

「状況認識」と「研究開発の推進方策」に関する外部専門家意見**目次**

安宅氏意見	p. 2
馬越氏意見	p. 6
岡田氏意見	p. 11
奥村氏意見	p. 14
梶谷氏意見	p. 19
河内氏意見	p. 21
岸氏意見	p. 24
田中氏意見	p. 25
土屋氏意見	p. 29
中村氏意見	p. 32
平本氏意見	p. 36
細野氏意見	p. 38
村上氏意見	p. 39
横山氏意見	p. 40

分野推進戦略のPTの質問への回答

2005年12月5日

オリンパス(株)未来創造研究所

安宅 龍明

0.(問題意識と基本的対応策)

研究開発の側面

- ・将来的な発展の可能性があり、本質的にナノテクの特徴をもつ魅力的なシーズはまだ少ない。CNTなどのナノ材料については、物性、作成プロセス、評価・計測技術など基礎的面においては世界レベルでの進展は見られた。また、ナノバイオの分野では、「タンパク3000プロジェクト」による網羅的な立体構造解析が目標を達成しつつある。
- ・実用化・産業化に結びつけるための研究、たとえば、材料とデバイス、材料と計測技術、デバイスと製造技術、デバイスと応用システムのようにバリューチェーン結を結びつけるような「共創型」の研究開発が手薄であり、産業化が進まない心配がある。
- ・対応策としては、科学技術的な価値を追求する基礎研究と経済・社会的な価値を追求する研究開発を明確に区別した上で、実用化・産業化を目指すものは網羅的な取り組みではなく、ナノエレクトロニクス、ナノバイオなどに焦点を絞り、産官学で産業化のゴール(コンセプト・シナリオ)を共有した「ロードマッピング」などに基づいた「共創型」取り組みが重要である。

産業化の側面

- ・一部のナノテク材料やデバイスの産業化を目指す研究開発には進展が見られるものの、材料・デバイス、製造装置、計測・評価機器メーカーの実用化ための連携不足などがあり、本格的な産業化は、まだまだである。
- ・また、ナノテクの実用化・産業化のためには、その先兵となるナノテクベンチャーによる事業機会創出への数多くの挑戦が必要であるが、まだ不十分である。
- ・対応策としては、研究開発的側面と統合化された実用化開発のための「ビジネスロードマップ」に基づいたコンソーシアム形成など、個別の企業の枠を超えた取り組みが必要である。また事業機会創出の可能性を高めるため、大学発だけではなくスピンオフベンチャーの輩出を促し、上記のコンソーシアムや他企業との「ビジネス・マッチング」が図れるような仕組み作りが望まれる。もちろん、事業化のための機能や資金の不足しているベンチャー支援は、継続的に強化すべきである。

社会的側面

- ・ナノテクの安全性や標準化は、産業化を促進するための社会的基盤であり、国としての対応、国際的なイニシアティブを握る必要もある。

・また、環境やエネルギー問題のように、経済的な原理だけですぐに対応できない課題に置いてはナノテクの果たす役割は大きく、これも国として取り組むべき問題である。

1. 現状把握として、以下の観点についてお答え下さい

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか？できるだけ具体例をもとにお答え下さい(複数回答可)。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含めて説明下さい。

・ナノカーボン材料などのナノ材料において、作成プロセス、物性に関する理論的取り組みが進み、ナノデバイスへの応用について展望が開けてきた。また、各種の新しいナノ材料が出現し、国プロの制度がこの研究開発の支援をした。

・また、ナノバイオ分野においては、日本の「タンパク3000プロジェクト」による網羅的な立体構造解析が目標を達成しつつあり、得られた成果の活用が今後の課題である。

・今後は、さらに新しい可能性のある探索研究を支援するとともに、これまでの研究成果から応用・産業化の可能性の高いものを選択し、目的指向の研究開発として強力に支援すべきである。この点は、まだ不十分である。

当分野の世界の中での日本の現在の水準、ここ数年の推移、国際間の競争・協調の位置付けや、日本の強み・弱みなどの特徴についてお答え下さい。

・ナノ材料についての研究開発は、欧米に比べまだ優位性があるものの、将来の応用展開の基盤となる、この分野における基礎的・理論的な研究は遅れがある。また、将来の目指すべき目標としての「安心・安全」、「健康・医療」の基礎となるライフサイエンス分野は、基礎・応用とも遅れがあるなる。

・欧米では、バイオテクノロジーに続きナノテクノロジーもベンチャーキャピタル(VC)によるリスクマネー投資が活発である。一方、日本にはナノテクの個別技術に強いものがあるが、実際の製品化の段階で強い製品が作れていない。これは、欧米のVCによる投資に代わる仕組みが働いておらず、初期市場形成が進んでいないからだと考えられる。日本の産業風土を踏まえた初期市場形成の方策が望まれる。

国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野において、注目すべきとお考えになる、この5年間の顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含めてお答え下さい。

・「21世紀ナノテク研究開発法」(2003年12月、米国)や中国・韓国などアジアの国々も産業化を視野に入れた研究開発をより強化する方向で動いている。特に、米国はナノエレクトロニクス分野、欧州は、ナノバイオ分野に注力する戦略を立てているが、日本は、網羅的にナノテクを推進しているように見える。

・日本も、オールジャパンとしての戦略的な取り組みをしないと遺伝子工学で欧米の後塵を拝したことの繰り返しになるばかりではなく、力をつけてきたアジア諸国に対しても競争力の低下を招きかねない。ナノテク技術戦略立案力および国際連携のためのコーディネーション力の強化が必要である。

2. 1での現状把握をできるだけ踏まえた上で、第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について、例えば下に挙げた観点を例に、お答え下さい。

今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の動向、もしくは、今後の日本社会や国際的な状況が変化していく中で「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割、もしくはその変遷について。

・短中期的には、情報・通信分野の競争力の再確保・強化のために、製造設備投資への支援などによるこの分野の産業基盤の再整備と、ナノテク化のための突破口としてカーボンナノチューブのLSI応用(配線、能動/受動素子)の技術開発の推進する。中長期的には、ナノエレクトロニクスのための製造技術(ナノ計測・加工)を確立し、バイオナノデバイスへの展開や高性能燃料電池材料・システムの基盤技術となる目的指向の研究開発を強化する。

現在策定中である第3期基本計画においては、「成果の国民への還元」を基本的な考え方に据えられているが、「ナノテクノロジー・材料」分野において、「成果の国民への還元」とは？

・国家目標である「ユビキタス社会」、「健康・医療」、「安心・安全」、や「環境・エネルギー」などに対し、どのようなゴールを目指しているのか、その必要性・効果を説明する視点が重要である。たとえば、情報通信分野、ライフサイエンス分野やエネルギー分野の研究開発・産業開発により、どのような経済社会が実現するのか、また、産業的・経済的效果が、すぐに現れない安心・安全な社会、環境に優しい社会などの社会的価値・効果を分かり易く、生活において実感できるような形で説明する必要がある。また、計画の進捗状況や途中の状況変化への対応も継続的に説明すべきである。

「ナノテクノロジー・材料」分野の特徴として、当分野が

・「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」

・「日本の経済・産業を支える基盤」であったり、また、当分野の持つ性格として

・「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」

などがあげられるが、それらの特徴に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性を、どのように考え、またどのように推進していくべきかについて。

・ 目標と評価・選択の基準を明確化する。

何を重要と考えるか：

「安心・安全」、「健康・医療」や「環境・エネルギー」にたいしてどのように貢献するか、またそれ

らの価値を実現するために必要な産業化のシナリオを描く。

狙いは何か、社会的価値、科学技術的価値、経済的価値の向上か

すぐには、経済的効果が現れない社会的価値や科学的価値の向上を目指すものでも、それに
取り組む意義・理由を納得性のあるものにする。

緊急性が高い問題なのか、重要性が高い問題なのか

現在、日本の産業界の置かれている状況は、欧米とアジアの台頭の挟撃を受け、加工貿易立
国として大きなパラダイムシフトと言われるものを必要としている切迫したものである。大きな体
質的転換を目指す重要度の高い課題を着実に推進することは、必ず行わなければならないこと
である。しかし、それを実行するための原資を獲得しなければ、大きな目標も達成できない。そ
のために、既存産業の中でも競争力の維持・強化を図るべき緊急性の高い問題もある。たとえ
ば、半導体産業はそれに該当する。米国やアジアのメーカーの寡占化に単独企業としては、そ
の設備投資の大きさには対応できず、次のナノエレクトロニクスへの展開の基盤も失いかねな
い状況であり、ナノテク土壌確保としての緊急のてこ入れが必要である。

**我が国は他国と違い「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野で取り扱うが、このような取扱を活
かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要になり、またどのように推進していくべき
か？**

- 1) シーズを供給する基礎研究の充実(まだ、魅力的なシーズは十分ではない)と 出口を明確に
した応用・産業化を目指す研究開発・産業開発を明確に区別したマネジメントを行う。
- 2)、1) - について、経済的効果のすぐにはいえないものでも、目指すべき社会的価値・効果(ゴ
ール設定)を研究開発・施策実施を行う前に、明確に決めて行う。
- 3) ゴールとして、重要度の高いものは、「安心・安全」、「健康・医療」や「環境・エネルギー」と考えら
れ。これは、ナノ材料やナノ計測・加工装置のようにナノ産業そのものというより、いくつかの分野の
技術・産業が融合したり、ナノテク・材料は、基盤技術としての貢献になる場合が多いということであ
る。そのため、ゴールにの設定と実現のためのシナリオを立案する技術・事業戦略が極めて重要と
いうことである。
- 4)、1)～3)をオールジャパンとして取り組むヘッド・コーターを設置する。

【追記】

本回答書および参考資料の作成には、ナノテックビジネス推進協議会、(財)新世代研究所および(社)精
密工学会の委員会、会員の皆様の意見集約、支援を受けました

分野推進戦略の PT の質問への回答

大阪大学理事・副学長 馬越 佑吉

1. 現状把握

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか。

ナノテクノロジーへのアプローチは、トップダウン方式による微小化から、原子レベルでの集積化によるボトムアップ方式に転換し、質的に大きく変化した。本来ナノテクノロジーといった明瞭な学問体系、産業分野があるわけではなく、ナノテクノロジーは生命科学、情報通信、環境、エネルギーといった分野の発展を支える横断的基盤技術である。そのため実用化、製品といった明瞭な出口における成果を挙げることは容易ではないが、基盤研究を中心に着実に進展している。たとえば、フラレンの延長線上にある、新たなナノ粒子・炭素素材であるカーボンナノチューブは、大量合成法の開発、固体化学反応を利用しての異種材料への接合法の開発がなされ、小型燃料電池、高性能カーボンナノチューブトランジスタへの応用など、基盤技術から応用展開への展望が示された顕著な例である。また、量子化機能素子、導電性高分子、超強度構造物等の開発などにおいても顕著な進展が認められた。セラミック・金属材料等の構造材料は、格子欠陥としての転位の運動挙動を如何に制御するかに関わっている。従って、以前からナノレベルの析出物等の異物を障害物として分散させ、高強度化が図られていた。この構造材料を結晶の集合体として捉え、極限状態までせん断ひずみを導入し、ナノレベル結晶粒、組織微細化により、従来材料の強度を10倍近く高めた高強度構造材料の開発に成功すると共に、新たな強靱化法を開拓するなどの優れた成果が得られている。原子間力顕微鏡、ナノフォトニクス等の原子レベルでの計測・加工技術等に関する研究においても大きい進展が認められ、これらはいずれも政府の分野指定と集中研究投資による効果が顕著に研究成果に現れた例である。

