

## 研究プロジェクト評価報告書 令和2年度

著者	東北大学未来科学技術共同研究センター
雑誌名	研究プロジェクト評価報告書
ページ	1-275
発行年	2021-03
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00137417">http://hdl.handle.net/10097/00137417</a>

# 研究プロジェクト評価報告書

令和3年3月

東北大学未来科学技術共同研究センター

## はじめに

東北大学未来科学技術共同研究センター（NICHe）は、産業界など外部との連携により大学の知的資源を有効に活用し、広く国内産業の活性化に資することを目的として平成10年4月に設立されました。センター活動の場として、平成12年2月に本館、平成13年11月に未来情報産業研究館、平成14年3月にハッチャリースクエア、さらに平成22年3月に未来産業技術共同研究館を竣工しました。これらの建物は全て、入退室管理や情報ネットワーク管理などセキュリティに配慮した機能を充実させていることが特徴です。

NICHe の開発企画部は専任の教員により、プロジェクト企画と推進調整業務を戦略的に進めるとともに、開発研究部に所属する各研究プロジェクトでは本邦基幹産業の国際競争力を支え、かつ新産業分野創出に寄与するコア技術開発を精力的に進めています。

研究プロジェクト評価は、この開発研究部活動を対象として、現在進行中の研究プロジェクトについて、NICHe のミッションとの適合性、学術的・技術的評価ならびに産業応用の可能性に関する中間評価あるいは最終評価をするために行っております。今回は最終評価4件と中間評価3件の研究プロジェクトを対象として実施いたしました。

評価の手続きとしては、研究担当者による自己評価をベースとして、東北大学以外の有識者による外部評価を書面審査と対面審査の2段階で行っていただくという方式を採用しております。

本報告書においては、平成30年度より各プロジェクトの自己評価報告書のうち公開可能な情報を抜粋して併せて掲載することいたしました。これにより、これまで評価コメントのみでは十分に分かり難かったプロジェクトの成果の詳細をご理解いただけるようになると思われます。また併せて評価時点ではなく年度終了までの最終成果を極力記述いただくこととしました。ただし、本センターのプロジェクトの特性上、企業等との産学連携共同研究については秘匿すべき事項も多く、限定的な情報公開となりますことをご理解ください。

本報告書は、評価の結果ならびにいただいたご意見を要約したものであり、その内容については今後のプロジェクト推進及びセンター運営に的確に反映させていただきたいと考えております。ご多忙な中で多大な労力と時間を割いて、本センター活動に対していただいた貴重なご意見やご提言に対し、心から感謝申し上げるとともに、今後さらなる努力をいたす決意であることを申し上げて結びと致します。

令和3年3月

東北大学未来科学技術共同研究センター長

長谷川 史彦



# 令和2年度東北大学未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価報告書

## 目 次

1 研究プロジェクト評価結果	1
2 研究プロジェクト評価書面審査表（まとめ）及び自己評価報告書（抜粋）	
(1) 最終評価プロジェクト	
①情報環境（インフオスフィア）調和型自己組織化ヘテロ集積システムの開発 (福島准教授)	9
②先進ロジスティクス交通システム研究プロジェクト（松木教授）	53
③新規機能性材料の開発とそのデバイス応用（吉川教授）	105
④摩擦融合研究プロジェクト（栗原教授）	137
(2) 中間評価プロジェクト	
①戦略的食品バイオ未来産業拠点の構築（宮澤教授）	167
②次世代に向けたリスクベース安全・安心社会基盤の構築（渡邊教授）	197
③超臨界プロセス社会実装（阿尻教授）	229
3 研究プロジェクト評価実施要領	265
4 研究プロジェクト評価委員会委員名簿	266
5 研究プロジェクト評価委員会書面審査委員名簿	267
6 研究プロジェクト評価委員会スケジュール表	268
7 未来科学技術共同研究センター規程	269
8 未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価委員会内規	273
9 未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価要項	274



「情報環境(インフオスフィア)調和型自己組織化ヘテロ集積システムの開発」  
プロジェクトリーダー:福島 誉史 準教授

## I. プロジェクトの研究成果について

### 目標どおりの研究成果を達成した。

トータルで、優れた研究成果を達成していると評価される。独創的な技術を確立して、早期から大企業及びベンチャー企業の技術者と協働して特許を取得し、製品化を見据えた研究や、国際交流の実績より、対外発表の評価、注目度も高いと判断される。

## II. プロジェクトの研究成果の社会、経済、産業への貢献及び還元状況について

### 優れた研究業績を挙げ、かつ、「新産業創出」に結びつく成果を上げている。

これまでの半導体技術の延長ではない難テーマの研究開発を、国際的な共同研究と企業との共同研究によって進めている。意欲的な研究テーマだけに、まだ事業化には時間がかかるが、生体情報ウェアラブルシステムには特に期待される。

## III. プロジェクトの必要リソース(研究費、研究員、設備)の獲得実績について

### 必要リソースを十分に獲得して活用している。

民間ベースの資金調達は順調であると判断される。また初期から商品化を意識して、民間からの研究員が多数参画しているのは大いに評価される。

## IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

「ナノ TSV プローブカード技術」への応用展開が可能なことに気付き、新たな起業を視野に入れた研究を始めたことは評価される。

## V. 総合評価

研究と社会実装の両方で順調に成果を挙げている。2年継続した場合の実用化計画も明確になっており、継続が望まれる。

With/post コロナ社会を見据えて昨今のデジタル化の急速な進展を踏まえれば、本プロジェクトが目指しているゴールは、社会課題解決のみならず、産業的にも非常に重要なものと判断される。

特にムーアの法則の限界が指摘される中で、本プロジェクトにおける研究は、post ムーア時代の情報システムの一つの選択肢を目指すものとして期待される。

## 「先進ロジスティクス交通システム研究プロジェクト」

プロジェクトリーダー: 松木 英敏 教授

### I. プロジェクトの研究成果について

#### 目標どおりの研究成果を達成した。

近未来の社会基盤となるロジスティクス交通システムの基盤研究開発を多面的に進め各分野で成果を上げつつ、自動運転技術などの実社会で急速に進展する技術を想定し、「先進ロジスティクス交通システム」としてまとめ上げている。要素技術開発から社会システムの構築・実装プロジェクトまで、多岐にわたるプロジェクトを総合的に推進しており、かつ、それぞれ順調に進捗していると判断される。

### II. プロジェクトの研究成果の社会、経済、産業への貢献及び還元状況について

#### 優れた研究業績を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く成果を挙げている。

巨大な現実の社会システムを対象とした難しい研究開発において、各分野での基盤研究を積み重ね、多数の企業との連携体制を構築し、Mn 系リチウムイオン電池の量産化技術や自動運転技術の実用化実績、実証段階への到達などの新産業創出を果たしている。また青葉山キャンパスや泉パークタウンなど広範囲な地域レベルの実証活動も順調に進展していると判断される。

### III. プロジェクトの必要リソース(研究費、研究員、設備)の獲得実績について

#### 必要リソースを十分に獲得して活用している。

国から毎年 3 億円超、民間から 1 億円前後と順調に研究費を獲得しており、初期段階から事業化を意識して様々な民間企業が真摯に参画している。研究面のみならず、実証フィールドの提供等も含めた産学官の連携体制を構築している点は高く評価される。

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

震災後 10 年における地域への貢献が大きく、事業獲得に繋がっていると判断される。

近未来交通システムの構築・社会実装を基本目標としつつ、その過程で得られた技術成果を、消防ロボットの自動化、犬の遠隔操縦等多様な分野へ展開している。

### V. 総合評価

データ活用やデジタル化が進展する post コロナ社会やスマートシティの実現に向けても実現が必要不可欠な分野と判断される。

自動運転技術と LiDAR 技術は、日本での研究開発・事業化の進展が、米国やイスラエルなどに比べて遅れ気味だが、新しい視点を日本の研究開発態勢に与え、大きな刺激を与える勢力になれば、その存在意義は大きいと期待される。

## 「新規機能性材料の開発とそのデバイス応用」

プロジェクトリーダー:吉川 彰 教授

### I. プロジェクトの研究成果について

#### 目標どおりの研究成果を達成した。

多彩な実用化目標を設定し、新規機能性材料開発を進めている。研究開発ベンチャー企業を含めた多くの企業との共同研究成果は多岐にわたるセンサー等のデバイス実用化が進捗し実用化に近い段階と判断される。

論文、学会発表、表彰等の実績は量的、質的に優れている。人材育成についても多くの研究者を受け入れたほか、准教授に公的助成金の研究代表者として経験を積ませる戦略的な活動は、プロジェクトの更なる拡がりと発展に繋がり高く評価される。

### II. プロジェクトの研究成果の社会、経済、産業への貢献及び還元状況について

#### 優れた研究業績を挙げ、かつ「新産業分野創出」に結びつく成果を挙げている。

実用化に向けた課題を意識し、早期に企業との共同研究に取り組んでおり、また研究室からのベンチャー企業の創出実績も多く、高く評価される。

### III. プロジェクトの必要リソース(研究費、研究員、設備)の獲得実績について

#### 必要なリソースを十分に獲得して活用している。

民間企業からの共同研究員が非常に多い。かつ直近5年を見ても国からの競争的資金を獲得し、民間企業からも研究資金を調達していることは高く評価される。

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

多くのベンチャー企業を生み出した実績のとおり研究室メンバーの意識を啓発し次々と新たなベンチャー企業を立上げていることは高く評価される。

### V. 総合評価

多くの企業との連携のもと大変優れた研究と社会実装の成果を多数創出されており、関連するベンチャー企業の創出も活発である。

プロジェクトリーダーを支える研究者の育成にも取り組んでいることは、プロジェクトの層を厚くし継続研究に向けた体制の整備にも資するものとして期待される。

異分野融合と研究実績の高速化の困難な挑戦に取組まれており、継続して本プロジェクトをさらに発展させることが強く期待される。

## 「摩擦融合研究プロジェクト」

プロジェクトリーダー：栗原 和枝 教授

### I. プロジェクトの研究成果について

#### 目標どおりの研究成果を達成した。

評価・測定できなかった各種パラメーターを掌握できる評価・解析装置を開発し、先端計測技術と計算科学を駆使し、さらなる科学的な現象解明に発展させるとともにその成果を社会展開まで進めていることは高く評価される。論文、学会発表、表彰等は量的・質的に優れた実績を上げている。研究員の受け入れ実績などの人材育成、加えて国際交流や地域企業の技術指導についても相当の実績があり、高く評価される。

### II. プロジェクトの研究成果の社会、経済、産業への貢献及び還元状況について

#### 優れた研究業績を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結びつく成果を上げている。

検査・解析装置を備えたトライボロジー融合研究ラボを整え、多数の企業研究者との連携・交流の場であるトライボロジー融合研究会、さらに企業への個別指導などを通じて得られた知見等をまとめたトライボロジー技術活用事例集の作成・配布など多様な産学連携の枠組みを整備し、本格的に活動を推し進めていることは高く評価される。

数々の評価測定装置の開発と商品化の実績をあげており、高く評価される。

### III. プロジェクトの必要リソース(研究費、研究員、設備)の獲得実績について

#### 必要なリソースを十分に獲得して活用している。

企業や国からの研究開発資金の導入、また工学研究科足立教授が開設した共同研究講座を活用した民間企業からの研究員の受け入れ、さらに各県の公設研研究員とのネットワークを構築し、地域の中小企業からの相談等を受け入れられるプラットフォームの構築、など必要なリソースを十分に獲得・活用しているものと評価される。

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

マンガンリチウムイオン電池の開発において、開発された測定・評価装置を提供し、電池、電解液の評価や血液、希少薬剤の粘度測定などトライボロジー研究における成果を多分野研究プロジェクトに応用・展開している点は高く評価される。

### V. 総合評価

本プロジェクトは、科学的研究の優位性のみならず、社会展開に向けて産学官連携の体制構築や検査測定装置の共用など様々な仕組みづくりを進めており、また連携企業の広がりや検査測定装置の商品化等の実績も優れている。さらに、摩擦現象の解明で得られた知見や技術を他の分野に応用展開を進めており、さらなる広がりが期待される。

## 「戦略的食品バイオ未来産業拠点の構築」

プロジェクトリーダー：宮澤 陽夫 教授

### I. プロジェクトの研究成果について

#### 目標どおりの研究成果を達成した。

地域企業を想定した研究テーマを設定しており、食品研究と微生物物質生産技術の2分野の技術開発自体は、概ね順調に進んで新産業分野創出の兆しが見られると判断される。また、出口企業が想定されて技術移転が始まっていることから、今後の商品化が期待される。

### II. プロジェクトの研究成果の社会、経済、産業への貢献及び還元状況について

#### 優れた研究業績は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。

大企業だけでなく東北地方の中小企業との共同研究が促進されており、民間企業への技術移転は移転技術の件数から進んでいると判断される。中間評価時点で、開発技術の8件が民間企業に移転され、そのうち7件に関しては商品化を目指した開発が進められており、商品化されることが期待される。

### III. プロジェクトの必要リソース(研究費、研究員、設備)の獲得実績について

#### 必要リソースを十分に獲得して活用している。

民間資金、国からの資金(農研機構、JST、NEDO)、研究員受入れ等の実績が高く、また、東北大・他大学・企業からなるプロジェクト推進体制もしっかりと構築している。

また、2020年10月からILSIジャパンとの長期間の共同研究も開始された。東北大メディカル・メガバンクとの連携も始まり、学内の医学系の知見も有効に生かせていると判断される。

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

プロジェクトの中で食品開発を経験値でなく極力理論化したいというニーズが出てきたことで、食品開発は多分子の相互作用という前提に基づき、食品開発を極力理論化したいという発想から量子コンピュータを前提にした「AIディアトロフィ」の発想に至っている。世界でも先駆的な取り組みと期待される。

### V. 総合評価

学術的取組が活発であるだけでなく、企業連携・社会展開についてもしっかりと取り組んでおり、大変バランスのとれたプロジェクトと評価される。

「次世代に向けたリスクベース安全・安心社会基盤の構築」

プロジェクトリーダー：渡邊 豊 教授

## I. 研究成果について

### 目標どおりの研究成果を達成した。

災害が多く、福島第一原子力発電所の問題を抱えた日本にとって、非常に重要なテーマであり、社会ニーズに応える実践的なプロジェクトとして、プロジェクト開始当初から多彩なサブテーマで多くの共同研究を展開し、それぞれが着実に研究成果を上げている。火山灰対策技術（低差圧で作動するスクラバー）を急遽コロナ対策の除ウイルスへも展開する等の対応も評価される。

## II. 成果の社会、経済、産業への貢献および還元

### 優れた研究業績を挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。

民間企業への技術移転が 2019 年度に 2 件、「水素貯蔵用圧力容器の製品化」が実現したほか、複数並行して企業と実用化を目指した共同研究が進められている。特に、Cs 除染技術が福島第一原子力発電所（排水路等）に試験設置されるなどの進展もあり、可能なものはより積極的な広報活動が望まれる。また、高純度鉄基耐熱合金は、高い「新産業分野創出」ポテンシャルを持つと期待される。

今後、多彩な成果が期待される中、それぞれの事業化の道筋を描き、大学発ベンチャー創出に限らず、それぞれ最も適切なルートで社会実装を進めることが望まれる。

## III. 必要リソースの活用状況

### 必要リソースを十分に獲得して活用している。

研究資金については、民間から昨年度計 15 件で約 9500 万円、今年度も計 9 件で約 9000 万円と年間 1 億円近い資金を得ており民間ニーズを的確に捉えており、加えて今年度は国から人材育成事業委託約 1400 万円も受けている点も高く評価される。

企業からの共同研究ニーズが体制的に応え切れないほど寄せられたとのことだが、今後も優先順位を勘案し対応しつつも、必要があれば柔軟な NICHe の仕組みも生かして体制を構築することも一案。

## IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

火山灰対策技術を急遽コロナ感染拡大を踏まえ避難所のウイルス対策にも展開していることをはじめとして、新たな社会ニーズや企業ニーズを踏まえ、当初計画にない共同研究や人材育成に取り組んでいることは高く評価される。

## V. 総合評価

日本にとって重要なテーマを掲げ、新たな社会ニーズや企業ニーズも的確に捉えながら様々な共同研究で着実に研究成果を上げている。既に社会実装も実現しているものもあるが、プロジェクトの後半に、一層の研究成果と技術移転・社会実装が進展することが期待される。また、良好な進展・成果についてより積極的に広報活動をしていくことが望まれる。

## 「超臨界プロセス社会実装」

プロジェクトリーダー： 阿尻 雅文 教授

### I. プロジェクトの研究成果について

#### 目標どおりの研究成果を達成した。

文部科学省の材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業や JST の未来社会創造事業、NEDO の先導研究プログラムなどに採択され、またそれぞれの支援事業で高い評価を受けるなど順調に進捗していると評価される。これまでの成果も含めて超分散ナノ材料に関するデータベースを構築し、今後の研究基盤とする計画は、データ駆動型研究開発の発展を支えるものであり、大いに期待される。

### II. プロジェクトの研究成果の社会、経済、産業への貢献及び還元状況について

#### 優れた研究業績は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。

ベンチャーを通じた取組、共同研究等を取組、コンソーシアムの形成等成果を社会展開する枠組みを総合的に計画・実行しており、高く評価される。次世代インキュベーションについては、コンソーシアム活動を通じた社会実装・新産業分野創出が望まれる。

### III. プロジェクトの必要リソース(研究費、研究員、設備)の獲得実績について

#### 必要リソースが十分に獲得され活用されている。

基礎研究では JSPS や JST から、社会実装では文科省、JSPS、NEDO から十分な資金を調達しており、また民間からは研究員の受入れも行っており、高く評価される。一方で本プロジェクトは、広範囲、かつ大規模なものになる事が予想され、ベンチャー企業のほか、大きな規模の企業から事業化のための人材を参画させる事が望まれる。

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

「低温での、4 析近くも大きな酸化物イオン伝導現象」は、超臨界ナノ粒子の分野で新たな発見であると高く評価される。

### V. 総合評価

学術的なデータベース・プラットフォームを構築し、それを基盤として、コンソーシアムも形成しつつ産学連携活動を展開する計画は、データ駆動型の産学連携システムとして大いに期待される。データベースに関しては、プロジェクト関係者の多様なデータを蓄積・共用するルールや枠組みについて、オープン・クローズの考え方も含めて適切に整備しておくことが重要と判断される。一方、ベンチャー企業の事業拡大とともに、意欲的な研究開発や事業化を考えている企業ならではの考えをまとめ、実施するためのプロジェクト・マネージャーの参画が望まれる。



## 研究プロジェクト評価書面審査表(まとめ)

(研究プロジェクト評価書面審査委員氏名:◎新宮原正三、須賀唯知、知京豊裕)

プロジェクト名	情報環境（インフォスフィア）調和型自己組織化ヘテロ集積システムの開発
プロジェクトリーダー名	福島 誉史

### I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

1. 開発研究の進捗状況(当初の開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況)	<p>(優れている点) 当初の開発研究計画に照らし、十分な進捗がみられている。特に LED チップなどの自己組織化実装法を提案し、装置仕様を策定した点が特に優れている。また、浅皮下情報可視化シンディスプレイについて材料選択を含めて提案に至ったことも優れていると判断される。</p> <p>(不十分な点) ピッチ 100nm 以下の自己組織縦型ナノワイヤ形成は新規性があり興味深いが、電気伝導特性や物性制御性などはまだ不十分であり、さらなる検討が必要であると判断される。また、応用分野に関して、様々な可能性があると考えらえる。</p> <p>(改善のポイント) 報告書では各項目での達成度が%で表示してあるが、当初の目標が XXX であり、それに向けていくつかの評価基準があつて、それらと照らし合わせて x x % という達成率となるため、そのような評価基準をあらかじめ明記することが望まれる。 なお、金属ナノ粒子とブロックコポリマーを使った縦型配線に関して、微細化した場合の抵抗値のばらつきの制御に関してアイデアがあれば記載することが望まれる。</p>
2. 研究者の育成状況 (各種研究員の受入れ・国際交流の状況等を含む。)	<p>(優れている点) 2020 年度見込みを含め、修士号取得 15 名、博士号取得 5 名を輩出しており、また 44 名の民間研究員受け入れ等、多くの人材育成に貢献している。また、米国 UCLA、韓国 NNNFC との連携、国際会議 IEEE-3DIC の開催など、国際交流も活発に行われていることは評価される。</p> <p>(不十分な点) 国際交流において、企業研究員が多い割には、社会人博士号取得者が 0 であることの今後の改善が望まれる。</p>

	<p>(改善のポイント) 大学院学生の国際交流の機会を増やすべきと判断される。</p>
<b>総括 I</b> 上記1.～2.までの評価に基づき当初の開発研究計画の進捗状況を中心に評価して下さい。	<p>(優れている点) 4つの大きなテーマに関して、非常に精力的に取り組んでおり、いくつかの良い研究成果も得られつつあることは評価される。</p> <p>(不十分な点) 報告書では各項目での達成度が%で表示してあるが、その数字がどのような根拠が不明瞭であり、本プロジェクトがどの程度達成されているのかが曖昧な点が多く改善が望まれる。また、学位論文等に現れる貢献度が明確でないと判断される。</p> <p>(改善のポイント) 各研究項目で、もう少し具体的かつ明確な目標を定めた上で、達成度の数値を示すことが望まれる。また、学位論文の位置づけを、学位論文の執筆者、論文タイトルなどの記載、公表した代表的な論文との関係などから明確にするのがよいと判断される。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 大変良い</li> <li>②. 良い</li> <li>3. 普通</li> <li>4. やや不十分</li> <li>5. 不十分</li> </ul>

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

1. 民間企業への技術移転進捗 状況について	<p>(優れている点) 知的財産権等による技術移転が3件見込まれており、また、まだ商品としては実現していないものの、2022年3月をめどに計画されているものが3件あり、新産業分野創出に貢献していると評価される。</p> <p>(不十分な点) 特になし。</p> <p>(改善のポイント) この技術をさらに発展させるために、できればJSTのスタートアップなどを通じて開発速度を加速し、民間企業への技術移転を進める時期であると判断される。</p>
2. 発明、特許権その他の知的 財産権の状況について	<p>(優れている点) PCT出願2件、国内特許出願4件は、おおむね良好であると判断される。</p> <p>(不十分な点) 特許がどの開発項目をもとにしているのかが報告書からは読み取れない。件数だけが評価ではないので、開発項目との関連を記載することが望まれる。</p> <p>(改善のポイント) この研究プロジェクトは国際競争が激しい分野であり、さらにPCT出願を増やすことが望まれる。</p>
3. 論文・著書・学会等発表の状 況	<p>(優れている点) 国際学会招待件数(17件)が多く、優れている。 また、国際学会発表件数も2019年、2020年は20件を超えており、優れている。 査読あり論文成果も26編と優れた件数であると評価される。</p> <p>(不十分な点) 特になし。</p> <p>(改善のポイント) 特になし。</p>
4. 各種表彰・受賞・新聞報道等 の状況について	<p>(優れている点) 小柳先生のIEEE EPS Awardは特筆に値する。ただし、これはかなり過去からの業績の蓄積によるもので、3次元実装技術分野で小柳先生がパイオニア的な業績を持っておられるから</p>

	<p>と判断される。</p> <p>また、SSDM Young Research Award 2 件、IEEE IITC best student award 1 件、など、大学院学生が複数受賞している点は本プロジェクトの成果が国際的に評価されていることを示しており、特に IITC は関連分野では世界的に権威がある学会であり、このプロジェクトの学生が受賞したのは、非常に高く評価される。</p> <p>(不十分な点) 特になし。</p> <p>(改善のポイント) 特になし。</p>
総括Ⅱ  上記1.～4.までの評価に基づき、「新産業分野創出」に結びつく開発研究成果が出ているか（研究のアウトプット）、また現実に「新産業分野創出」 <sup>注1)</sup> （研究成果に基づく産業活動のアウトカム）に結び付いているか、を中心評価して下さい。  <sup>注1)</sup> ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。	<p>(優れている点) いくつかの研究成果が、当初予想しなかった製品へ応用可能なことが明らかとなった点で、新産業創出に結びついていると判断される。</p> <p>(不十分な点) 皮下に埋め込むセンサー素子を有するハイドロゲル FHE フレキシブル基板技術は新規性が高いと考えられるが、世界的に見たときにどのような立ち位置にあるかを示すことが望まれる。</p> <p>(改善のポイント) 特になし。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①. 優れた研究成果を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く評価を挙げている。</li> <li>2. 優れた研究成果は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。</li> <li>3. 優れた研究成果を挙げているとは言えないものの、「新産業分野創出」に結び付く可能性は高い。</li> <li>4. 研究成果は他に優れたとは言えず、「新産業分野創出」に結び付く成果も期待出来ない。</li> </ul>

### III. プロジェクトの研究費の実績

総括Ⅲ  外部資金の獲得状況と、その資金が十分に活用されているかの観点から評価して下さい。	(優れている点)  外部資金獲得において、NEDO、サポイン、科研費、民間会社の助成金など、様々な方法で資金獲得に努力している。獲得総額も毎年で5千万以上あり、相当努力していると判断される。  (不十分な点)  特になし。  (改善のポイント)  申請中のCRESTなどの大きな資金の獲得が期待される。
---	---

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

総括Ⅳ	(優れている点)  TSVへのNiめっきによる金属堆積技術が、ナノプローブカードへ展開可能となった点、またマイクロTSV技術をプロープカードに展開する点、などは当初の計画にはなかった点であり、新たな実用化の道が見つかった点は大いに評価される。  (不十分な点)  ブロック高分子による自己組織化配線技術は新規性があり、非常に興味深い。しかし、技術としての基礎がまだ十分に確立されておらず、さらなる基礎検討を要すると判断される。特に、電気抵抗があまり低くならないことが予想されるため、配線用途には適さないのではないかという懸念が考えられる。  (改善のポイント)  ブロック高分子を利用した金属微細配線形成法に関しては、いくつかの基本特許が取れる可能性もあり、しっかりと基礎現象の探求が望まれる。配線以外の用途の可能性も考えられる。
-----	---

## V. 総合評価

総括 I ~IVを踏まえ、本プロジェクトを総合的に評価して下さい。

本プロジェクトの4つの研究開発項目に関しては、1)マイクロ LED の自己組織化実装、2)自己組織化配線技術を含めた積層型大容量メモリ、3)サイクリック三次元 AI チップ、4)高集積フレキシブルデバイスはおおむね順調に開発が進んでいると判断される。

大学と企業の連携が叫ばれる中、企業としては製造ラインに近い環境での実証実験を期待しており、今回の成果はこれらの要望に応える高い水準の研究成果である。提案者のもつ基本技術を中心とした研究が今後も発展し、かつ企業からここで提案されたデバイスが製品として世界に発信されることが期待される。また、AIあるいはニューロチップの3次元化に向けた展開を、研究期間延長によってしっかりと示すことが望まれる。

(全体に対するコメントがありましたら、記載して下さい。)

集積回路を使った電子デバイスは一般に大学での研究開発環境と企業のもつ生産ラインの間に大きな差があるが、東北大学では、企業が標準的に使う 300 mm 基板を使ったラインがあり、企業から魅力的な環境がある。大学にはこの環境を維持管理するための支援と今回の提案者らの成果が製品となるような体制づくりを今度とも続けていくことが期待される。

報告書では各項目での達成度が%で表示してあるが、その数字がどのような根拠で出てきたのかが、具体的に示されていない。当初の目標が XXX であり、それに向けていくつかの評価基準があつて、それらと照らし合わせて x x % という達成率となるが、そのような形の説明が明確にない点が、この報告書の問題点であると判断される。単純に成果報告を読んでいくと、すべてのテーマがうまく行っているかのような印象を受け、どのような技術課題があつて、どこまでそれらが克服できているのか、という説明が必要と判断される。このように報告書の書き方としては不明瞭なところがあるので、将来、報告書として公表される場合には、改善が望まれる。

## 2020(令和2)年度研究プロジェクト自己評価報告書(公開版)

### 開発研究部の分野名・研究プロジェクト名

プロジェクト名：情報環境(インフォスフィア)調和型自己組織化ヘテロ集積システムの開発  
Development of Info-Sphere Compatible Self-Assembled Heterogeneous Integrated Systems

### プロジェクトリーダーの職名・氏名

未来科学技術共同研究センター 准教授・福島 誉史

印

### 研究体制(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

#### (1) 開発研究目的、目標及び方法

##### 1. 目的

人とモノや機械が情報を介して密接につながる情報環境(インフォスフィア: Information-AtmoSphere)社会の到来を見据えて、このような社会を支える知能システムとしてインフォスフィア調和型ヘテロ集積化システムを実現できる技術開発を行うことを目的とする。図1に示すように、具体的なインフォスフィア調和型ヘテロ集積化システムの例として、人間の健康状態(脈波、心電、血中酸素濃度、グルコース等)や心理状態(眠気や倦怠感、ストレスなど)、身の回りの環境をモニタリングでき、本格的な人工知能(AI)の出現により膨大な情報を取り扱うために必要とされるエッジデバイスとして重要な大容量メモリを有し、多機能センサと知能メモリを搭載した**生体情報モニタリング集積化システム**の開発を目指す。このようなシステム実現のためには、半導体デバイスやチップ間で高速の情報通信を担う配線の微細化・立体化と、それらが最適配置される基板や構造体を含む半導体システム全体の高性能化・低消費電力化が必須となる。トップダウン的なムーアの法則が終焉した半導体微細加工技術に対し、ボトムアップ的な「自己組織化」技術を基盤とした技術開発を行い、これらの情報環境調和型ヘテロ集積化システムを創出する。

#### 目的：全てのモノと人が有機的にインターネットに接続した情報知能化社会を牽引するシステム創出



図1 インフォスフィア調和型ヘテロ集積化システムの概念

## 2. 目標及び方法

### 目標

このような情報環境調和型ヘテロ集積化システムを実現するための要素デバイスとして、脳型情報処理を基盤とした超低電力のニューロ LSI(AI チップ)、各種情報処理を可能にするための高密度知能メモリ(次世代 SSD)、全視野表示が可能なマイクロ LED ディスプレイデバイス、生体情報をモニタリングできる各種センサを搭載した高集積なウェアラブルシステム必要となる。ここでは、これらの実用化に資する技術開発を目指す。マイクロ LED ディスプレイや次世代 SSD の実現は数千億円から 10 兆に迫る市場規模であり、社会に対するインパクトは大きく、NICHe での実用化研究の目的に沿っている。

### 方法

図2の概念図に示すように、本開発研究では、ブロック高分子のナノ相分離現象を利用して自己組織的に高密度配線を形成する自己組織化高密度配線技術と、液体の表面張力をを利用して半導体チップを高精度に集積する自己組織化実装技術を確立する。また、マイクロ LED や三次元積層型集積回路(3D-IC)など異種デバイスのインテグレーションを中心とする高度な半導体パッケージング技術開発を通してインフォスフィアに調和するヘテロ集積システムを試作して本プロジェクトの有用性を示す。

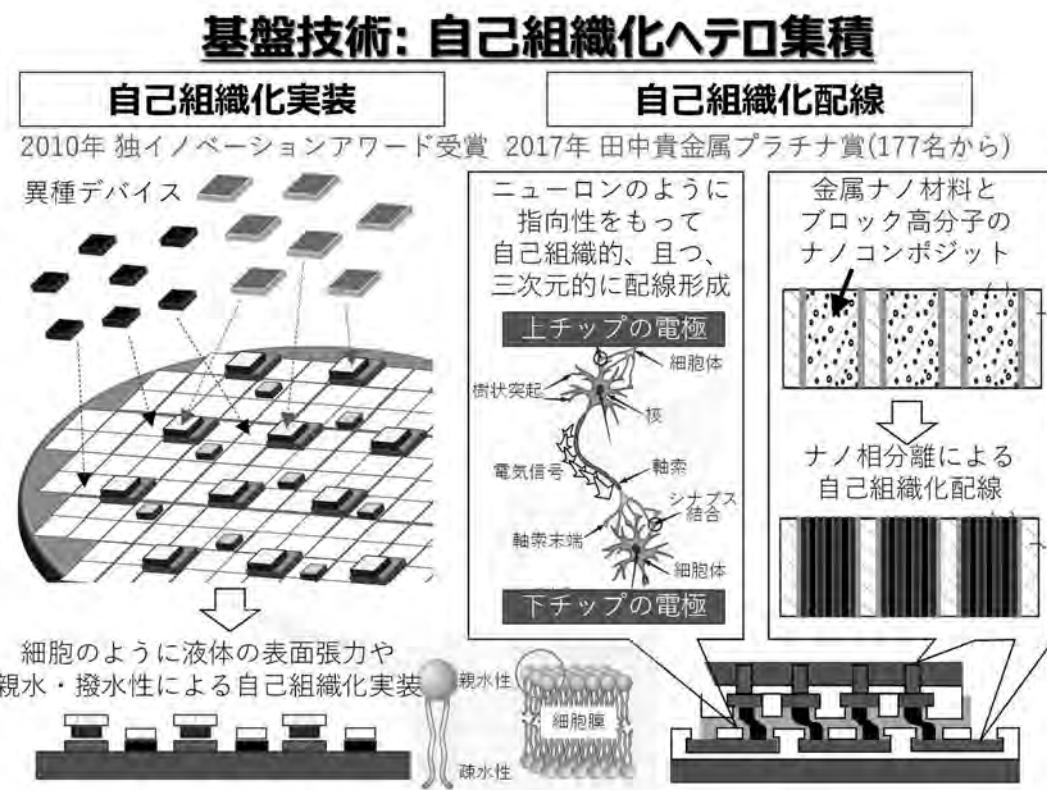


図2 基盤技術:自己組織化ヘテロ集積の概念図  
(自己組織化実装はマイクロ LED、自己組織化配線は次世代 SSD の基盤技術)

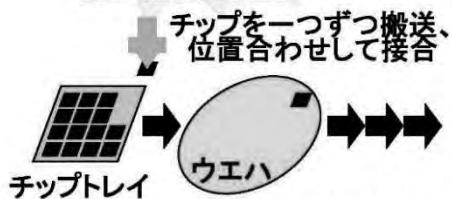
以下、基本概念を具現化するために必要な Key Technology をより詳細に述べたものが以下の図3、図4、図5となる。

## **主要技術1（サポイン事業）：**

# **自己組織化チップ実装の装置化と極小チップの集積**

**従来：逐次的なPick-and-Placeによるチップ実装**

位置合わせ精度と  
生産性はトレードオフ、  
高い精度も限界



500個の5mm角  
チップを一括実装



**本提案：液体の表面張力を駆動力とした超並列チップ実装（自己組織化実装）**

高い位置合わせ  
精度と高い生産性

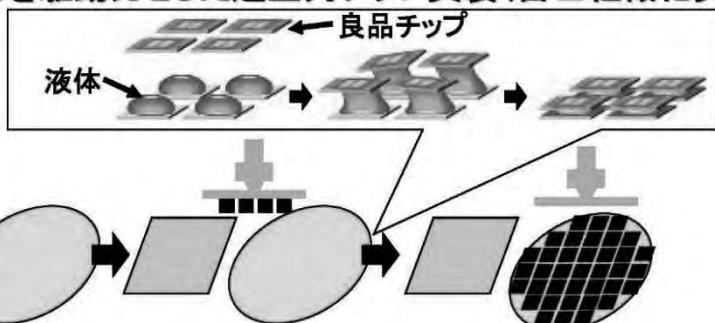


図3 基盤技術1：自己組織化チップ実装と極小チップの集積（従来法との比較）

従来のマイクロチップ集積方法は、図の「従来」で示す数 mm 角以上の大規模なマイクロチップをウエハ上に一枚ごとに搬送して位置合わせ・接合をする方法であった。ロボットアームを高速化してもチップの数が膨大であるので生産性向上には限界があった。当然ながら位置合わせ精度を追及すると搬送時間は長くかかるようになり、位置合わせ精度と生産性はトレードオフの関係になる。

本提案は、マイクロチップを事前にテープの上に貼り合わせてからウエハに転写する方法。この方法の長所は、完成されたウエハから個別化されたチップが載るテープから製品として最終的に使用する基板やウエハに転写する際に液体の表面張力を生かして位置合わせを自動で行えることが特徴である。また、最終基板やウエハ上の液体にチップを載せる際に、横方向の位置のずれ、角度のずれがあっても表面張力の利用で許容範囲の誤差内に自動修正される（位置合わせ精度を高められる）ことが大きな利点となる。

さらに、テープ上にチップを張り付ける際には、テープ上のチップ張り付け位置に誤差があっても、テープ自体を伸縮させて位置を修正できる。「テープ上の誤差を伸縮で調整」→「最終基板やウエハ転写時に表面張力で位置調整」という方式を採用することで、ウエハ上に多数のチップを高速で実装することが可能になった。

なお、図3で示した自己組織化チップ実装技術を基に作製する自己組織化ヘテロ集積化システムを図4で示す。従来、ムーアの法則に従って、メモリやプロセッサなどのデバイスの高性能化（チップの中身の性能を上げること）に注力されていたが、システム全体で見ると、プリント基板を含めたチップ間、コンポーネント間の高速で効率的な接続が重要である。その点に着目して、3D-ICチップを外部の素子やコンポーネントとどのように接続するか、中継基板（Siインターポーラ）を含めてシステム全体の縮小化（短距離配線化）、効率化を意識してシステム・インテグレーションの研究を開拓した。

上述のように配線はシステム性能の鍵を握る重要な基幹構成要素である。図5では、その配線形成方法に自己組織化の考え方を導入した。ブロック高分子のナノ相分離により形成される微細な周期構造に着目した誘導自己組織化を積極的に応用した技術である。ブロック高分子を熱処理するだけで生じるこのナノレベルの繰り返し構造に金属を内包させて配線として機能させようというアイデアである。

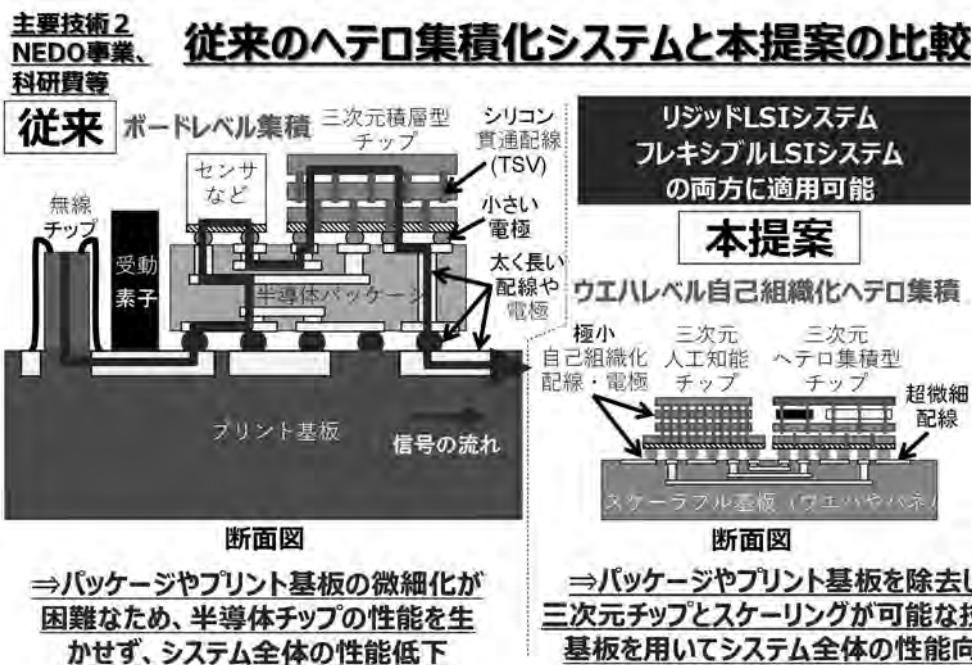
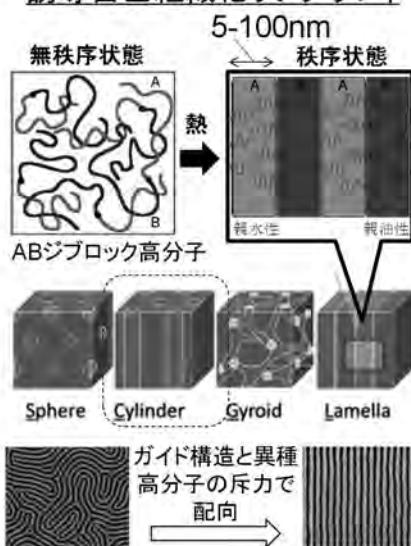


図4 基盤技術2：ヘテロ集積化システム作製技術(従来のマイクロエレクトロニクスシステムと比較)

**主要技術3 (NEDO事業) :**  
**拡張誘導自己組織化による極微細配線形成**

**誘導自己組織化リソグラフィ**



**拡張誘導自己組織化配線形成**

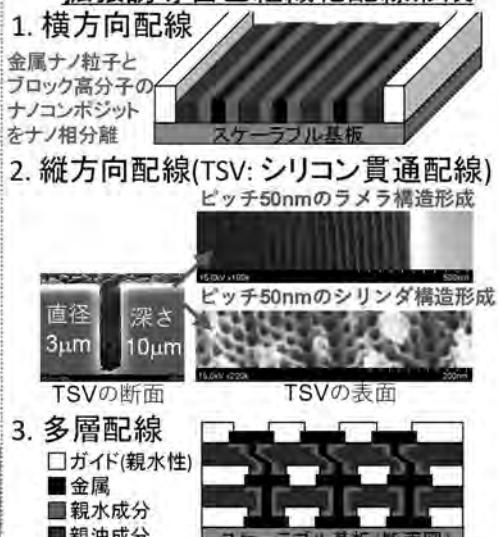


図5 基盤技術3：拡張誘導自己組織化による極微細配線形成

## 開発研究の具体的な目標

### (1) 自己組織化ヘテロ集積技術の開発

#### (1)-1 自己組織化チップ実装技術：東北経産局のサポイン事業として実施

ヘテロ集積化システムを実現するための最重要技術である自己組織化チップ実装（セルフアセンブリ）を高度化し、一辺  $100\mu\text{m}$  以下のセンサ、光学素子、 $\mu\text{LED}$  などの極小チップを  $1\mu\text{m}$  以内の位置合わせ精度で集積するための技術開発と、それらを高スループットで一括実装するための装置開発を行う。例えば、 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$  の小型の自発光型ウェアラブルディスプレイをフルハイビジョンで映すには、一辺  $10\mu\text{m}$  以下の  $\mu\text{LED}$  を  $1\mu\text{m}$  以内の高精度で一括集積する技術を目標とする。

#### (1)-2 自己組織化配線形成技術：NEDO／A 社の再委託事業として実施

金属ナノ粒子とブロック共重合高分子のナノコンポジットを創製し、三次元積層型チップに使われる縦方向配線 TSV(Si 貫通配線 2、Through-Silicon Via)、および異種デバイスチップ間を接続する横方向配線の微細化、高密度化、一括形成を実現する。従来の加算的な印刷技術では、ピッチ  $20\mu\text{m}$  以下の横方向配線形成は困難である。一方、従来の減算的なトップダウン型の垂直配線形成技術では、直径  $1\mu\text{m}$  以下を下回る TSV 形成は難しく、大容量化するメモリの三次元化を実現できない。ここでは直径  $100\text{nm}$ 、深さ  $10\mu\text{m}$ 、ピッチ  $1\mu\text{m}$  以下の TSV 形成を目標とする。

### (2) ヘテロ集積化システムの作製：(目標：製品の詳細設計まで)

#### (2)-1 リジッド LSI システム(エッジデバイス等を想定した AI チップ作製)：

#### NEDO／東北マイクロテックの再委託事業として実施

クラウドで行う膨大な情報処理とは対比し、自動運転などとっさの判断を必要とされる身近で簡易学習などの機能を備えた高速情報処理が可能な三次元積層型 AI チップを設計、技術開発、試作する。人間の脳を模倣した超並列情報処理を可能とする三次元集積化システムに必要な回路とデバイスを抽出し、システムの仕様を決定するとともに、AI チップとしての機能を実証する。

#### (2)-2 フレキシブル LSI システム(生体情報管理等を想定したウェアラブルシステム開発)：

#### 主に科研費と財団研究助成として実施

人間の健康状態や心理状態をモニタリングするウェアラブル生体情報管理システム(フレキシブル LSI システム)に必要なデバイス構成を設計し、要素技術の開発を行うとともにシステムを試作する。Si 集積回路だけではなく、化合物半導体や各種センサ、受動素子、バッテリーまで含めたヘテロインテグレーションを基盤としたメガネ型ウェアラブルデバイスや腕、指、爪に装着可能ウェアラブルデバイスを目指している。

## 具体的な方法

### (1) 自己組織化ヘテロ集積技術の開発

#### (1)-1 自己組織化チップ実装技術(図6、課題1)

一辺  $10\mu\text{m}$  以下の  $\mu\text{LED}$  を  $1\mu\text{m}$  以内の高精度で一括集積するためには、 $\mu\text{LED}$  ウエハから所定のピッチで選択的に  $\mu\text{LED}$  チップを一括でピックアップして最終基板上に搬送し、一括でリリースして最終基板上に自己組織的にアセンブリさせる技術が必要となる。鍵となる一括ピックアップ／リリースが可能な仮接着材料、および仮接着技術の開発と、一辺  $100\mu\text{m}$  を下回る極小のチップを自己組織化実装するために必要なパラメータを制御して、目的のディスプレイを創る。一方、一辺  $1\text{mm}$  以上の異種チップを混載積層して多層化する技術と装置の開発も行う。積層数が増大しても電気的な特性や信頼性を損なうことなく、低ストレスで多層化できる技術の向上に焦点を充てて開発を進める。

## (1)-2 自己組織化配線形成技術(図6、課題2)

直径 100nm、深さ 10μm の TSV 形成とピッチ 1μm 以下の電極接続を実現するために必要なブロック高分子の構造と、それに混合する金属の構造、さらには高分子と金属の相互作用をコントロールする第三成分の構造を含めたナノコンポジットの構造、および組成を最適化する。並行して、深い穴の中で自己組織的に形成される配線の配向状態を制御する方法を最適化して目的の TSV や狭ピッチ電極を形成し、次世代 SSD に適用できるメモリシステムを試作する。

## (2) ヘテロ集積化システムの作製

### (2)-1 リジッド LSI システム(エッジデバイス等を想定した AI チップ作製)(図6、課題3)

三次元積層型の AI チップ作製の鍵を握るのは TSV 形成技術が重要であることに加えて、Multichip-to-Wafer 三次元積層技術を大口径のウエハで実現することである。そのために必要なマルチチップリソグラフィ、マルチチップ一括薄化や Cu-CMP、マルチチップ一括接合の主要基盤技術の開発を進めるとともに、AI チップの積和演算や重み付けに必要な回路構成と積層形態を追究し、小さい面積で膨大な量の計算をサイクリックに実行できる三次元積層型 AI チップを試作する。

### (2)-2 フレキシブル LSI システム(生体情報管理を想定したウェアラブルシステム開発)(図6、課題4)

先端モバイルに搭載されるプロセッサやメモリの半導体パッケージングとして主流になっているファンアウト・ウエハレベル・パッケージング(FOWLP)を応用して、チップやコンポーネントを基板に接合せずに高密度配線形成を形成して高度に集積化できる方法論を基盤とし、フレキシブルデバイスシステムを作製する。ウェアラブルデバイスとして使用できる形に仕上げ、種々の用途を想定してインテグレーションできるプラットホーム技術を構築する。



図6 各開発課題の検討項目と連携構想

各課題の関連性を図6に示す。課題1の自己組織化実装技術は、課題3の Multichip-to-Wafer による 3D-IC 作製と課題4の微小なマイクロ LED チップ実装の両方に応用できるように装置構成を検討して実用化を目指す。課題2の自己組織化配線形成は次世代 SSD を目標として開発を進め、最終的には課題3の AI チップと融合させる。課題1のマイクロ LED ディスプレイと課題3の AI チップを課題4 のフレキシブルデバイス集積に適用し、最終的には生体情報をモニタリングできるウェアラブルシステムを作製する。

## (2) プロジェクト全体の年度別計画表

主に以下の4つの開発項目に分けて研究を展開し、生体情報管理ウェアラブルシステムの作製を目指して本プロジェクトを遂行してきた。

開発項目1：マイクロ LED（自己組織化実装）

開発項目2：次世代 SSD（自己組織化配線を含めた積層型メモリ）

開発項目3：AI チップ（脳型情報処理が可能なリジッドな三次元集積化システム）

開発項目4：生体情報管理ウェアラブルシステム（フレキシブルヘテロ集積化システム）

将来の製品化イメージとしてウェアラブルエッジデバイスを一例として提案した。デバイスの構成部分に高集積化した単結晶半導体を主とするコンポーネントを埋め込んだチップ内蔵フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス（FHE）である。研究を進めるにあたり、脈波、酸素飽和度、血流などの生体情報をモニタリングできるデバイスとして浅皮下情報可視化シートに関して企業との共同研究が進み、現在、このスキンディスプレイを本プロジェクトで実用化に向けて開発している。1)マイクロ LED の自己組織化実装、2)自己組織化配線等の高密度配線網を有する大容量メモリ、3)エッジデバイスとしての三次元積層型 AI チップ、4)ファンアウト型高集積ウェアラブルデバイスの4つの技術の集大成と位置づけられる。

## (3) 研究組織・研究分担

### 1. 組織図

未来科学技術共同研究センター/工学研究科 准教授・福島 誉史

未来科学技術共同研究センター シニアリサーチフェロー・小柳 光正

未来科学技術共同研究センター 准教授・裴 志哲

未来科学技術共同研究センター 客員准教授・清山 浩司

未来科学技術共同研究センター 学術研究員・Mariappan Murugesan

未来科学技術共同研究センター 学術研究員・橋本 宏之

未来科学技術共同研究センター 技術職員・小林 みゆき

未来科学技術共同研究センター 共同研究員・東北マイクロテック株式会社より12名

未来科学技術共同研究センター 共同研究員・他民間企業 4 社より5名

医工学研究科 教授・田中 徹

工学研究科/学際科学フロンティア研究所 助教・木野 久志

### 2. 研究分担

#### (1) ヘテロ集積化システム製造技術・装置開発

**(1)-1 自己組織化チップ実装技術：** サポイン事業の中で主に東北マイクロテック（代表：元吉 真）と共同で実施した。11 名の研究員を受け入れた。

**(1)-2 自己組織化配線形成技術：** NEDO（A 社からの再委託）の中で、A 社等と共同で実施し、主に NICHe のシニアリサーチフェロー 小柳、准教授 裴、Murugesan（博士研究員）、橋本（产学連携研究員）らが参画して研究を行った。

#### (2) ヘテロ集積化システムの作製：

##### **(2)-1 リジッド LSI システム（自動運転用のエッジデバイス等を想定した AI チップ作製）：**

NEDO（東北マイクロテックからの再委託）の中で、主に NICHe のシニアリサーチフェロー 小柳、准教授 裴、Murugesan（博士研究員）、橋本（产学連携研究員）、非常勤講師である長崎総合科学大学の准教授 清山らと共同で実施した。また、東北マイクロテックから 12 名の研究員を受け入れるとともに、3次元スーパーチップ LSI 試作製造拠点のエンジニア 10 名の協力も得て研究を行った。

**(2)-2 フレキシブル LSI システム(人の生体情報管理等を想定したウェアラブルシステム開発):**

科研費、財団等の研究助成金を中心に、主に医工学研究科 田中教授、学際科学フロンティア研究所 木野助教、米国 UCLA の Iyer 教授らと共同で実施した。また、計 博士 5 名、修士 14 名の学生と協力して研究を実施した。

**(4) プロジェクトの評価に当たっての特筆事項**

本プロジェクトは未来科学技術共同研究センター所属の教員、産学官連携研究員、受託研究員、研究支援者、技術補佐員と、他部局の協力研究室とで推進してきました。本プロジェクト所属の未来科学技術共同研究センターの教員には学生の配属はありませんが、プロジェクトリーダーの福島が専任している大学院工学研究科機械機能創製専攻、並びに兼任している大学院医工学研究科の学生の協力を得て研究開発を行ってきました。そのため、報告書の「修士号・博士号取得者」の欄には、協力研究室で本プロジェクトに関係した学生の数を記載しています。この点をご理解頂きたくお願い申し上げます。

本プロジェクトにおいては、3 年間にわたるプロジェクト期のおよそ 2 年間の情報環境(インフォスフィア)調和型自己組織化ヘテロ集積システム創製の基本技術に関する研究開発に重点を置き、ソニー仙台テクノロジーセンター内のみやぎ復興パークに設けた3次元スーパーチップ LSI 試作製造拠点(GINTI: Global Integration Initiative)を中心にして実用化を目指して研究を推進しました。特に、GINTI における 3D-IC の実用化技術の研究に関しては、国内に 300mm ウエハ対応の 3D-IC 一貫製造ラインが少ないこともあって、企業からの共同研究や産学連携依頼が多く内容には機密を保つ必要のある部分も多くなっています。本報告書には、最新の研究開発状況を知って頂くためにこのような機密を要する部分も記載されていますので、ご配慮頂きたく、よろしくお願い申し上げます。

# I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

## I-1. 開発研究の進捗状況

### (1) 開発研究進捗状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

#### (1) 自己組織化ヘテロ集積技術の開発

##### (1)-1 自己組織化チップ実装技術：東北経産局のサポイン事業として実施(図6 課題1：マストラスファー方式の探索、位置合わせ精度の向上)

【概要】この項目では、図7示すように、一辺  $100\mu\text{m}$  以下の極微細なマイクロ LED チップから構成されるディスプレイの低価格製造技術に仕上げる。マイクロ LED を高速に基板に積層する技術を完成させ、製造装置の装置構成を導き、試作装置を作製することが目標である。

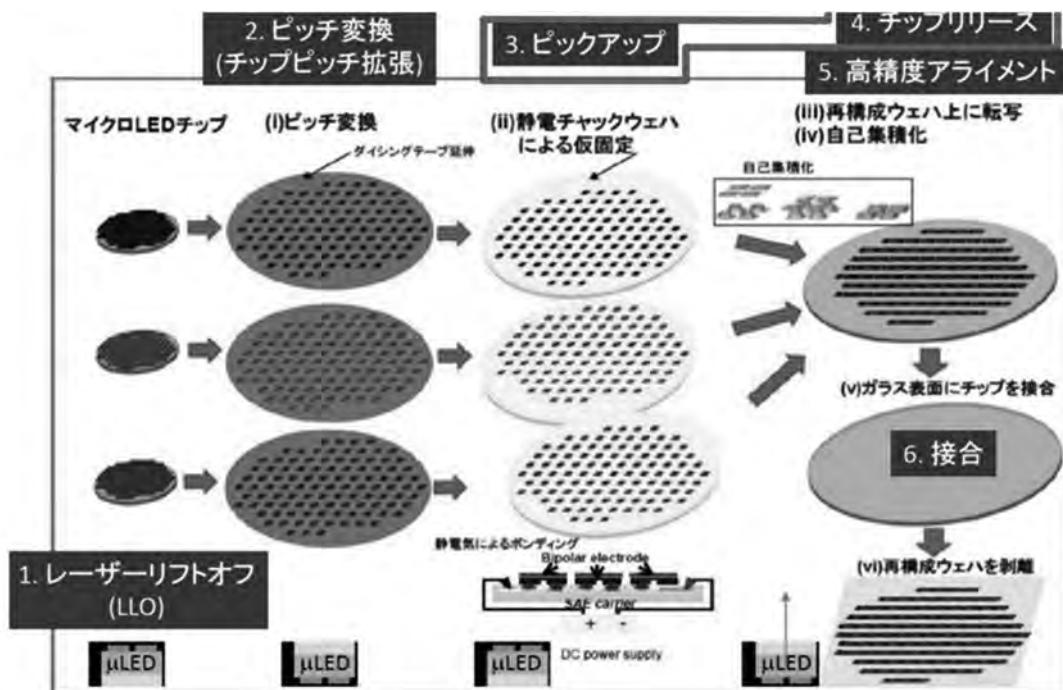


図7 実現しようとしているマイクロ LED の一括アセンブリープロセス

- (i) エキスパンダーを用いた極小チップのピッチ変換技術の開発。(2018 年度)
- (ii) 集積化技術(2019-2020 年度)：マイクロ LED ディスプレイ製造装置への要求仕様を基に装置構成を検討し、必要技術を抽出し、これを基に個々の技術開発と最適化。
  - ・ピックアッププレートの作製と粘着シートからマイクロ LED を一括ピックアップしてチップトレイに入れる技術の開発
  - ・チップトレイから一括ですべての LED チップをピックアップして、高い位置精度で基板に転写する技術の開発
- (iii) 集積化技術のスループット解析(2020 年度)

## 【結果、考察】

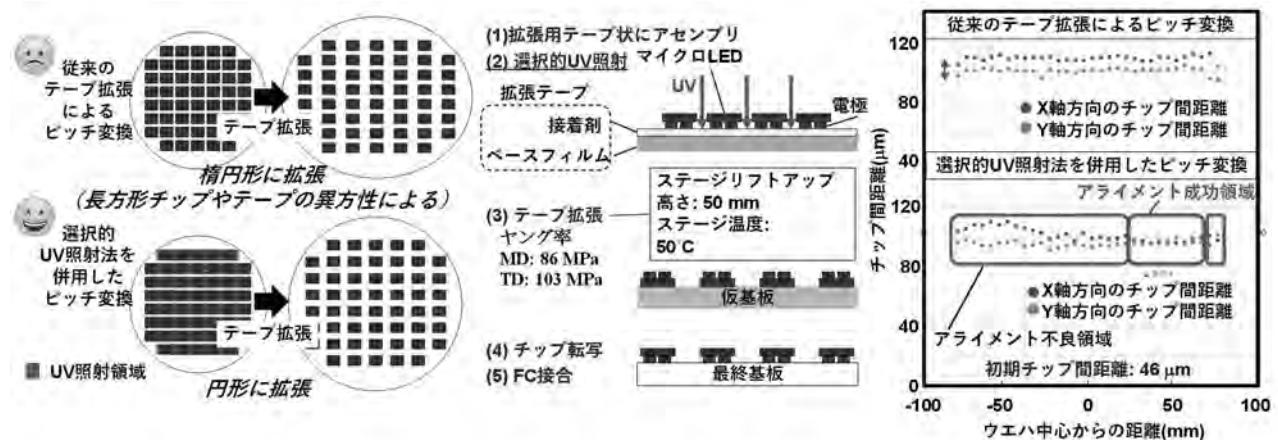


図8 選択的UV照射によるテープ拡張技術

ダイシングテープの伸びの異方性を緩和するために、フォトマスクを用いてX方向のみを選択的にUV照射してチップ間隔を制御可能か検証した（選択的UV照射拡張法）。また、フォトマスクを用いてUV照射を行った試料のピッチ変換後のチップ間隔を図8に示す。選択的UV照射拡張法では、X方向のチップ間隔がウェハ中心部と端部で大きく異なっている。これは、試料位置とフォトマスクの位置がずれたことで、中心部では狙い通りにUV照射されたが、端部ではUVが照射されなかったためである。図8に示すように、初期のチップ間隔は46μmであったが、UV照射された領域ではX方向チップ間隔は98μm（従来のUV照射無しでは110μm）、Y方向のチップ間隔は97μm（従来のUV照射無しでは100μm）となった。以上のことから、フォトマスクを使用してX方向のチップ間隔を大幅に抑制することに成功した。この技術を使用することで、ダイシングテープの異方性を制御して、XY方向のチップ間隔を均等にできる可能性を示した。チップ間隔のXY方向の差は要求精度内に収まっている。マスクをアライメントできなかった領域では精度は低いが、手持ちの装置の機能に依存する結果であるため、大きな問題ではない。以上のことから、マイクロLEDチップを一括でガラス基板に実装する一括アセンブリ技術を実現するために、エキスパンダーを用いた微小チップのピッチ変換の評価を行い、エキスパンダーを用いて50μm角チップのピッチ変換を均等にできる可能性を示したと言える。

**【結論】** LEDメーカーから要請されたプロセスフローがほぼ実現でき、一辺100μm以下のマイクロLEDを液滴で一括実装できることを示した。また、装置の構成をおおよそ決定することができた。ただし、液滴の蒸発時間が長いため、この部分のスループットが全体の装置のスループットを決めることが分かり、検討課題として残った。

**【目標達成度】** 90%

**(1)-2 自己組織化配線形成技術：NEDO／A社の再委託事業として実施(図6 課題2: TSVを含めた配線の微細化検討、縦方向配線への適用)**

**【概要】** この項目では、数万～数百万本の微細・高密度チップ間接続を可能とするTSV配線とマイクロバンプ代替電極技術を研究開発する。従来のトップダウン型手法に加えて、自己組織的に微細配線を形成する原理を実証する。この技術の実現により、ストレージの機能あたり占有体積1/10以下を達成し、幅広い領域へ本技術を適用したデバイスを普及させることが可能となる。これら高密度チップ間接続配線技術を研究開発することにより、一つのパッケージ内に高機能なストレージシステムを構築することが可能となる。

**【背景】** 膨大なデータが生成されるIoT時代において、ストレージ容量増大への要求は飛躍的に高まってきている。フラッシュメモリを代表とする大容量ファイルメモリは、メモリセルサイズの微細化やセルの3次元化等の技

術により 1.5 年で倍のペースでメモリ容量を増大させてきた。このようなチップレベルのメモリ大容量化と並行して、パッケージ内で複数のメモリチップを積層することでストレージ容量を増やす取り組みも進んでいる。ワイヤーボンディングにより複数のチップ間を接続している従来手法では、チップ積層数が増えるにつれボンディングパッドの寄生容量や各チップの入出力回路の負荷容量の増大により、メモリチップを本来の性能で動作させることができ困難である。このことからシリコンチップを貫通する電極(TSV: Through Silicon Via)と、はんだバンプ電極を形成したチップを垂直に積層する技術が注目され、DRAM デバイスを皮切りに実用化されてきている。しかしながら現在の製造方法ではせいぜい数千本の電極でチップ間接続をすることしかできず、ストレージ全体の更なる高速化や低消費電力化が妨げられている。また電極形成とチップ積層に要するコスト増は、この技術の幅広い普及を妨げている。

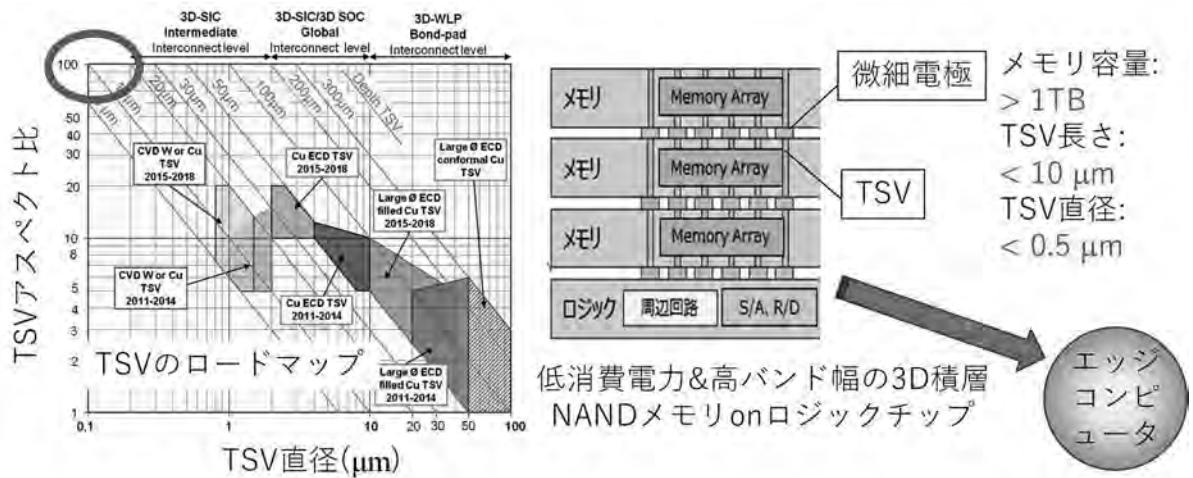


図9 3次元チップ間配線構成

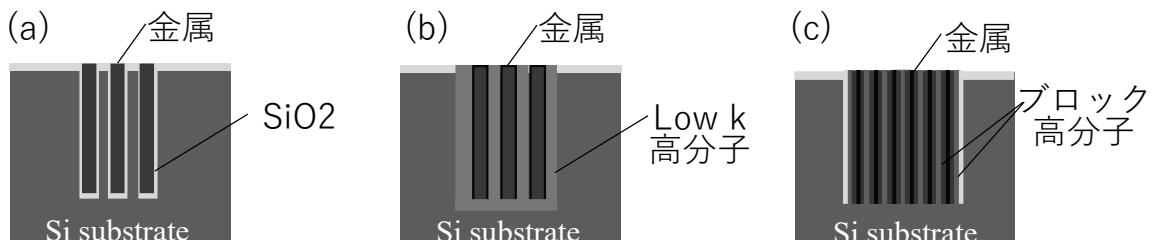


図10 検討した微細 TSV 電極形成技術の概要、(a)微細な Si 孔中に金属を埋め込む技術、(b) 低誘電率絶縁膜(Low-k 膜)に被覆された TSV を形成する技術、(c)極微細な TSV 電極を誘導自己組織化(DSA)により一括形成する技術

## 【結果、考察】

図9に示す高密度・高信頼3次元チップ間配線を実現するため、その構成要素である TSV 電極や接合電極を形成する材料とプロセスの検討を実施した。検討した微細 TSV 電極形成技術の概要を図10に示す。図10(a)は Si 基板中に形成した孔の中に金属を埋め込むプロセスであり、一般的な TSV 形成手法である。Si 孔の直径が  $0.5\mu\text{m}$ 、深さ  $10\mu\text{m}$  となり、アスペクト比 20 の孔の中に均一に金属を埋め込む技術開発に取り組んだ。図10(b)は TSV 電極の寄生容量を低減するためのプロセスであり、金属周辺を低誘電率絶縁膜で被覆する構造を実現するプロセスを検討した。図10(c)は更に微細な直径  $0.1\mu\text{m}$  以下の電極を形成するプロセスであり、誘導自己組織化(DSA)技術を用いて極微細な電極を一括で形成する材料およびプロセスを検討した。ここでは、・直径  $0.5\mu\text{m}$  以下、アスペクト比 20 以上の微細な TSV 電極を実現するための材料およびプロセス条件を提示する。更に微細な TSV 電極の実現に向けた技術課題と材料・プロセスの改善指針を提示する。

- ・チップ間を接続する電極について、パッケージ内に積層した異種メモリチップの性能を生かすチップ間配線のターゲット仕様を提示する。
- ・直径  $0.5\mu\text{m}$  以下の微細な TSV 電極の基本的な電気特性を取得することで、微細 TSV 電極を組み込んだチップ積層体の設計に必要な電気特性を提示する。
- ・メモリチップ複数積層体を構成する配線構成について指針を示す。

まず図10(a)に示した直径  $0.5\mu\text{m}$ 、深さ  $10\mu\text{m}$ 、アスペクト比 20 の孔の中に均一に金属を埋め込む技術について検討した。図11は我々がこれまで世界に先駆けてスケーリングしてきた TSV 技術の一覧である。めっきが主流になってから TSV のスケーリングはロードマップ通りには進んでいない。デバイスへの熱ダメージを抑制するため、金属埋め込みプロセスは  $300^\circ\text{C}$ 以下のプロセス温度が要求されることから、無電解 Ni めっき手法を選定した。無電解 Ni めっき手法にて微細な孔の中に Ni 金属を埋め込んだ結果を示す。図11右から2番目に示すように、無電解めっき液とプロセス条件を最適化することで、 $100^\circ\text{C}$ 以下の温度で直径  $1\mu\text{m}$  以下の微細な TSV 電極を形成できることを確認した。一方で Ni 膜を厚くすると剥がれが発生する課題も確認されたことから、薄い Ni 膜を電解 Cu めっきの電気供給層として使用するプロセスの検討を行った。100nm 厚の Ni 膜上に Cu を電解めっき法により形成した結果を示す。図11右から1番目に示すように、Ni 無電解めっき液と Cu 電解めっきの最適化により、ボイドなく直径  $1\mu\text{m}$  以下の微細な孔を埋め込み TSV に使用できるプロセス条件を提示した。

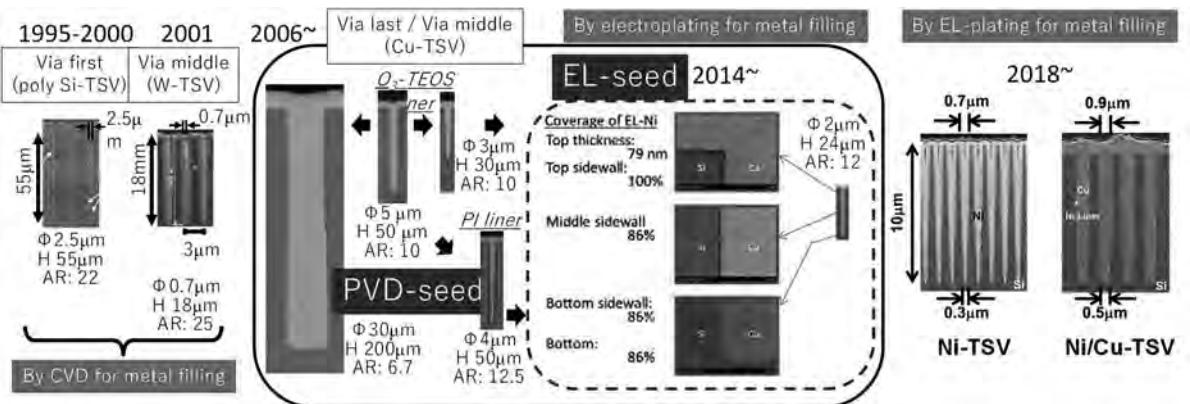


図11 福島らが開発した TSV テクノロジーのスケーリング

次に図10(b)に示した金属周辺を低誘電率絶縁膜で被覆する構造を実現するプロセスについて検討した。微細な孔の側面に均一な低誘電率絶縁膜を形成することは難易度が高いことから、先に TSV 電極を形成しその周囲の Si を除去して低誘電率膜で埋め戻すプロセスを考え、実現可能性について検討した。図12に検討したプロセスフローを示す。まず Si 基板中に開口した微細な孔の中に Ni 電極を埋め込み、その周囲の Si を RIE 法により除去する。Ni 電極周辺に形成した空間に誘電率の低いベンゾシクロブテン(BCB)を埋め込み、表面の余剰な BCB 膜を除去するというプロセスである。Low-k 膜で被覆された微細な Ni 電極の断面 SEM 像を示す。図12右に示すように、電極周囲の空間の広さや内包する電極の数等のデザイン、BCB 塗布や熱処理条件の最適化を実施することで、直径  $0.5\mu\text{m}$  以下の TSV 電極周辺を Low-k 膜で被覆することが可能であることを示した。

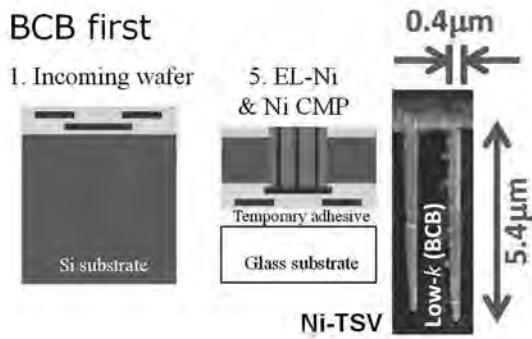


図12 微細 TSV 周囲を Low-k 膜で被覆するプロセスフローと得られた微細 TSV 電極の断面 SEM 像

次に図10(c)に示した、直径  $0.1\mu\text{m}$  以下の極微細な電極を誘導自己組織化(DSA)技術を用いて一括形成するプロセスについて検討した。図13に誘導自己組織化技術の概要について示す。混ぜ合わされた2種類の高分子が熱処理によって相分離することで、規則性を持ったパターンを形成する技術であり、図13(a)に示すような相分離構造が知られている。その相分離状態は、選定する2つの分子の相互作用を示す  $\chi$  パラメータと、分子の体積分率により図13(b)のように形状を制御することが可能であることが知られている(Flory-Huggins theory)。ポリスチレン(PS)とポリメチルメタクリレート(PMMA)のブロック高分子 PS-b-PMMA のみで金属を含まない系から得られたナノ構造を図14に示す。直径  $3\mu\text{m}$  で深さ  $10\mu\text{m}$  の Si 深穴に PS-b-PMMA (分子量比  $1:1$ ) からナノラメラ(多重リング構造)、PS-b-PMMA (分子量比  $2:1$ ) からナノシリンダー構造を鮮明に得ることができた。次いで、2種類の高分子混合体に金属化合物やナノ粒子を混合し、シリンダー状に相分離するように制御した高分子の内部に金属を析出させることで、極微細な TSV を一括形成するためのプロセス条件について検討した。図15では、PS と PMMA の2種類の高分子の分子量および混合比を最適化し、その溶剤中に Fe イオンを混合し最適な熱処理を施すことによって、Fe のナノワイヤの形成に成功した。まだ、長さは  $1\mu\text{m}$  程度であるが、自己組織的に形成されるこのような配線形成は他に例を見ず、材料科学的な知見からも大きな成果と言える。

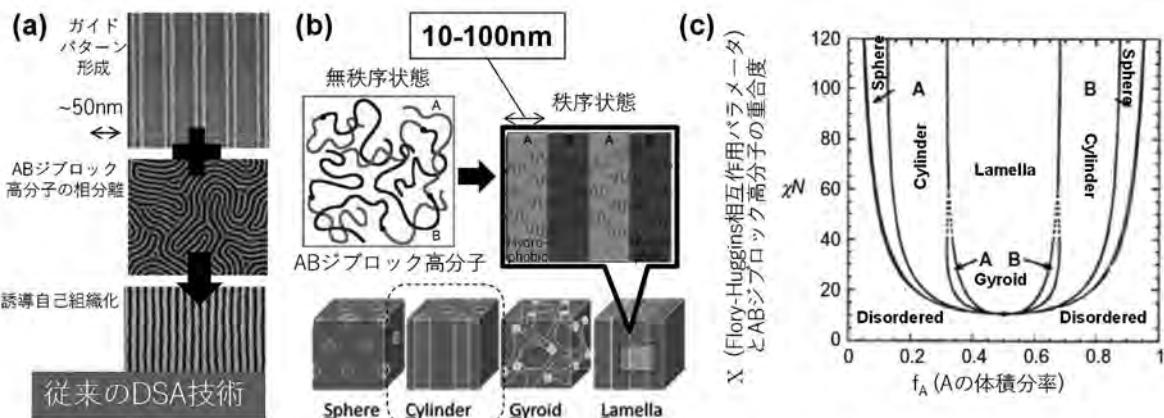


図13 誘導自己組織化(DSA)技術: AB ジブロック高分子の相分離による典型的なナノ構造(a)と相図(b)

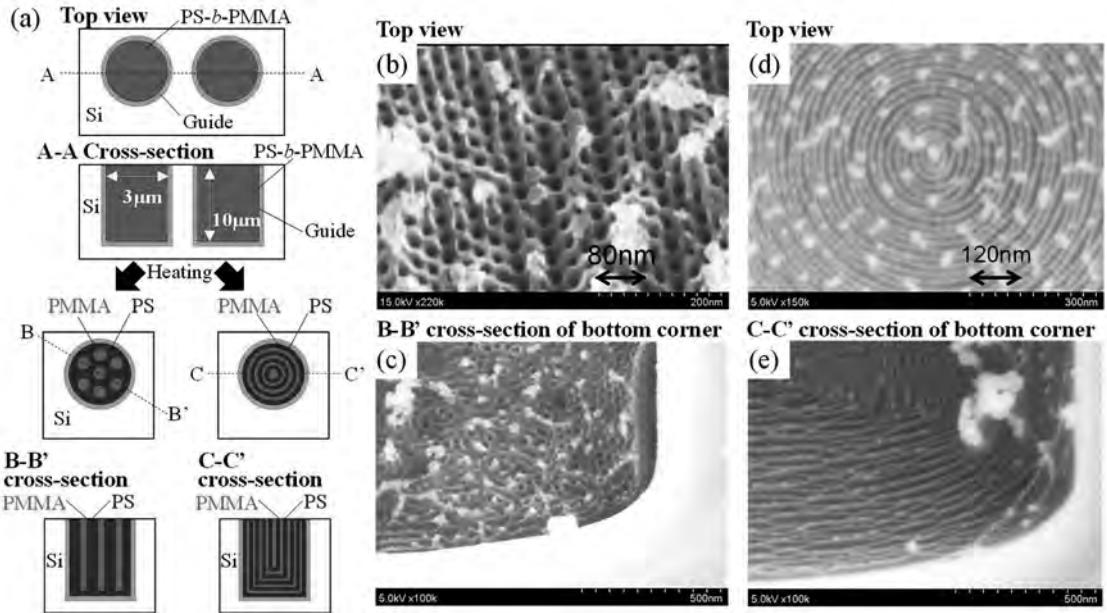


図14 DSAによりSi深穴( $\phi 3\mu\text{m}$ /深さ $10\mu\text{m}$ )でブロック高分子のPSとPMMAからなる微細なナノ構造を形成する工程(a)、PS:PMMA 2:1から得られたナノシリンダー構造(b: 上面図、c: 断面図)、PS:PMMA 1:1から得られたナノラメラ(多重リング)(d: 上面図)(e: 断面図)のSEM像(ここでは金属化合物を加えていない)

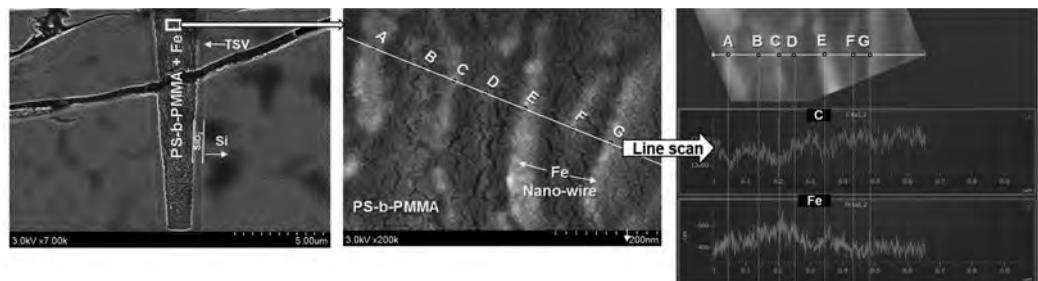


図15 PS-b-PMMAとFe系化合物から成るナノシリンダー構造の断面SEM像

以上の結果から、直径 $0.5\mu\text{m}\varphi$ 深さ $10\mu\text{m}$ アスペクト比20のTSV電極を形成する手法として、無電解Niめつきを用いた金属充填プロセス条件を提示した。またTSV電極の寄生容量を低減する手法として、ピラー状に加工した電極周辺をBCBで被覆するプロセスを実証した。更に直径 $0.1\mu\text{m}\varphi$ 以下の極微細TSVを形成する手法として、2種類の高分子混合物中に金属イオンや表面を樹脂で修飾した金属ナノ粒子を混ぜ、熱相分離により金属ナノワイヤを一括形成し、その電気特性を取得した。なお、図16に示すように、自己無撞着場理論を用いたシミュレーションの結果からはPS-b-PMMAブロック高分子に金属化合物である第三成分を混合した系からTSVに相当する微細な縦方向配線を形成するために必要な $\chi$ パラメータを抽出している。

次いで、半田マイクロバンプの代替を目標として、ピッチ $6\mu\text{m}$ と $2\mu\text{m}$ の二つのCu電極の間にPS-b-PMMAと塩化鉄からなるナノコンポジットを調製し、プレアンダーフィル剤のように点塗付して上下チップを熱圧着して接合した。その結果を図17に示す。上下チップ間の界面でシリンダー状のFeナノ構造が観測された。電圧—電流特性を測定したところ、二端子であるため接触抵抗が高いが、オーミックな接続が取れていったことが分かった。また、くし歯電極を用いて、電極間のリーク電流を測定したところ $10\text{nA}$ オーダーの非常に小さい値が得られた。以上のことから、 $1\text{k}\Omega$ 以上の高い接触抵抗でも利用できる信号線では、このインターフェクト兼接合技術に適用できることが分かった。

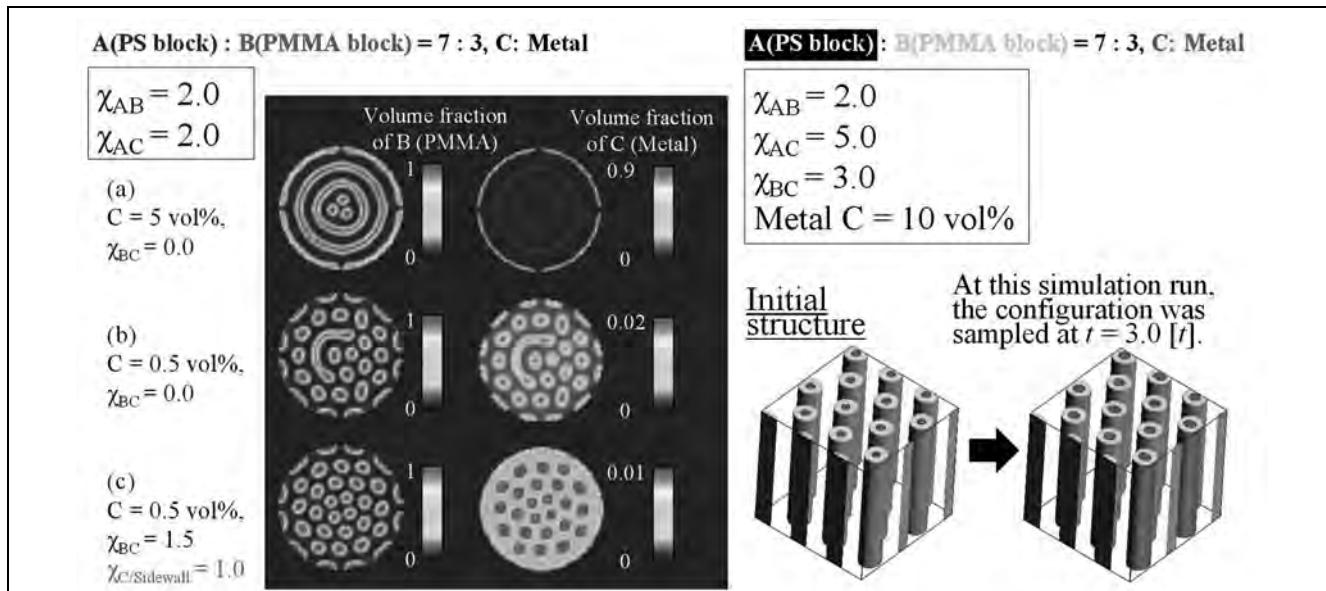


図16 自己無撞着場理論に基づいてシミュレーションした金属含有ブロック高分子からの TSV 形成結果

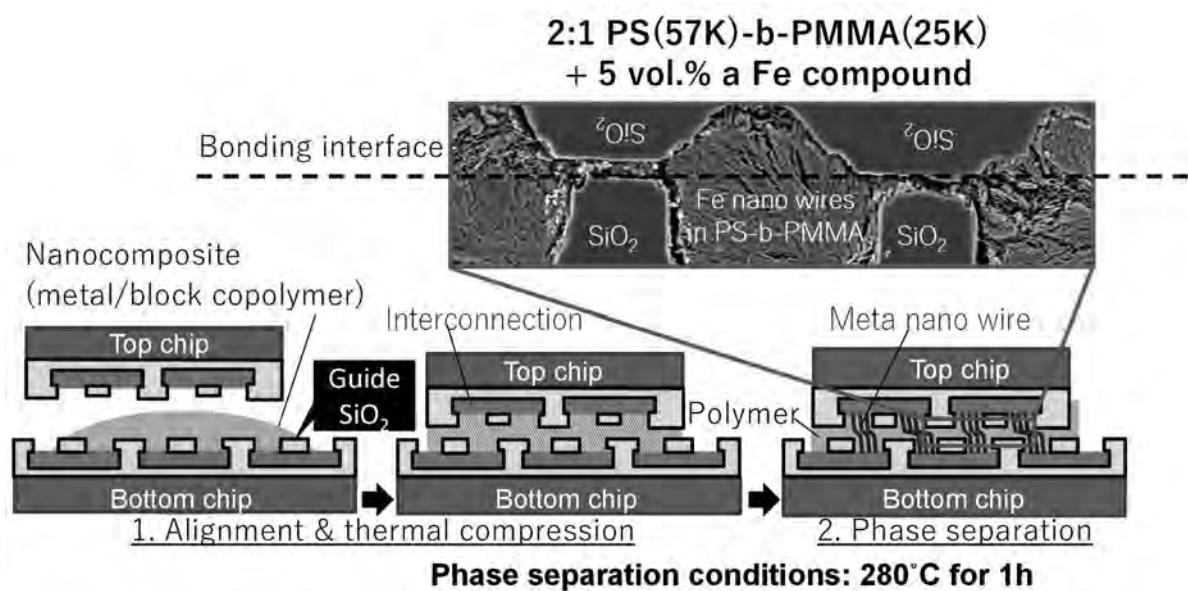


図17 PS-b-PMMA/Fe 化合物系コンポジットを介して熱圧着(誘導自己組織化)したチップ間の断面 SEM 像

**【結論】**  $0.5\mu\text{m}\varphi$  以下の微細な TSV 電極形成手法として、Ni 無電解めっきとピラー加工を用いたプロセスを提示した。直径  $0.1\mu\text{m}\varphi$  以下の極微細 TSV 電極形成手法として、DSA 技術をもじめた電極形成プロセスを提示した。チップ間接続配線のターゲット仕様として、微細 TSV 本数および抵抗を提示した。直径  $0.5\mu\text{m}\varphi$  の微細 TSV 電極、および直径  $0.1\mu\text{m}\varphi$  以下の極微細 TSV 電極を実際に試作し、その電気特性を取得した。TSV 抵抗を加味した新たなメモリ回路構成について提示した。DSA 技術の発展により、より微細な TSV、さらには半田マイクロバンプ代替電極に加え、微細な横方向配線の形成も技術的には可能であり、今後の展開に期待したい。

**【目標達成度】** 70%

## (2) ヘテロ集積化システムの作製

### (2)-1 リジッド LSI システム(エッジデバイス等を想定した AI チップ作製) 回路レベルの設計図から 3D-IC を構成する方法の確立: NEDO(東北マイクロテックの再委託)事業として実施

**【概要】** この項目では、階層的なニューラルネットワークを Si チップにマッピングするための回路構成やメモリの仕様について検討し、試作する三次元 AI チップの構造を決定した。また、三次元 AI チップを作製するために必要な大口径ウエハを用いたマルチチップ三次元集積化技術の主要技術の開発を行った。

(本成果は公開されていないため、割愛する。)

### (2)-2 フレキシブル LSI システム(生体情報管理等を想定したウェアラブルシステム開発):

主に科研費と財団研究助成として実施)(図6、課題4)

**【概要】** 一辺 1mm 以下の微小な単結晶半導体チップを生体適合性樹脂に埋め込んだ、ウエハレベルで集積化できる FOWLP 型の高性能なフレキシブルデバイスシステムを作製できるプラットホーム技術を開発する。指にまで装着可能な、曲率曲げ半径 10mm 以下を目指す。

**【背景】** 人に装着するウェアラブルデバイスでは、高い柔軟性が強く要求されている。従来、硬いプリント基板をフレキシブルプリント配線板(FPC)でつないだ Rigid/Flex 複合基板が折り畳み携帯電話やプリンターヘッドなど柔軟性が必要とされる機器に適用されてきたが、曲がるのはごく一部である。Roll-to-Roll 技術によるシートレベルのプロセスに印刷配線や有機半導体を利用したフレキシブルデバイスの開発も進んでいるが、タッチパネルや有機 EL ディスプレイなどに限られており、無機単結晶半導体を用いたウエハレベルの配線形成に微細化に限界があり性能は大きく低下する。これはパネルレベルのプロセスを扱うアモルファス Si や多結晶半導体を利用したデバイスでも同様である。

近年、無機単結晶半導体の性能と有機基板の柔軟性を融合したフレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス(FHE)が注目されている。FHE では極薄化した Si チップを有機基板に実装する。単結晶 Si でも厚さ 50μm 以下で柔軟性を発現することは知られているが、薄化によるデバイス特性の変動が懸念されている。また、小さい曲率の繰り返し曲げに対する長期信頼性は十分とは言えない。我々は、硬いエポキシ樹脂をウエハ形状に圧縮成型して硬い単結晶 Si チップを埋め込む Fan-Out Wafer-Level Packaging (FOWLP) 技術を応用し、柔らかいシリコーン樹脂(PDMS)に硬く適度に薄いチップレット(機能ブロックを分割した小型のチップ)を埋め込んでウエハレベルで集積化する新しい FHE の作製手法を提案した。この新構造 FHE の概念を図18に示す。

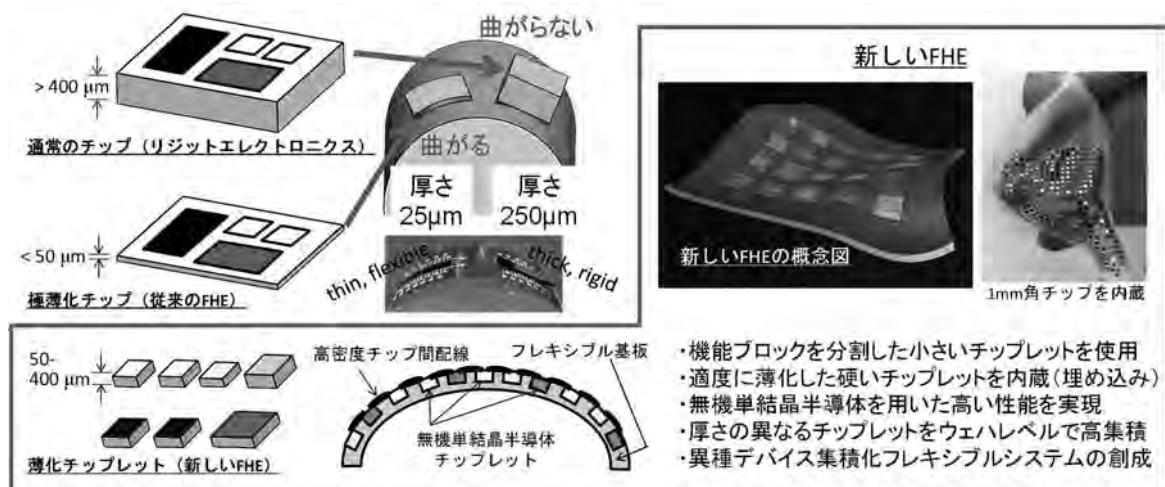


図18 本プロジェクトで提案するチップレットを埋め込んだ新構造 FHE と従来チップの比較

## 【結果、考察】

従来の硬いエポキシを使ったFOWLPとここで提案のPDMSの大きな違いは、熱膨張係数やヤング率の材料物性が大きく異なることであり、断線はもちろんPDMSの上にマイクロクラックや皺の発生無く金属配線を形成することは非常に難しい。そこで、本プロジェクトでは、PDMSと金属間の物性ミスマッチを緩和するため、応力緩衝層(SBL: Stress Buffer Layer)を挿入し、その構造的、材料物性的な設計を行った。ここでは、濡れ性の低いPDMS上に高い密着性と高い耐久性を有する配線を形成する方法と、作製した高集積FHEの繰り返し曲げ耐性について報告する。

Siウェハ上に圧縮成型した生体適合性PDMS(Silastic MDX4-4210 / Dow)を波長172nmエキシマ光により表面改質した後に応力緩衝層SBLを厚さ30μmとなるようにスピン塗布した。次いで、スパッタによりTi15nm、Au500nmを成膜し、最後にフォトリソグラフィとウェットエッチングにより配線を形成することによって評価サンプルを作製した。SBLにはヤング率の異なる2種類の材料を用いた。それぞれのヤング率は0.9GPa(SBL-A:感光性)、および2.3GPa(SBL-B:非感光性)であった。繰り返し曲げ試験は、Tension-free U-shape folding tester(DLDMLH-FS / Yuasa)を用いた。配線幅は10μm、50μm、100μmの3種類とし、曲率半径10mmで曲げ試験を行った。また、四端子測定により配線抵抗を測定した。作製工程を図19に示す。

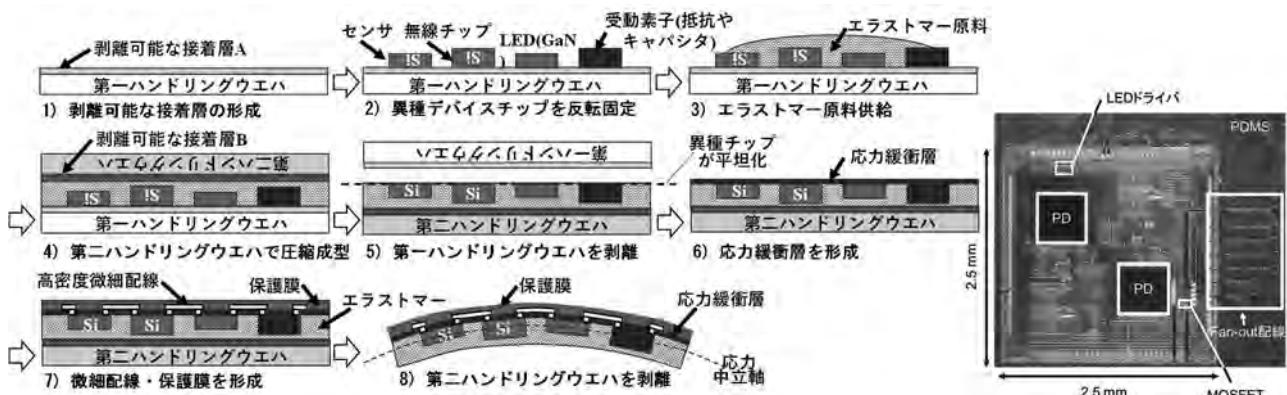


図19 本プロジェクトのFOWLPを使ったFHEの作製工程と作製したファンアウト配線

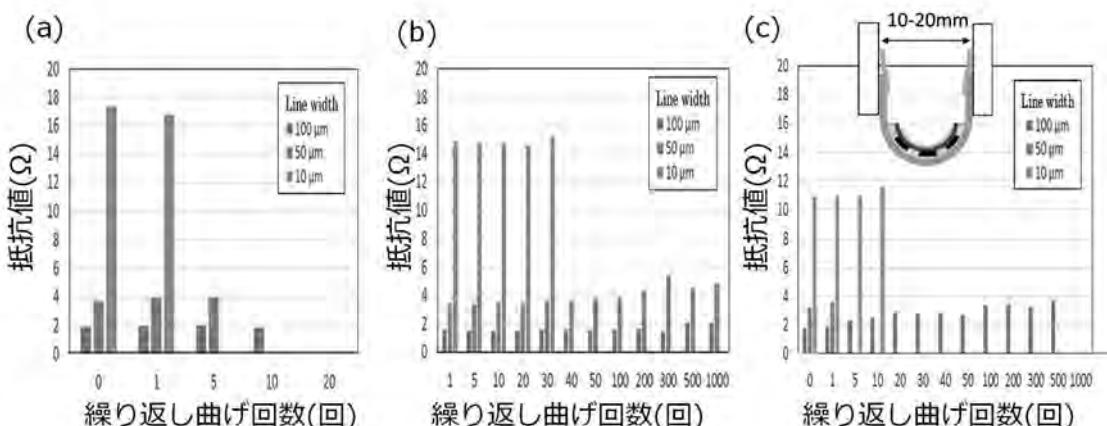


図20 繰り返し曲げ回数と抵抗に与える応力緩衝層(SBL)の影響:

- (a)ポリウレタン／0.9 GPa(SBL-A)、(b)ポリウレタン／2.3GPa(SBL-B)、  
(c)ポリウレタン／0.9GPa とパリレン／2.65GPa と二層構造(SBL-A on SBL-C)

図20(a)(b)に示すように、ヤング率0.9GPaのSBL-Aを用いた高集積FHE評価サンプルでは曲げ回数20回の時点ですべての配線が断線した。これに対し、ヤング率2.3GPaのSBL-Bを用いた評価サンプルでは幅50μm、100μmの配線で1000回の曲げ試験後も電気的に導通している。PDMSが曲がる際に配線にかかる応

力を低減させるのが SBL の役割である。したがって、柔らかい PDMS の上に5桁以上高いヤング率を持つ Au 配線を形成するには、弾性率が数 GPa 程度の SBL が有効であると言える。一方、チップ表面の電極パッドに対してコンタクトホールを形成する必要があるため、SBL には感光性の材料を成膜することが煩雑なプロセスを回避できる有効な手法である。しかし、感光性 SBL-A では曲げ耐性が低く、非感光性の SBL-B ではプロセス適合性が低い。そこで、PDMS の SBL としてヤング率が 2.67GPa、生体適合性が高く、酸素プラズマプロセスで容易にコンタクトホールを形成できるパリレン C (SBL-C) を用いて、曲げ耐性を評価した。図20(c)に示すように、厚さ 1μm のパリレン C 上に感光性の SBL-A を塗布した二重構造 (SBL-A on SBL-C) でも高い曲げ耐性を示した。この結果は有限要素法を用いた応力シミュレーションの結果からも支持できた。図21に示すように、ヤング率が低い SBL-A よりも、ヤング率の高い SBL-B を採用したチップ内蔵 FHE の方がチップ端の配線にかかる応力が低い。このように、SBL のヤング率と厚さを制御することによって、応力中立軸を配線層の近傍にシフトできる。また、柔らかい樹脂の急激な変形に配線が追従することを防ぐことによって、配線にマイクロクラックが発生したり、皺が寄ることなく信頼性の高い微細配線をウエハレベルのプロセスを使って我々の新しいチップ内蔵 FHE に実装できることを示すことができた。

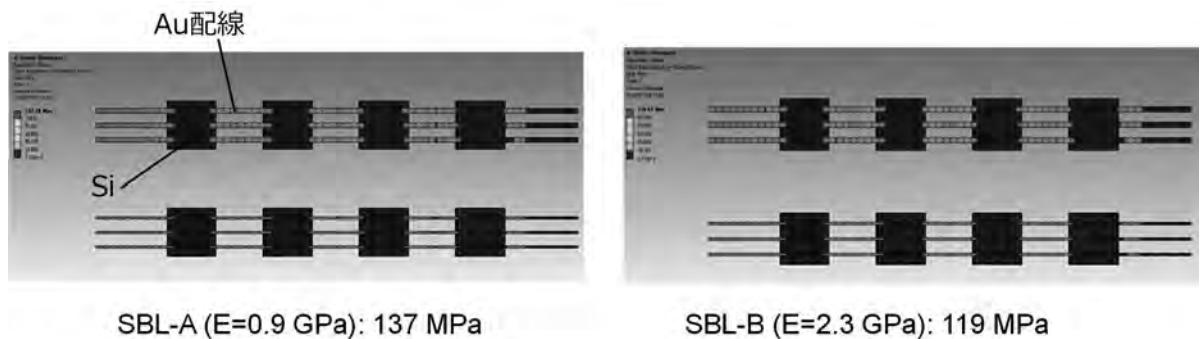


図21 有限要素法による SBL の評価:最大フォンミーゼス応力の比較

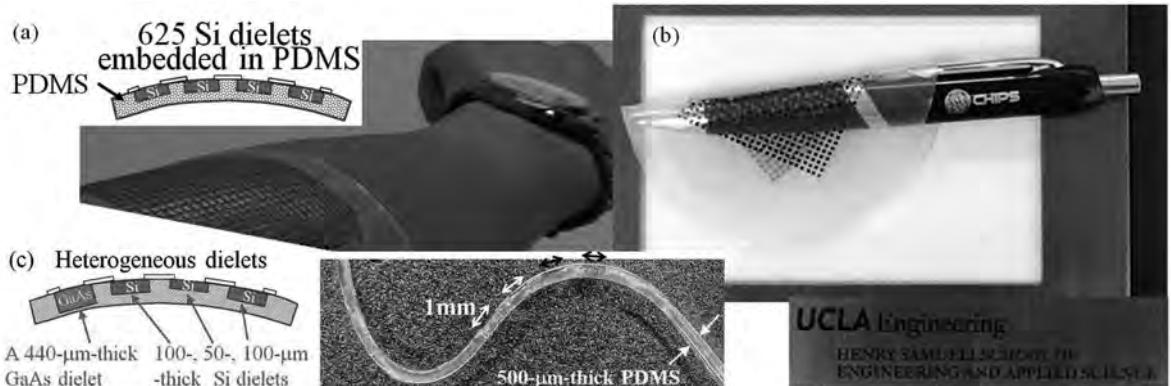


図22 単結晶チップレットを内蔵した新構造 FHE を用いたウェアラブルデバイスのモックアップ

最近、先進国では高齢化が大きな社会問題となっており、それに伴い、生体信号を簡便に測定できるウェアラブルデバイスが広く普及し始めている。このようなデバイスに用いられる技術の中に光電式容積脈波記録法 (Photo Plethysmography: PPG) がある。PPG では光源から照射され、生体組織を通過した反射光または透過光をセンシングする。センシングされる光量は拍動による動脈の収縮に応じて変動するため、変動の周期から脈波や溶存酸素量、さらには血流を計測することができる。PPG は脈波等の心臓に関するバイタルサインを日常的かつ簡便に計測できる技術として注目を集めている。PPG は小規模な構成で計測が可能なため、ウェアラブルデバイスや医療機器で広く用いられている。ここでは我々が開発した経爪型フレキシブル脈波計測システムを図

23に示す。このシステムでは爪に光を照射し、その反射光をセンシングする。爪には汗腺がないため、汗による計測誤差をなくすことができ、長時間の着用によるストレスも軽減することができる。本プロジェクトではこの経爪型脈波計測システムを本プロジェクトのFHEプロセスを用いてフレキシブルなシステムを創る。人間の親指の爪の曲率の平均は成人男性で13.2 mm、成人女性で10.4 mmである。また年齢を重ねるごとに曲率は大きくなる。フレキシブル脈波計測システムでは個人差のある爪の曲率に対して追従することができるため、使用者ごとにデバイスの構造を変更する必要がない。

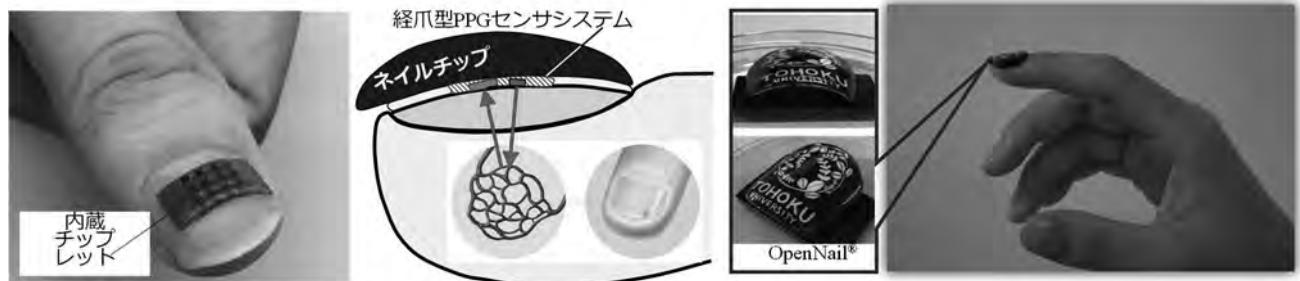


図23 マイクロ LED 内蔵経爪型フレキシブル脈波計測システム

さらに曲げ半径を低減させるため、三次元波状配線を用いたFHEの曲げ特性を評価した。図24に示すように、従来、横方向に蛇行させたS字配線により、高い伸縮性を有するフレキシブルデバイスが開発されている。しかし、横方向に蛇行させた二次元波状配線では、配線の高密度化を達成するのが困難である。そこで、本プロジェクトでは、パリレンの上に感光性エポキシであるSU-8をスピンドルコート法で塗布して三次元的な波状構造を形成し、この上にリソグラフィーで配線を作製した。この形成した配線の上面写真と段差形状のプロファイル(図24)ピッチ15μmで高さ2μmほどの段差で波状配線が形成されている。曲げ特性の結果から、これまでの平坦配線では到達できなかった曲げ半径1mmの耐久性を三次元波状配線で実現できることが示された。つまり、基板厚さ0.5mmとすると、応力中立軸に対して皮膚に近い1.2倍の伸縮性を実現できたと言える。ANSYSによるシミュレーションの結果からも、平坦な配線に比べてこの立体的な配線にかかる負荷応力は小さいことが証明できている。曲げ半径1mmで可能な最大曲げ回数は評価できていないが、この結果は、曲げ半径10mmで千回、曲げ半径5mmで千回、曲げ半径1mmで千回と同じサンプルに対して連続的に試験した結果であり、さらなる微小な曲げ耐性、言い換えると伸縮性について、今後さらに性能を高めることができる可能性を見出せた。

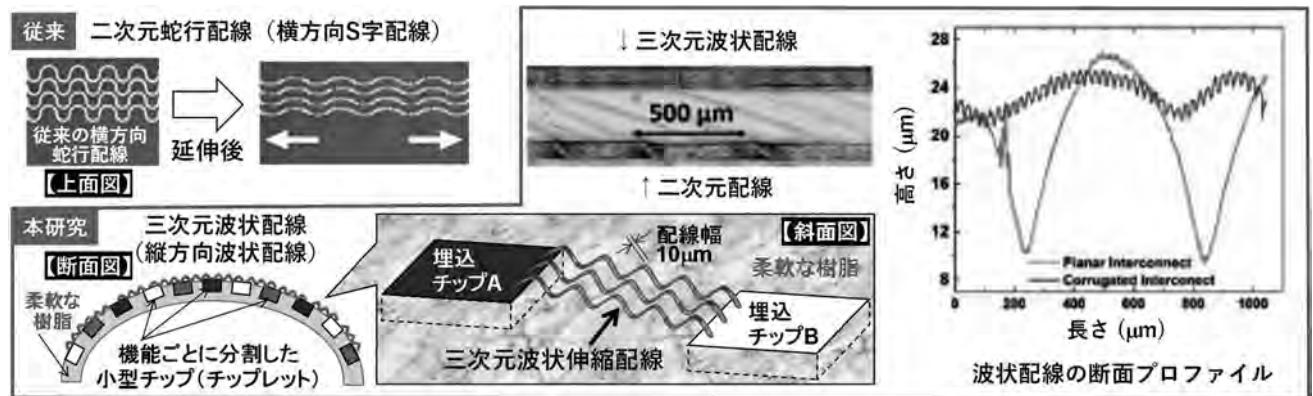


図24 従来の二次元波状配線と今回の三次元波状配線の比較、および三次元波状配線の断面形状

近年、曲面上で使用するフレキシブルデバイスの需要が増えており、二次元形状のシートなどを三次元形状に成型して樹脂の中に埋め込むインモールド・エレクトロニクス(IME)の研究が注目されている。IMEの作製プロセスでは平面的に作製されたシートを立体的に再成型する際に生じる一回の大きな曲げ変形に配線やデバイス

が耐える必要がある。最近では、種々のセンサを搭載したスマートコンタクトレンズに三次元的に印刷配線する技術も報告されているが、曲面基板に微細な配線を形成するには多くの課題がある。一方、配線に伸縮性を持たせることはIMEの信頼性向上に効果的な手法である。前述のようにこれまで蛇腹構造やプレストレッチ法を用いた伸縮性構造を有する配線作製方法が報告してきた。しかし、配線密度が低い、煩雑な工程が必要などの問題がある。

現在、我々が開発したチップレット内蔵高集積FHEの作製技術をIMEに応用する”IME-FHE”に関する研究を進めている。これは蛇腹構造やプレストレッチを用いず、ここでは金属薄膜の成膜中に生じる熱膨張を利用して三次元波状(皺)構造を配線に付与し、金型を用いた追加工で配線付きのデバイスごと三次元形状に成型する技術であり、本プロジェクトで最初に提案したウェアラブルデバイスの作製にも非常に有用な技術となる。本プロジェクトは、三次元波状配線をウエハレベルで形成する手法を検討したもので、コンタクトレンズ形状の金型を用い、曲面成型する前後の三次元波状配線の抵抗を比較し、その有効性を調べた。

作製方法は図19と途中までは同じであり、ウエハレベルの圧縮成型を行って、チップレットを内蔵させたシート状の新構造FHEを作製する。これを2D-PDMSと呼ぶ。一つ大きく異なるのは、応力緩衝層を2層構造としており、パリレンとパリレンよりも熱膨張係数が一桁近く大きいフレキシブルエポキシを使用する。配線形成時のスパッタリングで加熱し、この二つの材料の熱膨張係数差で皺構造を作製する(図25左)。その後、コンタクトレンズ形状の凹金型(曲率半径: 8.6mm)にこの2D-PDMSを置き、新たに硬化前のPDMS原料を注型した。その後、凸金型(曲率半径: 8.6mm)を設置し、90°Cのホットプレート上で30分硬化させ、凸金型の荷重で曲面に圧縮成型した。このコンタクトレンズ形状に成型したPDMS基板を本プロジェクトでは3D-PDMSと呼ぶ。2D-PDMSと3D-PDMSの配線抵抗を四端子測定法により測定した。

この三次元波状配線を有する2D-PDMSを3D-PDMSに成型して、成型前後で抵抗測定を行った結果を図25右に示す。比較で作製した皺構造の無い通常の配線を有するPDMS基板では、コンタクトレンズ形状に成型する前には幅100μmの配線で低い抵抗を示したが、成型後に多くのクラックが発生して断線した。一方、皺構造を形成することで配線にクラックが生じることなく、コンタクトレンズ形状に成型することに成功し、導通も確認できた。成型前後で抵抗の変化はほとんど無かった。

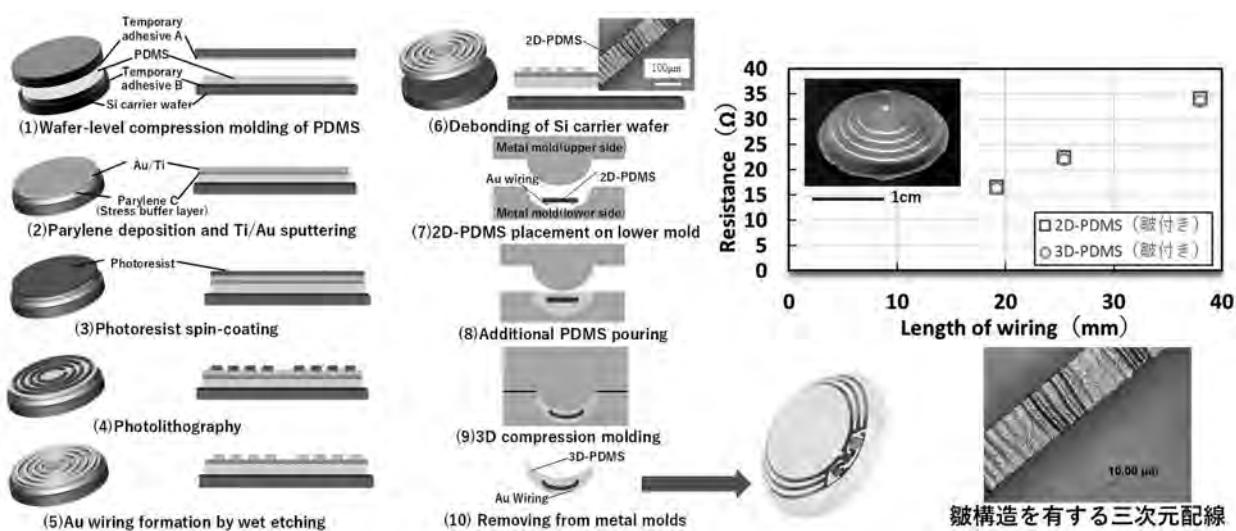


図25 皺構造を有する三次元波状配線の作製工程とコンタクトレンズ形状に再成型したFHEの配線抵抗

最後に、より生体適合性が高い基板にチップレットを内蔵した新構造FHEの開発結果を示す。ポリイミドやPETに比べると立体構造に対する追従性は極めて高く、生体適合性や柔軟性は高いPDMSであるが、水などに対する物質透過性が低く、ウェアラブルデバイスとしては汗で蒸れる、インプランタブルデバイスとしては組織

液の循環を妨げるなどの問題が生じていた。この問題に取り組むため、主成分が水であるハイドロゲルをフレキシブル基板に採用することに挑戦した。ハイドロゲルの水透過性は極めて高いが、水分で構成されている基板の上に高温でチップを接合したり、真空プロセスを利用して配線を設けることは難しい。そこで、先に支持基板上にチップレット間を接続する高密度配線を形成してからチップをマイクロはんだバンプ(ピッチ 40μm)を介した熱圧着で半導体チップレットを実装し、そこにハイドロゲル前駆体を注型して圧縮成型しながらハイドロゲルを光硬化してチップレットを内蔵した新構造 FHE を作製した。これまで述べたフレキシブル FOWLP が Chip-first 法と呼ばれるのに対し、この作製工程は RDL-first 法と呼ぶことができる(RDL: Redistributed Wire で再配線の意味)。図26に示すように、本プロジェクトでは、この要素技術の研究開発と、実デバイスである Mini-LED と LED 駆動回路を集積したチップレットをインテグレーションしたハイドロゲル基板で指に装着可能な曲率半径まで曲げることを可とし、Mini-LED の動作確認まで検証することができた。

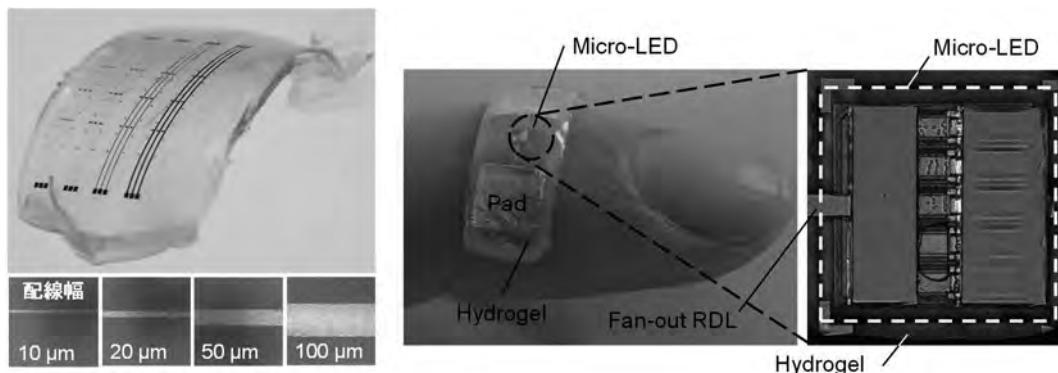


図26 ハイドロゲル上に形成した微細配線と Mini-LED を埋め込んだ新構造ハイドロゲル FHE の写真

**【結論】** 一辺 0.3mm 以下のマイクロ LED チップを生体適合性の PDMS やハイドロゲルに内蔵した FOWLP を基盤とする高性能(←単結晶半導体チップを使ったの意味)フレキシブルデバイスシステムを作製できるプラットホーム技術を開発できた。以降、非公開の内容が含まれるため詳細を割愛する。

**【目標達成度】** 80%

## I-2. 研究者の育成状況(各種研究員の受け入れ状況等を含む)

### (1) 修士号・博士号取得者

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①修士号取得者(うち本学) (うち社会人)	5 人 (0 人)	5 人 (0 人)	5 人 (0 人)
②博士号取得者(うち本学) (うち社会人)	3 人 (0 人)	1 人 (0 人)	1 人 (0 人)

### (2) 研究員等受け入れ数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①民間等共同研究員	15 人	15 人	14 人
②受託研究員	0 人	0 人	0 人
③ポスドク	0 人	0 人	0 人
④修士課程・博士課程	24 人	29 人	31 人
⑤ 研究所等研究生	2 人	2 人	2 人

### (3) 国際交流の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

2019 年 10 月より科学研究費補助金 国際強化 B の採択を受けて UCLA と異種機能集積化フレキシブルデバイスシステムの作製技術に関して共同研究を始めた。週1回の WEB 会議を通して、微小なチップをインテグレーションするために必要な材料設計や要素技術開発に取り組み種々の課題解決に取り組んでいる。また、中国の北京理工大学からの交換留学を通して 3D-IC の作製技術に関して共著論文の執筆を行った。さらには、韓国のナノテク&MEMS の研究拠点である NNFC(National NanoFab Center)の 3D-IC の試作拠点との連携を協議している。一方、3D-IC に関する国際会議 IEEE 3DIC を 2019 年度に仙台で開催し、プロジェクトリーダーである福島は実行委員長として会議の運営に努め、250 人程度の参加者を迎えて会議を成功させた。三次元スルーパーチップ LSI 試作製造拠点で(GINTI)では、国内だけではなく、海外からの受託加工依頼も多く、2018 年 3 月から 2020 年 6 月までの約 2 年の実績では、米国から 4 件、韓国から 2 件、中国から 2 件、欧州から 2 件の業務を委託している。フレキシブルデバイスに関する研究では、2018 年 4 月から半年間、仏リール大学より交換留学生を受け入れている。

### 《開発研究の進捗状況に関するコメント》

ここで開発した主に4つの技術: 1)マイクロ LED の自己組織化実装、2)自己組織化配線技術を含めた積層型大容量メモリや 3)サイクリック三次元 AI チップ、4)高集積フレキシブルデバイスはおおむね順調に開発が進んでいる。これらの技術を結集し、ウェアラブルデバイスに加え、脈波、溶存酸素濃度、血流等をモニタリングできるスキンディスプレイの開発を精力的に進めている。システムを構成するコンポーネントや要素技術が順調に開発されてきている状況であり、プロジェクト延長期間を含めた計 5 年の計画の中では、この情報環境(インフォスフィア)調和型自己組織化ヘテロ集積システムが具現化でき、これに関連する特許の出願や技術の実用化が期待できる。

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

### II-1. 民間企業への技術移転進捗状況について

#### (1) 民間企業への技術移転件数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①開発研究成果が特許権又はその他の知的財産権(受ける権利を含む)の実施許諾あるいは譲渡によって民間企業へ技術移転された件数(うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業への技術移転件数)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	2 件 (2 件)
②①以外の形での民間企業への技術移転件数(同上)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)
③上記の①又は②の中で「新産業分野 <sup>注2)</sup> 創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数(同上)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	3 件 (3 件)

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

注<sup>2)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。

#### (2) 民間企業への技術移転による商品化

①開発研究成果が「商品」として実現したものを記入。企業により結果として商品化されたものを含みます。

時期/予定時期	企 業 ・ 組 織 名	活 動 内 容
2022年3月	B 社	自己組織化実装技術搭載装置
2022年3月	C 社	TSV プローブカード
2022年3月	D 社	ウェアラブルディスプレイ

#### ②商品化に至らないまでも商品化が検討されたもの

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①件数 (うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業に関係する件数)	2 件 (1 件)	4 件 (1 件)	2 件 (2 件)
②上記の①の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数	2 件	4 件	2 件

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

## II-2. 発明、特許権、その他の知的財産権の状況について

### (1) 特許権の出願・登録状況

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 発明件数	3 件	2 件	1 件
② 特許権出願件数	3 件	2 件	1 件
特許権出願件数のうち国内	3 件	1 件	0 件
特許権出願件数のうち国外	0 件	1 件	1 件
②のうち特許権の審査請求済件数の累計(請求予定件数)	累計 2 件(予定 2 件)		
特許権登録件数	0 件		
上記の①又は②の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数プロジェクト期間の累計			

注<sup>1)</sup>①発明件数とは大学に届け出た件数のことを指します。

### <特 許>

出願・取得済みの特許は、総数 6 件であるが、非公開の内容が含まれるため、割愛する。

### (2) その他知的財産権(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①実用新案権の出願件数 (登録件数)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)
②意匠権の出願件数 (登録件数)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)
③著作権のうちコンピュータープログラム、データベースの登録件数	0 件	0 件	0 件
④ 半導体集積回路の回路配置登録	0 件	0 件	0 件
⑤上記①～④までの中「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数	0 件	0 件	0 件
⑥ 秘密保持契約	11 件	13 件	4 件

## II-3. 論文・著書・学会等発表の状況

### (1) プロジェクトの開発研究成果

(論文・表彰などの研究成果に関する実績。プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

【注】NICHe でのプロジェクトに関係するものに限ります。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 論文・著書数	5 件	5 件	3 件
② 論文・著書の引用数 (プロジェクトリーダーが必要と判断した場合にのみ記載)	件	件	件

#### <研究論文>

発表した論文は、総数 26 編であるが、その代表的なもの(10 編)は以下のとおりである。

##### 【フレキシブル LSI システムに関する論文】

1. Takafumi Fukushima, Arsalan Alam, Amir Hanna, Siva Chandra Jangam, Adeel Ahmad Bajwa, and Subramanian S. Iyer, "Flexible Hybrid Electronics Technology Using Die-First FOWLP for High-Performance and Scalable Heterogeneous System Integration", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 8 (2018), 1738-1746

異種デバイス、異種サイズ、異種材料のチップを柔軟な樹脂に埋め込みファンアウト配線で機能集積できるフレキシブルデバイスの新しいインテグレーションの方法論を具現化した論文である。チップ接合技術を使わずに集積できる点が特徴であり、新構造のフレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス(FHE)やインモールド・エレクトロニクスを創出するための高密度実装技術として発行以来 2018 年 12 月から 2019 年 3 月の期間で IEEE Electronics Packaging Society (EPS) の 5 Most Popular T-CPMT Articles according to Xplore® にランクインした。

2. 高橋 則之, 煤孫 祐樹, 木野 久志, 田中 徹, 福島 誉史, "RDL-First FOWLP 技術を利用したハイドロゲルフレキシブル基板上への配線形成", 電子情報通信学会誌 C, J103-C (2020), pp.183-185.

ポリイミドや PDMS よりも生体適合性が高いとされるハイドロゲルと呼ばれる含水高分子内にチップを埋め込んで微細な高密度配線でフレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス(FHE)を作製するための基盤技術を構築した論文である。従来では微細な配線を形成することができなかったハイドロゲル上にファンアウト配線を形成することを実証して見せた。

3. Takafumi Fukushima, Yuki Susumago, Zhengyang Qian, Chidai Shima, Bang Du, Noriyuki Takahashi, Shuta Nagata, Tomo Odashima, Hisashi Kino, and Tetsu Tanaka, "Significant Die-Shift Reduction and μLED Integration Based on Die-First Fan-Out Wafer-Level Packaging for Flexible Hybrid Electronics", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology Letter, 10 (2020), 1419-1422

近年モバイル用のプロセッサやメモリの集積化形態として主流になってきている Fan-Out Wafer-Level Packaging (FOWLP) で深刻な課題となっているダイシフトと呼ばれる樹脂の流動や硬化応力により、内蔵したチップの位置ずれが起きる問題をアンカー層技術を使って、一辺 0.3mm を下回る微小なマイクロ LED でも  $\pm 1\mu\text{m}$  以内の精度で実装できインテグレーションすることを可能とした論文。また、爪の上に集積したウェアラブル生体情報モニタリングシステムのプロトタイプを試作して見せた。

### 【リジッド LSI システム(三次元人工知能チップ作製技術)に関する論文】

4. Miao Xiong, Zhiming Chen, Yingtao Ding, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka, “Development of Eccentric Spin Coating of Polymer Liner for Low Temperature TSV Technology with Ultra-Fine Diameter”, IEEE Electron Device Letters, 40 (2019), 95-98

北京理工大学との共同研究の成果であり、AI チップとして期待されている 3D-IC の基幹配線となる TSV のライナー絶縁膜を CVD ではなく、スピン塗布により低誘電率有機膜(ポリイミド)で形成することに成功した論文。これにより 3D-IC の高周波特性も高まり、CVD 問題を抱えていた低被覆率によるリークの課題も克服できる。

5. H. Hashiguchi, Takafumi Fukushima, Mariappan Murugesan, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Mitsumasa Koyanagi, “High-Thermoresistant Temporary Bonding Technology for Multichip-to-Wafer 3-D Integration With Via-Last TSVs”, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 9 (2019), 181-188

ビアラスト法で高歩留りに多数の良品チップを一括で三次元集積するための Multichip-to-Wafer 技術に関する研究である。ビアラスト法で課題となっている高温でのプロセスが適用できない問題に対し、無機のスピノングラス系のテンポラリー接着剤を使用し、分離剤として水素化アモルファスシリコンを採用している。これによって 400°C 近いプロセスの適用が可能となり、3D-IC の電気的信頼性が高まる。

6. H. Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka, “Investigation of TSV Liner Interface With Multiwell Structured TSV to Suppress Noise Propagation in Mixed-Signal 3D-IC”, IEEE Journal of Electron Devices Society, 7 (2019), 1225-1231.

3D-IC の積層された上下のチップ間を高速信号伝送させるために必要なシリコン貫通配線 TSV のノイズ低減を狙ったマルチウェル構造の TSV 形成技術に関する論文である。チャージポンピング電流を測定し、マルチウェル構造 TSV が深さ毎に TSV 側壁の信頼性を非破壊かつ簡便に評価可能であることを示し、TSV はビアホール下部の方が側壁絶縁膜のリーク電流や界面準位密度が大きいという重要な知見を示した。

7. Sungho Lee, Rui Liang, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka, “Multichip thinning technology with temporary bonding for multichip-to-wafer 3D integration”, Japanese Journal of Applied Physics, 58 (2019), SBBA04-1 - SBBA04-7.

メモリが多層に重なり合う AI チップをマルチチップ三次元積層技術を用いてウェハレベルで作製する際に重要な多層のチップの一括薄化(研削、研磨)工程で課題となるチッピング等の不良に対し、テンポラリー接着剤の弾性率に着目して、歩留りを向上させるための技術を考案した論文である。

8. Murugesan Mariappan, Kiyoaru Mori, Jichel Bea, Mitsumasa Koyanagi, and Takafumi Fukushima, “High Aspect Ratio TSV Formation by Using Low-Cost, Electroless-Ni as Barrier and Seed Layers for 3D-LSI Integration and Packaging Applications”, Japanese Journal of Applied Physics, 59 (2020), SGGC02-1 - SGGC02-7.

拡散速度と成長速度を高い制御性で調整した無電解ニッケルめっき技術を用い、三次元積層型 AI チップで必須となるアスペクト比の高い TSV を形成することに成功した論文である。アスペクト比 10 が限界とされる TSV 形成でアスペクト比 15—20 までの TSV 形成を可能とした。枚葉式ではなく、バッチで処理できるため、低コスト化にも有利である。

9. Takafumi Fukushima, Mariappan Murugesan, Ji-Cheol Bea, Hiroyuki Hashimoto, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Mitsumasa Koyanagi, On-Wafer Thermomechanical Characterization of a Thin Film Polyimide Formed by Vapor Deposition Polymerization for Through-Silicon Via Applications: Comparison to Plasma-Enhanced CVD SiO<sub>2</sub>", Journal of Polymer Science, 58 (2020), 2248–2258.

被覆率が低いプラズマ CVD による SiO<sub>2</sub> 系 TSV ライナー膜、大口径なウエハでの適用が難しい高速スピン塗布による有機系ライナー膜の課題を解決するために開発した気相堆積ポリイミドに関する論文である。200°Cの低温で成膜したこの薄膜の熱機械的な特性を詳細に評価し、TSV 周囲のシリコンにかかる応力を劇的に低減させることに成功した。これによりトランジスタを配置できない領域 Keep-Out-Zone を大幅に縮小することができ、信頼性の高い 3D-IC の創出が可能となる。

#### 【自己組織化配線形成技術(次世代 SSD)に関する論文】

10. M. Murugesan, A. Takeuchi, T. Fukushima, and M. Koyanagi, "X-ray computed tomography studies on directed self-assembly formed vertical nanocylinders containing metals for 3D LSI applications—characterization technique-dependent reliability issues", Japanese Journal of Applied Physics, 58 (2019), SBBC05-1- SBBC05-6

これまで提案してきたブロック高分子の誘導自己組織化を使って自己組織化配線の形成を実証した最初の論文。金属塩として Fe を用い、ブロック高分子で形成されたナノシリンダー構造に沿って Fe ナノワイヤを形成することに成功した。その構造解析を大型放射光施設の X 線 CT を使って観察し、100nm 以下の狭ピッチ TSV 形成の可能性を示している。

#### **<著 書>**

編集・著作した書籍は、総数 3 冊である。

#### **(2)学会等発表の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)**

	2018 年度	2019 年度	2020 年度-
① 国際学会等	18 件	25 件	20 件
② 国内学会等	6 件	13 件	8 件

#### **<招待講演>**

①国際学会等 総数 17 件

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	場所(国、都市)	期日
福島 誉史	Capillary Self-Assembly Based Multichip-to-Wafer System Integration Technologies	the annual International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS)	名古屋(日本)	2018 年 7 月 6 日

福島 誉史	Moor's Law for Packaging	the 2018 International Conference on Solid-State Devices and Materials (SSDM)	東京(日本)	2018 年 9 月 12 日
福島 誉史	New Flexible Hybrid Electronics (FHE) Using Advanced Wafer-Level Packaging Technology	International Congress on Advanced Materials Sciences and Engineering 2019 (AMSE-2019)	大阪(日本)	2019 年 7 月 22 日
福島 誉史	New Flexible Hybrid Electronics Technologies for Biomedical Application	EMN Meeting on Flexible Electronics	ドブロクニク(クロアチア)	2019 年 10 月 2 日
福島 誉史	FOWLP-based Flexible Hybrid Sensor Systems with Dieletsand 3D-IC	The 18th International Symposium on Microelectronics and Packaging and 21st International Conference on Electronic Materials and Packaging (ISMP-EMAP 2019)	プサン(韓国)	2019 年 11 月 15 日
福島 誉史	Self-Assembly Based 3D Integration: Capillary Self-Assembly and Directed Self-Assembly	Huawei Workshop in 3D-IC	東京(日本)	2019 年 11 月 22 日
福島 誉史	Multilithic 3D and Heterogeneous Integration Using Capillary Self-Assembly	4 <sup>th</sup> IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM)	ペナン(マレーシア)	2020 年 3 月 16-18 日 Virtual
福島 誉史	Multichip-to-Wafer 3D Integration Technology	2020 International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2020)	東京(日本)	2020 年 4 月 22-25 日 中止
小柳 光正	Novel 3D heterogeneous integration technology using advanced Directed Self-Assembly (DSA) with nanomaterials	International Conferences on Nanomaterials and Nanotechnology (ICNano 2018)	ストックホルム(スウェーデン)	2018 年 10 月 9-12 日

小柳 光正	Novel Heterogeneous System Integration Technologies for IoT and AI Application	International Symposium on Microelectronics and Packaging (ISMP 2018)	ソウル(韓国)	2018 年 10 月 24- 26 日
小柳 光正	3D System Module with Thermal Vias	International Electronics Cooling Technology Workshop (CTW 2018)	ミンスク (ベラルーシ)	2018 年 11 月 1-2 日
小柳 光正	Future 2.5/3D Technologies in AI Era	IMAPS SiP Conference,	モントレー (アメリカ)	2019 年 6 月 25- 27 日
小柳 光正	Future 2.5/3D Technologies in AI Era	IMAPS SiP_China Conference	深セン(中国)	2019 年 9 月 9-11 日
小柳 光正	Past, Present and Future of 3DIC (Invited)	IEEE 3DIC Conference	仙台(日本)	2019 年 10 月 8-10 日
小柳 光正	Past, Present and Future of 3DIC	IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC)	Web Conf	2020 年 6 月 3-30 日
小柳 光正	3D heterogeneous integration technology for AI system	IEEE VLSI-TSA Symposium	Hsinchu(台湾)	2020 年 8 月 14 日- 9 月 13 日 Virtual
Mariappan Murugesan	Advanced Directed Self Assembly technique for future 3D-LSI interconnect fabrication	2019 Nano-Technology and Nano-Engineering	バンクーバー (カナダ)	2019 年 7 月 24- 25 日

## ②国内学会等 総数 7 件

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	期日
福島 誉史	三次元実装とフレキシブルハイブリッドエレクトロニクスに(FHE)向けた取り組み	第 155 回有機エレクトロニクス研究センター講演会	2018 年 9 月 27 日
福島 誉史	先端三次元積層 LSI から高集積 FHE への展開	日本学術振興会産学協力研究委員会 情報科学用有機材料 学振 142 委員会	2018 年 11 月 15 日
福島 誉史 (Mariappan Murugesan 代理)	誘導自己組織化による極微細三次元配線形成技術	応用物理学会・シリコンテクノロジー分科会多層配線委員会および電子情報通信学会・シリコン材料・デバイス研究会(SDM) 「配線・実装技術と関連材料技術」研究会	2019 年 2 月 7 日

福島 誉史	三次元集積技術を用いたAIチップの開発	電気化学会電子材料委員会, 第83回半導体・集積路技術シンポジウム	2019年8月28日
福島 誉史 (Mariappan Murugesan 代理)	誘導自己組織化配線を用いた三次元積層型集積回路の高性能化(Performance Scaling of 3D Integration with DSA Technology)	日本学術振興会「先端ナノデバイス・材料テクノロジー第151委員会」平成31年度第4回研究会「機能性デバイスの三次元化とその展開」	2019年11月15日
小柳 光正	AI 時代到来の鍵を握る三次元スーパー・チップ; パラダイムシフトとビジネス戦略	2018 秋季応用物理学会シンポジウム	2018年9月19日
小柳 光正	AI 時代到に向けて変貌する半導体技術	名古屋大学 DII シンポジウム	2019年4月3日
Mariappan Murugesan	無電解Niシード層を用いて形成された3D-IC チップの積層及びパッケージング用、高アスペクト比Cu-TSV	応用物理学会・シリコンテクノロジー分科会多層配線委員会および電子情報通信学会・シリコン材料・デバイス研究会(SDM) 「配線・実装技術と関連材料技術」研究会	2020年2月7日

## II-4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について

### (1) 各種表彰・受賞の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

期日	受賞者名	主催者・賞名	理由
2020.5.14	小柳 光正	文部科学省・瑞宝中綬章	半導体メモリ、3D-IC 基幹技術を提案し、長年にわたって半導体体分野の研究と産業発展に多大の貢献
2020.6.3	小柳 光正	IEEE(国際電気電子学会)・EPS Award	TSV を使った世界初の3D-IC テストチップ試作に成功
2018.4.16	Yuki Susumago	Award of Student Poster Presentation in the Second Japan-Taiwan Workshop on Electronic Interconnection	チップレット内蔵フレキシブル LSI システム作製技術
2018.9.2	Takuya Harashima	SSDM Young Researcher Award 2018	インプランタブル電子・機械デバイスの研究開発
2019.	Yuki Susumago	The ECTC 2019 Student Travel Award, IEEE CPMT	チップレット内蔵フレキシブル LSI システム作製技術
2019.6.14	Liang Rui	IEEE IITC Best Student Post Award	マルチチップ 3D-IC 技術
2019.10.10	Sungho Lee	IEEE 3DIC Student Post Award	三次元集積化技術 ／フレキシブル LSI システム
2019.10.10	Liang Rui	IEEE 3DIC Student Post Award	高性能 TSV を用いた 3D-IC 作製
2020.3.18	Noriyuki Takahashi	The ECTC 2020 Student Travel Award, IEEE CPMT	ハイドロゲル上にフレキシブル LSI システムの構築
2020.7	Shota Urayama	SSDM Young Researcher Award 2018	インプランタブル電子・光学デバイスの研究開発

### (2) 新聞報道等の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

総数 11 件

1. 2018/03/16	“一般研究助成 今年度 15 人に 矢崎科技振興記念財団”, 日刊工業新聞 (特定研究助成採択者 福島 誉史)
2. 2019/07/19	“半導体の 3 次元実装技術について — 開発動向と展望”, 日刊工業新聞
3. 2020/09	“Through Silicon Via Propels 3D Chip Integration”, in SPECIAL REPORT (SEMICON Taiwan Special): DEMPA AEI (Asia Electronics Industry), September (2019), pp. 24-25, Takafumi Fukushima, 電波新聞
4. 2020/02/06	“三菱電機、世界最薄クラスの航空機用電子走査アレイアンテナ技術を開発”, 日本経済新聞
5. 2020/06/03	"For pioneering contributions leading to the commercialization of 3D wafer and die level stacking packaging", IEEE Electronics Packaging Award, Mitsumasa Koyanagi and Peter Ramm, IEEE Electronics Packaging Award: <a href="https://eps.ieee.org/awards/ieee-eps-technical-field-award.html">https://eps.ieee.org/awards/ieee-eps-technical-field-award.html</a>

## 《開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメント》

2030 年には現在の 100 倍の 200ZB(ゼッタバイト)ものデジタル情報が生成され、社会生活のあらゆる分野で情報が人々に意識されることなく活用される社会が実現しているものと予想される。その背後ではデータセンタリックエッジコンピューティング機器やクラウドコンピュータによる膨大な情報の蓄積と高速の情報処理が昼夜を問わず続けられる。情報が産業や社会に引き起すイノベーションの大きさは処理された情報の量に比例し、人類は社会コストが許す限りできるだけ多くの情報を取り込むことで社会に変革をもたらそうとする。

現在、世界の半導体市場は 40 兆円を超え、最近では年率 10%以上の驚異的な推移を示している。本プロジェクト開発で確立する技術が実用化されれば、成長率を大幅に押し上げ、近い将来、50 兆円を超える市場に成長することが期待できる。また、本プロジェクト開発で開発される技術を基盤として情報環境(Information-AtmoSphere)社会が実現されれば、その波及効果まで加えると 100 兆円以上の巨大市場の創出も期待できる。

国内製造業への寄与も大きいストレージメモリシステムに関わるビジネスは我が国が他国に対して圧倒的に強みを発揮している分野であると共に産業の国内バリューチェーンの裾野は極めて広い。半導体製造に直接かかわる産業のみでも、半導体基板、マスクブランクス、レジスト、スラリ、ガス、薬品、ターゲット、封止材などの素材産業、リソグラフィー、マスク描画、欠陥検査、成膜、加工、酸化、薬品処理、イオン注入、物理評価、シミュレーション、実装、試験等の製造装置産業、更にこれらの其々を支える原料製造、機械加工等非常に多岐に渡っている。これらは何れも国内に厚い基盤技術を保有する企業であり他国が容易に追従できない産業構造を形成している。更にストレージメモリシステムに関わる各種階層のアプリケーション産業を含めると、少なくとも国内半導体関連産業及び半導体アプリ産業就業者への影響数は約 70 万人以上、国内産業への影響額約 8 兆円以上と見積もられ、我が国の半導体及びストレージに関連する各種のシステム産業、ソフトウェア産業の発展に対しても大きく貢献するものと考えられる。

以下は直近 3 年間の目標の一つであるマイクロ LED ディスプレイの市場規模予測である。サイズが 100μm 以下と極めて小さく、フレキシブル基板上に実装すると、折り曲げても割れないマイクロ LED。その市場調査結果を矢野経済研究所が 2017 年 9 月 4 日に発表した。それによると、2017 年のマイクロ LED 世界市場規模は 700 万米ドルに達する見込みである。同社はマイクロ LED 世界市場規模が 2025 年には、その約 655 倍となる 45 億 8300 万米ドルに拡大すると予測している。車載用ヘッドライト、Li-Fi(Light Fidelity)通信、スマート繊維、バイオ、医療機器などにも、マイクロ LED の応用が進む見込みであり、市場規模はさらに拡大する。

### III. プロジェクトの研究費の実績

#### (1) 研究費の推移(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

		2018 年度	2019 年度	2020 年度
民間からの 資金	件数	6 件	7 件	5 件
	金額(百万円)	60 百万円	83 百万円	53 百万円
国からの 資金	件数	件	件	件
	金額(百万円)	百万円	百万円	百万円

#### (2) 主要な獲得プロジェクト・共同研究等(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

1. NEDO「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト/高速大容量ストレージデバイス・システムの研究開発」における 3 次元積層技術の研究(2018.4.1～2019.3.31), 14 百万円
2. NEDO サイクリック学習機能を有する超低電力 AI チップの開発 (2018.12.21～2020.11.30), 31 百万円
3. サポイン マイクロLEDディスプレイの低価格製造技術の研究開発 (2018.4.2～2020.3.31), 26 百万円
4. 微細接合を実現するための接続技術の開発 (2019.11.1～2021.3.31), 24 百万円
5. 高密度実装技術開発 (2018.4.1～2021.3.31), 21 百万円
6. 三次元 LSI 集積化技術及びデバイス技術の研究 (2018.4.1～2021.3.31), 13 百万円
7. 3DIC ウェーハテストにおけるプローブコンタクト方法(2018.4.1～2021.3.31), 3 百万円
8. 次世代積層 LSI を志向した誘導自己組織化配線の形成とメカニズム解析(科研費 基盤研究(B))  
研究期間:2016 年 4 月-2019 年 3 月、総額:16,510,000 円
9. 高集積ハイドロゲル創製への挑戦(科研費 挑戦的研究(萌芽))、研究期間:2018 年 7 月-2020 年 3 月、総額:3,900,000 円
10. マルチスケール応力エンジニアリングが拓く高集積フレキシブルエレクトロニクス(科研費 国際共同研究強化(B))、研究期間:2019 年 10 月-2023 年 3 月、総額:18,330,000 円
11. 広視野の視覚を再建する眼球内完全埋植・低侵襲フレキシブル人工網膜の開発(科研費 基盤研究(A))、研究期間:2018 年 4 月-2021 年 3 月、研究代表者:田中徹、研究分担者:福島誉史、総額:43,940,000 円、分担金:3,600,000 円
12. 高集積ストレッチャブルデバイス作製に資する基盤技術研究(村田学術振興財団研究助成)  
研究期間:2017 年 8 月-2018 年 7 月、総額:1,770,000 円
13. ウエハ圧縮成型による柔軟な樹脂の高集積化(金型技術振興財団研究助成)  
研究期間:2018 年 4 月-2019 年 3 月、総額:1,500,000 円
14. 高信頼性フレキシブル FOWLP 技術に関する研究(電子回路基板技術振興財団)  
研究期間:2018 年 4 月-2019 年 3 月、総額:1,000,000 円
15. 高密度ナノ配線形成に資する金属含有ブロック高分子のグラフォ・ケミカルエピタキシ(矢崎科学技術振興記念財団『特定研究助成』)、研究期間:2018 年 4 月-2019 年 3 月、総額:10,000,000 円
16. 硬い単結晶半導体で創る曲面集積フレキシブルデバイス創製(天野工業技術研究所基金研究助成), 研究期間:2018 年 6 月-2019 年 6 月、総額:1,500,000 円
17. 誘導自己組織化支援拡散法による極微細シリコン貫通配線形成技術(公益財団法人 莢原 畠山記念文化財団令和元(2019)年研究助成)、研究期間:2019 年 6 月-2020 年 3 月、総額:700,000 円
18. 三次元集積技術を基盤としたナノプローブカードの試作と事業性検証(東北大學出資事業 BIP(ビジネス・インキュベーション・プログラム)フェーズ1(育成))、研究期間:2019 年 10 月-2020 年 9 月、総額:5,000,000 円
19. ウエハ検査用マイクロ TSV 集積化プローブカードの実用化開発(2020 年度「研究開発型スタートアップ支援事業(旧:研究開発型ベンチャー支援事業)／NEDO Entrepreneurs Program(NEP)」)、研究期間:2020 年 10 月-2021 年 3 月、総額:4,980,000 円
20. 浅皮下生体情報可視化デバイスの開発(2019 年 8 月-2022 年 3 月)総額:18,527,750 円

<<研究費に関するコメント>>

これまで、本プロジェクトプロジェクトに関わっている者がそれぞれ協力しなら研究成果を挙げるとともに、それらの成果を基にして競争的研究資金や共同費獲得積極取り組んできた。その結果として上の表に示したような研究費を獲得している。これらの研究費には本プロジェクトに直接関わっている研究者の研究費みが計上されており、本プロジェクトに協力頂きなら他を実施している研究者の費は計上されていない。今後も、三次元スーパーチップ LSI 試作製造拠点 (GINTI) を有効に活用して、国内外の企業や大学との共同研究を積極的に進めるとともに、成果の実用化や技術移転による研究資金導入を目指す。リジット LSI システムに挙げた三次元 AI チップに関しては、COVID-19 の影響で 2021 年 3 月までの期間延長が承認されたので、三次元 AI チップの作製と動作検証を 2021 年 3 月までに終える。現在、自己組織化配線形成技術に関しては、JST CREST 研究領域名: 原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能に「ハイブリッド誘導自己組織化による分子電子集積システム」を申請中である。フレキシブル LSI システムに関しては、科研費 国際共同研究強化(B)の中で、本プロジェクト延長後の 2023 年 3 月まで継続することになっており、インフォスフィア調和型ヘテロ集積化システムの一例として生体情報管理用のフレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス(FHE)の試作品を完成させる。また、自己組織実装技術とフレキシブル LSI システムの融合に関しては、NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業／マッチングサポートフェーズに研究題目「チップレット内蔵ウェアラブルマイクロ LED ディスプレイの開発」で申請中である。

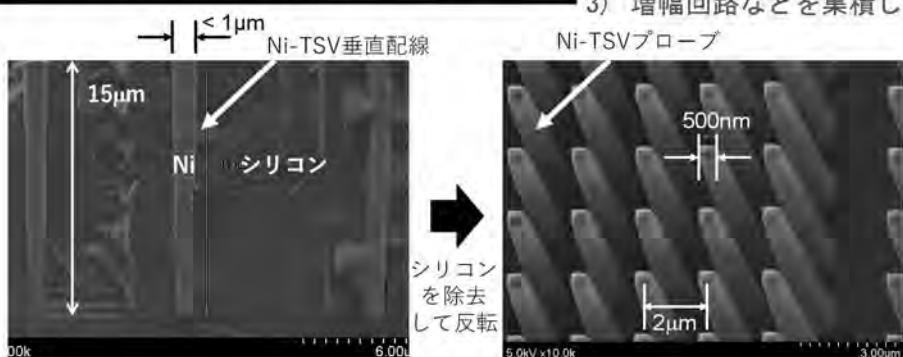
## IV. 当初計画を越える展開等やそれによる成果について

### (1) 当初計画になかった新たな展開について

NEDO「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト/高速大容量ストレージデバイス・システムの研究開発」における 3 次元積層技術の研究の中で先端曲率半径 250nm を下回るシリコン貫通配線(TSV)を作製する技術を開発し、それを応用して半導体ウエハ検査用 TSV プローブ技術に関するプロジェクトを2つ新規に立ち上げた(図27)。1つは、東北大学出資事業 BIP(ビジネス・インキュベーション・プログラム)のフェーズ1(育成)プログラムの中で「三次元集積技術を基盤としたナノプローブカードの試作と事業性検証」が 2019 年 10 月から 1 年間の研究期間で始まった。総額:5,000,000 円である。COVID-19 の影響で、2020 年 12 月まで延長され、ここではナノ Ni-TSV の電気的特性と機械的特性を評価して実用性を検証している。また、このプロジェクトを遂行する中で、強度を高めた先端曲率半径数  $\mu\text{m}$  の Ni/Cu-TSV を用いた「ウエハ検査用マイクロ TSV 集積化プローブカードの実用化開発」が 2020 年度「研究開発型スタートアップ支援事業(旧:研究開発型ベンチャー支援事業)/NEDO Entrepreneurs Program(NEP)」に採択され、2020 年 10 月から半年間のプログラムとして始まる。起業を目指し、半導体ウエハ検査用の三次元 Si インターポーラ(中継基板)を備えたマイクロ TSV 付きプローブカードを作製する研究開発を進める。総額:4,980,000 円のプロジェクトである。

#### ナノ TSV プローブカード技術の革新性

- 1) プローブ痕が極めて小さい
- 2) 測定パットを非常に小さくできる
- 3) 増幅回路などを集積しやすい



現在出来上がっている技術ソリューション



図27 TSV のスケーリングから生まれた半導体ウエハテスト用ナノプローブの作製工程

## (2) 成果の基礎研究やプロジェクト等への寄与について

NEDO「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト/高速大容量ストレージデバイス・システムの研究開発」の中で、ブロック高分子と高分子被覆 Au ナノ粒子のナノコンポジットから Au ナノワイヤを形成することに成功した。この技術ではワイヤの直径が小さすぎることと、被覆に使用した高分子により組成制御が難しくなるといった課題が生じている。現在、この自己組織化配線形成技術に関しては、エポキシ樹脂を中心とする反応誘起相分離を基盤とした微細 TSV や微細横方向配線形成の新しい方法論を提案し、JST CREST 研究領域名：原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能の中で研究題目「ハイブリッド誘導自己組織化による分子電子集積システム」を申請している。この提案が採択されれば、自己組織化ナノ配線形成に関する基礎研究を加速して、次世代 SSD だけではなく、真の AI チップの創出に資する技術に発展させることができる。このように材料科学的に新しい研究領域を提案するとともに、ムーアの法則が終焉した半導体技術の更なるブレークスルーに寄与できる技術へと展開している。

一方、フレキシブル LSI システムに、マイクロ LED などの極小チップや三次元積層型の AI チップを高い集積度でインテグレーションできるようになると、ヘルスケアデバイスや医療デバイスなどの集積度も格段に高めることができる。コロナ禍で検査技術の高速化や制度向上が求められている中で、安全安心を強化した社会作りに貢献できる。

## (3) 本プロジェクトによる人類への貢献、社会的意義等について

本プロジェクトでは、最終的には自己組織化配線技術と自己組織化チップ実装技術を確立して、環境調和型の新しい AI 社会に順応する生体情報モニタリングシステムの開発を目指している。これらの技術を用いると、人間の行動管理デバイスなどに進化し、将来の自動運転機能やエコドライブ機能を有する車に搭載される脳型コンピュータ・チップの創出も視野に入ってくる。また、このような脳型コンピュータ・チップを搭載したシステムには、ビックデータを格納するための超低電力メモリシステムが重要となるので、本プロジェクト開発で確立する自己組織化配線技術と自己組織化チップ実装技術を用いて、超立体ストレージデバイスの実用化も具体化する。自動運転機能やエコドライブ機能を搭載した車では、ドライバーに総合的な判断による運転を要求しており、現状の車両制御とは異なり「外部環境の把握」「経験による未来の推測」「総合的なトレードオフ判断」など、いわゆる脳型処理と言われる処理を適切な電力消費で実現する必要がある。人を安全に運ぶ場合は、四方を監視する「眼」としての脳型コンピュータ・チップと総合的なトレードオフ判断を行う「メイン」の脳型コンピュータ・チップが必須である。

現在世界には10億台の自動車が存在しており、その全てに脳型コンピュータ・チップ搭載すると、50億台近い脳型コンピュータの需要が推定される。しかし普及に際しては、現状の制御マイコンが普及したような価格帯になる事が前提条件となり、脳型コンピュータの劇的な製造コスト削減技術が望まれる。本プロジェクトにより、このような脳型コンピュータ・チップの実現可能性を示し、将来の高度情報化社会の実現に多大な貢献ができると期待している。本プロジェクトの成果は自動運転だけでなく、インフォスフィア社会を支える AI やロボット、医療、防災管理などの分野でも高い波及効果が期待できる。

## V. その他

### (1) NICHe プロジェクトとして主張したい成果

本プロジェクトでは、従来のトップダウン的な微細加工とボトムアップ的な「自己組織化」を融合させた異種デバイス集積(ヘテロシステムインテグレーション)に焦点を当て、本格的な AI 社会の到来に向けて必要となるエッジデバイスを意識した実用化に耐え得る技術や装置に加えて試作品の開発を行っている。特に、液晶からブラウン管に代わった以上の技術革新と言われるマイクロ LED チップのボトルネックとなるアセンブリを自己組織的に行うセルフアセンブリでは、プロジェクトリーダーである福島が長年 3D-IC 作製で磨き上げた技術を結集して、一辺  $100\mu\text{m}$  以下の極微細なチップの超並列アセンブリを可能とする技術に発展させた。この技術により、縮小化が加速する受動素子／光学素子／センサ、さらには歩留りを上げてコスト低減を狙い機能ブロックを分割して小型化した「チップレット」などの非常に小さい構造体を自在に配置して高速／精密実装を可能とする技術に仕上げ、装置構成の具体化までたどり着いた。国内はもちろん海外からの引き合いも多い。

また、この高精度に位置合わせされたチップ群を高密度の配線で接続するインターフェクションの領域にも高分子材料科学をベースに自己組織化を導入した。ちょうど人間の脳のニューロンから軸索が伸びてシナプス結合を形成する究極の自己組織化を模倣するような技術に完成させることを目標としている。2030 年を見据えた画期的なアイデアを要求された中で考えだしたのがこの「誘導自己組織化配線」である。まだ、フィーシビリティスタディを終えたばかりで実用レベルには解決すべき課題も多い。しかし、1997 年にプリンストン大学がフォトレジストの代替技術として発表してから 20 年以上経てようやく誘導自己組織化(DSA)技術が実用化にたどり着いたこの例と比べると、研究の展開は決して遅くない。

相変化メモリやスピinnメモリが AI チップの代名詞として主張される一方で、デバイス単体ではなくシステム全体の構成を考慮した三次元インターポーラと積層メモリで AI チップの開発を進めている点に高い将来性を感じている。NVIDIA の HBM (High-Bandwidth Memory)が AI システムとして高い評価を得ているように、人間の脳の情報処理機構を考えると、三次元的な構造を取り入れて超並列処理を行うことができるシステムを集積化することが重要である。それを具現化するため、直径 300mm ウエハを使った我々の試作ライン GINTI で、三次元積層型 AI チップをマルチチップ一括で積層する三次元集積技術の開発に取り組んでいる研究機関は世界的にも少なく、この分野を牽引している。この技術は、半導体技術の殿堂と言われる国際会議 IEDM でプロジェクトリーダーである福島が筆頭著者として 2005、2007、2008、2009、2012 年に発表した技術がベースとなっている。

さらには、最近モバイル情報端末で使われるシステムの主流となっている FOWLP に着目し、印刷配線や有機半導体等の実用化で遅れているフレキシブルデバイスの分野に進出し、単結晶半導体チップを埋め込んだウエハレベルのフレキシブル基板作製で性能を高めることを推進した。従来のパッケージングに比べて、同じ世代のプロセッサやメモリを用いても性能が劇的に上がるとされているこの集積化形態をフレキシブルデバイスに適用することは非常に革新的な手法である。これを応用し、フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス(FHE)やインモールド・エレクトロニクス(IME)などの振興分野の主導権を得てさらに発展させたい。

## (2)自己評価

2つの「自己組織化」技術を柱とし、インフォスフィア社会で必要とされる人間の脳の情報処理機構を模倣したシステムの実現に向けて、チップに中にどのようなニューロン単体の回路を組み込むか、それをどのようにデバイスに落とし込むか、さらにはそれらをどのように集積化してシステムとして機能させるのか、その方法論を追求したプロジェクトに仕上がったオリジナルな研究開発が展開できた点には満足している。その出口の一つとして、人間の行動や生体情報をモニタリングできる高性能で柔軟なウェアラブルデバイスシステムの実例をいかに提案し、その一部を具現化できた。マイクロ LED のアセンブリ装置を除いて、産業応用まではまだ少し時間がかかるが、2 年間のプロジェクト期間延長を希望しており、この計 5 年間の中で産業界に還元できるインフォスフィア調和型ヘテロ集積化システムを開発していきたい。

(最終年度のみ)プロジェクト継続の意思

有

無

## 研究プロジェクト評価書面審査表(まとめ)

(研究プロジェクト評価書面審査委員氏名:◎須田義大、内田龍男、川村洋一)

プロジェクト名	先進ロジスティクス交通システム研究プロジェクト
プロジェクトリーダー名	松木 英敏

### I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

1. 開発研究の進捗状況(当初の開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況)	<p>(優れている点)</p> <p>高齢・過疎化が進む地域の将来に対する対策としてロジスティック交通システムを開発する基本計画は極めて有意義で優れたものと考えられる。これに係る 4 分野 11 テーマの幅広いエリアの研究開発テーマについて目標通りの研究成果を達成している。これらの各テーマは、それぞれの分野で先鋭的であり、さらに、各テーマを有機的に関連づけることにより相乗効果的に目標達成を加速していることから、プロジェクトの運営が優れていると、高く評価される。</p> <p>エネルギー分野では Mn リチウムイオン電池は競合に対し優れた温度特性を備えており、既に地域企業で量産体制を構築し、静置型太陽蓄電装置としてバリエーションも構築しており目標以上の進捗である。</p> <p>ワイヤレス給電に関する社会実装に向けた取組では、青葉山キャンパスにおけるマイクロモビリティを用いた交通システムの実証実験を行っており、エネルギー分野との連携を実施しており異分野融合としても評価される。</p> <p>MR 流体ブレーキに関する研究では、今までなかなか実用化に結び付いていなかった課題をとりあげ、磁気レオロジー材料を用いて MR 流体ブレーキを企業移転した上、課題を克服するべくドライ MR 流体の開発研究に着手しており、企業と連携して、機械式ブレーキを革新するものであり、今後の展開が期待される。</p> <p>自動運転分野では、消防ロボットの実用化、大型ダンプの自動運転化、ドローンによるインフラ点検、イヌのナビゲーション等、先端的な成果を挙げており、災害対応への実用化、Lidar 活用の開発研究も民間移転を実現し、計画以上の進捗である。</p> <p>HMI 分野においては高齢者を考慮した高速道路へのアプローチにおいて DS に基づく効果的な具体方策を見出しており、着実に民間等との共同研究が進んでおり、一層の飛躍が期待される。例えば、道路インフラの研究者、研究グループとの共同などが重要と考えられる。</p> <p>一早い社会実装が望まれる。</p>
---------------------------------------	---

	<p>社会実装分野では、前記開発研究成果の一部を組み込んだ実車を用いて非公道での検証を経て公道で検証を実施している。その結果を受け、目指す高齢者のファーストワンマイルの課題創出に取り組んでおり、来るべき地域実装にむけ着実に計画を進めていることは評価される。</p> <p>加えて福島 RTF を新拠点としてさらなる実証評価の場を開拓し、各分野研究テーマの社会実装を加速していく積極的な姿勢は特筆に値する。</p> <p>产学共創拠点構築については、青葉山、仙台市特区（泉 PT）、福島と 3 種のフィールドを検討しており、成果を挙げていると評価される。地域の特徴を考慮した使い分けと、運用面での共通化が望まれる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>社会実装及び民間移転を手戻りなくより短期で達成するために、各開発研究テーマの具体的な社会実装ターゲットと想定課題をあらかじめイメージしながら進める必要があると判断される。</p> <p>個別の研究テーマについては、大きな成果を挙げているが、このような複数分野を横断した連携プロジェクトと考えると、連携の強化、融合した取り組みは課題として残っており、今後の改善が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>社会実装分野において、研究成果を実装した車両で公道検証に一定の有効性を認めたとの記載があるが、参加した地域住民や運営に携わったスタッフ等から得られた成果や諸課題、それらをどのようにフィードバックして次回の実証走行に組み込んでいくのか、これらの PDCA を明確にし、各開発研究メンバーが情報共有して進められていることの可視化が望まれる。</p> <p>また、より一層の進展には、エコシステムの考えを十分に検討することが重要である。研究者は、プロダクトアウトとして成果の還元を期待するが、社会ニーズや、成果を受け取る側のメリットを考慮したマーケットインの考えを検討することが望まれる。</p> <p>さらに、連携や融合した取り組みを強化するためには、研究者間のコミュニケーションが重要であり、実施はしていると推察されるものの、定期的なミーティングや、研究合宿などで十分な意見交換が好ましいと考えられる。</p>
--	--

<p><b>2. 研究者の育成状況</b>  <b>(各種研究員の受け入れ・国際交流の状況等を含む。)</b></p>	<p>(優れている点)  各年度とも着実に社会人を含む修士号を取得しており、博士の取得、共同研究者などの受け入れを行い育てている。  国内外での研究発表や国際交流、外国人との論文共著も活発に行っており、高く評価される。</p> <p>(不十分な点)  個別の研究に直結した人材育成のみならず、横断的な視点をもった人材育成の取り組みが望まれる。  また、プロジェクト規模から考慮して国際交流が少なめである。ロジスティック交通システムは世界的広がりを見せており、フィンランド等社会実装が進んでいる国の研究者と交流して、世界情勢の変化を敏感に感じ取る環境に自ら接することが期待される。</p> <p>(改善のポイント)  大学院生においても、融合プロジェクトに参加し、実践的なトレーニングの受講や、部局や専攻を横断した教育プログラムの実施などの検討が期待される。  さらに、国内各地で実施途上の民間プロジェクトとより一層交流を持ち、類似開発研究は情報共有し、国一丸の開発研究となる様なマネージメントが期待される。</p>
<p><b>総括 I</b>  <b>上記1.～2.までの評価に基づき当初の開発研究計画の進捗状況を中心に評価して下さい。</b></p>	<p>(優れている点)  前述のように、個別の研究開発テーマでは、本プロジェクトの目標を達成する優れた成果を達成しており高く評価される。大学各分野の研究を「ロジスティック交通」を切り口とした開発研究目標に設定することで異分野融合を促し、より高度で社会実装にこだわったものになっている。  現在直面している地域の高齢・過疎化に対するタイムリーな成果を出し続けている点は高く評価される。  研究者育成の観点からも、専門性の高い開発研究の中で、変化の早い社会情勢や異分野に接することによる広い視野を持つ次世代研究者を育成する土壤を提供している点が評価される。</p> <p>(不十分な点)  研究や人材育成について、より一層の分野横断の連携、融合した取り組みが望まれる。  要素技術の開発研究において、民間企業と共同研究を進めている開発研究が多数あるが、要素技術を保有する複数企業との情報交流があると開発研究初期段階で解決すべき課題や目</p>

	<p>標設定を明確にして進めることができると考えられる。</p> <p>共同研究に到らずとも、複数企業との技術ディスカッションが出来る環境ができるとなお良いと判断される。</p> <p>社会実装分野において、医療・介護分野のロジスティック交通開発研究を加えると、更に高齢・過疎化に対するファーストワンマイルというプロジェクトの目的に沿う解決手段につながるものと期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>社会実装分野において、国内他地域や世界各国にて現在進行形で取り組んでいるチームとの情報交流を仕掛け、プロジェクト成果の世界への露出を積極的に進めることが期待される。</p> <p>プロジェクトの状況を幅広く知ってもらうと共に、他プロジェクトの成果を柔軟に取り込んで融合していく体制を目指すことが望まれる。</p> <p>社会実装についてのエコシステムとしての取組、マーケットインの考え方の導入、教育プログラムについての融合的な取り組みが考えられる。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>①. 大変良い</li><li>2. 良い</li><li>3. 普通</li><li>4. やや不十分</li><li>5. 不十分</li></ul>
--	--

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

<p><b>1. 民間企業への技術移転進捗 状況について</b></p>	<p>(優れている点) 民間企業への技術移転が毎年 10 件前後あり、良好な成果を上げている。そしてその一部が商品化されていることは大変有意義であり高く評価される。</p> <p>(不十分な点) 東北地域企業への技術移転が全体の 18 % であり相対的に少ない。また、民間企業として、製造業といった研究成果を受け取りやすいところのみではなく、地域での交通事業などへの成果還元や、国際的な発展が望まれる。</p> <p>(改善のポイント) 地域企業と共同開発したマルチナビゲーションシステムは、利用者の位置情報活用や商業施設、路線バスとの連携に加え、消防やタクシーなどあらゆる移動体と連携したプラットフォームとして社会実装分野のソフト面の中核的役割を担う位置づけとして捉え、地域最適の研究を推進されることが期待される。 また、技術移転の対象として、幅広い視点を持つこと、積極的に地域交流や国際交流の場を活用することが考えられる。</p>
<p><b>2. 発明、特許権その他の知的財産権の状況について</b></p>	<p>(優れている点) 特許は各年度、幅広い分野で着実に出願されており、継続的に開発研究を進めている証である。また、企業との共同出願が全体の半分を占めており、社会実装を見据えたものと捉えることができ、高く評価される。</p> <p>(不十分な点) 企業への技術移転を考慮すると、実用新案が不足していると判断される。</p> <p>(改善のポイント) 実用化を前提とする開発研究は周辺技術も想定し、企業との共同の実用新案をこだわって出願することが期待される。</p>
<p><b>3. 論文・著書・学会等発表の状況</b></p>	<p>(優れている点) 毎年 50 編以上の論文・著書を出版すると共に、国内学会、国際学会のバランスよく毎年 50 件以上の発表が行われており、十分な成果が示されている。これらは活発に開発研究が実施されている証であり社会に対する高い貢献度を示しており、高く評価される。</p>

	<p>(不十分な点)</p> <p>要素技術の発表が多数で社会実装分野関連の内容が見受けられないと判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>本プロジェクトの目指すロジスティック交通システムを鳥瞰した論文・著書・発表を通じて積極的に発信することが望まれる。</p> <p>個々の発表が技術的特徴に加え、プロジェクト全体との関わりや位置づけについて言及するとより成果が評価されると考えられる。</p>
4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について	<p>(優れている点)</p> <p>各年度にわたり、総計 13 件の受賞がある。特に、MR 流体の研究に関して、学会から 3 件の賞を受賞していることから、優れた研究成果として評価される。</p> <p>一方、本プロジェクトのような将来の社会性の向上を目指したもののは、短期間では業績が明確にされないために評価に至らないのが一般的である。何年か後に、成果が社会に大きく貢献した時に表彰されることが期待される。なお、その状況の中で、総務省東北総合通信局からの表彰が得られているのは成果やその可能性が早くも認められたものと高く評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>プロジェクト規模を鑑みると新聞報道件数が少なく、また全国、海外発信されたものが少なく、今後の改善が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>開発研究という位置づけから、要素技術の前倒しの露出は難しい点は理解できる。しかしプロジェクトの社会実装分野は世界がまさに現在進行形で競争している分野であり、動画や SNS など様々なメディアを通じた積極的なプロジェクト情報発信が期待される。また、広報担当者の充実や学内の広報機関との連携を進めることが考えられる。</p>
総括 II 上記1. ~4.までの評価に基づき、「新産業分野創出」に結びつく開発研究成果が出ているか(研究のアウトプット)、また現実に「新産業分野創出」 <sup>注1)</sup> (研究成果に基づく産業活動のアウトカム)に結び付いているか、を中心	<p>(優れている点)</p> <p>民間企業への技術移転、学術論文としての成果発表、知財獲得等、十分な成果を挙げている。幅広い分野の要素技術とそれらを組み合わせたロジスティック交通を目指す中、WPS やロボット自動化技術、MR 流体活用技術など、個々の要素技術として研究成果のみならず商品化に結びついていることは特筆に値する。</p> <p>これは、核となる要素技術で特許や論文にカウントされる件</p>

<p><b>心に評価して下さい。</b></p> <p>注<sup>1)</sup> ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。</p>	<p>数以上に、商品化を実現するための従来技術との組み合わせ、品質管理、生産技術が同時進行で開発研究されていることを意味し、このプロジェクトが社会実装に強くこだわっている証であり高く評価される。</p> <p>また、基礎研究の中で、第一原理シミュレーション計算によって、アルミニウムのグラファイト接合の熱放出効率向上が有効性を示していることから、新産業につながる可能性が期待される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>Mn 系リチウム電池開発は地域企業で低コスト生産を実現しており、大変大きなアウトカムと考えるが、表彰、受賞、新聞報道共に見受けられず、プロジェクトをあげて宣伝し、国内外に成果をアピールする活動の今後の展開が期待される。</p> <p>地域への還元や国際的な視点について今後は、より一層の取組が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>プロジェクトの運用面をより強固にしていくことが好ましいと考えられる。東北地域が直面している高齢・過疎化を克服する「安全・あんしん・利便」をより地域一体で取り組むために、地域の企業、公設研究センターと共に新産業創出することにこだわり、東北地域から国内外に情報発信することでまずは地域内が活性化していくマネージメントが期待される。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① . 優れた研究成果を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く評価を挙げている。</li> <li>2 . 優れた研究成果は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。</li> <li>3 . 優れた研究成果を挙げているとは言えないものの、「新産業分野創出」に結び付く可能性は高い。</li> <li>4 . 研究成果は他に優れたとは言えず、「新産業分野創出」に結び付く成果も期待出来ない。</li> </ul>
---	--

### III. プロジェクトの研究費の実績

総括Ⅲ  外部資金の獲得状況と、その資金が十分に活用されているかの観点から評価して下さい。	<p>(優れている点)</p> <p>民間及び国から毎年度安定的に調達しており、プロジェクト各分野の開発研究に効率的に投入している。国などからいくつかの研究テーマで高額の研究費を取得している。また、民間から多くの研究資金を得ている。活用状況の詳細は明記されていないが、研究成果からして有効に活用していると考えられる。プロジェクトの実践には、優秀な人材を確保することが必要であり、これらの予算から人件費を割かなければならない一般的な事情を考慮すると、十分な運用をしていると判断される。</p> <p>特に国からの資金調達は複数年度に渡る大型のものである点、また、各分野、各開発研究テーマ毎に自律的に外部資金調達を実施している点から効率的なプロジェクト運営がなされている点が評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>特になし</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>特になし</p> <p>なお、活用状況の評価が必要ならば、自己評価報告書にその項目を設ける必要がある。特に有意義なことがある場合に記述するような仕組みが望まれる。</p>
---	--

#### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

総括IV	<p>(優れている点)</p> <p>モビリティの分野において重要なことは、総合的な取り組み、実践的な取り組み、実用的な成果還元であり、これらについて、本プロジェクトの取組は評価される。</p> <p>前身である次世代移動体プロジェクトに引き続き、様々な分野研究を融合しながら成果に結びつけています。</p> <p>個別の研究においては、いずれにおいても、十分高い成果を挙げている。</p> <p>特に震災をきっかけに拠点化したみやぎ復興パークで取り組んだ自動運転やリチウム電池開発が社会実装され、その成果が更に広がりを持って今後福島RTFを拠点に構える流れを作ったことがこのプロジェクトの大きな成果として高く評価される。</p> <p>また、産業創成による拠点構築において、当初の予定より大きく発展させ、いくつかの地域で実践化が進められている。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>モビリティ分野では、CASE や MaaS といった社会変革が進行しており、また、新型コロナウィルス感染症による社会の変化といった、新たな課題も浮上している。これらについて、真摯な取り組みが期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>前身のプロジェクトスタート時点から社会が大きく変化し、モビリティを取り巻くいわゆる CASE の社会実装が急速に進んでおり、世界各地で試行錯誤しながら同様な取り組みが進んでいる。</p> <p>当プロジェクトの歴史的バックグランドを踏まえ、積極的に内外に情報発信し、それぞれの成果を共有してより早い社会実装を目指すことが期待される。</p> <p>モビリティ分野においては、言及している学学連携の協議会が立ち上がっており、さらに内閣府でのプロジェクト検討、学協会、学術会議などの検討が進んでおり、このような取り組みと連携した活動をより強固にして進めていくことが望まれる。</p>
------	---

## V. 総合評価

総括 I ~IVを踏まえ、本プロジェクトを総合的に評価して下さい。

個別の研究成果、研究成果の社会還元、学術論文の発表、知財の獲得、人材の育成、研究費の獲得など、総合的に優れた成績を挙げていると評価される。一方で、総合的な取り組みが求められるモビリティのプロジェクトであること、融合的な取り組みを目指していることを考慮すると、研究成果の還元や、次の取組を目指すうえで、社会情勢を考慮して、研究者や研究テーマでの連携融合する取組をより強固にすることが望まれる。本プロジェクトは、国内外のネットワークを活用したより進化したプロジェクトに発展できる素質は十分あると考えられる。今後も活動を継続して社会貢献できることが期待される。

本プロジェクトの目標に対して、主体的ないくつかのテーマが優れた成果を上げ、目標を達成している。一方、基礎理論や新材料、デバイスなどの研究でも多くの成果を出しておらず、学術的な論文出版や学会発表が多数行われている。

前者についてはさらなる前進によって本プロジェクトの実現と社会的活用への貢献をより進展していくことが大いに望まれる。後者については、新技術、新デバイス、新システムへの展開をさらに進めていくことが期待される。

先進ロジスティック交通システムプロジェクトは、前身である次世代移動体システムプロジェクトでもたらされた自動運転を中心とした研究成果を、時代を見据えた上で東北地域の課題である高齢・過疎化に対してより具体的かつスピーディーに社会実装するべく取り組んできたプロジェクトである。

東北大学未来科学技術共同研究センター（NICHe）を核に、大学内異分野研究と周辺の産学を横断的に巻き込み、それぞれの分野の専門性の高いメンバーが一同に介したドリームチームの様相であり、国内を見渡してこの様な体制を組んでいるプロジェクトは類を見ない。

これらメンバーの知見を、ロジスティック交通システムを出口に見据えた開発研究に集約することにより効率的なアウトカムを導き出しており、戦略的である。

事実、プロジェクトとしてエネルギー関連分野ではリチウム電池、自動運転関連分野で消防、防爆ロボット、MR 流体ブレーキ、HMI 関連分野でエンサウンドクッション、社会実装関連分野でマルチナビゲーションシステム等、分野融合体制でなければなし得ない成果をあげており、加えて一部は量産化も達成しており、高く評価される。

プロジェクト最終目標は 2021 年 3 月、ロジスティック交通システムの社会実装の実現であり、仙台市泉パークタウンで民間企業と連携して取り組んでいるファーストワンマイルの実証運行を足がかりに着実である。

このリアルワールドの実証実験で得られた諸々の課題は多岐に渡る筈であり、実験室では得られない貴重な情報である。

ユーザーである地域住民やシステム運営メンバーのフィードバック、移動体ハード、アプリや通信、制御ソフト等、各々の課題をマトリックスで一元化し、プロジェクト全体で課題共有

が望まれる。

そしてこれをベースに今進めている各開発研究の方向性と過不足、更に深く融合する可能性を相互に再確認し、新たな拠点となる福島 RTF とその周辺地域の活用により、より短サイクルでの社会実装アップデートが期待される。

また、高齢、過疎化において、今後医療、介護分野のロジスティック交通も研究対象に加え、ユーザーがこのプロジェクトの成果を真に実感できる社会実装に成長していくことが強く望まれる。

(全体に対するコメントがありましたら、記載して下さい。)

産業界の視点から、以下のコメントがあった。

この様な所帯が大きく、かつ多分野にわたる開発研究を長期間にわたりマネージメントしてきたプロジェクトリーダー並びに各分野メンバーの多大な努力に心より敬意を評します。

このプロジェクトは本年度で終了となります、引き続き体制を維持、拡大し、この分野の日本の中核プロジェクトとして牽引してもらうことを切に望みます。

## 最終評価

### 2020(令和2)年度研究プロジェクト自己評価報告書(公開版)

#### 開発研究部の分野名・研究プロジェクト名

プロジェクト名：先進ロジスティクス交通システム研究プロジェクト  
(Advanced Logistics Transport System Research Project)

#### プロジェクトリーダーの職名・氏名

未来科学技術共同研究センター ・教授 松木英敏 (印)

#### 研究体制(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

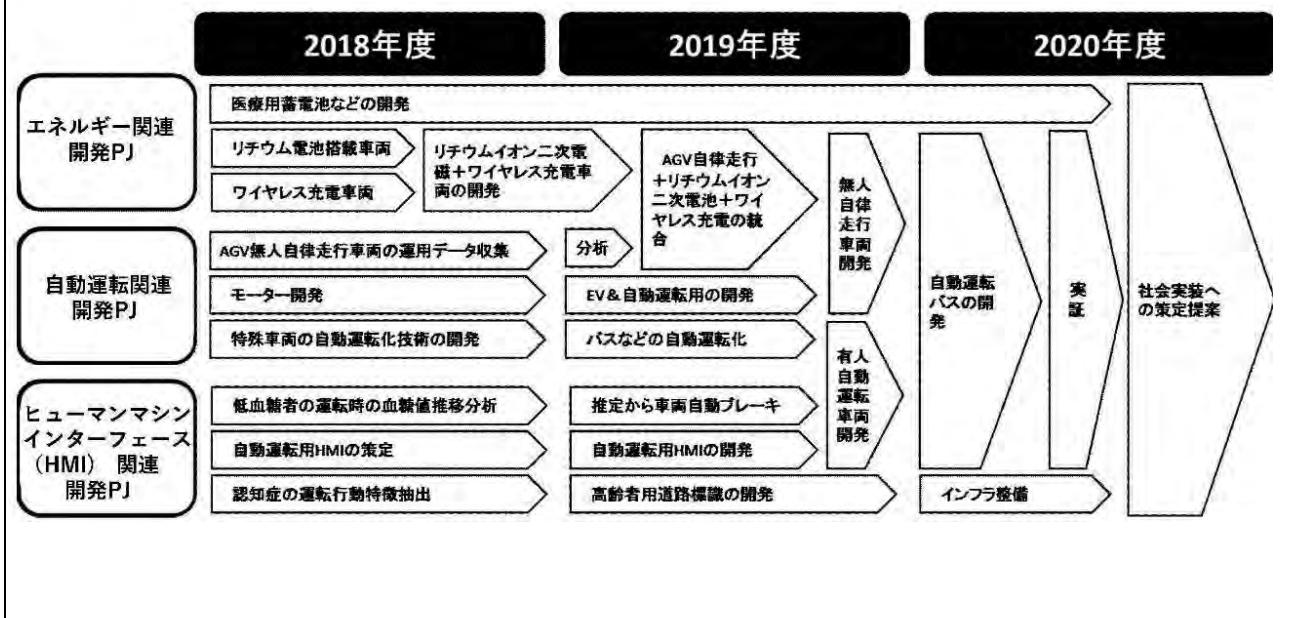
##### (1) 開発研究目的、目標及び方法

###### 1. 目的

地域の高齢・過疎化が進み、合わせて運転免許返納により移動手段を有しない交通弱者は、増加の一途を辿るのは明らかである。この救済に資する研究開発を行うことを前提とし、本プロジェクトの目的は、要求技術が高い「安心・安全・利便」を追求した技術を移動体という媒体で具現化させ、多様な地域特性に即した形に対応できるロジスティクス交通システムの開発提案をすることである。

###### 2. 目標及び方法

本プロジェクトではこれら拠点を基盤にして、実証フィールドからより具体的な社会実装に進むためのシーズのさらなる発展とシーズ連携による社会実装を可能とするシステムの開発提案を行う。この異分野融合が可能なのは、未来科学技術共同研究センター研究プロジェクトでしか実現が難しく本プロジェクト設立の意義は極めて高い。近未来に向けた社会ニーズとしては、“エネルギー”，“自動運転”，“高齢化”などが挙げられ、これらを有機的に結合させた先進システム化社会の実現には、ロジスティクスの概念導入が必須である。すなわち、既存の物流システムに留まらず、社会ニーズを踏まえて移動体による人の移動を「ロジスティクス交通」と定義し、交通弱者にも利便性の高い近未来交通システムを提案、特にファーストワンマイルに代表されるフレキシブルな人の移動システムの社会実装を目標とし、ロジスティクス交通システム実現のための技術開発を本プロジェクトで推進していく。



## (2)プロジェクト全体の年度別計画表

【開発目標・達成時期：ロジスティクス交通システムの社会実装の実現・2021年3月】

共同研究先	2018年度		2019年度		2020年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
NITTOKU NEDO JAL 未来エナジーラボ IDF	ワイヤレス充電機能を搭載した乗用車の開発	リチウムイオン二次電池＆ワイヤレス充電器搭載のバスの開発	バスの学内運用と社会実装への提案			
	乗用車にワイヤレス充電機搭載と検証	走行と充電の繰り返し運用（データ取り）	バスのリチウムイオン二次電池搭載	バスにワイヤレス充電機搭載	バスの学内走行と運用（データ取り）	社会実装への策定提案
	医療機関への蓄電池の導入					

### (研究開発テーマ1～6)

- 1 Mn系リチウムイオン電池の量産化技術とベンチャー育成
  - ・ドライルームレスのリチウムイオン電池製造ラインを整備。-20°Cから安定動作可能な低温用リチウムイオン電池開発。
  - ・小型高効率可搬型太陽光発蓄電装置の開発
  - ・地元企業のIDF、未来エナジーラボ等との協業で電解液の新規添加剤開発、固体電解質の添加により1.5倍の容量増加達成
- 2 ワイヤレス充電
  - ・LCブースタ技術を応用した複数同時負荷給電法を確立。走行中給電の基本検証と設計指針提示
  - ・ワイヤレス送電コイルの長尺化に伴う漏洩電磁界の低減法提案（今年度中特許出願予定）
- 3 逆HEMT及びEV用モータ駆動素子作製に関わる研究
  - ・ワイヤレス通信基地局用現行素子より一桁高速で動作するGaN/GaAlN構造からなる逆HEMTを作製、基本動作確認
- 4 第一原理に基づくハイドレートによる水素貯蔵法や高効率発光素子開発への適用
  - ・ハイドレートによる水素貯蔵において第一原理シミュレーション計算による最適条件割出し。
- 5 インフォマティクス駆動型計測融合計算化学の次世代移動体への応用
  - ・次世代フィルムコンデンサ用ポリマーの機能創成にむけエラストマー素材の誘電特性や電場方向に対する分子的特徴導出
- 6 新規クローン・プラズマCVD法によるナノカーボンハイブリッドの創製

共同研究先	2018年度		2019年度		2020年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
NEDO 科研費	乗用車以外の車両の自動運転化		バスなどの自動運転化		様々な車両の自動運転化への策定	
	特殊環境（交通網以外）下での自動運転技術の開発	走行テストに基づく技術開発	大型車両の自動運転技術開発	半自動運転でのバス運行試走	バスの完全自動運転	各々と合わせた社会実装への策定提案

### (研究開発テーマ7～9)

- 7 モータ
  - ・EV用マルチギヤップSRモータを開発し、現行EV用モータ（35～45N·m/L）を上回るトルク密度（60N·m/L）を達成。
- 8 磁気レオロジー材料を活用した高速応答性を有する動力伝達・制動系開発
  - ・電動式高速応答MR流体ブレーキを開発。小型4輪EV走行試験にて性能実証
- 9 自動運転技術・社会実装LiDARと地図に基づく先進自動運転技術の開発
  - ・LiDARと地図に基づく自動運転技術を開発し実証実験と公道交通データ収集を継続実施。
  - ・大型ダンプトラックや消防、防爆用ロボットの自動化などを企業と共同開発し社会実装。

共同研究先	2018年度		2019年度		2020年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
ヒューマンマシンインターフェース(HMI)関連開発PJ	トヨタ自動車 デンソー アルバイン 警察庁 科研費 東北大内連携 疾病(糖尿病)による低血糖時の運転行動分析	ドライバーの疾患や高齢者(認知症予備軍)の運転時行動分析 認知症の運転行動分析	自動運転に必要なHMIの開発 認知症でも認知できるシンボルの開発	高齢者用道路標識の開発 自動運転用社内HMIの開発	自動運転用&高齢者用道路標識の開発提案 特定区域内高齢者用道路標識の導入	社会実装への策定提案

(研究開発テーマ 10)

1.0 自動運転用ヒューマンマシンインターフェース (HMI)

- ・睡魔から覚醒させ安全を維持する自動運転車用 HMI を開発。ドライビングシミュレータによる模擬公道運転で有効性評価
- ・津波警報発令直後の避難時における危険予知意識向上と行動の改善に資する教育用アプリケーションの開発評価

これらの開発 PJ に加え、2020 年度に掲げた実証や社会実装、およびそのためのインフラ整備に向けては、それに先立つ諸準備を予め進めておくことが必要と考えられたことから、上記ロードマップに加え、NICHe 開発企画部とのより密接な連携も含めた地域連携、産学官連携の取組を加えて行っている。

共同研究先	2018 年度		2019 年度		2020 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
社会実装関連 社会連携PJ	三義地所 長大 ANDEX 東北経済連合会 東北次世代コンソーシアム 各省庁地方機関 各地方自治体 他	社会実装に向けた地域連携・計画案づくり ・泉PTにおけるデモ実証 ・福島浜通りにおける検討	地域社会実装 PJ 体制構築 ・泉PTにおける補助事業 ・福島浜通りへの拠点構築	地域毎の社会実装 および東北地域モデル確立 ・泉PT補助事業(2年目) ・福島拠点における実証・実装		

(研究開発テーマ 11, 12)

1.1 産学共創による拠点構築

- ・先進技術・知見を活用した新たな地域交通システム提案
- ・福島ロボットテストフィールド (RTF) 拠点化と実証環境整備により福島復興における社会課題解決と新産業振興に貢献

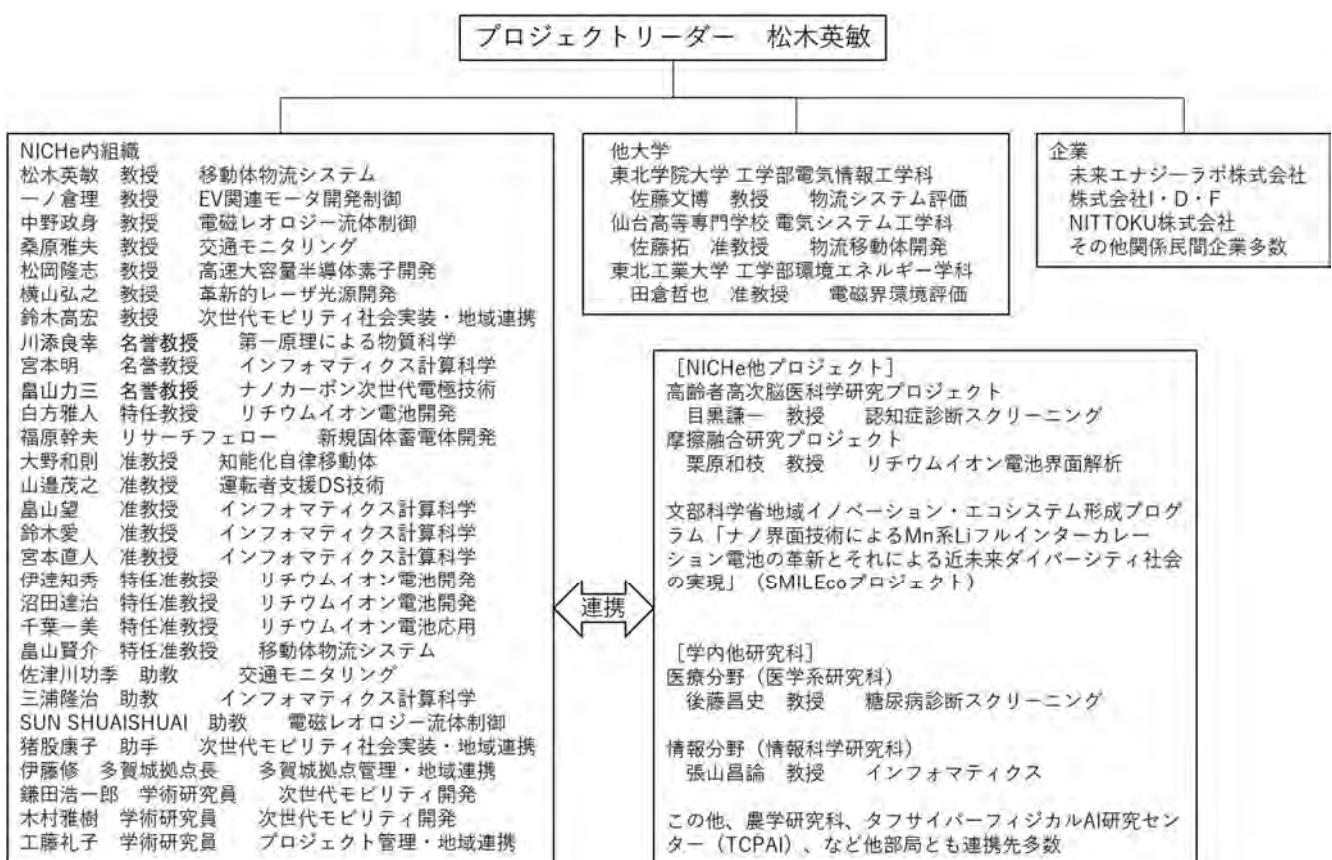
1.2 多様なデータを融合した交通モニタリング

- ・非日常の予兆システムを構築。豪雪地帯の車両立往生の発生危険性や観光地の交通渋滞の発生危険性アラートに応用

すべてのテーマにおいて、共同研究先の企業と定期的に打ち合わせを行うことでプロジェクト全体の進捗管理を行っている。

### (3) 研究組織・研究分担(すべての研究者について具体的に記入して下さい。)

#### 1. 組織図



#### 2. 研究分担

##### 【エネルギー関連開発】

- 松木英敏 (教授 プロジェクトリーダー) 移動体物流システム  
 松岡隆志 (教授) 高速大容量半導体素子開発  
 川添良幸 (名誉教授) 第一原理による物質科学  
 宮本明 (名誉教授) インフォマティクス計算科学  
 畠山力三 (名誉教授) ナノカーボン次世代電極技術  
 白方雅人 (特任教授) リチウムイオン電池開発  
 福原幹夫 (准教授→リサーチフェロー) 新規固体蓄電体開発  
 畠山望 (准教授) インフォマティクス計算科学  
 鈴木愛 (准教授) インフォマティクス計算科学  
 伊達知秀 (特任准教授) リチウムイオン電池開発  
 沼田達治 (特任准教授) リチウムイオン電池開発  
 千葉一美 (特任准教授) リチウムイオン電池応用  
 三浦隆治 (助教) インフォマティクス計算科学  
 栗原和枝 (教授 NIChe 摩擦融合研究プロジェクト) リチウムイオン電池界面解析

##### 【自動運転関連開発】

- 一ノ倉理 (教授) EV 関連モータ開発制御  
 中野政身 (教授) 電磁レオロジーフローティング  
 横山弘之 (教授) 革新的レーザ光源開発  
 大野和則 (准教授) 知能化自律移動体  
 宮本直人 (准教授) インフォマティクス計算科学  
 畠山賢介 (特任准教授) 移動体物流システム  
 SUN SHUAISHUAI (助教) 電磁レオロジーフローティング

張山昌論（教授 情報科学研究科） インフォマティクス  
佐藤文博（教授 東北学院大学） 物流システム評価  
佐藤拓（准教授 仙台高等専門学校） 物流移動体開発  
田倉哲也（准教授 東北工業大学） 電磁界環境評価

【ヒューマンマシンインターフェース（HMI）関連開発】

山邊茂之（准教授） 運転者支援DS技術  
目黒謙一（教授 NIChe高齢者高次脳医科学研究プロジェクト） 認知症診断スクリーニング  
後藤昌史（教授 医学系研究科） 糖尿病診断スクリーニング

