

SIT総合研究所・研究センター 研究成果報告書

※各研究センターの成果報告書は、文部科学省の報告様式を基に作成しています。

- 1 環境微生物生態工学国際交流研究センター（2014年度予算：4,200千円）（5年目：最終年度） P. 1
東南アジアにおけるダイオキシン汚染問題の解決等に資する環境浄化や、有用な物質の合成（例：窒素からアンモニア合成）のために、微生物そのものの性能の向上を図ると共に、微生物生態系を解析・制御する技術の開発を行う。
- 2 ポータブル強磁場マグネットセンター（2014年度予算：4,200千円）（5年目：最終年度） P. 16
世界最強の小型マグネットを開発するとともに、その磁場を利用することで、水を浄化する装置や、ひざの軟骨を再生する技術の開発を行う。
- 3 フレキシブル実装工学研究センター（2014年度予算：7,200千円）（4年目） P. 34
集束陽子線描画を基軸とする微細な加工技術で、三次元柔構造を含む多種多様な材料群のハイブリッド構造体を形成し、機能発現、統合およびデバイス化に取り組む。従来のエレクトロニクス実装の枠組みを超えた超実装工学の構築を目指し、環境調和性に優れたモノづくりを探索する。
- 4 レアメタルバイオリサーチセンター（2014年度予算：4,200千円）（4年目） P. 47
特殊な金属代謝機能を有する微生物を利用して廃電子部品等に含まれるセレン等のレアメタルを不溶液化・濃縮して回収し、市場価値のある資源としてリサイクルする一連の技術群を開発する。
- 5 建築ストック研究センター（2014年度予算：4,000千円）（3年目） P. 65
日本がこれから迎える超高齢社会において、あらゆる世代が満足して住み続けることができるよう、都市部に数多く存在する既存共同住宅を主な研究対象として、地域社会、建築、インフィル（内装・設備）をいかに再生するかを研究する。
- 6 パワーエレクトロニクス研究センター（2014年度予算：7,200千円）（2年目） P. 75
消費電力削減のキー技術であるパワーエレクトロニクスにおいて、要素技術であるデバイス製作から応用技術である電力系統連系技術までの出口を見据えた垂直統合型研究を行う。デモンストラータとして10kW高周波非接触給電技術を開発する。
- 7 ソフトウェア開発技術教育研究センター（2014年度予算：13,811千円） P. 81
産業界におけるソフトウェア開発技術者不足やソフトウェアの品質低下という問題に対して、開発現場で利用可能な形式検証技術をはじめとするソフトウェア開発技術とその教育方法を研究し、ソフトウェア開発技能（技術を使用する能力）をもつ質の高い人材を各工学分野に関わる産業界に輩出する。
- 8 脳科学ライフテクノロジー寄附研究センター（2014年度予算：5,000千円）（5年目） P. 91
財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所からの寄附金を基金とし、同財団で実施されてきた脳科学及び生活支援技術の研究の発展と本分野での人材育成を目指す。
- 9 グリーンイノベーション研究センター（2014年度予算：10,000千円）（2年目） P. 98
財団法人新機能素子研究開発協会からの寄付金を基金とし、同財団で実施されてきたパワーデバイスの研究など、持続可能な地球を実現する鍵であるグリーンイノベーション研究の推進、プロジェクトへの参画、実践的な人材の育成を目指す。

【各研究センターの成り立ち】

該当 番号	事業名等	概要
1～6	文部科学省 戦略的研究基盤形成支援事業	本事業は、私立大学が、各大学の経営戦略に基づいて行う研究基盤の形成を支援するため、研究プロジェクトに対して重点的かつ総合的に補助を行う事業であり、もってわが国の科学技術の進展に寄与するものである。 http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/shinkou/07021403/002/002/1218299.htm
7	(独)情報処理推進機構 ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業	本事業は、我が国のソフトウェア工学の振興を通じて、ソフトウェア工学の先導的研究及びその成果の産業界への移転促進並びにソフトウェアの社会的認知の向上を図り、ソフトウェアの信頼性向上に貢献することを目的とし、中長期的な波及効果として、社会を支える IT 基盤の信頼性向上、産業の国際競争力強化、ソフトウェア工学分野の研究人材の育成を促進することも企図している。
8	(財)脳科学ライフテクノロジー研究所	左記財団からの寄附金を基金とし、同財団で実施されてきた脳科学及び生活支援技術の研究の発展と本分野での人材育成を目指す。
9	(財)新機能素子研究開発協会	左記財団からの寄附金を基金とし、持続可能な地球を実現する鍵であるグリーンイノベーション研究の推進、プロジェクトへの参画、実践的な人材の育成を目指す。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

平成 22 年度～平成 26 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」 研究成果報告書概要

1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学

3 研究組織名 先端工学研究機構

4 プロジェクト所在地 埼玉県さいたま市見沼区深作 307

5 研究プロジェクト名 環境微生物生態工学の国際研究拠点の形成

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
正留 隆	工学部 応用化学科	教授

8 プロジェクト参加研究者数 10 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
正留隆	工学部・教授	環境中の汚染物質の検出と定量	環境中の様々な汚染物質の検出
濱崎啓太	工学部・教授	化学物質と生物の相互作用	生物反応を用いて環境中の有害物質の作用機構の解明
布施博之	システム理工学部・教授	海洋微生物の生態解析	海洋性メタン酸化細菌などの生態と機能解析
岩田健一	システム理工学部・准教授	メタ開裂酵素の構造と機能解析	X 線結晶構造解析
(共同研究機関等) 山根久和	帝京大学・教授	環境負荷低減化	植物の生育解析
丸山明彦	(独)産業技術総合研究所・審議役	微生物の定量法の開発	微生物の生態解析
羽部浩	(独)産業技術総合研究所・研究員	有害物質の生分解	嫌気条件下での有害化合物の分解能を解明
アズハム ズルカムナイン	サラワク大学講師	タンパク質の構造と機能解析	細菌の酵素タンパク質の機能と応用
ディン チュ ハング	ベトナム国立大学准教授	海洋生物の検索	メタンハイドレート関連生物の解析
アウングココ オオー	マンダレー工科大学講師	農業生物の遺伝解析	窒素固定能とアンモニア生成能の解析

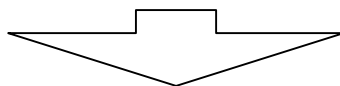
法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
生物的環境浄化	システム理工学部・教授	大森俊雄	様々な環境汚染物質の生物学的浄化と微生物の環境問題解決への応用研究

(変更の時期:平成 24 年 2 月 29 日)



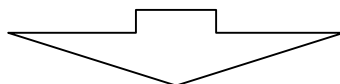
新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
難分解性化合物の遺伝子伝播	東京大学・准教授	野尻秀昭	微生物動態の解析

(変更の時期:平成 24 年 3 月 31 日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

11 研究の概要(※ 項目全体を10枚以内で作成)

(1)研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

単離された微生物に関しては、ゲノムの塩基配列の解析など、分類・遺伝・生理学的な面などから研究がなされてきている。しかし、99%をこえる微生物は未だに分離不能で、環境中の微生物コンソーシア(複合共同体)を合目的に制御する技術は確立されていない。そこで、微生物コンソーシアをエネルギー・環境の面から実用的に制御・利用していくために国際的に連携し技術開発を行う。全体としては、微生物コンソーシアの制御・利用に関し、環境保全の観点から、・微生物叢の動態、・生態系中の物質の流れ、・個々の微生物の改良と適用の3つを中心として、基礎技術の開発を進めていくと共に、東南アジアの国々においてそれら技術の実用的展開を図っていく。具体的には、①タンカーの事故、メタンハイドレートや油田の開発による海洋への炭化水素化合物の漏出が予想される産油国のマレーシアやベトナム等と共同して、汚染や漏出の指標となる微生物検索やマーカー遺伝子の開発と利用を図る。②現在、既に分離されているセルロース資化性菌と窒素固定菌の微生物複合系等を用いてアンモニア生産性の向上をはかり、マレーシアやミャンマーと共同してそれらの土地での実用化実験を試みる。③ダイオキシン汚染地域を有するベトナムのグループと共同し、ダイオキシン分解酵素を構成的に二倍量生産出来る新規高分解活性の変異微生物による汚染土壌の処理を試みるとともに、ダイオキシン分解系遺伝子の解析と操作等を行い、分解酵素・微生物の分解性能の向上を図る。

(2)研究組織

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

本研究プロジェクトは、上記の個々の研究課題について、布施教授が①、大森教授が②③（主にベトナムのダイオキシン汚染）、岩田准教授が②③（主にダイオキシン分解系遺伝子の解析と操作）を主に推進し、全体を代表者正留教授が統括する形となっている。外国人研究者については、2010 年度にベトナムのハング准教授とマレーシアのズルカムナイン講師、2011 年度にミャンマーのオオー講師とマレーシアのズルカムナイン講師、2012 年度にベトナムのハング准教授が来日し、それぞれ約4週間研究を行ってそれぞれの国での研究成果を補足・発展させると共に今後の方向を確認した。また、2010 年度に布施教授と岩田准教授がベトナム・ミャンマー、大森教授がミャンマーを訪問して、それぞれの国での現状を基に研究の打ち合わせを行っている。国内共同研究者とは、それぞれの研究課題の下に訪問等により情報交換を行っている。ポスドク研究員 1 名が 2010 年の 10 月から 2012 年の 8 月までの約2年間本プロジェクトの遂行に携わり、大学院生としてはMCの学生が、2010年度は1名、2012年度が8名、2013年度が13名、2014年度は7名、卒論生も2011～2014年度は毎年10数名研究に加わっている。他に、重点的な研究活動については短期的に派遣職員の雇用も行っている。

(3) 研究施設・設備等

主に先端工学研究機構棟の301室(約200m²)において、本学教員3名・ポスドク研究員1名・外国人共同研究者3名・派遣職員1名および大学院生・卒論研究生二十数名により使用されてきた。

主要研究装置とその使用状況(1年間あたり)は以下の通りである。

タンパク質間相互作用解析装置 (BiaCore X100) : 500時間

質量分析計システム (TRACE DSQ GC-MS) : 500 時間

タンパク質精製装置 (AKTA FPLC) : 500 時間

スタックブルインキュベーター : 常時 (365 x 24 h = 8760 時間)

インキュベーター : 常時 (365 x 24 h = 8760 時間)

超純水製造装置 (Milli-Q) : 200 L

高速冷却遠心機 : 400 時間

超低温フリーザー : 常時 (365 x 24 h = 8760 時間)

クロマトチャンバー : 常時 (365 x 24 h = 8760時間)

クリーンベンチ : 1000 時間

(4) 研究成果の概要 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

研究プロジェクトの計画や目的・意義と関連づけて、当初の目標をどれだけ達成したか記述するとともに、新たに得られた知見などについても具体的に記述してください。

① 研究項目の一つの柱は、微生物コンソーシアの制御・利用に関し、微生物叢の動態の解析手法の開発を行っていくことである。そのためには、微生物コンソーシアの機能・作用の鍵を握る微生物を明らかにするとともに、その機能・作用を担う遺伝子を明らかにし、それらの検出手法を開発する必要がある。本プロジェクトにおいては、具体的には、タンカーの事故、メタンハイドレートや油田の開発による海洋への炭化水素化合物の漏出に際し、汚染や漏出の指標となる微生物の検索やマーカー遺伝子の開発と利用を図ろうとするものである。その解析の中では、いくつかの石油成分に関する解析を行いつつも、特に短鎖炭化水素を中心とした解析を行ってきた。これは、実際の問題としては、短鎖の鎖状炭化水素は揮発しやすいものの長鎖のものより一般に毒性が強いことが報告されており、短期の影響評価の観点から重要と考えられるこ

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

とや、2010年のメキシコ湾での原油流出のような実際の流出において、主要成分となりうること、特にその中でもメタンについては、炭素循環や地球温暖化への影響において重要なこと、メタンハイドレート開発において、メタン漏出の検出手法が求められていたこと等による。また、もう一方では、従来、メタンとアンモニアの酸化に関してのみ知られていた酸化酵素系が、我々の報告を含め、広く短鎖炭化水素の分解にも関与していることが明らかとなりつつあり、特に海洋においては、それらが主要な働きをしていることが予想された。そのため、それを利用して、環境中におけるメタン・アンモニア・短鎖炭化水素酸化に関する微生物の解析に用いる手法の開発が可能と考えられた。そこで、全体の流れとして、プロジェクトの初期においては広く石油生分を見つつも、短鎖を主とする炭化水素類（メタン・エタン・エチレン・プロピレン・i-ブタン）の分解菌の探索・分離を行いつつ、我々が保存しているそれら分解菌の既分離株も用いて、それらの菌の性状の解析を行うとともに、それらの株の有する初発酸化系の解析を行い、その遺伝子の解析を行って、その遺伝子の特徴から、それらの遺伝子の環境中からの直接検出用の手法の開発を行ってきた。また、海底のメタン湧出域においては、還元的メタン酸化に伴う硫化水素の生成がおり、その硫化水素を酸化して生育する硫黄酸化細菌の顕著な増殖が見られること、さらに、海水中においても、メタン生成菌によるメタンの生成が報告されており、海水中におけるメタンの動態把握のためには、メタン生成も考慮に入れる必要があることから、硫黄酸化細菌・メタン生成菌についてもその解析の検討を行った。

実際の原油汚染の影響評価を行うために3種類の原油（アラビアンエクストラライト（AXL）・カタールマリン（QTM）・クウェート（KW））を用い、それらを生育基質として段階希釈及び平板培養法により最も優先的に生育する細菌を鹿児島湾と東京湾の海水試料から分離を行って、得られた分離株については16SrRNA遺伝子により系統解析を行った。東京湾の試料からは、AXL、QTM、KWのそれぞれを生育基質として*Pseudomonas*属に属する1株、*Alteromonas*属に属する2株、*Thalassolituus*近縁属の分離株の1株が得られ、鹿児島湾の試料からはKWを生育基質として*Thalassolituus*近縁属の1株が得られた。この鹿児島湾の1株は、以前、鹿児島湾の試料にC-重油を添加した培養で得られたDNAクローンと16SrRNA遺伝子で99.7%の相同性を有しており、この近縁の細菌群は、C-重油等の添加に伴い、夏季試料でその存在を顕在化させたグループであったにもかかわらず、分離株が得られていなかった。本株は運動性を有するグラム陰性湾曲桿菌で、その性状検査からも該当する既知菌種がなく、少なくとも新種であることが推定された。

石油中に含まれる多環芳香族化合物や複素環式芳香族化合物は存在割合こそ少ないものの構造上安定な化合物であるため自然界では分解されにくく、生物に対して催奇性や発がん性を示す環境汚染物質として認定されている。そのため、海洋での石油流出などの事故の際には速やかに処理する必要があるため、石油中に含まれる難分解性の芳香族化合物であるカルバゾール、フルオレン、フェナントレン、アントラセンをそれぞれ分解可能な海洋性細菌の取得を目指してきた。現在までにカルバゾールを分解可能なOC14株、OC15株、OC23S株、OC24S株、フルオレンを分解可能なOC18S株、OC25株、フェナントレンを分解可能なOC16S株、OC17S株、OC21S株、OC22S株、26S株、OC27S株、OC28S株、OC32S株の合計14株を取得した。取得した環境汚染物質分解海洋性細菌の菌株の中からOC14株、OC16S株、OC17S株、OC18S株、OC21S株の5株のtotal DNAを抽出し、16SrDNAを解析した結果、それぞれ*Acromobacter* sp. OC14株、*Thalassospira* sp. OC16S

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

株、*Tistrella* sp. OC17S 株、*Microbacterium* sp. OC18S 株、*Vibrio* sp. OC21S 株と属を推定した。エタンに関しては、海洋から初めてエタン資化性菌を分離しており、そのうちの2株（ET-HIRO 株、ET-SHO 株）については、エタン・プロパン・n-ブタン・i-ブタン・エタノール・プロパノールには生育できたがメタン・エチレン・プロピレン・メタノール・アセトン・2-プロパノールには生育できなかった。その両株共に、メタン資化性菌とアンモニア酸化細菌の他にほとんど報告のなかった膜結合型メタンモノオキシゲナーゼ（メタン初発酸化酵素）型遺伝子（*pmo*）を2セット有すること等を明らかにしてきた。その初発酸化遺伝子のクラスター（DNA 上で、関連する遺伝子が集合して存在する場所）については、クローニング（遺伝子の一部分だけを取り出すこと）がうまくいかずに手間取ったが、PCR *in vitro* Cloning 法等を用いてほぼ塩基配列の解析を終了することができた。この2つのクラスターの転写について、各種基質の培養下で検討したところ、一方が構成的に転写されており、もう一方の転写条件は確認されなかった。*pmo* 系遺伝子の大腸菌での発現例はなく、本菌の遺伝子も発現には成功しなかった。そのため、この2つのクラスターが、実際にエタンの酸化に関与しているかについて直接的に証明できていないが、*pmo* 系の酵素は銅を活性中心とし、銅欠乏条件では活性が低下することが知られており、本菌においても銅欠乏条件において活性の低下が見られているので、一方がエタンの酸化にも関与しているものと推定された（学会－5）。この菌は、16S rRNA 遺伝子の系統解析からは、メタン資化性菌で構成されている *Methylococcaceae* 科に属していることから、その他の代謝系の構成やメタン代謝との関連が注目された。そこで、さらに産総研の羽部博士のもとで、ドラフトゲノムの塩基配列の決定を行った。その結果、ゲノムとしてもメタン資化性菌の *Methylobacter tundripaludum* SV96 や *Methylococcus capsulatus* Bath に近いことが確認された。その関連を明らかにしていきたい。

エチレン酸化についても海洋から初めての分離株の2株（ETY-M 株、ETY-NAG 株）については、生育基質としてメタン、エタン、プロパン、エチレン、プロピレン、n-ブタン、イソブタン、メタノール、エタノール、アセトン、1-プロパノール、2-プロパノール、1-ブタノール、2-ブタノール、ペンタンについて検討を行ったが、両株共に、生育基質として利用できたのはエチレンとエタノールのみであった。この2株は、上記のエタン資化性菌のものに近縁な、アルケン資化性菌としては本菌で初めて見つかった *pmo* 型初発酸化系の遺伝子を有しており、菌学的諸性状の解析を行って、その株を *Haliea* 属と同定するとともに（学会－18、雑誌－3）、その遺伝子の構成としては、その初発酸化系の遺伝子が、他の *pmo* 型でない *smo* 型初発酸化系の遺伝子を有するエチレン資化性菌と同様に、エポキシアルカンコエンザイム M トランスフェラーゼ（EaCoMT）の遺伝子と1つのオペロンを形成していることを明らかにした。この2株についても、産総研の羽部博士のもとで、ドラフトゲノムの塩基配列の決定を行い、それらのオペロンの上流に、他のアルケン資化性菌と同様な代謝佳遺伝子の存在が確認されている。さらに、近年、それとは系統的に異なる *Maricurvus* 属に近縁なエチレン資化性菌 ETY-TS 株を遠州灘の海泥より分離し、菌学的諸性状の検討を行うと共に、同様にドラフトゲノムの解析を行ったところ、この株も塩基配列の上からは、上記エチレン資化性菌2株に近い *pmo* 型初発酸化系と EaCoMT の遺伝子を有しているが、*Haliea* 属の2株と異なり、それらは、連続していなかった。また、その ETY-TS 株の *pmo* 型初発酸化系はエチレンを生育基質としないときには転写されず、実際に、エチレンの分解に関与していることが示唆された（学会－3）。

新規プロピレン資化性菌も海洋から分離しており、生育基質としては、プロピレン、1-ブテ

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

ン、*n*-ブタン、1-プロパノール、1-ブタノールを用いることができるが、メタン、エタン、プロパン、イソブタン、ペンタン、エチレン、2-ブテン、エタノール、2-プロパノール、アセトンを用いることはできない。この菌に関しては、上記エチレン資化性菌の *Haliea* 属と近縁であることがわかったが、その初発酸化酵素遺伝子部分を含む約 20kb の塩基配列の決定を行ってその解析を行ったところ、そのプロピレンの初発酸化酵素は上記のエチレンの場合と異なり、他のアルケン資化性菌と同じように可溶型メタンモキシゲナーゼ型遺伝子(*smo*)を持つことがわかった。

海洋性 *i*-ブタン資化性菌の一株については、エタンからペンタンまでの炭素数 2~5 までの *n*-アルカン、プロピレン、メタノール、エタノール、1-プロパノール、1-ブタノールでの生育が確認できたが、メタン、エチレン、2-プロパノール、2-ブタノール、アセトンでは生育できなかった（学会—16）。他の株と同様にドラフトゲノムの塩基配列の決定を行ったところ、3 個の *pmo* 型遺伝子見出された。本菌はグラム陽性の *Rhodococcus* 属の細菌であるにも拘わらず、それらの *pmo* 型遺伝子は、グラム陰性である上記エタン資化性菌の遺伝子により近縁であった。

メタン酸化に関しては、主に陸上の系に関しては古くから各所で研究が行われてきており、メタン資化性菌の分離・関連酵素・遺伝子の解析も行われてきていて、メタン資化性菌検出に関しても、*pmoA* 遺伝子を検出するための *pmoA189f* と *mb661* の PCR プライマーセットが最もよく使われてきた。我々も東部南海トラフ海域の底泥に生息するメタン資化性菌の検出でもこの条件を使用して、東部南海トラフ海底泥におけるメタン資化性菌の分布状況を明らかにしてきた。また、その過程において、*pmoA* の系統解析を行う中で、*pmoA* の系統がメタン湧出域系統（高濃度メタンに対応）と非メタン湧出域系統（低濃度メタンに対応）に分けうる可能性を指摘してきた。

さらに、我々は今まであまり報告の無かった海洋から、多くのメタン資化性菌の分離を行ってきている。うち 1 株は 2013 年に新種(*Methylobacterium vadi*)としての登録を行っている（雑誌—1）。それ以前に海洋由来のメタン資化性菌で種が記載されているものは数種しかなく、我々の分離株 (*Methylobacterium japonense*) はそのうちの 1 種である。海洋のメタン資化性菌の検出に関しては、*M. japonense* の遺伝子配列などの情報を基に、上記のプライマーセットに比し、より海水にメタン資化性菌の検出に適している新たなプライマーセットが提案されている。我々もいくつかのプライマーセットを用いてメタン資化性菌の検出の検討を行い、Tavormina 等によって提案された *wcpmoA189f* と *wcpmoA661r* が日本近海の海水中のメタン資化性菌の検出に優れていることを確認した。ただし、その配列を用いても、表層水等のメタン資化性菌の菌数が少ないところの試料については、検出が難しかった。そこで、さらに我々の保存株の有する *pmo* クラスターの塩基配列の情報等を基に、プライマーセットを作り、それを用いて 2 回 PCR (Nested PCR) による *pmoA* 遺伝子の検出系を開発した。今回合成したプライマー(*newpmoCf* – *newpmoB1r*)によって、今まで検出できなかったところ(外洋などメタン濃度の低い所)での検出が可能となった。2012 年の夏には日本海上越沖のメタン湧出域付近の海域においてメタン資化性菌の検出の検討を行った。沖合(メタン湧出域)の表層と低層、沿岸表層におけるメタン酸化細菌の分布は大きく異なっており、沖合(湧出域)表層の方では *M. japonense* 系統のグループが優占していた。海水系でのメタン酸化細菌の多様性と分布は、その菌数が少ないこともあって、まだ十分に特徴付けられていない。今後、この手法の適用を図り、それらの特徴を明らかにしていきたい（学会—6、14、15）。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

硫化水素利用の硫黄酸化細菌については、東京湾海泥試料から HS-TB 株、新潟沿岸海泥試料から HS-JS 株を分離した。16S rRNA 遺伝子による系統解析の結果、HS-TB・HS-JS 両株とも *S. denitrificans* と最も相同性が高く、それぞれ 96%、93%であり、新種もしくは新属の硫黄酸化細菌であることが示唆された。HS-JS 株はチオ硫酸を電子供与体として増殖できたが、HS-TB 株はできなかった。一方、soxB 検出用プライマーを用いた PCR では、HS-TB 株において増幅が見られず、HS-JS 株においては増幅が確認できた（学会－2）。

海水系でのメタン生成については、硫酸還元との関係からメチル化合物からの生成が優先すると考えられており、特に海水に特徴的な硫化メチル（DMS）からの生成について検討を行った。DMS を添加して培養した海水・海泥からは、*Methanlobus* 属と *Methanosarcina* 属に属する菌が多く検出された。分離株は *Methanlobus profundus* MobM^T との相同性が 96 %であり、新種の可能性が示唆された。生育試験の結果、最適温度は 25℃、最適 pH は 8.0、最適 NaCl 濃度は 230 mM であった（学会－4）。

②窒素固定を中心とした生態系中の物質の流れの解析では、セルロース分解との共役等による窒素固定能の向上とその実地での適応を目指してきた。グルコースを炭素源として生育できる窒素固定菌を、土壌を菌株の分離源としてスクリーニングを行い、その結果得られた数種の菌株は、低い炭素源濃度において比較的高濃度のアンモニアを菌体外に蓄積することが明らかとなった（雑誌－6）。その中でも *Lisobacter* sp. E4 株は窒素固定により、より多くのアンモニアを生成することは確認されている。しかしながら直接セルロースを分解し、資化することは出来ない。セルロース分解菌と E4 株などの窒素固定細菌を共生させることでバイオセルロースを用いてアンモニアを生成することが期待できるため、土壌中のセルロース分解菌を用いてろ紙を分解させ、窒素固定細菌を加えて培養を行った。セルロース分解菌の分離には成功したが、共生によるアンモニアの生成は確認できず、窒素固定細菌と相性の良いセルロース分解菌を探索し、アンモニアの生成する培養条件のさらなる検討を行う必要がある。

また、ミャンマーとの共同研究でセルロース資化性の窒素固定菌 *Azomonas* sp. OM4 株と *Azomonas* sp. V1 株を取得することに成功した。しかしながら、この株のアンモニア生成にはトレースエレメントとして酵母エキス (0.1 g / L) を必要とし、稲わら、トイレtpーパー、セルロースパウダーを用いて培養した結果、OM4 株ではそれぞれ、2.3 ppm、1.5 ppm、2.0 ppm のアンモニアを生成し、V1 株ではそれぞれ 2.0 ppm、4.3 ppm、2.8 ppm のアンモニアを生成したが、炭素源を加えないコントロールにおいても OM4 株、V1 株それぞれ 1.0 ppm、2.8 ppm のアンモニアを生成した。この原因はトレースエレメントに加えた酵母エキスを炭素源に使用していることが考えられる。また、すでに取得された菌株を用いて作成した堆肥をミャンマーの農地に用いたところ、作物の生育期間の短縮や収量の増加など良好な結果が得られている。

海洋に流出した石油に含まれる難分解性環境汚染物質は微生物が育成するための炭素源にはなり得るが、その他に窒素源を必要とする。一般的なバイオオーグメンテーションではアンモニア体窒素もしくは硝酸体窒素を添加するが、コストが高くなることや添加したアンモニアが環境汚染の原因になりうる。そのため、難分解性環境汚染物質分解海洋性細菌の生育に必要な窒素源を得るために難分解性環境汚染物質分解海洋性細菌と窒素固定細菌との共生系の構築を目指した。海洋性窒素固定細菌を取得するためにスクリーニングを行った結果、複数の菌のコンソーシアは得られたが、単離には至っていない。

③個々の微生物の改良と適用に関しては、主にダイオキシン分解に関与する微生物の機能

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

の解明・向上と現場への適応を目指してきた。

カルバゾール資化性新規海洋性細菌群のカルバゾール分解系遺伝子 *car* 遺伝子群の解析を行った。それらの細菌群の OC9 株、OC6S 株、OC11S 株、OC13S 株の遺伝子構造は、既知の海洋性細菌と異なる構造をしており、海洋環境での *car* 遺伝子の多様性が示唆された(雑誌-4, 5, 学会-31)。

カルバゾール分解に関与する酵素群は類似の骨格を持つダイオキシン類の分解も行うため、カルバゾール資化性菌 *Pseudomonas resinovorans* CA10 株のメタ開裂酵素 CarBaBb(カルバゾール分解系の2番目の酵素で酸素原子が付加されたカルバゾール分子の環状部分の一部を切断する酵素)を酵素機能の解明と機能向上の一つのモデルとして用いている。そのメタ開裂酵素 CarBaBb は活性中心を持つラージサブユニット CarBb と、安定化に寄与していると考えられるスモールサブユニット CarBa の二つのサブユニットで構成されているが、そのラージサブユニット CarBb の安定化条件の検討(学会-2)、スモールサブユニット CarBa とラージサブユニット CarBb を融合したフュージョン CarBab の作製(学会-26)、CA10 株のスモールサブユニット CarBa の 6~8番目の α ヘリックス(タンパクの分子構造の一種)を削除した変異酵素(CarBa_{Δ6-8}Bb)を発現するプラスミドの構築を行ってきた。スモールサブユニット *carBa* とラージサブユニット *carBb* の間にスペーサーDNAを挿入することでサブユニットの会合メカニズムを明らかとすることを目的し、スペーサーDNAを挿入するために *carBa* と *carBb* の間に 4 つの制限酵素サイトを付加したベースプラスミドベクターを構築した。挿入 DNA には 16S rDNA の部分配列を利用し 250bp、500bp、1000bp の機能を持たないジャンク DNA を用いた(学会-9, 12)。

カルバゾール分解に関与する酵素群(初発酸化酵素 CARDO、メタ開裂酵素 CarBaBb、加水分解酵素 CarC)の生体内での関連を解明し、これらの機能を効率よく向上させるための情報を得るために酵素間の相互作用解析を行った。本年度はメタ開裂酵素 CarBaBb と加水分解酵素 CarC の相互作用解析を行った。それぞれの酵素のタンパク質発現用プラスミドを構築し大腸菌を用いて酵素タンパク質を発現させ、供雑物を取り除くためカラムクロマトグラフィー(AKTA FPLC)にて精製を行った。精製タンパク質を用いてタンパク質間相互作用解析を行った(BiaCore X100)(学会-7, 11)。

メタ開裂酵素は、2 つの水酸基が付加された芳香環に対し酸素分子を付加させることで、水酸基の隣で芳香環の開裂を起こす酵素であり、ほとんどのメタ開裂酵素はホモオリゴマーを形成する。*Rhodococcus* sp. DFA3 株由来のフルオレン分解に関わるメタ開裂酵素 2'-carboxy-2,3-dihydroxybiphenyl 1,2-dioxygenase (FlnD1D2)はヘテロオリゴマーを形成する。ヘテロオリゴマー型メタ開裂酵素の共通性を解明する足掛りとして FlnD1D2 の機能解析を行った。大腸菌での発現系を用いて発現させたタンパク質をアフィニティークロマトグラフィー及びゲル濾過クロマトグラフィーによって精製した(学会-8)。これまでに4次構造が解明されたヘテロオリゴマー型メタ開裂酵素はいずれも $\alpha_2\beta_2$ 型であったが、FlnD1D2 はゲル濾過クロマトグラフィーの結果から $\alpha_4\beta_4$ 型であることが示唆された。また FlnD1D2 は活性部位に Fe^{2+} を有しているが、他の 2 価金属イオンを添加すると活性が低下するのに対し、 Fe^{2+} を添加すると未添加時よりも 3.5 倍程度の活性上昇が見られた。さらに 2,3-dihydroxybiphenyl と 2,2',3-trihydroxybiphenyl に対して pH 7.5、25℃で動力学的解析を行った結果、前者では K_m 値 130.9 μM 、 k_{cat}/K_m 値 $2.9 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった一方で、後者では K_m 値 136.9 μM 、 k_{cat}/K_m 値 $1.2 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった(学会-1)。

現場への適用としては、ダイオキシン分解菌である *Novosphingobium* sp. KA1 株の培養液からダイオキシン分解系遺伝子群の調節遺伝子が破壊され、かつ分解系の遺伝子が遺伝子重複により2倍に増大した変異株を得ており、ベトナムのダイオキシン汚染土壌にこの株の適用を試みた。方法は培養菌を直接添加するバイオオーグメンテーションによるも

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

のであったが、ダイオキシンの除去効果はあまり見られなかった。原因については、用いたベトナムのダイオキシン汚染土壌の pH が低めであり、KA1 株の生育にとって条件があまりよくなかったためと考えられる。

<優れた成果があがった点>

地球上での炭素・窒素循環に重要であり、工業的応用も期待されるメタンモノオキシゲナーゼの膜結合型に類似の遺伝子 (*pmo*) については、メタン資化性菌とアンモニア酸化細菌以外では今まで報告がなかったが、短鎖炭化水素資化性菌において初めてそのクラスターを明らかにした。

上記 *pmo* 遺伝子を利用した、海水中の低菌数のメタン資化性菌検出のための新規手法を提唱し、日本海における調査を行って、その有効性を確認した。

カルバゾールを唯一の炭素源として資化可能な海洋性細菌を 4 株、フルオレンを資化可能な海洋性細菌を 2 株、フェナントレンを資化可能な再要請細菌を 8 株取得した。これらの菌株からいくつかの菌株を選抜し 16S rDNA の解析を行った結果 *Acromobacter* sp. OC14 株、*Thalassospira* sp. OC16S 株、*Tistrella* sp. OC17S 株、*Microbacterium* sp. OC18S 株、*Vibrio* sp. OC21S 株と属種を推定した。

ダイオキシン分解能を持つカルバゾール資化性菌 CA10 株由来 CarBaBb のサブユニットを融合した CarBab の発現プラスミドを作製し、酵素活性を菌体レベルで確認できた。これにより一体型酵素とサブユニット型の酵素との比較が可能になった。

メタ開裂酵素のスモールサブユニット *carBa* とラージサブユニット *carBb* の間に遺伝子を挿入可能なベースプラスミドを構築した。これによって異なる遺伝子配列を挿入可能となった。

メタ開裂酵素 CarBaBb と加水分解酵素 CarC の発現、精製の条件を決定することができた。

<問題点>

メタ開裂酵素 CarBaBb と加水分解酵素 CarC には相互作用はみられなかった。しかしながらカルバゾール分解にはこの 2 つの酵素の他に初発酸化酵素 CARDO も関与しているため生体内では 3 つの酵素が存在することで安定な状態になることも考えられる。今後は 3 つの酵素の相互作用解析を実施する予定である。

分解菌の現場への適応に関しては、土壌条件をより正確に把握して適応することが求められる。

<評価体制>

(研究プロジェクトの目標等に照らした自己評価の実施や、その結果を研究費等の資源の配分へ反映させるためのルール of 適切な設定、また、本プロジェクトに係る費用対効果(かけた費用に見合う効果が見られるか)について、どのように分析しているか。また、それらについて、外部(第三者)による評価を受ける体制ができているか等について記述してください。)

大学の研究戦略の総合的な企画立案をする SIT 総合研究所が研究代表者とヒアリングを実施し、研究成果の評価、今後の展開の確認を行っている。その結果を受け、研究戦略会議において、各事業の次年度の予算配分を決定する仕組みとしている。また、客観評価については、SIT 総合研究所として、年に1回、外部の有識者4名(大学、企業等)からなる評価委員会を実施し、多角的な視点から忌憚りの無い評価・アドバイス等を受けている。

<研究期間終了後の展望>

(本プロジェクト終了後における研究の継続の有無、有の場合は今後の研究方針、無の場合は当該研究施設・装置・設備の活用方針を記述してください。)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

継続：無

今年度の継続はないが、この 1 年で内容の見直しを行い、本プロジェクトで海洋からの新規微生物の取得や、生態系の調査技術の進展が見られたことから、さらにそれを発展させ、東京海洋大学の今田千秋教授との連携を強めるとともに、その方面の海外研究者も加え、江戸っ子 1 号を改良・活用することにより海洋からの生理活性物質・有用微生物・酵素の取得を主とする方向に発展させて、来年度の再応募を目指していく。

<研究成果の副次的効果>

(研究成果の活用状況又は今後の活用計画(実用化・企業化の見通しや、特許の申請があればその申請状況・取得状況等)について、記述してください。)

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) ダイオキシン (2) 窒素固定 (3) メタンモノオキシゲナーゼ
 (4) バイオレメディエーション (5) メタ開裂酵素 (6) アンモニア生成
 (7) メタンハイドレート (8) 炭化水素分解

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

* 1. Hirayama H., Fuse H., Abe M., Miyazaki M., Nakamura T., Nunoura T., Furushima Y., Yamamoto H., Takai K., *Methylo Marinum vadi* gen. nov., sp. nov., a marine methanotroph isolated from two distinct marine environments in Japan. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **63** 1073-82(2013)

2. 吉田光毅、帆秋利洋、沖田紀子、藤原靖、布施博之、平田敦洋、荒田直;メタンハイドレート賦存海域に生息する微生物を指標とした環境モニタリング手法の研究. *大成建設技術センター報* **45** (2012)

* 3. Suzuki T., Nakamura T. and Fuse H. Isolation of two novel marine ethylene-assimilating bacteria, *Haliea* species ETY-M and ETY-NAG, containing particulate methane monooxygenase-like gene. *Microbes and Environments*. **27**(1) 54-60 (2012)

* 4. Ito Y., Maeda R., Iwata K. and Omori T. Genetic characterisation of genes involved in the upper pathway of carbazole metabolism from the putative *Kordiimonas* sp. *Biotechnol Lett.* **33**(9) 1859-64(2011)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

- * 5. **Maeda R., Ishii T., Ito Y., Zulkharnain AB., Iwata K. and Omori T.** Isolation and characterization of the gene encoding the chloroplast-type ferredoxin component of carbazole 1,9a-dioxygenase from a putative *Kordiimonas* sp. *Biotechnol Lett.* **32**(11) 1725-31(2010)
- * 6. **Iwata K., Azlan A., Yamakawa H. and Omori T.** Ammonia accumulation in culture broth by the novel nitrogen-fixing bacterium, *Lysobacter* sp. E4. *J Biosci Bioeng.* **110**(4) 415-8 (2010)
7. 松井徹、奈良浩太、茂野俊也、岩田健一、大森俊雄, 好熱性脱窒細菌 TDN01 株を用いた実排水浄化処理, *環境科学会誌* **23** 171-6 (2010)
8. **Masadome T., Nakamura K., Iijima D., Horiuchi O., Tossanaitada B., Wakida S., and Imato T.** Microfluidic polymer chip with an embedded ion-selective electrode detector for nitrate-ion assay in environmental samples. *Analytical Sciences*, **26**(4) 417-423 (2010)
9. **Yoshioka H., Maruyama A., Nakamura T., Higashi Y., Fuse H., Sakata S. and Bartlett DH.** Activities and distribution of methanogenic and methane-oxidizing microbes in marine sediments from the Cascadia Margin. *Geobiology.* **8** 223-33 (2010)

