-(3-フリル)エテニル]ベンゼンを得た。FT-IR、^{1}H NMR及び融点測定により合成確認を行った。橋かけするポリマーとしては無水マレイン酸構造を有する不飽和ポリエステル樹脂を用い、合成した橋かけ剤と混合した。この混合物をDSC、TGを用いて反応性等の検討を行った。生成物の溶解性試験も行った。

３．結果と考察

本研究で合成した 1,4-ビス[2-(3-フリル)エテニル]ベンゼンの不飽和ポリエステル樹脂に対する反応性を検討した。アルミニウムセル中、不飽和ポリエステル樹脂及び橋かけ剤をDMFに溶解し、すぐに空気中、昇温速度5℃/minで約-6℃から40℃までDSCを測定した。その結果、16℃付近に大きな発熱ピークが観察された。このピークは室温(約25℃)で12時間反応後の生成物を測定した場合には全く見られなかった。また、原料樹脂はDMF、クロロホルムに易溶であったが、生成物の溶解試験を行った結果、溶解せずゲルを生成した。以上のことは、1,4-ビス[2-(3-フリル)エテニル]ベンゼンは室温で不飽和ポリエステル樹脂と容易に橋かけ反応することを意味する結果である。そして、橋かけ生成物のTG測定を行った結果、80℃付近より徐々に重量が減少する様子が観察された。また、橋かけ生成物をキシレン中、無水マレイン酸存在下還流し、薄層クロマトグラフィーで観察した結果、橋かけ剤と無水マレイン酸のアダクトを検出した。これらの事実は、脱橋かけ反応が起こったことを意味する結果である。可逆反応サイクル効率をさらに高めるため、橋かけ剤分子の改良を継続中である。

分散型電源間の協調運転を可能にするモバイルエージェントの研究

電気システム工学科　教授　荒井純一

電力自由化を背景にして、需要地に密接した独立型の小規模電力系統（マイクログリッド）の構成・運用が提唱されている。また再生可能エネルギー発電を主体とする分散電源の開発・導入が進んでおり、マイクログリッドの中に、今後種々の分散電源が接続されるようになると考える。

現在の分散電源は個々に制御しており、それらの間の協調は取られていない。分散電源が増えると何らかの協調制御が必要であるが、現行の大規模集中型を適用するのではなく、パソコンレベルの協調制御が望まれる。

そこで本研究では、TCP/IP 技術を活用したモバイルエージェントをマイクログリッドの運用制御に利用して、マイクログリッドを安定に制御する方法を検討した。

対象としたマイクログリッドは図１に示すもので、ノード数 6、送電線数 6 の規模である。ノード 1 に従来型の同期発電機 1500kW（GEN）、ノード 3 に 500kW の NAS 電池電力貯蔵装置（NAS）、ノード 4 に 500kW の燃料電池（FC）、そしてノード 2，5，6 は負荷とし、ここでは大系統と連系しない単独運転とする。各電源にはそれぞれ Java ベースのエージェントプラットフォームを置き、その上にエージェントマネジャ（AM）を置く。

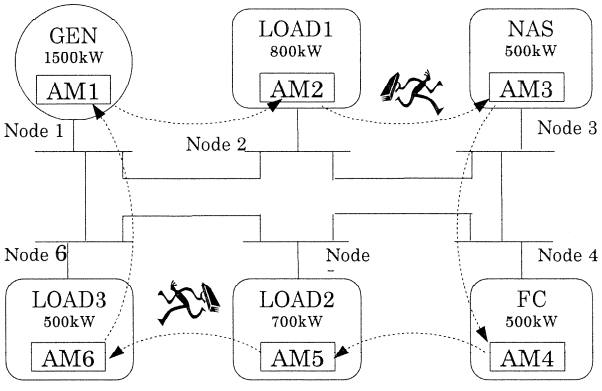


図１　マイクログリッドモデル

ここで考えた制御エージェントの役割は、まず各 AM を巡回してデータを収集し、次にすべての AM を巡回し終えたことを確認して制御指令値を決定、最後に AM を巡回して指令値を各分散電源に配信する。これを一連の動作とし、次の動作までエージェントは待機する。収集データとしては電源と負荷の全ノードの電圧、有効電力、無効電力、周波数であり、配信データは NAS および FC への有効電力、無効電力指令値である。実際に作成したエージェントでは制御対象を電圧に限定して、分散電源の無効電力を調整して各ノード電圧を所定値幅に維持することを考えた。

