

東京都市大学
平成 2 7 年度 総合研究所 紀要

第 1 2 号

平成 2 8 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、平成 27 年度の活動状況について簡単に報告します。

まず、シリコンナノ科学研究センターは、センター名称をナノエレクトロニクス研究センターに改名し、量子デバイスをはじめとする先端的なデバイス研究を進める事といたしました。また、総務省戦略的情報通信研究開発制度 (SCOPE) プロジェクト『究極的シリコン系発光デバイスの研究開発』で推進してまいりました Ge 材料を用いた近赤外領域での室温レーザ発振の研究開発を、平成 27 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業『ゲルマニウムを基幹材料とするナノエレクトロニクス先端融合研究基盤の形成』プロジェクトに引き継ぐとともに、NEMS デバイスとの融合を進める先進的な研究を開始しました。さらに、4 月からは小長井誠特任教授を総合研究所に迎え、Future-PV 研究室を立ち上げ、先端的な太陽電池の研究開発を開始しました。

また、学内で大型プロジェクト研究を推進されている工学部機械工学科の三原雄司教授並びに環境学部環境創生学科の涌井史郎教授を代表とする研究センター（三原教授／高効率水素エンジン・エンジントライボロジー研究センター、涌井教授／応用生態システム研究センター）を世田谷、横浜の両キャンパスに設置し、総合研究所の陣容を堅固な体制といたしました。

次に都市基盤施設の再生工学研究センターでは、橋梁点検・診断技術の高度化に向け、データベースWG、非破壊WG、コンクリートWG、モニタリングWGを立ち上げ研究開発を鋭意、推進いたしました。各WGの開発技術を統合し、橋梁の損傷に対する橋靱性ランキングと損傷リスクを考慮した点検の効率化、限界状態検知システムの構築を目指す研究を推進しました。

以上の大型プロジェクト研究に加え、「地盤環境評価研究室」、「水素エンジン研究室」で本学独自の研究制度として推進されてきました重点推進研究 2 件は、研究開発目標を達成し、終了いたしました。またインキュベーション・ラボとなる「応用表現研究室」においても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。

以上、総合研究所で進めて参りました研究を外部の目から評価いただくため、自己点検評価書を作成し外部評価委員会による評価を平成 28 年 2 月末に実施いたしました。また、定期的開催して参りました総研セミナーに関しましては、本学校名にちなみ、“未来都市東京”をテーマとする第 104 回記念セミナーを 3 月 1 日に開催いたしましたことをご報告申し上げます。

平成 28 年 5 月 25 日
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

(2016年3月1日現在)

所 長 教授 丸 泉 琢也

副所長 教授 宮 本 和明

ナノエレクトロニクス科学研究センター

センター長	教授	丸 泉 琢也	[工学部]併任	(半導体工学)
	名誉教授	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	堀 越 篤史	[知識工学部]兼務	(計算科学)
	講師	徐 学俊		(半導体工学)
	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)
	客員教授	藤 田 博之	[東大生産技術研究所・教授]	(バイオMEMS)

都市基盤施設の再生工学研究センター

センター長	教授	小 西 拓洋		(鋼構造・橋梁工学)
	学長	三 木 千壽		(鋼構造・橋梁工学)
	教授	手 塚 正道	オリエンタル白石	(コンクリート工学)
	講師	横 山 薫	三菱重工業	(鋼構造・橋梁工学)
	助教	関 屋 英彦		(鋼構造・橋梁工学)
	教授	吉 川 弘道	[工学部]兼務	(地震リスク)
	教授	吉 田 郁政	[工学部]兼務	(信頼性解析)
	教授	丸 山 收	[工学部]兼務	(信頼性・計測)
	准教授	白 旗 弘実	[工学部]兼務	(鋼構造・計測)
	共同研究者	田 井 正行	[木更津工業高等専門学校・助教]	(鋼構造)
	共同研究者	古 東 佑介	[(株)エイテック 技師]	(橋梁工学)

高効率水素エンジン・エンジントライボロジー研究センター

センター長	教授	三 原 雄司	[工学部]兼務	(内燃機関工学)
	教授	白 木 尚人	[工学部]兼務	(機械材料)
	准教授	藤 間 卓也	[工学部]兼務	(機械材料)
	技士補	中 川 研司	[工学部]兼務	(内燃機関工学)

応用生態システム研究センター

センター長	教授	涌井史郎	[環境学部]兼務	(造園学・環境計画)
	共同研究者	飯島健太郎	[桐蔭横浜大学・准教授]	(造園学・都市緑化)

重点推進研究室

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)

水素エンジン研究室

教授	三原 雄司	[工学部]兼務	(内燃機関工学)
准教授	白木 尚人	[工学部]兼務	(機械材料)
准教授	藤間 卓也	[工学部]兼務	(機械材料)
技士補	中川 研司	[工学部]兼務	(内燃機関工学)

FUTURE-PV研究室

教授	小長井 誠	固体電子工学
客員教授	市川 幸美	科学技術振興機構研究総括補佐 半導体デバイス

インキュベーション・ラボ

応用表現研究室

教授	山崎 芳男	早稲田大学名誉教授	音響表現
教授	廣瀬 禎彦	121ワークスLLC	応用表現
共同研究者	橋本 澄彦	121ワークスLLC	映像制作編集
共同研究者	田端 一彦	有限会社TBT	デザイン、AD
共同研究者	大内 康裕	国立国語研究所	音響表現
共同研究者	菰口 賢一	T&Kエンタテインメント	音楽企画、制作
共同研究者	萩原 史郎	マミヤデジタル研究所	画像表現
共同研究者	池畑 光浩	早稲田大学理工学研究所	美学、音楽表現

事務室

事務員	鈴木栄里子	社会連携センター
-----	-------	----------

目 次

1. 平成27年度 活動報告	1
2. 平成27年度 研究概要	
シリコンナノ科学研究センター	5
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	
低消費電力光電子集積回路へ向けた歪みGe-on-Insulator基板開発	
澤野憲太郎	
Tensile-Strained, N-Doped Ge Light Emitting Materials and Devices	
徐 学俊	
都市基盤施設の再生工学研究センター	11
非破壊検査技術の高度化と点検診断への適用	
小西 拓洋・古東 佑介・小屋裕太郎	
熱画像処理によるコンクリート剥落検知	
小西 拓洋・手塚 正道	
PCグラウトの充填度非破壊検査技術の開発	
手塚 正道	
赤外線サーモグラフィ法による剥落検知技術の高度化	
手塚 正道	
鋼橋の疲労損傷と補修事例のユーザー参加型データベースの構築	
横山 薫	
MEMSセンサを用いた橋梁モニタリングシステムの開発	
関屋 英彦	
応用生態システム研究センター	19
応用生態システム研究センターの紹介	
涌井 史郎・飯島健太郎	
重金属模擬汚染土壌の製作ならびに野草を用いた浄化の可能性に関する研究	
涌井 史郎・飯島健太郎	
堀川 朗彦・山崎 正代	
擦過傷予防の観点から都市大方式ハイブリッド芝の有効性と病理診断	
涌井 史郎・飯島健太郎	
堀川 朗彦・山崎 正代	
踏圧ストレスによる損耗と復元力から見た都市大方式ハイブリッド芝の評価	
涌井 史郎・飯島健太郎	
堀川 朗彦・山崎 正代	

重点推進研究室

地盤環境評価研究室 ・ ・ ・ ・ ・ 2 5

注入系液状化対策工法の開発

末政 直晃

水素エンジン研究室 ・ ・ ・ ・ ・ 2 9

低エミッション高熱効率直噴水素エンジンの研究開発

三原 雄司・中川 研司

FUTURE－PV研究室 ・ ・ ・ ・ ・ 3 3

高効率・波長スプリットング太陽電池の研究開発

小長井 誠・市川 幸美

インキュベーション・ラボ

応用表現研究室 ・ ・ ・ ・ ・ 3 9

平成26年度応用表現研究室の活動概要

山崎 芳男・廣瀬 禎彦

3. 研究論文

ナノエレクトロニクス研究センター ・ ・ ・ ・ ・ 4 5

都市基盤施設の再生工学研究センター ・ ・ ・ ・ ・ 7 7

重点推進研究 地盤環境評価研究室 ・ ・ ・ ・ ・ 1 3 7

重点推進研究 水素エンジン研究室 ・ ・ ・ ・ ・ 1 7 3

FUTURE－PV研究室 ・ ・ ・ ・ ・ 1 9 7

総合研究所 平成27年度活動報告

月	日	活 動 内 容
4	8	第52回総研運営委員会
	16	第114回所内会議
	22	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)
5	21	第115回所内会議
	27	第95回総研セミナー研究成果報告会
	31	総合研究所紀要-第12号-発行
6	18	第116回所内会議
	29	第96回総研セミナー(ナノエレクトロニクス研究センター)
7	16	第117回所内会議
	20	第53回総研運営委員会
	23	第97回総研セミナー(応用表現研究室)口
	25	第98回総研セミナー(第10回TCURobotics Workshop)
9	30	第99回総研セミナー(地盤環境設計評価研究室)
10	15	第118回所内会議
	21	第100回総研セミナー(応用生態システム研究センター)
	28	総合研究所利用者説明会(後期)及び防災訓練(学生及び貸研究室等登録者対象)
11	19	第190回所内会議
	25	ドラフトチャンバー撤去工事(～11/30)
	26	第101回総研セミナー(都市基盤施設の再利用工学研究センター)
12	3	第54回総研運営委員会
	14	第102回総研セミナー(ナノエレクトロニクス研究センター) (私立大学戦略的研究基盤形成支援事業キックオフシンポジウム)
	17	第120回所内会議
1	21	第103回総研セミナー(高効率水素エンジン・エンジントライボロジー研究センター)
	21	正門チェーン設置
	29	第121回所内会議
2	18	第122回所内会議
	23	第55回総研運営委員会
3	1	第104回総研セミナー(ナノエレクトロニクス)
	17	第123回所内会議
	17	第105回総研セミナー(応用表現研究室)

