

## 第 4 期科学技術基本計画における ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について (案)

第 4 期科学技術基本計画におけるナノテクノロジー・材料分野の方向性について<中間とりまとめ>(平成 21 年 11 月 2 日科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会ナノテクノロジー・材料委員会)をもとに、加筆・修正

平成 23 年 月 日  
科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会  
ナノテクノロジー・材料科学技術委員会

### 1. 「ナノテクノロジー・材料分野」の現状認識

ナノテクノロジー・材料科学技術は、新たな時代を切り拓く先導的技術であるとともに、融合と連携を通して多様な技術分野に波及し、支えるプラットフォーム的な基盤技術(先導的基盤技術)であり、多くの学術的価値や産業的価値の高い成果を創出している。他方、地球環境問題等をはじめとした社会課題を解決する鍵となる、国際競争が激化する中で我が国の優位性の維持と確保のために必須の技術である。

「ナノテクノロジー・材料分野」は、第 2 期科学技術基本計画(平成 13 年 3 月 30 日閣議決定)において、「ライフサイエンス分野」、「情報通信分野」、「環境分野」とともに、重点 4 分野の 1 つに位置付けられ、その後の第 3 期基本計画(平成 18 年 3 月 28 日閣議決定)においても重点推進分野として推進されてきた。このような公的研究支援の結果、多くの学術的成果や産業的価値の高い成果が創出され、最近の顕著な事例として、鉄系超伝導体の発見やスピントロニクス、量子ドット研究の進展等、世界をリードする成果が報告されている。また、ナノテクノロジー・材料分野における基礎基盤研究の進展により、材料関連のものづくりの現場と大学等におけるサイエンスの距離が縮まり、基礎基盤研究が応用に貢献する道筋が出来たことも、第 2 期、第 3 期基本計画における重点化の一つの成果と言える。

ナノテクノロジーは、ナノ(10 億分の 1)メートルのオーダーで原子・分子を操作・制御すること等により、ナノサイズ特有の物質特性等を利用して全く新しい機能を発現させる技術<sup>1</sup>であり、ナノテクノロジーの活用により、情報通信、エネルギー、環境、バイオテクノロジー、医療等に寄与する新しい材料、デバイス、革新的システム等を提供することが可能となっている。現代社会には“Nano Tech Inside”(外側からは全く見えないが、製品内部の機器、製品を構成する材料等の開発にナノテクノロジーが活用されている)の製品が溢れ、基盤を支えているだけではなく、商品としての価値も高めており産業への貢献度も高い。また、最近の液晶テレビの例のように、ナノテクノロジー

<sup>1</sup>第 2 期科学技術基本計画(平成 13 年 3 月 30 日閣議決定)の定義

ーにより創出された機能や革新的材料が既存のシステムとは全く異なる新たなシステムを提案し、その新たなシステムの急速な発展・普及により産業の競争優位が塗り替わってしまうこともある。歴史的に見ても、トランジスタ、レーザー、光ファイバー等のような新たな時代のドアを開いたイノベーションは、材料の機能がシステムのあり方を変えたことにより創出されている。このような新たな材料の機能を発現させる技術がナノテクノロジーであり、ナノテクノロジー・材料科学技術は、広範な分野での飛躍的発展の鍵を握る次世代を牽引する「先導的基盤技術」と考えられる。

しかし、一方で、ナノテクノロジー・材料科学技術は、バイオテクノロジー、情報通信技術に比べると、わかりやすさ身近さがなく、優れた研究成果が得られているが、世の中に対するアピール度が低い印象があるとも指摘されている。また、第2期、3期基本計画で重点化された結果、優れた研究成果は得られているものの、目に見える価値の創出につながるような社会的成果は不十分ではないかという意見もある。

第3期基本計画においても、ナノテクノロジー・材料分野は引き続き重点的に推進され、研究投資も増額傾向にあるが、研究拠点や共同研究ファシリティへの活発な資金投入を行い、高い予算の伸び率を示す欧米・アジアと比較して、予算の伸び率は低く、研究拠点の形成、共同研究ファシリティの整備についても海外に遅れをとっている。また、第3期基本計画においてナノテクノロジー・材料分野における国家基幹技術として位置付けられたX線自由電子レーザーについては、着実に整備が進められる一方で、その他のナノテクノロジー・材料分野へ投資の伸び率は極めて低いレベルに留まっている(【参考】参照)。

我が国のナノテクノロジー・材料科学技術の水準は現状では高いといえるが、第2期、第3期基本計画の重点投資により創出された基礎研究の優れた成果が欧米・アジアで先に実用化されてしまうことを危惧する声や、日本企業が海外の魅力的な研究拠点(AIbany、MINATEC、IMEC等)において研究開発を行うことによる、技術の空洞化、成果の流出等を懸念する声年々強まっている。

他方、本年9月の「国連気候変動サミットにおける鳩山総理演説」で掲げられた「全ての主要国による意欲的な削減目標の合意を前提として、温室効果ガスを2020年までに1990年比で25%削減する」という目標の達成に向け、地球温暖化防止に向けた研究開発の加速化・新技術創出が求められており、そのためには、第2期、第3期基本計画で蓄積された我が国のナノテクノロジー・材料科学技術の優れたポテンシャル、研究成果を活かし、社会還元に向けて更に発展させていくことが必要不可欠である。

このように、ナノテクノロジー・材料分野の現状認識、また、温室効果ガス削減をはじめとした地球環境問題の解決に向け、ナノテクノロジー・材料科学技術によるブレイクスルーの期待が急速に高まっている新たな局面を踏まえ、第4期基本計画におけるナノテクノロジー・材料分野が進むべき方向は、第2期、第3期基本計画の単なる延長上にはないことは明らかである。

#### 【加筆・修正ポイント】

第4期科学技術基本計画の課題解決型重視への方針転換、同計画におけるナノテクノロジー・材料科学技術の位置付け、東日本大震災の影響等を現状認識として加筆。

## 第4期科学技術基本計画 < 関連部分抜粋 >

### 成長の柱としての2大イノベーションの推進

#### 1. 基本方針

(前略)第4期基本計画では、環境・エネルギーを対象とする「グリーンイノベーション」と、医療・介護・健康を対象とする「ライフイノベーション」を2つの大きな成長の柱として位置付け、科学技術イノベーション政策を戦略的に展開する。また、こので掲げる課題以外にも、我が国が直面する深刻かつ多様な課題は山積しており、これらの課題への対応に向けた取組については、において明確な方針を示すこととする。

### 我が国が直面する重要課題への対応

#### 2. 重要課題達成のための施策の推進

##### (2) 我が国の産業競争力の強化

###### ) 産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化

付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する。

また、多様な市場のニーズに対応できるよう、計測分析技術や精密加工技術、組込みシステム開発技術の高度化、要素技術の統合化、性能や安全性に関する評価手法の確立、さらには材料、部材、装置等のハードとソフトの連携に関する研究開発を促進し、新たなものづくり技術の共通基盤を構築する。

