

# **ナノテクノロジー・材料分野推進戦略 (プロジェクトとりまとめ案)**

**平成13年9月18日  
総合科学技術会議  
重点分野推進戦略専門調査会  
ナノテクノロジー・材料プロジェクト**

## ～ 目次 ～

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| <b>1. ナノテクノロジー・材料分野の現状認識</b> .....                 | 1  |
| (1) 当分野のおかれている状況.....                              | 1  |
| (2) 当分野に対する国家的・社会的要請.....                          | 1  |
| 産業競争力の強化と経済社会の持続的発展.....                           | 2  |
| 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.....            | 2  |
| 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..... | 2  |
| (3) 当分野の特徴.....                                    | 2  |
| (4) ナノテクノロジー・材料分野の技術動向.....                        | 3  |
| 政府での研究開発の取組の現状.....                                | 3  |
| 我が国の科学技術の面からの競争力.....                              | 4  |
| ナノテクノロジー・材料分野の今後の見通し.....                          | 5  |
| 総括(現状と課題).....                                     | 5  |
| <b>2. ナノテクノロジー・材料分野の重点領域の設定</b> .....              | 7  |
| (1) ナノテクノロジー・材料分野の推進に関する基本的な目標.....                | 7  |
| (2) 重点分野設定に当たっての考え方.....                           | 7  |
| (3) 重点領域の設定.....                                   | 8  |
| 産業競争力の強化と経済社会の持続的発展.....                           | 8  |
| 環境・エネルギー問題への対応、少子高齢化への対応を通じた豊かな国民生活の実現.....        | 8  |
| 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..... | 9  |
| 上記国家的・社会的要請に直接対応する重点領域の実現にも不可欠な領域.....             | 9  |
| (4) 重点領域.....                                      | 10 |
| <b>3. 重点領域における研究開発の目標及び重視すべき点</b> .....            | 10 |
| (1) 次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料.....                     | 10 |
| (2) 環境保全・エネルギー利用高度化材料.....                         | 10 |
| (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.....     | 11 |
| (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.....             | 11 |
| (5) 革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術.....                  | 12 |
| <b>4. 研究開発の推進方策に関する基本的事項</b> .....                 | 12 |
| (1) 研究開発現場における競争の活性化とそのための環境整備.....                | 12 |
| 独創性発揮のための競争的研究資金の重視.....                           | 12 |

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 省庁・制度の枠を越えた研究開発の推進.....                    | 13 |
| 技術のユーザの評価への参画の徹底.....                      | 13 |
| 研究者の研究開発活動の底上げのための環境整備.....                | 13 |
| (2) 異分野間や研究者間の融合の促進.....                   | 15 |
| 融合的・学際的取組に対する促進策の実施.....                   | 15 |
| 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.....    | 15 |
| 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.....           | 16 |
| 組織的な人事交流とその成果の人事考課等への反映.....               | 16 |
| (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..... | 17 |
| 産業化に結びつけていく仕組みの構築.....                     | 17 |
| 責任と役割の分担.....                              | 18 |
| 産学官連携の促進.....                              | 18 |
| (4) 人材の確保・養成.....                          | 20 |
| 研究者の確保・養成.....                             | 20 |
| 研究支援者の拡充.....                              | 20 |
| 研究評価・マネジメント能力のある人材の養成.....                 | 21 |
| (5) 推進に当たっての配慮事項.....                      | 21 |
| 状況の変化に対する柔軟かつ機動的な対応.....                   | 21 |
| 国際協力の推進.....                               | 21 |
| 研究者・技術者或いは事業者の社会的責任、説明責任.....              | 22 |

# 1. ナノテクノロジー・材料分野の現状認識

## (1) 当分野のおかれている状況

材料産業は、我が国においては、従来より多くの雇用を創出し経済の発展を支え、また加工等を経てできた製品により国民生活に豊かさをもたらしてきた。現状でも、全産業に占める出荷額・雇用等の割合が30%程度を占めており、我が国の基幹産業の一つであるといえる（別添1参照）。また、加工組立産業等に対して素材、部材等を提供する産業であり、他の産業への波及効果も大きい（逆に言えば加工組立産業等における業界再編等の動きに対する影響も大きく受けている）のが特徴である。他方、これらの製造過程において多量のエネルギーと資源を消費するため、環境に対する負荷という意味でも影響が大きい。技術面では、我が国はとりわけプロセス技術で強みを発揮してきた。近年、材料産業の構造的な変化が進展する中、加工度・付加価値が高く、日進月歩の技術革新を要する機能性材料技術において、我が国は国際的にも競争力を発揮している。材料産業においては、従来増加基調であった研究開発費がバブル経済の崩壊に伴い停滞傾向であり、また、応用研究にシフトしてきている。世界的な大競争時代の中で、リードタイムやライフサイクルが短縮化してきており、研究開発から生産の一層のスピードアップが必要となってきた。

次に、ナノテクノロジー<sup>1</sup>は、分野としては新興的に発展をしてきている分野である。我が国においては、ナノテクノロジーに対する取組は、従前より非常に裾野広くなされてきたが、このところ、革新的な成果の発信により将来の展望も大きく拓けてきている。こうした中、米国をはじめ主要諸外国における戦略的取組も旺盛化してきており、今後この分野における技術革新競争はますます激化することが見込まれる。こうした中、我が国は、一般的に、基礎的・基盤的研究の比重が高い領域、融合的研究開発、システム化技術において遅れており、ポテンシャルが活かしきれていない。

計測・評価・加工技術は、この分野に共通基盤的に目標の実現を支える技術である。1981年にIBMで開発された走査型トンネル顕微鏡（STM）により、原子レベルでの観察、操作が一気に可能となったように、計測・加工技術におけるブレークスルーは、分野全体の発展に与える影響が大きい。

## (2) 当分野に対する国家的・社会的要請

21世紀を迎え、我が国は経済社会の更なる発展のために解決しなければならない数多くの課題に直面している。歴史的にも、科学技術は、我々の文明の基盤を形成してきたが、科学技術が高度に発展した現在の社会においては、ますます両者の関係は密接不可分なものとなっており、直面する課題を克服し今後の展望を拓いていくため、従前に増して科学技術に対する期待が増大してきている。こうした中、当分野においても、直面する課題を克服し国民が明るい展望を持つことができるようにするために貢献していくことが必要である。以下、科学技術基本計画（平成13年3月30日閣議決定）における、「目指すべき国の姿」<sup>2</sup>に照らし、「産業競争力の強化と経済社会の持続的成

<sup>1</sup> ナノ（ $10^{-9}$ ）メートルのオーダーで原子・分子を操作・制御し、ナノサイズ特有の物質特性等を利用して新しい機能、優れた特性を引き出す技術の総称。

<sup>2</sup> 科学技術基本計画においては、我が国の科学技術政策の基本的な方向として目指すべき国の姿を、以下の3つとしている。

知の創造と活用により世界に貢献できる国  
国際競争力があり持続的発展ができる国  
安心・安全で質の高い生活のできる国

長」、「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」、「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観点からの国の健全な発展の実現」の3つの観点からの当分野に関連した国家的・社会的要請と戦略的対応の必要性について取り上げることとする。

#### 産業競争力の強化と経済社会の持続的発展

我が国の経済は、経済のグローバル化と激化する国際的な競争の中で、産業競争力の低下、雇用創出力の停滞等の課題が存在している。これらに対処していくため、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いていくことが不可欠である。

当分野においては、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り、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、当分野における技術革新は様々な分野の命運を制するともいえる状況である。また、現下の経済社会が有する課題に対する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更なる飛躍のため、その基盤をなす当分野も将来に備え足固めが不可欠である。

#### 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

地球環境問題並びに資源、エネルギー等の不足への対応など、かつて経験したことのない難問に直面している。また、国土も狭隘で資源の多くを海外に依存している我が国において、生活環境の保全、資源の効率的利用が不可欠である。

このような物質文明がもたらしてきた諸問題の抜本的解決に向けて、多量消費型の社会システムからの抜本的変革が必要である。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、それを、製品を構成する材料レベルから実現していくことが必須である。

また、やはり我々が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って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、自助的対応も可能にしていくための社会システムの構築が必要となる。

こうした課題に対応する際、生命のメカニズムの解明の余地が大きく、そのための科学技術のブレークスルーが期待される。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ていくことも必要であり、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、人間の体内の必要な場所に必要な量のものを運び必要な範囲での処置を施したり、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である。

#### 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、有害化学物質等によるリスク、海外からの感染症等への対応の必要性の認識が高揚してきている。これに対処するため、事後的対処等のみならず、生活の各局面でこれらを検知可能とし国民が安心して管理・リスク軽減できることが必要である。そのため、微量な物質等に対する高度なセンシングとそれによるリスク削減・除去対策の実現、当該システムの実社会への適用などが不可欠である。

また、昨今、国境を越えた合従連衡、研究開発等の連携などが日常的となる中、今後キーテクノロジーとなりうる技術領域において高度な技術を我が国が保有し、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、競争力として活かしていくことにより、国の優位性を保っていくことも必要である。

### (3) 当分野の特徴

ナノテクノロジー・材料技術により生み出される材料・デバイス等は、それ単独では最終需要財と

しての製品にはならないものの、当該最終需要財の「ものづくり」にとって欠くことのできない基盤を形成するものである。最終需要財の性能や機能は、市場の中で受け入れられるコストとの兼ね合いを度外視すれば、材料によって上限が決まってくるため、ナノテクノロジー・材料技術は、最終需要財の生産技術の鍵を握っている。

次に、あるニーズに対応した機能や性能を達成するための製品を作ることを目指した研究開発を行う場合、使用する材料の組成や組織、合成・加工等により開発すべき技術・材料は無数の可能性が存在している。この多様性の中から、特定の技術・材料を選定する過程において技術的にも大きな改良の可能性が生まれてくる。

世の中において、基礎研究・応用研究・開発研究といった研究開発をリニアに段階づけることは意味を持ちにくくなってきているが、一般的に、当分野の技術・材料が社会システムの中に実際に体化するのには比較的長く期間を要する。循環型社会対応材料等社会全体の動向に対応するケースや情報通信技術の革新のための電子材料等産業ニーズに対応するケースなどユーザの要求に応える形での材料供給においては、加工度・付加価値が高い材料の、スピーディな供給が競争力の源泉となるケースも存在し、こうした場合には、基盤的な研究開発が最終製品としての実現に直結している。また、こうしたケースが最近とみに増大してきている。また、その場合には、新材料開発から販売までを円滑化する供給体制（ビジネスモデル）の構築力も競争力を大きく左右する。

計測・評価・加工技術は、ナノテクノロジー・材料分野全体を支える技術であり、特に材料分野では新材料創成技術と加工技術の開発が表裏一体となって最終製品の性能を実現している事例が増えている。この計測・評価・加工技術におけるブレークスルーは、基礎研究から製品の実用化に至るあらゆるところに対するインパクトは大きい。すなわち、計測・評価・加工技術でのブレークスルーは、当分野全体の発展に大きく影響する。

さらに、上記のような背景もあって、ある発見が財・サービスに対する考え方までも大きく変更しうる大発見となり得る。すなわち、基礎的な探索、製品へのアプローチの如何を問わず、あらゆる過程において、極めて大きな意義を持つブレークスルー、新たな大発見の可能性が存在している。

#### (4) ナノテクノロジー・材料分野の技術動向

政府での研究開発の取組の現状

ナノテクノロジー・材料分野に係る関係省庁の科学技術関係予算は、13年度ベースでは、当プロジェクトにおいて各省から聴取したところでは総額705.4億円。省別の内訳では、文部科学省と経済産業省の2省で全体の約98%となっている<sup>3</sup>。

上記に関し実用・用途等を考えた場合の分野別の内訳をみると、複数分野に関係する研究開発もある関係で分野間のオーバーラップが否定できないものの、おおまかな傾向でいえば、

- 様々な分野に共通的に活用可能な材料関係が、およそ2/5程度
- 情報通信との関連性が高い領域への対応が、およそ1/3程度
- 環境・エネルギーとの関連性が高い領域への対応が、およそ1/7程度
- 計測・評価・加工関係が、およそ1/12程度
- ライフサイエンスとの関連性が高い領域への対応が、およそ1/20程度

となっている<sup>4</sup>。防災関係を含む社会基盤分野に関しては、研究機関の経常的経費による研究開発が主であり、材料関係予算を別途計上した政策的対応はほとんどなされていない。また、特に米国ではNASAでなされている宇宙用途などのフロンティア分野に関しては我が国では宇宙関

<sup>3</sup> この数値については、競争的資金の一部については、規模的イメージをつかむため便宜的に12年度横断いを活用し推計している点、上記以外にも、科学研究費補助金の一部、定量的な捕捉が困難な経常的経費を用いた大学等公的研究機関の研究開発等が実施されていることに留意が必要である。

<sup>4</sup> 材料については、個々の用途と強い関連を持つ場合、当該用途領域の方に計上している。

係プロジェクトの中の要素技術に埋もれており、ナノテクノロジー・材料関係予算という形では殆ど計上されていない。

研究開発を実施する者という観点でみると、政府研究開発投資の使途は、大学及び大学共同利用機関、独立行政法人研究機関等の公的研究機関に係る研究開発プロジェクト、研究開発課題に用いられる割合が非常に高く、これが他分野との比較において特徴的な部分といえる。

次に、ナノテクノロジー関係予算を切り出すと、やはり平成13年度当初予算ベースでは、当分野全体のうち504.0億円<sup>5</sup>となっており、ナノテクノロジー・材料分野全体のおよそ71%を占める。

また、材料関係予算を切り出すと、平成13年度当初予算ベースで、上記ナノテクノロジー・材料分野全体のうちの414.3億円となっており、ナノテクノロジー・材料分野全体の約59%程度を占める。

