

# CREST「プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製」

## 研究領域事後評価報告書

### 総合所見

本研究領域は、「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」という戦略目標を受け、トップダウンプロセスとボトムアッププロセスの融合や、半導体から化学、バイオ分野に亘る広範囲な技術領域を俯瞰して、個々の先鋭的な研究課題の追及とともに、異分野連携の共同研究を推進した。

研究マネジメントについては、研究総括の明確な目的意識と幅広い分野をカバーする領域アドバイザーの専門的知見によるサポートにより、適切な領域マネジメントが行われた。これにより、本研究領域から質・量ともに十分な研究成果が得られたものと評価する。

本研究領域から生み出された研究成果は、論文や国際会議での招待講演等の状況から見ても国際的に高い水準にあると言える。また、ナノプロセスの統合によるナノシステムの創製という方向性をいくつかの具体的実績によって示しており、大きな科学技術的なインパクトを与えている。国際的にみても独創的な研究が多く、科学技術進展のためのブレークスルーと成りえる成果も上がっている。さらに研究総括が推進してきた、企業との共同研究に進展したケースも多く見られた点も評価できる。これらの研究成果は、戦略目標として掲げた「ナノシステムの創製」に関わる科学技術イノベーションに資する今後の展開が期待できる。本研究領域が明確な出口を意識したものであったことに鑑み、得られた成果の産業や社会への展開・実装のための道筋をより明確化していくことを期待する。

本研究領域は、半導体から化学、バイオ分野にまで及ぶ多彩な研究者を結集してナノプロセスの開拓に挑戦し、異分野融合を戦略的に進めて卓越した成果を挙げた。研究領域の設定ならびに研究総括の選定は適切であり、研究総括は領域アドバイザーの支援を受けて、各研究チームの優れた研究力を引き出すとともに共同研究を促進するなど、適切な領域マネジメントを行った。

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

本研究領域の戦略目標は、トップダウンプロセスとボトムアッププロセスの統合による製造技術の革新と次世代ナノシステムの創製というものであり、そのような実用化を見据えた挑戦的な研究領域を統括する責任者として、企業研究所や研究開発法人における研究マネジメントに豊富な実績を有する曾根純一氏はまさに最適な人選であったと言える。

研究領域の開始に際して研究総括は、「これまで個々に技術蓄積がなされてきたナノプロセスを統合化し、新たな機能を有するナノシステムを創製する」という明確な目標を立て、その実現のために、「トップダウンプロセスとボトムアッププロセスのインテグレーション

ン」および「異分野融合」をキーワードとして領域運営に臨んだ。また、「研究成果により新しい学問分野を切り開くだけでなく、常に工学的応用と新しい市場の創出を意識して進めて行く」と述べている。

領域アドバイザーの構成については、研究総括の狙いを実現させるべく、幅広い分野をカバーするように領域アドバイザーを配した。特に、研究総括の専門からやや遠いバイオおよび化学関連分野のアドバイザーを充実したことは適切であった。アカデミアと産業界のバランスも適切であったと思われる。

研究課題の公募は、3年度にわたって行ったが、応募課題数は年々増加し競争率が高くなった。そのこと自体は歓迎すべきことであるが、一方で本領域の立ち上げ時において公募の周知が十分に行き渡っていたかという観点から、本領域への潜在的応募者をより広く呼び込むような広報がもっとあってもよかったかと思われる。年度による応募課題数の多寡はあったものの、採択された課題はいずれも高い独創性を有する研究者による意欲的なものであった。比較的成熟度の高い半導体分野よりも、バイオ系・化学系分野の課題を多く採択したことは、その未開拓の可能性に期待を寄せたものと理解できる。企業からのプロジェクト参加が当初の予想に反して実現できなかったことは、市況の影響もあるが残念であった。

研究領域のマネジメントについては、研究期間を通じて、研究総括とアドバイザーのチームワークによるフォローアップ体制が良好に機能したと判断される。年1回の領域会議のほか、随時のサイトビジット、関連3領域の合同会議、などの機会を通じて、研究の進捗状況の把握と研究情報交換、必要に応じた助言が行われた。また、公開シンポジウムなどを通して社会や産業界への成果発信も行われた。評価・助言とともに、一定程度の予算を研究総括裁量経費として重点配分を行うことを通じて、研究総括からの領域運営のメッセージが発信された。研究代表者それぞれが特徴ある独自の研究を進めていることから研究課題間の接点を見つけるのは難しいことが予想されたが、共同研究テーマの募集と裁量経費の配分などの方策により、研究課題間協力にインセンティブを与えると同時に領域としての一体感の醸成に努めたことも評価できる。本研究領域の戦略目標に鑑み、産業界との交流が奨励された。

