

東京都市大学
平成 2 5 年度 総合研究所 紀要

第 1 0 号

平成 2 6 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、平成 25 年度の活動状況について簡単に報告します。

戦略的研究基盤形成支援事業プロジェクトでは、平成 20 年度開始の 2 プロジェクトが目標成果を達成し終了しましたので、『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）』のみの推進となりました。これに伴い、エネルギー環境科学研究センターとナノカーボンバイオデバイス研究センターを廃止しました。また、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』に関しては、拠点を横浜キャンパスに移設し推進いたしました。

さて、シリコンナノ科学研究センターで推進の文部科学省『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』プロジェクトでは、①電子デバイス並びに光デバイスへの応用が可能な歪み GOI (Ge On Insulator) 基板の世界に先駆けた開発、②引っ張り歪み Ge を用いた室温高効率近赤外電流注入 Si 系発光デバイスの開発、そして、③スピンドデバイス実現へのキーとなる高効率キャリア注入を可能とする半導体・金属コンタクトの形成プロセスを開発し、26 年 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、本研究をバックグラウンドとする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』では、平成 25 年度の研究継続申請が認められ、高ドープ歪み Ge を用いた発光効率の向上、マイクロブリッジなどの新規構造による発光の増大などの研究成果を得ることができました。

次に都市基盤施設の再生工学研究センターでは、文部科学省科学研究費補助金（基盤 A）で推進の構造物の健全度評価を目的としたモニタリング技術開発では、入手可能な加速度センサーについて、その性能評価（ノイズレベル、変位波形による加速度出力特性）を進め、初年度の目標を完遂しました。また、劣化の進んだ RC 床版を鋼床版に置き換え、橋梁のアップグレードをはかる『取り替え高性能鋼床版の開発研究』においては、T-20 トラック荷重が 1000 万回通過しても疲労亀裂が発生しない構造の開発をするために、FEM 解析および大型モデルに対する疲労試験を実施しました。

以上の大型プロジェクト研究に加え、重点推進研究を推進されている「広域型地震防災研究室」、「地盤環境評価研究室」、「水素エンジン研究室」、そしてインキュベーション・ラボとなる「デジタルアーカイブ研究室」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。

平成 26 年 5 月 15 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

(2013年4月1日現在)

所 長 教授 丸泉 琢也

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]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)
	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)
		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)

都市基盤施設の再生工学研究センター

センター長	教授	三木 千壽		(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 収	[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)

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)

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)

ハイブリット材料化学研究室

教授	永井	正幸		(無機材料化学)
共同研究員	鈴木	智史		(無機材料化学)

先進エネルギーシステム研究室

教授	柏木	孝夫		(先進エネルギーシステム論)
----	----	----	--	----------------

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)

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

目 次

1. 平成25年度 活動報告	1
----------------	---

2. 平成25年度 研究概要

シリコンナノ科学研究センター	5
----------------	---

シリコンナノ科学研究センター概要

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

超高速電子デバイスに向けた歪み Ge チャンネル開発

澤野憲太郎

Novel Germanium 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	13
-------------------	----

取替え用高性能鋼床版の開発 港湾鋼構造物の維持管理

三木 千壽

重点推進研究室

広域型地震防災研究室	17
------------	----

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、牟田 仁

地盤環境評価研究室	21
-----------	----

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	25
-----------	----

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

インキュベーション・ラボ

デジタルアーカイヴ研究室	31
--------------	----

デジタルアーカイヴ研究室の概要

横井 利彰

3. 研究論文

シリコンナノ科学研究センター・・・・・・・・・・・・・・・・	37
都市基盤施設の再生工学研究センター・・・・・・・・・・	89
重点推進研究 水素エンジン研究室・・・・・・・・・・	145

総合研究所 平成25年度活動報告

月	日	活 動 内 容
4	1	第42回運営委員会
	17	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)
	18	第94回所内会議
	24	第70回総研セミナー(シリコンナノ科学研究センター)
5	1	第43回運営委員会
	16	第95回所内会議
	29	第71回総研セミナー(平成24年度研究成果報告会)
	30	第72回総研セミナー(ハイブリット材料科学研究室)
	31	総合研究所紀要－第9号－発行
6	20	第96回所内会議
	28	第73回総研セミナー(水素エンジン研究室)
7	15	第44回運営委員会
	18	第97回所内会議
8	6	第74回総研セミナー(地盤環境評価研究室)
	23	第75回総研セミナー(タマサート大学)
9	19	第98回所内会議
		第76回総研セミナー都市基盤施設の再生工学研究センター)
10	2	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)
	2	防災訓練
	24	第99回所内会議
	30	第77回総研セミナー(広域型地震防災研究室)
11	21	第100回所内会議
	21	第78回総研セミナー(シリコンナノ科学研究センター)
12	4	第79回総研セミナー(先進エネルギーシステム研究室)
	19	第101回所内会議
1	6	第45回運営委員会
2	19	文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業第3回シンポジウム シリコンナノ科学研究センター(第80回総研セミナー)
	20	第102回所内会議
3	14	第81回総研セミナー(デジタルアーカイヴ研究室)
	20	第103回所内会議

平成 2 5 年度 研究概要

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リック・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、プロジェクト最終年度となる 5 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、夫々の分野で着実な成果を積み上げることができ、論文総計で 115 報、学会発表講演 195 件の研究成果をあげ、5 年間の研究プロジェクトを終了した。なお、研究成果の詳細は、『平成 21 年度～平成 25 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業研究成果報告書（平成 26 年 5 月、867 頁）』にまとめられ、文部科学省に提出された。以下、本プロジェクト研究で得られた成果の概要を下記にまとめる。