##### (5) 科学技術の共通基盤の充実、強化

###### ) 領域横断的な科学技術の強化

先端計測及び解析技術等の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、シミュレーションやe - サイエンス等の高度情報通信技術、数理科学、システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する。

###### ) 共通的、基盤的な施設及び設備の高度化

科学技術に関する広範な研究開発領域や、産学官の多様な研究機関に用いられる共通的、基盤的な施設及び設備に関して、その有効利用、活用を促進するとともに、これらに係る技術の高度化を促進するための研究開発を推進する。

## 2. 国際動向について

低炭素社会の構築に向けて、欧米・アジアにおいて公的研究支援が強化されている。特に、米国新政権のグリーン・ニューディール政策に基づくエネルギー技術の研究開発戦略において、ナノテクノロジー・材料科学技術研究が強化されている。注目すべきは、エネルギー基礎研究を担う全米に46箇所設置されたEFRC（エネルギーフロンティア研究センター）は、研究の8~9割がナノテクノロジー・材料科学技術の関連となっていることである。また、日米欧に加え、中国、韓国、台湾、シンガポールの急迫、インド、ロシアのような新興国の出現により、国際競争が一層激化している。

ナノテクノロジー・材料分野を取り巻くグローバルスケールの状況は、地球温暖化をはじめとした地球規模の環境問題、BRICs<sup>2</sup>をはじめとした新興国の台頭、世界同時不況等により、年々大きく変化している。特に、地球温暖化、資源枯渇のような地球規模の環境課題の解決に向けて、ナノテクノロジー・材料科学技術によるプレイクスルーへの期待は高まりを見せており、欧米・アジアにおいて公的研究支援が強化されている。また、微細化が困難となってきた半導体集積回路への新たな概念・機能の導入による微細化限界の突破、生体材料の高機能化等による最先端医療へのナノテクノロジー材料科学技術への期待は引き続き高い。さらに、中国、韓国、台湾、シンガポールの急迫、インド、ロシアのような新興国の出現により国際競争が一層激化している。

各国の主な動向<sup>3</sup>は以下のとおり。

### 米国

ナノテクノロジー・材料分野については、大統領イニシアティブの下、NNI（National Nanotechnology Initiative）として、原子・分子レベルのナノスケールで物質を操作・制御した際に特有の現象・特性を利用して、新素材、ナノスケール計測用機器、及びナノ製造産業へ向けた有用な新技術の研究開発に省庁横断的に取組まれている。2009年度予算では前年比2%増の15.3億ドルが計上され、2001年にNNIが発足して以来、総計で約100億ドル（約1兆円）が投資されることになる。予算配分はDOD（国防総省）、NSF（国立科学財団）、DOE（エネルギー省）、HHS（厚生省）、DOC（商務省）が多くの割合を占めている。

2007年に、2004年に策定されたNNI戦略計画を見直した新戦略プランを発表し、2008年にPCAST（大統領科学技術諮問会議）による3年に1度のNNIに対する評価レポートを発表した。2009年度もNNI戦略計画に従って、基礎・応用研究、分野横断的な研究拠点の構築、ナノテクノロジーの研究者、教育者、技術者、一般市民の教育と訓練、ネ

<sup>2</sup> ブラジル、ロシア、インド、中国の4カ国

<sup>3</sup> ナノテクノロジー・材料分野 科学技術・研究開発の国際比較 2009年版(科学技術振興機構/研究開発戦略センター)、「分野別推進戦略」中間フォローアップについて(平成20年度「分野別推進戦略」のフォローアップの結果について)(平成21年5月27日基本政策推進専門調査会)等より

為替レートについては、平成21年10月現在で算出

ネットワークの構築、研究インフラの整備、ナノテクノロジーの標準化活動が継続される予定である。

また、2009年のオバマ政権発足以後、グリーン・ニューディール政策に基づき、特にエネルギー関係の戦略の抜本的見直しが進められている。エネルギー省長官に就任したノーベル物理学賞受賞者のスティーブン・チューはオバマ大統領と共に、多面的かつ具体的な中長期の研究開発施策を矢継ぎ早に発表している。中でも特徴的なエネルギー技術の研究開発戦略として、以下の3つの研究イニシアティブが掲げられている。

全米に46のEFRC(エネルギーフロンティア研究センター)を設置し5年間に7.77億ドル投資(基礎研究を重視したナノテクノロジー・材料科学技術研究)

ARPA-E(エネルギー高等研究計画局)の創設。産業界では取組むことが困難なハイリスク・ハイリターンな研究を支援(DARPAのエネルギー版)

全米8箇所にエネルギーイノベーション・ハブを設置し2.8億ドルを投資(商業化目指した材料・装置・システム開発の分野横断ハブ)

これらの各施策は相互に関連を持ちつつ目的は異なり、併せて重層的な技術パッケージとして戦略を構成している。基礎研究を担う46のセンターは、超高効率を狙った量子ドット太陽電池、人工光合成による燃料生産から、材料設計、そして原子力関係の材料技術も含み、エネルギー技術全てを横断して基礎的な課題を研究ターゲットとしている。また、研究の8~9割がナノテクノロジー・材料科学技術の関連となっている。

今後のナノテクノロジーは2007年に開所されたCNSI(California Nano System Institute)に象徴されるナノテクノロジーのシステム化(第3世代のナノの組織化)に向かうと考えられるが、PCASTはエネルギーと医療関係にパラダイムシフトを起こすポテンシャルがあると予測している。ナノエレクトロニクスに関しては、全米に13拠点整備されたNNIN(国家ナノテクインフラネットワーク)の施設を使用して展開し始めたSRC(エレクトロニクスメーカー)とNSFの共同プロジェクトNRI(ナノエレクトロニクス研究イニシアティブ)が進められ、2020年にゴールを設定し35大学、21州が参加している。

## 欧州

2007年から2013年の第7次欧州研究開発フレームワーク(FP7)では、研究開発へ欧州委員会から投資される資金の総額は7年間で505億ユーロ(約6兆6,000億円)となっている。FP7には、入口段階の基礎研究から出口段階の市場化技術までが取り込まれており、うち「共同研究」への助成が約324億ユーロ(約4兆2,000億円)あり、「ナノサイエンス・ナノテクノロジー・材料・新製造技術」への研究にFP6の2倍近い年間予算5億ユーロ(総額35億ユーロ)(約4,500億円)が配分される予定である。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推進している。

## 英国

2002年の英国のナノテクノロジー戦略の基礎となる「製造の新しい方向性：英国のナノテクノロジーのための戦略」を受け2003年から2009年に9,000万ポンド(約135

億円)を「マイクロ・ナノ製造技術イニシアティブ」に投資している。同イニシアティブでは23箇所の「マイクロ・ナノ技術センター」も支援している。

2007年10月に発表された「包括的歳出見直し(CSR)」では、研究会議横断・重点戦略研究プログラムに6つの分野を指定し、その中に「工学から実装へのナノサイエンス」が挙げられ、2008から2010年の間に5,000万ポンド(約75億円)が助成される予定である。

