

研究領域「リアル空間を強靱にするハードウェアの未来」

事後評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

第5期科学技術基本計画で提唱された「Society 5.0」は、サイバー空間とリアル空間の融合によって、持続的かつ強靱な「人間中心の社会」を創り上げるとともに、科学技術とそれがもたらすイノベーションの力によって、我々が直面する難局や迫りくる社会的課題を乗り越えるための理念です。その後、新型コロナウイルス感染症の困難が訪れ、感染症や災害等による社会変化への対応力強化が必要になり、同時に、カーボンニュートラルの実現への取り組みが待ったなしの状況になり、この理念を強靱社会「Society 5.x」としてより発展的に掲げていく必要が出てきました。

前述のように、「Society 5.0」は、サイバー空間とリアル空間の融合によって実現していくものです。近年、デジタル技術やAI技術が注目され、サイバー空間に関する研究開発や研究／技術者教育が強化されてきました。しかし、長期的な社会目標の達成には、リアル空間側でも同じような研究教育の強化が必要であることは言うまでもありません。そこで、本研究領域では、将来の強靱社会を構成するリアル側の技術、より具体的には、ハードウェア、デバイス、モジュールなどと言われる「もの」に関する先進的かつ挑戦的なアイデアを持つ若手研究者を支援します。

研究推進にあたっては、研究者育成の観点を重視し、異分野の若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、未来に貢献する先端研究を推進する研究者の育成、および将来の連携につながる幅広い人的ネットワークの構築をはかります。

2. 事後評価の概要

2-1. 評価の目的、方法、評価項目及び基準

「戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発及び先端的カーボンニュートラル技術開発（ALCA-Next）を除く。）の実施に関する規則」における「第4章 事業の評価」の規定内容に沿って実施した。

2-2. 評価対象個人研究者及び研究課題

2021年度採択研究課題

- (1) 大島 大輝（名古屋大学大学院工学研究科 助教）
局所イオン照射法を用いた磁気スキルミオン制御技術の確立
- (2) 奥井 学（中央大学研究開発機構 客員研究員（機構准教授））
爆発的に速い集積型燃焼人工筋肉の具現化
- (3) 春日 貴章（大阪大学産業科学研究所 助教）
超高密度センサ網の実現に向けた「土に還る」センサデバイス基盤技術の創成
- (4) 木村 雄亮（量子科学技術研究開発機構量子技術基盤研究部門 博士研究員）
超早期感染検査用マイクロデバイスシステムの開発
- (5) 黒川 雄一郎（九州大学大学院システム情報科学研究院 助教）
高度な柔軟性を有するIoTスピンドバイス開発
- (6) 佐藤 峻（早稲田大学大学院基幹理工学研究科 大学院生）
液体金属実装による強靱なストレッチャブル電子デバイスの創製

- (7) 下条 裕 (大阪公立大学大学院医学研究科 ポスドク研究員)
非接触・非侵襲なロボット支援下レーザー手術機の開発
- (8) 鈴木 大地 (産業技術総合研究所センシングシステム研究センター 主任研究員)
人感覚を模倣した多機能ソフトセンサーの開発
- (9) 高橋 亮 (東京大学大学院工学系研究科 特任助教)
ユビキタスな面状センサアレイによるIoTシステム構築
- (10) 田中 大器 (早稲田大学先進理工学研究科 研究院講師)
超微小反応場を応用したバイオ電池材料の創出
- (11) 田中 直樹 (九州大学大学院工学研究院 助教)
ホウ素を基軸としたpn精密パターンニング技術の開拓
- (12) 張 超 (島根大学総合理工学部 助教)
相互干渉回避機能を持つ超高精細LiDARに関する研究
- (13) 中澤 謙太 (静岡大学工学部 助教)
大気圧プラズマジェット加工法が拓く自由曲面デバイス
- (14) 萩原 成基 (北海道大学大学院情報科学院 大学院生)
立体配線型メモリ素子による高実装効率なCNNアクセラレータの創出
- (15) 橋本 将明 (慶應義塾大学理工学部 助教 (有期))
低消費電力な超長ストローク熱駆動MEMSアクチュエーターの開発
- (16) 堀江 新 (慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 特任助教)
身体表面変形デバイスを用いた自他非分離な間身体性の設計
- (17) 三河 祐梨 (日本電信電話 (株) NTTコミュニケーション科学基礎研究所 リサーチアシリエイト)
動的視差バリアの分散配置による広域空中像提示
- (18) 村田 正行 (産業技術総合研究所エネルギー・環境領域 主任研究員)
磁場を用いて動作する新原理熱電変換デバイスの開発
- (19) 森崎 汰雄 (日本電信電話 (株) NTTコミュニケーション科学基礎研究所 社員)
パッシブ構造を用いた超音波の放射力増幅に基づく非拘束な力覚提示
- (20) 矢菅 浩規 (産業技術総合研究所センシングシステム研究センター 研究員)
マイクロ格子構造を用いた自動液体サンプリング
- (21) 横式 康史 (東京工業大学科学技術創成研究院 助教)

