

CREST「プロセスインテグレーションに向けた高機能ナノ構造体の創出」 研究領域事後評価報告書

総合所見

本研究領域は、有機、無機、またバイオから機能性材料に至る幅広い分野にわたって、次世代ナノシステムの創製を強く意識しつつ、主にボトムアッププロセスによる革新的な高機能ナノ構造体の創出を目指したものである。これは、我が国における科学技術の進むべき方針と合致しており、今後の科学技術イノベーションへの貢献の期待が大きい点からみても、極めて適切な設定であった。

また入江研究総括は、分子光化学、特に単一分子のフォトクロミズムから始まり、光応答性分子結晶、光応答性高分子、非線形光学材料などに至る広範な研究分野で卓越した研究実績のある研究者であり、「分子の世界からマクロの世界へ」という本研究領域の全体目標に沿って研究チームをリードし、研究領域運営を行う上で最適の人材と言える。

このような背景のもとで発足した本研究領域では、極めて活発な研究活動が展開された。その学術的なレベルの高さは、合計 1,217 報の国際誌への掲載、とりわけ合計 51 報の Nature 姉妹誌、Science 誌および Science 姉妹誌への掲載、さらに被引用件数 100 件を超えた論文数が 23 報をはじめ、被引用度の高い研究論文が多数あることなどからも明らかである。また、国内 114 件、国際 23 件の特許出願数からも、将来の科学技術イノベーションにつながる重要な研究成果が得られたことをうかがい知ることができる。これらの顕著な研究成果に対して、国内外での顕彰・受賞数も 38 件と多い。

このように、本研究領域では、注目度の高い、数多くの研究成果が得られており、将来の高機能ナノ構造体創製の基盤技術となる新学術分野を開拓するだけでなく、実用化に向けた展開や新たな科学技術イノベーションの創出につながるが大いに期待される。

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

基礎から応用にわたり、またバイオ科学から物質科学にまたがる広い分野において、機能性ナノ構造体の創出という目標に向けて、非常にバランス良く研究課題が採択された。研究代表者は主に 40 歳代から 50 歳代の、研究アクティビティの最も高い世代の実績ある人材が選ばれた。また、領域アドバイザーには、本研究領域の目標に合致した多様な分野から、卓越した研究実績のある研究者が選ばれており、本研究領域における研究の推進を強力に支援できる体制が整えられた。

本研究領域の主題であるボトムアップアプローチによる「分子の世界からマクロの世界へ」という研究の取り組みは、研究総括が自ら実績をあげてきた研究方針でもあり、その強力なリーダーシップと着実なマネジメントによって多くの優れた多くの研究が推進された。

それぞれの研究チームの研究実施にあたっては研究代表者は各分野において既に高いレベルの研究を実施しており、研究チームリーダーとしても十分な見識を有していると判断し研究チームの体制運営は各研究代表者の自主性に任された。研究チーム間の相互作用は、本研究領域による公開シンポジウム、同一戦略目標に対して設定された 3 研究領域合同シンポジウムなどにおける相互の触発・啓発によるところとした。その結果、敢えて研究領域内での共同研究を行うまでもなく、優れた研究成果をあげることができた。

また研究実施過程で想定外の興味深い知見が得られた場合には、当初の研究計画にとらわれることなく新しい方向に柔軟に発展させることが推奨されており、十分な力量を備えた研究者集団が自由闊達に研究展開できる雰囲気を醸成し優れた結果成果につながった。

研究の進捗状況の評価は、毎年の研究実施報告書および公開シンポジウムにおける討論で行われた。特に公開シンポジウムでは領域アドバイザーによる支援があったほか、広い範囲におよぶ分野の民間企業から多数の参加があり、関心も極めて高く本研究領域で得られた研究成果に対する科学技術イノベーションにつながる可能性への期待がうかがわれた。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは優れていたと評価できる。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

①研究成果の科学技術への貢献

研究成果は、合計 1,217 報の国際誌の学術論文として発表され、その中には Science 誌(3 報)、Nature 姉妹誌(46 報)、Science 姉妹誌(2 報)のほか Journal of the American Chemical Society(116 報)、Angewandte Chemie, Int. Ed. (83 報)など、当該研究分野において国際的に主要な学術誌への発表論文が多数含まれている。特筆すべきは、これらのうち発表後約 3 年の間に被引用件数が 100 件を越える論文が 23 報、50 件を越えるものが 84 報含まれていることである。被引用件数が多い論文が多数発表されたことは当該研究分野において、影響力の大きな研究成果が数多く得られたことを如実に示している。国際会議への招待件数も 665 件と多く、さらに重要と思われた研究成果については適宜プレス発表がなされ、その合計件数は 20 件であり、社会的にも大きな注目を集めた。

