

# ナノテクノロジー・材料技術分野における 進捗状況と今後の取り組み

## ナノテクノロジー・材料技術分野における進捗状況と今後の取り組みの目次

## (1) 現状認識

## ①第3期科学技術基本計画策定時の状況

- ・日本のナノテク材料は世界をリード、各分野の基盤技術でイノベーションを誘発

## ②第3期科学技術基本計画策定時以降の世界的な情勢の変化と新たな研究展開

- ・環境、エネルギー、資源への世界的な関心の広がり
- ・米欧、アジアなどのナノテク国家戦略強化
- ・世界同時不況による出口産業不振

## ③諸外国の状況： ナノテクへの積極投資、アジアからの論文急増

## ④わが国の状況： ナノテク材料への重点投資、研究拠点等で遅れ、製品化の動き

## ⑤国際競争力比較： 論文は世界3位、特許はトップを維持

## ⑥研究開発、事業化の状況： ナノテクの製品化が急増、市場予測上方修正

## (2)重要な研究開発課題および戦略重点科学技術について

## ①全体的な概況： 次世代 HDD ヘッド技術、鉄系超伝導材料等の進展

## ②重要な研究開発課題の進捗状況： 省庁報告項目の領域毎のまとめ

## ③戦略重点科学技術の進捗： 3つの戦略の元で10の戦略重点科学技術

## (3)推進方策について

- 国の関与の必要性と官民の役割分担： 適切な研究支援実施、トップレベル技術の維持

- 人材育成と拠点形成： ナノテクネットワーク等推進、人材育成・グローバル化研究拠点

- 国の研究資源配分のあり方： 異分野融合ナノテクチャレンジ

- 産学官及び府省の連携： 省の壁を超えたマッチングファンド実現

- 安全・安心に資する責任ある研究開発推進： 社会受容の連携施策群設置

- 国際協調と知財戦略： INC の開催、分野別知財戦略の策定

- 国民への研究開発の説明： ナノテク冊子作成、メルマガ配信

## (4)今後の取り組みについて

## ①「重要な研究課題」及び「戦略重点科学技術」について

- ・環境/エネルギー/資源問題に対するブレークスルーや新付加価値で市場活性化の期待

## ②推進方策について

- ・中長期的視点での人材育成/研究拠点形成強化

- ・環境/エネルギー/資源問題への集中的資源配分

- ・府省連携での基礎から製品化までの切れ目ないファンディング

- ・ナノマテリアルの社会受容や研究成果の国民への積極的な情報発信

以上

## ナノテクノロジー・材料分野における進捗状況と今後の取組

### (1) 状況認識

#### ① 第3期科学技術基本計画策定時の状況

第3期科学技術基本計画の開始当時の状況として、我が国の材料技術は、過去数十年にわたる多くの研究者、研究機関の弛まぬ取組と研究成果の蓄積および産業界における事業化により、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化にいたるまで全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっていたほか、ナノメートルの領域にまで踏み込んだ組織制御・合成技術と、高分解能電子顕微鏡などの高精度分析・計測・解析技術を両輪として、進化を続けていた。

日本のナノテクノロジー・材料分野は、従来からの強い材料・分析・作製技術をベースに、20年ほど前からナノテクノロジー関連の研究に対する国のプロジェクトや産業界も含めた基礎研究への支援・投資が行われたことにより、カーボンナノチューブの発見、光触媒の開発、強相関エレクトロニクスの研究などに代表される世界に誇る多くの成果の創出等、ナノ材料の研究が全体を牽引していることが我が国のナノテクノロジーの特徴であり、いわば材料技術の強みがナノテクノロジーの強みの源泉となっていた。

ナノテクノロジー・材料分野は、あらゆる科学技術分野の基盤をなす技術であり、例えば、環境・エネルギー分野で期待されている太陽電池、燃料電池、二次電池などクリーンエネルギーの創製とその蓄電技術におけるブレークスルーも主に材料技術が担っている。また、疾病の超早期診断や低侵襲医療の実現に向けた技術の確立にはナノテクを活かした材料、その部品化およびエレクトロニクス技術の融合が不可欠であり、これらがバイオテクノロジーと融合することによって、健康・長寿といった国民の期待に応えることができる。このように、産業の振興や人間の豊かな暮らし、安全・安心で快適な社会などを実現する重要な技術として期待されている。

また、材料やナノテクノロジーの研究開発がイノベーションを誘発し、結果として人と社会に大きな貢献をもたらしたケースも少なくなく、社会・産業が求める技術課題としての取組と共に、「True Nano」と定義した内容にふさわしい不連続で飛躍的な成果をもたらさうるイノベーション促進型科学技術としてのポテンシャルも有している。

こうした状況の中で、True Nanoと材料革命による社会的課題の解決期待に応えるため、ナノテクノロジーと材料の研究開発は、重点推進4分野の1つに位置付けられ、第2期科学技術基本計画以降、研究資源を重点配分することによって積極的に推進されてきた。

#### ② 第3期科学技術基本計画策定以降の世界的な情勢の変化と新たな研究展開

ナノテクノロジー・材料分野への重点的な公的研究支援が開始されてから、日米で

は8年目を迎えたことに加え、世界各国においても公的研究支援が充実されてきている中、本分野を取り巻くグローバルスケールでの状況が大きく変化してきている。とりわけ、第3期科学技術基本計画策定以降においては、以下のような顕著な情勢変化が見られる。

- (i) 環境、エネルギー、資源問題に世界的な関心の広がりが見られ、新世代の太陽電池等の再生可能エネルギー技術、省エネルギーのための輸送機械部材の軽量化、希少資源の節約・代替技術、高機能触媒、浄化用フィルターなど、地球温暖化、資源枯渇、水・食料問題という全地球的課題への対策に向けての関心・取組が本格化し、ナノテクノロジー・材料技術によるブレークスルーへの期待が高まってきている。
- (ii) 米欧に加え、中国、韓国、台湾、シンガポールの競争力が一段と強化されてきているほか、インド、ロシアで新たなナノテクノロジー国家戦略が開始されるなど、ナノテクノロジーの産業化へ向けた国際競争の激化が進んできている。
- (iii) 世界同時不況の発生によりナノテクノロジー・材料分野の主要な出口産業であるエレクトロニクス産業を始めとして、各種関連産業において2008年以降はマイナス成長へ推移しつつあり、今後の実用化推進に当たっての影響が懸念される。しかし、金融破綻を主因とした今回の世界不況の反省から、実体経済を成長の原点に据える考え方が広まり、当分野でのグローバル競争はさらに激化することが予想される。

こうした状況変化の中で、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発においては、これまでの常識を覆す鉄ニクタイド系新超伝導体の発見、第三世代の太陽電池技術として応用が期待されている量子ドット研究の進展、新概念の透明アモルファス酸化物半導体(TAOS)の開発、白金を使わない燃料電池用無機系及び有機系触媒開発、光触媒(防汚、抗菌、超親水)材料開発と応用及び市場の成長、スピントロニクス(薄膜トンネル磁気抵抗(TMR))素子の急進展等、各種課題の解決に向け、また将来的なブレークスルーに大きく寄与することが期待される様々な研究成果や不連続で飛躍的な成果をもたらさうるイノベーションの種とも言える研究成果が創出されており、我が国の今後の学術および産業の国際競争力を確保していく上での技術基盤となっていくことが期待される。

### ③ 諸外国の動向

欧米各国は、この1、2年のナノテクノロジー・材料分野における商業化の兆しや、エネルギー・環境分野への浸透を期待して、公的研究支援をさらに強化する傾向が見える。

特に、米国においてその傾向は顕著であり、2001年より始まった国家ナノテクノロジー計画(National Nanotechnology Initiative、以下「NNI」という。)を着実に実施しており、2007年12月にNNI戦略プラン(2004年)を改善した新戦略プラン、そして2008年4月にはPCAST(大統領科学技術諮問会議)による3年に1回のNNIに対する評価レポートを、相次いで発表している。NNIの戦略構成要素としては、従来7項目であったPCA(Program Component Area)に

においてEHS（環境、健康、安全）を独立させて新しく8項目としている。

また、2009年度は\$1.5Bの概算要求であり、2001年から積算すると連邦政府の公的支援額は\$10B（約1兆円）に達している。さらに、米国連邦政府及び州政府では産学官の連携による様々な取組が積極的に行われている。