これら施策の実施においては、各省から聴取する範囲においては未だ省庁間の連携が十分に なされているとは必ずしもいえず、各省がそれぞれの視点で研究開発を行っている傾向が大きい。また、これら研究開発は明示的に競争しあう関係にあるともいえず、研究開発投資の効率化という点では、調整・対応の余地があるものと思われる。先般、国家産業技術戦略（2000年4月策定）の検討に際して、体制面でも分野ごとの調整を可能ならしめる素地が形成されているところであり、これを的確に活用する等、今後実行段階において、例えばプロジェクト推進の委員会等での対応のレベルにとどまらない連携・相互理解のメカニズムを構築していくことが課題である。また、産学官の連携については、一部の成功事例を除き、必要性の認識に比較して具体的な対応という点では取組が進んでいるとはいえない。大学等公的研究機関側の情報発信も、学会、論文という科学的視点を中心とする対応にとどまらない日常的な対応が不十分であること、産業界側からのニーズの提示も十分でないことも要因と考えられる。

#### 我が国の科学技術の面からの競争力

我が国の材料分野の論文数（1995～1999年までの量での比較：科学技術白書）は、世界の15.0%を占めており分野別では最も高い（我が国の科学技術全体の平均シェアが10.0%）。また、我が国の論文が引用された件数<sup>6</sup>のシェアは、材料分野で13.5%（米国は38.1%）であり、我が国における分野別ではやはり最も高い（我が国の科学技術全体の平均シェアは7.8%）。機関別にみた場合でも、特定の領域において世界的にも非常に高い競争力を有すると評価（論文被引用回数による比較）される大学等も存在<sup>7</sup>している。こうした材料分野における科学的な研究成果、ナノテクノロジーに関して従来から比較的足腰強く取り組まれ成果を上げてきたこともあり、当分野は一般的には我が国が強いといわれてきた。しかし、昨今、特に米国においては、引用頻度の高い論文誌等への発表が多いこと、我が国産業界において基礎研究段階への研究開発費を削減する動き等も踏まえると、局所的な部分での競争力はともかく、全体としては、必ずしも楽観できない状況である（別添2参照）。

現在の研究開発段階の競争力は未来の産業競争力に大きく影響を及ぼすこととなるため、推進戦略を考えていく上で、上記のような競争力の現状について真摯に眺め、対策を講じていくことが必要であるが、この点を網羅的かつ定量的に把握することは困難である。当分野の中でも、と

<sup>5</sup> ナノテクノロジー・材料分野同様、文部科学省と経済産業省の2省で全体の約98%を占める。留意すべき点についても共通である。

<sup>6</sup> 1993～1997年の数値となっている。資料については、Institute for Scientific Information のNational Science Indicators on Diskette, 1981-1997 による。

<sup>7</sup> 上記調査機関の本年の報告によれば、論文被引用回数で、材料科学部門において東北大学が世界第1位、物理学部門で東京大学が同第2位、化学部門で京都大学が同第3位となっている。

りわけナノテクノロジー分野に関しては、研究開発の内容が基礎的な側面を持っており、未来の産業競争力と関連づけて論ずることは、データ面の充足性も含めて困難である。

#### ナノテクノロジー・材料分野の今後の見通し

ナノテクノロジーに関しては、10年後に向けていくつかの市場予測の試算が存在している（別添3参照）。これらによると、今後10年を見越し急速な市場規模の拡大が予測されている。とりわけ、情報通信用の材料・デバイスを中心に大きな伸びが期待されている。他方、これに対して、生物関係、環境・エネルギー関係については、現段階では、大きな市場を見込むところまでたどり着いていない。本質的に大きな市場が見込めないのか、研究開発のステージが早く見込みができるレベルにないのかは議論があるところであるが、この傾向は大雑把には我が国の政府研究開発投資の傾向と一致している。

材料については、産業全般をみると成熟的なところが多い。しかしながら、単なる素材のレベルにとどまらず、加工度の高いデバイス、システムを意識した機能性材料については、日進月歩の技術革新を要することもあり戦略性のある部分であり、市場も近年顕著に拡大してきていることから、今後も成長が見込まれる。社会の要請も、強度、耐熱性等の基本性能のみならず低環境負荷社会システムの中で各種機能を併せ持つ材料の多品種少量生産に対する社会の要請も高まっているところであり、市場規模だけで将来の展望を考えるのでは不十分であることが予測される。

#### 総括（現状と課題）

我が国における取組・我が国の技術競争力の現状等から浮き彫りとなる課題を総括すると以下の通りである。

##### (i) 政策目的の実現に向けた研究開発体制の構築

- ◇ 研究開発を行う現場において、国家的・社会的要請の中で個々人の研究者が担っている役割、位置づけに関する意識が一般的に希薄である。また、出口に向けたマイルストーンの設定が不明瞭なことにより目標実現のモメンタムが低くなりがちである。
- ◇ 政策目的の実現に向けて集中的・集約的に対応するために有効なプロジェクト型の研究開発においても、新しい提案が既に実施されているプロジェクト・研究テーマの合間を埋めるような「小短冊型」の取組になりがちであり、俯瞰的な立場から研究開発活動を推進する機能が不十分であるか存在していない。
- ◇ 複数の省庁が共通の目標を掲げてファンドと人を出し合い取り組んでいる事例は稀。学会的なレベルでの情報交換、プロジェクト推進のための委員会への参画等の当たり前の対応はみられるものの、情報流通量の不足に起因する非競争的・重疊的取組がみられる。ナノテクノロジー・材料分野が、非常に基礎的な研究成果が実用に直結しやすいという特徴を有していることを考慮すると、単純に研究開発のフェーズの違い等に着目した棲み分けは機能しにくくなってきている。

##### (ii) 研究成果の社会への還元を意識した研究開発、研究開発活動のアカウンタビリティ

- ◇ ナノテクノロジー・材料分野においては、研究開発内容が比較的基礎的・基盤的であるケースが多いこともあって、究極目標をデバイスの実現としている例が多く、世の中で叫ばれている未来の社会像に対してどの程度の貢献があるのか、また社会への還元を意識したマイルストーンの設定について十分意識されていない。これを裏返していえば、最終ユーザである国民の側のニーズを出発点とした研究開発活動、手段の選択が十分でない。基礎的な対応を重視している米国に比べても、新たなシステムの提供につながっていくタイプの研究開発活動において、我が国の競争力は相対的に低いことも指摘されている。
- ◇ 研究開発内容の高度化、専門化の進展とも関連して、研究開発を進める上でコミュニティ

周辺の限られた、閉じた議論で完結しがちである。これにより国民にとっての科学技術のブラックボックス化が進みやすくなるとともに国民が科学技術に対して疎遠になりやすくなる。また、科学技術関係者のコミュニティの中でも分野を越えた「目利き」の確保に対する意識もあまり高くない。

- ◇ 材料開発の現場において、ユーザが材料に対し如何なる意識をもっているかについての認識が不十分なまま研究開発を進める傾向がある。例えば、安全材料において、研究者サイドが安全空間を演出できていると思っていてもユーザである一般国民がそう認識しなければ所期の目的は達成できない。ユーザの意識の調査、ユーザとの対話が不十分であったり、研究開発目標の立て方に問題があったりするケースが存在する。

### (iii) 研究開発成果の効果的活用

- ◇ 当分野に対して従来より国も先導的に研究開発を実施してきたこともあり、成果としての知的ストックは多く蓄積している。しかし、この多方面での活用に対する意識、出口へのフローに対する意識が希薄なため、これらストックが野ざらしになりがち。（これらが海外において掘り起こされ活用されている可能性があることに問題意識を持つべき。）
- ◇ 大学等公的研究機関の研究開発の研究成果の産業化という観点からは、特に米国に対して対応が遅れている。研究者個人に、自らの研究成果を社会に還元していこうとする意識が低いのに加えて、起業家精神を持った人材の輩出、実用化・企業化に向けた応用製品の開発及びビジネスとしての成立性に対する検証、産業界側からのニーズの提示が不足していることが問題点として挙げられる。さらに、新材料の競争力を発揮するために必要なビジネスモデル構築（新材料開発から製品としての供給に至る柔軟かつ迅速な供給体制の構築）への取組も不十分である。
- ◇ 当該分野において知的財産権が急速に競争力確保の手段として重視されてきているものの、世界的に戦略的に権利を確保するための対応が、研究開発リソースで大きなウェイトを占めている公的研究機関において弱い。

### (iv) 研究者・研究支援者などの人材の確保

- ◇ 伝統的な領域における人材の裾野は広いものの、融合的な領域、理論的・計算科学的なアプローチにおいては人材不足感が指摘されている。
- ◇ 若手の競争力ある研究人材の確保に苦労している機関・プロジェクトマネージャー等が多い。海外からの人材で充当しようとするも、公的研究機関においては、手続き的問題等により機動的対応ができないケースも散見される。
- ◇ 研究開発に要する装置類も高度化しているものの研究支援者が十分に充当されていないため、対応のスピードが技術競争力の大きな要因となりつつある中で、研究開発に伴った装置類の整備・実際の操作等が律速段階になる場合が散見される。

### (v) 国民の安全・安心な生活の確保

- ◇ 社会の中で高度な科学技術が浸透するに伴い、扱う人間の誤用・悪用によって甚大な悪影響が及ぶこととなる。しかるに、科学技術の発展を背景として発生しているこうしたリスクに対して、最先端の成果を活かしたこれを軽減・除去、或いは防止するための対策が不十分である。

### (vi) 研究環境の国際化

- ◇ 国際貢献を語る以前の問題として、我が国の研究開発環境の国際化、国際的なレベルニュートラルな研究開発環境の整備が遅れている。我が国における国際レベルでの創造的研究開発成果が創出される環境あってこそ、その技術の国際的適用等を通じた国

際貢献があり得るものである。

## 2. ナノテクノロジー・材料分野の重点領域の設定

### (1) ナノテクノロジー・材料分野の推進に関する基本的な目標

#### ～ナノテクノロジー・材料分野の推進に関する基本的な目標～

- 21世紀の産業革命の実現を目指す。
- 創造的な研究開発環境を先行的に実現する。

当分野のおかれている状況、特徴にかんがみ、我が国が科学技術創造立国を進めていく上で、当分野は、あらゆる科学技術にとって基盤であり、21世紀に求められる社会の実現を支える生命線であるといえる。また、局所的な強さ、弱さはあるものの、世界水準での勝負が可能な数少ない分野であり、我が国の競争力を高め、さらには世界の中での我が国の存在感を高めていくことが必要である。また、21世紀に本格的に直面することとなる環境問題、少子高齢社会への対応などを克服していくためにはそこに用いる材料・デバイス段階から技術革新を進めていくことが必要。当分野においては、ある研究開発成果が、これまでの常識を大きく変えるような大変革をもたらす可能性も相当程度予想されるだけに、当分野の研究開発を進めることにより、21世紀の産業革命を実現するなどの気概をもって対応していくことが重要である。20世紀後半からの当分野での技術革新によりその胎動は既にみられる。

しかしながら、我が国においては、必ずしも研究開発資源を有効に配分して推進してきたとはいえない。そのため、科学技術基本計画の精神にもとっとり、創造的な研究開発環境をいち早く実現し、世界レベルでの競争に対処していくことが不可欠である。

その推進にあたっては、限られたリソースを戦略的に配分し最大の成果を生み出すことが必要であり、リスクテキングを恐れず我が国として重点化すべき領域を定め、付加価値を作り上げていくことが重要である。この重点領域を定める際には、個々の研究開発課題レベルの特定をするのではなく、将来を見据えた大きな奔流の中で、我が国に課せられる国家的・社会的要請との関係で方向性を整理し、次世代のデファクトを獲得できるよう競争を促すことが必要である。

### (2) 重点分野設定に当たっての考え方

21世紀においては、単なる技術革新に伴う物質的・経済的な豊かさだけでなく、文化的・精神的にも豊かな社会を実現していくことも必要であり、根元的な原理・物質観の創成が不可欠。研究開発成果により思わぬ付加価値を生まれることにより、全体の経済規模・社会的豊かさが拡大する効果を生むことから、単純な目的指向型だけの研究開発ではなく、将来の技術の萌芽を開拓するための研究者の自由な発想による研究に対して科学技術基本計画にも別掲されているように一定の資源を配分していくことが必要。

こうした点も前提に、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、以下のような考え方に従い重点領域を設定。すなわち、上記1.(2)に示した当分野に対する産業競争力の強化と経済社会の持続的発展  
環境・エネルギー問題への対応、少子高齢化への対応を通じた豊かな国民生活の実現  
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

といった国家的・社会的要請に対応して、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年先を展望した研究開発を明確にするとともに、これらの実現にとって不可欠な基盤技術、材料技術に重点的に取り組むこととする。

### (3) 重点領域の設定

国家的・社会的要請、重点化の趣旨にかんがみ、以下のような考え方にに基づき、重点領域を設定して精力的に研究開発を実施する。国家的・社会的要請と重点領域との関係は以下の通り。

#### 産業競争力の強化と経済社会の持続的発展

ナノテクノロジー・材料技術が関連する分野の市場規模については、いくつかの市場予測の試算がなされており、情報通信分野を支えるＩＴエレクトロニクス、低環境負荷社会などを支えるプロセスマテリアルの分野での市場規模が大きい（２００１年３月経団連発表等による）とされている。

特に、情報通信分野の基盤となる半導体に関しては、近年、国際的に日本のシェアが低下傾向にあり、国際産業競争力の観点からも技術力強化の必要性が指摘されている。このためには、最小の線幅であるデザインルールでいえば、現在の微細加工技術では１００ナノメートルが限界であるが、ナノテクノロジーを利用することにより、今後必要とされる５０ナノメートル以下の線幅を達成することが期待される。また、コンピュータの性能の更なる向上を図るために、例えば、数ナノメートルの大きさの分子素子を集積した分子コンピュータなどの革新的テクノロジーデバイスによりその実現の可能性がある。また、情報通信ネットワークの高速化の要望に対して、ナノメートルレベルで構造制御されたフォトニック結晶を用いた光導波デバイスの応用が期待されている。

以上の視点から、「次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料」を重点領域とする。さらに、これらの中で、半導体技術、情報記録技術等は、５～１０年以内の実用化・産業化を目指す領域を最重点とし、新原理を用いたデバイス技術は、１０～２０年先を展望し他技術のロードマップを十分に認識しつつ推進することとする。

