

第2期科学技術基本計画の進捗状況  
について  
(未定稿)  
【抜粋】

平成16年5月13日

#### (4) ナノテクノロジー・材料分野

(基本計画における重点化のポイント)

<物質・材料>

情報通信や医療等の基盤となる原子・分子サイズでの物質の構造及び形状の解明・制御や、表面、界面等の制御等の物質・材料技術

省エネルギー・リサイクル・省資源に応える付加価値の高いエネルギー・環境用物質・材料技術

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

<ナノテクノロジー>

ナノレベルで物質構造等を制御することで、超高強度化、超軽量化、超高効率発光等の革新的機能を有するナノ物質・材料

超微細化技術や量子効果の活用等により、次世代の超高速通信、超高速情報処理を実現するナノ情報デバイス

体内の患部に極小のシステムを直接送達し、診断・治療する医療技術

様々な生物現象をナノメートルレベルで観察し、そのメカニズムを活用し制御するナノバイオロジー

#### 1. ナノテクノロジー・材料分野の動向

21世紀のキーテクノロジーと言われ、我が国が強みとする分野である。欧米に先行して、例えばカーボンナノチューブの発見(1991年)・応用のように活発な研究成果が認められる。最近では、情報通信、環境、バイオ等の重点領域においてナノのレベルまで踏み込んだ研究開発が着実に進展し、その一部には世界最高水準の研究成果が得られている。ナノテクノロジー・材料分野の多角的進展が見られはじめており、科学技術の国際競争力確保を担うものとしてナノテクノロジー・材料分野は一層定着してきている。これに呼応して計測・評価、加工や革新的物質・材料等の基盤的研究開発についての取り組みの必要性と方向も明確化してきた。一方、例えばアメリカ合衆国における「2003年ナノテクノロジー研究開発法案」の可決にみられるように、欧米でも科学技術の進歩に対するナノテクノロジーの寄与を重視する国家戦略を進めており、中国、韓国も国家主導でこれを急迫している状況である。

#### 2. 平成13年度～16年度の施策の実施状況

##### (1) 主な施策と成果

ナノテクノロジー・材料分野は、各種研究機関への運営費交付金に加え、科学研究費補助金や戦略的創造研究推進事業など競争的資金の拡充を図り、基礎的、萌芽的研究を推進しながら、それと共にプロジェクト型研究開発を推し進めて実用化を目指しつつある、わが国が重点的に取り組んできた分野で、これまでにさまざまな成果を挙げてきている。なお文中は競争的資金による取り組みである。

次世代情報通信システム用ナノ技術用ナノデバイス・材料

(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の最先端基幹技術の獲得に向けた絞込み

(施策例)

次世代半導体・プロセス基盤プロジェクト(MIRAI) (経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成13年度:38億円、平成14年度:46億円、平成15年度:46億円、平成16年度:46億円)

(高誘電率絶縁体とメタルゲートによるゲートスタック構造実現等のための材料・装置・プロセス開発)

次世代半導体ナノ材料高度評価プロジェクト(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成15年度:21億円、平成16年度:20億円)

(次世代半導体材料の標準的総合評価手法の確立)

高度情報通信機器・ディスプレイ基板プログラムの一部、高効率有機デバイスの開発(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成14年度:9億円、平成15年度:8億円、平成16年度:8億円)

(高効率有機アクティブ発光素子の開発)

ナノテクノロジーを活用した新しい原理のデバイス開発(文部科学省、平成14年度補正:21億円、平成15年度:4億円、平成16年度:4億円)

(バイオテクノロジーを活用した量子ドットデバイス作製法の研究開発)

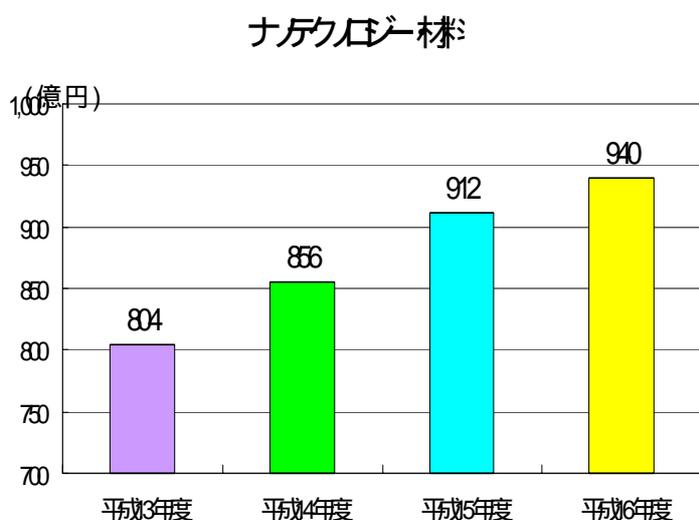
量子情報通信技術の研究開発(総務省、(独)情報通信研究機構、平成13年度:3億円、平成14年度:3億円、平成15年度:3億円、平成16年度:3億円)