【新機能デバイスプロジェクト】

- ① Ge チャネルによる世界最高速の室温正孔移動度 ($3,120\text{cm}^2/\text{Vs}$) の達成。
- ② ウェハ貼り合わせ技術による無欠陥 200nm 歪み GOI(111)基板の形成プロセスの開発(図 1)。
- ③ 択的イオン注入法による Ge 組成 80%をもつ SiGe 一軸歪みバッファ層による一軸歪み Ge チャネルの実現と、その価電子バンド構造変化の観測。
- ④ Ge 量子ドットと PhC 結晶を組み合わせた通信波長帯室温発光 EL デバイスの開発。
- ⑤ Q 値 5,106 を持つ導波路結合マイクロディスク型 EL 発光デバイスの開発と、同構造を用いた極低暗電流 ($\sim 0.15\text{nA}$) 受光デバイスの開発。両者による光スイッチ実現性の実証 (図 2)。
- ⑥ Si/Ge ナノコラムを用いた新規発光構造の提案とその室温発光の確認。
- ⑦ Ge 半導体への高効率スピン注入の達成と、Ge チャネルでのスピン蓄積の検出によるスピンドバイス実現可能性の実証。

【計算科学プロジェクト】

- ⑧ 第一原理計算による、ドーパント不純物クラスターの安定構造と安定位置の解明、並びにドーパント不純物の表面偏析過程の定量評価（偏析エネルギー、活性化エネルギー）。
- ⑨ 結晶転位発生がデバイス特性に与える影響を定量的に解析評価できるプログラム（結晶塑性・デバイス解析連携プログラム）の開発と、そのインターフェース整備。
- ⑩ FDTD 法を用いた EL デバイス並びに光検出器の最適化設計の支援と加速。新規光デバイス構造の提案。

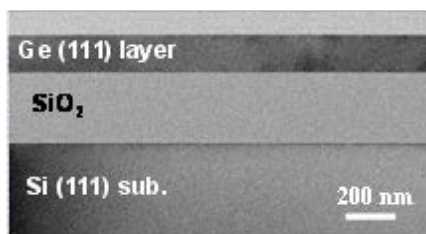


図 1 歪み GOI 構造断面 TEM 像

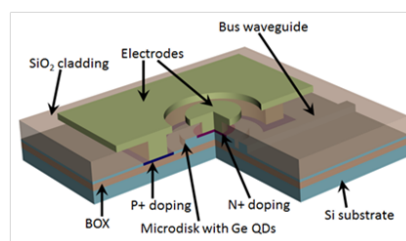
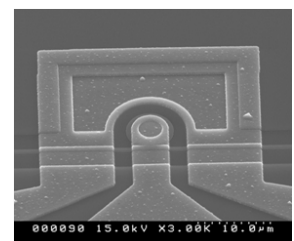


図 2 Ge 量子ドット利用の導波路結合型受発光デバイス



2014 年 5 月 17 日

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：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、2013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：2013年度に行なった研究は、 $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Ge}$ 、ダイヤモンド、 SiC の初期酸化過程、 SiO_2/SiC 界面構造に及ぼすプラズマ処理の効果などの研究もあるが、ここでは、歪が SiGe の家電したい構造に及ぼす影響に関する研究成果を述べる。試料は、総合研究所において以下の手順で作製した。 Si 基板上に SiO_2 膜を堆積させた後、フォトリソグラフィーにより SiO_2 を数 μm 幅のストライプ状に加工し、これをマスクとして Ar^+ イオン注入を行った。注入条件はエネルギー 25keV 、ドーズ量 $1\times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ である。 Ar^+ イオンの注入と未注入の領域の線幅は、それぞれ $20\mu\text{m}$ (2軸歪領域)および $2\mu\text{m}$ (一軸歪領域)で固定した。その後 SiO_2 のマスクを除去し、イオン注入した Si 基板上に Ge 組成26%、膜厚 70nm の $\text{Si}_{0.74}\text{Ge}_{0.26}$ 層を成長させ、 900°C で熱処理を行い、歪み緩和を促進させた。この試料を、Spring-8のBL47XU($h\nu = 7940\text{eV}$ 、縦方向の集光 $0.8\mu\text{m}$)で、 $\text{Si } 1s$ 、 $\text{Ge } 2p$ 光電子と価電子帯スペクトルを測定した。Fig. 1に $\text{Si } 1s$ 、 $\text{Ge } 2p$ および価電子帯上端の結合エネルギーの位置による変化を示す。図より、結合エネルギーの減少は周期的であり、かつ一軸歪みの領域と一致していることが分かる。加えて、一軸歪み領域(緩和率： $[110]$ 方向=40%、 $[\bar{1}\bar{1}0]$ 方向=5%)では、価電子帯上端の結合エネルギーの変化が、 $\text{Si } 1s$ のピークのそれよりも小さかった。これは歪が価電子帯上端の位置に及ぼす影響に関する第一原理計算に基づく予測と矛盾していない。以上のことより、歪みの変化によって、結合エネルギーの変化が引き起こされることを明らかにした。

4. 今後の研究計画：2014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。特に、パワーデバイス用として注目されている絶縁膜／ SiC 構造を主に行う。さらに、歪量が及ぼす価電子帯構造への影響の定量的な評価、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 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) D.H. Zadeh et al., Solid-State Electronics, **82** (2013) 29–33.
- 2) T. Suwa et al., Microelectronic Engineering **109** (2013) 197–199.
- 3) H. Nohira et al., Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, **190** (2013) 295–301.

