

## 「EU ナノロードマップ」 —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—

近年、社会経済の発展におけるイノベーションの重要性が広く認識されるようになると共に、将来の研究開発を効果的に計画・実行していくための手法として技術ロードマップが注目を集めている。欧州委員会では、第6次フレームワークプログラム（The Sixth Framework Programme：FP6）の一環で、ナノテクノロジーに関するロードマップ（EU ナノロードマップ）を作成し、2006年1月にホームページにて公開した。ナノテクノロジーに関連する3つの研究分野（材料、健康・医療、エネルギー）を対象に、2015年までのナノテクノロジーの中長期的な予測と概観を目的としている。本稿では、このEU ナノロードマップの概要を紹介すると共に、同分野における技術ロードマップがこれから直面すると予想される課題や今後のあり方について検討を試みる。

EU ナノロードマップは、2004～2005年にわたる約2年間、調査・実施されたプロジェクトで、1年目に世界各国のナノテクの政策や技術動向に関する情報の収集と分析、それを基にしたナノテクの応用分野の模索を行い、続く2年目に3分野それぞれ4つの技術領域に焦点を絞った上でロードマップ作成作業を行っている。各年の11月には国際会議を開き、参加者からの意見収集を行い、また調査の実施に当たっては、EU内の8カ国とイスラエルの技術系コンサルタントがそれぞれの得意分野を活かした形での国際的なコンソーシアムを形成している。実際のロードマップ作成においてはデルファイ調査の手法を採用し、この調査には約230名の専門家が回答し、全体の8割強が欧州各国から、また6割強がアカデミアから参加している。

EU ナノロードマップの特徴として、技術面以外の観点が多岐にわたる盛り込みであることが挙げられる。1年目に実施した事前調査編では、各分野における経済効果や社会影響、技術動向、世界各国の施策等を扱っている。技術ロードマップ編では、各技術の特徴やリスク、世界におけるEUの競争力、将来における応用等が今後10年間にわたり予測・分析されている。作成されたロードマップは技術の応用例を中心にして、横軸を時間ではなく開発のフェーズ（基礎研究、応用研究等）毎に描かれており、時間軸の概念は2005年から5年毎に3枚のマップを描くことで表現されている（材料分野）。その後技術的・社会的課題やボトルネックについて議論されている。そこでは、技術の国際競争力比較や融合研究施設の必要性など、多岐にわたり検討されている。

ナノテクノロジーのように新しい産業の構築を目指す研究領域では、技術的実現の不確実性および市場の不確実性から、技術と製品とのつながりをマップ中に描くことは非常に難しい。従って同分野のロードマップは戦略の明確化を進めながらも、必要以上にナノテクの持つ可能性を狭めることの無いよう注意する必要がある。これに対する具体的対策としては、毎年改定を継続していくことや、将来求められるであろう材料の「機能」や「特性」に軸足を置いたマップ作りを行うこと、また、他分野のロードマップとの整合性を強化することで目標を明確にすること等が考えられるが、それらに加えて、前述したようなナノテクロードマップの持つ課題や危険性を作成者・使用者共に十分理解することが重要であろう。

# 「EU ナノロードマップ」

## —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—

金間 大介

ナノテクノロジー・材料ユニット

### 1 背景と目的

欧州委員会 (The European Commission: EC) は第6次フレームワークプログラム (The Sixth Framework Programme: FP6) の一環として、ナノテクノロジーに関するロードマップ (EU ナノロードマップ) を作成し、2006年1月にホームページにて公開した<sup>1)</sup>。ナノテクノロジーに関連する3つの研究分野 (材料、健康・医療、エネルギー) を対象に、2015年までのナノテクノロジーの中長期的な予測と概観を目的としている。本稿では、このEU ナノロードマップの概要を紹介すると共に、同分野における技術ロードマップがこれから直面すると予想される課題や今後のあり方について検討を試みる。

まず、第1章では、一般的な技術ロードマップの基本的な考え方や、半導体やナノテクノロジー分野に関する代表的なロードマップを紹介する。

1 - 1

#### 技術ロードマップとは

近年、社会経済の発展におけるイノベーション創出の重要性が広く認識されるようになった。特に今日のイノベーション研究では、大学や企業の研究開発のみに注目

するのではなく、市場や社会ニーズ、制度・規制等までも含めた総合的なシステムとしてイノベーションを効果的に生み出していくことが必要であるといった、いわゆるナショナル・イノベーション・システム構築の重要性が謳われている<sup>2)</sup>。ただし、そこには同時に、市場や社会ニーズの潜在化、環境・エネルギー問題の浮上、技術の高度化・複雑化といった様々な課題も浮かび上がっている。

そのような中、将来の研究開発を効果的に計画・実行していくための手法として注目を集めているのが技術ロードマップである。技術ロードマップとは、一言で言うと、将来における市場や社会情勢、国内外における技術の比較優位性等を総合的に検討し、目標とすべき技術の将来像について関係者における合意形成を目指し、それを視覚的に提示したものである。これを作成することによって得られる具体的なメリットとしては、①中長期的な研究開発戦略の明確化、②産学官による統一された実現目標の共有、③技術の高度化・複雑化に対応した研究開発のコミュニケーション・コラボレーションの促進、④技術的ベンチマーク効果、⑤技術的限界の顕在化、などが考えられる<sup>3)</sup>。

