目次（詳細）

ナノテクノロジーの現状と求められる戦略的支援策について

要旨・・・ 2

Ⅰ．ナノテクノロジーとは何か

1. ナノテクノロジーの可能性・・・ 3

2. ナノスケール・ナノテクノロジー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5

3. ナノテクノロジーが発展した背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

Ⅱ．ナノテクノロジーが産業に与える影響

1. 新たな産業革命・・・ 9

2. 素材・材料分野での取り組み・・・ 9

3. IT分野での取り組み・・ 12

4. バイオ・医療・生命科学での取り組み・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13

5. エネルギー・環境分野での取り組み・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 15

Ⅲ. 市場規模・企業動向

1. 公表されている市場規模予測・・ 16

2. 企業動向（概観）・・・ 17

Ⅳ. 各国の国家戦略

1. アメリカの国家戦略・・・ 24

2. 日本の国家戦略・・ 25

3. その他諸外国の国家戦略・・・ 27

Ⅴ．求められるナノテクノロジー支援策

1. 優位性の確保・新しい産業の育成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29

2. 具体的な推進策・・ 29

3. 最後に－ナノテクノロジーを大いに議論しよう・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35

主要参考文献・・・ 37

＜要旨＞

■ ナノテクノロジーとは、10 億分の 1 メートル単位という原子・分子レベルの超微細な世界を対象とする新しいテクノロジーである。ナノテクノロジーは、IT やバイオテクノロジーと並ぶ最先端の技術であるということにとどまらず、両分野をも含む広範囲の分野で技術基盤を一新し、21 世紀の産業や社会を大きく変革する可能性を秘めている未来型テクノロジーである。

■ ナノテクノロジーを語るうえでのキーワードは「ブレークスルー（打開、突破）」である。ナノテクノロジーが有する「創新性」の発現により、過去の延長線上で考えていたのでは乗り越えられない限界を一気に突破することが可能となるのであり、「21 世紀の科学技術・産業・社会に共通する究極のインフラストラクチャー」ということがナノテクノロジーの本質である。

■ 半導体微細化技術などに代表される「大から小を目指す」既往技術（トップダウン）には限界が見え始めている一方、電子顕微鏡などの基盤ツールの長足の進歩により物質を原子・分子レベルで観察、操作・制御することが可能となってきている（ボトムアップ）。ナノスケールで原子・分子を操作・制御し、従来の常識を超えた新しい機能や優れた特性を引き出す、これこそナノテクノロジーの独壇場である。そして、将来的には、ボトムアップに基づく科学や製造技術は、これまでの経験や蓄積データに基づく科学の常識やトップダウン型製造技術を創造的に破壊する可能性がある。

■ 21 世紀はナノテクノロジーによって新たな産業革命が引き起こされる時代となろう。既に、素材産業では、夢の素材といわれているフラーレンやカーボンナノチューブの研究開発が盛んに行われており、また、IT 分野、バイオ・医療・生命科学分野、エネルギー・環境分野などにおいても様々な研究開発が展開されている。

■ アメリカのクリントン大統領は、2000 年 1 月予算教書に関して、IT 及びバイオテクノロジーに続く重要戦略分野としてナノテクノロジーの研究開発を強力に推進することを宣言（国家ナノテクノロジー戦略、NNI）、以後、関連予算は毎年度増加され、現ブッシュ政権においても積極的な展開が行われている。日本では、2001 年に設置された総合科学技術会議において、ライフサイエンス、IT、環境と共に「ナノテクノロジー・材料」を 4 重点分野の一つとして位置付け、関連予算も毎年度増額されている。

■ 日本はモノ作り大国であることを誇ってきたが、バブル崩壊後の構造的な不況が長期化する中で、中国などから猛追を受けている。かかる状況を打開して経済を回復軌道に乗せるためには、ナノテクノロジーに代表される最先端技術で国際優位性を確保し、新しい産業を育成する必要がある。

■ 求められるナノテクノロジー支援策としては、①ナノテクノロジーを推進するための統括的組織の設置、②研究開発体制の強化・拡充、③産業化プロセスの整備、④積極的な情報開示等により国民の理解を得る努力、が必要であると考えられる。

以上

Ⅰ．ナノテクノロジーとは何か

1．ナノテクノロジーの可能性

超微細な世界での技術

ナノテクノロジー（Nanotechnology）とは、10 億分の1メートルにあたるナノメートルスケールの世界、すなわち、物質を構成する分子や原子レベルの超微細な世界を対象とする新しいテクノロジーである（原子は 0.1 ナノメートルにあたるオングストロームスケールの大きさであるが、ナノテクノロジーの対象領域に含まれる）。近年、ナノテクノロジーへの内外の関心が急速に高まっており、この技術を駆使すれば、21 世紀の産業や社会を大きく変革すると言われている。

キーワードは「ブレークスルー」

ナノテクノロジーを語るうえでのキーワードは「ブレークスルー（breakthrough、打開、突破）」である。ナノテクノロジーは、一般には IT 及びバイオテクノロジーと並ぶ最先端の技術として注目されているが、実は、このような受けとめ方だけではナノテクノロジーの持つ創造性・革新性（これを「創新性」と呼ぶことにしたい）を理解するのに不十分である。なぜなら、ナノテクノロジーは、IT やバイオテクノロジーにとどまらず、広範囲の分野において技術基盤を根本から「創新」する力を秘めており、これまで産業や社会生活の様々な分野で我々が直面していた技術の壁を一気にブレークスルー（打破）し、未知の領域への果敢な挑戦を可能にする未来型テクノロジーだからである。すなわち、過去の延長線上で考えていたのでは乗り越えられない限界を一気に突破する「21 世紀の科学技術・産業・社会に共通する究極のインフラストラクチャー」というのが、ナノテクノロジーの本質である。

経済再生の「鍵」となる戦略技術

日本経済は、バブル経済崩壊後の構造的な不況が長期化する中で、過剰設備や不良債権など「負の遺産」を処理すると共に、新しい産業や需要の創出による経済の回復が急務となっている。ナノテクノロジーは、日本の産業活力を維持・強化し、経済再生の「鍵」となる戦略技術として位置づけられる。

ナノテクノロジーという言葉の生みの親は日本の研究者（1974 年に東京理科大学の谷口紀男教授が国際生産技術会議でナノメートルの精度に達する機械加工を「ナノテクノロジー」と命名）であり、日本の研究機関や企業はこの最先端分野で世界的にもトップレベルの成果を挙げてきているが、ナノテクノロジーの高い可能性に着目して、これをいちはやく国家的な戦略目標として打ち出したのはアメリカである。すなわち、アメリカのクリントン大統領（当時）は、2000 年1月予算教書に関して、「私は、予算 5 億ドルを計上して国家ナノテクノロジー・イニシアティブ（NNI）という新たな重要な戦略をサポートする」との演説を行った（P.24「1.アメリカの国家戦略」参照）。この演説は、世界各国のナノテクノロジー研究開発競争に火をつけることとなった。

【図表1】ナノテクノロジーの広がり

(出所) 総合科学技術会議平成 13 年 3 月 22 日資料

2．ナノスケール･ナノテクノロジー

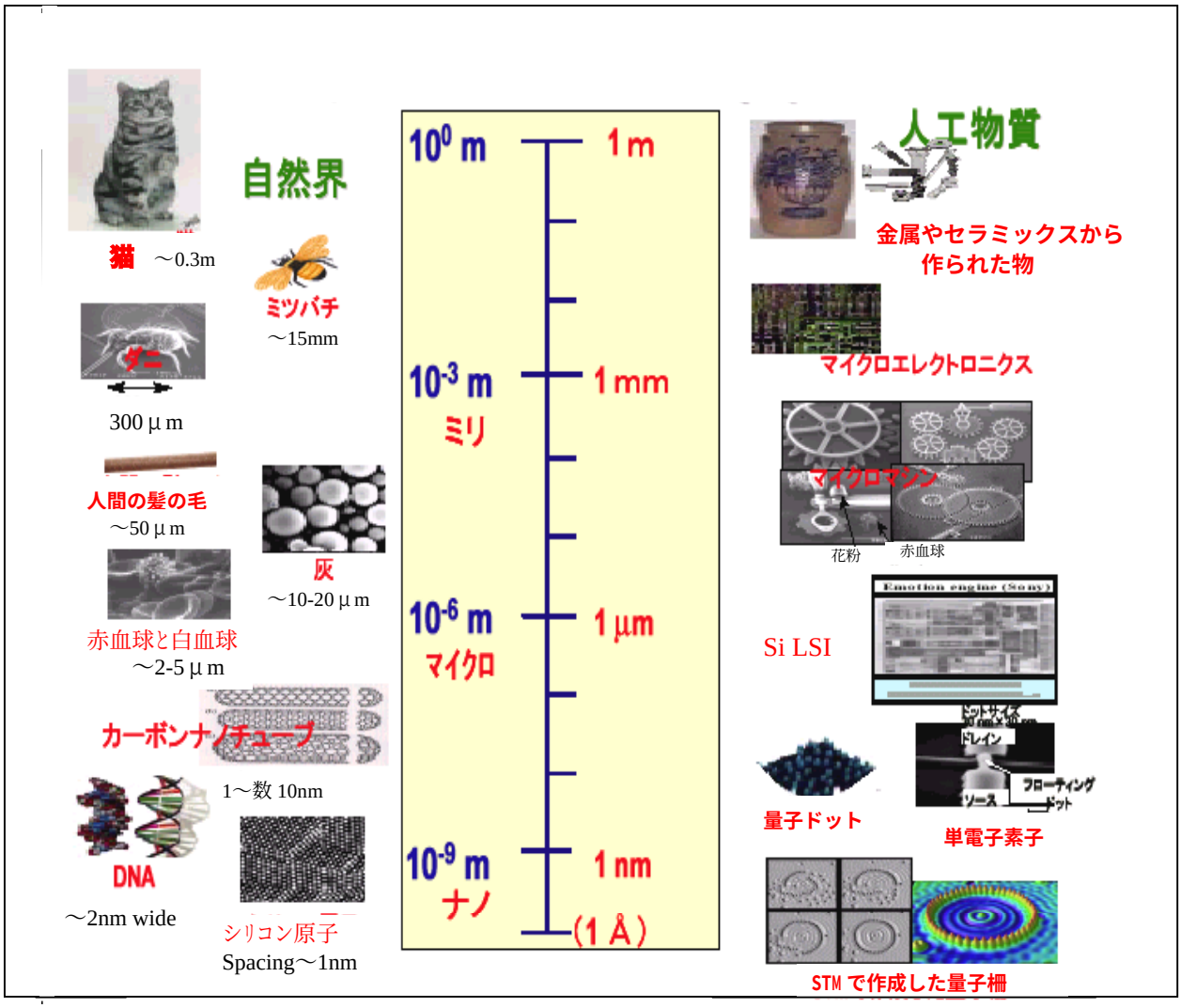
ナノスケール（単位）

ナノ（nano）とは、10 億分の1を表す単位であり、1 ナノメートル（nm）＝10 億分の 1m（＝100 万分の1mm）を表している。この大きさは物質を構成する分子レベルの大きさである（生物の基本単位である DNA 分子の幅は約1nm）。ちなみに、地球の直径は約 13,000kmであるが、この 10 億分の 1 が 1.3cmであり、略ビー玉と同じ大きさにある。また、最新型のパソコンに使われている半導体チップの回線幅は約 0.13 マイクロメートル（ミクロン）であるが、これをナノで表すと 130nm ということになる（1 マイクロメートル＝1,000 ナノメートル）。

ナノテクノロジーとは

世界共通の定義はないが、日本では、「ナノメートルのオーダーで原子･分子を操作･制御し、ナノサイズ特有の物質特性等を利用して新しい機能、優れた特性を発現させる技術の総称」（総合科学技術会議）とされている（後述するアメリカの NNI では、大きさが 100nm 程度かそれ以下の規模のものを対象とするとされている）。

［図表2］ナノスケールの世界



（出所）総合科学技術会議平成 13 年 3 月 22 日資料

アプローチ方法

ナノテクノロジーのアプローチ方法は下記の 2 つがある。

① トップダウン方法:
大きなものを削ることによって上から細分化し、極微細なレベルまでこれを続ける方法（微細加工技術、代表例として半導体微細化技術など）。

② ボトムアップ方法:
あたかもオモチャのブロックのように原子や分子を下から積み上げていき、ナノスケールの構造を創り出し、さらにそのナノ構造をよりマクロなスケールに組み上げてゆく方法。

ナノテクの真髄

現在は、上記の両方法からアプローチがなされているが、②のボトムアップ方法によるアプローチが、より重要になってきている。その理由として、第一に、「大から小を目指す」既往技術には限界が見え始めていることが挙げられる（P.13「ムーアの法則」参照）。第二に、後述する電子顕微鏡などの基盤ツールの長足の進歩により、物質を原子・分子レベルで観察、操作・制御して、新しい分子やクラスター（原子や分子が複数会合した集合体であり、独立した原子や分子・バルク固体とも化学的・物理的性質が異なる）を組織化することにより、自然界に存在しなかったナノ構造体を人工的に創り出し、これまでにない強度や、電気特性などを持った新しい材料を創ることが可能となってきたことが挙げられる。ナノスケールで原子・分子を操作・制御し、従来の常識を超えた新しい物質を創り出す、これこそナノテクノロジーの独壇場であると言えよう。そして、将来的には、ボトムアップ方法による科学や製造技術は、これまでの経験則や蓄積されたデータに基づく科学やトップダウン型製造技術を創造的に破壊する可能性があると考えられる。

「生命の領域」ではない

ナノテクノロジーが自然界に存在しなかった新しい物質を創り出す、というと、たとえばクローン動物について議論されているように、人間が「生命の領域」まで踏み入れて思いのままにしてしまうという懸念はないのであろうか。結論から言えば、ナノテクノロジーの「創新性」は、従来地球上には存在しないか、未だ発見されていないが宇宙空間には存在する物質を創り出すことである。後述するナノバイオロジー分野では、人間のパーツ（人工臓器や人工感覚器）を創り出すヒューマン・ボディー・ビルディング（P.15④参照）等の研究が行われているが、それによって人間が生命を操ることはできないし、ましてや生命そのものを創り出すこともできないのである。ナノテクノロジーは、バイオテクノロジーを促進する装置や材料分野で貢献をするテクノロジーとして、その役割が期待されているのである。