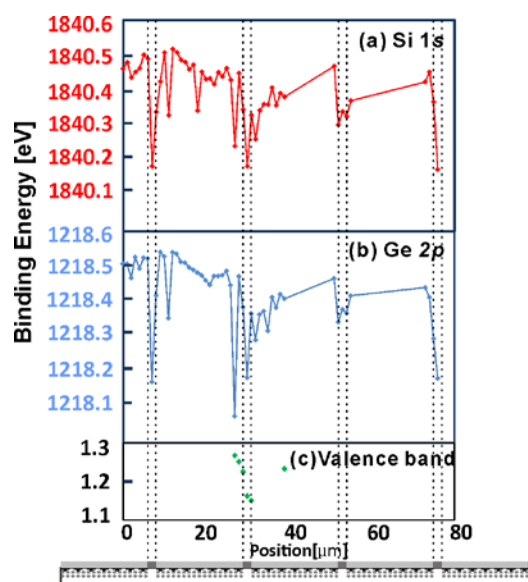


Fig. 1 Binding energy of (a) $\text{Si } 1s$, (b) $\text{Ge } 2p$ and (c) valence band top as a function of position.

超高速電子デバイスに向けた歪み Ge チャネル開発

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】

半導体集積回路 (LSI) の最小素子 CMOS は、エレクトロニクス技術の根幹であるが、近年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 チャネル材料として歪み Ge が注目されており、本研究では、歪みの制御技術開発、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。

【研究成果】

Si/Ge ヘテロ構造への一軸性歪み導入による、二軸性歪みチャネルを超えるキャリア移動度増大が期待されている。我々は独自に開発した「選択的イオン注入法」を用いて、一軸性歪みを有する SiGe 疑似基板の開発を行ってきた。今回、一軸歪み導入の詳細なメカニズムを調べるとともに、各種面方位の基板への適用性を調べた。図 1 に示すように、Si (100) と Si (111) 基板に選択イオン注入を行い、SiGe 層を結晶成長させた。原子間力顕微鏡観察 (AFM) により、緩和を引き起こす転位の分布に大きな差が見られ、Si (100) 上のみ異方性の転位が観察されることが分かった。これは、一軸性の歪みが導入されていることを示しており、Si (100) 面を利用することが重要であることを意味するとともに、歪みの安定性を示唆するものであり、本手法の有用性が示された。また、Ge チャネルの究極的な基板として、GOI (Ge-on-Insulator) 構造が有望である。これまでに我々は、Si 基板上への Ge のエピタキシャル成長と貼り合わせ法を用いた、GOI 基板作製に成功している。今回、Ge のエピ成長膜の電気特性について調べた。図 2 に示すように、室温で $1500\text{cm}^2/\text{Vs}$ を超える高移動度が得られ、通常のバルク Ge の振る舞いを示していることから、Si 上に成長させた Ge 膜が非常に高い品質を有していると言え、高速 Ge デバイスへの応用が大いに期待される。

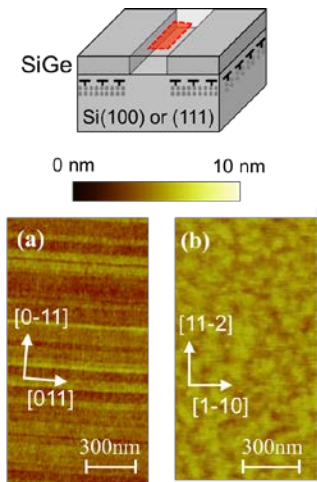


図 1 選択イオン注入法により作製された SiGe/Si (100) および Si (111) の AFM 像

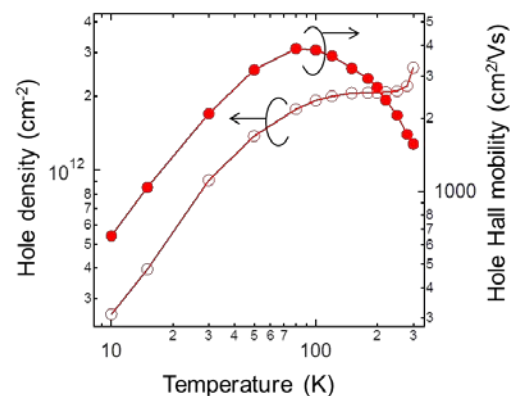


図 2 Ge(111)-on-Si の移動度の温度特性

【論文】 ① K. Sawano et al., “Formation of Ge(111) on Insulator by Ge epitaxy on Si(111) and layer transfer”, Thin Solid Films 557, 76 (2014) ② K. Sawano et al., “Uniaxially strained SiGe(111) and SiGe(100) grown on selectively ion-implanted substrates” J. of Crystal Growth (2014) ③ K. Arimoto and K. Sawano et al., “Formation of compressively strained Si/Si-xCx/Si(100) heterostructures using gas-source molecular beam epitaxy”, J. of Crystal Growth 362, 276 (2013) 他 6 件 (共著含む)

【国際会議発表】 ① K. Sawano, “Strain engineered Si/Ge heterostructures” (Invited) ICSS 2013, Las Vegas, December, 2013 ② K. Sawano et al., “Uniaxially strained Si/Ge heterostructures grown on selectively ion-implanted substrates” ICCGE-17, Warsaw, August, 2013 ③ K. Sawano et al., “Formation of Ge(111) on Insulator by Ge epitaxy on Si(111) and layer transfer” ICSI-8, Fukuoka, June, 2013

Novel Germanium Light Emitting Materials and Devices

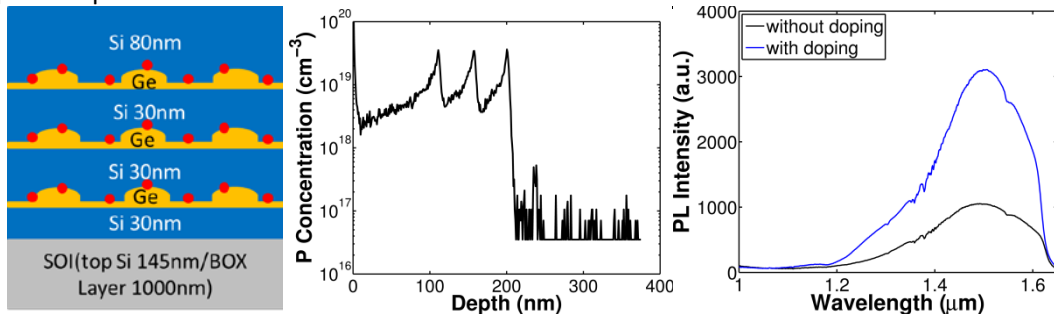
総合研究所シリコンナノ科学研究センター 徐学俊

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 different of 0.136 eV between its direct and indirect conduction band valleys. We proposed and demonstrated different types of Ge-based light emitting materials.

