

Title	日本のナノテク競争力分析(II) : 日米ナノテクベンチャーの比較から(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)	近藤, 章夫; 金間, 大介
Citation	年次学術大会講演要旨集, 22: 704-707
Issue Date	2007-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7373
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（Ⅱ）

―日米ナノテクベンチャーの比較から―

○近藤章夫，金間大介（科学技術政策研究所）

1. 問題の背景

ナノテクノロジーとは、物質をナノメートル(10 億分の 1 メートル)の領域で人工的に制御する技術の総称である。ナノテクノロジーの開発手法は大別するとトップダウン方式とボトムアップ方式に大別される。前者は、スケールダウンを繰り返すことで従来の技術的課題を突破し、材料の持つ機能の向上を目指す方法で、後者は原子や分子レベルの要素を組み合わせることで新しい機能をもった人工物をつくる方法である。トップダウン方式の研究は、目的が明確であるケースが多く、かつ段階的なプロセスを経るため、漸進的な発展を遂げてきた。シリコンなどの半導体デバイス関連材料が好例である。一方、ボトムアップ方式での研究開発は十分に事業化されているとはいいがたく、多くが研究途上のレベルにある。フラーレンやカーボンナノチューブ、量子ドットなどナノスケールで全く新しい機能や特性を発揮する材料が次々と発見され、近年の超微細計測・加工技術の発展とともに、様々な応用を目指し研究が行われている。自己組織化など、従来の材料を使いながらも全く新しい機能・特性を発現する材料の複合あるいはナノシステム化技術も注目を集めている。

科学技術立国を標榜する日本において、こうしたナノテク分野に対する期待は大きい。既存のマーケットを刷新する効果が見込めるだけでなく、新規のマーケット創出も大規模かつ広範囲にわたると予測されているからである。フラーレンやカーボンナノチューブなど、部分的にマーケットが創出された例も散見されるが、研究開発の規模とその予想される応用範囲を鑑みると、現段階でマーケットの創出が小規模にとどまっており、ナノテクを取り巻くイノベーション・システムの課題は少なくない。もともと、ナノテクは材料工学の 1 分野に過ぎなかったが、2000 年に当時のビル・クリントン米国大統領による連邦予算教書の演説で、「国家ナノテクノロジー計画(NNI)」が発表されて以降、一躍脚光を浴びることとなった。そこでは米国、欧州と並び日本もナノテク「大国」として位置づけられた。わが国の対応も米国にならってナノテクを国家的戦略研究目標としたことで、多くの研究予算が配分されるようになり、『科学技術基本計画』においても重点推進 4 分野の 1 つとなっている。

本論でナノテクを取り上げるのは以下のような特徴をもつからである。第 1 に、ナノテクノロジーは既存材料の代替にとどまらず、新分野の創出まで幅広いイノベーションが期待されている。すなわち、マーケットから社会システムまで刷新する潜在力を秘めており、期待値が極めて大きい。第 2 に、セクター・イノベーション・システムのスキームに収まらない、分野の越境や融合が多い。このことは、ある成果が市場を通じて広がったならば、その波及効果が極めて大きいことを意味する。一方で、次節で詳しく検討するが、技術予測が難しくノンリニアなプロセスで発展する。そのため、投資から成果までの道筋が不透明であり、探索的かつ確率的なスキームで進展する。この点は、研究開発投資を継続するか否か、どのようなテーマに集中投資すべきか、投資効果に対してどの程度波及効果が見込めるのか、といった問いに対して事前には十分に合理性をもって答えられないという難しさに直結する。第 3 に、ナノテクノロジーではボトムアップ方式に技術開発が移行するにつれて複雑性と不確実性が急激に高まりつつあり、発見・発明から事業化にいたるまでの投資金額の閾値が増加しつつあるように見受けられる。全般的に、特定科学技術分野のイノベーションには投資の集中が必要になってきつつあり戦略的な投資行動が求められつつあるなかで、ナノテクは上述のような先鋭的な問題関心を喚起させる分野だといえる。