(暗号通信や光通信を超える超高速通信のための量子情報通信技術の開発)

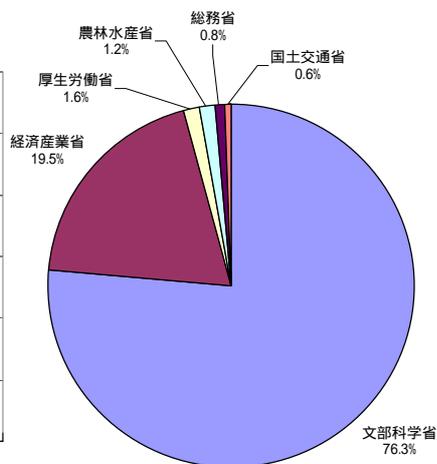
創造科学技術推進事業、中村不均一結晶プロジェクト、樽茶多体相関場プロジェクト、五神共同励起プロジェクト等(文部科学省、(独)科学技術振興機構、平成13年度:78億円の内数、平成14年度:72億円の内数、平成15年度:54億円の内数、平成16年度:32億円の内数)

(安熱合成法によるGaNバルク結晶の成長、新しい近藤効果の発見、電子正孔凝縮相の実現等)

ナノテクノロジー・材料分野における予算額の推移



各省シェア(平成16年度)



(注) 各府省提出データに基づき内閣府で集計。今後の精査により数値の変更がありうる。国立大学に係る予算等は除く。独立行政法人の運営費交付金や競争的研究資金(推定値)を含む。

## (実施状況)

微細加工技術により、メモリやLSIの高密度集積化は着実に進展しており、平成15年度には、ほぼ90nm技術ノードの配線構造を実現できる見通しを得ている。現在幅広く用いられているDRAM(Dynamic random access memory)より低消費電力型メモリである不揮発性メモリは今後大きな需要が見込まれ、その中で有望視されている強誘電体メモリ(FeRAM:Ferroelectric random access memory)技術ではわが国が先行しており小容量のものは既に一部製品化され、今後の進展が期待される。また、液晶、プラズマ、有機発光素子など画像表示技術の進歩はめざましく、有機トランジスタと有機発光素子を組み合わせた有機アクティブ発光素子の輝度10000 cd/m<sup>2</sup> は世界最高レベルである。高速通信技術においても、超高速光パルス伝送技術を用い波長多重/光時分割多重伝送方式により、160Gb/s-8波多重(1.28Tb/s)実験において140km無中継伝送(世界記録)に成功している。2010年には記録密度として 1Tb/inch<sup>2</sup> の実用化が必要とされているが、その実現にむけた光ストレージ技術も着実な進展を見せている。

一方、新原理デバイスや量子コンピュータについては依然本命が定まっておらず、引き続き粘り強い探索的研究が必要であるが、実用化判断可能な目標設定を行った上で推進することも重要である。

## 環境保全・エネルギー利用高度化材料

### (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

### (施策例)

次世代型燃料電池プロジェクト(文部科学省、平成14年度補正:18億円、平成15年度:5億円、平成16年度:3億円)

(革新的高性能電極材料や高温運転型次世代固体高分子型燃料電池等の研究開発)

ナノテクノロジーを活用した環境技術開発推進事業(環境省、15年度:3億円、16年度:4億円)

(ナノテクノロジーを活用した持続可能な社会の形成等に資する技術開発)

高効率高温水素分離膜の開発(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成14年度:6億円、平成15年度:5億円、平成16年度:5億円)

(エネルギー需給構造高度化のための水素製造プロセス用高効率水素分離膜の開発)

ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ、戦略的創造研究推進事業(文部科学省、(独)科学技術振興機構、平成13年度:404億円の内数、平成14年度:427億円の内数、平成15年度:447億円の内数、平成16年度:463億円の内数)

(温室効果ガスに関する研究、カーボンナノファイバーの脱硫プロセスへの応用、フグ毒に関する研究等)

