

## CREST 研究領域

### 「医療に向けた自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製」 追跡評価報告書

#### 総合所見

「自己組織化」、「ナノバイオ」、「医療応用」などのキーワードに代表されるこの分野は、本研究領域開始当時、米国や欧州でもナノテクノロジーの次の重要で有望な方向と認識され、米国の戦略的な取り組みや欧州のバイオ化学の融合戦略などにより、国際的な競争が激化しており、本研究領域への期待とその意義は極めて大きかった。その中で研究領域のねらいとして、短期的な医療応用ではなく、「医療に向けた」として中長期的にみて優れた科学技術基盤の形成を目指し、高い識見をもった研究総括および領域アドバイザーの下、化学・生命科学・先端物理のいずれも世界的に見ても先導的な研究を行っているトップレベルの研究者で構成されたチームが、自由闊達にしっかりとした基礎を持つ研究を行った結果、トップジャーナルへの発表論文数、特許出願数、招待講演などからみても、質、量ともに非常に高い世界を先導する多くの優れた成果を挙げ、事後評価でも高い評価を受けている。研究終了後も参加した多くの研究者が、その成果を活かして次の(大きな)プロジェクトへと発展させており、研究課題期間内とそんな色のないペースで研究が進められており、論文等のアウトプットも順調である。また、いくつかのチームでは特許出願件数も多く、登録も順調であるなど、上記の期待を裏切ることなく、研究が着実に展開している。わが国のみならず、世界的に見ても先導的な研究を行っている研究者をメンバーとしており、これは当然といえば当然の感もあるが、終了後も引き続き大きな成果を生み出し続けたことは大いに評価できる。中でも藤田の自己組織化分子システムの創出、伊藤のトポロジカルソフトマテリアルの創出と実用化、栗原の新規表面力・共振ずり測定法の開発とその実用化はインパクトが高い。また成果が、ベンチャー企業の設立後、商品化を行った例や装置メーカーから販売を行うまでに進展したグループや国内発のバイオ分析機器として将来社会的に大きな影響が見込まれる技術が育ってきており高く評価される。一方、現時点では、社会・経済的な効果がまだ顕著でないテーマもあるが、研究終了後5年であり、今後の進展に期待したい。

以上、自己組織化、分子配列制御はナノサイエンスの柱となる重要な領域であるとともに、産業技術にとっても次世代のモノづくりの指導指針となりうるものであることを、本領域が国際的にリードする成果をもって示したことの意義は極めて大きい。但し、事後評価でも指摘されたように、本研究領域の究極的目標であった医療に向けた応用は、必ずしも進んでおらず、10名の研究代表者も研究領域終了後もそれを強く意識した研究を行っているようには感じられないが、もともと医療への応用には長期的視点が必要であり、本領域のしっかりとした科学的成果が医療に応用されたかどうかの評価には終了後10年目、20年目といったより長期的な追跡調査が必要であろう。

## 1. 研究成果の発展状況や活用状況

研究領域終了後も大型予算の獲得、論文発表の数と被引用数、特許申請数、招待講演数、国内外の受賞数、研究成果の実用化・商品化、多くの若手の輩出など研究成果の発展状況や活用状況は、全体として極めて大きい。

研究費では、科研費の特別推進・新学術領域・基盤(S)・基盤(A)をはじめ、JSTのCREST、内閣府の最先端研究開発支援プログラム(FIRST)など、10名で30もの研究テーマで大型研究費を獲得しており、それぞれの研究で創出された技術や材料が、これからの研究に役立つ発展性の高いものと認められている証拠である。

論文発表数は各チームとも、研究領域終了後5年間で、研究領域期間中と遜色が無い数が出されており(期間中368報、終了後585報)、引き続き高い研究アクティビティが継続していることが認められる。その一方で、各チームから研究領域期間中に出された論文の被引用件数には、大きな差がある。これは、分野の研究者の数などにより一概に数のみで評価できないが、少し気になる点である。

特許についてもバラつきがあるが、これは、研究のフェイズにより異なるため、基礎的なテーマでは、もう少し長期間の評価が必要と考えられる。一方、伊藤、下村、川合、藤田チームなどでは、研究終了後も活発な出願が行われている。

また、下村チームや伊藤チームなど高分子系の研究チームでは、研究終了後、成果の製品など実用化に向けて、着実に研究が発展している。栗原の「共振ずり測定装置」は、JST独創的シーズ展開事業独創モデル化によってアルバック理工株式会社に技術移転され、同社より商品が販売されている。藤田の研究成果の幾つかは、製品になる前段階ではあるものの、微細粒子の合成手法は広い分野で注目されている。そして液体の化合物を結晶化せずに単結晶X線構造解析を可能とするであろう「結晶スポンジ」の注目度は高く、商品化の可能性も極めて高いと言われている。生物材料については、芝、山下は、本研究領域を通じて共同研究を開始しており、タンパク質をBioLBL法によって三次元化することにより、フローティングゲートメモリの作製を行っている。

## 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

本研究領域は「自己組織化などの分子配列制御による機能性材料・システムの創製」という視点から科学技術の進歩へ大きく貢献しており、高分子化学(伊藤)、DNAテクノロジー(川合)、界面科学(栗原)、バイオミメティック科学(下村)、錯体・超分子化学(藤田)、タンパク質機能学(徳永)、タンパク質構造学(富永)、タンパク質テクノロジー(林崎)、バイオ材料利用(芝、山下)と、多様な分野において、それぞれの分野、あるいは複数の分野を融合した領域において、新しい現象の発見や理論の確立が行われ、次世代のイノベーションを誘発し得る成果が得られている。研究者の受賞数(7名で21賞)ならびに学術論文数(期間中368報、期間後585報)も多く、十分な貢献を行っていることが客観的評価としても結