2. ナノテクの研究開発手法と政策的課題

前述したように、ナノテクノロジーの技術にはトップダウン方式によって開発されるものと、ボトムアップ方式によって

開発されるものがある。前者は既存の技術的に確立された材料を微細化する開発方法であり、後者は原子や分子などの最小物質から積み上げて微小な構造体を創る開発方法である。例えば、よくいわれる事例として、半導体デバイスは前者の手法で発展してきた。半導体デバイスは集積度の向上が著しいが、それは微細加工の進展によってもたらされたものである。直近では先端的な開発品では半導体デバイスの加工線幅が 45nm レベルにまで達しており、リソグラフィーやエッチングの技術などナノテクのトップダウン手法によって可能となった。しかし、半導体デバイスでは加工線幅がナノレベルになるにつれ、電流の遅延や漏電などの問題が頻繁にみられるようになってきた。このことは半導体デバイスのトップダウン式の加工において、物理限界に近づきつつあることを示している。微細化がこのまま進むとしても、いずれは原子・分子レベルのスケールまでで限界をむかえるからである。

半導体のケースは一例ではあるが、ナノテクの研究開発の手法は現在、大きな転機をむかえているといえる。すなわち、半導体デバイスや材料加工において大きな成果をあげてきたトップダウン方式において物理限界が見え始めたことで、新たな開発方法を模索する動きでできている。このことはトップダウン方式からボトムアップ方式へと主流が移り変わるという手法の変化だけにとどまらない問題を含むことになる。このことに関して報告者らは2点の問題点を考えている。第1に、研究開発方法としてトップダウン方式は明確な目標とそれに付随して段階的なプロセスをふむことが容易である。無論、研究開発には失敗がつきものであるし、紆余曲折はある。しかし、トップダウン方式は研究開発の対象が明確になりやすく、大きなものから小さなものへという漸進的なステップをふむことで、段階的に発展しやすく、リニアモデルとの相性が良い。逆に、ボトムアップ方式は原子・分子レベルからの組み合わせで構造物を創る方法のため、原子・分子がどのような相互作用を起こすかは事前に予想することが困難であり、また目標とする構造物をどのように創るかについてアプローチから試行錯誤しなければならない。本質的にノンリニアなプロセスとなる。第2に、トップダウン方式とボトムアップ方式を比べると、明らかに後者のほうが複雑性は高い。原子・分子を組み合わせることによって新しい構造体を創造するにしても、その組み合わせは膨大な数にのぼる。いわば行列で「組み合わせ爆発」が起こりやすい。

このような研究手法の流れからも研究開発の投資額は増加が不可避となっている。投資金額が巨大になるにつれ、リスクも大きくなり、費用対効果の点からも事前の予測が困難になってきている。こうした流れのなかで、政策的な課題としては以下の2つに大別できる。第1に、技術ロードマップの策定やシナリオプランニングを通じて、事前の不確実性の減衰を図り投資の道筋をつけることである。EUでは、2004年に欧州委員会が「Toward a European Strategy for Nanotechnology」と題する指針を採択し、2005年には5年間のナノテク行動計画「Nanosciences and Nanotechnology: An Action Plan 2005-2009」やEUナノテクロードマップを策定している。日本においても、経済産業省が2005年から「技術戦略マップ」を策定するなど、この方向で各国の動きは活発化しつつある。第2に、継続的な投資が産学官つうじて可能となるような、イノベーション・システムの制度構築を図ることである。具体的には、研究開発投資における公共投資と民間投資のシームレスな接合が課題となる。この点から、注目したいのはベンチャー企業の創出やベンチャーキャピタルの動向である。日本は、ベンチャー企業の創出を産学官あげて推進しているが、いまだベンチャービジネスに関して米国などの後塵を拝している。シリコンヴァレーの例をだすまでもなく、わが国は新事業創出の制度の点で発展途上であり、ベンチャーキャピタルや新規事業へのマインドを支える諸制度など政策的な課題が多いといえる。

3. ナノテク分野のイノベーションへの課題とベンチャーへの期待

ナショナル・イノベーション・システムの競争力向上には、科学技術の研究成果を社会的・経済的価値として永続的に発現させる仕組みが欠かせない。そのなかでも、近年ベンチャー企業の存在感が高まっており、イノベーションの原動力として、産業構造の変革や新産業の創出、大学・研究所等の研究成果の事業化などに大きな役割を担うことが期待されている。

