

ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC TCTAGACC

戦略プログラム
「ナノシンセシス」
— 創造的ものづくり —

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011



Executive Summary

本戦略プログラムは、1) 新たなナノデバイス・ナノシステムを試作品にまとめ上げるまでの基礎科学を巻きこんだ研究開発、および2) それらを産業として成立しうる形態や規模で高効率に製造するための技術開発を促進させることを目的とする。

ナノデバイス・ナノシステムには、情報処理デバイス、記録デバイス、通信デバイス、エネルギーデバイス、センサーなどがあり、いずれも我が国の産業として将来にわたって重要である。これらのナノデバイス・ナノシステムを創出するために、社会ニーズや産業技術トレンドを捉えてなされた着想を技術要素へのブレークダウンによって具体化・検証し、試作中心のものづくり研究と目的指向型の基礎研究とを並行して進め、その中で複数の技術・知識を集約・融合して、着想されたナノデバイス・ナノシステムを創り上げるような「シンセシス型の研究開発」が必要である。このような研究開発のためのファンディング制度やインフラストラクチャーを整備し、このような研究開発への戦略的研究資源の配分を増やすことを提案する。

また、創出したナノデバイス・ナノシステムを産業として成立しうる形態や規模で高効率に製造するための研究開発を推進することを提案する。現時点では、製造技術が断片的かつ未熟であるために、たとえナノデバイス・ナノシステムの研究開発が進んでも、最終形態を実現するための必要かつ合理的な製造技術が整っていないという問題がある。この問題の解決には長期間を要すると考えられ、上述のナノデバイス・ナノシステムの研究開発と並行して、製造技術の新しいフロンティアを拓く研究開発を進めることが必要である。

Contents

Executive Summary	i
1 本提案の内容	2
2 研究投資する意義	4
3 具体的な研究開発課題	6
4 研究開発の推進方法	11
5 科学技術上の効果	15
6 社会・経済的效果	16
7 時間軸に関する考察	18
参考文献	19
Appendix	21

1
本提案の
内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な研究
開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に関する
考察

参考文献

Appendix

戦略プログラム

「ナノシンセシス」

—創造的ものづくり—

1 本提案の内容

「ナノシンセシス」とはナノテクノロジーを中心とする技術・知見を総合して、従来、存在しなかった「必要とされるもの」を新たに創り上げる研究開発のことである。本戦略プログラムは、1) 新たなナノデバイス・ナノシステムを試作品にまとめ上げるまでの研究開発、および2) それらを産業として成立しうる形態や規模で高効率に製造するための技術開発を促進させることを目的とする(図1)^(注1)。

ナノデバイス・ナノシステム^(注2)は、ナノテクノロジーの研究開発の成果を社会に還元する代表的な形態の1つである。具体的には、情報処理デバイス、記録デバイス、通信デバイス、エネルギーデバイス、センサーなどがあり、いずれも我が国の産業として将来にわたって重要である。これらのナノデバイス・ナノシステムを創出するために、

- ①顕在化した、あるいは潜在的な社会ニーズや産業技術トレンドを捉え、目指すべきナノデバイス・ナノシステムの着想を生み出し、
- ②技術要素へのブレークダウンによって、着想の合理性や有効性を検証しつつ、優先的に取り組むべき研究開発課題を明らかにし、
- ③試作中心のものづくり研究と目的指向型の基礎研究とを並行して進め、その中で複数の技術・知識を集約・融合して、目指すべきナノデバイス・ナノシステムを創り上げる

ような研究開発のための仕組みを作り、このような研究開発への戦略的研究資源の配分を増やすことを提案する。

このような研究開発のアプローチを「シンセシス」と呼ぶ。シンセシスはアナリシスの対義語である。「アナリシス」はある対象(自然現象、物質、生物など)の原理やメカニズムを解明する営みであり、容易には解明できなくても、「答え」がその対象の中に必ず存在する。一方、「シンセシス」は、従来、存在しなかった「必要とされるもの」を新たに創り上げる営みであり、多くの技術要素のうち1つが欠けても成立せず、多くの場合、各技術要素間の境界条件を満足する「答え」の存在、すなわち「もの」の成立性すら保証されていない。本戦略プログラムでは、これら2つの性格の研究に対して異なる考え方と仕組みとでファンディングを行うべきであること、およびナノデバイス・ナノシステムの試作のためにインフラストラクチャーの整備が必要であることを提言する。

また、創出したナノデバイス・ナノシステムを産業として成立しうる形態や規模で高効率に製造するための研究開発を推進することを提案する。現時点では、製造技術が断片的かつ未熟であるために、たとえナノデバイス・ナノシステムの研究開発が進んでも、最終形態を実現するための必要かつ合理的な製造技術が整っていないという問題がある。この問題の解決には長期間を要すると考えられ、上述のナノデバイス・ナノシステムの研究開発と並行して、基礎科学を巻きこみつつ製造技術の研究開発を進めることが必要である。

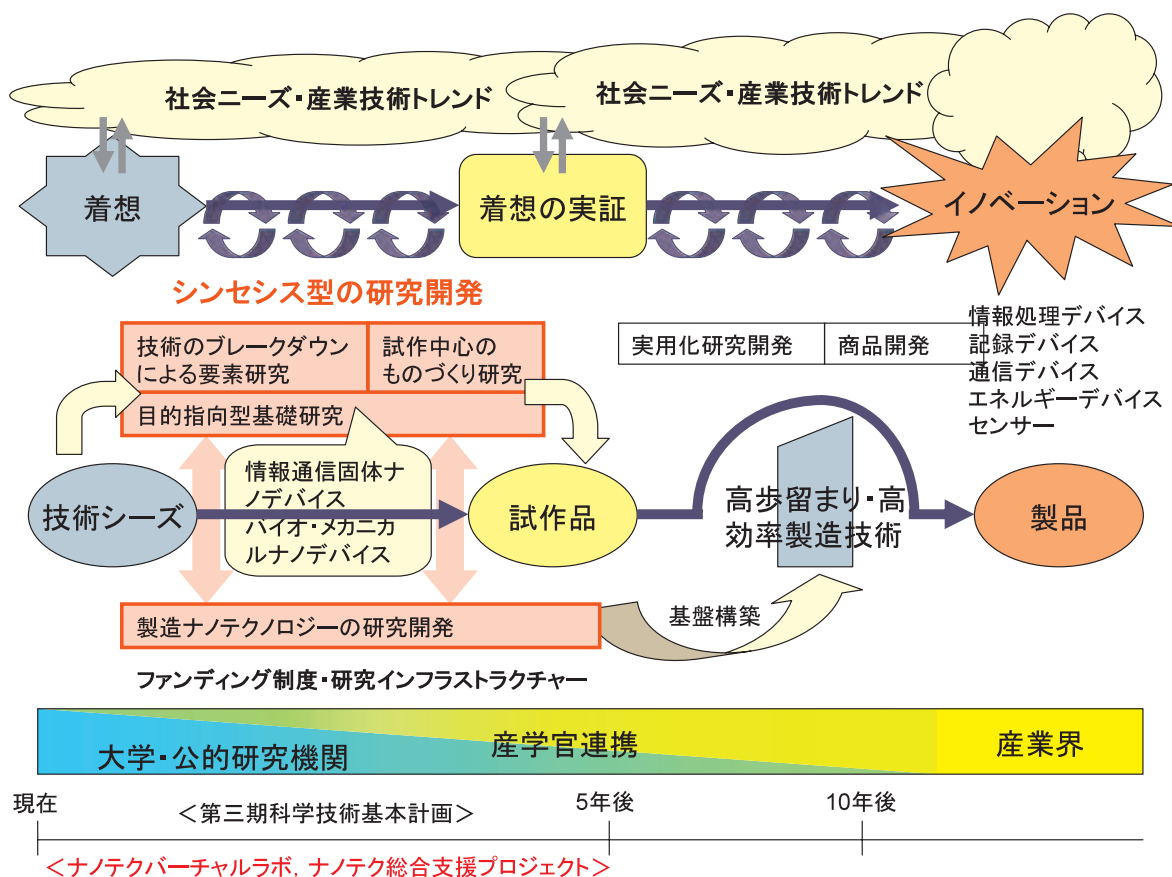


図 1 戦略プログラム「ナノシンセシスー創造的ものづくり」の内容

<脚注>

(注1) JST 研究開発戦略センター ナノテクノロジー・材料グループは、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発課題を、学問・技術分野、および社会・経済ニーズを整理軸にして俯瞰している。この俯瞰に基づき、ナノテクノロジー・材料分野での研究開発戦略をいくつかの「戦略プロポーザル」によって提案する。戦略プロポーザルには、戦略イニシアティブ、戦略プログラム、戦略プロジェクトの3種類がある。戦略イニシアティブは国として大々的に推進すべき研究、戦略プログラムは研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に行うべき研究、戦略プロジェクトは共通目的を設定し、各チームがこれに向かって行うべき研究のことである。本戦略プロポーザルはその中の戦略プログラムとして、「俯瞰図」(Appendix 1.)の「ナノデバイス・ナノシステム」、および「ナノ加工材料・ナノ加工材料プロセス」の領域を対象とする。

(注2) 第二期科学技術基本計画の分野別推進戦略(2001年9月策定)では、ナノテクノロジーは「ナノメートルのオーダーで原子・分子を操作・制御し、ナノサイズ特有の物質特性等を利用して新しい機能、優れた特性を引き出す技術の総称」と定義された。また、第三期科学技術基本計画策定に向けた内閣府のナノテクノロジー構想検討会では、ナノテクノロジーが「ナノサイズ特有の物質特性、あるいはナノサイズ・ナノ精度であることの利点を利用した技術」と定義された上で、「従来の延長上にはないジャンプアップが期待される創造的な研究開発」、および「大きな産業応用が見通せる研究開発」が“True Nano”(重点的に推進すべき真のナノテクノロジーの研究開発)と定義された。本研究プロポーザルでは、次世代(おおよそ10年先)の産業技術を創り出すためにナノテクノロジーが重要であるとの認識に立って、ナノテクノロジーに基づいたデバイス・システムのものづくり研究を提案する。したがって、この目的の達成に必要なならば、ナノテクノロジーを狭義に定義するべきではない。本提案では、ナノテクノロジーをマイクロテクノロジーを含む「微細技術」と広義に定義する。このような考え方は、たとえば欧州におけるMNT(Micro and Nano Technology)と軌を一にするものである。

ここで定義するナノデバイス・ナノシステムは、上述の広義のナノテクノロジーが勘所に用いられたデバイス・システムのことである。微細加工技術によって作られるデバイス・システム、ナノ材料を用いたデバイス・システム、ナノメータオーダーの組織制御が施された材料を用いたデバイス・システムなどが、ナノデバイス・ナノシステムに含まれる。

内容 1
本提案の

意義 2
研究投資する

3
具体的な研究
開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に関する
考察

参考文献

Appendix

2.1 科学技術的效果

これまでのナノテクノロジー研究の結果、数多くの有望なシーズが生み出されたが、依然、多くは断片的技術、あるいは自己完結的に局所最適化された技術であり、イノベーションに繋がる道筋が十分に付けられているとは言えない。また、研究者の側も自分の専門分野である要素の研究に安住し、それらをデバイス・システム化するという面倒な問題を避ける傾向がある。本戦略プログラムは、ナノデバイス・ナノシステムの試作を中心とするシンセシス型の研究開発を行いつつ、それらを産業として成立する規模で高効率に製造するための製造ナノテクノロジーの研究開発を行うことを提案する。

ナノテクノロジーは、材料、製造、情報通信、医療などのあらゆる分野に波及し、様々なイノベーションを生み出す基盤技術であるが、半導体工学、有機化学、無機化学、分子生物学などのように理論や基本原理に基づく整然とした学問体系を持つわけではない。この特質上、ナノテクノロジーは、いろいろな分野における個別の応用に適用されて価値を発揮し、そのような広い分野の個別応用成功例の積み重ねによって発展するという側面がある。したがって、具体的なナノデバイス・ナノシステムの試作を中心とするものづくり研究は、ナノテクノロジーの新しい側面を発掘し、ナノテクノロジー自体の価値を顕在化させ、領域として発展させる最も有効な方法の1つである。また、言うまでもなく、上記の特質上、ナノテクノロジーの研究は本質的に分野融合研究である。とくに、ナノデバイス・ナノシステムを現実的な形に上げるためには、複数の知見や異なる分野の技術を最も適した形に組み合わせるシンセシスが必須である。本戦略プログラムの実行は、ナノテクノロジーに最も必要とされる分野融合を最も効果的に刺激し、その結果、分野融合が大きく促進されることが期待される。

また、現在、製造技術が断片的かつ未熟であるために、たとえナノデバイス・ナノシステムの研究開発が進んでも、最終形態を実現するための必要かつ合理的な製造技術が整っていないという問題がある。技術の変遷が加速化する中で、将来のナノデバイス・ナノシステムの実用化に備えて、製造ナノテクノロジーの研究開発は必須である。一方、ナノ計測技術の発展によって、最近、様々な現象のナノスケールでの科学的理解が可能になってきた。例えば、高機能走査プローブ顕微技術、極微量物質同定技術、超高感度表面吸着物質測定技術、極微小力測定技術、ナノ位置決め／測定技術などが発達してきている。これらのナノ計測技術に加えて、ナノシミュレーション技術も急速に進歩した結果、様々な製造過程で現れる現象のナノスケールでの科学的理解ができるようになっている。これらの知見や技術を活用して、ナノデバイス・ナノシステムを製品に近い現実的な形態に製造するための技術、さらにはそれを均質に歩留まり良く大量生産する技術の構築を目指すことにより、現在のナノテクノロジーは技術体系として次の段階に止揚されることになる。

2.2 社会経済的效果

数年前、ナノテクノロジーの市場予測が内外で発表された。米国のNSF（National Science Foundation）は2015年の世界市場を100兆円と予測し、一方、日本のシンクタンクは2010年の日本市場を20兆円前後と予測した。しかし、最近の経済産業省委託事業「超微細技術開発産業発掘戦略調査」^[1]によると、日本市場予測は下方修正され、2010年で4.5兆円、2030年で26兆円とされている。この背景には、本戦略プログラム「ナノシンセシス」に関連する技術進展が予想より進んでいないことが一因としてある。言い換えると、ナノテクノロジーに関する研究開発資源（人材と資金）が、裾野を広げるための要素技術の研究開発に自然と流れ込み、将来の産業技術を生み出す統合的

な研究開発には結果として十分に注がれなかったと考えられる。そのような背景の中、本戦略プログラムは社会にイノベーションを与え得る「ナノシンセシス」の重要性を提言している。

本戦略プログラムに基づく研究開発は、将来、我が国の社会にどのようなインパクトを与えるであろうか。図2は、JST 研究開発戦略センターが掲げる社会ビジョン^[2]、および第三期科学技術基本計画に記述されている目指すべき国の姿（3つの理念、6つの目標）^[3]に対して、本戦略プログラムがどのように貢献するかを示すものである。ナノデバイス・ナノシステムの用途は、情報通信、製造、医療、福祉、安全と多岐にわたる。したがって、本戦略プログラムの実行によって実現されうる社会ビジョンは、「健康で快適な生活」、「安全で安心な社会」、「活力と競争力のある国」、および「持続可能な経済発展」である。ただし、本戦略プログラムは次世代（おおよそ10年先）の産業技術を創り上げるための研究開発課題を主に取り上げているので、上述の社会ビジョンの中でも、「活力と競争力のある国」、および「持続可能な経済発展」の実現に最も大きく貢献すると期待される。第三期科学技術基本計画の言葉を借りれば、「人類の英知を生む」、および「国力の源泉を創る」という理念に特に合致している。