1 - 2

#### 技術ロードマップの発展と半導体・ナノテクノロジー分野の技術ロードマップ

そもそも技術ロードマップは、米国の半導体メーカーであるモトローラ社が、新製品開発やそのマネジメントに用いたことに端を発していると言われている<sup>4)</sup>。その後IBM社等の他の米国企業も導入を進め、1990年代には官民共同で米国国家半導体技術ロードマップ (National Technology Roadmap for Semiconductors: NTRS) が作成された。この段階から、技術ロードマップは一企業内の戦略立案プロセスとしての活用から、ある特定の技術業界の発展を前提とした戦略共有と対話のためのツールへと発展した。更に現在では、この動きが後の有名な国際半導体技術ロードマップ (International Technology Roadmap for Semiconductors: ITRS) へと進化している。このITRSは技術ロードマップの中でも最も成功した例として、半導体の分野以外からも注目を集めている。

我が国では、主要企業 (主に大企業) が所有する技術ロードマップのほかに、2005年3月に経済産

業省が(独)産業技術総合研究所や(独)NEDO 技術開発機構等の関係機関と共に作成・発表した技術戦略マップが有名である。これは政府レベルとしては初めての全分野俯瞰的な技術ロードマップであり、2006年4月に改定したバージョンでは、計24技術領域において作成されている<sup>5)</sup>。

また、ナノテクノロジーの分野では、産業界が主導となり21世

紀を担うナノテクノロジーとビジネスをマッチングし新しい産業を発掘することを目的として設立された団体：ナノテクノロジービジネス推進協議会(Nanotechnology Business Creation Initiative: NBCI)が、ナノテクノロジーに関連する計8領域について、ビジネス戦略ロードマップを作成している<sup>6)</sup>。

次章から紹介する EU ナノロー

ドマップは、これらの活動と比較しても政府が公的資金を投入して産学官の知識を結集した形で作成したことを考慮すると、作成推進形態としては経済産業省の技術戦略マップに最も近いものと言える。ただし、EU ナノロードマップの場合はその名の通りナノテクノロジーのみに関するロードマップであり、他分野のロードマップは作成していない。

## 2 EU ナノロードマップの目的、作成手法と構成

### 2 - 1

#### 目的 (Goals)

EU ナノロードマップは、欧州の研究開発従事者が社会・経済におけるナノテクノロジーのインパクトを把握し、研究開発の成果をより効果的に社会・経済に普及させるための知識を提供することを目的に作成されている。従って当ロードマップのユーザは各セクターの経営者・研究者に及ぶが、特に産業界へのメッセージが強く、その中では中小企業やベンチャー企業も例外ではないことが強調されている。また、ロードマップ作成の目的として、以下の点も挙げられている。

- ナノテクノロジー分野における国際競争力の強化と市場の拡大
- 研究開発の選択と集中と効率化
- ナノテクノロジー分野のより効果的な育成・教育
- 欧州の国内外の連携強化
- 欧州における持続的発展と生活の質の向上

### 2 - 2

#### 手法 (Methodology)

本ロードマップの作成は2004年～2005年の2年間にわたり次

の2段階のアプローチで実施されている。第1段階は最初の1年目に実施されたもので、主に世界各国のナノテクの政策や技術動向に関する情報の収集と分析、それを基にしたナノテクの応用分野の模索を行っている。第2段階で実際のロードマップ作成作業を行っており、各段階それぞれの結果は報告書としてホームページからダウンロードできる。また、各年の11月に国際会議を開き、調査結果を紹介するとともに参加者からの意見収集も行っている。調査の実施に当たっては、EU内の8カ国とイスラエルの技術系コンサルタントがそれぞれの得意分野を活かした形での国際的なコンソーシアムを形成している。

実際のロードマップの作成においては、デルファイ調査の手法を採用している。質問のサイクルは2回で、主な行程は以下のとおり。

- 国際的に著名な専門家(デルファイパネル)の抽出
- それぞれの技術分野における質問票を作成(技術的質問のみではなく、社会・経済・産業応用例・実用化に対する隘路・各国の技術的ベンチマーク情報等の質問も多く含む)
- ウェブを用いた第1回目のアンケートを実施(1st cycle)

- アンケートの収集と共に、一部インタビューを実施
- 第1回目の結果をデルファイパネルへフィードバックして第2回目のアンケートを実施(2nd cycle)
- アンケート・インタビュー及び国際会議の結果より、最終的なロードマップを作成