#### 環境・エネルギー問題への対応、少子高齢化への対応を通した豊かな国民生活の実現

「環境・エネルギー対応」では、微量な環境影響要因の評価・管理、循環可能な新材料、高効率のエネルギー変換システム、不要な副産物のない製造プロセス等の技術的課題に対して、ナノテクノロジー・材料技術によるブレークスルーが期待。例えば、自己組織化等のナノテクノロジーを利用して有害物質を選択的吸着・脱離できるような複合材料や環境に悪影響を与えない材料表面のナノコーティング技術が必要。また、既存の材料についても、省エネルギーのために、超高強度・超軽量の材料開発が要望されており、原子・分子レベルで組織・構造を制御した材料（ナノマテリアル）の開発がこの目標達成に必要。

以上から、この領域を「環境保全・エネルギー利用高度化材料」として重点領域とする。さらに、これらのうち、特に地球温暖化防止に対応する課題に関してはＣＯＰ３京都議定書により１０年後の目標が明示されており、また、循環型社会の構築に向けた対応のように喫緊性の高い課題に対応することが必要であり、材料としての実用と社会への定着との間に時間差が生じやすいことから、まず５～１０年以内の実用化を目指す領域を最重点とする。なお、この領域は新たに生み出される材料・システムにより想定される市場規模も大きいため、「産業競争力の強化と経済社会の持続的発展」という要請にも貢献しうる領域と考えられる。

次に「少子高齢化への対応」では、最先端医療に必要な分子レベルでの生体観察、診断・治療用極小システム、生体適合材料等の技術的課題に対して、ナノテクノロジー・材料技術によるブレークスルーが期待されている。例えば、ガン治療などにおいてガン細胞のみに薬剤を届けるピンポイントドラッグデリバリーシステムの開発や、ナノメートルサイズの粒子（ナノパーティクル）の大きさを制御して患部にのみ薬剤が浸透するようにしたナノテクノロジー利用医薬の開発が必要。また、疾病の早期発見、患者の負担が少ない治療のためには、体内に侵入して診断・治療を行う

システムの開発が望まれており、その実現には現在のマイクロマシンの100分の1以下のナノマシンを用いた医療用極小システムの開発が必要である。

さらに、近年、急速な知識の蓄積や、新しい考え方、技術の発展によって、異分野間の融合や、新たな科学技術の領域が現れることが多くなっており、生物が40億年かけて確立してきたナノ物質を構築する技術に学び、生物現象を動的に観察することによりそのメカニズムを活用し制御するナノバイオロジーも新たな領域として注目が必要である。

以上から、「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」として重点化することとする。この領域では、10～20年後の本格的実用化を展望した進め方が重要である。

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

「国民の安全・安心な生活の確保」では、科学技術を悪用した化学・生物テロなど不測の事態に迅速に対応できるようにするための微量な環境影響要因のセンシングやリスク削減技術等の適切な管理が重要。したがって、技術領域としては、環境・エネルギー対応で重点化した「環境保全・エネルギー利用高度化材料」に位置づけて推進することとする。

また、経済社会のグローバル化が進展する中、我が国に技術を保有しておくことにより、技術移転等に伴うハードルを最小限にとどめ、他地域に先駆けて産業化・実用化を進めて、先行者利得を発揮することが可能となる。これは、我が国に世界の優秀な研究者を確保していくためにも必要であり、また、こうした成果を海外にも移転していくことにより国際貢献にも寄与することが可能。特に、モバイルを中心とした最近の情報通信技術（IT）のように、急速な進展により最先端技術の成果が実用化に直結している領域では極めて重要な視点であり、我が国発の技術を戦略的に保有することが必要。したがって、産業競争力の強化と経済社会の持続的発展の要請に対応して重点化して「次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料」をこの観点からも重点化して推進することとする。

上記国家的・社会的要請に直接対応する重点領域の実現にも不可欠な領域

ナノテクノロジー・材料技術には、ナノからサブナノメートル（ナノメートルよりも更に一桁程度高精度なスケール）での計測・加工が必須。このために、例えば、電子線を用いたサブナノメートルの精度を持つ加工技術の開発、より微細な領域の元素を検出できる放射光利用システムの開発、走査型プローブ顕微鏡等による新しい計測・評価・加工技術、ナノメートル領域での力学的・電磁気学的特性・構造を解析できるシステムが開発されることにより、当分野全体の研究開発の進展に大きな影響を与えることとなる。また、当分野では、物質・材料の組織・構造・諸特性等を原子・分子レベルで予測することが、新特性を有する材料開発や効率的なプロセス開発に必須。したがって、第一原理計算や分子動力学等の数値計算・シミュレーションの果たす役割が極めて重要。以上から、「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」を重点領域と位置づける。

また、ナノテクノロジー各応用分野を支えるナノ制御材料の創出がナノテクノロジー全般の推進に必須。カーボンナノチューブのように種々の革新的機能を有するナノ材料が発見されると、新しい産業分野の創出も含めてその影響は大。材料の組織・構造をナノレベルで制御することにより、力学・電磁気・光学特性等の飛躍的向上を図ることが可能と考えられ、その応用分野も念頭に置きつつ、このようなナノ物質・材料の研究開発を進めることが必要。また、従来型の材料技術に関しても、災害に強い街づくり、高度な国土交通インフラの整備に材料面から貢献するため、構造材料の長寿命化、高強度化を進め、また、劣化を自己診断し或いは修復する材料の開発を進めること等を通して、安全な生活空間を保障するための安全空間創成材料技術を重点的に進めることが必要。以上から、「革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術」を重点領域と位置づ

ける。

#### (4) 重点領域

上記のような重点化の考え方から導かれた領域をまとめると、「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」の3領域は、技術の出口に着目したもので、これらの技術を実現するためには、その基盤となる「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」と「革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術」が不可欠であり、これら2領域を加え、最終的に重点とすべき領域とする（別添4参照）。

### 3. 重点領域における研究開発の目標及び重視すべき点

個別の重点領域における推進に当たっての目標<sup>8</sup>、研究開発推進に向けて重視すべき点についての基本的な考え方は以下のとおり（別添5参照）。

#### (1) 次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料

##### （5年間の達成目標）

- 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
- 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

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、スピードと市場への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する。デバイス・材料、生産設計、生産技術について特に重視する。

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を十分に意識した目標設定及び推進が必要。そのため、基本的には競争的資金を活用し、次世代のデファクトスタンダードを獲得するための競争を促進するとともに、本命を絞り込む。また、単にデバイスレベルにとどまらず、それらを配線する技術などシステムを意識した研究開発が不可欠である。

#### (2) 環境保全・エネルギー利用高度化材料

##### （5年間の達成目標）

- 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

<sup>8</sup> ここでいう「目標」とは、5ヶ年の計画である科学技術基本計画と整合的に対応するため、5～10年以内の実用化・産業化を目指し、或いは、10～20年先を展望しつつ、計画期間5年間の目標として定めるものである。

新材料開発に際しては、開発の初期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のスピードある研究開発が望まれる。また、研究開発評価にあたっては、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である。

さらに、新規に創製された物質を用いた国民の生命・身体を脅かす行為に対応するため、我々の生活のあらゆるフェーズにおいてリスクを評価し同時に削減できるシステムを早期に実現し、国民も含めて納得して管理できる体制を構築していくことが不可欠である。

### (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

#### (5年間の達成目標)

- 健康寿命延伸のための生体機能性材料・ピンポイント治療等技術の基本シーズの確立
- 生体分子の動作原理等を活用したシステムの構築のための基礎原理の解明

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である。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である（医療への応用の側からもナノテクノロジー・材料分野に対する要請を提示することをはじめとして融合的取組が必要。）。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する。

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-分子やたんぱく質複合体（超分子）-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認するとともに、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、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置くため、初期段階からの産学官の有機的連携が必要である。

### (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

#### (5年間の達成目標)

- 上記(1)～(3)の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

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、そ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。上記(1)～(3)で必要とされる構造制御、計測・評価、加工を行うためには、その一桁以上の精度での計測技術やものさし（ナノメジャー）が必要であることから、計量標準や標準物質の開発にも力を入れることが必要である。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を確立していくことが必要である。

具体的な推進にあたっては、産学官の責任と役割分担の整理、その上での連携の在り方についての整理が必要である。

## (5) 革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術

### (5 年間の達成目標)

- 従来の材料分野の垣根を超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

ナノレベルで構造と機能を制御するのみにとどまらず、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である。

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する。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図る。

また、新材料の評価、物性等に関するデータベースなどの知的基盤の整備についても計画的かつ着実に対応する。

## 4. 研究開発の推進方策に関する基本的事項

### (1) 研究開発現場における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研究資金の重視

省庁・制度の枠を超えた研究開発の推進

技術のユーザの評価への参画の徹底

研究者の研究開発活動の底上げのための環境整備（知的財産権の戦略的取得、国際標準化への積極的対応、知的基盤整備）

独創性発揮のための競争的研究資金の重視

ナノテクノロジー・材料分野の大半の領域においては、確固たるヒエラルキーの中で研究開発を実施するというよりも、一般的には国家的・社会的要請との関係で設定した研究開発目標に向かって個々の研究開発が競う形で研究開発を推進していくことが必要な場合が多い。また、個々の取組が多大な費用を要するとはいえず、異なる者に同じ投資をしても同じ結果となるわけではなく少しずつ違った結果が創出される。このため、研究開発資金としては、半導体関係など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して推進すべきであり、これに必要な研究開発資金を確保していくことが不可欠である。また、競争的資金制度を活用する場合においても、研究資金の配分までの競争ではなく実施の段階においても様々なアイデアが生まれることも多々あることから、実施段階での要請に伴い資金を機動的に配分できるような仕組みを作っていくことも重要。さらに、これを担保するためにも、研究開発の事前・中間・事後・追跡の各フェーズにおける評価においても、本推進戦略における目標及び当該研究開発の目標との関係で各手段が競い合う仕組みを確立すべきである。

政府資金による研究開発投資において納税者に対するアカウンタビリティの確保の観点からも不必要な重複は回避しなければならない。このような観点から当分野における取組を精査すると、

課題等のレベルにおいて重複の可能性が否めない。これらについては、仮に複数の者が類似する対応を行っていたとしてもこれらが競争関係にある場合には重複が合理的な範囲においては回避すべきものではない。したがって、研究開発制度を管理する者は、こうした重複の可能性が見出された場合には、研究者或いは研究開発評価者から当該課題等がいかなる者と競争関係にあるか等につき聴取する等により不必要な重複を防ぐべきである。制度が省庁間をまたがる場合においては、当該重複のインパクトの大小にもよるが、効果的・効率的な研究開発の実施の観点から、適宜総合科学技術会議の適切な場において取り上げていくことも考えていくべきである。

また、こうした「競争」も、国内で閉じてはならない。科学技術の成果は世界の共通の知的資産となることから、世界レベルでの競争でなければならず、上記のような研究開発の対応をはかる上でも海外の研究者にも積極的に参加できるようにするなど対応が不可欠である。

さらに、研究開発制度の評価においても、制度内或いは制度間において、この研究者の競争を促す仕組みがどの程度重視されているかという点を大きく取り上げるべきである。

### 省庁・制度の枠を越えた研究開発の推進

研究開発活動をより効率的に進めるためには、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（競争による実施かプロジェクトによる集中的実施かの選択など）していくのも一案である。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である。なお、国の資金を特定の者の裁量に委ねる際には、毎年外国人も含むボードから評価を受ける形で推進を図ることが必要である。

### 技術のユーザの評価への参画の徹底

当分野における研究開発において、閉じた「ソサイエティ」の中での達成目標はあっても、それがユーザとの間で認識にずれがあったり、また、そもそも何に役立つのか、社会に対してどういう貢献があるのかという観点から目標を設定しその目標に向かって研究開発を進めることになっていなかったりするなど、研究開発推進の戦略性が欧米に比して弱い。ナノテクノロジーにしても材料にしても、死蔵することとなる技術或いは材料をいくら作っても意義あるものとはいえず、実際に使われて初めて価値を有することとなる。したがって、研究開発を進める上でも、いわば我が国の「弱み」ともいえるこの点を克服していくことが必要である。

そのため、研究開発評価においても、サイエンスメリットの追求は当然であるが、これにとどまらず、ある目標を実現するのに手段の適切性を他の実現手法との関係も念頭に置きつつ研究者を啓発できる場としていくことが重要である。このため、重点領域の研究開発を進めるに当たっては、プロジェクト研究開発、競争的資金制度による研究の中でもとりわけグループで行う研究については、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していくべきである。

### 研究者の研究開発活動の底上げのための環境整備

#### (i) 知的財産権の戦略的取得

現在のように知的財産権が重視されている状況において、適切な知的財産権戦略を持たないことにより「世界で2番目の開発者」になってしまっては意味がない。日米が拮抗して戦略的な領域においては、米国では明確に他のプレーヤーを意識して成果を出す（先に知的財産権を確保する）ために事業を展開している。また、材料においては、新材料そのものが特許化されることから基本特許の取得につながりやすい分野である。政府資金による研究開発投資が公的研究機関に対してなされている比率が高い当分野の現状にもかんがみ、特に、大学等の公的研究機関においては、競争的研究資金の間接経費、プロジェクト研究費の管理部門用の費用を積極的に活用し知的財産権の戦略的獲得に努めるべきである。

また、新技術の創成に際して何を作るか、どのようにして作るかについても知的財産権として権利化される部分であり、当該分野においては、この部分に多くの権利化すべきシーズが存在し得ることに留意する必要がある。

同時に、それぞれの研究開発機関において、数々の知的財産権を有していながらその有効性について把握が不十分である可能性が否定できない。従来、公的研究機関においては個人有による管理が主体であったため、機関としての管理が不十分となりやすい傾向があったものの、科学技術基本計画においても機関管理（＋発明者へのインセンティブの付与）の考え方を原則とし、また、大学等においてもその機関管理の方向性がきまっている状況にかんがみ、例えば、定期的に「知的財産監査」的な取組を実施し、機関内のあらゆる知的財産をリストアップし、その戦略性、要不要の判断を行うことにより、機関としての取得及び維持管理に要するコスト意識並びに管理体制を定着させることが必要である。以上のような対応は、大学等公的研究機関において、知的財産権に関する法務、実務に長けた専門の人材を確保することが必要である。これには当然コストがかかるものであるが、機関自体の競争力を左右する大きな問題ともなりかねない点であること、また、諸外国での権利取得が加速化している中、想定される紛争に耐えうるためにも重点的な対応が望まれる。

