

研究領域「新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術」事後評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

本研究領域では、従来の光科学技術を横断的かつ重層的に集積・発展させることにより、将来の社会・産業ニーズに応える新たなフォトンクス分野の「破壊的イノベーション(従来の価値を破壊し、全く異なる価値基準で技術を生み出すイノベーション)」を創造するとともに、新技術シーズの創出を支える基礎的な原理の解明にも併せて取り組みます。これにより、新たな光機能物質の人工生成や革新的な光制御技術による通信・ネットワーク技術の開発、微細構造の高時空間分解可視化、先端数理科学との融合による複合光基盤技術・システムの創出等を目指します。こうした新たな光機能や光物性の解明・制御・利活用を通じて、環境・エネルギー・ものづくり・情報通信・医療・セキュリティ等の広範な分野を更に横断的かつ有機的に支えていくことで、精度・感度・容量・消費電力・コスト等の様々な側面からの要請に応える高次な社会・産業インフラの形成につなげます。

本研究領域の推進にあたっては、単一分野の技術の深掘りに留まることなく、周辺の技術分野を俯瞰し、異なる分野を横断的に融合した新たなパラダイムを切り開く研究開発を進めます。

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・CREST における事後評価の目的、方法、評価項目及び基準に沿って実施した。

2-2. 評価対象研究代表者及び研究課題

2017年度採択研究課題

- (1) 石田 康博(理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー)
殆どが水よりなる動的フォトニック結晶の開発と応用
- (2) 成瀬 誠(東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)
ナノ光学と光カオスを用いた超高速意思決定メカニズムの創成
- (3) 野田 進(京都大学大学院工学研究科 教授)
変調フォトニック結晶レーザーによる2次元ビーム走査技術の開発
- (4) 福田 大治(産業技術総合研究所物理計測標準研究部門 首席研究員)
単一光子スペクトル計測によるイメージング技術開発と細胞機能ヴィジュアライザの創成
- (5) 藤 貴夫(豊田工業大学大学院工学研究科 教授)
超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用

2016年度採択研究課題(1年追加支援課題)

- (1) 岩谷 素顕(名城大学理工学部 教授)
深紫外領域半導体レーザーの実現と超高濃度不純物・分極半導体の研究
- (2) 矢花 一浩(筑波大学計算科学研究センター 教授)
光・電子融合第一原理計算ソフトウェアの開発と応用

2-3. 事後評価会の実施時期

2022年12月2日（金曜日）

2023年1月 各研究者からの研究報告書に基づき研究総括による事後評価（1年追加支援課題）

2-4. 評価者

研究総括

北山 研一 大阪大学 名誉教授

領域アドバイザー

阿山 みよし 宇都宮大学 名誉教授

江馬 一弘 上智大学理工学部 教授

小山 二三夫 東京工業大学科学技術創成研究院 教授

高松 哲郎 京都府立医科大学医学フォトニクス講座 教授

田中 耕一郎 京都大学大学院理学研究科 教授

萩本 和男 情報通信研究機構 主席研究員

原 勉 浜松ホトニクス（株） 顧問

原田 慶恵 大阪大学蛋白質研究所 教授

三沢 和彦 東京農工大学 副学長

緑川 克美 理化学研究所光量子工学研究センター センター長

森 勇介 大阪大学大学院工学研究科 教授

外部評価者

該当なし

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 殆どが水よりなる動的フォトニック結晶の開発と応用
2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

石田 康博（理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー）

主たる共同研究者

佐々木 高義（物質・材料研究機構 フェロー）

荒岡 史人（理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー）

3. 事後評価結果

○評点：

A 優れている

○総合評価コメント：

酸化チタンナノシートを用いた、ほとんど水からなるユニークなフォトニック結晶を開発し、動的フォトニクス結晶の基礎的学理の構築し、現象の解明、設計手法の確立という目標はほぼ達成した。一方、応用の開拓では体内グルコースの検出および歪みセンサー等が期待されたが、新型コロナウイルス感染の蔓延が影響したこともあり具体的、実用的なデバイスとしての見通しを得るには至らなかった。体内グルコースの検出に関して、他の測定機器に対する優位性の主張や測定値の再現性などについて、臨床医などの参加を得て検討すれば結果は異なっていたかもしれない。

