

研究コーディネータ 五十嵐 一男

ナノテクノロジーとは

ナノテクノロジーとは、物質をナノメートル(1nm=10億分の1m)レベル、すなわち原子・分子レベル(図1)で操作・制御し、ナノサイズ特有の物質特性を利用して、全く新しい機能や優れた性質を持つものを作り上げる技術です。例えば、高密度・高速に情報を蓄積でき、エネルギー消費の少ない情報処理デバイスが求められていますが、これを実現するための1つの方法として、1つ1つの部品を小さくすることが考えられます。しかし、既存の技術を用いて部品を小さくしていくには限界があるため、これまでとは異なった方法で、ナノメートルレベルの精度で部品や装置を加工する技術が必要です。また、分子・原子数個レベルの大きさの物質では、大きな塊の物質では顕著に現われない性質(量子効果や表面効果)が見られるようになるため、ただサイズを小さくしたというだけではない、全く新しい材料を作り出すこともできるのです。

計測手法の発展がナノテクを飛躍的に成長させた

近年のナノテクノロジー研究の飛躍的な成長は、計測手法の発展と密接な関係にあります。1980年代前半にIBMのグループによって走査トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscope)が発明されました。これは、鋭い針と物質の表面との間に電圧を加え、針を物質表面に近づけたときに流れる微弱な電流(トンネル電流)を検出することによって、物質表面の凹凸や電子状態を直接観察することができる装置です。また、この針を用いて、原子1個のある場所から別の場所へ動かすことも可能です。これらの技術の開発によって原子や分子1個レベルでの観察や操作が現実のものとなり、いろいろなナノ構

造体を作り上げ、確認することができるようになりました。

ナノメートルの単位で物質の構造を制御する方法としては、光や電子ビームを用いたリソグラフィのように、大きな塊を微細に加工していくトップダウン型のアプローチと、原子・分子を組み上げていくボトムアップ型のアプローチがあります。ボトムアップ型のアプローチとしては、前述の、走査トンネル顕微鏡等を用いて原子を1個ずつ操作する方法の他に、原子や分子のもつ自己集合能力(原子や分子同士が集まって安定な構造を形成する)や、生体に見られるような自己組織化(ある条件下でナノスケールの構造が自発的に形成される)を利用した方法も研究されています。原子を1個ずつ操作するには非常に時間がかかりますが、自己組織化の方法を上手に用いることができれば、ナノメートルのオーダーで構造を制御した物質を、手間や時間をかけずに大量に作ることも期待されています。現在では、トップダウンやボトムアップの種々の方法を組み合わせ、複雑な部品や装置を組み立てて働かせる技術の開発に関心が集まっています。

高まる産業化への期待

ナノテクノロジーは比較的新しい研究分野ですが、いろいろな産業分野への応用が期待されています。情報・通信関係では、高密度・高効率なメモリや全く新しい動作原理に基づいたコンピュータ素子の開発、カーボンナノチューブ等のナノ物質を利用した高輝度ディスプレイ、フォトニック結晶を用いた高速光ネットワークデバイス等への応用が検討されています。医療関係では、薬品を内包したりポソーム(脂質膜)やナノマシンを利用した、特定の臓器への薬品注入等が考えられています。また、環境・エネルギー産業では、環境浄化

のための触媒や、水素貯蔵材料等にナノテクノロジーが利用できると考えられています。このように、ナノテクノロジーは、幅広い分野において新しい産業を創出し、社会を豊かにするための基盤技術として注目されています。

日本の取り組み

さて、日本のナノテクノロジーの技術レベルはどのようなものでしょうか。米国の世界技術評価センター(WTEC)が1998年に行ったナノテクノロジー・材料分野における国際技術力比較によりますと、日本は、ナノマテリアル・材料関連技術において欧米に比べて優位または同等のレベルにあると評価されています。ナノテクノロジーは日本の強みを発揮できる技術分野であり、一層の強化が望まれています。