当分野の世界の中での日本の現在の水準、国際間の競合・協調、日本の特徴

カーボンナノファーバー等の炭素系ナノ物質に関しては、その研究が飯島博士の発明に端を發したという歴史的経緯もあり、基盤研究、応用研究共に世界をリードしている。超高压電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、光計測等のナノレベルの計測・加工技術、ナノレベル制御の構造材料分野についても基盤的研究においては絶えず世界的な研究の優位性を維持している。しかし、これら分野の応用展開においては、必ずしもその優位性が保たれているとは云いがたい。また、大型予算を必要とする計測機器、例えばわが国が世界の頂点を極めていた超高压電子顕微鏡について見れば、中国・韓国が新たな機器開発に大型予算を投入しており、その優位性を将来とも維持するのは困難な状況にあり、抜本的対策が必要とされる。論文発表数、特許取得等の推移を見ると、米国の大幅な伸びは別格としても、中国を初めとする東南アジアの伸び率は大きく、今後ともわが国が

基盤技術分野の優位性を維持するためには、更なる支援策が必要とされる。また、わが国の研究の特徴として、基盤的研究から応用への展開が充分とは云えず、これに対する新たな施策が必要である。

国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野の顕著な「動き」、についての政府の政策・産業動向

(米国) 2000年クリントン政権下において、次世代の国家戦略分野として、ナノテクノロジー分野を選定し、NNI(National Nanotech Initiative)を策定、2002年NNIレビュー委員会においてナノテク諮問委員会の創設等の提言、2003年にNRC評価を踏まえたNNI実施計画改定版の策定、2004年「21世紀ナノテクノロジー研究開発法案」制定するとともに、2005年度の米国ナノテク関連連邦予算として9億8千万ドルを投入にて基礎的研究から挑戦的研究までの広範な学際的研究を推進すると共に、共通研究施設の整備、ネットワークの構築、学際研究センターを設置すると共に、学際的教育も実施している。

(欧州) EU 全体の研究開発プログラムの第6次フレームワーク計画(FP6)において、ナノテク関連研究を重点的に支援することを決定。英国ではエレクトロニクス・通信、ドラッグデリバリーシステム、ヒト組織再生工学、ナオ材料、機器・計測、センサー・アクチュエータの重点6分野を決定、独国では連邦政府がナノテク R&D 資金投資を行うと共に、カールスルーエ研究センターを中心に24大学、国研、企業のネットワークを構築している。仏国では研究・産学協同開発計画支援として、「ナノ・サイエンス」研究省指導のプログラムと公共研究機関と産業界の共同開発プログラムが実施されている。

(韓国) 2001～2010年のナノテクノロジーマスタープランとして、研究開発、教育訓練、設備インフラを三本柱とする施策を決定。ナノ構造材料、ナノメカトロニクス・製造技術開発を推進している。

(中国) 2000年に国家ナノテクノロジー委員会を設置し、5年に焼く300億円の政府予算を投入すると共に、40ヶ所のナノテクノロジーセンターを設置することを決定。ナノカーボン材料、ナノ分析・評価技術開発を推進している。

(日本) 2001年第2期科学技術基本計画において、ナノテクノロジー・材料分野を重点分野に指定。2002年「戦略発掘戦略」策定、2003年「ナノテクノロジービジネス推進協議会」発足、2004年「ナノテクサミット」開催。基礎的・萌芽的研究、実用化・産業化を展望した研究開発、共通基盤技術開発、産学官連携、人材育成を主要ターゲットとして目標設定し集中投資している。なお、これらを研究機関・分野を超えた横断的かつ総合的支援としてナノテクノロジー総合支援プロジェクトを実施している。なお、ナノテクノロジー・材料を一分野として総合支援する諸外国にはない独自の研究推進体制をとっている。

2. 第3期基本計画の分野別推進戦略として重要な指針

今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割

ナノテクノロジーは、従来の特性、機能の延長線では実現し得ない未知の分野への挑戦・可能性を秘めた不連続な革新をもたらす技術であり、また、特定課題、特定分野にとどまらず、生命科学、情報通信、環境、エネルギーといった国民生活の向上、人類社会の持続的発展に直接関連する分野を相補的、融合的に支援し、そのブレークスルーを与える。この分野の新たな発見、機能の発現が直接数年で直ちに実用化、産業化を生み出す性格のものではないが、このナノテクノロジーが全ての科学分野の発展の基礎となる。その意味で、分野融合と階層性といった特徴を理解し、異分野からの要請、ニーズを取り入れ、単にナノと云う原子レベルのスケールに捉われることなく、その解決策を視野に入れた方向性、研究の出口を想定してのナノテクノロジー技術開発を推進すべきである。また、出口に近い、実用化、具体的解決策の要求されている異分野においては、新たなナノテクノロジー技術を取り入れ、試行する分野融合、研究の柔軟性が必要である。その意味で、従来の発想、予想を超える不連続な飛躍が期待される領域と、従来の技術あるいは既に得られたナノテクノロジーと既存の研究成果とを融合させることにより、実用化・社会の要請に応えるといった目標をスタート段階から明確化すべきである。

特性、機能の発現を重視した物質の研究に対し、材料の研究はその機能をいかに有効に利用し、応用するかを想定して研究を推進する必要がある。例えば、金属材料を強化すれば、必然的に変形能が失われ脆くなるのが常識である。この常識を打破し、実用に供する強靱な材料の開発の可能性がナノテクノロジーに求められる。また、実用に供するためには様々な特性を有する物質・材料を組み合わせ、接合する必要がある、その弱点を克服し利点を最大限発揮するための方策が必要である。わが国の材料関連の基礎研究は、絶えず世界をリードしているが、その具体的出口としての実用化、製品化といった点に注目すると必ずしも世界に対し優位性を保っているとは云いがたい。例えば、ジェットエンジンの主要な素材であるニッケル基超合金素材、金属系人工骨の素材の殆どは輸入に頼っている。新機能の発現、新しい物質の創製に力点を置き、材料研究の原点である応用展開、出口を想定しての研究が軽視された結果であり、物質偏重から本来の材料への転換が正に国民の期待に応え、理解を得る意味で重要となる。カーボンナノファイバーについて見れば、その優れた基礎研究、製造技術の開拓段階から、燃料電池、電界放出ディスプレイといった材料デバイスの応用段階に入っており、ナノテクノロジーを駆使しての物質から材料として展開し、具体的にノートパソコン、超小型携帯電話などの製品としてその成果が国民の理解が得られる段階になりつつある。研究のブレークスルーのみならず、基礎と応用、製品化の連携・繋ぎをナノテクノロジーは果たし得る。

「ナノテクノロジー・材料分野」において「成果の国民への還元」とは

ナノテクノロジーの多くは基礎研究であるが、その目標を設定しての研究の方向性を示し、国民の理解を得る必要がある。例えば、金属をナノサイズにすれば、溶融温度は低下する。この現象自体は基礎研究として価値あるが、成果の国民への還元にはほど遠い。しかし、ナノ粒子化による溶融温度の低下、表面活性は粒子間の接合を容易にし、半導体デバイスの配線のためのナノボンディングを容易にし、この段階において明らかに目に見える形で成果が国民に還元されると云える。その意味で、分野融合的研究、階層性を十分理解しての研究展開が必要である。

バイオマテリアルについて見ると特殊高分子足場を利用した細胞シートの作製は、角膜の再生を可能にしたすばらしい研究成果である。しかし、このような先端医療による臨床応用の恩恵に浴する人間は限定される。基礎科学としての価値があり、他の分野への波及効果がある階層性があるのか、単に話題性で終わるのかといった点を厳密に検証すべきであろう。わが国は、高齢化社会に突入し、国民は単に寿命が延びるのみでなく、五体満足で快適な生活を誰しも望んでいる。その意味で、骨折を未然に防ぐ医療、骨再建を容易にする人工骨等の医用デバイスの改善が求められている。金属を初めとする医用デバイス材料は既に実用化されており、不連続な飛躍、新規性といった観点からは程遠い。しかし、再手術を必要としない人工骨、再建手術は多くの国民が望み、その要望に応えることは成果の国民への還元である。骨はコラーゲンという有機質と無機質で生体アパタイトと呼ばれる直径数 nm、長さ数 10nm のナノ結晶からなる複合体である。従って、これに対応する人工骨側、とりわけ表面はナノテクノロジー・材料に立脚したアプローチが必要であり、その再生プロセス、修復度についての評価・検証についても従来の巨視的観点ではなく、ナノ結晶としての生体アパタイトに注目した計測がなされるべきで、これが国民の理解と成果の還元につながる。

「ナノテクノロジー・材料」の特徴を踏まえての研究推進の方向性

ナノテクノロジーは、あらゆる分野との融合の可能性、その基礎となり得る特徴を有している。物質段階における研究において、その応用・出口を想定しての目標設定、方向性を設けることは、あり意味で自由な発想、不連続な飛躍の芽を摘むことになる。一方、加工、計測、製造プロセスにおいては、その実現の時期を短期に設定する必要はないが、その応用、出口を想定した目標設定が不可欠である。単に寸法が原子レベルといった研究、技術開発では研究の進展と社会の要請に応えることはできない。また、材料について見れば、特性・機能の発現のみでなく、その応用展開を重視し、形状付与、アセンブリング、使用環境への対応性、その特性・信頼性評価技術をも含めた、統合的、連携的研究展開を図ることが、わが国の基礎研究の世界的な優位性を実用段階までの優位性に拡大することに繋がる。このように基礎

的にブレークスルーを期待するのか、出口を想定して研究する必要があるのかを明確に規定し、それにもっとも適したプロジェクト立案、分野設定、支援策を講ずるべきである。

「ナノテクノロジー・材料」を一分野として扱う効果を発揮するために何が重要か。

ナノテクノロジーは、あらゆる分野への展開の可能性を占めた基礎的な研究が主流であるが、学術、科学としての体系化は困難である。その意味では技術として提供され、他分野の応用展開がなされなければその価値を失う。新たな機能発現を目指す物質に関する研究は、必ずしも応用を想定してはいなく、自由な発想が新たな物質を生み出す。一方、材料は、その物質の機能・特性を最大限活かし、応用展開することを想定して研究を進める。その意味でナノテクノロジー・材料として一分野として研究目標を設定することは、幅広い入り口から目標を明確化した出口を絞り込んでの研究展開をより戦略的に行うという意味で、諸外国にはないわが国独自の優れた発想である。従って、その研究課題選定においても、ナノテクノロジーに力点を置くのか、材料に力点を置くのかを明確にし、その上で相補的な研究展開をする必要がある。

その研究企画、推進においても戦略的な異分野融合、連携が必要であり、分野・課題設定による公募方式の研究のみでなく、トップダウン的な課題設定とチーム編成、新たな研究推進体制も構築が必要とされる。

1. 現状把握として、以下の観点についてお答え下さい

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか？できるだけ具体例をもとにお答え下さい(複数回答可)。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含めて説明下さい。

- ・ ナノテクノロジー・材料という言葉から、ナノ材料(ナノ組織を有する材料)という研究分野が主に取り上げられてきた傾向がある。そもそも、金属系の材料は析出物などナノ組織を有するものがほとんどで、金属系材料の多くが対象となる資格があると考えられるが、社会へ新規性をアピールするために、ごく限られた研究分野が対象になってきたと判断される。換言すると、ナノテクノロジーサイエンスという視点での研究課題が特に重点的に推進された感があり、その点は評価に値するが、社会基盤としての産業を支援するような研究課題は十分ではなかったと分析される。例えば、カーボンナノチューブ、二酸化チタン触媒などの機能材料分野が取りあげられているが、件数は少ない。将来にわたって重要である基盤産業としての鉄鋼や非鉄金属など素材分野に対するテーマがさらに少なかった印象が強い。

当分野の世界の中での日本の現在の水準、ここ数年の推移、国際間の競合・協調の位置付けや、日本の強み・弱みなどの特徴についてお答え下さい。

- ・ 材料分野の研究開発は、基礎研究から応用研究までの研究水準、技術力、産業競争力のどれをとっても世界のトップレベルに位置している。しかし、これまで日本経済を支えてきた汎用材料・部材などについては、コスト的な面で競争力を失いつつあり、より高付加価値の部材開発が求められる傾向にある。

国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野において、注目すべきとお考えになる、この5年間の顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含めてお答え下さい。