【社会実装関連・社会連携】

桑原雅夫（教授） 交通モニタリング  
鈴木高宏（教授） 次世代モビリティ社会実装・地域連携  
佐津川功季（助教） 交通モニタリング  
猪股康子（助手） 次世代モビリティ社会実装・地域連携  
伊藤修（学術研究員、多賀城拠点長） 多賀城拠点管理・地域連携  
鎌田浩一郎（学術研究員） 次世代モビリティ開発  
木村雅樹（学術研究員） 次世代モビリティ開発  
工藤礼子（学術研究員） プロジェクト管理・地域連携

**（4）プロジェクトの評価に当たっての特筆事項**

本プロジェクトは、平成20年から学内の幅広い横断連携融合の取組として始められた次世代移動体研究会に起源を有し、工学系のみならず時に文系分野までも幅広く横断連携の輪を拡げた学際的取組として継続してきたことに加え、大学におけるシーズ技術を研究のみで終わらせず、実用化・社会実装までをも視野に入れて綿々と取り組まれてきた稀有なプロジェクト事例であることを特筆する。

現在のプロジェクトの前身となる2017年度までの次世代移動体システム研究プロジェクトでは、ワイヤレス給電、レアアースレスモータ、自動運転などの研究開発成果に加え、東日本大震災に対する複数の東北復興プロジェクトに取り組み、大学における復興貢献の中で大きな役割を果たし、特にリチウムイオン電池の量産化技術の確立は具体的に新しく産業・雇用を創出した事例となった。本プロジェクトにおいては、それらの成果の実用化、社会実装をさらに進めると共に、医療分野を始めとした他分野や、NIChe内の他プロジェクトとの連携などにも取り組み、また地域との連携を進め、さらに幅広く実用化・社会実装を進めるものとなっている。このように、分野としての横の拡がりに加え、川上（要素技術開発）から川下（システム統合、実証、社会実装）までを国および地域の产学官と密接に連携して、具体的に結び付けた事例としても評価いただきたい。

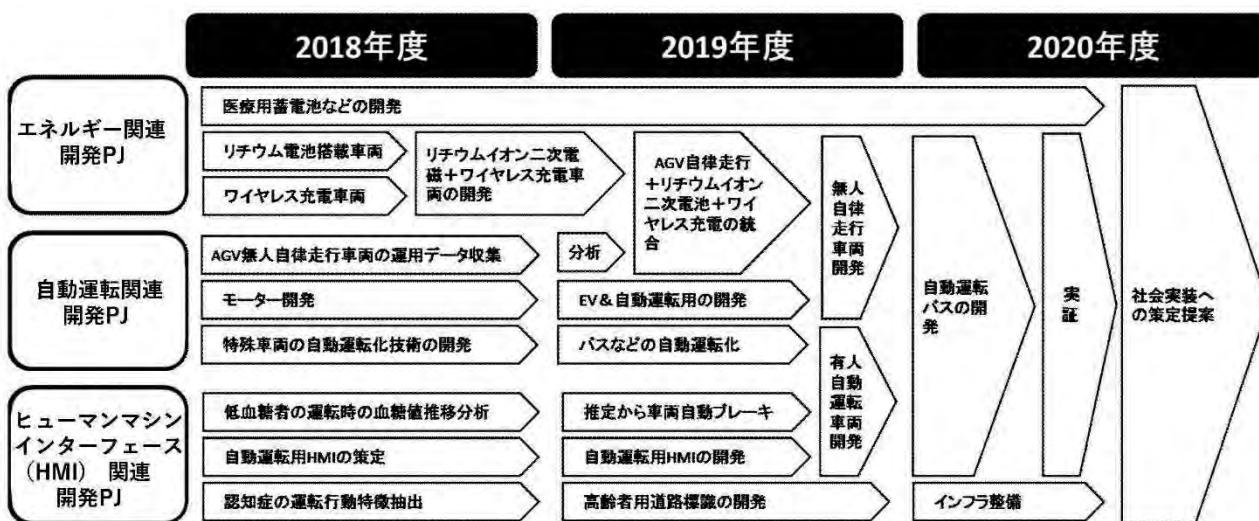
## I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

### I-1. 開発研究の進捗状況

#### (1) 開発研究進捗状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

本プロジェクトは、地域の高齢・過疎化が進み、合わせて運転免許返納により移動手段を有しない交通弱者数の爆発的増加が予想される現在、安全安心な先進的交通システムの構築を目指した研究開発を行うことを前提とし、要求技術が高い「安心・安全・利便」を追求した技術を移動体という媒体で具現化させ、多様な地域特性に即した形に対応できるロジスティクス交通システムの開発提案を通して社会実装に向けた提言を行うことである。開発したシステムの社会実装は容易ではないことから、青葉山での実証フィールドの活用と多賀城拠点による事前評価に基づき、シーズを確実なものにしていく取り組みが重要であり、並行して産学官連携を更に推進し、地域社会に根付くシステム開発の提案により貢献を目指す。

近未来に向けた社会ニーズとしては、“エネルギー”, “自動運転”, “高齢化”などが挙げられ、これらを有機的に結合させた先進システム化社会の実現には、ロジスティクスの概念導入が必須である。すなわち、既存の物流システムに留まらず、社会ニーズを踏まえて移動体による人の移動を「ロジスティクス交通」と定義し、交通弱者にも利便性の高い近未来交通システムを提案、特にファーストワンマイルに代表されるフレキシブルな人の移動システムの社会実装目標とし、ロジスティクス交通システム実現のための技術開発を本プロジェクトで推進していく。下記に、それぞれのテーマについて具体的な開発推進状況を述べる。



#### 1 Mn系リチウマイオン電池の量産化技術とベンチャー育成

次世代移動体システム研究プロジェクトにおいて確立した安全・安心かつ地産地消可能なマンガン系正極材料によるリチウマイオン二次電池の量産化・ビジネス化を地域企業と進めると共に、学内連携によりさらに本電池の特性を活かし、市場ニーズに合致する特徴を持った電池の研究開発を進めた。2018年度より文部科学省 地域イノベーション・エコシステム形成プログラム「ナノ界面技術によるMn系Liフルインターカレーショントリオキド電池の革新とそれによる近未来ダイバーシティ社会の実現」の採択を受け、NICHe摩擦融合研究プロジェクト（栗原PJ）と連携し、安全・高信頼性のMn系Liフルインターカレーショントリオキド電池量産化技術とナノ界面評価・解析技術との融合により、多様なニーズに個別最適化した蓄電池の供給を可能とする体制を実現し、自律分散型エネルギーシステムの具現化による持続的で災害に強い社会モデルの実現を目指して研究開発および事業化を推進している。

ここで、Liフルインターカレーショントリオキド電池とは、Li電池の中でもその正極基材において、Co系、Ni系、三元系などは結晶構造が層状のため、過充電時など正極におけるLiイオンが少なくなると結晶構造が崩れ、発火・爆発のリスクが生じるのでに対し、Mn系は結晶がスピネル構造のためLiイオンが抜けても構造が崩れず熱安定性が高く、すなわち安定・安全・長寿命な特徴がある。また、3次元構造として各方向にLiイオンが出入りしやすいため、内部抵抗が低く、高出力を得やすい。さらにMnは資源量が豊富で安定供給可能であり、比較的価格も安価に抑えやすい。また水と反応しにくく、吸湿し難いことから一般にLi電池生産に必要とされる低温かつ乾燥環境を保つドライルームを必要としないことから生産設備コストを大きく引下げ、上記のような地域生産を可能としている。

以上から上記の文科省事業などにより、安全・高信頼性 Mn 系 Li フルインターカレーション電池の開発および量産化技術、実用化体制の構築を進めている。同事業では、事業化に向けた知財戦略や応用製品や地域ニーズに基づく産業構造・需要動向分析、市場調査を行い、開発・事業化戦略の立案とその実施を進めている。

地元企業の IDF、未来エナジーラボ等との協業の中でリチウムイオン二次電池（LIB）の材料ならびに電極設計の変更検討を行い、出力性能と寿命性能の両立のため固液界面制御のキーとなる電解液の新規添加剤を開発し、固体電解質の添加により 1.5 倍の容量増加を達成した。

### （1）出力性能と寿命性能の両立のための新規添加剤開発

固液界面（SEI）制御のキーとなる電解液の新規添加剤を探索し、セル性能の改善ならびにメカニズム推定のための界面分析を行った。ジスルホン系添加剤 J3 を添加することで低温出力が向上（図 1-1）し、45°C のサイクル寿命性能も改善することが確認された。J3 の添加量が大きいほどセル抵抗の上昇開始ポイントが遅く、かつ抵抗上昇の傾きが小さくなるが、その傾向は TEM-EDS による SEI 被膜の厚さ方向の S 分布と相関していると推測される。

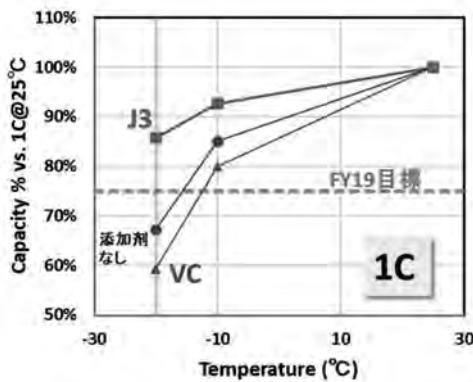


図 1-1 添加剤の違いによる放電容量の温度依存性(1C)

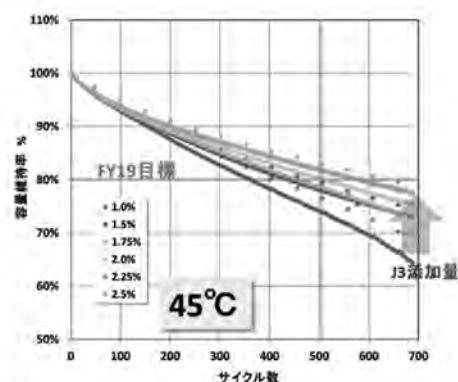


図 1-2 J3 の添加量違いによる充放電サイクル特性比較 (45°C)

### （2）固体電解質の添加による出力改善

「酸化物系 Li イオン伝導ガラス（LICGC）の粉末」の正極添加を検討した。電解液の一部が LICGC に置き換わっているため「可燃性液体の量が減る」という利点もある。3~5C 領域では LICGC 添加品の方が容量が大きく（図 1-3）、セルの温度上昇幅も抑制される傾向が確認された（図 1-4）。特に顕著な違いが見られたのは-20°Cにおける放電特性で、LICGC 添加により 1.5 倍の容量が得られた。LICGC の分極により LiPF6 の解離促進や Li イオンの輸率向上が推測される。本成果は 2019 年 1 月のオートモーティブワールドにてパネル展示を行った。

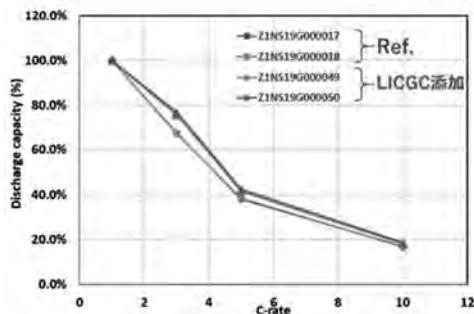


図 1-3 LICGC 添加の有無による出力比較

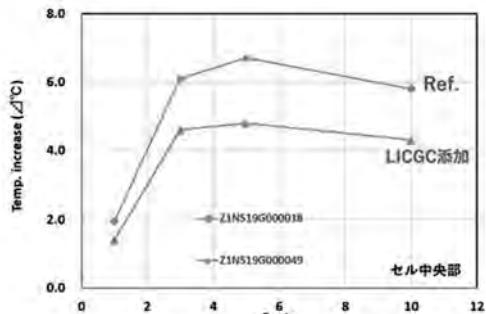


図 1-4 LICGC 添加の有無による温度上昇比較

今後においては、以下のような課題がある。

- ・IDF 向けの材料・電極等、各種部材の安定調達
- ・高温（45~60°C）環境下での耐久性向上

また、上記文科省事業による需要動向分析、市場調査から、以下のような事業化戦略を策定している。

- ・競合する他の Li 電池との比較から、高い安全性と高出力を前面にしたニーズへの対応に狙いを定め、超高速充放電や寒冷地向けなどの新市場創出を考える。
- ・市場創出の第一案として、地域小規模再生可能エネルギー向けの静置型蓄電池を考え、仙台市医師会との協力により、大震災時に地域の小規模医療機関が停電により診療が不可能となった経験に基づき、医療機関向け非常用電源を

主用途として地域企業であるD社、E社と協力し、ソーラーパネルとの組合せによる定置型蓄電システム「ワンダーパワーステーション（WPS）」を製品化、2020年夏現在までに約10台の設置を達成している。

・また、工場内無人搬送車両（AGV）も有力な用途として取り組んでいる。既にF社工場におけるAGVにおいて、鉛電池の代替用途として順次導入がされている。鉛電池に比べて極めて軽量となるだけでなく、特に高頻度の充放電を繰り返す用途において有効性が確認されている。

・上記WPSの実証でも明らかとなっているが、同電池の抵抗の低さから、太陽光の蓄電に高い有効性を示している。特に晴天時以外、曇天や少雨時など通常は発電量が微弱で電池の内部抵抗で蓄電できないのに対し、本電池ではこうした状況でも効率よく蓄電できることが実証されている。

・さらに、東北地域としての市場への到達の有利さも含め、寒冷地向け低温対応が可能であり、そのような電池の開発を進めている。特に屋外における輸送用・作業用機械用途に強みを發揮できると考えられる。

・大型産業用ドローンもまた有力な用途であり、パートナー企業と連携して同利点を示す実証を共同で予定している。

・地元シンクタンクによる市場調査では、より具体的に関連し得る地元企業・自治体等へのヒアリング調査も行い、中小医療機関向けバックアップ電源や、電力会社における定置電源用途など候補先の具体的検討も行った。

本リチウムイオン電池研究開発テーマは、2008年の研究会発足当時には無かったものの、次世代モビリティの各種の実証を行うまでのプラットフォーム車両における必須要素として、2014年からプロジェクトに加わり現在に至っている。現状、モビリティ用途については利益率を高く見積もることが難しく、従来自動車に関しては市場の参入障壁が高いため、当面は定置用などモビリティ以外の用途で市場確立し、将来的にその利益をもって他のモビリティ分野を支援していく、いわば循環エコシステム形成が期待される。なお、後述のテーマ11では、泉パークタウンにおける実証で上記WPSを地域内を巡回するEVへの給電用として実証を行っている。また同じく後述する福島ロボットテストフィールドにおける拠点では、同地域で活動する他のロボット企業等において少量でもカスタマイズ可能な電池のニーズが高く、例えば、東京農工大発ベンチャーによるアイガモロボット（有機米栽培における雑草抑制を行うロボット）への協力をはじめ、複数企業との連携協議が進んでおり、さらに新たな産学共創、新産業創出の期待が持たれるところである。

## 2 ワイヤレス給電

本テーマに関しては、主にC社との共同研究により進められた。

LCブースタ技術を応用し、複数同時負荷に対する給電法を確立するなど、走行中給電の基本検証と設計指針の整理を完了した。小型EVからマイクロモビリティ（電動キックボード、電動自転車等）への走行中給電システムを実証した（図2-1～図2-3）。さらに、送電コイルの長尺化に伴う漏洩電磁界低減法を提案した（図2-4）。図2-5は漏洩電磁界低減コイルなしの場合の周辺磁界分布シミュレーションであり、図2-6は最適キャンセル条件時の磁界シミュレーション例である。図より明らかなように漏洩電磁界を人体曝露指針を準拠しながらマイクロモビリティの走行中給電も可能であることが明らかとなった。これら成果は今年度中に特許出願予定である。今年度中にAGVおよびFA用移動中非接触給電システムの構築に向けた漏洩低減技術の実証と評価を行う予定である。これらの成果を統合して、図2-7に示すように青葉山新キャンパスにおいてマイクロモビリティを用いた交通システムの実証試験を計画している。



図2-1:LCブースタ応用検証  
「電動自転車への応用」



図2-2:フリー位置給電の検証



図2-3:走行中給電の検証

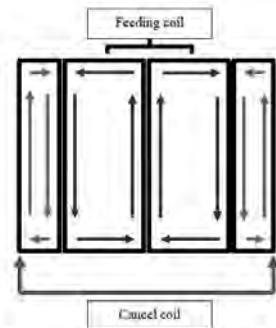


図 2-4:キャンセルコイルの検討

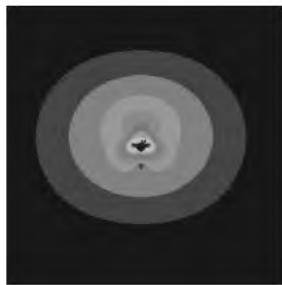


図 2-5:漏洩磁界低減コイル無し  
磁場シミュレーション



図 2-6:最適キャンセル条件時の  
磁場シミュレーション



EV向け「中水道」（青葉山新キャンパス）

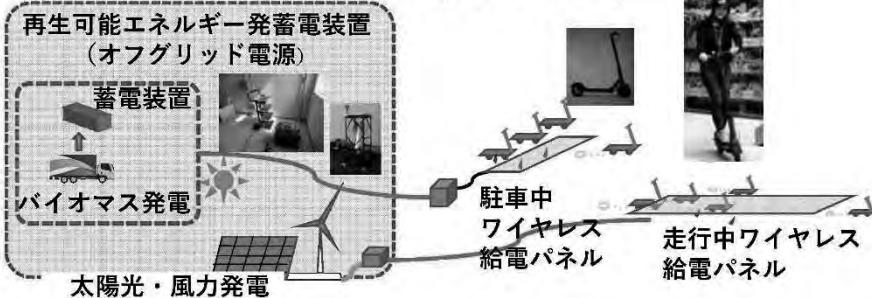


図 2-7 マイクロモビリティ実証試験

### 3 逆HEMT 及びEV用モータ駆動素子作製に関わる研究

#### (1) 逆HEMTに関する研究

研究目的： 現状の携帯電話の基地局で使用されている窒化物半導体 GaAlN/GaN 構造からなる高移動度電子トランジスタ(HEMT)より一桁高速で動作する GaN/GaAlN 構造からなる逆HEMTを構成できる結晶成長技術の高度化。

研究経過： 既に逆HEMTを作製しており、直流動作を確認している。今後、逆HEMTの高性能化のために、各種成長条件と結晶品質との関連を丹念に明らかにし、N極性成長におけるGaNとGaAlNの結晶品質の向上を図る。

#### (2) 電気・ハイブリッド自動車のモータ駆動用インバータを構成するGaN基板の探索

研究目的： 耐圧 1200V・電流 100A に耐えるGaN基板の作製。第4世代のプリウスでは車一台当たり、一般のSiプロセスに用いられている8インチウェハ1枚以上の基板を必要としており、高耐圧・大電流・高温動作可能な安価な素子開発が期待されている。

研究経過： 2017年から企業との共同研究において、貫通転位密度  $10^5/\text{cm}^2$  以下のGaNを達成できる方向性を見出していた。企業と共同研究契約を締結し、SCAM基板の開発してきた。Niについても提案し、バレクNi結晶の成長を進めてきた。現在では、6インチの結晶を引き上げることが可能となっている。

#### 4 第一原理に基づくハイドレートによる水素貯蔵法や高効率発光素子開発への適用

水素利用において、高圧水素をタンクに詰めるのは危険を伴い、事故の際の急激な放出を防ぐためにも貯蔵剤が必要である。ハイドレートによる水素貯蔵の研究を継続的に行っており、第一原理シミュレーション計算によって最適条件の割り出しを実施し、共同実験研究を計画している。ヘッドライト等の消費電力の抜本的改善を目指し、既に実用化されている発光素子より更に高効率発光素子の実現に向けたマテリアルズインフォマティックス研究を実施し共同実験研究により早期の実現を達成する。

#### 5 インフォマティックス駆動型計測融合計算化学の次世代移動体への応用

##### テーマ：インフォマティックス駆動型計測融合計算化学の先進ロジスティクス交通システムへの応用

###### 概要・目的

これまで培ってきた、基盤技術としてのマルチスケール・マルチフィジックス計算化学や高度なセンシング・計測技術を、人工知能(AI)を含んだインフォマティックス駆動型の統合技術へと発展させ、先進ロジスティクスに関わる多種多様な研究に適用して、理論に裏付けされながらも実践的な応用技術へと深化させることを狙う。

###### 現在想定している主な応用先：

###### 1 排ガス触媒や二次電池をはじめとする先進材料およびシステム設計

AI融合マルチスケール・マルチフィジックス計算化学により、次世代移動体に関わる先進材料やそれを用いたシステム全体の解析に貢献する。

###### 2 高度な計測を融合したトライポロジーシミュレータによる摩擦摩耗設計

移動体に必ず付随する摩擦摩耗現象について、SIP革新的燃焼技術で開発中の計算モデルを応用展開し、高信頼かつ高効率な設計に貢献する。

###### 3 高度なセンシングを含む移動ビッグデータを利活用した自動化技術

移動に伴う時系列座標等のビッグデータを蓄積して、これに基づく移動体システム自動化の可能性について、情報処理システム構築を試みる。



**その先の展開：**インフォマティックス駆動型計測融合計算化学は汎用技術であり、次世代移動体に関わる多くの研究について、基盤技術として下支えすることによって、他に例のない特色を出すことが可能である。NICHe全体としてのプロジェクト構築にも(产学を問わない)、大きく貢献できる。

###### 実施体制

**共同研究機関：**自動車関連企業、重機械工業関連企業ほか

**参画研究者：**情報科学、計算化学、電気、マテリアルズインフォマティックス、生体分子科学の専門家

###### スケジュール

2018年度 2019年度 2020年度

材料インフォマティクス	トライポロジーモデル	移動体システム自動化
SIP実証	→	→

**資金計画：**科研費、JST、経産省、NEDO、民間企業との共同委託研究ほか

###### 研究開発実績

###### 研究実績：

- ・人工知能インフォマティクスと計算化学による新規触媒開発および機能解析(排ガス浄化、ポリマー合成、水素製造、原子力発電)
- ・FPGAによるカスタムスーパー・コンピューティング
- ・外科手術支援ナビシステム開発
- ・末就学児教育用情報収集解析システム開発
- ・医療関連データ解析
- ・文献データベース構築の自動化
- ・衛生材料およびシステム開発ほか、多くの産業に展開

###### 研究費獲得実績

2018年度：民間14件、国11件

2019年度：民間12件、国12件

2020年度：民間6件、国9件

本研究プロジェクトでは“自動運転”に代表される先進システム化社会の実現を推進している。電子部品業界が自動車分野で存在感を増し、2017年の世界の電子情報産業に占める日系企業の生産額38兆5403億円のうち電子部品は9兆1680億円となり、分野別生産額では他の分野を抑え12年連続首位である(日刊工業新聞2020年1月5日)。電気自動車の基本構成(図5-1)には多種多様なパワーコンバータが用いられており、多くの受動部品の小型化や電力の高密度化、低コスト化が強く求められている。

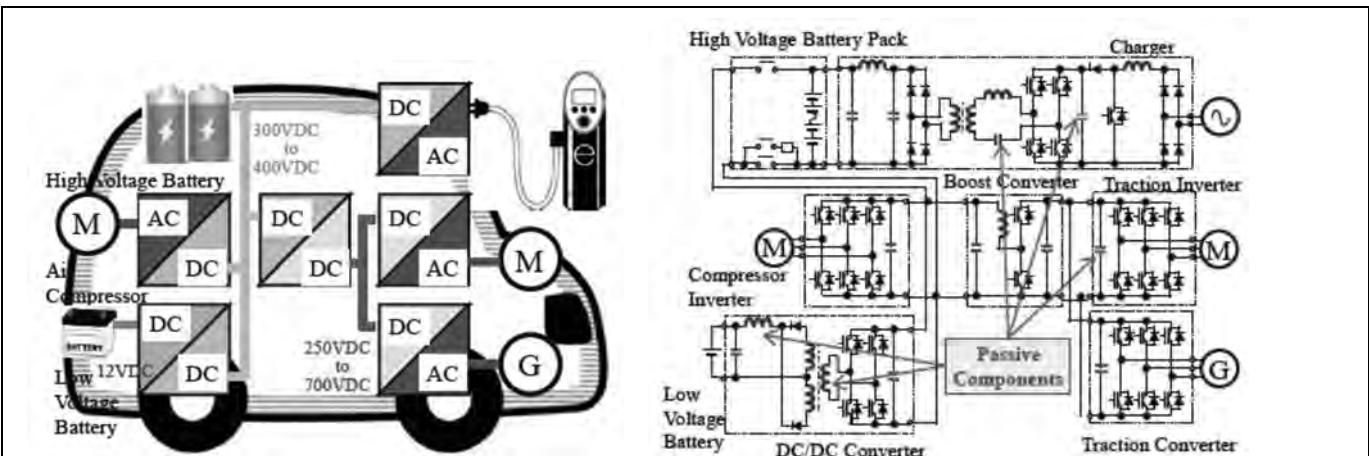
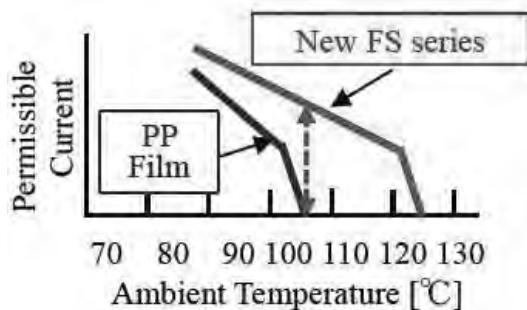


図 5-1 電気自動車の基本構成を支える多様なパワーコンバータとその受動部品<sup>(1)</sup>

特に車載用フィルムコンデンサは主に 105°C 耐熱であり、耐熱温度アップのニーズは高く（図 5-2<sup>(1)</sup>）。その電気特性、温度特性、周波数特性は、その構成部材であるプラスチックフィルムの物性で決まる（図 5-3<sup>(1)</sup>）。車載用コンデンサの選定はエネルギー密度とパワー密度などによって決定される（図 5-4<sup>(1)</sup>）。



(a) Permissible Current (10–100 kHz)

図 5-2 耐熱温度の高い新規材料から成るキャパシターの特性例

#### Characteristics of the dielectric film “High temperature” + “High $\epsilon_r$ ”

Items	PP Film	New FS series
Material	Thermoplastic Resin	Thermoplastic Resin
Temperature	85 to 105 [°C]	125 to 135 [°C]

#### Characteristics of the Capacitor “High Temperature” + “Small”

(b) Characteristics of dielectric film

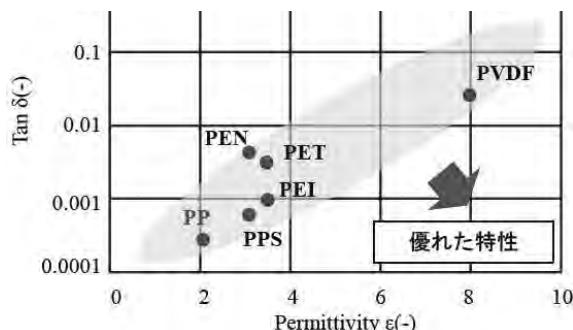


図 5-3 Permittivity of film materials.

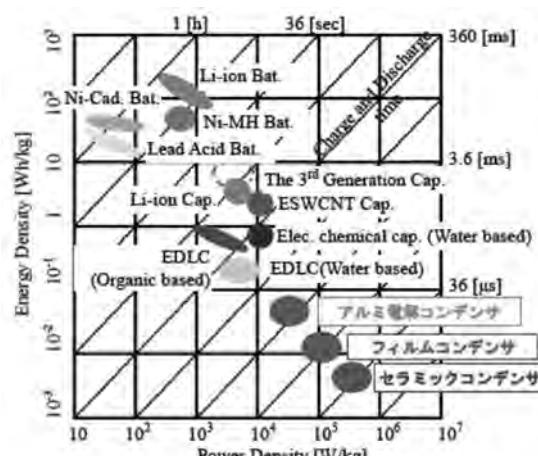


図 5-4 Energy/Power density of energy storage device.

そこで、これまで、次世代フィルムコンデンサに要求されるポリマーの機能創成をねらいとして、エラストマー素材の電場応答を量子論的に求めた分極・誘電特性（図 5-5）や、電場方向に対するアクチュエーション挙動（図 5-6）の分子的特徴を導出し、理論的計測手法の有用性を明らかにした。

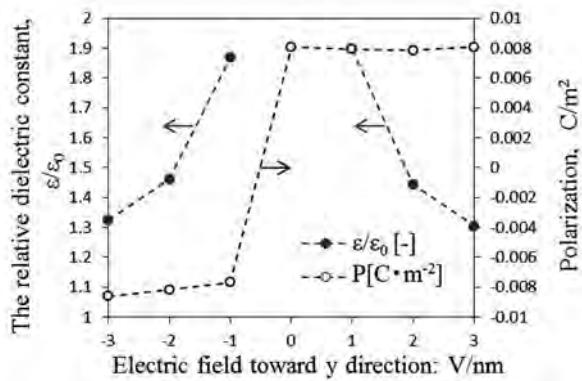


図 5-5 電場に対する分極・誘電特性

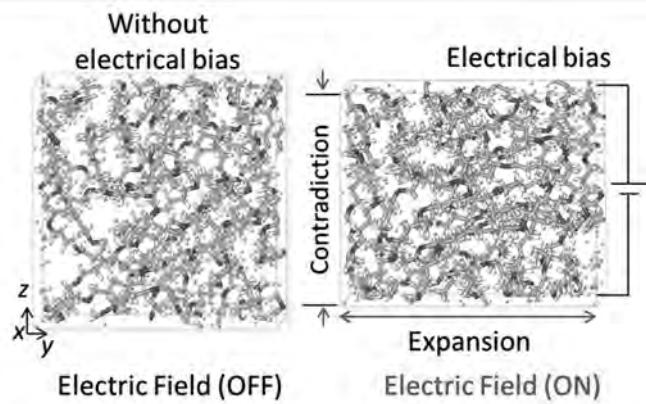


図 5-6 電場方向は縮み、垂直方向は拡大するアクチュエーション現象

また、ポリマー材料は各相ごとにヤング率が異なるが、図 5-7 に示すように、結晶 < 準結晶 < アモルファスと、ヤング率が小さくなるほど歪みが大きくなる度合が理解できる<sup>(2,3)</sup>。

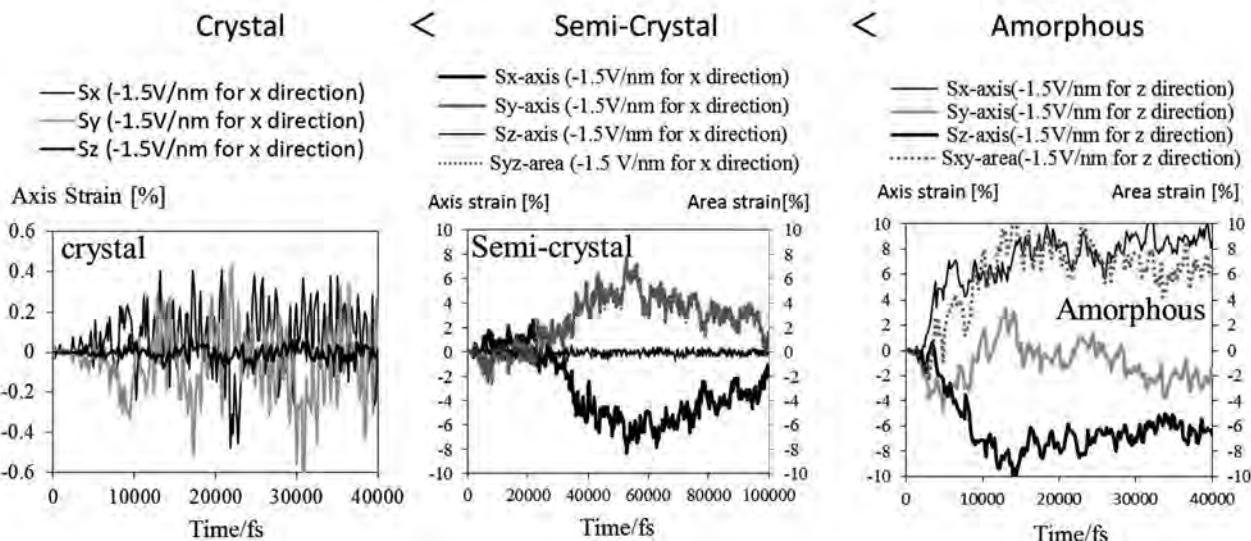


図 5-7 結晶 < 準結晶 < アモルファスとヤング率が小さくなるほど歪みが大きくなる度合

定型構造を持たない気体や液体などの低分子材料、あるいは非晶構造や化学的欠陥の存在により複雑な結晶構造を持つ高分子材料にはバンド理論が適用されず、これらの誘電・絶縁特性の電子構造の理論的な理解の妨げとなっている。これらの材料の特異性を加味し、量子化学計算の手法を用いて分子レベルで誘電・絶縁材料の電子構造の解析・理解を行う研究<sup>(4,5)</sup>によって量子化学計算の有用性を産業界や大学の有識者と意見交換<sup>(6,7)</sup>を介して確認しながら開発素子材料設計の効率化に貢献していく。

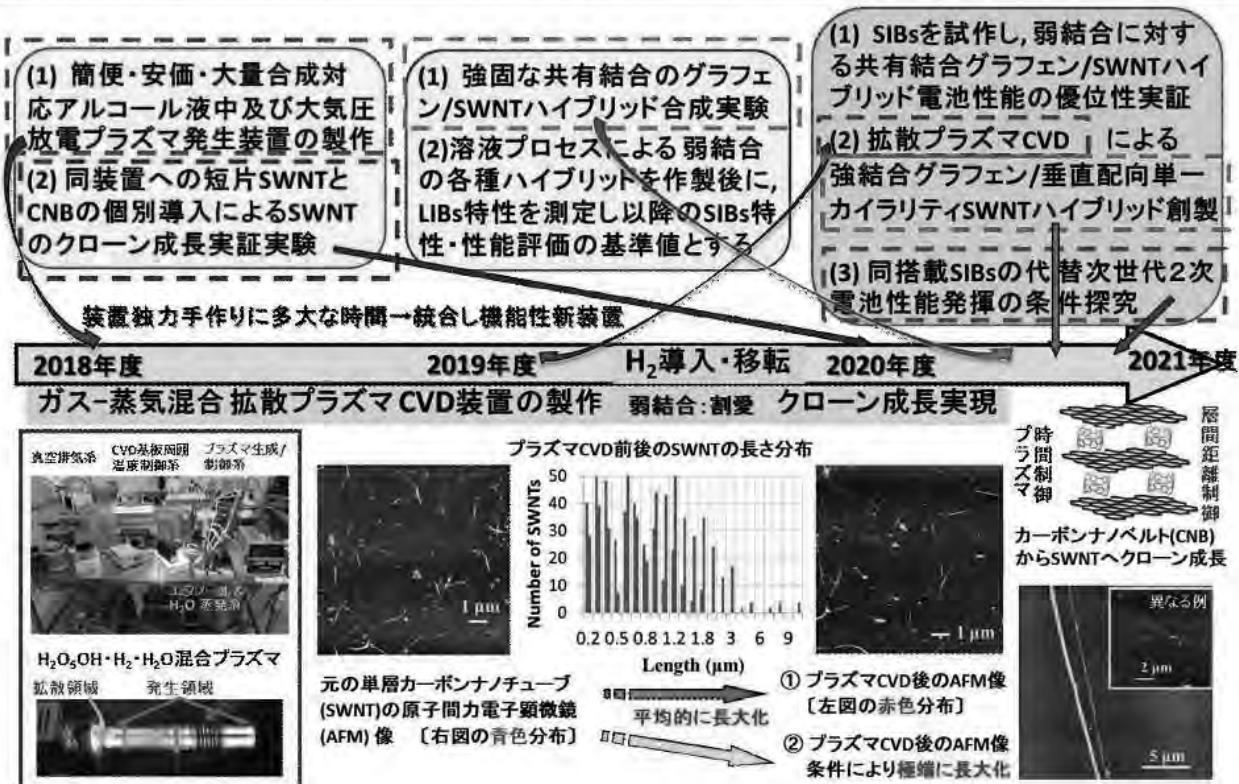
1. パワーコンバータに用いられるフィルムコンデンサの最新技術動向、平上 克之:指月電機製作所、竹岡 宏樹:Panasonic、大倉 正寿:東レ、寺園 勝志:安川電機、梶原 一宏:長崎総合科学大学、2019年電気学会産業応用部門大会。
2. Quantum chemical calculation study for the polarization evaluation of the semi-crystalline poly tetramethylene oxide elastomer, Ai Suzuki, Masayuki Miyano, Ryuji Miura, Gildas Diguet, Jean-Yves Cavaille, Gael Sebald, proceeding of 2019 IEE-Japan Industry Applications Society Conference.
3. Polarization and Elasticity Characterization in Crystal and Amorphous States of Polytetramethylene Oxide Elastomer, Ai Suzuki, Masayuki Miyano, Ryuji Miura, Jean-Yves Cavaille, Gildas Diguet, Gael Sebald, proceeding of the 16th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019) pp. 382–383.

4. G. Diguet\*, J. Y. Cavaille, G. Sebald, T. Takagi, H. Yabu, A. Suzuki, R. Miura, "Physical behavior of electrostrictive polymers. Part 1: Polarization forces" *Computational Materials Science*, *in press* 2021.
5. Nano Scale Characterization on the Electrostrictive behavior of Amorphous poly(tetramethylene oxide) Elastomer, Ai Suzuki, Masayuki Miyano, Ryuji Miura, Diguet Gildas, Jean Yves Cavaille, Gael Sebald [https://www.elyt-lab.com/sites/elyt-lab.com/files/lyonse-elyt\\_abstract\\_book\\_2020.pdf](https://www.elyt-lab.com/sites/elyt-lab.com/files/lyonse-elyt_abstract_book_2020.pdf) <https://www.universite-lyon.fr/international/-a-look-back-at-the-lyonse-n-elyt-2020-french-japanese-workshop-158392.kjsp>
6. 招待講演: 電気学会 電気電子・絶縁材料分野における量子化学計算の適用調査専門委員会 2020年8月3日  
“フランスリヨンとの静電摩擦における国際共同研究の取り組みについての紹介” 鈴木 愛
7. 招待講演: 日本レオロジー学会エレクトロレオロジー研究会 2020年12月9日  
“Polytetramethylene oxide (PTMO)結晶の誘電率および電歪効果に関する計算化学的研究” 鈴木 愛  
<https://www.srj.or.jp/library/593e2f9b3d23b5fd2a7a58b8/5f89cb671782544b3f60d4cb.pdf>  
<https://www.srj.or.jp/gyoji>

## 6 新規クローン・プラズマCVD法によるナノカーボンハイブリッドの創製

第一段階である「単層カーボンナノチューブ(SWNT)のクローン成長」に関し、アルコール・水素・水混合プラズマCVD (PECVD) でその条件を見出すことができた。今後は上記成果を基にして、グラフェン(GP)間に点在させた “原型小分子” のカーボンナノベルト(CNB)から SWNTへのクローン成長を実現し、プラズマ時間制御による GP 層間距離拡大を介して、ナトリウムイオン 2 次電池[SIBs]性能向上に有効な Na/Na+吸蔵空間を有する、次世代ナノカーボンハイブリッド (GP/SWMT) を創製する予定である。

### 進捗状況・成果: 新規クローン・プラズマCVD法によるナノカーボンハイブリッドの創製



## 7 モータ

小型・軽量・高効率なモータの開発を目的として、3次元構造を有するモータについて種々検討を行い、3枚の回転子を有するマルチギャップ SR モータにおいて、これまでの EV 用モータ ( $35\sim45\text{N}\cdot\text{m}/\text{L}@20\text{A}/\text{mm}^2$ ) を上回るトルク密度 ( $60\text{N}\cdot\text{m}/\text{L}@20\text{A}/\text{mm}^2$ ) が得られた。今後は、制御法も含めたマルチギャップ SR モータの最適化検討を進め、小型・軽量・高効率でかつ低価格な EV 用モータの実用化を図る。

研究テーマ：「磁気回路法による 3 次元構造モータの性能評価」

研究目的：EV の高性能化と自動運転化とともに、バッテリや電子情報通信機器の搭載量が増加している。駆動用モータも大容量化の傾向にあるが、走行距離の確保や設置スペースの削減のために、小型・軽量・高効率も要求される。しかし、これまでの EV に使用されているラジアルフラックスモータ（磁束が半径方向）では性能に限界があることが明らかになってきている。本研究は、磁束が半径方向に限定されない 3 次元構造による高性能モータの開発を目的とする。

研究成果：一般にモータの性能評価には FEM による磁場解析が利用されるが、3次元構造では解析時間が長大化する傾向がある。2018 年度は、簡易的な解析手法として磁気回路法を提案した。まず、異なる極数とスロット数を有するモータを統一的に扱うための基本的な磁気回路モデルを導いた。次いで、代表的な 3 次元構造モータであるアキシャルフラックスモータの磁気回路モデルを構築した（図 7-1）。本モデルによる計算時間は有限要素法に比べて 1 衍程度高速であり、モータの初期設計に有用であることが明らかになった。

2019 年度は、図 7-2 に示した 3 次元構造モータについてシミュレーションに基づく検討を行った。一般的 EV には永久磁石モータが使用されるが、ここでは磁石レスの SR モータの形状の自由度に着目し、(a) 横磁束を積極的に利用した SR モータ、(b) 横磁束を補助的に利用したアキシャル SR モータ、(c) 3 枚の回転子を有するマルチギャップ型アキシャル SR モータについて検討を行った。その結果、(c) のマルチギャップ SR モータにおいてトルク密度  $60\text{N}\cdot\text{m}/\text{L}@20\text{A}/\text{mm}^2$  が得られた。これは現行の EV 用モータの  $35\sim45\text{N}\cdot\text{m}/\text{L}@20\text{A}/\text{mm}^2$  を超える性能である。2020 年度は制御を含めたマルチギャップ SR モータの最適化について検討を進めている。同モータは複数ロータを有するため、必要出力に応じてロータ稼働数を変えれば、広いトルク範囲で高効率特性が得られる。また、複数のロータの位相をずらして配置すれば、トルクリップルの低減も可能である。本研究によって、小型・軽量で高効率、かつ磁石レスで低価格な EV 用モータの実現が期待される。

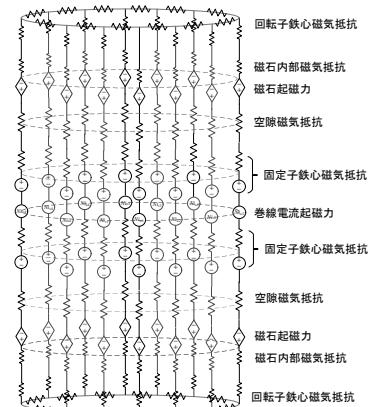


図 7-1 アキシャルフラックス  
モータの磁気回路モデル

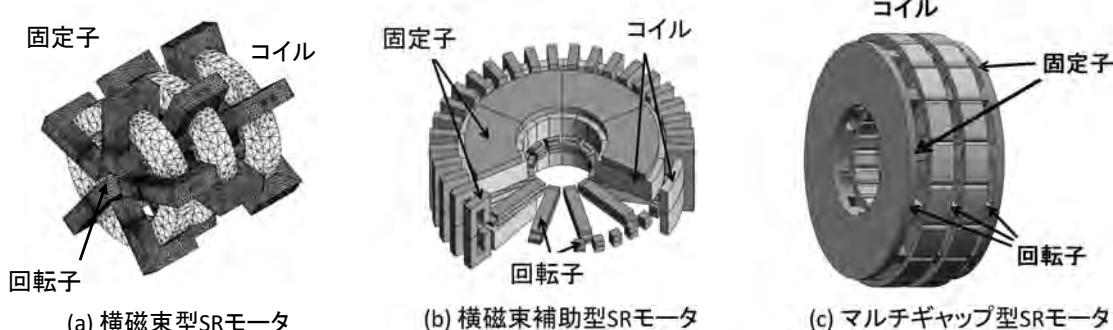


図 7-2 3 次元構造を有する SR モータ

今後の課題：ケイ素鋼板による 3 次元構造モータは、特殊な加工が必要になるため製作に手間がかかる。また、複数のロータと固定子で構成されるため、これらの支持にも工夫が必要。圧粉磁心やナノ結晶磁性材料など、圧縮成型によって任意形状の鉄心を製作することが可能な新しい磁性材料の適用についても検討を行う予定である。

## 8 磁気レオロジー材料を活用した高速応答性を有する動力伝達・制動系開発

近未来交通システムの移動体の動力伝達・制動系、及びサスペンション系などの車両基盤技術に関して、磁気レオロジー材料を活用した高度な機能と高速応答性を有する先進デバイス・制御システムの研究開発と、安心・安全・利便性を特徴とする移動体システムの社会実装に貢献する。

### (1) 車両用 MR 流体ブレーキ・クラッチの開発と先進車両走行制御システムの構築

MR (Magneto-Rheological) 流体は、磁場に反応してその粘性を大きく変化することができる機能性流体である。近未来交通システムの自動運転車や自動車の全電動化への対応と摩耗粉やブレーキ音の発生しない環境に配慮した車両用ブレーキとして、機械的摩擦に頼らないこの MR 流体を活用した応答性・制御性の良さを特徴とする新発想の電動式の「MR 流体ブレーキ」を開発しており、スマートモビリティの一つとして期待されている小型 EV の四輪に実装し、ブレーキフィーリングの可変制御など MR 流体ブレーキの特徴が発揮できるユニークなブレーキバイワイヤシステム (Brake By Wire System) を構築して走行試験等の実証試験を実施しており、実用化・商品化への橋渡しをしている。さらに、MR 流体ブレーキの高速応答性とブレーキトルクの安定性を特徴とした、低摩擦路（路面凍結路等）での車輪ロックを防止し制動に適した状態へシームレスに保ち続ける先進的な ABS (Antilock Brake System) 制御を実現している。前後加速度に大きな振動が無く、またブレーキバイワイヤであるためにペダルからの不快な反力がないので、運転者が違和感や不安感なく制動することができ、ABS によって制動距離を約 30%程度短縮することができている。今後、MR 流体ブレーキの高速応答性と柔軟な制御性を活かした自動運転車の走行制御の向上について研究展開する予定である。

また、MR 流体を活用した動力伝達システムとして、時間的にスムースな動力伝達を実現する MR 流体クラッチを開発し、車両発進クラッチを想定した試験装置によって実証試験を実施し、動力の連結・解除をスムースに行えることを実証している。

以上で開発した車両用 MR 流体ブレーキやクラッチの実用化への最大の問題点は、-40°C程度の低温環境下での MR 流体の粘性上昇に伴う引摺りトルクの増大であり、その解決手段として、MR 流体と同様な機能性を呈しつつ低温環境下でも粘性の上昇がほぼない、オイルフリーのドライ MR 流体(高い流動性を有する磁性粉)を開発している。

### (2) ドライ MR 流体の創製とその車両用ブレーキ及びクラッチ・ブレーキへの応用

既存の MR 流体を車両の各種デバイスに応用する場合には、環境温度が-40°C～160°C程度まで、問題なく使用できることが要求される。MR 流体がオイル等の液体を分散媒としていることから、低温時の粘度上昇が問題となる場合が多い。特に、クラッチやブレーキ等の動力伝達・制動装置に活用する場合には、低温環境下での MR 流体の粘度上昇による引摺りトルクの著しい増大が問題となる。その解決策として、オイル等の液体の分散媒を用いないガス中にナノ SiO<sub>2</sub> の微粒子を Core-shell コーティングした強磁性体微粒子を分散した高い流動性を有する磁性粉からなるオイルフリーのドライ MR 流体 (特許申請) を提案し、開発してきている。

本プロジェクトでは、更なる流動性と MR 効果の向上を目指した研究を実施し、ナノ TiO<sub>2</sub> を鉄粒子表面に機械的にコーティングした Core-Shell 構造をもつ鉄粒子パウダーからなるドライ MR 流体を開発し、流動性が従来開発してきたものより 1.5 倍程度優れており、MR 効果もオイルを用いた MR 流体の 2 倍程度の応力を発揮することを見出し、著しく高性能なドライ MR 流体を開発することができた (追加特許申請)。

開発したドライ MR 流体を車両用の車輪ブレーキやクラッチ・ブレーキ一体型動力伝達・制動装置に応用することを試みている。小型 EV 用の車両用多層ディスク型ドライ MR 流体ブレーキを開発し、小型 EV の四輪に実装して走行試験を実施し、良好なブレーキ性能を発揮することを実証している。今後、ABS 制御の適用や、開発したドライ MR 流体ブレーキの高速応答性を活かした自動運転車の走行制御の向上について検討する予定である。



図 8-1 四輪に MR 流体ブレーキを実装した小型 EV



図8-2 四輪にドライMR流体ブレーキを実装した小型EV

また、新規に開発した高性能なドライMR流体を作動媒体とするドライMR流体クラッチ・ブレーキ一体型動力伝達・制動装置を開発し、その基本性能試験を実施して性能を評価し、良好な結果を得ている。今後は、ハイブリッド車両の制動時のエネルギー回生時における精緻なアシストブレーキの実現を目指して、実際に車両搭載して実証試験を行う予定である。



図8-3 ハイブリッド車両用のドライMR流体クラッチ・ブレーキ一体型動力伝達・制動装置

### (3) 可変減衰・剛性機能を有する高性能な車両サスペンション系の開発

車両システムの安定性や乗り心地向上を目的に、鉄道車両の台車のカーブ走行時の安定性を向上するための、Shear-Thickening流体(STF)を活用したダンパを内蔵したゴム軸継手や、車両の乗り心地向上を目指した2つの永久磁石ペアからなる非線形負剛性発生装置を装着した車両用MR流体ダンパ・支持バネサスペンション系等を開発した。

Shear-Thickeningゴム継手は、STF(ethylene glycolに粒径14nmのfumed silicaナノ粒子を分散した流体)があるせん断速度を越えると急激に粘度が増大する特性を有していることから、振動周波数によって剛性が変化する可変剛性機能を発揮することを明らかにし、鉄道車両のカーブ走行時の安定性向上に結び付くことを提示することができた。

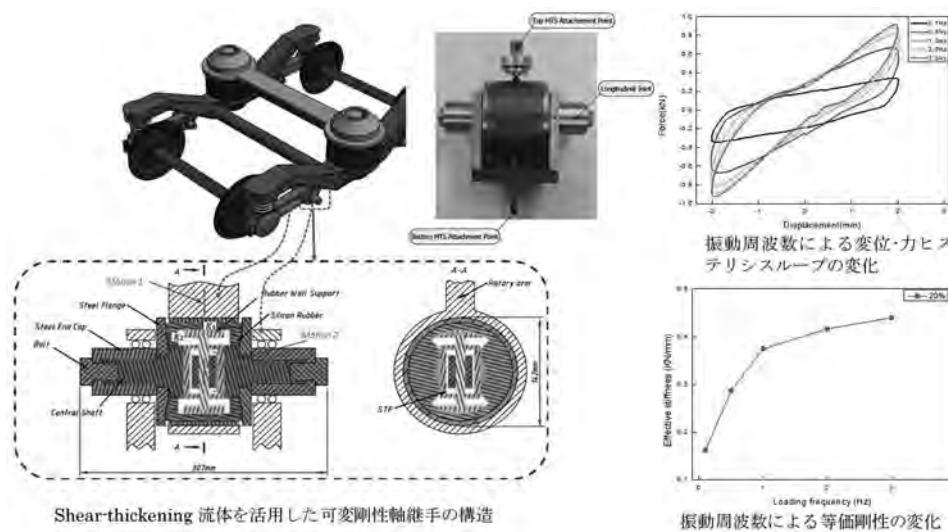


図8-4 Shear-thickening流体を活用した鉄道車両台車用の可変剛性軸継手

また、2つの永久磁石ペアからなる非線形負剛性発生装置を装着した車両用MR流体ダンパ・支持バネサスペンション系は、ファジー制御を適用して減衰だけでなく剛性可変も施すことによって、従来のオイルダンパーを用いたパッシュ式サスペンション系やMR流体ダンパを用いたセミアクティブサスペンション系の性能と比較して、著しい振動

制御性能を発揮することを実証できた。今後、実車両に展開して、車両の乗り心地性能等の実証試験を行う予定である。

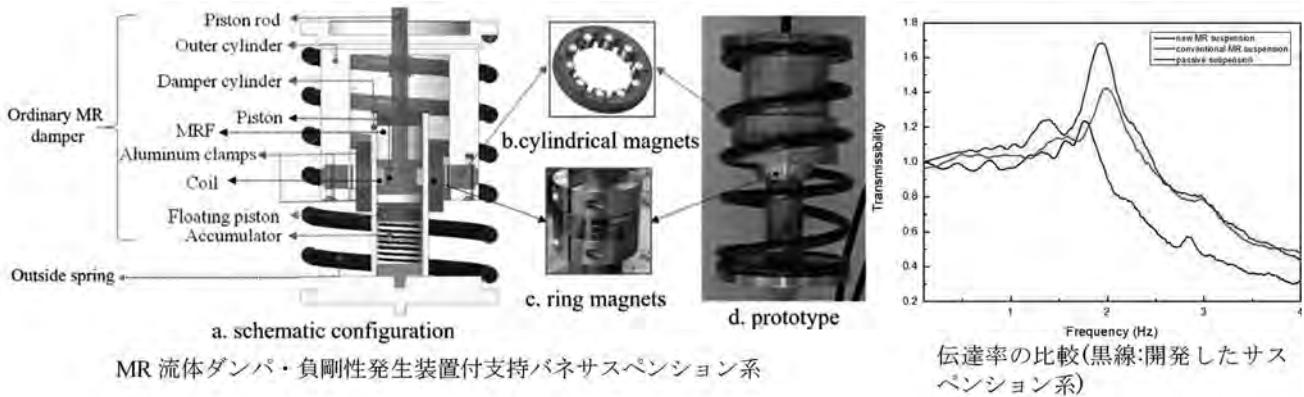


図 8-5 2 つの永久磁石ペアからなる負剛性発生装置を装着した車両用 MR 流体ダンパ・支持バネサスペンション系

## 9 自動運転技術・社会実装 LiDAR と地図に基づく先進自動運転技術の開発

特徴： 少ない労力で広範囲の自動運転を実現する技術の開発

- ・開発した自動運転技術を小型電気自動車に実装し、自動運転の実証実験と、公道での交通データの収集を継続して行い、収集したデータを元に、自動運転の要となる駐車場所などの意味を持った地図の構築を行った。
- ・自動運転技術の応用展開として、大型ダンプトラックの自動運転、消防ロボットの自動化、防爆ロボットの自動化などを企業と一緒に取り組み、成果の一部を社会実装し、一部実用化した。
- ・今後、自動運転技術をさらに他分野への自動化に適応させるべく技術開発を行っていく。

2018 年：特殊環境下の自動運転技術の開発/走行テストに基づく技術課題の抽出と技術開発

2019 年：特殊環境下の自動運転技術の開発、交通網で自動運転や運転支援を行う技術の開発

2020 年：特殊環境下の自動運転技術の社会実装、自動運転技術の他分野への応用

### （1）研究開発の進捗状況

LiDAR と地図に基づく自動運転技術の開発に取り組んだ（図 9-1）。特徴は少ない労力で広範囲の自動運転を実現する技術開発を行ったことであり下記要素を開発した。

- ・衛星写真と整合性がとれたロボット用地図をリアルタイムに構築する方法の開発[1]
- ・少ない労力で密な意味を持った地図（セマンティックマップ）を構築する方法の開発[2]
- ・周囲の車両や人などの移動体の観察から交通ルールを抽出する方法の開発[3]
- ・広範囲の地図の中で高速に経路を探索する経路計画方法の開発[4]

また、これらの技術をもとに、三菱重工業と共同研究で、石油化学コンビナートの大規模火災を自動で消火するロボットの開発（図 9-2）や、化学工場の点検を自動で行う防爆ク



図 9-1 自動運転車

ローラロボットの開発（図 9-3）を行った。消防ロボットは、2019 年 4 月 1 日から千葉県市原市の消防隊（ハイパードラゴン）に試験導入され、現場利用のための訓練や改善点の洗い出しを継続して行っている。消防隊員からの改善要求に基づいて地図生成の改善にも取り組んでいる。防爆ロボットは、2019 年に日本と米国の施設を利用した実証実験を終え、実用化に向けた準備が整った。今後、実際のユーザーの開拓と現場適応に取り組む。

さらに、自動運転で培った技術を、NEDO 支援のもと大型ダンプトラックの自動運転（図 9-4）[5]や、自動飛行ドローンを利用したインフラ点検[6]やイヌのナビゲーションの研究（図 9-5）[7]にも取り組んでいる。残りの期間を通じてその他の自動化の研究開発と社会実装も加速させる。



図 9-2 消防ロボット自動化



図 9-3 防爆クローラ自動化



図 9-4 大型ダンプ自動化

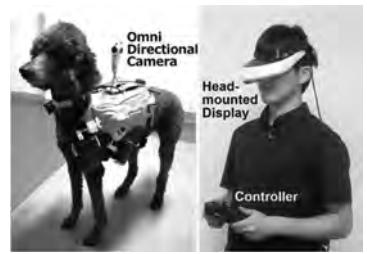


図 9-5 イヌの遠隔操縦

## (2) 実用化に向けて残された課題

- ・バスの自動化に向けて、人や資金を投じて実際の交通網で自動化を行いたい事業者の開拓が課題である。
- ・道路標識など、人間が利用している標識と連携した自動運転の技術開発が残された課題である。

## 参考文献

- [1] AU. Shamsudin, et al. "Consistent Map Building in Petrochemical Complexes for Firefighter Robots Using SLAM Based on GPS and LIDAR," ROBOMECH Journal, Vol. 5, No. 1, 2018. DOI: 10.1186/s40648-018-0104-z
- [2] T. Westfechtel et al. "Fusion of Camera and Lidar Data for Large Scale Semantic Mapping," ITSC, 2019. DOI: 10.1109/ITSC.2019.8917107
- [3] T. Westfechtel et al. "Parking Spot Estimation and Mapping Method for Mobile Robots," IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), Vol. 3, No. 4, pp. 3371 – 3378, 2018. DOI: 10.1109/LRA.2018.2849832
- [4] N. Mizuno et al. "Enhanced path smoothing based on conjugate gradient descent for firefighting robots in petrochemical complexes," Advanced Robotics, pp. 687-698, 2019. DOI: 10.1080/01691864.2019.1632221
- [5] T. Komatsu et al. "Autonomous Driving of Six-Wheeled Dump Truck with Retrofitted Robot", In Preprints of the 12th International Conference on Field and Service Robotics., 2019.
- [6] C.J.O. Salaan et al. "Close visual bridge inspection using a UAV with a passive rotating spherical shell," Journal of Field Robotics, Vol. 35, No. 6, pp. 850 – 867, 2018. DOI: 10.1002/rob.21781
- [7] H. Nishinoma et al. "Canine Motion Control using Bright Spotlight Devices Mounted on a Suit," IEEE Transaction Transactions on Medical Robotics and Bionics, Volume 1, Issue 3, pp. 189-198, 2019. DOI: 10.1109/TMRB.2019.2930343

## 10 自動運転用ヒューマンマシンインターフェース (HMI)

自動運転ではドライバーは運転から解放されるため睡魔に襲われる可能性が高く、睡眠した場合に覚醒させ安全に寄与する自動運転車用 HMI の開発において、実車による公道実験の危険回避としてドライビングシミュレータ(DS)を活用した事前評価を実施。また、巨大地震発生を想定した津波警報発令直後の避難時における危険予知意識向上と行動の改善に資する教育用アプリケーションの開発評価を行う。

### (1) 自動運転用 HMI の開発 (2017 年度から I 社と共同研究を実施)

**目的 :** 自動運転ではドライバーは運転から解放されるため、睡魔に襲われる可能性が高く、もし睡眠した場合でも覚醒させる安全に寄与する HMI の開発

#### 方法 :

- ・走行中の睡眠という実車では不可能なシチュエーションを DS 活用により可能にする環境を構築
- ・ドライバーの五感の内、味覚以外の触覚、嗅覚、聴覚、視覚を刺激する方法を覚醒 HMI に採用。既存の乗用車に搭載されているデバイス(図 10-1)への追加機能を持たせ、導入の容易さも考慮した研究開発の実施
- ・触覚（顔への送風あるいは振動）や嗅覚（アロマ）による覚醒実験により、最も快適に覚醒できかつ安全に自動運転から手動運転に切替えられたかを心拍、眼球運動、体動、運転操作量から総合的に評価

#### 結果 :

- ・3 種類の覚醒デバイスによる覚醒結果として、覚醒後の運転操作に顕著な差異はなく、どのデバイスでも運転可能な状態まで覚醒はできた。
- ・快適性に関しては、今回、無意識に行っている瞼の開閉の時間を指標として、覚醒デバイスを起動させてから瞼が開くまでの時間を計測(図 10-2)。結果、アロマが一番ゆっくり開閉し、振動は瞬間に開閉、送風はアロマとは有意

差がなく、振動とは優位差がある結果となった。

- ・ただしアロマは、睡眠中鼻呼吸の場合には有効だが、口呼吸の場合覚醒しなかったドライバもいた。
- ・確実に覚醒ができかつ快適性が高い「送風による覚醒」が有効的であることが示された。送風は、既存のエアコンに指向性を持たせアクティブに制御することで、ピンポイントでドライバの顔へ送風が可能なため、OEM（車メーカー）へ提案しやすいのも特徴。

今後： 現在は、年齢層の幅を広げての有効性確認実験を行っており、また睡眠判定から覚醒デバイスの起動タイミングの自動化アルゴリズムの検証実験を経て、本格的な商品化に移る。



図 10-1 検討した覚醒 HMI デバイス

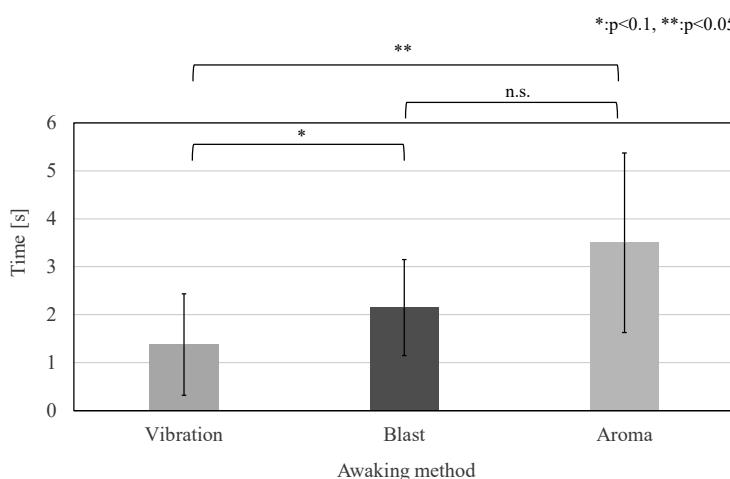


図 10-2 瞼開閉時間による覚醒 HMI デバイスの快適性指標

(2) 高齢者支援：逆走対策（国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所、建設技術研究所との共同研究実施）  
目的：県北高速幹線道路が本格的に開通すると三陸自動車道への交通量の増加から料金所が無い三陸道での逆走增加  
が懸念され、2015 年に導入した対策に新たな追加の対策案を策定

方法：

- ・対象の登米 IC はダイヤモンド型の IC のため、以前対策を実施した河北 IC のトランペット型 IC と異なることから、登米 IC での現況の対策の有効性の確認とその対策案の応用として図 10-3 に示すように、①三陸自動車道下までカラ

一舗装の延長、②出口部に注意喚起看板を設定。

- ・ダイヤモンド型 IC は入口 2か所、出口 2か所あるため、カラー舗装延長により入口へのスムースな誘導が出来ているか、出口は、反対側の出口に進入しないよう看板に気付くかなど運転中の主に高齢ドライバ視線移動を計測。
- ・さらに、わざと出口に進入して逆走する自動運転車（高齢ドライバは運転せず）に乗っていただき、②の対策案の看板に気付いて車両を停止できるかの確認実験。

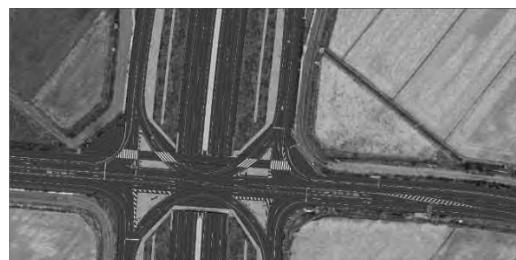
結果：

- ・追加の対策案として、右折レーンからのカラー舗装は、視線で追っている方もおり、IC 入口への誘導として一定の効果を確認（図 10-4 参照）。IC 出口から一般道へのルートでは、設置した看板を視認しており、出口への誤進入の抑制になっていると言える。
- ・カラー舗装の延長により、三陸自動車道高架下の交差部において、カラー舗装を踏まない運転挙動が見られ、道路の中央走行を促し、逆走するリスク低減に寄与している。
- ・IC 出口に新規に立て看板を 2枚設置に関しては、自動運転車の逆走においても視認されており、自動運転の実験では、逆走に至る前に停止する行動が高齢ドライバでも確認できたことは、設置は効果的であると言える（図 10-5 参照）。

**今後：** 当初の対策案では含まれておらず、視線計測結果の新たな知見として、現行の IC 入口でのカラー舗装を図 10-6 (1)と関連付けて連続的に見えるように図 10-6 (3)に示す位置までカラー舗装を延長することがより効果的となることが視線計測から明らかになり、県北高速幹線道路の開通までに登米 IC に追加逆走対策案の実施を加速させる。



(a) : 現況の登米 IC CG モデル



(b) 対策案の登米 IC CG モデル



(c) 右折レーンからのカラー舗装



(d) 出口部分に「進入禁止」の看板

図 10-3：対策案 CG 上実装



IC 入口



IC 出口

図 10-4 視線の注視頻度分布



図 10-5 誤進入（逆走）による注視頻度分布



図 10-6 登米 IC 追加逆走対策案

### (3) ドライバ支援 (J社との共同研究)

**目的：**スマートフォンなどの普及に伴い、運転中の操作による注意散漫を検知するシステムの開発

**方法：**運転中をわき見の検出のための実験は、実車では安全面の確保が難しいため、ドライビングシミュレータを活用して、まずはドライバーのスマートフォン操作による行動分析を実施中

### (4) 地元企業支援

**目的：**ソフトエンクロージャーを応用した自動車の椅子に置くクッションタイプのスピーカーは、音を人が振動として感じられる体感を主にした商品のため、アンケートなど定性的な評価だけでなく、数値で定量的に示すことで商品の評価方法を確立

**共同研究先：**エンサウンド株式会社（東経連ビジネスセンター「新事業開発・アライアンス助成事業」）

**方法** 唾液によるストレス度計測と心拍コヒーレンス（呼吸と心拍数の同期）計測を行い、アンケート調査と生体計測との相関を調査

- ドライバーに振動が伝わるため、走行に起因した振動に加わることでの不快、または振動による臨場感向上による愉快を確認するために、動搖装置付 DS を活用し走行実験を実施

**結果：**

- 商品の評価を定性的かつ定量的な評価に基づき評価を行い、市場展開が期待できる結果が得られた
- 2019 東京モーターショーに出展。来場者体験による大きな宣伝効果は商品化を加速。
- 2020 年に商品化し販売を開始



図 10-7 商品化した「エン・サウンドクッション」



図 10-8 2019 年東京モーターショー出展

- (5) 防災・減災**（愛知工科大学との科研費基盤(B)）  
**目的：**防災教育の一手法として、南海トラフ巨大地震発生を想定した津波警報発令直後の避難時における危険予知意識向上と行動の改善に資する KYT (Kiken Yochi Training) シート・アプリケーション（以下アプリ）の開発と評価  
**方法：**

- ・科研費若手(B)16K16159 「震災時の心理に基づく避難誘導ではない避難方法についての研究」の成果を基盤に、避難経験者（宮城県石巻市の住民）を対象とした AR とドライビングシミュレータによる歩行者/自動車混在環境下の避難訓練実施と危険予知意識のデータ取得（視線計測の追加）
- ・避難経験者のデータに基づく KYT シート・アプリの開発
- ・避難未経験者（愛知県西尾市の住民）を対象とした KYT シート・アプリの運用
- ・避難未経験者を対象とした AR とドライビングシミュレータによる歩行者/自動車混在環境下の避難訓練実施と危険予知意識のデータ取得、および結果解析による KYT シート・アプリの効果検証

### KYT シートのイメージ

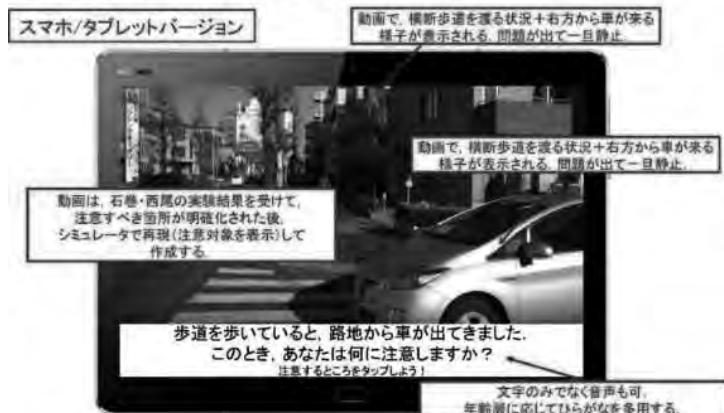


図 10-9 KYT シートアプリの開発イメージ

## 11 産学共創による拠点構築

**(1) 青葉山キャンパスにおける次世代モビリティ共同研究・実証ショーケースの構築**  
東北大学青葉山キャンパスにおける交通環境は、2015 年 12 月の仙台市営地下鉄東西線・青葉山駅の開通により、大きく変化した。さらに、青葉山新キャンパスにおいては、災害研、環境科学研究科に加え、農学研究科が雨宮から青葉山に移転、新キャンパス人口が急増、さらに 2018 年度にユニバーシティハウス（752 名収容）が完成、次世代放射光施設の建設も開始されている。これに対し、旧キャンパス（工学部、理・薬学部）には青葉山キャンパス内循環便が上記東西線の開通以降、運行している。一方、新キャンパスにおいては、公道上を走るバスが遠回りとなり利便性が落ちるため、キャンパスモール上の移動を円滑にする新たな手段のニーズが高くなっている。

本プロジェクトではこれまで、重点戦略支援プログラム（2010-2014）や文科省プロジェクト等の取組で、EV バス、超小型 EV、PMV（電動自転車等）の車両を導入・検証してきたが、これらを有効活用して定常的に運用するために、持続的な運用体制として、定常的に運行管理・監視、運転等を行う人員や駐車場所等の確保が必要として、毎年総長裁量経費を要求し、青葉山における安全・安心かつ次世代に向けた移動体系の構築を提案している。

これまでの取組から、下述するように周辺地域（泉 PT、利府町、福島等）への展開体制を構築済であり、まずその前段として青葉山キャンパスにて先進的な実証を行い、地域に連続的に展開する先進実証フィールドの確立に向けて進めている。これには、研究テーマ 2 に上述した新 PMV（電動キックボード）実証や 5G 応用実証など、多くの企業との共同研究・プロジェクトが創出されつつある。特に、2020 年度においては、NTT ドコモとの協力により、NICHe 未来産業技術共同研究館の屋上に 5G 基地局を東北大学キャンパス内として初めて設置し、その利活用促進により新たな産学共同研究の獲得に向けた先進 ICT 基盤の一つとしている。この活用例としては、上記研究テーマ 9 および 10

の連携により、DS（運転シミュレータ）と自動運転EVを5Gネットワークで通信接続し、高速大容量かつ低遅延な通信による遠隔運転・自動運転の実証を進める予定である（2020年秋～冬予定）。このように青葉山では、比較的柔軟に実証フィールドとしての実証実験を行えるよう先進的な環境整備や学内手続の整理等を行っている。閉鎖環境である利点を活かし、公道上では困難な実証実験を行うことが可能であり、それによる産学共同研究に繋げていけるよう推進していく。

また、先進モビリティの運用システムを自転車・公用車シェアをベースに学内利用拡大に向けて発展させることを提案している。学内における運用システムは既に NICHe 内での公用車利用システムとして実装されており、これを元に地域実装可能なモデルに発展させることを下記(B)の泉パークタウンにおける 2020 年度の取組として予定している。

これらの様々な先進実証への協力で得られる実証データの収集・蓄積は、今後の AI 等研究の貴重な資源となるものであり、既に下記 (B) や (C) における実証も含めて一部データの収集・蓄積は始められている。このように集積されたデータをオープン・ソーシャル・データとして利活用し、新たな地域サービスを創出することが今後のプロジェクトの一つの重要な資源となると考えられる。



図 11-1 青葉山新キャンパスにおける新交通（案）

## (2) 仙台市特区を活用した次世代モビリティ地域社会モデルの実装（泉パークタウンにおける取組）

仙台市においては、2015年にドローンや自動運転等の近未来技術実証を推進する国家戦略特区として認定を受けた。2016年3月に仙台市東部荒浜地区においてその公開デモを行った。また2016年8月に特区構想を推進する地域産学官連携体制として、宮城県、仙台市、東北経済連合会（東経連）、東北大大学の4者を発起人として「東北次世代移動体システム技術実証コンソーシアム」を設立した。同コンソーシアムには、みやぎ自動車産業振興協議会、みやぎ工業会などのべ1,300社を数える地域企業の団体が参加している。この特区構想の推進の一つとして、東経連の紹介を通じ、L社より同社が開発造成を行っている仙台市北部の泉パークタウンにおいて、自動運転等の次世代モビリティの導入実装による先進的まちづくりへの取組の協力要請がされ、



図 11-2 泉パークタウン寺岡地区における GSM 運行実証  
(2019年5月27日～6月4日)

それに応じて 2017 年 10 月に紫山住宅展示場にて、超小型 EV（コムス）自動運転や小型 EV バスによる巡回サービスのデモを地域住民代表（自治会長）や地元警察関係者などを対象に実施した。これを契機として、同コンソーシアムを元に、L 社、M 社、N 社を企業メンバーとして、東北大学 NICHe および東経連と連携し、泉パークタウンにおける構想の策定と推進を行ってきた。

その後の検討を経て、2019 年 5~6 月に、同パーク寺岡地区においてグリーンスローモビリティ（GSM）と呼ばれる小型 EV バスの試乗デモを実施し、時速 20km 未満という制約ながら、高齢化率が 40% 超と高齢化が進む同地域における短距離移動には一定の有効性があることが示された。

さらに、同実証を元に、三菱地所を中心として令和元年度宮城県エコタウン形成事業化支援事業の採択を受け、本学はその再委託を受ける形で取組を行っている。大学がモデル的な提案をデモ実証等を通じて示した計画に対し、企業が呼応して構想実現に進んだモデル的取組と言える。

同事業においては、次世代モビリティを中心とした以下のような新たなまちづくりモデルの提案・構築・実証・実装を行っている。2019 年度においては、2020 年 1 月から 2 月にかけて実証運行を行った。2020 年度においては、前年度の概ね 11 月前後の 1 ヶ月間に渡り実証運行を実施する予定である。

#### 1) 安全・安心かつ地産地消可能なマンガン系リチウムイオン二次電池を活用した地域再生可能エネルギーによる創・蓄・充電システム

上記研究テーマ 1 で述べた地元産のリチウム電池を活用し、ソーラーパネルと組合せて非常時用電源システムとして製品化を達成した「ワンダーパワーステーション（WPS）」（製造：D 社、販売・設置：E 社）を現地拠点に設置した。最大出力 1.2kW の太陽光パネルに対し、最大 2.7kWh の電力量を蓄電できる。UPS を通じ、AC100V を EV 等に供給可能である。2020 年度にはシステムの蓄電量や発電量を遠隔モニタリングできる環境整備を行った。

#### 2) 上記地域再生可能エネルギーによる地域内ファーストマイル次世代モビリティサービス

本プロジェクトでは、他では「ラスト（ワン）マイル」「端末交通」などと称されるのに対し、「ファーストワンマイル」または「ファーストマイル」として比較的限定された地域内の移動において先進技術を投入し、次世代モビリティを活用した新たなまちづくり・地域づくりを提案している。ただいざれにしても、より効率的かつ持続的な移動体系の構築には、単一種類の移動手段のみではなく、適材適所に多様なモビリティを有機的に組合せ、連携させることが重要と考えられる。その点で、本プロジェクトにおいては、次世代モビリティの導入実装にあたっては、他の従来の交通手段との連携調整を重要視している。泉パークタウンにおいては、同地域における主要な公共交通である O 社の路線バスとの協調に配慮しながら取組を進めている。

#### 3) 上記モビリティサービスの活用を拡大するマルチナビゲーションシステム

上記モビリティの運用を援けるため、車両の位置情報の発信システムの導入、利用者の位置情報に応じ、近傍のバス停・駅等の公共交通について時刻表情情報や接近情報の表示、現在地や目的地における施設・スポット情報などを地図上に表示した、地域内マルチナビゲーションシステムについて、地元 IT 企業であるアンデックス社と共同開発し、その実装・実証を行っている。地元 IT 企業が必要に応じて機能追加・修正等を行うことで地域ニーズに密着したアプリシステムとして成長発展していくことと、さらに利用者の移動情報を活用することで商業施設等との連携により新たなビジネスを創出することを期待している。同企業とは 2018~2019 年に渡り、東経連ビジネスセンターによるアライアンス助成事業に採択され、「東北大学オープンキャンパスアプリ」を機能発展させた「東北大学青葉山マルチナビゲーションアプリ」や、それを泉パークタウンに適用した「泉パークタウン & NAVI」といったスマホアプリの開発・リリースを行った。本事業ではその「泉パークタウン & NAVI アプリ」を活用し、時刻表情情報の更新修正や施設情報の充実化に加え、宮城交通路線バスとの連携機能や、超小型 EV（コムス）を活用したカーシェアリングのための機能追加を 2020 年度中に予定している。

#### 4) 上記ハード・ソフト等システムの地域住民主体での運用体制の構築

以上のハード・ソフトについては、関係企業との連携や自治体等による補助等で導入を行えたとしても、その後の運用・運営を持続的とするためにはそのコストを誰がどのように負担していくかが重要である。本取組では、地域住民を含め、かつ関係する交通事業者（宮城交通など）や三菱地所のような地域運営事業者（デベロッパ）、また地域内における商業施設等の事業者、および自治体等で構成された運営協議会体制の構築を検討している。これはいわゆる地域公共交通会議の前段ともなり、利用者である地域住民や、そうした利用者が地域内を回遊することで生じる経済効果によって利益を得る事業者等が協議し、そのような経済循環を支える地域内交通システムの運営コストの分担や、その運営ルール等を地域主体で決めていく体制となることを目指している。この体制の参考例としては、前プロジェクトで連携した宮城県石巻市における日本カーシェアリング協会によるコミュニティ・カーシェアリングの取組なども参考に検討している。



図 11-3 泉パークタウンにおける地域型交通システムのモデル

この泉パークタウンにおいて構築・実証したモデルを元に、東北次世代コンソーシアムの枠組を通じ、下記の福島県浜通り地区をはじめとした様々な地域への展開を目指している。本モデルを構成する各種のハード・ソフトに本プロジェクトや本学内におけるシーズが活かされていくことにより、大学シーズを円滑に社会実装に向けて展開させていくプラットフォームとなることが期待できる。本プロジェクトのテーマ1であるリチウム電池はその具体的な一例である。

### （3）福島復興に貢献する福島ロボットテストフィールドにおける拠点構築

東日本大震災以降、「みやぎ復興パーク」における本プロジェクトの取組により、先進技術・知見を活用した新たな地域交通システムの提案と、安全・安心で地産地消可能なリチウムイオン電池の量産化を果たした。さらに福島ロボットテストフィールド（RTF）の拠点化と実証環境整備により福島浜通りにおける社会課題解決と新産業創造振興に貢献を果たしていく。

#### 1) ロジスティクス交通システムの開発提案

要求技術が高い「安心・安全・利便」を追求した技術を移動体という媒体で具現化させ、多様な地域特性に即した形に対応できるロジスティクス交通システムの開発提案を行っている。そのモデルとして、青葉山での実証フィールドの活用と多賀城拠点による事前評価に基づき、交通弱者人口の増加する都市郊外団地内グリーンスローモビリティシステム実証試験を行ってきた。並行して産学官連携を更に推進しシーズを確実なものにするとともに、地域社会に根付くシステム開発提案を加速させていく。

#### 2) 福島復興知事業（2019年度～）

モビリティ・イノベーション連携会議に参画する大学・研究機関メンバーを中心、産学共創による拠点を構築し、次世代モビリティ（自動運転、EV、コネクテッドモビリティ、新サービス（いわゆる CASE））の社会実装と新産業創出・人材育成およびそれらによる国際連携を推進する。

本事業の目的は、イノベーション・コラボレーション構想の中心的拠点である福島ロボットテストフィールド(RTF)において、学中心のモビリティ研究拠点を形成し、東北大学が中心となり全国の大学ネットワークにより次世代モビリティ研究開発・実証実験・社会実装を進める様々な産学共同研究を集め、かつ地域への普及啓発と人材育成のための活動を展開することである。そのため、先進的なモビリティ研究を進められる実証環境の整備を進めると共に、当該分野に関する普及啓発・人材育成活動を行っている。

#### A) 事業の概要

本事業においては、東北大学が先行して福島相双地区に拠点形成を行い、モビリティ・イノベーション推進連携協議会に参画する大学・研究機関メンバーを中心、同拠点において産学共創活動を展開し、次世代モビリティ（自動運転、EV、コネクテッドモビリティ、新サービス（いわゆる CASE））の社会実装と新産業創出およびそれらによる国際連携の推進を目指している。2020年3月に、南相馬市にドローンや災害救助ロボットなどのフィールドロボットの実証を目的として福島ロボットテストフィールドが完成した。当該フィールドには、トンネル・橋梁、模擬市街地、不整地、周囲走行路など、自動運転などモビリティを対象とした実証フィールドが整備され、今年度中には5G基地局の

設置運用が予定されるなど、充実した実証インフラ環境が整備される予定である。本取組ではこの充実した実証フィールドを先行的に活用し、これまで本プロジェクトがみやぎ復興パーク拠点で積み上げてきた東北復興に向けた次世代モビリティに関する知見・経験をもとに、東大等との連携により、3~7年の産学共同研究開発を経て具体的な新事業創出といった出口化を目指す。

### B) RTFにおける研究開発・実証環境の整備

実証環境整備においては、RTFには既にモビリティ研究に必要な実証走行路等は整備されている。これに加え、2019年度に、各実証実施者が共通に利用可能なプラットフォーム実証車両として小型電気自動車（トヨタコムス）を導入し、これに、最先進の情報通信環境を整備することにより、次世代モビリティの研究開発・実証実験・社会実装を進めることができると考えている。また、RTFの実証フィールドは2020年3月に完成したが、2020年度には一部のフィールドに5G通信環境が整備される予定であるなど、その後も環境の更新発展が期待できる。

- ・5G基地局：トンネル、プラント、市街地各フィールドに整備予定  
　　運用開始：2020年9月頃（公開情報では11月までに整備完了）
- ・自動運転用プラットフォーム車両の導入・構築：  
　　2019年度：LiDAR等のセンサ類設置、カメラ（GoPro）、GPS等設置可。  
　　2020年度：駆動用車載電池を東北大製リチウム電池に換装、  
　　センサ・システム類へのDC電源設置



- ・プラットフォーム車両設置したLiDARによる計測テストの実施
- ・地域ITS情報センターの構築：3D点群データの見える化システム構築
- ・自動運転等に関する法的検討と運転・作動記録データ等の活用
- ・地域内交通を主に据えた「ファーストワンマイル次世代モビリティ移動サービス」モデルの検討
- ・Mn系LIBと非接触給電技術による次世代モビリティへのエネルギー供給技術の開発

### C) 啓発・人材育成

#### ・先進モビリティ関連分野の普及啓発と人材育成

2019-2020年に9回のセミナーを開催し、総参加者数はのべ300名に達している。2019年度は主に福島ロボットテストフィールドを会場に開催することで、併せてRTFへのアクセス交通の改善にも繋げている。

2020年度は新型コロナの影響により一時休止したものの、7月2日に再開第1回を実施した後、8月6日第2回、9月15日第3回、とオンライン環境を活用して毎月の開催を実現している。2019年度の開催には、連携協定を2019年11月に締結した南相馬市・浪江町に加え、双葉町、大熊町なども加わり、本セミナーの場を通じた地域連携の輪の構築を推進している。

### 12 多様なデータを融合した交通モニタリング

本プロジェクトにおいては自動運転、Connected Vehicle時代の新しいセンシングデータとして期待されている移動体発のプローブ車両データと気象データなどを融合させた交通モニタリングに関する研究を行ってきた。自動運転社会では、これまで利用できなかった多様な交通関連データが融合活用できる環境になりつつある。本研究では、従来から活用してきた車両感知器データに加えて、移動体発のプローブ車両データ、気象データなどを融合活用させて、交通渋滞、通行障害などの非日常を早期発見するあるいはその予兆をアラートするシステム開発を行っている。多様なセンシング情報を融合活用して、人々の快適で安全な移動を支援することが可能となる。

図12-1は、P社との共同研究で、プローブ車両データを利用した都市間高速道路の交通モニタリングの様子を表している。車両感知器がインターチェンジ間に1か所しか設置されていない地方部の高速道路においては、感知器がない場所における渋滞や事故などの異常事象のモニタリングが課題となっており、対象区間の連続した交通モニタリングをプローブ車両データに基づいて行った本研究成果は、P社において実用化されている。

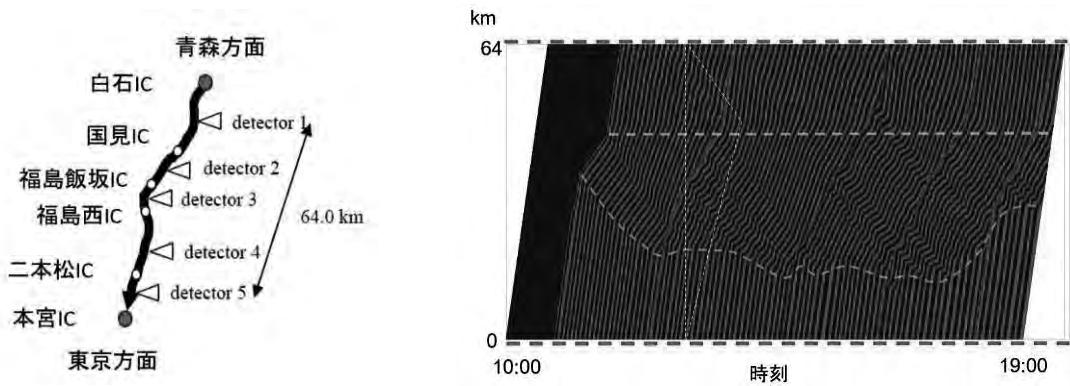


図 12-1 東北自動車道白石 IC～本宮 IC 間の Variational Theory による交通モニタリング

図 12-2 は、東日本大震災直後に組織された産学連携の DOMINGO (Data Oriented Mobility INformation GrOup) 共同研究体による、リアルタイム可視化システムの画面である。プローブ車両データ、気象データ、SNS などをリアルタイムに収集して可視化するシステムで、交通だけでなく気象、Twitterなどの情報も重畠させたり、過去時点の状況を可視化できることを特徴としている。本システムは、国土交通省や P 社の管理事務所で数回の試用実験を行っており、実用できるシステム構築を目指している。

さらに、これまでの研究成果を発展させて、非日常の予兆のアラートを行うシステム構築を行っている。図 12-3 は、豪雪地帯の冬期道路における車両立往生の発生危険性をアラートするプロトタイプシステムの画面である。今後は、当システムの改良と観光地における交通渋滞の発生危険性をアラートするシステムの構築を行う。



図 12-2 リアルタイム可視化システム

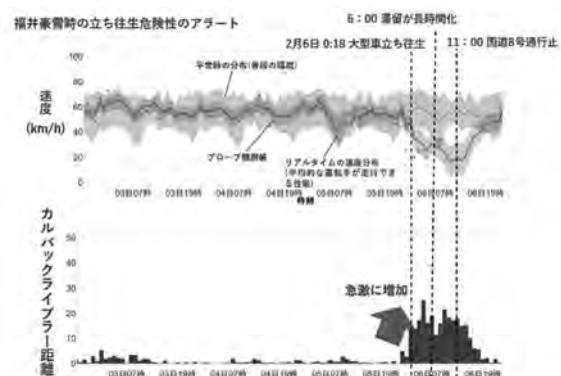


図 12-3 福井豪雪における立往生発生危険性のアラート

なお、上記の各研究開発テーマに対し、各テーマを独立並行に進めつつ、必要に応じて連携させ、またプロジェクト運営において共通化・効率化を図るため、プロジェクト進捗に関してコアグループ会議を構成し、各テーマの進捗状況と、特に地域連携・産学連携等に関する情報共有を毎月定期的に行う運営形態を取っている。

特に、各テーマを集約し、実用化に向けた産学連携マッチング、社会実装およびアウトリーチを行う多賀城拠点などの拠点活動について共有を図っている。このコアグループは PL である松木教授を中心に、一ノ倉教授、桑原教授、鈴木教授、大野准教授、山邊准教授、白方特任教授、伊達特任准教授、沼田特任准教授、千葉特任准教授、畠山特任准教授、猪股助手、伊藤拠点長、鎌田研究員、工藤研究員などのメンバーで構成され、これらのメンバーは主に担当する研究開発テーマのみならず、他のテーマにも共通的に適宜協力連携を行い、本プロジェクトの連携融合部分を担っている。

## I-2. 研究者の育成状況(各種研究員の受け入れ状況等を含む)

### (1)修了号・博士号取得者

	2018年度	2019年度	2020年度
①修了号取得者(うち本学) (うち社会人)	10人 (1人)	9人 (2人)	9人 (1人)
②博士号取得者(うち本学) (うち社会人)	1人 (人)	0人 (人)	2人 (1人)

### (2)研究員等受け入れ数

	2018年度	2019年度	2020年度-
① 民間等共同研究員	3人	2人	7人
② 受託研究員	人	人	1人
③ ポスドク	1人	4人	3人
④ 修了課程・博士課程	12人	11人	15人
⑤ 研究所等研究生	人	人	0人

### (3)国際交流の状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

#### 【第一原理に基づくハイドレートによる水素貯蔵法や高効率発光素子開発への適用】

・ロシア科学アカデミー・シベリア支部のVladimir Belosludov博士のグループとは、主としてハイドレートを用いた水素貯蔵の研究を行っている。本プロジェクト開発による高速ハイドレート生成法により、安全な水素貯蔵と移送が可能となる。ユーラシア国立大学のTalgat Inervaev教授とは、磁歪発電用材料と高強度発光素子の第一原理シミュレーション計算を実施している。

#### 【磁気レオロジー材料を活用した高速応答性を有する動力伝達・制動系開発】

・東北大学に設置されたフランス、CNRS・リヨン大学との国際共同研究ユニットELyTMaX Lab.のメンバーとして、リヨン大学・INSA-LyonのProf. Gael Sebaldを代表とする研究チームと「粒子配向MRエラストマーを活用したエネルギーハーベスティングに関する研究」の国際共同研究を実施してきている。(期間2018年4月～現在)  
・オーストラリア、ウーロンゴン大学のProf. Weihua Liの研究チームとの「鉄道車両台車や車両運転シート等の乗り心地向上を指向したMRテクノロジーを活用した振動制御に関する研究」に関して、国際共同研究を実施してきている。(期間2018年4月～現在)

### 《開発研究の進捗状況に関するコメント》

各テーマにおいて順調に研究開発が進んでいる。

#### 【エネルギー関連開発】

##### 1 Mn系リチウムイオン電池の開発

2017年にドライルーム不要でリチウムイオン電池を製造するライン整備を完了させ、2018年、2019年には-20°Cから動作可能な低温用リチウムイオン電池を開発、2020年以降は高温用リチウムイオン電池の開発を進めている。地元企業のIDF、未来エナジーラボ等との協業の中でリチウムイオン二次電池(LIB)の材料ならびに電極設計の変更検討を行い、出力性能と寿命性能の両立のため固液界面制御のキーとなる電解液の新規添加剤を開発。固体電解質の添加による1.5倍の容量増加を達成した。

##### 2 ワイヤレス給電

LCブースタ技術を応用し、複数同時負荷に対する給電法を確立するなど、走行中給電の基本検証と設計指針の整理を完了した。小型EVからマイクロモビリティ(電動キックボード、電動自転車等)への走行中給電システムを実証した。さらに、送電コイルの長尺化に伴う漏洩電磁界低減法を提示し(今年度中特許出願を予定)、ワイヤレス給電の交通システムへの実証展開が可能であることを示した。

##### 3 逆HEMTに係わる研究

現状の携帯電話の基地局で使用されている窒化物半導体GaN/GaN構造からなる高移動度電子トランジスタ(HEMT)より一桁高速で動作するGaN/GaAlN構造からなる逆HEMTを構成できる結晶成長技術の高度化。既に逆HEMT

を作製、直流動作を確認している。今後、逆HEMTの高性能化のために、N極性成長におけるGaNとGaNの結晶品質の向上を図り、各種成長条件と結晶品質との関連を明らかにする。さらに電気・ハイブリッド自動車のモータ駆動用インバータを構成するGaN基板を探査し、耐圧1200V・電流100Aに耐えるGaN基板作製を目指す。

#### 4 第一原理に基づくハイドレートによる水素貯蔵法や高効率発光素子開発への適用

水素利用において、高圧水素をタンクに詰めるのは危険を伴い、事故の際の急激な放出を防ぐためにも貯蔵剤が必要である。ハイドレートによる水素貯蔵の研究を継続的に行っており、第一原理シミュレーション計算によって最適条件の割り出しを実施し、共同実験研究を計画している。ヘッドライト等の消費電力の抜本的改善を目指し、既に実用化されている発光素子より更に高効率発光素子の実現に向けたマテリアルズインフォマティックス研究を実施し共同実験研究により早期の実現を達成する。

#### 5 インフォマティックス駆動型計測融合計算化学

車載用次世代フィルムコンデンサの耐熱温度アップのニーズは高く、フィルムコンデンサの電気特性、温度特性、周波数特性は、その構成部材であるプラスチックフィルムの物性で決まる。次世代フィルムコンデンサに要求されるポリマーの機能創成をねらいとし、エラストマー素材の誘電特性や、電場方向に対するアクチュエーション挙動の分子的特徴を導出していたが、今後も機械、電気、高分子材料各分野の有識者と討論を重ねる予定である。

#### 6 新規クローン・プラズマCVD法によるナノカーボンハイブリッドの創製

第一段階である「単層カーボンナノチューブ(SWNT)のクローン成長」に関し、アルコール・水素・水混合プラズマCVD(PECVD)でその条件を見出すことができた。今後は上記成果を基にして、グラフェン(GP)間に点在させた“原型小分子”的カーボンナノベルト(CNB)からSWNTへのクローン成長を実現し、プラズマ時間制御によるGP層間距離拡大を介して、ナトリウムイオン2次電池[SIBs]性能向上に有効なNa/Na+吸蔵空間を有する次世代ナノカーボンハイブリッド(GP/SWNT)を創製する予定である。

### 【自動運転関連開発】

#### 7 モータ

小型・軽量・高効率なモータの開発を目的として、3次元構造を有するモータについて種々検討を行い、3枚の回転子を有するマルチギヤップSRモータにおいて、これまでのEV用モータ(35~45N·m/L)を上回るトルク密度(60N·m/L@20A/mm<sup>2</sup>)が得られた。今後は、制御法も含めたマルチギヤップSRモータの最適化検討を進め、小型・軽量・高効率でかつ低価格なEV用モータの実用化を図る。

#### 8 磁気レオロジー材料を活用した高速応答性を有する動力伝達・制動系開発

近未来交通システムの移動体の動力伝達・制動系、及びサスペンション系などの車両基盤技術に関して、磁気レオロジー材料を活用した高度な機能と高速応答性を有する先進デバイス・制御システムの研究開発と、安心・安全・利便性を特徴とする移動体システムの社会実装に貢献する

#### 9 自動運転技術を開発と社会実装

LiDARと地図に基づく自動運転技術の開発に取り組んだ。特徴は、少ない労力で広範囲の自動運転を実現する技術の開発を行ったことである。また、これらの技術を小型電気自動車に実装し、自動運転の実証実験と、公道での交通データの収集を継続して行った。収集したデータを元に、自動運転の要となる駐車場所などの意味を持った地図の構築を行った。また、大型ダンプトラックの自動運転、消防ロボットの自動化、防爆ロボットの自動化などを企業と一緒に取り組み、成果の一部を社会実装し、実用化することが出来た。今後の予定は、自動運転技術を他分野への自動化に適応させる。

### 【ヒューマンマシンインターフェース(HMI) 関連開発】

#### 10 自動運転用ニューマンマシンインターフェース(HMI)

自動運転ではドライバーは運転から解放されるため睡魔に襲われる可能性が高く、睡眠した場合に覚醒させ安全に寄与する自動運転車用HMIの開発において、実車による公道実験の危険回避としてドライビングシミュレータ(DS)を活用した事前評価を実施。また、巨大地震発生を想定した津波警報発令直後の避難時における危険予知意識向上と行動の改善に資する教育用アプリケーションの開発評価を行う

### 【社会実装関連・社会連携】

#### 11 産学共創による拠点構築

東日本大震災以降、「みやぎ復興パーク」における取組により、先進技術・知見を活用した新たな地域交通システムの提案と、安全・安心で地産地消可能なリチウムイオン電池の量産化を果たした。青葉山を起点に産学共同による先進モデル実証を進めると共に、仙台市特区を活用し、泉パークタウンにおいて地域型モビリティまちづくり

モデルの確立を進め、さらに福島ロボットテストフィールド (RTF) の拠点化と実証環境整備により福島浜通りにおける社会課題解決と新産業創造振興に貢献を果たす。

## 12 多様なデータを融合した交通モニタリング

多様なセンシング情報を融合活用して、人々の快適で安全な移動を支援することが可能となる。従来から活用されてきた車両感知器データに加えて、移動体発のプローブ車両データ、気象データなどを融合活用させて、交通渋滞、通行障害などの非日常を早期発見するあるいはその予兆をアラートするシステム開発を行った。対象区間の連続した交通モニタリングをプローブ車両データに基づいて行った研究成果は、P社において実用化されている。

本プロジェクトが、今後とも、これらの成果を達成するための中心的役割を担うことが期待されている。

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

### II-1. 民間企業への技術移転進捗状況について

#### (1) 民間企業への技術移転件数

	2018年度	2019年度	2020年度
①開発研究成果が特許権又はその他の知的財産権(受ける権利を含む)の実施許諾あるいは譲渡によって民間企業へ技術移転された件数(うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業への技術移転件数)	0件 (件)	3件 (件)	2件 (件)
②①以外の形での民間企業への技術移転件数(同上)	7件 (1件)	8件 (1件)	7件 (2件)
③上記の①又は②の中で「新産業分野 <sup>注2)</sup> 創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数(同上)	3件 (1件)	5件 (件)	3件 (2件)

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

注<sup>2)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。

#### (2) 民間企業への技術移転による商品化※

①開発研究成果が「商品」として実現したものを記入。企業により結果として商品化されたものを含みます

時期/予定時期	企業・組織名	活動内容
2018年10月～	古川電気工業・東和プロネッツ	非常用電源(町医者向け)ワンダーパワーステーションの発売
2019年4月	三菱重工業	消防ロボットの自動化
2020年9月頃	三菱重工業	防爆クローラロボットの施設点検の自動化
2021年予定	テーマ8のQ社	EV車両用ブレーキ
2021年予定	テーマ8のQ社	大形ポンプ用クラッチ
2021年予定	テーマ8のR社	CMP研磨装置
2021～2022年予定	テーマ8のS社	MR流体製造・販売

②商品化に至らないまでも商品化が検討されたもの

【注】NICHeでのプロジェクトに関係するものに限ります。

	2018年度	2019年度	2020年度
①件数 (うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業に関係する件数)	3件 (件)	3件 (1件)	3件 (1件)
②上記の①の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数	2件	3件	2件

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

## II-2. 発明、特許権、その他の知的財産権の状況について

### (1) 特許権の出願・登録状況

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 発明件数	6 件	13 件	4 件
② 特許権出願件数	7 件	11 件	6 件
特許権出願件数のうち国内	7 件	10 件	6 件
特許権出願件数のうち国外	1 件	2 件	1 件
②のうち特許権の審査請求済件数の累計 (請求予定件数)	累計 5 件(予定 4 件)		
特許権登録件数	2 件		
上記の①又は②の中「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数プロジェクト期間の累計	1 件		

注1) ①発明件数とは大学に届け出た件数のことを指します。

### <特許>

出願・取得済みの特許は、総数 9 件であるが、その代表的なものは以下のとおりである。

出願番号	発明者	出願人	国内申請		国外申請またはPCT		
			出願日	登録日	国名 PCT	出願日	登録日
PCT/JP2018/022805	白方雅人他	東北大学	2018.6.14			2018.6.14	
JP2018-113919	白方雅人他	東北大学	2018.6.14				
特願 2019-213154	斎藤裕, 大森宏輝, 野崎駿介, 中村幸晃, 中野政身	富士ゼロックス株式会社, 国立大学法人東北大学	2019.11.26				
特願 2019-221844	塙越秀行, 濱研吾, 中野政身	国立大学法人東京工業大学, 国立大学法人東北大学	2019.12.9				
特願 2015-00599 特許 6498945 号	福原幹夫, 黒田共之, 伊藤修, 長谷川史彦	東北大学	2015.1.15	2019.3.22			
特願 2020-025301	福原幹夫, 黒田共之, 長谷川史彦, 伊藤修, 橋田俊之, 中谷丈史, 森田昌浩	東北大学, 日本製紙株式会社	2020.2.18				

#### 備考 :

- 特願 2019-213154 の特許は、既存のオイルを分散媒とした MR 流体の種々の使用環境条件の制約を解消するために開発された、オイルを用いない空気等のガスを分散媒としたドライ MR 流体の創製とそのクラッチ等への応用に関する特許であり、車両等の動力伝達・制動のためのクラッチやブレーキの作動媒体として特徴的で優位性のある適用が可能なため、実用化・製品化の可能性が大である。
- 特願 2020-025301 蓄電材料及びウルトラ蓄電体 : セルロースナノファイバーを用いた世界で初めての蓄電体
- 特許 6498945 号固体電子蓄電体を用いた雷及び大気電流蓄電装置

(2) その他知的財産権(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①実用新案権の出願件数 (登録件数)	0 件 ( 件)	0 件 ( 件)	0 件 ( 件)
②意匠権の出願件数 (登録件数)	0 件 ( 件)	0 件 ( 件)	0 件 ( 件)
③著作権のうちコンピュータープログラム、データベースの登録件数	0 件	0 件	3 件
④半導体集積回路の回路配置登録	0 件	0 件	0 件
⑤上記①～④までの中「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数	0 件	0 件	0 件
⑥秘密保持契約	9 件	9 件	7 件

II-3. 論文・著書・学会等発表の状況

(1) プロジェクトの開発研究成果

(論文・表彰などの研究成果に関する実績。プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 論文・著書数	64 件	53 件	38 件
②論文・著書の引用数 (プロジェクトリーダーが必要と判断した場合にのみ記載)	件	件	2364 件

＜研究論文＞

発表した論文は、総数 130 編であるが、その代表的なもの（10 編）は以下のとおりである。

【エネルギー関連開発】

1. "Triphenylene and tetracene based porous sheet: Stability and electronic properties", I. Muhammad, U. Younis, H. H. Xie, S. Ahmed, Y. Kawazoe, and Q. Sun, COMPUTATIONAL MATERIALS SCIENCE 176 (2020) art.  
We find that the TP-T sheet is stable and exhibits a direct band gap of 2.1eV, which can be tuned in the range of 0.55-2.08eV through various techniques including uniaxial strain, doping with B, N, P, Si, Ge atoms, substituting hydrogens with fluorine atoms at different positions, and stacking the sheet in different configurations. Especially, the B-, P-, and Ge-doped TP-T sheets show a narrow band gap of 1.58, 1.53, and 1.08eV, respectively.
2. "Graphdiyne-Based Monolayers as Promising Anchoring Materials for Lithium-Sulfur Batteries: A Theoretical Study", Muhammad, Imran; Younis, Umer; Xie, Huanhuan; Kawazoe, Yoshiyuki; Sun, Qiang, ADVANCED THEORY AND SIMULATIONS, art. 1900236, DOI: 10.1002/adts.201900236. (JAN 2020).  
It is found that the porous graphdiyne-Based materials offer more space to accommodate lithium polysulfides with moderate adsorption energies and the anchoring performance changes with substrate and the size of Li<sub>2</sub>Sn molecules: BGDY has a strong chemical interaction with lithium polysulfides due to the large charge transfer as compared to others.
3. "Applications of aesthetic pentagon-shaped stereo tiling employing pentagraphene carbon-star walls and embossment design", Hagita, K; Kawazoe, Y; Ogino, M, AIP ADVANCES, 9 (2019) Article 035001.  
A three-dimensional pentagon-shaped stereo-tiling concept has been realized through use of penta-graphene carbon

structures, although mathematically, regular planar pentagon shapes cannot be used to completely tile the Euclidean plane. The proposed discovery facilitates math-rule-based generation of beautiful designs comprising star shapes formed using regular pentagons. Two aesthetic designs have been derived using the deduced logic.

