

東京都市大学
平成24年度 総合研究所 紀要

第9号

平成25年5月
東京都市大学・総合研究所

巻頭言

本研究所は、シリコンナノ科学研究センター並びにエネルギー環境科学研究センターを拠点として、平成 16 年 4 月に武蔵工業大学総合研究所として等々力キャンパスに設置され、以来、本学の特色ある先端的な研究を推進するとともに、大学院生、学部生に対し、先端的な教育環境を提供して参りました。平成 21 年の大学名称変更に伴い、東京都市大学総合研究所となり、現在にいたっております。本研究所では、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業をはじめとする大型プロジェクト研究、文部科学省科学研究費補助金や本学固有の制度である重点推進研究などの学内外の提案公募型研究、そして企業、他大学との共同研究が推進されています。得られた成果は、定期的に開催される総合研究所セミナーほかで広く学内外に情報公開されており、学内外との情報交換、研究者間の交流を促進しています。以下、24 年度の活動内容を簡単にまとめます。

戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクトでは、『生活密着型次世代燃料電池の技術開発と解析手法の確立によるシステムの最適化（平成 20 年開始）』、『生体インターフェース用ナノカーボン／量子デバイス複合型バイオチップの開発（平成 20 年開始）』、『次世代 LSI に向けた新機能シリコン系ナノ電子・光・スピンドバイスの創出（平成 21 年開始）』、そして内閣府最先端・次世代研究開発支援プログラム『地球規模問題に対する製品環境政策の国際的推進を支援するライフサイクル経済評価手法の開発』、以上 4 つを大型研究として推進いたしました。

先ず、『次世代燃料電池の技術開発と解析手法の確立』の研究では、小型で軽量な固体高分子形燃料電池の普及に必須となる、150～160℃程度で動作する中温動作燃料電池の作製を目指し、様々な組成と構造をもつ電解質膜及び膜電極接合体の検討を進めました。小型固体酸化物燃料電池の開発では、500℃作動で 0.1W/cm²の発電を目指す研究では、電極／電解質界面への中間緩衝層の導入、固層反応抑制と破壊力学特性向上に向けた元素置換などを行い、セル設計に必要となる多くの知見を得る事ができ、3月末をもって 5 年間のプロジェクトを終了いたしました。

次に、『複合型バイオチップの開発』の研究では、CNT をベースとしたバイオチップの作製が基本であるため、熱 CVD 法を用いた生体親和型バイオデバイス上電極への CNT 架橋成長について実験をすすめ、電極への CNT 架橋成に成功し、バイオチップ自体の生体適合性を向上に向けた大気圧プラズマを用いた培養細胞の活性化・増殖について実験を進め、予想以上の成果を得る事が出来ました。さらに、小動物を用いたバイオチップの生体埋め込み実験・評価では、比較的長期間（約 1 ヶ月）の埋め込みを実証でき、3月末をもって 5 年間のプロジェクトを終了いたしました。

また、『新機能シリコン系ナノ電子・光・スピンドバイスの創出』では、先ず、超高速電子デバイス開発に向け、歪 Ge 擬似基板、そしてこれを発展させた歪 GOI(Ge-on-Insulator)基板の開発を進め、転位密度の低い良好な基板を作製出来ました。加えて、シリコン系光デバイスの開発では、Ge 量子ドットを発光源とし、L3 型フォトニック結晶微小共振器と組み合わせた室温、通信波長帯発光デバイスを試作し、世界最高の Q 値(831)を達成する事が出来ました。

また、『ライフサイクル経済評価手法の開発』では、先ず、コンジョイント分析に基づく環境影響の統合化手法の開発を進めました。日本、中国、インドを対象とした統合化係数の開発では、調査票の作成、面接調査を行い、ランダム効用理論に基づくシミュレーションから限界効用の算出を行う事が出来ました。また、地球温暖化の健康影響と生物多様性に関わる被害評価手法の研究をスタートし、大気汚染、酸性化、光化学オキシダントに係わる被害係数の開発に着手いたしました。

以上のプロジェクト研究に加え、広域型地震防災研究室、都市の安全・安心研究室、カーボン材料研究室、粉末冶金材料開発研究室、水素自動車実用化研究室、デジタルアーカイブ研究室、地盤環境評価研究室において特色ある研究が推進されています。詳細は夫々の報告をご参照願います。

最後となりますが、平成 25 年 3 月 7 日に高木研一前総合研究所所長が急逝されました。ここに、これまでの総合研究所運営に関する御努力に対しまして感謝申し上げますと共に、ご冥福をお祈り申し上げます。

平成 25 年 5 月
東京都市大学総合研究所
所長 丸泉琢也

総合研究所構成員

(2012年4月1日現在)

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		(無機材料化学)
	教授	宗像 文男	[工学部]兼務	(固体化学)
	教授	武 哲夫	[工学部]兼務	(エネルギーシステム)
	准教授	江場 宏美	[工学部]兼務	(無機物質科学)
	共同研究者	鈴木 智史	工学部非常勤講師	(無機材料化学)
	共同研究者	古谷 健司	[AGCセイミケミカル(株)・課長]	(材料プロセッシング)
	共同研究者	国松 昌幸	[神奈川県産技センター・主任研究員]	(電気化学計測工学)
	共同研究者	須田 聖一	[J F C C・主任研究員]	(無機材料工学)
	共同研究者	嘉藤 徹	[産総研・グループリーダー]	(エネルギーシステム)

シリコンナノ科学研究センター

センター長	教授	丸泉 琢也	[工学部]兼務	(半導体工学)
	教授	白木 靖寛		(半導体工学)
	教授	小野 茂	[工学部]兼務	(プラズマ科学)
	教授	桐生 昭吾	[工学部]兼務	(量子計測)
	教授	岩松 雅夫	[共通教育部]兼務	(統計物理・計算物理)
	教授	岡野 好伸	[知識工学部]兼務	(マイクロ波応用)
	教授	吉田 真史	[知識工学部]兼務	(計算科学)
	教授	野平 博司	[工学部]兼務	(電子物性)
	准教授	澤野憲太郎	[工学部]兼務	(半導体工学)
	講師	瀬戸 謙修	[工学部]兼務	(半導体CAD)
	講師	堀越 篤史	[知識工学部]兼務	(計算科学)
	客員教授	中川 清和	[山梨大・教授]	(半導体工学)
	客員教授	松井 敏明	[情報通信研究機構]	(半導体工学)
	客員研究員	夏 金松	[武漢光電国家実験室]	(半導体工学)
	博士研究員	徐 学俊		(半導体工学)

ナノカーボンバイオデバイス研究センター

センター長	教授	田口 亮	[工学部]兼務	(画像解析)
	教授	秋谷 昌宏	[工学部]兼務	(バイオセンサ)
	教授	森 晃	[工学部]兼務	(プラズマ医学)
	教授	仁木 清美	[工学部]兼務	(超音波計測)
	教授	丸泉 琢也	[工学部]兼務	(半導体工学)
	准教授	平田 孝道	[工学部]兼務	(バイオセンシング)
	准教授	島谷 祐一	[工学部]兼務	(感性生理学)
	准教授	澤野憲太郎	[工学部]兼務	(半導体工学)
	講師	京相 雅樹	[工学部]兼務	(生体信号計測)
	博士研究員	筒井 千尋		(内分泌学)
	共同研究者	坂井 貴文	[埼玉大・教授]	(内分泌学)
	共同研究者	畠山 力三	[東北大・教授]	(プラズマ理工学)
	共同研究者	山本 雅	[東大・教授]	(分子生物学)
	共同研究者	山本 俊昭	[工学部・客員教授]	(プラズマ応用)

環境影響評価手法研究センター

センター長	准教授	伊坪 徳宏	[環境情報学部]兼務	(環境影響評価)
	博士研究員	村上 佳世		(環境経済学)
	博士研究員	湯 龍龍		(環境影響評価)

水素エネルギー研究センター

センター長	教授	武 哲夫	[工学部]兼務	(エネルギーシステム)
	教授	永井 正幸		(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)
	教授	三原 雄司	[工学部]兼務	(内燃機関・トライボロジー)
	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 肅	[工学部]兼務	(パワーエレクトロニクス)
	准教授	伊東 明美	[工学部]兼務	(内燃機関・トライボロジー)
	准教授	黒岩 崇	[工学部]兼務	(バイオ副生ガス化学)
	准教授	山根 公高	[工学部]兼務	(水素エネルギーシステム)
	技士補	中川 研司		(エネルギーシステム)

重点推進研究室

広域型地震防災研究室

准教授	古屋 治	[工学部]兼務	(機械耐震, 振動応答制御)
教授	吉川 弘道	[工学部]兼務	(地震リスク, コンクリート工学)
教授	濱本 卓司	[工学部]兼務	(建築構造, 構造ヘルスマモニタリング)
教授	藤本 滋	[工学部]兼務	(原子力・機械耐震, 振動発電)

粉末冶金材料開発研究室

所長	教授	高木 研一	(材料工学)
----	----	-------	--------

カーボン材料解析研究室

教授	吉田 明	(分析科学)
----	------	--------

都市の安全・安心研究室

教授	三木 千壽	(インフラマネージメント)
----	-------	---------------

インキュベーション・ラボ

デジタルアーカイヴ研究室

教授	横井 利彰	[環境情報学部]兼務	(情報システム, シミュレーション技術)
共同研究者	鈴木 敏雄	[アーカイヴディスクテストセンター 運営責任者・主幹技術員]	(電子工学)
共同研究者	横倉 満	[アーカイヴディスクテストセンター 研究企画]	(経営工学)
共同研究者	小川 博司	[ビフレストック (株) 技術顧問]	(電子工学)

水素自動車実用化研究室

准教授	山根 公高	[工学部]兼務	(水素エネルギーシステム)
共同研究者	今井作一郎	[ITカーズ株式会社 試作・設計担当]	(エンジン工学)
共同研究者	梅村 幸生	[エネルギー化学科客員研究員 試作・設計担当]	(機械工学)

地盤環境評価研究室

教授	末政 直晃	[工学部]兼務	(都市工学, 地盤工学)
共同研究者	佐々木隆光	[強化土エンジニアリング・主任技術者]	(地盤工学)
共同研究者	永尾 浩一	[佐藤工業・技術研究所研究員]	(地盤工学)

事務室

事務員	小久保眞佐子	社会連携センター
事務員	鈴木栄里子	社会連携センター

目 次

1. 平成24年度 活動報告	1
2. 平成24年度 研究概要	
エネルギー環境科学研究センター	5
エネルギー環境科学研究センター 「生活密着型次世代燃料電池の技術開発と解析手法の確立による システムの最適化」プロジェクト平成24年度活動報告	永井 正幸
中温度作燃料電池用電解質膜の作製と評価	永井 正幸
複合酸化物材料の研究 －固体酸化物燃料電池材料に関する基礎研究－	宗像 文男
製鋼スラグに含まれるライム相固溶体のX線回析法による評価	江場 宏美
シリコンナノ科学研究センター	11
シリコンナノ科学研究センター概要	丸泉 琢也
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
X線光電子分光法によるIV族半導体ヘテロ構造量子・ナノデバイスの研究	野平 博司
超高速Si/Ge 電子デバイスに向けた基板開発	澤野憲太郎
Germanium-based Light Emitting Devices for Silicon Photonics	徐 学俊
ナノカーボンバイオデバイス研究センター	19
平成24年度研究成果報告	田口 亮
5年間の研究成果報告	平田 孝道、田口 亮

水素エネルギー研究センター・・・・・・・・・・・・・・・・	29
水素エネルギー研究センター報告	武 哲夫
都市基盤施設の再生工学研究センター・・・・・・・・	33
平成24年度成果報告	三木 千壽
重点推進研究室・・・・・・・・・・・・・・・・	39
広域型地震防災研究室	
サイズミックインタラクションの系統的検討と横断型防災技術教育の確立	
古屋 治、吉川 弘道、濱本 卓司	
藤本 滋、村松 健	
カーボン材料構造解析研究室・・・・・・・・	43
カーボン材料構造解析研究室概要	吉田 明
インキュベーション・ラボ	
デジタルアーカイヴ研究室・・・・・・・・	49
デジタルアーカイヴ研究室の概要	横井 利彰
高信頼度アーカイヴシステムに関する研究	横井 利彰
水素自動車実用化研究室・・・・・・・・	57
水素自動車実用化研究室報告	山根 公高
地盤環境評価研究室・・・・・・・・	67
注入系液状化対策工法の開発	末政 直晃

3. 研究論文

エネルギー環境科学研究センター	71
シリコンナノ科学研究センター	95
水素エネルギー研究センター	141
重点推進研究 広域型地震防災研究室	183
カーボン材料解析研究室	189

総合研究所 平成24年度活動報告

月	日	活 動 内 容
4	18	総合研究所利用者説明会(前期)(学生及び貸研究室等登録者対象)
	19	第83回所内会議
	25	シリコンナノ科学研究センタープレス発表 『ゲルマニウム量子ドットをベースとした室温発振レーザーを可能とする極めて高効率に発光する電流注入型の発光デバイスの開発に成功』
5	11	第58回総研セミナー(平成23年度研究成果報告会)
	17	第84回所内会議
	31	総合研究所紀要-第8号-発行
6	6	災害用非常電話設置(事務室内)
	21	第85回所内会議
	22	第59回総研セミナー(環境影響評価手法研究センター)
7	6	第60回総研セミナー(ナノカーボンバイオデバイス研究センターシンポジウム)
	19	第86回所内会議
	31	日本材料試験技術協会見学
8	8	第39回運営委員会
	21	第63回総研セミナー(タマサート大学(タイ))
9	7	第61回総研セミナー(シリコンナノ科学研究センター)
	13	第87回所内会議
10	25	第88回所内会議
	31	総合研究所利用者説明会(後期)(学生及び貸研究室等登録者対象)
	31	第62回総研セミナー(エネルギー環境科学研究センター)
11	14	防災訓練
	15	第89回所内会議
	27	第40回運営委員会
	28	第64回総研セミナー(水素エネルギー研究センターシンポジウム)
12	13	第90回所内会議
	15	第65回総研セミナー (粉末冶金材料開発研究室/第8回日本ホウ素・ホウ化物研究会(JSBB))
1	17	第91回所内会議
	22)
	30	第66回総研セミナー (都市の安全・安心研究室/広域型地震防災研究室/地盤環境評価研究室)
2	14	第92回所内会議
	27	第67回総研セミナー(環境影響評価手法研究センター)
3	9	第68回総研セミナー(ナノカーボンバイオデバイス研究センター成果報告会)
	11	文部科学省平成24年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業シンポジウム エネルギー環境科学研究センター(第69回総研セミナー)
	21	第93回所内会議
	31	エネルギー環境科学研究センター終了
	31	水素エネルギー-研究センター終了
	31	ナノカーボンバイオデバイス研究センター終了

平成24年度 研究概要

エネルギー環境科学研究センター

「生活密着型次世代燃料電池の技術開発と解析手法の確立によるシステムの最適化」

プロジェクト平成24年度活動報告

エネルギー環境科学研究センター

永井正幸

1. プロジェクトの概要について

本学エネルギー環境科学研究センターでは、平成20年～平成24年において本学及び学外連携機関の燃料電池に関する知財を結集し、独自技術により実用レベルの性能をもつ小型燃料電池を作製し、その動作を実証することを目的として研究を進めてきた。本プロジェクトでは、中温動作を可能とする小型固体高分子形燃料電池 (PEFC: プロジェクト1) と、低温動作を可能とする小型固体酸化物形燃料電池 (SOFC: プロジェクト2) を対象として、2つのサブプロジェクトに分かれて研究に取り組んできた。前者では、可搬型及び小型分散電源システムの構築と最適化、後者では、小型分散電源としての燃料電池システムの構築と最適化を主な研究対象とした。平成24年度の主な研究成果は、以下の通りである。

2. プロジェクトの成果

2. 1 PEFCプロジェクトの成果

小型で軽量の固体高分子形燃料電池の普及に向けて、150～160℃程度で動作する中温動作燃料電池の作製は必須要件である。様々な組成と構造をもつ電解質膜及び膜電極接合体(MEA)を検討した結果、以下の成果が得られた。

- 1) リン酸処理石膏とエポキシシラン系で複合化した電解質膜において、160℃で $1.08 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ の高いプロトン導電率が得られたこと、さらにリン酸ジルコニウム及びイミダゾール系で複合化した電解質膜において、160℃において、 $3.2 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ の高いプロトン導電率が得られた点は、現システムで必須の加湿器が不要となるシステムが組み立てられる点で優れたものである。ただし、燃料電池の発電性能に関しては、電極の解析より白金触媒の実効面積が小さいために、電池出力が低いレベルでとどまっていることが示されており、出力増加が今後の課題である。
- 2) シリカをドーブしたポリエーテルケトン系炭化水素膜については、90℃程度の中温動作が可能であることが示唆される結果が得られた。さらに、表面をスルホン化したシリカをカソード触媒層のアイオノマーとして使用できる可能性があることが示され、水の保持能力の向上により、中温動作化へ道を拓くことが期待できる。

2. 2 SOFCプロジェクトの成果

燃料極支持型セルの性能の向上を図り、最終的な目標として500℃作動で 0.1W/cm^2 の発電を目指し薄膜セル製造プロセスの設計、特に電極/電解質界面の反応抑制を図る中間緩衝層の設計、作動/運転時のセルの耐熱衝撃性の向上を目指した材料設計などをプロジェクトの目標として進めてきた。その結果、以下の成果が得られた。

- 1) 中間緩衝層を両電極/電解質界面に導入することにより高温一体焼成型セルの構築を可能にすることができた。しかし、まだ十分に電極/電解質間の固相反応を抑制することができず、目標の発電性能は実現できなかった。今後、セル形成の最適な条件を見出し、現状緻密化してしまっている燃料極の多孔性化と空気極の焼結の抑制を行うことにより、性能向上が図れるものと考えている。
- 2) 電極/電解質間の固相反応を抑制するために1) Aサイト欠損や2) 他元素置換を試みた。その結果、Aサイト欠損は、固相反応のトリガー反応を抑制し、電極/電解質界面の抵抗の軽減に有効であることを明らかにした。一方、LaのNd置換効果は、電気伝導の改善は期待できなかったが、電解質自体の融点へ影響を与え、セル試作のプロセスに低温化に期待できる。
- 3) 熱衝撃などに対応した破壊力学特性を向上した電解質材料を開発するために、LaのNd置換など格子欠陥制御を検討したところ、Ndの特定の置換量で破壊靱性の向上に有効であることが示された。このことは、格子内に結晶ひずみなど何らかの破壊伝播を抑制するメカニズムが期待でき、電解質の組織制御が熱衝撃性の向上を図るうえで有効であることを示した。