本研究領域では、研究総括・領域アドバイザー・研究課題実施メンバーがそれぞれの役割を果たしてナノシステムの創製を目指した研究を精力的に遂行した。

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

研究成果の国際的水準については、採択された研究課題の多くにおいて、着実に高レベルの研究成果が挙がっており、権威ある国際的学術誌の掲載論文や国際会議での招待講演等も数多い実績があることから高い水準にあると言える。

生体分子 1 分子のデジタル計数デバイスの開発（野地チーム）、自己組織化単分子膜を用いた有機トランジスタ（染谷チーム）、神経伝達物質のリアルタイム非標識イメージング（澤田チーム）、などは実用化が期待されるものである。先鋭的スピントロニクスの研究開発（斎藤チーム）などは国際的にも評価の高い研究である。これらの研究成果の中には本研究領域のファンディングのみに帰せられるものではないものも見受けられるが、本 CREST プロジェクトがそれらの推進に貢献したことは疑いない。一方、領域内共同研究で実現された、高配向 CNT を利用したバイオ燃料電池（西澤チーム&畠チーム）や、エレクトロアクティブアレイを用いた解析手法の開発（野地チーム&藤井チーム）は本研究領域の設定があってこそその成果と言える。

科学技術的インパクトについては、研究領域としてナノプロセスの統合によるナノシステムの創製という方向性をいくつかの具体的実績によって示した点は、大きな科学技術的なインパクトを与えたものと評価できる。現時点において学術的なインパクトとしては十分なものがあるが、さらに進んで「実用的ナノシステム」としての具体的な形が見えるような今後の研究開発が期待される。

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

国際的技術水準でみても独創的な研究が多く、科学技術進展のためのブレークスルーと成りえる成果も上がっている。研究総括が積極的に推奨したこともあり企業との共同研究に進展したケースも多くある点で評価できる。独創的で特徴のある研究が実施されており、科学技術の進展に寄与が期待できる一方、当初の目的にある製造技術の革新という観点でいうと、産業化を目指すというよりは基礎技術に留まるものがほとんどである。しかし、ERATO や ImPACT、ACCEL へと舞台を移し研究を進展させる研究者も多くでており、ナノテクノロジーの今後の発展の新しい基礎を築いたという意味で貢献が大きいと考えられる。

本研究領域はこれまでの CREST の研究領域と比べても「出口」を意識することを強く前面に押し出したものであったと理解する。実際、研究総括は平成 22 年度の選考を終えた時点で、「採択が完了した今後は、採択テーマ間連携、グローバル展開、死の谷を越える産業化等を通して研究の加速を図り、社会からの期待に少しでも応えていきたい。」と述べている。CREST の成果として、文字通りの産業化・事業化を求めることは必ずしも馴染まないであろう。実用化については、今後の展開に期待したい。

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等についての提言

### (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

ナノシステム概念とその基礎が本領域の研究期間の中で確立されており、当初の想定

を超えた応用分野に展開できる技術も多く見られる。実用的なナノシステムの実現には、周辺技術の進展も重要でテーマ毎に領域研究者の範囲を越えた連携が必要である。今後、国際競争力を有すると判断される研究テーマに関しては、新たに JST の研究プロジェクトとして取り上げ発展させる必要があると考える。

多くの課題で科学技術の進展に寄与が期待できる一方、当初の目標として掲げられた「製造技術の革新の観点からいうと、現状では産業化を目指すというよりその基礎技術に留まっていると考えられる。しかし、ERATO や ImPACT、ACCEL へと舞台を移し研究を進展させる研究者も輩出しており、ナノテクノロジーの今後の発展の新しい基礎を築いたという意味で貢献が大きい。

## **(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**

本研究領域で成果が上がった研究のいくつかは、研究総括の積極的推奨のもと企業との共同研究に発展した例が多く見られ、実用化の道筋が明確になっているものもある。しかし、産業化するには企業の関心が高いだけでは難しく、製品化コストの低減化などに踏み込んだ実用化研究が必要となる。特に、生産性の高いプロセスインテグレーションに関しては企業が主体で大学と連携して行う研究プロジェクトの創設が重要である。

## **(3) その他の提言**

各研究課題の事後評価結果の総合評点として、全ての研究課題が「期待を超える十分な成果が得られている」ないしは「期待通りの成果が得られている」と評価されている。それらの高い評価に値する成果を挙げた研究課題が殆どである一方、論文発表件数、口頭発表件数、特許出願件数、主要論文の被引用度数などを見ると、採択した研究代表者たちの高い能力に対する大きな期待に照らして、「成果がやや不足している」に相当した課題もあり得たのではないかと思われる。