CRDS-FY2012-WR-05

ナノテクノロジー・材料分野

# 俯瞰ワークショップ報告書（全体会議）

平成 24 年 9 月 8 日（土）開催

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

## はじめに

独立行政法人科学技術振興機構（以下 JST）研究開発戦略センター（以下 CRDS）では、研究開発戦略立案の基礎として、科学技術分野における研究開発の現状の全体像を把握し、分野ごとに今後のあるべき方向性を展望する俯瞰活動を行っている。この俯瞰活動では、対象分野ごとの範囲・構造を俯瞰図で表し、さまざまな角度から分野の現状を把握し今後の方向性を展望するとともに、主要な研究開発領域ごとに主要国（日本、米国、欧州、中国、韓国）の国際比較等を行っている。これらの内容は「研究開発の俯瞰報告書」としてとりまとめ、CRDS 内外に発信することとしている。

俯瞰対象分野の 1 つとしてナノテクノロジー・材料分野があり、平成 23 ～ 24 年度の約 2 年間を通じた俯瞰活動の結果を平成 24 年度末に報告書としてまとめることを予定している。

その方法として、次の 3 つのステップを考えている。まずは、シーズを把握し、今後の展望を探るため、本分野の研究の第一線で活躍されている有識者約 70 名に事前調査（アンケート）を実施し、その内容を発表いただく「研究開発領域別ワークショップ（分科会）」の開催。社会課題（グリーン、ライフ、復興）を把握するため、産業界と今後のナノテク・材料分野の貢献を意見交換する「産業界セミナー」の開催。そして、今後のナノテクノロジー・材料分野の科学技術・研究開発に何が求められるのか、科学技術基本計画への対応や国際戦略上の今後の方向と潮流、研究システム・インフラ・諸制度等の共通的課題について議論を深める「俯瞰ワークショップ（全体会議）」の開催の 3 ステップである。これらを踏まえて、ナノテクノロジー・材料分野における研究開発の俯瞰、今後の展望、社会課題の解決に向けた研究の推進方法等について報告書をまとめる予定である。

**本報告書は、上記一連の活動のうち、平成 24 年 9 月 8 日に行われた「俯瞰ワークショップ（全体会議）」の内容をまとめたものである。**

## エグゼクティブ　サマリー

本報告書は平成 24 年 9 月 8 日、JST-CRDS 主催で開催されたナノテクノロジー・材料分野俯瞰ワークショップ（全体会議）における議論と結論を要約した報告書である。

CRDS では、それに先がけて、第一線の有識者約 70 名にアンケートを行い、それをベースにして、領域別のワークショップを 4 回に分けて実施した。ナノテク・材料分野における最新のシーズの把握、領域別の技術展望などが主たる目的で、その結果は以下のように整理された。詳細は、既刊のワークショップ報告書を参照されたい（CRDS-FY2012-WR-02）。

（1）ボトムアップアプローチのナノテク対象スケールが拡大し、より大きなクラスタ、超分子、人工量子系などメゾスケールに進出の気配（計算科学、計測のマルチスケール化）。
（2）トポロジカル絶縁体などの新物質、強度・靭性両立の構造材や新相変化メモリなどの新材料、シリコン薄膜液相プロセスなど半導体新プロセスの登場。
（3）生体適合界面、非平衡系と界面、有機デバイス界面など未解決課題の山積。
（4）諸ナノ技術の融合や既存技術との統合により複雑なデバイス、ナノシステムを目指す動き。
（5）出口例から示唆される機能として、グリーンテクノロジー（省資源、省エネルギー、再生可能エネルギーの諸技術、それに資するセンサ技術、ノーマリ･オフ･コンピュータ、人工光合成の応用）、バイオテクノロジー（生体システムの計測マルチスケール化、マルチモーダル化、生物規範工学）への貢献。
（6）計算機科学への広い応用期待（データマイニング、諸インフォマティクス、物質材料基盤ソフトウェア開発、先進製造技術）。

以上の 4 回にわたる領域別のワークショップの結果をグローバル競争下の日本という視点で整理し、今後の戦略構築の中でどう位置づけるのか、その基本方針を注意深く議論しておく必要がある。これが今回のワークショップ開催の動機であり目的であった。ワークショップでの議論においては、研究領域の選定以上に、研究開発を推進するシステムやそれをイノベーションにつなげる仕組みの重要性が確認された。以下に論点と結論を要約する。

（1）イノベーション戦略の構築においては個々の領域で個別の議論をしても効果は限定的である。日本の競争力をどう考えるのか、全体的なニーズとシーズ及び需要と供給の関係を見極めて、時間軸上で戦略を構成することが肝要である（短期、中期、長期によって戦略は全く異なってくることに注意すべきである）。
（2）国家投資が産業競争力にリンクしていない状況をどう打破するか、産学分断の解決法として少なくとも以下の二つは不可欠である。（イ）オープンイノベーションのスキームを国･産業全体として構築し、例えば公的研究機関等がシーズ、知財、ノウハウ、先端機器等をすべてプールして企業に効率良く提供するシステムを作る、（ロ）大学、

公的研究機関の組織としての技術トランスレーション機能を抜本的に改善する（例えば、米国の Battelle、SRI、MIT は営業に熱心である）。

（3）科学（Science）－技術（Technology）－工学（Engineering）－事業（Business）という流れの中で国の戦略上の役割を考えるべきである。とくに、Engineering 不在では事業に届かないことが多く、多くの国家プロジェクトではこれが課題である。また、研究開発そのものがグローバル化していて、日本で生まれた独自技術が外国企業によって事業化される事態も生じている。基礎研究成果を事業（出口）につなげるまでの時間を徹底的に短縮するために、大学を含めた各セクター間のコミュニケーションを強力に促進するしくみが必要である。

（4）基礎研究力の維持や新技術領域創出の視点からは、アカデミアの抱える問題も大きく、研究コミュニテイの分断（言い換えれば専門領域のタコツボ化）は深刻な状況である。解決方法としては、共用機器の集積化・共用センター構築によって異分野の教官や学生たちのコミュニケーションの場を作るなど大学側や学会の自主努力、あるいはそのようなインセンティブを与える政府の施策などが必要である。

（5）中長期で最も重要な人材育成については、かつて独自路線で人材を育ててきた企業側に、その余裕と力がほとんど残されていないという現状がある。大学の責任は大きいと言わざるを得ない。海外交流事業の充実、大学教官や大学院学生の海外経験の拡大などを通じて視野の広い柔軟な思考の人材を育成し、また、海外から優秀な人材を吸引する、そのための戦略を各セクターが総力を挙げて議論し構築する必要がある。これは焦眉の急である。

# 目　次

エグゼクティブ　サマリー

1．「ナノテクノロジー・材料分野」俯瞰の背景……田中一宜（JST-CRDS）… 1

2．趣旨説明および事前分科会の報告 …… 13
（CRDS における検討手法・俯瞰構造と重要領域の抽出）
全体事項説明 ……永野智己（JST-CRDS）… 13
内閣府 WG の活動、グリーンイノベーションへの貢献 ……馬場寿夫　〃　… 15
ライフイノベーションへの貢献 ……中本信也　〃　… 22
復興再生・国家基盤としてのナノ・材料重要技術 ……島津博基　〃　… 24
基盤技術としてのナノ・材料技術 ……　〃　〃　… 25

3．全体討論 …… 33
話題提供 -1「連携・融合の実践とこれからの課題」……片岡一則（東京大学）…… 33
話題提供 -2「トップサイエンスからトップイノベーションを生み出すには」
……細野秀雄（東京工業大学） 42
話題提供 -3「事業を創造する技術・製品とは（国際競争における日本の課題）」
……塚本建次（昭和電工）…… 51
話題提供 -4「国際連携・社会受容の諸課題と方策」……竹村誠洋（NIMS）…… 63
話題提供 -5「融合拠点・人材育成のこれから」……曽根純一（NIMS/JST）… 72

4．サマリー …… 83

付属資料 …… 87
1．プログラム …… 87
2．参加者一覧 …… 88

# 1.「ナノテクノロジー・材料」分野　俯瞰ワークショップの背景

田中一宜（科学技術振興機構　研究開発戦略センター）

最初に研究開発戦略センター（CRDS）の概要について簡単に紹介する。JST の中期計画に CRDS に関して次のような文言がある。「国内外の科学技術政策及び研究開発の動向、社会的・経済的ニーズ等の調査・分析を行う」。次が大変ユニークなところだが、「我が国が進めるべき研究開発対象を特定し、科学技術システムの改善に向けた質の高い提案を行う」と書かれている。CRDS でどのような活動をしているか、何がアウトプットかということを端的に示したものが下図である。

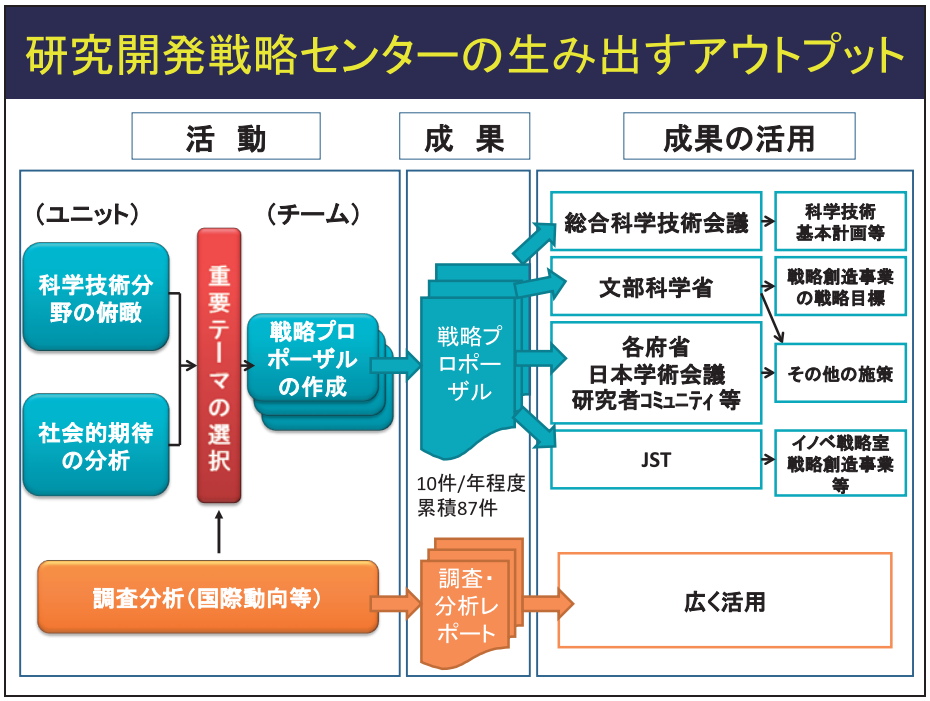



図 1

CRDS にはユニットのひとつとしてナノテク・材料ユニットがあるが、他にも電子情報通信、環境・エネルギー、ライフサイエンスといったユニットがあり、科学技術のそれぞれの分野を統括して、その状況・動向をいつでも把握しておくこと重要視している。そこで重要な活動の一つが科学技術分野全体の俯瞰をすることであり、今年からは俯瞰の結果を報告書として発行する予定である。本日のワークショップは、ナノテク・材料分野の俯瞰報告書を作る最終ステージということになっている。

