

Title	日本のナノテク競争力分析(1) : 日本のナノテクは本当に強いのか(国際競争力・産業競争力(3),一般講演,第22回年次学術大会)
Author(s)	金間, 大介; 近藤, 章夫
Citation	年次学術大会講演要旨集, 22: 700-703
Issue Date	2007-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7372
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

日本のナノテク競争力分析（Ⅰ） —日本のナノテクは本当に強いのか—

金間大介、近藤章夫（科学技術政策研究所）

1. 背景・問題意識

一般的に、“日本のナノテクノロジーは強い”と言われるが本当だろうか。

第3期科学技術基本計画のナノテクノロジー・材料の分野別推進戦略では、その冒頭において、「我が国の材料技術は、（中略）全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている」と書かれている。しかしこれはあくまでも“材料技術”に対する記述である。同戦略では、ナノテクノロジー（以下、ナノテク）についても“世界トップレベル”と評しているものの、「材料技術の強みがナノテクノロジーの強みの源泉」としている。実際に、日本のナノテクに対し、危機感や閉塞感を強めている専門家も増えている。本稿では、論文や特許、アンケートなどの結果を踏まえた上で、定量的な分析からは十分に把握できない日本のナノテクの競争力および競争領域の変化について、ナノテクの持つ技術特性や産業構造の視点から検討を試みる。

2. 要素科学技術の定量的評価—論文、特許調査結果から—

2-1. 論文分析

基本的に論文からナノテクの研究成果を定量的に分析することは難しい。ナノテクは学際的領域であるが、“Nature Nanotechnology”のような最近発刊した専門雑誌を除くと、従来は学問領域別の学術雑誌が存在しなかった。従って、最近のナノテク専門誌のみでの分析は、質的あるいは量的にもまだ十分なデータとは言いがたい。そのため、ここではナノテクの基礎研究の成果について、基礎学問としての性質が強い材料科学および物理学に注目した¹⁾。

材料科学および物理学の分野における論文分析の結果では、物理学の被引用トップ10%論文シェアを除いて、全論文シェア、被引用トップ10%論文シェア共に日本はトップを走るアメリカに次ぐレベルにあり、年々その差は縮まりつつある。特に材料科学ではアメリカ以外の国を大きくリードしている。

2-2. 特許分析

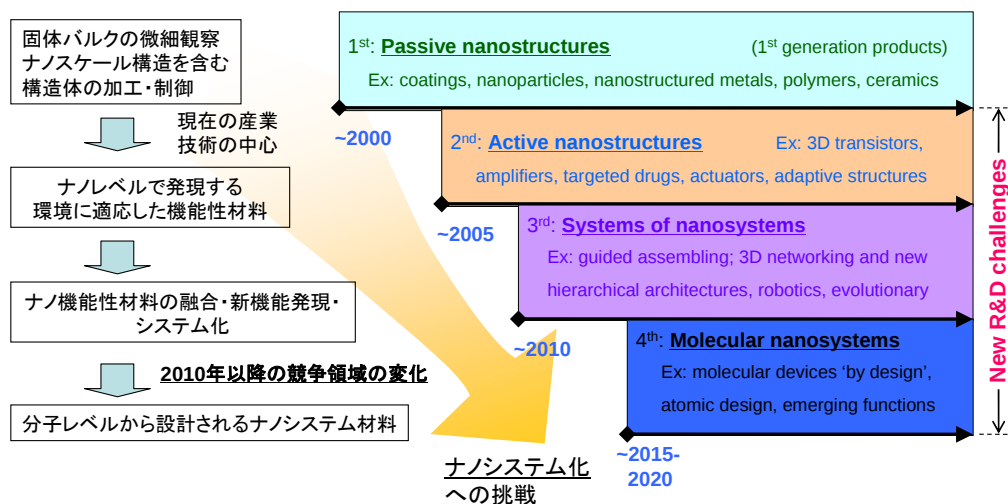
特許に関しては、ナノテクあるいはナノテクを使った応用技術に関連したキーワード検索を用いて、各国のナノテク特許出願の状況を見ることができる。4大特許機関（日本特許庁・米国特許商標庁・欧州特許庁・世界知的所有権機関(WIPO)）へ出願された特許を、出願人の国籍の違いから分類を行った²⁾³⁾。2003～2005年の出願人の国籍比較を出願数の多い10ヶ国についての傾向を見ると、2005年では、米国籍が約6700件と最も多いが、日本も約4200件で第2位であり、他国を大きく引き離している。経年変化で見ても、日本のナノテク関連特許は米国と並び大幅な増加傾向となっている。

