

武藏工業大学
総合研究所 紀要

第4号

平成20年5月
武藏工業大学・総合研究所

はじめに

武蔵工業大学総合研究所は、主としてプロジェクト研究を強力かつ効率的に推進し、社会のニーズに迅速に対応するために組織され、2004年4月に発足し、丸4年を経過した。当初、平成16年度に文部科学省から選定された2つのプロジェクト研究機構、すなわち、学術フロンティアである「エネルギー環境科学研究センター」と、ハイテクリサーチセンターの一つである「シリコンナノ科学研究センター」の2部門が中心となって研究活動を推進してきたが、2007年度に以下の大きな組織変更を行った。

まず、工学部所属であった「水素エネルギー研究センター」が総合研究所の第3の研究センターとなり、従来から高い評価を受けている水素エンジン・自動車の開発と、燃料電池の開発を一段と加速する体制とした。また、全学の共同利用施設である「機器分析室」を総合研究所の所属とし、全学的な研究支援を行う体制を強化した。さらに、2007年9月より、本学における研究活動の一段の活性化を目指した全学的活動として、「重点先行研究」プログラムが発足した。このプログラムは、全学委員会である「研究委員会」が全学的に研究提案を募集し、審査に合格したテーマを総合研究所での先行研究として実施するもので、その研究代表者は研究期間（3年）内は総合研究所の所属となって、通常業務を軽減して研究に集中してもらう制度であり、中村英夫学長の強い指導の元で実現したものである。本年度は3件のテーマが採択され、2007年9月より研究がスタートしている。その研究内容に関しては本紀要に概要が掲載されている。

「エネルギー環境科学研究センター」は、地球環境調和型エネルギーの技術開発、特に地球環境に対する負荷を低減できる燃料電池を主な研究対象として研究活動を行っている。小規模発電装置および自動車用電源を開発することを目標に、世界的な研究実績がある、小型で低温動作可能な高分子電解質膜に関する技術を一段と高め、実用に供せられる高性能燃料電池の作製を目指している。

「シリコンナノ科学研究センター」は、半導体の基幹材料であるシリコンのナノ科学に関する研究を実施している。エレクトロニクスの中心をなす半導体デバイスの一層の性能向上と、新しい機能を有するデバイスを実現するには、シリコンを中心とする半導体材料およびデバイスのナノ科学の研究開発が必須であるとの認識のもと、ナノ領域のシリコン系材料作製と評価、ナノデバイスの開発、デバイス集積回路設計技術の開発などを行っている。

なお、これら2つの研究プロジェクトは5年の时限があり、2008年3月を持って終了した。そこで、両研究センターを今後どのように運営するかについて検討するため、まず、外部の有識者による外部評価を実施した。その結果、両プロジェクトとも、高い評価を得、研究の継続を奨励された。この結果をふまえ、「エネルギー環境科学研究センター」はテーマを絞り込んで、新たな学術フロンティア事業として、また「シリコンナノ科学研究センター」は研究の継続申請を文部科学省に申請することを、全学委員会である「研究委員会」で決定し、申請の準備を進めているところである。

本書は、この1年間の総合研究所の活動状況をまとめたものであり、本学における研究拠点としての研究および教育活動状況を、主要成果を中心に示すものである。

2008年5月

武蔵工業大学・総合研究所

所長 白木 靖寛

総合研究所構成員

所長 特任教授 白木 靖寛
特任教授 星谷 勝

シリコンナノ科学研究センター

センター長	白木 靖寛	兼務	(半導体工学)
教授	丸泉 琢也	[工学部]兼務	(半導体工学)
教授	田口 亮	[工学部]兼務	(信号処理)
教授	秋谷 昌宏	[工学部]兼務	(集積回路)
教授	堀田 正生	[工学部]兼務	(集積回路)
教授	宮内 新	[工学部]兼務	(集積回路)
准教授	野平 博司	[工学部]兼務	(電子物性)
准教授	鳥居 肇	[工学部]兼務	(マイクロマシン)
准教授	平田 孝道	[工学部]兼務	(集積回路)
講師	瀬戸 謙修	[工学部]兼務	(集積回路)
客員教授	服部 健雄	[武藏工大・名誉教授]	(電子物性)
客員教授	中川 清和	[山梨大・教授]	(半導体工学)
助手	マクシム ミロフ		(半導体工学)
助手	澤野憲太郎		(半導体工学)
研究員	夏 金松		(半導体工学)
技術員	田口 貞憲	[工学部]兼務	
技術員	大竹 省自		

エネルギー環境科学研究センター

センター長	教授 永井 正幸	[工学部]兼務	(無機材料化学)
	教授 鳥山 保	[工学部]兼務	(材料分析・計測)
	教授 小林 光一	[工学部]兼務	(有機材料化学)
	教授 鎌木 裕	[工学部]兼務	(炭素材料化学)
	教授 宗像 文男	[工学部]兼務	(固体化学)
	教授 吉崎 真司	[環境情報学部]兼務	(環境緑化工学)
准教授	山根 公高	[工学部]兼務	(エネルギーシステム)
准教授	江原 由泰	[工学部]兼務	(電子化学)
准教授	高橋 政志	[工学部]兼務	(有機材料化学)

講師	梅村 和夫	[工学部] 兼務	(生物物理学)
助手	高 彦峰		(無機合成化学)
研究員	鈴木 智史		(無機材料化学)
研究員	姜 海青		(無機材料学)
共同研究者	古谷 健司	[セイミケミカル(株)・課長]	(材料プロセッシング)
共同研究者	岡田 達弘	[産業技術総合研究所・主任研究員]	(電気化学)
共同研究者	河本 邦仁	[名古屋大・教授]	(固体材料学・無機反応化学)
共同研究者	小栗 慶之	[東工大・准教授]	(イオンビーム応用工学)
共同研究者	和田 雄二	[大阪大・准教授]	(光化学・ナノ機能材料化学)
共同研究者	宮下 徳治	[東北大・教授]	(高分子ナノ材料学)
共同研究者	大谷 朝男	[群馬大・教授]	(材料設計化学)
共同研究者	豊田 昌宏	[大分大・教授]	(無機材料化学)
共同研究者	宮坂 力	[桐蔭横浜大・教授]	(光化学)

水素エネルギー研究センター

教授	高木 靖雄	[工学部] 兼務	(エネルギーシステム)
教授	永井 正幸	[工学部] 兼務	(無機材料化学)
教授	鈴木 勝正	[工学部] 兼務	(流体制御)
教授	百目鬼英雄	[工学部] 兼務	(パワーエレクトロニクス)
准教授	和多田雅哉	[工学部] 兼務	(パワーエレクトロニクス)
准教授	鳥居 肇	[工学部] 兼務	(パワーエレクトロニクス)
准教授	瀧口 雅章	[工学部] 兼務	(エンジントライボロジ)
准教授	山根 公高	[工学部] 兼務	(エネルギーシステム)
技士補	中川 研司	[工学部] 兼務	(エネルギーシステム)

重点先行研究室

准教授	瀧口 雅章	[工学部] 兼務
准教授	山根 公高	[工学部] 兼務
客員教授	松原 洋一	[元日本大学・教授]
研究員	大久保健司	[(株) 鈴木商館・副事業部長]
教授	西村 功	[工学部] 兼務

機器分析室

准教授	吉田 明	(分析科学)
技士	新藤 恵美	(化学研磨)
技術員	浜村 尚樹	(プラズマ科学)

共同研究支援室

インフラテック研究室

特任教授 星谷 勝 (地震防災工学)
客員研究員 山本 欣弥 (地震防災工学)

事務室 事務員 鈴木栄里 国際産官学連携室

目 次

1. 平成19年度 活動報告	1
2. 平成19年度 研究概要	
シリコンナノ科学研究センター	3
シミュレーションによる量子・ナノデバイスの研究	
丸泉 琢也	
画像・映像信号の質改善処理の開発とFPGA実装	
田口 亮	
超薄膜においてセンサの研究	
秋谷 昌宏 平田 孝道	
X線光電子分光法による量子・ナノデバイスの研究	
野平 博司	
ナノ・マイクロマシンの製作	
鳥居 肅	
上位レベルからのシステムLSI設計支援技術	
瀬戸 謙修	
歪みSi/Ge系半導体ヘテロ構造の電気伝導特性と デバイス応用	
澤野憲太郎	
Resonant Light emission from Ge dots in optical microcavities for current-injected silicon-based light-emitting devices	
夏 金松	
エネルギー環境科学研究センター	15
可視光応答型イオンドープTiO ₂ の作製と評価	
永井 正幸	
波長分散型粒子線誘起X線分光(WD-PIXE)による 燃料電池中の硫黄の分析(II)	
鳥山 保	
電気泳動法を用いた色素増感太陽電池用TiO ₂ 電極の 作製条件の検討	
小林 光一	
機能性炭素材料の調整と評価	
鏑木 裕	
光触媒反応を用いた有用物質の合成に関する研究	
宗像 文男	

環境負荷低減システムの研究

江原 由泰

Nanostructured crystals:synthesis in solution
and application

高 彦峰

燃料電池用有機無機ハイブリッド電解質膜の開発と
評価

鈴木 智史

Preparations of BiVO₄-based semiconductor
composite photocatalysts

姜 海青

水素エネルギー研究室 ······ 27

固体高分子形燃料電池の凍結起動繰り返しによる
性能劣化特性解明研究

高木 靖雄

重点先行研究室 ······ 31

ピストントライボロジー研究用世界基準エンジンの
研究開発

瀧口 雅章

第一段パルス管冷凍機の実験

山根 公高

Post buckling stability of shear bending columns
with moving boundary conditions

西村 功

機器分析室 ······ 37

機器分析による物質のキャラクタリゼーション

吉田 明
新藤 恵美
浜村 尚樹共同研究支援
インフラテック研究室 ······ 41

PML指標を用いた上水道システムの地震リスク評価

星谷 勝
山本 欣弥

3. 研究論文

シリコンナノ科学研究中心	49
エネルギー環境科学研究中心	161
水素エネルギー研究中心	233
重点先行研究室	243
機器分析室	273
インフラテック研究室	301

総合研究所 平成19年度活動報告

月	日	活動内容
4	12	第33回所内会議
	18	総合研究所説明会(学生対象)
5	14	第9回運営委員会
	17	第10回総研セミナー
	18	第34回所内会議
	31	総合研究所紀要－第3号－発行
6	14	第35回所内会議
	21	第11回総研セミナー
7	6	消防署立入検査
	18	第36回所内会議
	19	第12回総研セミナー
9	1	「重点先行研究プロジェクト」研究開始
	10	第10回運営委員会
	20	既存棟外壁塗装工事及び外付け配管設備取替工事完了
	27	第37回所内会議
10	18	第13回総研セミナー
	12	第38回所内会議
11	15	第39回所内会議
	19	第11回運営委員会
	29	第14回総研セミナー
12	19	防災訓練
1	10	第40回所内会議
	17	第15回総研セミナー
	21	第12回運営委員会
2	7	第41回所内会議
	19	防鳥マット設置工事完了
	25	第13回運営委員会
3	11	学術フロンティアシンポジウム開催 (第16回総研セミナー)
	13	第42回所内会議
	24	既存棟3階トイレ改修工事完了
	26	放送設備新設工事完了

平成 19 年度 研究概要

シリコンナノ科学研究中心

シリコンナノ科学研究センター

シリコンナノ科学研究センターは、総合研究所創設の1年前にスタートした文部科学省の支援によるハイテクリサーチセンターを具体化して2004年4月に発足したものであり、これまで文部科学省の特別推進研究や特定領域研究として実施してきた、半導体界面の研究および新IV族半導体の研究や、企業との共同研究の実績を発展させ、半導体の基幹材料であるシリコンのナノ科学に関する研究を実施している。

さて、エレクトロニクスの中心をなす半導体デバイス、特にシリコン高集積化回路(VLSI)の加工は、すでにナノメーターの領域に入っているが、今後一層の性能向上を実現し、さらに新しい機能を有するデバイスを開発するには、シリコンを中心とする半導体材料およびデバイスのナノ科学の研究開発が必須である。現在、最小加工寸法が50nm以下となるデバイスの研究開発が進められているが、その開発過程は決して平坦ではなく、多くの物理的限界が立ちふさがってきている。これを解決するためには、ナノ科学に立脚した研究開発が鍵となる。本研究センターは、このシリコンナノ科学に関する実験的理論的研究と教育を行うために整備され、学内はもとより学外にも広く供用される施設である。具体的には、クリーンルームを主体とする約500m²の研究室が整備され、電子線描画装置やイオン打込み装置などの加工プロセス装置、分子線エピタキシー装置などの結晶成長装置、高分解X線回折装置や原子間力顕微鏡などの評価装置を備えている。

本研究センターでは、本学の教員はもとより、大学院生を主体とする学生が研究に従事している。また学外との共同研究も活発に行っており、山梨大学、慶應義塾大学、東京大学、東北大学と研究交流を積極的に実施している。また、企業との共同研究も実施中である。

主要な研究テーマは以下に示すとおりであるが、いずれもシリコンナノ科学を基盤にした研究である。

- * シリコン系ナノ構造の作製と物性評価に関する研究
- * シリコン系ナノデバイスの開発
- * シリコン系デバイスの低消費電力化の研究
- * SiGe系デバイスの超高速化と光配線に関する研究
- * マルチメディア用LSIの設計技術の開発
- * 信号処理、センサー応用LSIの設計と開発
- * ナノ・マイクロマシンの開発

