

## CREST 研究領域「物質現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術」 追跡評価報告書

### 総合所見

本研究領域は「新たな手法の開発等を通じた先端的な計測・分析機器の実現にむけた基盤技術の創出」を戦略目標として実施された。多岐にわたる先端科学技術分野での創造的研究活動の基盤となる新たな計測・分析機器の実現を志向したものであり、狭い意味での計測・分析機器に囚われることなく材料、物質、加工プロセス、デバイス、大規模施設用機器等の異なる階層での研究を包括的に取り込む努力がなされた。このように、計測・分析技術を非常に幅広い視点から捉える背景には、わが国が諸外国をリードするためには、世界最先端の研究データ、独自の研究データが獲得可能な独自の先端計測・分析機器を開発する必要があるという認識がある。ここで開発された新たな先端的計測・分析機器の確立は、その実用化・汎用化により新デバイス等の開発を推進し、さらに機器自体による産業拡大に貢献し、社会的にも大きな波及効果があると期待できる。

本研究領域での研究成果は、16 研究課題の研究成果の大部分が競争的研究資金を獲得して研究を継続しており、外部からも高く評価されていることを示している。具体的には、16 課題中 14 課題の研究代表者は本研究領域終了後も科研費などによって当該研究を継続・発展させており、このように継続件数が大多数を占めることは、研究課題の採択が妥当性であったことを示している。

世界標準の視点では、高田の「反応現象の X 線ピンポイント構造計測」、高橋の「バルク敏感スピン分解光電子分光装置」、河田の「プラズモニク走査分析顕微鏡」、末永の「低加速高感度電子顕微鏡」、米田の「単一分子の振動分光・ESR 検出装置」、宝野の「レーザー補助広角三次元アトムプローブ」の各研究課題で被引用数が群を抜いており、世界的に注目されている成果であることがわかる。

計測法の実用化・汎用化では、上記の高田の「反応現象の X 線ピンポイント構造計測法」と高橋の「スピン角度分解光電子分光法」の研究課題は物質現象の解明手段としての応用も広がりつつある。また重川の「フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡」、高柳の「0.5 Å 分解能物質解析電子顕微鏡技術」、竹腰の「NMR 用検出冷却系」、河田の「プラズモニク走査分析顕微鏡」、末永の「収差補正デルタ型コレクター」は企業での製品化が進められている。

最近のノーベル物理学賞、化学賞の受賞傾向を見ると、新しい計測・分析技術に基づく受賞は数多く、とくに化学賞では本研究領域と同様な中規模計測・分析基礎技術が受賞に繋がった例は多数ある。漸くわが国でも本研究領域と、これに並行する形で同一戦略目標のもとで CREST 研究領域「生命現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術」が進められたことの意義は非常に大きい。

以上により、本研究領域での研究は終了後も世界標準となりうる卓越した成果を継続して創出したこと、また 4 割を越える研究課題で産業化に向けた取り組みを実施しているこ

とを考慮すると、本研究領域は高く評価される。

## 1. 研究成果の発展状況や活用状況

研究の継続性とその価値を評価する指標として、競争的資金の獲得が挙げられるが、大部分の研究課題において研究代表者は、競争的資金を獲得して研究を継続しており、領域終了後も継続して発展していることを示している。

研究成果の直接的指標である論文発表数は、研究期間終了後で多数の論文を発表している研究代表者として、瀬戸（33 報）、高橋（49 報）、河田（41 報）、末永（30 報）があり、活発な研究活動が実施されたことを示している。さらに、研究領域終了後も 7 割近くの研究課題で二桁の論文発表を行っている。

また、研究成果を評価する別の指標としての学会賞、学術賞の獲得状況を見てみると、研究領域終了後に 16 名の研究代表者の内 7 名が何らかの賞を受けている。重川 3 件、河田、高田に 2 件の重複があるが、文部科学大臣賞が 2 名、各種学会賞が 5 名、財団からの学術賞が 4 名あり、この受賞状況も本研究領域の研究成果が外部から高く評価されていることを示している。

## 2. 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

### (1) 研究成果の科学技術の進歩への貢献

成果の科学技術の進歩への貢献に関しては、発表論文の被引用数が一つの評価尺度となろう。研究期間中での発表論文の中で 900 を超える被引用数(トップ 1%)をもつ高田の「反応現象の X 線ピンポイント構造計測」、680 件(トップ 0.1%)を超える高橋の「バルク敏感スピン分解光電子分光装置」、340 件(トップ 1%)を超える河田の「プラズモニク走査分析顕微鏡」430 件(トップ 1%)を超える末永の「低加速高感度電子顕微鏡」等の研究課題があり、貢献度は高いと評価できる。また期間終了後 5 年間に発表された論文の中にも、被引用数が 150 件(トップ 1%)を超える米田の「単一分子の振動分光・ESR 検出装置」、100 件(トップ 10%)を超える宝野の「レーザー補助広角三次元アトムプローブ」も期間中の成果を基礎として、その後の活用や波及効果に目覚ましいものがある。