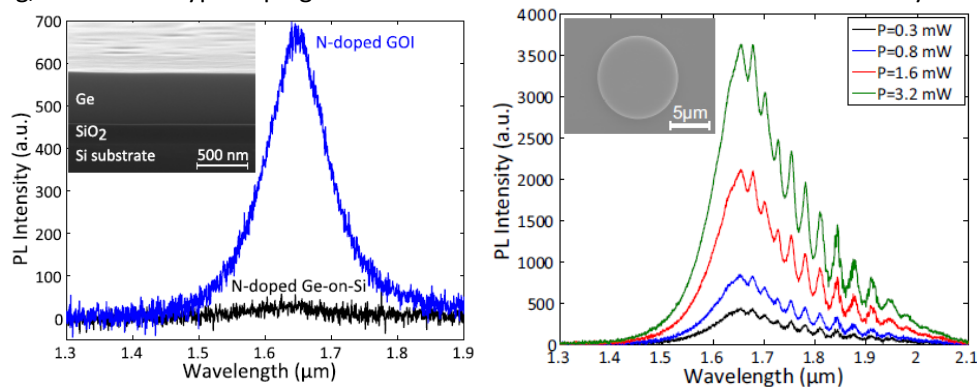
2. Ge quantum dots (QDs) with phosphorus δ -doping at Si/Ge interfaces

Ge QDs grown on Si have a type-II band lineup, in which holes can be well confined in Ge while electrons are weakly confined at the Si/Ge interfaces. By doping these interfaces with n-type dopants, extrinsic electrons can be provided and recombination probability is expected to be increases. We realized n-type doping at Si/Ge interfaces by phosphorus (P) δ -doping during MBE growth. The substrate temperature was optimized to suppress P segregation and peak doping concentration of about $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ was obtained. PL measurement results show that the light emission intensity from doped Ge QDs is enhanced by a factor of 3 compared with that from undoped sample.



3. Tensile-strained, highly n-doped Ge on Si and Ge-on-insulator (GOI)

Tensile-strained Ge was grown on Si by using a two-step method: first a low-temperature buffer and then a high-temperature Ge layer with high crystal quality. XRD and Raman measurements show that about 2.0% tensile strain was introduced in the Ge film due to the thermal mismatch between Si and Ge. Spin-on-dopant (SOD) was used to dope the Ge layer. After rapid thermal annealing, activated n-type doping concentration of $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ is achieved in the Ge layer.

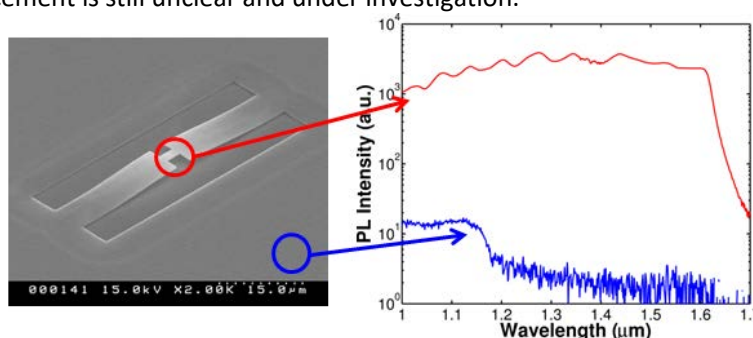


Ge-on-insulator (GOI) wafer was fabricated by direct wafer bonding of a Ge-on-Si substrate and a Si substrate with thermally grown SiO₂ on top. SOD was also performed on GOI and doping

concentration up to $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ is achieved. The light emission intensity of GOI is enhanced by factors of 61 and 4 compared with those of Ge wafer and Ge on Si, respectively. Microdisks with different radius were also fabricated on this n-doped GOI substrate and resonant peaks corresponding to whispering gallery modes were observed in the room-temperature PL spectra.

4. Giant light emission enhancement from uniaxial-strained SiGe/Si microbridges

SiGe layer with Ge composition of about 10% was grown on SOI substrate and patterned into microbridge structures. The BOX layer was removed by vapor HF etching. Due to the relaxation of the wider pads of the bridge, a large uniaxial compressive strain was introduced into the central narrower part. Room-temperature PL measurement shows that the light emission from the center part is enhanced by a magnitude of three orders compared with that of unpatterned region and the light emission shows clear threshold behavior against pump power. The mechanism of this giant emission enhancement is still unclear and under investigation.