3．ナノテクノロジーが発展した背景

ファインマンの予言

ファインマン教授（Richard P.Feynman、カリフォルニア工科大学、1965 年にノーベル物理学賞受賞）は、1959 年に行った“Plenty of Room at the Bottom”という講演において、材料などを生み出す源は、原子が結合したナノスケール

の集合体であること、将来は原子一つ一つを積み上げて物質を創り出すことが可能であること、を予言するとともに、そのためには、物質をナノスケールで観察や解析できる新しいツールが必要であることを指摘した。1990 年代以降にナノテクノロジーの研究開発が進展した背景には、ファインマンが指摘したナノスケールに対応する基盤ツール、具体的には、電子顕微鏡及びコンピューターの長足の進歩がある。

①電子顕微鏡

ナノスケールの鮮明な視覚的情報を与えてくれるツールなくして、ナノテクノロジーの発展はないと言っても過言ではない。1981 年にナノスケールで観察が可能な走査型トンネル顕微鏡（STM）が、IBM チューリッヒ研究所のゲラルド・ビニッヒ博士とヘインリッヒ・ローラー博士により発明されて以来、様々な電子顕微鏡が開発・利用されている（下記の STM,AFM,SNOM を総称し「走査型プローブ顕微鏡：SPM,Scanning Probe Microscope」と呼ばれている）。

a.走査型トンネル顕微鏡（STM:Scanning Tunning Microscope）

STM の先に付けたプローブ（探針）を試料表面に近づけていくと、試料との間に電流が流れ始める（トンネル電流）。この電流値の変化を測定することにより、原子・分子レベルの表面構造を観察する。

b.原子間力顕微鏡（AFM:Atomic Force Microscope）

STM のトンネル電流の代わりに、プローブと試料表面の間に作用する原子間力を利用して、原子・分子レベルの表面構造を観察する。

c.近接場光顕微鏡（SNOM:Scanning Nearfield Optical Microscope）

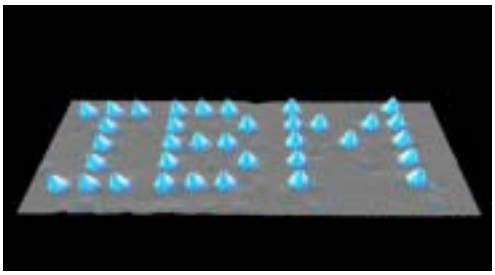
近接場光（物質に光を当てた時に反射して散乱する光とは別に物質にいわば張り付いている光）を利用。この光強度を正確に計って表面形状を観察する。

上記の他、透過型電子顕微鏡（TEM: Transmission Electron Microscope）、走査型電子顕微鏡（SEM:Scanning Electron Microscope）などが利用されている。

原子・分子の操作技術

電子顕微鏡で原子観測に使われるトンネル電流や原子間力を使って原子や分子を操作することも可能となっている。具体的には、プローブをあたかも彫刻刀のように使って針先の電圧で物質表面の原子を操作するものである（【図表3】は、1990 年に米国 IBM がキセノン原子 35 個を一つずつ配列することにより作成した世界初の原子ロゴ）。こうしたナノスケールでの原子・分子の操作技術は、ボトムアップ方法によるナノテクノロジーを支える重要な技術となっている。

[図表3]：IBMの原子ロゴ



（出所）http://www.alomader.ibm.com/　（2003.1.28）

②コンピューター

ナノテクノロジーの研究開発を支えるもう一つの大きな技術革新としてコンピューター能力の急速な向上が挙げられる。コンピューター演算能力の向上は、ナノスケールでの物性解析を容易にすると共に、コンピューターの中で仮想物質の構造･機能を高度にかつ短時間でシュミレーション（模擬実験）することを可能にしてきている。具体例として、財団法人高度情報科学技術研究機構が 2002 年 9 月より世界最速のスーパーコンピューターである「地球シュミレーター」（海洋科技術センター保有）を用いてカーボンナノチューブ（P.10「③新素材Ⅱ」参照）などナノテク素材の物性解析に着手しており、汎用ＰＣでは約 10 年を要するカーボンナノチューブの熱伝導シュミレーションを 1.8 時間で解析するなどの成果を上げている（「日経テクノロジー」2002 年 11 月 19 日記事）。

3 次元観察

また、最近では、透過型電子顕微鏡（TEM）と計算機トモグラフィー（CT、医療現場で使われているコンピューター断層撮影装置の原理）を融合した 3 次元電子顕微鏡が登場し、物質をナノスケールで立体観察ができるようになってきている。これは、TEM で撮影した 2 次元画像を少しづつ回転させて、それを CT 技術で立体的に再構成する仕組みである。ナノ構造体の 3 次元観察が容易になれば、物性解析がさらに進展し、高性能な新材料などの開発に大きく役立つと期待されている。

Ⅱ．ナノテクノロジーが産業に与える影響

1．新たな産業革命

「創新」の時代

21 世紀はナノテクノロジーによって新たな産業革命が引き起こされる時代となろう。なぜなら、すでに述べたように、ナノテクノロジーは、様々な分野でこれまで解決できなかった課題をブレークスルーする「創新性」を秘めたテクノロジーだからである。

2．素材･材料分野での取り組み

最先端材料の創製

日本の鉄鋼、化学、金属などの素材産業は、日本の全産業に占める出荷額、雇用等の割合が約 30%を占める基幹産業であり、高機能性材料を中心に技術的にも世界の最高水準にある。また、国内の素材産業の競争力を高めることは、国内におけるユーザー各産業の国際競争力を支える観点からも不可欠である。日本では、2001 年から「ナノテクノロジー･材料」という国家プロジェクトにより、ナノテクノロジーを活用した最先端材料の創製が開始されている（P.26「総合科学技術会議の設立」参照）。

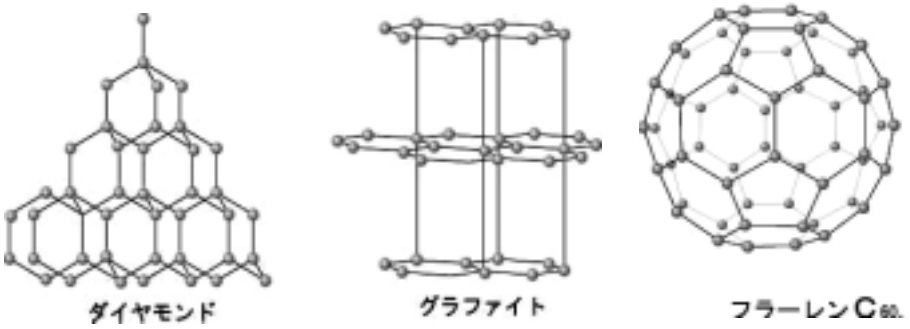
①鉄

独立行政法人物質･材料研究機構を中心に産学官が取り組んでいる超鉄鋼プロジェクトでは「強度 2 倍･寿命 2 倍」の鉄の実用化が目標とされている。普通の鉄鋼は、直径が 10 数マイクロメートル（髪の毛ほど）の結晶だが、これを 10 分の 1 以下に微細化すると、高熱に強く、強靭で腐食しにくく、加工や溶接がしやすくなる。実用化すれば、700 メートルクラスの超高層ビルや塩害に強い海上都市が実現し、橋脚なしで陸上を結ぶ超大橋が可能になるといわれている。また、自動車ボディーに超鉄鋼を使用すると 20%近く軽量化できるとも言われている。

②新素材Ⅰ：フラーレン

フラーレン（Fullerene）とは、グラファイト（黒鉛）、ダイアモンドに次ぐ炭素の第三の同素体（元素が同じでも構造が異なる物質）であり、球状のネットワーク構造をしているものをいう。代表格である C60 は、サッカーボールと同形の球形分子（直径約 0.7nm）である。1970 年に大澤映二博士（現豊橋技術科学大学名誉教授）により存在が予言され、1985 年にスモーリー博士（米ライス大学）、クロトー博士（米サセックス大学）、カール博士（米ライス大学）が発見した（3 名は 1996 年にノーベル化学賞を受賞）。

[図表 4] 炭素原子の結合



（出所）三重大工学部「ｶｰﾎﾞﾝﾅﾉﾁｭｰﾌﾞとは？（http://www.elec.mie-u.ac.jp）」（2003.1.28）

特異性･用途開発

フラーレンは、疎水性が高く水に溶けず、光エネルギーを吸収しやすく化学反応性も高い。極めて特異な電気化学的特性、ガス吸収構造、機械的特性、化学的特性を示すことが実証されており、夢の素材として広範囲な分野で研究開発･商品開発が進んでいる。具体的には、光線力学療法を応用した抗癌剤･抗エイズ剤などの医薬品、皮膚の老化防止効果をもつ化粧品、超寿命リチウムイオン電池、燃料電池用水素ガス貯蔵、超電動塗料、超微細粒子人工ダイアモンドなどの工業用研磨剤などがある。

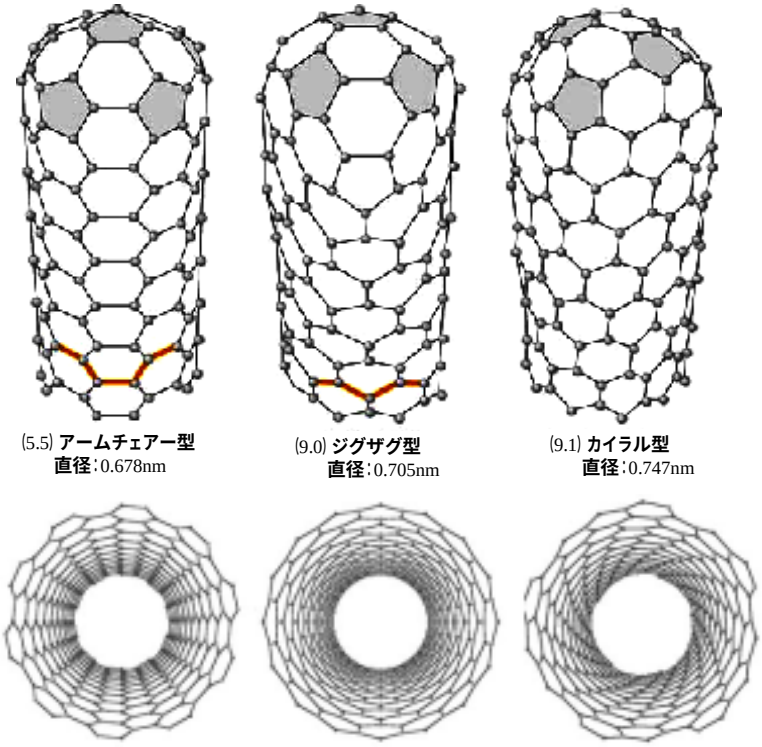
製造技術

現在は、アーク法と呼ばれる製法が主流だが、量産技術が未確立のため5000 円/g と高価（金の約 5 倍）である。フラーレンの応用特許は多数あるにもかかわらず、これが製品開発のハードルとなっていると言われている。こうした中、三菱商事と三菱化学は、2001 年 9 月にフロンティアカーボン社を設立、燃焼法という新しい製造法により 2002 年 2 月より三菱化学の黒崎事業所（九州）にて 400 kg/年の生産を開始、500 円/g 程度でのサンプル供給を開始した。計画では、2007 年には生産量を 1,500t/年まで引上げて 100 円/g 以下での販売を行いたいとしている。

③新素材 II：カーボンナノチューブ

1991 年に NEC 主席研究員の飯島澄男氏（現 NEC 特別主席研究員、名城大学教授）がフラーレンをアーク放電法で製造中に発見した。カーボンナノチューブ（CNT）は、炭素原子が六角形をつないだ網目状に結合しており、さらに円筒状になっている（直径は 1～30nm）。CNT の構造は、六角形がねじれなくつながっている 「アームチェア型」、交互に重なりあった「ジグザク型」、床屋の表示灯のようにねじれている「カイラル（ら旋）型」の 3 タイプがあり、また、筒の壁が一層の単層型といくつも壁のある多層型が発見されている。

【図表 5】カーボンナノチューブの種類（単層）



（出所）上段：三重大工学部（http://www.elec.mie-u.ac.jp）」（2003.1.28）
下段：産業技術総合研究所（http://www.a02.aist.go.jp/）（2003.1.28）

特異性･用途開発

絹糸より軽く、鉄よりも数 10 倍強靭であり、熱伝導性は銅よりも高い。ねじっても引っ張ってもなかなか壊れない。水素吸蔵や電子放電材料としても優れた特性を示す。電子的な特性から、電気の導体（金属系 CNT、電気が流れやすい物質）にも半導体（半導体系 CNT）にもなる。その半導体の性質を応用して、トランジスタを作ることが可能である。導体としての性質を用いると、金属では不可能な極めて細い配線を実現する可能性がある。また、「鉄よりも硬く、アルミより軽い究極の材料」として飛行機や自動車の車体への応用が期待されており、応用分野での研究は多岐にわたっている。

製造技術

多層 CNT の量産技術は確立しているが、多層 CNT より性能が高い単層ＣＮは量産が難しいといわれている。現在、量産に成功しているのは、アメリカの VC であるカーボン･ナノテクノロジーズ（テキサス州）だけで、生産規模は年間 100 キロ程度であり、価格は 500 ドル/g と高価である。これに対して、NEC は、2006 年度までに 1～20 ドル/g の低価格を実現する CNT の量産技術を開発することを発表している。

研究開発の状況

CNT の研究開発は、日本においても盛んに行われている。代表的な研究開発の取り組みは下記の通りである。

① 燃料電池：

水素を燃料とし、発電後の排出物は水だけという燃料電池は、環境に優しい究極のエネルギー源として、自動車や PC、携帯電話などへの応用が期待されている。ここでキーとなるのが CNT である。CNT のメリットは軽くて搭載性に優れるとともに水素吸蔵性が高いことから、水素吸蔵材としての開発が進められている。また、2002 年 8 月に、NEC、科学技術振興事業団及び産業創造研究所の共同チームが、CNT を電極に用いた燃料電池を世界で初めて開発した。電極に活性炭を用いた従来の燃料電池より出力が約 20%アップ、現行のリチウム電池と比べると電池寿命が 10 倍に伸びると言われている。

