経済産業省におけるナノテクノロジー政策

中山 亨*

*経済産業省(〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関 1-3-1)

Nano-Technology Promoting Policy of the Ministry of Economy, Trade and Industry

Toru NAKAYAMA*

*Ministry of Economy, Trade and Industry (1-3-1, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0013)

Key Words : Nano-Technology, National Strategy Commercialization, Social Impact

1. はじめに

我が国産業の強みはものづくりの力にある。GDP と雇用の約 2 割は製造業から生み出され、輸出の 8 割は製造業製品が占める。こうした製造業の競争力を高めるために、多くの技術分野で微細化、精密化を追求する研究開発が行われてきた。これらの極限的微小領域における工学技術を包括するのがナノテクノロジーである。その意味では、ナノテクノロジーは今後のものづくり力を継続的に高めていくための基盤技術である。

米国でナノテクノロジーイニシアティブ(NNI)が発表されて以来、必ずしも概念定義が明確化されないままにナノテクノロジーは一種のブームとなり、折からの科学技術振興の風に乗って推進されてきた。技術開発に対する予算措置も重点的に行われた。この結果、ナノテクノロジーの基盤技術の研究は相当程度進展した。ナノカーボンや金属ナノ粒子のようなナノ微粒子の創製技術が相次いで発表されているし、さまざまなナノ構造を持った材料の研究も進んでいる。何よりも、ナノ領域の観測・計測を行う技術は確実に進展している。

では、これらのナノテクノロジーを活用した新たな製品や産業が続々と生まれてきているかと言えば、答は残念ながら否であろう。ナノテクノロジーは、ナノ領域での構造制御・加工などにより、サイズ効果や量子効果など全く新しい機能・特性を引き出す「不連続な革新をもたらす技術」であるが故に、技術の応用も従来の延長線上にないことが多い。これまでの自社の事業領域には応用分野がないことも多い。これまで大企業を中心にキャッチアップ型の技術開発を続けてきた我が国にとって、ある意味で初めての局面とも言える。

本稿では、我が国で過去に行われた代表的なナノテク研究であるアトムテクノロジーを紹介し、続けて我が国のナノテクの現状を研究成果、事業化、国家予算の面から概観する。また、経済産業省で行われたナノテクノロジー政策研究会の報告内容および本年度から開始されたナノテクの実用化支援策について述べた後に、ナノテクの社会影響および標準化に関する動きに触れることとしたい。

2. 過去の代表的なプロジェクト(図1)

米国では、クリントン政権の末期の 2000 年に国家ナノテクノロジーイニシアティブを定めてナノテクノロジー振興の体制を整えた。さらに、2003 年 12 月には、研究開発と人材育成、商業応用などを総合的に加速するための「21 世紀ナノテクノロジー研究開発法」を制定し、予算の確保を図るとともに、大統領の諮問会議の設置、政府間調整部局の設置など、ナノテクノロジー政策を一層強化している。このような米国の動きに刺激されて、世界中でナノテクノロジーの研究開発に対して資源が集中投入されるようになったことは周知である。

一方、我が国のナノテクノロジーへの取り組みとしては、1974 年の谷口教授による「ナノテクノロジー」の概念の提唱や、1991 年の飯島博士によるカーボンナノチューブの発見など世界に先行する動きが見られた。

1992 年には当時の通商産業省の下で「原子・分子極限操作技術(アトムテクノロジー)」プロジェクトが開始されている(図2)。このプロジェクトが目指したものは、①1 個 1 個の原子あるいは分子を識別操作する技術および DNA などの生体物質を原子・分子レベルで解析する技術、②物質表面の任意の場所へ原子層の堆積・はく離する表面制御技術、③これらの原子・分子レベルの観察・操作の基礎となるシミュレーション技術、であり、当時としては相当に野心的なものであったと評価して良いであろう。

10 年間のプロジェクトとして実施されたアトムテクノロジーには総予算として約 262 億円が投じられた。直接の成果としては、10 nm スケールでのゲルマニウムやシリコンの構造制御技術や、巨大磁気抵抗物質の発見などが報告されており、同時に AFM(原子間力顕微鏡)による微小領域の観測技術が飛躍的に向上したことも成果として指摘される。