ナノテクのベンチャー企業は1990年代後半より増加傾向にある。特に、米国における増加が顕著であり、研究開発と同様にベンチャー企業も他国に比べて圧倒的となっている。ベンチャー企業への投資は中核的な経営資源をもとに査定される。すなわち、ナノテク関連のベンチャー企業の市場性評価はナノテクノロジーの技術水準をもとに行

われる。しかし、一般に技術・製品の開発投資や市場導入に関する技術戦略をとるうえで、先端的な科学技術ほど非市場的な取引や制度が重要性を増しつつある。ベンチャー企業は一般にスタートアップ期、アーリーステージ(成長初期)、ミドルステージ(本格的成長期)、レイターステージ(経営基盤強化期)、IPO以後の成長段階を経るが、研究開発の成果を事業化する過程で「死の谷」があるとされる。スタートアップ期に対する公的支援については多くの国で進められており、政策的にも整備されつつある。しかし、「死の谷」を克服しベンチャー企業の存続確率を上げるような非市場的な取引や制度はベンチャーキャピタルの厚みに依存する。特に、ナノテクノロジーの分野ではベンチャー企業に関わる市場が十分に立ち上がっていないため、具体的には資金調達、人材確保、技術評価、知的財産権の設定、マーケティング(市場へのアクセス)などの多くが非市場的な取引・制度に拠っている。特に、中核経営資源が先端的な科学技術に依存するベンチャー企業の場合、技術特性や成長段階に応じて、投資金額が幾何級数的に増加する傾向にある。また、技術的イノベーションのプロセスが研究開発投資から事業化のそれぞれのフェーズで直線的に進む線型モデルではなく、相互にダイナミックな学習プロセスがあり異なるアクター間の相互作用から創発されるノンリニアモデルで進む可能性が高いことを念頭におくと、ベンチャー企業の成長過程で人的ネットワークや学習機会のあり方も重要になってくる。

先進性の日米ナノテクベンチャー企業比較(1)

	先進性の日米ナノテクベンチャー企業比較(1)	
	米国ナノテクベンチャー企業	日本ナノテクベンチャー企業
ボトムアップ技術	Nanocrystals Technology	量子ドット
	NANOSYS, INC.	
	ZIA LASER, INC.	
	CALIFORNIA MOLECULAR ELECTRONICS CO.	ナノ分子デバイス
	NANOLAYERS	
	NANOLOGIC, INC.	新型コンピュータ
	NANOPLEX TECHNOLOGIES, INC.	ナノ粒子バイオ応用
	NANOSPECTRA BIOSCIENCE, INC.	
	NANOSPHERE, INC.	
	QUANTUM DOT CORPORATION	
	NANOCHIP, INC.	超高密度メモリ
	NANOMAGNETICS LTD.	オプトウエア
	ZETTACORE, INC.	
	Biophan Technologies, Inc.	新機能材料
	Broptics Communications Corp.	(シールド材、
	Konarka Technologies, Inc.	ポリマー太陽電池、
	Quantum Polymer Technologies	導電性プラスチックナノワイヤ等
	Molecular Nanosystems	CNT(カーボンナノチューブ)
	NANOMIX	デバイス
	Zyvex Corporation	プロトンC60/パワー
	AVIVA BIOSCIENCES	ジェイジーエス
	BIOMICRO SYSTEMS, INC.	マイクロ化学技研
	FLUIDIGM CORPORATION	フルイドウエアテクノロジーズ
	Micronics, Inc.	
	NanoSpire	
	NANOSTREAM	
	iMEDD, INC.	ナノメンブレン
	ARRYX, INC.	fsレーザ、
		レーザマニピュレーション等
	BIOFORCE NANOSCIENCES, INC.	バイオ・ナノテク・リサーチ・インスティテュート
	Cytoplex Biosciences, Inc.	アルネアラボラトリ
	Excellin Life Sciences, Inc.	サイバーレーザ
	GENICON SCIENCES CORPORATION	生体分子計測研究所
	IMAGO SCIENTIFIC INSTRUMENTS CORPORATION	
	Integrated Nano-Technologies	
	NanoSensors	
	PICOCAL	
	SPINELIX	
	Triton BioSystems, Inc.	
	Quantum Precision Instruments Pty Ltd.	超小型センサ、MEMSセンサ等
		リベックス
	Alinis BioSciences, Inc.	フォトニックサイエンステクノロジー
	C SIXTY, INC.	LTIバイオファーマ
	INSERT THERAPEUTICS, INC.	インターサイト・ナノサイエンス
	NANOMED PHARMACEUTICALS, INC.	ナノキャリア
	NeoPhotonics	人工皮膚・網膜
	OPTIVA, INC.	光IC
	SiWAVE, INC.	ニデック
		フォトニックラティス
	NanoGram Devices	デプト
	NANOPOWDER ENTERPRISES, INC.	
	Nano-Tex, LLC.	
	NTERA LTD.	クリーンベンチャー21

