

## 戦略的創造研究推進事業(CREST)における 研究領域「量子効果等の物理現象」追跡評価報告書

### 1. 総合所見

本領域は、半導体、金属、有機物質などの人工ナノ構造や自己組織化構造などの極微細構造中に、量子効果などにより特異的に現れる物理現象について、オリジナリティーの高い研究を行い、将来、量子効果を応用した新規デバイス開発などへの展開につながる基盤的研究成果を目指したものである。

従って、本領域は基礎的研究の性格が強く、その成果の領域終了後5年経過した波及効果の大きさは①CREST 期間中の論文の引用データ、②CREST 期間後の論文の引用データ、③CREST 期間後の研究費獲得状況の追跡データを基にある程度判断することが可能である。19 研究代表者中、①②③ともに優れた研究者は7名、①②が優れた研究者画1名、①③が優れた研究者が3名、②③が優れた研究者が2名とみなされ、総体的に十分に発展性の高い研究成果を挙げたと判断される。

CREST に共通することであるが、高い競争率の競争を経て選考された当該分野のわが国の代表的研究者で構成された研究領域で、多額の研究費を使用する研究である以上、並みの研究者以上の研究成果が得られるのは当然のことである。その観点からすると、論文の引用データの平均値は CREST の成果として特段高く評価すべきではないともいえる。問題は平均値ではなく、19 チームの中からどれだけ世界のレベルを抜くピーク的研究成果が得られたかの評価である。その点で、大塚チーム、寺崎チーム、小宮山チーム、青野チームなどの研究成果は特にオリジナリティーの高い世界的研究成果として特筆すべきものである。このように、科学、技術的波及効果の大きい成果が幅広く得られたことは、領域総括と領域アドバイザーの選考方針が正しく、その結果、本領域の意義が十分高かったことを示すものである。

一方、社会的、経済的インパクトをもたらす波及効果をもつ成果という点での評価を行うことは、本領域の性格上、領域終了後5年経過した追跡調査においてもいまだ時期尚早といわざるを得ない。しかし、寺崎チームの3次元ナノ構造解析手法の開発は将来にわたって材料開発の面で確実な貢献が期待される点で社会的波及効果が期待され、大塚チームによる超伝導量子ビットの研究は世界の追従を許さない最先端の成果として将来にわたり大きな波及効果が期待される。

本領域遂行の結果、インパクトの大きな世界を抜くピーク的成果がいくつも得られたことは、本追跡調査データからも明らかであり、それらが領域終了後5年を経過した今日まで続いていることは高く評価すべきである。本領域の特徴として、当初予想された成果以外に派生的な研究から優れた成果が得られた点が挙げられる。これは、研究総括が自身の専門分野にとらわれず偏りなく幅広く第一線の研究者を選考した成果である。

研究の性格上、社会的、経済的インパクトをもたらす波及効果の評価は時期尚早であ

り、今後さらに5年、10年後の追跡調査にゆだねなければならない。

## 2. 研究成果の発展状況や活用状況

本領域は、原子レベルで制御された微細構造に現れる量子効果などの特異的な物理現象に関する研究を対象として、そこから得られた成果を将来的に新しいデバイスへ発展させることを期待して実施された。将来に期待される代表的なデバイスに量子コンピューターがあるが、現在でも実用化までに20年の期間を要するといわれており、現時点での本領域の研究成果の発展状況や活用状況の評価は、実用化の観点で行うのは時期尚早であり、もっぱら基礎科学面での発展を評価すべきである。そのような基礎的成果の観点からは、追跡調査データ中のその後の研究費獲得データおよび論文の引用数のデータは大いに参考になる。

19名の代表者チームの内、本領域終了後に科学研究費あるいはJSTのプログラムから5千万円を超える大型の研究支援を受けている研究者は12名ののぼり、CRESTへの参加がその後の研究発展に資するものであったことは明らかである。論文引用数からは、被引用数が平成20年4月の時点で100を超えている論文を複数発表している研究者が19名中8名もいるということは、半数近くの研究者が科学的に大きな研究成果を挙げたことを示すものである。平均被引用論文数が10を超える研究者が14名ののぼり、大多数の研究者が質の高い研究成果を挙げたてきたことの証左となっている。このように追跡データはCRESTおよびその後の発展が基礎科学的な面で大きな貢献をしていることを示している。

具体的に、特にオリジナリティーの高い世界的研究成果として①量子素子の研究の面では大塚チームでの超伝導電荷量子ビットを契機とした超伝導体を用いた固体素子ビットの研究、②研究手法に関わる研究成果として寺崎チームによる透過電子顕微鏡を用いた3次元ナノ構造解析手法の開発、③従来にない超高感度光子検出器として広汎な応用が期待される小宮山チームによる単原子トランジスターを用いた単一光子検出器の開発、④最も応用に近い研究として、現在NECとの協力のもとで大規模な実用化研究が進められている青野チームによる原子スイッチを用いた新規な原理に基づく素子開発、を挙げることができる。これらの成果はいずれも大きなインパクトをもつ研究成果であり、これだけでも本領域を実施したことの意義は十分高かったと判断される。

## 3. 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果について

### 3.1 研究成果は科学技術の進歩にどのように貢献しているか。

科学技術の進歩への貢献度は、長期間にわたる論文の被引用数が良い指標を与えると考えられる。その点で、ESI (Essential Science Indicators<sup>SM</sup>; 研究動向、論文の被引用動向を提供するデータベース) 値との比較及びCrown指数 (被引用件数の異なる研究分野間の補正係数) は有用な情報を与えてくれる。