ナノスケールでの観測技術無くしては、ナノ微粒子の存在も確認できず、ナノ構造を特定することもできないとすれば、このような観測、計測技術こそがナノテクノロジーの本質であるといっても過言ではないであろう。

さらに、原子・分子極限操作技術プロジェクトは、終了後

の波及効果としてフォトニック結晶などの新規デバイスの開発やスピントロニクスの基盤技術につながっている。このうち、スピントロニクスは、電子の持つ電荷に加えてスピンを情報として取り扱うことで飛躍的に大容量の記憶素子を実現するなど、現在のシリコン CMOS 技術の限界を打ち破るものとして大きな期待を集めている。

この他にも、1991 年から実施された量子化機能素子の開発プロジェクトや、1998 年から 5 年間で行われた炭素系高機能材料の開発プロジェクトも、プロジェクト名にナノテクノロジーを謳っていないものの、内容的には明らかにナノ

テクノロジーの基盤技術の開発といえるものが数多く実施されている。

この時期に通商産業省が行った研究開発プロジェクトを後に評価したところ、特定の出口よりも基盤性の高いプロジェクトが多く、直接的な効果よりも波及効果の大きなプロジェクトが多かったと評価され、また成果が出るまでに長い時間を要することが多いものの、当初想定しなかったような思わぬ成果が得られていると評価されている。換言すれば、この時期は国主導型プロジェクトの「基礎シフト」が指向された時代であり、上記の評価も基礎指向の強い一連のプロジェクト

- 過去のナノテク関連プロジェクトの例(一部)
 - 先進機能創出加工技術(平成2～8年 予算額:98億円)
 - ①超高純度分離加工技術、②超微粒子結晶制御技術、③高機能有機材料合成技術に関する三つの加工技術と支援技術並びにトータルシステムの開発
 - 量子化機能素子(平成3～12年 予算額:67億円)
 - 半導体素子を極小微細化した際に現れる量子力学的現象を動作原理として取り入れた高機能素子の開発
 - 原子・分子極限操作(平成4～13年 予算額:262億円)
 - ①1個1個の原子あるいは分子を識別操作する技術およびDNA等生体成分を原子・分子レベルで解析する技術、②物質表面の任意の場所への原子層の堆積・はぎ取る表面制御技術、微小領域の電子スピン計測技術、③これらの原子・分子レベルの観察・操作の基礎となるシミュレーション技術、の開発
 - 炭素系高機能材料(平成10～14年 予算額:71億円)
 - 新しい炭素系物質が有する高度な電気的、機械的機能を利用するため、①高度で多様な特性を有するフラーレンやカーボンナノチューブ等の新しい炭素系物質等の物質創製技術の開発、②合成された新しい炭素系物質等を、電気的及び機械的高機能材料へと展開するための、材料化プロセス技術の開発
 - 評価
 - 特定の出口よりも基盤性の高いプロジェクトが多い
 - 直接的な効果よりも、波及効果の多いプロジェクトが多い
 - 当初想定しなかったような、思わぬ成果が得られる
 - 成果が出るまでに長い時間を要することが多い

図1 過去のナノテク関連プロジェクト

出典: NEDO作成資料より

図2 原子・分子極限操作技術

トに共通するものといえるだろう。

3. 我が国のナノテクの現状

次に、我が国のナノテクノロジーの現状について述べたい。ここで注意したいのは、ナノテクノロジーと、ナノテクを利用する産業とを区別して考えるべきことである。つまり、ナノテクという技術はあっても、ナノテク産業という産業はない。それは常に、ナノテクを応用した半導体製造業であり、医薬品製造業であり、微粒子製造業として存在する。したがって我が国のナノテクノロジーの現状という場合には、技術水準としてのナノテクの現状と、ナノテクを応用した産業の現状という二つの意味があることに注意すべきである。

第一に前者の視点、すなわち純粋に技術水準としての我が国のナノテクの現状は、前述したように材料工学に属する多くの分野を中心として世界に先行したが、現状では米国、欧州と激しく競争しており、分野によって我が国がリードしているところもあれば、後れをとっている分野もあるという状態であろう。技術分野別には、トップダウンのナノテクでは半導体の微細加工技術では世界の先頭集団であり、量子機能素子やフォトンクス分野では世界をリードしている。また、カーボンナノチューブに代表されるナノカーボンの分野でも世界トップクラスにあるものの、ナノ物質のキャラクタリゼーションやシミュレーションの分野では米国にリードされていると言われる。