さて、本研究センターは2008年3月末をもってハイテクリサーチセンターとしての期限を迎えたため、著名な研究者に評価委員をお願いして、外部評価を実施した。その結果、研究成果に対して高い評価を得ることが出来るとともに、今後とも研究を発展させ、組織を継続することを奨励された。この評価結果を受け、現在、ハイテクリサーチセンターとしてさらに継続することを文部科学省に申請することとし、準備を行っている。

2008年5月

シリコンナノ科学研究センター

センター長 白木 靖寛

1. はじめに

シリコンナノ科学研究中心では、IV族半導体ヘテロ構造を利用する量子・ナノデバイスの研究開発を進めている。本研究では、材料、プロセス、デバイスの各階層にわたるシミュレーション技術を活用し、これら量子・ナノデバイスの開発を支援、加速する事を目的としている。具体的テーマとしては、第一原理計算によるSTM/STS(Scanning Tunneling Microscopy/Scanning Tunneling Spectroscopy)シミュレーション、高誘電率ゲート絶縁膜の熱安定性解析、シリコン・絶縁膜界面の構造、安定性解析など、また、結晶塑性解析によるナノスケールMOSの応力・転位分布解析など多岐にわたる。本報告では、昨年度研究成果のあがったシリコン・絶縁膜界面に関するNBTI(Negative Bias Temperature Instability)機構の解析について報告する。

2. NBTIの微視的モデル

NBTI信頼性は、CMOSを構成するp型MOSを120°C程度の高温でゲート負バイアス電圧を印加した状態に保持すると、シリコン/絶縁膜界面に界面準位が生成し、絶縁膜中に同量の正固定電荷が発生する現象である。界面準位と固定電荷の生成に関しては、界面での欠陥を終端していた水素原子が、ストレス印加により界面より脱離する事で起こると考えられている。但し、脱離する水素が中性であるか、正に帯電したプロトンとして脱離するかに関しては明確ではなかった。そこで、図1に示すシリコン/酸化膜界面の大規模クラスタモデルを用い、界面を終端している水素原子の脱離反応のポテンシャルエネルギー面を第一原理計算により解析した。図2に示したポテンシャル図より明らかな通り、反応の途中段階がプロトン、つまり電子スピニンが対を作った状態の解析に対応するRHF(Restricted Hartree-Fock)解は、途中段階が水素原子、つまり電子スピニンが対を作らず、スピニ分極した状態にある場合の解析に相当するUHF(Unrestricted Hartree-Fock)解に比べて不安定である結果となり、電荷移動のキャリヤはプロトンではなく、ホールである事を明らかに出来た。

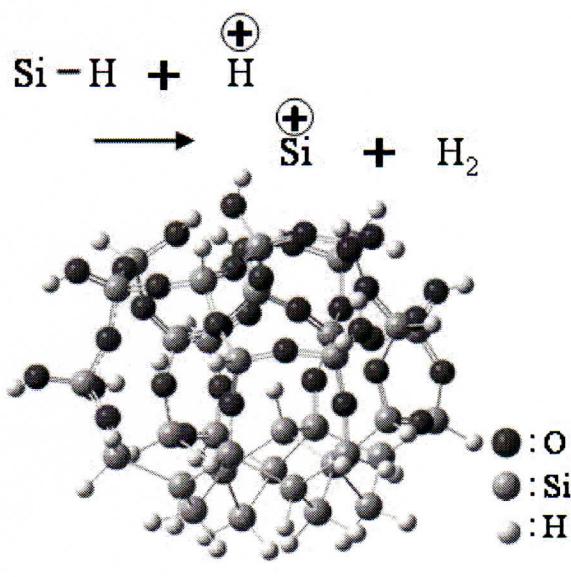


図1 界面水素脱離反応と解析に用いた
 $\text{Si}_{34}\text{O}_{38}\text{H}_{43}$ クラスタモデル.

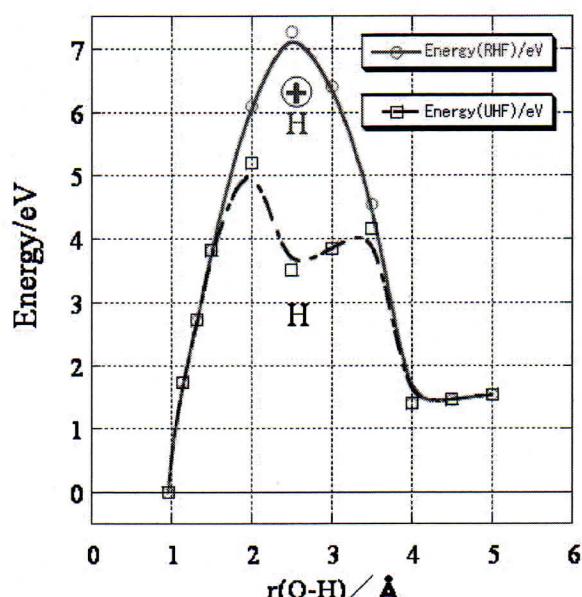


図2 水素脱離反応のポテンシャルエネルギー
曲面：UHF 解が RHF 解より安定。

3. 今後の進めかた

本研究では、Si/SiO₂界面を対象にして、物質移動を伴う電荷移動現象を解析した。今後は、窒素原子が導入された界面やHfO₂などの高誘電率膜界面での電荷移動の現象と欠陥生成機構の解析を進めてゆく。

4. 関連研究成果

- 1) “MOSデバイスのハードエラーとその微視的描像”(招待講演) 丸泉琢也、牛尾二郎、白木靖寛、第68回応用物理学術講演会シンポジウム“先端LSIに与える放射線の影響”ソフトエラーとハードエラー“(講演番号 6p-ZE-80)講演予稿集 No.0、p98 (2007).
- 2) “Transfer of a Positive Fixed Charge between Si and SiO₂ in Si/SiO₂ Interface with Hydrogen Migration”, J. Ushio and T. Maruizumi, ECS Transactions, Volume 6, Issue 3, Silicon Nitride, Silicon Dioxide, and Emerging Dielectrics 9, pp 27-42 (2007)

画像・映像信号の質改善処理の開発と FPGA 実装

工学部・生体医工学科 田口 亮

地上デジタルTVへの切り替えが迫り、また、映画・ドラマ・コンサート等が録画されたDVDの市販状況は相変わらず高い活気を呈している。既に、身近な映像は全てと言っても良い程度に MPEG 標準符号化方式による映像となっている。また、フラットパネルディスプレイの普及も進み、ハイビジョンサイズでかつ高ビット長、高フレームレートが常識となりつつある。これら社会的ニーズに応える映像信号処理アルゴリズムの構築と FPGA への実装を、我々研究グループでは一貫して行ってきた。

MPEG 映像に対する映像処理エンジンのための処理として、以下のアルゴリズムの提案と FPGA(Xilinx 社製 Virtex II)実装を行った。

I -① 輝度信号に対するブロック歪み、モスキート雑音の除去処理

I -② 色差信号に対するサイズを変化させるフォーマット変換による劣化を低減させる処理

I -③ 色差信号に処理を加えることによる表示可能性を考慮した彩度強調処理

MPEG 映像に対する処理の特殊性は、RGB 色空間ではなく、 YC_bC_r 色空間上で処理を行うところにある。この際、問題となるのが、処理結果が表示可能な空間に存在しているかを陽にチェックすることが困難な点である。一方、人間の視覚特性を反映させた処理が構築できるメリットもある。I -③の研究において YC_bC_r 色空間上で表示可能性をチェックすることを実現し、 YC_bC_r 色空間上での処理の弊害を回避した。

ハイビジョンの普及と、高ビット長、高フレームレートを要求するフラットパネルディスプレイの普及に対する信号処理アルゴリズムの開発と一部アルゴリズムの FPGA 実装も研究の柱であった。主な成果を以下に挙げる。

II -① ラプラシアンピラミッド階層表現に基づくディジタル画像拡大法の提案と FPGA 実装

II -② ビット長伸長処理の提案

II -③ 可変ブロックサイズ動き補償に基づくフレームレート向上法の提案

II -①に関しては、2 倍拡大に限定し、FPGA 実装を行い、多くの機会でデモ発表を行ってきた。現在は、任意倍率拡大に対するハードウェア化にもメドがたち、さらに、共同研究企業との間では、画像処理エンジン(LSI)に本アルゴリズムの搭載がほぼ決定している。

II -②では、階調数を約 3 倍にする処理を与えた。現在普及しているフラットパネルディスプレイ等では RGB に対して、全て 10 ビット以上の表示能力があるものの、画像・映像信号は 8 ビットで取り扱われていることから、8 ビット信号を 10 ビット以上に引き伸ばす処理が必要であり、提案法を複数回繰り返し適用することで、そのことが実現される。

II -③の研究は、フレームレートを 2 倍にする処理を与えるもので、伝送の際にフレームレートを落としてしまった映像の復元や、フラットパネルディスプレイ仕様に対応するフレームレートを実現可能とした。

画像・映像処理は社会的ニーズも高いが、また、そこに投入されている技術者の数も尋常ではない。主力となる画像・映像に係わる製品に提案アルゴリズムが導入される努力と、独自の映像処理エンジンの構築を図ることが今後の課題となろう。

超薄膜においてセンサの研究

工学部生体医工学科
秋谷昌宏 平田孝道

1. はじめに

将来有望なバイオ・ナノセンサとして開発を進めている、有機超薄膜の一種であるLB膜を用いたにおいてセンサ、並びに無機超薄膜であるカーボンナノチューブを用いたにおいてセンサ研究の進捗状況を報告する。

2. LB膜を用いたにおいてセンサ

水晶振動子全面に DOABr-PVSK ポリイオンコンプレックスを構成する LB 膜を堆積して Q CMによるにおいてセンサを試作した。次に、においてセンサが封入されているガラスチャンバー内ににおいて物質を注入して LB 膜の吸着、脱離現象における水晶振動子の最大周波数変化と応答時間をパラメータとして測定を行った。その結果、において物質の沸点と応答時間の相関性並びに、において物質の分子量と周波数変化の相関性 (Fig. 1) が確認され、分子量センサとしても応用が可能であることを見出した。

3. カーボンナノチューブを用いたにおいてセンサ

カーボンナノチューブ／ポリマー複合体を用いたにおいてセンサの試作及びその特性評価を行った。実験に使用したにおいてセンサは、櫛型 A u 薄膜電極を真空蒸着したガラスプレート上に、ポリエチレンゴルコール(PEG)をグラフト処理した単層カーボンナノチューブ(PEG-SWNTs)と導電性高分子ポリマーであるポリアニリンを混合したものをスピンドルにより分散・塗布したものである。また、電極間のインピーダンス(主に、抵抗成分)測定は、ガスセンサを設置した真空容器内を一定時間真空排気した後、測定対象となる溶媒を気化器を用いて注入・加熱・気化させて行った。エタノール及びアセトンの場合における導入量依存性の結果をFig. 2に示す。抵抗値変化 ΔR (オフセット抵抗値からの差)は、矢印で示すように導入量が増えるにつれて増加し、応答時間 Δt (において導入時から最大抵抗値変化量に達する時間)は減少する傾向が得られた。分子構造、分子量、沸点等の相違に起因した ΔR 及び Δt の違いにより、において物質の判別が可能であることが判明した。

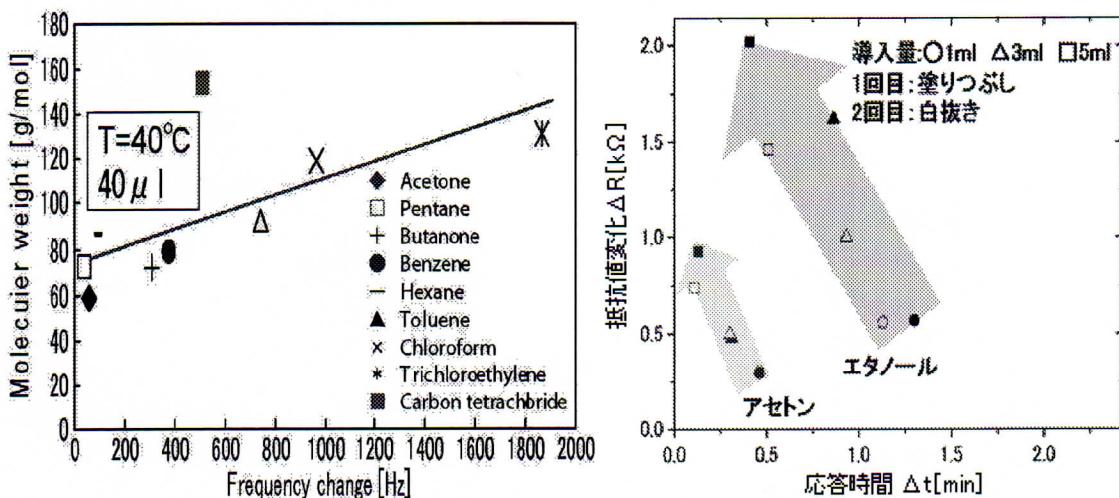


Fig.1 において物質の分子量に対する周波数変化

Fig.2 エタノール及びアセトンの導入量依存性

X線光電子分光法による量子・ナノデバイスの研究

工学部電気電子工学科

量子・ナノデバイス研究室 野平博司

1. はじめに

シリコンナノ科学研究所では、IV族半導体ヘテロ構造を利用する量子・ナノデバイスの研究開発を進めている。本研究では、量子・ナノデバイスの開発を支援、加速する事を目的としてX線光電子分光測定をはじめとする材料評価技術を活用し、ゲート電極／高誘電率膜／Si界面構造や高誘電率膜／Ge界面構造の評価を行っている。本報告書では、2007年度に行った研究のうち、ランタン系積層絶縁膜の熱安定性についての研究成果の一部を述べる。