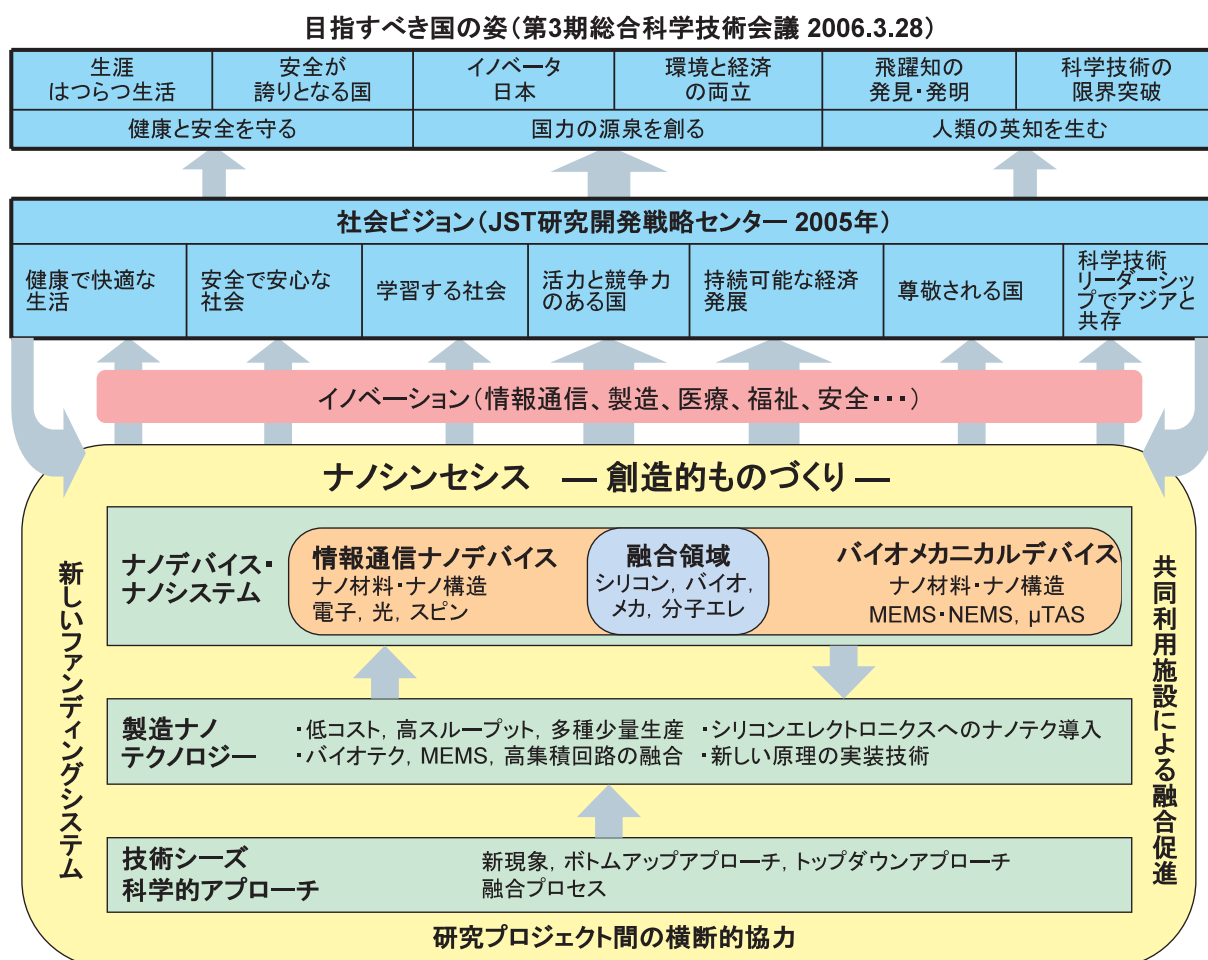


図2 「ナノシンセシス — 創造的ものづくり —」の社会経済的貢献

MEMS: Micro Electro Mechanical System
 NEMS: Nano Electro Mechanical System
 μTAS: Micro-Total-Analysis System

3 具体的な研究開発課題

ナノデバイス・ナノシステムには、情報処理デバイス、記録デバイス、通信デバイス、エネルギーデバイス、センサーなどがあると期待されている。これまでのナノテクノロジー研究によって、要素技術、技術シーズ、あるいは学術的知識が蓄積されているが、上述の期待の多くは、依然、漠然としたものに過ぎない。しかし、上述のナノデバイス・ナノシステムはいずれも我が国の産業として重要であり、具体的なナノデバイス・ナノシステムをできるだけ多く創出し、社会・産業界の期待に応える必要がある。

ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合^[4]や「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ^[5]での議論を総合すると、ナノデバイス・ナノシステムを創出するために、

- ①顕在化した、あるいは潜在的な社会ニーズや産業技術トレンドを捉え、目指すべきナノデバイス・ナノシステムの着想を生み、
- ②技術要素へのブレークダウンによって、着想の合理性や有効性を検証しつつ、優先的に取り組むべき研究開発課題を明らかにし、
- ③試作中心のものづくり研究と目的指向型の基礎研究とを並行して進め、その中で複数の技術・知識を集約・融合して、目指すべきナノデバイス・ナノシステムを創り上げるようなシンセシス型の研究開発を行うことが重要である（図3）。

また、将来の産業化を見据えると、創出したナノデバイス・ナノシステムを産業として成立しうる形態や規模で高効率に製造するための研究開発も重要である。現時点では、製造技術が断片的かつ未熟であるために、たとえナノデバイス・ナノシステムの研究開発が進んでも、最終形態を実現するための必要かつ合理的な製造技術が整っていないという問題がある。この問題の解決には長期間を要すると考えられ、上述のナノデバイス・ナノシステムの研究開発と並行して、製造技術の研究開発を進めることが必要である。

以上に述べた理由から、本戦略プログラムでは、以下の2種類の研究開発を促進させることを提案する（図4）。

- 1) 新たなナノデバイス・ナノシステムを試作品にまとめあげるシンセシス型の研究開発
- 2) それらを産業として成立しうる形態や規模で高効率に製造するための技術開発

1) の研究開発課題は上述の①、②の過程で具体化される。したがって、着想の提案と要素技術の検討とを経て研究開発課題を具体的にあげることは、それ自体が研究開発に含まれる高度な創造的活動である。言い換えれば、研究開発すべきデバイス・システム、あるいは技術は、もし合理的な具体性がともなっていれば、それが実証される前でも価値の高い知的財産である。このように研究開発課題を具体的にあげることは容易ではないが、ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合や「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップでの議論に基づき、優先度の高いと思われる研究開発課題例を順にあげる（3.1節）。

また、2) の研究開発課題は、実現が期待されるナノデバイス・ナノシステムに必要な製造技術を先回りして確立するためのものであり、共通基盤技術の確立を目指すものである。やはり、ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合や「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップでの議論に基づき、優先度の高いと思われる研究開発課題例を順にあげる（3.2節）。

ところで、ナノテクノロジー・材料分野は第二期科学技術基本計画において重点分野に位置付けられ、これまでも本節であげるような研究開発課題に多くの研究開発投資がなされている。そして、ナノテクノロジーは引き続き研究開発投資を必要とする分野であると認識され、本年度から始まる第三期科学技術基本計画においても重点分野に位置付けられ

た。このような節目の時期、多くのプロジェクトがこれまでの成果や未達成事項を総括し、次の展開を検討する段階にある。このような背景から、本戦略プログラムでは、現在進行中の JST CREST ナノテクノロジー・バーチャルラボ^[6]の後継も視野に入れた提案を行っている。図 5 に示すように、まず、製造ナノテクノロジーを現行ナノテクノロジー・バーチャルラボの最重要補完課題として取り上げ、さらに、ナノデバイス・ナノシステムに関する研究開発課題を継続課題として取り上げること想定している。

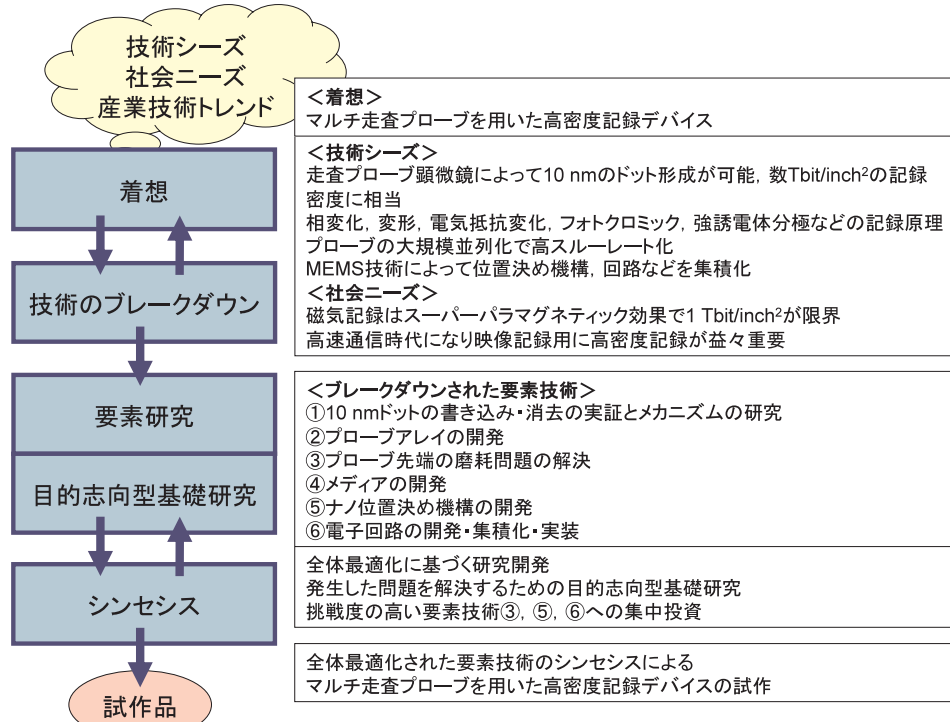


図 3 シンセシス型の研究開発の流れの具体例

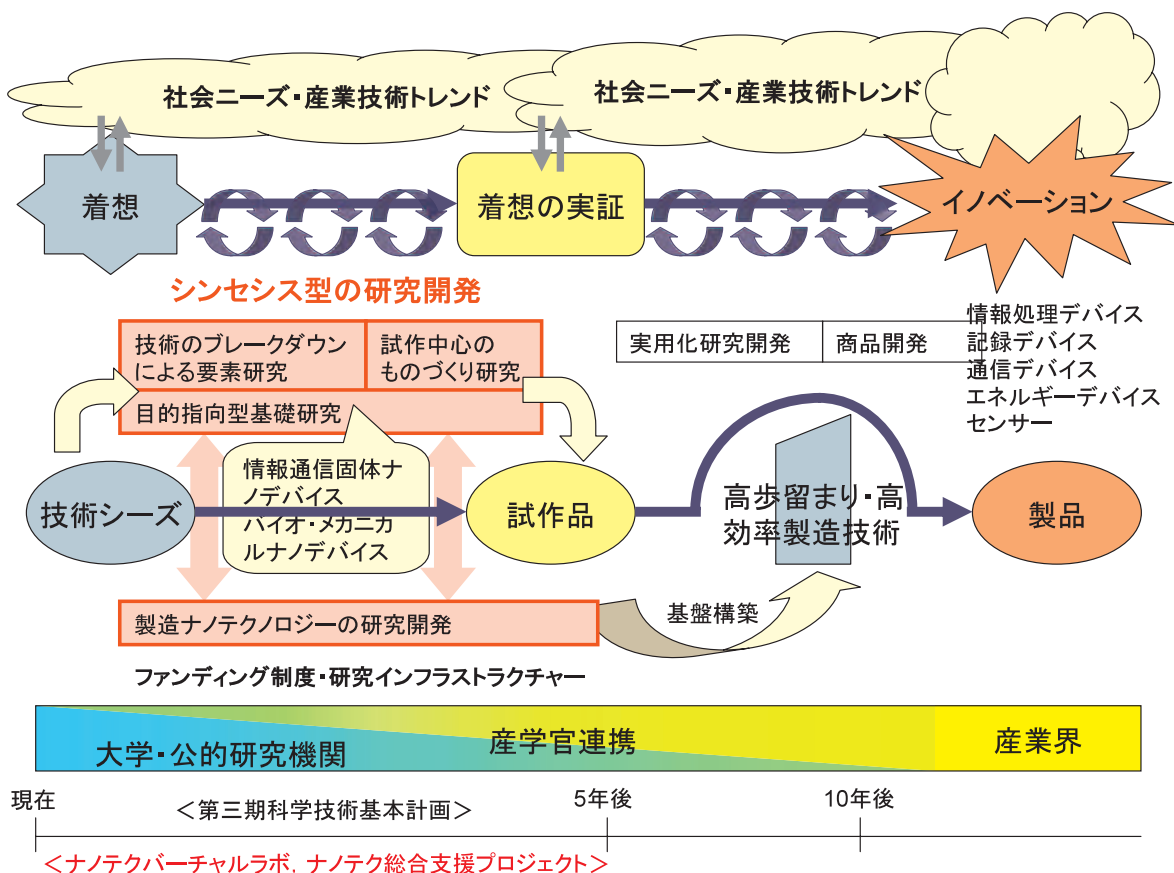


図 4 戦略プログラム「ナノシンセシスー創造的ものづくり」の内容（図 1 の再掲）

内容 本提案の 1

意義 研究投資する 2

開発課題 具体的な研究 3

推進方法 研究開発の 4

効果 科学技術上の 5

効果 社会・経済的 6

考察 時間軸に関する 7

参考文献

Appendix

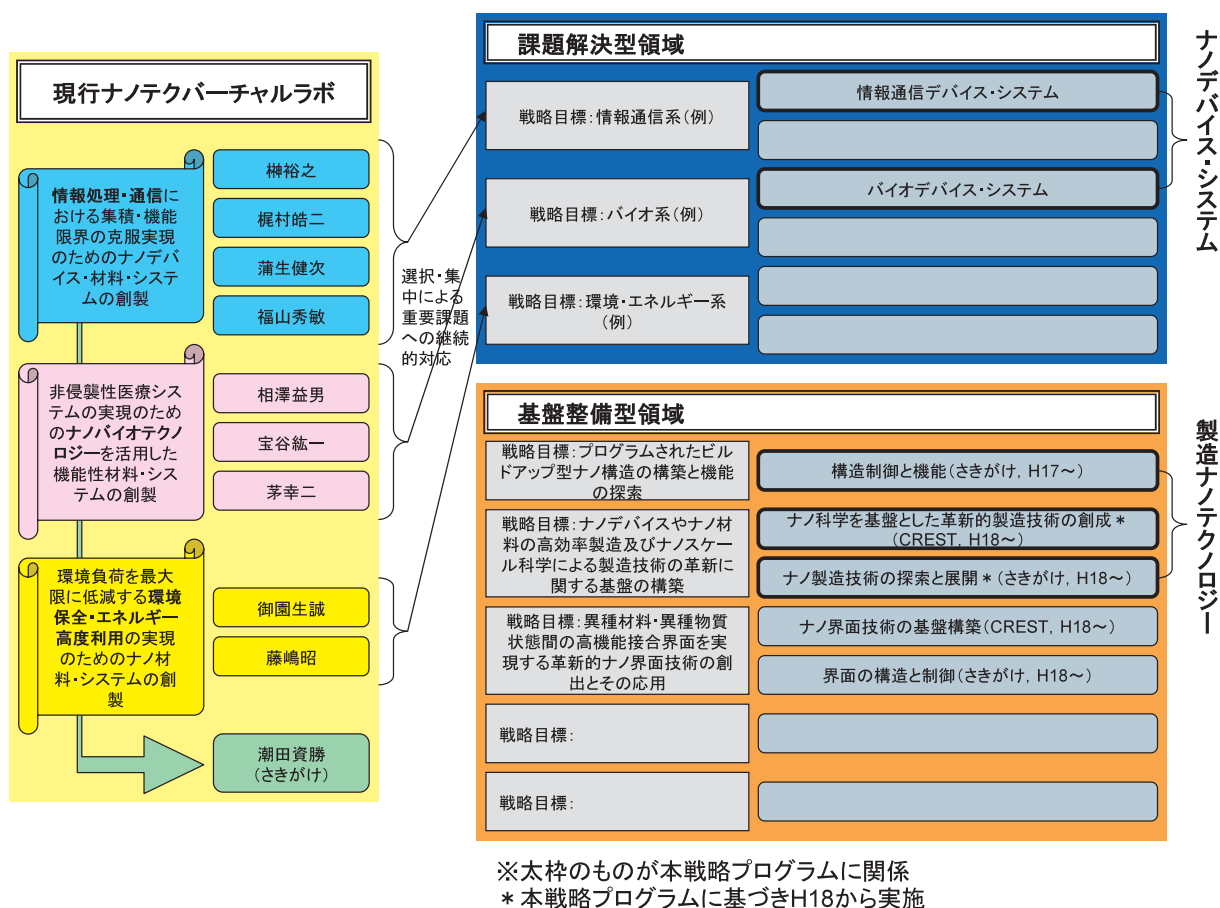


図5 ナノテクノロジー・バーチャルラボの後継との関係

3.1 ナノデバイス・ナノシステム

SPM や原始的な構造を用いて原理確認されたナノデバイス・ナノシステムを、より実際的なデバイスに近づけていくと、研究開発の困難さが急激に増す。科学や萌芽技術が産業技術に向かって進展する過程で、社会的、技術的、あるいは経済的な制約事項が増え、研究開発の境界条件はよりきびしくかつ複雑になり、技術の構成要素は多様化する。一方、技術の可能性や波及効果は明確になり、限定されていくように見えることが多い（世の中でインパクトが大きいと謳っている研究開発は、その可能性や波及効果が不明確であるだけのことが多い）。最終的には、社会的、技術的、あるいは経済的な制約事項がおおよそ確定し、研究開発の境界条件が整理された段階で、企業における製品開発が開始される。