- ・ 現在、BRICS諸国などは豊富な資源・エネルギー、人的資源を保有するなど有利な立場を利用して、益々発展するものと予想される。我が国は資源・エネルギーを海外に依存することから、基本的には頭脳資源をベースとした貿易立国でしか生きていく方途がない。また、対先進工業国とも激しい競争を行っており、我が国として、競争力を維持、向上させるためには、より付加価値が高く、他国が追従できない材料・部材の研究開発を今まで以上に推進することが必須である。

2. 1での現状把握をできるだけ踏まえた上で、第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について、例えば下に挙げた観点を例に、お答え下さい。

今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の動向、もしくは、今後の日本社会や国際的な状況が変化していく中で「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割、もしくはその変遷について。

- ・ 今後の我国の自動車や電気などの産業の隆盛を維持するためには、既存の材料では限界であり、飛躍的に向上した材料特性を有する材料・部材開発、新機能を発現する材料開発などの革新的材料の開発がキーになるであろう。革新的材料開発に成功することが、新デバイス、高機能な新製品が生み出す原動力となる。このような革新的材料開発は、リスクであり、研究者に敬遠されがちであるが、国策として推進することが重要である。革新的材料開発の一手段としてのナノテクノロジーは重要である。

現在策定中である第3期基本計画においては、「成果の国民への還元」を基本的な考え方に据えられているが、「ナノテクノロジー・材料」分野において、「成果の国民への還元」とは？

- ・ 「ナノテクノロジー・材料」分野の研究成果が、目に見える形で国民へ還元されるためには、ある一定の期間が必要である。材料は、社会の製品の最も見え難い階層に位置する所以である。したがって「成果の国民への還元」という視点から研究成果を分類すると、短期的な研究課題についての成果が部材やデバイスとして製品に還元されるものと、さらに研究成果が製品として還元されるに長期間を要するものとに分類される。特に、長期間を要する基礎研究に分類される研究の成果は国民からは認識され難い。このような基礎研究の成果について、国民に理解を求めるためには、基礎研究の成果が、過去の応用に繋がった事例を積極的に調査、リストアップし、国民が将来享受するであろう利益について理解を求めることが肝心である。

「ナノテクノロジー・材料」分野の特徴として、当分野が

- ・「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」
- ・「日本の経済・産業を支える基盤」であったり、また、当分野の持つ性格として
- ・「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」

などがあげられるが、それらの特徴に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性を、どのように考え、またどのように推進していくべきかについて。

- ・ 材料分野は、「ライフサイエンス」「情報通信」「環境」「エネルギー」などの重要分野を横断的に根底で支える基盤的役割を担う科学技術としての位置づけである。また、社会問題である省エネルギー、省資源、地球環境保全、安心安全社会の構築などについても、材料は問題解決のためのキーテクノロジーである。
- ・ 材料開発の場合、新材料の開発とその製品への応用・実用には常に時間差がある。したがって、

現在の産業競争力を継続的に維持するためには、10～20年後の産業力の先陣となる革新的な材料・部材研究に加え、基礎研究・基幹研究と言った研究に対する継続的な投資が重要である。

- ・ 具体的に研究課題を設定する一方法として、産業界などから将来必要な材料開発テーマを募集し、国策として推進する材料分野を絞り込む。出来るだけ多くの研究者に実施を促し、途中の成果でさらに絞り込み、投資効果を上げる方策などが考えられる。

我が国は他国と違い「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野で取り扱うが、このような取扱を活かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要になり、またどのように推進していくべきか？

- ・ 材料分野において、革新的材料開発やプロセス開発が重要であるという共通認識があり、また、ナノテクノロジーにおいても、新機能や新現象の発現、新デバイス作製、新産業創出などを掲げている。次期のナノテクノロジー・材料分野においては、新機能発現、新現象の発見、新プロセス製造技術開発、新産業創出などを共通のキーワードとして掲げて、連携することが一つの方向として考えられる。

平成17年12月5日

「分野推進戦略のPTの質問」への回答

新日本製鉄株

奥村直樹

1. 現状把握として、以下の観点についてお答え下さい

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか？できるだけ具体例をもとにお答え下さい(複数回答可)。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含めて説明下さい。

【回答】

- 「ナノテクノロジー・材料」分野の中で、専門である鉄鋼および鉄鋼の周辺技術について、最近5年間の技術の進歩について述べます。鉄鋼に関する技術を大別すると、新たな製品に関する商品開発とその製品をつくり出すプロセス技術に分けられます。これらの概況と研究開発に際しての国の関与について述べます。

(1) 商品開発の動向、進展

商品開発は鉄鋼の需要家のニーズに基づく研究開発が基本ですが、最近では特に自動車の軽量化や衝突安全性の向上、造船の疲労や耐食性の向上、環境調和型の高付加価値商品の研究開発が推進されています。

(具体例)

- ・ プレス成形性と溶接性に優れた高強度鋼板(ハイテン)
- ・ 防食性能に優れた耐候性鋼板
- ・ クロムや鉛を含有しないで優れた耐食性を有する表面処理鋼板
- ・ 高い抗菌性、放熱性、光反射性を有する表面処理鋼板

(2) プロセス開発

これらの商品を作る製造プロセスに関しては、資源対応技術やより生産性の向上を図る技術とともに、省エネルギー、環境重視型のプロセス開発や環境対応型のリサイクル技術が進展しています。

(具体例)

- ・ 回転炉床炉式の高水分スラジ再資源化技術(含有する鉄分等の再資源化)
- ・ 製鉄インフラを利用した廃タイヤのリサイクル、廃プラスチックの再資源化技術
- ・ 粉鉱石と炭材から直接粒鉄を製造する回転炉床炉式の新還元溶解製鉄法
- ・ 製鉄所廃熱を利用した低コスト型CO₂分離回収技術

(3) これらの、商品開発やプロセス開発において、CO₂問題を含む環境・エネルギー対策や商品の高機能化・高付加価値化の基盤となる要素技術の開発には、国家プロジェクト

トとして国レベルの開発が推進されています。

(具体例)

- ・次世代の高効率で環境重視型のコークス炉(略称:SCOPE21)の実用化検討
- ・ナノメタル、超微細粒鋼(スーパーメタル)等の新材料開発
- ・革新的構造材料による新構造システム建築～府省連携プロジェクトとして推進中
- ・コークス炉ガス(COG)からの水素製造技術

- 第2期科学技術基本計画における「ナノテクノロジー・材料」分野の分野別推進戦略では次の5領域を重点領域としてきましたが、上述したように、特に、「環境保全・エネルギー利用高度化材料」、「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」、「革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術」の3領域について、研究開発段階および実用化推進に向けた「進歩」がありました。

- ・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、ナノバイオ
- ・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
- ・革新的な物性、機能を付与するための物質・材料技術

当分野の世界の中での日本の現在の水準、ここ数年の推移、国際間の競合・協調の位置付けや、日本の強み・弱みなどの特徴についてお答え下さい。

【回答】

- 鉄鋼分野の世界の中での日本の現在の水準について
- ・国別の粗鋼生産推移を長期的にみると、約20年以前には世界のトップであった米国、旧ソ連の生産量が漸次減少している一方で、我が国は年間約1億トン規模の生産を概ね維持しています。直近では中国の生産量が大幅な伸びを示し05年には3億トン/年の規模になるものと想定されていますが、品質的にはまだ汎用品が多く、高機能品では我が国の競争力が優位にあります。
 - ・しかしながら、中国をはじめ韓国等の近隣諸国も高機能品の研究開発を鋭意推進しており、我が国も国際的な競争力維持のために一層の高機能化に向けた研究開発を推進する必要があります。
- 鉄鋼分野の国際間の競合・協調の位置付け
- ・鉄鋼業では、数年前より世界的な合併・再編が進み、昨年LMNとイスパットインターナショナルの2社を統合したミッタールスチール(粗鋼生産量:約5500万t規模)の誕生をはじめ、国内でも、03年にJFEスチールが発足する等の大きな動きがありました。一方で、国内及び国際的なアライアンスも進展してグループ化が進み、まさに競合と協調が同時進行する状況となっています。
- 日本の強み・弱みなどの特徴

- ・鉄鋼業の場合には、自動車産業等の需要家との、所謂「摺り合わせ」によって商品の高品質・高機能化に磨きをかけており、これらの技術が人材、設備技術に蓄積されている点が強みといえます。同時に、鉄鋼を使用した商品である自動車や電機等の国際的な競争力確保に貢献しているものと思います。
- ・一方で、鉄鋼製品を作り出すための、原料(鉄鉱石、石炭等)は全て海外へ依存しており、必要なエネルギーについても我が国の自給率が20%程度であるように、工業生産を営むための基本的な原料、エネルギーを海外依存している点が大きな弱点と言えます。しかも、中国に見られるように、資源・原料を国内で政策的に高付加価値化する国が増えている点も見逃せません。

国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野において、注目すべきとお考えになる、この5年間の顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含めてお答え下さい。

【回答】

➤ 鉄鋼および鉄鋼周辺分野の顕著な動向について

- ・ 中国市場の台頭:中国市場は、以前より徐々に拡大しており、2000年頃までは年率約250万t程度の伸びであったが、最近の数年では年率約3000万tという驚異的な経済成長を示しており、2005年には3億トン/年を超過する見込みです。
- ・ 資源問題の顕在化:この中国市場の拡大に伴い、中国自身も原料輸入国となって他国から原料を輸入するようになり、鉄鉱石、石炭等の鉄鋼原料が逼迫して、元々資源の劣質化が進む中で、量的にも憂慮すべき状況にあります。
- ・ 地球温暖化対策の本格化:京都議定書に関して、鉄鋼業界は自主行動計画を打ち出し、業界として省エネに積極的に取組み成果を上げてきましたが、還元剤として石炭を使用する鉄鋼業ではCO2問題は重要な課題であり、引き続き取組みを行っていきます。また、中国の鉄鋼生産時のエネルギー原単位は我が国の約1.3~1.5倍の水準であり、全世界的な見地から、より効率的な資源の使い方や環境面での国際協調を達成していく必要があります。
- ・ 前述しましたが、鉄鋼業界の再編、国際的なアライアンス関係も新たな動向として注目する必要があります。
- ・ 鉄鋼業の需要家である自動車産業は国際的な市場の動向に対応して、現地での生産体制を強化する動きが顕著であり、素材を供給する鉄鋼メーカーとしての国際的な事業展開が重要となっています。

2. 1での現状把握をできるだけ踏まえた上で、第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について、例えば下に挙げた観点を例に、お答え下さい。

今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の動向、もしくは、今後の日本社会や国際的な状況が変化していく中で「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割、もしくはその変遷について。

【回答】

- 鉄鋼分野では、今後も一層、中国やインド等の新興市場の拡大が予想される中、我が国の弱点である資源、エネルギーの余裕は更に減少していくものと考えられます。これらの原資を安定的に輸入し調達していくためには、優れた高付加価値商品の輸出によって国際的な優位性を保持することが必須となります。この優れた高付加価値商品を生み出すためには、先ず優れた「材料」を限られた資源・エネルギーを有効に使うって開発することが極めて重要であり、ナノテクノロジー・材料分野の果たすべき役割は、正にこの点にあると考えます。

現在策定中である第3期基本計画においては、「成果の国民への還元」を基本的な考え方に据えられているが、「ナノテクノロジー・材料」分野において、「成果の国民への還元」とは？

【回答】

- 鉄鋼および鉄鋼周辺技術の進歩による直接的な効果
 - ・ 鉄の弱点(重量、腐食、疲労、磨耗、…)の克服により、自動車の軽量化、衝突安全性の向上、安全な橋梁、建築物等の実現、高効率の電気機器等の普及が図られ、国民生活の利便性が向上します。
 - ・ また、鉄の製造プロセスがより柔軟に効率的になれば、鉄鋼生産時のエネルギー消費も少なく、CO₂等の温暖化ガスの排出も軽減されて、地球温暖化防止という観点で国民生活に還元されます。
- 「成果の国民への還元」について
 - ・ このような、直接的な効果を通じて、政府が目指す安心・安全で、少子・高齢化に適した社会の形成に寄与することができます。また、このような国際競争力のある高付加価値型の産業を強化することにより、雇用機会を拡大することに繋がります。