2. 研究設備

総合研究所には、高誘電率材料の成膜、加工のための平行平板型スペッタリング装置（アネルバ㈱、L-250S-FH（特型））、エッチング装置（アネルバ㈱、L-201D-SLA（特型））がある。また、世田谷キャンパス・半導体特別研究棟には、プラズマ酸化・窒化装置、光酸化装置、超高分解・高感度X線光電子分光装置ESCA-300、分光エリプソ装置を所有している。

3. 研究成果の紹介

2007年度に行なった研究のうち、次世代高誘電率材料として有望な材料のひとつである希土類酸化物系積層膜とSiとの界面の熱安定性の研究成果について述べる。評価には、東京工業大学・岩井研究室グループに作製していただいた $\text{Sc}_2\text{O}_3/\text{Si}(100)$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3/\text{Sc}_2\text{O}_3/\text{Si}(100)$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3/\text{Si}(100)$ の3種類の試料を用いた。これらの試料を乾燥窒素雰囲気中、500°C、700°C、1000°Cにおける熱処理を行い、角度分解X線光電子分光測定により試料の組成分布および高誘電率膜/Si界面をの熱処理による変化を調べた。まず、 $\text{Sc}_2\text{O}_3/\text{Si}(100)$ のバンドアライメントを決定した。また、スカンジウム酸化膜は、ほとんど吸湿性がないことを明らかにした。さらに、2nm厚のスカンジウム酸化物をキャップ層として用いることにより、ほぼランタン酸化膜の吸湿性を抑制できることが分かった。また、2nm厚のスカンジウム酸化物を中間層として用いることにより、ランタン酸化膜/シリコン界面における化学反応をある程度抑制出来るものの、図1に示すように、500°Cでランタン酸化膜/スカンジウム酸化膜界面である程度拡散が生じ、1000°Cでは、ほぼ均一に混ざってしまうことを明らかにした。

4. 今後の研究計画

平成20年度は、引き続き希土類酸化物/Siおよび希土類酸化物/Geの界面構造と深さ方向組成分布をX線光電子分光法により評価し、熱的に安定な希土類酸化物/半導体界面構造を探る。具体的には、HfやCeなどの他元素の添加、界面バリア層の挿入などである。これらの結果と丸泉グループのシミュレーション（ケミカルシフト計算・構造安定性解析など）による研究と連携しながら進めて行くことで、量子・ナノデバイス実現のために不可欠な高品質な高誘電率絶縁膜/Si界面、高誘電率絶縁膜/Ge界面の実現をめざす。

5. 成果発表

- 1) H. Nohira and T. Hattori, Electrochemical Society Inc., ECS Transactions, Vol. 11, No. 6, pp. 183-194, 2007.
- 2) 野平 博司 他, 表面科学 Vol. 28, No. 11, pp. 620-625, 2007.
- 3) K. Kimura et al., Surf. Interface Anal. 2008, vol. 40, pp. 423-423.

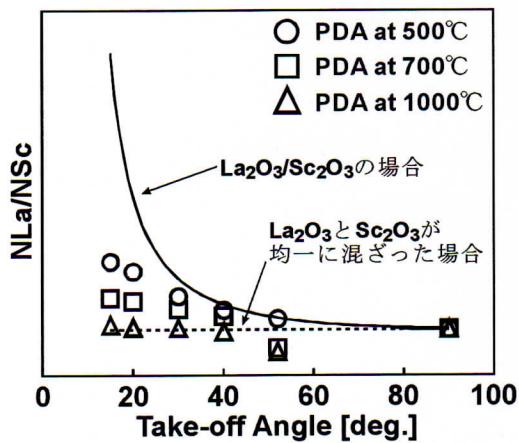


図1 La 3dとSc 2pの光電子強度比の脱出角度依存性の熱処理による変化。

我々の研究グループでは、総合研究所の設備を用いて、微細加工(Micro Fabrication)技術を確立するとともに、新たなナノ・マイクロマシンの設計・製作を行っている。一般にこの分野では、静電駆動型のシステムが多く提案されているが、当グループは電気機器・磁性応用を主としているため、電磁駆動アクチュエータを主眼とした研究を進めている。現在実施可能な加工技術と、これまでに得られた代表的な成果を以下に述べる。

- 1) ウェットエッチ（等方性、異方性）による切削加工
パターニングと、等方性及びKOHによる異方性エッチを組み合わせて、Si基板の切削加工（バルクマイクロマシニング）が行える。面方位(100)及び(110)の基板を用いて、様々な形状作成を行っている。図1に、典型的な異方性エッチによるエッチストップ形状を示す。
- 2) 基板の直接接合技術
極めて清浄かつ平坦なSi基板またはSiO₂薄膜付きSi基板を直接接合する。CMP表面研磨を施した基板を純水中で圧着後、電気炉にて1100°C前後の熱処理を行うことにより、非常に強力な接合が得られる。
- 3) 真空蒸着と電気メッキの併用による導体・電極の生成
真空蒸着装置による1μm程度のAl薄膜の形成後、Al直接エッチにて各種形状の導体を作成する。電磁駆動のためにより厚い導体が必要であり、硫酸銅浴を用いた電気メッキにて導体厚を10倍程度に増加することができる。
- 4) スパッタによるサーフェスマイクロマシニング
スパッタ装置により作成する1μm程度のアモルファスSi層と湿式酸化膜、及び選択的エッチの組み合わせでサーフェスマイクロマシニングが実現できる。ラマン分光等による表面分析も同時に正在进行っている。

これらの技術を用いて様々な製作に取り組んでおり、図2に示す幅5μm、厚さ800nmのマイクロブリッジ、図3に示すカンチレバー型アクチュエータ、図4に示す多層マイクロコイルなどの成果が得られている。

今後は、電磁駆動MEMSを目的として、

- 1) より高い磁界が得られる、素線断面積が大きなコイル導体の製作
 - 2) 磁性薄膜の成膜
- などに取り組む予定である。

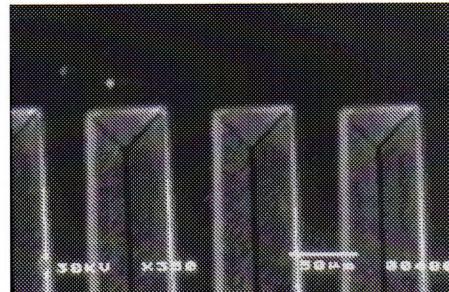


図1 (100)Si基板異方性エッチのエッチストップ形状

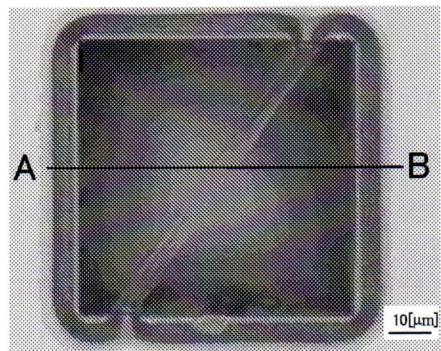


図2 幅5μm厚さ800nmのマイクロブリッジ



図3 カンチレバー型静電アクチュエータ



図4 多層マイクロコイル

上位レベルからのシステム LSI 設計支援技術

工学部電気電子工学科

回路デザイン工学研究室 濑戸謙修

集積回路はムーアの法則にほぼ従い、集積密度の飛躍的な向上を維持している。VLSI の回路規模は、年率 58%で向上しているとも言われている。一方、同設計生産性は年率 21%程度の向上に留まっている。近年のハードウェア処理の複雑化の要求も相まって、同回路設計の省力化、期間の短縮化の要求がなされている。高位合成技術はその様な要求に応える為、最も重視されている技術の一である。高位合成とは、ハードウェアを設計する際に、C 言語の様な抽象度の高い言語を用いて、対象となる処理のアルゴリズムを直接的に記述する「システムレベル記述」から、レジスタやクロックによる同期、並列処理などハードウェア特有の概念を含めて記述する「RTL (Register Transfer Level) 記述」を自動的に合成するものである。旧来の RTL での設計ではなく、動作記述で設計することにより、設計記述量の大幅な減少、設計ミスの減少が期待され、設計生産性の飛躍的な向上に寄与するとされている。高位合成では、利用可能な演算器、メモリの種類や個数等の制約を選択するアロケーション、その制約を満足する様に演算をサイクルに割り付けるスケジューリング、アロケーションで定めた各演算器に演算を割り当てるバインディング、の 3 つの処理が行われる。本研究ではバインディングに注目して研究を行った。

バインディングでは、1)記憶要素の割り付け、2)演算要素の割り付け、3)データ転送要素の割り付けを行うが、それらを最適化することにより、レジスタやマルチプレクサ数の最少化が期待できる。マルチプレクサ (MUX/Multiplexer) とは、セレクタ(Selector)とも呼ばれ、複数の入力信号から 1 つを制御信号により選択し出力する組み合わせ回路である。マルチプレクサの様なデータ転送要素は、それ自体の遅延がしばしば問題になる。特に FPGA において、配線遅延は性能に大きな影響を及ぼすため、配線が集中するマルチプレクサの存在がシステム全体の性能向上の足かせともなりかねず、その悪影響を最小化することは非常に重要である。また、配線をプログラマブルに実現するために、FPGA 全体の面積の大部分 (70~80%程度) を内部配線として利用されているためマルチプレクサの様なデータ転送要素をできるだけ少なくする事が望ましい。

バインディング手法の最適化によるマルチプレクサの削減について、いくつかの方法が提案されている。既存手法ではレジスタ数は最小化でき、それまでの手法よりもバインディング対象全体でのマルチプレクサの削減は期待できるものの、その手法は発見的で、結果は性能的に常に最適とはいえない。そこで本研究では、性能に悪影響を与えるマルチプレクサの入力ポート数を常に最小にしつつも、比較的短時間で演算器(FU/Function Unit)のバインディングを行う事を目的とした SAT-Based FU Binding を提案した。提案手法を評価した結果、既存手法と比べ平均して 8.1%の性能向上が認められた。また、どのデータフローラフにおいても性能の悪化は認められなかった。マルチプレクサの入力ポート数が平均して 1.6%増えてしまったものの、提案手法はそれを上回る性能向上を期待できることから、実用上有効な演算器バインディング手法であることがわかった。

歪み Si/Ge 系半導体ヘテロ構造の電気伝導特性とデバイス応用

総合研究所シリコンナノ科学研究センター 澤野憲太郎

〈目的〉

Si-MOSFET の微細化限界が近づく中、「歪み Si」「歪み Ge」が新規高移動度チャネル材料として大きく期待されている。これらの実現には高品質 SiGe 擬似基板の開発が必須であり、我々はこれまでにイオン注入法を提案し、開発を進めてきた。今回この手法をデバイス構造に応用し、高移動度を達成すること、さらに歪み量に依存した物性を解明することを目的とした。

〈成果〉

まず、膜厚 100 nm と、従来法と比べて非常に薄い SiGe 緩和層を、イオン注入法により作製し、その上に歪み Si チャネル層を成長した。ここでの表面ラフネスは 0.3 nm と、Si 基板にも匹敵する表面平坦性が達成されており、これは従来法に比べて一桁小さい値である。この構造に、n 型 MOSFET を作製した（図 1）。デバイス特性評価を行った結果、参照用バルク Si と比較して 100% のドレイン電流増大を得た。また、図 2 に示す実効移動度 (μ_{eff}) の実効電界 (E_{eff}) 依存性から、 E_{eff} の広い範囲において参考用デバイスを超える移動度が確認され、 $E_{\text{eff}} = 0.4 \text{ MV/cm}$ において 60 % の移動度増大率を得た。これは、数 μm と一桁以上厚い SiGe バッファーレベル上に作製された歪み Si デバイスと同等の移動度増大率であり、イオン注入法を用いた本構造が、デバイス応用に向けて非常に有望であることが示された。

続いて、歪み Ge チャネル構造において、デバイス特性に非常に重要な有効質量の詳細な評価を行った。歪み Ge の有する高い移動度は、歪みの効果によって有効質量が大幅に低下することによっているが、これまで、有効質量の歪み依存性はほとんど調べられていない。今回は、各 Ge 組成の SiGe バッファーレベル上に Ge 層を成長し、各歪みを有する Ge チャネル構造の有効質量を評価した。図 3 に有効質量の歪み依存性を示す。歪み量の増加に伴って有効質量が減少していることが分かり、理論計算ともほぼ一致している。今回このようなデータを初めて実験的に示すことができたと共に、非常に歪みが大きく、かつ高品質な Ge チャネル構造の形成に成功しており、これは次世代高速 Ge チャネルデバイスの実現に非常に有望であると言える。

以上のように、高移動度チャネルデバイスの実現と、詳細な物性の解明に成功し、歪み Si/Ge ヘテロ構造の次世代高速 CMOS 応用への高い有用性を示すことができた。

〈投稿論文〉 [1] K. Sawano et al., *Semiconductor Science and Technology* **22**, 161-163 (2007). [2] K. Sawano et al., *Journal of Crystal Growth* **301-302**, 339-342 (2007). [3] K. Sawano et al., *Appl. Phys. Lett.* **90**, 202101 (2007). [4] K. Sawano et al., *ECS Transaction* **11**, 75 (2007). [5] K. Sawano et al., *Applied Physics Express* **1**, 011401 (2008). [6] K. Sawano et al., *Physica E* **40**, 2122-2124 (2008).