一方、欧州では2007年に第7次欧州研究開発フレームワーク（2007年～2013年）（以下「FP7」という。）が策定された。FP7の中に入力段階の基礎研究から出力段階の市場化技術までが取り込まれており、ナノテクノロジー関連予算についてはFP6の2倍近い年間予算5億ユーロ（総額35億ユーロ）が予定されている。また、EU予算に加えて、各国が独自のナノテクノロジー予算を確保して研究開発を行っている。

また、ナノテクノロジー分野への研究開発資金の投入は近年、アジア各国においても伸びている。特に、中国、韓国、台湾、シンガポール等でナノテクノロジーへの重点的な取組が行われている。

韓国においては、「第2次科学技術基本計画（2008年～2012年）が決定され、5年間で総額60兆ウォン（約5.3兆円）以上の政府研究開発資金の投入を行うことを目標としている。その中では、ナノテクノロジーを4技術分野の一つと位置付け、その中核技術に対するロードマップ（2007年—2020年）を策定し、ナノ技術の先進トップ3への躍進を目指している。

このような各国政府のバックアップもあって、ナノテクノロジー関連の論文数に関してはアジア諸国からの発表が急増しており、特に、中国、韓国、台湾、シンガポールの躍進は顕著である。中国は、ナノ材料だけでなくナノバイオテクノロジーにも注力し、最近、中国科学院の化学研究所でナノバイオテクノロジーの5年プロジェクトがスタート、蘇州にはバイオベイという国際ベンチャー拠点が形成されつつある。

さらに、ロシアが、2007年に初めて8カ年の国家科学技術計画を発表、2010年には1000億円を投入し、2015年までにナノ製品販売を3兆2千億円とすることを目標としている。2008年からは、ナノテク研究のインフラ整備のため、NNN（National Nanotechnology Network）計画を開始している。

#### ④ 我が国の動向

我が国においては重点推進4分野の一つとしてナノテクノロジー・材料分野に投資が行われ始めて8年が経ち、費用対効果を検証しつつ、科学的知見に基づくブレークスルーやナノテクノロジーの成果を活かした産業創出や材料産業のさらなる発展への期待やグローバルな競争力強化を求める声が強くなっている。第3期科学技術基本計画においてもナノテクノロジー・材料分野への投資は引き続き重点化され、研究投資も増額傾向にあり、平成20年度は865億円であり、平成21年度予算案においては、881億円が計上されている。現状の研究開発のレベルでは欧米と総じて肩を並べているが、高い伸び率を示す欧米と比較して、予算レベルでの差は広がりつつある。

（参考：米国（2008年）13億5000万ドル。）

また、ナノテクノロジーを中心とした研究拠点や共同研究ファシリティへの資金投入が、米国、欧州ともに活発である。一方、我が国では研究拠点や共同研究ファシリティ、教育や人材育成、国際戦略、国民を巻き込むナノテクノロジー産業の振興

策など長期的な視野や戦略的な投資、ポートフォリオの形成などの点で遅れをとっている。これまでの成果は、文部科学省のナノテクノロジー・ネットワークによる施設・設備の共用化や独立行政法人等の自発的努力による研究ファシリティの整備に留まっている。

一方、ナノテクノロジー研究成果の実用化、製品化の動きが本格化しつつあり、例えば、新事業創出の取組みとして、ナノテクノロジービジネス推進協議会等がビジネスマッチング等の活動を推進している。また、新しい局面として深刻化する地球環境問題の解決に向け、ナノテクノロジー・材料の果たすべき役割が一層強化されており、関連する施策等が実施され、さらに研究開発促進などの検討も行われている。実用化については、JST研究開発戦略センターの調査によると、日本国内でも2007年12月時点までで、ナノエレクトロニクスや生活関連ナノ製品を中心に386事例が確認されている。ただし、こうした製品においては、ナノ技術による有意性の真質についても留意すべきである。

#### ⑤ 国際競争力比較

国際的な競争力の比較に当たり、共通的な指標である論文・特許に着目すると、ナノテクノロジー・材料分野の論文数は米国がトップで中国が2位、日本、ドイツと続く。しかし、中国、シンガポール、韓国、台湾のアジア勢の論文数急増は顕著である。論文の引用数については、米、EU、日本の順で上位を占め、他のアジア諸国を上回っている。

特許庁がまとめた、平成19年度のナノテクノロジー・材料分野の特許出願状況調査報告書をもとにまとめた特許の動向は以下の通りである。

我が国特許庁における公開／公表件数を、研究区分別に見ると、ナノ情報デバイスが最も多く、ナノ医療、加工・合成・プロセスがこれに続く。また、登録件数においてもナノ情報デバイス、加工・合成・プロセス、ナノ医療に他の区分が続く。

また、データベースが異なること(日本特許: PATOLIS-IV)、米・欧特許: DWPI (Dialog))、対象期間が異なること(日本: 2007年1月～2007年12月、米・欧: 2006年9月～2007年8月)から、単純比較はできないものの、日米欧3極で公開／公表、登録された特許の総数に対して日本国籍の出願人がそれぞれ44%、50%を占める。同分野が引き続き3極の中で一定の強みを有することが見て取れる。しかし、ナノテクノロジー・材料関連の日本、米国、欧州の公開／公表件数の公報発行年月(2001年1月～2007年9月)の推移を見ると日本が常に1位を維持しつつ微増しているものの伸び悩んでおり、着実に増加し続けている米国や欧州との差が狭まりつつある。

#### ⑥ 研究開発、事業化の状況

ウッドロー・ウィルソンセンターのProject of Emerging Nanotechnology (PEN)の成果の一つであるナノテク関連商品の調査結果によると、世界のナノテク関連製品数は2005年以降に急に増え始め、2006年3月の210から2008年の8月には800を超え、毎週、世界でナノテク新製品が3～4種産み出されていることになる。日本(JST研究開発戦略センター)と台湾の独自の調査では、日本国内でも

2007年12月で既に386事例が確認され、台湾では200以上のナノマーク製品が公的に認定されている。

これは、2005年以降、各国のナノテク研究開発投資が製品として結実し始めた兆候であり、ナノテク・材料分野も第一世代（個別分野の先鋭化・極限化：ナノ先鋭化）から第二世代（先鋭化した異分野のナノが融合：ナノ複合化）に移行しつつあると見られている。今後、この分野はさらに、エネルギーを含む地球環境問題などへのイノベーションドライバーとして技術の成熟を目指し、第三世代（各種ナノ技術を構造的に組み上げる：ナノ組織化）に突入すると考えられる。

ここ数年のナノテク製品数の急増を反映して、また、今後のエネルギー・環境分野への長期的な貢献への期待もあって、ナノテク産業の市場予測は大幅に上方修正されている。一例としては、ナノテク専門の調査機関（米国Lux Research社）によると、2007年のnanotech-based goodsは既に13兆円（US\$147B）にのぼり、2015年には280兆円（US\$3.1T）に達すると予想されている。ナノテクの研究成果は、狭義のナノテク製品に活用されているのみならず、従来の素材製品に分類される諸製品へも同様に活用されており、ナノテクがその技術基盤を支える製品の市場規模はさらに大きくなるものと期待される。

## （2）重要な研究開発課題及び戦略重点科学技術について

### ①全体的な概況

ナノテクノロジー・材料分野における研究開発費は、第3期の科学技術基本計画の初年度である平成18年度に762億円であった予算は、平成19年度には786億円、平成20年度には865億円と、年々拡充されてきている。さらに、平成21年度の予算においても、881億円が計上されている。

重要な研究開発課題としては、5領域29課題が位置づけられており、従来の5倍以上の記録密度を達成可能とする次世代ヘッドの基本構造と製造プロセスの確立やこれまで想定されていなかった、磁性元素を含有する新規の超伝導体（鉄ニクタイト系超伝導体）の発見が国際的に高い評価を受けるなど、計画3年度終了時点としては概ね順調に進捗している。ただし、②に記載する一部の施策については、目標達成に向けた課題も残っており、今後、一層の加速推進が必要である。

戦略重点科学技術に対する予算額は、第3期の科学技術基本計画の初年度である平成18年度に167億円であった予算は、平成20年度においては356億円へと増加しており、選択と集中による重点化が確実に図られてきている。これとともに、戦略重点科学技術に掲げられた10技術についても、着実に進捗している。

