

CREST「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製」

研究領域中間評価報告書

総合所見

本研究領域は、戦略目標「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」のもと、10～20年後の社会において必要とされる科学技術上の重要課題を念頭に、物質中の微細な空間空隙構造を高度に制御した新材料において、以下の達成目標を目指している。

○選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を可能とする革新的な空間空隙制御材料の創製

○空間空隙構造制御技術に係る技術体系の構築

本研究領域は、エネルギー変換 4 チーム、分離・貯蔵・輸送 2 チーム、物質変換 3 チーム、新材料・新合成法 2 チーム、ライフサイエンス 1 チームの計 12 チームで構成されている。2013 年度～2015 年度の 3 年間で計 193 件に及ぶ応募申請の中から、革新性のあるテーマを掲げかつ高い研究実績を有する研究者が採択されており、上記 5 つの研究ポートフォリオ領域のうち、特にエネルギー変換、物質変換、新材料開発に重点を置いた布陣である。これは各応募提案の内容を慎重に検討し、優れた提案を選定した結果として理解できる。領域アドバイザーに関しては、各専門領域を的確にカバーする産学官からの卓識ある方々が名を連ねている。本研究領域の達成目標に合致すべく、研究チームの特長に応じて、先端科学の追求と技術イノベーション創出への貢献のいずれかにおいて秀でた成果を求める柔軟な運営方針がとられており、各研究チームから提出された月報を通じて、その進捗状況を正確に把握し、評価・指導するなど、最大の成果を得るための努力がなされている。研究総括の優れたマネジメントと領域アドバイザーによる適切なアドバイスが功を奏し、得られた研究成果は、関根チームの窪田による Al-Si 系新奇三次元構造ゼオライトの創生や陰山チームの阿部による高い波長変換効率が期待される光半導体材料群の発見などに加え、国際的評価の高い論文誌を含む国際学術誌に 389 報が発表されている。加えて、手嶋らいくつかの研究チームにおいて社会実装を見据えた展開が見られるなど、研究領域を代表する優れた成果が順調に得られている。国際会議等における発信も 3 年間で国内外併せて 1357 件（うち招待講演は 523 件）と良好であり、日本化学会でのさきがけ「超空間」との合同シンポジウムや CSJ 化学フェスタなど、本研究領域に関わる若手研究者の育成にも目が行き届いている。

一方、本研究領域においては、募集段階から企業との協働体制を求め、それによる特許網の構築や社会実装に向けた産業界における実用研究と展開を推奨している点が他の研究領域と一線を画す特徴である。結果として、中間評価時点での特許申請数は 47 件と、良好と考えられる。企業研究者との協働が上手く進んでいるチームについては今後、産学連携チーム研究のモデルケースとして、さらに国際特許出願を期待する。また、各チームのシナジー効果を引き出すことも本領域の趣旨として謳われているところであり、今後は、各

チームの長所と成果を最大限に発揮した、本研究領域ならではの融合研究を進めていただき、新しい技術が芽生えることを期待したい。

各チームの個性と自主性を尊重しつつ、産学の研究者からなる全 12 チームから、本研究領域の達成目標に沿って最大の成果があがるよう指揮・指導することは、一般的に容易なことではない中、総じて研究総括の優れたリーダーシップが遺憾なく発揮されており、優れた進捗状況にあると判断される。

以上を総括し、本研究領域は総合的に優れていると評価できる。

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

2013、2014、2015 年度の選考は、それぞれ開発色の強い課題、長期的でスケールの大きな課題、社会実装が期待される課題を軸に、分野バランスに配慮して進められた。結果としてライフサイエンス分野の比重が小さく（櫻井チームのみ）、分離・貯蔵・輸送も松方チーム、加藤チームのみで、明らかに物質変換とエネルギー変換に重点化された形となっているが、限られた予算の中でのチーム数であり、空間空隙材料のコンセプトに合致した提案課題を採択した結果と解釈する。本 CREST 研究領域が、企業との協働体制を募集段階から求め、それによる特許網の構築や社会実装に向けた産業界における実用研究と展開を推奨していることもあり、基礎的研究分野で成果を挙げてきた研究者が、応用よりの研究テーマを掲げて採択されている印象を受けるが、これまでの基礎的研究を発展延長させた従来と異なる切り口での研究成果が挙がることを期待する。また、選ばれた研究代表者の力量からその受賞も多く、これらの研究実績は、本研究領域の後半に大きな成果を期待させるものである。

領域アドバイザーの専門領域として、大学・国立研究開発法人等より無機化学ならびに無機触媒、ソフトマター物理、生体関連デバイス工学が、ならびに民間企業より創薬、化学反応工学、触媒化学、高分子材料の各分野に亘っている。大学と民間が約半々の陣容であり、これは本領域が民間企業との協働による知的財産の社会実装化を重要視していることを反映していると考えられる。一方、大学関係者の領域アドバイザーには、有機分子の設計を含む有機材料や生体関連化学の専門家が含まれておらず、無機（ならびに金属錯体）系の超空間構造、物質・エネルギー変換が、本プログラムの中核をなすものとして考えられているように見受けられる。一方、採択された研究には、高分子化学分野で活躍している研究者（加藤、高田、野崎、櫻井）も含まれており、結果的に研究分野バランスも適切に考慮されたものと判断される。