今後これらの知見を基に、500℃程度の温度域で使用可能とする高出力で耐熱衝撃性の高いセルの設計を行っていく。

3. 今後の展望

PEFCに関しては、120℃～150℃の中温度領域で作動させることが可能な燃料電池システムを、SOFCに関しては、400℃～500℃の中温度領域で作動させることが可能な燃料電池システムを、それぞれ早期に構築することに全力で取り組む。そのうえで、スマートグリッドの分散電源としての適用可能性を検討する。

中温動作燃料電池用電解質膜の作製と評価

ハイブリッド材料化学研究室 永井正幸

本研究は、「生活密着型次世代燃料電池の技術開発と解析手法の確立によるシステムの最適化」プロジェクトの一環として、著者らが取り組んだ PEFC 用電解質膜の成果の一部を記す。新規電解質膜の開発については、150°C程度までの温度領域において無加湿で使用可能な電解質膜を作製し、電極と複合化して膜・電極複合体(MEA)を形成し、数百 mW/cm² 程度の出力特性を得ることを目標として設定した。その実現のためには、150°Cにおいて 10⁻²~10⁻³S/cm 程度の伝導度を有する電解質膜を作製する必要がある。そこで、リン酸処理石膏とエポキシシラン系試薬との複合体をゾル-ゲル法及び直接混合法(最終組成に混合した試料を加熱条件下で直接混合して試料を作製する方法)の二通りのプロセスにより作製することにした。その結果、ゾル-ゲル法においては、ナノレベルで複合化していることを示す P-O-Si 結合の存在が確認された。また、伝導度は160°Cにおいて 7.58×10⁻⁴S/cm であり、MEA 化するための伝導度の条件をほぼ満たすことが分かった。この電解質膜を用いて、MEA を作製して無加湿条件下 150°Cの燃料電池出力を求めたところ、0.35mW/cm² であった。一方、直接混合法による試料については、伝導度は 160°Cにおいて、1.08×10⁻³S/cm であり、MEA 化するための伝導度の条件を満たしていることが分かった。この試料中でも P-O-Si 結合が存在しており、さらに Si-O-Si 結合も存在していることから、ナノレベルで複合化が図られていることが推定された。この複合体の MEA を作製し、出力特性を計測したところ、無加湿条件下、150°Cにおいて 0.79mW/cm² であった。目標値に到達できなかったために、複合体の構成部材を変えることにより、燃料電池性能の向上を図ることにした。エポキシシラン系とイミダゾール系プロトン伝導体を基本組成として、TEOS(テトラエチルオルソシリケート)、リン酸ジルコニウム、リン酸を種々の割合で混合して試料を作製した。特に、イミダゾールとリンの比が膜の性状を支配することが分かったので、リン酸/Si 比とリン酸ジルコニウム/Si 比を固定して、イミダゾール/P 比を変化させて試料を作製した。最も高い伝導率は、イミダゾール/P が 1/8 の組成で得られ、無加湿条件下 160°Cで 3.2×10⁻³S/cm² であった。この値は MEA 化するのに適したものであるため、膜の組成に近い電極を用いて MEA を作製した。燃料電池特性を計測した結果、無加湿条件下 150°Cにおいて、3.6mW/cm² の出力密度が得られた。この値は最終目標値に未達ではあるが、無加湿条件下で温度上昇とともに伝導度が増加したので中温度領域での安定性は優れており、更なる出力の向上が期待できる。エポキシシラン系で燃料電池特性を安定して確認することは難しいとされ、これまでに計測例は極めて少ない。ここでは、ナノレベルでの複合化により、安定した燃料特性が得られたと考えている。

従来 SOFC の固体電解質に $(\text{ZrO}_2)_{0.92}(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.08}$ (8YSZ) を用いているが、低温下では酸素イオン伝導率が低下し、十分な発電性能が得られない。しかし、8YSZ は強度・靱性という機械的特性に優れ、SOFC 用としてのみならず酸素センサーや、構造材料としても用いられている。一方、LSGM は高い酸素イオン伝導性を有しているが、機械的特性は YSZ よりも低く、実用材料としては、機械的な特性をはじめいろいろな検討を加える必要があると考えられている。特に、SOFC が実際に作動する 500°C 以上の高温域における機械的特性について十分な検討はなされていなかった。実際に、セル作成時の電極/電解質間の反応の抑制、すなわち電解質材料の熱的安定性には、電解質中の格子欠陥構造が大きくかわる。

そこで、本年度は La サイトの他元素置換として、Nd で部分的に置換して、置換効果が酸素イオン伝導にどのように影響するか Nd 置換量を変えて検討した。その結果、Nd を増やすと伝導率は低下し、イオン半径の違いが影響を及ぼすことが示された。次にこれらの Nd 置換量を系統的に変えた組成について破壊靱性値の評価を行った。 $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ 。試料の破壊靱性値 (K_{Ic}) については、室温から 900°C の温度域で高温ビッカース硬度試験機 (Nikon QM-2) を用い、作製した試料のビッカース硬度を測定した。得られた結果を図 1 に示す。これらの結果より、 $x = 1/3$ では、 200°C から 600°C までほぼ一定の破壊靱性値を示し、破壊靱性の改善が見られた。この温度域は実際に燃料電池の作動温度域であり、この挙動の再現性があることから、A サイトの元素置換など欠陥制御が熱衝撃性の向上に有効であると考えられた。

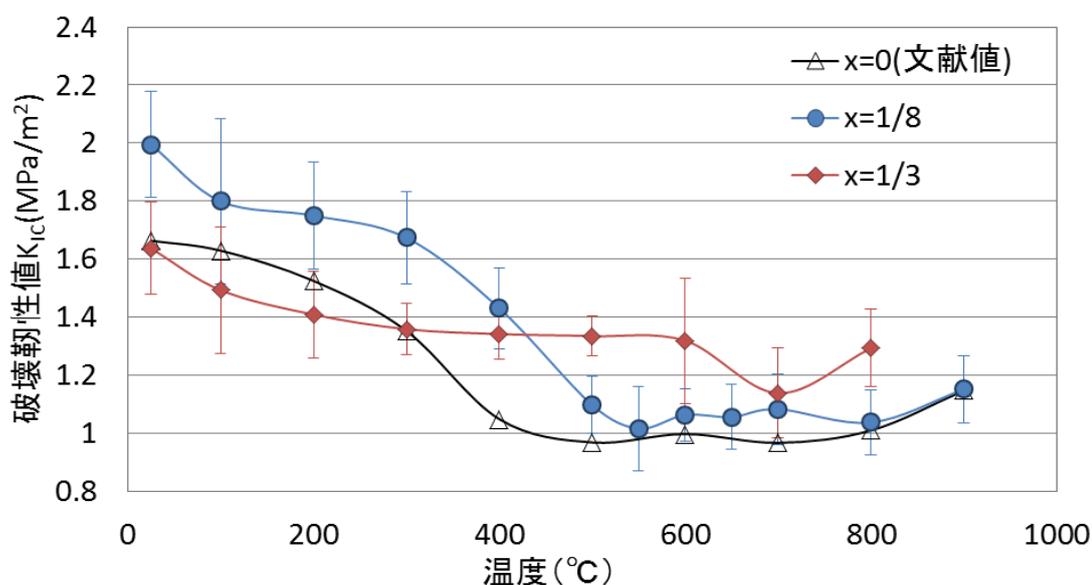


図 1 破壊靱性値への元素置換の効果

製鋼スラグに含まれるライム相固溶体の X 線回折法による評価

エネルギー化学科

西之原一平、加瀬直樹、平井昭司、江場宏美

【1. 緒言】

製鋼スラグは道路用路盤材などに有効利用されているが、遊離石灰 (free-CaO) を含み水和膨張性があることから、エージングによる安定化 ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$) が必要とされている。これを適切に行うためには CaO 含有量を正確に把握することが求められる。しかしスラグ中の CaO には二価金属酸化物 (FeO、MnO、MgO) がいくらか固溶しているものがあり (晶出ライム)、固溶度により水和反応性が抑制されるため水和挙動は単純ではない。本研究では、X 線回折法 (XRD) を用いてスラグ中 CaO (ライム相) における固溶度を見積もるとともに、スラグ中に共存する晶出ライムと未滓化ライム (固溶なし) との分離・定量を行うことを目的とした。まず、CaO と FeO または MnO との固溶体を合成した。

【2. 実験・解析方法】

固溶体 ($\text{Ca}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$ および $\text{Ca}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}$) は高温固相反応により合成した。CaO と FeO または CaO と MnO の粉末を混合し卓上型ランプ炉 (ULVAC 社、MILA-3000) を用いて、不活性ガス雰囲気中で 1110°C 、7 時間焼成後、液体窒素急冷した。またメカノケミカル法 (MC 法) によっても合成した。遊星型ボールミル (Gokin Planetaring 社、PLANET M2-3F 型) を利用し、原料粉末を不活性ガス雰囲気中で 800rpm で 30 分間反応させた。合成した固溶体の粉末 XRD 測定を行い、格子定数を決定した。そして固溶度 x と格子定数 a の関係式を求めた。つづいてスラグ試料 (転炉スラグ) の XRD 測定を行い、含まれるライム相が単一の固溶度を持つと仮定して、固溶度 x を決定した。また、今回は模擬試料として Ca、Fe、Si、O を成分とする合成スラグ試料に純 CaO を添加して XRD 測定を行い、前者のライム相を晶出 CaO、後者を未滓化 CaO と見立てて回折線のピーク分離を行い、固溶度の決定と定量分析を試みた。

【3. 結果および考察】

$\text{Ca}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$ は岩塩型構造のライム相とウスタイト相の固溶体が、 $\text{Ca}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}$ については全率の固溶体が合成できた。いずれの固溶体も格子定数 a は x に対してほぼ直線的に変化し (ベガード則)、 $\text{Ca}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}$ のライム相については次式が求められた。 a (nm) = $-0.0316x + 0.4810$ ($r^2=0.9753$)

つづいて、転炉スラグ及びこれを水蒸気エージング処理したものの XRD パターンを比較し、それぞれのライム相の 200 回折線 (Fig. 1) について単一ピークにフィッティングし、ピークトップの回折角 (2θ) から格子定数の代表値を求めた。この格子定数を上式に代入し、ライム相に FeO のみが固溶していると仮定した場合の固溶度 x を見積ると、エージング前においては $x=0.03$ 、エージング後においては $x=0.08$ と決定された。転炉スラグに含まれるライム相のうち、未滓化ライムを主とする固溶度の低い部分はエージング処理により除去 ($\rightarrow\text{Ca}(\text{OH})_2$) されたが、固溶度の高い部分 (晶出ライム) はエージング後も残っていると理解される。また合成スラグに純 CaO を添加した試料の XRD パターンについて、200 回折線ピークの擬フォークト関数によるフィッティングを行い、ピーク分離を行った。合成スラグの固溶度は $x=0.108$ と求められ、ピーク面積より得られた定量値も妥当な値であった。

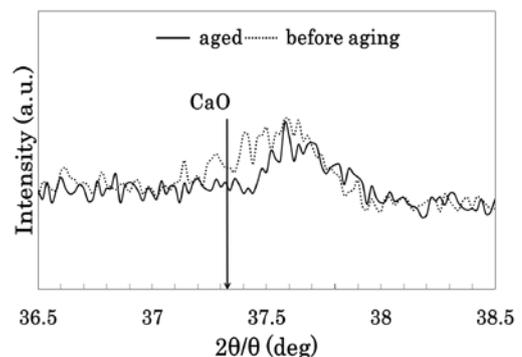


Fig.1 200 reflections of lime phase in converter slag comparing before and after aging.

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概要

シリコンナノ科学研究センターでは、平成 21 年度に採択を受けました文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業『次世代 LSI に向けた新機能シリコン系ナノ電子・光・スピンドバイスの創出』プロジェクトを推進しております。本プロジェクトは、実験研究を主とする『新機能シリコンフォトニック・スピンドバイスの創製と L S I 化に向けた研究（新機能デバイスプロジェクト）』と、シミュレーション研究により実験研究の加速・支援を目指す『シリコンナノシステムの計算科学（計算科学プロジェクト）』の 2 研究テーマで構成され、23 名の研究者が参加して推進しております。

平成 24 年度は、プロジェクト研究 4 年目を迎え、電子デバイス、光デバイス、そしてシミュレーション、夫々の分野で大きな成果を得る事ができました。

先ず、超高速電子デバイスの研究開発では、ホール、電子共に高速化が期待できる、一軸歪デバイス作製プロセスの高度化を進めました、従来のイオン注入法による歪導入技術に加え、傾斜組成法を用いた歪構造の作製に注力し、多くの研究成果を得ることが出来ました。さらに今年度は、新たに、歪み Ge 疑似基板を発展させた歪み GOI (Ge-on-Insulator) 基板の開発に注力し、図 1 に示す通りの膜厚 200nm の非常に高品質な GOI 基板形成に成功しました。

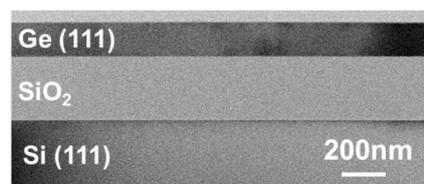


図 1 Ge(111)-on-Insulator の断面 TEM

次に、Ge 量子ドットとフォトニック等の微小共振器を組み合わせたシリコン系光デバイスの研究では、電流注入効率の悪かった縦型 p-i-n ダイオード構造を、横型に変更し、その電流注入効率を高めるとともに、L3 型フォトニック結晶微小共振器の構造最適化も同時に進めることで、発光強度の増大とスペクトルの先鋭化を進めました。この結果、通信波長帯で、スペクトルの先鋭度を表わす Q 値で、831 という世界記録を達成することが出来ました。また、室温領域のみならず、極低温領域からの発光特性変化を解析・評価するため、顕微鏡用連続式クライオスタットと 20K ヘリウム循環用冷凍機システムを導入しました（図 2）。発光特性の温度依存性を解析する事で、今後、発光メカニズムに関する知見が得られてくるものと期待しております。



図 2 顕微 PL 装置 (左) と低温用クライオスタット (中央下部)

最後に、計算科学プロジェクトでは、ドーパント不純物の表面偏析機構の第一原理計算、光デバイス共振器構造の最適設計を進めました。また、これ迄、北見工大と進めてきたデバイスシミュレーションと結晶塑性解析の複合解析では、転位メッシュデータを直接デバイスシミュレータに導入出来るようソフトウェアの拡張を図り（図 3）、材料解析の結果を精密に取り込み、電気特性の解析が出来る環境を整えました。以上、新機能デバイスプロジェクトで進められる実験研究と連携し、プロジェクト進捗に寄与することが出来ました。

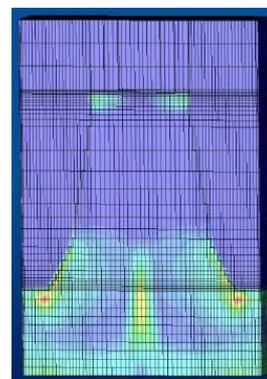


図 3 転位密度取り込メッシュ図

次年度は、プロジェクト最終年度となりますので、新機能デバイス、計算科学の双方とも、最終目標完遂に向け一層緊密に連携し、注力して参ります。関係各位のご指導、ご鞭撻をお願い申し上げます。

2013 年 5 月
シリコンナノ科学研究センター
センター長 丸泉琢也

1. はじめに

シリコンナノ科学研究センターでは、IV族半導体ヘテロ構造を利用する超高速電子デバイス、Ge 量子ドットと微小共振器を組み合わせた発光デバイスなど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、これらの開発を支援、加速する事を目的としている。今年度取り組んだ具体的テーマとしては、Ge 表面でのドーパント不純物偏析機構の解析、結晶塑性解析による STI 型 MOS (Metal Oxide Semiconductor) の応力・転位分布が電気特性に与える影響評価、一次元フォトニック結晶微小共振器の新規欠陥構造の評価等に加え、新たに抵抗変化型メモリ用酸化物への不純物元素添加による性能向上の検討を進めた。夫々の研究について、その概要を報告する。

2. 研究成果

1) 第一原理計算によるドーパント不純物偏析機構の解明

不純物ドーパントの表面偏析は、総合研究所で進めている分子線エピタキシー結晶成長において極めて重要であり、澤野准教授により Sb 原子に関する実験的評価は進められているが、その他のドーパント不純物に関するデータがなく、シミュレーションによる評価が重要となる。今年度は、モデルとして、表面再構成モデルを用いた偏析ポテンシャルの解析をすすめた。計算規模が幾分膨大となったため、吸着エネルギーの評価段階でとどまっている。平成 25 年度は、本モデルを用い、Kinetic Monte Carlo 計算による偏析の動的プロセス解析に必要となる偏析ポテンシャル、活性化エネルギーの評価を進める。

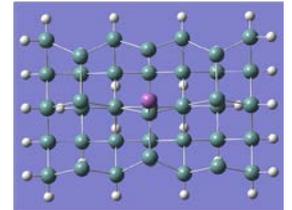


図 1 Ge(100)再構成面

2) 抵抗変化型メモリ用酸化物へのドーピング効果の検討

最近、高速・低消費電力なメモリとして、酸素空孔の移動と連結により、抵抗が高速に変化する抵抗変化型メモリに対する期待が高まっている。本研究では、その一例として実用化が目指されている ZrO_2 について、Al、Y、Mg 等の III 族元素で Zr を元素置換した場合の酸素欠損生成エネルギーの変化、バンドギャップ中の欠陥準位生成などについて評価した。元素添加に伴い、生成エネルギーが低下、高速応答に結びつくと予想された。

