

**研究成果展開事業 共創の場形成支援
(産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム
共創プラットフォーム型)の
追跡調査**

報告書

令和7年3月

株式会社 リベルタス・コンサルティング

目 次

第1章 調査実施要領	1
1-1. 調査目的	1
1-2. 調査対象プロジェクト	2
1-3. 調査方法	3
第2章 個別プロジェクト編	5
2-1. 世界の知を呼び込む IT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出（幹事機関：東北大学）	5
2-2. 有機材料の極限機能創出と社会システム化をする基盤技術の構築及びソフトマターロボティクスへの展開（幹事機関：山形大学）	40
2-3. 人と智能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出（幹事機関：名古屋大学）	71
2-4. ゲノム編集による革新的な有用細胞・生物作成技術の創出（幹事機関：広島大学）	99
2-5. 大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出（幹事機関：東京工業大学）	126
2-6. 生理学的データ統合システムの構築による生体埋込型・装着型デバイス開発基盤の創出（幹事機関：信州大学）	152
2-7. 安全・安心・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーション技術の創出（幹事機関：大阪大学）	184
第3章 プログラム全体編（OPERA の成果・課題等）	214
3-1. 本プログラムの効果と課題	214
【参考】マッチングファンド制度の長短所	222
3-2. 学生のキャリア形成への効果と課題	226
第4章 資料編	231
4-1. アンケート調査票	231
4-2. 書面調査調査票	266
4-3. ヒアリング調査項目	280

第1章 調査実施要領

1-1. 調査目的

国立研究開発法人科学技術振興機構（以下、「JST」）が「研究成果展開事業 共創の場形成支援」において実施した、産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム 共創プラットフォーム型（以下、「OPERA」もしくは「本プログラム」）の採択7プロジェクト（①世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出、②有機材料の極限機能創出と社会システム化する基盤技術の構築及びソフトマターロボティクスへの展開、③人と知能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出、④ゲノム編集による革新的な有用細胞・生物作成技術の創出、⑤大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出、⑥生理学的データ統合システムの構築による生体埋込型・装着型デバイス開発基盤の創出、⑦安全・安心・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーション技術の創出）を対象に追跡調査を実施し、終了後一定期間を経過した上記7プロジェクトについて、副次的効果を含めた研究開発成果の発展状況や活用状況等を明らかにすること、また、適宜 OPERA のプログラムとしての効用を明らかにすることにより、今後の施策立案や本プログラムの運営改善に活かすことを目的とする。

【備考】 OPERA とは

（1）プログラムの趣旨

本プログラムは、民間資金とのマッチングファンドにより、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の創出を目指すとともに、新たな基幹産業の育成が図れる持続的な研究環境・研究体制・人材育成システムを持つプラットフォームを形成することを目的とする。

（2）プログラムの支援概要

- ・ プロジェクト実施期間は、5 年度間（ただし、山形大学と名古屋大学の 2 プロジェクトは 6 ヶ月間、東北大学の 1 プロジェクトは 12 ヶ月間実施期間を延長）。
- ・ 民間企業が拠出する民間資金と、JST の委託研究開発費によるマッチングファンドにより研究開発を推進する。
- ・ JST の委託研究開発費は、プロジェクトあたり 1.5 億円／年度（間接経費を含む）を上限とし、民間企業が提供する研究資金総額と同額までを大学等に対して支援する。また、技術・システム革新シナリオの最適化、非競争領域における詳細な研究開発の企画、民間資金の管理、成果の取り扱い等、共創コンソーシアムの活動を推進するための経費として、「調査推進費」0.2 億円／年を別途支援する。
- ・ 各プロジェクトは、中心的な役割を果たす「幹事機関」を設置する。大学等及び民間企業はプラットフォームを担う「共創コンソーシアム」を形成し、非競争領域の産学共同研究、博士課程学生等の人材育成及び産学連携システム改革を一体的に推進する。

1-2. 調査対象プロジェクト

(1)平成28年度採択プロジェクト

①世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

幹事機関：東北大学

プロジェクト関連研究分野：電子デバイス・電子機器、回路設計・CAD、量子デバイス・スピンデバイス、微細プロセス技術、インターコネクト・パッケージのシステム化・応用、知能機械学・機械システム、情報機器・知能機械システム、精密機械システム、人間機械システム、情報システム、ナノマイクロメカトロニクス

②有機材料の極限機能創出と社会システム化をする基盤技術の構築及びソフトマターロボティクスへの展開

幹事機関：山形大学

プロジェクト関連研究分野：電子デバイス・電子機器、センシングデバイス、電子デバイス・集積回路、バイオデバイス、微細プロセス技術、有機ハイブリッド材料、有機半導体材料、機能材料

③人と知能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出

幹事機関：名古屋大学

プロジェクト関連研究分野：知覚情報処理、情報センシング、人間計測、センシングデバイス・システム、センサ融合・統合、知能ロボティクス、実世界情報処理、自律システム

④ゲノム編集による革新的な有用細胞・生物作成技術の創出

幹事機関：広島大学

プロジェクト関連研究分野：ゲノム生物学、発生生物学

(2)平成29年度採択プロジェクト

①大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出

幹事機関：東京工業大学

プロジェクト関連研究分野：建築構造・材料、地震防災、構造制御、耐震設計、耐風設計、構造解析、都市計画・建築計画、防災計画

②生理学的データ統合システムの構築による生体埋込型・装着型デバイス開発基盤の創出

幹事機関：信州大学

プロジェクト関連研究分野：生体医工学・生体材料学、生体シミュレーション、生態情報・計測、人工臓器学、バイオマテリアル、生体機能材料、リハビリテーション科学・福祉工学、生体機能代行

③安全・安心・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーション技術の創出

幹事機関：大阪大学

プロジェクト関連研究分野：量子ビーム科学、イオンビーム、中性子、量子ビーム医療応用、量子ビーム産業応用、量子ビーム測定手法、電子デバイス・電子機器、電子デバイス・集積回路

1-3. 調査方法

1) 事前調査(文献調査)

JST が保有する資料（終了報告書、事後評価報告書等）、公開情報、マスコミ情報等を基に、各プロジェクトの活動内容、実施体制、終了時及び現時点の状況（目標・成果）、プロジェクト終了時（事後評価）に求められた対応事項等の把握を行った。

2) アンケート調査

各プロジェクトの主要なメンバー（領域統括、幹事機関、大学・国公立試験研究機関の研究者、参画企業、当時リサーチアシスタント（RA）としてプロジェクトに参加していた方等。各プロジェクト約 25 名）を対象に、プログラム終了後の状況把握を目的としたアンケート調査を実施した。立場により回答できる設問に相違があるため、a)マネジメント層用（領域統括、幹事機関等）、b)研究機関用、c)企業用、d)RA 用の 4 種類の調査を実施した。また、幹事機関用には別途、書面調査票への回答に協力いただいた。

アンケート調査の実施状況を下表に示す。アンケート調査実施時期としては、平成 28 年度採択の 4 プロジェクトについては、令和 6 年 6 月下旬に調査票を E メールにて配付し、令和 6 年 8 月上旬にかけて回収した。また、平成 29 年度採択の 3 プロジェクトについては、令和 6 年 10 月下旬に調査票を E メールにて配付し、令和 6 年 12 月上旬にかけて回収した。

図表 1-1 アンケート調査の配付・回答状況（カッコ内は回答数）

プロジェクト名	マネジメント層	研究者	企業	RA
世界の知を呼び込む IT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出	5 (4)	13 (11)	10 (7)	6 (6)
有機材料の極限機能創出と社会システム化をする基盤技術の構築及びソフトマターロボティクスへの展開	7 (6)	9 (7)	5 (4)	3 (3)
人と智能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出	3 (3)	8 (8)	8 (7)	2 (2)
ゲノム編集による革新的な有用細胞・生物作成技術の創出	4 (4)	11 (9)	8 (8)	2 (2)
大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出	5 (5)	11 (9)	5 (4)	4 (4)
生理学的データ統合システムの構築による生体埋込型・装着型デバイス開発基盤の創出	5 (4)	13 (11)	5 (4)	2 (2)
安全・安心・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーション技術の創出	3 (3)	7 (7)	11 (10)	6 (4)

3) ヒアリング調査

文献調査、アンケート調査で把握した事項の確認・補足・詳細化と、今後の展開の方向性を把握することを目的に、各プロジェクトのキーパーソン（プロジェクト当たり 8 名程度）にヒアリング調査を実施した。

調査対象者として、領域統括、幹事機関、各分野リーダー、及びアンケート調査から成果創出状況が著しいと判断された主要研究者・企業を選定した。

調査は、Web 会議形式、及び訪問・対面形式で実施した。ヒアリング調査実施時期は、平成 28 年度採択の 4 プロジェクトについては、令和 6 年 8 月下旬～令和 6 年 9 月中旬、また平成 29 年度採択の 3 プロジェクトについては、令和 6 年 12 月上旬～令和 7 年 2 月上旬に実施した。

第2章 個別プロジェクト編

2-1. 世界の知を呼び込む IT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出(幹事機関:東北大学)

1) 共創コンソーシアム(IT・輸送システム産学共創コンソーシアム)の概要

〔実施体制〕

幹事機関：東北大学

領域統括：遠藤 哲郎（東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES）／
役職：センター長、教授）

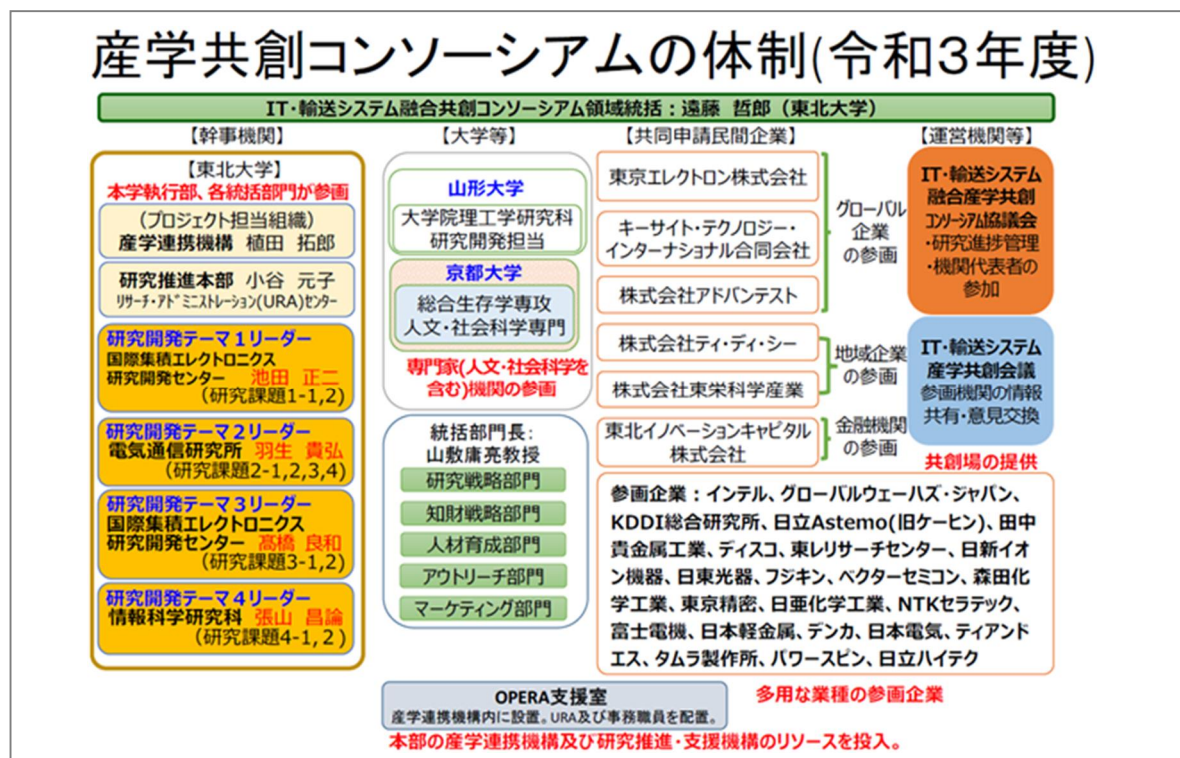
研究機関：京都大学、山形大学

民間企業：東京エレクトロン㈱、キーサイト・テクノロジー・インターナショナル(同)、
㈱アドバンテスト、㈱東栄科学産業、㈱ティ・ディ・シー、東北イノベーション
ンキャピタル㈱、インテル㈱、グローバルウェーハズ・ジャパン㈱、㈱KDDI
総合研究所、日立 Astemo㈱(旧㈱ケーヒン)、田中貴金属工業㈱、㈱ディスコ、
㈱東レリサーチセンター、日新イオン機器㈱、日東光器㈱、㈱フジキン、ベク
ターセミコン㈱、森田化学工業㈱、㈱東京精密、㈱NTK セラテック、日亜化
学工業㈱、日本軽金属㈱、デンカ㈱、富士電機㈱、日本電気㈱、ティアンドエ
ス㈱、㈱タムラ製作所、パワースピン㈱、㈱日立ハイテク、三菱マテリアル㈱

〔共創コンソーシアム概要〕

エネルギー問題、労働力問題という経済的、社会的変動要因を踏まえ、IT と輸送システム
の融合技術をキーテクノロジーと設定し、その非競争領域での革新的コア技術を産学が共同
して創出し、社会システム・産業構造の大きな変革と新しい市場開拓を目指す。

加えて、非競争領域である産学共創プラットフォーム事業と既に提案者が実施している競
争領域である CIES コンソーシアムとのシナジー効果により、「資金」、「知」、「人材」の好循
環を加速させることを踏まえて、社会実装を目指す。



資料：「令和3年度 プロジェクト実施計画書」

〔研究テーマ〕

研究開発テーマ	研究開発課題	共同研究機関
1 スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現	1-1 MTJ 素子の高品質化のための新材料、プロセス技術の確立	東北大学、民間企業 9 社
	1-2 新構造スピントロニクス素子による超省電力型新機能デバイスの実現	東北大学、民間企業 8 社
2 スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現	2-1 超低消費電力化のための回路技術の確立	東北大学、民間企業 10 社
	2-2 スピントロニクス集積回路製造のための高効率、高精度加工プロセスの実現	東北大学、民間企業 9 社
	2-3 スピントロニクス素子の高効率、高精度特性評価手法の確立	東北大学、民間企業 9 社
	2-4 スピントロニクス集積回路の高効率、高精度特性評価手法の確立	東北大学、民間企業 10 社
3 Si-CMOS を活用した GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路の実現	3-1 Si(100)基板上における高品質 GaN 結晶の成長技術の確立	東北大学、京都大学、山形大学、民間企業 7 社
	3-2 GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路を用いた次世代電装コンポーネント技術の確立	東北大学、民間企業 10 社
4 高度自動判断システムとハイブリッドパワー集積回路が生み出す次世代移動体システムの実現	4-1 高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立	東北大学、民間企業 4 社
	4-2 次世代移動体システム用デジタルニューラルネット回路・アーキテクチャ技術の確立	東北大学、民間企業 5 社

2) プログラム期間中における成果

終了報告書及び事後評価結果等に基づき、プログラム期間中（プログラム終了時点）における、産学連携システム改革に関する取組の成果と、主要な研究開発成果を整理する。

(1) 産学連携システム改革に関する取組（共創コンソーシアム）

図表 2-1 産学連携システム改革に関する取組

取組	成果内容
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 本事業により、直接経費（研究費）に対する間接経費比率を 10%から 20%に増額したことで知財の出願・維持に充てることが可能となり、この方針を全学に拡大した。 ● また、OPERA プロジェクトを中心的に推進した国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES）では間接経費率 30%での契約を部分的に開始した。 ● 費用負担の適正化に係る方針を徹底することにより、マーケティング調査に基づき機動的に研究課題を推進するとともに、RA 等人財育成と本部との連携による産学連携事業体制を構築することで共同研究費と本事業の資金を効果的に活用することができた。これらの事業運営の活動は、産学連携担当理事及び研究担当理事の支援も受けながら、2017 年度に本事業の連携ハブとして重要な機能を担う OPERA 支援室を設置などの運営体制の早期の構築に拠るところが大きかった。 ● OPERA 支援室は、本部研究推進機構 URA センター及び産学連携機構より URA の配置を受けて、全学的な連携体制を構築し、産学連携、研究推進、拠点事業のマネジメントをシームレスに展開できた。OPERA 支援室には、首席 URA 2 名（URA センター副センター長）および OPERA 支援室長（正規主任事務職員）、事務補佐員が配置され、事務支援、技術動向とマーケティング調査、広報・出口戦略、大学制度改革、他機関・学内横断的な連携と領域統括のマネジメントを支援することができた。これにより、シナリオが検証され、円滑な研究計画立案と実施、成果のアウトリーチがなされた。加えて、RA 制度の充実、コンソーシアム参画企業数の増加などを支援することができた。 ● これらのマネジメント体制の構築による効果的な産学連携活動は、OPERA コンソーシアムの参画企業との信頼関係を堅固なものとし、新たな企業の参画に繋がった。 ● 一方、本事業の間接経費の活用方針は、本学の産学連携の活用の指針となり、本学の産学連携担当理事のリーダーシップの共同研究契約における間接経費の向上につながった。加えて、本成果と本学の国際集積エレクトロニクス研究開発センターでの知見を融合させて、本学のオープンイノベーション戦略機構の立ち上げ・運営に貢献した。

取組	成果内容
知的財産の取扱ルールの方針	● 知財の創出および知財の管理・運用に対する仕組みを実際に本 OPERA の中で運用していくことで、現実にはオペレーションできる仕組みとして高度化することができた。具体的には、非競争領域における本産学共創プラットフォームにおける知財ポリシーは、競争領域における CIES コンソーシアムの知財ポリシーと統一化するように制度設計して運用したことにより、本事業の非競争領域のプロジェクトを、シームレスに競争領域に移行することができた。一貫性のある知財ポリシーは、中長期で研究開発戦略と事業戦略を実行する企業にとって信頼性の高い連携に繋がっている。 ● 幹事機関である東北大学が中心となって一元的に蓄積・運用する知財 Pool 制度、共同研究費に対する企業負担に応じて一元運用される特許の利用権利をクラス化する知財 Share 制度をそれぞれ新設した。 ● また、知財戦略を財政的に安定して運用するため、間接経費を 10% から 20% に引き上げ、知財の出願・維持費を確保した。 ● 人的リソースについては Chief Patent Officer (CPO) を設置し、知財戦略の立案と実施体制を整備した。
人材育成	● IT・輸送システム異分野融合領域における川上から川下までをカバーする異分野融合型人材育成のため、人材育成部門を設置し、産学連携で人材育成体制を構築できた。人材育成リーダーが参画企業・大学職員と協力して、OPERA の RA 学生の人材育成を産学共同研究の中で行った。 ● 具体的には、年度毎に RA 学生の成果報告会に参加企業様も質疑に参加する形式で開催することに加えて、3 カ月毎に RA 学生の評価を行い、各 RA 学生の給与単価に反映させることで、RA 学生にプロフェッショナル精神を学んでもらった。 ● 2021 年度までに本制度により 18 名の RA が雇用された。東北大学が運営している RA 制度と OPERA に参画する民間企業からの共同研究費を活用している。民間企業にも参画してもらって、OPERA での論文・学会発表などの研究成果だけでなく、産学共同研究活動の中で身に着けた知見・心構えや、知財出願など多角的に RA 学生の指導・評価を行い、四半期ごとに RA 雇用費の見直すなどの工夫により、産学連携研究開発活動を通じて近年の在学学生のトップ集団の学生と比較して、より自発的かつ責任感を持った研究開発人材を育成できた。 ● 大学院生とポスドク・若手研究者の産学連携研究への参画促進とコンソーシアム参画企業へのインターンシップを運営方針とし、異分野に触れることによるマネジメント力の育成、国内外派遣による異文化を跨ぐ全体俯瞰ができる人材を育成した。

取組	成果内容
機関連携・協力体制についての方針	● 設備・人的リソース等をコンソーシアム内で共有化することが可能となり、その結果、本事業に参画しているメンバーの負担を軽減し、エコな研究開発・事業化システムを構築することができた。これにより、本事業の目的が達成され、競争領域に展開できていると考えている。 ● 本事業では、企業とのコンソーシアム協議会による合意を得て、研究開発に必要な民間資金負担を決定しており、参画企業の要望を受けて、2016年度の事業計画変更により電界放出型電子顕微鏡を2018年2月に導入するなど有機的連携を図ることができた。 ● 研究開発部門、研究戦略部門等の間接部門は、研究開発状況や競争領域へ展開する状況、調査事業による技術・産業・社会の情勢を相互に共有し、バックキャストすることで、将来の輸送システムに向けたエレクトロニクス産業に必要なキーテクノロジーの実現に向けて、研究開発計画を検証してより効果的な研究開発を推進することができた。
参画機関の管理方針	● JST イノベーション・ジャパンや、セミコンジャパンなどのエレクトロニクス・半導体業界での技術国際展示会、さらには東北大学主催の国際シンポジウム等の様々な機会を活用して、OPERAでの活動内容やその研究成果の情報発信を積極的に行うことで、参画機関が当初6社から30社へ増加した。 ● 加えて、参画機関との研究開発の進捗や成果については、OPERAの内部成果報告会（中間・最終）、調査結果報告会、RA成果報告会など、コンソーシアム参画企業と密に連携してコミュニケーション密度を高める工夫をしてきた。 ● JST イノベーション・ジャパンでは、多数の来場を受けると共に、文部科学大臣の展示視察にて OPERA の説明を行った。CIES テクノロジーフォーラムでは、文部科学省からも局長が来賓として挨拶し、毎年学外から500名以上の参加者（内約60%以上は産業界からの参加者）を受け入れ、幅広い情報発信を行った（累積3,000人超）。 ● コンソーシアム内部においては、研究開発課題毎に定期的に打合せを実施するほか、シナリオ検証のための調査事業については関係する研究開発課題の研究者、企業に対して、調査報告会を実施して研究開発課題の方向性の確認等に活用した。 ● これらの活動を通じて、企業と大学の研究者が将来に向けた研究開発の方向性を理解して一体的に活動を推進することができた。

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

(2) 主要な研究開発成果

図表 2-2 主要な研究開発成果

キーテクノロジー	成果内容
1 IoT 用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立	● STT MRAM の主要構成要素である磁気トンネル接合に新構造を採用し、18 nm の接合直径を有した世界最小磁気トンネル接合素子において、車載応用可能な 150°C における高いデータ保持特性（熱安定性）、DRAM 同等の 10ns の高速・低電圧動作を実証した。 ● 本研究により、超大容量・低消費電力・高性能不揮発性メモリ、およびそれを用いた超高性能低消費電力集積回路の開発が加速すると期待される。
2 低損失ハイブリッドパワー集積デバイスと高効率エネルギー変換に求められる低損失パワーエレクトロニクスデバイス・パワーモジュール技術の確立	● GaN/Si デバイス、超低熱抵抗基板、ゲート回路、小型インダクタなどの高密度実装により超小型 DC-DC コンバータモジュールを実現した。 ● 本成果は、日本の半導体戦略に位置付けられている「令和 3 年度革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業」（文部科学省）に継承され、さらなる発展を目指す。 ● このモジュール技術は、EV、ロボット、データセンター用電源、太陽光用 PCS（パワーコンディショナー）などへの社会実装が期待される。
3 IT・パワーデバイス融合による次世代輸送システムに求められる知的グリーン・パワーエレクトロニクス技術の確立	● 画像クラスタリングの新しいアルゴリズムを提案し集積回路に実装した。本開発の画像クラスタリング AI チップは計算負荷を従来比 88.9%削減した。 ● 本成果は、日本の半導体戦略に位置付けられている「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発」（NEDO）へと引継がれ、自動運行や自動監視の応用向け超低消費電力 AI エッジデバイスとしての社会実装が期待される。

資料：「事後評価報告書」より抜粋・作成

3) プログラム終了後の構想・計画

各プロジェクトが終了報告書に記載した今後の構想・計画等について整理する。

(1) 今後のコンソーシアム活動の展望

研究成果や産学連携チームと様々な産学連携活動の運用知見・ノウハウを活用して、スピントロニクス・AI 関連分野においては NEDO 事業、パワーエレクトロニクス分野においては文部科学省事業、学生教育 (RA 制度) においては「卓越大学院プログラム」(日本学術振興会) へとそれぞれ継承・展開し、今後のさらなる発展が期待される。

また、本プログラムで蓄積した知見・ノウハウは、全学的に新しいスタイルの大学運営が求められている中で、東北大学オープンイノベーション戦略機構の運営における医療・ライフサイエンス、材料、エレクトロニクス分野へと幅広く展開するに至っており、その一層の定着が期待されている。

取組	終了後の運用方針
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 本事業で構築した産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化への取組みとノウハウは、東北大学オープンイノベーション戦略機構をはじめとして、本学の種々の産学連携研究開発拠点に継承しさらに発展させていく。 ● たとえば複数の企業との連携による非競争領域での研究開発はオープン型コンソーシアムの基盤として活用していく。 ● さらに、本 OPERA で産学連携事業の高い運用スキルを身に着けた教員はもとより産学連携機構職員・URA 等の職員・OPERA 支援室職員の人的リソースを今後の産学連携事業の中で最大限活用していく。
共創コンソーシアムにおける知的財産の取り扱いルールの方針	● 知的財産の取り扱いルールの方針は、非競争領域における本産学共創プラットフォームにおける知財ポリシーと、競争領域における CIES コンソーシアムの知財ポリシーとを統一化するように制度設計している。これまでと同様に CIES コンソーシアムに適用されていく。 ● 加えて、本 OPERA の取組みを受け、産学連携機構では知的財産に関わる知財戦略立案、知財創出から企業との交渉、契約の体制を強化することができた。今後は、これらの取組みと連携して非競争領域、競争領域の知的財産の取扱い、技術移転を推進する。
人材育成についての方針	● OPERA で構築した仕組みは、企業においても新たな人材の獲得に有効と考えられ、大学の人材育成と研究推進と社会貢献の役割を遂行する良い方策であると考えられる。今後も CIES コンソーシアムでは参画企業に対して本事業の仕組みを提案していくこととしている。 ● また、本 OPERA における人材育成の仕組みやノウハウは、学生教育 RA 制度として東北大学では卓越大学院プログラム (人工知能エレクトロニクス) にも活用され、産学による社会にイノベーションをもたらすことができる博士人材 (高度な「知のプロフェッショナル」) の育成へ展開されていく。

取組	終了後の運用方針
機関連携・協力体制についての方針	● 本事業では、これまで国際集積エレクトロニクス研究開発センターで立ち上げてきた共通設備は、さらに本産学共創コンソーシアム内に発展させた。 ● 今後も CIES コンソーシアムの競争領域、また非競争領域でこの運用を継続し、企業や連携機関との連携によるプロジェクトを推進していく。
参画機関の管理方針	● プロジェクト終了後においては、CIES が引継ぎ、材料／デバイス／プロセスから回路／システムまでの多種多様な国内外企業の呼び込み、多種多様なニーズ・シーズのマッチングの共創の場として、非競争領域での研究開発、競争領域での共同研究開発と事業化に向けて CIES コンソーシアムを運営していく。

(2)技術・システム革新シナリオ

研究開発テーマ	研究開発課題	プロジェクト終了後の活動方針
1 スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現	1-1 MTJ 素子の高品質化のための新材料、プロセス技術の確立	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 今後、我が国の半導体戦略事業や国際産学連携プロジェクト（競争領域）にて、本開発の技術と CMOS 技術の融合による集積回路レベルでの実証開発を国際集積エレクトロニクス研究開発センターの 300mm プロセスラインを活用して推進し、数年後に 1Xnm 以下の MTJ 技術を活用した低消費電力半導体技術の基盤構築を展開し、社会実装へと繋げることが出来ると考えている。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 現時点では界面磁気異方性を利用する 2 重界面 MTJ が競争領域の研究開発対象となっている。本プロジェクトでは国際集積エレクトロニクス研究開発センターで成膜・エッチングの主要技術を 300mm プロセス装置で構築し 4 重界面 MTJ 技術を開発し高い性能を実証しており、この次の数年の競争を優位に進める準備ができています。 ● さらにその先の段階において本プロジェクトで開発した形状磁気異方性や結晶磁気異方性を利用する MTJ 技術も徐々に導入して産業界と連携して技術を発展させていくことで、永くこの優位性を確保する。
	1-2 新構造スピントロニクス素子による超省電力型新機能デバイスの実現	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 「1Xnm 世代の既存の DRAM 互換メインメモリ向け STT-MRAM セル技術の基盤構築」という目標を超えて、Xnm 世代まで有効な MTJ 素子技術が構築された。また「輸送システム向けには 150℃、ROM 向けには 260℃、5 分の高温データ保持」という目標についても課題 1-1 との連

研究開発テーマ	研究開発課題	プロジェクト終了後の活動方針
		携により、飽和磁化とエネルギー障壁の温度に対するスケール関係が明らかになり、高温データ保持の各種要件を達成する素子設計範囲が明らかになった。 ● これらの知見をもとに、以下に述べるように競争領域での研究開発へとスムーズに移行し、社会実装へと結びつける。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 現在の競争領域で研究開発がなされている MTJ 素子のサイズは 30～60nm であり、本プロジェクトの終了から数年後には、本プロジェクトで開発した 1X, Xnm 向け技術が競争領域の対象となるものと予測される。 ● 本プロジェクトで得た優位性を生かし、国際集積エレクトロニクス研究開発センターの 300mm ウェハラインを活用して本技術を発展させ、引き続き様々な技術階層の企業を呼び込んで共同研究を幅広く展開し、競争領域でも世界の先頭を走る研究開発を進める。
2 スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現	2-1 超低消費電力化のための回路技術の確立	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 本 OPERA プログラム終了時点において、不揮発 FPGA の回路 IP 群ならびにそれらを有効に活用するための CAD ツール群一式が揃うことが見込まれる。 ● FPGA は産業から研究の幅広い分野で活用される汎用ハードウェアであり、現状では Xilinx 社、Intel 社が市場の大半を占めているが、不揮発 FPGA の低消費電力性を活かすことで、上記市場への新規参入ならびに不揮発 FPGA 特有の新たなアプリケーションへの展開が見込まれる。特に、FPGA をアクセラレータとして搭載した不揮発マイコンは車載をはじめとする種々のエレクトロニクス産業への参入が期待される。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 不揮発 FPGA をベースとした共同研究への展開を現在進めている。具体的には、1 社との共同研究締結へ向けた最終段階の打合せを実施すると共に、他の 1 社とは、共同研究締結へ向けた NDA を取り交わし、実務者レベルとの意見交換を定期的に行っている状況である。
	2-2 スピントロニクス集積回路製造のための高効率、高精度加	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● STT-MRAM 製造技術に関しては、本プロジェクトで得た高精度・低ダメージプロセスの設計指針とその評価技術を、次のステップであるハードウェア開発 (競争領域)へ

研究開発テーマ	研究開発課題	プロジェクト終了後の活動方針
	工プロセスの実現	と展開し、高性能 STT-MRAM の開発を加速する。 ● SOT-MRAM 製造技術に関しては、本プロジェクトで構築した標準 CMOS プロセスと互換性がある SOT-MRAM 用積層膜作製技術を生かし、SOT-MRAM を混載メモリとして用いたロジック応用への展開検討を開始する。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● SOT-MRAM を 300mm ウェハ集積させた報告はなく、独自性のたかい成果である。この成果の発表以来、世界中の競争的研究グループ、組織から実デバイスへの展開のためのアクセスがあり、今後、共同研究へ展開する可能性は高い。
	2-3 スピントロニクス素子の高効率、高精度特性評価手法の確立	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 課題 2-2 および 2-4 と有機的に連携して、プロセス～単体素子評価～メモリアレイ評価に至るまでを一貫して行えるようになる。 ● 本研究課題で確立したデバイス用材料およびデバイス開発用計測技術を用いて、MRAM に限らず高周波磁気デバイスの研究開発を行っている企業等で作製された材料やデバイスのデモ測定および評価を実施し、計測技術の更なる高度化を図る。 ● また、開発した計測装置の新規導入が難しい企業等に対する計測および評価サービスおよび技術指導を実施していく。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 産業界と互換性がある 300mm ウェハ対応測定装置を用いたこれまでの豊富な研究開発実績に加えて、産学共同企業と連携して、STT-MRAM 用 MTJ 素子評価ソリューションを開発する等の国内トップの技術アドバンテージを有することから、更なる未知の競争領域への展開を見込める。
	2-4 スピントロニクス集積回路の高効率、高精度特性評価手法の確立	● プロジェクト終了後の競争領域での共同研究の展開としては、MRAM に関係するチップメーカーの動向として、現在、TSMC、Samsung Foundries といった主要ファウンドリメーカーが MRAM チップのリスク・マスプロダクションを開始しており、近日中の本格的マスプロダクション化を目指している。 ● この事業動向を踏まえ、本事業における共同研究先との連携を一層進めつつ、本成果をベースに競争領域への展開 (MRAM テスト装置の事業化) を進める。

研究開発テーマ	研究開発課題	プロジェクト終了後の活動方針
3 Si-CMOS を活用した GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路の実現	3-1 Si(100)基板上における高品質 GaN 結晶の成長技術の確立	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 本事業では、 ・ Si(100)基板上へバッファ層を用いた c-GaN 成膜技術の確立 ・ Si-CMOS との集積化に必要な選択成長基本技術の確立 ・ 成膜が困難な c-GaN 層の電気特性評価の実施 上記を達成した。残された課題は、AlGaIn/GaN 構造作成と、電気特性である移動度向上には GaN 品質向上が不可欠である。 ● 上記達成後、社会実装に向けて残された課題は ・ Si-CMOS との集積化による高機能な GaN パワーモジュール作成 ・ 大口径化によるコスト削減 となる。まずはトランジスタ特性の改善を図り、Si-CMOS の膨大な回路設計資産、デバイスのプロセス設計資産、Fab 資産等を最大限活用し、早期に高機能な GaN パワーモジュール作成、さらにはハイブリッドパワー集積回路デバイス化を図る。 それに合わせ、成膜装置メーカーに協力を仰ぎ、大口径基板上への GaN 成膜技術開発を進める。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 2022～2023 年度まで GaN デバイスの電気特性評価向上の為に電気特性評価及び結晶評価実施機関との協力を経て、GaN 結晶性と電気特性向上に努める。併せて 2023 年度中に大口径化実証へ向けて、成膜装置メーカーに協力を仰ぎ、社会実装に向けて取り組む予定である。 ● さらに、ハイブリッドパワー集積回路デバイスの実現に向けて、課題 3-2 の成果との相互作用を図る研究計画を検討する。
	3-2 GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路を用いた次世代電装コンポーネント技術の確立	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 最終目標を達成し、プロジェクト終了後は社会実装に向けた活動を OPERA 終了後も参画企業と共同研究を継続しながら進める予定である。 ● 本研究開発課題では、課題 3-1 の Si(100)上への GaN 結晶成長の研究開発と並行して、現在入手できる Si(111)上に形成された GaN デバイスを用いてパワーモジュールを先行開発した。課題 3-1 では Si(100)基板上集積化に向けた要素技術実証が完了しており、結晶品質向上を通しての電

研究開発テーマ	研究開発課題	プロジェクト終了後の活動方針
		気特性改善が実現した際は、Si-CMOS 等との集積化技術を用い、課題 3-2 の成果において GaN/Si(111)デバイスを課題 3-1 の GaN/Si(100)素子に置換することにより、シナジー効果が生まれ、ハイブリッドパワー集積回路デバイスを実現する。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 競争領域での共同研究は OPERA 終了後、国プロ（我が国の半導体戦略事業：文部科学省）と民間共同研究を活用して、量産化に向けて行う予定である。
4 高度自動判断システムとハイブリッドパワー集積回路が生み出す次世代移動体システムの実現	4-1 高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 本事業終了時点で、300mm-wafer 集積した不揮発性アナログ素子技術を開発し、高度自動判断システムに適用する上で必須である諸特性を満たすことを確認し、その不揮発性アナログ素子の特性を再現する回路モデルを構築する。 ● その上に、画像認識、画像分類と物体検出等の画像認知応用にフォーカスして、OPERA 提案設計の不揮発 Neuromorphic アーキテクチャの大規模設計と検証を行う。 ● それから、同じ中核技術を生かして、画像連想認識と分類応用における高度自動判断システムにも導入しその大幅な性能優位性を検証する。 ● 上記技術をベースに不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの開発設計技術を確立する。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 上述の結果を礎として、事業終了後には競争領域の資金を申請して、OPERA 提案アーキテクチャを用いた CMOS/MTJ 混載 VLSI の SoC 実装へ研究展開し、自動運行と自動監視の実応用向けの超低電力不揮発 Neuromorphic 学習認識システムを実現することによって、シーズ技術から産業界へ貢献できる中核技術への開発展開を期待している。
	4-2 次世代移動体システム用デジタルニューラルネット回路・アーキテクチャ技術の確立	(プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針) ● 本課題が推進した要素技術開発、および、これらを基盤とするシステムレベル評価から得られた成果に基づき、具体的応用事例を対象とした性能評価を推進することで、本研究開発課題の次世代移動体システム向け高エネルギー効率 AI ハードウェアの実現に対する効果・優位性

研究開発テーマ	研究開発課題	プロジェクト終了後の活動方針
		が明らかになることが期待される。 (競争領域での共同研究への展開の計画) ● 次世代移動体への AI 実装は複数の企業・研究機関で盛んに開発が進んでいる状況であり、不揮発素子活用の利点（省電力・コンパクト）を最大限活かす回路・システム技術により、本グループの優位性を保ちつつ競争領域に展開できる。

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

なお、研究開発に関する「プログラム終了後の活動方針」については「5) 研究開発成果の発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。同様に、産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みに関する「プログラム終了後の運用方針」については「6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。

【備考】本追跡調査における調査対象者

本追跡調査は、IT・輸送システム産学共創コンソーシアムにおける主要なプロジェクト参加者（領域統括、幹事機関、主要研究者、主要企業、リサーチアシスタント等。各プロジェクトから調査対象者を推薦いただいた）を対象に実施している（アンケート調査：28名、ヒアリング調査：8名）。

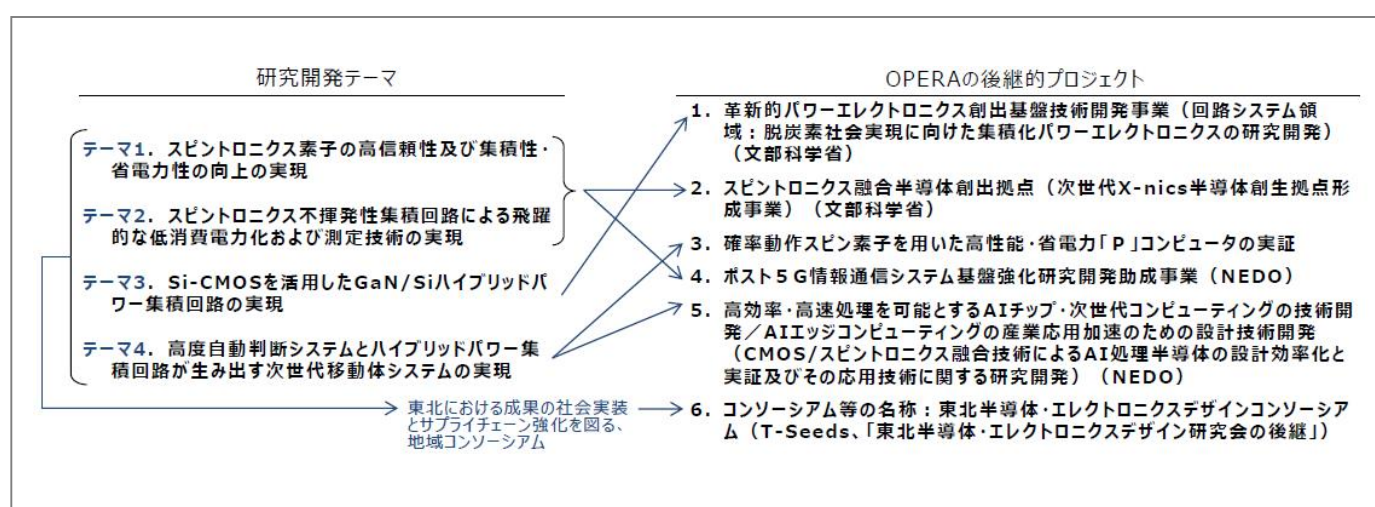
そのため、次ページ以降に示す調査結果は、各プロジェクトに関する本プログラム終了後の中核的な活動状況を対象としたものであり、全プロジェクト参加者による活動全体を網羅したものではないことに留意されたい。

4) 共創コンソーシアムの発展状況

東北大学 CIES の OPERA プロジェクトの場合、OPERA 終了後、コンソーシアムをそのまま単独の研究開発推進母体として継続するのではなく、元から CIES にある「CIES コンソーシアム」という産学共同研究推進の枠組みに、OPERA で生み出された成果やネットワークを分散（適材適所）的に投入・活用している。そのため、各研究開発テーマから枝分かれする形で、非競争領域と競争領域の両方に関連する多岐にわたる研究開発プロジェクトが派生している。

そのため、機密管理に厳しい半導体分野での活動であるという点も相まって、OPERA プロジェクトで設定された4つの研究開発テーマ毎の成果が、どの後継プロジェクトのどの部分で、どの主体によって、どのように活用されているかが見えにくい面がある。

OPERA からの後継的なプロジェクトとしては、文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業（回路システム領域：脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発）」など、下記6つのプロジェクトが挙げられる。



以下、これら6つの後継的プロジェクトについて報告する。

(1)革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業(回路システム領域:脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発)(文部科学省)

①目的

- WBG デバイスの優れた性能を極限まで活かした回路システムを研究・開発することと、回路システムに最適な超小型・高性能なパワーモジュール、パワーユニットを開発し、さらには受動部品を適用することで、次世代インバータおよび電源の小型化、高性能化、高パワー密度化、高効率化の実現を目指す。
- 代表機関（東北大学）と研究分担機関（茨城大学、早稲田大学）及び協力企業（アドバイザリーボード）にて、パワーエレクトロニクス研究に重要な5つのサブテーマの研究開発を推進、加えてデバイスチーム、受動部品チームと連携を密にすることで当該分野での学術的な先鋭化を進めるとともに、それらを統合化した応用製品の社会実装化に繋げる。

図表 2-3 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業（回路システム領域：脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発）（文部科学省）概要図



②体制

図表 2-4 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業（回路システム領域：脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発）（文部科学省）のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	東北大学 CIES
研究機関	東北大学、茨城大学、早稲田大学
マネジメント体制	東北大学（業務主任者、事務担当者、経理担当者）

③活動内容

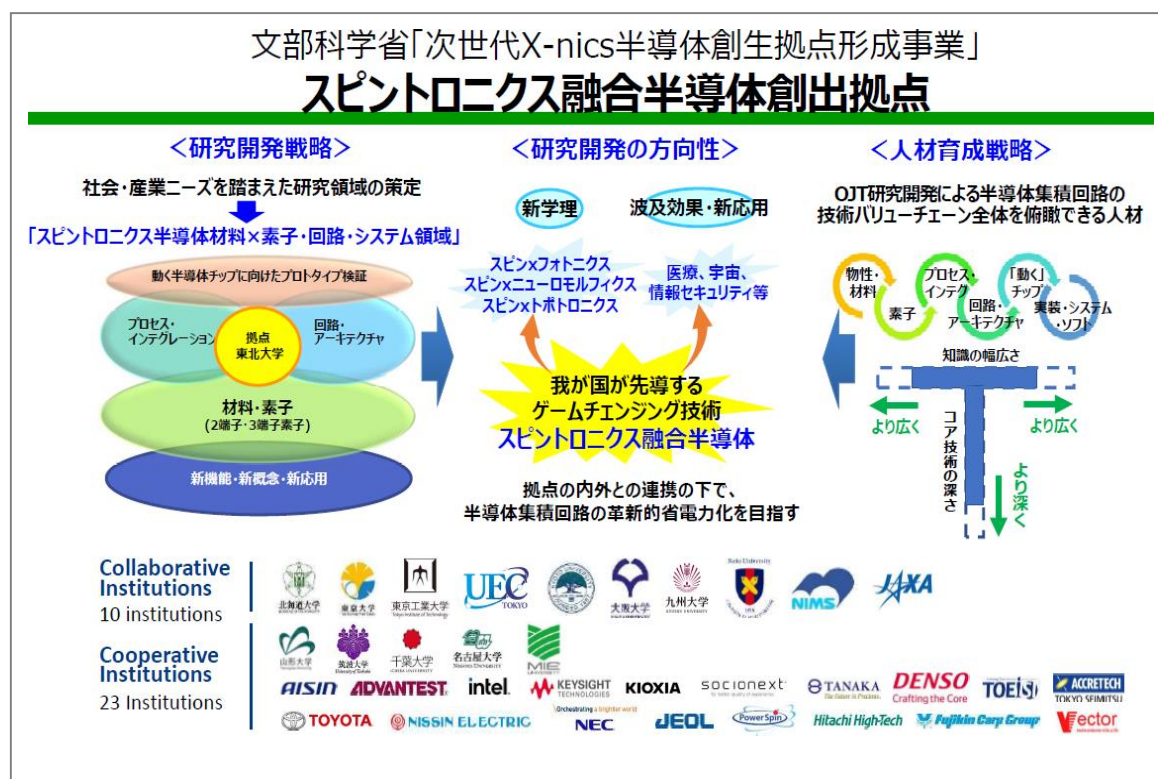
区分	活動内容
会議、セミナー、シンポジウム等	● 8th CIES Technology Forum (2023.3.27～28) ● 9th CIES Technology Forum (2024.3.21～22) ● INNOPEL シンポジウム 2023 (2024.2.28) ● 第1回半導体テクノロジーシンポジウム (2022.11.28) ● 第2回半導体テクノロジーシンポジウム (2023.12.15)
共同研究、実証事業、マッチング等	● CIES コンソーシアムにおける共同研究は、先端半導体製造のグローバル企業と互換性の有る CIES の 300mm プロセスラインを活用し、中立的な立場である東北大学 (CIES) を介してコンソーシアムに参画する企業がそれぞれに研究開発できるほか、CIES を介して企業間で関連する新規領域の共同研究を検討・実施する場としても有効である。

(2)スピントロニクス融合半導体創出拠点(次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業)(文部科学省)

①目的

- 我が国が先導してきた集積回路の省電力化のゲームチェンジ技術であるスピントロニクスを中核に据え、新材料・素子の研究開発とその特性を引き出す回路・アーキテクチャ・集積化技術の研究開発を推進し、CMOS 半導体の発展を加速させる動く省電力半導体チップに向けたプロトタイプ検証までを、連携・協力機関と共に総合的に展開する。

図表 2-5 スピントロニクス融合半導体創出拠点 (次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業)
(文部科学省) 概要図



②体制

図表 2-6 スピントロニクス融合半導体創出拠点（次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業）
（文部科学省）のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	東北大学
研究機関	主なものについては図を参照
企業	同上
マネジメント体制	東北大学（拠点長、副拠点長、研究開発推進委員会、人材育成委員会、知財委員会、拠点内外連携支援室）

③活動内容

区分	活動内容
会議、セミナー、シンポジウム等	● 8th CIES Technology Forum（2023.3.27～28） ● 9th CIES Technology Forum（2024.3.21～22） ● INNOPEL シンポジウム 2023（2024.2.28） ● 第1回半導体テクノロジーシンポジウム（2022.11.28） ● 第2回半導体テクノロジーシンポジウム（2023.12.15）
共同研究、実証事業、マッチング等	● CIES コンソーシアムにおける共同研究は、先端半導体製造のグローバル企業と互換性の有る CIES の 300mm プロセスラインを活用し、中立的な立場である東北大学（CIES）を介してコンソーシアムに参画する企業がそれぞれに研究開発できるほか、CIES を介して企業間で関連する新規領域の共同研究を検討・実施する場としても有効である。

（3）確率動作スピン素子を用いた高性能・省電力「P」コンピュータの実証

①目的

- スピントロニクス確率論的コンピュータのデモシステムを構築して組合せ最適化、機械学習、量子多体計算、ベイズ推定などの原理実証を行うとともに、高性能化に不可欠な確率動作スピントロニクス素子の性能向上に向けた物理的な理解の促進と素子技術開発を実施。

図表 2-7 確率動作スピン素子を用いた高性能・省電力「P」コンピュータの実証 概要図



②体制

図表 2-8 確率動作スピン素子を用いた高性能・省電力「PJ コンピュータの実証のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	東北大学
研究機関	東北大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校（アメリカ）、メッシーナ大学（イタリア）
マネジメント体制	東北大学電気通信研究所（連絡先窓口）

③活動内容

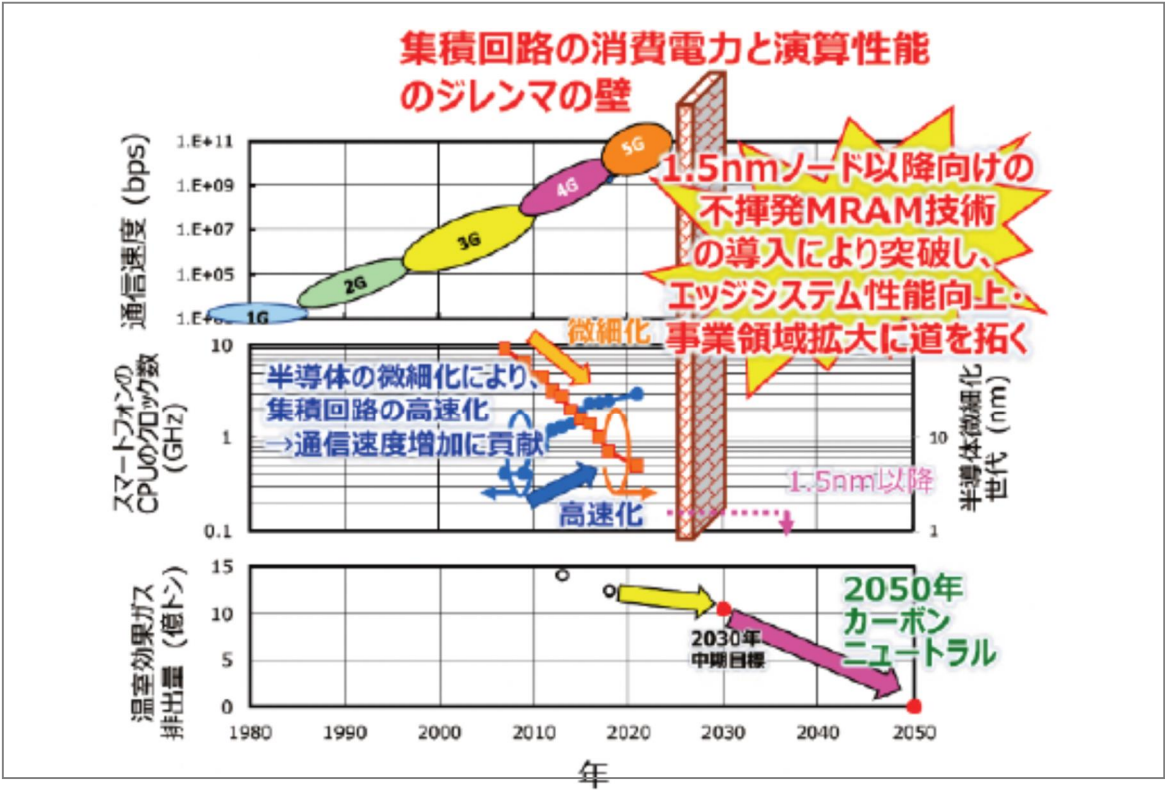
区分	活動内容
共同研究、実証事業、マッチング等	CIES コンソーシアムにおける共同研究は、先端半導体製造のグローバル企業と互換性の有る CIES の 300mm プロセスラインを活用し、中立的な立場である東北大学（CIES）を介してコンソーシアムに参画する企業がそれぞれに研究開発できるほか、CIES を介して企業間で関連する新規領域の共同研究を検討・実施する場としても有効である
その他	関連 Press Release : 2022.12.2/2023.12.13/2024.4.5, Andrea Grimaldi, Kemal Sencuk, Navid Anjum Aadit, Keito Kobayashi, Qixuan Cao, Shuvro Chowdhury, Giovanni Finocchio, Shun Kanai, Hideo Ohno, Shunsuke Fukami and Kerem Y. Camsari, “Experimental evaluation of simulated quantum annealing with MTJ augmented p-bits” (磁気トンネル接合駆動確率ビットを用いた疑似量子アニーリング), IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM)

(4)ポスト5G 情報通信システム基盤強化研究開発助成事業(NEDO)

①目的

- 光ディスクアグリゲータッドコンピューティングに向けた光電融合インターフェイスメモリモジュールであるフォトニックファブリックアタッチトメモリモジュール（PFAM）の開発に取り組む。

図表 2-9 ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発助成事業（NEDO）概要図



②体制

図表 2-10 ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発助成事業（NEDO）のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	東北大学
企業	東京エレクトロン(株)、キーサイト・テクノロジー・インターナショナル(同)
マネジメント体制	東北大学（業務管理者、経理責任者、プロジェクト担当窓口、契約担当窓口）

③活動内容

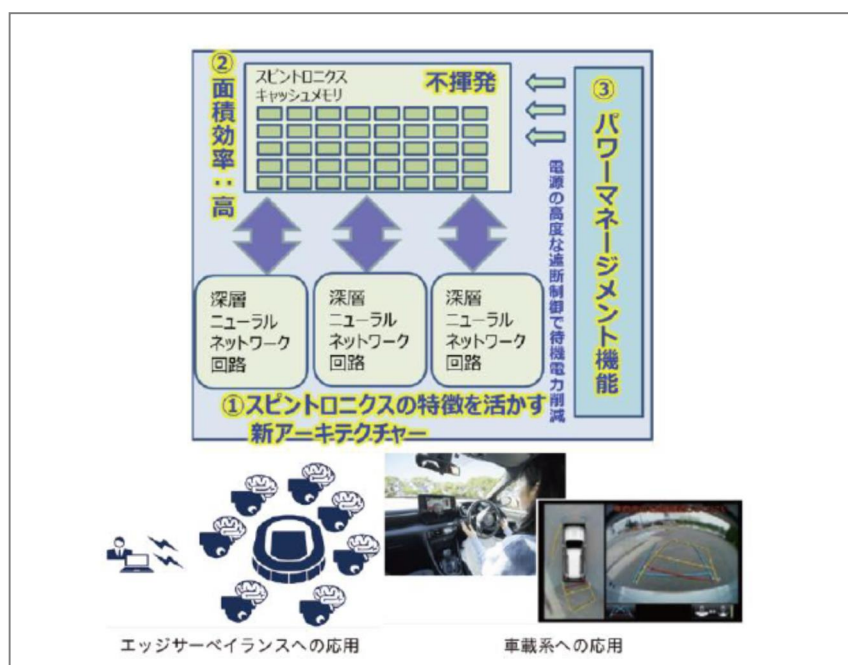
区分	活動内容
会議、セミナー、シンポジウム等	● 9th CIES Technology Forum (2024.3.21～22) ● 2024 Spintronics Workshop on LSI (2024.6.16、ハワイ)
共同研究、実証事業、マッチング等	● CIES コンソーシアムにおける共同研究は、先端半導体製造のグローバル企業と互換性の有る CIES の 300mm プロセスラインを活用し、中立的な立場である東北大学 (CIES) を介してコンソーシアムに参画する企業がそれぞれに研究開発できるほか、CIES を介して企業間で関連する新規領域の共同研究を検討・実施する場としても有効である。

(5)高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発／AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための設計技術開発」(CMOS/スピントロニクス融合技術による AI 処理半導体の設計効率化と実証及びその応用技術に関する研究開発)(NEDO)

①目的

- CMOS 技術と不揮発性で面積効率の高いスピントロニクス技術を融合し、その特徴を最大限に活かすエッジ AI 処理技術を開発することで、電力効率 10 倍向上の実現が可能となる。この産業応用を加速するため、CMOS/スピントロニクス融合技術による AI 処理 LSI の効率的な設計技術の研究開発とその実証、そしてその応用技術の研究開発を行う。

図表 2-11 高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発／AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための設計技術開発」(CMOS/スピントロニクス融合技術による AI 処理半導体の設計効率化と実証及びその応用技術に関する研究開発)(NEDO) 概要図



②体制

図表 2-12 高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発／AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための設計技術開発（CMOS/スピントロニクス融合技術によるAI 処理半導体の設計効率化と実証及びその応用技術に関する研究開発）（NEDO）のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	東北大学
企業	日本電気(株)、(株)アイシン
マネジメント体制	東北大学（業務管理者、経理責任者、プロジェクト担当窓口、契約担当窓口）

③活動内容

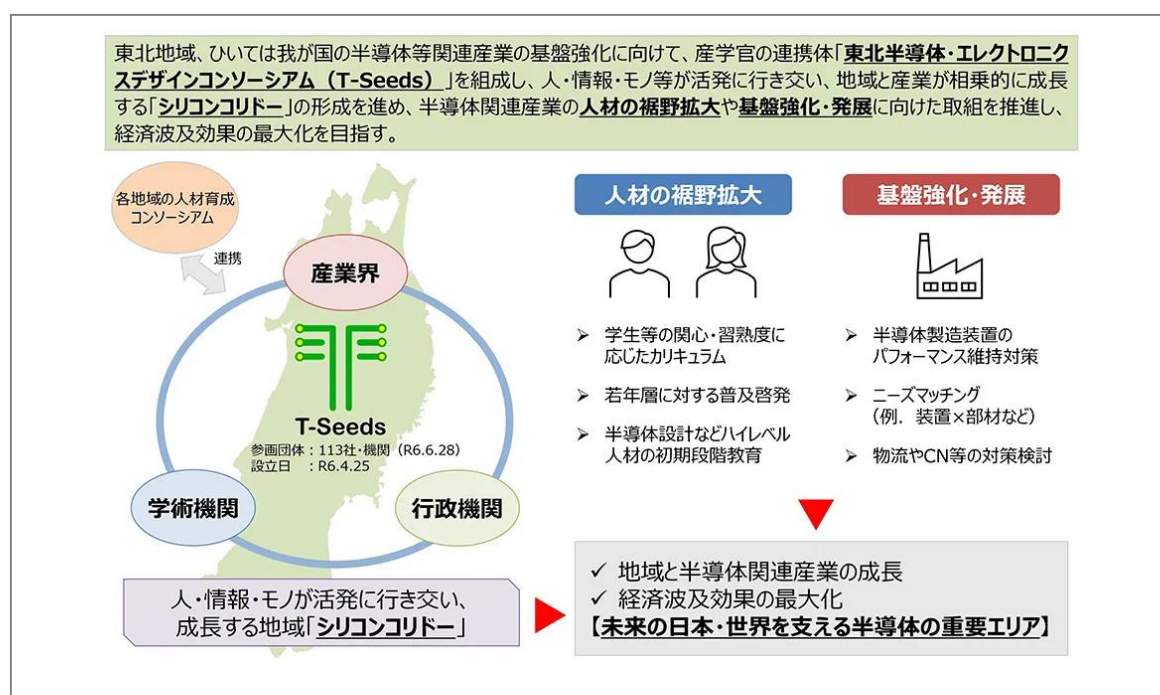
区分	活動内容
会議、セミナー、シンポジウム等	● 8th CIES Technology Forum（2023.3.27～28） ● 9th CIES Technology Forum（2024.3.21～22） ● 2023 Spintronics Workshop on LSI（2023.6.12 日 京都） ● 2024 Spintronics Workshop on LSI（2024.6.16 ハワイ） ● 第1回半導体テクノロジーシンポジウム（2022.11.28） ● 第2回半導体テクノロジーシンポジウム（2023.12.15）
共同研究、実証事業、マッチング等	● CIES コンソーシアムにおける共同研究は、先端半導体製造のグローバル企業と互換性の有る CIES の 300mm プロセスラインを活用し、中立的な立場である東北大学（CIES）を介してコンソーシアムに参画する企業がそれぞれに研究開発できるほか、CIES を介して企業間で関連する新規領域の共同研究を検討・実施する場としても有効である。
その他	● 半導体関連人材の育成・確保、関連産業の基盤強化・発展

（6）東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム（T-Seeds、「東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会」の後継）

①目的

- 東北地域、ひいては我が国の半導体等関連産業の基盤強化に向けて、産学官の連携体「東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム（T-Seeds）」を組成し、人・情報・モノ等が活発に行き交い、地域と産業が相乗的に成長する「シリコンコリドー」の形成を進め、半導体関連産業の人材の裾野拡大や基盤強化・発展に向けた取組を推進し、経済波及効果の最大化を目指す。

図表 2-13 東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム（T-Seeds、「東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会」の後継）概要図



②体制

図表 2-14 東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム（T-Seeds、「東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会」の後継）のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会事務局
研究機関・企業	下記 Web サイト（東北経済産業局）参照： https://www.tohoku.meti.go.jp/s_monozukuri/mono_hando.html
マネジメント体制	事務局：会員から2名、東北経済産業局2名

③活動内容

区分	活動内容
会議、セミナー、シンポジウム等	- 第1回半導体テクノロジーシンポジウム（2022.11.28） - 第2回半導体テクノロジーシンポジウム（2023.12.15）
共同研究、実証事業、マッチング等	CIES コンソーシアムにおける共同研究は、先端半導体製造のグローバル企業と互換性の有る CIES の 300mm プロセスラインを活用し、中立的な立場である東北大学（CIES）を介してコンソーシアムに参画する企業がそれぞれに研究開発できるほか、CIES を介して企業間で関連する新規領域の共同研究を検討・実施する場としても有効である。
その他	半導体関連人材の育成・確保、関連産業の基盤強化・発展

5) 研究開発成果の発展状況

研究開発に関する、プログラム終了後の活動状況について、後継的プロジェクトごとに記載する。

(1)革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業(回路システム領域:脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発)(文部科学省)

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 代表機関（東北大学）と研究分担機関（茨城大学、早稲田大学）及び協力企業（アドバイザーボード）にて、パワーエレクトロニクス研究に重要な5つのサブテーマの研究開発を推進、加えてデバイスチーム、受動部品チームと連携を密にすることで当該分野での学術的な先鋭化を進めるとともに、それらを統合化した応用製品の社会実装化に繋げる。

○ODC-DC コンバータや次世代パワーモジュールの研究開発

WBG デバイスの優れた性能を極限まで活かした回路システムを研究・開発することと、回路システムに最適な超小型・高性能なパワーモジュール、パワーユニットを開発し、さらには受動部品を適用することで、次世代インバータおよび電源の小型化、高性能化、高パワー密度化、高効率化の実現を目指している。

これまでに、パワーエレクトロニクスの主回路構成において、横型 GaN-HEMT で行った研究を SiC-MOSFET にも応用した。これは従来のセラミック上への実装に対しプリント基板上に表面実装し、かつ放熱性と低インダクタンス化を確立することで、性能面、コスト面で優位になることを示すことに繋がり、今後の EV/HEV などの電力変換機器の新たな基幹技術を創出。

(2)スピントロニクス融合半導体創出拠点(次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業)(文部科学省)

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 我が国が先導してきた集積回路の省電力化のゲームチェンジ技術であるスピントロニクスを中核に据え、新材料・素子の研究開発とその特性を引き出す回路・アーキテクチャ・集積化技術の研究開発を推進し、CMOS 半導体の発展を加速させる動く省電力半導体チップに向けたプロトタイプ検証までを、連携・協力機関と共に総合的に展開する。

○全国の大学と連携したスピントロニクス共同研究体制構築

OPERA での開発技術と CMOS 技術の融合による集積回路レベルでの実証開発を国際集積エレクトロニクス研究開発センターの 300mm プロセスラインを活用して推進。1Xnm 以下の MTJ 技術を活用した低消費電力半導体基盤技術をファウンドリにおいてスケーリング開発が進んでいる MRAM 等の競争領域研究として進展させ、社会実装へと繋げる展開が進みつつある。

人材育成面では、自身のコア技術・専門分野を深めつつ、半導体集積回路の技術バリューチェーン全体を俯瞰できる人材や、各技術領域からの協力企業による実践教育なども活用したビジネスセンス・企画力を有する人材の育成を目指している。さらに、学生の教育のみならず、教育・指導する側の若手教員・技術者のリカレント人材育成にも取り組む。その一環として「X-nics 産

学連携セミナー」を開催し、下表に示すように多くの先進的企業が参加している。

X-nics産学連携セミナーの事例 (2023年度開講より)

車載半導体等の技術と知財	住友電気工業
電機業界とその知財戦略	パナソニック
半導体が拓く未来	JEITA
モビリティカンパニーへの変革に向けて	トヨタ自動車
クルマ社会の変化と車載用半導体のチャレンジ	デンソー
Beauty of NAND	ウェスタンデジタル
AIを加速させるコンピューティングプラットフォーム	NEC
Beyond 5G技術	NICT
フラッシュメモリの最前線	キオクシア
IVI向けSoCおよびOS変遷と展望	アイシン
カーボンニュートラルに貢献するパワー半導体モジュールのパッケージ技術	富士電機
先端パッケージの技術動向とそれを支える材料技術	レゾナック
Computing & Memory	Intel

※ 東北大学をハブとして、全国の約 15 大学が連携した共同研究体制を敷き、400 名規模の URA を動員して産業動向等を的確に捉えた活動を追求しているとのこと。

(3) 確率動作スピン素子を用いた高性能・省電力「P」コンピュータの実証

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- スピントロニクス確率論的コンピュータのデモシステムを構築して組合せ最適化、機械学習、量子多体計算、バイズ推定などの原理実証を行うとともに、高性能化に不可欠な確率動作スピントロニクス素子の性能向上に向けた物理的な理解の促進と素子技術開発を実施。

○古典的コンピュータに比べ約5桁高い演算性能と約1桁低い消費電力を実現

本研究チームは、機械学習や組合せ最適化などを高速かつ省電力で解く「P」コンピュータを、自然の熱で状態が確率的に変化する新規スピン素子とプログラム可能半導体回路（Field Programmable Gate Array: FPGA）を用いて構築し、その性能を評価した。

組合せ最適化を例に、古典的コンピュータで確率的アルゴリズムを実行した場合と比較し、「P」コンピュータは約 5 桁高い演算性能と約 1 桁低い消費電力を実現できることを明らかにした。

今後本技術を発展させることで、低炭素社会の実現に向け需要が高まっている、エッジで複雑性の高い問題を省電力で処理する情報機器などの実現に繋がるものと期待される。

本研究成果は、米国において 2022 年 12 月 3～7 日（現地時間）に開催された「International Electron Devices Meeting: IEDM」で発表された。

(4)ポスト5G 情報通信システム基盤強化研究開発助成事業(NEDO)

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 光ディスクアグリゲータッドコンピューティングに向けて必要な、光電融合インターフェイスメモリモジュールであるフォトリックファブリックアタッチトメモリモジュール(PFAM)の開発に取り組む。

①半導体プロセス 1.5nm ノード以降の不揮発性 MRAM の微細加工基盤技術の開発

スマートフォンや IoT・AI プロセッサ等のエッジ側システムのポスト 5G 時代の低遅延性実現に向け、電力供給制限環境下での高度なエッジコンピューティングの開発を推進。従来のシリコン技術の延長線上での 1.5nm ノード以降の技術開発では消費電力と演算性能のジレンマが課題となり、エッジシステムの性能向上や事業領域拡大に制限が生じるため、1.5nm ノード以降の不揮発性 MRAM の微細加工技術の研究開発を行うことで、MRAM/CMOS 混載 LSI 技術に基づく不揮発化と微細化による低消費電力化により消費電力と演算性能のジレンマの解決を図る。

東京エレクトロン(株)が 1.5nm ノード以降に向けた MTJ ピッチでの RIE エッチング基盤技術の開発を、東北大学 CIES がその微細加工基盤技術検証につなげる集積プロセス開発・試作・評価を担当。両者が一体となって半導体プロセス 1.5nm ノード以降に向けた不揮発性 MRAM の微細加工基盤技術の構築を進めている。

②高性能不揮発性メモリとその評価・製造装置の開発

CIES 保有の STT-MRAM 等に係るプロセス・デバイス・システムに係るコア技術を適用し、半導体製造装置メーカーの東京エレクトロン(株)が STT-MRAM 向けの製造装置の開発を行い、計測機器メーカーのキーサイト・テクノロジー・インターナショナル(同)が製造された STT-MRAM 向けの評価装置の開発を行っている。

材料(川上技術)からシステム(川下技術)まで対応する当センターの革新的コア技術、300mm ウェハ対応のプロセスラインからなるハード、オープンイノベーション型研究開発のために構築された産学連携コンソーシアムによるフレキシブルなフレームワーク等のソフトという3つの要素の有機的を目指している。

(5)高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発/AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための設計技術開発」(CMOS/スピントロニクス融合技術による AI 処理半導体の設計効率化と実証及びその応用技術に関する研究開発)(NEDO)

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- CMOS 技術と不揮発性で面積効率の高いスピントロニクス技術を融合し、その特徴を最大限に活かすエッジ AI 処理技術を開発する事で、電力効率 10 倍向上の実現が可能となる。この産業応用を加速するため、CMOS/スピントロニクス融合技術による AI 処理 LSI の効率的な設計技術の研究開発とその実証、そしてその応用技術の研究開発を行う。

○革新的に電力効率が高いコンピューティング技術の開発

2022年にCIESがNEDOに申請提案した「CMOS/スピントロニクス融合技術によるAI処理半導体の設計効率化と実証及びその応用技術に関する研究開発」（代表事業者：東北大学、代表者：羽生貴弘教授）が、NEDOの「高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発／AIエッジコンピューティングの産業応用加速のための設計技術開発」に採択され、進められている。

現状のAI処理は、大量のデータを扱い、それを高速演算するので消費電力が大きくなる課題があり、その解決が必要である。特に、エッジ側では許容される消費電力が制限されるため革新的に電力効率の高いAIコンピューティング技術が望まれているところである。

本プロジェクトでは、その実現に向け、現在主流であるCMOS技術と親和性が高く、不揮発性で面積効率の高いスピントロニクス技術を融合し、その特徴を最大限に活かすエッジAIに適した高い電力効率のコンピューティング技術を開発中である。また、社会実装として、車載系への応用と見守りシステムなどの次世代サーベイランスシステムへの応用を研究中である。

(6)東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム(T-Seeds、「東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会」の後継)

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 東北地域、ひいては我が国の半導体等関連産業の基盤強化に向けて、産学官の連携体「東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム(T-Seeds)」を組成し、地域と産業が相乗的に成長する「シリコンコリドー」の形成を進め、半導体関連産業の人材の裾野拡大や基盤強化・発展に向けた取組を推進し、経済波及効果の最大化を目指す。

○半導体関連の人・情報・モノ等が活発に行き交い成長する”シリコンコリドー”構築

東北地域はかつて“シリコンロード”と呼ばれ、現在も半導体関連分野の製造品出荷額割合が約17.2%と高い、国内屈指の生産拠点となっている。加えて、東北大学を始め、先端の知が集積。そのため半導体関連産業による牽引が期待されるが、担い手不足が顕著となっており、持続的成長のためには地域の関連人材の裾野拡大や受け皿企業の基盤強化・成長が不可欠である。

そこで、産学官連携による半導体関連産業の競争力強化を強力に推進するため、地域に広く点在する半導体関連拠点をコリドー（回廊）として結び、人・情報・モノ等が活発に行き交い、成長する地域「未来の日本・世界を支える半導体の重要拠点”シリコンコリドー”」を目指している。



6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況

産学連携による研究開発推進やマネジメントの仕組みに関する、プログラム終了後の運用状況について、(プログラム終了時における運用方針と対比しつつ) 項目ごとに記載する。

(1) 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 費用負担の適正化・管理業務の高度化への取組とノウハウは、大学の種々の産学連携研究開発拠点に継承しさらに発展させていく。
- 人的リソースを今後の産学連携事業の中で最大限活用していく。

東北大学の間接経費比率が令和3年度より30%標準となったことに伴い、CIESでは契約時において同40%で交渉するなど、費用負担の適正化を図っている。

OPERAで構築された同大学の本部研究推進機構URAセンター及び産学連携機構との全学的連携体制が強化され、産学連携、研究推進、拠点事業のマネジメントがよりシームレスに展開されている。

こうしたマネジメント体制の構築により、これまでのOPERAコンソーシアムの参画企業との信頼関係がより堅固なものとなり、新たな企業の参画に繋がっている。

(2) 知的財産の取扱いルール

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 非競争領域における知財ポリシーは、競争領域におけるCIESコンソーシアムの知財ポリシーと統一化するよう制度設計。

東北大学では、競争領域でのCIESコンソーシアムの知財ポリシーと統一的な制度設計の運用により、非競争領域のプロジェクトから競争領域へのシームレスな移行へと繋がっている。

間接経費の引き上げにより知財の出願・維持費が継続的に確保され、新規創出、適正管理が図られている。

(3) 人材育成

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- OPERAにおける人材育成の仕組みやノウハウは、学生教育RA制度として東北大学では卓越大学院プログラム(人工知能エレクトロニクス)にも活用。

OPERAの継承的事業の1つである「スピントロニクス融合半導体創出拠点(文部科学省)」において、OJT研究開発による半導体集積回路の技術バリューチェーン全体を俯瞰できる人材の育成を戦略的に推進された。

上記事業における2024年度の東北大学のRA雇用者は28名に上り、連携大学の予定者と合わせると約55名の人員規模で人材育成が推進されている。

(4)機関連携・協力体制

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 共通設備を、CIES コンソーシアムの競争領域、非競争領域で運用継続。

東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会（東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム（T-Seeds）の前身）において、産学官の機関で構成するWG（①人材育成、②サプライチェーン強靱化、③半導体等関連技術研究）が設置され、東北地域を中心に、我が国の半導体等産業基盤強化の推進に寄与している。

(5)参画機関の管理

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 多種多様なニーズ・シーズのマッチングの共創の場として CIES コンソーシアムを引き続き運営していく。

国際シンポジウム、CIES Forum の開催等の機会を活かして、CIES の活動内容や研究成果の情報発信を積極的に行い、参画機関を 56 社へと増やした。

コンソーシアム内部では、研究開発課題毎に定期的に打合せを継続的に実施し、シナリオ検証のための調査事業について関係する研究開発課題の研究者や企業に対し調査報告会を実施して、研究開発課題の方向性の確認等に活用している。

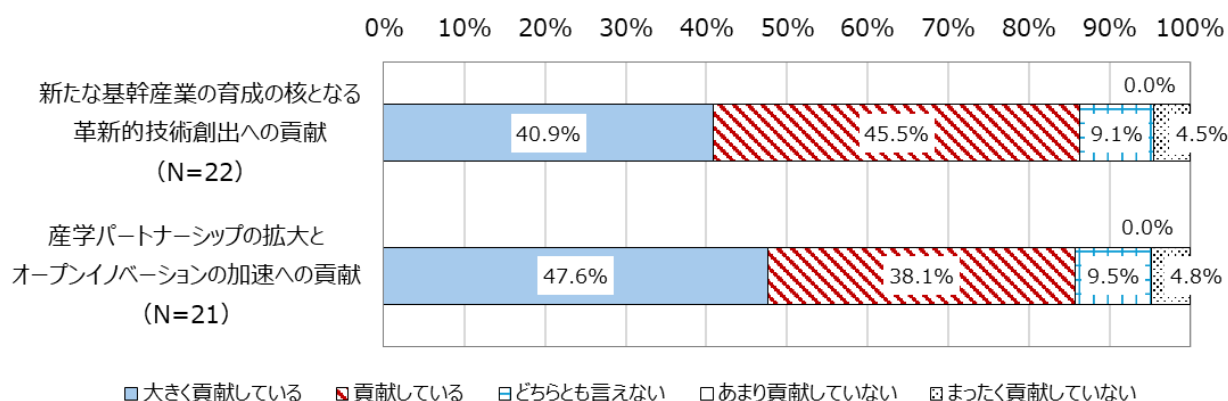
7) プロジェクトが果たした役割

アンケート調査、ヒアリング調査結果を基に、本プロジェクトが果たした役割について、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献と、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献の2つの観点からまとめる。

(1) プロジェクトの貢献度

アンケート調査にて、マネジメント層（領域統括、幹事機関等）、研究者及び企業に対し、本プロジェクトは基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速にどの程度貢献したかの自己評価をたずねた（回答数 [N 数] は図中記載の通り）。その結果、革新的技術創出、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速のいずれについても、貢献度を肯定的に評価する回答が大勢を占めている。

図表 2-15 本プロジェクトによる貢献度（自己評価）



(2) プロジェクトの貢献内容

さらに、ヒアリング調査にて、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対する本プロジェクトの貢献状況について聞いたところ、下記の意見が得られた。

図表 2-16 本プロジェクトによる貢献内容

項目	主な意見
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献	○ 2018 年頃から実用化が開始されている垂直磁化 STT-MRAM の将来的な微細化を支える基盤技術を構築することができた。【マネジメント層】 ○ OPERA により微細 STT-MRAM 素子が単体 DRAM、混載 DRAM、キャッシュメモリを置き換えるポテンシャルがあることが確認され、スピントロニクス/CMOS Hybrid LSI 技術を用いたアプリケーションプロセッサの開発において、当社にて LSI 設計のための環境整備、各種回路設計、設計検証を行うことで、社会実装時の開発期間の短縮を大幅にできるようになった。【企業】 ○ OPERA により創出された不揮発性で面積効率の高いスピントロニ