原著論文61編や47回の国際学会招待講演は十分であり、インパクトファクターの高い雑誌への掲載が多いことを高く評価したい。一方で特許出願6件は材料系の研究としては見劣りする。

新たに採択されたJST-CREST「自在配列」でのナノシートヒドロゲル研究のさらなる発展を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ナノ光学と光カオスを用いた超高速意思決定メカニズムの創成
2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

成瀬 誠（東京大学大学院情報理工学系研究科 教授）

主たる共同研究者

内田 淳史（埼玉大学大学院理工学研究科 教授）

内山 和治（山梨大学大学院総合研究部 准教授）

赤羽 浩一（情報通信研究機構ネットワーク研究所 研究マネージャー）

3. 事後評価結果

○評点：

A+ 非常に優れている

○総合評価コメント：

光カオス及びナノ光学に基づき、光を用いた超高速意思決定メカニズムを創成するという全く新奇でチャレンジングな目標を達成し、フォトニックコンピューティング分野における先端的成果を世界的に認知されるまで発展させた。原著論文156編ほか多数の業績をあげ、学術的な貢献は極めて大きいことは特筆に値する。課題1の光カオスによる超高速意思決定メカニズムの創成では、光カオス時系列を用いたスケーラブルな意思決定、リングレーザーによる集積化などの世界初の原理構築を成功させ、さらにリーダーラガード同期現象、空間並列化、モード競合など多様なアーキテクチャの実証に成功した。課題2では、近接場光による局所光励起と局所光計測の同時実行を可能とした独自の多プローブ近接場光装置を用いて、フォトクロミック結晶の局所光励起により、光の回折限界より微細なスケールにおける複雑構造の自律的形成に世界で初めて成功した。課題3では、圏論を用いた光意思決定システムの基本構造の解明に成功した。

研究者派遣や招聘を積極的に行い、2023年2月には仏グルノーブルで国際ワークショップの開催を予定する対外活動にも十分に効果を発揮した。

新たに採択された学術変革領域(A)でフォトニックコンピューティングの新たなパラダイムの創成を期待する。

最後に、わかりにくい研究内容を専門外の人達に平易に伝えて理解を得るために一層の努力を続け、フォトニックコンピューティングのエバンゲリストを自ら任じていただきたい。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 変調フォトニック結晶レーザーによる2次元ビーム走査技術の開発
2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）
研究代表者
野田 進（京都大学大学院工学研究科 教授）

3. 事後評価結果

○評点：

A+ 非常に優れている

○総合評価コメント：

変調フォトニック結晶レーザーという新奇のレーザーの学理を確立し、理論に基づく緻密な設計により2次元マトリクス化とビーム走査技術を実現し、LiDARへの応用を開拓した。当初の目標は計画を前倒しして全て達成し、追加の課題にチャレンジした。LiDARへの応用展開では、複数の企業と連携してスマートモビリティやフラッシュビーム走査型LiDARの開発に取り組んだ。サイトビジットではこれらのデモンストレーションを披露しアピール効果は抜群であった。

研究成果が広く注目された証しとして、国内外での招待講演は90件超あり、学術的に多大な貢献をした。さらに特許出願は国際12件、国内22件と突出しており、特筆すべき成果である。

京都大学の若手研究者のみならず企業のエンジニアを牽引し、強力で研究を推進した研究代表者のリーダーシップは称賛に値する。

今後、青色水中LiDARを含む種々のLiDAR開発やレーザー加工への展開が期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 単一光子スペクトル計測によるイメージング技術開発と細胞機能ヴィジュアライザの創成