技術戦略審議会(TSB)では2005年に「先端材料」及び「ナノテクノロジー」を重要技術領域として選定し、助成を行っている。

科学技術会議(CST)が2007年に発表した、5年先に最も有望な技術・分野に「プラスチック・エレクトロニクス」、「メディカルデバイス」が選定されている。

## ドイツ

2006年に発表されたハイテク戦略に基づき、研究開発投資を増強している。ハイテク戦略では2006年~2009年の間に、「ナノテクノロジー」に6.4億ユーロ(約832億円)を、「材料技術」に4.2億ユーロ(約546億円)を投資する方針である。

連邦研究教育省(BMBF)をはじめとする7省横断プログラムとして、産業へのナノテクノロジー応用に主眼をおいた「ナノイニシアティブ・アクションプラン2010」を発表している。

主な研究機関は、基礎研究に重点を置いたマックスプランク協会、応用研究を主に行うフランホーファ協会、大型研究施設を持つヘルムホルツ協会、そして大学、州政府管轄研究所など多岐にわたる。また大学における研究拠点を設立する「エクセレンスイニシアティブ」を立ち上げ、ナノテク・材料関係の拠点も設立されている。また、人材確保戦略のために中国との関係を深めている。

2008年9月には、世界的な競争力を有する5つのトップクラスターのうち、エネルギー効率化を目的としたマイクロ・ナノ・エレクトロニクスの開発に取り組むクール・シリコン・クラスターとしてザクセン州が選出された。

## ロシア

2007年に初めて8ヵ年の国家科学技術計画を発表した。ナノテクノロジー公社法及びナノテクノロジー国家計画を制定し、ナノテクノロジー・材料分野の投資を、2008-2010年の間に277億ルーブル(約1000億円)計上している。2008年からはナノテクノロジー研究インフラ整備のため、NNN(国家ナノテクノロジーネットワーク)計画を開始した。ナノテクノロジー公社(RusNano)を通して、中国、台湾、韓国等に接近し、国際共同プロジェクトを積極的に展開しようとしている。

## アジア

韓国、中国、台湾、シンガポールが、基礎から産業化まで幅広くナノテクノロジーの重点化を継続している。

韓国の第2次科学技術基本計画(2008-2012年)では、5年間で総額60兆ウォン(約4.8兆円)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技術分野の一つとして位置付け、その中核技術に対するロードマップ(2007-2020年)を策定し、新たな第2フェーズのナノテクノロジー国家計画(5年延長して2006-2015年)の中で、ナノテクノロジーの先進トップ3への躍進を目指している。また、新政権の打ち出した方針「緑色成長」で、環境・エネルギー関連技術にナノテクノロジーの融合研究を取り入れることによってブレイクスルーを目指している。

台湾は、6ヵ年開発計画(2003-2008年)の下で、ナノテクノロジー関連メーカーの生産額3000億台湾ドル(約8400億円)を達成し、新6ヵ年開発計画(2009-2014年)では、230億台湾ドル(約644億円)の予算を計上している。教育、産業化を含めバランスの取れた計画を進めており、オーストラリアの産業界と連携を始めている。2009年に策定された国家科学技術発展計画(2009-2012年)では、省庁横断型のナノテクノロジー予算として2009年度に31億2200万台湾ドル(約87億円)を計上している。ナノテクノロジー関連産業振興策として導入した「ナノマーク」製品は、認定品目が300を超えた(2009年10月現在)。

中国は2001年に国家科学技術部が、同国のナノテクノロジーを確実に発展させるために「国家ナノテクノロジー発展要綱」を踏まえた「国家ナノテクノロジー発展指南枠組み」を公布している。以来、ナノテクノロジー・材料のほぼ全領域を重点分野としており、ナノ材料だけでなくバイオナノ領域にも注力している。中国科学院の化学研究所ではバイオナノの5年間のプロジェクトがスタートし、蘇州には「バイオベイ」および「サイナノ」という国際ナノテクノロジー拠点が形成されつつある。

なお、X線自由電子レーザーについては、米国と欧州(ドイツ)において建設が進められており、米国では、2009年4月に世界に先んじてX線レーザー発振に成功しており、ユーザー利用が開始されている。また、ドイツにおいては計画がやや遅れ気味ではあるが、ロシアの投資も受ける方向で、急ピッチで建設を進めるなど、熾烈な競争が続けている。

#### 【加筆・修正ポイント】

米国、欧州、中国の記載を整理し、米国の動向としては、2010年12月に開催された「ナノテクノロジーイノベーションサミット」、NNI 戦略的計画の改訂等について加筆。加筆のポイントは以下のとおり。

- ・今後のNNI推進に当たってのポイントとして、より多くのNNIの成果のマーケットへの移転、ナノとバイオ、ITとナノ、マテリアルなどの「統合科学技術」の推進、などが挙げられている。
- ・現在、2007年に策定されたNNI戦略的計画の改訂作業を実施中であり、ドラフトでは、NNIの目的をナノテクノロジーによって「技術と産業に革命をもたらす」とことと明示しており、以下の4つの主要目標を掲げている。

##### 1. 世界トップクラスのナノテクノロジー研究開発プログラムの推進

発明と技術革新を生み出すことによって、ナノテクノロジー研究開発における米国のリーダーシップを確保。

2. 経済的、社会的利益のため、新技術の実用化の促進

ナノテクノロジーは、製品や製造プロセスの改善・新規開発によって米国の競争力と安全保障に貢献。

3. 教育資源と優秀な労働力、最先端の研究施設・機器の充実、共用、維持

優秀な科学技術人材と最先端の研究施設・設備は、ナノテクノロジー研究開発にとって必要不可欠。

4. ナノテクノロジー開発の社会的責任

ナノテクノロジーがもたらす利益を最大化すると同時に、その潜在的リスクを理解し、制御する手段を開発。

### 3. 第3期科学技術基本計画のフォローアップ結果等について

【削除】



### 3. 今後の基本的方向性

ナノテクノロジー・材料科学技術は、環境問題等をはじめとした社会課題を解決する鍵になる先導的基盤技術(新たな時代を切り拓く先導的技術であるとともに、融合と連携を通して多様な技術分野に波及し、支えるプラットフォーム的な基盤技術)であること、我が国の産業界の基礎基盤研究への期待等を踏まえると、ナノテクノロジー・材料科学技術の重要性は引き続き極めて高いと言える。

ナノテクノロジー・材料科学技術は、上述したように、環境問題等をはじめとした社会課題を解決する鍵となる「先導的基盤技術」であること、我が国の産業界の基礎基盤研究への期待等を踏まえると、ナノテクノロジー・材料科学技術の重要性は第2期、第3期に引き続き極めて高いと言える。また、現在は国際的な優位性があると言えるが、急速に強化されている諸外国の研究開発投資、拠点整備、グローバル人材育成の状況を踏まえると、第4期基本計画において国として体系的に施策を講じなければ、近い将来諸外国の後塵を拝する状況に陥ることが懸念される。