このように、計画された各テーマについては順調に進捗しているが、最近の社会状況を反映した計画の見直しも必要である。地球温暖化の問題や経済不況の中で世界的に環境・エネルギーへの関心が高まっており、各国とも環境負荷低減技術やクリーンエネルギー技術への取り組みを強化している。このため、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発についても環境・エネルギーに関係する諸課題を広角的にとらえ、かつ要素技術群をシナリオ化するなどの工夫をすることによって強化し、当初計画を前倒しすることが必要と考えられる。

## ②重要な研究開発課題の進捗状況

ナノテクノロジー・材料分野では、「ナノエレクトロニクス」、「材料」、「ナノバイオテクノロジー・生体材料」、「ナノテクノロジー・材料分野推進基盤」及び「ナノサイエンス・物質科学」の5領域に体系化された重要な研究開発課題が推進されている。

重要な研究開発課題の研究開発目標及び成果目標については、概ね順調に進捗しているが、外部の評価等を踏まえた特記事項としては以下の通りである。

### ○進捗が遅れている研究開発目標

以下の目標については、外部の評価等を踏まえ、目標に対しての遅れが認められたものである。これらについては、それぞれの置かれている状況を勘案し、更なる支援の強化又は研究計画の見直し等を必要に応じ図っていくことが望まれる。

- ・定置用燃料電池に関する取組においては、研究開発全体から見ると順調に進展してきているが、そのなかで、システム化におけるコスト削減は重要な課題であり、研究開発目標「2008年までに、定置用燃料電池（1kW級システム）製造価格120万円を実現する。」については、これまでの取組により、システム価格は従来の半分以下へ低減されているものの、今後とも、本目標の達成に向けて、さらなる低コスト化に引き続き取り組んでいくことが必要である。
- ・研究開発目標「2015年頃までに、従来の材料を大幅にしのぐ反応速度で有害物を効率的に分解・除去できる環境ナノ触媒材料を開発する」については、目標全体としては順調に進捗していると判断されるものの、対応する施策の一部で、表面の物理・化学反応の究明やバルク及び表面界面制御法の確立に取り組む必要がある等など、引き続き解決すべき課題がある状況である。
- ・研究開発目標「2011年までに、携帯電話に搭載可能なサイズの環境分析センサーデバイスを実現する」については、小型多機能環境センサの開発において一定の成果が上がってはいるものの、その実用化については課題を残している。

### ○特に進展が見られた研究開発目標

以下の目標については、当初の目標期間を前倒しして達成がなされた。

- ・2010年までに、シリコントランジスタにとってかわる炭化珪素のナノサイズの成膜技術を活用したパワーデバイスにより高効率インバータを実現し、また、炭化珪素の上にナノサイズの化合物半導体の薄膜を形成することでシリコン半導体の間接遷移型半導体とは動作原理の全く異なる直接遷移型半導体を実現し、350GHz級の高周波デバイスを実現する。（SiCスイッチング素子の基盤技術をほぼ確立。）
- ・2010年までに、情報家電の低消費電力化、高度化（多機能化等）に資する半導体アプリケーションチップを実現する。（情報家電用半導体アプリケーションチップ技術開発について、目標を達成。）
- ・2011年までに、デバイス微細化構造設計等のための長さ計測技術、ナノデバイスの熱物性、電気物性、磁気物性計測技術、半導体層間絶縁膜強度等物性の計測技術として18種類の標準物質を開発する。（18種類の標準物質の開発に成功。）



- ・2011年までに、革新的材料による高効率なナノサイズの薄膜トランジスタ・薄膜発光体技術を用いた次世代大型平面ディスプレイを実現する。(新規露光装置技術における TFT 基板のアライメント方法を考案して実験検証等。)
- ・2011年までに、従来とは全く原理の異なる近接場光の原理・効果を応用した革新的な効率のディスプレイ用偏光板を実現する。(低損失偏光制御部材を作成するための各種要素技術を開発。)
- ・2010-20年にかけて、航空機用炭素繊維複合材料の次世代主要機材に適用する。(複合材の損傷検知技術、複合材非加熱成形技術等の実証。ファンシステムに最適な繊維・樹脂からなる複合材を開発。)
- ・2012年頃までに、スピン注入磁化反転方式のメモリを実現する。(超高集積で高速な不揮発性メモリとして期待されるスピンメモリのための基盤技術を確立等。)
- ・2012年頃までに、増大する情報量に対応するテラビット級の大容量・高記録密度ストレージを実現する。(1テラビット/inch<sup>2</sup>級の高密度と記録・再生の高速性とを実現する光記録技術を開発等。)
- ・2015年頃までに、32nm以降のリソグラフィ、エッチング等の半導体微細加工技術を開発する。(6インチマスクブランクス全面を検査できる位相欠陥検査装置の機械系、光学系、光源系を作製。)
- ・2015年頃までに、燃費向上自動車用鉄鋼材料、アルミ系合金、マグネシウム系合金、自動車エンジン部材用 Ti 合金の実用化による自動車全体の軽量化の20%を達成する。(加工性の高いチタン合金の創製技術を開発。)

また、下記の研究開発目標については、これまでの期間で順調に目標の達成がなされた。

- ・2007年までに、超低温時にナノ領域で発現する単一磁束量子現象を用いた低消費電力なデバイスを実現する。
- ・2007年までに、通信量 40Gb/s 級の高速通信機器を実現する。
- ・2007年までに通信量 40Gb/s 級の高速通信機器を実現、2008年までに通信量 10Tb/s 級の光スイッチングデバイスを実現する。
- ・2007年までに、集積化した低消費電力ディスプレイを実現する。
- ・2007年までに、航空機用炭素繊維複合材料について健全性診断等の基本技術を確立する。
- ・2008年までに、通信量 10Tb/s 級の光スイッチングデバイスを実現する。
- ・2008年までに、シリコン半導体上にナノサイズの貫通電極を生成する技術を開発し、低消費電力な積層メモリを実現する。
- ・2008年までに、ナノテク消防防護服に求められる耐熱性能、快適性能、運動性能など様々な性能・機能の評価方法を確立する。
- ・2009年までに、加工性の高いチタン合金の創製技術を開発する。

領域毎の進捗状況としては以下の通りである。

ナノエレクトロニクス領域では、重要な研究開発課題の研究開発目標の多くが時期を前倒して達成された又は達成に近い状況にあり、極めて順調な進捗状況であると言える。特筆すべき成果としては、従来の5倍以上の記録密度を達成可能とする次世代ヘッドの基本構造と製造プロセスが確立されている。この新技術は近い将来限界が危惧されているハードディスク用読み出し磁気ヘッドに新規材料(MgO)を用いることでブレークスルーを達成したものであり、その成果はすでに産業技術として実用化されている。本成果の研究開発責任者は平成19年度日本IBM科学賞(エレクトロニクス分野)及び平成19年度朝日賞を受賞している。

材料領域では、2008年初頭に我が国の研究グループが、磁性元素を含む新系統の超伝導材料(鉄ニクタイト系超伝導体)を発見した。この発見は、2008年に発表された科学論文の中で引用回数が世界1位となったほか、米国の科学誌「Science」が科学分野における「2008年の10大ブレークスルー」の1つに選出された。

また、内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、国土交通省の府省連携プロジェクトとして平成16年度から実施されてきた「革新的構造材料を用いた新構造システム建築物の研究開発」においては、産学官の連携により震度7クラスの大地震でも建築物を無損傷に保つ長寿命の架構システム技術の開発と、同時に地球環境問題への対応として建築物生産における省資源化・省CO2技術の具現化を目標とし、ナノテクノロジーを活用した新材料である新高強度鋼材の開発及び非溶接鋼構造技術の開発が行われ、開発技術をすべて織り込んだ実大構造物で、目標機能の実証確認がなされた。

ナノバイオテクノロジー・生体材料領域では、厚生労働省と経済産業省(NEDO)が連携して進めている分子イメージング分野の研究において、がんを短時間で撮像する手法の開発や、がんへの高集積性の確認、微小がんの診断に繋がる撮像装置の検出感度の向上等が図られ、がんの超早期診断の実現に近づく大きな成果が得られてきている。各省の連携の枠組みは子宮内での胎児手術など低侵襲治療機器開発にも進展してきている。また、研究対象は医療関連分野のみならず、食品の開発や生体に各種の影響を及ぼす毒物、病因・環境物質の測定など関連する分野へと多岐にわたっており、食品素材のナノ粒子の新機能や安全性・加工適性等を明らかにするための施策が開始されるなど、新領域の創成にも寄与してきている。全体としては、当初の目標の達成に向けて順調に進捗していると言える。