2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

福田 大治（産業技術総合研究所物性計測標準研究部門 首席研究員）

主たる共同研究者

野村 暢彦（筑波大学生命環境系 教授）

山森 弘毅（産業技術総合研究所デバイス研究部門 グループ長）

3. 事後評価結果

○評点：

A 優れている

○総合評価コメント：

単一光子分光素子(TEs)では世界最高のエネルギー分解能0.06eVを実証し、TEs素子を多重化し世界最高のサンプリング速度となる5 MS/sで40素子の同時読み出しに成功した。さらに、HeLa細胞による超低励起光照射下での長時間無退色イメージングより、ほぼ自然光レベルでのイメージングの低侵襲性を実証した。以上の成果をもって目標はほぼ達成したと評価できる。特に低侵襲イメージングは端緒にすぎたばかりであり、今後インパクトの大きい学術的な成果が大いに期待できる。

成果に対して原著論文14編、国内特許出願1件に止まっている点については十分とは言い難い。

CREST研究終了後に企業や大学と設立を計画しているコンソーシアムにおける自然光細胞診断オープンファシリティ計画に期待したい。これ以外にも、例えば通信波長帯での高精度な光子測定技術はむしろ量子通信や量子情報処理への応用に向いており、このデバイスの高いポテンシャルを引き出し、分野を超えたユーザーに対して幅広くユースケースを探索する戦略と地道な努力が求められる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用

2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

藤 貴夫（豊田工業大学大学院工学研究科 教授）

主たる共同研究者

古谷 祐詞（名古屋工業大学大学院工学研究科 准教授）

村越 秀治（自然科学研究機構生理学研究所 准教授）

堀田 昌克（ファイバーラボ（株） 代表取締役）

3. 事後評価結果

○評点：

B やや劣っている

○総合評価コメント：

赤外ハイパースペクトラルイメージング装置を完成させ、赤外域4光子顕微鏡を実現しハードウェアの目標は達成した。一方、生体、植物の細胞観察で有用性は示せたが、マウスの脳細胞の非侵襲超深部イメージングでは目標値の1/3の深度0.7 mmに止まり、医学・生物学的に新しい知見は少なく残念な結果に終わった。論文27編、招待講演（国際）19件は妥当な成果である。

中間評価で指摘された生体グループとの連携も最終的には機能したが、総合的には物足りない結果に終わった。CRESTの5年半を通じて、光源技術という限定した分野においては基礎研究として一定の成果が得られたことは認められるものの、明確な応用目標がないままリアルタイム赤外ハイパースペクトラルイメージング分光装置と高出力ファイバーレーザーを光源とした3~4光子顕微鏡システムの製作に終始したように見える。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 深紫外領域半導体レーザーの実現と超高濃度不純物・分極半導体の研究

2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

岩谷 素顕（名城大学理工学部 教授）

主たる共同研究者

三宅 秀人（三重大学大学院工学研究科 教授）

3. 事後評価結果

○評点（2021年度事後評価時）：

A+ 非常に優れている

○総合評価コメント：

（以下、2021年度課題事後評価時のコメント）

世界初の波長298nmのUV-B領域室温レーザー発振の実現は素晴らしい成果であるとともに、現状のパルス発振から連続発振への手ごかりも掴みつつある。それに必要な技術としてサファイア基板上への高品質AlNの作製技術、高品質AlGaIn結晶作製技術、分極ドーピングクラッド層積層技術という3つのブレークスルー技術を明確に定義し着実に推進した。その結果、紫外域以外のレーザーやLEDにも生かせる知見を積み上げることができ、新たな半導体基盤技術の構築に寄与した。

160報の原著論文は圧倒的な学術的アウトプットであり、多くの招待講演は国内外から非常に高く評価されている査証である。また、論文投稿前に特許出願することで出願数が40件を超えるなど、戦略的な知財マインドも高く評価したい。