さらに、一つの目安として国際特許の出願および成立数を見てみると、米国のナノテク関連特許が急増している。日本はフラーレンや量子効果などエレクトロニクスに関する基礎的な特許が多く、米国は医療やバイオ分野での応用に関する特許が相対的に多い。特に、米国では用途に関する特許を重んじる傾向が特徴的であり、この点は今後のナノテクのビジネス化を考えたときに、基礎的特許を抑えていても自由な応用が利かなくなる恐れがあることを示している。

論文数の比較においても、欧米との格差は引き続き大きく、最近では中国の論文数の増大が特に顕著である。特に、ナノ微粒子に関しては、2001年以降日中の論文数が逆転している。ただし、研究者の絶対数が違うため単純な論文数の比較のみでは正確な技術力の比較とはいえない側面もある。

第二に、ナノテクの産業化という面から我が国の現状を見てみたい。

財金属系材料研究開発センターが行った調査によると、ナノテク関連企業数は約1000社と推計されている。また、ナノテク関係のベンチャー企業への投資を行っているイノベーション・エンジン(株)の調査によると、ナノテクノロジーを事業に活用している設立20年未満の中小企業(ナノテクベンチャー)は約300社であり、特に2000年以降のナノテク関連企業の増加に大きく貢献している。

こうした民間企業における取組は、全体としては未だ基礎研究段階が多いものの、一部には産業化を果たし製品販売段階にまで進展している企業もある。しかし、民間企業におけるナノテク研究開発への投資額は限定的であり、約60%が年間1億円未満、90%以上の企業が10億円未満となっている。また、70%の企業が製品化までに要する期間を3年以上

と想定しており、ナノテクノロジーの将来に対して期待はしているものの、事業化への道のりは長く当面は大規模な研究投資を控えている現状が浮かび上がっている。

ナノテクノロジーを応用する産業規模の予測に関しては、調査機関によって大きなばらつきがあるものの、2001年時点の調査では、2010年の段階で約20から27兆円と予測されており、このうち約半分に当たる14兆円は半導体を含むエレクトロニクス関連分野と予想されていた。中でも、高密度記憶用磁気材料の市場が10兆円と過半を占めていた。

ちなみに、米国でのナノテク市場の見通しを行った調査によれば、当面は宇宙関連および自動車関連の応用が中心になり、2010年以降の段階でエレクトロニクスやライフサイエンス関連の応用が伸びてくると予測されている。

他方、このような現実的な見通しとは別に、ナノテクに関心を有する中小企業を対象に将来の応用分野として関心を持つ分野を調べた結果(図3)によると、燃料電池や次世代ディスプレイ、有害物質の除去、センサーなどに関連する分野に高い関心が集まっている。これは、高密度記憶用磁気材料や半導体関連が主として大企業中心に行われているのに対し、より部材としての裾野の広い応用分野に注目する中小企業が多いことを示しているものと思われる。

第三に国によるナノテクノロジーへの研究開発投資の動向について述べる。

前述のように、我が国ではナノテクノロジーという言葉が広く一般に使われるようになる前から、ナノスケールの加工技術や材料研究が行われてきた。しかし、2001年には、総合科学技術会議によって「第二期科学技術基本計画(2001年からの5カ年計画)」が定められ、その中でナノテクはIT、バイオ、環境技術と並んで重点4分野の一つに位置づけられたため、これを具体化する形で「分野別推進戦略(ナノテクノロジー・材料分野)」が策定されている。

ちなみに、2006年度予算の要求に当たっての資源配分方針の中では、「産業競争力の維持・向上に加え、社会問題解決と安全・安心の提供を出口として、社会と産業への貢献大なる課題について研究開発」、「国際協調を前提に、社会的影響や標準化のための研究開発」、「府省間の連携の必要性を重視し、科学技術連携施策群『ナノバイオテクノロジー』を充実」が示されているため、これらの観点を重視しながら予算の重点化が図られることになる。

こうした中で、ナノテク・材料分野の研究開発に対する国の予算総額(図4)は、2001年度の804億円から、2005年度の971億円に拡大してきた。このうち、約500億円が文部科学省(国立大学法人への予算を含む)、約400億円が経済産業省の予算となっている。