項目	主な意見
	クス技術は、CMOS 技術と親和性が高く、その特徴を最大限に活かした、電力効率が 10 倍向上する、CMOS/スピントロニクス融合技術による革新的超低消費電力 AI 処理半導体実現の核となる。【マネジメント層】 ○ 半導体試験装置（ATE）において、ウェハプローバーとの高低温対応でのダイレクト接続された磁場印加可能な装置を世界初として提示した。【企業】 ○ OPERA 等で創出してきた、GaN デバイスを適用した超小型 DC-DC コンバータの開発、最新ワイドバンドギャップデバイスの優れた性能を極限まで出すためのモジュール化技術等のパワーエレクトロニクス及び集積回路基盤技術は、脱炭素社会実現に向けたキーテクノロジーであるパワーエレクトロニクス技術の開発の推進に貢献する成果である。【マネジメント層】
産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献	○ OPERA で構築された産学共創プラットフォームをベースに、半導体分野で研究リソースに強みを持つ東北大学が、社会の将来ビジョンの実現のために、大学全体が有機的に連携し、国際競争力のある半導体 R&D エコシステムを構築し、様々な産学官の研究者、技術者が共創する拠点である、「東北大学半導体テクノロジー共創体」の設置につながった。「東北大学半導体テクノロジー共創体」は、東北半導体・エレクトロニクスデザインコンソーシアム（T-Seeds）に積極的に関与し、東北地域、ひいては我が国の半導体・電子デバイス関連産業の人材の裾野拡大、基盤強化・発展に向けた、産学官連携による取組の推進に積極的に参画している。【マネジメント層】 ○ 本プロジェクトで構築された実施された企業と連携しての半導体分野の人材育成システムについては、全学のグローバルな半導体人材の育成体制である半導体クリエイティビティハブにおける若手人材育成プログラムに繋がっている。【マネジメント層】 ○ 大学、プローバーメーカー、電磁石メーカー、プローブカードメーカーの 5 者がタッグを組んで世界初となる磁場印加可能な装置開発つなげ、大学発の MRAM デバイス試験チップ評価に貢献した。【企業】 ○ OPERA がなければ産学のパートナーシップの拡大はありえなかったもので、OPERA の制度自体は非常によかったと思う。【研究者】

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

(3)創出された「新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術」の内容

本プロジェクトにより創出された、革新的技術の内容については、下記の意見が得られた。

図表 2-17 本プロジェクトにより創出された、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の内容

テーマ	主な意見
テーマ1:スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現	○ 本プロジェクトにより創出された不揮発性で面積効率の高いスピントロニクス技術は、CMOS 技術と親和性が高く、その特徴を最大限に活かした、電力効率が 10 倍向上する、CMOS/スピントロニクス融合技術による革新的超低消費電力 AI 処理半導体実現の核となる。これらの技術は、2021 年 6 月に経済産業省から発表された半導体戦略にも我が国の重要な技術として位置付けられた。【マネジメント層】 ※本指摘は下記テーマ 2～3 にも共通して当てはまる。
テーマ2:スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現	○ MRAM は実際のプロダクト（スマートウォッチなど）に使われ始め、いずれスマートフォンなどのモバイルデバイスに広がると思われる。これは極めてインパクトの大きい成果であり、革新的な技術を生み出したといえる。【研究者】 ○ STT MRAM の主要構成要素である磁気トンネル接合に新構造を採用し、18nm の接合直径を有した世界最小磁気トンネル接合素子において、車載応用可能な 150℃における高いデータ保持特性（熱安定性）、DRAM 同等の 10ns の高速・低電圧動作を実証した。【マネジメント層】
テーマ 3 : Si-CMOS を活用した GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路の実現	○ パワーエレクトロニクスの主回路構成に於いて、横型 GaN-HEMT で行った研究を SiC-MOSFET にも応用した。これは従来のセラミック上への実装に対しプリント基板上に表面実装し、かつ放熱性と低インダクタンス化を確立することで、性能面、コスト面で優位になることを示すことに繋がり、今後の EV/HEV などの電力変換機器の新たな基幹技術を創出出来たものとする。【研究者】 ○ GaN/Si デバイス、超低熱抵抗基板、ゲート回路、小型インダクタなど高密度実装により、超小型の DC-DC コンバータモジュールを実現した。【マネジメント層】
テーマ4:高度自動判断システムとハイブリッドパワー集積回路が生み出す次世代移動体システムの実現	○ 画像クラスタリングの新しいアルゴリズムを提案し集積回路に実装した。本開発の画像クラスタリング AI チップは計算負荷を従来比 88.9%削減した。本成果は、日本の半導体戦略に位置付けられている「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発」（NEDO）へと引継がれた。【マネジメント層】

(4)国内外の他拠点などに対する比較優位性

本コンソーシアム・研究開発拠点がベンチマークする国内外の他拠点と、それに対する比較優位性については、下記の意見が得られた。

図表 2-18 ベンチマークする拠点と比較優位性

項目	主な意見
ベンチマーク 拠点	○ 東京大学（ただし、理学的な研究に寄っていると見ている）。
比較優位性	○ 東北大学は、これまでにスピントロニクスデバイスのパイオニアワークに加え、世界に先駆けた CMOS/スピントロニクス技術として、低消費電力メモリチップの開発から様々なアプリケーションプロセッサの開発実績を有するとともに、回路 IP 群、PDK、設計ツール群、IP ライブラリの回路設計技術等の開発実績がある。加えて、世界に先駆けてスピントロニクススペースの集積回路試作施設（300mm プロセスライン、300mm 対応評価ライン、300mm 対応分析ライン）を構築し、これを活用し、当該技術分野における世界を代表する産学連携拠点としての CIES コンソーシアムを運営しており、経済産業省より地域オープンイノベーション拠点（国際展開型）に認定されている。 ○ さらに、2021 年 6 月に経済産業省が公表した「半導体戦略」において、先端ロジック半導体の設計・開発強化に係る主な取組・施策の中で、東北大学は「スピントロニクス省電力ロジック半導体開発拠点」として位置づけられ、スピントロニクス技術を用いた省電力ロジック半導体・AI プロセッサの設計・試作実証・評価とそのシステム開発を推進している。 ○ 本拠点は世界的に見ても最大のスピントロニクス応用・製造に関する研究拠点である。例えば東京大学が理学的な研究に寄っているのに対し、東北大学はプロダクトに近い研究領域が強く、社会的なインパクトが大きい。

8) 資料

アンケート調査への回答内容から、本プログラム終了後の主要な論文、特許、取得した官民の事業資金について掲載する。

①論文

論文名	著者名	掲載誌	年月
A novel memory test system with an electromagnet for STT-MRAM wafer level testing	Tetsuo ENDOH, Shoji IKEDA, Takaho TANIGAWA, Hiroki KOIKE, Tetsuo KAMIYA, Naoyoshi WATANABE, Shigeyuki SATO, Ryoichi UTSUMI, Osamu MORI, Shinichi SAKUYAMA, Masatomo TAKAHASHI	SWTest-Asia 2024	2024.10
Pitch Scaling Prospect of Ultra-Small Magnetic Tunnel Junctions for High-Density STT-MRAM: Effects of Magnetostatic Interference from Neighboring Bits	T. Shinoda, J. Igarashi, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	IEEE Electron Device Letters	2024.2
Enhanced convergence in p-bit based simulated annealing with partial deactivation for large-scale combinatorial optimization problems	Naoya Onizawa and Takahiro Hanyu	Scientific Reports	2024.1
Single-nanometer CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with high-retention and high-speed capabilities	J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, T. Shinoda, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	npj Spintronics	2024.1
Cancelable Face Recognition Using Deep Steganography	Koichi Ito, Takashi Kozu, Hiroya Kawai, Goki Hanawa, Takafumi Aoki	IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science 1-1 2023 年	2024.1
Fast-Converging Simulated Annealing for Ising Models Based on Integral Stochastic Computing	Naoya Onizawa, Kota Katsuki, Duckgyu Shin, Warren Gross, and Takahiro Hanyu	IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	2023.12
Pose Estimation of Ultrasound Probe Using CNN and RNN with Image Reconstruction Loss	Kanta Miura, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Jun Ohmiya	Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2023	2023.12
Face Image De-identification Based on Feature Embedding for Privacy Protection	Goki Hanawa, Koichi Ito, Takafumi Aoki	BIOSIG 2023 - Proceedings of the 22nd International Conference of the Biometrics Special Interest Group 2023 年	2023.12
Field-free spin-orbit torque switching and large damping-like spin-orbit torque efficiency in synthetic antiferromagnetic systems using interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction	Y. Saito, S. Ikeda, N. Tezuka, H. Inoue and T. Endoh	Phys. Rev. B	2023.11
Eye Biometrics Combined with Periocular and Iris Recognition Using CNN	Taito Tonosaki, Shokei Kawakami, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Yoshiko Yasumura, Masakazu Fujio, Yosuke Kaga, Kenta Takahashi	2023 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)	2023.11
Local Energy Distribution Based Hyperparameter Determination for Stochastic Simulated Annealing	Naoya Onizawa, Duckgyu.Shin, Takahiro Hanyu	IEEE Open Journal of Signal Processing	2023.10

論文名	著者名	掲載誌	年月
Bridging Artificial Intelligence and Devices: Power Reduction Method of Non-volatile Devices with Error-resilient Deep Neural Networks	Tao Li, Li Zhang, Yitao Ma, Tetsuo Endoh	IEEE Transactions on Magnetics	2023.10
Charge-to-Spin Conversion Efficiency in Synthetic Antiferromagnetic System using Pt-Cu/Ir/Pt-Cu spacer layers	Y. Saito, S. Ikeda, H. Inoue and T. Endoh	IEEE Trans. Magn.	2023.7
Self-Adaptive Gate Control for Efficient Escape from Local Minimum Energy on Invertible Logic	Naoya Onizawa, Koji Yano, Seiichi Shin, Hiroyuki Fujita, and Takahiro Hanyu	IEEE Access.	2023.5
Nonlinear conductance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis	M. Shinozaki, J. Igarashi, S. Iwakiri, T. Kitada, K. Hayakawa, B. Jinnai, T. Otsuka, S. Fukami, K. Kobayashi, and H. Ohno	Physical Review B	2023.3
Hybrid Signed Convolution Module with Unsigned Divide-and-Conquer Multiplier for Energy-efficient STT-MRAM-based AI Accelerator	Tao Li, Yitao Ma, Ko Yoshikawa, Tetsuo Endoh	IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems	2023.2
Neuromorphic processor-oriented hybrid Q-format multiplication with adaptive quantization for tiny YOLO3	Tao Li, Yitao Ma, Tetsuo Endoh	Neural Computing and Applications	2023.2
Correlation between magnitude of interlayer exchange coupling and charge-to-spin conversion efficiency in synthetic antiferromagnetic system	Y. Saito, S. Ikeda, and T. Endoh	Appl. Phys. Exp.	2023.1
25 nm iPMA-type Hexa-MTJ with solder reflow capability and endurance $>10^7$ for eFlash-type MRAM	H. Honjo, K. Nishioka, S. Miura, H. Naganuma, T. Watanabe, T. Nasuno, T. Tanigawa, Y. Noguchi, H. Inoue, M. Yasuhira, S. Ikeda, and T. Endoh	IEEE International Electron Device Meeting 2022	2022.12
A Simple and Accurate CNN for Iris Recognition	Shokei Kawakami, Hiroya Kawai, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Yoshiko Yasumura, Masakazu Fujio, Yosuke Kaga, Kenta Takahashi	2022 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) 2022 年 11 月 7 日	2022.11
From Algorithm to Module: Adaptive and Energy-Efficient Quantization Method for Edge Artificial Intelligence in IoT Society	Tao Li, Yitao Ma, Tetsuo Endoh	IEEE Transactions on Industrial Informatics	2022.11
Enhancement of current to spin-current conversion and spin torque efficiencies in a synthetic antiferromagnetic layer based on a Pt/Ir/Pt spacer layer	Y. Saito, S. Ikeda, and T. Endoh	Phys. Rev. B	2022.8
Effect of oxygen incorporation on dynamic magnetic properties in Ta-O/Co-Fe-B bilayer films under out-of-plane and in-plane magnetic fields	T. V. A. Nguyen, Y. Saito, H. Naganuma, S. Ikeda, T. Endoh, Y. Endo	AIP Advances	2022.4

②特許

※出願件数は多数に上るが本報告書に掲載可能なものはない。

③官民の事業資金

機関名	事業・制度名	課題名	年度	基となった 研究開発テーマ
日本学術振興会 (JSPS)	科研費基盤研究(S)	スピン軌道トルクにおける軌道対称性効果の解明と高効率大容量スピンドバイスの創製	R6～R10	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
文部科学省	次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業	スピントロニクス融合半導体創出拠点	R4～R13	スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業／先端半導体製造技術の開発	光電融合インターフェイスメモリモジュール技術	R5～R10	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	省エネ AI 半導体及びシステムに関する技術開発事業プロジェクト／AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための設計技術開発	CMOS/スピントロニクス融合技術による AI 処理半導体の設計効率化と実証、及び、その応用技術に関する研究開発	R4～R6	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
文部科学省	革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業	脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発	R3～R7	Si-CMOS を活用した GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路の実現
日本学術振興会 (JSPS)	科研費挑戦的研究(開拓)	反強磁性体材料を基軸とした超高密度不揮発メモリデバイスの開拓	R3～R7	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	戦略的省エネルギー技術革新プログラム	アフターコロナ時代の感染ハザードマップのための高速人物位置同定 AI マイコンを用いた非接触多人数対応 AI 検温カメラの開発	R3～R4	スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現
東北経済産業局	令和 2 年度中小企業経営支援等対策費補助金 (戦略的基盤技術高度化支援事業)	スピントロニクス/CMOS Hybrid LSI の設計技術及びソフトウェア開発と実用化	R2～R3	スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現

2-2. 有機材料の極限機能創出と社会システム化をする基盤技術の構築及びソフトマターロボティクスへの展開(幹事機関:山形大学)

1) 共創コンソーシアム(有機材料の極限機能創出・社会システム化共創コンソーシアム)の概要

〔実施体制〕

幹事機関：山形大学

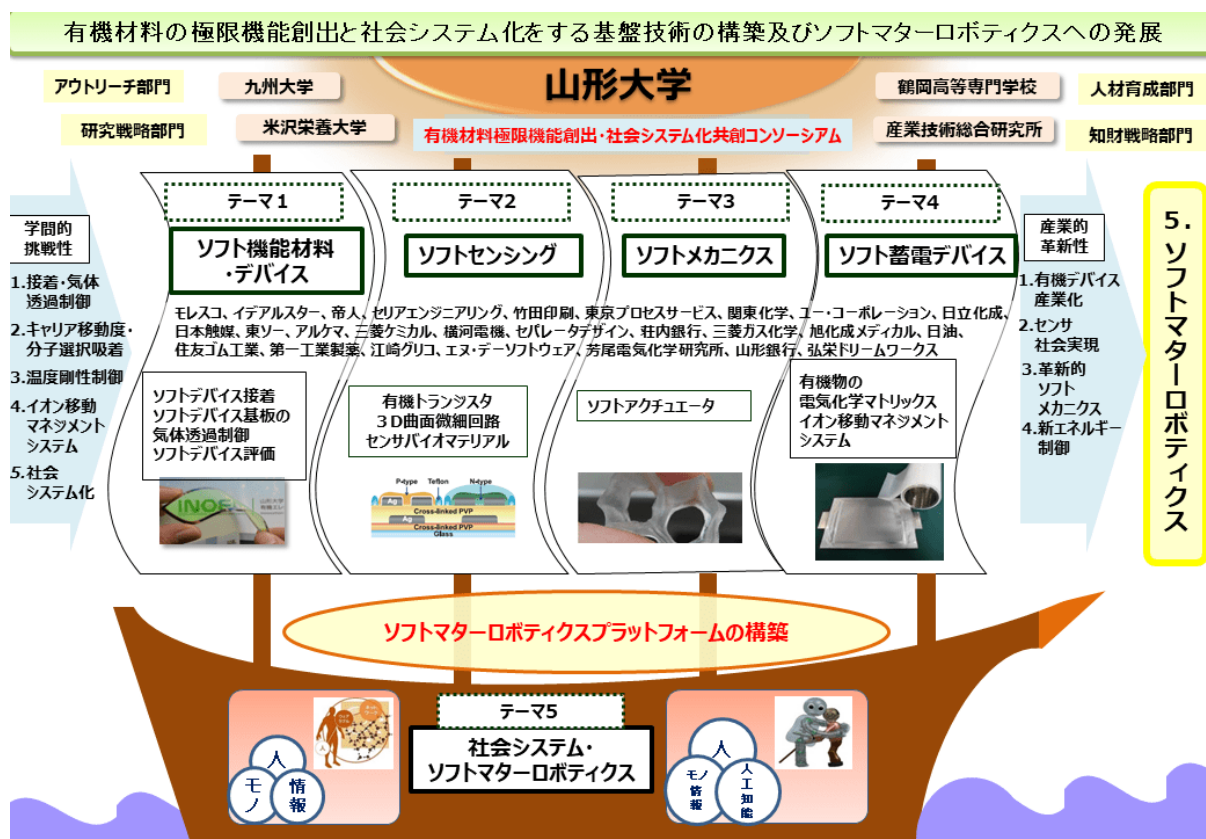
領域統括：大場 好弘（山形大学 特任教授）

研究機関：山形県立米沢栄養大学、九州大学、産業技術総合研究所、鶴岡工業高等専門学校

民間企業：カネカ㈱、帝人㈱、関東化学㈱、㈱ユー・コーポレーション、日立化成㈱、東ソー㈱、アルケマ㈱、味の素ファインテクノ㈱、三菱樹脂㈱、DIC㈱、㈱荘内銀行、三菱ガス化学㈱、㈱日本触媒、旭化成メディカル㈱、日油㈱、住友ゴム工業㈱、日立 GE ニュークリア・エナジー㈱、㈱クレハ、三菱化学㈱、(有)芳尾電気化学研究所、㈱山形銀行、NEC エンベデッドプロダクツ㈱、㈱セリアエンジニアリング、三菱ケミカル㈱、竹田印刷㈱、東京プロセスサービス㈱、㈱モレスコ、㈱イデアルスター、セパレータデザイン㈱、帝人㈱、江崎グリコ㈱、弘栄設備工業㈱、第一工業製薬㈱、㈱横河電機製作所、エヌ・デーソフトウェア㈱、㈱弘栄ドリームワークス、㈱ジンズホールディングス、住友精化㈱

〔共創コンソーシアム概要〕

超スマート社会 Society5.0 の実現に向けては、柔らかく・優しく・作りやすい・エネルギーがかからない・どこでも電気を蓄えられる機能性有機材料が必須となる。分子創製の無限の可能性を真に活用し、(1)ソフト機能材料・デバイス、(2)ソフトセンシング、(3)ソフトメカニクス、(4)ソフト蓄電デバイスの4テーマで、有機材料の極限的な機能創出の学問的な挑戦をすることで4分野それぞれの革新的な産業の新展開を先導する。さらにそれらの融合により社会システム化を目指す。これらの基盤技術の構築によりロボット分野で人・モノ・情報・人工知能を優しくつなぐ新領域ソフトマターロボティクスの開拓に繋げる。



3: ソフトメカニクス	3: ソフトアクチュエータ	古川 英光 山形大学 大学院 理工学研究科 教授	日立 GE ニュークリア・エナジー(株)、(株)クレハ、帝人(株)、江崎グリコ(株)、エヌ・デースフトウェア(株)、住友精化(株)、(株)ジンズホールディングス、三菱ケミカル(株)
4: ソフト蓄電デバイス	4-1: 機能有機電気化学マトリックスの明確化	大場 好弘 有機材料システム研究推進本部 特任教授	三井化学(株)、セパレータデザイン(株)
	4-2: イオン移動マネジメントシステムの構築	竹田 さほり 産業技術総合研究所 電池技術研究部門 主任研究員	産業総合研究所、(有)芳尾電気化学研究所
5: 社会システム・ソフトマターロボティクス	5: 社会システム・ソフトマターロボティクス	多田隈 理一郎 山形大学 大学院理工学研究科 機械システム工学専攻 准教授	鶴岡工業高等専門学校、(株)山形銀行、NEC エンベデッドプロダクツ(株)、弘栄設備工業(株)、(株)弘栄ドリームワークス

2) プログラム期間中における成果

終了報告書及び事後評価結果等に基づき、プログラム期間中（プログラム終了時点）における、産学連携システム改革に関する取組の成果と、主要な研究開発成果を整理する。

(1) 産学連携システム改革に関する取組(共創コンソーシアム)

図表 2-19 産学連携システム改革に関する取組

取組	成果内容
コンソーシアム運営の仕組みの構築	● ガバナンス改革、財務マネジメント改革を行うことによって、研究から産学連携への一貫した戦略に基づき、研究拠点形成や研究環境整備、若手研究者育成等へと戦略的に投資し、産学連携を更に促進する循環型マネジメント体制を構築した。 ● 産学連携がより円滑に進み、多くの共同研究が開始された。また、プロジェクトへの参画を通じて、多くの若手研究者が育成され、今後のSOFUMO コンソーシアムへと参画してくれる道筋が付いた。
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 山形大学では従来、共同研究においては直接経費のみ計上していたが本 OPERA プログラムを契機に共同研究における間接経費を導入し、コンソーシアム参画企業と意見交換しながら積算根拠を明確化するなどして制度化した。2018 年 10 月 1 日からは、全学的な制度へと発展し、財務体質が強化されることとなった。 ● ガバナンス改革として、2020 年 4 月から研究と産学連携を一人の理事が担うこととし、全学的かつ、研究から産学連携への一貫した戦略に基づき、研究拠点形成や研究環境整備、若手研究者育成等へと戦略的に投資し、産学連携を更に促進する循環型マネジメント体制を構築した。
知的財産の取扱いの方針	● コンソーシアム参画企業のメリットに十分留意し、高いモチベーションを維持して取り組みやすいよう、共同出願企業が実施する際に不実施補償を求めないなど、具体的仕組みについての方針を策定し運用した。 ● 知財評価活用会議に知財クリエイティブマネージャー（以下、CM）、法

	務 CM が加わったことにより、大学としての発明等届出書の審議を迅速に行うことが可能となった（判断のスピードアップ）。 ● 知財 CM、法務 CM が日常的に事業・研究の方向性と特許との関連を精査することで、効率的なパテントポートフォリオの構築を図ってきている。
人材育成	● Young Researcher 制度（学生延べ 14 名）、インセンティブ設計（卓越研究教授（スター教授）2 名）やクロスアポイントメント制度（民間から 1 名）等の人事制度改革により、産学共同で科学技術イノベーションを先導する人材育成システムを構築した。 ● 若手人材育成制度として R2 補正の文部科学省「科学技術イノベーション創出に向けた大学フェローシップ創出事業」にマテリアル分野で支援人数 10 名として採択された。
機関連携・協力体制についての方針	● ソフトマターロボティクスの学理構築、産学連携・事業化を目指した科研費新学術領域ソフトロボット学との連携により、ソフトマターロボティクスの認知向上、研究拡大が進んだ（官邸 SNS への掲載、日本ロボット学会誌特集号など）。特に、東京オリンピック・パラリンピックにおいては、文部科学省のユニバーサル未来社会推進協議会によるロボットショーケースで展示を行い、好評を博した（2021 年 7 月 30 日）。 ● 活動の継続発展のため、産学官連携推進本部、オープンイノベーション推進本部、有機材料システム研究推進本部が連携し、ESG・SDGs や Society5.0 といった産業界のニーズを取り入れ、新概念「やわらか機構脳」を提唱し、Phase2 の活動を行う新たなコンソーシアムと学内新組織のソフトマターロボティクス研究所の立ち上げを進めた。
参画機関の管理方針	● シンポジウムや展示会、ホームページ等を通じた多面的な情報発信により、今後ソフトマターロボティクスを展開し社会実装を目指すうえで重要となる、デザイン・アート分野の研究者（大阪芸術大学・東京大学等）との連携や、新規機能性（例えば耐放射線性等）の創出を目指す研究者（会津大学、日立 GE 等）との連携へと発展している。 ● 新型コロナの影響で、リアルな会場でのシンポジウム等のイベントは制限されたが、一方でオンライン形式での開催によって、会場まで足を運ぶ必要がなく気軽に参加できるため、これまで以上の人数の参加に繋がっている（3 倍増）。

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

(2) 主要な研究開発成果

図表 2-20 主要な研究開発成果

研究開発テーマ	成果内容
1 ソフト機能材料・デバイス	有機半導体デバイス基盤技術の確立 ● フレキシブルデバイスの超薄膜・フレキシブル・ソフト・曲面形状を生かした各実装環境下における耐久性向上のため、高屈曲耐久性を有したデバイス保護用ガスバリア構造形成技術の開発を行った。 ● バリア接着層を有するフィルムにより封止保護された有機 EL デバイスの屈曲試験（曲率半径：$R=3.5\text{mm}<5\text{mm}$）20 万回においてバリア性を維持することが確認した。 ● また、ロール to ロール化学気相成長法（CVD）によるハイガスバリア膜形成条件を検討し、バリア膜単層で水蒸気透過率 $1 \times 10^{-4}\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ 以下（3 年経過後）の水蒸気透過率を達成した。
2 ソフトセンシング	印刷法を用いた高分子樹脂からなる高感度フレキシブル圧力センサ開発 ● 超低消費電力駆動・圧電方式による圧力センサを全印刷にてフレキシブル基板上に形成する技術を開発した。 ● これによりアレイ状での多点測定でも消費電力が低く、ソフトマターロボティクスのやわらかい躯体への設置の見通しをつけた。 ● 多様なセンサが実現できマルチセンシング化への展開が可能であることからロボットセンサとして応用開発に展開した。
3 ソフトメカニクス	やわらか材料による 3D プリンティング技術開発 ● やわらか素材を用いソフトマターロボット躯体を作製するための基礎的技術を構築した。 ● ゲルハチ公などのコミュニケーションロボットやクラゲロボットの素材、柔らかさ制御、3D ゲルプリンターによる形成技術を開発した。
4 ソフト蓄電デバイス	電気化学的に極限まで安定な有機材料と、無機材料とのハイブリッドで電池材料を形成する基礎研究を展開 ● ポリオレフィンでは単独で電解液アフィニティーが大きな方がヒステリシスは少ない。厚み比較では $12\mu\text{m}$ と $9\mu\text{m}$ で相関がズレている。アラミド空孔比較では細密な微粒ポリアミドの方が、空孔維持率が高くヒステリシスは少ない。これらを総合すると非晶部の多いポリオレフィンを活用し微粒ポリアミドを修飾した多孔質フィルムがヒステリシスの少ない電池設計を可能にすることが分かった。 ● ヒステリシスが顕著に表れるハイレート試験においてセパレータの曲路率と容量維持率の関数を明確化できた。
5 社会システム・ソフトマターロボティクス	ソフト材料、フレキシブルデバイスを統合したソフトマター・アニマロイドの実証検証 ● アニマロイドについては、リアルに触れることでプラスの感情（癒やし・安心感・親近感）が得られ、新たなコミュニケーションツールの可

	能性を見出している。 ● ソフト材料を用いた繊維振動により移動する配管内探査ロボットの試作では、内蔵位置センサにより、上水道保守に有用な情報である配管経路三次元マップ化が可能であることを確認した。
--	---

資料：「事後評価報告書」、「終了報告書」より抜粋・作成

3) プログラム終了後の構想・計画

各プロジェクトが終了報告書に記載した今後の構想・計画等について整理する。

(1) 今後のコンソーシアム活動の展望

本プログラムの一部成果は、今後山形大学オープンイノベーション機構の支援を受けコンソーシアム型プロジェクトとして社会実装、上市（学理の社会還元）を目指す。また、山形大学有機材料システム研究支援本部及び山形大学オープンイノベーション推進機構と緊密に連携し、競争領域での大型民間資金による共同研究開発体制を集中管理することを計画する。

一方で、非競争領域学理拠点としては次世代ロボット研究センターを形成し、後発のプロジェクトとの交流活動により、社会実装を意識した次世代ソフトロボットの開発を目指す。

(2) 技術・システム革新シナリオ(2025年度あたりまでのもの)

研究開発課題	プログラム終了後の目標等
1 ソフト機能材料・デバイス 2 ソフトセンシング 3 ソフトメカニクス 4 ソフト蓄電デバイス	● 新作業の開拓先導を目指す。 ● 本事業終了の5年後に非競争領域から競争領域に移行し産業創出を目指す。
5 社会システム・ソフトマターロボティクス	● 新作業の開拓先導を目指す。 ● 本事業終了後も5年程度は非競争領域であり、その後競争領域となる位置づけである。

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

なお、研究開発に関する「プログラム終了後の活動方針」については「5) 研究開発成果の発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。同様に、産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みに関する「プログラム終了後の運用方針」については「6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。

【備考】本追跡調査における調査対象者

本追跡調査は、有機材料極限機能創出・社会システム化共創コンソーシアムにおける主要なプロジェクト参加者（領域統括、幹事機関、主要研究者、主要企業、リサーチアシスタント等。各プロジェクトから調査対象者を推薦いただいた）を対象に実施している（アンケート調査：20名、ヒアリング調査：6名）。

そのため、次ページ以降に示す調査結果は、各プロジェクトに関する本プログラム終了後の中核的な活動状況を対象としたものであり、全プロジェクト参加者による活動全体を網羅したものではないことに留意されたい。

4) 共創コンソーシアムの発展状況

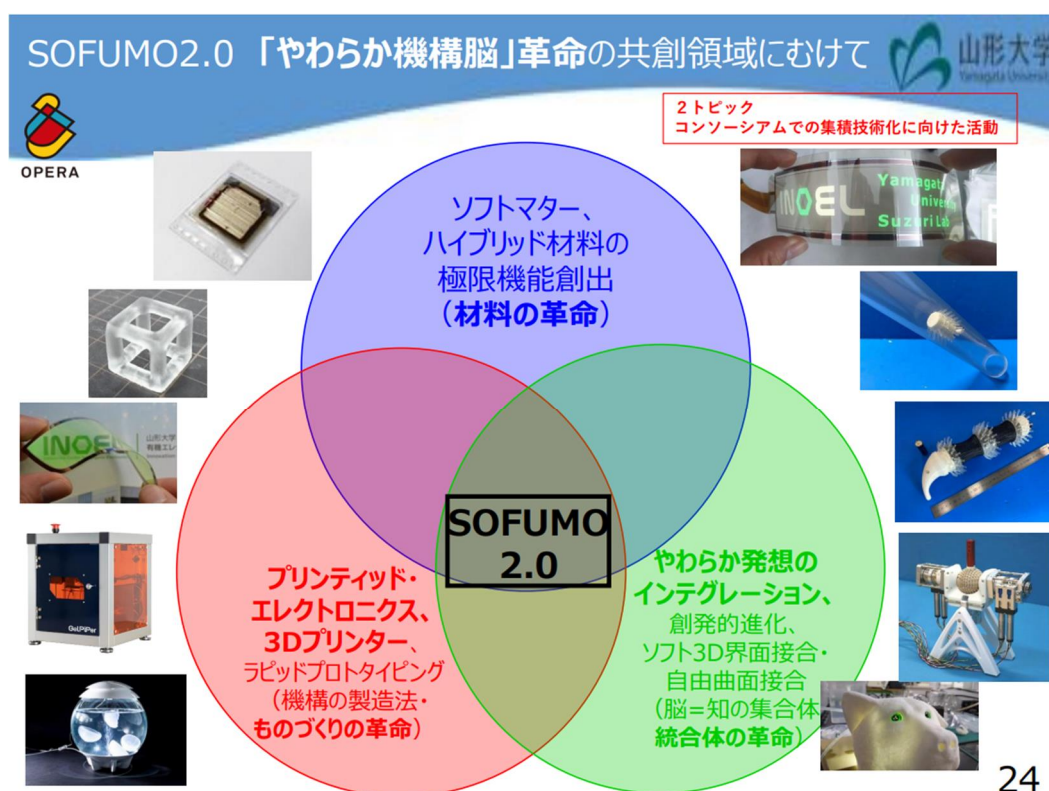
本プログラムを推進した有機材料極限機能創出・社会システム化共創コンソーシアムの活動は、その後、「SOFUMO2.0 コンソーシアム」へと引き継がれている。また、研究テーマ3のソフトメカニクス分野からは「やわらかものづくり革命共創コンソーシアム (CNVFAB)」や「やわらか3D共創コンソーシアム」、研究テーマ2のソフトセンシング分野からは「山形大学ソフトセンシング産学連携コンソーシアム」が設立され、活動が拡大されている。

(1)SOFUMO2.0コンソーシアム

①目的

- ソフトマターロボット駆動用のアクチュエータとして使用可能な球状歯車の社会実装などを中核とする、ソフトマターロボット実現のためのアクチュエータの開発と社会実装を目的とする。
- SOFUMO コンソーシアムの後継コンソーシアム。2022年10月発足。

図表 2-2 1 SOFUMO2.0 コンソーシアム 概要図



②体制

図表 2-2 2 SOFUMO2.0 コンソーシアムのメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関・PJ リーダー	山形大学 多田隈 理一郎（山形大学 工学部 機械システム工学科 教授）
研究機関	山形大学
企業	(株)弘栄ドリームワークス、兼松(株)
マネジメント体制	事務局：山形大学工学部 多田隈 理一郎 教授

※2024 年 9 月末現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

図表 2-2 3 SOFUMO2.0 コンソーシアムの活動内容

区分	活動内容
会議、セミナー、シンポジウム等	● 「SOFUMO2.0 コンソーシアムキックオフシンポジウム」を開催（2022 年 10 月 29 日）。
共同研究、実証事業、マッチング等	● 社会実装のための金属製の球状歯車等を試作する共同研究を、産学連携体制にて実施中。
イベント、展示会等	● 関西ロボットワールド 2023、2024、横浜ロボットワールド 2022、2023 にて共同研究の成果の展示を行った。

(2)やわらかものづくり革命共創コンソーシアム(CNVFAB)

→サステナブル 4D コンビファブ国際研究ユニット(International Research Unit for Sustainable 4D CNVFAB)

①目的

- 「やわらかものづくり革命共創コンソーシアム」(コンビニエンス・ファクトリー、CNVFAB)は、「ソフト 3D 界面」の研究開発を推進し、個別ニーズに対応した少量多品種のデバイス化や製品化を実現するために、OPERA (オープンイノベーション機構連携型)で 2018 年度に採択されたプロジェクト「マテリアル×プロセスイノベーションによる革新的ソフト 3D 界面の創製とやわらかものづくり革命への展開」にて構築された(図表 2-24)。
- 「有機材料の極限機能創出・社会システム化共創コンソーシアム」とも運営・技術協力連携し、新たな概念である「やわらか機構脳」の導入、社会実装を意識した更なる試作挑戦に貢献してきた。
- その後、「やわらかものづくり革命共創コンソーシアム」の後継事業の創出を主な活動目的の一つとしてデジタルファブリケーションと 4D プリンティングの融合による新しいサステナブルな価値の創成をテーマとする「サステナブル 4D コンビファブ国際研究ユニット(International Research Unit for Sustainable 4D CNVFAB)」として、2022 年 11 月 30 日に山形大学より認定を受け、12 月より活動を開始した。

図表 2-24 やわらかものづくり革命共創コンソーシアム 概要図



②体制

図表 2-25 サステナブル 4D コンビファブ国際研究ユニットのメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	山形大学
PJ リーダー	古川 英光（山形大学 工学部 機械システム工学科 教授）
研究機関	山形大学
企業	(株)LIGHTz、ナノダックス(株)、(株)愛和ライト、ダイキン工業(株)、セイコーインスツル(株)、信越化学工業(株)、ウシオケミックス(株)、東洋アルミニウム(株) 等
マネジメント体制	山形大学

※2024 年 9 月末現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

図表 2-26 サステナブル 4D コンビファブ国際研究ユニットの活動内容

区分	メンバー
会議、セミナー、シンポジウム等	● オープンイノベーション推進リエゾン会議開催 ● コンソーシアム全体会議（年 1 回） ● 主催シンポジウム開催（年 2 回） ● OMNYU プロジェクト（月 1 回程度）
共同研究、実証事業、マッチング等	● 個々の企業と山形大学との間の契約に基づく共同研究を基軸とし、公開できる一般情報のみを共有している。やわらか人間拡張アシストスーツ WG として、本事業の研究成果の社会実装を促進するため、各課題担当者および参画機関の事業戦略との整合性を整理し、試作検討のための WG を集中的に開催。 ● 本活動から、NEDO 先導研究プログラム／マテリアル・バイオ革新技術先導研究プログラム「革新的異種柔軟材料 3D/4D ものづくり基盤の構築」（研究代表者 古川英光）（実施期間 2023 年 4 月～2025 年 3 月）の採択に至った。 ● またそこからの発展として、高い性能は追求せず、研究に使えるようなミニマムな性能の 3D ゲルプリンターを地元のものづくり企業と製造し、1／30 の価格帯、約 300 万円から販売したいと企図。リクエストに応じたカスタマイズとノウハウの提供で高付加価値化した 3D ゲルプリンターを製作すべく、おきたまものづくりネットワーク協議会の加盟企業と山形県工業技術センター置賜試験場とともに「OMNYU（オムニュー）」商品化プロジェクトを開始した。おきたまものづくりネットワーク協議会の略称 OMN と山形大学の略称 YU を組み合わせて、やわらかくて「むにゅ」と変形するものづくりを目指すプロジェクト名として、OMNYU という名のプロジェクトが生まれた。 ● OMNYU プロジェクトの参加企業は、おきたまものづくりネットワーク協議会に加盟する(有)秀機、(株)島津鋳金製作所、ミユキ精機(株)、(株)岡村工機、(株)愛和ライトの 5 社。 ● 同じくプロジェクトに参画する山形県工業技術センター置賜試験場はま

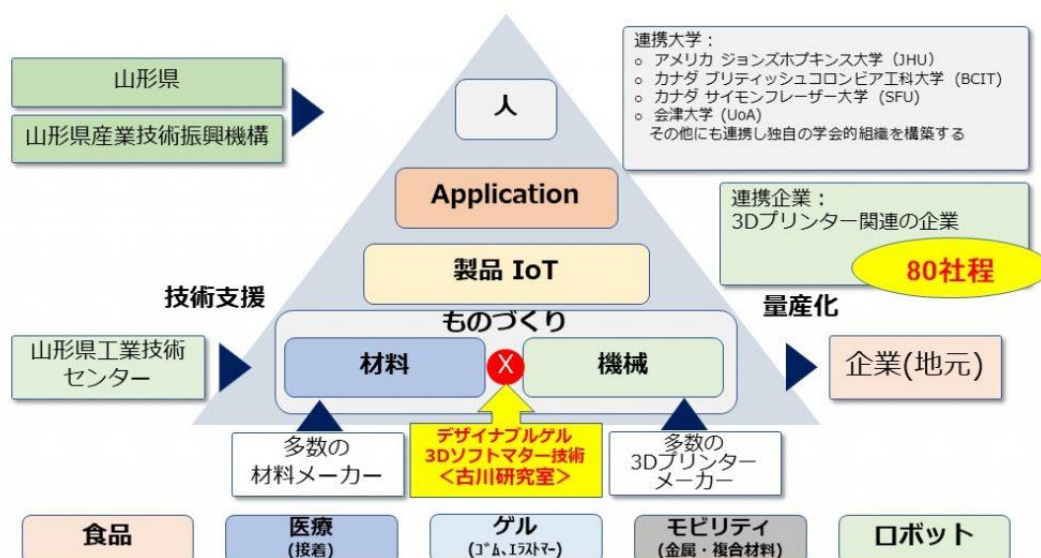
	た、新技術をアドバイスする機能、共創の場を提供する機能もあることから、山形大学古川研究室とタッグを組んで、地元のものづくり企業との取組を後押しする。
イベント、展示会等	● ネプコンジャパン、JFlex 展、TCT Japan、イノベーションジャパン、CEATEC、nano tech、スマートファクトリー展等に出展。
その他	● 「やわらかものづくりハンドブック」制作・発刊

(3)やわらか3D共創コンソーシアム

①目的

- 3D プリンターを使い試作や検証を行うことで新しい素材から実用化までを起案・議論し共創することで、創造性と技術で実用化までを早急に実現することを目的とする。
- 各5分野に部会（食品・医療・ゲル・モビリティ（構造）・ソフトマシン（アート））を設定し、各メーカーが部会に所属する。
- 2018年4月発足。

図表 2-27 やわらか3D共創コンソーシアム 概要



本コンソーシアムはSIP革新的設計生産技術の成果として、新たに山形大学で立ち上げるコンソーシアムです。

②体制

図表 2-28 やわらか 3D 共創コンソーシアムのメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関 PJ リーダー	山形大学 古川 英光（山形大学 工学部 機械システム工学科 教授）
研究機関	山形大学
企業	三和澱粉工業(株)、大和製罐(株)、三井化学(株)等
その他	学会会員・協力会員:(独)国立高等専門学校機構鶴岡工業高等専門学校(助教 和田 真人等)
マネジメント体制	早稲田アカデミックソリューション 3名

※2024 年 9 月末現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

図表 2-29 やわらか 3D 共創コンソーシアムの活動内容

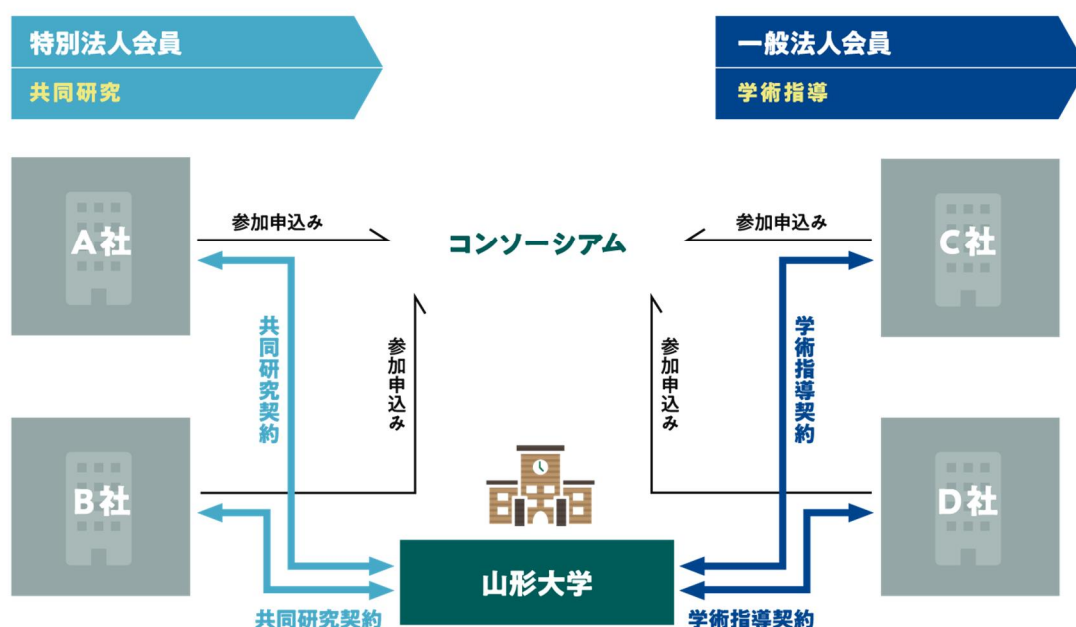
区分	活動内容
会議、セミナー、シンポジウム等	● シンポジウム（合同部会） 年 1 回 ● 各部会 月 1 回（セミナー各部会にて都度開催） ● シンポジウムで各分野の最新技術や進捗、異分野の講演を行うことで、研究開発の動向や企業との連携、および新たな連携先や繋がりを持つ。
共同研究、実証事業、マッチング等	● 随時実施。コンソーシアムで共同研究、実証に取り組むことで、議論や新しいアイデアにつながり、さらに新たな連携先とのマッチングにつなげる活動を主としている。 ● この活動から、2023 年 7 月～2024 年度にムーンショット型農林水産研究開発事業「低温凍結粉碎含水ゲル粉末による食品の革新的長期保存技術の開発」（プロジェクトマネージャー：古川 英光）、および SIP 第 3 期バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備「食感解析 AI と 3D プリンターによるインターバースを活用した 革新的な介護食の研究と ELSI 視点からみた課題抽出」（実施テーマ代表：古川英光）（実施期間 2023 年度～2027 年度）の採択に至る。
イベント、展示会等	● 主催イベント 年 2～4 回 ● 最先端研究、企業との共同研究がコンソーシアム内外の企業の動向や連携先の発掘につながる。 ● 一般向けイベントにおいて、一般の方から向けられる最先端研究や共同研究における新たな視点がコンソーシアム内のアイデアの創出につながる。

(4)山形大学ソフトセンシング産学連携コンソーシアム

①目的

- 文部科学省、JST、NEDO 等の研究支援を受け、材料、デバイス及びその応用に関わる基盤研究を推進する。
- 本コンソーシアムでは、企業との社会実装を目指した連携を強化するとともに、ネットワーキングを構築し企業間の連携（サプライチェーン）を可能とすることで、研究成果の社会実装を加速する。
- ソフトセンシングとは、機能性有機材料の強みを生かし、薄くフレキシブルな基板上に印刷法で各種センサを作製すること、このセンサを介して人・モノ・情報がシームレスに繋がることを意味する。これにより、新しい社会（Society 5.0 for SDGs）の安心・安全と、環境に優しいものづくりとサービス事業の実現に貢献する。
- 2024 年 1 月発足。

図表 2-30 山形大学ソフトセンシング産学連携コンソーシアム 概要



〈コンソーシアム規約に基づき参加申し込み+各社ごとの山形大学との契約〉

②体制

図表 2-31 山形大学ソフトセンシング産学連携コンソーシアムのメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関 PJ リーダー	山形大学 熊木 大介（山形大学 有機エレクトロニクスイノベーションセンター ソフトセンシングデバイス部門 研究専任教授） 時任 静士（山形大学 有機エレクトロニクスイノベーションセンター ソフトセンシングデバイス部門 卓越研究教授）
研究機関	山形大学
企業	共同研究：三井化学(株)、アルケマ(株)、SEMITEC(株)、(株)UACJ、三洋化成工業(株) 特別法人会員：富士紡ホールディングス(株)

	一般法人会員：イノラックスジャパン(株)、(株)太陽機械製作所、メクテック(株)、東洋インキ(株)、日本カーバイド工業(株)、藤倉化成(株)、(株)ソノコム、大日精化工業(株)、ニューロング精密工業(株)、武蔵エンジニアリング(株)、積水化学工業(株)、アスリート FA(株)
--	--

※2024 年 8 月現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

図表 2-32 山形大学ソフトセンシング産学連携コンソーシアムの活動内容

区分	活動内容
研究会・勉強会	● 外部の専門家（大学・企業）の講演会・勉強会を開催し、さらに研究室の最新研究成果を報告することで、会員の知識向上に貢献する。 ● 海外技術動向の報告を行う。
技術相談	● 企業における現場での課題や特定分野での情報収集に対応する。
施設見学会	● 年 1 回程度の大学関連施設の見学と意見交換会を開催する。
技術相談	● 参画企業間の連携や関連分野の企業との情報交流を促進することで、企業同士の独自連携に繋げる。

5) 研究開発成果の発展状況

研究開発に関する、プログラム終了後の活動状況について、(プログラム終了時における活動方針と対比しつつ) 研究開発テーマ・課題ごとに記載する。

なお、以下は OPERA 期間中のすべての研究開発テーマ・課題について網羅的に記載したのではなく、調査対象となった研究者・企業等が関連する研究開発テーマに焦点を置いた記載であることに留意されたい。

(1) 研究開発テーマ1 ソフト機能材料・デバイス

①研究開発課題1-2 ソフトデバイス基板の気体透過

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- ガスバリアフィルムに関しては、終了時までには PET フィルムで達成できる見込みである。この技術の有力な用途として、サイネージ用途があるが、これに関しても開発を展開している。

A.バリア技術の研究開発は進め、量産化が視野に入る

山形大学の古川忠宏教授のチームでは、OPERA 終了後、より企業寄りの課題にシフトした研究開発を行っている。バリア関連の研究で2社との共同研究を実施し、非常に高度なバリア性能が、量産性が見通せる手法で作製可能になっている。また、水蒸気バリアの測定に関する国際標準を SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International, 国際半導体製造装置材料協会：半導体製造における国際的な業界団体) にて作成している。

②研究開発課題1-3 ソフトマター発光デバイス

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 社会実装に向けて、ソフトマターに限らず凹凸の上にデバイスを作製する潜在ニーズは大きい。社会実装先としてはエレクトロニクス全般に向けて、成果を発信する。
- 凹凸上へのバリア形成技術のニーズもあると考えていることから、今後広く情報発信を行う。
- Phase2 でのデバイス集積化の基盤技術としてプロセス技術も含め、研究を進める。

A.ウェットプロセスによるハイバリア構造の研究は、実用化に向けて推進中

山形大学の硯里研究室では、OPERA 期間中は、主に有機 EL を対象に、ウェットプロセスによるハイバリア上へのデバイス作製を主要な研究テーマとしていたが、OPERA 終了後には、下記のように、ハイバリア技術そのものに多くの価値が見出されるようになってきている。

- ペロブスカイト太陽電池をはじめ他分野でハイバリア技術が活用可能である。
- ウェットコートによるハイバリア技術の社会実装に向け、研究を進める(特に積極的な2社とともに共同研究を推進)。特に太陽電池に向け、研究を進めている(NEDO グリーンイノベーション基金)。

また、ウェットコートで得られたバリア構造での性能で比較すると、現時点でも世界最高性能を達成しており、高い優位性の創出に寄与している。

B.有機EL材料の開発と製品化

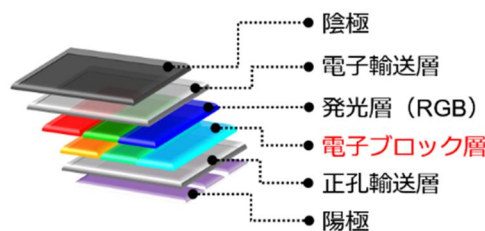
関東化学㈱と硯里研究室は、OPERA 期間中に習得した素子作製技術および各種物性評価（電気測定、光学測定）を、OPERA 終了後も継続。その後の OPERA（オープンイノベーション機構連携型）「マテリアル×プロセスイノベーションによる革新的ソフト 3D 界面の創製とやわらかものづくり革命への展開」（平成 30 年度採択、幹事機関：山形大学）にも引き続き参画し、共同研究を実施している。

関東化学㈱では、硯里研究室の協力・指導もあり、組織評価に必要なデータを十分に、効率的に得て分析することができたため、エビデンスの構築と他社との提携につなげることができた。同社では、OPERA の直接的な成果として、有機 EL デバイス向け青色蛍光素子の低電圧駆動・高効率化・長寿命化に効果的な電子ブロック材料を「KCEB シリーズ」として事業化している。また、より汎用性を高めるため、OPERA の有機 EL 材料の開発で得たノウハウを利用して、類似分野である有機光電変換材料の開発につなげている。

【社会実装事例】電子ブロック材料「KCEB シリーズ」（関東化学㈱）

概要：有機 EL デバイスの課題である青色蛍光素子の低電圧駆動・高効率化・長寿命化に効果的な電子ブロック材料。

特長：①青色蛍光用電子ブロック材料として適切なエネルギー準位とバンドギャップを有する。②160℃を超えるガラス転移温度を示し、熱安定性に優れている。③青色蛍光有機 EL 素子に使用することで低電圧駆動・高効率化・長寿命化が期待できる。



資料：関東化学㈱HP（<https://www.kanto.co.jp/products/denshi/yukiel/kceb.html>）

（2）研究開発テーマ2 ソフトセンシング

①研究開発課題2-1 印刷型高性能有機トランジスタ基盤技術

プログラム終了後の活動方針（終了報告書より抜粋・要約）

- 超フレキシブル有機センサモジュール、新しい動作原理に基づく超フレキシブル近接センサについて、ともに特許出願し、企業との共同研究も継続している。

A.プリントドセンサ／有機半導体材料およびデバイスの開発を継続

山形大学の松井研究室では、科研費および CREST の予算により学術研究を継続中。民間企業 4 社とプリントドセンサや有機半導体材料・デバイスの実用化に向けて連携中である。また、OPERA 終了後に関連する多数の論文を刊行しているほか、その成果のいくつかが学会等で表彰されている（博士課程学生の受賞もあり）。

②研究開発課題2-2 印刷型センサ基盤技術と情報通信融合化

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 機能性センサと無線通信の機能を融合した一体型センシングデバイスおよび関連する材料やシステム構築などを一体的な研究を推進する。
- クラウドコンピューティングネットワークでのデータ解析によるセンシング情報活用サービスの可能性についても追求する。

A.ソフトセンシング・ストレッチャブルセンサーの知財化

山形大学の関根准教授は、JST の A-STEP により、ストレッチャブル加速度センサ等の学術研究を継続中である。また、民間企業 3 社と共同研究を推進。出口戦略を志向した共同研究であり、OPERA の成果を踏まえた新研究となっている。

ソフトセンシングに関するデバイス作製（センサ・アクチュエータ）の知財化（関連特許を 2 件取得）に成功しており、さらなるセンサデバイス開発が見込まれる技術開発に邁進している。これらの成果により、2024 年 4 月に文部科学省大臣表彰若手科学者賞を受賞した。

B.サステナブルエレクトロニクス分野において海外研究機関と日本企業をつなぐハブ機能を構築

山形大学の熊木研究室（熊木教授、時任卓越研究教授、肩書は当時）が中心となっている「山形大学ソフトセンシング産学連携コンソーシアム」では、循環型経済を実現するため、プリントドエレクトロニクスや、サステナブルエレクトロニクスの研究開発を進めている。その中心となっているのはセンシング技術である。サステナブルエレクトロニクスは、日本ではまだ黎明期だが、欧州では重視されており、今後大きな産業となることが期待されている分野でもある。山形大学では本分野でオランダの TNO Holst Centre¹と提携（2024 年 9 月 2 日には、Holst Centre との MOU 締結を前提としたキックオフの連携イベントを米沢にて開催している）。同大が、欧州研究機関と日本企業をつなぐハブ機能を担うことを目指している。

サステナブルエレクトロニクスを推進するための要素技術は、OPERA 等の支援により、山形大学内に構築できており、特に、信号処理や通信回路を含めたセンサーシステム（フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス）においては競争優位を有すると自負されている。

具体的には、下記のように研究が順調に継続している。

- 抵抗変化型の圧力センサや歪みセンサの超高感度化を目指し、新しいアイデアを基に感圧層のマイクロ構造制御とその印刷作製プロセスを提案し、その成果を学術論文に投稿している。
- 大学単独の関連特許を複数件出願し、権利が成立している。
- 山形大学と複数企業との共同研究により、圧力センサや歪みセンサの健康管理やロボット分野への応用可能性を検討している。
- 地球環境保護の観点から、セルロース系材料、バイオポリマーや紙材を活用したセンサーシステムの研究を推進している。

¹ オランダの研究機関 TNO（応用科学研究機構）と、ベルギーの IMEC（半導体エレクトロニクスの研究機関）が共同で設立した、プリントド&フレキシブルエレクトロニクスで実用化を目指す研究所。

③研究開発課題2-3 3D表面微細回路印刷基盤技術

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 本技術の事業化に興味を示す企業と連携して社会実装を進める計画である。

A.3D表面微細回路印刷の研究は停滞

専門的で応用範囲が限定的な分野であることもあり、OPERA 終了後に研究チームが維持できていない。国際的にも本分野の研究は縮小傾向にあるという。

④研究開発課題2-4 バイオマテリアル技術

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 参画企業のうち3社についてはプロジェクト期間終了後も医療用生体適合性高分子材料の開発に関する共同研究の継続を予定している。
- 当該要素技術開発において得られた知見は、高分子合成、表面処理、デバイス作成、理論体系の構築までを網羅して多岐に渡っており、今後も医療・介護分野におけるソフトマターロボティクスの展開を見据えた要素技術開発を行っていく予定である。

A.生体親和性材料、センサーの開発と社会実装が進む

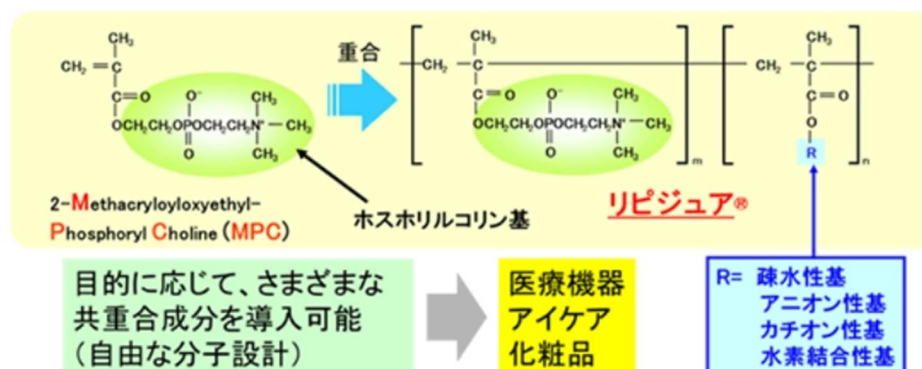
OPERA 期間中のようなコンソーシアムとしての活動はみられないが、九州大学先端物質科学研究所の田中賢研究室の小林准教授等を中心に、材料開発を得意とする企業と開発した材料を、デバイス開発を得意とする他の企業に紹介し、共同的に開発を進める等の取組が継続されている。

OPERA 期間中に参画していた複数の企業が、OPERA 終了後の開発継続により製品化に到達している(下記事例等)。OPERA 終了後も、期間中の成果物である材料に対し、別企業・大学からの引き合いがみられる。

- OPERA 期間中に、日油(株)が MPC ポリマーの製品化を実現。

また、九州大学では、生体内への埋め込みを前提とする薄膜型センサー表面に適用する生体親和性高分子材料の開発を行っている。OPERA 期間中に見出された材料を適用した体内留置型デバイスの開発を継続しており、現在では材料開発からデバイス開発へとステージが移行。さまざまな埋込型デバイスの開発が進行している。

【社会実装事例】MPC ポリマー「LIPIDURE®」(日油(株))



特徴：生体を構成する最小単位である細胞は、生命維持のために多様な働きをしており、この働きの一部は細胞膜によるものである。MPC モノマーはメタクリル基とホスホリルコ

リン基という二つの部分からできている化合物である。メタクリル基は、他のモノマーとつなげる鎖の役目を果たす。また、ホスホリルコリン基は、生体に非常に馴染みやすいリン脂質類似構造を持ち、細胞膜と同様の表面を人工的に作ることができるため、人体が異物ととらえず、拒否反応を起こさないことが特長である。同社は、用途に応じた多種多様な LIPIDURE®を一貫して製造する商業プラントを、世界でいち早く完成させている。

資料：日油㈱HP (<https://www.nof.co.jp/business/life/mpc-product01>)

(3)研究開発テーマ3 ソフトメカニクス

①研究開発課題3 ソフトアクチュエータ

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 柔らかい材料に加え、ほとんどの人が実際には観たこともない秋田犬「ハチ」らしさを表現するゲルハチ公の人工知能とのコミュニケーションも組み合わせ、象徴としての銅像を人と触れ合えるソフトロボットに進化させた、新しいソフトマターロボット製品としての社会実装を進める。

A.OPERA(オープンイノベーション機構連携型)によるコンビニエンス・ファクトリーへの展開

本プロジェクトで取り組んだ、山形大学の古川英光教授等による 3D/4D プリンティング技術の成果をさらに進展させるため、OPERA (オープンイノベーション機構連携型)「マテリアル×プロセスイノベーションによる革新的ソフト 3D 界面の創製とやわらかものづくり革命への展開」(平成30年度採択、幹事機関:山形大学))において「コンビニエンス・ファクトリー(CONVFAB)」を掲げて研究を継続した。将来的に、個別ニーズに対応したソフト 3D 界面を有した少量多品種のデバイス・製品が身近に具現化できる「コンビニエンス・ファクトリー」を構築し、その先の「やわらかものづくり革命」の実現へと展開することを目指している。

各技術を融合した研究成果である「やわらか人間拡張アシストスーツ」については、製品イメージ、想定ユーザー、顧客ニーズ等の把握を目的にコンセプトモデルを試作した。航空会社から荷物運搬者による使用への打診があるなど、実用化に向けた道筋が拓きつつあったが、COVID-19の影響により中断を余儀なくされた。

B.地域企業とともに、3D/4Dゲルプリンティングによるやわらかものづくり産業拠点の形成を進める

「やわらかものづくり革命共創コンソーシアム」等を核として、OPERA (オープンイノベーション機構連携型)「マテリアル×プロセスイノベーションによる革新的ソフト 3D 界面の創製とやわらかものづくり革命への展開」(平成30年度採択、幹事機関:山形大学))後の後継事業の創出を目指している。山形大学(古川英光研究室)と個々の企業との共同研究を基軸に、有機材料の3D/4D ゲルプリンティングの技術開発、用途開発を進めている。その中で、NEDO 先導研究プログラム/マテリアル・バイオ革新技術先導研究プログラム「革新的異種柔軟材料 3D/4D ものづくり基盤の構築」(2023~24年度)の採択に至っている。

3D/4D ゲルプリンティングによるやわらかものづくりにおいては、医療(手術用の臓器模型等)、食品(フードプリンタ、後述)、教育(生物の立体造形)等の分野で試作・応用が始まっている。一例として、ソフトモジュール型ロボブロック「MORI-A」が開発され、ロボットハンドと

して、産業機械のグリッパや一般向け地域玩具への導入が目指されている。

さらに、山形大学と地域のものづくり企業 5 社との連携により、手軽に研究開発に使われるようなミニマムな性能の国産 3D ゲルプリンターの開発・製造が進められている。高性能を追求しない代わりに、価格を抑えた（約 300 万円～。従来機の 1/30 の価格帯）プリンターが試作されており、2024 年内の上市が目指されている（おきたまものづくりネットワーク協議会、山形県工業技術センター置賜試験場、山形大学による「OMNYU（オムニュー）」商品化プロジェクト）。

C.3Dフードプリンタの開発と社会実装が急速に進展

「やわらか 3D 共創コンソーシアム」では、食品、医療、ゲル、モビリティ、ソフトマシンの 5 分野で、3D プリンターを用いた新素材の実用化を検討されているが、中でも食品分野における 3D フードプリンター開発が急速に進んでいる。本分野において山形大学は、下記の競争的資金を獲得している。

- ・ ムーンショット型農林水産研究開発事業「低温凍結粉碎含水ゲル粉末による食品の革新的長期保存技術の開発」（2023～24 年度）
- ・ SIP 第 3 期バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備「食感解析 AI と 3D プリンターによるインターバースを活用した 革新的な介護食の研究と ELSI 視点からみた課題抽出」の採択（2023～27 年度）

また、古川英光教授自身も、フードテックスタートアップの設立に関与・参画（レーザークック（株）（京都市）、（株）F-EAT（米沢市））しており、将来的に米沢をフードテック拠点としたい考えである。現在、廃棄食材等を凍結粉碎した粉末、でんぷん、フードインクを混ぜ、青色レーザーを照射することで食品を 3D 加工する事業を構想中であり、フードロス対応、個人に最適化した食事（介護食、栄養食等）等に資することから、コンビニ、レストランチェーン等にも注目が広がっている。

（４）研究開発テーマ５ 社会システム・ソフトマターロボティクス

①研究開発課題５ 社会システム・ソフトマターロボティクス

プログラム終了後の活動方針（終了報告書より抜粋・要約）

- 弘栄ドリームワークス（株）と共に、繊維振動型の各種配管探査ロボットを実用化して、社会実装を行い、競争領域での共同研究を展開してゆく。
- 回転する角を有するタイプの配管探査ロボットは、角の部分にブラシのような機能を持たせることにより、配管内部の地図情報を取得しつつ、洗浄作業を行うことなども、将来課題として取り組む予定である。

A.ソフトマターロボットの内骨格となる球状歯車の開発

山形大学の多田隈研究室では、OPERA 期間中より共同研究を行っていた兼松（株）と、研究開発を継続している。その中で、ソフトマターロボットの能動的な内骨格となりうる「球状歯車」を開発し、関西ロボットワールド 2023、2024、横浜ロボットワールド 2022、2023 にて展示している。現在は、様々な大きさの球状歯車を社会実装するための準備を進めている。

球状歯車は、OPERA においては、ソフトマターロボティクスの骨格部分（関節等）の役割を期待されていたが、ソフトマターロボティクス以外の通常のロボット開発においても適用可能な技

術となっている（産業ロボット、宇宙探索ロボット等における部品数削減や小型化等）。しばしばマスコミで取り上げられ、「異能ジェネレーションアワード 企業特別賞」を受賞するなど注目度が高まっている。

本技術をもとにして特許も取得済みであり、兼松剛が球状歯車の用途開発を担当し、今後数年での社会実装を目標とする。今後は、用途分野に応じた球状歯車の最適化（小型化、形状等）が課題となる。

B.配管探索ロボット開発は、水道管から半導体製造装置へと展開する見込み

山形大学の多田隼研究室と㈱弘栄ドリームワークスは共同研究を継続しており、25～40mm程度の細い配管内を移動するロボット・計測機器に活用できる要素技術の研究を進めている。両社は連携してソフトマターロボットとしての配管探索ロボットを開発し、社会実装を進めている。繊維振動推進型の配管ロボットは、製品化目前の状況となっている。

科研費、JST「研究成果展開事業 大学発新産業創出プログラム」等から開発資金を獲得し、卵管的弾性振動に基づく湾曲繊維メカニズムや回転頭角の開発を進めている。それらの成果を基に、「SI2022²優秀講演賞」、「第1回パイプロボコン世界大会アイデア賞・デザイン賞」を受賞している。

探索ロボットは、OPERA 期間中は主に水道管等での利用を想定していたが、近年、半導体製造装置の配管の不具合を探索する用途市場が浮上。熊本県の企業等における導入開発等に着手している。半導体製造装置での探索ロボットには、配管内にシリコン等が詰まってないか、内部を撮影して映像を持ち帰ること等が求められるが、その開発には、「回転頭角」技術等、OPERA で培った技術・ノウハウが活かされている。

【社会実装事例】繊維振動で進む配管点検ロボ（山形大学多田隼研究室）

特徴：配管の中でロボットを振動させると繊維の方向に機体が進む。毛並みと振動部位を変えることで前後進できる。振動用モーターなど安価な部品だけでロボットを構成する。配管点検に提案。今後3年程度での実用化を目指す。³



資料：多田隼研究室

² SI2022：第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（2022年12月14日～12月16日開催）

³ 2021年1月に報道発表されている。

6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況

産学連携による研究開発推進やマネジメントの仕組みに関する、プログラム終了後の運用状況について、(プログラム終了時における運用方針と対比しつつ) 項目ごとに記載する。

(1) 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・作成)

- 山形大学では従来、共同研究においては直接経費のみ計上していたが本 OPERA プログラムを契機に共同研究における間接経費を導入し、コンソーシアム参画企業と意見交換しながら積算根拠を明確化するなどして制度化した。2018 年 10 月 1 日からは、全学的な制度へと発展し、財務体質が強化されることとなった。
- ガバナンス改革として、2020 年 4 月から研究と産学連携を一人の理事が担うこととし、全学的かつ、研究から産学連携への一貫した戦略に基づき、研究拠点形成や研究環境整備、若手研究者育成等へと戦略的に投資し、産学連携を更に促進する循環型マネジメント体制を構築した。

間接経費を効率的かつ戦略的に執行するための基準として 2024 年 4 月に「間接経費の配分及び使用に関する方針」を改訂し、間接経費の使途として研究代表者の給与水準や研究開発環境の向上改善、本学全体の研究機能向上に資するための「研究環境整備費」と、今後の産学官連携活動の発展に向けた将来への投資等のための「戦略的産学連携経費」に区分した。

一人の理事が研究と産学連携の両方を担当する体制を維持し、循環型マネジメント体制を発展させていくために「研究力強化のための総合支援パッケージ」の策定や戦略的なコーディネータの配置など研究と産学連携の一貫した支援を継続している。

(2) 知的財産の取扱いルール

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- コンソーシアム参画企業のメリットに十分留意し、高いモチベーションを維持して取り組みやすいよう、共同出願企業が実施する際に不実施補償を求めないなど、具体的仕組みについての方針を策定し運用した。
- 知財評価活用会議に知財 CM、法務 CM が加わったことにより、大学としての発明等届出書の審議を迅速に行うことが可能となった(判断のスピードアップ)。
- 知財 CM、法務 CM が日常的に事業・研究の方向性と特許との関連を精査することで、効率的なパテントポートフォリオの構築を図ってきている。

コンソーシアム参画企業のメリットに配慮した運用を継続し、共同出願企業に対し不実施補償を求めないなど出願に対する高いモチベーションを維持してもらう方針を継続している。

科学技術・イノベーション機構内の知的財産本部に置かれる「知的財産評価活用会議」では、知財 CM と法務 CM が構成員となり、原則月 2 回開催することで更なる審議の迅速化を継続している。

知財 CM や法務 CM が発明と研究の方向性との関連性を精査することのほか、研究者や事務担当者に知財に関するアドバイスができる体制も整っている。

(3)人材育成

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- Young Researcher 制度（学生延べ14名）、インセンティブ設計（卓越研究教授（スター教授）2名）やクロスアポイントメント制度（民間から1名）等の人事制度改革により、産学共同で科学技術イノベーションを先導する人材育成システムを構築した。
- 若手人材育成制度として R2 補正の文部科学省「科学技術イノベーション創出に向けた大学フェローシップ創出事業」にマテリアル分野で支援人数10名として採択された。

インセンティブ設計について、研究代表者（PI）の処遇改善等のために、競争的研究費の直接経費からPI人件費支出を可能にする規則を制定した。また、若手研究者育成のために一定の業績を上げた者に「卓越研究者」の称号を付与し様々な支援や配慮を行うことができる規則を制定し、優秀な若手研究者により研究に専念できる環境の提供を可能とした。

(4)機関連携・協力体制

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- ソフトマターロボティクスの学理構築、産学連携・事業化を目指した科研費新学術領域ソフトロボット学との連携により、ソフトマターロボティクスの認知向上、研究拡大が進んだ（官邸 SNS への掲載、日本ロボット学会誌特集号など）。特に、東京オリンピック・パラリンピックにおいては、文部科学省のユニバーサル未来社会推進協議会によるロボットショーケースで展示を行い、好評を博した（2021年7月30日）。
- 活動の継続発展のため、産学官連携推進本部、オープンイノベーション推進本部、有機材料システム研究推進本部が連携し、ESG・SDGs や Society5.0 といった産業界のニーズを取り入れ、新概念「やわらか機構脳」を提唱し、Phase2 の活動を行う新たなコンソーシアムと学内新組織のソフトマターロボティクス研究所の立ち上げを進めた。

SOFUMO2.0 コンソーシアムを中核として、民間企業との連携を継続・発展させ、ソフトマターロボットの能動的な骨格となりうる「球状歯車」の開発・改良を進めた。球状歯車の将来的なサプライチェーンに参加可能な民間企業との情報交換を進めて、OPERA プログラムの成果を確実に継承・発展してゆけるような体制づくりを進めている。

また、球状歯車を能動的な骨格として、その周囲のソフトマターにより構成された皮膚構造を動かしつつ、本質的な対人安全性・親和性を確保しながら様々な作業を行うソフトマターロボットの設計・製作を進めている。

(5) 参画機関の管理

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- シンポジウムや展示会、ホームページ等を通した多面的な情報発信により、今後ソフトマターロボティクスを展開し社会実装を目指すうえで重要となる、デザイン・アート分野の研究者（大阪芸術大学・東京大学等）との連携や、新規機能性（例えば耐放射線性等）の創出を目指す研究者（会津大学、日立 GE 等）との連携へと発展している。
- 新型コロナの影響で、リアルな会場でのシンポジウム等のイベントは制限されたが、一方でオンライン形式での開催によって、会場まで足を運ぶ必要がなく気軽に参加できるため、これまで以上の人数の参加に繋がっている（3 倍増）
- 共創の場形成支援プログラムにおけるバイオ DX 産学共創拠点において、各分野のトップランナーを結集したビジョン共創チームと連携し、多様なステークホルダーを対象としたワークショップの開催、メディアを活用した情報発信等、継続的な普及活動を行う。

OPERA 発のコンソーシアムだけでなく、各センター、連携体制においても、情報発信に努めている。例えば CEATEC 展示会等への出展（山形大学 INOEL）や TV 出演、出版物（特集）等である。また大阪芸術大学の中川先生とのプロダクトデザイン連携や 3D プリントによる食など、他分野連携も発展している。地方自治体（米沢市・山形県）との連携も強化し新規取組（プログラム申請、動画配信用意、併設出展等）を進めている。

現地・Web ハイブリッド開催がある程度浸透しており、現地・ハイブリッドの 2 つのアドバンテージを活かした形で、各種シンポジウムを開催している。

ソフトマターロボティクスの社会実装を進めるパートナーとしての大学・民間企業との連携を、より進めている。具体的には、関西ロボットワールド 2023、2024、横浜ロボットワールド 2022、2023 にてソフトマターロボティクスに関する共同研究の成果の展示を行い、情報発信を行うと同時に、パートナーとなり得る大学・民間企業を引き続き募っている。

開発したソフトマターロボットは、実際に使用される現場まで連携先の民間企業社員と共に持参した上で実地実験をするなど、具体的な社会実装に向けた連携を強化している。

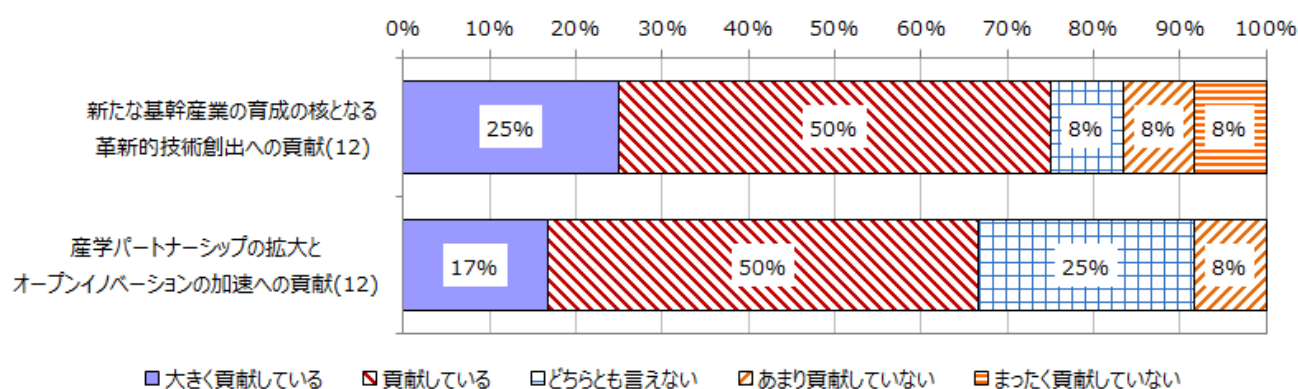
7) プロジェクトが果たした役割

アンケート調査、ヒアリング調査結果を基に、本プロジェクトが果たした役割について、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献と、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献の2つの観点からまとめる。

(1)プロジェクトの貢献度

アンケート調査にて、マネジメント層（領域統括、幹事機関等）、研究者及び企業の計12者に対し、本プロジェクトは基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したかの自己評価をたずねたところ、革新的技術創出に対して「大きく貢献している」「貢献している」との回答は約3/4、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対して「大きく貢献している」「貢献している」との回答は7割弱に達した。

図表 2-33 本プロジェクトによる貢献度（自己評価）



※（ ）内は回答者数

(2)プロジェクトの貢献内容

さらに、ヒアリング調査にて、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対する本プロジェクトの貢献状況について聞いたところ、下記の意見が得られた。

図表 2-34 本プロジェクトによる貢献内容

項目	主な意見
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献	○ 大型予算を戦略的に投入しているため、革新的技術の創出と事業化に向けた企業連携が大いに加速した。【マネジメント層】 ○ 非競争領域における知財化など次世代デバイス開発に関する新しい技術創出とその気付きに大きく貢献した。【研究者】 ○ ソフトマターロボットの重要性が社会的に広く認知されることとなり、そのためのアクチュエータの重要性も認識されたため、球状歯車のスムーズな開発につながり、新たな基幹産業の育成のためのコア技術を創成することとなった。そのようなコア技術の創成のために、複数分野の研究者・教育者・技術者が強く連携するための契機とな

	り、OPERA が仮に実施されなかった場合に比べて、極めて強力な、学際的技術の創出につながったと考えている。【研究者】 ○ マッチングファンド型の支援により、研究・開発に大きな進展があった。この期間中に出した成果をもとに製品化が達成され始めている。【研究者】
産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献	○ 企業との共同研究が加速された。【マネジメント層】 ○ これまでの大学の研究は、基礎的研究が中心であったが、本プロジェクトにより応用研究、事業化を見据えた取組を行うことで、企業との共同研究が活性化し、技術移転が進んだと思う。【マネジメント層】 ○ 出口戦略を指向した共同研究の新規契約やその可能性検証の創出に大きく貢献した。【研究者】 ○ OPERA に参画した民間企業とは、OPERA 終了後も、密に連携して技術開発を継続している。そのような共同研究グループに、次々に新しい企業や大学の研究者が参画して、それぞれの専門分野を活かした共同研究が進んでいることから、産学パートナーシップの拡大およびオープンイノベーションの加速に、大きく貢献したものと考えている。仮に実施されなかったと仮定した場合には、到底巡り会うことのなかった異分野の企業・大学研究者との連携が可能になっており、より学際的なコア技術の創成につながっている。【研究者】 ○ 参画企業のうち、現在まで共同研究を継続している企業とは非常に強固な研究体制をもつことができている。【研究者】 ○ 人脈形成の貢献。【企業】 ○ 自社内のみならず、大学機関と連携した新技術の開発・研究・調査。【企業】

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

(3)創出された「新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術」の内容

本プロジェクトにより創出された、革新的技術の内容については、下記の意見が得られた。

図表 2-35 本プロジェクトにより創出された、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の内容

研究開発テーマ	主な意見
1 ソフト機能材料・デバイス	○ ウェットプロセスによるハイバリア研究に対して、OPERA ではその上へのデバイス作製の研究をテーマとして行っていたが、ハイバリアそのものに多くの価値が創出された。ペロブスカイト太陽電池などでも、ハイバリア膜を必要としており、現在は特に太陽電池に向け、研究を進めている（NEDO グリーンイノベーション基金）。【マネジメント層】 ○ 完璧に近いバリア性能が、量産性が見通せる手法で作製可能になった。【研究者】 ○ 水蒸気バリアの測定に関する国際標準を SEMI にて作成。ISO 標準より現実的で優れている。SEMI D78 - Test Method of Water Vapor Barrier