漏れ電流抑制素子を用いたパルス駆動型低消費電力CPU

2－3．事後評価の実施時期

2024 年 1 月～2024 年 2 月 各研究者からの研究報告書に基づき査読評価

2024 年 2 月 2 日（金）課題事後評価会開催

2－4．評価者

研究総括

田中 秀治 東北大学大学院工学研究科 教授

領域アドバイザー

澤田 和明 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 教授

平等 拓範 理化学研究所放射光科学研究センター グループディレクター

谷口 正輝 大阪大学 産業科学研究所 教授

中尾 政之 東京大学 大学院工学系研究科 教授

濱田 芳治 多摩美術大学 生産デザイン学科 教授

平尾 明子 (株) 東芝 研究開発センター 上席参与

南澤 孝太 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 教授

山下 昌哉 e-Compass合同会社 代表社員

山西 陽子 九州大学大学院工学研究院 教授

湯浅 裕美 九州大学大学院システム情報科学研究院 教授

多田隈 理一郎 山形大学学術研究院 教授

外部評価者

該当なし

3. 総括総評

本研究領域では、将来の強靱社会の実現に資する独自のハードウェアを提案し、これを試作して実証することを重要視し、同時にその成果を設計論や学理としてまとめていくことも期待している。第1期に提案されたハードウェアは、電子デバイス、センサ、マイクロアクチュエータ、ロボットアクチュエータ、触覚／力覚提示システム、立体ディスプレイ、微細加工システムなどと多様性に富んでおり、また、いずれの提案も独自のアイデアまたは技術に基づくものであった。2年半というプロジェクト期間は、ハードウェアを設計し、作製し、評価するには十分に長いとはいえない中、全ての研究者が自らハードウェアを作り上げ、コンセプトあるいは性能の実証を行った。これらの研究成果は、コンセプト実証結果として、あるいはハードウェア試作から導かれる学理や設計手法について学術論文にまとめられている他、さらに将来の実用化を視野に入れる研究展開に繋がるものもある。

本研究領域は、「ハードウェアのものづくり」というキーワードを通して緩く繋がる若手研究者と領域アドバイザーによって構成され、それぞれが所属する学術分野や学会はまちまちである。したがって、特定の学術分野について研究者同士が深く議論を行うということはどうしても限られる。一方、何かしら共通または類似することがあるものの、自分の学術分野・技術分野とは異なる研究者とコミュニケーションすることによって、多様な考え方や技術に触れ、お互いに触発され、新しい視野や着想を得るという機会は多かったと思われる。実際、2年半のプロジェクトの前半にはコロナ禍による活動制限でネットワークキングが不十分であったにもかかわらず、若手研究者間で新たな共同研究が数件生まれている。また、本研究領域に集まった若手研究者は例外なく好奇心旺盛であり、領域会議は議論で熱気に溢れた雰囲気であったし、将来の連携に繋がる人的ネットワークの構築にも熱心であった。

上述の研究活動と研究領域活動を通じて、全ての若手研究者に目に見える成長があり、これは研究総括と全ての領域アドバイザーが認めるところである。そのこともあり、博士課程を修了して研究職に就く者、職位をポスドク研究員から助教に、助教から准教授に上がる者がいる。こうした者を含めて全ての若手研究者がACT-Xを通じて次のステップアップへの何らかの足掛かりを得たと思われる。

総じて、本研究領域の第1期では、まず、サイバー空間とリアル空間の融合によって実現される「Society 5.x」に資するハードウェア技術の新しい種を生み出すという目的を、多様な研究成果の創出と発信によって達成した。また、異分野の若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、未来に貢献する先端研究を推進する研究者の育成、および将来の連携につながる幅広い人的ネットワークの構築を図るというもう1つの重要な目的についても、コロナ禍による制限の中、十分な成果をあげられたと考えている。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 局所イオン照射法を用いた磁気スキルミオン制御技術の確立

2. 個人研究者名

大島 大輝（名古屋大学大学院工学研究科 助教）

3. 事後評価結果

本研究では、イオン照射法により素子内の磁気特性に勾配をつけることにより磁気スキルミオンの挙動を制御し、ニューロモーフィックコンピュータにとって必須となる人工ニューロン素子の動作の実現を目指した。研究者独自の、この発想は独特であり、面白い試みであった。膜面内方向の磁気特性勾配を有するデバイス構造の実現は達成しており、グレースケール露光パターンを変更することにより、磁気特性を局所的に自在にコントロールするアイデアの実現に成功したことは特筆すべき成果である。世界初の成果である β -Mn 型の Co-Zn-Mn のエピタキシャル膜の実現もまた、独自性の強いものである。より結晶性の良い薄膜を作製することで、ブロッホ型磁気スキルミオンを利用した超低消費電力スピントロニクスデバイスの実現につながるものと期待される。