本領域から非常に多数の論文が発表されているが、ESI 平均値以上で引用されている論文の割合は 50%を大きく下回っている、しかし、前項でも述べたように、突出した引用数を示す論文が約半数のチームから出されていて、世界トップレベルの成果が多数得られている、平均 Crown 指標と発表論文数との積を当該研究チームの成果の大きさとみなすと、この値は寺崎チームが圧倒的に高く、続いて井口チーム、大塚チーム、山中チーム、清水チーム、青野チーム、筒井チーム、家チームと続き、これらのチームは総体的に優れた成果を挙げたといえる。一方、世界的発見、技術のブレークスルーというピーク的な貢献は、必ずしも上記の積分的な値では測れない。世界的なピーク的な貢献を研究分野別に取り上げると、(1) 測定手法解析的な貢献として、寺崎チームの 3 次元ナノ構造解析手法の開発、小宮山チームの超高感度光子検出器の開発、(2) 量子デバイスへの基礎的研究として大塚チームによる超伝導量子ビットの研究、(3) 実用的デバイスに関わる研究としての青野チームによる原子スイッチ素子の開発、小倉チームの量子細線レーザーの研究、(4) 基礎物性研究成果として家チームによる 2 次元電子系でのファノ効果などに関する研究をあげることができる。

技術のブレークスルーという観点から、特許出願は研究領域として重要な側面である。本領域が主として基礎的研究者からなる集団であるにもかかわらず、JST 職員の努力により研究者の意識改革が行われ、かなり多数の特許申請が行われたことは評価されよう。一方で、本領域が 10 年、20 年後の将来に応用化を目指す基礎的研究であったので、現時点では多くの実用的特許は望めず、新しい原理に基づく基本特許が少数でも取得できれば十分であると見るべきではないか。この点で、青野チームの「コンダクタンスの制御が可能な電子素子」、寺崎チームの「骨格構造を有するマイクロ多孔体の構造決定法」、小宮山チームの「遠赤外、赤外検出器」、小倉チームの「量子ナノ構造半導体レーザー」などの特許は特筆に値する。

### 3.2 研究成果はどのような形で応用に向けて発展しているか

本領域は、10 年、20 年後に量子コンピューターなど次世代の新規な技術開発へ貢献を期待する基盤科学・技術的性格を持つ。そのため、領域終了後 5 年が経過したとはいえ、社会的、経済的インパクトをもたらす応用展開が未だあまり期待されないとしても無理からぬことである。むしろ、新しいデバイスの開発に寄与できる可能性のある着実な基礎科学への貢献の蓄積、基盤技術の蓄積がなされていけばよしとすべきであろう。そのような観点からは、①寺崎チームのナノ構造の 3 次元構造解析手法の開発、青野チームの多探針 STM プロブの開発、潮田チームの STM 分光法の開発、山下グループの時空間極限計測技術開発は、いずれもナノ物質の研究開発に測定技術の面で将来確実に貢献が期待される成果であり、②家チームの良質希薄磁性半導体試料作成技術開発、小倉チームの高純度量子細線作成などは試料作成法の面で確実に貢献する成果であり、③家グループの量子ドット AB リング複合系におけるファノ効果の発見など、基礎物性

物理学への貢献が見られ、直ちに応用に結びつくものではないが、将来の応用展開への基盤づくりにさまざまな貢献がなされていることを認識すべきであろう。

その中で、①小宮山チームの単一光子検出器の開発は、作動温度を上昇させることができれば確実に広汎な応用が期待できる研究成果であり、②大塚チームの超伝導量子ビットの研究は固体電子素子で世界初の量子ビット実現として大きな展開を見せつつあり、量子コンピューター実現に向けての成果として注目され、③青野チームの全く新しい原子スイッチ素子の研究は NIMS における世界トップ拠点プロジェクトの中心テーマとして巨大プロジェクトに発展したことは、本領域の中にあって社会的、経済的インパクトをもたらすところに最も近い位置にある成果として特筆すべきことである。

### 3.3 人材育成の面から参加研究者の活動状況はどうか

わが国の研究基盤強化への貢献は以下の3つの側面がある。①CRESTの投資により参加研究室の研究施設、設備の充実が図られ、それがその後の研究展開に貢献したこと。その効果は、約半数の研究代表者がCREST後にも大型の研究費獲得つながるという正のスパイラルを生み、研究資金の過度の集中化をもたらすとの非難はあるものの、CREST制度が一般にわが国において当該分野の研究拠点形成に寄与していることは評価されねばならない。②若手研究者育成に寄与したこと。これは代表者の90%以上が認めているように、CREST制度に共通した大きな投資効果である。本領域の特徴として、分野の幅が広く目的研究に特化した分野の偏りがなく、若手研究者がそれぞれの分野でのびのび研究して成長した点があげられる。③研究グループ間のネットワーク構築の効果。各研究チーム内の研究グループ間では当然本領域を通して研究連携が深まったものと思われるが、チーム間の交流に関しては、本領域の研究チームが専門領域にこだわらず基礎物理から材料科学まで極めて広い領域から選考されたこともあって、積極的には行われなかったと思われる。

## 4. その他

(1) CREST 制度の意義を示すためにも、追跡調査は非常に重要であると考え。今回、JSTにより追跡評価のためのデータ収集、資料収集が極めて精力的に行われたことに敬意を表したい。なお注文として、①研究代表者へのアンケートの中に、CREST 研究に対する自己評価及びCREST制度のあり方に関する自由記述項目があっても良いのではないか。②論文の引用データなどは科学的成果と波及効果の大きさを示す客観的指標として重要であるが、当該分野のわが国の研究者、欧米の研究者の統計分布の中でどこに位置するかを何らかの形で示すことができればより説得力がある。

(2) 本領域のように、長期的展望の上に設定されたものについては、さらに10年後の追跡評価も必要であろう。

以上