

重点分野推進戦略専門調査会

分野別推進戦略（案）

より

ナノテクノロジー・材料分野の部分を抜粋

平成13年9月18日

1. ナノテクノロジー・材料分野の現状

(1) 当分野の動向・特徴

ナノテクノロジーは、我が国においては従来より裾野広く取り組まれてきているが、このところ、諸外国の戦略的取組が旺盛。我が国は、基礎的・基盤的研究の比重が高い領域、融合的研究開発、システム化技術に遅れ、ポテンシャルを活かしきれていない。

次に、材料産業は、我が国において従来から多くの雇用を創出し経済の発展を支えてきており他の産業等に対する波及効果も大きい。こうした中、技術的にも、様々な技術分野の技術革新の生命線を担っている。我が国は、従来よりプロセス技術で強みを発揮してきたが、近年、日進月歩の技術革新を要する機能性材料技術において競争力を発揮。また、研究開発を進めるに当たって、目標達成に向けて、使用する材料、合成・加工法等に無数の可能性がある中で、特定の材料や手法に絞り込む過程において大きな技術的改良が実現されることが多いのも特徴。

基盤的な研究開発が最終製品としての実用に直結しやすい。また、計測・評価・加工技術の技術革新は分野全体に大きく影響を及ぼす。

また、分野全体に共通に、如何なるステージにおいても大発見・大発明の可能性が存在し、その発見等が社会での財・サービスに対する考え方までも大きく変更しうるのも特徴。

(2) 当分野に対する国家的・社会的要請と技術革新課題

産業競争力の強化と経済社会の持続的発展

経済のグローバル化と国際競争の激化等に伴う産業競争力の低下、雇用創出力の停滞等の課題に対処するため、21世紀型の新しい基盤技術体系及び製造技術体系の構築を通して、我が国の産業競争力を強化し経済社会の発展の礎を着実に築くことが不可欠。

当分野では、新しいパラダイムへの転換、新機軸の発想の実現に対し急速

に展望が拓けつつある状況。現下の経済社会の課題を技術革新により克服していく上で、当分野での技術革新は様々な分野の命運を制するともいえる状況。現下の経済社会における課題への対症療法的対応にとどまらず、将来に向けた持続的な成長基盤の確立と飛躍のため、その基盤をなす当分野は将来に備え足腰を固めておくことが不可欠。

環境・エネルギー対応、少子高齢化への対応を通じた豊かな国民生活の実現
地球環境問題、資源・エネルギー等の不足など、物質文明がもたらしてきた諸問題の抜本的解決に向け、多量消費型社会システムからの抜本的変革が必要。事後的対応のみならず、初期段階からの環境配慮が必要であり、製品を構成する材料レベルからの実現が必須。

21世紀に本格的に直面する少子高齢社会で生き甲斐を持ち安心できる暮らしを実現するため、疾病の早期発見・治療・予防の水準を向上させ健康寿命を高めることにより、自律した生活、自助的対応を可能とするための社会システムの構築が必要。このため、生命のメカニズムの解明の余地が大きく、そのためのブレークスルーに期待。同時に、解明された成果を我々の日常生活の中に人間及び社会に親和性の高い形で取り入れることも必要。そのためには、生体を構成する分子レベルで必要な観察を可能としたり、人間の体内の必要箇所に必要な量のものを運び、必要な範囲で処置を施したり、生体に適合した材料、システムの形で実現していくことが必要。

国民の安全・安心な生活の確保、戦略的技術の保有等安全保障的な観点からの国の健全な発展の実現

科学技術の発展を背景とした、生物機構、新規創製物質を使用したテロの脅威、有害化学物質によるリスク、海外からの感染症への対応等が必要。これに対処するため、事後的対応のみならず、生活の各局面で検知可能とし安心して管理・リスク軽減できることが必要。そのため、微量物質等のセンシング、革新的触媒技術等によるリスク削減・除去対策の実現、当該システムの実社会への適用等が不可欠。

また、昨今、国境を越えた合従連衡、研究開発等の連携等が日常的となる

中、今後キーテクノロジーとなりうる領域で高度な技術を我が国に保有し、またそれを生み出しやすい環境を整備することにより、産業や社会全体への波及を他国に先駆けて容易に達成できる可能性を高め競争力として活かすことにより、国の優位性を保つことが必要。