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

- * 1 小竹立朗、松澤淳、水口(鈴木)千穂、岡田憲典、野尻秀昭、岩田健一; ヘテロオリゴマー型芳香環メタ開裂酵素 FlnD1D2 の機能解析 日本農芸化学会関東支部 2014 年度支部大会 2014 年 10 月
- * 2 阿久津祥吾、寺原猛、今田千秋、羽部浩、布施博之 日本沿岸の海底泥より分離された ϵ -プロテオバクテリアの硫黄酸化細菌 環境微生物系合同大会 2014 2014 年 10 月浜松
- * 3 塩谷達也、寺原猛、今田千秋、羽部浩、布施博之 Cu-MMO を有する新規海洋性エチレン資化性細菌 環境微生物系合同大会 2014 2014 年 10 月浜松
- * 4 四方麻妃、寺原猛、今田千秋、羽部浩、布施博之 海洋性メタン菌による硫化メチルからのメタン生成 環境微生物系合同大会 2014 2014 年 10 月浜松
- * 5 朝重翔、鈴木敏弘、羽部浩、布施博之 海洋性エタン資化性菌の諸性質とその初発酸化酵素遺伝子に関する研究 環境微生物系合同大会 2014 2014 年 10 月浜松
- * 6. **Henmi A., Akutsu S., Shikata M., Shioya T., Jiang C. Liu Y., Terahara T., Imada C., Yoshida K., Okita N., Habe H.** Methanotrophic Bacteria in Seawater around Japan. *Molecular Basis of Microbial One-Carbon Metabolism (Gordon Research Conferences)*, South Hadley, MA, United States, 10-15 August 2014.
- * 7. 井上慎也、岩田健一 カルバゾール分解酵素群の相互作用解析 日本農芸化学会 2014 年度大会東京 2014 年 3 月

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

- * 8. 小竹立朗、松澤淳、宮本皓司、岡田憲典、野尻秀昭、岩田健一 2 サブユニット型芳香環メタ開裂酵素 FlnD1D2 の発現系の構築と機能解析 日本農芸化学会 2014 年度大会東京 2014 年 3 月
- * 9. 柴崎夏美、岩田健一 2Subunit メタ開裂酵素の発現機構の解析 日本農芸化学会 2014 年度大会東京 2014 年 3 月
10. 古松 星来、矢澤 友規、鈴木 敏弘、布施 博之; 海洋性アルケン資化性菌によるエポキシアルカン代謝について 日本農芸化学会 2014 年度大会 東京 2014 年 3 月
- * 11. Inoue S. and Iwata K. Intaraction of *Pseudomonas resinovorans* CA10 carbazole-degrading enzymes. The 8th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, March 4-5, 2014.
- * 12. Shibasaki N. and Iwata K. Analysis of a two subunit Extradiol dioxygenase derived from *Pseudomonas resinovorans* CA10. The 8th SEATUC Symposium, UniversitiTeknologi Malaysia, 4-5 March 2014.
13. 吉田光毅、平田敦洋、沖田紀子、帆秋利洋、逸見彰大、荒井麻理、布施博之、鋤崎 俊二、荒田直; 第二渥美海丘の底泥と水柱におけるメタン酸化やアンモニア酸化等に係る微生物の分布特性 第 5 回メタンハイドレート総合シンポジウム 東京 2013 年 12 月
14. 逸見彰大、阿久津祥吾、四方麻妃、塩谷達也、江農、布施博之、寺原猛、今田千秋、吉田光毅、平田敦洋、沖田紀子、荒田直; 水柱試料を対象とした微生物検出手法の検討と新潟沖メタン湧出域水柱に生息するメタン酸化細菌 第 5 回メタンハイドレート総合シンポジウム 東京 2013 年 12 月
15. 逸見彰大、布施博之、吉田光毅、沖田紀子、帆秋利洋、今田千秋、寺原猛; 新潟沖メタン湧出域におけるメタン酸化細菌 第 29 回日本微生物生態学会 鹿児島 2013 年 11 月.
16. 飯島智祐、鈴木敏弘、丸山明彦、布施博之; 海洋性短鎖炭化水素資化菌の諸性質とその初発酸化酵素遺伝子 第 29 回日本微生物生態学会 鹿児島 2013 年 11 月.
17. 千葉翔子、木村勇太、橋爪大輔、山岡正英、若泉博大、岩田健一; 石油中に含まれる芳香族化合物資化性海洋性細菌の探索と解析 日本農芸化学会 仙台 2013 年 3 月
- * 18. Suzuki T., Kato A., and Fuse H. Isolation of two novel marine ethylene-assimilating bacteria, *Haliea* species ETY-M and ETY-NAG, containing particulate methane monooxygenase-like genes. Molecular Basis of Microbial One-Carbon Metabolism (Gordon Research Conferences), Lewiston ME United States, 5-10 August 2012.
19. Kato A., Suzuki T., Morishita N., and Fuse H. Genetic analysis of putative ethylene monooxygenase gene clusters in the marine ethylene-assimilating bacteria *Haliea* sp. ETY-M and ETY-NAG. 9th APMBC, Kochi Japan, 13-16 July 2012.
20. Suzuki T., Furumatsu S., and Fuse H. Biological and genetic characteristics of a novel marine propylene-assimilating bacterium, *Alteromonadaceae* strain PE-TB08W. 9th APMBC, Kochi Japan, 13-16 July 2012.
21. 吉田光毅、沖田紀子、帆秋利洋、逸見彰大、布施博之、鋤崎俊二、平田敦洋、荒田直 第二渥美海丘海洋産出試験地の海底泥における好気性メタン酸化細菌を含む底泥微生物の分布特性について 第 4 回メタンハイドレート総合シンポジウム 東京 2012 年 12 月
22. 鈴木敏弘、古松星来、森下直紀、布施博之; 海洋性プロピレン資化性細菌の単離・特徴およびアルケン酸化関連遺伝子の比較 日本農芸化学会 京都 2012 年 3 月
23. 大場進太郎、前田臨太郎、鈴木敏弘、岩田健一、大森俊雄; 海洋由来のグラム陽性 *Terrabacter* sp. OC11 株が有するカルバゾール分解遺伝子の解析 日本農芸化学会 京都 2012 年 3 月

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

24. 千葉翔子、前田臨太郎、鈴木敏弘、岩田健一、大森俊雄；陸生・海洋性細菌のカルバゾール分解系遺伝子構造の解析と比較 日本農芸化学会 京都 2012 年 3 月
25. 石部貴映、鈴木敏弘、岩田健一、大森俊雄；メタ開裂酵素の多様性と新たな class の提唱 日本農芸化学会 京都 2012 年 3 月
26. 小和田真純、茂野俊也、岩田健一、大森俊雄；カルバゾールを分解する新規海洋性細菌の分布に関する研究 日本農芸化学会 京都 2012 年 3 月
27. **Maeda R., Suzuki T., Oba S., Iwata K., and Omori T.** Isolation and analysis of genes involved in carbazole degradation in the Gram-positive marine isolate *Terrabacter* sp. strain OC11. 6th SEATUC Symposium, Kumtt Thailand, 6-7 March 2012
28. **Suzuki T. and Fuse H.** *Haliea* sp. ETY-M and ETY-NAG monooxygenase genes and gaseous hydrocarbon degradation. 6th SEATUC Symposium, Kumtt Thailand, 6-7 March 2012
29. **Fuse H., Suzuki T., Nakamura T., Okita N., Yoshida K., and Hoaki T.** Short chain hydrocarbon degradation by marine microorganisms, Japan-China International Forum of Advanced Research on Biotechnology 2011, Tokyo. 11 November 2011
30. **Iwata K., Azlan A. and Omori T.** Characterization and structure of the extradiol dioxygenase involved in carbazole degradation by *Novosphaerobium* sp. KA1. 5th SEATUC Symposium, Hanoi University of Science & Technology. 24-25 February 2011
- * 31. **Ito Y, Maeda R., Zulkharnain A., Iwata K. and Omori T.** Analysis of carbazole-degrading marine bacterium and genes involved in carbazole degradation. 5th SEATUC Symposium, Hanoi University of Science & Technology. 24-25 February 2011
32. 布施博之、鈴木敏弘、中村孝道、吉田光毅、沖田紀子、福場辰洋、藤井輝夫、鋤崎俊二、平田敦洋、荒田直；メタン検出に関わる膜結合型メタンモノオキシゲナーゼ関連遺伝子とその保持微生物について 第 3 回メタンハイドレート総合シンポジウム (CSMH-3) 東京 2011 年 12 月
33. 吉田光毅、沖田紀子、布施博之、福場辰洋、藤井輝夫、鋤崎俊二、平田敦洋、荒田直；東部南海トラフ海域における硫黄ならびにメタン循環に係る微生物の分布 第 3 回メタンハイドレート総合シンポジウム (CSMH-3) 東京 2011 年 12 月
34. 鈴木敏弘、中村孝道、布施博之；海洋性エチレン資化性細菌におけるガス炭化水素の分解特性と初発酸化酵素遺伝子の解析 第 27 回日本微生物生態学会 京都 2011 年 11 月
35. 伊藤慶彦、前田臨太郎、岩田健一、大森俊雄；カルバゾール分解に関与するメタ開裂酵素 CarBaBb の改変酵素 CarBab の解析 日本農芸化学会 京都 2011 年 3 月
36. 伊藤慶彦、Azham Zulkharnain、前田臨太郎、岩田健一、大森俊雄；海洋性カルバゾール分解細菌 OC9 株が有するカルバゾール分解系遺伝子の解析 日本農芸化学会 京都 2011 年 3 月
37. 丸山明彦、北村恵子、秋庭綾、布施博之、Elsaied E. H.；日本沿岸の石油汚染浄化に寄与する微生物群集の特徴と浄化手法開発に有効な模擬石油汚染実験・評価系 2011 年度日本海洋学会春季大会 千葉 2011 年 03 月
38. **Iwata K., Azlan A., Yu S-S. and Omori T.** Ammonia Production by Novel Wild-Type Nitrogen-Fixing Bacteria in Culture Broth. *BIT's 3rd Annual World Congress of Industrial Biotechnology*, Dalian China, 25-27 July 2010
39. **Ito Y, Iwata K., Maeda R. and Omori T.** Analysis of xenobiotic degrading genes from new marine carbazole degraders. *BIT's 3rd Annual World Congress of Industrial Biotechnology*, Dalian China, 25-27 July 2010
40. **Kitamura K., Elsaied H. E., Fuse H. and Maruyama A.** Evaluation of marine microbial diversity and bioremediation techniques concerning oil spill around Japan. The 13th International Symposium on Microbial Ecology, Seattle US, 26 August (2010)
41. 吉田光毅、沖田紀子、布施博之、福場辰洋、藤井輝夫、鋤崎俊二、平田敦洋、荒田直；

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

東部南海トラフ海域におけるメタン酸化細菌の分布、2010 年度日本海洋学会秋季大会、網走市、2010年9月

<研究成果の公開状況>(上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

※ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

<既に実施しているもの>

IBC 国際シンポジウム (2010 年 11 月 27 日開催)

International symposium of environmental technology in Vietnam National University Hanoi (2011)

International symposium of biological genetic studies in Mandalay Technological University (2011)

2011 年度 芝浦工業大学 SIT 総合研究所シンポジウム (2011 年 12 月 3 日)

大学院重点共同研究セミナー (2012 年 10 月 12 日)

SIT 総研としての HP

http://www.shibaura-it.ac.jp/research/sit_research_laboratories/summary/index.html

<これから実施する予定のもの>

14 その他の研究成果等

「13 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果、企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには下線及び＊を付してください。

※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

法人番号	131024
プロジェクト番号	S01001009

15 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項とそれへの対応

＜「選定時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

該当なし

＜「選定時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

＜「中間評価時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

該当なし

＜「中間評価時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

平成 22 年度～平成 26 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」 研究成果報告書概要

1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学

3 研究組織名 芝浦工業大学 SIT 総合研究所

4 プロジェクト所在地 東京都江東区豊洲 3-7-5 / 埼玉県さいたま市見沼区深作 307

5 研究プロジェクト名 ポータブル強磁場マグネットシステムの開発と応用

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
村上 雅人	工学部 材料工学科	教授

8 プロジェクト参加研究者数 15 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
村上 雅人	工学部・教授 SIT総合研究所	マグネットシステム開発・ バルク超伝導体の高性能化	プロジェクトのとりまとめ
井上 和朗	工学部・特任 教授 SIT 総 合研究所	超伝導体の高性能化・ 高温超伝導体の応用開発	強磁場マグネット用超伝導材 料の評価・高性能マグネット システム応用
高崎 明人	工学部・教授 SIT総合研究 所	超伝導体の高性能化	超伝導体の機械特性の向上
中山 千秋	SIT総合研 究所・教授	強磁場マグネット応用開発・バ ルク超伝導体のプロセス	強磁場マグネット応用のとり まとめ・高性能マグネット材 料の提供
塩 寄 忠	SIT総合研 究所・教授	超伝導体の高性能化	組織制御による超伝導材料 高度化
工藤 一彦	SIT総合研 究所・教授	マグネットシステム開発	マグネット冷却システムの設 計
吉久保 誠一	SIT総合研 究所・教授	強磁場マグネット応用開発	本システム応用分野の開拓
(共同研究機関等) 和泉 充	東京海洋大 学・教授	強磁場マグネット応用開発・バルク 超伝導体マグネットシステム	システム全体の構築・ 海洋分野への強磁場マグネ ット応用検討
長嶋 賢	鉄道総研	強磁場マグネット応用開発・バ ルク超伝導体の浮上応用	本システムの応用検討・ 鉄道分野への強磁場マグネ ット応用検討

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

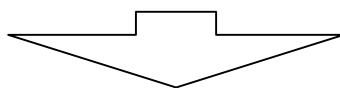
越智 光夫	広島大学・教授	強磁場マグネット応用開発	再生医療への強磁場マグネット応用検討
佐保 典英	(株)フジヒラ・研究員	マグネットシステム開発	強磁場マグネットシステムの設計と応用検討
丸山 忠克	淡路マテリア(株)・研究部長	超伝導体の高性能化	超伝導材料プロセスおよびその強化方法の検討
平櫛 真男	セイコー化工機(株)・技術開発係長	強磁場マグネット応用開発	ケミカルポンプへの応用検討
秋山 慎一	(有)マグネオ技研・社長	強磁場マグネット応用開発	マグネットの回転機器への応用
関 宏範	淡路マテリア(株)・研究員	強磁場マグネット応用開発	超伝導材料プロセス開発

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
超伝導体の高性能化	工学部・教授	大田 正人	高性能マグネットプロセスの検討

(変更の時期:平成23年 3月 31日 理由:退職による)



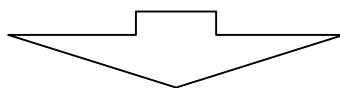
新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
強磁場マグネット応用開発	大学院理工学研究科・博士研究員	関 宏範	超伝導材料プロセス開発

(変更の時期:平成23年 4月 1日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
大学院理工学研究科・博士研究員	淡路マテリア(株)・研究員	関 宏範	超伝導材料プロセス開発

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

11 研究の概要(※ 項目全体を10枚以内で作成)

(1)研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

手のひらの上に載るポータブル強磁場マグネットシステムを開発することで、専門家でなくとも超伝導の強磁場を自由に利用できる社会を実現する。強磁場は、医療現場や、薬品製造、各種製造現場、宇宙、化学分析などに広く利用されるうえ、研究者が自由に強磁場を利用できるようになれば、新しい物理現象の発見にもつながる。

平成 22 年度は、強磁場発生のための RE-Ba-Cu-O 系バルク超伝導体の高性能化を材料組成およびプロセスの最適化を通して行った。平成 23 年度は鉄系形状記憶合金リングで補強したバルク超伝導体を用いて、その冷却システムおよび励磁システムを開発し、ポータブル強磁場マグネットシステムの設計と、その応用機器への実装化についても検討を行った。

平成 24 年度は、強磁場システム用超伝導材料のシステムへの実装を行うとともに、超伝導ポンプや超伝導ミキサなどの同システムを利用した機器の基本動作の確認を行った。平成 25 年度は、強磁場マグネットシステムの磁場発生特性の評価と、超伝導ポンプ、ミキサなどのプロトタイプ機の作製を行い、試験運転を行った。平成 26 年度は、システムの実機運用も含めて、各種応用分野における強磁場応用について検討する。

(2)研究組織

強磁場を発生するための RE-Ba-Cu-O 系バルク超伝導体の高臨界電流密度化などの高性能化を図るチームと、当該バルク超伝導体を励磁方法なども含めてポータブル強磁場マグネットシステムを構築するチーム、さらに、同システムによってえられる高磁場環境を応用するチームからなる。応用チームは用途開発とともに、現在、利用が検討される再生医療への応用、磁気分離装置への応用、回転機器への応用チームなどから編成される。

研究代表者 村上教授がプロジェクト全体を取りまとめ、上記の各チーム研究者を連携統括し研究を推進している。

(3)研究施設・設備等

研究施設

SIT 総合研究所 所在地 東京都江東区豊洲 3-7-5 使用総面積 150 m²

先端工学研究機構 所在地 埼玉県さいたま市見沼区深作 307 使用総面積 200 m²

研究設備 試料振動型磁力計 主な使用目的 超伝導材料の評価 事業計画額 51,795 千円

稼働時間 週 20 時間

(4)研究成果の概要 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

研究プロジェクトの計画や目的・意義と関連づけて、当初の目標をどれだけ達成したか記述するとともに、新たに得られた知見などについても具体的に記述してください。

現在、RE-Ba-Cu-O 系バルク超伝導体を製造するための装置および評価装置の整備を行い、合成したバルク超伝導体の評価を行っている。

また、バルク超伝導体高性能化のため、化学組成が超伝導体の特性に及ぼす影響の評価、バルク超伝導磁石の再生医療への応用可能性の検討、バルク超伝導体の浮上回転機器への応用検討、バルク超伝導体励磁のための高温超伝導線材製法に関する研究などを開始している。

<優れた成果があがった点>

バルク超伝導体製造においては、その機械強度を向上させるための、バインダー添加の影響、鉄系形状記憶合金による強化、さらに、人工孔設置による効果などの検証を行っており(*1)、バインダー添加により前駆体の機械特性が向上し、その結果、最終製品の機械特性が向上することを明らかにした(*2)。また、鉄系形状記憶合金の締結により、バルク超伝導体の機械特性が向上するだけでなく、捕捉磁場特性が向上することを確認した(*3)。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

また、バルク超伝導体の回転機器への応用については、超伝導ポンプの実用化に必要とされる 3500rpm を達成した(*4)。また、超伝導ミキサのプロタイプを製作し、実用化に必要とされる回転トルク 30Ncm を達成した(*5)。

さらに、バルク超伝導磁石を利用した応用機器として、ひざ軟骨の再生治療用の幹細胞を軟骨欠損部に集中させる技術として、バルク超伝導磁石を応用する際の磁場制御技術についてシミュレーション等を行うとともに、広島大学と共同で、特許を出願した(*6)。

<問題点>

手のひらに載る超伝導マグネットの実現には、超伝導材料そのものの特性向上(小型化と大電流密度化およびポータブル性を考慮した励磁、冷却システムの開発が必要となる。特性向上に関しては、現在 RE-Ba-Cu-O の RE サイトを複数の希土類元素で置換することによる高性能化が期待されており、その検討を行っている(*7)。また、ポータブル性については、励磁源として冷却の簡便な高温超伝導線材によるコイル励磁を考えており、そのための線材開発として、AD 法の適用を試み、良好な結果が得られている(*8)。

<評価体制>

(研究プロジェクトの目標等に照らした自己評価の実施や、その結果を研究費等の資源の配分へ反映させるためのルール of 適切な設定、また、本プロジェクトに係る費用対効果(かけた費用に見合う効果が見られるか)について、どのように分析しているか。また、それらについて、外部(第三者)による評価を受ける体制ができているか等について記述してください。)

大学の研究戦略の総合的な企画立案をする SIT 総合研究所が研究代表者とヒアリングを実施し、研究成果の評価、今後の展開の確認を行っている。その結果を受け、研究戦略会議において、各事業の次年度の予算配分を決定する仕組みとしている。また、客観評価については、SIT 総合研究所として、年に1回、外部の有識者4名(大学、企業等)からなる評価委員会を実施し、多角的な視点から忌憚りの無い評価・アドバイス等を受けている。

<研究期間終了後の展望>

(本プロジェクト終了後における研究の継続の有無、有の場合は今後の研究方針、無の場合は当該研究施設・装置・設備の活用方針を記述してください。)

強磁場システムの基本となるポータブル強磁場マグネット用高性能超伝導材料の開発とともに、マグネットとして使用するための励磁システムおよび冷却システムの開発を進める。一方で、企業や他機関と共同研究を進めながら、回転機器や、再生医療などへ応用するための技術課題の抽出と、応用開発も進めていく予定である。

<研究成果の副次的効果>

(研究成果の活用状況又は今後の活用計画(実用化・企業化の見通しや、特許の申請があればその申請状況・取得状況等)について、記述してください。)

高温超伝導磁石システムは、小空間に強磁場と大きな磁気勾配が与えられるため、再生治療などにおいて、幹細胞を患部に集中させることが可能であり、特許申請を行った。(発明の名称「磁気誘導装置、磁気誘導システム」2010年10月25日、なお本特許はJSTの重要特許として採択され外国出願も行っている。PCT/JP2010/068863)

今後は、その実用化に向けた検討を行う予定である。その他の申請特許を以下に示す

1. 脇耕一郎、村上雅人他:特許公開 2010-216502 磁気カップリングクラッチ装置
2. 脇耕一郎、村上雅人他:特許公開 2010-216503 脱着防止機能を備えた磁気カップリング

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

	クラッチ装置
3. 関宏範、村上雅人他:特許公開 2011-138823	バルク超電導体
4. 脇耕一郎、村上雅人他:特許公開 2011-226735	磁気冷凍装置
5. 関宏範、村上雅人他:特許公開 2012-214329	超電導バルク体と製造方法および超電導バルク磁石
6. 関宏範、村上雅人他:特許公開 2013-203612	超電導バルク体の被膜形成剤、超電導バルク体用被膜、並びに被膜を有する超電導バルク体および超電導バルク磁石
7. 関宏範、村上雅人他:特許公開 2013-211495	超電導バルク体および超電導バルク磁石
8. 平櫛真男、村上雅人他:特許公開 2014-098424	超伝導軸受装置および超伝導回転装置
9. 関宏範、村上雅人他:特許公開 2014-138039	超電導バルク体および超電導バルク磁石

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

(1) バルク超伝導体 (2) 超伝導磁石 (3) 磁気浮上
 (4) 非接触回転装置 (5) 冷却システム (6) 励磁システム
 (7) 材料開発 (8) 形状記憶効果

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

各成果の末尾の*と番号は11(4)の記述と対応している。

1. K. Nakazato, M. Muralidhar, K. Inoue, M. R. Koblishka, M. Murakami, "High critical currents in single grain YBa₂Cu₃O_y bulk superconductors produced by infiltration-growth", Advances in Science and Technology vol. 95, pp 181-185, (2014). (査読あり) (*7)

2. M. Muralidhar, K. Inoue, M.R. Koblishka, M.Tomita, M. Murakami, "Optimization of processing conditions towards high trapped fields in MgB₂ bulks", J. of Alloys and Compounds vol. 608, p. 102-109, (2014). (査読あり) (*7)

3. K. Nakazato, M. Muralidhar, M. R. Koblishka, M. Murakami, "Fabrication of bulk Y-Ba-Cu-O superconductors with high critical current densities through the infiltration-growth process", Cryogenics vol. 63, pp 129-132, (2014). (査読あり) (*7)

4. M. R. Koblishka, A. Wiederhold, M. Muralidhar, K. Inoue, T. Hauet, B. Douine, K. Berger, M. Murakami, U. Hartmann, "Development of MgB₂ bulk supermagnets" J. of IEEE Trans. Magn. vol. 50, p. 9000504, (2014). (査読あり) (*7)

5. K. Nakazato, M. Muralidhar, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami, "Effect of growth temperature o

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

- n superconducting properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ bulk superconductors grown by seeded infiltration”, Physica C vol. 504, p. 4-7, (2014). (査読あり) (*7)
6. Y. Hashimoto, M. Muralidhar, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami, “Improvement in superconducting properties of air processed $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ with Ag_2O addition”, Physics Procedia vol. 58, p.66-69, (2014). (査読あり) (*7)
7. J. Ishiwata, M. Muralidhar, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami, “Effect of sintering time on the optimal synthesis condition in MgB_2 ”, Physics Procedia vol. 58, pp. 102-105, (2014). (査読あり) (*7)
8. K. Suzuki, M. Muralidhar, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami “Development of melt-processed $(\text{Nd}, \text{Eu}, \text{Gd})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors in air” Physics Procedia vol. 58, pp. 70-73, (2014). (査読あり) (*7)
9. M. Kondo, K. Inoue, N. Koshizuka, H. Seki, M. Murakami, ”Effect of the magnet insertion on the performance of a superconducting pump”. Physics C vol. 504, p. 134-137, (2014). (査読あり) (*4)
10. T. Kinoshita, N. Koshizuka, K. Nagashima, M. Murakami, “A superconducting conveyer system using multiple bulk Y-Ba-Cu-O superconductors and permanent magnets”, Physics Procedia vol. 27, p. 192–195, (2012). (査読あり) (*5)
11. T. Tsuchiya, T. Kikuchi, S. Takano, N. Koshizuka, M. Murakami, “Effect of magnetic particle additions on flux pinning in bulk Y-Ba-Cu-O superconductors”, Physics Procedia vol. 27, p. 156–159, (2012). (査読あり) (*7)
12. M. Iwasaki, H. Seki, N. Koshizuka, M. Murakami, “Superconducting properties of Y-Ba-Cu-O bulk with BaSnO_3 addition”, Physics Procedia vol. 27, p. 152–155, (2012). (査読あり) (*7)
13. H. Seki, Y. Honma, M. Nomura, C. Nakayama, N. Koshizuka, T. Maruyama, M. Murakami, “Reinforcement of bulk Y-Ba-Cu-O superconductors by using Fe-Mn-Si-Ni shape memory alloy rings”, Physics Procedia vol. 27, p. 144–147, (2012). (査読あり) (*3)
14. Y. Ikeda, S. Umakoshi, T. Kikuchi, S. Takano, N. Koshizuka, H. Seki, T. Maruyama, M. Murakami, “Optimization of the binder addition methods for bulk Y-Ba-Cu-O superconductors”, Physics Procedia vol. 27, p. 140–143, (2012). (査読あり) (*2)
15. T. Kikuchi, A. Wongsatanawarid, Y. Homma, K. Suzuki, N. Koshizuka, M. Murakami, “Processing conditions for $(\text{Nd}, \text{Eu}, \text{Gd})\text{-Ba-Cu-O}$ ternary bulk superconductors”, Physics Procedia vol. 27, p. 132–135, (2012). (査読あり) (*7)
16. M. Kondo, K. Inoue, N. Koshizuka, H. Seki, M. Murakami, M. Hiragushi, S. Akiyama, “Non-contact superconducting pump”, SEATUC Intensive Workshop vol. 4, pp. 3-5, (2012). (査読あり) (*4)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

17. K. Suzuki, N. Koshizuka, M. Murakami, “(Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O superconducting bulk magnet for future MDDS applications”, SEATUC Intensive Workshop vol. 4, pp. 7-10, (2012). (査読あり) (***7**)
18. Y. Ikeda, S. Umakoshi, A. Wongsatanawarid, H. Seki, M. Murakami "Enhancement of mechanical strength in Y-Ba-Cu-O bulk superconductor through liquid binder addition", Physica C vol. 471 no. 21-22, p. 846-849, (2011). (査読あり) (***2**)
19. S. Umakoshi, Y. Ikeda, A. Wongsatanawarid, C.-J. Kim, M. Murakami, "Top-seeded infiltration growth of Y-Ba-Cu-O bulk superconductors", Physica C vol. 471 no. 21-22, p. 843-845, (2011). (査読あり) (***7**)
20. Y. F. Zhang, M. Izumi, Y. J. Li, M. Murakami, T. Gao, Y. S. Liu, P. L. Li, "Enhanced J_c in air-processed $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ superconductor bulk grown by the additions of nano-particles”, Physica C vol. 471 no. 21-22, p. 840-842, (2011). (査読あり) (***7**)
21. Alev Aydinler, Bakiye Cakir, Hironori Seki, Mehmet Basoglu, Atikorn Wongsatanawarid, M. Murakami, Ekrem Yanmaz, "The Effect of Y_2O_3 Buffer Layer on the Magnetic Properties of Melt-Processed YBCO Superconductor", J. Supercond. Nov. Mag. vol. 24 no. 5, p. 1397-1401, (2011). (査読あり) (***7**)
22. A. Wongsatanawarid, H. Seki, M. Murakami, "Multi-seeding melt growth process of bulk Y-Ba-Cu-O superconductors for engineering applications", J. Phys. Conf. Ser. vol. 234 no. 1, p. 12047, (2010). (査読あり) (***7**)
23. A. Wongsatanawarid, H. Seki, M. Murakami, "Growth of large bulk Y-Ba-Cu-O with multi-seeding", Supercond. Sci. Technol. vol. 23 no. 4, p. 45022, (2010). (査読あり) (***7**)
24. Y. F. Zhang, M. Izumi, M. Murakami, D. D. Wang, P. L. Li, "Enhanced J_c in air-processed $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ superconductor bulk grown by the additions of two Nd_2BaCuO_5 seeds”, Physica C vol. 470 no. 20, p. 1164-1166, (2010). (査読あり) (***7**)
25. A. Wongsatanawarid, H. Seki, S. Kobayashi, M. Murakami, "Crack reduction in a large bulk Y-Ba-Cu-O superconductor through liquid binder addition", Physica C vol. 470 no. 20, p. 1167-1169, (2010). (査読あり) (***2**)
26. Y. Shimpo, H. Seki, A. Wongsatanawarid, S. Taniguchi, T. Maruyama, T. Kurita, M. Murakami, “The improvement of the superconducting Y-Ba-Cu-O magnet characteristics through shape recovery strain of Fe-Mn-Si alloys”, Physica C, vol. 470 no. 20, pp.1170-1172, (2010). (査読あり) (***3**)
27. H. Seki, A. Wongsatanawarid, S. Kobayashi, Y. Ikeda, M. Murakami, "Effects of binder addition on the mechanical properties of bulk Y-Ba-Cu-O superconductors", Physica C vol. 470 no. 20, p. 1177-1180, (2010). (査読あり) (***2**)
28. M. Ikeda, K. Takeda, H. Hasegawa, H. Seino, K. Nagashima, M. Murakami, "Characterization of non-contact

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

torque transfer and switching system for superconducting flywheel", *Physica C* vol. 470 no. 20, p. 1224-1226, (2010). (査読あり) (*5)

29. H. Kurabayashi, S. Horikoshi, A. Suzuki, M. Ikeda, A. Wongsatanawarid, H. Seki, S. Akiyama, M. Hiragushi, M. Murakami, "Interaction between ring permanent magnets and bulk Dy-Ba-Cu-O superconductors", *Physica C* vol. 470 no. 20, p. 1853-1855, (2010). (査読あり) (*5)

30. H. Seki, Y. Shimpō, T. Katagiri, M. Murakami, "Fabrication of bulk Y-Ba-Cu-O superconductors with artificial holes through oxidation of carbon rods", *J. Phys.*, vol. 234 no. 1, p. 12037, (2010). (査読あり) (*1)

31. A. Wongsatanawarid, H. Seki, M. Murakami, "Multi-seeding melt growth process of bulk Y-Ba-Cu-O superconductors for engineering applications", *J. Phys.*, vol. 234 no. 1, p. 12047, (2010). (査読あり) (*7)

解説

1. 村上雅人:「バルク超電導体の開発と応用」、Ceramics Japan, Bulletin of the Ceramic Society of Japan, vol 45, No. 11 (2010) pp. 878-883.
2. 村上雅人:「超伝導発見 100 周年;超伝導研究 100 年の軌跡」、化学、vol. 66, No. 11 (2011), pp. 17-20.
3. 村上雅人:「超伝導の不思議」、アリーナ(中部大学編)、No. 11 (2011), pp. 95-124.
4. 村上雅人:「バルク超電導体のプロセスと応用」、低温工学、vol. 47, No. 12 (2012) pp. 660-666.

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

- 1 超伝導の謎をとく、村上雅人、C&R研究所、183 頁、2013 年
- 2 電磁気学、村上雅人、海鳴社、314 頁、2013 年

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

各成果の末尾の*と番号は11(4)の記述と対応している。

1. T. Hanai, M. Miryala, K. Kasuga, S. Kawata, H. Kobayashi, K. Inoue, M. Murakami: Processing and characterization of FeSeCa, November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan.
2. Y. Hashimoto, M. Miryala, K. Inoue, M. Murakami: Effect of growth temperature on superconducting properties of Sm-123 bulk superconductors grown in air, November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (*7)
3. K. Nakazato, M. Miryala, M.R. Kobliskha, K. Inoue, M. Murakami: Critical current densities in YBa₂Cu₃O_y bulk superconductors produced by infiltration-growth process, November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (*7)
4. K. Kasuga, M. Miryala, T. Hanai, S. Kawata, H. Kobayashi, K. Inoue, M. Murakami: Optimization of the critical current

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

density (J_c) for air-processed $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ by controlling the size of $\text{Sm}_2\text{BaCuO}_5$, November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

5. S. Kawata, M. Miryala, T. Hanai, H. Kobayashi, K. Kasuga, K. Inoue, M. Murakami: Preparation and characterization of $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thick films with Dy_2BaO_4 precursor, November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

6. J. Ishiwata, M. Miryala, H. Kobayashi, K. Nozaki, K. Inoue, M. Murakami: Effect of MgB_4 addition on the superconducting properties of polycrystalline MgB_2 , November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

7. M. Miryala, K. Nozaki, H. Kobayashi, J. Ishiwata, M. R. Koblishka, K. Inoue, M. Murakami: High critical current densities in bulk MgB_2 fabricated using amorphous boron, November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

8. H. Kobayashi, M. Miryala, J. Ishiwata, K. Nozaki, K. Kasuga, T. Hanai, S. Kawata, K. Inoue, M. Murakami: Improvement in the performance of bulk MgB_2 material through optimization of sintering process, November 27, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

9. M. Miryala, K. Inoue, M. R. Koblishka, M. Murakami: Critical current densities in Ag-added bulk MgB_2 , November 26, 2014, 27th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

10. K. Nakazato, M. Muralidhar, K. Inoue, Michael R Koblishka, M. Murakami: High critical currents in single grain $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ bulk superconductors produced by infiltration-growth, June 15-19, 2014, CIMTEC 2014 6th Forum on New Materials, Montecatini Terme, Italy. (***7**)

11. M. Kondo, K. Inoue, N. Koshizuka, H. Seki, M. Murakami, M. Hiragushi, S. Akiyama: Effect of the magnet insertion on the performance of a superconducting pump, November 19, 2013, 26th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***4**)

12. A. Yamashita, M. Kondo, K. Inoue, N. Koshizuka, S. Akiyama, M. Hiragushi, H. Seki, M. Murakami: Rotational characteristic of superconducting mixers with halbach array magnets, November 19, 2013, 26th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***5**)

13. J. Ishiwata, M. Miryala, K. Nakazato, Y. Hashimoto, K. Inoue, N. Koshizuka, M. Murakami: Effect of sintering time on the optimal synthesis condition in MgB_2 , November 20, 2013, 26th International Symposium on Superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

14. K. Nakazato, M. Miryala, Y. Hashimoto, J. Ishiwata, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami: Effect of growth temperature on superconducting properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ bulk superconductors grown by a seeded infiltration, November 20, 2013, 26th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

15. Y. Hashimoto, M. Miryala, K. Nakazato, J. Ishiwata, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami: Development of technology

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

for a reliable fabrication of Sm-123 materials in air, November 20, 2013, 26th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

16. K. Suzuki, M. Miryala, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami: Development of melt-processed (Nd,Eu,Gd)Ba₂Cu₃O_y superconductor in air, November 20, 2013, 26th International Symposium on superconductivity, Tokyo Japan. (***7**)

17. J. Ishiwata, M. Murakami, K. Inoue, M. Muralidhar, Y. Hashimoto, K. Nakazato: Superconducting and flux pinning properties of Mg rich MgB₂ bulk superconductors, October 24, 2013, 7th Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics, Cappadocia Turkey. (***7**)

18. K. Nakazato, M. Miryala, Y. Hashimoto, J. Ishiwata, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Murakami: Large single grain YBa₂Cu₃O_y bulk superconductors produced by infiltration-growth process, October 24, 2013, 7th Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics, Cappadocia Turkey. (***7**)

19. Y. Hashimoto, J. Ishiwata, K. Nakazato, N. Koshizuka, K. Inoue, M. Muralidhar, M. Murakami: Superconducting properties of BaO₂ added Sm-123 bulk superconductor fabricated in air, October 24, 2013, 7th Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics, Cappadocia Turkey. (***7**)

20. M. Kondo, K. Inoue, N. Koshizuka, H. Seki, M. Murakami, M. Hiragushi, S. Akiyama: Non-contact superconducting pump, March 6, 2013, The 7th South East Asian Technical University Consortium Symposium, Bandung, Indonesia. (***4**)

21. K. Suzuki, N. Koshizuka, M. Murakami: (Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O superconducting bulk magnet for future MDDS applications, March 6, 2013, The 7th South East Asian Technical University Consortium Symposium, Bandung, Indonesia. (***7**)

22. M. Kondo, K. Inoue, N. Koshizuka, H. Seki, M. Murakami, M. Hiragushi, S. Akiyama: Rotation characteristics of superconducting pumps, December 6, 2012, The 8th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials, Tainan, Taiwan. (***4**)

23. K. Otani, M. Murakami, H. Seki: Characterization of bulk superconductor reinforced by Fe-Mn-Si shape memory alloy ring, December 6, 2012, The 8th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials, Tainan, Taiwan. (***3**)

24. K. Suzuki, N. Koshizuka, M. Murakami: Fabrication of Nd-Eu-Gd bulk superconductors in the Ar-gas flowed furnace, December 6, 2012, The 8th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials, Tainan, Taiwan. (***7**)

