

CREST「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」 研究領域中間評価報告書

総合所見

本研究領域は、光の利活用による科学技術イノベーションを目指す世界的な潮流の中で「フォトニクス」というキーワードの下に設定された重要かつ挑戦的な領域であり、光科学技術の横断的かつ重層的な集積・発展と社会課題や産業要請に対して将来応えることができる新規フォトニクス分野の技術発展を加速し、一方で光科学の基礎的な原理解明を併せて追及するところが特徴である。光物性、デバイス・材料分野を基盤として、情報処理・通信分野、バイオ・医療分野、それらを支えるモノ作り、新材料の創生、基盤技術の開発など幅広い分野から、16 課題が採択された。限られた採択課題数の中で、この広範な分野を埋めることは困難を伴ったと思われるが、研究課題と研究者の分布は、結果として大きな偏りは無く、適正であった。応募者には、基礎研究と実用化の間に横たわるいわゆる「死の谷」を越える心構えと実行力を求めているが、直近の出口成果だけを求めるのではなく、長期的な視点に立って科学技術イノベーションへの貢献を期待し、非常に基礎的な研究も採択している点は高く評価できる。

領域アドバイザーには、幅広い本研究領域の各分野において高い見識を有する研究者を配し、所属も企業在籍者を含めて広く配置している点は評価できる。

研究成果としては、原著論文 390 報、招待講演 730 件、特許出願 83 件(国内・国外合計)などがあり、着実に成果を上げていると言える。国際会議、ワークショップ開催などの活動も十分活発に行われ、特に、JST-ライブニッツ協会共同ワークショップは7 課題のチームが共同参画して推進し、並行して多くの若手研究者の海外派遣を推し進めるなど、効果的なマネジメントがなされた。

研究の進捗状況については、領域会議、サイトビジットなどを通じて適格に把握されており、多くの場合、適切な助言が与えられているが、助言や支援が必ずしも十分とは言えないケースもいくつか見られる。領域アドバイザーの力を借りるなどして踏み込んだ指導が望まれる。また、課題チーム内の連携強化が望まれるもの、研究チーム内の特定のグループの成果しか見えてこないものもあるので、各グループの研究チームへの貢献度についてもより一層注意を払っていただきたい。

代表的な研究成果として、比較的社会実装(出口)に近いところでは、ナノフォトニクス(納富課題)、深紫外半導体レーザー(岩谷課題)、変調フォトニクスの利用(野田課題)、超解像蛍光プローブ(永井課題)などが挙げられる。特に前二者は、画期的な技術として実用段階に近づいている。また、その対極として、長期的な展望に立つ基礎的な研究として、SALMON 計算コード(矢花課題)、実時間第一原理シミュレーション(石川課題)があるが、いずれも世界をリードする大きな研究成果を上げている。

以上により、本研究領域は総合的に優れていると評価される。

1. 研究領域としての成果について

(1) 研究領域としての研究マネジメントの状況

本研究領域では、「新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓」という幅の広い戦略目標を掲げ、光源、分光、物性、情報、デバイス、バイオなど広範囲から研究課題を公募した。選考において、「死の谷」を越える筋道と気概を各研究代表者に問い、「社会・産業ニーズに応える」ことと並行して、新技術シーズの創生を支える「基礎的な原理の解明」にも取り組むという方針の下、公募を行った結果、210件の応募があり、この中から16件(採択率8%未満)が採択された。採択された研究課題の分野は、ナノ、バイオ、テラヘルツなどのフォトニクス領域、光通信・演算、コヒーレント制御などに及んでおり、戦略目標で掲げた分野の大半を包含している。非常に基礎的な理論を担当する2研究チームも採択するなど長期的視野に立って、理学的な基礎研究から実用に近い応用研究まで様々な研究開発フェーズにあるテーマを網羅している点は、高く評価される。本研究領域の研究課題採択後に、1課題はJST 未来社会創造事業に採択となったため研究領域から外れることになり、また、8研究チームは比較的大きな研究助成を得ている。これは非常にアクティビティの高い研究チームを採択した証でもあるが、研究領域全体としての戦力の低下、精力の分散という懸念もあるため、研究テーマの切り分けと研究予算の使い方については、研究総括の適切なマネジメントをお願いしたい。

領域アドバイザーは、物性物理学分野、デバイス分野に加え、光通信、情報工学、医療、バイオ関係を網羅するように、各分野の第一人者で構成されている。特に産業化を目指すにあたって、産業界からも2名の参画を求めている点が評価される。

進捗状況は、毎年開かれる領域会議、サイトビジットなどを通じて、研究総括と領域アドバイザーによつて的確に把握され、課題中間評価などの際に適切に助言が与えられている。ただし、研究分野の広がりが大きいため、すべての課題について領域アドバイザーによるきめ細かな評価、助言を行うことは困難であり、特に理論物理(量子情報)、生命科学などはやや手薄なために、あまり踏み込んだ指導はされていないように見受けられる。研究の遅れがあるチームについては、サイトビジットの頻度を高めるなどして、現状の把握に努めるとともに、領域アドバイザーから具体的な助言を与えるなど、積極的な関与を期待する。本研究領域では、運営方針の一つとして、「単一分野の技術の深堀にとどまることなく、分野横断的に融合」が掲げられているが、各チームの独創性が高いだけに、各チーム内で完結してしまっている傾向があり、若干のチーム間連携の例(石川課題-金光課題、納富課題-成瀬課題)はあるもののチーム間の連携協力が希薄なのが惜まれる。また、研究チーム内でも、グループ間の協力体制が不備である事例も見受けられる。