4. ナノテクノロジー政策研究会

経済産業省によるナノテクノロジー政策の検討を代表するものとして、3月末に中間報告書をまとめたナノテクノロジー政策研究会の報告書から要点を紹介したい。

この研究会は、ナノテクノロジーの分野で基盤的な技術開発から製品化、市場形成までを考えた場合にどこに障害があるのか、それを乗り越えて新産業を生み出していくために官

民はどのように役割分担をしていくことが求められるのか、
そのために望ましい政策体系はどのようなものか、について
検討を行ったものである。

なお、研究会の座長は物質・材料研究機構の岸輝雄理事長、
基本政策に関するワーキンググループの座長を産業技術総合
研究所の横山浩氏、ナノテクの社会影響に関するワーキング
グループの座長を同じく産業技術総合研究所の中西準子氏に
お願いした。

研究会の報告書では、これまでの取り組みと評価をまとめ
た後に、ものづくり産業とナノテクの位置づけおよびナノテ
クで目指すべき4つの社会像を示し、ナノテクの産業化に向
けて7つのアプローチを提言している。さらに、ナノテクが
社会に与える影響と配慮すべき事項について論じている。

ナノテクというのは往々にしてイメージがわきにくく、国
としての目標が立てにくい。ここでは、まず国家として目指
すべきナノテク応用分野として、ナノテクを応用した安心安
全社会の実現、およびナノテクを応用した環境調和型社会の
実現を目標として提示した。

ナノテクを応用した安心安全社会の実現とは、ナノテクに
よって発現する「高感度」、「高比強度」などの機能を活かし、
情報端末、ポータブル電源などさまざまなハードウェア機器
を極小化、極軽量化したり、経済社会が抱える汚染、災害、
テロ、事故などのリスクを低減する安全安心かつ堅牢な社会
を構築することである。

ナノテクを応用した環境調和型社会の実現とは、ナノテク
の本質的な特性を活かして原子分子レベルから、消費、生産

出典：(財) 広域関東圏産業活性化センター「中小企業のナノテク活用による産業化の実態調査」(平成16年3月)より抜粋

図3 日本企業が関心を持つナノテク分野

政府予算	FY2001	FY2002	FY2003	FY2004	FY2005
	804億円	856億円	912億円	935億円	971億円

出典：総合科学技術会議、経済財政諮問会議資料より

図4 ナノテクノロジー・材料関連予算の推移

などの経済社会の諸活動を最適化する。たとえば、自己集積性を活かした省エネルギー型の新たな製造技術、ナノインプリント技術を活かした精密加工技術、ナノ構造の制御により活性を増大したナノ触媒などは、環境調和型社会実現の重要技術となるだろう。

このような新技術を振興して行く際の官民の役割分担に関しては、外部経済性が大きい安全基盤や標準化などは公益として国が主体、純粋経済行為に還元できるものはリスクを負って民間主体で取り組むというのが基本である。しかし、経済行為の中でも将来の不確実性が高く、企業としての当初リスクが非常に大きい場合に、民間主体の取り組みを国が支援することもあり得る。ただし、この場合の支援は資金的支援に限られず、関係者のコンセンサス形成、初期市場の形成、人材育成なども含まれる。

こうした整理に基づき、ナノテクの推進に向けた7つの提言(図5)を取りまとめた。第一に、国のすべき事項として社会影響や国際標準への対応がある。対極的に、純粋に企業で取り組むべきことであるが、トップ以下の明確なナノテクへのコミットメントが必要である。

第2から第6までは民間主体の取り組みに国が支援する項目である。まず、計測、解析、シミュレーションなどの共通基盤技術の体系的整備がある。これは、ある意味で従来からの研究プロジェクトの延長にあるが、より需要サイドと連携した実施が求められる。

次に、ナノテクのように革新的な技術ではあるものの初期市場の大きさは限定である技術については、公的な初期市場の創生が有効である。米国では国防や宇宙開発などが公的な初期市場を提供することで先端技術を牽引してきたことはよく知られているが、日本でも同様の公的初期市場がナノテクを牽引すると期待される。一例としては、経済産業省は消防庁と共同で先進防護服を検討している。高温に耐えられ、快適性、運動性に優れた先進防護服の実現により、人命救助活動の高度化やそれを行う消防士の安全性が高まることが期待される。このケースでは、経済産業省が高機能繊維の基盤的研究を支援し、消防庁が必要な機能の提示および開発に成功した場合の調達を行うことになる。