同時にいま、科学技術基本計画は課題達成型の政策になっているため、社会的期待の分析をきちっとやらなければいけない。これは別途個別に独立したグループが行っている。分野の俯瞰と社会的期待の分析という二つを邂逅させ、整合させた重要テーマの選択を、国際動向の調査分析も踏まえてしていかなければいけない。その上で提言として、戦略プロポーザルを作成・発行することがメインのミッションである。プロポーザルはユニットを横断したチームを組織して作成することにしている。戦略プロポーザルはこれまで年間

10 件程度、累積 87 件を発行してきた。JST 本部のほか、文部科学省、各関連府省、日本学術会議、研究者コミュニティ、総合科学技術会議等へプロポーザルを配布・説明し、その活用を促進している。こうした活動を通して科学技術基本計画、文部科学省や他の府省、JST 戦略創造事業等へ反映されることになる。

次に、ナノテクノロジーの欧・米・亜と日本という形で過去 10 年の推移と今後の展望について話す。2000-2009 の 10 年間というのは、世界各国でナノテクに対する国家投資が行われた特筆すべき 10 年間であった。これはアメリカの NNI が一種のブームを作り、世界各国に波及したといっていいだろう。

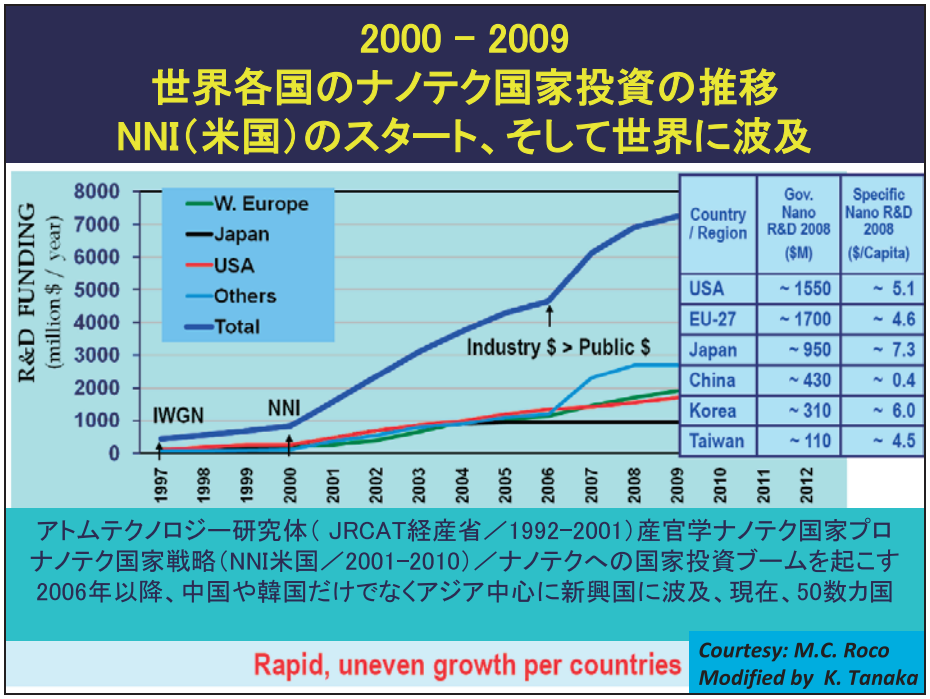



図 2

2000 年に NNI が発表されてから、日本、韓国、EU といった先進国がそれぞれ独自のナノテク国家計画を発進させ一気に投資を始めた。その全体の投資が図のように増えてきたが、これが 2005 年以後になるとさらにアジアや BRICs 等の新興国も急速に国家計画を興し、世界全体の投資が急増してきたという特徴を表している。日本は経済産業省が 1992 年から 10 年間にわたりアトムテクノロジー研究体を推進し、科学技術庁は 1981 年から JST の ERATO 事業としてナノテクへの投資をしてきたが、やはり大々的なものはアメリカの NNI であったというわけである。現在では実に 50 数カ国がナノテクノロジーの国家計画を持っている。特にアメリカでは、財政赤字だからといってナノテクへの公的投資を削減するというのは、飛行機を軽量化しようとしてエンジンを取り除いてしまうのと同じだという表現をしており、つまりナノテクはイノベーションのエンジンであるという位置付けをはっきりと表現している。最近ではタイやイランも国家計画化して力を入れている。タイは労働人口の半数以上が農業従事者だが、はっきり先端科学をやるのだということを表明している。イランは中東では特に力を入れている国であり、イランの論文の

増加率はこの数年を見ると世界 1 位である。この 10 年を経て実際にどのように産業に反映されているかを判断するのはなかなか難しいが、一例として米 Lux Research 社の市場予測では、2025 年に 200 兆円というデータがある。

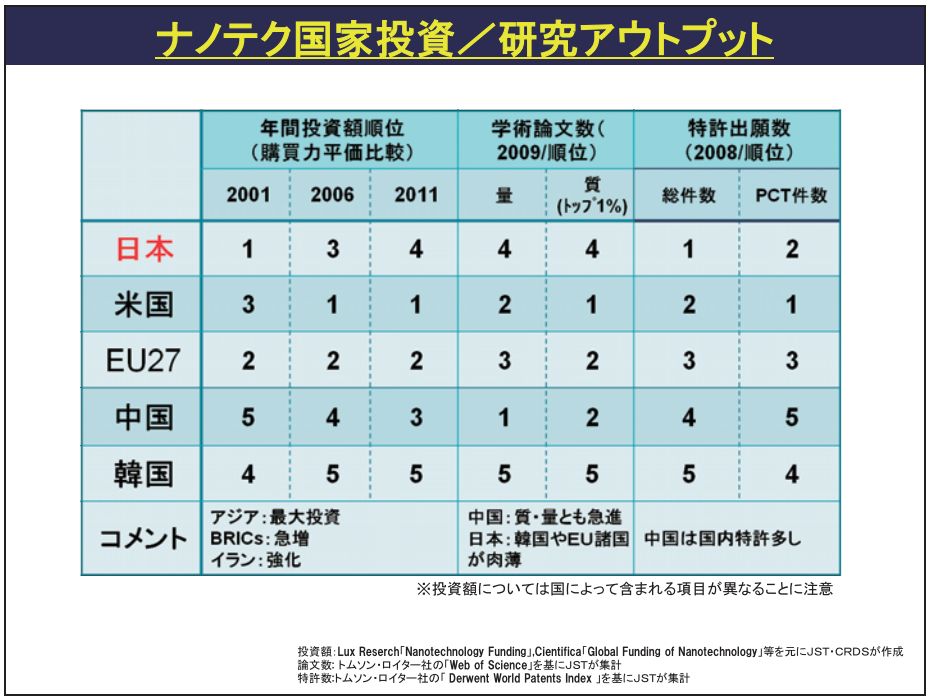



図 3

年間の投資額順位を見ると日本は最初世界トップの投資を行っていたが、今は 4 位になっている。米国は先進国の中で最初にスタートして、その後この 10 年間増加を続けて 1 位を維持、また EU・韓国は似たような傾向を示し、日本よりも少し高い増加率で増えている。中国の投資の増え方は非常に急激であり、学術論文数はすでに 1 位になっている。特許出願については日本はまだがんばっているものの、中国、韓国が肉薄している。

実質的なスピードが要求されるグローバル競争下では、発見・発明から産業化までの時間を短縮するため、異分野融合と産学連携を促進する共用施設・研究拠点ネットワークをインフラとして構築することが大変重要である。教育、人材育成の場としても使用している。特にそれが顕著なのが米国、EU、中国、韓国、台湾であり、日本はこの 10 年でだいぶ遅れをとってしまった。諸外国ではナノサイエンス・ナノテクノロジーをベースにして理系の小・中・高一貫教育 (K-12) システムを構築している。米国や台湾では特に、教科書作成や教員養成プログラムが進んでいて、韓国は英文による若手研究者用のナノサイエンスを中心にした英語の教科書を作っている。

新産業の社会受容に関しては、EHS( 環境・健康・安全 ) や ELSI( 倫理・規制・社会上の課題 )、それに関わる国際標準・規格 (ISO、IEC) の活動が重要だが、日本は標準ではそこそこがんばっている。しかし EHS その他については EU、米国、韓国がかなり一生懸命やっており、日本は少し遅れていると心配している。また、最近の事例として、ナノ

テク関連製品にナノの技術が使われているということを公的に証明して産業を振興するというやり方で、台湾が始めた Nanomark という制度がある。同様の仕組みをイランも導入し、また、タイは NanoQ という形で導入しており、もしかすると国際的なデファクトスタンダードになるかもしれない。安全性に関してもこのようなやり方で広がる可能性があると見ている。以上のようなナノテクに関する国際共通認識を、過去 10 年間を総括する目的でアメリカの NSF と共同で国際ワークショップを 2 年前に開催した。下図はその総括である。