この過程で、多くの場合、研究開発の境界条件が比較的単純な段階を大学や公的研究機関が担当し、境界条件が整理された段階を企業が担当している。しかし、これらの中間にある境界条件が複雑化し、技術の構成要素も多様化が進んだ段階では、研究開発のハードルとリスクとが高くなり、そのような段階の研究開発に対する体制は、日本では整っていない。本戦略プログラムでは、ナノデバイス・ナノシステムの「試作」という境界条件が複雑化し、技術の構成要素も多様化が進んだシンセシスの段階に集中的に投資することを、研究システムの整備の方向性（後述）を含めて提案する。ナノデバイス・ナノシステムに関する優先度の高いと思われる研究開発課題例を、情報通信ナノ固体デバイスとバイオ・メカニカルナノデバイスとに分けて述べる。既述のように、これらの研究開発課題は、現行ナノテクノロジー・バーチャルラボの継続課題として含まれうることを想定している。

3.1.1 情報通信ナノ固体デバイス

「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ等によって抽出され、研究開発戦略センターで議論された情報通信ナノ固体デバイスに関する重要研究開発課題は以下のものである。

- 新しい材料や要素を取り入れた集積化デバイス
例) 高周波部品等が集積化された高機能システム LSI, ナノ材料を取り入れた超高感度集積化センサ, 超高速または超高出力集積回路, 超消費電力集積回路
- キャリア・スピンのコヒーレンスや相関を利用するメゾスコピックスピンエレクトロニクス, および金属, 半導体, および酸化物を用いたスピndeデバイス (基礎研究を含む)
例) 量子コンピュータの原理実証デバイス, 単分子 ESR / NMR, 高密度磁気記録ヘッド, 高速不揮発性メモリ, マイクロ波発生・検波デバイス, リコンフィギュラブル集積回路
- 光・電子融合回路
例) フォトニック結晶に代表される光ナノ構造と電子回路との集積化, 次世代プロジェクトや光通信機器のための光 MEMS, 高密度光メモリ
- 最先端集積回路のための異種材料界面のナノスケール物性の研究 (基礎研究を含む)
例) 次世代以降の集積回路に新規導入されうる材料の界面のナノスケール研究

3.1.2 バイオ・メカニカルデバイス・システム

「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ等によって抽出され、研究開発戦略センターで議論されたバイオデバイス・システム, およびメカニカルデバイス・システムに関する重要研究開発課題は以下のものである。

- 最先端集積回路と一体化されたバイオ・メカニカルデバイス・システム
例) 高周波集積回路と一体化されたメカニカル高周波デバイス, 集積化光デバイス, 高機能在宅医療用検査デバイス
- ユビキタス情報化社会, および安全のためのセンサシステム
例) 無線通信機能が一体化された自立センサ, 超小形パワー源, 小形・高速危険物検知システム
- バイオ流体チップとそれを用いた医療診断システム
例) 個人の DNA 解析を超安価・超高速に実現する DNA シーケンシングデバイス, 安価な在宅医療用検査チップ
- 最先端科学のツールとしてのバイオ・メカニカルデバイス・システム
例) 高機能走査プローブ, バイオセンサ, コンビナトリアル材料探索ツール

3.2 製造ナノテクノロジー

ナノテクノロジー分野では, 原理実証は操作プローブ顕微鏡 (SPM, scanning probe microscope) 等で比較的容易にできることが多く, 科学的面白さもあり, 学術論文になりやすいこともあって, ここ 5 年間でかなり進んできた。しかし, 実際のナノデバイス・ナノシステムを創出するシンセシス型の研究開発は十分には進んでおらず, このような研究開発の重点化が必要であることを述べた。ナノデバイス・ナノシステムをより実際の形で試作しようとする場合, それが製品になったときにスケールアップ可能な製造技術を用いる必要がある。したがって, スケールアップ可能な製造技術の研究開発が, ナノデバイス・ナノシステムの研究開発に合わせて必要である。さらに, 創出したナ

ノデバイス・ナノシステムを産業として成立しうる形態や規模で高効率に製造するための汎用性の高い技術を、将来の必要性を予想して研究開発しておく必要がある。

微細構造によって発現される特質を利用したナノデバイス・システムを製造するためには、ナノテクノロジーを製造に適用する「製造ナノテクノロジー」が不可欠である。「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ等によって抽出され、研究開発戦略センターで議論された「製造ナノテクノロジー」に関する重要研究開発課題は以下に示すものである。

- ナノテクノロジーをベースとした製造技術によるコストダウン，スループット向上，および多品種少量生産への対応
例) トップダウン加工技術とボトムアップ加工技術との融合，超並列ビーム／プローブ加工，ナノ転写，ナノ材料の高品質・大量生産技術
- 既存技術では解決不能のシリコンエレクトロニクスの課題へのナノテクノロジーの適用
例) 新規構造 CMOS 製造技術，ナノ材料を導入した CMOS 製造技術
- バイオテクノロジーや MEMS (micro electro mechanical system) 技術と最先端集積回路技術との融合
例) 最先端集積回路上へのバイオ・メカニカルデバイスの低温加工技術，メカニカルデバイス上への最先端集積回路の加工技術，異種デバイスのシステム化技術
- ナノテクノロジーに基づく実装技術
例) 実装に多用される有害物質や希少物質のナノ材料による代替，リサイクルやハードウェアのアップグレードに対応する可逆的接合・組立技術

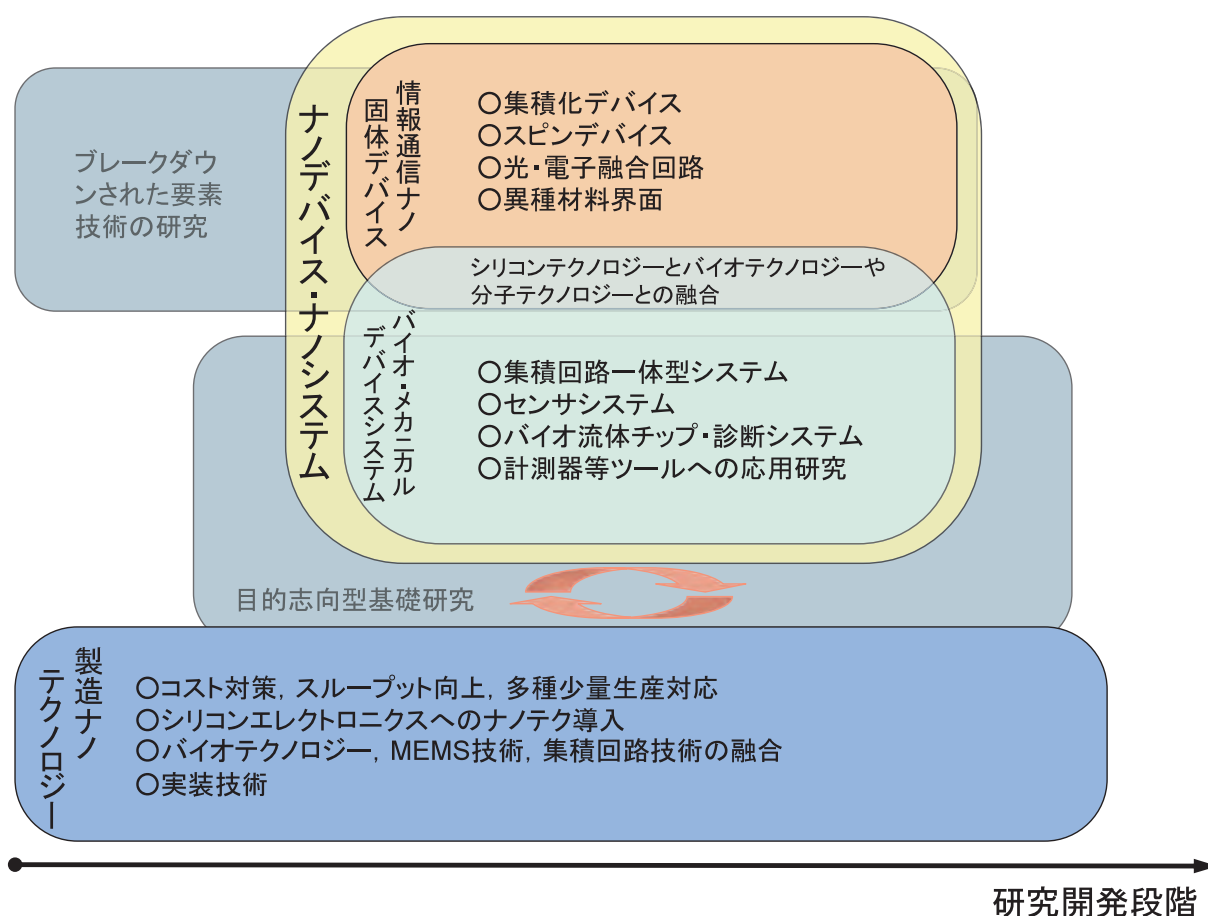


図6 研究開発課題

4 研究開発の推進方法

本節は、研究開発プロジェクトを効率的に推進するための仕組みおよびファンディングに関して提案する。第一の提案は、シンセシス型の研究開発に合ったファンディング制度を構築するということである。第二の提案は、研究開発設備、共用施設などの研究インフラストラクチャーを、費用対効果を高めて運営・利用する方策を講じるということである。以下に、本戦略プログラムに関連してして実施した「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ、および「我が国の研究開発拠点構築に資する主要各国のナノテクインフラ投資戦略調査」G-TeC（海外比較調査）^[7]の結果に基づいて、ファンディング制度、および研究インフラストラクチャーの整備・運営の大枠の方向性を提案する。実施可能な具体案は、諸制度や法令との整合性、実施機関の現状などの現実問題を精査した上で、別途設計されるべきものである。

4.1 ファンディング制度

現行ナノテクノロジー・バーチャルラボを立ち上げ、運営する過程においても、個別要素技術からシンセシスへいたる道筋について、度々議論されてきた。共通の認識として、具体的なシステムの中で全体最適化されたナノテクノロジーが実現されない限り、ナノテクノロジーによるイノベーションは生まれないというのが結論であった。しかし、現時点でこれは未だ実現されているとは言い難い現状である。上述のように、本戦略プロポーザルは、現行ナノテクノロジー・バーチャルラボの後継プロジェクトも想定し、現時点での課題を評価・整理し、それらを改善し解決していく方向での提案となっている。

ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合や「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップでの議論を総合すると、以下に述べるような課題が浮かび上がってくる。

- 文部科学省系のファンディングはシンセシス型の研究開発を想定して制度設計がされていない。特に、評価制度や審査制度がアナリシス型の研究にしか対応していない。これにはファンディング側にシンセシス型の研究開発を理解できる人材が不足しているという事情もからんでいる。
- シンセシスを目指した目的達成型のプロジェクトを増やし、その中で要素研究と基礎研究とを実施するべきである。その際、どのように有効な目標を設定するかが問題である。また、そのようなプロジェクトを増やすにあたり、シンセシス型の研究開発を率いる研究者が不足しており、育成と発掘とが必要である。
- リスクの高いシンセシス研究を、研究グループリーダーの考えるベストメンバーで遂行できる制度が必要である。

ここにあげられた課題は特に新しいものではなく、その困難さゆえに積み残されたものばかりである。したがって、本戦略プログラムでは、現状を打破するために、以下に述べるような挑戦的試みを提案する。

- シンセシス型の研究開発に能力を有する研究者に投資する JST ERATO 型のファンディング制度の新設（科学研究を対象としている現行 ERATO ^[8] の拡張でも対応可能）着想の成立性検討、着想の技術的ブレークダウン、目標の設定、および研究計画などのプロジェクト提案に至るまでの過程が高度な創造的活動であるというシンセシス型の研究開発の特徴を鑑みて、プロジェクト提案をピアレビューの場にのせるのではなく、シンセシス型の研究開発ができる研究者を、実績と評判とに基づいて指名する。このような研究者のもとでシンセシス型の研究開発ができる若手研究者とプログラムオフィサーとを育成する。

内容 本提案の 1

意義 研究投資する 2

開発課題 具体的な研究 3

推進方法 研究開発の 4

効果 科学技術上の 5

効果 社会・経済的 6

考察 時間軸に関する 7

参考文献

Appendix

良い着想を発掘し、高く合理的な目標のもと有効な研究チームを組織する別の方法として：

- 良い着想を有する研究者とプログラムオフィサーとが、提案書を書く前から話し合いながら、適切な目標を設定し、目的達成に最適の提案を作成するシステムの構築
- 上記プログラムオフィサーとなる人材が不足しているという現状、および目的達成には複数の技術・知識が必要であるというシンセシス型の研究開発の本質から、有効な目標を設定し、目的達成に最適の提案を作成する場としての公開ワークショップの実施

これは有効なアプローチが認知または権利保全された研究開発課題に適する。当該ワークショップはファンディング機関が主催し、研究者、プログラムオフィサー、科学技術行政関係者などに提案発表の申し込みを求める。作成された提案の受け皿となるファンディング制度も準備する（既存ファンディング制度の適用も可能）。

また、開始したシンセシス型のプロジェクトを高確率で目標達成に導くために：

- 少なくとも同一ファンディング機関のもとで進行しているプロジェクト間で、横断的に研究成果を融通できる制度を構築し、プログラムオフィサーに研究成果を融通する役割を与える。研究成果提供側のインセンティブを確保する方策として、研究成果の提供に必要な研究員または研究費の追加を認め、研究成果提供の効果を高く評価する。
- シンセシス型の研究開発に適した評価制度・審査制度のファンディング機関による研究、およびその成果の上記ファンディング制度への適用