エージェントを活用するには、各機器の情報を定義し関連付けることが必要で、それを情報モデルとして設定した。その情報モデルはオブジェクト指向の考えに基づき電力システム上の各電力設備に関する情報と、それに対する手続き（メソッド）をモデル化した[(1)]。この情報モデルをエージェントとともにマイクログリッドに適応すると、その互換性や相互接続性の高さから、多種多様な分散電源の連系にも対応し得るシステム構築が可能となる。

本研究では将来のマイクログリッドを制御する方法として，モバイルエージェントを活用することで中央制御所等を必要としない柔軟な制御方式を提案した[(2)]。その情報モデルとして具備すべき項目をも示した。そして実際に複数台のパソコンを用いてエージェントシステムの動作を確認し、具体的なマイクログリッドを想定して運用制御としての妥当性を示した。

参考文献

（１）石川元久他、「モバイルエージェントを活用したマイクログリッドの運用制御に関する考察(１)- マイクログリッド向けシステムの構成-」平成 20 年電気学会全国大会，6-219

（２）山崎秀一郎他、「モバイルエージェントを活用したマイクログリッドの運用制御に関する考察(２)-情報モデルとシミュレーション結果-」平成 20 年電気学会全国大会，6-220

カウンセリングロボットの会話モデルに関する研究

情報デザイン学科　教授
椎塚　久雄

現代は悩みを持たない人はいないと言っても過言ではないほど、ストレスに溢れた社会である。ストレスの増加はうつ病や自殺につながることもあり、深刻な事態に発展させないためにも、大もとの原因であるストレスを軽減させる必要がある。身体を動かしたり、カラオケに行って歌をうたったり、人には様々なストレス発散方法がある中で、我々が考えるストレス発散方法は、友人、親、恋人など親しい人間に話を聴いてもらうことである。このような機会を持つことで、不安な気持ちが解消され、ストレスが軽減される。同様の経験がある方も多いのではないだろうか。また、うつや自殺の予防のために、専属カウンセラーが在中し、カウンセリングの機会を持っている企業や学校がある。そのカウンセラーも、最初にすることは傾聴をして患者の話を聴きだすことであり、患者によっては、傾聴のみでストレス軽減が図れることがある。このように“話を聴いてもらう”ことは、ストレス軽減に大きな効果を発揮する。誰かに話を聴いてもらいたいとき、カウンセリングに行くほど深刻ではないけれど、親しい人には話しにくい悩みがある場合がある。そこで、我々は“話を聴いてくれる存在が人間以外にいてもいいのではないか”と考え、話を聴いてくれるロボットに着目した。

現在も会話をするコミュニケーションロボットは多く存在する。しかし、愚痴や相談を聴いてもらうことによって、カウンセリング効果を得られるロボットは現在存在しない。人の悩みや愚痴を聴くことの出来るロボットの開発が必要とされている。本研究では、ストレスの軽減につながるようなロボットの会話モデルを考察する。コミュニケーションロボット「ifbot(ビジネスデザイン研究所)」を用いて会話モデルの開発を行うことを目的とする。

まず、第1段階では、親しい友人へのアンケートをもとに大学生の学校に関する悩みのシナリオを作成した。そのシナリオをロボットに出力し、ロボットとの会話による気分の変化を実験し、結果を分析した。その結果、ロボットとの会話により良好な気分プロフィールが得られたが問題点が生じた。

第2段階では、第1段階で生じた問題点を考慮してシナリオ作成段階から始めた。悩み・愚痴に関するアンケートは120人の学生に行い、その回答者から被験者を選ぶ。また、実験では第1段階では行わなかったアンケートを行い、POMSの結果を交えて考察していく

本研究に関連して次の学会発表を行った：

Tomoko Saito and Hisao Shiizuka：“*KANSEI* communication of conversation robot”, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2007(KEER2007), A-10, October 2007