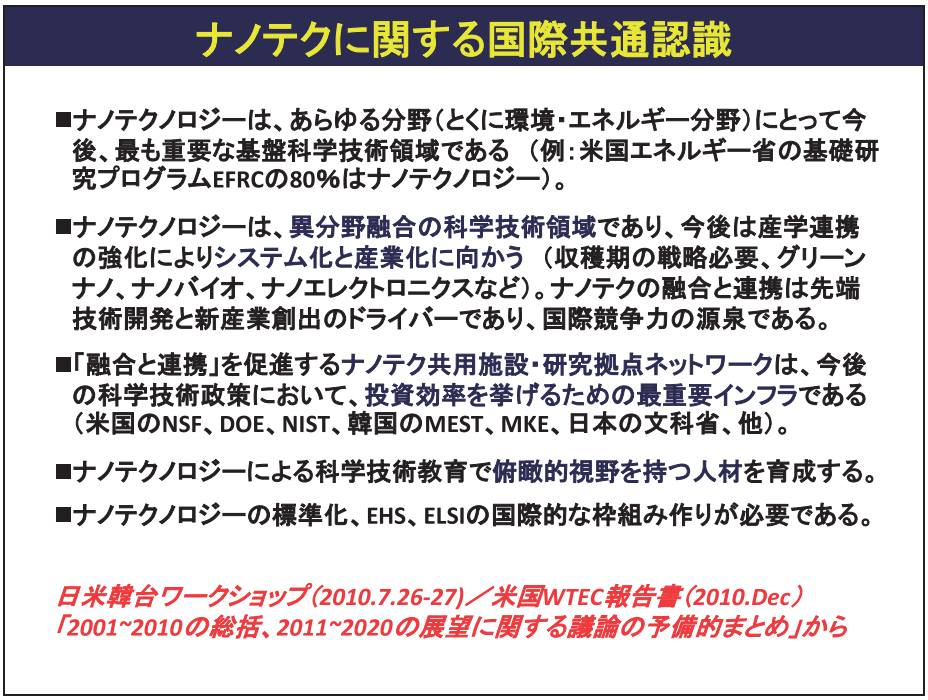



図 4

ナノテクノロジーは、異分野融合の科学技術領域であり、今後は産学連携の強化でシステム化、産業化へ向かう収穫期の戦略が必要となる。またナノテクの融合と連携は先端技術開発と新産業創出のドライバーであり、国際競争力の源泉である。「融合と連携」を促進するナノテク共用施設・研究拠点ネットワークは、今後の科学技術政策において、投資効率を上げるための最重要インフラであるという内容である。 ナノテクノロジーによる科学技術教育によって、俯瞰的視野を持つ人材を育成する。また、ナノテクノロジーの標準化、EHS、ELSI の国際的な枠組み作りが必要ということである。

日本は、間接的な中長期で効果が上がるようなものが政策的に先送りされてしまう傾向があり、その中で心配しているのはやはり、アカデミアの努力がもっと必要ではなかろうかという思いがある。

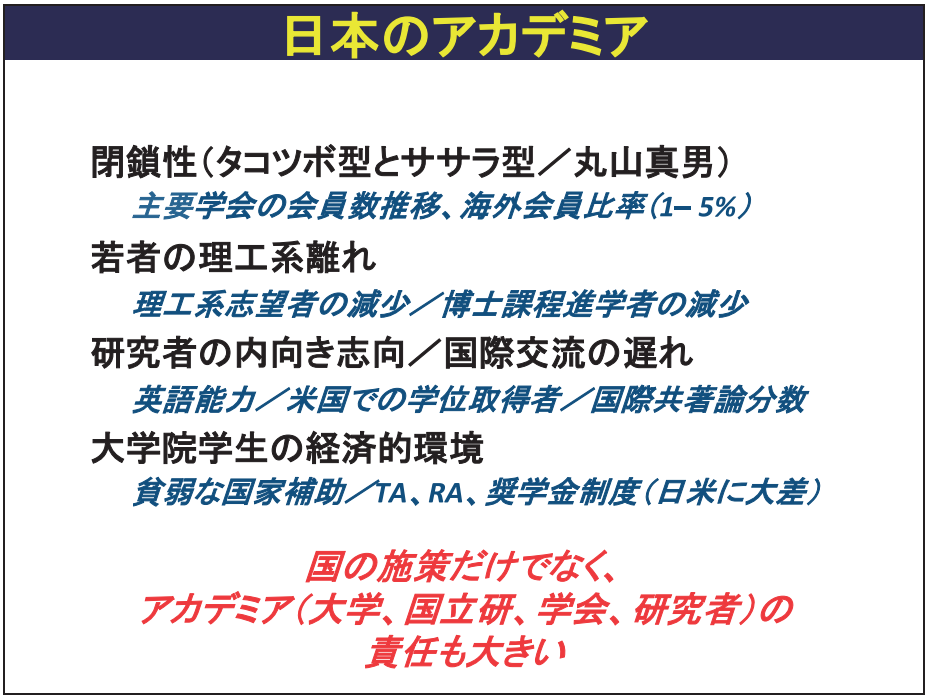
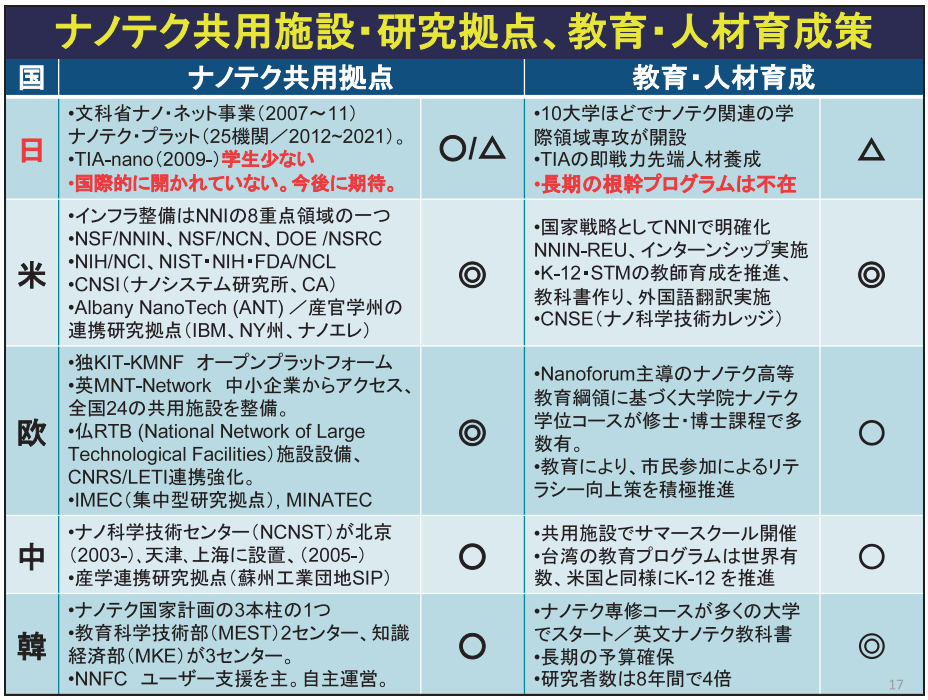



図 5

閉鎖性については言うまでもないが、特に主要学会の会員数推移、特に外国人会員の比率は日本は極めて低く、1 ～ 2%である。日本人の英語力の問題や、研究者の内向き志向／国際交流の遅れについてもいろいろなところでデータが出ている。米国での学位取得者の日本人学生の少なさや、国際共著論文数の少なさ、また、大学院学生の経済的環境は公的な支援が OECD の国の中では最低に近いというデータも出ている。このような現状の中で、国の施策だけに頼っていてはおそらく間にあわない。アカデミア、大学、国研、学会の研究者の責任は大きく、議論していただきたい重要なテーマのひとつである。特に英語力については、米国の RAND 研究所がおこなった日本で研究経験のある人を対象としたアンケート結果から、その第一に出ているのが、何よりもまずコミュニケーションツールとしての英語能力を磨け、という点である。非常に大きな問題だと認識している。



ナノテク共用施設・研究拠点、教育・人材育成策

| 国 | ナノテク共用拠点 | | 教育・人材育成 | |
|---|---|---|---|---|
| 日 | •文科省ナノ・ネット事業（2007～11）<br>ナノテク・プラット（25機関／2012~2021）。<br>•TIA-nano（2009-）学生少ない<br>•国際的に開かれていない。今後に期待。 | ○/△ | •10大学ほどでナノテク関連の学際領域専攻が開設<br>•TIAの即戦力先端人材養成<br>•長期の根幹プログラムは不在 | △ |
| 米 | •インフラ整備はNNIの8重点領域の一つ<br>•NSF/NNIN、NSF/NCN、DOE /NSRC<br>•NIH/NCI、NIST・NIH・FDA/NCL<br>•CNSI（ナノシステム研究所、CA）<br>•Albany NanoTech (ANT) ／産官学州の連携研究拠点（IBM、NY州、ナノエレ） | ◎ | •国家戦略としてNNIで明確化<br>NNIN-REU、インターンシップ実施<br>•K-12・STMの教師育成を推進、教科書作り、外国語翻訳実施<br>•CNSE（ナノ科学技術カレッジ） | ◎ |
| 欧 | •独KIT-KMNF　オープンプラットフォーム<br>•英MNT-Network　中小企業からアクセス、全国24の共用施設を整備。<br>•仏RTB (National Network of Large Technological Facilities）施設設備、CNRS/LETI連携強化。<br>•IMEC（集中型研究拠点）, MINATEC | ◎ | •Nanoforum主導のナノテク高等教育綱領に基づく大学院ナノテク学位コースが修士・博士課程で多数有。<br>•教育により、市民参加によるリテラシー向上策を積極推進 | ○ |
| 中 | •ナノ科学技術センター（NCNST）が北京（2003-）、天津、上海に設置、（2005-）<br>•産学連携研究拠点（蘇州工業団地SIP） | ○ | •共用施設でサマースクール開催<br>•台湾の教育プログラムは世界有数、米国と同様にK-12 を推進 | ○ |
| 韓 | •ナノテク国家計画の3本柱の1つ<br>•教育科学技術部（MEST）2センター、知識経済部（MKE）が3センター。<br>•NNFC　ユーザー支援を主。自主運営。 | ○ | •ナノテク専修コースが多くの大学でスタート／英文ナノテク教科書<br>•長期の予算確保<br>•研究者数は8年間で4倍 | ◎ |

