

ナノテクノロジー

丸山 瑛一（理化学研究所フロンティア研究システム長）

1. はじめに

世界的にナノテクノロジーへの関心が急速に高まりつつある。

そのきっかけとなったのは、米国のクリントン大統領が今年の1月、ハイテク分野の研究開発を強化するため、2001会計年度の予算案で「ナノテクノロジー」を最優先事項のひとつに位置付け、前年度比84%増の約5億ドルを投入する方針を打ち出したことである。「情報」と「バイオ」に関しては、わが国は米国に一步も二歩もおくれをとってしまった、というのが大方の評価である。だが、「ナノテクノロジー」に関するかぎり、わが国のステータスは悪くない。情報技術を支える部品産業では、圧倒的な強みを発揮しているし、携帯電話などの移動体通信機向けの部品に限れば世界の70%を供給しているといわれる。

基盤技術を支える政府プロジェクトも工技院の「アトムテクノロジー」、「マイクロマシン」、「ASET」、理研の「フロンティアマテリアル」、科学技術振興事業団の「ERATO」など、比較的早くから適切な手を打ってきたといえる。

材料・素子分野においても「カーボン・ナノチューブ」、「青色半導体レーザー」、「面発光レーザー」、「超巨大磁気抵抗素子」など世界トップレベルの成果がわが国から生み出された。

クリントン大統領の発表をうけたわが国

の反応は早かった。経団連はいち早く「ナノテクノロジー強化」の提言をまとめたし、関係省庁も総合科学技術会議のもとで戦略的に「ナノテクノロジー」研究を推進する方向を打ち出している。おそらく「ナノテクノロジー」は来年早々発足する総合科学技術会議の最初の大仕事になるかも知れない。

2. ナノテクノロジーとは何か

それではいったいナノテクノロジーとは何だろうか。

ナノメートルというのが10億分の1メートルであり、これはほぼ原子の大きさの10倍であるところから、個々の原子や分子をあつかう技術のことだと一応は定義できる。ところが、この定義は広すぎて工技院の「産業技術基盤研究開発プロジェクト」やERATOプロジェクトのほとんどがナノテクノロジーである、ということもできるのである。これは科学技術政策としては大変困ったことであって、どこに重点投資をしたらいいのかよく分からないということになる。

ここで主張したいことはそれこそがナノテクノロジーの特徴であって、下手に重点化すると本当に大切なテーマがこぼれおちる危険性が十分にある、ということである。こういう性格のテーマを推進するためにはどうしたらよいかを考えることが今後の科学技術政策の最重要課題である。

表1にナノテクノロジーをまとめてみた。それは物質・材料、ライフサイエンス、情報通信、環境・エネルギー、計測・製造技術にまたがり、学問的にも産業的にも大きな広がりを見せている。たとえば半導体産業を例にとってみると、物理・化学はもとより、電気・機械・材料・情報など多くの学問領域が関連している。かつての産業が学問領域とほとんど一対一に関連していたのとは大きな違いである。

このような分野をとりまとめるには、ターゲットを明確にして、必要な関連技術の平行開発を行うというのが、企業の常套手段であるが、その手法がうまく適用できないのが、このような先端技術分野である。かつての通産省の大型プロジェクトを考えてみればよくわかるが、超LSIとか超高速電子計算機とかアメリカに明確なターゲットがある場合、大プロは極めて効果的に機能した。しかしターゲットがなくなってしまったとたん、大プロは機能しなくなってしまった。それは大型プロジェクトというものが現実に走り出すと途中で軌道修正が効かなくなってしまうためである。

先端技術の開発の場合、どこからブレークスルーが起こるかということはほとんど予測不可能である。プロジェクト内であっても、プロジェクト外であってもブレークスルーが起こった場合にはただちにそれに対応して軌道修正するというのがもっとも望ましいプロジェクトマネジメントである。

日本が幸い現在ナノテクノロジーで対米や対欧で優位にある原因は第一に通産や科技厅のプロジェクトで1980年代から幅広く基礎技術の積み上げを図ってきたことと、

第二に産官学の協力体制が比較的うまく行ってきたためである。

3. ナノテクノロジーの推進体制

先端技術を開発する場合、産業界の協力が不可欠である。これは単に技術移転を容易にするという理由ばかりではない。筆者の経験でもそうであるが、官・学だけで研究をすすめると、研究目標が定まらなくなったり、非現実的な目標に挑戦することになりがちだからである。一般的な研究者の志向として、困難で面白くない目標で苦勞するより、容易に論文になるテーマを取り上げて研究者としての実績を稼ぐ道を選びたがる。とくに官・学の研究者にその傾向が強い。国家プロジェクトにおいては資金が潤沢であるのでよほど注意しないと研究費のつまみ食いをして論文数だけを稼ぐことになる。