② 電界放出型ディスプレー（FED）：

チューブ先端からの電子を放出する特性を利用して薄くて明るい表示装置に応用する研究が進められている。経済産業省、ノリタケ伊勢電子、三菱電機が 2006 年春を目標に薄型 TV の大型品（32～40 インチ）の商品化を目指し、中核部品に CNT を採用した電界放出型ディスプレー（FED,Field Emission Display ）の開発に取り組んでいる。PDP より消費電力が半分、画面は PDP より明るい。経済産業省は、両社に対して 2003 年度から 3 年間で約 30 億円の開発費用を助成する予定である。

③新素材III：デンドリマー

フラーレン、CNT に並ぶ有望素材としてデンドリマー（dendrimer、樹木状多分岐高分子化合物、名前の由来はギリシャ語で樹木を意味するデンドロン）が、近時、注目を集めている。デンドリマーは、中心の核（コア）から何本もの枝が伸びているような分子構造をしていることに特徴がある（大きさは数 nm～数 10nm）。

特異性･用途開発

デンドリマーは、様々な官能基を、核、枝（ビルディングブロック）、外表面に位置特異的に導入することで合成される（これまでのデンドリマーは核酸塩基やベンジルエーテルなどで合成）。結合分子を工夫すると様々な機能を発揮するといわれており、エレクトロニクスや化学、医薬など幅広い分野での応用が期待されている。

製造方法

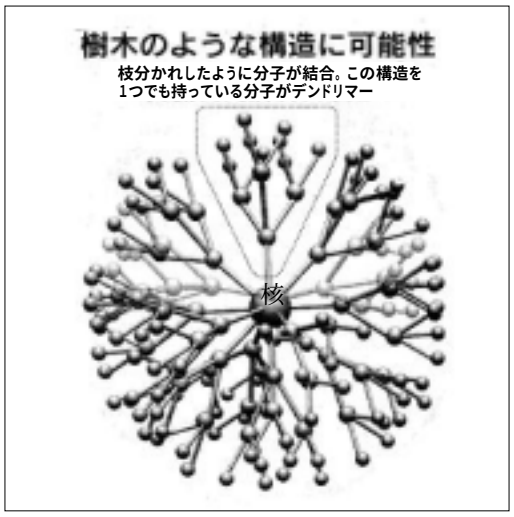
通常の高分子化合物の合成法（重合）とは異なり、一段階ずつ世代を増やしていく有機合成反応の繰り返しで合成する。現在の合成方法には、コンバージョン法（中心核分子から順次結合）とダイバージョン法（外部核を先に形成し、最後にこれを中心核に結合）がある。何れの方法も多段階の反応の繰り返しが必要なため大量合成が困難であり、簡便な合成方法の開発が課題と言われている。

研究開発の現状

東京大学相田卓三教授は、赤血球のように酸素を受け取って内部に蓄積し、ある条件下で酸素を放出するデンドリマーや、20 本の枝にクロロフィルに似た色素分子を結合し太陽光を電気的なエネルギーに効率よく変換する光反応デンドリマーを合成している。この光反応デンドリマーは、高効率の光触媒や太陽電池の素材として期待されている。また、相田教授は東京大学片岡一則教授らとデンドリマーがガン細胞に吸着しやすい特性を利用した抗ガン剤の開発にも取り組んでいる。

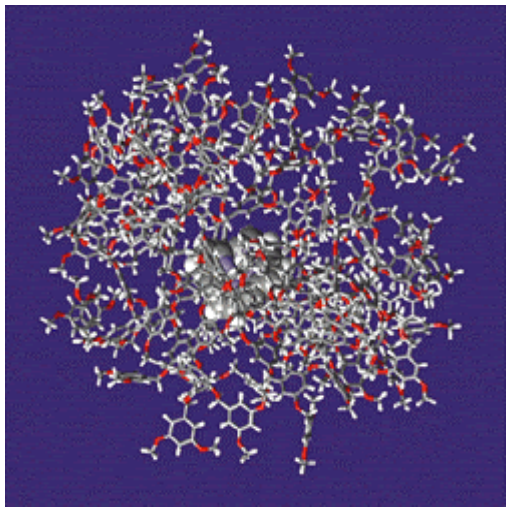
[図表6] デンドリマー

デンドリマーの構造モデル



（出所）日本経済新聞「ナノテク材のルーキー」（2003 年 1 月 12 日朝刊記事）

赤外線を吸収するデンドリマー（相田教授）



（出所）http://www.nitto.co.jp/culture/science/（2003.1.28）

3．IT分野での取り組み

IT分野での「進化」

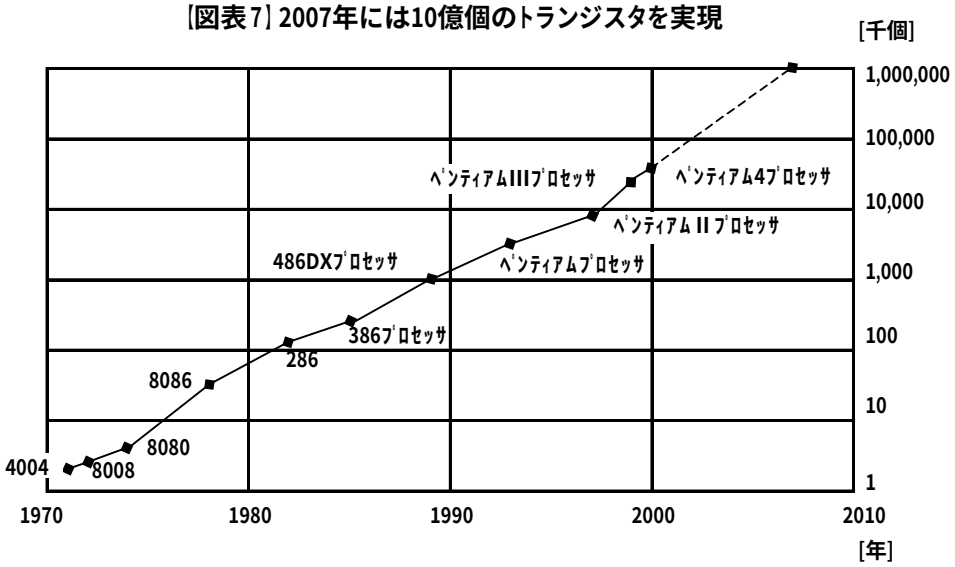
「より早く、より軽く、より小さく」。半導体から LSI への高集積化、PC の進歩、インターネット時代を支える大容量･高速通信化、携帯電話の発展など IT 技術は短期間に大きな変革を遂げてきた。今後もこの傾向は続くことが予想される

が、加えて低消費電力化や省資源化が要求されるようになっていることからもナノテクノロジーが当該分野で重要視されることは当然のことである。この分野での関連製品として、最も注目されているのは次世代半導体である。

ムーアの法則

ムーアの法則とは、1965 年にインテルの創業者の一人である G.Moore が唱えた法則であり、「半導体の集積度は 18～24 ヵ月で倍になる」というものである。集積度は、1971 年には、1つのチップにわずか 2,250 個だったトランジスタが、2000 年には 42 百万個になっており、この法則に従えば 2007 年には 10 億個に到達するといわれている。しかしながら、トップダウン型製造技術の進展により、実用レベルにある半導体の回線幅は既に 100nm 以下の水準にあり、従来の半導体加工技術では回線幅をこれ以上細くすることは難しくなってきている。

【図表 7】2007年には10億個のトランジスタを実現



（出所）石川正道編著「ナノテク＆ビジネス入門」P6、オーム社出版局（2002 年 9 月）

次世代半導体

これに対して、ボトムアップ方法により CNT を積み上げるという逆の発想で半導体集積回路を構成しようという試みが行われている。具体的には、現在のシリコン半導体が微細加工の限界から壁に直面する中、ポスト・シリコンの有力候補として CNT を活用せんとするものである。米国 IBM は、2001 年 4 月に、世界で初めて CNT を使ったトランジスタ素子を開発、また、2002 年 6 月に、既存のシリコン製トランジスタを上回る特性を有する CNT トランジスタの開発に成功している。また、富士通は、2002 年7月に、CNT を既存の半導体の配線に応用することに成功しており、これまでのシリコン半導体と CNT 配線を組み合わせにより LSI(大規模集積回路)を小型化・省力化する研究を行っている。

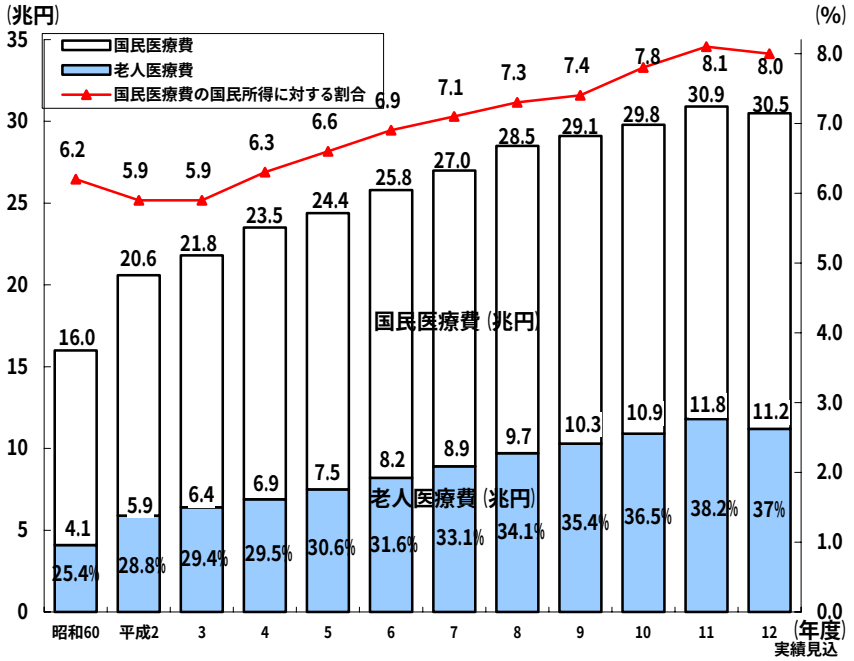
4．バイオ・医療・生命科学での取り組み

少子・高齢化とナノテク

日本では、出生率の低下に伴い人口は減少傾向にあり、高齢化社会の到来によって国や個人の医療費負担は増加している。かかる状況下、ナノテクノロ

ジーの応用分野として期待を集めているのがバイオ分野であり、具体的には、タンパク質や DNA などの技術をナノテクノロジーと融合させるナノバイオロジー分野である。中でも医療分野においては、これによって疾病診断や治療方法などが様変わりし、将来的な負担増大を軽減することが期待できる。社会的には、高齢者でも健康が維持されれば企業は労働者をより長期間に渡って雇用することができる。女性の高齢出産に伴う様々な身体的リスクが解消されれば出生率が向上、さらに女性が社会において活躍する機会も今以上に広がるであろう。また、DNA 情報等を活用した予防健康産業など新しい産業が創出されることも期待されている。

【図表8】国民医療費の推移



(出所) 医療保険制度研究会編集「平成 14 年度版目でみる医療保険白書」(ぎょうせい)
介護保険導入により平成 12 年度は医療費の一部が介護保険に移行

研究開発の状況

①薬物送達システム(ドラッグ・デリバリー・システム:DDS):

治療面で最も注目されるのは DDS である。病気の患部に直接薬を届けることにより、薬効を上げると同時に副作用を極力抑制しようとするものであり、21 世紀の薬物治療の中心的な技術として注目されている。人体は、3nm 以下のものは細胞が吸収、400nm 以上だと異物として攻撃または分解するが、この中間の大きさのものは吸収も分解もされず、血管内を流れ続けることとなる。この特性を利用して、ナノカプセルに薬物を入れ、カプセル表面を体内患部の特徴(部位)にのみ反応するようにできればナノカプセルを配達することが可能である。この分野では、東京大学片岡一則教授が抗がん剤(シズプラチン)を内包したナノ微粒子「高分子ミセル」を開発しており、DDS への応用を目指し

て 2003 年秋に臨床試験に着手すると発表している。

②ナノバイオ･チップ:

現在、バイオ分野で使われているチップには、基板に遺伝子の塩基配列を検出する DNA の断片を多数貼り付けた DNA チップと、基板に刻んだ薄い溝に DNA やタンパク質を流して分析するマイクロタスがある。両者は融合が進み最終的には一つになると思われている。チップの想定用途としては、病気の診断への応用が期待されており、チップを使って自宅で健康状態をチェックすること（埋め込み型病院）、痛みを伴わない微細針で微量の血液を採取して分析をすることなどが考えられている。

③人工赤血球:

経済産業省が進めているプロジェクトであり、ナノカプセル（直径 200nm）にヘモグロビン成分（保存期間を過ぎた献血から分離）を包み込むことでウイルス感染や血液型の不適合を防ぎ、血液の不足や災害時の緊急需要に対応しようとするものである。5 年後の臨床応用を目指しており、市場規模は日米欧で約 1,500 億円程度を見込んでいる（経済産業省予測）。

④ヒューマン･ボディー･ビルディング:

ナノバイオロジーの医療分野における究極の目標は、人間の体のパーツ（人工臓器や人工感覚器）を創りあげようとするものである。この分野では、文部科学省、厚生労働省、大阪大学、物質･材料研究機構、理化学研究所、産業界が産学官共同にて行うプロジェクトがあり、2003 年度から 5 年間で約 100 億円を投じ、人工骨･人工臓器、超五感センサー･脳型メモリーの開発などを行うこととなっている。