4. "Phase diagram and composition of water based crystalline phases in hydrogen – Water binary system", Ravil K. Zhdanova, Yulia Y. Bozhkova, Vladimir R. Belosludov, Oleg S. Subbotin, Kirill V. Gets, Rodion V. Belosludov, Yoshiyuki Kawazoe, Solid State Communications, <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2019.03.002>, Received 6 November 2018; Received in revised form 2 March 2019.

The original approach developed in our group is applied to describe the phase diagram on p-T plane and phases composition for hydrogen-water system in a wide pressure and temperature range and for prediction of composition and thermodynamic properties of hydrogen hydrates. The p-T phase diagram was calculated for pressure up to 2.5GPa and temperature from 200 to 330K.

5. "Weak interlayer dependence of lattice thermal conductivity on stacking thickness of penta-graphene", F. Q. Wang, J. Liu, X. Y. Li, Q. Wang, and Y. Kawazoe, Appl. Phys. Lett. 111 (2017) art. 192102.

We systematically investigate the effect of layer numbers on the lattice thermal conductivity of the stacked PG structures by solving exactly the linearized phonon Boltzman transport equation combined with first-principles calculations. We find that the lattice thermal conductivity of the stacked PG is insensitive to the number of layers, which is in sharp contrast to that of graphenes.

#### 【自動運転関連開発】

6. Fabrication and Dynamic Viscoelastic Properties of Silicone Rubber-based MR Elastomers with Silicone Oil, (T. Tian, M. Nakano), International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.59, No.1 (2019-3), pp.349-355.

Isotropic and anisotropic silicone rubber-based magnetorheological(MR) elastomers with various concentrations of silicone oil were fabricated, and their dynamic viscoelastic properties were measured. The tested results showed that the sample with a higher concentration of silicone oil had lower zero-field storage modulus and larger storage modulus increasing rate.

- 7 A magnetorheological elastomer rail damper for wideband attenuation of rail noise and vibration, (S. Sun, J. Yang, T. Yildirim, D. Ning, X. Zhu, H. Du, S. Zhang, M. Nakano, W. Li), Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.31, No.2, (2020-1), pp.220-228.

A tunable magnetorheological elastomer rail damper that works on the principle of a dynamic vibration absorber has been designed, analysed, characterised and experimentally tested for the suppression of railway noise and vibration. The new rail damper incorporates variable stiffness magnetorheological elastomer layers, whose stiffness can be controlled by an externally applied magnetic field, to realise adaptive characteristics.

- 8 Development of a smart rubber joint for train using shear thickening fluids, (J. Yang, S. Sun, N. Guo, D. Ning, M. Nakano, H. Du, S. Zhang, W. Li), Smart Materials and Structures, Vol.29, No.5, Article No.055036, (2020-5), pp.1-14.

This paper proposes a new design which uses the shear thickening fluid(STF) structure as the stiffness changing component. This new joint was developed and then tested using MTS machine to characterize its frequency-dependent characteristics. MTS testing under varying displacement amplitude at fixed frequency was also performed to investigate the influence of the varying amplitude on the effective stiffness.

9 A semi-active suspension using a magnetorheological damper with nonlinear negative-stiffness component, (J. Yang, D. Ning, S. Sun, J. Zheng, H. Lu, M. Nakano, S. Zhang, H. Du, W. Li), Mechanical Systems and Signal Processing, Vol.147, Article No.107071, (2021-1), pp.1-21.

This paper provides a solution to improving the vibration-reduction performance of the semi-active suspensions to the level achievable by active suspensions while avoiding the disadvantages of active control. The experimental results demonstrated that the new suspension has brought better vibration-reduction performance than the passive suspension and the conventional MR suspension, and that the vibration reduction performance is comparable with that of some of the active system reported.

#### 【ヒューマンマシンインターフェース（HMI）関連開発】

10 "Multi-FPGA Accelerator Architecture for Stencil Computation Exploiting Spacial and Temporal Scalability," Hasitha Muthumala Waidyasooriya, Masanori Hariyama, IEEE Access, 7, 53188 (2019).

The key to achieving high performance using FPGAs is to design pipelined accelerators. In this paper we propose a multi-FPGA accelerator architecture for stencil computation by scaling in spatial and temporal dimensions. According to the experimental results, we achieved a high power-efficiency with competitive performances compared to high-end GPUs.

#### ＜著　書＞

編集・著作した書籍は、総数 94 冊である。

#### (2)学会等発表の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 国際学会等	46 件	58 件	8 件
② 国内学会等	54 件	50 件	39 件

#### ＜招待講演＞

① 国際学会等 総数 36 件(\*主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	場所(国、都市)	期日
Kazunori Ohno	Cyber-enhanced Canine -Digitally strengthening the capability of dogs-	Symposium on Systems Science of Bio-Navigation	Kyoto Japan	2018 年 9 月 5 日
Yoshiyuki Kawazoe	Charge localizations in doped carbon nano- structures: 1D and 2D fullerene crystals, graphene, and penta-graphene	ICONN2019	インド国、チェンナイ市	2019 年 1 月 28 日
Kazunori Ohno	Cyber-enhanced Rescue Canine -Digitally strengthening the capability of dogs-	Korea-Japan Disaster Response Robotics Workshop	KIRO Korea	2019 年 6 月 17 日
Yoshiyuki Kawazoe	Materials Informatics based on Reliable Database	MRS-Thailand	タイ国、パタヤ市	2019 年 7 月 10 日
Masanori Hariyama	Energy-Efficient Custom Supercomputing for Intelligent Systems	International Symposium for Advanced Computing and Information Technology	Taiwan, Kaohsiung	2019 年 8 月 23 日
Nozomu Hatakeyama	Advanced Logistics Transport System (ALTRaS) Research Project	Vehicle Technology International Conference	Canada, Winnipeg	2019 年 10 月 1 日

Masami Nakano	Development of Dry MR Fluid Automotive Brake of Multi-disks Type for a Super-compact Electric Vehicle (Plenary Speech)	The 17 <sup>th</sup> Int. Conf. on ER Fluids and MR Suspensions (ERMR2019)	Australia, Wollongong	2019年12月16日
---------------	--	--	-----------------------	-------------

② 国内学会等 総数 28 件(\*主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	期日
中野政身	MR流体とその先進フルード・パワーテクノロジー(特別講演)	日本フルードパワーシステム学会平成30年春季フルードパワーシステム講演会、東京	2018年5月25日
川添良幸	マテリアルズ・インフォマティクスによる新規光学材料設計・開発の高速化・高度化	応用物理学会	2018年9月21日
川添良幸	AIによる未来電子デバイス設計への適用 -	NEDIA ディ東北	2019年8月1日

## II-4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について

(1)各種表彰・受賞の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

総数 14 件

期日	受賞者名	主催者・賞名	理由
2018.5.25	中野政身, 田口修, 尾高成也, 古川仁, 道辻善治	日本フルードパワーシステム学会平成30年度「技術開発賞」	超小型EV向けMR流体ブレーキの開発と実装
2019.6.1	先進ロジスティクス交通システム研究プロジェクト	総務省東北総合通信局・電波の日表彰	ドローンや自動走行などの近未来技術を様々な地域特性に対応した実証事業の提案と実用化への取組など東北地域における電波利用によるSociety5.0実現に向けた貢献
2019.12.19	Lei Deng, Shuaishuai Sun, Shiwu Zhang, Masami Nakano, Weihua Li	The 17 <sup>th</sup> International Conference on ER Fluids and MR Suspensions (ERMR2019), "Best Poster Award (Second prize)"	Investigating the Impact Protection Performance of a Rotary MR Damper Based Seat Suspension
2019.12.19	Jian Yang, Matthew Christie, Shuaishuai Sun, Masami Nakano, Weihua Li	The 17 <sup>th</sup> International Conference on ER Fluids and MR Suspensions (ERMR2019), "Best Poster Award (Third prize)"	Innovations in Seismic Protection Using Magnetorheological Technology

(2)新聞報道等の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

- 2019年5月30日 仙台市内の住宅地でEVバス実証 河北新報、日刊工業新聞、日本経済新聞、読売新聞
- 2019年8月8日 日本経済新聞 電動キックボードインフラの構築と給電システムに関する実証実験を開始
- 2020年1月8日 朝日新聞 遠隔給電でいざ乗り物革命
- 2020年1月24日 日刊工業新聞 三菱地所など、仙台で乗り合い実証 再生可能エネ活用
- 2020年4月1日、河北新報、学者の智恵・経験・コンサル活用を
- 2020年9月9日 河北新報 公共交通の自動化へ
- 2020年10月6日 河北新報 石巻・IDFガリチウム電池製造本格化
- 2020年10月18日 河北新報 事故件数増加なし
- 2020年10月27日 NHK首都圏ネットワーク 電動キックボード「使い勝手よく」都内で初の実証実験
- 2020年10月28日 河北新報 仙台寺岡 EV充電・乗降場増設 地域型交通来月実験第2弾

## 《開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメント》

1. 通常 50～100 億円の経費を要するリチウムイオン電池製造工場を、本プロジェクト提案手法により、10 億円に満たない資金で設立できるモデルをみやぎ復興パーク内に設置した。さらにその展開として、廃校小学校を有効利用し、第 1 号工場を宮城県内に設立した。(B 社)
2. AGVへの技術応用を念頭に置き、電波法など各種法規・規格を遵守した給電システムの構築を目指し、本年度中に 600W クラスの移動中給電検証試作機を完成し評価を行う。(C 社)
3. アルミニウムへのグラファイト接合による熱放出効率向上は、我々が第一原理シミュレーション計算を実施し、企業側が実験、実用化を試みた。(T 社)
4. 車両用 MR 流体ブレーキを小型 EV に搭載して実証試験を実施し、高速応答性と高度な制御性を優位性として実用化・製品化の検討中。(Q 社)
5. 大型ポンプ用の駆動系に適用する MR 流体クラッチを試験機ポンプに適用して実証試験を実施し、実機の大型ポンプを対象にした MR 流体クラッチを開発し事業化レベルで検討中。(R 社)
6. 流動性の高い磁性粉からなる高性能なドライ MR 流体を開発し、2020 年 1 月 29 日～31 日に東京ビックサイトで開催された「新機能性材料展 2020」に出展し好評を得ており、現在、実用化・商品化を目指して研究展開中。(S 社)
7. 新規に創製したドライ MR 流体を作動媒体とするドライ MR 流体クラッチ・ブレーキ一体型動力伝達・制動装置を開発し、ハイブリッド車両の制動時のエネルギー回生時における精緻なアシストブレーキの実現を目指して、実際に車両搭載して実証試験を行う予定。(U 社)
8. プローブ車両データを利用した都市間高速道路の交通モニタリングによって、車両感知器がない場所における渋滞や事故などの異常事象のモニタリングが可能となり、対象区間の連続した交通モニタリングをプローブ車両データに基づいて行う方法が実用化された。(P 社)
9. 地方土木建設現場で稼働するダンプトラックの自動運転化について、NEDO プロジェクトにより自動化ロボットシステム、センサボックス等の製品化をはじめ、建設現場の ICT 化・ロボット化について、プロジェクト終了後の事業化に向けて準備を進めている。2020 年 10 月 12～23 日に開催される建設テック（日経 X-TECH 内展示会）に NEDO ブースとして出展し、そのプロモーションを行う予定である。(V 社、W 社、X 社)
10. 仙台市泉パークタウンにおいて、企業側が主体となって県補助事業の支援を得て、コンソーシアム体制により持続的な地域交通システムの運営体制の確立を進めている。その中で本学は計画推進における助言指導を継続的に行うと共に、必須となるエネルギーシステムの構築と運用の監修を行い、関連する地域産業の振興にも寄与している。(L 社、M 社、N 社)

### III. プロジェクトの研究費の実績

#### (1) 研究費の推移(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

		2018 年度	2019 年度	2020 年度
民間からの資金	件数	74 件	51 件	37 件
	金額(百万円)	172. 7 百万円	177. 89 百万円	158. 64 百万円
国からの 資金	件数	23 件	26 件	27 件
	金額(百万円)	328. 6 百万円	317. 5 百万円	466. 35 百万円

#### (2) 主要な獲得プロジェクト・共同研究等(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

- NEDO 次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発/ロボット技術と人工知能を活用した地方中小建設現場の土砂運搬の自動化に関する研究開発/代表:大野和則/総額:500 百万円/2018-2022 年度
- 文科省 地域イノベーション・エコシステム形成プログラム事業「ナノ界面技術による Mn 系 Li フルインターカレーション電池の革新とそれによる近未来ダイバーシティの実現」/総額:350 百万円/2018-2020 年度
- 公益財団法人福島イノベーション・コースト構想推進機構 学術研究活動支援事業(大学等の「復興知」を活用した福島イノベーション・コースト構想促進事業)「モビリティ・イノベーション社会実装・産業創生国際拠点の構築」/総額 54 百万円(2019 年度:14 百万円, 2020 年度:40 百万円(重点枠))
- 共同研究:「工場内搬送への走行中非接触給電技術(DWPT)活用の研究」、「太陽光パネルを用いた蓄電池活用技術の実証研究」/NITTOKU 株式会社:総額:87 百万円/2018-2020 年度
- NEDO 高輝度・高効率次世代レーザ技術開発:20 百万円/2020 年度

#### <<研究費に関するコメント>>

民間企業との共同研究を軸に、平成 29 年度に 5 億円、平成 30 年度は 4.9 億円を獲得した。令和元年度、及び次年度以降の継続プロジェクトでも同等の研究資金を獲得する予定である。

特に、複数年度に渡る大型の国プロジェクトを複数獲得している。これについては、各テーマにおいてそれぞれに民間共同研究等により自立的に外部資金獲得を行っていることに加え、NICHe 開発企画部との連携協力もあり、社会ニーズに応じて適宜テーマ間での協力により大型事業への申請・獲得を果たしており、こうした外部資金獲得戦略により、幅広いテーマについて並行して研究開発を持続的に推進することを可能にしている。

## IV. 当初計画を越える展開等やそれによる成果について

### (1) 当初計画になかった新たな展開について

逆HEMT及びEV用モータ駆動素子作製に関する研究に関し、逆HEMTに係わる研究において、現状の携帯電話の基地局で使用されている高移動度電子トランジスタ(HEMT)より一桁高速で動作するGaN/GaAlN構造からなる逆HEMTを構成できる結晶成長技術の高度化研究を実施した。既に逆HEMTを作製、直流動作を確認している。今後、逆HEMTの高性能化のために、N極性成長におけるGaNとGaAlNの結晶品質の向上を図り、各種成長条件と結晶品質との関連を明らかにする。次年度以降、さらに電気・ハイブリッド自動車のモータ駆動用インバータを構成するGaN基板を探査し、耐圧1200V・電流100Aに耐えるGaN基板作製を目指す。

また、产学共創による拠点構築については、当初は東北経済連合会、および地元自治体（福島県、南相馬市、浪江町など）からの要請からボランティア的な自治体への助言等だったところが、事業獲得に至り、さらに国により福島浜通り地域への国際教育研究拠点の設置構想が示されたことにより、本学では既に葛尾村で行われていた農学研究科の取組に加え、本取組によるモビリティ関連分野を柱とした地域での新産業創生の取組が、本学による上記拠点構想への参画案の柱の一つとなり、福島RTF拠点がそのための前線拠点としての役割を担うこととなった。多賀城みやぎ復興パーク拠点が震災後10年を迎える時期にあたり、青葉山をはじめそれぞれ移転する一方、当該多賀城拠点の大きな成果である学の先進技術の結集による地域新産業創出の知見・経験は発展的に福島拠点に引き継がれ、新たなステージを迎える展開が期待されることとなっている。

### (2) 成果の基礎研究やプロジェクト等への寄与について

#### 【第一原理に基づくハイドレートによる水素貯蔵法や高効率発光素子開発への適用】

我々が2015年に発表したペントグラフェンの理論設計は、この5年の間に400件以上の研究論文の発表を生み、炭素以外の系でも5員環構造が次々と見つかり、興味ある物性も予測されている。それに従い、実験家による実現の試みも多くなされるようになった。5員環構造は原子レベルに留まらず、マクロレベルでも同様の負のポアソン比を示すため、構造材料関係でも注目されている。

#### 【磁気レオロジー材料を活用した高速応答性を有する動力伝達・制動系開発】

開発した車両用MR流体ブレーキやドライMR流体クラッチ・ブレーキは、ブレーキバイワイヤシステムで制御できるため、高速応答性と高くかつ柔軟な制御性を両立できるため、本プロジェクトが一つの目標とする未来型EV車両に最適であり、車両の高度な自動運転の実現、高い安全性の確保、そして省エネルギーの実現等に多大な寄与をする。また、これらのブレーキやクラッチの作動媒体としての機能性材料であるMR流体やドライMR流体の創製に関する研究は、基礎研究として継続して展開が必要である。

### (3) 本プロジェクトによる人類への貢献、社会的意義等について

本プロジェクトのテーマの多くは、SDGsの各目標に合致する。

テーマ1～6のエネルギー分野は、SDGsの目標7「エネルギー」に該当し、特にテーマ1のリチウム電池は、それによる地域再生可能エネルギーの地産地消化を可能にするのみならず、地域における蓄電システム生産供給を可能にすることで多重的に目標に合致するものである。しかも当該電池の材料となるマンガンは地球資源においても比較的潤沢かつ地域的な隔たりが少なく、その点でもSDGs目標に合致する。さらに、当該電池は内部抵抗の低さからエネルギーの充放電における損失が非常に少なく、省エネルギー・低炭素化に大きく貢献することから、SDGs目標13「気候変動」により大きく貢献する。

それ以外の取組についても、SDGs目標8「経済成長と雇用」、目標9「インフラ、産業化、イノベーション」、目標11「持続可能な都市」、目標12「持続可能な消費と生産」に基本的に合致すると考えられる。特に、产学共創による拠点構築に関して、福島浜通りにおける取組は、国からもSDGsに沿った復興を進めるべき方針が既に示されており、本プロジェクトに関しても特に関係した取組はこの福島拠点にショーケース的に今後集約を進めていく方針である。福島拠点での取組は、産業界との新たな産学共同研究の取組となることに加え、具体的な地域における社会課題（この場合、主に移動困難だが、さらに関連して高齢化対応、地域活性化、産業創生、災害対応、地域行政のデジタル化推進など）への対応と産業創出・振興との両方の達成を意図することから、国の推進するSociety5.0の主旨にも合致するところである。また同拠点は将来的に国際教育研究拠点へと発展させていくことも考慮すると、SDGs目標17「実施手段」（持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する）に合致して、成果をグローバルにも発信していくことが今後の重要な課題の一つとなると考えられる。

## V. その他

### (1) NICHe プロジェクトとして主張したい成果

民間企業との共同研究を中心に研究開発を進め、フィールドにおける実証試験等を通して実用化への橋渡しを行っている。また、兼務教員との協力の下、学生及び若手研究者の育成にも熱心に取り組んでいる。

NICHe における各種のプロジェクトの中でも、随一に幅広く多様な分野を包括し、その多様な要素技術シーズを持続的に研究開発の推進を実現し続けてきたことに加え、それらを時宜にも応じて有機的に連携させ、常に新たなプロジェクト創出を続け、産業界や地域と密接に連携し、社会に具体的に貢献し続けてきたことは特に着目いただきたいところである。

### (2) 自己評価

本プロジェクトは交通分野を軸としながら、広範な技術分野にまたがる総合技術、異分野融合の体系的研究成果を基に推進し、近未来の交通システムのあり方、基本的概念を大学から発信し、社会に問い合わせ続けてきている。本プロジェクトは2011年発足の次世代移動体プロジェクト以来の継続的基本テーマを引き継ぐプロジェクトであり、前身の電気自動車研究会（2008年発足）を含めるとその活動期間は10年を超えており。特に本プロジェクトでは、高齢化社会における交通システムのあり方として、居住地からの人の流れのサポートをまず重視すべきとの考え方に基づきファーストワンマイルの概念を提唱し、社会実装につながるフィールドモデルとして都市部の郊外団地を設定し研究開発者の意識改革にも努めてきた。これまでに開発してきた先端技術の多くは本プロジェクトが関わる拠点に一括継続展示し、政財界、産業界、教育研究機関からの視察を、内外を問わずに受け入れ、積極的な情報発信を行ってきた。視察者総数は一万人を超えており、技術・情報の社会発信・還元に大きく貢献してきた。さらに医工連携テーマにも早くから取り組み、医学系研究科を始め、本邦初の医工学研究科と協調して推進してきた。

今後、マイクロモビリティを基軸とした交通システム構築に向けた継続的な研究開発はもとより、高齢者の健 康維持の観点をも考慮し、医学系研究者と緊密な連携のもと、便利さの追求のみならず不便益の有用性を念頭にしたシステムのありかたを提言していくことが重要になると考えられる。「人と移動体」を軸に、材料から交通システムまでを包含してきたこのプロジェクトは、より社会実装に軸足を移したプロジェクトとして今後とも社会にシーズの開発提供を継続すべきと思われる。

(最終年度のみ) プロジェクト継続の意思	<input checked="" type="radio"/> 有	<input type="radio"/> 無
----------------------	------------------------------------	-------------------------



## 研究プロジェクト評価書面審査表(まとめ)

(研究プロジェクト評価書面審査委員氏名:◎柿本 浩一、手嶋 勝弥、高橋 浩之)

プロジェクト名	新規機能性材料の開発とそのデバイス応用
プロジェクトリーダー名	吉川 彰

### I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

1. 開発研究の進捗状況(当初の開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況)	(優れている点)
	<p>当初の計画では研究室内の異分野融合を中心にして、効率よく材料開発を進めることとしていたが、研究室外の材料開発においては下流側にある研究者・研究所・企業により緊密に材料開発の枠組みに組み込んで開発を進めたことにより、プロジェクト開始から本当に短期間において、これだけの成果を出すことができたことは特筆すべきと評価される。特に多くのシンチレータを実用化し、市場に投入できたことは素晴らしい成果と判断される。</p> <p>さらに、22件の研究開発課題を実施し、国内企業32社、11の研究機関のみならず、海外からの8研究機関や7社以上の企業との共同研究を通じて順調に成果をあげている。材料の高性能化・プロセス技術の高度化はもとより、有償サンプル提供開始・実用化試験開始など、特筆すべき成果もある。企業群との協働数も高く評価される。</p>
	(不十分な点)
	<p>大型化やプロセス最適化の道筋がより明確に設定されれば開発効率が更に向かうと期待される。また、各開発テーマがやや細分化されていて、同一のプロジェクト内での相互の連携がみえにくいところがあると判断される。</p>
	(改善のポイント)
	<p>特に改善が必要というほどではないが、同じ材料でも、目的によっては、利用価値が生まれてくることがあるので、これだけ大規模な材料開発を行っていることのスケールメリットを生かして開発過程で日の目をみなかつたような新規材料が他分野で利用できないかどうかを検討することができれば、より有益な成果の利用につながると考えられる。このような視点からも、開発のボトルネック解消に向け、計算科学や機械学習をはじめとするデータ駆動型に少しずつシフトすることが重要と判断される。</p>

<p><b>2. 研究者の育成状況</b>  <b>(各種研究員の受入れ・国際交流の状況等を含む。)</b></p>	<p>(優れている点)  修士号取得者 14 名、博士号取得者 2 名、民間等共同研究員 70 名、国際交流 18 件と多くの研究者との交流を行っており、本プロジェクトは研究者の育成においても各界に大きなインパクトを与えており、さらに、民間等から多くの共同研究員を受け入れるとともに、多様な企業と連携している点は評価に値する。また、18 件の国際交流実績も高く評価される。さらに、海外の多数の企業や研究機関から研究者を受け入れて、多種多様な人材を活用し有効な成果を挙げていることは高く評価される。</p> <p>(不十分な点)  加速的な研究開発を遂行するためには、博士号取得者への期待が大きい。本体制に鑑みると、若干、博士号取得者(修士号取得者も含め)が少ないと判断される。この理由として、本来博士課程に進学すべき学生が産業界に転じていると考えられる。しかし、この傾向は本プロジェクトに限らず、日本全体で生じていることである。</p> <p>(改善のポイント)  上記の改善のための一つの方向性として、米国のミシガン大学の例としては、研究室内ベンチャーの活用を行っている。学生は、博士終了後すぐに、高給で迎えられるポストが用意されているので安心して研究が実施できることである。また、研究所であることに鑑みても、博士号取得者を増大するための共同研究の在り方の検討が望まれる。</p>
<p><b>総括 I</b>  <b>上記1. ~2.までの評価に基づき当初の開発研究計画の進捗状況を中心に評価して下さい。</b></p>	<p>(優れている点)  この研究体制(研究課題や研究者人員)をまとめるためのリーダーの統率力は優れている。各課題も良好な進捗を見せており、引き続き、社会実装への注力が望まれる。さらに、本プロジェクトとしては、結晶をキーワードとして、質・量ともに極めて優れた材料開発を各方面で展開しており、個々の研究成果は素晴らしいものが得られており、実用化が各方面で進展している。特に、研究室発ベンチャーとしての C&amp;A 社等における社会実装が進展していることは大学における研究開発のお手本ともいえるべきものである。</p> <p>また、社会実装のみならず、材料開発を中心として、学術の発展に貢献し、基礎科学の進展にも寄与するなどアカデミアにおけるプロジェクトとしてこれまでに素晴らしい成果を収めている。さらに、計画書の研究開発目標に記述されているように、異分野業種の融合体制を構築し、経験と勘のみによる材料</p>

	<p>開発をバンドギャップエンジニアリングや共添加法を用いて科学的な知見をエンジニアリングに導入している点、また、社会実装を最終目的としており、大学における研究開発の一つの形態の例として、大きく社会にアピールしていく高く評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>博士号・修士号取得者数の増大について、学外から広く募ることが望まれる。また、プロジェクトがやや細分化されており、それ自身は効率的に材料開発を行うための形であることは理解できるが、相互の連携がとれると、そこに携わる研究者の視野を広げることにもつながると判断される。人材育成については、もう少し博士課程の学生の輩出が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>研究力と人財育成を連動させる仕組みづくりの検討が望まれる。また、研究室発のベンチャーであるC&amp;A社をうまく活用することで、よりプロジェクトの発展が期待される。ただし、ベンチャーはそれ自身で主体的に活動すべきであるので、うまく連携をとることが肝要であると考えられる。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①. 大変良い</li> <li>2. 良い</li> <li>3. 普通</li> <li>4. やや不十分</li> <li>5. 不十分</li> </ul>
--	---

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

<p><b>1. 民間企業への技術移転進捗 状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>民間企業と密接に連携して数多くの開発研究課題を遂行していると判断される。委託件数も毎年着実にあげている点は高く評価される。また、民間企業への技術移転の件数は延べ 13 件となっており、そのうち 9 件が新産業分野の創出に結びついている。たとえば、GFAG シンチレータの大型化アレイ化などを技術移転している C&amp;A 社は、シンチレータ結晶の分野では世界的に著名な企業に成長しており、経産省認定グローバルニッヂトップ企業 100 選に選出されている。このような企業を生み出したことで国内のシンチレーション検出器関連の研究開発も活性化している。本プロジェクトを通して大学の果たす役割を着実に果たしており、大変優れた成果であると判断される。</p> <p>このように、大学の成果が民間企業への技術移転が順調に推進されているところが高く評価される。特に、実際に製品化されている成果が多く、本プロジェクトの技術移転は非常に成功しているひとつの例として評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>特になし。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>各材料系に関し、更なる展開を探索し、応用分野(出口等)を拡大することが望まれる。</p>
<p><b>2. 発明、特許権その他の知的 財産権の状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>2016 年度から 2020 年度の発明件数が 26 件、特許出願件数が 32 件と継続して特許を出願しており、登録件数も 10 件ある。これは、非常に評価される成果であり、特に海外特許申請件数が 12 件あり、特許申請と取得に関して、非常に高い成果が生まれている。</p> <p>GFAG は共添加シンチレータの研究から生まれた特許を実用化したものであり、C&amp;A 社の主力製品として国内外に販売されている。また、La-GPS やランガサイト型圧電結晶などの特許も事業化され、あるいはされつつあり、これから社会において利用される成果となっている。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>2020 年はコロナ禍の影響かもしれないが、若干発明件数が伸び悩んでいると判断される。</p>

	<p>(改善のポイント)</p> <p>開発研究課題数に比べ、幾分特許出願・審査請求・登録数が少ないと判断される。戦略的知財対応の検討が望まれる。</p>
3. 論文・著書・学会等発表の状況	<p>(優れている点)</p> <p>2016 年度から 2020 年度の論文数が 160 件あり(2016 年度は 52 報)、欧文誌中心に投稿していること、また国内外での招待講演や発表数が多く高く評価される。さらに招待講演も 20 件と毎年 4-5 件程度ある。本プロジェクトのように、単に研究成果を得るだけでなく、その社会実装にも力を入れているプロジェクトとしては、知財の取得にも目を配る必要があり、研究成果を全て公表できるわけではないが、その状況を勘案すると、本成果発表数は極めて優れたものであると考えられる。特に、種々の結晶を同時進行で育成し、これを着実に論文につなげていく活動は高く評価される。また、東北大学での h-index が TOP-5 に入っており、東北大学の中でも非常に高い評価であると判断される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>よりハイインパクトな論文誌への投稿が期待される。また、著書6冊の大半が学術誌の解説であるが、社会貢献の面からは、技術的なことや結晶分野の発展につながるような成書が若干あってもよいかと考えられる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>論文評価において、Top1%や Top10%等の指標や、サイテーション・国際共著数等も併用し、論文インパクトの見える化を導入する検討が望まれる。また、研究グループとしてのエフォートの振り向け方や最適化にもつながるので、現在のコロナ禍の状況においては、過去の成果を論文として公表することや、著書にまとめるなどの機会に用いることも考えられる。</p>
4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について	<p>(優れている点)</p> <p>評価期間における表彰・受賞総数は 23 件であり、対外的に高く評価されていると判断される。また、幅広い分野で表彰・受賞されている点も評価される。表彰・受賞総数 23 件、新聞報道 11 件、と十分な数があり、活発に活動していることが社会から評価されていると判断される。特に、新聞発表に関しては、地方紙のみではなく、全国紙への取り上げなど、新聞発表の質の向上についても評価される。</p>

	<p>(不十分な点)</p> <p>全体業績に鑑みると、プレスリリース数が若干少ないと判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>上述のとおり、活発なプレスリリースによるアピール等も重要であると考えられる。</p>
<b>総括Ⅱ</b> <p>上記1.～4.までの評価に基づき、「新産業分野創出」に結びつく開発研究成果が出ているか（研究のアウトプット）、また現実に「新産業分野創出」<sup>注1)</sup>（研究成果に基づく産業活動のアウトカム）に結び付いているか、を中心的に評価して下さい。</p> <p><sup>注1)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。</p>	<p>(優れている点)</p> <p>リーダーの強力な引率のもと、多種多様な成果を数多くあげている点が高く評価される。また、民間企業への技術移転が極めて活発に行われており、新産業分野創出に結びつく開発研究成果を多数得ている。さらに、研究成果を受けて、新たなシンチレータを用いた新しい医療診断法の開発など新たな応用分野が創出される活動につながっている。特に、単なる会社への技術遺憾のみではなく社会実装を視野に入れた活動は非常に高く評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>特になし。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>更なる向上に向け、協働展開において多視点の導入が望まれる。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①. 優れた研究成果を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く評価を挙げている。</li> <li>2. 優れた研究成果は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。</li> <li>3. 優れた研究成果を挙げているとは言えないものの、「新産業分野創出」に結び付く可能性は高い。</li> <li>4. 研究成果は他に優れたとは言えず、「新産業分野創出」に結び付く成果も期待出来ない。</li> </ul>

### III. プロジェクトの研究費の実績

<b>総括Ⅲ</b> <p>外部資金の獲得状況と、その資金が十分に活用されているかの観点から評価して下さい。</p>	<p>(優れている点)</p> <p>毎年継続して適切な規模の資金導入ができていると判断される。すなわち、10億円近い国からの外部資金、3億円近い民間からの外部資金を獲得し、極めて競争力の高いプロジェクト研究を展開している。社会実装を先導する成果を中核として研</p>
---	--

	<p>究費の獲得もなされていることは、本プロジェクトの参画者全体の連携強化にも資するものとなっていると考えられる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>極めて活発に外部資金を獲得し、活用しており、特に問題はない。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>件数の向上だけでなく、集中的に予算配分されるような超大型資金導入による事業拡大が期待される。さらに、若手研究者の手に余るような大きな資金があると、適切な使い方ができなくなることがあるので、その点は注意することが望まれる。</p>
--	---

#### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

総括IV	<p>(優れている点)</p> <p>当初計画になかったベンチャーの創立や研究室発ベンチャーの醸成は高く評価される。また、プロジェクトで育成したシーズを用いたベンチャー企業を3社も設立されており、また、創出したベンチャー企業がさらに別のベンチャー企業を生み出す成果のように自律的に発展するフェーズにまで成熟していることは優れた成果である。さらに、研究室全体が産業を生み出すエコシステムになっていることも产学研連携を先導する成果であると判断される。</p> <p>総合的には、社会実装を視野に入れた研究活動であるために、実用に非常に近い研究成果が出てきている。この点が非常に高く評価される。このような研究体制はデスバレーの解消につながるよい例となることが期待される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>特になし。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>数々の社会貢献に資するデバイス開発は高く評価される。引き続き、出口展開に多視点を導入して、事業を拡大することが望まれる。</p>
------	---

## V. 総合評価

総括 I ~IVを踏まえ、本プロジェクトを総合的に評価して下さい。

リーダーの牽引力のもと、数多くの開発研究課題に取り組み、優れた成果を数多くあげている。特に、社会実装を強く意識した開発を推進できており、本プロジェクトとして高く評価される。研究室発ベンチャーも数多くあり、その意義を全うしていると判断される。若手研究者等も数多く育成できており、プロジェクト全体で優れた業績をあげている。

本PJは、結晶材料開発に軸足を置き、圧電素子や振動子、シンチレータなど多くの優れた材料を見出して、活発に活動を展開している。材料分野の研究は本来時間がかかるものであるが、本プロジェクトにおいては、その点を十分意識して効率の良い研究開発を実施して、多大な成果につなげることができている。特に、シンチレータの分野では世界的にも競争力の高いC&A社を研究室発のベンチャーとして世に送り出し、GFAG, La-GPS, CeBrなど研究プロジェクトから生まれた多くの新規シンチレータを製造し、また、それらのパッケージやアレイ化まで行い、実用につなげたことで、それを用いた応用分野において新産業分野創出に結びつく成果を得ている。ソフトウェア系のベンチャー企業が比較的短期に成功することと比べて、材料関係のベンチャーが軌道にのるまでには相当時間がかかることがある。

本プロジェクトでは、研究室発のベンチャーと緊密に連携をとりながら研究開発を行うことで、短期間で市場に製品を投入して社会に研究成果を還元するところまで到達しているが、これはそう簡単にできることではないので、本プロジェクトが極めて良好な成果を挙げたものと評価される。一方、プロジェクトとしての広がりが出ている中で、個々のテーマのより有機的な連携ができればなおよいと考えられる。

すべての観点を総合的に踏まえて、本プロジェクトは非常に高い評価になる。特に研究室レベルの材料開発から脱却し、社会実装を確実に視野に入れた材料開発の成果は高い評価に値する。これをサポートしている東北大学も非常に高く評価される。今後も、このような研究活動の継続が強く望まれる。

(全体に対するコメントがありましたら、記載して下さい。)

社会を大きく変えるビジネス展開が切望される。本プロジェクトで開発している材料系は、イノベーションギャップを超えるにふさわしいと評価されるため、New Normalな社会でも大いに活躍すると期待される。また時代に即した社会実装への適応力が期待される。

さらに、本研究プロジェクトは既に非常に高いレベルにあり、相当な広がりがでてきており、本プロジェクトにおいて創出されたものが自律的に動き始めてはいるが、大学の側としてはスペースや人などの基本的なリソースはやはり限られていると思うので、今後も本研究プロジェクトを継続して支援をしていくことで、日本を代表するような材料研究分野の社会実装例として、多くの大学の参考になると判断される。

## 2020(令和2)年度研究プロジェクト自己評価報告書(公開版)

## 開発研究部の分野名・研究プロジェクト名

プロジェクト名：新規機能性材料の開発とそのデバイス応用  
(Development of novel functional crystals and their devices)

## プロジェクトリーダーの職名・氏名

未来科学技術共同研究センター ・ 教授 ・ 吉川 彰

研究体制(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

## (1) 開発研究目的、目標及び方法

## 1. 目的

市民社会の利便性や安全・安心といった生活の質の向上を実現する様々な機能性デバイスには、それを動作させる機能性結晶が必要となる。全てをインターネットに繋げる IoT デバイス、環境振動を利用した発電素子、機能を融合した医療装置、テロ対応の安全・安心用のセンサー、自動車用部品、航空宇宙用部品等、直近の5年間で求められるデバイス性能は大きく変わって来ている。

本プロジェクトでは、目まぐるしく変わる社会のニーズに対応する新規機能性結晶とその新規製造プロセスの開発研究を迅速に行い、速やかに実用化・社会実装に貢献することを目的とする。

## 2. 目標及び方法

目指すべきゴールは、大学における研究成果を速やかに実用化・社会実装することである。

## ○異分野融合体制を活かして複数課題に対して新産業分野創出の可能性を模索する。

研究開発は上流から下流までの分野の専門家をスタッフとして、プロジェクト内での異分野融合体制により進める。この体制により、目まぐるしく変わるデバイスからの要請を正しく理解し、新規機能性結晶を開発し、迅速に実用化する。材料開発は「千三つ」「実用化には10年かかる」という言葉があるが、これはニーズを正しく理解せずに、設計指針もなく絨毯爆撃的に開発を行う場合である。本プロジェクトでは、2つの戦略により「千三つ」を「百三つ」に、「10年説」を「3年」にすることに挑戦している。その1つが研究室内異分野融合である。異分野融合の有効性が叫ばれて久しいが、実際にそれを他の研究室同士で行うと、どうしても時間的や文化的なロスが生じる。当研究室では、これを1研究室内で行い、すなわち、毎週のリサーチミーティングで異分野融合の議論を続けることで、上流側の研究者は下流側のニーズを正しく理解して材料開発を行うことができ、また、下流側の研究者は上流側で創られつつある新材料を踏まえたデバイス設計を世界に先駆けて開始することが出来る。これにより千も失敗せずとも、実用化に足る材料に辿り付き、それを用いたデバイスも創ることが出来る。

もう1つの戦略が実験の高速化である。これまでのプロジェクト研究で実績が出始めた独自開発の機能性単結晶バンドギャップエンジニアリングや共添加等の設計指針と従来法より数十倍以上の育成速度で材料探索可能なマイクロ引き下げ(μ-PD)法の技術をベースに、圧倒的な速さで材料スクリーニングすることで新規機能性結晶や最適材料組成を見出し、エネルギー、医療、セキュリティ、IoT、自動車用部品、航空宇宙用部品等の様々な分野における新産業創出を目指している。

## ○産業・経済・社会への波及効果

本研究開発の成果は、全てをインターネットに繋げる IoT デバイス、環境振動を利用した発電素子、機能を融合した医療装置、テロ対応の安全・安心用のセンサー、自動車用部品、航空宇宙用部品等、市民社会の利便性や安全・安心といった生活の質の向上を実現する様々な機能性デバイスに用いられることとなり、波及効果は大きい。ただし、近年は求められるデバイスの性能が変わるスピードが極めて短期間となっているので、「実用化には10年かかる」と言っていたのでは優れた材料も日の目をみることが期待できない。 $\mu$ -PD 法を駆使した高速スクリーニングと最適組成での単結晶大口径化技術を組み合わせることにより、3~5年で実用化することで産業・経済・社会の発展に貢献して参りたい。

## ○国内外の動向及び国際的意義

市民社会の利便性や安全・安心といった生活の質の向上を実現する様々な機能性デバイスには、それを動作させる機能性結晶が必要となる。多様化する IoT デバイスを始め、発電素子、医療装置、セキュリティやモニタリング用各種センサー、自動車・航空宇宙用部品等、近年は求められるデバイスの性能が変わるスピードが極めて短期間となっている。本プロジェクトの特色は異分野融合体制と独自の設計指針により、新規機能性結晶を3~5年で実用化することで、世の中のニーズに迅速に対応することである。若手の海外研究者や留学生を積極的に受け入れることで、国際貢献にも尽力したい。

## (2)プロジェクト全体の年度別計画表

各サブテーマの年度別計画表は下記の通り。

サブテーマ名	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年~
(1)難加工性 Ir 合金種材 製造技術と次世代スパークプラグの開発					→
(2)PMN-PT 圧電単結晶の 製造技術開発					→
(3)共晶体構造を有する 高性能熱電材料の開発					→
(4)新規ランガサイト型 単結晶を用いた省電力振 動子の開発					→
(5)特定小電力無線向け 弾性表面波(SAW)フィル タの開発					→
(6)圧電単結晶を用いた 振動発電デバイスの開発					→
(7)高温環境成膜モニタ リングセンサの開発				→	→
(8)新規バイロシリケート 型結晶の開発					→
(9)ハロゲン化物結晶シ ンチレータの開発					→
(10)結晶材料の中性子検 出検出器への展開					→
(11)革新的放射線検出器 の開発					→
(12)基礎物理学実験への 結晶材料の橋渡し					→
(13)高機能光学セラミッ クス材料の創製					→
(14)共晶体シンチレータ を用いた高解像度放射線 検出器の開発					→
(15)共添加 GAGG シン チレータの開発と実用化 研究					→
(16)宇宙船応用高溫耐久 かつ高剛性な熱電対の開 発				→	→
(17)高温環境用ヒータ線 材の開発					→
(18)二重ペーダー崩壊観測 用 CdI <sub>x</sub> 系シンチレー タ結晶の開発					→
(19)単一光子検出器用 Cd Br <sub>3</sub> シンチレータの 開発					→
(20)環境発電デバイス用 磁歪単結晶の開発					→
(21)EFG 法による M <sub>0</sub> ルツボを用いた形状制御 シンチレータ単結晶成長 技術の開発					→
(22)超高計数率測定シス 템の確立			→		→

プロジェクト全体の進捗管理は週に1回の頻度で定期的に WEB 会議を行っている。

各テーマに関しては、それぞれ担当する准教授を決め、日々の研究進捗のマネジメントをしてもらう体制となっている。

(3) 研究組織・研究分担(すべての研究者について具体的に記入して下さい。)

1. 組織図		
役職	氏名	研究分担
教授	吉川 彰	研究統括・材料設計
准教授	横田 有為	材料設計・結晶作製
准教授	鎌田 圭	材料設計・結晶作製
准教授	黒澤 俊介	材料設計・シンチレータ評価
准教授	大橋 雄二	材料設計・圧電特性評価
准教授	佐藤 浩樹	材料設計・結晶作製
准教授	豊田 智史	材料設計・シンチレータ評価
助教	山路 晃広	結晶作製・シンチレータ評価
助教	吉野 将生	結晶作製・シンチレータ評価
助教	花田 貴	材料設計・シンチレータ評価
助手	川口 邦子	結晶作製・シンチレータ評価
助手	石川 志緒利	結晶作製・シンチレータ評価
技術主幹	庄子 育宏	結晶作製
技術参事	上村 博	契約全般・知財管理
技術補佐員	佐々木 愛美	実験補助
技術補佐員(2013.7~2017.4まで)	武田 悠佳	実験補助
技術補佐員	戸口 景子	実験補助
産学官連携研究員	宍戸 統悦	アドバイザー
産学官連携研究員	菊地 昌枝	アドバイザー
技術補佐員	工藤 真紀	結晶作製・シンチレータ評価
技術補佐員	真壁 あい	結晶作製・シンチレータ評価
JSPS Fellow	Karol Bartosiewicz	結晶作製・シンチレータ評価
学術研究員	Kyoung Jim Kim	結晶作製・シンチレータ評価
学術研究員	堀合 肇彦	結晶作製・シンチレータ評価
博士課程三年(社会人)	古谷 優貴	結晶作製・シンチレータ評価
博士課程三年	小玉 翔平	圧電デバイス作製・評価
修士課程二年	大和田 悠介	結晶作製・シンチレータ評価
修士課程二年	倉嶋 佑太朗	結晶作製・シンチレータ評価
修士課程二年	小瀧 淳	結晶作製・シンチレータ評価
修士課程一年	須田 貴裕	結晶作製・シンチレータ評価
修士課程一年	瀧澤 優威	結晶作製・シンチレータ評価
民間等共同研究員((株)C&A)	Vladimir.Kochurikhin	結晶作製
民間等共同研究員((株)C&A)	長門 久和	結晶加工
民間等共同研究員((株)C&A)	早坂 将輝	結晶作製
民間等共同研究員((株) C&A)	村上 力輝斗	結晶作製
民間等共同研究員((株) C&A)	二瓶 貴之	結晶作製
民間等共同研究員((株) C&A)	糸井 椎香	結晶加工
民間等共同研究員((株) C&A)	千田 いづみ	アレイ加工
民間等共同研究員((株) EXA)	吉田 洋	装置設計・装置作製
民間等共同研究員(T 社)~2018.3まで	研究員 A	結晶作製・圧電特性評価
民間等共同研究員((株)Piezo Studio)	井上 憲司	圧電デバイス設計・評価
民間等共同研究員((株)Piezo Studio)	石田 泰昭	圧電デバイス設計・評価
民間等共同研究員((株)Piezo Studio)	工藤 哲男	結晶作製・シンチレータ評価
民間等共同研究員((株)Piezo Studio)	木村 悟利	圧電デバイス設計
民間等共同研究員(NITTOKU(株))	船木 重浩	結晶作製装置開発
~2020.3まで		
民間等共同研究員(野洲メディカルイメージングテクノロジー(株))~2020.3まで	上崎 里砂	結晶作製

役職	氏名	研究分担
Visiting Professors		
Prof.	Georges Boulon	
Dr.	Christophe Dujardin	
Dr.	Martin Nikl	
Dr.	Valery I. Chani	
Dr.	Andrey Medvedev	
Visiting Researchers		
Dr.	Jan Pejchal	
Dr.	Kral Robert	
Dr.	Wojciech Gieszczyk	

## 2. 研究分担

**研究総括** 吉川

**材料設計** 吉川、横田、鎌田、黒澤、大橋、佐藤、豊田、吉野、花田

**結晶作製** 横田、鎌田、佐藤、吉野、山路、庄子、Vladimir.Kochurikhin、堀合、小玉、倉嶋、小瀧、須田、瀧澤、工藤、石川

**光学・シンチレータ評価** 黒澤、豊田、吉野、山路、花田、川口、石川、佐々木、戸口、堀合、小玉、倉嶋、小瀧、須田、瀧澤

**圧電特性評価** 大橋、井上、工藤、石田、大和田

**ベンチャー経営論** 川口

**知財管理・契約** 上村

**アドバイザー** 宍戸、菊地

**結晶加工** 長門、糸井、千田

**圧電デバイス設計・評価** 井上、大橋

## (4) プロジェクトの評価に当たっての特筆事項

当プロジェクトでは、社会還元を念頭に開発を実施しており、大学への研究資金を充実させるだけでなく、開発した材料や装置を実際に実用化に繋げ、社会実装に結び付けることを最も重視した。そのため、それぞれの公的助成金や民間との共同研究において、我々のプロジェクト用だけに研究資金を配分するのではなく、共同開発を行う企業に対して大部分の研究資金を配分した。我々のプロジェクトの研究資金が各テーマの研究開発において比較的少なめに設定されているのは上記の理由であり、プロジェクト評価の際には、研究開発資金の額だけではなく、実際に実用化・社会実装に繋がった研究開発の内容・結果に関しても考慮頂きたい。

また、人材育成の観点から、プロジェクトリーダーのみならず、NICHe 専任准教授達にも公的助成金の研究代表者を任せることも試み、成功し始めているので、この点も評価の際にご留意頂きたい。

さらに、知的基盤としての社会還元である論文数、共同研究企業の競争力確保の形での社会還元である特許出願件数に関しても努力したので、これらに関しても考慮を頂ければ幸いである。

また、NICHe 発ベンチャー(吉川プロジェクトからスピンアウト)の1つである株式会社C&Aが2020年版経済産業省認定グローバルニッセイ企業100選に選出された(100社のうち、東北地方の企業は3社、宮城県からは(株)C&A1社のみ)。大学発ベンチャー企業としては唯一の選出である。研究室の成果そのものではないが、大学の成果を社会実装するという観点から重要な成果であると思われる所以、本件も考慮を頂ければ幸いである。

## I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

### I-1. 開発研究の進捗状況

#### (1) 開発研究進捗状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

【公的機関】CERN、ITER、NASA、US Air Force、リヨン第一大学、チェコ物理研、ヴロツワフ大学、Kazimierz Wielki Universit、テネシー大学、東京大学、京都大学、大阪大学、名古屋大学、QST、原研、東京工業大学、埼玉大学、山形大学、筑波大学、宮城県産業総合センターなど

【企業】キヤノン、M社、三菱電機、東芝、日立金属、日立アロカメディカル、TDK、古河機械金属、古河シンチテック、田中貴金属、浜松ホトニクス、日本結晶光学、仙台画像検診クリニック、由利工業、三幸、C&A、千代田テクノル、オキサイド、トクヤマ、T社、サンリック、東栄科学産業、TEP、スター精機、第一機電、NITTOKU、野洲メディカル、ダイヤトレンド、Piezo Studio、MIT、XMAT、S社、シーメンス、ヘレウス、フェデラルモーグル、ボッシュ等

との共同研究を実施中である。

#### (1) 難加工性Ir合金線材製造技術と次世代スパークプラグの開発

##### <成果の概要>

難加工性により線材化プロセスにおいて非常に大きな製造コストが必要であったIr合金の線材化技術をA- $\mu$ -PD法を用いることで実現した。さらに、NEDO中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業においてNITTOKU(株)とともにIr合金線材の長尺化・量産技術開発、および長尺線材の巻き取り装置開発を実施した。当該技術で作製したIr-Ru合金線材は、平成30年7月から開始されたNEDO戦略的省エネルギー技術革新プログラムにおいて(株)ヘレウス、(株)C&Aとともに実用化を目指しており、Ir-Ru合金線材の製造技術開発とIr-Ru電極搭載高効率スパークプラグの実用化試験を実施中である。



##### <特筆すべき達成内容>

NITTOKU(株)とともにIr合金線材の長尺化・量産技術を確立し、および長尺線材の巻き取り装置を開発した。さらに、その成果を基に(株)ヘレウス、(株)C&AとともにNEDO戦略的省エネルギー技術革新プログラムにおいて、Ir-Ru合金線材の製造技術を実現した。

##### <実用化への課題>

現在、Ir-Ru電極搭載高効率スパークプラグの実用化試験を実施中であり、自動車部品メーカーの協力による自動車試験へと展開するべく研究を進めている。

#### (2) PMN-PT圧電単結晶の製造技術開発

##### <成果の概要>

高い圧電特性を有するPMN-PT圧電単結晶のバルク単結晶育成技術を開発した。垂直ブリッジマン法による1~2インチ径バルク単結晶の作製技術を確立し、作製したPMN-PT単結晶は目的とする高い圧電特性を示した。さらに、横型のゾーンメルト法による高品質PMN-PT単結晶の育成技術の開発にも着手し、今後はその安定した結晶成長と更なる大口径化を目指す。

##### <特筆すべき達成内容>

高い圧電特性を有するPMN-PT圧電単結晶の1~2インチ径バルク単結晶育成技術を確立した。

##### <実用化への課題>

実用化には、3インチ以上の大口径化が求められており、更なる単結晶育成技術の開発を進める必要がある。

#### (3) 共晶点構造を有する高性能熱電材料の開発

##### <成果の概要>

NEDO未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発および科研費基盤研究Bにて、共晶点組成の原料融液を一方向凝固することで自己組織化した共晶点構造を有する熱電材料を京都大学・産総研とともに開発した。Nb添加SrTiO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>において、共晶点構造に起因する熱伝導率の低減に成功した。今後は、より熱電特性の高い合金系熱電材料に応用展開するとともに、当該熱電材料を搭載したモジュールの開発を予定している。

##### <特筆すべき達成内容>

NEDO未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発にて、共晶点組成の原料融液を一方向凝固することで自己組織化した共晶点構造を有する熱電材料を実現した。共晶点構造に起因する熱伝導率の低減に成

功し、性能指数が向上した。

<実用化への課題>

共晶体構造を有する熱電材料の実用化には、更なる熱電特性の向上が必要であり、より熱電特性の高い合金系熱電材料において共晶体構造の自己組織化を実現する必要がある。

**(4) 新規ランガサイト型単結晶を用いた省電力振動子の開発**

<成果の概要>

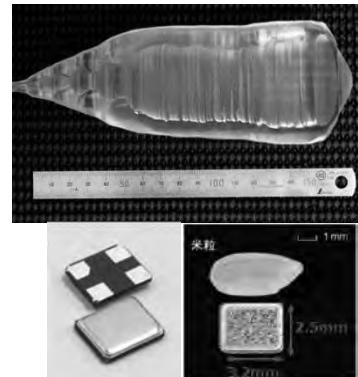
NEDO 戦略的省エネルギー技術革新プログラムにおいて東芝照明プレシジョン(株)、(株)C&A、(株)Piezo Studio とともに、新規ランガサイト型単結晶を開発し、従来の水晶振動子では実現困難な低周波帯で小型・低消費電力・高速起動可能な振動子を開発した。

<特筆すべき達成内容>

研究室発ベンチャーの(株)C&A が単結晶を実用化、(株)Piezo Studio から振動子有償サンプルの提供を開始した。

<実用化への課題>

振動子の低コスト化に向けて単結晶の大口径化が課題。



**(5) 特定小電力無線向け弾性表面波(SAW)フィルタの開発**

<成果の概要>

JST A-STEP シーズ育成タイプ事業において、(株)Piezo Studio とともに新規ランガサイト型単結晶を用いた特定小電力無線用 SAW フィルタの開発に成功。

<特筆すべき達成内容>

現状普及している吸湿性が高い LBO 単結晶は、特殊な製造ラインが必要なため供給停止危機にあるが、その代替となるランガサイト型単結晶で問題を克服し、従来品と同等以上の性能を実証。

<実用化への課題>

低コスト化に向けて単結晶の大口径化が課題。

**(6) 圧電単結晶を用いた振動発電デバイスの開発**

<成果の概要>

NEDO 新エネルギーベンチャー技術革新事業においては、(株)C&A と共に新圧電単結晶材料を用いた屈曲振動による発電技術を開発した。JST A-STEP 戰略テーマ重点タイプ事業においては、(株)Piezo Studio と共に3次元圧電単結晶スプリングを用いた振動発電技術を開発した。

<特筆すべき達成内容>

当研究室オリジナル技術(マイクロ引き下げ法)による形状制御技術を応用し、スプリングのような加工技術では実現が難しい3次元構造の単結晶育成技術に進化させた。

<実用化への課題>

形状制御の精度、発電量の改善、発電量とサイズにマッチした応用先の発掘が課題。

**(7) 高温環境成膜モニタリングセンサの開発**

<成果の概要>

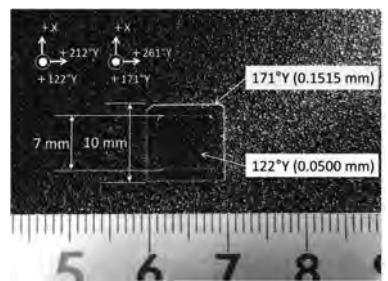
NEDO 先導研究プログラムにおいて、従来の水晶では実現できなかった 300°C を超える高温度領域の成膜モニタリングセンサをランガサイト型単結晶を用いて開発に成功。広い温度範囲に渡って温度依存性を抑制できる新規貼り合わせ振動子構造を提案し、原理実証に成功。

<特筆すべき達成内容>

300°C 超の温度域で動作しつつ水晶センサと同等以上の感度を達成。新規の貼り合わせ構造により水晶でも 100~300°C の広温度範囲で 12ppm 以内の周波数変動に抑制できる超安定センサの実現性を見出した。

<実用化への課題>

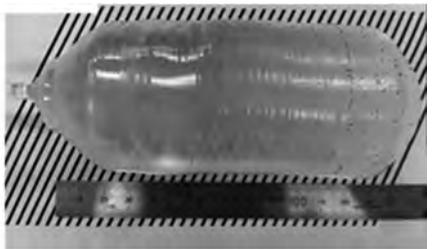
ユーザーのテストサンプル評価の実施、原子層堆積(ALD)応用に向けた高性能ホルダの開発、貼り合わせ構造における高温での歪み破壊の抑制などが課題。



## (8) 新規パイロシリケート型結晶の開発

### <成果の概要>

高温でも発光特性の劣化が小さい新規パイロシリケート型結晶の実用化に成功し、またアレイ化などの素子化も取り組んだ。さらに、発光機構の解明や、周辺材料の探索なども網羅的に実施した。



### <特筆すべき達成内容>

光電子増倍管利用時の非潮解、かつ、高いガンマ線検出効率をもつ材料の中で、世界最高のエネルギー分解能を達成。

### <実用化への課題>

歩留まりの向上が課題となっており、そのための作業を順次すすめている。

## (9) ハロゲン化物結晶シンチレータの開発

### <成果の概要>

緑色(550 nm)から赤外線(1100 nm)までの発光体といった新しい領域を世界に先駆けて開発しており、半導体直接放射線検出器を凌駕する発光体の研究を進めている。

### <特筆すべき達成内容>

赤色発光体で、世界最高の発光量と最速蛍光寿命をもつ材料を開発した点。

### <実用化への課題>

原材料の高純度化による結晶の高品質化が今後のカギである。

## (10) 結晶材料の中性子検出検出器への展開

### <成果の概要>

網羅的に有機材料の探索を行うことができ、そのなかでも、直径 2 インチの大型結晶の育成にも成功し、さらに、アレイ化などの素子化にも成功した。加えて、撮像装置としての開発も成功した。

### <特筆すべき達成内容>

原子炉中でも動作できる革新的なシステムの構築までできた。

### <実用化への課題>

中性子源の小型化が、普及のカギであり、検出器以外の部分についても今後関与したい。

## (11) 革新的放射線検出器の開発

### <成果の概要>

電子飛跡型コンプトンカメラの高線量場での撮像を可能にするための改良を加えて成功した。

### <特筆すべき達成内容>

世界初の、粒子線治療時と同等の線量レベルでの撮像に成功した。これらについては、プレスリリースされて、日経新聞、日刊工業新聞などに取り上げられた。

### <実用化への課題>

医療機器としての認証にむけた作業をこれから行う必要があり、山形大学病院などと協力して実施する。

## (12) 基礎物理学実験への結晶材料の橋渡し

### <成果の概要>

暗黒物質探査、二重ベータ実験、原子時計、ニュートリノ計測などの実験への寄与ができた。

### <特筆すべき達成内容>

これまでに報告されていない光学材料の特性について網羅的に調査することができた。

### <実用化への課題>

組成の最適化とともに、量産体制(低コスト化)が必要であり、そのための原材料合成法の最適化などを現在行っている。

## (13) 高機能光学セラミックス材料の創製

### <成果の概要>

有効原子番号が高く、超高速計数が可能な新規材料の開発に成功した。また、当該材料を用いた計測機器概念についても提唱した。

### <特筆すべき達成内容>

同上。また、関連する特許を出願した。

### <実用化への課題>

量産体制の確立が課題であるが、現在、共同研究先と調整中である。

#### (14) 共晶体シンチレータを用いた高解像度放射線検出器の開発

##### <成果の概要>

高発光量が期待されるハロゲン化物シンチレータをロッド相とする共晶体を中心に、規則型のファイバーシンチレータ相を有する、共晶体シンチレータの開発を行った。

##### <特筆すべき達成内容>

Ce:LaBr<sub>3</sub> をロッド相とし、アルカリ土類金属臭化物をマトリクス相となる新規共晶体シンチレータを見出した。

##### <実用化への課題>

発光量や蛍光寿命には優れるものの、潮解性が強いという課題がある。また、ロッド相、マトリクス相の屈折率差を大きくし、解像度を高める工夫も今後の課題である。

#### (15) 共添加GAGGシンチレータの開発と実用化研究

##### <成果の概要>

共添加 GAGG の性能向上と量産性向上の実用化開発を C & A 社と共に進めている。W, Mo 等の共添加材を添加した GAGG について、1 インチ径チャクラルスキー法での結晶育成の検討を行った。組成分析とシンチレータ特性評価を実施し、共添加濃度とシンチレータ特性との関連性を確認した。作製結晶の組成分析とシンチレータ特性評価を実施し、シンチレータ特性上も問題ないことを確認した。



##### <特筆すべき達成内容>

量産性向上の検討として従来の 3 インチサイズから、4 インチサイズへの大型化の検討を行い、クラックフリーでの 4 インチ GAGG 結晶の作製に成功した。

なお、当該結晶を事業化した研究室発ベンチャーの株式会社C&Aは、2020 年版経済産業省認定グローバルニッセイ企業 100 選に選出された。宮城県企業として唯一、東北地方でも3社のみの選出である。また、大学発ベンチャーとしては全国でも唯一の選出である。

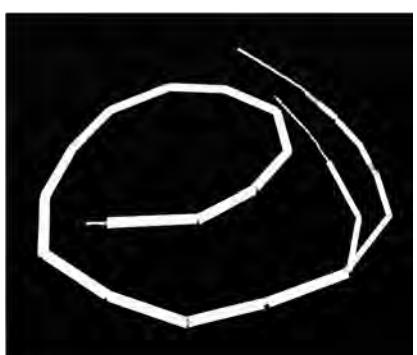
##### <実用化への課題>

実用化され、幾つかの装置への採用が進んでいる。世界的に普及するためにコスト競争力を付ける観点から、4 インチ結晶の歩留まり向上が課題となる。

#### (16) 宇宙応用高温耐久かつ高靱性な熱電対の開発

##### <成果の概要>

宇宙船に搭載する耐熱材料の開発段階および実機搭載段階での超高温環境下で用いることができる、長尺・柔軟の Ir 系熱電対の製造技術の開発を行なっている。C&A 社と協力し、低組成変動 Ir-Rh 合金ワイヤ製造技術の開発を行った。C&A 社においては、形状安定性および組成安定性を維持する Ir および Ir-Rh ワイヤの結晶育成条件最適化が実施されている。これに対し金属材料研究所では、A- $\mu$ -PD 法により作製された Ir-Rh 合金ワイヤの組成分析を実施し、Rh 濃度の組成変動率について調査を行い、育成条件へのフィードバックを実施し、10m の Ir-40Rh ワイヤの作製に成功した。



##### <特筆すべき達成内容>

目標組成に対し Rh 濃度変動  $\pm 3\%$  以内の組成変動率目標値を満足するワイヤ育成条件が見出された。

##### <実用化への課題>

超高精度を狙う方向と汎用品として低コスト化を狙う方向がある。低コスト化には量産性向上を目指して更なる長尺化と組成変動率低減の両立が課題となる。超高精度を狙う方向では、線材全てを単結晶とする技術開発が課題となる。

#### (17) 高温環境用ヒーター線材の開発

##### <成果の概要>

本開発では、第一に高温耐久性と柔軟性を兼ね備える合金組成の決定に着手した。W および Mo は高い耐久性を有するものの、単独では  $\mu$ -PD 法において使用するジルコニアるつぼの融点を上回ってしまう。そこで、高融点かつ真空中における蒸気圧が低く、W および Mo に対して化合物を形成しない合金化が可能である元素を調査し、ジルコニアるつぼとの反応性試験を実施した。本結果から、比較的低温で抵抗線として利用される合金元素群においてはジルコニアとの反応性が比較的高く、安定した結晶成長に適さない可能性が高いことが見出されたことに加え、高温領域で利用されるタンゲステンおよびモリブデンに対してルテニウムを置換した合金系については、完全に溶融した状態を維持した際においても反応性が低いことが見出された。この試

験から、高品質な線材化が可能であると考えられる組成として、W および Mo に対してルテニウムを含む合金系を厳選した。

〈特筆すべき達成内容〉

高温領域で利用されるタンゲステンおよびモリブデンに対してルテニウムを置換した合金系については、完全に溶融した状態を維持した際ににおいても反応性が低いことが見出された。

〈実用化への課題〉

低コスト化には量産性向上を目指して更なる長尺化と組成変動率低減の両立が課題となる。

### (18) 二重ベータ崩壊観測用 CaI<sub>2</sub>系シンチレータ結晶の開発

〈成果の概要〉

Ca(Br, I)<sub>2</sub>に対し、Br:I の組成比とシンチレータ特性、結晶構造との相関関係を明らかにし、大型化を目指した開発を進めた。

〈特筆すべき達成内容〉

CaI<sub>2</sub>で問題となっていたへき開性の問題に対し、CaI<sub>2</sub>とは異なる結晶構造を有する Ca(Br, I) 化合物の新規組成を見出した。へき開性は CaI<sub>2</sub>に対し、少ないことが、結晶加工段階で確認された。

〈実用化への課題〉

Ca(Br, I) 化合物の正確な調和融液組成の決定や、大型結晶作製技術、加工パッケージング技術の開発が、今後の課題となる。

### (19) 単一光子検出器用 CeBr<sub>3</sub>シンチレータの開発

〈成果の概要〉

東京大学、東大病院、理研を中心とした研究グループによりコンプトンカメラ方式による単一光子検出器開発を基盤 S 事業にて開発を進めている。東北大の担当としては、潮解性を有するものの、発光量、エネルギー分解能、蛍光寿命に優れた CeBr<sub>3</sub> 結晶の高品質大型化と、アレー化、パッケージング技術の開発を進めた。

〈特筆すべき達成内容〉

2 インチ径の安定的な結晶作製技術の確立に成功し、3%@662keV 台のエネルギー分解能を達成した。さらに、3 mm 角にアレー化する加工、パッケージング技術も確立した。

〈実用化への課題〉

今後、パッケージング品の長期間の安定性の確認や、CeBr<sub>3</sub> 原料が高価格なため、原料の低価格化が実用上の課題となる。

### (20) 環境発電デバイス用磁歪単結晶の開発

〈成果の概要〉

2014 年度のセンサーの世界市場規模は 4 兆 5771 億円と報告されており、振動発電を含む環境発電の 2012 年度の世界市場規模は 5 億ドルであり 2017 年には 70 億ドルを超えるであろうと予測されている。磁歪振動発電デバイスは、インフラ、防災、気象、位置情報をはじめ、ヘルスケア、船舶、自動車・鉄道・航空機などにおいて用いられる、各種センサー用電源としての普及が期待できる。本テーマでは磁歪発電デバイスへの応用を目的として、μ-PD 法を用いて鉄-ガリウム系磁歪材料の探索を行った。磁歪定数が Galfenol よりも大きくなる結晶組成を見つけ出し、結晶方位制御ニアネットシェイプ単結晶作製技術を確立した。

〈特筆すべき達成内容〉

専用ルツボの設計と結晶成長条件の確立により、5mm × 1 mm × 320mm サイズの Galfenol 結晶の作製技術を確立した。マイクロ引下げ法により、市販の Galfenol(240ppm) を上回る 319ppm の磁歪定数を有する形状制御板状結晶を製造可能であることを実証した。

〈実用化への課題〉

市場調査の結果、ターゲット価格が明確化され、磁歪発電デバイスの価格構成が明らかとなった。磁歪発電デバイスの中で最もコスト比率が高い部材が磁歪結晶であり、磁歪発電デバイスの普及には、磁歪結晶の低コスト化が課題となることが明らかとなった。

### (21) EFG 法による Mo ルツボを用いた形状制御シンチレータ単結晶成長技術の開発

〈成果の概要〉

Mo ルツボによる結晶作製の可能性が示された、YAG, LuAG, YAP, GAP/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> について、濡れ角の測定結果に合わせた、Mo ダイを設計製作し、EFG 法による結晶作製を行った。特に、市場調査の結果、有望と思われる CERN の新検出器プロジェクト用の長尺 LuAG および YAG 結晶について、8 本マルチ結晶作製の検討を進め、1×10×300mm の長尺板状結晶を同時に 8 枚作製する単結晶作製技術の開発に成功した。得られた結晶は、250mm の長さで、シンチレータ特性が ±10% 以内の変動率に収まっていることが確認された。

<特筆すべき達成内容>

LuAG、YAG の長尺板状結晶(1x10x300mm)を同時に 8 枚作製する単結晶作製技術の開発に成功した。

<実用化への課題>

同時に作製できる枚数の増加、連続育成化などによる量産性向上と形状の高精度化が課題。

## (22) 超高計数率測定システムの確立

<成果の概要>

2011 年 3 月の東日本大震災に端を発する東京電力 福島第一原子力発電所の事故では、廃炉を安全かつ着実に、かつ迅速に行なうことが求められている。1-3 号機では、廃炉手順の一つとして燃料デブリなど高線量放射性 “ごみ” の取り出しが、要求されている。これらの取り出しには、はじめに、「どのように “ごみ” が分布するか」を確認する必要がある。しかしながら、炉内の環境は非常に高い空間線量を示すことから、数分以内などの比較的短期間で、その場の線量を知ることができるリアルタイムの線量計、サーベイメータといった放射線計測機器の利用は不可能である。具体的には、放射線が入射することによって発光するシンチレータは、自身も一定量以上の強度の放射線を浴びると発光量の低下といった性能の劣化が起きるが、それ以上に発光した光を電気信号に変換する光検出器や回路が、高い線量の環境下ではノイズまみれになり、正常に動作しなくなる。

そこで、シンチレータは高い線量の炉内に入るものの、光ファイバーを使ってシンチレータからの光を比較的線量の低いエリアまで取り出して、そこで光検出器で読み出すというシステムを開発している(以下「分離型」)。この分離型の長所は、高線量場でも測定可能である点に加えて、光ファイバーを取り付けたシンチレータのみを、ロボット(台車)に載せて高線量場に運び、測定することができるため、システムとしては単純になる。

ただし、炉の外側の線量の低いエリアまでシンチレータの光を伝搬させる必要があるため、光ファイバーの長さは 100 m 程度、もしくは、それ以上の長さになる可能性がある。つまり、非常に明るいシンチレータである必要がある。また、光ファイバーは 600-1300 nm の波長で伝送効率が非常に良いが、そのほかの範囲では光の伝送効率が悪いため、効率の良い波長での発光体が要求される。

既存のシンチレータの発光波長はおおむね 550 nm 以下の緑、青、紫、および紫外線発光のものが大半であり、分離型での測定は、実現が難しかったが、今回、高い発光量を持ち、なおかつ、600 から 800 nm 程度に発光波長をもつ新しい材料を開発し、本システムの確率を行うことに成功した。

<特筆すべき達成内容>

材料の開発から、システムの開発までを一貫して、2 年以内に実施できた。プレスリリースもされ、日経新聞、毎日新聞などに取り上げられた。

<実用化への課題>

関係省庁、関係機関と調整中であり、耐性などについて今後詰めてゆき、当該廃炉作業に速やかに対応する。

## I-2. 研究者の育成状況(各種研究員の受け入れ状況等を含む)

### (1) 修士号・博士号取得者

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①修士号取得者(うち本学) (うち社会人)	4 人 0(人)	2 人 0(人)	1 人 0(人)	4 人 0(人)	3 人 0(人)
②博士号取得者(うち本学) (うち社会人)	0 人 0(人)	0 人 1(人)	0 人 0(人)	1 人 0(人)	1 人 0(人)

### (2) 研究員等受け入れ数

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度-
①民間等共同研究員	9 人	11 人	14 人	15 人	21 人
②受託研究員	0 人	0 人	0 人	0 人	0 人
③ポスドク	0 人	0 人	2 人	2 人	2 人
④修士課程・博士課程	7 人	6 人	7 人	9 人	6 人
⑤研究所等研究生	0 人	0 人	0 人	0 人	0 人

### (3) 国際交流の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

共同研究・学術交流を目的として、18 件の国際交流の実績がある。主として、リヨン第1大学(フランス)、チェコ科学アカデミー物理研究所(チェコ)、欧州原子核研究機構・CERN(スイス)、国際熱核融合実験炉・ITER(イタリア)、NASA(アメリカ)、フォーモス・マテリアルズ社(ロシア)、ロシア科学アカデミー基礎物理研究所(ロシア)、テネシー大学(アメリカ)、モンクトン工科大学トンブリー校(タイ)、ミラノ・ビコッカ大学(イタリア)、ウクライナ国立科学アカデミー(ウクライナ)、テネリフェ大学(スペイン)、ヴロツワフ大学(ポーランド)等と国際共同研究を行っている。

### 《開発研究の進捗状況に関するコメント》

#### (1) 難加工性 Ir 合金線材製造技術と次世代スパークプラグの開発

難加工性合金材料の開発では、2018 年度から C&A 社、ヘレウス社との NEDO プロジェクト(PL:吉川)がスタートしており、Ir-Ru 線材の製造技術開発と当該線材を搭載したスパークプラグの開発が現在進行中である。今後は、NGK 等の自動車部品メーカーとともに開発した高効率スパークプラグの自動車試験を実証ステージにおいて実施する予定である。

#### (4) 新規ランガサイト型単結晶を用いた省電力振動子の開発

当研究室発ベンチャーの株式会社 Piezo Studio から有償サンプルの提供を開始しており、今後の更なる振動子の低コスト化に向けて単結晶の大口径化を進めている。

#### (5) 特定小電力無線向け弹性表面波(SAW)フィルタの開発

次世代向け無線通信用フィルタとしての応用展開を探索する予定である。

#### (6) 圧電単結晶を用いた振動発電デバイスの開発

プロジェクトを継続する中で、スプリング状の単結晶製造の精度を高めつつ、振動発電以外にもアクチュエータ、センサー等へ新たな応用開拓と実用化に向けた研究開発を推進する予定である。

#### **(7) 高温環境成膜モニタリングセンサの開発**

振動子を応用した微質量センサーの応用開発として、高温センサ用途への可能性拡大や新規の貼り合わせ構造による温度依存性改善の原理実証に成功しており、新ベンチャーの(株)XMATと共に次世代半導体製造のための高温対応成膜センサへの実用化研究への展開も進めている。

#### **(8) 新規パイロシリケート型結晶の開発**

新規パイロシリケート型結晶の開発では、新規材料の開発、およびそれらの大型化などの結晶育成の開発、さらには応用に向けた取り組みが順調に進んでおり、NEDO のプロジェクト、科研費などのサポートを受けながら、アレイ化など素子化にも成功している。今後は、結晶育成の歩留まりの向上を目指す。

#### **(9) ハロゲン化物結晶シンチレータの開発**

ハロゲン化物結晶シンチレータの開発では、NEDO のプロジェクト、科研費などのサポートを受けながら、網羅的な材料探索を縦断爆撃的に行っており、新たに結晶の構造解析、バンド構造の解析、発光機構の解明も行いつつ、半導体を凌駕する材料開発とその応用を進めている。

#### **(10) 結晶材料の中性子検出器への展開**

結晶材料の中性子検出器への展開では、それぞれ、JST A-STEP (研究成果最適展開支援プログラム 産業ニーズ対応タイプ) に採択され、中性子発生源とそのモニタ開発の一環として、有機材料開発から撮像装置の立ち上げまでを進めている。

#### **(11) 革新的放射線検出器の開発**

AMED などからの支援を受けながら、世界初となる粒子線治療時のリアルタイム線量モニタ(撮像)の開発に成功しており、本装置の実用化を進めてゆく。なお、本事業については、プレスリリースが行われ、日経新聞、日刊工業新聞などで取り上げられた。

#### **(12) 基礎物理学実験への結晶材料の橋渡し**

基礎物理学実験への結晶材料の橋渡しについては、CERN、ITER などと、引き続き国際共同研究を進められているほか、国内でも、東京大学宇宙線研究所や筑波大学などの基礎科学部門の研究者とも連携を取れるにいたっている。さらに、JSPS の新学術領域にも採択されている。

#### **(13) 高機能光学セラミックス材料の創製**

当該材料の組成の最適化が順調にすすみ、今後は本材料の特徴を生かした革新的な医療機器の開発、材料の量産化に向けた条件出しを国内メーカーなどとともにを行う。

#### **(22) 超高計数率測定システムの確立**

日本原子力研究開発機構・文部科学省、および、英知事業からのサポートを受けながら、福島第一原発の速やかかつ安全な廃炉に向けた作業を進めており、そのための線量モニタ、アルファダスト撮像装置の開発を実行中。今後、すみやかな実用化を目指す。なお、本事業の成果については、プレスリリースが行われ、日経新聞、毎日新聞などで取り上げられた。

以上のように、各開発テーマは実用化に向けて着々と進展している。昨今の世界情勢としては、持続可能でよりよい世界を目指す「持続可能な開発目標(SDGs)」が掲げられており、わが国としても積極的な取り組みが進められている。我々のプロジェクトとしても、今後の研究開発はこれまでの研究成果をベースに「より持続可能な開発」を目指して、貴金属材料は回収も含めた循環型にすることや、より省エネルギー化できる材料製造法やデバイスの開発、AI を導入した新しい高効率材料開発技術の構築などへ拡張していく予定である。

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

### II-1. 民間企業への技術移転進捗状況について

#### (1) 民間企業への技術移転件数

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①開発研究成果が特許権又はその他の知的財産権(受ける権利を含む)の実施許諾あるいは譲渡によって民間企業へ技術移転された件数 (うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業への技術移転件数)	2 件 ( 2 件)	2 件 ( 2 件)	3 件 ( 3 件)	2 件 ( 2 件)	2 件 ( 2 件)
②①以外の形での民間企業への技術移転件数 ( 同 上 )	0 件 ( 0 件)	2 件 ( 2 件)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( .0 件)	0 件 ( 件)
③上記の①又は②の中で「新産業分野 <sup>注2)</sup> 創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数 ( 同 上 )	0 件 ( 0 件)	2 件 ( 2 件)	3 件 ( 3 件)	2 件 ( 2 件)	2 件 ( 2 件)

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

注<sup>2)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。

#### (2) 民間企業への技術移転による商品化

時期/予定時期	企 業 ・ 組 織 名	活 動 内 容
2017.12.31	(株)C&A、(株)シリコンプラス	La-GPS シンチレータ結晶の 2 インチ化
2018. 3.31	(株)C&A	GFAG シンチレータ結晶の 3 インチ化、アレイ製品化 株式会社 C&A が 2020 年版経済産業省認定グローバルニッセイトップ企業 100 選に選出されたことは開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況としては特筆すべき成果である。選出された 100 社のうち、東北地方の企業は 3 社、宮城県からは(株)C&A 1 社のみであり、大学発ベンチャー企業としては唯一の選出である。
2018. 6.30	東芝照明プレシジョン(株)、(株)Piezo Studio	ランガサイト型圧電結晶と、その振動子製品化
2018. 5.31	(株)C&A	Ir および Ir 系合金の線材化技術
2019. 3.31	アダマンド並木精密宝石(株)	形状制御したシンチレータ結晶の製品化
2019. 3.31	(株)三幸	コーティングしたカーボンるつぼの製品化
2020. 12.31 予定	(株)Piezo Studio	圧電結晶の3インチ化
2021. 3.31 予定	(株)C&A、(株)EXA	スカルメルト法と CZ 法を融合した単晶育成装置

## II-2. 発明、特許権、その他の知的財産権の状況について

### (1) 特許権の出願・登録状況

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①発明件数	4 件	7 件	4 件	7 件	4 件
②特許権出願件数	8 件	9 件	4 件	7 件	4 件
特許権出願件数のうち国内	4 件	7 件	4 件	7 件	4 件
特許権出願件数のうち国外	4 件	2 件	2 件	2 件	2 件
②のうち特許権の審査請求済件数の累計(請求予定件数)	累計 8 件(予定 2 件)				
特許権登録件数	10 件				
上記の①又は②の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数プロジェクト期間の累計	30 件				

注<sup>1)</sup>①発明件数とは大学に届け出た件数のことを指します。

### <特許>

出願・取得済みの特許は、総数 32 件であるが、その代表的なものは以下のとおりである。

出願番号	発明者	出願人	国内申請		国外申請またはPCT		
			出願日	登録日	国名 PCT	出願日	登録日
(i) 特願 2016-51644	鎌田圭、吉川彰、横田有為、黒澤俊介、庄子育宏	東北テクノアーチ、(株) C&A	2017.4.20	2019.12.20	PCT	2015.4.30	2019.1.8
(ii) 特願 2017-52084	黒澤俊介、吉川彰、鎌田圭、横田有為、大橋雄二、堀合毅彦、庄子育宏、村上力輝斗	東北大學、(株) C&A	2016.5.27	2020.6.11	PCT	2016.5.27	2018.7.3
(iii) 特願 2018-501818	吉川彰、横田有為、大橋雄二、鎌田圭、工藤哲男、井上憲司、庄子育宏、五十	東北大學、(株) Piezo studio	2018.8.24	2020.6.16	PCT	2017.4	審査中

	嵐悠、荒川元孝、黒澤俊介、山路晃広					
備考 :						
(i) は GFAG (Fast-GAGG) シンチレータの特許で、(株) C&A で事業実施中である。同社の主力製品の一つで国内外の顧客に販売中。放射線検出器、医療画像検査装置 (PEM/PET) 用途。						
(ii) は La-GPS シンチレータの特許で、(株) C&A で事業実施中である。高温環境下でシンチレータ特性が低下しない特徴がある。欧米の資源探査の会社から引合いが増加中。						
(iii) は圧電結晶の特許で、希土類元素を削減したランガサイト型圧電結晶である。(株) Piezo Studio で製造販売予定。振動子・圧電センサー素子の用途。						

## II - 3. 論文・著書・学会等発表の状況

### (1) プロジェクトの開発研究成果

(論文・表彰などの研究成果に関する実績。プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①論文・著書数	52 件	29 件	33 件	31 件	15 件
②論文・著書の引用数 (プロジェクトリーダーが必要と判断した場合にのみ記載)	件	件	件	件	件

### <研究論文>

発表した論文は、総数 160 編であるが、その代表的なもの（20 編）は以下のとおりである。

#### (1) 難加工性 Ir 合金線材製造技術と次世代スパークプラグの開発

- [1] Fabrication of Metallic Fibers with High Melting Point and Poor Workability by Unidirectional Solidification, Y. Yokota, Takayuki Nihei, Kunihiro Tanaka, Koichi Sakairi, Valery Chani, Yuji Ohashi, Shunsuke Kurosawa, Kei Kamada, Akira Yoshikawa, Adv. Eng. Mater. Vol.20 (2018) 1700506.  
難加工性合金線材を製造技術を確立した研究に関する論文。これにより、スパークプラグ用 Ir 合金線材やヒーター用線材の製造が可能となり、その後の研究開発に繋がった。

#### (3) 共晶体構造を有する高性能熱電材料の開発

- [2] Thermoelectric properties of Nb-doped SrTiO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> eutectic solids fabricated by unidirectional solidification Yuui Yokota, Shigeru Horii, Hiraku Ogino, Masao Yoshino, Akihiro Yamaji, Yuji Ohashi, Shunsuke Kurosawa, Kei Kamada, Akira Yoshikawa, J. Electron. Mater. Vol.48 No.4 (2019) 1827-1832.  
共晶体構造を有する熱電材料をした Nb 添加 SrTiO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>において初めて実現した研究に関する論文。これにより、共晶体構造に起因する熱伝導度の低減に成功し、その後の研究開発に繋がった。

#### (4) 新規ランガサイト型単結晶を用いた省電力振動子の開発

- [3] Czochralski Growth of 2 in. Ca<sub>3</sub>Ta(Ga,Al)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>14</sub> Single Crystals for Piezoelectric Applications, A. Yoshikawa, Y. Shoji, Y. Ohashi, Y. Yokota, V. I. Chani, M. Kitahara, T. Kudo, K. Kamada, S. Kurosawa, A. Medvedev, and V. Kochurikhin, J. Crystal Growth, 452 (2016) 135.  
新規ランガサイト型単結晶の2インチの大型結晶の育成に成功。
- [4] Dependence of acoustic property on Al substitution for Ca<sub>3</sub>Ta(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>14</sub> single crystals, Y. Ohashi, M. Arakawa, T. Kudo, Y. Yokota, Y. Shoji, S. Kurosawa, K. Kamada J. Kushibiki and A. Yoshikawa, Jpn. J. Appl. Phys., 55 (2016) 07KB06.  
新規ランガサイト型単結晶の材料定数決定し、振動子の最適カット角・組成の導出に貢献。
- [5] Effects of Al substitution for Ca<sub>3</sub>Ta(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>14</sub> piezoelectric single crystals, Y. Yokota, Y. Ohashi, T. Kudo, V. V. Kochurikhin, A. Medvedev, S. Kurosawa, K. Kamada, and A. Yoshikawa, J. Crystal Growth, 468 (2017) 321.

様々な Al 置換組成のランガサイト型結晶の育成に成功。

#### (5) 特定小電力無線向け弾性表面波(SAW)フィルタの開発

- [6] Temperature dependence of acoustic property of  $\text{Ca}_3\text{Ta}(\text{Ga},\text{Al})_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  single crystals, Y. Ohashi, M. Arakawa, Y. Yokota, Y. Shoji, A. Yamaji, S. Kurosawa, K. Kamada and A. Yoshikawa, Jpn. J. Appl. Phys., 56 (2017) 07JB03.

新規ランガサイト型単結晶の材料定数温度計数を決定、ゼロ温度係数の SAW フィルタ用カット角導出に貢献。

#### (6) 圧電単結晶を用いた振動発電デバイスの開発

- [7] Crystal growth and piezoelectric properties of  $\text{Ca}_3\text{Ta}(\text{Ga}_{0.9}\text{Sc}_{0.1})_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  bulk single crystal, Y. Igarashi, Y. Yokota, Y. Ohashi, K. Inoue, A. Yamaji, Y. Shoji, K. Kamada, S. Kurosawa, and A. Yoshikawa, J. Crystal Growth, 485 (2018) 69.