「ナノテクノロジー・材料」分野の特徴として、当分野が

- ・ 「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」
- ・ 「日本の経済・産業を支える基盤」であったり、また、当分野の持つ性格として
- ・ 「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」

などがあげられるが、それらの特徴に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性を、どのように考え、またどのように推進していくべきかについて。

【回答】

- 以前より、日本鉄鋼協会や経済産業省にて、鉄鋼業界として、あるいは政府が支援すべき研究開発課題を所謂「鉄鋼技術戦略マップ」として検討してきましたが、これらの検討では、各企業が競争的に研究開発を行う前段階の共通事項、あるいは基盤的な課題に、政府は重点的に予算配分すべきであるとの検討結果となりました。詳細の個別の課題は省略しますが、視点としては、以下に示すような内容です。
 - ・ 資源対応力
 - ・ 環境対応力

- ・ 生産高効率化のための基礎技術
- ・ 高品質・高機能化の基礎技術

我が国は他国と違い「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野で取り扱うが、このような取扱を活かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要になり、またどのように推進していくべきか？

【回答】

- 他国でも重要としている「ナノテクノロジー」に加えて、前述しましたように資源・エネルギー自給率の低い我が国の宿命として、国際競争力のある高付加価値商品を生み出す源泉としての「材料」技術が極めて重要です。「ナノテクノロジー」は、「材料」の研究開発のひとつの視点であり、半導体や電子デバイス分野での微細加工技術や組立て技術としての応用だけでなく、新たな「材料」を分子・原子・組織レベルで原理を解明し新機能を付与していくという意味で、「材料」分野にも充分活かされるように、これらが一体となった「ナノテクノロジー・材料」分野の推進が一層重要と考えます。

1. 現状把握として、以下の観点についてお答え下さい

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか？できるだけ具体例をもとにお答え下さい(複数回答可)。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含めて説明下さい。

ナノバイオテクノロジーの分野では、DDS、分子イメージング、医療用デバイスが進展したことに伴い、ナノメディシン(ナノ医療)という言葉が、広く普及してきた。

ナノテクノロジー・材料を重点分野とした国の科学技術政策が、この進展に大きく貢献したものと考えられる。

また、特に医療機器の分野で、産官学連携が大きく進んだことは、特筆される。METIS(医療技術産業戦略コンソーシアム)は、その代表的なものである。

当分野の世界の中での日本の現在の水準、ここ数年の推移、国際間の競合・協調の位置付けや、日本の強み・弱みなどの特徴についてお答え下さい。

ナノとバイオの融合領域に関しては、欧米に遅れをとった。しかしながら、ドラッグデリバリーシステム、SNOM やレーザーラマン顕微鏡などのイメージング機器、イメージング用蛍光プローブの開発やCNTの利用など材料の領域で一定の強みが認められ、これらのシナジーによる他の領域の開発の加速が期待される。

米国においては、大学の技術を基にしたベンチャーが数多く存在し、コンセプトを確認した後に大手の会社に権利を売却するという、技術移転の流れが確立されているが、日本ではこの動きが漸く出てきたところである。基礎技術の大学から民間への技術移転、大学での基礎技術の民間への移転意欲の強化が望まれる。

国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野において、注目すべきとお考えになる、この5年間の顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含めてお答え下さい。

米国:2000年のナショナル・ナノテクノロジー・イニシアティブ(NNI)以降、2003年の21世紀ナノテクノロジー研究開発法、2004年の同法に基づく戦略計画において、ナノテク政策を強化。

欧州:2002年の第六次フレームワーク計画においてナノテク予算を拡大。

日本:2001年の第二期科学技術基本計画においてナノテクノロジー・材料分野が重点分野として位置づけられた。

2. 1での現状把握をできるだけ踏まえた上で、第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について、例えば下に挙げた観点を例に、お答え下さい。

今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の動向、もしくは、今後の日本社会や国際的な状況が変化し

ていく中で「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割、もしくはその変遷について。

現在策定中である第3期基本計画においては、「成果の国民への還元」を基本的な考え方に据えられているが、「ナノテクノロジー・材料」分野において、「成果の国民への還元」とは？

「ナノテクノロジー・材料」分野の特徴として、当分野が

- ・「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」
- ・「日本の経済・産業を支える基盤」であったり、また、当分野の持つ性格として
- ・「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」

などがあげられるが、それらの特徴に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性を、どのように考え、またどのように推進していくべきかについて。

我が国は他国と違い「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野で取り扱うが、このような取扱を活かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要になり、またどのように推進していくべきか？

ナノ材料は、我が国の産業を支える基盤技術であるが、最終製品として一般の目に直接触れる機会が少ない場合が多く、それだけに成果が還元されていると国民に意識され、認知されるためには、明瞭なロードマップとメリットを示すことが必要である。

一方、最近のアスベストの例にみられるように、新しい材料に対する国民の潜在的不安が高まっている点に配慮する必要がある。例えば、ナノ粒子の健康や社会への影響に関する国家的なプロジェクト発足の点で、日本は欧米に後塵を拝した。今後は国際的な標準化の観点も入れた影響評価手法の確立でリーダーシップをとる必要がある。

ナノテクノロジーによってどのようなメリットを国民が享受できるようになるのか、その際に想定されるリスクは何か、これに対するヘッジ方法は、など国民が納得できる言葉で語られることが重要と考える。

(総合科学技術会議 ナノテクノロジー・材料分野推進戦略 PT0501)

住友化学 河内哲

ナノテクノロジー・材料分野推進戦略 PT (第1回) 質問回答

(主として、材料の分野について記す)

質問1 現状把握

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野でどのような進歩があったか。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含め

以前、材料検討会でも記したが、材料・部材産業は、あらゆる産業分野の共通基盤をなしており、安全、便利、高信頼、安い、など等、豊かな生活を得るための製品、技術には、材料の開発が必ず関係している。経済産業省化学課によれば、材料部材産業は付加価値額2.5兆円を占め、中でも化学産業は付加価値額1.6兆円を創出しており、我が国製造業のトップを占めている。化学産業がこのような地位を占めるようになったのは、この5年の間である。これは、個々の需要家との間で、激しい競争下、地道なソリューション提供を行った結果であると思われる。国の関与としては、本分野には、4.5%しか投入されていないが、我が国産業競争力の維持・拡大の観点から、今後拡大すべきと考える。既に議論しているように、革新的な材料開発においては、なかなか成果が出てこないように見える基礎研究が重要であることから、基礎研究を重視した関与が重要と考える。

進歩の具体例としては、数多くある中で、思いついたものを下記する。

- ・燃料電池 (FC) 自動車、携帯用燃料電池等、燃料電池関連の材料開発が大きく進展した。固体高分子型については、国の関与は極最近になってから行なわれている。例えば、NEDO プロジェクトでは、大枠の分野指定の下、大学等への基礎研究分野も含め、広くテーマを募集する方式が採用されており、国の関与の在り方として参考になる。
- ・地球環境負荷を最小化させる製造プロセスの開発を目指したグリーン・サステナブル・ケミストリー (GSC) の動きに進展があった。国の指導の下で、3極 (日本、米、欧) での取り組みが開始された。
- ・白色 LED 材料の開発により、低消費電力、長寿命の照明機器が出現した。直接的には国の関与はないと思われる。
- ・各種薄型ディスプレイ (プラズマ・ディスプレイ、液晶ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ他) が、関連材料・部材開発にも支えられ、大幅に普及し出した。最近、先端加工・部材開発に国の支援が行なわれている。我が国の強い分野をさらに強くする上で意味がある。

当分野での日本の水準、位置付け、強み・弱みなど

- ・ナノテクを含め材料分野の技術力としては、世界のトップレベルを維持している。材料分野は自動車、IT 等の産業分野を支えており、当該分野との擦り合せを含め、総合力で強みを有

し、国際競争力の源泉となっている。従い、それらをさらに強化することが重要であり、垂直連携強化等で国のサポートが望まれる。

- ・一方、最近の、大人口を抱える中国等の発展により、資源不足問題が急浮上している。日本は、資源のない国であり、資源確保の不安定性は日本の弱みとなっている。資源保有国との協調による資源確保の重要性が増大している。

5年間の注目すべき顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含め

- ・上記したが、原油価格高騰、希少資源の枯渇問題の浮上が注目される顕著な「動き」である。如何に安定的に資源を確保するかについての政府の政策が喫緊の重要課題ではないか考える。
- ・ナノテク、特にナノ粒子の安全性に関する懸念が表明され、社会に及ぼす影響を事前に評価しようとする動きが顕著となっている。

質問2 本分野推進戦略として重要な指針について

当分野の果す役割

- ・あらゆる産業の基盤となる当分野は、価値創造型もの作り国家を形作る上で、重要であり、日本の強みを将来にわたり維持する為の役割を果す。
- ・上記した、最近の国際的状況としての、資源不足問題についても、当分野の研究開発により克服すべき面も有し、その役割は大きい。

「成果の国民への還元とは」

- ・当分野の研究開発を行なうことにより、日本の産業競争力が維持拡大でき、「国民がより豊かな生活」ができることであると言える。研究開発を怠ることにより、産業競争力を失い、日本が衰退国家になれば、国民に豊かな生活を保障できなくなることを強調すべきである。

当分野の特徴（「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」、「日本の経済・産業を支える基盤」、「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」）に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性とは、またどのように推進していくべきかについて

- ・当分野において、汎用分野は発展途上国の追い上げが激しく、我が国として産業競争力を確保するためには、より付加価値が高く、他国が追随できない材料・部材の研究開発を今まで以上に取り組む必要がある。

しかし、当分野の特徴として、付加価値の高い材料・部材を開発するためには、必ずしも成功するとは限らない基礎研究を長期にわたり継続しなければならない上に、基礎研究の成果が得られたとして、その成果が実用化されるまでには、長い時間と多額の費用が必要である。当分野の研究開発には、このように高いリスクが伴っており、国の重点的な予算配分が必要である。

- ・国の関与の仕方としては、先に質問1の のところで記したが、国として注力すべき重要分野を指定した後は、投資効果の最大化を図る観点から、広く学を含めた民間の創意工夫をテーマ募集する方式の活用を拡充すべきと考える

我が国は「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野として取扱うが、このような取扱を活かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要か、またどのように推進していくべきか？

- ・最近のナノテク技術（分析、計測技術、加工、機能シミュレーション他）の発達により、従来はブラックボックス的であった“ナノ領域”の解析・制御が可能となりつつあり、材料の機能・特性発現のメカニズムが判るようになってきた。

材料開発においては、元々、原子、分子の制御を行なうものであるが、得られた材料の機能や特性は、ナノ領域で発現されている。

このことは、ナノテクノロジーを活用・駆使し、各種材料・触媒の機能発現メカニズム等について、原理・原則に基づき、突き詰めた基礎研究を行ない、そこで得られた機能発現メカニズムを革新的な新規材料開発に生かしていくことが重要であると考えます。

以上

1. 現状把握について

- ・ 我が国もナノテクの研究・開発では重点化により、十分に成果を挙げているが、それ以上に各国が力を入れているのが現状である。
- ・ ナノサイエンスは進展しているが、個々の研究が点として優れているが、面として構成されているとはいえない。
- ・ ナノテク分野における高等教育と研究のリンクは今ひとつといえる。

2. 第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について

- ・ 夢多く、我が国の将来を左右する分野である事を強調すべきである。
- ・ 研究開発の推進方法については最先端の機器が必要な領域である。そのためには共用施設が不可避といえる。しっかりした拠点形成を進めねばならない。
- ・ 国際的なネットワークの構築も欠かせない。今一度拠点形成、ネットワークの観点から全体を俯瞰して省庁、産学官、基礎・応用、分野融合の推進体制を確立する必要がある。その際、最先端のナノ・ファンダリの設立が各分野で必要となる。
- ・ ナノテクノロジーのためのツール、それにより出来た構造、システム、その統合化等の観点からも計画全体を見直す必要がある。
- ・ ナノテクと材料の関係が曖昧である。ナノテクを活用した材料開発の視点が必要であろう。
- ・ 全体に、用途・機能からの議論が多いが、材料名が含まれた具体的な研究課題の設定も求められる。