これによってシンセシス型の研究開発の適切な継続を担保するとともに、ファンディング側にシンセシス型の研究開発への理解の浸透を図る。

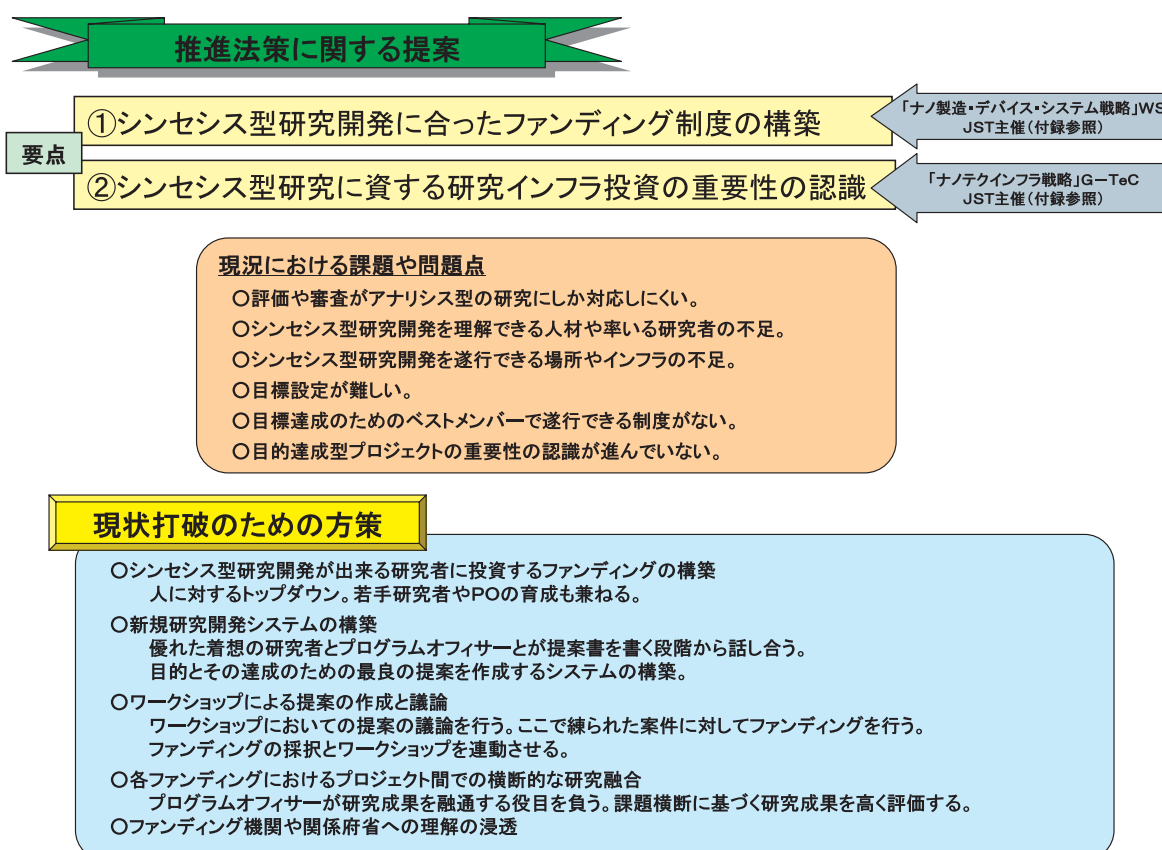


図7 提案するファンディング制度改革

4.2 研究インフラストラクチャー

これまでに、ナノテクノロジー総合支援プロジェクト^[9]において、共同利用施設のネットワークが整備されるなど、ナノテクノロジー研究のためのインフラストラクチャーの整備がなされてきた。このようなインフラストラクチャーの整備は海外でも行われており、米国では NNIN (National Nanotechnology Infrastructure Network)、英国では MNT Network (Micro and Nano Technology Network)、仏国では MINATEC (Center for Innovation in Micro & Nanotechnology)、韓国では Nanofab Center などが整備されている。現在、ナノテクノロジー総合支援プロジェクトは更新の時期を迎えているが、これを機会に研究インフラストラクチャーを再整備していくために、海外のものと比較しての我が国のものの弱点や課題を明らかにする必要がある。そこで、JST 研究開発戦略センター、ナノテクノロジー・材料グループは、これらの施設を訪問調査し、「我が国の研究開発拠点構築に資する主要各国のナノテクインフラ投資戦略調査」海外比較調査報告書^[7]をまとめた。我が国が参考にすべき点は以下の通りである。

- 広い意味での市場原理の導入によって、費用対効果が高められている。たとえば、米国 NNIN の共同利用施設は極めて良く整備・運営されているにもかかわらず、NNIN への直接的な国費投入は 14 M\$ (2005 年) で、これは我が国のナノテクノロジー総合支援プロジェクトのそれよりも僅かに少額である。しかし、NNIN には直接的な国費投入額の 3 倍程度の資金が、利用料や寄付として集まっている。利用料や寄付は、運営の自助努力の結果、市場原理によって集まる資金である。
- 米国では、ナノテクノロジー研究施設の立ち上げには多くの国家投資がある。2005 年には、上記 NNIN や NSF のナノテクノロジー計算ネットワーク 7 拠点 NCN (Network for Computational Nanotechnology) の整備、エネルギー省のナノスケール科学研究センター 5 拠点 NSRC (Nanoscale Science Research Centers) の建設などに 165 億円が投資された (Lawrence Berkeley 国立研究所に NSRC の 1 つである Molecular Foundry が完成している)。このようなインフラストラクチャー整備への投資は、米国政府のナノテクノロジーに関する投資全体の 15 ~ 20 % に相当する。また、アジアでも韓国や台湾は同様の水準の投資を実施している。これに対して、我が国のインフラストラクチャー整備への投資は、ナノテクノロジーに関する政府予算全体の 2 % に過ぎない。
- 共同利用施設で支援 (研究ではない) を行う技術者 (研究者ではない) のキャリアパスが確保されている。また、有能な技術者が組織内で高く評価される文化があり、それに相応しい地位と待遇とが有能な技術者に与えられている。
- 高い利用料を支払っても共同利用施設を利用しようという意識が研究者側にある。当然、この意識の源泉は、研究者が求める支援と共同利用施設が提供するサービスとの間にある市場原理である。利用料を払えば、最新の研究施設に平等にアクセスできるので、若手研究者が独立して研究を行うことができる。一方、我が国では、研究予算は自分の装置を購入するために使うものであるという意識が強く、研究予算の多くを利用料に充当する文化がない。
- 共同利用施設が分野融合の核となっている。さらに、共同利用施設に併設された研究拠点が、分野融合研究を振興するための予算配分、プロジェクト推進、人材配置などに工夫をしている。

1
本提案の
内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な研究
開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に関する
考察

参考文献

Appendix

- 現行のナノテクノロジー総合支援プロジェクトを評価し、継続の必要があると認められる共同利用施設に対して、予算の増額による設備や支援員の充実、およびサービス向上と自立とを目指す運営体制の構築を行う。全体として共同利用施設が拡大・充実するように施策する。
- 現行のナノテクノロジー総合支援プロジェクトの延長上にある既存施設・設備を活用した共同利用施設に加えて、シンセシス型の研究開発のための共同利用センターを、1 または 2 拠点、新たに整備する。この共同利用センターでは、上述の市場原理による自立的運営、技術者のキャリアパス・評価、課金制度などの難しい課題に対して、成功例を作るための挑戦を行う。
- 共同利用センターは、ナノテクノロジー分野での研究開発に実績のある研究機関の決断のもと、その直近に作る。
- 上記共同利用センターは既存組織から実質的に独立した経営体とする。政府は、利用実績等に応じて資金提供を継続的に行うが、経営には関与しない。運営資金の半分以上を市場原理によって集めることを目標とする。また、運営責任者には財務の知識と企業経験とを有する人材を登用する。
- 政府は直接的な資金提供の他に、共同利用センターの利用を促進するようなプロジェクトとファンディングとを行う。たとえば、研究予算に共同利用センター・施設の利用料のための特別枠を設ける。
- 1 または 2 拠点で成功例ができれば、ナノテクノロジー分野以外も含めて同様の運営形態を持つ共同利用センターを増やすことを検討する。

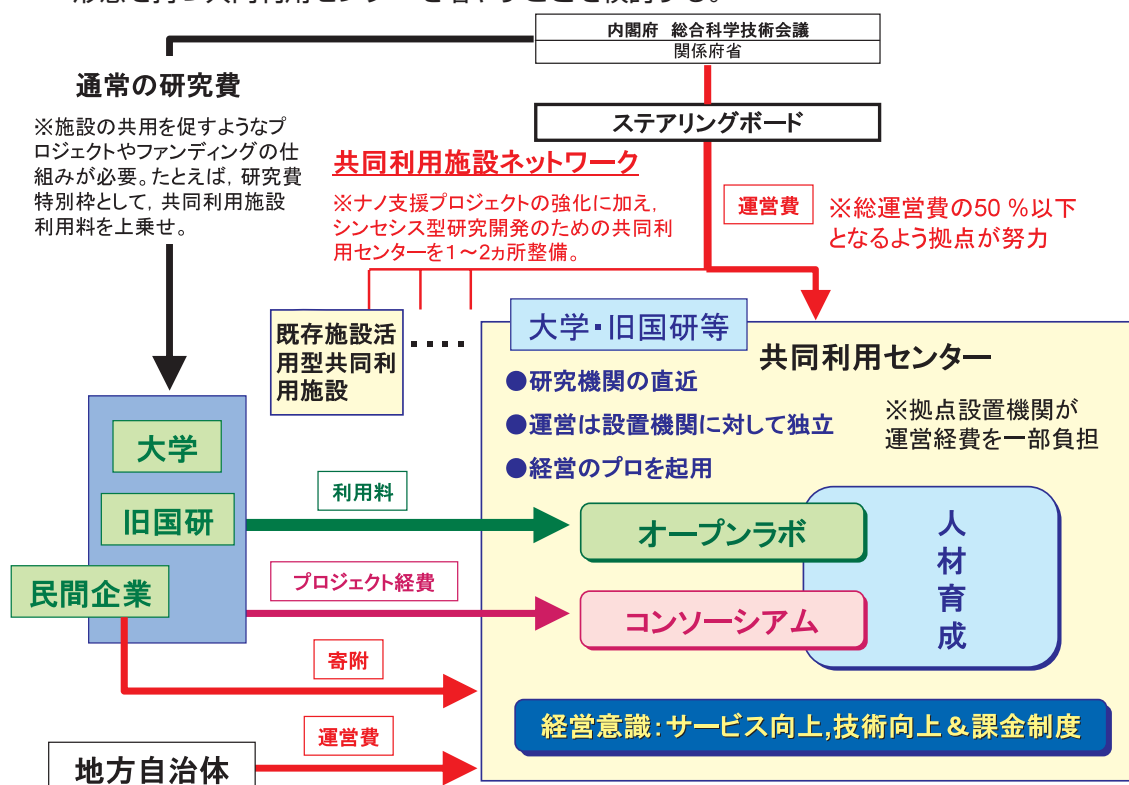


図8 提案する研究インフラストラクチャー像

5.1 ナノデバイス・ナノシステム

ナノテクノロジーは、材料、製造、情報通信、医療などのあらゆる分野に波及し、様々なイノベーションを生み出す基盤技術であるという特質上、半導体工学、有機化学、無機化学、分子生物学などのように理論や基本原理に基づく整然とした学問体系を持つわけではない。この特質上、いろいろな分野における個別の応用に適用されて価値を発揮し、そのような広い分野の個別応用成功例の積み重ねによって発展するという側面がある。したがって、具体的なナノデバイス・ナノシステムの試作を中心とするシンセシス型の研究は、ナノテクノロジー自体の価値を顕在化させ、ナノテクノロジーを発展させる最も有効な方法の1つである。さらに、上記特質上、ナノテクノロジーの研究は分野融合研究である。ナノデバイス・ナノシステムを特に実地的な形態で実現するためには、複数の知見・技術を最も適した形に組み合わせるシンセシスが必須である。本戦略プログラムの実行によって、必然的に分野融合が促進されるという効果もある。

5.2 製造ナノテクノロジー

これまでのナノテクノロジー研究によって、ナノデバイス・ナノシステムの製造技術に関して解決すべき課題が明確化されてきた。現在、ナノ加工技術・ナノプロセス技術として、極限フォトリソグラフィ、ナノインプリント（ナノ転写）、ナノインク描画、走査プローブ加工・計測、ナノレーザ加工・計測、自己組織化、バイオプロセス、マイクロリアクタなどが研究されている。また、超高密度LSI、ナノバイオチップ、MEMSなどのナノデバイス・システム、および様々なナノ材料が研究されている。その結果、数多くの有望なシーズが生み出されたが、製造技術が断片的かつ未熟であるために、ナノデバイス・ナノシステムを実地的な形態に製造することが難しいという現状がある。

一方、ナノ計測技術の発展によって、様々な現象のナノスケールでの科学的理解が可能になってきた。例えば、高機能走査プローブ顕微技術、極微量物質同定技術、超高感度表面吸着物質測定技術、極微小力測定技術、ナノ位置決め／測定技術などが発展してきた。これらのナノ計測技術によって、様々な製造過程で現れる現象をナノスケールで科学的に理解できるようになってきており、たとえば、ナノインプリント時のモールドと樹脂との相互作用、自己組織化のメカニズムなどが解明されようとしている。以上に述べた背景を鑑みると、ナノテクノロジーを利用して、ナノデバイス・ナノシステムを実地的な形態に製造する技術、さらにはそれを均質に歩留まり良く大量生産する技術の構築は、現在、我々が保有しているナノテクノロジーを次の段階に持ち上げることになる。

5.3 成果の発信と評価

図1（図4）に示したように、本戦略プログラムの研究開発課題は、基礎科学を巻きこんだ新しい製造ナノテクノロジーから、複数の要素技術がシンセシスされたデバイス・システムまでを包含する。このような研究開発では、学術論文の発表より、試作品による新技術のデモンストレーションが重要な成果となる。したがって、評価に当たっては、試作品の完成や企業への技術移転などを特に高く評価する。

内容
1 本提案の

意義
2 研究投資する

開発課題
3 具体的な研究

推進方法
4 研究開発の

効果
5 科学技術上の

効果
6 社会・経済的

考察
7 時間軸に関する

参考文献

Appendix

6 社会・経済的効果

数年前、ナノテクノロジーの市場予測が内外で発表された。米国の NSF (National Science Foundation) は 2015 年の世界市場を 100 兆円と予測し、一方、日本のシンクタンクは 2010 年の日本市場を 20 兆円前後と予測した。しかし、最近の経済産業省委託事業「超微細技術開発産業発掘戦略調査」によると、日本市場予測は下方修正され、2010 年で 4.5 兆円、2030 年で 26 兆円とされている。この背景には、本戦略プログラム「ナノシンセシス」に関連する技術進展が予想より進んでいないことが一因としてある。言い換えると、ナノテクノロジーに関する研究開発資源（人材と資金）が、裾野を広げるための要素技術の研究開発に自然と流れ込み、将来の産業技術を生み出す統合的な研究開発には結果として十分に注がれなかったと考えられる。そのような背景の中、本戦略プログラムは社会にイノベーションを与え得る「ナノシンセシス」の重要性を提言している。

本戦略プログラムに基づく研究開発は、将来、我が国の社会にどのようなインパクトを与えるであろうか。図 9 は、JST 研究開発戦略センターが掲げる社会ビジョン、および第三期科学技術基本計画に記述されている目指すべき国の姿（3 つの理念、6 つの目標）に対して、本戦略プログラムがどのように貢献するかを示すものである。