平成 2 7 年度 研究概要

ナノエレクトロニクス研究センター

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、2015 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：2015 年度に行なった研究は、Ge 組成および歪が SiGe の価電子帯構造に及ぼす影響、SiC の初期酸化過程、SiO₂/SiC 界面構造に及ぼす窒素プラズマ処理の効果などがあるが、ここでは、SiC の初期酸化過程に関する研究成果を述べる。試料は、エピタキシャル成長させた(0001)面の 4°off の 4H-SiC 基板を使用した。洗浄は、有機洗浄後、硫酸過水処理(H₂SO₄:H₂O₂=4:1)を 10 分、流水洗浄を 10 分後、5% HF 処理 30 秒で表面酸化膜を除去し、最後に流水洗浄を 30 秒行った。その後真空槽に搬入し、133Pa の乾燥酸素雰囲気中、850℃で酸化時間 2～120 分で計 1160 分まで酸化した。その後 900℃で同様の酸化時間で、計 1596 分まで酸化した。さらに 950℃で同様に計 1897 分まで酸化し、1000℃で酸化時間 2～30 分で計 2173 分まで酸化した。最後に、1050℃で酸化時間 2～10 分で、計 2193 分まで酸化を行った。試料は酸化毎に光電子分光装置 ESCA-300 (hν=1486.6eV) で、Si 2p、C 1s 光電子を測定することで評価した。Fig. 1(a)に酸化の進行に伴う Si 2p_{3/2} 光電子スペクトルの変化を示す。Fig. 1(b)には、Si 2p_{3/2} スペクトルの波形分離結果を示す。このような解析から得られた種々の化学結合状態からの光電強度の脱出角依存性から、SiO₂/4H-SiC は、Fig.2 に示すような界面構造であることを明らかにした。

4. 今後の研究計画：2016 年度は、前年に引き続き、組成や歪が及ぼす Ge や SiGe の価電子帯構造への影響の定量的な評価とパワーデバイス用として注目されている絶縁膜／SiC 構造を中心に、La₂O₃/Ge、Al₂O₃/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) T. Kanashima, et al., J. Appl. Phys. **118** (2015) 225302-1 - 225302-5.
- 2) H. Arai and H. Nohira, Jpn. J. Appl. Phys. **55** (2016) 04EB04-1 - 04EB04-5.

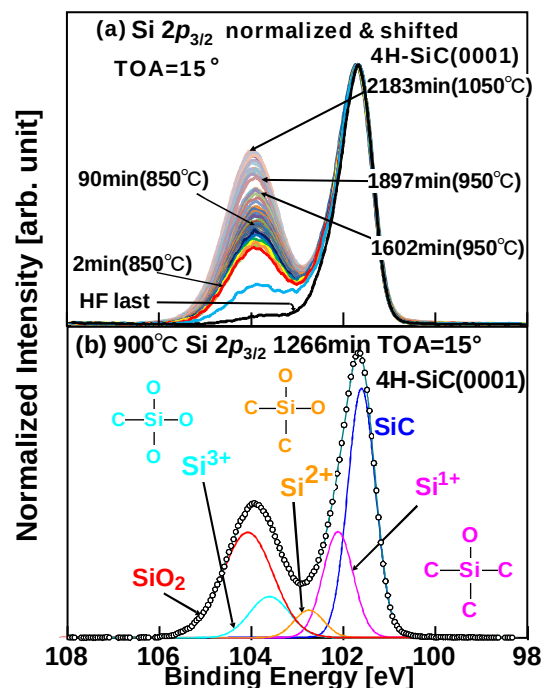


Fig. 1 (a) Si 2p_{3/2} photoelectron spectra arising from the sample of 4H-SiC(0001). (b) Decomposed Si 2p_{3/2} photoelectron spectrum.

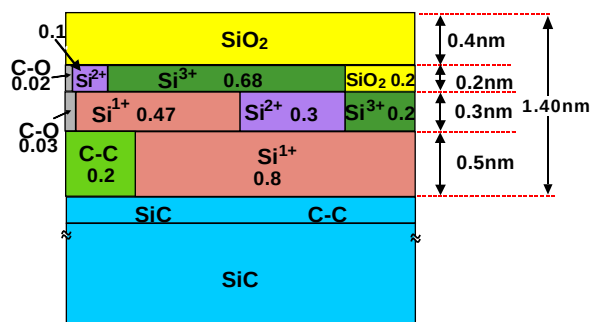


Fig. 2 Schematic diagram of compositional transition layer determined for 4H-SiC(0001) oxidized for 1206 min in dry O₂.

低消費電力光電子集積回路へ向けた歪み Ge-on-Insulator 基板開発

総合研究所 ナノエレクトロニクス研究センター 澤野憲太郎

【研究背景、目的】

近年、情報量の増大とともに、その処理を行う半導体集積回路 (LSI) の低消費電力化が喫緊の課題とされているが、微細化限界に直面したシリコン(Si) CMOS 技術に代わる、新たな技術革新が必須となっている。最近、高移動度チャネル CMOS や Si ベースの光デバイスとしてゲルマニウム(Ge) が注目され、特に GOI (Ge-on-Insulator) 基板の実現と、歪み制御技術の確立が重要視されている。今回、より大面積かつ面内均一な GOI 基板を目指し、SiGe エッチングストップ層を導入した GOI 作製手法を開発した。

【研究成果】

図 1 に GOI の作製手法を示す。固体ソース MBE を用いて、Si 基板上に Ge 膜 (LT-Ge 層+HT-Ge 層) を成長し、その上に SiGe (Ge=60%) ストップ層を挿入しの後に、トップ Ge 層を続けて成長した。その後、熱酸化した Si 基板上に貼り合わせ、Ge 側 Si 基板を研磨と KOH エッチングにより除去した。続いて H_2O_2 による Ge 選択エッチングを SiGe ストップ層まで行い、さらに KOH による選択エッチングにより SiGe ストップ層のみ除去し、GOI 構造とした。図 2 に構造の断面 TEM 像を示す。広い範囲で均一な膜厚を有する Ge 層が絶縁膜 (SiO_2) 上に形成されている。Ge の膜厚はトップ Ge としての成長膜厚で完全に制御可能であり、ここでは 50 nm と非常に薄い GOI が面内広範囲に形成できており、大口径薄膜 GOI 基板の実現に向けて非常に有望な技術であると言える。

さらに、歪みに異方性を導入することで、より高速な電子デバイス (MOSFET) を形成可能であることから、これまで開発している選択的イオン注入法と GOI 作製技術を組み合わせることで、一軸歪み SiGe-on-Insulator (SGOI) 基板の作製を試みた。ラマン分光法による評価から、歪みが面内制御された SiGe 層が SiO_2 上に形成されていることが確認され、今後の大きな進展につながる結果と言える。

【論文】① K. Sawano et al., “Structural and electrical properties of Ge(111) films grown on Si(111) substrates and application to Ge(111)-on-Insulator”, Thin Solid Films, in press ② M. Yamada and K. Sawano et al., “Suppression of surface segregation of the phosphorous δ -doping layer by insertion of an ultra-thin silicon layer for ultra-shallow Ohmic contacts on n-type germanium” Appl. Phys. Lett. 107, 132101 (2015). ③ Y. Hoshi and K. Sawano et al., “Compressively strained Si/Si_{1-x}C_x heterostructures formed on Ar ion implanted Si(100) substrates”, Jpn. J. of Appl. Phys. 55, 031302 (2016). 他

【国際会議発表】① K. Sawano, “Strained Germanium based Nano-Structures toward High Performance Optoelectronic Integrated Circuits” (Invited), ISAMR 2015, Taiwan (August, 2015). ② K. Sawano et al., “Fabrication of Strained Ge-on-Insulator for Ge-based Optoelectronic Devices”, E-MRS 2015, Lille, France (May, 2015). ③ Y. Hoshi and K. Sawano et al., “Compressively strained Si/Si_{1-x}C_x heterostructures formed by Ar ion implantation technique”, ICSI-9, Montreal, Canada (May, 2015). ④ M. Yamada, K. Sawano et al., “Suppression of the segregation of delta-doped P by the insertion of Si layers in Ge” ICSI-9, Montreal, Canada (May, 2015). ⑤ R. Moriya, K. Sawano et al., “Cubic Rashba Spin-Orbit Interaction of a Two-Dimensional Hole Gas in a Ge/SiGe Quantum Well”, EP2DS-21, Sendai, Japan (July 2015). ⑥ C. Neumann, K. Sawano et al., “Robust quantum dot devices for qubits in isotopically purified ²⁸Si”, EP2DS-21, Sendai, Japan (July 2015). 他

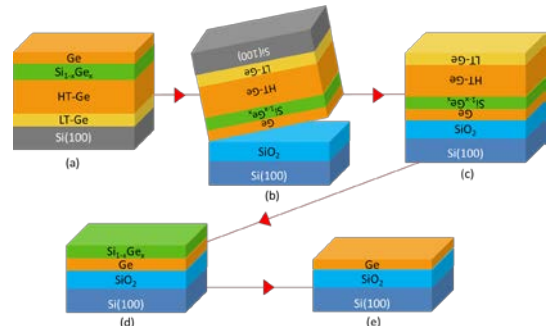


図1 SiGe エッチングストップ層を用いた歪み Ge-on-Insulator (GOI) 基板作製手法

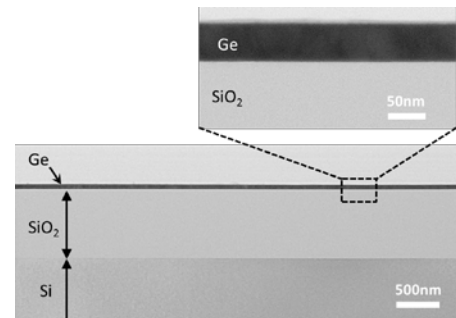


図2 歪み GOI の断面 TEM 像

1. Introduction

Ge has been considered as a promising material candidate for on-chip light sources monolithic-integrated on Si substrates. It can be engineered into a direct band gap semiconductor by applying tensile strain and heavy n-type doping, and thus attractive for laser devices. In last year, we have made progresses on enhanced light emission from Ge microdisks by thermal oxidation, high Q-factor resonant photoluminescence (PL) from germanium-on-insulator (GOI) microdisks, and large biaxial tensile strain from GOI by using strained-enhanced microbridge structures.

2. Research Results

Dry etching induced surface recombination is an important limiting factor to achieve high injected carrier density in optical resonators for laser devices. We found that thermal oxidation was an efficient method to solve these problems. The oxidation temperature was systematically investigated to obtain maximum PL intensity from Ge microdisks, as shown in Fig. 1. To protect GeO₂ film, a thin layer of Al₂O₃ was also deposited on top. We found that the Al₂O₃-Ge interfaces would degrade light emission properties and this effect can be avoided when oxidation temperature was higher than 500 °C.