日本のナノテクノロジー関連の国家プロジェクトは、文部科学省、経済産業省、総務省、厚生労働省、農林水産省、環境省の6省で行われています。2003年度のナノテクノロジー関連予算は、昨年度予算の816億円を超えると予想されます。このうち、文部科学省と経済産業省が、ナノテクノロジー関連予算の大部分を占め(2001年度予算の97.5%)、両省とも電子デバイスやバイオに関連したナノテクノロジーを、重点研究領域と位置付けています。このような状況の中、総合科学技術会議のナノテクノロジー・材料研究開発推進プロジェクトチーム(NTPT)では、省庁間の連携を強化し、より効率的で産業化に役立つ研究開発を実施するため、省庁連携プロジェクト推進に関する議論が進められています。

現在、文部科学省は、「戦略的創造研究推進事業」(CRESTやERATOプロジェクト等)、「ナノテクノロジー総合支援プロジェクト」等で、ナノテクノロジーの基礎研究(ナノテク

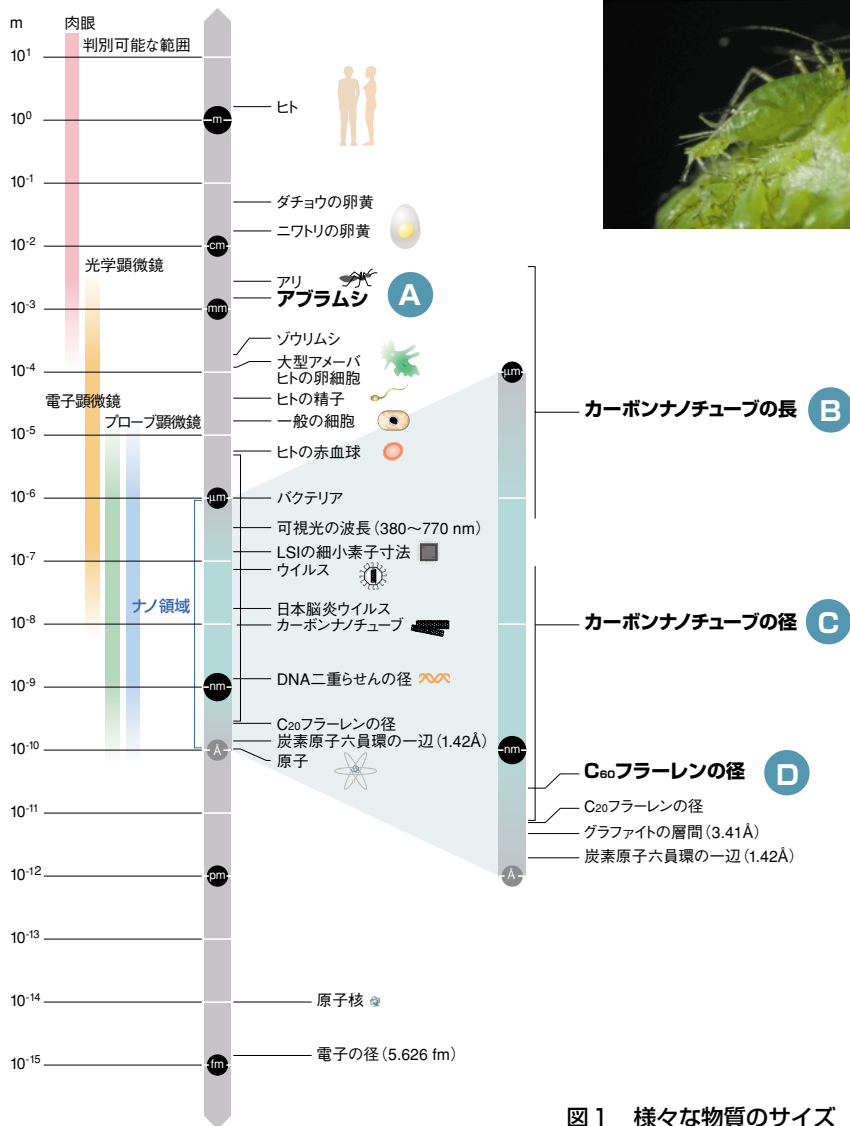
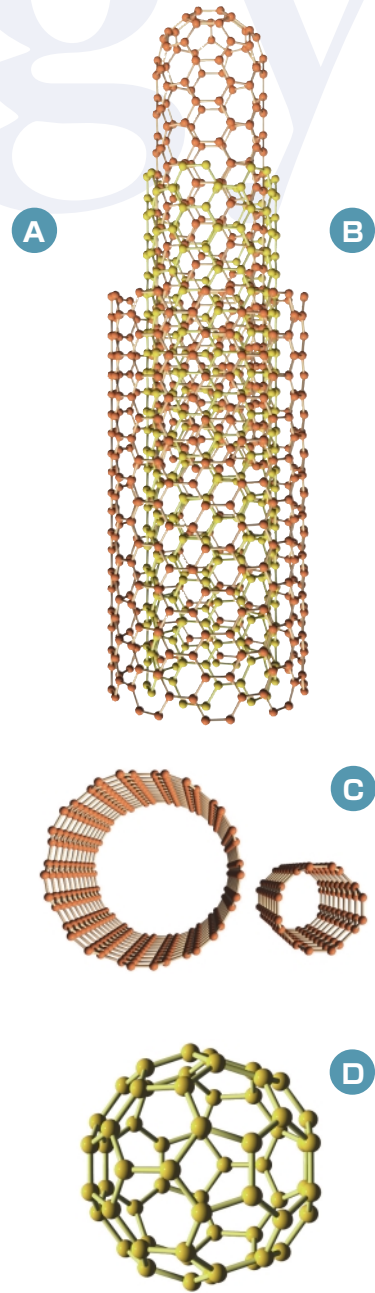