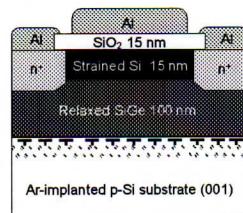


図 1 イオン注入法により作製した歪み Si-nMOSFET の構造図

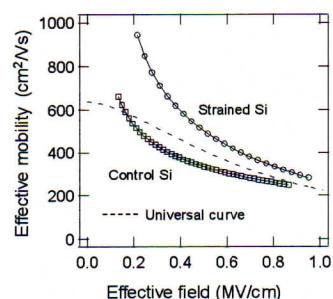


図 2 実効移動度の実効電界依存性

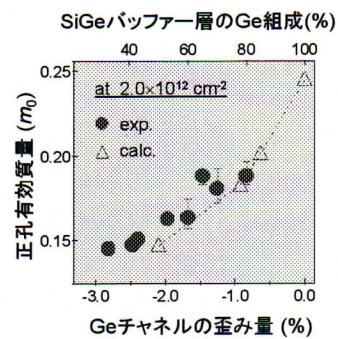


図 3 歪み Ge チャネル構造における正孔有効質量の歪み依存性

Resonant Light emission from Ge dots in optical microcavities for current-injected silicon-based light-emitting devices

Different silicon microcavities, including photonic crystal, microdisk, and microring resonators with Ge self-assembled quantum dots were fabricated using molecular beam epitaxy (MBE), electron beam lithography (EBL), and reactive ion etching. The devices were characterized by normal and time-resolved microphotoluminescence measurement shows that the lifetime of excited carriers in T6 photonic crystal microcavities with Ge dots is around 1 ns which is much shorter than Ge dots in unprocessed region (~30ns). And the measured lifetime of off-resonant emission is around 5 ns. The decreasing of the carrier lifetime is attributed to Purcell effect. The Purcell effect is proved to exist in PhC cavity with Ge dots though further experiments are needed to figure out the effect of the surface nonradiative recombination.

To take the advantages of simple structure and easy coupling to waveguide for light output, silicon microdisks with Ge dots have been fabricated on silicon-on-insulator substrates. Strong resonant photoluminescence is observed in the wavelength range from 1.2 to 1.6 μm in the microdisk at room temperature. Photoluminescence from Ge quantum dots is significantly enhanced by the microdisks. Sharp resonant peaks corresponding to the whispering-gallery modes and broad peaks corresponding to Fabry-Perot modes are observed and identified. The low-quality F-P modes are not useful and consume part of the activated carriers. In order to remove F-P modes, silicon microring resonators with Ge quantum dots, which are similar to microdisks, were fabricated on new SOI wafer with a 2- μm -thick buried dioxide (BOX). In these microring resonators, only multiple sharp resonant peaks corresponding to the whispering gallery modes are observed, and no F-P modes were observed as shown in Fig. 1. The quality factors are in the range of 2000-3000 which is much higher than the values we reported before (400-600). The increasing of quality factor is attributed to the increased buried dioxide thickness, which leads a smaller coupling between the guiding slab and substrate.

Based on the results of microdisks and microrings with Ge dots, as an important step to final silicon-based light emitting devices, Ge dots-embedded silicon microcavities with p-i-n junction for current injection were fabricated successfully as shown in Fig. 2. Processes of MBE with doping, multiple EBL, dry etching, ion implantation, annealing, PECVD for SiO₂, wet etching, metal deposition, and metal lift-off were used in the fabrication process. Succeeding of the fabrication of current-injected cavity devices is very important for the following research. The preliminary results of the p-i-n junctions show a proper I-V curve. The optical measurement is under-going.

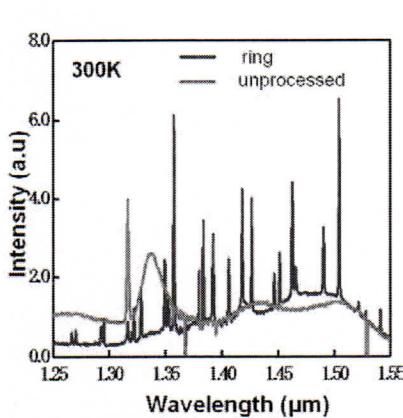


Fig. 1 RT PL spectrum of microring with Ge dots

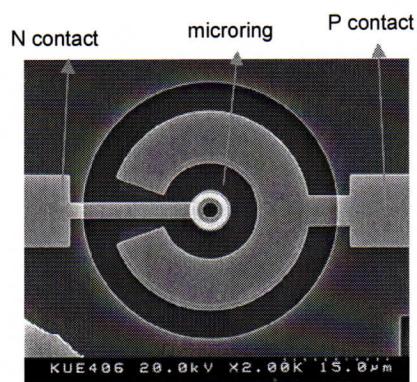


Fig. 2 SEM images of Ge dots embedded microring with current-injection

- 1) J. S. Xia, K. Nemoto, Y. Ikegami, N. Usami, Y. Shiraki, "Silicon-based light emitters fabricated by embedding Ge quantum dots in Si microdisks," Appl. Phys. Lett. vol. 91, p.011104, 2007.
- 2) Jinsong Xia and Yasuhiro Shiraki, "Light emission from Ge quantum dots in silicon microcavities," SPIE Newsroom, 10.1117/2.1200711.0924
- 3) J. S. Xia, Koudai Nemoto, Yuta Ikegami, Noritaka Usami, and Yasuhiro Shiraki, "Enhanced light emission from Ge quantum dots in microdisks," Proceeding of the 20th IEEE/LEOS Annual Meeting (LEOS'07), WDD3, Lake Buena Vista, Florida, USA.
- 4) Jinsong Xia, Koudai Nemoto, Yuta Ikegami, Yasushi Nakata, Yasuhiro Shiraki, "Enhanced light-emission from crystalline silicon in microdisk resonators," Proceeding of the 4th IEEE/LEOS Group Four Photonics Conference (GFP'07), WP10, Tokyo, Japan, 2007
- 5) Jinsong Xia, Satoshi Iwamoto, Noritaka Usami, Ryuichiro Tominaga, Yasuhiko Aragawa, Yasuhiro Shiraki, "Room-temperature resonant light-emission from Ge self-assembled dots in silicon microring resonators," Japanese Society of Applied Physics Annual Spring Meeting, Mar. 2008, 28a-ZX-10.

エネルギー環境科学研究中心

エネルギー環境科学研究所センター

プロジェクトの前組織であるエネルギー環境技術開発センターでは、平成10年度より平成14年度にかけて、ハイテク・リサーチ・センター整備事業として「地球環境調和型エネルギー技術開発プロジェクト」により、高効率エネルギー利用技術開発に取り組んだ。その結果、燃料電池の高性能化に必要な新規電解質膜の開発、電極触媒の特性向上、燃料電池の動作特性の解析及び燃料電池システムの設計・製作とその特性向上に成果を挙げ、それらを国内外で多数の論文及び講演等により発表した。さらに、燃料電池の実用化に必要なスタックの組み立てと性能向上を行い、同一規模で比較すると世界最高水準に位置する性能を実証し、自動車駆動用電源、家庭用電源或いは二次電池代替電池の開発研究を加速発展させるための基盤を築いた。

そこで、その蓄積された知識と技術を基にして、更なる研究の大幅な進展を期すために、この分野で先進的な研究成果を挙げている他大学及び国立研究所と密接に連携し、協力するための組織と構想による研究内容を、文部科学省学術フロンティア推進事業「持続的発展を可能とするエネルギー・環境技術開発プロジェクト」として申請したところ、平成15年度から平成19年度の推進事業として認定され、平成15年度より組織的な研究を開始した。

生活の質的向上と社会の持続的発展を両立するためには、クリーンなエネルギー源の確保と社会的な活動に伴い生成する環境負荷物質の低減が必須である。本研究の推進母体であるエネルギー環境科学研究所センターは、このような克服に長期間を要する人類共通の困難な課題に対して、研究者の専門知識と技術を生かし連携を強化して研究を円滑に推進するために設立された。なお、エネルギー環境科学研究所センターは、申請書に記載の研究組織「エネルギー環境技術開発センター」を内容及び構成メンバーの面で、より広範な課題に取り組めるように改組した組織名称である。

本センターでは、エネルギーと環境に関わる研究課題に取り組むとともに、他大学或いは公的研究機関との共同研究に取り組み、その密接な連携と協力のもとに研究を進めた。5カ年を通して共同研究を行った大学等は、東北大学、群馬大学、産業技術総合研究所、東京工業大学、桐蔭横浜大学、名古屋大学、岡山大学、大分大学である。

エネルギーと環境に関わる分野は広範囲にわたるために、取り組むべき課題を絞り込む必要がある。私達はこれまでに文部科学省のハイテク・リサーチ・センター整備事業、科学研究費或いは新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)等より助成を頂き、燃料電池の中でも主として直接メタノール形燃料電池の研究と、環境負荷物質の低減技術に関して多くの成果を挙げてきた。これらの成果と蓄積された技術を生かし一層の研究の深化と応用を図るために、小型燃料電池を中心としたクリーンエネルギー技術に関する研究と、光触媒や放電処理等の環境負荷低減技術に関する研究を重点的に推進することとした。

クリーンエネルギー技術に関しては、小型燃料電池の高性能化に必要な新規電解質膜の開発、電極触媒の特性向上、電池特性の解析、電池システムの最適化及び劣化機構の解明とその抑制法を重点課題として研究を進めた。環境負荷低減技術に関しては、光触媒による環境負荷物質の分解除去、ミクロ多孔体による吸着特性の解析及び放電分解法による大気汚染物質の分解等を重点課題として研究を進めた。

平成19年度に5カ年にわたるプロジェクトを終了し、両分野に関して有用な成果が得られたと考えている。本プロジェクトの成果が、当該分野での学術面で寄与するとともに、社会的ニーズに対応して有効に活用されることを強く願っている。また、本プロジェクトで得られた研究成果を基盤として、研究を一層発展させるために、新たな組織と構想による研究プロジェクトを提案することを予定している。

2008年5月

エネルギー環境科学研究所センター

センター長 永井 正幸

可視光応答型イオンドープ TiO₂ の作製と評価

エネルギー量子工学専攻・総合研究所・上海珪酸塩研究所
山田知明・永井正幸・高彦峰

高い光触媒能力を有する TiO₂ は、有機物の分解などに関して広く利用されている。しかしながら、TiO₂ の光触媒の活性は紫外光のみでしか機能しない。近年、太陽光の主体である可視光が利用可能な光触媒の研究がなされおり、特にイオンドーピングが注目されている。これまでに N イオンドーピング、F イオンドーピングなどが報告されている¹⁾。しかし、それらのドーピングは主に高温下で行われており、結晶成長を抑制するためには、より低温下でのドーピング方法が求められている。そこで本研究では、チタニア前駆体をアンモニア水中で水熱合成処理を行うことで、低温下でドーピングを行い、可視光応答型 TiO₂ を作製し評価を行った。

150 ml の 28 % NH₃ 溶液に (NH₄)₂TiF₆ を 2 g 加え、160 °C で 1、3、7、30 日間水熱処理を行った。また蒸留水で 0.5、1、3、7、14 % に希釀した NH₃ 溶液に (NH₄)₂TiF₆ を 2 g 加え、160 °C で 3 日間水熱処理を行った。水熱処理後の溶液を蒸留水で洗浄を兼ねた遠心分離を行い、得られた沈殿物を 60 °C で乾燥した。作製した物質は XRD による相の同定、XPS によるドーピングの有無の確認、SEM による形態観察、UV-Vis による光学特性の評価、そして光触媒特性の評価を行った。

XRD パターンから、水熱処理により作製された試料の結晶相の同定を行ったところ、本実験で作製した試料は 14 % NH₃ 溶液を用いた場合を除き全てアナターゼの単一相であった。また SEM を用いた形態観察および、UV-Vis を用いた光学特性の測定から、水熱処理時間を長くすることで平均粒径は大きくなり、吸収端波長は長波長側にシフトした。これは水熱処理時間を長くすることで結晶が成長したことにより粒径が大きくなったと考えられる。またこの結果から水熱処理中にドーピングが行なわれることを示唆しており、長時間処理することでよりドーピングが行なわれ吸収端波長が長波長側にシフトしたと考えられる。さらに低濃度の NH₃ 溶液で水熱処理を行った場合、平均粒径は小さく、吸収端波長は長波長側にシフトした。このような違いはアンモニウムイオンの存在比の違いによる影響が推測される。

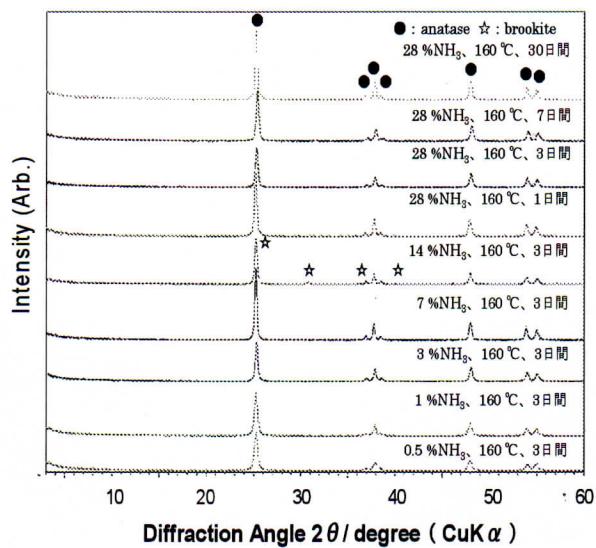


図 1 作製した種々の試料の XRD パターン

1) Jimmy C. Yu, Jiaguo Yu, Wingkei Ho, Zitao Jiang, and Lizhi Zhang
Chem. Mater., 14, 3808 (2002)