ユビキタスネットワークにおける
次世代情報ストレージの信号処理方式に関する研究

情報通信工学科 准教授
斎藤 秀俊

本研究では、次世代の大容量ディジタルストレージシステムに対する信号処理方式を検討した。本研究における中心的なテーマは、多次元信号処理と線形予測を組み合わせた復号化方式、及び現行の512バイト長を超えるロングセクタ長（倍セクタ長となる1,024バイト以上を対象）を単位とする記録・誤り訂正符号化方式の検討にある。昨今の大容量ディジタルストレージシステムにおける磁気記録通信路では、非定常となる統計的性質を持つ媒体雑音や非線形歪、さらにはサーマルアスペリティなどの影響によるバーストエラーによる再生信号の劣化要因に対するディジタル信号処理方式の開発が求められている。そこで、本研究では、先に示した復号化方式と符号化方式について次のような検討を実施している。

まず、再生信号劣化の主要因として媒体雑音が支配的であることが知られているため、媒体雑音となる遷移雑音に対する対策が重要な問題として挙げられる。このため、遷移雑音成分をなす時間軸方向に対するジッタ性雑音、信号振幅方向に対する変動雑音などに対処できる信号処理方式は効果的な手段であると考えられる。よって、再生信号に含まれる遷移雑音の影響を除去するためには、統計的推定法に基づく復号化方式が有効であると判断し、第一方式はEMアルゴリズムを、第二方式は多変量ARモデルを、それぞれ事後確率に基づく信号の尤度推定の判定法として利用する復号化方式として提案する。そして、それぞれの方式が誤り率特性の改善に有効的な方式であることをシミュレーションにより明らかとしている。

次に、磁気記録通信路で発生するバーストエラーに対して、バースト誤り訂正符号による誤り検出・訂正を考案し、一定の長さの範囲に分布する連続誤りを補償できる符号化方式を提案している。このバースト誤り訂正符号化方式は、近年に様々な通信分野で広く実用化が進められる優れたランダム誤り訂正能力を持つ低密度パリティチェック符号化方式と組合せることで、ランダム誤りとバースト誤りの存在する混合誤りに対応できる符号化方式となっている。さらに、この符号化方式では、元の2進シンボル符号から多値シンボルの符号へ拡張することで、ロングセクタ長の記録方式にも柔軟に利用できる。

これらの成果は以下の国際会議や論文等で公表している。

1) H. Saito, et al., 17pA-04, The 8-th Perpendicular Magnetic Recording Conference (PMRC2007), Tokyo, Japan, Oct. 15-17 2007 (Invited).

2) H. Saito, et al., *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, no. 1, pp.228-233, Jan. 2008.

建物の長寿命化に関する調査研究

工学部建築学科教授
吉田 倬郎

我が国の建物の寿命は、現在、欧米先進諸国のそれに比べ、格段に短い。その背景には、第２次世界大戦以降、戦後復興期や高度経済成長期に建てられた建物は、その後のニーズに適応できないものが多く、やがてスクラップ＆ビルドの対象となってしまったことも、その有力な理由であった。また、我が国の経済成長が、それを可能にしてきた。それまで高度成長を続けてきた我が国の経済も、いわゆるバブル崩壊以降安定期に入り、また、資源を大量に使用して造られる建物の安易な建て替えは地球環境保全の観点から問題があることへの認識が高まる中で、建物の長寿命化は今日の建築分野における重要な課題の一つとなっている。

本研究は、近年取り壊された建物について、その取り壊された理由を調査し、その分析によって、建物の長寿命化を推進する手掛かりを得ようとするものである。また、同様の調査を１９９１年に実施しており、それとの比較も行っている。

本研究の成果は、以下のとおりである。2007 年調査の取壊し建物の平均寿命は 1991 年調査と比べて 10 年ほど長くなっている。また、取壊し理由の回答数上位 5 つでも、「建物の「使い道」がなくなった」が全体および主要因の回答数の 1 番目に多く、1991 年調査と様子が異なる。これには経済動向の変化が影響していると考えられる。取壊し理由と建物概要の関係においては、所在地は都心に近付くほど、「社会環境の変化」の割合が大きくなる傾向にある。都心に近いほど社会環境の変化が早く、建物もそれに影響されやすいと考えられる。寿命では、1991 年調査は建物が古くなるほど「老朽化陳腐化」が増大する傾向にあったが、2007 年調査ではそれが見られない。また、【寿命／法定耐用年数】比の平均に関係なく「存在自体」による取壊しがみられる。「老朽化陳腐化」による取壊しは、償却年数未満で取壊される傾向にあり、「存在自体」による取壊しは、償却年数に関係なく取壊される傾向にあった。一方で、「社会環境の変化」による取壊しの時期は【寿命／法定耐用年数】比が１の近くが多かったのは、興味深い点である。