### (2) 研究成果の応用に向けての発展状況

16 件の採択研究課題の内、新しい計測・分析基盤技術の普及が開始されている研究課題が以下の 7 件あり、そのうち 5 件については企業から製品としての市販・提供が始まっている。これらは今後、社会的・経済的な波及効果が期待できる。

新しい計測・分析基盤技術の普及への取組みとしては、以下の研究課題で研究成果の計測・分析技術の普及が進められている。

- 高田の「反応現象の X 線ピンポイント構造計測」による高速相転移現象の計測は光ディ

スクの高速化に貢献した。

- 高橋の「スピン角度分解光電子分光」は最先端材料の機能発現メカニズム解明に繋がり、将来の先端デバイス開発の基礎となる。これに関する報道が多数ある。

さらに新しい計測・分析技術に関する製品化等に向けた状況については、以下の5課題で製品化されている。

- 重川の「フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡」は半導体デバイスの動的な性能を原子レベルで評価することが可能であり、ドイツオミクロン社と光励起 STM として製品化し市販された。
- 高柳の「0.5 Å分解能物質解析電子顕微鏡技術」は日本電子(株)の 300 kV 電子顕微鏡設計のための基盤技術として応用された。
- 竹腰の「高感度多核固体 NMR 法」で開発された NMR 用検出冷却系は日本電子(株)により製品化され、従来比 4.5 倍の感度向上を達成した。
- 河田の「プラズモニク走査分析顕微鏡」は、河田自身が設立したベンチャー企業であるナノフォトン(株)により製品化された。回折限界を超える 10nm の空間分解能を有し、ナノカーボンやソフトマターデバイスの研究に有効であることが期待されている。
- 末永の「低加速高感度電子顕微鏡開発」で得られた収差補正法デルタ型コレクターは日本電子(株)から限定されたユーザーに提供されている。ソフトマターや軽元素観察への貢献が期待される。

### (3) その他特筆すべき波及効果

河田は本研究領域開始以前に、ベンチャー企業、ナノフォトン(株)を設立し、その代表としてラマン顕微鏡関連の製品化・販売を進めている。本研究領域での研究成果に関連した先端増強ラマン顕微鏡の市販も同社によって始められている。研究者自らが計測分析装置の研究を行い、その成果を社会に普及する努力をすることは、米国等においては普通に行われている事ではあるが、わが国ではあまり事例がなく、この点も高く評価できる。

### 3. その他

本研究領域が終了した 2011 年度以降のノーベル物理学賞、化学賞の受賞傾向を見てみると、2012 年化学賞の G タンパク質共役受容体は放射光 X 線による立体構造解析が重要な役割を担っており、2013 年物理学賞は欧州原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) による Higgs 粒子の発見、2014 年化学賞では超解像度顕微鏡、2015 年物理学賞はスーパーカミオカンデでのニュートリノ質量、2017 年化学賞はクライオ電子顕微鏡、物理学賞はレーザー干渉計重力波観測所 (LIGO) による重力波の検出と、5 年間に 6 つのノーベル賞が、新しい計測・分析技術の開発に関連して授与されている。これは、より遡っても同様な傾向がみられるとは思いますが、このような中でわが国が本研究領域と、またこれと並行

して同一戦略目標のもとで CREST 研究領域「生命現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術」（研究総括：柳田敏雄）を立ち上げ、進めたことは特筆に値しよう。

本研究領域が単に成功したというだけでなく、将来に向かってさらに改善・発展させる道筋を検討すべきであり、また物質と生命の間に設けられたある種の「垣根」をどのように取り扱うかについても、一層の検討を必要としよう。研究領域間の密な連携は見受けられなかったが、物質と生命の垣根を取り払う、或いは低くして計測・基盤技術開発を考えることが、より基本的な技術や装置開発に繋がっていくように思われる。計測・分析技術に拠るノーベル賞を見ても、物理学賞は大型施設での計測技術であるが、化学賞は大型施設を利用しているものはあるものの、多くは中規模の計測・分析装置開発から発展したものであり、まさに本研究領域が目指すところと（そしておそらくは、並行した上記 CREST 研究領域が目指していたと思われるところと）重なっている。その意味では、この二つの研究領域から産まれた計測・分析技術が将来的にノーベル賞等に繋がる可能性はあり、またそれを期待するところであるが、資源配分の妥当性の検討等の一層の改善によって、その確度を向上させる努力が続けられることを期待する。