電気泳動法を用いた色素増感太陽電池用 TiO_2 電極の作製条件の検討

(武藏工大工学部・総合研究所^a, 桐蔭横浜大工学部^b)

櫻井 翔^a・小林 光一^a・高橋 政志^a・宮坂 力^b

環境に負荷を与えない環境調和型エネルギーの開発は 21 世紀に課せられた課題である。これらの課題を解決する方法の一つとして太陽エネルギーを用いた太陽電池が注目されている。中でも色素増感太陽電池はシリコン型太陽電池と比較して作製コストが安価であることから期待されている。色素増感太陽電池は作用極に主として TiO_2 微粒子の薄膜が使われており、その成膜には様々な方法が用いられている。その中の一つとして、電気泳動法は他の成膜プロセスに比べて短時間かつ容易に作製ができるという利点を持つ。そこで平成 19 年度の研究では、色素増感太陽電池の作用極および対極の作製に電気泳動法を適用し、成膜条件がセル性能に及ぼす影響について調べるとともに、一般に広く用いられているドクターブレード法と比較を行った。

1 作用極への適用

電気泳動法による TiO_2 微粒子膜作製の最適条件を求めるため、印加電圧、泳動時間、分散液濃度及び分散液温度の影響を検討した。印加電圧及び泳動時間と電着量の関係を Fig. 1 に示す。Fig. 1 から分かることおり、電着量は印加電圧および泳動時間に対して直線的な変化を示すことが分かった。しかし、そのセル性能は印加電圧には依存せず、電着量に強く依存していることが分かった。電着量の最適化によって、変換効率は 14 g cm^{-2} 程度の電着量において最も高い変換効率を示した。また、分散液濃度においても電着量が直線的な変化を示すことがわかった。一方、分散液温度においても電着量が直線的に変化したが、温度変化による影響は微小変化であった。そのため、作製条件の検討により FT0 ガラス電極上への TiO_2 微粒子の電着量は泳動条件によって高度に制御可能である事がわかった。

次に、電気泳動法とドクターブレード法を比較するため、同程度の TiO_2 塗布量の作用極を用いてセル性能を測定した。Fig. 2 にその I-V 特性の結果を示す。Fig. 2 から分かることおり、電気泳動法で作製した作用極を組み込んだセルはドクターブレード法で作製した作用極を用いたセルよりも、 J_{sc} の値が増加し、I-V 特性において高いセル性能を示すことが分かった。これは、 TiO_2 膜がより密に詰まつたことで、接触抵抗が低減したためであると考えられる。

2 対極への適用

Fig. 3 に、対極に TiO_2 薄膜を導入した PEDOT-ClO₄ 電極を用いた太陽電池の光電流 - 電圧特性を示す。電極作製の電解重合条件は、いずれも 3.5 V の印加電圧で 15 秒間とした。Fig. 3 から、PEDOT-ClO₄ のみを用いた場合よりも TiO_2 薄膜が 2.0 g m^{-2} 塗布されている方が、高い電池性能を示すことが分かった。これは TiO_2 薄膜の導入が、電極のラフネスを高め、反応面積が増大したことによると考えている。

以上の結果から、電解重合法の適用によって、導電性ガラス電極上への電着量が容易に制御可能となり、極めて短時間での作製が可能であることが明らかになった。

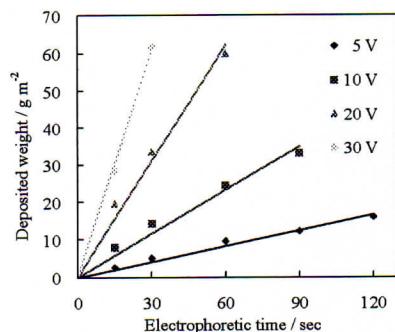


Fig. 1 Electrophoretic time dependence of deposited weight of TiO_2 particles at various voltages.

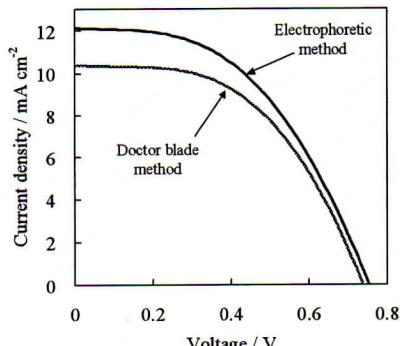


Fig. 2 Comparison of I-V characteristics of the cells prepared by electrophoretic method and doctor blade method.

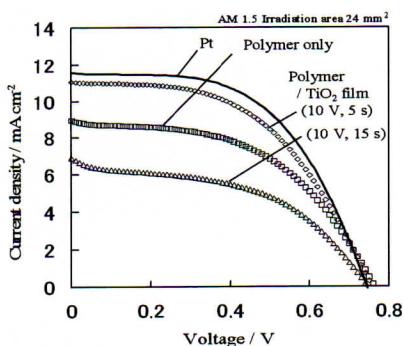


Fig. 3 I-V characteristics of the cells with counter electrode prepared by electrophoretic method.

機能性炭素材料の調製と評価

工学部 エネルギー化学科 鎌木 裕

キャパシター用電極材としての窒素含有炭素繊維の調製と評価

電気容量は電極の比表面積に比例し電極間距離（二重層容量においては細孔内に形成される電気二重層における炭素壁と吸着イオンとの平均距離）に反比例するために、ナノオーダーの細孔を持ち比表面積の大きい活性炭や活性炭素繊維を電極材に用いると、非常に大きな電気容量が得られる。しかし、比表面積を $2000\text{m}^2/\text{g}$ 以上にまで高めた活性炭においてもその電気容量は 100F/g 程度であり、活性炭の特性のみではこれ以上の容量増加は見込めない。そこで近年、ファラディー反応（電荷移動）を伴うレドックスキャパシターや疑似容量キャパシターが検討され、大きなキャパシター容量を達成する試みがなされるようになった。本研究室では疑似容量を与える物質として窒素を考え、窒素含有炭素材料を検討してきた。これまでイミド環に窒素原子を有する芳香族ポリイミド微粒子を炭素化、賦活して活性炭を調製し、細孔特性と電気二重層容量の対応を検討し $200\sim220\text{F/g}$ と大きな電気二重層容量が得られる事を示した。また芳香族ポリイミド微粒子から得た活性炭に低エネルギー窒素プラズマ処理や高エネルギー窒素イオン打ち込み、熱拡散法によるホウ素原子ドープなどの物理的処理実験を行ったが、静電容量の改善は得られなかった。そこで平成 19 年度よりユリア樹脂、アラミド繊維やタンパク質など、未検討の新たな窒素含有高分子からの機能性炭素を調製し、含有窒素の電気二重層容量への影響を検討している。アラミド繊維を炭素化した窒素含有炭素繊維においては比表面積が $800\text{m}^2/\text{g}$ と小さいが、 200F/g を越える二重層容量を示すことが分かった。この窒素含有炭素繊維を賦活（表面酸化）処理しても二重層容量の増大は僅かであった。賦活により表面積が増加する効果と、賦活により窒素含有量が減少する効果が相殺して、二重層容量の変化が押さえられたと考えられた。

炭素材料のX線回折およびラマン分光による評価

（吉田明総合研究所機器分析室 准教授および菱山幸宥武藏工業大学名誉教授との共同研究）

未発達のグラファイト結晶子が繊維軸に沿って配向した炭素繊維（市販のメソフェーズピッチ系炭素繊維 P100）について、繊維束の100および110回折線測定を透過法と反射法で測定することにより、繊維軸に沿っての結晶子の炭素層面の広がり（結晶子寸法）を評価すると共に、炭素層面を形成する六員環の方向（基底面：アムチエラーおよび先端面：ジグザグ）を類別することが可能であること実証した。

一般に炭素材料の黒鉛化の評価をラマン分光で行う場合はラマン 1 次スペクトルの G バンド（黒鉛固有の振動モード）に対する D バンド（結晶の乱れに起因する振動モード）の比 (I_D/I_G) が用いられてきたが、炭素六方網の組織依存性が大きいことが分かった。そこで、気相成長炭素繊維の黒鉛化に関して G バンドの半値幅を用いると、X 線回折から求まる六方網面間隔（一般的に黒鉛化性の評価に用いられている）との対応が良い事が分かった。

X 線デフラクトメータにおける炭素材料の吸収因子を長方形の入射 X 線ビームの直断面が散乱 X 線ビームに対しても保たれるという仮定の下で、反射測定および透過測定における吸収因子の影響を理論的に検討した。002 回折線においても $1/6^\circ$ の発散スリットを用いる場合は大きな影響が無い事が分かった。

セルロース系カーボンナノ繊維・活性カーボンナノ繊維の調製と評価

一般にカーボンナノファイバーは触媒化学気相沈積（CCVD）法によって商業生産されているが、燃料電池負極用触媒担体、リチウム電池負極材、排煙脱硫など種々の分野への応用が期待されている。我々は木材パルプを高度に機械分解処理して得られる平均直径 100nm 程度のセルロースナノ繊維（ナノフィブリル）やバクテリアセルロースを炭素化することにより、平均径数十 nm のセルロース系カーボンナノ繊維（比表面積 $100\sim200\text{m}^2/\text{g}$ ）を調製し、さらに二酸化炭素賦活することにより活性カーボンナノ繊維（比表面積 $1000\sim2000\text{m}^2/\text{g}$ ）の調製と評価をおこなっている。ミクロンオーダーのナノカーボンファイバーフィルムの調製に成功しており、現在は独立したカーボンナノファイバーの分離法を検討している。今後、種々の評価を行い、応用を検討していく予定である。

光触媒反応を用いた有用物質の合成に関する研究

工学部 エネルギー化学科

宗像 文男

高効率な駆動源を目指した燃料電池、太陽光を有効利用した人工光合成技術、廃熱を有効利用する熱電発電技術など種々のエネルギー変換技術に関連した新しいエネルギー変換材料の基礎及び応用研究を行っている。平成19年度は、光触媒反応を用いた有用物質合成の一環として、光触媒反応における過酸化水素 (H_2O_2) 生成の促進に関する研究を行った。

従来、 H_2O_2 の合成にはアンスラキノン自動酸化法が用いられているが、近年、有害な副反応物を生成しない酸化剤としての H_2O_2 溶液の需要が増加し、より低コストで簡便な製造法が求められている。これまで水からの H_2O_2 の生成は、 TiO_2 系酸化物を用いた光触媒反応の中間体として $\mu mol/l$ のオーダーで確認されている。⁽¹⁾ しかし、実用的にはこれの数百倍以上の濃度が求められ、高濃度の H_2O_2 を選択的に生成することができれば、工業的利用のみならずポータブルな医療用設備への適用も可能となる。そこで本研究では、 H_2O_2 を選択的に生成する光触媒の開発のために光触媒活性の高い Zn_2GeO_4 に注目し、 H_2O_2 生成促進を試みた。

有機酸塩法により合成された Zn_2GeO_4 および、市販品の TiO_2 (P-25 : 日本エロジル製), TiO_2 (アナタース : 堀化学工業製), Pt/TiO_2 (0.5%担持 : セイミケミカル製) を光触媒として用いた。 H_2O_2 の生成は、光触媒 0.13g と純水 170ml を石英/パイレックス製の閉鎖系容器に懸濁させ、攪拌しながら 300W キセノン灯により 3 時間光照射することによって評価した。照射後の懸濁液をろ過し、ろ液中の H_2O_2 濃度は、グルコース C II テスト (和光純薬工業製) を呈色試薬として用いた吸光光度法⁽¹⁾により定量した。さらに、450W 高圧水銀灯を用いて同様に H_2O_2 濃度を定量し、それぞれを比較検討した。

各光触媒における生成した H_2O_2 濃度を右図 (Fig.1) に示す。今回の実験条件下では、従来の TiO_2 系光触媒では H_2O_2 を検出できなかった。一方、水分解光触媒活性の高い Zn_2GeO_4 では顕著な H_2O_2 を生成が確認できた。さらに、水銀灯を用いて光強度を上げることにより、 H_2O_2 濃度を引き上げることができた。これらの結果から、光触媒の高活性化が過酸化水素生成能の向上につながることが示唆された。

【参考文献】 1) F.Shiraishi, T.Nakasako and Zhaozhe Hua , J.Phys.Chem.A ,107 , P110702-11081 (2003)

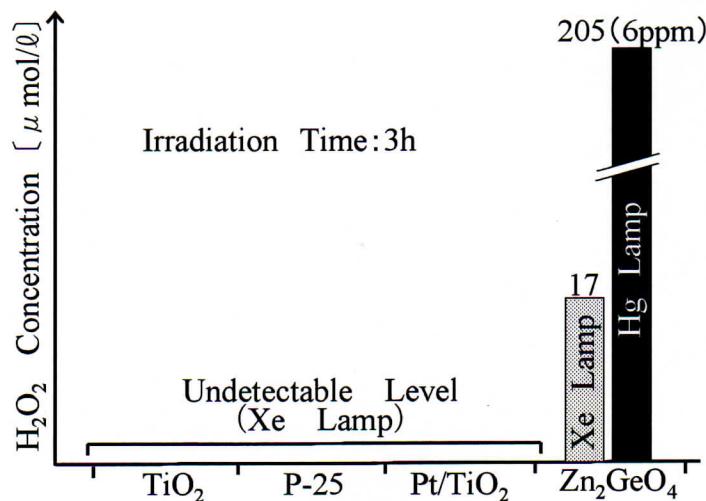


Fig.1 Concentration of H_2O_2 from pure water by various photocatalysts under irradiation with UV light emitted from Xe lamp and Hg lamp.