初期の目的には至らなかったものの、ブロッホ型を見つけ、論文としてまとめるなど、研究者としての粘り強さも示された。独自のアイデアに基づく研究を加速・発展させる基盤を固めることができている。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 爆発的に速い集積型燃焼人工筋肉の具現化

2. 個人研究者名

奥井 学（中央大学研究開発機構 客員研究員（機構准教授））

3. 事後評価結果

本研究ではジメチルエーテルの燃焼を利用した集積型燃焼人工筋肉システムの開発を通して、ヒトと同程度のスケールの応答速度、発生力、変位を満たすソフトアクチュエータの具現化に挑戦した。爆発を利用することによる安全面に関する懸念はあったが、構造的にも安全性は確保できていると感じられた。着火爆発による人工筋アクチュエータの安定的駆動、という当初目標は達成し、安定した着火駆動を実現することで、要素技術としての技術水準はACT-X研究を通じて格段に上がった。作製された試作機からは、ジメチルエーテルの燃焼を利用した人工筋肉の俊敏性は、流体や空気圧では出せない爆発を利用するからこそ得られる動きだと感じられた。このように、これまでになく高速駆動をデモンストレーションすることができたのは、他研究者にインスピレーションを与えるに十分な成果である。

本ACT-X研究では独自のアイデアに基づく研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。本ACT-X研究期間内での研究成果も認められ、研究実施機関で助教から准教授に昇任し、2024年4月からは大学にて研究室を主宰することとなった。今後も引き続き、ACT-Xを通して築いた人脈を活用し、活発に研究活動が行われることが期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 超高密度センサ網の実現に向けた「土に還る」センサデバイス基盤技術の創成

2. 個人研究者名

春日 貴章（大阪大学産業科学研究所 助教）

3. 事後評価結果

本研究では、センサデバイス大量設置と持続可能性を両立可能な「土に還る」センサデバイス基盤技術の創成に、材料開発と実装の両面から取り組んだ。含水率計測などの、農業現場で求められているにもかかわらずデバイスでは実現できていない領域において、具体的なデバイスを実現している点が評価できる。さらに環境に配慮した材料と可能な限り単純な構成とを用いることにより、土に還ることが可能なセンサデバイスを構築したという点も面白い。実際に提案したデバイスが土壌中で分解されることも実証し、優れた研究成果を生み出した。デバイスの環境対策は持続可能なエレクトロニクス社会にとって重要で、これからのテーマであるが、その中でいち早く環境配慮材料で機能するデバイスを実証できたことは大きい。プレスリリースやテレビ報道等の積極的なアウトリーチ活動から、社会的な注目度も高い。紙基板の実装技術として新たに開発した電着技術に関しては産業界の注目度も高く、複数の企業との共同研究へとつながった。これらの成果も認められ、大学院修了・学位を取得し、研究実施機関で助教に着任したことで、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 超早期感染検査用マイクロデバイスシステムの開発

2. 個人研究者名

木村 雄亮（量子科学技術研究開発機構量子技術基盤研究部門 博士研究員）

3. 事後評価結果

本研究では、唾液中ウイルス遺伝子検出による感染検査を、非医療従事者でも各家庭で簡単に行えるポータブルデバイスの開発、及びそれを起点としたリアルタイム感染者データネットワークの構築に取り組んだ。最大9種類のウイルスの低コスト同時解析を可能とした点は、高く評価できる。特に、電氣的制御を一切使用せずとも、核酸解析手法による唾液からのウイルス早期診断を可能とした点は、高く評価できる。試作したデバイスは、従来では困難であった無電化地域での、早期段階からの特異的な感染症検出技術の提供を可能とするシステムであり、当初から実用化へ向けて積極的に研究を推進した。超早期感染検査用マイクロデバイスシステムの駆動原理の解明、および本システムによる検出感度や検出特異性に関する知見を得られたことは高く評価できる。本デバイスは感染症を克服した強靱化社会の実現に貢献するのみならず、研究分野へも展開可能な新たなデータ取得など、大きな波及効果が期待できると考えられる。

医療用途の検査機器開発は研究代表者にとって初めての経験であり、乗り越えなくてはならない様々な課題が発生したが、現在、共同研究計画が進められており、引き続き、実用化に向けて研究を進めて欲しい。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 高度な柔軟性を有する IoT スピンデバイス開発