これらの成果は、建物の資産価値の現状の一面として見ることができ、耐用性に関わる要因としても示唆に富むものとなっている。また、建物の計画および設計、運用に適切に反映され、その寿命を延ばし、健全に使用されることに繋がるものとなるよう、今後の展開を図りたい。

コンバージョンが生成する文化施設の空間的特質に関する研究

建築都市デザイン学科　教授
澤岡　清秀

[研究目的]

21世紀に入ってから、古い建物を取り壊して建て替えるのでなく、改修して場合によっては用途変更や大規模な用途の拡張を行い、新しい建築として再生する「コンバージョン」の手法が、新しい建築表現を可能にするものとして着目されている。本研究では特に美術館や劇場など広く一般の人々に開放される文化施設において、コンバージョンがどのような新しい空間的特質を与えうるかを考察することを目的とした。

[研究対象と方法]

ロンドン、リヨン、ベルリンという英仏独の代表的な3つの大都市を選び、特に近年話題になっている下記の3つの作品を中心に、文献を収集し、実地調査を行い、古い建築物のどの部分を残し、どの部分に新しい要素を付加したのかを確認し、その結果生まれた新しい実体の中で新旧がどのようなバランスを保って共存しているのかを調べた。

[テイト・モダン美術館(Tate Modern Museum)ロンドン]

元々の建物は、1947 年建設のバンクサイド火力発電所(サー・ギルバート・スコット設計)であった。テムズ川に面して立ち、中央に高い塔をもつ大型の発電所であったが、ロンドン市の電力供給が火力発電に依存しなくなった結果、1981 年に発電所としての機能を停止した。その後しばらく建物は、ロンドンのサウスバンクを特徴づけるシンボルとして残存していたが、1994 年にテイト・ギャラリーが新しい現代美術を展示するための新美術館としてこの建物をコンバージョンすることを決定し、国際コンペの末、スイスの建築家ヘルツォーク・アンド・ドムーロンの案が採用された。その一番の特色は旧発電所のタービンを収容していた数層にわたる吹き抜けの大空間を、その空間のスケールをそのまま活用して、どんな巨大な作品でも展示可能な場所として再利用すると同時に、数層にわたる川沿いのギャラリー階を上下に視覚的に結ぶパブリックスペースとしても活用することであった。これはかつて見たことのない巨大な展示空間であり、シーズン毎に展示内容を一新するたびに、「改修」といってもよいほどの工事を伴い、多くの市民に多様な現代美術を提供していて、その一見工場を思わせる内部空間はコンバージョンでなければ獲得できないものであった。

[リヨン歌劇場(Lyon Opera House)リヨン]

1830 年に建てられた元々の歌劇場(シュナヴァール、ポレ設計)を、リヨン市は先進的な舞台機構を備えた一流の歌劇場として再生すべく、大改修を行うことを決定した。設計者に選ばれたジャン・ヌーベルの設計は、シュナヴァールの建物の外観壁面と足元周りの回廊、さらに2階のグランドホワイエの内装を保存しながら、内部は完全に刳り貫いてしまってそこに地下3層地上8層の全く新しい建物をはめ込むという大胆なものである。結果、全体の高さは元の建物の2倍近くに達し、既存の回廊ファサードの中からヴォールト状の大屋根が突き出した形をとっている。しかしヴォールトの端部のガラスサッシを保存した回廊のリズムに合わせるなど細かい気配りが見られ、広場に面した回廊が保存されたことで、都市と

の接点は以前と変わらず、新旧が大胆に併置された姿は、21 世紀にふさわしい都市のシンボルとなりえていることがわかった。

[ドイツ連邦議事堂(Reighstag)ベルリン]