このため、以下のような基本的な方向性の下で、ナノテクノロジー・材料科学技術を戦略的に推進していく必要がある。

専ら萌芽的・基礎的な研究段階に当たる研究者の自由な発想に基づくボトムアップ型の研究と、国が定める明確な方針に基づき、出口指向で基礎から応用・開発段階まで一貫して進めるトップダウン型の研究開発の双方を推進していくことが必要である。出口指向で基礎から応用・開発段階まで一貫して進めるトップダウン型の研究開発、及びナノテクノロジー・材料科学技術のような、将来の社会課題解決、国際的優位性の確保等への貢献が期待される日本の強みとなる「先導的基盤技術」の強化の両方のアプローチが極めて重要である。

第2期、第3期基本計画で重点4分野としてナノテクノロジー・材料技術が推進されてきたが、ナノテクノロジー・材料科学技術は、ライフサイエンス、情報、環境をはじめとした多様な分野に波及する「先導的基盤技術」となるものであり、他の分野と並列に位置づけるのではなく、ナノテクノロジー・材料科学技術の特徴を踏まえ、他の分野との関係性を十分整理しつつ融合と連携を加速する政策・施策を講じていくことが重要である。

### 4. ナノテクノロジー・材料科学技術の今後の推進方策

#### (1) 課題解決を起点とした戦略的重点化について

温室効果ガス削減をはじめとした地球環境問題の解決に向け、ナノテクノロジー・材料科学技術への期待が急速に高まっており、環境問題をはじめとした今後求められる広範な課題解決に向け、一層の強化が求められる。

ナノテクノロジー・材料科学技術が地球温暖化のような環境課題解決の鍵となる技術であることから、第4期基本計画におけるナノテクノロジー・材料分野の方向性としては、特に、環境・エネルギー問題の解決にフォーカスした、課題解決を起点とした戦略的重点化が求められる。加えて、次世代のリーディング産業の創出等による我が国の国際的優位性の強化、真に安心・安全で質の高い社会の実現への貢献という観点に基づいた戦略的重点化も重要である。また、戦略的重点化を行う際には、第3期基本計画の中間フォローアップ結果を踏まえ、政策目標と各課題や研究開発目標との関係の明確化のため、優先事項を明確にして、階層化及びシナリオ化することが重要となる。

課題解決を起点とすることは、決して基礎研究より応用研究を重点化するというのではなく、基礎研究側も、社会課題あるいは産業界からのニーズを踏まえ、出口を意識して基礎研究を進めていくことが求められるということである。また、課題解決に向けて高度な応用を目指す程、基礎基盤となるサイエンスあるいは基盤技術が重要となり、基礎研究と応用研究をあわせて進めていく必要がある。このため、基礎研究と応用研究を分離して進めるのではなく、基礎研究から社会への実装の段階までの幅広いフェーズにおいて、基礎から応用への一方向ではなく、問題の本質への理解の深化等を通じ応用研究の課題が基礎研究の課題へと翻訳され、応用から基礎へ立ち戻るような「循環研究」がなされることが成果の創出の加速につながると考えられる。加えて、研究のフェーズによって、支援すべき対象、必要な予算額あるいは実用化に至る時間軸が違うことへ柔軟に対応し、ファンディング制度等を構築していく視点も重要である。

従って、課題解決を起点とし、研究開発課題が具体的に階層化されたトータルのシナリオの下で、研究フェーズ間でシームレスな「循環研究」が実現されること、このような推進方策が第4期基本計画において重視されるべきと考えられる。課題解決に向けて取り組んでいく場合、トータルのシナリオの下で異分野の研究者等が結集することとなるため、重要な基盤技術を高度化しつつ共通に活用するという観点が極めて重要となる。そのような共通に活用される重要な基盤技術(物理、化学、生物学、工学を包含する共通の言葉)が「ナノテクノロジー・材料科学技術」であると言える。

さらに、第2期、第3期基本計画におけるナノテクノロジー・材料分野の重点的推進により創出された優れた成果を組み合わせ、活用を図ることにより、社会が要求する課題にチャレンジしていく姿勢をナノテクノロジー・材料分野側から明確に打ち出していくことも重要となる。

## (2) 「先導的基盤技術」の強化に向けた戦略的取組み

課題解決を起点とした戦略的重点化に極端に傾斜した場合、「先導的基盤技術」の発展が阻害されることが懸念され、革新的材料やナノテクノロジーによる新機能等の創出のような飛躍的・非連続な技術革新の力を弱め、結果的に課題解決自体を遅らせてしまう可能性もある。

そのため、ナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」を国として継続的に強化し、政策課題に対応した研究開発に「先導的基盤技術」の円滑かつ効果的な活用を進めるため、必要な制度的枠組みを整備することが重要である。

第4期基本計画において課題解決を起点とした戦略的重点化を推進していくことは、極めて重要であるが、極端にそのような方向に傾斜した場合、以下のような問題が生じることが懸念される。

課題解決を起点とした戦略的重点化に際して、長期間継続的に維持・強化していくべき共通基盤技術への配慮が不足した場合、重要な共通基盤技術(例えば、ナノ構造制御・新規物質材料の創製技術、ナノ計測・分析・造形技術、光・量子科学技術等)の強化に向けての公的研究支援が不足し、共通基盤技術の弱体化が懸念される。このような問題は、ライフサイエンス、環境分野のような、社会課題と概ね一体的に整理することが可能な分野にはそれ程大きな影響を及ぼさない一方、共通基盤的な側面が強いナノテクノロジー・材料分野へ顕著な影響を及ぼす可能性がある。課題解決に向けた研究開発領域や研究開発課題毎の縦割りが生じた場合、共通基盤技術の他領域への水平展開が遅れる恐れがあり、研究開発の非効率化、重複投資につながる可能性もある。

社会課題の設定時に把握可能な技術への重点化に偏り、見えている技術の使い回しレベルの研究開発が多くなると、潜在的・革新的技術への中長期的な育成が弱体化することが懸念される。見えている技術の使い回しレベルの研究開発では、国際的優位性の獲得は困難である。

このような問題点に何らの対応策を講じることなく、課題解決を起点として戦略的重点化を図っていくことは、「先導的基盤技術」の発展の阻害につながり、画期的な新材料、ナノテクノロジーによる新機能等の創出のような、非連続な発展の力を弱め、結果的に課題解決自体を遅らせてしまう可能性もある。

また、「先導的基盤技術」の強化を進めることは、以下のような観点で極めて有用であるとの指摘もある。

ナノテクノロジー・材料科学技術の基盤を充実させることにより、研究の色々なステージをシームレスにつないでいくことが可能となる。

先端研究の発展や基盤技術の高度化を進める中で、イノベーションのエンブリオ(embryo: 胚)が創生され、そのエンブリオが更なる発展を遂げ、多様な課題の解決に貢献してきた例は多い。そのようなエンブリオが、世の中を大きく変え、次代を切り拓く可能性を秘めている。

ナノテクノロジー・材料分野はセレンディピティ(serendipity)<sup>4</sup>が非常に多いため、セレンディピティによる成果を活用できる基盤技術が維持・高度化されていけば、出口には自然に繋がっていく。