2. 個人研究者名

黒川 雄一郎（九州大学大学院システム情報科学研究院 助教）

3. 事後評価結果

本研究では、磁性多層膜、磁性ナノ粒子を用いたフレキシブルスピン IoT デバイスの作製を目指した。その過程でこれまで試みられてこなかった磁性ナノ粒子のインクジェットプリンタを用いた印刷に成功した点、スピンゼーベックサーモパイル素子の曲げ応力下での測定に成功した点、高性能なスピンデバイスをフレキシブル基板上に形成するために複数の手法を並行して試し、成果を上げている点は高く評価できる。デバイスの柔軟性と作製の簡便性の両輪で新しいものを作り出し、熱電素子としての性能を実証したことは、スピンデバイスの発展性を伺わせる成果であるといえる。開発されたフレキシビリティを備えた IoT スピントロニクスデバイスは、ありとあらゆる場所にセンサを配する上で有用性のある技術であり、特に人体に直接貼るような使い方ができるという点で、今後の更なる進展が期待される。

自身の強みであるインクジェット技術を軸に現実のテーマに上手に展開し、本 ACT-X 研究領域での出合いを活用し、連携研究を展開する能力がある点を評価する。本テーマの進捗に、本 ACT-X 領域の研究者である田中 直樹（九州大学）との共同研究が、実際に半導体カーボンナノチューブ (CNT) のインクジェット印刷に大きく寄与したという報告は、大変喜ばしいものである。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 液体金属実装による強靱なストレッチャブル電子デバイスの創製

2. 個人研究者名

佐藤 峻（早稲田大学大学院基幹理工学研究科 大学院生）

3. 事後評価結果

本研究では、接触抵抗要因の解明および低接触抵抗条件の探索に基づき、液体金属実装による高伸縮・高機能なストレッチャブル電子デバイスの創製を行った。電氣的接続材として液体金属を用いるという課題に対して、接触抵抗の計測方法構築による現象解明から、高伸縮・高性能な電子デバイスの構成法の提案まで行っている点や、液体金属実装の伸縮耐性を実証している点は評価できる。液体金属と IoT の接点として伸縮電子デバイスを見出し展開できている。このように本領域の目的とする強靱化ハードウェアを実証したことは高く評価される。緻密な研究を行うことで、当初予測していなかった研究成果も得られ、計画以上の優れた研究成果を生み出した。プレゼンテーションも明確であり、研究期間を通じてこの技術の可能性に対して確信が持てるに足る成果を上げることができたと推察され、高く評価できる。

本 ACT-X 領域内で高橋 亮（東京大学）との共同研究に発展したほか、橋本 将明（慶應義塾大学）や中澤 謙太（静岡大学）と共に、電気学会「第 40 回センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムの若手企画で講演を行うなど、研究者としての飛躍につながった。本成果が学術的に高く評価されて国際会議（IEEE NEMS2024）での招待講演を依頼されるなど、研究者として大いに認められたといえる。大学院修了・学位を取得し、2024 年 4 月からは他研究機関に研究員として就職する予定である点でも、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 非接触・非侵襲なロボット支援下レーザー手術機の開発

2. 個人研究者名

下条 裕（大阪公立大学大学院医学研究科 ポスドク研究員）

3. 事後評価結果

本研究では、生体信号計測と計算機シミュレーションにて設計したレーザー光を非接触照射することで治療作用を病変部位に応じて制御する、ロボット支援下レーザー手術機の開発を目指した。非接触・非侵襲レーザー治療の実現可能性および非接触・非侵襲ロボット支援下レーザー手術機を実現するための要素技術を実証した点で研究目的を達成した。レーザーによる治療作用を病変部位に応じて制御するための照射条件を計算・設計し、病変に照射するデバイスを作製し、熱損傷を生じさせることなくメラノソームを焼灼できることを示した点が評価できる。本研究成果は、従来の外科手術の課題であった接触性や侵襲性の限界を打破するものであり、真に安全なレーザー手術の提供に貢献することが期待される。一連の成果は国際誌に 5 件の論文として掲載されており、質・量ともに十分だといえる。さらに、国際共同研究を含む次のステップへの道筋をつけられたことは高く評価できる。

本 ACT-X 研究を通じて臨床的視点を新たに取り入れ、当初の計画より多くの研究課題に挑戦した経験は、研究者としての個を高め、研究者本人の研究の視点・幅を拡げることにつながった。本 ACT-X 領域内での研究成果も認められ、大学院修了・学位を取得し、現所属機関に着任したことは、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 人感覚を模倣した多機能ソフトセンサーの開発

2. 個人研究者名

鈴木 大地（産業技術総合研究所センシングシステム研究センター 主任研究員）

3. 事後評価結果

本研究では、人感覚を模倣し、接触点での圧覚・温覚の同時計測に加え、表面形状・材質・深部構造といった情報も計測できる単一素子での多機能ソフトセンサーの開発に挑戦した。カーボンナノチューブ膜を用いたマルチパラメータソフトセンサーを開発できている。さらにセンサーの集積化を図り、物理・化学耐性を向上させるためのコーティングを施し、センサーの実用耐久力を向上させていることは大いに評価できる。研究のプロセスで得た知見＝センサー信号から被測定物の熱物性値を測定する技術は、社会的に見ても応用利用の可能性が高いものと思われる。極めて柔らかいセンサーシート、熱伝導率を測定できる貼り付け型 CNT センサーなど、今後の応用展開が期待できるセンサー技術が開発された。研究期間を通じてこの技術の可能性に対して確信が持てる成果を上げることができたと推察され、高く評価できる。