In order to improve crystal quality of Ge grown on Si, GOI was demonstrated by wafer bonding of Ge-on-Si and another Si substrate with thermally grown SiO₂. In this way, low-temperature buffer layer could be removed from top. Based on high quality GOI substrate, microdisks were fabricated and sharp resonant peaks with Q-factor over 4000 were observed from PL spectra taken at low temperature of 27 K, as shown in Fig. 2. This represent the high Q-factor achieved so far in any microcavities based on bulk Ge.

The tensile strain in Ge-on-Si or GOI is limited to about 0.25%. To reduce the laser threshold, larger tensile strain is needed. Microbridge is an attractive structure to amplify the initial tensile strain in the Ge film. We fabricated circular microbridge patterns on GOI to enhance the tensile strain. Raman spectra showed that a 3.22 cm⁻¹ Raman shift compared with Ge wafer was obtained, corresponding to a 0.76% biaxial tensile strain (shown in Fig. 3).

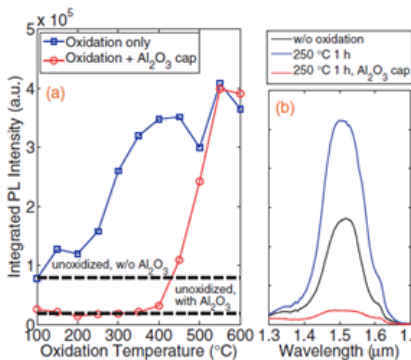


Fig. 1

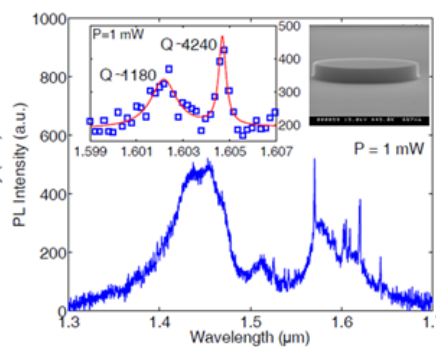


Fig. 2

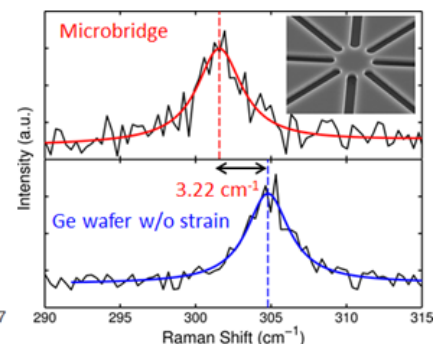


Fig. 3

論文及び学会発表

- [1] Xuejun Xu *et al*, Applied Physics Express, 9: 052101, 2016
- [2] Xuejun Xu *et al*, Applied Physics Express, 8: 092101, 2015
- [3] 松下奨、徐学俊 他、第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 3 月 19~22 日
- [4] 渡邊幸樹、徐学俊 他、第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 3 月 19~22 日
- [5] 橋本秀明、徐学俊 他、第 21 回電子デバイス界面テクノロジー研究会, 2016 年 1 月 22~23 日
- [6] 橋本秀明、徐学俊 他、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 2015 年 9 月 13-16 日

都市基盤施設の再生工学研究センター

【研究背景，目的】

構造物の劣化点検の基本は目視であるが，目視できない箇所や表面からは検知できない損傷には非破壊検査の適用が必要となる。鋼構造物では疲労、腐食、コンクリート構造物では材質劣化、鉄筋や PC 鋼棒の腐食、遅れ破壊などの経年劣化現象の検出を目的として、新しい非破壊検査法を開発し、適用性の検討を行っている。特に疲労亀裂は目視での発見ができず，通常のき裂点検では塗膜割れ箇所のすべてに磁粉探傷試験（MT）を適用しており，多大なコスト，時間を要している。

【研究成果，今後の開発】

(1) 渦流探傷画像化システムによる検知の高精度化

渦流探傷試験は塗膜上から短時間でキズを検知できるが、溶接部の検査では見逃し、誤検出が多く信頼性が低い。渦流探傷結果を C スコープとして画像化することにより見逃し、誤検出の少なく，再現性のある高精度渦流探傷システムを開発した。図-1 は開発システムによる探傷結果である。

(2) 画像処理を用いた疲労亀裂判定システム

塗膜表面に現れた塗膜割れパターンから、塗膜下の亀裂存在の可能性を評価する手法を開発した。推定手法は，塗膜割れ写真から画像処理により，割れ部分を抽出し，溶接部テンプレート上の対応する位置に投影し，パターン化した。同様のパターン化を疲労亀裂に対して行い疲労き裂 DB の作成し，これと塗膜割れのパターンの一致度を評価式により点数化し，疲労亀裂の有無の推定結果を○△×で示した。検知率，空振り率（「き裂なし」を○と誤判定した割合）を表-1 に示す。本手法を渦流探傷と併用することにより MT コストの大幅な削減が期待出来る。アルゴリズムの改良により更なる精度向上が期待出来る。

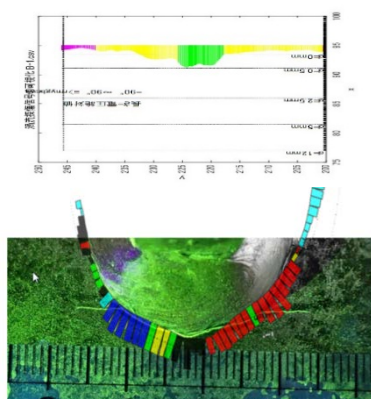


図-1 開発渦流探傷システムによる探傷結果（上：深さ 0.5mm 放電加工キズ，下：疲労亀裂）

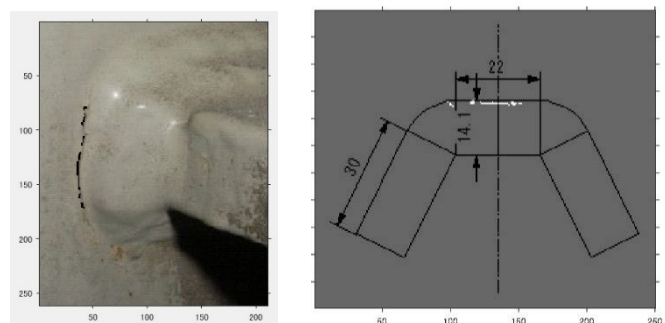


図-2 塗膜割れからの疲労亀裂探知

表-1 疲労亀裂判定結果

		○△を正解とした場合				○を正解			
き裂あり	あり	○△	10	検出率	91%	○	8	検出率	73%
	なし	×	1			△×	3		
き裂なし	あり	○△	5	空振り率	50%	○	2	空振り率	20%
	なし	×	5			△×	8		

【研究背景，目的】

剥落は第3者被害にもつながることから，検知には高い信頼性が要求されるが，サーモグラフィーによる検知は温度環境等に影響され，現在の精度は要求レベルに達していない．高架橋の剥落の遠隔検知を想定した場合，撮影距離が10～20m 離れるため検知精度の低下が問題となる．さらに欠陥の危険性評価には，欠陥深さ情報が必要となるが，欠陥試験体の表面温度の経時変化データを用いて深さの評価式同定を行った．

【研究成果】

(1) 熱画像からの空隙欠陥検知

通常の赤外線サーモグラフィー画像は，画素数が少なく，斜め遠方からの撮影であり，解像度が十分で得られない場合が多い．まず，この熱画像の温度情報を内挿補間し平面温度画像に変換する．(図-2) この画像には電気ノイズ，構造物全体の温度分布，被覆材による温度上昇が含まれており，これらノイズを除去し，空隙状欠陥による温度差のみを取り出した画像を図3に示す．平面図に検出欠陥を重ねた結果を図4に示す．以上のような画像処理により，空隙状欠陥を抽出し，熱画像上での寸法を計測出来るシステムとした．

(2) 空隙深さの算出

剥落危険度評価のためには，欠陥の深さ情報が必要となるが，このために，空隙試験体実験を行い，表面温度差の推定を試みた．下式を推定式とした．

表面温度差 $\Delta T = f(wd, kbr) * g(T_e, t)$ ， wd 欠陥寸法， kbr かぶり， T_e ：入熱を決めるコンクリートと気温の差， g ： T_e の時刻歴から求まる基準欠陥の温度差， f ：ある時刻での表面温度差と欠陥寸法・深さの関係式（基準欠陥に対する比率），実験データより求められた f を図-5に示す．時間項 g について現在同定を行っている．

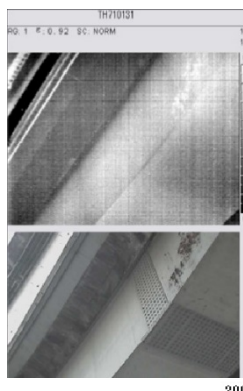


図-1 オリジナル熱画像

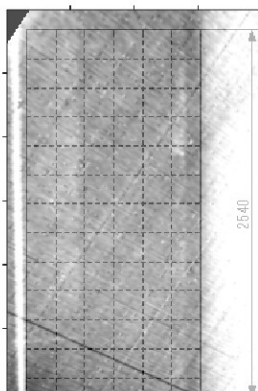


図-2 平面図への射影変換

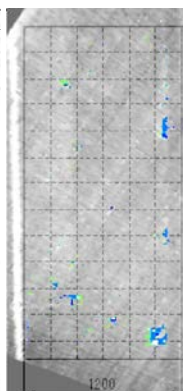


図-4 空隙欠陥の検知結果

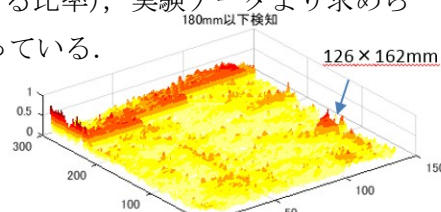


図-3 空隙欠陥を重ねた画像

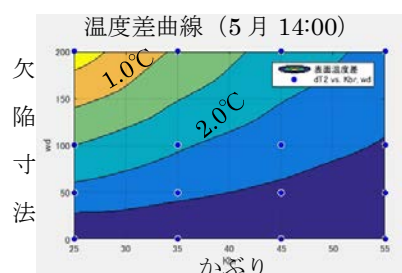


図-5 表面温度差と寸法，深さの関係

PC グラウトの充填不足は、PC 構造物の耐久性を損なう重要な問題であり、できる限り点検で充填不足箇所を洗い出し、再充填を行う必要がある。しかしながら、構造物にひび割れやさび汁などが生じるまでは、充填不足箇所が見つかりにくいのが現状である。