環境負荷低減システムの研究

武藏工業大学 総合研究所・工学部 電気電子工学科 江原由泰

電気集じん装置(ESP)は処理過程において放電を使用しているため、必然的に人体に有害であるオゾンが発生する。首都圏に設置される ESP では、オゾンが光化学スモッグの原因ともなり、オゾン濃度を低減させる技術が必要となる。帯電部においてコロナ放電により粒子を帯電させるメカニズムと、オゾンが発生するメカニズムが異なるため、集じん率を低下させることなくオゾン濃度を低減できる電極システムは可能である。また、高速道路用の地下トンネルなどでは、一酸化炭素濃度が基準値以下になるように換気塔を設置し、ファンによりトンネル内の大気を換気している。換気する大気中の一酸化炭素濃度により、換気塔の高さが決定されている。首都圏などに設置される換気塔は外観にも配慮が必要であり、より低い換気塔が望ましい。

一方、2005年5月、国際海事機関(IMO)によって「MARPOL条約」が発効され、船舶からの大気汚染物質の排出規制が本格化している。日本、欧州、米国等のいくつかの港湾地域においては既に、船舶に対する独自の排煙の濃度規制が検討あるいは実施されている。いま実際に規制されているのは NO_x、SO_x であり、今後 CO や DEP が順に規制されるであろう。

上記の背景のもと、本研究は電気集じん装置を対象とし、「次世代電気集じん装置の開発」について、平成19年度に行ったものである。都市部のトンネルを対象とした研究や、船舶用ディーゼルエンジンを対象とした ESP についても検討を行った。本報告では研究成果は以下の4つにまとめられる。

① 低オゾン電気集じん装置における最適電極形状の研究

電気集じん装置より排出される、オゾン濃度の低減を目的として実験を行った。帯電部の電極を鋸歯状として、鋸歯の数や先端角度を変化させ、オゾン生成濃度の低減を計った。

② 放電処理における一酸化炭素の転化に関する研究

トンネル内の CO 濃度を低減することを目的にコロナ放電および誘電体バリア放電を使用し実験を行った。水分を添加した条件において、コロナ放電ではワイヤーの本数を変化させ、バリア放電では周波数を高くし CO 転化率の特性を検討した。

③ ディーゼルエンジンの排出微粒子除去に関する研究

船舶用ディーゼルエンジンからの排出粒子の除去を目的とし、二段式 ESP により集じん可能なシステムの構築を目指した。長時間稼働が可能となる帯電部や集じん部の電極構造を検討した。

④ EHD 電気集じん装置による PM 除去の基礎研究

粒子濃度の高い排ガス処理を対象とし、EHD を利用した ESP の開発を行った。この ESP において粒子の流れを観測し、EHD の効果について検討した。

以上

Nanostructured crystals: synthesis in solution and application

Yanfeng Gao^{*} and Masayuki Nagai

Musashi Institute of Technology, Advanced Research Laboratories, Tokyo 158-0082, Japan

*Current address: Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, 1295 Dingxi, Shanghai 200050, Email: yfgao@mail.sic.ac.cn, Fax: +86-21-5241-5270

We tried to purposely arrange the ZnO crystals of optimized morphologies with specific orientations on the substrate through a solution-based bio-inspired route, which is one of attractive research field for preparation of better ceramics through chemistry (*Cryst. Growth Design* 5, 1983 (2005)). We have obtained various ZnO nanostructures from nanorods, nanoplates to complex architectures on both polymer and glass substrates pre-coated with transparent conductive oxide layers.^{1,2} We have assembled DSSCs using a nanowire-structured ZnO film as photoelectrode, and an improved overall conversion efficiency of about 1.7% has been obtained.¹ In addition, the investigation of the aging effects on the preparation of ZnO crystals and films was also conducted.² We have found that the morphology of ZnO films can be optimized by selecting appropriate chemical environments including the types of chemical species and their concentrations.

For further understand the crystallization and growth process of ZnO, we used soluble polymers to carefully control the morphology and crystalline properties. The role of polymers is twofold: first, indiscriminating adsorption of Zn(II) ions onto the polymer surfaces, which leads to the site-specific supersaturation with respect to the nucleation of ZnO, and secondarily, morphological development by selective adsorption of polymers to specific crystallographic planes. The former mainly occurs in the beginning of reactions, and the latter operates dominantly after the formation of ZnO nuclei. All these findings represent a significant advance in the particular area of materials chemistry.^{3,4}

Except ZnO, TiO₂ is also a target material we have been investigating for the applications in DSSCs. In 2008, we reported for the first time the formation of anatase nanorods from a peroxotitanate solution without using any organics (such as surfactants).⁵

References:

- [1] Y.-F. Gao, M. Nagai, T.-C. Chang and J.-J. Shyue, *Cryst. Growth Des.*, 7(12), 2467 - 2471(2007).
- [2] Y.-F. Gao, H.-Y. Miao, H.-J. Luo, M. Nagai, and J.-J. Shyue, *J. Phys. Chem. C*, 112, 1498-1506(2008).
- [3] Y.-F. Gao, H. Miao, H.-J. Luo, M. Nagai, *submitted*.
- [4] Y.-F. Gao, H.-J. Luo, S. Mizusugi, M. Nagai, *Cryst. Growth Des.*, 2008, *web published*.
- [5] Y.-F. Gao, H. Miao, H.-J. Luo, M. Nagai, *Cryst. Growth Des.*, *in press*.

燃料電池用有機無機ハイブリッド電解質膜の開発と評価

総合研究所エネルギー環境科学研究中心 客員研究員 鈴木智史

1. 背景

燃料電池の中でも車載用、モバイル電子機器用電源として期待される高分子形燃料電池が実用化に近づくにつれて、現行の高分子電解質膜では以下のような諸問題の解決が必要とされている。

- フッ素を含む膜の廃棄処理、あるいはフッ素を含まない代替膜の開発
- 白金資源の価格高騰と枯渇に対応した電極触媒問題
- 燃料にメタノールを用いた場合の燃料透過（メタノール・クロスオーバー）対策

本研究では有機ケイ素系物質を中心に新規無機有機ハイブリッド電解質膜の開発を行い、上記問題の解決を目指す。

2. 2007年度の成果と2008年度の発展

アルカリ膜形燃料電池は現行の高分子形燃料電池と比べて構造部材への腐食が少なく、非白金触媒の使用が可能であることから近年開発が加速されている。本グループでは2007年度にはアルカリ性を示す有機ケイ素系電解質膜の合成に成功した。本アルカリ膜は柔軟性に富み、燃料電池評価試験により発電に成功したことから将来有望と考えられる。2008年度には膜の改良と2007年度には未着手であったアルカリ膜に対応した電極部分の開発によりイオン伝導性と発電特性の向上を試みる。また、アルカリ膜の開発を通じて得られた膜の柔軟性に関する知見を活用し、新規電解質膜の合成を試みる。

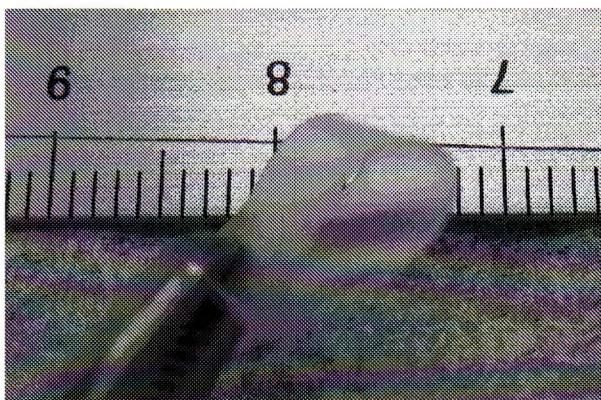


図1 アルカリ膜の柔軟性

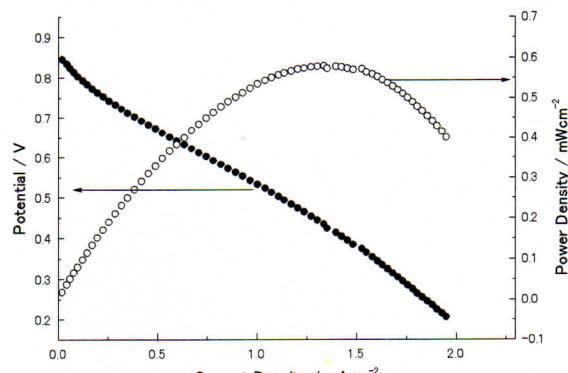


図2 アルカリ膜の燃料電池特性

3. 核磁気共鳴分光装置（NMR）の状況について

固体炭素、ケイ素の測定に加えてリン、白金の測定が実施済みである。また、高分子膜内部に含まれた水素原子の拡散係数測定が技術的に可能になったことから、燃料電池用電解質膜内部の物質拡散の観察に活用されることが期待される。

Preparations of BiVO₄ crystallites and BiVO₄-based semiconductor composite photocatalysts

Hai-qing Jiang and Koichi Kobayashi, et al.

Advanced Research Laboratories, Musashi Institute of Technology, Tokyo 158-0082, Japan

In the last year, BiVO₄ crystallites, one of visible light driven photocatalysts, were synthesized by the solution combustion synthesis (SCS) method in our experiment. For improving of photocatalytic activities of BiVO₄ crystallites, BiVO₄-based semiconductor composites, such as CuO/BiVO₄ and V₂O₅/BiVO₄ were also prepared by the impregnation technique and the SCS method, respectively. X-ray diffraction, X-ray photoelectron spectroscopy, field-emission scan electron microscopy and UV-visible diffusion reflectance spectra were used to identify the physical properties and photophysical properties of pure BiVO₄ and BiVO₄-based semiconductor composite photocatalysts. The photocatalytic activities were measured through the degradation of methylene blue solution under UV-vis light irradiation. The results reveal that the photocatalytic activity of BiVO₄ crystallites is significantly enhanced after loading the second semiconductors.

Herein, our research works are summarized as follows:

- (1) BiVO₄ crystallites were synthesized by the SCS method. The relationship between the photocatalytic activities and the synthesis parameters is systematically investigated. The Zeta potentials of BiVO₄ crystallites in the methylene blue solution at different pH values are investigated to identify the relationship between the photocatalytic activities and the pH values of solution.
- (2) CuO/BiVO₄ composite photocatalysts were prepared by solution combustion synthesis method and impregnation technique. The band gap absorption edge of CuO/BiVO₄ crystallites are determined to be 527 nm, corresponding to band gap energy of 2.46 eV. The photocatalytic activities results indicate that CuO/BiVO₄ crystallites exhibit the enhanced photocatalytic properties for degradation of methylene blue under visible-light ($\lambda > 420\text{nm}$). The 2 wt% CuO/BiVO₄ sample annealed at 300 °C for 4 h exhibits the best photocatalytic degradation activities.
- (3) V₂O₅/BiVO₄ composite photocatalysts were synthesized by the one step SCS method. The photocatalytic activities results indicate that V₂O₅/BiVO₄ composite photocatalysts exhibit the enhanced photocatalytic properties for the degradation of MB under UV-vis region ($\lambda > 320\text{nm}$). The 9mol% V₂O₅/BiVO₄ composite annealed at 500 °C for 4 h exhibits the best photocatalytic degradation activities.