本 ACT-X 研究領域の田中 直樹（九州大学）が開発した光励起ドーパントと、自身が構築した紫外レーザー照射加工系を組み合わせることで、空間解像度 $10\mu\text{m}$ の極微 PN ドーピング技術の開発に発展したことも成果といえる。本研究領域での研究成果も認められ、研究員から主任研究員に昇任したことから、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ユビキタスな面状センサレイによる IoT システム構築

2. 個人研究者名

高橋 亮（東京大学大学院工学系研究科 特任助教）

3. 事後評価結果

本研究では、同一のセンサレイパターンと高感度な読み出し回路を壁や床、家具、衣類などの面へ組み込むだけで、感圧・静電容量・誘導センシングの全てを行うことができる面状センサレイを、日常空間の至る所にある「面」へ実装できるようにすることを目指した。研究の進展に伴い、当初は硬い面に無線給電・通信機能を組み込むという予定であったが、柔らかい面等へ変更した。特にセンサレイを内蔵するのが難しい衣類に選択・集中し、研究期間内で自身の研究の価値を高めることができた。衣類前面をカバーすることが可能な、対人安全性の高いテキスタイル状のリーダコイルを開発することによって、無線給電・通信により、全身の様々な箇所のセンサコイルを駆動可能とした点は、学術的新規性および有用性が高く、評価できる。この電極（コイル）を織物として組み込むアイデアを実現できたことは、今後の研究開発を飛躍させる大きな成功体験になると期待される。

本 ACT-X 領域での成果により、ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems での Best Paper Award 他、国内外で 5 つの賞を受賞した。また、海外インターンに参加することにより若手からシニアまでの海外研究者との親密なネットワークを構築するきっかけを得たことで、今後の研究者としての飛躍が期待される。これらの成果も認められ、大学院修了・学位を取得し、研究実施機関で特任助教に着任したことは、独自のアイデアに基づく研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 超微小反応場を応用したバイオ電池材料の創出

2. 個人研究者名

田中 大器（早稲田大学先進理工学研究科 研究院講師）

3. 事後評価結果

本研究では、超微小反応場での化学反応の特異性を利用して全く新しいバイオ電池（BFC）材料合成技術の構築を目指した。超微小液滴を合成場として、高効率なバイオ電池への応用を目的とした金属錯体含有タンパク質の合成を行うという手法は、BFC 材料の合成の他にも従来法では反応性が低く実現していない機能性材料の合成化学を飛躍的に発展させることができる。また、熱エネルギーを使用せずに高効率材料合成が行えるため低炭素社会の実現や省エネルギー合成への基礎基盤となる研究成果である。実際に超微小液滴内で、金属錯体含有タンパク質のドッキングと結晶化に成功したことも評価できる。また、当初の計画では想定していなかった疎水性と親水性の両方をはじく特殊なマイクロ構造の創出に成功した。この構造はナノ流路・マイクロ流路のみだけでなく、様々な表面改質に応用できると期待される。結晶作製が難しいタンパク質の結晶化への応用も期待される。

本 ACT-X 研究を通して日本を代表する研究者とじっくりと議論できたこと、研究成果発表会やグループサイトビジット等では同年代の研究者とディスカッションするなど横の繋がりも広がったことは、研究の促進に資すると共に、今後の研究活動の財産となるものを得たといえる。本 ACT-X 研究領域内での研究成果も認められ、研究期間中に講師（任期付）に着任したことからも、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ホウ素を基軸とした pn 精密パターンニング技術の開拓

2. 個人研究者名

田中 直樹（九州大学大学院工学研究院 助教）

3. 事後評価結果

本研究では、電子受容性ホウ素化合物から電子供与性ホウ化合物への極性転換を利用して、単一単層カーボンナノチューブ (SWCNT) 上に p 型と n 型の制御およびパターンニング技術を開拓することで、社会実装に向けた革新的熱電発電デバイスの開発を目指した。単層カーボンナノチューブという材料に着目して、p 型と n 型を作り分ける技術を実証した本研究の成果は非常に有意義である。ホウ素を基軸とした pn 精密パターンニング技術により、SWCNT 膜を利用した熱電発電素子を、ゼーベック効果を利用して開発するという手法は興味深く、評価できる。実際に pn パターンニングで μW レベルの熱電素子の開発に成功し、その性能を実証したことは高く評価される。