2．重点領域

(1) 重点化の考え方

21世紀においては、単なる技術革新に伴う物質的・経済的豊さだけではなく文化的・精神的にも豊かな社会の実現も必要であり、根源的な原理・物質観の創成が不可欠。この点も含め、研究者の自由な発想による研究に一定の資源を配分するという科学技術基本計画に別掲されている点も前提とし、国家的・社会的課題の克服のため研究開発を重点化するという点にかんがみ、5～10年以内の実用化・産業化を目指した研究開発及び10～20年先を展望した当面確立すべき事項を明確にするとともに、これらの実現に不可欠な基盤技術、材料技術を重点的に対応。

(2) 重点領域

次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料

環境保全・エネルギー利用高度化材料

医療用極小システム・材料、生物のメカニズムを活用し制御するナノバイオロジー

計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基盤技術

革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術

3．重点領域における研究開発の目標

(1) 次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料

(達成目標)

- 世界最先端の情報通信社会を支える高速・高集積・低消費電力デバイス

技術における国際競争力の確保

【技術的目標の一例】

- 現在の 1 / 2 の線幅の半導体プロセッサ・メモリの実現
- 現在の 6 倍の面密度の記録システムの実現
- 現在の 30 倍の多重度の光伝送システムの実現
- 多様な新原理デバイスの競争的研究開発による次世代デファクトスタンダードの獲得に向けた絞込み

【技術的目標の一例】

- ナノメートルサイズの種々の素子のデバイス動作を確証
- 量子情報通信の実現に向けた基本素子の多様な手法による構築と複合化の実現

半導体技術、情報記録技術等は、5～10年以内の実用化・産業化を目指し、スピードと市場インパクトを重視した対応が不可欠。そのため、産学官が密接に連携した集中的な研究開発を実施。デバイス・材料、生産設計、生産技術を特に重視。

同時に、10～20年先を展望し、新原理を用いたデバイス技術の礎を確立。技術の実際の使い方、他の手法のロードマップとの関係等も十分意識した目標設定及び推進が必要。そのため、競争的資金の活用を基本とし、次世代のデファクトスタンダード獲得のための競争を促進。また、デバイスレベルにとどまらず、システム化を意識した研究開発が不可欠。

(2) 環境保全・エネルギー利用高度化材料

(達成目標)

- COP3 目標実現に必要な総合的な二酸化炭素排出量削減のための材料の実現と実社会への浸透
- 安全な生活を保障する化学物質リスク削減・除去技術の実現と実社会・国民生活への組み込み

【技術的目標の一例】

- 高光電変換効率・低コスト(モジュール製造コストが現行の2分の1)

の太陽電池の実現

- 火力発電の単位電力あたりCO₂の30%削減を実現する高温強度・耐食性を向上した金属材料の実現
- ppbレベルの物質を簡便に検出する技術の実現
- P R T R法対象物質を中心とした化学物質リスク削減技術の確立
- 既存材料の環境リスクに対するデータも取り込み計算機等を活用した予測先導型研究開発の定着

新材料開発に際しては、開発段階初期の段階において既存材料の環境リスクに対する基本的なデータも取り込んで計算機等を最大限活用した予測先導型研究開発を重視。また、研究開発評価においては、サイエンスメリットのみならず、社会的側面も含めた広い観点からの評価が必要。

さらに、新規創製物質を用いた国民の生命・身体を脅かす行為への対応のため、生活の各フェーズにおいてリスクを評価し、削減できるシステムを早期に実現し、国民が納得し管理できる体制の構築が不可欠。

(3) 医療用極小システム・材料、生物のメカニズムを活用し制御するナノバイオロジー

- 健康寿命延伸のための生体機能再生材料・ピンポイント治療等技術の基本シーズ確立

【技術的目標の一例】

- 低侵襲診断・治療を可能にする医療用極小システム・材料実用化のための基盤技術（構築技術や安全性検証技術等）の確立

- 生体分子の構造、動作原理を活用した高効率、超集積度システム構築のため基礎原理の解明

【技術的目標の一例】

- たんぱく質一分子やたんぱく質複合体(超分子)一粒子の構造、動態、反応の時間的・空間的情報を取得し解析する技術の確立
- たんぱく質立体構造情報に基づき任意の官能基を必要箇所に配置する技術の確立