5．エネルギー･環境分野での取り組み

直面する問題

CO2 増加に伴う地球温暖化などの環境問題は重要な社会的課題となっている。CO2 排出量削減には、石油などの化石燃料の消費量を抑えるために代替エネルギーの利用が有効である。また、日本では事業活動による CO2 排出 1 トンを削減するコストは平均約 7 万 5 千円を要し、イギリスで始まっている排出権市場における 1500～2000 円と比較しても割高となっている（日本経済新聞が実施した第 6 回環境経営度調査による）ことから、ナノテクノロジー応用による企業負担軽減も期待できる。

エネルギー

CNT を用いることにより太陽エネルギーの変換効率を向上させる研究が行われている。具体的には、薄膜太陽電池（薄膜多結晶 Si、アモルファス Si など）･次世代太陽電池（色素増感型太陽電池など）の研究や、CNT の水素を吸着する性質を利用して燃料電池用の水素発生装置開発などである。

環境

ナノテクノロジーを活用した有害物質除去膜は、自動車から排出される窒素酸化物などを吸着･分解することにより環境汚染を抑制する。また、化学などの製造工程において、望ましくない副産物を最小限に抑制するグリーンプロセス技術や有害化学物質の分解に用いられる環境触媒の開発なども進めら

れている。

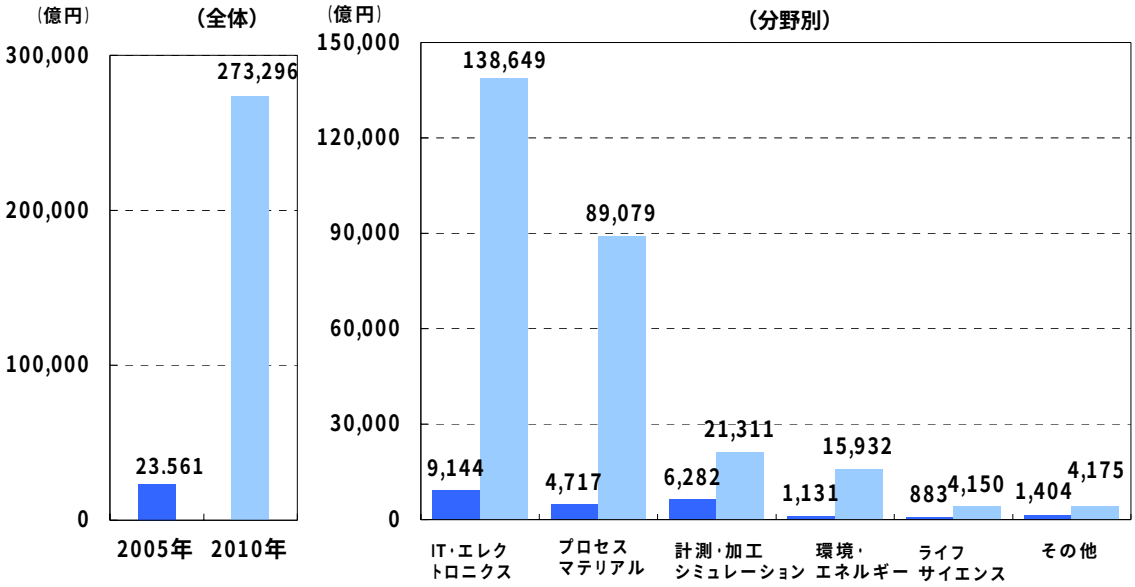
III. 市場規模・企業動向

1. 公表されている市場規模予測

①経団連予測

経団連（現・日本経団連）は 2001 年 3 月に「ナノテクが創る未来社会 〈n-Plan 21〉」と題する提言書をまとめたが、その検討過程で、日本における市場規模は 2005 年には 2 兆 3,561 億円、2010 年には 27 兆 3,296 億円になると予想している（【図表9】）。これを分野別に見ると、現在、実用化に向けて活発な研究開発が行われている IT・エレクトロニクス関連、素材・化学関連〈プロセスマテリアル〉の分野の伸びが大きく、2010 年には両分野計で 22 兆 7,728 億円と全体の 83.3%を占める見通しとなっている。一方、環境・エネルギー関連、ライフサイエンス関連の分野の市場規模については総じて伸びが小さいが、これは両分野に関する研究開発に時間を要するテーマが多いこと、IT・エレクトロニクス分野などに比べて既往市場からの代替部分が少なく、新規創設（真水部分）が多いこと、などが背景として考えられる。

【図表9】経団連の市場規模予測（日本）



（日立総合計画研究所の試算による）

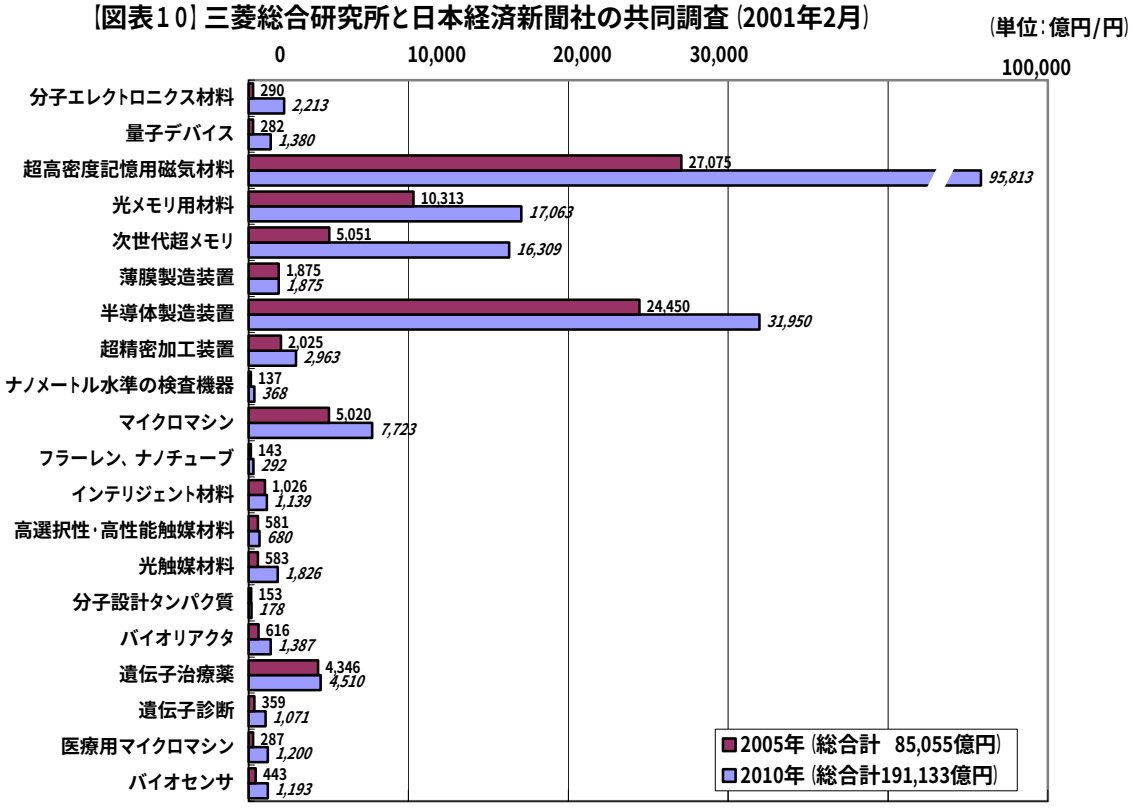
（出所）経済団体連合会「月刊 Keidanren」2001 年 6 月号特集よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

②三菱総研・日経新聞予測

三菱総合研究所と日本経済新聞社が共同調査を行い 2001 年 2 月に公表した市場規模予測では、2005 年に 8 兆 5055 億円、2010 年に 19 兆 1133 億円であり、経団連の予測と比較すると市場の立ち上がりは早期と見ている。

また、2010 年での上位 5 分野（超高密度記憶用磁気材料、半導体製造装置、光メモリ用材料、次世代超メモリ、マイクロマシン）計で 16 兆 8,858 億円と全体の 88%となり、IT・エレクトロニクス分野主導の市場イメージとなっている。

【図表10】三菱総合研究所と日本経済新聞社の共同調査（2001年2月）



（出所）総合科学技術会議平成 13 年 9 月 21 日付資料

（単位：億円）

2010 年度の上位5分野	超高密度記憶用磁気材料	半導体製造装置	光メモリ用材料	次世代超メモリ	マイクロマシン	計
2000 年規模	9,638	16,920	9,014	5,010	1,407	41,988
2005 年予測	27,075	24,450	10,313	5,051	5,020	71,919
2010 年予測	95,813	31,950	17,063	16,309	7,723	168,858

（出所）日本経済新聞社・三菱総合研究所「大予想 21 世紀の技術と産業」（日本経済新聞社、1999 年 5 月 17 日）データよりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

2．企業動向（概観）

多彩な顔ぶれ

上記の市場を狙って多くの企業がナノテクノロジーの研究開発に取り組んでいる。もとより研究開発に取り組んでいる企業の全てを把握することは困難であるが、一先ず、2002 年 1 月～2003 年1月における各新聞、雑誌などから 86 社をピックアップしてみた（【図表 11】）。これを見ると、関係する分野・産業が多いというナノテクノロジーの特徴通り、電気機械（20 社）、化学（17 社）、機械（11 社）、商社（8 社）、ガラス・土石製品（6 社）など顔ぶれは多彩であり、研究開発の対象分野も様々であることが概観できる。

大企業が主導

企業規模の観点から見ると、上場企業・大企業が大宗を占めており（上場会社：77 社）、現段階においては、資金力・技術力が総合的に高い大企業主導によりナノテクノロジーの研究開発、商品化が進められていることが窺える。

【図表11】新聞等に報じられたナノテクノロジー分野における日本企業の主な取組み

（業種区分:証券コードベース）

会　社　名	業種	上場	内　　容
テルモ	電気機器	4543 東証1部	人口赤血球（マイクロカプセル技術）、人工皮膚の開発、マイクロレーザーカテーテル（カテーテルの微細化）の研究開発などに取り組み。
日立製作所	電気機器	6501 東証1部	ナノテク統括推進センター（2001年2月設立）を中心に、日立化成や日立電線など10社で約300人が研究開発に従事。半導体から微量分析装置など幅広く展開。DNAマイクロアレイを用いた遺伝子発現受託解析などバイオ分野にも布石。
東芝	電気機器	6502 東証1部	1～100nmサイズのナノ粒子の形状を自在に制御できる合成技術を開発。カーボンナノチューブ水素吸蔵体を特許申請。2003年4月を目途に、回路線幅90nmで演算速度も世界最高となるシステムLSIの量産を開始。
三菱電機	電気機器	6503 東証1部	2002年11月にオランダのデルフト工科大と共同でシリコン基盤の上にナノスケールでの3次元構造を形成する新技術を開発。
ＮＥＣ	電気機器	6701 東証1部	飯島澄男主席研究員が1991年にカーボンナノチューブを発見。1998年にカーボンナノホーンを発見。NEC基礎研究所にカーボンナノチューブ応用研究センターあり。1991年～2000年の世界のナノテク関連特許数トップ 。2001年8月に世界で初めてカーボンナノホーンを電極に用いた燃料電池を開発。
富士通	電気機器	6702 東証1部	ナノテクノロジー研究センターを設立。材料、量子情報通信、バイオテクノロジー応用の3グループで基盤技術確立を目指す。大阪大学と共同で次世代トランジスタを直接観察できる技術（1nmで2次元計測が可能）を開発。
松下電器産業	電気機器	6752 東証1部	化合物半導体SiC（炭化シリコン）のナノレベルで層状構造を形成する技術の実用化に目途。バイオセンサーで新薬の薬効を評価するチップを開発しているほか、10nmの超高精度で大面積を3次元測定ができる装置なども開発。
ソニー	電気機器	6758 東証1部	燃料電池向けフラーレン系電解質膜を開発（フラーレン誘導体を燃料電池に応用）。ソニーインターナショナル（ヨーロッパ）のマテリアル・サイエンス研究所にてナノテクを活用した大容量メモリー、嗅覚センサーなどの次世代製品開発に着手。特許出願も世界トップクラス。
ＮＥＣトーキン	電気機器	6759 東証1部	高い絶縁性を特徴とする磁性材料「フェライトめっき膜」の応用開発に取り組み。ナノテクを駆使して小型化と効率を追求した電池用材料や電子部品の開発などを目指す。
ＴＤＫ	電気機器	6762 東証1部	ナノテクとコアコンピタンスに位置付け。積層セラミックチップコンデンサアレイの開発・販売などに取り組み。
北川工業	電気機器	6896 名証2部	昭和電工、セイコーインスツルメンツなどと共同で、世界最小レベルの歯車を開発。プラスチック歯車をナノファイバー・プラスチック複合材で形成する技術を開発。
日本電子	電気機器	6951 東証1部	世界シェア60%の透過電子顕微鏡、同50%の電界放射走査顕微鏡など世界最大の電子顕微鏡メーカー。
ファナック	電気機器	6954 東証1部	最小制御単位が1nm単位で制御できる超精密加工機を開発。超精密な微小金型加工が可能に。
住友特殊金属	電気機器	6975 東証1部	ネオジム・鉄・ホウ素系ナノ結晶スプリング磁粉「SPRAX」の量産体制を整え、2002年12月より年産120tを目指す。モーター用磁石などでの利用を見込む。