発電用途で有利な圧電定数の向上が期待される Sc 置換のランガサイト型バルク単結晶の育成に成功した。

#### (7) 高温環境成膜モニタリングセンサの開発

- [8] Development of double layered thickness-shear resonator using langasite-type piezoelectric single crystal, Y. Owada, Y. Ohashi, M. Omote, Y. Yokota, S. Kurosawa, K. Kamada, H. Sato, S. Toyoda, M. Yoshino, A. Yamaji, and A. Yoshikawa, Jpn. J. Appl. Phys., 59 (2020) SKKC03.
- 広い温度範囲に渡って温度依存性を抑制できる新規貼り合わせ振動子構造を提案し、原理実証に成功。

#### (8) 新規パイロシリケート型結晶の開発

- [9] Comprehensive study on Ce-doped  $(\text{Gd}, \text{La})_2\text{Si}_2\text{O}_7$  scintillator, S. Kurosawa, T. Horiai, R. Murakami, Y. Shoji, P. Jan, A. Yamaji, S. Kodama, Y. Ohashi, Y. Yokota, K. Kamada, A. Yoshikawa, A. Ohnishi, M. Kitaura, IEEE TNS, 65 (2018) 2136
- 高機能パイロシリケート型シンチレータ結晶の開発の発光の特徴が、ほかのシンチレータと比べて、大変特徴的で、発光効率が非常に優れていることを初めて実証し、かつ、高い温度でも発光量が落ちない、バンドギャップが大きくても発光量が大きいといった、資源探査や核医学への応用が可能な特徴がどのような原理で発生するのかを指摘した重要な論文である。
- [10] Crystal structure of Ce-doped  $(\text{La},\text{Gd})_2\text{Si}_2\text{O}_7$  grown by the Czochralski process, R. Murakami, S. Kurosawa, H. Yamane, T. Horiai, Y. Shoji, Y. Yokota, A. Yamaji, Y. Ohashi, K. Kamada and A. Yoshikawa, J. Alloys Compd. 748, (2018) 404.
- 我々が開発したパイロシリケート型シンチレータ結晶の結晶構造を初めて明らかにした論文である。
- [11] Temperature dependence of Ce-doped  $(\text{Gd}_{0.6} \text{La}_{0.4})_2\text{Si}_2\text{O}_7$  scintillators, Takahiko Horiai, Shunsuke Kurosawa, Rikito Murakami, Akihiro Yamaji, Yasuhiro Shoji, Yuji Ohashi, Jan Pejchal, Kei Kamada, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa, Opt. Mat. 65 (2017) 56 - 59
- パイロシリケートの組成による温度特性を調べた論文であり、基本的に Gd/La を含む当該グループでは高温でも発光量が低下しにくいことを示した。

#### (9) ハロゲン化物結晶シンチレータの開発

- [12] Cesium Hafnium Chloride Scintillator Coupled with an Avalanche Photodiode Photodetector Shunsuke Kurosawa, Shohei Kodama, Takahiko Horiai, Yasuhiro Shoji, Akihiro Yamaji, Yuji Ohashi, Yuui Yokota, Kei Kamada, Akira Yoshikawa JINST, 12 (2017) C02042
- 既存のシンチレータと同じ発光波長領域において、ハロゲン化物で 4% 以下のエネルギー分解能(FWHM, 662keV)という世界最高級の性能を持ち、ハロゲン化物の短所であった潮解性が無視でき、かつ、有効原子番号も高い材料を開発した(東北大として特許出願済)。
- [13] Growth and Luminescent Properties of  $\text{Cs}_2\text{HfCl}_6$  Scintillators Doped With Alkaline Earth Metals S. Kodama, S. Kurosawa, J. Pejchal, R. Kral, A. Yamaji, Y. Ohashi, Y. Yokota, K. Kamada, M. Nikl, and A. Yoshikawa IEEE TNS, 65 (2018) 2169 - 2173
- 前論文に記述した試料の蛍光寿命の短縮化、さらなる、高発光量化を狙った論文であり、発光機構などの研究につながる重要な論文。
- [14] Development of a novel red-emitting cesium hafnium iodide scintillator Shohei Kodama, Shunsuke Kurosawa, Maki Ohno, Akihiro Yamaji, Masao Yoshino, Jan Pejchal, Robert Kral, Yuji Ohashi, Kei Kamada, Yuui Yokota, Martin Nikl, Akira Yoshikawa Rad. Mes. 124 (2019) 54 - 58

## 赤色発光、高速シンチレータという新しい領域を開いた論文。

- [15] Growth and Scintillation Properties of Two Inch-Diameter SrI<sub>2</sub>(Eu) Single Crystals  
Yasuhiro Shoji, Shunsuke Kurosawa, Yuui Yokota, Shoki Hayasaka, Kei Kamada, Masao Yoshino, Akihiro Yamaji, Valery Chani, Yuji Ohashi, Shiro Sakuragi, and Akira Yoshikawa  
Cryst. Growth Des. 18 (2018) 3747 – 3752  
高輝度発光特性を示す SrI<sub>2</sub>(Eu)の2インチ径サイズの大型結晶育成に成功した。

## (10) 結晶材料の中性子検出器への展開

- [16] Crystal growth and luminescence properties of organic crystal scintillators for  $\alpha$ -rays detection  
Shinnosuke Yamato, Akihiro Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Masao Yoshino, Yuji Ohashi, Kei Kamada, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa  
Opt. Mat. 94 (2019) 58 - 63  
本格的な有機物単結晶シンチレータの探索を始めたきっかけとなる論文であり、発光量は既存材料と同程度ながら既存の材料よりも高温耐性がある革新的材料の開発。

## (14) 共晶体シンチレータを用いた高解像度放射線検出器の開発

- [17] Ultrahigh resolution radiation imaging system using an optical fiber structure scintillator plate  
Seiichi Yamamoto, Kei Kamada & Akira Yoshikawa  
Scientific Reports, 8, 3194 (2018) 1-10  
世界最高の空間分解能を有する放射線画像化装置の開発に成功し、世界初で物質中の放射線の動きをリアルタイム観察可能にした。
- [18] Growth and characterization of directionally solidified eutectic systems for scintillator applications  
A. Yoshikawa, K. Kamada, S. Kurosawa, Y. Yokota, A. Yamaji, V. I. Chani, Y. Ohashi, M. Yoshino, J. Cryst. Growth 498 (2018) 170-178.  
共晶体構造を有するシンチレータの設計指針を示した。中性子応用、X線 &  $\gamma$ 線応用のものそれぞれについて指針を示している重要な論文である。

## (20) 環境発電デバイス用磁歪単結晶の開発

- [19] Shape-controlled crystal growth of Fe-Ga alloys to apply a magnetostrictive vibration energy harvester  
Masahiko Ito, Kei Kamada, Akira Yoshikawa, Toru Kawamata, Shun Fujieda, Shigeru Suzuki, Tamotsu Minamitani, Toshiyuki Ueno  
J. Alloys Compd. 731 (2018) 898 – 902  
振動発電用の磁歪単結晶の形状制御育成に成功した。

## (22) 超高計数率測定システムの確立

- [20] Fiber-read radiation monitoring system using an optical fiber and red-emitting scintillator for ultra-high dose condition  
Shohei Kodama, Shunsuke Kurosawa, Maki Ohno, Yuki Morishita, Hiroshi Usai, Masateru Hayashi, Makoto Sasano, Tetsushi Azuma, Hiroki Tanaka, Vladimir Kochurikhin, Akihiro Yamaji, Masao Yoshino, Satoshi Toyoda, Hiroki Sato, Yuji OHASHI, Kei Kamada, Yuui Yokota, Akira Yoshikawa, Tatsuo Torii  
Applied Physics Express, 13 (2020) 047002  
廃炉に向けた、1kSv/h という超高線量でも線量を測定できるシステムの開発に関する論文。毎日新聞等でも新聞報道された。

## <著 書>

編集・著作した書籍は、総数 8 冊である。

- [1] 黒澤俊介、他、エレクトロニクス用セラミックスの開発、評価手法と応用、(株)技術情報協会、2020.
- [2] Shunsuke KUROSAWA, Koichi HARATA, Hiroshi SONE and Hiroki UJIIE, "透光性セラミックスシンチレータの展望 / Development of Novel Scintillation Materials as Transparent Ceramics", レーザー研究, Vol. 47, No. 8, pp. 433 - 437, 2019.
- [3] 大橋雄二、大和田祐介、横田有為、吉川彰、面政也, "二層構造厚み滑り振動子の動作メカニズム", 超音波テクノ, Vol. 32, No. 5, pp. 1-4, 2020.
- [4] 大橋雄二、井上憲司、横田有為、庄子育宏、鎌田圭、吉川彰, "Ca<sub>3</sub>Ta(Ga,Al)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>14</sub> 単結晶の音響特性評価と圧電デバイス応用", 日本結晶成長学会誌, Vol. 46, No. 4, 04, pp. 1-10, 2019.
- [5] 黒澤 俊介・原田 晃一, "通電焼結法による透光性セラミックスシンチレータの開発", 日本セラミックス協会・協会誌「セラミックス」, 第 53 卷, 9 月号, pp. 603-606, 2018.

- [6] 有川安信, 池田裕二郎, 清水裕彦, 花山良平, 近藤治靖, 黒澤俊介, "小型パルス中性子源のための中性子計測法の最近の進展", レーザー研究「レーザー駆動中性子源の学術・産業応用に向けた展望」特集号, 第 46 卷, 第 11 号, pp. 634-640, 2018.
- [7] 黒澤 俊介, "シンチレータの開発とその応用", 放計協ニュース, Vol. 60, pp.2-5, 2018.
- [8] 黒澤俊介、庄子育宏、宍戸統悦、村上力輝斗、堀合毅彦、横田有為、鎌田 圭、吉川 彰, "資源探査をめざした Ce 添加(Gd,La)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> シンチレータの開発", 日本結晶成長学会誌, Vol. 43, No. 1, pp. 47-53, 2017.

## (2) 学会等発表の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①国際学会等	87 件	84 件	51 件	79 件	13 件
②国内学会等	69 件	45 件	65 件	37 件	26 件

### <招待講演>

①国際学会等 総数 23 件 (\* 主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	場所(国、都市)	期日
A. Yoshikawa	Bulk crystal growth of Ce doped Gd <sub>3</sub> (Ga,Al) <sub>5</sub> O <sub>12</sub> single crystal from the melt without precious metal crucible and its scintillation properties	8th International Symposium on Optical Materials	Wroclaw, Poland	2019/06/13
A. Yoshikawa	Development of bulk crystal growth technology for novel functional crystals and their social implementation	19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy	Colorado, USA	2019/07/30
Y. Yokota	Control of microstructure and mechanical properties of platinum fiber fabricated by unidirectional solidification	19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy	Colorado, USA	2019/07/29
K. Kamada	Development of mass production technology of Ce:Gd <sub>3</sub> (Ga,Al) <sub>5</sub> O <sub>12</sub> scintillator for radiation imaging applications	19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy	Colorado, USA	2019/07/30
S. Kurosawa	Study on Red-Emission Scintillation Materials ~Crystals & powders~	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies	Okinawa, Japan	2019/10/31

②国内学会等 総数 15 件 (\* 主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	期日
吉川彰	単結晶成長の温故知新:坩堝フリー環境下でのバルク単結晶引き上げ法の開発	第 47 回結晶成長国内会議	2018/11/01
横田有為	マイクロ引き下げ法の新展開:高吸湿性ハロゲン化物、難加工性合金、三次元形状制御	第 79 回応用物理学会 秋季学術講演会	2018/09/21
鎌田圭	アルカリ金属共添加 $\text{Ce:Gd}_3(\text{Ga},\text{Al})_5\text{O}_{12}$ のシンチレータ特性均一性制御と大型単結晶作製技術の開発	第 78 回応用物理学会秋季学術講演会	2017/09/08
黒澤俊介	粒子線治療におけるリアルタイムモニタの開発の現状	平成 30 年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会	2019/03/14
山路晃広	近赤外領域発光シンチレータ結晶の開発とその進捗	第 78 回応用物理学会秋季学術講演会	2017/09/08

II - 4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について

(1)各種表彰・受賞の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

総数 23 件

期 日	受賞者名	主催者・賞名	理 由
2016/07/ 01	黒澤俊介	原田研究奨励賞	シェールガス、オイル等の大深度資源探査の効率を飛躍的に向上させる画期的なシンチレータの光学基礎研究
2016/11/ 25	吉川彰、鎌田圭、庄子育宏	一般財団法人 材料技術振興財団・山崎貞一賞	新規ガーネット型シンチレータ結晶の開発と大学発ベンチャー企業による実用化
2017/10/ 17	Yuui Yokota, Yu Igarashi, Yuji Ohashi, Kenji Inoue, Masao Yoshino, Akihiro Yamaji, Shunsuke Kurosawa, Kei Kamada, Akira Yoshikawa	The 7th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology Best Poster Awards	Phase Formation, Crystal Growth and Piezoelectric Properties of $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ Piezoelectric Single Crystal
2017/11/ 10	吉川 彰、横田 有為、鎌田 圭 ほか	一般財団法人 素形材センター 第 33 回素形材産業技術賞 奨励賞	引き下げ法によるイリジウム直接線材化技術の開発
2018/11/ 01	横田有為、大橋雄二、吉川 彰、鎌田圭、庄子育宏、井上憲司	日本結晶成長学会 第 25 回技術賞	新規ランガサイト型圧電結晶の製造技術とデバイス技術の開発

(2)新聞報道等の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

総数 11 件

1. 日刊工業新聞 2016年10月5日 23面科学技術・大学欄「第16回山崎貞一賞 受賞」  
新規ガーネット型シンチレータ結晶の開発と大学発ベンチャー企業による実用化
2. 日本経済新聞 2017年4月22日「東北大 VP出資 高性能化を支援」
3. 日経テクノロジーonline 2017年6月12日「東北大はベンチャーを通してイノベーションを起こします」
4. 日本経済新聞 2018年2月19日「東北大と名大、空間分解能を有する放射線画像化装置の開発に成功」
5. 日本経済新聞 2018年10月24日「東北大・京大・山形大など、粒子線治療時の照射量に近い環境下でのガンマ線の撮像に成功」

『開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメント』

吉川プロジェクトでは、開発研究成果の社会・経済・産業への還元・社会実装を最も優先して開発を実施しており、今後もその方針でプロジェクトを進める。具体的には、常に社会・経済・産業のニーズに適合した開発研究が実施できるように、上流から下流までの企業を含めた共同体でのプロジェクトを実施することで、短期間での材料開発から製品開発までを実現する。その結果、当プロジェクトにおける実用化製品の数や特許数につながっている。特に、開発研究成果を民間企業への技術移転による商品化や設立したベンチャー企業(研究室発ベンチャー8社、ただし、吉川が経営に関与しているのは3社)を通じた製品化を通じて還元・社会実装に取り組んでいる。今後も同様の体制を取りつつ、持続可能な社会に貢献する研究テーマを念頭において研究開発を加速させていく予定である。

特に NICHe 発ベンチャー(吉川プロジェクトからスピンアウト)の1つである株式会社C&Aが 2020 年版経済産業省認定グローバルニッチトップ企業 100 選に選出されたことは開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況としては特筆すべき成果である。選出された 100 社のうち、東北地方の企業は 3 社、宮城県からは(株)C&A 1 社のみであり、大学発ベンチャー企業としては唯一の選出である。

### III. プロジェクトの研究費の実績

#### (1) 研究費の推移(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

		2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
民間からの資金	件数	8 件	10 件	13 件	14 件	18 件
	金額(百万円)	5 百万円	13 百万円	79 百万円	56 百万円	96 百万円
国からの資金	件数	38 件	40 件	49 件	50 件	52 件
	金額(百万円)	261 百万円	232 百万円	350 百万円	267 百万円	260 百万円

#### (2) 主要な獲得プロジェクト・共同研究等(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

1. NEDO 革新的ものづくり「次世代高分解能 PET 装置を拓く、新規高性能シンチレータの量産技術開発」7000万円(総額3億円) 東北大学、株式会社C & A
2. NEDO 省エネ 「高効率スパークプラグに資する Ir-Ru 合金線材の革新的製造技術開発」、1億5000万円、(総額4. 5億円)、東北大学、株式会社ヘレウス、株式会社 C & A
3. NEDO 省エネ 「EL ディスプレイの革新を拓く、高温酸化耐久かつ変形自在ヒーターの開発」、9300万円、(総額3. 4億円)、東北大学、株式会社サンリック
4. AMED 先端計測 「粒子線治療のリアルタイム線量モニタの開発」、1億3300万円(総額1億7300万円)、東北大学、株式会社 京都スペースガンマ、 山形大学
5. NEDO 省エネ 「新規圧電単結晶を用いた低コスト・省電力タイミングデバイスの開発」、1億3400万円、(総額4億790万円)、東北大学、株式会社東芝照明プレシジョン、株式会社 PiezoStudio

#### <<研究費に関するコメント>>

当プロジェクトにおける公的助成金の多くが、企業との共同申請であり、上記に記載した研究費は吉川プロジェクトへの配分額のみである。当プロジェクトでは、研究成果の社会実装を重要視しており、共同開発を行っている企業が最も効率よく製品開発を実施し、社会実装に繋げるために、助成金の多くは企業側の配分にしている。その結果、当プロジェクトへの配分額は比較的少なくなっているが、これは当プロジェクトの研究開発のみではなく、実際に実用化を行う企業側が多く開発資金を利用して研究開発を実施することで、プロジェクト終了後速やかに企業が社会実装に向けた事業を構築できるようにした結果である。

今後も、産業界への貢献、製品の実用化を第一に考えた資金計画で研究開発を推進していく予定である。企業における事業化を成功させる実績を積み上げ、民間からの研究費も増やして頂けるように貢献して参りたい。

## IV. 当初計画を越える展開等やそれによる成果について

### (1) 当初計画になかった新たな展開について

当初計画になかった新たな展開としては、本プロジェクトで育成したシーズを活用したベンチャー企業の創立が挙げられる。これまでに本プロジェクトの開発したシーズを実用化するために株式会社 C&A(シンチレータ・難加工性合金線材、結晶製造装置、コンサルティング)、株式会社 PiezoStudio(圧電デバイス)、株式会社 EXA(結晶製造装置)の3社を設立した。これらのベンチャー企業は「結晶育成」という1つの共通研究テーマからスタートし、その応用用途毎にNEDOやJSTのプロジェクトに採択され、製品の実用化・製品化を推進している。本プロジェクトで創立したC&Aと共同研究を行っていた企業との合併により新たにEXAを立ち上げたことも、当初の計画には無かつた新たな展開・成果として特筆すべき事項である。

また、研究室発ベンチャーが増えたことで、研究者・技術者・学生を含む研究室メンバーの意識に変化が生まれ、研究室がベンチャー企業を生み出すエコシステムの場となりつつあることも当初計画では想定しなかった新展開である。株式会社 MIT(回路・磁歪)、株式会社 TUP(大学シーズの実用化)、株式会社 Co-LABO MAKER(装置のシェアビジネス)、株式会社 XMAT(モニタリングセンサ・システム)、はそれぞれ研究室所属の研究者・技術者・学生が起業したベンチャーである。

### (2) 成果の基礎研究やプロジェクト等への寄与について

成果の基礎研究への寄与としては、成果を国際会議等へ速やかに発表・報告を行い、迅速な論文化を行う点が挙げられる。

また、国際会議の運営自体にも貢献している。2018年現在、プロジェクトリーダーの吉川は複数の国際学会においてCo-Chair、Conference committeeやProgram committeeを務め、各分野の国際学会の円滑な開催に貢献している。そして、2019年にはChairとしてシンチレータ業界の研究者が一堂に会するSCINTを仙台に誘致した。その他にも、学振186委員会の運営委員として核医学・核物理学の最大の学会であるIEEE NSS-MICの日本での初の学会誘致の実現にも貢献した。

加えて、Elsevierの雑誌 Optical Material のAssociate Editorも務めている。

本プロジェクトでは異分野融合に寄る応用研究・社会実装に重きを置いた報告となっているが、異分野融合の基となっている個々の研究は地道な基礎研究の積み上げである。今後も基礎研究を通じた領域への寄与にも尽力して参る所存である。

### (3) 本プロジェクトによる人類への貢献、社会的意義等について

人類への貢献、社会的意義として、本プロジェクトで開発したCe:GAGGシンチレータは福島第一原発事故後の除染やモニタリングポストに広く用いられており、風評被害の払拭や国民の不安解消の一助となっている。また、本プロジェクトで開発した乳がん用PEM装置は実用化・販売が開始され、乳がんの早期発見・生存率の向上に貢献している。

また、本プロジェクトで開発した新規ランガサイト型単結晶は、従来の水晶振動子では実現困難な低周波帯で小型・低消費電力・高速起動・高温モニタリング可能であり、実用化されれば、日本のエネルギー使用量削減、温暖化防止、次世代高性能薄膜プロセス産業への貢献が期待されている。同様に、本プロジェクトでは、再生可能エネルギーに着目し、磁歪材料、共晶体圧電材料の研究を通して、エネルギー変換効率の飛躍的な向上を実現する革新的材料の開発を推進してきた。これらのエネルギー技術を支える本プロジェクトの成果は、資源の乏しい日本において将来にわたり持続的発展を遂げる意味において、人類への貢献は大きい。

## V. その他

### (1) NICHe プロジェクトとして主張したい成果

NICHe プロジェクトにおいてこれまで数多くの開発事業を実施してきており、そのほとんどが関連企業との共同開発である。その結果、各開発事業の全てで製品の実用化もしくは、実用化のための試作品の完成を行ってきた。さらに、知的財産権の確保にも重点を置いて研究開発を行ってきており、その結果が上記の知的財産案件の数につながっている。また、当プロジェクトで開発した製品や技術は、社会還元を念頭に置いた技術移転を順次行ってきた。特に、戦略的基盤技術高度化支援事業等で実施してきたように、川下企業となる大企業をアドバイザーの元で、複数の中小企業が事業の各開発部分を担当し、事業終了後には実際にそれら全ての中小企業において実用化製品が新たに創出されるなど、新産業創出に対する寄与も多い。

当プロジェクトは、学術界に対しても貢献を多く行ってきた。例えば、シンチレータ関連では、大学や企業の主要関係者を集めた学振 186 委員会を発足し、当該委員会の推進を担ってきた(吉川が代表幹事、黒澤および鎌田が運営委員)。その委員会の中で、国際会議や大学と企業間の共同開発を推進している。それ以外にも単結晶業界では学振 161 委員会において運営委員(吉川、横田)として業界の大学と企業の連携を推進し、圧電材料の業界ではシンポジウムの運営等に携わってきており、当プロジェクトがこれまでに行ってきた社会的な貢献は大きいと考えられる。

前回中間評価において、基盤的テーマから多方面のプロジェクトを同時進行させ、複数の研究室発ベンチャーを創出しながら企業を超えた研究者との優れた連携・推進体制を構築し、人材育成・国際展開も熱心に取り組んでおり、更なるプロジェクトの継続と発展が期待されるとの高評価の一方で、課題相互の関連性の明確化や経営に関する外部の優秀な人材の登用なども検討していってほしいとの指摘があった。

前者の指摘事項に対しては、①本プロジェクトは結晶作製技術が基盤技術である点を強調した。一方で、応用分野が多岐に渡っている点を活かし、各分野のユーザーに近い立場の者からのニーズをフィードバックすることや、研究室内ミーティングにおける異分野発表を通して、一方の常識が他方では新しい発見となるなど相互に刺激しあいシナジー効果を生み出している点も特筆すべき特徴である。後者の指摘事項については、株式会社 C&A において、大手企業のシンチレータ部門を買収し、大企業子会社の代表取締役経験者かつ大企業の研究副所長経験者である経営と開発のプロを社員として迎え入れた。また、株式会社 PiezoStudio においては、当該分野の大手企業執行役員クラスを新社長として迎え入れた。この様に経営人材の強化に力を入れることで、プロジェクトリーダーである吉川のマネジメント業務負担軽減に道を開いた。

### (2) 自己評価

以前の吉川プロジェクトでは、公的助成金の殆どで、吉川が研究代表者もしくは、副代表者(企業関係者が代表者を務める場合)を担当し、連携機関を主導して研究開発を推進してきた。しかしながら、2016 年からの吉川プロジェクトでは、人材育成の観点から、プロジェクトリーダーの吉川のみならず、NICHe 専任准教授達にも公的助成金の研究代表者を任せることも試み、成功した。この活動は 10 年後の日本のものづくりにおける国際競争力の底上げに少なからず貢献するものと考えている。

さらに、公的助成金を頂いたテーマのほぼ全てで当初の計画を超える成果を上げてきており、連携企業を通じて数多くの実用化製品が社会へ出始めたことは、吉川プロジェクトが産業界へ少しずつ貢献してきた成果が結実し始めた結果であると考えている。さらに、国からの資金による研究開発だけではなく、民間企業への技術移転による地方(特に東北地域)における産業の創生にも広く尽力してきた。

また、産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業に代表されるような中小企業と連携して、製品や技術の事業化を目指す国のプロジェクトに関しても数多く実施してきた。つまり、大企業だけではなく、その上流となる中

小企業の実用化への先導を実施することで、川上から川下まで一貫した産業技術の創生を行ってきており、本當の意味で地方の産業界への還元を実施してきたと考えている。

(最終年度のみ)プロジェクト継続の意思	<input checked="" type="radio"/> 有	<input type="radio"/> 無
---------------------	------------------------------------	-------------------------

## 研究プロジェクト評価書面審査表(まとめ)

(研究プロジェクト評価書面審査委員氏名:◎内田龍男、稻葉正志、今野政憲)

プロジェクト名	摩擦融合研究プロジェクト
プロジェクトリーダー名	栗原 和枝

### I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

1. 開発研究の進捗状況(当初の開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況)	<p>(優れている点)</p> <p>プロジェクトリーダーの統括者・栗原和枝教授が考案開発した共振ずり測定法 (RSM) を、本プロジェクトでより高機能化、高精度化し、予定より早く応用展開を進捗している。そして以下のような多くの成果を上げている。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・従来、低速移動や高荷重で潤滑の油膜が非常に薄くなった時の解析ができなかったが、共振ずり測定法 (RSM) の改良によってこの測定が可能になり、その結果、潤滑油への添加剤の効果やメカニズムが初めて解明された。これにより戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) で開発されたトライボシミュレータへの導入、(大手石油会社における) 潤滑油の設計への活用など、産業界への貢献が進んだ。</li><li>・自動車のエンジンオイルの複雑な添加剤構成の中で、極圧添加剤のモリブデンジチオカーバメイト (MoDTC) の解析に成功し、特性改善の方向が明らかにされた。このように、産業界の課題に対してサイエンスに基づく解析、開発を進める糸口を与えていた。</li><li>・ポリマーブラシによる潤滑機能を解明することに成功し、これによって動作条件に対応した設計指針や新たな応用の可能性が得られている。</li><li>・共振ずり測定法 (RSM) の大幅な改良によってせん断速度の高速化を実現し、一般的機械の動作条件や MD シミュレーションに対応する測定を可能にした。</li><li>・従来の表面力装置は室温よりかなり低温での測定ができなかったが、-20℃まで測定可能な装置を実現した。これにより、氷面に対するタイヤや靴の摩擦を解析することを初めて可能にした。</li><li>・「文部科学省イノベーション・エコシステム形成プログラム (2018-2022)」に参画し、超微量粘度計を開発した。これによって、微量にしか回収できない電池からの電解液の測定に成功し、リチウムイオン電池などの電極表面評価など、新たな課題に展開した。</li></ul>
---------------------------------------	--

	<p>(不十分な点)</p> <p>上記の成果を踏まえた企業とのコラボレーションが広がることが期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>エンジンオイルのような複雑配合系の製品開発では体系的な整理、開発が難しく属人的な開発になりがちであるという問題意識を企業は持っている。そこに物理・化学に基づいた解析と、最近喧伝されているインフォマティクスやAIによる最適化と結び付けた材料開発につなげることが期待される。</p>
<b>2. 研究者の育成状況</b> (各種研究員の受入れ・ 国際交流の状況等を含む。)	<p>(優れている点)</p> <p>民間からの研究者は非常に多いというほどではないが、2018～2020年度にかけ民間やポストドクの研究者を延べ35名受け入れており、特に2019年度からはトヨタ自動車東日本㈱と共同研究講座を開設し、実用化・産業化を推進する取組みを行うなど、研究と同時に育成に積極的である。また、博士号の取得などの実績もあげている。</p> <p>国際交流については、トライボロジー融合研究会国際シンポジウム(2019.2.20-仙台国際センター)、OKINAWA Colloids 2019 Pre-workshop(2019.11.1-東北大学)、International Mini-symposium on Surface Forces(2020.2.14 東北大学)を開催し、海外や国内から著名な教授や博士を含めて多くの研究者を集め、有意義な講演や活発な活動を行っている。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>海外の大学や民間企業等からの研究生、ポストドクなどの受け入れにより、研究成果が広がることが期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>予算上や受け入れ体制について、また企業、特に海外企業へのアプローチ方向の検討がそれぞれ望まれる。</p>
<b>総括 I</b> 上記1.～2.までの評価に基づき当初の開発研究計画の進捗状況を中心に評価して下さい。	<p>(優れている点)</p> <p>超低摩擦技術の実用展開を目的として表面や界面の現象解明、評価手法開発など、基礎研究に重点を置く一方で、中央大手企業や、地方公設試験研究機関との連携による成果のアウトプットまでデザインされたプロジェクトである。</p> <p>その中で、科学的、定量的解析の基盤となる高機能で高精度な共振ずり測定法(RSM)の改善、革新を続け、大きく進化発展させた。これによって、本プロジェクトのテーマについて科学的解析を可能とし、多くの成果を上げてきた。</p> <p>具体的には、当初計画より進捗が進んでおり、研究活動で蓄</p>

	<p>積した技術をもとに「文部科学省イノベーション・エコシステム形成プログラム（2018-2022）」に参画し、リチウムイオン電池の電解液を評価する超微量粘度計の開発や、マンガン系リチウムイオン電池の電極表面評価など、新たな課題の取組みにも展開している点が評価される。また、研究成果として社会・産業課題への対応、基本技術・適用範囲の拡大、国際的な交流を通じた当該分野の発展への寄与など、大きな成果が得られていると考えられる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>研究のポテンシャルや海外研究者との交流により、技術が拡大することが期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>海外研究員の拡大に関しては制度上の課題のチェックや、交流時の宣伝、海外企業との連携推進方法などにアピールが望まれる。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>①. 大変良い</li><li>2. 良い</li><li>3. 普通</li><li>4. やや不十分</li><li>5. 不十分</li></ul>
--	--

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

<p><b>1. 民間企業への技術移転進捗 状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>本研究で粘性の基礎科学的研究解析を行い、それを基にして材料の基本設計が明らかにされた。</p> <p>これらを基にして、トライボロジー研究会の設立、技術活用事例集の編纂、オープンラボの開設など、地域企業への活発な活動ができていると考えられ、実際に企業や研究機関との共同研究も数多く実施されている。また本技術が企業内で適用されてそれぞれの開発に役立てられている事例がある。</p> <p>具体的には、安全・静肅性を向上させた低燃費タイヤの開発（A 株式会社 2019 年度）、など、既に技術移転、活用されており、さらに、ピストンリングの表面処理技術（トヨタ自動車東日本）や、超微量粘度計による電池、医療分野への展開（文科省エコシステム形成プログラム）など、今後、実用化が期待できる案件が進められている。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>本技術に関連する産業分野、企業はさらに多いと考えられる。例えばペアリング業界、電気モーター、タービンなど、日本には世界でも有数の企業が多く、今後の世界で必要なエネルギー効率の向上が求められる分野は、EV やメカトロニクス、エネルギー変換など重要な産業につながっているので、もっとダイナミックな展開が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>関連する産業分野へのアプローチ方法について、東北大の人脈を使うのもよし、関連する学会でのプレゼンスの向上、また研究会をコンソーシアム方式に発展させるのも良い方法と判断される。更なる資金、人材の獲得増加、研究課題の吸い上げ、成果の適用の拡大、会員同士の共同研究の誘発などに繋げられることが期待される。</p>
<p><b>2. 発明、特許権その他の知的 財産権の状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>測定装置、デバイスの開発、システム開発までつなげられることは大きな強みである。実際に微少試料による粘度計が開発され用途展開も行われている。</p> <p>特許については、2018～2020 年度に特許出願数 2 件、本課題に関連する特許の登録数 3 件の総数 5 件で、決して多いとは言えないが、いずれもオリジナリティのある発明である。</p> <p>登録特許のうち、民間企業との共同で出願した特許については、それまで不可能とされた高温環境下における表面力測定を可能とする加熱デバイスであり、同社が栗原研究室より技術移</p>

	<p>転を受けて受注販売している「ツインパス型表面力装置」の可能性を広げる点が評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>大学という立場から特許にどういうスタンスで向き合うかはいろいろな考え方があるが、実際に自ら事業とするには知財面での強化が望まれる。特許でしっかりと守られていない事業は誰も実施しないため、自らやるにしても他企業とジョイントベンチャーとするも、あるいはライセンスするにしても強い特許ポジションを確保する事が望まれる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>大学の知財部門と共同で他社を牽制できる、また他社に邪魔されない立場を確保するのに必要な特許アイデアの洗い出しを行うのが良いと判断される。</p>
3. 論文・著書・学会等発表の状況	<p>(優れている点)</p> <p>2018～2019年度の2年間で、研究論文25編、著書2冊、学会等発表51件。うち招待講演は国際学会7件、国内学会11件であり、低温系での新たな評価法開発や産業界に直接役立つ手法、データの例示など目覚ましい成果があるものと認められる。</p> <p>特筆は基盤計測法に関する研究論文であり、世界初の「低温表面力装置」を開発し、氷-シリカ表面間の相互作用力の直接測定を可能とし、この成果はACS Editors' Choiceに選出されている。</p> <p>また、低温表面力/共振ずり測定装置を用いて、氷プレメルト層の粘度を世界ではじめて定量評価するなど、表面力測定に関する世界でも最先端の技術を報告されている。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>海外での招待講演や学会での招待発表も数多く、記載はほとんどが栗原プロジェクトリーダーによるものであるが、他の国際会議や国内学会で同メンバーの准教授、助教をはじめとして栗原研の研究者全員が発表しており、今後もより一層活動が進捗発展していくことが期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>企業や他大学等の共同研究先とのコラボによる論文なども多数あるだろうと推測されるが、その点がどのような状況にあるのかリストなどがあると、協業が進んでいるのかどうかという点がわかりやすいと判断される。</p>

<p><b>4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>2018年度に「新規表面力装置の開発と材料科学への応用に関する研究」を理由として、平成30年度科学技術分野の「文部科学大臣表彰 科学技術賞」を受賞しており、実績は高く評価される。</p> <p>また、設備の保守・保全・トライボロジーに力点を置いた生産現場の月刊誌「潤滑経済」に2件、特集記事が掲載された。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>業界雑誌への投稿が2件あるが、企業に対するプレゼンス向上のためさらに多くの雑誌への投稿が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プレスリリースできるネタが望まれる。</li> <li>・技術の適用対象になりうる産業分野の拡大を意識した新聞、雑誌の活用が望まれる。</li> </ul>
<p><b>総括Ⅱ</b></p> <p>上記1.～4.までの評価に基づき、「新産業分野創出」に結びつく開発研究成果が出ているか(研究のアウトプット)、また現実に「新産業分野創出」<sup>注1)</sup>(研究成果に基づく産業活動のアウトカム)に結び付いているか、を中心評価して下さい。</p> <p><sup>注1)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。</p>	<p>(優れている点)</p> <p>前述のように、幅広い条件で高精度の測定を可能とする共振ずり測定法(RSM)を開発し、これを基にして重要な科学的、定量的解析を可能にした。そしてこれに基づく材料設計の基本概念や方針が示され、その具体的成果が技術移転されているだけでなく、概念や測定法、解析手法などが著名な大企業をはじめたくさんの企業に導入され活用されているようである。この点でも本プロジェクトの成果は高く評価される。</p> <p>具体的には、表面力測定機「ツインパス型表面力装置」を高温環境下で用いるための高温温度制御デバイスをアルバック理工株式会社と共同開発、ACS Editors' Choiceに選出された「低温表面力装置」など、世界最先端の基礎研究をすすめながら、共同者により実用化・商品化も達成するなど、優れた業績を出し続けている。</p> <p>一方、民間企業とのコラボレーションや地域産業への積極的なアプローチができていると評価される。</p> <p>また、新産業分野の創出という課題は大変難しいと思うが、各種測定機器のビジネス化の試みやリチウムイオン電池の分野への取り組みなどは評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>技術を適用している産業・業種により技術が発展することが期待される。</p>

	<p>(改善のポイント)</p> <p>技術を役立てるターゲットとする新たな業種、企業を見定めて戦略的にアプローチすることが望まれる。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①. 優れた研究成果をあげ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く評価を挙げている。</li> <li>2. 優れた研究成果は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。</li> <li>3. 優れた研究成果を挙げているとは言えないものの、「新産業分野創出」に結び付く可能性は高い。</li> <li>4. 研究成果は他に優れたとは言えず、「新産業分野創出」に結び付く成果も期待出来ない。</li> </ul>
--	---

### III. プロジェクトの研究費の実績

<p><b>総括Ⅲ</b></p> <p>外部資金の獲得状況と、その資金が十分に活用されているかの観点から評価して下さい。</p>	<p>(優れている点)</p> <p>2018～2020年の3年間で民間資金24件67百万円、国庫資金10件214百万円、延べ34件281百万円の高額な研究費を獲得している。</p> <p>中でも国からの資金は非常に努力されて獲得していると判断される。</p> <p>その一つとして、独自手法である「共振ずり測定法（RSM）」を基に、事業途中から文部科学省のエコシステム形成プログラムに共同参画し、リチウムイオン電池の電解液を評価する超微量粘度計の開発を行うと共に、新たな領域に技術範囲を広げる意欲的な取組み展開の点が大いに評価される。</p> <p>また、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）等で得られた成果は、他の研究グループに引き継がれ実用化段階に移行している。</p> <p>取得した研究費については、多くの優れた研究成果などからして、有効に活用しているものと判断される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>民間企業との協業先をもっと広げ、成果が広がることが期待される。（直近はコロナ禍の影響で企業の意欲を高めるのは難しいかもしれないが）。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>協業民間企業の拡大に関しては知恵を絞り連携することが</p>
---	--

	期待される。
--	--------

#### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

総括IV	(優れている点)
	<p>ナノレベルで摩擦・潤滑特性を計測可能として、量子科学をも活用した低摩擦機構の科学的解明によって材料設計の可能性を構築し、これを摩擦以外の研究開発プロジェクトにも展開し発展させている。</p> <p>その一つとして、本プロジェクトリーダーの栗原和枝教授は文科省エコシステム事業（2018～2022）「電池界面評価のための表面力装置の実用化」の CTO として参画し、同チームにより超微量粘度計を開発した。そして、当該成果により充放電サイクルに伴う電池電解液の粘度変化を評価することが可能となり、リチウムイオン電池などの開発にフィードバックされていることは高く評価される。</p>
	<p>(不十分な点)</p> <p>特になし</p>

#### V. 総合評価

総括 I～IVを踏まえ、本プロジェクトを総合的に評価して下さい。

摩擦低減や制御の技術向上は、省エネルギーをはじめとして社会全体の安全安心システムの向上に非常に重要である。しかし、この関係の技術はこれまで経験則に基づくものが中心であった。これに対して、本プロジェクトは科学的観点からナノレベルの解明と技術の開発、表面や界面の現象解明、評価手法開発など、基礎研究に重点を置き、新たな方法論をもって本質に迫っていく中で、産業界のニーズを取り込み対象分野を広げている。特にエネルギー効率化という観点で今後の時代ニーズにも適合している。さらに、中央大手企業や、地方公設試験研究機関との連携による成果のアウトプットまでデザインされるなど、極めて有意義なものと判断される。

その基礎を築いたものとして、前述のようにプロジェクトリーダーの栗原和枝教授が考案開発した共振ずり測定法（RSM）を本プロジェクトでより高機能化、高精度化したことがあげられる。具体的には、せん断速度の大幅な高速化、自動プログラムの開発、低温での測定可能化、測定用液体の超微量化、極薄膜の油膜の測定と制御および粘度測定可能化などを実現している。これらによって、これまでできなかった重要な現象や特性の測定、解析を可能とし、潤滑油やその添加剤、表面などの材料の設計概念や方向を構築することに成功している。

これらの実績は、これまでの摩擦関係の科学を大きく進化、進展させるものと予想され、高

く評価される。

実績として、2018～2020年の三年間で民間資金24件67百万円、国庫資金10件214百万円、延べ34件281百万円の外部資金獲得、表面力測定機「ツインパス型表面力装置」を高温環境下で用いるための高温温度制御デバイスをアルバック理工株式会社と共同開発、ACS Editors' Choiceに選出された「低温表面力装置」など、世界最先端の基礎研究をすすめながら、成果の実用化・商品化も達成している。

進捗は当初予定より進んでおり、新たな追加課題として「文部科学省イノベーション・エコシステム形成プログラム（2018-2022）」に参画、蓄電池の電解液を評価する超微量粘度計の開発や、実蓄電池の電極表面評価などにも取り組んでいる。

地域産業振興に熱心なプロジェクトであり、宮城県産業技術総合センターを中心とした東北地域の公設試験研究機関と連携し、本プロジェクトの成果を東北各地の製造業者へ展開、地域の活性化に貢献している点も優れている。

今後の展開として、学術的には材料の分子化学構造や物理化学的性質との関連性をさらに深めていかれると一層興味深く、新たな材料の設計指針になるような成果が得られると極めて有用なアプローチになると考えられる。そういう意味で分子動力学やポリマープラシ関係の仕事はそういうきっかけになると期待される。

本プロジェクトで開発した装置を自作から外販事業へ展開している試みも評価されるが、今後、世界中の研究者が摩擦関係の科学的解析を進めるためにも、本プロジェクトによる開発装置をさらに企業と密接に連携して生産を進め、大幅に普及させることが期待される。中でも微量試料による粘度測定装置は適用範囲が広そうだという事で、他の科学技術分野、医療関係分野等の発展に寄与できることが期待される。また特許関係も強化して事業として成り立つよう進めていくことが切望される。

企業とのコラボレーションも進んでいるが、さらに多くの関連分野を開拓して実業に役立てることが期待される。

(全体に対するコメントがありましたら、記載して下さい。)

技術面からも、産業振興の面からも、優れた成果を出しているプロジェクトであると判断される。

## 2020(令和2)年度研究プロジェクト自己評価報告書(公開版)

## 開発研究部の分野名・研究プロジェクト名

プロジェクト名：摩擦融合研究プロジェクト (Fusion Research Project of Tribology)

## プロジェクトリーダーの職名・氏名

未来科学技術共同研究センター・教授・栗原 和枝

印

## 研究体制(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

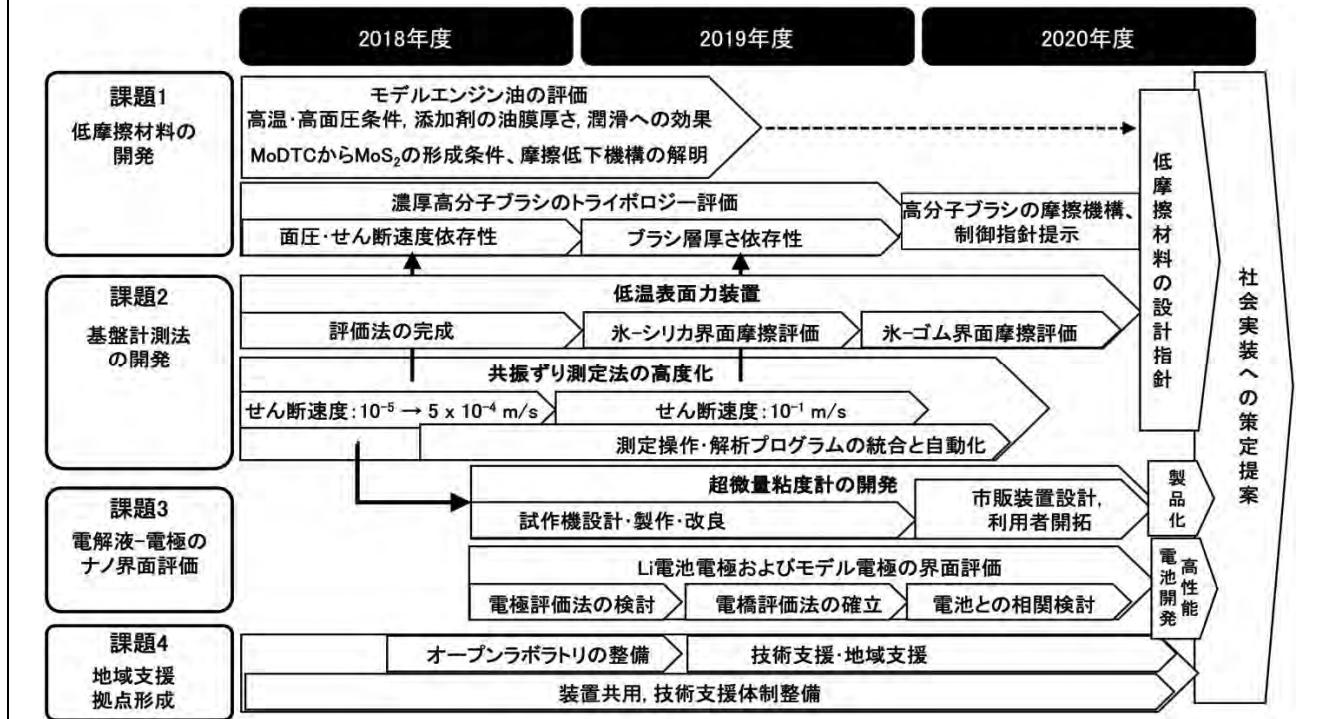
## (1) 開発研究目的、目標及び方法

## 1. 目的

摩擦低減技術は自動車分野をはじめ、あらゆる産業分野、生活環境における効率的エネルギー活用と安全・安心の鍵であり、低炭素社会実現の観点からも極めて重要な技術である。仮にエンジン回りの摩擦が半減して、燃費が12.2%向上するときの経済波及効果は年間1兆7569億円と大きい。このように、省エネルギーならばに機械の長寿命化や信頼性向上などによる摩擦研究の経済効果は大きく、全体としてGDPの2%程度であることが繰り返し推算されている。

しかし、摩擦は固体表面・潤滑油など多くの要素が界面において複雑に絡む動的特性のために、基礎的かつ理論的に検討するには至っていなかった。そこで本プロジェクトでは、東北大学における機械と材料の研究者、そして産業界の技術者がともに協働し、科学的な視点から摩擦現象をナノレベルで解明するとともに、それに基づく超低摩擦技術を開発することを目的とした。また、東北大学に产学研協働のためのナノテク・材料研究開発拠点として「トライボロジー融合研究拠点」を形成することにより、地域振興、新産業形成、科学技術振興に貢献することを目指して活動を行った。

## 2. 目標及び方法

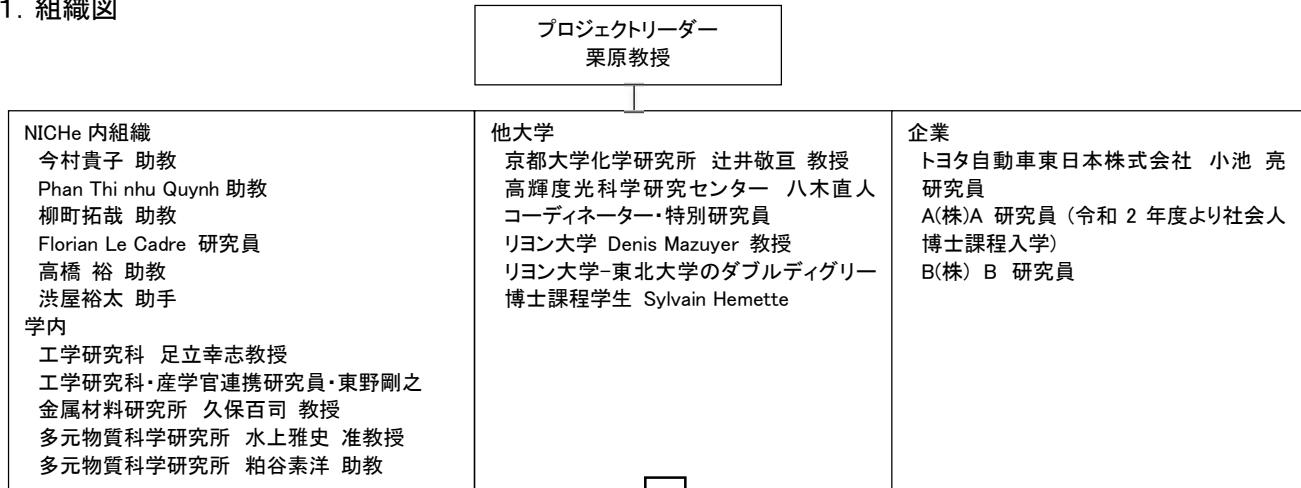


(2)プロジェクト全体の年度別計画表

研究開発目標・達成時期:超低摩擦設計指針の実現・2020年3月							
年度別		2018年度		2019年度		2020年度	
サブテーマ名	共同研究先 (研究費種別)	上期	下期	上期	下期	上期	
「低摩擦材料の開発」 1. 共振ずり測定による境界膜のナノ計測と摩擦現象解明・低摩擦最適化	SIP革新的燃焼	高温・高面圧下における潤滑油のナノ膜厚・摩擦評価  添加剤の化学反応の機構解明		(SIP他グループ) トライボロジーシミュレーター  (SIP関係企業)低粘度潤滑油活用技術			
	(年度目標)	モデル潤滑油の評価 活用技術の開発					
2. ポリマーブラシによる潤滑機能の解明と設計指針の創出	ACCEL「濃厚ポリマーブラシのレジリエンシー強化とトライボロジー応用」			濃厚高分子ブラシのナントライボロジーエvaluati		濃厚高分子ブラシの低摩擦化の機構解明と新規材料設計	
	(年度目標)	高密度ブラシの評価 低摩擦設計指針の創出		摩擦制御指針の創出			
「基盤計測法の開発」 1. 共振ずり測定法の高度化	次世代領域研究開発「閉じ込め液体の特性・機能のシミュレーション新規基盤構築」(慶應義塾大学からの再委託)			機械の動作速度でのナノ閉じ込め潤滑油の評価			
	(年度目標)	せん断振幅・速度の増大 操作・測定プログラム統合と自動化		分子構造と潤滑性の相関		技術移転・販売を検討	
2. 低温型表面力装置	B社			水-ゴム界面摩擦の評価		技術移転・販売を検討	
	(年度目標)	評価法完成 摩擦制御設計指針の創出					
「電解液-電極界面のナノ界面評価」	地域イノベーション・エコシステム形成プログラム 「ナノ界面技術によるMn系Liフルインテーカレーション電池の革新とそれによる近未来ダイバーシティ社会の実現」			(1)超微量粘度計  (2)電池用表面力装置  (3)Li電池電極およびモデル電極の界面評価			
	(年度目標)	(1)設計・試作 (2)設計・試作 (3)電極評価法の検討		(1)改良版の試作、試験使用 (2)基本仕様の確認、試作・試験使用 (3)電極評価法の確立		(1)市販装置設計、利用者開拓 (2)電池モデル系の試測定 (3)電池との相関検討	
「地域支援」 拠点形成				オーピンラボラトリの整備	技術支援・地域支援		
	(年度目標)	装置共用 技術支援体制					

### (3) 研究組織・研究分担(すべての研究者について具体的に記入して下さい。)

#### 1. 組織図



#### 2. 研究分担

超低摩擦システムの機構解明  
超低摩擦技術の設計指針の提示

##### 【研究代表者】

未来科学技術共同研究センター教授・栗原和枝: プロジェクト全体の統括

##### 【学内連携研究者】

大学院工学研究科 機械機能創成専攻・教授・足立幸志: 摩擦によるなじみ界面の分析・設計

金属材料研究所・教授・久保百司: 分子シミュレーションによるトライボケミカル反応の機構解明

多元物質科学研究所・准教授・水上雅史: 潤滑油評価、計測技術開発

多元物質科学研究所・助教・粕谷素洋: 摩擦材量評価、計測技術開

未来科学技術共同研究センター・助教・今村貴子: 和周波発生分光の実験・観測

未来科学技術共同研究センター・助教・Phan Thi Nhu Quynh: 潤滑油添加剤の反応機構解明

未来科学技術共同研究センター・助教・柳町拓哉: 実用モデル潤滑油の特性解析

工学研究科・産学連携研究員・東野剛之: 摩擦表面の分析

未来科学技術共同研究センター・Florian Le Cadre 研究員: 低温SFAの開発と低温ナノ計測

未来科学技術共同研究センター・助教・高橋裕: 高分子ラジカル層の調製とその特性評価

未来科学技術共同研究センター・助手・渋屋裕太: 共振ずり測定法の高度化、測定実施

##### 【他大学連携研究者】

京都大学化学研究所・教授・辻井敬亘: 高分子ラジカル試料調製

高輝度光科学研究センター・コーディネーター・特別研究員・八木直人: 放射光X線を用いた構造評価

リヨン大学 Denis Mazuyer 教授 氷-ゴムのマクロ摩擦評価

リヨン大学・東北大学のダブルディグリー博士課程学生 Sylvain Hemette 氷-ゴムのマクロ摩擦評価

##### 【企業連携研究者】

トヨタ自動車東日本(株)・研究員・小池亮:

A(株)・研究員・A(令和2年度より社会人博士課程入学):

B(株)・研究員・B:

### (4) プロジェクトの評価に当たっての特筆事項

当プロジェクトに属する中心研究者の多くは文部科学省の学のネットワークプロジェクト「グリーントライボロジーネットワーク」(2011-2015年度)ならびに同産学連携プロジェクト「東北発素材技術先導プロジェクト」(2012年-2017年)において、材料、計測、機械、計算の融合研究により新しい摩擦研究を開拓してきた。その継続プロジェクトであり、計測など基盤技術の充実と、潤滑現象の解明に進展があり、得られた知見の実装への取り組み、さらに企業との共同研究が進んだ。

さらに、プロジェクトリーダーの栗原は、従来の研究活動で蓄積した装置開発・界面評価技術を用いて、文部科学省のイノベーション・エコシステム形成プログラム(2018-2022年度)に参画し、蓄電池の電解液を評価する超微量粘度計の開発、実蓄電池の電極表面評価を行い、成果を挙げている。

# I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

## I-1. 開発研究の進捗状況

### (1) 開発研究進捗状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

#### 「低摩擦材料の開発」

##### 1. 共振ずり測定による境界膜のナノ計測と摩擦現象解明・低摩擦最適化 (トライボロジスト, 63, 284-293 (2018))

潤滑油による摩擦低減技術は、自動車産業などの産業分野において、効率化や省エネルギー化をもたらすため非常に重要である。潤滑油が使用される環境では、例えば機械の低速運転時や高荷重条件下といった、潤滑油の油膜が非常に薄い境界潤滑状態では固体の直接接触が起こり始め、焼き付きや摩耗が起こると考えられている。従って、境界潤滑での摩擦・摩耗増大を抑えるためには、一般に潤滑油に配合されている様々な添加剤が、境界潤滑条件での表面間でどのような存在状態で、どういう特性を示すのかの解明が、より適切な潤滑油の設計に重要である。しかし、一般的な摩擦試験機ではこのような評価は出来ないため、主に経験に基づいた設計が行われている。

本プロジェクトでは、独自に開発した共振ずり測定法 (RSM, Resonance Shear Measurement, 図1) を用いて、異なる添加剤成分を含む自動車エンジン用のモデル油を対象とし、添加剤成分により荷重に対する油膜厚みや潤滑特性がどのように変化するのかを評価した。

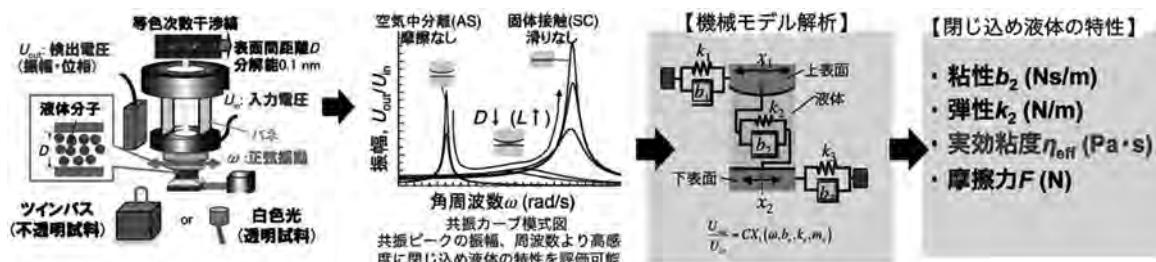


図1 共振ずり測定装置、典型的な共振カーブ、共振カーブカーブ解析の機械モデル、得られる特性(2つの表面間に閉じ込められた液体の粘性、弾性、潤滑特性を、表面間距離をμmから接触まで、nmレベルの分解能で連続的に変えながら評価できる)。

【実験】原子レベルで平滑な表面が得られる雲母シートを円柱形のレンズに張り付け基材として用いた(円柱直交配置)。下表面をパルスモータにより駆動し、表面間距離( $D$ )を制御する。表面下方より白色光を照射し、等色次元干渉縞(FECO)の解析から0.1 nmの分解能で表面間距離( $D$ )

表1 モデルエンジン油の組成

を決定した。水平バネの変位より荷重( $L$ )を求めた。上表面を水平方向の正弦振動(振幅 $U_{in}$ 、周波数 $f$ )させ、共振カーブ( $U_{out}/U_{in}$  vs  $\omega (=2\pi f)$ )を得た。また、モデル解析によりオイルの特性、摩擦を定量評価した。表1に本研究で評価した7種類のモデルエンジン油の組成を示した。

オイル名		オイルA	オイルB	オイルC	オイルD	オイルE	オイルB2	オイルB3
基油	鉱油	○	○	○	○	○	○	○
粘度指数向上剤	ポリメタクリレート系	○	○	○	○		○	○
耐摩耗剤	ジアルキルジチオリン 脲亜鉛	○	○	○			○	○
金属系清浄剤	過塩基性Caサリチレート	○	○	○				○
無灰系分散剤	高分子ビスイミド	○	○	○			○	
酸化防止剤	アミン系、及びフェノール系	○	○	○			○	○
摩擦調整剤	モリブデンジチオカーバメート		○				○	○
	グリセロールモノオレート			○				
消泡剤	シリコシ	○	○	○			○	○

#### 【結果と考察】(1) 油膜厚さ、摩擦力の荷重依存性

表面力・共振ずり測定法によりオイルA, B, C, D, Eの油膜厚さ、および摩擦力の荷重依存性、摩擦係数を評価した。得られた結果を表1にまとめた。オイルE(基油のみ)では、摩擦力 $F$ は荷重に対してほぼ比例して増大し( $L < 2 \text{ mN}$ )、摩擦係数 $\mu=0.45$ が得られた。粘度指数向上剤が添加されたオイルDでは、オイルEと比較して荷重 $L$ に対する油膜厚さの減少、摩擦力 $F$ の増大が緩やかとなり、摩擦係数 $\mu$ は0.20となり、40%の摩擦係数低減効果が観測された。

オイルA, B, Cでは、オイルE, Dと比較して油膜厚さが著しく増大した。例えば、荷重5mN(平均面圧約1.3 MPa)での油

膜厚さは、オイル A で約 120 nm、オイル B, C で約 90 nm となった。オイル A, B, C に共通成分が油膜厚さ増大に寄与したと考えられる。摩擦係数  $\mu$  はオイル A で 0.17、オイル B で 0.18、オイル C で 0.19 となり、これらの値は粘度指数向上剤のみ添加のオイル D と同定度であった。この結果は、粘度調整用の高分子が摩擦低減にも作用したことを示している。

表 2 モデルエンジン油の油膜厚さ、摩擦係数

	オイル E	オイル D	オイル A	オイル C	オイル B
油膜厚み(面圧 1.3 MPa)	~4 nm	~10 nm	~120 nm	~90 nm	~90 nm
摩擦係数, $\mu$ (負荷範囲)	0.45 (≤2 mN)	0.20 (≤3.4 mN)	0.17 (≤3.7 mN)	0.19 (≤3.7 mN)	0.18 (≤0.8 mN)

**(2) 油膜厚さ増大の原因検討** オイル A, B, C がオイル D, E より厚い油膜(90 nm 以上)を形成した原因が、オイル A, B, C のどの成分によるのかを検討した。候補として金属系清浄剤と無灰系分散剤を想定し、前者をオイル B から除いたオイル B2 と、後者を除いた B3 の特性を比べた。B2 の油膜厚さは著しく減少し、オイル D, E と同定度となり、一方、B3 では油膜厚さに変化は無かった(図 2)。金属系清浄剤が 100 nm 程度の凝集粒子を形成し、この粒子が表面間に挟まれることで油膜厚さが増大したと考えられる。

### 【まとめ】

(i) 基油のみ(オイル E)では約 4 nm 残った油膜の厚みも最も薄く、摩擦係数は 0.45 と最も高い値となり、添加剤の有効性が示された。(ii) 興味深いことに基油に粘度指数向上剤である高分子を添加したもので(オイル D)、摩擦係数は 40% 低下した。(iii) 金属系清浄剤により油膜厚さが 100 nm 程度まで増大することが明らかとなった。(iv) 清浄剤、分散剤、摩擦調整剤による摩擦低減効果は観測されなかった。

### 【社会実装・産業への貢献】

表面力・共振ずり測定法により、従来は不明であった表面間にナノレベルで残る油膜の特性と各成分の効果を初めて明らかにした。このモデルエンジン油について得られた成果は、SIP プログラムで開発されたトライボシミュレータにも導入された。さらにオイルを提供した複数の潤滑油メーカーの技術者にフィードバックし潤滑油の設計に活用された。当装置は、潤滑油メーカーにすでに導入されている。

## 2. MoDTC の摩擦化学反応機構

燃費向上のため、自動車のエンジン油には、より低粘度が求められている。低粘度化における課題は、ピストンリングの上死点付近など、境界潤滑領域での焼付きや摩擦上昇である。その対策として通常、極圧添加剤であるモリブデンジチオカーバメート (MoDTC) をエンジン油に添加し、MoDTC が摩擦面で反応して生成される二硫化モリブデン ( $\text{MoS}_2$ ) 膜による摩擦低減が行われている。しかし、従来、(i) 材料や表面処理、形状により効果が得られない、(ii) ハイブリッド車等ではエンジン油温が上がらず添加剤の効果が得られない、などの課題があった。

本プロジェクトでは、鉄スパッタリング膜を基材とし、MoDTC を含む潤滑油中での基材表面の二硫化モリブデン生成の機構を検討した。MoDTC の表面吸着における鉄の酸化度の影響を調べ、一定量以上の未酸化鉄(純鉄)が必要なことが分かった。さらに、トライボ反応による  $\text{MoS}_2$  は、反応の初期で生成するが、アモルファス状態では潤滑効果を示さず、摺動により低摩擦を示す、層状  $\text{MoS}_2$  が生成し摩擦が低下することが分かった(図 3)。

### 【社会実装・産業への貢献】

従来、摩擦反応は最終的な生成物と反応条件のみで検討されていた。本研究で、素反応に基づき評価するための新しいアプローチとその有効性を示し、得られた知見は企業の実機材料の検討に活用された。

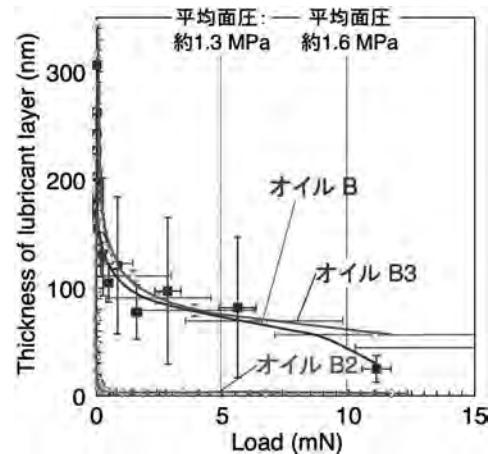


図 2 オイル B, B2, B3 の油膜厚さ vs 荷重。

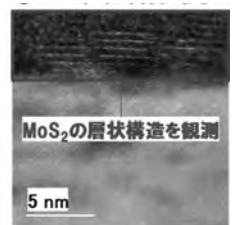


図 3 摩擦試験により生成した  $\text{MoS}_2$  の層状構造の電子顕微鏡像。

### 3. ポリマーブラシによる潤滑機能の解明と設計指針の創出 (Soft Matter, 15, 7765-7776 (2019))

高分子鎖を固体表面に高密度(約0.4本/nm<sup>2</sup>以上)で固定することで、良溶媒中で伸びきり鎖にも匹敵する伸長したブラシ構造を得ることができる(濃厚ポリマーブラシ)。この濃厚ポリマーブラシの一つの大きな特長として、原子間力顕微鏡などにより10<sup>-4</sup>レベルの低い摩擦係数を示すことが報告され、潤滑材料としての応用が期待されている。潤滑材料としての利用には、用途に応じた潤滑条件下(荷重やせん断速度)においてブラシ層が示す特性の理解が重要な課題である。

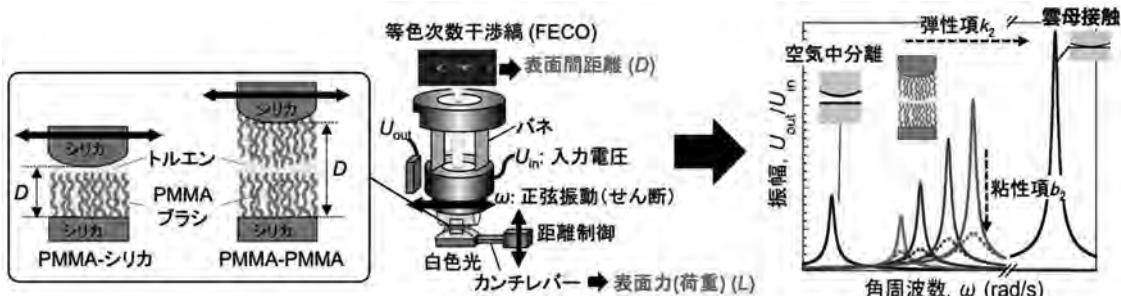


図4 濃厚ポリマーブラシ層の特性の表面力・共振ずり測定法による評価模式図

本プロジェクトでは、表面力・共振ずり測定法を用いて、トルエン中のポリメチルメタクリレート(PMMA)ブラシ層の膨潤膜厚・粘性・弾性、摩擦特性を評価し、高分子ブラシ層の構造と特性の相関、荷重・せん断速度依存性を評価した(図4)。PMMAブラシ層はシリカ膜上に原子移動ラジカル重合法により調製し、乾燥膜厚約125 nm、重量平均分子量129,000であった。

PMMAブラシ層間の表面力(力vs距離)測定により、ブラシ層の膨潤膜厚は530 nmと見積もられた。この膨潤膜厚は、重量平均分子量より見積もった伸びきり鎖長320 nmよりも厚いことから、高密度PMMAブラシ層の外側には分子量分布に由来する長さが不均一な高分子鎖の領域があると考えられる。

共振ずり測定法では、低せん断振幅・速度条件において、摩擦係数は0.1のオーダーとなり高密度ブラシの既報値より高い値となった。PMMAこれらの結果より、PMMAブラシ層間に荷重とせん断振動を与えることで、PMMAブラシ最外層の不均一高分子鎖の相互貫入が起こり、弾性( $k_2$ )、粘性( $b_2$ )および摩擦力が増大したと考えられる。従来、高密度ブラシ系では相互貫入は起こらないと考えられていたが、負荷条件下でせん断振動を与えると相互貫入が見いだされた。相互貫入が想定されないブラシ層-シリカ膜間では、弾性( $k_2$ )、粘性( $b_2$ )ともにPMMAブラシ層同士より約1桁低い値となり、この機構を支持する結果である。

さらに、荷重 $L = 1.34$  mNでの弾性( $k_2$ )、粘性( $b_2$ )、表面間距離(ブラシ層厚さ)のせん断振幅依存性を図5に示した。せん断振幅約20 nmでは、ブラシ層の厚さに対して振幅が小さく、高分子鎖同士が相互貫入して分子運動が抑制された状態のため、弾性( $k_2$ )が最大値で、粘性( $b_2$ )が低い値となったと考えられる。せん断振幅約60 nmで弾性( $k_2$ )が減少、粘性( $b_2$ )が増大した。これは相互貫入した高分子鎖が部分的に抜けて分子運動性が増したためと考えられる。さらに、せん断振幅増大とともに弾性( $k_2$ )、粘性( $b_2$ )減少した。相互貫入した高分子鎖が抜けるとともに高分子鎖に傾きが生じたためと考えられる。

本研究により、濃厚ポリマーブラシの潤滑特性が、条件に依存して大きく変化することを初めて明らかにした。

#### 【社会実装・産業への貢献】

本研究の成果は、ブラシの潤滑材料への応用において動作条件(荷重、せん断振幅・速度、せん断方向(往復、一方向など)を踏まえた設計が必要であることを示しており、今後の実装に向けて重要な情報である。また、濃厚ポリマーブラシの応用として、潤滑材料だけでなく、力の伝達(トラクション)材料、接着材料としての利用の可能性を示した。本研究を実施したACCEL-

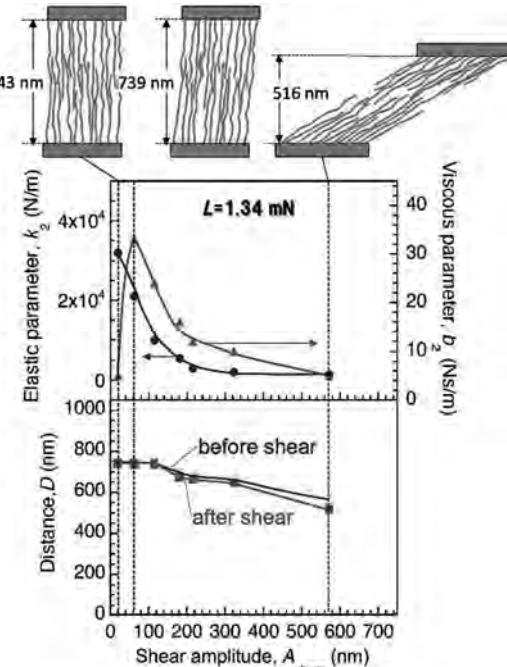


図5 PMMAブラシ層の弾性( $k_2$ )、粘性( $b_2$ )、表面間距離( $D$ )のせん断振幅依存性(下)、対応するブラシ層構造模式図(上)。

SRT プロジェクトには、企業 6 社がポリマーブラシの実装に向けて参画しており、それら企業の技術者と成果について情報共有、議論を行った。

### 「基盤計測法の開発」

#### 1. 共振ずり測定法の高度化

前述した“共振ずり測定法 (RSM) (図 1)”を用いれば、固体表面間の nm 厚さの液体の特性(粘性、弾性、潤滑性など)を評価可能であり、我々は潤滑油に適用し、従来にない視点での潤滑設計指針を提示してきた。しかし、RSM で評価できるせん断速度範囲は、 $10^{-5}$  m/s 以下で、一般的な機械の動作速度より遅く、粘性や摩擦・潤滑はせん断速度条件に依存するため、現実の機械に合わせたせん断速度まで評価できることが望ましい。一方、閉じ込め液体の様な複雑系の分子シミュレーションは、ようやく最近可能となったが、長時間現象(低速に対応)の計算は困難であり、通常現実系よりも高速に限定される。従って、対応する速度条件で実験とシミュレーションデータを取得できれば、閉じ込め液体の特性と構造の相関を解明し、摩擦の分子機構を検討する有効な手法となると考えられる。本研究では、共同研究者(慶應大学泰岡教授)の MD シミュレーションの長時間化との連携のため、(i) RSM でせん断速度の高速化を行い(目標:  $10^{-2}$  (m/s))、(ii) より多くのデータ取得のための RSM の自動化プログラムの開発による測定迅速化を行った。

#### (1) RSM のせん断速度の高速化

表面にせん断を与えるために用いているピエゾに入力する電圧振幅の増幅、共振周波数の高周波数化することで、4 枝以上の高速化 (最大  $1.1 \times 10^{-1}$  (m/s)) を達成した (図 6)。これにより、MD シミュレーションで計算できるせん断速度と同じ速度での比較が可能となった。

高度化した RSM を用いて、雲母表面間に閉じ込められた OMCTS (オクタメチルシクロテトラシロキサン) の粘性パラメータ( $b_2$ )のせん断速度( $V$ )依存性を、OMCTS の厚みを変えて  $D = 7.1 \pm 0.8$  (nm),  $4.3 \pm 0.2$  (nm),  $1.9 \pm 0.5$  (nm) (最小液膜厚さ, hard wall, HW) において評価した (図 7)。従来、他の評価法による測定では、感度が低いため、非常に高い粘度を示す最小液膜厚さにおいてのみせん断速度依存性が測定されており、速度範囲は  $2 \times 10^{-4}$  m 以下に限られていた。本手法により、最小液膜厚さのみならず様々な厚み条件において、機械の動作条件や MD シミュレーションに対応するせん断速度での評価が可能となった。

#### (2) RSM の自動化プログラムの開発

CMOS カメラで取得した干渉縞画像データのリアルタイム解析による表面間距離決定、表面間距離を制御するパルスモータ・ピエゾ駆動系の制御、共振カープの測定を実施する統合プログラムを開発した。

### 【社会実装・産業への貢献】

測定・解析の自動化プログラムを導入した共振ずり測定法は、企業との共同研究において活用しており、企業の技術者が来訪して測定を短期間で実施できるようになり、共同研究の推進に大きく貢献している。せん断速度範囲を拡大した装置については、今後、分子構造の異なる種々の液体の特性を評価する。さらに、MD シミュレーションで得られる閉じ込め液体の構造情報を対応させ、閉じ込め液体の特性と構造の相関を明らかにする。得られた結果は、潤滑油の分子設計の基盤データとして蓄積し、潤滑油開発に貢献する。

また、せん断速度範囲の拡大、自動化プログラムなどの開発技術は、ニーズがあれば技術移転し市販することを検討する。

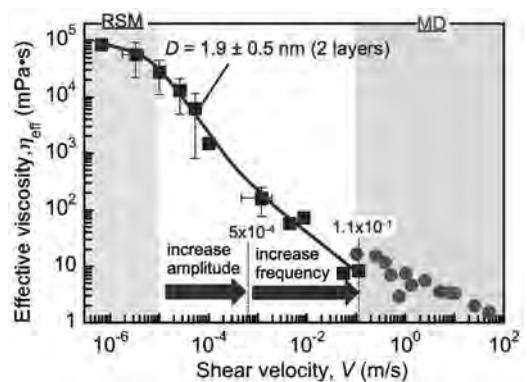


図 6 雲母表面間に閉じ込められたナノ厚さ OMCTS の実効粘度のせん断速度( $V$ )依存性。

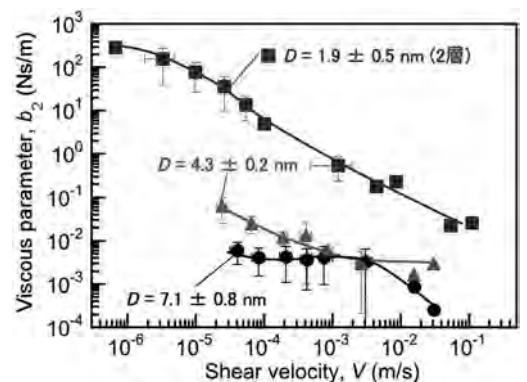


図 7 粘性パラメータ  $b_2$  のせん断速度依存性。

## 2. 低温型表面力装置

−20°Cまで測定可能な低温用表面力装置(図8)を、測定チャンバー内の試料部下部にペルチェ素子を設置することで製作し、その性能確認を目的として、氷表面の電気二重層斥力を測定して表面電位を決定した(Langmuir, 34, 11311 (2018))。従来の表面力装置は14°C以下の測定例ではなく世界初の成果であり、ACS Editor's Choice(アメリカ化学会のすべての雑誌(約60誌)の記事から、1日1件優れた論文を選定)に選ばれ、高く評価された。

また、本装置を氷の摩擦評価に適用し、氷表面のPremelting層の粘性評価に適用することで、氷の滑り具合が、ずり速度や垂直負荷でどのように変化するかを初めて定量的に明らかにした(Langmuir, 35, 15729 (2019))。マクロなずり計測では摩擦熱の影響や真実接触面積の評価が難しく、またAFM等の従来のナノ評価では粘性の定量評価が難しかったため、本装置により初めて粘性の定量評価が可能となった。さらに、同手法をタイヤや靴のグリップの制御に重要なゴムー氷表面間の摩擦に適用して、−5°C以下の低温下ではゴムの弾性、それ以上の温度では疑似液体層が摩擦を支配する機構(図9)を明らかにした(Soft Matter 2020, <https://doi.org/10.1039/D0SM00478B>)。

### 【社会実装・産業への貢献】

実際にタイヤ用ゴムと氷との摩擦評価にも研究を展開し、界面の粘弹性がせん断挙動に与える影響を明らかにした(Tribol. Lett., 67, 74 (2019))。

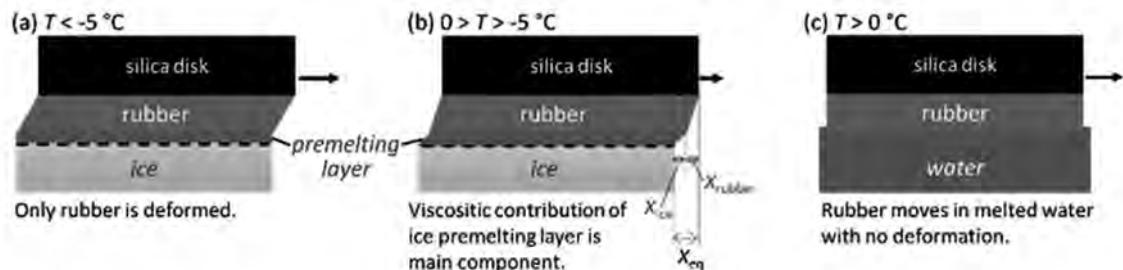


図9 氷の摩擦に対するずり速度、および垂直負荷の影響の模式図

### 「電解液-電極界面のナノ界面評価」

#### (1) 超微量粘度計の開発

独自開発手法である共振ずり測定法(RSM)は、固体表面間の距離を nm レベルで制御しながら微量液体の粘性、摩擦・潤滑特性を高感度に評価できる唯一の装置である。表面間距離を μm 以上の距離まで拡げて測定を行うことで、液体のバルク粘度を僅か数 10 μL で測定できる革新的な粘度計の開発につながると考えた。そこで、バルク粘度の測定に特化した簡略化(コスト低減)した装置を設計、製作を行っている(図10)。試作装置を用いた性能評価を行い、

試料液体 20 μL で、粘度範囲 0.1~14000 mPa·s、粘度分解能 0.1 mPa·s で測定を行えることを確認し、特許出願を行った(特願 2019-228626)。この開発装置を用いて、電池から回収した微量の電解液の粘度評価を行い、充放電サイクルに伴う電解液の僅かな粘度変化を測定できることを確認した。また、測定とデータ解析による粘度決定までの手順を一つのプログラムで出来るだけ自動化して実行する統合プログラムを開発した。また、リチウムイオン電池(LiB)から回収した電解液の測定を行い、充

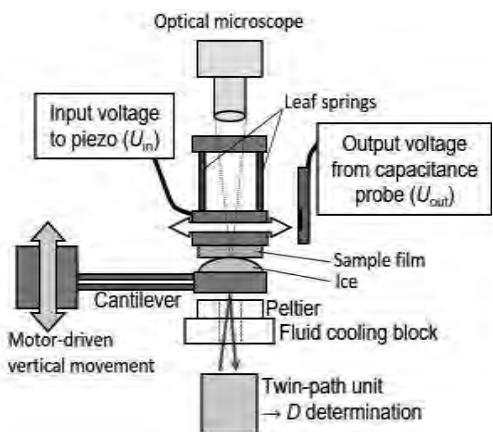


図8 低温表面力装置の模式図(上図)および測定に用いた氷試料の写真(下図)



図10 超微量粘度計試作機

放電サイクルに伴う粘度増大を観測した。

#### 【社会実装・産業への貢献】

今年度中に事業化計画を明確にすることを目標に、装置の簡略化、測定操作を簡便化するための装置改良、プログラムの簡略化を進めている。これに際し、超微量粘度計の事業化検討を目的として、2020 年に東北大学BIP(ビジネス・インキュベーション・プログラム) フェーズ1(育成)に応募し採択された。審査員からは、好意的に事業化を期待する意見を多く頂いた。

#### (2) 電池用表面力装置

独自開発のツインパス法により(距離分解能 0.2 nm で距離測定範囲 5 μm) 従来装置では不可能であった電極表面間の表面力測定、電極へのイオン吸着や表面電位等の評価が可能となった。

#### (3) Li 電池に用いられる材料の界面評価

これまで、トライボロジーのナノレベル評価、材料表面・界面評価などの研究で開発、確立してきた世界トップレベルの界面評価技術を活用して、電池材料の界面の評価を行っている。具体的には、高い安全性、急速充電、低温充電という特長をもつマンガン系リチウムイオン電池を対象として、「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の電池開発研究のグループと協力して、実際の電池材料の界面の評価を進めている。電子顕微鏡法および X 線光電子分光法を駆使した新規界面評価法を確立し、添加剤により界面膜形成が異なることを直接観察できた。モデル電池やモデル電極を用いた電極被膜形成の反応機構の研究を開始し、正極における反応機構に対する添加剤の役割の解明が進んでおり、低温電池の開発に貢献した。

### 「地域支援」

#### 拠点形成

##### (1) 拠点ラボラトリー

2017 年 4 月から、片平キャンパスの MaSC(産学連携先端材料研究センター)に、トライボロジー先端融合研究ラボラトリーを開設し、活用・運用している。従来推進してきた文科省の GRENE(グリーントライボロジーネットワーク)ならびに素材技術先導プロジェクト超低摩擦領域の設備を統合し、特に、素材技術先導プロジェクトで進めていた装置共用は継続しての利用希望が多いので、引き続いて運用している。さらに、2019 年度より、文部科学省地域イノベーション・エコシステム形成プログラム「ナノ界面技術による Mn 系 Li フルインターカレーション電池の革新とそれによる近未来ダイバーシティ社会の実現(代表者:伊藤努)」(2018~2022 年度)のオープンラボラトリーとしても運営していくため、共用設備を増やした。トライボロジー先端融合研究の加速と地域貢献を行いたいと考えている。

この拠点ラボラトリーの利用実績としては、2018 年度の産学連携共同研究が 6 件、機器共用 24 件(企業 8 社の利用を含む)、使用時間総計が 1121 時間、2019 年度の産学連携共同研究が 8 件、機器共用 32 件(企業 8 社の利用を含む)、使用時間総計が 1877 時間となった。

##### (2) ホームページ

2018 年度にトライボロジー融合研究拠点のホームページを作成、継続して公開 (<http://tribology.niche.tohoku.ac.jp/tribo/>)

##### (3) トライボロジー融合研究会設立

当拠点において、これまで培ってきた産学官のネットワークをさらに一段と強化し、トライボロジーに関する産学官連携による共同研究開発プロジェクトを創出するとともに、地域ものづくり中小企業の生産性向上やエネルギー効率化及び新事業創出に資する取り組みを支援し、地域産業の競争力強化を図ることを目的として、平成 30 年度に「トライボロジー融合研究会」を設立した(会員企業数 29 社(2020 年 9 月現在))。研究会では、トライボロジー関係プロジェクトで培ってきたトライボロジーや低摩擦技術に関する知見やネットワークを活用し、自動車産業や電気機械産業を中心とする地域ものづくり企業の生産性向上やエネルギーの効率化及び新事業創出を支援する取り組みを推進することを目的として、国際シンポジウム 2 回、機器講習会 2 回、トライボロジー技術活用事例交流会 1 回を開催した。またトライボロジー先端融合研究ラボラトリーと連携して、上述の 1. 拠点形成で記載した拠点ラボラトリーのトライボロジー関連の共用機器の利用促進を目的として、機器講習会も開催した。

#### (4) 企業への技術支援

##### (i) 地域ものづくり企業への個別技術相談対応

地域ものづくり企業からの、トライボロジー、摩擦、界面等に関する個別相談に対応するとともに、プロジェクトマネージャーやコーディネーターが地域ものづくり企業を訪問し、各企業のニーズの抽出を行った。また、技術開発プロジェクトの創出や外部資金獲得についても支援を行った。本プロジェクトを開始した 2018 年度からの企業との共同研究はのべ 24 件、研究機関との共同研究はのべ 9 件となった。

##### (ii) トライボロジー技術活用事例集

表面力測定、共振ずり測定、ならびに様々な界面評価法など当プロジェクトで有するトライボロジー技術を活用した民間企業・研究機関(計 18 事例)の成果について、事例集を作成・配布した。

寄稿企業:アドバンス理工(株)、出光興産(株)、(株)大武・ルート工業、協同油脂(株)、KF アテイン(株)、白石工業(株)、住友金属鉱山(株)、(株)ダイセル、(株)ティ・ディ・シー、(株)デンソー、トヨタ自動車東日本(株)、日本ミシュランタイヤ(株)、宮城県 産業技術総合センター、ライオン(株)、東北電子工業、JFE スチール(株)、(株)本田技術研究所、(株)資生堂

#### (5) トヨタ自動車東日本株式会社と共同研究講座を開設

2019 年にはトヨタ自動車東日本株式会社と東北大学が連携し、共同研究を促進して柔軟かつ迅速に研究活動を推進することで実用化・産業化を目指す共同研究講座として、「先端自動車トライボロジー材料研究 -持続可能な車社会に向けたエネルギー効率のためのナノ界面制御-」(足立(兼担))が開設された(<http://www.tribo.mech.tohoku.ac.jp/toyota-ej/index.html>)。栗原は共同研究講座に対して助言や共用機器の装置利用支援、久保は助言・相互議論などの形で参画している。

## I – 2. 研究者の育成状況(各種研究員の受け入れ状況等を含む)

### (1) 修士号・博士号取得者

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①修士号取得者(うち本学) (うち社会人)	人 (人)	人 (人)	人 (人)
②博士号取得者(うち本学) (うち社会人)	2 人 (2 人)	1 人 (人)	人 (人)

### (2) 研究員等受け入れ数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①民間等共同研究員	10 人	8 人	5 人
②受託研究員	人	人	人
③ポスドク	6 人	6 人	4 人
④修士課程・博士課程	人	人	1 人
⑤研究所等研究生	人	人	人

### (3)国際交流の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

- ・2019年2月20, 21日に、仙台国際センターにて、トライボロジー融合研究会国際シンポジウム-持続的社会のための融合研究-を開催した。海外より、Calum Drummond 教授 (RMIT 大学)、Krister Holmberg 教授 (シャルマーズ工科大学)、Oleksandr Savatievev 博士 (マックスプランク研究所)、Wilfred T. Tyso 教授 (ウィスconsin 大学ミルウォーキー校)を招待し、講演頂いた。参加者は 91 名であった。
- ・2019年11月1, 2日に東北大学にて、OKINAWA Colloids 2019 Pre-workshop - 5th International Mini-symposium on Surface Forces – を開催した。国内外より界面科学分野で活躍する研究者を招待し、表面力測定を用いたソフトな材料の摩擦や物性評価、機能性界面・多孔材料の開発、界面選択的分光手法や高速原子間力顕微鏡による界面評価、などの最先端の成果について講演頂き、活発な議論が行われた。特に Jacob Klein 教授は 2012 年の Tribology Gold Medal の受賞者であり、Hans-Jürgen Butt 教授は当分野の教科書の執筆者としても著名な研究者で、11/1 には交流会も開催され、様々な観点での意見交換の場として有効活用された。参加者数は 50 名であった。
- ・2020年2月14日に東北大学にて、6th International Mini-symposium on Surface Forces を開催した。海外から、Langmuir (アメリカ化学会の界面化学)の元 Chief Editor の Francoise M. Winnik (ヘルシンキ大学 教授)を招待して講演頂いた。国内の大学、国研、企業からも関連分野で活躍する研究者を招待し、講演頂き、活発な議論と国際交流を行った。参加者は 35 名であった。
- ・リヨン大学とのダブルディグリーの博士課程学生の受け入れ(2016 年 4 月～2019 年)

### 《開発研究の進捗状況に関するコメント》

本プロジェクトでは、表面力測定並びに界面科学の基礎的知見を、摩擦・潤滑から重要な実用材料も含む多様な対象に適用し、新規研究手法を提示するとともに、新しい知見を得て、材料開発者(研究機関(宮城県産業技術総合センターなど) や多くの企業にフィードバックしている。基礎科学的に重要な成果も得られており、産業界との共同研究も進んでいる。今後も、基盤的な研究を発展させながら、実用的に重要な対象(タイヤゴム、潤滑油、コーティング材料など) の研究についても展開したい。

また、最近では  $10 \mu\text{L}$  の試料で測定可能な超微量粘度計も開発し、製品化を目指して使いやすさの向上に努めている。今年度中には完成し、2020 年に採択された東北大学BIP(ビジネス・インキュベーション・プログラム) フェーズ1(育成)の支援も得て事業化を進めたいと考えている。

摩擦反応の評価に用いた手法は電池の電極反応の評価にも有効であり、電池電解液の開発に貢献している。基礎研究の幅広さを示すものと考えており、今後も適用可能な対象があれば、幅広く貢献していきたい。

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

### II-1. 民間企業への技術移転進捗状況について

#### (1) 民間企業への技術移転件数

【注】NICHe でのプロジェクトに関係するものに限ります。

	2018 年度	2019 年度	2020 年 6 月までの実績	2020 年度末までの予定
①開発研究成果が特許権又はその他の知的財産権(受ける権利を含む)の実施許諾あるいは譲渡によって民間企業へ技術移転された件数(うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業への技術移転件数)	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
②①以外の形での民間企業への技術移転件数(同上)	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
③上記の①又は②の中で「新産業分野 <sup>注2)</sup> 創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数(同上)	件 (件)	件 (件)	件 (件)	1 件 (件)

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

注<sup>2)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。

#### (2) 民間企業への技術移転による商品化

①開発研究成果が「商品」として実現したものを記入。企業により結果として商品化されたものを含みます。

時期/予定時期	企 業 ・ 組 織 名	活 動 内 容
2021 年度		超微量粘度計の開発、事業化
2020 年度	株式会社 I・D・F	低温用蓄電池の開発・事業化(地域イノベーション・エコシステム形成プログラムで実施)
2019 年度	A(株)	知見が装置の開発に活用された。
2019 年度	B(株)	知見が低燃費タイヤの開発に活用された。

②商品化に至らないまでも商品化が検討されたもの

【注】NICHe でのプロジェクトに関係するものに限ります。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①件数 (うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業に関係する件数)	3 件 (件)	件 (件)	件 (件)
②上記の①の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数	件	件	件

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

## II-2. 発明、特許権、その他の知的財産権の状況について

### (1) 特許権の出願・登録状況

【注】NICHe でのプロジェクトに関係するものに限ります。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 発明件数	1 件	1 件	2 件
② 特許権出願件数	2 件	1 件	5 件
特許権出願件数のうち国内	1 件	1 件	2 件
特許権出願件数のうち国外	1 件	件	3 件
②のうち特許権の審査請求済件数の累計(請求予定期数)	累計 0件(予定 8件)		
特許権登録件数	3 件		
上記の①又は②の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数プロジェクト期間の累計	3 件		

注<sup>1)</sup> ①発明件数とは大学に届け出た件数のことを指します。

### <特許>

出願・取得済みの特許は、総数 5 件であるが、その代表的なものは以下のとおりである。

【注】①特に重要な特許については、概要を備考欄に数行程度付記して下さい。

②件数・分野等の年度変化の要因が明らかなものについては、その説明を備考欄に付記して下さい。

出願番号	発明者	出願人	国内申請		国外申請またはPCT		
			出願日	登録日	国名	出願日	登録日
特願 2013-212951	栗原和枝、石井芳一	栗原和枝、アルバック理工株式会社	2013年10月10日	2018年5月11日	PCT		
特願 2014-021021	佐藤貴哉、上條利夫、森永隆志、辻井敬亘、栗原和枝	独立行政法人国立高等専門学校機構	2014年2月6日	2018年7月20日			
特願 2018-505222 (再公表特許)	栗原和枝、水上雅史、白澤大輔	国立大学法人東北大	2016年9月30日		PCT/JP2016/79171		
PCT/JP2019/013845	栗原和枝、水上雅史、粕谷素洋	国立大学法人東北大	2019年3月28日		PCT/JP2019/013845		
特願 2019-228626	栗原和枝、水上雅史、粕谷素洋	国立大学法人東北大	2019年12月18日				
備考 :							

## II-3. 論文・著書・学会等発表の状況

### (1) プロジェクトの開発研究成果

(論文・表彰などの研究成果に関する実績。プロジェクト開始年度から2020(令和2)年6月まで)

【注】NICHeでのプロジェクトに関するものに限ります。

	2018年度	2019年度	2020年度
①論文・著書数	8件	16件	6件
②論文・著書の引用数 (プロジェクトリーダーが必要と判断した場合にのみ記載)	件	件	件

### <研究論文>

発表した論文は、総数 30 編であるが、その代表的なもの( 6 編)は以下のとおりである。

#### 低摩擦材料の開発

- 柴崎翔伍, 水上雅史, 吉田沙恵, 柳町拓哉, 田邊匡生, 栗原和枝, “共振ずり測定法によるエンジンオイルの潤滑特性評価: 添加剤の効果の検討”, トライボロジスト, 63, 284-293 (2018). モデル潤滑油の油膜厚さと摩擦特性の荷重依存性をナノレベルで評価し、添加剤種類による油膜厚さと摩擦の違いを明らかにした。
- M. Mizukami, M. Gen, S.-Y. Hsu, Y. Tsujii and K. Kurihara, “Dynamics of Lubricious, Concentrated PMMA Brush Layers Studied by Surface Forces and Resonance Shear Measurements”, Soft Matter, 15, 7765-7776 (2019). 共振ずり測定法により高分子ブラシ(PMMA)を評価、せん断条件によるブラシ層の動的構造・摩擦の変化を明らかにした。

#### 基盤計測法の開発

- F. Lecadre, M. Kasuya, A. Harano, Y. Kanno, K. Kurihara, Low-Temperature Surface Forces Apparatus to Determine the Interactions between Ice and Silica Surfaces, Langmuir, 34 (2018) 11311-11315. 低温表面力装置(世界で唯一)を開発し、氷-シリカ表面間の相互作用力を直接測定、-11.5 °Cで電気二重層斥力を観測、氷表面の電位を評価した。(ACS Editor's Choiceに選ばれた)
- F. Lecadre, M. Kasuya, Y. Kanno, K. Kurihara, Ice Premelting Layer Studied by Resonance Shear Measurement (RSM), Langmuir, 35 (2019) 15729-15733. 低温表面力/共振ずり測定装置を用いて氷-シリカ界面を評価、氷プレメルト層の粘度を初めて定量評価、温度上昇、せん断速度増大に伴う粘度低下を見いだした。
- S. Hemmette, M. Kasuya, F. Lecadre, Y. Kanno, D. Mazuyer, J. Cayer-Barrioz, K. Kurihara, Viscoelasticity of Rubber-Ice Interfaces Under Shear Studied Using Low-Temperature Surface Forces Apparatus, Tribol. Lett., 67 (2019) 74. 低温表面力/共振ずり測定装置を氷-ゴム界面に適用、ゴムの種類による粘弾性の違いを評価した。
- Florian Lecadrea, Motohiro Kasuyab, Sylvain Hemetteb, Aya Haranoc, Yuji Kannoc, Kazue Kuriharaa, “Ice premelting layer of ice-rubber friction studied using resonance shear measuremen”, Soft Matter in press. 低温表面力/共振ずり測定装置を氷-ゴム界面に適用、-5 °C以下ではゴムの粘弾性、-5°C以上では氷プレメルト層の寄与が支配的となることを見いだした。