論される。

伊藤チーム、下村チームなど高分子系の研究では、前者は、環動性高分子材料の展開や物性評価、後者は、自己組織化による膜創成やバイオミメティック表面などの分野の大きな発展に寄与している。伊藤らのトポロジカル架橋の概念と方法は、従来の架橋構造による不均一性の問題を解決し、高分子材料創製において、画期的なものである。科学技術の進歩への貢献が大きく、国際的に高く評価されている。山下チームの研究は、太陽電池などのデバイス技術、遺伝子解析などのナノバイオセンサなど極めて多様な展開が為されており、国際協力も盛んである。

それぞれの材料において精密な計測を行う過程で、次世代 DNA シーケンスの基本原理の創製(川合)、ナノ共振測定法の確立と製品化(栗原)、テラヘルツ電磁分光法の確立(富永)、結晶スポンジを用いた新規簡便な単結晶 X線解析法の開発(藤田)など、新しい評価法が開発され材料解析、分子間相互作用など多くの分野での要素的解析技術として発展しつつある。栗原らのナノ界面の評価技術は、コロイド力という基本現象の理解に対する革新的な貢献につながった。科学技術の進歩への貢献が大きく、国際賞を受賞など、国際的に高く評価されている。藤田らの多成分錯体の設計作成技術の開発は、結晶スポンジ法による X線結晶構造解析の進化に繋がり、科学技術の進歩へ大きく貢献している。

## 2.2 社会・経済的な波及効果

すでに伊藤、栗原チームの成果を元に具体的な製品が完成しており、明確な社会・経済的な波及効果があらわれている。

伊藤のトポロジカル架橋による高強度ゲルの研究は、日本発の独創的な研究であり、この研究によるソフトマテリアルの開発に基づき立ち上げたアドバンスト・ソフトマテリアルズ株式会社は、20 名弱の会社ながら、NEC の携帯の塗料をはじめ、最近も豊田合成と低消費電力ゴムシートの出荷を開始するなど、順調に製品開発を行ってきており、今年も株式会社産業革新機構から 5 億円の出資を得るなど、経済的な効果としても今後の更なる発展が期待されている。本成果は科学技術イノベーションに資する研究成果の格好の例である。度々新聞報道されており、社会的なインパクトが高いことが伺える。日本における大学発ベンチャー企業として、数少ない成功例の一つと考えられる。その経験を今後生かすことで、社会的・経済的な波及効果が一層高く期待できる。

また、栗原チームの共振ずり測定装置は、ナノメートルの空間中の液体の構造化挙動、粘性、摩擦、潤滑特性を距離の関数として評価できるユニークな装置であり、JST 産学連携・技術移転事業によってアルバック理工株式会社に技術移転され、同社より商品が販売され、材料分野への波及が始まっている。

本領域には、このように既に商品化されているものに限らず、まだ、実用化には至っていないが、将来的に新しい概念の製品を創出することが期待できる研究成果も少なくない。次世代 DNA シーケンスの基本原理の創製(川合)、テラヘルツ電磁分光法の確立(富永)、結晶スポンジを用いた新規簡便な単結晶 X線解析法の開発(藤田)などは、製品化に至ればそ

の波及効果は大きいと予測される。また、タンパク質を用いたデバイス開発については、現状の 100 倍以上の密度を有するメモリ作製を目指しており、達成すれば生体材料を用いた電子デバイス作製法としてのインパクトは大きいであろう。

若手育成という観点でも、研究領域終了後、研究に参加した若手研究者を中心に、大学の教授～助教への常勤職に就いた研究者も数多く、社会的波及効果が認められる。

社会・経済的な波及効果は 5 年間としては、十分な効果が得られており、今後さらに飛躍的な成果が得られるものと期待できる。

以上の結果は、安易に短期的な医療応用という出口になびくことなく、「医療に向けた」として中長期的にみて優れた科学技術基盤の形成を目指すとの研究総括の方針が成果として結実しつつあることを示している。

### 3. その他特記すべき事項

上述のように本領域は「自己組織化等の分子配列制御による機能性材料・システムの創製」と言う観点で基礎・応用の両面で非常に高い成果をあげ、終了 5 年後の現在各研究者は本領域での研究を大きく発展しており、その成果は幅広い応用分野に展開されている。これは短期的な医療応用という出口になびくことなく、「医療に向けた」として中長期的にみて優れた科学技術基盤の形成を目指すとの研究総括の方針の正しさを示すものであると本評価では結論した。一方で、「医療に向けた」という目標を中心に考えた場合不十分との考え方もあり得る。現在課題達成型研究にもとづくプロジェクト(研究領域)が多く進行しているが、今後、研究領域事後評価及び追跡評価を行う際、研究領域の目的、目標と、それにとらわれない一般的な研究成果の発展状況や活用状況および研究成果の科学技術的および社会・経済的な波及効果をどのように判断するかについて JST としてガイドラインを決めておく必要があるように思える。

各研究課題において、共同研究を行っていたチームによる連携はその後続しているのか、またそれによって、新しい展開が生まれているかどうかについて、追跡調査が行われることが望ましい。また、ナノテクバーチャルラボ全体として、その後の研究領域間の連携についても明らかにし、このような試みが日本のナノテクノロジーの展開にどのようにつながったかを示すことが望ましい。

以 上