- 生物反応を応用した高効率エネルギー変換極小システムのための基盤技術の取得
- 生体特有のデータ処理を活用した超大容量インテリジェントメモリや超並列プロセッサのための基盤技術の取得

医療用極小システム、生体適合材料の研究開発に当たっては、医学と工学・理学の架け橋を作ることが不可欠。10～20年先の本格的な実用化を展望し、当面はこれら連携が有機的にできるよう環境整備が必要。このため、人材の確保、実現に向けた産学官の早い段階からの連携、実用段階前の社会実証的研究開発を重視。

また、生体機能の発現に重大な役割を果たしているたんぱく質一分子やたんぱく質複合体（超分子）一粒子の構造、動態、反応の時間的・空間的情報を取得し解析する技術を確立するとともに、様々な工業プロセスへの応用や、医療・工業用極小システムの構築等を中期的に目指すために、たんぱく質の集積技術を確立し、たんぱく質の立体構造情報に基づき任意の官能基を必要な箇所に配置する技術の実現を目指す。将来のデバイス化・工業プロセスへの応用等を念頭におくため、初期段階からの産学官の有機的連携が必要。

(4) 計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基盤技術（達成目標）

- 上記（1）～（3）領域で要求される加工レベルに対して1桁以上高精度な計測・評価、加工技術の実現
- 新規材料並びに新デバイス開発におけるシミュレーション活用の定着
 - 【技術的目標の一例】
 - 現在の1/3の線幅の半導体加工技術の実現
 - 微視的シミュレーションと巨視的シミュレーションのシームレス化の実現と研究開発現場への浸透
 - ナノテクノロジー研究開発に必要な微小・微量を対象とした計量標準を現状の2倍に整備

当分野においては、計測・加工等の限界への追求が必要とされ、かつ、ここでの成果が基礎から実用に至るまでのあらゆる段階において大きな波及効果を有することから、着実な資源配分が必要。

これら技術は、それぞれ実現すべき寸法に比べて1桁程度微細な系への適合が必要であり、計量標準や標準物質の開発が必要。また、加工技術については、トップダウン型のアプローチに加え、ボトムアップ型構造形成のようにナノレベル特有の加工技術の将来における応用を展望し基盤の確立が必要。

(5) 革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術

(達成目標)

- 従来の材料分野の垣根を越えたナノレベルでの研究開発による戦略的・俯瞰的視野に基づく多様な材料の確保
- 研究開発を加速し、成果を社会的な課題の迅速な解決につなげるための研究・生産手法の構築

【技術目標例】

- 実用従来材と比べ比強度及び寿命が2倍に向上した構造材料の実現
- 現行の2倍の外部量子効率を持つ電界発光デバイス用材料の実現
- 触媒開発へのコンビナトリアル手法の適用等により開発期間を十分の一に短縮
- 2010年に180万件の材料物性データベースを実現するためのデータベースの充実
- 計算機等支援ツールの活用の定着

ナノレベルでの構造・機能制御にとどまらず、材料創製から成形加工技術までの一体化を進めることにより、材料・素材の力を最大限活かした部材化・部品化技術の開発等についても精力的な対応が必要。

金属・無機・有機といった従来の材料分類の垣根を越えた対応により、従来にない機能を実現していく取組を重視。上記(4)にも関連して、経験知に頼る材料開発だけでなく計算機等様々な支援ツールの開発とその積極的活用を重視。

また、新材料の評価、物性等に関する知的基盤の整備についても計画的かつ着実に対応。

4．研究開発の推進方策の基本的事項

(1) 研究開発現場の競争の活性化とそのための環境整備

独創性発揮のための競争的資金の重視

研究開発資金としては、半導体関係の研究開発のように開発すべき手法等が確定的でそこに資源を集中させる必要がある場合を除き、基本的には競争的資金制度を活用し研究者の創造性を最大限に活かせる研究開発を重視。