3) デバイスシミュレーションによる STI 型微細 MOS 特性解析

MOS(Metal Oxide Semiconductor)電子デバイスの微細化に伴い内部応力による結晶転位の発生が顕在化している。これ迄、北見工業大学との共同研究により、STI(Shallow Trench Isolation)型 MOS デバイス内部に発生した転位が、基板リーク電流に及ぼす効果を検討してきたが、デバイスシミュレータ DESSERT で用いるメッシュに、転位解析ソフト CLP7 のメッシュデータを重畳出来ないという問題があり、転位の効果を精密に評価出来なかった。このため、今年度、両者の間でメッシュの整合性をとる変換プログラムを開発し、転位発生の影響をより精密に解析出来るようにした。昨年度までのデバイスシミュレータ転位メッシュと、変換プログラム利用のメッシュデータを図 2 に対比して示す。基板リークなどの特性評価に向け、現在、転位の電氣的モデル化(準位、捕獲断面積等)を進めている。

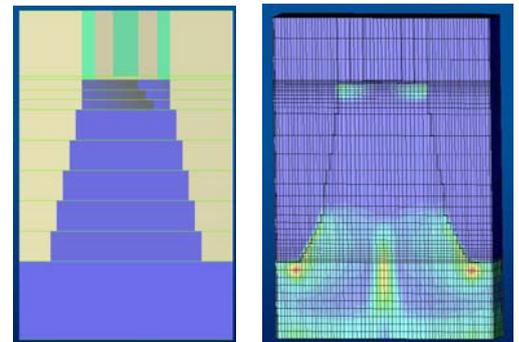


図 2 STI 構造 MOS 解析用転位メッシュデータ：(左) 変換前 (右) 変換後

4) FDTD 法による一次元フォトニック結晶共振器の特性改善

昨年度は、一次元フォトニック結晶共振器 (1D-PhC) の特性を、FDTD 法を用いて解析、評価した。この結果、1D-PhC 共振器は横方向の漏れが多い事が判明、そこで、より良好な共振特性、Q 値を期待して 1D-PhC を 2D-PhC 導波路に埋め込んだ構造(図 3)についてその特性を先行評価した。1D-PhC 構造についても、共振特性の高いテーパ型構造とした。この結果、導波路幅を $30\mu m$ 狭める事で高 Q 値 ($Q=7320@\lambda=1.56\mu m$) が得られる事がわかった。

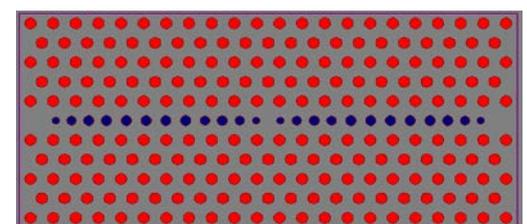


図 3 1D-PhC 微小共振器を 2D-PhC 導波路に埋め込んだ共振器モデル構造

3. 関連研究成果

1. 大島翔太、岩松雅夫、丸泉琢也、白木靖寛、“第一原理計算による抵抗変化型メモリ材料 ZrO_2 へのドーピング評価” 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、29p-PB3-1.
2. 島田健太、早川幸一、高橋陽祐、佐藤満弘、山口憲、丸泉琢也、白木靖寛、“STI 型 ULSI 素子の転位蓄積に伴う電気特性変化(2)” 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、29p-PB3-6.
3. 藤井智大、徐学俊、丸泉琢也、白木靖寛、“2 次元フォトニック結晶導波路に組み込んだ 1 次元フォトニック結晶微小共振器の特性評価” 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、29p-PA7-18.

1. はじめに：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／高誘電率絶縁膜／半導体の界面構造や電子状態、不純物分布などの評価を行っている。本報告書では、2012 年度に行った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パッタリング装置（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、光加熱酸化装置、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、原子間力顕微鏡を所有している。

3. 研究成果の紹介：2012 年度に行なった研究は、 $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Ge}$ などもあるが、ここでは、Si に変わる省エネルギーデバイス材料として期待されている SiC と SiO_2 の界面構造に関する研究成果を述べる。試料は、総合研究所の熱酸化炉を用いて wet 酸化した 4H-SiC と 6H-SiC（どちらも Si 面）である。試料は、SPring-8 の BL27SU において、エネルギー 1100eV の放射光を励起光に用いた角度分解硬 X 線光電子分光測定、BL46XU での硬 X 線光電子分光測定および本学の X 線光電子分光装置 ESCA-300 による角度分解 X 線光電子分光測定により評価した。図 1 に、BL27SU において、光電子の脱出角度 20° で測定した wet 酸化後の 6H-SiC からの Si $2p$ と C $1s$ 光電子スペクトルを示す。図から、Si $2p$ 光電子スペクトルには、SiC、サブオキサイドおよび SiO_2 からの信号が存在することがわかる。また、C $1s$ 光電子スペクトルでは、SiC からの信号に加えて、結合エネルギーの大きい順に、HE、ME および LE の信号が存在することがわかる。これら

の光電子強度比の脱出角度依存性から、各成分の分布を議論した。その結果、4H-SiC、6H-SiC どちらにおいても、界面に Si のサブオキサイドが存在すること、C $1s$ の ME の起源となる C 原子は、主に SiO_2 中あるいは、 SiO_2/SiC 界面近傍に分布していること、一方、LE は SiO_2/SiC 界面近傍あるいは SiC 中に存在していることを明らかにした。

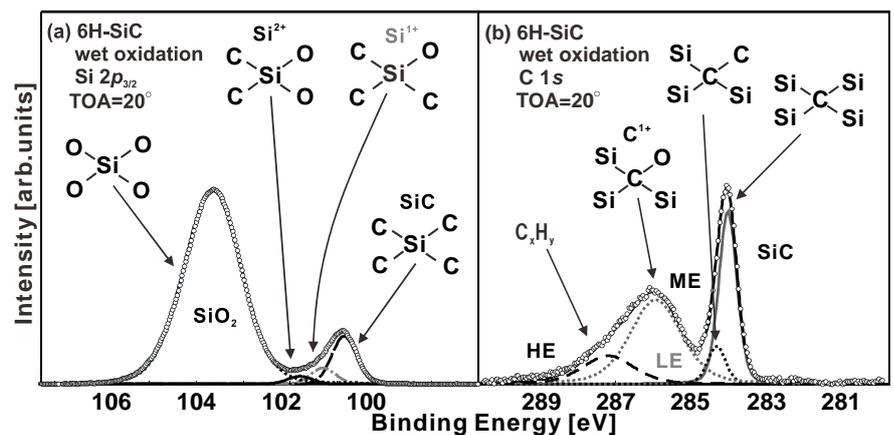


図 1. $\text{SiO}_2/6\text{H-SiC}$ からの (a) Si $2p_{3/2}$ と (b) C $1s$ 光電子スペクトル

4. 今後の研究計画：2013 年度は、前年に引き続き X 線光電子分光法による評価から、熱的に安定かつ電気的特性に優れた高誘電率絶縁膜／半導体界面構造を探る。また、絶縁膜／SiC 構造を探る。さらに、一軸歪が及ぼす価電子帯構造への影響、 $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Ge}$ の評価などを行い、量子・ナノデバイス実現のために不可欠な高品質な絶縁膜／半導体(Si、Ge、歪 Si、歪 Ge、および SiC)界面の実現をめざす。

5. 成果発表

- 1) H. Okada et al., Electrochemical Society Inc., ECS Transactions, **50** (3), pp. 243-250 (2012).
- 2) Y. Abe et al., Applied Surface Science **258**, pp. 8090-8093 (2012).
- 3) M. Mamatrishat et al., Vacuum **86**, pp. 1513-1516 (2012).
- 4) T. Suwa et al., Jpn. J. Appl. Phys. **52**, pp. 031302-1 ~ 031302-14 (2013).

超高速 Si/Ge 電子デバイスに向けた基板開発

総合研究所 シリコンナノ科学研究センター 澤野憲太郎

【研究背景、目的】

今日、半導体集積回路 (LSI) の最小素子である CMOS は、これ以上の微細化が困難となり、新たな技術革新が必須となっている。その中で、次世代の CMOS チャンネル材料として Ge が注目されている。本研究では、高速デバイスの基板として重要な Ge-on-Insulator (GOI) の形成技術開発を進めた。また、さらなる移動度増大のために、一軸性歪みを有する SiGe チャンネル開発を進めた。

【研究成果】

まず、低温および高温成長を組み合わせた 2 段階 MBE 成長法の開発を進めた。Si (111) 基板の上に成長温度 400°C で膜厚 40nm の低温成長 Ge 層 (LT-Ge 層) を形成させた後、800°C で膜厚 1 μm の Ge 層 (HT-Ge 層) を成長させた。まず、作製した試料について X 線回折 (XRD) 測定、表面ラフネスを原子間力顕微鏡 (AFM) で評価した結果、LT-Ge 層成長温度低下により、LT-Ge 層の平坦性が向上し、その効果で、HT-Ge 層の結晶性の大幅向上が達成されることが分かった。図 1 に試料の断面 TEM 像を示す。Ge 層中に僅かに欠陥が見られるものの、傾斜組成法など、他の手法で作製した Ge 薄膜と比較して非常に欠陥密度の低い Ge (111) バッファ層が得られた。

次にこの高品質 Ge バッファ層を用い、ウェハー貼り合わせと選択エッチング技術を駆使することで、高品質 Ge (111) on Insulator (GOI) 基板形成を試みた。Ge 層の CMP による超平坦化、KOH によるトップ Si 層の選択エッチング技術の最適化により、膜厚 200nm の非常に高品質な GOI 基板形成に成功した (図 2)。これは、高速電子デバイスのみならず、Ge 発光デバイスへの応用としても非常に有望な技術である。

さらに一軸性歪みの導入がさらなる高速化に重要である。我々の開発する選択的イオン注入法 (図 3) により、一軸歪み SiGe バッファ層の上に、チャンネル層を高品質に成長させることで、チャンネルへの一軸歪み導入に成功した。これと上記 Ge 基板技術を組み合わせることで、飛躍的な電子デバイスの高速化が期待できる。

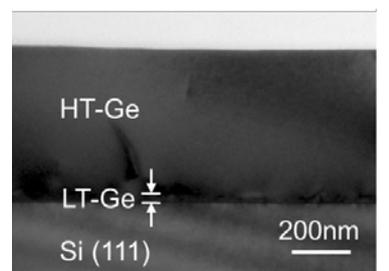


図 1 HT-Ge/LT-Ge/Si (111) 構造の断面 TEM

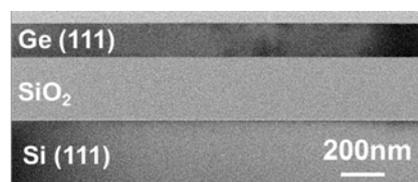


図 2 Ge (111)-on-Insulator の断面 TEM

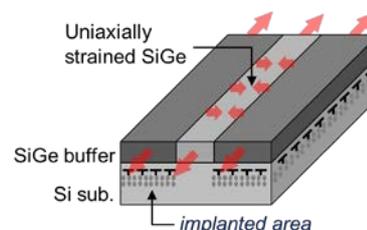


図 3 一軸歪み SiGe チャンネル構造

- 【論文】 ① K. Sawano et al., “Formation of Uniaxially Strained Si/Ge Channels on SiGe Buffers Strain-controlled with Selective Ion Implantation”, ECS Transactions 50 (9), 815 (2012). ② T. Tanaka and K. Sawano et al., “Upper limit of two-dimensional hole gas mobility in strained Ge/SiGe Heterostructures” Appl. Phys. Lett. 100, 222102 (2012). ③ K. Sawano et al., “On the origin of the uniaxial strain induced in Si/Ge heterostructures with selective ion implantation technique”, Journal of Crystal Growth, in Press 他 11 件 (共著含む)
- 【国際会議発表】 ① K. Sawano et al., 17th Int. Conf. on MBE, Nara, Japan, September 26, 2012 ② K. Sawano et al., PRiME 2012, Honolulu, USA, October 10, 2012

Germanium-Based Light Emitting Devices for Silicon Photonics

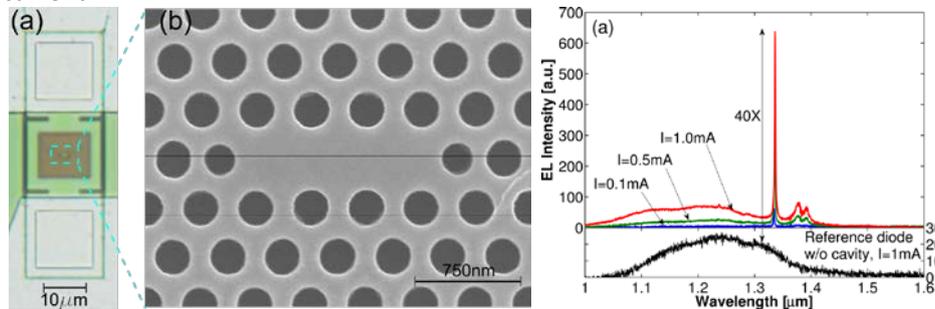
総合研究所シリコンナノ科学研究センター 徐学俊

1. Introduction

Germanium (Ge) is an attractive light emitting material for the telecommunication band. Although Ge is an indirect band gap semiconductor, the light emission efficiency can be enhanced either through quantum confinement in Si/Ge nanostructures, or through strain and doping engineering to compensate the very small energy difference of 0.136 eV between its direct and indirect conduction band valleys. We realized efficient light emitting devices based on Ge self-assembled quantum dots (QDs) and n-doped, tensile-strained Ge on Si.

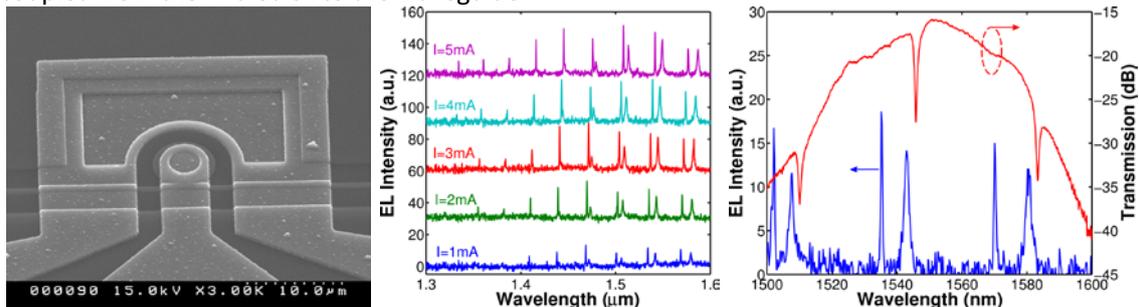
2. Current-injected light emitting diodes based on Ge quantum dots in photonic crystal nanocavities

Photonic crystal (PhC) nanocavity was fabricated on silicon-on-insulator (SOI) slab containing multi-layers of Ge QDs. A lateral PIN diode, with optimized doping profile and intrinsic width, was integrated with the PhC nanocavity to inject carriers into the cavity. Under forward bias, room-temperature electroluminescence (EL) with sharp resonant peaks was observed. The Q-factor is around 800, and the EL intensity is enhanced by a factor of > 40 compared with that without cavity. The output power of the light emitting diode (LED) was measured to be about 6 pW at a 3 mA injected current.



3. Current-injected light emitting diodes based on Ge quantum dots in waveguide-coupled microdisks

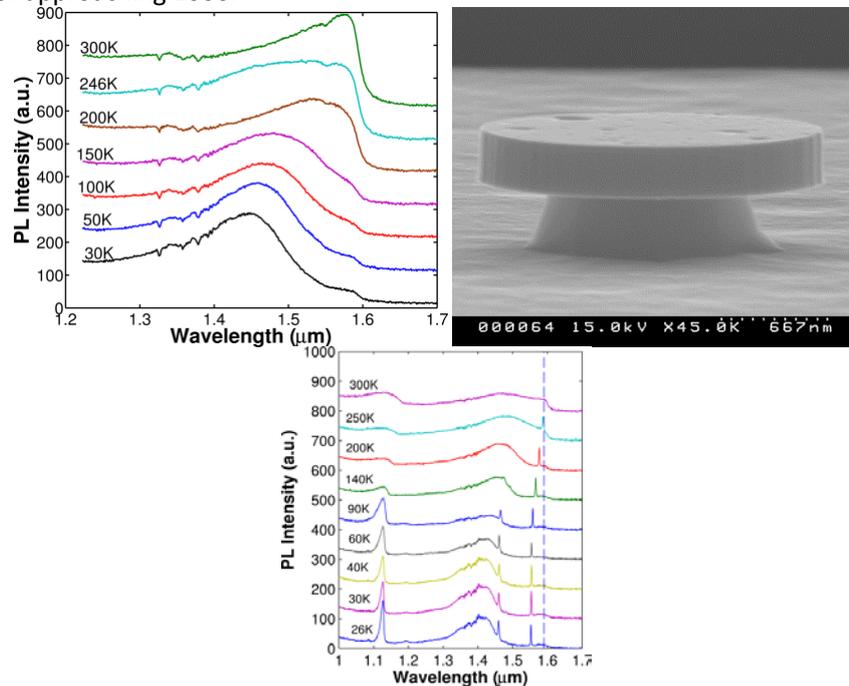
We demonstrated microdisk based LEDs with Ge QDs. A lateral bus waveguide is evanescently coupled with the microdisk to extract the light emission. A vertical PIN diode is used to inject carriers into the microdisk. Sharp resonant peaks are successfully observed in the EL spectra recorded from the waveguide, with Q-factor around 3000. Comparison of the transmission spectrum of the bus waveguide and EL spectrum also verified that light emission is successfully coupled from the microdisk to the waveguide.



4. Light emission from n-doped, tensile-strained Ge

N-doped, tensile-strained Ge was grown on Si by solid-source molecular beam epitaxy (SS-MBE). About 0.2% tensile strain was introduced due to the thermal expansion mismatch between Si and

Ge. N-type doping was performed by in-situ doping of Sb during MBE growth, and an active doping concentration of about $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ was obtained. Direct band photoluminescence (PL) was observed at both room and low temperatures. Base on this material, free-standing microdisks were fabricated. Sharp resonant peaks were also observed in the PL spectra at different temperatures, with Q-factor approaching 1000.



