

# ナノテクノロジー・材料分野 重点領域毎の達成目標の考え方と目標例（案）

## ①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、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、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テラバイト級のデータベースと3(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。

(技術的目標例)

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| 高機能・低消費電力デバイス技術を実現する半導体プロセス技術 |                   |
| 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          |
| 情報記録の高密度化                     | 300(ギガビット/平方インチ級) |
| 光ファイバの広帯域化                    | 数テラ～数十テラビット/秒     |

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

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、量子コンピュータ、分子素子、クーロンブロッケードを利用した少数～単一電子デバイス、スピニエレクトロニクス、SQF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もち、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。

(技術的目標例)

ナノメートルサイズの種々の素子の動作を確証  
量子コンピューティングを実現する基本素子の多様な手法による構築と複合化の実現

## ②環境保全・エネルギー利用高度化材料

(達成目標)

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

### 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。

(技術的目標例)

高光電変換効率・低コスト(モジュール製造コスト100円/ワット以下)の太陽電池の実現  
高分子合成などの汎用プロセス用ナノ制御高効率触媒開発  
ppbレベルの物質を簡便に検出する技術の実現  
PRTR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

## 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

### 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  
生物メカニズム活用のための基本原理の解明

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の動態を観測することによりその時間的・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等への応用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。

(技術的目標例)

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安全性等の検証  
たんぱく質一分子の時間的・空間的動態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

#### ④計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基盤技術

(達成目標)

上記①～③領域で要求される加工レベルに対して1桁以上高精度な計測・評価、加工技術の実現  
新規材料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でき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。

(技術的目標例)

DRAM素子寸法 60nmに対応した加工装置開発  
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

#### ⑤革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術

(達成目標)

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

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。

#### (技術的目標例)

比強度及び寿命が現在の2倍の構造材料の実現

25%の外部量子効率を持つ電界発光デバイス用材料の実現

触媒開発へのコンビナトリアル手法の適用等により開発期間を十分の一に短縮

2010年に180万件の材料物性データベースを実現するためのデータベースの充実

計算機等支援ツールの活用の定着