ナノテクノロジーは、材料、製造、情報通信、医療などのあらゆる分野に波及し、様々なイノベーションを生み出す基盤技術であるので、ナノデバイス・ナノシステムの用途も情報通信、製造、医療、福祉、安全と多岐にわたる。したがって、本提案の実施によって実現されうる社会ビジョンは、「健康で快適な生活」、「安全で安心な社会」、「活力と競争力のある国」、および「持続可能な経済発展」である。これらの中でも、本提案は、次世代（おおよそ 10 年先）の産業技術を創り上げるという目標を掲げているので、「産業競争力のある国」、および「持続可能な経済発展」の実現に最も大きく貢献する。

科学技術は、それが産業的に「使える」とわかったら、市場原理によって加速度的に高度化するものである。しかし、この「使える」という閾値を越える過程では、研究開発の境界条件が複雑になり、研究開発の困難さが増大する。また、研究開発を進めていく過程で、境界条件を満たす解が存在しないことが明らかになるリスクが高い。したがって、この閾値を越える研究開発、言い換えると、原理確認の終わったナノデバイス・ナノシステムを実際的なものに発展させるプロセスへの投資は、研究開発の時間軸上も公共的意義が高いと言える。

第 4 節で提案した共同利用センターは、市場原理の導入によって産業界の信頼を集めるものとなる。その結果、利用料が増大し、共同利用センターの整備が進むという拡大再生産によって、ベルギーの IMEC (Interuniversity MicroElectronics Center) を典型例とする次世代産業技術の一大研究拠点に発展する可能性がある。

目指すべき国の姿(第3期総合科学技術会議 2006.3.28)

生涯 はつらつ生活	安全が 誇りとなる国	イノベータ 日本	環境と経済 の両立	飛躍知の 発見・発明	科学技術の 限界突破
健康と安全を守る		国力の源泉を創る		人類の英知を生む	

社会ビジョン(JST研究開発戦略センター 2005年)						
健康で快適な 生活	安全で安心な 社会	学習する社会	活力と競争力 のある国	持続可能な経済 発展	尊敬される国	科学技術 リーダーシッ プでアジアと 共存

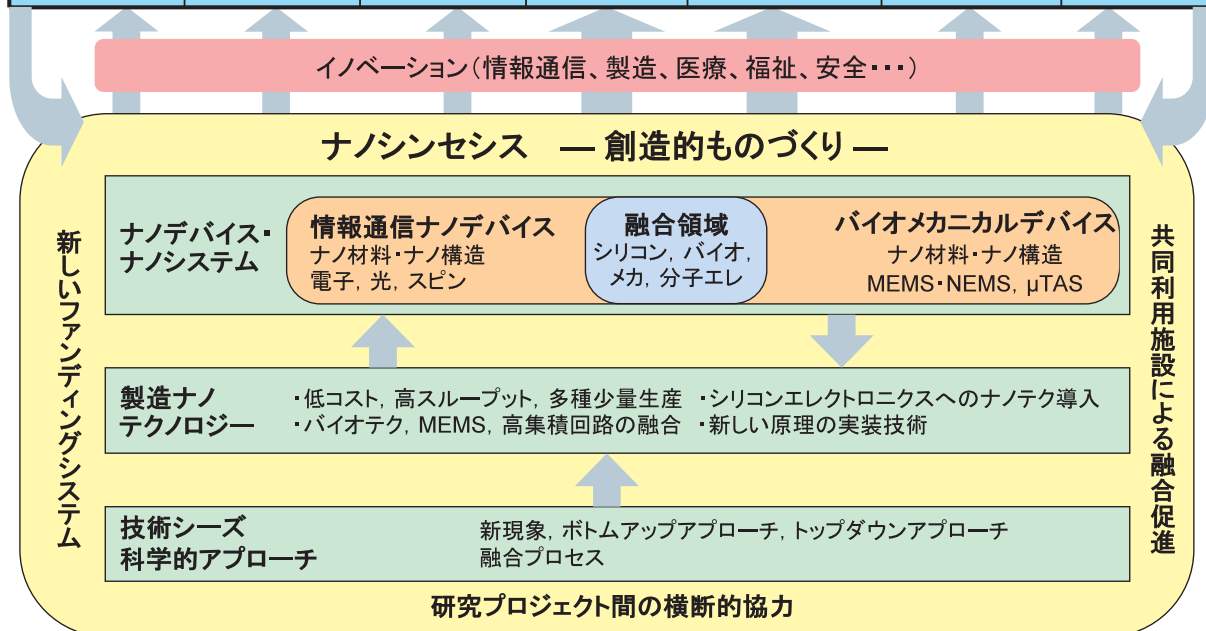


図9 「ナノシンセシスー創造的ものづくりー」の社会経済的貢献(図2の再掲)

MEMS: Micro Electro Mechanical System
NEMS: Nano Electro Mechanical System
μTAS: Micro-Total-Analysis System

1
本提案の
内容

2
研究投資する
意義

3
具体的研究
開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に
関する
考察

参考文献

Appendix

7 時間軸に関する考察

次世代（おおよそ 10 年先）の産業技術を創り上げるために、本提案は今すぐに着手すべきものである。産業技術は発展することを宿命としているので、どの時期にも次世代の産業技術の研究開発は必要であるが、特にここで提案する製造ナノテクノロジー、およびナノデバイス・ナノシステムの研究開発は、現在からおおよそ 5 年間に集中的に取り組むべきである。次の 5 年間（第三期科学技術基本計画の期間）で、ナノテクノロジーの社会的評価がおおよそ定まるはずである。

さらに、諸外国においても、製造ナノテクノロジーはナノテクノロジーの根幹をなす技術として重点的に研究されている。米国では、2015 年に向けた研究開発目標 10 項目（2004～2015 年）の中に、「先端材料・先端製造技術」（半分は分子レベルから）、および「ナノスケールからの技術集結」（人工組織・製造学際プラットフォーム）が含まれている。そして、これらを達成するために、NNIN 13 拠点が完成し、我が国のナノテクノロジー総合支援プロジェクトと比べて質・量ともに充実したサービスを提供している。また、EU の科学技術政策の根幹をなす第 7 次フレーム・ワークプログラム（FP7, 2007～2013 年）では、ナノテクノロジーの戦略として「新生産技術」の強化を打ち出し、伝統的なマクロ製造業を脱し、generic technologies を統合集積した知識ベースの生産技術の構築を目指している。その一大拠点として、フランス・グルノーブルに 560 億円の巨費を投じた MINATEC が 2006 年 6 月に竣工している。本戦略プロポーザルの実施は、国際競争力維持の観点からも緊急性を有することは明らかである。

本戦略プロポーザル「ナノシンセシス」は、10 年間で 1 つの区切りとして評価すべき研究開発課題である。図 1 に示した通りであるが、ナノテクノロジーへの国家投資が世界的に始まってから 5 年を経た現在、今後 5 年間で最重要かつ集中投資の必要な期間であると考えべきである。5 年後、社会や産業界の評価に耐えうる成果、あるいは納税者が継続投資を納得するに十分な成果を出しておくことが要求される。

- [1] 経済産業省委託事業「超微細技術開発産業発掘戦略調査」ナノテク関連市場規模動向調査報告書，平成 18 年 3 月，<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/>
- [2] <http://crds.jst.go.jp/jp/mission.html>
- [3] <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index3.html>
- [4] ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合報告書，JST 研究開発戦略センター，平成 17 年度
<http://crds.jst.go.jp/output/rp.html>
- [5] 「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ報告書，JST 研究開発戦略センター，平成 17 年度
<http://crds.jst.go.jp/output/rp.html>
- [6] <http://www.jst.go.jp/kisoken/nano.html>
- [7] 「我が国の研究開発拠点構築に資する主要各国のナノテクインフラ投資戦略調査」海外比較調査報告書，JST 研究開発戦略センター，平成 18 年度
<http://crds.jst.go.jp/output/rp.html>
- [8] <http://www.jst.go.jp/erato/index-j.html>
- [9] <http://www.nanonet.go.jp/japanese/>

内容 本提案の 1

意義 研究投資する 2

開発課題 具体的な研究 3

推進方法 研究開発の 4

効果 科学技術上の 5

効果 社会・経済的 6

考察 時間軸に関する 7

参考文献

Appendix

Appendix

1. 俯瞰図における「ナノシンセシス」の位置づけ
2. ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合報告書
Executive Summary
3. 「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ報告書
Executive Summary
4. 「我が国の研究開発拠点構築に資する主要各国の
ナノテクインフラ投資戦略調査」海外比較調査報告書
Executive Summary