Related publications:

- [1] X. Xu et al, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 18(6): 1830, 2012
- [2] Y. Shiraki et al, ECS Transactions, 45(5): 235, 2012
- [3] T. Tsuboi et al, Appl. Phys. Express, 5: 052101, 2012
- [4] X. Xu et al, Opt. Express, 20(13): 14714, 2012
- [5] X. Xu et al, Appl. Phys. Express, 5: 102101, 2012
- [6] Y. Shiraki et al, 221st ECS Meeting, Seattle, Washington, US, May 6-10, 2012, Invited
- [7] X. Xu et al, GFP 2012, San Diego, US, August 29-31, 2012
- [8] 徐, 丸泉, 白木, 第 73 回応用物理学会学術講演会, 13a-PA5-12, 9 月 11-14 日, 松山, 愛媛
- [9] 谷口, 徐, 丸泉, 白木, 第 73 回応用物理学会学術講演会, 13a-PA8-5, 9 月 11-14 日, 松山, 愛媛
- [10] X. Xu et al, SSDM 2012, Kyoto, Japan, September 25-27, 2012
- [11] X. Xu et al, MBE 2012, Nara, Japan, September 23-28, 2012
- [12] X. Xu et al, POEM 2012, Wuhan, China, November 1-2, 2012
- [13] X. Xu et al, 2012 IEDM, San Francisco, US, December 10-12, 2012
- [14] 徐, 千葉, 丸泉, 白木, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 29p-B4-11, 3 月 27-30 日, 厚木, 神奈川

ナノカーボンバイオデバイス研究センター

1. センターの概要

文部科学省「平成 20 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」に採択された研究プログラムを遂行するための拠点としてセンターが開設されて 5 年目の最終年度を迎えた。丸泉所長および歴代所長をはじめとした関係各位にこの 5 年間の活動支援に厚く御礼申し上げます。

まず、研究センターを構成する 4 つのチームのミッションを振り返る。

[チームA] カーボンナノチューブ(CNT)ベースのナノバイオセンサの開発・特性評価

「生体インターフェース」を目的とした CNT をベースとするバイオチップの開発・作製を行う。

[チームB] 量子効果型シリコンデバイスの開発・特性評価

CNT をベースとした CNT/Si-FET 及び CNT-FET の設計・作製及びその特性評価を行う。

[チームC] 培養細胞を用いたナノバイオセンサの生体適合性・画像診断

CNT 及びバイオチップの埋め込み後、大気圧放電プラズマを用いて生体適合性の向上を図る研究を行う。

[チームD] 小動物を用いた生体埋め込み実験・評価及び画像診断

小動物を用いた埋め込み実験及びプラズマを用いたバイオチップ埋め込み部位の組織・細胞活性化についての実験・評価と生体埋め込みチップからの情報の送受信やエネルギー供給に関する技術開発を行う。

2. 平成 24 年度の研究成果と研究プログラムとしての到達度

最終年度となった、平成 24 年度の研究成果を紹介すると共に、当初の 5 年間の計画に対する到達度に対して言及する。

[チームA]

熱 CVD 法を用いた生体親和型バイオデバイス上電極への CNT 架橋成長についての実験を行った。

(到達度)バイオデバイス電極上への CNT 架橋に成功したことは大きな成果であり、80-90%の到達度と考えられる。

[チームB]

引き続き、CNT/量子効果型複合デバイスの作製を行った

(到達度)CNT/量子効果型複合デバイスの試作(プロトタイプ)が終了し、特性評価の段階を迎えた。

[チームC]

長期間に及ぶ生体埋め込みに対応できるバイオチップの開発が重要不可欠である。そこで、CNT 及びバイオチップ自体の生体適合性を向上させるための大気圧プラズマを用いた培養細胞の活性化・増殖について実験を行った。

(到達度)各種プラズマを用いた生体適合性向上及び培養細胞の活性化・増殖に関しては、予想以上の成果を上げており、到達度はほぼ 100%であると考えている。しかし、実験結果が先行している半面、細胞増殖に関するメカニズムが明確ではないため、組織観察及び発現遺伝子解析等の詳細な評価を行う必要がある。

[チームD]

小動物を用いた生体埋め込み実験・評価及び画像診断、デバイス実現の基礎となる小動物を用いた埋め込み実験及び大気圧プラズマを用いたバイオチップ埋め込み部位の組織・細胞活性化について実験・評価を行った。

(到達度)小動物を用いた CNT 単体の埋め込み実験に関しては、約1ヶ月の埋め込みでは問題点生じないことを確認できたが、この部分の到達度は 70-80%であると考えている。また、チーム C と同様に、プラズマを用いた組織・細胞の活性化に関しては、予想以上の成果を上げており、トータルでは 100%の到達度と言える。

平田孝道、田口 亮

本稿では、平成 20 年度からスタートし、平成 24 年度に最終年度を迎えた研究プロジェクトを総括する。研究プロジェクトでは研究目的の遂行のために、研究内容を以下に示すチームA～Dに分担して行なった。チーム A: CNTベースのナノバイオセンサの開発・特性評価、チーム B: 量子効果型デバイスの開発・特性評価、チーム C: 培養細胞を用いたナノバイオセンサの生体適合性及び画像診断、チーム D: 小動物を用いた生体埋め込み実験・評価及び画像診断。

以下では、チームごとにその成果を総括しその到達度に言及する。

[チームA]CNTベースのナノバイオセンサの開発・特性評価

「生体インターフェース」を目的としたバイオチップ開発において、CNT をベースとしたバイオチップの作製が重要である。そこで、熱 CVD 法を用いた生体親和型バイオデバイス上電極へのCNT架橋成長について実験を行った。

到達度: バイオデバイス上電極へのCNT架橋成に成功しているため、80-90%の到達度であると考えている。

研究成果を以下に示す。

(1)熱 CVD 法を用いた生体親和型バイオデバイス上電極へのCNT架橋成長

生体親和型バイオデバイスの心臓部であり、生体信号を検出するためのCNTをベースとした電界効果トランジスタ(CNT-FET)の電極間に、プラズマ CVD(Chemical Vapor Deposition:化学気相堆積)法を用いてCNTの架橋成長を行った。

バイオデバイスは、チャンネル長: $L=5\sim 10\ \mu\text{m}$ (STEP: $1\ \mu\text{m}$)、チャンネル幅: $W=100, 500, 1000\ \mu\text{m}$ の全18種類をチップ内に収納し、中央に素子、外側にパッドを配置した構造である。特に、本実験では、最大電極間隔: $10\ \mu\text{m}$ のパターンに関して実験を行った。予めレジストパターンニングをした基板上薄膜(アルミナ: Al_2O_3)に触媒金属であるFe粒子($\text{Fe}(\text{CH}_3\text{CO})_2$)をdip-coat法にて担持し、アニーリング処理及びレジストアッシング処理を行った後、RFプラズマCVD法を用いてCNTを成長させた。触媒金属還元処理(H_2 プラズマ処理)後に行ったCNT成長条件は、以下の通りである。基板温度: $700\ ^\circ\text{C}$ 、導入ガス: $\text{He}/\text{H}_2/\text{CH}_4=3000/90/50\ \text{cc}/\text{min}$ 、圧力: $100\ \text{kPa}$ 、RF電力: $60\ \text{W}$ 、処理時間: $5\ \text{min}$ 。

図1は、CNT-FETのソースドレイン電極に相当する部位のSEM写真である。* Al_2O_3 薄膜端に水平配向して成長したCNTが観察されたのみならず、電極間(距離: $10\ \mu\text{m}$)に架橋成長さ

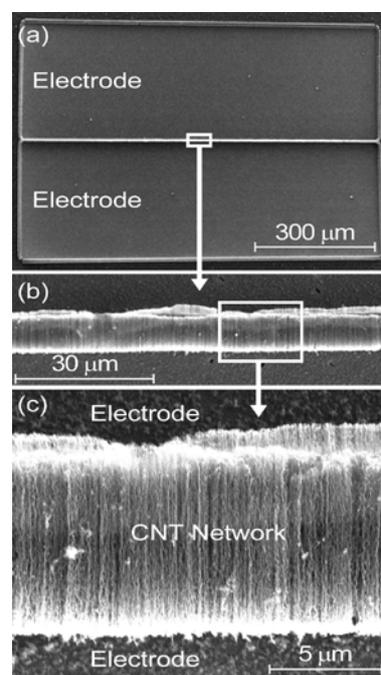


図1 SEM写真

せることに成功した[図1(b)及び(c)]。さらに、成長したCNTに対してラマン分光測定を行った結果、単層CNTに由来するピーク(Radial Breathing Mode (RBM):CNTの直径が全対称的に伸縮する振動モードに対応するため、そのシフト量はおおまかにCNTの直径に反比例する)が低波数側に観測されており、*高純度単層CNTが架橋成長していることも判明した。

(2) 生体信号制御型電動車椅子の試作と特性評価

ブレイン-マシーンインターフェース(Brain-Machine Interface, BMI)の技術を用いて、脳神経電位による電動車椅子の操作を目的とした生体信号制御型電動車椅子の試作及び制御に必要なされる生体信号に関する基礎的実験を行なった。

試作した生体信号制御型電動車椅子の写真及び概要を図2に示す。実験用マネキンが座っている電動車椅子本体(Pihsiang Machinery MFG. co., ltd., TE-P424m)は、駆動モーター、駆動制御部、操作用ジョイスティックから構成されている。この状態では外部制御が困難であるため、ジョイスティックドライブ用ステップモーター駆動小型ステージ(シグマ光機株式会社・TSDM60-20X)、2軸ステージコントローラ(シグマ光機株式会社・GSC-02)、ジョイスティックターミナル(シグマ光機株式会社・SJT-02)、プログラマブル表示器(三菱電機株式会社・GT1665HS-VTBD)、制御用コントロールボックス、ノートPC(DELL・Latitude ST)を取り付けた。

脳神経電位は微弱であるため、計測には高度な技術が要求される。そこで、前段階として筋電位を用いた実験を行った。筋電位測定システムは、信号入力ボックス、生体アンプ、A/Dコンバータ、PCから構成されている。まず、腕の腕橈骨筋に電極シールを2mmの間隔で貼り、4名の被験者に5秒間隔で3回ごとに腕に力を入れてもらった時の筋電位計測を行った。更に計測ソフトは、IGOR Pro Ver.5.05Jを使用した。



図2 生体信号制御型電動車椅子の写真

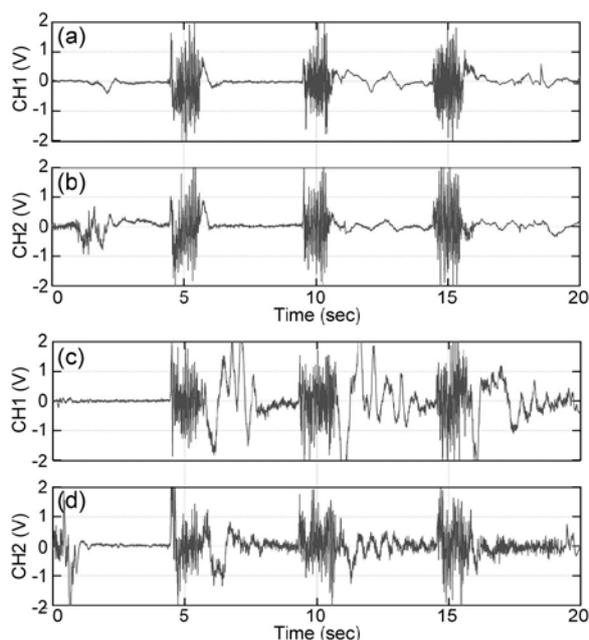


図3 腕に力を入れた場合の筋電位変化

(a) (b): 電極間隔 2 mm、(c) (d): 電極間隔 5 mm

腕に力を入れた場合の典型的な筋電位変化を図3に示す。ここで、CH1及びCH2は各々左腕と右腕の筋電位である。電極間隔は、5mmよりも2mmの方が安定した筋電位の計測が可能であることが判明した。さらに、電極位置を変えた場合の筋電位変化を図4に示す。ここで、電極間隔は2mmであり、CH1及びCH2は、各々左腕と右腕の筋電位である。両腕において、電極の位置を多少変えた場合でも大きな影響を受けることなく、安定した筋電位の計測が可能であることも判明した。

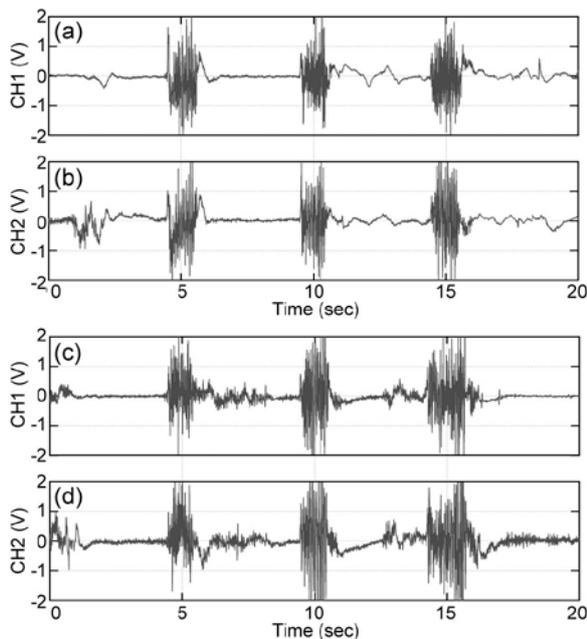


図4 電極位置を変えた場合の筋電位変化

MOSFETのプロセスフローに基づき、CNT/Si-FET及びCNT-FETの作製方法を検討した。総研のクリーンルームで行われているMOSFETの作製手順に従って、CNT/Si-FET及びCNT-FETを作製した。

マスク全体のパターン図面を図5に、製作したチップの写真を図6に示す。CNT/Si-FET及びCNT-FET共に、MOSFETのゲート電極の部分に電極を作製せず、ゲート部分にはCNTを用いる。CNT自身がMOSFETのチャンネル(CNTの長さがチャンネル長)の役割を持つ。CNT作製方法は、ソース、ドレイン部分にCNT成長触媒金属をリフトオフし、熱CVD法を用いてCNTを成長させる。一般的に、CNTは触媒金属に対して垂直方向に成長するが、ある程度の長さになると、反対の触媒部分にCNTが倒れるように架橋する。全てのFETは、チャンネル長： $L=5\sim 10\ \mu\text{m}$ (STEP: $1\ \mu\text{m}$)であるが、これはCNTが架橋できる距離の条件が約 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ であると想定しているためである。また、チャンネル幅 $W=100, 500, 1000\ \mu\text{m}$ と3種類にしたのは、チャンネル幅に対する特性の変化を把握するためである。素子数は、CNT/Si-FET:全36素子、CNT-FET:全24素子、MOS-FET:全36素子。素子は各々、チャンネル長： $L=5\sim 10\ \mu\text{m}$ (STEP: $1\ \mu\text{m}$)、チャンネル幅： $W=100, 500, 1000\ \mu\text{m}$ の全18種類をチップ内に収めた。

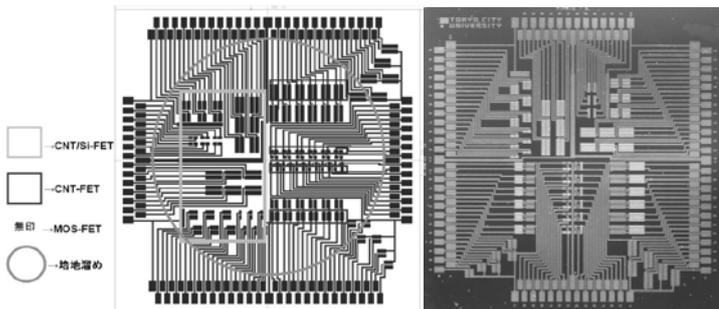


図5 METAL マスク全体図

図6 製したチップの写真

[チームC]培養細胞を用いたナノバイオセンサの生体適合性及び画像診断

長期間に及ぶ生体埋め込みに対応できるバイオチップの開発が重要不可欠である。そこで、CNT及びバイオチップ自体の生体適合性を向上させるための大気圧プラズマを用いた培養細胞の活

[チームB]量子効果型デバイスの開発・特性評価
CNT/量子効果型複合デバイスのプロトタイプ作製を行った。

到達度: CNT/量子効果型複合デバイスのプロトタイプ作製についても、プロトタイプデバイスの試作を行っており、特性評価の段階である。

研究成果を以下に示す。

(1)生体融合型 CNT バイオチップにおけるプロトタイプ設計及び試作

CNTをベースとしたCNT/Si-FET及びCNT-FETの設計・作製及びその特性評価を行うための前段階として、プロトタイプのバイオチップの設計及び製作を行った。作製は、等々力キャンパス総合研究所(以下、総研)内の半導体プロセス用クリーンルームにて行った。MESA型のn型

性化・増殖について実験を行った。

到達度: 各種プラズマを用いた生体適合性向上及び培養細胞の活性化・増殖に関しては、予想以上の成果を上げており、到達度はほぼ 100%であると考えている。しかし、実験結果が先行している半面、細胞増殖に関するメカニズムが明確ではないため、組織観察及び発現遺伝子解析等の詳細な評価を行う必要があると考えられる。研究成果を以下に示す。

(1) 大気圧プラズマを用いた培養細胞の活性化・増殖

従来、生体適合性を向上させる方法としては、対象物表面の化学修飾処理もしくはコーティング処理等の方法があるが、必ずしも長期埋め込みを想定したものではない。そこで、生体への熱的かつ電磁的ダメージが極めて低いマイクロスポット型大気圧プラズマを用いて、埋め込み部位の早期治癒を目的としたプラズマの直接照射実験を行った。