ナノテクノロジー・材料分野推進基盤領域では、人材育成と研究環境整備に関して平成19年よりナノテクノロジー・ネットワークが開始され、全国の大学、独立行政法人等13拠点(26機関)が有する先端的な研究施設・機器の共用化を進め、分野融合を促進し、ナノテクノロジー研究基盤の整備・強化を図られ、これにより、ナノファウンドリ、電子顕微鏡、大型放射光、分子合成などの共用施設の開放が進んでいる。また、科学技術振興調整費新興分野人材養成において、若手人材の育成が図られている。

ナノ材料の安全性の議論に関しては、平成19年度後半から平成20年度にかけて、関係各省の行政施策として、ナノマテリアルに関する安全対策の取組が進められている。また、国際的なスケールで多様な議論がされており、標準化の問題とも関係して今後の

動きが加速されるものと予想される中、経済産業省（NEDO）によるプロジェクトで世界をリードする質の高い成果が出始め、国際的に高い評価を受けている。領域全体としては、当初の目標の達成に向けて順調に進捗していると言える。

ナノサイエンス・物質科学領域では、「量子計算技術」において GaAs 量子ドットを用いた光学的量子演算で超高速回転ゲート量子演算が実施された。「界面の機能解明」においては、電池高出力化研究における薄膜界面作製技術の確立など、顕著な成果が挙がってきている。また、サイアロンのナノ構造を制御することにより色純度と耐久性を兼ね備えた各色の蛍光体の開発がおこなわれ、LED照明スペクトルの設計が可能となり、LED照明の色再現性が向上するなど応用へ向けての研究にも進展がみられている。

国家基幹技術である X 線自由電子レーザーについては、平成 22 年度中の装置完成と、平成 23 年度からの共用開始を目指して、着実な予算措置が実施され、装置を構成する入射器・加速器等の装置製作と、これらの装置を収容する建屋の施設整備が進むと同時に、完成後、直ちに本格的な利用研究を実施する際に想定される問題の解決や、先端的成果を得るための研究開発課題の検討が行われているところである。

### ③戦略重点科学技術の進捗状況

ナノテクノロジー・材料分野では、戦略重点科学技術の選択と集中の戦略概念として、（i）社会、産業からの要請が強く、しかも『True Nano』や革新的材料でなければ解決が困難な課題、（ii）ナノ領域特有の現象・特性を活かし、不連続な進歩や大きな産業応用により国際競争の優位を確保する課題、（iii）『True Nano』や革新的材料技術によるイノベーションの創出を加速し国際競争の優位を確保する推進基盤、であることを基準として上記の 3 戦略の下で 10 の戦略重点科学技術を設定している。これらの進捗状況は、中間年としては概ね順調に研究開発が進んでいるところである。

各技術の実施状況は以下の通りである。

「クリーンなエネルギーの飛躍的なコスト削減を可能とする革新的材料技術」については、平成 17 年度から平成 19 年度まで活動した連携施策群「水素利用／燃料電池」において、関係府省庁の連携が図られ、日本発の技術でエネルギー問題解決を目指し、燃料電池については触媒活性化機構の解明や実証運転試験、次世代白色 LED については色再現性に優れた電球色 LED の試作など優れた成果が出ており、概ね研究計画通り順調に進んでいる。

「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」については、文部科学省と経済産業省による「元素戦略／希少金属代替材料開発プロジェクト」が立ち上がり、それぞれ課題の採択、研究体制の組み上げを行っており、当初の計画通り目標達成に向けての研究開発体制が整った。

環境機能性触媒の開発については、エネルギー変換型光触媒の効率、選択酸化触媒の収率、固体酸触媒の選択性等の大幅な改善が見られ、高選択性実現機構についての

解析も進んでおり、全体的には当初の目標どおり進んでいる。

「生活の安全・安心を支える革新的ナノテクノロジー・材料技術」については、高強度鋼の開発等の革新的な材料開発において、自動車に適用可能な軽量で高強度高延性の複層鋼板の製造技術の基盤シーズを確立したほか、高級鋼厚板溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工・溶接材料技術及び金属組織制御技術の開発および、部材の軽量化を図るための強度、加工性等の最適傾斜機能を付与する機械部品鍛造技術の基盤技術を確立するなどの進展があった。食品素材のナノスケール加工及び評価技術については、食品のナノ粒子の物理化学特性、腸管吸収基礎特性等を解明するために必要な実験動物や評価モデル系が開発され、順調に進展している。また、防火服の開発においては、開発ナノテク防火服の優れた耐熱性能をサーマルマネキンで評価するためのバーナー装置の改造を実施するとともに、数値シミュレーションで耐熱評価が可能なプログラムを開発するなどの進展がみられた。革新的構造材料を用いた新構造物の性能評価手法の開発において、高度な耐震性能を実現するための評価用地震動の設定法や実用的な地震応答予測法等を導入した性能評価指針の策定がおこなわれ、全体的には当初の目標どおり進んでいる。

「イノベーション創生の中核となる革新的材料技術」については、ナノ構造部材技術において、新しい動作原理に基づく3端子型原子スイッチの開発とその実用化に不可欠な製造プロセスの開発に成功し、信頼性や繰り返し耐性なども確保し、原子スイッチの実用化へ向けた企業との連携が大幅に前進する等、当該技術の目標である実用材料にスケールアップするための各種研究が順調に進んでいる。高機能材料創成技術については、ナノからマクロスケール表面・空間において物質・情報変換を可能とする、新機能物質創製に不可欠な不均一錯体構築と触媒機能開発を行い、自己組織化性機能分子コンポーネントといった、機能性物質群を合成するなど各種研究が順調に進んでいる。また、超低電力消費エレクトロニクスを可能にする巨大電気磁気効果を示す系の創製に関して、円錐型らせん磁性を持つヘキサフェライト磁石を見出し、30 mTという低磁場での強誘電分極の発生と磁場による全方向制御を実証するなどの成果が得られており、概ね研究計画通り順調に進んでいる。

「デバイスの性能の限界を突破する先端のエレクトロニクス」については、バイオとナノテクノロジーの融合を目指したバイオナノプロセスの要素技術開発において、バイオ分子を用いた電子デバイスに利用可能なナノ構造を作製できることが示された。また、自己組織化技術による環境負荷の低い製造プロセスの要素技術をバイオナノプロセスにより追求し一定の成果が得られるなど、この分野での研究が順調に進んでいる。また超高密度メモリ技術に関しては、40Tb/in<sup>2</sup>級を目指す記憶媒体開発研究により、実証素子作製がおこなわれ、プロセス技術基盤の確立がなされた。また、ナノゲルフォトポリマ材料とコリニアフェーズロック技術の開発により高密度メモリの実証素子が開発され、メカニズムが検証されるなど順調な進展がみられる。

「超早期診断と低侵襲治療の実現と一体化を目指す先端のナノバイオ・医療技術」

については、平成17年度から実施されてきた連携施策群「ナノバイオテクノロジー」において関係省庁間の連携が図られ、子宮内での胎児手術などの低侵襲治療機器や超音波等を用いた分子イメージング技術等の開発において、厚生労働省と経済産業省のマッチングファンドが行われている。また、アルツハイマー病の超早期診断用装置に関し、新規プローブの臨床評価のための超小型自動合成装置を開発する等、着実な進展が見られるとともに、微小がんの超早期診断の実現に向けて、PETの装置設計や検出器の二次試作・評価、MRIの高機能化のためのコイルや撮像ソフトの開発、染色体異常を簡便に解析するゲノムアレイ等の技術要素開発、分子プローブ製剤技術開発等、高感度・高精度な分子イメージング機器の開発が進展した。ナノテクノロジーを活用した人工臓器の開発分野では、血管化技術において格段の進歩等がなされた他、人工骨のデバイス化でも進展があった。