## (実施状況)

炭酸ガス排出削減に向けた研究開発分野では、燃料電池やエネルギー需給構造高度化のための水素製造プロセス技術で進展が見られる。また、火力発電用高温耐熱タービン材料としてニッケル基超合金においては耐熱温度1100℃、セラミックス材料では1500℃が達成されている。また、燃費効率をあげ炭酸ガス排出量を削減するため、自動車や航

空機の軽量化の検討も行われている。一方、実用化が先行している太陽電池の一層の普及に向けた製造コスト低減の技術開発は手薄に見える。また、有害物質リスクの削減を目指した研究分野では、表面構造を制御したカーボンナノファイバーの応用による従来の活性炭の2倍の脱硫作用や、環境ホルモンとして注目を集めるビスフェノールAを選択的に除去する膜の合成に成功している。小型窒素酸化物検出システムの開発やそのネットワークへの接続による環境モニタリングシステムの試行も実施されている。しかし、PPBレベルの有害物質検出技術等は一層の推進が望まれる。

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

(施策例)

ナノテクノロジーを活用した人工臓器・人工感覚器の開発(文部科学省、平成14年度補正:12億円、平成15年度:2億円、平成16年度:4億円)

(ナノテク、バイオテクノロジー、ITを活用した医療用機器等の研究開発)

萌芽的先端医療技術推進研究(ナノメディシン)(厚生労働省、平成14年度:14億円の  
内数、平成15年度:12億円の内数、平成16年度:13億円の内数)

(ナノテクノロジーを活用した安全で革新的な診断技術や治療技術の研究開発)

生物機能の革新的利用のためのナノテクノロジー・材料技術の開発(農林水産省、平成14年度:2億円の  
内数、平成15年度:2億円の内数、平成16年度:2億円の内数)

(新機能素材の開発と利用およびナノレベルでの生物機能活用技術の開発)

先進ナノバイオデバイスプロジェクト(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成15年度:5億円、平成16年度:5億円)

(少量試料・短時間・同時多項目の分析を可能にする革新的高速高感度分析機器の開発)

身体機能解析・補助・代替機器開発研究費(厚生労働省、平成15年度:7億円の  
内数、平成16年度:7億円の内数)

(身体機能の解析や補助また身体機能の代替機器の開発)

ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ、戦略的創造研究推進事業(文部科学省、(独)科学技術振興機構、平成13年度:404億円の  
内数、平成14年度:427億円の内数、平成15年度:447億円の内数、平成16年度:463億円の内数)

(自己組織化によるナノ構造ベクターの創製、分子モーターの人為的回転によるATPの合成等)

創造科学技術推進事業、吉田ATPシステムプロジェクト、楠見膜組織能プロジェクト(文部科学省、(独)科学技術振興機構、平成13年度:78億円の  
内数、平成14年度:72億円の内数、平成15年度:54億円の内数、平成16年度:32億円の内数)

(生体ナノモーターに関する研究、生細胞における1分子観察、操作技術の開発)

(実施状況)

骨再生に適した有機無機複合素材、低アレルギー性ニッケルフリーステンレス鋼、神経再生用チューブ材料、生体接着剤(毒性が1/10)を開発。人工骨に関しては、企業への技術移転を開始し産業化の取り組みを開始し、人工靭帯に関しては臨床研究に向けた医

工連携体制を構築。経皮的インシュリン投与を可能にするパッチの動物実験成功、量子ドットの製造体制の構築、HVJ-E非ウイルスベクターの安全性試験の実施等DDS(Drug Delivery System)の研究が順調に進捗している。ナノ薬物送達システムとナノ医療デバイスの2件については研究開発、治験等臨床研究環境の整備、審査体制充実、ベンチャー支援等の環境整備も含めた府省連携プロジェクトを立ち上げ取り組み開始した。また、細胞内ネットワークのダイナミズムの解析技術の開発や生体ナノモーターに関する研究など、生体分子の構造や機能を解明する研究も進展している。

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波及分野

(目標)

- ・ 上記 ~ 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

(実施例)

次世代の科学技術をリードする計測・分析・評価機器の開発 - 超高感度核磁気共鳴装置(NMR)の開発-(文部科学省、平成14年度補正:25億円、平成15年度:3億円、平成16年度:4億円)

(ナノテクノロジー・バイオテクノロジーの進展に資する計測基盤ツールの開発)

大型放射光施設(SPring-8)の運用体制の改善(文部科学省、日本原子力研究所、(独)理化学研究所、(財)高輝度科学センター、平成13年度:163億円、平成14年度:129億円、平成15年度:112億円(運営費交付金中の推計値を含む))

(放射光を利用したナノレベルにおける材料の計測・分析・評価の実施)