### <著 書>

編集・著作した書籍は、総数 5 冊である。

(2)学会等発表の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年 6 月まで)

【注】NICHe でのプロジェクトに関するものに限ります。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①国際学会等	11 件	19 件	1 件
②国内学会等	20 件	1 件	9 件

<招待講演>

①国際学会等 総数 7 件 (\* 主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	場所(国、都市)	期日
栗原和枝	Surface Forces Measurement for Polymer Brushes and Gels	H2020 TWINN Project Materials Networking Workshop & Summer School Mainz 2018	Max Planck Institute for Polymer Research (Germany, Mainz)	2018.5.27-29
栗原和枝	Surface forces measurements and molecular organization	International Conference on Self-Assembly of Colloidal Systems (SACS'18)	Bordeaux university (France, Bordeaux)	2018.9.20-22
栗原和枝	Low-temperature Surface Forces Apparatus and Application	33 <sup>rd</sup> The European Colloid and Interface Society (ECIS2019)	Katholieke University Leuven (Belgien, Leuven)	2019.9.8-13
栗原和枝	Resonance Shear Measurement for Studying Contact Mechanics	International Tribology Conference (ITC2019)	Sendai International Center (Japan, Sendai)	2019.9.17-21
栗原和枝	Low-temperature Surface Forces Apparatus	Okinawa Colloids 2019	万国津梁館(Japan, Nago)	2019.11.03-08

②国内学会等 総数 11 件 (\* 主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	期日
栗原和枝	材料研究のための表面力測定	第 46 回異分野素材研究会	2018 年 10 月 26 日
栗原和枝	材料科学のための表面力測定:高分子への応用	2019 高分子京都会議	2019 年 11 月 29 日
栗原和枝	トライボロジーが拓く新たなイノベーション	第 21 回次世代プラスティック成型技術研究会	2019 年 12 月 5 日
水上雅史	界面およびナノ閉じ込め液体の先端計測による評価	第 67 回分析化学年会 特別シンポジウム“先端界面評価法と材料設計・応用技術”	2018 年 9 月 12 日
栗原和枝	材料科学のための表面力測定の展開:トライボロジー融合研究会	産技連秋季分科会	2019 年 10 月 23 日

## II-4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について

### (1) 各種表彰・受賞の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

総数 2 件

期 日	受賞者名	主催者・賞名	理 由
2018 年度	栗原和枝	平成 30 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞	新規表面力装置の開発と材料科学への応用に関する研究
2020 年度	栗原和枝	化学工学会、女性賞	材料科学のための表面力測定の展開

### (2) 新聞報道等の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

総数 2 件

1. 潤滑経済、2020、No.661、pp42-49
2. 潤滑経済 2020、No.661、pp50-55

### «開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメント»

#### 1. 戰略的イノベーション創造プログラム (SIP) 革新的燃焼技術

SIP 革新的燃焼技術では、「排気エネルギーの有効利用と機械摩擦損失の低減に関する研究開発」グループに参画し、エンジン油の評価を行い、エンジンの熱効率 50%達成に貢献した。

#### 2. 企業との共同研究

多くの企業との共同研究を実施し (2018 年度からの企業との共同研究はのべ 24 件)、従来は主に経験に基づいてきた設計してきた材料に対して、ナノレベルの先端計測技術を適用することで得られた知見をフィードバックし、製品開発に貢献している。

#### 3. 超微量粘度計の開発

2018 年度より始まったエコシステム事業では、独自手法である「共振すり測定法」を基に、液体の粘度を測定するために特化した超微量粘度計を開発し、試作機により、試料量 20 μL (最小 5 μL)で、低粘度から高粘度まで高い分解能 (0.1 mPa·s)で測定できることを確認した。電池から回収した微量の電解液の粘度の測定、充放電サイクルに伴う粘度変化の評価を可能とした。

さらに、微量での粘度測定は、電解液以外にも、血液 (糖尿病などの疾患で粘度が上昇する) や稀少薬剤の粘度の評価などの需要が見込まれ、開発装置は性能・価格面で既存の装置に明らかに優位性をもつことから、本装置の事業化により粘度計の新しい市場の開拓につながると期待される。現在、事業化に向けて装置とプログラムの改良、ユーザ開拓を進めている。

#### 4. 電池開発への貢献

2018 年度より始まったエコシステム事業では、摩擦を科学的に解明する研究のなかで培ってきた界面評価技術を用いてリチウムイオン電池の開発を支援している。

### III. プロジェクトの研究費の実績

#### (1) 研究費の推移(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度)

		2018 年度	2019 年度	2020 年度
民間からの資金	件数	10 件	6 件	8 件
	金額(百万円)	24 百万円	18 百万円	25 百万円
国からの資金	件数	5 件	3 件	3 件
	金額(百万円)	95 百万円	68 百万円	82 百万円

#### (2) 主要な獲得プロジェクト・共同研究等(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

- 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「排気エネルギーの有効利用と機械摩擦損失の低減に関する研究開発」、2014～2018 年度、50,000 千円（期間全体）
- 戦略的創造研究推進事業 ACCEL「濃厚ポリマー・ラジエンシ－強化とトライボロジー応用」、2017～2019 年度、46,000 千円（期間全体）
- 文科省地域イノベーション・エコシステム事業「ナノ界面技術による Mn 系 Li フルインターカレーショントリオウム電池の革新とそれによる近未来ダイバーシティ社会の実現」、2018～2022 年度、177,000 千円（期間全体）
- 平成 29 年度次世代領域研究開発(高性能 汎用計算機高度利用事業費 補助金)「閉じ込め液体の特性・機能のシミュレーション新規基盤構築」、2017～2021 年度、45,000 千円（期間全体）
- 東北経済産業局 平成 30 年度「地域中核企業創出・支援事業」、「トライボロジー(低摩擦)技術活用による地域ものづくり企業の新事業創出支援プロジェクト～「科学」で「技術」を支援する～」、2018 年度、8,400 千円
- 戦略的創造研究推進事業 CREST 「氷-ゴム界面摩擦機構のマルチスケール解明」、2020～2025 年度、247,000 千円（期間全体）

#### <<研究費に関するコメント>>

- 上記の研究費は当プロジェクトの関係者のうち、栗原-水上グループに関するものである。
- 本プロジェクトの主な部分は、トライボロジー関連のプロジェクト (SIP, ACCEL、高性能汎用計算機高度利用事業)、および電池関連 (エコシステム) のプロジェクトとして、2018 年度から 3 年間の計画で実施した。
- 2020 年度については、新型コロナの影響で企業との共同研究費の減額などがあった。
- 今後も競争的外部資金の獲得、また企業との共同研究の大型化に努力したい。
- 微量粘度計については、今年度で製品のプロトタイプを完成し、来年度の事業化を目指したい。

## IV. 当初計画を越える展開等やそれによる成果について

### (1) 当初計画になかった新たな展開について

本プロジェクトにおいて、摩擦・潤滑特性を分子・ナノレベルで計測評価し、量子科学計算も活用して、低摩擦発現機構を科学的に解明し、それを基にした材料設計指針の提案が可能となり、その有効性を示してきた。

この、科学的解明に基づいたアプローチの有効性が広く認知され、摩擦研究以外の研究・開発プロジェクトも立ち上がり、プロジェクトリーダー（栗原）のグループも参画し、研究を進めている。

文科省地域イノベーション・エコシステム事業「ナノ界面技術による Mn 系 Li フルインターカレーション電池の革新とそれによる近未来ダイバーシティ社会の実現」(2018～2022 年度)では、栗原は事業化プロジェクト 2「電池界面評価のための表面力装置の実用化」の CTO として参画し、これまで培ってきた界面評価技術を用いてリチウムイオン電池の開発を支援している。

エコシステム事業では、独自手法である「共振ずり測定法」を基に、液体の粘度を測定するために特化した超微量粘度計を開発し、試作機により、試料量 20  $\mu\text{L}$  (最小 5  $\mu\text{L}$ )で、低粘度から高粘度まで高い分解能 (0.1 mPa·s)で測定できることを確認した。また、電池から回収した微量の電解液の粘度を測定し、充放電サイクルに伴う粘度変化を評価可能し、電池開発にフィードバックしている。

2018 年には、栗原を代表として「トライボロジー融合研究会」を設立した。本研究会は、グリーントライボロジーネットワーク、東北発素材技術先導プロジェクトなどで形成してきた拠点活動を継続し、材料、機械、計測、シミュレーションなど関連分野の融合研究をさらに推進し、エネルギーの効率化などの社会的／技術的課題に貢献、地域の中小企業の生産力の向上や新事業創出に貢献することを目的として活動している。国際シンポジウム 2 回、機器講習会 2 回、トライボロジー技術活用事例交流会 1 回、などを開催し、共同研究や共用装置利用のきっかけ作り、技術開発アドバイス、企業の若い技術者の方の研鑽の場、技術者の交流の場も提供している。

### (2) 成果の基礎研究やプロジェクト等への寄与について

栗原は、これまで多くのプロジェクト活動などで、科学的な現象解明に基づいて材料設計指針を提案するアプローチで研究を進め、成果をあげてきた。このアプローチが評価され、2019 年に JST の CREST の新しい領域として、ナノスケール動的挙動を解析・評価技術を発展させ、マクロスケールの力学特性の支配因子の作用機構解明、新たな力学特性を有する革新的力学機能材料の設計指針の創出することを目標とした「革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明」が発足した。この領域では、摩擦・摩耗以外にも、構造材料の破壊、劣化などが対象となっており、栗原が進めてきたアプローチが他の研究分野の発展にも寄与していることがわかる。

### (3) 本プロジェクトによる人類への貢献、社会的意義等について

低摩擦・摩擦制御技術の向上は、省エネルギー、摩耗も低減し、機械の寿命や信頼性の向上につながる。これら摩擦の制御による経済効果は大きく、GDP の2~3%に上ると繰り返し推算されている(化学技術戦略機構の委託調査報告「ST/GSC 技術開発プログラム構想-ST 戦略の具体化に向けて-」(2002)等)。しかしながら、摩擦は基油、添加剤、基材という複数の材料が、機械が動くという特定の環境下で示す“複雑系の現象”のために科学的な理解は不十分であり、従来は経験的な開発が中心であった。

本プロジェクトは、先端計測や計算科学を活用して摩擦現象を分子・ナノレベルで科学的に解明し、それを基にした材料設計指針の提案まで実現した先駆的な例である。今後、更に本プロジェクトのアプローチで摩擦研究を進めることで、地球規模課題である低炭素化社会の実現に向けて大きく貢献できるものと考えられる。

また、低摩擦技術は、2015 年に国連で採択された「持続可能な開発目標 (sustainable development goals, SDGs)」の一つである、SDGs7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに、に対しても大きく貢献できる。

## V. その他

### (1) NICHe プロジェクトとして主張したい成果

#### (i) 超微量粘度計の開発

2018 年度より始まったエコシステム事業では、独自手法である「共振すり測定法」を基に、液体の粘度を測定するために特化した超微量粘度計を開発し、試作機により、試料量 20  $\mu\text{L}$  (最小 5  $\mu\text{L}$ )で、低粘度から高粘度まで高い分解能 (0.1 mPa·s)で測定できることを確認した。また、電池から回収した微量の電解液の粘度を測定し、充放電サイクルに伴う粘度変化を評価可能し、電池開発にフィードバックしている。また、微量での粘度測定は、電解液以外にも、血液 (糖尿病などの疾患で粘度が上昇する) や稀少薬剤の粘度の評価などの需要が見込まれ、開発装置は性能・価格面で既存の装置に明らかに優位性をもつことから、本装置の事業化により粘度計の新しい市場の開拓につながると期待される。現在、事業化に向けて装置とプログラムの改良、ユーザ開拓を進めている。

#### (ii) 電池開発の支援

2018 年度より始まったエコシステム事業では、摩擦を科学的に解明する研究のなかで培ってきた界面評価技術を用いてリチウムイオン電池の開発を支援している。

#### (iii) 企業との共同研究による製品開発支援

多くの企業との共同研究を実施し (2018 年度からの企業との共同研究はのべ 24 件)、従来は主に経験に基づいてきた設計してきた材料に対して、ナノレベルの先端計測技術を適用することで得られた知見をフィードバックし、製品開発に貢献している。

#### (iv) 基盤計測技術の高度化

独自手法である表面力・共振すり測定法の高度化を進めている。

- ・最大せん断速度を  $10^{-1}$  m/s まで増大 (ナノレベルの距離でマクロ計測と同等の速度を実現)
- ・温度約-20°Cまで測定できる装置を開発、氷の研究を可能にした。
- ・測定・解析プログラムの自動化を進めることで、測定の簡便化、迅速化が大幅に進み、企業の技術者が来訪して測定を実施可能となってきている。

#### (v) 機器共用

グリーントライボロジーネットワーク、東北発素材技術先導プロジェクトなどで導入した機器を、これらのプロジェクト終了後も、継続して共用機器としての利用を提供している。年々、利用は拡大しており、2018 年度の機器共用は24件(企業 8 社の利用を含む)、使用時間総計が 1121 時間、2019 年度は 32 件(企業 8 社の利用を含む)、1877 時間となった。

## (2)自己評価

本プロジェクトでは、材料科学の方法や知見を用いる摩擦現象の解明を目指し、産業界の技術者とも協働し、科学的な視点から摩擦現象をナノレベルで解明するとともに、それに基づく超低摩擦技術を開発することを目的として研究を実施した。

これまで開発してきたオンリーワンの計測・評価技術を活用し、企業、大学、公設試などとの共同研究を実施し、現象解明に基づいた材料設計に貢献してきた。また、様々な材料評価に対応するため、計測・評価技術の高度化・自動化を進めたことで、現象解明が進むとともに、より幅広い材料の評価が可能となってきてきた。実際に、金属、ゲル、ゴム、氷など本測定にとって未知な多くの対象に測定を拡げることができた。さらに、類似のアプローチで、プロジェクト期間中に摩擦だけでなく、電池開発の研究に展開した（エコシステム）。

エコシステムで開発した超微量粘度計は電池開発に活用するとともに、幅広い用途が期待されることから、事業化に向けて研究開発を進めている。従来から蓄積してきた界面科学と精密測定の知見や基盤を活用し、高い成果が挙がっていると考えている。特に、基礎研究から産業界への応用までの研究の拡がりが実現できていることは、従来例が少なく、科学の社会貢献への新しい例示ではないかと考えている。

共用機器の利用も年々、利用は拡大し、2018年度の機器共用は24件（企業8社の利用を含む）、使用時間総計が1121時間、2019年度は32件（企業8社の利用を含む）、1877時間となった。他部局の研究者や地域内外の企業にも幅広く貢献している。

（最終年度のみ）プロジェクト継続の意思

有

無

## 研究プロジェクト評価書面審査表(まとめ)

(研究プロジェクト評価書面審査委員氏名：山本直之、合田敏尚、久能昌朗)

プロジェクト名	戦略的食品バイオ未来産業拠点の構築
プロジェクトリーダー名	宮澤 陽夫

### I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

1. 開発研究の進捗状況(当初の開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況)	(優れている点)
	<p>大学が中心となり食品産業のための研究開発基盤を充実させながら市場拡散を生む差異化を有する開発研究課題を推進するという本プロジェクトの目的に対して、各開発研究課題ともに計画通りの進捗している。機能素材開発に関しては、企業連携の本格化に備えて、臨床応用やガン、認知症、糖尿病などのリスク軽減に向けての有効性実証試験が進められている。官能評価システムの構築と風味改良、微生物による化成品生産、糸状菌での有用成分生産などの開発についても開発が順調に進み、今後の利用拡大への準備が整いつつある。</p> <p>&lt;具体的な進捗&gt;</p> <p>食品研究①：大学の高度分析技術を、海鞘プラズマローゲンの規格化と加工製造技術の技術開発に活用</p> <p>食品研究②：リン脂質ペルオキシド精密構造解析技術の生体酸化ストレス評価への活用（東北メガバンク機構連携）</p> <p>食品研究③：1-デオキシノジリマシシン（1-DNJ）の大量生産技術開発</p> <p>微生物物質生産研究④：先端的な機器分析技術と定量的な官能評価の統合解析</p>
	(不十分な点)
	<p>開発技術の製品利用に向けての準備が進められつつあるものの、企業での製品化については不明確な点も多く、今後の製品計画の具体化が望まれる。海鞘プラズマローゲンの安全性と機能性の評価に遅れがあると判断される。</p>
(改善のポイント)	(改善のポイント)
	<p>開発技術を製品に本格利用するためには、企業のニーズに合わせた技術開発の方向性を軌道修正など、開発目標の見直しや、参画企業の積極関与を促すような施策が望まれる。</p> <p>海鞘プラズマローゲンの有効性確認と評価には、動物試験との連動など効率開発が望ましく、ヒト介入試験には、臨床疫学の専門家を拠点の連携研究者に加えることが望まれる。</p>

<p><b>2. 研究者の育成状況</b>            (各種研究員の受入れ・            国際交流の状況等を含む。)</p>	<p>(優れている点)            修士、博士、ポスドク者の本プロジェクトへの参画は合計 14 名と多く、研究者の育成においても重要な役割を果たしている。</p> <p>(不十分な点)            民間からの本プロジェクトへの参画が少なく、本開発が大学と企業において役割分担による独自開発となっている傾向があるため、共同開発における日常的な連携が不足する可能性があると判断される。</p> <p>(改善のポイント)            効率開発や新規技術イノベーションに向けての連携開発を今後一層増やすためにも、短期的であっても、大学への民間企業からの研究員の派遣による共同開発機会の設定が望まれる。また、アジア諸国など留学生の参画を促すような取り組みが期待される。</p>
<p><b>総括 I</b>            上記1.～2.までの評価に基づき当初の開発研究計画の進捗状況を中心に評価して下さい。</p>	<p>(優れている点)            全体的に多くのテーマがスケジュールに従い、ほぼ順調に開発が進められている。また、実用化に向けての民間企業との連携やヒトを対象とした試験が順調に進められている。            具体的には、1)食品研究についてはほぼ計画通りに進捗し、機能性表示食品の開発が進んでいる。2)食品機能のヒトにおける評価プラットフォームの構築が出来つつある。3)日本食特徴的素材の嗜好対応製品への活用は、試作段階に進捗している。</p> <p>(不十分な点)            民間企業における技術の製品化利用における準備は進められているものの、製品における具体的利用案や、スケジュールなど不明確な点がある。            また、一部の食品研究については、安全性と機能性の評価が細胞レベルに留まっており、ヒト介入試験に至るまでの準備が不足している。            企業における独自研究開発が可能な研究人材を育成するという視点が不足している。</p> <p>(改善のポイント)            今後の実用化に向けての促進策が望まれる。実用化に向けての技術開発における課題、製品化における課題など双方で議論することで、目標の具体化など今後の工夫が期待される。            ヒト介入試験の段階になった開発研究については、臨床疫学</p>

	<p>の専門家を拠点の連携研究者に加えることが望まれる。機能性表示食品として承認された後に、市販後調査研究として機能評価のデータを蓄積することの検討が望まれる。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大変良い</li> <li>②. 良い</li> <li>3. 普通</li> <li>4. やや不十分</li> <li>5. 不十分</li> </ol>
--	---

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

<p>1. 民間企業への技術移転進捗 状況について</p>	<p>(優れている点)</p> <p>大企業だけでなく多くの東北地方の中小企業との共同研究が促進されており、民間企業への技術移転は移転技術の件数から進んでいることが伺える。具体的には、開発技術の8件が民間企業に移転され、7件に関しては、商品化を目指して、既に企業における開発が進められている。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>特許の企業への技術移転数が少なく、実用化に必要な特許技術が少ないか、実施許諾を前提とした製品化が明確になっていない可能性がある。民間企業への技術移転がなされたものは、それぞれの分野における既存の技術の改良などに留まっていると判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>民間企業への特許技術移転が少ないこの理由を詳細に解析し、今後の実用化を確実に前進することが重要と考えられる。また、複数研究知財を組み合わせて新産業分野プロジェクトの提案をすることや、学際研究重点拠点の機能強化は今後的重要課題と判断される。</p>
<p>2. 発明、特許権その他の知的 財産権の状況について</p>	<p>(優れている点)</p> <p>研究開始から2年で3件の特許申請と内1件のPCT出願を実施しており、新産業分野創出が期待される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>本プロジェクト参加者や研究費の総額を考えると、特許出願数6件は幾分少ないと認識される。食品研究分野の開発研究から導かれた知的財産がまだ見られず、また、実用利用されてい</p>

	<p>る特許数が少ない状況であると判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>今後、開発技術の社会実装を念頭においていた製法特許、応用特許など、特許戦略については見直しが望まれる。</p>
<b>3. 論文・著書・学会等発表の状況</b>	<p>(優れている点)</p> <p>大学における発表論文数は 40 以上であり、大学のみの研究チーム数を 14 と考えると、十分な成果が得られていることは評価される。また、学会における発表数も国内外で総数 150 件以上であり、大学を中心とした研究が活発に実施されていることは特筆に値する。また、プロジェクトリーダーは、国際学会等で 4 件の招待講演を、学会会頭講演や基調講演等として行っており、本研究分野におけるオピニオンリーダーとしての役割を果たしている。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>開発研究課題の成果を国際的に拡散し、影響力を発揮するために、論文発表のみならず技術の露出を高めるための広報戦略が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>特になし</p>
<b>4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について</b>	<p>(優れている点)</p> <p>表彰・受賞の総数は 18 件であり、開発した技術に対して高い評価を受けている。また、新聞報道においても 5 回に取り上げられており、社会的にも本プロジェクトの活動が注目されている。特に、ILSI Japan 共同研究講座「AI ディアトロフィ」の開設が、日経バイオテク Web 記事として報道されたことは、広報におけるインパクトが高い。</p> <p>若手研究者の学会等における発表賞の受賞が多いことから、大学院生やポスドク研究員の研究環境や研究意欲が優れないと考えられる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>特になし</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>特になし</p>

<p><b>総括Ⅱ</b></p> <p>上記1.～4.までの評価に基づき、「新産業分野創出」に結びつく開発研究成果が出ているか(研究のアウトプット)、また現実に「新産業分野創出」<sup>注1)</sup>(研究成果に基づく産業活動のアウトカム)に結び付いているか、を中心評価して下さい。</p> <p><sup>注1)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。</p>	<p>(優れている点)</p> <p>食品素材の機能開発に関しては、効果の実証や評価法の確立が整いつつある。また、有用成分の生産効率化に関しても、順調に進捗している。これら大学における研究成果を中心として、論文や学会における発表は充分であり、多くの成果創出がされていることが確認できる。また、企業への技術移転は進んでいる。</p> <p>微生物質生産技術を中心に、新産業分野創出が期待される汎用性の高い技術が開発されており、出願・取得済み特許もある。研究成果の発表も活発に行われており、若手研究者の受賞も多い。プロジェクトリーダーは、国際学会等においてオピニオンリーダーとしての役割を果たしており、企業との共同研究講座の開設により新産業創出の加速化が期待される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>企業において製品化への着手行われているものの、具体的な製品化に向けての企業における計画が不明確な点がある。民間企業への技術移転がなされたもの一部は、未だ既存の技術の改良などに留まっている。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>製品化の具体化に対しては、再度、今後の課題の確認やそれに向けての目標の見直しなど継続的に実施することが必要と考えられる。特許の技術移転が進んでいないことについては、大学中心に開発された技術シーズを、今後具体的な製品に利用するための企業との中期長期的連携や特許戦略での工夫が望まれる。</p> <p>新産業分野の創出のためには、大学が主導的な役割を果たすこと必要である。食品機能学と食品微生物学の統合を図り、その解析戦略の共通基盤として、量子コンピューターを用いたビッグデータの解析に取り組みも期待される。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 優れた研究成果を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く評価を挙げている。</li> <li>2. 優れた研究成果は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。</li> <li>3. 優れた研究成果を挙げているとは言えないものの、「新産業分野創出」に結び付く可能性は高い。</li> <li>4. 研究成果は他に優れたとは言えず、「新産業分野創出」に結び付く成果も期待出来ない。</li> </ol>
---	---

### III. プロジェクトの研究費の実績

総括Ⅲ  外部資金の獲得状況と、その資金が十分に活用されているかの観点から評価して下さい。	(優れている点)  外部資金獲得に向けて積極的に取り組んでおり、広い分野の助成金7件総額310百万円を獲得している。多くの獲得予算は、本プロジェクトに関連する開発に利用されており、今後さらに、外部資金を活用して本プロジェクトを積極的に進める姿勢が伺える。地元中小企業を含めた研究コンソーシアムが形成されており、研究成果の蓄積が機能性表示食品の開発などに多岐にわたって活用されている。
	(不十分な点)  特になし
	(改善のポイント)  特になし

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

総括Ⅳ	(優れている点)  食品研究の、抗老化、抗癌、糖尿病予防に関しては当初予定を短縮し、基礎研究を完了させ、民間企業との実用化ステージに入った。また、微生物物質生産研究においても、資金調達を追加し、研究開発が進んでいる。  将来構想として食品機能学と食品微生物学の解析のためのビッグデータ解析と ILSI との連携による共同研究講座開設など、持続的発展構想が重要と判断される。  食品健康長寿研究センターの構想についても、地域住民の健康寿命の延伸を食品領域から地道に取り組むためのプラットフォームとなりうる重要な取り組みである。
	(不十分な点)  一方で、開発技術の企業での実用化については、多くのもので社内での開発検討が着手されている様子であるが、今後、どのようなステップを経て製品化されるのか具体的計画が分かりにくく、実用化までの達成度が見えにくい。
	食品成分の多分子間相互作用の研究は、主に細胞系を用いたモデル解析研究に偏る可能性があると判断される。

	<p>には、量子栄養学の導入を一層強化し、各食品成分の機能予測などヒトへの影響評価を進める必要がある。そのためには、バイオマーカーとの関連性を含めて、ビッグデータ解析のための体制整備が望まれる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>開発技術の実用化を達成するために、企業側による技術活用での課題整理が望まれる。また、その課題に対応すべき大学での技術改良への対応も必要と判断される。</p>
--	--

## V. 総合評価

総括 I ~ IVを踏まえ、本プロジェクトを総合的に評価して下さい。

大学における開発技術を、地域産業活性化に有効活用することを目指した本プロジェクトの実施体制においては、参画企業と大学専門家メンバーのバランスも良く、総合的に効率的な開発が行われている。一部の技術では実用化を目指してヒトでの有用性の検証が進められ、また、企業においては製品化が進められつつある。また、有用成分の生産性を強化する技術についても、生産効率の向上により今後のスムーズな最終製品への技術移行が期待される。その成果は多くの論文発表や学会発表によっても確認できる。

一方、本プロジェクトの大きな目標である技術の実用利用には、今後、企業側の製品開発計画をさらに具体化する必要があり、今後の発売計画の具体化が期待される。大学発の基礎的技術が実用化に適したものであるかどうかの評価や、新たな課題に対する技術改良などの検討も必要と判断される。大学と企業の共同開発におけるさらなる連携が望まれる。

特許戦略に関して、大学での単独出願方針を重視する場合、特許の企業への移転・活用をより進める必要があり、また大学での出願内容が企業活動での製品を支えるための要件となっているかどうか確認することが、将来的な大学のシーズ強化のために重要と判断される。

(全体に対するコメントがありましたら、記載して下さい。)

本プロジェクトは、大学研究を産業利用するためのアプローチの一つとして、産官学の研究開発資源を最大限に活用して、我が国の研究開発上の強みに基づく新たな市場開拓につなげるための重要な取り組みであり、今後の日本における食品産業界のモデルケースになりうるものと期待される。特に地方企業が積極的に関与することでの地方経済活性化につながるため、参画研究者や企業の皆様の今後の活躍が期待される。また、このような取り組みが基盤となり本技術の全国規模での実用化が発展することが待望される。

## 2020(令和2)年度研究プロジェクト自己評価報告書(公開版)

## 開発研究部の分野名・研究プロジェクト名

プロジェクト名：戦略的食品バイオ未来産業拠点の構築  
(Food Biotechnology Platform Promoting Project)

## プロジェクトリーダーの職名・氏名

未来科学技術共同研究センター 教授・宮澤 陽夫

研究体制(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

## (1) 開発研究目的、目標及び方法

## 1. 目的

近年、食品分析・加工技術ならびに微生物発酵の分野は、急速に進歩しているが、我々は、最新の食品分析・加工技術(精密構造解析・高感度定量・超高压加工・選択的抽出濃縮)、ゲノム情報を利用した微生物物質生産技術分野において、国際的に優位な独自技術開発を産学共同で展開してきた。本プロジェクトにおいては、高品質な原料産地である東北において原料由来の糖質・蛋白質・脂質の高度変換技術を、我々の技術シーズを発展させて開発し、これまでに我々が進めてきた「単一技術しか持たない地域食品企業が、産学共同で複合技術による国際的新商材を開発するための統合開発プラットフォーム構築」の完成を目指す。

## 2. 目標及び方法

本プロジェクトでは、上記目的を達成するため、我々が国際的に優位性を有する『食品研究』と『微生物物質生産技術』を活かして主に以下の研究開発に取り組み、その技術移転を目標とする。

## 【開発研究の課題】

## 『食品研究』

- ①海鞘やクロレラを活用する脳神経細胞活性成分を含む高機能食品原体および徐放性食品原体の製造技術開発
- ②生体過酸化脂質の生成制御による抗老化・抗癌食品開発
- ③納豆菌・桑葉による糖尿病予防食品素材の開発

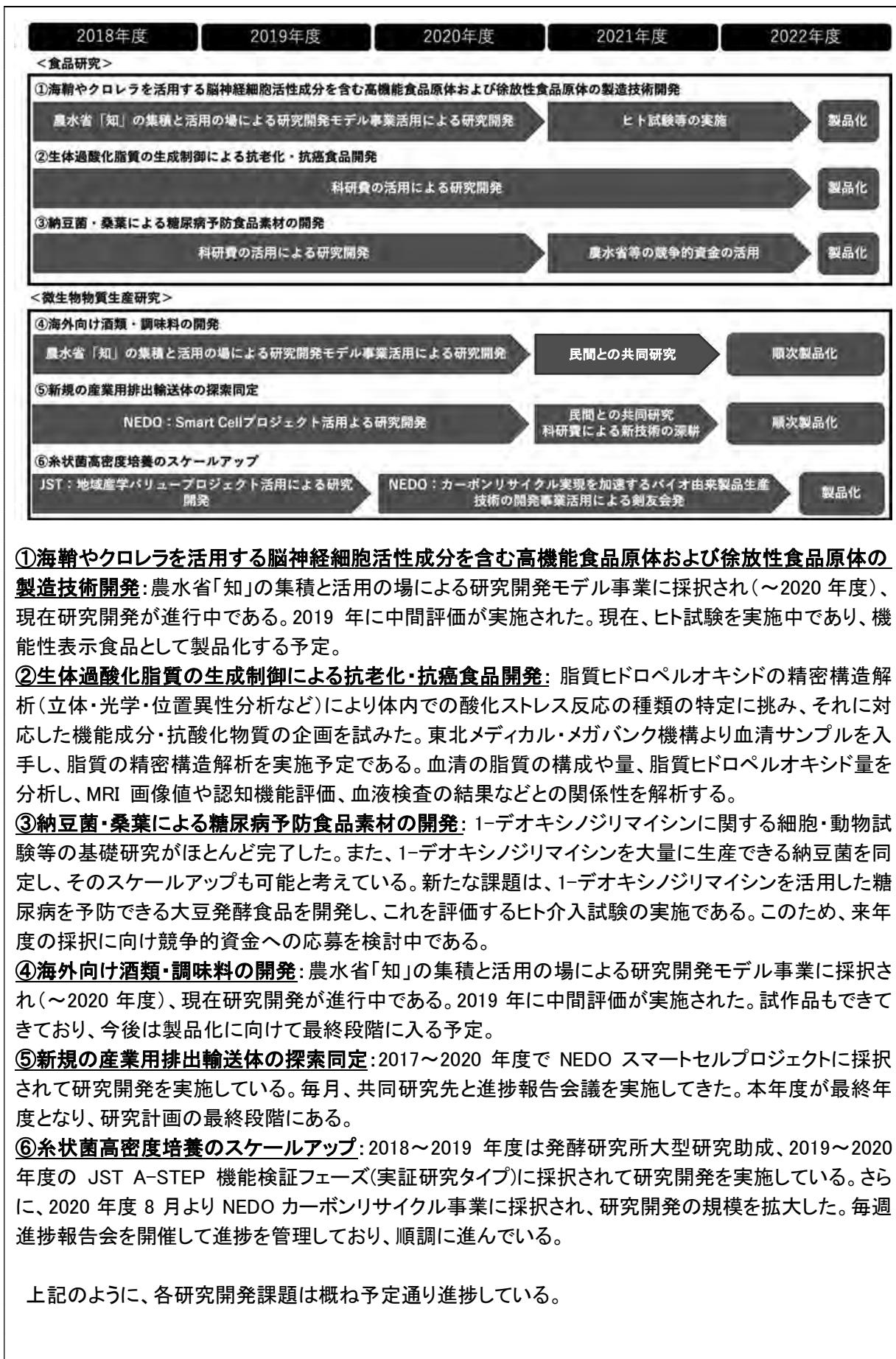
## 『微生物物質生産技術』

- ④海外向け酒類・調味料の開発
- ⑤新規の産業用排出輸送体の探索同定
- ⑥糸状菌高密度培養のスケールアップ

## 【知財戦略の考え方】

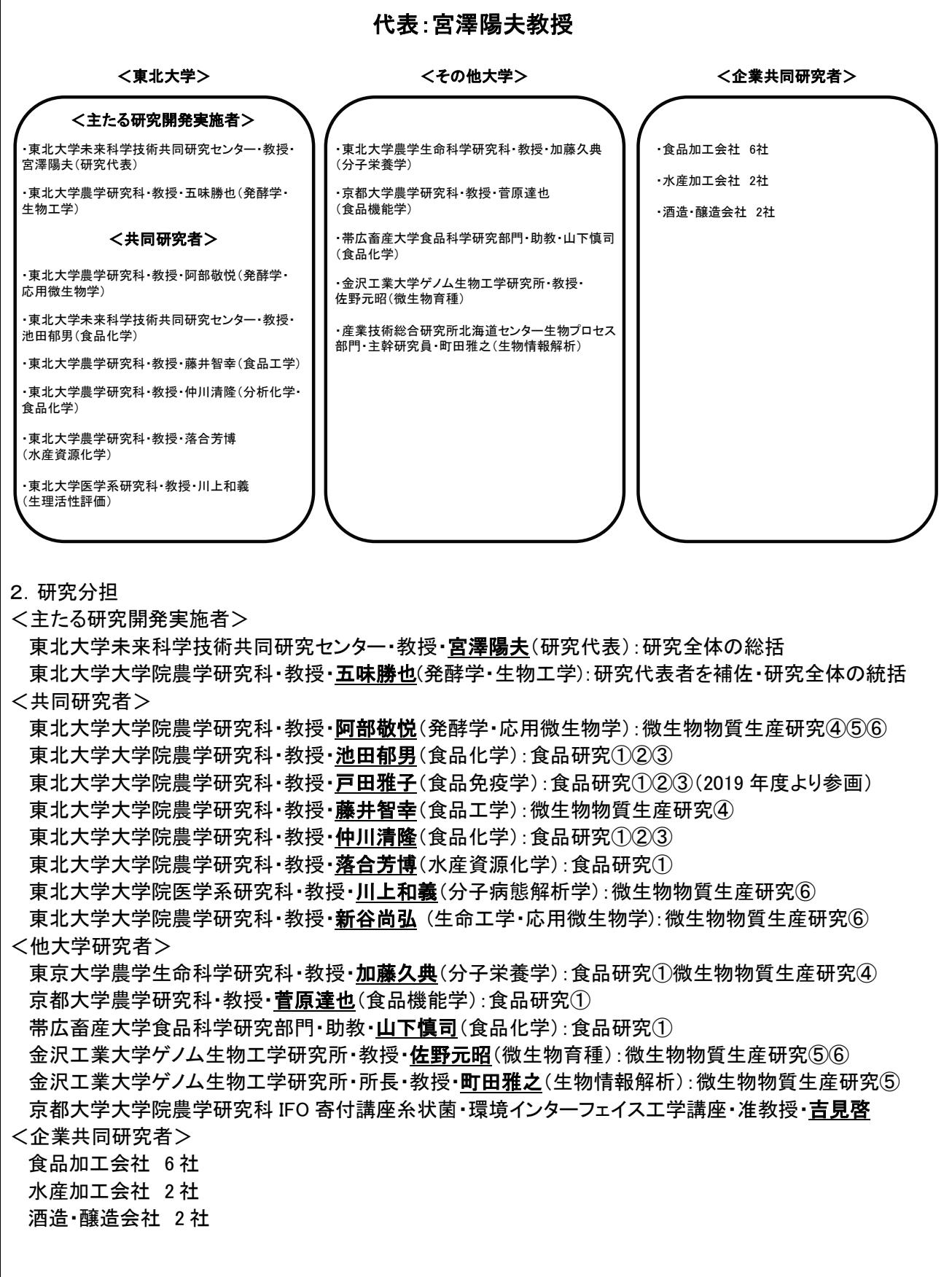
企業との共同研究および国からの受託研究を通じて、食品開発研究プラットフォームで開発してきた技術を各連携企業に技術移転を行う。特に大学が単独出願特許となっている技術に関しては、TLO を通じて積極的に複数企業へのライセンスを図ると共に、各企業の状況に応じた研究開発資金(共同研究、省庁予算)を設定して実用化を図る。また過去の反省として、大学単願での知財ストックが少ない状況では、農業・食品系のベンチャー設立は難しい面もあるため、新たな知財を取得する際には、科学研究費補助金等を活用してまずは大学が単願で知財を取得する。その知財を複数の企業(それぞれの企業の開発目標に応じて)に対して一般実施し、こうした活動を拡大していく。

(2)プロジェクト全体の年度計画表 各研究開発課題①～⑥は概ね予定通り進捗している



### (3) 研究組織・研究分担

#### 1. 組織図(プロジェクト開始時)



#### 2. 研究分担

##### <主たる研究開発実施者>

東北大學未来科学技術共同研究センター・教授・**宮澤陽夫**(研究代表): 研究全体の総括

東北大學大学院農学研究科・教授・**五味勝也**(発酵学・生物工学): 研究代表者を補佐・研究全体の統括

##### <共同研究者>

東北大學大学院農学研究科・教授・**阿部敬悦**(発酵学・応用微生物学): 微生物物質生産研究④⑤⑥

東北大學大学院農学研究科・教授・**池田郁男**(食品化学): 食品研究①②③

東北大學大学院農学研究科・教授・**戸田雅子**(食品免疫学): 食品研究①②③(2019年度より参画)

東北大學大学院農学研究科・教授・**藤井智幸**(食品工学): 微生物物質生産研究④

東北大學大学院農学研究科・教授・**仲川清隆**(食品化学): 食品研究①②③

東北大學大学院農学研究科・教授・**落合芳博**(水産資源化学): 食品研究①

東北大學大学院医学系研究科・教授・**川上和義**(分子病態解析学): 微生物物質生産研究⑥

東北大學大学院農学研究科・教授・**新谷尚弘**(生命工学・応用微生物学): 微生物物質生産研究⑥

##### <他大学研究者>

東京大学農学生命科学研究科・教授・**加藤久典**(分子栄養学): 食品研究①微生物物質生産研究④

京都大学農学研究科・教授・**菅原達也**(食品機能学): 食品研究①

帯広畜産大学食品科学研究所・助教・**山下慎司**(食品化学): 食品研究①

金沢工业大学ゲノム生物工学研究所・教授・**佐野元昭**(微生物育種): 微生物物質生産研究⑤⑥

金沢工业大学ゲノム生物工学研究所・所長・教授・**町田雅之**(生物情報解析): 微生物物質生産研究⑤

京都大学大学院農学研究科 IFO 寄付講座糸状菌・環境インターフェイス工学講座・准教授・**吉見啓**

##### <企業共同研究者>

食品加工会社 6社

水産加工会社 2社

酒造・醸造会社 2社

#### (4) プロジェクトの評価に当たっての特筆事項

プロジェクト開始から 2 年 2 か月間の成果のまとめ

- 農研機構・「知」の集積と活用の場による研究開発モデル事業 3 件(2016~2020 年度、2017~2020 年度、2018~2020 年度)・食品研究①②③、微生物物質生産研究④
- JST・研究成果展開事業(2015~2020 年度)・微生物物質生産研究⑥
- JST・A-STEP 機能検証フェーズ 新規採択(2019~2020 年度)・微生物物質生産研究⑥
- NEDO・スマートセルプロジェクト 新規採択(2019~2020 年度)・微生物物質生産研究⑤
- NEDO・カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発事業 新規採択(2020 年度~)・微生物物質生産研究⑥
- 原著論文、総説等 41 報(2018 年 9 報、2019 年 19 報、2020 年 13 報)
- 特許出願 3 件(国内 2 件、国外 1 件)

## I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

### I-1. 開発研究の進捗状況

#### (1) 開発研究進捗状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

##### 食品研究①

『海鞘やクロレラを活用する脳神経細胞活性成分を含む高機能食品原体および徐放性食品原体の製造技術開発』

##### 【従来の研究で得られていた知見】

プロジェクトリーダーの宮澤は、アルツハイマー型認知症患者の脳では健常人と比較してプラズマローゲンが約30%減少していることを約20年前にハーバード大学附属病院(MGH)との共同研究で見出し、その後の研究において、プラズマローゲンが脳細胞死の防御物質であることを明らかにしてきた。一方で、三陸海岸特産である海鞘(ホヤ)には、ヒトの脳にあるプラズマローゲンと同様の分子種が高含有されることを見いたしました。

##### 【プロジェクト開始後の成果】

このような背景を受けて本開発研究では、認知症予防食の開発をターゲットに、プラズマローゲンを活かした海鞘食品の製造方法に関する各種技術開発(高感度分析技術、抽出・濃縮技術、重金属類除去技術、体内吸収力増加技術)を行った。具体的には、農水省「知」の集積と活用の場による研究開発モデル事業(～2020年度)を主に活用し、『1. ホヤプラズマローゲンの製造方法の開発』『2. ホヤプラズマローゲンの安全性および機能性評価試験』『3. 製品試作試験およびヒト介入試験』に取り組んでいる(図1)。



図1 研究概略

『1. ホヤプラズマローゲンの製造方法の開発』では、プラズマローゲンの規格化と高い分析精度により、高純度化、スケールアップが順調に進んでいる。またホヤからヒ素を除去する技術も開発され、プラズマローゲンの吸収性の向上にも取り組んでいる。『2. ホヤプラズマローゲンの安全性および機能性評価試験』では、神経細胞を用いて吸収代謝試験を実施中である。『3. 製品試作試験およびヒト介入試験』では、試作した製品の安全性の確認や、クロレラや高機能性ソバと組み合わせた商品試作を行っているが、ヒト介入試験がコロナ禍の影響で遅れたが実施中であり(2020年度内実施)、次年度には、ヒト介入試験をふまえて機能性表示食品として商品化する予定である。商品化という観点での克服課題は、コロナ禍におけるヒト介入試験の進捗(遅れや被験者でのコロナ罹患のリスク等)と、プラズマローゲンの製品化過程における安定性が主なものである。次年度は強く興味を示す製薬企業、食品加工企業、水産加工企業と共に商品上市する。更に、食品素材加工会社との連携による安定なプラズマローゲン粉体製造に関する共同研究も進めている。

## 食品研究②

### 『生体過酸化脂質の生成制御による抗老化・抗癌食品開発』

#### 【従来の研究で得られていた知見】

生体に存在する過酸化脂質(脂質ヒドロペルオキシド)を CL-HPLC 法と LC-MS/MS 法で定量し、老化や疾病(動脈硬化症や認知症、癌)との量的関係を解明し、さらに食品成分による生体過酸化脂質の生成制御と老化性疾病の予防について研究を進めてきた。具体的には、ヒト血漿や赤血球などの過酸化脂質の定量を可能にし、**高脂血症、動脈硬化症の血漿、認知症の赤血球膜で、リン脂質ヒドロペルオキシド(PLOOH)の蓄積**が顕著なことを確認した。そして、PLOOH の生成を抑制できる食品成分として、緑茶カテキンやビタミン E 類の効能を、ヒト試験、動物試験、培養細胞試験で明らかにした。これらはとくに動脈硬化などでの血中過酸化脂質の増加の抑制に効果的であると考えられる。**認知症**に関しては、血中に特徴的に出現する老化赤血球(PLOOH 多含赤血球:酸化ヘモグロビンからの酸素分子の解離が阻害され神経細胞への酸素供給能が低下した状態の赤血球を意味する)の生成蓄積を予防できる**キサントフィル(ルテイン)**や**クロレラの抗酸化機能**を明らかにした。

#### 【プロジェクト開始後の成果】

こうした背景を受けて、本課題である食品研究②『生体過酸化脂質の生成制御による抗老化・抗癌食品開発』では、プロジェクト開始年度から 2020(令和 2)年 6 月までにおいて、**脂質ヒドロペルオキシドの精密構造解析**(立体・光学・位置異性分析など)により体内での酸化ストレス反応の種類の特定に挑み、**それに対応した機能成分・抗酸化物質含有食品の企画**を試みた(図 2)。

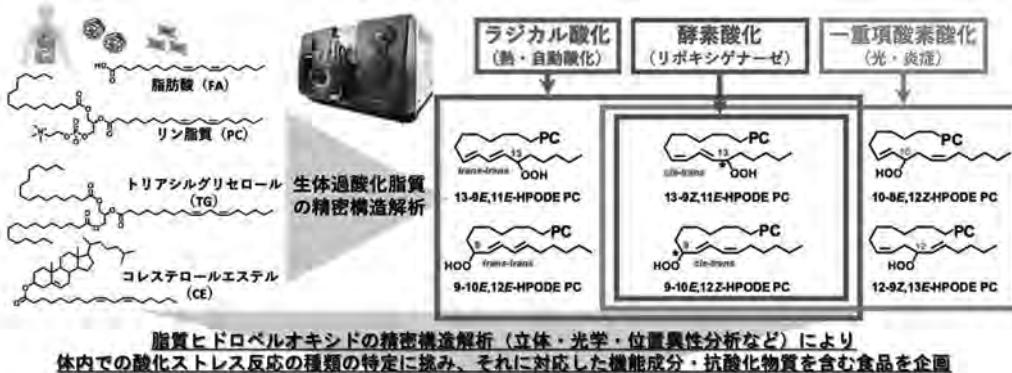


図 2 脂質過酸化脂質の精密構造解析

このようにルテインや緑茶カテキン等の食品の抗酸化物質の効能評価、および体内での酸化ストレス反応の種類の特定に成功しつつあることから、これらの知見を基盤にして、今後はこれら食品抗酸化物質の効能を生かしたサプリメントや化粧品等の開発を積極的に進めて行く。また上述したように、認知症者には老化赤血球が増加することを突き止めており、認知症患者に診られる老化赤血球を簡単に検出できる「老化赤血球検出器」を開発し、認知症予測のための**選択的未病マーカーの実現による認知症予測**と**食品**(ルテイン高含有クロレラ)による**認知症予防**の仕組みづくりを目指したい。

なお、**癌予防食**の開発については、米油に含まれるトコトリエノールには腫瘍性血管新生(血管新生病)の抑制効果があることを解明しており、今後はこのトコトリエノールをいかに低成本で抽出し、食品開発をするかが課題となっている。現在安価なトコトリエノールを製造するため**パーム油からの抽出**について研究を進めているが、今後はこの研究をさらに進め、パーム油由来のトコトリエノールを使用した安価なサプリメントや食品の開発を進めていく。

以上の研究開発は、医学系・理学研究科、東北メディカル・メガバンク機構、等と連携して進める。2020 年 1 月より、東北メディカル・メガバンク計画の地域住民コホートに参加いただいた方のうち、MRI 撮影・認知心理検査(脳と心の健康調査)を受けられた方、且つ、地域住民コホート詳細二次調査に参加いただいた方から、40 歳～80 歳未満の男女 1000 名の血清を分析する研究に着手し、2020 年 7 月に、東北メディカル・メガバンクから血清サンプルを入手した。現在、この血清の**脂質ヒドロペルオキシドの精密構造解析**、**脂質網羅解析**を食品企業との共同研究事業として実施中である。血清の脂質の構成や量、脂質ヒドロペルオキシド量を分析し、MRI 画像値や認知機能評価、血液検査の結果などとの関係性を解析することで、脂質ヒドロペルオキシドの認知症バイオマーカーとしての有用性を明らかにし(製薬企業との認知症と脂質過酸化に関する共同研究)、これを認知症予防食の開発(食品加工企業との連携によるルテインやプラズマローベン含有食品の開発など)に生かす。

### 食品研究③

#### 『納豆菌・桑葉による糖尿病予防食品素材の開発』

##### 【従来の研究で得られていた知見】

桑葉に含まれているアザ糖は昔から伝統食として血糖増加の抑制に効果があると言われているが、宮澤らによる2004年度の農林水産研究高度化事業では桑葉中の量は極微量であるとされた。このアザ糖は消化管内で糖の消化酵素グルコシターゼの活性中心にイオン性に接着してその消化酵素活性を抑える働きがあり、これまでの研究で食事とともに6mgのアザ糖を摂取すると糖尿病の危険因子である食後血糖値の上昇が効果的に抑制されることをヒト試験で確認している。この研究は2007年から科学技術振興機構(JST)独創的シーズ展開事業大学発ベンチャー創出推進「血糖値改善効果を有する桑葉食品の開発と事業化」(開発代表者:宮澤)によっても進められた。一方、桑葉には低濃度しかないアザ糖を、大豆を原料にしてアザ糖を大量に生産できる新規納豆菌の同定も進めてきており、以上のことから、今後は糖尿病を予防できる機能性の高い美味しい納豆の開発が課題となっている。

##### 【プロジェクト開始後の成果】

こうした背景を受けて、本課題である食品研究③『納豆菌・桑葉による糖尿病予防食品素材の開発』では、プロジェクト開始年度から2020(令和2)年6月までにおいて、糖尿病に効果がとくにあるといわれるアザ糖の1-デオキシノジリマイシンを中心に、その作用と機序を細胞・動物試験で検証した。さらには、1-デオキシノジリマイシンを大量に生産できる納豆菌を同定した(菌株は理研バンクに登録済)(図3)。

#### 新産業、新事業創出の展望:大豆発酵エキスの製品化に向けて

課題:糖尿病およびその予備軍が急激に増加、その対策が課題  
目的:糖尿病の予防に役立つ食品由来の糖尿病予防成分(DNJ)を、安価、安定、大量に供給

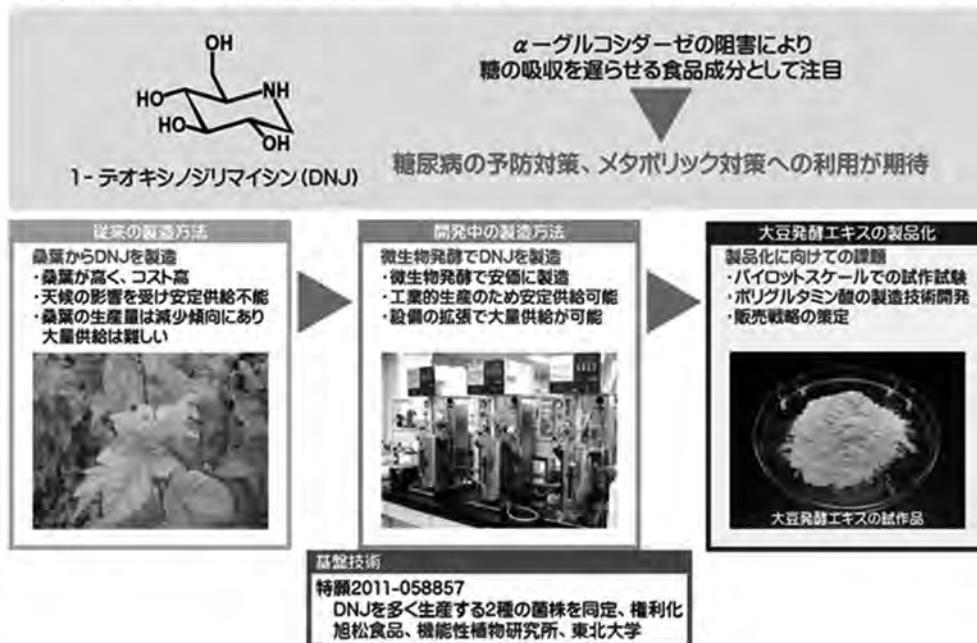


図3 納豆菌・桑葉による糖尿病予防食品素材の開発

このように細胞・動物試験等の基礎研究がほとんど完了し、1-デオキシノジリマイシンを大量に生産できる納豆菌を同定したため、残された課題は糖尿病を予防できる大豆発酵食品を開発し、これを使用したヒト介入試験となっている。この大豆発酵食品の開発については、食品企業2社が主体となって実施しており、今後は外部資金の獲得を目指していく。また本研究開発には、医学系研究科、東北メディカル・メガバンク機構、等と連携して進めていく。今後とくに中国においては糖尿病患者が大量に発生する可能性が高いことから、将来的には中国・インドネシア・ベトナム市場での上市を目指した販路開拓が有望視される。

#### 微生物質生産研究④

### 『海外向け酒類・調味料の開発』

#### 【従来の研究で得られていた知見】

食品の分析においては、メタボローム等を中心に種々の先端機器分析が用いられてきている。また商品の市場における嗜好性を評価するために、定性的あるいは定量的官能評価が行われてきた。しかし、先端機器分析の手法開発は主に大学・独法が行っており、一方、定量的官能評価は産業界が中心となって行ってきたために、両者の統合解析結果を商品設計に反映させるまでに至っていない。多様な国際市場に対応する新商材の迅速な開発には、先端機器分析と定量的官能評価を統合させた、汎用性のある商品開発システムの確立が必須である。

#### 【プロジェクト開始後の成果】

本研究では、「知」の集積と活用の場による研究開発モデル事業(～2020年度)を活用し、様々な日本食についてスピード感をもって多様な国際市場の嗜好に適合させる汎用性の高い『国際市場向け新商材開発システム』を構築し、日本食一般の普及展開を目指して取り組んでいる。『先端機器分析』と『定量的官能評価』の統合解析(メタボローム分析等の機器分析で品質差に寄与する成分候補や有用香味・不要香味を明らかにすると共に、国内外の想定市場の消費者を対象に嗜好性調査を実施。嗜好性スコアを用いた解析等により、ターゲット国の消費者に好まれる成分候補を選定実施。)により、4つの研究テーマにおいて、商品開発を進めている(図4)。



図4 研究概略

『①高付加価値化米発酵食品(調味料・飲料)の開発』では、国内に流通するみりんのメタボローム解析と官能評価の統合解析により、各みりんの品質差を把握、海外での官能評価も活用して当該エリアで好まれる成分候補を抽出、試作を行った。結果、東南アジアでのノンアルコールみりん風調味料の開発が進められており、すでに想定対象国の選定や現地での試作品調査が実施されており、事業化に向けた最終段階となっている。

『②高付加価値日本酒の開発』では、発泡日本酒と濃醇日本酒の2種類について検討を行ってきた。メタボローム解析により製造工程や品質の変化等について検証・改良を行い、外国人留学生等の協力(官能評価)も得ながら、商品スペックの決定を進めた。コロナ禍によって更なる外国人向け調査に課題は出ているものの、代替策(国内外外国人人脈やJETRO等への協力要請)を講じることで商品化に向けて着実に進んでいる。

『③ゲル状食品の物性制御技術及び賞味期限延伸技術の確立』では、水産練り製品の輸出想定国の嗜好性調査によりテクスチャープロファイルを確立、各国で好まれている商品を分析し、食感の数値化を行った。それをふまえて東北大が有する粒子分散ゲルの物性制御技術を活用し、想定国の嗜好に適した商品の試作を行った。また輸出商品としての長期連騰保管法の確立にも取り組んでいる。コロナ禍により、海外渡航して試作品の現地調査を行うことが不可能となっているが、商社等の協力を得つつ代替策を講じ、商品化に向けた取り組みを進める予定。

『④高付加価値イサダ発酵食品の開発』では、イサダ(ツノナシオキアミの三陸地方での呼び名)を原料とした商品候補である『イサダ醤油』『イサダパウダー』のメタボローム解析を実施、ベンチマークとなり得る商品の分析もふまえて試作品のスペックを再考、官能評価との統合解析で、試作品の改良を実施した。また原料のイサダの漁獲時期によって品質が変化することも判明、原料の配合や製造法を改良した試作を繰り返し、市場での調査を開始したところである。

## 微生物物質生産研究⑤

### 『新規の産業用排出輸送体の探索同定』

#### 【従来の研究で得られていた知見】

本開発は、微生物による化成品(アミノ酸、有機酸、アルコール、石油代替ポリマー原料等)の大規模発酵生産における生産性改善技術である。微生物を用いた化合物の生産において、従来は細胞内代謝の改変に力点が置かれてきた。しかしながら、膜不透過性の化合物を生産する場合、細胞外への生産物の排出が滞ると、生産物が細胞内に蓄積し負のフィードバック反応を引き起こす。したがって、目的の化合物の細胞外への排出輸送強化は、化合物生合成を強化し、物質生産を効率化する。

当研究グループは、これまでに目的化合物を排出する輸送体を探索する新技術を開発した(図5、特願2018-087700)。すなわち、化合物輸送体タンパク質は膜タンパク質であることから通常は発現困難であるが、我々は輸送体タンパク質を安定的に発現する技術を開発し、発酵生産条件で機能させることに成功した(特願2018-087700)。

産業菌の輸送体の発現ライブラリーを作製し、その中から目的化合物の生産性を上げる輸送体を発酵生産培地のメタボローム解析で同定することを可能とした(図5)。

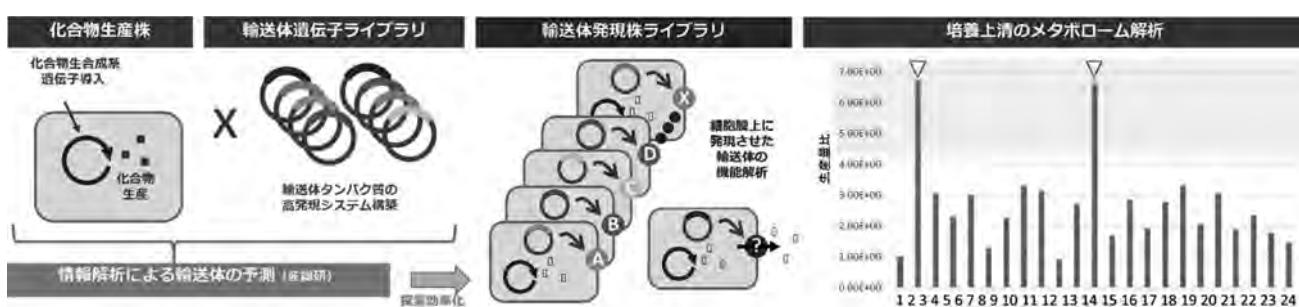


図5 化合物の物質生産を効率化する排出輸送体探索技術の概要

#### 【プロジェクト開始後の成果】

本研究では、NEDOスマートセルプロジェクトで企業等から探索要望のあった微生物排出輸送体3件(プロトカテク酸、カテコール、エルゴチオネイン)について、当チームの有する探索技術で探索同定した。

はじめに、当チームが開発した膜タンパク質の安定発現ベクター(*pTrc\_mstX*)にコリネ細菌由来の輸送体遺伝子(約210種類)をクローニングし、輸送体発現プラスミドライブラリを構築した。標的化合物(プロトカテク酸、カテコール)の生産に必要な遺伝子群を、ベクター(*pRSFDuet-1*)にクローニングした。

大腸菌C43株をそれぞれの標的化合物生合成系プラスミドで形質転換し、大腸菌標的化合物生合成株を得た。さらに輸送体発現プラスミド(210種)を用いて、化合物生合成株を形質転換し、輸送体の発現株を得た。

個々の株について、M9培地を用いて生産培養試験を実施し、培養上清を質量分析装置、HPLC等を用いて、目的化合物の生産量を比較定量した。それぞれの化合物について、輸送体の発現により生産性を上げる輸送体が見出された。

これらの輸送体は、標的化合物の生産を効率化する能力があると推察されることから、知財化および論文化を検討している。NEDOプロジェクトの共同研究先企業が、本研究で同定された輸送体を実用菌で発現させて、化合物生産の増強を行う予定である。

## 微生物物質生産研究⑥

### 『糸状菌高密度培養のスケールアップ』(日本だけでなく世界中で開発競争が行われている分野)

#### 【従来の研究で得られていた知見】

糸状菌(カビ)は世界的に産業用酵素、医療用蛋白質や低分子化成品(有機酸、抗生物質等)の大量生産に用いられ、その生産は数百トン規模のタンクを用いた液体培養で行われる。糸状菌は酵母等の単細胞生物とは異なり細胞が連なって菌糸状に生育するため、菌糸同士が接着して菌糸塊を作り、培養粘度の上昇もあって高密度培養が出来ずに生産性が制限されていた。菌糸塊の中心部は酸素欠乏となり細胞の生産活性は低下し、溶菌も起こって生産性が低下する。当チームは、菌糸塊を形成しない菌糸完全分散株の開発に世界で初めて成功し、物質生産の大幅な増強に成功した(特許 6647653 号)。

従来、目的産物の生合成遺伝子の発現増強や精製技術の最適化を中心に生産性改良が行われてきた。しかし、糸状菌の形態を改良して生産性を飛躍的に改変する技術は永らく停滞していた。当チームでは、麹菌の細胞壁多糖  $\alpha$ -1,3-グルカン(AG)および細胞外分泌多糖ガラクトサミノガラクタン(GAG)を欠失した株が液体培地中で完全分散することを見出した(AG-GAG△株)。本菌株は高密度培養に適し、培地粘度も低下することから、溶存酸素、栄養基質を効率的に利用でき、高生産性が見込まれた。工業培養を模倣したジャー型培養装置を用いてモデル酵素で生産性を評価したところ、AG-GAG△株の高生産性が実証された。したがって、本菌株を用いた培養技術を実用化すれば、培養設備のダウンサイジングが見込まれ、糸状菌による物質生産の大幅なコストダウンを達成できると考えられる(図 6)。

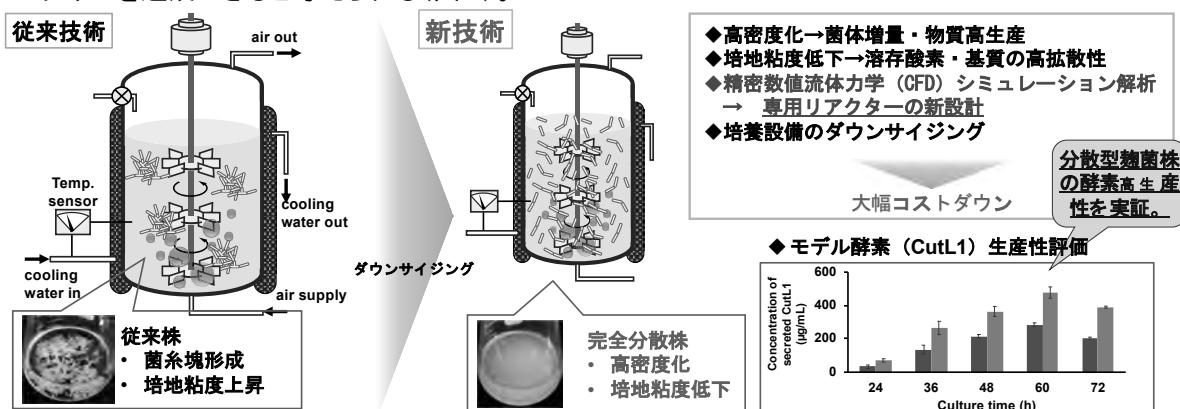


図 6. カビ工業液体培養における課題と細胞表層改変株(分散型麹菌株)による高密度・低粘度培養技術

#### 【プロジェクト開始後の成果】

本研究期間においては、AG-GAG△株の菌糸分散機構の詳細解明と、技術移転予定企業の生産に適合する技術開発を行った。すなわち、『1. 菌糸接着機構の解明』と『2. 流体シミュレーション解析における培養特性の把握』とその結果に基づく『3. 専用リアクターの新設計および培養条件の最適化』である。

まず、菌糸接着機構の解析では、麹菌から精製した GAG と菌糸完全分散性の AG-GAG△株の菌糸を用いて *in vitro* で GAG による菌糸接着能を解析した。その結果、精製 GAG を AG-GAG△株菌糸に添加して菌糸凝集の再現に成功した。*in vitro* 解析から、GAG 中のガラクトサミン(GalN)のアミノ基が水素結合を介して菌糸凝集に寄与することを明らかにした。

次に、流体シミュレーション解析の結果、非ニュートン性の強い麹菌野生株(従来株)の培養液の流動は翼周りを中心としてその外側に対してスリップしており培養槽上部まで培養液流動が形成されなかった。一方、同じ非ニュートン性流体でも粘性が低い AG-GAG△株では培養槽内全域に渡る流動を形成することが推測された。この結果は、従来株では培養液の下層に通気が留まるのに対して、AG-GAG△株では通気が培養液全体に拡散することを示しており、AG-GAG△株の酵素高生産性の主因と考えられる。

現在、シミュレーション結果に基づき、佐竹化学機械工業と共に実用化にむけた専用リアクター開発を加速させている。これ迄の成果から、技術移転予定企業への菌株および情報の提供を進めている。海外では、第一世代株(AG△株)特許の非独占一般実施のライセンスを完了し、現在第2世代特許(AG-GAG△(株))の技術移転交渉を行っている。技術移転は TLO 東北テクノアーチを通じて行っている。他企業とは、技術移転を前提に本年8月に NEDO 事業で共同研究を開始した。

## I-2. 研究者の育成状況(各種研究員の受け入れ状況等を含む)

### (1) 修士号・博士号取得者

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 修士号取得者(うち本学) (うち社会人)	5 人 (0 人)	4 人 (0 人)	5 人 (0 人)
② 博士号取得者(うち本学) (うち社会人)	0 人 (0 人)	1 人 (0 人)	2 人 (0 人)

### (2) 研究員等受け入れ数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 民間等共同研究員	0 人	0 人	0 人
② 受託研究員	0 人	0 人	0 人
③ ポスドク	2 人	2 人	2 人
④ 修士課程・博士課程	9 人	9 人	9 人
⑤ 研究所等研究生	0 人	0 人	0 人

### (3) 国際交流の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

#### 留学生の受け入れ

食品研究②(中国、2018 修士卒)

食品研究③(インドネシア、2018 修士卒、博士課程在学中)

#### 《開発研究の進捗状況に関するコメント》

本拠点では 6 つの研究開発プロジェクトを組成しているが、それぞれの研究開発ステージとそれに合わせた最適な資金調達を戦略的に検討、進めており、それぞれ順調な進捗と言える。

食品研究①と微生物物質生産④では、農林水産省のオープンイノベーションの枠組みである「知」の集積と活用の場に参画、『科学的根拠に基づく高付加価値日本食・食産業研究開発プラットフォーム』を立上げ、大手企業、地域中小企業、大学、研究機関、宮城県の公設試等と連携しつつ、TLO の社長の知財戦略の下研究開発コンソーシアムを組成した。この結果、参画機関の円滑な利害調整の下、民間企業による商品化、実用化が近づいている。

食品研究②、③は、基礎研究ステージであったため、当初は大型研究資金の調達はしなかった。一方、抗老化、抗癌、糖尿病予防という大きな社会課題は、社会要請だけでなくマーケット拡大も期待されるため、医学系・理学・工学研究科、東北メディカル・メガバンク機構等、幅広い連携体制を構築し、前述の社会課題に対して食品による解決を目指して取り組んだ。結果、基礎研究が完了し、民間企業 4 社と実用化ステージに入り、こちらも順調に進捗している。

微生物物質生産研究⑤、⑥では、比較的実用化に時間がかかると予想される中、研究ステージにあわせた資金(JST・NEDO 等)を調達し、TLO の知財戦略サポートの下、迅速な実用化に挑戦した。結果、知財の移転や実用化に進むものもできつつあり、更なる研究開発要素の深耕と一部実用化の両立が図られつつあると言える。これも順調な進捗と言ってよい。

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

### II-1. 民間企業への技術移転進捗状況について

#### (1) 民間企業への技術移転件数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①開発研究成果が特許権又はその他の知的財産権(受ける権利を含む)の実施許諾あるいは譲渡によって民間企業へ技術移転された件数 (うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業への技術移転件数)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)
②①以外の形での民間企業への技術移転件数 (同上)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	8 件 (0 件)
③上記の①又は②の中で「新産業分野 <sup>注2)</sup> 創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数 (同上)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

注<sup>2)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。

#### (2) 民間企業への技術移転による商品化

時期/予定時期	企業・組織名	活動内容
2021年(予定)	食品企業3社	食品研究①
2021年(予定)	食品企業1社	食品研究②
2021年(予定)	食品企業1社	微生物物質生産研究④
2021年(予定)	食品企業1社	微生物物質生産研究④
2022年(予定)	食品企業1社	微生物物質生産研究④
未定	食品企業1社	微生物物質生産研究④
未定	食品企業1社	微生物物質生産研究④

#### ②商品化に至らないまでも商品化が検討されたもの

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①件数 (うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業に関係する件数)	0 件 (0 件)	1 件 (1 件)	2 件 (2 件)
②上記の①の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数	0 件	0 件	0 件

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

## II-2. 発明、特許権、その他の知的財産権の状況について

### (1) 特許権の出願・登録状況

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①発明件数	0 件	0 件	0 件
②特許権出願件数	2 件	1 件	1 件
特許権出願件数のうち国内	1 件	1 件	1 件
特許権出願件数のうち国外	1 件	0 件	0 件
②のうち特許権の審査請求済件数の累計(請求予定期数)	累計 1 件(予定 0 件)		
特許権登録件数	1 件		
上記の①又は②の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数プロジェクト期間の累計	3 件		

注<sup>1)</sup>①発明件数とは大学に届け出た件数のことを指します。

### <特許>

出願・取得済みの特許は、総数 3 件であるが、その代表的なものは以下のとおりである。

出願番号	発明者	出願人	国内申請		国外申請またはPCT		
			出願日	登録日	国名 PCT	出願日	登録日
特願 2019-515745 (旧:特願 2017-91734) 変異型糸状菌及び当該変異型糸状菌を用いた物質生産方法	阿部敬悦、吉見啓、宮澤拳、田畠風華、五味勝也、佐野元昭	東北大、金沢工大	2017 年 5 月 2 日	2020 年 1 月 17 日(特許 6647653 号)	PCT/J P2018/17474	2018 年 5 月 1 日	
特願 2018-087700 所定の化合物に対する膜タンパク質のスクリーニング方法及び所定の化合物の生産方法	七谷圭、阿部敬悦、新谷尚弘、米山裕、中山真由美	東北大	2018 年 4 月 27 日				
特願 2019-062480 形質転換体及び当該形質転換体を用いたシキミ酸の生産方法	七谷圭、阿部敬悦、中山真由美	東北大	2019 年 3 月 28 日				

(2) その他知的財産権(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①実用新案権の出願件数 (登録件数)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)
②意匠権の出願件数 (登録件数)	0 件 ( 0 件)	0 件 ( 0 件)	1 件 ( 1 件)
③著作権のうちコンピュータープログラム、データベースの登録件数	0 件	0 件	0 件
④半導体集積回路の回路配置登録	0 件	0 件	0 件
⑤上記①～④までの中「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数	0 件	0 件	1 件
⑥秘密保持契約	5 件	6 件	5 件

II-3. 論文・著書・学会等発表の状況

(1) プロジェクトの開発研究成果

(論文・表彰などの研究成果に関する実績。プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①論文・著書数	9 件	19 件	30 件
②論文・著書の引用数 (プロジェクトリーダーが必要と判断した場合にのみ記載)	63 件	9 件	20 件

<研究論文>

発表した論文は、総数 41 編であるが、その代表的なもの( 7 編)は以下の通りである。

研究開発課題①～⑥毎に代表的な論文は以下の通りである。

①海鞘(ホヤ)やクロレラを活用する脳神経細胞活性成分を含む高機能食品原体および徐放性食品原体の製造技術開発

Absorption kinetics of ethanolamine plasmalogen and its hydrolysate in mice

Yamashita S, Fujiwara K, Tominaga Y, Nguma E, Takahashi T, Otoki Y, Yamamoto A, Higuchi O, Nakagawa K, Kinoshita M, Miyazawa T.

Journal of Oleo Science (Accepted)

エタノールアミン型グリセロリン脂質(EtnGpl)のサブクラスであるエタノールアミン型プラズマローゲン(PlsEtn)は、多くの生物学的・食品学的機能を有することが報告されている。本論文では PlsEtn の吸収速度を、sn-2 位の脂肪酸が酵素的に加水分解されたリゾ型と比較した。海鞘由来 PlsEtn 投与後のマウスの血中における PlsEtn 分子種の濃度は、EtnGpl 投与群よりも加水分解物投与群で高値であった。この結果は、EtnGpl 加水分解物が PlsEtn の吸収・代謝を促進したことを示しており、事前に加水分解処理を行うことで PlsEtn の吸収が促進される可能性を見出した。

②生体過酸化脂質の生成制御による抗老化・抗癌食品開発

Vitamin E: regulatory redox interactions

Miyazawa T, Burdeos G.C., Itaya M, Nakagawa K, Miyazawa T.

IUBMB Life, 71, 430-441 (2019)

生体内で発生する活性酸素によって引き起こされるレドックスバランスの変化は様々な生命活動に関与しており、生命にとって必要不可欠な現象である。そのため、抗酸化物質であり、脂溶性ビタミンの中でも最も高濃度でヒト体内に存在するビタミン E がレドックス調節因子となるのか、現在も議論が続いている。本総説では、ビタミン E のレドックス調節機能に関する最近の知見を紹介すること目的に、(i)ビタミン E の吸収・分布・代謝・

排泄、(ii)生体内の酸化ストレスと活性酸素、(iii)ビタミン E の抗酸化作用メカニズム、(iv)ビタミン E の非抗酸化作用メカニズム、(v)最近の酸化ストレス研究の潮流について報告した。本総説は、国際生化学・分子生物学連合のフラッグシップジャーナルである IUBMB Life において最も多くダウンロードされた論文であるとして”Top Downloaded Paper 2018–2019”の表彰を受けた。

### ③納豆菌・桑葉による糖尿病予防食品素材の開発

新たなバイオ技術による新食品の開発～アザ糖を活用した高血糖予防食を例に～

池田亮一、樋口央紀、宮澤陽夫

食品と科学, 60(7), 14–19 (2018)

桑葉に含まれるアザ糖の中でも特に血糖値降下作用の強い DNJ(1-デオキシノジリマイシン)に着目し、その構造や分布、新規バイオ技術(微生物生産)による DNJ 生産法の確立、ヒトにおける効果と安全性の実証等について、これまでの研究開発の成果を要約するとともに、今後の DNJ 製品の社会実装(商品化)にむけた展望をまとめた。

### ④海外向け酒類・調味料の開発

ゲル状食品の弾性/破断解析

鬼島直子、砂押諒、真坂知克、石川大太郎、藤井智幸

日本食品科学工学会誌, 67, 217–229 (2020)

本研究は、ゲル状食品の力学物性の評価方法を開発することを目的に行った。市販のゲル状食品を各種用意し、3 種類のプランジャーを用いて 10mm 角のサンプルの弾性、破断、貫入破断を測定する圧縮測定を行った。弾性測定から得られた応力-ひずみ曲線に BST(Blatz, Sharda and Tschoegl) 式を適用し、弾性パラメータ E と非線形指数 n を計算した。これらのゲル状食品の E の値は  $6.1 \times 10^2$ ~ $1.9 \times 10^4$  Pa を示し、n の値は、約 1~8 の範囲に分布していた。n はゲル状食品の食感を説明するための新しいパラメータとして有用である可能性が示唆された。そして n および E を用いて、二次元または三次元マップとして、様々なゲル状食品をプロファイルすることができると考えられた。

### ⑤新規の産業用排出輸送体の探索同定

物質生産の効率化に向けた輸送体探索技術の開発

七谷圭、中山真由美、熊谷俊高、阿部敬悦

バイオサイエンスとインダストリー, 78, 358–359 (2020)

コリネ細菌などの微生物を用いた化成品の発酵生産においては、物質生産のために細胞内代謝系の改变増強が行われてきたが、基質の取り込み輸送系や産物の排出輸送系の強化は行われてこなかった。これまで、取り込みや排出に関わる輸送体は殆ど同定されておらず、同定されても輸送体が膜タンパク質であり発現が困難であった。本研究では、輸送体を安定して生産菌に発現する新技術を開発するとともに、輸送体を探索する新規技術を開発した。

### ⑥糸状菌高密度培養のスケールアップ

Both galactosaminogalactan and  $\alpha$ -1,3-glucan contribute to aggregation of *Aspergillus oryzae* hyphae in liquid culture.

*Frontiers Microbiol.* 10:2090. doi:10.3389/fmicb.2019.02090 (2019)

Miyazawa K., Yoshimi A., Sano M., Tabata F., Sugahara A., Kasahara S., Koizumi A., Yano S., Nakajima T., and K. Abe

糸状菌(カビ)を用いる物質生産では、糸状菌の菌糸細胞が接着して菌糸塊を形成し高密度培養が出来ず、物質生産性の制限要因となっていた。我々は代表的な産業糸状菌の麹菌において、細胞表層の 2 種の多糖である  $\alpha$ -1,3-グルカン(AG)とガラクトサミノガラクタン(GAG)が菌糸接着因子であることを解明して、AG と GAG の二重欠損株(AG-GAG△株)の育種によって、菌糸完全分散性麹菌の作出に成功した。AG-GAG△株は、培養粘度が低く菌糸塊を形成しないために培養槽全体での通気攪拌が良好で、高い酵素等の物質生産性を示し、産業上極めて優れる形質を有することが明らかとなった。

※研究課題①～⑥の成果の社会実装推進(ILSI Japan 共同研究部講座の設置)にむけて以下の講演を行った。

### “AI ディアトロフィ”による“食”的本質的価値の探求

宮澤陽夫

イルシー(国際生命科学研究機構), 143, 4–8 (2020)

ヒトは一度の食事で数千分子種を同時に体内に取り込むが、健康維持や疾病予防に“食”的多分子種・同時

摂取がどう役立っているのかはほとんど分かっていない。この解決には、従来の AI 技術、例えば、既存のスーパーコンピュータでは解析に膨大な時間と多大な経費を要するため、新たな解析ツールの構築が必要である。そこで我々は、短時間で大量のデータを低費用で計算可能な量子コンピュータを用いる“AI ディアトロフィ(ギリシャ語で食べ物や栄養の意味)”の取り組みを新たに開始した。これにより、“食”の真の価値の理解と動物実験に代わる機能性／安全性評価系が構築される。

この予測モデルを活用し、新規食材や新たな機能性の発掘、食材の組み合わせ効果、日本食の健康有益性の検証、望まれる食組成を有する農林水産物の育種、食の安全性評価、さらには“食”による疾病予防・治療が可能になる。本総説では、新たな解析ツールとして“食”的本質的価値の探求を目指す“AI ディアトロフィ(量子栄養学)”の取り組みと今後の展望について紹介した。

### <著 書>

編集・著作した書籍は、総数 6 冊である。

1. 発酵が生み出す世界を化学する（発酵の化学）、吉見啓、寺内裕貴、宮澤拳、阿部敬悦、化学と教育 = Chemistry & education、日本化学会（2019）
2. ビタミン E - トコフェロール、トコトリエノール、宮澤大樹、仲川清隆、宮澤陽夫、認知症と機能性食品、フジメディカル出版（2018）
3. 酵母菌・麹菌・乳酸菌の産業応用展開（五味勝也、阿部敬悦 監修）、シーエムシー出版（2018）
4. 高齢者の QOL 維持・向上におけるクロレラの可能性：統合医療でがんに克つ、宮澤陽夫（編著）、（株）クリピュア（2019）
5. 食品ナノ粒子化、宮澤大樹、食品機能性成分の吸収・代謝・作用機序（宮澤陽夫 監修）、シーエムシー出版（2018）
6. 食品の機能化学、宮澤陽夫、五十嵐 僕（編著）、初版発行、アイ・ケイコーポレーション（2020）

### (2) 学会等発表の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①国際学会等	13 件	17 件	10 件
②国内学会等	47 件	60 件	35 件

### <招待講演>

① 国際学会等 総数 7 件(\* 主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	場所（国、都市）	期日
Teruo Miyazawa	Impact of Rice and Rice Bran Oil in Human Health Promotion(会頭講演)	3rd International Symposium on Rice Science in Global Health	Kyoto (Japan)	2018/11/29-30
Ken Miyazawa	Molecular mass of $\alpha$ -1,3-glucan affects the degree of hyphal aggregation and its localization in <i>Aspergillus nidulans</i> .	16th Asperfest	Pacific Grove (USA)	2019/03/11
Teruo Miyazawa	Food Innovation for high value-added food products and well-being using world's cutting-edge Technologies(基調講演)	13th Asian Congress of Nutrition 2019 (ACN 2019)	Bali (Indonesia)	2019/04/07

Teruo Miyazawa	Realization of a society where healthy life expectancy approximates overall life expectancy (会長講演)	8th International Conference on “Nutrition and Aging”	Tokyo (Japan)	2019/10/01-02
Teruo Miyazawa	A new health claim labeling system (FFC) for food industries innovation (基調講演)	16th ASEAN Food Conference 2019	Bali (Indonesia)	2019/10/15-18

国内学会等 総数 11 件(\*主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	期日
吉見啓	糸状菌の細胞表層多糖解析による菌糸接着の理解と高密度培養への応用	第7回応用糖質フレッシュシンポジウム	2018年9月9日
宮澤陽夫	超高齢化社会に資する食品機能(特別講演)	第73回日本栄養・食糧学会大会	2019年5月15-17日
阿部敬悦	糸状菌の細胞表層を介した菌糸接着機構とその制御による酵素生産技術の開発	第21回生体触媒化学シンポジウム	2019年8月29-30日
宮澤陽夫	New approaches for functional food analysis using LC-MS/MS	ICoFF2019/ISNFF2019	2019年12月1-5日
宮澤陽夫	“AI ディアトロフィ”への挑戦(会頭講演)	第74回日本栄養・食科学会大会	2020年5月15-17日

#### II-4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について

##### (1) 各種表彰・受賞の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

総数 18 件

期日	受賞者名	主催者・賞名	理由
2018年7月7日	小泉亜未	第10回日本応用糖質科学会東北支部会講演会・最優秀賞	研究発表が評価され最優秀賞受賞
2018年9月5-7日	宮澤拳	第70回日本生物工学会大会・大会トピックス賞	研究が評価され大会トピックス賞受賞
2020年4月30日	宮澤大樹ら	International Union of Biochemistry and Molecular Biology・Top Downloaded Paper 2018-2019	IUBMB Life誌に発表した総説が最も多くダウンロードされ表彰
2020年5月15-17日	向田彩乃	第74回日本栄養・食糧学会大会・学生優秀発表賞	研究発表が評価され学生優秀発表賞を受賞
2020年6月19日	永塚貴弘	日本ビタミン学会第72回大会・奨励賞	業績が評価され奨励賞受賞

(2)新聞報道等の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

総数 5 件

1. 第 72 回日本栄養・食糧学会大会における発表演題の紹介(健康産業速報、2018 年 5 月 1 日)
2. こうじ菌 効率的に培養 東北大、増殖促す新手法(日刊工業、2018 年 8 月 30 日)
3. 「第 11 回元気！健康！フェア in とうほく」での講演内容の紹介(河北新報、2019 年 5 月 26 日)
4. 「東北大カルチャー講座」での講演内容の紹介(河北新報、2019 年 9 月 17 日)
5. ILSI Japan が食の機能性研究に AI 活用する共同研究講座を開設、参加企業を募集(日経バイオテク Web 記事、2020 年 8 月 26 日)

《開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメント》

研究成果を活用した商品化、実用化という観点では、食品研究①と微生物物質生産研究④が最も近いと言える。食品研究①では、ホヤプラズマローゲンを活用した機能性表示食品の開発を目指しており、民間事業者 3 社が取り組んでいる。また微生物物質生産研究④では、海外の嗜好に適合させた日本食の開発・輸出を目指しており、民間事業者 5 社がそれぞれ試作に取り組み、事業化が近い。参画する各社は必ずしも大手企業ではなく、地元中小企業も含まれており、商品化により業績が向上すれば、地域における雇用や収益への波及効果を見込むことができる。両方とも宮城県を中心とした中小企業と大手企業が互いに得意とする分野を持ち寄り協業している。

微生物物質生産研究⑤では、NEDO プロジェクトを通じて民間企業への技術移転を行っている。微生物物質生産研究⑥では、既に海外企業にライセンス移転を行い、国内企業 2 社でも菌株の試験中である。さらに 2020 年 8 月開始の NEDO プロジェクトを通じて、国内企業と糸状菌高密度培養のスケールアップに取り組むとともに、大型培養槽用の専用リアクターの設計を民間企業と共同開発を開始しており、実用化が近い。また分散株の培養特性に関する情報に関する技術移転も進めており、産業界への還元が進んでいる。

また食品研究②では、生体脂質ヒドロペルオキシドの精密構造解析を基盤とした選択的未病マーカーの実現による認知症予測の実現と食品による認知症予防の仕組みづくりを目指しており、その一環として食品加工業者などとの連携による認知症予防食品の企画開発を予定している。食品研究③では、納豆菌・桑葉による糖尿病予防食品素材の開発を目指しているが、基礎研究の段階はほぼ完了しており、今後は大豆発酵食品の開発を民間企業 2 社との連携で進める予定である。

### III. プロジェクトの研究費の実績

#### (1) 研究費の推移(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

		2018 年度	2019 年度	2020 年度
民間からの資金	件数	11 件	13 件	10 件
	金額(百万円)	56 百万円	60 百万円	40 百万円
国からの資金	件数	5 件	7 件	9 件
	金額(百万円)	88 百万円	115 百万円	135 百万円

#### (2) 主要な獲得プロジェクト・共同研究等(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

- 農研機構:「知」の集積と活用の場による研究開発モデル事業:高付加価値日本食の開発とそのグローバル展開(2018 年度、40 百万円:2019 年度、40 百万円:2020 年度、40 百万円)
- 農研機構:「知」の集積と活用の場による研究開発モデル事業:海鞘(ホヤ)プラズマローベンの機能性食品への応用研究(2018 年度、40 百万円:2019 年度、40 百万円:2020 年度、40 百万円)
- 農研機構:イノベーション創出強化研究推進事業:機能性アミノ酸高含有酵母の育種技術を活用した発酵・醸造食品の高付加価値化および海外ブランド化(2018 年度、5 百万円:2019 年度、4 百万円:2020 年度、5 百万円)
- JST:A-STEP 機能検証フェーズ(実証研究タイプ):カビ新規菌糸完全分散株の培養流体解析による産業用酵素の飛躍的増産(2019 年度、5 百万円:2020 年度、5 百万円)
- NEDO:スマートセルプロジェクト:植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発(2019 年度、18 百万円:2020 年度、18 百万円)
- NEDO:カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発(2020 年度、19 百万円)
- 発酵研究所:大型研究助成:糸状菌の細胞接着制御による有用物質高生産を目指した新規高密度培養技術の研究開発(2018 年度、5 百万円:2019 年度、5 百万円)

#### <<研究費に関するコメント>>

上記のように 2018 年度～2020 年度は、民間と国からの研究費を十分に獲得し、研究成果の蓄積に繋げることができた。今後の展開としては、2020 年 10 月より本プロジェクト内に ILSI Japan 共同研究講座「AI ディアトロフィ」を開設する(1期 30 百万円×3 年間、計3期 9 年間を当面予定)。これらにより、研究開発成果の社会実装を推進する。

## IV. 当初計画を越える展開等やそれによる成果について

### (1) 当初計画になかった新たな展開について

これまでの研究開発成果を社会実装に繋げるためには、“食”の多分子種・同時摂取が我々ヒトの健康維持、疾病予防にどう役立っているのかを理解する必要があるが、この解決には膨大な分子種からなる“食”的価値評価を可能にする、新たな解析ツールの構築が必要である。従来の AI 技術、例えば、スーパーコンピュータでは解析に膨大な時間と多大な経費を要する。そこで、短時間で大量のデータを低費用で計算可能な量子コンピュータを用いる“AI ディアトロフィ(ギリシャ語で食べ物や栄養の意味)”の取り組みを新たに開始した。

この取り組みの一環として 2020 年 10 月より本プロジェクト内に ILSI Japan 共同研究講座「AI ディアトロフィ(量子栄養学)」が開設される。本研究講座での取り組みが進んでいけば、“食”的価値の理解と動物実験に代わる機能性／安全性評価系が構築される。

この予測モデルを活用し、新規食材や新たな機能性の発掘、食材の組み合わせ効果、日本食の健康有益性の検証、望まれる食組成を有する農林水産物の育種、食の安全性評価、さらには“食”による疾病予防・治療が可能になる。

### (2) 成果の基礎研究やプロジェクト等への寄与について

本プロジェクトは「食品機能学」と「食品微生物学」を基礎に展開されている。その成果は、例えば、「食」による世界 3 大疾病(糖尿病、がん、認知症)予防に関する基礎研究および国プロ(農研機構、JST、NEDO など)の申請・獲得に大いに役立っている。従来の食品成分の機能性評価では医薬品の一分子種分析に準じて、食品中の一分子種のみに焦点を当てた解析が行われてきたが、本プロジェクトを通じて、ヒトが食事として取り込んだ数千の多分子種が発揮する「食品」の生理機能についての解析手法は確立されておらず、研究提案者は新たな解析手法の必要性を痛感してきた。

例えば、ビタミン C による抗がん作用は、細胞外でアスコルビン酸から生じる過酸化水素が関わると従来されてきたが、酸化型のデヒドロアスコルビン酸がグルコーストランスポーターで特異的に腫瘍細胞内に取り込まれ、細胞内還元物質のグルタチオンや NADPH を枯渇させ、生じた酸化ストレスで腫瘍細胞死が導かれることがわかってきてている。この時、共存する代謝物や他の栄養成分(ポリフェノール、カロテノイド、蛋白質、脂質、糖質など)との相互干渉が、アスコルビン酸の生理作用発現に大きく影響する。

こめ油に多い不飽和型ビタミン E であるトコトリエノールは、単独でよりも同じこめ油に含まれている  $\gamma$ -オリザノールを構成するフェルラ酸と細胞内で共存することで腫瘍細胞の無限増殖を司るテロメアーゼを極めて効果的に阻害し、より強い抗腫瘍活性をもたらすことが知られる。

これらはたかだか数分子種間の相互作用だが、さらに 5 分子種間あるいは 10 分子種間くらいの相互反応ではどうなのか、あるいは安全性に係る作用にも変化が出てくるのか、これらの探究は新しい食品を企画する視点からも、大いに興味が持たれ、重要なテーマと考えられた。

このような疑問を解決すべく、本プロジェクトを進めているうちに AI 先端技術(量子コンピュータ科学)を食品研究に取り込むことを着想した。そして、2020 年度からは「食」による多成分同時摂取の生理機能解明技術の研究企画へと進展した。この研究企画では、数学・計算化学・免疫学・栄養工学・代謝生理学領域の本プロジェクトの若手研究者が夢を語りつつ大いに活躍した。将来的に本技術を応用すれば、例えば従来は研究者の経験や勘に頼っていた品種交配から、目的とする有用成分の食品原体としての農林水産物のより明確、的確、正確な育種へのシフトが可能になる。また本プロジェクトの成果は食品領域にとどまらず、工学、医工学、医学、薬学、そして未来農学領域の開拓に必須なツールを生み出していくと思われる。

### (3) 本プロジェクトによる人類への貢献、社会的意義等について

本プロジェクトの人類への貢献については、国連サミットで採択された SDGs(持続可能な開発目標)の観点から記載したい。まず食品研究①～③であるが、『食と人々の健康』『地域食材の活用』『地域産業の振興』につながるものであるため、SDGsにおける『3. すべての人に健康と福祉を』『8. 働きがいも経済成長も』『9. 産業と技術革新の基盤を作ろう』に該当すると考えられる。また、微生物生産物質生産研究④～⑥では、『微生物による生産性向上』『地域産業の振興』につながるものであり、SDGsにおける『8. 働きがいも経済成長も』『9. 産業と技術革新の基盤を作ろう』に該当する。さらに、すべてのプロジェクトの共有するのは、プロジェクトを通じた研究者育成であり、SDGsにおける『4. 質の高い教育をみんなに』に該当する。

また社会的意義の観点では、食による健康の実現は、少子高齢化が進む我が国の医療費削減に貢献するものと考えられる。更に地域の雇用の受け皿(宮城県における製造業では最も多い)である、地元食品産業界との積極的な連携より、高付加価値食品の開発にもつながっており、地域産業の振興に貢献している。

## V. その他

### (1) NICHe プロジェクトとして主張したい成果

本拠点では 6つの研究開発プロジェクトを組織しているが、これまでの 2 年数ヶ月で、基礎研究ステージのものは応用研究ステージへ、応用研究ステージのものは社会実装を目指すステージのものへ、社会実装を目指すステージのものは、具体的な商品開発の後半段階まで到達する等、着実に成果を上げていると考えられる。

論文については 42 本の発表実績(年度内予定含む)があり、引用数は 81 となっている。また、学会発表は国際学会 30 件、国内学会 136 件、著書は 6 件、招待講演は国際 7 件、国内が 11 件、表彰は 19 件となっており、成果が出ているものと思われる。

今後も引き続き取り組みを加速する。

### (2) 自己評価

本プロジェクトは、「食品バイオ」に関する食品機能分析から微生物応用にわたる多様な研究成果を基礎にして、我が国の食品企業とともに産学連携事業を展開し、実用性の高い貴重な成果を生み出し、宮城県から世界へ展開すべく高付加価値な商品開発を可能にしてきた。宮城県と福島県の食品産業協議会とはそれぞれ 2018 年度と 2019 年度に連携協定が締結され、各種セミナーや研究打ち合わせが行われ、課題発掘をしてきた。山形県の食品産業協議会とも 2020 年度中に連携協定が結ばれるが、これで南東北 3 県の食品企業群との緊密な商品化研究事業が可能となる。今後はさらに北東北 3 県および新潟県との連携を視野に入れて事業展開をする。本プロジェクトの成果は、国プロなどを通して経済・産業界に社会実装され還元されている。