これまでの非破壊での PC グラウトの充填度検査手法としては、①X 線透過法、②広帯域超音波法、③衝撃弾性波法等があるが、適用できる条件が限られており、例えば、ケーブルが密集している T 桁下フランジ部分には適用できない。

そこで、T 桁下フランジ部分でも適用できる手法を、③衝撃弾性波法の従来と違う評価方法に着目して、解析的および実験的に開発しようとするものである。

モデル供試体の形状は、写真-1 に示すように、T 桁断面の上フランジ部分を取り除いた断面形状とし、長さ 7.5m とした。シース(呼び径 45mm)を 9 本配置し、長さ 1.5m の 5 区間に分けてシースの PC グラウト充填の有無の組合せを変化させた。

図-2 には、下フランジ底面中央からインパルスハンマー打撃入力し、s3 および s5 での受信波の初期性状を示す。入力波形は、インパルスハンマーに内蔵されているロードセルによる応力波形であり、受信波は加速度波形である。0.0011～0.0012sec. の区間でシース空洞部からの反射波と思われる波が付加されている。

今後、解析シミュレーションによる確認は必要であるが、初期受信波の波形からシース空洞部の検知が可能と考えられる。

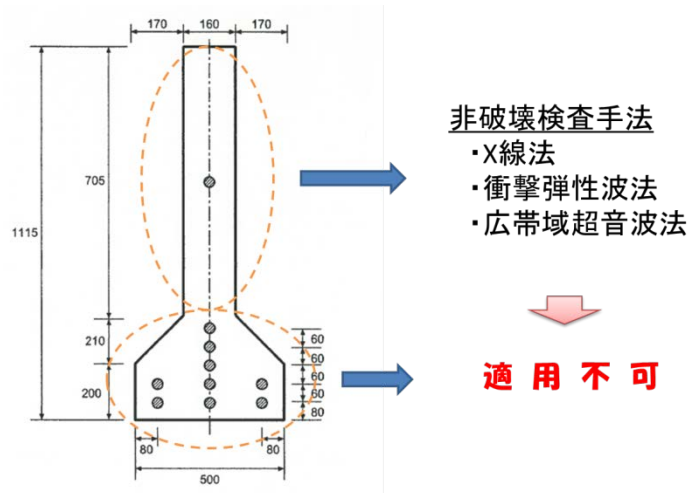


図-1 断面形状と非破壊検査適用性の概念図



写真-1 計測実験状況

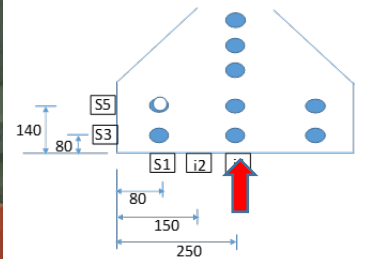


図-2 入出力位置

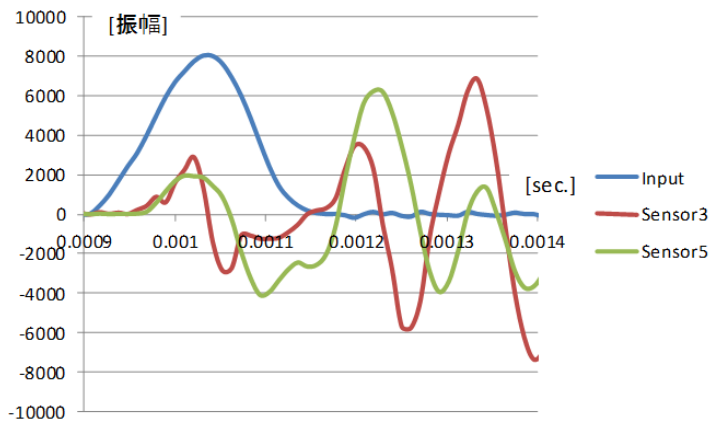


図-3 入出力波形

赤外線サーモグラフィ法は、コンクリート構造物の剥落等、表面部の欠陥検知に有効な非破壊検査手法であり、足場の設置が必要なく遠方から比較的広範囲を点検することができる。また近年、計測用のカメラの技術開発が進み、精度が向上しながら低価格化が進んでいる。このような状況を踏まえ、第三者影響度の高い剥落検知に、迅速で効率的な対応が可能な赤外線サーモグラフィ法を一次スクリーニングとして活用することは極めて有効な方法と言える。

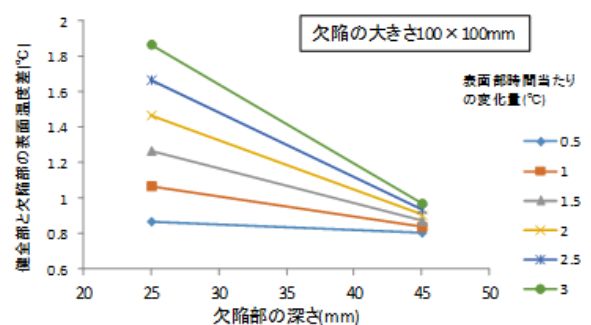
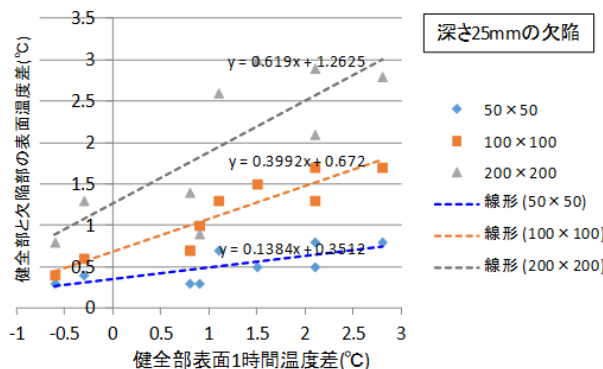
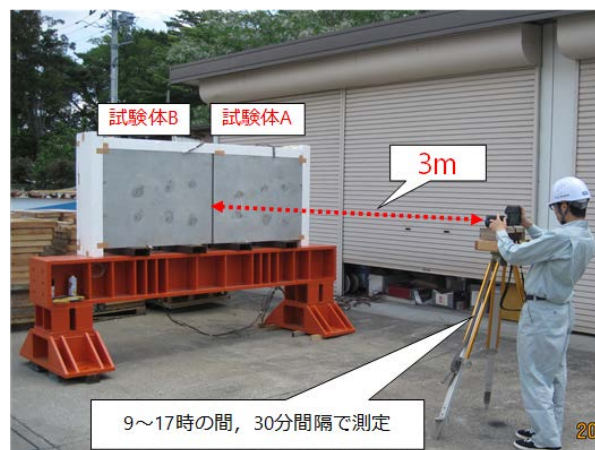
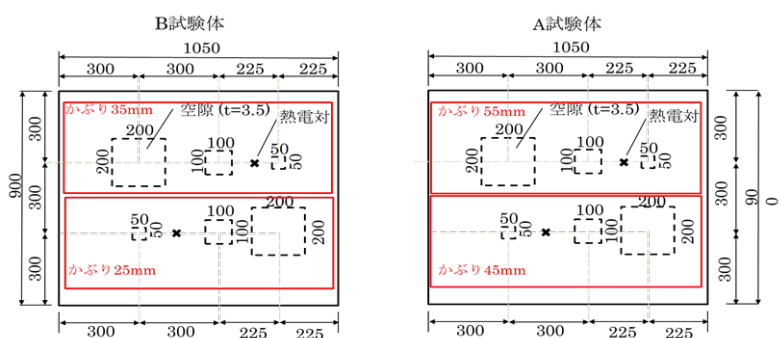
本研究は、一般的に使用できるように、欠陥部の大きさと深さを設定したモデル供試体を作成し実験的な検討から知見を整理すると共に、モデル供試体の健全部と欠陥部の温度挙動がシミュレートできる解析手法を構築し、その解析手法を利用して、適用する構造物の立地位置、計測時期を任意に設定した場合における構造物の温度挙動を推定できるようにすることを目的とする。

モデル供試体は、コンクリートの剥落の要因を表層部の欠陥(空隙)と想定し、大きさを50×50mm、100×100mm、200×200mmの3種類、深さを25、35、45、55mmの4種類、厚みを3.5mmと統一した空隙を模擬配置した外形が高さ900mm、幅1050mm、厚さを200、250mmの2種類とした。その概要を図-1に示す。

計測は、供試体から3m離れた位置から9時～17時の間、30分間隔で計測した。計測状況を写真-1に示す。

図-2には、空隙の深さ位置25mmの場合について、健全部と欠陥(空隙)部の表面温度差と前述の指標との関係を空隙の大きさ別にプロットしたものである。ばらつきはあるものの、空隙の大きさごとに両者には線形の関係が見られる。

この線形関係を利用して、図-3には、空隙の大きさ別に、健全部表面1時間温度差を0.5℃間隔で変化した場合の、健全部と欠陥(空隙)の表面温度差に与える空隙の深さ位置の関係が得られる。



鋼橋の疲労損傷と補修事例のユーザー参加型データベースの構築

都市基盤施設の再生工学研究センター
横山 薫

1. はじめに

疲労損傷は過去の事例に倣いその原因および対策が判断されることが多い。従って、過去に報告された疲労損傷に対する補修事例を取りまとめ、これらの情報を技術者の誰もが簡単に得られるようにすることが対策を講じる上で有効である。本研究では、Wiki型コンテンツ管理システムをプラットフォームとすることで、インターネット上のフリー百科事典であるWikipediaのように、利用者がその構築に積極的に参加できる鋼橋の疲労損傷と補修事例のデータベースをWeb上に構築した。

2. データベースの構成

本データベースは Contribution, Repair cases, Members, References のメニューにより構成される。以下に本データベースの主要な構成要素である Contribution と Repair cases について述べる。

Contribution は利用者が事例を投稿できるページ(図1)である。ページ下端に Repair cases の体裁に准じたサンプルが記載されている。ここで投稿された事例は、本データベースの管理に携わっているメンバーにより、採用した対策に対する評価等の審査を経たのち、Repair cases の事例として採用される(図2)。

