

**CREST 研究領域**  
**「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」**  
**追跡評価報告書**

**総合所見**

本研究領域は、新しい物理現象や原理にもとづき、ナノテクノロジーを基盤とした材料・計測、デバイス技術に関するスペクトルの広い基礎的研究を推進し、さらにデバイス・システム創製に向けた研究を展開した。その成果は 1,100 件以上の論文に纏められ、また多数の特許出願や新聞発表などをはじめとして、研究活動が活発に進められた。2007 年度の事後評価では、研究成果やその波及効果が評価され、研究領域としての戦略目標の達成状況について高い評価を得ている。

本追跡評価では、その後の各研究課題および領域全体の発展状況について調査・評価を行った。その結果、すべての研究チームにおいて、期間中の研究成果が、NEDO、CREST、FIRST、科研費などの新たな競争的資金へと継続・展開されており、また研究実施期間中に匹敵する数の論文が発表され、領域全体として確実に成果が発展していることが認められる。また、特許出願も積極的に行われ、研究成果を社会・産業に還元する努力も継続的になされている。特筆すべき基礎研究の成果として、岩佐による電気二重層トランジスタを用いた、世界初の電界誘起超伝導の実現があげられ、論文引用数も含め大きなインパクトを与えている。他方、実用化面での特筆すべき成果として、河田による先端増強ラマン顕微鏡(TERS 顕微鏡)の製品化があげられる。期間中の基盤技術の研究が実用に至ったものであり、複数の企業で製品化されたことは評価される。また、バイオ関連の融合分野の成果として、松本による高感度グラフェン・バイオセンサーがあり、革新的機能の実用化が期待され、企業等との多数の共同研究が行われている。これらの成果を含め、基礎研究の成果や技術シーズの展開が行われ、その中から、多くのナノ領域研究者の人材育成にも貢献をしている。このように事後評価以後も重要な研究成果が次の段階へと着実に発展しており、人材育成にも成功していることから、本研究領域の目的・意義がより発展的に実証されたと考えられる。

**1. 研究成果の発展状況や活用状況**

本領域における各研究チームの研究成果は、デバイス・システム創製に関する研究からナノサイエンスの研究まで、多岐に亘っているが、研究成果の発展・活用状況全般については、その後の研究助成金への展開や、論文発表、特許申請、さらには受賞等の状況から、きわめて良好である。

まず研究助成金への展開の面では、本領域に採択された 11 の課題(2001 年度採択 6 課題、研究代表者、猪俣、岩佐、大串、河田、小森、三澤、2002 年採択 4 課題、石原、板谷、高柳、松本、2003 年度採択課 1 題、赤穂)のいずれにおいても、期間中の研究成果が、JST の

CREST、さきがけや NEDO、FIRST、科研費などの新たな競争的資金へと継続・展開されており、ナノサイエンスにかかわる基礎的研究から実用化研究に至るまで、すぐれた成果を生み出している。また、各研究グループはこれらの研究展開の中で、多くの新しい共同研究へと発展している。

論文発表についても、研究期間中に匹敵する論文数が発表されている。研究代表者の原著論文発表数については、研究領域期間中は 490 報であるのに対して、研究領域終了後では 577 報であり、Science, Nature, Nature Materials, Physical Review Letters などをはじめとする高インパクトファクターの論文誌に多くの掲載がある。これらの中には世界初の現象の発見などの顕著な成果も含まれており、わずか 5 年の追跡評価期間で引用 200 報以上の論文も含まれる他、引用数が 100 を超えるグループが 4 グループあり、科学技術へのインパクトの高い成果が生み出されていることがわかる。また、特許出願については、国内特許 55 件(期間中 82 件)、国際特許 13 件(期間中 43 件)が出願されている。本領域では、研究総括の社会還元への要請の効果もあって、特許出願数が多いことが評価されていたが、その後も積極的な出願が行われている。本領域では、それを活用して実際に製品化に至った最先端研究が含まれており、本領域の事後展開における社会・経済的な波及効果を顕著に示すものとなっている。

研究代表者の受賞については、河田は紫綬褒章、江崎玲於奈賞などを、また岩佐は第 14 回超伝導科学技術賞を、猪俣は磁気学会賞を、板谷は加藤記念賞、表面技術協会賞などを受賞している。本領域における顕著な研究成果を示すものとなっている。

## 2. 研究成果の科学技術的および社会・経済的な波及効果

### 2.1 科学技術の進歩への貢献

本研究領域の終了後に得られた数々の成果の中でも、科学技術の進歩への貢献という点において特筆すべき成果は、岩佐による電界誘起超伝導の実現が挙げられる。この成果は、岩佐が本研究領域の成果である電気二重層トランジスタを使った物理を発展させ、電圧によって高濃度の電荷を注入し、絶縁体を超伝導状態に変えることに成功したものである。Nature Materials 誌に掲載された第一報の引用数は 230 報を超える(2014 年 2 月現在)。岩佐はさらに、同原理を使って強相関酸化物におけるモットトランジスタの室温動作にも世界で初めて成功している。電気二重層による電界効果は、超伝導だけでなく電界誘起強磁性など様々な電子状態の制御に発展しており、科学技術への大きな波及効果を与えている。

科学技術の進歩への貢献という点では、ナノテクノロジー基盤技術や計測技術、デバイス創製での成果が挙げられる。それらの主な内容として、河田は、TERS 顕微鏡の空間分解能を 15nm から 4nm へと進化させ、実用化へつながる成果を得た。石原は、非線形共鳴を用いた光マニピュレーションにより溶液中の特定分子のセンシング、タンパク質の結晶化や重合反応を用いたナノ加工の可能性を示した。猪俣は、ホイッスラー合金磁性材料を用いた MRAM の研究により巨大トンネル磁気抵抗(TMR)比を 220%から 330%へと改善した。小森