なお、プロジェクトリーダーの宮澤は、国際栄養科学連合(IUNS、本部ロンドン、世界 90 か国が加盟)の 6 名の理事の一人として、また国際生命科学研究機構(ILSI、本部ワシントン、世界の食品・農産企業 500 社が加盟)の理事として、グローバルな食糧生産・食品・栄養に関する最先端情報を得る立場にあり、この役割も今後のプロジェクト展開に上手く反映させ、我が国の食品産業の国際展開に強く貢献できる NICHe プロジェクトであることに常に努める。

AI ディアトロフィ(量子栄養学)の発想は、当プロジェクト進行中に得たアイデアだが、構想段階で既に ILSI ジャパン会員企業から共同研究の申し込みが相次いでいる。AI ディアトロフィ自体は基礎研究の領域に属するが、研究成果の自社製品への応用の距離は近いと各社が判断し、短期間での共同研究体制構築がされたものと考えている。将来的には AI ディアトロフィの研究成果を基に各社へのコンサルを行うベンチャー会社設立を視野に入れながらプロジェクトを進めたい。

(最終年度のみ)プロジェクト継続の意思	有	無
---------------------	---	---



## 研究プロジェクト評価書面審査表(まとめ)

(研究プロジェクト評価書面審査委員氏名:◎山本 正弘、小沢 喜仁、新井 拓)

プロジェクト名	次世代に向けたリスクベース安全・安心社会基盤の構築
プロジェクトリーダー名	渡邊 豊

### I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

1. 開発研究の進捗状況(当初の開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況)	(優れている点)
	<p>全てのサブテーマにおいて、概ね当初設定の研究項目を計画どおりに着実に推進している。なかでも、Cs 吸着フィルターは福島第一原子力発電所（1F）に試験設置されており、水素貯蔵圧力容器についても製品化につなげたことは優れた成果として評価される。</p> <p>加えて、1.除染・除ウイルス、2.リスクベースに基づいた設備管理のサブテーマにおいては、新たな課題を発掘して研究連携機関との共同研究などを積極的に獲得し、火山灰除去システムの開発では、優れた性能の材料を開発できており、その技術をウイルス除去に向けた技術開発に展開し、実用化を目指している。これはニーズから生まれたシーズ開発を新たなニーズに展開し実用化へつなげている特筆すべきケースである。</p> <p>さらに文科省からの CLADS 補助事業(英知事業)に採択されるなど、計画の展開を行っていることは高く評価される。</p>
	(不十分な点)
	<p>中小企業等との連携強化と大学発のベンチャーの立ち上げについては、国内の中小企業からの新たな共同研究の打診が多数ある一方で、海外との関係は道半ばと判断される。新型コロナの影響もあると思うが、もう少しの努力が望まれる。</p> <p>成果として見えている内容は自己評価報告書で記載があるが、予定通りの進捗との記載に具体的な内容が示されていないので、進捗度合いが判断し難い。</p>
	(改善のポイント)
	<p>多くの研究・開発事業が同時に実施されていて、成果につなげている部分がいくつか見られるので、PDCA サイクルを適切に廻して、プロジェクト全体として目標であるリスクベース安全・安心社会基盤の構築に向けての取り組みが望まれる。</p>

<p><b>2. 研究者の育成状況</b>  <b>(各種研究員の受け入れ・国際交流の状況等を含む。)</b></p>	<p>(優れている点)  客員教授を含む4名の外国人の研究者が論文執筆も行い、成果を出している。また、年度毎に博士号取得者を各2名（内各1名は社会人を）輩出し、民間等共同研究員2名を受け入れるなど直接的な人材育成を進めている。さらに、国際会議や外国の大学や地域行政との連携を進めるなど40件以上の国際交流のアクティビティを実施していることは優れた成果と判断される。  2020年度中に、経産省資源エネルギー庁、並びに規制庁との人材育成に関する共同研究に取り組むことであり、国内の原子力発電所のリスクに対して科学的な観点から評価し、安全性を確保していく活動として高く評価される。</p> <p>(不十分な点)  修士号を取得した学生数が延べ人数でゼロとなっている点、受け入れ研究員等の数が少ない点については改善が望まれる。</p> <p>(改善のポイント)  受け入れ研究員を増やす努力が望まれるが、数が少ない理由として制度面での課題があるならば、見直すなどの対応が必要と判断される。  国際的な移動が難しい状況であることから、現状の研究クラスターを構築・維持しながら高度化を図るために、On-Line会議の利用などの工夫が考えられる。  また、プロジェクト全体の情報発信・公開を行って、修士、博士の学生輩出に繋がる大学院教育も積極的に進めることが望まれる。</p>
<p><b>総括Ⅰ</b>  <b>上記1.～2.までの評価に基づき当初の開発研究計画の進捗状況を中心に評価して下さい。</b></p>	<p>(優れている点)  当初計画の中で企業との連携により、Cs回収除染技術開発において1Fに試験的に設置され、圧力容器材料では水素蓄圧機の製品化につなげ、発電用材料では開発完了してブレード試作材の特性評価の段階に入るなど、知的財産の確保を行いながら、着実に成果を出している。新たに設定した課題では、火山灰の除去システムをウイルス対策に展開することなど、今後に期待できる成果を上げ、プロジェクトとして当初計画以上の成果を上げている。  人材育成の観点では、博士号取得者を着実に輩出するだけでなく、国際交流も活発に行っている。また、経産省資源エネルギー庁や規制庁などとの人材育成での協力関係は我が国の原子力関連施設の安全性向上、長期的なリスク低減などに極めて大きなインパクトを与える活動であり、今後の展開が大いに期</p>

	<p>待される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>サブテーマ「リスクベースの設備管理」においては、6件の新たな事業が開始されており、一定の成果を上げているが、一部で人的並びに設備の制約により断念されなくともよかつたのではと考えられる。</p> <p>一部の計画通りに実施中というサブテーマについては、内容を精査してリソースの削減などを含めた検討が望まれる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>本プロジェクトは当初 11 件の共同研究を計画し実施しているが、新たな共同研究の打診が 14 件あり、人的並びに設備の制約により 8 件を受け入れて、計 19 件の共同研究が行われ、うち国内中小企業とは 9 件が実施されている状況にある。</p> <p>他のサブテーマも含め、PDCA サイクルを短期間で廻し、期限内に成果発現が難しいテーマは一部内容を見直して、成果につながる課題にリソースを集中することが望まれる。</p> <p>大きな制約のなか事業が行われており、大学としての支援や、協力も要請しながら進める必要があると判断される。</p> <p>最先端の技術導入など、高度な取り組みを行う中小企業の育成は重要な課題であり、適切に研究支援する環境を整えて、研究成果を活用した新たな事業化や大学発ベンチャーの立ち上げが切望される。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>①. 大変良い</li><li>2. 良い</li><li>3. 普通</li><li>4. やや不十分</li><li>5. 不十分</li></ul>
--	--

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

<p><b>1. 民間企業への技術移転進捗</b></p> <p>状況について</p>	<p>(優れている点)</p> <p>民間企業への技術移転件数 2 件 (2019 年)、このうち「水素貯蔵用圧力容器の製品化」は商品化へつなげている。もう 1 件の非常用電源の火山灰対策の吸気型スクラバーの開発も実用化を目指した共同研究につなげている。</p> <p>民間企業ではないが、経産省資源エネルギー庁と規制庁の人材育成の活動を進めていくことは、行政に対する知識と技術の移転という意味で大きな成果を生むと考えられる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>本プロジェクトにおいて、事業化や製品化が必要という意識を構成員全員で共有できていないと判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>高純度鉄基耐熱合金については、従来の金属材料の概念を覆すような新材料であるので、大規模な構造材料だけでなく、部材・部品ベースでの適用等を視野にニーズ調査を行い、少量からのステップバイステップの実用化が切望される。</p> <p>事業化に関しては、学内外の支援機関の協力を得ること、シーズとニーズのマッチングを中心に活動している専門家などからの意見を聞きながら、研究段階から市場のニーズや製品化の目標を共有して研究を行う等を検討が望まれる。</p>
<p><b>2. 発明、特許権その他の知的財産権の状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>特許権の出願・登録状況については、2019 年度に、発明件数 1 件、特許出願件数のうち国内 2 件(いずれも PCT 出願)、審査請求予定 1 件、またプロジェクト開始前に出願していた特許が 2 件登録され、内 1 件は独創的な技術であることから極めて短期間で特許が成立している。知識財産権を取得する意識は高いと考えられる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>発明者がほぼ 1 名に限られているので、他のメンバーへの知的財産権の確保は重要であるという意識共有が望まれる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>火山灰対策の吸気型スクラバーのウイルス適用などは特許として成立可能と思われる所以出願が切望される。また、マッチングプランナーやプロデューサといわれる専門的人材の関与を含め、知財戦略の支援が望まれる。</p>

<p><b>3. 論文・著書・学会等発表の状況</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>2020年6月の時点において、論文総数は38件と非常に多く、年度末までの予定が8編、著書はなし、という状況である。その中の代表的な10編もCorrosion ScienceやJournal of Nuclear Materials、Metallurgical and Materials Transactions Aなどを含めた専門分野の権威あるジャーナルでの掲載である。論文・著書の引用数は全体で50件と高く、論文の質の高さもうかがえる。</p> <p>また学会発表については、国際会議等が23件、予定1件、国内学会等が5件、予定3件であり、招待講演も海外の著名なシンポジウムや国内学会で多数あり、国際的に通用する優れた研究成果を創出していることの表れである。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>学会発表の内容が、特定のサブテーマに偏っているように判断される。プロジェクト全体としての成果の公開ができていないと考えられる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>プロジェクト全体としての活動や成果の発信について検討し、不足している部分は発信方法の検討が切望される。例えば、特許出願した技術開発や実用化が目前の開発成果については、論文掲載や学会発表が難しいとしても、プレス、技術資料やテクニカルレポートなどで発表を進めすることが考えられる。</p> <p>海外への移動が難しい現況では、On-Line会議等の利用により国内外の連携する機関等との質の高いコミュニケーションを維持して、小規模ではあるが高度な研究開発クラスターの構築が切望される。</p>
<p><b>4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>プロジェクトのメンバーが、U.R. Evans AwardとMarcel Pourbaix Awardという腐食分野で国際的に卓越した成果および国際協力への卓越した貢献により、英国腐食学会と国際腐食会議から表彰・受賞を受けている。新聞報道等については超高純度鉄基耐熱合金の開発にかかる記事の掲載が2件ある。表彰はメンバー個人の業績によるものではあるが、プロジェクト全体の質の高さを評価されたものと考えられる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>多様な成果が創出されている割には、国内での表彰・受賞、プレス発表を行う等の情報発信が少ないと判断される。</p>

	<p>(改善のポイント)</p> <p>例えば、産業新聞系へのプレス発表、業界系の雑誌へ技術資料としての投稿など、より広い広報手段が考えられる。</p> <p>また、研究者自らが、高度な研究開発を行う外部研究者や企業技術者などにスポットライトを当てて、技術紹介を行う科学理解活動としての取り組みなどを計画することが望まれる。</p>
総括Ⅱ  上記1.～4.までの評価に基づき、「新産業分野創出」に結びつく開発研究成果が出ているか（研究のアウトプット）、また現実に「新産業分野創出」 <sup>注1)</sup> （研究成果に基づく産業活動のアウトカム）に結び付いているか、を中心的に評価して下さい。  <sup>注1)</sup> ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。	<p>(優れている点)</p> <p>新産業分野創出とまではいかないものの、質の高い開発研究を着実に進めて小規模な製品化が複数行われている。</p> <p>新産業分野という観点では、水素社会の実現に不可欠な水素貯蔵容器の商品化、ウイルス対策に活用できる可搬型大容量汚染空気浄化システムの開発を中小企業と共にを行い、技術移転を図るなどの今後の成果が期待される。</p> <p>産業分野ではないが、経産省と規制庁という省庁の『縦割り』で代表される2組織から、共通の目的を持った人材育成を担う委託や共同研究契約を結べたことは、ある意味で予算の無駄を省くこと（行政改革）につながる。大学の知の力をベースとした社会への貢献として重要な活動と評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>5つのサブテーマで広範な取り組みを行っているが、個別には成果が不十分と見えるサブテーマもある。</p> <p>プレス発表数が少ないと判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>高純度鉄基耐熱合金は、新産業分野創出のポテンシャルを持っている斬新的な技術開発と考えられるため、それを意識した展開が望まれる。それも含めて、市場ニーズの把握や製品化への取り組みの活性化に、マッチングプランナーなどの専門的人材の支援や関与を取り入れることが切望される。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 優れた研究成果を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く評価を挙げている。</li> <li>2. 優れた研究成果は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。</li> <li>3. 優れた研究成果を挙げているとは言えないものの、「新産業分野創出」に結び付く可能性は高い。</li> <li>4. 研究成果は他に優れたとは言えず、「新産業分野創出」に結び付く成果も期待出来ない。</li> </ol>

### III. プロジェクトの研究費の実績

総括Ⅲ  外部資金の獲得状況と、その資金が十分に活用されているかの観点から評価して下さい。	(優れている点)  プロジェクト開始時に想定していたよりも外部資金獲得額が少ないものの、民間からの研究経費として 28 件、252 百万円を受け入れ、今後 36 百万円を超える経費の受け入れや文科省 CLADS 補助金を予定しており、積極的な取り組みとなっている。  社会情勢の変化等を加味すると十分な外部資金を獲得し、前述した様に多くの成果を挙げている。  (不十分な点)  現状は全て民間からの資金であり、国からの資金獲得がない。  予算の獲得状況や研究の展開を考えると、現時点で研究リソースの配分にミスマッチがあると判断される。  (改善のポイント)  今後は国からの資金獲得も進める検討をしてはどうか。 最適な研究開発の実施のためには、NICHe として支援と協力が必要と判断される。
---	---

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

総括Ⅳ	(優れている点)  本プロジェクトにおいては、課題解決を意識して企業との共同研究を推進しながら、対応可能な人材を長期的に育成するという取り組みを行い、それぞれのテーマ研究における内容において基礎的研究、実証的研究、事業化研究を実施するという挑戦的な取り組みと考えられる。  そのため、以下の当初計画にない新たな研究課題を設定。 ①原子力発電所の火山噴火対応を目的に開発していた火山灰除去設備を発展させ、災害時の避難所などのウイルス対策に活用できる可搬型大容量汚染空気浄化システムの開発。 ②橋梁・高速道支柱などの社会インフラの経年劣化対策のために新防錆塗料の作用機序の解明に基づく製品開発。 ③潤滑剤添加による省エネ・減騒音効果に対し、新たな潤滑剤添加の開発に展開。 ④資源エネルギー庁、規制庁の人材育成 等を実施し成果を出している。その活動は、当初計画を超える展開と成果を挙げたとして高く評価される。
-----	--

	<p>(不十分な点)</p> <p>当初の計画に加えて、新たな連携による企業との共同研究が追加されている（この研究プロジェクトへの期待が高いことを表している）が、研究実施体制については、新たな研究事業の受け入れ数を自ら制限している状況と判断され、柔軟な実施体制の改変ができていない。</p> <p>製品化や事業化についても、研究メンバー以外の専門知識のある人材等の協力が得られていないと判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>本プロジェクトは、規模の大きな研究事業となっており、事業全体としてのマネジメントが重要となっていると判断される。事業の目指すところは、次世代に向けたリスクベース安全・安心な社会基盤構築、かつ持続的な产学連携のためのエコシステム構築と受け止めているが、代表者らの意思をプロジェクト構成員の間で共有し、社会に対して情報発信を行うことが求められる。サブテーマ間の相互理解と情報共有を進めながら、取り組まれることが期待される。</p> <p>本研究プロジェクトの特徴である必要に合わせた研究の実施段階での柔軟な課題の実施を行うためには、従来テーマに関しても PDCA を廻して一部のテーマの計画見直しや中止を行い、最適な研究リソースの再配分を行っていくことも必要であると判断される。</p> <p>製品化や事業化については、これを専門とする人材、具体的にはマッチングプランナーなどの専門的人材の関与・確保を行い、研究者への負担がいたずらに高くならないように配慮することが必要と考えられる。</p>
--	--

## V. 総合評価

総括Ⅰ～Ⅳを踏まえ、本プロジェクトを総合的に評価して下さい。

本プロジェクトのスコープは次世代に向けリスクを指標とした安全・安心な社会基盤の構築を目指し、技術開発と知識ベースの構築を行うという2つの面があると判断される。

技術開発の面では、ニーズ・オリエンティッドな研究開発として外部ニーズを積極的に取り込み成果につなげている。例えば、原子力発電所の火山噴火対応を目的に開発していた火山灰除去設備を発展させて、災害時の避難所などのウイルス対策に活用できる可搬型大容量汚染空気浄化システムの開発へ展開した。また、シーズ・オリエンティッドな研究開発としては、橋梁・高速道支柱などの社会インフラの経年劣化対策や潤滑剤添加による省エネ・減騒音効果についても期中設定課題として取組み、新たな潤滑剤添加の開発に展開している。この際の研究実施においては中小企業への技術移転など、社会実装へ向けた具体的な取組みを行い、特許取得や商品化につなげている。

知識ベースの構築という面では、劣化評価法や寿命予測手法などを確立し、設備や機器の運転時のリスクを下げる手法や管理指標の提示という面で成果は得られている。また人材育成では、新たな知識を獲得するのではなく、既存の知識を広めることで社会全体のリスクを下げるという効果がある。例えば、研究活動を通して博士号取得者を継続的に輩出すると共に研究成果の論文投稿や国際会議での発表などを通じて、世界的に優秀な研究者に与えられる2件の受賞や国際交流を積極的に行うなど人材育成や学術界の発展にも力を入れている。また、今後実施する計画である資源エネルギー庁や規制庁担当者などの人材育成事業は、新たな知識の創成とは言えないが、既存の知識の社会への展開という点から我が国のエネルギー産業全体のリスク低減に向けた大学内の研究組織ならでは取り組みと考えられる。

評価表の中では、技術開発成果の産業利用という『モノ』に着目した評価項目が多く、その点で評価は高かったが、知識ベースの構築とその社会への実装という面でも大きな成果を収めつつあるということを総合評価では付記する。

(全体に対するコメントがありましたら、記載して下さい。)

本プロジェクトの様に、目標一達成型の研究開発では、当初計画内容に対しての実行レベルを評価するよりは、目標に向かうために何を改善したかなど、進捗プロセスや達成手段も確認することが重要である。すなわち、PDCAをどれだけ上手く廻し、最適な結果に導けたかという観点での評価も必要であると判断される。

プロジェクトの成果を最大化するには、大学や組織としての支援の仕掛けづくりも不可欠と考えられる。専門的知見を有する研究者や技術者、さらには企業経営者などの参加を得やすい環境作りや、持続的な社会構築のための技術開発研究に係る市民の理解形成の基盤作りが望まれ、新しい産業の創出や専門的人材の育成について、高等教育機関が提案するエコシステムのモデルとして、大いに期待される。

別件ではあるが、評価書の書式として、『優れている点』と『不十分な点』のみの選択では、判断がしにくい部分があるので、両者の中間に『満足できる点』を入れる、『優れている点』の上位に、『特に優れている点』の評価を入れる、自己評価報告書は成果リストの記載となっているため自己評価点を記載する、などの評価書の工夫が望まれる。

## 2020(令和2)年度研究プロジェクト自己評価報告書(公開版)

## 開発研究部の分野名・研究プロジェクト名

プロジェクト名：次世代に向けたリスクベース安全・安心社会基盤の構築  
 (Towards an Establishment of the Risk and Security Base Safe and Secure Society for the Next Generation)

## プロジェクトリーダーの職名・氏名

未来科学技術共同研究センター（兼）教授 渡邊 豊 印

研究体制(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

## (1) 開発研究目的、目標及び方法

## 1. 目的

現在我が国重要なテーマの一つは、『リスクとの共生』である。①多様なリスクを正確に認識し、②合理的に最小化を図った上で、③受容するかあるいは他の選択肢を探るかの判断を行う、この一連の行為が科学に基づいてより高度に行われる社会を実現することが、平和で豊かな社会を維持する上で重要である。本プロジェクトの大きな目的は、技術開発によってリスク低減に寄与することであり、その目的に適う複数のテーマに並行して取り組んでいる。取り扱っている課題は、除染、放射性廃棄物減容化、既存プラント設備管理、次世代機器信頼性向上など、多岐にわたっている。

過酷事故を起こした福島第一原子力発電所(以下 1F)の安全・着実な廃炉と福島県を始めとする周辺地域の環境修復への技術的な貢献は、東日本大震災の被災地に立地する本学の重要な使命である。1F 廃炉ならびに環境修復は、東北大学復興アクション 8 大プロジェクトの一つともなっており、当プロジェクトリーダーの渡邊は、原子炉廃止措置基盤研究センター(以下 CFReND)センター長として参画している。1F 廃炉に関連する種々の活動に取り組んでいるが、大別して、①社会実装に近いあるいは産学連携色の強いものを NICHe のプロジェクトにて実施、②我が国 1F 廃炉研究開発コミュニティの一員としての活動を CFReND にて実行、そして③大学(院)教育に重心を置いた活動は工学研究科の渡邊として行ってきている。特に、各種テーマでの NICHe 活動を通じて培った、企業の潜在的なものも含めニーズや課題を捉え的確に解決に向けた対応をしていくといった産学連携の経験・ノウハウや知見を活かして②の CFReND において産側との共同研究部門を本年 4 月に立ち上げている。

東北の復興加速には、1F の安全・着実な廃炉と並行して、新たな町作りの原点としての産業分野の創出と集積が強く望まれてきているが、現状では必ずしも十分とは言えない。本プロジェクトにおいては、次世代に向けたリスクベース安全・安心社会基盤の構築を目指し、軽水炉の再稼働に求められる過酷事故対策技術並びに社会基盤に潜在するリスク対策に関する技術開発と課題解決を目指す。サブテーマとして、除染(その後、COVID-19 に対する社会的要請に応え、他のサブテーマの成果を踏まえて除ウイルスもサブテーマに加え、除染・除ウイルスとした)、放射性廃棄物の減容化、リスクベースの設備管理、次世代機器信頼性向上とした。加えて、本プロジェクトでは、現在の産学共同研究を一層発展させると共に、復興加速の一助とするためにも、技術の中小企業への移転を指向し、それを一つのサブテーマとした。先に述べたように、本プロジェクト開始後に新たなリスクとして顕在化してきた新型感染症対策の一助となる除ウイルスの技術開発並びに災害避難所等における新型ウイルス感染リスクの低減を目指した可搬型空気清浄設備の開発も計画に加えている。

## 2. 目標及び方法

次世代に向けたリスクベース安全・安心社会基盤の構築に向けて、多様な産業分野でのニーズに応える目標達成のために、各サブテーマにおいて目的と研究組織・連携先に応じたゴールを設定した。また、期中に産業界からのニーズに従って設定された課題を加え、目的に応じたシステム概念設計を経て詳細な研究計画・機器開発計画を立案している。基本研究計画に従って、産業界との連携の下に、廃炉・過酷事故管理グループ(G)、機器性能評価 G、環境強度・構造健全性評価 G、界面評価 G、材料劣化・作用機序解明評価 G そして計算化学・合金設計 G を構成して、各タスクグループにおいて具体的な研究計画を策定し実施している。研究開発の実施にあわせて、产学連携・技術相談・先端設備共用相談・学術指導をおこない、大学発ベンチャー立ち上げの検討を並行して行っている。サブテーマ毎の課題は、それぞれが目標として、5 年のプロジェクト期間内に開発機器の製品化・実用化、種々の評価・診断手法の実機適用、リスクベース設備保全、RBM 手法の提案そして合目的的開発合金の特性評価とデータ・ベース化を目指しているが、課題間に共通な解析手法や開発手法を相互に活用し、課題解決型产学連携並びに産官学人材育成を柱としたプロジェクト推進に取り組んでいる。(組織図参照)

### (2) プロジェクト全体の年度別計画表

進捗状況を加筆した年度別計画表に示した様に、サブテーマ毎に複数の課題が並行して進んでおり、連携企業も異なる事から、それぞれの課題についての進捗状況は、2-3 カ月毎の打ち合わせ会議並びに半年に一度の中間報告会そして年度末の成果報告会により進捗管理を行っている。学内的には、プロジェクトリーダーと担当者が、日常的に進捗状況並びに結果について情報を共有し、又定期的に全体の進捗についてもプロジェクトリーダーからメール並びに必要に応じて Web 会議を開催している。特に在宅勤務が推奨された時期には、試験等の設備管理のための必要最小人数の勤務とし、定期的な Web 会議により進捗あるいは遅れの対応について情報を共有した。全体として、各課題の進捗はほぼ予定通りであり、年度末報告会も全て Web 会議で予定通り報告を行い、成果報告書を提出した。

本プロジェクトが開始当初より 11 件(うち中小企業5件)の共同研究を実施しているが、本プロジェクト開始以降にも、新たな共同研究等の打診が 14 件あり、人的並びに設備の制約により 8 件について共同研究を開始した。その中の 4 件は中小企業である。現状トータルで共同研究 19 件のうち中小企業とも 9 件を実施し、中小企業との連携強化を図っている。特にリスクベースの設備管理に関わるテーマの原子力発電所における過酷事故対策として、事故と火山噴火が重畠して生じた場合の非常用電源への火山灰混入による機能喪失を避けるためのスクラバー型火山灰除去設備の開発に取り組んだ。次年度からは電気事業連合会の電力共同研究として企業と共同で研究開発に取り組む事となった。また、本装置は高性能な大容量空気清浄機能を有する事より対象を火山灰に限定する事無く、例え細菌・ウイルス等の除去も、スクラバーノズルの形状と細泡化等を踏まえると可能性として考えられ、災害時の避難所等における集団感染のリスクの低減策として上記高性能スクラバーの検討を始めた。多種多様な汚染空気の大容量清浄を可能にするスクラバーシステムを产学連携により開発する提案が兵庫県 COE 補助事業に採択され研究を開始した。

原子力安全に資する産業界人材の養成に関しては、2020 年度から 5 年計画で取り組むべく、経産省資源エネルギー庁からの 2020 年度委託事業が「長期的視野に立った俯瞰的リスク評価能力と材料専門性を兼ね備えた人材育成」を目的として開始する。並行して、原子力規制庁とは、規制人材の研究力向上を目的とした共同研究を 2020 年度から開始する予定で計画書を共同作成中である。

1F 廃炉に関しては、本学 CFReND を母体として JAEA、NIMS、QST と研究組織を組んで申請(研究代表者 渡邊 豊)した、文部科学省事業「 $\alpha/\beta/\gamma$  線ラジオリシス影響下における格納容器系統内広域防食の実現: ナノバブルを用いた新規防食技術の開発」が 3 年計画で採択され、未来科学技術共同研究センターも、渡邊と阿部が

課題の一部を担当する。

年度別 サブテーマ 名	2018年度		2019年度		2020年度		2021年度		2022年度			
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期		
1. 除染・ 除ウイルス	試験実施				吸着効率最適化の設計・試作並びに性能検証				製品化	実用化		
	試験実施完了		完了（一部試行的にF1に設置）		極低濃度Csの分析法開発中							
2. 放射性廃棄物の減容化	要素技術の高度化並びに最適化完了並びに有力顧客との情報交換				システム高度化		実証試験装置の設計		試作・製品化	試作・製品化		
3. リスクベースの設備管理	材料試作並びに試験実施（データベースの拡充）とリスク抽出				データ評価並びにリスク管理策		試験・評価並びにリスク対策方針		纏め	提案		
4. 次世代機器信頼性向上	健全性評価試験実施並びに寿命診断データベース拡充				寿命診断技術の高精度化		実機への適用性評価と寿命評価					
5. 中小企業との連携強化と大学発ベンチャーの立ち上げ	T-Bizにおける活動と立ち上げの準備				国際的コンサルティング&ソリューション及び人材育成支援（& R & D）の大学発ベンチャーの立ち上げを検討中。				Tohoku University Knowledge Castと相談開始			
	関連企業の事前調査並びに国際的ベンチャー企業との連携検討											

### (3) 研究組織・研究分担(すべての研究者について具体的に記入して下さい。)

#### 1. 組織図

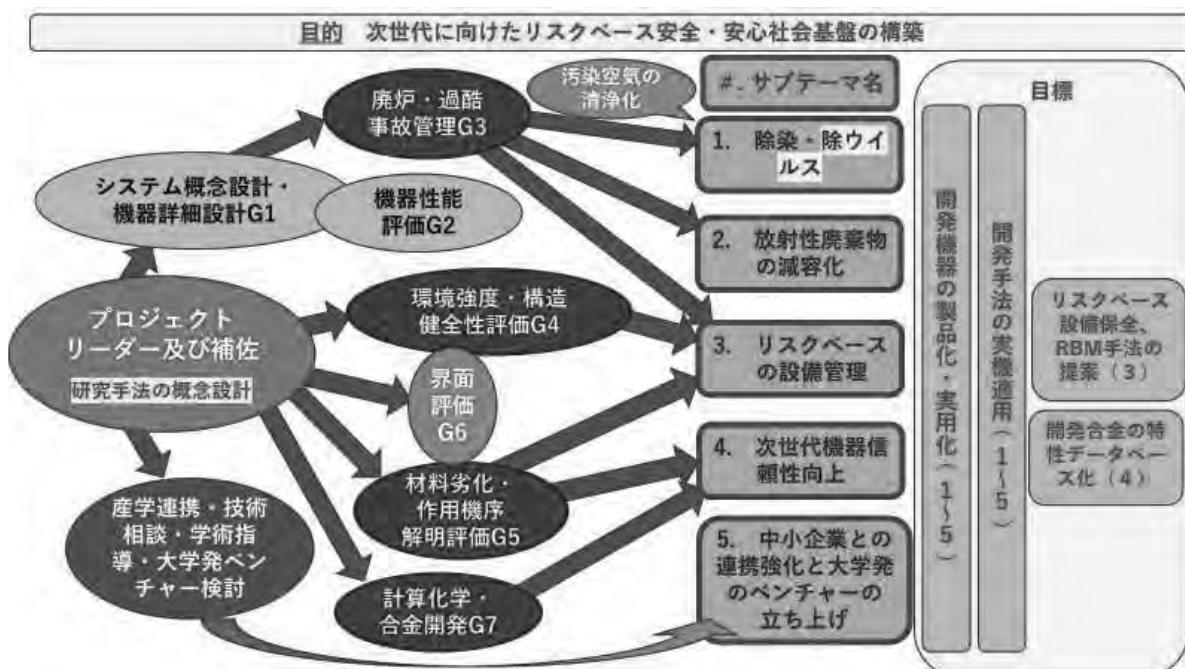


図1 組織図(研究体制)

## 2. 研究分担

研究代表:全グループ担当及び全体統括 渡邊 豊教授

研究代表補佐:全グループ及び全体調整 庄子哲雄シニア・リサーチフェロー

G1 及び G2: 渡邊 豊教授、庄子哲雄シニア・リサーチフェロー、伊藤克美学術研究員、国谷治郎リサーチフェロー、Zhanpeng Lu 客員教授、山下満男客員教授、李鎮伊客員教授

G3: 渡邊 豊教授、庄子哲雄シニア・リサーチフェロー、Jian Xu (助教 H30-H30.8 月、客員准教授 H31-現在)、Xiangyu Zhong 助教、伊藤克美学術研究員

G4: 渡邊 豊教授、庄子哲雄シニア・リサーチフェロー、米澤利夫シニア・リサーチフェロー、竹田陽一准教授、Jian Xu (助教 H30-H30.8 月、客員准教授 H31-現在)、Xiangyu Zhong 助教、Wang Zihao 助教(R2. 7 月～)、伊藤克美学術研究員

G5: 庄子哲雄シニア・リサーチフェロー、市川裕士准教授、Xiangyu Zhong 助教、Wang Zihao 助教(R2. 7 月～)、

G6: 庄子哲雄シニア・リサーチフェロー、阿部博志准教授、Xiangyu Zhong 助教、Wang Zihao 助教(R2. 7 月～)、

G7: 庄子哲雄シニア・リサーチフェロー、Nishith Kumar Das 准教授(H30-R1)、Wang Zihao 助教(R2. 7 月～)

产学連携・技術相談・ベンチャー立ち上げについては、庄子哲雄シニア・リサーチフェローを中心として、関連企業、TKC と相談

### 具体的担当

渡邊 豊教授 G1-G4 推進及び全体統括

庄子哲雄シニア・リサーチフェロー G2, G5, G6, G7 推進及び産学連携・技術相談・ベンチャー立ち上げの調整

Zhanpeng Lu 客員教授 環境誘起き裂進展計測・評価 表面分析 EBSD 酸化動力学

山下満男客員教授 地熱タービン向け材料開発並びに水質モニタリングセンサー開発

伊李鎮客員教授 計測科学並びに劣化検出

竹田陽一准教授 機器分析 AES SIMS 酸化層在化計測・評価 酸化物評価

阿部博志准教授 酸化物解析 材料劣化計測・評価

市川裕士准教授 热疲劳試験実施・評価 機器分析 耐熱材料評価 AE計測・評価

Nishith Kumar Das 准教授(H30-R1) 各種現象の原子モデルの構築と計算・評価

Jian Xu (助教 H30-H30.8 月、客員准教授 H31-現在) 各種試験実施並びに試験結果の整理、分析、評価

Xiangyu Zhong 助教 各種試験実施並びに試験結果の整理、分析、評価

伊藤克美学術研究員 強度試験担当 热疲劳試験企画・試作 热疲劳試験実施及び評価

## (4) プロジェクトの評価に当たっての特筆事項

本プロジェクト開始時点で計画した取り組みに加えて下記の研究開発活動が新たに始まっている。

### <3. リスクベースの設備管理 × 中小企業との連携強化>

プロジェクト開始以降も、中小企業を中心に共同研究等の申し込みが相次ぎ、グループとしての遂行キャパシティ内で受け入れを行って来ている。特にリスクベースの設備管理に関わるテーマの原子力発電所における過酷事故対策として、事故と火山噴火が重畳して生じた場合の非常用電源への火山灰混入による機能喪失を避けるためのスクラバー型火山灰除去設備の開発に取り組んだ。次年度からは電気事業連合会の電力共同研究として企業と共同で研究開発に取り組む事となった。

### <1. 除染・除ウイルス × 中小企業との連携強化>

また、本スクラバー型火山灰除去装置は高性能な大容量空気清浄機能を有する事より対象を火山灰に限定する事無く、例えば細菌・ウイルス等の除去も可能性として考えられ、災害時の避難所等における集団感染のリスクの低減策として上記高性能スクラバーの検討を始めた。多種多様な汚染空気の大容量清浄を可能にする

スクラバーシステムの開発として兵庫県 COE 補助事業に採択され研究を開始した。

### <3. リスクベースの設備管理>

原子力安全に資する産業界人材の養成に関しては、2020 年度から、経産省資源エネルギー庁からの 5 年計画の委託研究が「長期的視野に立った俯瞰的リスク評価能力と材料専門性を兼ね備えた人材育成」を目的として開始される。

### <3. リスクベースの設備管理及びそれを担う人材育成に関わる新たな展開>

1F 廃炉に関しては、本学 CFReND を母体として JAEA、NIMS、QST と研究組織を組んで申請(研究代表者 渡邊 豊)した、文部科学省事業「 $\alpha$ ／ $\beta$ ／ $\gamma$  線ラジオリシス影響下における格納容器系統内広域防食の実現:ナノバブルを用いた新規防食技術の開発」が 3 年計画で採択され、未来科学技術共同研究センターも、渡邊と阿部が課題の一部を担当する。並行して、原子力規制庁とは、規制人材の研究力向上を目的とした共同研究を 2020 年度から開始する予定で計画書を共同作成中である。

橋梁等の社会インフラの高経年化対策としての新規防錆塗料の作用機序の解明と発錆構造物の長期信頼性評価とリスク管理及び省エネ・低騒音対策としての摺動面制御を目指した、新規受滑油添加剤の作用機序の解明と添加剤開発の研究(栗原研究室と協力)を開始し、それぞれの作用機序の解明が進み、新規防錆塗料及び潤滑油添加剤の開発段階に進んでいる。

### <NICHe 外での取組み>

NICHe での活動を通じて培った、潜在的なもの含め企業のニーズや課題を捉え解決に向けた対応を的確に行っていくといった産学連携の経験・ノウハウ、知見を活かし、NICHe の外での取組であるが、我が国 1F 廃炉研究開発コミュニティの一員としての活動として、CFReND において産側との共同研究部門を本年 4 月に立ち上げている。

## I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

### I-1. 開発研究の進捗状況

#### (1) 開発研究進捗状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

【注】①③についてはサブテーマ毎に記述し、②については研究組織図において関連を示した。又、サブテーマ1~4の取り組みについて、产学研連携の動機・課題設定並びに達成内容(成果)の流れの俯瞰図を添付図に示す。産業界の課題解決に必要な知見の集積と創出並びに連携の背景を示している。

#### 1. 除染・除ウイルス

進捗状況を加筆した年度別計画表(別添)に示した様に、当初除染を対象とした課題は、過酷事故時の Cs の回収技術の開発であった。これは、福島第一発電所の事故を教訓として義務づけられた過酷事故管理の一部を担う技術で、想定される事故時の放射性物質の大気放出に対する対策として、放出 Cs を放水銃等で水溶化し、地上で処理するための Cs 吸着性能の高度化であり、又、長期保管を対象として、Cs 吸着性を高めるための プルシアンブルー含浸吸着フィルターの設計である。この課題については初年度にてほぼ解決した。一方、事故後の現状においても、自然界に放出された Cs 等は雨天時には地表水あるいは地下水によって移動し、海洋に流出する可能性がある。従って、福島第一発電所内敷地には、チャンネルボックス等に Cs 吸着フィルターが設置されている。この吸着フィルターは必要時に本来の性能を発揮しなければならず、常時の保守が重要となっており、細菌による目詰まりや性能低下等が危惧される。その対策のためのフィルター構造設計や保守対策の課題並びに吸着効率の向上による Cs 回収効率の改善策に取り組んでおり、複数の構造体を提案し、一部は福島第一発電所に試行的に設備されている。福島第一発電所における実計測は、放射性 Cs についての計測であるので放射線計測による極めて高い検出感度が期待されるが、一方で、設置吸着設備の吸着性の検証を実験室的に行うためには、想定される極低濃度の非放射化 Cs<sub>133</sub> の検出が必要であり、同種のシステム全体の開発のためには極低濃度の Cs を放射線計測以外で検出する手法の開発が新たな課題として浮かび上がって来ており、現在鋭意取り組んでいる。

本サブテーマにおいては、プロジェクト開始時には中小企業 2 社との产学研連携であったが、さらに開始後も中小企業から 3 件の共同研究の申し入れが有ったが、グループとしての遂行キャパシティにより 2 件の追加受け入れを行った。新たな課題の一つが、後述する火山灰対策として高性能スクラバーの開発である。この新規スクラバーにより除塵率が 99.99%以上を達成できる大容量空気清浄が可能となった。この技術は、その適用対象を火山灰に限定する事無く、例えば細菌・ウイルス等の除去もスクラバーノズルの形状と細泡化等の改善により可能性が見いだされ、災害時の避難所等における集団感染のリスクの低減策として上記高性能スクラバーの検討を始めている。この課題は、多種多様な汚染空気の大容量清浄を可能にするスクラバーシステムの開発として中小企業が申請して兵庫県 COE 補助事業に採択され、共同で研究開発を開始している。スクラバーノズルの形状と細泡化等により、どこまで細菌・特にウイルスの除去率向上が実現できるかが課題であり幾つかの手法を組み合わせて可能性を追求している。

#### 2. 放射性廃棄物の減容化

進捗状況を加筆した年度別計画表(別添)に示した様に、サブテーマ1. などのように過酷事故時の Cs 吸着布によるフィルターや、他にも想定される放射性廃棄物の減容化処理は、廃炉における最重要課題の一つである。本サブテーマは、水熱反応による Cs 吸着不織布の分解・分離・固化の処理システムの開発であり、基本的システムについてはシステム設計が完了し、必要な基礎データも取得している。取り分け独創的な技術内容であることから極めて短時間で特許が成立している。本技術に関心のある大手企業との情報交換も終え、実用化に向けての課題を整理し、システムとしての熱収支や Cs の気液分配についての技術情報を補強している。本年度は、システムの高度化を図り、2020 年度中に高度化システムの設計を終える予定である。なお、本課題で得

られた放射性廃棄物処理システム及び処理方法については、2017年10月29日に企業と東北大学の共願で特許出願し、2019年5月17日には登録されるという極めて短時間に権利化され、その内容の独創性を示している。

### 3. リスクベースに基づいた設備管理

本プロジェクトを開始した時点での本サブテーマにおける課題は多くは、エネルギー機器などの次世代に向けたリスク増加要因解明に基づく安全性向上に重点が置かれていた。なかでも、材料要因の解明に基づく材料開発並びに機能健全性の長期的維持に関する課題を探り上げてきている。又、当初予定されていなかった国からの委託並びに共同研究が始まる予定であり、NICHe を主体として研究を推進する。1F 廃炉に関しては、本学CFReND を母体として未来科学技術共同研究センターも課題の一部を担当する。

本サブテーマにおいて当初より推進されてきた課題は、4件であり、2件は中小企業である。その後も、7件の共同研究の打診が有ったが、人的資源並びに設備の制約により4件の共同研究を開始し、うち2件は中小企業である。合計すると計8件の共同研究、うち4件は中小企業と実施している。課題の例を以下に示す。

一つは、新規概念に基づく新合金の実用化に向けた大型溶解材による軽水炉環境誘起割れ耐性に優れた新合金の確性試験を実施し、水素に着目した環境誘起割れ感受性の発現機序の検証を行い、軽水炉環境下での環境助長割れ感受性の画期的な抑制に成功した。今後、その材料設計思想に基づく合金組成最適化と実機への提供を想定した長時間信頼性検証試験に発展させる計画である。

他方、現有的火力設備に対する腐食並びにスケール対策として広く普及している酸素処理運転における新たな課題としての定期的化学洗浄によるスケール除去性能低下の問題がある。すなわち酸素処理運転の結果として生成する耐食性に優れた伝熱管内面の保護性スケールが、化学洗浄においては溶解しきれずに残る場合のあることを解明し、酸素処理運転により生成される最外層ヘマタイトへのCrの外方拡散濃縮がその原因であることを突き止めた。このCrの最外層ヘマタイトへの拡散濃縮に、化学洗浄後の初期AVT処理運転が悪影響を及ぼしている可能性に着目し、火力発電所の定期点検後の運転開始時のAVT処理の必要性を含めてプラント立ち上げ時の水処理について実機適用最適化手法の提案を行う予定である。

水素貯蔵圧力容器鋼並びに容器の開発については、得られた材料特性と水素脆化データ・ベース並びに圧力容器製造工程の検討を踏まえ、関連企業との共同開発に移行し、製品化された。

過酷事故管理として、原子力発電所に設置が義務付けられている事故時の非常用電源発電機の吸気火山灰対策として、大容量の吸気(1万m<sup>3</sup>/時間)の処理を低差圧(1kPa以下)で実現すると共に火山灰除去率99.99%以上を達成できる設備として高性能スクラバー開発に着手し、要求性能を上回る吸気型スクラバーの開発に成功した。次年度以降、実用化に向けての製品化のため、電気事業連合会の電力共同研究に移行予定である。本スクラバーの高性能性に着目し、対象を火山灰からより広げて汚染空気清浄設備として展開したものが、サブテーマ1.除染・除ウイルスである。除ウイルスは、兵庫県COE課題に新規採択された産学共同開発のテーマであり、本プロジェクトの推進体制・組織が課題ごとに分断されていない事に由る柔軟な水平展開の有効性を示している。

新たに取り組みを始めた幾つかの課題は、以下の通りである。

社会インフラとしての橋梁や道路高架の発錆済み構造体の上塗り塗装による長期信頼性確保であり、塗膜下の発錆済み錆の防錆という困難な課題に挑戦し、新たな機序に基づいて優れた防錆効果が期待される塗装並びにその作用機序の解明に取り組み始め、新規な防錆機序が明らかになってきており、実用化に向けての支援データの充実を図っている。

又、機能健全性として重要な自動車エンジンやエアコン内の回転機器等の摺動部の摩擦低減を目的とした潤滑油添加剤に関する共同研究を開始し、省エネ・減騒音対策を含めリスクベースの設備管理の課題として取りあげた。現在現象の解明を進めているが、当初の想定現象とは異なる機序による摺動面修復効果が生じてい

る可能性を見出し機序の解明を進めている。

これらの共同研究に加えて、原子力安全に資する産業界人材の養成に関しては、2020 年度から 5 年計画で取り組むべく、経産省資源エネルギー庁からの 2020 年度委託事業として「長期的視野に立った俯瞰的リスク評価能力と材料専門性を兼ね備えた人材育成」を目的として開始する。並行して、原子力規制庁とは、規制人材の研究力向上を目的とした共同研究を 2020 年度から開始する予定で計画書を共同作成中である。又、1F 廃炉に関しては、本学 CFReND を母体として JAEA、NIMS、QST と研究組織を組んで申請(研究代表者 渡邊 豊)した、文部科学省事業「 $\alpha$ ／ $\beta$ ／ $\gamma$  線ラジオリシス影響下における格納容器系統内広域防食の実現:ナノバブルを用いた新規防食技術の開発」が 3 年計画で採択され、未来科学技術共同研究センターも、渡邊と阿部が課題の一部を担当する。

#### 4. 次世代機器信頼性向上

本サブテーマについては、当初から 4 課題に取り組んできたが、その後新たに 4 件の共同研究の打診が有つたが、先にも述べた制約により 2 件のみ共同研究を開始した。共同研究先は全て大企業である。進捗状況を加筆した年度別計画表(別添)に示した様に、これらの複数の課題が並行して進んでいる。連携企業も課題毎に異なるが、それぞれの課題についての進捗状況は、2-3 カ月毎の打ち合わせ会議並びに半年に一度の中間報告会そして年度末の成果報告会により進捗管理を行っている。学内的には、プロジェクトリーダーと各テーマの担当者が、日常的に進捗状況並びに結果について情報を共有し、全体の進捗についてもプロジェクトリーダーから定期的にメール並びに必要に応じて Web 会議を開催している。特に在宅勤務が推奨された時期には、試験等の設備管理のための必要最小人数の勤務とし、定期的な Web 会議により進捗あるいは遅れの対応について情報を共有した。全体として、各課題の進捗はほぼ予定通りであり、年度末報告会も全て Web 会議で予定通り報告を行い、成果報告書にまとめている。

Ni 基合金ならびに炭素鋼の高温割れに関する研究は、Finland Aalto 大学との共同研究を実施して当初予定の成果を挙げ、国際会議ならびに国際学術誌に成果を発表した。TT690 合金の PWR 一次系模擬水中での SCC き裂進展機構に関する研究はデータ取得およびメカニズム解明が順調に進んでおり、TT690 合金の PWR プラント寿命末期までの短範囲規則不規則変態および長範囲規則不規則変態の可能性評価に関する研究は現象発現可能性を判断するに必要なデータの取得が進んでおり、いずれも 2020 年度末までに所定の成果を挙げることができる見込みである。BWR 炉内構造物 SCC 感受性、USC 火力機器用耐熱合金などのテーマについても同様に、予定通りに進捗しており、それぞれ SCC 感受性に及ぼす熱処理温度の影響や高純度鉄基耐熱合金のクリープ耐性や水蒸気酸化耐性について貴重な知見が蓄積され、今後の機器信頼性向上に貢献する事が期待される。

#### 5. 中小企業との連携強化と大学発のベンチャーの立ち上げ

本プロジェクトが開始当初より 11 件(うち中小企業 5 件)の共同研究を実施しているが、本プロジェクト開始以降にも、新たな共同研究等の打診が 14 件あり、人的並びに設備の制約により 8 件について共同研究を開始した。その中の 4 件は中小企業である。グループとしての遂行キャパシティ内で受け入れを行っているが、現状トータルで共同研究 19 件のうち中小企業とも 9 件を実施し、中小企業との連携強化を図っている。

これまでの多くの共同研究課題は、それぞれの企業等は抱える具体的技術課題について、その本質を掘り下げ、具体的な解決策を見出す事であり、コンサルティング並びに課題解決策の提示、そして R&D による課題解決を行ってきた。このようなこれまでの経験と実績を踏まえて、コンサルティング & ソリューションを軸とした大学発ベンチャーの立ち上げについて検討を進めている。具体的には、米国の同様な内容のベンチャーの技術サポートを行いながら、本学として大学のリソースを産業に結び付ける目的で設立された Tohoku University Knowledge Cast に相談を始めながら、大学に蓄積・拡充されてきている膨大な知見・ノウハウを如何に産業界のニーズ・課題解決・競争的固有技術開発に繋げ、その橋渡し役としての大学発ベンチャーの立ち上げの具体

化を進めているが、新型コロナ感染症拡大等の影響もあり市場調査のための企業訪問等が進んでいない。一部、大手共同研究相手先等の研究進捗打ち合わせ時に調査を行っているが、企業の多くは、将来のビジネスの核となり得る新規な領域への進出のためのシーズ調査に大きな関心が有り、コンサルティング＆クリエーションへの期待が大きいが、企業として現在抱える課題に対する解決志向が相対的に弱くなっている。こうした状況は、足下の課題解決がなされず将来的に大きな問題を引き起こすリスクが高まる可能性が大きい事を意味しており、的確なコンサルティング＆ソリューションの重要性を認識した。今後もベンチャー立ち上げの市場調査並びに立ち上げ体制等について具体化を進める。

## I-2. 研究者の育成状況(各種研究員の受け入れ状況等を含む)

### (1) 修士号・博士号取得者

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 修士号取得者(うち本学) (うち社会人)	0 人 (人)	0 人 (人)	0 人 (人)
② 博士号取得者(うち本学) (うち社会人)	0 人 (人)	2 人 (1 人)	2 人 (1 人)

### (2) 研究員等受け入れ数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 民間等共同研究員	1 人	1 人	0 人
② 受託研究員	0 人	0 人	0 人
③ ポスドク	0 人	0 人	0 人
④ 修士課程・博士課程	0 人	0 人	0 人
⑤ 研究所等研究生	0 人	0 人	0 人

### (3) 国際交流の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

<渡邊 豊教授>

- ・2018年9月 米国 サンフランシスコ Nuclear Plant Chemistry Conference 国際会議の組織委員会委員として参加、講演
- ・2019年5月 台湾 台南 International Cooperative Group on Environmentally – Assisted Cracking of Water Reactor Materials (ICG – EAC) 組織委員会委員として参加
- ・2019年8月 米国 ボストン 19th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems– Water Reactor 組織委員会委員として参加
- ・2019年9月 韓国 ソウル Symposium on Water Chemistry and Corrosion in Nuclear Power Plants in Asia 組織委員会委員として参加
- ・2019年10月 韓国 仁川 International Corrosion Engineering Conference 基調講演
- ・2019年10月 中国 上海大学 International Symposium on Material Service Performance in Nuclear Power Plants 2019 –Intelligent Monitoring and Reliability Assessment– 基調講演
- ・2019年12月 Fukushima Research Conference on Corrosion of Key Components of Fukushima Daiichi NPS を JAEA と共同で主催、講演

<庄子哲雄シニア・リサーチフェロー>

- ・2018年4月 USA フェニックス, Research Technical Symposium “Corrosion Lifetime Prediction, in memory of Roger W. Staehle at the NACE CORROSION 2018 conference, 出席・講演
- ・2018年4月 中国 上海, 3rd International Forum on Marine Corrosion and Fouling (IFMCF 2018), 出席・講演
- ・2018年8月 中国 上海大学, 3rd International Symposium on Material Service Performance in Nuclear Power Plants –2018 Materials Performance Under Extreme Conditions– (MSPNP 2018), 出席・講演
- ・2018 中国 北京, China Institute of Atomic Energy (CIAE), CIAE 特別講演
- ・2018年9月 中国 四川大学, International Advisory Board member:(外部諮問委員)会議出席
- ・2018.10月 中国 深圳市, a member of 深圳市 expert advisory committee
- ・2018年10月 中国 北京, Chinese Academy of Engineering, 5th International Forum on Testing & Materials (IFTM' 2018) 出席・講演
- ・2018年11月 中国 上海大学, SNPI Symposium:出席
- ・2018年11月 中国 北京科技大学, 能材料产业发展论坛暨技术研讨会, 核安全相关培训系列会议 出席・講演
- ・2018年11月 中国 Suzhou, Symposium on Safety Evaluation & Life Management of SSCs in Nuclear Power Plants 出席・講演
- ・2018年12月 ネパール カトマンズ, Second meeting of the HUC Thematic Working on DRR and Resilience 出席
- ・2019年1月&9月 中国 北京科技大学(USTB)との国際ジョイントラボラトリーワークショップ  
第3回中山大学開催(2019.1月)、第4回北京科技大学開催(2019.9月)出席・講演
- ・2019年2月 日本(京都) 原子力安全協会主催 第2回国際ワークショップ H30年度英知を結集した原子力技術・人材育成推進事業 日英ワークショップ 出席
- ・2019年3月 スイス Paul Scherrer Institute PhD 学生の博士論文審査委員会出席
- ・2019年3月 東北大学及びリヨン大学との共同研究プログラム ELYT ラボラトリーワークショップ 東北大学・鳴子開催出席
- ・2019年5月 中国 北京 ICG-EAC 2019-010 2019 Annual Meeting of the International Cooperative Group on Environmentally-Assisted Cracking of Water Reactor Materials 北京科技大学開催 出席
- ・2019年5月 中国 北京 International Conference on Silk-roads Disaster Risk Reduction and Sustainable Development 出席
- ・2019年7月 中国 四川大学 IDMR ワークショップに出席 講演
- ・2019年8月 中国 上海材料研究所主催シンポジウム 出席・発表
- ・2019年8月 韓国 Chonbuk National University, Jeonju ICHSEA2019(15th International Conference On The History Of Science In East Asia) 出席
  
- ・2019年8月 英国 TIC(Technology and Innovation Centre), University of Strathclyde で開催の Electrochem 2019 に出席し、UR. Evans Award を受賞・講演
- ・2019年 中国 上海国際会議中心, IEID2019(International Forum on Innovation and Emerging Industries Development) 出席
- ・2019年10月 中国 上海, International Symposium on Material Service Performance in Nuclear Power Plant 出席・講演
- ・2019年10月 中国 上海, 上海大学一東北大学ジョイントシンポジウム 出席・講演
- ・2019年11月 日本 横浜, NACE International East Asia & Pacific Area (EAPA) Conference 出席・講演

- ・2020年1月 中国 上海, International Symposium on Engineering and Technology Research of Nuclear Power Equipment (TRNPE) 出席・講演
- ・2020年4月 中国 上海, Shanghai Forum on Frontier Materials: 2020 Springs 出席・基調講演 (On-line)
- ・2020年10月 中国 上海, International Workshop on Material Service Performance in Nuclear Power Plants (MSPNP) 2020 Multiscale Characterization 出席・基調講演 (On-line)

<米澤利夫シニア・リサーチフェロー>

1. 2010年4月～2019年8月 Finland Aalto 大学の H.Hanninen 教授研究室 Ni 基合金及び炭素鋼の高温割れに関する共同研究
2. 2017年10月～2019年9月 米国カリフォルニア州立大学 Davis 校の M.R.Hill 教授研究室 応力解析に関する共同研究
3. 2017年12月～2020年4月 英国 University of Manchester の G.Burke 教授研究室との X 線 Tomography を用いた Cavity 量の定量評価に関する共同研究
4. 2018年5月 韓国原子力研究所(KAERI)での 招待講演、Dr. H.P.Kim らとの技術情報交換会議他
5. 2018年7月 英国 Imperial College of London の K.Nikbin 教授研究室との「Creep Damage & SCC」に関する情報交換
6. 2018年9月 Finland VTT Technical Research Center of Finland の Dr.U.Ernstern らとの情報交換会議
7. 2018年9月 France CEA の Dr.D.Ferron らとの情報交換会議
8. 2018年12月 Westinghouse R&D Center の Dr.R.Jacko らとの情報交換会議
9. 2019年5月 台湾 高雄大学 C.M.Kuo 教授らとの情報交換会議
10. 2019年8月 Vietnam VINATOM T.C.Thanh 所長らとの情報交換会議
11. 2020年5月 Swiss Paul Scherrer Institute の Dr.H.P.Seifert らとの On-Line による情報交換会議

### 《開発研究の進捗状況に関するコメント》

下記の課題について、概念設計・詳細設計を指導し、試作・性能評価を実施している。

<1. 除染・除ウイルス>

過酷事故対策の一つである火山灰対策技術として開発した吸気型管群の性能を踏まえて、より一般的な汚染空気の清浄化システムの開発を除ウイルスにも展開し、災害時の避難場所における新型ウイルス感染リスクの低減設備開発に着手し、可搬型大容量汚染空気清浄化システムの開発を進めており、中小企業と2年を目途に製品開発を目指している。

<2. 放射性廃棄物減容>

基本的なシステム設計は完了しており、実用化に向けての具体的課題解決に向けた検討を進めている。課題として、システムとしての熱収支並びに Cs の固気液への分配、特に排ガスに含まれる Cs 濃度とその吸収について研究を進めている。

<3. リスクベースの設備管理>

当初より計画していた加工硬化オーステナイトステンレス鋼の環境助長割れ感受性発現機序の解明と対策に関する研究(SMEtana 共同研究)については、当初の目標を上回る成果が得られ、想定した水素誘起感受性発現機序の妥当性が検証され、加圧水型並びに沸騰水型原子力発電所の1次系圧力壁構造材料として、冷間加工を受けた状態でも環境助長割れ耐性に優れた3XX 系ステンレス鋼の開発に成功した。2021年度以降は、化学組成の最適化を目指した共同研究を継続する予定である。

さらに、本サブテーマにおいては、事故時の安全機器の安定稼働に不可欠な非常用電源の火山灰対策の吸

気型スクラバーの開発を進め、要求性能を達成し、本格的な実用設備の開発に向けて、電気事業連合会の共同研究テーマとして開発が進められる事となった。

火力については潜在的な材料劣化モードを抽出し、その対策を目指した研究に移行し、本プロジェクト期中に実用対策案を提案する予定である。

高圧水素容器の材料・製法開発については、所定の成果をあげて、製品化へ移行し、共同研究は終了した。

期中に新たな共同研究が5件、開始し具体的な実用的課題の解決に向けた研究を推進している。特に発錆した社会インフラの長期信頼性向上を目指した上塗り耐食塗料の防錆機序の解明が進み、長期的なリスク管理に重要な指針が得られることが期待される。

#### <4. 次世代機器信頼性向上>

リスクベースの設備管理の究極は、リスクが限りなく低い機器・設備の設計であり、次世代機器信頼性向上は、NICHe におけるこれまで培われてきた経験・ノウハウ・知見並びにそれらが体系的に整理されたリスク機序の明示と対策によって実現される。その究極的対策が機序に基づいた対策材料開発である。Ni 基合金ならびに炭素鋼の高温割れ、TT690 合金、BWR 炉内構造物 SCC 感受性、USC 火力機器用耐熱合金などの各研究サブテーマの共同研究はそれぞれほぼ予定通りの進捗であり、特に USC 機器用鉄基耐熱合金の開発に関する研究では国際学会・学術誌発表 3 件、並びに国内鉄鋼協会誌の巻頭記事 Techno Scope にて紹介されるなど、優れた成果が上がっている。

何れの課題においても、独創的な発想に基づいた合理的実用的課題解決に有用な成果が得られており、その全体的進捗をリードしている。

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

### II-1. 民間企業への技術移転進捗状況について

#### (1) 民間企業への技術移転件数

	2018年度	2019年度	2020年度
①開発研究成果が特許権又はその他の知的財産権(受ける権利を含む)の実施許諾あるいは譲渡によって民間企業へ技術移転された件数(うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業への技術移転件数)	0件 (件)	2件 (0件)	0件 (件)
②①以外の形での民間企業への技術移転件数(同上)	0件 (件)	0件 (件)	0件 (件)
③上記の①又は②の中で「新産業分野 <sup>注2)</sup> 創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数(同上)	0件 (件)	0件 (件)	0件 (件)

<sup>注1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

<sup>注2)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。

#### (2) 民間企業への技術移転による商品化

①開発研究成果が「商品」として実現したものを記入。企業により結果として商品化されたものを含みます。

時期/予定時期	企業・組織名	活動内容
2019年度	高圧ガス工業(株)	水素貯蔵用圧力容器の製品化

### II-2. 発明、特許権、その他の知的財産権の状況について

#### (1) 特許権の出願・登録状況

	2018年度	2019年度	2020年度
① 発明件数	0件	1件	0件
② 特許権出願件数	0件	2件	0件
特許権出願件数のうち国内	件	2件	0件
特許権出願件数のうち国外	件	件	件
②のうち特許権の審査請求済件数の累計(請求予定期数)		累計2件(予定期2件)	
特許権登録件数		件	
上記の①又は②の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数プロジェクト期間の累計			

<sup>注1)</sup>①発明件数とは大学に届け出た件数のことを指します。

## <特許>

出願・取得済みの特許は、総数 5 件であるが、その代表的なものは以下のとおりである。

出願番号	発明者	出願人	国内申請		国外申請またはPCT		
			出願日	登録日	国名 PCT	出願日	登録日
2016-022980	庄子哲雄 小川和洋 市川裕士 福地真也 大谷光平	国立大学法人東北大学	H28.2.9	R1.11.29			
2017-208693	庄子哲雄 高木祐	国立大学法人東北大学 HK テクノロジ一株式会社	H29.10.29	R1.5.17			
2019-505772	庄子哲雄	国立大学法人東北大学	H30.2.7	R2. 出願審査請求予定	PCT/J P2018/ 004254	H30.2.7	
2019-087904	庄子哲雄 高木祐	庄子哲雄 HK テクノロジ一株式会社	R1.5.7		PCT20 0648	R2.5.7	
2019-090216	*1	*2	R1.5.10				

備考 :

\*1: 竹田貴代子、庄子哲雄、ダスニシス クマール、徐健、ジョン シアンユ、國谷治郎、諸井睦、佐々木良太、田附匡、熊野秀樹、伊藤圭介、崎間公久、名越康人、大木俊、末石裕一郎

\*2: 新日鐵住金株式会社、国立大学法人東北大学、関西電力株式会社、東北電力株式会社、中部電力株式会社、三菱重工業株式会社、東京電力ホールディングス株式会社

(公開日:令和2年11月19日(特開2020-186423))

## II-3. 論文・著書・学会等発表の状況

### (1)プロジェクトの開発研究成果

(論文・表彰などの研究成果に関する実績。プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①論文・著書数	17 件	13 件	21 件
②論文・著書の引用数 (プロジェクトリーダーが必要と判断した場合にのみ記載)	42 件	8 件	8 件

## <研究論文>

発表した論文は、総数 51 編であるが、その代表的なもの(10 編)は以下のとおりである

### 「リスクベースの設備管理」

1. Zihao Wang, Jian Xu, Yoichi Takeda, Tetsuo Shoji, Yasuaki Watanabe, Mitsuo Yamashita, Sakae Izumi, "An electrochemical method for detection and quantification of Laves phase in 12Cr martensitic stainless steel", Corrosion Science, Vol. 135 (2018), 215–221.
2. Tongming Cui, Jiarong Ma, Fei Ning, Zhanpeng Lu, Kun Zhang, Yibo Jia, Tetsuo Shoji, "COUPLING EFFECT OF CHARGED-HYDROGEN AND COLD WORK ON OXIDATION BEHAVIOR OF 316L STAINLESS STEEL IN DEAERATED HIGH TEMPERATURE WATER", Proceedings of 19th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems – Water Reactors, EnvDeg 2019, August 18–22, 2019, Boston, MA, 810–823.
3. Xiangyu Zhong, Fethi Hamdani, Jian Xu, Tetsuo Shoji, Tadashi Tatsuki, Jun Morii, Wakako Sasaki, Yasunori Ishii, "Effects of dissolved oxygen on the oxide scales formed on ferritic-martensitic steel T12 exposed to supercritical water", Corrosion Science, Vol. 167 (2020), 108516.
4. 庄子哲雄、Xiangyu Zhong、國谷治郎、100%シリコーン樹脂塗料の長期耐食性機構に関する研究(第1報)  
—40年間海岸大気暴露実構造体の塗膜調査—、材料と環境 2020 講演集(2020)、55–58.

### 「次世代機器信頼性向上」

5. Yida Xiong, Yuyatake Watanabe, Yuki Shibayama, Nicolas Mary, "Effects of 100 ppb dissolved oxygen on low-cycle fatigue behaviors of 316LN austenitic stainless steel in borated and lithiated high temperature water and mechanism behind these effects", Corrosion Scienece Vol. 168 (2020), 108567.
6. Xiong, Y., Watanabe, Y., Shibayama, Y., "Effects of dissolved hydrogen on low-cycle fatigue behaviors and hydrogen uptake of 316LN austenitic stainless steel in simulated pressurized water reactor primary water", International Journal of Fatigue, Vol. 134 (2020), 105457.
7. Xiangyu Zhong, Shuang Xia, Jian Xu, Tetsuo Shoji, "The oxidation behavior of 316L in simulated pressurized water reactor environments with cyclically changing concentrations of dissolved oxygen and hydrogen", Journal of Nuclear Materials, 511 (2018), 417–427.
8. Xiangyu Zhong, Zihao Wang, Fethi Hamdani, Jian Xu, Nishith Kumar Das, Yoichi Takeda, Tetsuo Shoji, "Aging Degradation Characteristics and Long-Term Performance of Structural Materials for Energy Conversion Systems", CORROSION, Vol. 75, Issue 3 (2018), 254–266.
9. T.Amaya, T.Yonezawa, K.Ogawa, M.J.Peltonen, H.Hanninen : "Solidification Cracking Mechanism of Carbon Steel Weld Metal", Welding Journal, 97, (2018), pp.55-s – 64-s.
10. T.Yonezawa, M.Watanabe, A.Hashimoto, M.D.Olson, A.T.DeWald, M.R.Hill : "Effect of Strain Hardened Inner Surface Layers on Stress Corrosion Cracking of Type 316 Stainless Steel in Simulated PWR Primary Water", Metallurgical and Materials Transactions A, 50, (2019), pp.2462–2485.

## <著 書>

編集・著作した書籍は、総数 2 冊である。

(2)学会等発表の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①国際学会等	11 件	11 件	4 件
②国内学会等	1 件	1 件	3 件

<招待講演>

① 国際学会等 総数 23 件(\*主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	場所(国、都市)	期日
渡邊 豊	Material Factors in Flow Accelerated Corrosion of Carbon Steel	2019 International Corrosion Engineering Conference	Incheon, Korea	October 13-17, 2019
渡邊 豊	Effect of Cr and role of Cr carbides on PWSCC susceptibility of Ni based Alloys in simulated PWR primary water	International Symposium on Material Service Performance in Nuclear Power Plants 2019 - Intelligent Monitoring and Reliability Assessment-	Shanghai University (China, Shanghai)	Oct. 28-31, 2019
庄子哲雄	Mechanics and Mechanisms of Stress Corrosion Cracking – Role of hydrogen as all-round player	ICorr CSD and CED meeting at Electrochem 2019, UR Evans Award Lecture	Strathclyde University (UK, Glasgow)	August 26-28, 2019
庄子哲雄	Role of Hydrogen in Oxidation and SCC in Water – Mechanics and Mechanisms	NACE International East Asia & Pacific Area (EAPA) Conference	Pacifico Yokohama (Japan, Yokohama)	November 11-14, 2019
庄子哲雄	Development of SCC Resistant Austenitic Stainless Steels for LWR Application with a Special Emphasis on the Role of Hydrogen	Shanghai Forum on Frontier Materials, SHMat 2020 Spring	On line	April 28, 2020

② 国内学会等 総数 2 件(\*主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	期日
米澤利夫	金属材料の表面改質の為の各種のピーニング法について		2018 年 7 月 17 日
庄子哲雄	多様な水素関与現象と有力な支配過程	構造物の強度信頼性ワークショップ 腐食防食協会講演会は開催中止となり、講演集が発刊され公表となつた。	2019 年 9 月 2 日

## II-4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について

### (1) 各種表彰・受賞の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

総数 2 件

期日	受賞者名	主催者・賞名	理由
2019.8	庄子 哲雄	英國腐食学会 /Institute of Corrosion, UK ・ U.R. Evans Award	腐食分野で国際的に卓越した成果を上げたため
2020.5	庄子 哲雄	International Corrosion Council (ICC) ・ Marcel Pourbaix Award (新型コロナの影響で、受賞式は 2021 年 7 月に延期)	金属腐食分野における国際協力への卓越した貢献が認められたため

### (2) 新聞報道等の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで

総数 2 件

1. 庄子哲雄, Fethi Hamdani, “超高純度鉄基耐熱合金の開発”, 一般社団法人 日本鉄鋼協会会報「ふえらむ」 Vol.23, No.8, 2018  
”超高純度鉄の可能性を見究める”, 一般社団法人 日本鉄鋼協会会報「ふえらむ」Vol.23, No.8, 2018, 卷頭記事、藤井美穂(株式会社ピー・アール・オー)取材・文

### 《開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメント》

本プロジェクトで推進されている課題の多くは、課題解決型及びニーズ対応型の企業との共同研究であり、加えて、国からの政策課題解決型あるいは長期的人材育成型受託事業であり、その成果は、社会・経済・産業へ還元されるものである。

具体的には、それぞれのサブテーマの進捗状況報告において記したように、それぞれのサブテーマにおいて、開発段階から実用化に向けた試作・製品化段階に進展しており、一部は成果を踏まえて製品化に至ったものもある。実用化に向けては、例えば、高性能大流量小差圧火山灰除去設備の課題は業界としての共同研究として取り上げられ、原子力発電所の過酷事故対応設備として広く実用化される可能性が高い。あるいは、環境助長割れ感受性低減ステンレス鋼の開発は、実験室的には、その性能が確認され、感受性抑制機序の妥当性が認められており、次年度以降具体的対象を絞って次の段階に進展する。いずれの課題においても、原理原則に基づいたリスク低減策の妥当性が検証され、機器の詳細設計、試作、製品化に向けて着実に進捗しており、また、材料あるいは防錆塗料については、実用化に向けた実証試験に移行するなど、全ての課題において、着実に社会・経済・産業への還元に至る道筋が見通せており、本プロジェクト期限内で、具体的な還元を達成できる見通しである。

大学発ベンチャーの立ち上げについては、3年目を目指して立上げを予定していたが、昨今の新型コロナウイルス感染拡大を受けた交流抑制により進捗が遅れているが、米国発ベンチャー企業に協力する形で、目的としているコンサルティング・ソリューション・人材育成を担う大学発ベンチャーとしての内容の充実を図っており、TKC に相談を始めている。

### III. プロジェクトの研究費の実績

#### (1) 研究費の推移(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

		2018 年度	2019 年度	2020 年度
民間からの資金	件数	9 件	15 件	9 件
	金額(百万円)	83.58 百万円	94.63 百万円	92.52 百万円
国からの資金	件数	0 件	0 件	1 件
	金額(百万円)	百万円	百万円	13.85 百万円

#### (2) 主要な獲得プロジェクト・共同研究等(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

1. TT690 合金の PWR プラント寿命末期までの信頼性評価に関する研究 98,400,000 円  
「次世代機器信頼性向上」 共同研究 (2018 年度-2020 年度)
2. 加工硬化オーステナイトステンレス鋼の環境助長割れ感受性発現機序の解明と対策に関する研究 (Smetana) 90,555,558 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2018 年度-2020 年度)
3. 原子炉構成材の腐食に関する研究 18,506,000 円  
「次世代機器信頼性向上」 共同研究 (2018 年度-2020 年度)
4. 軽水炉保全高度化を担う俯瞰的リスク評価能力と材料専門性を兼ね備えた技術者の育成 13,851,550 円  
経済産業省資源エネルギー庁委託原子力の安全向上を担う人材の育成事業(2020 年度)  
「リスクベースの設備管理」
5. シュラウド溶接部における SCC 感受性評価 13,245,400 円  
「次世代機器信頼性向上」 受託研究 (2018 年度-2020 年度)
6. 油圧ショベル溶接構造物における高温割れの対策の確立 7,536,540 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2018 年度-2019 年度)
7. 石炭火力ボイラーの水冷壁管における酸化皮膜に関する研究 9,979,200 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2018 年度-2020 年度)
8. 酸素処理法適用ボイラーにおけるパウダー状スケールに関する研究 6,600,000 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2019-2020 年度)
9. ガードペイントの長期耐食性機構に関する研究 6,000,000 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2019 年度-2020 年度)
10. 水素ステーション蓄圧器用材料の水素脆性並びに水素割れ感受性の評価 5,000,000 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2018 年度-2019 年度)

#### <<研究費に関するコメント>>

2021 年度以降、下記の研究費について受入れを予定している。

1. 原子炉構成材の腐食に関する研究 15,391,000 円  
「次世代機器信頼性向上」 共同研究 (2021 年度-2022 年度)
2. ガードペイントの長期耐食性機構に関する研究 3,000,000 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2021 年度)
3. き裂内水質計測に関する研究 2,739,000 円  
「リスクベースの設備管理」 共同研究 (2021 年度)

4. ステンレス鋼の熱時効挙動に関する研究 金額未定

原子力規制庁

「リスクベースの設備管理」

## IV. 当初計画を越える展開等やそれによる成果について

### (1) 当初計画になかった新たな展開について

1-1 5.で述べたように、本プロジェクトが始まった以降にも中小企業を中心に共同研究等の申し込みが相次ぎ、グループとしての遂行キャパシティ内で新たな展開となる新規課題の受け入れを行って来た。特にリスクベースの設備管理に関わるテーマとして、原子力発電所における過酷事故対策として、事故と火山噴火が重畠して生じた場合の非常用電源への火山灰混入による機能喪失を避けるためのスクラバー型火山灰除去設備の開発が進み、この高性能な大容量空気清浄機能を細菌・ウイルス等の除去も可能性として考えられ、災害時の避難所等における集団感染のリスクの低減策として上記高性能スクラバーの検討を新たな社会的要請に対応する新たな展開として共同研究を始めた。具体的には、多種多様な汚染空気の大容量清浄を可能にするスクラバーシステムの開発として兵庫県 COE 補助事業に採択され、中小企業と共同で研究開発を開始した。

原子力安全に資する産業界人材の養成に関しては、2020 年度から 5 年計画で取り組むべく、経産省資源エネルギー庁からの 2020 年度委託事業(契約手続き中)が「長期的視野に立った俯瞰的リスク評価能力と材料専門性を兼ね備えた人材育成」を目的として開始される。並行して、原子力規制庁とは、規制人材の研究力向上を目的とした共同研究を 2020 年度から開始する予定で計画書を共同作成中である。

又、本学の廃炉センターを母体として申請(研究代表者 渡邊 豊)した、廃炉関連の文部科学省事業「 $\alpha/\beta/\gamma$  線ラジオリシス影響下における格納容器系統内広域防食の実現:ナノバブルを用いた新規防食技術の開発」が 3 年計画で採択されたものであるが、本課題については、社会的要請の高い解決が急務な課題として申請し、採択されたものであり、NICHe の本プロジェクトも、その一部を担い、社会的要請に応える。

リスク低減新規課題として、発錆して経年劣化の加速が危惧される多様な社会インフラ、例えば橋梁・高速道路支柱の対策として、発錆後の構造体に上塗りして錆の進行を抑制できる塗料の防錆機序について基礎的研究を開始し、錆層を含む金属と塗料界面での物理化学的反応について計測と評価を行い、進行錆の抑制機序について見通しを得た。今後、その機序に基づいたより効果的な防錆塗料及び防錆手法の開発を進め、経年劣化構造体のリスクベース設備管理手法を提案する。同様なリスクベース設備管理としての潤滑剤添加剤の省エネ・減騒音効果についても期中設定課題として取り上げた。同様に摺動面での現象把握を終え、摺動面の損傷機序に基づいた新たな潤滑油添加剤の開発に展開している。以上、新規課題は、新たな社会情勢によりもたらされる新規展開としての対応である。

また、NICHe の外での取組であるが、NICHe での活動を通じて培った、潜在的なもの含め企業のニーズや課題を捉え解決に向けた対応を的確に行っていくといった産学連携の経験・ノウハウ、知見を活かし、我が国 1F 廃炉研究開発コミュニティの一員としての活動として、CFReND において産側との共同研究部門を本年 4 月に立ち上げている。

### (2) 成果の基礎研究やプロジェクト等への寄与について

本プロジェクトにおいては、全ての課題について、その課題解決に向けての研究手法・手段・体制について原理原則に基づいた研究手法の概念設計を出発点として共同研究を推進し、社会的に要請の高い解決すべき課題について取り組んでいる。従って、課題解決のために必要とされるデータや知識については新たに取得すべき研究が必要になる場合があり、基礎研究のさらなる掘り下げと、その成果と既存の知識との融合による新たな知恵の創出が不可欠である。本プロジェクトにおいては、例えば、

・高性能小型大流量吸気型スクラバーによる除塵・除ウイルスには、機械設計・システム設計・細菌/ウイルスに

に関する総合的な知見の集積(除染・除ウイルス機器の開発)

・実火力発電プラントにおける超臨界水蒸気環酸化特性評価と最適酸化スケール除去剤・手法の開発(リスクベースの設備管理)、

・インフラ構造物の塗膜下発錆済み錆の防錆に係る新たな作用機序の解明を通じた新規防錆塗装の開発(リスクベースの設備管理)や、摺動面の自己修復機序に着目した新規潤滑油添加剤の開発

・Ni 基合金ならびに炭素鋼の高温割れの解明の国際共同研究成果及びその成果の国際会議・学術誌発表(次世代機器信頼性向上)、

超臨界水蒸気環境下で優れたクリープ強度並びに耐水蒸気酸化性に優れた超高純度鉄基耐熱合金の開発(次世代機器信頼性向上)、

等を挙げる事が出来る。

・このように、本プロジェクトでは、知識の創出と融合により学際的な課題や実用的な課題解決さらには挑戦的な課題解決に向けた産学連携が有機的に推進されており、大学における基礎研究の深化と企業の課題解決さらには、幅広い知識と課題解決の手法を学んだ人材の育成に大いに貢献している。

### (3) 本プロジェクトによる人類への貢献、社会的意義等について

人類が内包する多様なリスクを、プロアクティブに抽出し、その生起度と、それが生じた場合の影響度を推定し、いわゆるリスクの大きな課題を中心にプロジェクトを推進しており、エネルギー分野、社会基盤分野などの人類にとって不可欠な産業分野における安全・安心の維持・向上に貢献する。学術的基盤に基づき、原理原則、るべき姿を標榜した研究手法は、必然的に社会にとって必要・不可欠な成果をもたらす事となり、その社会的意義は極めて大きい。

## V. その他

### (1) NICHe プロジェクトとして主張したい成果

全ての課題において、その課題解決に向けての研究手法・手段・体制について原理原則に基づいた研究手法の概念設計を出発点として共同研究を推進し、社会的に要請の高い解決すべき課題について取り組んでいる。それぞれのサブテーマにおける成果は、既に述べたとおりであり、次世代に向けたリスクベース安全・安心社会基盤の構築プロジェクトとして多様な課題について多様な手法・手段でリスクを低減させる課題に取り組んでいる。

### (2) 自己評価

既に開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメントにおいて述べたように、本プロジェクトで推進されている課題の多くは、課題解決型及びニーズ対応型の企業との共同研究であり、加えて、国からの政策課題解決型あるいは長期的人材育成型受託事業であり、その成果は、必然的に社会・経済・産業へ還元されるものである。

具体的には、それぞれのサブテーマの進捗状況報告において記したように、それぞれのサブテーマにおいて、開発段階から実用化に向けた試作・製品化段階に進展しており、一部は成果を踏まえて製品化に至ったものもある。実用化に向けては、例えば、高性能大流量小差圧火山灰除去設備の課題は業界としての共同研究として取り上げられ、原子力発電所の過酷事故対応設備として広く実用化される可能性が高い。あるいは、環境助長割れ感受性低減ステンレス鋼の開発は、実験室的には、その性能が確認され、感受性抑制機序の妥当性が認められており、次年度以降具体的な対象を絞って次の段階に進展する。いずれの課題においても、原理原則に基づいたリスク低減策の妥当性が検証され、機器の詳細設計、試作、製品化に向けて着実に進捗している。また、材料あるいは防錆塗料については、実用化に向けた実証試験に移行するなど、全ての課題において、着実に社会・経済・産業への還元に至る道筋が見通せており、本プロジェクト期限内で、具体的な還元を達成できる見通しである。

中間評価時点までの研究活動の成果は、より深掘りした基礎的研究基盤の拡充と当初の予定以上の成果に基づき、製品化あるいは実用化に至る成果が期待できる段階まで来ており、着実に産業界への還元が実現できると評価している。

(最終年度のみ)プロジェクト継続の意思	有	無
---------------------	---	---



## 研究プロジェクト評価書面審査表(まとめ)

(研究プロジェクト評価書面審査委員氏名:◎ 後藤元信、保城秀樹、大島義人)

プロジェクト名	超臨界プロセス社会実装
プロジェクトリーダー名	阿尻 雅文

### I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

1. 開発研究の進捗状況(当初の開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況)	<p>(優れている点)</p> <p>分散制御プラットフォームの構築に関しては、粒子分散・凝縮現象を相挙動として捉える新規なアプローチによる新しい化学工学熱力学の学術基盤が出来つつあり、論文発表も順調に進んでいる。そのための材料・プロセスライブラリ作製とその場分析による材料探索・プロセス解析のためのコンビナトリアル水熱合成システムが構築できている。その有効性が金属ドープ CeO<sub>2</sub> ナノ粒子で示された。</p> <p>大型産業プロセス開発に関しては、東北大学発ベンチャーの会社との共同研究が機能しており、量産プロセスの設計・制御が進み、大型装置の基本設計法がほぼ確立した。炭化水素改質、水素製造、ケミカルリサイクルなどのナノ材料の応用分野の研究開発も共同研究により順調に進んでいる。技術アセスメントも進んでおり、本プロジェクトの技術の SDGs への貢献が明らかになりつつある。</p> <p>次世代インキュベーションに関しては、巨大な低温酸素貯蔵能力を有する酸素キャリアの開発とそれを利用した低温メタン改質プロセスの開発が順調に進んでいる。高い酸素貯蔵放出能の機構解明に加えケミカルループリアクターの実証試験に至るまで進んでおり、次世代社会創成の基盤技術として期待される。</p> <p>2018 年からの研究で、具体的に CeO<sub>2</sub> をナノ触媒として、酢酸、メタノール、ビチューメン、バイオマス廃液の改質が比較的低温で進行することを見出し、SDGS が求められる社会ニーズに合致した成果が得られており、また環境を配慮した取り組みがなされていることは高く評価される。大型産業プロセス開発、プラットフォーム機構構築、コンソーシアム活動推進、インキュベーションと産官学の役割を意識して計画を策定されており、実現すれば、日本学術界のみならず産業界にもインパクトを与えることが囁かれる。</p> <p>超臨界技術の迅速な社会実装と技術・成果の発信を目標に掲げ、幅広い具体的テーマにおける実証を通じて、学術的シーズと社会的ニーズを結びつける成果を着実に挙げている点で、極</p>
---------------------------------------	---

	<p>めで順調に進捗していると評価できる。本プロジェクトによって産学連携による技術基盤が確立することは、当該分野の発展に大きく寄与する点で、波及効果も大きい。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>大型産業プロセス開発に於いて、どこまでがベンチャー企業（株式会社スーパーナノデザイン）で進め、それ以降の事業拡大をどのように進めるかのスキームが見当たらず、将来像が見えにくい。</p> <p>コンソーシアムは、本来、材料企業、加工メーカー、大学（共同研究とプラットフォーム）、製品メーカー、システム等異業種集団を含めた事業集団であり、本研究の関連企業の集団では新規事業は果しえない。前回のコンソーシアムを参考に構築はあるが、新たなメンバーの選出、コーディネートが必要であると判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>コンソーシアム活動に関して、企業の知見の組み込みなど障壁も予想されるが社会実装のために重要な部分と考えられるため、拡張した新コンソーシアムの構築が順調に進むことが期待される。</p> <p>大型産業プロセス開発については、10年後、20年後を目指した国内外事業を予想し、中長期期判断から有るべき大学ベンチャー企業の役割を決めることが望まれる。</p> <p>コンソーシアムは、出口のビジネスをどのように考えるかで企業メンバーが変わるため、具体的な出口を早急に出して（新型コロナ対策、SDGS環境CO<sub>2</sub>削減等）準備を早める必要があると判断される。</p> <p>本プロジェクトによって得られる成果を、より普遍的な形で整備・発信されることによって、超臨界技術の幅広い社会実装の加速が期待される。データベースとしての充実のほか、技術を支える学理としての探求を、さらに推し進められることが望される。</p>
<p><b>2. 研究者の育成状況</b>            (各種研究員の受け入れ・            国際交流の状況等を含む。)</p>	<p>(優れている点)</p> <p>研究分担者の若手メンバーに加えて多くの共同研究員が関わっているうえに、その他の分野の研究者が多く連携し、民間等の研究員の受け入れも多くあり、研究者育成に貢献している。国際交流は積極的に行われている。今年度はCOVIDのため、国際交流には大きな困難があるが、この状況下での交流の工夫が期待される。</p> <p>国際学会での招待講演や海外研究者との活発な交流実績な</p>

	<p>ど、国際交流は非常に積極的に進められていると評価される。また、数多くの優れた論文や特許、国内外の学会発表等の機会を通じて、人材育成にも積極的に取り組んでいる姿勢が窺える。</p> <p>Rutgers 大学、カールスルーエ大学、ボルドー大学から学生、研究員の受け入れと同大学らに東北大学生を派遣しており、国際交流も進めているので、特に問題はない。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>プロジェクト開始からの年数が短いためやむを得ないところはあるが、学位取得者（特に博士）の数が必ずしも多くない点は、研究者育成の観点で改善が期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>本研究に関連して社会人・留学生を含めて博士号取得者が増えることが期待される。</p> <p>特に問題はないが、本研究は世界的に見ても先頭を走る技術と判断されるが、海外に於ける本研究の評価の記載が少なく、海外研究・事業展開に関するビジョンが望まれる。</p> <p>引き続き、当該分野をリードする若手の研究者育成に力を入れて頂くことが期待される。</p>
総括 I  上記1.～2.までの評価に基づき当初の開発研究計画の進捗状況を中心に評価して下さい。	<p>(優れている点)</p> <p>分散制御プラットフォーム構築については、順調に進展しており、コンビナトリアル水熱合成システムも稼働しており、新規な学術基盤となることを熱望する。</p> <p>大型産業プロセス開発に関しては、東北大学発ベンチャーの会社の関与などにより大型装置の基本設計法がほぼ確立するなど順調に進んでいる。</p> <p>次世代インキュベーションに関しては、新規で優れた酸素キャリアの開発とその応用プロセスの開発が順調に進んでおり、次世代社会創成の基盤技術として期待される。</p> <p>研究者の育成状況も問題なく、国際交流も順調である。</p> <p>阿尻教授が紫綬褒章を受章されたこと自体が、産官学全体での研究成果と産業界への貢献が認められたと考えてよい。このスキームで 2022 年まで着実に計画を進めることができると期待される。</p> <p>設定されている 4 つの大きな柱のそれぞれについて、幅広く顕著な成果を挙げており、当初の目標は十分に達成していると評価される。産学連携による技術基盤の確立を通して、当該分野の発展に大きく寄与する点で、波及効果も大きい。人材育成や国際交流についても非常に積極的に進められている。</p>

	<p>(不十分な点)</p> <p>スケジュールに対して、誰がどの分担を担っているかが見えにくいため、プロジェクト毎に人名を記載することが望まれる。</p> <p>博士号の取得者数などに多少の改善が期待されるものの、現段階での進捗状況として不十分な点は特に見当たらない。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>本技術の世界的な展開のためにも留学生を含む博士号取得者が増えることが望まれる。</p> <p>関連企業何社とどのようにプロジェクトを推進しているのかが見えにくい。</p> <p>データベースとしての充実などを含め、当該分野の発展に必要となる基盤情報が普遍的な形で整備されるとともに、超臨界技術を支える学理としての探求をさらに推し進められることが望まれる。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①. 大変良い</li> <li>2. 良い</li> <li>3. 普通</li> <li>4. やや不十分</li> <li>5. 不十分</li> </ul>
--	--

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

<p><b>1. 民間企業への技術移転進捗 状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>東北大学発ベンチャーの株式会社スーパーナノデザインが2018年に設立され、本プロジェクトと連携し、事業拡大を続けていることは特筆すべき事項である。</p> <p>技術移転を目的とした予算がJSTやNEDOで採択されて進行中であり、順調に技術移転を目指した研究開発が進んでいる。</p> <p>これまで12年間にわたるNICHeプロジェクトで遂行されてきた超臨界水を反応場とする様々な新規反応プロセスは、バイオマス変換、重質油改質、有機無機ハイブリッドナノ粒子合成に幅広く利用されている。既に、国内電子メーカー、大手素材メーカー、光学材料メーカーなどに、ベンチャーを通じて製品試作やサンプル提供しており、超臨界材料技術やそれにより創出された新材料の導入が実用段階に入っており、2018年10件、2019年5件、2020年5月まで5件と民間への技術移転がなされており、大いに評価される。</p> <p>本プロジェクトの目的に鑑みて、実用化を積極的に希望する企業との共同研究を通じた連携が前提となって進められており、技術移転の促進に関する取組は高く評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>卑金属で水素発生電源やナノ窒化ホウ素による放熱シートの新聞記事があるが、より企業等との成果を様々な形で外部発表することが望まれる。本研究の潜在的な可能性は、材料開発やMEMSに限らず、昨今の新型コロナ等医療分野、SDGs関係の環境や災害対策、CO<sub>2</sub>削減等環境対策等様々な用途に広がる可能性を秘めている。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>次世代インキュベーションや新設予定の新しいコンソーシアムによる技術移転が期待される。</p> <p>本プロジェクトで得られた知見を活かし、アウトプットとして具体的な実用化・事業化例がさらに増えることが期待される。</p> <p>この技術でどのようなものが、そしてどのような機能が得られるかの基本的なデーターの開示をもっと幅広く行うことで、実用化の幅が広がる。プラットフォーム構築は、企業技術移転の重要な試みであるが、過去の基本的な情報の開示と、今まで阿尻研で研究されていた事、世界中でどのような超臨界技術によって機能性ナノ材料が開発されて来たかのデータベースを</p>
--	--

	きっちり構築することが、第一歩であると考えられる。
2. 発明、特許権その他の知的財産権の状況について	<p>(優れている点)</p> <p>2018年1件、2019年1件、特許総数15件と件数は少ないが、いずれも超臨界方法による有機物修飾ナノ粒子の製造方法に関する基本特許を押さえている。</p> <p>各知財の内容の詳細は記載されていないが、件数的には着実に成果が挙げられており、特に出願・取得済みの特許総数15件は際だった成果であると評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>アプリケーション（用途特許）の企業との共同出願が少ないと判断される。超臨界技術全体の国内外の知財マップが見えないので、企業は開発すれども既に特許で抑えられていないか心配である。知財マップの充実が望まれる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>重要な特許はこのプロジェクト以前に取得されているように思うが、特許出願が毎年1件で、やや少ないと判断される。</p> <p>共同研究企業との知財戦略の充実、共同研究の当初から単独出願を抑え、共願に於いても相手企業の独占にならず、使用ジャンルを特定、優先権の期間を限定する等のしづらを入れた知財契約書交換が必要であると判断される。</p>
3. 論文・著書・学会等発表の状況	<p>(優れている点)</p> <p>論文・著書 2018年12件、2019年11件、論文・著書引用は、2018年85件、2019年12件と申し分ない。</p> <p>論文・学会発表・著書の件数はいずれも多く、個々の発表内容とも著しく高い水準にあり、評価の高い学術雑誌に投稿されており、申し分のない成果であると評価される。</p> <p>ナノ材料の研究で重要な位置を占める電子顕微鏡による観察において、金属組織写真賞最優秀賞を受賞しており、本技術の波及につながると考えられる。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>特になし。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>国際学会での発表は毎年14件程度と多いが、国内学会での発表がやや少ないと判断される。コンソーシアムや技術移転を考えると国内でのPRも大切と考える。</p>

	<p>次世代インキュベーションにつながる新しいシーズの学術的展開が大いに期待される。</p>
<p><b>4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について</b></p>	<p>(優れている点)</p> <p>プロジェクトリーダーは極めて優れた受賞がある。紫綬褒章は素晴らしいが、ボルドー大学の Docteur Honoris Causa は日本人として非常に名誉なことである。</p> <p>阿尻教授の紫綬褒章受章は、化学工学会会長とは言え、其の研究成果を極めて高く評価された結果であり、最高の賞賛に値する。またこの若さで受賞されたことは、山中教授と同様に、今後の活躍が期待される。また、フランスボルドー大学で名誉博士号を受賞され、海外でもその業績が高く評価されている。</p> <p>紫綬褒章の受章に象徴されるように、極めて顕著な成果を挙げていると評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>研究成果に対する新聞報道が少ないと判断される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>このプロジェクトで若手研究者の受賞が増えることが期待される。</p> <p>5件の新聞報道があるが、紫綬褒章を除くと2件であり、優れた成果をもっと積極的にプレスリリースをしても良いと考えられる。</p> <p>超臨界やナノ材料自体が一般消費者にとって、異業種の人間にとって分かりにくい言葉であり、新聞記者も記載が難しい。分かりやすい言葉で出口として本技術によって何に貢献出来たかを明確にすれば、更に技術の幅が広がると判断される。</p>
<p><b>総括Ⅱ</b></p> <p>上記1.～4.までの評価に基づき、「新産業分野創出」に結びつく開発研究成果が出ているか（研究のアウトプット）、また現実に「新産業分野創出」<sup>注1)</sup>（研究成果に基づく産業活動のアウトカム）に結び付いているか、を中心評価して下さい。</p> <p><sup>注1)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。</p>	<p>(優れている点)</p> <p>東北大学発ベンチャーの株式会社スーパーナノデザインが設立され、本プロジェクトと連携し、事業拡大を続けているうえ、技術移転を目的とした予算がJSTやNEDOで採択されて順調に研究開発が進んでいることから「新産業分野創出」に確実に結びついている。</p> <p>本プロジェクトの成果により順調に論文発表が進み、それらが評価されプロジェクトリーダーの優れた受賞につながっている。</p> <p>デジタル化が進む現代の5G並びにポスト5Gで、低誘電損失、電磁波シールド、放熱材向けの製品として本技術はポテンシャルが高く、既に放電材料としての可能性が見えている。</p> <p>新規ナノ触媒の開発によって、炭化水素の水蒸気改質に於いて、150°Cと言う低温での酸素キャリア能が得られた。これは、</p>

	<p>高温超電導現象にも匹敵する新現象の発見である。巨大酸素貯蔵能キャリアを利用した廃プラスチックス低温、低CO<sub>2</sub>排出ケミカルプロセスの開発にも目途を得ており、SDGSへの大きな取り組みが見える。</p> <p>新産業分野創出に結びつく開発研究の観点からも、その基盤となる学術的研究成果においても、質・量とも非常に高い水準にあり、十分な成果を挙げていると評価される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>安全対策：ナノ材料は人体への影響が危惧され、其の安全面では製造時のみならず、加工時、使用時、廃棄物処理に於いても厳しい環境規制がある。産業分野創出のためにには、きっちりした安全対策が望まれる。</p> <p>品質管理：産業に移管するためには、ナノ材料の安定した品質管理が必要であり、その対策が見当たらない。ベンチャー会社でどこまでその品質管理を保証するか？企業との連携や専門家による診断も必要であると判断される。</p> <p>コスト：ナノ材料生産に於ける設備投資、運転コスト、人件費、ポットライフ（材料寿命）判断、競合品や他技術との比較も望まれる。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>若手研究者の受賞や大々的なプレスリリースが望まれる。</p> <p>大学の研究から産業界への移管に対して、死の谷を乗り越えるべく、しっかりしたコンサルタント或いはコンソーシアムを形成することが重要である。</p> <p>十分な成果を挙げており、社会実装基盤の確立に向けて、さらなる発展が期待される。</p> <p>評価：(○を付けてください。)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>①. 優れた研究成果を挙げ、かつ、「新産業分野創出」に結び付く評価を挙げている。</li><li>2. 優れた研究成果は挙げているが、「新産業分野創出」に結び付くには課題を残す。</li><li>3. 優れた研究成果を挙げているとは言えないものの、「新産業分野創出」に結び付く可能性は高い。</li><li>4. 研究成果は他に優れたとは言えず、「新産業分野創出」に結び付く成果も期待出来ない。</li></ul>
--	---