17

図 6

ナノテク共用施設・研究拠点、教育・人材育成策、これは今後のことを中長期で考えたときに大変重要であるが、日本は米・欧・中・韓、のそれぞれ特徴のあるネットワークや拠点を構築していることに対し、少し失敗した。TIA も拠点を作ったが、学生が少ないという課題があり、また、国際的にもまだ十分に開かれていない。最近注目されるのは中国の産学連携研究拠点である、蘇州の工業園区があるのだが、ここはシンガポールの様々なノウハウを使ってインターナショナルスクールを作るところから始めており、例えばフィンランドから 100 社以上のブランチを置き、ナノテク関連の多くの企業との顔合わせや、バリューチェーンをいかに早く見つけて構築するかということをやっている。すでに筑波学園都市の 10 倍の規模になっているのではないか。また、教育・人材育成について、やはり日本は長期の根幹的なプログラムが不在であることは、大きな課題である。なぜこういうことになったのかということは、政府・行政に考えていただかなければならないし、また、今日出席の方々にもよく頭に入れて行動していただきたい。アメリカはナノテクの国家計画の開始にあたって、最初は 7 項目、現在は 8 項目のプログラムコンポーネントエリアを設けており、各エリアへの投資割合を最初の段階で定量的に議論している。そしてより重要なのは、共用施設・教育、社会影響、EHS、といった後回しになりやすい領域に対しても一定の割合を決めて 10 年間投資し続けるということを、戦略的に実施している。実際に実績として 10 年間投資し続けた。それが日本と大きく差がついた理由である。アメリカだけではなく、韓国、台湾も同様である。日本はそれを定量的にやっていない、これは戦略というものの考え方の根幹に関わる問題ではないか。

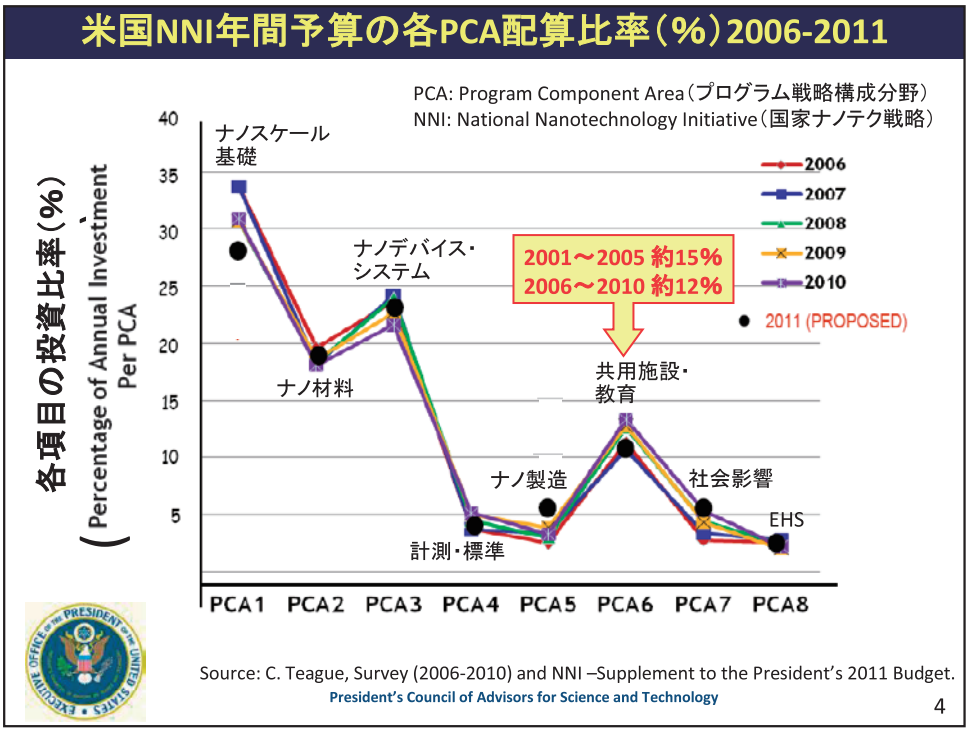



図 7

しかし日本はこの状況を挽回するために今年から、「ナノテクノロジープラットフォーム」として新たな 10 年間のプログラムが開始した。これに賭けてなんとか挽回をしていかなければならないと思っている。こういうものをベースにして、ベンチャーや中小企業にも活用していただき、イノベーションにつなげていくための重要なインフラにしていきたい。日本はこのような点で国家計画について課題があったが、通信分野、環境エネルギー分野、ライフサイエンス分野、ナノテク・材料分野を見たときに、まだ日本は国際的に高い科学技術ポテンシャルを持っていることは確かである。最近の科学技術政策研究所の調査では化学分野の生産性が落ちているという問題が指摘されたが、しかしながら依然として日本が強いところであることも確かである。また、過去 10 年間、第 2 期、第 3 期の科学技術基本計画で 8 分野に投資をしてきたが、それに対して特許分析をおこなった。その結果、主要産業の売上高を考慮した特許比率を見ると、日本の 8 分野中ナノテク・材料の特許はもっとも大きな産業へのインパクトがあるという一応の結論を得ている。そのような中で今後、我々がどのような考え方で検討しているかを次の図で示しておく。