科学技術への貢献という視点から特筆すべき研究成果の例として、原田チームによる分子レベルでのホスト-ゲスト相互作用をマクロに目視できるゲル間の接着とその光応答性への展開、浜地チームによる動的応答性を有するナノ構造体の構築、および生きた細胞系でのタンパク質選択的化学ラベリングの新原理の発見、山口チームによる世界初のホウ素をドーピングしたグラフェンナノリボンおよびナノシートの創製、さらに山子チームによる 5 個のベンゼン環を環状に結んだ世界最小のシクロパラフェニレンのグラムスケールでの初合成の成功、などをあげることができる。総じてこの 6 年あまりの期間における物質関連の科学技術の進展の一翼を担う場として、本研究領域が大きく寄与したことに疑問の余地はない。

以上により、研究成果の科学技術への貢献については、特に高い水準にあると評価できる。

②研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

各研究チームから創出された研究成果の多くは、将来的に革新的な新規機能性材料およびプロセスの開発という科学技術イノベーションにつながる可能性が期待されるものであった。このことは、特許出願数が 137 件あり、その内 23 件が国際特許であることから推し量ることができる。さらに、本研究領域の公開シンポジウムへの民間企業からの参加が多く、研究成果への関心も極めて高いことから、今後の実用化への期待が高いことがうかがえる。

科学技術イノベーション創出への貢献という視点から、特筆すべき研究成果の例として、大越チームのイプシロン酸化鉄ナノ磁性体における巨大保磁力の発見、中嶋チームによる世界に先駆けて展開したカーボンナノチューブの可溶化と機能化、杉野目チームによるキラリティーのスイッチングが可能な円偏光選択反射膜の創製、石原チームによるキラル超分子ルイス酸触媒の創製とそれを用いたエンド/エキソ、ケモ、および立体選択的 Diels-Alder 反応、阿部チームによる高速フォトクロミック分子の高性能化、などをあげることができる。

このように、様々なアイデアと技術に基づいて実用化を見据えた新しい材料およびプロセスが生み出されており、一部は民間企業との共同研究も活発に進んでいるなど、将来の科学技術イノベーションにつながる期待が高い。

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、高い水準にあると評価できる。

2. 研究領域の活動・成果を踏まえた今後の展開などについての提言

(1) 本研究領域の活動や成果を、科学技術の進歩へと展開させるための方策

本戦略目標である「プロセスインテグレーションによる次世代ナノシステムの創製」を実現させるためには、本研究領域のボトムアッププロセス、および創出された高機能ナノ構造体を、効率良くトップダウンプロセスと有機的に統合させることが求められる。この統合は容易な課題ではなく、課題達成にはまだ解決すべき点は多い。

これを解決に導く方策として、本戦略目標に対して設定された 3 つの研究領域で実施されてきた研究を研究領域の終了時点で終らせることなく、例えば 2 つの CREST およびさがけ研究領域の合同討論会を再度復活させ、今後も定期的に継続して行うなどにより、さらなる研究活性化を図ることも有効と思われる。また新たに、関連する工学系の研究者、研究グループ等との研究討論会を発足させることも考えられる。この研究領域で培われた人脈に加えて、研究チーム間の連携や共通インフラがあればそれらを利用して、研究継続されることが望ましい。

また、本研究領域において芽が出た貴重な研究、全く新しい発見・発明に関わる研究の多くは、新たな研究資金を得て研究を継続しているが、研究成果への期待に見合った研究資金が得られない研究には、継続してさらなる支援を行う方策が望まれる。

(2) 本研究領域の活動や成果を、社会還元や産業化・実用化に向けて実現させるための方策

ボトムアッププロセスを中心とする本研究領域のナノテクノロジーの研究成果を社会還元し、産業化・実用化に向かわせるには、産業界による協力と支援が不可欠である。そのためのアウトリーチ活動も重要であるが、実際に研究成果に関心をもつ企業も多かったので、それらの企業との連携・共同研究が研究成果の社会還元に向けて大いに必要である。企業との本格的な連携によって、研究者にも学術的意義のみならず、産業化・実用化への関心がより深まることが期待される。

さらに、実用化が進んでいるトップダウンプロセスとの統合にも具体性が出るであろう。産業界と学会との技術的交流のみならず、人的交流も深まれば今回の研究領域の成果の産業化にも弾みがつくものと思われる。

(3) その他の提言

次世代ナノシステムの創製に向けた研究を推進する上で、本研究領域の持つ大きな意義の一つは、ナノサイエンス・ナノテクノロジーについて、幅広い研究分野のトップランナーである研究チームが組織され、やや回数が少なかったものの、合同シンポジウムなどで、互いに触発・啓発し合う機会が設けられたことにある。これらのチームが交流し、さらに活性化し合う機会を今後も継続的に提供できるように策を講じることが望ましい。

我が国が、科学技術立国として世界の最先端を走り続けるには、ナノサイエンス・ナノテクノロジーにおける現在の優位性を保持する必要がある、本研究領域の研究者集団は極めて重要な位置にある。今回の CREST 研究で終らせることなく、今後もこの集団の研究の発展状況を注視し、必要に応じて支援する方策を提案したい。そのような方策により、本研究領域で確立されたボトムアッププロセスがトップダウンプロセスと統合され、強力なプロセスインテグレーションシステムの実現が近づくものと期待される。