	Property for Plastic Films with High Gas Barrier for Electronic Devices 【研究者】
2 ソフトセンシング	○ 地球環境保護に資する印刷技術を基盤とした先進的プリンテッドエレクトロニクス分野を創出。この分野は今後注目されるサステナブルエレクトロニクスに繋がる基本技術であり、大きな産業となることが予想される。【マネジメント層】 ○ ソフトセンシングに関するデバイス作製（センサ・アクチュエータ）の知財化に成功しており、更なるセンサデバイス開発が見込まれる技術開発に邁進できている。【研究者】 ○ 生体内への埋め込みを前提とする薄膜型センサー表面に適用するための生体親和性高分子材料を開発。期間中に見出された材料を適用した体内留置型デバイスの開発を継続的に実施しており、現在では材料開発からデバイス開発へとステージが移行。さまざまな埋込型デバイスの開発が進行している。【研究者】
5 社会システム・ソフトマターロボティクス	○ 本プロジェクトで創出された、蛇の内骨格のように、ソフトマターロボットの能動的な内骨格となり得る、小型・軽量の多自由度アクチュエータとしての球状歯車のさらなる開発を、SOFUMO2.0 コンソーシアムの中で進める。【研究者】 ○ 様々なサイズ・重量の金属製・樹脂製の球状歯車を量産できる環境が構築されつつあり、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術として、球状歯車技術が発展し続けている。【研究者】

（４）国内外の他拠点などに対する比較優位性

本コンソーシアム・研究開発拠点がベンチマークする国内外の他拠点と、それに対する比較優位性については、下記の意見が得られた。

図表 2-36 ベンチマークする拠点と比較優位性

項目	主な意見
比較優位性	○ ウェットコートで得られたバリア構造での性能で比較すると、現時点でも世界最高性能を達成しており、高い優位性の創出に寄与している。 ○ サステナブルエレクトロニクスを推進するための要素技術は JST の支援を受けた山形大学で構築できている。特に、信号処理や通信回路を含めたセンサーシステム（フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス）は山形大学の独壇場である。

8) 資料

アンケート調査への回答内容から、本プログラム終了後の主要な論文、特許、取得した官民の事業資金について掲載する。

①論文

論文名	著者名	掲載誌	年月
Statistical Analysis of Interatomic Transfer Integrals for Exploring High-Mobility Organic Semiconductors	Koki Ozawa, Tomoharu Okada, Hiroyuki Matsui	Science and Technology of Advanced Materials	2024.3
High-Gas-Barrier Film for Organic Light-Emitting Diode Lighting	Tadahiro Furukawa , Kodai Taira, Hirokazu Chiba, Shun Sugimoto, Haruhiko Itoh and Tatsuhiro Takahashi,	ITE Trans. on MTA Vol. 12, No. 1, pp. 133-142 (2024)	2024.1
Ultra-Rapidly Responsive Electret-Based Flexible Pressure Sensor via Functional Polymeric Nanoparticle Synthesis	Tatsuya Yasuda, Ryutaro Komine, Ryoma Nojiri, Yoshihito Takabe, Kenta Nara, Takeru Kaneko, Syunsuke Horigome, Yasunori Takeda, Yi-Fei Wang, Seigou Kawaguchi, Tomohito Sekine	Advanced Functional Materials	2024
Suspension Culture System for Isolating Cancer Spheroids using Enzymatically Synthesized Cellulose Oligomers,	N. Hayakawa, M. Nishiura, T. Anada, S. Kobayashi, T. Sawada, T. Serizawa, M. Tanaka	ACS Appl. Bio Mater., 7(1) 306-314 (2024).	2023.12
Temperature Correction of Printed Na ⁺ , K ⁺ , and pH Sensors with PEDOT:PSS-Based Thermistors toward Wearable Sweat Sensing	Rei Shiwaku, Hiroyuki Matsui, Kuniaki Nagamine, Shizuo Tokito	Advanced Sensor Research	2023.11
A Flexible, 2.4-GHz Wireless Ion Sensor System Using Printed Organic Amplifiers with 3-V Single Supply	Rei Shiwaku, Hiroyuki Matsui, Yuki Hommura, Yasunori Takeda, Kuniaki Nagamine, Shizuo Tokito	Advanced Electronic Materials	2023.9
MORI-A CPS: 3D printed soft actuators with 4D assembly simulation	Shoma Abe, Jun Ogawa, Yosuke Watanabe, MD Nahin Islam Shiblee, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa	Artificial Life and Robotics	2023.6
4D printing of hydrogels controlled by hinge structure and spatially gradient swelling for soft robots	Masanari Kameoka, Yosuke Watanabe, MD Nahin Islam Shiblee, Masaru, Kawakami, Jun Ogawa, Ajit Khosla, Hidemitsu Furukawa, Shengyang Zhang, Shinichi Hirai, Zhongkui Wang	Machines	2023.5
Printed Directional Bending Sensor with High Sensitivity and Low Hysteresis for Human Motion Detection and Soft Robotic Perception	Yi-Fei Wang*, Ayako Yoshida, Yasunori Takeda, Tomohito Sekine, Daisuke Kumaki and Shizuo Tokito *	Sensors, 2023, Vol. 23, 5041	2023.5
Printed 700 V/V Gain Amplifiers Based on Organic Source-Gated Transistors with Field Plates	Yudai Hemmi, Yuji Ikeda, Radu A. Sporea, Satoru Inoue, Tatsuo Hasegawa, Hiroyuki Matsui	Advanced Electronic Materials	2023.4
Optimization of the blend ratio of soft functional polymers for high piezoelectric performance stretchable device	Keita Ito, Tomohito Sekine, Yoshinori Shouji, Yi-Fei Wang, Yasunori Takeda, Daisuke Kumaki, Fabrice Domingues Dos Santos, Huang Tong, Atsushi Miyabo, Shizuo Tokito	Applied Physics Express	2023
Robotic e-skin for high performance stretchable acceleration sensor via combinations of novel soft and functional polymers	Tomohito Sekine, Keita Ito, Yoshinori Shouji, Ryosuke Suga, Tatsuya Yasuda, Yi-Fei Wang, Yasunori Takeda, Daisuke Kumaki, Fabrice Domingues Dos Santos, Huang Tong, Atsushi Miyabo, Shizuo Tokito	Applied Materials Today	2023
Fast Response, High-Power Tunable Ultrathin Soft Actuator by Functional Piezoelectric Material Composite for Haptic Device Application	Yoshinori Shouji, Tomohito Sekine, Keita Ito, Naoya Ito, Tatsuya Yasuda, Yi-Fei Wang, Yasunori Takeda, Daisuke Kumaki, Fabrice Domingues Dos Santos, Atsushi Miyabo, Shizuo Tokito	Advanced Electronic Materials	2023

Micro-Pore Composed Soft Pressure Sensor with Ether-Surfactant via High-Sensitivity in Wide Range for Robotic Machine Interface Application	Kaiin Tou, Kenta Nara, Tomohito Sekine, Yi-Fei Wang, Yasunori Takeda, Daisuke Kumaki, Shizuo Tokito	Advanced Sensor Research	2023
Coverage Performance of PEDOT:PSS Against Particles on a Substrate for OLEDs	Yu Kurosawa, Tetsushi Murakami, Tatsuhiko Takahashi, and Yoshiyuki Suzuri	Adv. Mater. Interfaces, 2201695(7pp.) (2022)	2022.12
Development of soft inchworm robot with friction control of feet using double-network gel	Moses Gladson Selvamuthu, Riichiro Tadakuma, Naofumi Fujiwara, Kazunari Yoshida, Minoru Takagi, Hiroyuki Hoshino, Yoshiyuki Suzuri & Hidemitsu Furukawa	Advanced Robotics	2022.12
Solution-Processed Gas Barriers with Glass-Like Ultrahigh Barrier Performance	Tatsuki Sasaki, Lina Sun, Yu Kurosawa, Tatsuhiko Takahashi, and Yoshiyuki Suzuri	Adv. Mater. Interfaces, 2201517(8pp.) (2022)	2022.10
Gel Biter: food texture discriminator based on physical reservoir	Kosuke Hirose, Ikuma Sudo, Jun Ogawa, Yosuke Watanabe, M. D. Nahin, Islam Shiblee, Ajit Khosla, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa	Artificial Life and Robotics	2022.10
MORI-A: Soft Vacuum-actuated Module with 3D-Printable Deformation Structure	Jun Ogawa, Tomoharu Mori, Yosuke Watanabe, Masaru Kawakami, Md Nahin Islam Shiblee, Hidemitsu Furukawa	IEEE Robotics and Automation Letters	2022.4
Local Discrimination Based on Piezoelectric Sensing in Robots Composed of Soft Matter with Different Physical Properties	Ikuma Sudo, Jun Ogawa, Yosuke Watanabe, MD Nahin Islam Shiblee, Ajit, Khosla, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa	Journal of Robotics and Mechatronics	2022.4
A Printed Flexible Humidity Sensor with High Sensitivity and Fast Response Using a Cellulose Nanofiber/Carbon Black Composite	Shogo Tachibana, Yi-Fei Wang *, Tomohito Sekine, Yasunori Takeda, Jinseo Hong, Ayako Yoshida, Daisuke Kumaki, Takeo Shiba, Shizuo Tokito *	ACS Applied Materials Interfaces, 2022, Vol. 14, 5721-5728	2022.1
Conformable microneedle pH sensors via the integration of two different siloxane polymers for mapping peripheral artery disease	W. Lee, S.-H. Jeong, Y.-W. Lim, H. Lee, J. Kang, H. Lee, I. Lee, H.-S. Han, S. Kobayashi, M. Tanaka, B.-S. Bae	Sci. Adv., 7(48), eabi6290 (2021).	2021.11
湾曲型空気圧ゴム人工筋肉を用いた正二十面体型自走ロボットの開発と駆動実験	石栗尚弥, 田中厘来, 戸森 央貴	日本機械学会論文集 (JSME)	2021.11

②特許

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日
二重関節機構	多田限理一郎、山廻邊和史	山形大学	特願 2022-182531	2022.11.15
バリア層構造の製造方法およびバリア層構造	硯里善幸、佐々木樹	山形大学	特願 2022-148356 号	2022.9.16
食品分析システム、食品分析システムに用いられる部材、信号発生装置、及び信号解析装置	小川純、廣瀬航佑、川上勝、渡邊洋輔、古川英光	山形大学	特願 2022-127642	2022.8.10
医療用組成物及びその用途	田中賢、小林慎吾、西村文男、枝連未奈里、西浦聖人	九州大学 第一工業製薬株式会社	特願 2022-125995	2022.8.8 (登録済)
ポリマー化合物	小林慎吾、吉田健人、田中賢	九州大学	特願 2022-114418	2022.7.16
多孔質樹脂およびその製造方法並びに機能フィルム	吉田綾子、ワン イーフエイ、時任静士	山形大学	特願 2020-197318	2020.11.27 (登録済)
導電性樹脂およびその製造方法並びにセンサ	吉田綾子、ワン イーフエイ、時任静士	山形大学	特願 2020-197319	2020.11.27 (登録済)

③官民の事業資金

機関名	事業・制度名	課題名	年度	基となった 研究開発テーマ
内閣府	戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第3期 パーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備	食感解析 AI と 3D プリンターによるインターバースを活用した革新的な介護食の研究と ELSI 視点からみた課題抽出	R5～R7	ソフトメカニクス
日本学術振興会 (JSPS)	科学研究費補助金・挑戦的研究(萌芽)	異形管腔内への超適応推進を実現する卵管的弾性振動に基づく湾曲繊毛メカニズムの創成	R5～R7	社会システム・ソフトマターロボティクス
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	NEDO 先導研究プログラム／マテリアル・バイオ革新技術先導研究プログラム	革新的異種柔軟材料 3D/4D ものづくり基盤の構築	R5～R6	ソフトメカニクス
農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター	MS511 ムーンショット型農林水産研究開発事業 目標 5 2050 年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出	低温凍結粉砕含水ゲル粉末による食品の革新的長期保存技術の開発	R5～R6	ソフトメカニクス
日本学術振興会 (JSPS)	科研費基盤研究 B	不純物ドーブ有機半導体結晶材料の大規模探索と有機トランジスタ応用	R4～R7	ソフトセンシング
科学技術振興機構 (JST)	研究成果展開事業 大学発新産業創出プログラム 大学・エコシステム推進型 スタートアップ・エコシステム形成支援	配管探査を自動化するソフトロボットの研究開発	R4	社会システム・ソフトマターロボティクス
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	グリーンイノベーション基金	塗布型バリア構造の開発	R3～R5	ソフト機能材料・デバイス
科学技術振興機構 (JST)	ムーンショット型研究開発制度目標 3「2050 年までに、AI とロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現」	適応自在環境操作機構	R3～R7	社会システム・ソフトマターロボティクス
経済産業省	成長型中小企業等研究開発支援事業 GoTech	車載用薄膜抵抗器における高安定高抵抗素子の実現	R3～R5	ソフト機能材料・デバイス
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	官民による若手研究者発掘支援事業	ソフトマター技術の包括的統合に基づく感性コミュニケーション具有アニメロイド開発	R3～R4	ソフトメカニクス
科学技術振興機構 (JST)	産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (OPERA) オープンイノベーション機構連携型	マテリアル×プロセスイノベーションによる革新的ソフト 3D 界面の創製とやわらかものづくり革命への展開	H30～R4	ソフト機能材料・デバイス
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	官民による若手研究者発掘支援事業	最先端ソフトマター材料技術の包括的統合が引き出す革新的な感性コミュニケーション能力を有するアニメロイド技術の開発	R2～R6	ソフトメカニクス
科学技術振興機構 (JST)	研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)	ダイボールマッチング法 を駆使したブレンデッド強誘電性ポリマーによる高機能性ストレッチャブル加速度センサ	R2～R4	ソフトセンシング
科学技術振興機構 (JST)	研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)	Industry4.0 に適合するロボットのスキン用ストレッチャブル加速度センサの開発	R1～R3	ソフトセンシング

2-3. 人と知能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出(幹事機関:名古屋大学)

1) 共創コンソーシアム(人間機械協奏技術コンソーシアム)の概要

〔実施体制〕

幹事機関：名古屋大学

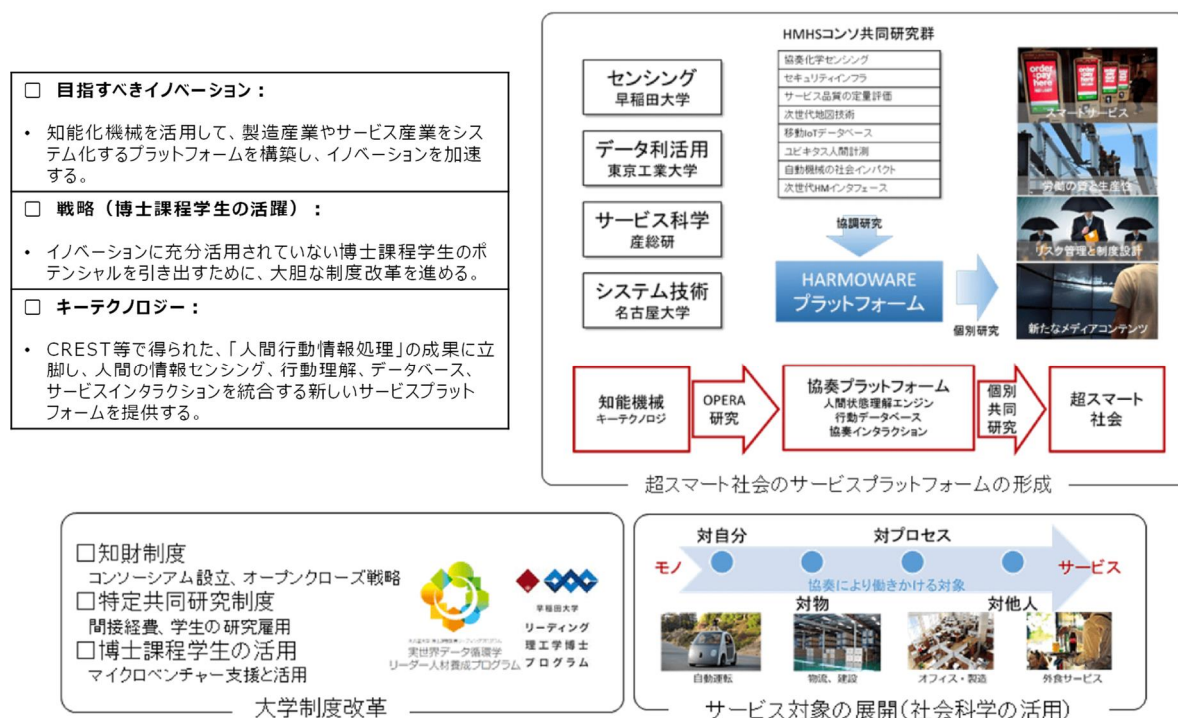
領域統括：武田一哉（所属部署：未来社会創造機構／役職：教授）

研究機関：東京工業大学、早稲田大学、産業技術総合研究所、九州工業大学、豊橋技術科学大学（計5機関）

民間企業：(株)フレームワークス、(株)メイテツコム、ユアサ商事(株)、トヨタテクニカルディベロップメント(株)、(株)ティアフォー、(株)アイシン、(株)ゴビ、オムロン(株)、あいおいニッセイ同和損害保険(株)、(有)来栖川電算、ヤマハ発動機(株)、中部電力(株)、(株)Arc、凸版印刷(株)（現 TOPPAN ホールディングス(株)）、アイサンテクノロジー(株)、東邦ガス(株)、(株)Human Dataware Lab.、(株)オブティマインド、(株)NTT ドコモ東海支部法人営業部、(株)小糸製作所、三菱電機(株)先端技術総合研究所、グローリー(株)、損害保険ジャパン(株)、CLMNEXT(株)、(株)堀場製作所、日本パーカラライジング(株)、(株)Harmonized Interactions、新明工業(株)、(株)サーガ、トラスコ中山(株)、GROUND(株)、(株)シナモン、(株)本田技術研究所（計33社）

〔共創コンソーシアム概要〕

このコンソーシアムでは、ヒトと知能機械が協奏する新しい社会を目指し、人間と知能機械との協奏を実現するための、センシング、セキュリティ、サービス、システム構築の技術を研究し、その成果をオープンソースの基本ソフトウェア「Harmoware（ハーモウエア）」として整備・公開する。さらにコンソーシアムでは、会員企業等が連携して、アプリケーションやサービス製品の実証実験や共同開発を行うオープンイノベーションの場を提供する。



資料：OPERA パンフレット

〔研究テーマ〕

研究開発 テーマ	研究開発課題	課題代表者	共同研究機関
1: 人間と機械の観測と理解	1-1: ヒト・機械の状態把握のための化学センシング	逢坂 哲彌 早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構 特任研究教授	日本製粉(株)、トヨタ自動車(株)、プライム プラネット エナジー&ソリューションズ(株)、東芝インフラシステムズ(株)、(株)東芝、栄研化学(株)、NEC ソリューションイノベーション(株)、(株)堀場製作所、日本パワーライジング(株)
2: 多元データの安全な利活用	2-1: 悪意のある攻撃に耐えるモビリティ・セキュリティ・インフラストラクチャ	田中 圭介 東京工業大学 情報理工学院教授	(株)野村総合研究所
	2-2: ブロックチェーン技術を用いた個人データ利活用プラットフォーム	小田 拓也 東京工業大学 科学技術創成研究院 特任教授	三菱電機(株)
3: 行動の理解とサービス科学	3-1: サービス現場における協奏効果の定量的評価	持丸 正明 産業技術総合研究所 人間拡張研究センター 研究センター長	(株)フレームワークス、ユアサ商事(株)、がんこフードサービス(株)、旭化成(株)、(株)フジクラ、(株)ズコーシャ、住友電気工業(株)、CLM NEXT(株)
4: 協奏システムの構築技術とその評価	4-1: ダイナミックマップシステム評価プラットフォームの開発	高田 広章 東海国立大学機構 (名古屋大学) 未来社会創造機構 教授／大学院情報学研究科 附属組込みシステム研究センター長	ヤマハ発動機(株)
	4-2: 交通運輸 IoT によるビッグデータ収集・分析基盤開発	河口 信夫 東海国立大学機構 (名古屋大学) 未来社会創造機構 副機構長・教授	(株)メイテツコム、名鉄バス(株)、トラスコ中山(株)
	4-3: 自動車内人間計測技術	青木 宏文 東海国立大学機構 (名古屋大学) 未来社会創造機構 特任教授	トヨタテクニカルディベロップメント (TTDC) (株)、オムロン(株)、(有)来栖川電算、(株)Arc、あいおいニッセイ同和損害保険(株)、産業技術総合研究所
	4-4: 自動運転社会評価プラットフォーム	二宮 芳樹 東海国立大学機構 (名古屋大学) 未来社会創造機構 特任教授	東京海上日動火災保険(株)、先進モビリティ(株)、ヤマハ発動機(株)、オムロン(株)、オムロンオートモーティブエレクトロニクス(株)、(株)小糸製作所、アイサンテクノロジー(株)、損害保険ジャパン(株)、(株)ティアフォー
	4-5: 自動運転車向けヒューマンマシンインタフェースプラットフォームの開発	竹内 栄二郎 東海国立大学機構 (名古屋大学) 未来社会創造機構 特任准教授	徳島大学、(株)ティアフォー、(株)アイシン
	4-6: スマート介護システムの基盤構築と実証評価	柴田 智広 九州工業大学 大学院生命体工学研究科 教授	(株)グルーヴノーツ、グローリー(株)

2) プログラム期間中における成果

終了報告書及び事後評価結果等に基づき、プログラム期間中（プログラム終了時点）における、産学連携システム改革に関する取組の成果と、主要な研究開発成果を整理する。

(1) 産学連携システム改革に関する取組(共創コンソーシアム)

図表 2-37 産学連携システム改革に関する取組

取組	成果内容
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 間接経費について、2017年度から導入した大型共同研究の運営方法に則り、教員人件費・事務費・研究支援経費・設備費などの積算をもとに負担を求める考え方について企業の理解を得て、本プログラムにて先導的に適用した。 ● 組織対組織で推進する指定共同研究での「教員参画経費」を一般共同研究へも適用して教員インセンティブや研究室環境整備に充てるよう制度改正した。指定共同研究では、附帯コストについて、従来の一律同額から高額契約を見据え直接経費の10%を計上することに変更し、戦略的産学連携経費を直接経費の5%から10%に改正した。 ● 2018年4月に設立した(一社)人間機械協奏技術コンソーシアムでは、OPERA 関連の共同研究に参加しない企業であっても、コンソーシアムの趣旨に賛同する企業、成果の利用を検討する企業は、協賛企業として会費徴収してコンソーシアムに参加することを可能とした。
知的財産の取扱ルールの方針	● プロジェクト終了後の研究成果利用のため、(一社)人間機械協奏技術コンソーシアムにサブライセンス権を付与できるように知財管理規程を改訂し、企業との交渉の一本化による知財利用を促進した。 ● Harmoware をオープンソースソフトウェア（OSS）として公開し、円滑に開発を行う環境を整備するため、知財管理規定と別に「OSS 利用・開発に関するガイドライン」を取りまとめ、基礎領域のプラットフォームを早期に形成しつつ、研究開発の競争優位性を構築することをOSS 戦略の基本方針とした。
人材育成	● 博士論文研究と共同研究とを両立させ、かつ大学雇用の研究員として学生を雇用する制度（「研究員（学生）」）を新設し、知的財産の共有・営業機密の守秘等を組織対組織の取り決めの中で担保することを可能にする一方で、優秀な学生に強力な経済支援（月24万円）を行うことを可能とした。
機関連携・協力体制についての方針	● 名古屋大学では、(株)ティアフォーとの間で、プロジェクト参加教員3名がクロスアポイントメント制度を活用して、企業において研究を行った。また、(株)ティアフォーからは、社員2名が在籍出向し、大学の教員・学生との共同研究を行った。これらの研究の結果、3件の共同特許の出願に至った。クロスアポイントメント制度の利用については、産学協同研究部門を含め大学全体で47名の職員が他大学や企業との派

	遣・受け入れを行っており、優秀な研究人材の流動化による産学連携の深化が期待される。 ● 産業総合研究所では、クロスアポイントメント制度を用いて、本コンソーシアムメンバー企業（住友電気工業(株)）へ職員 1 名が出向した。また、本コンソーシアム活動を通じて、メンバー企業（凸版印刷(株)（現 TOPPAN ホールディングス(株)））へソフトウェアの提供が実現した。
参画機関の管理方針	● Harmoware として国際的に広く活用されている GitHub 上にてオープンソースソフトの形で提供したことで、迅速に商品化・サービス化に活用することができるようになり、多くの研究成果がいち早く競争領域の研究開発に移行している。 ➢ マルチメディア対話を用いた自動運転バスマルチモーダルエージェント（(株)アイシン） ➢ 自動運転データを活用したデジタルリスクアセスメントサービス（損害保険ジャパン(株)） ➢ 看護支援アプリ（(合)オートケア：九工大学発ベンチャー） ➢ 自動運転データを用いた AI 自動運転教習システム（(株)ティアフォー） ➢ 畜産農家用ストレス検出システム（アニマルストレスセンサ：早稲田大学） ➢ 電力需給データ交換プラットフォーム（三菱電機(株)） ➢ 複数ロボット協調制御システム（オンクラウド(株)：名古屋大発ベンチャー） ● コンソーシアム参加企業間で、人間機械協奏技術に関する企業間連携が進んだ。(株)ティアフォーとヤマハ発動機(株)は、合弁で、(株)eve-autonomy を設立し（2020 年 2 月）、工場内搬送のための自動運転車両の製品開発に着手した。損害保険ジャパン(株)と(株)ティアフォーは資本提携し、自動運転のためのデジタルリスクアセスサービスを開始した。

資料：「事後評価報告書」「終了報告書」より抜粋・作成

（2）主要な研究開発成果

図表 2-38 主要な研究開発成果

研究開発テーマ	成果内容
人間と機械の観測と理解	● ヒトのセンシングに関しては、半導体バイオセンサの応用開発を行って繰り返し利用可能な歯ブラシ大デバイスを試作し、4 種のストレスマーカーのうち 2 種類（s-IgA と α-アミラーゼ）は唾液中濃度として、1 種類（s-IgA）は汗中濃度として検出可能とした。また、検出の難しいコルチゾールについても唾液コルチゾールの日内変動を確認した。 ● 機械のセンシングに関しては、車載用スタックセルの劣化の主要因（過充電セルの存在）を明らかにし、その原因となるスタックセル中に存

	在する個別セルの充電状態のばらつきを交流インピーダンス法により精度よく把握した。また、測定時間の大幅な短縮（10,000s→100s）にも成功し社会実装への見通しをつけた。
多元データの安全な利活用	【モビリティ・セキュリティ・インフラストラクチャ】 ● ブロックチェーン技術の成果と組み合わせることでセキュアインフラストラクチャを構築し、プロジェクトが想定するデータ（倉庫物流現場での作業や機械に関するデータ）の利活用に十分な性能を達成した（実用化レベル 100%に対し安全性レベル 80%、速度レベル 60%）。 【ブロックチェーン技術を用いた個人データ利活用プラットフォーム】 ● 機微情報である生体信号などを含むセンサ情報を安全に共有および交換するツールを構築し、作業や労働に関するパーソナルデータを、安心・安全に利用・活用することを可能とした。これら成果により、本プロジェクトが想定する倉庫物流現場のビッグデータ解析によるサービス科学の適用を可能とした。
行動の理解とサービス科学	● 現場行動をデータ化する方法を確立し、行動に基づく労働の効率を指標化して、協奏効果が定量化可能であることを実証実験で示した。
協奏システムの構築技術とその評価	● 生体センシング、xDR (Extended Detection and Response)、マルチモーダル音声対話など、プロジェクトで開発した技術を統合し複数の人間と知能機械が高度に連携する環境を構築した。この統合プラットフォームがトラスコ中山(株)の事業計画に採用され、コンソーシアムの成果が社会実装される見通しを得た。

資料：「事後評価報告書」より抜粋・作成

3) プログラム終了後の構想・計画

各プロジェクトが終了報告書に記載した今後の構想・計画等について整理する。

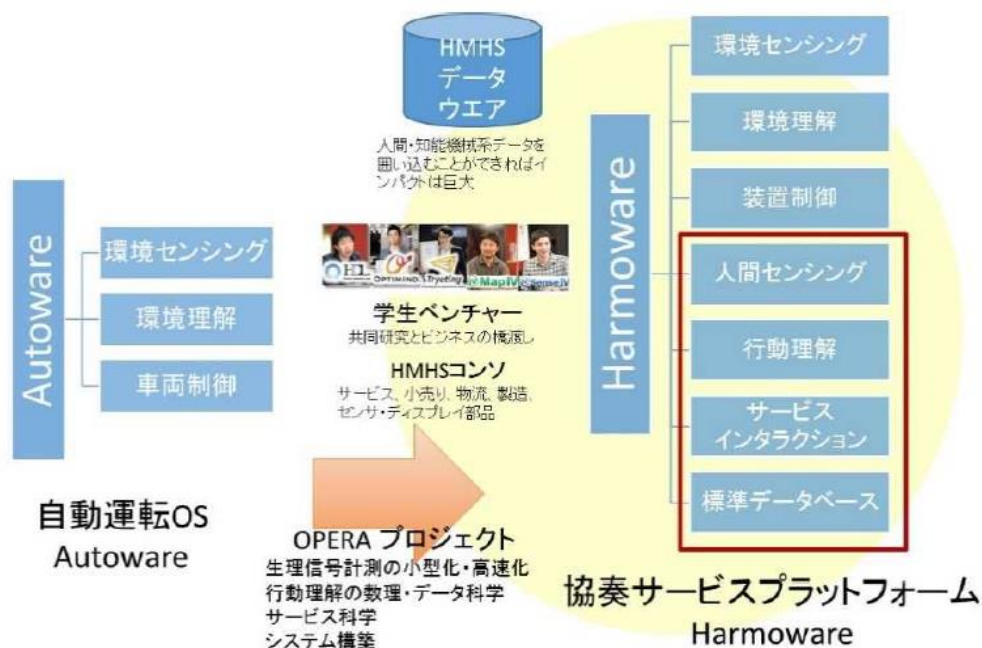
(1) 今後のコンソーシアム活動の展望

コンソーシアムを独立した一般社団法人として運営しており、名古屋大学未来社会創造機構による学術・人材育成活動のサポートの下、共同研究・データベース外販・コンサルティング・調査受託等の活動を継続する。トラスコ中山(株)の拠点内に設置する名古屋大学の実証研究スペースを活用し、コンソーシアム参画企業が自社技術の検証を行う、新しいオープンイノベーションの場（オンサイト共創モデル）を活用し、社会実装に近い統合的な技術の検証の場として発展させる。

オンサイト共創モデル

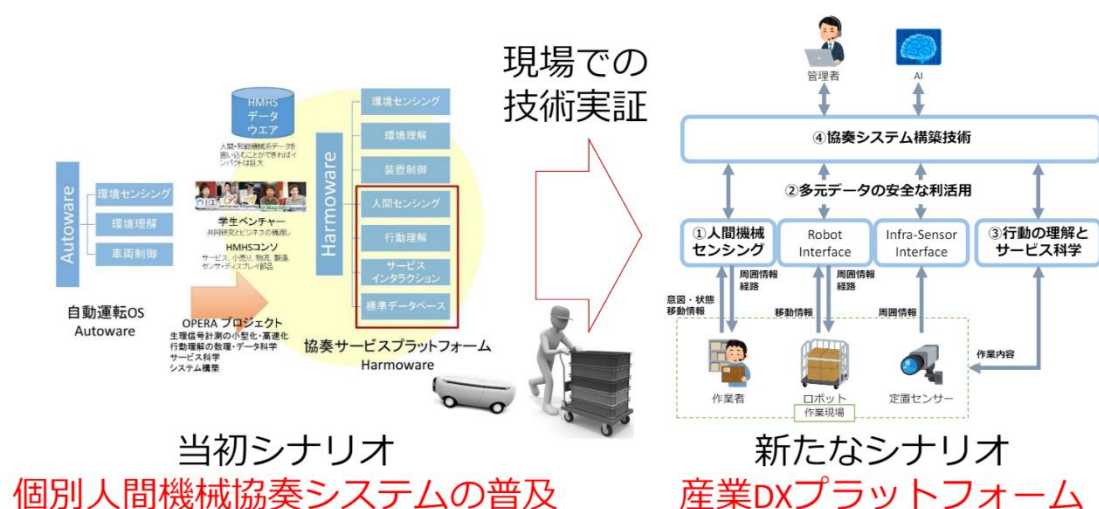


(2) 技術・システム革新シナリオ



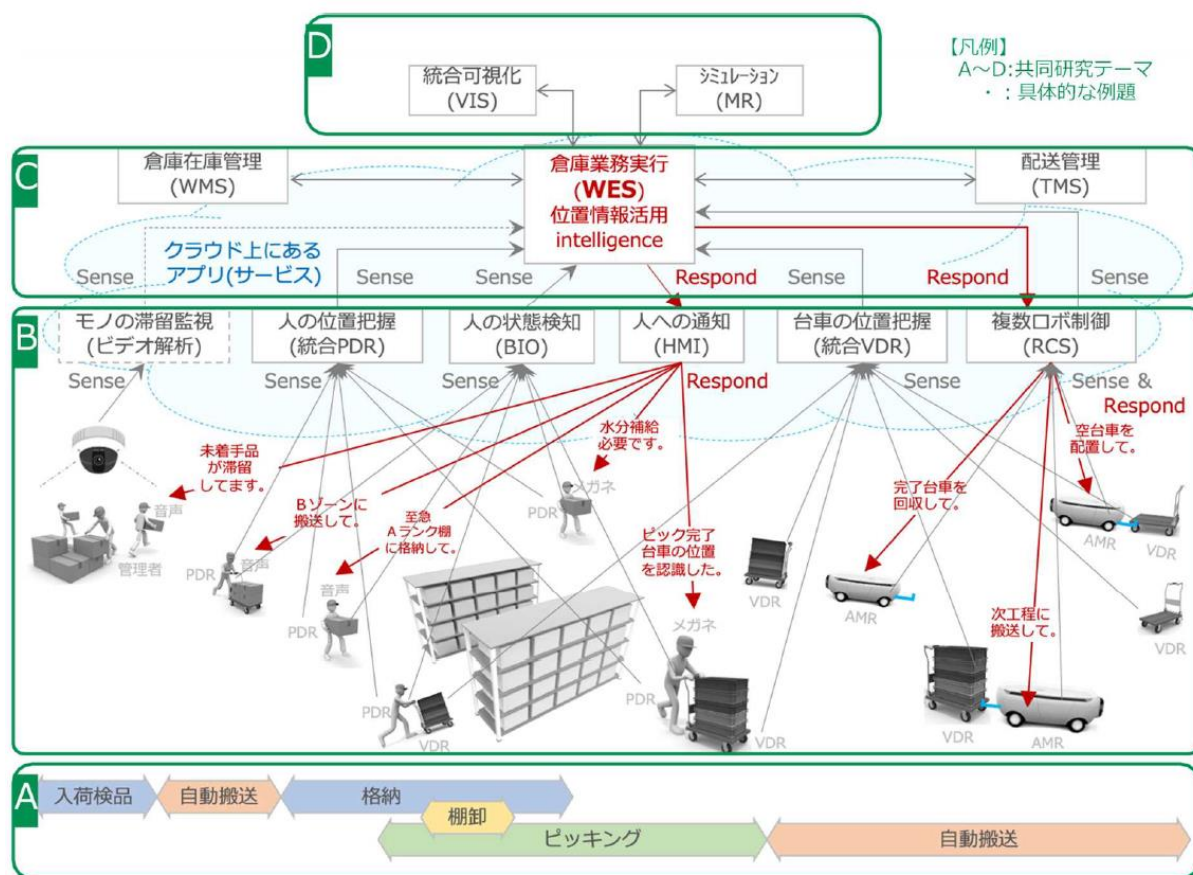
AI 技術が進展するに従い、生活のあらゆる場面で日常的に知能機械と対峙することになるが、人間と機械との協奏を実現するためには、機械が人間を、人間が機械とともに理解する必要がある、前者には人間状態のセンシングと理解、後者には機械状態の表出とインタフェース技術が不可欠となる。このような技術を様々な応用に活用可能な形で提供するものが Harmoware であり、本プロジェクトが目指すプラットフォームである。これを、自動運転の OS である Autoware と対比させると、前図となり、言い換えれば、現在自動運転で開発されている環境のセンシングや理解を、他のサービスに転用するとともに、人間センシング・理解の機能を強化することで、超スマート社会（Society5.0）の基盤を作るのが本プロジェクトの狙いとなる。

ただし、プロジェクト期間中の「デジタルトランスフォーメーション（DX）の進展」、「ポストコロナ」を背景に、技術シナリオを「人間と機械との協調技術の開発」から、「人と機械双方をデータ化し、統合的なシミュレーションや可視化・モデル化によって現場と経営を一体化させるデジタルプラットフォームの創生」へと深化させた。



この具体的な課題として、「倉庫物流現場のデータ化」に取り組み、成果を社会実装（トラスコ中山㈱「トラスコプラットフォーム」）するとともに、新たな産学連携の形「オンサイト共創モデル（企業の現場に大学がラボを設置し、コンソーシアム企業との共同研究に広く開放活用する方式）」を創出した。

深化・具体化された技術シナリオ「人と機械双方をデータ化し、統合的なシミュレーションや可視化・モデル化によって現場と経営を一体化させるデジタルプラットフォーム」



A: 複数業務を同時実行する多能工化の検討 B: 人間機械協働自動化機械の活用比較検討
C: 人間機械協働実行システムの要件を定義 D: 業務のデジタル可視化と効果検証シミュレーション

なお、研究開発に関する「プログラム終了後の活動方針」については「5）研究開発成果の発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。同様に、産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みに関する「プログラム終了後の運用方針」については「6）産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。

【備考】本追跡調査における調査対象者

本追跡調査は、人間機械協奏技術コンソーシアム（HMHS）における主要なプロジェクト参加者（領域統括、幹事機関、主要研究者、主要企業、リサーチアシスタント等。各プロジェクトから調査対象者を推薦いただいた）を対象に実施している（アンケート調査：21名、ヒアリング調査：8名）。

そのため、次ページ以降に示す調査結果は、各プロジェクトに関する本プログラム終了後の中核的な活動状況を対象としたものであり、全プロジェクト参加者による活動全体を網羅したものではないことに留意されたい。

4) 共創コンソーシアムの発展状況

本プログラムを推進した人間機械協奏技術コンソーシアム（HMHS）は、OPERA 終了後の展開を睨み、OPERA 期間中の 2018 年 4 月に一般社団法人化し、現在も活動を継続させている。

（1）一般社団法人 人間機械協奏技術コンソーシアム

①目的

- 人と知能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術である人間機械協奏技術に関する情報交換やライセンス活動を行うことによって、人間機械協奏技術の広い分野での活用を促し、社会の更なる発展に寄与することを目的とする。
- 大学等の研究機関と連携し、オープンイノベーションの環境で人間機械協奏技術に関する研究並びに人材育成を行うことを目的とする。
- 上記の目的を達成するため、下記の事業を実施する。
 - ① 人間機械協奏技術の研究開発に関する情報交換
 - ② 人間機械協奏技術に関する研究成果などについて、民間企業等に向けたライセンス活動
 - ③ ライセンスの活用に関するコンサルティング事業
 - ④ その他、当法人の目的を達成するために必要な事業
- 2018 年 4 月に法人化。

②体制

図表 2-39 人間機械協奏技術コンソーシアム（HMHS）のメンバー、組織

役職等	メンバー
代表理事・体制	【代表理事】 武田一哉（東海国立大学機構 名古屋大学副総長） 【社員】 東海国立大学機構、東京工業大学 【ヒューマンセントリックモビリティ委員会】 委員長：武田一哉 【物流イノベーション委員会】 委員長：渡辺重光
特別会員	当法人の目的に賛同して入会した大学、研究機関又は権利能力なき社団 6 機関
幹事会員	当法人の目的に賛同し、特別会員若しくは当法人が指定した大学又は研究機関との間で共同研究契約等を締結している個人又は団体 5 機関
一般会員	共同研究契約等は締結していないが、当法人の事業を賛助するために入会した個人又は団体 15 機関

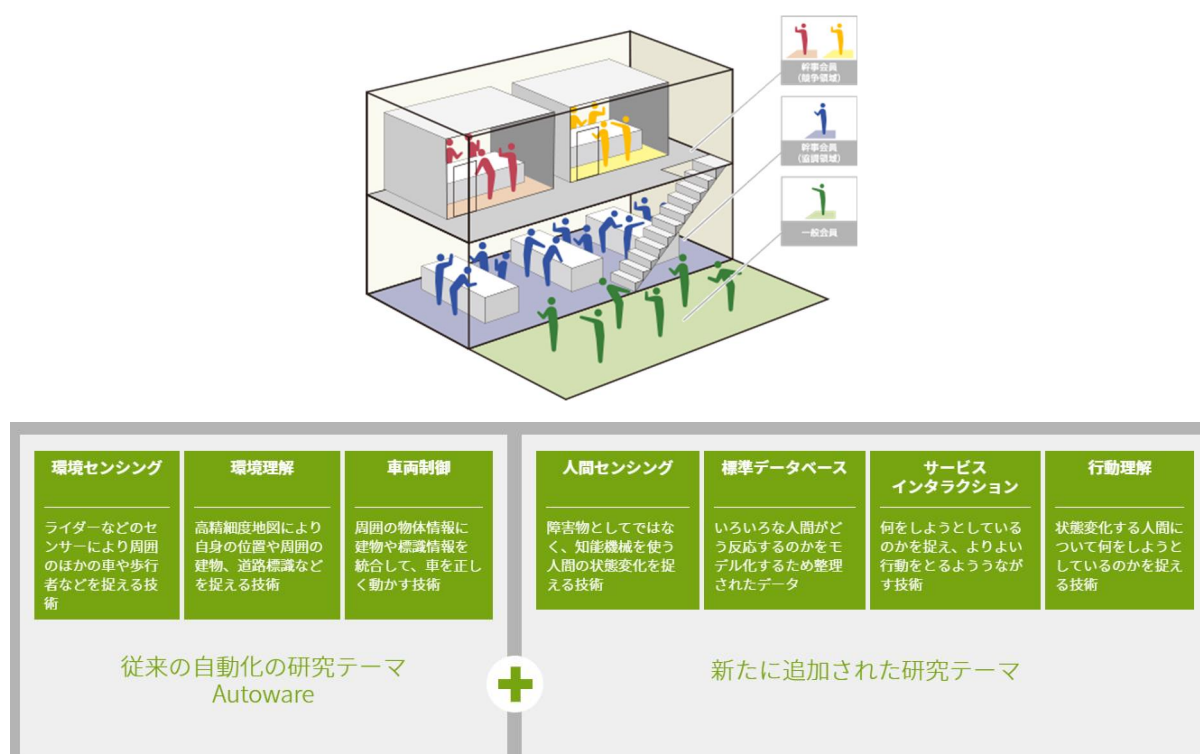
※2024 年 7 月末現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

- 【会議、セミナー、シンポジウム等】 名古屋大学モビリティ社会研究所と連携して開催した「次世代モビリティ社会を考えるタベ」や会員企業を対象に開催した「物流イノベーション研究会」を開催。
- 【共同研究、実施事業、マッチング等】 上記研究会などで、先端研究内容に関する情報共有や新規共同研究検討の場として機能させる。

図表 2-40 人間機械協奏技術コンソーシアム（HMHS）構成組織



同コンソーシアムは、公的な4つの研究機関（名古屋大学、早稲田大学、東京科学大学（旧東京工業大学）、産業技術総合研究所）が、多種多様な企業とともに、人間と知能機械がよりハーモナイズするシステム＝Harmowareを研究し、その上で動作するアプリケーション（サービス製品）開発を、互いに連携して進める、オープンイノベーションの場を提供する。

研究開発には、基礎的な情報を共有する非競争的（協調的）なフェーズ（建物の1F部分）と、研究が進んで、特定の企業が特定の技術開発を推進する、競争的な開発研究のフェーズ（建物の2Fに上がると「個室」の扉を閉ざして行う研究）とがあり、下記4本の軸に沿って研究を進める。

- ① 人間センシング＝化学センサなどを小型化、集積して、ヒトの状態を把握する技術開発
 - ② 知能機械とそのデータを悪意ある攻撃から守る技術開発
 - ③ 協奏するヒトと知能機械の両方をモニターしながら、ヒトの行動に働きかける技術開発
 - ④ 変化する環境のなかでの人間の状態を評価するために、参照できるデータベースの作成並びにヒトのモデル化
- 【イベント、展示会等】名古屋大学モビリティ社会研究所と連携により、各種イベント参加などを検討。
 - 【その他】名古屋大学から付与されたサブライセンス権を活用したライセンス事業により、知財の社会実装推進。会費は1機関年間10万円。

（2）個別研究課題から派生して生まれたコンソーシアム

OPERA 終了後も研究開発を継続させている研究開発課題責任者において、個別研究開発課題に特化したコンソーシアムを組成する例も生まれている。以下に研究開発課題4-1から派生した「先進モビリティサービスのための情報通信プラットフォームに関するコンソーシアム」、研究開発課題4-3から派生した「AIアシストコンソーシアム」の概要を記す。

①先進モビリティサービスのための情報通信プラットフォームに関するコンソーシアム

※研究開発課題 4-1(代表:名古屋大学 高田教授)派生のコンソーシアム

A.目的

- ダイナミックマップの研究成果をベースに、先進モビリティサービスのための情報通信の挑戦的課題に取り組み、国内外の研究を先導する。
- 実証実験を通じて研究成果の有用性を示すとともに、レベル4以上の自動運転サービスの社会実装に寄与する。
- 2023年4月～2026年3月（3年間）。

B.体制

図表 2-4 1 先進モビリティサービスのための情報通信プラットフォームに関する
コンソーシアムのメンバー、組織

区分	メンバー
参加大学	名古屋大学、同志社大学
参加企業	キヤノン IT ソリューションズ(株)、富士ソフト(株)
オブザーバ	(公財)京都高度技術研究所、(株)NTT データ MSE、ソフトバンク(株)、日本信号(株)、三菱電機(株)、春日井市

C.活動内容

主な活動内容は下記の通り。

- 【実証実験】 下記等をテーマとした実証実験を実施。
 - 名古屋大学外の自動運転プロジェクトとの連携
 - レベル4自動運転の社会実装にダイナミックマップが寄与することの立証
 - スマートシティの情報基盤としての活用
 - DM2.0PF のソースコードの品質確保
- 【その他】 運営委員会を月1回の頻度で開催。当該分野の最新動向や、常駐研究員が現在進行形で取り組んでいる先進的課題について情報共有を実施。

②AIアシストコンソーシアム

※研究開発課題 4-3(代表:名古屋大学 青木教授)派生のコンソーシアム

A.研究背景と目的

- 名古屋大学を中心に行っている研究「IoT デバイスを活用した職業ドライバの安全性向上のための共同研究」を実施するコンソーシアム。
- 画像認識等が可能な高性能ドライブレコーダーや健康状態を推定できるウェアラブル端末などの IoT デバイスを用いて、ドライバへの適切な支援方法や介入基準の提案、運転評価の自動化、デバイスやシステムの規格化、行政への提言等を通じた事故リスクの低減を行うことを目指す。
- 2021 年 4 月～2023 年 3 月。

B.体制

区分	メンバー
参加大学	名古屋大学
参加機関	物流・運輸 (3 社)、ドライブレコーダーメーカー (2 社)、自動車教習所 (1 社)、研究機関ほか (2 法人)

C.活動内容

主な活動内容は下記の通り。

- 各種 IoT デバイスの運行管理への利用可能性を検討し、次世代の運行管理に必要なデバイスの仕様や制度などを検討すること。
- 各種 IoT デバイスを用いた運転の自動評価方法や支援方法を検討・開発すること。
- 科学技術交流財団の「IoT と AI による運転・健康モニタリング研究会」の開催。
- ドライブレコーダーを装着した計測用車両を用い、同乗した指導員が運転評価入力システムへ評価を入力するデータ計測を名古屋大学において実施。
- AI アシストコンソーシアム参加者会議の開催。

5) 研究開発成果の発展状況

研究開発に関する、プログラム終了後の活動状況について、(プログラム終了時における活動方針と対比しつつ) 研究開発テーマ・課題ごとに記載する。

なお、以下は OPERA 期間中のすべての研究開発テーマ・課題について網羅的に記載したものではなく、調査対象となった研究者・企業等が関連する研究開発テーマに焦点を置いた記載であることに留意されたい。

(1) 研究開発テーマ1 人間と機械の観測と理解

①研究開発課題1-1 ヒト・機械の状態把握のための化学センシング

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- EC SENSING(株)が提供する唾液ストレスセンサシステムの製造を目標として(株)堀場製作所、日本パーカライジング(株)と連携したビジネスを検討。
- Harmoware を活用したストレスデータ解析を行い、2027 年にストレス対策サービスの提供を開始する。
- 本プロジェクトで検討したセンサの繰り返し使用技術を発展させて、2028 年度には連続的なリアルタイムモニタリングを可能にする。

A.主要研究者の退職で、名古屋大学、東京科学大学(旧東京工業大学)と連携した研究はストップ

同プロジェクトの主要研究者であった早稲田大学の2名が退職し、事実上研究課題はクローズしている(大橋教授:2022年3月退職、逢坂特任研究教授:2023年3月退職)。

B.(株)こころみを設立し、社会実装に向けた体制を構築

OPERA 終了後、事業化を進める予定であった EC SENSING(株)(OPERA 期間中(2019年2月)設立)から唾液ストレスマーカー検出に関連するビジネスを分離独立させ、人の化学センシングに取り組む「(株)こころみ」を2022年4月に設立している。同社には、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構から大橋氏、黒岩氏の2名が移籍し、ナノ・ライフ創新研究機構未来イノベーション研究所の招聘研究員として研究を継続している。

繰り返し測定できる唾液ストレスマーカーセンサ開発については2028年度の事業化を目指している。

(2)研究開発テーマ2 多元データの安全な利活用

①研究開発課題2-1 悪意のある攻撃に耐えうるモビリティ・セキュリティ・インフラストラクチャ

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 扱うデータを電力データからそれ以外にも拡張する。
- 2023～24年にかけて、生体データを含む機微なデータの扱いを開始する。
- 早稲田大学による Harmaware-ECT とのスムーズな連携のために、特殊なデータフォーマットやプロトコルも、適切なタイミングで導入する。

A.サイバーセキュリティに関わる研究は着実に進展。攻撃検知手法から防御手法へと変化

東京科学大学の田中教授は、OPERA 終了後もサイバーセキュリティの攻撃・防御に関する研究を継続。OPERA 期間中から終了後2年間は㈱野村総合研究所と共同研究を実施し、3年目以降は東京科学大学のみで展開している。

サイバーセキュリティの攻撃・防御に関する研究では、攻撃検知手法から、防御手法へと変化している。

②研究開発課題2-2 ブロックチェーン技術を用いた個人データ利活用プラットフォーム

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 引き続いて、スケーラビリティを向上させるための研究や検証、安全性を高めるための研究開発などを継続して実施する。

A.三菱電機㈱との共同研究で P2P 電力取引を最適化するブロックチェーン技術を確認

東京科学大学は、OPERA 終了後もブロックチェーン技術を用いた電力取引に関する研究を OPERA 期間中と同様に三菱電機㈱との共同研究によって継続。

「ピアツーピア端末及び約定取引システム」で東京科学大学、三菱電機㈱で特許を取得した。

B.個人データ利活用プラットフォームは、バイオセンサの開発待ちの状況で、ベンディング

倉庫内従業員の生体データ利活用に対するブロックチェーン活用については、早稲田大学からのデバイス供給が不可能となったことから白紙となった。

(3)研究開発テーマ3 行動の理解とサービス科学

①研究開発課題3-1 サービス現場における協奏効果の定量的評価

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 産総研・名古屋大学が主導して実施した実証をきっかけに連携関係が発展し、名古屋大学・トラスコ中山(株)との包括連携協定（OPERA 成果を「トラスコプラットフォーム」として社会実装）が締結された。
- 産総研では、トラスコ中山(株)の物流拠点を活用したコンソーシアム活動（「オンサイト共創モデル」）も活用しつつ、名古屋大学とトラスコ中山(株)の活動に連携・協力して、次世代の物流拠点の設計開発を継続実施する。

A.産総研は非競争領域における物流現場の実証研究を継続するとともに研究領域も拡大

産業総合研究所（産総研）は、HMHS コンソーシアムに引き続き参画し、トラスコ中山(株)のオンサイト共創モデルを含めて物流現場におけるサービス工学関連技術の適用実証等の連携を継続している。

また、研究領域においては、OPERA 期間中は、人と機械の協奏をテーマに研究を実施していたが、人と機械の協奏が進む労働環境における従業員の QoW（Quality of Work）やウェルビーイングを対象に含んだ取組へと拡大させている。

B.産総研・名古屋大学で SIP 第 3 期を獲得し、HMHS コンソーシアムとも連携

産総研は、名古屋大学の河口研究室とともに内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 3 期「バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備／地域活性化のためのグローバルインターバース基盤の研究開発」を取得。メタワーク環境構築に向け、トラスコ中山(株)、HMHS コンソーシアムとも連携し、作業現場の実証実験に挑む。

C.物流企業やマテハンメーカーとの共同研究が活発化

産総研は、マテハン（物流業務の効率化）メーカーとの共同研究において、当該プロジェクトで研究した技術をベースとして発展させた技術で共同開発を実施している。開発した技術については、情報開示契約に基づいて一定期間現場実証に用いられた。

また、2022 年まで TK 社と個別共同研究を実施。OPERA で実施した物流現場計測技術に基づいて計測された従業員モデルを用いたシミュレーターを作成し、ピッキング経路を事前評価することで最適化する仕組みの構築を試みた（作業者の行動解析と設備、搬送物等の測位を通じた物流施設における生産性向上に関する研究）。ただし、試験導入段階で中断し、現在は保留となっている。

(4)研究開発テーマ4 協奏システムの構築技術とその評価

①研究開発課題4-1 ダイナミックマップシステム評価プラットフォームの開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- ダイナミックマップシステム評価プラットフォームの開発。
- 名古屋大学は、2020年4月より新たな研究コンソーシアムとして、「ダイナミックマップ 2.0 の高信頼化に関するコンソーシアム」(3年間)を発足。ダイナミックマップの研究開発および実証実験は、同コンソーシアムにて継続される計画であり、本研究が提案した各評価プラットフォームも引き続き活用する。

A.「先進モビリティサービスのための情報通信プラットフォームに関するコンソーシアム」を設立し、DMI ソフトウェアの性能向上を推進

名古屋大学の高田教授は、「ダイナミックマップ 2.0 の高信頼化に関するコンソーシアム」の終了後、新たにメンバーを募ってコンソーシアム型共同研究「先進モビリティサービスのための情報通信プラットフォームに関するコンソーシアム」を2023年4月に設立(～2026年3月までの予定)した。開発思想や求めている要件は「ダイナミックマップ 2.0 の高信頼化に関するコンソーシアム」と同様で、ソフトウェアの性能を向上させて、データ収集の接続先の拡大である。

同コンソーシアムには、OPERA 期間中に連携していたヤマハ発動機(株)は加入していないが、名古屋大学とヤマハ発動機(株)は個別の共同研究として別テーマで継続している。

B.経済産業省プロジェクトを受託し、路上データを収集

また、名古屋大学の高田教授は、経済産業省「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト(Road to the L4)／テーマ4「混在空間でレベル4を展開するためのインフラ協調や車車間・歩車間の連携などの取組」(2021～2025年度)を受託した。

OPERA で使用した「Harmoware-DMI」の名称は使用せず、機能名称である「DMI」としてソフトウェアの拡充を実施している。

②研究開発課題4-2 交通運輸IoTによるビッグデータ収集・分析基盤開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 開発した技術は、民間企業でも活用され、社会実装も始まっている。さらに、多様なデータ連携・システム連携における可視化ニーズへの対応が可能なことから、競争領域での活用の可能性も高い。
- HMHS コンソーシアムや人材育成を対象とした TMI 卓越大学院プログラムなどでの活用に加え、総務省スマート IoT コンソーシアムテストベッド分科会においても、可視化・分析タスクフォースの中で、Harmoware-VIS が取り上げられる予定。

A.ビッグデータ研究では、大阪大学 原教授の CREST プロジェクトに参画

研究課題リーダーであった名古屋大学の河口教授は、大阪大学の原教授がリーダーとなった CREST の「異種ドメインユーザの行動予測を可能にするペルソナモデルの転移技術」(2021年4月～2024年3月)にステージゲート⁴後に参画。異なるドメイン(サービス業者やデータ所有者)

⁴ プロジェクトの計画において、各ステージの間にゲートを設けてチェックポイントを設ける手法。

で構築されたペルソナモデルの活用を目的とし、ドメイン間でペルソナモデル上の行動予測技術を転移利用するための技術群を研究開発した。同プロジェクトでは、交通データ使用ではないものの、データの可視化において Harmaware-VIS も活用した。

B.OPERAで得た技術、オンサイト共創モデル等を活用し、NEDOやSIP第3期等を獲得

名古屋大学と指定共同研究契約を締結したトラスコ中山(株)は、倉庫物流現場における実証実験の成果をデジタルトランスフォーメーションのプラットフォームに採用した。名古屋大学の河口教授は、OPERA 終了後もトラスコ中山(株)と連携して物流イノベーションとして新しい物流の提案に注力している。さらに倉庫等を含めてメタバースを使った仕事（メタワーク）の拠点提供など、VR や遠隔ロボットについての研究を進めている。

物流現場を有する優位性が認められ、NEDO「量子・AI ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業／物流現場における人間機械協調作業のためのデジタルツイン量子最適化」、SIP「バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備／地域活性化のためのグローバルインターバース基盤の研究開発」を、ともに獲得している。

③研究開発課題4-3 自動車内人間計測技術(物理センシングデバイス+ライフログ+ビッグデータ)

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 設定した目標は達成したが、スマートフォン等の機器の安定性に課題があるほか、新型コロナウイルスの影響から目標（100 名）以上のデータ収集には至っていない。
- 今後はあいおいニッセイ同和損害保険および関連のドライブレコーダーメーカーを中心とした連携が構築されたことで、その枠組の中でデータ N 増しを行い、社会実装を行っている。

A.「AIアシストコンソーシアム」を設立し、職業高齢者ドライバの運転行動解析を実施

名古屋大学の青木特任教授は、AI アシストコンソーシアムを設立し、ドライブレコーダーメーカー2 社、物流会社3 社、システム・ソフトウェア会社1 社、自動車教習所1 社、独立行政法人1 法人、大学4 校の全12 社で、次世代ドライブレコーダー開発に関わる基礎データ収集および高齢ドライバを中心とした運転行動解析を行った。

その中で、ドライブレコーダーメーカー2 社、物流会社1 社、システム・ソフトウェア会社1 社、独立行政法人1 法人と、個別の共同研究契約・受託研究契約を締結し、競争領域の研究開発を実施した。うち、ドライブレコーダーメーカー1 社、独立行政法人1 法人とは2024 年度も契約を継続しており、製品・サービス化に向けて活動している。

B.運転適性診断システム開発を受託

名古屋大学の青木特任教授は、(独)自動車事故対策機構より高齢運転者の事故防止対策等に向けた次期適性診断システムの研究を受託した。

C.トラスコ中山(株)との指定共同研究を継続

人間計測に関して、物流会社と倉庫内作業者の疲労等の状態推定に関する指定共同研究を実施している。

④研究開発課題4-5 自動運転車向けヒューマンマシンインタフェースプラットフォームの開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 大学発ベンチャーの(株)Harmonized Interactions では、様々な環境でフレンドリーなインタフェースとしての3DCG エージェントの実証実験を計画している(高齢者施設における見守りエージェント、駐車場における受付システム、ビル内の案内係)。
- 物流倉庫システムは実証実験を経て、名古屋大学との包括提携を結ぶ企業において実用化を目指す。

A.コンソーシアム参画企業との関係深化

トヨタテクニカルディベロップメント(株)は、HMHS コンソーシアム会員を継続するとともに、産学協同研究部門を OPERA 期間中に開設し、企業出向による特任教員および研究員による運営を継続している。

B.Autawareは、世界的にユーザーやコントリビューターが増加

ティアフォー(株)が開発してきた自動運転ソフトウェアの一部は、別途自動運転用オープンソースソフトウェアプラットフォーム Autaware.Universe として開発が継続されており、数々の環境での自動運転実験や、海外での利用がなされている。

C.Autawareの進展に伴いインターフェースプラットフォーム開発も進行

名古屋大学では、自動運転用 HMI 開発として自動運転の認識介入手法に関する研究活動を展開。自動運転用の音声・マルチモーダル対話インタフェースに加えて、自動運転の安全性を向上するための認識介入インタフェースに関する研究活動等に拡大している。

D.参画企業の(株)アイシンは、対話エージェントシステム「saya」での実証実験を推進

(株)アイシンは、対話エージェントシステム「Saya」を用い、総合警備保障(株)との協業による介護施設実証実験、(株)スギ薬局との協業によるリコメンドシステム実証実験、Idein(株)や建設会社での受付システム実証等を積極展開している。

【社会実装事例】「羽田スギ+イノベーションシティ店（スギ薬局）」の AI リコメンデーション（㈱アイシン）

製品名：対話エージェントシステム「Saya」

特徴：2023 年 9 月 28 日にオープンした

「SUGI+羽田イノベーションシティ店」において、カメラで年齢性別などの属性情報を判定しつつ、大規模言語モデルと連携した対話システム（Saya+（サヤプラス））で、見習い店員としてユーザーにお勧めのスギ薬局商品をリコメンドする。

開始年月：2023 年 9 月～



資料：「Saya」 特別サイト（<https://aei-saya.jp/event/20231222/>）

6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況

産学連携による研究開発推進やマネジメントの仕組みに関する、プログラム終了後の運用状況について、(プログラム終了時における運用方針と対比しつつ) 項目ごとに記載する。

(1) 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 間接経費の在り方については、現行の制度の運営を続ける一方で、政府研究資金の動向を踏まえ、企業・教員双方の意見を取り入れつつ、不断の改善を進める。
- 民間等との共同研究を想定して制度設計した運用規程を、受託研究についても、一定の条件の下で運用可能にするための制度設計を進めている(2021年7月に、委託元の了解の下で「研究員(学生)」として雇用可能な制度に改正)。本格的な産学連携により、学生の経済支援を確かなものにして、現在我が国の科学技術最大の課題の一つである博士人材の充実をさらに図っていく。

名古屋大学では、指定共同研究に導入されていた教員参画経費を一般共同研究に対して知の価値分として適用する制度改定を行った。この改定により、本経費の適用実績(金額(延べ件数))が2021、22、23年度でそれぞれ0.7億円(71件)、1.9億円(312件)及び2.6億円(450件)と増加し、参画教員のインセンティブとして機能した。さらに、本経費を2025年度から受託研究に導入する制度改正を行った。

共同研究における直接経費に加え、教員参画経費、施設利用料を直接コストとして位置づけ、企業が直接コストに対して30%の間接コストを費用負担する制度の見直しを行った。この制度も2025年度から施行する計画である。

(2) 知的財産の取扱いルール

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 一般社団法人への知財のサブライセンス権付与により、企業との交渉の一本化が可能であることによるメリットを生かし、研究成果としての知財の社会実装を一層進めることが課題である。
- オープンソースソフトウェアについても、本コンソーシアムのガイドラインに沿って利用・開発が進むことが期待されるが、必要が生じれば、当ガイドラインのリバイスも検討する。

(一社)人間機械協奏技術コンソーシアムを2008年4月に設立し、同年6月に名古屋大学との間で著作物利用許諾契約書を締結した。現在までに7件の利用許諾を企業等との間で実施している。

(3) 人材育成

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- OPERA/HMHS の人材育成のノウハウやネットワークは、TMI プログラムと連携して産学共創教育(共同研究を通じた学生育成と博士学生へのアクセス、リカレント教育としての活用、ベンチャーエコシステムの加速)を、オンサイト共創モデルの一環として、名古屋大学未来社会創造機構と連携して推進する。

- OPERA/HMHS での運用を通じて、「研究員（学生）」制度の効果が認められ、一般の共同研究でも研究員（学生）として雇用される例が出ている。さらに、これを広く学内外に波及させるため、民間等との共同研究を想定して制度設計した運用規程を、受託研究についても一定の条件の下で運用可能にする制度設計を進めている。本格的な産学連携により、学生の経済支援を確かなものにして、現在我が国の科学技術最大の課題の一つである博士人材の充実をさらに図っていく。

OPERA 期間中に稼働した制度は現在も運用継続中である。「学位プログラム」構築については、TMI⁵（超学際移動イノベーション人材養成学位プログラム）で取組を行っている。

（４）機関連携・協力体制

プログラム終了後の運用方針（終了報告書より抜粋）

- 協同研究講座などの産学共創教育制度が整備され、企業人材が大学内で研究に携わる多様な方法が整備された。
- 一方で、大学教員が企業内で研究する事例は未だ少数であり、その必要性も含めて、事例を増やすための調査研究が必要である。
- 今後、オンサイト共創モデルの運用を通じて、さらなる産学連携の発展に必要な人材交流の方策について研究を進める。

名古屋大学では、産学協同研究講座／部門／センターの発展形として「産学協同研究所」の制度を構築した。

本協同研究所は企業から教員 6 名以上、研究員 10 名以上を派遣する本格的な産学連携の教育研究拠点として、企業研究所の誘致を図る計画である。

（５）参画機関の管理

プログラム終了後の運用方針（終了報告書より抜粋）

- 国費支援期間の終了に伴い、マッチング資金を受けて行って来た共同研究の多くは、競争領域研究のフェーズに移行するが、「ヒューマンセントリックモビリティ研究会」と「オンサイト共創モデル」を中心に、オープンイノベーションの場としての機能を提供し続ける。

（一社）人間機械協奏技術コンソーシアムを 2018 年 4 月に設立し参画機関の管理を行っており、「次世代モビリティ社会を考えるタベ」、「物流イノベーション研究会」を定期的で開催し、先端研究内容に関する情報共有や新規共同研究検討の場として機能させている。

なお、「次世代モビリティ社会を考えるタベ」は、名古屋大学モビリティ社会研究所と連携して立ち上げた「ヒューマンセントリックモビリティ研究会」が企画開催を担当している。

⁵ 次世代の移動イノベーションを担う人材を育成する 5 年一貫の博士課程教育プログラム

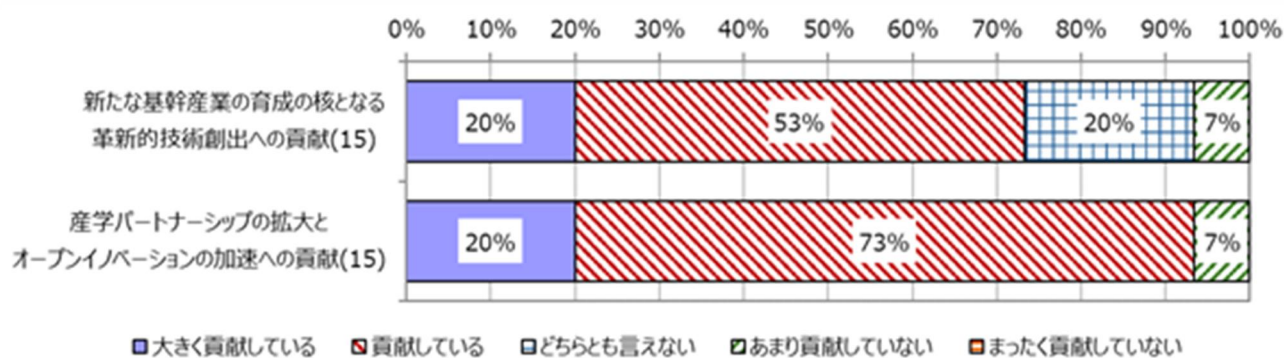
7) プロジェクトが果たした役割

アンケート調査、ヒアリング調査結果を基に、本プロジェクトが果たした役割について、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献と、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献の2つの観点からまとめる。

(1) プロジェクトの貢献度

アンケート調査にて、マネジメント層（領域統括、幹事機関等）、研究者及び企業の計15者に対し、本プロジェクトは基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したかの自己評価をたずねたところ、革新的技術創出に対して「大きく貢献している」「貢献している」との回答は7割強、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対して「大きく貢献している」「貢献している」との回答は9割強に達した。

図表 2-4 2 本プロジェクトによる貢献度（自己評価）



※（ ）内は回答者数

(2) プロジェクトの貢献内容

さらに、ヒアリング調査にて、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対する本プロジェクトの貢献状況について聞いたところ、下記の意見が得られた。

図表 2-4 3 本プロジェクトによる貢献内容

項目	主な意見
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献	○ オープンソースで自動運転を作るというのは、世界で類がないことである。【マネジメント層】 ○ バイオセンサを HMHS に取り入れる検討は、将来の基幹技術育成のための知見を得るのに有用であった。【研究者】 ○ ブロックチェーン技術の適用先の検討を行うことができて、新しい合意形成メカニズムをつくることができた。【研究者】 ○ 人間の行動分類について、米国特許になった上、その元となる論文で論文賞を受賞、革新的な技術を創出した。【研究者】 ○ ドライバの車室内状態推定と、ドライバの心身機能の関係解明による

	運転診断への活用を可能にした。【研究者】 ○ 基幹産業創出に向け、開発したソフトウェアを発展させたものが公道でのレベル 4 自動運転実証実験に用いられている。【研究者】 ○ Harmoware 開発を通じて自動運転用オープンソースソフトウェアプラットフォーム Autoware の開発促進が実現できた。【研究者】【企業】 ○ リアルなバーチャルヒューマン、マルチモーダルセンシング、大規模言語モデルの技術を統合した、新しい HMI の提案ができた。【企業】
産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献	○ 前半は学生のオープンイノベーションへの取り組み、後半はオンサイト共創モデルで実用化に近い技術を検証できた。【マネジメント層】 ○ 人間機械協奏コンソーシアムを法人化し、特に物流技術研究会の活動を活発化させた。【研究者】 ○ プロジェクト参画企業が、OPERA 終了後、コンソーシアム形成、産学協同研究講座開設、独立行政法人のシステム開発協力などで活発化した。【研究者】 ○ 本プロジェクトに参加した博士課程学生が自動運転関連で成果を挙げ、オープンイノベーションの加速へ貢献している。【研究者】 ○ マッチングファンドは必ずしも OPERA 参画要素とはならなかった。研究開発資金の軽減よりも、クローズにおける個別の産学共同研究を嗜好する企業も多い。【研究者】 ○ 社内での産学連携の重要性、有用性の理解がより高まり、以降、産学連携案件の増加、既設案件の発展が見られた。【企業】 ○ コンソーシアムに参加することで関連事業者との関りができ、名古屋大学との共同研究などにもつながった。【企業】

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

(3)創出された「新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術」の内容

本プロジェクトにより創出された、革新的技術の内容については、下記の意見が得られた。

図表 2-4 4 本プロジェクトにより創出された、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の内容

研究開発テーマ	主な意見
1 人間と機械の観測と理解	○ 人間機械協奏（HMHS）という IT 系／人間科学系の活動において、データの採取が比較的困難なバイオセンサを取り入れる検討を試みたことは将来の基幹技術育成のための知見を得るのに有用であったと考える。【研究者】
2 多元データの安全な利活用	○ ブロックチェーン技術を用いた電力取引に関する研究に関して、ブロックチェーン技術の最も難しい技術要素である合意形成メカニズムとして、独自の提案を行った。これにより、消費電力を抑えられ電力取引に親和性の高いシステム提案につながっている。【研究者】 ○ 開発したブロックチェーン技術の適用先の検討を行うことができて、新しい合意形成メカニズムをつくることができた。【研究者】
3 行動の理解とサービス科学	○ 人と機械が協奏して人の能力を拡張させるという視点ならびにアイデアは革新的なものである。現在進めている人間拡張という概念はここで生まれた。また、生産性向上などの視点はあったものが、疲労、ストレスなどとの関連を含めた見解というのも OPERA によって現在の研究に付加された。【研究者】
4 協奏システムの構築技術とその評価	○ 自動運転技術を核に、ソフトウェアで自動車を作る新しい技術を創出した。【マネジメント層】 ○ 高齢者を含む職業ドライバの適正評価が改正される中で、新たな仕組みを作るための技術を創出した。【研究者】 ○ OPERA 期間中、センサ情報をダイナミックマップに取り込むためのインターフェースソフトを開発していたが、後継プロジェクトではそれを発展させたソフトを開発し、公道に設置された複数の路側機に搭載されて自動運転車の公道実証実験に活用されている。【研究者】 ○ 人間の行動をどのように分類するかについて米国特許となった上、その元となる論文は論文賞もっており、革新的な技術を創出したと思っている。【研究者】 ○ Harmoware 開発を通じて自動運転用オープンソースソフトウェアプラットフォーム Autoware の開発促進が実現できた。【研究者】

(4)国内外の他拠点などに対する比較優位性

本コンソーシアム・研究開発拠点がベンチマークする国内外の他拠点と、それに対する比較優位性については、下記の意見が得られた。

図表 2-4 5 ベンチマークする拠点と比較優位性

項目	主な意見
ベンチマーク 拠点	○ 個別の研究課題については、各研究者で注視するところもあるだろうが、オープンソースで自動運転を作るというのは、世界で類がなく、ベンチマークする拠点は見当たらない。
比較優位性	○ 名古屋大学と HMHS コンソーシアムの会員企業が、最新技術やロボット等のソリューションを社会実装するための共同実証可能な物流現場（オンサイト共創モデル）を有している点は大きな強みである。 ○ ティアフォー(株)の Autoware は、「Autoware Foundation」のような国際的な仕組みの中で拡大している。 ○ 大学の技術を次々にオープンソース化していくという流れができつつある。

8) 資料

アンケート調査への回答内容から、本プログラム終了後の主要な論文、特許、取得した官民の事業資金について掲載する。

①論文

論文名	著者名	掲載誌	年月
都市を対象とした大規模移動履歴に基づく疑似人流データ生成手法	田村直樹、浦野健太、青木俊介、米澤拓郎、河口信夫	情報処理学会論文誌 64 巻 (1) 頁: 123 - 133	2023.1
Digitization and Analysis Framework for Warehouse Truck Berth	Yokoyama, K; Katayama, S; Urano, K; Yonezawa, T; Kawaguchi, N	2023 FOURTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND UBIQUITOUS NETWORK, ICMU	2023.12
Human Mobility Prediction Challenge: Next Location Prediction using Spatiotemporal BERT	Haru Terashima, Naoki Tamura, Kazuyuki Shoji, Shin Katayama, Kenta Urano, Takuro Yonezawa, Nobuo Kawaguchi	ACM SIGSPATIAL 2023 Workshop HuMob 2023	2023.11
Human Centric Mobility	青木宏文	テクノロジー・ロードマップ 2022-2031 全産業編 (日経 BP)	2021.11
高齢社会における人と自動車	青木宏文、赤松幹之、上出寛子編著	コロナ社	2021.1
Assessment of Senior Drivers' Internal State in the event of Simulated Unexpected Vehicle Motion Based on Near-Infrared Spectroscopy	Anh Son, Le, Xuan Nang, Ho, Hirofumi, Aoki	Traffic Injury Prevention, Vol.23, Issue 5, pp. 221-2255	2022
"PAIDS: toward pedestrian high-precision position and attribute information detection"	Zhengshu Zhou, Saya Kitamura, Yousuke Watanabe, Shunya Yamada, and Hiroaki Takada	International Journal of Mechatronics and Automation	2022.1
車交差点での競合車両検索のための車両情報ストリームと高精度道路地図 DB の統合索引	井川元、渡辺陽介、高田広章	日本データベース学会和文論文誌	2022.3
Recognition Assistance Interface for Human-Automation Cooperation in Pedestrian Risk Prediction	Atsushi Kuribayashi, Eijiro Takeuchi, Alexander Carballo, Yoshio Ishiguro, Kazuya Takeda	SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles	2023.6
Uncertainty Aware Task Allocation for Human-Automation Cooperative Recognition in Autonomous Driving Systems	Atsushi Kuribayashi, Eijiro Takeuchi, Alexander Carballo, Yoshio Ishiguro, Kazuya Takeda	2023 IEEE Intelligent Vehicles Symposium	2023.6
自動運転における人間機械協調認識のための介入要求計画最適化の検討	栗林篤、竹内栄二郎、Alexander Carballo、石黒祥生、武田一哉	自動車技術会論文集 54 巻 5 号 p. 908-914	2023.6
Consensus Based on Proof-of-Optimal-Work and Its Application to Transactive Energy Systems	Xiangyu Su, Xavier Defago, Ryoma Fujimoto, Hiroki Konaka, Mario Larangeira, Kazuyuki Mori, Takuya Oda, Yuta Okumura, Yasumasa Tamura, Keisuke Tanaka	暗号と情報セキュリティシンポジウム	2021.1
Response Type Selection for Chat-like Spoken Dialog Systems Based on LSTM and Multi-task Learning	Kego Ohta, Ryota Nishimura, Norihide Kitaoka	SPEECH COMMUNICATION	2021.10
フォトリアル CG エージェントとのマルチモーダル対話	北岡教英、西村良太、太田健吾	日本音響学会誌	2022.5
音声対話システムのための自由発話に対応した照応解析による入力発話への話題補完手法	西村良太、森雷太、太田健吾、北岡教英	人工知能学会	2023.3
A multimodal control system for autonomous vehicles using speech, gesture and gaze recognition	Norihide Kitaoka, Takuma Nakagawa, Ryota Nishimura, Yoshio Ishiguro, Shinichi Kojima and Shin Ohsuga	pp. 101-111, in Vehicles, Drivers, and Safety, De Gruyter	2020