回答したデルファイパネルは約230名(回答率65%)で、図表1に国籍および所属セクターを示す。

### 2 - 3

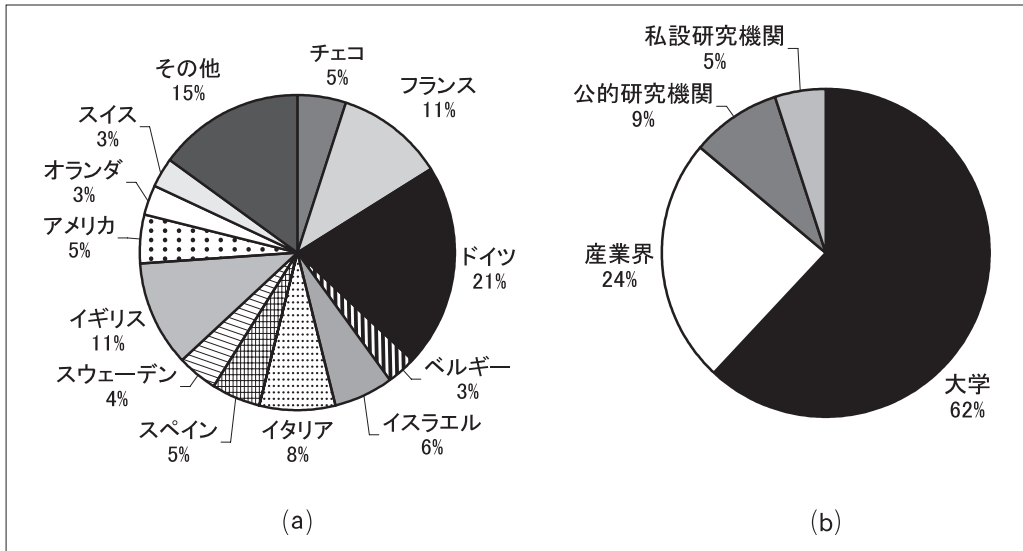
#### 構成 (Structure)

合計で約700ページに及ぶ報告書は、大きく分けて次の7つのレポートで構成されている。事前調査編(Sectoral Reports)として各3分野(材料、健康・医療、エネルギー)について、また技術ロードマップ編としてEU ナノロードマップの全体概要(Synthesis Report)と各3分野のロードマップについてレポートが作成・公開されている。

事前調査編では、各分野においてロードマッピングの対象領域を絞り込む前の段階で広く技術動向が調べられており、その他各技術の経済効果や社会影響、各国の施策等の非技術的な側面も多く紹介されている。



図表1 デルファイ調査回答者の国籍(a)と所属セクター(b)



参考文献<sup>1)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

技術ロードマップ編では、各技術の特徴やメリット・デメリット、現在と将来の応用等が今後10年間にわたり予測・分析されている。ロードマップの作成は技術の応用例を中心にして、横軸を時間ではなく開発のフェーズ（基礎研究、応用研究等）毎に描かれており、

時間軸の概念は2005年から5年毎に3枚のマップを描くことで表現されている（材料分野）。その後、技術的・社会的課題やボトルネックについて議論されている。そこでは、技術の国際競争力比較や融合研究インフラへのアクセシビリティ、融合研究施設の必要性など多

岐にわたり検討されている。

以上のように、当ロードマップは技術面以外の観点が多岐にわたる。逆に言えば、技術的な観点はやや専門度が低く一般的なレベルに留まっており、他の技術ロードマップと比較すると物足りないようにも見える。

### 3 EU ナノロードマップの内容と特徴 —材料分野を事例に—

この章では、EU ナノロードマップの内容と特徴を論じるため、材料分野（Materials）を例に取り上げて、ロードマップの概要とその他いくつかの注目される特徴をピックアップして紹介する。

事前調査では、3分野（材料、健康・医療、エネルギー）ごとに分野全体をほぼ網羅する形で調査が行われているが、技術ロードマップを作成する際にはそれぞれ4つの領域に絞り込まれている（図表2）。絞り込みの経緯としては、1年目の事前調査で得られた情報を基に、技術の応用可能性等を考慮して第1回目の国際会議（2004年11月）で候補を提案、専門家との議論を行った後、欧州委員会と協議し確定している。なお、この経緯は、各分野共通である。

#### 3-1 材料分野における技術ロードマップ

材料分野の技術ロードマップではまず、ナノ材料の定義を、“ナノメートルレベルで基本的な構造が設計・処理された新規材料”と定義している。また、サイズとしては、少なくともどれか一つの次元（一辺、直径等）が、0.1～100 nmの間に入っていることが示されている。

図表2右の技術ロードマップ編に挙げられた1)～4)全ての領域を扱うのは紙面の関係で困難であるので、ここでは材料分野では代表的な技術である2) ナノ粒子/ナノ複合体（Nanoparticles /

nanocomposites）（以下、ナノ粒子領域と呼ぶ）を取り上げて紹介する。

冒頭ではナノ粒子の定義から始まり、その後、ナノ粒子の持つ特性（表面状態や磁性・電気等の特性）を簡単に解説している。また、ナノ粒子のロードマップを示す前に、ナノ粒子における研究開発の流れ（Pipeline）を、製造（Production）、機能化（Functionalisation）、ナノ複合体への統合（Nanocomposite integration）、実用化（Application）という4つの段階に分けて、それぞれの技術的なポイントを分かりやすく解説している。この段階で、この領域に関する技術的専門度が高くなくても内容を理解しやすいように配慮されている。