25. M. Murakami, H. Seki, K. Inoue, C. Nakayama, N. Saho, N. Koshizuka, T. Maruyama: Bulk RE-Ba-Cu-O superconductor magnets for novel drug stay applications, October 24, 2011, 24th International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***6**)

26. M. Iwasaki, M. Murakami, N. Koshizuka, H. Seki: Superconducting properties of Y-Ba-Cu-O superconductors with BaSnO₃ addition, October 26, 2011, 24th International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

27. T. Tsuchiya, T. Kikuchi, S. Takano, N. Koshizuka, M. Murakami: Effects of magnetic particle additions on flux pinning in bulk Y-Ba-Cu-O superconductors, October 26, 2011, 24th International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
28. T. Kikuchi, Y. Homma, K. Suzuki, N. Koshizuka, M. Murakami: Processing of (Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O superconductors, October 26, 2011, 24th International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
29. S. Kawabe, Y. Homma, M. Iwasaki, T. Kinoshita, K. Kihara, T. Tsuchiya, N. Koshizuka, M. Murakami: Evaluation of the crystal growth along the c-axis direction in bulk Y-Ba-Cu-O superconductors, October 26, 2011, 24th International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
30. T. Kinoshita, M. Murakami, N. Koshizuka, K. Nagashima: A superconducting conveyer system using multiple bulk Y-Ba-Cu-O superconductors and permanent magnets, October 26, 2011, 24th International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***5**)
31. K. Kihara, S. Takano, T. Kikuchi, N. Koshizuka, M. Murakami: Effects of combined additions of C and TiH₂ on the superconducting properties of MgB₂ superconductors, October 26, 2011, 24th International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
32. C. J. Kim, A. Mahmood, B. H. Jun, S. D. Park, M. Murakami: Liquid infiltration growth processed Y123 superconductors using milled Y211 precursor powders, November 1, 2010, 23rd International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
33. Y. Zhang, S. L. Hu, M. Izumi, M. Murakami: Enhanced performance in superconductor bulks GdBa₂Cu₃O_{7-δ} with additions of nano-particles, November 3, 2010, 23rd International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
34. S. Umakoshi, T. Kikuchi, Y. Ikeda, A. Wongsatanawarid, C. J. Kim, M. Murakami: Effects of Y₂O₃ addition on liquid infiltration processed Y123 superconductors, November 3, 2010, 23rd International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
35. T. Kikuchi, A. Wongsatanawarid, S. Umakoshi, H. Seki, N. Koshizuka, M. Murakami: (Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O ternary bulk superconductors, November 3, 2010, 23rd International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***7**)
36. Y. Ikeda, S. Umakoshi, A. Wongsatanawarid, H. Seki, N. Koshizuka, M. Murakami: Enhancement of mechanical strength in Y-Ba-Cu-O superconductors through liquid binder enrichment, November 3, 2010, 23rd International Symposium on superconductivity, Tsukuba Japan (***2**)
37. 小林 紀之, Muralidhar Miryala, 井上 和朗, 村上 雅人: 樹脂含浸が Gd123 バルク超伝導体の特性に及ぼす影響、11 月 5 日、福島市、2014 年秋季低温工学・超電導学会
38. 関 宏範, 河崎 慎司, 丸山 忠克, 井上 和朗, 中山 千秋, 腰塚 直己, 村上 雅人: 鉄系形状記憶合金を用いた Y 系高温超電導バルク体の締付補強、5 月 26 日、東京都江戸川区船堀、2014 年春季低温工学・超電導学会 (***3**)
39. 中里 健太, MIRYALA Muralidhar, 石渡 文, 橋本 悠大, 井上 和朗, 腰塚 直己, 村上 雅人: Infiltration-Growth 法を用いた Y-Ba-Cu-O バルク超伝導体の作製条件の最適化、12 月 5 日、名古屋市、2013 年秋季低温工学・超電導学会 (***7**)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

40. 谷雅史、土屋拓己、木原健翔、大谷一也、川人雅、近藤勝嵩、鈴木啓太、腰塚直己、村上雅人: 樹脂含浸がバルク超伝導体の諸特性に及ぼす影響、11月8日、盛岡市、2012年秋季低温工学・超電導学会
41. 大谷一也、川人雅、近藤勝嵩、鈴木啓太、谷雅史、本間優作、村上雅人、腰塚直己、関宏範: 形状記憶合金リングにより補強したバルク超伝導体の特性に及ぼす影響、11月8日、盛岡市、2012年秋季低温工学・超電導学会 (*3)
42. 川人雅、岩崎弥友、大谷一也、近藤勝嵩、谷雅史、鈴木啓太、土屋拓己、村上雅人: BaSnO₃添加がY系バルク超伝導体の特性に及ぼす影響、11月8日、盛岡市、2012年秋季低温工学・超電導学会 (*7)
43. 鈴木啓太、村上雅人、腰塚直己、関宏範、井上和朗、大谷一也、川人雅、近藤勝嵩、谷雅史: 簡易 OCMG 法により製造した Nd-Eu-Gd バルク超伝導体の特性評価、11月8日、盛岡市、2012年秋季低温工学・超電導学会 (*7)
44. 近藤勝嵩、井上和朗、腰塚直己、関宏範、村上雅人、平櫛真男、秋山慎一: 超伝導回転機の特性評価、11月7日、盛岡市、2012年秋季低温工学・超電導学会 (*4)
45. 岩崎弥友、本間優作、菊池暢、馬越純人、池田洋二、腰塚直己、村上雅人、関宏範: Y-Ba-Cu-O バルク超伝導体における BaSnO₃ 添加による Y₂BaCuO₅ 相の微細化、11月10日、金沢市、2011年秋季低温工学・超電導学会 (*7)
46. 土屋拓己、池田洋二、馬越純人、本間優作、腰塚直己、村上雅人: Y 系バルク超伝導体に磁性粒子を添加した際の影響、11月10日、金沢市、2011年秋季低温工学・超電導学会 (*7)
47. 池田洋二、馬越純人、菊池暢、本間優作、腰塚直己、村上雅人、関宏範、丸山忠克: Y-Ba-Cu-O バルク超伝導体のためのバインダー添加方法の最適化、11月10日、金沢市、2011年秋季低温工学・超電導学会 (*2)
48. 馬越純人、池田洋二、菊池暢、腰塚直己、村上雅人: インフィルとレーション法を用いて合成したバインダー添加 Y123 超伝導バルク体の超伝導特性、11月10日、金沢市、2011年秋季低温工学・超電導学会 (*7)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

＜研究成果の公開状況＞（上記以外）

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

※ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

＜既に実施しているもの＞

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

※ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

＜既に実施しているもの＞

①2010 年 12 月 2 日（木） 芝浦ハッケン展 SIT 総研・研究報告
発表テーマ「超伝導イノベーション-医療とエネルギー」村上雅人

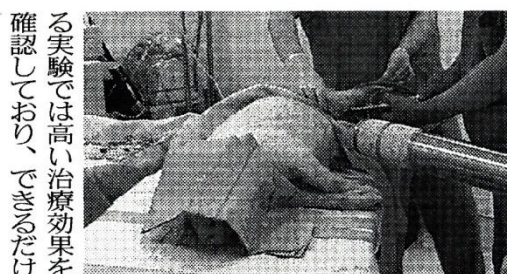
②2011 年 11 月 7 日（月） 芝浦ハッケン展 S I T セミナー
発表テーマ「芝浦工業大学の研究戦略と産学連携」村上雅人

③2012 年 12 月 3 日（土） SIT 総合研究所シンポジウム
発表テーマ「ポータブル強磁場マグネットの高性能化と応用開発」村上雅人

④ 日経産業新聞 2011 年 1 月 4 日「高温超伝導応用広がる」軟骨治療向け磁石開発へ、広島大、芝浦工大（*6）

発見から100年
花開く超伝導
▼ 4
広島大学の越智光夫教授と芝浦工業大学の村上雅人教授らは、高温超伝導材料を使い、損傷した関節の軟骨や筋、骨折部分などを再生する研究に取り組んでいる。送電線や電磁石と違い、電気を流さない強力な永久磁石に加工する。ブタによ

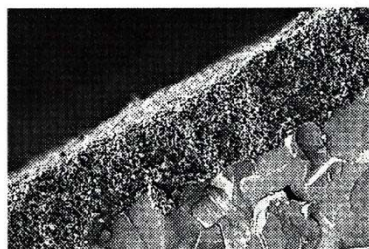
**永久磁石で軟骨再生
診断から治療機器へ**



る実験では高い治療効果を
確認しており、できるだけ

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

⑤ 日経産業新聞 2010 年 11 月 10 日、「超電導薄膜、作製速度、最大 100 倍」(*8)



成膜した薄膜の電子顕微鏡
写真 (上側が超電導薄膜)

芝浦工業大学の村上雅人教授と中山千秋教授らは9日、産業技術総合研究所と共同で電気抵抗がゼロになる超電導薄膜を従来の最大100倍の速さで作れる技術を開発したと発表した。超電導材料の微粒子をガスに分散させたエロゾル(浮遊粉じん)を室温で基板に吹き付ける。送電ケーブルの微粒子

超電導薄膜

作製速度、最大100倍

芝浦工大など 真空装置不要に

は9日、産業技術総合研究所と共同で電気抵抗がゼロになる超電導薄膜を従来の最大100倍の速さで作れる技術を開発したと発表した。超電導材料の微粒子をガスに分散させたエロゾル(浮遊粉じん)を室温で基板に吹き付ける。送電ケーブルの微粒子

を分散したエロゾルをアルミナ基板に吹き付けたところ、30分以内に5℃以下に厚さ約2ミクロンの薄膜ができた。薄膜は加熱などの後処理をしなくても、原料の微粒子と同じ性質だった。現在、超電導薄膜は主に用いるイットリウム系酸化物超電導線材の膜作りにも使えるとみている。同線材はスマートグリッド(次世代送電網)での利用が見込まれるが、現在は製造コストが高いことが課題になっている。新製法は、液体窒素(同マイナス196度)を利用するイットリウム系酸化物超電導線材の膜作りにも使えるとみている。同線材はスマートグリッド(次世代送電網)での利用が見込まれるが、現在は製造コストが高いことが課題になっている。新製法を使えば実用化が早まると期待している。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

＜これから実施する予定のもの＞

14 その他の研究成果等

「13 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果、企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには下線及び＊を付してください。
※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

現在、本プロジェクトは、淡路マテリア(株)の平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業である「ユビキタス超電導磁石の開発に資する鉄系形状記憶合金の締付技術の高度化」とも協力しながら進めている事業である。ポータブル強磁場マグネットシステムに不可欠なバルク超伝導体は、国内外の企業において、販売されているが、非常に高価であり、ポータブル強磁場マグネットシステムの実用化を阻む要因の一つになっていた。この事業において、バルク超伝導体の低価格化と量産化を可能にすることで、同企業の事業の柱として育成させることに成功した。この成果は、本プロジェクトの目的にも適ったものである。(*2), (*3), (*7)

さらに平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業である「超伝導ピン止め効果を応用した低発塵回転体の位置決め技術の開発」に採択され、ポータブル強磁場マグネットシステムとして有望なバルク超伝導体を利用したケミカルポンプや攪拌機について、事業化を目指した研究開発を行った。同事業終了後も、本プロジェクトの主要テーマとして継続しており、実用化まであと少しのレベルにまで達している。(*4), (*5)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

日経産業新聞 2013 年 7 月 25 日、「超電導バルク、安価材料で」(*2), (*3), (*7)

25. 7. 25 (木)

日 経 産 業 新 聞 20

淡路マテリア



淡路マテリアが開発した、価格を半分に抑えた超電導バルク

超電導バルク、安価材料で

溶接縫き手の淡路マテリア（兵庫県洲本市、三尾隆彦社長）は超電導モーターなどに組み込む磁石として使われる「超電導バルク」で価格を従来の半分に抑えた製品を開発した。製造時の温度や酸素濃度を工夫することで安価な材料でも強力な磁力を安定して出せるようにした。すでにサンプル出荷を始めており、研究機関などからの需要を見込んでいる。

開発した超電導バルクは材料として比較的安価なレアアース（希土類）「イットリウム」などを使った大型の単結晶材料。直径4センチの円柱形で、セ氏約マイナス230度で冷やすと5倍（地球の磁力の10万倍）の磁力が出せるという。

イットリウムは通常、原子の方向がそろった単結晶を作るのが難しく、安定して強い磁場を出せないという課題があった。このため、従来は素材として高価なプラチナや銀が使われていたが、バルクを作る際の温度や酸素濃度などを調整することでこうした問題を克服、歩留まりも95%まで高めた。

磁力で膨張してバルクが壊れるのを防ぐ金属材料も独自に開発した。従来はステンレス系合金を使っていたものが主流だったが、新たに強度が高い鉄系化合物の形状記憶合金を採用した。

ステンレス系合金は直径比で1%しか拡張できなかつたが、新たに開発したものは直径比で3・5%まで引き延ばせるのが特徴。

▼超電導バルク 特殊な金属やレアアース（希土類）を使って成形した固まり。最初は磁石の性質を持たないが、冷却しながら磁力にさらすことで極めて強い磁石になる。

磁石用 温度・酸素濃度を工夫

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

15 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項とそれへの対応

＜「選定時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

外部評価を求められている。

＜「選定時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

外部評価は、SIT 総合研究所に所属する全センターを対象とし、大学全体で取り組んでおり、年に1回、外部の有識者4名(大学、企業等)からなる外部評価委員による評価を実施している。

【2013 年度 SIT 総合研究所 点検・評価結果】

日時:2014 年 3 月 18 日(火)13:30～16:00

場所:豊洲キャンパス 研究棟 5 階 大会議室

点検評価委員(4 名)

・慶応義塾大学大学院

システムデザイン・マネジメント研究科顧問・上席研究員 狼 嘉彰 氏

・東京大学大学院情報学環 教授

大島 まり 氏

・(株)IHI 執行役員 技術開発本部長

館野 昭 氏

・(独)東京都立産業技術研究センター 理事長

片岡 正俊 氏

評価結果

評価者 1

バルク超伝導体を実用化させた点で価値が高い。企業との共同研究による製品化の促進を期待する。

なお、応用範囲の広い技術であり、産業界への積極的なPRもお願いしたい。

評価者 2

強磁場マグネットをポータブル化するために、基礎的な組織制御技術の開発を継続するとともに、冷却機構のコンパクト化をはじめとする実用化に向けた技術開発を並行して進められており、研究の意義は非常に高い。欧文誌への掲載件数、発表件数も多く、世界的にアピール度の高い研究と評価する。

これまでに、超電導ミキサへの適用や再生治療への適用において成果が得られているが、実用化への期待が大きいゆえに基礎研究の拡充のみならず実用化へ向けた取り組みを一層推進願いたい。

産業応用については、コストが重要なファクターとなる。価値に見合う適切な目標コストを検討して進めて欲しい。

評価者 3

本テーマに関しては、装置の小型化・強力な磁場(17.テスラ)の生成など、既に具体的な成果を挙げており、さらに、冷凍に必要な液体窒素に替わる冷凍機の導入によるシステムの小型化と利便性の向上を目指している点に将来性が期待される。超小型化を目指すのみならず他の応用分野にも目を向けてポテンシャル・ユーザーを開拓して欲しい。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1001008

評価者 4

ポータブル強磁場マグネットシステムの開発研究。企業との共同研究も進んでおり、また医療系への応用など実用化に関する研究として順調に進んでいるとの印象を受けた。今後の展開に期待している。

＜「中間評価時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

研究に進展が見られる。ただし、学術的成果が研究代表者に集中しており、他の参加研究者の成果が見えない。他研究者が応用的な成果を挙げているならば、それを表す報告となるように留意する必要がある。

＜「中間評価時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

中間評価時では、すべての業績を網羅せず、センター長の業績を中心に抜粋して載せたが、本報告では、共同研究者の特許や業績をも記している。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

平成 23 年度～平成 26 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」 研究成果報告書概要

1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学

3 研究組織名 芝浦工業大学 SIT 総合研究所フレキシブル実装工学研究センター

4 プロジェクト所在地 先端工学研究機構棟 埼玉県さいたま市見沼区深作307

5 研究プロジェクト名 集束陽子線描画による三次元柔構造デバイスの創出、統合および
超実装工学の推進

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
西川宏之	工学部電気工学科	教授

8 プロジェクト参加研究者数 16 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
西川 宏之	電気工学科・教授	PBW 専用装置開発、超実装工学支援プロセスの開発	プロジェクトの総括、テーマ1 (PBW によるものづくり基盤技術の開発)、2 (超実装工学の先導的研究) 担当
長谷川 忠大	電気工学科・教授	PBW 専用装置開発、ヘルスケアデバイス応用	テーマ1 (PBW によるものづくり基盤技術の開発)、テーマ2 (三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作) 担当
小池 義和	電子工学科・教授	生体適合型圧電体材料と応用	テーマ2 (機能発現する PBW 用材料探索) 担当
松村 一成	材料工学科・教授	バイオセンサー応用	テーマ2 (機能発現する PBW 用材料探索) 担当
大石 知司	応用化学科・教授	デバイス用新規材料探索	テーマ2 (機能発現する PBW 用材料探索) 担当
吉見 靖男	応用化学科・教授	三次元神経細胞培養への応用	テーマ2 (機能発現する PBW 用材料探索) 担当
山口 正樹	電子工学科・准教授	強誘電体 MEMS デバイス応用	テーマ2 (三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作) 担当
堀口 常雄	通信工学科・教授	光ファイバ・デバイス応用	テーマ2 (超実装工学の先導的研究) 担当
(共同研究機関等) 神谷 富裕	原子力機構・研究主幹	イオンビーム技術開発	テーマ1 (PBW によるものづくり基盤技術の開発) 担当

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

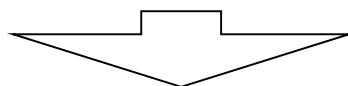
石井 保行	原子力機構・研究副主幹	イオンビーム技術開発	テーマ1(PBW によるものづくり基盤技術の開発)担当
前川 康成	原子力機構・研究主幹	放射線化学によるナノ空間反応	テーマ1(陽子線によるナノ空間反応性の研究)担当
成沢 忠	高知工科大学・教授	キャピラリー集束による大気中照射技術	テーマ1(PBW によるものづくり基盤技術の開発)担当
大木 義路	早大理工学術院・教授	ポリマー光デバイス開発	テーマ2(三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作)担当
内田 諭	首都大学東京・准教授	誘電泳動デバイス開発	テーマ2(三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作)担当
渡辺 徹	ナノプレATING 研究会・代表	電铸による三次元金属構造形成	テーマ2(テーマ2(三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作)担当
林 秀臣	エコデザイン推進機構・理事	超実装コンセプトモデルの構築	テーマ2(超実装工学の先導的研究)担当

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

(変更の時期:平成 年 月 日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

11 研究の概要(※ 項目全体を10枚以内で作成)

(1)研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

本研究の目的は、**集束陽子線描画(Proton Beam Writing、PBW)技術**を開発・駆使し、多様なフレキシブル材料の高精度な作製プロセスにより**三次元柔構造**を実現することである。本学のものづくりの伝統に則り、**高エネルギー陽子線**という先端的な**量子ビーム技術**をものづくりイノベーションに結びつけるための研究基盤形成に取り組んでいる。従来の工学の枠組みにとらわれず、バイオ・ナノテク・材料といった境界領域に微細なものづくりでアプローチすることで、新たな価値創造に取り組む。

具体的には、光・電子・化学情報処理機能を有する**三次元柔構造デバイス**を創出し、統合する取り組みを行うとともに、既存の実装を超えた枠組みの提案として、新たな**超実装工学**の概念を提唱、推進する。ものづくりイノベーションを推進する。また、本学のものづくりの伝統に則り、社会経済的価値の新たな創造に取り組む人材を輩出するとともに、我が国の安全・安心やグローバル化する環境問題に貢献する。

本プロジェクトでは、以下の2テーマに取り組む。

(テーマ1)集束陽子線描画による誘起反応性制御と三次元柔構造の実現では、MeV 級の陽子線の高い直進性を活かした三次元、長深度加工技術を開発し、三次元柔構造を実現するPBW 基盤技術を開発する[(1)PBWによるものづくり基盤技術の開発]。1 μm 以下の陽子線

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

を安定に発生、制御し、三次元柔構造を高精度に再現性良く作製するため、現有 PBW 装置の加工装置としての限界性能を見極め、改善する。キャピラリー集束による描画、大気ビーム取り出し等、ものづくりに特化した挑戦的課題に取り組む。また、陽子線の物質中でのトラック近傍のナノ空間における反応性を明らかにし、微細加工の観点から系統的な研究を行う[(2)陽子線によるナノ空間反応性の研究]。

(テーマ2)三次元柔構造の機能発現とデバイス応用および超実装工学の推進では、高エネルギー陽子線の最大の特徴を活かし、従来技術で適用不可能な新規材料系を見出し、安全・安心を守る三次元柔構造デバイスを創出する。特に光・電子・生体親和性機能に優れた材料群を探索し[(1)機能発現する PBW 用材料探索]、上述の PBW 加工を駆使した加工プロセスを開発する。個々の材料の優れた特性に加えて、三次元柔構造デバイスを創製する。前述の PBW によるプロトタイプを検証後、熱インプリントリソグラフィ用金型転写技術を用いて、三次元柔構造デバイスの低コストかつ高スループット加工技術を開発する[(2)三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作]。さらに三次元柔構造デバイスの環境調和性を実現するため、多様な材料をフレキシブルな基板やファイバに三次元的に展開、加工することで、光・電子・生体親和性機能を統合化する、フレキシブル実装技術への取り組みを行う。これにより、従来の実装の延長線上にはない、工業システムの変革を促す「超実装」工学を推進する[(3)超実装工学の先導的研究]。

以上のテーマ1および2への取り組みにより、本研究計画の基盤となる PBW 技術の深化とそれによる三次元柔構造デバイスの創出・統合を図る。これにより、小型、多機能、生体適合性を有する高機能デバイスを材料レベルで統合し、環境・エネルギー、医療分野といった、グリーン・ライフイノベーションへの波及が期待できる。さらに材料レベルでデバイスの実装を検討し、環境調和にも配慮した超実装工学の可能性を拓く。

(2) 研究組織

学内8名、学外8名からなる研究体制を組織し、(テーマ1)集束陽子線描画による誘起反応性制御と三次元柔構造の実現、および(テーマ2)三次元柔構造の機能発現とデバイス応用および超実装工学の推進の2課題について研究を推進する。研究代表者の西川(量子ビーム応用)はプロジェクトを統括し、外部機関との連携を円滑化し、効果的に課題に取り組む。

テーマ1では、神谷・石井(ビーム発生・制御・計測)、長谷川(マイクロ化学デバイス)、成沢(キャピラリー集束技術)が、PBW によるものづくり基盤技術の開発に取り組む。前川(放射線化学)は陽子線によるナノ空間反応性の研究に取り組む。

テーマ2では、渡辺(めっき技術)、大石(新材料)、小池・山口(生体適合性圧電体、MEMS)、大木(光デバイス)、松村・内田・吉見(バイオデバイス)が中心に、三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作に取り組む。デバイス実装の観点から堀口(光ファイバデバイス)および林(実装技術)が超実装工学の先導的研究を推進する。

本研究計画では、大学院生の本研究計画への積極的な参画を図っている。当該分野においてH23年度4名、H24年度4名、H25年度の修士課程3名および博士課程1名が学位を取得した。この間、H22-25年度の間は同博士課程学生をRAとしても採用した。現在は、2名の修士課程学生が研究に取り組んでいる。また、研究支援体制として同研究計画の実施場所である先端工学研究機構棟には共同実験室が併設され、FIB、FE-SEM、TEM等を備えるとともに、技術支援員が配置され、充実した研究支援体制が整備されており、有効活用している。

外部機関との連携状況として、原子力機構、神谷博士、石井博士と連携し、同機構 TIARA 施設にてシングルエンド加速器のマイクロビームラインを利用し、マシンタイムをH23年度9日間、H24年度9日間、H25年度8日間、H26年度5日間、H27年度5日間(申請済み)を得て、本学では困難な、高エネルギー(～3MeV)の集束陽子線描画や蛍光X線分析を利用した研究を推進している。テーマ1のビーム技術関連の成果報告と情報交換を行っている。

同じく主たる連携先の首都大学東京内田博士とは、誘電泳動デバイス開発のための H23

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

年度より**月例ミーティング**を実施し、**テーマ2**のデバイス応用面で成果を積み重ねている。

また、プロジェクト運営全体に係る、全体会合としては、第6回PBW研究会(2012年1月23日、豊洲)、第7回PBW研究会(2014年3月10日、日本原子力機構高崎)、第8回(2015年3月を予定)等、定期的に研究会を行い、連携を緊密化している。

(3)研究施設・設備等

実施場所:大宮キャンパス SIT 総合研究所 先端工学研究機構 101、104、201、202 室。豊洲キャンパス 電気工学科電気材料実験室

研究施設・設備(大宮および豊洲):水素イオンビームおよび高エネルギーイオンビーム集束/計測装置(利用時間数:約 2000h/年)、ハイブリッド MEMS 評価装置(利用時間数:約 200h/年程度)、集束イオンビーム加工装置(FIB)(利用時間数:約 100h/年)、走査型電子顕微鏡(SEM)(利用時間数:約 1000h/年)、レーザ顕微鏡(約 1500h/年)

(本プロジェクトにより導入の機器)

(H24 年度) 三次元柔構造作製システム(H25 年 2 月、クリーンルーム内設置)(約 1000h/年)

(H25 年度) 陽子線誘起反応計測システム(H26 年 3 月設置、約 1000h/年)

(4)研究成果の概要 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

研究プロジェクトの計画や目的・意義と関連づけて、当初の目標をどれだけ達成したか記述するとともに、新たに得られた知見などについても具体的に記述してください。

以下に、2014 年度の進捗状況(H27 年1月末時点)を記す。

(テーマ1)集束陽子線描画(PBW)による誘起反応性制御と三次元柔構造の実現

(1)PBW によるものづくり基盤技術の開発

(a)計測・制御技術(神谷、石井):エネルギー・ドーズ変調による、多段階・中空構造といった構造の加工精度を明らかにし、LIGAやEB描画など他の技術にない三次元加工技術としてのPBWの優位性を検証した。すでにマイクロレンズ形成を始めとする三次元構造体の形成に成功しているが、従来のガラス基板のみならず、柔軟なプラスチックフィルム(PET)上に形成できた。これにより、マイクロ流路デバイス等、三次元柔構造デバイスへのPDMS製マイクロレンズ等の微細な光学構造の導入に見通しを得た。(※2014年度査読付き論文1、学会発表1、5)

(b)PBW 装置開発(西川、長谷川、成沢)

ビームラインへの計測系・フィードバック系の導入、および信号を陽子線描画にフィードバックするソフトウェア開発を行った。あわせてハード面でPBWにおける陽子線描画機能を**高速化し、高精度な描画**を実現するため、これまで低速のブランキングアンプにより律速(～数百 μ s)されていた描画システムに、立ち上がり数百ns程度の**ブランキングアンプ**を導入した。一方、大気中描画プロセスを実現するため現有ビームラインに組み込身を計画していたが、キャピラリー集束系が既存の試料ステージと干渉するため、より効果的な配置をするための**設計見直し**を行い、本年度末に向けてキャピラリー集束の試行実験を行う

(2)陽子線によるナノ空間反応性の研究(前川)

陽子線照射下での分析機能(**前年度導入、陽子線誘起反応計測システム**)により、照射量およびエネルギーをパラメータとし、反応性をモニターする機能を本学に現有のPBW装置に付加した。**蛍光および蛍光X線検出器**を組み合わせた、その場観察システム構築のためのソフトウェア構築を行い、その動作を検証中である。同時に、先行して原子力機構TIARA装置において、PIXEを用いた**新規ナノ粒子添加レジスト**において、ナノ粒子の分布のマッピング実験を試行し、その有用性を確かめた。

(テーマ2)三次元柔構造の機能発現とデバイス応用および超実装工学の推進

(1)機能発現するPBW用材料探索(小池、松村、大石、吉見)

機能性材料群の三次元加工性評価(センサ、生体適合性、圧電性、細胞培養等)を行った。昨年度までの研究成果に基づき、紫外線等に反応性を持たない**フッ素系樹脂**について反応性の調査を行った。特に、有機圧電材料として知られる**ポリフッ化ビニリデン(PVDF)**の加

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

工性を見出した[成果:2015年春季応用物理学会にて発表予定]。今後、PVDFの**圧電性を活かした柔構造センサへの応用**に向けたデバイス化への取り組みを行っている。

三次元柔構造における、更なる機能性発現の探求のため、**無機ナノ粒子を導入したナノコンポジット材料の探索**を開始した。**銀および酸化銀**を添加したナノ粒子を添加したレジストをPBWに適用し、加工性を検討した。レジスト感度と解像度に及ぼすナノ粒子の添加効果を調べ、SU-8やPDMSといった実績のあるレジスト材料の適合性を明らかにした。(※学会発表6、第28回 エレクトロニクス実装学会春季講演大会にて発表予定)

(2)三次元柔構造作製プロセスとデバイス試作(渡辺、山口、長谷川、大木、内田)

新規な三次元構造として、ポジ型レジストにPBWにより形成した**微細な穴や溝形状**を配置するタイプの誘電泳動デバイスを新たに考案し、微粒子の捕集性能を確認した。これは、従来開発してきたピラー型誘電泳動デバイスに比べ、構造的に強固であるため、作製時の歩留まり向上とともに、樹脂基板上に柔構造化した際の破損が回避できるなど実用面から利点は多い。プラスチックフィルム上の形成した、実用性の高い**簡易フレキシブル誘電泳動デバイス**として開発を進めている。

集束陽子線描画によるデバイス試作(バイオセンサ、MEMS、細胞培養、光導波路、光スイッチ等)の一環として、**PDMSにおける誘起屈折率変化**を利用して、PBWにより光回路を書き込み、埋込み型**マッハツェンダー型光スイッチ**を試作した。(※学会発表 2,3,4)

新たな取り組みとして、触媒機能等を有する**金属ナノ粒子の三次元集積化**を狙いとして、誘電泳動による三次元構造体の作製法を提案し、その検証を行った。(※学会発表 7)

(3)超実装工学の先導的研究(堀口、林、西川)

機能材料を基板やファイバ上に統合するためのPBWプロセスの検討を行った。前年度までの検討で、機能性材料を収納する溝(Groove)を、接続穴(Thru-Hole)により連結する、**Groove-Trench-Hole(GTH)構造**を提案した。今年度以降、超実装の概念をより推し進めるため、**ナノ粒子添加樹脂、金属、半導体、誘電体等の積層体**を形成し、それらを貫通する陽子線による誘起プロセスを用いた三次元柔構造の作製法を検討した。ナノ粒子、樹脂界面、異種構造界面等に生じる反応性・機能性の調査を行い、超実装モデルの具現化に向けた取り組みを行った。

また環境調和性の評価を目的として、エコデザインの視点から超実装の概念モデルに基づく環境調和性を検討した。環境調和の観点からは、電子機器に実装される回路基板の製造から廃棄に至るまでのトレーサビリティが重要となる。そこで、**トレーサブルな微細標識**の作製を検討し、現在に至る。

<H25 中間審査結果>

H26年5月通知のH25年度の中間審査の結果、2名の専門委員の評価による総合評価はいずれも**B(進捗は見られるが、改善すべき点がある)**であった。総合所見として、「研究拠点としての目標を一層具体的にして、成果と発展の道筋を明確にすること、論文としての成果発表によりいっそう取り組むこと」、などが挙げられており、今後、一層の成果発表に取り組む。

<課題点>

以下に、本研究計画の遂行において、課題点を挙げる。

(テーマ1)集束陽子線描画(PBW)による誘起反応性制御と三次元柔構造の実現

中間目標に掲げたキャピラリー集束系の試作、導入とそれを利用した大気中照射技術への取り組みを残している。**キャピラリー集束系の導入**にあたり、現有システムとの干渉が生じるため、実施を延期した。今後、設計の見直しによりキャピラリー導入を行う。

(テーマ2)三次元柔構造の機能発現とデバイス応用および超実装工学の推進

超実装工学の先導研究は、「超実装」という新概念の構築から着手し、現在に至る。今後は、概念実証モデルである**GTH 構造**をいかに具現化し、その有用性を実験的に検証するかが課題である。そのために、今年度より**ナノコンポジット材料**の探求に着手した。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

＜評価体制＞

SIT 総合研究所の研究センター(フレキシブル実装工学研究センター)として推進している事業であり、毎年の自己点検とともに、総合研究所としての外部評価委員会による評価を受けている。H23、H24、H25 年度と過去 3 回の外部評価を受けている。

＜研究期間終了後の展望＞

来年度でプロジェクト最終年度を迎える。研究機関終了後、これまで蓄積した陽子線描画装置の有効利用を図るために、本研究プロジェクトを発展的に解消し、継ぎ目なく新規研究プロジェクトを立案すべく、H27 年度中に検討を開始する。

＜研究成果の副次的効果＞

共同研究機関(原子力機構、首都大学東京)とともに出願済みの、「**三次元誘電泳動デバイス**」(特願 2010-010945、西川宏之、古田祐介、内田諭、神谷富裕、石井保行、佐藤隆博、(学)芝浦工業大学、(公)首都大学東京、(独)日本原子力研究開発機構、平成 22 年 1 月 21 日)について、本学知財部による審査請求を行った。

小型陽子線描画装置の実用化に向けて、共同研究機関である日本原子力研究開発機構の石井博士とともに、複数の関連装置メーカーと共同し、3D 微細加工用小型 MeV イオンマイクロビーム形成装置の開発のための外部資金を獲得する取り組みを開始した。

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| (1) <u>集束陽子線</u> | (2) <u>微細加工</u> | (3) <u>ナノ粒子</u> |
| (4) <u>インプリントリソグラフィ</u> | (5) <u>放射線化学</u> | (6) <u>マイクロフォトンクス</u> |
| (7) <u>マイクロ流体デバイス</u> | (8) <u>エレクトロニクス実装</u> | |

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

＜雑誌論文＞

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

プロジェクト開始の 2011 年度から現在に至るまでの成果を記載する。本年度の成果に係る成果には*を付した。

1. *Fabrication of polydimethylsiloxane microlens arrays on a plastic film by proton beam writing, H. Kato, J. Takahashi, H. Nishikawa, J. Vac. Sci. Technol. B32, 06F5 06/1-4 (2014).
2. Application of proton beam writing for the direct etching of polytetrafluoroethylene for polydimethylsiloxane replica molding, H. Nishikawa, T. Hozumi, J. Vac. Sci. Technol. B31, 06F403-1-4 (2013).
3. Enhancing proton beam writing system with auto scanning software and stage movement, T. P. Nguyen, R. Teshima, T. Hasegawa, H. Nishikawa, Microelectronic Engineering102 (2013) pp.12-17.
4. Control of Refractive Index of Fluorinated Polyimide by Proton Beam Irradiation, Y. Arai, Y. Ohki, Keisuke Saito, and H. Nishikawa, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 01 2601/1-5 (5 pages).
5. Fabrication of curved PDMS microstructures on silica glass by proton beam writing aimed for micro-lens arrays on transparent substrates, K. Saito, H. Hayashi, H. Nishikawa, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B B 306, 284-287 (July, 2013).

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

6. Visualization of focused proton beam dose distribution by atomic force microscopy using blended polymer films based on polyacrylic acid, M. Omichi, K. Takano, T. Satoh, T. Kamiya, Y. Ishii, T. Ohkubo, M. Koka, W. Kada, M. Sugimoto, H. Nishikawa, S. Seki, Journal of Nanoscience and Nanotechnology 09/2012; 12(9):7401-4.
7. Microprocessing of Arched Bridge Structures with Epoxy Resin by Proton Beam Writing, K. Takano, A. Asano, Y. Maeyoshi, H. Marui, M. Omichi, A. Saeki, S. Seki, T. Satoh, Y. Ishii, T. Kamiya, M. Koka, T. Ohkubo, M. Sugimoto and H. Nishikawa, Journal of Photopolymer Science and Technology, Volume 25, Number 1 (2012) pp.43-46.
8. Fabrication of Concave and Convex Structure Array Consisted of Epoxy Long-Nano wires by Light and Heavy Ion Beams Lithography, K. Takano, M. Sugimoto, A. Asano, Y. Maeyoshi, H. Marui, M. Omichi, A. Saeki, S. Seki, T. Satoh, Y. Ishii, T. Kamiya, M. Koka, T. Ohkubo, and H. Nishikawa, Transactions of Materials Research Society of Japan, Volume 37, Number 2 (2012) pp.237-240.
9. Fabrication of Poly(9,90-dioctylfluorene)-Based Nano- and Microstructures by Proton Beam Writing, Y. Maeyoshi, K. Takano, A. Asano, H. Marui, M. Omichi, T. Satoh, T. Kamiya, Y. Ishii, T. Ohkubo, M. Koka, W. Kada, M. Sugimoto, H. Nishikawa, A. Saeki, and S. Seki, Jpn. J. Appl. Phys., 51 (2012) pp.045201/1-045201/4.
10. Ion-Beam-Induced Luminescence Analysis as Diagnostic Tool for Microstructure Patterning on Diamond by Proton Beam Writing, W. Kada, A. Yokoyama, M. Koka, K. Takano, T. Satoh, T. Kamiya, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 06FB07 (5 pages).
11. Immobilization of a single intact liposome onto a peptide-modified glass microwell, Y. Kasuya, K. Tsukamoto, D. Yamada, K. Matsumura, Chemistry Letters, 2012; 41 (10) pp.1191-1192.
12. Optical counting of trapped bacteria in dielectrophoretic microdevice with pillar array, S. Uchida, R. Nakao, C. Asai, T. Jin, Y. Shiine, H. Nishikawa, Intelligent Automation and Soft Computing, Vol.18, No.2, (2012) pp.165-176.
13. Fabrication of Polymer Optical Waveguides for the 1.5- μ m Band Using Focused Proton Beam, K. Miura, Y. Machida, M. Uehara, H. Kiryu, Y. Ozawa, T. Sasaki, O. Hanaizumi, T. Satoh, Y. Ishii, M. Kohka, K. Takano, T. Ohkubo, A. Yamazaki, W. Kada, A. Yokoyama, T. Kamiya, and H. Nishikawa, Key Engineering Materials Vol. 497 (2012) pp.147-150
14. Electroforming of Ni mold for imprint lithography using high-aspect-ratio PMMA microstructures fabricated by proton beam writing, Y. Tanabe, H. Nishikawa, Y. Seki, T. Satoh, Y. Ishii, T. Kamiya, T. Watanabe and A. Sekiguchi, Microelectronic Engineering, Volume 88, Issue 8, (August 2011), pp.2145-2148.
15. Microbeam complex at TIARA: Technologies to meet a wide range of applications, T. Kamiya, K. Takano, T. Satoh, Y. Ishii, H. Nishikawa, S. Seki, M. Sugimoto, S. Okumura and M. Fukuda, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 269, No.20 (October 2011) pp.2184-2188.
16. Fabrication of silica-based three-dimensional structures by changing fluence using proton beam writing, R. Tsuchiya and H. Nishikawa, Transactions of the Materials Research Society of Japan, Volume 36, Number 3, (September 2011) pp.325-328.
17. Nano-micro Processing of Epoxy Resin Systems by Ion Beam Lithography with Multiple Energies and Species, K. Takano, T. Satoh, Y. Ishii, M. Koka, T. Kamiya, T. Ohkubo, M. Sugimoto, H. Nishikawa, S. Seki, Transactions of the Materials Research Society of Japan, Volume 36, Number 3 (September 2011) pp.305-308.