## (ii) 国際標準化への積極的対応

次に、材料の組成分析等に必要な標準物質、これらの試験評価方法等について、知的基盤の計画的整備とともに、新材料開発や研究開発成果の円滑な市場化を促進し、ユーザ側からの信頼性も確保していくために、国際標準化に対して積極的対応すべきである。工業化された製品の標準化対応というより、むしろ、早期の段階より標準を設定していくことにより研究開発はもとよりそれ以降の活動においても主導的立場を発揮しやすいこと、当分野においては、基礎的・基盤的な領域に重点的対応を行う必要がある部分が多いことから、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）には重点的に対応すべきである。

また、標準化は、基本的に受益者負担でなされるべきであるが、標準物質、試験評価方法の公的性格及び公的主体を中心として整備がなされそれと一体的な対応が必要であることにかんがみ、公的資金による対応も併せて戦略的に行っていくことが適切である。

## (iii) 知的基盤の整備

計量標準、標準物質の開発、データベースの構築などの知的基盤は、研究開発に関わるあらゆる研究者・技術者等の発射台を高め研究開発の重複投資を抑制するとともに、研究者等の基礎体力を向上させる効果を有することにつながるため、その計画的整備とその広範な活用が必要である。そのためには、材料物性のデータ及び評価手法の整備にとどまらず、材料が使用されることを念頭において、科学的現象解明に立脚した生産プロセスを集積することにより学術的研究や産業展開を支援することを目的として整備すること、ユーザの側にたって利用しやすい環境も併せて整備することが望まれるとともに、新材料、新技術の研究開発と実用化のスピード向上のためには、こうした、いわば研究開発のための「知的ツール」を、単発ではなく継続的に供給できるよう、メンテナンス手法・体制についても十分留意し整備することが望まれる。とりわけ、素材となる各物質・材料の特性に関するデータベースの整備、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ていくことが必要である。

さらに、研究者等が行った知的基盤整備に関する研究・貢献を研究開発評価、機関における研究者等の業績評価においてにおいてきちんと評価すべきである。

## (2) 異分野間や研究者間の融合の促進

融合的・学際的取組に対する促進策の実施

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

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

組織的な人事交流とその成果の人事考課等への反映

融合的・学際的取組に対する促進策の実施

科学技術の発展による知識の細分化に伴い、異分野で培われてきた知見、技術に触発され新たな成果が創出され、更には新たなフロンティアも開拓される。ナノテクノロジーについては、共通して原子・分子レベルにアプローチする。また、例えば、バイオロジーにエレクトロニクスの微細加工技術を生かすとか、反対にエレクトロニクスにバイオ技術を導入するなど、ニーズ・シーズ関係が異分野間で生じ、融合の成果が上がっている場合も存在する。このように、当分野の研究開発を進めるに当たっては、国境、機関、研究領域の枠にとらわれないネットワークを構築し、異分野の議論を取り込んで研究開発を進めることが必要である。特に、競争的資金を活用する場合において、具体的な研究開発課題の採択に当たっては、手段、体制面において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することが不可欠。これは、学問的にも、新たな学問領域の創成にもつながることとなる。

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

異分野間の研究者が結びつくためには、何よりも個々の研究者の問題意識、感受性に依存する部分が大い。こうした取組が加速するためには、まず、研究者一人一人が日常的なレベルでそれぞれの周囲にネットワークを構築することに対して一層積極的になることが必要であり、これが研究者のポテンシャルを高め、研究成果等の競争力を高めることにもつながるということを十分に配慮すべきである。なお、当分野の裾野の広さゆえ、研究開発情報を収集するにも、既存の学会等の単位での収集が困難なケースも想定され、研究者の取組を支援するためにも体制の整備・充実が必要である。

一般にネットワークを考える場合、別途取り上げるニーズサイドとシーズサイドのマッチング、技術移転的なものを除けば、研究開発情報を共有化し、或いは交流するためのネットワーク、大型の施設・設備を共用するためのネットワークの2つが想定される。

このうち、まず、前者の場合には、ただ単に当分野にかかわる専用回線を敷設したり、新たなコンテンツを整備したりするのではなく、既に整備された研究情報ネットワーク、情報流通環境等の活用に関する検証を済ませることが不可欠。仮に、整備の必要が生じた場合であっても、ネットワーク自体の公開性、情報を提供する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といった点が踏まえられたものであるべき。また、コンテンツが最新のものであることを保つために、情報等の提供者に対するインセンティブの確保は当然のことながら、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である。

また、後者に関して、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（例えば電子顕微鏡施設、放射光施設、スーパーコンピュータ等）の活用が不可欠となるケースが多い。これらは、個々の研究者が独立に保持することは現実的ではなく、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）していく体制を今にも増して整備し、かつ利用を促進するための情報提供を積極的に行うことにより、利便性を高めていくべきである。また、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である。

## 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

異分野の研究者が融合し、その中で切磋琢磨していくためには、日常的な研究開発活動、生活に近いところで研究者が相互に意見交換をし、刺激・啓発し合うことが重要である。特に、創造的な研究開発活動を旺盛に行っている若手研究者においては、こうした啓発の機会は極めて貴重なものと考えられる。

そこで、巨大な研究センターを新設して、そこを研究開発活動の「核」として研究者・技術者の英知を集積し創造的な研究開発成果を期待していくという考え方が起こり得る。しかるに、当分野の研究開発は、他分野に比して、一つあたりの研究開発規模が巨大なものは稀であり、かつ、国際的にも評価の高い研究開発成果を生み出している機関も、特定の「核」を持ち、その研究開発成果及び推進体制等に対して高い評価を受けているケースが多く、全ての領域において秀でているという評価を得ている組織は存在しない。また、資金面でも上述のように競争的資金の活用を重視することにもかんがみれば、当分野の研究開発は、一ヶ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、競争関係が必要である。

したがって、単に当分野全体に対応した拠点を整備し人を集積させて対応すべき問題ではなく、現存する研究開発機関の特長等を活かし発展させていく対応が望ましい。すなわち、既存の研究機関が、科学技術基本計画における考え方<sup>9</sup>、上記2.(1)で示した当分野全体の目標に整合させ、科学技術システムの諸改革の实践とペアにする等の取組により、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に主眼をおくべきである。

仮に、新たに発生する要請に基づいて拠点を整備する場合には、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、部門間の協力等が活かせる組織運営、研究開発管理が不可欠である。

## 組織的な人事交流とその成果の人事考課等への反映

「異分野間の融合が必要」ということ自体は、既にフレーズとしては使い古されたものである。すなわち、「融合」は、「言うは易し、行うは難し。」という点は否めない。これまで多くの者が認識を持ちつつ大きく進まなかったことを進めようとするためには、上記のようにインセンティブを用意することにより研究開発活動を誘導するだけでなく、仕掛けを作って加速させる手段も併せて考えていくことが必要である。

このため、機関間の人事交流を組織的に実施し、相互に新しい「知」の取り入れに尽力するとともに、人事交流により得られた知見等を研究開発活動へ積極的に取り入れていく研究者のアプローチ・成果に対して、研究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すべきである。

---

<sup>9</sup> 科学技術基本計画における「創造的な研究開発システム実現」のための理想的な研究開発組織の構築の条件は、以下のようになっている。

存続期間を定めた時限的な組織とする。

研究開発の責任者とマネジメントの責任者を分離し、前者には国際的水準の研究開発実績を有する者を、後者には研究開発と経営の経験をと共に持つ者を充てる。

必要十分な管理、技術支援、成果管理等の支援部門を整備する。

ポストドクターの大幅な採用も含め若手の人材を中心に据える

外国人を積極的に登用する

産学官の各セクターからの参画を募る

研究開発実績、能力を反映した研究開発資金の配分、給与などの処遇を行う。

資金は弾力的に運用する。

研究開発活動の共通語といえる英語を使用言語とする。

国際水準からみて研究開発に必要な施設を整える。

大学等において異分野の教官が集まった教育研究組織を作ること大きな意義を持つ。教官レベルでは様々な考えがあっても、様々な考えを受容する学生のレベルでは融合・交流が進み、それが将来の研究成果につながる事となる。

いずれにしても、ナノテクノロジー・材料分野は、幅広い分野の技術革新に直接的に影響を及ぼし命運を制する横断的な分野であり、革新的な研究開発成果もこうした様々な分野の融合の中から生み出される可能性が高い分野であるという特徴にかんがみ、ナノテクノロジーや材料技術をきっかけとした分野間交流等の促進に努めていくことが肝要である。

### (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

当分野においては、政府資金により行われる研究開発は、大学等公的研究機関により実施されている割合が他分野に比して高い。したがって、当該機関の研究開発成果の有効活用が不可欠である。また、世界的な大競争時代にあつて、独創的な研究開発成果をいち早く実用化・産業化していくことにより、新たな領域における先行者利得を得て競争力を発揮することも可能である。また、創造的な研究開発成果を多く出していくためには、機関の活性化も必要である。

当分野の主たる研究開発実施主体である公的研究機関の研究開発成果の有効活用、当該機関の活性化、また、研究開発のスピーディな実用化・産業化による競争力の発揮の観点からも、産業化に結びつけていく仕組みの構築、産学官連携を進めていくことが必要である。

産業化に結びつけていく仕組みの構築（技術移転の加速化、社会的実証の活用、政府・公的研究機関による調達の活用）

責任と役割の分担

産学官連携の促進（産学官が連携した取組に対する支援策の充実、人的流動を阻害する制度の改革、産学官連携に対するインセンティブの向上、産学官連携の取組に対する評価）

#### 産業化に結びつけていく仕組みの構築

研究開発から産業化に向けた流れを円滑にしていくことは、研究開発による知的創造活動の成果を国民生活・経済社会へ着実に還元していく上で、もっとも重要である。技術移転、産学間連携に関しては、昨今、制度的にもいろいろな改革がなされてきたところである。これら制度については、未だ定着していないもの、依然として不備が存在しているものなど、様々なものがあることが推測されるところであるが、研究者にとって、実際の研究開発成果、社会ニーズ等に対応し、様々な選択の余地が確保される形での環境整備が不可欠である。

また、特に、材料分野については、これまでに蓄積されてきている多様な基礎研究成果の適切な類型化と、その情報を想定されるユーザへ迅速に提供可能とするネットワークの構築が望まれる。

#### (i) 技術移転の加速化

大学等或いは公的試験研究機関における研究開発成果の産業界への移転を一層促進していくためには、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、そのそれぞれが柔軟に運用されることが必要である。4.(1) (i)の知的財産権の部分で前述しているように、研究開発機関において成果としての知的財産権等を組織的に管理する体制が不可欠である。特に、公的研究機関の知財部門、技術移転機関（TLO）における法務処理体制を充実していくことが必要である。

さらに、大学等の研究成果の産業化促進のためには、米国等では一般的ではあるが、例えば経営学を専攻する者と連携し、研究者は自己の研究成果がどの程度の市場性・事業性を持つかについて確認し、経営学専攻の者は起業のためのケーススタディを行うことにより、研究

者の起業家精神の醸成とともに、経営学の学生の実践的な手法の習得のシナジー効果を狙っていくことも必要である。

## (ii) 社会的実証の活用

技術の実用化を考えていく上で、安全性その他の要因から実用一步手前のところで躊躇することもあり得るが、新規に創製された材料・デバイス等を小規模なシステムで社会実験的に実証に取り組んでいくことにより、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）につながるだけでなく、効果として、当該システムの開発者が念頭になかった別用途への適用の可能性が拓けたりすることもある。その際、社会の受容性という観点からは、個別の研究開発プロジェクト等の事前評価においては、広く一般から評価を求めるスキームを導入するなど、研究開発が閉じた世界で完結しないように対応していくことも必要である。

## (iii) 政府・公的研究機関による調達の活用

政府調達は、技術力のある事業者の競争への参加機会の拡大等を通じて技術革新を促す効果を有する。そのため、上記のような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その積極的かつ効果的な活用を図る。研究開発の実施にあたっては、調達型の手法に関する検討が進むことも期待される。そのため、試験研究用の資材をはじめとして、研究開発型のベンチャー企業の参入インセンティブが増加するような調達基準等での対応などが考えられる。

当分野の中でも、環境・エネルギー、医療などの分野のように、技術による課題解決に対して明確でかつ強い社会ニーズがある場合、公共部門におけるリサイクル材料、省エネ材料の採用などのように、研究開発成果としての技術を公的部門が調達することにより普及を図ることによって研究開発に取り組む者にとってのリスクを軽減することも可能である。

## 責任と役割の分担

国の対応としては、そこで得られた成果の公的性格にかんがみ、一般的に成果をあらゆる者が享受できる知的基盤の形成につながるような研究開発を押し進めていくことが必要である。また、企業が基礎的な原理原則を大学等の公的研究機関における研究活動に求める傾向が高まる中、未来に向けて、基礎的・基盤的成果を積み上げることにより、いわば「基礎体力」を養うことが求められる。特に大学等においては人材養成に力を傾注すべきである。

官の間における役割分担の考え方について、基礎・基盤研究と応用研究の垣根が薄れている中、学術研究、基礎研究は文部科学省が、次のステージは事業官庁がという単純な役割分担に意義を見出すのは困難となりつつある。省庁間において人とファンドが出し合えるような姿であるべきである。また、連携を考える上でも各省庁からの資金に「色」がついて全体としての取組が細切れになるのを避けることが重要であり、省庁連携を進める場合にはこの点に留意すべきである。

他方、産業界においては、事業がグローバル化している中で当然のことながら、協力等を行う相手先についても世界的な選択肢の中で判断していくこととなるが、国内の大学に対しても産学連携組織に積極的にコミットしたり、客員教授等のスキームを活用することにより実務との架け橋となるような人材育成のための大学等の対応に積極的に協力したりすることが望まれる。

## 産学官連携の促進

### (i) 産学官が連携した取組に対する支援策の充実

近年の経済社会のグローバル化、技術革新の加速化により研究開発を巡る環境も大きく変化している。こうした中、産業界にとっては、「知」と「人材」の最大の供給源である大学との連携

の重要性が増大している。当分野のような戦略的・先端的分野においては、この傾向は一層強くなっている。他方、大学等についても、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は増大している。このため、前述のように融合的・学際的取組に対する支援を充実させるのと同時に、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である。