実験手順は、以下の通りである。プラズマ照射時間に対する細胞数変化について調べた。プラズマ発生装置本体は、ガラスキャピラリー内にタングステン線を導入し、外部に筒状グランド電極を設置した同軸状構造である。プラズマ発生条件は、印加電圧:5-9 kV、周波数:1-3 kHz であり、ヘリウム(He)ガス流量:1-1.5 L/min、照射距離:5-10 mm、プラズマ照射時間:1-300 sec である。実験は、

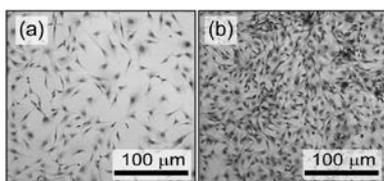


図4 NIH3T3 細胞の顕微鏡写真

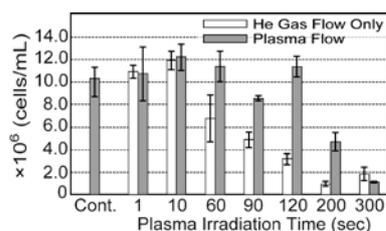


図7プラズマ照射時間に対する細胞数変化

培養容器上にマウス繊維芽細胞(NIH3T3)を含有した無血清培地を展開し、プラズマ照射処理を施した。更に、プラズマ照射処理を施した培養容器を CO₂-インキュベーター(温度:37°C、CO₂ ガス濃度:5 %)に導入し、24 時間培養と光学顕微鏡による直接観察を行った。

ヘマトキシリン-エオシン(HE)染色を行った NIH3T3 細胞の顕微鏡写真を図 7 に示す。He ガスのみの場合、未処理に比べて明らかな減少がみられた[図 7(a)]。一方、プラズマフローの場合には、細胞が順調に増殖することが判明した[図 7(b)]。また、プラズマ照射時間に対する細胞数変化のグラフを図 5 に示す。He ガスのみの場合、60sec 以上では減少傾向であるが、プラズマフローの場合には約 120sec

近くまでほぼ一定の細胞数が維持されることが判明した。したがって、プラズマと培地表面の相互作用が細胞内の成長因子増殖に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

[チームD]小動物を用いた生体埋め込み実験・評価及び画像診断

デバイス実現の基礎となる小動物を用いた埋め込み実験及び大気圧プラズマを用いたバイオチップ埋め込み部位の組織・細胞活性化について実験・評価を行った。

到達度: 小動物を用いた CNT 単体の埋め込み実験に関しては、比較的長期間(約1ヶ月)の埋め込みでは大きな問題点が無いことから、到達度は 70-80%であると考えている。また、チーム C と同様に、プラズマを用いた組織・細胞の活性化に関しては、予想以上の成果を上げており、到達度はほぼ 100%であると考えている。研究成果を以下に示す。

(1) 小動物を用いた生体細胞・組織の活性化(火傷を含めた創傷治癒)

培養細胞の増殖結果との比較を行うために、人工的に皮膚の火傷を発生させた小動物へのプラズマ照射を行い、照射患部の治癒状態について評価を行った。マイクロスポット大気圧プラズマ源のプラズマ発生条件は、大気圧プラズマを用いた培養細胞の活性化・増殖にて行なった実験と同条件(ただし、照射距離は5□0 mmに変更)である。照射実験に用いた小動物は、ラット(種:ウイスター、飼育状態:無菌、性別:オス)及びミニブタ(性別:メス)であり、ガス麻酔による無意識下状態にて実験を行った。照射対象となる皮膚の火傷は、手術用電気メスを用いて形成した。ここでは、熱傷の治癒過程において重要とされる新生血管の形成に着目した評価を行った。実験は、全身麻酔を施したラット(種:ウイスター、飼育状態:無菌、性別:オス)の背面上に、電気メスを用いて人為的に熱傷を2箇所形成し、片側の患部のみに対してプラズマ照射を行った。熱傷形成7日後、新生血管の標識試薬である FITC

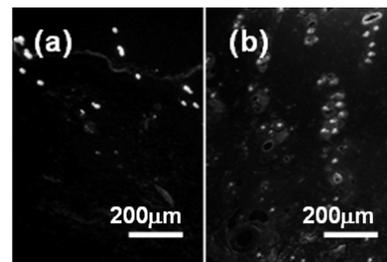


図8 新生血管の観察写真
(a) 未照射、(b) プラズマ照射

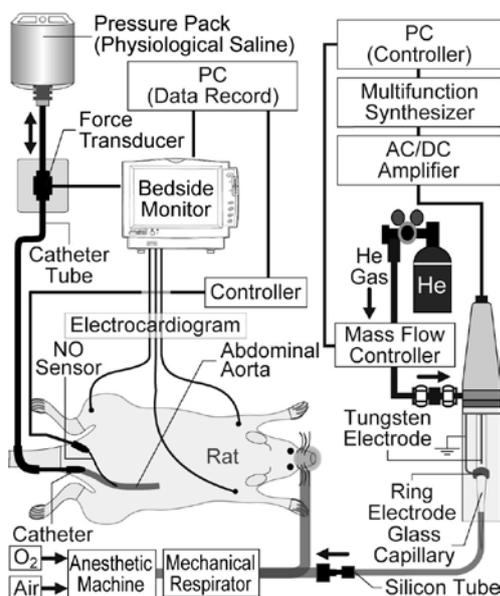


図9 実験装置概要図

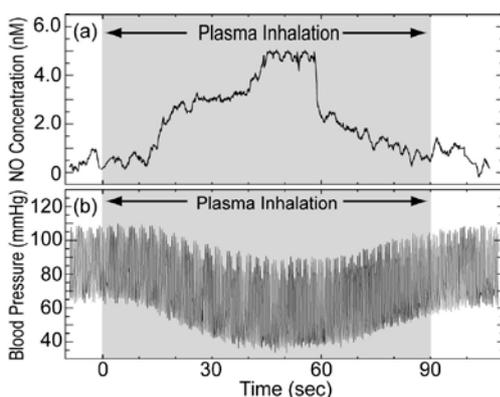


図10 血管内血圧測定結果

トマトレクチン (Sigma Aldrich. Co. Ltd)を0.25 mg 静脈から投与し、体循環の後に摘出した患部の組織から作製した切片標本を、共焦点レーザー顕微鏡 (Olympus, FW1000-D 及び BX61W) を用いて直接観察を行った。図8は、熱傷患部から摘出した組織(真皮周辺)の切片標本を共焦点レーザー顕微鏡(蛍光励起レーザー波長[Ex / Em:488 / 515 nm])を用いて観察した写真であり、プラズマ照射を行った組織では広範囲に亘って新生血管形成に起因した蛍光が観察された。以上の結果より、プラズマ照射による熱傷患部の殺菌・滅菌により治癒が促進されるのではなく、プラズマ源から発生したイオン・ラジカルによる組織表面での電気化学的刺激がFGF-2及びVEGFを含む成長因子を活性化して血管新生を促進し、熱傷患部の治癒を促進させていると考えられる。

(2) 大気圧プラズマを用いたバイオチップ埋め込み部位の組織・細胞活性化

プラズマ照射による細胞増殖が確認されたため、埋め込み部位へのプラズマ照射による神経細胞の増殖が可能であると考えている。そこで、培養細胞を用いた生体適合性評価実験と同様のプラズマ装置を用いて、小・中動物の生体組織へのプラズマ照射による細胞活性化に関する再現性を含めた詳細

な実験を行なった。実験手順は、以下の通りである。

今回は、細胞・組織の活性化に重要な役割を果たしている一酸化窒素(Nitric oxide, NO)による疾患治療の観点から、心疾患及び呼吸器疾患の治療を目的としたプラズマ吸入による実験・評価を行なった。実験に用いた動物はラットであり、ガス麻酔による無意識下状態にて実験を行った。図 9 に示すように、カテーテル型 NO センサを腹部大動脈に挿入した血管造影用カテーテルの末端から直接導入し、プラズマを直接肺に吸入した時の血液中 NO 濃度の測定を行った。また、カテーテル末端に接続した血管内圧(血圧)は、血圧測定用マイクロ圧力センサにより測定した。さらに、吸入効果の比較・検討を行うため、医療用高濃度 NO ガス(濃度:930 ppm)を用いた。

血液中の NO 濃度測定の結果、図 10(a)に示すように、NO が検出されたのみならず、血圧降下と同様の時間変化をすることが判明した。さらに、血圧測定の結果、プラズマ吸入では血圧の降下(最高/最低:110/65 mmHg → 90/40 mmHg)がみられた[図 10(b)]。比較のために行なった高濃度 NO ガス吸入においても血圧の降下(最高/最低:125/90 mmHg→105/50 mmHg)がみられ、一般的に報告されているNOによる血管拡張作用に起因した血圧降下が計測された。ゆえに、プラズマ吸入と高濃度 NO ガス吸入では、同様の血圧変動がみられたことから、NO に起因した血圧降下であると考えられる。特に、プラズマ吸入における大気中 NO 濃度が高濃度 NO ガスに比べて非常に低い(プラズマ:0.5 ppm 以下、NO ガス:10 ppm 以下)ことから、肺から吸収された NO ではなく、肺胞内の肺上皮細胞もしくは血管内皮細胞で産出された NO の可能性が大きいと考えている。

従って、実験にて得られた NO に起因した血管拡張による血圧降下は、狭心症や心筋梗塞などの心疾患、並びに原発性肺高圧症や新生児遷延性肺高血圧などの呼吸器疾患の治療に有効であるのみならず、細胞代謝の促進にも大きく寄与しているものと考えている。

謝辞

この5年間にわたる研究に対してご支援を頂いた、丸泉所長と歴代の所長および関係各位に厚く御礼申し上げます。

水素エネルギー研究センター

水素エネルギー研究センター

1. 報告

水素エネルギー研究センターは、武蔵工大が永年行ってきた水素エンジンの研究を継続して行っている。地球が抱えている3大課題である地球温暖化、大気環境の汚染化、エネルギー資源の枯渇化を解決する手段の一つとして、水素エネルギーは、太陽光、風力などの再生可能エネルギーから製造することができ、かつ排出物がクリーンであることから、エネルギーを大量に消費する運輸用原動機や家庭用分散型発電用に用いる研究開発に力が注がれている。

1970年から始めた本研究センターにおける研究も、このような世界の水素エネルギー活用技術開発の動きの中で重要な役割を占めており、平成17年度から国土交通省の(独)交通安全環境研究所からの委託により、大型バス/トラック用水素エンジン動力システムの試作開発の研究を行ってきた。この研究は、武蔵工大が永年培ってきた水素エンジンの技術力を活用し、車両走行を行うことのできるエンジンシステムの開発を目標としており、研究活動の範囲は水素エンジン本体の研究開発、エンジンに用いる高圧水素噴射弁とポンプの開発さらにはエンジンを車両にて走行させるために必要な燃料噴射や窒素酸化物など有害排出物を軽減させるエンジンのトータル制御システムの開発を、一貫してかつ独自技術で行っている。

車載燃料を液体水素にした液体水素燃料供給システムの課題である高圧液体水素ポンプ、燃料タンクからのボイルオフ水素を再液化することによりゼロ化するためのパルス管冷凍機の開発など、基礎的な研究も平行して行っている。

2012年度、水素エネルギー研究センターは、昨年に引き続き単気筒エンジンによる「直接筒内噴射水素エンジンの燃焼コンセプト」と「水素噴射の可視化研究」を実施、結果、合理的直接筒内噴射エンジンの燃焼コンセプトを確立できた。今年度は、その理由解明に専念した。

水素燃料供給系および水素エンジンの実用化研究では、昨年に引き続き「コモンレール式高圧水素ガス噴射弁の研究開発」、「開発したコモンレール式高圧水素ガス噴射弁を使って多気筒エンジンでの性能研究」、「リーンバーン過給水素エンジンの研究開発」、「液体水素高圧ポンプの研究開発」、総合研究所水素自動車実用化研究室を借りて「パルス管冷凍機の研究」および「スズキ社製ワゴンRのバイフューエル自動車製作共同研究」を行った結果、コモンレール式高圧水素ガス噴射弁の耐久性200時間を樹立、リーンバーン過給水素エンジンの意義の証明、液体水素高圧ポンプの20MPa吐出の見通し技術の確立、バイフューエル自動車製作共同研究での高圧水素ガス燃料供給システム認定試験合格、パルス管冷凍機では、昨年データの再現性確認等多大な成果を得ることが出来た。

大学の一つのシンボルとしてかつ社会ニーズから水素エネルギー研究センターを1992年に設立し、20年間実施してきた水素自動車の実用化研究は、この3年間十分な外部資金が取れていないこと、水素エネルギー研究センター設立のために日産自動車から招聘し、猛烈に推進してき

た水素エンジン研究のパイオニアである山根公高准教授の定年退職に伴い後継者が存在しない等の理由から残念ながら水素エネルギー研究センターを閉じることとなった。

2012 年度の研究の中で研究発表したものは、以下の通りである。そのアブストラクトの引用をそのまま掲載する。

2. 研究発表

- (1) 関根花南, 及川昌訓, 近藤慶一, 高木靖雄, 佐藤由雄, 「レーザシャドウグラフ法を用いた可視化による直噴水素エンジンの燃焼特性解明研究」、自動車技術会論文集、Vol. 43, No. 6, November 2012, p. 1209-1214
- (2) 関根花南, 及川昌訓, 三浦宏太, 高木靖雄, 佐藤由雄, 「過濃混合気塊点火燃焼水素エンジンの噴流形状が NO_x 生成と熱効率に与える影響に関する研究 (噴孔 - 壁面間距離の影響)」、第 23 回内燃機関シンポジウムプロシディンク, 共催: 一般社団法人 日本機械学会, 公益社団法人 自動車技術会, 開催場所: 北海道大学 学術交流会館 1 階ホール, 開催日: 10 月 31 日 (水) ~ 11 月 2 日 (金)
- (3) Kenji Nakagawa, Kimitaka Yamane, Tetsuya Ohira, “Potential of Large Output Power, High Thermal Efficiency, Near-zero NO_x Emission, Supercharged, Lean-burn, Hydrogen-fuelled, Direct Injection Engines”, Energy Procedia 29 (2012) 455 – 462, World Hydrogen Energy Conference 2012 held on June 3 – 7, 2012, at Toronto Centre Sheraton, Toronto, ON, Canada
- (4) 飯塚智, 靱山聡, 白井孝光, 山根公高, 「液体水素高圧ポンプの研究開発」, 一般社団法人 水素エネルギー協会, 第 32 回水素エネルギー協会大会予稿集, p. 33-36, 平成 24 年 12 月 6~7 日広島市西区民文化センター 2 階ホール於
- (5) 上野辰也, 中川研司, 宮代輝道, 山根公高, 「希薄燃焼水素エンジンに EGR を適用した場合の NO_x 排出量低減効果に関する実験的研究」, 一般社団法人 水素エネルギー協会, 第 32 回水素エネルギー協会大会予稿集, p. 37-40, 平成 24 年 12 月 6~7 日広島市西区民文化センター 2 階ホール於
- (6) 山根公高, 「解説 水素エンジンの開発動向」, NOK Technical Report 第 25 号, 2013. 4, p. 1-6

3. その他

(1) 特許出願

(今年度はなし)

(2) 外部の雑誌や新聞に掲載された主な記事

- 1) ガスレビュー取材: 東京都市大学 液水エンジン用「コモンレール式高圧水素用噴射弁」開発、水素 ST 用の液水高圧ポンプ開発も推進, ガスレビュー NO. 749 発行人大家 泉 p. 14-15

4. 研究発表のアブストラクト

以下に示す。

都市基盤施設の再生工学研究センター

平成 25 年 5 月

センター長 三木千壽

1. はじめに

都市基盤施設の再生工学研究センター(以下 センター)では、腐食、疲労などの経年劣化や地震に対して健全な都市基盤施設を保ち続けるための技術を研究している。技術とは、構造物の診断、モニタリング(常態監視)および劣化構造物の補修・補強技術の確立を指している。平成 24 年度秋にセンターが設立され、三つのプロジェクトがスタートした。三つのプロジェクトとは(i) 取替鋼床版、(ii) ジャケット栈橋式港湾構造物の維持管理、(iii) 道路橋の統合管理システム構築、である。本報告は、これらのプロジェクトの概要を述べるものである。

2. 取替鋼床版の開発

2.1 目的

道路橋などで荷重を直接受ける板状の構造を床版という。床版は鉄筋コンクリートや鋼で製作されているものが多い。輪荷重が直に載荷されるので、もっとも損傷のひどくなる部位であり、交通量の多い都市内高架橋などで問題となっている。これに対して、交通規制をすることなく施工することができ、耐久性が高い取替型の鋼床版を開発することを目的としている。

2.2 研究体制

当該プロジェクトは橋梁製作会社、鉄鋼メーカーなどより構成される受託研究であり、研究期間は、平成 25 年 1 月より 3 年間程度を目指している。1~2 か月に 1 回、総合研究所内において会合を開き、プロジェクトを進めている。現在においては、過去の取替鋼床版の事例調査および対象となる橋梁諸元の設定が終わったところである。有限要素法による構造解析により適当な鋼床版の形状を推定することを検討中である。

2.3 構造解析および解析対象

試作した構造解析モデルを図-1 に示す。モデルは長さ 30m、幅 8.5m 程度の橋梁としている。橋梁の中央部に重さ 25 トンのトラックが載った状態を考慮し、解析を行う。解析で着目するのは、溶接部(止端など)の応力レベルである。止端部などの応力集中を調べるには、要素の寸法を十分に細かくとる必要がある。橋梁全体モデルでは十分な細かさになると、要素数が膨大になるので、全体解析を行った後、溶接部の詳細を取り出した二段階の解析が必要となる。

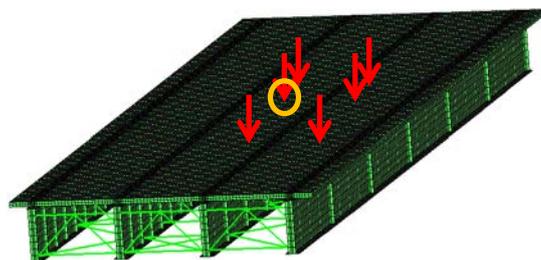


図-1 取替鋼床版形状検討のための橋梁の解析モデル(全体モデル)