Related publications:

- [1] X. Xu et al, Optics Express, 22(4): 3902-3910, 2014
- [2] X. Xu et al, Journal of Crystal Growth, 378: 636-639, 2013
- [3] 徐, 中間, 丸泉, 白木, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-E11-4, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17-20 日
- [4] 西田, 徐, 高林, 吉田, 澤野, 白木, 丸泉, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-E11-6, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17-20 日
- [5] 中間, 徐, 澤野, 白木, 丸泉, “第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-E11-3, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17-20 日
- [6] 田村, 徐, 澤野, 丸泉, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-F8-10, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17-20 日
- [7] 上方, 徐, 澤野, 白木, 丸泉, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-E11-2, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17-20 日
- [8] 三浦, 西田, 徐, 丸泉, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 17p-PA2-23, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17-20 日
- [9] X. Xu et al, SSDM 2013, Fukuoka, Japan, September 24-27, 2013
- [10] X. Xu et al, E-MRS 2013, Warsaw, Poland, September 16-20, 2013
- [11] X. Xu et al, CLEO-PR & OECC/PS 2013, Kyoto, Japan, June 30 – July 4, 2013
- [12] X. Xu et al, ICSI-8/ISCSI-VI, Fukuoka, Japan, June 2-6, 2013
- [13] K. Nishida et al, ICSI-8/ISCSI-VI, Fukuoka, Japan, June 2-6, 2013

都市基盤施設の再生工学研究センター

取替え用高性能鋼床版の開発

都市基盤施設の再生工学研究センター
センター長 三木 千壽

1. はじめに

高速道路や幹線道路の橋梁に疲労などの劣化が進行し、その修繕、改築、更新が現実的な課題となってきた。主桁構造や下部構造の状況からは、現状のRC床版を鋼床版に取り替えるのが有力な工法と考えられる。すなわち、床版を取り換えることにより、橋梁構造全体の性能向上を目指すものである。RC床版を鋼床版に取り替えることにより床版重量は半減することになり、基礎に対する負担は大幅に軽減される。

2. 開発研究の概要

昭和45年度版首都高速道路標準図にある鋼単純合成I桁(図1)をモデルに開発研究を行う。主桁間隔3200mm、橋長40.0mであり、支間中央に分配横桁が配置されている。昭和45年の標準図では床版厚は200mmであるが、当時の床版での最少厚は160mmであり、ハンチ厚は50mmであることから、取替え鋼床版は210mmの高さに収まることを想定している。

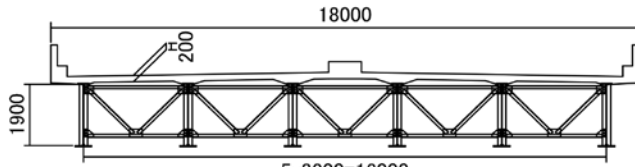


図1: 開発対象橋梁

3. FEMによる全体解析

図1の橋梁を対象にRC床版から鋼床版へ取替えた際の橋梁構造の変化を検討した。図2に橋梁全体を対象としたFE解析の結果を示す。解析では両床版とも高欄を省略し、鋼のヤング率を205GPa、RC床版のヤング率を28GPaとして計算した。荷重はT20荷重を用いた。床版を取替えても橋梁全体の変位挙動はほとんど変化はないことが確認できた。

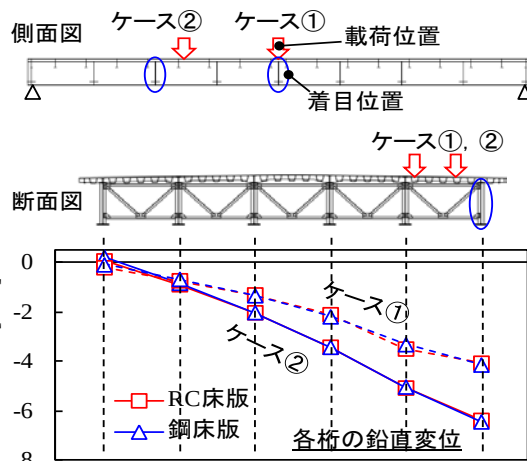


図2: 橋梁全体を対象としたFE解析

4. 疲労試験

現行のUリブ鋼床版縦横リブ交差部を対象とし、実構造に近い境界条件となるような試験体を用い、FEMによって求めた最も厳しい荷重位置によって疲労試験を行った(図3)。その結果現行Uリブ構造の縦横リブ交差部でのき裂発生回数は16万回程度と、疲労強度が不足していることを確認した。(図4)



図3: 疲労試験体

5. 今後の予定

縦横リブ交差部構造を中心として、疲労強度に優れる鋼床版構造をFEM及び疲労試験により検討していく予定である。

謝辞: 本研究は東京都市大学と民間11社(横河ブリッジホールディングス、IHIインフラシステムズ、三菱重工鉄構エンジニアリング、JFEエンジニアリング、宮地エンジニアリング、川田工業、駒井ハルテック、三井造船鉄構エンジニアリング、JFEスチール、神戸製鋼、新日鐵住金)で実施している。

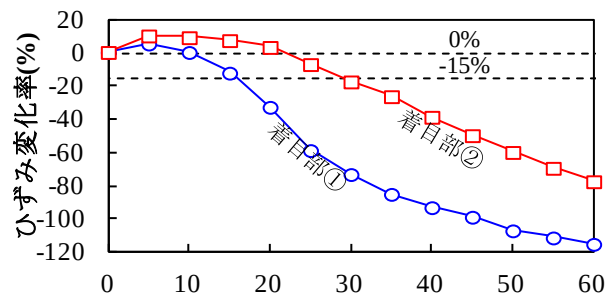


図4: 疲労試験による着目部位のひずみ変化率

港湾鋼構造物の維持管理

1. はじめに

近年、港湾構造物において、ジャケット式構造物が建設されてきている。ジャケット式構造物とはパイプを溶接した骨組状の構造物であり、栈橋などに適用されている。港湾構造物において腐食は考慮されるべき、劣化要因の一つである。ジャケット式構造物は比較的新しく、腐食時の構造上の弱点については、不明確な点がある。本研究では、腐食減肉したジャケット構造物の耐荷力を解析的に検討し、維持管理の際に重点的に点検すべき箇所を明らかにすることを目的としている。

2. 対象構造物

解析対象とした構造物を図-1に示す。幅 20m、長さ 40m、水深 12m 程度の栈橋であり、一般的な構造様式である。解析では、第一段階として、地震時を想定した横力を受ける場合の解析を行っている。