「ナノテクノロジーの社会受容のための研究開発」については、平成18年度には科学技術振興調整費における「ナノテクノロジー影響の多領域専門家パネル」の報告がなされているが、平成19年度より、関係省庁間の連携を図ることを目的とし、連携施策群「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」が設置され、関係府省の研究施策、行政施策の推進に資するための情報共有を図る目的で関係者の共通理解を深めるための取組や、ナノテクノロジーの社会受容性を高めるための取組（シンポジウム、メールマガジン等による情報提供）も進展してきた。また、平成18年度以後、関係府省のファンドによるナノ材料の有害性・リスク評価に関する研究プロジェクトが実施され、第3期科学技術基本計画開始前と比較して研究費の規模は大きく増大している。それと並行して、ナノ材料の安全対策に関する各省の行政施策としての取組も活発化し、平成19年度末より関係各省において安全対策のための検討会等が設置され、平成20年度に各種のガイドライン等が取りまとめられた。

「イノベーション創出拠点におけるナノテクノロジー実用化の先導革新研究開発」については、日米若手研究者交流を実施して研究者の交流を促進しているほか、シンポジウムの開催やホームページ上での情報発信をおこない、ナノテクノロジー研究を戦略的に推進している。また、ナノテクノロジー・ネットワークにおいては、全国13拠点（26機関）の研究施設の共用化により、平成19年度における利用実績は1,316件を達成しており、目標の実現に向けた進展がみられた。

「ナノ領域最先端計測・加工技術」については、ナノテクノロジーに共通な構造及び機能特性に関する計測基盤技術が確立され、粒子質量計測技術、薄膜熱物性計測技術に関しては実用計測器が開発されて普及しつつある。また、ナノ材料に関する新たな標準物質として12種類の標準物質開発が行われるなどの進展がみられた。ナノサイズの金属細線を緻密に並べ、表面プラズモンを利用した金属ナノレンズが提案され、理論検証が行われた。世界最高強度の軟X線レーザーを利用して、世界ではじめてX線領域で2光子イオン化という非線形光学現象が観測され、X線領域での非線形光学において新しい扉が開かれた。また、細胞表面などの計測・分析・操作や材料・デバイスのナノ構造の計測技術が確立されるなど、概ね研究計画通り順調に進んでいる。

「X線自由電子レーザーの開発・共用」については、線型加速器収納部建屋及びアンジュレータ収納部建屋が完成し、引き続き加速器等の整備が実施され、利用推進研究18件が実施された。また、利用推進研究課題の統合・絞り込みが実施されるなど当初目標達成に向けて計画通り順調に進んでいる。

### (3) 推進方策について

#### ○国の関与の必要性と官民の役割分担

民間企業の研究開発投資は、低リスクで、短期に成果が得られる部分に集中することは否めないことから、第3期科学技術基本計画の分野別推進戦略においては、基礎的段階にあり実用化までに長期間を必要とする研究開発、リスクの高い研究開発、産学官の領域を超えた知の集約や大型研究施設の利用等を必要とする大規模な研究開発、環境保全や国民の安全・安心といった社会性の強い出口を想定した研究開発等に対しては、産業的に有望な課題であっても民間の研究開発投資が及びにくく、民間のイノベーションを誘発する意味からも国の関与が必要であるとしており、これまでの計画期間中、この方針に沿った研究支援が適切になされていると言える。

一方で、世界同時不況等の近年の各種の状況変化により、ナノテクノロジー・材料分野の主要な出口産業であるエレクトロニクス産業を始めとして、各種関連産業における業績の低迷が進み、産業界の研究開発投資にも大きな影響が及んでいる。

さらには、米欧アジア各国の積極的な研究開発の強化施策により、論文、特許数等においても、我が国の優位性の後退が認められてきており、第3期科学技術基本計画の開始当時に我が国が築き上げていた世界トップレベルの技術力が大きく揺るがされつつある。このような状況を解決することが今後の課題となっている。

#### ○人材育成と拠点形成

分野別推進戦略においては、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発は、広範囲の研究分野を包含し学際的な性格を有することに鑑み、分野融合に適応し得る幅広い視野を持った研究者を育成することが重要であるとしていることに加え、研究拠点の整備は、ナノテクノロジー・材料分野の基礎研究の推進策とともに、実用化に繋げる展開を図るための推進策としても重要な役割を担うことから、異分野から様々な研究背景を持った研究者が一つの場所に集い、研究者間の交流を通してイノベーションを生み出す分野融合の場として活用すべきであると同時に、人材育成の場としても機能するよう運用に対する配慮が必要であるとしている。

文部科学省は、平成13年度から18年度までの5年間で推進した「ナノテクノロジー総合支援プロジェクト」における最先端機器の共有化の成果に基づき、「先端研究施設共用イノベーション創出事業（ナノテクノロジー・ネットワーク）」を開始し、全国の大学、独法等からなる13の地域拠点（26機関の参加）を形成し、それらが保有している先端的な施設・装置の共用化を通じて分野融合を推進することにより、ナノテクノロジーの研究基盤の強化を図っている。また、科学技術振興調整費新興分野人材養成において、若手人材の育成が図られている他、文部科学省の「ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発」において、ナノバイオ・インテグレーション研究拠点と

して、医工連携を中心とした異分野融合の促進、世界最高水準のナノバイオ研究拠点の形成及び人材育成が推進されている。

しかしながら、研究開発拠点の形成が重要であるものの、我が国全体としてみた場合では十分な数があるとは言えない。さらには、近年の理工系大学進学者数の減少など今後の優秀な研究者不足、人材不足が懸念されており、こうした人材育成・研究支援組織の整備などを引き続き進めていく必要がある。

半導体業界を例に挙げると、海外においては、IBMやIMECなどを中心として外部連携やグローバルな研究体制構築が進んでおり、日本企業が上記研究開発連合への参加を積極的に進めているが、国内研究機関では外国籍研究者の比率が極端に小さく、また企業の研究費に占める社外委託分の比率が小さいなど、グローバル化やオープンイノベーション化で遅れている傾向が見られることから、人材育成とグローバル化の双方に繋がる国内における戦略的な研究拠点の整備は今後の課題といえる。

#### ○国の研究資源配分のあり方

分野別推進戦略においては、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発をイノベーション創出へつなげていくためには、当該分野のみならずライフサイエンス、情報通信、ものづくり技術など他の推進分野との異分野連携・垂直連携による研究開発を推進する必要があるとしている。経済産業省（NEDO）の実施する施策である異分野異業種ナノテクチャレンジ（ナノテク革新部材実用化研究開発）では、基礎・応用の段階から大学・研究機関に加えて企業チームが参加することを必須条件とし、後年に実用化のステージに進むか否かのステージゲート方式を設け、出口への展開を効率的に図る取組を行っており、今後の進展が期待される。

#### ○産学官及び府省の連携

研究開発の成果を有効に産業化につなげていくためには、大学と企業との連携を一層進める必要がある。大学が企業側のニーズを十分把握することに努める一方で、企業が研究開発課題を大学側に提示するような、相互の積極的な働きかけが必要である。特に、ナノテクノロジーは、他の技術と異なり、商品化に向けて研究開発を行うには、異分野異業種との連携等が不可欠であり、産学官との連携、異分野異業種との融合等が重要である。現在、複数の大学で進められている医工融合研究・教育の施策は、今後大きな成果が期待される。

府省連携については、第3期の基本計画期間中に着実に進展してきている。府省連携のさきがけとなり、平成16年から開始された革新的な構造材料を用いた新構造システム建造物に関する「府省連携プロジェクト」が平成20年度に成果を持って成功裏に完了した他、府省連携の継続的な枠組みとして、科学技術連携施策群（以下、「連携施策群」という。）「ナノバイオテクノロジー」、「水素利用／燃料電池」、「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」の推進により、省の壁を越えたマッチングファンドの実現などの連携の促進が図られている。

また、平成18年11月に文部科学省と経済産業省は連携して「合同戦略会議」を設置し、両省独自の「元素戦略検討会」「希少金属代替材料開発プロジェクト企画委員会」における議論を踏まえ、各プロジェクトの研究内容、効率的な推進方策や省庁連携の在

り方等について意見交換を行った。これをもとに、平成19年度より、文部科学省が「元素戦略プロジェクト」を、経済産業省が「希少金属代替材料開発プロジェクト」を、公募段階から両省連携を取って推進した。また、両省は合同で「ナノエレクトロニクス合同戦略会議」を設置し、日本の次世代ナノエレクトロニクスの在り方についても議論を行うなどしている。