3. ナノテクの技術特性とナノシステム化への挑戦—直面する技術的不確実性の増大—

図表1に米国国家ナノテクノロジー・イニシアティブ(NNI)を中心となって主導してきたM.Roco氏が描く、ナノテク技術が産業化されるまでの時間と技術レベルを示す⁴⁾。この図では、従来の材料の微細加工技術を向上させた結果、これまでに無い新しい機能を発現することとなった受動型ナノ構造材料を第一世代とし、徐々にナノレベルにおいて発現する独自で新しい機能が他の材料やシステムに影響を与える能動型ナノ構造材料を第二世代、それらナノレベルの新機能が独自のシステムとなって新しい機構を発現するナノシステム構造を第三世代、そしてナノレベルの各分子が固有の機能を発現する分子デバイスとして原子・分子レベルから設計されるナノシステム材料(第四世代)へと進んでいる。技術例としては、第一世代:コーティング、ナノ粒子、ナノ構造金属など、第二世代:ターゲット医薬、環境応

答型構造材料、アクチュエータなど、第三世代:3次元ネットワーク構造材料、超分子材料など、第四世代:原子・分子レベルで設計・ナノシステム化された分子デバイスなどが挙げられている。

ナノテクは競争領域の変化を迎えつつある。スケールダウンを繰り返すことで従来の技術課題を突破し、材料の持つ機能と特性を向上させるトップダウン技術から、最終的には分子レベルで設計され、ナノ機能性材料のシステム化を目指すボトムアップ技術への変化である。今後のナノテク研究は、分子レベルで設計される機能性ナノシステム材料開発への挑戦が主流となると予想される。



図表1 M.Roco氏によるナノテクの技術的發展スケジュール⁴⁾

4. ナノテクの競争領域の変化と日本の強み・弱みの関係

次に、デルファイ調査⁵⁾の結果を用いて、日本のナノテクの競争力を分析した。図表2に、デルファイ調査のナノテク分野に含まれる9の領域に対する研究開発水準(現在)の評価結果(5段階)を、領域名およびその概要から判断して、上方にボトムアップ技術の性質が強いもの、下方にトップダウン技術の性質が強いものを並べた。対米、対EUの列にある指数は、領域ごとの5段階評価の集計結果を10段階へ指数化した値である。これらの結果を見ると、トップダウン技術では日本は優位に立ち、ボトムアップ技術では相対的にやや劣位になっていることがわかる。特に対米では互角水準の5.0を境にして、形勢が2分されているのがわかる。

	ナノテク・材料分野に含まれる領域 ^{※1)}	対米 ^{※2)}	対EU ^{※2)}
ボトム アップ ↑ ↓ トップ ダウン	ナノ材料モデリング・シミュレーション	4.06	5.07
	ナノバイオロジー	3.53	4.82
	ナノデバイス・センサ	4.81	5.72
	NEMS技術	4.85	5.90
	物質・材料の創製・合成技術・プロセス技術	5.58	6.31
	ナノレベル構造制御による新規材料	5.47	6.28
	ナノ計測・分析技術	5.15	5.94
	環境・エネルギー技術	5.80	6.27
	ナノ加工・造型・製造技術	5.82	6.56

※1)「安全・安心社会に関わるナノ科学」(対米:3.98)は技術的判断が困難なため
 ※2) 互角水準を5.0として指数化している

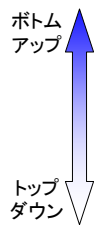
図表2 ナノテク・材料分野の研究開発水準に関するデルファイ調査結果⁵⁾

ただし、これらの領域の中には、割合に差はあるもののボトムアップ技術とトップダウン技術の要素の双方が混在している領域もある。そこで、ちょうど中間に位置付けられた「物質・材料の創製・合成技術・プロセス技術」領域内のデルファイ課題を取り上げ、図表3にその水準の評価結果を示す。全てのデルファイ課題は、現状ではまだ未実現で、将来実現すべき、あるいは実現されるであろう技術的課題となっている。図表3では、図表2と同様にボトムアップ的要素の強いデルファイ課題を上方に、トップダウン的要素の強いものを下方に位置付けてリスト化した。デルファイ調査