「ナノテクノロジー・材料」分野

JST-CRDS, AIST 田中 一宣

1. 現状把握

(1) 5年間の進歩と国の関与(日本中心に)

強相関系材料(酸化物、有機材料)、ナノ構造体(C_{60} 、CNT、ナノホーン、高分子、デンドリマー)、およびその製法(CNTの高純度・高速成長)などについて基礎研究の進展著しい。

デバイスではスピndeバイス、光デバイスの健斗など。

ナノテク支援共用施設の好評。2004年のユーザー数、800を超える。ナノテク人口の裾野拡大に貢献

ナノテク技術の社会受容に関する国際対応と関連国内プロジェクトスタート

(2005年度)

ナノテク標準化に向けた国内体制が整う(2004～2005年)。

以上は、いずれも国の関与が大きい。

(2) 世界の中での日本。強み・弱み。

材料、(ナノ構造材含む)、加工プロセス・IT デバイスは総じて日本が強い。しかし、出口に持っていくプロセスあるいはシステム化において大きな弱点(制度も含め)。基礎研究においてもシステムの思考の弱さが見られ、例えばボトムアップ型プロセスによるナノシステム作製の試みや高速化については戦略的なアプローチが欠如。米国に大きく水をあけられている。

ナノ計測・加工のための共用施設やナノファブセンター建設は、連携・融合促進の場、研究開発の加速、中小企業参加による裾野拡大、のためのインフラとして極めて重要。ナノテクノロジー総合支援プロジェクトの効果は大きい。米国(NNINやNCN)、韓国(ナノテク投資の20%)、台湾(~20%)、EU(MINATEC)に比較して投資戦略が貧弱である。

グローバル経済活動の中で無視し得なくなったナノテク技術社会受容への対策。米台欧(特に英)が国レベルで先行して取り組み。日本は、この1年、評価法の標準化研究も含めて急追。国際的には、数10カ国の参加による対話がスタートしている。

標準化にかけて米国はインフラを構築(ANSI・NSP、NIST)。日本もISOのナノテク標準において、「計測・評価」ワーキンググループの議長国。この1年余の積極策が功を奏している。

(3)この5年間の注目すべき「動き」

世界各国の政府投資は5年間で6、7倍で、2004年度、約5千億円。民間投資を含めて年間投資額は1兆円を超える。日本は最高レベルの投資。

米国は、研究・開発への直接投資だけでなく、ナノテク分野を中長期的な視野で促進するための異分野融合促進策(共用設備センター等のインフラ構築、ナノサイエンスやナノテクノロジーを中心とした初等教育から大学学部卒までの一貫教育システム構築、技術の社会受容など)を戦略として推進。EUも社会受容、市民啓蒙、教育システムに熱心だが、今後は、知識ベースの新製造技術にも力点。台湾は、米国の戦略ソフトを直輸入。韓国はナノファブセンター(2棟完成、3棟追加建設予定)の戦略的な充実を図り、人材育成にも力点。中国は、CNTなどナノ構造体を中心とした基礎研究で急激に台頭。

一方、日本は中長期を見越したナノテク融合関連推進策の構築に難点あり。しかし、各省連携の動きとして府省連携プロジェクト、連携施策群が生まれたことは効果がまだとしても評価できる。

ナノテク標準化、ナノテク技術の社会受容がこの1~2年、グローバルスケールで議論され始め、各国の合従連衡、遠交近攻が国際戦略として進行中である。

2. 第3期基本計画の分野別推進戦略における重要指針

(1)当分野の果たす役割

技術的には、

トップダウン型とボトムアップ型を融合したナノテク技術を利用する環境適合・省エネ型の新製造技術

ナノバイオテクノロジーを中心としたナノ医療技術

先端ナノテクノロジーを利用したエネルギー技術、食品技術

への貢献が期待される。

さらに重要な別の役割を指摘したい。

変化の早いグローバル化の時代に要求される絶対要件は、人としても組織(政府含む)としても俯瞰視野とそれをベースとする戦略策定能力である。全ての学術分野、産業分野を横断する融合基盤分野としてのナノテクノロジーにおいては、技術や社会全体の俯瞰能力が要求されるので、この分野の役割としては、社会にマッチした新しい産業を生み出すことを主眼としつつも、その過程における人や行政機関の俯瞰機能、戦略策定機能の涵養にいっそう注力すべきである。

(2) 成果の国民への還元

ナノテクノロジー材料分野の成果は、
ナノテク材料をベースとした社会経済的価値の高い新産業分野の創出、
今後の社会に適合した革新的な環境技術や省エネ技術の実現、
発明と洞察の交点で生まれるイノベーション誘出の実例提示、
を通して国民へ還元されるべきである。

(3) 当分野への重点的な予算配分の必要性

当分野が「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」、「日本経済産業を支える基盤」として期待されるのは、ひとえに、既存の科学技術や産業を横断する学術融合・技術融合分野であることによる。異なる学術分野や技術分野の融合には時間がかかり技術全体を俯瞰し再構築する能力も要求されるから、「成果につながるまでには時間がかかる」のは当然のことである。つまり、「ナノテクノロジー材料」分野を推進するためには、

人の俯瞰視野養成、国の戦略策定機能の養成、
融合・連携促進策の構築
中長期視点での戦略策定と柔軟なファンディングシステム構築

が不可欠である。これらは、「タコツボ思考」、「タテ割り構造」、「キャッチアップ」とは対極にある目標である。したがって、国の予算配分の重点は、研究開発への直接投資と同等あるいはそれ以上に、
、
に重点をおく必要がある。米国では、7つの Program Component Areas (PCA) の中に「計測機器を統合した共用施設センター」、「計測・標準化」や「社会的課題(社会受容、倫理など)」が含まれていて、それらへの配分割合が戦略の数値的表現になっている。

日本では、中長期的に連携・融合を促進する共用施設などのインフラ投資、教育システム構築は欧米や一部のアジア諸国にも遅れをとって、重点施策としての体制を再整備する必要がある。「社会受容」、「標準化」の必要性は言うに及ばず。

(4) ナノテクノロジー・材料として一つの分野で扱うことの意味と重要性

「ナノテクノロジー」・「材料」をセットとして扱うことの違和感はそれほど大きくない。「材料」における多くの課題はナノサイエンスやナノ構造材料にあり、また、「ナノテクノロジー」の最

先端の課題は材料の問題に還元されることが多い。いずれにしても、お互いのニーズをより強く意識しながら推進されることのメリットは大きいと判断される。EUのFP7(2007～2013)における重点課題は、「ナノテクノロジー」、「材料」、「新生産技術」が上げられていて、これらは、日本の「ナノテクノロジー・材料」分野とほとんどオーバーラップしている。

利点を生かして以下のような基本方針が今後の重要戦略に含まれるべきと考える。

目標機能を達成する新材料設計法・探索法の確立。解析的手法はなく逆問題を解く困難さがあるので、理論、シミュレーション、データベース、高速実験手法などを駆使して異分野を俯瞰し、総合的・システムの的に攻めることが不可欠。

ボトムアップとトップダウンを融合した省エネでハイスループットのナノテク製造技術の確立。特にすべての要素技術を俯瞰し、統合(シンセシス)してシステムとしての機能を重視するシナリオが必要。

ナノテクと材料の接点としての広義の界面技術(有機/無機、生体/人工物、固液界面など)の確立。ナノテク・材料の基礎と応用ニーズの接点でもある。

上記の基盤である計測標準、物質標準に関する国際戦略。

以上を効率的に推進するための研究インフラおよび推進システムの構築。具体的には異分野の効率的融合や基礎と応用の垂直統合を促進するためのセンター(拠点・建物)の設立、連携施策群におけるコーディネータ権限の強化、柔軟なファンディングシステムの構築。

以上

土屋 了介

・ 現状把握として、以下の観点についてお答え下さい

1. この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか？できるだけ具体例をもとにお答え下さい(複数回答可)。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含めて説明下さい。

1) ドラッグデリバリーシステム(DDS)におけるナノテクノロジー

がん治療におけるDDSはナノテクノロジーの本幹ともいえるべきものである。各種抗がん剤(ドキシソルピシン、タキソール、シスプラチン、SN-38)内包高分子ミセルは(数10ナノメートルサイズ)は基礎研究を経てすでに臨床試験へ突入している。前臨床および臨床試験遂行にあたり一部文部科学省や厚生労働省の研究費のサポートを得ている。

リポソーム(約100ナノメートルサイズ)は欧米を中心に開発が進み、ドキシソルピシン内包PEGリポソームである doxil などすでに許可されたものもある。現在日本国内認可のための治験が行われている段階である。日本国としてのこの薬剤の開発に対する関与はない。

2) 画像診断におけるドラッグターゲティング

この5年間に於いて、特に微少がん検出の為のドラッグターゲティング技術の開発がアメリカを中心に行われてきた。これは分子標的の原理によってMRIやPETで画像化することの研究が進展している。1980年代から固形がん組織の特性を利用したMRI造影剤がある。この2年間では従来の高分子化MRI造影剤の循環血液にも高い画像コントラストを与える欠点を改良した高分子ミセル型MRI造影剤の研究が注目される。

2. 当分野の世界の中での日本の現在の水準、ここ数年の推移、国際間の競争・協調の位置付けや、日本の強み・弱みなどの特徴についてお答え下さい。

リポソーム製剤技術においては、日本は世界と肩を並べるレベルではあるが、臨床開発では完全に遅れをとっている。高分子ミセルシステムは、日本発の技術である。臨床開発も日本がリードして世界展開していくべきと考える。アメリカやインド、韓国も開発を目指しているが、それは非水溶性抗がん剤の単なる可溶化技術としてのみ用いようとしているのに対し、日本では可溶化に加えて、固形がんへのターゲティング能を持たせる製剤となっている。問題は海外は臨床開発のスピードが速いことであり、日本のミセル製剤は明らかに質が高いとはいえ、臨床での開発が遅れれば二番煎じの印象を与える恐れがあることが危惧される。

3. 国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野において、注目すべきとお考えになる、この5年間の顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含めてお答え下さい。

2004年7月米国 National Cancer Institute が Cancer Nanotechnology Plan を発表した。ナノテクノロジーで2015年までにがんを撲滅するというスローガン(これは恐らく政治的な発言があるうが)のもと3年と5年計画に分けたプランで予算配分も医学、工学、薬学にわたるが臨床医学を含めているところに意義がある。個々のものでは米国を中心に前述した Doxil やアブラキサン(アルブミンコート タキソール) PEG-インターフェロンPEG-エリスロポエチンなどナノテク技術に立脚したDDS製剤が米国FDAにて次々に許可されてきている。

での現状把握をできるだけ踏まえた上で、第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について、例えば下に挙げた観点为例に、お答え下さい。

1. 今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の動向、もしくは、今後の日本社会や国際的な状況が変化していく中で「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割、もしくはその変遷について。

この10年間がん治療の分野を席卷した分子標的剤の位置付けがおおよそみえてきた。「夢の薬、分子標的剤」であったはずであるが、がんを治療することにおいてはそれほどがんは甘くはなかった。即ちある特殊ながんGISTや慢性骨髄性白血病などを除くと分子標的剤は抗がん剤の補助的役割しかないことが臨床の現場では明らかになりつつある。がんは単一遺伝子病ではないことを考えるとそれは理解できる。従ってがん治療の分野では、ナノテクノロジーを使うDDSの技術を抗がん剤や遺伝子、そして分子標的剤にさえにも利用し、それらの効力を上げ、毒性を減弱させる工夫が益々重要となる。