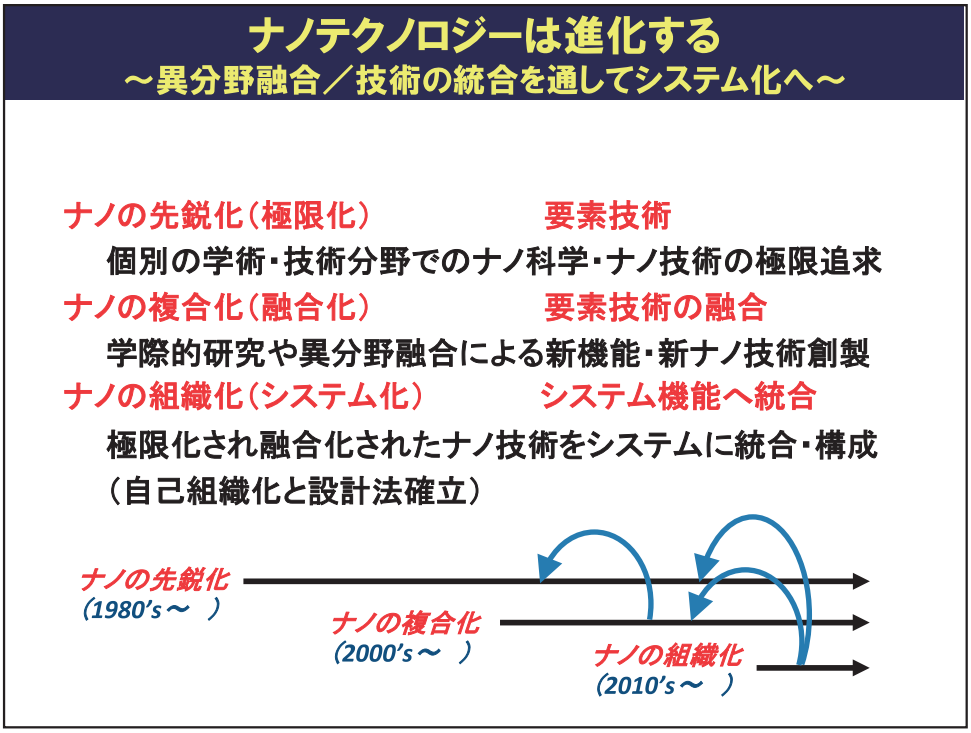



図８

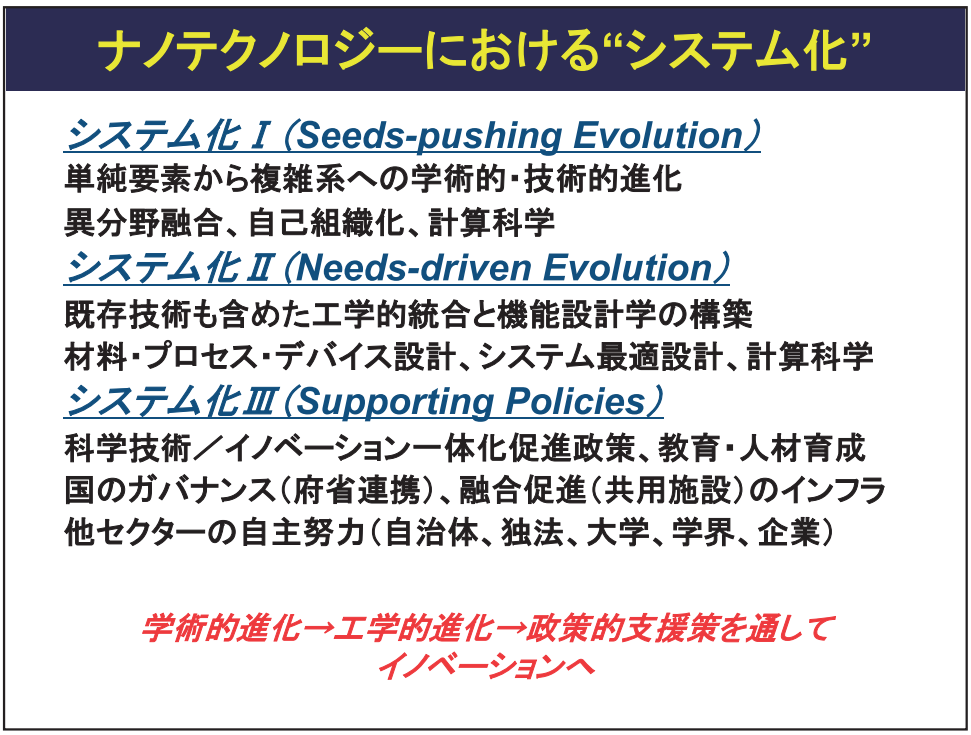
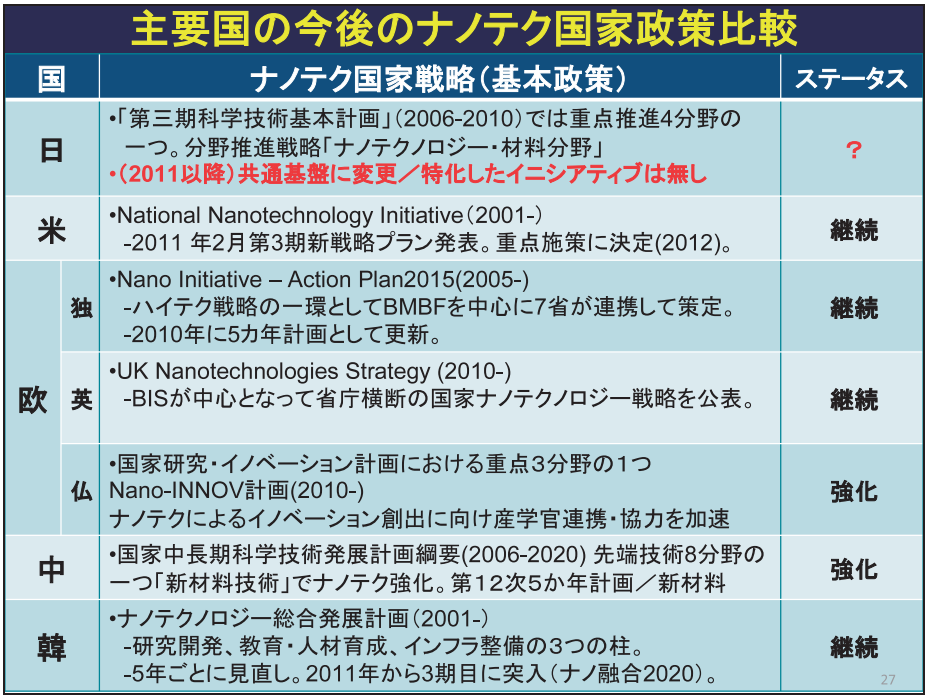



図９

ナノテクノロジーは進化する。異分野融合／技術の統合を通して最終的にシステム化にいかなければいけない、あるいはこれを加速しなければいけないと考える。この進化過程における、ナノの先鋭化（極限化）とは、個別の学術・技術分野でのナノ科学・ナノ技術

の極限追求、つまり単純なものから複雑なものへいく過程を表している。ナノの複合化（融合化）は学際的研究、異分野融合によって新機能・新ナノ技術が創製される。さらにそれが極限化され、融合化されたナノ技術をシステムに統合・構成していく。これらはそれぞれ行ったり来たりしながら重層的に進むと考えられる。ナノの先鋭化は、1980 年代くらいから日本ではずっと進んでいたし、理論的な可能性については半世紀以上前から指摘されていた。今特に、ナノテクノロジーにおける“システム化”をどう考えるかということで、三つ考えている。ひとつは Seeds-pushing Evolution、単純要素から複雑系への学術的・技術的に進化する過程。2 番目は既存技術も含めてそういったものを工学的に統合し、社会が要求する機能を設計していく機能設計学を構築していく Needs-driven Evolution、という意味でのシステム化。さらには、科学技術／イノベーション一体化促進政策として政策的にサポートしていく Supporting Policies。教育・人材育成、国のガバナンスをどうやってとるか、融合促進のインフラをどうするか、セクターの自主努力も含まれる。このような三つのカテゴリーで考えるべきではないだろうか。つまり、学術的進化から工学的進化へいき、政策的支援策を通してイノベーションへなるべく早く到達するという道筋を考えている。これを統合していく過程で工学の本来の使命である機能設計学を構築していくということが非常に重要であり、国の政策としては、イノベーションの政策を具体的にどう進めていくかが重要になる。このような認識の下にナノテクノロジー・材料分野の俯瞰図を作ろうと考えている。

そのためにまず主要国の今後のナノテク国家政策についても比較しておく。欧米亜の主要国のほとんどは継続あるいは強化されている。特に米国はこの 2、3 年でずいぶん苦しんだ様子もあるが、今後も継続して重点施策に指定するということが議会で通り、決定された。アメリカは 2011 年以降、Nanotechnology Signature Initiatives を出し、「太陽エネルギー収集と変換のためのナノテクノロジー」、「持続可能なナノマニュファクチャリング」、これは物事を発見から製品化までの距離をいかに縮めるかということである。また、「2020 年以降を見越したナノエレクトロニクス」を挙げている（※現在は新たに「Nanotechnology Knowledge Infrastructure」と「Nanotechnology for Sensors and Sensors for Nanotechnology」の 2 項目が追加された）。材料関係では、「Advanced Manufacturing Partnership」という政策があり、その一環として「Materials Genome Initiative」が発表されている。主に NSF や NIST、DOE、あるいは DOD といったところが参画している。こうした考え方ほとんど世界共通といっていい。



主要国の今後のナノテク国家政策比較

| 国 | | ナノテク国家戦略（基本政策） | ステータス |
|---|---|---|---|
| 日 | | •「第三期科学技術基本計画」（2006-2010）では重点推進4分野の一つ。分野推進戦略「ナノテクノロジー・材料分野」<br>•（2011以降）共通基盤に変更／特化したイニシアティブは無し | ？ |
| 米 | | •National Nanotechnology Initiative（2001-）<br>-2011 年2月第3期新戦略プラン発表。重点施策に決定(2012)。 | 継続 |
| 欧 | 独 | •Nano Initiative – Action Plan2015(2005-)<br>-ハイテク戦略の一環としてBMBFを中心に7省が連携して策定。<br>-2010年に5カ年計画として更新。 | 継続 |
| | 英 | •UK Nanotechnologies Strategy (2010-)<br>-BISが中心となって省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略を公表。 | 継続 |
| | 仏 | •国家研究・イノベーション計画における重点3分野の1つ<br>Nano-INNOV計画(2010-)<br>ナノテクによるイノベーション創出に向け産学官連携・協力を加速 | 強化 |
| 中 | | •国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020) 先端技術8分野の一つ「新材料技術」でナノテク強化。第12次5か年計画／新材料 | 強化 |
| 韓 | | •ナノテクノロジー総合発展計画（2001-）<br>-研究開発、教育・人材育成、インフラ整備の3つの柱。<br>-5年ごとに見直し。2011年から3期目に突入（ナノ融合2020）。 | 継続 |

27

図 10

日本は第 4 期科学技術基本計画でナノテク・材料と ICT は共通基盤に位置づけられた。グリーンイノベーション、ライフイノベーション、復興・再生の 3 つは課題としてのイニシアティブであり、このような位置付けはアメリカもドイツもそう変わらない。しかしながら、横軸が大事なのだといって、それを国としてはイニシアティブにしている。日本はそれをしなかったということが、大きな違いである。

本日はこの 1 年くらい議論をしてきた俯瞰図、全体俯瞰を特にご議論いただきたい。そのためにデバイス、プロセス、材料、基盤、そしてそれに対して総合科学技術会議で書かれている三つの柱にどう関わるのか、それにどういうようなテーマがあるのか。これらは事前におこなった 4 回の分科会形式のワークショップによって、参加者からの意見を集約、議論して、作りかけている状態にある。これらの技術の話と同時に、研究課題だけではなくて、どうやって効率よく進めていくか、日本のいろいろな問題について後半議論をしていただければありがたい。特に政府のシステム、共用施設・研究拠点、人材育成・教育構想、アカデミア、産業界、それぞれがそれぞれについての問題点を持っている。例えば、政府はコーディネーション機能をどう確保するのか、バランスをどうとるのか、などである。

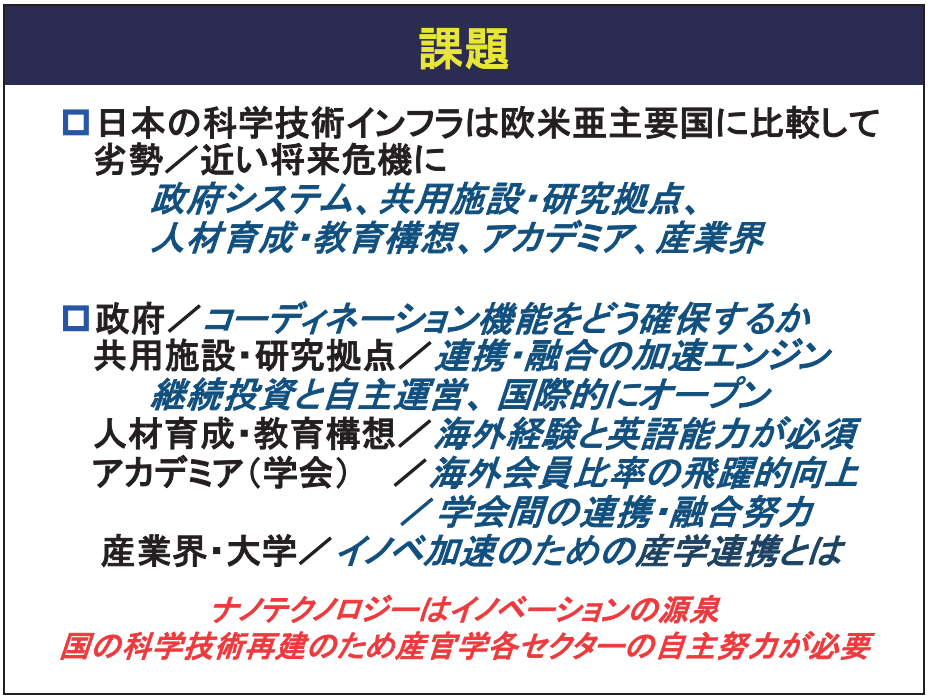



図 11

拠点に関しては最近、文部科学省や経済産業省、総合科学技術会議で関連するいくつかの動きがあり、今後の光を見出すような動きだと思う。連携・融合を加速するエンジン、継続投資と自主運営をどうやっていくか、国際的にどうオープンするか。これは「ナノテクノロジープラットフォーム」で少し光明を見出しつつある。人材育成・教育構想、海外経験と英語能力が必須だが、どうするのか。アカデミア、学会の外国人会員比率の飛躍的向上にはどう手を打つのか。学会間の連携・融合努力をどうするのか。産業界・大学はイノベーションを加速するための新しい産学連携についてどうするのか。例えばアメリカのように、パルミサーノレポートやオーガスティンレポートなど、そういったものが産業界主導でなぜ出てこないのか。あるいは政府はなぜ仕掛けないのかというものがいくつかある。