栈橋は複数本の鋼管柱(レグ)より構成され、互いに影響を及ぼしあう。図-1(b)に示すように、1本のレグを取り出した単柱モデルを作成した。現在の設計法では、2次元モデルが基本となっているが、図-1(c)に示す2次元モデルであるフレームモデル、図-1(d)に示す3次元モデルも作成した。

現行の設計では、有限要素として梁要素が主に使用されているが、図-1(b)~(d)の各モデルにおいても梁要素によるモデルと、シェル要素によるモデルを作成した。

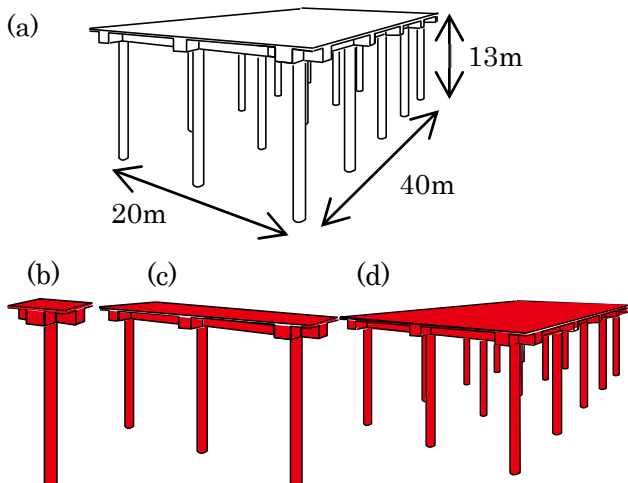


図1 解析モデル

3. 単柱モデルの要素による荷重-変位関係

単柱モデルにおいて、図-2(a)および(b)にそれぞれ梁要素とシェル要素を比較した結果を示す。ここでは単柱の荷重-変位関係を求めており、腐食によるレグの減肉は考慮されていない。梁要素およびシェル要素では、最大耐荷力はシェル要素のほうが1割程度高く、梁要素では初期剛性が低めに評価されることがわかる。

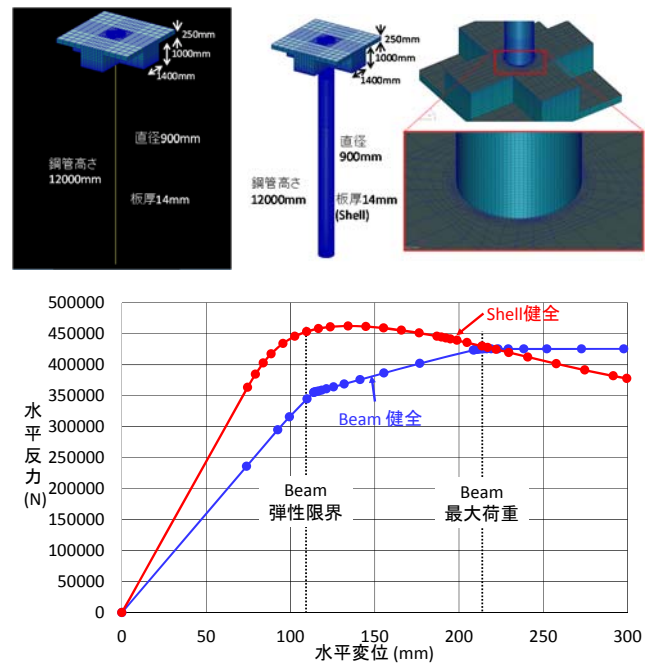


図2 単柱モデルの耐荷力曲線

4. まとめと今後の予定

部材接合部の塑性域進展、部材の局所的な変形(局部座屈)挙動の再現がシェル要素では可能であるが、梁要素では再現が難しい。

腐食による減肉量が板厚の半分程度までならば、凹凸を完全に再現せずに平均板厚でモデル化しても、耐荷力にはそれほど変化は見られなかった。

円周方向の腐食の分布の変化を考慮しなくても耐荷力にそれほど差は生じなかった。単柱モデル、フレームモデル、3次元モデルのいずれにおいても、耐荷力にそれほど低下は見られなかった。

ブレースを設置することで、耐荷力は大きく改善される。

今後は荷重パターンを変化させることや、補強方法の検討を行っていく予定である。

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, 原子力安全工学科 牟田 仁

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 25 年度研究成果

平成 25 年度は、本学の地震、耐震、防災に関する授業科目調査や学生の学科横断交流（研究発表会等）による共同研究の推進等から本学における横断的防災技術教育の在り方に関する検討を進めた。また、平成 27 年度からの大型予算による研究推進に向けた準備を研究会形式の発足とともに準備した。一方、総研セミナーとして、2013 年 10 月末に「耐震技術の最前線と将来動向」と題して 5 名の学外講師とともに広域地震防災研究室の成果報告の一例を報告した。また、研究室内での原子力施設のリスク評価・耐震安全の研究成果の一部を「巨大地震に備えるリスク評価・耐震技術」と題する東京都市大学大学院／早稲田大学大学院共同原子力専攻主催による未来エネルギーシンポジウムにて報告した。これらの研究報告は、研究室内での地震・耐震・防災に関する知見を専門家はもちろん学生や市民への社会還元と位置づけられる。

4. 掲載論文/出版図書と国際会議での講演

- ・藤田聡, 古屋治; 総論 耐震技術の現状と今後の課題, 日本機械学会, 2013 年 10 月.
- ・Osamu Furuya, Hiroshi Kurabayashi, Tadashi Uematsu, Osamu Takahashi, Tetsuya Tomizawa; Study on Vibration Control Device using Oval Type Leaf Spring with Amplification Characteristic for Detached House, 13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Paper No. #131, 2013.9.
- ・Osamu Furuya, Hiroshi Kurabayashi; Research and development of distributed multistage TMD for long period structure using coil spring, American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division 2013, Seismic Engineering, PVP2013-77632, 2013.7.
- ・Hiromichi Yoshikawa; Chapter 27 Seismic risk and possible maximum loss (PML) analysis of reinforced concrete structures, Part 5 Assessing Financial and Other Losses from Earthquake Damage, Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems, S Tesfamariam, K Goda (eds) Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, (2013.5)
- ・編者: 吉川、著者: 矢代・福島・大峯・羽田: 都市の地震防災 -地震・耐震・津波・減災を学ぶ-, フォーラムエイトパブリッシング (2013.5)