2. 現在策定中である第3期基本計画においては、「成果の国民への還元」を基本的な考え方に据えられているが、「ナノテクノロジー・材料」分野において、「成果の国民への還元」とは？

【近い将来】DDS製剤は1回の投与で長く効力を発揮することが期待されている。また安全性も高めることが可能であるので、入院治療から外来治療へ、また通院回数を減らすなど患者のQOLを慮った治療を提供できるようになる。

【究極の目標】がんにのみ毒性のある抗がん剤をデリバリーする方法が確立した場合、がんの撲滅へと繋がる。

いずれにせよ国民の健康のみでなく医療経済的にも「国民への還元」が達成される。

3. 「ナノテクノロジー・材料」分野の特徴として、当分野が

- ・「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」
- ・「日本の経済・産業を支える基盤」であったり、また、当分野の持つ性格として
- ・「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」

などがあげられるが、それらの特徴に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性を、どのように考え、またどのように推進していくべきかについて。

ドラッグデリバリーシステムの中で、受動的ターゲティングの基本理念、そしてそれを支える工学技術、特にポリマーサイエンスは日本発のものである。日本の独自性という観点からもっともポテンシャルの高い分野であろう。ただし上述の「国民への還元」という観点から、いかに効率よく臨床の現場で使えるようにするかが今後もっとも重要な課題である。現実には死因のトップであるがん患者のことを思えば、「長い時間を要する」余裕は無い。従って国策として予算をつける場合、医、工、薬連携、産官学連携は当然のことであるが、臨床試験を行う体制も強化すべき。しかしながら臨床家の殆どは欧米の「右へならえ」で、欧米の後追いの臨床試験へと流れがちである。このこと自体は必要であるし、否定できない。しかしナノテクノロジー、DDSの臨床試験に特化した若手の医師を雇用することができるなど、より臨床開発のスピードアップを計る予算案を考えるべきである。

4. 我が国は他国と違い「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野で取り扱うが、このような取扱を活かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要になり、またどのように推進していくべきか？

「欧米で盛んな領域」「流行の領域」「研究盛んな領域」など単純な思考で推進すべきではない。日本が推進すべき領域と今更推進しなくてもよい領域を明確にさせることが重要である。最後に治験の空洞化が叫ばれて久しい。これは日本の知的財産が流出することに繋がるのでよろしくない。また前述したように技術的に上回っていても、臨床開発が遅れたら、二番煎じと、国際的に見なされる危惧もある。繰り返しになるが日本独自のものを日本独自で臨床開発するには医療現場へも積極的に介入することができる予算案を創出することが望まれる。

第1回分野別推進戦略(ナノテクノロジー・材料)PT質問事項に対するご回答

中村道治

1. 現状把握

この5年間の進歩

【ナノ材料】

政府の継続的な投資のもと、我が国の水準は先端レベルを維持していると考えられる。

基礎研究においてはデバイスのイノベーションに貢献しうる新効果・現象が発見されている。例えば、フラーレンとグラファイトからなる、静的にも動的にも摩擦ゼロの超潤滑物質(分子ベアリング)の開発は、MEMS、NEMSの懸案である摩擦問題を解決し、実用化に向けて注目される成果である。また、コバルトを2-3nmのナノ粒子化することにより、電子スピンをバルクの1万倍もの長寿命化に成功した成果は、超高密度スピンメモリや量子計算機の基本素子につながる。

一方で、応用開発においては、ナノ材料が徐々に製品として実用化されている。ナノ粒子やナノカプセル化による透明度、保湿性、肌への吸収効率の向上を活かしたナノテク化粧品が販売されている。また、金属ナノペーストを用いた配線形成に関しても、センサーやディスプレイへの適用を目指して、材料とインクジェットをはじめとしたプロセスの両面からフィールドテストが進められている。

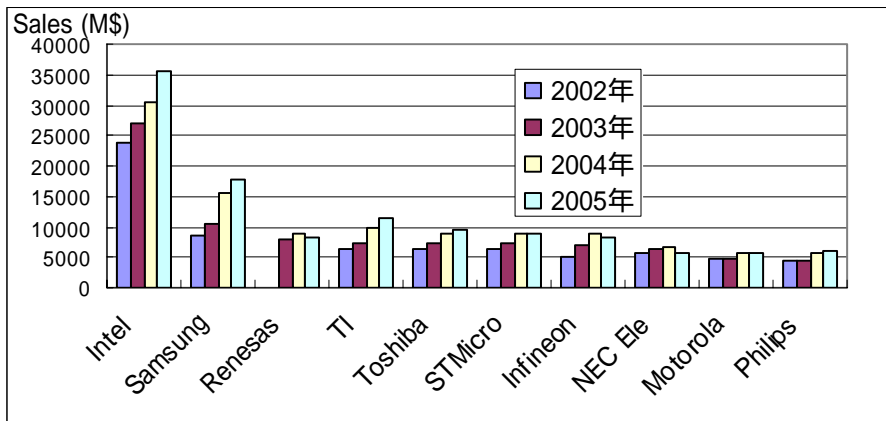
ナノテクの実用化を目指して産学官の連携が進んでいるが、一方で、3者の研究内容が似通ってくる傾向にある。高い研究水準を維持しかつ実用化を加速するための役割分担を確認する必要がある。

【ナノ加工技術】

ロジックLSI分野では、この5年間に90nm製品が登場し、65nmも一部メーカーで製品化直前にある状況となった。90nm技術では、MPUなどの高性能製品において、ゲート電極寸法は40nm程度まで微細化されている。65nmでは30nm程度になるが、デバイスばらつきが顕著になってきており、そのため電源電圧を思うようには下げられず90nm、65nmともに1.2Vを採用している。ゲート酸化膜も薄くできず高誘電率のHigh-k膜の検討が進められているが、65nmでも採用は難しく、先送りの状況にある。メモリ分野では、90nmのDRAMやFlashメモリの製品が登場し、80nmのFlashメモリが開発段階にある。

LSIの開発に関する国の関与としては、ASET/MIRAI、Selete、ASPLAなどが挙げられ、材料からIPまで広範囲なテーマで検討が進められている。一定の成果を上げてはいるが、日本の半導体産業の競争力向上には必ずしも繋がっていない。台湾ファンドリへの生産委託も増えている。

LSIの微細化に対応しフォトリソグラフィー技術は着実に進歩を遂げたが、コスト面においてはその限界も明らかになりつつある。自己組織化を応用した加工プロセスは、注目度は高いものの工業的に適用可能な技術として確立するには今しばらくの時間を要すると考えられる。そのような状況にあって、低コストナノ加工技術としてナノインプリント法が急速に進展した。ナノインプリント法は微細な金型を用いて樹脂等を成型する技術であり、成型品をそのまま用いるだけでなく、マスクとして応用することにより10nm級のリソグラフィーを実現することが可能である。世界的に複数の加工装置が製品化され、またMEMSやHDD製造への展開も始まっている。本分野においては、産総研の取組みやNEDO等のプロジェクトが進行しており、特に実用化においては民間も開発を開始している。



内外の顕著な動き

国内においては様々なコンソーシアムが設立され、材料、プロセス、デバイス、IPなどに関し広範囲な検討が行われた。一例として半導体関連では、MIRAI(2002)、Selete あすかプロジェクト(2001)、ASPLA(2002)、HALCA(2001)、EUVA(2002)、CASMAT(2003)などがある。

国外では、IMEC(ベルギー)が300mmのFabを用意し、多くのメーカーを巻き込んだ研究開発を行っている。そのほかにも、International Sematech、Albany NanoTechなどが、LSI関連のコンソーシアムとして大規模に活動している。また、IBMは多くの半導体メーカー、ファンドリと提携し、次世代の技術開発を行っている。その他、以下の動き有り。

- ・米国「21世紀ナノテクノロジー研究開発法」制定による国家プロジェクトの強力な推進
- ・DARPA、NISTによる米国ナノ加工ベンチャー企業への大型投資
- ・韓国電気メーカ、巨額研究開発投資によるナノテク研究開発の推進
- ・欧州NaPaプロジェクトによるナノ加工技術の開発推進
- ・中国科学院、清華大学などのナノテク研究への国家重点投資

2. 第2期基本計画策定に関して

留意点、相違点

デジタル家電に代表されるように、製品価格の低下は5年前に予想をはるかに超えて進んでいる。システムLSI、ディスプレイ、HDDなどの先端デバイスを支えるナノテクノロジー・材料において、低コスト生産を可能にするような観点でブレークスルー技術への期待が高まった。例えば、これから半導体製造ラインや液晶製造ラインを新たに構築するには数千億円の投資が必要になる。新しいコンセプトのデバイス、あるいは製造プロセスを生み出すことによって、製造コストを大幅に低減することが望まれる。国家レベルで見れば、広い裾野を持つ応用を発展させながら、性能向上のための微細化に投資するというバランスが、重要になってくる。

国際的な協調・競争に関しては、中国の基礎研究を含めた研究強化の動きは、当初の予想を超えるものがある。自主創造の新しい姿勢が強く感じられ、わが国との関係見直しが重要なテーマである。また、開発途上国に貢献するナノテクノロジー・材料といった視点も、国際社会において求められている。

分野別推進戦略のこの5年間の貢献

ナノテクノロジー・材料の研究開発は、わが国の関連基礎研究、応用開発に貢献してきたと評価できる。大学や独立法人研究機関では、ナノテクノロジー・材料の名の下に、関連研究を強化する動きが定着した。また、関連するセンターオブエクセレンス(COE)や産学連携が充実してきた。この動きは、さらに強化されねばならない。

産業界においても、2003年10月にナノテクノロジービジネス推進協議会を設立し、技術ロードマップの作成、実用化に向けたプラットフォーム作りを進めてきた。今日事業的に成功を収めている産業エレクトロニクス材料の発展に直接的、間接的な寄与をしてきたといえる。例えば、日本は半導体関連材料では世界で7割程度のシェアを持っており、強み技術となっていますが、これを、さらに発展させる必要がある。韓国なども、材料の重要性は認知して研究開発を加速させており、将来に渡って日本のこの状況を保てる保証はない。このような議論は、半導体に限らず、HDDやディスプレイなどの情報応用、燃料電池などエネルギー応用などで広く言えることである。

3. 第3期基本計画分野別推進戦略への指針

ナノテクノロジー・材料の研究開発基本戦略

第3期計画では、社会の中長期的な要請を受けて、ナノテクノロジー・材料の持つ革新的、非連続的な可能性を引き出すような革新的な研究開発その実用化を重視し、長期的な優位性を確保するための礎を作り、若い研究者に夢と挑戦意欲を持たせることが望まれる。量子コンピュータ、水素エネルギーシステムなどが一例である。

過去5年間、ナノテクノロジー・材料を重点分野として取り上げるにあたって、従来製品や技術の延長上にナノテクノロジー位置付けてきたことは、ナノテクノロジーを広い分野で具体的に広める上で大きな役割を果たした。また、産業の主戦場でナノテクノロジーが求められているという緊張感が生まれ、日本の特色になっている。トップダウン型の研究開発を第2の柱に位置付けるべきである。

ナノテクノロジー分野の基盤技術で、世界を圧倒的にリードする研究開発を進めるべきである。ナノ計測・評価・分析機器やナノシミュレーション技術などがこの範疇にある。

上記3点を推進するにあたって、挑戦的なテーマ設定、深い理解の増進を含めて、研究者の自発的な発想に基づく基礎研究を重視しエンカレッジするシステムの構築が必要である。また、政府・自治体の研究投資を増額すべきである。

成果の国民への還元

わが国製造業を今後30年、50年にわたって維持、発展させ、経済基盤を固める上で、ナノテクノロジー・材料の役割は大きい。現在も十分な競争力をもっている分野をさらに発展させるとともに、今後伸ばすべき分野を早急に立ち上げる必要がある。これからの製造業は、科学知識に支えられた高度な技術が不可欠であり、ナノテクノロジー・材料の研究開発成果が期待されている。例えば、半導体の微細化は今後も進展し、今後の5年間で32nm技術が登場することになると思われる。ゲート電極寸法は、10数nmになると予想されており、High-kゲート絶縁膜が使われ、リーク電流の課題は軽減されていると思われる。しかし、MOSFETの特性ばらつきは大きくなり、電源電圧の低下は難しくなっているかもしれない。その対策として、寸法制御や不純物分布制御には、今まで以上の制御性を要求され、レジスト材料や膜材料、その形成方法には、原子分子レベルでの精度が要求され