Repair cases には疲労損傷と対策の事例が収録されている。本データベースに収録されている事例は全て過去に公表された資料から収集したものである。国内道路橋、国内鉄道橋、海外橋梁、鋼床版、鋼製橋脚、付属物に分けて収録している。収録事例数はそれぞれ、国内道路橋が 67 事例、国内鉄道橋が 33 事例、海外橋梁が 61 事例、鋼床版が 27 事例、鋼製橋脚が 11 事例、付属物が 5 事例の計 204 事例である。各事例の記載は利用者が比較しやすいようにできるだけ同じ構成とした(図3)。

3. 今後の研究計画

収集した事例をもとに、損傷原因による分類、損傷原因と補修方法の組合せ、供用年数と損傷原因との関係などについて、分析を進める予定である。



図 1: Contribution の Web ページ

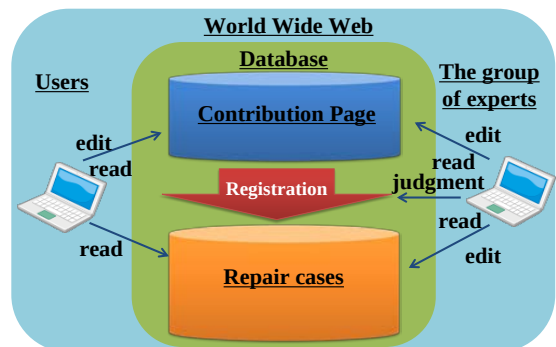


図 2: データベースの概念図

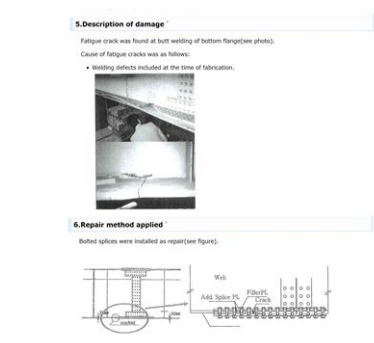


図 3: Repair cases の Web ページ例

MEMS センサを用いた橋梁モニタリングシステムの開発
総合研究所 都市基盤施設の再生工学研究センター 関屋英彦

【研究背景、目的】

道路橋は、我が国の社会活動、経済活動を支えている重要な社会基盤施設の一つである。道路橋は1960年代に多く建設され、既に供用から40～50年を経過しており、損傷が目立つようになってきており、適切な維持管理が求められている。橋梁の適切な維持管理を行うためには、損傷の要因となる走行車両重量や風、地震、温度等の外乱と、それらの外乱に対する応答を把握することが重要である。このような背景のもと、MEMSセンサを用いた橋梁モニタリングシステムの開発を行った。本報告書では、2015年度に行った研究成果の一部を述べる。

【研究成果】

MEMSセンサを用いて計測した加速度記録から変位応答を算出し、その変位応答を逆解析することによって、橋梁の主な損傷要因となる走行車両重量の推定を行った。試験橋梁を図1に示す。走行車両重量を計測する手法として、軸重計やひずみゲージを用いたWeigh-In-Motion等があるが、開発したシステムは安価かつ施工性に優れたMEMSセンサを用いており、さらに、マグネットで設置していることから可搬型といった特長を有している。従来のひずみゲージによるWIM結果と本システムのWIM結果を図2に示す。図2より、従来のWIM結果と同等の精度で走行車両重量を推定出来ていることが確認できる。

【今後の研究計画】

MEMSセンサに用いて走行車両重量を推定できるシステムを構築した。しかしながら、未だ複数車両が走行した際の変位応答算出精度が悪いため、走行車両重量の推定精度も良くないことが課題である。今後は、複数車両走行時の変位応答算出精度の向上を行い、本システムの実用化を目指す。

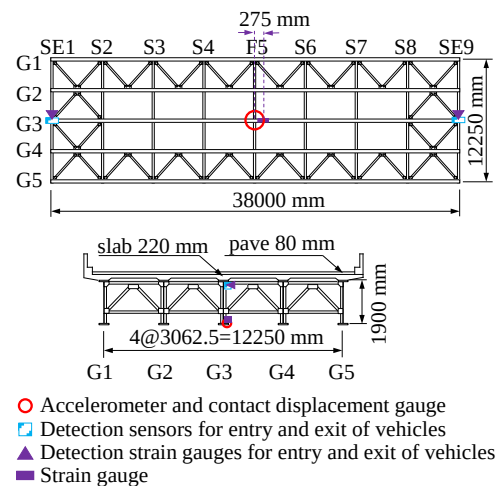


図 1 試験橋梁

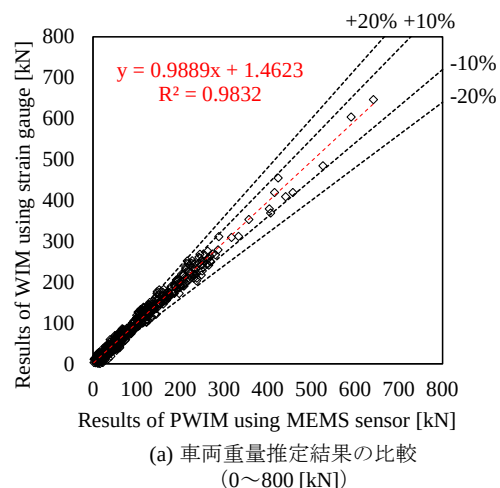


図 2 走行車両重量推定精度の検証

応用生態システム研究センター

応用生態システム研究センターの紹介

涌井史郎¹・飯島健太郎²

1 総合研究所応用生態システム研究センター・センター長教授、2 同教授

1. はじめに

持続的な未来を担保するためには地球の環境容量に配慮し、とりわけ多様な攪乱にも適応して生態系を維持してきた生物多様性を構成する種の働き、ならびに生態系そのものの働きに着目することが重要である。

本研究センターでは、こうした生態系ならびに特定された生物種の働きを、多額の資本投資と限界のある工学的対処を補い、災害や多大な環境負荷等人間社会の持続性の担保の障害となる要因を緩和させるため、そして総和としての自然共生社会を実現する方策を、いわゆる適応の方策を持って対処する具体的研究を展開させようとするものである。

極めて薄くデリケートな生命圏の中で、地球という星の唯一のエネルギー資源太陽光を基に、生態系が自律循環的にエネルギーと物質の再生循環を果たしていることは極めて驚くべきシステムである。生物種はこうした条件を生態系として自ら創造し、かつ激変する地球環境に適応しつつ、ある程度の攪乱現象を乗り越え総体としての生態系の維持を行ってきた。人間社会は、地下資源に依拠する文明を確立する以前は、こうした生態系の働きに沿った生態系サービス、つまり自然の恵沢の最大化に努め、併せて自然の災害などの応力に対応する方策を探ってきた。

今日、地球環境のキャリングキャパシティにある種のティッピングポイントが想定され始めている状況下で、改めてこのような生態系と人間社会の共生の仕組みを研究することは、持続的な未来を担保する上で喫緊の課題であると言える。本センターはそうした基本認識を共有しつつ、自然共生のための具体的かつ技術的な方策を課題として研究を展開する。

2. 研究計画の概要

新たな社会資本、グリーンインフラとして人間社会と生態システムが調和した豊かな環境形成に資する研究テーマとして、次の2題を重点研究として取り組んでいる。

(1) 「ファイトレメディエーション研究（野草を用いたブラウンフィールドにおける浄化機能の検証）」

都市臨海部工業地帯の土壤汚染物質の類型化と不動産利用における影響度の実態調査、処理対象とする汚染物質の検討、特定汚染物質の吸収・蓄積に有効と思われる植物選定と実証実験を行っている。

① 都市臨海部工業地帯の土壤汚染物質の類型化と不動産利用における影響度の実態調査として、首都圏土壤汚染届出物質の抽出とマッピングを行うとともに、土壤汚染対策法における規制対象区域の最大深さ、面積等の関係について整理し、実証実験の応用に資する資料とする。

② 野草等を活用したファイトレメディエーションの実証研究として、既往研究に見る汚染物質の選択的吸収能のみならず、植物の形態的特性に基づく汚染物質の効果的な吸収作用に着目した草種選定により実験を行う。対象汚染物質はPbを中心に展開し、実現場への応用を意図して水耕ではなく模擬汚染土壤を製作した。現場の汚染状況に鑑み、その分布状況や動態にも着目した模擬汚染土壤の作製方法も重要な研究として推進している。

(2) 「ハイブリッド芝生の開発と環境負荷軽減効用の検証（都市の人工面における自然草地面への転換）」

都市大方式ハイブリッド芝は、人工芝（芝葉に相当するヤーンとそれを支える基布）に天然芝を播種することによりハイブリッド化した芝生であり、人工芝、天然芝の抱える各々の課題解決が期待されている。すなわち本資材を導入することによるグラウンド利用が一定の地面を占有することによる環境改善効果、そして具備すべきグラウンドサーフェイスとしての性能、そして損耗の軽減作用を検証する視点の3つの方向から研究を推進している。これまでにハイブリッド芝の敷設による暑熱環境緩和効果、踏圧による芝の損耗軽減効果、脚部の衝撃吸収性能や擦過傷の予防といった観点から研究が実施されており、人工芝のみでは環境や人体に厳しい条件をもたらし、天然芝のみでは維持管理上の負担が大きくなるという課題を解決に導く一定の効果が認められている。なお本資材の導入によりアスファルト等の人工面を薄層で簡易に草地転換を図ることが可能である。

重金属模擬汚染土壌の製作ならびに野草を用いた浄化の可能性に関する研究

涌井史郎¹・飯島健太郎²・堀川朗彦³・山崎正代³

1 総合研究所応用生態システム研究センター長教授、2 同教授、3 同客員研究員

1. 研究目的

我が国においては、臨海部埋立地の工場跡地には遊休地が多く現れ、さらにブラウンフィールド問題つまり土壌汚染除去のコスト等の課題から、先進各国で見られるポートオーソリティ（港湾局）を主体とした再開発にみられる積極的な土地利用転換への動きは見られない。コストに問題があるとされているブラウンフィールド対策に対し、3年から5年という中期的時間を掛け、ファイトレメディエーションにより汚染土壌を浄化する対策は極めて有効である。そこで重金属汚染土壌を対象として、地域の野草等を活用したファイトレメディエーションの実証研究に向けて予備的に実験を行うものである。