研究統括のマネジメントに関しては、各チームに月報を求め、詳細に最新情報を把握して、特許出願や関連企業の研究状況確認を検討するようコメントしている。また、研究総括らによるサイトビジットや研究進捗報告会（11 回）、そして領域会議も定期的に行われている。また JST さきがけとの合同シンポジウム（日本化学会春季年会 特別企画）や CSJ 化

学フェスタにおけるテーマ企画などを通じた社会への情報発信、さきがけ研究者との交流も視野に入れて行われていることは、非常に好ましい。このように、領域マネジメントの体制ならびに方法は適切であり、きわめて順調に進捗していると判断される。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは優れていると評価できる。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成に向けた状況

① 研究成果の科学技術への貢献

研究領域として国際論文総数 389 報であり、国際的評価の高い論文誌である Nature 系姉妹誌に 10 報、J. Am. Chem. Soc. 誌 11 報、Angew. Chem. Int. Ed 誌 12 報と、高い水準の研究が展開されている。アクティビティの高い研究代表者が参画していることもあり、国際会議などにおける招待講演発表も活発に行われている。例えば、窪田（関根チーム）による新奇構造(8×8×12)員環三次元デュアル細孔構造の Al-Si 系ゼオライトの発見や、阿部（陰山チーム）による高い波長変換効率が期待される層状酸ハロゲン化物 Bi₄NbO₈Cl をはじめとした材料候補群の発見などは、基礎的な科学技術への大きな成果の事例である。さらに、陰山による新学術領域「複合アニオン化合物の創製と新機能」の立ち上げなど、優れた成果を生み出している研究者が学術の流れを創り出すべく活躍していることも、本研究領域の波及効果を約束するものであり、高く評価される。その他、松方チームによる同位体分離を目指した量子分子篩材料や、加藤チームによる自己組織化液晶高分子を用いた水浄化技術などは、今後の展開が期待できる技術の種である。研究の後半においては是非とも、「超空間」という領域名を代表するような俊英なる研究成果が生まれることを期待する。

以上により、研究成果の科学技術への貢献については、高い水準が期待できると評価できる。

② 研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

全研究チームの中でも、植村チーム、陰山チームは個性のある学術的に優れた業績を挙げており、技術的社会的に高いインパクトを与えている。植村チームは、従来相溶しない 2 種のポリマーを、次元性を考慮して設計された微細な高分子錯体空間中において合成することにより、完全に混じりあったポリマーを創製する手法を開発し、新しい応用へと期待を膨らませた。陰山チームは、酸水素化物の合成とそれを利用した材料設計技術の構築に加え、新しい光電変換材料候補になり得る層状酸ハロゲン化物等の候補群の発見などが、エネルギー変換応用という視点でも重要な礎となる可能性があり、高く評価できる。

一方で、関根チームは参画企業との連携が多く、特許出願件数も 13 件と顕著である。直流電場を Ru 担持半導体触媒に印加、200℃でアンモニア合成できることを見出し、9 気圧で世界最高レベルのアンモニア合成速度を実現していることは、社会的にも重要な成果である。手嶋チームによる強力な企業連携への尽力もあり、全酸化物型固体電池に関する発展

性のある成果と目覚ましい展開も、本領域の成功を大きく期待させるものである。

研究領域全体として中間評価時で、特許申請についても総計 47 件であり、一定の努力がなされている。一般に、学術的な研究レベルの高いグループの論文数と特許数は必ずしも比例するものでなく、特許数のみをもって成果を評価することは難しい。しかし本研究領域においては、その趣旨ならびに選考基準からして、特許申請も重要な活動実績の指標と考えられる。各チームの特許出願状況を見てみると、研究課題の性格もあり、チーム間で取り組みにやや温度差がある。また、必ずしもチーム内の企業研究者参画数と相関していないことがわかるが、この原因としては、研究の進展具合によるところが大きいものと推測される。いずれにしても、研究総括が、本領域の運営を確固たる哲学を持って進めていることから、その指導が浸透し、優れた成果に繋がってゆくものと期待される。

以上により、研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献については、高い水準が期待できると評価できる。

2. その他

いくつかのチームは基礎研究レベルで質の高い研究が進んでおり、まずは全体的に国際的にトップレベルの学術成果を展開する中で、チームのテーマや進捗状況に応じて産学連携を推し進める方向で良いと思われる。当初の計画に沿った進捗が芳しくなくとも、学術的に意義ある成果が出ていれば、中長期的な視点でその展開を指導していただきたい。

一方、高分子化学系の研究者のテーマのいくつかは、内容的に優れているものの、本プログラムの目指す超空間制御との関連が、書面からでは分かりにくい。本研究領域の全 12 チームから得られた優れた成果を、最終シンポジウムにおいては、その全貌が理解できるよう十分にアピールしていただきたい。

また先に述べたように、領域間のシナジー効果による素材の創製産業への応用については、現時点では各チーム間のシナジー効果は目に見える形で十分に現れてきているとは言えない。領域研究の前半は、各チームの成果を第一優先で考える方針が良いと思われる。一方、後半戦に向けて、各チームのテーマ内容・進捗レベルや、論文発表を重視しているのか、イノベーション創出への扉を開けて進めるのか、現時点での研究状況をよく理解している領域アドバイザー、領域運営アドバイザーの協力を得て進めていただきたい。また、特定のチームの成果や技術が、他チームの研究内容に結びつく可能性があるものについては、チーム連携によるシナジー効果の推進をしてほしい。本研究費で各チームに導入した装置群を共同利用に供するなどして、参画研究者のコミュニケーションの機会を確保することも、ひとつの方策と考えられる。