るようになってきている。性能向上に加え、コスト低減も重要な視点である。ボトムアップ的手法を取り込んだ革新的な低コスト技術の実用化が期待される。

持続的社会的実現に向けた省資源、省エネルギー、無害化などの要請に答えることにより、その成果を社会還元しなければならない。最近、ナノ材料の健康リスクに関心が集まっている。ナノテクノロジー・ナノ材料の実用化を推進するとともに、リスクアセスメントの研究も同時に進め、国民のコンセンサスを得ながら推進する必要がある。

また、発展途上国の生活環境を豊かにするためのナノテクノロジー・材料技術(例えば水関連技術など)の開発に取組み、新しい形で国際貢献することが望まれる。

重点的に予算を配分する必要性

我が国が世界と競争して行く上でのコアコンピタンスは高い技術開発力に裏打ちされたモノづくりであり、その高い技術開発力の基盤となるナノテクノロジー・材料に、今後とも十分な資源の配分が必要である。

ナノテクノロジー・材料の研究開発において、萌芽レベルの研究者の創造的研究活動、中長期的な社会要請にこたえる重要課題解決型プロジェクト、産業移転を加速するための実用化プロジェクトに対し、各々が健全に進展するように研究開発予算のガイドラインを設けることが望ましい。

一層の効果の発揮

ナノテクノロジー・材料で世界をリードするには、国内に世界をリードする応用産業の存在が不可欠である。製造業強化に向けた総合産業戦略の強化が、ナノテクノロジー・材料の強化につながる。応用産業なくしてはナノテクノロジー・材料の将来はない。

以上

平本俊郎(東京大学生産技術研究所)

1. 現状把握として、以下の観点についてお答え下さい

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか？できるだけ具体例をもとにお答え下さい(複数回答可)。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含めて説明下さい。

- ・半導体大規模集積回路(VLSI)を構成する MOS トランジスタの最小線幅が量産レベルで 100nm を切り、90nm 技術となった。現在は 65nm 技術が量産立ち上げ中である。ゲート長に関してはすでに 40nm 程度にまで微細化されている。シリコンデバイスがいよいよ「ナノ」の世界に入ってきた。シリコンナノエレクトロニクスと呼ぶべき新しい研究開発領域が広がりつつある。
- ・半導体全体の市場規模は世界で 25 兆円であり、半導体はほぼすべての産業に影響を及ぼす基幹産業である。微細シリコントランジスタ等に国の予算が投入されているが、市場規模および波及効果から判断すると不十分である。5 年後までの研究開発は企業が行うにしても、将来の 5-10 年後およびそれ以降を見据えた新しいシリコンナノエレクトロニクスの先導的研究開発を国のレベルで早急に始めるべきである。

当分野の世界の中での日本の現在の水準、ここ数年の推移、国際間の競争・協調の位置付けや、日本の強み・弱みなどの特徴についてお答え下さい。

- ・一般に半導体分野では、日本は研究開発には強いがビジネスが弱いと言われている。
- ・半導体市場の日本のシェアは 25%程度に下落したが、半導体装置産業では約 7 割、電子材料分野では約 7 割のシェアを握っていると言われている。シリコンナノテクノロジーは、装置と材料によるところが非常に大きく、集中的に研究投資を行えば、十分に勝機はある。
- ・諸外国では、シリコンナノエレクトロニクスの重要性にいち早く気づき、国のレベルで大型投資をすでに始めた。日本は、現状ではシリコンナノエレクトロニクスの研究で先端を走っているものの、これまでに大型投資も研究拠点形成も実現されておらず、国レベルでの取り組みで大きく後れを取っている。

国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野において、注目すべきとお考えになる、この5年間の顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含めてお答え下さい。

- ・上でも述べたとおり、諸外国がシリコンナノエレクトロニクスに大型投資を行っていることである。これに対して、日本は余りにも無策である。

2. 1での現状把握をできるだけ踏まえた上で、第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について、例えば下に挙げた観点を例に、お答え下さい。

今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の動向、もしくは、今後の日本社会や国際的な状況が変化し

ていく中で「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割、もしくはその変遷について。

・高度情報化社会を根底で支えてきた半導体が「ナノ」の世界に投入した。これまでは、単純な微細化で半導体は性能向上を果たしてきたが、ナノの世界では、深い物理の理解、新材料の導入など、従来と異なる研究開発手法が求められる。これがナノエレクトロニクスである。情報通信分野とナノテクノロジーはその意味で表裏一体であり、切り離して考えるべきではない。

現在策定中である第3期基本計画においては、「成果の国民への還元」を基本的な考え方に据えられているが、「ナノテクノロジー・材料」分野において、「成果の国民への還元」とは？

・ナノエレクトロニクスの発展を通じて、情報通信分野、および全産業分野、ひいては国民の全活動に波及効果を与えることである。

「ナノテクノロジー・材料」分野の特徴として、当分野が

- ・「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」
- ・「日本の経済・産業を支える基盤」であったり、また、当分野の持つ性格として
- ・「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」

などがあげられるが、それらの特徴に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性を、どのように考え、またどのように推進していくべきかについて。

・時間軸を分けて重要項目を議論すべき。シリコンナノエレクトロニクスの中でも、5-10年後の近未来を目標とする研究、10-20年後を目標とする研究、20年後以降の将来を目標とする研究に分けられる。すべての研究が、「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」ではない。20年後程度までをターゲットにするなら、シリコン半導体をベースにしたシリコンナノエレクトロニクスが最重要テーマである。

我が国は他国と違い「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野で取り扱うが、このような取扱を活かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要になり、またどのように推進していくべきか？

・アプリケーションと時間軸がはっきりしていれば、「ナノテクノロジー・材料」のくくりでもよい。しかし、研究が「ナノテクノロジー・材料」だけに留まると実用化が難しく目に見える成果に繋がるまでに時間がかかる。いかにナノテクノロジーと材料をエレクトロニクスに結びつけるかが重要である。やはり最大のターゲットはエレクトロニクスである。当面は20年後程度までをターゲットにしたシリコンナノエレクトロニクスが重要である。そこキーとなる技術はやはりナノテクノロジーと新材料である。

「ナノテク・材料分野」推進戦略 PT 東工大 細野秀雄

1. 現状把握

* 5年間に顕著な進展のあった具体的課題

酸化物エレクトロニクス材料、MEMS 技術(フェムト秒レーザ加工など)、強電子相関酸化物、有機エレクトロニクス(フレキシブル)材料、ナノチューブ、高速材料スクリーニング手法

* 日本の研究レベル

機能材料分野での研究レベルは、過去 5 年間でみるとトップ 1, 2 であると考えられる。その強さは、固体物理に支えられた分野が世界をリードしている分析している。機能材料分野の活力は、国の競争的資金が基礎的研究につき込まれた効果が大きいと思う。

ナノテクを重点分野としてとり挙げたことで、材料分野の古典的枠組みだけでは対処できなくなり、分野融合が加速されたが、現状は未だ明らかに不十分である。

* 弊害など

「ナノ」を接頭語として格段の意味もなくつけるような風潮が蔓延し、ナノでなければ実現できないような本物のナノの研究が見えにくくなってしまった部分が少なからずある。 例. ナノケミストリー

また、材料の研究はナノを標榜しなくても、自然の流れでナノの研究が主流になっていきつつあったので、米国で落ち目の材料研究が日本では大きく落ち込むことが避けられたという側面もある。

2. 第3期で重要と考えられる指針

* ナノテクに国民が期待するのは、これまで不可能であったことが可能となる「現代の錬金術」的進歩であろう。具体的には、社会が直面する共通の困難の解決とこれまでの夢の実現である。その期待に真正面から取り組むことが必要。

* 「ナノテク・材料」というくくりは、わが国を支える製造業のベースとなる材料を、ナノテクを駆使してさらに強くするという観点から極めて重要である。

* 材料分野では必ずしもナノテクを駆使しなくても革新的機能やプロセスなどが生まれる可能性がある。よって、重点分野として材料はナノ材料のみに限定する必要はないと思う。

* ナノテクの本質は革新的進歩だとすれば、その種(シーズ)が見出された時には、速やかに成長に適したファンディングに切り替えるような、フレキシブルな支援システムが重要。逆に、当初から5年間に渡ってファンドが固定されている方式は原則的に避けた方がいい。具体的にはファンディングと評価に工夫が必要。

* ナノテクは大学院博士課程での専攻横断的な組織でないと対応できない。よって人材育成とナノテク研究を絡ませる施策が必要と考える。また、国際連携はナノテク研究人材育成の双方に極めて有効であると思う。

A. 「ナノテクノロジー・材料」の現状把握

1) 5年間で「ナノテクノロジー材料」分野で進歩があった分野：

・多くの分野で進歩があったと思われるが、直接研究に關与している応用・具体例では下記の二分野である。

- ・ Si 半導体デバイスの配線材料、低誘電体材料
- ・ 化合物半導体発光素子の半導体の高品質化および電極材料

・「ナノ材料物性とバルク材料物性は一本のスケーリング則で結べない事」の認知

2) 国の関与：これらの進歩に対して殆ど国の関与なし

3) 日本の現状の水準：(上記の二つの具体例に限定した答)

- ・ Si 半導体デバイス用の電極材料は日本が非常に遅れ、米国に追従状態
- ・ 化合物半導体発光素子は日本の技術開発貢献は大であるが、海外（特に米国）に、ある部分では追い越され、市場は奪われつつある。

4) 5年間の顕著な動き：

「材料」自体は半世紀前よりデープサブ・ナノの領域での研究が始められている。新機能の発現、新材料の創成を秘める材料の「臨界ナノの領域」が予測できそうな傾向である。しかし、ナノ材料の創成、加工および評価技術には限界が近づきつつあり、これらの技術は、市場価値のあるレベルまで向上させるには更なる開発が不可欠である。

B. 第3期基本計画の分野別推進戦略としての指針

1) 過去（50～60年前）のナノ材料研究では、今日程、エネルギー、環境および資源枯渇問題は顕著でなかった。「国民への成果の還元」は微量・微小材料を用いる事により、省エネ・耐環境への貢献のみならず、地球上の資源の継続へ大きく貢献する事である。

2) 先進国である日本は「科学技術全般」を支えるキーテクノロジー」として「ナノテクノロジー材料」をとらえ、重点的に長期の予算配分をすべきである。特に「ナノテクノロジー材料」は「材料の限界」および「加工・評価技術の限界」への挑戦であり、これらの挑戦は社会の高度化と共になされなければならない事である。従って「ナノテクノロジー材料」は学術・工学への挑戦の索引としての責務を担うべきである。

3) 「ナノテクノロジー」および「材料」の面白さ、科学技術の貢献を中学・高校への教科として取り込み、若者の科学離れの抑制剤とすべきである。科学・技術への関心が若者に高揚すればする程、日本の「物づくり」大国の地位が世界的に向上すると確信している。

平成 17 年 12 月 10 日

産業技術総合研究所 横山浩

1. 現状把握として、以下の観点についてお答え下さい

この5年間で「ナノテクノロジー・材料」分野において、どのような進歩があったか？できるだけ具体例をもとにお答え下さい(複数回答可)。また、その進歩に対して国の関与の有無・適否なども含めて説明下さい。

科学技術の構造変化:

(1)ナノサイエンス・ナノテクノロジーにおける研究者層・研究開発力の飛躍的充実

論文数 10 倍、新論文誌創刊(Nano Letters, IF8 ほか)、インパクトファクターの急伸(例えば、Nanotechnology(IOP)1.5 3.3)、特許数、人材募集数