---

<sup>4</sup> 「セレンディピティ(serendipity)」とは、偶然に思いがけない幸運な発見をする才能を意味する言葉で、研究者の間では、実験室等における予期しなかった偶然ともいえる現象から新たなものを発見する能力又はその発見の事例としてよく知られている。

このような問題点、先端研究・基盤技術の重要性を踏まえると、課題解決を起点として戦略的重点化を図っていくと同時に、ナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」の強化に向けた戦略的取組みを進めていくことが必要不可欠である。第2期、第3期基本計画における重点化により、ナノテクノロジー・材料分野の基盤技術の水準は急速な進歩を遂げ、異分野連携・協力を促進するナノテクノロジー・材料分野の研究者等のネットワーク構築が進展した。引き続き、ナノテクノロジー・材料科学技術の基盤技術を研ぎ澄まし、常に高い水準を維持していくためには、ネットワークの維持、発展という視点も重要となる。

なお、このようなナノテクノロジー・材料科学技術に係るボトムアップ型の取組みは、研究対象によっては非常に長期のサポートを要する場合もあるため、目に見える成果に繋がるまでに長期間を要することを社会に理解してもらうことも重要となる。

### (3) 今後重点化すべき研究領域・課題について

「先導的基盤技術」であるナノテクノロジー・材料科学技術の位置付け、特徴等を俯瞰し、持続可能な環境調和型社会の実現(地球環境問題の解決、産業の国際的優位性確保、質の高い国民生活の実現等)を目指し、今後重点化すべき研究領域・課題例をまとめたものが、【参考：俯瞰図】(P18~20 参照)となっている。

ナノテクノロジー・材料分野における研究領域として、創エネルギー、省エネルギー、環境浄化、環境負荷低減等に貢献する「グリーンナノテク」、多機能システムの実現、超低消費電力化等に貢献する「ナノエレクトロニクス」、革新的ナノ医療技術の実現、生体の環境調和型システムへの応用等に貢献する「ナノバイオ」の3領域に大別されるが、例えば、「ナノエレクトロニクス」における超低消費電力化や「ナノバイオ」における光合成の模倣による環境浄化は、「グリーンナノテク」に貢献するように、各領域が重なり合うことにより、各領域における研究課題が社会課題の解決に向け、融合・進化していく。特に、第4期基本計画においては、「ナノバイオ」が、高度医療に加え、環境課題の解決のために極めて重要であることを重視し、研究開発を推進すべきと考えられる。また、これらの各研究領域を支えるとともに、それぞれの領域の最先端研究を牽引する、新物質・新材料の創製に向けた基盤技術があり、さらに、ナノ基盤技術・物質材料制御技術、ナノサイエンスがある。

俯瞰図(P19 参照)の「グリーンナノテク」、「ナノエレクトロニクス」、「ナノバイオ」領域内の重要な研究課題の例のように、それぞれの研究課題が多様な社会課題の解決へ繋がっていくことになるが、とりわけ、低炭素社会の構築をはじめとした環境問題の解決に向け、ナノテクノロジー・材料科学技術の貢献が強く期待されている。

社会課題解決に向け、これら3領域内の重要な研究課題は、重点化して推進されるべきであり、また、これら3領域を支え、また、3領域の最先端研究を牽引する力を持つ新物質・新材料の創製に向けた基盤技術、ナノ基盤技術・物質材料制御技術、ナノサイエンスについても、継続的な高度化及び幅広い活用を進めていくための政策・施策を講じていくことが必要不可欠である。

なお、ナノテクノロジー・材料科学技術が関わってくる範囲が極めて広いため、人材、

研究資源、研究費等の過剰な分散投資によりナノテクノロジー・材料科学技術の水準の低下につながらないように、ナノテクノロジー・材料科学技術そのものを継続的に高度化し、常に世界トップレベルを維持していくという観点も重視していく必要がある。

#### 【加筆・修正ポイント】

「ナノテクノロジー」グランドデザイン(科学技術振興機構 / 研究開発戦略センター)等をもとに重点的な研究領域・課題を具体的に記載。たたき台は、【別紙】。

### (4) ナノテクノロジー・材料科学技術の発展を支える施策について

第4期基本計画においては、課題解決を起点として戦略的重点化を図っていくと同時に、ナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」を国として継続的に強化していくことが重要である。そのためには、一過性ではなく中長期的な視点での研究開発支援、研究基盤や研究拠点の整備、グローバルな人材育成の強化等に国としては取り組む必要がある。

(1)～(3)において述べたように第4期基本計画においては、課題解決を起点として戦略的重点化を図っていくと同時に、ナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」を国として継続的に強化していくことが重要である。そのためには、一過性ではなく中長期的な視点での研究開発支援、研究基盤や研究拠点の整備、グローバルな人材育成の強化等に国としては取り組む必要がある。このような取組みにより、課題解決を起点とする研究開発のみでは実現が難しいような先端的研究の発展及び基盤技術の高度化及び幅広い活用を進めていくことが可能となる。さらに、経済社会のグローバル化、様々な地球規模の課題の顕在化を受け、第4期基本計画においては、ナノテクノロジー・材料科学技術に係る国際戦略の明確化も重要となる。

加えて、第3期基本計画において質の高い成果が創出されつつあり、技術進歩に伴う”Nano Tech Inside”の傾向が強まるにつれて重要性が一層高まるリスクガバナンスの問題、及びナノ物質等のリスクを踏まえた社会とのコミュニケーションの問題は、国際的にも関心が高く、第4期基本計画における取組みを検討していく必要がある。

具体的には、第4期基本計画において、以下の施策を講じる必要がある。

#### 研究基盤の整備・運用

平成14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用化の成果に基づき、平成19年より開始された「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)」は、全国の大学、独立行政法人等の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ており、ナノテクノロジー・材料科学技術の裾野を広げた功績は大きい。

ナノテクノロジー・ネットワークは平成23年度で終了するため、第4期基本計画期間中には、最先端施設・機器を戦略的に拡充し、研究のコーディネーション、人材育成等の機能を強化した新規ネットワークを整備・運用していく必要がある。新規ネットワ

ークは、ナノテクノロジー・ネットワークで蓄積された設備・経験・ノウハウを効果的に活用するとともに、以下のような観点を踏まえて、制度設計を行っていくべきと考えられる。

- ・ネットワーク上の連携、交流、情報循環等を活用した、研究の効率化、異分野融合、イノベーションの加速、社会還元の迅速化への貢献という観点を重視し、制度設計を行っていくべきと考えられる。
- ・課題解決を起点とした研究開発にネットワークが幅広く活用されるとともに、ナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」の強化を国として推進するという観点から、装置の配備、運営システム等を工夫し、ネットワークを構築することが重要。例えば、将来の社会還元を促進するためには、基礎基盤的な装置とともに、材料の評価・標準化、製造プロセス検討を見据えた共用装置の整備を適切に進める必要がある。
- ・ネットワークを活用し、共通的で重要な先端的研究や基盤的研究を実施し、そこから創出された成果が複数の課題解決や異分野融合の促進に貢献できるようなシステム構築が重要。
- ・ナノテクノロジー関連の計測分析、微細加工等の装置・機器の整備・運用には非常に多額の経費を要するため、自前で装置等を準備することなく、若手を含む多くの研究者の研究のスタートアップが可能となるような、新たな研究システムの普及・定着という観点で、共用設備を整備、システムを構築することが非常に重要。
- ・ネットワークを活用し、ナノテクノロジー・材料科学技術に係る先端的研究の発展及び基盤技術の高度化及び幅広い活用に貢献する研究者、研究支援者等の人材育成施策を実施することが重要。