### III. プロジェクトの研究費の実績

総括Ⅲ  外部資金の獲得状況と、その資金が十分に活用されているかの観点から評価して下さい。	(優れている点)  それぞれの研究開発項目に関連する大型予算が獲得されており、十分な研究費が得られている。  社会実装を目指した研究開発のために資金が有効に活用されてたシステム開発、プロセス開発が進められている。  科研費基盤 S が研究進捗評価で A 評価を受けており、さらにその発展として文科省材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業に採択されていることからも研究開発が学理から社会実装に向かって順調に進展していること判断される。  それぞれの研究テーマに際して、文科省、科学技術振興機構、日本学術振興会から資金を得ており、基礎研究として充分に活用されていると判断される。  大型プロジェクトの獲得をはじめ、基礎から応用に至るまで優れた研究提案が多数採択されており、またそれらの研究費の活用によって十分な研究成果が挙げられていると判断される。  (不十分な点)  2018 年 3 件で一千万円、2019 年 1 件で一千万円と企業から資金を得ているが、業績の割に企業数並びにその額が少ないと判断される。  (改善のポイント)  具体的明細が無いので判断し難いが、東北大学及び大学間連携による基礎研究が主体であれば、理解し得る。
---	--

### IV. 当初計画を超える展開等やそれによる成果について

総括Ⅳ	(優れている点)  CeO <sub>2</sub> 系ナノ触媒に加えて、Fe-Zr 系酸素キャリアが開発され、ケミカルループリアクターの実証試験で 100%近いメタン転化が確かめられ、企業との連携で研究開発が進められている。  阿尻研究室で超臨界技術を始めて 10 年が過ぎて、その優位性や可能性が明らかになって来ており、具体的に超臨界水を反応場とする様々な新規反応プロセスが開発され、ベンチャー会社：株式会社スーパーナノデザインも設立された。2022 年に向けてプロセス開発、プラットフォーム構築、コンソーシアム組織化、インキュベーションの構築等社会実装基盤確立に向かって進んでることは評価される。そして、新規ナノ触媒の開発によって、炭化水素の水蒸気改質に於いて、150°C と言う低温で
-----	--

	<p>の酸素キャリア能が得られた。これは、高温超電導現象にも匹敵する新現象の発見である。巨大酸素貯蔵能キャリアを利用した廃プラスチックス低温、低 CO<sub>2</sub>排出ケミカルプロセスの開発にも目途を得ており、SDGSへの大きな取り組みが見える。</p> <p>酸化物イオン伝導現象に関する研究の展開は、次世代技術のシーズとしても大変興味深い。原理解明などの学術的検討とともに、本プロジェクトの目的である社会実装としてのアウトプットも期待される。</p> <p>(不十分な点)</p> <p>優れた機能を発現するナノ材料の設計基盤（過去のデータベースと今後実用化に要される技術）について AI を用いてプラットフォームとしての展開することが期待される。</p> <p>(改善のポイント)</p> <p>過去の国内外の膨大な超臨界技術データー及び各ジャンルの知的財産の集成と利用可能なデーターへの変換と今後の产业化推進に向けてのプラットフォームの構築が期待される。</p>
--	--

## V. 総合評価

総括 I～IVを踏まえ、本プロジェクトを総合的に評価して下さい。

分散制御という新規な学理の発展とプラットフォーム化が学術分野と工学分野において大いに評価できる。大学発ベンチャーなどと連携した量産プロセス設計法の確立と SDGsへの貢献の検討は社会への影響が大きい。次世代インキュベーションとして新規酸素キャリアの開発と応用の実証試験の成功は次世代社会創成の基盤技術として高く評価できる。

学術研究から応用開発に至るまでの十分な大型予算を獲得しており、社会実装にむけた今後の研究開発は大いに期待される。

超臨界技術にとって実用化は大きな命題であるのに対し、本プロジェクトでは、その克服に向けて明確なロードマップを示しながら、個々の課題に対して幅広く顕著な成果を挙げており、研究は極めて順調に進められていると評価される。产学の強い連携によって学術的シーズと社会的ニーズを結びつける成果は、当該分野の発展に大きな寄与が期待され、波及効果も大きい。また、学術論文や学会発表、知財移転件数や特許などについて、質・量ともに申し分ない成果が挙げられており、紫綬褒章受章にも象徴されるように社会的な評価も高い。今後も引き続き、社会実装基盤の確立に向けて、当該分野の発展に必要となる基盤情報が普遍的な形で整備されるとともに、超臨界技術を支える学理としての探求や新しいシーズの学術的展開、さらには次世代のリーダーとなる優秀な若手研究者の育成がさらに推し進められることが期待される。

超臨界技術のポテンシャルは極めて高く、その有用性は今後益々広がるものと期待される。2018年からの進捗も良く管理されており、申し分ない。今後とも東北大学阿尻研究室が発信源且つ核となって、新しい持続的社会、DX時代への貢献に強く期待する。全体に対して下記を要望する。

- 1) 超臨界技術を医療、農業、インフラ、災害対策、高齢化等の社会全体に広めるべく広報活動の強化とニーズ深耕
- 2) 東北大学に於ける知財戦略の強化（超臨界技術の国内外マップ作製）
- 3) 企業との連携強化による社会が求める SDGS、医療、エネルギー革新等への注力と出口戦略と長期構想
- 4) 産業化に際しての各種ナノ材料の安全性、品質管理への取り組み
- 5) ベンチャー企業に於ける各種ナノ材料試作と販売の促進
- 6) 材料購入のみの企業に際する国内外メーカー紹介
- 7) 海外大学・研究機関との協働及び海外企業との共同研究の促進

## 2020(令和2)年度研究プロジェクト自己評価報告書(公開版)

## 開発研究部の分野名・研究プロジェクト名

プロジェクト名：超臨界プロセス社会実装  
(Social Implementation of Supercritical Processes)

## プロジェクトリーダーの職名・氏名

未来科学技術共同研究センター 教授・阿尻雅文

(印)

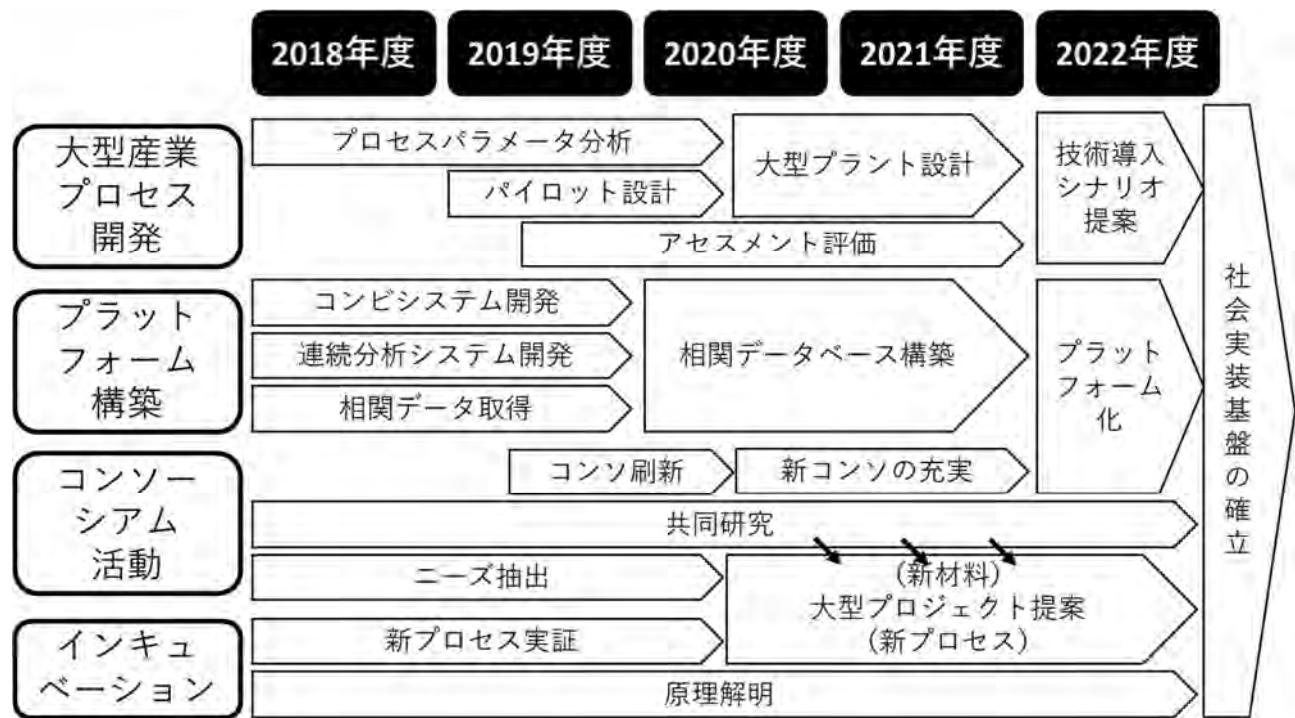
研究体制(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

## (1) 開発研究目的、目標及び方法

## 1. 目的

阿尻研究室はこれまで12年間の NICHe プロジェクトにおいて、超臨界水を反応場とする様々な新規反応プロセス（バイオマス変換、重質油改質、有機無機ハイブリッドナノ粒子合成）を開発し、新技术を構築してきた。本プロジェクトでは、今まで構築してきた技術を基として設立されるベンチャー企業（株式会社スーパーナノデザイン）と緊密に連携し、これまで進めてきた超臨界技術の迅速な社会実装と技術・成果の発信をさらに強化するとともに、そのための「科学」の構築をはかる。

## 2. 目標及び方法(目指すべきゴール(新産業分野)とそこに至る方法・計画について記入してください。また、複数課題を行う場合は、プロジェクト全体のゴールを達成するために各課題がどのように関連し合うのか、全体の道筋・計画を記載して下さい。)



## 開発研究の目標

### (1) 超分散ナノ材料の科学・学術基盤とデータベースの融合による分散制御プラットフォーム構築

これまでの NICHe プロジェクトにおいて、化学工学熱力学の視点から、粒子分散・凝集現象を“相挙動”と捉える、新たなアプローチを行ってきた。これは、特に企業からの要請の高いハイブリッド材料系において、ナノ粒子の成形加工時と使用時の動的・静的構造、物性（粘性、熱伝導）制御指針となる。

本プロジェクトにおいては、それを Science にまで高めるとともにこの学術的基盤を産業に直結させることを目的とし、様々な分散媒（ポリマー、溶媒など）へのナノ粒子の分散性予測と制御設計指針を速やかに提供するプラットフォームを構築する。具体的には、これまで培った学理とナノ粒子の媒質中における分散性データを融合し、粒子間、粒子・溶媒間相互作用に基づくナノ粒子限界分散濃度推算・制御法を体系化する。（文部科学省 材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業、JSPS 科学研究費補助金基盤 S）

### (2) 大型産業プロセス開発

ベンチャーを含む様々な企業との共同研究において、最終的な社会実装の障害となっている、超臨界技術を利用したナノ粒子量産プロセス開発・エンジニアリング開発・装置開発を行う。開発と並行して、社会実装において不可欠となる超臨界プロセス技術の LCA、コスト評価手法を確立し、年間 1～10 トン規模のニーズに応えるための、大型設備導入シナリオ（装置設計、プロセス設計、ハンドリングマニュアル作成）を作成する。（JST 未来社会創造事業、NEDO 先導研究プログラム 2 件）

### (3) コンソーシアム活動

平成 24 年度に発足させた「超臨界ナノ材料技術コンソーシアム」の枠組みを利用し、超臨界ナノ粒子材料に関心を寄せる企業のニーズを吸い上げ、新産業創出に繋がる、共通の基盤技術開発テーマを抽出する。（文部科学省 材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業）

### (4) 次世代インキュベーション

これまでの機能性素材のみならず、二酸化炭素排出削減、新エネルギー開拓などの社会的、産業的ニーズに応える新材料、新プロセス開発を、無機材料、有機材料、石油化学、C1 化学などと連携して行い、次の産業展開（第二ベンチャー）をインキュベートする。以下に開発計画例を示す。

- 天然ガスからの化成品原料（メタノール、アンモニアなど）製造プロセスでは、1000℃程度の高温を必要とする吸熱的改質反応で多量のエネルギーを消費している。吸熱的発熱反応を低温化することが出来れば、産業で未利用量の多い 300℃以下の中低温廃熱を有効利用することが可能となり、結果として二酸化炭素排出量の大幅削減が可能となる。超臨界プロセスにより、この吸熱的改質反応の低温化を実現する、革新的触媒開発・プロセス開発を行う（JST 未来社会創造事業）。さらに改質プロセス設計（NEDO 先導研究プログラム）や、同技術を利用した廃プラスチックケミカルリサイクルプロセス設計（NEDO 先導研究プログラム）も進めている。

## 方法

### (1) 超分散ナノ材料の学術基盤とデータベースの融合による分散制御プラットフォームの構築

今までのプロジェクトにおいて、1) 超臨界水修飾機構解明、2) 化工熱力学と計算科学によるナノ粒子—媒体系の相平衡推算と流動性発現、3) ナノ粒子凝集・分散構造の新トポロジー表現によるフリイディックセラミクス流動性発現の原理解明、以上により学術基盤を構築した。

データベースの構築に際し、ナノ粒子合成の反応条件は、温度・圧力・原料等数多くのパラメータが存在し、従来の方法では非常に多くの時間を費やしていた。修飾条件・相挙動・流動性・分散性の解析に必要となる粒子の量は微量であることから、自動で数分おきに反応条件を変更できる反応装置と分析装置

を組み合わせることで網羅的に解析する新しいシステムを構築しており、このシステムを用いてデータベースの充実を図る（文部科学省 材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業）。そして、新たな材料としてのフリイディックセラミクスを創生する（JSPS 科学研究費補助金基盤 S）。

## （2）大型産業プロセス開発

具体的な事業計画を進める材料メーカー、エンジニアリング会社、製造設備・部品製作会社、設立するベンチャー企業などが一体となった、縦型連携による共同開発体制が必要であり、既に数社の事業計画に焦点を当てて、推進体制の検討を始めている。またユーザー企業が望むフリイディック材料や低温改質反応の触媒についても、ベンチャー企業（株式会社スーパーナノデザイン）が主体となって生産を行う。また、低温未利用熱利用による炭化水素改質、水素製造、ケミカルリサイクルプロセスの開発を目的とする JST 未来社会創造事業および NEDO 先導研究プログラムを介して、関連企業と協働で大型プロセス化の基盤研究開発を進める。

## （3）コンソーシアム活動

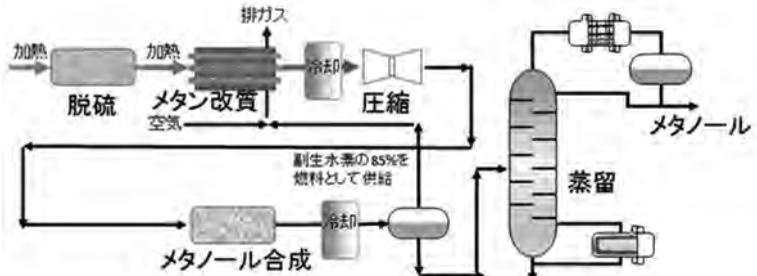
文部科学省 材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業を活用し、本プロジェクトを推進するためのコンソーシアムを再構築する。実用化のための基盤研究を進めると共に、この共通基盤技術を元に各社ニーズに応じた個々の応用開発を共同研究により具体化させる。

## （4）次世代インキュベーション

JST 未来社会創造事業、JST CREST、NEDO 先導研究プログラムを活用し、次の産業展開をインキュベートする。これらプロジェクトスキームは、いずれも NICHe 発のナノ触媒による低温廃熱利用による改質反応を基盤とするもので、炭化水素改質、水素製造、ケミカルリサイクルの展開が期待される。具体的な研究方法を以下に記す。

露出面を制御した CeO<sub>2</sub> やさらに露出面制御 CeO<sub>2</sub> に Cr をドープすることにより、酸素移動（OSC）が低温でも生じることが確認された。この CeO<sub>2</sub> をナノ触媒として用いることで、酢酸、メタノール、ビチュメン、バイオマス廃液の改質が比較的低温で進行することを確認してきた。

従来のメタンからのメタノール合成プロセスにおいて、吸熱的改質反応の進行（750°C の温度維持）のために、副生する水素の 85% を消費している。メタン改質温度を低温化させた場合を想定し、システム全体の熱収支より、逆に水素消費量の低減効果を評価する。また、改質反応の低温化の可能性実験を行い、すでに超臨界法で開発した CeO<sub>2</sub> ナノ触媒、Cr ドープ CeO<sub>2</sub> ナノ触媒を用い、水熱条件下、300°C 以下、種々圧力下で、メタン改質反応が生じることを検討する。



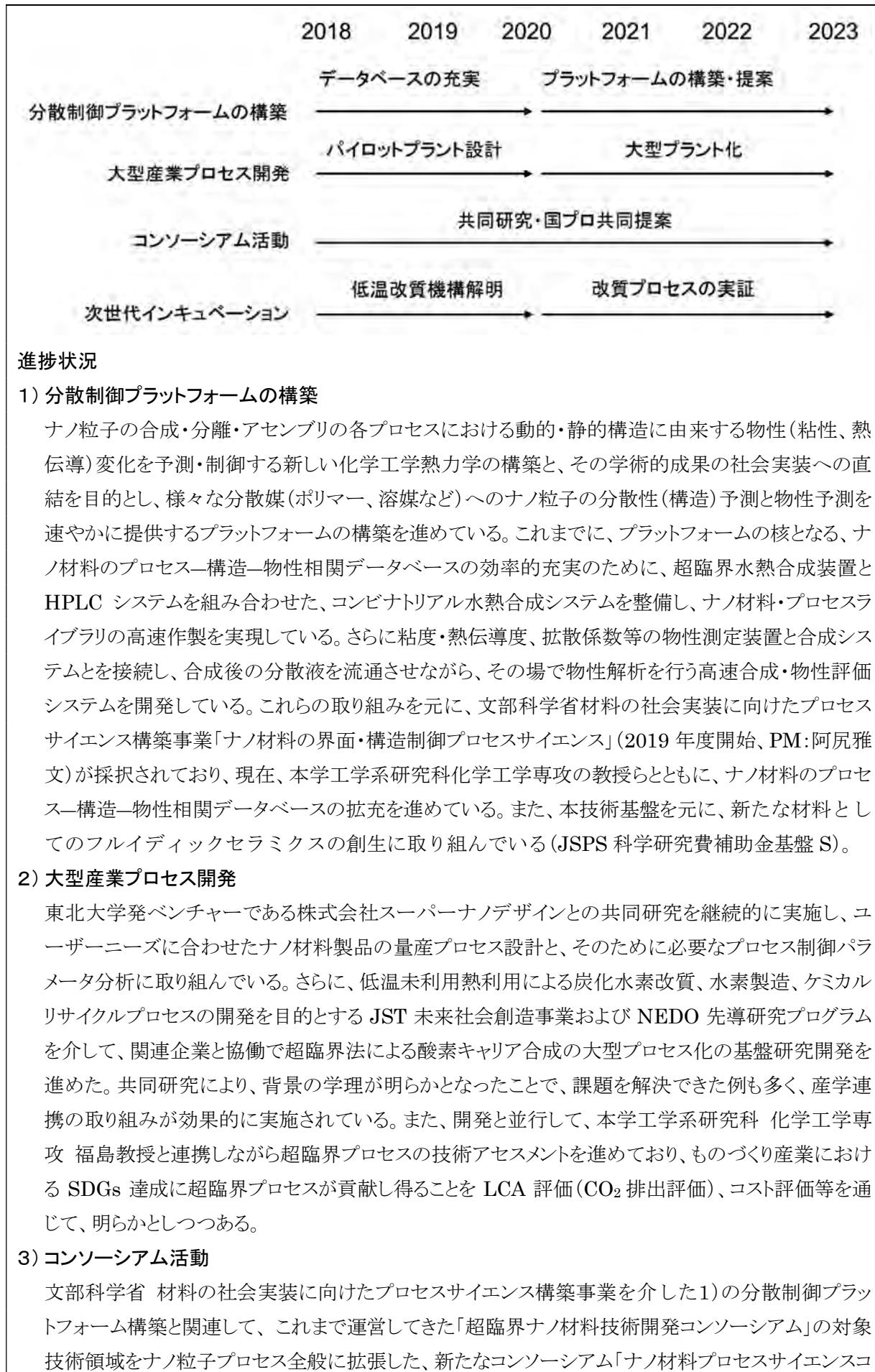
本プロジェクトの推進のために活用する代表的外部資金を以下に示す。

- I. 文部科学省 材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業「ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス」  
概要:ナノ材料の分散・凝集制御プロセスのための学理と産学官からの相談先構築
- II. 科学技術振興機構 未来社会創造事業 探索加速型「低炭素社会」領域 低温改質による C1 化学の低エネルギー化」  
概要:超臨界法に依る低温作動酸素キャリアを利用したメタン改質プロセス開発
- III. 日本学術振興会 科学研究費 基盤研究(S)「超臨界フリイディックセラミックスによるサーマルマネジメント材料創製」  
概要:超臨界法に依る材料／表面制御基板の構築とそれを利用した熱伝導材料開発
- IV. 科学技術振興機構 CREST 「多様な天然炭素資源の活用に資する革新的触媒と創出技術」領域「メタンから低級オレフィンへの直接転化を可能にする金属超微粒子を担持した複合酸化物触媒材料の創製」  
概要:超臨界法に依る低温活性ナノ触媒を利用した、メタンカップリングによる C2,C3 化合物の新規合成反応経路の開拓
- V. NEDO 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム「天然ガス低温改質による低 CO2 排出水素・化学品革新製造」  
概要:分離反応場・プロセスの利用による、低 CO2 排出低温メタン改質反応器の設計と実現可能性検証
- VI. NEDO 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム「廃プラスチックガス化処理の低温化技術の開発」  
概要:酸素キャリアアナノ粒子を利用した反応場分離による、プラスチックの低温ガス化プロセス開発

本プロジェクトとこれら外部資金プロジェクトとの関係は以下のとおりである。

- (1) 超分散ナノ材料の学術基盤とデータベースの融合による分散制御プラットフォームの構築においては、本 NICHe プロジェクトでこれまでに得たナノ材料学術基盤を、I. プロセスサイエンス構築事業を介してさらに発展させ、III. 基盤 S の目標でもあるフリイディックセラミックスの開発につなげる。
- (2) 大型産業プロセス開発において得られた知見は、大学発ベンチャー・スーパーナノデザインによる超臨界ナノ材料量産のための装置設計基盤となるものである。さらに、超臨界法に依る巨大な低温酸素貯蔵能力を有する酸素キャリア（低温活性ナノ触媒）を利用し CO<sub>2</sub> ネットゼロエミッション化学プロセス開発を目指す II. 未来社会創造事業、V. VI. NEDO 先導において、スーパーナノデザイン社、アートビーム社らと協働で酸素キャリア量産の基盤技術開発を進めている。
- (3) コンソーシアム活動においては、I. プロセスサイエンス構築事業を活用し、これまで運営してきた「超臨界ナノ材料技術開発コンソーシアム」の対象技術領域をナノ粒子プロセス全般に拡張した、新たなコンソーシアム「ナノ材料プロセスサイエンスコンソーシアム(仮称)」を新設すべく、検討を進めている。
- (4) 次世代インキュベーションでは、これまで開発してきた超臨界法に依る巨大な低温酸素貯蔵能力を有する酸素キャリア（低温活性ナノ触媒）を利用した反応場分離型改質プロセスを提案し、II. 未来社会創造事業、IV. CREST、V. VI. NEDO 先導において、CO<sub>2</sub> ネットゼロエミッション化学プロセスの社会実装を目指している。

## (2)プロジェクト全体の年度別計画表



ンソーシアム(仮称)」を、2020 年度内に新設すべく、検討を進めている。この新コンソーシアムでは、企業の知見の組み込みやデータの自動取得により、自己進化する AI 支援型データベースとナノ材料高速合成・高速分析装置群を元に、ナノ材料の社会実装時の課題に迅速に解を与えることが、主たる機能である。さらに、超臨界技術に限らず、ナノ材料一般の共通基盤ニーズを抽出し、新産業の創出と学術的成果の社会還元の礎とする。

#### 4) 次世代インキュベーション

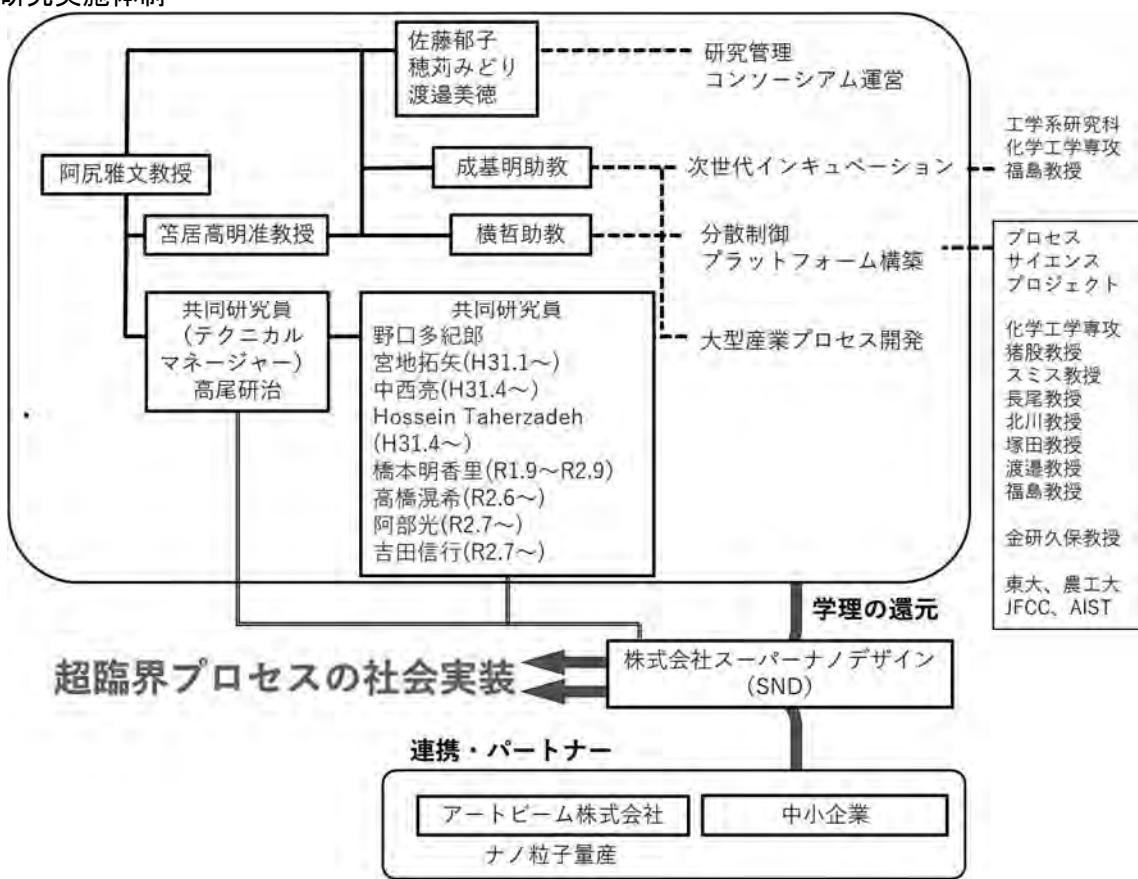
JST 未来社会創造事業、JST CREST、NEDO 先導研究プログラムを活用し、超臨界法による巨大な低温酸素貯蔵能力を有する酸素キャリアの開発と、酸素キャリアを利用した低温メタン改質プロセスの開発を行った。まず、本学工学系研究科 化学工学専攻 福島教授と連携し行った技術アセスメントにより、メタン改質反応に代表される C1 化学プロセスの低エネルギー化のためには、500°C以下の低温において、高いメタン転化率を実現する必要があることを示した。その解決の方策としての材料開発においては、ナノサイズ化、露出結晶面制御による低温酸素貯蔵放出能の向上機構を明らかとともに、その知見に基づいて、面制御 Fe-Zr 系酸素キャリアを開発し、低温でも極めて高い酸素貯蔵放出能の発現に成功した。さらに、低温系の熱力学的平衡を打破するために提案している、酸素キャリアを利用したケミカルループリアクターの実証試験を行い、400°Cの低温条件においても、100%近いメタン転化が実現しうることを確かめた。現在、ベンチャー やそのパートナー企業と連携しながら、この高性能 Fe-Zr 系酸素キャリアの量産プロセス開発に取り組んでおり、新材料創成、量産、新プロセス提案、リアクター設計の一連を通じて、次世代の CO<sub>2</sub> ゼロエミッションケミストリー社会の構築に貢献すべく、研究開発を継続的に推進している。本技術は、NICHe 発のナノ触媒を利用した低温廃熱による改質反応を基盤とするものであり、炭化水素改質、水素製造に加え、廃プラスチックケミカルリサイクル (NEDO 先導研究プログラム) にまで展開しており、次世代社会創成の基盤的技術となることが期待される。

進捗管理:全構成員はプロジェクトリーダーと週1回会議を行い、各項目の進捗状況の確認と、実験計画策定を行っている。また、各項目を担当する研究者間の情報交換も日常的に行っており、プロジェクトの効率的推進の一助となっている。日本全国にコロナウイルスが感染拡大した現在においては、ミーティングの大部分をウェブ会議に切り替え、接触を避けるとともに、装置の利用予約システムや個人のタスクフロー管理をクラウドで行い、実験室内での不用意な一時的接触も避けるよう対策しながら、メンバーが全体の進捗管理・確認ができる体制を構築している。

(3) 研究組織・研究分担(すべての研究者について具体的に記入して下さい。)

1. 組織図

開発研究実施体制



2. 研究分担

阿尻 雅文: 研究全体の統括

岸居 高明: コンソーシアム運営、プラットフォーム構築

成 基明: 次世代インキュベーション、JST-MIRAI プロジェクト推進

横 哲: 分散制御体系化、大型産業プロセス設計

高尾 研治: 共同研究の共同統括

野口 多紀郎: 種々相互作用の異なるナノ粒子の相分離、流動性評価

宮地 拓矢: ナノ粒子の相分離の実験補助

中西 亮: 超臨界合成による微粒子の合成と有機修飾被膜の融合研究

Hossein Taherzadeh: 超臨界合成による微粒子の合成と有機修飾被膜の融合研究

橋本 明香里: 超臨界合成法による微粒子合成

高橋 滉希: 超臨界合成法による微粒子の合成等の実験補助

阿部 光: 超臨界合成による微粒子の合成と有機修飾被膜の融合研究

吉田 信行: 超臨界合成による微粒子の合成と有機修飾被膜の融合研究

佐藤 郁子: 研究補助、プラットフォーム構築補助

穂苅 みどり: 研究補助、設備管理

渡邊 美徳: 研究補助、コンソーシアム管理

#### (4) プロジェクトの評価に当たっての特筆事項

機構解明・新学術創成、新材料創成の観点では、1)分散制御プラットフォーム構築と関連して現在遂行している科学研究費補助金基盤 S が研究進捗評価において、A評価(当初目標に向けて順調に研究が進展しており、期待どおりの成果が見込まれる)を受けていること、さらにその発展として、文部科学省材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業「ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス」(2019年度開始、PM:阿尻雅文)に採択されたこと、また、4)次世代インキュベーションとして遂行しているナノ触媒を利用した低温廃熱による改質反応プロセス開発では、JST 未来社会創造事業、JST CREST、NEDO 先導研究プログラム 2 件に採択されており、さらに JST 未来社会創造事業では、既に 2 回のステージゲート評価を通過していること、から判断し、本プロジェクトの取り組みが、学術的に高い評価と期待を受けていることを示している。国際学会招待講演も 2 年 3 ケ月で 16 件に達しており、世界的にも本プロジェクトに対する関心が極めて高いことが分かる。

また、NICHe で育まれた超臨界技術を基盤とする東北大学発ベンチャー・株式会社スーパーナノデザイン(2018年1月18日設立)が、東北大学ベンチャーパートナーズ株式会社から1億8千万円の投資(2019年3月25日)を受け、本プロジェクトとの連携の下、事業拡大を続けていることから、第Ⅲ期目に入った NICHe 超臨界プロジェクトの目的である超臨界技術の社会実装に関しても、本プロジェクトが計画通りの進捗を見せていると判断できる。

今後も継続してプロジェクトを推進することで、学術・産業貢献両面で、更なる飛躍が期待できる。

# I. プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る評価等

## I-1. 開発研究の進捗状況

### (1) 開発研究進捗状況(プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

1) 分散制御プラットフォームの構築: 図1に示すコンビナトリアル水熱合成システムを用いて、金属ドープCeO<sub>2</sub>ナノ粒子のライブラリを作製し、その場UV-Vis等を用いた解析・スクリーニングから、Cr, Euをドープした場合に、pure CeO<sub>2</sub>よりも高い触媒活性が得られることを見出した。さらにCrドープCeO<sub>2</sub>合成プロセスにおけるCrドーパントの挙動を本システムにより解析し、ドーパントが結晶成長に伴い脱離していく挙動を初めて見出した。以上より、本コンビナトリアルシステムが、高速な材料・プロセスライブラリ作製とその場分析による高い材料探索能、プロセス解析能を有していることを示した。今後は本システムを利用して、ナノ材料のプロセス—構造—物性相関データベースの更なる充実と、プラットフォーム化を進める。

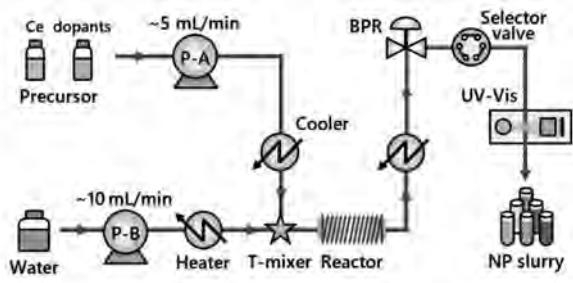


図1. 超臨界水熱コンビナトリアル合成システムの概略図. P: 高圧ポンプ, BPR: 背圧弁.

2) 大型産業プロセス開発: 東北大学発ベンチャーである株式会社スーパーナノデザインとの共同研究を継続的に実施し、ユーザーニーズに合わせたナノ材料製品の量産プロセス設計と、そのために必要なプロセス制御パラメータを見出した。装置内閉塞抑制のためのスラリー安定化、スラリー供給部の漏出抑制、熱交換部の超臨界領域での熱伝達率評価を進め、大型装置の基本設計法をほぼ確立した。今後はこのような新材料創出のみならず、ものづくり産業におけるSDGs達成においても超臨界プロセスが貢献し得ることも、LCA評価(CO<sub>2</sub>排出評価)、コスト評価等を通じて、明らかとしていく。

3) コンソーシアム活動: これまで運営してきた「超臨界ナノ材料技術開発コンソーシアム」の対象技術領域をナノ粒子プロセス全般に拡張すべく検討を進めた。超臨界技術に限らず、ナノ材料プロセスの共通基盤ニーズを抽出し、新産業創出と学術的成果の社会還元の礎となる、新たなコンソーシアムを、2020年度内に新設する。

### 4) 次世代インキュベーション

CeO<sub>2</sub>ナノキューブの高い低温酸素貯蔵放出能が、特にナノサイズ化とそれに伴う格子歪に由来することを高分解能TEM-EELS観察から明らかとした(図2)。さらにFe-Zr系酸素キャリアを開発し、低温でも極めて高い酸素貯蔵放出能の発現に成功した(図3)。現在、ベンチャーやそのパートナー企業と連携しながら、高性能Fe-Zr系酸素キャリアの量産プロセス開発にも取り組んでおり、JST未来社会創造事業、JST CREST、NEDO先導研究プログラムを介した新材料創成・量産、新プロセス・リアクタードesignの一連を通じて、次世代のCO<sub>2</sub>ゼロエミッションケミストリー社会の構築のための研究開発を推進していく。

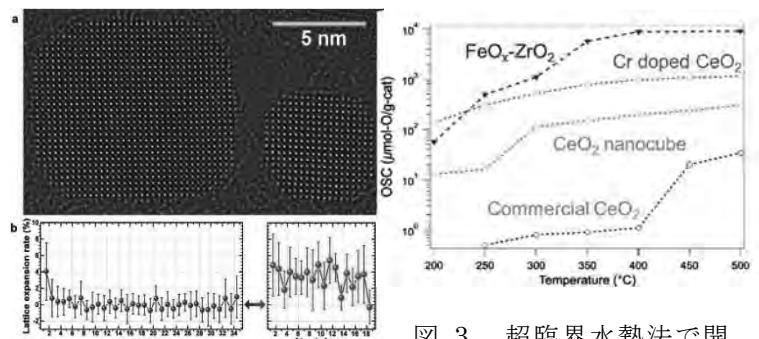


図3. 超臨界水熱法で開発した酸素ナノキャリアの低温酸素貯蔵放出能

図2. サイズの異なる CeO<sub>2</sub> の TEM 像 (上) と格子歪分布 (下) の低温酸素貯蔵放出能

## I-2. 研究者の育成状況(各種研究員の受け入れ状況等を含む)

### (1) 修士号・博士号取得者

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 修士号取得者(うち本学) (うち社会人)	3 人 (人)	4 人 (人)	2 人 (人)
② 博士号取得者(うち本学) (うち社会人)	1 人 (人)	0 人 (人)	0 人 (人)

### (2) 研究員等受け入れ数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 民間等共同研究員	3 人	6 人	9 人
② 受託研究員	0 人	0 人	0 人
③ ポスドク	0 人	0 人	0 人
④ 修士課程・博士課程	8 人	7 人	7 人
⑤ 研究所等研究生	1 人	3 人	0 人

### (3) 国際交流の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

- 1) 3 年の間での国際学会への招待講演は 17 件であり、学会での国際交流がなされている。学会にあわせて、多くの大学・研究所・企業への招待、共同研究の推進を進めている。
- 2) 現在、国際共同研究・人的交流を行っている主な教授は、米国 Rutgers 大学の Riman 教授、インド Visvesvaraya 工科大学の Rangappa 教授、ドイツ カールスルーエ工科大学 Turk 教授、フランス ボルドー大学の Aymonier 教授、アルビ大学の Barna 教授である。これらの大学から学生・研究員の受け入れも行なっており、2018 年度に Rutgers 大学、カールスルーエ工科大学よりそれぞれ 1 名の学生、Visvesvaraya 工科大学からは 2018 年度と 2019 年度に学生を 2 名、6 名それぞれ受け入れた。また、当研究室学生を、2018 年度にカールスルーエ工科大学、ボルドー大学にそれぞれ 1 名派遣し、共同研究の遂行に当たらせた。
- 3) WPI-AIMR では、ナノフェュージョンプロジェクトとして海外からの研究者と種々のテーマで超ハイブリッドナノ粒子に関する共同研究を進めている。2019 年度においては、WPI-AIMR を兼任する英国 UCL Shluger 教授の研究室に横助教を派遣し、国際共同研究を進めるとともに、UCL に在籍する超臨界材料プロセス研究者らと交流を深めた。このように、若手研究者を中心とした国際交流、ネットワーク形成も順調に進められている。
- 4) 2018 年度においては、阿尻教授が本研究分野の最大の国際学会 ISHA の会長に任命されるとともに、同会議を東北大学において主催した。またアジア超臨界学会の学会、Supergreen2019 に、多くの学生・スタッフとともに参加し、超臨界反応技術に関する世界への発信を行なっている。

## 《開発研究の進捗状況に関するコメント》

2019 年度に採択された文部科学省材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業「ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス」(プロジェクト期間:7 年、PM:阿尻雅文)は、本プロジェクトの取り組みを元に提案されたものであり、本学工学系研究科化学工学専攻の教授らとナノ材料のプロセス—構造—物性相関データベースを発展させるものであることから、本プロジェクトとの高い相乗効果を有する。

次世代インキュベーションとして遂行しているナノ触媒を利用した低温廃熱による改質反応プロセス開発においても、JST 未来社会創造事業、JST CREST、NEDO 先導研究プログラム 2 件に採択されている。特に JST 未来社会創造事業では、既に 2 回のステージゲート評価を通過しており、2021 年度の最終ステージゲートを通過することで、大型プロジェクト化、最終的に本プロジェクト成果の社会実装が期待される。

また、NICHe で育まれた超臨界技術を基盤とする東北大学ベンチャー・株式会社スーパーナノデザイン(2018 年 1 月 18 日設立)が、東北大学ベンチャーパートナーズ株式会社から 1 億 8 千万円の投資(2019 年 3 月 25 日)を受け、本プロジェクトとの連携の下、事業拡大を続けていることから、第Ⅲ期目に入った NICHe 超臨界プロジェクトの目的である超臨界技術の社会実装に関しても、本プロジェクトが計画通りの進捗を見せていると判断できる。

今後も継続してプロジェクトを推進することで、学術・産業貢献両面で、更なる飛躍が期待できる。

## II. プロジェクトの開発研究成果の社会(世界・日本・地域)、経済、産業への還元状況

### II-1. 民間企業への技術移転進捗状況について

#### (1) 民間企業への技術移転件数

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 開発研究成果が特許権又はその他 の知的財産権(受ける権利を含む)の 実施許諾あるいは譲渡によって民間 企業へ技術移転された件数 (うち東 北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業への技術移 転件数)	10 件 (7 件)	5 件 (0 件)	5 件 (0 件)
② ①以外の形での民間企業への技術 移転件数 ( 同 上 )	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
③ 上記の①又は②の中で「新産業分野 <sup>注2)</sup> 創出」に結びついたもの又は期待できる ものと思われる件数 ( 同 上 )	3 件 (3 件)	4 件 (4 件)	4 件 (4 件)

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

注<sup>2)</sup>ここで言う新産業「分野」とは、新産業に結びつく新たな切り口・独自性。

#### (2) 民間企業への技術移転による商品化

① 開発研究成果が「商品」として実現したものを記入。企業により結果として商品化されたものを含みます。

時期/予定期	企 業 ・ 組 織 名	活 動 内 容

#### ② 商品化に至らないまでも商品化が検討されたもの

	年度	年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 件数 (うち東北7県 <sup>注1)</sup> 内の民間企業に関係する件数)	件 ( 件 )	件 ( 件 )	3 件 ( 件 )	4 件 ( 件 )	1 件 ( 件 )
② 上記の①の中で「新産業分野創出」に結びつ いたもの又は期待できるものと思われる件数	件	件	3 件	4 件	1 件

注<sup>1)</sup>東北7県とは、青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県及び新潟県をいいます。

## II-2. 発明、特許権、その他の知的財産権の状況について

### (1) 特許権の出願・登録状況

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 発明件数	1 件	1 件	0 件
② 特許権出願件数	1 件	1 件	0 件
特許権出願件数のうち国内	1 件	1 件	0 件
特許権出願件数のうち国外	0 件	0 件	0 件
②のうち特許権の審査請求済件数の累計(請求予定件数)	累計 2 件(予定 件)		
特許権登録件数	0 件		
上記の①又は②の中で「新産業分野創出」に結びついたもの又は期待できるものと思われる件数プロジェクト期間の累計	2 件		

注<sup>1)</sup>①発明件数とは大学に届け出た件数のことを指します。

### <特許>

出願・取得済みの特許は、総数 15 件であるが、その代表的なものは以下のとおりである。

出願番号	発明者	出願人	国内申請		国外申請またはPCT		
			出願日	登録日	国名	出願日	登録日
特願 2006-107820	阿尻雅文	株式会社 東北テクノ アーチ	2006. 4. 10	2009. 7. 10			
特願 2004-3517	阿尻雅文	株式会社 東北テクノ アーチ	2004. 1. 8	2007. 3. 9			
特願 2005-9538	阿尻雅文	株式会社 東北テクノ アーチ	2005. 1. 17	2007. 3. 9			

備考：上記特許はいずれも超臨界法による有機修飾ナノ粒子の製造法に関する基本特許であり、他の競合を許さない重要な特許である。

## II-3. 論文・著書・学会等発表の状況

### (1) プロジェクトの開発研究成果

(論文・表彰などの研究成果に関する実績。プロジェクト開始年度から2020(令和2)年度まで)

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
① 論文・著書数	12 件	11 件	5 件
② 論文・著書の引用数 (プロジェクトリーダーが必要と判断した場合にのみ記載)	件	件	件

#### <研究論文>

発表した論文は、総数 28 編であるが、その代表的なもの(21 編)は以下のとおりである。

##### 1) 分散制御プラットフォームの構築

MZ.Hossain, D. Hojo, A. Yoko, G.Y.Seong, N.Aoki, T.Tomai, S.Takami, T.Adschiri,  
Dispersion and rheology of nanofluids with various concentrations of organic modified nanoparticles: Modifier and solvent effects

COLLOIDS AND SURFACES A-PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS

Volume:583 Issue:123876 Published:DEC 20 2019

DOI: 10.1016/j.colsurfa.2019.123876

ナノ粒子の溶媒中分散性とナノ粒子分散液の粘性挙動の相関に関する論文。(主要論文)

WS. Son, TJ. Yoon, HJ. Park, M. Kim, T. Adschiri, YW. Lee,

A novel sample preparation method on CeO<sub>2</sub> nanoparticles with TEM grid embedded liquid CO<sub>2</sub> displacement and supercritical CO<sub>2</sub> drying for microscopic analysis

Journal of Supercritical Fluids

Volume: 152, UNSP 104559, OCT 2019

DOI: 10.1016/j.supflu.2019.104559

超臨界乾燥がナノ粒子の乾燥に効果的であることを示した論文。ナノ粒子の乾燥によるサイズ分布変化を調査した研究。

S. Usune, T. Takahashi, M. Kubo, E. Shoji, T. Tsukada, O. Koike, R. Tatsumi, M. Fujita, T. Adschiri

Numerical Simulation of Structure Formation of Surface-Modified Nanoparticles during Solvent Evaporation

Journal of Chemical Engineering of Japan

Volume: 52, Issue:8, pp:680-693 Published: AUG 2019

DOI: 10.1252/jcej.19we012

有機修飾ナノ粒子の乾燥時の凝集配列挙動を計算機実験により解析した論文。

A.Litwinowicz, S. Takami, S. Asahina, X. Hao, A. Yoko, G. Seong, T.T. omai, T.A dschiri

Formation dynamics of mesocrystals composed of organically modified CeO<sub>2</sub> nanoparticles: Analogy to particle formation model

Cryst Eng Comm,

Volume: 21, Issue:25, pp:3836-3843, Published: JUL 7 2019

DOI: 10.1039/C9CE00473D

水熱条件においてナノ粒子が自己組織化により規則配列する挙動を詳細に調査した論文。(主要論文)

S. Usune, M. Kubo, T. Tsukada, O. Koike, R. Tatsumi, M. Fujita, S. Takami, T. Adschiri

Numerical simulations of dispersion and aggregation behavior of surface-modified nanoparticles under shear flow  
Powder Technology, Volume:343, pp:113–121 Published: FEB 1 2019

DOI: 10.1016/j.powtec.2018.10.057

分散液中の有機修飾ナノ粒子の分散・凝集挙動とせん断応力の相関を計算機実験により解析した論文。

S. Arai, T. Noguchi, T. Aida, A. Yoko, T. Tomai, T. Adschiri, M. Koshimizu, Y. Fujimoto, K. Asai,  
Development of liquid scintillators loaded with alkaline earth molybdate nanoparticles for detection of  
neutrinoless double-beta decay

Journal of the Ceramic Society of Japan, Volume:127 Issue: 1, pp.28–34 Published: JAN 2019

DOI: 10.2109/jcersj2.18146

有機修飾ナノ粒子の液体シンチレータ応用に関する論文。

S. Usune, M. Ando, M. Kubo, T. Tsukada, K. Sugioka, O. Koike, R. Tatsumi, M. Fujita, S. Takami, T. Adschiri,  
Numerical Simulation of Dispersion and Aggregation Behavior of Surface-modified Nanoparticles in Organic  
Solvents

Journal of Chemical Engineering of Japan

Volume:51 Issue: 6 pp: 492-500 Published JUN 2018

DOI: 10.1252/jcej.17we197

有機修飾ナノ粒子の分散・凝集挙動の溶媒依存性を計算機実験により解析した論文。

N. Kobayashi, S. Sakai, Y. Sasaki, M.Kubo\*, T. Tsukada, K.Sugioka, S.Takami, T.Adschiri

Crack Formation in Polymer Nanocomposite Thin Films Containing Surface-Modified Nanoparticles during  
Solution Casting

Journal of Chemical Engineering of Japan

Volume:51 Issue: 5 pp 460-468 Published MAY 2018

DOI: 10.1252/jcej.17we323

有機修飾ナノ粒子を分散させた薄膜を乾燥成形する際に生じる割れ挙動を計算機実験により解析した論文。

F. Hiyama\*, T. Noguchi, M. Koshimizu, S. Kishimoto, R. Haruki, F. Nishikido, Y. Fujimoto, T. Aida, S. Takami, T. Adschiri

X-ray detection properties of plastic scintillators containing surface-modified Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles

Japanese Journal of Applied Physics

Volume: 57 Issue: 5 pp 052203 Published MAY 2018

DOI: 10.7567/JJAP.57.052203

有機修飾ナノ粒子のプラスチックシンチレータ応用に関する論文。

H. Komiyama\*, D. Hojo\*, K.Z. Suzuki,S. Mizukami, T. Adschiri, H. Yabu\*

Binary Nanoparticles Co assembly in Bioinspired Block Copolymer Films: A Stepwise Synthesis Approach Using  
Multifunctional Catechol Groups and Magneto-Optical Properties

ACS APPLIED NANO MATERIALS Volume: 1 Issue: 4 pp 1666-1674 Published APR 2018

DOI: 10.1021/acsanm.8b00141

有機修飾ナノ粒子分散薄膜の光磁気特性を調査した論文。

## 2 ) 大型産業プロセス開発

A. Yoko, S.Okabe, G.M. Seong, T.Tomai, T.Adschiri, T

Core-shell structure formation strategy with hydrothermal synthesis: Importance of seeds, precursor concentration,  
and heterogeneous reaction

Journal of Supercritical Fluids,

Volume:159, Issue:104749, Published: MAY 1 2020

DOI: 10.1016/j.supflu.2019.104749

コアシェル型ナノ粒子の合成プロセス解析・制御に関する論文

A Yoko, Y. Tanaka, G.M.Seong, D.Hojo, T.Tomai, T. Adschiri,

Mixing and Solvent Effects on Kinetics of Supercritical Hydrothermal Synthesis: Reaction of Nickel Nitrate to  
Nickel Oxide

Journal of Physical Chemistry C

Volume: 124, Issue: 8,pp: 4772-4780, Published: FEB 27 2020

DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b09138

超臨界水熱合成法における溶媒の影響、および、混合の影響を調査した論文（主要論文、特に重要な成果）

D. Hojo, H. Ohara, T. Aida, GY. Seong, N. Aoki, S. Takami, T. Adschiri,  
Supercritical hydrothermal synthesis of highly crystalline lanthanum zirconate nanoparticles  
The Journal of Supercritical Fluids, Volume: 143 pp:134-138 JAN 2019  
DOI: 10.1016/j.supflu.2018.07.004  
超臨界水熱法による高結晶性複合酸化物ナノ粒子の合成プロセスに関する論文

### 3) コンソーシアム活動

A.Yoko, G.M.Seong, T.Tomai, T.Adschiri  
Continuous Flow Synthesis of Nanoparticles Using Supercritical Water: Process Design, Surface Control, and Nano-hybrid Materials  
Kona Powder and Particles Journal  
Issue:37 pp: 28-41 Published:2020  
DOI: 10.14356/kona.2020002  
連続フロー型超臨界水熱法によるナノ粒子合成に関する総説論文（主要論文）

T. Adschiri\*, A. Yoko  
Supercritical fluids for nanotechnology  
Journal of Supercritical Fluids  
Volume: 134 SI pp 167-175 Published APR 2018  
DOI: 10.1016/j.supflu.2017.12.033  
超臨界流体を利用したナノテクノロジーに関する総説論文

### 4) 次世代インキュベーション

Y.Z. Zhu, G.M. Seong, T.Noguchi, A.Yoko, T. Tomai, Takaaki, S.Takami, T. Adschiri  
Highly Cr-Substituted CeO<sub>2</sub> Nanoparticles Synthesized Using a Non-equilibrium Supercritical Hydrothermal Process: High Oxygen Storage Capacity Materials Designed for a Low-Temperature Bitumen Upgrading Process  
ACS APPLIED ENERGY MATERIALS,  
Volume:3, Issue:5, pp: 4305-4319, Published: MAY 26 2020  
DOI: 10.1021/acsadm.0c00026  
金属ドーピングによる酸素キャリアの特性向上に関する総説論文

JF Lu, S. Asahina, S. Takami, A. Yoko, G.M. Seong, T.Tomai, T. Adschiri, T  
Interconnected 3D Framework of CeO<sub>2</sub> with High Oxygen Storage Capacity: High-Resolution Scanning Electron Microscopic Observation  
ACS Applied Nano Materials  
Volume:3, Issue:3, pp: 2346-2353, Published: MAR 2020  
DOI: 10.1021/acsanm.9b02446  
テンプレートを利用したナノ粒子のサイズ配列制御による酸素キャリアの特性向上を報告した論文

A. Yoko, Y. Fukushima, T. Shimizu, Y. Kikuchi, T. Shimizu, A. Guzman-Urbina, K. Ouchi, H. Hirai, G. Seong, T. Tomai, T. Adschiri,  
Process Assessments for Low-Temperature Methane Reforming Using Oxygen Carrier Metal Oxide Nanoparticles  
Chemical Engineering & Processing: Process Intensification,  
Volume: 142, 107531 Published: AUG 2019  
DOI: 10.1016/j.cep.2019.107531  
酸素キャリアを利用したケミカルルーピングプロセスの適用によりメタン改質プロセスの低 CO<sub>2</sub> 排出化が可能であることを技術アセスメントを通じて示した論文（主要論文）

G. Seong, T. Aida, Y. Nakagawa, T. Nanba, O. Okada, A. Yoko, T. Tomai, S. Takami, T. Adschiri  
Fabrication of FeOx-ZrO<sub>2</sub> nanostructures for automotive three-way catalysts by supercritical hydrothermal synthesis with supercritical CO<sub>2</sub> drying  
The Journal of Supercritical Fluids, Volume:147, pp:302–309, Published: May2019  
DOI: 10.1016/j.supflu.2018.11.015  
巨大な低温酸素貯蔵能力を発現する酸化鉄系酸素キャリア合成に関する総説論文（主要論文、特に重要な成果）

XD Hao, CL Chen, M. Saito, DQ Yin, K. Inoue, S. Takami, T. Adschiri, Y. Ikuhara

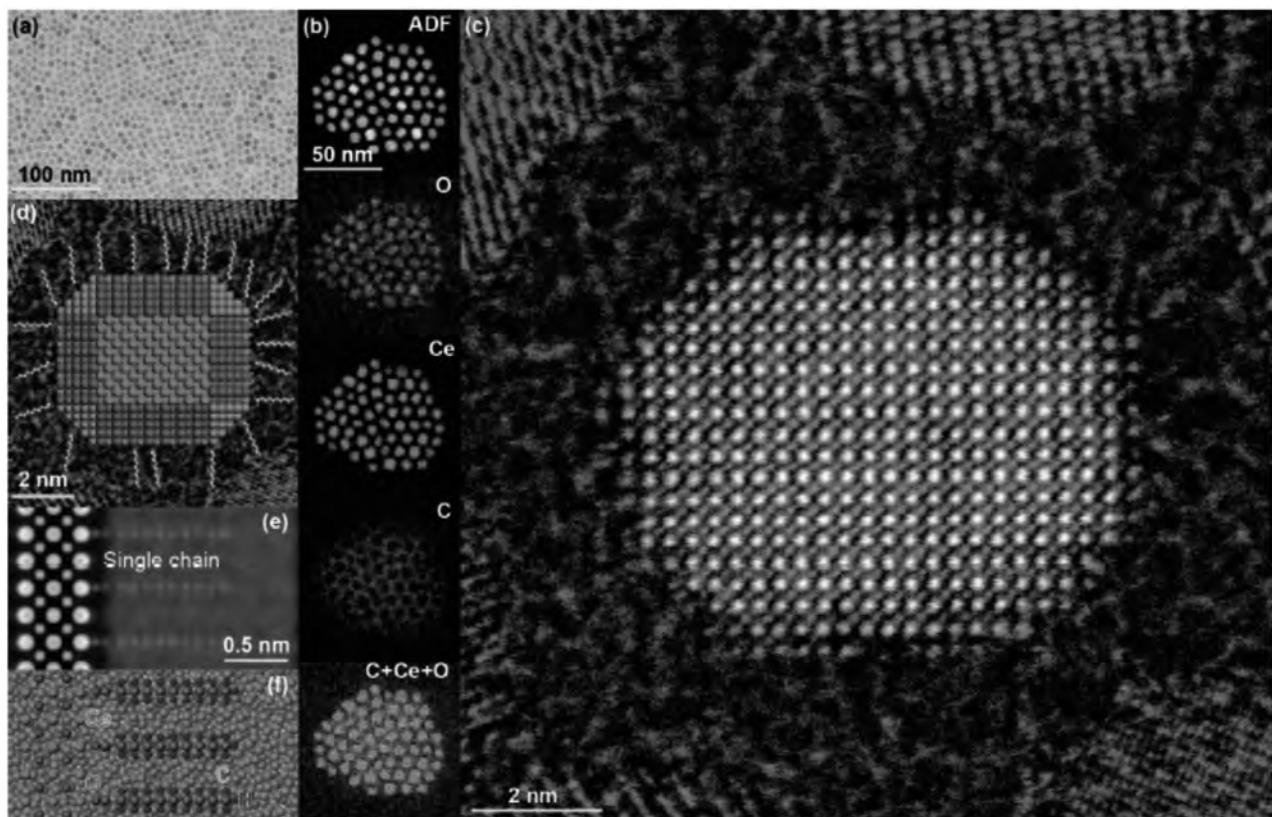
Direct Imaging for Single Molecular Chain of Surfactant on CeO<sub>2</sub> Nanocrystals

SMALL

Volume: 14 Issue: 31 pp: 1801093 Published:AUG 2 2018

DOI: 10.1002/smll.201801093

ナノ粒子表面に修飾された有機分子鎖の直接観察に成功した論文



第 70 回日本金属学会 金属組織写真賞最優秀賞 第3部門(透過電子顕微鏡部門)受賞

XD. Hao, A. Yoko, CL. Chen, K. Inoue, M. Saito, G. Seong, S. Takami, T. Adschiri, Y.I kuhara

Atomic-Scale Valence State Distribution inside Ultrafine CeO<sub>2</sub> Nanocubes and Its Size Dependence

SMALL

Volume:14 Issue: 42 pp: 1802915, 2018 Published OCT 18 2018

DOI: 10.1002/smll.201802915

ナノサイズの酸素キャリアが高い低温酸素貯蔵能力を有するメカニズムを高分解能電子顕微鏡により解析した論文（主要論文、特に重要な成果）

**<著 書>**

編集・著作した書籍は、総数 6 冊である。

横 哲, 成 基明, 笠居 高明, 阿尻 雅文 “ナノ材料の設計・制御に向けたプロセスサイエンスの構築 (Process Science Toward Design and Control of Nanomaterials)”

材料表面 (Accounts of Materials & Surface Research), 5(3), 43-50 (2020).

Yoko, A., Seong, G., Tomai, T., Adschariri, T. “Continuous Flow Synthesis of Nanoparticles Using Supercritical Water: Process Design, Surface Control, and Nano-hybrid Materials”, KONA Powder and Particle Journal, 37, 28-41 (2020).

横 哲, 成 基明, 笠居 高明, 阿尻 雅文 “超臨界水熱法によるナノ粒子連続合成-プロセスデザインと応用展開”、化学装置, 2019年3月号, 36-40 (2019).

横 哲, 成 基明, 相田 努, 北條 大介, 笠居 高明, 阿尻 雅文 “超臨界水熱法による有機・無機ハイブリッドナノ粒子合成” 粉体の表面処理・複合化技術集大成 -基礎から応用まで- Novel Technology for the Control of Surface and Composite Structure of Powder Materials – Fundamentals and Applications–◆応用編◆ 第3章 新製造技術への展開 第7節 (2018) テクノシステム.ISBN 978-4-924728-81-3 C 3050

Yoko, A., Aida, T., Aoki, N., Hojo, D., Koshimizu, M., Ohara, S., Seong, G., Takami, S., Togashi, T., Tomai, T., Tsukada, T., Adschariri, T., “Supercritical hydrothermal synthesis of nanoparticles;”, M. Hosokawa, K. Nogi, M. Naito, T. Yokoyama (Eds.), Nanoparticle Technology Handbook (3rd edition), Elsevier, Amsterdam, Application 53, 683–689 (2018)

阿尻 雅文, 笠居 高明, 相田 努, 成 基明, 横 哲 “超臨界水熱合成によるナノ粒子連続合成その応用展開, Continuous Production of Nanoparticles by Supercritical Hydrothermal Synthesis -Nanoparticles Synthesis, Nano-hybrid materials, and Surface Controlled Nanocatalysts-” 粉碎 The Micromeritics, 61, 3-13 (2018)

(2)学会等発表の状況(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

	2018 年度	2019 年度	2020 年度
①国際学会等	14 件	13 件	2 件
②国内学会等	4 件	4 件	13 件

<招待講演>

① 国際学会等 総数 17 件(\*主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	場所(国、都市)	期日
T. Adschiri	Supercritical Route for Nano Catalyst	the 11th International Conference on Supercritical Fluids-Supergreen 2019 (ICSF-Supergreen 2019)	Xi'an, China	27-29 of Sep. 2019
T. Adschiri	Chemical engineering for SDGs	APCChE 2019	札幌	23 to 27 Sep. 2019
T. Adschiri	Supercritical Hydrothermal Synthesis for Nano Catalyst	the International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT)	Singapore	23 to 28 June 2019
T. Adschiri	Supercritical Hydrothermal Synthesis -Solvent effect on kinetics, reaction equilibrium and solubility in Supercritical Water-	the 17th European Meeting on Supercritical Fluids (EMSF 2019)	Ciudad Real (Spain)	8-11th of April 2019
T. Adschiri	Supercritical Fluids for Nanotechnology	The international Solvothermal and Hydrothermal Association Conference (ISHA2018)	仙台	Aug. 8th -12th, 2018

② 国内学会等 総数 12 件(\*主なものの記入は5件以内)

講演者名	講演題目	シンポジウム等の名称	期日
阿尻雅文	化学工学-SDGs に向けて-	INCHEM TOKYO2019	2019年 11月 22 日
阿尻雅文	化学工学の進むべき方向	平成 31 年度化学工会 東北支部特別講演主催 化学工会東北支部	2019 年 5 月 10 日
阿尻雅文	調理科学と材料化学工学との融合	化学工学会第 84 年会	2019 年 3 月 13 日
阿尻雅文	超臨界反応場と新材料創製	第 3 回構造ナノ化学研究会	2018 年 12 月 8 日
阿尻雅文	今、一番注力、注目している研究、視点	ソルボサーマル・水熱合成の新展開	2018 年 10 月 15 日

## II-4. 各種表彰・受賞・新聞報道等の状況について

### (1) 各種表彰・受賞の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

総数 3 件

期日	受賞者名	主催者・賞名	理由
2020年 3月17 日	斎藤光浩、郝晓东、陈春林、 尹德强、井上和俊、高見誠 一、阿尻雅文、幾原雄一	第70回日本金属学会 金属組織 写真賞最優秀賞 第3部門（透過 電子顕微鏡部門）	CeO <sub>2</sub> 触媒ナノ粒子を架橋 する单一有機分子鎖の可 視化
2019年 5月21 日	阿尻雅文	Docteur Honoris Causa Université de Bordeaux (ボルドー大学)	Mixing the Unmixable
2019年 5月20 日	阿尻雅文	紫綬褒章	

### (2) 新聞報道等の名称及び内容(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

総数 7 件

1. 2020年2月14日 化学工業日報 5G商用見据え放熱シート熱く
2. 2019年5月20日 河北新報 紫綬褒章
3. 2019年5月20日 日本経済新聞 紫綬褒章
4. 2019年5月20日 化学工業日報 紫綬褒章
5. 2018年4月5日 化学工業日報 卑金属で水素発生電極

### «開発研究成果の社会・経済・産業への還元状況に関するコメント»

ベンチャーを通じ、従来、研究室規模では対応が困難だった、kgオーダーのサンプル試作(+レシピ開発)、最適な装置設計情報、運転条件、またプロセス・製品採用時のコスト試算結果をもあわせて提供する体制を構築した。既に国内電子部品メーカー、大手素材メーカー、海外の最大手ミネラル企業、光学材料メーカーなどに、ベンチャーを通じて製品試作やサンプル提供を実施しており、超臨界材料技術やそれにより創出される新材料の導入が実用検討段階に入っている。共同研究により、背景の学理が明らかとなったことで、ユーザーの課題を解決できた例も多く、产学研連携の取り組みが効果的に実施されている。今後は新材料創出による経済・産業への還元のみならず、ものづくり産業における SDGs 達成においても超臨界プロセスが貢献し得ることを、LCA評価(CO<sub>2</sub>排出評価)等を通じて明らかとし、社会全体への本プロジェクト成果の還元も進めていく。

以上より本プロジェクトの研究開発成果は、極めて順調に開発研究成果を社会・経済・産業に還元できていると判断する。

### III. プロジェクトの研究費の実績

#### (1) 研究費の推移(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

		2018 年度	2019 年度	2020 年度
民間からの資金	件数	3 件	1 件	1 件
	金額(百万円)	10 百万円	10 百万円	10 百万円
国からの資金	件数	5 件	5 件	4 件
	金額(百万円)	101 百万円	75 百万円	60 百万円

#### (2) 主要な獲得プロジェクト・共同研究等(プロジェクト開始年度から 2020(令和2)年度まで)

1. 共同研究 株式会社スーパーナノデザイン「ナノ流体の物性予測のための基礎研究」 / 研究期間：2018年7月1日～2021年3月31日 / 研究費：総額 30,000 千円 / 研究概要：ナノ流体の物性予測のための基礎研究
2. 文部科学省 材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業「ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス」 / 研究期間：2019年10月1日～2026年3月31日 / 研究費：総額 700,000 千円 / 研究概要：ナノ材料の社会実装を目的としてナノ材料の単位操作体系を構築していく国家プロジェクト
3. 科学技術振興機構 未来社会創造事業 探索加速型「低炭素社会」領域 低温改質による C1 化学の低エネルギー化」 / 研究期間：2017年11月1日～ 2022年3月31日 / 研究費：総額 72,800 千円 / 研究概要：低温メタン改質プロセスの実現による C1 化学の低エネルギー化を目的とし廃棄物炭化水素ゼロエミッション化学サイクルの実証を目指す
4. 日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（S）「超臨界フルイディックセラミクスによるサーマルマネジメント材料創製」 / 研究期間：2016年7月1日～2021年3月31日 / 研究費：総額 128,000 千円 / 研究概要：廃棄物炭化水素ゼロエミッション化学サイクルの実証に特化した研究開発。
5. 科学技術振興機構 CREST 「多様な天然炭素資源の活用に資する革新的触媒と創出技術」領域「メタンから低級オレフィンへの直接転化を可能にする金属超微粒子を担持した複合酸化物触媒材料の創製」 / 研究期間：2016年10月1日～2021年3月31日 / 研究費：総額 34,050 千円 / 研究概要：メタンカップリングによる C2, C3 化合物の新規合成反応経路開拓を目的とした研究。

#### «研究費に関するコメント»

基礎科学分野については、JSPS 科学研究費補助金基盤研究(S)1件、挑戦的研究(萌芽)1件を含め、合計 1 億 457 万円、JST CREST 1 件 未来社会創造事業 1 件、合計 1 億 068 万円、文部科学省材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業全体で 7 年間計 7 億円、本プロジェクト参画者分担分では計 2 億 753 万円を受けており、本プロジェクトを支える基礎研究、基盤研究については、十分な研究費が得られている。また、JSPS 科研費挑戦的研究(開拓)(総額 2000 万円)が 2020 年度に採択されることが内定している。

更に次世代インキュベーションに基づく成果の社会実装に向けた、NEDO 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム「天然ガス低温改質による低 CO<sub>2</sub> 排出水素・化学品革新製造」が委託費 5254 万円で実施され、研究成果の応用展開においても、十分な研究費を獲得している。

これに加え、ベンチャーをはじめとする企業との共同研究が総額 3000 万円で実施されている。

## **IV. 当初計画を越える展開等やそれによる成果について**

### **(1) 当初計画になかった新たな展開について**

本プロジェクトで次世代インキュベーションとして、炭化水素の水蒸気改質を低温で行うプロセス開発を進めしており、世界的にも高い質の新規研究結果が得られている。超臨界法により、ナノ粒子を合成しつつ露出面を制御が可能となり、通常得られない 150 °C という低温での酸素キャリア能(OSC)が得られており、これをさらに最適化すると、従来の材料と比較して、4 枠以上大きな OSC が得られた。これは、高温超電導現象にも匹敵する高いインパクトの新現象の発見である。

この低温での酸素貯蔵放出は、低温熱源での水分解(水素と酸素)の可能性を示唆している。これまでの検討により、低温での酸素の脱離は十分可能であることが示されており、本プロジェクトのメタンの改質研究で培ったケミカルルーピングプロセスと、これまでに超臨界法で開発してきたナノ材料を用いれば、水の低温での分解、酸素および水素の生成が可能であると考えた。

そこで、新たな展開として、低温酸素イオン電導性発現の原理解明、超臨界法による巨大酸素貯蔵能キャリア開発に加え、地熱や産業廃熱のような低温熱源を利用した、ケミカルルーピングによる水素、酸素製造プロセス開発を実施している。(JSPS 挑戦的研究(開拓)課題)。

### **(2) 成果の基礎研究やプロジェクト等への寄与について**

超臨界法ナノ粒子に対し偶然見出された、低温での 4 枠近くも大きな酸化物イオン伝導現象は、常温超電導にも匹敵するインパクトの大きな発見であり、その現象解明を推進していくことは、上記新プロセス開発とともに、新たな基礎科学としての研究テーマであり、すでに進めてきた炭化水素の水蒸気改質プロセスの改善につながることからもプロジェクト全体への高い寄与を持つものと期待される。

また、プロジェクトの構成員である筈居准教授を中心に、この巨大酸素貯蔵能キャリアを利用した廃プラスチックの低温、低 CO<sub>2</sub> 排出ケミカルリサイクルプロセスの開発が、NEDO 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技术先導研究プログラムにおいて開始されており、より大きな社会変革につながることが期待される。

### **(3) 本プロジェクトによる人類への貢献、社会的意義等について**

優れた機能を発現する構造化ナノ材料の開発を支える設計基盤は未確立であり、技術者の勘と経験を駆使して新製品毎に模索が繰り返されている。本プロジェクトでは、ナノ粒子を分子と同様にとらえることで、ナノ材料系の物性・相平衡推算を可能とし、プロセスー構造ー物性・機能相関をデータベース化することで、ナノ材料製品開発を高効率化する、学術に裏打ちされた産業基盤を構築する。ナノ材料を含めた機能性材料関連事業が、経済を大きく牽引している我が国において、その社会的意義は極めて大きい。

また、ナノ触媒により、低温廃熱により、メタン改質のみならず、水分解、廃プラスチックリサイクルを進められれば、二酸化炭素排出の大きな削減にも繋がる。人類への貢献も高いと言える。

## V. その他

### (1) NICHe プロジェクトとして主張したい成果

これまでの NICHe プロジェクトで培われてきた超臨界ナノ材料技術を社会実装に繋げるための
① ナノ材料のプロセス—構造—物性相関データベースを基盤とするプラットフォームの構築
② 大型超臨界ナノ材料合成プロセス開発
③ ナノ材料一般の共通基盤ニーズを抽出し、新産業の創出と学術的成果の社会還元の礎とするためのコンソーシアムの刷新
④ 超臨界法により開発されたナノ材料を CO <sub>2</sub> ゼロエミッションケミストリー社会の構築につなげる次世代インキュベーション
が、本プロジェクトにより極めて順調に推進されている。
ベンチャーを通じ、従来、研究室規模では対応が困難だった、kgオーダーのサンプル試作(+レシピ開発)、最適な装置設計情報、運転条件、またプロセス・製品採用時のコスト試算結果をもあわせて提供する体制を構築出来きている。既に国内電子部品メーカー、大手素材メーカー、海外の最大手ミネラル企業、光学材料メーカーなどに、ベンチャーを通じて製品試作やサンプル提供を実施しており、超臨界材料技術やそれにより創出される新材料の導入が実用検討段階に入っている。
また、新材料創出による経済・産業への還元のみならず、SDGs 達成においても超臨界プロセスや巨大酸素貯蔵能キャリアを利用したプロセスが貢献し得ることが明らかとなりつつあり、人類社会全体への本プロジェクト成果の還元が進められている。

### (2) 自己評価

I 研究開発成果
これまで 12 年間に渡る NICHe プロジェクトで遂行されてきた、超臨界水を反応場とする様々な新規反応プロセス（バイオマス変換、重質油改質、有機無機ハイブリッドナノ粒子合成）開発研究は、国内外で高く評価されており、2019 年春の紫綬褒章受章、フランス ポルドー大学からの名誉博士号 Docteur Honoris Causa 授与につながっている。さらに第Ⅲ期に当たる本プロジェクト内においても、JSPS 科学研究費補助金基盤研究(S)、挑戦的研究(萌芽)、挑戦的研究(開拓)、JST CREST、未来社会創造事業に採択されており、学術面において、十分高い評価を受けていることを示していると考える。
さらに、本プロジェクトでの取り組みが元となった、文部科学省材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業「ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス」が採択され、「ナノ材料の相談窓口」としての機能を確立するよう国や多くの企業から期待されていることは、本プロジェクトが十二分に高い成果が得られていることの証と考えている。
II プロジェクトの成果の社会、経済、産業への還元状況
ベンチャーを通じ、従来、研究室規模では対応が困難だった、kgオーダーのサンプル試作(+レシピ開発)、最適な装置設計情報、運転条件、またプロセス・製品採用時のコスト試算結果をもあわせて提供する体制を構築出来きている。既に国内電子部品メーカー、大手素材メーカー、海外の最大手ミネラル企業、光学材料メーカーなどに、ベンチャーを通じて製品試作やサンプル提供を実施しており、超臨界材料技術やそれにより創出される新材料の導入が実用検討段階に入っている。
共同研究により、背景の学理が明らかとなつたことで、ユーザーの課題を解決できた例も多く、産学連携の取り組みが効果的に実施されており、本プロジェクトの研究開発成果が、極めて順調に開発研究成果を社

会・経済・産業に還元できていると判断する。

### III プロジェクトの研究費の実績

基礎科学分野における研究費の総額は JSPS 科学研究費補助金基盤研究、挑戦的研究(萌芽)、挑戦的研究(開拓)、JST CREST、未来社会創造事業、文部科学省材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業を含め、約 4 億円を受けており、本プロジェクトを支える基礎研究、基盤研究については、十分な研究費が得られている。

また、次世代インキュベーションに基づく成果の社会実装に向けた、NEDO 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム「天然ガス低温改質による低 CO<sub>2</sub> 排出水素・化学品革新製造」が委託費約 5000 万円で実施され、研究成果の応用展開においても、十分な研究費を獲得している。

これに加え、ベンチャーをはじめとする企業との共同研究が 3000 万円で実施されている。外部資金は極めて多い。

以上より、プロジェクトの研究進捗状況は極めて順調であり、超臨界技術の社会還元は当初の計画以上に進行していると考えている。

(最終年度のみ)プロジェクト継続の意思	有	無
---------------------	---	---



令和2年度東北大学未来科学技術共同研究センター  
研究プロジェクト評価委員会実施要領

1. 日 時 令和2年11月25日（水） 13:00～17:15
2. 場 所 東北大学未来科学技術共同研究センター 5階大会議室 及び Web
3. 目 的 各研究プロジェクトについて、未来科学技術共同研究センターのミッションとの適合性、学術的・技術的評価並びに産業応用可能性に関する評価をいただく。
4. 次 第
  - 1) 開 会
  - 2) 委員紹介
  - 3) 議 事
    - (1) 委員長の選出
    - (2) 各プロジェクトの活動報告プロジェクトリーダー発表 10分、質疑応答 10分、討議 5分
    - ① 宮澤プロジェクト（中間評価）
    - ② 渡邊プロジェクト（中間評価）
    - ③ 阿尻プロジェクト（中間評価）
    - ④ 福島プロジェクト（最終評価）
    - ⑤ 松木プロジェクト（最終評価）
    - ⑥ 吉川プロジェクト（最終評価）
    - ⑦ 栗原プロジェクト（最終評価）
  - 4) 閉 会
5. 研究プロジェクト評価委員会委員 別紙名簿のとおり

6. 東北大学側出席者（予定）

未来科学技術共同研究センター	センター長	長谷川 史彦
未来科学技術共同研究センター	副センター長	赤池 孝章
未来科学技術共同研究センター	副センター長	仲川 清隆
未来科学技術共同研究センター	副センター長	猪股 宏
未来科学技術共同研究センター	センター長補佐	鈴木 高宏
その他		

令和2年度東北大学未来科学技術共同研究センター  
研究プロジェクト評価委員会委員名簿

(任期：2020年10月1日～2021年3月31日)

大崎 博之 宮城県 産業技術総合センター 所長

金丸 正剛 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 副理事長

河田 孝雄 日経BP 日経バイオテク シニアエディター

橋爪 淳 文部科学省 研究振興局 参事官（情報担当）

丸山 正明 技術ジャーナリスト

(五十音順、敬称略)

令和2年度 NICHe プロジェクト評価 書面審査委員名簿

◎は書面審査委員の代表を表します

プロジェクト名	委員氏名	所属・職名
宮澤PJ	◎山本 直之	東京工業大学生命理工学院 教授
	合田 敏尚	静岡県立大学食品栄養科学部 教授
	久能 昌朗	キユーピー株式会社 研究開発本部 コーポレート・サイエンティスト・フェロー（前研究所長）
渡邊PJ	◎山本 正弘	日本原子力研究開発機構 事業計画統括部 部長
	小沢 喜仁	福島大学 共生システム理工学研究科 特任教授
	新井 拓	電力中央研究所 軽水炉保全特別研究チーム 副チームリーダー
阿尻PJ	◎後藤 元信	名古屋大学大学院工学研究科 教授
	保城 秀樹	株式会社クラレ 繊維カンパニー長補佐・生産技術統括本部長
	大島 義人	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
福島PJ	◎新宮原 正三	関西大学システム理工学部 教授
	須賀 唯知	明星大学 連携研究センター 客員教授
	知京 豊裕	国立研究開発法人物質・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門 デバイス材料設計グループ グループリーダー
松木PJ	◎須田 義大	東京大学生産技術研究所 モビリティ・イノベーション連携機構 機構長・教授
	内田 龍男	国立高等専門学校機構 顧問
	川村 洋一	東北経済連合会 ビジネスコーディネータ
吉川PJ	◎柿本 浩一	九州大学応用力学研究所 教授
	高橋 浩之	東京大学大学院工学研究科 教授
	手嶋 勝弥	信州大学先鋭材料研究所 教授
栗原PJ	◎内田 龍男	国立高等専門学校機構 顧問
	稲葉 正志	元ハリマ化成グループ株式会社 常務取締役、相談役
	今野 政憲	宮城県産業技術総合センター 材料開発・分析技術部 部長

(敬称略)

令和2年度研究プロジェクト評価委員会スケジュール表

○令和2年11月25日（水） 未来科学技術共同研究センタ一本館 5階 大会議室

	時 間	次 第 等		備 考
1	13:00～13:10 (10)	開会及びセンター長挨拶 委員の紹介 委員長の選出及び評価方法の説明		
2	13:10～13:20 (10)	宮澤	発表（リーダー）	
①	13:20～13:30 (10)	プロジェクト (中間3年目)	質疑（委員、リーダー）	
	13:30～13:35 (5)		討議（委員）	
②	13:35～13:45 (10)	渡邊	発表（リーダー）	
	13:45～13:55 (10)	プロジェクト (中間3年目)	質疑（委員、リーダー）	
	13:55～14:00 (5)		討議（委員）	
③	14:00～14:10 (10)	阿尻	発表（リーダー）	
	14:10～14:20 (10)	プロジェクト (中間3年目)	質疑（委員、リーダー）	
	14:20～14:25 (5)		討議（委員）	
④	14:25～14:35 (10)	福島	発表（リーダー）	
	14:35～14:45 (10)	プロジェクト (最終3年目)	質疑（委員、リーダー）	
	14:45～14:50 (5)		討議（委員）	
14:50～15:00 (10)		休憩		
⑤	15:00～15:10 (10)	松木	発表（リーダー）	
	15:10～15:20 (10)	プロジェクト (最終3年目)	質疑（委員、リーダー）	
	15:20～15:25 (5)		討議（委員）	
⑥	15:25～15:35 (10)	吉川	発表（リーダー）	
	15:35～15:45 (10)	プロジェクト (最終5年目)	質疑（委員、リーダー）	
	15:45～15:50 (5)		討議（委員）	
⑦	15:50～16:00 (10)	栗原	発表（リーダー）	
	16:00～16:10 (10)	プロジェクト (最終3年目)	質疑（委員、リーダー）	
	16:10～16:15 (5)		討議（委員）	
16:15～16:25 (10)		休憩		
3	16:25～17:10 (45)	討議及びまとめ（評価委員）		
4	17:10～17:15 (5)	閉会（挨拶）		

○東北大学未来科学技術共同研究センター規程

平成 10 年 4 月 9 日

規第 46 号

東北大学未来科学技術共同研究センター規程

(趣旨)

第 1 条 この規程は、東北大学未来科学技術共同研究センター(以下「センター」という。)の組織及び運営について定めるものとする。

(目的)

第 2 条 センターは、社会の要請に応える新しい技術・製品の実用化並びに新しい産業の創出を社会へ提案することを目指し、産業界等との共同研究の推進を図り、先端的かつ独創的な開発研究を行うことを目的とする。

(職及び職員)

第 3 条 センターに、次の職及び職員を置く。

センター長

副センター長

教授

准教授

講師

助教

助手

事務職員

技術職員

その他の職員

(センター長)

第 4 条 センター長は、センターの業務を掌理する。

2 センター長は、東北大学(以下「本学」という。)の専任の教授をもって充てる。

3 センター長の選考は、センターの運営を適切かつ効果的に行うことができる能力を有するもののうちから、総長が行う。

4 センター長の任期は、2 年とし、再任を妨げない。

5 前項の規定にかかわらず、任期の始期が 4 月 1 日でないセンター長に係る任期は、当該始期から 1 年を経過した日の属する年度の末日までの期間とする。

(副センター長)

第 5 条 副センター長の人数は、2 人とする。ただし、センター長が必要があると認めるときは、3 人とすることができる。

2 副センター長は、センター長の職務を補佐する。

3 副センター長は、センターの専任又は兼務の教授をもって充てる。ただし、センター長が必要があると認めるときは、センターの専任の准教授をもって充てることができる。

4 副センター長の任期は、センター長の任期の範囲内とし、再任を妨げない。

(研究組織等)

第6条 センターに、研究組織として次の部を置く。

開発企画部

開発研究部

2 センターに、本学発のベンチャー企業の創出を目指す研究に供用させる施設として、東北大学ハッチャリースクエアを置く。

(運営委員会)

第7条 センターに、その運営に関する重要事項を審議するため、運営委員会を置く。

2 東北大学の学内共同教育研究施設等の運営に関する規程(平成16年規第9号)第3条の規定は、運営委員会の審議事項等について準用する。

(運営委員会の組織)

第8条 運営委員会は、委員長及び次の各号に掲げる委員をもって組織する。

一 工学研究科長

二 副センター長

三 センター専任の教授 若干人

四 工学部・工学研究科事務部長

五 未来科学技術共同研究センター事務室長

六 その他運営委員会が必要と認めた者 若干人

2 運営委員会は、必要があると認めるときは、構成員以外の者を出席させて説明又は意見を聞くことができる。

(運営委員会の委員長)

第9条 運営委員会の委員長は、センター長をもって充てる。

2 委員長は、運営委員会の会務を総理する。

3 委員長に事故があるときは、委員長があらかじめ指名する委員が、その職務を代行する。

(委嘱)

第10条 第8条第3号及び第6号に掲げる委員は、センター長が委嘱する。

(任期)

第11条 第8条第3号及び第6号に掲げる委員の任期は、2年とする。ただし、補欠の委員の任期は、前任者の残任期間とする。

2 前項の委員は、再任されることがある。

(運営協議会)

第12条 センターに、センターのリエゾン活動及び管理運営全般に関する意見を求めるため、運営協議会を置く。

2 運営協議会の組織及び運営については、別に定める。

(外部評価委員会)

第13条 センターに、センターの中期計画及び年度計画についての評価を行うため、外部評価委員会を置く。

2 外部評価委員会の組織及び運営については、別に定める。

(研究プロジェクト選定委員会)

第14条 センターに、研究プロジェクトの選定を行うため、研究プロジェクト選定委員会を置く。

2 研究プロジェクト選定委員会の組織及び運営については、別に定める。

(研究プロジェクト評価委員会)

第15条 センターに、研究プロジェクトの研究活動及び成果の評価を行うため、研究プロジェクト評価委員会を置く。

2 研究プロジェクト評価委員会の組織及び運営については、別に定める。

(技術部)

第16条 センターに、センターの産学連携による新産業創出に関する技術支援を行うため、技術部を置く。

2 技術部の組織及び運営については、別に定める。

(事務)

第17条 センターの事務については、国立大学法人東北大学事務組織規程(平成16年規第151号)の定めるところによる。

(雑則)

第18条 この規程に定めるものほか、センターの組織及び運営に関し必要な事項は、センター長が定める。

附 則

1 この規程は、平成10年4月9日から施行する。

2 この規程の施行後最初に委嘱される専門委員の任期は、第15条本文の規定にかかわらず、平成12年3月31日までとする。

3 東北大学未来科学技術共同研究センター(仮称)設置準備委員会規程(平成9年規第76号)は、廃止する。

附 則(平成10年6月9日規第117号改正)

1 この規程は、平成10年6月9日から施行する。

2 この規程の施行後最初に委嘱される東北アジア研究センターに係る次の各号に掲げる委員の任期は、東北大学留学生センター規程第11条第1項本文の規定及び東北大学学際科学研究センター規程第14条第1項本文の規定にかかわらず、当該各号に定めるとおりとする。

一 留学生センター運営委員会委員 平成12年3月31日まで

二 学際科学研究センター運営委員会委員 平成11年3月31日まで

附 則(平成12年3月31日規第55号改正)

この規程は、平成12年4月1日から施行する。

附 則(平成13年3月31日規第74号改正)

この規程は、平成13年4月1日から施行する。

附 則(平成14年4月16日規第128号改正)

この規程は、平成14年4月16日から施行する。

附 則(平成14年7月16日規第135号改正)

この規程は、平成14年7月16日から施行する。

附 則(平成 15 年 9 月 16 日規第 98 号改正)

この規程は、平成 15 年 10 月 1 日から施行する。

附 則(平成 16 年 4 月 1 日規第 198 号改正)

この規程は、平成 16 年 4 月 1 日から施行する。

附 則(平成 17 年 4 月 1 日規第 82 号改正)

この規程は、平成 17 年 4 月 1 日から施行する。

附 則(平成 17 年 12 月 27 日規第 186 号改正)抄

1 この規程は、平成 18 年 1 月 1 日から施行する。

2 この規程施行の際現に第 1 条の規定による廃止前の次の表の中欄に掲げる規程(以下「廃止前の規程」という。)の規定により同表の左欄に掲げる職の任にある者又は職に併任されるものとして選考された者は、この規程施行の日においてそれぞれ第 2 条から第 18 条まで、第 20 条、第 21 条、第 23 条、第 24 条、第 26 条から第 36 条まで及び第 67 条の規定による改正後の同表の右欄に掲げる規程(以下「改正後の規程」という。)の規定により同表の左欄に掲げる者になり、又は選考されたものとみなし、その任期(廃止前の規程の規定により併任されるものとして選考された者の任期を除く。)は、改正後の規程の規定にかかわらず、廃止前の規程に定める任期の末日までの期間とする。

職	廃止前の規程	改正後の規程
東北大学未来科学技術共同研究センター長	東北大学未来科学技術共同研究センター長選考及び任期規程	東北大学未来科学技術共同研究センター規程

附 則(平成 19 年 4 月 1 日規第 71 号改正)

この規程は、平成 19 年 4 月 1 日から施行する。

附 則(平成 27 年 3 月 23 日規第 24 号改正)

この規程は、平成 27 年 4 月 1 日から施行する。

附 則(平成 29 年 3 月 28 日規第 61 号改正)

1 この規程は、平成 29 年 4 月 1 日から施行する。

2 この規程の施行の日(以下「施行日」という。)前に改正前の第 4 条第 3 項の規定により、施行日に未来科学技術共同研究センター長に併任されるものとして選考された者は、施行日において改正後の第 4 条第 3 項の規定により選考されたものとみなす。

附 則(令和元年 11 月 26 日規第 44 号改正)

この規程は、令和 2 年 4 月 1 日から施行し、改正後の第 4 条第 3 項及び第 4 項の規定は、令和 2 年 4 月 1 日以後にセンター長に併任される者の選考から適用する。

# 東北大学未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価委員会内規

制定 平成10年4月9日

## (趣旨)

第1条 この内規は、東北大学未来科学技術共同研究センター規程第13条の規定に基づき、東北大学未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価委員会（以下「研究プロジェクト評価委員会」という。）の組織及び運営に関する事項を定めるものとする。

## (組織)

第2条 研究プロジェクト評価委員会は、東北大学の教員以外の学識経験者による委員若干人をもって組織する。

## (委員長)

第3条 研究プロジェクト評価委員会に委員長を置き、委員の互選によって定める。

2 委員長は、会務を総理する。

## (委嘱)

第4条 第2条に掲げる委員は、センター長が委嘱する。

## (雑則)

第5条 この内規に定めるもののほか、研究プロジェクト評価委員会の運営に関し必要な事項は、東北大学未来科学技術共同研究センター運営委員会の議を経て、センター長が定める。

## 附 則

この内規は、平成10年4月9日から施行する。

附 則 (平成12年4月1日改正)

この内規は、平成12年4月1日から施行する。

附 則 (平成16年4月1日改正)

この規則は、平成16年4月1日から施行する。

附 則 (平成17年4月26日改正)

この内規は、平成17年4月26日から施行する。

附 則 (平成29年4月27日改正)

この内規は、平成29年4月27日から施行し、平成29年4月1日から適用する。

## 東北大学未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価要項

平成16年4月1日 制定

### (趣旨)

第1条 この要項は、東北大学未来科学技術共同研究センター規程（平成10年4月9日規第46号）第13条及び東北大学未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価委員会内規（平成10年4月9日制定）第5条に基づき、東北大学未来科学技術共同研究センター研究プロジェクト評価（以下「研究プロジェクト評価」という。）に関し必要な事項を定めるものとする。

### (評価の基本方針等)

第2条 東北大学未来科学技術共同研究センターの設立目的を十分達成するため、開発研究部等の研究プロジェクト評価は、研究開始後2年を経過した研究プロジェクト（以下「研究プロジェクト」という。）の開発研究成果の評価を中心に、原則として、以後5年目及び7年目に実施するものとする。開発研究開始後2年を経過しないうちに終了又は中止されたプロジェクトについても同様とする。

2 研究プロジェクト評価委員会の委員長（以下「委員長」という。）は、前項の研究プロジェクト評価の結果について、東北大学未来科学技術共同研究センター長（以下「センター長」という。）に報告するものとする。

### (評価協力者)

第3条 委員長は、研究プロジェクト評価のため特定の事項につき専門的協力が必要な場合には、評価協力者を選定することができる。

2 前項の評価協力者は、委員長の求めに応じ、センター長が委嘱する。

### (委員及び評価協力者の任期)

第4条 委員の任期は委嘱した日から当該年度の末日までとし、その欠員が生じた場合の補欠委員の任期は、前任者の残任期間とする。

2 評価協力者の任期は1年以内とする。

3 委員及び評価協力者は再任されることができる。

### (秘密を守る義務)

第5条 前条の委員及び評価協力者は、その職務上知り得た秘密を漏らしてはならない。その職を退いた後といえども同様とする。

2 開発研究部等は、研究プロジェクト評価に際して、東北大学又は第三者の利益を損なうと認めるに足る合理的な理由がある場合には、研究プロジェクト評価委員会からの資料の提供その他情報の開示の要求を拒むことができる。ただし、東北大学又は第三者の利益を損なうおそれがなくなった場合にはただちに研究プロジェクト評価委員会に対して情報を開示しなければならない。

### (委員長の事故代理)

第6条 委員長に事故があるとき、又は委員長が欠けたときは、委員長があらかじめ指名する委員が、その職務を行う。

### (評価の対象及び評価事項)

第7条 研究プロジェクトの評価事項は次のとおりとする。

- (1) 各プロジェクトの開発研究成果の社会（世界・日本・地域）、経済、産業への還元結果
- (2) 各プロジェクトの研究費の実績
- (3) 各プロジェクトの開発研究計画に照らした開発研究の進捗状況に係る全体としての評価
- (4) その他開発研究の評価に必要な事項  
(評価の方法等)

第8条 開発研究部等の各プロジェクトの責任者は、前条の評価事項についてとりまとめた自己評価報告書を研究プロジェクト評価委員会へ提出するものとする。

- 2 研究プロジェクト評価委員会は、前項に規定する自己評価報告書に基づくほか必要と認めた場合には、各プロジェクトからのヒアリング、現地調査により評価を行う。
- 3 本条第1号に規定する自己評価報告書に関する細目は、センター長が定める。  
(研究プロジェクト評価結果の運営委員会への報告)

第9条 センター長は、研究プロジェクト評価結果に意見を附した上で、運営委員会へ報告するものとする。

(研究プロジェクト評価報告書の公開)

第10条 センター長は、前条による研究プロジェクト評価結果の報告の後、研究プロジェクト評価報告書を作成し、外部に公表するものとする。

(庶務)

第11条 研究プロジェクト評価委員会及び研究プロジェクト評価に関する庶務は、未来科学技術共同研究センター事務室において処理する。

(雑則)

第12条 この要項に定めるもののほか、研究プロジェクト評価に関し必要な事項は、センター長が定める。

#### 附 則

この要項は、平成16年4月1日から施行する。

附 則 (平成29年4月27日改正)

この内規は、平成29年4月27日から施行し、平成29年4月1日から適用する。