まず、ナノ粒子領域における

図表2 各分野の事前調査対象領域と技術ロードマップを作成した4つの技術領域

	事前調査編	技術ロードマップ編
材料分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) ナノ構造材料</li> <li>2) ナノ粒子/ナノ複合体</li> <li>3) ナノカプセル</li> <li>4) ナノポーラス</li> <li>5) ナノファイバー</li> <li>6) フラーレン</li> <li>7) ナノワイヤー</li> <li>8) 単層・多層カーボンナノチューブ</li> <li>9) デンドリマー</li> <li>10) モレキュラーエレクトロニクス</li> <li>11) 量子ドット</li> <li>12) 薄膜</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) ナノポーラス</li> <li>2) ナノ粒子/ナノ複合体</li> <li>3) デンドリマー</li> <li>4) 薄膜/コーティング</li> </ul>
健康・医療分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) 組織工学/再生医療</li> <li>2) バイオナノ構造</li> <li>3) ドラッグカプセル化/ドラッグデリバリー/ドラッグターゲティング</li> <li>4) 分子イメージング</li> <li>5) バイオフィotonics</li> <li>6) 生体適合移植</li> <li>7) 生体模倣膜</li> <li>8) バイオ分子センサー</li> <li>9) バイオチップ/ハイスループットスクリーニング</li> <li>10) ラボチップ技術</li> <li>11) 機能性分子: スイッチ、ポンプ、輸送手段</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) ドラッグカプセル化/ドラッグデリバリー/ドラッグターゲティング</li> <li>2) 分子イメージング/バイオフィotonics</li> <li>3) バイオチップ/ハイスループットスクリーニング/ラボチップ技術</li> <li>4) バイオ分子センサー</li> </ul>
エネルギー分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) 太陽電池</li> <li>2) 燃料電池</li> <li>3) 熱電気変換</li> <li>4) バッテリー</li> <li>5) 水素貯蔵</li> <li>6) スーパーキャパシタ</li> <li>7) 断熱材</li> <li>8) 断熱用透過・遮光技術</li> <li>9) 効果的な発光</li> <li>10) 燃焼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) 太陽電池</li> <li>2) 熱電気変換</li> <li>3) バッテリー/スーパーキャパシタ</li> <li>4) 断熱材</li> </ul>

参考文献<sup>1)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

2005、2010、2015年それぞれのロードマップ(Overview of applications)を紹介する(図表3)。繰り返しになるが、ここでもっとも特徴的なのは、ロードマップの横軸が時間ではなく、4つの研究開発フェーズ(基礎研究、応用研究、初期実用化、大量生産)で示されていることであり、時間軸の概念は2005年から5年毎に3枚のマップを描くことで表現されている。このような記述方法は他のロードマップではあまり例を見ない。例えば、マップ中の一番上に示されている太陽電池(Solar cells)を例に挙げると、2005年では基礎から応用を中心に研究が進められ、2010年では初期実用化、2015年では大量生産のフェーズに至ると予想されていることがわかる。なお、このマップはナノ粒子の応用を考慮し描かれたものであるため、ここで言う太陽電池とは、す

でに製品化されているシリコン結晶やアモルファスを用いたものとは異なったもの(量子ドット等)が扱われていると考えるべきであろう。

3 - 2

研究開発に伴う技術的・経済的リスクと市場成長度

図表4は、ナノ粒子が適用される実用例における、今後10年間の市場の成長予測(縦軸)と、研究開発に伴う技術的・経済的リスク(横軸)を示したものである。横軸はリスクというよりも、実用化に至るまでの課題や障壁の高さと考えても良いかもしれない。先に例として取り上げた太陽電池は、リスクで言うと中程度、経済成長は最上位に位置している。