一方、第3期基本計画においてナノテクノロジー・材料分野における国家基幹技術として位置づけられたX線自由電子レーザーについては、着実に整備が進められ、今後の活用が期待されている。また、平成20年度より開始された「光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発」においては、ネットワーク型の研究拠点を構築することにより、最先端設備の共用、人材育成を進めるとともに、融合と連携を通じて多様な技術分野に波及し、支える基盤技術である光・量子科学技術の高度化等の研究開発を推進している。

光・量子科学技術とナノテクノロジー・材料科学技術は、互いに相補的な関係にあることから、新規ネットワークを整備・運用していくに当たっては、光・量子科学研究拠点との連携等を推進することにより、両技術の一層の強化、活用を進めていくことが重要である。

また、X線自由電子レーザーについては、ナノテクノロジー・材料分野のみならず、ライフサイエンスや情報通信といった多様な分野の重要な研究基盤として引き続き着実に整備・共用を進める必要がある。このような観点より、第4期基本計画においては、X線自由電子レーザーはナノテクノロジー・材料分野等の特定の分野に整理するのではなく、国家として重要な分野横断的な共用研究基盤として整理することが重要である。

## 研究拠点の形成

第2期、第3期基本計画期間中には、「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、平成17年度よりナノバイオインテグレーション研究拠点の整備が開始され、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。また、平成18年度より開始された科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」プログラムでは、ナノテクノロジーをはじめとする多様な先端的な融合領域において、産学官の協働による研究開発、人材育成が推進され、21年度には「ナノテクノロジーを活用した環境技術開発プログラム」も開始されている。

このような取組みは進捗したものの、海外の研究拠点と比較すると、十分な規模、拠点数に達しているとは言い難いため、第4期基本計画中にナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」を強化しつつ、異分野との連携や融合、人材育成のための機能・インフラ等を有する研究拠点の構築が必要となる。その際には、以下のような観点を踏まえて、制度設計を行っていくべきと考えられる。

- ・課題解決を起点とした研究開発に研究拠点が十分に活用されるとともに、ナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」の強化を国として推進するという観点から、装置の配備、運営システム等が工夫された拠点が構築されることが重要。
- ・基礎研究から社会実装の段階までの幅広いフェーズにおいて、基礎から応用の一方向ではない「循環研究」が推進されることが重要。
- ・基礎研究側にいる優秀な人材を出口を意識した研究分野に誘導するような、出口指向で基礎から応用・開発段階まで一貫して推進可能となる拠点を構築することが重要。
- ・拠点において異分野の研究者等が集結し、「ナノテクノロジー・材料科学技術」を共通に活用可能な基盤技術として研究開発に取り組むことが異分野融合を促進する上で重要。
- ・研究の段階に応じて投入すべき予算額あるいは実用化に至る時間軸が違うことへ柔軟に対応可能となることが重要。
- ・異分野の融合、アカデミアと産業界の連携、情報流通を促進させる場として、先端的な装置が共用されるオープンなハブを研究拠点到に整備し、ハブを中心とした研究機関等のネットワーク化を進めていくことが重要。

## 人材育成

第2期、第3期基本計画における重点化により高度化されたナノテクノロジー・材料科学技術を研ぎ澄まし、常に高い水準を維持していくためには継続的・長期的に人材育成を推進することが重要である。そのように育成された人材は、ナノテクノロジー・材料科学技術に係る基盤技術を理解、活用できるとともに、幅広い分野、フェーズの研究開発に対応できると考えられる。

そのためには、第4期基本計画期間中に整備が期待されるナノテクノロジー・ネットワークの後継の新規ネットワークや国際的に開かれた研究拠点において計画的に人材育成を進めていくことが重要であると考えられる。人材育成に際しては、ある程度の規

模の人材が集結し相互に切磋琢磨することが有効であるため、異分野の人材が集結するネットワークや研究拠点において、先端的な共用装置等を活用しつつ、研究と教育を一体として人材育成を進めることが重要である。加えて、ナノテクノロジー・材料科学技術に係る先端的研究の発展に向けては、物質の機能がシステムを変革するというようなダイナミズムがとれる若手研究者の育成、育成環境の整備等が重要となる。

また、課題解決を起点とした研究開発を進めていくためには、多様な科学的知見、社会的課題の全体を俯瞰的に見渡すような独創的発想を持ち、さらに国際的視野も併せ持つプロデューサーあるいはプロジェクトリーダーが必要とされる。そのような人材を新たに育成することは長時間を要することから、基礎側にいる研究者を課題解決を起点とした研究開発に誘導するような施策等を講じることにより、人材を確保していくことが重要である。例えば、現在の評価基準(論文数、インパクトファクター、サイテーション等)の下では、研究者が課題解決に向けたプロデューサー等として活躍したとしても評価の向上にはつながらない。従って、プロデューサー等としての実績、成果などを評価する新たな評価軸を設定することにより、プロデューサー等として活躍することが、研究者の評価を高め、次のキャリアパスにつながるようにするなど、人材の誘導施策が必要となる。

なお、課題解決を前面に出して政策を進める際に必要とされる人材は、出口側の研究に関心を払うだけでなく、基礎側の豊富な専門的知見に裏打ちされ、出口側の課題を基礎研究の課題へと翻訳する能力のある研究者であることが必要条件となる。従って、基礎が確立されていないコンピタンスのない人材が増加しないよう十分配慮し、教育プログラムの整備、人材の適切な循環等を進める必要がある。

## 国際戦略

ナノテクノロジー・材料科学技術に係る国際動向、我が国の置かれている状況等を踏まえ、戦略的に国際協力・連携を推進していく必要があり、これまでの欧米諸国との協力・連携を引き続き充実させるとともに、地理的・自然環境的な近接性、ナノテクノロジー・材料科学技術の水準の急速な向上、経済発展等の国際情勢にも鑑み、中国、韓国、シンガポール等のアジア諸国との協力・連携を拡大していくことが重要である。

協力・連携を進めるにあたり、国際的な人脈を拡大し、海外の研究動向等についてのグローバルな情報収集能力を高め、中長期の国際戦略構築能力を強化することが重要となる。このような取組みにより、例えば、海外で進められている研究成果の迅速な導入が可能となり、既に海外で完成された技術に多額の研究開発投資を行うような非効率な投資を避けることにもつながる。