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

該当なし。

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

プロジェクト開始の2011年度から現在に至るまでの成果を記載した。本年度の成果に係る成果には*を付した。

(2014年)

1. *(Invited) High-aspect-ratio micro-fabrication by proton beam writing, H. Nishikawa, Y. Ishii, and T. Kamiya, 27th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2014), Paper No. 6A-5-2 (November 4th-7th, 2014).
2. *Local Refractive-Index Changes in Polydimethylsiloxane Induced by Proton Beam Writing Aimed for Optical Waveguides, H. Kato, A. Ikeda, H. Nishikawa, R. Saruya, W. Kada, K. Miura, O. Hanaizumi, International Union of Materials Research Societies- The IUMRS International Conference in Asia 2014 (IUMRS-ICA 2014), Paper No. D1-O26-002 (2014/8/26).
3. *(Invited) A flexible dielectrophoretic device with high-aspect-ratio pillar arrays fabricated by proton beam writing, G. Ayugase, H. Nishikawa, H. Tokita, S. Uchida, T. Sato, Y. Ishii, and T. Kamiya, 14th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications Book of Abstracts, p.34 (July 7-11, 2014).
4. *Development of embedded Mach-Zehnder optical waveguide structures in PDMS thin films by proton beam writing, W. Kada, R. Saruya, O. Hanaizumi, H. Kato, A. Kubota, K. Miura, T. Sato, M. Koka, Y. Ishii, T. Kamiya, H. Nishikawa, 14th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications Book of Abstracts, p.35 (July 7-11, 2014).
5. *Fabrication of PDMS micro-lens arrays on a PET film by proton beam writing, H. Kato, H. Hayashi, H. Nishikawa, The 58th International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology and Nanofabrication, Paper No.P14-01 (May 27-30, 2014).
6. *ナノ粒子を添加したSU-8の集束陽子線による加工に関する研究、佐野遼、林秀臣、西川宏之、第57回自動制御連合講演会(SICE)、オーガナイズドセッション「ナノ・マイクロ計測制御のためのイオンビーム加工と評価」、No.2D07-2 (2014/11/11)
7. *誘電泳動による金属ナノ材料の立体配置の基礎検討、時田寛也、内田諭、佐野遼、西川宏之、第75回応用物理学会 No.19p-A3-15 (2014/9/19)
8. プロトンビームによる誘電体厚膜への直接パターンニング、渡辺和貴、山口正樹、西川宏之、第61回応用物理学会春季学術講演会 17p-PG1-8 (2014/3/17)
9. PBW微細加工によるPDMSを基材としたフレキシブル光導波路の開発、猿谷良太、加藤聖、久保田篤志、三浦健太、加田渉、佐藤隆博、江夏昌志、石井保行、神谷富裕、西川宏之、花泉修、第61回応用物理学会春季学術講演会、19a-PA1-28 (2014/3/19)
10. ピラー構造誘電泳動デバイスの菌捕集分布における流量及びピラー高さの影響、時田寛也、内田諭、鮎瀬銀也、西川宏之、第61回応用物理学会春季学術講演会、19p-E15-8 (2014/3/19)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

(2013 年)

11. Effects of the Height of Pillar Arrays Fabricated by Proton Beam writing on the Trapping Capability of Bacteria by 3-D Dielectrophoresis, G. Ayugase, H. Nishikawa, T. Sato, Y. Ishii, T. Kamiya, H. Tokita, and S. Uchida, 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2013), 7P-7-112 (Nov. 5-8, 2013).
12. Micro-fabrication of polyimide films by proton beam writing, H. Nishikawa, Y. Takeno, H. Hayashi, Y. Maekawa, 39th International Conference on Micro and Nano Engineering, P-Fab-59 (16-19 September 2013).
13. イオンビームによる高アスペクト加工、西川宏之、日本学術振興会 荷電粒子ビームの工業への応用第 132 委員会 第 208 回研究会(2013/12/13)
14. 集束陽子ビーム描画によるフレキシブルな高アスペクト比微細加工と応用、西川宏之、新科学技术推進協会電子情報技術部会 MEMS分科会講演会「ナノ・マイクロ三次元加工の最新動向」(2013/11/26)
15. 集束プロトンビームにより作製した三次元構造体の誘電泳動に関する研究、佐野遼、西川宏之、内田諭、鮎瀬銀也、2013 年放電学会 年次大会、P-10 (2013/11/13)
16. 集束プロトンビーム描画を利用した微細構造形成と転写プロセスの開発、高橋 潤一、加藤聖、林秀臣、西川宏之、2013 年 放電学会 年次大会、P-11 (2013/11/13)
17. 集束陽子線による PET フィルム上のマイクロレンズアレイ作製、加藤 聖、林秀臣、西川宏之、日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門主催、第 5 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム、7PM1-D-3(2013/11/7)
18. プロトンビーム描画によるフレキシブル誘電泳動デバイスの創成、鮎瀬銀也、西川宏之、内田諭、佐藤隆博、石井保行、神谷富裕、第 8 回高崎量子応用研究シンポジウム 1P-48 (2013/10/10)
19. 強誘電体厚膜形成におけるクラック抑制、山口正樹、渡辺和貴、西川宏之、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 18a-P1-2、(2013/9/18)
20. ピラー構造誘電泳動デバイスを用いた菌捕集量の流量依存性及びピラー配置依存性の検証、浅井千尋、時田寛也、内田諭、寺島大貴、西川宏之、春季第 60 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、29a-G17-11 (2013/3)
21. プロトンビームによる強誘電体および白金薄膜パターンの形成、渡辺和貴、山口正樹、西川宏之、塩寄忠、27a-PB1-9 (2013/3)
22. プロトンビーム描画を用いたフレキシブル誘電泳動デバイス作製、鮎瀬銀也、寺島大貴・西川宏之、内田諭、平成 25 年電気学会全国大会 3-101(2013/3/20)
23. シリコン樹脂への集束プロトンビーム描画を用いたマイクロレンズアレイの形成、加藤聖、齋藤圭祐、林 秀臣、西川宏之、平成 25 年電気学会全国大会 3-110 (2013/3/22)
24. Si イオンを注入したシリコン熱酸化膜におけるナノ Si 形成の制御、村上了太、西川宏之、石井保行、神谷富裕、平成 25 年 電気学会全国大会 2-095(2013/3/21)

(2012 年)

25. Effect of Pillar Structure in Dielectrophoretic Device on Trapping Characteristic of Microorganisms, C. Asai, H. Tokita, T. Enjoji, S. Uchida, D. Terajima, H. Nishikawa, SETAC (the Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Asia Pacific 2012 Meeting, p. 267, 2P-8-9 (Sep. 2012).
26. Microelectronic devices on polyimide substrate processed by Proton Beam, H. Hayashi, Y. Takeno, H. Nishikawa, 13th International Conference on Nuclear Microprobe

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

- Technology & Applications, O-39, p.50 (22-27 July 2012).
27. Micromachining of Polytetrafluoroethylene by Direct Etching Using Proton Beam Writing, H. Nishikawa, S. Makita, Y. Harashima, 13th International Conference on Nuclear Microprobe Technology & Applications, O-42, p.53 (22-27 July 2012).
 28. Flexible optical components of silicone fabricated by proton beam writing, K. Saito, H. Nishikawa, H. Hayashi, 13th International Conference on Nuclear Microprobe Technology & Applications, P-67, p.140 (22-27 July 2012).
 29. 誘電泳動による微粒子のサイズ分離に関する研究、鮎瀬 銀也、寺島 大貴、西川宏之、内田諭、2012 年 放電学会年次大会 D-3-2, pp.71-72 (2012/12/1)
 30. 集束プロトンビームを用いた PMMA 光ファイバの微細加工及びそのセンサ応用に関する研究、加藤 聖、斎藤 圭祐、高橋 潤一、林秀臣、西川宏之、2012 年 放電学会年次大会 P-19, pp.123-124 (2012/12/1)
 31. 感光性材料による誘電体膜の形成、山口正樹、西川宏之、第 73 回応用物理学会学術講演会、13a-PB1-1 (2012/9/13)
 32. PB-LIGA を用いた局所インプリントプロセスとその応用展開、高橋潤一、岩本隆志、田邊裕介、西川宏之、林秀臣、石井保行、神谷富裕、佐藤隆博、エレクトロニクス実装学会、第 22 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム(MES2012)、2B1-2(2012/9/13)
 33. 集束プロトンビームを用いた PMMA 光ファイバーの微細加工、加藤 聖、西川宏之、林秀臣、エレクトロニクス実装学会、第 22 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム秋季大会(MES2012)、2B1-4 (2012/9/13)
 34. 誘電泳動によるリポソーム捕集効果に対するピラーアレイの及ぼす影響、鮎瀬銀也、寺島大貴、西川宏之、内田諭、A-3、第 43 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム (2012/9/10-12)
 35. ソフトリソグラフィによる誘電体ピラーを導入した 3 次元誘電泳動効果の検討、渡部 涼、坂下 裕介、西川宏之、内田諭、浅井 千尋、第 43 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム、MVP-5 (2012/9/10-12)
 36. 集束陽子線描画を用いた、誘電泳動用高アスペクト比誘電体ピラー作製条件の検討、寺島 大貴、鮎瀬 銀也、西川宏之、浅井千尋、内田諭、第 43 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム、MVP-19 (2012/9/10-12)
 37. プロトンビーム描画による PTFE の微細加工、牧田翔太、原島勇氣、西川宏之、第 59 回応用物理学関係連合講演会、17p-B5-4 (2012/3/17)
 38. 誘電泳動デバイスにおける微小立体構造の捕集効果、神孝之、浅井千尋、内田諭、椎根康晴、西川宏之、第 59 回応用物理学関係連合講演会、17p-F8-2 (2012/3/17)
 39. ピラー構造誘電泳動デバイスを用いた菌捕集量のピラー高さ依存性の検証、浅井千尋、神孝之、内田諭、西川宏之、第 59 回応用物理学関係連合講演会、17p-F8-3 (2012/3/17)
 40. 感光性材料により形成した誘電体膜の漏れ電流特性、山口正樹、西川宏之、第 59 回応用物理学関係連合講演会、18p-A4-1 (2012/3/18)
 41. 集束プロトンビーム照射によるポリ乳酸の照射効果、小池義和、竹内均、小倉智裕、萩原央紀、青木大地、石川拓也、熊谷研、西川宏之、第 59 回応用物理学関係連合講演会、17p-DP2-4 (2012/3/17)
 42. 集束プロトンビーム描画によるプラスチック上の微細電極作成、武野泰、西川宏之、林秀臣、第 26 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、論文番号 8C-09 (2012/3/8)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

(2011 年)

43. Investigation of basic characteristics of trapping bacteria with a three-dimensional dielectrophoretic device, C. Asai, T. Jin, S. Uchida, Y. Shiine and H. Nishikawa, Abstracts of International Union of Microbiological Societies 2011 Congress, P-AM06-2 (Sep. 2011).
44. Effect of pillars with additional structure in dielectrophoretic device on collection characteristic of E.coli, T. Jin, C. Asai, S. Uchida, Y. Shiine and H. Nishikawa, Abstracts of International Union of Microbiological Societies 2011 Congress, P-AM06-3 (Sep. 2011).
45. Micro processing of poly L lactic acid (PLLA) by proton beam writing, H. Takeuchi, Y. Koike, T. Ogura, H. Hagiwara, H. Nishikawa, International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2011), Paper No. BB4-6 (June 2011).
46. Negative Epoxy Resist for Permanent Use Optimized for Proton Beam Writing, H. Nishikawa, T. Nishiura, T. Mita, T. Takemori, International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2011), Paper No. BB1-4 (June 2011).
47. Micromachining of Polyimide Films by Proton Beam Writing, Y. Takeno, H. Nishikawa, H. Hayashi, International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2011), Paper No. BB-PO3-6 (June 2011).
48. Surface Modifications and Micromachining of Diamond by Proton Beam Writing, Y. Harashima, T. Kaneko, H. Nishikawa, H. Kato, S. Yamasaki, ICMAT2011, Paper No. BB-PO3-4 (June 2011).
49. Enhancing Proton Beam Writing System with Auto Scanning Software and Stage Movement, T. P. Nguyen, R. Teshima, T. Hasegawa, H. Nishikawa, ICMAT2011, Paper No. BB4-3 (June 2011).
50. 集束プロトンビームを用いた多段金属構造の作製と応用、岩本隆志、田邊祐介、西川宏之、2011 年放電学会年次大会講演予稿集 P-24 (2011/11/26)、pp.51-52
51. イオン照射によるフッ素化ポリイミドの屈折率上昇、新井之貴、大木義路、齋藤圭祐、西川宏之、2011 年放電学会年次大会講演予稿集 P-23 (2011/11/26)、pp.49-50
52. ソフトリソグラフィによる 3 次元構造の PDMS ピラーを用いた誘電泳動デバイスの作製、渡部涼、坂下裕介、神孝之、浅井千尋、内田諭、西川宏之、2011 年放電学会年次大会講演予稿集 D-3-6 (2011/11/26)、pp.118-119
53. シリコンゴムへの集束プロトンビーム描画による光デバイス作製とバイオチップへの応用、齋藤圭祐、西川宏之、林秀臣、2011 年放電学会年次大会講演予稿集 D-3-7(2011/11/26)、pp.120-121
54. プロトンビーム描画による高アスペクト比ピラー配列の試作と誘電泳動特性、寺島大貴、椎根康晴、西川宏之、小池義和、佐藤隆博、石井保行、神谷富裕、神孝之、浅井千尋、内田 諭、第 72 回応用物理学会学術講演会 1a-ZG-3 (2011/9/1)
55. プロトンビーム描画による圧電性ポリ乳酸薄膜の微細加工と評価、萩原央紀、小池義和、竹内 均、小倉智裕、青木大地、石川拓也、熊谷 研、西川宏之、原島勇氣、第 72 回応用物理学会学術講演会、30a-ZL-6 (2011/8/30)
56. 粒子線露光量が誘電体薄膜パターンに及ぼす影響、山口正樹、西川宏之、第 72 回応用物理学会学術講演会、30a-ZL-7 (2011/8/30)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

＜研究成果の公開状況＞（上記以外）

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

＜既に実施しているもの＞

・フレキシブル実装工学研究センターウェブサイト URL、<http://www.flex.ae.shibaura-it.ac.jp>

（H23 年度）

・芝浦工業大学 産学官連携研究交流会（2012 年 3 月 16 日（金）、於大宮校舎）
 ・第 22 回マイクロマシン/MEMS 展（2011 年 7 月 13 日（水）～15 日（金）、東京ビッグサイト）にて「フレキシブル実装工学研究センター」として出展。

（H24 年度）

・2012 年度マイクロエレクトロニクスショー、「アカデミックプラザ」展示・発表（2012 年 6 月 13 日（水）～15 日（金）、東京ビッグサイト）。
 ・第 23 回マイクロマシン/MEMS 展アカデミック出展（2012 年 7 月 11 日（水）～13 日（金）、東京ビッグサイト）にて「フレキシブル実装工学研究センター」として出展。

（H25 年度）

・2013 年度マイクロエレクトロニクスショー、「アカデミックプラザ」展示・発表（2013 年 6 月 5 日（水）～6 月 7 日（金）、東京ビッグサイト）。
 ・ナノ・マイクロビジネス展（2013 年 7 月 7 日～5 日、東京ビッグサイト）にて「フレキシブル実装工学研究センター」として出展。

（H26 年度）

・2014 年度ナノ・マイクロビジネス展（2014 年 4 月 23 日～25 日、パシフィコ横浜）にて「芝浦工業大学マイクロナノコンソーシアム」参画の研究センターとして出展。

＜これから実施する予定のもの＞

・「芝浦工業大学マイクロナノコンソーシアム」参画の研究センターとして nanotech2015 に出展（東京ビッグサイト、2015 年 1 月 28 日～30 日）
 ・H27 年度 マイクロエレクトロニクスショー、ナノ・マイクロビジネス展、ナノテク展等への出展。

14 その他の研究成果等

「13 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果、企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには下線及び＊を付けてください。

※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

・**企業との共同研究** 2011.4～2011.12 丸善石油化学(株)

「PBW(プロトンビーム描画)に適応する照射対象材料の研究」

・**外部資金による研究成果実用化への展開**:H25 年度 JST 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム【FS】ステージ(ASTEP)探索タイプ採択(「シリコン樹脂の三次元曲面加工によるプロジェクト用マイクロレンズアレイ応用」)により研究成果の展開を目指した。

・**学内コンソーシアム結成**:H25 年度、芝浦工業大学マイクロ・ナノイノベーションコンソーシアム(MiNI: Micro Nano Innovation Consortium)を組織し、活動を開始した。本研究プロジェクトの枠を超え、機械系研究者との連携を構築し、**MEMS 分野への展開**が広がっている。

・**産学官連携関連活動**: 上記 MiNI コンソーシアムとして、以下の活動を行った。

平成 25 年度採択大学等シーズ・ニーズ創出強化支援事業(イノベーション対話促進プログラム)において、「スマートコミュニティにおけるイノベーションの創出」に「**マイクロ・ナノ技術**」研究領域から参画した。「ロボット技術」、「M2M(machine to machine)技術」等の異分野との相乗効果の目指し、本学イノベーション創出活動に貢献した。

・**平成 25 年採択文科省 COC(知の拠点事業)、芝浦工業大学 地(知)の拠点整備事業**の 1 プロジェクトとして、2014 年度「地域と医療に貢献するマイクロ・ナノ医工連携イノベーション」という課題を掲げて参画し、地域と連携したイノベーション創出に向けた活動を行っている。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1101007

15 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項とそれへの対応

<「選定時」に付された留意事項>

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

該当なし

<「選定時」に付された留意事項への対応>

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

<「中間評価時」に付された留意事項>

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

該当なし。

<「中間評価時」に付された留意事項への対応>

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

平成 23 年度～平成 26 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」 研究成果報告書概要

1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学

3 研究組織名 芝浦工業大学 SIT 総合研究所レアメタルバイオリサーチセンター

4 プロジェクト所在地 さいたま市見沼区深作307芝浦工業大学先端工学研究機構棟内

5 研究プロジェクト名 微生物機能を用いたレアメタル回収技術開発研究

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
山下光雄	工学部応用化学科	教授

8 プロジェクト参加研究者数 5 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

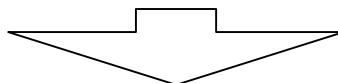
研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
山下光雄	工学部・教授	レアメタル代謝微生物のスクリーニングとリアクター回収	プロジェクト全体のとりまとめ
今林慎一郎	工学部・教授	レアメタルバイオセンサーの開発	レアメタル感知センサー開発
新井剛	工学部・准教授	バイオレアメタル精錬開発	レアメタル精錬プロセス開発
(共同研究機関等) 池道彦	大阪大学大学院 工学研究科・教授	微生物による金属還元機構の解析	レアメタル回収に適応できる微生物の機能解析
大貫敏彦	日本原子力研究 開発機構・主任 研究員	バイオレアメタルの分析	バイオ生成レアメタルを分析

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

(変更の時期:平成 年 月 日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

11 研究の概要(※ 項目全体を10枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

近年, IT 関連産業, 自動車産業等の先端産業におけるレアメタルの消費が世界的に急伸しており, 資源に乏しい我が国においては, 技術力を基盤とした先端産業の国際競争力の高さが極めて重要となる. このような状況の中, 資源ナショナリズム等によるレアメタル供給の不安定化は国の死活問題と言っても過言ではない.

本研究では, 微生物の金属代謝機能を利用することで, 現在では極めて困難とされている産業廃水・廃棄物などからのレアメタルの効率的除去と, 市場価値のある資源としての鉱種の回収・リサイクルを同時に達成する実用的な一連の技術群を確立することを目的とする. 微生物の金属代謝機能として水溶液中に溶けた金属を結晶にする生物固化(Biomineralization)や, 水溶液中の金属を揮発化する生物気化(Biovolatilization)を利用するといったものである. 技術開発は, 既に有効な微生物を取得しているセレン(Se)を先行モデルとして実施するが, 同時に希少性, 商業性の高いレアアースの回収に有効な新規微生物の取得にも取り組み, 各種レアメタルをめぐる資源循環型社会システムの基盤を形成するとともに, レアメタル回収プロセスの潜在的市場拡大の知的基盤を構築する.

(2) 研究組織

本研究プロジェクトに参画する研究者総数は5名で, 学内研究者は以下の3名である. 氏名, 所属職名, 役割分担を順に記載する.

山下光雄: 芝浦工業大学工学部応用化学科・教授, 研究代表者として各研究者と密に連携をとり, プロジェクト全体のとりまとめを行う.

今林慎一郎: 芝浦工業大学工学部応用化学科・教授, 物理化学的手法によるレアメタルの回収・メタルバイオセンサーの開発を行う.

新井剛: 芝浦工業大学工学部材料科学科・准教授, バイオレアメタル精錬開発を行う.

学内研究者間是不定期に研究打ち合わせを行い, レアメタルの定量定性分析は以下の研究施設で行い, 連携をとっている.

学外研究者は以下の2名である.

池道彦: 大阪大学大学院工学研究科・教授, 金属代謝微生物における作用メカニズムの解析を行う.

大貫敏彦: 日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター・上席研究主席, バイオレアメタルの分析を行う.

研究代表者と学外研究者は日本生物工学会メタルバイオテクノロジー研究部会員で大会毎に研究打ち合わせを行うと共に, 電子メールで頻繁に情報交換を行っている. 研究成果は代表者のホームページやメタルバイオテクノロジー研究部会に一部掲載している. 毎年, 数名の学部生や大学院生をアルバイト雇用し, 一般生物化学実験や元素分析の補佐, 簡単な報告書の作成を手伝っている.

(3) 研究施設・設備等

主として芝浦工業大学先端工学研究機構棟内レアメタルバイオリサーチセンター(実験室100m²、居室15m²)において, 学生・研究員合わせて6-8名で研究している. レアメタルを代謝する微生物を分離するため, それらの反応を最適化するために, 複数の振盪培養器と卓上型バイオリアクター(5L 容)を常時用いている. また実証研究を目指したスケールアップではバイオリアクター(100L 容)を用いている. 微生物による反応サンプルの調整や遺伝子増幅のために, 冷却小型遠心機やPCR装置を常時用いている. 微生物の形態観察とそれらが反応した元素を可視化分析するために, 簡易型電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分散X線分光装置(EDX)を常時用いている. 微生物の動態を解析するために, 微生物群集解析システム

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

を使用している。微生物培養液の上清と沈殿物や固体サンプル中のレアメタル濃度を定性定量するために、誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)、誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-AES)やイオンクロマトグラフィーを常時用いている。微生物によるレアメタルの相変化(気体)を定性定量するために、ガスクロマト質量分析装置(GC-MS)を用いている。微生物によるレアメタルを含む廃水等から有価金属を回収後の培養液中の有機物濃度、無機物濃度を測定するために、COD メータや多項目水質計を用いている。

(4)研究成果の概要 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

本研究プロジェクトを推進するために大きく3つの研究テーマごとに分けた。

1. 廃水・廃棄物などからのレアメタル除去・回収バイオリアクターの開発

1. 1 セレン

セレン(Se)は非鉄金属製錬所で銅の副産物として生産され、2012 年度世界総生産量の約 33%に当たる 650 トンが日本で生産されており、その生産量は世界第一位である。セレンは工業的に重要な金属資源で、コピー機やガラス染色、CIGS 型太陽電池の半導体原料などに利用されており、近年では需要が伸びている。Se は生物にとって必須元素であり、体内ではセレン含有アミノ酸に合成されるが、過剰に摂取すると急性毒性を起し頭痛や嘔吐などの症状が現れるという面もある。工場廃水に含まれているセレン酸化物イオンであるセレン酸や亜セレン酸は、生物に対して高い毒性を有することから、日本では 2009 年に一律排出基準が設けられ、環境中に排出する際には 0.1ppm(0.1mg/L)以下まで浄化することが義務付けられている。非鉄金属製錬所やガラス製造工場、太陽電池製造工場、火力発電所ではセレンを含む廃水の排出基準を満たすために、廃水中のセレンは物理化学処理(電気・化学還元や凝集沈殿・吸着剤法)により浄化されている。このような処理では大量の薬剤を投入することや大量の汚泥が発生するために高コストとなるため新しい技術が望まれている。

1. 2 セレンの除去・回収バイオリアクターの開発

現状のセレン排水処理技術の問題点を解決する新たな処理方法として、廃水中に存在するセレン酸化物イオンを微生物により還元し、固体セレンや気体セレンに変換し回収する方法を提案している。この様なコンセプトから分離・育種した微生物が、好氣的セレン酸塩還元細菌 *Pseudomonas stutzeri* NT-I 株である(*2,*8,*49)。NT-I 株はセレン酸を亜セレン酸へ還元し、亜セレン酸から固体の元素態セレンへ還元することができる。NT-I 株の生成する元素態セレンは赤色を呈しており、培養を続けると培養液が赤くなる。元素態セレンが生成された後も培養を続けると赤色が薄くなる。元素態セレンを還元して気体セレンを生成する特異的な NT-I 株の生物固着能や気化能を、廃水からのセレン回収に応用することを考えた。

この NT-I 株を用いて、廃水中からセレンを浄化・回収するためのプロセスを開発するために培養中の温度、pH、攪拌速度、通気量を制御できるラボスケールのバイオリアクターの設計・構築を試みた(*40,*51)。バイオリアクターを用いて NT-I 株のセレン酸化物イオン(40ppm(0.5mM))の還元最適培養条件を求めた。その結果、還元最適培養条件を温度 38℃、pH9.0、攪拌速度 250rpm、通気量 1L/min と決定した(*51)。この培養条件でのセレン気化速度を計算したところ 14 μ mol/L $\cdot$ h であった(*4)。NT-I 株の気化速度は既存の報告値よりも速いことがわかった。以上のことからこの培養条件を NT-I 株のセレン気化回収方法とした。セレン酸濃度(0.5mM)の人工モデル廃水を用いてセレン気化回収試験を行った。NT-I 株によって培養開始から 120 時間目には初期セレン濃度の 71.2%の DMDSe を硝酸で回収することができた。次に気化セレン化合物の同定と合成メカニズムの解析を行った(*34,*52)。気化セレンはセレン酸、亜セレン酸、元素態セレンからほぼ同等の率で生成された。ガスクロマトグラフィー質量分析から気化セレンは主としてジメチルジセレニド

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

(DMDSe)と極少量のジメチルセレンからなる、メチル化セレンであることが分かった(*4)。

気化回収条件で培養を行うと生成された元素態セレンは速やかに DMDSe に還元される。NT-I 株は菌体増殖後には通気が無い状態でも、攪拌することによってセレン酸から元素態セレンまで還元できることを発見した。酸素が還元反応に重要な役割を果たしていることを明らかにした(*34)。以上の結果から、培養温度 38℃、pH9.0、攪拌速度 250rpm、通気量 1L/min の条件で培養して菌体を増殖させ、培養開始から 12 時間目に通気を止めた時点でセレン酸を添加し、元素態セレンに変換する方法をセレン固化回収方法とした。人工モデル廃水を用いたセレン固化回収実験では、培養開始から 22 時間目に元素態セレン量が最大となった。初期セレン濃度の 87.8%にあたる元素態セレンを汚泥として回収できた。

次にセレン含有実廃水からのセレン気化回収、固化回収実験を行った。可溶性セレンを 5.5mM 含む実廃水をイオンクロマトグラフィーで定性定量分析を行ったところ、セレン酸が約 85%、亜セレン酸が約 15%の割合で混在していた。セレン以外にもケイ素やカルシウム、カリウムが含まれていた。実廃水を培地で希釈して、人工モデル廃水のセレン濃度に合わせて回収試験を行った。

気化回収試験での各セレンの経時変化は、培養開始から 120 時間で初期セレン濃度の 38.9%にあたる DMDSe を硝酸に回収することに成功した。モデル廃水での回収率 71.2%と比較すると、実廃水での回収率は約半分であった。培養液中に未知セレンが 25.9%含まれていた。分析の結果、未知セレンは主に DMDSe であった。以上の結果から、実廃水を用いた時の気体回収率の低下は DMDSe が可溶性セレンとして残存していることが原因だと考えられた。回収時に可溶性セレンに含まれる DMDSe が全て気体として硝酸で回収できたと仮定すると、気化回収率は初期セレン濃度の 64.8%(気体回収率 38.9%+可溶性セレンに含まれる DMDSe 含量 25.9%)となる。これはモデル廃水を用いた時と同等の回収率である。

実廃水を用いた固化回収試験の各セレンの経時変化は、培養開始から 24 時間で初期セレン濃度の 78.8%を元素態セレンとして回収することに成功した。モデル廃水と比較すると回収率が若干低下したものの、実廃水を用いても高い回収率が得られた。

以上実廃水を用いた実験をまとめると、セレン固化回収最適化条件で培養し 78.8%の回収率が、またセレン気化回収最適化条件で培養し 38.9%の回収率が得られた。(*1,*7,*18,*19,*20,*44,*48,*54,*55)。

1.3 レアメタルバイオセンサーの開発

セレン代謝微生物菌体または酵素を用いて簡易なバイオセンサーの開発を次のように行った。セレン酸還元菌 *Pseudomonas stutzeri* NT-1 懸濁液をグラッシーカーボン(GC)電極上に滴下、乾燥したあと、ポリカーボネート膜(孔径 0.4 μm)で被覆して、電極と膜間に閉じ込め、 MV^{2+} をメディエーターとするセレンオキシアニオンセンサーを作製した。その結果、この電極の-0.75 Vにおける還元電流値は 0.1~1.0 mmol dm^{-3} で亜セレン酸濃度に比例して増加し、亜セレン酸センサーとして使用できる可能性が分かった。ただし、現時点の感度は排水中に含まれる亜セレン酸の濃度領域は測定できるが、排出の許容限度 0.1 mg dm^{-3} (1.3 $\mu\text{mol dm}^{-3}$)をカバーすることはできなかった。100 倍程度の高感度化が必要である。次に、セレン酸を用いた-0.75 Vにおける還元電流値は 0.1~1.0 mmol dm^{-3} でセレン酸濃度に比例して増加するが、電流値は亜セレン酸添加の 1/5 程度であり、感度がよくなかった。ストリッピング法(セレンオキシアニオン中の Se と電極表面の金属からなる合金を形成させることで、溶液中の Se を電極表面に濃縮させた後、合金を還元的に脱離させるときの電流値から溶液中の亜セレン酸を決定すること)や、電極自体を多孔化して実表面積を増やすことによって高感度化できると思われる。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

2. レアメタル精錬プロセスの開発

2. 1 簡易精錬プロセスの検討

セレン酸濃度 0.5mM の人工モデル廃水を用いてセレン気化回収試験を行った。気化セレンを回収するためのガスフィルターユニットを高純度セレンの回収を目指して気液分離槽と回収槽(硝酸トラップ)を構築した。セレン酸還元細菌 NT-I 株によって培養開始から 120 時間目には初期セレン濃度の 71.2%の DMDS_{Se} を硝酸で回収することができた。その結果硝酸による捕集効率を考慮するとセレンを 87.9%捕集することに成功した(*4,*13)。この硝酸中のセレン濃度を測定した結果 7.2mM であり、モデル廃水中の初期セレン濃度よりも 14 倍濃縮して回収できた。検出した夾雑物は硫黄のみであり、高純度セレンの回収に成功した。

固化セレンを回収するために人工モデル廃水からの NT-I 株培養液を遠心分離し、沈殿物を得た。簡易に蒸留水とエタノール洗浄を行って元素態セレンを含む汚泥を濃縮することに成功した(*4,*12)。汚泥(バイオセレン)を粗精製した後、誘導結合プラズマ発光分光分析(ICP-AES)で元素の定量分析を行った。測定の結果、粗精製物にはセレンが 2%(wt/wt)、マグネシウムが 4%、カルシウムが 2%含まれていることがわかった。エネルギー分散型 X 線分析(EDX)の分析結果、粗精製物全体にセレンが検出・濃縮されており、粗精製物には平均 2%のセレンが含まれていた。モデル廃水の初期セレン濃度は 0.004%であるので、粗精製物は約 500 倍に濃縮した精製セレンであり、資源化の可能性を示した。次にバイオセレンを蒸留水とエタノール洗浄を繰り返し、脱水を行った。その結果セレンを 11-14%(wt/wt)含有したバイオセレンの精錬に成功した。

2. 2 酸化焙焼による精錬プロセスの開発

バイオセレンは元素態セレンと微生物由来の有機成分、培地由来の無機塩から構成される。バイオセレンを酸化焙焼に供すると有機成分とともに Se は酸化揮発し、低温部にて焙焼ガスから二酸化セレン SeO₂ を析出分離できると考えられる。また、酸化揮発傾向や焙焼生成物の水溶解性や還元性の相違から、無機成分の低減も期待できる。一方で、有機成分と Se は競合酸化し、Se の酸化が不十分な場合には水に不溶な元素態セレンが析出することが予想される。そこで、熱力学計算によってバイオセレンの焙焼条件を検討し、バイオセレンの酸化焙焼を試みた。その結果、バイオセレンを 700℃で酸化焙焼したところ、酸素量が大きい場合には Se は十分に酸化され、固体の SeO₂ が得られた。本実験では、酸素 50ml/min の流量で焙焼した際に、Se の総収量のうちの SeO₂ としての収率が最大 97%となった。析出した SeO₂ は金属成分の総和に対する Se 分率が約 99%であり、酸化焙焼による精製効果が認められた。

2. 3 セレンオキサニオンの電解還元反応と元素態セレン回収

セレンオキサニオンの直接的な電極還元は、亜セレン酸については強酸性条件でのみで起こり、セレン酸については起こらないと報告されている。検討の結果、メチルビオロゲン(MV²⁺)をメディエーターとして用いると、中性 pH 領域においてセレンオキサニオンの還元が可能になることを電気化学手法によって見出した(*2)。

2. 3. 1 セレンオキサニオン電気還元の検討

メチルビオロゲン(MV²⁺)添加によるセレンオキサニオンの還元が促進される反応機構について解析した。その結果、次のことがわかった(*25)。①MV²⁺が電極から亜セレン酸に電子を運搬するメディエーターとして働いており、還元電流は[MV²⁺] = 5 mmol dm⁻³までは濃度とともに増えるが、それ以上では飽和した(*41,*42,*45)。②MV²⁺以外にも、ビオロゲン化合物、キノン化合物、フェナジン化合物のなかにメディエーターとして機能する物質があり、式量電位が負であるメディエーターほど還元電流が大きい傾向があった(*25,*41,*42)。③電極

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

表面にアルキル鎖を介して固定化した MV^{2+} も、メディエーターとして機能することがわかった。固定化により排液毎に MV^{2+} を添加する必要がなくなるため、実用に適する。④リン酸緩衝液(PBS)、クエン酸緩衝液、イミダゾール/HCl 緩衝液、Tris/HCl 緩衝液、MES 緩衝液、PIPES 緩衝液は亜セレン酸還元に必要な H^+ の供給源であると同時に、電解質の pH を亜セレン酸が活性型 $HSeO_3^-$ をとる領域に保持する働きをしている。したがって、共役酸 HA である必要があり、緩衝液の pK_a が亜セレン酸の酸塩基平衡($SeO_3^{2-} + H^+ \rightleftharpoons HSeO_3^-$)の pK_a より大きいことが必要である(*25,*32,*36)。⑤COOH 基をもつイオン交換ビーズを緩衝液の代わりに使用できることがわかった。 H^+ 供給により COOH 基は COO^- に変化するが、イオンビーズは COOH 基を再生して、再利用可能である。⑥ MV^{2+} 添加によってセレン酸も還元可能になるが、反応促進効率は亜セレン酸還元よりも小さかった(*41,*42)。

2. 3. 2 元素態セレン回収方法の検討

セレンオキシアニオンのメディエーター型電解還元反応による元素態セレン回収の可能性を検討するために、電解試験を行った。 $[MV^{2+}] = 1 \text{ mmol dm}^{-3}$, $[HSeO_3^-] = 10, 1.0, \text{ or } 0.1 \text{ mmol dm}^{-3}$ or $[SeO_4^{2-}] = 10 \text{ mmol dm}^{-3}$ を含む 1 mol dm^{-3} PBS (pH6) を電解液とし、電解液 77mL を自家製セルに入れたあと、Ar バブリングで除酸素した。作用極:カーボンフェルト電極(MV 還元ピーク電流からは見積もった表面積 76.29 cm^2)、対極:白金黒線、参照極: $Ag|AgCl$ (飽和 KCl) を入れ、定電位 $-0.8 \text{ V vs. } Ag|AgCl$ で溶液が青色に着色し始めるまで電解した。電解中は Ar 雰囲気を保ち、攪拌した。原子吸光測定と ICP 発光測定によって電解後の溶液に残留しているオキシアニオン濃度からオキシアニオンの除去率を、ろ別した赤色 Se 重量から回収率を、電解に使用した電気量と除去率から電流効率を決定した。その結果次の様なことを見出した。①亜セレン酸 $[HSeO_3^-] = 10, 1.0 \text{ mmol dm}^{-3}$ のとき、除去率は 99%以上、回収率は 95%以上であり、除去した亜セレン酸のほとんどが Se として回収されることがわかった。電解の電流効率も 95%以上であった。MV による亜セレン酸還元は電極近傍の電解液中で起こるため、生成した Se は電極表面に析出せず、電解液に懸濁した状態で得られ、ろ別が容易である。 MV^{2+} を添加しない場合でも亜セレン酸の電解は可能であったが、2 倍以上の電解時間を要し、かつ生成した Se のほとんどが回収に適さない電極上に析出した状態で得られた(*24)。②セレン酸については、 $[SeO_4^{2-}] = 10 \text{ mmol dm}^{-3}$ における除去率および回収率はそれぞれ 13%、10%と、亜セレン酸と比べて低かった。しかし、電流効率は 84%とそれほど低くなかった。このことは、 MV^{2+} による SeO_4^{2-} の還元効率が低いために電流が流れにくいことを示唆する。 MV^{2+} を添加しない場合は、セレン酸はまったく還元されなかった。電気化学的にセレン酸が還元される例はほとんど報告がなく、今後電流効率の向上は課題である。③排水中の SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 CO_3^{2-} を妨害物質として調べた。 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} については、亜セレン酸共存および非共存下とも、 10 mmol dm^{-3} までの濃度では MV^{2+} のレドックスを妨害しなかった。亜セレン酸電解還元の電解効率は NO_2^- を加えることで 93 %から 3 %減少するに留まり、ほとんど妨害の影響がなかった。