研究成果の発信や研究の活性化に関しては、各研究チームが海外の有力大学、研究機関と協力してワークショップを数多く推進してきた。特にJST-ライブニッツ協会共同ワークショップ「Advanced Material Sciences」は、本研究領域の7研究チームが参画し、ドイツ側の8研究所から参加者があるという包括的なものであり、これを契機にデルフト工

科大学、オックスフォード大学、ベルリン工科大学などへの8名の若手研究者の派遣を進めるなど、特筆すべき成果があった。報道発表も13件あり、情報発信に努めていることが分かる。

以上により、本研究領域のマネジメントは優れていると評価される。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成に向けた状況

① 研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

本研究領域は、短期的に社会、産業界への貢献を果たす課題と、光科学の基礎的な原理解明を目指す課題が含まれており、それぞれ着実な成果が上がっている。研究成果は、原著論文390報、招待講演730件ある他、出口に近いところで活躍している納富課題、岩谷課題を中心にして、全体では特許出願83件(国内・国外合計)があり、中間評価の段階としては、十分に成果が上がっていると言える。

短期的に技術イノベーションへの貢献が期待できるものとしては、納富課題、岩谷課題、野田課題などが挙げられる。納富課題ではナノ受光器とナノ光変調器を集積して光トランジスタ動作を実現しており、社会実装に近い形のデバイスを完成しつつある。岩谷課題ではAlGaIn結晶の高品質化により深紫外領域のレーザ発振閾値パワー密度の低減に成功するとともに、分極ドーピングの適用によりAlGaInを用いて世界最高レベルの電流密度を実現した。

野田課題は、短期間に到達すべき課題をほぼクリアし、優れた成果を上げた。複合変調フォトニック結晶レーザーのコンセプトを創出し、高出力・高ビーム品質で安定な動作を実現するデバイスの開発に成功した。研究は社会実装に要求されるレベルのLiDARデバイス開発にシフトしてきており、成果に対する社会貢献でのインパクトは大きい。現在、CREST側からは研究資金の追加、参加企業側からは人的リソースの提供などを受け開発を更に加速させている。

古澤課題は極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作で重要な3次元相ゲートの簡便な実現方法を発明し、要素技術の開発により実現一歩手前まで来ている。水本課題は集積化には成功しているが、残りの1年で本来の目標であるフォトニックルーターの性能飛躍に努めて欲しい。

長期的に新技術シーズの創生を目指すものでは、矢花課題、石川課題の進捗が目立っている。矢花課題は、ソフトウェアSALMON(Scalable Ab-initio Light-Matter simulator for Optics and Nanoscience)を既に開発し終え、現在その普及と応用の段階に入っている。今後、第一原理光科学計算の汎用ソフトウェアに育てるべく更なるアウトリーチ活動が重要である。石川課題は、アト秒科学に関する世界に先駆けた基礎研究であり、将来的に技術が確立された暁には社会貢献のインパクトも極めて大きい。ただし出口とした「創薬応用」にはまだ相当長い技術開発が必要であり、かつ産業側ニーズとのギャップも大きいことが推察されるため、どのような貢献が期待できるかの具体的なイメージを示すこと

が望まれる。レーザー加工など、少し手近なところで一旦成果を形にしておくのも一案である。上記2テーマは、長期的視点に基づいて推進されているため、他課題とは異なる評価指標が重要と思われる。岩坂課題では、配向グアニン結晶による反射、干渉の現象解明はある程度進んだが、フォトニクスとしての応用には未だ距離があるので、本領域の戦略目標に即して的確を絞り、着地点を探す必要があると思われる。金光課題はペロブスカイト型材料の基礎物性では着実に成果を上げているが、光電変換への応用における諸問題(効率や耐久性など)の解決に貢献するのか、この材料の光電変換以外の応用に進むのか、明確にする必要がある。

以上により、研究チームによって遅速はあるものの、研究成果の科学・技術的な観点からの貢献については、高い水準が期待できると評価される。

②研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

岩谷課題では、深紫外域半導体レーザーが産業応用を視野に入れた研究の段階に入ってきており、特許出願数は27件に上っている。医療やバイオでの応用に向けて、既に企業研究員を常駐させ、研究から開発への橋渡しを進めようとしており、研究成果の社会貢献への道筋が見えてきた。納富課題でも、特許出願数は22件に達し、ナノフォトニクス集積回路技術が社会実装に近い形でのデバイスとして完成しつつある。

バイオ・医療分野関係では、永井課題の超解像細胞生理機能イメージングの実用化の可能性が高いと考えられる。藤課題、福田課題は将来的には細胞の可視化を通して、生命科学や医療への貢献が期待できるが、現状はイメージングの検証の段階である。藤課題は、短パルスの赤外レーザー光源の開発から始めて、これまで多用されていた2光子顕微鏡と相補的な情報をもたらす3光子顕微鏡を実用レベルにしようという計画で、多光子顕微鏡の世界を広げるものとして実用化が期待される。福田課題は、近赤外に感度を持つ超伝導転移端センサ(TES)を利用した高感度検知器を用いて、生体の深部観察を実現しようとする計画であり、超低侵襲細胞診断技術の確立が期待される。いずれも光学手法として独自性があるが、生命科学研究者との連携が見えにくい状況のため、チーム内外での連携、分担の促進が望まれる。関係分野の領域アドバイザーによる具体的な助言が有効と考えられる。

新材料関係では、石田課題の「動的フォトニック結晶」は新規性があり興味深い。予想外に早く応用展開ができる可能性があるため、動向を注視したい。

以上により、研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献については、高い水準が期待できると評価される。

2. その他

光関連領域の CREST については、本件の「次世代フォトニクス」に続き、2019 年度より「革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出」の領域でも研究が始まった。両者が相互作用し、かつお互いに切磋琢磨する中で、裾野の広い日本の光関連産業やそれを支える基盤技術の国際競争力を高めるために貢献していただきたい。