研究者支援、研究拠点整備等に取組む際には、海外からの優秀な人材を研究機関、拠点等で受け入れることにより研究の活性化を図るとともに、日本で育成した優秀な外国人研究者が日本で長期に活動できる受け皿をつくるという視点も重要である。また、第4期基本計画期間中に整備が期待されるナノテクノロジー・ネットワークの後継の新規ネットワークについては、国際的にオープン化を図っていくことが重要であり、国益及び国際的優位性の確保、先進国としての国際協力の在り方という観点からメリット・デメリットを慎重に分析し、制度に反映させつつ戦略的に国際化を進めていく必要がある。



#### 【加筆・修正ポイント】

ナノテクノロジー・共用基盤ネットワークの機能強化の方策、リスクガバナンス、社会とのコミュニケーション等について、東日本大震災により顕在化したニーズも踏まえつつ、必要に応じて加筆・修正。

## 5. まとめ

持続可能な環境調和型社会の構築に向け、時代の変革が求められている局面だからこそ、ナノテクノロジー・材料科学技術のような、新たな時代を切り拓く先導的技術であるとともに、融合と連携を通して多様な技術分野に波及し、支えるプラットフォーム的な基盤技術(先導的基盤技術)の重要性はかつてない程高いと考えられる。従って、第4期基本計画においては、課題解決を起点とする研究開発にナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」がどのように貢献していくべきか不断に精査しつつ、「先導的基盤技術」を国として重点的に強化することが、我が国が世界をリードし、先進国としての責任を果たす上でも極めて重要と言える。

以上、本報告書では、ナノテクノロジー・材料分野の現状認識、国内外の動向、第3期基本計画の進捗状況等を概観し、第4期基本計画におけるナノテクノロジー・材料分野の方向性について中間的にとりまとめた。

温室効果ガス削減をはじめとした地球環境問題の解決に向け、ナノテクノロジー・材料科学技術への期待が急速に高まっており、環境問題をはじめとした今後求められる広範な課題解決に向け、ナノテクノロジー・材料科学技術を活用した出口を見据えた「循環研究」が重要となる。米国の最近の動向をはじめとした国際的趨勢からも、ナノテクノロジー・材料科学技術は、地球環境問題の解決に貢献する革新的環境技術の創出の鍵となることは明らかであると言え、中長期的な視点の下で、分野横断的研究基盤、研究拠点の整備、グローバルに活躍できる人材育成等の取組みを強化することにより、ナノテクノロジー・材料科学技術の継続的な高度化及び幅広い活用を進めていくことが必要不可欠である。

過去より、新たな時代のドアを開くイノベーションは革新的材料や機能の発明により創出されており、このような材料の革新的機能を発現させる技術がナノテクノロジーである。一つの革新的環境材料が” Nano Tech Inside ”としてグローバルに社会へ実装されることにより、温室効果ガスを飛躍的に削減し、時代を変革する可能性がある。

持続可能な環境調和型社会の構築に向け、まさに時代の変革が求められている局面だからこそ、ナノテクノロジー・材料科学技術のような、新たな時代を切り拓く先導的技術であるとともに、融合と連携を通して多様な技術分野に波及し、支えるプラットフォーム的な基盤技術(先導的基盤技術)の重要性はかつてない程高いと考えられる。このような現状を踏まえ、第4期基本計画においては、課題解決を起点とする研究開発にナノテクノロジー・材料科学技術のような「先導的基盤技術」がどのように貢献していくべきか不断に精査しつつ、「先導的基盤技術」を国として重点的に強化することが、我が国が世界をリードし、先進国としての