会　社　名	業種	上場	内　　容
双葉電子工業	電気機器	6986 東証1部	多層スクロール状の新ナノカーボン材料を開発。厚さ2.8㎜のFED開発で注目。
松下電工	電気機器	6991 東証1部	2002年12月に米ナノシス社（カリフォルニア州）と次世代太陽電池「ナノコンポジット型有機太陽電池」の共同開発を行うことに合意。
キヤノン	電気機器	7751 東証1部	機能性材料や電子デバイスなど835件の特許を出願（1996年～2001年9月）。
セイコーインスツルメンツ	電気機器	非上場	セイコーグループ。走査型近視原子間力顕微鏡の販売など。カーボンナノチューブ複合材の世界最小歯車で有名。2003年1月に世界初のIC線幅90nmに対応するフォトマスク欠陥修正装置を発売開始。
セイコーエプソン	電気機器	非上場	セイコーグループ。インクジェット技術でナノスケールの新しい超微細配線技術を開発。PDP、有機EL、有機TFTなどへの応用に期待。
富士ゼロックス	電気機器	非上場	富士写真フィルム75%。カーボンナノチューブとDNA分子を使ったナノスケールの電子デバイスを試作。ITとバイオテクノロジーを統合した新事業分野の開拓にも取り組み。
カネボウ	化学	3102 東証1部	厚みが数nmの特殊は被膜で覆った吸湿性の高いポリエステル繊維を開発。2003年春より下着などの素材に採用予定。
旭化成	化学	3407 東証一部	ナノバイオチップの研究開発を本格化。ポリメチルメタクリレート（PMMA）というプラスチック素材を用いてバイオチップとこれを作製する射出成形技術「AMOTEC」などを発表。
昭和電工	化学	4004 東証1部	1990年代後半より気相法炭素繊維VGCF（150nm）を事業化、40万ｔ/年を量産。また、2002年12月より80nm径のカーボンナノファイバーの量産プラントを世界で初めて稼動（川崎市、10トン/年）。
日本化成	化学	4007 東証一部	ナノテク活用により、ウレタン系樹脂原料の１種であるDMBA（ジメチロールブタン酸）の量産に成功。
三菱化学	化学	4010 東証1部	ナノテクノロジー研究所を2001年5月に開設。三菱商事と設立したフロンティアカーボン社（FCC）にて三菱商事の基本特許を元にフラーレンを生産している。2007年までに現在の世界生産量の1万倍に当たる年1500トンを量産できる体制へ。
石原産業	化学	4023 東証1部	表面を薄くカバーする展延性や密着性が良い「微細薄片状酸化チタンの製造技術」の開発に成功。この方法による薄片状酸化チタンは、現在主流の粒子状チタンに比べ少量でも効果的に遮蔽が行え、塗料などへの利用に期待。
日本触媒	化学	4114 東証1部	超微粒金属酸化物を短時間に低温で製造する「液相ナノ結晶合成法」を開発。紫外線や赤外線を遮断できる透明熱線吸収材料の試作に成功、自動車窓材などへの利用に期待。
三菱ガス化学	化学	4182 東証一部	米国ナノコア社と当社がグローバル展開を図っている高ガスバリアナイロンのナノテク技術について戦略提携の交渉開始（2002年7月公表）。
ＪＳＲ	化学	4185 東証一部	カラー液晶表示装置、感放射状組成物、膜形成用組成物などで特許出願。
宇部興産	化学	4208 東証1部	ナノスケールの高機能表面層を持つセラミックスを簡単に合成する技術を開発。この技術を利用した光触媒繊維や各種の高機能性セラミックスなどの開発に取り組み。
日本化薬	化学	4272 東証1部	ナノテク活用の副作用軽減が見込める抗ガン剤開発に取り組み（ナノキャリア社と共同開発を進める計画）。

会社名	業種	上場	内容
ハリマ化成	化学	4410 東証1部	半導体製造装置のアルバックと共同で直径数nmの金属微粒子をペースト状にした材料を開発。インクジェットやスクリーン印刷で基盤に回路を形成することが可能に。
日本ペイント	化学	4612 東証1部	高濃度の貴金属コロイド技術（工業塗料向け金属ナノ粒子など）に強み。
大日本インキ化学工業	化学	4631 東証1部	ナイロン超微粒子シリカを高密度に含有させたハイブリッド材料「セリル」を開発。既にソニーでスピーカーの振動板として採用。
富士写真フィルム	化学	4901 東証1部	光ディバイス向けに近接陽光を使う新しい加工技術を開発。色素増感型湿式太陽電池に関する特許を多く出願。
資生堂	化学	4911 東証1部	ナノスケールで作成した酸化亜鉛の結晶を表面に付着させたパール剤（クリアオリティーパウダー）を開発（皮脂を効率吸収、サラサラ感持続）、ファンデーションに配合予定。
本荘ケミカル	化学	非上場	多層カーボンナノチューブ、高純度フレーレンの生産、研究開発。大阪府寝屋川市で360kg/年のカーボンナノチューブ生産設備あり。
伊藤忠商事	卸売業	8001 東証1部	2003年１月に、米国エネルギー省傘下の８大国立研究所のうち、代表格であるロスアラモス・ローレンスリバモア両国立研究所とバイオ、ナノテクノロジーなどの先端技術分野で包括提携。
丸紅	卸売業	8002 東証1部	2002年11月に米アスペンエアロジェル社（マサチューセッツ州）から、ナノテク活用の断熱材の販売権を取得。3年後に年間10億円の売上高を見込む。
三井物産	卸売業	8031 東証1部	カーボンナノチューブの量産・応用化を目的としたカーボン・ナノテク・リアーチ・インスティチュート社（CNRI）を設立。CNRIは年産120トンの量産プラントを稼動。2002年10月にナノテク関連の知的財産権管理会社を設立。
日立ハイテクノロジーズ	卸売業	8036 東証1部	日立グループにおけるナノテクノロジー事業の中心的な存在であった日製産業と日立製作所の計測器・半導体製造装置グループが統合。日立グループのナノテク戦略の中核会社。
住友商事	卸売業	8053 東証1部	スモーリー米ライス大教授が起業したベンチャー企業のカーボン・ナノテクノロジー・インク（ＣＮＩ）社と提携し、単層型カーボンナノチューブの生産を開始、日本及びアジア諸国のカーボンナノチューブ応用製品メーカー向けに販売。カップスタック型カーボンナノチューブの新構造体も開発。
三菱商事	卸売業	8058 東証1部	ナノテクを核とした商社の新しいビジネスモデル（R&D＋C戦略）。ナノテク事業に米合弁会社を通じた投資ファンド「ナノテクパートナーズ」を設立。同ファンドと三菱化学の折半出資で設立したフラーレンの製造販売会社フロンティアカーボン社が量産を開始（2002年4月から400kg/年、2003年4月には40ｔ/年の予定）。
ＧＳエクレオス （旧グンゼ産業）	卸売業	8101 東証1部	米国オハイオ州で2001年夏からカーボンナノチューブの量産を開始。「カルベールTM」（カップスタック型カーボンナノチューブ）の事業化に取り組み。
東陽テクニカ	卸売業	8151 東証1部	VR（仮想現実感）技術を活用したナノレベルの物資操作システム、SPM（走査型プローブ、顕微鏡）の販売など（AMF：原子力間顕微鏡で世界第2位のサーモマイクロスコーポ社の日本総代理店）。
島津製作所	精密機器	7701 東証1部	走査電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡などの大手メーカー。極細小X線計測装置の開発。2000年4月にシマヅバイオテック・ジェノミックリサーチ室（大規模DNA配列解析の専門ラボラトリー）を開設し、DNA読み取りチップの開発・普及やゲノム解析に取り組み。
フォトニクス	精密機器	7708 ヘラクレス	超精密計測センサーの研究・製品化（ナノセンサ・PSセンサ）など。ナノスケールの計測・制御能力をもつ同社計測器は、広く研究開発に利用。

会　社　名	業種	上場	内　　容
ニコン	精密機器	7731 東証1部	線幅100nm以下の回路を作製する微細加工技術を実用化。5nmレベルの感度を持つ特殊顕微鏡を開発。
オリンパス光学工業	精密機器	7733 東証1部	東京大学と共同でDNAコンピュータによる遺伝子検査技術を開発。レンズ、金型表面をナノスケールで測定できる低接触圧機上測定器「ナノシェイプ」を開発、2002年12月から発売。2002年11月に再生医療事業参入を発表。培養骨を中心に2012年に売上高100億円を目指す。
クラスターテクノロジー	精密機器	非上場	樹脂用のナノ金型を開発。ナノスケールの樹脂製次世代電子回路などの量産が可能に。
東芝機械	機械	6104 東証1部	東芝などと共同研究に取り組み。半導体製造装置の電子ビーム描画装置で65nm世代以降のマスク描画対応技術を開発。
ソディック	機械	6143 東証2部	2002年2月最小制御単位が1nm単位で制御できる切削加工機を開発。ナノ受託加工も開始。
ホソカワミクロン	機械	6227 東証1部	粉体技術で世界トップクラス。2002年6年に大阪大学に寄付研究部門「ナノ粒子ボンディング技術研究所」を設立。
日機装	機械	6376 東証1部	1984年にカーボンナノチューブの物質特許を取得。多層カーボンナノチューブの生産及び用途開発。カーボンナノチューブを既存技術に比べ100分の1以下の価格でで連続的に量産できる技術を開発(気相成長法)。医療器械（人工臓器用）に使用するリチウムイオン2次電池の負極材としてカーボンナノチューブを用いた超寿命電池などの開発に取り組み。
日立造船	機械	7004 東証一部	2002年10月に吉田機械興業（名古屋市）と共同でナノスケールの粒子を製造する超微粒子製造装置を開発。
アイフェイズ	機械	非上場	東京工業大学発ベンチャー企業（2002年4月設立）。ナノ単位薄膜の熱測定・解析システムを開発。2003年夏に出荷開始の予定。
旭硝子	ガラス 土石製品	5201 東証1部	半導体・記憶メデイア（F2レーザー対応合成石英ガラスほか）、エネルギー・環境（太陽電池用透明電極ガラス基盤ほか）、ディスプレイ（低反射電磁波シールドほか）などの領域で研究開発に取り組み。
東海カーボン	ガラス 土石製品	5301 東証1部	カーボン関連技術を生かしフラーレンの量産技術の開発研究に取り組み。
日本カーボン	ガラス 土石製品	5302 東証1部	高純度カーボン製品やリチウムイオン電池負極材など炭素系製品の研究開発に取り組み。
東陶機器	ガラス 土石製品	5323 東証1部	ナノスケールの特殊な表面加工（セフィオンテクト加工）を施した衛生陶器「レスティカシリーズ」を発売。
ノリタケカンパニーリミテド	ガラス 土石製品	5331 東証1部	子会社の伊勢電子工業が、カーボンナノチューブを応用した14.5ｲﾝﾁのFED（電界放出ディスプレイ）を試作に成功。米国で大型薄型ディスプレー（FED）の基本特許を取得。カーボンナノチューブが放つ電子で光る薄型表示素子も開発。
日本ミクロコーティング	ガラス 土石製品	5381 店頭	研磨・コーティングをナノスケールでコントロールする技術（超精密表面加工技術）に強み。
三井金属	非鉄金属	5706 東証一部	2002年4月にマグネシウムなどの粉末をメカニカルアロイング法で混合することで多量の水素吸蔵が可能なナノスケールでの合金を開発。5年以内での車載用燃料電池の採用を目指す。

会　社　名	業種	上場	内　　容
三菱マテリアル	非鉄金属	5711 東証1部	京都大学が開発した「ガスクラスターイオンビームプロセス」技術を使い、次世代半導体材料「ダイヤモンドメンブレン」の表面にある凹凸を約1nmの平坦度まで研磨する技術を開発（「ダイヤモンドメンブレン」は、シリコンウエハーの表面に化学的気相成長でダイヤモンド膜を数nmコーティングした半導体材料）。
志村化工	非鉄金属	5721 東証1部	ナノ構造を内包する金属球状粒子の量産技術であるナノマイザー法を開発。自動車部品メーカーと共同で磁性体粉末を使った車載用精密センサーを開発。
アライドマテリアル	非鉄金属	5728 東証2部	住友電工系。ナノマイクロフォーミング切削工具を開発。2005年度に5億円の売上を目指す。
住友電気工業	非鉄金属	5802 東証1部	ナノスケールの金属微粒子製造技術を開発。また、鎖状の金属ナノ粉末を樹脂と複合化した異方性導電シートを開発。
日鉱マテリアルズ	非鉄金属	非上場	高純度素材及びその特性を有する有効に引き出した加工品（LSI電子デバイス薄膜用スパッタリングターゲットなど）の製造・開発に取り組み。
日産自動車	輸送用機器	7201 東証1部	RV「エクストレイル」のフロントフェンダー材料にカーボンナノチューブを混合。プラスチック材料の強度を向上。
トヨタ自動車	輸送用機器	7203 東証1部	ナノテクを活用した燃料電池の開発に取り組み。
本田技研工業	輸送用機器	7267 東証1部	燃料電池分野で、米国のNREL（国立再生可能エネルギー研究所）とカーボンナノファイバーを使った水素吸蔵の研究に取り組み
ＮＫＫ	鉄鋼	5404 東証1部	熱延高張力鋼板の開発にナノテク活用（折出物微細化、ハイテン鋼）。カーボンナノチューブをテープ状に合成することに成功。FED材料、IC回路の放熱部材など向けに量産化を目指す。
神戸製鋼所	鉄鋼	5406 東証1部	ナノテクの金属材料への応用、エレクトロニクス、超微細加工技術分野への基礎・応用研究に取り組み。
日立金属	鉄鋼	5486 東証1部	ナノ結晶磁性材料「ファインメット」の事業化に取り組み。電磁波ノイズ除去が必要な家電や医療機関のノイズを遮断する部屋の壁材などの需要を見込む。
ユニチカ	繊維製品	3103 東証1部	豊田工業大学と共同で耐熱性・弾性率の高い生分解性プラスチックを開発（ひび割れを押さえ140度程度の高熱にも耐えられる）。
東レ	繊維製品	3402 東証1部	耐熱性と高強度の高分子フィルムを開発、記憶容量が2倍になる磁気記録触体への応用を研究。綿を上回る吸湿性のあるナノ繊維、孔径0.1～1nm程度の逆浸透膜（RO膜）などを開発。2003年5月に鎌倉の研究所にナノテク研究を集約。医療・バイオとの融合に取り組み。
ブリヂストン	ゴム製品	5108 東証1部	PDP向け光学フィルターなど特許出願多数。2002年春に、液晶に比べ100倍の応答速度を持つ電子紛流体を開発（技術未公表）。
住友ゴム工業	ゴム製品	5110 東証1部	日本ダンロップがパボラＶＳ社が開発した「ＶＳナノチューブ」（カーボンナノチューブをテニスラケットフレーム材に使用）を2001年10月より輸入販売。
新日本石油	石油	5001 東証1部	遷移金属酸化膜のナノサイズクラスター構造を制御する技術を応用した調光ガラスを開発。又、ナノ技術を活用して開発した石油精製向け高性能触媒の外販を開始。