2. 4 イオン液体を用いたレアメタル精錬開発

微生物等を利用したバイオ分離技術は、特定の金属イオンに対して選択性を示す菌体を用いて、バイオメタルとして目的の金属を分離・回収する技術である。しかし、バイオメタルは、菌体由来の有機物が多く、菌体内の金属イオンを精錬する必要があり、一般的な製錬技術を適用することは難しい。分離を菌体で行うため、夾雑物質の可能性も否定できず、純度の低下が懸念される。これまで、バイオメタルから酸性水溶液への抽出の可能性及び新規の無機-有機複合型イオン交換体へのレアメタルの吸脱着特性の基礎性能を明らかにした(*10)。さらに高効率・高純度の精錬を目指して、イオン液体を用いたレアメタルの精錬技術開発を検討した。イオン液体には金属イオンの抽出能の他に高導電性、難燃性などの特長

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

を有するので、新たな製錬技術が開発できる可能性があると思われる。以上のことから、イオン液体を用いたレアメタル製錬プロセスについて基礎研究を行った(*3,*26)。

2. 4. 1 イオン液体の合成と金属イオンの抽出率

イオン液体は一般に、カチオンとなる物質にアルキル基を導入するアルキル化反応と、目的物質を得るためのアニオン交換反応の2つの反応で構成される。本研究では1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムヘキサフルオロホスファート([C₄mim][PF₆])を合成することにした。

次に自製した[C₄mim][PF₆]に対する各金属イオンの抽出特性を調査するためバッチ式抽出試験を行った。試験溶液は、所定濃度の塩酸溶液を用いて各々の金属イオンが10 mMとなるように調整した。抽出試験はイオン液体と金属溶液の体積比を1:1として、所定の試験温度に設定した恒温振とう槽中で一定振とう速度において行った。その結果、Al(III)、Fe(III)は高い抽出分率を示すことが明らかとなった(*38,*46)。特に、イオン交換樹脂等では殆ど吸着されないAl(III)が塩酸濃度によらず抽出されることは特筆すべき特徴である。Al(III)は塩酸濃度の増加に伴う抽出量の増大傾向が確認され、1 M以上の塩酸濃度では90 %を超える抽出分率が示された。Cu(II)は何れの塩酸濃度においても非抽出であることが示された。Zn(II)については塩酸濃度の増加に伴い抽出分率が増加したが、最大25 %であった。

鉄族元素は一樣に塩酸濃度の増加に伴う抽出分率の増大が見られた。しかし、Co(II)、Ni(II)とも20 %前後の抽出分率であり、抽出に適しているとは思われない。

白金族元素の抽出傾向に関しては、Ru(III)は塩酸濃度によらずほぼ非抽出、Pd(II)とPt(IV)については塩酸濃度の増加に伴い抽出分率は低下し、負の相関を示すことが確認された。Pd(II)は0.1 M塩酸において抽出分率80 %を示し、Pt(IV)も90 %ととても良好な抽出性が得られた。

希土類元素も塩酸濃度と抽出分率の間に正の相関が確認されたが、6 M以上の塩酸では試験後に沈殿物の生成が確認された。この沈殿生成の影響により、抽出分率が総じて100 %近い値になったと推察される。

その他の元素に関しては、V(III)、Ga(III)、Zr(IV)、In(III)は塩酸濃度と抽出分率に正の相関が得られた。Mo(VI)、Re(VII)は本実験の塩酸濃度では何れにおいても抽出されることが明らかとなった。Se(IV)はほぼ非抽出であることが示され、Bi(III)については最も抽出される1 M塩酸においても20 %前後の抽出分率であり抽出性が低いことが示された。

2. 4. 2 イオン液体に抽出された金属イオンの抽出速度

これまでに得られた抽出試験結果より、まずは良好な抽出反応を示すAl(III)、V(III)、Fe(III)、Ga(III)、Zr(IV)、Mo(VI)、Pd(II)、In(III)、Re(VII)、Pt(IV)の抽出速度試験を行った。その結果、V(III)とIn(III)を除く8元素に関しては10分以内に抽出反応は平衡に達することが確認でき、良好な抽出速度であることが示された。これは抽出剤として用いる場合において有利な特徴であり、実プロセスにも適した性能であると考え。

V(III)、In(III)共に、抽出に最適な塩酸濃度が6 Mであるため、[C₄mim][PF₆]の溶解反応などにより、平衡到達時間の推定は困難であった。V(III)やIn(III)をアニオン種とするイオン液体は、疎水性が弱いことが予想される。

2. 4. 3 イオン液体に抽出された金属イオンの電気化学挙動

イオン液体の特長として、高導電性であることが挙げられる。この特長を活かし、金属イオンが抽出されたイオン液体を電解還元し、電析により直接金属として回収するプロセスの構築を目指している。そこで本試験では、[C₄mim][PF₆]に抽出された金属イオンの電気化学挙動についてサイクリックボルタメトリー(CV)により検討した(*33,*37)。その結果、[C₄mim][PF₆]は幅広い2~2Vの電位窓を持つことを確認した。これにより、イオン液体中に

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

おける金属の価数変化や電析が期待できるものと考えた。また、全体を通してフラットな電流－電位曲線であり、不純物などの影響も僅かであることが示され、イオン液体中での金属の価数変化が良好に観測される可能性が示唆された。

先述の試験結果から良好な結果が得られ、電析による直接回収の可能性がある Pd(II)の CV を行った。Pd(II)は 0.1 M 塩酸において抽出した[C₄mim][PF₆]を CV に用いた。その結果 Pd(II)抽出後の CV は非可逆を示し、幾つかのピークが確認され、Pd(II)の還元波と考えられるピークが-0.5 V 付近に観察された。また酸化波が 0 V 近傍に観察された。非可逆性を示していることから、CV 測定中に析出物が生成されている可能性が示された。繰り返し試験を行った結果、CV に用いた[C₄mim][PF₆]から黒色の析出物を確認した。これはパラジウムブラックの可能性が考えられ、電析試験により Pd(II)が回収される可能性が示唆された。

2. 4. 4 イオン液体に抽出された Pd(II)の電析挙動

電気化学試験より、[C₄mim][PF₆]に抽出された Pd(II)は、電解還元反応により直接回収できる可能性が示唆された。そこで本試験では、[C₄mim][PF₆]に抽出された Pd(II)の電析挙動について検討した。電析試験中の外観写真から、[C₄mim][PF₆]中に黒色の電析物の生成が確認された。この黒色析出物の同定を行うため、蛍光 X 線と SEM-EDX による分析を行った。両分析装置とも溶液を測定することは困難であるため、メンブレンフィルターを用いてろ過、回収して分析に用いた。SEM 像より、電析物は微小な球状物質の集合体であることが示された。EDX の測定結果から、検出された炭素やフッ素はメンブレンフィルターの組成を反映したものであると考えられる。酸素は微量ながら観測され、Pd に関しては観測範囲全体において検出された。即ち、電析物は Pd 単体である可能性が示された。

本試験結果より[C₄mim][PF₆]に抽出された Pd(II)は、電解還元により Pd 単体として回収可能であることが示された(*27)。

3. 多様なレアメタル回収・資源化に適用できる新規金属代謝微生物の取得

セレン以外のレアメタルを回収・資源化するため新規な金属代謝微生物の分離を試みた。

3. 1 テルル酸代謝微生物の取得

テルルはセレンと同周期にある半金属である。テルルの主要用途は、鉄の機械加工性を向上させるための冶金用添加剤、加硫剤およびゴム生成の促進剤、合成繊維生産用の触媒として使用される。機能的用途としては近年、Cd-Te 系太陽電池への使用が増加している。テルルも工業的に幅広い用途で使用されるが、セレンと同様に生体に対する高い毒性を有しており、環境省によって水質汚濁防止法の要調査項目に指定されている。高毒性や近年の使用量の増加から、その処理と再資源化方法の確立が急務であるといえる。

テルル酸化物陰イオン(テルル酸、亜テルル酸)は毒性が高く、亜テルル酸は 3.9 μM の低濃度でほとんどの微生物に対して毒性を示す。一般的に金属の固体や揮発化物はその酸化物陰イオンよりも毒性が小さいため、その固体化・揮発化反応は解毒メカニズムの一種であると考えられている。亜テルル酸に耐性のある微生物を選択すれば、亜テルル酸の固体化・揮発化能を持つ微生物を取得できる可能性が高いと考えた。そこでテルルの浄化・回収プロセスを構築するため、金属精錬工場から採取した排水溝底泥水から亜テルル酸耐性微生物を分離し、固体化・揮発化能力を有しているかを調べた。その結果、1mM の亜テルル酸に対して耐性を示す集積培養系から、亜テルル酸耐性を有する細菌 TI-1 株、TI-2 株、TI-3 株を分離することに成功した。分離した TI-1 株、TI-2 株、TI-3 株は、30mM の亜テルル酸存在下で増殖可能なことから、これまで報告されている微生物の中で最も高い亜テルル酸耐性を有することを明らかにした。またこれら 3 株はテルル酸、亜テルル酸に対して還強い還元能を

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

示した(*47)。同定した結果、これら 3 株を *Stenotrophomonas maltophilia* Ti-1, *Ochrobactrum anthropi* Ti-2, *Ochrobactrum anthropi* Ti-3 と命名した(*51)。次にテルル酸還元細菌 3 株の還元特徴を解析した。Ti-2,3 はテルル酸還元能に差はなかったが、Ti-1 株はこの 2 株に比べて低温、低 pH、高塩濃度での還元能が優れていた(*5,*35)。合成された元素態テルルは細胞外に分泌され、遠心分離や限外濾過などの方法で簡単に回収ことに成功した(*47)。また浄化・回収対象となる廃水・廃棄物中は多元素で高塩濃度であることが多いので、塩耐性を持つ新たなテルル酸・亜テルル酸還元微生物を海洋環境試料から数株分離した(*21,*22)。

3. 2 レアアースエレメント(REE)代謝微生物の取得

REE とは、周期表第三族の原子番号 21 番のスカンジウム(Sc)及び 39 番のイットリウム(Y)と、57 番から 71 番のランタノイドと総称される 15 元素の元素グループのことをいう。REE は、特殊な電子軌道の原子構造をしており、蛍光材料や永久磁石、超伝導材料として日本の産業にとって必須金属である。特に、ジスプロシウム(Dy)は、耐熱性ネオジム(Nd)磁石と呼ばれる高温に耐える強力磁石の原料としてその需要が増加している。この Nd 磁石は、モーターとして次世代型自動車や携帯電話、パソコンに利用されており、その製造工程から排出される研磨屑は、物理化学的処理によるリサイクルが試みられているが、この方法では完全に回収することが出来ず、その廃棄物中の残存 REE の回収が望まれている。そこで、固形廃棄物から選択的に REE 抽出を行う微生物の取得と REE 含有溶液から特異的に REE を分離・濃縮する新規代謝微生物の分離を行い、バイオプロセス構築に向けて検討した。

バイオリーチングは低品位鉱石から微生物を用いて銅などの有用非鉄金属を抽出する技術である。現在ではバイオリーチングの応用研究が進み、ウランやコバルト、金などの抽出にも利用されている。本研究では REE リーチング微生物を分離することを主とし、その REE リーチング能を評価して REE 回収に向けた有用性を検討した。実験の結果、酸性湖の環境試料から REE 抽出微生物群を 3 菌群得た。このうち S20 菌群は、培養 1 日目で REE 含有廃棄物から Dy を約 70%、Nd を約 55%、Pr を約 65%抽出し、Fe はほとんど抽出しなかった(*31)。

有用金属の濃縮・回収手段として、金属代謝微生物によるバイオミネラリゼーションは広く研究されている。代表的な例として、金属イオン還元菌 *Shewanella algae* を利用した Pd, Pt, Au 等の貴金属回収があげられる。そこで、REE の中でもジスプロシウム(Dy)に重点をおき、Dy 含有溶液から特異的に Dy を固化・濃縮する新規代謝微生物を分離して、その固化・濃縮能を評価して REE 回収に向けた有用性を検討した。その結果、廃鉱山の環境試料から Dy 代謝能をもつ微生物 T9 株を単離した。SEM と EDX による元素分析から、菌体上に Dy とリン(P)を固化濃縮していることが分かった。さらに、生育培地にリン酸を添加することで、Dy のミネラリゼーションが向上した。以上の結果から、取得した Dy 代謝微生物 T9 株は高効率に Dy を濃縮する可能性があると思われる(*31)。

<優れた成果があがった点>

好氣的セレン酸還元細菌 *Pseudomonas stutzeri* NT-I 株を用いた、ラボスケールのバイオリクターの設計・構築に成功した(*40,*51)。40ppm (0.5mM)濃度のセレン酸、亜セレン酸を含む人工モデル廃水から、固体セレン又は気体セレンを、約 90%という高効率で回収に成功した(*1,*4,*12)。実廃水から固体セレンまたは気体セレンを各 78.8%、38.9%の収量で回収することに成功した。気体セレンを質量分析により定性分析をした結果、気体セレンは主として DMDS_e であることを発見した(*4)。回収した沈殿物から、エタノール洗浄という簡易な処理を検討し、セレンの結晶化物を濃縮・精錬し(*1,*4,*12)、その後酸化焙焼すること

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

によって 96.7%の収量で金属セレンを精錬することに成功した。微生物によるバイオセレンから金属セレンを高純度で精錬した初めての例である。

レアメタルの電気化学的手法により精錬においては、セレンオキサニオンの直接的な電極還元は、亜セレン酸については強酸性条件でのみで起こり、セレン酸については起こらない。検討の結果、メチルビオロゲン(MV²⁺)をメディエーターとして用いると、中性 pH 領域においてセレンオキサニオンの還元が可能になることを電気化学手法によって見出した(*2)。

貴金属の電気化学的手法により精錬においては、本試験結果より[C₄mim][PF₆]に抽出された Pd(II)は、電解還元により Pd 単体として回収可能であることが示された(*27)。

セレン以外のレアメタルであるテルル、レアアースエレメントを代謝する新規な微生物の分離に成功した(*5,*31)。

<問題点>

先行研究として行ったセレンを含む人工モデル廃水を用いて *Pseudomonas stutzeri* NT-I 株を培養した場合、固体セレンも気体セレンも、約 90%という高効率でセレンの回収に成功したが、実廃水からの回収効率はモデル廃水よりもよくなかった。実廃水はセレン酸と亜セレン酸が混在しているので、各還元反応速度が異なり、単純に通気を止めるだけでは元素態セレンの還元を完全に抑制することができていない。セレン酸化物イオンの混合比によって培養条件を変える等の工夫が必要である。元素態セレンの還元を完全に阻止できれば、より高回収率で固化回収ができると考える。特にセレン気化回収ではモデル廃水と比べると回収率は低かった。その原因は実廃水に固体セレン、気化セレンの合成プロセスを阻害する物質が存在するのではないと思われる。合成メカニズムを解明すると共に、阻害因子を特定・除去することで、NT-I 株によるセレン気化回収の回収率が高くなる可能性がある。

セレン酸還元細菌 NT-I 株を用いてレアメタルバイオセンサーを構築しているが、排水基準値を直接測定できない。ストリッピング法や電極自体の実表面積を増やすことによって高感度化できるかもしれない。

電気化学手法によるレアメタルの精錬を検討したが、セレン酸については、特定のメディエーターを添加しても除去率および回収率が、亜セレン酸と比べて低かった。電流効率の向上が課題である。

イオン液体を用いてレアアースの回収を試みたが、特定の Pd(II)の回収には成功したが、多くの有用元素を回収できるイオン液体を用いた系を開発する必要がある。

テルル酸、レアアースエレメントを代謝する特異な微生物を取得できたが、セレン酸還元細菌 NT-I 株と同程度に廃水・廃棄物から有用元素を回収できるに耐える可能性があるかを検討する必要がある。

<評価体制>

SIT 総合研究所の研究センター(レアメタルバイオリサーチセンター)として推進している事業であり、毎年、自己点検を行っている。また、客観評価について、SIT 総合研究所として、年に1回、外部の有識者(大学、企業等)からなる評価委員会を実施し、多角的な視点から忌憚のない評価やアドバイス等を受けている。

<研究期間終了後の展望>

将来日本の産業が生き残る道は、技術力をベースにした、省エネやリサイクル技術を含む技術開発力に集約されると思われる。特にレアメタルから発展する環境・エネルギービジネスがキーテクノロジーとなる。太陽発電、燃料電池、電気自動車等はレアメタルから発想できる事業である。持続的にレアメタルを供給するために、備蓄する事、新規な探鉱を開発する

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

事や代替材料を開発する事は必須であるが、かなりの時間がかかると言われている。本技術開発は、既に多量に存在する使用済製品や廃水・廃棄物からの有価金属の回収であり、免税制度から民間活力を利用すれば、3R(reduce, reuse, recycle)技術が確立できると思われる。レアメタルは有用資源として注目されているが、レアメタル汚染という新たな環境汚染が懸念されている。本研究は、廃棄物からのレアメタル処理技術も兼ねており、資源循環と環境保全の一石二鳥の技術として、循環型社会の構築に大いに寄与するものである。

セレンを先行研究とした廃水・廃棄物からセレンを回収できるプロセスフローを資源化まで開発することによって、他のレアメタル除去・回収を達成する微生物を活用した一連の技術群の基盤が構築できると思われる。学術的にも経済的にも(特許を含む)、さらなる知的基盤情報が構築できると思われる。実用化するためには現在共同研究している企業と情報交換を行い実証化レベルのプラントを設置すると共に、国内外に循環型社会システムの必要性をマスメディアを通して認知、流布させることにより、市場拡大を目指したレアメタルの資源循環型社会システムの基盤を形成できると思われる。

また、福島県原子力発電所の事故で問題となっている放射性核種は全てレアメタルに属する元素であり、それらの核種(コバルト、ストロンチウム、セシウム)を浄化・回収対象とした新規なバイオ修復材料を開発し、社会貢献していくことを目指している。

<研究成果の副次的効果>

得られた研究成果は特許申請し、セレン製造関連会社との共同出願となっている。

@<発明者>山下光雄, 三浦彰, <発明名称>新規セレン還元微生物及び該当微生物を使用したセレン処理方法, <出願人>JX 日鉱日石金属株式会社(*55), <出願番号>特願2014-131926, <出願日>平成26年12月24日。

@<発明者>山下光雄, <発明名称>希土類元素を固化する能力を有する微生物及び希土類元素の固化する方法, <出願人>芝浦工業大学, <出願日>平成25年7月17日(特許出願番号特願2013-148344)

@<発明者>山下光雄, <発明名称>希土類元素を溶出させる能力を有する微生物及び希土類元素の溶出方法, <出願人>芝浦工業大学, <出願日>平成25年7月17日(特許出願番号特願2013-148343)

@<発明者>山下光雄, 三浦彰, <発明名称>セレンの処理方法, <出願人>JX 日鉱日石金属株式会社(*55), <出願番号>特願2013-131926, <出願日>平成25年6月24日。

@<発明者>山下光雄, <発明名称>セレンの回収方法, <出願人>芝浦工業大学, <国際特許出願番号>PCT/JP2012/052922, <出願日>平成24年2月9日(特許出願番号特願2011-191309, 出願日:平成23年9月2日)。

@<発明者>山下光雄, 池道彦, 惣田訓, 鈴木務, 花田昌子, <発明名称>セメント製造工程における金属の回収方法, <出願人>芝浦工業大学, 大阪大学, 太平洋セメント(株)(*54), <出願番号>特願2012-26189, <出願日>平成24年2月9日。

@<発明者>山下光雄, 池道彦, <発明名称>セレン酸還元活性を示すタンパク質, <出願人>芝浦工業大学, <国際特許出願番号>PCT/JP2011/071442, <出願日>平成23年9月21日(特許出願番号:特願2011-65289, 出願日:平成23年3月24日)。

@<発明者>山下光雄, <発明名称>セレンの回収方法, <出願人>芝浦工業大学, <出願番号>特願2011-191309, <出願日>平成23年9月2日。

@<発明者>山下光雄, 惣田訓, 池道彦, 花田昌子, 鈴木務, <発明名称>セメント製造工程における金属の回収方法, <出願人>芝浦工業大学, 大阪大学, 太平洋セメント(株)(*54), <出願番号>特願2011-172045, <出願日>平成23年8月5日。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|
| (1) <u>金属代謝微生物</u> | (2) <u>レアメタル</u> | (3) <u>セレン</u> |
| (4) <u>テルル</u> | (5) <u>レアアースエレメント</u> | (6) <u>微生物変換</u> |
| (7) <u>バイオリアクター</u> | (8) <u>バイオメタルセンサー</u> | |

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

*1. 山下光雄、大塚治:「セレン酸還元細菌 NT-I 株を用いた廃水からのセレン回収」水環境学会誌、査読無、37(2)、1-5 (2014)。

*2. Fumiya Koshikumo, Wakana Murata, Akiyuki Ooya, and Shin-ichiro Imabayashi, “Acceleration of Electroreduction Reaction of Water-Soluble Selenium Compounds in the Presence of Methyl Viologen”, *Electrochemistry*, 査読有. 81(5), 350-52 (2013).

*3. 新井剛、剣持達也、十時一晃“イオン液体を用いた都市鉱山からの有用金属の分離・回収技術の開発”化学工業、査読無、Vol.64, 148-156, 2013.

*4. Selenium volatilization under aerobic conditions and recovery from aqueous phase by *Pseudomonas stutzeri* NT-I. Tsubasa Kagami, Takanobu Narita, Masashi Kuroda, Emi Notaguchi, Mitsuo Yamashita, Kazunari Sei, Satoshi Soda, and Michihiko Ike. *Water Research*. 査読有. 47, 1361-1368, 2012.

*5. Isolation and characterization of bacteria capable of reducing tellurium oxyanions to insoluble elemental tellurium for tellurium recovery from wastewater. Tsubasa Kagami, Akira Fudemoto, Noriyuki Fujimoto, Emi Notaguchi, Masaya Kanzaki, Masashi Kuroda, Satoshi Soda, Mitsuo Yamashita, and Michihiko Ike. *Waste and Biomass Valorization*. 査読有. 3(4), 409-418, 2012.

*6.池道彦、山下光雄、黒田真史:「メタルバイオ技術による排水からのレアメタル回収の可能性」環境バイオテクノロジー学会誌、査読無、vol.12、3-8、(2012)。

*7. Laboratory-scale bioreactors for soluble selenium removal from selenium refinery wastewater using anaerobic sludge. Satoshi Soda, Masami Kashiwa, Tsubasa Kagami, Masashi Kuroda, Mitsuo Yamashita, and Michihiko Ike. *Desalination*. 査読有. 279, 433-438 (2011).

*8. Characterization of *Pseudomonas stutzeri* NT-I capable of removing soluble selenium from the aqueous phase under aerobic conditions. Masashi Kuroda, Emi Notaguchi, Akiko Sato, Masaya Yoshioka, Ai Hasegawa, Tsubasa Kagami, Takanobu Narita, Mitsuo Yamashita, Kazunari Sei, Satoshi Soda, and Michihiko Ike. *J. Biosci. Bioeng.*, 査読有. 112(3), 259-264 (2011).

9. Molecular cloning and characterization of the *srdBCA* operon encoding the respiratory selenate reductase complex from the selenate-reducing bacterium, *Bacillus selenatarsenatis* SF-1. Masashi Kuroda, Mitsuo Yamashita, Kanako Imao, Noriyuki Fujimoto, Hisayo Ono, Kouta Nagano, Emiko Miwa, Kazunari Sei, and Michihiko Ike. *J. Bacteriol.*, 査読有. 193(9), 2141-2148 (2011).

*10.井上亮、山田竜生、河村卓哉、新井剛、永山勝久“イオン交換法による使用済液晶パネ

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

ル中からのインジウム分離・回収の基礎研究”日本イオン交換学会誌、査読有.Vo1.22, No.3(2011)p.87-95.

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

*11.「第2章 メタルバイオテクノロジー」山下光雄、清和成編集,分担.“地球を救うメタルバイオテクノロジー -微生物と金属資源のはなし-” 成山堂書店. 2014 年.

*12.「レアメタルのバイオ濃縮回収技術の可能性」.成田尚宣、山下光雄.応用微細藻類学.小柳津広志、倉橋みどり編集.成山堂書店.分担.190. 2012.

*13.「バイオボータリゼーションによるセレンの回収」. 成田尚宣, 山下光雄. リサイクル・廃棄物事典.産業調査会事典出版センター.分担.600. 2012.

14. Phytoremediation for soils contaminated by heavy metals using the symbiosis between *Astragalus sinicus* with rhizobacteria. Mitsuo Yamashita. Handbook of Metal Biotechnology — Applications for Environmental Conservation and Sustainability. Pan Stanford Publishing. 231. 2012.

15.「レンゲと根粒菌の共生による重金属ファイトレメディエーション」.山下光雄.植物機能のポテンシャルを活かした環境保全・浄化技術 ～地球を救う超環境適合・自然調和型システム～.CMC 出版. 261. 2011.

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

16. Bioleaching of gallium from semiconductor/electronic wastes: Screening and characterization of gallium arsenide-extracting bacteria. SIRIKAN MANEESUWANNARAT , ALISA S. VANGNAI, MITSUO YAMASHITA and PAITIP THIRAVETYAN. ENRIC2014: Global Climate Change and Sustainability pathway 6-7/November,2014,Bangkok,Thailand.

17. Selenium recovery from kiln powder as by-product of cement manufacturing by using chemical leaching and bacterial reduction. S. Soda, A. Hasegawa, M. Kuroda, A. Hanada, M. Yamashita, M. Ike. (The International water association (IWA) World Water Congress & Exhibition, September 21-26, 2014, Lisbon, Portugal)

*18. Recovery of Selenium in Wastewater through Biovolatilization by Using *Pseudomonas stutzeri* NT-I. M. Ike, T. Narita, M. Kuroda, S. Soda, M. Yamashita, (The International water association (IWA) World Water Congress & Exhibition, September 21-26, 2014, Lisbon, Portugal)

*19. 循環型社会を目指した実廃水・実廃棄物からのレアメタル回収技術。大塚治、山下光雄(エコデザインプロダクツ&サービスシンポジウム、東京大学本郷キャンパス、2014)

*20. 微生物を用いた廃水からのセレン気化回収技術の検討。大塚治、黒田真史、池道彦、山下光雄(廃棄物資源循環学会 2014 年度春の研究発表会(平成 26 年度)、川崎)

*21. 海洋環境からの好気性テルル酸還元微生物の単離とテルル酸還元能の解析。堀池巧、大塚治、田中康寛、寺原猛、今田千秋、山下光雄(マリンバイオテクノロジー学会 2014 年度大会(平成 26 年度)、三重大学)

*22. テルルを代謝する新規海洋性微生物の獲得とその機能解析。堀池巧、大塚治、田中康寛、寺原猛、今田千秋、山下光雄(日本農芸化学会2014年度(平成26年度)、東京、3月27-30日)

*23. *Pseudomonas stutzeri* NT-Iのジメチルジセレニド合成能の特徴。大塚治、成田尚宣、黒田

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

- 真史、池道彦、山下光雄(日本農芸化学会2014年度大会(平成26年度)、東京、3月27-30日)
- *24. 赤塚秀太、今林慎一郎、「メディエータ型亜セレン酸還元反応はセレン回収方法として有用か?—反応機構解析結果に基づく電解還元条件の検討—」、第 60 回ポーラログラフおよび電気分析化学討論会、2014/11/16、京都工繊大
- *25. 越雲文也、今林慎一郎、「電子メディエータを介する亜セレン酸の電極還元反応機構の解析」、電気化学会第 81 回大会、2014/3/29、関西大学千里山キャンパス
- *26. 北義弘、新井剛、十時一晃、「廃棄物の減容化を目指した都市鉱山からのイオン液体による有用資源の直接回収技術の創生」、平成 26 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会、2014.
- *27. 北義弘、十時一晃、新井剛、「 $[C_n\text{mim}][PF_6]$ を用いた複合反応系による塩酸水溶液中からの Pd の直接回収に関する基礎研究」、エコデザイン学会/NPO エコデザイン推進機構「エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム」、2014.
- *28. ジャーファーマンターを用いた *Pseudomonas stutzeri* NT-I によるセレンオキソアニオン還元特性の検討。樋口靖典、成田尚宣、黒田真史、惣田訓、山下光雄、池道彦(2013 年度(第 50 回)日本水処理生物学会、神戸市、11 月 13-15 日)
29. Analyses of selenate reduction mechanism in *Pseudomonas stutzeri* NT-I, the promising biocatalyst for selenium-removal and recovery from contaminated water. Masashi Kuroda, Emiko Miwa, Kazunari Sei, Satoshi Soda, Mitsuo Yamashita, and Michihiko Ike. (Metals and Related Substances in Drinking Water 5th international Conference, November 6-9, 2013, Shanghai, China)
30. *Pseudomonas stutzeri* NT-I capable of reducing selenate/selenite into elemental selenium and methyl selenides; a versatile microbial agent for biotreatment/bioremediation of selenium contamination. M. Kuroda, T. Kagami, T. Narita, S. Soda, M. Yamashita, and M. Ike. (VJSE: Vietnamese-Japanese Students' Scientific Exchange Meeting, September 23, 2013, Osaka, Japan)
- *31. Development of recycling technology of rare-earth elements (REE) from wastes using microorganism's metabolism). Mitsuo Yamashita, Takumi Horiike. (Japan Sustainable Mining, Investment & Technology business forum 2013, 東京、5 月 16-17 日)
- *32. 越雲文也、今林慎一郎、「メチルビオロゲンを介した亜セレン酸の電極還元反応に対する緩衝液の影響」、電気化学会第 80 回大会(東北大学)、2013/3/29、東北大学川内キャンパス
- *33. 十時一晃、北義弘、新井剛、「 $[C_n\text{mim}][PF_6]$ によるレアメタルの抽出及び電気化学挙動に関する研究」、日本溶媒抽出学会「第 32 回 溶媒抽出討論会」、2013.
- *34. *Pseudomonas stutzeri* NT-Iによるセレン酸還元機構の解析。黒田真史、三輪美恵子、清和成、惣田訓、山下光雄、池道彦(日本農芸化学会2013年度(平成25年度)、仙台、3月25-28日)
- *35. テルル酸還元細菌 *Ochrobactrum anthropi* Ti-3株のテルル酸還元能の解析。大塚治、長谷川智美、坂本康太、生田裕馬、池道彦、山下光雄(日本農芸化学会2013年度(平成25年度)、仙台、3月25-28日)
- *36. 越雲文也、今林慎一郎、「回転電極測定法を用いた水溶性セレン化合物の電極還元反応の解析」、第 58 回ポーラログラフおよび電気分析化学討論会(高尾)、2012/11/27、八王子市高尾の森わくわくビレッジ
- *37. 十時一晃、劔持達也、木暮勇、佐々木琴江、新井剛、「イオン液体に含まれる金属イオ

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

ンの電氣的回収に関する研究”、平成 24 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会、2012.

*38. 木暮勇、十時一晃、劔持達也、新井剛、“低融点イオン液体のアルキル鎖変化による塩酸溶液中の金属イオンの抽出挙動に関する研究”、平成 24 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会、2012.

39. 二種のセレン酸還元細菌のセレン酸還元関連遺伝子の解析。黒田真史、三輪恵美子、清和成、惣田訓、山下光雄、池道彦(2012年度(第49回)日本水処理生物学会、北里大学白金高輪キャンパス、11月24-25日)

*40. *Pseudomonas stutzeri* NT-Iを用いたセレン揮発化除去・回収プロセスの試行。黒田真史、成田尚宣、三輪美恵子、鏡つばさ、惣田訓、山下光雄、池道彦(2012年度日本生物工学会大会、神戸国際会議場、10月23-26日)

*41. F. Koshikumo, W. Murata, A. Ooya and S. Imabayashi, “Electrochemical reduction of selenite and selenate accelerated by methyl viologen”, PRiME2012, 2012/10/9, Honolulu, Hawaii.

*42. 越雲文也、今林慎一郎、「メチルビオロゲン共存下における水溶性セレン化合物の電極還元反応の解析」、電気化学会第 79 回大会、2012/3/30、アクトシティ(浜松)。

*43. セレン酸還元細菌 *Pseudomonas stutzeri* NT-Iを用いたセレン酸および亜セレン酸還元の最適化。成田尚宣、鏡つばさ、黒田真史、惣田訓、池道彦、山下光雄(2012年度日本農芸化学会大会、京都女子大学、3月22-25日)

*44. Recycling of selenium from K-powder in selenate reducing bacterium, *Pseudomonas stutzeri* NT-I. Shun Ochiai, Takanobu Narita, Kazunari Sei, Satoshi Soda, Michihiko Ike, and Mitsuo Yamashita (SEATUC 6th congress, March, 6-7, 2012)

*45. 越雲文也、今林慎一郎、「水溶性セレン化合物の電極還元反応におけるメチルビオロゲンの役割」、第 57 回ポーラログラフおよび電気分析化学討論会、2011/12/1、沖縄県男女共同参画センター(那覇)。

*46. 劔持達也、木暮勇、新井剛、永山勝久“イオン液体を用いた塩酸水溶液中からの有用金属の分離・回収プロセスの研究”資源・素材 2011(堺)、2011.

*47. Isolation and characterization of bacteria capable of reducing tellurium oxyanions to insoluble elemental tellurium. Tsubasa Kagami, Akira Fudemoto, Noriyuki Fujimoto, Emi Notaguchi, Masaya Kanzaki, Masashi Kuroda, Satoshi Soda, Mitsuo Yamashita, and Michihiko Ike. (Ecomate, 2011 年 11 月 28-30 日)

*48. セメント工場から発生する K パウダーからのセレン回収方法の基礎検討。長谷川愛、黒田真史、花田晶子、惣田訓、山下光雄、池道彦(廃棄物資源循環学会第 22 回研究発表会、東洋大学、11 月 3-5 日)

*49. メタルバイオ技術による排水からのレアメタル回収の可能性。池道彦、山下光雄(2011 年日本生物工学会、東京農工大学、東京、9 月 26-28 日)

*50. セレン酸還元細菌 *Pseudomonas stutzeri* NT-I 株を用いた K パウダーからのセレンの回収。落合俊、成田尚宣、清和成、惣田訓、池道彦、山下光雄(2011 年日本生物工学会、東京農工大学、東京、9 月 26-28 日)

*51. Optimization of seleno-oxyanions reduction and recovery of elemental and gaseous selenium with selenate reducing bacterium, *Pseudomonas stutzeri* NT-I. T. Narita, M. Kashiwa, S. Yamazaki, T. Horiike, Y. Tokunaga, S. Kuboyama, H. Shirai, S. Ogiyama, S. Soda, M. Ike, and M. Yamashita. (International Union of Microbiological societies 2011 Congress, Sapporo, 2011 年 9 月 6-10 日)

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

*52. *Pseudomonas stutzeri* NT-I capable of reducing selenater/selenite into elemental selenium and voltatizing them as methylated selenium. E. Miwa, M. Kuroda, E. Notagushi, A. Sato, M. Yoshioka, A. Hasegawa, T. Kagami, K. Sei, S. Soda, M. Yamashita, and M. Ike. (International Union of Microbiological societies 2011 Congress, Sapporo, 2011 年 9 月 6-10 日)

53. Molecular cloning and characterization of the *srdBCA* operon encoding the respiratory selenate reductase complex from the selenate-reducing bacterium, *Bacillus selenatarsenatis* SF-1. Masahi Kuroda, Mitsuo Yamashita, Emiko Miwa, Kazunari Sei, and Michihiko Ike. (Asian Congress on Biotechnology ACB-2011, Outstanding awards for young scientists, 2011 年 5 月 11-15 日, Shanghai, China)

<研究成果の公開状況> (上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

※ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

<既に実施しているもの>

芝浦工業大学工学部応用化学山下研究室(生命化学研究室)のホームページ
(<http://www.ch.shibaura-it.ac.jp/yamashitalab/index.html>)に一部情報を公開している。

公益社団法人 日本生物工学会 メタルバイオテクノロジー研究部会の代表をしており、
(http://www.sbj.or.jp/division/division_metalbio.html)に一部情報を公開している。

<これから実施する予定のもの>

* 酸化焙焼によるバイオセレンからのセレン分離の検討。大塚治、築場豊、吉川健、山下光雄(日本金属学会誌)

* 耐塩性テルル酸還元細菌のテルル酸還元能の解析。堀池巧、大塚治、寺原猛、今田千秋、山下光雄(マリンバイオテクノロジー学会 2015 年度大会(平成 27 年度)、東京海洋大学)

* 赤塚秀太、越雲文也、今林慎一郎、「メディエータ型水溶性セレン還元反応に基づくセレン回収法の可能性」、電気化学会第 82 回大会、2015/3、横浜国立大学

14 その他の研究成果等

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

「13 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果、企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには下線及び＊を付してください。

※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

*54. 太平洋セメント(株)とは「セメント製造工程におけるセレンおよび他の有害物質浄化技術の開発」という題目で共同研究.

*55. JX 日鉱日石金属(株)とは JX 日鉱日石金属由来の廃水サンプルを用いて低コストで高効率なレアメタルを回収するためのプロセスの開発を目指して、「レアメタル回収実証プラント構築を目指した開発研究」という研究題目で共同研究.