4月の会合において、解析対象橋梁の橋長および幅を一回り大きくすることが決定された。

3. ジャケット式栈橋式港湾構造物の維持管理

3.1 目的

ジャケット式の栈橋構造物が近年多く建設されてきている(たとえば羽田空港 D 滑走路の栈橋部もジャケット構造物である)。港湾構造物においては、腐食の防止(防食)が重要となる。ジャケット式栈橋構造物は複雑な構造である。腐食劣化により健全性が損なわれた場合の性能評価や、対策としての補修補強方法は、詳細な検討が行われていない状況にあるといえる。そのため港湾施設の維持管理担当者である港湾管理者にとって将来的に大きな問題となる恐れがある。腐食劣化による健全度評価方法と維持管理費用の最適化手法を検討し、その提案・構築を成果として目指すものである。

3.2 研究体制

当プロジェクトは港湾空港建設技術サービスセンター(SCOPE)との共同研究である。共同研究は平成25年1月に発足し、期間は2年を予定している。現在までに、1か月に1回のペースで打ち合わせが行われている。平成24年度には、対象構造物を設定し、解析モデルを構築する段階までに至っている。

3.3 構造解析および解析対象

解析モデルを図-2に示す。構造物は柱が5本×3本、水深10mの構造としている。

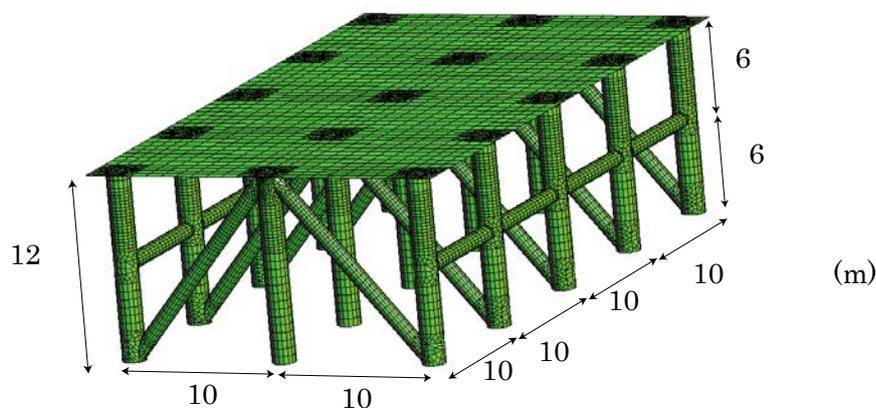


図-2 ジャケット式栈橋の解析モデル(シェルモデル)

港湾構造物は海中部から海上に出ている部分があるが、下から、海中部、干満部、飛沫部、海上部に分類することができる。酸素や塩分の供給が多い飛沫部次いで干満部で腐食が激しいといわれている。腐食による減厚で耐荷力が減少することが考えられる。船の接岸時、地震時、荷物などの上載時の構造物の弱点部を解析により検討する。その際には、座屈を伴う大変形解析、柱の塑性といった非線形解析を行うことになる。

4. 道路橋の統合管理システム構築

4.1 目的

当該研究において対象とする橋梁は1960年代前後に建設され、現在も厳しい交通状況にさらされている鋼道路橋である。これらの橋梁の建設時においては、疲労が考慮されていない設計となっており、最近になって、劣化が目立ち始めてきている。図-3に示すように、そのような橋梁に対して、最近進化しつ

つあるセンサー技術や通信技術、情報処理技術を組み合わせたモニタリングを定期点検での診断技術に組み込むことにより、リアルタイムで効率よく構造物の安全性を保証する統合維持管理システムを提案することを目的としている。

4.2 研究体制

当プロジェクトは科学研究費補助金を受けており、平成25年度になって、本格的にスタートしている。センター長の三木が代表者で、都市大学都市工学科准教授の白旗および東京工業大学大学院の佐々木栄一准教授が研究分担者といった体制である。MEMS やセンサなどの開発には NTT データやオムロンといった会社との研究協力体制もできている。実構造物への試用、適用も念頭に入れており、首都高速、三菱重工鉄構といった橋梁管理会社、橋梁製作会社との協力体制もできている。研究は平成28年度までの4年間である。

4.3 研究計画

研究期間中に行う検討事項は以下のとおりである。

- (1) 統合維持管理システムのコンセプトとシステム構築
- (2) 疲労損傷の点検と評価のための情報プラットフォームの構築
- (3) 疲労度診断に必要な要素技術の開発
- (4) モニタリングとそこで必要なセンサー類の開発
- (5) モニタリングデータの処理
- (6) 統合維持管理システムのプロトタイプ構築と試行

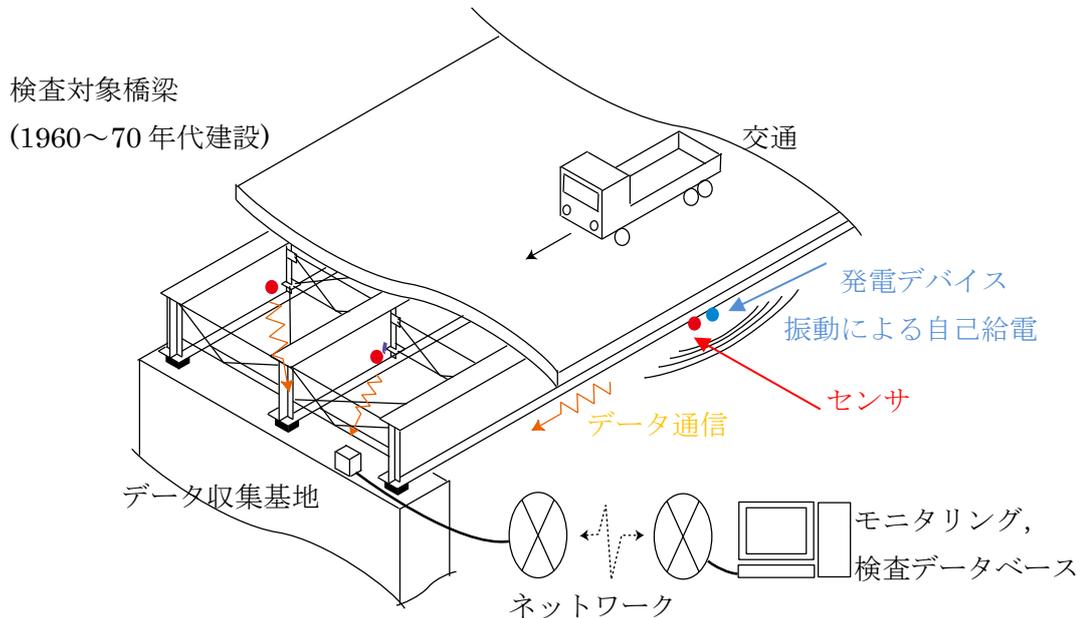


図-3 リアルタイムモニタリングを組み込んだスマート橋梁

5. おわりに

センター発足が平成24年10月であったため、半年程度の活動報告となったが、資金の獲得、計算機等の研究資源整備、協力体制の確立など、一步一步着実に進めていると考えている。平成25年度はこれらのプロジェクトの成果を出し始め、研究活動が円滑に動き出すように努める。そのために、学内・学外の連携研究者、博士研究員の獲得を希望しているので、理解・協力をお願いします。

重点推進研究
広域型地震防災研究室

サイズミックインタラクションの系統的検討と横断型防災技術教育の確立

広域型地震防災研究室

原子力安全工学科 古屋 治, 都市工学科 吉川 弘道, 建築工学科 濱本 卓司
原子力安全工学科 藤本 滋, 原子力安全工学科 村松 健

1. 研究概要

地震発生による様々な様式の被害を一連の連鎖システムとして捉え、その相互関係を明らかにすることで総合的な被害想定技術を構築し、これによりもたらされる横断的耐震技術の統合化を目的とする。また、関連して横断的観点での防災技術教育の在り方を確立する。

本研究は、一連の被害事象を複数分野による地震対策的観点で横断的に検討するものであり、耐震技術の統合化を可能とするばかりでなく、機械・建築・土木構造物の耐震基盤技術の高度化に大きく貢献できるものである。

2. 平成 24 年度研究成果

学内複数学科にまたがる研究体制となることから体制自体の構築から実施し、その後、研究の進め方として研究会形式での開催を中心として実施した。ここでは、今年度実施した研究成果として、機械構造物における被害様式を防災技術課題の明確化を目的として建築、土木構造物とのサイズミックインタラクションの観点から評価した結果をまとめる。

東北地方太平洋沖地震は、日本の観測史上最大の地震であり、また、近代観測以降初めて明確に断定された連動型地震であった。これにより、東北地方はもちろん、名古屋、大阪など西日本を含む広範囲の地域で揺れが観測され、さらに、連動型による長時間継続地震により、これまでにない新たな耐震上の課題を顕在化させた。

2. 1 機械-建築構造物間のサイズミックインタラクション

機械構造物の被害として損傷の多かった部位のなかに基礎部・支持部がある。基礎部・支持部は、その上部あるいは下部に機器を設置し、設置機器の自重を支持するだけでなく、機械構造物と他の構造物とを接合し地震時のエネルギー伝達経路の役割も果たす。阪神淡路大震災以降、機械構造物の耐震安全性向上を目的とした対策が検討されていたが、基本的に構造自体の減衰性能が小さい鉄骨構造の工場や実験施設に設置された機械構造物では、長継続時間地震の入力により、機器基礎部/支持部の破損、コンクリート基礎部と接合部架台損壊、接合ボルトのせん断・引抜き等による塑性変形、設置架台からの設置機器ずれ、脱落など多くの被害が発生した。このような被害は、特に、工場や実験施設の上層階・屋上設置機器で被害が顕著であり、また、当該被害様式は、天吊り型式の機器や天井走行クレーンの多くで被害が発生したことからも機械-建築構造物間での相互作用による被害様式と分析できる。

今後、建築構造物と機械構造物間での地震応答に関する相互作用を十分に考慮した耐震対策技術を検討し、産業施設の生産等施設機能の継続性や耐震健全性を担保し得る技術対策の高度化が極めて重要かつ急務である。このような中で、エネルギー吸収機構である制振ブレース設置による耐震対策の有効事例が確認されており復旧が望まれる。

2. 2 機械-地盤・土木構造物間の相互作用

東日本大震災では、機械-建築構造物間での相互作用による被害とともに、地盤・土木構造物間での相互作用による被害も多く発生している。特に、液状化や埋め戻し土の沈下による基礎部の沈下、埋設配管の被害等の地盤変状にともなう被害が多く確認された。多くの被害は、配管の変形能力が地盤変状に追従できないことによる破損である。このような配管の被害は、フレキシブル配管や配管の取り回しによる変形能力の向上により軽減を期待することができるが、既存埋設管の多くではまだ被害の発生が想定される。

以上のように、東日本大震災では、広範囲に渡り様々な機械構造物の被害が発生し、また、事前の大震対策による有効性も検証された。一般に機械構造物は、建築、土木等異なる分野の構造物と接合されている場合が多く、機械要素単体での耐震対策も必須ではあるが、今後は、他の構造物との相互作用についても十分に配慮された機器設置に関する設計が益々望まれる。これにより、産業施設の機能の継続性や耐震健全性を担保し得る耐震対策の高度化が進められ工業立国日本の更なる発展に大きく貢献するものと考えられる。

カーボン材料解析研究室

カーボン材料構造解析研究室

吉田 明

本研究室はカーボン材料やナノカーボン材料の構造解析と評価、および分析手法の開発が主な研究内容であるが、実験室をもっていないため、工学部の研究室と共同研究を行っている。また、カーボン材料の構造解析などは、同じく工学部の機器分析室で分析を行った。

平成 24 年度は成果としては計 5 報発表した。

まず、本来、高温処理しても黒鉛化しにくいセルロース系材料を、ナノサイズのセルロース繊維を分散処理し高温熱処理をすることで、黒鉛化がかなり進行することを見出した論文が 2 報、多孔性ポリイミド系のフィルムを高温処理して作製した黒鉛フィルムのガス透過性、黒鉛化性を調べ、均一なポリイミドフィルムから作製した黒鉛フィルムほど黒鉛化性はよくないが、ガス透過性のある炭素フィルムが作製出来ることを報告した論文が 1 報、薄いポリイミドフィルムから高配向性黒鉛フィルムを作製することは 1980 年中期から我々のグループで行い 1990 年代に成功しているが、その物性として熱伝導率をはじめ電気伝導率、磁気抵抗率などを総合的に評価した論文が 1 報、ポリイミドフィルムから調整した高配向性黒鉛の結晶粒は X 線回折法では評価できないほど大きいので、これまでは我々グループが開発した電子チャネリングコントラストによる観察から結晶粒径を評価していたが、平均粒径を評価するのは難しい。そこで、より簡便的な室温基底面内熱伝導率による平均結晶粒径評価法が着想され、理論実験両側面からこの評価法の有用性が示した論文が 1 報で、この論文は平成 24 年 11 月 28～30 日に長野市で開かれた第 39 回炭素材回炭素材料学会において炭素材論文賞を受賞した。

以下のそれらの論文題目と概要を示す。

1. Yutaka Kaburagi, Miu Ohoyama, Yuhki Yamaguchi, Emi Shindou, Akira Yoshida, Norio Iwashita, Noriko Yoshizawa, Masaya Kodama; Acceleration of graphitization on carbon nanofibers prepared from bacteria cellulose dispersed in ethanol; Carbon, 50, 4750-4764, 2012.
2. Yutaka Kaburagi, Miu Ohoyama, Yuhki Yamaguchi, Emi Shindou, Akira Yoshida, Norio Iwashita, Noriko Yoshizawa and Masaya Kodama; Graphitization behavior of carbon nanofibers derived from bacteria cellulose; TANSO, 2012 [No.255] ,225-230
3. Yutaka Kaburagi, Hazumu Aoki and Akira Yoshida; Highly oriented porous graphite film prepared from porous aromatic polyimide film; TANSO, 2012 [No.253] 95-99, 2012.
4. Yutaka Kaburagi, Takeshi Kimura, Akira Yoshida and Yoshihiro Hishiyama; Thermal and electrical conductivity and magnetoresistance of graphite films prepared from aromatic polyimide films; TANSO, 2012 [No.253] 106-115, 2012.
5. Yoshihiro Hishiyama, Akira Yoshida and Yutaka Kaburagi; Crystal-grain size, phonon and carrier mean free paths in the basal plane, and carrier density of graphite films prepared from aromatic polyimide films; TANSO, 2012 [No.254] 176-186, 2012.

インキュベーション・ラボ

デジタルアーカイヴ研究室

デジタルアーカイヴ研究室の概要

デジタルアーカイヴ研究室では、大容量の光ディスクであるブルーレイディスクをアーカイヴ目的で使用する場合の保管条件における寿命推定が可能となる実験方法、計測方法及び推定方法の確立及び、アーカイヴされたデータを高信頼性のもとに保存し効率的利用が可能となるアーカイヴシステムを明らかにすることを目的としている。

2011年4月施行の公文書管理法により、国の機関に対しては作成から整理・保存、国立公文書館への移管や廃棄に至るまでの統一管理が義務づけられ、また民間企業に対しては2005年4月施行のe-文書法により、作成・保存が義務づけられる文書・帳票類の「電子的・電磁的記録」が認められている。しかし、ハードディスクやフラッシュメモリーの寿命は数年～10年程度と云われており、また大容量の光ディスクの寿命は製品の種類と品質により大きく異なる状況にある。本研究では、世界的な基準であるISO/IEC10995に基づいて、公平な立場でCDやDVDに関する寿命推定試験を行える技術を有する機関である「特定非営利活動法人アーカイヴディスクテストセンター（ADTC）」とともに、情報の長期保存に必要な光ディスクの寿命推定方法、高信頼度アーカイヴシステム開発研究を行っている。

平成24年度は、主に下記の内容について検討を進め知見を得ている状況にある。

(1) 良質な記録媒体及びアーカイヴシステムについて

①BD-R 加速試験条件の確立 ISOの作業部会SC23国内委員会を中心に、記録型CD/DVD/BDの寿命推定試験の規格化が進んでいる。共同研究者は当該委員会にて、先期実験結果を元に記録型BDにおける試験条件に関する意見を述べ、温度・湿度において条件が厳しくなることを認識したうえで検討する方向となった。ディスクメーカーとも条件の認識が一致し、現在の試験条件での国際規格化を推進していくこととなった。

②化学反応状態の計測方法の確立 管理・保管されたディスクの劣化検討にあたり、RSER(Random Symbol Error Rate)を信号品質の指標として用い、加速試験によってこの値の変化を計測することが妥当と考えられた。先期試験結果を参考に、ISO SC23のメンバと協議の結果、RSERを、化学反応状態を示す値として採用する方向となった

③統計解析でのデータ処理法の確立 現在ISOの規格化で議論となっている2点を進めている。(1)温度湿度条件により外挿が必要なときの許容度、(2)測定不能及び外挿による寿命推定不可となる試料の取り扱い規定。

(2) 光学メディアの長期保存および被災時のための耐久性実験

昨年に続き、無機系の新種光ディスクも含めて、日常の代表的な保存場所の温度湿度状況の測定と、災害などを想定した海水・泥水での浸水実験を行い、実験前後の光学メディアのエラー値の比較から耐久性評価をまとめている。これらのデータを元に、保管状態に応じた耐久特性関数を推定することで、コスト対エラーリスクに応じた、光ディスクデータのマイグレーション時期についての評価関数の推定を行っている。併せて、保存必要データの光ディスクイメージデータ生成、保存内容情報管理、HDD保存と光ディスク保存の自動管理、さらに自動マイグレーションを行うシステムを、プライベートクラウドに構築することを進めている。

以上の取り組みを継続発展させ、急速に重要性の増す公的記録・業務記録・民生品記録におけるデジタルデータ保存分野の適正な発展に資することを目指している。

2013年6月 デジタルアーカイヴ研究室 横井 利彰

(2) 【高信頼度アーカイヴシステムに関する研究】

1. 本年度の研究概要

長期保存媒体として有力な光ディスクの記録データの品質維持能力を確認するために、近年新たに登場した規格の光ディスクである M-Disc を対象に製品の劣化試験を行うと共に、従来の光ディスク (CD/DVD/BD) のエラー値のデータと比較を行った。また、光ディスク情報を高信頼性のもとに保存し効率的利用が可能となるような情報システムの構成方法について検討した。