さらに、産学が一体となって不透明なナノテクの将来に立

ち向かうために、共同でロードマップを策定することも有効である。この場合、ロードマップ自体の価値もさることながら、策定のプロセスで関係者が密接に意見交換を行い、将来に対する事業的な不確実性を低減していくことに意味がある。その意味で、市場を協同して創造する「市場協創型」のロードマップが重要であると言えよう。付言すれば、大学も上記のロードマップを参考にしつつ、競争的な研究資金を確保する際に将来の産学連携を睨んだテーマ設定をすることが期待される。

また、ナノテクの特性から考えるとシーズとなる研究開発は設備の整った大企業内で行われる一方、初期市場が十分な規模を持たないために大企業自身はビジネス化しにくいケースが散見され、スピノフなどによるベンチャーの活用が望ましい。

なお、このような7つの視点から日米の状況を比較すると、特に第3項の初期市場を形成するための公的な調達と、第5項のスピノフベンチャーの活用、第6項の産学のマッチングの3点で、米国は我が国よりも優れたシステムとなっていると考えられる。

5. ナノテクノロジーの実用化支援

経済産業省では、ナノテクノロジーの実用化を進めるために、2005年度から「ナノテク・先端部材実用化研究開発(21世紀ナノテクチャレンジ)」プロジェクトを開始している。

ナノテクノロジーの大きな特徴は、原子分子レベルから画期的に新しい物質機能を創成するという点にあり、その意味では本質的に不連続なイノベーションをとまなう。したがって、あるナノテクの基盤技術を開発したプレーヤーが当該技術の将来のユーザーになる保証はないし、開発した基盤技術の応用ニーズを自社内に見つけられないという事例も目にする。

こうしたナノテクの本質的な特徴を前提とすれば、その実用化を支援するに当たっては、あるナノテクシーズを有する企業や大学と、その実用化アイデアを有する企業が連携してトライアル的に研究を進展させ、結果の評価次第でさらに大規模な研究を行うか、他のトライアルに移行するかを判断していくという、オープンシステムかつステージゲートを導入した方式が有効と考えられる。

21世紀ナノテクチャレンジ(図6)はこのような考え方に基づくもので、川上川下の垂直連携を前提要件として、第1ステージとしては年間約5000万円程度の全額助成を行う。数年後に成果の評価を行い、さらに実用化を目指して開発を進める場合には年間数億円に規模に拡大するものの補助率は2/3に引き下げ、自ら開発リスクを負担するものとする。

実用化を目指すべきナノテクノロジーとしては、自己組織化・自己集積化、薄膜成長、ナノインプリント、ナノ空間などの分野を予め指定するが、これらの技術を応用する製品分野については広く提案を公募することとしている。ちなみに、技術の応用分野としては、燃料電池、情報家電、医療福祉、環境エネルギーなど今後の重要産業として成長が期待される分野が想定されている。

1. ナノテクを巡る社会影響・標準化への対応

— 社会影響を巡るリスクコミュニケーション、国際標準化への貢献

2. 共通基盤技術の体系的整備と実用化への橋渡し

— 共通インフラ基盤技術(計測、ソフト)開発、需要サイドと連携したR&D制度の拡充

3. 初期市場を形成するための調達制度の活用(防衛、消防等の安全安心分野)

— 社会課題を解決するための調達型R&Dプロジェクト

4. 産学官一体での市場協創型ロードマップの策定

— 将来のニーズとシーズの創造型コンセンサスによる事業リスク低減

5. 大企業からの技術・人材を切り出すスピノフベンチャーの活用

— 大企業保有の技術・人材の評価と切り出しのインセンティブ付与

6. 大学等における基盤研究と産業ニーズのマッチング

7. 民間企業による「技術」「資金」「経営判断」の三位一体のコミットメント強化

— 受け身からナノテクによるソリューション提案能力の強化

— アライアンス戦略(垂直、異業種、産学、アウトソーシング)の戦略的展開

図5 イノベーションに向けた7つの提言

6. ナノテクの社会影響および標準化

ナノテクノロジーに限らず、新たな技術が人類の社会・生活にどのような影響を与えるのかについて、非経済的な事項を含めて広く検討することが求められるようになってきている。これは、安全性の問題のみならず、倫理面での課題やナノテクを持つ者と持たざる者の格差問題、軍事的利用の可能性など非常に幅広い分野を含む可能性がある。