56. 三菱レーヨン(株)とは「分離膜を用いたセレン処理・回収技術の研究」という研究題目で共同研究.

57.テレビ朝日 スーパーJチャンネル 平成25年5月1日(水)「ゴミに隠れた『宝』を発掘 レアメタル鑑定」という番組で本研究内容の微生物によるレアメタル回収が取材、放映された.

58.朝日新聞 平成25年7月31日(水)夕刊「レアメタル 微生物で回収」とタイトルの記事が掲載された.

59.電気新聞 平成25年10月15日(火)「全国理系学び舎紀行」に研究室と研究内容が紹介された.

60.化学工業日報 平成26年1月6日(月)「グリーンイノベーション」に研究内容(微生物でレアメタル回収)が掲載された.

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1191004

15 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項とそれへの対応

＜「選定時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

基盤形成の観点からの研究成果に留意されたい。

＜「選定時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

将来につなげる基礎的な実験結果を取得することを心がけ、学術論文や著書や学会発表での成果をあげることを重視した。さらに基礎的な研究を実用化に結びつけるため、企業と共同研究を行ない、特許申請も行った(研究成果の副次的効果参考)。

＜「中間評価時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

学術論文・学会・特許出願などの成果が認められる。しかしながら、研究代表者と学外研究者1名の成果のみで、プロジェクトとしての連携が必ずしもうまくいっているとは思えない。

今後、連携を深め、基盤形成のための研究成果の蓄積を期待する。

＜「中間評価時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

中間報告では提出枚数に制限があり、全てを網羅して記述できなかった。そこで本報告では研究発表の状況欄に加筆した。当初の目標であるレアメタル代謝微生物の分離、リアクターの構築、精錬技術の開発及び一連のフローからの派生研究までを示すことができる研究成果をあげた。

学内研究者の業績欄に研究代表者の名前が記載されていないのは、貢献度を低く設定したので削除した。実際上は、本実験研究で行った元素分析の一部を分担し、担当学生の実験技術指導を行っている。

学外研究者のうち1名は福島県で生じた災害のために研究ができなくなり、レアメタル分析に関しての示唆をいただくことでプロジェクトの役割を担って頂くことにした。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

研究進捗状況報告書の概要

1 研究プロジェクト

学校法人名	芝浦工業大学	大学名	芝浦工業大学
研究プロジェクト名	木材を使用した住宅用内装・設備の開発とその市場化による地域産業の振興		
研究観点	研究拠点を形成する研究		

2 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

日本の住宅ストックの約4割は共同住宅であり、そのかなりの部分を占める区分所有マンションの老朽化が進んでいる。外から見ると健全に見えるマンションでも、入居者の高齢化、独居化が進み、住まい手の人間関係が崩壊しつつある。高齢化が進み、世帯用の住戸に1人、2人の高齢者が住まう。共同住宅の人口構成は歪で、地域コミュニティとしても機能していない。構造体として十分、耐久性、耐震性がある住宅ストックのインフィル(住宅の内装・設備)改修を行い、「住まい」と「住まい手」のミスマッチを解消して、健全な住共同体として再生することが急務である。技術的にどのように改修工事をするかだけでなく、住宅改修により、今後、どのように快適な地域社会を構築するかについても研究を行う。共同住宅を、高齢者が住み続け、若い世帯も入居する、持続可能性を持った「すまい」として再生するため、ハード、ソフトの両面で総合的に検討する。

持続可能性や資源の有効活用の側面からも、これまでのように短い期間で、住宅をスクラップアンドビルドにより浪費することはできない。若い世代が今後、住居に負担できる資金は限られている。都心にリーズナブルな費用負担で、真に豊かな住環境を手に入れるためには、既存の住宅ストックを、有効に活用していくことが必須である。次の世代に、既存住宅ストックを、適切な姿で、引き継ぐ手法を構築することが、本研究の社会的意義である。

具体的には、芝浦工業大学に近接する江東区新木場の木材流通企業と連携して、インフィル改修に木材を活用する手法を開発している。本研究は、既存住宅のストック改修と言う社会的課題と、景気低迷に苦しんでいる地元の木材流通加工業の振興と言う経済的課題とを組み合わせ、複合的に解決することを目指している。

3 研究プロジェクトの進捗及び成果の概要

(1) マンション改修用設計図書の作成および施工実験

- ①平成 24 年度に実施した市場分析に基づき、モデルとなる標準的規模のマンションの改修工事の基本設計図書を作成した。
- ②設計図書の開発成果に基づき、実際のマンションリフォーム工事を実施した(工事にかかわる経費は本研究とは別)。工事期間中、共同研究者のStephen Kendall教授が来日し、国際的視点から施工実験のレビューを行った。
- ③インフィル改修工事の内装構法技術を開発するため、原寸の軸組モデルを制作し、伝統構法の専門家と意見交換を行った。
- ④天然木無垢材を用いた遮音性を有する床用木材の開発を行い、性能実験を行った。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

(2)長寿命化を目指して UR 都市再生機構が1980年代初頭に多摩ニュータウンに建設した可変性を高めた KEP 実験共同住宅、民間事業者が浦安に1980年代に建設した長寿命共同住宅(CHS:センチュリー・ハウジングシステム)の居住履歴および改修履歴の実態調査を行い、ストック活用のニーズとそれに対応する改修技術について分析した。

(3)江東区におけるマンションリフォーム市場の調査

江東区において市場に供給されている改修された中古マンションの価格とそのマンションの分譲当時の価格を比較分析し、マンションの改修がもたらす不動産価値の増加を、マンションの竣工年別、地区別に分析した。

(4)マンションリフォーム業者へのヒアリング調査

中古マンションを買い取り、リフォーム後に分譲している上場企業および、区分所有者の依頼を受けて個別設計のスケルトンリフォーム工事を行っている業界 1 位の企業にヒアリング調査を行い、リフォーム工事の技術上の問題点を明らかにした。

(5)都市住宅学会査読付き論文1編、一般論文8編を発表した。本研究の成果を反映して、単著(P.200)1冊、共著6冊を出版した。日本建築学会での学術講演4編、専門家やマンション管理組合役員を対象としたセミナーなどで講演、パネルディスカッションを4回行い、研究成果を報告した。新聞、雑誌などの取材を受け、研究成果が報道された。研究内容について国土交通省社会資本審議会で発言し、議事録が国土交通省のウェブサイトで公開された。日本建築家協会の依頼により、2014年10月15日、専門家を対象としたメンテナンス部会セミナーにて研究成果を公表する内容の講演を行った。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

平成 24 年度選定「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」 研究進捗状況報告書

- 1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学
- 3 研究組織名 芝浦工業大学 SIT 総合研究所 建築ストック研究センター
- 4 プロジェクト所在地 東京都江東区豊洲3-7-5
- 5 研究プロジェクト名 木材を使用した住宅用内装・設備の開発とその市場化による地域産業の振興
- 6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
南 一誠	建設工学専攻	教授

- 8 プロジェクト参加研究者数 10 名

- 9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
南 一誠	工学部・教授	木材を活用した住宅内装の開発	地場産業を活かした住宅内装の開発と事業化
蟹澤宏剛	工学部・教授	共同住宅内装用家具の開発	木材加工技術の育成
秋元 孝之	工学部・教授	改修用住宅設備の開発	住宅設備の開発
土方 勝一郎	工学部・教授	インフィルの耐震性確保	耐震性分析
(共同研究機関等) 澤田 誠二	客員教授	建築構法、団地再生	サプライチェーンマネジメントの計画
山崎 尚	(株)山康商店・ 代表取締役社長	木材加工、流通	地場産業の育成、技術支援
Stephen Kendall	Ball State 大学・教授	オープンビルディング	インフィルの市場開発
Tedd Benson	Bensonwood・ 代表取締役社長	木造工法	木造住宅生産の先進技術供与
近角 真一	集工舎都市建築デザイン研究所・所長	SI 工法	スケルトンインフィル技術の開発
安達 好和	(株)インテリックス空間設計・取締役	インフィル開発	インフィル下地の技術開発

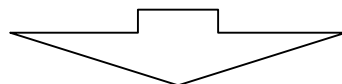
法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
改修工事の施工性	工学部・教授	木本 健二	現場施工性の向上

(変更の時期:平成24年4月1日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
(新採用)	工学部・教授	土方 勝一郎	耐震性分析

11 研究進捗状況(※ 5枚以内で作成)

(1)研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

江東区新木場の木材流通企業と連携して、区内の経年の進んだ共同住宅のインフィル(住宅の内装・設備)改修を行うための建築構法を開発する。全国各地には、4920 万戸の住宅が存在し(平成 20 年度)、その約 4 割、2068 万戸が共同住宅である。そのうち約 600 万戸がマンションであるが、経年が進んだ建物の比率が、年々高まっている。一方、日本社会は、少子化、高齢化、小世帯化が進み、建設された当時とは、家族構成、ライフスタイルが大きく変化している。私たちが進むべき、持続可能な社会を実現するには、既存の共同住宅を短い周期で建替えるのではなく、住戸内部の仕上げ、設備で構成されるインフィルを、その時代のライフスタイルや居住者のニーズに即したものに定期的に更新し、快適な生活を実現するための技術が求められている。

本研究では、まず研究対象地域である江東区における、住居ニーズの実態把握を行い、高齢化や在宅介護などの社会ニーズに対応した改修技術の開発を目指す。改修工事の生産性の向上と経済性を実現するため、工業化住宅の内装システムで開発されてきた生産技術やサプライチェーン(物流)などを応用して、製品開発を行う。そのため、研究プロジェクトの参加者には、民間企業にて長年にわたり、工業化住宅を開発してきた技術者や、UR 都市再生機構の共同住宅の改修工事の設計経験を有する技術者を含めて実施している。

申請者はこれまで、共同住宅の長期居住履歴と改修工事の実態調査を数多く行い、その成果を論文発表している。また UR 団地再生機構の既存住宅ストック改修のための技術開発プロジェクト「ルネッサンス計画1」の審査員やアドバイザーを務めてきた。2012 年 2 月から 8 月まで、国土交通省に設置された「持続可能社会における既存共同住宅ストックの再生に向けた勉強会」の委員として働き、その後、その成果の周知のためシンポジウム講師などを担当している。本研究は、申請者のこれらの研究成果を基礎とし、さらに発展させることを目指して行っている。

本研究は、既存住宅のストック改修という、我が国が抱える社会的課題と、地域の木材流通加工業の産業振興と言う経済的課題とを組み合わせ、複合的に解決することを、目指している。

(2)研究組織

研究目的を達成するため、この分野の研究、実務に精通する学内 4 名、学外 6 名(内 2 名は海外)の専門家による産学連携の研究組織を構成し、定期的に打ち合わせを行うことにより、研究を進めている。研究を円滑に進めるため、学外研究者には芝浦工業大学 SIT 総合研究所客員教授、客員研究員を委嘱している。芝浦工業大学理工学研究科の建設工学専攻分野における連携大学院客員教授には、オブザーバーになっていただき、定期的に助言をいただいている。

研究代表者の南 一誠(芝浦工業大学・教授)は、研究全体の総括、工程管理を行うとともに、自らは木材を活用した住宅内装の開発を研究課題とし、地場産業を活かした住宅内装の開発と事業化に取り組

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

んでいる。研究代表者と各研究者は定期的に打ち合わせを行い、研究課題全体として、進行管理を行っている。

研究代表者と同じ組織に所属する、蟹澤宏剛教授、秋元孝之教授、土方勝一郎教授は、共同住宅内装家具の開発、改修用住宅設備の開発、インフィルの耐震性確保などの研究課題について、木材加工技術の育成、住宅設備の開発、耐震性分析などに専門的知見を提供することが期待されている。

学外研究者である、澤田誠二客員教授(明治大学・工学部元教授)は、専門性を活かして建築構法、団地再生を研究課題としてとりあげ、サプライチェーンマネジメントの計画を分担している。山崎尚株式会社山康・代表取締役社長は、木材加工、流通を専門とし、地場産業の育成や技術支援のあり方の検討について、研究代表者を補佐してしる。

Ball State 大学の Stephen Kendall 教授は、研究代表者とはオープンビルディングの研究を 30 年以上にわたって協同しており、定期的に訪日して、インフィルの市場開発の研究を分担している。

Bensonwood 代表取締役社長の Tedd Benson は、研究代表者が訪米することにより、米国における最新の木造工法について打ち合わせを行い、本プロジェクトに木造住宅生産の先進技術を供与している。

集工舎都市建築デザイン研究所の近角真一所長は、我が国の SI 工法に関する第一人者であり、スケルトンインフィル技術の開発を担当している。(株)インテリックスの安達 好和・取締役も、わが国におけるマンションのリフォームを先導する企業の技術責任者であり、本研究組織においては、インフィル開発におけるインフィル下地の技術開発を担っている。

上記の研究組織に研究代表者の研究室の大学院生 8 名が、各研究課題に参画している。

(3) 研究施設・設備等

・研究施設の場所、面積及び使用人数：

芝浦工業大学豊洲キャンパス研究棟 7 階 C25 室および 8 階 C25 室(合計面積、約 75 m²)に設備を設置し、研究拠点として、プロジェクト所属の研究者および大学院制名が研究を行っている。

・主な研究設備の名称と利用時間

2013 年度において BIM 対応 CAD システムを整備した。設備は常時使用可能な状態に有り、月平均 200 時間の利用実績がある。2014 年度においては、木工製作機械(6 軸多関節ロボットおよびガントリー型 NC ルーター)を導入し、不足する専門的技能者によらずに木材を加工する技術開発に取り組んでいる。

(4) 進捗状況・研究成果等 ※下記、13 及び 14 に対応する成果には下線及び * を付すこと。

＜現在までの進捗状況及び達成度＞

申請書に記載した研究内容について、計画的に研究を進めており、予定通り当初の目標を達成できる見込みである。

(1) マンション改修用設計図書の作成および施工実験

①平成 24 年度に実施した市場分析に基づき、モデルとなる標準的規模のマンションの改修工事の基本設計図書を作成した。設計図書作成の検討作業に本年度、調達した CAD システムを活用した。

②基本設計図に基づき、実際のマンションリフォーム工事を実施した(工事にかかわる経費は本研究とは別)。工事期間中、共同研究者の Stephen Kendall 教授が来日し、国際的視点から施工実験のレビューを行った。

③インフィル改修工事の内装構法技術を開発するため、原寸の軸組モデルを制作し、伝統構法の専門家と意見交換を行った。

④遮音性を有する床用木材の開発を行い、性能実験を行った。

(2)長寿命化を目指して UR 都市再生機構が 1980 年代初頭に多摩ニュータウンに建設した可変性を高めた KEP 実験共同住宅、民間事業者が浦安に 1980 年代に建設した長寿命共同住宅(CHS:センチュリー・ハウジングシステム)の居住履歴および改修履歴の実態調査を行い、ストック活用のニーズとそれに対応する改修技術について分析した。

(3)江東区におけるマンションリフォーム市場の調査

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

江東区において市場に供給されている改修された中古マンションの価格とそのマンションの分譲当時の価格を比較分析し、マンションの改修がもたらす不動産価値の増加を、マンションの竣工年別、地区別に分析した。

(4) マンションリフォーム工事の実態調査

中古マンションを買い取り、リフォーム後に分譲している上場企業および、区分所有者の依頼を受けて個別設計のスケルトンリフォーム工事を行っている業界 1 位の企業にヒアリング調査を行い、リフォーム工事の技術上の問題点を明らかにした。

(5) 都市住宅学会査読付き論文1編、一般論文8編を発表した(*13の査読付き論文(A)1、*13の査読なし論文(B)1, 2, 3, 4, 5, 6, 8)。

本研究の成果を反映して、単著(P.200)1冊、共著6冊を出版した(*13<図書>の1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)。日本建築学会での学術講演9編(*13の<学会発表>1~9)、専門家やマンション管理組合役員を対象としたセミナーなどで講演、パネルディスカッションを4回行い、研究成果を報告した(13の<研究成果の公開状況<すでに実施しているもの>の1~4、<これから実施する予定のもの>の1, 2)。研究内容について国土交通省社会資本審議会で発言し、議事録が国土交通省のウェブサイトで公開された(*14その他の研究成果の7)。

<特に優れた研究成果>

新聞(日刊建設工業新聞)、雑誌(ダイヤモンドムック)などの取材を受け、研究成果が報道された。出版物を読んだ読者から、居住する住宅団地の再生について問い合わせや協力依頼を受け、情報提供した(*14その他の研究成果の1, 2, 3, 4, 5, 6)。

日本建築家協会の依頼があり、2014年10月15日、専門家を対象としたメンテナンス部会セミナーにて研究成果を公表する内容の講演を行った。

<問題点とその克服方法>

特に大きな問題点は、ありません。

<研究成果の副次的効果(実用化や特許の申請など研究成果の活用の見通しを含む。)>

国土交通省、社会資本整備審議会・社会資本メンテナンス戦略小委員会、同・建築分科会、同・建築基準制度部会(*14その他の研究成果の7)、同・建築環境部会の委員として、委員会の審議に研究成果を還元し、社会貢献に努めている。

<今後の研究方針>

既存の共同住宅を、今後、長期的に住み続けられるものにするために、構想調書に記載した内容を計画的に研究している。当初、平成26年度において計画していた下記の内容については、平成25年度に一部、前倒しで実施した。

- ①基本設計、製作図に基づき、住宅改修用木製インフィルの試作品を工場製作する。
- ②試作品を分析して、基本設計、製作図の改良を行う。

平成26年度においては、下記の研究を重点的に実施した。

- ① 多摩ニュータンにおいて長期居住実績のある共同住宅を対象に、居住履歴および改修履歴の調査を行った。
- ② マンションリフォームの施工実験の分析結果に基づき、基本設計、製作図の改良作業を行った。
工事期間中、共同研究者のStephen Kendall教授が来日し、国際的視点から施工実験のレビューを行った。
- ③ インフィル改修工事の内装構法技術を開発するため、原寸の軸組モデルを制作し、伝統構法の専門家と意見交換を行った。
- ④ 天然木無垢材を用いた遮音性を有する床用木材の開発を行い、性能実験を行った。

<今後期待される研究成果>

平成27年度以降、構想調書に記載した研究を計画的に進めることにより、下記の研究成果が得られるものと期待している。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

- ①平成24、25年度に調査分析した江東区における共同住宅の居住者特性と、マンションストックの実態に基づき、地域の共同住宅のインフィル改修の需要を、世帯種別ごとに導出する。
- ②上記の需要予測に基づき、インフィル改修モデルプランを、若年世帯用、シニア世帯用、介護世帯用、複合世帯用など、タイプ別に作成する。
- ③インフィル改修のモデル設計、施工実験の検証を行い、施工性などについて改善手法を導出する。
- ④天然木無垢材を用いた遮音床の開発を継続し、商品化に向けての課題を明らかにする。
- ⑤必要に応じて特許出願を行うと同時に、安定的な需要者の開拓、流通業者、施工代理店の確保など、企業化に向けての準備作業を行う。

<プロジェクトの評価体制(自己評価・外部評価を含む。)>

大学の研究戦略の総合的な企画立案をする SIT 総合研究所が研究代表者とヒアリングを実施し、研究成果の評価、今後の展開の確認を行っている。その結果を受け、研究戦略会議において、各事業の次年度の予算配分を決定する仕組みとしている。また、客観評価については、SIT 総合研究所として、年に1回、外部の有識者4名(大学、企業等)からなる評価委員会を実施し、多角的な視点から忌憚りの無い評価・アドバイス等を受けている。

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) 共同住宅 (2) ストック活用 (3) インフィル(内装・設備)
 (4) 既存改修 (5) 木材利用 (6) 地域産業再生
 (7) 高齢者居住 (8) ビジネスモデル構築

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

(A)査読有りの論文

- * 1) 成熟社会における共同住宅ストックの再生、南一誠、都市住宅学会 20 周年記念誌「都市住宅に関する提言」、pp.114-117、2013 年 8 月

(B)査読なしの論文

- * 1) 時と共に変化する建築 使い続ける技術と文化 リフォーム&リニューアルによる新しい価値の創造、南一誠、月間リフォーム、第 31 巻 1 号通巻 358 号、pp.46-49、2014 年 1 月
- * 2) マンションストックの再生技術と専門家の役割、南一誠、日本ウレタン建材工業、会誌ウレタン建材 37 号、pp. -、2014 年 1 月
- * 3) 「マンション再生に係る専門家の育成」について、南一誠、公益社団法人全国市街地再開発協会 市街地再開発、pp.30-45、No.523、2013 年 11 月
- * 4) 茨城県における市町村合併に伴う庁舎再編(1)、加藤達也、菅原晃、原田亮介、丸山諒太郎、石川翔一、日比野雄大、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.225-226、2013 年 8 月
- * 5) 茨城県における市町村合併に伴う庁舎再編(2)、原田亮介、加藤達也、菅原晃、丸山諒太郎、石川翔一、日比野雄大、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.227-228、2013 年 8 月
- * 6) 木材を使用した住宅用内装・設備の開発とその市場化による地域産業の振興、丸山諒太郎、加藤達也、菅原晃、原田亮、石川翔一、日比野雄大、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.1017-1018、2013 年 8 月
- 7) 農山村地域の居住者と都会からの移住者の領域認識の差、青沼寛子、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.1353-1354、2013 年 8 月
- * 8) 長寿命建築と都市、社会、技術、南一誠、公益社団法人ロングライフビル推進協会 BELCA NEWS 特集

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

「長寿命化技術の今後の動向」、pp.11-19、2013 年 7 月

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

- * 1) 時と共に変化する建築 使い続ける技術と文化、南一誠、200 ページ、UNIBOOK、2014 年 2 月 28 日
- * 2) 木の魅力を伝える、南一誠、山下浩一、三浦清史、pp.4-28、pp.158-159、UNIBOOK、2014 年 2 月 28 日
- * 3) 集合住宅のインフィル改修、集合住宅のインフィル再生技術 ～インテリアの新技术～、南一誠、安達好和、近角真一、川崎直宏、安孫子義彦、井上書院、2014 年 2 月 28 日
- * 4) 日本建築学会叢書「市民と専門家が協働する成熟社会の建築・まちづくり」、南一誠、和田章、後藤治、中井検裕、桑田仁、樋口秀、高木次郎、川瀬貴晴、鈴木祥之、「はじめに」、「あとがき」、2014 年 2 月 28 日
- * 5) 共同住宅ストックの再生のための技術の概要 総合、高齢者対応、南一誠、pp.8-43、共同住宅ストックの再生のための技術の概要 耐用性、pp.44-49、マンションストック再生技術、テツアード出版、2013 年 6 月 28 日
- * 6) 包括的な生活サービスへの拡大とサプライチェーンを活かしたインフィル産業の構築、南一誠、プレハブ建築協会 50 年史、第4章「これからのプレハブ建築」、p.190、2013 年 5 月
- * 7) 平成 26 年 インテリアプランナー更新講習テキスト、財団法人日本建築技術教育普及センター、南一誠、福井潔、近角真一、川崎直宏、2014 年 4 月

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

- * 1) 山中尚典、南一誠他: CHS 方式集合住宅における居住者属性 -センチュリーハウジングシステムを採用した集合住宅の研究-、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014 年 9 月、pp.1201-1202
- * 2) 日比野雄大、南一誠他: CHS 方式集合住宅におけるインフィル改修 -センチュリーハウジングシステムを採用した集合住宅の研究-、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014 年 9 月、pp.1203-1204
- * 3) 横田裕、南一誠他: CHS 方式集合住宅における居住履歴(1) -センチュリーハウジングシステムを採用した集合住宅の研究-、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014 年 9 月 pp.1225-1226
- * 4) 吉田早織、南一誠他: CHS 方式集合住宅における居住履歴(2) -センチュリーハウジングシステムを採用した集合住宅の研究-、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014 年 9 月、pp.1227-1228
- * 5) 木材を使用した住宅用内装・設備の開発とその市場化による地域産業の振興、丸山諒太郎、加藤達也、菅原晃、原田亮、石川翔一、日比野雄大、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.1017-1018、2013 年 8 月
- * 6) 茨城県における市町村合併に伴う庁舎再編(1)、加藤達也、菅原晃、原田亮介、丸山諒太郎、石川翔一、日比野雄大、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.225-226、2013 年 8 月
- * 7) 茨城県における市町村合併に伴う庁舎再編(2)、原田亮介、加藤達也、菅原晃、丸山諒太郎、石川翔一、日比野雄大、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.227-228、2013 年 8 月
- * 8) 茨城県における市町村合併に伴う庁舎再編(3)、荒木優太、日比野雄大、石川翔一、山中尚典、山田知洋、吉田早織、横田裕、川島啓輔、丸山諒太郎、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014 年 9 月
- * 9) 茨城県における市町村合併に伴う庁舎再編(4)、山田知洋、日比野雄大、石川翔一、山中尚典、荒木優太、吉田早織、横田裕、川島啓輔、丸山諒太郎、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014 年 9 月
- 10) 農山村地域の居住者と都会からの移住者の領域認識の差 -山梨県早川町奈良田集落における空間利用の実態から-、青沼寛子、南一誠、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.1353-1354、2013 年 8 月

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

＜研究成果の公開状況＞（上記以外）

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

研究成果公開用ホームページ <http://www.minami.arc.shibaura-it.ac.jp>

＜既に実施しているもの＞

- * 1) 木の魅力を伝える 趣旨説明、南一誠、パネルディスカッション、「地(知)の拠点整備事業」イベント、木の魅力を伝える、第 19 回 東京ベイエリア産学官連携シンポジウム、2014 年 1 月 25 日、芝浦工業大学
- * 2) マンションの長寿化に向けた診断と予防保全、南一誠、公益社団法人ロングライフビル推進協会 (BELCA) BELCA セミナー、長く安心して住めるマンションをめざして ―これからのマンション管理のあり方―、2013 年 9 月 4 日、連合会館
- * 3) マンション再生に係る専門家の育成、南一誠、マンション再生協議会総会・シンポジウム、2013 年 7 月 10 日、すまいるホール
<http://www.uraja.or.jp/mansion/doc/news/130710/document02.pdf>
- * 4) 「総合」及び「耐用性」について 国土交通省「持続可能社会における既存共同住宅ストックの再生に向けた勉強会」の成果より、南一誠、第 18 回 リフォーム&リニューアル建築再生展 マンション・ビルのストック再生技術、2013 年 7 月 3 日、東京ビッグサイト <http://rr2013.rrshow.jp/>
- * 5) 可変型集合住宅のライフサイクルデザイン～既存共同住宅ストックの再生に向けて～、南一誠、日本建築家協会メンテナンス部会 プロフェッショナルのための技術セミナー、2014 年 10 月 15 日
- * 6) 世界の伝統木造建築、南一誠、新木場木まつり 2014・冬、江東区新木場シンポジウム、2014 年 12 月 6 日

＜これから実施する予定のもの＞

14 その他の研究成果等

「12 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果及び企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記 11(4)に記載した研究成果に対応するものには * を付してください。

※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

- * 1) 日刊建設工業新聞ストック活用特集号、インタビュー記事「地域、時代のニーズに合わせたストック管理を」が掲載(2014 年 3 月 26 日)。
http://www.shibaura-it.ac.jp/society/advanced_engineering_organization/center11.html)
- * 2) 長く暮らせるマンション 多様な住まい方を実現するストック再生の手法、南一誠、ウエインディ 2013 年 8 月 15 日号、第 291 号、9 ページ (全国のマンション管理組合に配布されているフリーペーパー)
- * 3) これからの住まいづくりに求められることとは?、長谷エコーポレーション社内報 SHIN 2013 Autumn vol.23、pp.14-15
- * 4) 住民合意をまとめていく 話し合いの糸口をつかむ、ダイヤモンド MOOK 蘇るマンション みんなで決める再生への第一歩、P.21、2013 年 4 月
- * 5) 既存住宅ストックの有効利用が目標 木を活かしたリフォームを開発中、総合資格学院 Architekton PLUS vol.7、pp.13-16、2013 年 4 月
- * 6) CHS による共同住宅の長期居住履歴と改修に関する実態調査、ハウジングアンドコミュニティ財団との共同研究、2013 年 7 月 1 日～12 月 27 日
- * 7) 国土交通省、社会資本整備審議会・交通政策審議会 社会資本メンテナンス戦略小委員会委員
国土交通省、社会資本整備審議会建築分科会委員
国土交通省、社会資本整備審議会建築分科会建築基準制度部会委員
- * 8) 建築士法第 15 条の 6 第 3 項の規定により準用する同法第 15 条の 3 の規定に基づく二級建築士および木造建築士試験の試験委員、財団法人建築技術教育普及センター
- 9) 日本学術会議連携会員(第 3 部)土木工学・建築学委員会
大規模地震災害総合対策分科会、大学等研究・キャンパス整備に関する検討分科会、デザイン等の創造性を喚起する社会システム検討分科会、低炭素建築・都市マネジメント分科会 委員
- * 10) 日刊木材新聞(2014 年 12 月 16 日)に、「建築・木材双方の視点で学ぶ」と題した記事が掲載され、12 月 6 日に新木場で行った講演「世界の伝統木造建築」の内容とシンポジウムの概要が紹介された。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1201021

15 「選定時」に付された留意事項とそれへの対応

＜「選定時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

「外部評価を含む評価体制を整備されたい。」との記載をいただいている。

＜「選定時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

(1) 外部学識経験者の指導助言

本研究分野の権威である東京理科大学元理工学部長・元教授の真鍋恒博氏に、芝浦工業大学 SIT 総合研究所客員教授を委嘱し、原則として毎月1回、研究の進捗状況などについて、指導・助言をいただいている。真鍋教授の紹介で、産業界の専門家からヒアリングする機会を得ることができ、研究内容が実務の実態に即したものとなる成果が得られている。

本研究課題に関連する分野において研究実績が豊富な京都大学工学系研究科教授の高田光雄氏と米ボール州立大学のステファン・ケンドル教授に助言をいただいた。私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の建築系分野に採択され研究を進めている関大大学環境都市工学部建築学科の江川直樹教授の研究成果報告会に参加し、戦略研究の進め方、特に成果の公表などについて学んだ。本研究分野と関連する研究課題にて COE 拠点リーダーの経験がある首藤大学東京の深尾精一教授からも、助言をいただいた。

上記の専門家の方がたの評価、助言を踏まえて、研究目標と成果について、絶えず確認を行い、必要に応じて見直すよう心がけている。

(2) 2014年3月18日には、芝浦工業大学 SIT 総研外部点検評価委員会を受審した。

4名の評価者から下記の評価を受けて、平成26年度以降の研究においては、価格(コスト)、流通などの産業化の観点も強化して研究を行っている。

評価委員会における指摘事項

評価者1: 本テーマは共同住宅の再生、地元江東区の木材産業の活性化を狙っており、行政の面からも大変重要なテーマである。価格をおさえた共同住宅再生手法のような形でまとめたいただくと産業界での利用価値が高い。

評価者2: 年数を経たマンション等ストックの補修・延命による有効活用は時流に乗ったテーマである。通常のマンション市場では建設費用の抑制が重要で、仕様の統一、材料の大量購入によりコストダウンとすることが多いと聞いている。内装の多くの部位に木材を使用することであり、生産・流通体制など、良く検討する必要があると思われる。

評価者3: 木材は、日本文化の根源であり、日常生活の多様な面に木材を取り込むことにより石油を原料とする素材(synthetic materials)に汚染された国土を再生する鍵となる。本研究の取り組みは、このような視点からも重要であり、高齢者のみならず若年層も考慮すべきと思われる。ここでも触れられている流通過程のみならず、森林の保全・水資源の保全・労働力の恒常的な確保・国際競争力の向上など多面的なアプローチも期待したい。

評価者4: 木材を住宅用内装に生かし、さらに地域産業への貢献も含めた研究。工程に時間を要する、また費用が高額となるような困難な面があるが、どのように普及し、評価をしていくかが課題であると感じる。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1311010

研究進捗状況報告書の概要

1 研究プロジェクト

学校法人名	芝浦工業大学	大学名	芝浦工業大学
研究プロジェクト名	デバイスから電力システムまで考慮した EV 用 MHz 帯域ワイヤレス電力伝送方式の研究		
研究観点	研究拠点を形成する研究		

2 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

社会的な省エネ要求、CO₂削減要求から個々の機器の省エネだけでなく、自然エネルギーによる発電、電力輸送、電力貯蔵を含んだ電力ネットワークの形成が必要とされている。特に輸送分野では電気自動車(EV)の普及が省エネ、CO₂排出量削減の鍵となっており、停止時の充電のみならず家庭での電力ネットワーク結合(V2H)、ならびに走行中の充電および系統への電力回生についても研究が行われており、EVの普及を妨げているバッテリーエネルギー密度の問題を克服しようとしている。つまりEVが創エネ、省エネ、蓄エネの役割を果たせるようになれば、大きな社会革新が実現される。この電力ネットワークの一部としてのEVに必要なキー技術がワイヤレス電力伝送技術であり、すでに東大や埼玉大をはじめとした研究機関がEVへの応用を前提として研究を行っている。ワイヤレス電力伝送技術は、1m程度の距離でも非接触で電力を送れる技術であるが、まだ1kW程度の小電力伝送しか実現できず、EV走行中での電力授受や、急速充電および電力ネットワークの一部としてEVが役割を果たすためには送受信電力が不足している。大電力伝送が困難な理由は、電力の伝送周波数がMHz帯域と高いために、MHz帯域での大電力インバータが実現できていないためである。MHz帯域の大電力インバータの実現には、ワイドバンドギャップ半導体を用いた高速スイッチングデバイスの開発のみならず、インバータ主回路のインピーダンス低減や、分布定数での回路設計、高周波磁気回路設計が必要である。以上の背景を鑑み、本研究プロジェクトでは同一大学ではあるが異なる学科に所属する、半導体、材料、通信、電力変換、電気機器、電力系統の一流研究者を一同に集め、上記MHz帯域の大電力(10kW)電力ワイヤレス伝送用インバータを研究開発し、実際に非接触で送信した電力によりモータを駆動、回生電力を系統に連携するまでの複合領域プロジェクトを実施することを目的とする。

3 研究プロジェクトの進捗及び成果の概要

2014年度は13.56MHz駆動インバータの設計を行い、基盤内のインダクタンスを低減できる手法を新規開発し、実験にて1kWの出力が得られた。またアンテナの設計も新規手法による最適設計が可能となり、100Wの伝送が行えるようになった。これらの成果は国内学会および国際会議に投稿し、さらには論文誌に投稿中である。走行中給電の検討も進めており、高速道路のどのような場所で給電を行えばよいかを検討中。デバイスも順調に作成しており今年度中にはGaNデバイスの試作が完了する。モータも高トルク高効率を実現するバーニアモータの設計が順調であり次年度試作予定。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1311010

**平成 26 年度選定「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」
研究進捗状況報告書**

- 1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学
- 3 研究組織名 芝浦工業大学 SIT 総合研究所パワーエレクトロニクス研究センター
- 4 プロジェクト所在地 東京都江東区豊洲 3-7-5 / 埼玉県さいたま市見沼区深作 307
- 5 研究プロジェクト名 デバイスから電力システムまで考慮した EV 用 MHz 帯域ワイヤレス電力
伝送方式の研究
- 6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
赤津 観	工学部電気工学科	准教授

- 8 プロジェクト参加研究者数 6 名

- 9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
赤津 観	工学部電気工学科・ 准教授	電力受信ならびに利用方法 の研究	研究代表者 MHz 帯電力伝送コイルの実現 と 10kW の電力伝送
下村 昭二	工学部電気工学科・ 教授	電力受信ならびに利用方法 の研究	伝送電力による高効率モータ 駆動と力率制御
藤田 吾郎	工学部電気工学科・ 教授	電力受信ならびに利用方法 の研究	回生された電力のスムーズな 系統連系
石川 博康	工学部電子工学科・ 教授	高周波インバータの研究	MHz 帯域で動作する大電力ス イッチングデバイスの実現
上野 和良	工学部電子工学科・ 教授	高周波インバータの研究	低抵抗配線材料による低イン ピーダンスインバータの実現
田中 慎一	工学部通信工学科・ 教授	高周波インバータの研究	MHz 帯での高周波インバータ 回路のパターン実現
(共同研究機 関等)			

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>
該当なし。

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1311010

11 研究進捗状況(※ 5枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

社会的な省エネ要求、CO₂削減要求から個々の機器の省エネだけでなく、自然エネルギーによる発電、電力輸送、電力貯蔵を含んだ電力ネットワークの形成が必要とされている。特に輸送分野では電気自動車(EV)の普及が省エネ、CO₂排出量削減の鍵となっており、停止時の充電のみならず家庭での電力ネットワーク結合(V2H)、ならびに走行中の充電および系統への電力回生についても研究が行われており、EVの普及を妨げているバッテリーエネルギー密度の問題を克服しようとしている。つまりEVが創エネ、省エネ、蓄エネの役割を果たせるようになれば、大きな社会革新が実現される。この電力ネットワークの一部としてのEVに必要なキー技術がワイヤレス電力伝送技術であり、すでに東大や埼玉大をはじめとした研究機関がEVへの応用を前提として研究を行っている。ワイヤレス電力伝送技術は、1m程度の距離でも非接触で電力を送れる技術であるが、まだ1kW程度の小電力伝送しか実現できず、EV走行中での電力授受や、急速充電および電力ネットワークの一部としてEVが役割を果たすためには送受信電力が不足している。大電力伝送が困難な理由は、電力の伝送周波数がMHz帯域と高いために、MHz帯域での大電力インバータが実現できていないためである。MHz帯域の大電力インバータの実現には、ワイドバンドギャップ半導体を用いた高速スイッチングデバイスの開発のみならず、インバータ主回路のインピーダンス低減や、分布定数での回路設計、高周波磁気回路設計が必要である。以上の背景を鑑み、本研究プロジェクトでは同一大学ではあるが異なる学科に所属する、半導体、材料、通信、電力変換、電気機器、電力系統の一流研究者を一同に集め、上記MHz帯域の大電力(10kW)電力ワイヤレス伝送用インバータを研究開発し、実際に非接触で送信した電力によりモータを駆動、回生電力を系統に連携するまでの複合領域プロジェクトを実施することを目的とする。