5. 企業との連携（共同研究/共同解析）

- ・オーツケミカル株式会社・ブリヂストン株式会社: ウレタンエラストマーを用いた積層型免震装置に関する研究
- ・株式会社構造計画研究所, バイブロシステム, ヤクモ株式会社, 小型 3 次元免震装置に関する研究

6. 外部資金の獲得

- ・平成 24 年度 国家課題対応型研究開発推進事業原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ (H24～H26): 「リスクマネジメント基盤技術としての地震リスク評価の信頼度向上に関する研究」, 研究者: 村松健, 藤本滋, 古屋治, 牟田仁, 高田毅, 西田明美, 内山智曜
- ・平成 24 年度 科学研究費助成事業 (H24～H26): 「長継続時間地震による天吊り形式の機械系構造物に関する耐震性の高度化」, 研究者: 古屋治
- ・平成 25 年度(第 15 回) 国土技術研究センター(JICE)研究開発助成: 「地震/津波/洪水による災害リスクの統合評価と GIS-VR によるリスクの可視化」, 研究者: 吉川弘道・守田優・羽田誠

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に着目して、そのコストを大幅に低下させることを試みている。具体的には、シリカ微粒子の一種であるホワイトカーボン(White-carbon:以下 WC)を地盤に注入する方法である。この WC 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ること、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。しかしながら、WC は水中では通常 $10\mu\text{m}$ 以上の凝集体を形成しているため、WC を土の間隙内に土骨格を乱さずに充填することは難しい。そこで、本年度はまず WC を細粒化する技術の開発に注力した。

図-1 は、WC の粉碎装置試作機の概要である。WC を混合した水をカスケードポンプに取り込み、マイクロバブル発生ノズルに高速で送り込むことによって、タンク内に渦崩壊を発生させ WC の凝集を破壊する仕組みとなっている。

相対密度を 60% に調整した豊浦砂供試体中に WC 水を注入する実験を行った。図-2 に実験システムを、図-4 にその試験結果を示す。これより、WC を粉碎することによって、その混合水は狭隘な砂間隙中に注入できることが確認されるとともに、WC 混入率が高いほど、より効果的に相対密度を上昇させることができることが確かめられた。

3. 終わりに

最も難しい課題と考えられていた WC の細粒化を比較的早期に達成することができた。今後、WC の地盤内への定着方法や効率的な注入方法の検討を急ぎ、安価な液状化対策工法の確立を目指す。

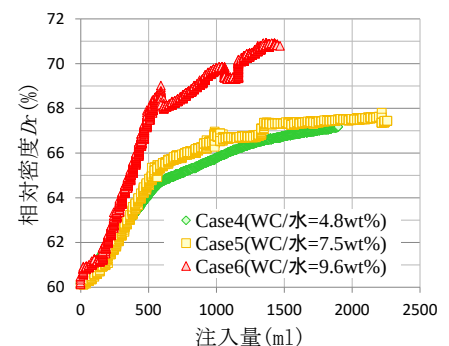
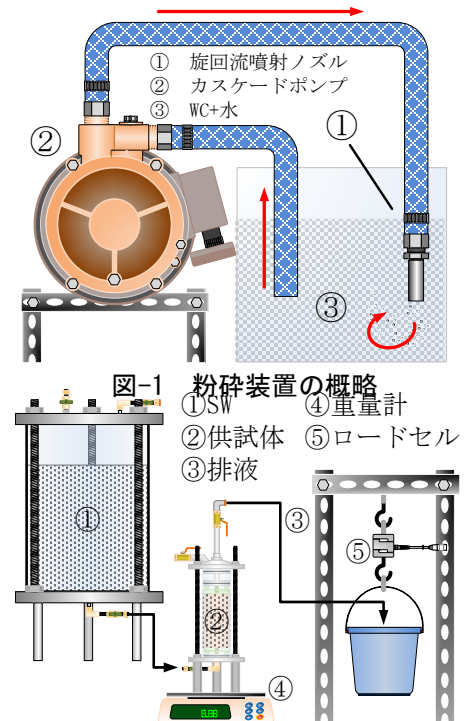


図-3 注入量と相対密度

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

白木 尚人（工学部機械工学科）

藤間 卓也（工学部機械工学科）

中川 研司（工学部機械工学科）

1. 研究の範囲と目的：

- (1) 再生可能かつクリーンエネルギーである水素を内燃機関に用いた場合の地球温暖化軽減，大気環境汚染低下および化石エネルギー枯渇の軽減に対する貢献を明らかにすること．
- (2) 本学が独自に開発した新しい燃焼コンセプトにより，水素エンジンの NO_x 抑制と大幅な熱効率の向上を実現させ，燃料電池につぐ次世代水素燃料自動車用原動機の位置づけを明らかにすること．
- (3) 研究に使用している独自開発の高圧水素噴射弁をトライボロジックのアプローチにより信頼性の向上を図り，実用化が可能なレベルの耐久性を実現すること．