2. 実験方法

既往研究に見る汚染物質の選択的吸収能のみならず、植物の形態的特性に基づく汚染物質の効果的な吸収作用に着目してアカザ（根系深さ2m）、メンカ（同1m）を選定した。対象重金属はPbとした。実現場への応用を意図して水耕ではなく模擬汚染土壌を作製した。ローム系土壌（中粒）を使用し、定法に基づき硝酸鉛水溶液の添加・攪拌する方法で、溶出量基準においてPb基準値、10倍、30倍を設定し（Photo 1）、栽培試験ならびに土壌と植物中のPb分析を実施した。2015年4月に播種からの生育により実験を開始した。



Photo 1 硝酸鉛水溶液と攪拌状況



Photo 2 アカザの繁茂状況



Photo 3 メンカの繁茂状況

3. 実験結果と考察

植物の生育については、基準、10倍、30倍の設定において、アカザ、メンカ共に生育障害を起こさず繁茂した（Photo 2、3）。模擬汚染土壌については、実験開始約10か月後のPb分析において、溶出量では検出限界以下であることを確認した。一方、含有量分析値からは当初の添加量を示しており（Table 2）、ロームに強くトラップしているのではないかと考えられた。こうした結果を踏まえ、模擬汚染土壌の設定は含有ベースでより高い濃度に設定する必要性が認められた。次いで植物内のPb分析値については、アカザ、メンカともに地上部は検出限界以下となった。またアカザの地下部についても検出限界以下となり、Pbの吸収を認めるには至らなかった。一方、メンカの地下部は多くの検体で、Pb吸収量は10mg/kgを超え、最大で26mg/kgを示した（Table 2）。必ずしも濃度の高い設定ほど、Pb含有量が高くなるという結果ではなかったが、土壌中のPb含有量よりも高い値となっている検体も多く、Pbを選択的に吸収する能力をもっている可能性もある。

Table 2 約10ヶ月後の土壌中のPb含有量（mg/kg）

	上層 50～100cm		下層 150-200cm	
	植栽管 1	植栽管 2	植栽管 1	植栽管 2
Cont.区	8	9	9	9
基準区	12	12	10	12
10倍区	13	13	13	12
30倍区	12	13	13	12

Table 2 メンカのPb吸収量（mg/kg）

メンカ	A		B		C	
	地上	地下	地上	地下	地上	地下
Cont. 区	<5	12	<5	<5	<5	11
基準区	<5	17	<5	9	<5	26
10倍区	<5	18	<5	18	<5	17
30倍区	<5	16	<5	8	<5	5

※地上は茎葉、地下は根系

擦過傷予防の観点からの都市大方式ハイブリッド芝の有効性と病理診断

涌井史郎¹・飯島健太郎²・堀川朗彦³・山崎正代³

1 総合研究所応用生態システム研究センター長教授、2 同教授、3 同客員研究員

1. 研究目的

スポーツターフとしての天然芝の安全性が説かれる一方で利用頻度に伴う茎葉等の損傷がないという利点から依然として人工芝の需要が高い。しかし近年、サーフェイスに起因したスポーツ障害が続々と報告されている。本報では人工芝・天然芝両者の長所を合わせ持つとされる都市大方式ハイブリッド芝生（以下ハイブリッド芝）の摩擦による擦過傷の予防効果について検討し、その有効性や課題について議論した。既に鉄球にシリコンシートを貼付して、振り子式にサーフェイスに摩擦させる方法で人工芝、天然芝、ハイブリッド芝の損傷度合を比較したが、本研究では医療研究用豚皮を導入して摩擦試験を行うことで医学的な病理診断を試みた。

※医学的な定義に基づき表皮を貫通し真皮までの傷を重篤な「挫滅傷」、貫通しなかったもの（表皮までの傷）は「擦過傷」と位置づけた。

2. 研究方法

本研究は豚皮を鉄球に貼付する方法、サッカー選手の重量を再現した物体下部に貼付する方法による予備的な摩擦実験を経て、サッカー選手がサーフェイス上でスライディングを再現する方法で実施した。2015年12月中旬に、大学構内のグラウンド（横浜市内）において、①ロングパイル人工芝、②天然芝（バミューダグラス・リビエラ）、③ハイブリッド芝の3試験区を設定した。選手の動作を想定し脛に医療用豚皮9 cm×3 cmを貼付し、スライディングにより豚皮を損傷させた。各サーフェイスにおけるスライディング前後において、サーフェイスならびに豚皮の表面温度を放射温度計により計測した。その後直ちに、豚皮検体を実験施設に移送してホルマリン漬けにし、後の標本前処理と観察（組織、細胞の断面構造）、病理診断に備えた。なお豚皮は、表皮、真皮、皮下脂肪で構成された部位を使用した。

3. 結果および考察

1) 目視による観察状況

スライディング直後の豚皮検体は目視レベルで全体に切り傷、刺し傷は認められなかったが、人工芝ではすり傷のような箇所が認められた（Table 1）。

Table 1 スライディング直後の豚皮の観察による所見

ハイブリッド芝	表皮に擦れ、切り傷、刺し傷のような箇所は無かった。検体剥がれなし。
天然芝	表皮に擦れ、切り傷、刺し傷のような箇所は無かった。検体剥がれがある。
人工芝	表皮に切り傷、刺し傷のような箇所は無かった。しかし、少しすり傷のような箇所があった。検体剥がれがある。

2) 摩擦前後のサーフェイスならびに豚皮表面の温度

摩擦前後において、各サーフェイスと表皮に大きな温度差は認められなかったが、ハイブリッド芝における表皮で数度の上昇が認められた（Table 2）。検体の剥がれがなかった分、摩擦距離（時間）が長く作用したことによる結果の可能性はある。

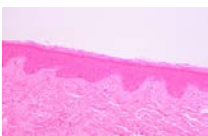
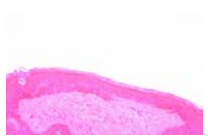
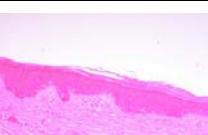
Table 2 スライディングによる摩擦試験前後の温度比較

試験区表面温度	摩擦前	摩擦後	表皮表面温度	摩擦前	摩擦後
人工芝	15.0℃	15.5℃	人工芝	14.5℃	15.5℃
ハイブリッド芝	12.4℃	11.4℃	ハイブリッド芝	9.7℃	13.0℃
天然芝	12.9℃	11.6℃	天然芝	15.5℃	15.7℃

3) 病理診断

人工芝における摩擦後は、豚皮の表皮にささくれと捲れが観察されたが、ハイブリッド芝では天然芝

Table 3 病理組織診断手法における皮膚の断面画像

天然芝		病理的所見なし。
H B 芝		病理的所見なし。
人工芝		表皮のささくれ、捲れが認められる。

同様に病理的な所見は認められなかった（Table 3）。

本実験に供試した人工芝は模擬葉の素材が皮膚に対して硬く作用した可能性がある。それに対してハイブリッド芝は、天然芝同様にクッション性をもたらし、また一定の滑りのよさも選手のヒアリングから明らかとなっている。

スライディングによる摩擦試験後の病理診断の画像から人工芝は、摩擦によるインパクトで剥がれ、ささくれ箇所が認められたが、天然芝と同様にハイブリッド芝はそうした影響は認められなかった。

重点推進研究
地盤環境評価研究室

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、首都圏の埋め立て地域で広域に液状化が起こり、多くの住宅や工場に沈下や傾斜の被害が生じた。しかし、液状化対策工事が極めて高額なため、抜本的な対策が難しいとされる。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強く望まれており、本研究ではシリカ系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

本研究では、液状化対策として十分な実績がある薬液注入工法や、先行して開発したマイクロバブル注入工法に着目して、微粒子を地盤に注入する技術について研究開発を行っている。しかしながら、微粒子を地盤に注入することは一方で土壤汚染を引き起こす恐れも懸念される。そこで、環境基準を満足するために、シリカ微粒子の一種であるホワイトカーボンやシリカゾル微粒子を地中に注入することを試みた。このような紛体を地盤に注入することにより、砂地盤中の固体密度を増加させて液状化に対する抵抗力を増大させ、そして例え液状化が発生したとしてもその後の圧密沈下を抑制することに期待するものである。課題は、地盤に適切に注入できる粒径・材料の選定と確認である。

図-1 はシリカ系微粒子の注入実験装置である。砂供試体が封入された容器は高さが 50 cm であり、10 cm 毎に分割できる仕組みとなっている。本装置の下部から微粒子を水とともに浸透注入し、内部に蓄積された、あるいは外部に排出された微粒子量を確認した。

図-2, 3 は、濃度 4% のシリカ微粒子混合液をそれぞれ平均粒径が粗い砂(硅砂 4 号)と細かい砂(5 号)に注入した結果である。細かい砂においては、流速が小さい場合に微粒子の目詰まりが発生することが確認できる。

本研究では、このような微粒子浸透に関する数値モデルを提案するとともに、注入濃度と液状化抵抗の関係が得られた。

3. 終わりに

本研究を通して、シリカ系微粒子の浸透メカニズムを把握するとともに、液状化細策の効果について明らかにした。今後は、シリカ微粒子の大量生産を可能とするために、より簡便な微粒子生成方法を検討するとともに、実地盤への適用方法を検討する。

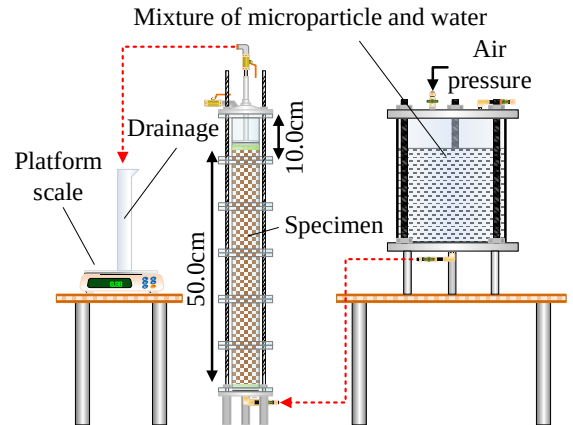


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Case	砂種類	注入圧 (kPa)
1	硅砂 4 号	60
2		30
3		10
4	硅砂 5 号	60
5		30
6		10