微小電気機械システム(MEMS)プロジェクト(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成15年度:19億円、平成16年度:12億円)

(光、無線通信、センサなどを応用対象とするMEMS技術開発)

創造科学技術推進事業、大津局在フォトンプロジェクト(文部科学省、(独)科学技術振興機構、平成13年度:78億円の内数、平成14年度:72億円の内数、平成15年度:54億円の内数、平成16年度:32億円の内数)

(近接場光によるナノ物質の創製や各種ナノフォトニックデバイスの作製等)

(実施状況)

高効率EUV(Extreme Ultra Violet)発光のプラズマ条件が予測可能なシミュレーションコードを開発し、レーザー方式によりEUV発光効率3%(従来の2倍以上)の世界最高値を達成。また、EUV光源の出力を高める技術に関して、現存のLPP(Laser Produced Plasma: レーザ励起プラズマ)研究機関の中で世界最高出力4Wを達成した。SPring-8の放射光とナノスケール微細構造との相互作用を実空間でかつ原子スケールで観察できるSR-STMシステムを開発された。また、従来の10倍の感度を持つ新方式の核磁気共鳴装置の基本的構成の開発がほぼ完了している。単一分子デバイスの実現を目指し、10nm以下のギャップを持つナノ電極を作成する技術を確立、単一分子の量子状態制御に向け、個々の分子の振動状態の観測に成功している。ビームプロセス技術、アトムテクノロジー等は着実な進展が見られるが、シミュレーションソフト分野は欧米が強い状態である。

革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術

(目標)

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

#### (実施例)

安心で安全な社会・都市新基盤実現のための超鉄鋼研究(文部科学省、(独)物質材料研究機構、平成13年度:172億円の内数、平成14年度:167億円の内数、平成15年度:165億円の内数、平成16年度:162億円の内数)

(高強度鋼、超微細粒鋼(超鉄鋼)等の革新的構造材料開発と新橋梁構造体への応用)

ナノカーボン応用製品創製プロジェクト(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成15年度:12億円、平成16年度:11億円)

(ナノカーボン材料の構造制御、合成、機能発現等のための技術開発)

マイクロ分析・生産システムプロジェクト(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成15年度:13億円、平成16年度:11億円)

(微小空間における高度な化学反応を活用し、物質生産や分析を可能にするマイクロ化学プラント・チップ技術開発)

光触媒利用高機能住宅部材プロジェクト(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成15年度:5億円、平成16年度:5億円)

(光触媒を利用した室内環境浄化部材の開発や可視光対応型光触媒の評価手法の開発)

カーボンナノチューブFED(フィールドエミッションディスプレイ)プロジェクト(経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成15年度:7億円、平成16年度:8億円)

(カーボンナノチューブを用いた薄型、低消費電力、高輝度、高画質FEDの開発)

創造科学技術推進事業、横山液晶微界面プロジェクト、細野透明電子活性プロジェクト、十倉スピン超構造プロジェクト等(文部科学省、(独)科学技術振興機構、平成13年度:78億円の内数、平成14年度:72億円の内数、平成15年度:54億円の内数、平成16年度:32億円の内数)

(AFM探針による液晶の多重安定状況の実現、透明酸化物半導体、巨大非線形磁気光学効果の発現等)

#### (実施状況)

カーボンナノチューブの量産技術、電気的・機械的高機能材料の創製プロセスの基盤技術について進展があり、燃料電池や電子デバイスへの応用研究が活発に行われている。光触媒を利用した放熱部材、室内環境浄化部材の試作等、可視光対応型光触媒の評価手法の開発も進められており、カーボンナノチューブや光触媒分野では世界的レベルの成果が多数輩出している。また、多くの新規透明酸化物伝導体が開発されている。さらに革新的構造材料の分野では、研究開発とその特性を活かす設計施工法の開発の一体推進、性能評価基準、設計基準整備や初期市場形成支援等の環境整備を、府省連携プロジェクトにより実施し始めている。既に、強度2倍、寿命2倍の超鉄鋼材料については、板材小型サンプルを試作、超高力ボルト鋼のボルト材の成形可能性が確認されている。