本 ACT-X 領域では鈴木 大地（産業技術総合研究所）との共同研究を開始し、SWCNT 熱電発電デバイスのさらなる機能化につながる研究展開が期待されている。また、黒川 雄一郎（九州大学）の技術と合わせることで生まれたインクジェットプリンタ活用による製造工程は、この先パターンの改変によりどのような変化が得られるかを大いに期待させる。海外で招待講演も行うなど、研究者としても飛躍した。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 相互干渉回避機能を持つ超高精細 LiDAR に関する研究

2. 個人研究者名

張 超（島根大学総合理工学部 助教）

3. 事後評価結果

本研究では、産業労働人口の不足とロボットによる労働力ギャップの穴埋めが期待されていることに鑑み、そこに存在する 3D 計測の需要を満たすものとして、工業製品の外観検査に適用できる高精細 LiDAR（Light Detection And Ranging、ライダー）の開発を目指した。2 コム干渉計に、一対のフリーラン CW 光源を追加し、さらにインライン参照経路を挿入することで、繰り返し周波数変動の影響を排除し、深さ解像度 150 μm の実現に成功している点を評価する。当初計画した目標を十分に達成し、平面のミリオーダーの傷を見ることに成功できたこと、非破壊検査への応用利用の可能性を見出したことは大いに評価に値する。今後 20 年間で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなると見込まれる日本において、本研究で開発した 2 コム干渉 LiDAR を用いた自律型インフラ点検は、たとえば建造物の傾斜やひび割れ検知、トンネルの劣化検知、空港滑走路や舗装道路の亀裂検出等の喫緊課題の解決法の一つになるのではないかと期待される。

相互干渉回避機能を持つ超高精細 LiDAR に関する課題に対して、要素技術の開発目標はほぼ達成しており、論文や特許出願においても順調である。5 件の招待講演を行ったことから、本研究技術の社会的な注目度合いは極めて高く、かつ研究者本人も評価されたと考えられる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 大気圧プラズマジェット加工法が拓く自由曲面デバイス

2. 個人研究者名

中澤 謙太（静岡大学工学部 助教）

3. 事後評価結果

本研究では、ナノ・マイクロ大気圧プラズマジェットを用いてサブミクロンの加工分解能で自由曲面形状を創成できることに新規性がある微細加工システムの開発を目指した。このシステムを用いて自由曲面 MEMS といった未踏分野に挑戦した。石英製のナノピペット表面に、フッ素系プラズマへ耐性のある薄膜を成膜することにより、樹脂だけではなく、シリコン基板上に円錐形状を持つ直径 0.6 mm のアキシコンレンズの 3 次元加工に成功した点は評価できる。また、エッチングしながら、エッチング面を研磨する特殊な加工技術の概念を実証したことは、今後に発展する優れた成果である。大気圧プラズマの前提条件としては広く浅い加工にこの技術の利点があり、狭く深い加工には難しさがあるが、それを制御するためのアイデアや工夫が認められた。プラズマの滞留時間を変化させて、加工深さを調整する滞留時間変調操作プログラムは、照射機本体の移動も少なく、モノの加工方法として興味深い。一連の研究成果に関する論文や学会発表、受賞も得ており、社会的にも良い評価を得たと共に、研究者としての飛躍につながった。

このように新たなハードウェアを開発する基盤技術を開発できたことは、高く評価できる。今後は、この方法の強みを発揮できる分野・材料などを検討し、そこにフォーカスした開発を行うことが期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 立体配線型メモリ素子による高実装効率な CNN アクセラレータの創出

2. 個人研究者名

萩原 成基（北海道大学大学院情報科学院 大学院生）

3. 事後評価結果

本研究では、クロスバー構造を中心に発展してきた抵抗変化メモリ素子を用いたアナログニューラルネットワーク演算回路では、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) のような近傍結合型の深層学習モデルを効率よく実装できなかったことを鑑み、導電性ポリマーワイヤーシナプスの 2 次元配線性能を 3 次元へと拡張することで効率よく実装された CNN アクセラレータの開発を目指した。原理的な 3 次元デバイス構造の作製に成功し、そのデバイス性能を世界で初めて実証したことは、優れた研究成果である。さらに、3 次元構造を、クライオゲルを用いて発展させ、新たな脳型デバイスの開発に着手していることは高く評価される。一方、本メモリ素子を用いた CNN 実装は未達成であり、当初計画のデバイス作製にも課題が残っているが、粘り強く挑戦していただいたい。

本研究は特色ある研究として、論文、プレス発表と成果は出ており、海外大学とのコラボレーションをはじめ新たな可能性が生まれていることは、大いに評価したい。また、本研究成果に関する記事が教育教材として雑誌に掲載されたことから、本研究の独創性や社会的重要性がうかがえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 低消費電力な超長ストローク熱駆動 MEMS アクチュエーターの開発