図1 様々な物質のサイズ



●表1 文部科学省のナノテクノロジー関連の主なプロジェクト案 (2003年度)

- ・ 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
- ・ 極端紫外光源開発等の先進半導体製造技術の実用化
- ・ 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
- ・ 次世代型燃料電池プロジェクト
- ・ 新産業基盤「未踏光学」開発・創生プロジェクト
- ・ 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
- ・ 個人の遺伝情報に応じた医療の実現プロジェクト
- ・ 再生医療の実現化プロジェクト
- ・ 細胞・生体シミュレーションプロジェクト
- ・ 光技術を融合した生体機能計測技術の研究開発
- ・ 糖鎖機能を活用した新産業育成支援
- ・ タンパク 3000 プロジェクト

●表2 経済産業省のナノテクノロジー関連の主なプロジェクト案 (2003年度)

- ・ 超微細レベルで制御した高機能材料
- ・ 半導体微細加工、半導体材料
- ・ 半導体アプリケーションチップ、新機能デバイス
- ・ 情報通信システム高度化
- ・ 次世代ディスプレイ
- ・ ポストゲノム
- ・ バイオとITの融合
- ・ ナノバイオテクノロジー
- ・ 軽量化・放熱技術
- ・ 燃料電池技術開発

ロジー関連施設の提供、ナノテクノロジー・ネットワークの構築等)に重点をおいた研究テーマに資金を投入しています。同省の2003年度ナノテクノロジー関連プロジェクト案の主な項目は、表1の通りです。これらの予算要求総額は約505億円となっています。

一方、経済産業省は、2003年9月に産学官連携組織「ナノテクノロジービジネス推進協議会」の設立を目指す等、ナノテクノロジーの産業化に政策の重点をおいており、同省のナノテクノロジー関連プロジェクトも、ナノテクノロジーの早期実用化、産業化を目的としています。同省の2003年度ナノテクノロジー関連プロジェクト案の主な項目は表2の通りです。これらの予算要求総額は約624億円となっています。なお、本特集には、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト運営に関する記事を掲載しておりますので、こちらも御参照下さい。

世界を先導する産総研の取り組み

本特集では、産総研のナノテクノロジー関連の研究トピックスをいくつか御紹介いたします。産総研は、約2,400名の研究者(常勤職員数)を擁する総合研究所として、材料、製造技術、ライフサイエンス、情報通信、環境・エネルギー、地質海洋、計測標準等、広範な研究分野をカバーしており、基盤技術としてのナノテクノロジーの適用範囲も多岐にわたっています。