フォトリアル CG エージェントとのマルチモーダル対話システムの構築	北岡教英、西村良太、太田健吾、石川晃之、石川友香(TELYUKA)、中野涼太、田中五大、鍋倉彩那、佐藤辰耶、渡邊凌太、大須賀晋	日本音響学会講演論文集, 1-2-6	2021.3
------------------------------------	---	--------------------	--------

②特許

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日
ピアツーピア端末及び約定取引システム	小田拓也 他	東京工業大学、三菱電機㈱	特願 2020-537559	2020.1.30
対話システム、および対話ユニット	大須賀晋 他	(株)アイシン 他	特願 2022-024907	2022.2.21
対話システム、および対話ユニット	大須賀晋 他	(株)アイシン 他	特願 2022-024904	2022.2.21
表示制御装置	大須賀晋 他	(株)アイシン 他	特願 2021-197063	2021.12.3

③官民の事業資金

機関名	事業・制度名	課題名	年度	基となった研究開発テーマ
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO	量子・AI ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業	物流現場における人間機械協調作業のためのデジタルツイン量子最適化	R5～R7	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期	バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備／地域活性化のためのグローバルインターバース基盤の研究開発	R5～R7	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）
（独）自動車事故対策機構	受託研究	高齢運転者の事故防止対策等に向けた次期適性診断システムの研究委託	R3～R6	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）
経済産業省	自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト(Road to the L4)	テーマ4「混在空間でレベル4を展開するためのインフラ協調や車車間・歩車間の連携などの取組」	R3～R7	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）
日本自動車研究所	経産省自動運転安全性評価	検証可能な Simulator の開発	R3～R5	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）
日本学術振興会	科学研究費補助金・新学術領域研究	楽しい雑談対話の要因解明のためのリアルなCGとのマルチモーダル対話システム構築	R2～R3	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）
日本学術振興会	科学研究費補助金・新学術領域研究	リアルなCGとのマルチモーダル対話システムを用いた楽しい雑談対話の要因解明	R4～R5	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期	バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備／地域活性化のためのグローバルインターバース基盤の研究開発	R5～R7	協奏システムの構築技術とその評価（研究開発課題 4-1～4-6）

2-4. ゲノム編集による革新的な有用細胞・生物作成技術の創出(幹事機関:広島大学)

1) 共創コンソーシアム(ゲノム編集産学共創コンソーシアム)の概要

〔実施体制〕

幹事機関：広島大学

領域統括：山本 卓（所属部署：広島大学ゲノム編集イノベーションセンター長／ 役職：教授）

研究機関：大阪大学、九州大学、東京工業大学、徳島大学、甲南学園（甲南大学）、神戸大学、東京大学、理化学研究所、農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）、酒類総合研究所

民間企業：マツダ㈱、キューピー㈱、日本ハム㈱、エディットフォース㈱、長瀬産業㈱、大日本住友製薬㈱、三菱商事ライフサイエンス㈱、㈱特殊免疫研究所、㈱フェニックスバイオ、㈱ファスマック、東レ㈱、磐田化学工業㈱、出光興産㈱、㈱大塚製薬工場、癸巳化成㈱、富士フイルム㈱、日本フィルター㈱、㈱バイオパレット、㈱セツロテック、中国電力㈱、凸版印刷㈱、花王㈱、ポーラ化成工業㈱、プラチナバイオ㈱

〔共創コンソーシアム概要〕

バイオ産業、動植物の品種改良、健康・安全、生命科学研究などの分野で革新的な価値創造が見込まれているゲノム編集技術を対象として、基礎研究と応用研究を連続的に繋ぐゲノム編集開発プラットフォームの創成を目指す。具体的には、日本独自のゲノム編集技術の開発を行うと同時に、新規のゲノム編集ツールも含めそれらを活用して多様な産業分野のニーズに沿った有用生物を作成する際に必要な体系的な基盤技術の開発を行う。

広島大学「ゲノム編集」産学共創コンソーシアム



研究領域：ゲノム編集による革新的な有用細胞・生物作成技術の創出(領域統括：山本卓)



資料：ゲノム編集産学共創コンソーシアム HP

〔研究テーマ〕

研究開発 テーマ	研究開発課題	課題代表者	共同研究機関
1: 微生物 でのゲノ ム編集技 術開発	1-1: 高性能油脂生産藻類の開発	坂本 敦 広島大学統合生命科学研究 科 教授	東京工業大学、マツダ(株)
	1-2: 油脂素材化合物の発酵プロセス 開発に向けた微細藻類のゲノム育種	秋 庸裕 広島大学統合生命科学研究 科 教授	長瀬産業(株) 出光興産(株) 中 国電力(株)
	1-3: 倍数体酵母の簡便な遺伝子改変 技術	山本 卓 広島大学統合生命科学研究 科 教授	三菱商事ライフサイエンス (株)
	1-4: 高収率海洋藻類創出による高効 率エネルギー生産プロセスの開発	中島田 豊 広島大学統合生命科学研究 科 教授	磐田化学工業(株)
	1-5: 菌類の新規なゲノム編集技術の 開発	山本 卓 広島大学統合生命科学研究 科 教授	花王(株)
2: 動物で のゲノム 編集技術 開発	2-1: ゲノム編集を用いた家禽の品種 改良技術の確立	堀内 浩幸 広島大学統合生命科学研究 科 教授	キューピー(株)
	2-2: ヒト肝細胞キメラマウスを用いた 疾患モデル作製	茶山 一彰 広島大学医系科学研究科 教授	大日本住友製薬(株)
	2-3: マウス・ラットにおける新規ゲ ノム編集技術の開発	真下 知士 東京大学医科学研究所 教授	(株)フェニックスバイオ(株)、 特殊免疫研究所
	2-4: ゲノム編集による遺伝子改変ブ タの開発	音井 威重 徳島大学大学院社会産業理 工学研究部 教授	広島大学、(株)大塚製薬工場
3: 培養細 胞でのゲ ノム編集 技術開発	3-1: 家畜の経済形質に関わる遺伝子 の細胞レベルでの効果判定研究	山本 卓 広島大学統合生命科学研究 科 教授	農研機構、日本ハム(株)
	3-2: ヒト皮膚培養細胞を用いたゲノ ム編集技術の開発	山本 卓 広島大学統合生命科学研究 科 教授	ポーラ化成工業(株)
4: 植物で のゲノム 編集技術 開発	4-1: ゲノム編集を活用した植物・藻 類での高付加価値性脂質生産	太田 啓之 東京工業大学 生命理工学院 教授	癸巳化成(株)、日本フィルタ ー(株)、甲南大学 (平成 30 年 終了)、富士フイルム(株) (平 成 30 年終了)
	4-2: 植物・キノコ類品種創出技術の 開発	刑部 祐里子 徳島大学 大学院社会産業理 工学研究部 教授	大塚製薬工場(株)
5: 国産ゲ ノム編集 ツールの 開発	5-1: 高活性型 PPR スクレアーゼの開 発	中村 崇裕 九州大学農学研究院 准教授	エディットフォース(株)
	5-2: 新奇ゲノム編集ツールの開発	刑部 敬史 徳島大学 大学院社会産業理 工学研究部 教授	大塚製薬工場(株)
	5-3: ゲノムワイド点変異スクリー ニング系の開発	西田 敬二 神戸大学先端バイオ工学研 究センター 教授	(株)バイオパレット
6: ゲノム 編集デー タベース の開発	6-1: AI を活用したゲノム編集データ ベースの構築	山本 卓 広島大学統合生命科学研究 科 教授	凸版印刷(株)、プラチナバイ オ(株)

2) プログラム期間中における成果

終了報告書及び事後評価結果等に基づき、プログラム期間中（プログラム終了時点）における、産学連携システム改革に関する取組の成果と、主要な研究開発成果を整理する。

(1) 産学連携システム改革に関する取組(共創コンソーシアム)

図表 2-4 6 産学連携システム改革に関する取組

取組	成果内容
コンソーシアム運営の仕組みの構築	● 「ゲノム編集」産学共創コンソーシアムに参画する全ての機関の間で、「共創コンソーシアム参加に関する覚書」及びそれに付随する「プロジェクトにおける秘密情報取り扱い規定」と「プロジェクトにおける知的財産と成果の取り扱いに関するガイドライン」を制定。 ● 覚書においては、OPERA 実施にあたっての条件の遵守の他、コンソーシアムの円滑な運営のために必要な事項を定め、合わせて、「秘密保持」や「知的財産と成果の取り扱い」などを定めた。
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 共同研究経費の算定においてアワーレート方式を採用するなどにより、参加教員の人件費相当額、共同研究実施に伴う附帯コスト相当額など、実質的に必要な間接的経費の算定と組み入れを行った。
知的財産の取扱ルールの方針	● 企業のオープン&クローズ戦略に最大限配慮した取扱ルールを運用した。 ● 特許等の情報は領域統括に集約する仕組みを構築し、バックグラウンド IP やフォアグラウンド IP のコンソーシアムでの活用を促進した。 ● また、産業利用における優遇措置を定めるとともに、プロジェクト終了後の取り扱いについても定めた。
人材育成	● 卓越大学院「ゲノム編集先端人材育成プログラム」を OPERA との連携によって進め、OPERA 参画機関と企業の協力を得て平成 31 年からゲノム編集の先端人材育成を実施。 ● また、優秀な学生等の参画を促すためのインセンティブ（格別な経済的報酬等）として、企業等との共同研究参加する博士課程後期の学生を「ジュニアリサーチャー（研究員）」として雇用する制度を運用した。
機関連携・協力体制についての方針	● 共創コンソーシアムにおける参加機関の連携については、各参画機関の代表で構成される研究推進協議会や、幅広い構成メンバーが参加できる産学共創会議を、意思決定や人材交流の場とした。 ● 企業と大学間の交流としては、共同研究講座、社会人ドクター制度、機関相互のクロスアポイント、駐在研究員など。 ● ゲノム編集ツールのセット等は、研究成果有体物として、テーマをまたがって利用。また、参加機関なかにはゲノム編集センターが設立され共用設備の整備が進んだ。

参画機関の管理方針	● 新規参画、中途脱退の取り扱いについては、基本的な仕組みを覚書に定め、秘密保持については当該取り扱い規定に、知的財産と成果の取り扱いはガイドラインに定めて、すべての参画機関の共通ルールとして運用。
-----------	---

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

(2) 主要な研究開発成果

図表 2-47 主要な研究開発成果

研究開発テーマ	成果内容
ゲノム編集技術確立	● 微生物から動物・植物に亘る多くの生物種で迅速で高効率なゲノム編集や形質転換の容易でない生物種でのゲノム編集技術を確立。 ● ニワトリではアレルゲンの検出されない卵を生み出す有用な系統を作出することに成功。消費者メリットの高い「低アレルギーゲノム編集食品」の産業化に近づいた。 ● 藻類では形質転換技術を改良し従来よりも高効率での形質転換を可能とし、今後光合成効率を向上した株や有用脂質の高生産株の取得が期待できる。
国産ゲノム編集ツールの開発	● 日本の独自技術に基づくゲノム編集技術を並行して開発。 ● 徳島大学で開発された新規の CRISPR システム「TiD」を用いて、複数のヒト培養細胞種において大規模欠失を導入することに成功。 ● 神戸大学で開発された Target AID により大腸菌遺伝子の多数の箇所に変異を入れる技術を活用したゲノムワイド点変異スクリーニング系を開発して大腸菌全ゲノム点変異ライブラリを構築し、耐酸性や薬剤耐性のスクリーニングを実施。この技術を基に(株)バイオパレットにおいて研究ツールに用いるゲノム編集大腸菌を商品化。 ● 広島大学が開発したゲノム編集技術である Platinum TALEN により藻類、酵母、ニワトリ、培養細胞でのゲノム編集に成功。また Platinum TALEN を基にプラチナバイオ(株)を設立し、本技術の事業化及び知財ライセンス等を行う。
ゲノム編集データベースの開発	● ゲノム編集の成功率と編集領域周辺のゲノム状態との関連性を精査するために、解析専用ソフトウェア MaChIAto を開発。これを用いてノックインの正確性と百種類以上のゲノム特性と関係の解析を行い、意図しない一塩基の配列挿入や欠失の発生背後に存在する分子的な性質をはじめて定量的に捉えた。

資料：「事後評価報告書」より抜粋・作成

3) プログラム終了後の構想・計画

各プロジェクトが終了報告書に記載した今後の構想・計画等について整理する。

(1) 今後のコンソーシアム活動の展望

複数の課題において、競争領域（事業化・製品化を目指した企業の製品開発フェーズ）へ移行する。また、JST 共創の場形成支援プログラム「広島から世界最先端広島から世界最先端のバイオエコノミー社会を実現する Bio×Digital Transformation（バイオDX）産学共創拠点」（育成型）においてデジタルトランスフォーメーション技術を加えた新しいゲノム編集研究の拠点形成を行い、OPERA での取り組みを発展させる。

(2) 技術・システム革新シナリオ

研究開発課題	プログラム終了後の目標等
1 微生物の遺伝子導入・改変技術	2030 年を目途に、 ● 【藻類高性能化のための戦略基盤研究】藻類の分離・乾燥、油脂抽出・加工技術、大量培養技術のスケールアップ、環境影響評価を実現 ● 【ゲノム編集技術による高性能藻類の創出】パイロット試験の後、上市・ライセンスへ ● 【高性能藻類の油脂生産環境の最適化】大量培養技術のスケールアップ、実用化に到達
2 動物での精密遺伝子改変技術	2030 年を目途に、 ● 【マウス・ラットにおける新規ゲノム編集技術の開発】CLICK 法、2H2OP 法による効率的なノックイン法に関する特許取得と、特許によるロイヤルティ収入の獲得 ● 【遺伝子改変マウス・ラットの作製】遺伝子治療モデルの確立と、難治性疾患の治療法の開発 ● 【ヒト肝細胞キメラマウスを用いた疾患モデル作製】遺伝性疾患モデルの作製 ● 【ゲノム編集による遺伝子改変ブタの開発】抗原フリーブタ等の開発と畜産関連企業の参入 ● 【ゲノム編集を用いた家禽の品種改良技術の確立】アレルギーノックアウトニワトリの作出、鶏卵の物性評価、安全性評価、特許取得によるロイヤルティ収入の獲得
3 培養細胞での遺伝子改変技術	
4 植物での精密遺伝子改変技術	2025 年を目途に、 ● 【ゲノム編集を活用した植物・藻類での高付加価値性脂質生産】ゲノム編集植物系統の作出、新規有用系統の特性評価、ゲノム編集菌類系統の作出 ● 【植物・キノコ類品種創出技術の開発】系統の分離・安定化、プロトタイプ実証・効率化、種苗用育成系統としての活用、生産物の加工技術確立

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

なお、研究開発に関する「プログラム終了後の活動方針」については「5) 研究開発成果の発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。同様に、産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みに関する「プログラム終了後の運用方針」については「6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。

【備考】本追跡調査における調査対象者

本追跡調査は、ゲノム編集産学共創コンソーシアムにおける主要なプロジェクト参加者（領域統括、幹事機関、主要研究者、主要企業、リサーチアシスタント等。各プロジェクトから調査対象者を推薦いただいた）を対象に実施している（アンケート調査：23名、ヒアリング調査：8名）。

そのため、次ページ以降に示す調査結果は、各プロジェクトに関する本プログラム終了後の中核的な活動状況を対象としたものであり、全プロジェクト参加者による活動全体を網羅したものではないことに留意されたい。

4) 共創コンソーシアムの発展状況

本プログラムを推進したゲノム編集産学連携コンソーシアムの活動は、その後、JST の共創の場形成支援プログラムを推進する「Bio-Digital Transformation (バイオ DX) 産学共創拠点」へと引き継がれている。さらに、広島地域のゲノムビジネス拠点としての「ひろしまバイオ DX コミュニティ」が設立されている。

(1) Bio-Digital Transformation(バイオDX)産学共創拠点

①目的

- 「Bio-Digital Transformation (バイオ DX)」の推進により、“誰ひとり取り残さず” 持続的な発展を可能とする「バイオエコノミー」社会を実現する。
- プロジェクトでは、生物の“プログラミング (ゲノム編集・合成)”と“デジタル化 (遺伝情報の解読・解析)”による研究開発から、生物のもつ機能を最大限に発揮し、食・健康・エネルギー等、人類が直面する課題の解決に挑む。
- 2020 年 12 月発足。

図表 2-48 バイオ DX 産学共創拠点 概要図



②体制

図表 2-49 バイオ DX 産学共創拠点のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関・PL	広島大学 【PL】山本 卓（広島大学 ゲノム編集イノベーションセンター長／教授） 【副 PL】奥原 啓輔（プラチナバイオ㈱ 代表取締役）
大学等	東京工業大学、東京大学、九州大学、埼玉大学、徳島大学、山口大学、東京農業大学、東京理科大学、理化学研究所、農業・食品産業技術総合研究機構、産業技術総合研究所、情報・システム研究機構、酒類総合研究所、相模原病院、実験動物中央研究所、かずさ DNA 研究所 等
企業等	プラチナバイオ㈱、三島食品㈱、湧永製薬㈱、㈱長谷川養蜂、(有)西岡養蜂園、イノチオホールディングス㈱、新菱冷熱工業㈱、キューピー㈱、キューピータマゴ㈱、㈱坪井種鶏孵化場、四国計測工業㈱、住友化学㈱、住友ファーマ㈱、出光興産㈱、エディットフォース㈱、㈱特殊免疫研究所、㈱ファイトリピッド・テクノロジーズ、マツダ㈱、日本フィルター㈱、三菱化工機㈱、㈱島津製作所、浜松ホトニクス㈱、日清オイリオグループ㈱、広島県、東広島市、川崎市、(一社)バイオ DX 推進機構 等
その他	【ビジョン共創チーム】 東京大学公共政策大学院、名古屋大学環境学研究科、セントクレスト国際特許事務所、㈱電通 等
マネジメント体制	広島大学（PL・副 PL ほか、10 名）
コンソーシアム運営	(一社)バイオ DX 推進機構（業務委託）

※2024 年 9 月末現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

- 【会議、セミナー、シンポジウム等】東京大学 公共政策大学院と、共創の場形成支援プログラム「Bio-Digital Transformation（バイオ DX）産学共創拠点」が共催する、バイオエコノミー勉強会を実施。
- 【共同研究、実施事業、マッチング等】共同研究に向けたマッチング、外部資金への提案企画を実施。
- 【イベント、展示会等】卓越大学院プログラムと連携した、国際セミナー、市民公開セミナーの開催。産学共創会議を開催。
- 【その他】スタートアップ創出／成長の促進支援、他機関等との連携強化による拠点ビジョン実現の加速・充実化支援、産学連携拠点データ利活用促進等に取り組む。

(2)ひろしまバイオDXコミュニティ

①目的

- 広島地域をゲノムビジネスの拠点とするため、ゲノム解析・編集の研究シーズの蓄積をベースに関連技術の社会実装を進め、ゲノム関連企業・スタートアップの誘致と関連産業を新たに創出するとともに、ゲノム関連技術の社会的受容を進展させることを通じて、バイオ DX を柱にした地域バイオコミュニティを形成し、バイオ市場の活性化を図る。
- 2023 年 2 月発足。

図表 2-50 ひろしまバイオ DX コミュニティ 概要図

ひろしまバイオDXコミュニティ(概要)	
広島地域をゲノムビジネスの拠点とするため、ゲノム解析・編集の研究シーズの蓄積をベースに関連技術の社会実装を進め、ゲノム関連企業・スタートアップの誘致と関連産業を新たに創出するとともに、ゲノム関連技術の社会的受容を進展させることを通じて、バイオDXを柱にした地域バイオコミュニティを形成し、バイオ市場の活性化を図る	
【体制】 ネットワーク機関： 一般社団法人バイオDX推進機構（構成：広島県、東広島市、広島大学、等） <お問合せ先> TEL：050-7103-9790 / E-mail：info@biodx.org 産業基盤： JST COI-NEXT「バイオDX産学共創拠点」、地元企業・スタートアップ、支援機関など 技術基盤： 県内に立地するアカデミア、公設試、企業研究機関など 推進基盤： ひろしま好きじゃけんコンソーシアム、広島バイオテクノロジー推進協議会など	【対象市場領域】 ③ 持続的・一次生産システム、④ 有機廃棄物・有機排水処理 ⑤ 生活習慣改善ヘルスケア、機能性食品、デジタルヘルス ⑥ バイオ医薬・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業 ⑦ バイオ生産システム
【現状と課題】 <関連市場> ○ゲノムの解析・編集等のバイオDX技術の進展に伴い、生物機能の潜在的な可能性を引き出すことが可能となり、新たな市場が形成されつつある <ひろしまの強み> ○国際競争力を持つ研究開発基盤を中心に、企業、産学官連携拠点、コンソーシアム、自治体の各ステークホルダーによる役割分担・連携 <課題> ○実証実験環境の不足、社会実装の成功事例の少なさ、普及啓発・機運醸成の不足、持続的な産業振興の仕組み不足といった課題はあるが、強みを生かした課題解決を進めつつある	【あるべき姿】 ○バイオファーストでのものづくりの発想 ○成長領域へ持続的に投資できる好循環 ○地域経済の活性化・グローバル社会への貢献 ↓ <2030年に向けた目標> ○広島県がゲノム技術を利用して社会課題を解決し、SDGsにも貢献 ○研究開発・事業の戦略を策定し、高付加価値製品を市場に浸透させる成功事例を構築 ○得られた利益や新たな投資を次の成長領域に投入する仕組みを構築
【あるべき姿の実現に向けた具体的な方策】 <コミュニティ、ネットワーク> ○COI-NEXTを軸とした地域バイオコミュニティの形成：共同研究や新規プロジェクトの組成、異分野との融合、他の地域バイオコミュニティと連携 ○研究成果の社会実装を推進する戦略的バリューチェーンの構築：研究開発から事業化までを一貫通貫で推進できる成功事例 <テーマ設定、実証フィールド> ○グローバルな社会課題の解決と経済成長を両立する研究開発テーマの設定：国・世界共通の社会課題の解決、経済成長への貢献 ○研究開発を加速させるための実証フィールドの提供：技術検証を行うための実証フィールド、ゲノム関連技術の利用に対する規制をクリアし研究開発を円滑に実施できる環境の提供 <普及啓発、インキュベーション、投資> ○社会受容性の開拓：バイオ技術を利用したものづくりの普及啓発と機運醸成 ○インキュベーション体制の整備：ビジネス・知財マネジメント等の専門経験を持つ人材の育成、スタートアップの支援 ○投資の呼び込み：県外・海外の投資家からの外部資金の獲得、投資家との交流	【指標】 ◇コミュニティ参画機関：50法人 ◇新規企業数：30社 ◇スタートアップ起業数：10社（IPO：2社） ◇本コミュニティ内で事業化に成功した事例：10例 ◇県内における産業付加価値額 ・健康・医療関連分野：約450億円 ・環境・エネルギー関連分野：約1,270億円

②体制

図表 2-51 ひろしまバイオ DX コミュニティのメンバー、組織

区分	メンバー
ネットワーク機関	(一社)バイオ DX 推進機構
構成主体 バイオ	広島県、東広島市、広島大学、プラチナバイオ(株)、中国電力(株)エネルギー総合研究所、(株)FOOD & LIFE COMPANIES、クニヒロ(株)、阪急阪神不動産(株)、電通(株)、(株)朝日新聞社、朝日放送テレビ(株)、(株)中国放送、(株)中国新聞社、広島バイオテクノロジー推進協議会、ひろしま好きじゃけんコンソーシアム、共創の場形成支援プログラム「バイオ DX 産学共創コンソーシアム」
マネジメント体制	(一社)バイオ DX 推進機構

※2024 年 9 月末現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

- 【会議、セミナー、シンポジウム等】広島バイオテクノロジー推進協議会との共催で、市民にわかりやすい形で「バイオ DX」の重要性やその社会インパクトについて普及啓発を行う、ひろしまバイオ DX フォーラムを開催。
- 【共同研究、実施事業、マッチング等】共同研究に向けたマッチング、外部資金への提案企画を実施。
- 【イベント、展示会等】BioJapan において、内閣府地域バイオコミュニティとして認定された、「ひろしまバイオ DX コミュニティ」としてブース出展。
- 【その他】若年層に向けた情報発信・人材育成の取組として、高校生向けワークショップの開催。

5) 研究開発成果の発展状況

研究開発に関する、プログラム終了後の活動状況について、(プログラム終了時における活動方針と対比しつつ) 研究開発テーマ・課題ごとに記載する。

なお、以下は OPERA 期間中のすべての研究開発テーマ・課題について網羅的に記載したものではなく、調査対象となった研究者・企業等が関連する研究開発テーマに焦点を置いた記載であることに留意されたい。

(1) 研究開発テーマ1 微生物でのゲノム編集技術開発

① 研究開発課題1-1 高性能油脂生産藻類の開発

プログラム終了後の活動方針(事業終了報告書より抜粋・要約)

- 油脂高生産株の大量培養装置の構築や、その評価を行うためのシステム構築を行う。
- 油脂合成や分解に関わる代謝系の改変に基盤技術の確立を試みる。

A. 藻類ゲノム編集株を使ったバイオ燃料生産、野生株を使った食用油脂生産の開発を進める

東京科学大学(旧東京工業大学)の太田名誉教授、広島大学、マツダ(株)らは、共創の場形成支援プログラムで高性能油脂生産藻類の開発をさらに発展させている。藻類の屋外大規模培養を始め、300ℓ 規模では高密度培養に成功し、2024 年度からは 3,000ℓ 規模の培養装置の設置を開始している。屋外培養の出口側として、燃料生産だけではなく、食用油脂の生産もターゲットとしており、これらの開発を並行して進行している。また、ゲノム編集技術を活用して、さらなる燃料生産性向上と低コスト化を目指している。

食用油脂の生産においては、日清オイリオグループ(株)とナンノクロロプシスに含まれるオメガ3 脂肪酸の食用としての活用及び、ナンノクロロプシス油脂の食用油脂としての活用の共同研究を 2023 年度より開始し、野生株を使った実用化を目指している。将来的には食用油脂及びオメガ3 脂肪酸高生産藻類創出に向けたゲノム編集株も視野に置いているが、当面のターゲットは野生株としている。

東京科学大学の太田名誉教授は、2021 年に本研究開発活動の成果をもとに、(株)ファイトリピッド・テクノロジーズを起業。屋外での藻類による有用物質を自社生産する計画を有している。

また、広島大学の坂本教授らは、OPERA 時に微細藻類に外来 DNA を組み込まないゲノム編集技術の開発に成功し、2022 年 4 月に論文を発表した。

B. 藻類ゲノム編集の OPERA 知見を活用し、500 億円規模の藻類産業プロジェクトに参画

広島大学の山本教授らは、(株)ちとせ研究所が提案した NEDO グリーンイノベーション基金事業「光合成による CO₂ 直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築」に参画し、採択された。(一社)日本微細藻類技術協会(IMAT)と連携して、微細藻類におけるゲノム編集用の遺伝子改変ツール、データ解析基盤の開発を推進している。

②研究開発課題1-2 油脂素材化合物の発酵プロセス開発に向けた微細藻類のゲノム育種

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 「Gas-to-Lipids バイオプロセス」の社会実装に向けて、高付加価値脂質への応用をめざして、技術競争力、実現可能性や環境負荷を考慮したベンチスケール試験を NEDO 事業として実施。

A.OPERA からスピンアウトした NEDO プロジェクトが進行中。2030 年の事業化を目指す

広島大学の秋教授らは、オーランチオキトリウム属でゲノム編集技術を確認する研究の過程で CO₂ を資源化するバイオプロセスを立案し、火力発電で排出される CO₂ を資源化する革新的技術の一つとして、カーボンリサイクル研究拠点（広島県大崎上島）にて NEDO プロジェクト「Gas-to-Lipids バイオプロセスの開発」の実証研究を実施中である（R2～R6）。2030 年までに小規模にて事業化し、2050 年までに水素価格の低下が実現すれば大規模化を図る。

OPERA で共同研究を実施した企業のうち中国電力㈱等 2 社との強固な連携体制を維持しており、NEDO 事業を通じて世界的な社会問題に挑んでいる。

また、科研費事業「新規 Gas-to-Lipids バイオプロセスの構築と最適化」や「Gas-to-Lipids バイオプロセスによる持続的カーボンリサイクリング」で、ゲノム編集技術を駆使した育種で当該微生物の極限性能を引き出す研究を進めている。

③研究開発課題1-4 高収率海洋藻類創出による高効率エネルギー生産プロセスの開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 確立した微細藻類のゲノム編集技術、超高効率の形質転換方法を利用して、ナンノクロロプシスの光合成能力の増強、有用物質含有量の強化を実施。
- 海洋汚泥による耐塩性メタン発酵については味噌・醤油などの高塩濃度廃棄物や藻類をターゲットとした産業廃棄物処理サービスへ展開。

A.海洋藻類のゲノム編集技術及び耐塩性メタン発酵技術開発は継続

広島大学の中島田教授らが開発を進めたナンノクロロプシスのゲノム編集技術は、共同研究者の藤江准教授が継続。OPERA で開発したゲノム編集技術を活用し、ナンノクロロプシスの増殖速度（光合成効率）の向上に成功しつつある。

耐塩性メタン発酵技術については、磐田化学工業㈱と食品分野の高塩廃棄物処理法の共同研究を継続。味噌や醤油等これまでメタン発酵の難しかった食品廃棄物についての市場調査を実施している。

また、OPERA によるメタン発酵研究の深化により、国内で近年注目が集まっているバイオメタネーション研究開発において、複数企業と学術指導契約を締結。学術指導は広島大学の制度で、公開情報に基づく指導及び議論を行うことで産学パートナーシップの拡大を狙うものであり、本制度から、オープンイノベーションを加速する共同研究へとつなげることが可能となる。

(2)研究開発テーマ2 動物でのゲノム編集技術開発

①研究開発課題2-1 ゲノム編集を用いた家禽の品種改良技術の確立

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 社会実装（商品化）に向けた活動を推進する予定であり、遺伝子組換え食品での失敗を繰り返さない方策をとる。

A.アレルギー低減卵の臨床試験が進む

OPERA 期間中に作出した世界初のアレルゲン（オボムコイド）を除去した鶏卵（アレルギー低減卵）を論文（Food and Chemical Toxicology 誌に掲載）し、記者会見を実施（2023 年 5 月）したところ、大きな反響を得ている（アレルギー低減卵への期待、肯定的意見がほとんど）。現在は、応用研究段階に移行しており、OPERA 時からメンバーも拡大している（広島大学・プラチナバイオ㈱（ゲノム編集、系統維持、技術広報）、相模原病院（臨床試験）、キューピー㈱・キューピータマゴ㈱（加工適性試験、臨床試験、事業性検討）、東京農業大学（特性試験）、㈱坪井種鶏孵化場（育種造成））。

- 軽度アレルギー患者 10 人を対象とした血清を使った安全性試験、育種造成、機能評価を共創の場形成支援プログラムで実施（2022 年度～）。
- 重度アレルギー患者 50 人を対象とした経口による安全性試験（臨床試験）を日本医療研究開発機構（AMED）「免疫アレルギー疾患実用化研究事業」で実施（2023～25 年度）。
- 農林水産省「中小企業イノベーション創出推進事業」（2023～25 年度）により鶏舎整備等の事業化資金も調達。

臨床試験は順調に推移しており、2025 年度末には結果が出る予定で、その後の事業化に向けて関係者が取組を推進中である。特許を複数出願し、厚生労働省、農林水産省にゲノム編集食品としてアレルギー低減卵を届け出るための相談を開始している。また、(一社)バイオ DX 推進機構等が、積極的にアウトリーチ活動・消費者コミュニケーションを実施している（関連団体との意見交換、こども新聞への掲載等）。

B.バイオ医薬品の生産コスト削減に向けた研究開発

広島大学の堀内教授が、豊富なタンパク質を含む卵黄成分オボアルブミンを恒常的に分泌する細胞株を作成。ゲノム編集後の鶏を使った組換えタンパク質の生産に従来は 2～3 年かかっていたところを、同培養細胞株を使うと試験管内で短期間にできるほか、生産効率化に資する遺伝子導入個所を予測しており、バイオ医薬品の生産コスト削減につなげていくことを目指している。

②研究開発課題2-3 マウス・ラットにおける新規ゲノム編集技術の開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 開発した新規ノックイン技術を利用し、特殊免疫において効率的な遺伝子改変マウス・ラットの作製受託を予定。
- 作成された免疫不全ラットおよび遺伝子改変マウスは、フェニックスバイオにおいてヒト肝細胞キメララットおよびヒト肝細胞キメラマウスの開発に利用される。

A.遺伝子改変マウス・ラットの開発を進める

東京大学の真下教授（OPERA 当時大阪大学）を中心に、OPERA 期間中に LssDNA 法、CLICK 法、2H2OP 法等により、ノックインマウス・ラットの作製や、免疫不全ラットの開発を行った。(株)特殊免疫研究所では、新規ノックイン技術の改良と改善を継続しており、新たなヒト化モデルの開発を目指している。

真下教授と(株)フェニックスバイオによる肝障害免疫不全ラットを用いた新たなヒト肝細胞キメララットの開発は、期待したモデル動物に至らなかったが、新たなホストマウスを用いてヒト肝細胞キメラマウスを作出し、性状解析を実施中である。

B.大阪大学発ベンチャーC4U による CRISPR/Cas3 技術を用いた医療応用が進む

OPERA 期間中に創業した大阪大学発ベンチャーの C4U(株)（創業者：真下教授）は、CRISPR/Cas3 を用いた新規ゲノム編集の医療応用等を目指す。

C4U(株)と住友ファーマ(株)は 2021 年から共同研究を実施しており、中枢神経系疾患を対象とした再生医療等製品の標的となる細胞と遺伝子を同定し、それらに対するゲノム編集ツールとプロトコルの最適化に向けた研究を進め、成果を挙げた。2024 年 4 月、C4U(株)と住友ファーマ(株)の間で CRISPR/Cas3 技術に関するライセンス契約が結ばれ、中枢神経系疾患を対象とした再生医療等の製品のターゲットとなる細胞及び遺伝子に関する創薬パイプラインへの医療応用が進められている。

さらに、セレイドセラピューティクス(株)と造血幹細胞を使った ex vivo 遺伝子治療の開発で共同研究契約を結んでいる。

③研究開発課題2-4 ゲノム編集による遺伝子改変ブタの開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- F2 世代の作出、作出した個体群を用いた抗原性評価の実施に向け、資金獲得を模索。

A.ビーグル犬に代わる実験用小型ブタの作出に成功

OPERA では、徳島大学の音井教授らが、GalT/CMAH/B4GALNT2 のトリプルノックアウトブタの作製に成功。その後、科研費を取得により研究を継続している。豚体格の小型化を目指し、ゲノム編集による GHR（成長ホルモンレセプター）ノックアウト豚（実験用ブタ）を作出。成体重 10 kg 程度の小型化を達成し、その系統化を継続しており、超小型ブタを用いた脾臓移植試験を可能としている。

また、OPERA 時の共同研究先の(株)大塚製薬工場と、GHR ノックアウトブタを用いた新たな共同研究を開始している。

(3)研究開発テーマ3 培養細胞でのゲノム編集技術開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- ミオスタチン遺伝子欠損ブタ F2 世代の作出、ならびに作出した個体群を用いた生産性評価を実施するため、研究を継続するための資金獲得を模索する。(研究開発課題 3-1)

A.食品系、化粧品系企業との培養細胞でのゲノム編集技術開発は終了

広島大学の山本教授と日本ハム㈱の共同研究(研究開発課題 3-1)及び、山本教授とポーラ化成工業㈱の共同研究(研究開発課題 3-2)は、共創の場形成支援プログラムには引き継がれず終了した。

(4)研究開発テーマ4 植物でのゲノム編集技術開発

①研究開発課題4-1 ゲノム編集を活用した植物・藻類での高付加価値性脂質生産

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- レタスなど形質転換方法が確立されている実用植物へ本プロジェクトで開発した遺伝子を導入し、閉鎖系での植物葉における KODA 大量生産および精製方法の検討を行う。
- 実用植物へ本プロジェクトで開発した遺伝子を導入し、閉鎖系での植物葉における付加価値性脂質大量生産及び精製方法の検討を行う。
- ナンクロクロプシスで生産したオキシリピン含有エキ스는機能性食品としての販売を想定するなど、藻類の産業利用を推進し、新たな産業分野として確立していく。

A.高付加価値脂質(オキシリピン)の上市に向けた検討が進む

日本フィルター㈱は、OPERA プログラムで開発した藻類からの高付加価値脂質(オキシリピン)生産プロセスを改良し、培養装置、抽出・精製装置のスケールアップを行っている。また、同社は新たな提携先を得て、OPERA の成果に基づいた事業化、製品化の検討を進めている。

B.東京科学大学・太田名誉教授と日本フィルター㈱の共同研究が継続

日本フィルター㈱は、屋内培養でも採算がとれる超付加活性物質の生産を目指し、ゲノム編集技術等を活用しながら共同研究を進めている。

同社は、共創の場形成支援プログラムにも参画。屋内で培養した高品質な種藻の提供のほか、東京科学大学の太田名誉教授との共同研究も行う。その中で、日本フィルター㈱は、藻類を使った屋内培養でのものづくり、㈱ファイトリピット・テクノロジーズ(太田名誉教授のベンチャー企業)は藻類の屋外培養系で燃料・食用油脂・高付加価値物質のものづくりを行うという役割分担となっている。

②研究開発課題4-2 植物・キノコ類品種創出技術の開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 高効率ゲノム編集技術を利用した植物およびキノコ機能遺伝子の改変への利用と社会実装を目指した新しい生物資源種苗の開発への利用を進める。
- 高効率ゲノム編集技術を利用した植物およびキノコ機能遺伝子の改変を行うことで、機能

性成分の生産能向上、生長促進および環境ストレス耐性向上を付与した新しい生物資源種
苗創生技術の開発を達成する。

- 本研究で得られた成果を元に様々な植物種での品種創生に発展させる。
- 本研究においてゲノム編集で作製した植物系統を新品種として登録することを構想中。

A.植物でのゲノム編集技術開発が JST 事業や産学連携共同研究で進む

東京科学大学の刑部教授は、革新的 GX 技術創出事業 (GteX)「先端的植物バイオものづくり
基盤の構築」(2024~2028 年)で、研究開発課題 5-2「新奇ゲノム編集ツールの開発」で得られた
成果と、研究開発テーマ 4 の植物の研究で得られた知見を一部活用して、大規模なゲノム領域改
変のためのゲノム編集ツール基盤の開発等を進めている。具体的には TiD を使って、植物・微生
物を含むバイオものづくりに役立つ分子ツールの構築を目指している。

A-STEP 産学共同 (育成型)「資源作物のゲノム編集育種技術の開発」(2022 年~2024 年)では、
OPERA で得られた植物でのゲノム編集技術の研究基盤を、新しいゲノム編集ツールを使って応
用的に展開。具体的には、TiD を利用し、将来の持続的社会の構築に重要な役割を担いカーボン
ニュートラルに資する資源作物を創生することを目的とし、資源作物に最適化した遺伝子機能改
変技術を構築している。

B.OPERA 成果による農学的な展開は停滞

OPERA 成果における農学的な展開 (植物・キノコ) は計画通りには進んでいないが、技術開発
に特化した研究や、産学共同研究による新品種開発プロジェクトがみられている。また、遺伝子
組み換えとはならない植物でのゲノム編集技術の共同研究もみられている。

(5)研究開発テーマ5 国産ゲノム編集ツールの開発

①研究開発課題5-1 高活性型PPRヌクレアーゼの開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- ゲノム編集モジュール・認識部分 (PPR、TALE、ZF 等) と組み合わせることでのゲノム
編集ツールとしての利用を想定したライセンスビジネスとして産業利用を行う。

A.DNA結合型PPRを用いたゲノム編集ツール開発は断念も、RNA結合型PPRの研究を加速

九州大学の中村教授が OPERA で取り組んだ、DNA を標的としたゲノム編集ツール PPR の開
発は終了。一方、共創の場形成支援プログラムでは、non-coding RNA を標的とした RNA 編集技
術 (RNA 結合型 PPR) の開発を進めている。PPR タンパク質を利用した DNA/RNA 編集の研究成
果をもとに、2015 年設立のエディットフォース(株)を通して、主に創薬分野での開発を進める。同
社は、2022 年 6 月に田辺三菱製薬(株)と中枢神経疾患を対象とする医薬品の研究開発に関して、総
額 200 億円のライセンス契約を締結している。

また、中村教授は福岡県と連携し、久留米市にゲノム編集の産業化を橋渡しするゲノム編集産
業化実証ラボを立ち上げ、ゲノム編集利用の拡大を狙った活動を展開。ゲノム編集植物開発に新
規参入したい企業等に、実験施設の提供や規制対応、コンサルティングを行っている (医療業界
における CRO のような位置付け)。開発自体はクラウドソーシング型で実施しており、研究者リ
ストには OPERA で付き合いのあった研究者も含まれている。

②研究開発課題5-2 新奇ゲノム編集ツールの開発

A.徳島大学で開発された TiD は医療への応用も進む。ベンチャー創出は目前

徳島大学から東京科学大学に移った刑部教授のテーマが、Greater Tokyo Innovation Ecosystem (GTIE) に2度採択されている（新規国産ゲノム編集 TiD の基盤技術開発（2022 年度採択）、新規ゲノム編集技術による医療への応用と事業化（2024 年度採択））。刑部教授は、TiD を基盤とした遺伝病の治療のための遺伝子改変ツール開発を事業化するスタートアップ設立を目指している。

また、共創の場形成支援プログラムの研究開発課題 2「デジタルデジタル駆動による産業直結型ゲノム編集トータルパッケージの開発」において、バイオ医薬品研究のツール開発の一つとして TiD の研究を行っている。

③研究開発課題5-3 ゲノムワイド点変異スクリーニング系の開発

プログラム終了後の活動方針（終了報告書より抜粋・要約）

- 今後はゲノム編集微生物のラインナップを拡充するとともに、物質生産用微生物や、マイクロバイオーームなど、より幅広い分野での実用化を目指してパートナー企業も含めて共同研究開発を拡大継続していく。
- バイオパレット社ではゲノム編集マイクロバイオーームを疾患治療法として用いる事業を計画している。

A.炎症性腸疾患やがん免疫療法向けに、塩基編集した腸内細菌製剤の開発を進める

神戸大学発ベンチャーのバイオパレット(株)は、塩基編集 (Target-AID 等) をコア技術とする「合理的薬効デザイン」、「定着性制御」、「非増殖性付与」(拡散防止措置対応) の3要素から構成される腸内細菌製剤 (LBPs) 創出プラットフォームを構築。炎症性腸疾患に対しては、大腸菌 (単一菌株) を塩基編集し、動物モデルで効果を確認した。大腸菌により細かな改変を加える最適化の段階に進んでいる。

がん免疫に関連する細菌として、独自に見出した腸球菌 (単一菌株) を改変し、担がんマウスに経口投与する動物実験を実施。腸球菌が抗 PD-1 抗体と相乗効果を示して抗腫瘍活性を高める効果を確認した。医薬品としての LBPs の開発に注力しているものの、食品や化粧品、環境用途で、塩基編集した LBPs (遺伝子組換えには該当しない) の可能性についても検討も進めている。

④【関連活動】OPERAメンバーによる国産ゲノム編集ツールの開発

A.国産ゲノム編集ツール、ZF-ND1 を開発

プラチナバイオ(株)は、広島大学が開発した新規ヌクレアーゼ「ND1」の独占ライセンスを受け、Zinc Finger (ZF) に組み合わせることで、純国産ゲノム編集ツール「ZF-ND1」を開発。ZF は基本特許が 2020 年までに切れており、ライセンスフリーで使用することを可能にしている。

広島大学の山本教授らは、ZF-ND1 を効率よく作製する方法を発見し、ゲノム編集効率の向上に成功している (2024 年 4 月論文発表)。

(6)研究開発テーマ6 ゲノム編集データベースの開発

①研究開発課題6-1 AIを活用したゲノム編集データベースの構築

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- より高度化したゲノム編集技術である Prime Editing をはじめとした次世代型ゲノム編集に対して MaChIAto を適用可能にすることで、これまで調べられてこなかった分子的特性を明らかにする。
- NEDO プロジェクトとして、OPERA の研究成果である MaChIAto を組み込んだ AI ゲノム編集データベースの開発を推進。ユーザーテストからのフィードバックをもとに、さらなる改良・機能拡充を行い、2022 年 4 月に正式サービスとしてリリース予定。

A.ゲノム編集支援プラットフォームの事業化が目指されている

プラチナバイオ㈱が、凸版印刷㈱と共同提案した NEDO プロジェクト「AI を活用したゲノム編集データベースの開発」(2019～2021 年度)が採択され、OPERA 終了時の 2021 年 3 月に、ゲノム編集を支援する解析機能を搭載した「Genome Editing Cloud」のβ版を発表した。また、2022 年度にゲノム編集を支援する解析機能を特徴としたゲノム解析システム「Genomee (仮称)」をプラチナバイオ㈱と凸版印刷㈱が共同開発した。

しかし、IT サービス化の際に多額の費用がかかること、また IT サービスに対し費用負担できる顧客が少ないことを鑑み、2023 年に事業化が見送られている。

②参考:OPERAメンバーによるゲノム編集データベースの開発

A.共創の場形成支援プログラムにおいてデータ駆動型ゲノム育種(デジタル育種)技術の開発を進める

共創の場形成支援プログラム「バイオ DX 産学共創拠点」において、新たに加わった広島大学の坊農教授と、OPERA 時にジュニアリサーチャーであった中前共同研究講座助教が、バイオ DX 技術の開発を推進。モデル生物のように全ゲノム配列が解読されていない様々な生物資源において、ゲノム配列解読、遺伝子発現解析等を行い、特定機能を伸ばす育種・品種改良を目指している。ゲノム編集をしなくても、ゲノム解析、遺伝子発現解析で品種を選別することができるので、解析ニーズは高いと言える。

また、共創の場形成支援プログラムで研究開発を進める広島大学の坊農教授のバイオ DX 技術について、プラチナバイオ㈱がサービス化を進め、豊富な生物資源を持つ東南アジア市場を中心にグローバル展開を進めている。

6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況

産学連携による研究開発推進やマネジメントの仕組みに関する、プログラム終了後の運用状況について、(プログラム終了時における運用方針と対比しつつ) 項目ごとに記載する。

(1) 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 本事業を活用して費用負担の仕組みを検証し、さらなる見直しを行った結果、2021年4月1日から間接経費の算定方法を「アワーレート方式」から「30%」に変更した。
- これにより、広島大学はさらなる産官学連携活動の推進・充実だけでなく、財源の多様化等の様々な経営改革を通じて財政基盤の強化を図る。

2020年度に、研究者の学術的知見等の貢献度に基づく間接経費(基礎研究促進費)を新設し、運用を開始している。本制度では、従来のコスト積み上げ方式の契約では計上が難しい、研究者の学術的知見等への対価を間接経費の一部として取得するものである。取得した経費は、共同研究を実施する教員の基礎的研究を深化させるための研究費等として活用を行っている。この取組は、文部科学省・経済産業省が公開している「産学官連携による共同研究強化のためのガイドライン【追補版】」で好事例として紹介されており、広島大学の産学連携・研究力強化に資する取組となっている。

さらに、2021年度より、費用負担の適正化をいっそう推進するため、共同研究における間接経費を従来のアワーレート方式から定率30%に変更した。

また、2022年度より共同研究等(共同研究、共同研究講座、受託研究、受託事業)に係る直接経費から教員の人件費支出を可能とした。これにより得られた財源をPI人件費や環境整備費等に活用することで、広島大学の産学連携・研究力強化に資する取組を推進している。

(2) 知的財産の取扱いルール

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 新たに公募されたJST共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)に、広島大学が中心となって提案した「広島から世界最先端のバイオエコノミー社会を実現するBio×Digital Transformation(バイオDX)産学共創拠点」が採択されたことを受け、OPERAコンソーシアムやその運用を通じて構築した仕組みを、新たなコンソーシアムへと引き継いでいく。

OPERAの運営で培った、知財・データの管理・活用、経理・契約管理、参画機関との調整等のノウハウの蓄積を強みとして、新たに加わるマネジメント人材にも共有化することで、スムーズなコンソーシアム運営を行っている。また、共創の場形成支援プログラム本格型移行後の10年間の長期的なコンソーシアム運営・研究開発においては、JSTによるセンター・オブ・イノベーション(COI)プログラムの運営でのノウハウを取り込み、拠点マネジメントをより強力に推進している。

具体的には、知財・データの取扱いについて、バイオDX産学共創拠点では、参画機関の「オープン&クローズ戦略」を前提に、「クローズ(課題チーム内のみ)」、「セミオープン(産学共創拠点の参画機関に共有)」、「フルオープン(外部へ公開)」の3段階に整理し、各段階に応じて適切

な知財確保ができる仕組みを構築している。

(3)人材育成

【再掲】プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 各参画機関における人材育成の取組には、コンソーシアムとして今後とも積極的に協力していく。
- 若手研究人材の雇用の財源としては、OPERA 終了後に続く競争領域の産学共同研究も機能していくものと考えられる。

従前からの卓越大学院「ゲノム編集先端人材育成プログラム」に加えて、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラムでの「広島大学創発的次世代研究者育成・支援プログラム」(博士課程後期学生：年 379 人支援、1 人当たり奨励費：228～240 万円・研究費 40 万円)等、博士人材への育成支援を拡充している。

加えて、2023 年度から全学的に「SPARK! Plan」を打ち出しており、大学入学前から入学後、ポスドク、教員の採用・昇進等のステップごとに、進路選択にあたっての支援や経済的支援、ポストアップ支援や研究活動への支援、仕事と家庭の両立支援等の取組を推進している。

(4)機関連携・協力体制

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 共創の場形成支援プログラム「バイオ DX 産学共創拠点」では、研究開発チームとビジョン共創チームが有機的に連携し、多様なステークホルダーとの対話を通じて、急速な時代の変化にもフレキシブルに適応可能な体制を構築する。
- 今後、バイオ DX 産学共創拠点でのサイエンス・コミュニケーションの取組の一環として、ビジョン共創チームとともに、高校生・大学生など市民対象のワークショップの開催、メディアを活用した情報発信等により、ゲノム編集技術・作物・家禽等を周知していく。

OPERA で構築した共創コンソーシアムを、共創の場形成支援プログラムにおいても継承している。OPERA におけるコンソーシアム運営で培ったノウハウを引き継ぎ、多様なステークホルダーによる共創によって生み出される研究成果が最大化するよう運営している。

具体的には、拠点運営機構として、「バイオ DX 産学共創コンソーシアム」を設置し、同コンソーシアムの活動として、研究進捗管理や新規参画機関の承認等を行う意思決定の場として「研究推進協議会」、担当者が一同に介してディスカッションを行う実務者会議として「産学共創会議」、バイオエコノミーや知財戦略といったトピックについて情報収集・意見交換する「研究会」をそれぞれ開催している。

(5)参画機関の管理

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 共創の場形成支援プログラムにおけるバイオ DX 産学共創拠点において、各分野のトップランナーを結集したビジョン共創チームと連携し、多様なステークホルダーを対象としたワークショップの開催、メディアを活用した情報発信等、継続的な普及活動を行う。

OPERA で培ったコンソーシアム型の管理方針や、他事例である COI STREAM をベンチマークしながら、共創の場形成支援プログラムにおいても手法を改善している。

新規参画、中途脱退の取り扱い等、基本的な仕組みを覚書に定め、秘密保持については当該取り扱い規定に、知的財産と成果の取り扱いはガイドラインに定めて、アップデートした形で、すべての参画機関の共通ルールとして運用している。

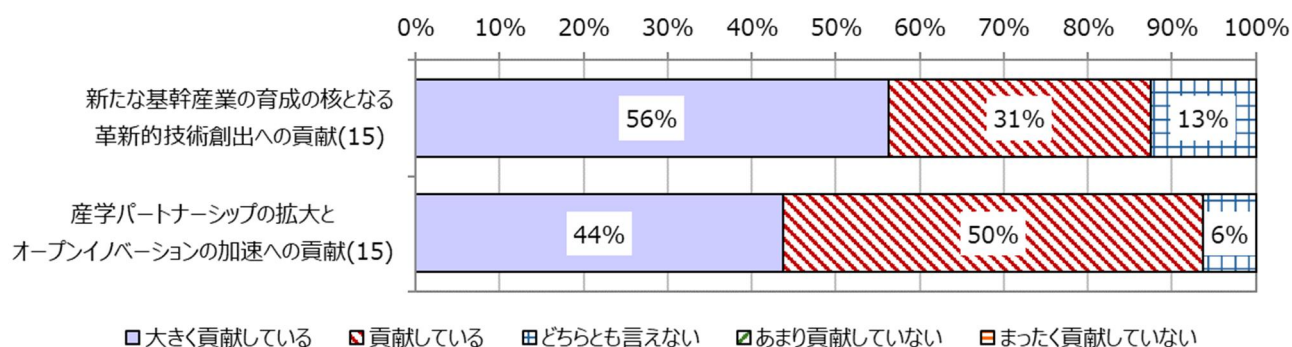
7) プロジェクトが果たした役割

アンケート調査、ヒアリング調査結果を基に、本プロジェクトが果たした役割について、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献と産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献の2つの観点からまとめる。

(1) プロジェクトの貢献度

アンケート調査にて、マネジメント層（領域統括、幹事機関等）、研究者及び企業の計15者に対し、本プロジェクトは基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したかの自己評価をたずねたところ、革新的技術創出に対して「大きく貢献している」「貢献している」との回答は8割強、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対して「大きく貢献している」「貢献している」との回答は9割強に達した。

図表 2-52 本プロジェクトによる貢献度（自己評価）



※（ ）内は回答者数

(2) プロジェクトの貢献内容

さらに、ヒアリング調査にて、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対する本プロジェクトの貢献状況について聞いたところ、下記の意見が得られた。

図表 2-53 本プロジェクトによる貢献内容

項目	主な意見
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献	○ 国産ゲノム編集技術の産業化に向けた拠点形成と共創の機運が高まった。【マネジメント層】 ○ 我が国バイオ産業の基幹技術となる、様々なタイプの国産ゲノム編集技術（Platinum TALEN、CRISPR-Cas3、TiD、PPR）の創出及び産業利用が加速した点において、革新的技術創出への貢献度が高い。【マネジメント層】 ○ ゲノム編有技術の産業応用ポテンシャルに大きな可能性を拓くと同

	時に、遺伝子組換えにあたらぬ社会受容性の高い改変技術を確立した。【研究者】 ○ 微細藻類の活用、排出される温室効果ガスのリサイクルにより、海洋国家である日本がカーボンリサイクル産業をリードすることも可能になる。【研究者】 ○ アレルギーという社会課題に対し、低アレルギー鶏卵により可能性を提示できた。他の食物への応用も含め、バイオエコノミー社会実現に向けたきっかけになる。【企業】
産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献	○ 単なる共同研究だけでなく、複数の共同研究の連携がこのコンソーシアムで実現してきた。【マネジメント層】 ○ 従前の共同研究とは枠組みが異なるパートナーシップにより産学共創を推進した点大きい。基礎研究に陥りがちな大学側を、実質的・現実的な企業側の視点から検証がなされながら研究開発が推進されたこと、また、JST からの資金面でのサポートにより、企業が研究開発に積極参加しやすい環境づくり等が功を奏した。【研究者】 ○ バイオメタネーション研究開発において、共同研究による囲い込みではなく、複数企業と広島大学の制度である学術指導契約（公開情報に基づく指導および議論を行うことで産学パートナーシップの拡大を狙うもの）を締結している。本制度から、オープンイノベーションを加速する共同研究へとつなげる。【研究者】 ○ エコシステムにつながるネットワークの拡大に役立った。【研究者】 ○ 産学連携が強化され、基礎研究から実証ステージに移行が加速した。【企業】 ○ 特許の共同出願によって産学パートナーシップの拡大に貢献した。OPERA では特許出願を推奨しており、特許出願のドライビングフォースの一つとなった。【企業】

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

（３）創出された「新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術」の内容

本プロジェクトにより創出された、革新的技術の内容については、下記の意見が得られた。

図表 2-54 本プロジェクトにより創出された、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の内容

研究開発テーマ	主な意見
1 微生物でのゲノム編集技術開発	○ 微細藻類に外来 DNA を組み込まないゲノム編集技術を開発することで、社会受容性の高い遺伝子組換えに拠らない微細藻類の機能改変を可能にした。【研究者】 ○ 油脂生産微生物オーランチオキトリウム属で初となるゲノム編集技術

	を確立する研究の過程で、CO₂を資源化するバイオプロセスを発案し、火力発電で排出されるCO₂を資源化する革新的技術の一つとして、カーボンリサイクル研究拠点（広島県大崎上島）にて実証研究を実施中。 【研究者】
2 動物でのゲノム編集技術開発	○ 家禽を用いたゲノム編集技術の開発を通して、低アレルギー鶏卵を作出し、社会実装に近づいている。また、鶏卵のバイオリアクター化や雌雄の産み分け技術など養鶏業界から医薬品製造まで幅広い分野で注目されている。【研究者】 ○ ゲノム編集技術を用いた医科学に貢献できるヒト化モデル動物の開発 ○ 実験用ブタ作出のため、豚体格の小型化を目指しゲノム編集によるGHR（成長ホルモンレセプター）ノックアウト豚の作出を行い、成体重10kg程度の小型化を達成し、その系統化を継続している。【研究者】
5 国産ゲノム編集ツールの開発	○ 我が国バイオ産業の基幹技術となる、様々なタイプの国産ゲノム編集技術（Platinum TALEN、CRISPR-Cas3、TiD、PPR）の創出および産業利用が加速した。【マネジメント層】 ○ 新規ゲノム編集技術および周辺技術を利用した新たな応用研究など、社会実装のための基盤技術開発に繋がった。【研究者】

（４）国内外の他拠点などに対する比較優位性

本コンソーシアム・研究開発拠点がベンチマークする国内外の他拠点と、それに対する比較優位性については、下記の意見が得られた。

図表 2-55 ベンチマークする拠点と比較優位性

項目	主な意見
ベンチマーク拠点	○ CRISPR/CAS9の特許を有する海外研究機関をベンチマークしている。 ○ CRISPR/CAS9は、知財係争が激化しており、産業利用へのハードルは依然として高い（莫大な特許料、知財関連リスク）。
比較優位性	○ ゲノム編集の社会受容を進める製品ができたことで、国内外の拠点に比較して優位な立場にあると考えている。 ○ 具体的な製品・サービス開発における比較優位性として、世界初の「アレルギー低減鶏卵」を創出した点は、非常に大きい。 ○ 事業化に向けた資金獲得と事業会社との連携も順調に進んでいる。

8) 資料

アンケート調査への回答内容から、本プログラム終了後の主要な論文、特許、取得した官民の事業資金について掲載する。

①論文

論文名	著者名	掲載誌	年月
Engineering of Zinc Finger Nucleases Through Structural Modeling Improves Genome Editing Efficiency in Cells	Katayama S, Watanabe M, Kato Y, Nomura W, Yamamoto T	Adv Sci (Weinh)	2024.4
Genome editing and bioinformatics	Kazuki Nakamae, Hidemasa Bono	Gene and Genome Editing	2024.4
Age-related ciliopathy: Obesogenic shortening of melanocortin-4 receptor-bearing neuronal primary cilia.	Oya M, Miyasaka Y, Nakamura Y, Tanaka M, Suganami T, Mashimo T, Nakamura K.	Cell Metab.	2024.3
Evaluation of expression systems for recombinant protein production in chicken egg bioreactors	Kajihara, Ryota; Ezaki, Ryo; Watanabe, Tenkai; Ichikawa, Kennosuke; Matsuzaki, Mei; Horiuchi, Hiroyuki	Biotechnology Journal	2024.1
Translational enhancement of target endogenous mRNA in mammalian cells using programmable RNA - binding pentatricopeptide repeat proteins	Ning Ping, Sayuri Hara - Kuge, Yusuke Yagi, Tomohiko Kazama & Takahiro Nakamura	Scientific Reports	2024.1
Lipofection with Lipofectamine™ 2000 in a heparin-free growth medium results in high transfection efficiency in chicken primordial germ cells	Tenkai Watanabe, Yuta Ochi, Ryota Kajihara, Kennosuke Ichikawa, Ryo Ezakki, Mei Matsuzaki, Hiroyuki Horiuchi	Biotechnology Journal	2023.8
Genome editing for biodiesel production in oleaginous microalga, Nannochloropsis species	T Kurita, M Iwai, H Ohta, T Sakuma, T Yamamoto	Gene and Genome Editing	2023.8
Imbalance of glutamatergic and GABAergic neurotransmission in audiogenic seizure-susceptible Leucine-rich glioma-inactivated 1 (Lgi1)-mutant rats.	Kinboshi M, Shimizu S, Tokudome K, Mashimo T, Serikawa T, Ito H, Takahashi R, Ikeda A, Ohno Y.	Heliyon	2023.7
Transcription activator-like effector nuclease-mediated deletion safely eliminates the major egg allergen ovomucoid in chickens.	Ezaki R, Sakuma T, Kodama D, Sasahara R, Shiraogawa T, Ichikawa K, Matsuzaki M, Handa A, Yamamoto T, Horiuchi H.	Food Chem Toxicol.	2023.3
Highly selective transgene expression through the flip-excision switch system by using a unilateral spacer sequence	Matsushita N, Kato S, Nishizawa K, Sugawara M, Takeuchi K, Miyasaka Y, Mashimo T, Kobayashi K.	Cell Rep Methods.	2023.1
Pigs with an INS point mutation derived from zygotes electroporated with CRISPR/Cas9 and ssODN.	Tanihara, F., Hirata, M., Namula, Z., Do, T.K.L., Yoshimura, N., Lin, Q., Takebayashi, K., Sakuma, T., Yamamoto, T. and Otoi T*.	Front. Cell Dev. Biol.	2023.1
Thioredoxin deficiency increases oxidative stress and causes bilateral symmetrical degeneration in rat midbrain.	Ohmori I, Ouchida M, Imai H, Ishida S, Toyokuni S, Mashimo T.	Neurobiol Dis.	2022.12
Catecholaminergic cell type-specific expression of Cre recombinase in knock-in transgenic rats generated by the Combi-CRISPR technology.	Matsushita N, Nishizawa K, Kato S, Iguchi Y, Fukabori R, Takeuchi K, Miyasaka Y, Mashimo T, Kobayashi K.	J Neurosci Methods.	2022.11
Construction of a Versatile, Programmable RNA-Binding Protein Using Designer PPR Proteins and Its Application for Splicing Control in Mammalian Cells,	Yusuke Yagi, Takamasa Teramoto, Shuji Kaieda, Takayoshi Imai, Tadamasaki Sasaki, Maiko Yagi, Nana Maekawa, Takahiro Nakamura	Cells	2022.11

Targeted Knock-in of a Fluorescent Protein Gene into the Chicken Vasa Homologue Locus of Chicken Primordial Germ Cells using CRIS-PITCh Method	Ryo Ezaki, Kennosuke Ichikawa, Mei Matsuzaki, Hiroyuki Horiuchi	The Journal of Poultry Science	2022.4
Genome editing with removable TALEN vectors harboring a yeast centromere and autonomous replication sequence in oleaginous microalga	Kurita T, Iwai M, Moroi K, Okazaki K, Nomura S, Saito F, Maeda S, Takami A, Sakamoto A, Ohta H, Sakuma T, Yamamoto T.	Sci Rep.	2022.2
Generation of mutant pigs by lipofection-mediated genome editing in embryos.	Hirata, M., Wittayarat, M., Namula, Z., Le, A.Q., Lin, Q., Takebayashi, K., Thongkittidilok, C., Mito, T., Tomonari, S., Tanihara, F. and Otoi, T.	Sci. Rep.	2021.12
Recycling of the major thylakoid lipid MGDG and its role in lipid homeostasis in Chlamydomonas reinhardtii	Masako Iwai, Yui Yamada-Oshima, Kota Asami, Takashi Kanamori, Hideya Yuasa, Mie Shimojima, Hiroyuki Ohta	Plant Physiology	2021.11
Improvement of fatty acid productivity of thraustochytrid, Aurantiochytrium sp. by genome editing	Kenshi Watanabe, Charose Marie Ting Perez, Tomoki Kitahori, Kosuke Hata, Masato Aoi, Hirokazu Takahashi, Tetsushi Sakuma, Yoshiko Okamura, Yutaka Nakashimada, Takashi Yamamoto, Keisuke Matsuyama, Shinzo Mayuzumi, Tsunehiro Aki	J. Biosci. Bioeng.	2021.4
One-step generation of multiple gene-edited pigs by electroporation of the CRISPR/Cas9 system into zygotes to reduce xenoantigen biosynthesis.	Tanihara, F., Hirata, M., Nguyen, T.N., Sawamoto, O., Kikuchi, T. and Otoi T.*	Int. J. Mol. Sci.	2021.2

②特許

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日
オボムコイドを含まない殻付き鶏卵の選別方法	山本広史、澤田真実、児玉大介、堀内浩幸、江崎僚	広島大学、キュービー(株)	特願 2023-187783	2023.11.1 (登録済)
微細藻類においてゲノム編集を実施する方法	藤江誠、川崎健、中島田豊	磐田化学工業(株)、広島大学	特願 2021-132753 (優先権出願 特願 2020-143625 分)	2021.8.17

③官民の事業資金

機関名	事業・制度名	課題名	年度	基となった研究開発テーマ
科学技術振興機構 (JST)	共創の場形成支援プログラム	Bio-Digital Transformation (バイオ DX) 産学共創拠点	R3~12	
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	グリーンイノベーション基金事業/バイオものづくり技術によるCO ₂ を直接原料としたカーボンリサイクルの推進	光合成によるCO ₂ 直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築 (ちとせ研究所)	R5~R12	微生物でのゲノム編集技術開発
日本医療研究開発機構 (AMED)	再生医療・遺伝子治療の産業化に向けた基盤技術開発事業	商用提供が可能な遺伝子改変細胞の国内製造技術基盤の確立に向けた研究開発	R6~R12	培養細胞でのゲノム編集技術開発
農林水産省	中小企業イノベーション創出推進基金事業 (フェーズ3 基金事業)	食のバリアフリーを実現するアレルギー低減卵の社会実装 (プラチナバイオ)	R5~R9	動物でのゲノム編集技術開発

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発	Gas-to-Lipids バイオプロセスの開発	R2~R6	微生物でのゲノム編集技術開発
日本学術振興会	科学研究費助成事業	新規 Gas-to-Lipids バイオプロセスの構築と至適化	R2~R4	微生物でのゲノム編集技術開発
日本学術振興会	科学研究費助成事業	Gas-to-Lipids バイオプロセスによる持続的カーボンリサイクリング	R5~R7	微生物でのゲノム編集技術開発
環境省	環境研究総合推進費	畜産廃棄物由来アンモニアによる大幅な発電効率向上を基盤とする地域循環畜産システム	R2~R4	微生物でのゲノム編集技術開発
日本学術振興会	科学研究費助成事業(基盤研究(C))	ゲノム編集を利用した微細藻類ナノクロロプシスの代謝機能の超効率化	R3~R6	微生物でのゲノム編集技術開発
広島県	広島県カーボンリサイクル関連技術研究開発支援事業補助金	微細藻類ナノクロロプシスをを用いたカーボンリサイクルによる脂質生産技術の構築	R6	微生物でのゲノム編集技術開発
日本医療研究開発機構 (AMED)	免疫アレルギー疾患実用化研究事業	重症鶏卵アレルギー患者におけるアレルギー低減卵の臨床的安全性の検証	R5~R7	動物でのゲノム編集技術開発
日本医療研究開発機構 (AMED)	ワクチン開発のための世界トップレベル研究開発拠点の形成事業	感染症研究に有用な小型実験動物の開発と供給に関するサポート機関	R4~R9	動物でのゲノム編集技術開発
日本学術振興会	学術変革領域研究(学術研究支援基盤形成)	先端モデル動物支援プラットフォーム	R4~R9	動物でのゲノム編集技術開発
株式会社久留米リサーチ・パーク	スマートセルプラットフォーム事業	ゲノム編集産業化プラットフォーム構築に関する業務委託	R4~R7	国産ゲノム編集ツールの開発
日本学術振興会	基盤研究(B) 一般	簡易なゲノム編集操作によるウイルス感染抵抗性動物の作出	R4~R6	動物でのゲノム編集技術開発
日本学術振興会	挑戦的研究 (萌芽)	腎臓特異的に自然発症する腫瘍モデル動物作製法の開発	R4~R6	動物でのゲノム編集技術開発
日本学術振興会	国際共同研究(B)	ゲノム編集技術の概念を応用したアフリカ豚熱ウイルス抵抗ブタの創出	R3~R7	動物でのゲノム編集技術開発
科学技術振興機構 (JST)	JST 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 産学共同 (育成型)	資源作物のゲノム編集育種技術の開発	R4~R6	植物でのゲノム編集技術開発
科学技術振興機構 (JST)	GTeX	先端的植物バイオものづくり基盤の構築	R6~R10	植物でのゲノム編集技術開発
科学技術振興機構 (JST)	START (GTIE; Greater Tokyo Innovation Ecosystem)	新規ゲノム編集技術による医療への応用と事業化	R6	国産ゲノム編集ツールの開発

2-5. 大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出(幹事機関:東京工業大学)

1) 共創コンソーシアム(社会活動継続技術共創コンソーシアム)の概要

〔実施体制〕

幹事機関：東京工業大学（2024年10月に「東京科学大学」に改称。以下では、現存組織の名称を記載する場合等を除き、原則としてプロジェクト実施時の名称である「東京工業大学」又は「東工大」と記す。）

領域統括：吉敷 祥一（所属部署：多元レジリエンス研究センター長／役職：教授）

研究機関：東京工業大学、東京大学、東北大学、神戸大学、芝浦工業大学（計5機関）

民間企業：九州第一工業㈱、KYB㈱、㈱建研、清水建設㈱、昭和電線ケーブルシステム㈱、新日鉄住金エンジニアリング㈱、㈱竹中工務店、帝人フロンティア㈱、日本鉄鋼連盟、㈱人間環境デザイン研究所、フクビ化学工業㈱、㈱ブリヂストン、オイレス工業㈱、三井住友建設㈱、㈱大林組、㈱熊谷組、鋼管杭・鋼矢板技術協会、大成建設㈱、㈱長谷工コーポレーション、飛島建設㈱、ニューテック研究会、JFE シビル㈱、㈱アイ・テック、㈱フジタ、マックス㈱、セコム㈱、戸田建設㈱、西松建設㈱、東北電力㈱、㈱日建設計、中日本高速道路㈱、㈱桐井製作所、日本パワーファスニング㈱、前田建設工業㈱、中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京㈱、高周波熱錬㈱、耐震杭協会、白山工業㈱、ベカルトジャパン㈱、コンクリートパイル・ポール協会、東急建設㈱(社団法人を含む)

〔共創コンソーシアム概要〕

社会・経済機能の中核機能が集約される大規模都市建築を対象に、極大地震をはじめとする自然災害に対しても機能維持を実現し、安心して社会活動が維持できるための研究開発を行ってきた。具体的には、建物の構造安全性能を大幅に向上する技術、大型部材や免震・制振部材の安全性を実証する技術、設備機器類等の損傷を制御して早期復旧を実現する技術、災害時だけでなく日常から活用できるモニタリングシステム技術、情報を安心に繋げる技術の実現を目指した。研究開発の対象として、建物（構造物）から、建物内の人の心理・生理反応までを幅広く扱う必要があり、建築分野、電気電子分野といった工学の諸分野から心理学まで、様々な専門家や企業が、問題意識・情報等を共有して研究開発を実施。



資料：OPERA パンフレット

〔研究テーマ〕

課題	サブ課題	内 容	担当機関
1	極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション		
	1-1	ダンパーの最適化手法の開発	東京工業大学、JFE シビル(株)
	1-2	ダンパーの最適化手法を既存建物へと発展させた設計手法の開発	東京工業大学、JFE シビル(株)
	1-3	RC 造建築物の構造躯体と非構造部材の損傷を迅速に計測する技術開発	東北大学、東京工業大学、東京大学、(株)大林組、(株)長谷工コーポレーション、その他コンソーシアム参画企業
	1-4	高層 RC 造集合住宅の継続使用性、修復可能性、終局安全性を判定する手法開発	東北大学、東京工業大学、東京大学、(株)大林組、その他企業
	1-5	コンクリート杭の終局時における耐力、変形性能を予測する手法の開発	東京工業大学、(一社)コンクリートパイロ・ポール協会
	1-6	コンクリート杭に対する性能評価設計法に必要な損傷評価設計法と予測モデルの開発	東京工業大学、(一社)コンクリートパイロ・ポール協会
	1-7	高強度鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 柱の実用化研究	芝浦工業大学、ベカルトジャパン(株)、長谷工コーポレーション
	1-8	非接触計測システムによる RC 部材の損傷度評価手法の確立	芝浦工業大学、(一社)ニューテック研究会
2	先端耐震部材の実大性能検証実験法		
	2-1	構造部材破壊現象検討研究における免震支承の実大・縮小実験の実施	東京工業大学、KYB(株)、昭和電線ケーブルシステム(株)、(一社)日本鉄鋼連盟、オイレス工業(株)、ブリヂストン(株)
	2-2	実験装置の油圧関連部品の設計検証と設計の最適化	東京工業大学、KYB(株)、昭和電線ケーブルシステム(株)、(一社)日本鉄鋼連盟、オイレス工業(株)、ブリヂストン(株)
	2-3	鉄筋コンクリート、鉄骨接合部、免震・制振装置に関する実験方法、評価法についての標準化枠組みの策定	東京工業大学、KYB(株)、昭和電線ケーブルシステム(株)、(一社)日本鉄鋼連盟、オイレス工業(株)、ブリヂストン(株)
3	設備・非構造部材の損傷抑制・早期復旧		
	3-1	[吊り天井の耐震性] 3-1a: 中国同済大学の施設を活用した、世界最大級の試験体振動台実験 3-1b: 吊り天井メーカーによる製品の力学的特性のバラツキ評価と耐震設計のための標準試験方法の提案 3-1c: 吊り天井の地震時における損傷抑制を可能とする「耐震設計法」の提案	東京工業大学、清水建設、マックス(株)、日本パワーファスニング(株)、(株)桐井製作所
	3-2	[LGS 間仕切壁の耐震性] 3-2a: LGS 間仕切壁の力学性能 (剛性・耐力) の評価法の構築。 3-2b: LGS 間仕切壁を組み込んだ鉄筋コンクリート造試験体の載荷実験の実施 3-2c: LSG 間仕切壁の地震時における損傷抑制を可能とする「耐震設計指針」の策定	東京工業大学、マックス(株)、日本パワーファスニング(株)、(株)桐井製作所

課題	サブ課題	内 容	担当機関
	3-3	[非構造部材の経常的点検技術の構築] 3-3a: 非構造部材の経年劣化を特定できる物性の抽出 3-3b: 非接触モニタリングシステム構築に向けた音波による加振方法の適応性の確認 3-3c: 実効性のある非接触型モニタリングシステムの構築（研究開発課題4と連動）	東京工業大学、(株)桐井製作所、中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株)
4	日常から非日常までの安全・機能モニタリング		
	4-1	無線センサ、光ファイバセンサによるデータ取得実験、ドローン等を用いた非常時の通信経路確立法の検討	東京工業大学、セコム(株)
	4-2	人の移動センサの情報活用に関する音響式を含めたシステムとしての実証実験実施	東京工業大学、東京大学、セコム(株)、白山工業(株)
5	安全・情報を安心につなげる手法の確立		
	5-1	モニタリングおよび情報提供システムのプロトタイプの実建物への実装と、データ蓄積、分析および提供までの動作検証の実施	東京大学、東京工業大学、(株)アイ・テック、大成建設(株)
	5-2	プロトタイプシステム実装結果の評価と、さらに高層建築物へと展開する際の課題整理と実装計画の策定	東京大学、東京工業大学、(株)アイ・テック、戸田建設(株)、東急建設(株)

2) プログラム期間中における成果

終了報告書及び事後評価結果等に基づき、プログラム期間中（プログラム終了時点）における、産学連携システム改革に関する取組の成果と、主要な研究開発成果を整理する。

(1) 産学連携システム改革に関する取組(共創コンソーシアム)

図表 2-5 6 産学連携システム改革に関する取組

取組	成果内容
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 経費の見える化：従前は一律直接経費の30%を間接経費とすることとしていたが、新方式では間接経費の使途ごとに、一定の算式により計上する積み上げ方式を採用することもできるようにした。 ● 戦略的産学連携経費の計上：研究者の人件費相当額、学内スペースの使用料、共同研究に関与する URA・コーディネーターの人件費、共同研究に関わる事務の人件費、知的財産権の管理にかかる経費等の産学連携活動に必要な経費等を計上できるようにした。
知的財産の取扱いの方針	● 知財管理委員会（3 大学知財部長及び領域統括、事務局で構成）にて「社会活動継続技術共創コンソーシアム知的財産権取扱規程」の原案を策定した上で参画企業に照会し、コンソーシアム総会で承認された。 ● 併せて、「社会活動継続技術共創コンソーシアム知財管理委員会運営規則」も制定した。