いずれにしても、ナノテクノロジーはイノベーションの源泉という立場で考えると、国の施策だけではだめで、再建のために、産官学の各セクターの自主努力が必要ではないかということを私のコメントにして、今日の議論をお願いしたい。

【質疑応答】

■ 最終的にイノベーションに結びつけるといったときに、どうしても産業界がそれを受け取って自らの課題として引っ張っていくことが必要だと思うが、非常に強力に推進している海外の産業界セクターの政策上の働きかけは、日本と比較してどのようになっているのか。

→基本的には産業界は経団連などを通じていろいろな形で提言はしているが、残念ながら通り一遍の提言に留まり、パルミサーノレポートのような迫力はない。政府、あるいは産業界が一体となって NNI（National Nanotechnology Initiative）に近いようなことを提言する形には、残念ながら非常にほど遠いという印象がある。産業界の場合にナノテクノ

ロジー・材料は、現時点では日本の競争力はかなり維持できている。川下へ行けば行くほど日本の産業は弱っていて、最後の砦がナノテク・材料だと思う。そういう意味ではなんとか力を入れてやらなければいけないと思っているが、残念ながら第四期科学技術基本計画では、共通基盤技術としては残っているものの、第三期のようにナノテクノロジーという言葉が表に出てそれを推進しようという形にはなっていない。

## 2. 趣旨説明および事前分科会の報告（CRDS における検討手法・俯瞰構造と重要領域の抽出）

永野智己（科学技術振興機構　研究開発戦略センター）

ワークショップ全体の設計について補足的な説明をする。この場を迎えるにあたり、事前に分科会の形式で今年 5 月から 6 月にかけて 4 日間（1 日×4 回）にわたるワークショップを開催してきた。またその他にアンケート形式で今後重要と考える具体的な研究開発領域や、研究の仕組みや推進方法、制度等について尋ね、約 70 名の第一線の研究者の方々から回答をいただいている。さらに、産業界にも意見を求めることを目的として企業の方による個別のセミナー形式またはインタビュー形式でご意見を頂戴してきた。そうした事前の情報蓄積と検討過程の上で、今日の俯瞰ワークショップ全体会議を開催している。この全体会議の後には、日米韓の三カ国合同による国際的なワークショップも計画しており、国際的な共通認識や今後の大きな潮流・方向性について議論を深めることを目的に今年 10 月にソウルでワークショップを行う予定としている。

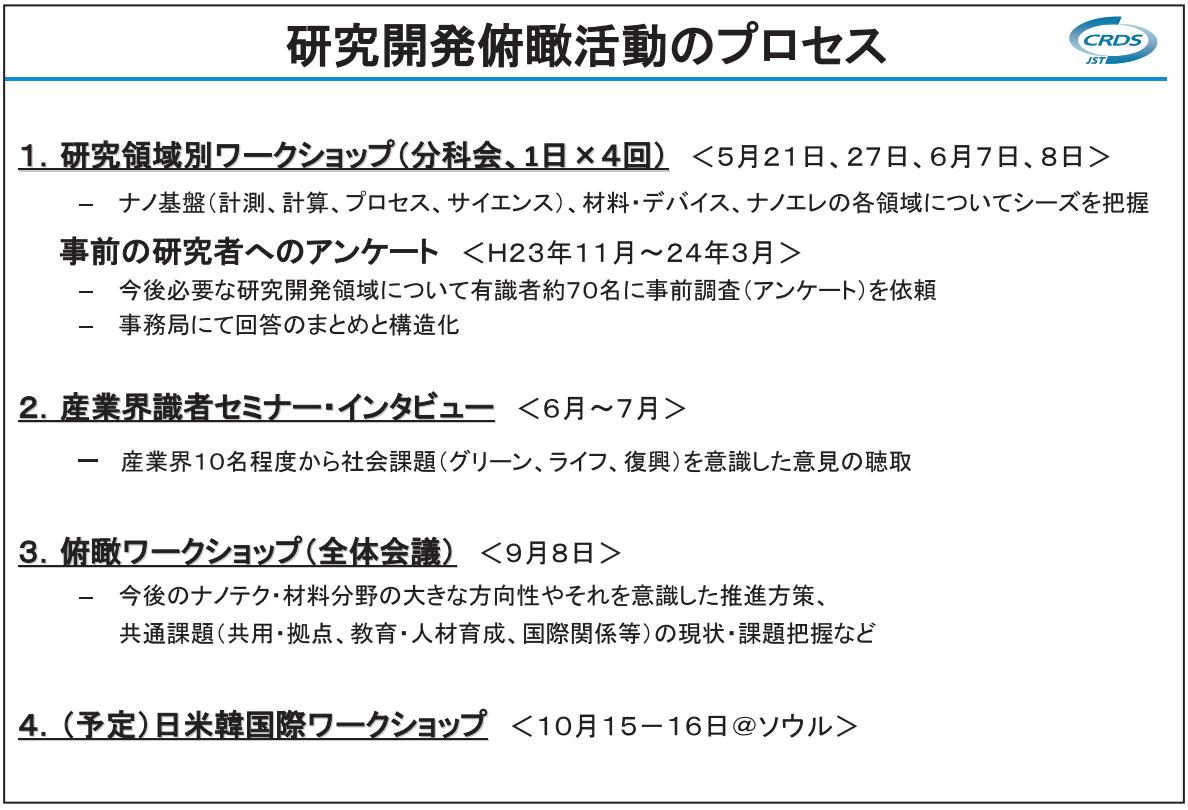



図 1

本日のプログラムでは、まず前半にこれまでの CRDS の検討から何が見えつつあるのかということを簡単にご紹介させていただく。そしてより重要なのは後半のセッションであり、5 名の方から話題提供の形でお話を頂戴し、そのひとつひとつが非常に重要な論点であるため順に議論をしていく。

現在、図のようなマトリックスの構造でナノテク・材料分野の俯瞰をしようと考えてい

る。これの案はいきなり出てきたわけではなく、CRDS 設立以来約 10 年間にわたって俯瞰のブラッシュアップと見直しを 2 年おきにしながら、これからの大きな流れをどう戦略的に捉え構築していくのかという視点でロールオーバーしてきた。現在の社会・産業、そして学界の状況を踏まえると、当然ナノテクというだけの視点では不足であり、将来の産業構造の視点や異分野の科学技術、学術領域との接点・接続などを常に考えながら、具体的にな提言につなげていくために俯瞰の活動をしている。