ただし、産学官で共同研究を進めようとする場合、特に大学等公的研究機関の研究者サイドにおいて企業等からの資金・人材を受け入れて研究開発活動を行う場合、利益相反の問題、研究成果の取扱い等に関する契約意識の発想が乏しく、連携の推進を阻害することがあり得る。研究開発に従事する者は、研究に専念しようとするあまり、この点に関する意識が薄まることのないよう留意すべきであると同時に、公的研究機関においても、組織体としての研究開発支援・事務能力等を十分に備えるべきである。

また、産業界にとってもリスク負担とインセンティブの付与が重要であり、応分の費用負担を伴う形での推進が望まれる。

## (ii) 人的流動性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る。産学官連携のために研究人材をある箇所に集中させたり、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ある。官民を問わず若手研究者が自己のキャリアパスの選択に際して、いろいろな機関・部門等で経験を積み重ね、幅を広げられるように選択肢を拡大していくための制度・環境の整備が必要である。我が国においては、長年培われてきた終身雇用、年功序列等の社会構造・価値観が存在する中、退職金や年金等も含めた社会全体の枠組み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であるが、最低限、将来展望・目的を持って意欲的に活動する人間にとって疎外感ない制度面からの環境整備が望まれる。

## (iii) 産学官連携に対するインセンティブの向上

産業界からの公的研究機関に対する委託研究、公的研究機関との共同研究における手続き等に関するガイドラインが未整備であるため、公的研究機関において産学官連携に躊躇することがあったり、産業界からみても透明性・予測可能性に欠けたりするという指摘がある。また、大学等における研究者が主体的に産学連携に向かうインセンティブが高まるようにするため、できるだけ自由かつ迅速に外部資金が使用できるよう手続き等の一層の弾力化が必要である。

さらに、産学官連携の相手先を模索する場合、産業界から国立大学への寄附は損金扱いされるが、私立大学への寄附には何も考慮されない。一般寄附の場合に税金がかかるが、これを回避するための奨学寄附金での対応には、企業の前年度実績に基づく上限がある。他方、米国等においては、大学や公的研究機関への寄附は税制上優遇される。大学等公的研究機関を活性化し、産学官連携にとってもプラスの誘因となるためには、研究開発資金が不必要な制限なく多様な形で確保されていくことが重要である。

当分野においては、優れた研究開発成果を創出しフロンランナーとして世界的にも存在感を発揮していくためには、前述のように分野・機関を超えた研究者の融合的取組が不可欠であり、こうした手続き面での不備の解消、機関間の制度上の不公平や阻害要因を除去とともに、機関の性格を限りなく意識せずに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である。

#### (iv) 産学官連携の取組に対する評価

また、従来の研究開発評価が、論文数およびその引用件数を取りわけ重視する形で行われてきたことから、産学官連携を展開することが、多くの研究者にとって必ずしも容易な決断ではなかった。起業、事業化を研究者の成果・実績として評価するなど、産学官連携の実績を、論文などとは別に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である。なお、研究者の業績評価については、基本的に研究機関が行うべきものとして機関長が評価ルールを整備し実施することが必要であることはいうまでもないが、画一的な基準で、基準による評価の「合計点」を重視するような評価ではなく、多元的な評価を行い、基準の一つで優れている場合にこれを積極的に評価していくことにより、研究者の創意工夫を促進していくことが肝要である。

### (4) 人材の確保・養成

|                                                |
|------------------------------------------------|
| 研究者の確保・養成<br>研究支援者の拡充<br>研究評価・マネジメント能力のある人材の養成 |
|------------------------------------------------|

#### 研究者の確保・養成

いうまでもなく「ヒト」あってこそその研究開発であり、研究人材の確保・養成については最重要課題と認識すべきである。

人材については、既に確立されている領域では一般的に裾野は広いものの、融合的な部分、理論的・計算科学的にアプローチする部分において不足感が言われている。また、最近では、若手の競争力ある研究人材の確保に苦労している機関・プロジェクト責任者等が多い。海外からの人材で充たしようとするも、公的研究機関においては、手続き的な問題等により機動的対応ができないケースも散見される。世界トップレベルでの研究開発が可能となる人材の確保は急務であり、特に、本年度より独立行政法人となった旧国立試験研究機関においては、機動的な対応が期待されるところである。

また、特に大学等においては、研究開発の実働部隊であり次世代を担うこととなる大学院学生、ポスドク、若手の研究者が質の高い研究開発活動に専念できるよう支援も充実させることが必要である。同時にこうした研究者に対する知的財産面、処遇面でのインセンティブを付与していくことも重要である。

さらに、今後予想される急激な研究開発の進展に対応していくためには、来る将来に備え、必要な箇所に質の高い人材が輩出される仕組みが不可欠であり、高等教育等の現場においても、上述の融合領域、理論的・計算科学のような部分において裾野の広い人材育成に着実に取り組むべくカリキュラム等の工夫が必要である。

#### 研究支援者の拡充

研究開発人材の流動化を国是としている中、特にナノテクノロジーを実現するための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・充実に向けた対応を抜本的に強化していくことが必要である。また、研究者が研究開発に専念しやすい環境を整備するという観点からも、成果管理、経理等に関する支援体制の整備も重要となる。

しかしながら、研究支援者の強化も総花的であってはいけない。科学技術基本計画において競争的資金に間接経費を導入したが、当該経費の中から支援部門に要する費用を確保していくなど、真に必要な箇所に手当できるようなことを考えていくべき。また、こうした支援業務の重要性は今

後他分野においても高まってきており、支援業務の価値が高まってくることを念頭におけば、特定の装置類の操作等の特殊技能を要する人材に関する人材市場的な発想を導入していくことも考えられる。

ただし、研究開発に従事する者が、特定の装置類の操作を支援者に過度に依存することによりブラックボックスを作ることとならないように留意しなければならない。

#### 研究評価・マネジメント能力のある人材の養成

研究評価やこれに基づく資金の配分、研究開発のマネジメントに対する責任体制を強化していくことが重要。このため、専任で研究評価に従事する者や研究開発と経営・管理の経験を有するマネジメント能力のある者の養成が必要である。

さらに、科学技術の高度化、細分化が進む中、科学技術の恩恵にあずかりながら十分な知識があるとはいえない不特定多数のユーザ、国民も不可避免的に発生。技術革新によって得られる成果が社会に根づいていくためには、社会システムの中に適合することが不可欠であり、こうした社会システムの枠組みを規定する法的な知識を持つ人材を確保するとともに、成果を社会に対してわかりやすく説明できる人材の発掘・育成が必要である。

### (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<br>国際協力の推進<br>研究者・技術者或いは事業者の社会的責任、説明責任 |
|------------------------------------------------------------|

#### 状況の変化に対する柔軟かつ機動的な対応

技術革新が急速な分野の場合、例えば、5年計画で研究開発を進めても当初の計画・仕様どおりに研究開発を実施しても技術が陳腐化しかねない。原因としては研究開発実施時において仮定している基盤的な部分が研究開発を行う5年間の間に進歩を遂げるためであり、常に新しい技術を取り込む柔軟性、機動性が必要である。また、例えば、材料分野のように、昨今経済のグローバル化に伴うコスト競争の激化等により構造変化が起きている。他の技術領域においても、関連する産業において大きな構造変化が起き得る。その場合に、従来の手法等に固執することなく、常に最新の動向を見据えつつ、そこでのビジネスモデルも意識し、新たに必要となる革新的技術の見極めを行っていくこと不可欠である。

さらに、国家的・社会的要請等外部の環境変化を迅速に察知し柔軟に対応するすべを準備しておくことが必要であり、国自ら調査研究その他の方法を充実させることが必要である。

#### 国際協力の推進

ナノテクノロジー・材料分野は、我が国が科学技術創造立国を進めていく上で、また、21世紀に求められる社会の実現に向けて、正に生命線ともいべき分野であり、国際的にも戦略的取組が旺盛となっている。このような状況の下、従前にも増して競争が激化し、また、経済社会からの要請に適時適切にこたえていくためにも研究開発のスピードも必須の要件となってくることが予想される。その場合、我が国で独自に必要な研究開発体制を構築するよりも、共同研究等による協力関係を作り進めていく方が、かえって我が国における世界レベルでの創造的成果の創出につながることも想定できる。

また、我が国が全ての技術を保有することは非現実的であり、必然的に、我が国にない技術の研究開発成果の購入或いは技術導入という形で補完的に取り入れていくことが必要である。

以上の点を勘案しつつ、海外の研究機関・企業等との連携・協力を視野に入れた研究開発の

戦略を持つことが必要である。

#### 研究者・技術者或いは事業者の社会的責任、説明責任

研究開発成果としての新材料、新素材等は、我々の生活のみならず、自然環境や生態系にも大きな影響を及ぼす。したがって、研究者・技術者或いは事業者レベルでの日常的対応はもちろんのこと、研究開発機関としても、物質管理の知見も最大限に活かしつつ、その社会的影響の評価・対処法、情報公開を徹底し、将来起こり得るリスクを想定した社会的な対応の在り方に関して、研究開発に並行して資源を配分して検討すべきである。この点は、技術革新に伴う物質的・経済的豊かさだけでなく、文化的・精神的に豊かな社会を実現するためにも必要である。

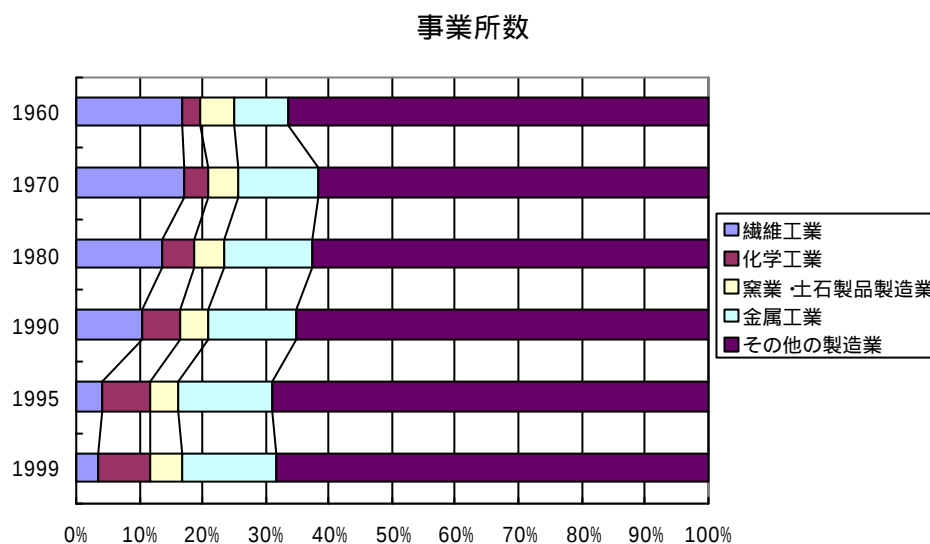
同時に、研究開発の進展に伴い物質面でのリスク以外にも起こりうる社会的影響、問題を浮き彫りにし、いかなる手段・措置での克服が必要かについて明らかにするための調査研究もおろそかにすべきではなく、関係府省が資金を出し合い対応すべきである。また、この情報については、ローカルな情報にとどめず、研究開発に従事する者、ファンディングをする者が遍く享受すべきである。

研究開発は、納税者に対する説明責任を全うすることなくして成り立たず、社会に対する説明責任を全うすべく、研究者、研究機関、更には行政機関それぞれが国民とのコミュニケーションを充実すべきである。これは、同時に、人材育成の面からも、科学技術に興味・関心を示す者、次の世代を担う人材を増やしていくためにも必要である。