取組	成果内容
人材育成	● 優秀な博士課程の学生を積極的に RA として雇用し、インセンティブとして、参画する大学共通で、特に優秀な学生については年間 300 万円程度、優秀な学生については年間 200 万円程度の報酬となるようにした。 ● 参画大学共通で、若手研究者に積極的に研究成果を海外に発信することを推奨。国際会議への論文投稿及び発表について、内容を審査した上で、参加費及び旅費を支給。
機関連携・協力体制についての方針	● 横断的な運営により、接点のなかった研究者・企業の交流の促進、新たな共同研究の創出といった成果が出てくるようになった。 ● 一方で、組織が大きくなってきたことで個々の構成員が全体を見渡すことが難しくなってきた面もあるため、課題間を横断した勉強会等を行い、様々な切り口、規模でコンソーシアムの活動を共有した。
参画機関の管理方針	● ホームページ等で、コンソーシアムにおける活動を公開・発信していくとともに、参加する個々の研究者と企業等との繋がりを活かし、新規参画機関の勧誘活動を行った。 ● コンソーシアム全体では、課題ごと、機関ごとといった縦割りの運営を避け、横に繋げた風通しの良い体制を構築することで、参画機関間、研究者間の接点を設ける機会を多くした。

資料：「令和 3 年度実施計画書」等に基づき作成

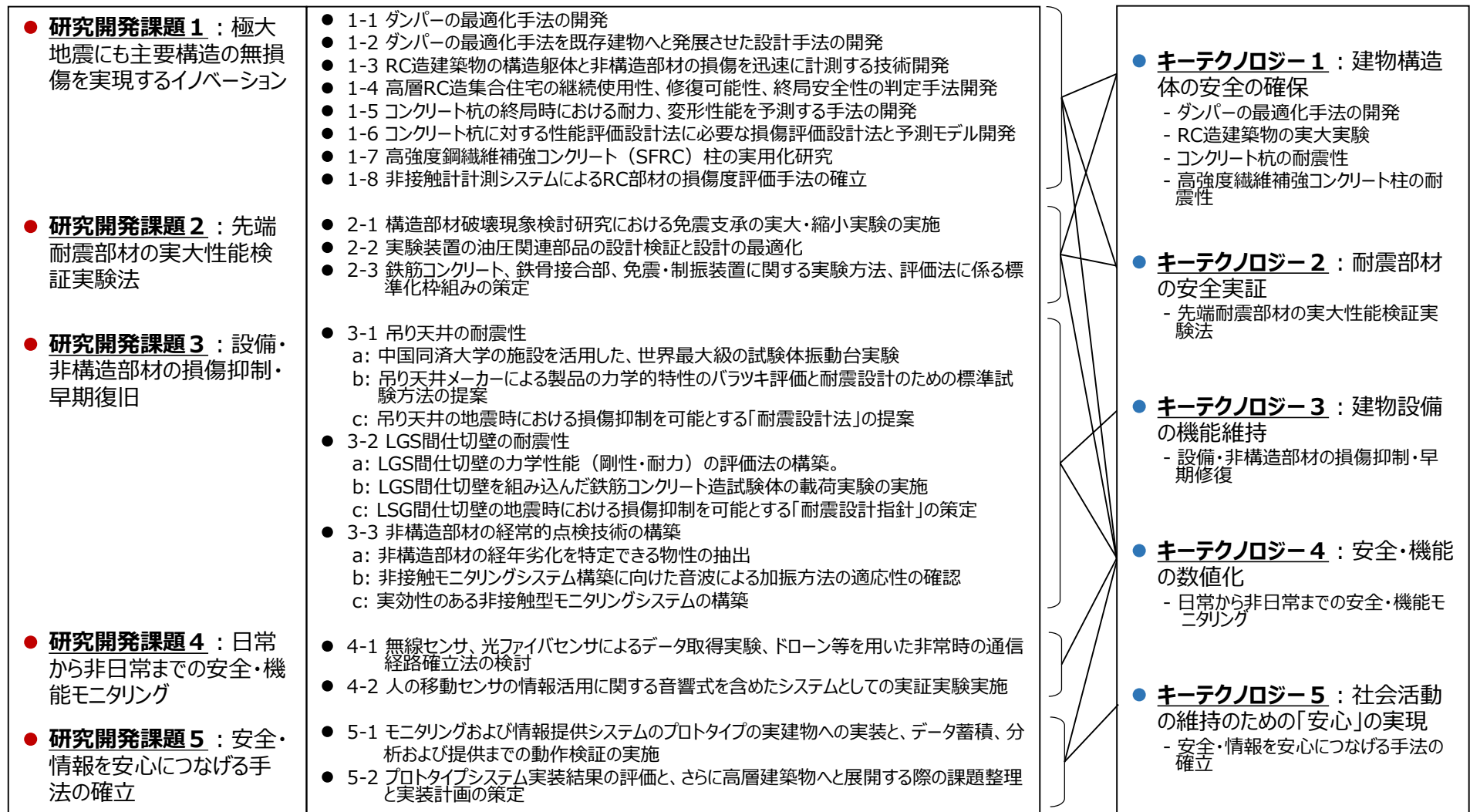
(2) 主要な研究開発成果

本プロジェクトにおける研究開発のスコープは幅広く多岐にわたるため、その全体像の図を次ページに示す。

「令和 3 年度実施計画書」や関係者コメントによると、当初、5 つの研究課題と 5 つのキーテクノロジーは 1 対 1 の関係として整理されていたが、プロジェクトを進める中で、当初計画ではキーテクノロジー 4「安全・機能の数値化」と対応していた研究開発課題 4「日常から非日常までの安全・機能モニタリング」は計測技術という各研究開発課題共通の基盤技術でもあることから、他課題との連携による研究開発の推進が占める割合が多くなった。

また、課題 4 は、課題 1 における構造体内の損傷の検知や課題 3 における非構造部材の劣化診断、課題 5 における様々な計測等、新しい計測を試みる中での貢献が大きいことから、コンソーシアムの活動全体を支える課題として位置づけられた。併せて、課題 1、2 についてもキーテクノロジー 1、2 の双方への関わりが強いことから、構成を見直した。

図表 2-57 プロジェクトの全体像



資料：「令和3年度実施計画書」及び「終了報告書」に基づき作成

図表 2-58 主要な研究開発成果

キーテクノロジー	成果内容
建築構造体の安全の確保（対応テーマ・課題：ダンパーの最適化手法の開発）	（ダンパーの最適化手法の開発） ● 制振構造はダンパーの種類・基数・設置位置・設置方法によって制振性能が大きく変化するため、それらの影響を考慮して制振性能を可視化できる評価手法を構築した。しかしコストについてはまだ課題が残っている。 （ダンパーの最適化手法を既存建物へと発展させた設計手法の開発） ● 目標変形に建物応答を抑えるダンパーの基数・配置の決定方法（以下、設計法）を構築することができた。この手法は既存建物制振改修のように設置位置が限定されている場合においても適用できるように拡張された。また想定外の地震に対しては、硬化型の復元力を持つブレースによる変形制御方法についても設計法を確立した。
建築構造体の安全の確保（対応テーマ・課題：RC 造建築物の実大実験）	（極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション（研究計画立案と準備）） ● 大都市を構成する建築物について、耐震安全性を確保する主要構造部材、及び、継続使用性や修復性に影響する非構造部材について、損傷の種類・調査判定法に関する重要な項目を抽出・整理し、それらを検証して性能評価法を開発するための実験計画を立案した。 （RC 造建築物の構造物の構造躯体と非構造部材の損傷を迅速に測る技術開発） ● RC 造集合住宅の一部を取り出した非構造部材を有する実大架構の静的載荷実験を実施した。荷重-変形関係と、RC 構造躯体、及び、非構造部材（タイル仕上げ、間仕切壁、鋼製ドア）の損傷の進展に関するデータを取得し、それらの相関関係や加速度計等のセンサによる情報から損傷を推定できる可能性が示された。 （高層 RC 造集合住宅の継続使用性、修復可能性、終局安全性を判定する手法開発） ● 実大架構実験結果に基づいて、継続使用性について、間仕切壁や鋼製ドアの損傷や開閉状況から判定する手法を、終局安全性については、タイル仕上げと RC 構造躯体の損傷から推定する手法を開発した。
建築構造体の安全の確保（対応テーマ・課題：RC 造建築物の実大実験）	（コンクリート杭の終局時における耐力・変形性能を予測する手法の開発） ● SC 杭の曲げ終局時における破壊性状を実験結果の検討から明らかにし、終局時挙動を再現可能な非線形バネモデルを開発した。 （コンクリート杭に対する性能評価設計法に必要な損傷評価設計法と予測モデルの開発） ● SC 杭及び PRC 杭の曲げ挙動を予測するために必要な骨格曲線が再現でき、かつ変形に応じたひび割れ等の損傷度を精確に予測できる高性能数値解析モデルを開発した。
建築構造体の安全の確保（対応テーマ・課題：高強度繊維補強コンクリート（SFRC）柱の耐震性）	（SFRC 柱の実用化研究） ● 高強度 SFRC 柱部材に関する曲げせん断実験を実施した。実験結果から鋼繊維の効果に加え、補強筋比とせん断強度の関係を明らかにした。 （非接触計測システムによる RC 部材の損傷度評価手法の確立） ● 高強度繊維補強コンクリートの損傷度の可視化や、鋼材引張試験による非接触計測とひずみゲージによる計測精度の検証を行った。
耐震部材の安全実証（対応テーマ・課題：先端耐震部材）	（日本学術会議マスタープラン及び文科省ロードマップへの挑戦） ● 3 方向大型動的加力装置の提案は、2020 年度マスタープランに重点大型研究計画として継続採用されたが、ロードマップ（予算化）には選外であった。また、2021

キーテクノロジー	成果内容
の実大性能検証実験法)	年度末に再申請したが、不採択であった。 (免震支承の実大・縮小実験の実施) ● 台湾の大型装置 BATS を用いて 3 体の実大試験体の実験を 2 期に分けて繰り返し行った。本実験により装置摩擦力を測定でき、試験体反力を正確に計測できる治具の設計をほぼ終了した。 (鉄筋コンクリート、鉄鋼接合部、免震・制振装置に関する実験方法、評価法の標準化の枠組みを策定) ● 免震部材の実験法として、加力装置摩擦力の影響を除く正確な装置反力測定という世界共通の課題の解決を、台湾国立地震工学研究所の装置を用いて示した。制振装置（特にオイルダンパー）の実験法として、加振の速度でなく振動数・振幅に基づく実験の合理性を示した。
建物の機能維持 (対応テーマ・課題:設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復)	(吊り天井の耐震性向上) ● 国際標準に相当する仕様の吊り天井の耐震設計法に資する情報を概ね取り揃えた。また、安全性を保障するための実験方法の構築及び健全性をモニタリングする際の指標とその閾値及び検査方法を提示した。 (LGS 間仕切り壁の耐震性向上) ● LGS 間仕切り壁の耐震安全性を担保するための標準仕様を定めるための実験的・解析的検討を実施し、耐震設計法の素案を取りまとめた。 (非構造部材の経常的点検技術の構築) ● 非構造要素に生じる経年劣化を点検するための技術を提示するとともに有効性を実証するための室内実験及び実地試験を実施した。
安全・機能の数値化(対応テーマ・課題:日常から非日常までの安全・機能モニタリング)	(設備機器や非構造部材の無線センサや光ファイバによるセンシング及び人の移動を検出するセンサの性能試験) ● 成果の概要: 光ファイバセンサの測定速度を 10 倍程度向上する方式の実現、構成の簡易化を行った。プラスチック光ファイバを用いてひずみの測定範囲を拡大した。また、個室内の人の有無等を、カメラを使わずに推定する方法を考案した。 (無線センサ、光ファイバセンサによるデータ取得実験、及びドローン等を用いた非常時の通信経路の検討) ● 成果の概要: 光ファイバにより歪み分布を実際に測定できることを示した。 MEMS 加速度センサの感度向上と無線化を実現した。 (人の移動センサの情報の活用について、音響を含めたシステムとしての実証実験) ● 個室内での人の有無、姿勢（立位・仰臥位）をスピーカとマイクロホンだけで推定できる手法を考案した。
社会活動の維持のための「安心」の実現(対応テーマ・課題:安全・情報を安心につなげる手法の確立)	(建物全体のモニタリングデータから「安全」や「機能維持を「安心」として伝える手法の検討) ● 赤外線人感センサ、加速度センサ、及びひずみセンサによる建物モニタリングシステム構築の計画を定めた。 (モニタリング及び情報提供システムのプロトタイプを実建物に実装し、分析提供するまでの動作検証) ● 学内の低層建物に実装し、利用者に直接情報を分析提供するまでのシステムを構築した。 (プロトタイプシステム実装結果の評価と高層建築物への展開)

キーテクノロジー	成果内容
	● 低層建物に実装したシステムを高層建物へ実装する計画を立案した。さらに、建物の一部を利用して実装、検証することを目指したが、時間上の制約により、実現には至らなかった。

資料：「終了報告書」等に基づき作成

3) プログラム終了後の構想・計画

各プロジェクトが終了報告書に記載した今後の構想・計画等について整理する。

(1) 今後のコンソーシアム活動の展望

実寸大構造物の性能検証用のため、実大規模加力実験装置の実現が期待される。当初の3大学14企業から5大学40社まで連携拡大してきた本コンソーシアムは、2019年10月に立ち上げた大型加力施設コンソーシアムと一体となるとともに、一般財団法人免震研究推進機構と協力し、2022年度中に建造・稼働予定である実大規模加力実験装置の仕様拡張について具体的な方法を検討するに至った。

大規模都市建物のモニタリングシステムは、2032年オープン予定の東京工業大学の田町複合施設の超高層建物（地上36階地下2階、高さ178m）への実装を目標として検討が進められている。従来の構造部材の観測に留まらず、非構造部材の実地震動下における建物内での挙動を観測し、また、建物内の人の動き、分布、及びその情報伝達方法を検証する場となり、知の発信を司る大学が先頭に立って観測の場を提供し、また、観測データを広く公開することで耐震技術の発展に寄与することが期待される。

(2) 技術・システム革新シナリオ

① 目標等

【目標】

建物内に小規模な都市に相当する多くの人口を抱え、経済活動・行政機能をはじめとする社会活動の中核を担うとともに生活基盤ともなっている、超高層建物に代表される大規模都市建築を対象に、地震に代表される様々な自然災害に対するレジリエンスを高め、災害直後も機能を維持することで社会活動を停止させることを防ぐ技術の創出と社会実装を進めること。

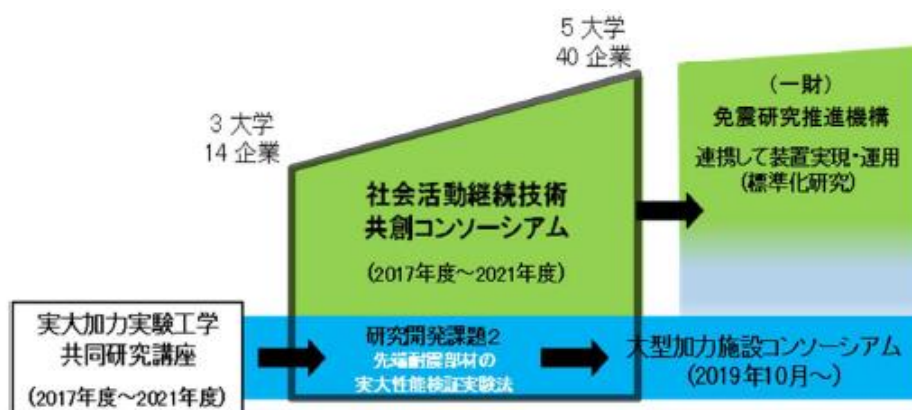
【「大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出」の意義】

大規模都市建築における実用的な防災技術を検討する上で重要な防止行政との連携・対応については、東日本大震災（2011年）及び熊本地震（2016年）を受けて、防災拠点となるような施設における災害時の機能維持に対して、国土交通省（住宅局建築指導課）から「防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン」（新築建物を対象としたガイドライン 2018年5月、既存建物を対象とした追補版 2019年6月）が公表され、これまでの災害時に人命を守るための最低基準を規定してきた建築行政においても機能維持の目標が示されるなど、本コンソーシアムで目指す防災機能の向上に対する社会的な意識だけでなく、具体的な行動の必要性が認められるようになってきている。

②ロードマップ

各研究開発課題への対応を通じて得られた大規模都市建築物のモニタリングシステムは、最終的には、2032年にグランドオープンを予定している東京工業大学の田町複合施設への実装を目指す。その間、すずかけ台キャンパス J2/J3 棟における地震・強風観測のデータを収集して広く世界に発信するとともに、継続的な技術開発を行う。これらは、本コンソーシアムの仕組みを維持しながら実施する。

他方、実大構造物の性能検証用の実大加力実験装置の実現も目指す。OPERA 終了時点では、制振部材や免震部材に特化した仕様にて実験装置の実現が検討され、それまでの3大学14企業から5大学40企業までコンソーシアムが拡大した。同コンソーシアムは、2019年10月に立ち上げられた大型加力施設コンソーシアム（下図）と一体となるとともに、一般財団法人免震研究推進機構とも協力し、実大加力実験装置の仕様拡張について具体的な方法の検討を続けることとなっている。



出所：「終了報告書」

【備考】本追跡調査における調査対象者

本追跡調査は、社会活動継続技術共創コンソーシアムにおける主要なプロジェクト参加者（領域統括、幹事機関、主要研究者、主要企業、リサーチアシスタント等。各プロジェクトから調査対象者を推薦いただいた）を対象に実施している（アンケート調査：22者、ヒアリング調査：8者）。

そのため、次ページ以降に示す調査結果は、各プロジェクトに関する本プログラム終了後の中核的な活動状況を対象としたものであり、全プロジェクト参加者による活動全体を網羅したものではないことに留意されたい。

4) 共創コンソーシアムの発展状況

東京工業大学における主要関係者によれば、本プロジェクトは「基本的に本学と企業との共同研究は論文、学会発表など共同で実施することになっており、非競争領域の研究」であり、「これは、本領域が主に関わる建設業では、他の業種と異なり、個々の技術が集合して成り立つ事業形態に因るところが大きい」とのこと。そうしたことから、終了報告書（2022 年 3 月）には「本 OPERA プログラムにおいて、非競争領域の成果を基にベンチャー企業を設立するなどの活動は 5 年間を通じて実績はない」と記されている。

こうした経緯もあり、アンケートやヒアリングを通じて、プロジェクト終了後に個別具体的な実用化・事業化事例が生じている事実は明確には確認できなかった。

ただし、民間セクターを中心とする領域においてメリットや成果が顕在化していないわけではなく、「実大レベルでの貴重な実験データの共有や、研究開発課題をまたいだ産学交流はこれまで企業がなかなか得られなかったメリット」、「建築業界ではよくジョイントベンチャーが実施され、必然的に技術の情報・ノウハウが共有されやすい伝統がある。そこにアカデミック分野を加えた交流プラットフォームのように機能した」、「新たな情報や人脈を構築したい企業（中小も含む）にとって“緩やかな意味でのオープンイノベーション”基盤が形成された」といった声があり、上市される技術や商品・サービスすなわち商材という形とは異なる、個社内部での業務効率化やプロジェクト創生基盤となるエコシステム形成といった形で成果が上がっていると見ることができると思料される。

以上の点を踏まえて、以下 2 件の発展状況事例を記載する。

(1) MRRC(東京科学大学 総合研究院 多元レジリエンス研究センター)

①目的

- 2023 年 4 月 1 日、東京工業大学（現・東京科学大学）科学技術創成研究院の傘下に、多元レジリエンス研究センター（以下「MRRC」あるいは「同センター」と記す）が設置された。同センターは、部局間や研究分野間を横断して多種多様な専門家の研究力を結集できるフレームワークの機能を有し、時間軸と空間軸の異なる多元的な災害（社会課題）を抽出して先手を打って対策に取り組み、有事・緊急の際には柔軟かつ早急に研究チームを組織できる体制を目指している。また、地震、台風、豪雨、火山噴火といった古くから我が国が脅威に晒されてきた自然災害への対策研究を融合・強化させるとともに、多元的な社会課題への対策研究における科学技術的基盤を強固なものとするため、科学技術創成研究院・未来産業技術研究所内の都市防災研究コアと、理学院・火山流体研究センターを組織的にも融合した。

図表 2-59 多元レジリエンス研究センター（MRRC）の概要

センターについて

本研究センターは、社会課題即応研究部門、構造工学研究部門、火山・地震研究部門、防災医工連携研究部門の4部門から構成されます。

部局間や研究分野間を横断して多種多様な専門家の研究力を集結できるフレームワークの機能を有し、時間軸と空間軸の異なる多元的な災害（社会課題）を抽出して先手を打って対策に取り組み、かつ有事・緊急の際には柔軟かつ早急に研究チームを組織できる体制を目指しています。

➤ 火山・地震研究部門（VOLCANO/EARTHQUAKE）

我が国では、国策事業として火山噴火予知計画が昭和49年から実施されています。本学は本研究計画の実施機関として、草津白根火山観測所を拠点にその中核的な役割を担っており、理学研究のほか、自治体や国へ防災情報を提供する仕組みに基づき、火山災害対応へも直接的に貢献しています。当部門は、本研究計画を引き続き実施することで、火山研究、火山防災に資する人材の育成、および社会貢献を担ってゆきます。

➤ 構造工学研究部門（STRUCTURAL ENGINEERING）

構造工学部門では、社会基盤としての建築・都市に関して、地震などの自然災害に負けない居住空間の実現や、被災後の機能継続性の向上を目指した研究を実施しています。免震・制振部材／構造部材／非構造部材に関する動的・静的载荷実験、超高層建築物の地震応答観測、等により課題を分析し、対策の効果を検証しています。成果の社会実装に向けた活動も行い、レジリエントな社会基盤の実現に貢献していきます。

➤ 社会課題即応研究部門（SOCIAL ISSUES）

社会課題即応研究部門では、自然災害だけでなく、その他喫緊の課題や将来的に予想される社会的問題を抽出し、その課題解決の手段を検討します。例えば、新型コロナウイルス(COVID-19)などパンデミックへの対応や、AIと社会との共生、地球環境破壊などの長期的課題についても、学内外の専門家を集め、その英知を結集してその対応策を科学的知見から検討します。

➤ 防災医工連携研究部門（DISASTER MEDICAL ENGINEERING）

医療機関のみならず、被災地等のフィールドにおける医療行為を安全に実施するための技術開発を強力に推進するとともに、各研究部門との連携から災害の事前・事後の対策を統合した「総合防災科学」の基盤構築へと展開できる人材育成を図る。

出所：MRRC Web サイトから抜粋

②体制

図表 2-60 MRRC のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	東京科学大学（MRRC 設立時は東京工業大学）
研究機関	東京科学大学及び3機関（企業1社を含む）
マネジメント体制	東京科学大学（火山・地震研究部門、構造工学研究部門、社会課題即応研究部門、防災医工連携研究部門） センター長：東京科学大学 総合研究院・教授 吉敷祥一 事務局：3名（URA、事務補佐員2名）

資料：MRRC Web サイト等

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

区分	活動内容
部門間連携	MRRC は、社会課題即応研究部門、構造工学研究部門、火山・地震研究部門、防災医工連携研究部門の 4 部門から構成されている。常時は、この 4 部門を統括した「未来レジリエンス創造会議」において、研究担当理事、未来社会 DESIGN 研究センターや未来の人類研究センターと連携して、対策が不十分あるいは将来的に脅威となる災害（社会課題）とその対策に必要となる研究分野を抽出する。新たな課題への対策研究は、東工大が世界をリードしてきた従来の防災関連研究の科学技術的基盤を活用しつつ、学内外の叡智を結集した研究チームを組織し、新たな研究ユニットを形成し、未来の安全・安心を目指した研究領域の創出に繋げる。これにより、多面的な災害（社会課題）に対して研究者の叡智を結集する器として、科学技術創成研究院のシンクタンク機能を強化する。さらに新たな学術領域での研究活動を通じて、未来の安全・安心を担う次世代の人材育成を図る。
社会貢献	構造工学研究部門と火山・地震研究部門は、地震や火山噴火等の自然災害への対策研究を、草津町や福島県等の地域との連携によって発展させ、中長期的な防災・復興への貢献を進める。また、「未来レジリエンス創造会議」により 4 部門を統括・連携させることで、活火山や地震動観測といった自然災害科学に基づく予知と市民への周知、防災教育等の社会とのつながりを、産官学連携で進める。耐震工学に基づく研究開発、及び社会課題即応プロジェクトの喫緊な社会課題や未来の社会課題に対する研究成果の発信も積極的に行い、学術研究の成果を技術開発だけに留めず、新たなコンソーシアムを形成して自治体等を通じた社会実装への展開までを組織一体となって行い、科学技術創成研究院における社会貢献を加速させることを目指す。
会議、セミナー等	多元レジリエンス研究センターキックオフシンポジウム（2023 年 5 月 15 日）、東京科学大学の火山、耐震工学の融合を図る勉強会開催（「火山噴火と防災および観光シンポジウム」（2023 年 11 月等））、能登地震や宮崎地震の被害調査。

（2）E-Isolation（一般財団法人免震研究推進機構「免震動的性能認証制度」）

①目的

- E-Isolation（兵庫県三木市内）は、世界トップクラスの精度を有する実大免震試験機である。一般財団法人免震研究推進機構は、この E-Isolation を用いた免震装置の性能を評価・認証する「免震動的性能認証制度」を 2024 年 7 月 1 日から実施している。建物自体に地震の揺れを与える防災科学研究所の実験施設「E-ディフェンス」に隣接する形で約 60 億円を投じて整備された。

②体制

図表 2-6 1 E-Isolation のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関	一般財団法人免震研究推進機構
研究機関	政府の大型研究プロジェクトの 1 つで、東京科学大学、京都大学、同機構が共同開発
企業	2024 年 11 月 7 日現在、下図の企業が会員となっている。 

資料：E-Isolation Web サイト等

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

区分	活動内容
役割・特徴・方向性	性能認証、性能確認、E-Defense と E-Isolation による世界的な耐震研究拠点化、免震構造・制振構造・免震部材・制振部材の研究開発、試験室に近接した制御・計測室から試験体の動的挙動を目視できること。
補 注	実大免震試験機は 2022 年度 SIP の補正予算で設置された。東工大としては、この実大試験機のコセプトを検証するための予備実験を竹内研究室が行い、また試験機の稼働試験が終了するまで吉敷研究室が主体となって現地で研究を行った。本実大免震試験機の所有については、東工大が所有者になっている。試験機の運用は一般財団法人免震研究推進機構が行っている。この実大実験装置に関する研究は OPERA の課題 2 で実施しており、東工大プロジェクトは実大実験装置設置に大きな役割を果たしたと言える。

「免震動的性能認証制度」の概要

これまで免震装置の性能確認については、実際の（実大の）免震装置を用いて動的に加振する試験（実大・動的な試験）は実施されないことが通例でした。

一般財団法人免震研究推進機構が開始する「免震動的性能認証制度」は、令和4年度に戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）によって整備された世界トップクラスの精度を誇る実大免震試験機（E-Isolation）を用いて、免震装置の性能を評価するものであり、免震構造の信頼性の向上に寄与するものです。

1. 認証実施主体

一般財団法人免震研究推進機構

2. 認証の種類

「免震動的性能認証制度」には、（１）動的性能認証と（２）個別動的性能認証の２種類があります。

（１）動的性能認証

建築物に多く用いられる免震装置の動的性能を３年に一度定期的に認証するものです。

サンプル的に取出した製品を試験体として、実大免震試験機を用いて動的試験を行います。その結果を用いて、動的性能を認証することで、発注者、設計者、施工者が安心してこれらの製品を用いることができることとなる仕組みです。

（２）個別動的性能認証

個別の建築物に用いられる免震装置の動的性能をプロジェクト毎に認証するものです。

実際の建築物に使用する免震装置の性能を直接確認するために、建築物に組み込まれる製品の一部を選び、実大免震試験機に持ち込んで、動的性能の確認を行います。これにより、個別のプロジェクトにおける免震構造の信頼性をより高める仕組みです。

表. 動的性能認証と個別動的性能認証

	動的性能認証	個別動的性能認証
目的	３年に一度定期的に、一定の仕様 の免震装置について、動的性能 を評価し認証する	個別のプロジェクト毎に、建築物 に用いられる免震装置について、 動的性能を評価し認証する
対象	多く使われる製品、メーカーの 主力製品	個別プロジェクトの建築物に用い られる製品
使用する建築物	小規模・大規模建築物いずれで も用いられる	大規模建築物向け（特に建築主が 信頼性を高くしたい場合に実施さ れる）
期待される効果	認証を取得した製品について、 より信頼性が確保される	個別プロジェクトの建築物につい て、より信頼性ある免震構造とな る
試験項目	基本性能・動的性能・限界性能 を確認	基本性能・動的性能を確認 試験用に製品を用意することで限 界性能を確認することも可能
試験方法	実大・動的な試験	実大・動的な試験

資料：E-Isolation Web サイト等

5) 研究開発成果の発展状況

以下、プログラム終了後の研究開発活動状況について、5 つのキーテクノロジーに即して記載する。

(1) キーテクノロジー1 建物構造体の安全の確保

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- ダンパーを効率よく配置する方法＝ダンパー設置基数の低減＝コスト低減
- 脆性挙動の抑制方法
- 高強度 SFRC 柱の設計法整備、実用化に向けた研究リソース確保
- 鋼材引張試験を用いた非接触計測システムの精度検証

民間企業単独では得づらい貴重な実験データの蓄積・活用

実大レベルでの実験の実施と実験データの取得・蓄積は、民間企業単独では手を出しづらい。とりわけ、“構造体＋非構造物”のセットでの、様々な部材の組合せに基づく、その壊れ方に関する実験データは企業にとって非常に貴重である。

具体的には、例えば OPERA プロジェクトの研究開発課題 1 (極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション) に主に関わった(株)長谷工コーポレーションでは、非構造物 (部材) であるタイルの貼り方の違いによる地震での壊れ方の違いのデータを活用し、自社のタイル貼りの標準的方法の見直し・改善に役立てている。

(2) キーテクノロジー2 耐震部材の安全実証

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 免震支承の実大・縮小実験による寸法効果の把握
- 油圧制御の問題解決 (大型装置での制御改善と装置反映)
- 免震・制振装置の評価法の国際標準化

E-Isolationの運用開始とそれを補完する民間(鉄鋼業界)での取組実施

2024 年 7 月 1 日より運用スタート。OPERA プロジェクトの領域統括であった吉敷教授の研究室 (東京科学大学)、東京科学大学の和田章名誉教授、京都大学の高橋良和教授、東京科学大学の竹内徹教授らが中心となって実施している。

E-Isolation は免震と制振に特化したものだが、震災等では小さな部材・設備よりも大きな構造体が先に壊れる性質があることから、現在、日本鉄鋼連盟内に吉敷教授を主査として「材料靱性と部材寸法が限界部材性能に与える影響解明のための構造実験の計画と準備並びに解析的検討」を行う研究会が設置され、民間 (鉄鋼業界) ベースの検討が進められている。

(3) キーテクノロジー3 建物設備の機能維持

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 社会実装 …… 例えば、国交省による建築基準整備促進事業の事業課題の提案募集への応募、あるいは建築研究所主導の建築研究コンソーシアムへの企画立案

乾式間仕切り壁の耐震設計・施工ガイドラインの策定

OPERA プロジェクトの最終年度（2021 年度）に非構造部材モニタリングの具体的な適用として、構想建築物の中層（7 階）と最上階（20 階）の居室でシステム天井及び軽量鉄骨下地乾式間仕切り壁（LGS 壁）それぞれの加速度の常時観測を開始。実建築物での非構造部材の常時観測は、世界初の試みであった。

現在、当該観測の結果等に基づき、乾式間仕切り壁の耐震設計・施工ガイドラインの策定と特定企業におけるガイドラインに基づく独自仕様に関する研究開発を推進中である。実施体制は、OPERA と並行して進めてきた建築研究開発コンソーシアムでの活動を軸として、同コンソーシアムを介して研究体制が拡張している。

（４）キーテクノロジー４ 安全・機能の数値化

プログラム終了後の活動方針（終了報告書より抜粋・要約）

- 光ファイバセンサの実装 … 光ファイバによるひずみ分布の測定（測定速度、測定範囲、測定感度などの向上）
- 複雑な装置構成の改善 … 装置構成の最小化
- 音響特性による室内の人のセンシング

人のモニタリング、安心の定量化、非構造部材のモニタリング

建築物は自動車のように実際の事故を再現してデータを得ることは困難である。そのため、研究開発課題 4（日常から非日常までの安全・機能モニタリング）は、OPERA プロジェクト全体の基礎的な課題となった。

現在、センサ・通信技術の進化に伴い“安全・機能の数値化”の実施環境が整ってきている。特に、センサ技術の専門家に心理学の専門家らも加えた人のモニタリング、安心の定量化、非構造部材のモニタリングに関するワークショップや共同研究の機運が高まりつつあるとのコメントがあった。

また、構造部材・非構造部材等の建築部材に加えて、部屋内の音や超音波を測定する手法の開発と、それを用いた非破壊検査、人の有無、人の姿勢のセンシングなどに研究テーマが広がっている。

なお、関連した研究成果の一例として、永岑光恵他「地震の揺れと継続時間予測情報が視線行動に及ぼす影響」『日本建築学会大会学術講演梗概集』（2022 年 9 月）がある。

（５）キーテクノロジー５ 社会活動の維持のための「安心」の実現

プログラム終了後の活動方針（終了報告書より抜粋・要約）

- 建物の一部を利用したセンサ配置とネットワーク敷設の実証
- 低層建物での実証実験の実施と計測の高密度化
- センサユニット及びネットワークの地震後の機能維持や事業継続性の向上

MRRC(東京科学大学 総合研究院 多元レジリエンス研究センター)設立

2023 年 4 月 1 日設立。「将来的に脅威となる災害の抽出とその対策研究を先回りして実施し、

多面的な災害にも人々の生活・健康を維持できることを目指した」研究を実施。地震に限らず火山防災、被災地復旧も含めた“総合防災”に取り組む。

専用 Web サイト (<https://www.mrrc.iir.titech.ac.jp/>) を開設し、会員向け「コンソーシアム」ページを運営している。

建築物の“安心”への心理学的アプローチに対して海外から問い合わせが来るなどの広がりを見せている。競争領域での成果展開上の課題の 1 つとして“安心”の売価（建築物実装コスト）の低減がある。

6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況

産学連携による研究開発推進やマネジメントの仕組みに関する、プログラム終了後の運用状況について、(プログラム終了時における運用方針と対比しつつ) 項目ごとに記載する。

(1) 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 経費の見える化：従前は一律直接経費の30%を間接経費とすることとしていたが、新方式では間接経費の使途ごとに、一定の算式により計上する積み上げ方式を採用することもできるようにした。
- 戦略的産学連携経費の計上：研究者の人件費相当額、学内スペースの使用料、共同研究に関与するURA・コーディネーターの人件費、共同研究に関わる事務の人件費、知的財産権の管理にかかる経費等の産学連携活動に必要な経費等を計上できるようにした。

東京工業大学では、直接経費の30%を間接経費とすることはルール化されており、共同研究先の認識も高い。戦略的産学連携経費も数年前はオープンイノベーション機構のみで実施していたが、少しずつ他の大型共同研究でも浸透し、その広がりを示している。

その結果、大学教員のインセンティブも明確になり、共同研究を推進するきっかけにもなっている。

(2) 知的財産の取扱いルール

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 知財管理委員会(3大学知財部長及び領域統括、事務局で構成)にて「社会活動継続技術共創コンソーシアム 知的財産権取扱規程」の原案を策定した上で参画企業に照会し、コンソーシアム総会で承認された。
- 併せて、「社会活動継続技術共創コンソーシアム知財管理委員会運営規則」も制定した。

東京工業大学と三井住友建設㈱が共同開発した損傷制御型トラス梁構法「雷靱 RAIJIN」は、地震被害の低減と早期復旧を両立したレジリエントな大空間構造の設計法である。パッシブ制振構造を大スパントラス構造に展開した技術で、設計法を確立して日本 ERI(株)による評価(ERI-K20010号、構造性能評価)を取得している。

(3) 人材育成

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 優秀な博士課程の学生を積極的にRAとして雇用し、インセンティブとして、参画する大学共通で、特に優秀な学生については年間300万円程度、優秀な学生については年間200万円程度の報酬となるようにした。
- 参画大学共通で、若手研究者に積極的に研究成果を海外に発信することを推奨。国際会議への論文投稿及び発表について、内容を審査した上で、参加費及び旅費を支給。

修士課程、博士課程の学生に対して国際学会での発表等の機会を与えて、積極的に研究成果を発表するようにしている。

海外との研究者と交流を深め、国際化を図っている。RA 制度も活用し、奨学金等と同様に、学生の経済的支援となっている。ただ、年間 300 万円という支給額での支援は（学内制度に従い）続いている。

(4)機関連携・協力体制

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 横断的な運営により、接点のなかった研究者・企業の交流の促進、新たな共同研究の創出といった成果が出てくるようになった。
- 一方で、組織が大きくなってきたことで個々の構成員が全体を見渡すことが難しくなってきた面もあるため、課題間を横断した勉強会等を行い、様々な切り口、規模でコンソーシアムの活動を共有していく。

OPERA のように大規模なコンソーシアムで活動する機会は少なくなったが、シンポジウム等を通じて他の研究者、企業とのつながりを維持している。

(5)参画機関の管理

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋・要約)

- ホームページ等で、コンソーシアムにおける活動を公開・発信していくとともに、参加する個々の研究者と企業等との繋がりを活かし、新規参画機関の勧誘活動を行った。
- コンソーシアム全体では、課題ごと、機関ごとといった縦割りの運営を避け、横に繋げた風通しのよい体制を構築することで、参画機関間、研究者間の接点を設ける機会を多くした。

MRRC（多元レジリエンス研究センター）の Web サイトにおいて、研究活動及び社会活動の詳細について公表するようにしている。

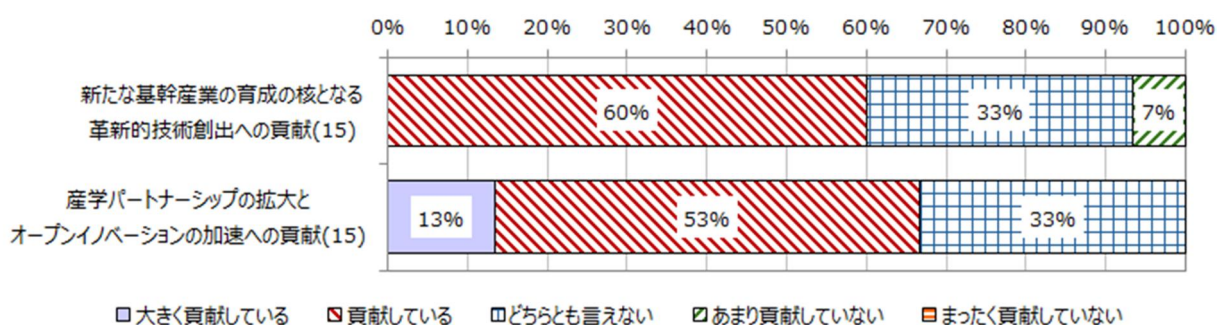
7) プロジェクトが果たした役割

アンケート調査、ヒアリング調査結果を基に、本プロジェクトが果たした役割について、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献と産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献の2つの観点からまとめる。

(1)プロジェクトの貢献度

アンケート調査にて、マネジメント層（領域統括、幹事機関等）、研究者及び企業の計15組に対し、本プロジェクトは基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したかの自己評価をたずねたところ、革新的技術創出に対して「大きく貢献している」及び「貢献している」との回答は6割、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対して「大きく貢献している」及び「貢献している」との回答は7割弱であった。

図表 2-62 本プロジェクトによる貢献度（自己評価）



注：アンケート回収数は22件で、未回答が7件あったためN=15。

※（ ）内は回答者数。

(2)プロジェクトの貢献内容

ヒアリング調査にて、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対する本プロジェクトの貢献状況について聞いたところ、下記の意見が得られた。

図表 2-63 本プロジェクトによる貢献内容

項目	主な意見
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献	○ E-Isolationの実現により、免震構造を中心とする高度な耐震技術の創出に向けた研究が進む。【マネジメント層】 ○ 本プログラムの大きな成果である実大免震試験機の設置とその活用は、地震国である日本の新たな耐震工学を深化させるもので、今後大きな産業へと展開できる可能性がある。【マネジメント層】 ○ 実大免震試験機 E-Isolation の完成、乾式間仕切り壁の耐震設計・施工

項目	主な意見
	ガイドラインの策定。【研究者】 ○ 計測法の改良や性能向上が一定程度行えた。【研究者】 ○ 基礎構造物の大地震に対する構造設計の重要性を、社会に訴えることができた。特に、変形性能に優れる杭の開発につながった。【研究者】 ○ これまで知見が少なかった RC 造補修部材の構造性能を実験によって明らかにし、補修後の性能を反映した建物モデルによって地震時の挙動を再現する手法を構築することができた。実験費用の一部について、JST-OPERA から支援を受けることで、必要な数の試験体を製作することができ、よい実験成果を得ることができた。【企業】 ○ 日本国内では例のない 400m 級の超高層建物実現に向けた非競争領域における検討方法の具体案の提案、及び、設計実務における新たな構造形式の学術的背景からみた効果とその効果の実験による実証。【企業】 ○ 本プロジェクトでは研究開発課題に対して横断的に取り組んだことで、新たな課題や新規テーマ発掘に向けて貢献できたと考えられる。その中で実施した共通実験は実大 RC 造架構で実施し、規模が大きいため JST-OPERA の支援があったため、実現できたと考えている。【企業】
産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献	○ 学内においてはオープンイノベーション機構が中心となり、共同研究拠点や大型共同研究案件を推進しており、また、いろいろなイベントを開催して企業ニーズと学内シーズをマッチングさせる機会が増えてきた。国内のゼネコン各社もそうしたイベントに参加しており、マッチングの機会を活用している。【マネジメント層】 ○ 単にマッチングファンドという形で資金提供するだけでなく、プロジェクト担当が配置され、プロジェクトの実施・進展に伴走してもらえたこと。また、評価を通じて、第三者的にアドバイスや示唆をいただけたこと。【マネジメント層】 ○ JST-OPERA の公開報告会等で新たなパートナーと成り得る企業からコンタクトがあり、研究目的は異なるが、共同研究等につながった。しかし、オープンイノベーションの例にはならなかった。【研究者】 ○ 本プロジェクトの構成メンバーとの交流を通し、産学パートナーシップが拡大した。【研究者】 ○ 現在進めている共同研究・実用化研究では JST-OPERA で一部の適用性を検証した機器を活用している。【研究者】 ○ 大学と企業が長期に渡って共同研究に取り組むきっかけとなった。【企業】

項目	主な意見
	○ 本プロジェクトでは5つの課題に対して、最終的に5大学40社で連携したことで、研究者・企業の交流が促進されたため、新たな共同研究の創出や異分野との連携に貢献するものと考えている。JST-OPERAにより、プロジェクトへの参画がしやすかったと思われる。 【企業】

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

(3)創出された「新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術」の内容

本プロジェクトにより創出された、革新的技術の内容については、下記の意見が得られた。

図表 2-64 本プロジェクトにより創出された、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の内容

研究開発課題	主な意見
研究開発課題1: 極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション	○ 無溶接工法、損傷制御型設計、耐震補強構法。【研究者】 ○ 建築構造設計の分野では既往の地震対策（L2 地震動）だけでなく、想定外地震（L3 地震動）への対策及び検討の実施が求められている中、L3 地震動対策の具体案の創出が行えた。【企業】
研究開発課題2: 先端耐震部材の実大性能検証実験法	○ 高度な耐震技術を支える免震支承や制振ダンパーに対して、実大規模の試験体を実地震動時に相当する速度での載荷実験が可能な実験施設 E-Isolation の建設に寄与した。この実験施設 E-Isolation が完成したことにより、国内での実大・実速度での検証実験が可能となり、関連 ISO や JIS の改定や、我が国の耐震技術の国際競争力強化に繋がっている。【研究者】 ○ 免震支承の周辺部材の合理化。【研究者】
研究開発課題3: 設備・非構造部材の損傷抑制・早期復旧	○ 非競争領域で策定した乾式間仕切り壁の耐震設計・施工ガイドラインに基づく、各社独自の仕様に関する研究開発。【研究者】 ○ 耐震工学の領域の中でも、非構造部材が地震の被害の大きな要因となっておりことがわかっており、本テーマの注目度が高まっている。インフラ設備も含めて幅広い対象に関して、個別の課題解決が進められ、地震で被害があっても早急に回復できる環境になると期待できる。【マネジメント層】
研究開発課題4: 日常から非日常までの安全・機	○ 人のモニタリング、安心の定量化、非構造部材のモニタリングに基づいた耐震設計・目標値の改良、新たなモニタリングシステムの開発研究。【研究者】

研究開発課題	主な意見
能モニタリング	○ 高層ビル等、近代建物の機能モニタリングを実施するため、様々なセンサーが開発されている。南海トラフ地震等の大地震がおこる確率が高まっている現在、建物の耐震性、健全性を測定する技術は高度化し、AIを活用したデータ解析と予測が進むであろう。【マネジメント層】
研究開発課題5： 安全・情報を安心につなげる手法の確立	○ 上記研究開発課題4と同様に、人のモニタリング、安心の定量化、非構造部材のモニタリングに基づいた耐震設計・目標値の改良、新たなモニタリングシステムの開発研究。【研究者】 ○ いかにして精度の高い情報をいち早く住人に知らせるかは、非常に大きな課題である。世界で起きている洪水や山火事等の災害においても、避難情報の提供の方法で人命が失われるか生き残るかの大きな違いが生じる。安心・安全が生活するうえで最も重要だが、科学的データをいかに人々の避難行動に繋げるか、難しい課題だが今後様々な観点からの研究が進むと思われる。【マネジメント層】

(4)国内外の他拠点などに対する比較優位性

本コンソーシアム・研究開発拠点がベンチマークとする国内外の他拠点と、それに対する比較優位性については、下記の意見が得られた。

図表 2-65 ベンチマークする拠点と比較優位性

項目	主な意見
ベンチマーク 拠点	(アンケート、ヒアリングを通じて国内外におけるベンチマーク拠点は挙げられなかった。)
比較優位性	○ 実施した実大実験に関しては、コロナ禍にも関わらず大学と企業が協働で大規模な実験が実現し、その結果、共著論文や学会発表(主に建築学会)によって、対外的に公表できた。これまであまり接触のなかったメンバーと意見を交わし、大学、企業のすべての叡智を結集して実験できたことはOPERAの最大の成果。

8) 資料

アンケート調査への回答内容から、本プログラム終了後の主要な論文、特許、取得した官民の事業資金について掲載する。

①論文

論文名	著者名	掲載誌	年月
CFD の風力による時刻歴応答解析を用いた超高層建物の応答評価	沖村将大、佐藤大樹、田中英之、曾根孝行、渡井一樹、畔上泰彦、今野大輔	日本建築学会技術報告集	2024.10
間柱型非線形粘弾性ダンパーの繰り返し加振による性能低下を考慮した超高層建物の地震応答予測	佐藤大樹、西海隼、樹下亮佑、シガイアレックス、戸張涼太、安永隼平、植木卓也、森岡宙光	日本建築学会構造系論文集	2024.9
ジャイロセンサを用いた RC 曲げ材の時刻歴応答変位測定法の開発研究	佐田和寛、パラダン スーザン、西村康志郎	日本建築学会大会学術講演梗概集	2024.8
実大免震試験機“E-Isolation”の建設時における各部の性能検証	酒井一至、吉敷祥一、小林真帆、平野一郎、黒澤未来、高橋良和	日本建築学会構造系論文集	2024.7
Measurement of Residual Deformation of a Structure Using MEMS Accelerometer	Sujan Pradhan, Koshiro Nishimura, Syunpei Matsuzawa	Proceedings of 18th World Conference on Earthquake Engineering (18WCEE)	2024.6
加速度センサと赤外線人感センサを用いた階段室内の歩行者数と移動方向の推定	大佛俊泰、羽田優太、岸本まき、福島佳浩、伊山潤	日本建築学会計画系論文集, 日本建築学会, Vol. 89, No. 818, pp. 647-654	2024.4
Cyclic elast-plastic behavior of replaceable ductile Split-T located at the bottom beam flange.	H. Zheng, G. Cui, S. Kishiki	Engineering Structures.	2024.3
Cyclic Behavior of Beam-to-column Connections with Horizontal Oblique Angles.	S. Kishiki, Y. Liu, S. Nakada	Journal of Constructional Steel Research.	2023.12
座屈拘束部材を用いた損傷制御型トラス梁に関する研究	仲田章太郎、吉敷祥一、石川裕貴、巽信彦、江頭寛、川島学	日本建築学会構造系論文集	2023.10
下弦材に座屈拘束部材を挿入した損傷制御型トラス梁に関する研究	仲田章太郎、吉敷祥一、石川裕貴、巽信彦、江頭寛、川島学	日本建築学会構造系論文集 第 88 巻 第 812 号	2023.10
加速度センサを用いた多点観測による RC 建物の柱変形角測定に関する研究	松澤俊平、西村康志郎、パラダン スーザン	日本建築学会大会学術講演梗概集	2023.9
補修を施した曲げ降伏型鉄筋コンクリート部材のファイバーモデルによる再現解析	永井智基、参川朗、三浦耕太、前田匡樹	コンクリート工学年次論文集	2023.7
震害を受けた部材の補修効果の評価に基づく RC 造曲げ破壊型 4 層耐震壁付きラーメン架構の耐震性能評価	参川朗、永井智基、Alex Shegay、前田匡樹	コンクリート工学年次論文集	2023.7
ブレースを有する中低層免震建物における免震支承の引抜き判定手法	新井雄大、佐藤大樹、Alex Shegay、戸張涼太、安永隼平、植木卓也、金城陽介	日本建築学会構造系論文集	2023.4
E-Isolation: High-performance Dynamic Testing Installation for Seismic Isolation Bearings and Damping Devices	Yoshikazu Takahashi, Toru Takeuchi, Shoichi Kishiki, Yozo Shinozaki, Masako Yoneda, Koichi Kajiwara, and Akira Wada	International Journal of High-Rise Buildings	2023.3
振幅依存性を有する間柱型粘弾性ダンパーの等価線形化に基づく地震応答予測手法	樹下亮佑、佐藤大樹、戸張涼太、安永隼平、植木卓也、金城陽介	日本建築学会構造系論文集	2023.1
袖壁を用いた実大五層鉄筋コンクリート造建物を対象としたコンクリートの曲げ損傷量評価	小原拓、河野進、向井智久	日本建築学会構造系論文集	2023.1

論文名	著者名	掲載誌	年月
Performance recovery of a repaired 4-storey reinforced concrete structure subjected to shake-table testing	Alex Shegay, kota Miura, Akira Mikawa, Masaki Maeda and Matsutaro seki	Earthquake Engineering & Structural Dynamics	2023.1
Seismic Performance of Non-structural Light-Gauge-Steel Frame Drywall Partition	Shoichi Kishiki, Xiang Fu, Nobuhiko Tatsumi	Thin-Walled Structure	2022.12
回転慣性とせん断変形を考慮した一様弾性梁の曲げ固有振動数の実用的な計算手法	山口雄大、佐藤大樹、田村哲郎	日本建築学会構造系論文集	2022.12
震害を受けた鉄筋コンクリート造部材実験のデータベースによる剛性・耐力・履歴減衰の補修による回復度評価	参川朗、秋谷理穂、永井智基、Alex Shegay、三浦耕太、前田匡樹、関松太郎	日本地震工学会第 17 回年次論文集	2022.11
視線計測と機械学習を用いた不特定多数の屋内歩行者によるデジタルサイネージへの注視傾向推定手法	高井峻、沖拓弥、福島佳浩、羽田優太、伊山潤	第 31 回地理情報システム学会学術研究発表大会、地理情報システム学会講演論文集, Vol. 31	2022.10
Noncompact and Slender CFSTs under Axial Compression: Finite-element Modeling and Fiber-based Analysis	Subedi N., Obara T., Kono S.	Journal of Constructional Steel Research, Elsevier	2022.9
赤外線人感センサを用いた階段室内歩行者数の推定	大佛俊泰、吉行菜津美、岸本まき、沖拓弥、伊山潤、福島佳浩	日本建築学会計画系論文集	2022.9
非構造部材を有する実大 RC 造架構実験の静的載荷実験	前田匡樹、Alex Shegay、吉敷祥一、田附遼太	コンクリート工学 60 巻 (2022) 9 号	2022.9
地震の揺れと継続時間予測情報が視線行動に及ぼす影響	沖拓弥、永岑光恵、小阪宏之、劉家琛、伊山潤、福島佳浩	日本建築学会大会学術講演会、日本建築学会大会学術講演梗概集（情報システム技術）、pp. 227-228	2022.9
不特定多数の屋内歩行者によるデジタルサイネージへの注目度推定手法	高井峻、沖拓弥、福島佳浩、羽田優太、伊山潤	日本建築学会大会学術講演会、日本建築学会大会学術講演梗概集（情報システム技術）、pp. 225-226	2022.9
地震で損傷した曲げ降伏型耐震壁に対する補修による耐震性能の回復度の評価	永井智基、参川朗、三浦耕太、前田匡樹	コンクリート工学年次論文集	2022.7
Wide-dynamic-range Brillouin optical correlation-domain reflectometry with 20-kHz sampling rate	G Zhu, K Kishizawa, K Noda, H Lee, K Nakamura, Y Mizuno	IEEE Sensors Journal	2022.4
Shear performance evaluation of PHC piles under different levels of axial load ratio	Oktiovan Y.P., Otaki T., Obara T., Kono S., Asai Y., Kobayashi K., Watanabe H., Mukai D.	Earthquake Engineering StructuralDynamics, John Wiley and Sons Ltd	2022.4
Experiments of Damage-controlled Truss Beam with Buckling Restrained Member	H. Egashira, S. Kishiki, N. Tatsumi, M. Kawashima, H. Harada	17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE Sendai, Japan	2020.9

②特許・商標等

発明の名称	発明者名等	出願人	出願番号等	出願日
設計支援装置、設計支援方法、及び設計支援プログラム	森弘誓、他 14 名	㈱竹中工務店	特願 2022-207551	2022.12.23
鉄筋コンクリート梁	坂田弘安、毎田悠承、前川利雄、服部翼	東京工業大学 ㈱熊谷組	特願 2021-122541	2021.7.27

トラス梁	江頭寛、原田 浩之、川島 学、吉敷祥一	三井住友建設㈱、東京工業大学	特願 2019-12536	2019.1.28 (登録済)
鉄骨梁の横補剛構造	吉敷祥一、江頭寛、原田浩之	東京工業大学 三井住友建設株式会社	特願 2018-083227	2018.4.24 (登録済)
雷靱 (RAIJIN) ™ ※	日本 ERI㈱による構造性能評価評定		ERI-K20010 号	2021.3.29

※ 東工大・吉敷祥一教授(当時・准教授)が三井住友建設㈱と共同開発した損傷制御型トラス梁構法。

③官民の事業資金

機関名	事業・制度名	課題名	年度	基となった 研究開発テーマ
日本学術振興会	科学研究費補助金・挑戦的研究(萌芽)	音響周波数特性による個室内の人の状態検出	R4～R6	日常から非日常までの安全・機能モニタリング
日本学術振興会	科学研究費助成事業 若手研究	赤外線人感センサを用いた建物内滞留者数分布の推定	R4～R9	安全・情報を安心につなげる手法の確立
文部科学省	国立大学法人運営費交付金(教育研究組織改革分)	多元レジリエンス研究センターの構築	R5～R9	設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復
文部科学省	国立大学法人運営費交付金(継続拡充分)	多元レジリエンス研究センターの構築	R6～R9	設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復
日本学術振興会	科学研究費助成事業 基盤研究 A	天井・壁・設備機器の相互作用の解明による室内空間の地震時機能維持技術の確立	R4～R8	設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復
日本学術振興会	国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B))	構造性能・修復費用・経済損失を統合した修復指標の開発と次世代型耐震設計への展開	R3～R6	極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
原子力安全研究協会	英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業	建屋応答モニタリングと損傷イメージング技術を活用したハイブリッド型の原子炉建屋長期健全性評価法の開発研究	R3～R5	極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
日本学術振興会	科学研究費補助金 基盤研究 (A)	大規模空間構造における損傷制御技術の高度化	R3～R6	極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション

2-6. 生理学的データ統合システムの構築による生体埋込型・装着型デバイス開発基盤の創出(幹事機関:信州大学)

1) 共創コンソーシアム(埋込型・装着型デバイス共創コンソーシアム)の概要

〔実施体制〕

幹事機関：信州大学

領域統括：齋藤 直人（信州大学先鋭領域融合研究群バイオメディカル研究所長／教授）

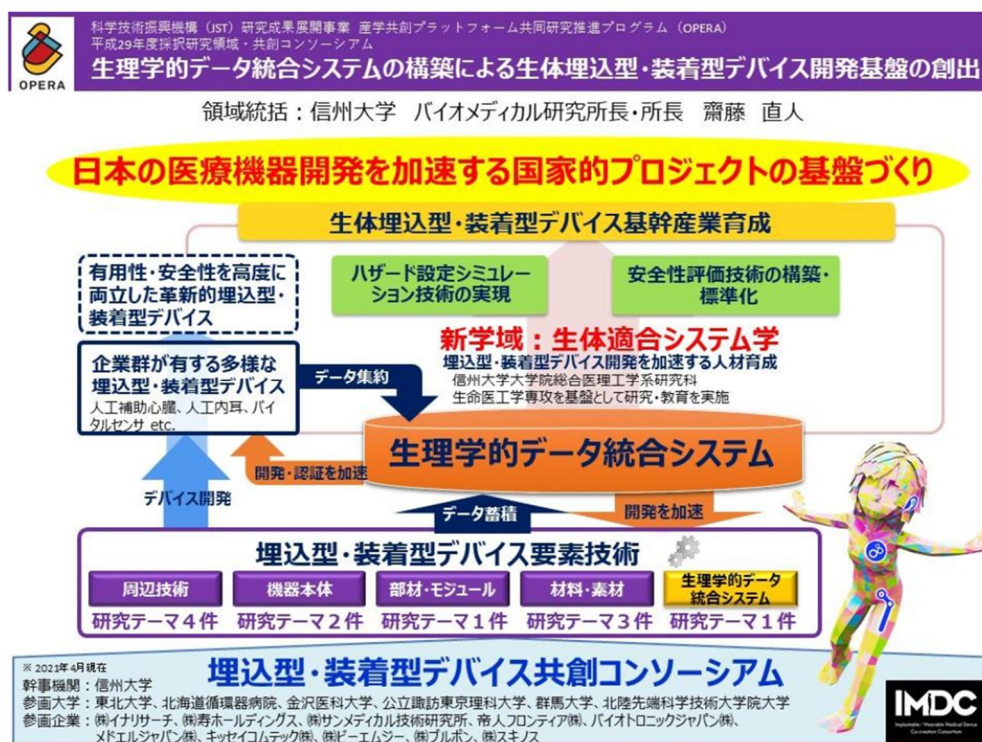
研究機関：信州大学、東北大学、北海道循環器病院、金沢医科大学、公立諏訪東京理科大学、群馬大学、北陸先端科学技術大学院大学、健康科学大学、宮崎大学

民間企業：アクティブ㈱、㈱イナリサーチ、㈱コガネイ、㈱寿ホールディングス、㈱サンメディカル技術研究所、帝人フロンティア㈱、㈱デサント、長野計器㈱、野村メディカルデバイス㈱、バイオトロニック・ジャパン㈱、メドエルジャパン㈱、キッセイコムテック㈱、㈱ビーエムジー、㈱ブルボン、㈱スキノス、SSST㈱、㈱アルプ再生医療研究所

〔共創コンソーシアム概要〕

生体埋込型・装着型デバイスは、これまで個々に開発が進められ、人体との相互作用についてオンリーワンの知見と技術が積み重ねられてきた。しかし、類似した開発要素でも個別開発に委ねる非効率性や、関連する他分野の情報が不足する等の問題があった。

これを解決するために、個々の開発データを集積・解析し、開発要素ごとにデータをアウトプットする「生理学的データ統合システム」を構築し、それを体系化して新学域「生体適合システム学」を創生する。これにより、オープンイノベーションによるデバイス開発を加速すると共に、医療機器承認取得のためのツールボックスを実現し、安全性評価を構築・標準化して、新規基幹産業を育成する。



資料：埋込型・装着型デバイス共創コンソーシアム HP

〔研究テーマ〕

分野	研究開発課題	課題代表者	共同研究機関
材料・ 素材	1:人工内耳電極の生体内安定性と薬剤徐放電極の開発および有効性に関する基礎的研究	宇佐美 真一 信州大学 学術研究院 医学系 特任教授	メドエルジャパン(株)
	5:機能性細胞を用いた生体適合性担体の探索および製造システムに関する研究	下平 滋隆 信州大学 医学部附属病院 先端細胞治療センター 特任教授	金沢医科大学、野村メディカルデバイス(株)、(株)イナリサーチ、(株)ビーエムジー、(株)アルプ再生医療研究所
	10:弱代謝性糖類を利用した生体内におけるガン細胞の増殖を抑制する新規バイオデバイスの設計及び再生医療用細胞の利便性向上のための細胞維持技術開発	齋藤 直人 信州大学 先鋭領域融合研究群 バイオメディカル研究所 所長、教授	(株)ブルボン
部材・ モジュール	6:小型軽量・高効率・安全な弾性エネルギーストレージ材料の基礎研究	金子 克美 信州大学 先鋭材料研究所 教授	諏訪東京理科大学、アクティブ(株)
周辺技術	4:バイタルサイン組み込み型装着型デバイス研究	児山 祥平 信州大学 国際ファイバー工学研究拠点 助教	東北大学流体科学研究所、宮崎大学、長野計器(株)、帝人フロンティア(株)、(株)デサント
	7:高機能装着型呼気・唾液センシングデバイスの基礎研究	金子 克美 信州大学 先鋭材料研究所 教授	(株)寿ホールディングス
	8:心臓植込み型ペースティングデバイスにおける双方向性遠隔モニタリングシステムの確立	桑原 宏一郎 信州大学 医学部循環器内科 科学教室(内科5) 教授	バイオトロニック・ジャパン(株)
	11:医療用ウェアラブル発汗計の研究開発	小林 正義 信州大学 医学部保健学科 教授	(株)スキノス
機器本体	2:合併症が無く長期駆動安定な埋込型人工補助心臓の研究開発	山崎 健二 北海道循環器病院 先進医療研究所 所長	(株)サンメディカル技術研究所
	3:装着型超小型酸素濃縮器システム構築および使用者負担低減検証	齋藤 直人 信州大学 先鋭領域融合研究群 バイオメディカル研究所 所長、教授	健康科学大学、(株)コガネイ、SSST(株)
その他 (プラットフォーム)	9:生理学的データ統合システムの構築	浅尾 高行 群馬大学 数理データ科学教育研究センター 教授	信州大学、キッセイコムテック(株)

2) プログラム期間中における成果

終了報告書及び事後評価結果等に基づき、プログラム期間中（プログラム終了時点）における、産学連携システム改革に関する取組の成果と、主要な研究開発成果を整理する。

(1) 産学連携システム改革に関する取組(共創コンソーシアム)

図表 2-6 6 産学連携システム改革に関する取組

取組	成果内容
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 信州大学では、本事業に関連した新規共同研究契約において、企業との協議の結果、2017 年度から通常 10%の間接経費を 30%に引き上げた。2018 年度にはさらに 12 社 13 件の契約で 30%以上を達成している。 ● 同様に、東北大学、北海道循環器病院、金沢医科大学、諏訪東京理科大学でも、組織間の協議により共同研究の費用負担を適正化した。 ● また、信州大学は事業担当 URA を配置し、コストや進捗、知財管理を強化し、組織的にプロジェクト全体の管理を行っている。 ● さらに、2018 年度からは間接経費の一部を OPERA プロジェクトに配分する仕組みを設けた。
知的財産の取扱ルールの方針	● 2018 年度に、コンソーシアムの知財戦略部門は知的財産や秘密情報の取り扱いルールを明文化し、知財の届出制度を運用開始した。 ● 幹事機関と参画機関はコンソーシアム規約や知財取扱ルールに同意し、秘密情報の共有に基づく研究ディスカッションが深化した。 ● フォアグラウンド知財やバックグラウンド知財の届出制度を整備し、早期のライセンスを促進。研究活動指針も制定し、データ管理の仕組みを確立。 ● また、生理学的データ統合システムに関する知財権は信州大学に集約され、専門家の協力を得てコア技術の権利化を進めた。
人材育成	● 本プロジェクトでは、産学共同で博士課程の人材を育成・支援する「アドバンスト・リサーチ・アシスタント（ARA）制度」を制定し、9 名を採用した。そのうち 1 名は博士課程修了後、ベンチャーを起業してプロジェクトに参画し、人材の好循環が生まれている。 ● また、大学院生など 70 名が参加し、研究会議で成果報告や議論を行い、科学的・社会的価値に対する幅広い知見を得た。 ● さらに、信州大学 大学院では「生体適合システム学」という新学域を設置し、生体とバイオマテリアルの相互作用を探索する高度な人材育成を推進した。

機関連携・協力体制についての方針	<国際連携による人材集積> ● 海外研究者を招へいし、2019 年 3 月には国際シンポジウムを開催、香港理工大学やデンマーク工科大学等の教授が講演し、110 名が参加した。また、アメリカの大学生と共同実験を行い、学生の国際的感覚を醸成した。 ● 補助人工心臓の研究では中国で臨床治験を開始し、8 カ国での国際共同研究や台湾とのプロジェクトを進行した。 <国内の機関間連携による人材集積> ● 国内では、民間企業の専門家を教授に採用し、生体安全性のデータ作成に従事させた。 ● さらに、外部有識者による「信州 OPERA アドバイザー制度」を制定し、専門知識を活用して事業推進を図った。 <機器・施設の利用計画・共用計画> ● 共同利用機器やインキュベーション施設の活用も引き続き推進し、産学官連携を強化する予定である。
参画機関の管理方針	<新たな民間企業及び大学等をプロジェクトに呼び込むためのプロモーション活動> ● 新たな企業や大学を参画させるためのプロモーション活動を実施した結果、新規課題が創出され、参画機関は 7 大学 14 企業となった。 ● また、イノベーション・ジャパンやドイツの COMPAMED 展示会等で事業を発信し、新規研究テーマを模索した。 ● 2018 年度よりコンソーシアムの自立化に向けた新規会員募集を開始し、医療機器開発に関連するサービスを有償で提供する体制を整えた。 <中途脱退を想定した参画機関の管理方針> ● コンソーシアム規約を整備し、新規加入や中途脱退の手続きを定め、運営会議での議決を経て適用した。

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

(2) 主要な研究開発成果

図表 2-67 主要な研究開発成果

研究開発テーマ	成果内容
1: 人工内耳電極の生体内安定性と薬剤徐放電極の開発および有効性に関する基礎的研究	● デキサメタゾン徐放電極に関して、研究初年度の試作品によるモルモットへの埋め込み実験にて有用性を確認するとともに、TNF-α 等の遺伝子発現を抑制する効果があるなどの遺伝子発現変化を確認した。また、2020 年 6 月よりメドエル欧州本社で臨床試験が開始された。 ● デキサメタゾン以外に人工内耳を高度化する方法として、神経栄養因子や遺伝子治療など、他の薬剤・治療手法と人工内耳を組み合わせたハイブリッド治療法の創生に向けて研究を行った。具体的には、日本人難聴患者より見出された遺伝子変異と同一の変異を有する難聴モデルマウス（2 系統）を CRISPR-Cas9 系を用いて作成するとともに、聴力の経過を長期に観察した。

	また、遺伝子治療用ウイルスベクターの作成と動物での評価を実施した。 ● 人工内耳の装用効果に影響を及ぼす因子に関する研究として、海外9拠点との国際共同研究体制で人工内耳装用患者とその家族の遺伝子解析を行い、400例の遺伝子解析を実施し、約50%の症例の原因遺伝子変異を同定することができた。 ● 残存聴力活用型人工内耳装用患者の遺伝子解析を行い、内耳有毛細胞の聴毛の構成因子が原因の難聴患者群では、その他の原因の難聴患者群と比較して、術後の残存聴力温存成績が良好であることを明らかにした。 ● 国内の共同研究施設との連携により、人工内耳装用児（304例）の人工内耳装用の言語発達に関する調査を行い、難聴の原因により人工内耳の効果が異なることを明らかにした。 ● 人工内耳装用効果を計測するための、日本語聴取評価手法（iPadソフトウェア）を開発するとともに、難聴患者459人、健聴コントロール77人のデータを取得し、検査手法の標準化を実施した。 ● 「一側性高度感音難聴に対する人工内耳挿入術」に関してプロトコルの倫理委員会承認を得て、先進医療として申請を行い、2021年1月15日開催の第111回先進医療技術審査部会にて承認を得た。また、2021年3月4日に開催された第97回先進医療会議にて先進医療として承認を受け、実際に臨床試験を開始することができた。
5:機能性細胞を用いた生体適合性担体の探索および製造システムに関する研究	● ヒト iPS 細胞由来心筋細胞に親和性の高いアイソフォームを同定するために、in vitro における細胞接着 assay を行い、最適なラミニンを同定した。このラミニンとヒト iPS 細胞由来心筋細胞を移植し、in vivo 発光イメージングでグラフト生着を確認したところ、移植4週間後においても、移植心筋の生着が確認された。移植28日後の組織学的評価においても細胞の生着が確認され、腫瘍形成は見られず、安全性にも問題ないことが確認できた。 ● 分解性ポリマーによるハイドロゲルに、間葉系幹細胞の親和性を確認した。分解性の制御も可能とした。 ● 機能性細胞（IFN-樹状細胞）の製造工程を作成し、担体機能を最適化させるための非臨床試験を実施し、臨床研究及び細胞搬送を伴う実臨床に適用できた。
10:弱代謝性糖類を利用した生体内におけるガン細胞の増殖を抑制する新規バイオデバイスの設計及び再生医療用細胞の利便性向上のための細胞維持技術開発	● 弱代謝性糖質含有環境において、増殖抑制効果が発揮される細胞種を特定した。その細胞株において、特異的に抑制効果を発揮する糖質濃度範囲及び期間を特定した。正常細胞とがん細胞株における挙動の違いについても基礎データを取得した。 ● 糖を含む医療用ナノファイバーシートを作成することに成功した。シート型の糖複合バイオデバイスは EOG 滅菌が可能であり、複合させた糖を分解と同時に徐放することが可能であった。さらに、糖複合バイオデバイスの消化物を含む培養液で維持したがん細胞は増殖が抑制されることを確認した。 ● マトリゲルを含むヒト iPS 細胞のフィーダーフリー培養系において、増殖制御培養が可能な条件を見出した。細胞は ALP 活性陽性であり未分化性を維持していた。生物由来原料を含む培養系から Chemically defined な培養系への移行を図り、弱代謝性糖質含有環境において、ヒト iPS 細胞の増殖抑制培養を実現するための候補因子を同定した。ヒト線維芽細胞及びヒト間葉系幹細胞

	胞の増殖抑制培養が可能な組成をそれぞれ見出した。 ● 増殖抑制培養した細胞の機能解析において、ヒト線維芽細胞コラーゲン産生能、ヒト間葉系幹細胞については、表面抗原マーカーの発現率や脂肪細胞・骨芽細胞への分化能を維持していることを確認した。さらに、ヒト線維芽細胞を2日間の輸送実験を行い、細胞が過密になるのを回避し、良好な状態で輸送が可能であることを明らかにした。 ● 増殖抑制培養が可能な正常ヒト真皮由来線維芽細胞におけるメタボローム解析から、弱代謝性糖質（D-キシロース）の代謝、細胞内利用の一端を解明した。
6: 小型軽量・高効率・安全な弾性エネルギーストレージ材料の基礎研究	● SWCNT ロープ試料の作製方法、捻じりによる貯蔵重量エネルギー密度の動的測定方法を確立し、熱可塑性ポリウレタンを添加した SWCNT ロープで最良の結果を得た。 ● SWCNT 濃厚インクの凍結乾燥により SWCNT の絡み合いを固定化する手法、硫黄やクロスリンカー分子 azelaic acid dichloride により SWCNT 間を架橋して SWCNT 間の相互作用を強化するロープ試料作製手法を確立した。 ● SWCNT 濃厚インクから、各種凝固液中で長尺の SWCNT ファイバーを作製する wet spinning 法を開発した。 ● 作製した SWCNT バネを動力源とした移動体を製作し走らせることに成功した。エネルギー再生利用率は20%まで向上した。 ● 上記で作成 SWCNT バネ動力車を改良してエネルギー貯蔵デバイスの設計と試作を行っている。この課題は2022年度以降に達成される見通し。
4: バイタルサイン組み込み型装着型デバイス研究	● FBG センサを生体に装着する際の最適条件が明確になった。 ● 手首拍動流シミュレーションモデルを構築し、外部押し付け圧と、流路の上流と下流の圧力、流路のそれぞれの関連性について検討を行い、また、実際のヒトの橈骨動脈の脈動との比較を行い、構築した手首拍動流モデルが定性的にヒトの脈動を再現できることを確認した。 ● FBG センサで血圧を計測可能であるという原理が示された。 ● バッテリー駆動でWiFi通信可能な世界で唯一のウェアラブル型FBGインテロゲータの開発に成功し、その後のウェアラブル形式での実験を実施することが可能になった。 ● 開発したウェアラブル型FBGインテロゲータと市販品での計測信号のS/N比を検証したところ、約5倍向上することが示された。結果、バイタルサイン算出精度の向上につながることを示された。 ● FBG センサを生体に装着させるために繊維製品であるリボン内部に埋め込むことを考案し、縫製ではなくたて編機でFBGセンサである光ファイバーをたて編地へ自動で埋め込む方法を開発した。 ● スポーツ場面においては心拍数と共に呼吸数が重要な指標になると考え、被験者の体幹部にFBGセンサを装着することで呼吸による肺や横隔膜の動きから発せられる振動を検出し呼吸数を計測した。呼吸数は精度よく算出できることが確認された。胸部においては半身から伝わる振動の影響がほぼないことが示された。

7: 高機能装着型 呼吸・唾液セン シングデバイ スの基礎研究	● 機能化グラフェン膜の創製について、目標としていた機能を有する膜の創製に成功した。 ● 制御したナノ窓付与法について、ナノ窓付与の条件を絞り込み、技術開発を行った。 ● 空気中成分気体の選択的ナノ窓の設計とナノ窓創製法一定条件下において選択的ナノ窓の創生方法の開発を行った。 ● グラフェンベース高選択的 CO₂ 高感度センサの開発に成功した。 ● ナノ窓付きグラフェンでの水蒸気検出に成功した。 ● CO₂ 皮膚センサのプロトタイプを完成させた。
8: 心臓植込み型 ペースングデバ イスにおける双 方向性遠隔モニ タリングシステ ムの確立	● システムに用いるデータベース・セントラルサーバーのセキュリティレベル確認・強化のために、既存の遠隔モニタリングシステムを使用してデータベース作成や安全性を評価。患者教育を行った。 ● 個人情報保護に関して、倫理委員会へ提出し、臨床研究を含め承認された。 ● ソフトウェア開発に関して、既存のソフトウェアを用いてデモンストレーションを行った。 ● ハードウェアについては、ソフトウェアと共に既存のシステム端末のデモを行い調整段階。
11: 医療用ウェアラブル発汗計の研究開発	● 脳血流計等を導入し、評価系を構築。(株)スキノスにて試作したウェアラブル発汗計と既存発汗計との同等性の確認を実施した。 ● AI を用いたデータベースの大枠が完成しており、細かな調整を実施している。 ● (株)スキノスにて、ウェアラブル発汗計の仕様を検討し、1 次試作品を完成。専用 IC を搭載した 2 次試作を実施。工学部にて専用 IC を設計した。 ● 上田市内の 2 つの医療機関にて臨床試験を行い、データを取得した。
2: 合併症が無く 長期駆動安定な 埋込型人工補助 心臓の研究開発	● 植込み型補助人工心臓 (VAD) の主要な有害事象である脳神経障害、感染症及び装置の不具合について装着後の発生率を改善し、人工補助心臓の高度生体適合化を目標に研究開発を行った。またその成果を実臨床に反映し、さらには海外展開・臨床治験を実施した。 ● シミュレーション結果から、左室内血栓形成リスクをほぼ解決できるチップレスカニューレを開発した。標準化した逢着手技で再現性をもってこのコンセプトを実現できるデザイン「ダブルカフチップレスカニューレ」(DCT) を製品化した。PMDA に一部変更申請を行い、ダブルカフチップレスカニューレは製品化され、2018 年 10 月薬事承認を得、同年 11 月には保険収載された。 ● ポリエステル製人工血管を用いた送血グラフトセットを開発した。生物由来のシールド材を用いずに血漿漏洩を僅少にする技術を開発し、使用可能なレベルの試作品を開発した。 ● 37.6%の小型化、36.7%の細径化、フレキシブル化を実現した EVAHEART2 血液ポンプセットについて、2017 年 11 月薬事承認、2018 年 1 月保険収載を果たした。 ● さらなる感染防止の向上のため、理想的な皮膚貫通部インターフェイスとして皮膚ボタンの開発研究を行った。 ● メカニカルシール部に侵入するタンパク質を熱変性させず、吸着するテクスチャー構造を施した SiC メカニカルシールの安定した表面修飾条件を探索し