これを防ぐためには企業研究者のきびしい目で常に研究の進捗をチェックすることが最も有効である。共同研究者の目は常時注がれているから、年一度くらいの評価委員のコメントよりもはるかに効果がある。

図1にナノテクノロジー研究推進のために望ましいと考えられる体制を示す。基本的スタンスはこれまでの日本の研究体制はそれほど間違っていなかった、という判断である。まず、最終ターゲットの選び方は世界動向を見極めて、十分慎重に決定しなくてはならない。これが失敗すると結果的に大きな国家損失になる。したがって、この段階で注意しなくてはならないことは拙速で誤ったターゲットを選定してしまうことである。それを避けるために着手が若干遅れても止むをえない。

その段階のおくれをカバーするのがそれを支える基礎研究である。最初の段階の学際的基礎研究、つぎの段階の産官学共同研究によって、最終段階のプロジェクトのスタート位置を十分に高めておけば少しばかりのスタート時期の遅れは問題ではない。現在の日本の問題点は大学の縦割り組織のために学際的な基礎研究を行うための柔軟性が十分確保されていないことである。もうひとつはバブル崩壊後、企業の研究開発がすっかり内向きになってしまい、将来技術に対する積極的な姿勢を失っているということである。

政府の研究開発投資はこのふたつの段階に集中すべきである。学際的基礎研究あるいは産官学の共同研究を促進するための場所や制度をふくめたインフラストラクチャーの整備も重要である。

日本のナノテクノロジーが世界的競争力を維持している理由は前述したように、ERATO プロジェクトなど小型の基礎研究プロジェクトを長年にわたって推進し、各分野のまんべんない底上げをはかってきたこと、それと産官学の協力がうまく機能したことにある。米国におくれをとってしまった情報、バイオにおいても日本は必ずしも手をこまねいていたわけではないが、ナノテクノロジー分野に比べて、産官学の息が合っていなかったことに失敗の原因があるといつてよいであろう。

図1で提案したかったのはフロントランナー型の重層研究開発組織である。これまでの後追い型の経験から、政府は大型プロジェクトを打ち上げたがるが、方向のきまらない大型プロジェクトは百害あって一利もないことを知るべきである。情報関係の

プロジェクトには得てしてその傾向が強かった。ナノテクノロジーはすでにフロントランナーであるのだから、前述したように、基礎基盤研究とインフラストラクチャーの整備に重点をおき、世界動向を十分見定めてから大型プロジェクトを打つべきである。

アメリカがナノテクノロジーと言い出したからといって、浮き足立って無用の大型プロジェクトを乱発することは絶対に避けなければならない。このことはどんなに強調してもし過ぎることはないのである。

4. むすび

ナノテクノロジーはあらゆる産業技術の基盤であると同時に、日本が世界的に優位にある技術分野である。アメリカの追撃が現在圧倒的に優位にある情報・バイオとナノテクノロジーの融合にあると予測されるため、日本はそれに対する綿密な対策を立てる必要がある。大学における学際領域の協力が十分でなく、疲弊した企業研究が挑戦的精神を欠き、大学から企業への技術移転も模索段階を脱していない現在、早急に打つべき対策は多い。重要なのはなにを優先すべきかに関する徹底的な政策的議論である。

表1 ナノテクノロジー

分野	内容	期待される応用
ナノマテリアル	超微粒子, 超薄膜, カーボン・ナノチューブなどナノ構造で特異な性質を示す材料	高性能触媒, 電界放射電子線源, 超軽量超強度構造材, マルチセンサー
ナノデバイス	ナノ構造を基本とするデバイス	単電子メモリ, 単電子トランジスタ, 分子素子, 量子ドット
ナノシステム	ナノデバイスを基本とするシステム	超高密度メモリ, 電気・光・磁気の複合システム, 量子コンピューター
ナノ計測	量子効果が明確に観測されるような計測技術, 単原子/単分子の同定	STM, AFM, ホログラフィー電顕, スピン計測等による原子・分子レベルの計測
ナノ診断	分子認識によって病気を診断したり, DNA判定によって遺伝病の可能性を診断する	DNAチップ, マイクロチップ, 医療
ナノ複合材料	分子レベルで複合しているために有機・無機・生体の区別がつきにくい材料	人口歯牙, 人口骨格
ナノメカニクス	マイクロマシン, 分子マシンなど新しい原理で動く機械	血管内診断など生体情報のとり入れ修復, 疾患部へのドラッグデリバリー
ナノオプティクス	フォトニック結晶, 近接場走査顕微鏡	光通信デバイス, 高分解能光学顕微鏡
ナノケミストリー	マイクロポンプ, マイクロバルブを利用した反応・分析	DNA解析, 超微量分析, 超コンビナトリアル合成
分子認識	分子同志が相手を認識して受け容れたり, 拒絶したりするメカニズム	免疫反応, 生体形成
分子制御・原子制御	STM, AFM, 光ピンセットによる原子/分子操作	DNAの部分改変, 試料表面における原子/分子の除去・移動・埋めこみ
自己組織化	原子・分子認識によってマクロな一定の構造を自動的に作り出すメカニズム	材料合成, 遺伝子増幅, 自己修復材料