(2)ナノサイエンス・ナノテクノロジー分野での助成制度充実、応募・採択件数増

科研費、JST(ERATO, CREST,PREST,バーチャルラボ)、NEDO(国家プロ、フォーカス 21、ナノテクチャレンジ)、民間助成、賞

(3)インフラストラクチャーと人材育成への取り組み

文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクト(2002-2006)

経済産業省・中核産業人材育成(2005-)

文部科学省 COE

産学官連携、ナノテクビジネスの推進:

(1)ナノテクノロジービジネス推進協議会(メンバー300 社超)

(2)Nano tech 200X 展示会・技術会議(参加者 40000 名超)

(3)ナノテクベンチャーの起業増加(VC:ナノテクパートナーズ、ほか)

ブレークスルー:

(1)カーボンチューブに留まらず多数の基礎的成果とその応用への展開

ナノテク商品:

(1)ナノテクを含む商品が着実に増加

当分野の世界の中での日本の現在の水準、ここ数年の推移、国際間の競合・協調の位置付けや、日本の強み・弱みなどの特徴についてお答え下さい。

ナノテクノロジー・材料を構成する主要学術分野である、物理、化学、電子、材料においては、日本は米国、ヨーロッパと並ぶ世界の第三極としての水準を維持しているが、近年、韓国、中国などの伸

張が著しく、論文数などにおいては10年以内に逆転されかねない状況。これらの分野での強みは、わが国の経済を牽引する電子・情報産業、素材産業の強さに密接に関係しており、産業の衰退は基礎研究力の衰退に結びつき、研究開発のデフレを引き起こすと考えられる。軍事分野を持たないわが国においては、世界的な競争において淘汰が進む半導体やディスプレイ産業の退潮が起これば、すべての歯車が狂いかねない。今後、わが国が少子高齢化の中で、知識ベース産業社会に転換を図っていく上で、産業 研究開発 教育 人材 産業という循環を国内だけに閉じて維持していくことは非現実的になりつつあり、国際協調を戦略的に展開していくことが不可欠になっている。とりわけ、アジア諸国との協調は地勢的に産業戦略的に重要であり、その主導権をとるためにあらゆる努力をすることが必要である。(産総研では、この観点からアジアナノテクフォーラムを主宰し、第二回サミットを12月8日-10日にオーストラリア・ジーロンで開催)。

ナノテク・材料に留まらず、一般的なアジア諸国との国際協調においての日本の弱点的の一つが、日本語である。日本を除くアジア主要国では、英語が準公用語的に流通している現実があり、それをベースに活発な人と技術の交流が展開しつつある。日本がこのサイクルに自らを組み込むためには、高等教育におけるバイリンガル化を早急に進める必要がある。

国家機構の観点からは、わが国では、総合科学技術会議が最高機関に位置づけられ、政策評価の面では次第に力を持ちつつあるものの、科学技術政策の立案と実行が多数の省庁に分散していて、一貫した政策立案を行って実行に責任を持つ一元的な国家機構が無いことは、科学技術政策が国家の中核近くに位置づけられているアジア諸国に比べて、戦略、スピード、効果の点で弱点となっている。一年間で5兆円を支出する一大分野である科学技術は、専門の独立省庁があっても不思議の無いサイズと国家的な重要性のあるものであり、早急に一元化を進めていくことが重要なのではないか。

人材戦略がやはり分断されていて、初等、中等、高等教育、リカレント教育、職業教育、技術教育などが将来の国家像に基づいて構築されていない。また、教育における実質的な鎖国状態が続いているが、開国して高等教育に市場原理導入することで、留学生の吸引力をはじめとして、

分野にもどると、ナノテクノロジー・材料の重要なエクジットであるバイオ・医療分野が、世界水準から取り残された治験制度や不効率な許認可制度に足元をとられている間に、バイオナノテクにおけるビジネスチャンスをどんどんと失っていることを重く見るべきである。医学系と工学・理学系との連携という古い問題にも、改めるべき古い文化はきちんと改めて、本質的な解決をもたらすことがナノテク・材料の推進にとっても極めて重要性が高い。

国内と国外の「ナノテクノロジー・材料」分野において、注目すべきとお考えになる、この5年間の顕著な「動き」について、政府の政策・産業動向なども含めてお答え下さい。

米国ナショナルナノテクイニシアチブ、EUフレームワーク7でも、ナノテクを単なる基礎研究ではない産業のドライビングフォースとして位置づけを明確化している。なかでも注目すべきは、“生産”(技術だけでなく方式も含む)に貢献するナノテクノロジーを重点化していることと、研究開発の方法論的なパラダイムを転換する“ナノシミュレーション”に重点を置いているところである。このことは、例えば量子デバイスの開発のような、これまでの研究開発の視点と矛盾するものではなく、その効果を引き出すために、必須のことと考えられているところが重要であろう。

ナノテクノロジーの社会的認知を前面に出しているところも、欧米のナノテクノロジーの特徴の一つである。これは単にナノ材料の安全性という狭い意味ではなく、社会的な認知を高めることで、長期的に人材確保にもつながるなど、多面的な重要性がある。

-
2. 1での現状把握をできるだけ踏まえた上で、第3期基本計画の分野別推進戦略として重要とお考えになる指針について、例えば下に挙げた観点を例に、お答え下さい。

今後の「ナノテクノロジー・材料」分野の動向、もしくは、今後の日本社会や国際的な状況が変化していく中で「ナノテクノロジー・材料」分野の果たす役割、もしくはその変遷について。

この質問は、先端技術の果たす役割とその変遷、と置き換えても良いだろう。先端技術が先端である理由は、単に未知であるからではなく、それが高い付加価値を生み出すパワーを持つことによる。ナノテクノロジー・材料の重要性はまさに、人より一歩先んじることによって、市場を制する付加価値を作り出すところにある。このことは、機能性、コスト、環境適合、デザインなど、商品価値のあらゆる部分に及ぶ。ナノテクノロジー・材料が進展することは、既存の技術や商品を100%ナノテク化することではなく、ナノテクのフィニッシングタッチによって、それがない場合より一段上の競争力を獲得することである。技術そのものは飛躍的な進歩でも、商品価値は連続的な向上でよいし、それが自然である。多くの国が知識経済への歩みを意識的に進め、国際競争がさらに激化していくなかであって、天然資源に欠けるわが国としては、ナノテクのフィニッシングタッチをいち早く獲得することは死活的に重要である。国内業界という、狭いコップのなかで過度な価格競争の結果、研究開発体力を消耗してしまうような状況から脱却しなくてはならない。そうして生じた余剰な富が、金融市場を通じて、国際的には全くの後塵を拝しているIT業界に流れて、またまた国内の狭いコップの中でのマネーゲームに浪費されて、真の価値を生み出す実体経済の養分になっていない現実も改めなければならないのではないかと。キャピタルゲインに累進的な科学技術に特化した目的課税を導入して、資源の還流を図るなど、単なる科学技術に留まらない仕組みの改革をしなければ、真の科学技術立国はあり得ないように感ずる。科学技術を大きな文脈で描く努力が絶対に必要とされている。

現在策定中である第3期基本計画においては、「成果の国民への還元」を基本的な考え方に据えられているが、「ナノテクノロジー・材料」分野において、「成果の国民への還元」とは？

新たな市場や産業、雇用の創出、直接・間接の経済効果、安心安全でより快適な生活の保障、環境負荷にも配慮した持続可能社会、国際的な融和や新たな文化創造、など多面的な価値があり得る。これらの価値が、とりわけ資源に乏しいわが国では科学技術からもたらされるとすれば、その主要なオリジンがナノテクノロジー・材料にあることになるし、なるべき責任を負っている。そのためにも、研究開発がどのようにこれらの多様な価値に結びつくのかを、単なる蓋然性で語るのではなく、必然性をもって語るような戦略やプランが必要とされる。むろん全てを語ることはできないし、語る事ができるはずもなく、語れないような予期せぬ展開があるところが科学技術の醍醐味であるが、一定の範囲で明確な価値創造プランを持つことは、国家事業としては当然のことと言える。

そういった目でこれまで、科学技術予算の投資を見てみると、“事業性”の概念が重要視されてこなかったのではないか。端的に言えば、月に人間を送るロケットを実現するために A,B,C の技術が必要というブレークダウン的な考え方ではなく、A,B,.....Z までいろいろな研究を手がけていけば、いつかは月ロケットができるのではないかという期待感で動いてきていないかということである。月ロケット=社会価値を生み出すためには、A,B,C という技術があればよいのではなく、実は、それと同様に、A,B,C を統合して価値を生み出す、人間と資源と組織メカニズムが必要である。であれば、いくら A,B,....Z という幅広い技術要素を手にしても、それが欠けている限りは決して社会価値は生まれないのである。これまでのナノテク・材料分野の研究投資は、A,B,.....Z を生み出すことにウエイトを置きすぎていたように思う。

無限のリソースがあるわけではないことを強く自覚すれば、おのずとトップダウンの志向性が出てくるものである。伝統的に要素研究への志向性が強い欧州でさえ、ベルギーの IMEC のようなビジネスモデルが生まれて成功していることはその証である。

- ・「ナノテクノロジー・材料」分野の特徴として、当分野が
 - ・「科学技術全般を支えるキーテクノロジー」
 - ・「日本の経済・産業を支える基盤」であったり、また、当分野の持つ性格として
 - ・「目に見える成果に繋がるまでに長い時間を要する」
- などがあげられるが、それらの特徴に対して、国が重点的に予算配分して取り組む必要性を、どのように考え、またどのように推進していくべきかについて。
-

上述のとおりであるが、特に国費を投じる必要性は、「ナノテクノロジー・材料が、物質科学技術のフロンティアを拡大する切歯の役割を果たす」ことと、わが国がそうして拡大された科学技術によって国を支える「科学技術立国」を目指していることの二つに集約される。したがって、このことが現実的に社会から理解を得られるためには、ナノテクノロジー・材料が国家経済をドライブしているという実体を作り出すことに最大の関心と努力を傾注するべきである。ここには、多様な階層「教育・人材育

成」「研究インフラ」「」「」

我が国は他国と違い「ナノテクノロジー・材料」として一つの分野で取り扱うが、このような取扱を活かし重点分野として一層の効果を発揮するには、何が重要になり、またどのように推進していくべきか？

ナノテクノロジーと材料は、他のあらゆる分野と横断的に関係しているという点で、重要な共通点を持っている。材料の全てがナノテクに包含されるわけではないことを考えれば、ナノテクと材料を併記することは見識であると思う。それが見識たり得るためには、“横断的”であることを正面から捉えて、電子・情報、バイオ・医療、環境・エネルギーなどの社会価値の出口に向けてのバリューチェーンを、ナノテク・材料の投資戦略の中に明確に埋め込むことがなくてはならないだろう。ナノテク・材料の中での“連携施策”という事がしばらくまえから取り上げられているが、本当に重要なことは、ナノテク・材料という狭い枠内での連携ではなく、電子・情報、バイオ・医療、環境・エネルギーを巻き込むバリューチェーンの構築である。ライフサイエンスとナノテク・材料の間の仕分け論を繰り返している限り、絶対に欧米のナノバイオに追いつき・追い越すことはできない。電子・情報も同様である。

材料の研究開発は実用化までリードタイムが長いのが一般的であり、かつ材料の用途を事前に特定することはできない場合が多い。この意味するところは、材料研究者にバリューチェーンの論理構築を求めることがそもそも無理な注文ということである。材料の探索的・基礎的研究に適度な目的意識を与えることは重要であるが、それ以上に短期的な応用を求めるべきではない。むしろ、真に有能な材料研究者に長期的視点の持てる研究環境(材料の COE)を与える一方で、新規材料の用途を中心に研究を行って強い知的財産の創出に努める人材や、トップダウン的な問題設定に対して適切な材料を選び出したり、組み合わせたりするソリューション志向の人材を育成していくなど、材料研究と産業応用との人的ギャップを埋める工夫をすることも重要である。