	レーザー誘起微細周期構造（LIPSS）が有望であることを見出した。				
3: 装着型超小型酸素濃縮器システム構築および使用者負担低減検証	● 携帯型酸素濃縮器における置運転音の静音対策として、周波数解析を行い、特定の周波数にターゲットを絞った対策を行い、遮音材によって最高 8dB の静音化を実現。主な騒音源である各部位においても当初より静音対策によって約 70%の静音効果が得られた。 ● (株)コガネイのシミュレーション技術を活用し、圧縮気体の流路および室素吸着筒ユニットの最適化設計を行ったことで小型軽量してもなお効率的な酸素供給が可能となった。 ● 従来の POC と POC 試作機の性能を比較するために人工肺モデルを用いた基礎的検討を実施した。 ● 健常者 5 例における検証実験により安全性が確認された。				
9: 生理学的データ統合システムの構築	● 公開済み情報収集・参照環境のためのアプリケーションを試作。クラウド型文書管理システムを構築。 ● 秘匿情報収集・参照環境については、下記の成果となる。 ➢ 基本設定として、2 種類の目的別ツールボックス（キーワード検索ツールボックス、承認審査支援ツールボックス）を構築するものとし、それぞれ必要となる製品、サービスを選定した。 ➢ プロトタイプとして、クラウド上に構築されたキーワード検索ツールボックス、承認審査支援ツールボックスを本課題関係者内で試用し、良好な評価結果を得た。 ➢ 本番環境として、実稼働を想定した各種権限、利用者数、文書数、文書カテゴリに合わせ、各ツールボックスの最適化と学習モデルの強化を実施した。 ➢ コンソーシアム参画機関全体に利用者を拡大するものとし、利用者認証機能の強化を実施した。 【ToolBox の開発成果】 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ToolBox</th><th>成果概要</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>キーワード検索 ToolBox</td><td> 文書管理システムのカスタマイズ ● 文書管理システム（Alfresco）の詳細検索機能を利用者の利便性を考慮してカスタマイズした。 キーワード検索ツールボックスに収集する医療機器使用データ収集調査 ● 埋込型・装着型デバイスのリスク分析のため、補助人工心臓などの医療機器使用データを収集・調査し、手順書を作成した。 データ収集 ● 医療機器の回収情報や業界団体のデータなど約 7 万件を追加収集し、著作権に配慮して登録した。 検索機能の追加と登録文書のカテゴリ整備 ● キーワード検索ツールボックスの試用から検索機能の課題を確認し、絞り込み検索を強化するなどインターフェイスを改良した。また、文書のカテゴリ整理やプロパティ編集を実施した。 </td></tr> </tbody> </table>	ToolBox	成果概要	キーワード検索 ToolBox	文書管理システムのカスタマイズ ● 文書管理システム（Alfresco）の詳細検索機能を利用者の利便性を考慮してカスタマイズした。 キーワード検索ツールボックスに収集する医療機器使用データ収集調査 ● 埋込型・装着型デバイスのリスク分析のため、補助人工心臓などの医療機器使用データを収集・調査し、手順書を作成した。 データ収集 ● 医療機器の回収情報や業界団体のデータなど約 7 万件を追加収集し、著作権に配慮して登録した。 検索機能の追加と登録文書のカテゴリ整備 ● キーワード検索ツールボックスの試用から検索機能の課題を確認し、絞り込み検索を強化するなどインターフェイスを改良した。また、文書のカテゴリ整理やプロパティ編集を実施した。
ToolBox	成果概要				
キーワード検索 ToolBox	文書管理システムのカスタマイズ ● 文書管理システム（Alfresco）の詳細検索機能を利用者の利便性を考慮してカスタマイズした。 キーワード検索ツールボックスに収集する医療機器使用データ収集調査 ● 埋込型・装着型デバイスのリスク分析のため、補助人工心臓などの医療機器使用データを収集・調査し、手順書を作成した。 データ収集 ● 医療機器の回収情報や業界団体のデータなど約 7 万件を追加収集し、著作権に配慮して登録した。 検索機能の追加と登録文書のカテゴリ整備 ● キーワード検索ツールボックスの試用から検索機能の課題を確認し、絞り込み検索を強化するなどインターフェイスを改良した。また、文書のカテゴリ整理やプロパティ編集を実施した。				

	承認審査 支援 ToolBox (学習済み 機械学習 モデル)	特許出願 ● 信州大学は「医療機器、素材等の開発支援システム」を単独で出願、権利化（特許第 7004350 号）。ハザード・リスク評価に基づくデータベース構築を目指す。 プロトタイプを検証と改良 ● 機械学習 API を用いたシンプルな構成で、検索文から関連データを抽出する仕組みを開発した。ユーザー企業からのフィードバックを基にインターフェイスを改良した。 収集データ及びビッグデータ/AI 解析データ対象文書の著作権に関する調査 ● ビッグデータ/AI 解析に関する著作権の扱いを法律事務所と相談し、ツールの仕様変更を実施した。 アノテーション・ガイドライン作成と標準作業手順書作成調査 ● アノテーション効率化のためガイドラインを作成し、標準作業手順書を整備した。 ● 学習文書のデータ加工と学習モデルを作成・評価した。 ● 医療機器関連文書を収集・加工し、学習モデルの F 値 0.7 を達成した。 承認審査支援ツールボックスによる検索結果の検証と使用例 ● ツールのデモを企業に実施し、使用イメージの確認と改良を行った。
	患者 レジストリ 情報管理 システム	特許出願 ● 患者レジストリ情報管理システムに関する知財を信州大学が単独で出願した。スマホから片手で入力でき、医師と患者の両方に対応するカスタマイズ可能なアプリを提供した。 インターフェイスの改良 ● スマホ対応の横向き固定インターフェイスを導入し、データベースの公開設定や Log 保存機能を追加。プロトタイプを完成させ、臨床研究で実証を開始し、早期実用化を目指す。 Active Learning System の設計・構築 ● 医療機器のマニュアルやトレーニングを閲覧できるシステムを市販後調査支援ツールとして開発した。

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

3) プログラム終了後の構想・計画

各プロジェクトが終了報告書に記載した今後の構想・計画等について整理する。

(1) 今後のコンソーシアム活動の展望

医療機器開発時の有効性・安全性情報の検索から製造販売後調査までを一体的に支援し、多数の生体埋込型・装着型デバイスの創出に寄与すべく、「生理学的データ統合システム」を、コンソーシアム会員向けサービスとして運用することを目指す。

併せて、コンソーシアムにおいて「生体適合システム学」の学問体系を構築し、同システムと一体的に運用することで、科学的根拠と産業適応性を両立した、生体安全性・有用性の体系化・標準化を目指す。

信州地域が医療機器安全性評価の基盤拠点となることにより、日本の医療機器開発の加速や生涯自立して生活できる社会実現に貢献することを目指す。

(2) 技術・システム革新シナリオ

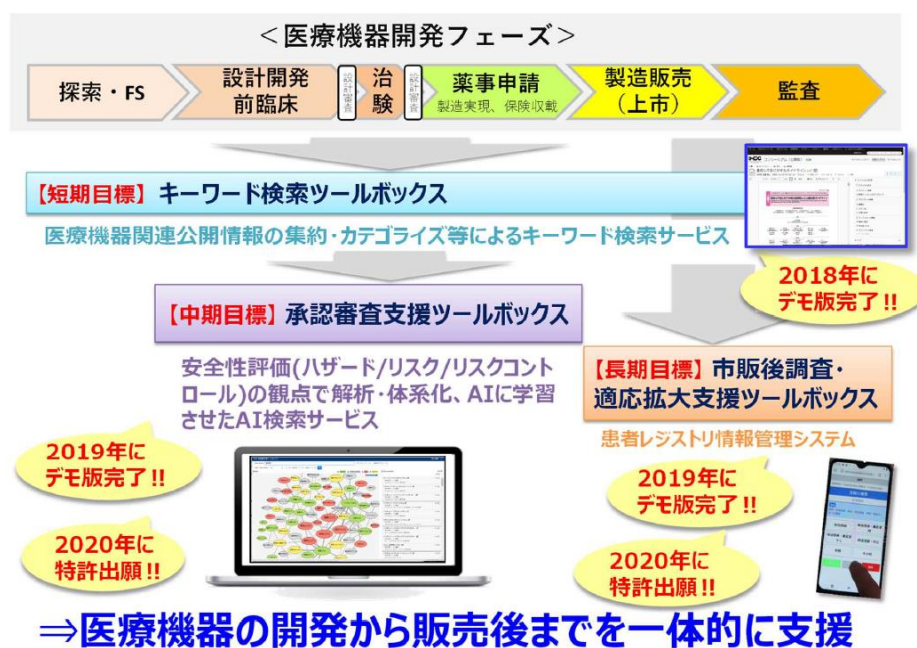
① 関連市場規模

2017年度の人工臓器の市場規模 6,510 億円（年間伸び率 3.2%）に対し、2035 年の生体埋込型・装着型デバイスシステム産業の市場は 2 兆 5 千億円規模（同 8.0%）となることを見込む。これによる医療費抑制額は 5 兆円となると想定している。

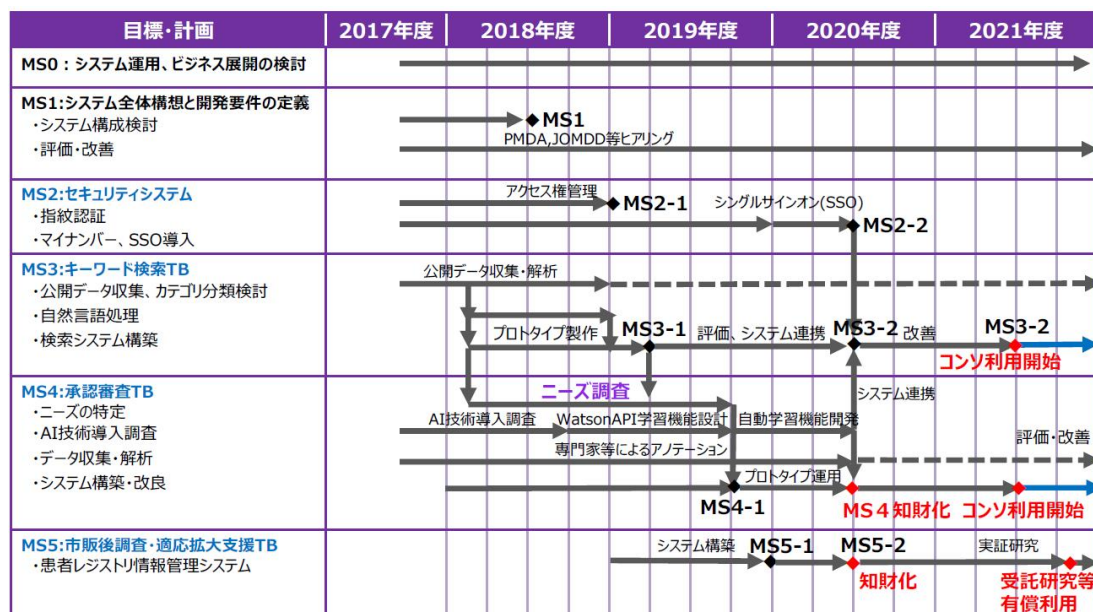
② 生理学的データ統合システムを活用したサービス目標

埋込型・装着型デバイス開発と医療機器認証取得においては、医療機器の安全性評価を行う必要があり、医療機器の承認審査の観点になっている。この安全性評価に関する情報を、共通的・基盤的な情報として本システムに集約・体系化し、承認審査経験が少ない中小企業や参入企業や、承認審査経験を有する医療機器メーカー等にとっても、新規医療機器開発に参照可能な情報として提供する。

図表 2-68 生理学的データ統合システムを活用したサービス目標



図表 2-69 生理学的データ統合システム構築のマイルストーン



資料：「終了報告書」より抜粋

なお、研究開発に関する「プログラム終了後の活動方針」については「5) 研究開発成果の発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。同様に、産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みに関する「プログラム終了後の運用方針」については「6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。

【備考】本追跡調査における調査対象者

本追跡調査は、埋込型・装着型デバイス共創コンソーシアムにおける主要なプロジェクト参加者（領域統括、幹事機関、主要研究者、主要企業、リサーチアシスタント等。各プロジェクトから調査対象者を推薦いただいた）を対象に実施している（アンケート調査：21名、ヒアリング調査：8名）。

そのため、次ページ以降に示す調査結果は、各プロジェクトに関する本プログラム終了後の中核的な活動状況を対象としたものであり、全プロジェクト参加者による活動全体を網羅したものではないことに留意されたい。

4) 共創コンソーシアムの発展状況

本プログラムを推進した埋込型・装着型デバイス共創コンソーシアムのネットワークは、その後も維持されている。また、JST の共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT) の地域共創分野 (育成型) に採択された「信州大学スマート在宅治療プログラム」を推進する「患者と家族と医療従事者のライフデザインを実現するスマート在宅治療システム拠点」へと展開された (同拠点事業は 2023 年 3 月に終了)。

(1) 埋込型・装着型デバイス共創コンソーシアム (JST OPERA)

① 目的

- 日本の医療機器開発を牽引する企業と研究機関が集結し、生体埋込型・装着型デバイスの開発と、医療機器開発に関わる情報を集約・共有するツールボックス「生理学的データ統合システム」を構築している。
- これにより、オープンイノベーションの加速化と、多数の有用な生体埋込型・装着型デバイスを次々と生み出していくことを目指している。

② 体制

図表 2-70 埋込型・装着型デバイス共創コンソーシアムのメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関・PJ リーダー	信州大学 齋藤 直人 (信州大学 先鋭領域融合研究群バイオメディカル研究所・所長、学長補佐、教授)
研究機関	信州大学、東北大学、金沢医科大学、北海道循環器病院、公立諏訪東京理科大学、群馬大学、北陸先端科学技術大学院大学
企業	(株)アルプ再生医療研究所、(株)イナリサーチ、SSST(株)、(株)寿ホールディングス、(株)サンメディカル技術研究所、(株)スキノス、帝人フロンティア(株)、キッセイコムテック(株)、Biotronik SE & Co. KG、(株)ブルボン、メドエルジャパン(株)、(株)ビーエムジー
マネジメント体制	事務局：信州大学 学術研究・産学官連携推進機構、バイオメディカル研究所ビッグデータ室

※2025 年 1 月末現在

③ 活動内容

主な活動内容は下記の通り。

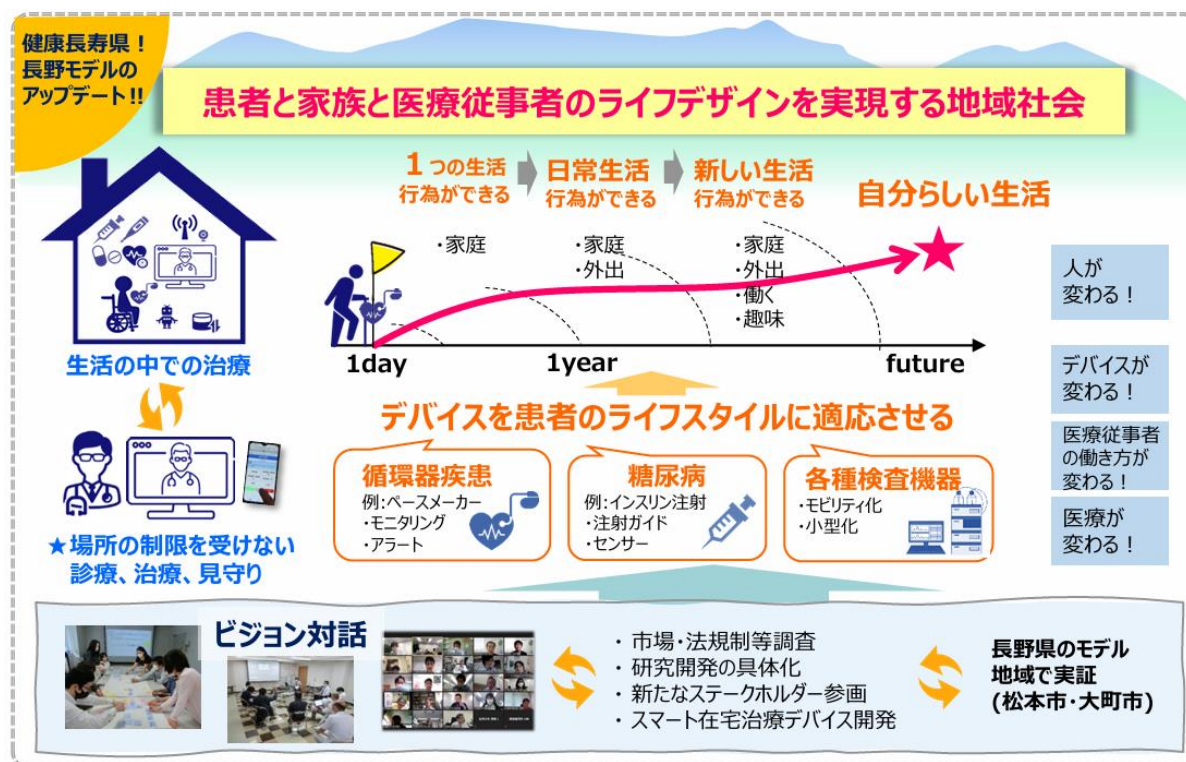
- 【会議、セミナー、シンポジウム等】信州大学医療分野等のセミナー開催に関する情報共有等を実施。
- 【共同研究、実施事業、マッチング等】研究連携の提案・マッチング支援、外部資金を活用した研究テーマアップ等を実施。
- 【イベント、展示会等】学内の関連する展示会出展の案内等を実施。

(2)患者と家族と医療従事者のライフデザインを実現するスマート在宅治療システム拠点(JST 共創の場形成支援プログラム)

①目的

- 世界一の健康長寿を目指す長野県において、‘患者と家族と医療従事者のライフデザインを実現する地域社会’を目指す。
- 中山間地など住む場所により医療サービスの制限を受けず、病気等があっても治療の為にライフスタイルを崩さない、ライフデザインを描けるスマート在宅治療システムを実証する。
- 長野県の精密加工・電子技術の強みと信州大学の埋込型・装着型デバイス開発と産学官共創の実績を活かし地域の課題解決と経済成長に取り組む。
- 2022年4月設立、2023年3月終了。

図表 2-7 1 スマート在宅治療システム拠点 概要図



②体制

図表 2-7 2 スマート在宅治療システム拠点のメンバー、組織

区分	メンバー
代表機関・幹事自治体 幹事機関	信州大学 長野県 (大学等) 群馬大学 (企業等) テルモ(株)
PJ リーダー等	【PJ リーダー】 齋藤 直人 (信州大学先鋭領域融合研究群バイオメディカル研究所所長／卓越教授) 【副 PJ リーダー】

	<社会実装担当>定仲 信行（テルモ㈱ITソリューションセンター長）、 <システム構築担当>浅尾 高行（群馬大学副学長 数理データ科学教育研究センター長、教授） <ビジョン対話担当>青木 薫（信州大学医学部 准教授） <運営担当>松山 紀里子（信州大学学術研究・産学官連携推進機構 准教授） <地域実証担当>古賀 弘志（信州大学医学部 講師） 【PJリーダー補佐】倉島 浩（長野県産業労働部産業技術課長）
大学等	社会医療法人北海道循環器病院、福岡大学、岡山大学、金沢医科大学、北陸先端科学技術大学院大学、東北大学
企業等	㈱サンメディカル技術研究所、バイオトロニック・ジャパン㈱、㈱西軽精機、㈱プラズマイオンアシスト、㈱アルプ再生医療研究所、㈱ビーエムジー、岩谷産業㈱、メドエルジャパン㈱、長野テクトロン㈱、帝人フロンティア㈱
実証連携機関	市立大町総合病院、JA 長野厚生連北アルプス医療センターあづみ病院、(独法) 国立病院機構まつもと医療センター
マネジメント体制	事務局：信州大学 学術研究・産学官連携推進機構、バイオメディカル研究所ビッグデータ室

※2025 年 1 月末現在

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

- 【会議、セミナー、シンポジウム等】信州大学医療分野等のセミナー開催に関する情報共有等を実施。
- 【共同研究、実施事業、マッチング等】研究連携の提案・マッチング支援、外部資金を活用した研究テーマアップ等を実施。
- 【イベント、展示会等】学内の関連する展示会出展の案内等を実施。

5) 研究開発成果の発展状況

研究開発に関する、プログラム終了後の活動状況について、(プログラム終了時における活動方針と対比しつつ) 研究開発テーマ・課題ごとに記載する。

なお、以下は OPERA 期間中のすべての研究開発テーマ・課題について網羅的に記載したものではなく、調査対象となった研究者・企業等が関連する研究開発テーマに焦点を置いた記載であることに留意されたい。

(1) 材料・素材分野

① 研究開発課題1 人工内耳電極の生体内安定性と薬剤徐放電極の開発および有効性に関する基礎的研究

プログラム終了後の活動方針(事業終了報告書より抜粋・要約)

- デキサメタゾン徐放電極はメドエル欧州本社で CIDEX 試験を実施中。日本も臨床試験に参加予定。
- モデルマウスへのハイブリッド治療(遺伝子治療+人工内耳)研究を進める。

信州大学医学部の宇佐美特任教授とメドエルジャパン(株)により、下記等の研究開発が進められている。

A. 薬剤徐放型人工内耳は国内外で治験・臨床研究が進む

OPERA で開発を行った薬剤徐放型人工内耳について、ドイツでの Phase I 試験が終了し、現在 Phase II 試験の準備が進められている。また、本邦でも先進医療の申請に向けた臨床研究として 1 例を対象に薬剤徐放型人工内耳の埋め込みを実施し、術後 7 ヶ月の評価(最終評価)まで終了している。

POC でも効果が得られていた通り、実際の症例においても術後の電極インピーダンスが長期間低水準に維持されており、術後の炎症・線維化が抑制されることが明らかとなった。現時点で内耳の機能・構造を維持したまま挿入できるのはメドエル製の人工内耳が最も効果的であり、薬剤徐放型人工内耳に関しても競争はほとんど生じないと考えられる。

また、臨床研究として実施していた長い人工内耳電極を用いた EAS(残存聴力活用型人工内耳: 人工内耳と補聴器の組み合わせによる聴覚補助技術)の薬事承認が 2023 年 11 月に世界に先駆けて得られ、臨床の場で利用可能となっている。

② 研究開発課題5 機能性細胞を用いた生体適合性担体の探索および製造システムに関する研究

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- ラット心筋梗塞モデルにおいて、ヒト iPS 細胞由来心筋細胞をラミニンと同時に投与する移植法の有効性等を確認する。
- ネオアンチゲンがんワクチンの安全性試験を踏まえ、患者申出療養制度に従った申請、保険導入を目的とした臨床試験を実施する。
- 台湾高雄医学大学との国際共同研究を進める。

金沢医科大学病院の下平教授、北陸先端科学技術大学院大学の松村教授、信州大学の柴教授ら

により、下記等の研究開発が進められている。

A.研究開発と安全性試験が進む

現在も、移植細胞の生着向上に向けた研究（科研費）、機能性細胞足場材料の開発（産学共同研究）が続く。

また、再生医療等の安全性の確保等に関する法律に従い、「ネオアンチゲン-抗原提示細胞がんワクチン療法の安全性試験」及び「IFN 樹状細胞及び WT1 ペプチドを用いたがんワクチンの安全性試験」を遂行。前者については学術報告をしている（Cancers (Basel). 2023 Jul 14;15(14):3627. doi: 10.3390/cancers15143627.）。

さらに、台湾高雄医学大学と共同研究契約を締結（2023 年 2 月）。台湾の再生医療法に対応したネオアンチゲン-抗原提示細胞がんワクチン療法の国際共同研究を進めている。

B.共同研究先企業の廃業により、事業化に向けた体制を再構築

共同研究先企業（㈱アルプ再生医療研究所）が廃業となった（2024 年 6 月）ため、その整理として産業財産権（国内）：血小板溶解物を用いた樹状細胞の調製法（特願 2022-560801）及びクラスター制御培養による樹状細胞の調製法（特願 2020-204084）を別の企業に譲渡する等の対応をとっている。

また、OPERA 参画企業以外との共同研究（細胞培養用の器材に関する研究）も開始される等、体制の再構築が図られている。

③研究開発課題10 弱代謝性糖類を利用した生体内におけるガン細胞の増殖を抑制する新規バイオデバイスの設計及び再生医療用細胞の利便性向上のための細胞維持技術開発

プログラム終了後の活動方針（終了報告書より抜粋・要約）

- 特殊機器を必要としないバイオデバイスによるがん細胞の増殖抑制技術と既存の治療法を併用し、新たな治療技術開発を目指す。
- 再生医療用細胞の維持管理負担軽減、輸送時の細胞安定性向上に寄与する製品の展開を目指す。

信州大学、㈱ブルボンにより、下記等の研究開発が進められている。

A.研究テーマを拡大しつつ、産学共同研究と事業化を進める

がん細胞の増殖を抑制する新規バイオデバイス開発を通じて得たノウハウを活用し、さらにがん細胞の代謝に関する研究を継続している。また、がん細胞の転移抑制という側面でもアプローチし、新たなに転移部位の同定・検出技術も含め、包括的にがん転移を抑える技術開発に着手している。

㈱ブルボンでは、再生医療用細胞の維持培養技術開発を通じ、得られた基礎データを基に、ヒト間葉系幹細胞用アニマルフリー組成の培養液を開発・販売している。

【社会実装事例】ヒト間葉系幹細胞用無血清培養液【増殖制御用】

Xyltech MSC-01 Xeno-Free (株ブルボン)

特徴：再生医療研究向けの細胞の増殖スピードをコントロールする、新しいコンセプトの培養液シリーズ「Xyltech」からヒト間葉系幹細胞用のゼノフリー培養液を販売開始（2022年12月）。



資料：(株)ブルボン HP

(2)部材・モジュール分野

①研究開発課題6 小型軽量・高効率・安全な弾性エネルギーストレージ材料の基礎研究

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 再現性の問題と再生利用率の改良を達成する。
- 信州大学と公立諏訪東京理科大学の共同研究として、研究継続を考えている。

信州大学の金子教授、公立諏訪東京理科大学の内海教授らにより、下記等の研究開発が進められている。

A.医工連携体制による基礎研究を継続中

医療機器業界で、体内埋込型デバイス用に小型エネルギー源が求められる中、OPERA 終了後も、医工連携体制により、単層カーボンナノチューブ (SWCNT) ロープを用いた弾性エネルギーストレージ材料、大容量エネルギー貯蔵法の研究を継続している。

開発した SWCNT の捻じりばねは、重量エネルギー密度が最大で 2.1 MJ/kg と、リチウムイオン電池の約 3 倍のエネルギー貯蔵能を示した。さらに、-60～100 °C の温度範囲、500 回の繰り返しのわたって安定した貯蔵性能を維持した。従来のバネやフライホイールと比較して、より高いエネルギー密度をコンパクトな構造で実現しており、軽量・小型化が可能である点で革新性を有する。その成果論文を、Nature Nanotechnology に発表。地元 TV 等でも報道されている。

本研究課題から新たなテーマ『カーボンナノチューブロープの捻じり誘発化学反応システムの創生』が派生。科研費基盤 C を獲得している（2022～2024 年度）。

(3)周辺技術分野

①研究開発課題4 バイタルサイン組み込み型装着型デバイス研究

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- バイタルサインの算出精度向上に向け、健常者、高血圧・糖尿病患者等のデータを収集する。
- 信州大学附属病院での外来患者への被験者実験、長野県内病院・診療所等での大規模被験者実験を継続・開始する予定。

信州大学の児山教授、SSST(株)らにより、下記等の研究開発が進められている。

A.生活習慣病から、呼吸器疾患患者の早期発見へと研究テーマを移行

研究開発テーマを高血圧・糖尿病から呼吸器疾患に移行し、患者の早期発見に向けた研究とウェアラブルデバイスの開発を進めている。血圧や血糖値に加えて、呼吸について検証中である。OPERA 期間中の参加企業は撤退したが、新たに SSST(株) (信州大発ベンチャー) が参画し、信州大学繊維学部・医学部との産学連携により、呼気 CO₂ を簡便に測定する研究を継続している。価格競争力、生体応用性に優れたセンサシステムの実現を目指す。大学の開発技術である高精度ひずみセンサで、脈波から呼気 CO₂ の検出を高精度に行える可能性が確認されている。

SSST(株)では、脈波センサによる生体計測を応用したヘルスケアサービスの展開を検討中。現在、理美容店やスポーツジムで利用するサービスを想定し、デバイスとアプリの試作機を開発している。

②研究開発課題7 高機能装着型呼気・唾液センシングデバイスの基礎研究

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- バイタルサインの算出精度向上に向け、健常者、高血圧・糖尿病患者等のデータを収集する。
- 信州大学附属病院での外来患者への被験者実験、長野県内病院・診療所等での大規模被験者実験を継続・開始する予定。

信州大学の金子教授らにより、下記等の研究開発が進められている。

A.研究者の異動があった中、二酸化炭素皮膚センサは停滞、水蒸気皮膚センサは進捗

皮膚からの二酸化炭素を検出するセンサについては、*Chem. Eng. J.*誌に発表した。しかし、研究を担当していた研究者がアメリカの大学に異動したことにより、継続研究は進んでいない。一方、水蒸気センサの研究者はインドの研究所に異動したが、グラフェンを用いた研究を信州大学と共同で進め、これまでの文献と比べて高性能の検出感度を示すことを確認。最近ではモンペリエ大学に詳細な分子シミュレーションを依頼しており、独特の高感度検出の分子機構が分かりつつある。そのために、特許化及び論文を準備中である。

B.グラフェン包摂分離膜材料の開発による、新たな展開

グラフェン研究から、全く新しい原理の超高速分離膜である「グラフェン包接分離膜材料」の開発に成功し、*Science* 電子版に2022年に発表している(R. Kukobat, K. Kaneko ら、*Science Advances*, vol.8, eabl3521 (2022))。

また、この技術の社会実装を目指したプロジェクトを NEDO で進めている(「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム：オンサイト富化酸素供給のための高速分離膜モジュールの開発」(2023~2025 年度)。オンサイトでコンパクトな、富化酸素を供給できる高速分離膜モジュールを開発し、燃料電池車における大気酸素濃度での出力低下を抑制することを目指している。

(4)機器本体分野

①研究開発課題2 合併症が無く長期駆動安定な埋込型人工補助心臓の研究開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- OPERA 終了時点で神経機能障害・感染症発生率ともに改善を認めているが、正確な評価は米国で実施中の多施設無作為比較臨床治験 COMPETENCE Trial の結果で判定することとなる。
- 今後もさらなる血栓形成リスクを排除した新型の血液ポンプ、送脱血管の研究を継続していく。

北海道循環器病院先進医療研究所の山崎所長、(株)サンメディカル技術研究所により、下記等の研究開発が進められている。

A.米国での臨床試験を継続中。機種的高度化が進む

米国では、(株)サンメディカル技術研究所の植込み型人工補助心臓 EVAHEART について、2020年から多施設の無作為抽出臨床治験を開始された。約 40 症例の治験を行ったところで、治験を担当する施設から、機器改良を望む事項（脱血管をなくし、直接心臓の心尖部に取り付ける方式への変更）が挙げられた。当該改良を施したプロトタイプを作製し、現在、非臨床試験で大型動物を用いて実験中。2025 年 6 月には米国治験に再投入する計画である。

この改良により、ポンプと脱血管との間のつなぎ目をなくし、脳血管障害発症リスクのさらなる低減（安全化）を目指す。また、周期的回転数制御機構 PSM を搭載したコントローラのさらなる小型化・軽量化が進んでいる。

B.中国では 45 拠点で臨床応用が進む

中国では、現在、19 州 45 大学で臨床応用が進んでおり、約 250 例で植込みが行われている。今後、脱血管をなくした改良タイプ完成の暁には、薬事承認を取り、中国での展開も進めていく計画である。

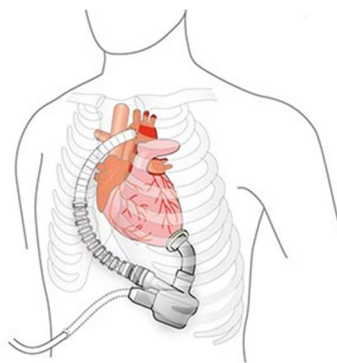
C.臨床・製造の産学連携は強固。国内では約 240 例に植込みが行われる

(株)サンメディカル技術研究所がデバイスの開発・製作を、北海道循環器病院先進医療研究所山崎所長が治験・臨床を担う体制は、OPERA 以前から継続。製品の改良、治験の実施等に関する関係者からの要請にも、迅速に対応できる体制となっている。

なお、日本国内では約 240 例に植込みが行われている。

【社会実装事例】 植込み型人工補助心臓「EVAHEART」(株)サンメディカル技術研究所)

特徴：植込み型補助人工心臓とは心不全になり十分に血液を送り出せなくなった心臓を補助するために、ポンプを体内に植え込み、血液を全身に送る装置である。この効果により心不全症状が改善し、退院そして在宅療養ができる可能性がある。



資料：(株)サンメディカル技術研究所 HP

(5)その他(プラットフォーム)分野

①研究開発課題9 生理学的データ統合システムの構築

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 医療機器開発・承認審査関連文書の自然言語解析学習モデルを基に、埋込型・装着型デバイスの種類と文書カテゴリを拡大し、学習モデルの多様化と網羅性を向上させる。
- 学習済みの医療機器・カテゴリに対する追加学習は機械学習プリアノテーションに任せ、新しい医療機器・カテゴリの学習にリソースを集中させることで、生理学的データベースの質と量を充実させる。

信州大学の浅尾特任教授、西村教授、キッセイコムテック(株)らにより、下記等の研究開発が進められている。

A.基幹技術(搭載 AI)を更新し、さらなる機能強化を目指して研究開発を継続

OPERA 終了後に、中核技術である AI エンジン IBM Watson から Google が開発した BART に切り替える、日本語処理に Meta の Llama 2 を取り入れるなど、最近の大規模言語モデル (LLM) の急速な発展を取り入れた研究開発を継続している。上記のような新技術投入により検索性能は飛躍的に向上しているが、その土台となっているのは OPERA 期間中に Watson のもとで蓄積した AI 開発ノウハウであり、AI の性能向上のみによりもたらされたものではない。一方で、企業にとっては、自社の持つ技術・ノウハウ等に関する情報をシステムで共有することには、高いハードルになる。その懸念を払拭するために、データベースは各企業で持つ等の仕組みを構築中である。

OPERA 終了後も JST 共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)、AMED の外部資金を獲得し、OPERA 時より小規模にはあるが、開発費に充当している。システム開発には多大な資金が必要であるものの、その時々で利用可能な資金を活用して継続できる体制を構築している。

B.生理学的データ統合システムの仕組み、開発ノウハウを活用した横展開

当初目的である、医療機器の承認申請を円滑に行うためのシステム開発は上記の通り継続中である一方、当システム開発により得られた技術やノウハウを生かして近接分野への横展開が試みられている。以下はその例である。

- 蓄積された情報を利用した、医療機器開発に携わる人材の育成プログラム（信州大学）
- 医療機器開発における市販後調査のレジストリープログラムを用いた学会レジストリーへの応用（信州大学）
- キーワード検索ツールボックスの検索エンジンを使った医療従事者向けのヒヤリハット情報検索システムサービスの提供（Axis technologies(株)）
- 医療関連 SaaS（患者情報共有システム）内の非公開 SNS 会話を AI にてリスク分析し医療関係者（多職種）向けアラート発信を行う機能（キッセイコムテック(株)）

【社会実装事例】医療関連 SaaS「トリニティクラウド」（キッセイコムテック(株)）

特徴：医療関連 SaaS（患者情報共有システム）である「トリニティクラウド」内の非公開 SNS 会話を AI にてリスク分析この分析結果に応じて、医療関係者（多職種）向けアラート発信を行う。

資料：キッセイコムテック(株)パンフレット

6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況

産学連携による研究開発推進やマネジメントの仕組みに関する、プログラム終了後の運用状況について、(プログラム終了時における運用方針と対比しつつ) 項目ごとに記載する。

(1) 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- OPERA で蓄積したノウハウ、育成した人材により、地方大学型の大型産学共同研究の企画・運営が可能となった。
- 信州大学 学術研究・産学官連携推進機構では、当該成果を基に、2023 年度に組織改編を行い、研究力強化→外部資金導入増→間接経費による経営力強化→研究力強化の好循環サイクルを拡大する。
- また、参画大学間で産学連携に関する情報交換を行い、共同研究における費用負担の適正化の仕組みを構築し、強化していく。

2022 年度には、信州大学の共同研究等の間接経費率の全学的な改定が行われ、間接経費が直接経費の 40%相当となった。これにより、信州大学の総力を挙げて研究・産学連携機能の高度化・強化と、新たな価値の創造とイノベーションの創出を推し進めることとなった。

信州大学に大学総合司令塔機能をもつ「アドミニストレーション本部」を 2023 年 3 月に新設し、組織的な情報収集・分析と社会課題解決シナリオの提案及びプロデュース等を担う部門と組織的マネジメント人材を配置している。全学及び部署横断的に社会課題の抜本的解決を図っていくとともに、更なる研究力強化と、組織対組織の産学連携機能の強化による大型共同研究の増大と、研究領域と連動したリカレント・リスキル教育などの人材育成機能を強化し、学びの好循環も図っている。

本事業の外部資金の適正な執行・情報管理や研究データ管理等の大型研究のリスクマネジメント体制を基に、2022 年度に、研究の国際化やオープン化により脅かされる研究の健全性・公正性及び研究価値の自律的な確保に向けた組織的マネジメントを図る研究インテグリティ体制を構築した。

(2) 知的財産の取扱いルール

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- OPERA 終了後もコンソーシアム活動を継続し、知財の共有と活用を促進する。
- 特許化された成果のみならず、研究成果や非公開情報も共有し、多分野が参画するコンソーシアムの利点を活かす。
- また、生理学的データ統合システムの価値向上にはデータの質と量が重要であり、企業が保有する安全性情報の非公開データの収集と解析を進めるため、データ提供の管理方針や契約書、特典などを整備し、企業が安心してデータを提供できる環境を整える。

本コンソーシアムで構築した産学共創における規約、知的財産取扱ルール等が基となり、大型産学共同研究の運営及び成果創出の仕組みが学内に普及している。

生理学的データ統合システムの利用規約とデータ提供規約および契約書等を整備し、信州大学バイオメディカル研究所ビッグデータ室での運用体制を整えている。なお、現在は新たな AI 技術を導入したシステム改良中である。

(3)人材育成

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 「生理学的データ統合システム」を基盤に新たな学問領域「生体適合システム学」が創成され、生体埋込型・装着型デバイス開発に関わる高度人材が大学や産業界で育成される。
- また、産学共同研究のマネジメント人材や、博士課程の人材育成・生活支援する ARA 制度は、イノベーションエコシステムの構築に不可欠であり、OPERA 終了後も組織的に拡大・発展させる。

信州大学 大学院総合医理工学研究科 生体適合システム学教室が中心となり、生体とバイオマテリアルの探究と両者の相互作用・適合性を集約・解析・体系化を図る研究開発、高度人材育成を行っている。

ARA 制度の発展系として、2020 年度に、優秀かつ意欲のある博士課程の学生を共創フェローに認定し、企業等との共同研究を活用して生活費等を支援し、研究に専念できる環境を提供する「信州産学共創フェローシップ制度」が創設された。また、2024 年度からは、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム (SPRING) を活用した研究及び経済的支援に加えたキャリアパス支援に発展している。

(4)機関連携・協力体制

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

【国内外の産業団体及び関係省庁等との連携による人材の集積】

- OPERA で構築した省庁や医療産業団体との連携を活かし、生理学的データ統合システムの自立化を推進し、信州大学等で医療分野の研究開発の実用化や事業化を進める。また、外部人材のネットワークを活用し、大型産学共同研究による研究力強化を図る。

【機器・施設の利用計画・共用計画】

- インキュベーション施設や共同利用機器を活用し、産学官連携コンソーシアムと連携しながら、これら施設の利用計画や支援を継続的に進める。

【国内外の産業団体及び関係省庁等との連携による人材の集積】

医療機器産業団体を束ねる日本医療機器産業連合会が継続的に賛助会員となっており、産業団体等の連携や情報共有ができています。信州大学が事務局を務める信州メディカル産業振興会の会員企業は、生理学的データ統合システムの想定顧客（医療・ヘルスケア機器開発企業や参入を目指す中小企業等）で、引き続き、会員企業のニーズ収集等を得て実用化を進める。

OPERA で得た、医療分野でのシステム・AI 技術を有する企業とのネットワークにより、2023 年度に専門領域&デジタル融合人材育成プログラム共同研究部門を設置。2024 年度においても共同研究の大型化を進めている。

信州大学は、2023 年度より情報通信研究機構と連携協定を締結し、医療分野においても当該機構との研究立案を進めている。医学部及び附属病院における医療情報を活用した研究力強化に向け医療 AI 基盤の構築を進めている。

【機器・施設の利用計画・共用計画】

上記、共同研究部門においてインキュベーション施設（信州地域技術メディカル展開センター）を活用し、参画企業と共に研究・教育を推進している。

（5）参画機関の管理

プログラム終了後の運用方針（終了報告書より抜粋）

- 国内外の展示会に参加し、OPERA の意義・取組を医療機器産業団体や企業に周知し、コンソーシアムの拡大を図る。また、異業種の企業との交流機会を持ち、産業団体や企業等を支援する自治体とも協力する。
- 生理学的データ統合システムについて、医療機器開発企業や研究機関にコンタクトを取り、情報・データを収集・解析する。
- 生体安全性評価の基準化・標準化に向け、厚生労働省や経済産業省と意見交換を行っていく。また、国際基準との連携を進めるため、関連学会や専門家と協力し、研究会の実施やテーマアップの可能性を探索する。

ヘルスケア・医療機器 開発展や、デジタルヘルス医療情報学連合大会等に継続的に参加し、関連企業への周知等を実施。長野県や県内自治体とも協力し、スマート在宅治療の研究プロジェクトを推進している。

生理学的データ統合システムへのデータ収集のハードルや解析コストを下げるため、新たな AI 技術を導入した検索モデルを構築中である。

生体安全性評価に関する国際基準との連携を進めるため、専門家等の意見収集により英語対応の検索システムの仕様検討を進めている。

【事例】アドミニストレーション本部

信州大学に大学総合司令塔機能をもつ「アドミニストレーション本部」を 2023 年 3 月に新設し、組織的な情報収集・分析と社会課題解決シナリオの提案及びプロデュース等を担う部門と組織的マネジメント人材を配置。

全学及び部署横断的に社会課題の抜本的解決を図っていくとともに、更なる研究力強化と、組織対組織の産学連携機能の強化による大型共同研究の増大と、信州大学が強みを有する材料研究及び材料をコアとした応用研究等の研究領域と連動したリカレント・リスキル教育などの人材育成機能を強化し、学びの好循環を図っている。

アドミニストレーション本部
(Administrative Headquarters at Shinshu University, AHSU)
が大学の総合司令塔となり、課題解決のシナリオを策定。
戦略設計から企画・立案、社会的価値創造まで伴走します。

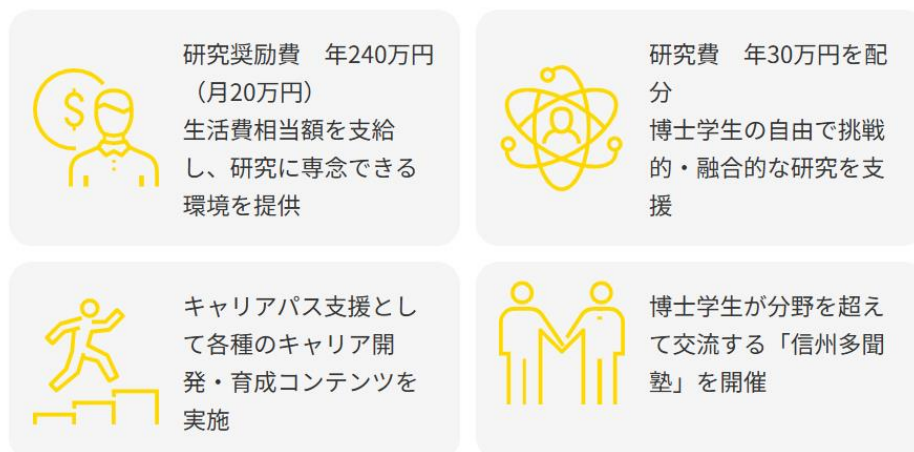


資料：信州大学アドミニストレーション本部 HP

【事例】科学技術イノベーション創出に向けた信州産学共創フェローシップ

OPERA プロジェクトで構築した「アドバンスト・リサーチ・アシスタント制度」の発展として、信州大学の優秀かつ意欲のある博士課程の学生を「共創フェロー」として認定し、企業の理解と協力、連携を通じて、経済的支援や研究力強化支援、さらにキャリア形成支援を行うことで、高度イノベーション人材の育成を目指す制度。

企業に事業経費の一部をご負担いただく一方で、本学と実施している共同研究に認定した「共創フェロー」が参画することが大きな特徴の1つ。企業にとっては本事業にご協力いただくことで、当該の共同研究に対して、専門的な知識、スキルを有した優秀な博士課程の学生の協力が得られ、研究に一層の深化と進展が期待できる。



資料：信州大学

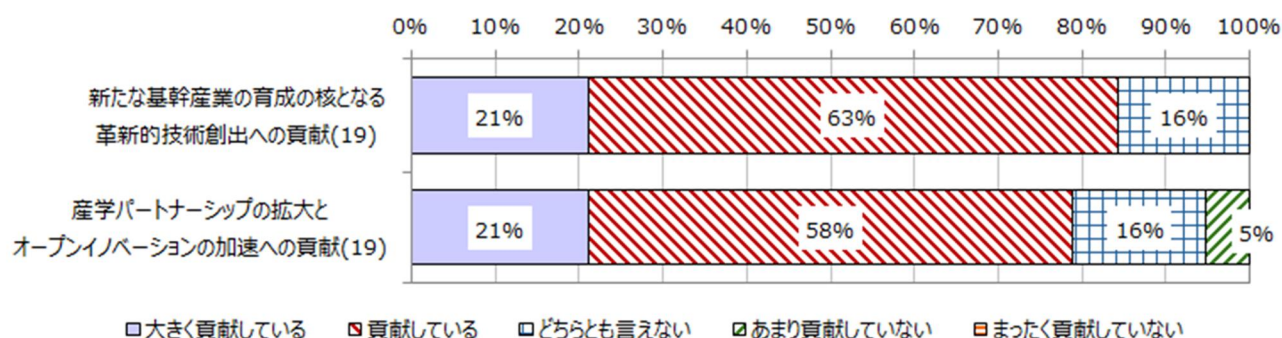
7) プロジェクトが果たした役割

アンケート調査、ヒアリング調査結果を基に、本プロジェクトが果たした役割について、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献と産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献の2つの観点からまとめる。

(1)プロジェクトの貢献度

アンケート調査にて、マネジメント層（領域統括、幹事機関等）、研究者及び企業の計19者に対し、本プロジェクトは基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したかの自己評価をたずねたところ、革新的技術創出に対して「大きく貢献している」及び「貢献している」との回答は8割強、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対して「大きく貢献している」及び「貢献している」との回答は約8割に達した。

図表 2-73 本プロジェクトによる貢献度（自己評価）



※（ ）内は回答者数

(2)プロジェクトの貢献内容

さらに、ヒアリング調査にて、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対する本プロジェクトの貢献状況について聞いたところ、下記の意見が得られた。

図表 2-74 本プロジェクトによる貢献内容

項目	主な意見
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献	【生理学的データ統合システム】（研究開発課題9） ○ 本事業は、「生理学的データ統合システム」を基盤に、生体埋込型・装着型デバイス産業の育成に貢献した。アカデミアが中心となり、国際的に求められる生体安全性情報を集約・体系化し、医療機器の開発に必要なデータを統合的に解析することで、迅速な製品化と安全性評価の標準化を促進している。このシステムは、承認審査の経験が少ない中小企業や新規参入企業を主な対象とし、国内の生体埋込型・装着型デバイス産業の成長を支援するものである。【マネジメント層】 ○ 本事業において実施した「生理学的データ統合システムの研究開発」

	は、医療機器開発に有用ではあるものの、公的な共有の座組が存在せず企業間での共有が進捗していなかった基礎研究データ、前臨床（ISO 規格の GLP 試験等）、臨床試験データ、機器設計・仕様データ、PMDA 対応データ等の開発データを、大学を基軸としたコンソーシアムを中核に共有する仕組みを構築した。これは、日本初（おそらく世界初）の埋込型・装着型デバイスの開発基盤であり、普及活用により医療機器開発の効率化、新規企業等の参入促進等を通じて基幹産業育成の核となるものである。【マネジメント層】 ○ AI 検索エンジンの開発経験が、AI の時代を迎えた今での開発基盤となっている。【企業】 【人工内耳電極】（研究開発課題 1） ○ OPERA を通じて、薬剤徐放コーティングを実施したシリコン素材により術後の炎症・線維化を抑制可能なインプラント（埋め込み）デバイスの確立が可能となった。【研究者】 【生体エネルギーストレージ・変換技術】（研究開発課題 6） ○ SWCNT ロープばねは、従来のエネルギー貯蔵デバイスのエネルギー密度を大幅に超える性能を有し、さらに優れた耐久性を活用することで、軽量・高効率なエネルギー貯蔵デバイスの製造が可能となり、持続可能なエネルギー活用を支える基盤技術として、新たなエネルギー貯蔵産業の成長を促進する。【研究者】 【非侵襲多機能バイタルセンサ】（研究開発課題 4） ○ 本プロジェクトでは、血中の二酸化炭素を簡易に測定できる新規手法に関する基礎的な研究を行い、その可能性を見出した。【企業】 【呼気・唾液センシング技術】（研究開発課題 7） ○ OPERA から派生したグラフェン包接分離膜は現在、多くの企業を含めた社会実装へと動きだしている。【研究者】
産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献	【産学共同研究開発体制の確立】 ○ 医療機器分野において、本格的な異分野融合のコンソーシアムはほとんどなく、本コンソーシアムを設立したこと自体が大きな貢献であった。【マネジメント層】 ○ 生理学的データ統合システムの研究開発を基軸に、これまで共有がすすんでいなかった医療機器開発データの共有を可能とするコンソーシアムの座組構築により、医療機器開発を望む企業が大学とのパートナーシップを元にコンソーシアムに加入するインセンティブとなった。【マネジメント層】 ○ 信州大学を中心としたコンソーシアムを形成し、参加機関間で知的財産や秘密情報の取り扱いルールを策定することで、組織対組織の大型共同研究体制が整備された。さらに、間接経費の一部を本プロジェクトの推進費として配分する仕組みが構築され、本事業をパイロットに、産学共同の研究活動が持続的に推進される体制が確立した。

	【マネジメント層】 【ネットワークの拡大・深化】 ○ OPERA を通じてパートナー企業との連携が深まり、効率的に基礎研究および臨床研究を推進することができた。【研究者】 ○ 産学双方の協同事業を通して良好なパートナーシップの確立とオープンイノベーションを加速できた。【研究者】 ○ 共同で参画した企業が本腰を入れて、社会実装へと動き出そうとしており、寄与は大きかったと考えている。【研究者】 ○ SWCNT ロープばねの開発には、企業と大学の密な連携が不可欠で、材料供給や装置開発、評価技術において持続的なネットワークが構築され、今後の技術革新に向けた協力関係が強化された。【研究者】 ○ より多彩なパートナーシップを築くことができ、有識者や様々な視点での助言が得られた。プロジェクトがあったからこそそのパートナーシップであり、自社のみのリソースでは得られない有意義な知見を多く得ることができた。【企業】 【オープンイノベーションの加速】 ○ コンソーシアムを通じて、統合システムでは様々な種類のインプラント系材料のデータ集積が行われ、一方で利用する立場からは自己及びその他のデータ収集に寄与するものである。【研究者】 ○ 当社が有する生体計測の技術を提供することによってオープンイノベーションが加速されたと考える。一方、当社単独では、「医学的な知見」および「酸素濃縮器を作成する技術」を得ることはほぼ不可能である。これらを補完できる医学部、製造会社と枠組みを構築できたことが大変貴重であったと考える。【企業】 ○ ハザード、リスク、リスクマネジメント情報が共有され、医療機器開発に要する時間が大幅に短縮された。【マネジメント層】
--	--

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

(3)創出された「新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術」の内容

本プロジェクトにより創出された、革新的技術の内容については、下記の意見が得られた。

図表 2-75 本プロジェクトにより創出された、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の内容

研究開発課題	主な意見
1 人工内耳電極	○ 薬剤徐放コーティングを実施したシリコン素材により術後の炎症・線維化を抑制可能なインプラント（埋め込み）デバイスの確立が可能となった。また、臨床研究として実施していた長い人工内耳電極を用いた EAS の薬事承認が 2023 年 11 月に得られ実際の臨床の場で利用可能となった。【研究者】
6 生体エネルギーストレージ・変換技術	○ 本プロジェクトで開発した単層カーボンナノチューブの捻じりばねは、重量エネルギー密度が最大で 2.1 MJ/kg と、リチウムイオン電池の約 3 倍のエネルギー貯蔵能を示した。さらに、-60～100 °C の温度範囲、500 回の繰り返しにわたって安定した貯蔵性能を維持した。従来のバネやフライホイールと比較して、より高いエネルギー密度をコンパクトな構造で実現しており、軽量・小型化が可能である点で革新性を有する。【研究者】
4 非侵襲多機能バイタルセンサ	○ 血中 CO ₂ 、呼気 CO ₂ を含めた、人の生体情報（脈拍、血圧、血糖値等を含む）の同時かつ非侵襲的な連続計測の基礎技術が創出された。生体情報の測定には、従来、複数のセンサデバイスが必要であったが、単一の脈波センサを用いてこれら生体情報を測定できる可能性がある。非常に少ない負担で測定が行われるため、長時間にわたり生体情報が記録される。既存の医療機器では原理的に測定できない時間間隔で生体情報が取得できるため、新たな医学的な知見が得られる可能性がある点において革新性がある。【企業】
7 呼気・唾液センシング技術	○ 全く新しい原理の超高速分離膜である、グラフェン包接分離膜材料の開発に成功した。Science 電子版に 2022 年に発表し、社会実装を目指したプロジェクトを NEDO で進めている。【研究者】
9 生理学的データ統合システム	○ これまで個々に開発が進められていた生体埋込型・装着型デバイスの開発・承認情報を収集し、AI 技術を活用してこれらデバイス開発と医療機器の承認審査に必要となる生体安全性情報の分析（ISO 14971 医療機器のリスクマネジメント）に資する生理学的データ統合システムを構築した。このシステムは、承認審査経験の少ない中小企業や参入企業を主ターゲットとする国内の生体埋込型・装着型デバイス産業の育成に寄与する。【マネジメント層】

(4)国内外の他拠点などに対する比較優位性

本コンソーシアム・研究開発拠点がベンチマークする国内外の他拠点と、それに対する比較優位性については、下記の意見が得られた。

図表 2-76 ベンチマークする拠点と比較優位性

項目	主な意見
ベンチマーク 拠点	○ 生理学的データ統合システムについて、国内外に同様のシステム（公的なISO14971 に対応するリスクマネジメントに係る共通データベース）はなく、普及すればオンリーワンとなる。
比較優位性	○ 国内の生体埋込型・装着型デバイス開発を牽引する企業や研究機関が参画し、デバイス開発に関する知見・ノウハウおよび生体安全性情報を共有するコンソーシアムを形成している点で、国内外の他拠点には見られない独自性を有する。 ○ 同システムは、各種デバイス開発に必要なリスク評価や安全性データを迅速に参照でき、特に生体安全性を伴う医療機器やヘルスケア分野の開発に大きく貢献しうる。 ○ 上記の点により、本拠点は他拠点に対して競争優位性を有している。

8) 資料

アンケート調査への回答内容から、本プログラム終了後の主要な論文、特許、取得した官民の事業資金について掲載する。

①論文

論文名	著者名	掲載誌	年月
Dendritic cells pulsed with multifunctional Wilms' tumor 1 (WT1) peptides combined with multiagent chemotherapy modulate the tumor microenvironment and enable conversion surgery in pancreatic cancer.	Koido S, Taguchi J, Shimabuku M, Kan S, Bito T, Misawa T, Ito Z, Uchiyama K, Saruta M, Tsukinaga S, Suka M, Yanagisawa H, Sato N, Ohkusa T, Shimodaira S, Sugiyama H.	J Immunother Cancer	2024.10
AI による神経難病患者における患者情報共有システム書き込み内容からのハイリスク・good point 抽出の試み	日根野晃代、奥村学、上條祐衣、藤原尚、中村昭則	日本難病医療ネットワーク学会機関誌 第 12 巻	2024.10
Shouhei Koyama, Yuki Sato, Hiroki Maru, Soshi Shiokawa, Michal Martinka	Wearable FBG Sensor System for Respiratory Strain Measurement During Daily Activities	IEEE Sensors Journal	2024.7
ALS 患者における患者情報共有システム内書き込み内容の AI による good point の探究	日根野晃代、奥村学、上條祐衣、藤原尚、中村昭則	臨床神経学 第 64 巻	2024.5
Giant nanomechanical energy storage capacity in twisted single-walled carbon nanotube ropes	Shigenori Utsumi, Sanjeev Kumar Ujjain, Satoshi Takahashi, Ryo Shimodome, Tae Yamaura, Ryosuke Okuda, Ryuichiro Kobayashi, Oga Takahashi, Satoshi Miyazono, Naoki Kato, Keiichi Aburamoto, Yuta Hosoi, Preety Ahuja, Ayumi Furuse, Yuma Kawamata, Hayato Otsuka, Kazunori Fujisawa, Takuya Hayashi, David Tománek, Katsumi Kaneko	Nature Nanotechnology	2024.4
患者情報共有システムにおけるヒトによるタグ付け機能と AI によるリスク検出の比較	奥村学、日根野晃代、藤原尚、上條祐衣、関島良樹、中村昭則	日本難病医療ネットワーク学会機関誌 第 11 巻	2023.11
Determining optimal cochlear implant electrode array with OTOPLAN.	Yoshimura H, Watanabe K, Nishio SY, Takumi Y, Usami SI.	Acta Otolaryngol.	2023.9
Verification of Optimal Installation Point of FBG Sensor for Pulsation Strain Measurement	Shouhei Koyama, Tatsuya Yoda, Masashi Yamamoto, Soshi Shiokawa, Kaito Kane, Michal Martinka	IEEE Sensors Journal	2023.8
Clinical Trial on the Safety and Tolerability of Personalized Cancer Vaccines Using Human Platelet Lysate-Induced Antigen-Presenting Cells.	Koya T, Yoshida K, Togi M, Niida Y, Togi S, Ura H, Mizuta S, Kato T Jr, Yamada S, Shibata T, Liu YC, Yuan SS, Wu DC, Kobayashi H, Utsugisawa T, Kanno H, Shimodaira S.	Cancers (Basel)	2023.7
The relationship between preoperative factors and the pattern of longitudinal improvement in speech perception following cochlear implantation.	Shinagawa J, Yoshimura H, Nishio SY, Takumi Y, Usami SI.	Acta Otolaryngol.	2023.5
ALS における患者情報共有システム関係者書き込み内容の AI 解析とタグ付け機能の比較	日根野晃代、奥村学、上條祐衣、大江沙季、中村昭則	臨床神経学 第 63 巻	2023.5
Air-permeable redox mediated transcutaneous CO ₂ sensor.	Ahuja P, Ujjain SK, Kukobat R, Urita K, Moriguchi I, Furuse A, Hattori Y, Fujimoto K, Rao G, Ge X, Wright T, Kaneko K.	Chem. Eng. Journal	2023.2
EVAHEART 臨床治験第 1 例目	山崎健二	胸部外科 76 巻 5 号	2023
Evaluation of the optimal dose for maximizing the anti-adhesion performance of a self-degradable dextran-based material	Woogi Hyon, Suong-Hyu Hyon, Kazuaki Matsumura	Carbohydrate Polymer Technologies and Applications	2022.12

筋萎縮性側索硬化症における患者情報共有システム内の関係者書き込み内容の AI 解析	日根野晃代、上條祐衣、大江沙季、古屋靖哲、石川哲男、中村昭則	日本難病医療ネットワーク学会機関誌 第 10 巻	2022.11
The Detection of Immunity against WT1 and SMAD4P130L of EpCAM+ Cancer Cells in Malignant Pleural Effusion.	Koya T, Niida Y, Togi M, Yoshida K, Sakamoto T, Ura H, Togi S, Kato T Jr, Yamada S, Sugiyama H, Koido S, Shimodaira S.	Int J Mol Sci	2022.10
Different In Vitro-Generated MUTZ-3-Derived Dendritic Cell Types Secrete Dexosomes with Distinct Phenotypes and Antigen Presentation Potencies.	Sakamoto T, Koya T, Togi M, Yoshida K, Kato T, Ishigaki Y, Shimodaira S.	Int J Mol Sci	2022.7
Elucidating the degradation mechanism of a self-degradable dextran-based medical adhesive	Woogi Hyon, Shuji Shibata, Etsuo Ozaki, Motoki Fujimura, Suong-Hyu Hyon, Kazuaki Matsumura	Carbohydrate Polymers	2022.2
周期的回転数制御機構 PSM を搭載した EVAHEART 小型コントローラ C-03 の開発と臨床応用	山崎健二、本村禎、小林信治	人工臓器 51 巻 1 号	2022

②特許

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日
機械的エネルギー貯蔵体	内海重宣、金子克美	公立諏訪東京理科大学、信州大学	特願 2024-182266	2024.10.17
細胞増殖抑制剤	滝澤佐季子、藤本俊介、高坂美恵子、佐々木克典	(株)ブルボン	WO2021132539A1	2020.12.25

③官民の事業資金

機関名	事業・制度名	課題名	年度	基となった研究開発テーマ
日本学術振興会 (JSPS)	科学研究費助成事業	心筋再生を実用化するための免疫制御法の開発	R6-R9	機能性細胞を用いた生体適合性担体の探索および製造システムに関する研究
日本医療研究開発機構 (AMED)	優れた医療機器の創出に係る産業振興拠点強化事業	信州大学医療機器産業振興拠点の強化	R6	生理学的データ統合システムの構築
文部科学省	令和 4 年度国立大学改革・研究基盤強化推進補助金(国立大学経営改革促進事業)	大学総合司令塔:信州大学 アドミニストレーション本部の形成と新人材「UA、UEA、IRer、ccURA」、教育重点型 教員及び研究重点型教員 の先駆的活用による、地方 創生と大学経営改革の推進	R4-R8	
日本学術振興会 (JSPS)	科学研究費助成事業 基盤研究 C	カーボンナノチューブロープの捻じり誘発化学反応システムの創生	R4-R6	小型軽量・高効率・安全な弾性エネルギーストレージ材料の基礎研究
科学技術振興機構 (JST)	共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT)	患者と家族と医療従事者のライフデザインを実現するスマート在宅治療システム拠点	R3-R4	生理学的データ統合システムの構築、心臓植込み型ペーシングデバイスにおける双方向性遠隔モニタリングシステムの確立
新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)	NEDO 先導研究プログラム/新技術先導研究プログラム	革新的ハイブリッド分離膜と酸素富化プロセスの開発	R3-R4	高機能装着型呼吸・唾液センシングデバイスの基礎研究

2-7. 安全・安心・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーション技術の創出(幹事機関:大阪大学)

1) 共創コンソーシアム(量子アプリ共創コンソーシアム)の概要

〔実施体制〕

幹事機関：大阪大学

領域統括：中野 貴志（所属部署：核物理研究センター／ 役職：センター長）

研究機関：大阪大学、理化学研究所、名古屋大学（東海国立大学機構）、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター、東北大学電子光物理学研究センター、九州大学、京都工芸繊維大学、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 J-PARC センター、日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究センター、量子科学技術研究開発機構、早稲田大学、東京大学アイソトープ総合センター、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構、宇宙航空研究開発機構・宇宙探査イノベーションハブ、京都大学

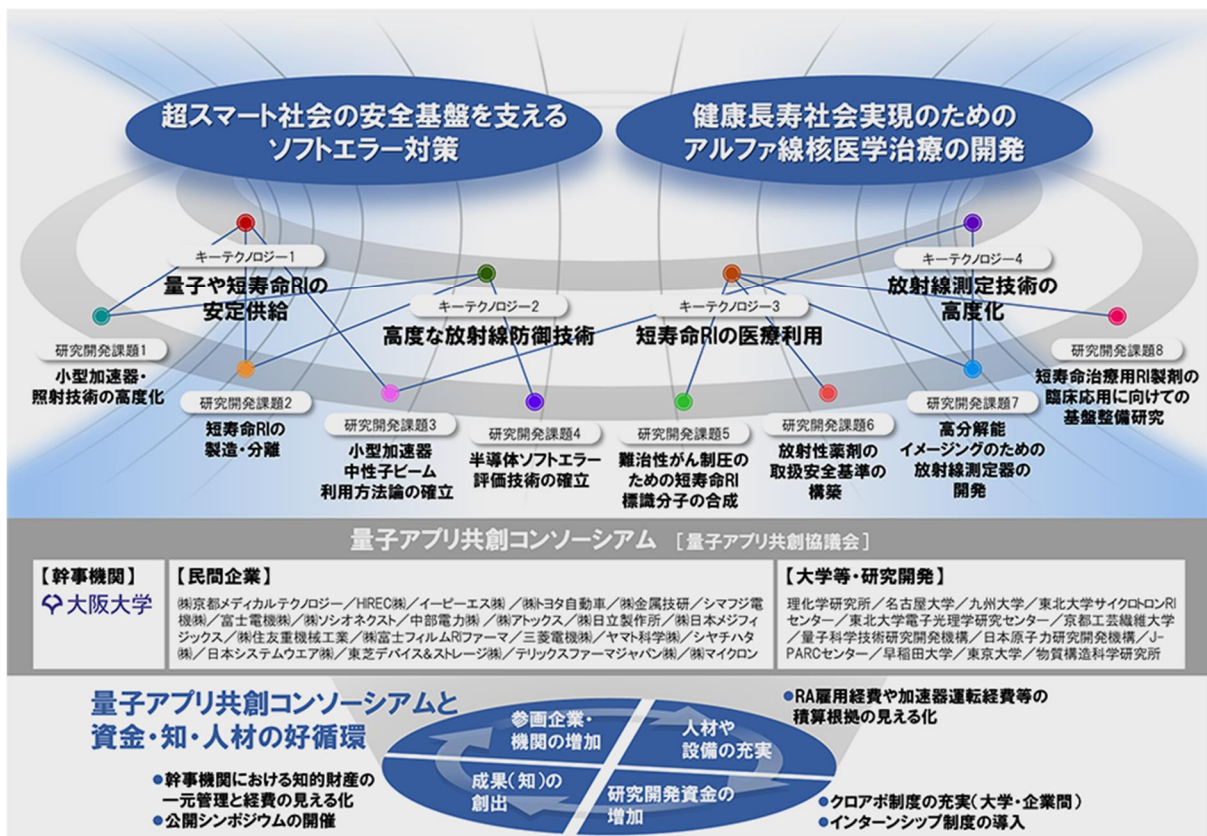
民間企業：(株)ソシオネクスト、(株)アトックス、金属技研(株)、イーピーエス(株)、トヨタ自動車(株)、(株)豊田放射線研究所、(株)京都メディカルテクノロジー、住友重機械工業(株)、(株)日本メジフィジックス、(株)日立製作所、富士フイルム富山化学(株)、HIREC(株)、富士電機(株)、シマフジ電機(株)、三菱電機(株)、中部電力(株)、ヤマト科学(株)、シヤチハタ(株)、日本システムウェア(株)、東芝デバイス&ストレージ(株)、マイクロン(株)、テリックスファーマージャパン(株)、パナソニックデバイスシステムテクノ(株)、アンリツインフィビス(株)、医療法人沖縄徳洲会湘南鎌倉病院、医療財団法人山中湖クリニック、ニチコン(株)、リゾートトラスト(株)、フュージョネア・ダイアグノスティックス(株)、東芝エネルギーシステムズ(株)、(株)日本中性子光学、(株)iMAGINE-X、ローム(株)、(株)千代田テクノル、Dolphin Design、アルファフュージョン(株)

〔共創コンソーシアム概要〕

多彩な量子ビームに関わる大学・研究機関・企業が、放射性核種・中性子・ミューオン⁶等の量子の高度な制御技術を共創し、超スマート社会の安全を支える基盤技術や、豊かな健康長寿社会実現の一翼を担う量子の新規医療応用技術の開発を目指した。

特に、モノのインターネット（IoT）の発展で世界的に使用が急増している半導体素子の宇宙線起源ソフトエラーの評価と対策、初診時進行がんに対して有効と期待されるアルファ線核医学治療等、高度な量子アプリケーション技術の創出を先導した。

⁶ ミューオンは、電気素量に等しい電荷を持つ。ミューオンの平均寿命は 2.2×10^{-6} 秒。正負ミューオンが存在し、負ミューオン捕獲反応（例えば、 $\mu^- + {}^{28}\text{Si} \rightarrow {}^{27}\text{Al} + n$ ）により生成された二次イオンによるソフトエラー発生の可能性が指摘されている。



資料：量子アプリ共創コンソーシアム HP

〔研究テーマ〕

キーテクノロジー	研究開発課題	課題代表者	共同研究機関
①量子や短寿命 RI の安定供給 ②高度な放射線防御技術	研究課題 1： 小型加速器・照射技術の高度化	福田 光宏 大阪大学 核物理研究センター 教授	東北大学、早稲田大学、量子科学研究機構、住友重機械工業(株)、(株)京都メディカルテクノロジー、中部電力(株)、シヤチハタ(株)、ニチコン、東芝エネルギーシステムズ(株)、(株)千代田テクノ
	研究課題 2： 短寿命 RI の製造・分離	羽場 宏光 理化学研究所 仁科加速器科学研究センター チームリーダー	東北大学、大阪大学、東京大学、金属技研(株)、(株)アトックス、富士フイルム富山化学(株)、ヤマト科学(株)
①量子や放射性核種の安定供給 ④放射線測定技術の高度化	研究課題 3： 小型加速器中性子ビーム利用方法論の確立	清水 裕彦 東海国立大学機構 大学院理学研究科 教授	理化学研究所、大阪大学、トヨタ自動車(株)、(株)京都メディカルテクノロジー、(株)日本中性子光学
②高度な放射線防御技術	研究課題 4： 半導体ソフトウェア評価技術の確立	橋本 昌宜 京都大学 情報学研究科 教授	大阪大学、九州大学、京都工芸繊維大学、東北大学、東海国立大学機構名古屋大学、高エネルギー加速器研究機構 J-PARC センター、日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、(株)ソシオネクスト、(株)日立製作所、富士電機(株)、HIREC(株)、三菱電機(株)、日本システムウェア(株)、東芝デバイス&ストレージ(株)、パナソニックデバイスシステムテクノ(株) (現ヌヴォトンテクノロジージャパン)、ローム(株)、Dolphin Design
③短寿命 RI の医療利用	研究課題 5： 難治性がん制圧のための短寿命 RI 標識分子の合成	深瀬 浩一 大阪大学大学院理学研究科 教授	理化学研究所、日本メジフィジックス(株)、(株)京都メディカルテクノロジー、イーピーエス(株)
	研究課題 6： 放射性薬剤の取扱安全基準の構築	矢野 恒夫 大阪大学 核物理研究センター 特任教授	国立医薬品食品衛生研究所、イーピーエス(株)、住友重機械工業(株)
③短寿命 RI の医療利用 ④放射線測定技術の高度化	研究課題 7： 高分解能イメージングのための放射線測定器の開発	高橋 忠幸 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構 教授	東北大学、大阪大学、(株)京都メディカルテクノロジー、シマフジ電機(株)、(株)豊田放射線研究所、アンリツフィビス(株)、(株)iMAGINEX
③短寿命 RI の医療利用	研究課題 8： 短寿命治療用 RI 製剤の臨床応用に向けての基盤整備研究	渡部 直史 大阪大学大学院医学系研究科・助教	量子科学研究開発機構・放射線医学総合研究所、量子科学研究開発機構・高崎量子応用研究所、国立医薬品食品衛生研、近畿大学、金沢大学、福島医科大学、日本メジフィジックス(株)、マイクロン(株)、テリックスファーマージャパン(株)、山中湖クリニック、湘南鎌倉病院、リゾートトラスト(株)、フュージョネア・ダイアグノスティックス(株)

2) プログラム期間中における成果

終了報告書及び事後評価結果等に基づき、プログラム期間中（プログラム終了時点）における、産学連携システム改革に関する取組の成果と、主要な研究開発成果を整理する。

(1) 産学連携システム改革に関する取組(共創コンソーシアム)

図表 2-77 産学連携システム改革に関する取組

取組	成果内容
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	● 大阪大学では、民間との共同研究の間接経費がこれまでの 20%から 30%に増額された。 ● 知的財産の取得及び活用を支援する共創機構の強化等、間接経費の使途の戦略化と透明化が図られた。
知的財産の取扱いの方針	● 量子アプリ共創コンソーシアム (QiSS) の知財ポリシーは大阪大学の共創機構及び OI 機構にも認知され、アスタチン創薬に関する知財に関してはパッケージ化して一元管理することにより、知財の価値を上げるとともにアルファ線核医学治療の早期の社会実装を実現する方向になった。
人材育成	● 本事業が契機となり本事業に参画する大学・機関・企業が連携して、大阪大学で 2020 年度より先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム (PQBA) が開始された。 ● PQBA は大阪大学が実施する大学院博士後期課程向けプログラムの中でもフラッグシップ的な位置付けとなり、参画する学生の多くは、学内の他のプログラムとの連携による経済的支援に加えて、研究費支給、学費の免除を受けている。 ● 本事業に参画した企業は PQBA プログラムに対してセカンドメンターや企業研修の機会の提供等をおこなっている。
機関連携・協力体制についての方針	● 核物理研究センターの AVF サイクロトロンの更新作業とその後の変更申請の審査期間の長期化によって、アスタチン化ナトリウム製剤の医師主導治験の開始が遅れることが危惧されたが、理化学研究所でのアスタチン製造により予定通り実施することが可能となった。 ● 2021 年 11 月に QST 量医研でサイクロトロン電源の火災事故が発生し、その復旧に 1 年以上の期間がかかることになったが、その間も量医研での研究支援のために本事業で連携した加速器施設が RI を供給した。
参画機関の管理方針	● 本事業を引き継ぐために設立された量子アプリ社会実装コンソーシアム (QASS) には本事業の最終年度である 2021 年度にも問い合わせや新規参入の申し込みが複数発生した。 ● アルファ線核医学治療に関しては出口を見据えた共同研究、宇宙線起源ソフトウェア評価についてはシステムレベルでの評価や対策についての勉強会や意見交換が活発に実施する方向になった。

資料：「終了報告書」より抜粋・作成

(2) 主要な研究開発成果

図表 2-78 主要な研究開発成果

キーテクノロジー	対象研究課題	成果内容
① 量子や短寿命 RI の安定供給	研究課題 1 研究課題 2 研究課題 3	● 理化学研究所 RI ビームファクトリーの重イオン加速器を用いて、アルファ線核医学治療に利用可能な短寿命 RI (At-211) の大規模製造技術を開発した。本装置により、社会実装の際に必要な実用量の At-211 製造への取り組みへ。
② 高度な放射線防御技術	研究課題 1 研究課題 2 研究課題 4	● 多様なエネルギースペクトルを持つ中性子照射施設を用いて、地上での中性子起因ソフトウェアの発生率を求める校正技術を確立し、65 nm の SRAM チップに対する精度が十分であることを確認した。 ● 本校正技術について、国際会議での発表を行い、2023 年を目処に標準化委員会との国際標準化の準備を進める。
③ 短寿命 RI の医療利用	研究課題 5 研究課題 6 研究課題 7 研究課題 8	● アスタチン (At-211) を用いたアルファ線核医学治療の臨床応用を進めるために PMDA 対面助言を実施し、治験開始までに必要な非臨床安全性試験の要件を整理した。信頼性基準体制下でマウスを用いた拡張型単回投与毒性試験を実施し、2021 年 10 月に PMDA に治験届を提出した。 ● OPERA での成果により、難治性甲状腺がんに対する注射薬アスタチン化ナトリウム ([At-211]NaAt) を用いた第 I 相医師主導治験が開始された。
④ 放射線測定技術の高度化	研究課題 3 研究課題 7	● At-211 の崩壊で放出される硬 X 線に着目し、独自開発の高分解能 CdTe 両面ストリップ検出器を用いたテーブルトップサイズのコンパクトな実証機を開発した。 ● これまで判別不可能だったマウスに移植した 1cm サイズの腫瘍に集積した少量(約 8kBq)の At-211 が画像化できることを示し、高分解能・高感度のイメージング性能を実証した。

資料：「事後評価報告書」より抜粋・作成

3) プログラム終了後の構想・計画

各プロジェクトが終了報告書に記載した今後の構想・計画等について整理する。

(1) 今後のコンソーシアム活動の展望

QASS は、IoT/IoE の安全な普及のために必須な中性子線ソフトウェア評価システムの開発を中心とする「高度な放射線防御技術」とアルファ線核医学治療による難治性がんの制圧を中心課題とする「短寿命 RI の医療利用」を推進し、公的研究機関 8 団体、民間企業 12 団体が参画。短寿命 RI の供給管理や量子アプリ共創プラットフォームで得られた共有の知財の運用、企業からの参加費等によって自律的に運営される体制とし、得られた収益の一部を人材育成事業へ還元することとしており、高い専門性を持った人材を継続的に輩出する。

また、2021 年度にはアルファ線核医学治療の早期社会実装を目指す特別目的会社（アルファフュージョン㈱）が設立され、アスタチン化ナトリウム製剤の社会実装に向けた取組の継続を進める。