# (別添1) 材料分野のおかれている状況

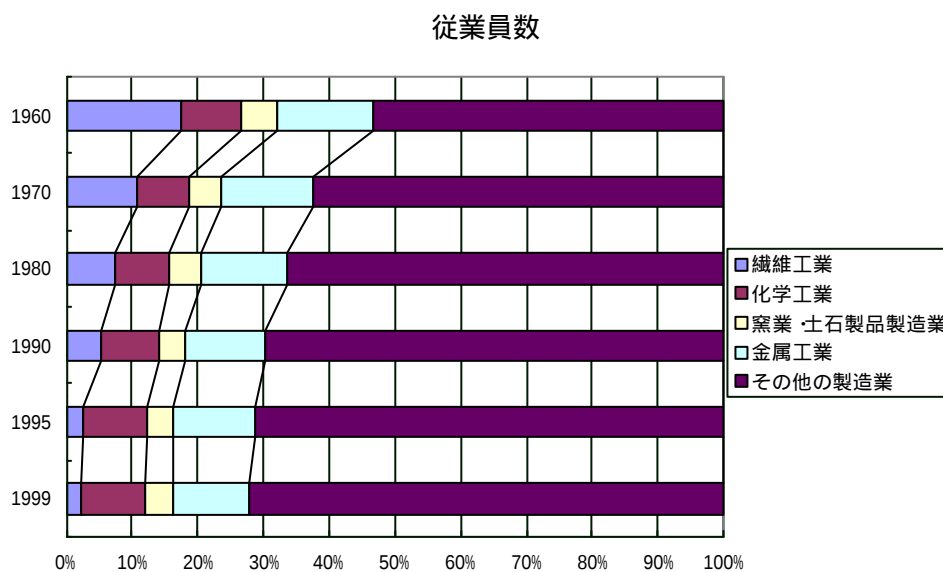
## 1.材料産業の現状と特徴

図 1 - 1 材料産業の事業所数が製造業に占める割合の推移



資料：経済産業省 「工業統計表」

図 1 - 2 材料産業の従業員数が製造業に占める割合の推移



資料：経済産業省 「工業統計表」

図 1 - 3 材料産業の出荷額が製造業に占める割合の推移

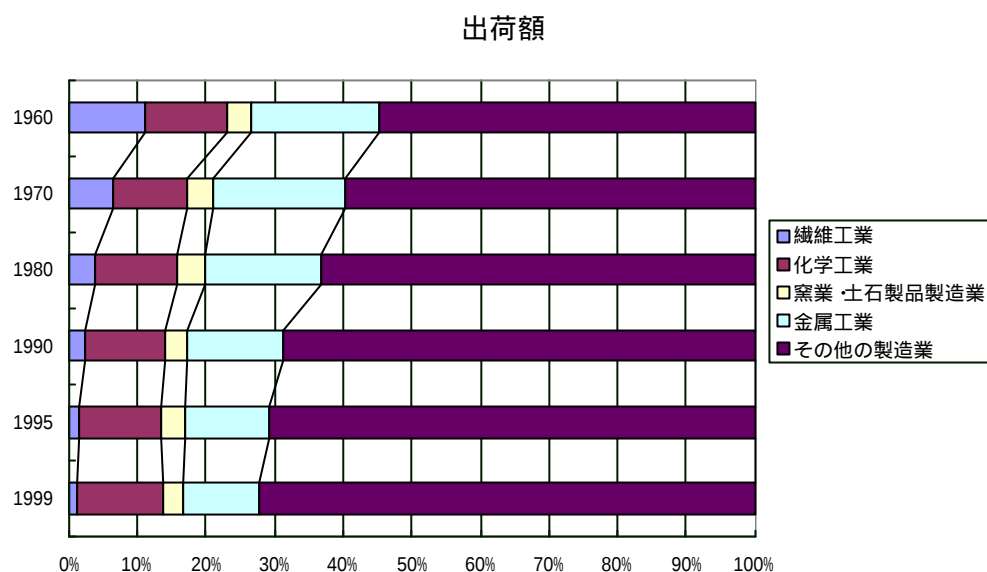


図 1 - 4 材料産業の付加価値額が製造業に占める割合の推移

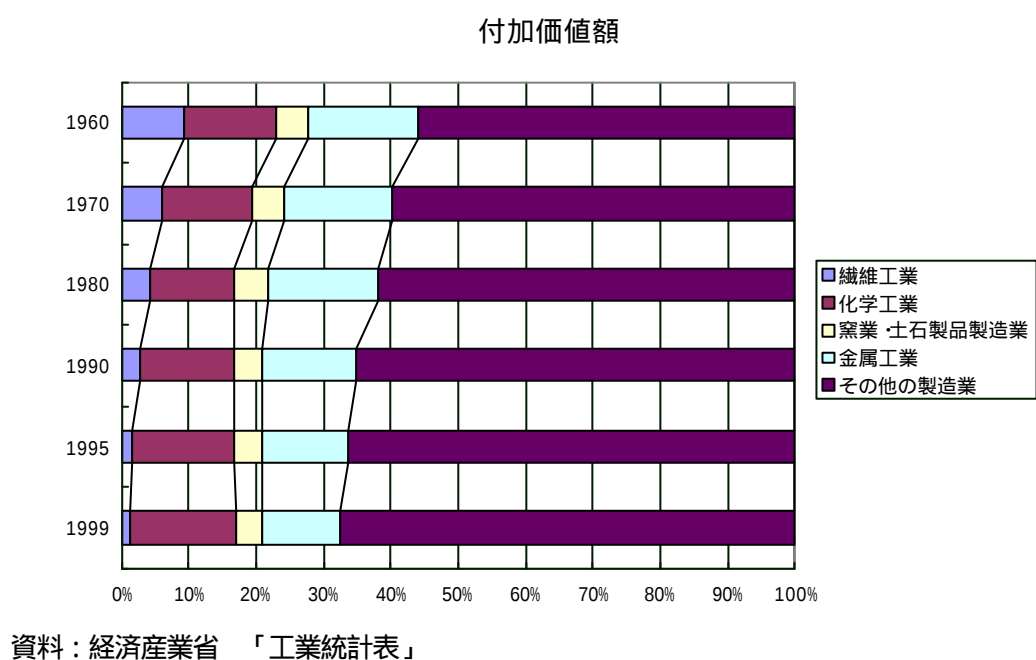
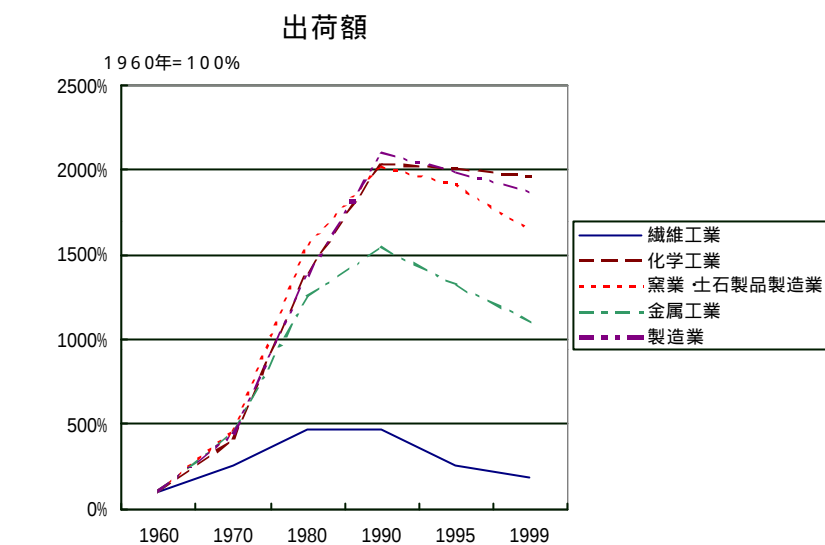
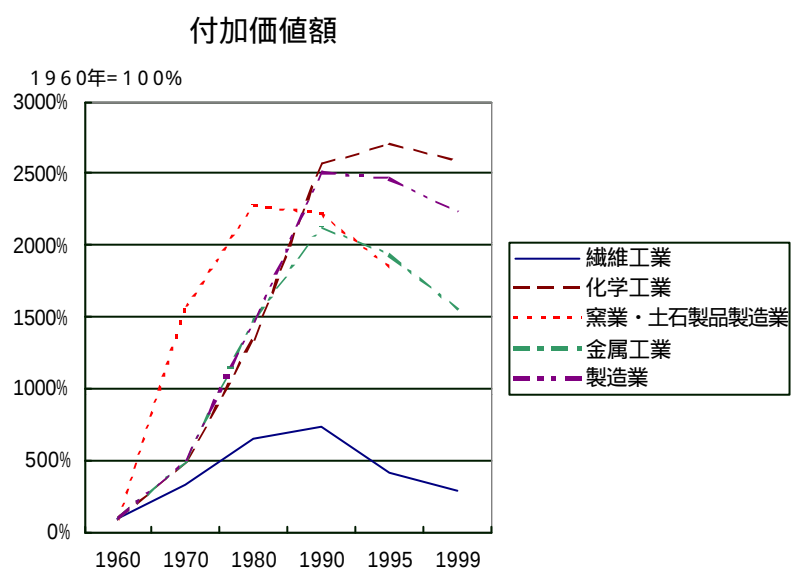


図 1 - 5 材料産業における出荷額の伸び率の推移



資料：経済産業省 「工業統計表」

図 1 - 6 材料産業における付加価値額の伸び率の推移



資料：経済産業省 「工業統計表」

## 2.材料産業技術の状況

### (1) 材料産業技術を巡る国際比較

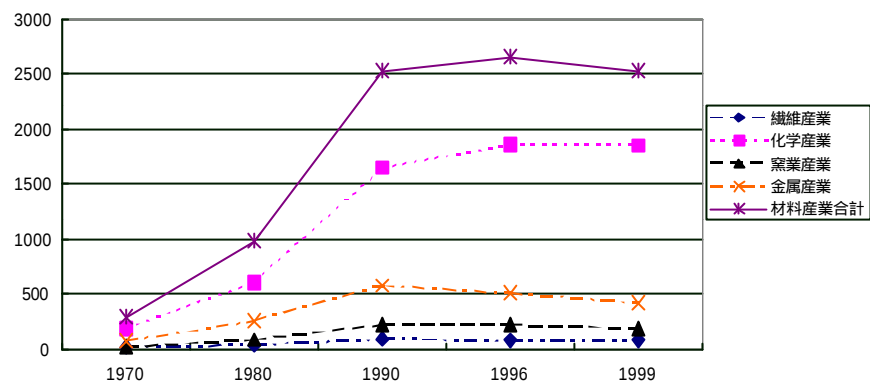
#### 研究費および売上高研究費比率の推移

図2 - 1 主要国の材料産業別研究費の推移

##### (a) 日本の材料産業別研究費の推移

日本の材料産業別研究費

(単位：十億円)

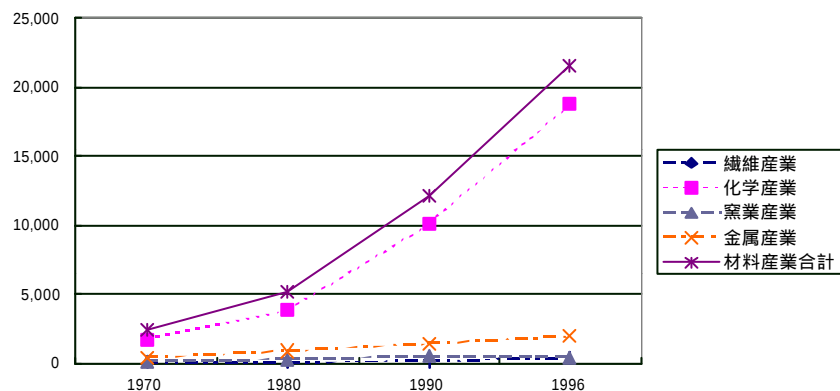


資料：総務省「科学技術研究調査報告」

##### (b) 米国の材料産業別研究費の推移

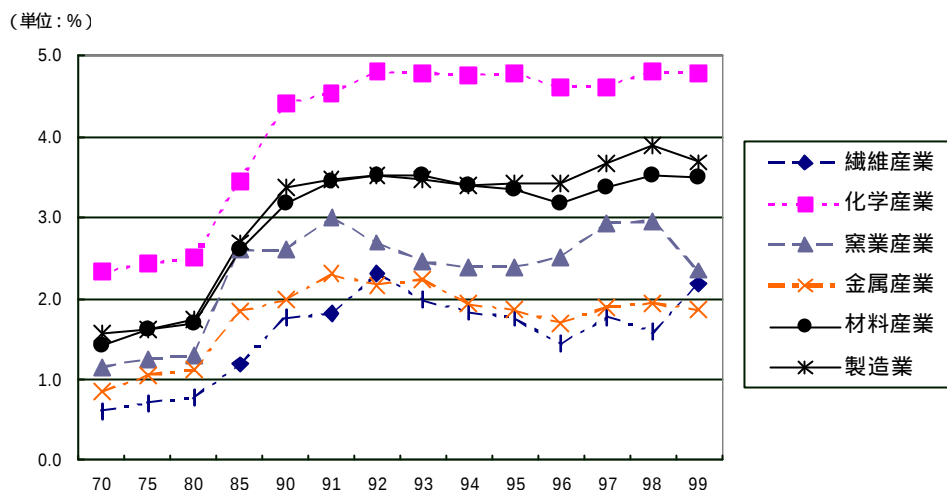
米国の材料産業別研究費

(単位：百万ドル)



資料：文部科学省「科学技術統計要覧」

図 2 - 2 材料産業別の売上高研究費比率の推移



資料：総務省 「科学技術研究調査報告」

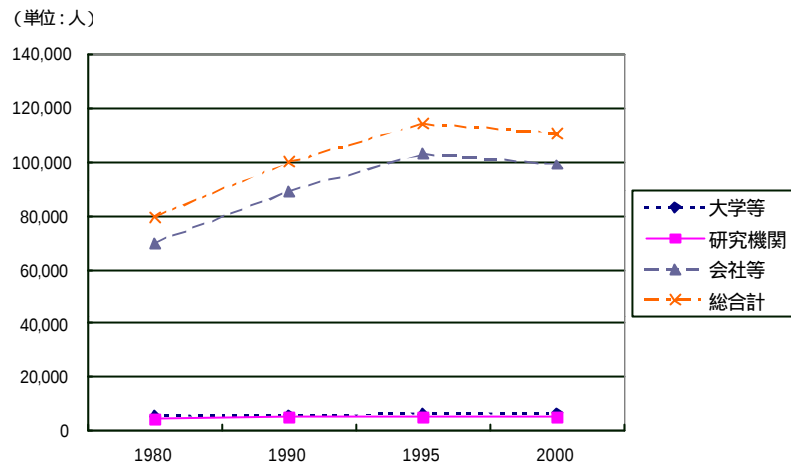
表 2 - 1 材料産業と製造業の売上高研究費比率の比較

|               |           | 1970      | 1975      | 1980      | 1990      | 1991      | 1992      |      |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| 材料産業          | 売上高       | 199,552   | 346,450   | 579,784   | 796,242   | 815,554   | 785,906   |      |
|               | 研究費 ( A ) | 2,851     | 5,596     | 9,807     | 25,241    | 28,016    | 27,716    |      |
|               | 比率        | 1.4%      | 1.6%      | 1.7%      | 3.2%      | 3.4%      | 3.5%      |      |
| 製 造 業         | 売上高       | 483,247   | 952,478   | 1,667,806 | 2,573,971 | 2,647,096 | 2,545,980 |      |
|               | 研究費 ( B ) | 7,577     | 15,313    | 28,882    | 86,603    | 91,954    | 89,711    |      |
|               | 比率        | 1.6%      | 1.6%      | 1.7%      | 3.4%      | 3.5%      | 3.5%      |      |
| ( A ) / ( B ) |           | 37.6%     | 36.5%     | 34.0%     | 29.1%     | 30.5%     | 30.9%     |      |
|               |           | 1993      | 1994      | 1995      | 1996      | 1997      | 1998      | 1999 |
| 売上高           | 751,918   | 749,650   | 767,257   | 836,019   | 795,545   | 749,514   | 723,875   |      |
| 研究費 ( A )     | 26,460    | 25,465    | 25,667    | 26,490    | 26,798    | 26,394    | 25,254    |      |
| 比率            | 3.5%      | 3.4%      | 3.3%      | 3.2%      | 3.4%      | 3.5%      | 3.5%      |      |
| 売上高           | 2,434,526 | 2,468,520 | 2,560,176 | 2,700,134 | 2,677,824 | 2,518,742 | 2,585,100 |      |
| 研究費 ( B )     | 84,546    | 83,655    | 87,744    | 92,632    | 98,164    | 98,071    | 95,216    |      |
| 比率            | 3.5%      | 3.4%      | 3.4%      | 3.4%      | 3.7%      | 3.9%      | 3.7%      |      |
| ( A ) / ( B ) | 31.3%     | 30.4%     | 29.3%     | 28.6%     | 27.3%     | 26.9%     | 26.5%     |      |