省庁・制度の枠を越えた研究開発の推進

省庁・制度の枠を越えた領域（比較的大括りの単位）でオーガナイザを設け、この単位ごとの資金・人材等のリソースの方向性の決定のための裁量を拡大していくのも一案。或いは、各省の制度等を俯瞰的に統括する機能についても検討していくことが必要。

技術のユーザの評価への参画の徹底

研究開発評価において、サイエンスメリットの追求にとどまらず、ある目標の実現に手段の適切性を他の実現手法との関係も念頭におきつつ研究者を啓発できる場とすることが重要。このため、領域の専門家のみならず当該技術のユーザサイドの視点が評価に加味されるよう、こうした者の参画を徹底すべき。

研究者の研究開発活動の底上げのための環境整備

ア．知的財産権の戦略的取得

公的研究機関における、知的財産権の戦略的取得が必要。また、研究開発機関における知的財産権の組織管理の徹底、法務・実務に長けた専門的人材の確保が必要。

イ．国際標準化への積極的対応

新材料開発や研究開発成果の円滑な市場化の促進、ユーザ側からの信頼性の確保のために国際標準化に対して積極的に対応。とりわけ、標準化を視野に入れた研究開発、試験方法・評価手法の国際標準化のための取組(試験研究・国際的な発言力を高めるための国際共同研究等)を重点的に対応。

ウ．知的基盤の整備

知的基盤は、研究開発の重複投資の抑制、研究者の基礎体力の向上等のため、計画的整備とその広範な活用が必要。その際、ユーザの側に立って利用しやすい環境、メンテナンス手法・体制についても十分に留意し整備。

とりわけ、特に、素材となる物質・材料の特性に関するデータベース整備、ナノスケールレベルで材料等の特性・組織・構造を定量するための計量標準・標準物質の整備に力を入れる。

(2) 異分野間や研究者間の融合の促進

融合的・学際的取組の促進策の実施

具体的な研究開発課題の採択にあたって、手段、体制面で複数の学問領域の考え方を融合させるアプローチ、異分野間の研究者が共同して行う取組を促進。

研究者・研究開発機関間のネットワーク構築等の融合促進のための基盤整備

ネットワークに関しては、まず、研究者個人が日常的レベルでそれぞれの周囲に人的ネットワークを一層積極的に構築することが必要。しかし、研究者・研究開発機関間のネットワーク構築は、研究者の取組を支援する体制の整備・充実が必要。

具体的推進に際しては、まず、研究情報交流的なネットワークについては、ネットワーク自体の公開性、情報提供側にとってのメリットの提供、パブリックインボルブメント等を踏まえるべき。また、コンテンツが最新のものであることを保つために、メンテナンスに関する体制・コスト、コンテンツを管理するための設備等有形資産を導入する場合の維持・更新に向けた対応についても留意すべき。

次に、原子・分子レベルでの構造・組織、動態解析等を行う場合、大型の施設・設備（放射光施設、スーパーコンピュータ等）の活用が不可欠。これらは、公的研究機関が組織の内外に対して開放（共同利用、遠隔利用等）していく体制を一層整備し、利用促進のための情報提供を積極的に行い利便性を向上すべき。公的研究機関が新規に整備するものについては、予め共用体制を前提として整備すべき。

創造的な研究開発システム実現のための研究開発拠点の整備

当分野の研究開発は、一箇所に拠点を集中させ集約的対応を図ることにより成果の創出が促進されるものではなく、適当に拠点間に緊張関係、競争関係が必要。

したがって、新規の拠点整備というよりも、既存の機関が科学技術システム改革の実践とペアにする等により、効果的・効率的な研究開発システムを、他分野・他領域に先駆けて実施する拠点到発展していくことの方が現実的かつ適切。その際、当分野が様々な要素技術、知見等の融合により成立するものであるという特質にかんがみ、こうした融合的アプローチが活かせる組織運営、研究開発管理が不可欠。また、異種の研究開発拠点を、研究開発目標に応じて検討して適切な形態でネットワーク化するためのコーディネート機能を強化することが必要。

組織的な人事交流とその成果の人事考課等への反映

融合に対するインセンティブにより研究開発活動を誘導させるだけでなく、機関間の人事交流を組織的に実施し相互に新しい「知」の取り入れに尽力。同時に、人事交流により得られた知見等を研究開発に取り入れる研究者のアプローチ・成果に対し、研究開発機関における人事考課や研究開発費の配分等において積極的に反映。