は、2次元フォトニクス結晶の超小型クロスコネクタスイッチに展開した。三澤は金属ナノギャップ構造を用いたプラズモン増強場によるリソグラフィ技術へ展開し、原理を確認した論文は130回以上引用されている。高柳の後継グループは、ダイヤモンド結晶中のスピン集団による、量子もつれ振動のコヒーレント制御に初めて成功した。松本は、グラフェンFETセンサーによる高感度pHセンサ・タンパク質センサーとしての基礎技術確立し、実用化研究への道を開いた。赤穂の後継グループは、岩佐とモットトランジスタの共同研究を行った。大串の後継グループは、ダイヤモンドデバイスの研究へと展開し、世界初のバイポーラトランジスタや接合型電界効果トランジスタを開発した。板谷は、表面・界面の原子オーダーのその場計測へ展開し、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡により、Au表面のステップの観測などに成功した。

また本研究領域は、ナノテクノロジー分野の人材育成にも大きな貢献をしている。本研究領域の終了後、若手研究者の80%がキャリアアップしている。さらにCREST研究員、研究補助員等の95%がパーマネントの職を得ており、研究者の育成が十分行われ、科学技術の基盤強化に貢献したと言える。

## 2.2 社会・経済的な波及効果

社会・経済的な波及効果の面では、特筆すべき成果として、河田によるTERS顕微鏡の製品化が挙げられる。再現性の高い探針増強効果を有する探針技術の開発により、河田が設立した大阪大学発のベンチャー企業ナノフォトン株式会社が開発に成功した。有機材料や生体物質に対して形状と化学情報を同時に可視化できるナノプローブ顕微鏡として優れた特徴を有する。今後、ナノ材料や半導体プロセス解析等への大きな貢献が可能である。ナノフォトン以外の複数の企業も製品化を行っており、本領域の特筆すべき成果展開と言える。

生命・バイオの融合領域における特筆すべき成果としては、松本による高感度グラフェンFETバイオセンサーの実用化研究が注目される。本領域終了後に平成20年度よりCREST「ナノ界面技術の基盤構築」に研究課題「量子界面制御による量子ナノデバイスの実現」で採択され、センサーに必要な感度や生体物質の選択性についての基本技術の確立を進めた。まだ課題もあるが、小型で簡便であるといった特徴を生かした応用への取り組みが始まっている。現在、企業との実用化への開発研究をはじめ、複数の企業との共同研究が進んでいる。また、海外の大学との共同プロジェクトや、革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)にも採択され、今後の展開が期待される。

以上の他に、企業における技術開発に研究成果を展開しているものとして、三澤は自らが設立した北海道大学発のベンチャー企業株式会社レーザーシステムにおいて、金属ナノギャップ構造による光反応場を応用したナノリソグラフィ技術の普及を図っている。また、猪俣は、プロジェクト期間中の共同研究者であった東芝グループが、期間終了後に展開したMRAM開発のNEDOプロジェクトに共同研究者として参画し寄与している。

新聞発表も継続的になされている。岩佐の電界誘起超伝導の記事を始め、河田、三澤、石原、板谷、松本などの多くの成果が記事に取り上げられている。

### 3. その他特記すべき事項

本欄では、追跡評価委員より出された意見の主なものについて列記する。

- 本領域の成果は、その後の研究展開の中でさらに継続・発展し、ナノテクノロジーにインパクトのある成果を生み出した。特に波及効果の大きな成果として、世界初の電界誘起超伝導の実現、実用化面ではTERS顕微鏡の製品化、さらに生命・バイオ分野でもグラフェン・バイオセンサーの実用化研究がある。21世紀におけるナノテクノロジーは、ナノスケールでの新しい物理現象の発見や生体物質を含むナノ物質への計測手法の展開を重要課題としており、本研究領域の研究成果はその発展方向の一端を示したものと言える。将来的に大きな社会貢献をするものと考えられる。
- 追跡評価において、論文数や引用件数の推移は最も基本的なものである。数値の大小は分野依存性や研究フェーズ要素が強いのでそのまま優劣にはならないことを念頭に置きつつも、本領域の期間中の論文の数やジャーナルの質の高さおよびその引用件数の多さは特筆に値する。終了後最近5年の論文数と質はさらに向上している。引用件数も、一般に新しい論文は多くの引用数を望めないにもかかわらず、100を超えるグループが4グループあり、注目されていることを示している。
- 特許の数が多いことも注目に値する。本領域の研究にはそれを活用して実際に製品化に到った最先端研究が含まれており、新しい物理から製品化まで目指したこの領域の事後展開のあり方を特許数が反映していると言える。
- ハイリスクハイインパクトの研究課題では、期間中は必ずしも予想された計画通りの成果は得られない場合も、副次的な成果で優れたものが得られている。その後、これらの成果が、CREST等の資金へと継続・展開し、インパクトのある成果を生み出していることが多く見られる。研究成果の波及効果を判断することは、短期的な視点だけではなく、将来性を考慮した長期的な視点で見ていく必要がある。
- ナノテクノロジーは21世紀の基盤技術であり、その進展には、基礎と応用がバランスよく発展することが重要である。目的基礎研究であるCRESTの研究においても、この両者のバランスが求められ、若手の人材を育てながら、わが国が今後も高水準の成果によって世界的に貢献を続けられるような制度の継続が求められる。

以上