2. 研究内容

2. 1 実験対象とする光ディスク

新しいタイプの光ディスクである M-Disc について、津波などの震災による被災時を想定した塩水や泥水に対してどれほどの耐久性があるか実験を行った。M-Disc は、DVD-R と同じく片面一層で容量は 4.7GB のライトワンス型である。通常の記録型 DVD-R は記録層に有機色素材を使用しているが、M-Disc は記録層に独自の無機素材を採用している。

2. 2 海水・泥水に対する M-Disc の耐久性

海水・泥水に対する M-Disc の耐久性を明らかにするために、2. 1 で述べた実験用光学メディアを用いて浸水実験を行った。以下では、その測定手順と測定結果についてまとめる。

2. 2. 1 実験用データディスクの作成

M-Disc を 8 枚実験に使用し、音楽ファイル(ファイルの種類は wav,mp3,midi,wma), 画像ファイル(jpeg,png,gif,bmp), 動画ファイル(flv,mp4,wmv,avi,swf) を書き込むこととした。これらのファイルの種類のはよく利用されるものを選んだ。データ総量は、エラー値の高くなる外周までを含むディスク容量の限界付近まで書き込むこととした。また、浸水実験前後のデータのエラー値の変化を調べるため、実験前にデータをディスクイメージとして保存し、M-Disc の初期エラー値の測定を行った(図 1)。

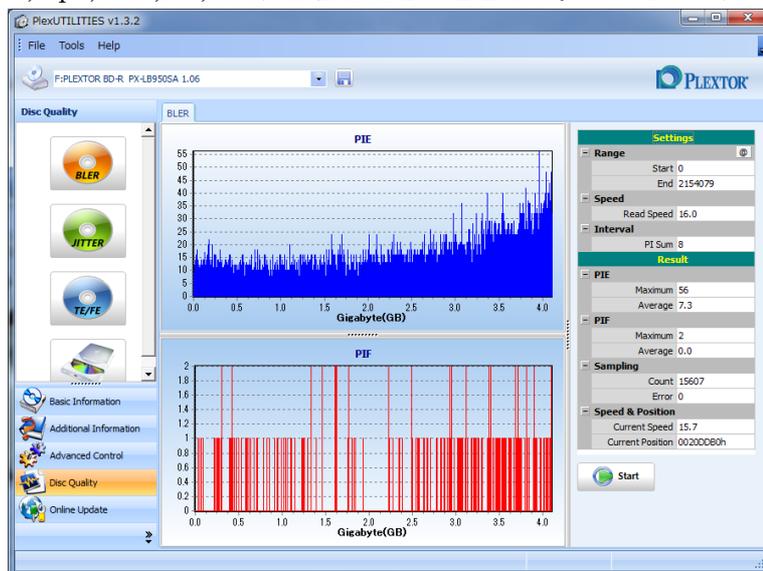


図 1 M-Disc のエラー値のグラフの例
(浸水実験前、後のケース A2 傷なし)

2. 2. 2 浸水実験の準備

津波による被災などを想定した浸水実験に用いる海水は、鎌倉の由比ヶ浜で採水し、また泥水のための土は陸地で採取した。紫外線の影響が出ることを考慮し、8枚の M-Disc を日向・日陰に4枚ずつにわけて測定した。津波による濁流で傷ついた状態を再現するため4枚中1枚には人為的に傷をつけた。傷の付け方は、側面の外周にカッターで1cm程の傷を付け、記録層に塩水が浸水するようにした。今回の傷の付け方は M-Disc が記録層にダメージを受けた場合を仮定しており、これは瓦礫などの中で傷が付き記録層にまで達することを想定したものである。

2. 2. 3 浸水実験

海水・泥水による浸水実験を図2のように行った。左側は記録面を上に向け紫外線を当て、右側はブルーシートを被せ日陰の再現をした。また、浸水実験の場合分けを以下のようにした。

浸水期間：

ケースA：1日(11/13～11/14) ケースB：16日(11/14～11/30)

紫外線の影響の有無：

ケースA1：紫外線照射なし(日陰) ケースA2：紫外線照射あり(日向)

ケースB1：紫外線照射なし(日陰) ケースB2：紫外線照射あり(日向)

2. 2. 4 浸水実験前後の M-Disc の変化

ケースA1, A2：

傷なしの M-Disc エラー値の変化はほとんどなく、データの読み取りに影響は出なかった(図1, 3)。しかしA1の方で傷を付けた M-Disc のエラー値が大幅に上昇していた(図4, 5)。それでもデータを読み取ることはできた。

ケースB1, B2：

ケースA1, A2同様に傷なしの M-Disc のエラー値にほとんど変化は見られなかった(図3, 6)。しかしB2の方で傷を付けた M-Disc に差が見られた(図7, 8)。それでもこちらもデータを読み取ることはできた。A1の方で差が見られた傷ありの M-Disc のエラー値にはあまり変化がなかった。



図2 海水・泥水による浸水実験の様子

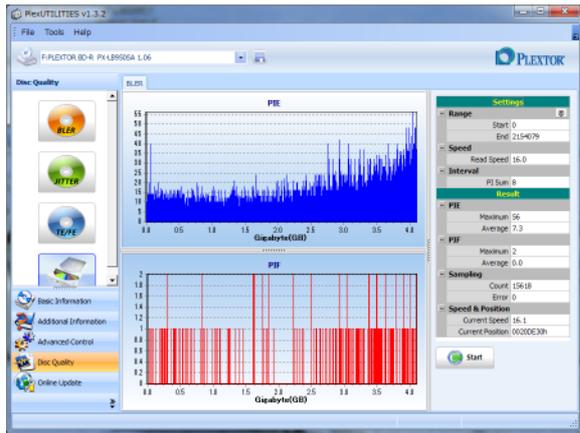


図3 浸水実験後(ケースA 2 傷なし)の例

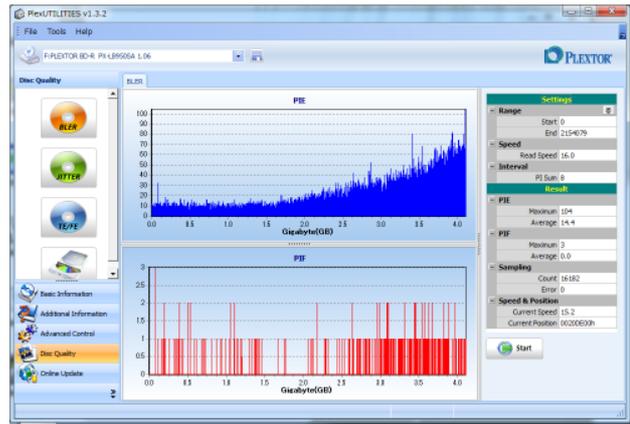


図4 浸水実験前(A1 用の傷あり)の初期エラー値の例

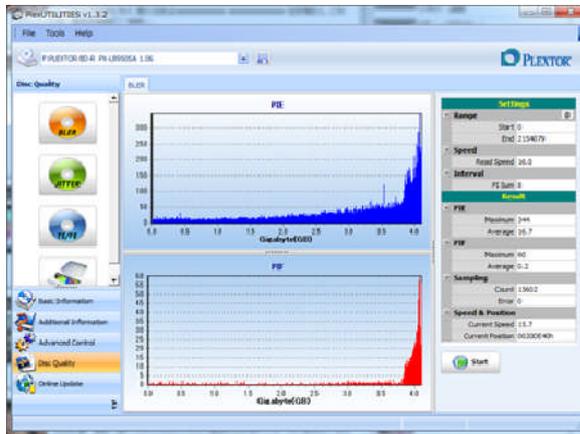


図5 浸水実験後(ケースA 1 傷あり)の例

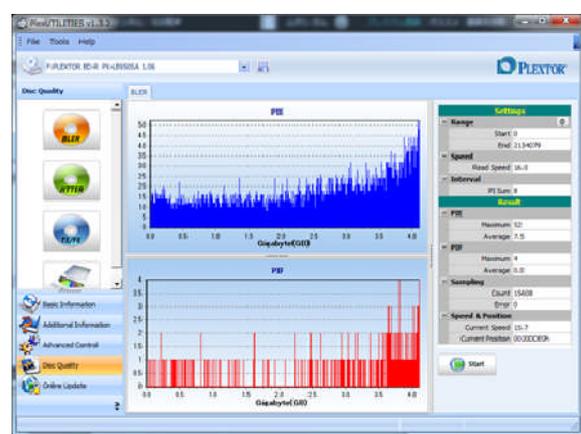


図6 浸水実験後(ケースB 2 傷なし)の例

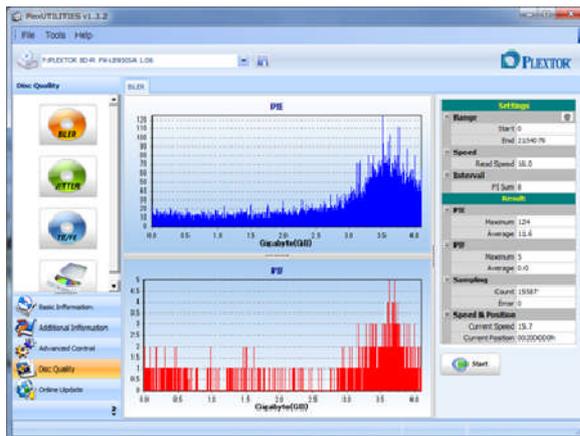


図7 浸水実験後(ケースB 1 傷あり)の例

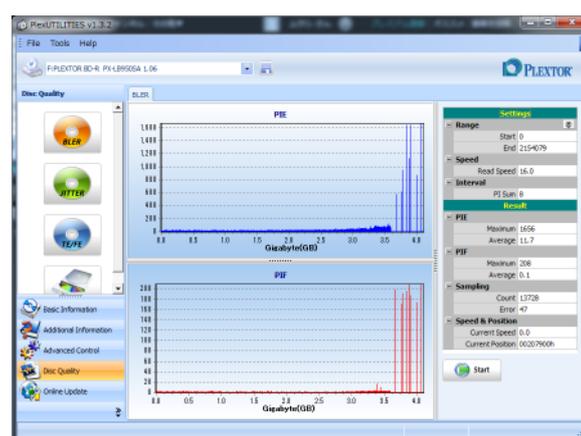


図8 浸水実験後(ケースB 2 傷あり)の例

2. 2. 5 海水・泥水に対する M-Disc の耐久性のまとめ

本研究では、光ディスクの新しい規格である M-Disc に対し災害などを想定した海水・泥水での浸水実験を行い、実験前後のエラー値を調べた。卒業研究での光ディスク(CD/DVD/BD)の浸水実験では浸水1日で半数の光ディスクが読み込めなくなり、浸水16日ではほとんどの光ディスクが読み込めなくなったのに対し、M-Disc は浸水16日後でも問題なくデータを読み込むことができた。これにより従来の光ディスク(CD/DVD/BD)より海水・泥水に対し耐久力が高いといえる。しかしそれでも傷をつけた場合のエラー値が上昇しているので過信は禁物である。震災による影響力にはかり知れないので、大切なデータの長期保存のためには海水・泥水に浸からないように密閉した容器で安全な場所に保管し、複数のバックアップを分散させて保管しておくことが大切であると考えます。

3. 今後の研究

今後の研究では光ディスク情報を高信頼性のもとに保存し、効率的利用が可能となるような情報システムの構成方法について検討する。具体的には、情報の長期保存を実現するためには劣化する前に情報の複製を行い、常に原本の情報を維持できるような情報システムを構築することが必要と考えられる。そこで、原本ファイル(文書画像、映像等)を保存するハードディスク、それらを仮想ディスクイメージ化したファイル、仮想ディスクイメージを実物の光ディスクに保存したものなどからなるシステムのあり方について検討する(図9)。現在は実際に情報システムの構築するためのシミュレーションを行うため、数値計算シミュレーションツールである scilab を利用して研究を進めている。

以上の研究を進めることで、光メディアの劣化の低減・劣化時のデータ復元方法・長期保存のための情報システムのあり方を明らかにし、情報社会の発展の一翼を担いたいと考える。

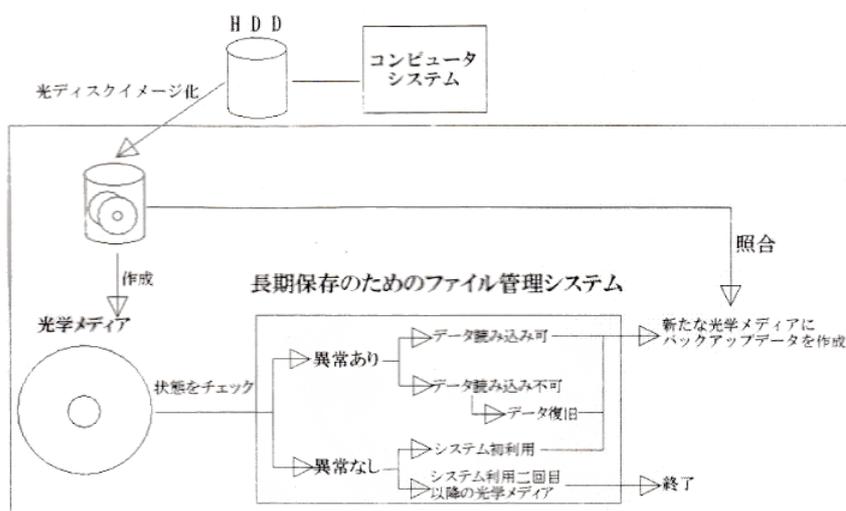


図9 情報の長期保存システムの概略図

水素自動車実用化研究室

II. 水素自動車実用化研究室報告

1. 報告

2010年度の8月から総合研究所の一室を借用して「水素自動車実用化研究」を開始した。研究の具体的内容は、以下の通りである。

- (1) 水素自動車実用化研究（水素・ガソリンバイフューエル化小型自動車の試作検討，設計，部品調達，推進活動）をITカーズ(株)と共同研究として実施。
- (2) 液体水素タンクボイルオフゼロ化のため，小型冷凍機の研究開発（重点推進研究の続き）の実施

各内容について，2012年度の概要を以下に述べる。

- (1) 水素自動車実用化研究（水素・ガソリンバイフューエル化小型自動車の試作検討，設計，部品調達，推進活動）として，ITカーズ(株)との共同研究

2010年度より，東京都市大学が育ててきた「水素エンジンおよび自動車関連の技術シーズ」と「水素エネルギーシステムの知見と人脈」と共同研究先ITカーズ(株)の「事業化ノウハウ」をあわせ，化石燃料中古車を水素エンジン自動車に改造し，それを事業化する検討をしてきた。2012年度は，共同研究の最終年度であり，ITカーズ(株)より共同研究で開発しているバイフューエル（水素+ガソリン）車（ガソリン混合水素エンジン自動車）の完成と完成車の発表会を実施した。

1) 共同研究体制

主担当者：東京都市大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 兼務

准教授 山根 公高

支援担当者：東京都市大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 技術補 中川 研司

上野 辰也，工学研究科 機械工学専攻 M2，学籍番号：1181107

宮代 輝道，工学部 エネルギー化学科 G4，学籍番号：0916075

設計担当者：東京都市大学 工学部 エネルギー化学科 客員研究員 梅村 幸生

外部主担当者：ITカーズ(株)：東京都千代田区神田司町2丁目13番地 ITカーズ株式会社

(代表取締役 平瀬 順一)の新事業部 次長 今井 作一郎

2) 2012年度の実施内容

- 部品調達（高圧水素供給システム，ECU改造），試作（高圧水素タンク室，換気ダクト，ECU改造設計と試作），シャシーダイナモ運転や試走を実施し，機能上，オリジナルのスズキ(株)ガソリン筒内噴射ワゴンR車同等以上の性能を得られることを目的として試作をおこなった。
- ガソリン混合水素エンジン自動車の制御システムの構築：水素+ガソリン用に試作した，エンジン制御システムにて，運転性のよい制御方法を構築した。

- HySUT（水素供給・利用技術研究組合）管理水素ステーションへの暫定登録：HySUTの水素燃料供給を受けるために、暫定登録を行い、登録された。
- 高圧水素燃料供給システムの認証：日本自動車研究所にて高圧水素燃料供給システムの認証を得ることが出来た。
- 陸運局より車検認証取得し白ナンバー取得：公道を走ることができるよう、陸運局より車検認証を得た。（添付資料1：自動車検査証 番号 00503）
- ガソリン混合水素エンジン自動車完成公開発表の実施：共同研究相手のITカーズ社が記者会見を平成24年9月25日に会場（財）高度技術社会推進協会（TEPIA）B1会議室A（東京都港区北青山2-8-44）、添付のプレスリリース（添付資料2）を配布して実施し、そのことが「ガソリン混合水素エンジン掲載記事リスト（9月28日までの記録）（添付資料3）」に示す反響を得た。本学は、この記者発表には諸般の理由により共同参加をしなかった。（添付資料2：プレスリリース ITC1201、添付資料3：ガソリン混合水素エンジン掲載記事リスト）

3) 今後の課題

共同研究は、担当者山根准教授の定年退職のため継続してできなくなった。これからの課題は、試作したガソリン混合水素エンジン自動車の安全検証、性能検証のために、引き続き試運転を実施することが必要である。是非、今後とも大学のご協力をお願いしたい。

(2) 液体水素タンクボイルオフゼロ化のため、小型冷凍機の研究開発（重点推進研究の続き）

重点研究で3年間平成21年度まで実施してきた「液体水素タンクボイルオフゼロ化の研究」を、「水素自動車実用化研究」の中に組み入れて実施した。実施内容は以下の通りである。