では、これらのデルファイ課題において第一線にある国(地域)を日本、米国、EU、(日本以外の)アジア、その他より選んでもらっている。図表3には、その最も得票数の多かった国(地域)を並べた。結果として、図表2と同様に、トップダウン技術では日本の優位性が現れているものの、ボトムアップ技術では一部(ナノチューブ作成技術)を除いて米国にその座を譲っていることが見てとれる。

なお、ここでは図表2において中央に位置した領域を取り上げて分析したが、その他の領域に属する課題でも、同様の傾向が現れている。例えば、ボトムアップ的要素の強い「ナノ材料モデリング・シミュレーション」や「ナノバイオロジー」領域では、第一線にある国として米国が日本を圧倒しており、逆にトップダウン的要素の強い領域では日本を第一線とする回答結果が多くなっている。

将来的にナノテク研究の挑戦がボトムアップ技術へシフトしていくとき、日本は米国に対し、同分野の科学技術競争力を相対的に弱めていくことが懸念される。すなわち、トップダウン技術が主流である現状においてある程度の強みを発揮してきた日本は、ボトムアップ技術あるいは機能性ナノシステム材料開発へとその競争領域が変化することによって、徐々にその競争力が低下していく可能性がある。

	「物質・材料の創製・合成技術・プロセス技術」領域の技術課題 ^{※1)}	第一線にある国 ^{※2)}
	有機・無機・金属等の材料をナノレベルで自在にアッセンブリーする技術	米国
	mRNA、tRNAを用いないin vitroのシーケンス制御による、任意の構造を持つタンパク質合成法	米国
	設計通りの構造をもつナノチューブ作成技術	日本
	固体表面・界面の構造と性質を原子レベルで自在に制御する技術	米国
	光をエネルギー源として炭酸ガスと水から直接プラスチックを合成する技術	米国
	照明用の有機高分子面発光体	日本
	ナノ構造制御による超塑性セラミックス製造技術	日本
	気相コーティングでダイヤモンドより硬い工具を作製する技術	日本
^{※1)} 当領域には11の課題があるが、そのうち回答結果に明らかに有意な差(R1で10%以上)が現れた8課題をリスト化した ^{※2)} 第一線にある国を日本、米国、EU、(日本以外の)アジア、その他より選択		

図表3 「物質・材料の創製・合成技術・プロセス技術」領域に含まれるデルファイ課題の研究開発水準に関するデルファイ調査結果⁵⁾

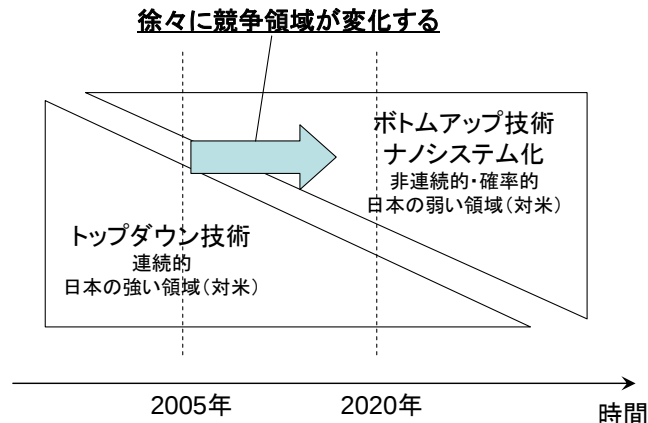
5. トップダウン技術とボトムアップ技術の特徴比較と相対的低下が懸念される日本の競争力