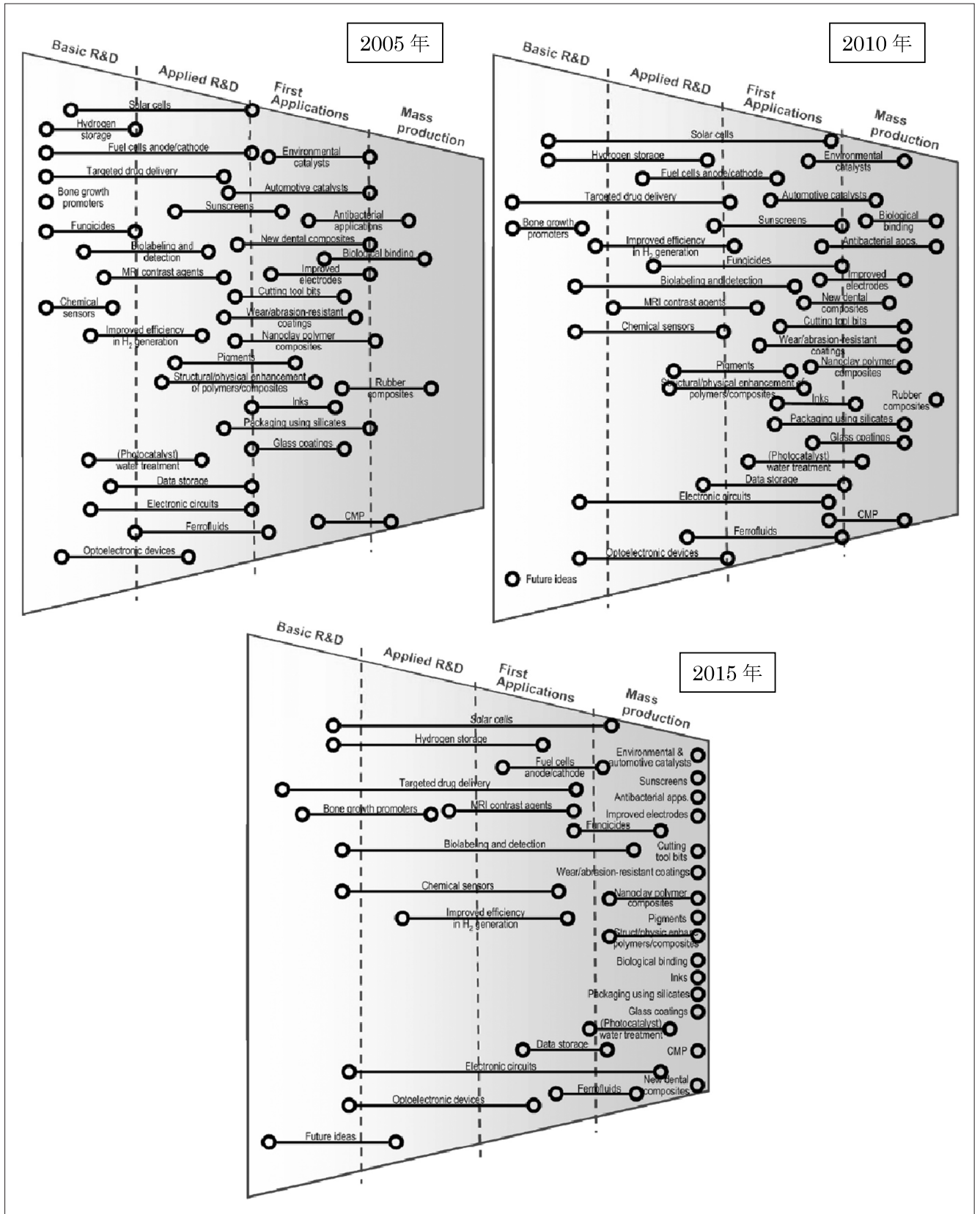
3 - 3

EUの組織別国際競争力の自己評価

前述したように、非技術的な側面の記述は、コスト等の経済的観点、健康や環境影響の観点など、かなり充実している。中でも注目すべきはEUの各セクターの世界における競争力に関する記述である。図表5はナノ粒子領域のEUの国際競争力に関するデルファイ調査の回答結果である。デルファイの回答者(図表1参照)は、ナノ粒子領域におけるEUの技術レベルは、学術レベルや大企業ではある程度競争力を有しているものの、中小やベンチャー企業レベルではやや競争力が落ちると感じていることがわかる(ExcellentもしくはGoodを選択した回答者が半数以下)。このことはナノ粒子領域のみならず、ナノテクノロジー全体に及ぶ傾向となっており、専門家がEUの産業技術レベル(特に中小やベンチャー)を世界と比較して劣位と認識していることがわかり興味深い。また、そもそも調査設計自体も、中小やベンチャー企業を重要視(問題視)したのになっていることがわかる。そのことからEUが考えるナノテクノロジー分野の中小・ベンチャー企業の役割の重要性が伺える。

更に、技術ロードマップ作成に先立って実施された事前調査では、図表2に示した計12の技術領域について世界30カ国以上の公開資料を基に、現在と将来の市場と実用化の展望とともに主導国の研究開発活動の動向が示されている。具体的な詳細については本稿では取り扱わないが、EUから見た世界の研究開発活動が把握できて興味深い。一例を挙げると、カーボンナノチューブ領域の主導

図表3 ナノ粒子領域のロードマップ (2005、2010、2015年)<sup>1)</sup>





国に関する研究開発動向の記述では、カーボンナノチューブ (CNT) は日本で発見されたにも関わらず日本の活動状況は一切触れられていない。数ページにわたる記述の中で主に取り上げられているのは欧州や米国の大学と一部の企業で、それらに加えて韓国や台湾の企業 (Samsung や TECO Electric and Machinery) が CNT のディスプレイに対する応用開発の代表例として、またインドの公的研究機関 (Indian Institute of Science) の名前もガス流速センサーに対する応用成果の一例として見ることができる。