会　社　名	業種	上場	内　　容
ＮＴＴ（日本電信電話）	通信	9432 東証1部	ＩＴ分野の研究で総合力トップといわれている物性科学基礎研究所にてシリコン単電子デバイス、量子コンピュータ、フォトニック結晶などの研究開発に取り組み。
中部電力	電力・ガス業	9502 東証一部	2002年10月にノリタケカンパニーリミテドと共同で世界で初めて、ナノスケールの微細孔を有するセラミックス分離膜の開発に成功したと発表。水素利用技術の効率アップに期待。
大阪ガス	ガス	9532 東証1部	カーボンナノチューブを高純度で効率よく製造する方法（高純度合成技術）を開発、水素吸蔵用のカーボンナノチューブ量産化に取り組み。
ＹＫＫ	金属製品	非上場	ナノマテリアル分野におけるアルミ系新素材の研究・開発に取り組み。ナノクリスタル合金（「GIGAS」）、金属ガラスなどの分野に注力。
タカラバイオ（宝ホールディングの100%子会社）	その他	非上場	2002年7月に米国ナノスフェア社と金ナノ粒子DNAプローブを用いる医療分野向けの高感度小型DNA検出システムの共同開発に合意。
ナノキャリア	その他	非上場	ナノ粒子を活用したドラッグ・デリバリー・システム（DDS）の技術開発を行うベンチャー企業（1996年設立）。
林原生物化学研究所	その他	非上場	外径1nmの最小環状オリゴ糖「環状血糖」を澱粉から大量生産することに成功。トラック・デリバリー・システム（DDS）などへの応用に期待。

（出所）日本経済新聞、日刊工業新聞、日経産業新聞など新聞5紙、週刊ダイヤモンド、週刊エコノミストなど雑誌4誌、日経ナノテクノロジーHP、各企業 HP において 2002 年1月～2003 年1月に掲載された記事などをもとにみずほコーポレート銀行産業調査部作成

Ⅳ. 各国の国家戦略

1．アメリカの国家戦略

NNI

2000年1月11日に、クリントン大統領がカリフォルニア工科大学で行ったNNI（National Nanotechnology Initiative：国家ナノテクノロジー戦略）に関する演説により、アメリカはIT及びバイオテクノロジーの次にナノテクノロジーの分野においても主導権をとるべく国家的な最重要課題として取り組むことを宣言した。このNNIは、同年10月から始まった2001年会計年度予算に組み込まれ、早速実行に移されており、現在のブッシュ政権においても引き続き積極的な展開が図られている。

NNI策定まで

NNIを取り纏めるにあたり、アメリカ政府は日本や欧州の研究･技術レベルについて詳細な研究を行っている。具体的には国家科学技術会議（NSTC）の下部組織としてワーキンググループ（IWGN）を設置、このワーキンググループの依頼により米国ロヨラ大学にある世界技術評価センター（WTEC）が、約3年をかけて、日本19か所、ドイツ6か所、イギリス4か所などを訪問し、実施調査を行った。

WTECの「ナノテク研究水準の国際比較調査」では、ナノテクノロジーを6分野に分類し、【図表12】のような評価を行った。ナノ複合材料とナノデバイス分野で日本の技術水準は欧米に先行しており、アメリカはナノテクノロジーで必ずしもトップ水準にあるのではなく、むしろ日本が一歩リードしていると評価している。

【図表12】日米欧の技術評価

	1	2	3
Syntheis & Assemble 合成とアセンブリ（ナノ材料の構造と組立て）	米	欧	日本
Biological Approaches & Applications 生物学からのアプローチとその応用	米、欧	日本	
Dispersions and Coatings 分散とコーティング	米、欧	日本	
High Surface Area Materials 触媒、高表面積材料	米	欧	日本
Nanodevices ナノデバイス（ナノサイズの電子素子）	日本	欧	米
Consolidated Materials ナノ複合材料	日本	米、欧	

（出所） WETC ' Global Assessment of R&D Status and Trends in Nanoparticles, Nanostructured Materials,and Nanodevice' などによりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

NNI予算

アメリカは、NNIに基づき、ナノテクノロジーを強力に推進するために、2001年度に464百万ドル（55億円）、2002年度に605百万ドル（726億円）を投じており、2003年度も710百万ドル（852億円）に増額する予定である。予算配分の内訳は、10の省や研究機関に配分されており、全米科学財団、国防総省、エネルギー省の研究開発が特に増額されている（【図表13】）。

【図表13】米国のナノテクノロジー国家予算

単位：米百万ドル

予算内訳＼年度	2000年	2001年	2002年	2003年
NSF－全米科学財団	97	150	199	221
DOD－国防総省	70	123	180	201
DOE－エネルギー省	58	87.95	91.1	139.3
NIH－国立衛生研究所	32	39.6	40.8	43.2
NASA－航空宇宙局	5	22	46	51
NIST/DOC－商務省標準技術局	8	33.4	37.6	43.8
EPA－環境保護庁	―――	5	5	5
DOJ－司法省	―――	1.4	1.4	1.4
DOT－運輸省	―――	0	2	2
USDA－農耕省	―――	1.5	1.5	2.5
予算総額	270 (＋6%)	463.8 (＋72%)	604.4 (＋30%)	710.2 (＋18%)

（出所）「National Nanotechnology Investment in FY2003」Budget Request by the President」などよりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

Grand Challenge（挑戦的研究）

NNI は、20～30 年先を見越した長期的研究を重視したものであることに特色がある。これまでアメリカが行ってきた国家プロジェクトには、月面着陸（1960年代）、ガン治療（70 年代）、エイズ治療（80 年代）、そして、近時の IT やバイオテクノロジーなどがあるが、何れも具体的な技術開発のゴールが設定されていたのに対して、NNI は基礎研究に重点を置き、基礎研究が将来具体的な技術開発に繋がり、結果として成果を生むことが期待されているプロジェクトと位置付けられている。この考えは、NNI における「グランド・チャレンジ〈挑戦的研究〉」に集約されている。具体的には、①米国国会図書館の全情報を角砂糖大のメモリに収容可能な記憶装置、②原子・分子レベルからのボトムアップアプローチにより、少ない材料・より少ない汚染しか発生させない原材料の製造技術、③鉄の 10 倍の強度を持ちながら、重さは数分の 1 で、あらゆる乗物をより軽く、より燃料効率の良いものにするような材料の開発、④計算速度や高率が従来の数百万倍のコンピューターの開発、⑤ガン細胞が 2～3 個分という初期の段階でガン腫瘍を検出可能な技術、⑥水や空気から最も小さな汚染物質を取り除くような物質やプロセス、⑦エネルギー変換効率がこれまでの 2 倍の太陽電池、の 7 項目が研究テーマとして示されている。

2．日本の国家戦略

先行していたナノテク技術

1992～2002 年度に通商産業省〈現・経済産業省〉は「アトムテクノロジー・プロジェクト」と呼ばれる産官学共同の国家研究を 250 億円を投じて行っている。当該プロジェクトは、第1期（1992～1997）と第 2 期（1998～2002）に分けて取り組まれた。第1期では、「ナノテクノロジー」の用語を使用していないものの、実態的には今日のナノテクノロジー研究を先取りしたものであったと言える。ちなみに、当該プロジェクトについて、独立行政法人産業技術総合研究所の田中一宜理事は「プロジェクト募集の段階で、原子分子極限操作技術、つまり、まさにボトムアップのナノテクノロジーのプロジェクトであるとはっきり言っている。

エレクトロニクスやバイオテクノロジー、素材産業、そういったものすべてに横断的に共通基盤技術として完成させると明記した」（週刊ダイヤモンド、2002年9月14日）と語っている。

第2期においては、①原子分子識別操作技術、②表面界面ナノ構造形成制御技術、③エレクトロニクス技術、④原子分子動的プロセス理論解析技術、をテーマに研究に取り組みが行われ、第1期と共に数多くの成果をあげている。中でも「スピンエレクトロニクス（電子のスピンを利用したエレクトロニクス）の研究で日本が世界をリードしているのはこのプロジェクトが成功したから」と田中理事は述べている（前記週刊ダイヤモンド）。

経団連の動きが先行

次に、アメリカのNNI公表を受け、危機感を持った経団連（現・日本経団連）も2000年6月に産業技術委員会の下にナノテクノロジー専門部会を設置している。同年7月には、ナノテクノロジー強化に向けた経団連の基本的考え方を示した「21 世紀を拓くナノテクノロジー」と題する提言を公表するとともに、2001年 3 月には「ナノテクが創る未来社会 〈n-Plan21〉」を提言、国として取り組むべき重点研究開発分野やそれを支える制度のあり方について、産業界としての考え方を明示した。また、経団連では、産業技術委員会重点化戦略部会ナノテクノロジーワーキンググループにおいて引き続き検討を行い、2002 年 11月 19 日に、上記プランを改訂した「ナノテクが創る新産業－n-Plan2002」を日本経団連として公表している。

当該プランの特徴は、あくまでも「出口」を意識し、研究開発の成果をタイミング良く産業、社会に還元するために、目的やフェーズを明確にした研究開発を進める必要があるとしていることにある。具体的には、研究開発を、①5～10年先の実用化・産業化を目指すフラグシップ型プロジェクト（次世代半導体技術など）、②10 年より先を展望して革新的な基盤的技術開発を目指すチャレンジ型プロジェクト（ナノプロセス・マテリアルなど）、③基礎研究（ナノ構造における物性探索・機能解明など）、の3類型に区分している。一見、総花的のようであるが、ナノテクノロジーの持つポテンシャルの高さを的確に示したものと評価できる。

総合科学技術会議の設立

これに対し政府は、経団連の提言を受ける形で、2000 年 9 月に科学技術会議政策委員会の下に「ナノテクノロジーの戦略的推進に関する懇談会」を設置し、同年 12 月に報告書を取り纏めた。その後、2001 年 1 月に設置された「総合科学技術会議」（議長：小泉内閣総理大臣、有識者 7 名、日本学術会議会長、関係閣僚 6 名から構成）の下に重点分野推進戦略専門調査会が設けられ、ライフサイエンス、IT、環境と並んで「ナノテクノロジー・材料」を 4 重点分野の一つとして位置付け、戦略的に推進することとなった。

当会議の目的は、産業化できる研究に対して集中投資を行うことである。2001年 9 月に総合科学技術会議で承認されたナノテクノロジー・材料分野の重点推進戦略では、ナノテクノロジーを、バイオ、情報通信、環境など幅広い研究領域での基盤技術として位置付け、5～10 年以内の実用化・産業化を見据えた研究開発と、10～20 年先を展望して確立すべき技術の実現に不可欠な基

盤技術、材料技術に重点的に対応するとし、国として実用化・産業化に関する研究開発に予算を重点配分するとの姿勢を明確にしている。

上記の重点推進戦略では、①次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料、②環境保全・エネルギー利用高度化材料、③医療用極小システム・材料、生物メカニズムを活用し制御するナノバイオロジー、④計測・評価、加工、数値解析・シュミレーションなどの基礎技術と活用分野、⑤革新的な物性・機能を付与するための物質・材料技術、の 5 領域が重点領域とされている。

また、総合科学技術会議の下で、比較的実用化が早いとされる研究テーマ（次世代半導体プロセス技術、情報通信高度化基盤技術など）については主に経済産業者が、中・長期的テーマについては主に文部科学省が担当、また、医療分野では萌芽的な先端医療技術を開発するプロジェクトは厚生労働省が立ち上げる布陣となっている。

日本の予算規模

日本は、2001 年度 518 億円、2002 年度 825 億円を投入している。2003 年度は、概算要求における新規プロジェクトに関する予算請求が約 300 億円あることなどから、1,000 億円程度の資金投入になるものと考えられる。

【図表 14】省庁別のナノテクノロジー関連予算　（単位：百万円）

	2001 年度			2002 年度		
	ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ資金	競争資金	計	ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ資金	競争資金	計
経済産業省	19,500	500	20,000	31,700	700	32,400
文部科学省	9,800	20,400	30,200	19,300	28,960	48,260
厚生労働省	-	-	-	700	-	700
総務省	1,210	190	1,400	500	280	780
農林水産省	130	40	170	200	60	260
計	30,640	21,130	51,770	52,500	30,000	82,500

（出所）「別冊日経サイエンス・ここまで来たナノテク」（2002 年 10 月）日本経済新聞社、総合科学技術会議資料などからみずほコーポレート銀行産業調査部作成（一部推定）

3．その他諸外国の国家戦略

追いかける中・韓・台

欧州は日米と並んで、早くからナノテクノロジーに取り組んでいる。（技術評価については、P.24【図表 12】参照）。現在は、EU としてナノテクノロジー研究開発に取り組むと共に、国別でも各様の動きを見せている。