2. 平成25年度の研究活動の概要：

- (1) CO_2 排出のない水素燃料エンジンの課題は，高負荷運転条件における窒素酸化物 NO_x の軽減である．これまでの研究で，熱効率への跳ね返りを最少にした上で NO_x 排出を大幅に低減することのできる新しい燃焼方式を見出し，PCC 燃焼（過濃混合気塊点火燃焼コンセプト，Plume Ignition Combustion Concept）と命名し，学会での研究発表を行ってきた．
- (2) 水素エンジンの部分負荷（低負荷）運転で使用する均質混合気では，未燃焼水素が大量に発生し熱効率が大幅に低下することが明らかになった．本研究で，PCC 燃焼および PCC 燃焼に近い上死点に近い噴射時期で，濃い混合気塊が拡散する前に点火することによって，未燃焼水素の発生を大幅に抑えることができ，熱効率の向上を実現することができた．この混合気塊は燃焼室上部の点火プラグ近傍に多く滞留していることを岡山大学との共同研究で実施している点火時の空燃比(λ)の計測手法 SIBS により明らかにし，この混合気の分布状態を軸方向成層化(図 2 (a))と命名した．
- (3) 高圧水素噴射弁の耐久時間を，エンジンの実用耐久時間に対応できるようにするため 2000 時間に目標設定し，対応する技術を織り込んだ噴射弁を試作した．この耐久性向上効果の評価を平成 26 年度に実施する．

3. 外部機関との連携

上記研究目的を達成するために，下記外部大学・研究機関との連携を行った．

(1)	共同研究，バイオ水素精製過程の合成ガスを燃料とする水素内燃エンジン搭載トラックの研究，(独行法)交通安全環境研究所，東京理科大学，2014.2～
(2)	任意共同研究，SIBS 法による点火時空燃比の計測，岡山大学，2013.9～
(3)	業務委託，水素高圧高じょう乱噴流の数値計算，早稲田大学，2014 年度実施
(4)	研究指導，水素雰囲気におけるトライボロジーの基礎的検討，マレーシア工科大学，2014.1

以上

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

白木 尚人 (工学部機械工学科)

藤間 卓也 (工学部機械工学科)

中川 研司 (工学部機械工学科)

1. 平成25年度の研究成果の概要

(1) 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 NO_x を軽減させる PCC 燃焼 (過濃混合気塊点火燃焼コンセプト) 方式を見い出した。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 NO_x 生成を抑制する燃焼方式である。図1に示すように、最大出力近傍の高負荷運転領域で、80%以上の大幅な NO_x 生成低減を実現させた。

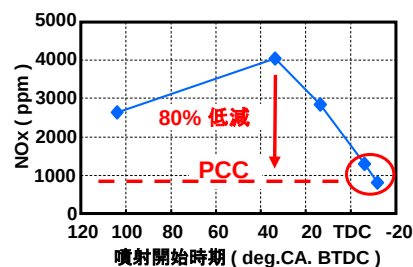


図1 PCC 燃焼の高負荷運転 NO_x 低減効果(図中○印部)

(2) 水素エンジンの部分負荷 (低負荷) 運転で使用する均質混合気では、未燃焼水素が大量に発生し熱効率が大幅に低下することが明らかになった。本研究で、PCC 燃焼および PCC 燃焼に近い上死点に近い噴射時期で、濃い混合気塊が拡散する前に点火することによって、未燃焼水素の発生を大幅に抑えることができた。この混合気塊は燃焼室上部の点火プラグ近傍に多く滞留していることを岡山大学との共同研究で実施している点火時の空燃比 (λ) の計測手法 SIBS により明らかにし、この混合気の分布状態を軸方向成層化と命名した。

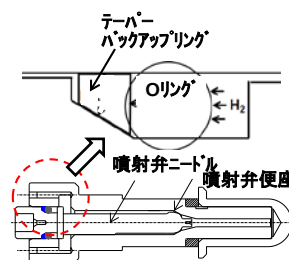


図2 噴射弁ニードルのテーパ付 BR の形状

(3) 高圧水素噴射弁の耐久時間を、エンジンの実用耐久時間に対応できるようにするため 2000 時間に目標設定し、次のような対応を行った噴射弁を試作した。この効果の評価を平成 26 年度に実施する。

- ・水素-作動油分離部の O-リング部形状を、O-リングの咬み込み摩損を防ぐため、これまで用いていた平板式バックアップリング(BR)からテーパ付 BR に設計変更(図2)
- ・噴射弁ニードルしゅう動部の磨耗を防ぐため、ダイヤモンド状炭素表面コーティング DLC の加工法の改良
- ・噴射弁座部の磨耗を防ぐため、DLC 加工の硬度変更

2 研究発表などの主要な成果

- | | |
|-----|---|
| (1) | 過濃混合気塊点火燃焼による高圧筒内直接噴射水素エンジンの部分負荷運転における熱効率向上, 三浦宏太, 関根花南, 前田翔, 中川研司, 三原雄司, 高木靖雄, 佐藤由雄, 自動車技術会論文集, (2013 年 12 月提出, 査読中), (研究論文) |
| (2) | 過濃混合気塊点火燃焼による高圧筒内直接噴射水素エンジンの部分負荷運転における熱効率向上, 三浦宏太, 関根花南, 前田翔, 中川研司, 三原雄司, 高木靖雄, 佐藤由雄, 自動車技術会講演予稿集 No.116-13, pp11-16, (2013 年 10 月), (研究発表) |
| (3) | 筒内直接噴射水素エンジンの部分負荷領域における未燃焼水素排出量に対する噴射時期と噴流形状の影響, 前田翔, 森裕樹, 鈴木耀一, 高木靖雄, 三原雄司, 中川研司, 佐藤由雄, 自動車技術会関東支部学術研究講演会前刷集(CD-R), (2014 年 3 月), (研究発表) |

以上

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 26 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。

「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 FCD(Final Committee Draft) 16963 の妥当性を検証するために、国内ディスクメーカと共に実証実験に参加している。本成果は SC23 に報告され FCD16963 に対する評価結果となる。

②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。上記実証実験結果において本件を検討し、SC23 の規格化資料として報告される。

2014 年 5 月 デジタルアーカイヴ研究室 横井 利彰