3 - 4

### EU と米国における特許登録システムの問題

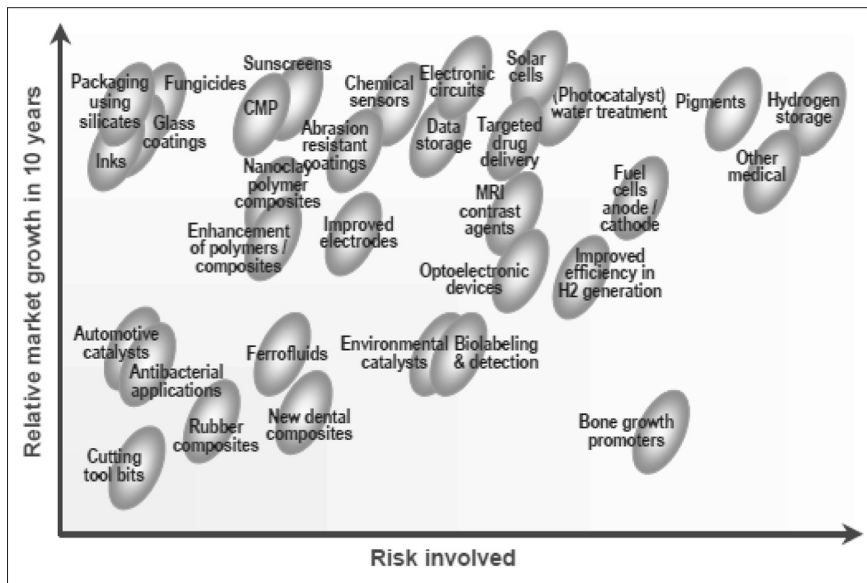
デルファイ調査では、材料分野の設問項目の中で、EU と米国の特許登録システムの違いは中長期で見た場合 EU のナノテク発展にとって不利に働くか、という問いも設定している。結果を図表 6 に示す。詳細な解説や提言等は本文には無いものの、76%の専門家が、米国の制限の低い特許登録システム (Less restrictive US patenting system) に対し、懸念を示している。

3 - 5

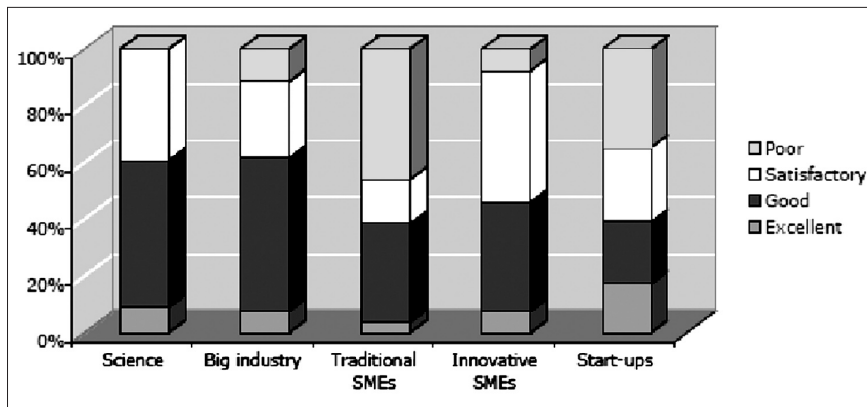
### 材料分野における提言

最後に、本ロードマップの材料分野では次の3点を提言している。第1に、材料・プロセス技術の高度化を進めること。これによって、技術の再現性を高めると共に製造コストを抑え、リサイクル効率を高めて持続可能なシステムを構築する。第2に、製品開発型ベンチャーに対するリスクキャピタルを増加させること。これによって、ハイリスクハイリターンの研究開発が促進されると共に、大企業のメーカーやキャピタリストと

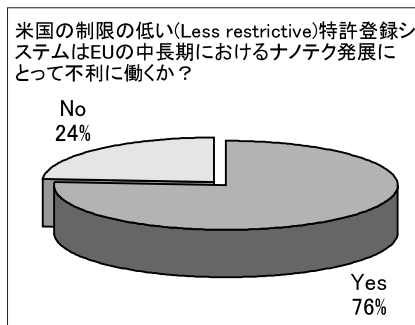
図表 4 ナノ粒子領域の今後 10 年の市場予測と研究開発に伴う技術的・経済的リスク<sup>1)</sup>



図表 5 EU の組織別国際競争力の自己評価に関するデルファイ調査結果 (ナノ粒子領域)<sup>1)</sup>



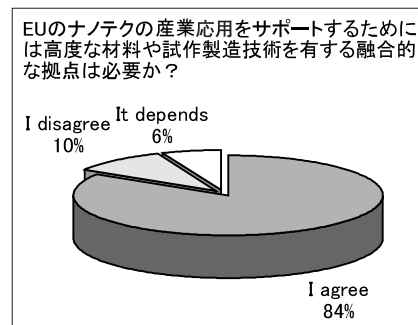
図表 6 EU と米国の特許登録システムにおけるデルファイ調査結果



参考文献<sup>1)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

一体となった市場の確立や拡大が期待される。第3に、ナノテクにおける研究開発拠点を設立すること。これは特にベンチャーや中小企業にとって有益であるとしている。3番目のナノテク融合拠点の設立に関しては、デルファイ調査

図表 7 EU のナノテクの産業応用を目指した融合拠点の設立に関するデルファイ調査結果



参考文献<sup>1)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

結果も合わせて示しており (図表 7)、大多数の専門家がこれに賛同している。このような融合拠点は、単に技術の融合に効果的なだけでなく、中小やベンチャー、大企業や公的部門といった各セクター間の技術の流動性を高め、市