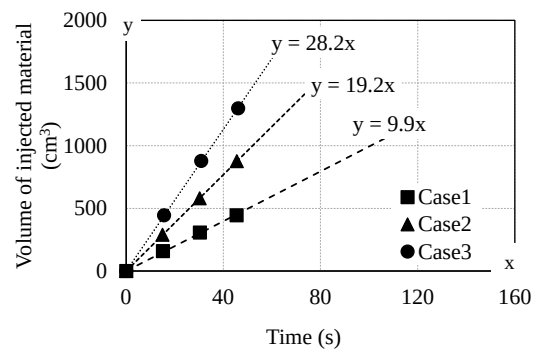


図-2 硅砂 4 号に対する注入結果

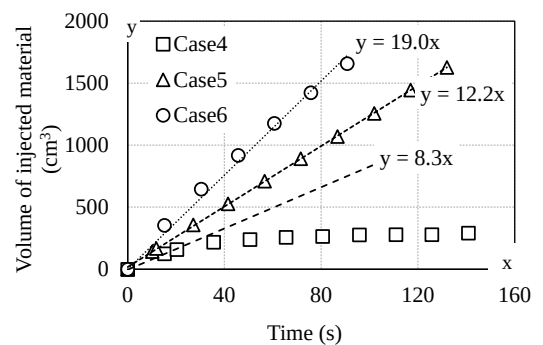


図-3 硅砂 5 号に対する注入結果

重点推進研究
水素エンジン研究室

低エミッション高熱効率直噴水素エンジンの研究開発

水素エンジン研究室

三原 雄司

中川 研司（工学部機械工学科(現原子力研究所)）

1. 平成27年度の研究成果の概要

水素燃料エンジンの課題である、高負荷運転条件における窒素酸化物 NOx を軽減させ、かつ熱効率を向上させることのできるポテンシャルを持っている PCC 燃焼（過濃混合気塊点火燃焼コンセプト）方式を見出し、その性能向上に取り組んでいる。このコンセプトは、水素の高い拡散性と高い燃焼速度を活用したものであり、噴射中または噴射直後の高じょう乱状態の過濃水素噴流塊に火花点火し燃焼させ NOx 生成を抑制する燃焼方式である。

(1) 平成 27 年度は、噴射した燃料の過濃混合気塊に点火・燃焼させる燃焼方式で、噴射時期と噴孔形状の最適化（細孔の数と径の選定）により、混合気塊の水素濃度と燃焼室内空間配置を制御し水素エンジンの課題である高い冷却損失と燃料の散逸を軽減させ、噴射した過濃混合気塊の点火までの時間を最適化させることによって大幅な熱効率の向上を実現することができた（図 1）。

(2) 評価した全 7 噴孔の熱効率優先噴射開始時期 SIO における熱効率の値と、冷却損失の関係を図 2 に示す。この図から、熱効率が最大となる SOI における熱効率の値は、冷却損失と強い相関があり、冷却損失の低減効果が熱効率向上の要因であることを明らかにすることができた。

(3) 燃焼室内に噴射する噴流形状などの最適化制御に必須な基幹基盤技術の一つとして、噴射した噴流の CFD 数値計算を、早稲田大学との任意共同研究により行った。図 3 に示すように、本学で行った可視化結果との比較で、両者のペネトレーション先端部の到達距離の時間経過が概ね一致し、計算結果を検証することができた。

2. 研究発表などの主要な成果

- | | |
|-----|---|
| (1) | 森裕樹他，自動車技術会 2015 年秋季学術講演会，2015 年 10 月 14 日(研究発表) |
| (2) | 森裕樹他，自動車技術会 2015 年秋季学術講演会，2015 年 10 月 14 日(研究発表) |
| (3) | 高木靖雄他，自動車技術会論文集、2016 年 3 月採択決定，2016 年 6 月発行予定(研究論文) |
| (4) | 高山飛鳥他，自動車技術会関東支部学術研究講演会、2016 年 3 月 9 日(研究発表) |

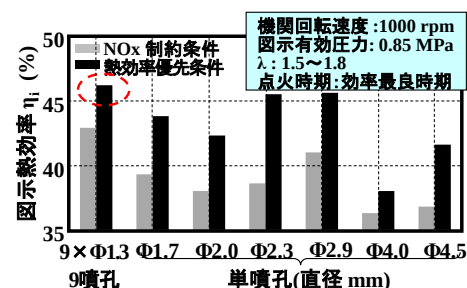


図 1 噴射時期と噴孔形状最適化による熱効率向上効果

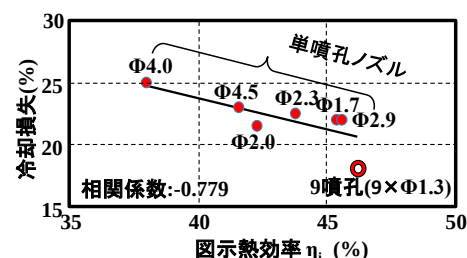


図 2 噴流形状変化による熱効率向上効果と冷却損失の相関

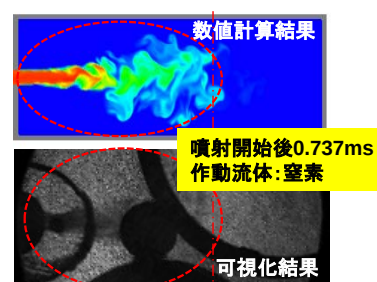


図 3

噴流の数値計算結果と可視化実験の比較

以上

FUTURE-PV研究室

高効率・波長スプリットティング太陽電池の研究開発

FUTURE-PV 研究室

特任教授 小長井誠、客員教授 市川幸美

FUTURE-PV 研究室は、平成 27 年度に新設され高効率太陽電池開発を目的に研究を展開している。

1. 研究背景

21 世紀は環境・エネルギーの時代と言われている。本研究室では再生可能エネルギーとして、わが国では最も導入が進んでいる太陽光発電システム技術開発を行っている。2050 年までに人類が新たに必要となるエネルギー源は 10 テラワットに達する。将来、世界で 10 テラワットの太陽光発電を導入するため、発電コストを 7 円/kWh 以下に下げられる技術開発を目標にしている。この研究目標を達成するには、半導体物性・デバイス技術、微細加工のためのナノテクノロジー、量子効果などの微小領域での物理現象、屋外発電特性などのシステム技術、損失を低減するためのパワーエレクトロニクスとの融合が必要であり、夢の実現に向けてこれらの学術領域の融合を図っていく。

2. 研究内容

平成 27 年度は、太陽電池の高効率化を目指し、以下の研究を実施した。

- (1) 低倍率集光型 Si 太陽電池の研究開発
- (2) 太陽電池用 SiGe 系光吸収層の開発
- (3) 低倍率集光・波長スプリットティング型太陽電池の研究開発
- (4) 量子効果型 Si ナノウォール太陽電池の研究開発

3. 平成 27 年度の成果概要

(1) 低倍率集光型 Si 太陽電池の研究開発

Si 太陽電池を低倍率集光下で用いる試みは、古くは 1970 年代から行われている。その後、平板型 Si 太陽電池の高性能化、高効率化が進展するにともない、低倍率集光技術の研究開発はしばらく停滞したが、最近、低倍率集光により発電コストをいっそう低下させる方向性が明確に示されるようになった。さらに、年間 1GW の Si 太陽電池を製造しても、10 倍の低倍率集光システムを構築すれば、年間の太陽光発電システムの導入量は、出力 10GW 以上となる。本研究では、現在、最高効率が得られているヘテロ接合型 Si 太陽電池の低倍率集光による高効率化の初期的な検討を行った。

従来の pn 接合型 Si 太陽電池の開放電圧は、集光比とともに単調に増加すると考えられてきた。一方、ヘテロ接合型太陽電池では、もともとキャリアライフタイムが非常に大きな(数 msec) Si ウェハを用いているため、オージェ再結合がデバイス特性に大きく影響を与えると予想される。以上のような考察をもとに、平成 27 年度は、オージェ再結合が太陽電池特性に与える影響を中心に理論解析を行った。その結果、以下の点が明らかとなった。

- ・ヘテロ接合太陽電池では、10 倍集光程度でオージェ再結合の影響が現れるので、Si ウェハを薄くするなどのデバイス設計が必要となる。
- ・デバイス設計の工夫により、10 倍程度の低倍率集光で 0.8V 以上の開放電圧が期待できる。
- ・バルクのキャリアライフタイムを 10msec まで向上させることが可能となれば、低倍率集光により 27% 以上の変換効率の達成が期待される。

以上の理論的な検討をもとに、試作したヘテロ接合型 Si 太陽電池の低倍率集光特性を測定した。その結果、10 倍集光で 0.77V の開放電圧が得られた。また、測定温度を 5℃ まで冷却した場合は、開放電圧 0.8V を達成した。今後、1sun で 0.75V の開放電圧が得られるようにデバイス設計すれば、

10倍程度の集光で0.8V以上の開放電圧が期待できる。

（２）太陽電池用 SiGe 系光吸収層の開発

太陽電池の高効率化には、タンデム化（多接合化）がキーテクノロジーとなる。本研究では、Si 系半導体のみで多接合化を図るため、分子線エピタキシー（MBE）法によるボトムセル用 SiGe 太陽電池の開発に着手した。平成 27 年度は、SiGe エピ膜を用いたヘテロ接合太陽電池構造の試作を行い、高効率化に向けての課題の探索を行った。現状では、SiGe の少数キャリア拡散長が $1\ \mu\text{m}$ 程度であるため、膜質改善に向けたプロセスの改善を図っている。

（３）低倍率集光・波長スプリッティング型太陽電池の研究開発

太陽電池の変換効率を大幅に向上させる新技術として低倍率集光・波長スプリッティング太陽電池の開発を進めている。PV システム構成を図 1 に示す。これまでにトップとして InGaP 太陽電池、ボトムセルとして Si 太陽電池を用いた低倍率集光・波長スプリッティングにより、変換効率 31% を達成した。