(3) 産業化に結びつけていく仕組みの構築、産学官の責任と役割の分担、連携

産業化に結びつけていく仕組みの構築

ア. 技術移転の加速化

当分野は萌芽的研究成果が直ちに産業化に直結する可能性を持つ特徴があることから、産業化指向研究開発のみならず、基礎的・萌芽的研究に対しても成果の技術移転が迅速かつ円滑に行える体制構築が不可欠。研究開発成果の技術移転の手法に多様なオプションを確保していくとともに、それぞれが柔軟に運用されることが必要。また、研究開発機関における知的財産権の組織的管理体制が不可欠。

さらに、大学等においては、例えば、経営学を専攻する者と連携することにより、研究者の起業家精神の醸成と経営学の学生の実践的手法の取得のシナジー効果を狙っていくことも効果的。

イ. 社会的実証の活用

新規に創製された材料・デバイスの社会実験的取組の積極的活用により、ユーザの受容性の向上、社会からの反応の研究開発へのフィードバック(社会的要請の再認識)を行うことが重要。

ウ. 政府・公的研究機関による調達の活用

社会実験的取組や公共サービスに近いところに提供される財の市場化初期の段階において積極的かつ効果的活用を図る。また、試験研究用の資材をはじめとして、研究開発型ベンチャー企業の参入インセンティブが高まるような調達基準等での対応なども検討。

産学官連携の促進

ア. 産学官が連携した取組に対する支援策の充実

当分野のような戦略的・先端的分野においては、産業界にとって「知」と「人材」の最大の供給源である大学等との連携の重要性が一層増大。特に、ブラックボックス化しがちな材料の機能 - 構造 - プロセスの関係の解

明等に対する大学等への期待は大。他方、大学等においても、納税者に対するアカウンタビリティの確保の観点から、研究開発成果の社会への還元を十分に果たしていくため、双方にとって産学連携の必要性が増大。このため、前述のように融合的・学際的取組に対する支援の充実と同時に、学問に裏打ちされた生産技術等の開拓、実用化を目指した産学官連携の取組に対する支援策を充実させるべき。

イ．人的流動を阻害する制度の改革

産学官連携を進める際にも、研究者個人の能力が遺憾なく発揮される環境が不可欠であり、研究人材をある箇所に時限的に移動させたり、兼業・休職等により対応したりすることで効率性が増すケースが多々存在。我が国で長年培われてきた社会構造・価値観が存在する中、社会の枠組み全体を変更し人的流動性を高めていくことは現実的には極めて困難。最低限、意欲的に活動する人間に疎外感のない制度面からの環境整備が必要。

ウ．産学官連携に対するインセンティブの向上

大学等との共同研究等契約に際し、産業界からみた透明性・予測可能性を確保するため、契約手続等に対するガイドラインの整備が必要。また、大学等における研究者の主体的な産学官連携インセンティブを高めるようにするため、自由かつ迅速に外部資金が使用できるよう手続等の一層の弾力化が必要。

その他、機関間の制度上の不公平や阻害要因を取り除き、機関の性格を限りなく意識することなく産学官がイコールパートナーシップを構築できるようにしていくべき。

エ．産学官連携の取組に対する研究者の業績評価

産学官連携の実績を研究者の業績評価の一つの基準として取り入れていくことを徹底すべき。

(4) 人材の確保・養成

研究者の確保・養成

世界トップレベルでの研究開発を実現するための人材の確保、融合的領域に対応する人材の確保・養成、大学院学生、P D、若手研究者が質の高い研究開発活動に専念できるような支援を充実。

研究支援者の充実

微小領域を取り扱う装置類の操作等については習熟的技能が必要であり、実際のノウハウの蓄積等を考えていく上では、こうした研究支援者をプールするなど、その確保・充実に向けた対応の抜本的強化が必要。

研究評価・マネジメント能力のある人材の養成

(5) 推進に当たっての配慮事項

状況の変化に対する柔軟かつ機動的な対応

研究者の確保や我が国の技術の補完、研究開発のスピード向上等のための国際協力の推進

研究者等の社会的責任、社会に対する説明責任