- パルス管冷凍機性能向上
- モーションコントロールを用いた脈動流制御研究

1) 研究体制

実施責任者：東京都市大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 兼務
准教授 山根 公高

指導担当者：松原 洋一 先生（元日本大学教授，小型冷凍機パルス管冷凍機の世界一人者）

担当者：丸山 貴史，工学研究科 エネルギー化学専攻 M1，学籍番号：1281918

山田 雄太，工学部 エネルギー化学科，G4，学籍番号：0916080

2) 2012年度の実施内容

- パルス管冷凍機性能向上：昨年の性能範囲外の実験条件で実験による調査をしたが、昨年を勝る運転条件を見つけることができなかった。
- モーションコントロールを用いた脈動流制御研究：昨年の担当者との引継ぎがうまくゆかず、

結局、本研究はできなかった。

3) 今後の課題

小型冷凍機パルス管冷凍機による液体水素タンクボイルオフゼロ化のため、研究開発は、社会で実用化されている小型冷凍機の効率、すなわち 300W の入力に対して、1W の冷凍能力には、とても達することができなかった。その課題は、試作したパルス管冷凍機の構造、材料仕様等検討することが必要である。しかし、液体水素タンクボイルオフゼロ化のための小型冷凍機の開発研究は、今後、LNG や液体水素を自動車の燃料として用いる場合になくってはならぬ技術である。小生が定年退職のためにこの研究が本学でできなくなることは、大変残念である。

以上

付録：添付資料 1, 2, 3

プレスリリース ITC1201
2012年9月25日

世界初、「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表 ―― ITカーズが水素社会に向けた新たなソリューションを実証 ――

自動車業界をはじめ様々な分野で戦略的情報システムを提供しているITカーズ株式会社(本社:東京都千代田区神田、竹馬徳昭社長)は9月25日、世界初となる「ガソリン混合水素エンジン」自動車へのコンバージョン(機能変換)キットを発表し、車検をクリアした搭載車をプレスに公開した。

この世界初となる「ガソリン混合水素エンジン」へのコンバージョンキットは、東京都市大学(旧・武蔵工業大学)の総合研究所水素エネルギー研究センターの山根公高准教授の助言のもとにITカーズにより開発されたもの。

新エネルギー、環境対策の視点から次世代自動車の動力源について、これまで100年余の技術蓄積を有する内燃機関とするか、モーター系の電気自動車や燃料電池車(FCV)にするかについて国際的な議論を呼ぶ中で、この世界初となる「ガソリン混合水素エンジン」は、新たなソリューションを実証することとなった。

特に国内で約7,560万台(自動車検査登録情報協会2012年調べ)、世界では10億台を超えるとされる保有自動車台数のほとんどはガソリンを主燃料とする内燃機関車であり、これらがITカーズ開発のコンバージョンキットを組み込むことで、環境に負荷の無い水素による走行が可能となる。

今回の発表について、山根博士は「内燃機関を利用した水素エンジンは、今までの熟成した技術を利用し、低コストで、大きな技術的問題を抱えることなく生産できる唯一の方法であることを実証できた」と語っている。同博士は日本における水素自動車の研究・開発で40年のキャリアをもつ第一人者で、既に試験車では乗用車などの開発を行っている。

ガソリン混合水素エンジンの実用化に向けてコンバージョンキットの開発に中心的役割を果たしたITカーズ技術部長の今井作一郎(いまい さくいちろう)氏は、「2009年より山根博士の指導を受け試作に取り組んだ。技術的に一番難しいコンパクトな軽自動車を開発車に選んだ。これに成功すれば、すべての車種への組み込みは容易になる」と述べている。

今井氏は1998年のパリ・ダカールラリーにおいて市販車改造ディーゼル・クラス(T2-2)で2回目の参戦にして見事クラス優勝を遂げた伝説のエンジニア。

昨年1月、経済産業省と民間企業(自動車メーカー3社とエネルギー事業者10社)が水素を燃料とする燃料電池車の普及水素燃料のインフラ「水素ステーション」の整備を共同事業として取り組み、2015年までに東京、愛知、大阪、福岡の4大都市圏で100箇所程度を先行的に設置する旨の共同声明を公表している。この水素エンジン自動車は水素供給・利用技術研究組合(HySUT)の承認を受けており、燃料電池車用のインフラを共用することができる。

この水素エンジン自動車ではガソリン単独と水素とガソリン混合モードでの走行でき、モード切り替えは最適化プログラムにより自動的に行われ、パワーとレスポンスの低下を防ぎ、段付きの無い燃料の入替えを可能とするなど下記の特長をもつ。

■「ガソリン混合水素エンジン」自動車の概要

開発車種： 軽自動車(スズキワゴン R 直噴インタークーラー付きターボエンジン、最も小型である軽自動車で利用できれば、すべての車種に適用可能)

出力： 改造前の能力と同等

燃料消費： 改造前と同等かそれ以上

排気性能： 水素運転時は完全にクリーン。水素+ガソリン時は、ガソリン車以上のクリーンさ

使用燃料： 水素およびガソリン

使用方法： 水素燃料単独(都市内での通常走行)

ガソリン単独(水素がなくなった場合や、水素を入手できない場合に用いる)

水素・ガソリン併用(追い越しなど高負荷運転時に用いる)

走行距離： 開発車に搭載している 35MPa 高圧水素容器(1本)で約 150km(高速道路を走行した場合のデータ)

運転方法： 改造前と同じ、完全オートマチック

運転者の制限： 普通自動車免許保有者対象

公道走行： 可能

関連特許： ・液体燃料を用いる内燃機関に後から設置可能な後付式の気体燃料供給キット
・エンジンに対する気体燃料の供給方法、および当該方法によって出力が向上したエンジン

今後、ITカーズでは「ガソリン混合水素エンジン」自動車へのコンバージョンキットの普及化のため、関連企業との事業提携をすすめていく方針である。

■ITカーズ株式会社について

自動車業界をはじめ様々な分野で最新の情報機器とソフトウェア、通信技術、そしてマーケティング戦略などを組み合わせ、これまでにない情報システムや市場戦略、そして新たなビジネスモデルを顧客企業に提案している(<http://www.itcars.co.jp/>)。創業は 2007 年。

#

この記者会見に関するお問い合わせは-----

◆ 株式会社井之上パブリックリレーションズ

東京都新宿区四谷 4-34 新宿御苑前アネックスビル 2F/TEL:03-5269-2301(代)

「H+G エンジン」広報担当:横田/皆見(みなみる) E-mail: press-as1@inoue-pr.com

日付	媒体名	ヘッドライン	リード
1 9月25日	Newsアンサー	世界初！「2種類の燃料」エンジン発表	TV
2 9月25日	Newsアンサー	世界初！「2種類の燃料」エンジン発表	http://www.tv-tokyo.co.jp/my/newsanswer/news/post_27589
3 9月25日	NHK NewsWEB	水素とガソリン「ハイブリッド」車を開発	http://www3.nhk.or.jp/news/html/20120925/k10015279581000.html
4 9月25日	MSN 産経ニュース	ITカーズ、世界初の水素エンジン自動車を開発 年内に一般発売へ	http://sankei.jp.msn.com/economy/news/120925/biz1209251814023-n1.htm
5 9月25日	Yahoo! Japan ニュース	ITカーズ、世界初の水素エンジン自動車を開発 年内に一般発売へ	http://headlines.yahoo.co.jp/hl?i=20120925-00000563-san-bus_all
6 9月25日	SankeiBiz	ITカーズ、世界初の水素エンジン自動車を開発 年内に一般発売へ	http://www.sankeibiz.jp/business/news/120925/bsa1209251814005-n1.htm
7 9月25日	livedoorニュース	ITカーズ、世界初の水素エンジン自動車を開発 年内に一般発売へ	http://news.livedoor.com/article/detail/6985221/
8 9月25日	Response	ITカーズ、水素とガソリン混合を実現した水素エンジン自動車を発表	http://response.jp/article/2012/09/25/181945.html
9 9月25日	Yahoo! Japan ニュース	ITカーズ、水素とガソリン混合を実現した水素エンジン自動車を発表	http://headlines.yahoo.co.jp/hl?i=20120925-00000036-rps-bus_all
10 9月25日	Yahoo! Japanファイナンス	ITカーズ、水素とガソリン混合を実現した水素エンジン自動車を発表	http://news.finance.yahoo.co.jp/photo/detail/20120925-00000036-rps-bus_all-view-001
11 9月25日	Yahoo! Japan ニュース BUSINESS	ITカーズ、水素とガソリン混合を実現した水素エンジン自動車を発表	http://newsbiz.yahoo.co.jp/detail?a=20120925-00000519-biz_san-nb
12 9月25日	goo自動車&バイク	ITカーズ、水素とガソリン混合を実現した水素エンジン自動車を発表	http://autos.goo.ne.jp/news/industry/181945/article.html
13 9月25日	carview.co.jp	ITカーズ、水素とガソリン混合を実現した水素エンジン自動車を発表	http://newsbiz.yahoo.co.jp/detail?a=20120925-00000519-biz_san-nb
14 9月25日	財形新聞	ITカーズ、世界初の水素エンジン自動車を発表 水素とガソリン混合を実現	http://www.zaikei.co.jp/article/20120925/114105.html
15 9月25日	livedoorニュース	ITカーズ、世界初の水素エンジン自動車を発表 水素とガソリン混合を実現	http://news.livedoor.com/article/detail/6985866/
16 9月25日	GAZOOニュース	ITカーズ、水素とガソリン混合を実現した水素エンジン自動車を発表	http://gazoo.com/NEWS/NewsDetail.aspx?NewsId=8e274fb2-1eef-4bad-bd59-4284d46fc177
17 9月25日	共同通信ニュース	水素とガソリンを混合使用 世界初の試作車公開	通信社
18 9月25日	MORNING SATELLITE	【ネタのたね】「世界初のエコカー技術」	TV
19 9月25日	MORNING SATELLITE	【ネタのたね】「世界初のエコカー技術」	http://www.tv-tokyo.co.jp/mv/nms/netanotane/post_27626/
20 9月25日	CNET Japan	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://japan.cnet.com/release/30027670/
21 9月25日	エコニュース	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.eco-news.in/%E8%87%AA%E5%8B%95%E8%BB%8A/40466.html
22 9月25日	Jchere	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://newschina.jchere.com/newsdetail-id-1962551.htm#_UGG3r40aNiM
23 9月25日	Fresh eyeニュース	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://news.fresheve.com/article/fenwnews2/1000004/20120925150400_ic_prjCN57511/a/index.html
24 9月25日	media jam	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://mediajam.info/topic/2199973
25 9月25日	@Engineer	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://green.atengineer.com/gt/top/search/news/IT%E3%82%AB%E3%83%BC%E3%82%BA
26 9月25日	ADVFN	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://jp.advfn.com/p.php?oid=nmoma&article=54286712
27 9月25日	AeroPres	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://aeropres.net/release/html/3124
28 9月25日	excite ニュース	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.excite.com/News/release/20120925/jcn_57511.html
29 9月25日	Asahi.com	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.asahi.com/business/pressrelease/JCN201209250003.html
30 9月25日	gooニュース	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://bizex.goo.ne.jp/release/detail/508804/
31 9月25日	Carview	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.carview.co.jp/news/2/173397/
32 9月25日	Infoseek ニュース	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://news.infoseek.co.jp/article/20120925jcn57511
33 9月25日	IZA	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.iza.ne.jp/news/newsarticle/business/manufacturer/594041/slideshow/512057/
34 9月25日	JCN Network	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.japancorp.net/japan/Article.Asp?Art_ID=57511
35 9月25日	livedoor ニュース	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://news.livedoor.com/article/detail/6985221/
36 9月25日	Newzine	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://newzine.net/newsrelease/25886/
37 9月25日	日刊工業新聞 BusinessLine	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.nikkan.co.jp/newrls/20120925i-05.html
38 9月25日	Press Finds	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.pressfinds.com/archives/144072
39 9月25日	RegnAs	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.regnas.jp/press/business/article0012181.html
40 9月25日	Regrese	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://www.regrese.jp/release/details/1237/932/
41 9月25日	ZDNet	ITカーズ、世界初の「水素とガソリン混合」を実現した水素エンジン自動車を発表	http://japan.zdnet.com/release/30027670/
42 9月26日	日経産業新聞 P.17	経・水素で走れる仕様に ITカーズ 加速時、ガソリン併用	新聞
43 9月26日	産経新聞 P.14	ガソリン+水素エンジンの試作車公開	新聞
44 9月26日	フジサンケイビジネス アイ P.6	ガソリン混合水素 エンジン車に改造 世界初、ITカーズ	新聞
45 9月26日	日刊工業新聞 P.6	水素とガソリン併用 エンジン機能変換 ITカーズが装置	新聞
46 9月26日	日刊自動車新聞 P.2	ガソリンと水素混合 ITカーズ 世界初のエンジン開発	新聞
47 9月26日	ネットDe日刊自動車新聞	ITカーズ、ガソリンと水素混合 世界初のエンジン開発	http://www.netdenjd.com/article/detail.php?at=91036
48 9月26日	中日新聞 P.8	水素ガソリン併用エコカー ITカーズ 既存車改造 世界初、試作車を公開	新聞
49 9月26日	静岡新聞 P.6	水素とガソリンを混合使用 世界初の試作車 ITカーズ	新聞
50 9月26日	京都新聞 P.11	水素とガソリン 混合使用自動車 ITカーズ、初試作	新聞
51 9月26日	神戸新聞 P.11	水素、ガソリン混合使用 ITカーズ 世界初の試作車公開	新聞
52 9月26日	Car watch	ITカーズ、水素とガソリンを併用できる自動車を開発	http://car.watch.impress.co.jp/docs/news/20120926_562240.html
53 9月26日	Yahoo! Japan ニュース	ITカーズ、水素とガソリンを併用できる自動車を開発	http://headlines.yahoo.co.jp/hl?i=20120926-00000006-impress-ind
54 9月26日	マイナビ ニュース	ITカーズ、世界初の水素とガソリン混合の水素エンジン自動車発表	http://news.mynavi.jp/news/2012/09/26/103/
55 9月27日	Biz plus	ITカーズ、水素とガソリンを併用できる自動車を開発	新聞
56 9月27日	日刊自動車新聞 P.18	ITカーズがコンバージョンキット開発 水素内燃機関自動車 中古車を「エコカー」へ	新聞
57 9月27日	ネットDe日刊自動車新聞	中古車を「エコカー」へ、ITカーズがコンバージョンキット開発	http://www.netdenjd.com/article/detail.php?at=911172
58 9月27日	化学工業日報 P.10	水素・ガソリン混合エンジンに交換 ITカーズがガソリン車向けキット	新聞
59 9月27日	Tech-On	ITカーズ、ガソリン車を水素エンジン車にする改造キットを開発	http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20120927/24235/
60 9月28日	nikkei BP net	ITカーズ、ガソリン車を水素エンジン車にする改造キットを開発	http://www.nikkeibp.co.jp/article/news/20120928/324866/

地盤環境評估研究室

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、茨城・千葉・東京の埋め立て地域を中心に、広域に液状化現象が生じ、約3万棟の家屋や工場に沈下や傾斜の被害が発生した。現在、これらの修復工事が各所で進められているが、被災地は次の地震の際にも再び液状化する可能性が高く、被災した住民や市はその対応に苦慮している。

その原因の一つが再液状化を抑止するための液状化対策工事が高額なことである。土木工事用の液状化対策工法は数多くあり、いずれも高い効果が実証されているが、いずれも高額である。また、狭隘な敷地での施工が困難である等の問題点もある。

このような現状から、既存の宅地や構造物に対する廉価な液状化対策工法の開発が社会的要請となっており、本研究課題の主目的とするところである。特に薬液や特殊水を地盤内に注入する液状化対策について、重点的に検討を行っている。

2. 研究成果

本研究室では、これまで液状化対策に関する2種類の研究を進めてきた。一つは、薬液注入工法に関するものであり、もう一つはマイクロバブル水注入工法である。

薬液注入工法は、液状化しやすい砂地盤中に水ガラスを主剤とする薬液を注入し、固化させることで、人工的に土質改変を行うものである。液状化対策工法の中でもその改良効果は極めて高く、岸壁・オイルタンクなどの重要構造物に適用されている。

一方、マイクロバブル注入工法は、砂地盤中に平均直径が30 μ m程度の気泡を含む水を注入し、地盤を不飽和化することによって、その液状化抵抗を2倍程度に高めるものである。これは本研究室と佐藤工業、産総研との共同研究により開発されたものであるが、国交省の大型プロジェクトにも採択されるなど、その実用化には大きな期待が寄せられている。しかしながら、強い地震動の下では液状化する恐れがあることなどから未だ実用化には至っていない。

薬液注入工法とマイクロバブル注入工法は、地盤に液体を注入するという点では共通であることから、本研究では両工法を効果的にMIXさせる技術(シリカバブル工法)の開発を目指す。例えば、薬液とマイクロバブル水を混ぜ合わせた液体を注入する工法や両工法を適材適所で使い分ける併用工法が考えられる。これにより、マイクロバブルよりも対策効果が高く、薬液注入工法よりもコストが低い工法の確立を目指すものである。

加えて、注入薬液に微粒粉末を加えた新しい注入材の開発も実施する。現状では、シリカフュームなどの微細粒子を薬液に混合し、注入する方法(シリカホワイト工法)を試みている。

また、薬液注入工法の品質向上もコストダウンと同程度に重要である。そこで、本研究室では地盤と薬液との相性を探るため、32本の供試体を同時に作成可能な試験装置を試作し、種々の薬液供試体の長期耐久試験を実施している。

3. 終わりに

液状化対策工法の低コスト化と高品質化に向けて、種々の工法や試験装置を開発している。24年度は、長期耐久試験方法を確立するとともに、液状化対策の低コスト化に向けた方法を模索した。



図-1 注入マイクロバブル水

(左：作成前、右：作成後)

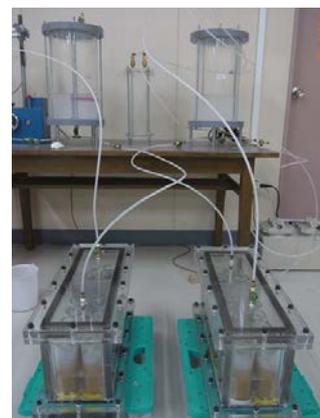


図-2 真空浸透注入装置