(2) 研究組織

研究代表者(赤津観)は研究の進捗とりまとめおよび予算管理、月例ミーティングの開催など各研究者での研究がスムーズに進むようマネジメントを行っている。研究代表者を含めた各研究者6人は研究プロジェクトの一部となるそれぞれ独立した研究テーマをもち、各研究テーマについて責任をもって研究を遂行しており、それぞれの研究成果の集合体が研究プロジェクトの成果となる課題設定を行っている。また各研究テーマにおいては研究者の研究室の学生が担当しRA(3名)がとりまとめを行っている。各研究テーマの進捗は月1回の月例ミーティングで報告を行い、それぞれのテーマについて技術的なディスカッションを通して相互補完するとともに全体の進捗を確認している。またプロジェクトの予算管理や書類業務は本学研究支援課が支援している。

(3) 研究施設・設備等

研究施設は大宮キャンパス先端工学研究機構棟に3部屋(50m²)、豊洲キャンパス交流棟に50m²を実験室として使用しており、先端工学研究機構棟には金属膜スパッタ装置およびモータ、インバータの実験装置を設置、豊洲キャンパス交流棟には電子ビーム真空蒸着器ならびにインバータ実装装置、評価装置を設置している。これら装置は今年度設置したものであり立ち上げ中なため具体的な稼働時間は未計測であるが、立ち上がり次第電子ビーム真空蒸着器ではGa_{0.5}N_{0.5}デバイスの作成を、金属膜スパッタ装置では低抵抗配線素材の作成を行っていく。

(4) 進捗状況・研究成果等 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

<現在までの進捗状況及び達成度>

2014年度は13.56MHz駆動インバータの設計を行い、基盤内のインダクタンスを低減で

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1311010

きる手法を新規開発し、実験にて 1kW の出力が得られた(*1～*3)。またアンテナの設計も新規手法による最適設計が可能となり、100W の伝送が行えるようになった。これらの成果は国内学会および国際会議に投稿し、さらには論文誌に投稿中である。走行中給電の検討も進めており、高速道路のどのような場所で給電を行えばよいかを検討中。デバイスも順調に作成しており今年度中には GaN デバイスの試作が完了する。モータも高トルク高効率を実現するバーニアモータの設計(*4, *5)が順調であり次年度試作予定。

<特に優れた研究成果>

上記*1～*3 ではインバータ内部の寄生インダクタンスに着目した研究成果であり、大電力高周波電力伝送のインバータ設計においては必須かつ新規な結果である。シミュレーション手法の開発も同時に実現できたため、目的の一つである学内のコラボレーションにより達成できた成果である。

<問題点とその克服方法>

1kW までの出力が実現できた一方で、アンテナの高出力化とインバータの並列化が課題である。この課題は試作中の高出力 GaN デバイスの利用および新規素材による低抵抗化で克服していく。

<研究成果の副次的効果(実用化や特許の申請など研究成果の活用の見通しを含む。)>

大電力高周波インバータの設計方法に関する研究成果であり、今後の需要増大を鑑みると本研究成果が副次的に今後のインバータ設計に用いられる可能性は高い。具体的な実装技術が検討でき次第特許出願を考えていく。

<今後の研究方針>

平成 27 年度では試作した回路の実験を通して 10kW 用素子設計、回路設計、磁気設計を行う。また、10kW モータによる回生電力向上策の検討および回生電力の系統連系方法の検討を行う。

平成 28 年度では 10kW の電力送信実験を行い、10kW のモータを駆動する。また回生電力を発生させ、電力系統への安定な電力回生を行う。

<今後期待される研究成果>

本プロジェクトの実現により、高周波電力伝送に関する個々の分野での学術的貢献はもちろんのこと、パワーエレクトロニクス新しい学術領域の創造ならびに複合領域研究の必要性を明確にでき、実社会にて即戦力となる学生の創出ならびにニーズオリエンテッドな研究者の創出が期待され、私立大学ならではのフレキシブルな研究体制による成果創出の規範モデルとなる成果が期待される。

個々の分野の成果としては、“小型高効率高周波大電力インバータの実現”によりEV等の走行中非接触給電が可能になり、また要素技術として“高効率インバータの設計方法”や“高周波デバイスの設計方法”が明らかになることで学術的な貢献が期待される。さらには“受電電力の系統連系”によりEVの電力ネットワークが実現できる。

<プロジェクトの評価体制(自己評価・外部評価を含む。)>

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1311010

大学の研究戦略の総合的な企画立案をする SIT 総合研究所が研究代表者とヒアリングを実施し、研究成果の評価、今後の展開の確認を行っている。その結果を受け、研究戦略会議において、各事業の次年度の予算配分を決定する仕組みとしている。また、客観評価については、SIT 総合研究所として、年に1回、外部の有識者4名(大学, 企業等)からなる評価委員会を実施し、多角的な視点から忌憚りの無い評価・アドバイス等を受けている。

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- | | | |
|-----------------|--------------|------------|
| (1) 非接触電力伝送 | (2) 高周波インバータ | (3) アンテナ |
| (4) パワーエレクトロニクス | (5) 低抵抗配線 | (6) 高効率モータ |
| (7) 三次元実装 | (8) 電力系統連系 | |

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

1. Nguyen Kien Trung, Takuya Ogata, Shinichi Tanaka and Kan Akatsu, "Analysis and PCB design of a class D inverter for wireless power transfer systems operating at 13.56MHz", IEEJ Journal, (under reviewing)

該当なし

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

該当なし

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

*1 Nguyen Kien Trung and Kan Akatsu, "PCB design for 13.56MHz half-bridge class D inverter for wireless power transfer system", ICPE –ECCE Asia- 2015, May 2015 (accepted)

*2 尾形卓也, ニュエン キエン トウルン, 赤津観, 田中慎一, "平面回路電磁界シミュレータを用いた3次元構造インバータの解析", 電子情報通信学会大会 2015年3月

*3 N. K. Trung他, "Design of 1.5kW 13.56MHz class D resonant inverter for wireless power transfer systems", H26年電気学会産業応用部門大会 1-84

*4 Daisuke Fukai, Shoji Shimomura. "Integrated Radial and Dual Axial-flux Variable-reluctance Vernier Machine," 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), 2014 International Conference. IEEE.

*5 Yohei Kokubo, Shoji Shimomura. "Design of Dual Rotor - Axial Gap PMVM for Hybrid Electric Vehicle," International Conference of Electrical Machines and systems (ICEMS), 2014.

*5 Nguyen Kien Trung and Kan Akatsu, "Analysis And Design Of A 13.56 MHz Resonant Inverter For

法人番号	131024
プロジェクト番号	S1311010

Wireless Power Transfer Systems", 2013 SEATUC symposium, March, 2014

*6 Noor Hidayah Binti Mustafa Kamal and Kan Akatsu, "Antenna Design for 13.56MHz Magnetic Power Transfer Technology", 2013 SEATUC symposium, March, 2014

*7 M. Takano, S. Shimomura, "Study of variable reluctance vernier motor for hybrid electric vehicle", Conference record of *ECCE Asia Downunder (ECCE Asia)*, 2013 IEEE, pp.1341,1347, 3-6 June 2013

*8 M. Takano, S. Shimomura, "Improvement of torque density of variable reluctance vernier machine for hybrid electric vehicle," Conference record of *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2013 IEEE, pp.1205,1212, 15-19 Sept. 2013

*9 R. Ishikawa, K. Sato, S. Shimomura, and R. Nishimura, "Design of In-Wheel Permanent Magnet Vernier Machine to reduce the armature current density", Conference record of *International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS Busan)*, 2013, pp. 459-464, 26-29 Oct. 2013

<研究成果の公開状況>(上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

<既に実施しているもの>

該当なし

<これから実施する予定のもの>

研究成果に関しては研究代表者の HP にて公表予定

<http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~akatsu/index.html>

14 その他の研究成果等

「12 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果及び企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記11(4)に記載した研究成果に対応するものには＊を付してください。

※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

日産自動車(株)との連携により半導体デバイス実装装置(約 10 点)の貸与を受け豊洲校舎研究棟1階に設置した。本装置により大学でも先進的な半導体実装が可能となり研究の幅を大きくすることができる。当該貸与により日産自動車からも研究者が週 2,3 日のペースで駐在することになり、一緒に研究を進めていくことができる。

15 「選定時」に付された留意事項とそれへの対応

<「選定時」に付された留意事項>

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

産業界との連携に配慮されたい

<「選定時」に付された留意事項への対応>

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

上記14記載のとおり、日産自動車(株)との連携を進めている。日産自動車からはワイドバンドバンドギャップ半導体の第一人者が派遣され、一緒にデバイス、モジュール開発を進めていくことができるようになった。今後国プロへの応募も予定している。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

研究進捗状況報告書の概要

1 研究プロジェクト

学校法人名	芝浦工業大学	大学名	芝浦工業大学
研究プロジェクト名	ソフトウェア開発技術教育研究センター		
研究観点	ソフトウェア開発技術教育研究		

2 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

本研究センターでは、文部科学省平成 21 年度大学教育・学生支援推進事業【テーマ A】大学教育・学生支援推進事業に「工学系技術者のソフトウェア開発技能育成」のテーマで採択されたことを契機に、Incusphere Project を立ち上げ、活動を行っている。今年度は、LUMINOUS の運用、WebStudy の授業への導入の他に、主に IPA の 2014 年度ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業(2014 年 6 月から 2015 年 2 月、予算 13,811,472 円) のテーマ「保守プロセスにおけるモデル検査技術の開発現場への適用に関する研究」について活動を行った。

本研究では、2012 年度ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業において研究した「要件定義プロセスと保守プロセスにおけるモデル検査技術の開発現場への適用に関する研究」をもとに、開発現場において、システムのリリース判定時やマイグレーションによる再構築時に、ソースコードが「仕様」を満たしているかを検査する方法を研究開発する。「仕様」の中で、機能要求に対する非機能要求の 1 つであるセキュリティ要件に着目し、ソースコード検証の方法とその支援ツールについて研究する。検証事例として本プロジェクトの成果の 1 つである学習支援システム LUMINOUS のソースコードがそのセキュリティ要件を満たすかを検査する。

3 研究プロジェクトの進捗及び成果の概要

本研究では、主につぎの 2 つの観点から、仕様の検証作業を現場の開発者が適切かつ容易に実施できるように支援する方法を検討した。

①開発者が理解しやすい形式で「検査したい性質(機能要求・非機能要求)」を「検査対象の振舞いモデル(ソースコード)」と関連付けて定義することで、検査式を自動生成し、到達可能性や安全性の検査を行えるようにする。関連付けには松浦等が研究してきた機能要件に対するセキュリティ要件定義方法を用いる。

②「検査対象の振舞いモデル」を状態爆発が起こらないようにシステムモデルへ変換する。検査したい性質に基づく機能単位の抽象化方法と仕様から定義される仕様モデルの挿入等の機能を持つ変換支援ツールを開発し、作業容易化を図る。

検証にあたっては、LUMINOUS には UML によるドキュメントが一部しか存在しないため、実際にシステムを操作して UML によるユースケース記述を定義した。そして、ソースコードのリバースエンジニアリングにより、エンティティデータの構造の取得および UI 部品とソースコードとの対応付けを行い、アクセス制御の確認と問題点の発見を行うことができた。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

平成 26 年度 ソフトウェア開発技術教育研究センター 研究進捗状況報告書

1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学

3 研究組織名 ソフトウェア開発技術教育研究センター

4 プロジェクト所在地 芝浦工業大学 大宮校舎

5 研究プロジェクト名 Incusphere Project

6 研究観点 ソフトウェア開発技術教育研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
松浦佐江子	システム理工学部	教授

8 プロジェクト参加研究者数 3 名

9 該当審査区分 理工・〇情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

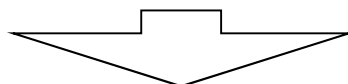
研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
松浦佐江子	システム理工学部・教授	検証方法の策定・ツールの設計	リーダー・研究全般
小形真平	SIT 総研研究員	検証方法の策定・ツールの開発	研究・ツールの開発
青木善貴	SIT 総研研究員	検証方法の策定・ツールの設計	研究・検証の実施
(共同研究機関等)			

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

(変更の時期:平成 年 月 日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

11 研究進捗状況(※ 5枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

本プロジェクトはソフトウェア開発技術ならびにその教育方法について研究を行っている。今年度は、これまでの成果である LUMINOUS の運用、WebStudy の授業への導入の他に、主に IPA の 2014 年度ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業(2014 年 6 月から 2015 年 2 月、予算 13,811,472 円) のテーマ「保守プロセスにおけるモデル検査技術の開発現場への適用に関する研究」について活動を行った。

ソフトウェア開発には要求定義・設計・実装・テスト・運用の工程がある。これらの工程において、つくりたいシステムを利用する際の作業手順、システムを利用してできることの条件、期待される状態、あってはならない状態、期待される効果、といった様々な形で、システムに対する要求が存在する。要件定義段階で、これらの全てを考慮するわけではないが、レベルの異なるこれらの性質は最終的にはすべてのソースコードが満たさなければならない性質であり、違反することがあってはならない。開発者はこれらの性質を各工程で作り込まなければならないが、適切に定義できているかを検証することは困難である。それは、開発工程において、仕様のドキュメント化が十分でない、ドキュメント化されていても自然言語による非形式的な記述であることに起因する。このため、形式的記述により検証が可能な形式手法の導入が注目されている。形式手法の 1 つであるモデル検査とは「有限の状態空間を網羅的に調べて、与えられた性質が成り立つか否かを調べる」技術であり、図 1 に示すように、検査を行うモデル検査器と状態空間を探索するシミュレータから構成され、性質が成り立たない場合には反例を提示するモデル検査ツールが提供されている。ここで、利用者は検査したい対象のシステムモデルと検査式の両方を定義することで、モデル検査器を用いて、その性質が成り立つか否かを検査することができ、反例により、問題点を発見する。モデル検査は、このように、レビューやテストとは異なり、システムの振る舞いがある性質を満たすか否かを網羅的な探索により自動的に検証する方法であり、検証の手段として期待できる。我々は、モデル検査に着目して、2012 年度ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業において、上述のソフトウェア開発工程で考慮されるソフトウェアの満たすべき性質を「業務セオリー」と呼び、要件定義プロセスと保守プロセスの観点から、現場の開発者がモデル検査ツールを用いて様々なシステムの性質の検証を行なう方法を研究した。そして、モデル検査ツールの入力となるシステムモデルと検査式を現場の開発者が要求分析モデルやソースコードから生成する方法の見通しを得ることができた。

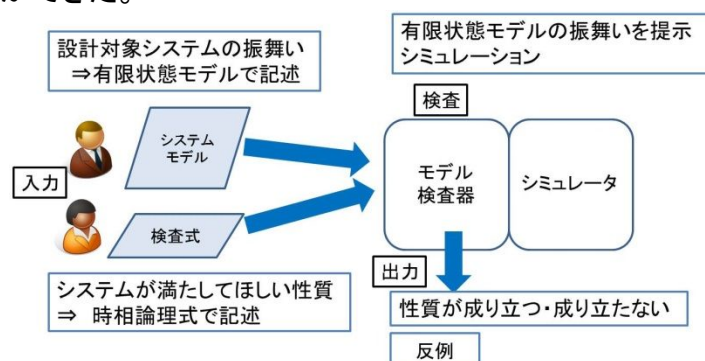


図 1 モデル検査

開発現場においては、システムが仕様を満たしているかを判断する基準が、レビューの実施回数であったり、不具合発見率であったりする。仕様の内容そのものから判断する試みもされているが、まだ実施者のスキルへの依存が大きい。開発されたソースコードが上述の様々な性質、すなわち仕様を満たしているかをモデル検査により検証することは、システムの

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

リリース判定やマイグレーションによるシステムの再構築時に、プロダクトの品質向上や作業効率の観点から重要であり、現場の開発者が適切かつ容易に検査を実施できることが求められている。しかし、モデル検査を用いるには、その入力となるシステムモデルと検査式を、特定の言語を用いて定義しなければならない。現場の開発者にとっては学習コストが大きい。そのため、モデル検査ツールを直接操作しないことが一つの解決策となる。そのためには「検査したい性質」を「検査対象の振舞いモデル(ここではソースコード)」と対応付けて、開発者が理解しやすい形式で定義できるようにしなければならない。また、ソースコードは大規模であることから、モデル検査における状態爆発を回避して、検査したい性質を検査できるように振舞いモデルを適切に変換する方法を工夫することが求められる。

本研究では、現場の開発者がモデル検査ツールを直接操作せずに、モデル検査の恩恵を受けられる方法を開発するために、下記の研究課題を設定した。図2は本研究で解決しなければならない課題を示している。

①検査モデルと検査式の定義方法:

開発者が理解しやすい形式で「検査したい性質(機能要求・非機能要求)」を「検査対象の振舞いモデル(ソースコード)」と関連付けて定義することで、検査式を自動生成し、到達可能性や安全性の検査を行えるようにする。関連付けにはテストによく用いられるデシジョンテーブルで定義された仕様や非機能要求の1つであるセキュリティ要件定義を用いて検討する。

②システムモデルへの変換方法:

「検査対象の振舞いモデル」を状態爆発が起こらないようにシステムモデルへ変換する。検査したい性質に基づく抽象化方法を定義し、作業容易化のための自動化の方法を検討する。

③反例解析支援方法:

検査から得られた反例から問題点を発見する過程を支援する。

①から③の作業を現場の開発者が適切かつ容易に実施できるように支援する方法を検討するとともに、現場の開発者が容易に操作・理解できる変換支援ならびに反例解析支援ツールを開発することが課題である。

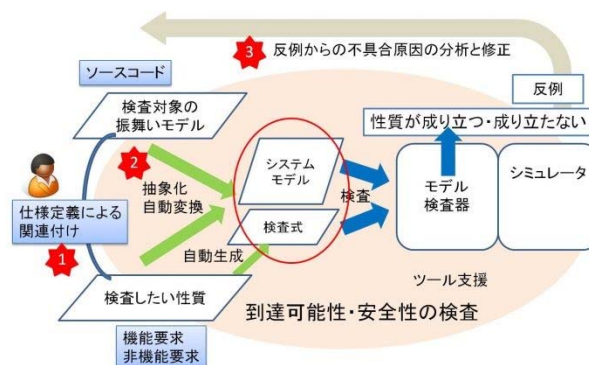


図2 研究のアプローチ

2012年度の研究では「処理手順の定義に対し、開発段階で考慮する制約を処理対象データの取り得る状態とその変化として捉え、その変化の操作と条件を処理手順の定義と段階的に対応付けることにより、段階的に検査を行う」という業務セオリーと検査方法の考え方に基づき、その支援ツール UML2UPPAAL と Source2UPPAAL の開発を行った。本研究では、「検査したい性質」である業務セオリーを、テストでよく用いられるデシジョンテーブルや情報セキュリティの国際評価基準 (ISO/IEC15408) である Common Criteria に基づくセキュリティ機能方

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

針表といった形式の仕様定義とする。ここでは、UML2UPPAAL で用いた要件定義方法に基づき仕様定義を検討する。そして、ソースコードがその仕様を満たしているかを検査する検査方法と支援ツールを Source2UPPAAL のソースコード変換方式と支援方法の考え方を基に研究開発する。

研究の意義

ソースコードからのモデル検査では、検査したい性質に依存したモデルの抽象化が大きな課題である。既存の研究は、APIの使用方法が正しいかといった特定の検査や、ソースコードに注釈として検査したい性質を書き込むといった検査方法であり、現場の開発者が容易に仕様の検証に利用することは困難である。現場の開発者が検査したい性質を容易に定義できるように、自然言語記述の仕様書からデシジョンテーブルに整理したり、脅威分析に基づきセキュリティ要件を定義することによって、既存のシステムに対する仕様に基づく検査方式を策定する。これらの仕様定義方法は、開発時に利用できるだけでなく、開発ドキュメントが不十分である場合の保守プロセスにおける検査に用いることができる。経験重視の傾向が強い開発現場においてソフトウェア工学を導入することにより経験的なアプローチだけではなく、工学的なアプローチが行われる土壌が養われることが期待される。

期待される効果

課題①～③を解決し、開発現場でモデル検査による検査を一般的な開発者が有効利用可能な場面を想定した方法とその支援ツールを研究開発することで、つぎの効果が期待される。

- 非機能要件の1つであるセキュリティ要件を満たしているかを既存システムに対して容易に確認できる。
- 明確な仕様かわからないシステムのマイグレーション時に、既存システムの仕様を整理し、検査することで、マイグレーション時に新規のシステムの要件の精度を向上する。
- これらの検証によりプロダクトの品質向上、納期短縮、コストオーバーの防止。
- 経験的アプローチのみに頼らない工学的アプローチへの意識改革と推進。

また、産業界の開発においては、仕様書とソースコードのトレーサビリティが不完全な場合が多く見受けられる。こうしたシステムを改善する際には、本来満たすべき仕様との齟齬がないかを確認する必要がある。本手法を適用できると考える。マイグレーション時に、旧システムに対して確認した仕様を移行後のシステムに対して確認する際や、システムのリリース判定時に、セキュリティ要件等の確認を行うことに使用することを想定している。

(2) 研究組織

ソフトウェア工学を専門とする SIT 総合研究所研究員 3 名
外注委託先開発者 2 名
大学院修士課程学生 2 名 学部 4 年生 5 名

(3) 研究施設・設備等

特になし

(4) 進捗状況・研究成果等 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

<現在までの進捗状況及び達成度>

課題①～③に対し、つぎのように研究を進めた。

- 1) 仕様からのセキュリティ要件の定義
- 2) セキュリティ要件とソースコードの対応関係の定義
- 3) 変換支援ツールの設計と開発

1) 仕様からのセキュリティ要件の定義

- ① ソースコードをリバースしてエンティティのクラス図を作成する。(半自動)
- ② LUMINOUS のユースケースを操作しながら、ユースケースをアクティビティ図で記述する。エンティティのクラスは①のクラス図を用いる。アクションに対応する画面とその URL・機能の呼び出しとなるボタン等のトリガの名称を記録する。
- ③ ユースケースから SFP(Security Function Policy)を作成する。ユースケースモデルに対するセキュリティ要件の定義方法は 13 の[4]の論文に示されている。

- ②のユースケースに記載されたアクタ・ユースケース・アクション・クラスを抽出する。ここでクラス名はソースコード上のクラス名と対応している。アクタはエンティティクラスの User とその関連により定義されている。ユースケースは画面上のメニュー項目に相当するメソッドに、アクションは画面上のボタン・リンクに相当するメソッドに対応する。
- CC に基づき、SFP を定義し、該当するセキュリティ属性をクラス図から選択する。
- SFP のルールをセキュリティ属性を用いて定義する。セキュリティ属性はソースコードに対応している。

上記の手順で SFP をユースケースモデルと対応付けて定義できた。ここで、エンティティクラスとセキュリティ属性はソースコードと対応づいている。つぎに、起動されるメソッドをソースコードと対応付ける。本研究では、エンティティクラスとその属性に加え、UI クラスおよびそのメソッド(UI メソッド)、ボタンやチェックボックスなどの UI 要素とそのソースコード表現(UI コード)を図 4 に示すようにソースコードの静的解析によるリバースエンジニアリングにより抽出する。UI 要素と UI コードの対応表は表 1 のとおりであり、上記 1) の②で抽出した画面の URL から表 1 の対応 PAGE を見つけ、その PAGE 内のボタンの名称に対応するメソッドを探す。

Type	Name/Code	Location
PAGE	BBS	APPLICATION_ROOT/SIT.Luminous.Web/student/detail/bbs/bbslist.aspx
Link	トップ	~/
Link	<code>[%=string.Format("{0}-TOP",ContextUtil</code>	<code>[%= VirtualPathUtility.ToAbsolute(~/student/detail/) %]</code>
Button	新規質問	<code>return openWindow("[%= VirtualPathUtility.ToAbsolute(~/student/detail/bbs/newtopic.aspx) %]</code>
Link	<code>[%#Eval(Topic.Contents.PostContent)%]</code>	<code>[%= VirtualPathUtility.ToAbsolute(~/student/detail/bbs/topicdetail.aspx) %]</code>
Link	<code>[%#Eval(Topic.Contents.PostContent)%]</code>	<code>[%= VirtualPathUtility.ToAbsolute(~/student/detail/bbs/topicdetail.aspx) %]</code>



以下のユースケースをもつ変換支援ツールをソフトウェアの統合開発環境の1つである eclipse のプラグインとして開発した。Source2UPPAAL ではベースモデルの可読性が低いという問題があり、ベースモデル定義における作業効率を改善するための機能も開発した。

- ここで、「仕様モデル」は、UML 記述によるユースケースに基づいて定義するセキュリティ要件定義テーブルおよびセキュリティ属性のモデルから生成される UPPAAL モデルである。

[87]

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

1)2)の手順を経て、仕様を SFP として定義し、ソースコードの要素と対応付けて、変換支援ツール上で、検査モデルを作成した。これにより、学生が質問を投稿し、教員が回答した場合、「回答処理終了時に非公開指定で公開になることはない」等 SFP で定義した検査式を検査でき、不具合のないことが保証された。

＜特に優れた研究成果＞

IPA の事業には 2012 年度に続いて、採択され、2012 年度の研究成果を踏まえ、本学で運用しているシステムを対象とした、現実的なセキュリティ要件の検証実験を行うことができた。研究論文としても 13 に示すように、本研究の基礎となる論文が採録されている。また、本センターが継続的に行っている Incusphere Project の活動に関する論文も電子情報通信学会論文誌に掲載され、本プロジェクトの紹介を行うことができた。

＜問題点とその克服方法＞

本研究におけるソースコード検証では、ソースコードの静的解析によるリバースエンジニアリングを用いることで、開発者以外でも比較的理解容易なソースコードの情報を辿り、検査箇所を特定することができた。しかし、実装プラットフォームの多様性とそれによる解析の一般化の難しさや、開発者によるコーディング規約の不統一が原因となり、静的解析が困難となることがある。簡易な解析でも、その有効性を高められるように、利用技術やその使い所を明確に定めるようにコーディング規約を決定する必要がある。

＜研究成果の副次的効果(実用化や特許の申請など研究成果の活用の見通しを含む。)＞
特になし

＜今後の研究方針＞

Incusphere Project の HP <http://www.sayo.se.shibaura-it.ac.jp/incusphere/> における技術の紹介や、以下のような学習環境を通じたソフトウェア開発技術教育教材の公開や開発を行い、ソフトウェア開発技能育成に貢献したいと考えている。

- Web 教科書 WebStudy (<http://ws.sayo.se.shibaura-it.ac.jp:8082/webstudy-test/>)による、ソフトウェアの不具合の発見と解消に関する教材の公開

＜今後期待される研究成果＞

本研究のモデル検査技術の利用方法を大学におけるソフトウェア開発技術教育へ適用することで、ソフトウェア品質に関する教育への効果が期待される。

＜プロジェクトの評価体制(自己評価・外部評価を含む。)＞

本研究の検証方法に関する論文は、論文誌に採択され、国際会議でも採択されており、開発現場を意識した研究として評価されている。また、Incusphere プロジェクトに関する論文[1]が電子情報通信学会論文誌に掲載され、本学の取り組みを紹介することができた。

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------|
| (1) <u>ソフトウェア工学</u> | (2) <u>モデル検査技術</u> | (3) <u>UML</u> |
| (4) <u>検証</u> | (5) <u>ソフトウェア品質</u> | (6) <u>保守プロセス</u> |
| (7) <u>セキュリティ要件</u> | (8) <u>Learning Management System</u> | |

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには＊を付すこと。

＜雑誌論文＞

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

- [1] 松浦, Incusphere Project : ソフトウェア開発技能育成に向けた学習支援環境, 電子情報通信学会和文論文誌 D , Vol.J98-D,No.1,pp.167-171,Jan. 2015. (査読有)
- [2] 松浦, 小形, 青木, 谷沢, 西村, 要件定義プロセスと保守プロセスにおけるモデル検査技術の開発現場への適用, SEC journal No.37, 第 10 巻, 第 2 号, 2014, pp.8-15. (査読有) *
- [3] Saeko Matsuura, Yoshitaka Aoki and Shinpei Ogata, Practical Behavioral Inconsistency Detection between Source Code and Specification using Model Checking, Proc. of ISSRE2014, pp.124-125, 2014. (査読有) *
- [4] Yoshitaka Aoki and Saeko Matsuura, Verifying Security Requirements using Model Checking Technique for UML-Based Requirements Specification, Proc. of 1st International Workshop on Requirements Engineering and Testing, pp.18-25, 2014. (査読有) *
- [5] Yoshitaka Aoki, Saeko Matsuura, Verifying Business Rules Using Model-Checking Techniques for Non-specialist in Model-Checking, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Volume E97-D No.5, pp.1097-1108, 2014. (査読有) *

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

- [6] 小形, 青木, 谷沢, 松浦, ユースケースモデルに基づくソースコード検証のためのリバースエンジニアリング手法の検討ーASP.NET アプリケーションを事例としてーKBSE1 月発表, 信学技報, vol. 114, no. 420, KBSE2014-42, pp. 19-24, 2015. *
- [7] 青木, 松浦, モデル検査における反例解析容易化支援, 信学技報, vol. 113, no. 475, KBSE2013-79, pp. 1-6, 2014. *
- [8] 青木, 松浦, 反例からの検査式自動生成による不具合原因特定支援, 信学技報, vol. 114, no. 128, KBSE2014-19, pp. 87-92, 2014. *

<研究成果の公開状況>(上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等
ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

<既に実施しているもの>

Incusphere Project の HP <http://www.sayo.se.shibaura-it.ac.jp/incusphere/>

<これから実施する予定のもの>

2015 年 3 月 16 日に本学で行われる産学官連携研究交流会において、2014 年度ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業の成果をポスター展示する予定である。
成果報告書は IPA の本事業 HP で公開予定である。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

14 その他の研究成果等

「12 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果及び企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記11(4)に記載した研究成果に対応するものには＊を付してください。
 ※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

15 「選定時」に付された留意事項とそれへの対応

＜「選定時」に付された留意事項＞

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

該当なし

＜「選定時」に付された留意事項への対応＞

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

研究進捗状況報告書の概要

1 研究プロジェクト

学校法人名	芝浦工業大学	大学名	芝浦工業大学
研究プロジェクト名	脳科学・ライフテクノロジー寄付研究センター		
研究観点	研究拠点を形成する研究		

2 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

脳科学・ライフテクノロジー寄附研究センターは、財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所からの寄附金を基金とし、財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所で実施されてきた脳科学及び生活支援技術の研究の発展と本分野での人材育成を目指すことを目的として2010年7月に設立された。本学の他のセンターとは異なり、以下の事業内容を実施している。

1) 人材育成事業

- ①脳科学及び生活支援技術関連外国人研究員の短期及び長期の招聘
- ②脳科学及び生活支援技術関連研究者の海外渡航支援
- ③脳科学及び生活支援技術関連ハイブリッドツイニングプログラム支援

2) 顕彰事業

脳科学及び生活支援技術関連研究で顕著な成果を挙げた本学学生、大学院生に対して「脳科学・ライフテクノロジー奨励賞」の授与

3) 脳科学及び生活支援技術関連研究への研究費支援

4) シンポジウム等開催

5) 外部からの事業寄附等の受入れ

これらの事業実施に当たっては、財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所からの寄附金を原資とし、以下のように使用する。

- ①単年度予算500万円×10年とする。
- ②年度ごとに予算計画を立てて実施し、残預金が発生した場合は次年度へ繰り越す。
- ③残余原資がある限り本センターを継続する。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

3 研究プロジェクトの進捗及び成果の概要

1) 人材育成事業

①外国人研究員の招聘

1) 2014年9月にリハビリテーションロボットの世界的企業であるHocoma社製造部長のAlexsander Wicke博士を招聘し、本学で学生向け講演を実施するとともにLIFE2014学会の特別講演を行った。1週間滞在し、共同研究打合せや研究室見学も合わせて行った。

2) 2014年11月にマレーシア・サラワク大学Shaharol Mohamaddan上級講師を招聘し、学生対象の講演を行うとともに、ライフテクノロジー関連の共同研究打合せ、研究室訪問等を行った。

②海外渡航支援

毎年1～2名の脳科学またはライフテクノロジー関連業務で海外渡航支援を行っている。

今年度は、2014年7月に伊藤和寿教授をイタリアに派遣した。協定校であるラクイラ大との福祉機器開発に関する学生交流及び9月実施予定の学生ワークショップの打合せを行った。

③長期留学生支援

長期の招聘として、マレーシア工科大学大学院生を、本学ハイブリッドツイニングプログラムで2011年9月より受け入れており、9月に無事博士の学位を取得した。山本紳一郎教授の指導で歩行訓練支援装置の研究に従事した。

④学生交流支援

2014年9月に実施した地域イノベーション推進福祉機器開発国際ワークショップを協賛し、将来福祉機器開発のスペシャリストとなる大学院生のグローバル化をサポートした。

2) 顕彰事業

2010年以降度脳科学・ライフテクノロジー寄附研究センター奨励賞として、大学院生1名を毎年顕彰している。2014年度も学生1名を顕彰予定である。

3) 研究費支援

2010年度以降毎年、脳科学・ライフテクノロジー関連の研究を行っている学内教員に1件あたり50万円の研究費支援を行っている。

2014年は応募者は1名いたが、研究タイトル等が本センターの目的と合わなかったため実施しなかった。

4) シンポジウム等開催

2010年以来、毎年1回シンポジウムを開催している。

2014年度は、2014年4月26日(土)に芝浦工業大学大宮校舎にて「脳科学と生命・生活支援技術との融合」のタイトルでシンポジウムを実施した。40名の参加者であった。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

平成 26 年度 脳科学・ライフテクノロジー寄付研究センター 研究進捗状況報告書

1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学

3 研究組織名 先端工学研究機構

4 プロジェクト所在地 〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307

5 研究プロジェクト名 脳科学・ライフテクノロジー寄付研究センター

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
米 田 隆 志	システム理工学部	教授

8 プロジェクト参加研究者数 7 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

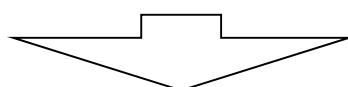
研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
山本紳一郎	システム理工学部生命科学科・教授	神経生理に関する研究	生体生理情報の計測と評価
堀江亮太	工学部通信工学科・准教授	ブレイン・マシンインターフェースの研究	脳科学解析
花房昭彦	システム理工学部生命科学科・教授	福祉機器開発	機器開発
伊藤和寿	システム理工学部機械制御システム学科・教授	水圧制御福祉機器開発	制御技術の応用展開
(共同研究機関等)			

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

(変更の時期:平成 年 月 日)



法人番号	131024
プロジェクト番号	-

新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

11 研究進捗状況(※ 5枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

脳科学・ライフテクノロジー寄附研究センターは、財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所からの寄附金を基金とし、財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所で実施されてきた脳科学及び生活支援技術の研究の発展と本分野での人材育成を目指すことを目的として2010年7月に設立された。本学の他のセンターとは異なり、以下の事業内容を実施している。

1) 人材育成事業

- ①脳科学及び生活支援技術関連外国人研究員の短期及び長期の招聘
- ②脳科学及び生活支援技術関連研究者の海外渡航支援
- ③脳科学及び生活支援技術関連ハイブリッドツイニングプログラム支援

2) 顕彰事業

脳科学及び生活支援技術関連研究で顕著な成果を挙げた本学学生、大学院生に対して「脳科学・ライフテクノロジー奨励賞」の授与

3) 脳科学及び生活支援技術関連研究への研究費支援

4) シンポジウム等開催

5) 外部からの事業寄附等の受入れ

これらの事業実施に当たっては、財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所からの寄附金を原資とし、以下のように使用する。

- ①単年度予算500万円×10年とする。
- ②年度ごとに予算計画を立てて実施し、残預金が発生した場合は次年度へ繰り越す。
- ③残余原資がある限り本センターを継続する。

(2) 研究組織

本学システム理工学部生命科学科に所属する教員を中心に、学内で関連する研究に従事しているシステム理工学部機械制御システム学科、工学部通信工学科の教員が参加して組織する。学外からは、本研究プロジェクトに密接に関係する脳科学の専門家に協力してもらい、エンジニアだけの狭い視野での研究とならないようにしている。

(3) 研究施設・設備等

研究施設は特に持たず、事務局を先端工学研究機構棟内に設置している。研究自体は各教員実験室で実施する。設備についても特に有していない。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

(4)進捗状況・研究成果等 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

＜現在までの進捗状況及び達成度＞

1) 人材育成事業

①外国人研究員の招聘

1) 2014年9月にリハビリテーションロボットの世界的企業であるHocoma社製造部長のAlexsander Wicke博士を招聘し、本学で学生向け講演を実施するとともにLIFE2014学会の特別講演を行った。1週間滞在し、共同研究打合せや研究室見学も合わせて行った。

2) 2014年11月にマレーシア・サラワク大学Shaharol Mohamaddan上級講師を招聘し、学生対象の講演を行うとともに、ライフテクノロジー関連の共同研究打合せ、研究室訪問等を行った。

②海外渡航支援

毎年1～2名の脳科学またはライフテクノロジー関連業務で海外渡航支援を行っている。

今年度は、2014年7月に伊藤和寿教授をイタリアに派遣した。協定校であるラクイラ大との福祉機器開発に関する学生交流及び9月実施予定の学生ワークショップの打合せを行った。

③長期留学生支援

長期の招聘として、マレーシア工科大学大学院生を、本学ハイブリッドツイニングプログラムで2011年9月より受け入れており、9月に無事博士の学位を取得した。山本紳一郎教授の指導で歩行訓練支援装置の研究に従事した。

④学生交流支援

2014年9月に実施した地域イノベーション推進福祉機器開発国際ワークショップを協賛し、将来福祉機器開発のスペシャリストとなる大学院生のグローバル化をサポートした。

2) 顕彰事業

2010年以降度脳科学・ライフテクノロジー寄附研究センター奨励賞として、大学院生1名を毎年顕彰している。2014年度も学生1名を顕彰予定である。

3) 研究費支援

2010年度以降毎年、脳科学・ライフテクノロジー関連の研究を行っている学内教員に1件あたり50万円の研究費支援を行っている。

2014年は応募者は1名いたが、研究タイトル等が本センターの目的と合わなかったため実施しなかった。

4) シンポジウム等開催

2010年以来、毎年1回シンポジウムを開催している。

2014年度は、2014年4月26日(土)に芝浦工業大学大宮校舎にて「脳科学と生命・生活支援技術との融合」のタイトルでシンポジウムを実施した。40名の参加者であった。