図表4でトップダウン技術とボトムアップ技術の特徴比較を試みた。トップダウン技術は、現状技術の技術的課題の解決を目指し、次々と個別要素へ課題を移行させながら進行する。一方、ボトムアップ技術は、ターゲットの技術的不確定要素が大きいと、科学技術シーズのサーチコストが膨大となる可能性がある。しかし、ナノテク分野が将来的に図表1のように進み、ナノシステム化技術の研究開発が中心になった場合は、その技術的先進性から技術的競合相手は少ないと考えられる。その他、両技術における研究開発戦略やマーケットの有無、代表的技術などを図表4中に示す。

図表5に、図表1および図表4を前提として、トップダウン技術からボトムアップ技術へと徐々にナノテクの競争領域が変化していく様子を概念的に示す。現在、トップダウン技術の領域において強みを発揮している日本は、技術の競争領域が変化することで徐々にその国際競争力を弱めることが懸念される。

	トップダウン技術	ボトムアップ技術
研究開発の方向性 技術特性	微細化による物理的限界への段階的進行 (マイクロレベルから)スケールダウン 分析的	分子レベルからのナノシステム化 (ナノレベルから)スケールアップ 技術的不連続性大
研究開発戦略	ロードマップの戦略 連続的	非ロードマップ的・新産業創出 確率的
研究開発のターゲット 及びマーケット	(ある程度)明確	不明確・探索的
相互関係	(ボトムアップ技術に対し)課題の提示	(トップダウン技術に対し)ソリューションの提示
代表的技術	・半導体微細化技術 ・ナノ複合材料 等	・分子デバイス ・自己組織化技術 等
日本の競争力(対米)	強い	弱い

図表4 トップダウン技術とボトムアップ技術の特性比較



図表5 今後予想されるナノテクの競争領域の変化

6. ナノテクの実用化を目指したイノベーションシステムの構築

ボトムアップ技術を発展させ、最終的にナノシステム化技術を実現させるには、それらを支えるサイエンスベースでの研究開発が不可欠となる。ナノテク研究者は、この不確実性の高い研究開発を強く意識して基礎研究を促進するべきであり、そのためにはまず、未だ確立されていないナノシステム化のための基礎研究手法を、構築・促進していく必要がある。

ナノテク、特にボトムアップ技術はその技術的特性から、極めて不確実性が高く、研究開発には長期間の継続的かつ漸増的な投資が必要となる。日本には、このような投資を可能とするためのイノベーションシステムが補完的制度として十分には確立されていない。政策や投資側から見た場合、いかにリスク分散したシステムを設計できるかが鍵となる。また、技術ロードマップは、投資の方向性を明確にするとともに、社会経済的な波及効果まで見据えることによって事前の投資の合理性を担保する役割を担ってきた。しかし、ナノシステム化を目指すボトムアップ技術を中心とした将来のナノテクは、極めて技術的不確実性が高く、現在の手法では効果的な戦略の立案・推進に限界が生じている⁶⁻⁸⁾。今後は、このようなナノテクの特性を包含した戦略マネジメントツールの新たな作成方法の検討が求められる⁹⁾。

7. 参考文献

- 1) 「我が国の研究活動のベンチマーキング」(NISTEP REPORT No.90) 科学技術政策研究所(2005)
- 2) 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/>
- 3) 金間大介「ナノテクノロジー分野における各国の特許出願状況」(科学技術動向2006年6月号) 科学技術政策研究所(2006)
- 4) Roco, M. C. (2004) “Overview of National Nanotechnology Initiative”, National Science Foundation ホームページ <http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/>
- 5) 「デルファイ調査」(NISTEP REPORT No.97) 科学技術政策研究所(2005)
- 6) 金間大介「EUNANOロードマップ ―ナノテクノロジー分野における技術ロードマップの課題と今後の展望―」(科学技術動向2006年10月号) 科学技術政策研究所(2006)
- 7) Walsh, S. T. (2004) “Roadmapping a disruptive technology: A case study: The emerging Microsystems and top-down nanosystems industry”, *Technol. Forecast. Soc. Change*, Vol. 71, pp.161-185.
- 8) Martin, R. (2004) “Technology roadmaps: Infrastructure for innovation”, *Technol. Forecast. Soc. Change*, Vol. 71, pp.67-80.
- 9) Kostoff, R. N., Boylan, R. and Simons, G. R. (2004) “Disruptive technology roadmaps”, *Technol. Forecast. Soc. Change*, Vol. 71, pp.141-159.