1. 俯瞰図における「ナノシンセシス」の位置づけ

ナノテクノロジー・材料研究開発戦略俯瞰図

【Objectives / ナノテクノロジー・材料達成目標】											
物質科学 技術戦略		教育・人材育成戦略									
社会受容・倫理に配慮した戦略		共有インフラストラクチャー									
ナノテクノロジー・材料達成目標											
①ナノ構造・材料		②ナノバイオ・システム		③ナノ材料・加工プロセス		④ナノデバイス・システム		⑤設計・探索		⑥計測・評価・標準	
0	ナノサイエンスとしての成果・発見	1	人工ナノ構造	1	超分子	1	ハイブリッドナノ構造	1	材料設計シミュレーション	1	S P M システム開発
		2		2	有機・生体関連分子	2	ナノカーボン	2	DB の構築と新材料設計	2	リアルタイム計測・3次元計測技術
		3	ソフトマター	3	医療診断プローブ材料	3	生体内送達治療材料	3	材料探索手法の開発	3	超高感度・極微量分析技術
		4	微粒子・クラスター	4	医療診断プローブ材料	4	生体適用材料	4	光機能デバイス	4	超高速度・チップ利用計測技術
		5	ハイブリッドナノ構造	5	生体関連分子	5	生体適用材料	5	材料設計シミュレーション	5	超高感度・極微量分析技術
		6	超分子	6	有機・生体関連分子	6	生体内送達治療材料	6	DB の構築と新材料設計	6	リアルタイム計測・3次元計測技術
		7	ナノカーボン	7	医療診断プローブ材料	7	生体内送達治療材料	7	材料設計シミュレーション	7	S P M システム開発
		8	ハイブリッドナノ構造	8	生体適用材料	8	生体内送達治療材料	8	材料探索手法の開発	8	リアルタイム計測・3次元計測技術
		9	微粒子・クラスター	9	医療診断プローブ材料	9	生体内送達治療材料	9	DB の構築と新材料設計	9	超高感度・極微量分析技術
		10	超分子	10	有機・生体関連分子	10	生体内送達治療材料	10	材料設計シミュレーション	10	S P M システム開発
		11	ハイブリッドナノ構造	11	生体適用材料	11	生体内送達治療材料	11	材料探索手法の開発	11	リアルタイム計測・3次元計測技術
		12	超分子	12	医療診断プローブ材料	12	生体内送達治療材料	12	DB の構築と新材料設計	12	超高感度・極微量分析技術
		13	ナノカーボン	13	医療診断プローブ材料	13	生体内送達治療材料	13	材料設計シミュレーション	13	S P M システム開発
		14	ハイブリッドナノ構造	14	生体適用材料	14	生体内送達治療材料	14	材料探索手法の開発	14	リアルタイム計測・3次元計測技術
		15	微粒子・クラスター	15	医療診断プローブ材料	15	生体内送達治療材料	15	DB の構築と新材料設計	15	超高感度・極微量分析技術
		16	超分子	16	有機・生体関連分子	16	生体内送達治療材料	16	材料設計シミュレーション	16	S P M システム開発
		17	ハイブリッドナノ構造	17	生体適用材料	17	生体内送達治療材料	17	材料探索手法の開発	17	リアルタイム計測・3次元計測技術
		18	超分子	18	医療診断プローブ材料	18	生体内送達治療材料	18	DB の構築と新材料設計	18	超高感度・極微量分析技術
		19	ナノカーボン	19	医療診断プローブ材料	19	生体内送達治療材料	19	材料設計シミュレーション	19	S P M システム開発
		20	ハイブリッドナノ構造	20	生体適用材料	20	生体内送達治療材料	20	材料探索手法の開発	20	リアルタイム計測・3次元計測技術
		21	微粒子・クラスター	21	医療診断プローブ材料	21	生体内送達治療材料	21	DB の構築と新材料設計	21	超高感度・極微量分析技術
		22	超分子	22	有機・生体関連分子	22	生体内送達治療材料	22	材料設計シミュレーション	22	S P M システム開発
		23	ハイブリッドナノ構造	23	生体適用材料	23	生体内送達治療材料	23	材料探索手法の開発	23	リアルタイム計測・3次元計測技術
		24	超分子	24	医療診断プローブ材料	24	生体内送達治療材料	24	DB の構築と新材料設計	24	超高感度・極微量分析技術
		25	ナノカーボン	25	医療診断プローブ材料	25	生体内送達治療材料	25	材料設計シミュレーション	25	S P M システム開発
		26	ハイブリッドナノ構造	26	生体適用材料	26	生体内送達治療材料	26	材料探索手法の開発	26	リアルタイム計測・3次元計測技術
		27	微粒子・クラスター	27	医療診断プローブ材料	27	生体内送達治療材料	27	DB の構築と新材料設計	27	超高感度・極微量分析技術
		28	超分子	28	有機・生体関連分子	28	生体内送達治療材料	28	材料設計シミュレーション	28	S P M システム開発
		29	ハイブリッドナノ構造	29	生体適用材料	29	生体内送達治療材料	29	材料探索手法の開発	29	リアルタイム計測・3次元計測技術
		30	超分子	30	医療診断プローブ材料	30	生体内送達治療材料	30	DB の構築と新材料設計	30	超高感度・極微量分析技術
		31	ナノカーボン	31	医療診断プローブ材料	31	生体内送達治療材料	31	材料設計シミュレーション	31	S P M システム開発
		32	ハイブリッドナノ構造	32	生体適用材料	32	生体内送達治療材料	32	材料探索手法の開発	32	リアルタイム計測・3次元計測技術
		33	微粒子・クラスター	33	医療診断プローブ材料	33	生体内送達治療材料	33	DB の構築と新材料設計	33	超高感度・極微量分析技術
		34	超分子	34	有機・生体関連分子	34	生体内送達治療材料	34	材料設計シミュレーション	34	S P M システム開発
		35	ハイブリッドナノ構造	35	生体適用材料	35	生体内送達治療材料	35	材料探索手法の開発	35	リアルタイム計測・3次元計測技術
		36	超分子	36	医療診断プローブ材料	36	生体内送達治療材料	36	DB の構築と新材料設計	36	超高感度・極微量分析技術
		37	ナノカーボン	37	医療診断プローブ材料	37	生体内送達治療材料	37	材料設計シミュレーション	37	S P M システム開発
		38	ハイブリッドナノ構造	38	生体適用材料	38	生体内送達治療材料	38	材料探索手法の開発	38	リアルタイム計測・3次元計測技術
		39	微粒子・クラスター	39	医療診断プローブ材料	39	生体内送達治療材料	39	DB の構築と新材料設計	39	超高感度・極微量分析技術
		40	超分子	40	有機・生体関連分子	40	生体内送達治療材料	40	材料設計シミュレーション	40	S P M システム開発
		41	ハイブリッドナノ構造	41	生体適用材料	41	生体内送達治療材料	41	材料探索手法の開発	41	リアルタイム計測・3次元計測技術
		42	超分子	42	医療診断プローブ材料	42	生体内送達治療材料	42	DB の構築と新材料設計	42	超高感度・極微量分析技術
		43	ナノカーボン	43	医療診断プローブ材料	43	生体内送達治療材料	43	材料設計シミュレーション	43	S P M システム開発
		44	ハイブリッドナノ構造	44	生体適用材料	44	生体内送達治療材料	44	材料探索手法の開発	44	リアルタイム計測・3次元計測技術
		45	微粒子・クラスター	45	医療診断プローブ材料	45	生体内送達治療材料	45	DB の構築と新材料設計	45	超高感度・極微量分析技術
		46	超分子	46	有機・生体関連分子	46	生体内送達治療材料	46	材料設計シミュレーション	46	S P M システム開発
		47	ハイブリッドナノ構造	47	生体適用材料	47	生体内送達治療材料	47	材料探索手法の開発	47	リアルタイム計測・3次元計測技術
		48	超分子	48	医療診断プローブ材料	48	生体内送達治療材料	48	DB の構築と新材料設計	48	超高感度・極微量分析技術
		49	ナノカーボン	49	医療診断プローブ材料	49	生体内送達治療材料	49	材料設計シミュレーション	49	S P M システム開発
		50	ハイブリッドナノ構造	50	生体適用材料	50	生体内送達治療材料	50	材料探索手法の開発	50	リアルタイム計測・3次元計測技術
		51	微粒子・クラスター	51	医療診断プローブ材料	51	生体内送達治療材料	51	DB の構築と新材料設計	51	超高感度・極微量分析技術
		52	超分子	52	有機・生体関連分子	52	生体内送達治療材料	52	材料設計シミュレーション	52	S P M システム開発
		53	ハイブリッドナノ構造	53	生体適用材料	53	生体内送達治療材料	53	材料探索手法の開発	53	リアルタイム計測・3次元計測技術
		54	超分子	54	医療診断プローブ材料	54	生体内送達治療材料	54	DB の構築と新材料設計	54	超高感度・極微量分析技術
		55	ナノカーボン	55	医療診断プローブ材料	55	生体内送達治療材料	55	材料設計シミュレーション	55	S P M システム開発
		56	ハイブリッドナノ構造	56	生体適用材料	56	生体内送達治療材料	56	材料探索手法の開発	56	リアルタイム計測・3次元計測技術
		57	微粒子・クラスター	57	医療診断プローブ材料	57	生体内送達治療材料	57	DB の構築と新材料設計	57	超高感度・極微量分析技術
		58	超分子	58	有機・生体関連分子	58	生体内送達治療材料	58	材料設計シミュレーション	58	S P M システム開発
		59	ハイブリッドナノ構造	59	生体適用材料	59	生体内送達治療材料	59	材料探索手法の開発	59	リアルタイム計測・3次元計測技術
		60	超分子	60	医療診断プローブ材料	60	生体内送達治療材料	60	DB の構築と新材料設計	60	超高感度・極微量分析技術
		61	ナノカーボン	61	医療診断プローブ材料	61	生体内送達治療材料	61	材料設計シミュレーション	61	S P M システム開発
		62	ハイブリッドナノ構造	62	生体適用材料	62	生体内送達治療材料	62	材料探索手法の開発	62	リアルタイム計測・3次元計測技術
		63	微粒子・クラスター	63	医療診断プローブ材料	63	生体内送達治療材料	63	DB の構築と新材料設計	63	超高感度・極微量分析技術
		64	超分子	64	有機・生体関連分子	64	生体内送達治療材料	64	材料設計シミュレーション	64	S P M システム開発
		65	ハイブリッドナノ構造	65	生体適用材料	65	生体内送達治療材料	65	材料探索手法の開発	65	リアルタイム計測・3次元計測技術
		66	超分子	66	医療診断プローブ材料	66	生体内送達治療材料	66	DB の構築と新材料設計	66	超高感度・極微量分析技術
		67	ナノカーボン	67	医療診断プローブ材料	67	生体内送達治療材料	67	材料設計シミュレーション	67	S P M システム開発
		68	ハイブリッドナノ構造	68	生体適用材料	68	生体内送達治療材料	68	材料探索手法の開発	68	リアルタイム計測・3次元計測技術
		69	微粒子・クラスター	69	医療診断プローブ材料	69	生体内送達治療材料	69	DB の構築と新材料設計	69	超高感度・極微量分析技術
		70	超分子	70	有機・生体関連分子	70	生体内送達治療材料	70	材料設計シミュレーション	70	S P M システム開発
		71	ハイブリッドナノ構造	71	生体適用材料	71	生体内送達治療材料	71	材料探索手法の開発	71	リアルタイム計測・3次元計測技術
		72	超分子	72	医療診断プローブ材料	72	生体内送達治療材料	72	DB の構築と新材料設計	72	超高感度・極微量分析技術
		73	ナノカーボン	73	医療診断プローブ材料	73	生体内送達治療材料	73	材料設計シミュレーション	73	S P M システム開発
		74	ハイブリッドナノ構造	74	生体適用材料	74	生体内送達治療材料	74	材料探索手法の開発	74	リアルタイム計測・3次元計測技術
		75	微粒子・クラスター	75	医療診断プローブ材料	75	生体内送達治療材料	75	DB の構築と新材料設計	75	超高感度・極微量分析技術
		76	超分子	76	有機・生体関連分子	76	生体内送達治療材料	76	材料設計シミュレーション	76	S P M システム開発
		77	ハイブリッドナノ構造	77	生体適用材料	77	生体内送達治療材料	77	材料探索手法の開発	77	リアルタイム計測・3次元計測技術
		78	超分子	78	医療診断プローブ材料	78	生体内送達治療材料	78	DB の構築と新材料設計	78	超高感度・極微量分析技術
		79	ナノカーボン	79	医療診断プローブ材料	79	生体内送達治療材料	79	材料設計シミュレーション	79	S P M システム開発
		80	ハイブリッドナノ構造	80	生体適用材料	80	生体内送達治療材料	80	材料探索手法の開発	80	リアルタイム計測・3次元計測技術
		81	微粒子・クラスター	81	医療診断プローブ材料	81	生体内送達治療材料	81	DB の構築と新材料設計	81	超高感度・極微量分析技術
		82	超分子	82	有機・生体関連分子	82	生体内送達治療材料	82	材料設計シミュレーション	82	S P M システム開発
		83	ハイブリッドナノ構造	83	生体適用材料	83	生体内送達治療材料	83	材料探索手法の開発	83	リアルタイム計測・3次元計測技術
		84	超分子	84	医療診断プローブ材料	84	生体内送達治療材料	84	DB の構築と新材料設計	84	超高感度・極微量分析技術
		85	ナノカーボン	85	医療診断プローブ材料	85	生体内送達治療材料	85	材料設計シミュレーション	85	S P M システム開発
		86	ハイブリッドナノ構造	86	生体適用材料	86	生体内送達治療材料	86	材料探索手法の開発	86	リアルタイム計測・3次元計測技術
		87	微粒子・クラスター	87	医療診断プローブ材料	87	生体内送達治療材料	87	DB の構築と新材料設計	87	超高感度・極微量分析技術
		88	超分子	88	有機・生体関連分子	88	生体内送達治療材料	88	材料設計シミュレーション	88	S P M システム開発
		89	ハイブリッドナノ構造	89	生体適用材料	89	生体内送達治療材料	89	材料探索手法の開発	89	リアルタイム計測・3次元計測技術
		90	超分子	90	医療診断プローブ材料	90	生体内送達治療材料	90	DB の構築と新材料設計	90	超高感度・極微量分析技術
		91	ナノカーボン	91	医療診断プローブ材料	91	生体内送達治療材料	91	材料設計シミュレーション	91	S P M システム開発
		92	ハイブリッドナノ構造	92	生体適用材料	92	生体内送達治療材料	92	材料探索手法の開発	92	リアルタイム計測・3次元計測技術
		93	微粒子・クラスター	93	医療診断プローブ材料	93	生体内送達治療材料	93	DB の構築と新材料設計	93	超高感度・極微量分析技術
		94	超分子	94	有機・生体関連分子	94	生体内送達治療材料	94	材料設計シミュレーション	94	S P M システム開発
		95	ハイブリッドナノ構造	95	生体適用材料	95	生体内送達治療材料	95	材料探索手法の開発	95	リアルタイム計測・3次元計測技術
		96	超分子	96	医療診断プローブ材料	96	生体内送達治療材料	96	DB の構築と新材料設計	96	超高感度・極微量分析技術
		97	ナノカーボン	97	医療診断プローブ材料	97	生体内送達治療材料	97	材料設計シミュレーション	97	S P M システム開発
		98	ハイブリッドナノ構造	98	生体適用材料	98	生体内送達治療材料	98	材料探索手法の開発	98	リアルタイム計測・3次元計測技術
		99	微粒子・クラスター	99	医療診断プローブ材料	99	生体内送達治療材料	99	DB の構築と新材料設計	99	超高感度・極微量分析技術
		100	超分子	100	有機・生体関連分子	100	生体内送達治療材料	100	材料設計シミュレーション	100	S P M システム開発
		101	ハイブリッドナノ構造	101	生体適用材料	101	生体内送達治療材料	101	材料探索手法の開発	101	リアルタイム計測・3次元計測技術
		102	超分子	102	医療診断プローブ材料	102	生体内送達治療材料	102	DB の構築と新材料設計	102	超高感度・極微量分析技術
		103	ナノカーボン	103	医療診断プローブ材料	103	生体内送達治療材料	103	材料設計シミュレーション	103	S P M システム開発
		104	ハイブリッドナノ構造	104	生体適用材料	104	生体内送達治療材料	104	材料探索手法の開発	104	リアルタイム計測・3次元計測技術
		105	微粒子・クラスター	105	医療診断プローブ材料	105	生体内送達治療材料	105	DB の構築と新材料設計	105	超高感度・極微量分析技術
		106	超分子	106	有機・生体関連分子	106	生体内送達治療材料	106	材料設計シミュレーション	106	S P M システム開発
		107	ハイブリッドナノ構造	107	生体適用材料	107	生体内送達治療材料	107	材料探索手法の開発	107	リアルタイム計測・3次元計測技術
		108	超分子	108	医療診断プローブ材料	108	生体内送達治療材料	108	DB の構築と新材料設計	108	超高感度・極微量分析技術
		109	ナノカーボン	109	医療診断プローブ材料	109	生体内送達治療材料	109	材料設計シミュレーション	109	S P M システム開発
		110	ハイブリッドナノ構造	110	生体適用材料	110	生体内送達治療材料	110	材料探索手法の開発	110	リアルタイム計測・3次元計測技術
		111	微粒子・クラスター	111	医療診断プローブ材料	111	生体内送達治療材料	111	DB の構築と新材料設計	111	超高感度・極微量分析技術
		112	超分子	112	有機・生体関連分子	112	生体内送達治療材料	112	材料設計シミュレーション	112	S P M システム開発
		113	ハイブリッドナノ構造	113	生体適用材料	113	生体内送達治療材料	113	材料探索手法の開発	113	リアルタイム計測・3次元計測技術
		114	超分子	114	医療診断プローブ材料	114	生体内送達治療材料	114	DB の構築と新材料設計	114	超高感度・極微量分析技術
		115	ナノカーボン	115	医療診断プローブ材料	115	生体内送達治療材料	115	材料設計シミュレーション	115	S P M システム開発
		116	ハイブリッドナノ構造	116	生体適用材料	116	生体内送達治療材料	116	材料探索手法の開発	116	リアルタイム計測・3次元計測技術
		117	微粒子・クラスター	117	医療診断プローブ材料	117	生体内送達治療材料	117	DB の構築と新材料設計	117	超高感度・極微量分析技術
		118	超分子	118	有機・生体関連分子	118	生体内送達治療材料	118	材料設計シミュレーション	118	S P M システム開発
		119	ハイブリッドナノ構造	119	生体適用材料	119	生体内送達治療材料	119	材料探索手法の開発	119	リアルタイム計測・3次元計測技術
		120	超分子	120	医療診断プローブ材料	120	生体内送達治療材料	120	DB の構築と新材料設計	120	超高感度・極微量分析技術
		121	ナノカーボン	121	医療診断プローブ材料	121	生体内送達治療材料	121	材料設計シミュレーション	121	S P M システム開発
		122	ハイブリッドナノ構造	122	生体適用材料	122					

Executive Summary

1. 本ワークショップ開催の狙いと目的

ナノテクノロジーの研究・開発の気運が世界的に高揚している中、我が国においては、第2期科学技術基本計画（2001年-2005年）の重点分野の一つとしてナノテクノロジー・材料分野に戦略的に研究開発投資を行ってきた。2005年に入り、ナノテクノロジー・材料分野は国際的に一つの転換期を迎えている。事実、米国の国家ナノテクノロジー戦略（NNI）は、2001年の開始から今年で5年が経過し、PCAST（大統領科学技術顧問会議）によるこれまでの評価が実施され、また同時に今後の5年間の計画が立てられつつある。我が国においては、平成13年に始まった第2期科学技術基本計画が本年度で終了し、平成18年度（2006年度）からの第3期科学技術基本計画策定に向けての準備が進んでいる。

一方、JSTにおいても、平成14年度（2002年度）に始まったナノテクノロジー分野別バーチャルラボが、平成19年度（2007年度）に全研究課題の終了を迎える。

本ワークショップは、この様ないわば「ナノテクノロジー・材料分野」の潮目を前に、我が国のトップ有識者が一同に会し、我が国のナノテクノロジー・材料戦略の現在、あるいは来し方行く末を大所高所の視点から議論する場を提供して、今後の進むべき方向について中長期のビジョンを得ることを狙ったものである。そのため、今後我が国が重点的に取り組むべき重要領域・課題について、各参加者に提言をお願いし、かつ、それらを効率的・加速度的に推進するための重要施策についても具体的に提案して頂いた。

本ワークショップの開催によって、CRDSナノテク・材料グループが期待している成果は、以下の二つに集約される。

- i) プレリサーチ結果（事前アンケート調査）を含む本ワークショップの議論と提言を基にした、ナノテクノロジー・材料分野に関する**研究俯瞰マップの完成**。
 - ii) プレリサーチ結果（事前アンケート調査）を含む本ワークショップの議論と提言を基にした、今後の日本のナノテクノロジー・材料戦略についての**中長期のビジョン**の構築。
- i) については、当グループから、“研究俯瞰マップ”の概念と目的の説明を行い、これまでの結果や経緯を配布した上でワークショップ期間中に適宜意見を求めた。
- ii) が本ワークショップの主目的であるが、トップ有識者の方々が一同に会するという特長を最大限に活かし、闊達な意見交換を通して、一定の“オピニオン”にまで集約させることを試みた。本ワークショップの成果は、当グループが“戦略プロポーザル”をまとめる上での重要なエビデンスとなる。

以下に、**研究戦略への提言と中長期的に見た場合の研究推進施策の必要性**とに分けて、それぞれ要約を記す。

2. 研究戦略についての提言

今後の日本のナノテクノロジー・材料戦略について、次の様な中長期的な研究領域・課題や研究戦略が提言された。

2-1 ナノサイエンス

当該分野においては、“**知の創出**”が継続して重要である。従って、**ナノサイエンスは、ナノテクノロジーといわば両輪を形成して推進すべき重要な領域**である。具体的には、i) 分子ナノテクノロジーの展開につながる分子系の物性科学、ii) 有機ソフトマター、マルチフェロイクス等の交差相関物性、iii) 液相分子論等の拡張ナノ空間科学(100nm~1nm)、iv) ナノフォトニクス等が挙げた。

i) **分子系の物性科学**は、分子ナノテクノロジーの展開にとって不可欠のサイエンスである。また、この分子ナノテクノロジーこそ、ナノサイエンスの究極のテーマの一つ「生命現象の物質的基礎の解明と利用」を実現するテクノロジーである。

ii) **交差相関物性の科学**は、電子の電荷に加えて、電子の軌道とスピンという属性、更に電子の励起に関与する光、原子変位・格子構造変化(フォノン)という5つの因子が交差相関する所に顕現する新たな物理現象を対象にしており、その応用範囲はバイオ系までも含んだ非常に広範なものである。

iii) **液相分子論等の拡張ナノ空間科学**は、ナノメータとマイクロメータとの間にある100 nmから1 μ mの空間を対象としており、そこには極めて興味深い科学が存在する。例えば、この空間では、単一分子が集まって液体として振舞い始め、液相分子論として重要な領域である。

iv) **ナノフォトニクス**領域には、ナノ材料と光子との相互作用による新しい機能発現やナノレベルでの生命機能の解明・制御といった重要なナノサイエンスの研究対象が包含される。更に、金属ナノ構造と光子との相互作用を利用するナノプラズモニクスの研究の展開も期待される。この領域は、負の屈折率の発現等、ナノサイエンスとしても非常に魅力的である。