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

<プロジェクトの評価体制(自己評価・外部評価を含む。)>

本センターの運営に当たっては、運営委員会を構成し、事業内容及び予算を決定している。本運営委員会には寄附元である財団法人脳科学・ライフテクノロジー研究所関係の外部委員4名、学内のセンター員4名と事務職員1名の9名で行っており、運営委員会自体が外部評価委員会としてのチェック機能が働いている。

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) 脳科学 (2) 福祉機器 (3) ライフテクノロジー
 (4) リハビリテーション工学 (5) バリアフリー (6) _____
 (7) _____ (8) _____

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)について記入してください(左記の各項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

<図書>

図書名、著者名、出版社名、総ページ数、発行年(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、項目の順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

<学会発表>

学会名、発表者名、発表標題名、開催地、発表年月(西暦)について記入してください(左記の項目が網羅されていれば、順序を入れ替えても可)。また、現在から発表年次順に遡り、通し番号を付してください。

<研究成果の公開状況>(上記以外)

法人番号	131024
プロジェクト番号	-

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

<既に実施しているもの>

シンポジウムについては毎年最低 1 回は実施し、広く成果を公表する。

学会については、関連分野の学会に積極的に参加するとともに、論文投稿をできるだけ増やして成果を公表する。

<これから実施する予定のもの>

14 その他の研究成果等

「12 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果及び企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記 11(4)に記載した研究成果に対応するものには * を付してください。

※ 論文や学会発表等になじまない研究である場合は、本欄を充実させること

該当なし

15 「選定時」に付された留意事項とそれへの対応

<「選定時」に付された留意事項>

留意事項が付されていない場合は「該当なし」と記載してください。

該当なし

<「選定時」に付された留意事項への対応>

付された留意事項に対し、どのような対応策を講じ、また、それにより、どのような成果があがったか等について、詳細に記載してください。

-	-
---	---

研究進捗状況報告書の概要

1 研究プロジェクト

学校法人名	芝浦工業大学	大学名	芝浦工業大学
研究プロジェクト名	グリーンイノベーションの基盤技術研究と人材育成		
研究観点	研究推進と人材育成		

2 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

(目的・意義)

グリーンイノベーションは、地球温暖化の抑制という世界的課題の解決とともに、今後の産業の発展方向として期待されている。例えば、電気自動車(EV)やハイブリッド車(HV)、太陽電池の普及を支える効率的なパワーエレクトロニクス用デバイス、材料の研究の重要性が増している。またビッグデータ、スマートグリッドなど効率的に大量のデータを低消費電力で処理するデバイスが必要とされている。これらの技術は地球資源の有限性が顕在化し、地球温暖化による問題が顕在化しつつある今日において、持続可能な地球、人類社会を実現する鍵である。

本センターでは、本学の有する材料、デバイス、システムの人材を活用して、国プロ等で展開されるグリーンイノベーション(GI)研究プロジェクトに対応できる研究基盤を整備し、SiC、GaN パワーデバイス、低抵抗ナノカーボン配線、高効率電力変換システム、低消費電力集積回路、太陽電池等の研究発表を促進し、シンポジウムや研究会開催による研究分野の活性化、プロジェクトへの学生参画や学会参加の補助、奨学金、留学支援等を通じて人材育成を図ることを目的とする。

(計画の概要)

本センターでは幅広い GI 分野の中で当面、本学の強みを生かして、パワエレ素子、低消費電力素子を中心に研究を進め、研究基盤の整備強化を図りながら、エネルギーハーベスト、環境エネルギーの利用、太陽電池、超電導材料、ナノデバイス・プロセス等を取り込んで、研究テーマの深化と展開を図る計画である。またグローバル化が進む中で、研究者の海外派遣、海外からの招聘など、国内外の研究機関との連携を図り、研究の国際化を推進する。

パワエレ素子では、パワーエレクトロニクス研究センターと協力して、SiC や GaN 等を用いた高周波インバータやそれを利用する機器等の開発を実施する。低消費電力素子では、国プロ(LEAP)の一環として、低消費電力回路や低抵抗ナノカーボン材料の研究を実施し、それらの基盤技術を発展させ、他のグリーンイノベーションの分野への展開を図る。

さらに GI 研究の深化と展開のために、センター員の持つ超電導材料、太陽電池材料、ナノデバイス・プロセス、微細加工、機械制御等の基盤技術や、GI につながる新たなアイデアの研究を推進し、情報発信を推進する。また実践的な人材を育成するため、大学院生を中心に研究プロジェクトに参画させ、研究発表を促進するとともに、奨学制度により博士課程の高度人材の育成を図る。

-	-
---	---

3 研究プロジェクトの進捗及び成果の概要

(2014 年度計画)

2014 年度は、2013 年度に引き続き、現在実施中の「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト (LEAP)」に参画し、またパワーエレクトロニクス関連のプロジェクト活動の本格化を図る計画である。

また、学内外の GI 研究の活性化のため、グリーンイノベーションに関するシンポジウムや研究会を継続的に開催し、研究推進と学内外での連携を図る。

また、国プロや海外研究機関との連携（派遣、招聘）に向けた調査や具体化を行う。研究の加速と高度人材の育成を図るため博士課程奨学生を採用する。

(進捗および成果の概要)

計画に沿って、LEAP プロジェクトをはじめ各研究員が研究を実施し、学会発表や論文発表を行い、センターでは 25 件の研究発表（国内および国外）の補助を実施した。研究テーマは多岐に渡るが、低炭素社会を目的とした低消費電力デバイス、エネルギーの利用効率を高めるパワーエレクトロニクス、太陽電池技術等である。

グリーンイノベーションに関するシンポジウムに関して、昨年の SiC を中心としたパワーエレクトロニクスに関する第 1 回グリーンイノベーションシンポジウムに引き続き、今年度は、パワーエレクトロニクス研究センターと共催で第 2 回シンポジウムを 2015 年 3 月 3 日に開催する。テーマは、次世代パワーデバイス材料として注目される GaN である。GaN を用いた LED、パワーデバイス、結晶成長、GaN デバイスを用いたマイクロ波電力伝送、人工光合成であり、実用化に向けた GaN デバイスの最新動向と新たな可能性を、第一線の講師を招き議論する。また今年度は、学内の活動を知ってもらい、連携のきっかけとするため、センター員が指導する学生によるポスター発表も行う。

グリーンイノベーション研究会を、昨年度に引き続き 3 回開催し、GaN デバイス技術、カーボンナノチューブ (CNT) 成長技術、CNT を用いた配線技術について第一線の研究者を講師に招き、議論を行った。学内外から各回数 10 名の参加があった。

新たな研究プロジェクトへの参画として、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/次世代パワーエレクトロニクス/次世代パワーモジュールの応用に関する基盤研究開発/EV モータ駆動用機電一体インバータの研究開発(赤津観)を開始した。これには、昨年度開催した第一回シンポジウムがきっかけの一つになったと思われる。

TIA との連携に関して、CNT の電気的特性評価など、産業技術総合研究所の Nano Processing Facility (NPF) を利用した研究を進めている。

海外との共同研究の推進に関して、カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCSB) の Banerjee 教授を訪問し、グラフェンを用いたデバイスに関する共同研究の具体的検討を開始した。

高度人材の育成に関して、博士課程の学生としてバングラデシュより 1 名を採用し、研究を開始した。また、本学の博士課程学生の米国派遣に関して一部補助を行った。

-	-
---	---

平成 26 年度 グリーンイノベーション研究センター 研究進捗状況報告書

1 学校法人名 芝浦工業大学 2 大学名 芝浦工業大学

3 研究組織名 芝浦工業大学 SIT 総合研究所グリーンイノベーション研究センター

4 プロジェクト所在地 東京都江東区豊洲 3-7-5 / 埼玉県さいたま市見沼区深作 307

5 研究プロジェクト名 グリーンイノベーションの基盤技術研究と人材育成

6 研究観点 _____

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
上野 和良	電子工学科	教授

8 プロジェクト参加研究者数 12 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	役割
上野 和良	電子工学科・教授	低消費電力、高効率電力応用に適したナノカーボン等の電気伝導材料の研究	研究実施、総括
村上 雅人	材料工学科・教授	高効率電力応用に適した超伝導材料の開発	研究実施
弓野 健太郎	材料工学科・教授	Si、Ge 薄膜の低温結晶化に関する研究	研究実施
西川 宏之	電気工学科・教授	太陽電池、パワエレ、MEMS 実装用材料の微細加工と応用	研究実施
赤津 観	電気工学科・准教授	低消費電力電気機械エネルギー変換の研究	研究実施
小池 義和	電子工学科・教授	洋上発電データの収集システムの構築	研究実施
石川 博康	電子工学科・准教授	酸化物薄膜の結晶成長と太陽電池応用、オールカーボン太陽電池の研究	研究実施
山口 正樹	電子工学科・准教授	微細加工技術を用いた圧電特性向上に関する研究	研究実施
田中 慎一	通信工学科・教授	RF エネルギーハーベスティング用レクテナ回路の研究	研究実施
宇佐美 公良	情報工学科・教授	高度情報化社会に向けた低消費電力回路の研究	研究実施

-	-
---	---

＜研究者の変更状況(研究代表者を含む)＞ 学外の研究員として、柴田英毅客員教授(東芝)、谷本智客員教授(日産アーク)が加わった。

11 研究進捗状況

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

(目的・意義)

グリーンイノベーション(GI)は、今後の産業の発展方向として期待されている(図1)。例えば電気自動車(EV)やハイブリッド車(HV)、太陽電池の普及を支える効率的なパワーエレクトロニクス用デバイス、材料の研究の重要性が増している。またビッグデータ、スマートグリッドなど効率的に大量のデータを低消費電力で処理するデバイスが必要とされている。これらの技術は地球資源の有限性が顕在化し、地球温暖化による問題が顕在化しつつある今日において、持続可能な地球、人類社会を実現する鍵である。

本センターでは、本学の有する材料、デバイス、システムの人材を活用して、国プロ等で展開される研究プロジェクトに対応できる研究基盤を整備し、SiC、GaN パワーデバイス、低抵抗ナノカーボン配線、高効率電力変換システム、低消費電力集積回路、太陽電池等の研究に参画し、学生をプロジェクトに参画させることを通じて、実践的な人材を育成することを目的とする。また、シンポジウムや研究会の開催を通じて、研究分野の活性化を図る。

研究の活性化、促進、人材育成を通じて、新たなグリーンイノベーション産業の育成に貢献するとともに、低炭素社会の実現につながるものである。

(計画の概要)

本センターでは幅広いGI分野の中で当面、本学の強みを生かしてTIA等との連携が見込めるパワエレ素子、低消費電力素子を中心に研究を進め、研究基盤の整備強化を図りながら、エネルギーハーベスト、環境エネルギーの利用、太陽電池、超電導材料、ナノデバイス・プロセス等を取り込んで、研究テーマの深化と展開を図る計画である。またグローバル化が進む中で、研究者の海外派遣、海外からの招聘など、国内外の研究機関との連携を図り、研究の国際化を推進する。

パワエレ素子では、パワーエレクトロニクス研究センターと協力して、SiC や GaN 等を用いた高周波インバータや、それを利用する機器等の開発を実施する。低消費電力素子では、国プロ(LEAP)の一環として、低消費電力回路や低抵抗ナノカーボン材料の研究を実施し、それらの基盤技術を発展させ、グリーンイノベーションの他分野への展開を図る。

さらにGI研究の深化と展開のために、センター員の持つ超電導材料、太陽電池材料、ナノデバイス・プロセス、微細加工、機械制御等の基盤技術や、GIにつながる新たなアイデアの研究を推進し、情報発信を推進する。また実践的な人材を育成するため、大学院生を中心に研究プロジェクトに参画させ、研究発表を促進するとともに、奨学制度により博士課程の高度人材の育成を図る。

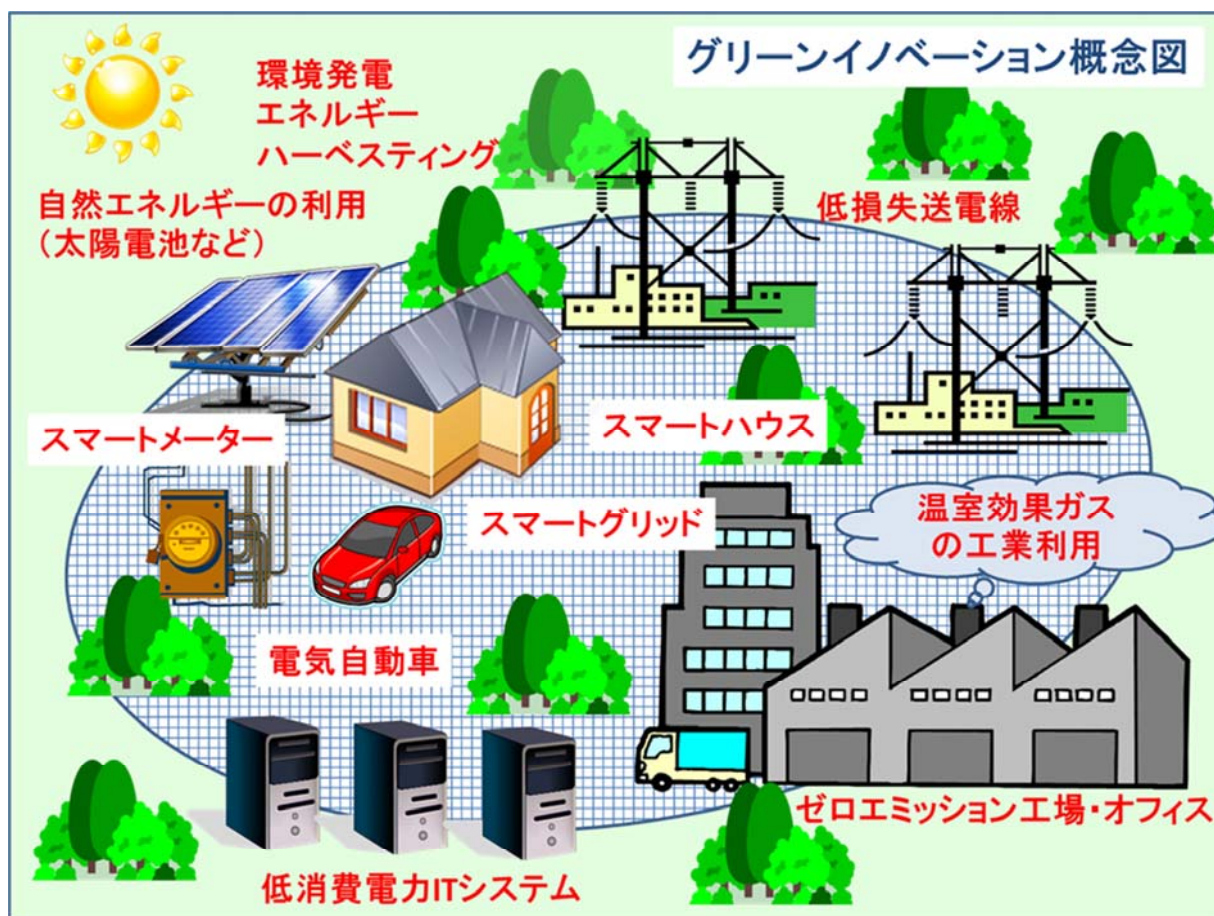


図1. 低炭素社会に向けたグリーンイノベーションの概念図.

(2) 研究組織

本研究センターでは、図1に概念図を示した低炭素社会に向けたグリーンイノベーションに関わる広範囲の研究を推進するに当たり、下記の本学教員が当初、独立して基盤となる研究を実施し、研究センター長がグリーンイノベーションに結びつく研究を、シンポジウム、研究会の実施、大学院生の学会発表支援等を通じて促進し、プロジェクト終了時点において全体を俯瞰した時、個々の基盤技術がグリーンイノベーションや低炭素化に貢献する技術、人材育成となっていることを目指す。

その研究組織として、当初は表1に示す研究員がそれぞれ分担する基盤研究を実施し、研究センター長がセンター会議等を通じて研究を総括する体制とする。またセンター長の下に事務局を置き、シンポジウム、研究会、定例センター会議での議論を通じて、研究テーマ毎の組織化を図っていきたいと考えている。本年度は、パワーエレクトロニクス研究センター（赤津センター長）と連携し、パワーエレクトロニクス分野で、石川、田中、上野が新たな研究を開始している。中長期的には、例えばカーボンをコア技術として、低炭素社会につながる新規テーマの組織化も図っていきたい。

-	-
---	---

表1. 研究組織(研究員と研究分担)

上野 和良	電子工学科・教授	低消費電力、高効率電力応用に適した電気伝導材料の研究、(研究総括)
村上 雅人	材料工学科・教授	高効率電力応用に適した超伝導材料の開発
弓野 健太郎	材料工学科・教授	Si、Ge 薄膜の低温結晶化に関する研究
西川 宏之	電気工学科・教授	太陽電池、パワエレ、MEMS 実装用材料の微細加工と応用
赤津 観	電気工学科・准教授	低消費電力電気機械エネルギー変換の研究
小池 義和	電子工学科・教授	洋上発電データの収集システムの構築
石川 博康	電子工学科・准教授	酸化物薄膜の結晶成長と太陽電池応用、オールカーボン太陽電池の研究
山口 正樹	電子工学科・准教授	微細加工技術を用いた圧電特性向上に関する研究
田中 慎一	通信工学科・教授	RF エネルギーハーベスティング用レクテナ回路の研究
宇佐美 公良	情報工学科・教授	高度情報化社会に向けた低消費電力回路の研究
柴田 英毅	グリーンイノベーション研究センター・客員教授(東芝)	低消費電力デバイス技術の研究
谷本 智	グリーンイノベーション研究センター・客員教授(東芝)	高効率パワーデバイス実装技術の研究

(3)研究施設・設備等

各研究室で管理する本学の施設・設備を当面使用するが、必要に応じて、外部資金の調達等を含め必要な研究施設、設備を整備していく予定である。また、筑波にある共同利用施設(例えば産業技術総合研究所の Nano Fabrication Facility(NPF))を活用する。

(4)進捗状況・研究成果等 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

<現在までの進捗状況及び達成度>

本研究センターは、グリーンイノベーションに関する基盤技術の研究推進と人材育成を目標とする。

グリーンイノベーション研究の推進として、昨年度に引き続き、第2回グリーンイノベーションシンポジウムを開催する(図2)。本シンポジウムは、昨年度に SiC を中心としたパワーエレクトロニクスの実用化の課題について議論したことを踏まえ、今年度は GaN に焦

-	-
---	---

点を当てて、技術の現状と今後の展開について議論する。基調講演として、ノーベル賞受賞で注目される名城大学に拠点を置くエルシードの難波江宏一氏、GaN パワーデバイスの研究で著名な福井大学の葛原正明氏、GaN 基板の量産技術で著名な大陽日酸の松本功氏を迎え、GaN 技術の動向と展望について基調講演をいただく。また、新たな展開として、GaN-HEMT 量産化の先頭を行くトランスフォーム・ジャパンの吉川俊英氏、GaN のマイクロ波電力伝送応用について、レーザーシステム(元徳島大学教授)の大野泰夫氏、GaN の人工光合成への応用について出口正洋氏に、GaN の新たな展開についてご講演いただく。

また、昨年度開催の2回の研究会に引き続き、今年度3回のグリーンイノベーション研究会を開催した。研究会では、ひとつのテーマについて2時間程度、学内外の専門家が集まって議論している。第3回研究会は、GaN パワーデバイスに関するもので、福井大学の葛原正明教授を講師に招き、GaN パワーデバイスの基礎から、電極技術など研究課題の具体的なトピックスについて、先生の研究を中心に紹介があり、今後の研究課題について議論した(図3)。第4回目は、低消費電力デバイスへの応用が期待される CNT やグラフェンの形成に関するもので、早稲田大学の野田優教授を講師に招き、CNT やグラフェンの成長機構について研究を紹介いただき、エッチング析出法という転写のいらないグラフェン形成法などについて議論した(図4)。第5回目は、サンタクララ大学の Cary Yang 教授を講師に招き、CNT を使ったビア配線の形成方法や電気的特性評価法、性能などについて議論した。これらの研究会を通じて得られた情報は、研究センター員の低消費電力デバイスや、高効率パワーデバイスに関する研究に役立つとともに、学内外の研究促進に役立つものと考えられる。

また、各研究センター員がそれぞれのプロジェクトや研究の成果発表をセンターが支援した。今年度は後述する25件の研究発表を支援した。低炭素社会に向けた低消費電力デバイスに関しては、宇佐美が低消費集積回路の研究、上野が低抵抗ナノカーボン配線の研究を LEAP プロジェクトの一環として行った。また、パワーエレクトロニクスに関して、赤津(パワーエレクトロニクス研究センター長)、石川、田中、上野が、高周波高出力パワーインバータ開発に関する研究をパワーエレクトロニクス研究センターの活動の一環として行った。他に、各研究員が各自のテーマについて研究を実施した。例えば太陽電池を目指した半導体結晶成長技術(弓野)研究を実施した。

高度人材の育成に関して、博士課程奨学生の募集を実施し、2014年10月より、バングラデシュのダッカ工科大学より、MD Sahab Uddin を博士課程奨学生に採用した。Uddin は、センター長の研究指導の下で、グラフェンの新しい形成方法とパワーデバイスへの応用に向けた研究を実施予定である。また、博士課程学生である中尾 矩也(赤津研究室)が、一部、センターの補助を受け、ウィスコンシン州立大学マディソン校の Robert D. Lorenz 教授の研究室に Visiting Researcher として訪問し、4ヶ月半の間(Fall Semester の間)研究活動を行った。(8月14日～12月27日)

海外との共同研究に推進に関して、センター長が University of California, Santa Barbara (UCSB)の Kaustav Banerjee 教授を8月3日—10日訪問し、相互の研究テーマについて議論を行った。その後、12月に開催された学会において具体的な共同研究の進め方を相談し、低抵抗グラフェンを用いたデバイスの高性能化に関して、共同研究を開始することになった。その他にも、Santa Clara 大学の Cary Yang 教授、山田俊茂教授と情報交換と議論を行い、共同研究の可能性について検討している。今後、共同研究を実施するため、海外から研究者の招聘を行う予定である。TIA との連携では、筑波にある産業技術総合研究所の NPF と連携した研究を実施している。具体的には、CNT の電気的特性評価に関して、NPF のナノプローバ等の設備を活用し、CNT の低抵抗化の研究を実施している。

<問題点とその克服方法>

-	-
---	---

研究センターでは、各研究員の研究室に所属する学生の発表について支援を行ったが、研究の状況によって発表支援をする研究室に偏りが生じた。また、海外発表等においては、出張先によってかかる費用に差があり、公平な支援となるように、今後ルール作りが必要である。また、今後はセンターの特徴ある研究分野の強化も課題と考えており、センター内でのプロジェクト等について検討していきたい。

<今後の方針>

今後も、継続的に研究会、シンポジウムを開催する。また海外との連携や人材育成に関して、国際共同研究を推進し、また海外発表の推進を行い、研究力向上を図る。研究に関して、当面は低消費電力デバイスに関する研究、高効率パワーエレクトロニクスに関する研究を中心に進め、定期的な研究センター会議等を通じて、中長期的に、各研究員の持つ基盤技術から新テーマを掘り起し、グリーンイノベーションへの方向づけと、学会発表助成等を通じた研究推進を行う。

<今後期待される成果>

- ・定期的なグリーンイノベーションシンポジウムや研究会によるイノベーションの推進
- ・グリーンイノベーションにつながる国内外研究発表、論文発表とそれらを通じた人材育成
- ・博士課程の高度技術人材育成
- ・グリーンイノベーションにつながる研究成果

図 2. 第 2 回グリーンイノベーションシンポジウム



芝浦工業大学
SHIBURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Established 1957

第2回グリーンイノベーションシンポジウム

低炭素社会に向けたGaNの現状と新たな展開

開催日：2015年3月3日（火）13:00～
会 場：芝浦工大豊洲キャンパス 交流棟 6 階大講義室
会 費：無料

お申込み方法:事務局ホームページ専用フォームにて
お名前・ご所属・ご連絡先をお知らせ下さい。
芝浦工業大学グリーンイノベーション研究センター事務局
URL: <http://www.nsl.shibaura-it.ac.jp/info/2ndsymposium/>
締 切：2015 年 2月 23日(月)
定 員：200名

プログラム (敬称略)

13:00	Opening remark :	芝浦工業大学学長 村上 雅人
セッションⅠ【基調講演】		
13:10	照明用GaN系LEDの現状と今後の展望	エルシード株式会社 難波江 素一
13:50	GaN系パワーデバイスの現状と今後の展望 (仮)	福井大学大学院 松原 正明
14:30	GaN系エピタキシャル結晶成長の現状と今後の展望	大陽日酸株式会社 松本 功
15:10	＜ポスターセッション＞	
セッションⅡ		
15:45	GaN/Siを用いた600V高信頼HEMT (仮)	トランスフォーム・ジャパン 西川 俊英
16:15	マイクロ波無線電力伝送へ向けたGaNデバイス	株式会社レーザシステム 大野 孝夫
16:45	GaN系半導体を用いた人工光合成技術	パナソニック株式会社 出口 正洋
17:15	Closing remark :	芝浦工業大学 上野 和良

お問い合わせ先：芝浦工業大学グリーンイノベーション研究センター事務局
〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5
email: 036791@shibaura-it.ac.jp fax: 03-5859-8201

-	-
---	---

第3回グリーンイノベーション研究センター研究会

窒化物半導体パワーデバイス開発の 現状と課題

日 時：2014年4月25日(金) 15:00 ~ 16:30
場 所：芝浦工業大学 豊洲キャンパス 交流棟 402教室
講 師：葛原 正明氏(福井大学大学院工学研究科電気電子工学専攻・教授)

<講演要旨>
窒化物半導体の代表材料であるGaNは、大きなバンドギャップ、Siより1桁大きな絶縁破壊電界、Siを超える高電子移動度などの優れた物性特徴をもつため、次世代省エネ対応パワーデバイスとして期待されている。しかし、高密度の結晶欠陥や深い準位の存在に起因する特性低下や不安定性のため、必ずしも物性値から期待される十分なデバイス性能が発揮されているとは言い難い。本講演では、窒化物半導体パワーデバイスの基本構造と動作を説明したのち、電極技術、MOSゲート技術、パッシベーション技術などに関連した最新成果のトピックスを紹介する。また今後の課題についても講演する。

お問合せ：芝浦工業大学 電子工学科
上野 和良

図3. 第3回 グリーンイノベーション研究会

第4回グリーンイノベーション研究センター研究会

カーボンナノチューブおよびグラフェンの 基板上成長機構と合成技術

日 時：2014年6月16日(月) 16:30 ~ 18:30
場 所：芝浦工業大学 豊洲キャンパス 教室棟 407教室
講 師：野田 俊氏(早稲田大学 理工学術院・教授)

<講演要旨>
カーボンナノチューブおよびグラフェンは、1ナノメートル前後の細さ/薄さを持つ究極の1次元/2次元ナノ材料であり、優れた物性から各種応用が期待され、盛んに研究されている。反面、応用に見合う構造を、実用的な規模・コストで作成することが困難である。実用化のためには、成長機構の理解と目的にあった合理的なプロセス開発が重要である。本講演では、目的にあったカーボンナノチューブのCVDプロセス開発や成長機構について紹介する。またグラフェンのエレクトロニクス応用に関して、転写を用いることなく、絶縁基板上にグラフェンを直接形成できる方法として注目される、金属-炭素混合膜からのエッチング析出法の現状と課題について紹介する。

お問合せ：芝浦工業大学 電子工学科
上野 和良

図4. 第4回グリーンイノベーション研究会

第5回グリーンイノベーション研究センター研究会

微細化限界に向けたカーボンナノチューブビア配線 Carbon Nanotube Via Interconnects for End-of-Roadmap Technology Nodes

日 時：2014年9月8日(月) 14:00 ~ 15:30
場 所：芝浦工業大学 豊洲キャンパス 教室棟 305教室
講 師：Professor Cary Y. Yang (Santa Clara University)
IEEE Fellow served as president of IEEE Electron Devices Society

<講演要旨>
カーボンナノチューブ(CNT)やグラフェンなどのナノカーボンが、現在LSIに使われている銅に代わる配線材料として期待されている。一方、CNTビアを実用化するためにはCNTビアと金属との接触抵抗の最小化が課題である。この課題に対して、1000 nmから60 nm径のビアに、PECVDを用いてCNTを形成し、ビア抵抗や、ナノプローブを使ったCNT単独の抵抗評価を行った。様々なビアやCNT長さに関するビア抵抗測定結果から、ビア接触抵抗やCNTの抵抗を導出した。この結果を用いることで、微細化に伴うCNTビア抵抗の推移がわかり、30 nm以降のビア抵抗予測ができる。さらに、CNTビアと銅ビアの抵抗を比較することで、CNTビア配線の応用可能性について現実的な比較検討ができる。

お問合せ：芝浦工業大学 電子工学科
上野 和良

図5. 第5回グリーンイノベーション研究会

-	-
---	---

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) 低炭素社会 (2) 温室効果ガス削減 (3) 低消費電力
 (4) 高電力効率 (5) パワーエレクトロニクス (6) エネルギーハーベスティング
 (7) 太陽電池 (8) カーボン

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

<雑誌論文>

(1) Satoshi Tanimoto and Kohei Matsui, "High Junction Temperature and Low Parasitic Inductance Power Module Technology for Compact Power Conversion Systems," IEEE Transact. Electron Devices, Vol. 61, Issue 2 (2015), to be published.

<学会発表>

グリーンイノベーション研究センターの助成により実施したもの

- 1) 中村 昌平 宇佐美 公良 :「Level Converter Design for Ultra-low Voltage Operation in FDSOI Devices」ITC-CSCC2014(2014年7月2日 Phuket, Thailand)
- 2) 西澤宏樹 高田圭 齊藤賢吾 田中慎一 :「CRLH線路スタブ共振器を用いた 9GHz帯 低位相雑音発振器」電子情報通信学会2014年ソサイエティー大会(2014年9月23日 徳島市)
- 3) 三芝 直也 杉山貴俊, 神子公男, 弓野健太郎 :「Au, Ge同時スパッタ法による結晶化Ge 薄膜の作製」日本金属学会(2014年9月24日 愛知県名古屋市)
- 4) 橋口 浩平 稲瀬 陽介、神子 公男、弓野 健太郎 :「Ag/mica上に蒸着したSiの影響によるAgの構造変化」日本金属学会(2014年 9月24日 愛知県名古屋市)
- 5) 飯島 裕貴 神子 公男, 弓野 健太郎 :「AIを用いたSurfactant Crystallization法による結晶Si薄膜の作製」日本金属学会(2014年9月24日 愛知県名古屋市)
- 6) 天野 峻輔 赤津 観 :「Study on High Frequency Inverter With 100kHz Current Feedback Control by Using FPGA.」The 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS 2014)(2014年10月24日 中国 杭州)
- 7) 坂上 高大 赤津 観 :「Stator Iron loss Measurement Method in Permanent Magnet Synchronous Motor to Remove the Mechanical Loss Effect.」The 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS 2014) (2014年10月24日 中国 杭州)
- 8) 松本 勇士 松本 勇士, 青笹 明彦, 小杉 諒佑, 宮崎 久生, 和田 真, 佐久間 尚志, 梶田 明広, 酒井 忠司, 上野 和良 :「素ドープ多層グラフェン配線のためのパッシベーション膜の検討」応用物理学会(2014年 9月19日 北海道札幌)
- 9) 内田 昂紀 馬場祥太郎、矢野裕晃、上野和良 (超低電圧デバイス技術組合(LEAP))佐久間尚志、梶田明広、酒井忠司 :「配線応用のためのエタノール原料を用いたCo触媒上の多層グラフェン成長」2014年電気化学秋季大会(2014年 9月27日 北海道札幌)
- 10) 谷口凱 寺村瑞樹、植木一成、端谷貴史、石川博康 :「ビス(2,4-ペンタジオナト)-ニッケ

-	-
---	---

ル(II)水和物を用いた常圧MOCVD法によるNiO薄膜の作製」応用物理学会 (2014年11月13日 東京都)

11) 寺村瑞樹 谷口凱, 田口健太郎, 藤原一樹, 石川博康 :「ビス(2,4-ペンタンジオナト)銅(Ⅱ)を用いた常圧MOCVD法によるCu₂O薄膜の作製」応用物理学会 (2014年11月13日 東京都)

12) 寺村瑞樹 谷口凱, 石川博康 :「ビス(2,4-ペンタンジオナト)-銅(Ⅱ)を用いた常圧MOCVD法によるCu₂O薄膜の作製」応用物理学会 (2014年 9月19日 北海道札幌)

グリーンイノベーション研究センター予算の助成により実施予定

13) 青笹明彦 富田貢丞, 松本勇士, 西出大亮, 佐久間尚志, 梶田明広, 酒井忠司, 上野和良 :「無電解めっきNiB触媒を用いた熱CVDによるナノカーボンの形成」第62回応用物理学会春季学術講演会 (2015年3月11日 ~ 2015年3月14日 東海大学 湘南キャンパス)

14) 佐野翔太 北村啓太, 松本勇士, 酒井忠司, 上野和良 :「Cuキャップ層を持つCo触媒からの固相析出による多層グラフェン形成」第62回応用物理学会春季学術講演会 (2015年3月11日 ~ 2015年3月14日 東海大学 湘南キャンパス)

15) 西澤宏樹 高田圭, 田中愼一 :「平面回路CRLHスタブ共振器の設計および9GHz帯低位相雑音発振器への応用」電子情報通信学会マイクロ波研究会 (2015年3月6日 福井市)

16) 齊藤賢悟 田中愼一 :「CRLH高調波処理スタブ回路を用いるF級高効率増幅器の検討」電子情報通信学会 総合大会 2014年3月??日(未確定) 草津市(滋賀県)

17) 高田圭 西澤宏樹, 田中愼一 :「CRLH線路スタブ共振器の損失解析」電子情報通信学会 総合大会 2015年3月??日(未確定) 草津市(滋賀県)

18) 尾形拓也 ニュエン キエン トウルン, 赤津 観, 田中 愼一 :「平面回路電磁界シミュレータを用いた3次元構造インバータの解析」電子情報通信学会 総合大会 2015年3月??日(未確定) 草津市(滋賀県)

19) 末永容平 弓野健太郎 :「AuによるGeのMIC法における熱処理温度および膜厚依存性」日本金属学会 2015年春期講演大会 (2015年3月18-20日) 東京

20) 橋口浩平 若林陽介, 稲瀬陽介, 神子公男, 弓野健太郎 :「Ag/mica上に蒸着したSiの影響によるAgの構造変化(Ⅱ)」日本金属学会 2015年春期講演大会 (2015年3月18-20日) 東京

21) 小室尚貴(M1) 神子公男 弓野健太郎 :「Au触媒を用いた同時スパッタにおけるGeの結晶化」日本金属学会 2015年春期講演大会 (2015年3月18-20日) 東京

22) 谷口公一(M1) 神子公男, 弓野健太郎 :「Agを用いたMIC法によるSiの結晶化挙動日本金属学会」2015年春期講演大会 (2015年3月18-20日) 東京

23) Satoshi Tanimoto and Kohei Matsui IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES High Junction Temperature and Low Parasitic Inductance Power Module Technology for Compact Power Conversion Systems 2015年2月

24) Yuichi Kumagai, Masaru Kudo, Kimiyoshi Usami :「Power Gating for FDSOI using Dynamically Body-Biased Power Switch」2015 Joint International EUROSIOI Workshop and International Conference on Ultimate Integration on Silicon (EUROSIOI-ULIS) 2015年1月26日 イタリア(ボローニャ市)

25) Shohei Nakamura, Jun Kawasaki, Yuichi Kumagai, Kimiyoshi Usami :「Measurement of the Minimum Energy Point in Silicon on Thin-BOX(SOTB) and Bulk MOSFET」2015 Joint International

-	-
---	---

EUROS01 Workshop and International Conference on Ultimate Integration on Silicon
(EUROS01-ULIS) 2015年1月28日イタリア (ボローニャ市)

<研究成果の公開状況>(上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等
グリーンイノベーション研究センターHP:

<http://www.nel.ele.shibaura-it.ac.jp/green-innovation/>

<既に実施しているもの>

- ① 第3回グリーンイノベーション研究センター研究会(2014年4月25日)
- ② 第4回グリーンイノベーション研究センター研究会(2014年6月16日)
- ③ 第5回グリーンイノベーション研究センター研究会(2014年9月8日)

<これから実施する予定のもの>

第2回グリーンイノベーションシンポジウム: 3月3日
(パワーエレクトロニクス研究センターと共催)

14 その他の研究成果等

低炭素社会を実現する低電圧デバイスプロジェクト(LEAP):

- ・低消費電力回路の研究(宇佐美公良)
- ・超低抵抗ナノカーボン配線の研究(上野和良)
- ・SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/次世代パワーエレクトロニクス
/次世代パワーモジュールの応用に関する基盤研究開発/EV モータ駆動用機電一体イ
ンバータの研究開発(赤津観)

【依頼講演】

- (1) 谷本 智, “パワーデバイス・モジュールと実装,” よこはま高度実装技術コンソーシアム(YJC), 電子機器実装技術者育成講座, 先進パワエレ実装コース(2014/12/2, 横浜国立大学共同研究推進センター, 横浜).
- (2) 谷本 智, “電気自動車電力変換器の小型高性能化 一半導体材料・実装材料に求められる革新—,” 電気機能材料工業会, 電気電子材料技術セミナーInsulation2014(2014/11/25 予定, 亀戸文化センター「カメラホール」, 東京).
- (3) 谷本 智, 松井 康平 “～電動車応用の視点から～ 次世代化合物半導体デバイスへの期待と課題,” 電気学会「次世代化合物電子デバイスとその応用」「ナノエレクトロニクス集積化・応用技術」合同委員会(2014/11/14, 自動車会館, 市ヶ谷, 東京).
- (4) 谷本 智, “SiC/GaN 時代のパワーモジュール実装技術,” (一社)電子情報技術産業協会(JAITA), エネルギーマネジメント・キーデバイス技術分科会(2014/10/31, 大手センタービル, 東京).

留学補助

機能制御システム専攻 中尾 矩也: ウィスコンシン州立大学マディソン校の Robert D. Lorenz 教授の研究室に Visiting Researcher として訪問し, 4ヶ月半の間(Fall Semester の間)研究活動を行った。(8月14日～12月27日)

-	-
---	---

15 「選定時」に付された留意事項とそれへの対応

<「選定時」に付された留意事項>

該当なし

<「選定時」に付された留意事項への対応>

該当なし