その一方で、最近になって内外でナノ微粒子の安全性(生体影響や環境影響)を指摘する声を耳にするようになり、これに対する対応も急務となっている。

しかし、ナノテクのリスクを論じるためには、対象物質の特定、暴露環境の評価、測定方法の確定など、現時点では不十分なことも多い。対象物質をナノ微粒子に限定して考えるにしても、化学的組成、分子形状、凝集状態などを特定して論じる必要があるし、暴露に関しては研究、製造、使用、廃棄の各段階において生体が暴露する可能性がどれほどあるものなのかを客観的に評価しなければならない。

これらに関して曖昧なままに、いたずらに社会的不安を煽ることは決して健全なことではない。しかし一方で、生体や環境への影響の可能性を無視または対応を先送りすることがあってはならない。

さまざまなリスク評価の前提として、ナノテクに関連する標準の策定もまた急がれている。既にISO(国際標準化機関)においてはナノテクの標準化を議論する委員会が設置されたが、ここでは用語、命名法、計測法、安全性評価法などが順次論じられていくものと考えられる。

また、2004年からは日米欧の有識者によって、「ナノテクの責任ある研究開発」を論じるための非公式会合が定期的に開催されるようになっており、我が国も独立行政法人産業技術総合研究所を中心に積極的に対応している。

こうした国際的な動きに対しては、ナノカーボン微粒子の

分野などで高い技術力を持ち、また計測分野でも評価の高い日本が積極的に貢献していくことが求められている。

いずれにしても、新たな技術が社会に受け入れられて行くためには、技術の生み出す便益とリスクについて社会の各分野から多様な立場の参加を得て検討と対話を継続していくことが極めて重要である。

7. まとめに代えて

以上、我が国のナノテクの現状、経済産業省のナノテク支援政策の考え方、研究開発プロジェクトの事例、およびナノテクと社会に関する問題認識について述べてきた。

文中に述べたように、ナノテクノロジーは本質的に不連続なイノベーションであり、従来のように明確なブレークスルーポイントやターゲットを定めて多額の資金を投下すれば成果が上がるというものではない。むしろ多くの可能性に効率よくチャレンジし、成果をいかに迅速にビジネスに結びつけていくか、その意味で日本の真のイノベーション力が問われていると言えよう(図7)。

繰り返すが、キャッチアップ型の技術政策からフロントランナーとして世界をリードしていくために必要となるすべての要素がナノテクノロジーを取り巻いている。しっかりした

- ・ 研究、開発、事業化が一体となって将来の方向性にコンセンサスを形成することで不確実性を低減
 - － 戦略技術マップ(経済産業省、NEDO)
 - ・ 半導体、ストレージ・不揮発性メモリ、コンピュータ、ネットワーク、ユーザビリティ(ディスプレイ等)、ソフトウェア、創薬・診断、診断・治療機器、再生医療、CO2固定化・有効利用、脱フロン対策、化学物質総合管理、3R、エネルギー、ロボット、航空機、宇宙、ナノテク、部材、MEMS、グリーンバイオの分野で策定
 - ・ ビジネスロードマップ(NBCI)
 - ・ 産業界が主体となり、学官の協力の基にビジネスを指向したビジネス戦略ロードマップを策定し、ナノテク関連市場の新規開拓・拡大を目指す。

図7 戦略的ロードマッピング

図6 21世紀ナノテクチャレンジプロジェクト

図8 ナノテク未来図

科学に裏打ちされた技術開発、オープンなイノベーションシステム、学際的で幅広い知見を持った総合的な人材の育成、技術とビジネスの融合、そして社会との対話、国際的な協調などである。

こうした課題を克服して日本がナノテクで世界をリードしていくなら、日本が世界一流の科学技術立国であることを証明することになるに違いない。しかし、そのためには、政治、行政、産業、学術のあらゆる関係者が頭を切り換え、イノ

バージョンシステムを抜本的に変革する必要があるだろう(図8)。

(2005-9-7 受理)

文 献

- 1) 経済産業省；ナノテクノロジー政策研究会中間報告書（2005）
- 2) 中山 亨；New Diamond, No 78, p.2（2005）