2-2 ナノテクノロジー要素技術の総合化プログラムの重要性

殊に多様な要素技術から構成されるナノテクノロジー・材料分野においては、最初に独創的なコンセプトを設定し、そのコンセプトをブレークダウンした各技術要素の研究・開発の成果をシンセシス(総合化)によって実証する、といった**多様な要素技術を統合して推進するプログラムが重要**である。このプログラミングそのものがナノテクノロジー・材料分野における戦略の一方策であると考えられる。

本ワークショップでは、このような技術プログラムが有効な具体的な研究課題として、i) 次々世代半導体集積回路(45nm, 35nm)技術、ii) ポストCMOSや新領域エレクトロニクスの研究(ナノ構造の量子効果を利用した光通信のデバイス開発、カーボンナノチューブの利用によるシリコンLSI技術のブレークスルー、ナノとバイオとの融合によるプロテインチップあるいは人工抗体の開発等)、iii) ソフトナノテクノロジー(温和な条件でナノ材料を創る技術)による再生医

療やDDSを指向した材料・医療デバイス創製（異なるナノ材料が異なる遺伝子を発現するマテリアルゲノミクスや生体内で本来の骨を置換するナノコンポジット人工骨等）等が挙げられた。

例えば、半導体分野において、45nmテクノロジーから32nmテクノロジー、更にポストCMOSや新領域エレクトロニクスへと、要素技術であるナノテクノロジーを垂直統合して推進するプログラムが具体的に示された。

2-3 材料、プロセス、デバイス等の“設計・探索”の重要性

新規な物質・材料の発見や生成、あるいはプロセスの創出やデバイスの創製は、科学技術のブレイクスルー、ひいてはイノベーションをもたらさう。この数年で飛躍的に向上したシミュレーション技術（理論・モデル計算・計算機シミュレーション）の適用や効率的な新材料探索を可能とする新しいハイスループットスクリーニング法の実現・利用等によって、**革新的な材料、プロセス、デバイス等の設計・探索**が期待される。後者のハードウェアとして、マイクロ化学チップの可能性も紹介された。併せて、“**代替材料**”の探索の重要性も指摘された。

2-4 インストゥルメンテーションや標準化の重要性

ナノバイオにおける可視化計測、新規材料の探索、ナノ構造・ナノ粒子の高精度評価等、**インストゥルメンテーション及びそれらの標準化の重要性**も指摘された。

本ワークショップでは、ナノメータとマイクロメータとの間にある拡張ナノ空間（100 nm～1 μ m）における興味深い科学（例えば、単一分子が集まって液体になる中間状態の液体論や化学、DNAと蛋白との関係、ゲノミクスと創薬との繋ぎ等）の研究のためのインストゥルメンテーションとして、**マイクロ化学チップ**が挙げられた。また、2つのレーザを用いたアンチストークスラマン散乱分光によって、光の回折限界を遥かに超える10 nmオーダの分解能で生体物質の分子振動を観察できる顕微鏡が挙げられた。

また、新材料設計・探索の際に、計算機による材料設計プロセス制御を行う上で不可欠な**データベース構築（マテリアルインフォマティクス）**や**ナノテクノロジー全般における標準化の重要性**も指摘された。

3. 中長期的視点に立脚した研究推進施策の必要性

研究開発への直接投資と共に、**中長期的視点に立脚した研究推進施策の必要性**も確認された。これらについての主な議論を以下にまとめる。

3-1 ファンディングシステム

ファンディングにおいては、**時限性と継続性とのバランス**が特に重要である。時限的に大型の研究資金を投入し得られた成果をイノベーションにまでつなげる為には、継続性もまた肝要である。**戦略立案に際しては、社会ニーズや将来ビジョンを強く意識した視点も不可欠**である。

3-2 研究支援システム（含共同利用施設）

ナノテクノロジーの研究には、共同利用施設を含んだ研究支援システムが殊更に重要である。共同利用施設は、**新たな連携や融合を創成する機会を提供**する場でもある。連携や融合が結実するには、10年程度の期間を要することもあり、**継続的な支援**が求められる。

3-3 融合・連携推進システム

ナノテクノロジーの技術要素の多様性から、**効果的な融合・連携推進システムの構築**が必要である。本ワークショップでは、その方策として、i) プロジェクトチームを構成するに当たり、公募と依頼とを適切な割合で組み合わせて、目標を達するための融合・連携をよりトップダウン的に推進する方法、ii) トップ研究者のファンディングの現況を調整し、産官学を横断するトップ研究者を擁したドリームチームによって融合・連携を推進する方法、iii) 当該システムに適した新規の評価システムを構築し、参加研究者の融合・連携に対するインセンティブを向上する方法、等が提案された。

3-4 教育システム・人材育成プログラム

中長期的視点に立脚した教育システム・人材育成プログラムの構築も重要である。本ワークショップでは、NSF（全米科学財団）が推進するK-16（幼稚園から大学の学部学生までを通したナノテクノロジー教育システム）等が紹介された。また、2-2でも言及した様に、当該分野では、独創性のあるコンセプトを発案し、そのコンセプトの実証に向けて研究開発を遂行できる人材を育成する必要がある。

3-5 社会との対話

ナノテクノロジーの技術課題は、3-1でも言及した様に社会ビジョンを常に視野に入れて推進すべきである。そのためにも**社会との対話は重要**である。特に、ナノテクノロジーが社会に与えるベネフィットとリスクの両面を議論する必要がある。

3-6 国際共同への動き

ナノテクノロジー・材料分野における国際共同に関連して、主に**国際的人脈形成及び情報交換ネットワークの構築の重要性**が議論された。これらは、重要な研究インフラでもある。

4. 総括

以上、要約した本ワークショップでの議論は、今後のナノテク・材料グループ（村井上席フェローグループ）内の活動に反映され、**研究俯瞰マップ**、**戦略プロポーザル**、**中長期的視点に立脚した研究推進施策への提言**といった成果として発信される予定である。

4-1 研究俯瞰マップの進化

「技術・要素」軸と「物質・材料」軸から成る2軸のナノテクノロジー・材料分野の研究俯瞰マップが、本ワークショップに参加したトップ有識者による今後の中長期を見据えた提言やプレリサーチ結果（事前アンケート調査）に基いて見直された。今後これを「社会・経済」軸を含む3軸構成の研究俯瞰マップへと進化させる。

また、分子物性学等、ナノテクノロジー・材料分野に関連して今後大きく進展が予想される学術領域について、新たに「ナノサイエンス」として俯瞰することの必要性を認識している。

4-2 戦略プロポーザルへの展開

現在、研究プロポーザルへ発展させるべき学術・技術領域を絞り込んでいるが、当グループ内の調査・分析の結果に加えて、有識者からの研究戦略への提言等を検討中の戦略プロポーザル案に反映する。現在までのところ、少なくとも次の3案が戦略プロポーザル案として検討されている。

- ①新物質・材料の設計・探索（希少元素あるいは有害・規制元素等の代替技術を含む）、
- ②ナノテク要素技術の統合（シンセシス）による新しい着想に基づく材料・デバイス・システム創出
- ③ナノバイオ融合分野における新展開（可視化等インストルメンテーションを含む）

4-3 中長期的視点に立脚した研究推進施策への取り組み

当グループ内の調査・分析でも既に明らかになってはいたが、ナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略を立案するに当たっては、研究開発への直接投資と共に、連携・融合を推進するための研究推進策やファンディングシステム、技術のベネフィット／リスク評価、社会との対話、中長期を見通した教育の問題、等にも我が国の戦略が不可欠であることが確認された。今後、こうした研究推進施策をどう扱っていくかについては、分野グループを超えたCRDS全体での議論が必要であると考えている。

Executive Summary

●重要研究課題

平成18年度からスタートする第3期科学技術基本計画において、「ナノテクノロジー・材料」は、第2期同様に重点4分野の1つに決定された。今後5年間、国が戦略的に投資を継続する。当ナノテクノロジー・材料分野において、デバイス、システム、およびそれらの製造技術に関する研究は、科学技術それ自体の発展のためにも、日本の未来の産業技術としても極めて重要である。本ワークショップで抽出された重要研究課題は次の通りである。

〈バイオ・メカニカルナノデバイス〉

- ・ ナノ材料またはナノ構造を用いた超高感度センサ
- ・ バイオ・化学・エネルギー応用マイクロ流体デバイス
- ・ MEMS・NEMS

〈情報・通信ナノデバイス〉

- ・ ナノ材料またはナノ構造を用いた超高性能計算素子
- ・ スピンデバイス
- ・ 光ナノ構造と電子ナノ構造との相互作用を利用する量子情報デバイスや通信デバイス

〈製造ナノテクノロジー〉

- ・ トップダウンプロセスとボトムアッププロセスとの融合、物質固有の自立性を取り入れた実装技術や製造技術
- ・ 高速かつ安価なサブナノメータ級微細加工技術

〈基盤技術・基盤科学〉

- ・ ナノ造形技術の現象理解・高度化や複雑ナノデバイスの設計のための理論や計算機科学
- ・ ナノデバイスの界面の理解と制御
- ・ スピントロニクス、マルチフェロイクスなどの開拓中科学領域
- ・ 量子計算のための理論的に予測される物理現象の実現

●研究システム

重要研究課題への直接投資も重要であるが、その投資効果を上げるために、研究施設、ファンディング制度、人材などに関する研究システム上の問題を解決する施策が必須である。本ワークショップで明らかにされた問題を以下に示す。

- ・ [研究施設] ナノテクノロジーに基づく分野融合的なものづくり研究を行える研究拠点

1
本提案の
内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な研究
開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に関する
考察

参考文献

Appendix

や共用研究施設の整備が、諸外国と比べても不足している。また、既存の共用試作施設がユーザフレンドリになっていないという問題もある。ナノテク研究開発のインフラとして戦略的対応が必要である。

- ・[ファンディング制度] 多くのファンディング制度がアナリシス（分析・要素技術）研究向けに設計されており、複数技術のシンセシス（集積・結合）を必要とするリスクの高いものづくり研究がしにくい。デバイス・システムの研究の特徴を理解して、上述の課題の研究を有効かつ健全に進展させられるように、ファンディング制度を点検し、必要に応じて新設計する必要がある。
- ・[人材] 総合的なものづくり研究ができる、あるいはこれを本気でしようとする研究者を、今後、どのように確保するかが問題である。研究内容が高度に専門化し、自分の専門以外のことに対して興味や理解を持たない／持てない研究者が増えてきている。また、世の中に必要とされる人材と大学等で育成している人材との乖離が顕在化している。上記に提案した重点研究課題を遂行するにあたっては、政策立案側、ファンディング側、および評価側にも、総合的なものづくり研究や分野融合研究を理解できる人材が強かつ恒常的に求められている。

Executive Summary

イノベーションの創出には、研究開発課題への直接投資だけでなく、中長期的な視点に立脚したインフラの整備や、研究推進のための施策が重要であり、それを保証する投資計画の立案が必要である。特に、学術としても産業としても確立していないナノテクノロジーにおいては、横の融合すなわち“異分野の融合”、縦の融合すなわち“基礎研究と出口との会話”が真に必要な領域であり、それを促進する施策に投資することによって新しいフロントが拓かれ、また、産学の裾野が拡大される。ナノテク分野の共同利用施設や設備インフラは、そのような「融合」と「裾野拡大」に貢献し得る重要施策の1つである。

本調査においては、各国のナノテク国家戦略における共同利用施設・設備インフラの位置づけと投資戦略、課金制度など利用運営システム、異分野融合促進策、産学連携の実態などを、現地訪問により比較調査した。調査結果・分析結果の概要は以下の通りである。

(1) 各国ナノテク国家戦略における共同利用施設や設備インフラへの投資の位置づけ

- ・米国、韓国、台湾は重要施策と位置づけ、ネットワークあるいは拠点作りに、全ナノテク国家予算の15-20%を投入。一方、日本はナノテクノロジー総合支援プロジェクト（14箇所ネットワーク）として2-3%投資。日本の投資は主要国に比べ一桁近く低い。
- ・特にナノテク国家予算としてほぼ同額の1000億円前後で計上している日米間に大きな差がある。米国はNSF（全米科学財団）のNNIN（国家ナノテクインフラネットワーク／13拠点）やNCN（ナノテク計算ネットワーク／7拠点）、DOE（エネルギー省）のNSRC（ナノスケール科学研究センター／5拠点）など2006年度165億円投資に対し、日本は同年度約20億円である。
- ・一方、EU、英、独ではネットワーク型の拠点形成を行い、また、フランスではグルノーブルに集中型拠点としてMINATEC（マイクロナノテクセンター）を総工費560億円で建設している。
- ・世界各国いずれにおいても融合と連携の場、人材の場と位置づけられている。

(2) 共同利用施設の運営

- ・施設や設備インフラの運営費は複数の予算の組み合わせ（マルチ予算方式）である。米国のNNINを例に取れば以下の構造：
総運営費＝政府（NSF）予算^(※1)＋利用者課金^(※2)＋地方政府マッチングファンド
＋寄付（個人・企業から現金・装置類）

（※1）NSF 予算から大学本部へのオーバーヘッド（50%以上）が差し引かれた額

（※2）一般的に企業への課金は大学への課金よりも高い

つまり、政府予算の倍以上を大学側の自主努力で集めて運用。

1
本提案の
内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な研究
開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に
関する
考察

参考文献

Appendix

- ・高度の技術を持つテクニシャンがNNIN13拠点全体で150人（フルタイム雇用相当）配備され、また、テクニシャンとしてのキャリアパスがある程度確立されている。
- ・英国のMNT（マイクロナノテクネットワーク）においても、50%資金調達を拠点側に要請し、5年後の独立を想定している。そのため、経営のプロがセンターに存在。
- ・日本のナノテク総合支援施設（全国14箇所）では、課金制度はなく、文科省予算だけで運営。テクニシャンが少なく、経営体としての独立性は低い。

(3) 異分野融合や組織連携推進の役割

- ・米国のNSFあるいはDOEの共同利用施設やセンターは、学際研究、異分野融合プロジェクトが使用の条件となっている。事実、効率的に融合チームが組織され、ナノバイオ分野では多くの成功例がある。（ファンディング側がインセンティブを与える仕組み）
- ・コーネル大学の例をあげると、NSFからの予算で組織された材料研究センター、ナノバイオテクノロジーセンター、ナノスケール科学センターの分野融合プロジェクトを効率よく行うため、大学側が寄付金でDuffield Hallという建物を建て、共同利用施設や上記センターを全て収容。学生達の巨大な共同オフィスも設置して学際効果を刺激。（大学側の自主努力）
- ・その他、ナノサイエンスをベースとした初等教育から高等教育までのシームレスな教育システム、カリキュラム作り、教師養成の支援など。（米国、EU、台湾）
- ・日本は、ファンディング側の強い仕掛けはなく、また、大学側の経験・認識不足や全体的な予算不足から連携・融合を促進するインセンティブに乏しい。ただし、例外的な旧国立研究所の運営が一部に存在する。