責任を果たす上でも極めて重要と言える。

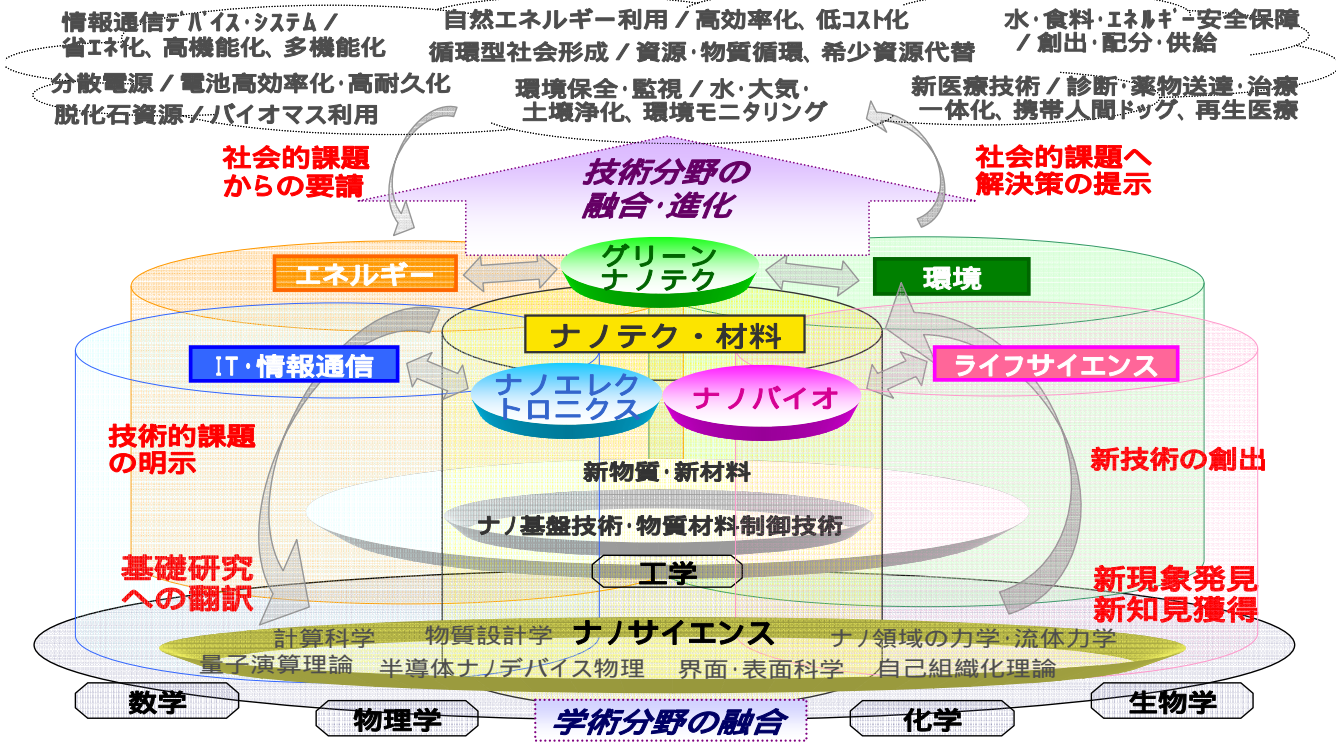
【加筆・修正ポイント】

1～4の修正を踏まえ、必要に応じて加筆・修正。

【次ページ以降の図表は、必要に応じて追加・修正】

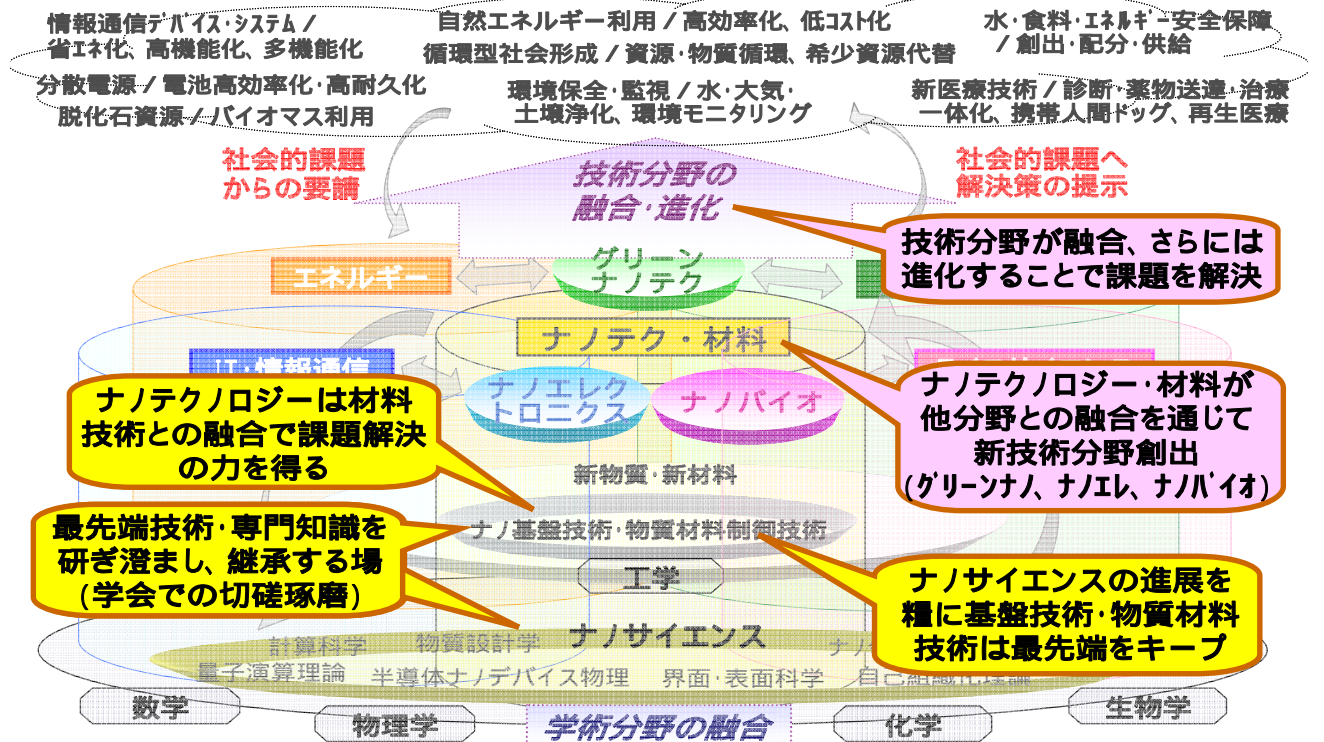
# 社会と科学技術におけるナノテク・材料の位置づけ

持続可能な環境調和型社会 (低炭素社会、産業の国際的優位性確保、質の高い国民生活の実現)



## ナノテクノロジー・材料と社会

持続可能な環境調和型社会 (低炭素社会、産業の国際的優位性確保、質の高い国民生活の実現)



科学技術振興機構 / 研究開発戦略センターとりまとめ

# ナノテクノロジー・材料分野の重要課題



科学技術振興機構 / 研究開発戦略センターとりまとめ

## ナノエレクトロニクス

- 省エネルギーの実現 (半導体微細化限界の打破 低炭素社会)
  - ✓ 超低消費電力デバイス、カーボンナノエレクトロニクス、スピントロニクス(不揮発CPU)、ナノフォトニクス
- 多機能システムの実現 (ヘテロ技術集積によるスマートインターフェース 安全安心・健康社会)
  - ✓ ナノCMOS・光・スピン・バイオ・MEMS融合
  - ✓ スマートインターフェース (スマートセンサ・ロボット、高精細ディスプレイ、ウェアラブル情報端末)
- 超高速演算の実現 (スーパーデータセンターで大規模検索・科学技術シミュレーション 産業競争力)
  - ✓ ナノフォトニクス、量子コンピュータ

## グリーンナノテク

- エネルギーを創る (太陽エネルギーの利用、廃熱の利用、脱化石資源 低炭素社会)
  - ✓ 低コスト・高効率太陽電池/熱電素子、燃料電池、バイオリファイナリ、人工光合成
- エネルギーを運ぶ・貯める (電気自動車や自然エネルギー電源での利用 低炭素社会)
  - ✓ 新電池材料、超伝導材料
- エネルギーを節約する (建材性能向上、輸送機器軽量化、エネルギーシステム 低炭素社会)
  - ✓ 断熱構造材料、軽量輸送用材料、複合トータルエネルギーシステム
- 環境を守る (環境保全、環境浄化 持続可能な社会)
  - ✓ 環境浄化分離膜(水、ガス)、高感度環境モニタ、グリーンプロセス、希少資源代替

## ナノバイオ

- 革新的ナノ医療技術の実現 (ナノ加工、ナノ材料の医療応用 安全安心・健康)
  - ✓ 薬物送達・細胞内注入、インプラント型診断治療デバイス、再生医療材料
- 生体の環境調和型システムへの応用 (ナノバイオ材料の環境応用 持続可能な社会)
  - ✓ 人工光合成による環境浄化(光触媒等)、生体材料による環境モニタリング
- 生体システムの他分野への応用 (生体システム適用による低エネルギー・高効率化 低炭素社会)
  - ✓ 自己組織化利用情報デバイス、生体機能を模倣した超低電力IT

## 新物質・新材料

・新たな物質・材料を創成し、ナノの基盤技術を用いることで応用領域へ次々に投入

- 新規磁性材料、
- 耐食耐熱金属材料
- ワイドギャップ・酸化物半導体
- コンポジット・ハイブリッド材料
- 新構造・新空間材料
- 分子・有機材料
- 生体材料

## ナノ基盤技術・物質材料制御技術/ナノサイエンス

### 背景

- ・半導体のトップダウン微細加工の限界が顕在化、自己組織化化学プロセスが高度化
- ・循環型社会実現へ資源・物質循環、希少資源代替を可能にする材料設計が重要に
- ・エネルギー環境問題解決へ材料のイノベーションを可能にするナノ計測が重要に
- ・人間や環境との調和へソフトマテリアル(有機分子材料、生体材料)の利用が重要に

- 合成・加工プロセス
  - ✓ 自己組織化・階層性構築制御、ボトムアップ・トップダウン融合、ナノ・マイクロ印刷、3Dナノ製造
- 設計・理論
  - ✓ 物質・材料の設計・探索、ナノシステム制御、界面・表面理論、動的計算・シミュレーション
- ナノ計測
  - ✓ 3次元化、可視化、動的計測、界面・内部計測、非超高真空環境・その場計測