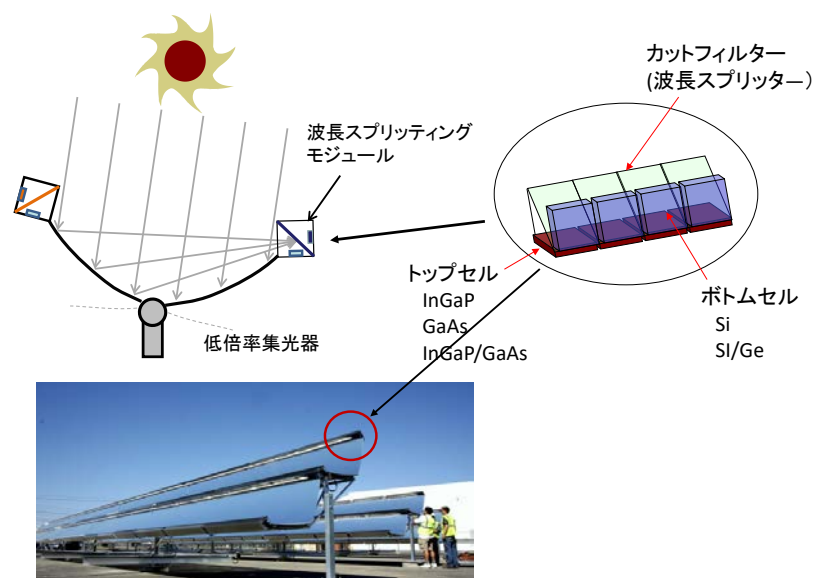


図 1 低倍率集光・波長スプリッティング太陽電池の概念図

（４）量子効果型 Si ナノウォール太陽電池の研究開発

現在の Si 太陽電池の変換効率は、Si の禁制帯幅($E_g=1.1\text{eV}$)で制限されている。太陽電池としての最適な禁制帯幅は 1.5 eV 程度である。禁制帯幅は物性定数であり普通に考えたら Si の禁制帯幅を制御することはできない。本研究では、量子効果によって Si の禁制帯幅を 1.5eV 程度に制御する研究開発を行っている。理論解析によれば、幅が $2\sim 3\text{nm}$ と非常に細かいウォール構造ができれば、 1.5eV の禁制帯幅を得ることができる。将来的には、禁制帯幅 1.5eV のナノウォール太陽電池と Si 太陽電池を用いてタンデム太陽電池を作製することにより 30% を超す変換効率の達成を狙っている。このように数 nm の幅を有する Si ナノウォールを形成し太陽電池を作製した例は、これまでに報告されたことはなく、Si ナノウォール太陽電池は、非常に革新的で挑戦的なテーマである。

本研究は、郡山で実施している文部科学省/JST 事業「革新的エネルギー研究開発拠点形成事業」との連携のもと、ナノインプリント技術と異方性エッチング技術を併用した新技術を開発し、ウォール幅数 nm 以下の構造を作製することに成功した。代表的な構造を図 2 に示す。現在、この構造を用いて太陽電池の試作に取り掛かっている。

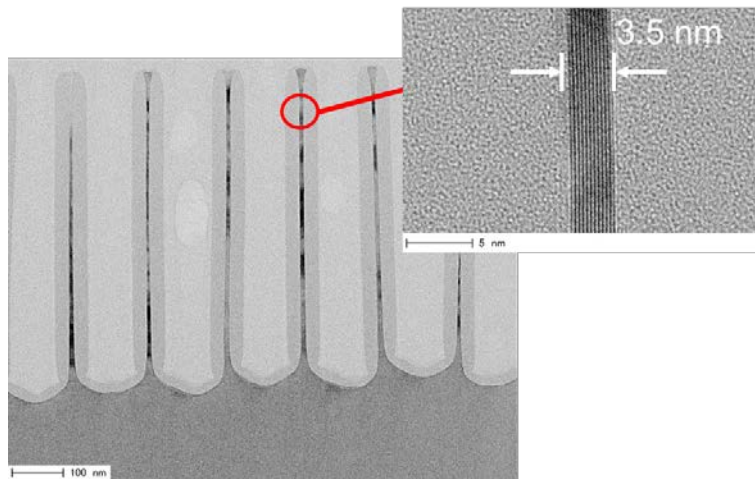


図2 量子効果の発現を狙った幅が 3.5nm のナノウォール構造。

【学術論文】

1. Lei Meng, Makoto Konagai, Shinsuke Miyajima
Effect of annealing atmosphere on the electrical and optical properties of sol-gel derived Al doped $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ thin film, Thin Solid Films, Volume 597, 31 December 2015, Pages 144–150
doi:10.1016/j.tsf.2015.11.012
2. Dong-Won Kang, Amartya Chowdhury, Porponth Sichanugrist, Makoto Konagai
Light management of a-SiO_x:H thin film solar cells with hydrogen-reduced p+ buffer at TiO₂/p-layer interface, Solar Energy Materials & Solar Cells, 143(2015)296–301
3. Dong-Won Kang, Amartya Chowdhury, Porponth Sichanugrist, Yusuke Abe, Hirofumi Konishi, Yuki Tsuda, Tomohiro Shinagawa, Hidetada Tokioka, Hiroyuki Fuchigami, Makoto Konagai,
Highly transparent $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ /ITO multilayer for window of thin film solar cells, Current Applied Physics, 15 (2015) 1022-1026
4. Dong-Won Kang, Yuki Takiguchi, Porponth Sichanugrist and Makoto Konagai
InGaP//GaAs//c-Si 3-junction solar cells employing spectrum-splitting system
PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, (2016)
DOI: 10.1002/pip.2753
5. Chisato Niikura, Amartya Chowdhury, Bancha Janthong, Porponth Sichanugrist, and Makoto Konagai
High efficiency p-i-n superstrate amorphous Si solar cells on SiO_x periodic arrays of 3D microstructure prepared by soft-imprinting
Applied Physics Express, 9, 042301 (2016) 10.7567/APEX.9.042301
6. Erick Omondi Ateto, Makoto Konagai, and Shinsuke Miyajima, "Triple Layer Antireflection Design Concept for the Front Side of c-Si Heterojunction Solar Cell Based on the Antireflective Effect of nc-3C-SiC:H Emitter Layer," International Journal of Photoenergy, vol. 2016, Article ID 5282851, 9 pages, 2016. doi:10.1155/2016/5282851.
7. Dong-Won Kang, Yuki Takiguchi, Porponth Sichanugrist, Makoto Konagai
InGaP//GaAs//CIGS 3-junction spectrum-splitting solar cells with low concentration Ratio, Physica Status Solidi A, 1–6 (2016) / DOI 10.1002/pssa.201532811

【外部資金獲得】

文部科学省/国立研究開発法人科学技術振興機構

「革新的エネルギー研究開発拠点形成事業」、平成27年4月1日から平成28年3月31日

インキュベーション・ラボ
応用表現研究室

2014 年 4 月に総合研究所に新設されたインキュベーションラボ「応用表現研究室」は、山崎芳男教授の多様な応用音響表現の研究ユニットと廣瀬禎彦教授のエンターテインメントと文化の表現についての二つのユニットで構成されています。これらの研究と学生の学内外の活動をつなげて、社会に貢献する人材と技術を送り出すことを目指します。

特別 教授： 山崎芳男、廣瀬禎彦

共同研究員： 橋本澄彦、大内康裕、田端一彦、菰口賢一、池畑光浩、行川さをり、工藤純平、小森谷朋子

エッジ ダンパレス 誘導型 超伝導スピーカ

総合研究所応用表現研究室 教授 山崎 芳男

株式会社フジクラ 飯島 康裕

東京都市大学前学長 故 北澤 宏一

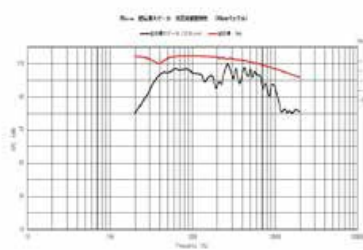
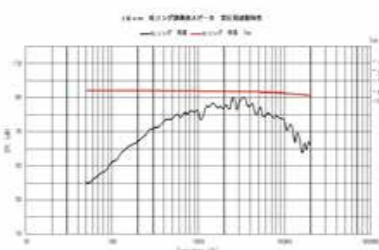
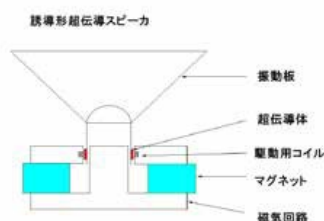
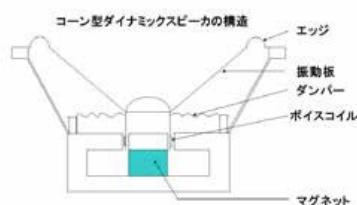


■ 第 1 世代 (2001) は液体窒素温度 (77K=-196℃) で超伝導となる新日本製鐵 (株) が開発した Y-Ba-Cu-O 希土 類系酸化物単結晶超伝導バルク材 QMG を内径 25.6mm、外径 29.6mm、高さ 3.0mm のリング状に整形して 1 ターン 2 次側ボイスコイル に

■ 第 2 世代 (2013) は (株) フジクラが IBAD (Ion Beam Assisted Deposition) で開発した Y-Ba-Cu-O 希土類系酸化物 超伝導線材 FYSC- SCH05 で 2 次側ボイスコイル

■ 振動体はピン止め効果とマイスナー効果で空中に浮かせることによりエッジとダンパが不要

■ 中音域で 1W の電気入力に対し 1m の位置で 110dB の音圧、電気音響変換率を通常のコーン型スピーカの 1% から 30% に



復興庁「新しい東北」先導モデル事業

《風景と心の修景および創景事業》表現技術班

- ・オリジナルは保存
- ・可能な限り忠実な読み取り・保存
- ・読み取ったデータの必要な部分を指定して再生
- ・音、画や文字を加え作品が育って行く
- ・新しい上映、再生環境の構築

■「東北の海辺 今昔」

神割崎（宮城県南三陸町）／白浜（宮城県石巻市）／松島（宮城県東松島市）

■「昔を語る会」

岩手県大船渡 2014. 7. 19 ／宮城県南三陸 2014. 10. 15 ／岩手県宮古 2014. 11. 22

■「東北の郷土芸能と集落」

1 鹿踊について／2 鹿踊と剣舞／3 芸能と集落／4 人と芸能／5 沿岸地域の芸能／6 芸能の存続・継承

エンターテインメントテーマ

《感動を与える表現》

- ・おもな対象分野：エンタテインメントと文化
- ・対象とするメディア：画像、映像、音響、紙、インターネット、実社会（たとえばコミュニティ、集落）
- ・重点的な表現様式：アニメ表現
- ・アニメ表現：デフォルメとファンタジーの自由な表現可能性
- ・デフォルメとファンタジー：日本の得意で特徴的表現分野
- ・感動する表現：エンタテインメントと文化の分野では作品の付加価値を高める（ヒットするための必須条件）

集落産業の継承と発展のための職能訓練教育モデル

《集落におけるソフト構築》

■米崎りんご農園／若興人の家 <http://wakodohouse.org>