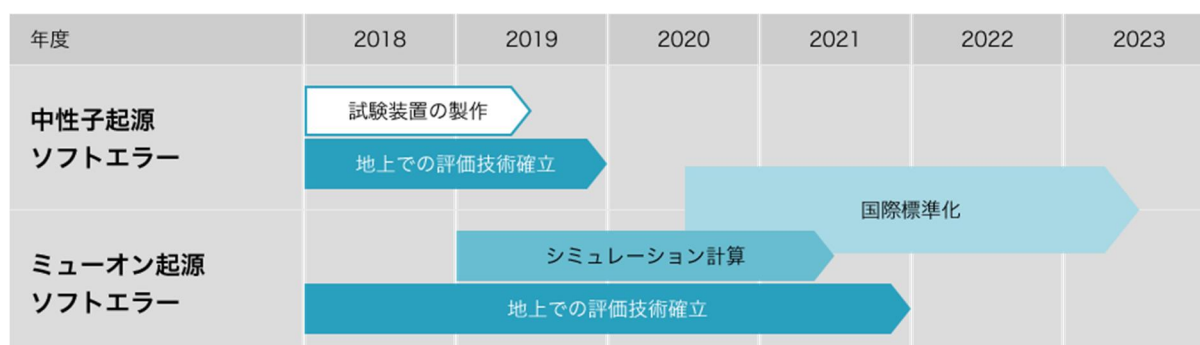
(2) 技術・システム革新シナリオ

① 集積デバイスの二次宇宙線起因ソフトウェア評価技術確立し、国際標準化する

宇宙線起源の中性子やミュオンによるソフトウェアの正確な評価とそれに対する対策は、IoT や IoE の進展による超スマート社会の実現にとって喫緊の課題であり、大きな市場開拓の可能性を秘めた新たな価値である。

定量的な評価が可能になるシステムを開発して、その手法を国際標準化し事業の価値を高める。インターネットに繋がるモノの数が飛躍的に増加すると予想される超スマート社会で、加速試験による品質管理は重要な一翼を担うと考えられる。

図表 2-79 宇宙線による半導体誤動作ソフトウェアの評価方法標準化等のロードマップ



資料：量子アプリ共創コンソーシアム HP

② 難治性がん制圧のための第一選択治療法としてアルファ線核医学治療を普及させる

^{211}At 等のアルファ線放出核種を標識したがん集積性の高いターゲッティング分子を開発し、特に初診時進行がんに対して高い効果が期待される患者負担の少ない治療法の確立を目指す。

アルファ線放出核種を用いた新規薬剤の市場規模は一薬剤あたり数百億円とも言われているが、現在は他に有効な治療法のない初診時進行がんの割合が 15%程度であることを考慮すると、国内に限っても、その数倍以上の潜在的なニーズがある。さらに治療法を世界に先駆けて確立し標準化することで、グローバルに展開していくことも期待できる。

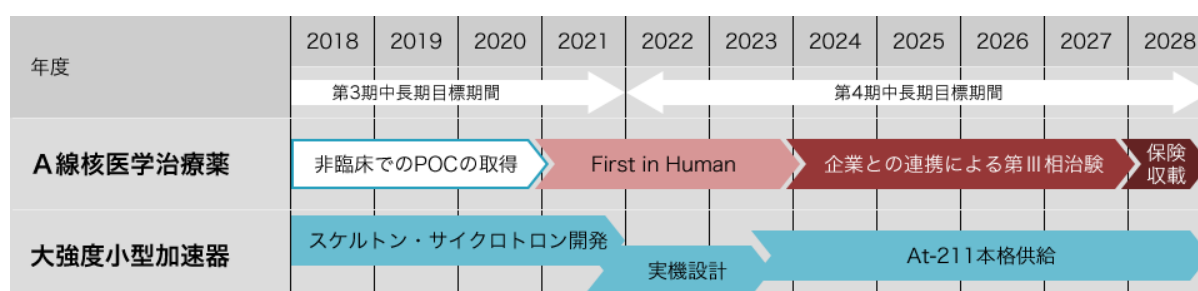
また、こうした経済的な効果にとどまらず、国民に対し低コストで高齢者にとっても優しい治療法が提供できる価値は何よりも大きい。

医師主導治験を進め、新たな一剤の医師主導治験の早期実施に向けた準備を進める。

③量子ビーム・短寿命 RI を安全に取り扱う技術や基準確立する

小型で高性能な加速器はもとより、コンパクトで効果的な放射線遮蔽や RI の自動分離抽出技術を開発することにより、環境への放射能の漏洩や作業員の被曝を防ぐための標準技術を開発し、要素技術の研究開発とともに安全性を主眼とした規制・法律面のレギュラトリーサイエンスも研究する。

図表 2-80 健康長寿社会実現のためのアルファ線核医学治療の開発ロードマップ



資料：量子アプリ共創コンソーシアム HP

なお、研究開発に関する「プログラム終了後の活動方針」については「5) 研究開発成果の発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。同様に、産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みに関する「プログラム終了後の運用方針」については「6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況」の各項目に枠囲いで別途記載している。

【備考】本追跡調査における調査対象者

本追跡調査は、量子アプリ共創コンソーシアムにおける主要なプロジェクト参加者（領域統括、幹事機関、主要研究者、主要企業、リサーチアシスタント等。各プロジェクトから調査対象者を推薦いただいた）を対象に実施している（アンケート調査：24組、ヒアリング調査：8組）。

そのため、次ページ以降に示す調査結果は、各プロジェクトに関する本プログラム終了後の中核的な活動状況を対象としたものであり、全プロジェクト参加者による活動全体を網羅したものではないことに留意されたい。

4) 共創コンソーシアムの発展状況

本プログラムを推進した QiSS については、プログラム期間中に設立した一般社団法人の QASS が後継コンソーシアムとして機能している。

QASS では、基礎開発・研究用放射性同位体の安定供給支援を行う「短寿命 RI 供給プラットフォーム」や、文部科学省が共同利用・共同研究システム形成事業として発足した科研費採択前の萌芽的研究や、RI の使用経験のない研究者支援を実施する「RI コラボラティブ学際領域展開プラットフォーム」、ならびに大阪大学内トッププライオリティと位置付けた「多様な知の協奏による「先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム」」と連携を図り、推進している。

(1)一般社団法人 量子アプリ社会実装コンソーシアム(QASS)

①目的

- 新規 RI 治療薬の実用化とソフトウェア評価法の国際標準化を目指し、産学官が連携して研究・開発を行う場を提供する。
- 法人社員がそれぞれの技術を持ち寄り、相互に活用することで、安心・安全・スマートな長寿健康社会の創出を加速させることを支援する。
- 2019 年 8 月 22 日設立。

②体制

図表 2-8 1 量子アプリ社会実装コンソーシアム (QASS) のメンバー、組織

区分		メンバー
設立時社員		大阪大学（大阪大学 核物理研究センター、経営企画オフィス URA 部門、産学共創本部、大学院情報科学研究科、大学院理学研究科）
		高エネルギー加速器研究機構（高エネルギー加速器研究機構、加速器研究施設、物質構造科学研究所、J-PARC センター）
大学等・研究機関	【特別会員】	理化学研究所、名古屋大学、京都工芸繊維大学、日本原子力研究開発機構、東京大学アイソトープ総合センター、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構、量子科学技術研究開発機構量子医科学研究所、京都大学 大学院情報学研究科、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター、JAXA 宇宙探査イノベーションハブ、九州大学 大学院総合理工学研究院、東北大学電子光物理学センター、九州工業大学革新的宇宙実証ラボラトリー
民間企業	正会員	アルファフュージョン(株)、住友重機械工業(株)、(株)日立製作所、東芝エネルギーシステムズ(株)、PDR ファーマ(株)、京都メディカルテクノロジー、WINBONDELECTRONICS CORP.、(株)ソシオネクスト、ルネサスエレクトロニクス(株)IoT・インフラ事業本部、HIREC(株)、東芝デバイス&ストレージ(株)、ローム(株)、菱栄テクニカ(株)、富士電機(株)、SEESE(株)
	賛助会員	イーピーエス(株)、金属技研(株)、(株)ミライズテクノロジーズ、医療法人財団慈光会堀切中央病院、(株)豊田中央研究所
支援		(株)日立情報通信エンジニアリング ※中性子照射試験サポート・ソフトウェア対策コンサルティング
マネジメント体制		理事 4 名、監事 1 名、公認会計士 1 名、事務局 4 名

※QASS ホームページから抜粋（2025 年 1 月末現在）

③活動内容

主な活動内容は下記の通り。

1. 量子アプリ共創コンソーシアム成果について、医薬品及び医療機器として承認をめざす等の成果普及事業
2. 量子アプリ共創コンソーシアム成果について、宇宙線による半導体誤動作ソフトウェアの評価方法標準化等の成果普及事業
3. 上記成果の知財ライセンス及び証明書発行事業
4. 放射性医薬品又はその原料の供給事業
5. 人材育成ならびに技術普及事業

活動事例は下記の通り。

- 【会議、セミナー、シンポジウム等】
 - ・ ソフトエラー(などの半導体の放射線効果)勉強会の第9回（2023年9月4日、京都大学<京都市>）、第10回（2024年9月4日、ソシオネクスト本社<横浜市>）を主催など
 - ・ 公開シンポジウム 2022年2月29日 会場・オンライン併催・「短寿命 RI 利用研究シンポジウム」において、協賛機関として参加 2023年8月 等
- 【共同研究、実施事業、マッチング等】
 - ・ ソフトエラー対策分科会（年数回開催：共通課題研究実施、情報交換）研究連携の提案・マッチング支援、外部資金を活用した研究テーマアップ等を実施。
- 【その他】
 - ・ 放射線研究原料の輸入代行（カナダ TRIUMF、日本アイソトープ協会と連携）※現在停止

（2）短寿命RI供給プラットフォーム

文部科学省科学研究費助成事業「新学術領域研究（研究領域提案型）『学術研究支援基盤形成』」リソース支援プログラムにおいて発足（2016年4月）。

基礎開発・研究用放射性同位体（研究用 RI）の年間を通じた安定な供給とその安全な取り扱いのための技術的な支援するため、大阪大学核物理研究センター、理化学研究所仁科加速器研究センター、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター、東北大学電子光物理学研究センターが連携し、速やかに供給する新たなシステムを構築している。

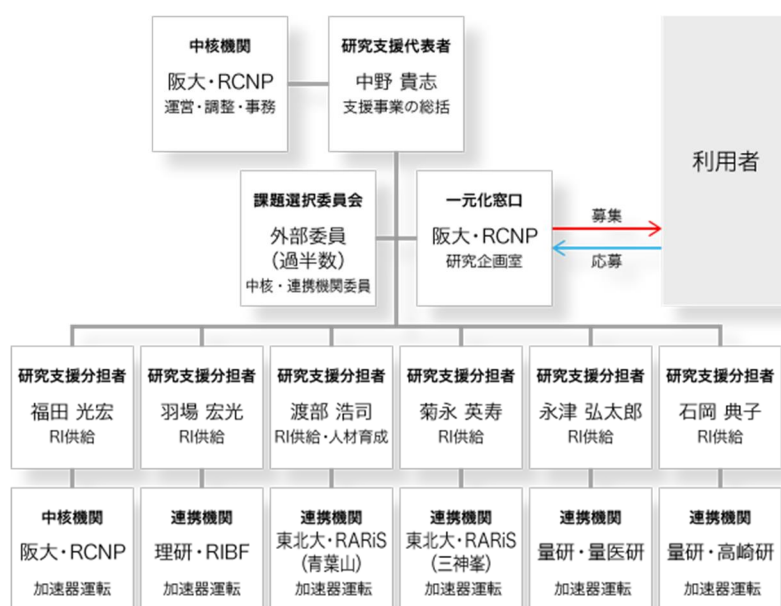
①目的

- 基礎開発・研究用放射性同位体（研究用 RI）の年間を通じた安定な供給とその安全な取り扱いのための技術的な支援を行うことを目的とする。
- 日本アイソトープ協会等から購入できない短寿命 RI の供給。
- 世界最高レベルの加速器施設の連合体による速やかで安定な供給。
- 共同利用・共同研究拠点である大阪大学 RCNP（Research Center for Nuclear Physics,Osaka University：核物理研究センター）窓口を一元化、利便性を格段に改善し、利用者を拡大。
- 幅広い分野の基礎研究の推進を支援：次世代 PET 用プローブの開発、次世代 RI 治療薬の開発、生体微量元素の代謝研究等。

②体制

図表 2-8 2 短寿命 RI 供給プラットフォームのメンバー、組織

区分	メンバー
プラットフォーム代表者	中野貴志（大阪大学・核物理研究センター長）
大阪大学 核物理研究センター	福田光宏／高橋成人／神田浩樹／青井考／ 依田哲彦／篠原厚／豊嶋厚史／鈴木智和
理化学研究所 仁科加速器研究センター	羽場宏光／上垣外修一／延與秀人
東北大学 先端量子ビーム科学研究センター	渡部浩司／伊藤正俊／大西裕季
東北大学 先端量子ビーム科学研究センター	大西宏明／菊永英寿／武藤俊哉／宮部学／ 横北卓也
量子科学技術研究開発機構 量子医科学研究所	永津弘太郎／鈴木寿／張明栄
量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所	石岡典子／河地有木／渡邊茂樹／鈴木伸郎 ／須郷由美
東京大学 大学院理学系研究科附属原子核科学研究センター	酒見泰寛



※短寿命 RI 供給プラットフォームホームページより抜粋（2025 年 1 月末現在）

（3）RIコラボラティブ学際領域展開プラットフォーム（RIIP）

短寿命 RI 供給プラットフォームは、核医学等の基礎科学の推進において大きな貢献をしてきたが、短寿命 RI の利用には高いハードルが存在し、その優れた特性を多くの分野で活用することは、これまで十分には実現されていない。そこで、大阪大学放射線科学基盤機構と連携し、短寿命 RI を用いた基礎研究の分野を広げ、新たな学術的萌芽を育むこと、共同研究を通じて学際的な新規研究やイノベーションを創出すること、次世代を担う若手研究者への技術の継承と発展を促すことを目的として 2023 年度より文部科学省の共同利用・共同研究システム形成事業「学際領域展開ハブ形成プログラム」で「RI コラボラティブ学際領域展開プラットフォーム」事業が採択さ

れている（2023～32年度）。

同プラットフォームにおいては、OPERA で得た知見なども活用し、科研費採択前の萌芽的研究や、RI の使用経験のない研究者を対象に短寿命 RI を用いた研究の提案や技術的支援を進めている。

①目的

- 科研費採択前の萌芽的研究や、RI の使用経験のない研究者を対象としている。短寿命 RI を用いた研究の提案や技術的支援を行い、研究者の多様なニーズに対応。さらに RI 製造技術の開発と維持、それに必要な人材の育成を組織的に実施する。
- 短寿命 RI 供給プラットフォーム及び RI コラボラティブ学際領域展開プラットフォームは、共通の外部委員主体の課題選択委員会を通じて、公募に基づく研究課題の審査を行い、支援の可否を決定する。この統一された選考プロセスにより、透明性と公平性を維持しながら、最も有望な研究課題を選択する。さらに、核物理研究センターが、国際共同利用・共同研究拠点として、両事業とユーザーの間の中心的なインターフェースとして機能する。この事業運営体制により、両事業間でのシナジー効果が生まれ、新しい学際領域の研究やイノベーションの推進を行う。

②体制

図表 2-83 RI コラボラティブ学際領域展開プラットフォームのメンバー

所属・役職	氏名
プラットフォーム代表者	中野貴志（大阪大学・核物理研究センター センター長）
大阪大学 核物理研究センター 【中核機関】	福田光宏／高橋成人／青井考／神田浩樹／依田哲彦
大阪大学 放射線科学基盤機構【中核機関】	豊嶋厚史／吉村崇／大江一弘／鈴木智和／今教禎
理化学研究所 仁科加速器研究センター	羽場宏光／金山洋介／Xiaojie Yin／重河優大／南部明弘／佐藤望／臼田祥子／小山内美奈子
東北大学 先端量子ビーム科学研究センター（青葉山）	渡部浩司／伊藤正俊／大西裕季
東北大学 先端量子ビーム科学研究センター（三神峯）	大西宏明／菊永英寿／柏木茂／横北卓也／南部健一／長澤育郎／高橋健／柴田晃太郎
量子科学技術研究開発機構 量子医科学研究所	永津弘太郎／張明榮／鈴木寿／尾幡穂乃香／大矢智幸／市瀬潤／門間あゆみ／峰岸克行
量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所	石岡典子／坂下哲哉／渡辺茂樹／大島康弘／佐々木一郎

※RIIP ホームページより抜粋（2025 年 1 月末現在）

(4)多様な知の協奏による「先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム」

OPERA にて QiSS が発足し、産業界と学界が連携して、アルファ線核医学治療薬の開発及び集積デバイスに関する宇宙線起因ソフトウェア評価技術の確立と世界標準化に向けた取組が進められたが、OPERA で得た量子ビーム応用の取組や、国内外の連携機関・企業等とのネットワークを活かし、卓越した博士人材の育成に向け、2019 年度より「多様な知の協奏による先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム」での社会学協奏による大学院教育が開始されている。

OPERA 終了後は QASS と連携し、社会実装を目前に控えたアルファ線核医学治療を中心とした量子医学、社会混乱を未然に防ぐソフトウェア評価、高温超伝導技術を用いた大強度小型加速器、宇宙観測技術を応用した最先端放射線イメージング等を知財化し、企業と連携して順次社会実装を進めてきた。そして、ランニング・ロイヤリティ契約を中心とした知財運用により、知・資金・人材の好循環が継続するエコシステムの構築を推進している。

①プログラム概要・目的

- 理学、医学、情報科学の分野の学生を対象に、量子ビーム応用技術を社会実装できる人材を育成する博士課程教育プログラム。国内外のトップ研究機関・企業との連携によるカリキュラムを通じて、新たな量子ビーム応用技術の創出により豊かな健康長寿社会や安全な超スマート社会の実現を担う人材を育てることを目的とする。



②体制

図表 2-8 4 多様な知の協奏による「先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム」の体制

学内連携部局	核物理研究センター、大学院理学研究科物理学専攻、大学院理学研究科化学専攻、大学院理学研究科高分子科学専攻、大学院医学系研究科医学専攻、大学院医学系研究科保健学専攻、大阪大大学院情報科学研究科情報システム工学専攻
国内連携機関	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所、量子科学技術研究開発機構、東北大学先端量子ビーム科学研究センター、J-PARC センター、京都工芸繊維大学、京都大学大学院情報学研究科、東京大学アイソトープ総合センター、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構、国立研究開発法人理化学研究所、国立医薬品食品衛生研究所

海外連携機関	TRIUMF、The University of Queensland、Heidelberg University Hospital
参画企業	(株)アトックス、テリックスファーマージャパン(株)、(株)ソシオネクスト、(株)日立製作所、日本メジフィジックス(株)、住友重機械工業(株)、富士フイルム富山化学(株)、(株)京都メディカルテクノロジー、イーピーエス(株)、金属技研(株)、東芝デバイス&ストレージ(株)、ヤマト科学(株)、公益社団法人日本アイソトープ協会、アンダーソン・毛利・友常法律事務所、アルファフュージョン(株)

5) 研究開発成果の発展状況

研究開発に関する、プログラム終了後の活動状況について、(プログラム終了時における活動方針と対比しつつ) 研究開発テーマ・課題ごとに記載する。

なお、以下は OPERA 期間中のすべての研究開発テーマ・課題について網羅的に記載したものではなく、調査対象となった研究者・企業等が関連する研究開発テーマに焦点を置いた記載であることに留意されたい。

(1) 研究開発課題1 小型加速器・照射技術の高度化

プログラム終了後の活動方針(事業終了報告書より抜粋・要約)

- 2022 年度には高温超伝導コイルを収納して極低温に冷却するクライオスタットを製作するとともに、プラズマチャンバーやマイクロ波源、引き出し電極等を整備し、高強度ヘリウムイオンビーム生成用高温超伝導 ECR イオン源として完成させて、ECR イオン源の商品化を狙う。
- スケルトンサイクロトロンの実用機に用いる高温超伝導コイル製作に挑む。
- アルファ線核医学治療用 At-211 や PET 用 RI 等に代表される短寿命 RI 製造専用高強度小型加速器として 1 号機の建設を目指す。

大阪大学の福田教授及び神田講師を中心に研究開発が進められているとともに、大阪大学に作られる TAT サイクロトロン棟稼働に関わり、同研究課題参画企業の動きも活発化している。

A. OPERA での成果をベースに公的資金を獲得し、事業成果の応用を推進

大阪大学の福田教授は、高温超伝導 ECR イオン源の実用化に向けた極低温クライオスタットの機械設計を実施。2024 年度から科研費基盤 A (5 年間) を獲得し、実用機製作を進めている。

また大阪大学の神田講師は、JST の経済安全保障重要技術育成プログラム (2024~28 年度) やムーンショット型研究開発事業 (2024~33 年度) において、ミューオン生成用の多段方式を用いた高エネルギー陽子加速器の開発研究や、大強度重陽子の加速による核融合炉の開発研究を実施し、領域を広げている。

B. 次世代の小型加速器開発研究は継続するものの、基礎研究レベルにとどまる

高温超伝導コイルを応用した自動サイクロトロン共鳴加速について、実用化に向けた電子加速用プロトタイプの開発、チューナブルな共振空洞の開発が進められている。

C. 建設予定の TAT サイクロトロン棟や F-REI に設置される新型加速器の製造が進展

民間主導型で展開する大阪大学内設置予定の RI 製造用の TAT サイクロトロン棟が 2027 年に稼働予定である。加速器を住友重機械工業(株)が導入し、東芝エネルギーシステムズ(株)がアスタチンの生成プロセスを担い、大阪大学、アルファフュージョン(株)が医薬事業を展開する予定。

医療事業へのアスタチン供給については、施設単位で超小型加速器を設置する方向から、製造拠点を複数設けた中型加速器でカバーする方向にシフトしている。

(2)研究開発課題2 短寿命 RI の製造・分離

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 理化学研究所超伝導線形加速器からの大強度ビームを用いて、 ^{211}At 核医薬品の開発研究や治験に必要な ^{211}At 原料の大規模製造・安定供給を行い、競争領域での共同研究へ展開する。
- 社会実装に繋げるためには、より大強度の電子ビームでも運用できる照射装置が必要であり、装置の改良を継続し、電子加速器を利用した大規模 RI 製造体制の確立を目指す。
- ^{224}Ra - ^{212}Pb ジェネレーター実機と精製 ^{212}Pb の頒布を開始し、 ^{212}Pb 核医薬品の競争領域での共同研究へ展開する。
- RI 取り扱い自動化システムの AI 制御システムの実装を進める。

理化学研究所仁科加速器科学研究センターの羽場室長を中心に下記等の研究開発が進められている。

A.他の関連プラットフォームと連携し、短寿命 RI の安定供給に対する取り組みが活発化

RI 安定供給「短寿命 RI 供給プラットフォーム」や「RI コラボラティブ学際領域展開プラットフォーム」を中心とした開発や情報共有が活発に継続されている。

事業期間中、装置のプロトタイプは完成したが、社会実装のためには R&D が必要で、継続して研究を進めている。

B.F-REIより「加速器を活用した有用 RI の製造技術開発」を受託

F-REI の 2023 年度「加速器を活用した RI の安定的かつ効率的な製造技術の開発」事業において「加速器を活用した有用 RI の製造技術開発」を受託し、創薬医療・農業・工業分野等において有用な RI を、安全、高効率、高純度に製造・分離・製造する技術の開発を行っている。

C.大学(東京大学、東北大学等)との連携の下、公的資金を獲得

理化学研究所の羽場室長は、東京大学、東北大学とともに科研費基盤研究(S)を獲得し、高次イメージング法の研究を実施(2022~25年度)。また東京大学とは科研費基盤研究(A)で、新規放射性医薬品の開発(2023~25年度)、科研費基盤研究(B)で、新規腹膜播種治療の開発(2024~26年度)を実施している。

(3)研究開発課題3 小型加速器中性子ビーム利用方法論の確立

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 構築した「中性子利用定量論(NAN)」は、多種多様な中性子利用を評価するための共通枠組みとして拡充が進められている。NAN の拡充作業については、中性子基礎物理コミュニティと関連づけて実行することが有効であると考え、NAN を含んだ国際先導研究への応募を進める。

QASS で引き継がれてはいないが、名古屋大学の清水教授、及び同研究開発課題参画企業にお

いて個別で取組が進められている。

A.OPERA 期間中に当初目標を達成し、基本的にプロジェクトは終了

OPERA 期間中に目的を達成して研究開発は終了し、QASS に同プロジェクトを引き継がれていない。名古屋大学を中心に進めた研究であり、当該研究課題に参画していたトヨタ自動車(株)、(株)日本中性子光学とも QASS 会員にはなっていない。

B.名古屋大学では研究対象を広げ、中性子利用定量論として体系化した研究を開始

QASS 内研究開発ではないものの、研究開発責任者であった名古屋大学の清水教授は、研究対象に中性子小角散乱を加え、現実の測定の実態に合わせた定式化を進めている。また小型中性子源に限ることなく、一般の中性子利用を対象に含めるように研究対象を拡大しており、中性子供給側だけでなく、中性子ユーザーを含めた形で、週 1 回ほどの議論を継続的に実施している。

C.(株)日本中性子光学が、中性子・加速器関連のコンサルタント事業を開始

(株)日本中性子光学は、2021 年 4 月より、民間企業を対象に中性子に関するアドバイスや公的機関に対しての加速器中性子源の保守メンテナンス等を請け負うコンサルタント業務を開始している。

(4)研究開発課題4 半導体ソフトエラー評価技術の確立

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 構築した「半導体ソフトエラー評価技術」のドラフトを国際機関に提示するとともに、必要に応じてデータを補強するなどして、開発したソフトエラーレート評価技術が国際標準文書に採択されるための活動を続ける。

京都大学の橋本教授らにより、下記等の取組が行われている。

A.標準化、産業化への取り組みを継続するものの、もう少し時間が必要

事業終了後の早い段階で国際標準化を狙ったものの、現状においても国際標準化の達成には至っていない。ただし、QASS 内での議論を含めてソフトエラー評価をどのように産業化するのかについて議論を展開、明確な出口を探る取組を行っている。

B.QASSが活動の主力分野とし、後押しを実施

QASS 内に独立した分科会を組織し、企業とアカデミアの連携支援活動を実施している。具体的な取組として、クローズな勉強会を年に約 4 回、オープンな勉強会も年に 1 回実施。情報共有と評価方法の課題について議論を重ねている。

宇宙産業、自動運転分野において半導体ソフトエラー評価技術に関心を持つ企業が多く、QASS への新たな参画が見受けられる。

C.公的資金を獲得し、独自研究の枠組みで研究開発も続行

京都大学の橋本教授は、科研費基盤（S）「宇宙線による誤動作の克服に向けた次世代集積システムの信頼性評価基盤技術の開発」（2024～28 年度）を獲得するとともに、開発した評価方法が事業期間時とは異なるテクノロジーのデバイスに対しても機能するかなど、データ、解析を追加し、国際標準機関に働きかける準備を実施。

（5）研究開発課題5 難治性がん制圧のための短寿命RI標識分子の合成

プログラム終了後の活動方針（終了報告書より抜粋・要約）

- ^{211}At 薬剤は難治性がんを対象に治験を実施し、順次適用を拡大する戦略である。
- 2021 年 5 月にアスタチン創薬の社会実装を担うベンチャー企業としてアルファフュージョン(株)が設立されている。

大阪大学の深瀬教授（現副学長）、樺山教授、及び参画企業らにより、下記等の研究開発が進められている。

A.F-REI より「加速器を活用した有用 RI の製造技術開発」を受託

大阪大学は、F-REI の 2023 年度「加速器を活用した RI の安定的かつ効率的な製造技術の開発」事業の「加速器を活用した RI の安定的かつ効率的な製造技術の開発」を受託した（2024～29 年度（第 1 期中期計画））。ここでは、Ac-225 や At-211 等の有用な RI の安定的かつ効率的な製造技術の確立と、その製造技術に必要な専門人材の育成を進め、難治性がんに向けたアルファ線核医学治療の進展を支援する。

B.大阪大学発バイオベンチャーに知財を導出

大阪大学と、そのスタートアップ企業のアルファフュージョン(株)との協働にて大学としての成果と創薬としての特許及び情報の統制が図られた。

C.アルファフュージョン(株)は、国プロや共同研究において、がん標的剤の範囲を広げたアルファ線放射性核種(アスタチン)の研究開発を加速化

アルファフュージョン(株)は大阪大学との協働研究を進めていく中で、新規アスタチン標識分子の合成に取り組み、TAT サイクロトロン棟への入居も決定。OPERA 参画企業からの出資も得られている。

同社は、アスタチン化ナトリウムの研究開発を継続するとともに、AAMT（フッ素を At-211 に置換した薬剤）でさらなる最適化によって新たな化合物を開発。また PSMA（前立腺特異的膜抗原）をはじめとする当初計画書にない化合物についても研究対象に加え、大阪大学と AMED の橋渡し支援研究プログラム（シーズ F）（2022～26 年度）、経済産業省の成長型中小企業等研究開発支援事業（2023～25 年度）等を獲得。共同研究として、量子科学技術研究開発機構と新規アスタチン標的薬の開発（2023～24 年度）、量子科学技術研究開発機構及び新潟大学と新規アスタチン結合技術の開発（2023～24 年度）、民間企業 A 社とは新規アスタチン標的薬の開発（2024 年度）を実施中である。

D.多数の特許を出願、産学共同研究も継続

大阪大学の深瀬教授及び樺山教授は、多数の特許を出願するとともに、「自動合成・精製装置の研究開発」、「アルファ線標識分子の研究開発」等で、民間企業数社との共同研究を継続している。

(6)研究開発課題6 放射性薬剤の取扱安全基準の構築

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 「未来を創る異分野タッグ」を形成し、アルファ線を活用する創薬という最先端の科学技術に米国のデザイン・ラボの考え方を取り込み、DNA 二重鎖切断の直接効果に加えて、ウイルス免疫を介したアルファ線のアブスコパル効果によってウイルスを一網打尽にするような夢のある研究に挑む。

研究課題責任者であった大阪大学の矢野特任教授も退職し、研究開発体制はなくなっているものの、以下のような展開が生じている。一方、新たな課題も生じている。

A.事業期間中に当初計画内容を全て達成し、チームは解散

アルファ線核医学治療の医師主導治験を実現させるなどの成果を達成、さらに研究課題責任者であった大阪大学の矢野特任教授も退職し、事業終了とともに研究体制はなくなっている。

B.安全ルールの構築で医師主導治験を実現

治験時におけるアスタチンを使用した薬剤の取り扱いルールとして厚労省 HP にアップされ、核医学会の承認が得られるとともに、アルファ線核医学治療の医師主導治験開始を実現させた。

C.産学が情報共有と意見交換をする場が新たに形成

当該研究課題が引き金ともなり、2023 年 2 月に国際会議 TAT12 で世界アスタチンコミュニティ (WAC) が立ち上がった後、2023 年 9 月には日本アスタチンコミュニティ (JAC) が設立されている。

D.新たな課題として低レベル RI の廃棄問題が浮上

RI について、諸外国では半減期の 10 倍保管すれば通常のゴミとして処理できるが、日本ではアイソトープ協会に永久保管しなければならない規制がある。近く RI 需要が拡大することが予測される中、内閣府の原子力委員会、シンポジウム等で規制の緩和の働きかけを実施する必要性が生まれている。こうした課題は直近で発生したものでもあり、QASS の活動として組み込まれていないことから、関わる研究者や企業が個別に働きかけを行っている。

(7)研究開発課題7 高分解能イメージングのための放射線測定器の開発

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- 研究機関や創薬等の企業にイメージャーを提供するとともに、より弱い集積を高い有意度で検出するための画像化アルゴリズムの高度化を進める。すでに開発した装置が実際に医

学研究者、薬学研究者による研究に採用され実験が開始されている。

- 我々が切り拓いた硬 X 線領域にくわえて、ガンマ線領域での At-211 のイメージング能力の向上に関する研究を進めると同時に、原子核物理等、基礎科学への応用をはかる。

東京大学の高橋特任教授、ならびスタートアップの(株)iMAGINE-X 等において、下記等の研究開発が進められている。

A.東京大学IPMUが中心となり、引き続き研究開発を実施

東京大学の高橋特任教授は、半導体検出器の基礎的研究、可搬型ガンマ線イメージャーの開発、アナログ信号処理用低雑音 LSI (ASIC) の開発を実施。国立がん研究センター、大阪大学医学部のほか、東京理科大学生命医科学研究所との共同研究体制も整えた。

企業との共同研究では、「小動物 3D イメージング装置」(2023~25 年度)、「粒子線治療のための半導体センサー」(2024~25 年度)の開発を進めている。

B.東大発ベンチャーによる製品化

東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) 発のスタートアップである(株)iMAGINE-X において、2019 年 7 月に小動物イメージング装置「XCam-CdTe」を開発。2024 年 2 月に大阪大学、3 月に理化学研究所に装置を納品した。

また東京大学では、「ガンマ線レートモニター」の実用化に成功し、事業化を目指している。

C.現状の市場は小さいが、アスタチン創業市場の拡大と比例して成長する

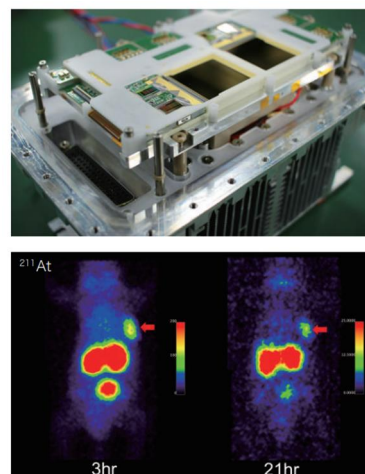
イメージングは必ず必要になるが、アスタチン創業は生まれたばかりで、現状の市場は未だ小さい。次のフェーズに進んだ時にイメージングの市場も拡大する。

【社会実装事例】小動物イメージング装置「XCam-CdTe」(株)iMAGINE-X)

特徴：Cam-CdTe は、イメージングセンサーとして高性能テルル化カドミウム (CdTe) 半導体を採用し、タングステンコリメーターを組み合わせることで、世界最高レベルの高解像度・高感度を実現した分子イメージング装置。本装置は、At-211、Ac-225 などの治療用放射性同位元素を用いた前臨床研究における薬物動態イメージングの需要の高まりを受けて開発された。10-200 keV 帯域の X 線・ガンマ線のイメージング品質を飛躍的に向上し、さらに、マウスの全身を画像化するのに十分な 40mmx80mm の視野を有している。

(販売開始：2019 年 7 月)。

資料：(株)iMAGINE-X ホームページ



(8)研究開発課題8 短寿命治療用RI製剤の臨床応用に向けての基盤整備研究

プログラム終了後の活動方針(終了報告書より抜粋・要約)

- アルファ線核医学治療薬の臨床応用に向けた基盤整備に成功し、これにより開始することができるようになった難治性甲状腺がんに対するアスタチンを用いた第Ⅰ相医師主導治験を2024年3月までかけて実施する(対象症例:最大16例)。
- 本治療法は患者に優しい治療法として将来的に広く普及することが期待され、併せてアルファ線核種を製造するための加速器分野の発展も期待される。

大阪大学大学院医学系研究科の渡部助教授らにより、下記等の研究開発が進められている。

A.AMED研究費を活用し、大阪大学病院にてアルファ線核医学治療の医師主導治験が進行

甲状腺癌の医師主導治験(Alpha-T1 試験)は最終患者への投与を終え、2剤目の前立腺癌の医師主導治験(Alpha-PS1 試験)を2024年6月より開始している。Alpha-T1 試験は、AMED 臨床研究・治験推進事業、Alpha-PS1 試験はAMED 橋渡し研究プログラムシーズにて実施。

B.がん治療薬としての事業化が見えてきている

アスタチンを用いた標的アルファ線治療薬(がん治療薬)の医師主導治験が進行しており、2028年度を目標に事業化を目指す。

6) 産学連携による研究開発推進・マネジメントの仕組みの発展状況

産学連携による研究開発推進やマネジメントの仕組みに関する、プログラム終了後の運用状況について、(プログラム終了時における運用方針と対比しつつ) 項目ごとに記載する。

(1) 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 大阪大学では、研究者が長年にわたり蓄積した「学術的知見」に対し、共同研究等を希望する企業等が、その学術的知見等の対価を支払うことができる枠組み共同研究等における学術貢献費制度の導入を 2022 年 4 月からの共同研究に適用し、直接経費に加えて学術貢献費を企業と協議合意した額を、あわせて直接費として計上できるようにする。
- 本プロジェクト関連の共同研究がその終了後に新たに締結される場合には、本制度の考え方に合わせた運用を検討していく。

OPERA 終了後も、民間との大型の共同研究は継続している。

また F-REI の委託事業も OPERA で QiSS に参画した大学・機関が中心となって新たなコンソーシアムを形成し、受託している。そこでの知的財産の基本方針については、QiSS の方針を踏襲している。

(2) 知的財産の取扱いルール

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 参加団体は、本事業終了後は、QASS に対して、可能な範囲で優遇した合理的な条件で、成果知財を使用許諾し、共同研究開発成果の事業化推進に協力する。

大阪大学では学外法律事務所と協議のうえ、設立した法人用に「知的財産取扱いポリシー」を定めている。そこには、OPERA での保有知財ならびに、設立された法人での発明帰属・管理につき、理事会の承認を得て合理的な条件で第三者に実施許諾することができることとしている。

(3) 人材育成

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- コンソーシアム人材育成と大阪大学共創機構の産学共同教育講座との連携、及び「多様な知の協奏による先導的量子ビーム応用 卓越大学院プログラム」との連携による人材育成の統合化を進める。
- この取組は、社会との共創を通じて様々な社会課題に果敢に挑戦する力強い人材を育成することにより、「生きがいを育む社会」の創造を目指す大阪大学の OU マスタープラン 2027 の中心的な取組の一つに据えられている。

OPERA が契機となり、OPERA に参画する大学・機関・企業が連携して、大阪大学で 2020 年度より先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム (PQBA) が開始された。同プログラムは 28 日

間の国内研修と、28 日間の海外研修を必須としており、国内研修での研修先で企業を希望する学生も多く、そのマッチングを QASS が行っている。

(4)機関連携・協力体制

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 本事業終了後を見越した機関連携維持を目指し、QASS を登記し、本事業と並走して公的研究機関 8 団体、民間企業 12 団体が参画して活動。2021 年度にはアルファ線核医学治療の早期社会実装を目指す特別目的会社（アルファフュージョン(株)）が設立された。
- 本事業終了後も、基礎分野の研究を支援する「短寿命 RI 供給プラットフォーム」は活動を継続する予定である。

OPERA が契機となって、「RI コラボラティブ学際領域展開プラットフォーム」が 2023 年度に文部科学省の「共同利用・共同研究システム形成事業・学際領域展開ハブ形成プログラム」に採択された。

同プラットフォームでは、短寿命 RI を用いた基礎研究の分野を広げ、新たな学術的萌芽を育むこと、及び共同研究を通じて学際的な新規研究やイノベーションを創出することに取り組んでいる。

(5)参画機関の管理

プログラム終了後の運用方針(終了報告書より抜粋)

- 「短寿命 RI 供給プラットフォーム」、「QASS」、「先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム」が、それぞれ、基礎研究支援、組織体組織の共同研究と得られた成果の社会実装、卓越人材の育成を連携して持続的に推進する。

OPERA を引き継ぐために設立された QASS には、本事業の最終年度である 2021 年度にも問い合わせや新規参入の申し込みが複数あった。

アルファ線核医学治療に関しては、出口を見据えた共同研究、宇宙線起源ソフトウェア評価についてはシステムレベルでの評価や対策についての勉強会や意見交換が活発に実施されている。

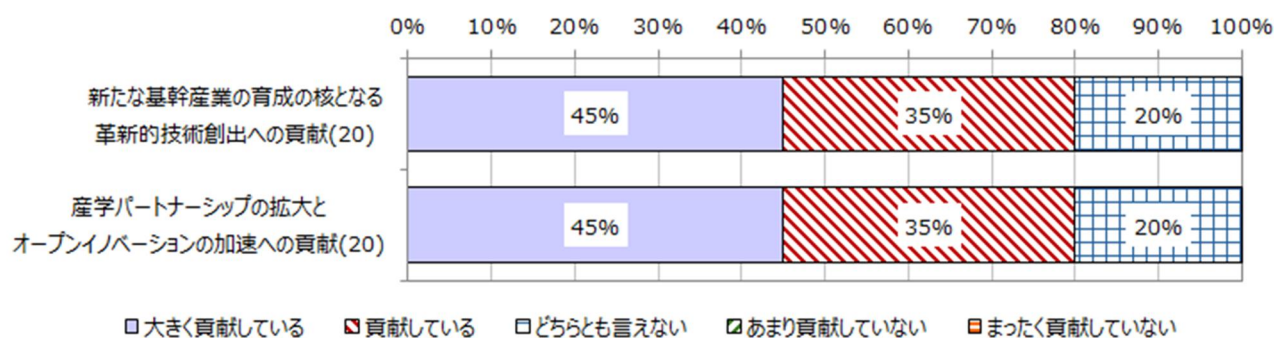
7) プロジェクトが果たした役割

アンケート調査、ヒアリング調査結果を基に、本プロジェクトが果たした役割について、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献と産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献の2つの観点からまとめる。

(1)プロジェクトの貢献度

アンケート調査にて、マネジメント層（領域統括、幹事機関等）、研究者及び企業の計20組に対し、本プロジェクトは基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したかの自己評価をたずねたところ、革新的技術創出に対して「大きく貢献している」及び「貢献している」との回答、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対して「大きく貢献している」及び「貢献している」との回答は、ともに8割に達した。

図表 2-85 本プロジェクトによる貢献度（自己評価）



※（ ）内は回答者数

(2)プロジェクトの貢献内容

さらに、ヒアリング調査にて、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対する本プロジェクトの貢献状況について聞いたところ、下記の意見が得られた。

図表 2-86 本プロジェクトによる貢献内容

項目	主な意見
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出への貢献	○ アルファ線核医学治療開発は、異分野が大学や組織の枠を超えて連携することが必須で、OPERA の枠組みや形態はその開発を産学連携で推進させた。【マネジメント層】 ○ 未だに実用化されていない第二世代の高温超伝導 REBCO コイルの加速器応用の道を拓き、関心を寄せる研究機関や企業を増加させた。【研究者】 ○ 短寿命ラジオアイソトープの革新的製造技術の開発において、大きな成果を収めた。【研究者】 ○ 具体的な中性子利用への議論の展開及び中性子ユーザーを巻き込む

	だ研究体制が確立された。【研究者】 ○ アルファ線核医学治療薬の創製において、中心的な役割を果たした。【研究者】 ○ OPERA で大学内の非臨床シーズを臨床（医師主導治験の開始）につなげられたことで、社会実装（医薬品としての承認）に向けた流れが加速した。【研究者】 ○ 放射線薬剤原料としての At 分離システムの開発が進んだ。【企業】 ○ 大強度ビーム加速器応用技術として新たながん治療用の設備製造技術が創出された。【企業】 ○ SiC モジュールの宇宙線耐量を確認し、製品化することが可能になった。【企業】 ○ 多額の資金により、アスタチン創薬基盤技術の開発が大きく進んだ。結果として、海外ではまだ実施されていない臨床試験が実施され、世界をリードする状況を創出した。【企業】 ○ 放射性薬剤の革新的技術の使用に関する安全性の確保のための方策提案ができた。【企業】
産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献	○ F-REI での RI 製造事業を大阪大学が幹事機関となって受託するにあたって、OPERA での経験と実績が大きな助けとなった。【マネジメント層】 ○ 事業期間中に多くの企業と意見交換を行い、かつ共同研究にも発展したため、貢献度は大きい。【研究者】 ○ 共同研究企業からの資金と同等の資金を JST よりマッチングファンドとしていただいたことで研究が加速された。【研究者】 ○ アカデミアや企業とコンタクトすることによって自走しながら目標に向かって加速することができている。【企業】 ○ 企業対企業、企業対公的機関等、新しい業務案件を始めることができた。【企業】 ○ マッチングファンドの資金が RCNP 設備のアップグレードにも充当され、今後予定されているビーム電流の高出力化に生かされると考えている。【企業】 ○ 施設側の“学”とユーザー側の“産”が一緒になって施設改修を考える場が形成され、ソフトエラー評価施設として最適化がうまく進められた。また、これまで接点のなかった“学”とのつながりが構築され、新たな共同研究につながった。【企業】 ○ マッチングファンド形式であったために、VC やスタートアップ企業等民間のプレーヤーが参画するインセンティブが働き、資金・人材が流入したことでイノベーションが加速した。【企業】

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

(3)創出された「新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術」の内容

本プロジェクトにより創出された、革新的技術の内容については、下記の意見が得られた。

図表 2-87 本プロジェクトにより創出された、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の内容

研究開発課題	主な意見
テーマ2:短寿命RIの製造・分離	○ OPERA で開発された、アスタチンを用いたアルファ線核医学治療に関する加速器から創薬までの統合的な技術群は、この分野の基幹産業化を支える重要な基盤となった。【マネジメント層】 ○ 医療用アスタチン-211の大規模製造技術を開発した。実用レベルでアスタチン-211を製造・精製する革新的技術であり、大阪大学病院での我が国初のアルファ線核医学治療の治験開始に貢献した。【研究者】 ○ ^{212}Pb アルファ線標的核医学治療薬の実現につなげるため、日本で唯一 ^{212}Pb 及び ^{212}Pb ジェネレータ開発を進めている。【企業】 ○ 大強度アルファビームの入射に耐えうる金属ビスマス (^{209}Bi) 標的照射装置や、$^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ 反応によって生成する ^{211}At を標的物質や副反応生成物からオンラインで化学精製する自動化学分離システムを開発したことで、アルファ線によるがん治療治験に必要な RI として ^{211}At の大規模製造・供給を行うことを可能とした。【企業】
テーマ4:半導体ソフトエラー評価技術の確立	○ ソフトエラー評価技術について、実験とシミュレーションをうまく組み合わせることにより、従来の手法より簡便に評価可能な手法が構築された。ソフトエラー評価を効率化できる本技術は、高信頼な半導体デバイス開発を加速することにつながる。【企業】
テーマ5:難治性がん制圧のための短寿命RI標識分子の合成学	○ At 製造後の精製～核種標識～細胞・動物実験～非臨床・安全性試験～医師主導治験の一貫性のあるスキームを構築できた。その結果、アルファ線核種（アスタチン）標識薬剤製造の規範となる技術を各工程で創出できた。【研究者】 ○ プロジェクトの中で数々のアスタチン標識化合物ががん治療薬候補として見出され、その過程で築かれたアスタチンの分離調整法・ターゲティングのノウハウ・体内動態や治療効果の検証方法は全てアスタチン創薬という産業の核となる技術と言える。この基盤技術を踏まえて見出された治療薬候補について、現在臨床試験を実施するという革新的な成果を上げている。【企業】
テーマ7:高分解能イメージングのための放射線測定器の開発	○ 宇宙観測のために開発された半導体イメージャーを活用し、最近注目を集めているアルファ線内用療法のための薬剤開発に必須の小動物生体内イメージング装置を実現し、アルファ線を標識した薬剤の生体内動態の可視化を実現した。半導体による高いエネルギー分解能と位置分解能により、これまでにない高い感度と定量性を持つ。【研究者】

テーマ 8: 短寿命 治療用 RI 製剤の 臨床応用に向け ての基盤整備研 究	○ 短半減期 (7.2 時間) のアルファ線放出核種であるアスタチンを用いた臨床応用 (医師主導治験の開始) に成功したことから、加速器を用いたアルファ線治療という革新的技術の創出につながった。【研究者】
---	--

(4) 国内外の他拠点などに対する比較優位性

本コンソーシアム・研究開発拠点がベンチマークする国内外の他拠点と、それに対する比較優位性については、下記の意見が得られた。

図表 2-88 ベンチマークする拠点と比較優位性

項目	主な意見
ベンチマーク 拠点	○ 欧州でもアスタチンの供給網を産学連携で構築する等の動きが活発化しているが、大学機関に置かれた加速器施設しかなく、全てアカデミアが絡んでいる。
比較優位性	○ 日本はアスタチンの製造・供給において、完全民営化に足を一步踏み出しつつあり、世界よりも 1~2 年リードしている。ただし、先行優位性を維持するためにはオールジャパンでの取組の継続が必要である ○ 最終的にはアスタチンが世に広まるためには、メガファーマの関わりが必要であり、そのためには日本・欧州・米国で化学形態と品質の統一化が必要となる。欧州企業の歩み寄り、日本で確立した標準が世界のデファクトスタンダードになることを期待させる。

8) 資料

アンケート調査への回答内容から、本プログラム終了後の主要な論文、特許、取得した官民の事業資金について掲載する。

①論文

論文名	著者名	掲載誌	年月
Modification of ²¹¹ At production apparatus to increase its production efficiency	X. Yin, N. Sato, A. Nambu, Y. Kanayama, Y. Shigekawa, and H. Haba	RIKEN Accel. Prog. Rep. 57 (in press).	2024.12
Development of a large-scale production system of astatine-211 for targeted alpha-particle therapy	H. Arata, T. Kurihara, S. Nakamura, N. Sato, X. Yin, A. Nambu, Y. Shigekawa, Y. Kanayama, H. Arai, Y. Nagasawa, and H. Haba	RIKEN Accel. Prog. Rep. 57 (in press).	2024.12
Preclinical Evaluation of Biodistribution and Toxicity of [²¹¹ At]PSMA-5 in Mice and Primates for the Targeted Alpha Therapy against Prostate Cancer	Tadashi Watabe, Kazuko Kaneda-Nakashima, Yuichiro Kadonaga, Kazuhiro Ooe, Thosapol Sampunta, Naoki Hirose, Xiaojie Yin, Hiromitsu Haba, Yukiyoshi Kon, Atsushi Toyoshima, Jens Cardinale, Frederik L Giesel, Koichi Fukase, Noriyuki Tomiyama, Yoshifumi Shirakami	International journal of molecular sciences	2024.5
CdTe XG-Cam: A novel hard X-ray and gamma-ray camera for studies of the pharmacokinetics of radiopharmaceuticals in small animals	M. Katsuragawa et al.	Med. Phys., 51(8), 5308-5320 (2024)	2024.5
Manual on the proper use of the ²¹¹ At-labeled PSMA ligand ([²¹¹ At]PSMA-5) for clinical trials of targeted alpha therapy (1st edition)	Tadashi Watabe ¹ · Masao Namba ² · Sachiko Yanagida ² · Yoshihide Nakamura ³ · Takahiro Yamada ⁴ · Saori Tatsuno ⁵ · Aritoshi Ri ⁵ · Shuhei Yoshida ⁵ · Kumiko Uyama ⁵ · Seigo Kinuya ⁶ · Noriyuki Tomiyama ⁷ · Makoto Hosono ⁵	Annals of Nuclear Medicine	2024.3
Comparison of Nuclear Medicine Therapeutics Targeting PSMA among Alpha-Emitting Nuclides	Kazuko Kaneda-Nakashima, Yoshifumi Shirakami, Yuichiro Kadonaga, Tadashi Watabe, Kazuhiro Ooe, Xiaojie Yin, Hiromitsu Haba, Kenji Shirasaki, Hidetoshi Kikunaga, Kazuaki Tsukada, Atsushi Toyoshima, Jens Cardinale, Frederik L. Giesel, Koichi Fukase	International journal of molecular sciences	2024.1
Test of High Temperature Superconducting REBCO Coil Assembly for a Multi-Frequency ECR Ion Source	T.H. Chong , M. Fukuda, T. Yorita, H. Kanda, S. Nagaya, A. Ishiyama, S. Noguchi, H. Ueda, et al.	IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol. 34, pp. 4603204(1-5), 2024	2024
Progress of ²¹¹ At production at the RIKEN AVF cyclotron	X. Yin, N. Sato, A. Nambu, Y. Shigekawa, and H. Haba	RIKEN Accel. Prog. Rep. 56, 151-152 (2023).	2023.12
Immuno-PET and Targeted α -Therapy Using Anti-Glypican-1 Antibody Labeled with ⁸⁹ Zr or ²¹¹ At: A Theranostic Approach for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma	Tadashi Watabe*, Kazuya Kabayama* (*co-first authors), Sadahiro Naka, Ryuku Yamamoto, Kazuko Kaneda, Satoshi Serada, Kazuhiro Ooe, Atsushi Toyoshima, Yang Wang, Hiromitsu Haba, Kenta Kurimoto, Takanori Kobayashi, Eku Shimosegawa, Noriyuki Tomiyama, Koichi Fukase, Tetsuji Naka	Journal of Nuclear Medicine	2023.12
Development and Utility of an Imaging System for Internal Dosimetry of Astatine-211 in Mice	A. Yagishita et al.	Bioengineering, 11(1), 25 (2024)	2023.12
CdTe-DSD SPECT-I: An Ultrahigh-Resolution Multi-isotope Tomographic Imager for Mice	S. Takeda et al.	IEEE Trans. Radiat. Plasma Med. Sci., 7, 860-870 (2023)	2023.11

Dual-radionuclide in vivo imaging of micro-metastasis and lymph tract with submillimetre resolution	A. Yagishita et al.	Scientific Reports, 13, 19464 (2023)	2023.11
Evaluation of LAT1 Expression in Patients With Lung Cancer and Mediastinal Tumors: 18F-FBPA PET Study With Immunohistological Comparison.	Watabe T*, Ose N, Naka S, Fukui E, Kimura T, Kanou T, Funaki S, Sasaki H, Kamiya T, Kurimoto K, Isohashi K, Tatsumi M, Shimosegawa E, Kato H, Ohgaki R, Kanai Y, Shintani Y.	Clin Nucl Med.	2023.10
Initial Evaluation of [18F]FAPI-74 PET for Various Histopathologically Confirmed Cancers and Benign Lesions.	Watabe T*, Naka S, Tatsumi M, Kamiya T, Kimura T, Shintani Y, Abe K, Miyake T, Shimazu K, Kobayashi S, Kurokawa Y, Eguchi H, Doki Y, Inohara H, Kato H, Mori Y, Cardinale J, Giesel FL.	J Nucl Med.	2023.8
A Novel 2200 V Schottky Barrier Diode-Embedded SiC MOSFET Module	Takahiro Ogata, Hiroshi Kono, Hiroyuki Irifune, Saho Fujii, Tsuguhiro Tanaka and Georges Tchouangue	Proceedings of Power Conversion Intelligence Motion 2023 (PCIM '23)	2023.5
A Terrestrial SER Estimation Methodology Based on Simulation Coupled With One-Time Neutron Irradiation Testing	Shin-Ichiro Abe (Masanori Hashimoto, Wang Liao, Takashi Kato, Hiroaki Asai, Kenichi Shimbo, Hideya Matsuyama, Tatsuhiko Sato, Kazutoshi Kobayashi, Yukinobu Watanabe)	IEEE Transactions on Nuclear Science	2023.5
Targeted α -therapy using astatine (211At)-labeled PSMA1, 5, and 6: a preclinical evaluation as a novel compound. Eur J Nucl Med Mol Imaging.	Watabe T*, Kaneda-Nakashima K, Shirakami Y, Kadonaga Y, Ooe K, Wang Y, Haba H, Toyoshima A, Cardinale J, Giesel FL, Tomiyama N, Fukase K.	J Nucl Med Mol Imaging.	2023.2
99mTc generator using molybdenum nanoparticles	Naruto Takahashi, Mamoru Fujiwara, Maki Kurosawa, Masato Tamura, et.al.	Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	2023.1
Production cross sections of 225Ac and 225Ra in the 232Th(14N,xnp) reactions at 56, 79, and 98 MeV/nucleon	X. Yin, A. Nambu, S. Oshikiri, K. Suzuki, A. Hino, and H. Haba	RIKEN Accel. Prog. Rep. 55, 147 (2022).	2022.12
Astatine-211-Labeled Gold Nanoparticles for Targeted Alpha-Particle Therapy via Intravenous Injection	Xuhao Huang, Kazuko Kaneda-Nakashima, Yuichiro Kadonaga, Kazuya Kabayama, Atsushi Shimoyama, Kazuhiro Ooe, Hiroki Kato, Atsushi Toyoshima, Atsushi Shinohara, Hiromitsu Haba, Yang Wang, Koichi Fukase	Pharmaceutics	2022.12
Targeted α -therapy using astatine (211At)-labeled PSMA1, 5, and 6: a preclinical evaluation as a novel compound	Tadashi Watabe ^{1,2} · Kazuko Kaneda-Nakashima ^{2,3} · Yoshifumi Shirakami ² · Yuichiro Kadonaga ^{1,2} · Kazuhiro Ooe ^{1,2} · Yang Wang ⁴ · Hiromitsu Haba ⁴ · Atsushi Toyoshima ² · Jens Cardinale ⁵ · Frederik L. Giesel ^{2,5} · Noriyuki Tomiyama ^{2,6} · Koichi Fukase ^{2,7}	European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging	2022.11
Comparison of the Therapeutic Effects of [211At]NaAt and [131I]NaI in an NIS-Expressing Thyroid Cancer Mouse Model	Tadashi Watabe ^{1,2,*} , †, Yuwei Liu ¹ , †, Kazuko Kaneda-Nakashima ^{2,3} , Tatsuhiko Sato ^{4,5} , Yoshifumi Shirakami ² , Kazuhiro Ooe ^{1,2} , Atsushi Toyoshima ² , Eku Shimosegawa ^{2,6} , Yang Wang ⁷ , Hiromitsu Haba ⁷ , Takashi Nakano ^{2,5} , Atsushi Shinohara ^{2,8} and Jun Hatazawa	International Journal of Molecular Sciences	2022.8
Production of At-211 using a cyclotron and an import plan of Ac-225	M. FUKUDA, A. TOYOSHIMA, A. SHINOHARA, H. KANDA, T. YORITA, Y. YASUDA, T. NAKANO and P. SCHAFFER	JAEA-Conf2022-001 (2022) 69-73	2022

Beam Dynamics and Characterization of a New High-intensity Compact Air-core High Temperature Superconducting Skeleton Cyclotron (HTS-SC)	H.W. Koay, M. Fukuda, H. Kanda, T. Yorita	Results in Physics, 33 (2022) 105090	2022
Development of ECR ion source with high-temperature superconducting REBCO coils	T H Chong, M Fukuda, T Yorita, H Kanda, Y Yasuda, H W Koay, Y Morita, K Takeda, T Hara, et al.	Journal of Physics: Conference Series, 2244 (2022) 012108	2022

②特許

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日
BNCT 用リチウムターゲット及び BNCT 用リチウムターゲットを用いた中性子発生方法	高橋成人	株式会社京都メディカルテクノロジー	特願 2023-574030	2024.8.21 (登録済)
アスタチン溶液の製造方法	仲定宏、渡部直史、白神宜史、大江一弘	大阪大学	特願 2023-187204	2023.10.31 (登録済)
放射性核種の分離方法および装置	岡部寛史	東芝エネルギーシステムズ株式会社	特願 2023-144134	2023.9.6
アスタチン 211 の製造方法、その製造装置、 α 粒子ビーム出力窓装置	安良田寛、中村伸悟、栗原嵩司、羽場宏光	金属技研株式会社、理化学研究所	特願 2023-089284	2023.5.30 (登録済)
揮発性放射性物質の分離回収率向上方法および装置	湯原勝	東芝エネルギーシステムズ株式会社	特願 2023-101624	2023.5.8
放射標識された FAPI α 親和性化合物およびその用途	白神宜史、角永悠一郎、兼田加珠子、渡部直史、下山敦史、麻生彩佳、深瀬浩一、吉矢拓	大阪大学	PCT/JP2023/006110	2023.2.21 (登録済)
フィルタ沈着成分の回収率向上方法および装置	湯原勝	東芝エネルギーシステムズ株式会社	特願 2022-194736	2022.12.6
放射性核種の製造方法、ならびに量子線照射のための標的保持装置、システム、および標的	安良田寛、中村伸悟、栗原嵩司、羽場宏光	金属技研株式会社/理化学研究所	PCT/JP2022/043283	2022.11.24
放射標識されたチロシン誘導体及びその用途	兼田加珠子、白神宜史、角永悠一郎、豊嶋厚史、深瀬浩一、長田宏	大阪大学	特願 2022-150608	2022.9.21 (登録済)
放射標識された化合物及びその用途	白神宜史、兼田加珠子、角永悠一郎、渡部直史、豊嶋厚史、深瀬浩一、吉矢拓	大阪大学	PCT/JP2022/29283	2022.7.29 (登録済)
中性子導管及び中性子実験装置	清水裕彦、北口雅暁	名古屋大学	特願 2022-026757	2022.2.24 (登録済)
放射標識された FAP α 親和性化合物およびその用途	白神宜史、角永悠一郎、兼田加珠子、渡部直史、深瀬浩一、下山敦史、麻生彩佳、吉矢拓	大阪大学	特願 2022-26194	2022.2.22 (登録済)
抗 Glypican-1 抗体を含む放射性 PET 診断用トレーサー組成物	渡部直史、仲定宏、下瀬川恵久、仲哲治、世良田聡	大阪大学	特願 2021-208620	2021.12.22 (登録済)

③官民の事業資金

機関名	事業・制度名	課題名	年度	基となった研究開発テーマ
科学技術振興機構 (JST)	ムーンショット型研究開発事業	目標 10 革新的加速技術による大強度中性子源と超高温プラズマ維持装置の開発	R6～R15	小型加速器・照射技術の高度化
日本学術振興会 (JSPS)	科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) (基盤研究 (A))	高強度小型加速器のグリーン化要素技術開発	R6～R10	小型加速器・照射技術の高度化
日本学術振興会 (JSPS)	研究拠点形成事業	新規セラノスティクス標的開発のための国際拠点ネットワークの充実化	R6～R10	短寿命治療用 RI 製剤の臨床応用に向けての基盤整備研究
科学技術振興機構 (JST)	経済安全保障重要技術育成プログラム	宇宙線ミュオンを用いた革新的測位・構造物イメージング等応用技術「小型で人工的に高強度のミュオンを生成するコア技術の開発」	R6～R10	小型加速器・照射技術の高度化
日本学術振興会 (JSPS)	科研費基盤(S)	宇宙線による誤動作の克服に向けた次世代集積システムの信頼性評価基盤技術の開発	R6～R10	半導体ソフトウェア評価技術の確立
日本学術振興会 (JSPS)	科研費基盤研究(B)	短寿命 α 線放出核種によるネオアンチゲン賦活を利用した新規腹膜播種治療の開発	R6 ～ R8	短寿命 RI の製造・分離
福島国際研究教育機構	第四分野 (放射線科学・創薬医療、放射線の産業利用)	福島復興を加速する多機関連携による放射性薬剤の研究開発	R6～R11(第1期中期計画)	難治性がん制圧のための短寿命 RI 標識分子の合成
日本学術振興会 (JSPS)	科研費基盤研究(A)	α 線放出核種と抗体ドラッグデリバリーシステムによる新規放射性医薬品の開発	R5～R7	短寿命 RI の製造・分離
経済産業省関東経済産業局	成長型中小企業等研究開発支援事業	新規アスタチン結合基盤技術を用いたがん治療薬の研究開発	R5～R7	難治性がん制圧のための短寿命 RI 標識分子の合成
日本医療研究開発機構 (AMED)	橋渡し支援研究プログラム (シーズ F)	前立腺特異的膜抗原 (PSMA) を標的とした革新的 α 線治療薬の実用化に向けた医師主導治験の実施	R4～R8	難治性がん制圧のための短寿命 RI 標識分子の合成
日本学術振興会 (JSPS)	科研費基盤研究(S)	2 光子ガンマ線の多次元空間の相関を用いた亜同時計数による高次イメージング法の研究	R4～R7	短寿命 RI の製造・分離
日本学術振興会 (JSPS)	科学研究費補助金・挑戦的研究(萌芽)	磁場勾配を用いた低速中性子ビーム無損失輸送の実用化研究	R4～R6	小型加速器中性子ビーム利用方法論の確立
日本医療研究開発機構 (AMED)	臨床研究・治験推進事業	難治性甲状腺がんに対する標的アルファ線核医学治療の医師主導治験	R2～R5	短寿命治療用 RI 製剤の臨床応用に向けての基盤整備研究
日本学術振興会 (JSPS)	卓越大学院プログラム (PQBA)	先導的量子ビーム応用卓越大学院	R2～R8	小型加速器・照射技術の高度化

第3章 プログラム全体編(OPERAの成果・課題等)

本プログラムの成果・課題について、本プログラムが果たした役割（プログラムの趣旨・特徴がプロジェクト推進にどう効果的に寄与したか）の観点から、プロジェクト横断的に分析する。

3-1. 本プログラムの効果と課題

1) 効果、有効であった支援・手法等

本プログラムの効果や有効であった支援・手法等について、各プロジェクトの主要参加者から収集した意見を基に、下記6項目に集約した。

効果、有効であった支援・手法等

- (1) マッチングファンドによる効用
- (2) 非競争領域と競争領域を明確化し、基礎研究から社会実装までを視野に入れた制度設計
- (3) 産学ネットワークの拡大、地域エコシステムの形成、イノベーションプラットフォームの形成を通じ、革新的技術の創出へ
- (4) 異分野の研究者・企業との意見交換・情報共有による研究開発促進
- (5) 大学の産学連携マネジメントシステム改革の契機に
- (6) 人材育成と施設整備

多くが、OPERA のプログラム趣旨⁷に沿った内容となっており、本プログラムが目指した方向において、各プロジェクトがプログラムを活用したことがうかがえる。以下に項目ごとに記載する。

(1) マッチングファンドによる効用

マッチングファンドにより研究開発規模（研究開発費）が大きくなり、研究開発が加速化したとの意見に加え、産学連携のハードルが下がったこと、（この機会を好機ととらえた）本気度が高い企業の参画につながったこと、産業創出に向けたプレーヤーの参加につながったこと、研究のみならず学生の育成と教育にも結び付いたこと等への評価がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 新技術創出に積極的な企業に対し、大学との共創が可能で、かつ研究費もマッチングしてもらえることで、新技術の大きな加速要因となった。【研究者】
- ・ 複数企業と長期の共同研究を進めている立場から、マッチングファンド型の支援が非常に効果的となり、研究・開発が大きく加速され、企業による製品化や寄付講座開設につながった。【研究者】
- ・ 研究費用の助成を頂けたために、産学共同研究のハードルが低くなり、また想定以上の規模の研究開発を行うことができた。【企業】
- ・ マッチングファンドがあることで、大学としても実施する共同研究規模を大きくすることができ、企業としても経営者に説明しやすくなり、大学に資金を拠出しやすくなった側面があると思う。【研究者】
- ・ 共同研究企業から相応の予算を確保するとともに、同額を JST から援助する支援方法は、

⁷ OPERA の趣旨：本プログラムは、民間資金とのマッチングファンドにより、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の創出を目指すとともに、新たな基幹産業の育成が図れる持続的な研究環境・研究体制・人材育成システムを持つプラットフォームを形成することを目的とする。（再掲）

企業の本気度を高める上で有効だった。【研究者】

- ・ 研究資金が多くなるのみならず、技術を開発し産業を創出していくための様々なプレーヤーを呼び込む効果があるため、マッチングファンド形式は有効であった。【企業】
- ・ マッチングファンドは研究だけでなく、学生の育成と教育に対しても使用できたこともよかった。【研究者】

※【 】内は、回答者層を示す。以下同様。

(2)非競争領域と競争領域を明確化し、基礎研究から社会実装までを視野に入れた制度設計

研究開発成果を社会実装するためには、自ずと非競争領域（基礎研究）から競争領域（社会実装）への展開が必要であり、本プログラムに参加するメンバーはそのことを共通認識・目標として取り組むことができたとの意見がみられる。また、この共通認識・取組姿勢が OPERA 終了後の経済産業省系プロジェクトへの展開や、社会実装に向けたコンソーシアム活動の継続等につながったとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ OPERA 終了後、新たな非競争領域の創出を持続的に行うためには、社会的動向を踏まえつつ、新規テーマを発掘していくことが不可欠となる。また、競争領域への展開には、成果の展開を目的とする市場、アプリケーションの動向に関する情報が不可欠であり、OPERA 終了後を念頭にした調査も実施できたことは有用であった。【マネジメント層】
- ・ 従来は論文発表等ができる学術的な研究成果を得るところで留まっていたが、社会実装を意識した応用フェーズまで踏み込んで企業と研究を進めることができたことにより、研究成果の価値が格段に上がったと考えられる。【研究者】
- ・ 純粋学術研究と実用研究の間をつなぐテーマが設定されたことで、科研費等の従来の枠組みからはみ出すようなテーマを明示的に設定することができた。【研究者】
- ・ 非競争領域と競争領域を明確化したことで、企業にとって OPERA に参加しやすく、結果として、非競争領域は文部科学省事業、競争領域は主に NEDO 事業にスムーズに展開することができた。【マネジメント層】
- ・ OPERA が提供した、アカデミア・企業を包括的に組織するコンソーシアムという道具立て（非競争領域と競争領域との区分け、移行）が、終了後のコンソーシアムを運営する法人の設立運用に大きく貢献した。アカデミアメンバーによる法人設立・運営には壁があり、それを取り除く効果があった。【マネジメント層】

(3)産学ネットワークの拡大、地域エコシステムの形成、イノベーションプラットフォームの形成を通じ、革新的技術の創出へ

これまでにあまり接点のなかった産学のメンバーが、知見を結集し、同じ目標に向けて活動したことにより、産学ネットワークが強化され、地域のエコシステムが形成されたとの意見がみられる。また、これらのイノベーション創出に向けたプラットフォームをベースに、革新的技術の創出につながったとする意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ これまであまり接触のなかったメンバーと意見を交わし、大学、企業のすべての叡智を結集して実験できたことは OPERA の最大の成果である。【マネジメント層】

- ・ 5年間で産学共創による研究開発推進の仕組みを構築し、研究開発課題を超えて自由闊達に議論ができる場を作り、研究連携や分野横断研究を推進できた。【マネジメント層】
- ・ 産業課題や社会課題の解決に資するビジョンを設定し、大きなビジョンの下で各研究開発に取り組めたことは有効であった。【マネジメント層】
- ・ 複数の課題を1つのコンソーシアムとして実施したことで、大学を中心とした複数企業間での協業可能性が増えた。【企業】
- ・ コンソーシアムの形成は、産学の連携だけでなく、産産のつながりを作ることに有効であったと思う。【企業】
- ・ 企業と連携して国内トップの技術アドバンテージを得ることができた。【研究者】
- ・ OPERAによるコンソーシアムは、その後、本学の新たなセンターの設立にも繋がり、非常に有効で重要な支援・手法であった。【研究者】
- ・ 地域エコシステムの形成に役立っていると考える。【研究者】
- ・ OPERAによる、産学の連携強化拡大の効果、最先端技術の確立までの支援・手法は、今後の国家技術開発プロジェクトのモデルとなることを希望する。【企業】

(4)異分野の研究者・企業との意見交換・情報共有による研究開発促進

異分野の研究者と企業が、同じテーマで熱を帯びた議論を交わした様子がうかがえ、広い視野の下で、研究開発が進められたとの意見がみられる。その成果として、各分野の知見を結集した研究開発や、広い視野での品質・製造方法の検討等がもたらされ、研究開発スピードの向上につながったとの意見がみられる。また、新たな異分野・産学連携が生じる苗床にもなっている。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 領域横断型のメンバー構成を求められたことで、それまで接点がなかった研究者間での共同研究が、企業も交えて進んだことが一番大きな成果だと思う。OPERAに真剣に取り組んだ人や企業ほど、研究の幅が広がり、将来の可能性が大いに高まったと思う。【マネジメント層】
- ・ 同一テーマで連携したため、交流がなかった分野の研究者と連携でき、意見交換・ディスカッションする中で、広い視野を得ることができ、今後の研究の幅が広がった。タスクがあるため、真剣に議論できたこともよかった。【マネジメント層】
- ・ 個別の研究に、横串を刺す形で研究を展開し、様々なテーマの研究者がディスカッションをする中で、技術の相乗効果につながった。【研究者】
- ・ 異分野の研究者との連携を能動的に行い、それぞれの専門分野を統合したシステムの開発を力強く進めることができた。【研究者】
- ・ 幾つかの研究機関との情報共有により、製造方法や品質基準について偏らない考えをもって進めることができた。【企業】
- ・ 情報の共有化により、技術開発の速度が早くなった。【企業】
- ・ 携わったプロジェクト以外の他のプロジェクトの先生方と知り合うことができ、その後の共同研究等に発展したことはよかった。【企業】

(5)大学の産学連携マネジメントシステム改革の契機に

一部のプロジェクトからは、OPERAを契機に、その後の大学の産学マネジメント改革が進んだとの意見がみられる。その成果は、産学連携ガイドラインの普及、オープンイノベーション推進

機関の設立、間接経費の計上比率の増大、大学院生の経済的支援・研究開発支援制度の整備等につながっている。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ OPERA と同時期に発効した大学の産学連携ガイドラインが、OPERA の中で横展開され、様々な大学の産学連携活動の高度化につながっていった。【マネジメント層】
- ・ 学内にオープンイノベーション推進室ができ、その後外部法人化し、フレキシビリティの高い産学連携オープンイノベーションが推進できる体制となった。OPERA の支援によるところが大きいと思う。【マネジメント層】
- ・ 間接経費へのアワーレート方式を全学で導入する等、大学の産学共創システムの改革の大きな駆動力となった。現在はさらに進み、直接経費の 30%に改定＋基礎研究促進費を導入するに至っている。【マネジメント層】
- ・ 本プログラムを通じて共創コンソーシアムの運営に必要な会議の設定や研究管理等のルール整備、大学院生の参画等、大学における産学共創の体制強化につながった。【マネジメント層】

(6)人材育成と施設整備

OPERA の RA 制度等により、企業との共同研究に学生が参加できたこと、大学院生による安定した研究開発活動が可能となったことにより、その後のキャリア形成にもつながったとの意見がみられる。OPERA 期間中に研究開発に携わった学生が、修了後も大学や企業で研究開発を続け、後継プロジェクトに参加している事例もみられる。また、OPERA の採択により、地方大学でも優秀な研究者を呼び込むことができた、設備整備による開発環境の向上につながった等との意見もみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ RA の支援額を増額いただいたことにより、博士課程学生が安定した研究活動が可能であり、プロジェクトへの貢献に対するモチベーションも維持できていた。【研究者】
- ・ OPERA の RA 制度で雇用されていた学生は、現在では後継プロジェクトにおける中核的な役割を担う研究者となっている。【研究者】
- ・ RA 制度で雇用されていた学生が、修了後も大学の研究者、あるいは企業研究者としてコンソーシアムに参画して現在の RA と一緒に研究開発を行っており、人材の好循環が生まれている。【マネジメント層】
- ・ 研究予算を人件費に充てることができたので、地方大学でも外部から多くの高い専門性を持った研究者を集めることができた。【マネジメント層】
- ・ 将来的にこの分野での活躍を期待する学生側と優秀な人材の採用を推進したい企業側の両者にとって Win-Win な関係が築ける部分も見受けられ、優秀な研究者育成＋就職（企業とのマッチング含め）に繋がるよい取組だったように思う。【企業】
- ・ リサーチアシスタント制度が基となり、大学において民間資金を活用した大学院生への経済的支援と研究力強化支援が強化された。【マネジメント層】
- ・ 研究の推進状況に合わせて、予算を適切な設備導入に充てることができたので、効果的に研究を推進できた。【マネジメント層】

- ・ マッチングファンドの資金が設備のアップグレードにも充当され、設備が充実した。【企業】

2) 課題、改善の方向性等

本プログラムの課題や、改善の方向性等については、各プロジェクトの主要参加者から収集した意見を基に、下記6項目に集約した。

課題、改善の方向性等

- (1) マッチングファンド制度の利点を活かすための工夫やノウハウが必要
- (2) 競争領域／非競争領域の概念の難しさ
- (3) プログラムの目的と投下される予算、研究開発の目標と求められる成果とのバランス
- (4) 研究開発の継続推進に向けた他の研究開発支援制度との連携・支援（プロジェクト運営の自立化への難しさ）
- (5) 参画者間の情報共有、コミュニケーション、連携の強化
- (6) 人材育成、マネジメント業務への支援の拡充

上記のうち、1～2は本プログラムの制度的枠組みに関する課題と位置付けられる。また、3～6は基礎研究から社会実装を目指す研究開発事業に共通した課題と考えることができる。以下に項目ごとに記載する。

(1) マッチングファンド制度の利点を活かすための工夫やノウハウが必要

マッチングファンド制度を活用し、企業の参画を得るための工夫やノウハウが必要との意見がみられる。例えば、具体的な開発目標と出口戦略の策定、共同研究費負担の低減策（研究費のみならず設備・場所等のリソース供与も支出に含める／当初の民間負担額を抑え段階的に上げていく等）等が指摘されている。また、プロジェクト内で多くの共同研究費を獲得した研究開発課題に予算が多く配分されがちとなること等も課題として挙げられた。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 共同研究企業同士は競合関係にあるため、コンソーシアム参画にはメリットを感じないと
の意見も多い。目に見えかつ手が届く開発目標と出口製品を明確に示さないと、企業の参
画を募ることは難しい。【研究者】
- ・ 企業からの投資を引き出すノウハウの蓄積や専門人材の育成が必要不可欠。【マネジメン
ト層】
- ・ 参加する企業の負担を減じることができれば、さらに参加協力してくれる企業が増えてい
たと感じる。共同研究費のみならず、場所や技術の提供等も企業の支出（負担）としてみ
なすことができれば、大企業のみならず、中堅企業の参画を広げられた可能性がある。
【研究者】
- ・ 共創の場形成支援プログラムのように、長期間プロジェクトには、企業からのリソース提
供の多様性（例：設備供与、サイト提供等もリソース提供として認める等）を許容する制
度改革がなされることが望ましい。【マネジメント層】

- ・ 共同研究と同額の受託費が配分されるため、必ずしも本プログラム内で中心的役割を担うテーマや研究者に予算配分されるわけではないことは問題であった。研究費調達力がすべてというような風潮が漂いかねず、プログラムの根本設計に問題があるように思った。

【マネジメント層】

- ・ マッチングファンドの性格に起因する、知的財産の取り扱いや、競争領域と非競争領域の線の引き方が難しい。これらについてある程度の種別にパッケージ化して JST 側から提示されるなど、共同研究契約まで踏み込んだ整備を期待する。【マネジメント層】

(2)競争領域／非競争領域の概念の難しさ

競争領域と非競争領域の定義や区分けが難しく、両領域を明確に区分した上で研究開発を進めることには困難を伴ったとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 本プログラムにおいては、競争領域・非競争領域の概念・定義が十分行われていなくて、大変苦労した。【マネジメント層】
- ・ 競争領域、非競争領域の概念が判りにくく、不要な条件であった。【マネジメント層】