先進性の日米ナノテクベンチャー企業比較(2)

トップ
ダウン
技術

米国ナノテクベンチャー企業	コア技術	日本ナノテクベンチャー企業
NANOMUSCLE nPOINT, INC.	ナノアクチュエータ	ナノコントロール イーメックス ヒーハイス精工
CARBON NANOTECHNOLOGIES, INC. Eikos, Inc.	CNT製造	カーボン・ナノテク・リサーチ・インスティテュート (有)ナノ炭素研究所 フロンティアカーボン
ADVANCED DIAMOND TECHNOLOGIES ATOMIC-SCALE DESIGN, INC. CHEMAT TECHNOLOGY, INC. INMAT LLC.	ナノコーティング	白鳥ナノテクノロジー ティーアンドケー
NANOINK, INC. NANONEX CORPORATION NANOOPTO CORPORATION	ナノインプリント	MEMSコア アイトリックス デバイス・ナノテク・リサーチ・インスティテュート ナノデバイス・システム研究所
ALTAIR NANOTECHNOLOGIES, INC. CIMA NANOTECH(Nano Powders Industries) Five Star Technologies, Inc. Hi-Q Materials, Inc. MATERIALS MODIFICATIONS, INC. Nano Interface Technologies, Inc. Nano Gram NanoHorizons, Inc. Nanomaterials Discovery Corp. Nanomys, Inc. NANOTECHNOLOGIES, INC. NANOVA, LLC. NANOVENTIONS, INC. Nanometrology LLC.	ナノ粒子・ナノ構造製造技術等	日本ナノテク ミレニアムゲートテクノロジー
	ナノ計測技術	つくばナノ・テクノロジー テクノス 東京インストルメント ナノテックス ナノフoton 日本分光 ワイコフ科学
	ナノ加工、精密機械加工技術等	アデプト・ジャパン エクスレイブレジション エリオニクス クラスターテクノロジー クレステック ナノ
	結晶成長技術	ナトライド・セミコンダクター ナノテコ シクスオン オキサイド
Sherman & Associates, Inc.	真空装置/微細加工プロセス装置等	アールデック アドテックプラズマテクノロジー オプトラン 片桐エンジニアリング サイエンステクノロジー ナノテック ユーテック リソテックジャパン

出典:『科学技術動向』2007年5月号, pp.14-15.

4. ナノテク分野のイノベーションへの課題とベンチャーへの期待

ベンチャー創出に関する非市場取引・制度として厚み(thickness)をもっているのは米国が代表的である。ベンチャーキャピタルの投資額や分野別投資額をみても、他国に対して大きな差をつけている。ナノテクノロジーの代表的なベンチャー企業を日本と米国で比較すると上の図表になる。左側に米国のナノテクベンチャーを、右側に日本のナノテクベンチャーをリストアップしている。両者の中間に各企業のコア技術を示している。管見すると、米国のベンチャーの方が先進性の高い、ボトムアップ方式の技術領域で起業に成功しており、日本のベンチャー企業はトップダウン方式の技術領域で数多く存在している。前述した開発方式の変化をふまえると、今後はボトムアップ方式での技術開発に重点が移りつつあるが、米国のナノテク開発においてはベンチャー創出の点で日本に先んじているといえる。そのため、中長期的にみて日本のナノテク競争力が相対的に弱化的に弱くなることが懸念される。ナノテクの研究開発投資において政府や関係機関からの投資額は米国やEUと比較しても遜色はない一方で、公共投資から民間投資へのシームレスな橋渡しという観点でベンチャー創出の現状をみると、国の研究開発戦略から社会的イノベーションへの一連のイノベーション・システムの制度にボトルネック要因があるといえる。