#### (2) 推進方策の基本的事項

推進方策の実施状況

## 基礎研究を充実

科学研究費補助金、科学技術振興調整費、戦略的創造研究推進事業等の競争的資金を充実させた。

## 府省「連携プロジェクト」をスタート

5～10年で産業発掘につなげるために、関係府省が研究開発と環境整備をあわせて実施した。具体的には、以下の3プロジェクトを新たに編成して推進した。

- ・ 「ナノテクを活用した薬物送達システム」  
転移ガン、生活習慣病を対象とした新投薬法、遺伝子治療用の材料等(文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省)
- ・ 「ナノ医療デバイス(治療・診断機器)」  
診断チップ、非・低侵襲の高機能医療機器、人工臓器・人工感覚器等(文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省)
- ・ 「革新的構造材料の建設市場への活用」  
複合機能の新構造システム建築物、耐震・耐食・軽量の新橋梁構造体等(総務省、文部科学省、経済産業省、国土交通省)

## 戦略の策定等

『産業発掘戦略 - 技術革新』の策定(平成14年12月 内閣官房とりまとめ)

ナノテクノロジー・材料分野の技術開発、知的財産・標準化、市場化等を内容とする「産業発掘戦略」を官民合同のタスクフォースを設け策定。

## ナノテクノロジー・材料研究開発の推進

平成14年12月、重点分野推進戦略専門調査会に、「ナノテクノロジー・材料研究開発推進プロジェクトチーム」を設け、その研究開発および産業化推進に向けた環境整備等に関する具体的な方策について調査・検討し、平成15年7月にとりまとめた。

## 3. 今後の推進にあたってのポイント

### (1) 分野別推進戦略の目標の妥当性

ナノテクノロジー・材料分野は、現在のところ日本が優位な分野と言われているため、分野別推進戦略に記載されている研究開発目標は、現状では概ね妥当であると考えられる。

### (2) 計画残期間に行うべき課題

総合科学技術会議に設置したプロジェクトチームにて、府省「連携プロジェクト」に関する平成16年度の関係府省の施策を把握し、効果的な推進が図れるよう継続して検討・フォローを行う。

### (3) 第3期に向け新たに取り組むべき課題

今後の米国、欧州、中国などと激しい競争を考えると、大学や国研における基礎研究を通じてインパクトの大きい研究成果を生み出す必要があり、基礎的、萌芽的あるいは挑戦的研究をさまざまなレベルで支援できる競争的資金制度の充実が望まれる。

産学官の一層の連携強化はもとより、情報通信、環境、バイオ等重点領域においてナノテクノロジーの適用による研究開発の進展が具体化しつつあり、ナノとの分野融合による研究取り組みがもはや不可欠であり、一層の強化が必要である。

複数の専門分野に精通した幅広い視野を有する人材の育成や企業研究者の専門分野を広げる再教育の場をつくることが重要である。

安心・安全な社会の構築に備え、ナノテクノロジー等の科学技術が社会や人間に及ぼす様々な影響・波及効果を先行把握。

#### (参考)世界及び日本における科学技術に係るトピック

##### 米国21世紀ナノテクノロジー法案

我が国では、1990年代から国家プロジェクトとしての取り組みを行い、強みとしてきた分野であり、この状況を反映して米国は2001年度から「国家ナノテクノロジー戦略(NNI)」により関連予算の増額や省庁連携を強化してきた。更に、直近の我が国はじめ欧州、アジア諸国における積極的な推進施策を受け、米国はこの分野の世界のリーダーとしての競争力強化のため、「21世紀ナノテクノロジー研究開発法案」を上院に提出(2002年9月)、翌年2003年12月に同法は成立した。同法では、「国家ナノテクノロジー研究プログラム」を大統領が中心となって策定し、研究開発の中長期的な目標設定をすること、大学や公的研究機関、民間の協力体制を充実し、研究開発成果の民間への移転を促進すること等を謳い、産学官の専門家が国家ナノテクノロジー戦略立案について大統領に助言する「ナノテクノロジー諮問委員会」の設置、「学際融合ナノテクノロジー研究開発センター」等の研究インフラの整備、ナノテクノロジーの社会的影響に関する調査研究を行うセンターの設置等が盛り込まれている。

##### ナノテクビジネス推進協議会

ナノテクノロジーを活用した産業の黎明期である現在、その技術革新性の高さゆえ将来創出される市場への期待も大きく、我が国のナノテクノロジー分野のその市場規模は2010年には20兆円から26兆円に達するとも予測されている。このため、ナノテクノロジーの実用化の重要性と従来組織を越えた活動の必要性を認識し、21世紀を担うナノテクノロジーをビジネスとマッチングし新しい産業を発掘することを目的として、産業界において、「ナノテクビジネス推進協議会」が2003年10月に発足した。そこでは、最新の技術情報の交換、起業家・研究者と投資家との情報共有、研究者・技術者間の人的交流、研究開発戦略の政府への提言、ベンチャー支援、標準化、普及啓発に関わるものが企画される。