2019年8月にはベルリンでCREST主催のAlGaIn based UV-Laser diodesの国際ワークショップを開催し国際共同研究も積極的に推進し、その結果デバイス物理や結晶品質評価に多くの進展をもたらした。加えて企業連携により実用化に向けた検討も進んでいる。

応用面では医療関係や加工技術への展開が期待されるが、そのための高出力化の検討もNEDOプロジェクトで開始しており今後の展開が期待できる。

（2022年12月追記）

追加支援の目標は100%達成した。よって延長期間も「A+ 非常に優れている」と判断する。当初の5年間で分極ドーピングや低転位密度で高品質の結晶を成長させる材料技術を開拓し、世界初となるUV-B領域での半導体レーザーの室温発振に成功し実用化への大きな弾みをつけた。さらに1年間の追加支援においては、分極ドーピングの効果の理論的検証を通して、新たに負の分極固定電荷層を形成することが可能な構造を見出し、デバイス構造を検討し直すことによって良好なデバイス性能を得ることに成功した。原著論文179編と国際特許出願1件、国内特許出願45件は特筆すべき成果である。

理論、基盤材料、デバイス作製・評価からなる3機関にまたがるチームを牽引しシナジー効果を生んだ研究代表者のリーダーシップは称賛に値する。2021年度に採択されたNEDO「新産業創出新技術先導研

究プログラム」で、引き続きワット級高出力化に期待したい。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 光・電子融合第一原理計算ソフトウェアの開発と応用
2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

矢花 一浩（筑波大学計算科学研究センター 教授）

主たる共同研究者

信定 克幸（分子科学研究所 准教授）

飯田 健二（分子科学研究所 助教）

乙部 智二（量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所 主幹任研究員）

3. 事後評価結果

○評点（2021年度事後評価時）：

A+ 非常に優れている

○総合評価コメント：

（以下、2021年度課題事後評価時のコメント）

本課題は光と電子が密接に結合する多体系において原子スケールから記述した第一原理計算に基づくプログラムSALMONの開発・公開し、先端の光科学技術の発展に寄与する国際標準ソフトウェアと認知を得ることを目標とした意欲的なプロジェクトである。

原子層物質に特徴的な非線形光応答の解明や、超短パルスレーザーと物質の相互作用における原子運動効果の解明などの高い学術的成果を上げる一方、SALMONの公開セミナーを積極的に開催するなど研究チームとして地道な努力を続けた。その結果、SALMONのウェブサイトのページビューやダウンロード数は着実に伸び、SALMON開発者以外の海外含めたユーザー利用による論文も出版されるなど、先端のナノ光学や超高速現象の解明に有用なソフトウェアとして国際的に高く認知されつつあると判断できる。特許出願件数は少ないものの、ソフトウェア自体の著作権を確保するなどの取り組みは妥当である。

最先端ソフトウェアとしての地位を維持するためには、新たな機能追加とメンテナンスが必要になるが、そのための若手研究者育成も充分成されており今後の展開を期待したい。

（2022年12月追記）

第一原理計算で光伝搬を記述する世界で唯一のオープンソフトウェアを開発し、国内外で高い評価を得るに至り、20年以上の歴史のある同種のソフトウェア OCTOPUS と並ぶ認知を得つつある。本研究領域では異色のテーマではあったが、100%目標を達成し期待に違わぬ活躍であった。追加支援では、スピン軌道相互作用も計算できるプログラムに進化させて、トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 の光応答の計算に成功し目標を達成した。よって追加支援については「A 優れている」と判断する。

長期にわたり安定して SALMON の開発を進める仕組み作りのため、開発の中心を徐々に関西光科学研究所に移し長期的な開発体制を構築した。また 8 機関の参加を得て SALMON 開発者会議を定期的に開催し裾野の拡大に尽力した。

海外から数名の研究者を長期間受け入れるとともに、SALMON を用いた国際的な共同研究でも成果をあげた。