元々は 1894 年に旧ドイツ帝国の議事堂として建設された(ポール・ワロット設計)建物だが、その後二度の世界大戦の間にワイマール共和国の議事堂として使用され、さらにナチス・ドイツ支配のもとに置かれた。第二次大戦で空爆を受けて半壊し、戦後は東ドイツによって再建されたが、1990 年の東西ドイツ再統一のあと、その去就が注目されたが、結局ドイツ政府はこの複雑な1世紀の歴史の刻まれた建物を、新生ドイツの最先端の議事堂としてコンバージョンすることを決定し、国際コンペによって英国のノーマン・フォスターを設計者に選んだ。フォスターの最終案は議事堂の直上にガラスのドームを架けて光を取り入れるだけでなく、ドームの壁面に沿ってスパイラル状にスロープを設けて、市民が自由に昇り降りできる空間をつくり、政治の舞台を市民が文字通り上から眺めおろすことのできるという大胆な構築物に仕上がっている。世界中から集まった観光客によって賑わうこの屋上のガラスドームの中を歩いていると、「開かれた議会」という概念がまさに現実のものとなって実現していることに驚きを禁じ得なかった。

[まとめ]

以上3例では、いずれも既存の建物の最も特徴的な空間を設計者が明確に識別して、それを大胆な発想のもとに新しい時代の要請に応える空間に変貌させることに成功していると考えられる。歴史的建築物の特質を正確に読み取る能力と、それを変えていくアイデアがあれば、新旧は見事にバランスして調和のとれた新しい建物として再生されることがわかった。

アンシアン・レジーム期における
ソフト・パワーとしての王権建築とその様式伝播

工学部建築学科　准教授
中島　智章

研究背景

建築は、文化、日常風俗、あるいは大きな事件の記憶と密接に結び付いているという意味で、そして、人々の様々な活動が常に関わる場ゆえにその共通の記憶を最もよく体現するものとして、人類の生活に不可欠かつ後世に伝えるべき貴重な資源であるといえる。

筆者はこれまで、17世紀フランスという近代へと流れこむ歴史の中で重要な役を果たした国と時代の、特にそのメインプレイヤーたる王権の建築のあり方を問い、現在の建築を取巻く状況をふまえつつ、建築というジャンル＝建築文化資源の持つ意義を明らかにすることをめざした。

しかし、一方では、ある社会の反映として現れた建築のあり方がひとつの「様式」として結実し、それ自体が絶大な「ソフト・パワー」となって、その「様式」を生んだ社会とは異なる性質を持つ社会に根付いていくという側面も見逃すべきではないと考える。

たとえば、17世紀のフランス建築がルネサンス様式からバロック様式へと変貌を遂げていった背景には、絶対王政下における王権の強化が非常に重要な要素として挙げられるが、それだけではなく、当時の文化的先進地域であったイタリアのバロック様式がフランスにとって無視しえない強大なソフト・パワーとして作用した側面もある。

研究目的・方法

バロックの舞台芸術は16世紀末のフィレンツェ宮廷に直接の源を持つ。そこでは、テラリの手法により、舞台上には様々な場面が再現可能となり、特に手の込んだものとしては神殿や宮殿の場面における建築表現が挙げられる。木材や布といった軽やかな材料の使用により、舞台の上の建築は「恒久的」な石の建築に先駆けてバロック建築の理想を人々の目の前に現出してみせた。人々は五感で直接感じられる事象のみを重視し、そして、それすらも現実ではなく仮象のイメージではないかというバロック時代の意識が建築の形で最も明瞭に現れたのが「つかのまの」舞台の上の建築だった。

本研究では、17世紀フランスにイタリアの舞台芸術を導入し定着させたヴィガラーニ親子のテュイルリー宮殿付属劇場の舞台建築を取り上げ、それがいかにフランスに導入され、当時のスペクタクルのあり方とどのような関係を持っていたのかを示した。

研究成果

1)「カルロ・ヴィガラーニによるテュイルリー宮殿付属劇場の舞台建築のリサイクル」
『日本建築学会学術講演梗概集』F-2建築歴史・意匠、pp. 243-244、2007年8月
2)「バロック建築のリサイクル－カルロ・ヴィガラーニの舞台建築－」
『日仏工業技術』Tome 53 No.1、pp.46-50、2007年7月
3)『図説ヴェルサイユ宮殿－太陽王ルイ14世とブルボン王朝の建築遺産』
河出書房新社、東京、2008年

工学院大学総合研究所年報　No.15　2007年度

発　行　　2008年７月
発行者　　工学院大学総合研究所
〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2
TEL（03）3340-3440（ダイヤルイン）
編　集　　工学院大学総合研究所
印　刷　　三陽工業株式会社