産総研のナノテクノロジー研究の特徴として、計算科学分野や計測標準分野の研究者との強い連携が挙げられます。計算科学シミュレーションによるナノ物質の構造や、性質の予測と実際のナノ物質の合成研究を組み合わせることにより、従来の試行錯誤的な研究手法から脱却した、より効率的な研究開発が可能です。

また産総研では、ナノテクノロジーの産業への応用に欠かせない高度計測技術や、信頼性確保のためのナノ材料用標準物質の開発等も行っています。

1992年から2002年にかけて、産業技術融合領域研究所(前工業技術院)において、アトムテクノロジー(原子・分子極限操作技術)プロジェクト(NEDO)が実施されました。産学官の研究者がつくばに集中し、世界のナノテクノロジー研究を先導する形で進められた画期的なプロジェクトでした。この成果を受け継ぎ、平成13年度に発足した「材料ナノテクノロジープログラム」(NEDO、平成14年度に「ナノテクノロジープログラム」に再編成)や次世代半導体プロジェクト「MIRAI」等を、産総研が中心となって実施しており、国際的競争力の強化、新産業の創生を目指して研究を進めています(図2)。

また、産総研職員がプロジェクト

リーダーとなって、数々の戦略的創造研究推進事業(文科省)を実施しています。さらに、ナノテクノロジー研究部門が中心となって実施しているナノプロセッシング・パートナーシップ・プログラム(文科省ナノテクノロジー総合支援プロジェクト)や、機械システム研究部門が中心となって実施している革新的MEMSビジネス支援プログラム(経産省)では、産学官の研究者にナノ加工・計測のための最先端の装置・技術相談・試作サービスを提供しており、研究者のアイデアを直ちに実現できるように支援を行うことで、わが国のナノテクノロジー研究開発の加速に貢献しています。

本特集を御覧いただくことで、ナノテクノロジーに関連する産総研の活動の一端を御理解いただけますと幸いです。

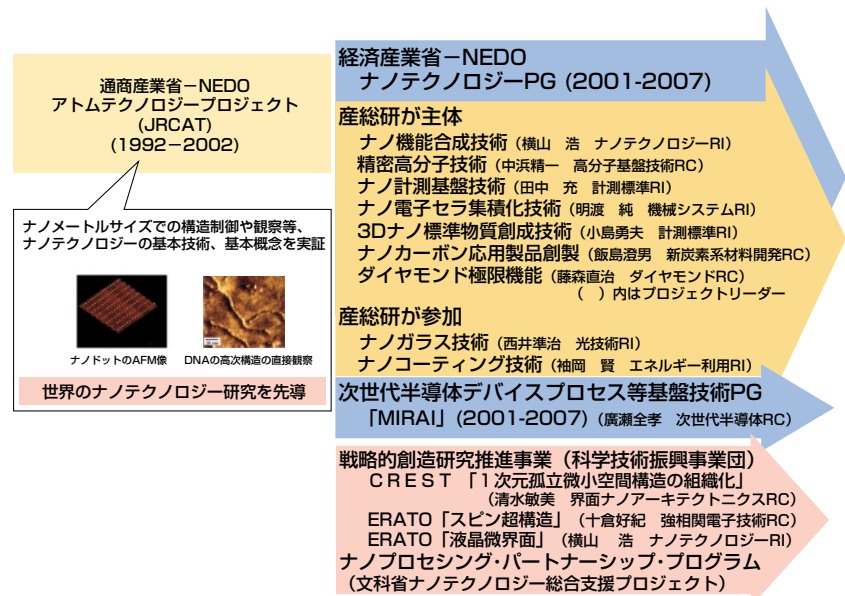


図2 工業技術院のアトムテクノロジー研究から産総研のナノテクノロジー研究へ

ナノテクノロジーの世界事情

技術情報部門 大沢 吉直、坂下 真実、小川 博文

米国

NNI (National Nanotechnology Initiative、国家ナノテクノロジーイニシアティブ) と呼ばれるナノテクノロジーに関する国家的規模のプロジェクトを世界に先駆けて開始した米国においては、ナノテクノロジーすなわちナノスケール科学・技術は、単なる物質・現象理解や技術開発の1分野でなく、材料と製造、エレクトロニクス・コンピュータ技術、医薬と保健、航空および宇宙開発、環境とエネルギー、バイオテクノロジーと農業、国家安全、等の多くの産業・社会分野に関わる横断的・包括的な基盤的コンセプトで、先進諸国の将来における産業の競争優位性に関わるものであると考えられています。また、新しい分野融合的科学としての側面をも強く持つものとして捉えられており、その実行内容は、研究開発だけでなく教育や訓練をも含んだ極めて総合的・包括的なものです。資金は、長期的な基礎研究、グランドチャレンジ、学際的なナノテクノロジー研究センター、研究基盤整備と研究装置、技術移転、教育・訓練等に配分されます。