(4) ナノテク企業の裾野拡大、産学連携、技術移転

- ・共同利用施設は米国も日本においても主としてベンチャー企業、中小企業の利用率が高い。また、施設が企業同士の連携の場としても利用されている。地方政府との連携を通して地域産業へ貢献。
- ・スタンフォード大学の周辺では、共同利用施設について熟知している人が大学と企業との間になって、利用に関する助言でコンサルタントビジネスを行っている。
- ・ヨーロッパで歴史のあるIMEC（ベルギー）では、1つのプロジェクトを複数企業と共同研究することにより、中立性及び独立性を維持。英国のMNTネットワークは、地域の産業化支援に重点を置いている。
- ・日本の14センターは、課金ゼロのため、中小企業の利用者が増え、裾野拡大に一定の役割を果たしている。しかし、プロジェクトを推進するほどの充実には遠い。

以上の調査と分析から、以下の骨子が将来の提言に含まれることが必須である。

- ① ナノテクノロジー・材料分野において、共同利用施設・設備インフラへの国の投資は少なくとも諸外国並に増額し、現行のナノテクノロジー総合支援プロジェクトの強化は最低限必要である。
- ② ファundingや運営については戦略上、次が考慮されるべき。
 - ・利用者課金制度の導入
 - ・学際研究の条件をつけたファunding制度の導入
 - ・地方自治体と連携したマッチングファンドの導入
 - ・大学・旧国立研に部分負担を求める制度の導入
 - ・管理運営経験に富んだ人材の確保とキャリアパスの導入
- ③ 学際研究、異分野融合は議論の時期を過ぎ、具体策が求められている。拠点側の自主運営を目指した方策や努力が必要。かつての国立大学や国立研究所は独立行政法人として経営の独立性が現在求められている。新しい仕組みを導入し、試行する環境は整っている。

以上を踏まえ、我が国の研究開発拠点構築例を掲げる（図1～図5）。

なお、本海外比較調査においては、JST研究開発戦略センターが、ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター、物質・材料研究機構と協同で現地訪問調査を行った。

本調査報告書は、JST研究開発戦略センターの責任においてまとめたものである。

研究開発拠点構築によるイノベーション創出の推進



○研究開発拠点とは

ナノスケールの加工・計測・造形・製造を可能とする先端設備を集積し、課金制度による充実したサービスと共同研究の場を提供する共同利用施設、あるいはその施設を利用して共同研究を推進する研究者集団、を指す。

○イノベーション創出のためには融合の実現が不可欠。(特にナノテクノロジー)

科学の発展と絶えざるイノベーションの創出 【第3期科学技術基本計画】
 相対立した概念の統合が21世紀のイノベーション 【Palmisano Report】

○研究開発拠点は融合の場を提供し、融合を加速する。

異分野融合、基礎と応用(出口)の会話、理論と実験の協力、産学官の連携、人材の交流、拠点の全国ネットワーク化による地域との連携

研究開発拠点の構築

「不可欠」「不可分」!

①予算増による格段の設備・人材充実(量)

- ナノスケールの加工・計測・造形・製造の全てが可能な設備群
- 拠点運営の核となる人材の質と量の向上
 - ・経営のプロを起用
 - ・支援員の育成とキャリアパスの確立

②支援強化と自立を目指す運営の確立(質)

- オープンラボ**が融合を明確に指向した個人研究(個別融合研究)を限定して支援
- コンソーシアム**が融合を明確に指向したプロジェクト型の共同研究(共同融合研究)を実施する場を提供
- 課金制度、マッチングファンドによる自立意識をもった拠点運営

図1 研究開発拠点構築によるイノベーション創出の推進

イノベーション創出研究開発拠点ネットワーク構想



—異分野の融合、基礎と応用の統合、産学官の連携、俯瞰的視野の養成—

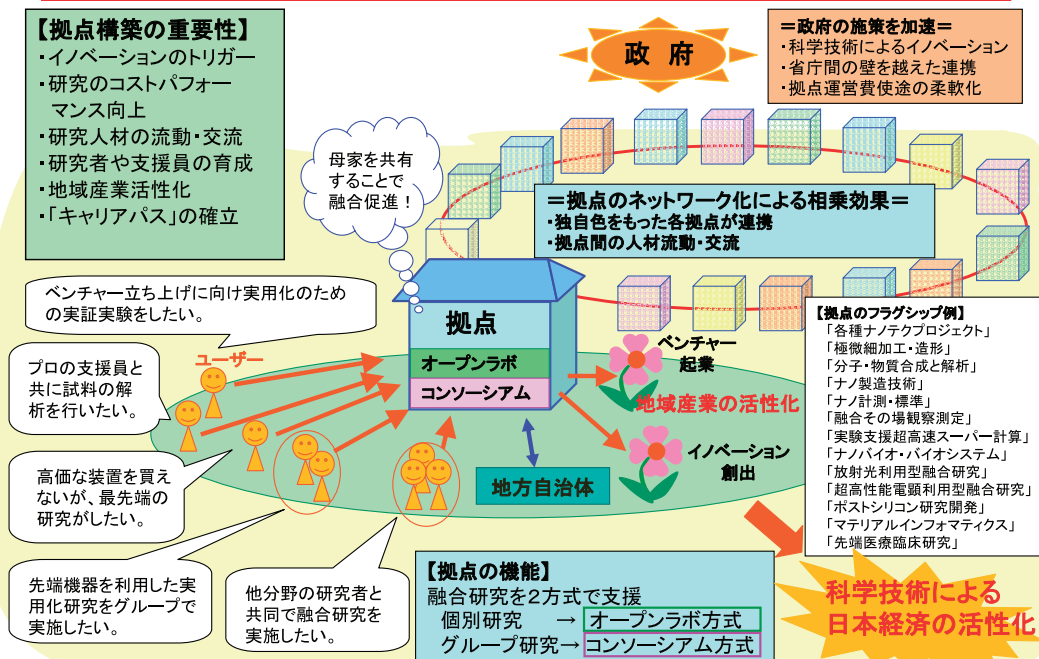


図2 イノベーション創出研究開発拠点構想

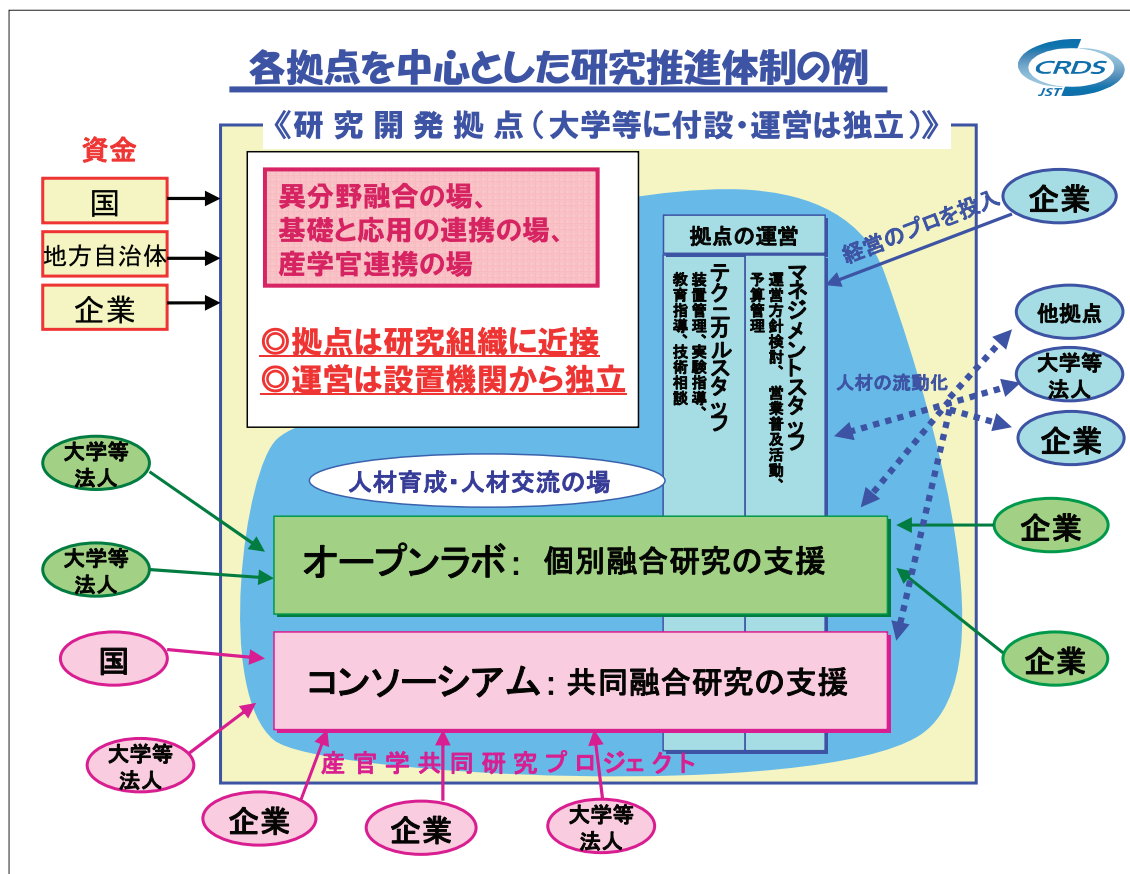


図3 各拠点を中心とした研究推進体制の例

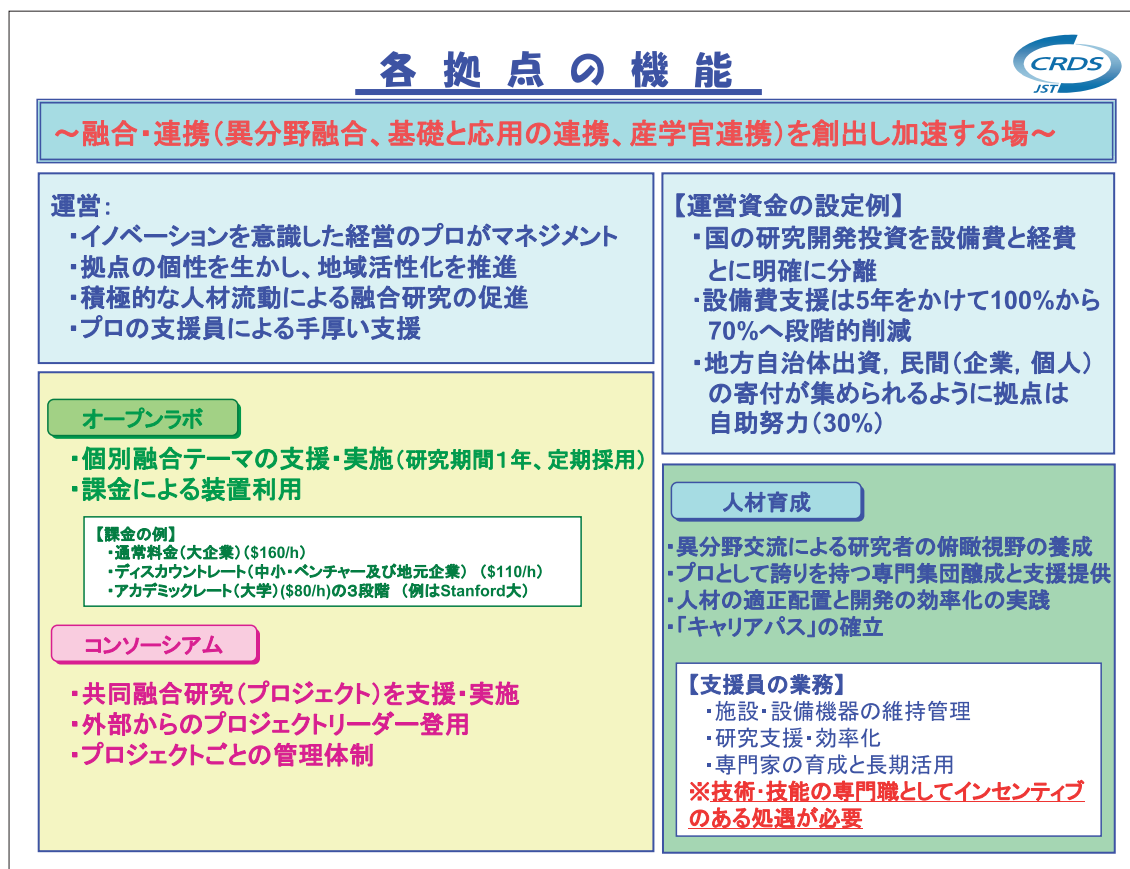


図4 各拠点の機能

1 本提案の内容

2 研究投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 時間軸に関する考察

参考文献

Appendix

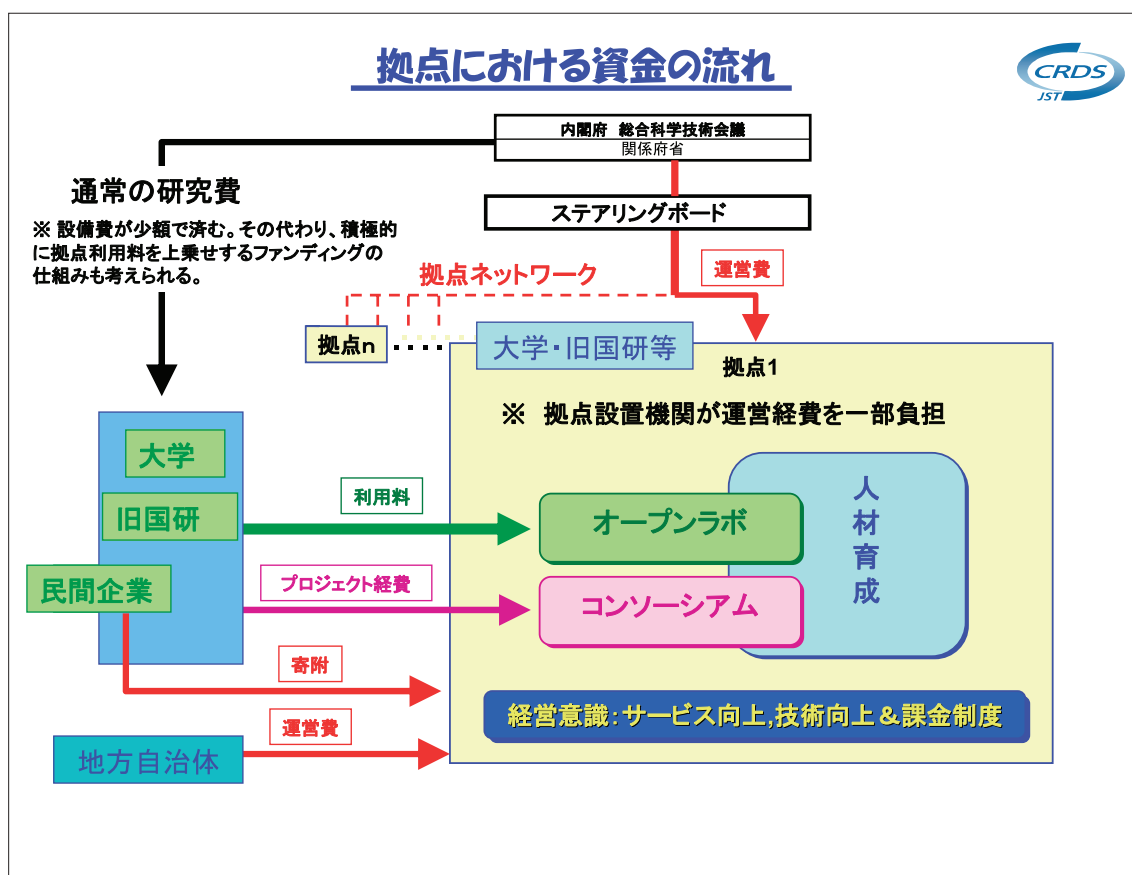


図5 拠点における資金の流れ

戦略プログラム

「ナノシンセシス」—創造的ものづくり—

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

制作担当 田中グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5214-7483

ファクス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

平成18年8月

©2006 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。