水素エネルギー研究センター

波長分散型粒子線誘起X線分光(WD-PIXE)による燃料電池の硫黄の分析(II)

(S被毒性能劣化と電極中S残留量の相関関係の測定)

武藏工業大学環境エネルギー量子工学専攻・総合研究所 鳥山保, 中嶋将太;

武藏工業大学エネルギー量子工学専攻・総合研究所 高木靖雄, 小野田充;

東京工業大学原子核工学専攻 小栗慶之, 福田一志, 多田勉;

東京工業大学基礎物理学専攻 川崎克則, 実吉啓二

固体高分子型燃料電池(PEFC)は作動温度が低く小型が可能なため最も期待されている燃料電池であり、盛んに研究されている。PEFCは現在、天然ガス、ガソリンを改質させた水素を燃料とする動きが盛んであるが、その際に、改質ガス中に微量に含まれる不純物ガスが、燃料電池の電極触媒を被毒し性能が低下してしまう。不純物ガスの中でも特にS成分はS被毒後の純水素運転による燃料電池性能回復が遅く、完全には回復しないため永久被毒特性をもつ成分とされている[1]。これらの事実から、PEFCの性能向上と安定な運転を実現するためには、MEAのS被毒による劣化プロセスを解明することが重要である。

本年度は昨年度の燃料電池のS被毒による電圧劣化率30%の試料についての膜電極触媒(MEA)電極中のSの残留量の測定をさらに進めて、電圧劣化率0, 10, 20, 30, 40%の燃料電池の性能測定を行い、触媒電極中に残留している硫黄(S)の定量、化学状態をWD-PIXEにより測定したのち、それらのデータをモデル化して解析し、定量的な議論を行える基盤を構築すること、つまりS被毒性能劣化と電極中S残留量の相関関係の測定することを研究目標とした。

まず、転写法により作製した膜電極触媒(MEA)を組み上げて燃料電池にし、6hourの慣らし運転を行いI-V特性を測定し、定電流12.5Aで100min運転後、水素供給部分に10ppmの硫化水素を混入させ、その間のCell電圧の時間変化を測定する。所定の電圧まで下がった後に再び、I-V特性を測定した。電圧劣化率に対して出力値は曲線的に低下していることが確かめられた[2]。次に、触媒電極中に残留している硫黄(S)の定量の実験は、東工大ヴァンデグラフに不具合があり、実験が行えなかったので、次年度に持ち越すこととした。そして、東工大タンデム加速器の高分解能 von Hamos型WD-PIXEシステム[3]を使用して、陽子照射に伴うSの飛散[4]に対するターゲット冷却効果についての測定を行った。その際にはペルチェ素子を用いて-20°Cまで下げることを目標とした。陽子ビーム電流は2nAに抑えて、スリットは1.0mmに設定し、ナフィオン膜、未使用MEA、S被毒MEA(電圧劣化率10%)について、それぞれ30minづつ、4回測定を行った。その結果、上記測定条件の下では、Fig. 1に示すようにS被毒に伴う-2価と考えられるSがナフィオン液中のスルfonyl酸基のSに比べて早く飛散していくことが明らかになった。また、検出するSのK X線の量が少なくなると、宇宙線に起因するとされるバックグランド(雑音)の影響が大きいことが明らかになった。このため、短時間で測定できるターゲットシステムを開発することとした。

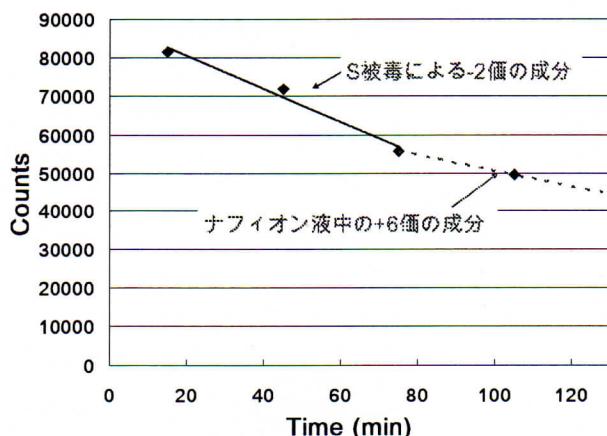


Fig.1. 2nA 陽子ビーム照射に伴う S 被毒 Anode からの S K X 線強度の時間変化

- [1] 紙屋雄史, 成澤和幸, 林田守正, 倉嶽大輔, 若林克彦, 日本機械学会論文集(B編)Vol. 68-668, No. 01-1154, pp. 317-322, 2002.
- [2] 中嶋将太, H19年度環境エネルギー工学科卒業論文(量子ビーム材料工学研究室)
- [3] J. Hasegawa, T. Tada, Y. Oguri, M. Hayashi, T. Toriyama, T. Kawabata, and K. Masai, Review of Scientific Instruments 78, 073105 (1-5), 2007.
- [4] 川畑俊明, 中嶋将太, 鳥山保, 若林英彦, 小野田充, 高木靖雄, 他, 武藏工業大学学術フロンティア第5回シンポジウム要旨集, pp.27-38.

重点先行研究

ピストントライボロジー研究用世界基準エンジンの研究開発

Development of World Standard Engine for Research of Piston Tribology

瀧口雅章（武藏工業大学 総合研究所）

1. 目的

石油価格の高騰並びに地球温暖化により、自動車の燃費改善が強く求められている。その有効な手段として、ピストンの摩擦損失低減研究が世界中で盛んに行われている。本研究は、筆者がこれまでにピストントライボロジー研究のために独自に開発した研究用エンジンを更に発展させ、それを関連する研究機関に幅広く供給することにより、ピストントライボロジー研究用世界基準エンジンを完成させることを目的とする。

2. 研究用エンジンの概要

図1は、筆者が独自に設計製作した本研究エンジンの基となる単気筒エンジンの外観写真である。本エンジンの特徴は、筆者が独自に開発にした浮動ライナー装置を有し、ピストン摩擦力を連続的に測定できることである。図2にその代表測定例を示す。1サイクル中のピストン摩擦力が連続的に測定できることかた、ピストン摩擦力の絶対値のみでなく、ピストンの潤滑状態を判断できることから、ピストン摩擦力低減に対して不可欠な情報となる。

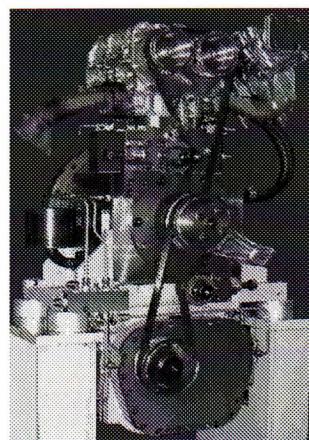


図1 研究用エンジンの外観

3. 研究内容及び結果

本研究では、前述の研究用エンジンの有効性を高めるために装置の改良を行い、以下の結果を得た。

(1) 測定精度及び測定範囲の拡大

浮動ライナー装置の固有振動数増加により、測定範囲を機関回転数 3000rpm から 4000rpm に拡大した。

(2) ピストンスカート部の油膜可視化

浮動ライナー装置にガラス窓を設け、摩擦力測定と同時にスカート油膜を可視化した。図3に圧縮上死点

(TDC)から上死点後 30° (ATDC30°)までのスカート油膜の変化を示す。この油膜変化とピストン摩擦力を対比することで、膨張行程の摩擦力増加原因が解析できる。

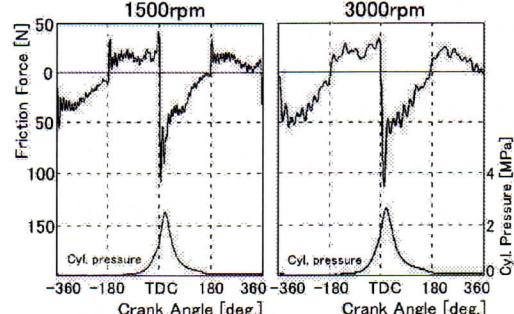


図2 ピストン摩擦力測定代表例

4. まとめ

以上の研究成果をもとに、ピストン摩擦低減を追求すると共に、本研究エンジンの有効性を更に高めることにより、世界基準エンジンとしての地位を構築していく。

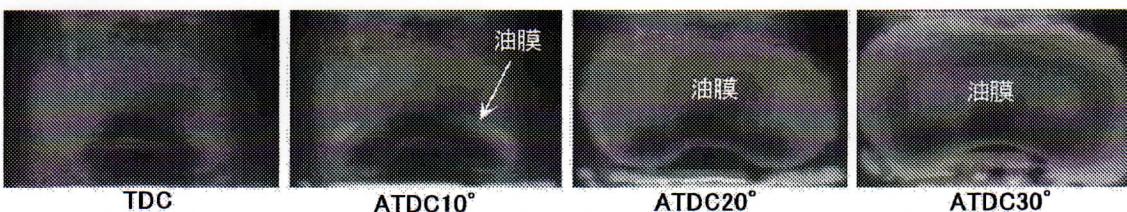


図3 圧縮上死点直後のスカート油膜変化の測定例

第一段パルス管冷凍機の実験

An Experiment with a Single Stage Pulse Tube Cryo-cooler

山根公高
武藏工業大学 工学部

1. まえがき

水素を燃料として自動車に車載する方法について、5 kg の水素を積むために必要な貯蔵システムの必要重量と体積を試作貯蔵システムから求めた（Opel 社提供）。液体水素が最軽量で必要容積が最小であると報告されている。しかし、液体水素貯蔵法には、もうひとつ解決すべき重要な問題すなわち自然蒸発がある。一度燃料タンクに入れた液体水素が自然蒸発してしまう。これは、一般に受け入れてもらえない。そこで、外部からの熱進入により自然蒸発した水素を冷凍機で冷やして再液化する方法が考えられた。冷凍機は電力で駆動することから、その電力コストが自然蒸発する液体水素のコストより大きい場合は、電力を用いて冷凍機を動かすことは全く意味がなくなる。しかし、現状の冷凍機の効率を用いて計算をした結果は、その電力のほうが安いことが判明した。車載を目的とするため評価項目を（1）小型軽量、（2）長寿命、（3）簡単な構造、（4）利便性として、研究対象冷凍機を選定した。その結果、パルス管冷凍機について研究開発することに決めた。

2. パルス管冷凍機の基本構成

パルス状の圧力波を振動流発生装置（コンプレッサーで圧力を上げ、ロータリーバルブを回転させることにより、一定の周波数発生させる）で発生した振動流を蓄冷器に投入する。蓄冷器で熱がうばわれ、パルス管に入る。位相制御機構により、パルス管内左端で仕事をするようにすることによりその部分で温度が下がる。図 1 にパルス管の基本構成を示す。

3. 実験結果

試作したパルス管冷凍機を駆動させ、低温部を計測した。その結果を図 2 に示す。起動開始から約 2000 秒後に -251.3°C (21.7K) まで冷却できた。まだ、目標の -256°C には達していない。

4. まとめ

液体水素タンク内の蒸発水素をパルス管冷凍機で再液化させ、蒸発損失をゼロ化するためには、少なくとも膨張波部（冷却部）の温度を 17K 以下にする必要がある。パラメータの最適化をはかりこの試作パルス管冷凍機でどこまで低温が得られるかを調査してゆく。

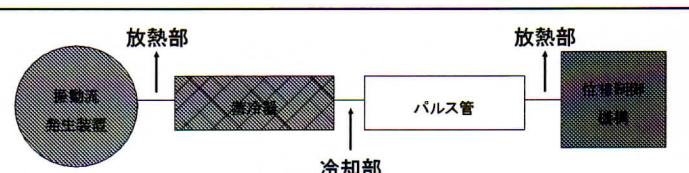


図 1 パルス管の基本構成

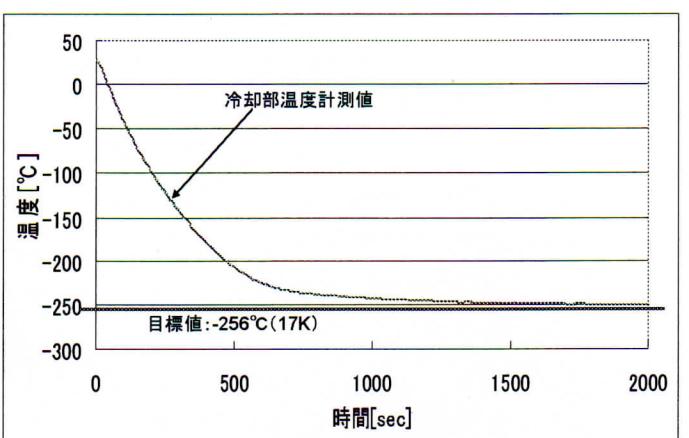


図 2 現在得られている最低温記録データ

Post buckling stability of shear bending columns with moving boundary conditions

I Nishimura

Department of Architecture, Musashi Institute of Technology, Tamazutsumi 1-chome
28-1, Setagaya-ku, Tokyo 158-8557, Japan

Email: isao@a00.itscom.net

SUMMARY

This research project focuses on the discussion of the effect of geometrical nonlinearity associated with the load supporting mechanism of shear bending columns such as laminated rubber bearings used for base isolation method in civil engineering. Although their post buckling behavior is one of the key issues for performance evaluation of base isolated civil structures, relatively small attention has been paid to this problem. One of the main reasons for this unattended problem is that the linear Haringx model is good enough to explain the laboratory test results. We are satisfied with the model, especially because it could linearly explain the buckling load of laminated rubber bearings even under large deformed conditions. It is true that the linear buckling load that was derived from the Haringx model shows a good agreement with experimentally observed results, but the response displacement of those bearings would be in a highly nonlinear state under extremely large earthquake ground motions. Why could linear Haringx model explain the buckling load even under a large deformed condition? Although this is the author's simple motivation to start this investigation, there have been discovered rather complicated nonlinear phenomena behind the apparent simplicity. The author eventually found that the nonlinearity of the differential equation and the moving boundary condition could cancel each other under a certain condition. As a result the eigen-value of the associated stability equation could be constant in a relatively large deformed state, which means the buckling load is constant regardless of large deformation. In the long run, the author successfully obtained the closed form solution of the post buckling behavior of a shear-bending column under a critical load. The results are expressed in terms of Jacobi's elliptic integrals. This theoretical discovery shows a possibility to enhance the stability of the slender rubber bearings, which enabled us to develop the new rubber bearings that could support small structures such as residential houses base isolated by them. Based on this theoretical formation the author successfully improved the stability of the rubber bearings, especially suitable for base-isolated houses against large earthquakes. Attached paper explains the theoretical formation followed by the experimental verification and closed by some comments on the future applications.