また中国、韓国、台湾も次頁に示されるように日米欧を追いかける形で研究開発に取り組み始めており、今後の動向に目が離せない状況にある（【図表 15】）。

【図表15】各国のナノテクノロジー戦略

地域･国	概　　要
EU	2002 年～2006 年（4 年間）に実施する科学技術の研究開発プログラム「FP6」においてナノテクノロジー関連予算として 13 億ユーロ（1690 億円）を投じて研究開発を推進。「FP5」（1998 年～2002 年）の同関係予算約 1 億 8000 万ユーロ（234 億円）から大幅に増額。
スイス	国家戦略「TOP NANO21」（2000 年から 4 年間）を策定。精密機械、医薬品等の強みを活かしてナノテク研究を促進。また、「NCCR Nanoscale Siense」プログラムに基づきバーゼル大を中心に 10 プロジェクトを産学官で共同研究を実施。
ドイツ	1998 年に教育･研究者が 6 テーマの研究ネットワークを組織（Nanotechnology Competence Centers）。2000 年にドイツ連邦政府研究報告書において、ナノテクをIT･バイオ･環境･エネルギーとともに重要分野に選定。予算規模 5000 万ドル（60 億円）/年程度。
イギリス	2000 年に EPSRC（工学･物理科学研究会議）が 5 つのナノテクノロジー･ネットワークを創設。2001 年のナノテク予算は約 49 百万 £（約 100 億円）。
フランス	1999 年に科学技術委員会が 5 つの優先研究分野（ライフサイエンス･IT･社会/人間科学、エネルギー/運輸、地球/宇宙）を選定。ナノテクは各々の研究の中で取り組み。予算規模 4000 万ドル（48 億円）/年程度。
中国	2000 年に「国家納米科技協調指導委員会」を設置。2001 年～2005 年（5 年間）に 20 億元（約 295 億円）をナノテクに投じる計画。指導委員会で検討された方針を受けナノテク関連の研究開発を開始（大学50以上、研究機関20、企業800が参加）。ナノカーボン材料、ナノスケールの分析･評価技術の研究開発が中心。
韓国	2000年より10年間で13億ドル（1560億円）を投じる国家ナノテク計画を推進。2000年にテラレベル･ナノ素子開発事業団発足。韓国先端科学技術院（KAIST、大田市）に韓国初のナノテクノロジー研究センター「NanoFeb Center」を設立することを決定（2002 年 7 月）。
台湾	2002 年～2007 年（6 年間）で総額 6 億ドル（720 億円）をナノテクに投入する計画。2002 年 1 月に産業技術研究所（新竹）の中に「ナノテクノロジー研究センター」を新設。ナノテク関連予算中、約 60%が実用化（産業応用）への研究開発向け。

（出所）総合科学技術会議資料、各種報道等によりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

Ⅴ. 求められるナノテクノロジー支援策

1. 優位性の確保･新しい産業の育成

政策の必要性

日本は、これまでモノ作り大国であることを誇ってきたが、中国や韓国などが猛追しており、日本が得意としていた精密機器やエレクトロニクス製品まで日本製品と品質差がない製品の生産を開始するなど、経済のグローバル化と激化する国際競争の中で、産業競争力の低下や雇用創出力の減退などの問題に直面している。かかる観点からも、ナノテクノロジーに代表される最先端技術で国際優位性を確保し、これらの技術に基づいた新しい分野･産業を育成する政策が重要となる。

モノ作りのレゾンデートル

もう少し具体的に見てみよう。これまで金属材料の特性改善は、経験則や蓄積されたデータに基づき、有害元素（炭素、窒素、硫黄など）を減らした上で、種々の有用元素（チタン、ニオブなど）を添加したり、さまざまな熱処理を行うことで行われてきた。好例として、自動車用の鋼板が挙げられる。1980 年代に日本は、深絞り特性（カップ状にいかに深く成形できるか）に優れた自動車用鋼板の大量生産に成功し、この材料優位性が日本の自動車産業を支える一つの柱となった。しかしながら、経験と改善だけに依存する手法では、もはや革新的な金属材料の開発は困難になってきているといわれており、ナノテクノロジーの活用により、金属原子や不純物原子をナノスケールで制御し、機能性を飛躍的に高度化しようとする研究開発が各国で行われている。まさに、モノ作りのレゾンデートルをナノテクノロジーが握っているのである。

国家投資の必要性

また、ナノテクノロジーには、長期にわたり多額の費用を要するリスクの高い研究が技術のブレークスルーを生み出す上で不可欠である。このため、国際間の熾烈な研究開発競争に遅れをとらないためには、産業界の資金に加え、国の投資が必要である。また、現在の経済低迷を受け、産業界が研究開発費についても抑制を行っている中、国が積極的にナノテクノロジーに資金投入を行うことよって、産業界も投入する資金を増額するという「呼び水」効果も期待できる。

2. 具体的な推進策

A. 統括的組織の設置

ナノテクノロジーを推進するには統括的な組織が必要である。現在は、総合科学技術会議がこの役割を担っているが、この会議の下部組織として、産官学の英知を結集した、より戦略的な組織の設置が望まれる。

この点において参考になるのは、アメリカの省庁横断型の組織である NSET（Subcommittee on Nanoscale Science,Engineering and Technology、ナノテクノロジー小委員会）である。NSET は、NNI 公表後、商務省、国防総省、全米科学財団などナノテクノロジー研究開発計画を有する関連 8 省庁から 20 名とホワイトハウスの科学技術政策局、予算管理局などから 4 名、国家科学技術会議（NSTC）から 2 名の計 26 名で発足、現在は 36 名に増員されている。NSET は、NNI 推進計画立案、予算作成、実行及びレビューなどの重要事項を一元

的に管理･調整し、決定する権限を有している。日本でも NEST のような専任スタッフを配した統括的組織を設置し、さらに産業界･学識経験者を加えることにより、国全体としてナノテクノロジー研究開発のベクトルを一致させ、「ナノテク研究開発の司令塔」として機能を果たすことを期待したい。もとより、国の資金を投入する以上、研究成果が社会や産業に与えるインパクトや費用対効果を十分に検証し、どの研究テーマにどの程度の資金を配分するか、研究開発の状況はどうかなどをモニタリングし、各プロジェクトを総合的に評価することは重要であり、本統括的組織にかかる権限を付与することも展望すべきである。

B．研究開発体制の強化･拡充

研究開発体制については、人＝研究者、モノ＝研究施設･設備、カネ＝研究資金、の全てにおいて諸外国、特にアメリカに劣後しない強力な体制となるよう内容を更に充実させることが望まれる。また、国際競争力を有するナノテクノロジーの研究開発を効率的、効果的に行うためには、大学に蓄積されている膨大な知識を如何に活用するかが鍵になるといわれている。

①人

「人」とは、研究者の育成である。ナノテクノロジーは幅広い分野に関連する科学技術である。従って、第一に、学術的で複眼的な発想のできる人材の育成が必要となる。具体的には、大学で工学、理学、生物学、農学などで行われているナノテクノロジー関連の教育･研究を分野横断的行う体制整備を行い、「医工連携」「医農連携」「工生連携」などの更なる融合を期待したい。第二に、開かれた研究評価や適正な人事･給与処遇を通じて、海外で活躍する一流の研究者を日本に誘致することによって日本での研究フィールドを世界有数の国際競技場とし、内外の研究者が切磋琢磨する環境を整備することが望まれる。第三に、発明者へのインセンティブを高めることも検討されるべきである。具体的には、発明報奨金の増額や、業績に応じた研究開発費の優先･増額配分などについても検討されるべきであろう。

②物

「物」とは、研究施設、研究設備などの研究開発基盤機能の充実である。ナノテクノロジーの研究開発には、基盤的なツールである高性能な電子顕微鏡やナノスケールにおける物質の挙動がシュミレーションできる最新鋭のコンピューターなどが不可欠である。もちろん、各機関において研究インフラの整備を進めていくことが望ましいが、全ての研究機関毎に 1 基で数千万～数 10 億円単位の研究機器を設置することは、機器の陳腐化リスクを勘案すれば現実的ではなく、むしろ、研究機関ネットワークを構築し、研究者が必要な時に最新の研究インフラを相互に活用できる体制を構築していくことが望まれる。

具体的なインフラ整備については、文部科学省が 2002 年度より、ナノテクノロジー総合支援プロジェクトを開始している。本プロジェクトは、国内外の情報収集･調査等を実施して研究情報の支援を行う一方、既に実績のある研究機関の機器及び技術を外部研究者に対して開放するとともに、技術支援などの総合的な支援を実施する点にある。本プロジェクトは、開始されたばかりの段階であるが、国内の研究開発基盤整備のリーディングプロジェクトとして機能することを期待したい。

【図表16】支援事業実施機関（中核機関）

超高圧透過型電子顕微鏡を活用した解析支援	東北大金属材料研究所／独立行政法人物質･材料研究機構／阪大超高圧電子顕微鏡センター／九大超高圧電子顕微鏡室
ナノレベルでの極微細加工･造形支援	独立行政法人産業技術総合研究所／早稲田大ナノテクノロジー研究センター／東京工大量子効果エレクトロニクス研究センター／広島大ナノデバイス･システム研究センター
放射光を活用した解析支援	立命館大総合理工学研究機構／高輝度光科学研究センター放射光研究所／日本原子力研究所／独立行政法人物質･材料研究所
分子･物質総合合成･解析支援	京大化学研究所他、九大大学院工学研究院

（出所）文部科学省「平成 14 年度『ナノテクノロジー総合支援プロジェクト』の実施機関選定について」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

SPring-8 の産業利用

上記の支援事業実施機関の中で注目したいのは財団法人高輝度光科学研究センター、JASRI）が保有する大型放射光施設「SPring-8」（1997 年 10 月より稼動、兵庫県播磨科学公園都市）である。

【図表17】SPring-8 の外観

（出所）http://www.spring8.or.jp/japanese/　（2003.1.28）

X 線を物質に当てると、X 線は物質に吸収されたり、物質を透過したり、元の X 線の錯乱が発生し、また、X 線の吸収が起こると 2 次的な蛍光 X 線や電子の放出が起きる。こうした現象は、様々な物質の構造や性質を解析する手段となる。SPring-8 は、周直 1,436m（姫路城の内堀 1,764m）という大きな蓄積リングの中に、80 億電子ボルトの高エネルギーにされた電子を回しながら蓄え、放射光を発生させる世界最大の施設である（世界的な施設としては、アメリカのアルゴンヌにある Advanced Photon Source;APS、周長 1,104m、70 億電子ボルト、フランスのグルノーブルにある European Synchrotron Radiation Facility;ESRF、周長 844m、60 億電子ボルト、などがある）。

SPring-8の特徴は、①世界最高の高輝度のX線（通常実験室で使用されるX線発生装置である回転対陰極型の約100億倍の明るさ）、②広い波長範囲の光、特に0.01nmまでの短い波長領域が発生、など、優れたX線を実現することが可能であり、物資の構造や特性を原子・分子レベルではっきりと観測することができることにある。支援を行う研究テーマとしては、「2003A ナノテクノロジー総合支援プロジェクト対象の募集について」（2002年5月）では、①半導体等ナノ薄膜の表面・界面構造解析、②新規ナノ材料の精密結晶構造評価、③高精度小角錯乱によるナノ凝縮体解析、など12項目が挙げられている。

SPring-8 の放射光によるナノテクノロジーの研究の一つとして、物質特性から超伝導等の新しい性質を生み出すことが期待されている金属内包フラーレン（金属原子をフラーレンの内部に取り込んだもの）の構造解析が挙げられる。また、他の研究事例を見ても Spring-8 の観測能力が極めて高いことは明らかであろう。

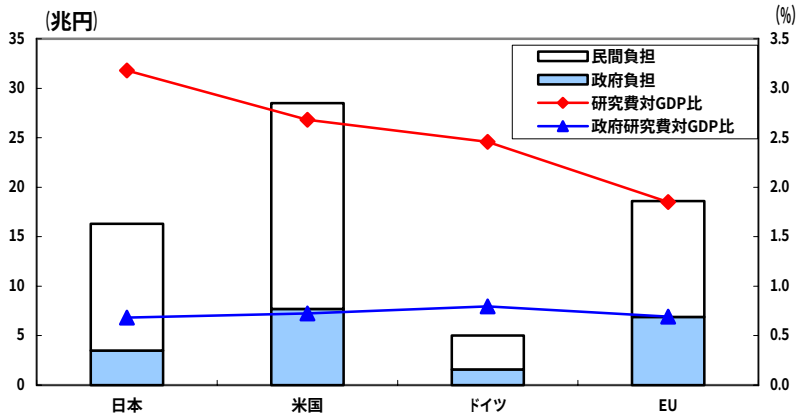
しかしながら、SPring-8の産業界の利用については、「SPring-8への社会的関心は、かなり高くなっていると思われるが、産業界全般での関心が高まっているとは、まだまだ言い難い。産業界に対する SPring-8 の貢献が明確になるには、もう少し時間がかかるようである。」（JASRI 社長室、産業利用グループ古池治孝氏、「SPring-8利用者情報／2002年11月」）との状況である。SPring-8には、産業用専用ビームラインが確保されていると共に、トライアルユースやX線の利用経験の少ない初心者を対象とした研修会も開催されている。ナノテクノロジー研究開発にあたり産業界の積極的な活用を期待したい。

③金

「金」とは、研究開発に係る資金の全てである。研究開発費の国内総生産（GDP）に占める比率は、日本はアメリカの2.68%を上回り3.18%と世界最高の水準にあるが、金額ベースでは、アメリカの 28.5 兆円に比して日本は 16.3 兆円とアメリカの約 57%に過ぎない（【図表 18】）。また、総額に占める政府負担割合は、アメリカの 27.1%に対して日本は 21.7%の水準にある。ちなみに、日米共に、ライフサイエンスを重点戦略分野としているが、アメリカは、2003 年度に約 3.3 兆円（273 億ドル）を投入予定である一方、日本の予算は、2002 年度に 4,400 億円程度であり、アメリカの 1/7 以下の水準と大きく劣後している。

ナノテクノロジー分野においては、足元の日米両国の政府負担は概ね同水準程度であるが、アメリカは今後もナノテクノロジーに関する研究開発費を増額してゆくことが見込まれる。日本も毎年度ナノテクノロジー関連予算を増額しているが（2002 年度は対前年度比+59%）、研究開発水準を向上し、産業力強化を図るために、その増額ペースを拡大し、ナノテクノロジー関連予算の一層の充実・強化を図っていくことが望まれる。

【図表18】主要国の研究開発投資及び研究開発投資額の対 GDP 比



	日本	アメリカ	ドイツ	EU
GDP (兆円)	513	1,064	201	998
研究費総額 (兆円)	16.3	28.5	5.0	20.6
政府負担研究費 (兆円)	3.5	7.7	1.6	6.9
研究費対GDP比 (兆円)	3.18%	2.68%	2.46%	1.86%
政府負担研究費対GDP比	0.68%	0.72%	0.80%	0.69%

(出所) 文部科学省「平成 14 年版科学技術白書」よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

C. 産業化プロセス

産業化プロセスでポイントとなるのは、大学と企業、企業と企業、大学と企業と地域社会などの「共創の活性化」である。日本の製造業は、いわゆる自己完結スタイルで基礎研究から製品化を行ってきたが、ナノテクノロジーの分野横断的な性格などを考えれば、自己のアイデンテティを持ちながら他と共働して、如何に早く革新的な研究や製品化を行うかが重要となる。