#### ○安全・安心に資する取組と責任ある研究開発推進

ナノテクノロジー分野における国際的な動向として、平成19年5月よりOECDの科学技術政策委員会の下に「ナノテクノロジー作業部会」が設定され、ナノテクノロジーの成果を示す指標の共通化、国際共同研究開発促進のためのデータベース作成、研究インフラの利用や国際協力の有効な方法などナノテクノロジーの責任ある推進方策について議論されている他、「工業ナノ材料安全作業部会」ではISO/TC229とも連携してナノ材料の安全性評価開発支援のための、工業ナノ材料のヒト健康、環境影響に関する国際協力が促進されてきている。

こうした中、日本においては、ナノ材料の有害性・リスク評価に関する研究として、経済産業省/NEDOでは平成18年度より5年間の予定で「ナノ粒子の特性評価手法の研究開発」を、物質・材料研究機構では平成19年度から4年間の予定で標準ナノ試験物質を創製し、細胞とこれらの物質との相互作用を解明する研究が、さらには厚生労働省及び環境省では、ナノ材料の健康影響に関する研究プロジェクトが実施されてきている。

一方で、ナノ材料の有害性に関するセンセーショナルな報道も多くなってきている中、有害性に関する個々の研究成果を体系的なリスク評価として、ナノテクの責任ある研究開発に結びつけていくことの必要性が大きくなってきているが、各種の膨大な情報に科学的な側面に対応し切れていない部分もあり、まだこうした体系的な研究成果の発表には至っていない。

また、今後のナノテクノロジーの発展のためには、科学的知見に基づく基盤技術確立し、一定の共通認識の下で、技術の方向性などを議論していくことが必要であることから、この分野の府省共通の課題として取り組むこととし、平成19年度より、科学技術連携施策群「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」が設置された。当該連携施策群のこれまでの活動状況については、以下の通りである。

本連携群の推進に当たっては、平成19年の初頭において、関係各省の連絡会を通し、連携強化の観点から、関係各省の施策で取り扱われていない領域、即ち補完的に実施すべき研究開発課題について、関係府省間での議論を経て、総合科学技術会議で補完的課題のテーマとして「ナノテクノロジーの研究開発推進の共通基盤となるデータベース指標の構築に向けた調査研究」が決定された。補完的課題では、①物性や有害性に関するデータの統合化や有機的な連結方法を検討し、データベース指標の考え方を確立すること、②ユーザの目的と問題意識に応じて結果が表示され、推論および判断の支援機能をもつ知識基盤のプロトタイプ的设计と作成を行うこと、③ナノテクノロジーの現状や問題点の客観的・科学的な把握を通じ、社会受容促進のための情報伝達手段がどうあるべきかを判断するための情報蓄積を行うこと、の三つを目的とし、東

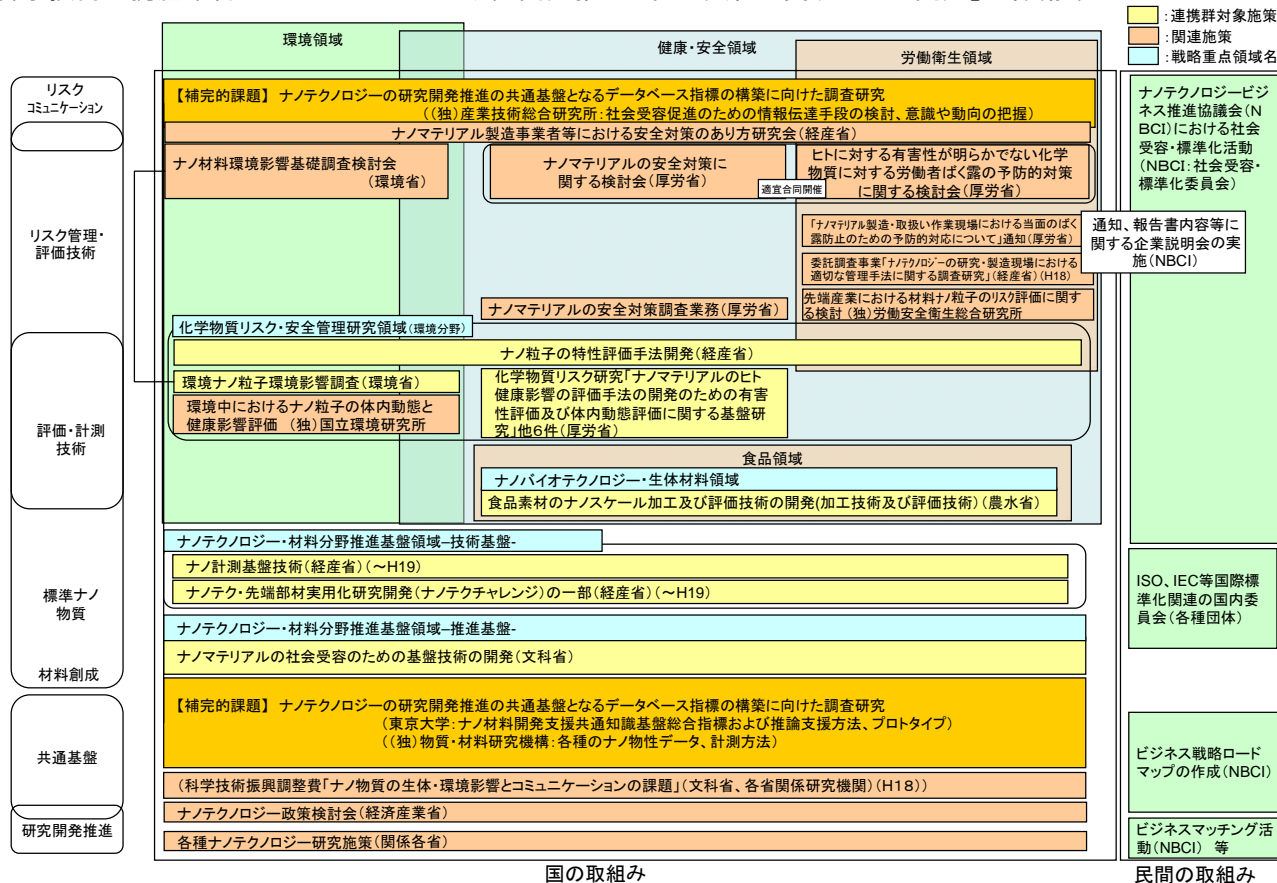


京大学を中心として、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所との連携体制で開始した。また、ナノテクノロジーの社会受容に関する取組は、国際的にも開始間もないことから、平成19年度においては、関係府省、関係研究者等の共通理解を促すことを目的としたタスクフォースを計8回開催した。

こうした中でナノマテリアルの安全対策に関しては、平成19年度末より関係各省の取組（安全対策のための検討会等）が本格化してきたことを受け、連携施策群の下に、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、環境省及び内閣府の関係府省に加え、関係研究機関の研究者、産業界をメンバーとする各省連携会議を設置した。各省連携会議においては、まずは関係府省の研究施策、行政施策の推進に資するための情報共有を図ることを第一の目的とし、ナノ物質の標準化やリスク評価等に関する国内外の活動状況の俯瞰作業を行い、関係者の共通理解を深めてきた。（俯瞰図参照。）

第3期科学技術計画の分野別推進戦略（ナノテクノロジー・材料分野）においても述べられているように、ナノテクノロジーの社会受容性を高めるに当たっては、社会全体への説明も重要となってくることから、平成20年10月には、関係各省の施策・安全対策への取組に加え、補完的課題も含めた連携群全体の活動報告のためのシンポジウムを実施した。また、この間にナノ材料の開発を支援するための各種ツールが作成されるなど、補完的課題の研究も進展してきている。さらに、補完的課題においては関係者への情報伝達ツールとして開始したメールマガジンは産業界を始めとした各方面で高い評価を得ている。