(3)プログラムの目的と投下される予算、研究開発の目標と求められる成果とのバランス

5 年間で基礎研究から社会実装までの成果が求められることに対して、与えられた期間・予算等を勘案しても要求が高すぎるのではないかと意見がみられる。主に研究者からは、研究成果をより長期的・公益的にとらえた制度設計をするべきではないかと意見もみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 本プログラムの後半から、プロトタイプ、実用化、事業化の詳細実績が求められ、実用化が重視されるようになった。企業ごとの研究開発の時間軸や、分野による特性等を踏まえると、5 年間で、基礎研究領域から実用化・事業化までの成果を含めることに限界がある。【マネジメント層】
- ・ 大学・企業の連携が主なのか、アウトプットのプロダクトが主なのかわからない面が多々あり、配分された金額以上の仕事になることがあった。【マネジメント層】
- ・ 研究成果の近視眼的な活用への要求、それに伴う産学双方への知財化や独占化を過度に求めがちな近年の傾向が如実に反映されていた。【研究者】
- ・ 成果は短期・長期双方で評価できるような仕組みが必要と思う。【企業】
- ・ JST には、より公益的な科学技術の発展と、それに付随した革新的技術開発の根幹を形作るための制度設計を考えてほしい。【研究者】

(4)研究開発の継続推進に向けた他の研究開発支援制度との連携・支援(プロジェクト運営の自立化への難しさ)

革新的技術の創出を目指すプロジェクトにとって、5 年間で競争領域への移行を果たすことには容易ではないとの意見がみられる。そのため、OPERA 終了後も後継大型事業の獲得が必要であり、成果が創出されているものに対しては、成果継承の受け皿となるプロジェクトが、JST 内もしくは他省庁との連携等の下で提供されることを望む意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ JST が行う支援はここまでで十分だが、OPERA の先に、NEDO 等に進めるような橋渡しのような仕組みがあるとさらによい。【マネジメント層】
- ・ マッチングファンド+コンソーシアムという枠組みは、非競争領域の運用から競争領域への移行に「生みの親」として大きな寄与を与えた。しかしながら事業の開発には、多くの「死の谷」があり、「育ての親」が必要である。他省庁による支援基金制度との「マッチング」機会提供を含め伴走を継続することが望まれる。【マネジメント層】
- ・ 大学の基礎研究の社会実装は5年程度のプログラムでは難しく、実際にはJSTの支援が終了しても継続して企業と本腰を入れて取り組んでいくことが必須であるが、多くの大学・教員は、次々と新たな外部資金を獲得することを目的化しており、プロジェクト終了後の成果・反省が不足し、成果の社会実装に繋がらない。JST等プログラム提供側としても、社会実装に向けて継続している課題には、継続した支援があってもよいと思う。【研究者】
- ・ 終了時により評価を受けたコンソーシアムには、セカンドステージを設けて頂きたかった。【マネジメント層】
- ・ 他の国プロとの連携がもっと容易になると、研究推進が加速できる。具体的には研究スタッフの活動の自由度、導入設備の共用等が挙げられる。【マネジメント層】

(5)参画者間の情報共有、コミュニケーション、連携の強化

多様な研究課題から構成されたプロジェクトが多く、参画者間で共通の目的や方向性を有することは容易ではなかったとの意見がみられる。産学連携は行われたものの、とりわけ企業からは、非競争領域、競争領域ともに成果等に関する情報共有には困難を伴うため、その克服に向けた仕組みの構築が重要との意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 産学連携コンソーシアム構築によるオープンイノベーションでの研究加速が軸になっていたが、参画者（大学・企業）の方向性は一致していなかったように思う。【企業】
- ・ 研究チームの多様性により、チームの方向性の一致がなく、一体感が十分に醸成できなかった。【研究者】
- ・ 参画機関同士の成果の共有が必ずしもスムーズではないと感じた。秘密保持に配慮した形で、成果の共有をより推奨する仕組みがあると好ましい。【企業】
- ・ 基盤技術の開発に向けた基礎研究が多くを占めており、この段階でのオープンイノベーションについては、企業側からすると秘匿化したい部分もあり難しいように思えた。【企業】
- ・ 競合企業が参画しているとなかなか参画できないところが悩ましい。【企業】
- ・ 企業間の情報交換の機会が少ない印象で、企業間の非競争領域での協力がより促進される運営があってもよかった。【企業】
- ・ OPERA の制度的特徴、他の国プロとの相違等について、共同開発機関間で情報共有が徹底されていればよかった。【企業】

(6)人材育成、マネジメント業務への支援の拡充

若手研究者の育成に向け、より多くの大学院生を本プログラム等の事業に参画させるための制度設計を求める意見がみられる。また、プロジェクト運営に際しては、プロジェクト管理や産学

連携支援等のマネジメント業務が重要だったため、当該業務に対する予算支援等の必要性が指摘されている。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 若手研究者の育成の場となるよう、多くの大学院生を RA として任用するために、十分な RA 経費を計上しやすくする改善があるとよい。【研究者】
- ・ プログラムの中で、(RA 経費とは別に) 人材育成予算が設定されていれば、学生等の共同研究先へのインターンシップがしやすくなり、就職を含め、研究関連の職が得られることができたかもしれない。【研究者】
- ・ プログラムを推進する中心メンバーには金銭的な、もしくはそれに代わるインセンティブを付与するような条件を設けてほしい。【マネジメント層】
- ・ (JST 等からの) 大学の産学連携担当へのサポートが必要だった。【企業】

【参考】マッチングファンド制度の長短所

OPERA の特徴であるマッチングファンド制度について特に注目し、平成 29 年度採択 3 プロジェクトを対象に、その長短所について、より詳細に意見を収集した結果を下記に示す。

1 長所

(1)大規模・スピーディーな研究開発の推進

マッチングファンド制度による研究費増額により、大規模な研究開発をスピーディーに行うことができたとの意見がみられる（3-1 節 1）（1）にも同様の記載あり）。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 共同研究費の最低額を設定することで、全体として研究費の増額につながった。【研究者】
- ・ 民間企業の拠出だけでは難しいような、大規模な実験や、複雑な実験を実施することができた。【企業】
- ・ マッチングファンドにより資金が倍になることで、研究の規模を大きくし、加速させることができた。【研究者】
- ・ マッチングファンドの柔軟な運用により、機関や共同研究の枠組みを超えた資金配分が可能となり、企業単独では着手が困難な挑戦的な研究開発にも早期段階から取り組むことができた。【マネジメント層】

(2)意欲的な企業の参画と産学のモチベーションの上昇

マッチングファンド制度は、企業による基礎的研究開発へのリスクを下げ、新規産学連携を促進する効果があることが指摘されている。また、新規研究開発に対する企業の本気度を測る効果もあるとの意見がみられる（3-1 節 1）（1）に同様の記載あり）。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 企業による新規共同研究のハードルを下げることにつながる。今回、期待通りの成果が得られるか不明確な状況で新規の共同研究を開始できたのは、マッチングファンドによる支援があったためである。【企業】
- ・ 民間企業単独で公的資金活用の応募、選抜を受けるよりは現実的なチャレンジができる。【企業】
- ・ マッチングファンドは、民間企業がアカデミアと連携するモチベーションを大きく促進する。【研究者】
- ・ 本気の開発意欲のある企業の参加が得られる。【研究者】
- ・ 企業の本気度を測る観点と、投資の呼び水としてのマッチングファンドは効果があった。【マネジメント層】
- ・ 当時、共同研究先が増えた。【研究者】

(3)産学共同研究費における間接経費問題へのアプローチ

大学における産学共同研究費の間接経費率の問題に関し、マッチングファンドの存在がそのハードルを下げ、その後の間接経費比率上昇の契機にもなったとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 大学への企業資金導入には、産学共同研究費の間接経費の増大という難題があったが、マッチングファンド適用はそのハードルを下げ、企業による産学共同研究費枠の増大に途を開いた。【マネジメント層】
- ・ 企業側としても限られた予算の中でやりくりを強いられており、大学が期待するだけの研究費の捻出は難しい。特に近年の間接経費の負担割合の変更等、企業側と大学側で研究費の扱いに立場の違いが出てきやすい状況の中で、マッチングファンドの存在がうまく緩衝材になってくれたと考える。【企業】

(4)産学双方の考えを反映した研究開発の推進

産学が費用を負担しあって実施する研究開発となったため、大学側は産業課題の解決を、企業側は社会課題の解決を、それぞれ意識しながら進めることができたとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 民間資金だけではない研究開発費を同額付与することで、より社会課題や産業課題の解決の思想を反映した研究開発を企業と共創することができたことはメリットである。【マネジメント層】
- ・ 企業との関係があり、基盤研究の応用を考えることになり、その意味では有用である。【研究者】
- ・ 本プロジェクトは基礎研究の面が強く難しいところがあったが、企業が積極的に参加することで実用化に向けた技術開発が進む印象を受けた。【研究者】
- ・ 積極的に共同研究を進めようと考え、双方のメリットになる研究をきちんと行うことができた。【研究者】

2 短所

(1)マネジメント業務負担、事務作業負担が大きい

委託研究開発費と民間資金による共同研究費との併用となるマッチングファンドでは、マネジメント業務負担（特にプロジェクト開始までの期間）と、事務作業負担が大きくなる傾向があるとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ マッチングファンド形式は、初期のプロジェクト組成とマネジメントの労力が極めて大きい。【マネジメント層】
- ・ 研究開始に至るまでの議論に時間がかかり、革新的あるいは戦略的な研究の進展を遅らせる傾向がある。【研究者】
- ・ 単に共同研究を実施する場合と比べて開始までにかかる諸手続が非常に煩雑であった。【企業】
- ・ 当初よりマッチングファンドを求めるよりは、当初は補助率を高く設定して、金額を減らさずに徐々に開発規模を拡大する形でマッチングファンドに移行する形が望ましい。【マネジメント層】
- ・ 民間資金による共同研究と委託研究開発費の併用により、研究管理が煩雑になりがちである。【マネジメント層】

- ・ マッチングファンドのため通常の研究費と比較して事務作業がやや多くなる傾向があった。【研究者】

(2)知財管理等における関係者間合意の難しさ

委託研究開発費と民間資金による共同研究費からなるプロジェクトにおいては、とりわけ知的財産や秘密情報の取り扱い等について、関係者間の合意が必要となるとの指摘がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 国プロと共同研究の区別が難しいプロジェクトもあり、知財の定義や契約など困難な問題がある。【マネジメント層】
- ・ コンソーシアム全体での研究管理等のルール整備が必要であり、知的財産や秘密情報の取り扱いについて各機関での合意が不可欠である。【マネジメント層】
- ・ 特許問題等で、民間企業との話し合いが都度必要になる。【研究者】

(3)マッチングファンド参画費用(最低限度額)の設定による参入障壁

プロジェクトによっては民間拠出資金に最低限度額を設けたことで、プロジェクト内にベンチャー企業等の小規模企業や重要な研究テーマを含めることができなかったとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 民間資金の最低限度額によっては参画しにくい企業もあったので、その額の設定に工夫が必要。同じプロジェクトの中でも出資可能額が業種によって異なる場合がある。【研究者】
- ・ 金額ありきの共同研究参加交渉になり、本質ではない部分で共同研究を取捨選択することとなった。【マネジメント層】
- ・ 資金力はないが活用技術を持っているベンチャー系の会社を排除。【研究者】
- ・ 拠出した資金の全額を自テーマに使えるわけではなく、JSTからの委託研究開発費が増えている実感も得にくい。そもそも、拠出資金がなければ参画もできないため、小規模企業としては敷居が高い。【企業】

(4)企業側に資金面でのメリットが少ない

企業側（特に、自ら企業向けの競争的研究開発事業を獲得できる企業等）への資金面でのメリットは大きくはないとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ マッチングファンドは大学に対して支払われるため、実質的には民間企業に対する資金的メリットは少ない。【企業】
- ・ 他の中小企業向けの支援制度に比べてマッチング比率が 1/2 と大きくはない。【企業】
- ・ 参画企業を募集することがやや困難。【研究者】

(5)拠出額の差により企業間に不公平感、主導権争いが生じる可能性

複数企業が参加するプロジェクトにおいて、企業間で拠出金額に差がある場合、「拠出額＝発

言力」となる状況等の不公平感が生じることが懸念され、また実際に生じたとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 本プロジェクトで感じたわけではないが、多くの企業が参画した際に、研究費＝発言力の構図になることが想定されるのではないかと。【企業】
- ・ 複数企業の参画において、拠出する金額差において主導権争いがみられた。【研究者】
- ・ プロジェクト内の民間企業ごとに拠出資金が大きく異なる場合、不公平感が生まれる恐れがある。【企業】

3-2. 学生のキャリア形成への効果と課題

1) 効果、有効であった支援・手法

本プログラムが学生のキャリア形成にもたらした効果や有効であった支援・手法等について、各プロジェクトに参加した研究者及びRAから収集した意見を基に、下記4項目に集約した。

効果、有効であった支援・手法等

- (1) 学生の経済問題を低減し、研究に打ち込む環境ができた
- (2) 学位の取得、博士課程への進学につながった
- (3) 異分野・産業界との交流により、学生の視野が広がった／社会実装を意識するようになった
- (4) 異分野・産業界との新たなネットワークの構築が、その後のキャリア形成に有益となった

OPERAは、学生の経済問題の低減、進学・就職等に好影響を及ぼしたほか、若手研究者の視野拡大やネットワーク構築に寄与したことがうかがえる。以下に項目ごとに記載する。

(1) 学生の経済問題を低減し、研究に打ち込む環境ができた

OPERAのRA制度により金銭的支援を受けることができたことで、経済的安定感の下で研究開発に打ち込むことができたとの意見がみられる。その影響もあり、論文を多く執筆できた、国際学会へエントリーできた、学会誌への投稿や特許出願等につなげた等の成果事例もみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 金銭的な支援を受けたことで、時間的・精神的に余裕が生まれ、研究時間を多く確保することができた。【RA】
- ・ RAとして雇用していただき、金銭的な安定感のもとで研究活動に邁進できたことが現在につながっている。【RA】
- ・ 共同研究に関わるRAとして一定以上の月額で雇用できたことにより、学生の経済的安定性が得られ、じっくりと研究に取り組むことができた。【研究者】
- ・ RA制度の充実は、進学を阻む要因となっている経済問題を解消する点で有効であった。【研究者】
- ・ RA制度による支援は、博士課程学生の研究意欲の向上に役立っており、論文投稿数の増加に貢献した。【研究者】
- ・ 金銭面で支援頂けたことで研究開発に集中することができ、2年連続で国際学会へのエントリーにつながった。【RA】
- ・ 経済的な支援があったため、研究に集中することができ、国際学術誌への投稿や特許出願等、優れた成果を上げることができた。【RA】

(2) 学位の取得、博士課程への進学につながった

OPERAにおいて最先端の研究開発に参加できたこと、研究意欲が高まったこと、学生の経済問題が低減されたこと等により、学生の学位の取得、博士課程への進学等につながったとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ RA 経費の支援制度及び最先端の開発環境により、研究に専念でき、円滑な学位の取得につながった。【研究者】
- ・ 大学に研究員として所属して給与を受け取ることができる制度があるから進学を決めることができた。【RA】
- ・ 研究員（学生）制度により、従来の RA よりよい条件で雇用されながら博士後期課程で研究することができるようになり、優秀な学生の博士後期課程への進学につながった。【研究者】
- ・ OPERA での研究の推進と学生への謝金の支援により、参加学生たちのモチベーションが高まり、参加学生の多くが博士課程へ進学し、キャリアアップに繋がった。【研究者】
- ・ 学生時代に金銭的な理由で博士号取得を断念する必要がなくなったことで現在のキャリアに非常に有意義であったと感じている。【RA】

(3)異分野・産業界との交流により、学生の視野が広がった／社会実装を意識するようになった

異分野の研究者との交流により、他分野の研究手法・課題解決アプローチを学ぶ等、研究の視野が広がったとの意見がみられる。また、産業界との交流により、業界の動向や企業の考え方を学び、実社会のニーズを踏まえた研究や、社会実装を見据えた研究への関心が高まったとの意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 異なる専門領域の研究者との交流やディスカッションを通じて、自分の研究に新たな視点を取り入れることができただけでなく、他の分野の研究手法や課題解決のアプローチについても学ぶことができた。これにより、研究を進める上での視野が広がり、多角的なアプローチを考える力が養われたと感じている。【RA】
- ・ 完全異分野の研究者とポスター発表を通して議論できたことは学生当時非常に刺激を受けた。【RA】
- ・ 国際会議の参加に対する支援があり、海外研究者との交流をもつことにつながった。【RA】
- ・ 企業の研究者と一緒に研究を進めたので、学生が企業の考え方を身につけることができた。【研究者】
- ・ 産学連携の研究で重要視される点についてよく理解することができ、産業とアカデミアが共に助け合いながら発展するためのその架橋となる研究とはどういう研究なのかよくわかった。このような観点の習得は、後ほど資金取得のための研究計画書作成等にも役に立った。【RA】
- ・ 産学連携を目指した研究プロジェクトに参加したことで、研究に対する自身の興味・視野が広がった。本プロジェクトに参加する前は主に基礎研究に興味を持っていたが、現在は産業への応用展開を見据えた実学的な研究に興味をもち、研究を進めている。【RA】
- ・ 業界の動向については常に意識するようになった。【RA】
- ・ 異分野融合の研究体制があったことから、実社会での応用を具体的に把握した上で装置開発ができた。【研究者】

- ・ 大学では理論的研究が中心となるが、企業との共同研究に関わることで、理論的内容の応用面の重要性に目を向けることができ、その後の研究者としてのキャリアの助けになっている。【研究者】

(4)異分野・産業界との新たなネットワークの構築が、その後のキャリア形成に有益となった

OPERA を通じて、異分野の研究者や企業の研究者とのネットワークができ、その後の産学共同研究機会の増加につながったとの意見がみられる。また、共同研究先やその関連企業・研究所に就職する事例もみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 成果報告会で異分野の研究を行っている学生と知り合えたことで、研究室間の交流や共同研究の機会が増えた。【RA】
- ・ いくつかの企業と共同研究を行うことで、企業とのコネクションができたことは有益であり、現在の共同研究につながっている。【RA】
- ・ 定期的な会議等で、参加企業の研究開発について進め方や考え方に触れる機会があるため、大学院修了後の進路について企業での研究開発職に就くイメージを持ちやすい環境だった。【RA】
- ・ 共同研究相手の企業に技術開発能力と実力を認められて就職した。【研究者】
- ・ 共同研究に実質的に関わることや成果発表会等で企業との繋がりができ、共同研究先やその関連企業／研究所に就職する学生が増加したと感じる。【RA】
- ・ OPERA でセンサの研究に従事したために、アメリカの大学にて准教授になりセンサ関連の研究に従事している。【研究者】

2) 課題、改善の方向性等

本プログラムによる学生のキャリア形成支援の課題や、改善の方向性等については、各プロジェクトに参加した研究者及び RA から収集した意見を基に、下記 3 項目に集約した。

課題、改善の方向性等

- (1) 学生と企業、学生同士の交流促進・ネットワーク形成に至らなかった
- (2) 企業との共同研究に学生を参加させることが難しかった
- (3) 若手人材の育成・採用に向けた企業側からのアプローチが消極的

若手研究員の育成に向け、OPERA のような産学連携共同研究の機会をさらに活かしていくべく、産学が連携して取り組む必要があるとの積極的な意見がみられている。以下に項目ごとに記載する。

(1)学生と企業、学生同士の交流促進・ネットワーク形成に至らなかった

COVID-19 の影響を受けた時期ではあったが、学生と企業との交流を増やせばよかったとの意見がみられる。また、企業からの一方向性の高いフィードバックだけではなく、学生側からも発信することで、研究の一端を担うという役割以上の関わり方ができたのではないかとの指摘がみられる。また、複数の研究テーマをまたいでの学生同士の交流も少なく、横のつながりを構築

できればよかったとの意見もみられる。その意味でも、研究発表会・交流会による交流促進・ネットワーク形成が重要との意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 参画企業と学生間の交流がもう少し密にできるとよかった（コロナウィルスの影響もあった）。【研究者】
- ・ インターン等に参加できなかったため、企業との交流の機会は主に成果報告会しかなかった。また、成果報告会においても企業側からのコメントが主なフィードバックだったため、学生の立場から質問する機会がなかったように思う。発表交流会等、学生と企業がお互いに交流できる場があるとより研究の視野が広がったのではないかと。【研究者】
- ・ あくまで研究の一端を手伝うという関わり方のみだったので、当時関わっていた企業研究者と親交を深めたり、同じ RA をしている学生等と関わる機会はなかった。交流支援があればキャリアの幅を広げることにつながったように感じる。【RA】
- ・ 学生が取り組む研究テーマ内だけでなく、複数の研究テーマをまたいだ関係性を積極的につくる活動を促進するための特別な支援があってもよかった。【研究者】
- ・ 若手人材の横のつながりがあったほうがよかった。【研究者】
- ・ 参加したプロジェクトの学会には学生の参加が少なく、同世代の研究者とのつながりを実感することはできなかった。【RA】
- ・ 研究発表会があったら、もっと交流を深められるかと思う。【RA】
- ・ 課題を横断した研究交流会等があると一層刺激を受けたかもしれない。【研究者】

(2) 企業との共同研究に学生を参加させることが難しかった

一部のプロジェクトからは、研究開発の秘密保持や特許化等の観点から、共同研究への学生の参加や発表には消極的な姿勢がみられたことが指摘されている。また、大学と企業のどちらにも所属していないような立場上の不安定さを感じたとの RA の意見もみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 企業は、他企業に就職する可能性のある学生の共同研究参加には後ろ向きであることも少なくなく、学生を参加させてキャリアアップを望むのは難しかった。【研究者】
- ・ 特許申請との関係で学生を関連研究に参加させにくいことがあった。【研究者】
- ・ 共同研究契約時の取り決めだが、共同研究に加わる学生が秘密保持のため学会等で成果発表できないことが、学生のキャリアアップへの障害になっているかもしれない（共同研究先以外の企業がその学生に関心を寄せる機会が得られない）。【RA】
- ・ RA が企業と大学の間でどちらにも主で所属していないような中途半端な立場になる可能性がある。【RA】

(3) 若手人材の育成・採用に向けた企業側からのアプローチが消極的

主に研究者側から、共同研究先企業に対して、産学共同で若手研究開発人材を育成していくことが重要との問題提起がみられる。学生を一作員として取り扱う例もみられる状況であり、学会等への発表機会やインターンシップ機会等を設けることで、研究開発プロジェクトの一員として育成し、その後の採用等につなげていくような積極的なアプローチを求める意見がみられる。

【各プロジェクトメンバーからの意見(抜粋)】

- ・ 問題は、受け皿としての国内企業側に、博士号を取得した学生を重用する仕組みが十分でない点である。【研究者】
- ・ 学生が作業者の一員として扱われており、キャリアアップを意識した取組がなかったように思う。【研究者】
- ・ 企業から、産学連携の研究開発が実際に産業にどのような影響を与えるのか、先例等を用いて説明会が行われると、より本プログラムの趣旨に合う研究ができ、参加者のキャリアアップにも役に立ったと思う。【研究者】
- ・ 学生が参画企業へ訪問できる機会（インターンシップ制度等）の斡旋や優遇措置があればよかった。【研究者】
- ・ 参画企業の博士人材登用や、スタートアップ支援等、具体的なキャリアパスを示した支援があるとよかった。【研究者】
- ・ 参加した学生に何らかのリクルート先の支援があり、これが実績となるならば、初動から学生の参画が増える可能性を感じた。【研究者】

第4章 資料編

以下、例として「大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出」プロジェクトの「マネジメント層用」「研究者用」「企業用」「RA 等用」、および「幹事機関事務局用」調査票を示す（他プロジェクトも設問項目は同一）。

4-1. アンケート調査票

1) マネジメント層用

産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム追跡調査 ＜大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出＞ マネジメント層用調査票	
◎本調査の目的 本追跡調査は、産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（以下、「JST-OPERA」）共創プラットフォーム型を採択された皆様のプロジェクト（以下、「貴プロジェクト」）について、終了後一定期間を経過した時点での副次的効果を含めた研究開発成果の発展状況や活用状況等を明らかにすること、また、適宜プログラムとしての効用を明らかにすることにより、今後の施策立案や本事業の運営改善に活かすことを目的としています。 JST-OPERAとはどのような事業だったのか、どのような価値を創造したのか、よかった点、反省・改善すべき点は何であったか、終了後一定期間を経過した現在の視点でご意見を頂きたい、よろしくお願い申し上げます。	
◎本追跡調査票について ・本調査票は貴プロジェクトを主導した／する領域統括、幹事機関（プロジェクトマネジメント、産学連携マネジメント、人材育成等のご担当者を含む）等の方々をお願いしています。 ・緑色のハッチ部分をご記入欄です。 ・全設問にご回答いただけても結構です。おわかりになる範囲でできるだけ多くの設問にお答えください。 回答期日：●月●日（●） ・ご回答いただきました内容は、本調査以外で利用することはありません。 ・貴プロジェクトの成果を広くアピールさせていただきたいので、成果はできるだけ広く解釈してご記入いただくようお願い致します。 ・回答結果がそのまま公表されることはありません。本調査結果等は報告書（公開予定）としてまとめられ、必ず事前に幹事機関様等に関連情報公開可否の確認をさせていただきます。 ・ご回答いただきましたファイルは、メールに添付の上、以下までご返信ください。 返信先：■■■■■ JST-OPERA追跡調査係（株式会社リベルタス・コンサルティング内）	
◎問合せ先 【調査実施】 科学技術振興機構（JST）から委託を受けて下記の調査会社が本追跡調査を実施いたします。 株式会社リベルタス・コンサルティング E-mail：■■■■■、担当者：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ ※テレワーク推奨につき、担当者不在の場合が想定されます。その際には、ご連絡先を承った上で折り返しご連絡させていただきます。	 10822382(09)
【調査企画】 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）イノベーション拠点推進部 企画課 E-mail：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ 担当者：■■■■■	

ご回答者の概要

① 氏名	
② 所属機関	
③ 部署	
④ 役職名	
⑤ TEL	
⑥ E-mail	

I 「技術・システム革新シナリオ」の進捗状況

※下記の設問について、JST-OPERA終了後（令和4年4月～）の状況を、把握している範囲でご回答ください。

※本調査票は、貴プロジェクトにマネジメント層として参加されている複数の方々（領域統括、幹事機関（プロジェクトマネジメント、産学連携マネジメント、人材育成等のご担当者を含む）等）に送付しています。下記設問については、貴機関が把握されている範囲の回答で結構です（他の関係者に問い合わせ確認・記載する必要はございません）。また、個人的なご意見で結構です（関係者間で回答内容を統一する必要はございません）。

Q1 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）の活動状況をお伺いします。

① JST-OPERA期間中の研究開発テーマごとに、JST-OPERA終了後の非競争領域の発展状況、競争領域への移行状況等についてご記入ください。

② JST-OPERA終了時の計画（当時の「技術・システム革新シナリオ」や「今後の方針」等）と比して、JST-OPERA終了後の活動状況を5段階評価するとどのようになりますか。

※非競争領域：学術論文の発表が可能で、大学等や複数の民間企業が参画する共創コンソーシアムにおいて、研究開発成果に関する情報の共有が可能となる基礎的・基盤的研究領域

※競争領域：企業の事業戦略に深く関わる研究領域、もしくは、大学と企業で、企業の研究開発部門のみならず製造部門・事業部門も含めたクローズの共同研究が実施される研究領域

研究開発テーマ	① JST-OPERA終了後の活動状況		② 自己評価				
			順調	ほぼ順調	どちらとも いえない	一部順調 ではない	順調 ではない
テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション	非競争領域		○	○	○	○	○
	競争領域		○	○	○	○	○
テーマ2：先端耐震部材の実大性能検証実験法	非競争領域		○	○	○	○	○
	競争領域		○	○	○	○	○
テーマ3：設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復	非競争領域		○	○	○	○	○
	競争領域		○	○	○	○	○

テーマ4：日常から非日常までの安全・機能モニタリング	非競争領域		○	○	○	○	○
	競争領域		○	○	○	○	○
テーマ5：安全・情報を安心につなげる手法の確立	非競争領域		○	○	○	○	○
	競争領域		○	○	○	○	○

Q2 今後3年間程度を見据えた場合、各研究開発テーマの活動・取組をどのように進めていこうとお考えですか。目標・展望をご記入ください。

活動分野	今後（3年間程度）の目標・展望等	
テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション	非競争領域	
	競争領域	
テーマ2：先端耐震部材の実大性能検証実験法	非競争領域	
	競争領域	
テーマ3：設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復	非競争領域	
	競争領域	
テーマ4：日常から非日常までの安全・機能モニタリング	非競争領域	
	競争領域	
テーマ5：安全・情報を安心につなげる手法の確立	非競争領域	
	競争領域	

Q3 JST-OPERAで実施した、あるいはJST-OPERAに関連する研究開発活動の中から、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の創出や、国内外の他拠点等に対する比較優位性の創出はみられたでしょうか。また、どのような革新性・優位性となったでしょうか。可能な範囲でご記入ください。

分野	革新的技術／比較優位性の内容
新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の創出	
国内外の他拠点等に対する比較優位性の創出	

II 共創コンソーシアムの発展状況

※JST-OPERA期間中の共創コンソーシアムを継承する、あるいはJST-OPERA期間中の共創コンソーシアムから派生する産学連携体制（コンソーシアム等）として、追跡調査事務局では下記を把握しています。それ以外にも、産学連携体制（コンソーシアム等）がある場合には、それらも含めてお考え下さい。

追跡調査事務局記入	1. MRRC（東京科学大学 総合研究院 多元レジリエンス研究センター） 2. E-Isolation（一般財団法人免震研究推進機構「免震動的性能認証制度」）
上記以外の産学連携体制（コンソーシアム等）	

Q4 現在のコンソーシアムの活動内容（会議等、共同研究等、イベント等、その他の活動）のうち、特に有効、効果的なものについて、ご記入ください。

活動区分	有効・効果的な活動内容
【記載例】	〇〇コンソーシアムのシンポジウムは、最先端の研究開発動向や企業動向を知るほか、新たな連携先の発掘や、新規共同研究を検討する場としても有効である。
会議、セミナー、シンポジウム等	
共同研究、実証事業、マッチング等	
イベント、展示会等	
その他の活動	

Ⅲ 研究開発成果の発展状況

Q5 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用し、研究開発・事業化活動等を継続していくために、導入・獲得した公的研究開発事業があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	機関名	事業・制度名	課題名	年度	研究費総額 (円)	基となった研究開発テーマ (選択式)
例	科学技術振興機構	OPERA	〇〇〇の開発	R2～R5	150,000,000	テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
1						
2						
3						

☐ 上記以外にも公的研究開発事業を導入している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q6 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトに関連して実施した産学連携等による共同研究があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください（差し支えない範囲で結構です。A社・B研究所等実名称を伏せての記載や、約〇万円等概数での記載でも構いません）。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	共同研究先	課題名	年度	研究費総額 (円)	基となった研究開発テーマ (選択式)
例	A社	〇〇〇の研究開発	R2～R5	約10,000,000	テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
1					
2					
3					

☐ 上記以外にも共同研究を実施している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q7 貴プロジェクトにかかわる成果として発表された論文についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）において発表（発表予定を含む）した論文があれば、特に重要と考えるもの（例：被引用件数が多い、社会実装に直結する等）5つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

論文タイトル	著者（共著者）名	掲載誌	年月	海外論文 （チェック）
				☐
				☐
				☐
				☐
				☐

☐ 上記以外にも発表論文がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q8 貴プロジェクトにかかわる成果として出願した特許についてお伺いします。JST-OPRRA終了後（令和4年4月～）において出願（出願予定を含む）した特許があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。なお、公表に差し支えがある場合はその旨ご回答ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日	登録済 （チェック）	海外特許 （チェック）	公表不可 （チェック）
					☐	☐	☐
					☐	☐	☐
					☐	☐	☐

☐ 上記以外にも特許を出願している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q9 貴プロジェクトにかかわる成果の新聞・Webニュース等への掲載事例、TVでの放映事例についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）における新聞・Webニュースへの掲載、TVへの放映（予定を含む）があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください

区分（選択式）	掲載新聞名／放映TV名	記事名／番組名	掲載／放映年月

☐ 上記以外にも新聞・Webニュース掲載、TV放映等の事例がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q10 貴プロジェクトにかかわる成果として受賞した賞等についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）において受賞した賞等（受賞予定を含む）があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

受賞した賞の名称	主催機関	受賞タイトル	受賞理由 （おわかりになる範囲で）	受賞年月

☐ 上記以外にも受賞した賞等がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q11 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用して生み出された事業化事例がありますか。ある場合には、その概要についてご記入ください。また、記載した以外にも該当製品・サービス等がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

【用語の定義】

事業化：製品・商品・サービス化、ライセンス化、有償サンプル提供等、収入を生み出している状況

①貴プロジェクトの研究開発成果を活用した事業化事例の有無

☐	ある
☐	ない

②事業化の概要（特に重要と考える事例2つまで）

<事業化事例1>

製品・サービス名称				
事業概要				
事業化した企業・機関名				
事業開始（予定）年月				
売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	直近年度		円	
	累計		円	
	予測・目標		円	

<事業化事例2>

製品・サービス名称				
事業概要				
事業化した企業・機関名				
事業開始（予定）年月				
売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	直近年度		円	
	累計		円	
	予測・目標		円	

☐ 上記以外にも製品・サービス等の事例がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q12 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用して実施している実用化の取組はありますか。ある場合には、その概要についてご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

【用語の定義】
実用化等：無償サンプル提供、実証試験、量産試作、製造ライン設置等、未だ収入は生み出していないが、具体的な事業化に向けた取組が進んでいる状況

① 貴プロジェクトの研究開発成果を活用した実用化等事例の有無

☐	ある
☐	ない

② 実用化の取組の概要（特に重要と考える事例2つまで）

＜実用化等事例 1＞

取組概要				
事業化見込み年度				
想定する売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	予測・目標		円	

＜実用化等事例 2＞

取組概要				
事業化見込み年度				
想定する売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	予測・目標		円	

☐ 上記以外にも実用化の取組がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

IV 人材育成に関する成果の発展状況

Q13 JST-OPERA期間中（～令和4年3月）にプロジェクト参加した人材（RA、学生等）が、JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、研究開発や事業化等の活動において活躍している事例がありましたら、ご記入ください。また、記載した以外にも該当事例を把握している場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	氏名	当該人材の活躍状況
1		
2		
3		

☐ 上記以外にもキャリアアップ事例を把握している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

V JST-OPERAが果たした役割

※下記の設問は、JST-OPERA期間中（～令和4年3月）に、貴プロジェクトに参加されていた方のみご回答ください。

Q14 貴プロジェクトは、基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したと思われますか。5段階で評価ください。また、どのような効果を及ぼしたが、その中でJST-OPERAはどのような役割を果たしたかについて、お考えをご記入ください（JST-OPERAが仮に実施されなかったと仮定した場合と比較してご回答ください）。

① 貴プロジェクトがどの程度貢献したか

区分	大きく貢献している	貢献している	どちらとも言えない	あまり貢献していない	まったく貢献していない
新たな基幹産業の育成の核となる 革新的技術創出への貢献	○	○	○	○	○
産学パートナーシップの拡大と オープンイノベーションの加速への貢献	○	○	○	○	○

② 貴プロジェクトはどのような効果を及ぼしたが、その中でJST-OPERAはどのような役割を果たしたか

区分	貴プロジェクトが及ぼした効果、JST-OPERAが果たした役割
新たな基幹産業の育成の核となる 革新的技術創出への貢献	
産学パートナーシップの拡大と オープンイノベーションの加速への貢献	

Q15 JST-OPERAでは、マッチングファンド制度（民間企業が拠出する民間資金と同額を、JSTが委託研究開発費として支援）がとられていました。この制度は、産学パートナーシップの拡大やオープンイノベーションの加速に、どの程度貢献したと思われますか。5段階で評価ください。また、マッチングファンド制度の長短所について、お考えをご記入ください。

① マッチングファンド制度が、産学パートナーシップの拡大やオープンイノベーションの加速に、どの程度貢献したか

大きく貢献した	貢献した	どちらとも言えない	あまり貢献しなかった	わからない/本制度を知らなかった
○	○	○	○	○

②マッチングファンド制度の長短所

長所	
短所	

Q16 JST-OPERAの効果、有効であった支援・手法についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください。

Q17 JST-OPERAのプログラムとしての課題、改善の方向性についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください。

ご協力、どうもありがとうございました。

2) 研究者用

産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム追跡調査 ＜大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出＞ 研究者層用調査票	
◎本調査の目的 本追跡調査は、産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（以下、「JST-OPERA」）共創プラットフォーム型を採択された皆様のプロジェクト（以下、「貴プロジェクト」）について、終了後一定期間を経過した時点での副次的効果を含めた研究開発成果の発展状況や活用状況等を明らかにすること、また、適宜プログラムとしての効用を明らかにすることにより、今後の施策立案や本事業の運営改善に活かすことを目的としています。 JST-OPERAとはどのような事業だったのか、どのような価値を創造したのか、よかった点、反省・改善すべき点は何であったか、終了後一定期間を経過した現在の視点でご意見を頂きたい、よろしくお願い申し上げます。	
◎本追跡調査票について ・本調査票は貴プロジェクトに参加された研究機関の中から、中核的な役割を果たしている方をお願いしています。 ・緑色のハッチ部分をご記入欄です。 ・全設問にご回答いただけても結構です。おわかりになる範囲でできるだけ多くの設問にお答えください。 回答期日：●月●日（●） ・ご回答いただきました内容は、本調査以外で利用することはございません。 ・貴プロジェクトの成果を広くアピールさせていただきたいので、成果はできるだけ広く解釈してご記入いただくようお願い致します。 ・回答結果がそのまま公表されることはございません。本調査結果等は報告書（公開予定）としてまとめられ、必ず事前に幹事機関様等に関連情報公開可否の確認をさせていただきます。 ・ご回答いただきましたファイルは、メールに添付の上、以下までご返信ください。 返信先：■■■■■ JST-OPERA追跡調査係（株式会社リベルタス・コンサルティング内）	
◎問合せ先 【調査実施】科学技術振興機構（JST）から委託を受けて下記の調査会社が本追跡調査を実施いたします。 株式会社リベルタス・コンサルティング E-mail：■■■■■、担当者：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ ※テレワーク推奨中につき、担当者不在の場合が想定されます。その際には、ご連絡先を承った上で折り返しご連絡させていただきます。	
【調査企画】 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）イノベーション拠点推進部 企画課 E-mail：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ 担当者：■■■■■	

ご回答者の概要

① 氏名	
② 所属機関	
③ 部署	
④ 役職名	
⑤ TEL	
⑥ E-mail	

I 研究開発成果の発展状況

Q1 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）の研究開発活動状況をお伺いします。JST-OPERA期間中の研究開発テーマのうち、貴殿が参画したテーマについて、JST-OPERA終了後の研究開発活動（非競争領域、競争領域）をご記入ください。また、JST-OPERA期間中から、研究対象や研究体制（共同研究先、組織内体制等）に変化がある場合、その内容をご記入ください（貴殿が参加したテーマ以外は空欄で結構です）。

※非競争領域：学術論文の発表が可能で、大学等や複数の民間企業が参画する共創コンソーシアムにおいて、研究開発成果に関する情報の共有が可能となる基礎的・基盤的研究領域

※競争領域：企業の事業戦略に深く関わる研究領域、もしくは、大学と企業で、企業の研究開発部門のみならず製造部門・事業部門も含めたクローズの共同研究が実施される研究領域

貴殿が参画する研究開発テーマ	JST-OPERA終了後の活動状況、JST-OPERA期間中からの変化							
テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション	非競争領域の活動							
	競争領域の活動							
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容	
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容	
テーマ2：先端耐震部材の実大性能検証実験法	非競争領域の活動							
	競争領域の活動							
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容	
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容	

テーマ3：設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復	非競争領域の活動										
	競争領域の活動										
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
テーマ4：日常から非日常までの安全・機能モニタリング	非競争領域の活動										
	競争領域の活動										
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
テーマ5：安全・情報を安心につなげる手法の確立	非競争領域の活動										
	競争領域の活動										
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				

Q2 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用し、研究開発・事業化活動等を継続していくために、導入・獲得した公的研究開発事業があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	機関名	事業・制度名	課題名	年度	研究費総額 (円)	基となった研究開発テーマ (選択式)
例	科学技術振興機構	OPERA	〇〇〇の開発	R2～R5	150,000,000	テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
1						
2						
3						

☐ 上記以外にも公的研究開発事業を導入している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q3 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトに関連して実施した産学連携等による共同研究があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください（差し支えない範囲で結構です。A社・B研究所等実名称を伏せての記載や、約〇万円等概数での記載でも構いません）。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	共同研究先	課題名	年度	研究費総額 (円)	基となった研究開発テーマ (選択式)
例	A社	〇〇〇の研究開発	R2～R5	約10,000,000	テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
1					
2					
3					

☐ 上記以外にも共同研究を実施している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q4 貴プロジェクトにかかわる成果として発表された論文についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）において発表（発表予定を含む）した論文があれば、特に重要と考えるもの（例：被引用件数が多い、社会実装に直結する等）5つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

論文タイトル	著者（共著者）名	掲載誌	年月	海外論文 (チェック)
				☐
				☐
				☐
				☐
				☐

☐ 上記以外にも発表論文がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q5 貴プロジェクトにかかわる成果として出願した特許についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）において出願（出願予定を含む）した特許があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。なお、公表に差し支えがある場合はその旨ご回答ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日	登録済 (チェック)	海外特許 (チェック)	公表不可 (チェック)
					☐	☐	☐
					☐	☐	☐
					☐	☐	☐

☐ 上記以外にも特許を出願している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q6 貴プロジェクトで実施した、もしくは貴プロジェクトに関連する研究開発活動の中から、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の創出はみられたでしょうか。また、どのような革新性となったでしょうか。可能な範囲でご記入ください。

Q7 貴プロジェクトにかかわる成果の新聞・Webニュース等への掲載事例、TVでの放映事例についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）における新聞・Webニュースへの掲載、TVへの放映（予定を含む）があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください

区分（選択式）	掲載新聞名／放映TV名	記事名／番組名	掲載／放映年月

☐ 上記以外にも新聞・Webニュース掲載、TV放映等の事例がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q8 貴プロジェクトにかかわる成果として受賞した賞等についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）において受賞した賞等（受賞予定を含む）があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

受賞した賞の名称	主催機関	受賞タイトル	受賞理由 （おわかりになる範囲で）	受賞年月

☐ 上記以外にも受賞した賞等がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q9 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用して生み出された事業化事例がありますか。ある場合には、その概要についてご記入ください。また、記載した以外にも該当製品・サービス等がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

【用語の定義】

事業化：製品・商品・サービス化、ライセンス化、有償サンプル提供等、収入を生み出している状況

①貴プロジェクトの研究開発成果を活用した事業化事例の有無

☐	ある
☐	ない

②事業化の概要（特に重要と考える事例2つまで）

<事業化事例1>

製品・サービス名称				
事業概要				
事業化した企業・機関名				
事業開始（予定）年月				
売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	直近年度		円	
	累計		円	
	予測・目標		円	

<事業化事例2>

製品・サービス名称				
事業概要				
事業化した企業・機関名				
事業開始（予定）年月				
売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	直近年度		円	
	累計		円	
	予測・目標		円	

☐ 上記以外にも製品・サービス等の事例がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q10 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用して実施している実用化の取組はありますか。ある場合には、その概要についてご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

【用語の定義】
実用化等：無償サンプル提供、実証試験、量産試作、製造ライン設置等、未だ収入は生み出していないが、具体的な事業化に向けた取組が進んでいる状況

① 貴プロジェクトの研究開発成果を活用した実用化等事例の有無

☐	ある
☐	ない

② 実用化の取組の概要（特に重要と考える事例2つまで）

＜実用化等事例 1＞

取組概要				
事業化見込み年度				
想定する売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	予測・目標		円	

＜実用化等事例 2＞

取組概要				
事業化見込み年度				
想定する売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	予測・目標		円	

☐ 上記以外にも実用化の取組がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください

II 人材育成に関する成果の発展状況

Q11 JST-OPERA期間中（～令和4年3月）にプロジェクト参加した人材（RA、学生等）が、JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、研究開発や事業化等の活動において活躍している事例がありましたら、ご記入ください。また、記載した以外にも該当事例を把握している場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	氏名	当該人材の活躍状況
1		
2		
3		

☐ 上記以外にもキャリアアップ事例を把握している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q12 JST-OPERA（産学連携による最先端分野の研究開発等）に参加した、学生のキャリアアップに関して、有効であった支援・手法についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください。（例：○○の支援があったから、○○につながった等）

Q13 JST-OPERA（産学連携による最先端分野の研究開発等）に参加した、学生のキャリアアップに関して、JST-OPERAが果たせなかった事項や、改善の方向性についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください（例：○○の支援があったら、もっと有効だった等）。

Ⅲ JST-OPERAが果たした役割

※下記の設問は、JST-OPERA期間中（～令和4年3月）に、貴プロジェクトに参加されていた方のみご回答ください。

Q14 貴プロジェクトは、基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したと思われますか。5段階で評価ください。また、どのような効果を及ぼしたか、その中でJST-OPERAはどのような役割を果たしたかについて、お考えをご記入ください（JST-OPERAが仮に実施されなかったと仮定した場合と比較してご回答ください）。

①貴プロジェクトがどの程度貢献したか

区分	大きく貢献している	貢献している	どちらとも言えない	あまり貢献していない	まったく貢献していない
新たな基幹産業の育成の核となる 革新的技術創出への貢献	☐	☐	☐	☐	☐
産学パートナーシップの拡大と オープンイノベーションの加速への貢献	☐	☐	☐	☐	☐

②貴プロジェクトはどのような効果を及ぼしたか、その中でJST-OPERAはどのような役割を果たしたか

区分	貴プロジェクトが及ぼした効果、JST-OPERAが果たした役割
新たな基幹産業の育成の核となる 革新的技術創出への貢献	
産学パートナーシップの拡大と オープンイノベーションの加速への貢献	

Q15 JST-OPERAでは、マッチングファンド制度（民間企業が拠出する民間資金と同額を、JSTが委託研究開発費として支援）がとられていました。この制度は、産学パートナーシップの拡大やオープンイノベーションの加速に、どの程度貢献したと思われますか。5段階で評価ください。また、マッチングファンド制度の長短所について、お考えをご記入ください。

①マッチングファンド制度が、産学パートナーシップの拡大やオープンイノベーションの加速に、どの程度貢献したか

大きく貢献した	貢献した	どちらとも言えない	あまり貢献しなかった	わからない/本制度を知らなかった
☐	☐	☐	☐	☐

②マッチングファンド制度の長短所

長所	
短所	

Q16 JST-OPERAの効果、有効であった支援・手法についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください。

Q17 JST-OPERAのプログラムとしての課題、改善の方向性についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください。

ご協力、どうもありがとうございました。

3) 企業用

産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム追跡調査 ＜大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出＞ 企業用調査票	
◎本調査の目的 本追跡調査は、産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（以下、「JST-OPERA」）共創プラットフォーム型を採択された皆様のプロジェクト（以下、「貴プロジェクト」）について、終了後一定期間を経過した時点での副次的効果を含めた研究開発成果の発展状況や活用状況等を明らかにすること、また、適宜プログラムとしての効用を明らかにすることにより、今後の施策立案や本事業の運営改善に活かすことを目的としています。 JST-OPERAとはどのような事業だったのか、どのような価値を創造したのか、よかった点、反省・改善すべき点は何であったか、終了後一定期間を経過した現在の視点でご意見を頂きたい、よろしくお願い申し上げます。	
◎本追跡調査票について ・本調査票は貴プロジェクトに参加された企業の中から、中核的な役割を果たしている方をお願いしています。 ・緑色のハッチ部分をご記入欄です。 ・全設問にご回答いただけても結構です。おわかりになる範囲でできるだけ多くの設問にお答えください。 回答期日：●月●日（●） ・ご回答いただきました内容は、本調査以外で利用することはありません。 ・貴プロジェクトの成果を広くアピールさせていただきたいので、成果はできるだけ広く解釈してご記入いただくようお願い致します。 ・回答結果がそのまま公表されることはありません。本調査結果等は報告書（公開予定）としてまとめられ、必ず事前に幹事機関様等に関連情報公開可否の確認をさせていただきます。 ・ご回答いただきましたファイルは、メールに添付の上、以下までご返信ください。 返信先：■■■■■ JST-OPERA追跡調査係（株式会社リベルタス・コンサルティング内）	
◎問合せ先 【調査実施】科学技術振興機構（JST）から委託を受けて下記の調査会社が本追跡調査を実施いたします。 株式会社リベルタス・コンサルティング E-mail：■■■■■、担当者：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ ※テレワーク推奨中につき、担当者不在の場合が想定されます。その際には、ご連絡先を承った上で折り返しご連絡させていただきます。	 10822382(09)
【調査企画】 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）イノベーション拠点推進部 企画課 E-mail：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ 担当者：■■■■■	

ご回答者の概要

① 氏名	
② 所属企業	
③ 部署	
④ 役職名	
⑤ TEL	
⑥ E-mail	

I 研究開発成果の発展状況

Q1 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）の研究開発活動状況をお伺いします。JST-OPERA期間中の研究開発テーマのうち、貴社が参画するテーマについて、JST-OPERA終了後の研究開発活動（非競争領域、競争領域）をご記入ください。また、JST-OPERA期間中から、研究対象や研究体制（共同研究先、組織内体制等）に変化がある場合、その内容をご記入ください（貴社が参加したテーマ以外は空欄で結構です）。

※非競争領域：学术论文の発表が可能で、大学等や複数の民間企業が参画する共創コンソーシアムにおいて、研究開発成果に関する情報の共有が可能となる基礎的・基盤的研究領域

※競争領域：企業の事業戦略に深く関わる研究領域、もしくは、大学と企業で、企業の研究開発部門のみならず製造部門・事業部門も含めたクローズの共同研究が実施される研究領域

貴殿が参画する 研究開発テーマ	JST-OPERA終了後の活動状況、JST-OPERA期間中からの変化									
テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション	非競争領域の活動									
	競争領域の活動									
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容			
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容			

テーマ2：先端耐震部材の実大性能検証実験法	非競争領域の活動										
	競争領域の活動										
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
テーマ3：設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復	非競争領域の活動										
	競争領域の活動										
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
テーマ4：日常から非日常までの安全・機能モニタリング	非競争領域の活動										
	競争領域の活動										
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→	変化の内容				

テーマ5：安全・情報を安心につなげる手法の確立	非競争領域の活動						
	競争領域の活動						
	研究対象の変化	○	なし	○	あり	→ 変化の内容	
	研究体制の変化	○	なし	○	あり	→ 変化の内容	

Q2 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用し、研究開発・事業化活動等を継続していくために、導入・獲得した公的研究開発事業があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	機関名	事業・制度名	課題名	年度	研究費総額 (万円)	基となった研究開発テーマ (選択式)
例	科学技術振興機構	OPERA	〇〇〇の開発	R2～R5	150,000,000	テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
1						
2						
3						

☐ 上記以外にも公的研究開発事業を導入している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q3 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトに関連して実施した産学連携等による共同研究があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください（差し支えない範囲で結構です。A大学・B研究所等実名称を伏せての記載や、約〇万円等概数での記載でも構いません）。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

No.	共同研究先	課題名	年度	研究費総額 (円)	基となった研究開発テーマ (選択式)
例	A社	〇〇〇の研究開発	R5～R6	約10,000,000	テーマ1：極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
1					
2					
3					

☐ 上記以外にも共同研究を実施している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q4 貴プロジェクトにかかわる成果として発表された論文についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）において発表（発表予定を含む）した論文があれば、特に重要と考えるもの（例：被引用件数が多い、社会実装に直結する等）5つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

論文タイトル	著者（共著者）名	掲載誌	年月	海外論文 (チェック)
				☐
				☐
				☐
				☐
				☐

Q5 貴プロジェクトにかかわる成果として出願した特許についてお伺いします。JST-OPRRA終了後（令和4年4月～）において出願（出願予定を含む）した特許があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。なお、公表に差し支えがある場合はその旨ご回答ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

発明の名称	発明者名	出願人	出願番号	出願日	登録済 (チェック)	海外特許 (チェック)	公表不可 (チェック)
					☐	☐	☐
					☐	☐	☐
					☐	☐	☐

☐ 上記以外にも特許を出願している場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q6 貴プロジェクトで実施した、もしくは貴プロジェクトに関連する研究開発活動の中から、新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術の創出はみられたでしょうか。また、どのような革新性となったでしょうか。可能な範囲でご記入ください。

Q7 貴プロジェクトにかかわる成果の新聞・Webニュース等への掲載事例、TVでの放映事例についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）における新聞・Webニュースへの掲載、TVへの放映（予定を含む）があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください

区分（選択式）	掲載新聞名／放映TV名	記事名／番組名	掲載／放映年月

☐ 上記以外にも新聞・Webニュース掲載、TV放映等の事例がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q8 貴プロジェクトにかかわる成果として受賞した賞等についてお伺いします。JST-OPERA終了後（令和4年4月～）において受賞した賞等（受賞予定を含む）があれば、特に重要と考えるもの3つまでについて、その概要をご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

受賞した賞の名称	主催機関	受賞タイトル	受賞理由 （おわかりになる範囲で）	受賞年月

☐ 上記以外にも受賞した賞等がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q9 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用して生み出された事業化事例がありますか。ある場合には、その概要についてご記入ください。また、記載した以外にも該当製品・サービス等がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

【用語の定義】

事業化：製品・商品・サービス化、ライセンス化、有償サンプル提供等、収入を生み出している状況

① 貴プロジェクトの研究開発成果を活用した事業化事例の有無

☐	ある
☐	ない

② 事業化事例の概要（特に重要と考える事例2つまで）

<事業化事例1>

製品・サービス名称				
事業概要				
事業化した企業・機関名				
事業開始（予定）年月				
売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	直近年度		円	
	累計		円	
	予測・目標		円	

<事業化事例2>

製品・サービス名称				
事業概要				
事業化した企業・機関名				
事業開始（予定）年月				
売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	直近年度		円	
	累計		円	
	予測・目標		円	

☐ 上記以外にも製品・サービス等の事例がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください。

Q10 JST-OPERA終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を活用して実施している実用化の取組はありますか。ある場合には、その概要についてご記入ください。また、記載した以外にも該当事例がある場合には、下記チェックボックスにチェックを入れてください。

【用語の定義】
実用化等：無償サンプル提供、実証試験、量産試作、製造ライン設置等、未だ収入は生み出していないが、具体的な事業化に向けた取組が進んでいる状況

① 貴プロジェクトの研究開発成果を活用した実用化等事例の有無

☐	ある
☐	ない

② 実用化の取組の概要（特に重要と考える事例2つまで）

<実用化等事例1>

取組概要				
事業化見込み年度				
想定する売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	予測・目標		円	

<実用化等事例2>

取組概要				
事業化見込み年度				
想定する売上高 ※可能な範囲でご記入ください。	予測・目標		円	

☐ 上記以外にも実用化の取組がある場合、左記チェックボックスにチェックを入れてください

II JST-OPERAが果たした役割

※下記の設問は、JST-OPERA期間中（～令和4年3月）に、貴プロジェクトに参加されていた方のみご回答ください。

Q11 貴プロジェクトは、基幹産業の育成の核となる革新的技術創出や、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速に対し、どの程度貢献したと思われますか。5段階で評価ください。また、どのような効果を及ぼしたか、その中でJST-OPERAはどのような役割を果たしたかについて、お考えをご記入ください（JST-OPERAが仮に実施されなかったと仮定した場合と比較してご回答ください）。

①貴プロジェクトがどの程度貢献したか

区分	大きく貢献している	貢献している	どちらとも言えない	あまり貢献していない	まったく貢献していない
新たな基幹産業の育成の核となる 革新的技術創出への貢献	☐	☐	☐	☐	☐
産学パートナーシップの拡大と オープンイノベーションの加速への貢献	☐	☐	☐	☐	☐

②貴プロジェクトはどのような効果を及ぼしたか、その中でJST-OPERAはどのような役割を果たしたか

区分	貴プロジェクトが及ぼした効果、JST-OPERAが果たした役割
新たな基幹産業の育成の核となる 革新的技術創出への貢献	
産学パートナーシップの拡大と オープンイノベーションの加速への貢献	

Q12 JST-OPERAでは、マッチングファンド制度（民間企業が拠出する民間資金と同額を、JSTが委託研究開発費として支援）がとられていました。この制度は、産学パートナーシップの拡大やオープンイノベーションの加速に、どの程度貢献したと思われますか。5段階で評価ください。また、マッチングファンド制度の長短所について、お考えをご記入ください。

①マッチングファンド制度が、産学パートナーシップの拡大やオープンイノベーションの加速に、どの程度貢献したか

大きく貢献した	貢献した	どちらとも言えない	あまり貢献しなかった	わからない/本制度を知らなかった
☐	☐	☐	☐	☐

②マッチングファンド制度の長短所

長所	
短所	

Q13 JST-OPERAの効果、有効であった支援・手法についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください。

Q14 JST-OPERAのプログラムとしての課題、改善の方向性についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください。

ご協力、どうもありがとうございました。

4) RA等用

産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム追跡調査 ＜大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出＞ RA等用調査票	
◎本調査の目的 本追跡調査は、産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（以下、「JST-OPERA」）共創プラットフォーム型を採択された皆様のプロジェクト（以下、「貴プロジェクト」）について、終了後一定期間を経過した時点での副次的効果を含めた研究開発成果の発展状況や活用状況等を明らかにすること、また、適宜プログラムとしての効用を明らかにすることにより、今後の施策立案や本事業の運営改善に活かすことを目的としています。 JST-OPERAとはどのような事業だったのか、どのような価値を創造したのか、よかった点、反省・改善すべき点は何であったか、終了後一定期間を経過した現在の視点でご意見を頂きたい、よろしくお願い申し上げます。	
◎本追跡調査票について ・本調査票は貴プロジェクトに参加されたRAや学生の中から、中核的な役割を果たした方をお願いしています。 ・緑色のハッチ部分をご記入欄です。 ・全設問にご回答いただけても結構です。おわかりになる範囲でできるだけ多くの設問にお答えください。 回答期日：●月●日（●） ・ご回答いただきました内容は、本調査以外で利用することはありません。 ・貴プロジェクトの成果を広くアピールさせていただきたいので、成果はできるだけ広く解釈してご記入いただくようお願い致します。 ・回答結果がそのまま公表されることはありません。本調査結果等は報告書（公開予定）としてまとめられ、必ず事前に幹事機関様等に関連情報公開可否の確認をさせていただきます。 ・ご回答いただきましたファイルは、メールに添付の上、以下までご返信ください。 返信先：■■■■■ JST-OPERA追跡調査係（株式会社リベルタス・コンサルティング内）	
◎問合せ先 【調査実施】科学技術振興機構（JST）から委託を受けて下記の調査会社が本追跡調査を実施いたします。 株式会社リベルタス・コンサルティング E-mail：■■■■■、担当者：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ ※テレワーク推奨中につき、担当者不在の場合が想定されます。その際には、ご連絡先を承った上で折り返しご連絡させていただきます。	
【調査企画】 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）イノベーション拠点推進部 企画課 E-mail：■■■■■ TEL：■■-■■■■-■■■■■ 担当者：■■■■■	

ご回答者の概要

① 氏名	
② 所属機関	
③ 部署	
④ 役職名	
⑤ TEL	
⑥ E-mail	

I 人材育成に関する成果の発展状況

Q1 貴殿は、JST-OPERAに参加した後（令和4年4月～）、どのような組織で、どのような研究開発や事業化等に携わられているでしょうか（キャリアアップを果たされているでしょうか）。差し支えない範囲でご記入ください。

No.	時期	所属・役職	主な研究開発・事業化活動等
記入例	令和〇年〇月～ 〇年〇月	〇〇株式会社 〇〇部 研究員	〇〇事業において、××開発を担当。△△の実用化研究を担う。
1			
2			
3			
4			
5			

Q2 貴殿が、JST-OPERA（産学連携による最先端分野での研究開発）に参加して得られた効果（経験、ノウハウ等）について、どのようにお考えでしょうか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください（〇〇の開発において、〇〇を担当したことで、〇〇等の知見が得られた等）。

Q3 JST-OPERA（産学連携による最先端分野の研究開発等）に参加した、貴殿や周囲の学生のキャリアアップに関して、有効であった支援・手法についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください（例：〇〇の支援があったから、〇〇につながった等）。

Q4 JST-OPERA（産学連携による最先端分野の研究開発等）に参加した、貴殿や周囲の学生のキャリアアップに関して、JST-OPERAが果たせなかった事項や、改善の方向性についてどのようにお考えですか。できるだけ具体的事例等とともにご記入ください（例：〇〇の支援があったら、もっと有効だった等）。

Q5 上記の効果、課題等も踏まえ、JST-OPERA参加の経験が、貴殿のキャリアアップに何らかの貢献をもたらしたかについて、5段階評価するとどのようになりますか。

大きく貢献している	やや貢献している	どちらとも言えない	あまり貢献していない	まったく貢献していない
☐	☐	☐	☐	☐

ご協力、どうもありがとうございました。

4-2. 書面調査調査票

産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム追跡調査
＜大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出＞
幹事機関事務局向け書面調査票

◎本調査の目的

本追跡調査は、産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（以下、「JST-OPERA」）共創プラットフォーム型を採択された皆様のプロジェクト（以下、「貴プロジェクト」）について、終了後一定期間を経過した時点での副次的効果を含めた研究開発成果の発展状況や活用状況等を明らかにすること、また、適宜プログラムとしての効用を明らかにすることにより、今後の施策立案や本事業の運営改善に活かすことを目的としています。

◎本調査票について

- ・ 本調査票は貴プロジェクトの幹事機関事務局様にお願いしています。
- ・ 黄色のハッチ部分をご記入欄です。
- ・ おわかりになる範囲でできるだけ多くの設問にお答えください。

回答期日： ●月●日（●）

- ・ ご回答いただきました内容は、本調査以外で利用することはありません。
- ・ 貴プロジェクトの成果を広くアピールさせていただきたいので、成果はできるだけ広く解釈してご記入いただくようお願い致します。
- ・ 回答結果がそのまま公表されることはありません。本調査結果等は報告書（公開予定）としてまとめられ、必ず事前に幹事機関様等に関連情報公開可否の確認をさせていただきます。
- ・ ご回答いただきましたファイルは、メールに添付の上、以下までご返信ください。

返信先： ■■■■

JST-OPERA 追跡調査係（株式会社リベルタス・コンサルティング内）

◎問合せ先

【調査実施】 科学技術振興機構（JST）から委託を受けて下記の調査会社が本追跡調査を実施いたします。

株式会社リベルタス・コンサルティング

E-mail：■■■■■、 担当者：■■■■■

TEL：■■■ - ■■■■■ - ■■■■■

※テレワーク推奨中につき、担当者不在の場合が想定されます。その際には、ご連絡先を承った上で折り返しご連絡させていただきます。

【調査企画】

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST） イノベーション拠点推進部 企画課

E-mail：■■■■■ TEL：■■■ - ■■■■■ - ■■■■■

担当者：■■■■■

Q1 共創コンソーシアムの継続状況についてお伺いします。JST-OPERA 期間中の共創コンソーシアムを継承する、あるいは JST-OPERA 期間中の共創コンソーシアムから派生する産学連携体制（コンソーシアム等）として、追跡調査事務局では下記を把握しております。

- 1 MRRC（東京科学大学 総合研究院 多元レジリエンス研究センター）
- 2 E-Isolation（一般財団法人免震研究推進機構「免震動的性能認証制度」）

それ以外にも、産学連携体制（コンソーシアム等）があれば、ご記入ください。

Q2 現在の産学連携体制（コンソーシアム等）の A) 参加機関数、B) 目的・参加機関の特徴、C) マネジメント体制、D) 活動内容、E) 会費収入状況等について、ご記入ください。選択式の間については、該当する選択肢を残し、他の選択肢を削除してください（以下同様）。

（コンソーシアムが複数あり、下表では不足する場合、適宜回答欄を増やしてご記入ください）

1 MRRC（東京科学大学 総合研究院 多元レジリエンス研究センター）

A) 現在の参加機関数	研究機関：() 機関 企業：() 社 その他：() 機関			
B) コンソーシアム等の 目的・参加機関の特徴等				
C) マネジメント体制 (事務局運営機関、人数等)				
D) 活動内容	会議、セミナー、 シンポジウム等			
	共同研究、実証事業、 マッチング等			
	イベント、展示会等			
	その他の活動			
E) 会費収入状況	会費制を とっているか	とっている／ とっていない	会費制をとっている場合、 会費収入(総額)の増減状況	増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向
	会費額（年会費）	※会員種別に会費額が異なる場合、それぞれにつきご記載ください。		

2 E-Isolation（一般財団法人免震研究推進機構「免震動的性能認証制度」）

A) 現在の参加機関数	研究機関：（ ） 機関 企業：（ ） 社 その他：（ ） 機関			
B) コンソーシアム等の 目的・参加機関の特徴等				
C) マネジメント体制 (事務局運営機関、人数等)				
D) 活動内容	会議、セミナー、 シンポジウム等			
	共同研究、実証事業、 マッチング等			
	イベント、展示会等			
	その他の活動			
E) 会費収入状況	会費制を とっているか	とっている／ とっていない	会費制をとっている場合、 会費収入(総額)の増減状況	増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向
	会費額（年会費）	※会員種別に会費額が異なる場合、それぞれにつきご記載ください。		

N その他（コンソーシアム等の名称： ）

A) 現在の参加機関数	研究機関：() 機関 企業：() 社 その他：() 機関			
B) コンソーシアム等の 目的・参加機関の特徴等				
C) マネジメント体制 (事務局運営機関、人数等)				
D) 活動内容	会議、セミナー、 シンポジウム等			
	共同研究、実証事業、 マッチング等			
	イベント、展示会等			
	その他の活動			
E) 会費収入状況	会費制を とっているか	とっている／ とっていない	会費制をとっている場合、 会費収入(総額)の増減状況	増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向
	会費額（年会費）	※会員種別に会費額が異なる場合、それぞれにつきご記載ください。		

Q 3 JST-OPERA 終了後（令和 4 年 4 月～）に、JST-OPERA の成果と関連して、貴コンソーシアムメンバーが採択された公的研究開発事業（競争的資金）がありましたら、ご記入ください。また、表下の【基になった研究開発テーマの選択肢】から関連する JST-OPERA での研究開発テーマの番号を選んでご記入ください。

（下表（10 件）で不足する場合、適宜行数を増やしてご記入ください）

No.	機関名	事業・制度名	課題名	年度	研究費総額 (円)	基になった 研究開発テーマ
例	JST	OPERA	〇〇〇の開発	R4-R5	150,000,000	1
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



【基になった研究開発テーマの選択肢】

1 極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション

2 先端耐震部材の実大性能検証実験法

3 設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復

4 日常から非日常までの安全・機能モニタリング

5 安全・情報を安心につなげる手法の確立

Q4 JST-OPERA 終了後（令和4年4月～）の民間企業との産学連携状況についてお伺いします。

Q4-1 JST-OPERA 期間中に参加していた民間企業（途中で脱退した企業を含む）との産学連携についてお伺いします。

A) JST-OPERA 期間中に参加していた民間企業との産学連携は継続していますか。

継続している場合には、

B) 連携相手（大学名、研究機関等）をご記入ください。

C) JST-OPERA 終了後の共同研究費等の金額を年度別にご記入ください（概数で結構です）。

D) Cの金額の回答が困難な場合、JST-OPERA 期間中と比較して、共同研究費等はどのように推移しているか、増減傾向をお選びください。増減傾向の回答も難しい企業については空欄でご回答ください。

E) 表下の【基になった研究開発テーマの選択肢】から関連する JST-OPERA での研究開発テーマの番号を選んでご記入ください。

可能な範囲で結構ですのでご回答ください（選択設問については、該当する選択肢を残し、他の選択肢を削除してください）。

JST-OPERA 期間中の参加企業	A) 産学連携継続の有無	B) 連携相手(大学名等)	C) 年度別、共同研究費等			D) 共同研究費等の増減傾向（JST-OPERA 期間中と比較して）	E) 基になった研究開発テーマ
			R4 年度	R5 年度	R6 年度		
【記載例】A 社	あり	〇〇大学	10,000,000	15,000,000	10,000,000	増加傾向	1
〇〇株式会社	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
△△株式会社	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
A 株式会社	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
B 株式会社	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
C 株式会社	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	

JST-OPERA 期間中の参加企業	A) 産学連携継続の有無	B) 連携相手(大学名等)	C) 年度別、共同研究費等			D) 共同研究費等の増減傾向（JST-OPERA 期間中と比較して）	E) 基になった研究開発テーマ
			R4 年度	R5 年度	R6 年度		
【記載例】A 社	あり	〇〇大学	10,000,000	15,000,000	10,000,000	増加傾向	1
D株式会社	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
E株式会社	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
その他（ ）	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
その他（ ）	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	
その他（ ）	あり／なし／不明					増加傾向／横ばい傾向／減少傾向／不明	



【基になった研究開発テーマの選択肢】

- 1 極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
- 2 先端耐震部材の実大性能検証実験法
- 3 設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復
- 4 日常から非日常までの安全・機能モニタリング
- 5 安全・情報を安心につなげる手法の確立

Q4-2 JST-OPERA 終了後に新たに開始した民間企業との産学連携についてお伺いします。

- A) JST-OPERA 終了後に連携を開始した民間企業名をご記入ください。
- B) 連携相手（大学名、研究機関等）をご記入ください。
- C) 共同研究費等の金額を年度別にご記入ください（概数で結構です）。
- D) C の金額の回答が困難な場合、共同研究費等はどのように推移しているか、増減傾向をお選びください。増減傾向の回答も難しい企業については空欄でご回答ください。
- E) 表下の【関連する研究開発テーマの選択肢】から関連する JST-OPERA での研究開発テーマの番号を選んでご記入ください。
可能な範囲で結構ですのでご回答ください（選択設問については、該当する選択肢を残し、他の選択肢を削除してください）。
- （下表（10 件）で不足する場合、適宜行数を増やしてご記入ください）

A) JST-OPERA 終了後 に連携を開始した企業	B) 連携相手 (大学名等)	C) 年度別、共同研究費等			D) 共同研究費等の増 減傾向	E) 関連する 研究開発テーマ
		R4 年度	R5 年度	R6 年度		
【記載例】A 社	〇〇大学	10,000,000	15,000,000	10,000,000	増加傾向	1
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	

A) JST-OPERA 終了後 に連携を開始した企業	B) 連携相手 (大学名等)	C) 年度別、共同研究費等			D) 共同研究費等の増 減傾向	E) 関連する 研究開発テーマ
		R4 年度	R5 年度	R6 年度		
【記載例】A 社	〇〇大学	10,000,000	15,000,000	10,000,000	増加傾向	1
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	
					増加傾向／横ばい傾向 ／減少傾向／不明	



【関連する研究開発テーマの選択肢】

- 1 極大地震にも主要構造の無損傷を実現するイノベーション
- 2 先端耐震部材の実大性能検証実験法
- 3 設備・非構造部材の損傷抑制・早期修復
- 4 日常から非日常までの安全・機能モニタリング
- 5 安全・情報を安心につなげる手法の確立

Q5 JST-OPERA 終了後（令和4年4月～）、貴プロジェクトの成果を基にした（または関連した）起業の事例はありますか。ある場合には、その概要についてご記入ください（下表（3件）で不足する場合、適宜行数を増やしてご記入ください）。

ア 貴プロジェクトの研究開発成果を基にした（または関連した）起業の有無

ある／ない

イ 起業の概要

< 起業事例1 >

企業名称	
企業概要	
創設（予定）年月	

< 起業事例2 >

企業名称	
企業概要	
創設（予定）年月	

< 起業事例3 >

企業名称	
企業概要	
創設（予定）年月	

Q6 貴プロジェクトが、JST-OPERA 時に構築した産学連携マネジメントの仕組みについて、JST-OPERA 終了後（令和4年4月～）の運用・発展状況についてお伺いします。JST-OPERA の終了報告書に記載いただいた内容をご覧いただいた上で、仕組みの分野ごとに、JST-OPERA 終了後の状況をご記入ください。

産学連携マネジメントの仕組み	JST-OPERA 終了時の状況	JST-OPERA 終了後の運用・発展状況
産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	①経費の見える化：従前は一律直接経費の30％を間接経費とすることとしていたが、新方式では間接経費の使途ごとに、一定の算式により計上する積み上げ方式を採用することもできるようにした。 ②戦略的産学連携経費の計上：研究者の人件費相当額、学内スペースの使用料、共同研究に関与するURA・コーディネーターの人件費、共同研究に関わる事務の人件費、知的財産権の管理にかかる経費等の産学連携活動に必要な経費等を計上できるようにした。	
知的財産の取扱いルールの方針	- 知財管理委員会（3大学知財部長及び領域統括、事務局で構成）にて「社会活動継続技術共創コンソーシアム 知的財産権取扱規程」の原案を策定した上で参画企業に照会し、コンソーシアム総会で承認された。 - 併せて、「社会活動継続技術共創コンソーシアム知財管理委員会運営規則」も制定した。	

産学連携マネジメント の仕組み	JST-OPERA 終了時の状況	JST-OPERA 終了後の運用・発展状況
人材育成についての方針	・ 優秀な博士課程の学生を積極的に RA として雇用し、インセンティブとして、参画する大学共通で、特に優秀な学生については年間 300 万円程度、優秀な学生については年間 200 万円程度の報酬となるようにした。 ・ 参画大学共通で、若手研究者に積極的に研究成果を海外に発信することを推奨。国際会議への論文投稿及び発表について、内容を審査した上で、参加費及び旅費を支給。	
機関連携・協力体制についての方針	・ 横断的な運営により、接点のなかった研究者・企業の交流の促進、新たな共同研究の創出といった成果が出てくるようになった。 ・ 一方で、組織が大きくなってきたことで個々の構成員が全体を見渡すことが難しくなってきた面もあるため、課題間を横断した勉強会などを行い、様々な切り口、規模でコンソーシアムの活動を共有していく。	
参画機関の管理方針	・ ホームページ等で、コンソーシアムにおける活動を公開・発信していくとともに、参加する個々の研究者と企業等との繋がりを活かし、新規参画機関の勧誘活動を行った。 ・ コンソーシアム全体では、課題ごと、機関ごとといった縦割りの運営を避け、横に繋げた風通しの良い体制を構築することで、参画機関間、研究者間の接点を設ける機会を多くした。	

Q 7 JST-OPERA 期間中もしくは JST-OPERA 終了後（令和 4 年 4 月～）において、貴プロジェクトがベンチマークした（競合とみなした、参考にした、連携を模索した等）、他のコンソーシアムや研究・技術開発拠点等がありますか。あれば、その名称をご記入ください。なければ、空欄のままにしてください。

	ベンチマークしたコンソーシアム／研究・技術開発拠点等の名称
国内	
海外	

ご協力ありがとうございました。

4-3. ヒアリング調査項目

【マネジメント層】

- JST-OPERA 終了後の共創コンソーシアムの発展状況
 - コンソーシアム活動状況
 - 産学連携体制、参加メンバー、活動内容
 - 貴学 MRRC、(一財) 免震研究推進機構 E-Isolation への OPERA 成果継承状況
 - 競争的資金獲得状況
 - 産学連携推進で重視している課題、工夫点
 - 総じて、当初の「技術・システム革新シナリオ」の進捗と見通し（具体的目標）
- 産学連携マネジメントの発展状況
 - マネジメント手法・ノウハウの現状・課題（資金管理、知財管理、人材育成等）
 - マネジメントに関して参考になっているベンチマーク事例
- 人材育成に関する成果の発展状況
 - PJ 参加学生・RA 等のキャリア構築・活躍状況
- OPERA が果たした役割
 - 新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出状況、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献状況
 - 効果的であった制度・手法・事例
 - 制度・運営上の課題 等

【研究者】

- 研究開発成果の発展状況
 - 研究開発の進捗状況・成果
 - 新規プロジェクト、官民資金、競争領域展開
 - 論文、特許、受賞等の状況
 - 社会実装の進捗状況・成果
 - 事業化、実用化の状況
 - 総じて、当初の「技術・システム革新シナリオ」の進捗と見通し（具体的目標）
- 人材育成に関する成果の発展状況
 - PJ 参加学生・RA 等のキャリア構築・活躍状況
- OPERA が果たした役割
 - 新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出状況、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献状況
 - 効果的であった制度・手法・事例
 - 制度・運営上の課題 等

【企業】

- 研究開発成果の発展状況（貴社が関わる後継的プロジェクト又は貴社内部において）
 - 研究開発の進捗状況・成果
 - 研究開発、官民の事業資金、論文、特許、報道、受賞等の状況

- 社会実装の進捗状況・成果
- 事業化、実用化等の状況
- 発展に向けた取組・工夫・課題
- 将来計画・今後の見込み 等
- OPERA が果たした役割（特に民間企業の立場からのご意見）
 - 新たな基幹産業の育成の核となる革新的技術創出状況、産学パートナーシップの拡大とオープンイノベーションの加速への貢献状況
 - 効果的であった制度・手法・事例
 - 制度・運営上の課題 等

【RA】

- OPERA 参加後のキャリア形成状況
- 上記のキャリア形成に対する OPERA で得た経験・知見・専門性等の寄与状況
- OPERA スキームに対する人材育成面での評価
 - OPERA ならではのメリット・効果
 - よりメリット・効果を高める上で求められる改善点・工夫点 等