場へのタイムサイクルを早めることも期待される。

なお、この融合拠点の必要性については、他の2分野（健康・医療、エネルギー）でもそれぞれ示唆されている。

3 - 6

### まとめ

#### —EU ナノロードマップの特徴とねらい

これまで見てきたように、EU ナノロードマップは技術的な解

説よりも、社会的・経済的な観点からの記述が充実している。本ロードマップは大きな地域レベルの戦略立案に資するレポートという意味があるため、社会的アジェンダを前面に押し出すEUの特徴が現れている。特に、ナノテクノロジーは2000年3月に定められたリスボン戦略の目標達成の一役を担うと期待されている分野である<sup>7)</sup>。本ロードマップはこれと共に2007年よりスタートする第7次フレームワークプログラム：FP7をも見据え、ナノテク戦略の

明確化や課題の浮き彫りを計ったものと考えられる。また、第2章でも述べたように、本ロードマップは産業界、特に中小企業やベンチャー企業へのメッセージ性が強く、そのため個別要素技術の深い解説よりも、各技術における今後の研究開発のポイントや注意すべき項目、EUにおけるナノテクノロジー全体の動向把握・紹介といったところに重点を置いているものと推測される。

## 4 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 ●●●●●●●●

これまで本稿では材料分野を例に取りEU ナノロードマップの紹介をしてきたが、最後にナノテク分野における技術ロードマップが抱える課題と、そこから見えてくる今後の展望について、筆者の知見を交えながら以下の視点で検討を試みる。

4 - 1

### ナノテクノロジーにおける技術と産業応用の不確実性の問題

ナノテクノロジーは分野融合的な新興領域であり、そうであるが故に技術ロードマップを作成するに当たっては他の分野とは異なる難しい課題が浮び上がる。ナノテクのように新しい産業の構築を目指す研究領域では、現在の産業が未成熟であり、極端に言えばあらゆる技術があらゆる産業応用の可能性を秘めている。つまり、技術的実現の不確実性および市場の不確実性から、技術と製品とのつながりをマップ中に描くことは非常に難しい。仮にある社会的・市場的共通目標を掲げたとしても、それを特定のナノテク分野の研究課題まで落とし込むのは容易ではな

く、研究者・経営者はどの技術シーズがその目標に対し有効であるか、そもそもどれだけの(有効な)シーズを持っているのかを的確に判断するのは難しく、見掛け上の“シーズの潜在化”に直面することになる<sup>注1、2)</sup>。

そこで図表8に、安永らが考案する技術の構造化と将来市場の共通認識を軸とした技術の分類を示す<sup>9)</sup>。これまで最も効果的に技術ロードマップが活用されてきた半導体分野は、微細化を中心とした技術の進化は著しいものの、技術の構造自体は約30年間大きく変化しておらず、また市場に対する関係者の共通認識も確立されていた。一方、ナノテクノロジーは将来市場、技術の構造とも不明確であり、これがナノテク分野のロードマップ作成の難しさであり、ま

た作成者や利用者の認識によってはリスクにもなり得る。従ってナノテクロードマップは戦略の明確化を進めながらも、必要以上にナノテクの持つ可能性を狭めることの無いよう注意する必要がある。これに対する具体的な対策としては、毎年改定を継続していくことや、将来求められるであろう材料の「機能」や「特性」に軸足を置いたマップ作りを行うこと、また、他分野のロードマップとの整合性を強化することで目標を明確にすること等が対策として考えられるが、それらに加えて前述したようなナノテクロードマップの持つ課題や危険性を作成者・使用者共に十分理解することが重要であろう。

これらの点に関し、本稿で紹介したEU ナノロードマップは、ロ

**注1**：参考文献<sup>9)</sup>の中で安永らはこの問題に対し、ロードマップにおいて「技術」と「新たな価値」との間に「機能」を示すレイヤーを設け、この機能が技術と価値とを媒介する役割を果たすとしている。また、あくまでもマップに載らなかった技術は重要ではないというのではなく、不断のマップの見直しが重要としている。

**注2**：Chesbroughらはその著書「Open Innovation」<sup>9)</sup>の中で、ハイテク産業における技術やマーケットの不確実性の増大から、外部組織で生み出される技術との融合が重要になってくると指摘している。ナノテクロードマップ作成の際には、この観点をどこまで取り込めるかが大きな課題の一つとなり得る。



ードマップ策定の際に技術領域を絞り、もっぱら応用と実用化を念頭にマッピングを行うこと、横軸を時間ではなく研究フェーズ毎に区切り実用化への道をマッピングすること、更に実用化の際に想定される（社会的）課題の抽出に論点を絞ることで対処していると考えられる。また、ナノテクノロジーによる新たな価値創造のためには、多くの専門家が技術融合的な研究拠点形成を必要とするデルファイ結果が示されている（図表7参照）。