NNIは、National Science and Technology Council (NSTC) の技術委員会 (CT) のなかで運営されています。CTのNanoscale Science, Engineering and Technology (NSET)小委員会は、NNIを含む連邦政府の多くのナノスケール研究開発プログラムを調整し、NNIの計画を立て、予算を立案し、実行します。

NNIの総予算額は、4.64億ドル(約560億円、2001年度)、6.04億ドル(約720億円、2002年度)、7.74億ドル(約930億円、2003年度)、8.47億

ドル(約1,020億円、2004年度要求)と、堅調に増加しています。10省庁局が参加していますが、国立科学財団(NSF)、国防省(DOD)、エネルギー省(DOE)への配分が大きく、3省庁合計で全体の80%程度を占めています。

以上の情報については、技術情報部門・技術経営調査室の作成した「米国ナノテクノロジー分野の運営活動状況」調査報告書(平成15年3月31日作成、全43ページ)に詳しい説明があります。

最近の動きとしては、上下両院にナノテクノロジー法案が提出されたことがあげられます。下院法案「2003年ナノテクノロジー研究開発法案」は5月に下院を通過し、2004年度からの3年間で総額23億6000万ドル(約2,800億円)の予算を認可しました。

EU

欧州連合(EU)のナノテクノロジーの特徴は、ナノテクノロジーと生産技術を組み合わせて入口から出口までを想定した戦略を取っていること、環境を重視して省資源・省エネルギー・低コスト化のための技術に特化していることです。EUの研究は、基本的にフレームプログラム(複数の国々の研究者による共同研究)とナショナルプログラム(各国の研究者による独自研究)とに分けられます。科学技術計画の第6次フレームワーク(2002～2006年)は欧州委員会が実施する研究開発プログラムで、フレームプログラムの一つです。ナノテクノロジーは、第6次フレームワークの優先8領域の一つである「ナノテクノロジーとナノサイエンス、Knowledge-based Multifunctional Material(知識を集積して設計した材料)、新しい生産技術とデバイス」と

して計画され、次世代産業革命の最も重要な技術として捉えられています。産業を支え、基礎研究から製品に至る広い領域を継続的に促進するような、真の技術革新を目指したものです。優先8領域の総予算は113億ユーロで、ナノテクノロジー関連はその11.5%の13億ユーロ(約1,800億円)です。

ナショナルプログラムとして、ドイツでは教育研究省と経済技術省が中心となり、連邦政府の支援の下でナノテクノロジーに関する開発研究が活発に行われており、ナノコンポジット等の新物質に1,800万ユーロ(約25億円)、プローブ等の物理/化学分野で2,100万ユーロ(約29億円)、計測等を含めたレーザー研究に460万ユーロ(約6億円)等の予算が投入されています。スイスでは、Top Nano 21という国家研究計画により、バイオ、デバイス、材料等の研究を大学や企業が連携して進めています。英国でもEPSRC(工学・自然科学研究会議)を中心に貿易産業省と共同でナノテックの研究を支援しています。

アジア

韓国、台湾、中国の動向が注目されます。韓国科学技術部は2002年3月、ナノテクノロジー分野に2,030億ウォン(約200億円、2002年度)を投資する計画を発表しました。一方台湾では、同分野への国の投資額が、2002年からの6年間で231億台湾ドル(約780億円)になる予定です。また中国では、中国政府が2001～2005年の5年間にわたり、同分野に20億元(約280億円)の資金投入を行い、地方政府も同期間に20～30億元(約280～430億円)の投資を予定していると報じられています。