2. 個人研究者名

橋本 将明（慶應義塾大学理工学部 助教（有期））

3. 事後評価結果

本研究では、相変化ナノ薄膜と熱膨張ナノ薄膜を融合させた低消費電力で超長ストロークな熱駆動 MEMS アクチュエーターを開発し、熱エネルギーを超高効率に機械エネルギーへ変換する強靱化マイクロマシンの設計・製造基盤技術の創出に挑戦した。切り紙という、日本独特の文化に基づく構造を MEMS アクチュエーターに適用し、超長ストロークな熱駆動アクチュエーターを設計・製作したが、特に酸化バナジウム (VO_x) の相変化による体積変化を利用して変位を拡大した点は高く評価できる。MEMS アクチュエーターでここまでのダイナミックな動きを実現したことは、切り紙構造の熱駆動・相変化駆動という当初から提案しているアイデアが成功裏に実現できたことを示すものであり、複数の学会で賞を受賞していることも納得できる成果である。切り紙以外の、より高剛性の構造も、並行して検討・試作することが望ましい。他の材料やユースケースを探索することで、本デバイスはさらに進化すると期待される。

本研究領域内での研究成果も認められ、現研究実施機関に助教（有期）として着任したことからも、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 身体表面変形デバイスを用いた自他非分離な間身体性の設計

2. 個人研究者名

堀江 新（慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 特任助教）

3. 事後評価結果

本研究では、身体表面に装着可能なハードウェアを開発し、これを用いて身体表面を変形させることで、他者に見せるための身体の視覚的なシルエットの変化および装着者への触覚提示を同時に行い、自他が相互に影響する「間身体性」を発現させることを目指した。試作したハードウェアを用いて、自他の身体表面をどのように変形させることが、一体感や共鳴を始めとした自他を含み合う間身体性を生み出すかを調査した。装着者の筋活動を推定し、他者に触覚で運動を伝えるシステムにおいて、Rotational Skin Stretch と Force Myography を組み合わせることによって刺激の出力と運動強度のセンシングを両立できていることは評価できる。衣服に着眼した独自性が面白く、それをデモンストレーションで示すことで実用化の現実感をアピールできた。開発したデバイスが本研究期間内で順次アップデートされるなど、ハードウェア開発における創意工夫が見られ、今後の研究開発の発展が大いに期待される。

本技術を用いて各ユーザーの主体性を奪うことなく共創的關係を形作れると考えられることから、強制することなく有機的に手がかりが与えられるゆるやかな体性感覚的つながりを通じて、表現だけではなく、リハビリテーションやトレーニング、教育への応用展開が期待できる。視触覚デバイスの新規性も認められ、21_21 DESIGN SIGHT の企画展「未来のかけら：科学とデザインの実験室」で展示を行うなど、注目も高い。本研究領域内での研究成果も認められ、大学院修了・学位を取得し、現研究実施機関に特任助教として着任したことから、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 動的視差バリアの分散配置による広域空中像提示

2. 個人研究者名

三河 祐梨（日本電信電話（株）NTT コミュニケーション科学基礎研究所 リサーチアソシエイト）

3. 事後評価結果

本研究では、分散配置の動的パララックスバリアを用いて、広域遠方への裸眼空中像ディスプレイを実現することを目的とした研究を行った。分散モニタ群による巨大空中像提示手法を提案し、実際に3次元像をデモンストレーションした。一見使い物にならないように見える乱雑なディスプレイ配列でも、要点を上手く目に飛び込ませる手法は面白く、汎用性が期待できる。これは市販のディスプレイを使用可能な技術であるため、実用化させやすいと評価できる。また、論文、招待講演、受賞と成果があがっている。

研究開始時の目標であった動的視差バリアを用いた完全裸眼ディスプレイは複数個の開発は困難であると判明し、3D眼鏡を利用するアナグリフ映像へ変更し、さらに高速化は取りやめるなど、当初の予定したものとは異なる方向性となった。しかし、Ocular parallax など、当初と異なる展開に発展させ、眼球運動と連動する立体ディスプレイの研究などの研究成果を得た。自ら軌道修正をしながら、果敢かつ立派に研究を行う過程で新たなスキルを身に着けたことから、研究者として大きく飛躍できたと感じられた。本研究領域内での研究成果も認められ、大学院修了・学位を取得し、現研究実施機関にリサーチアソシエイトとして就職したことから、独自のアイデアに基づく研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 磁場を用いて動作する新原理熱電変換デバイスの開発