資料：総務省 「科学技術研究調査報告」

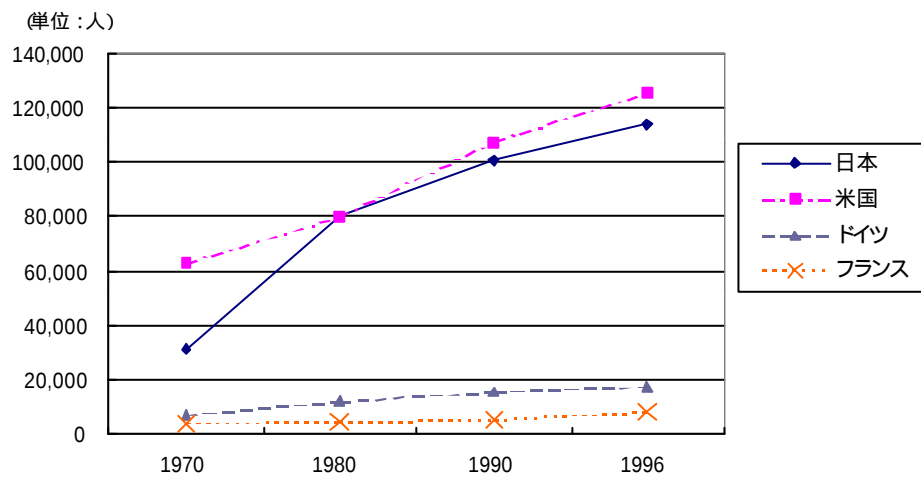
# 研究本務者数

図 2 - 3 わが国の材料分野の研究本務者数の推移



資料：総務省 「科学技術研究調査報告」

図 2 - 4 各国の材料産業分野の研究本務者数の推移



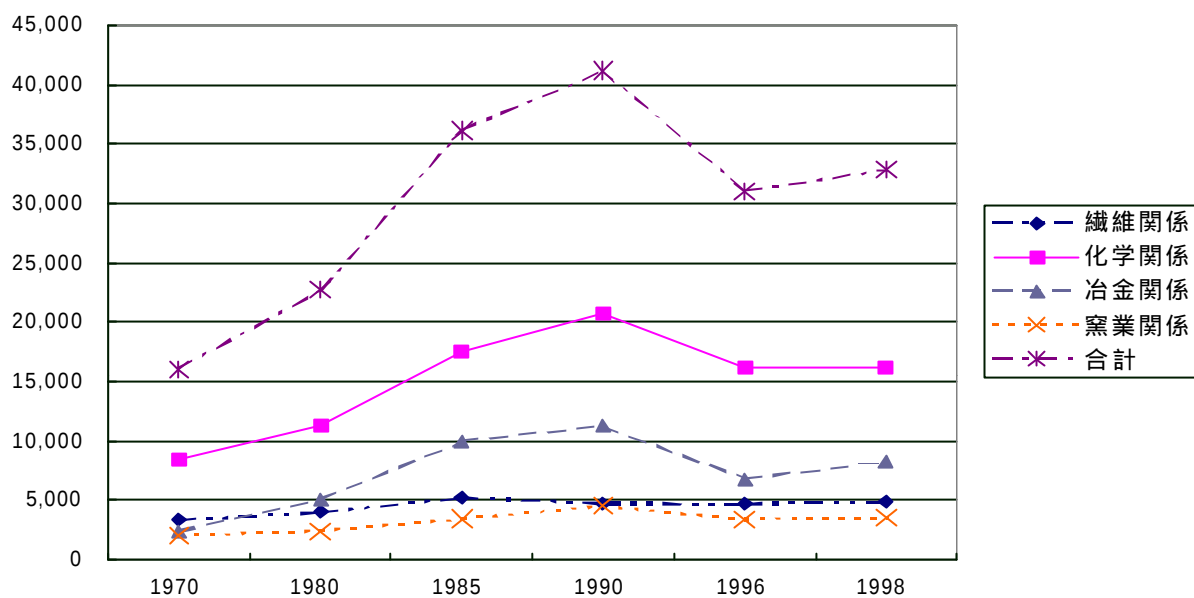
資料：総務省 「科学技術研究調査報告」 文部科学省 「科学技術統計要覧」

## (別添2) 我が国の科学技術の面での競争力

### 特許の出願状況

図1 わが国における材料産業の特許出願件数

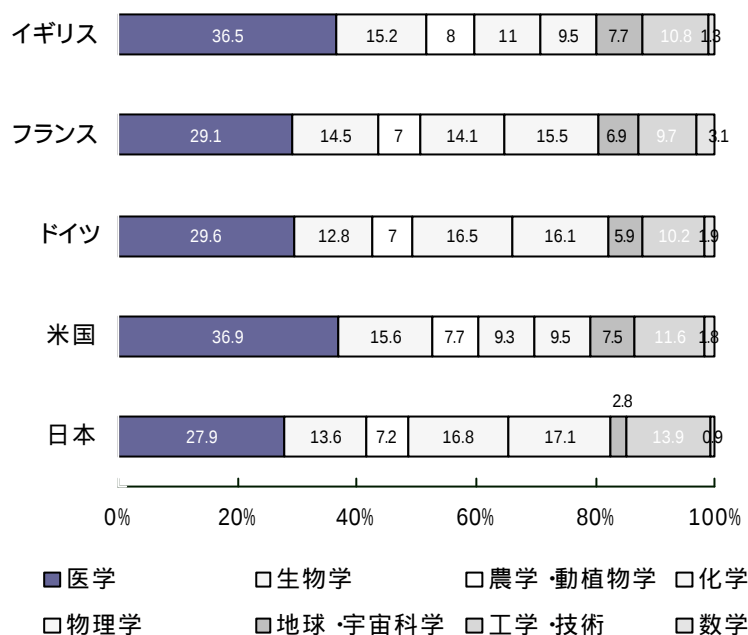
(単位:件)



資料：特許庁 「特許行政年次報告書」, 「特許公報」

# 論文の動向

図2 主要国の分野別論文数の割合（1995 - 1999年）



注) 各分野の構成は、以下の通り。I S IのNational Science Indicators データベースにおける18分野を8分野に組み替えている。

医学：臨床医学、免疫学、神経科学、薬理学

生物学：生物学・生化学、微生物学、分子生物学・遺伝学

農学・動植物学：農学及び動植物学

化学：化学

物理学：物理学

地球・宇宙科学：天文学、天文学・環境、地球科学

工学：計算機科学、工学、材料科学

数学：数学

資料：文部科学省 「科学技術の振興に関する年次報告」

表1 わが国の論文が引用された回数のシェア（数値は1993 - 1997の集計値から算出）

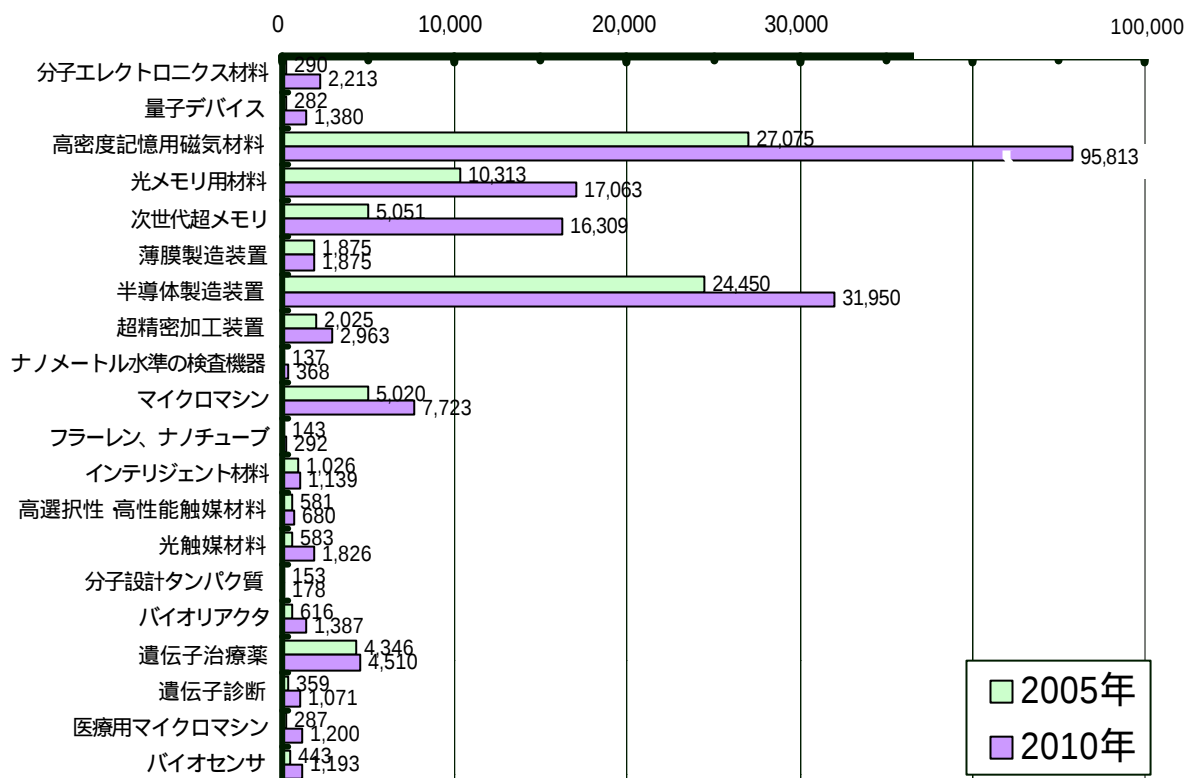
| 分 野         | シェア（％） | 順位 | 備 考                                |
|-------------|--------|----|------------------------------------|
| 材料科学        | 13.5   | 2  | 1位：米国 38.1%                        |
| 農業科学        | 11.7   | 2  | 1位：米国 36.2%                        |
| 物 理         | 12.2   | 3  | 1位：米国 43.7%、2位：独国 14.3%            |
| 化 学         | 11.4   | 3  | 1位：米国 38.9%、2位：独国 11.5%            |
| 薬 学         | 9.4    | 3  | 1位：米国 43.6%、2位：英国 14.6%            |
| 生物学・生化学     | 8.7    | 3  | 1位：米国 56.0%、2位：英国 10.6%            |
| 自然科学・工学分野全体 | 7.8    | 4  | 1位：米国 52.1%、2位：英国 10.9% 3位：独国 8.8% |

資料：米国科学情報研究所

「National Science Indicators on Diskette, 1981 - 1997」より作成

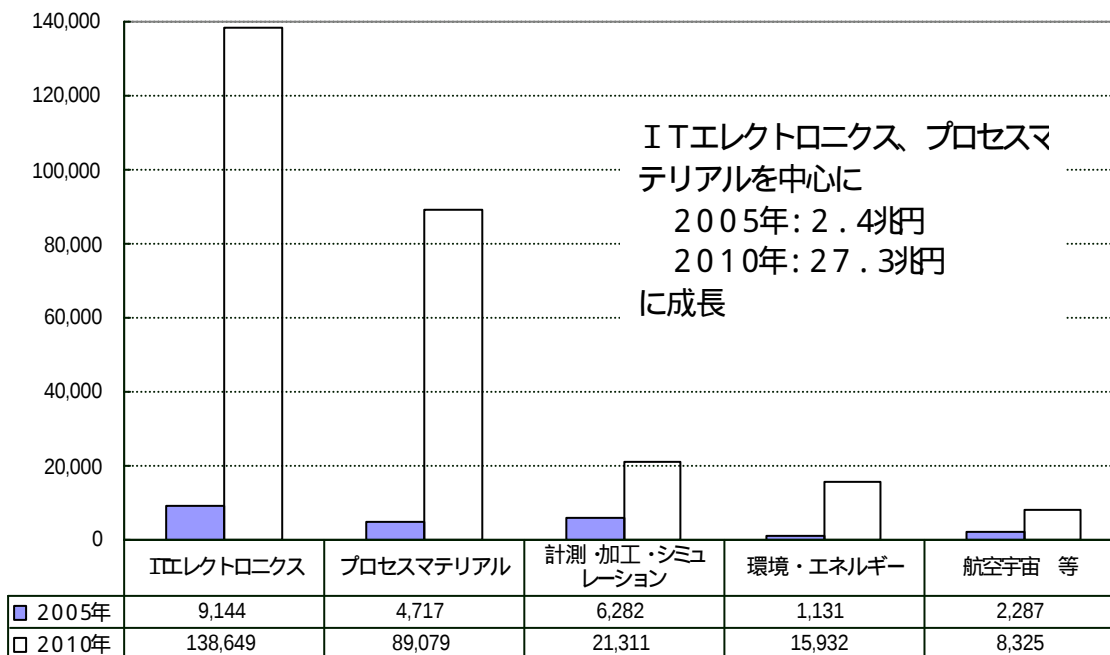
# (別添3) ナノテクノロジーに関する2010年の市場予測の試算例

三菱総合研究所と日本経済新聞社の共同調査(2001年2月)