機器分析室

機器分析による物質のキャラクタリゼーション

武藏工業大学 総合研究所 吉田 明、新藤 恵美、浜村 尚樹

1. はじめに

機器分析室はこのほど全学共通利用施設・設備として武藏工業大学総合研究所に所属することになった。機器分析室の主な役割は分析機器を使った体験教育、および学内の研究室で行われる卒業研究や研究のうち、機器分析室に設置されている大型の分析装置による分析とその評価の部分を担うことがある。また、高価で高級な分析機器を所有する機器分析室のもう一つの役割としてして、学外の卒業生や企業からの依頼分析や他大学および研究所との共同研究などの社会貢献が期待されている。しかし、それらの学内外の最先端のニーズに応えるためには最先端の装置に頼ることが大きいが、装置を使いこなす最先端の分析知識とテクニックが必要である。それらのニーズに応えるために機器分析室スタッフは関係学会に所属し、最先端の研究動向や分析テクニックの調査および講習会に参加し備えている。また、それらを実践し確かめるためにスタッフ各自が分析機器や分析手法に関わる研究テーマを持ち、その結果を公表し、外部の専門家や機関から評価されることにより分析知識や分析テクニックを保っている。そこで、本紀要では平成 19 年度に分析室スタッフの研究テーマや共同研究テーマおよび依頼分析等の成果の一部を報告し、論文となった物は別刷りを添付した。

なお、学内の研究室における研究テーマで分析指導および依頼分析して得られた成果については、機器分析室利用報告として別に報告する。

2. 学校法人五島育英会傘下の各学校におけるアスベスト分析結果の報告

近年有害アスベストの壁材への使用が問題視され、文部科学省も各学校に対しアスベスト調査と改善の指導を行なっている。ここ五島育英会傘下の学校でもアスベストの調査と対策を取ることになり、アスベスト分析を等機器分析室で行った。その結果、東横幼稚園、東横小学校、武蔵工大附属中高、付属第二高校では幸いにして有害アスベストは検出されなかったが、武藏工業大学の一部の研究室で使われていることが判明し、その対策がとられた。また、最近、従来日本の建築材料には殆ど含まれていないとされていたトレモライトが、建築材料に含まれている可能性とその有害性が指摘され、文部科学省から調査と対策の指導がなされたことから、平成 20 年度にトレモライトに関する五島育英会傘下の学校に対する再分析を機器分析室でおこなうことになっている。

3. 環境優先型アルミニウム化学研磨法による表面皮膜のナノ構造解析（科学研究費研究課題）

この研究は科学研究費研究課題で本年度が最終年度となるが、様々な分析機器による解析結果として、従来型のアルミニウム化学研磨に比べて環境優先型アルミニウム化学研磨法による研磨表面の皮膜の特徴ある網目状組織は素地の結晶粒とは無関係であること、皮膜構造は Al_2O_3 と $\text{Al}(\text{OH})_3$ の 2 層構造ではなく $\text{Al}(\text{OH})_3$ が Al_2O_3 にサンドイッチされた 3 重構造で従来型研磨法に比べて 1.5 倍ほど厚いことがわかった。また、表面の凹凸の大きさや皮膜厚さにより特に紫外線領域の反射率が異なることがわかった。

4. メソフェーズピッチ系炭素繊維 P100 の X 線 100 回折線測定と繊維軸に沿っての結晶子寸法評価

通常炭素繊維の結晶子寸法の評価には試料を粉末状に粉碎し粉末 X 線回折法の反射法を用いるが、粉末法ではメソフェーズピッチ系炭素繊維 P100 試料の繊維軸方向の結晶子寸法は一種類の平均結晶子寸法としてしか認識できな。本研究では自作の特殊なホルダーを使い、繊維束をそのまま X 線回折装置で反射法と透過法で測定することで、P100 試料の繊維軸方向の結晶子寸法が異なる二種類の結晶子が存在することがわかった。

(成果論文；吉田明、鏑木裕、菱山幸宥、炭素 2007 [No.228] 143-152.)

5. ラマン一次スペクトルと固定触媒法によって製したベンゼン系気相成長炭素繊維の黒鉛化

学術振興会 117 研究会(炭素材料)における「比較的黒鉛過度の高い炭素材料におけるラマンスペクトル測定法の標準化」の一環として行った研究で、固定触媒法によって調製したベンゼン系気相成長炭素繊維 (VGCF) を 1800°C から 3000°C まで 200°C 間隔で各 30 分熱処理し、得られた試料のラマン一次スペクトルを面間隔 d_{002} の関数として検討した。G バンドの半値幅 G-FWHM および G バンドに対する D バンドの相対強度 I_D/I_G は、黒鉛構造を持つ結晶子から成る VGCF 試料においては d_{002} とより良く関係付けることができた。

(成果論文；吉田明、鏑木裕、菱山幸宥、炭素 2007 [No.230] 316-323.)

6. Electrochemical behavior of surface-modified petroleum cokes in propylene carbonate containing solvents.

石油系コークスとその熱処理 (1860、2300、2800°C) 試料を F、 NF_3 、 ClF_3 等で表面を改質し、それらの表面構造と電池材料としての充放電特性の関係を検討した。

(成果論文；K. Nakajima, A. Yoshida, at al., Journal of Power Sources Vol. 167 (2007), 93-102.)

**共同研究支援
インフラテック研究室**

共同研究支援

インフラテック研究室

インフラストラクチャーの整備計画には、社会的必要性、長期的展望、事業継続性、安全性、維持管理計画などに説得力があり、説明責任を果たし、合意形成がなされなければならない。

そのためには、各側面で多くの技術を必要とするが、その中で、（1）減災技術および防災投資促進技術と（2）環境負荷低減技術の開発は重要である。前者の技術は、自然災害リスクに対峙して、インセンティブが得られ防災投資を促す技術である。後者の技術は、環境負荷の少ない施設を計画、設計、建設、維持管理および解体する技術と建材リサイクルを可能とする循環技術の開発である。

これは、まさしく本研究室開設の原点であり、大学の戦略的展望に立ってインフラテック研究室を建設部門の研究センターへと発展させることを目指すものである。そのために、環境・防災・金融・人間などの分野を総合したインフラテクノロジーの開発を推進している。

本研究室では、防災投資促進技術と環境負荷低減技術の2つの技術に特化した研究を行ってきた。

（1）減災技術および防災投資促進技術に関する研究

最近、事業継続管理（BCM）の一環として地震防災対策の緊急性が叫ばれている。が、しかし、対策にはお金がかかるわけなので闇雲な投資は許されない。すなわち、社会資本では、納税者、市民へ原資である税金を使う理由の説明責任がある。民間資本では、株主、債権者さらに一般のステークホルダーに説明できなければならない。

説明に際して、対策代替案のLCC期待値に基づく比較説明だけでは不十分である。なぜならば、いずれにせよ対策による便益の議論を除く、出費のみの最小値比較に過ぎないからである。対策の効果をどの視点で捕らえたらよいのでしょうか？

リスク対策では、対策費用と被害軽減効果を投資効率の視点から検討することが必要である。

本研究は、キャッシュフローの不確定性（変動リスク）、自然災害損失の不確定性（純粋リスク）を貨幣単位で一元化した手法により、定量的に企業価値あるいは防災対策を評価する方法を開発したものである。本手法は、LCCの発展的再構築、構造工学と金融工学の融合による問題解決と位置づけている。

（2）環境負荷低減技術に関する研究

具体的には、高耐力マイクロパイアルによる環境適合型の土木構造物の基礎耐震補強工法技術の開発である。1997年4月に高耐力マイクロパイアル研究会を産学共同で立ち上げ10年が経過した。星谷は本研究会の会長の立場から、新技術の開発を指導し、1) 地震などの災害からライフラインを守る、2) 工事に伴う諸々の環境負荷を軽減する、3) 年数が経過した構造物の維持管理・補強に適切な工法を提供する、を課題にして、高耐力マイクロパイアルの実用化を目指してきた。その結果、2007年9月現在で、国土交通省、県庁国道工事事務所などの橋梁基礎の補強工事を代表例に施工実績100件、総延長30,000mに達している。

また、平成19年6月には、高耐力マイクロパイアル研究会は、設立10周年記念誌「高耐力マイクロパイアル工法、10年の歩み」を編集した。

PML指標を用いた上水道システムの地震リスク評価

武藏工業大学 正会員 星谷 勝, 丸山 收, 山本欣弥, 嶽 仁志

1.はじめに

本研究は、上水道システムを対象として、年間最大損失 PML(Probable Maximum Loss)指標を用いた地震リスク評価を行うことを目的としている。

2.上水道システムの地震リスク解析

地震の発生確率を $P(E_q)$ とすると、リンクの破壊確率 $P_{j,q}$ は次式で求められる。

$$P_{j,q} = P(S_j | E_q)P(E_q), j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

ここで、 S_j : j 番目のリンク、 n : リンクの総数である。

構造的損失 S_q はリンクの破壊または非破壊に依存するため、これらを状態ベクトル $\mathbf{X}_q = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n\}_q$ として抽出する必要がある。また、状態ベクトル \mathbf{X}_q の総数は 2^n となる。 j 番目のリンクが破壊したならば $x_j = 1$ を、非破壊ならば $x_j = 0$ とすると、状態ベクトル \mathbf{X}_q の発生確率は次式で与えられる。

$$P(X_q) = \prod_{j=1}^n P_{j,q}^{x_j} (1 - P_{j,q})^{1-x_j} \quad (2)$$

一方、構造的損失 S_q は式(3)で表される。

$$S_q = \sum_{j=1}^n x_j s_j \quad (3)$$

ここで、仮に s_j は j 番目のリンクの再調達価格を平時の総資産価格に対する比率で表現する。

次に、機能的損失 F_q を求める。各ノードに関する状態ベクトルを $\mathbf{Y}_q = \{y_1, y_2, \dots, y_k, \dots, y_m\}$ とする。このとき、 k 番目のノードに水が供給されない場合は $y_k = 1$ を、供給される場合は $y_k = 0$ とし、 m はノードの数を表している。また、機能的損失 F_q も式(3)と同様に次式で与える。

$$F_q = \sum_{k=1}^m y_k f_k \quad (4)$$

ここで、 f_k は k 番目のノードから得られる便益/収益である。損失総額: L_q は構造的損失: S_q と機能的損失: F_q の和として求められる。

$$L_q = S_q + F_q \quad (5)$$

以上により、単一のシナリオ地震に対する損失総額: L_q と発生確率: $P(X_q)$ を算出し、その中で最悪な PML を求めることができる。

3. 数値解析例

本解析では、単純なモデルを用いて、以下に示すシナリオ 1~3 の 3 通りの解析をした。シナリオ 1 は、基本のシナリオである。地震発生確率 $P(E_q)$ を 0.2 に、リンクの条件付き破壊確率 $P(S_1 | E_q) \sim P(S_5 | E_q)$ をそれぞれ 0.6, 0.5, 0.4, 0.45, 0.55 とし、リンクの再調達価格 $s_1 \sim s_5$ をそれぞれ 50, 70, 42, 35, 42 万円に、ノードから得られる便益/収益 $f_1 \sim f_5$ を 35, 40, 30 万円と設定した。シナリオ 2 は地震発生確率 $P(E_q)$ のみをシナリオ 1 の

1/10 とした。シナリオ 3 はノードから得られる便益/収益 f_q をシナリオ 1 の 4 倍に設定した。また今回は、震源数を 1 つとし、単年度での評価とした。

4. 結果

シナリオ 2 の結果から、地震発生確率 $P(E_q)$ を極端に小さくすると、95%の非超過確率を満たすことが出来なくなってしまった。ここで示した試算結果より、リンクの破壊確率、損失額の変動が、95%非超過確率の計算に影響を与えることが分った。またネットワークが複雑となり、冗長性が増す場合に非常に計算が困難となることが容易に推測できる。

今後の課題としては、1)複雑なネットワークにおいて 95%の非超過確率を効率的に算出する手法、2)多震源や複数年においての評価も考慮する必要性、3)ハザードの情報を工学的な知見を基に与えることなどがある。

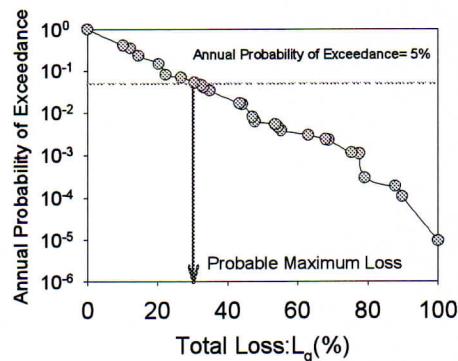


図-1 シナリオ 1 による解析

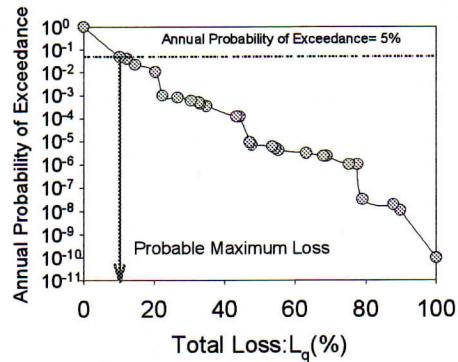


図-2 シナリオ 2 による解析

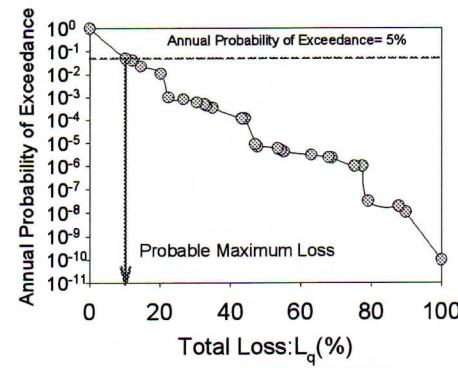


図-3 シナリオ 3 による解析