科学技術連携施策群「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」全体俯瞰図（H21.3時点）



## ○国際協調と知財戦略

国際協調として、前項のOECDにおける活動の他、VAMAS（新材料及び標準に関するベルサイユプロジェクト）に中国、韓国が追加加盟することに伴い、新たに覚書に署名し、試験・評価技術の研究を各国間の共同研究で推進し、その成果を標準化機関の活動に活用している。このような国際的な協調をベースとした標準化活動の推進により、材料の安全性・信頼性に対する国際的認識の一致を推進し、新材料の社会への普及に貢献している。さらに、日米欧の産学官関係者が一同に介してナノテクの研究開発動向に関して意見交換する場であるINC（International Nanotechnology Conference for Communications and Cooperation）に、2005年の開始以降毎年参加している。3地区持ち回りで開催されるが、日本の産学官関係者が協力して2008年に第4回目のINC（INC4）を日本で初めて開催し、前日の「Nanotech in Japan」では日本のナノテク活動を紹介しアピールした。なお、第5回目となるINC5は2009年5月にロサンゼルスで開催され、ナノエレクトロニクス関連に加えて、ナノテクのエネルギー応用やナノテク分野の教育などに関する意見交換が行われる。

また、知的財産戦略本部に置かれた「知的財産による競争力強化専門調査会」において、ナノテク・材料を含む分野別の知財戦略に関する検討が行われた。検討の結果、各分野固有の課題を念頭に置きつつも、我が国として今後取り組むべき知的財産に係る基本的な戦略及び取組の在り方が示された「知財フロンティアの開拓に向けて（分野別知的財産戦略）」が同専門調査会でとりまとめられ、平成19年12月13日に知的財産戦略本部に報告された。

## ○国民への研究開発の説明

ナノテクノロジー・材料分野の研究開発を推進することにより得られる成果は、科学技術の進歩、産業競争力の強化、社会の抱える課題の解決等を通じて国民に還元することが求められている。例えば、希少資源や不足資源を代替する材料技術において革新が生まれれば、資源枯渇問題の解決に大きく貢献できるが、こうした点を広く国民に伝えることが重要であり、文部科学省、経済産業省、環境省、内閣府の連携により、元素戦略／希少金属代替材料開発のシンポジウムが開催されているなど、国民への説明のための取組が進んでいる。

また、連携施策群「水素利用／燃料電池」、「ナノバイオテクノロジー」及び「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」においても、成果報告会やシンポジウムが開催され、活動成果の国民への説明に積極的に取り組んでいるほか、ホームページでの情報発信にも力を入れている。

さらに、ナノテクノロジーの啓蒙活動の一環として、内閣府の監修により、ナノテクノロジーを簡易に説明する冊子、DVD、ホームページの制作がなされるなど広報活動に取り組んでいる。これまでに冊子約1万冊、DVD約7千枚が一般及び大学・研究機関や高校などの教育機関に配布された。また、ナノテクノロジーの最先端研究成果を発信することを目的として、文部科学省はナノテクノロジー・ネットワーク事業の一環として、インターネットサイト「Nanotech Japan」を作成し、第一線の研究者のインタビューやメールマガジンの配信を行っている。

この他にも、世界最大の国際ナノテクノロジー総合展示・技術会議（nano tech）に

においても、研究開発独立行政法人や大学からナノテク関係の研究成果の展示が行われたほか、期間中、文部科学省のナノテクノロジー・ネットワーク事業の一環として「ナノテクノロジー総合シンポジウム」等の各種シンポジウム等が開催され、企業や研究者への情報提供や分野を超えた研究交流を積極的に推進した。

ナノテクノロジー・材料分野における研究成果は実用化には長時間を要するため、国民にも理解が得られるように、今後もより一層の継続的な成果事例集の公表やどのように社会に貢献するかなどの情報発信が必要である。さらに、国際的な展示会や会議を利用して、日本の研究成果等を積極的に世界に向け発信し続けることが重要である。

#### (4) 今後の取組について

##### ① 「重要な研究開発課題」及び「戦略重点科学技術」について

「重要な研究開発課題」及び「戦略重点科学技術」については、(2)に記述の通り、基本計画の中間年度までの間、概ね順調に進捗しており、引き続き、個々の施策の実施状況を精査しつつ、分野別推進戦略に基づいた研究開発を進めていくことが重要である。良好な成果が得られている領域ではさらに積極的に研究開発を進めるとともに、一部目標成果が大きいにも拘らず研究開発が遅れている領域では、目標達成に向けた取組の加速が一層重要である。

状況認識の項目で言及したように、近年、環境、エネルギー、資源問題に世界的な関心の広がりが見られ、これらの問題の解決に向け、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。環境・エネルギーに関連しては、量子ドットを用いるなど新型の高効率な太陽電池技術の開発や、鉄ニクタイド系新超伝導体の発見等の成果が得られており、資源問題関連では、液晶ディスプレイのITO代替材料として、新概念の透明アモルファス酸化物半導体(TAOS)の開発、白金を使わない燃料電池用無機系及び有機系触媒開発等の新たな成果がみられる。今後、環境、エネルギー、資源関連の開発研究については、さらに強化する必要がある。

また、世界同時不況等によるエレクトロニクス産業の低迷に対しては、極低消費電力デバイスや、新規不揮発性メモリ、超高密度記録技術、有機エレクトロニクス等、新たな付加価値を生み出す革新的技術によって市場を活性化させることが重要になると考えられる。ナノテク・材料技術を活用したこれらの技術開発についても、今後強化してゆくことが必要である。

内閣府においては、基本計画のフォローアップにより、状況変化を踏まえた進捗状況を毎年把握し、必要に応じて対策を促していくことが重要である。

##### ② 推進方策について

各推進方策については、これまでの取組の結果抽出された課題等をふまえつつ、各府省において柔軟に対応し、取組を進めていくことが必要である。具体的な推進方策毎に留意すべき事項は以下の通りである。

また、第3期科学技術基本計画の残期間に加え、その後の展望も含めてナノテクノロジー・材料PTが取りまとめた「ナノテクノロジー・材料分野における現状分析と

今後の対応に関する取りまとめ（平成21年5月8日）」に領域ごとに今後必要な対応方針が取りまとめられていることから、中長期的な推進に際しては、当該取りまとめ結果も踏まえての対応が必要である。

#### ○国の関与の必要性と官民の役割分担

日本の経済・産業を活性化させ強くするためにも、このナノテクノロジー・材料分野をさらに推進していき、革新的な技術の創出を図っていくことが重要である。特に、近年、地球の温暖化防止の観点から、環境・エネルギーがグローバルな課題として浮かび上がってきており、その解決に向けたブレークスルー研究を担うナノテク・材料分野の役割は極めて大きいと言える。

一方、国際的に見ると、欧米だけでなくアジア各国のナノテクノロジー関係の研究投資の伸び率が大きくなっており、論文の数や特許の数の推移からもこれまでの日本のこの分野での優位性が脅かされる状況になってきている。大幅に強化している海外の研究開発投資、拠点整備、グローバル人材育成の状況を考慮すると、日本がこのままの状況を続けていたのでは近々逆転を許してしまい、日本の優位性が失われる懸念がある。

このため、今後もナノテクノロジー・材料分野の戦略的な強化策が必要であり、一過性ではなく中長期的な視点での研究開発支援、研究拠点の整備、グローバルな人材育成の強化に国としては取り組む必要がある。

#### ○人材育成と拠点形成

人材育成については、一過性ではなく中長期的な計画を立てて、初等・中等教育での理科離れ対策などと共に、大学、大学院等、高等教育での人材育成の充実化を図ることが重要である。さらに、グローバルな俯瞰的視野、対応力及び判断力の養成、海外研究者との交流機会を増やすためのシステム構築が必要である。

ナノテクノロジー及び材料分野を支える人材は、大学院や研究開発独法などの高等研究機関で働く研究者のほかにナノ・材料技術を完成品として仕上げる産業技術者・技能者など広範な専門性を有する幅広い人材で構成されており、その育成・確保が当該分野の将来の発展に不可欠である。特にグローバル競争の激しいナノテク・材料分野で、諸外国を相手に対等に闘える若手人材、例えば大学院生や若手研究者および産業技術者を目指す大学院生らの育成が喫緊の課題である。

短期の研究プロジェクト内活動あるいは研究拠点での研究開発などの経験を積むことで育成される、現在主流の若手育成施策に対し、期間限定のプログラムではなく、中長期視点に立った一貫した育成方針施策の策定を行う必要がある。大学および大学院生、大学院生を対象とした検討から開始すべきであるが、根本は、例えば理工系学部への大学入学希望者の減少にみられるような若年層の理科離れにも連関する課題であり、理工系人材育成に関する大きな検討のフレームワーク（グランドビジョン）の中に位置づけられるべきである。