2. 個人研究者名

村田 正行（産業技術総合研究所エネルギー・環境領域 主任研究員）

3. 事後評価結果

本研究では、高効率な熱と電気の直接変換が理論的に予想される、磁場中の熱電変換の一種である「ネルンストーエッティンクスハウゼン効果」に着目し、従来型の熱電変換とは異なる原理により動作し、高い量産性を持つ発電・冷却デバイスの最適構造の検討と開発、さらにデバイス評価技術の確立を目指した。シミュレーションによる最適化設計を行ったうえで、強力な永久磁石の進化を利用しつつ新しいデバイス開発に大きく寄与する成果を上げられた。また、磁場を用いて動作する新原理熱電変換デバイスの開発の課題へ向けた研究を行い、ネルンスト効果によって世界初の「外部磁場無し」で発電動作する正常効果型のデバイスを実証し、正常ネルンスト効果でも実用可能なモジュールを作製できることを証明した点は高く評価できる。新聞に記事が掲載されるなど、社会的な関心も得た。

今後は新規開発した熱電変換モジュールについて、磁場中の変換効率評価を実施していくことが望まれると共に、当該熱電変換モジュールの具体的な応用例（アプリケーション）を、試作機などで提案していくことが期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： パッシブ構造を用いた超音波の放射力増幅に基づく非拘束な力覚提示

2. 個人研究者名

森崎 汰雄（日本電信電話（株）NTT コミュニケーション科学基礎研究所 社員）

3. 事後評価結果

本研究では、遠隔提示できる集束超音波の放射力を、その高い力学的パワーに着目し小型の機械構造で増幅することで、ユーザーの体を拘束しない力覚提示を目指した。電源・配線が不要のパッシブな触覚提示デバイスを、超音波の力を軽量・小型のテコで増幅することで実現するというアイデアは斬新で、評価できる。指先に強い力を提示するパッシブ触覚デバイスを開発し、このデバイスが 0.7 N の力と 30 Hz 以下の振動を提示できることを定量的に確認したことは高く評価できる。また、実験結果と計算結果が合致することを確認し、基本理論も構築した。さらに、力提示だけではなく、熱刺激提示の原理検証も行い、3.4 °C/s の熱刺激を提示することにも成功した。多くの被験者に対して実際にデモンストレーションを行った点も、評価できる。

研究当初と比較して、デバイスシステムの小型化に成功しており、危険通知などが可能な、強力なパッシブ触覚デバイス等への応用が期待される。本 ACT-X 研究の成果も認められ、大学院修了・学位を取得し、現研究実施機関に社員として就職したことから、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： マイクロ格子構造を用いた自動液体サンプリング

2. 個人研究者名

矢菅 浩規（産業技術総合研究所センシングシステム研究センター 研究員）

3. 事後評価結果

本研究では、トイレの排水や下水等の測定対象液体からマイクロ格子構造を用いて、自動的に一定量の液体をサンプリングする技術の開発を行った。そこからヒト由来の分子情報を効率よく取得し、地域感染症のまん延や、患者個人の健康状態の非侵襲なモニタリングなど、様々な情報取得が可能となる。ここで製作した3次元マイクロ格子構造と水溶液の間に電位差を与えることで、電氣的に液体を吸引及び排出可能であることを実証した点は、Electro Wetting On Dielectric (EWOD) に基づく液体サンプリングとして独自のものだといえる。その液体輸送能力が、研究開始時に想定していたよりも高いことがわかったことも評価できる。当初目標の一つであった、「液滴ベースの分子センシングの実証」という課題は残ったが、今後に期待したい。

本 ACT-X 研究での成果も認められ、現研究実施機関に研究員として着任したことから、研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 漏れ電流抑制素子を用いたパルス駆動型低消費電力 CPU

2. 個人研究者名

横式 康史（東京工業大学科学技術創成研究院 助教）

3. 事後評価結果

本研究では、小型太陽電池によって得られたごく僅かな電力で駆動するパルス駆動型 CPU の実現に取り組み、短時間のパルス電圧で駆動する、不安定な電力環境でも安定動作可能な CPU の製作を試みた。漏れ電流抑制素子を用いたパルス駆動型低消費電力 CPU という課題に対して、どのような電力供給下であっても動作する CPU として間欠駆動の仕組みを具現化させるため、電力源から得られた電力をキャパシタに貯め負荷回路を間欠駆動するアイデアに基づき、CPU の動作基本となる 1 サイクルごとに動作するパルス駆動型 CPU を達成した。本研究テーマは、エネルギーハーベスティングの「安定的な発電量が得にくい」という本質的な問題に対処すべく、従来は電源供給が安定している前提で設計されている CPU を、間欠駆動によって不安定な電源でも動作する設計にしたというところに大いに価値がある。

本研究領域の吉本 将隆（東京工業大学）と共同で全固体電池の利用についての検討も行い、超小形無電源センサ等に向けての新たな展開があったことも評価できる。本研究領域での研究成果も認められ、2024 年 4 月からは他研究機関に准教授として着任予定であることから、独自のアイデアに基づく研究を加速・発展させる基盤を固めることができたといえる。