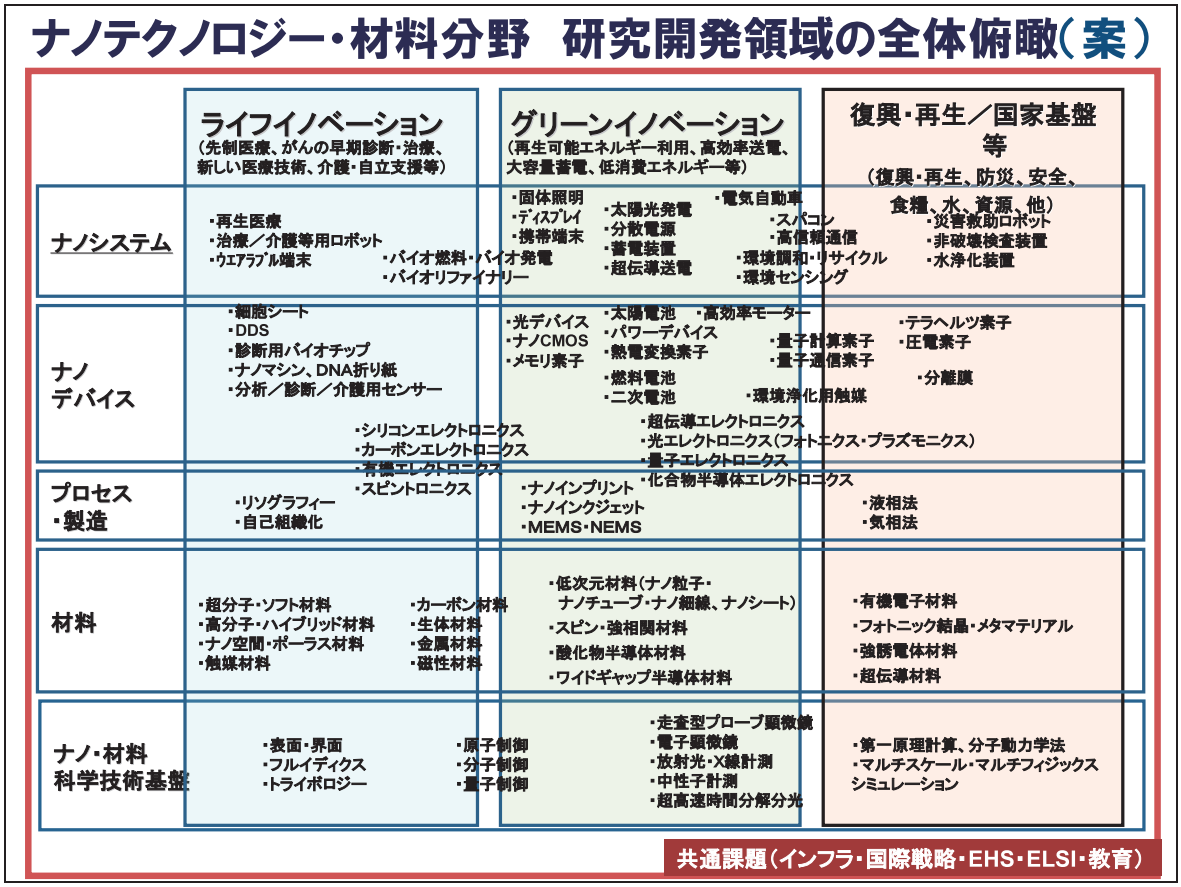



図 2

ワークショップ分科会では、主に若手の 30 ～ 40 代の研究者 60 余名の方々から共通のフォーマットでご意見を頂戴して議論をしてきたが、その結果を整理すると、研究開発領域としては大きく 30 件くらいの重要なものが浮かび上がってきている。私たちも試行錯誤の途上であり、もっと別の、他の領域や課題についてのご意見があれば出していただき、検討したいと考えている。この図はあくまでも技術視点の課題という見方でマッピングした状態のものであるため、それだけにはよらない右下の「共通課題」、すなわち研究開発のシステムや制度、規制、国際協調、協力、社会需要や教育の問題も別途あることは認識している。それらの課題も含めて、具体的な研究開発課題とのセットでどうすべきかを考えて提言していきたいと考えている。

### 馬場寿夫（科学技術振興機構　研究開発戦略センター）

以前、内閣府の総合科学会議の事務局にいたこともあり、現在内閣府が進めているナノテクノロジー・材料共通基盤技術検討ワーキンググループの技術ポテンシャルマップについて簡単に紹介する。第 4 期の科学技術基本計画では、ナノテク・材料は ICT と同様に共通基盤として非常に重要な位置付けを担っていることが示されている。

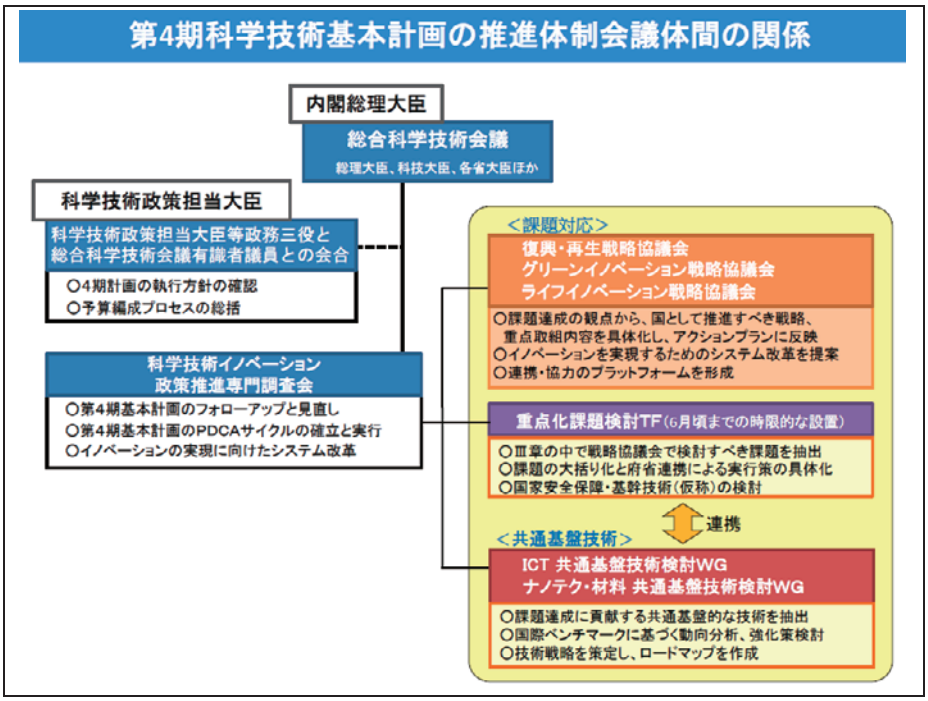



図 3

これはその中で具体的にグリーンイノベーションやライフイノベーションとの関係を示したものである。総合科学技術会議の下に科学技術イノベーション政策推進専門調査会があり、その下に各グリーン、ライフ、復興・再生の協議会、２つの共通基盤のワーキンググループが組織され、これらが連携してこれからの第 4 期の科学技術政策を具体的に作っていくという活動が位置付けられている。

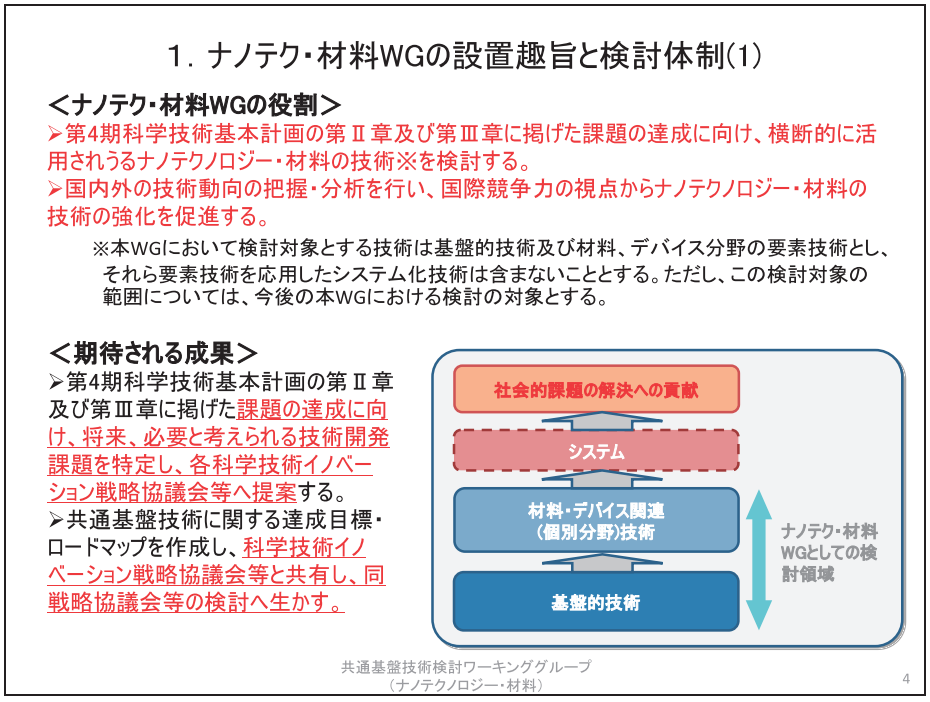



図 4

ナノテク・材料ワーキンググループの役割がここに記載されている。横断的に活用されるナノテク・材料を検討することと、国内外の科学技術の動向を分析して、国際競争の視点からナノテク・材料の強化を推進していくという二つの役目がある。アウトプットして、各戦略協議会に検討結果をフィードバックしていくということもあり、逆に戦略協議会から出てくる課題に対して中で検討していくこともあり、ループを回していくことがここに求められている。今年はスタートの年ということで、この循環がまだできておらず、共通ワーキンググループの検討結果が、協議会に投げられているという形になっている。逆に協議会の検討内容を伝えてもらい、ワーキンググループでそれを検討したり、現在進められている科学技術重要施策アクションプランの施策だけでなくもう少し役に立つナノテク・材料技術がないのかといったところを今後検討していく必要があると考えられる。

このメンバーには、今日お見えの塚本様や私の他に戦略協議会のメンバーがそれぞれ 2 名ずつ入っており、この中で縦と横との横断的な活動ができるようになっている。また、内閣府をはじめ経産省、文科省、厚労省など各省庁、それぞれの研究機関からも参加しており、いろいろな視点の議論ができる。ここではイノベーションに向けての政策を考えていくことが主であり、大学の人は少なくなっているが、各省庁を通じて間接的に意見が反映される恰好になると思われる。

具体的な活動としては、各委員からそれぞれの組織が持っている情報を出してもらい、それをまとめたものを作成しその内容について議論している。2022 年の姿（10 年後の姿）を描きながら、そこに対してどのような科学技術が必要になってくるか、あるいはどのような科学技術の成果が求められるかを検討し、まとめあげる作業をしている。本来であれば戦略協議会で議論した結果を元に、そこからこの議論に落としていくというのが求められる姿だと思われるが、今年は残念ながらそこまでは至っておらず、来年以降はこのような形が必要になる。

検討中の技術ポテンシャルマップにおいては、縦軸を課題に直接的に貢献できるようなデバイス・材料技術、横断的あるいは基盤技術的にやるものの二つに大きく分けてマッピングしている。横軸には主な産業領域をとっている。電気機械、輸送用機械、エネルギー・資源、医療といったところで要望される将来の姿に対して、具体的にどういったシステム、材料技術が必要かということがマッピングされている。こういった俯瞰は我々のところで進めている俯瞰と非常に密接に関係しており、連携して進めるべきものと考えている。

CRDS における具体的な研究開発領域の話に移る。今回はおおよそ 30 の領域に分けている。また、これらの領域は「社会に応えるナノテクノロジー・材料」という大きなグループと、基盤的なグループの二つに分けている。「社会課題に応えるナノテクノロジー・材料」というところでは、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、復興・再生、それと基本計画のⅢ章にある国家基盤を取り上げている。