拠点形成については、ナノテクノロジー・材料分野の各領域間および異分野との連携や融合を加速できるインフラと世界をリードする研究領域・技術を有し、世界の優秀な研究人材が集まる研究拠点を構築することにより、我が国が強みを有する技術を

さらに強化していき、実用化・産業化の加速を行うことが必要である。また、他の拠点や研究機関とのネットワークを太くし、各拠点の特徴を活かして全体として効率的な研究開発が進められるようにしておくことも重要である。

例えば、ナノエレクトロニクス素子の原理実証の基礎研究から製品化につなげる素子の集積化の実証といった、新機能の有用性・事業性の試作検証のフェーズまでの研究開発を可能とするナノエレクトロニクス研究拠点の構築が望まれる。このような拠点で世界に先駆けて欧米に無い新しい技術潮流を作り出せれば、海外の拠点へと流れつつある日本および海外の優秀な人材を集めることも可能になると思われる。

#### ○国の研究資源配分のあり方

近年、地球の温暖化防止の観点から、環境・エネルギー問題がグローバルな課題として浮かび上がってきており、その解決に向けた先端研究としてナノテクノロジー・材料分野の役割は大きいといえる。

研究資源の配分にあっては、様々な科学技術分野の基盤となる技術構築のような課題については、継続的に研究支援を実施していくとともに、ナノテクノロジー・材料技術の出口として、例えばグローバルな課題である環境・エネルギー問題の解決にフォーカスし、有望なナノテクノロジー・材料技術に対して研究の初期段階から戦略的に集中的な資源配分を行うファンディングシステムを構築することも重要である。

また、新しい材料・製品を早期に世に出すためには、企業や研究機関にインセンティブを与える政策面での支援も必要である。

#### ○産学官及び府省の連携

ナノテクノロジー・材料分野は、その基盤技術の活用により、ライフサイエンス分野、情報通信分野、環境分野、エネルギー分野など他分野との分野横断・融合的取り組みを推進することが重要である。具体的には、「元素戦略／希少金属代替材料開発プロジェクト」、「ナノエレクトロニクス戦略合同会議」などの取り組みや、各種連携施策群で構築された連携の枠組みを一層活用することが重要である。また、「使われてこそ材料」と言われるように、ナノ・材料の知見をその応用分野の技術と融合する府省連携（垂直型府省連携）をさらに促進すべきである。

この他、最先端の再生医療、医薬品・医療機器の開発・実用化を促進することを目的とし、ライフサイエンス分野における府省連携により創設された「先端医療開発特区（スーパー特区）」において、公募により採択された課題の中には、ナノバイオテクノロジー・生体材料領域の研究開発課題も複数含まれており、他の推進分野の取組を通じた研究課題の推進もまた期待できる。

また、連携施策群は、期待以上の成果を挙げており、終了後のコーディネーション機能の継続・充実に際し、ナノテクノロジー・材料PTが中心となって必要に応じたフォローをしていく必要がある。府省連携の取組においては、今後取り上げるべき課題の一つとして、環境分野、エネルギー分野とナノテクノロジー・材料分野の分野横断的な取り組みの推進が考えられる。

さらに、文部科学省／JSTと経済産業省／NEDOの共同連携体制による基礎・

基盤研究から産業応用・製品化までの切れ目のない研究ファンディングの推進が期待される。ナノテクノロジーは、他のテクノロジーと異なり、商品化に向けて研究開発を行うには、異分野異業種との連携等が不可欠であり、産学官との連携、異分野異業種との融合等が重要であることから、複数の大学で始まっている医工融合研究・教育の施策は、今後大きな成果が期待される。

#### ○安全・安心に資する取組と責任ある研究開発推進

第3期科学技術基本計画のナノテクノロジー・材料分野における分野別推進戦略においては、社会全体でのナノテクノロジーの正しい知識の普及等を行うことが重要としており、「ナノテクノロジーの責任ある研究開発」を重要な研究開発課題として位置づけている。こうした中で、例えば市民対話やアウトリーチ活動といった、ナノテクノロジーの研究成果をわかりやすく国民に発信し国民の理解を得る取組を推進していくことは引き続き重要である。アウトリーチ活動の一環としての府省連携の下でのシンポジウムの開催等を通して、ナノテクノロジーの研究成果や政府の安全対策の取組等について分かりやすく発信していく必要がある。

ナノマテリアルの社会的受容性に関するリスク評価・管理手法の開発（研究開発、基盤整備、測定）については、関係省庁の連携により引き続き推進するとともに、それらの結果をOECD等と情報交換することにより、積極的に国際貢献を行うことが重要である。また、ナノテクノロジーの社会受容性の向上のためには、ナノテクノロジーのリスクガバナンスについても検討が必要である。さらに、ナノテク材料を作製する事業者が自己の努力と見識でリスク評価をし、その結果を国民に伝え国民理解を得ていく道筋を作っていくことも必要である。それに当たり、国際標準化、国際協調等の議論に関しては、ISOを始めとし様々な動きがあるが、これらに関係者へ情報提供する仕組みも、国際対応の一つの課題として挙げられる。

連携施策群の補完的課題において当該活動の一助となる国民を含めた各種関係者への情報提供の仕組みを検討・実施していることから、これらの活動に当たっては、補完的課題の枠組みを活用していくことも効率的であると考えられる。

#### ○国際協調と知財戦略

日米欧の産学官関係者が一同に会してナノテクの研究開発動向に関して意見交換する場であるINC (International Nanotechnology Conference for Communications and Cooperation)等の枠組みを有効に活用し、戦略的な視点を持ちながらナノテクノロジー研究における国際協調等の推進にあたることが重要である。人材育成という観点からも、若手研究者の国際交流支援策を一層強化していく必要がある。

知財戦略においても関係機関の連携が不可欠であり、研究者の特許出願を支援するための資金、人材、ネットワーク、そして戦略的な特許取得への対策が重要である。特に、特許対策として研究開始段階から知財の切り口で研究開発をとらえることができる人材によるサポートが必要である。

#### ○国民への研究開発の説明

ナノテクノロジー・材料分野における研究成果は実用化には長時間を要するため、

国民にも理解が得られるように、今後もより一層の継続的な成果事例集などの公表が必要である。例えばその手段としてインターネットサイト等を活用する。また、ナノテクノロジー・材料技術が製品の中でどのように使われているか、国民にわかりやすく説明することも重要である。

今後も、国際的な展示会、会議（例えば、国際ナノテクノロジー総合展・技術会議等）を利用して、日本の研究成果等を積極的に世界に向け発信続けることが重要である。特に、国内中小企業、大学や公的研究機関の研究成果を産学官連携して、広く海外へ発信してゆく取組みを強化するべきである。これは、海外市場の捕捉と同時に、日本初のナノテク・材料技術が世界で貢献していることを国民へわかりやすく説明することにつながる。

ナノテクノロジー・材料分野は、あらゆる科学技術分野の基盤をなす技術であり、既存産業の課題解決や新産業の創出を図り、環境・エネルギー問題の解決に寄与することができるため、環境問題と経済発展の両立といった政策課題の解決に貢献することができる。

第3期科学技術基本計画策定以降の大きな状況変化として、世界的課題である気候変動問題が大きくクローズアップされ、温室効果ガスの排出量を大幅に削減することが国際社会において喫緊の課題となっている。そのため、CO<sub>2</sub>ガス排出削減につながる二次電池、太陽電池、燃料電池などクリーンエネルギー技術が注目され、そのブレークスルーを可能とするナノテクノロジー・材料分野への期待は大きい。

このため、グローバルな課題である環境・エネルギー問題の解決にフォーカスし、二次電池、太陽電池、燃料電池等の有望なナノテクノロジー・材料技術に対して戦略的に集中的な資源配分を行うとともに、長期的に継続して研究支援を続けられるファンディングシステムを構築することや、新しい材料・製品を早期に世に出すために、企業や研究機関にインセンティブを与えることが重要である。

以上を踏まえ、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発においては、このような環境・エネルギーや世界的な経済不況等の状況を反映して、強化すべき研究テーマなどの一部見直し、要素技術のシナリオ化を行いながら、これまでの戦略を継続し、一層強化推進していくことが重要である。