①産官学連携

産業界のニーズを大学や公的研究機関に早期かつ正確に開示することが重要といわれている。しかしながら、各企業の担当者が、個別に研究者にあたることは非効率であることから、かかる橋渡し機能を構築することが望まれる。ちなみに、株式会社アイ・ビー・エル・シー (IBLC、東京、社長はソニー出身の下野哲也氏、有馬元東大総長が最高顧問。1994 年に設立され、新日本製鐵、日立製作所など約 250 社に大学・研究機関の研究活動情報提供を行う一方、産学連携に賛同する研究者のデータベースを企業や経済産業省などに提供) が2002年11月よりインターネットで企業と大学・研究機関の研究者を仲介するビジネスを開始している。この仲介ビジネスは、同社の 5 万人にのぼる研究者データベースを活用し、テーマ毎に適任者が技術的な問題に対して回答する仕組みである。現在、ソニー、三菱化学など約 130 社が参加を決めている。また、企業が希望する場合には、研究者との意見交換や共同研究のセッテイングも行うと発表している。

もとより産業界としては、インターンシップ制度の導入促進、大学への寄付講座・寄付研究部門の設置、企業の人材を一定期間大学に派遣し先端技術の知見などを取得する機会を増やすなど、積極的に大学名との連携を更に行うことも肝要である。このためには、大学サイドも1教授対企業という関係ではなく、組織的に連携に取組む体制整備も検討されるべきである。

②VC・TLO

2001 年 5 月に経済産業省が発表した「新市場・雇用創出に向けた重点プラン」（平沼プラン）では、「大学発の特許取得件数を 10 年で 10 倍、大学発ベンチャー企業を 3 年間で 1000 社にすることを目標」と宣言した。大学は、基礎研究をベースにおいた知識と技術の大集積地であり、この大学の集積を開拓することによって、日本経済の活性化することを目的としている。この点については、優れた技術を有しながら経営等のノウハウに乏しい研究者に対する経営指導や法務、会計などを支援する仕組み作りや、大学などへの出資機能付与などが望まれる。一方、産業界においては、社内研究者の起業精神を支援するコーポレートベンチャー制度などの積極的な取り入れなどを検討すべきである。

また、1999 年に制定された「大学等技術移転促進法」に基づき 26 の技術移転機関（TLO,Technology Licensing Organization）が設立されている（2002 年 1 月末現在）。研究成果の特許化と技術移転（ライセンシング）からの収入を、研究者、大学、TLO が配分するメカニズムが整備されつつあるが、独立採算が貫ける TLO は東京大学の TLO である株式会社先端科学技術インキュベーション（CASTI、1998 年 10 月承認）など一部といわれており、本制度を軌道に乗せるためには、承認 TLO に対する助成金を増額するなど一層の国のバックアップが検討されるべきである。

③産業再生法の活用

関係分野が広範囲に及ぶというナノテクノロジーの特性を踏まえた場合、ナノテクノロジーの産業化を担うに相応しい企業形態を構築が望まれる。この点において、個別企業・グループの枠を超えた事業再構築や産業再編を企図する産業再生法を活用し、事業切り出し・共同出資会社の設立などにおいて、商法特例、税制措置、政策金融などの支援措置を活用することも可能である。また、現在検討されている改正産業再生法においては、国内空洞化に対応するために、研究開発と有機的な連携が認められる実証 1 号機導入にかかる設備投資について特別償却を認める制度を新たに設ける方針が公表されている（革新設備導入計画）。本制度を活用することにより、カーボンナノチューブ量産設備建設・設置などにかかる初期投資負担を軽減することも可能である。

④クラスター形成

クラスターの代表例としては、アメリカのシリコンバレーが有名である。シリコンバレーでは、主にスタンフォード大学を核として、IT などのハイテク分野に特化しており、大学近辺にオープンラボやインキュベーション施設をつくり関連ある企業が集積している。ナノテクノロジーにおいても、産業競争力を強化するためには、中核となる大学、公的研究機関、企業がクラスターを組成・連携することにより、地域としての総合力を増大してゆくことが望まれる。

また、副次的な効果として、域内を活性化させるだけではなく、地域が切磋琢磨することにより日本全体が活性化されることも期待できよう。なお、クラスター形成のためには、各々が共有できる上述のような研究開発基盤を整備する一方、地方自治体が固定資産税軽減などの措置を講ずるという方向も考えられる。

D．国民への説明・理解

ナノテクノロジーに対し国として巨額の研究開発費を投入する以上、政府は納税者に対する説明義務の観点からもナノテクノロジーに対する情報を随時、積極的に、且つ、その効果を含めて分かりやすく開示・提供することを検討するべきである。アメリカがNNIを公表した時に、クリントン大統領が「グランド・チャレンジ〈挑戦的研究〉」を打ち出してその重要性を訴えたのも、国民の理解を得る方策であったと言えよう。また、政府がこのような姿勢を示すことによって、ナノテクノロジーにとどまらず、科学技術に関心を示す次世代の人材を増加させることにもなろう。

かかる事項を客観的に国民に対して説明するため、国際競争における日本のナノテクノロジーの相対的地位に関する調査を2～3年毎に実施し、①現在の動向、②将来の見込み、③日本が得意・不得意とする分野、④日本が重点的に投資すべき分野、⑤組織・予算配分・人材育成などについて、継続的に検討を行うことが望まれる。

3．最後に－ナノテクノロジーを大いに議論しよう

閉塞感からのブレークスルー

日本は、「構造改革」の旗印のもと、政治、経済、産業、経営の各分野で戦後体制の総見直しに取り組んでいるが、一方では、デフレ経済の深刻化に喘ぎ失業率の悪化や財政赤字の拡大といった憂慮すべき事態に陥っている。もし未来の歴史家が今の時代を振り返ったときに、それは歴史家の眼に「輝ける改革の時代」というよりも「かつてない沈滞の時代」であったと映じるような推移になる懸念もある。

もちろん、日本経済の活力を蝕む“アンシャン・レジウム（旧態）”を打破し、「構造改革」を進めることは、新たな時代を切り拓くうえで必要なプロセスであり、多少の痛みを伴うこともやむを得ないという政策的な判断もあろう。しかし、「その先に何があるのか」という未来への明確なビジョンを描くことなく、過去から引きずっている問題と向き合うばかりでは国民の中に閉塞感が生まれよう。

未来を志向し、様々な限界をブレークスルーするナノテクノロジー的な発想法は、何も科学者や研究者だけの占有物ではない。特にこれから重要になるのが、ボトムアップの発想法である。目の前にある大きな問題（既知の世界）を過去の延長線上で考えて解決方法を精緻化しようとするのではなく、従来とは全く異なる次元に視座を据えることで目標を見定め、そこへ近づくにはどういう要素を結びつけていけばいいかという観点から、未知の世界に可能性を探るのがボトムアップの発想法に外ならない。そこにあるのは、過去からの経験の積み重ねではなく、大胆な仮説を組み上げるロジックと実証へのトライが優先する世界である。

ナノテク活用製品の登場

各企業は、ナノテクノロジーを夢の世界から現実の世界にするべく研究開発にしのぎを削っており、その活用製品が相次いで登場することにより、日常生活の場においてもナノテクノロジーは既に身近な存在となりつつある。たとえば、日産自動車はRVの新車種「エクストレイル」の前部フェンダーに軽量化と

強度確保を目的にカーボンナノチューブを混合した樹脂を採用している。日本ロレアルがランコムブランドで販売している美容液は、ナノカプセルに若返りのビタミンと言われるビタミンEなどを包含した商品である。美顔の秘密はナノテクノロジーというわけである。日本ダンロップは、カーボンナノチューブを構造材料に採用したテニスラケットを販売している。また、ナノレベルでの薄膜製造技術を利用した野菜などの鮮度保持シートも昨年秋から発売されている。神戸製鋼所は明石海峡大橋向けケーブルにおいてナノ制御による、より高強度な線材を開発している。まだ研究は緒についたばかりであるが、その代表的なものだけでも、ここに挙げ切れない程である。

豊かな世界の広がり

ナノスケールの領域には人類の夢を実現させる豊かな世界が広がっている。ナノテクノロジーは、緻密・精細を得意とする日本にマッチした技術であると言えるが、その一方で、「均質的」と言われる日本特有の思考形式からボトムアップの発想法へと飛躍を求められる面もあり、欧米等に対して必ずしも日本が優位に立てるという保証はない。今、日本にとって必要なことは、上述した国家レベルでの全体戦略策定と官民一体となった技術開発の加速である。そして、ナノテクノロジーに関する国民的な関心をいっそう喚起することである。そのためにも、産業界・企業と何らかの関わりがある人々には、その産業なり企業がナノテクノロジーについて如何なる方向性を打ち出し、どのような研究開発や製品化を行っているか、それが将来如何なるインパクトが与えるか等々について、是非、これまで以上に興味を持って注視して頂きたいと考える。

古い格言（かの K. マルクスも座右の銘にしたという「人間に関することで、自分に無関係なものはない」）をもじって言えば、「人間である以上、ナノテクノロジーは私にとって無関係ではあり得ない」というのが、これからの時代であろう。ナノテクノロジーについて各層で大いに議論すべきである。そして、未知の世界や未来のフロンティアへともっと目を向けようではないか。21 世紀は、そのスタート地点に立ったばかりなのである。

（産業調査部　総括・海外チーム　大田雅弘）
masahiro.ohta@mizuho-cb.co.jp

【主要参考文献】

＜書籍･雑誌＞

･Ed Regis 著 「ナノテクの楽園」（工作舎、大貫昌子編、1997 年 5 月）

･日本経済新聞社、三菱総合研究所編「大予想21世紀の技術と産業」

（日本経済新聞社、1999 年 5 月17日）

･月刊 Keidanren 「特集 明日を拓くナノテクノロジー」（経済団体連合会、2001 年 6 月号）

･小林直哉著「テクノ図解ナノテクノロジー」（東洋経済新報社、2001 年 8 月）

･「ナノテクノロジー関連市場の全貌」（富士経済、2002 年 1 月）

･医療保険制度研究会編集「目でみる医療保険白書 平成 14 年版」（ぎょうせい、2002 年 3 月）

･野村総合研究所 池澤直樹著「ナノテクが日本を救う」（講談社、2002 年 4 月）

･文部科学省編「平成 14 年度科学技術白書」（財務省印刷局、2002 年 6 月）

･21 世紀産業戦研究所著「日本再生の産業戦略」（ダイヤモンド社、2002 年 8 月）

･石川正道編著「ナノテク＆ビジネス入門」（オーム社、2002 年 9 月）

･週刊ダイヤモンド「特集 ナノテク産業革命 迫る」（ダイヤモンド社、2002 年 9 月 14 日号）

･別冊日経サイエンス「ここまで来たナノテク」（日経サイエンス、2002 年 10 月 9 日）

･川合知二著「ナノテクノロジー 極微科学とは何か」（PHP 研究所、2003 年 1 月 29 日）

＜公表資料＞

･「21 世紀を拓くナノテクノロジー –ナノテクノロジーに関する経団連の考え方-」

（経済団体連合会、2000 年 7 月 18 日）

･「ナノテクノロジーの戦略的推進に関する懇談会報告書」

（科学技術会議政策委員会ナノテクノロジーの戦略的推進に関する懇談会、2000 年 12 月 14 日）

･「ナノテクが創る未来社会 <n-Plan21>」（経済団体連合会、2001 年 3 月 18 日）

･「米国ナノテクノロジー分野研究開発の推進戦略に関する調査/成果報告書」

（三菱総合研究所、2001 年 3 月 30 日）

・「新市場・雇用創出に向けた重点プラン」（経済産業省、2001 年5月）

・「ナノテクノロジー・材料分野推進戦略（プロジェクトとりまとめ）」

（総合科学技術会議重点分野推進戦略専門調査会、2001年 9 月 21 日）

・「平成 14 年度『ナノテクノロジー総合支援プロジェクト』の実施機関選定について」

（文部科学省、2002 年 5 月 22 日）

・「ナノテクが創る新産業 -n－Plan2002-」（日本経済団体連合会、2002 年 11 月 19 日）

・Richard P.Feyman,「Plenty of Room at the Bottom」（1959 年 12 月）

・「NATIONAL NANOTECHNOLOGY、INITIATIVE：The Initiative and Its Implementation Plan」（July2000、Washington,D.C.）

・「National Nanotechnology Investment in the FY 2003 Budget Request by the President」（February 13,2002 at the AAAS/ASME Briefing,Washington,D.C）

＜HP＞

・NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE

http://www.nano.gov

・総合科学技術会議（ナノテクノロジー・材料分野）

http://www8.cao.go.jp/cstp/project/nanotech/index.htm

・文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター

http://www.nanonet.go.jp/japanese/

・独立行政法人産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門

http://unit.aist.go.jp/nanotech

・高輝度光化学研究センター（SPring-8）

http://www.spring8.or.jp/japanese/

・東京大学先端科学技術研究センター

http://www.rcast.u-tokyo.ac.jp

・信州大学工学部遠藤守信教授（遠藤研究室）

http://endomorinobu.shinsyu-u.ac.jp

・大阪大学川合知二教授（川合研究室）

http://www.sankenosaka-u.ac.jp/labs/kawai-lab/

・東京大学相田卓三教授

http://macro.chem.t.u-tokyo.ac.jp

・日経ナノテクノロジー

http://nano.nikkeibp.co.jp

・日立製作所

http://www.hitachi.co.jp

・NEC

http://www.nec.co.jp/

・富士通研究所ナノテクノロジー研究センター

http://www.labs.fujitsu.com/

・日本電子

http://www.jeol.co.jp/

・昭和電工

http://www.sdk.co.jp/

・NTT 物性科学基礎研究所

http://www.brl.ntt.co.jp/J/

・フロンティアカーボン（三菱商事、三菱化学）

http://www.f-carbon.com/

・三井物産

http://www.mitsui.co.jp/

・IBM

http://reseach.ibm.com/nanoscience

・アイ・ビー・エル・シー（IBLC）

http://www.iblc.co.jp/