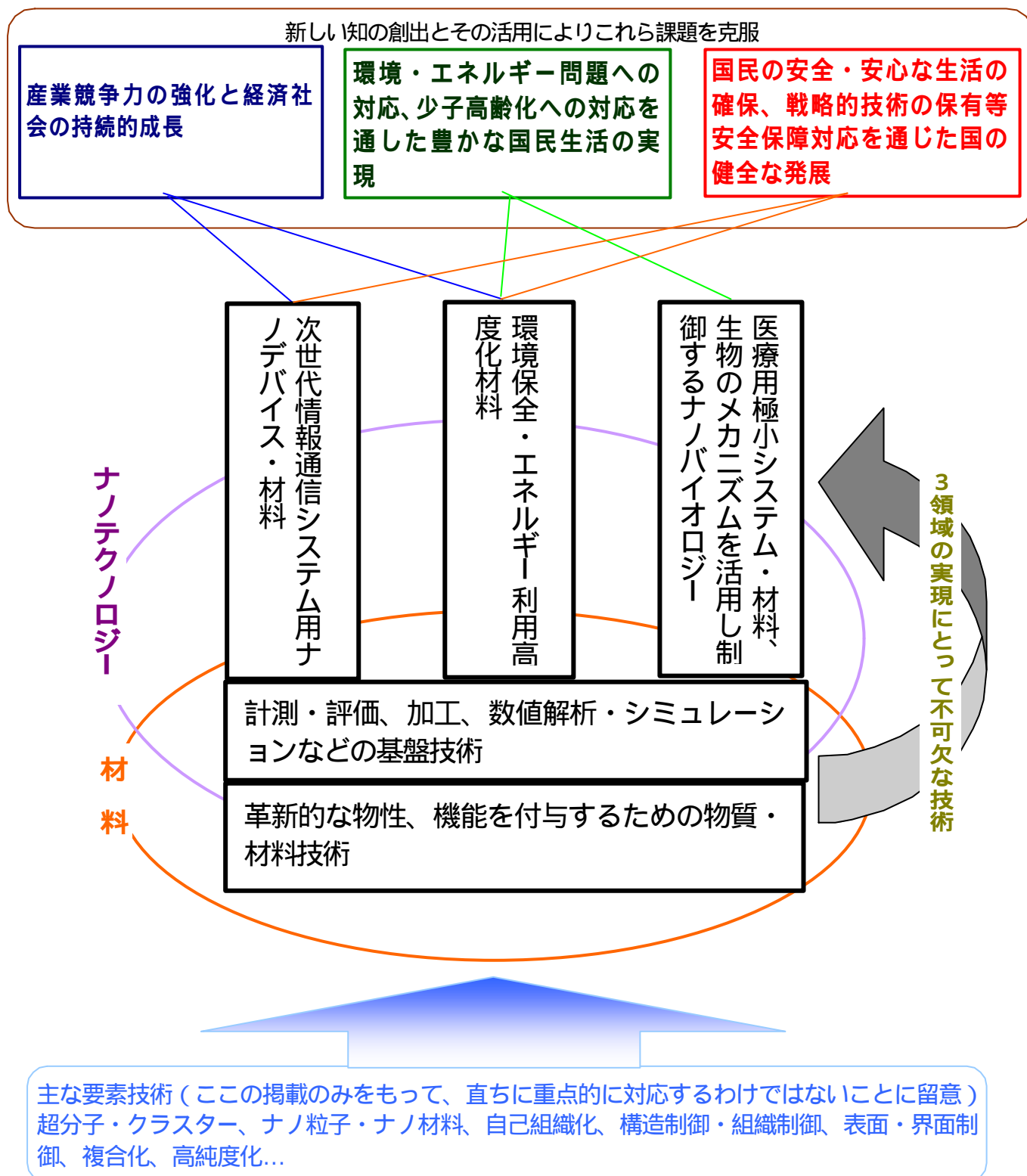


(社)経済団体連合会発表(2001年3月)

(単位: 億円/年)



## (別添4) ナノテクノロジー・材料分野 重点領域の設定



## (別添5) 重点領域毎の達成目標の考え方と目標例

### 次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料

#### 5～10年以内の実用化・産業化を目指した研究開発に関する達成目標

##### (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

情報通信技術の活用は、経済社会の活性化や国民生活の質的向上に極めて大きく寄与するものであり、経済的・社会的にも要請が高い。しかるに、現時点において当該分野は欧米、一部のアジアから遅れをとっており、緊急の対策が必要とされている。高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT戦略本部）においても我が国が5年以内に世界最先端のIT国家になるという目標を掲げ基盤の整備を推進しているところである。

このような要請を実現するには、2010年頃には、高速、高集積度、高密度化技術に関して、スピードと市場へのインパクトを重視した対応が必要であり、技術内容的には、百数十メガビット/秒級の超高速モバイルインターネットシステムを実現する技術、高速・低消費電力デバイス技術（半導体プロセス技術を含む）、地球規模で分散し急速に増大する巨大なデータベースから必要な情報を検索しうるペタバイト級のデータベースと30メガトランザクション/分程度の情報処理能力等が必要となる。

これらの要求を満たすためには、半導体デバイスの小型化が必要であり、2005年にDRAM素子線幅80ナノメートル、MPU孤立ライン線幅65ナノメートルを実現する必要がある。（さらに中・長期的目標として、2010年を目処にDRAM素子線幅45ナノメートル、MPU孤立線幅37ナノメートルを実現する。）また、情報記録の高密度化として、2010年を目処にテラビット/平方インチ級の記録デバイス、高速通信技術として、2010年に幹線で数十テラ～ペタビット/秒級の技術達成を目指す。

##### (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

#### 10～20年先の本格的実用化を展望した研究開発に関する達成目標

##### (達成目標)

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

情報通信社会が発展を続け、より国民の生活に密着したネットワーク社会が実現していくためには情報通信機器の継続的な高性能化（高速化・低消費電力化等）が不可欠である。当面、現在の半導体微細加工プロセスを軸に進展していくこととなるが、その先、更に微細化を突き詰めていくことの困難も指摘されているところであり、半導体微細加工プロセスの研究開発のみでは上記要請に応えるすべを失うことにもなりかねない。このため、現在の技術体系とは異なる新たな原理を活用したデバイス技

術を併せて保持していくことが必要となる。

現在、量子素子、分子素子、クーロンブロックドを利用した少数～単一電子デバイス、スピンエレクトロニクス、SFQデバイスなどの多様な新原理デバイス候補が提案されている。また、現時点では考え出されていない新原理デバイスが発明される可能性もある。どのデバイスが将来的に活用されるかの判断は現時点では困難であり、国が研究開発支援を行う場合には、今後次世代のデファクトスタンダード獲得に向けた各手法間の競争が活性化される点に留意した対応が必要である。

現在の半導体微細化のロードマップに従うと、約10～20年後にはシリコン半導体の動作が本質的に困難になるサイズに到達すると予想されており、その時点までには、シリコン半導体デバイスに匹敵する実用性を持ち、あるいは、代替する可能性をもった新原理デバイスの実現が必要である。新原理デバイスの実現には、単素子での機能確認に引き続いて、集積化及び外部回路との接合・配線技術開発も併せて必要である。今後、5～10年は微細化技術を軸に進展することがロードマップ的にも予想されており、当該技術についても進展が加速化していること等も踏まえた対応が必要であり、そのための最低限の目標として10年以内に簡単なチップの実現を考えると、今後5年程度以内には提案されている新原理デバイスの単素子での動作を実現し、10年程度先を見通し礎を確立することを目標とすべきである。すでに集積化が行われている新原理デバイスに関しては、より一層の高集積化及び外部接合・配線技術開発を行う。

なお、当該新原理デバイスについては、現在考案されている手法以外にも多くの可能性が存在しているが、新たな革新的手法の提案があった場合等には、機動的な目標修正が必要である。

(技術的目標の一例)

- ナノメートルサイズの種々の素子の動作を確認
- 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

## 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

5～10年以内の実用化・産業化を目指した研究開発に関する達成目標

環境、エネルギー分野では、地球温暖化問題への対応が共通の最重要課題であり、COP3の京都議定書に沿って2010年の目標達成へ向けた着実な対応が必要である。一方で、循環型社会の構築、有害化学物質のリスク総合管理はともに重要な環境問題であり、緊急な対応策を要する。

このような要請に対応するには、一層の省エネルギー・新エネルギーの導入促進等を通じた二酸化炭素削減技術、リデュース・リユース・リサイクル対応技術、内分泌攪乱化学物質や法規制対象化学物質の検出・除去技術の実現と、これらを活用した環境対策が経済社会での活動にビルトインされたシステム実現への貢献が必要となる。さらに、新規に創製された物質を用いた国民の生命・身体を脅かす行為に対応するため、我々の生活の各局面においてリスクを検知・評価し同時に削減できるシステムを早期に実現し、国民も含めて納得して管理できる体制を構築していくことが不可欠である。

このために、ナノテクノロジー・材料分野においては、例えば、燃料電池、太陽光発電等の新エネルギー創出のための安価で高変換効率な材料の開発、超伝導利用による高効率輸送・変換技術、一般材料でもナノメートルレベルで組織制御をして強度・耐食性を向上した金属材料の開発、軽量かつ高寿命の材料開発を目指す。また、循環型社会の実現に向けて、再利用・再資源化に適した材料の開発が必要となり、不要な副産物の生成しない高効率な製造プロセスを実現するナノ構造触媒や、ナノ空間を利用した高効率化学反応は重要な要素技術であり、これらに代表される低環境負荷技術の開発

と実用化を目指す。

環境ホルモン、ダイオキシン問題等にみられるように、環境中の微量の化学物質が生態系に悪影響を与える場合がある。化学物質の種類は膨大でありその殆どに関する有害性等に関する知見が不足しており、化学物質のリスクに対する知見の集積とともに適切に管理していくことが要求されている。このため、化学物質の管理に必要なppbレベルでの物質検出・除去技術の開発及びリスクデータベースを構築する。

(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在の2分の1)の太陽電池の実現
- 火力発電の単位電力あたりCO<sub>2</sub>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
- PRT法対象物質を中心とした化学物質リスク評価手法の確立
- 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

## 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

10～20年先の本格的な実用化を展望した研究開発に関する目標設定

(達成目標)

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の確立  
生体分子の動作原理等を活用したシステムの構築のための基礎原理の解明

ライフサイエンス分野では、健康寿命の延伸、活力ある長寿社会の実現のための疾患の予防及び診断・治療技術の開発等を重点領域とする一方で、独創的な研究を行うために萌芽・融合領域の研究及び先端解析技術の開発が必要としている。

この課題に対応して、当分野では、安全空間創成材料として、加齢、疾病、事故等により失われた人体機能を回復するための生体機能再生材料の本格的実用化を展望し、そのための部材を開発する。さらに、医療機器にナノテクノロジーと情報通信技術を適用することにより、人体への負荷を極小化し、さらに遠隔での医療の実現にも資することから、例えば、マイクロマシン、ナノマシンの応用などによる医療用微小システムの本格的実用化に向けた技術面・安全面からの検証等を行う。

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、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箇所に配置する技術の実現を目指す。

(技術的目標の一例)

- 生体超分子の集積法に学んだ医療用極小システム・材料の構築
- 低侵襲診断・治療を可能とする医療用極小システム・材料の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
- 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実現のための基盤技術の取得

## 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 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

STMやAFMなど原子・分子レベルの分解能を有する装置の開発によりナノテクノロジーの研究開発が急速に発展した事例より明白なように、計測・評価、加工技術は、当分野の研究開発の鍵を握る要素技術である。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の3領域の目標を達成していくためには、これらの領域の目標達成予定に先立って計測・評価、加工技術の開発が必要である。現在、STM等では原子レベルでの分解能が達成されているが、より広い領域の観察、時間分解能の発揮など、なお一層の発展が必要である。これら技術は、それぞれ実現すべき寸法に比べて 1 桁程度微細な系に適合することが必要である。また、加工技術に関しては、ボトムアップ型の構造形成のように、ナノレベルに特有の加工技術が、将来の応用を展望して基盤を確立していくことが必要である。

他方、数値解析・シミュレーションなどの計算科学に関しては、迅速な技術開発の要求に対応してますますその重要性が高まってきている。量子化学計算、分子動力学計算、有限要素法など、独立に発達したシミュレーション手法を統合して、真に材料開発に有効な統合システムの構築を実現すべきである。この場合に、異なる手法間でのデータ構造の共通化など、計算機科学における課題に留意したシステム構築が必要である。さらに、ネットワークも含めた計算機環境の進展を意識してGRIDコンピューティングなどの手法にも目を向けることが必要である。完成した統合システムをナノテクノロジー・材料関係の研究者に周知し、利用者を獲得し、研究開発において計算科学手法を活用する研究者の増加に努めるべきである。

### (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

## 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

同様に、上記 3 領域における達成目標に呼応して、その実現に必要な物性・機能を有する物質・材料を遅滞無く提供していくことが要求される。このときに、ある目的を達成するために存在する多様な可能性の中からの絞り込み過程において大きな技術的改良が施される可能性が大きく、必要な物性・機能等を有する物質・材料は、それぞれの目的に対して決して 1 種類ではなく、競合する多くの候補があ

り得ることに留意し、材料開発にあたっては、初期段階から競合する材料の開発動向を視野に入れて研究開発を推進するとともに、初期目的以外にも機能が発揮できる応用分野の存在を積極的に模索することが必要である。国も研究開発制度の設計・運用に当たって、こうした多様な選択肢の確保という観点を十分に念頭におくべきである。

他方、あらかじめ用途を限定せずにその物質・材料の特性を向上させる基礎的な研究を並行して行い将来の新たなニーズに備える必要があるが、技術的な達成目標・達成時期を明確にした取組が必要である。例えば、省エネへの貢献を意識すると、具体的には自動車の低燃費化に有用な比強度が従来の2倍の値を持つ軽量材料や、低消費電力表示デバイスの実現につながる25%の外部量子効率を有する電界発光デバイス用材料の実現などが必要となる。また、国民生活の安全という観点から、構造物用材両の高強度化、長寿命化、耐腐食化等が必要である。これら対応においては、金属・無機・有機といった従来の分類を越えて、共通して原子・分子レベルでの対応を行うというナノテクノロジーの特徴を十分に発揮するよう留意することが必要である。

材料は、何らかの加工を受け製品に利用されなければ、実用に供さない。したがって、材料単体の開発と同時に、産業化が可能な生産・加工手段を開発し、ユーザにソリューションとして提示するシステムを構築しなければならない。例えば、カーボンナノチューブは種々の有望な特性が研究レベルで示されているが、その産業化にあたっては大量合成技術や望みの方向に配列される技術等が鍵を握っている。カーボンナノチューブのように一日も早い実用化により長期的な技術的優位性を獲得できる領域においては産業化を目指した迅速な対応が必要である。

さらに、材料開発の効率化のためには、物質・材料の構造と物性に関するデータベースやシミュレーションの活用、コンビナトリアルケミストリなどの手法の積極的な活用が重要であり、材料開発と並行してデータベースを充実させる。

(技術的目標の一例)

- 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
- 現在の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10分の1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