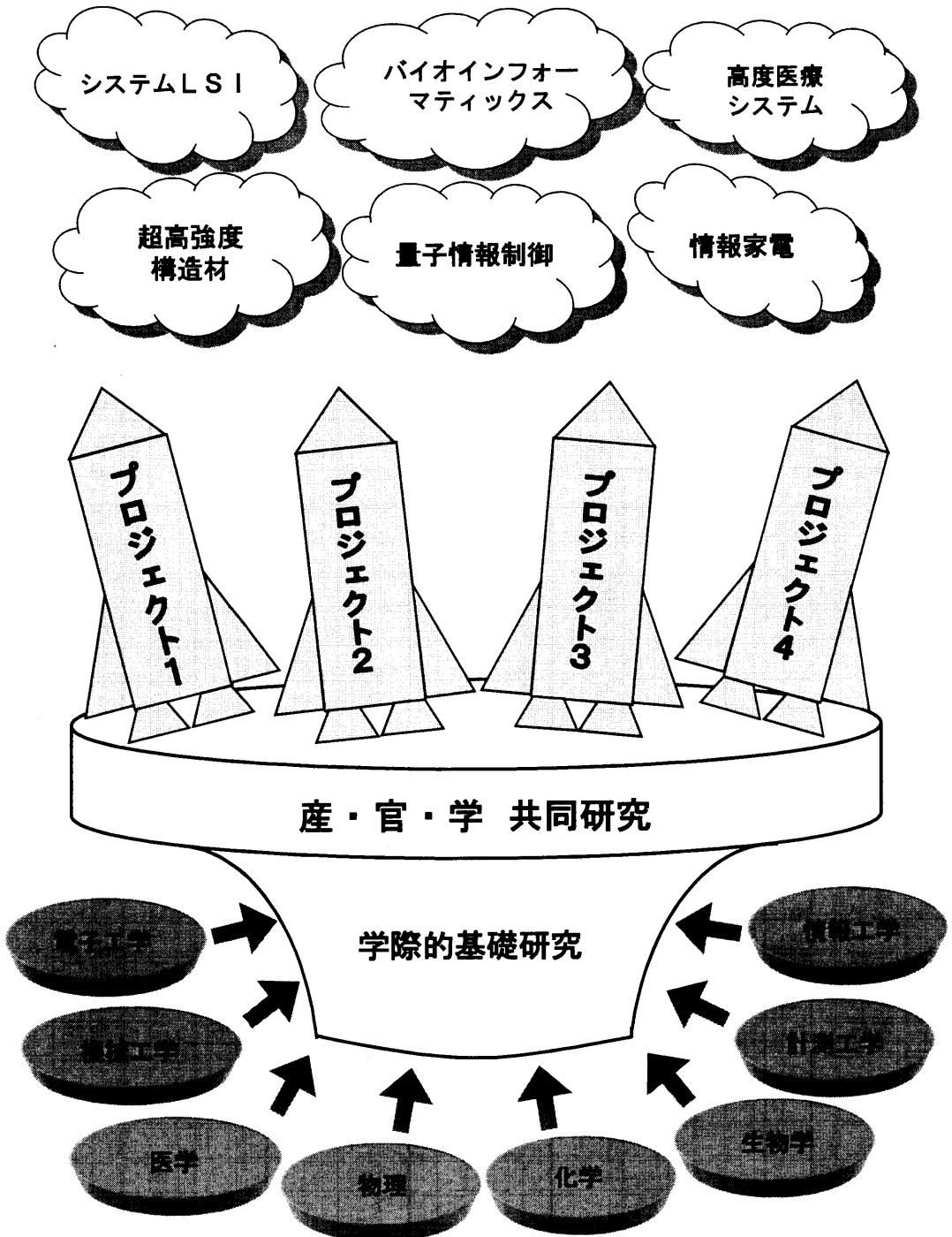


図1 ナノテクノロジーでの推進体制