4 - 2

### 技術ロードマップの国際的な役割 —競争と協調

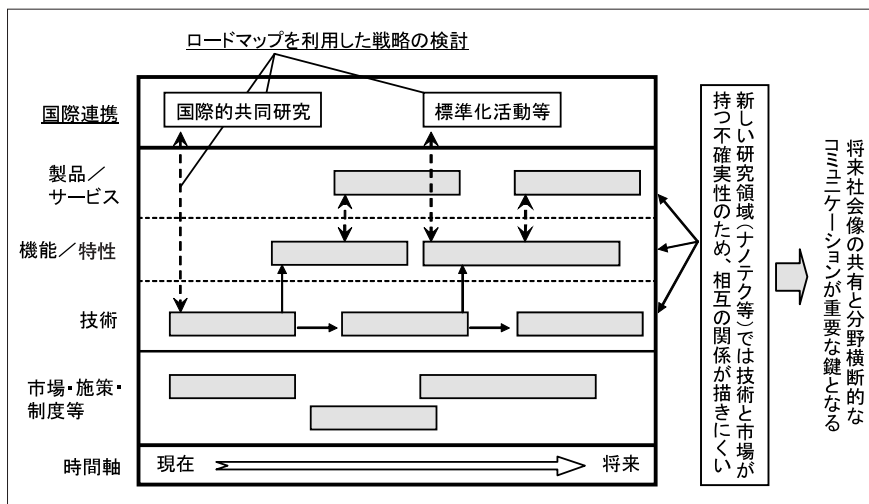
最後に、国際的な観点から提言を述べる。ここ数年の間に各国政府や共同体を中心に、研究開発戦略の明確化、各セクターの英知の結集、国民への説明責任といった観点から、盛んに技術ロードマップの作成が行われるようになった。当然これら各国の取組は同時進行している状態で、相互の連携などはまだ図られていない。従って現段階では、自国もしくはEUのような地域的連合体が産業競争力を高める目的のためにロードマップは作成されている。しかし各国ほぼ同時期に作成している技術ロードマップは、またとない国際協調のためのツールとなり得る。特に今後、ナノテク分野で積極的に行われるであろう国際標準化や国際的な共同研究開発の提案の場では、双方の技術ロードマップをベースとして検討を行うことで、議論の効率化や技術シーズの比較、応用例の差別化など双方にとってより良い結論を得ることも可能となるかもしれない。また、同分野の現在の高度化・複雑化した技術体系においては、国内のリソ

図表8 技術の構造化と将来市場の共通認識を軸とした技術の分類

技術	将来市場	共通認識あり	共通認識不十分	
			市場の不透明性	社会像の不透明性
構造化されている		●半導体	●民生用ロボット	●3R
構造化されていない		●再生医療 ●ゲノム創薬	●ナノテクノロジー	●グリーンサステブルケミストリー

参考文献<sup>9)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表9 今後のナノテクロードマップの課題



科学技術動向研究センターにて作成

ースで実現可能な技術と海外との協力が不可欠な技術の双方が存在している。そこで、国際連携が必要と考えられる技術については、ロードマップ作りの場で技術開発の連携先や実現可能性等に至るまで視野を広げ議論を行うべきと考えられる（図表9）。

### 謝辞

本稿をまとめるに当たり、経済産業省研究開発課課長の安永裕幸氏、ナノテクノロジービジネス推進協議会事務局次長の水元宗男氏および亘理誠夫氏、W&W (Willems & van den Wildenberg: スペインの技術系コンサルタント) のJuan Perez氏から貴重なご意見、並びに資料を提供して頂きました。ここに深く感謝致します。

### 参考文献

- 1) EU ナノロードマッププロジェクトホームページ:

<http://www.nanoroadmap.it/>

- 2) 後藤晃/児玉俊洋「日本のイノベーション・システム—日本経済復活の基盤構築にむけて—」東京大学出版会（2006）
- 3) 安永裕幸/尹泰聖「テクノロジーロードマップ—技術知識の俯瞰と分析による新産業創造」オープンナレッジ（2006）
- 4) C. H. Willyard and C. W. McClees, "Motorola's technology roadmap process" Research Management, PP.13-19 Sept.-Oct. (1987)
- 5) 技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）ホームページ：  
<http://www.nedo.go.jp/roadmap/index.html>
- 6) ナノテクノロジービジネス推進協議会 (NBCI) ホームページ：  
<http://www.nbcijp/>
- 7) 「Towards a European Strategy for Nanotechnology」 European Commission (2004)

- 8) H. Chesbrough, 「Open Innovation」 (大前恵一朗訳) 産業能率大学出版部 (2004)
- 9) 安永裕幸 「イノベーションジャパン 2006 『我が国のイノベーションシステム構築に向けた産学官によるロードマップ・コミュニケーション』」 パネルディスカッション予稿集

執筆者



ナノテクノロジー・材料ユニット

**金間 大介**

科学技術動向研究センター

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>



科学技術と経済社会、イノベーションとの関係に興味を持つ。特にナショナルイノベーションシステムにおける大学・公的研究機関の役割や、公共性の重要性について調査・研究を行っている。また、ナノテクノロジー分野の研究動向についても興味を持ち調査活動を行っている。