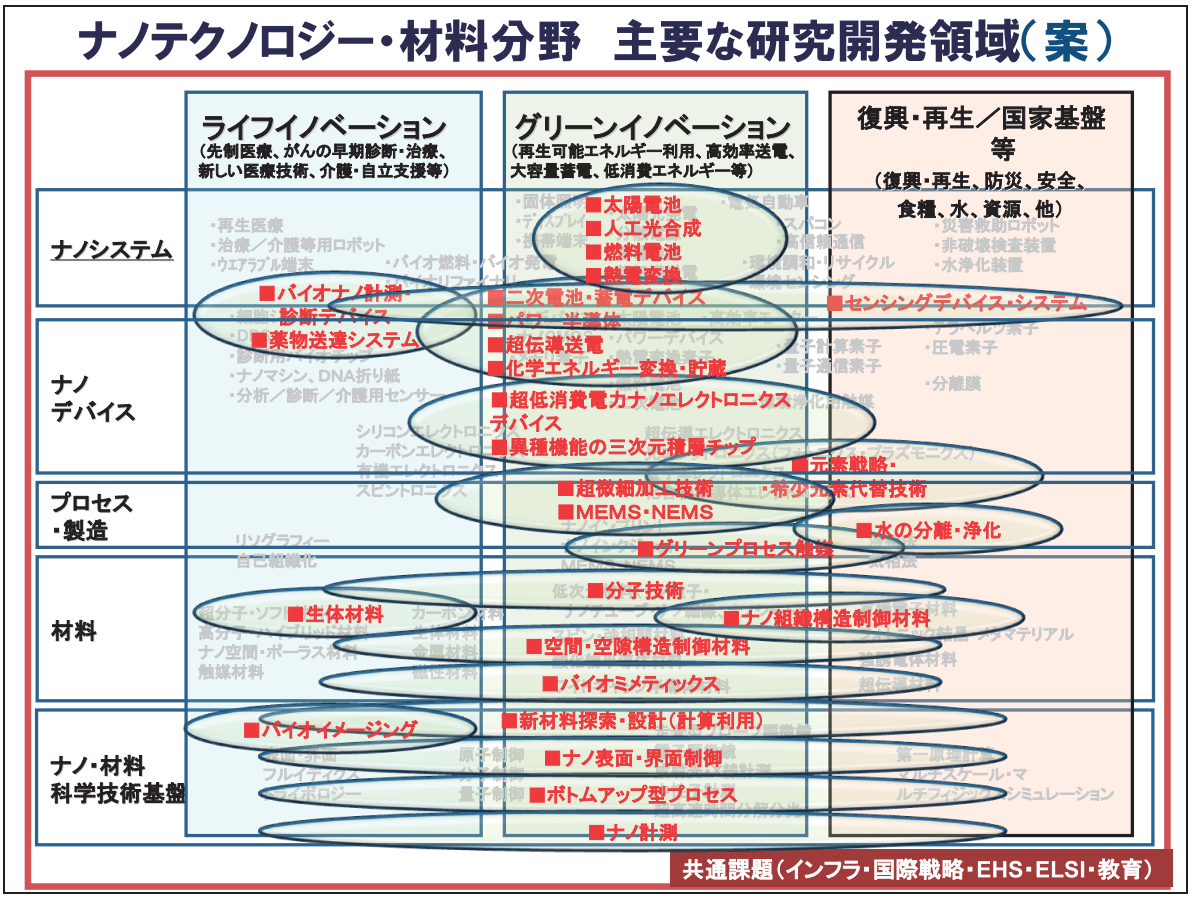



図 5

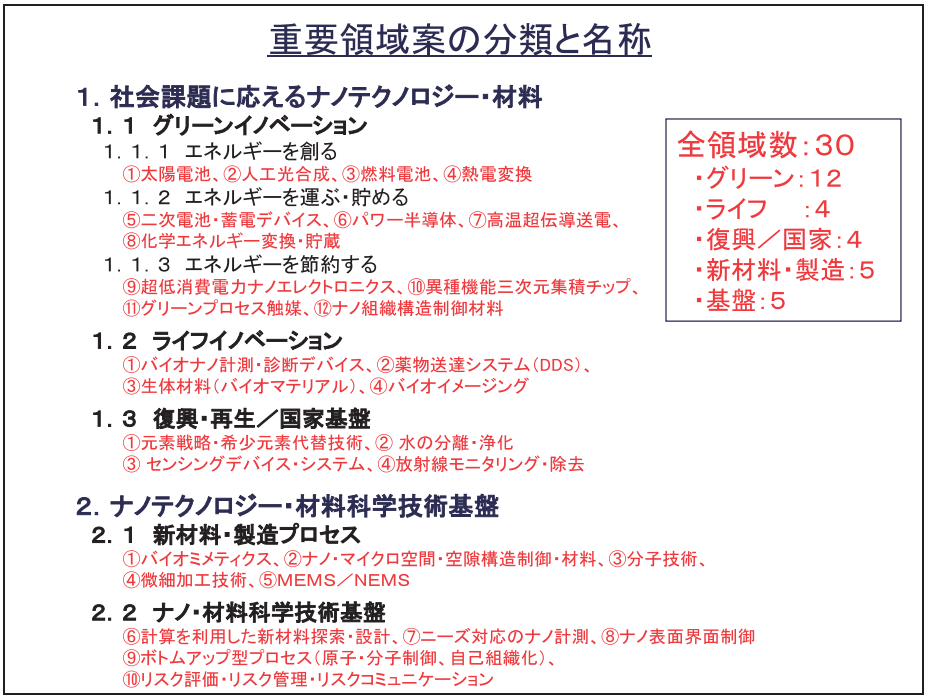



図 6

最初のグリーンイノベーションについて簡単に紹介していく。ここでは、エネルギーを作る、エネルギーを運ぶ・貯める、節約するというように大きく三つに分け、それぞれ四つ程度の領域を記載している。「作る」というところに関しては、その一つに太陽電池がある。これは現在でも実用化されているが、さらなる低コスト化、高効率化を目指した研究開発が必要であり、シリコン系や今後期待される有機系太陽電池の研究開発が必要である。2 番目が人工光合成である。これは太陽光のエネルギーを電気だけではなくて化学的なエネルギーに換えて利用するもので、まだ基礎的な研究が多いが、システムを考えながら取り組んでいくことが必要だと考えている。3 番目は燃料電池である。これも実用化されているものもあるが、さらに変換効率を高めるなど今後もやっていく必要がある。また、新しい領域として、熱電変換がある。今まで捨てていたようなエネルギーを有効に活用していくが重要であり、これに関連する技術の研究開発に取り組む必要がある。

次は「運ぶ・貯める」である。二次電池・蓄電デバイスについては、昨年の重要なプロポーザルとして出しており、継続的に進める必要があるということで挙げている。次はパワー半導体である。電気エネルギーは変換しながら使っていくが、そのときのロスをなくし有効に電気を活用するためには、新しい材料でのデバイス開発が必要である。電気を運ぶときに重要なのはロスなく運ぶということがあり、従来の電線を一部置き換えるような高温の超伝導を使った送電が期待される。システムまで含めるが、基礎的なことをしっかり理解しながらやることが必要と考えている。また、「化学エネルギー変換・貯蔵」は光合成とも関連してくるが、いろいろなところから遠くにエネルギーを運ぶ場合にはエネルギー材料に換えて運ぶことは有効であり、ナノテク・材料の中でも非常に重要な領域である。環境エネルギーユニットでも検討が進められているので、これらの結果も反映したい。

次の「節約する」はエネルギーを効率的に使うということである。ここでは非常に重要なものの一つとして低消費電力のナノエレクトロニクスデバイスを挙げている。従来の考

え方を変え、例えば止まっているときは電力をまったく使わないとか、新しいアーキテクチャーまで含めて考えていく。異種機能三次元集積チップも現在の LSI の機能だけではなく、その周辺まで取り込んで一体化し、効率的に開発設計を行っていくものである。基本的な技術であるウェハー同士の接合技術なども含めやっていく。グリーンプロセス触媒は、化学合成していくときに多段階の触媒利用工程を一段階でやってしまうことや、新しい触媒材料を作っていくことを取り上げている。最後はナノ組織構造制御材料であり、材料の軽量化、高強度化などを進めていくときに必要なものである。例えば、強度と靭性には相反するところがあるが、ナノレベルの理解に基づきこれらを両立させるように、新しい材料系を開発していくことが非常に重要ということで取り上げている。

【質疑応答】

■ 課題そのものはこういうものでいいと思うが、グリーンに関して言えば時間軸をどう考えるかということがある。いくつかのものについては、時間とお金かければ 3 年～5 年以内に実用化するものも含まれており、どういうロードマップを書くのかというところまではまだやられていない。国の政策として民間に任すのではなくて、この方向でやっていくとはっきり言えるものも含まれているので、そういう整理をやっていく必要があり、同じようにただ並べているというのでは先に進まないような気がする。例えば、パワーデバイスは今だったらまだ日本は勝てるかもしれないが、3 年したらもう中国、韓国はコピーしてしまう。このようなことを含め、意識して作らないと、違うフェーズの課題になっていく気がする。

→ロードマップに関してはまだ具体的なところまでやっていない。課題としては直近のものもあり、10 年、20 年かかるものもあるが、そういったものを意識しながらまとめて行く。

→時間軸については当然作る必要があると思っており、2 年前に作ったものがある。これは 2030 年まででグリーン、ナノテク、ナノバイオ、ナノエレクトロニクスという形で作ったものであるが。これとはまた違う形で作る必要があるだろうと思っている。技術流出、人材流出といったものをどうやって防ぐのか、知財の戦略で防げるのか、そういった根本的な議論もしなければならない。

■ 時間軸との関連もあるが、現状があって、他の国はどの程度力を入れているか、そういうことも重要なのではないか。

→そこについては、この報告書をまとめる際に国際的なベンチマークということで各専門家の方々に尋ねており、それを収集してまとめることで、今の日本が置かれている立場を明確にできると思っている。

■ 復興・再生／国家基盤の 4 項目書いてあるところで、元素戦略などは国家基盤として良くわかるテーマだと思う。しかし、復興・再生というと残りの三つしかないのかと思えて、この位置付はどうなっているかと思った。

→各個人の意見をそのまま書くだけではなくて、今までに蓄積されている情報、いろいろと調べたもの（外の情報）を含めてまとめようと考えており、必ずしもここに掲載したものだけでまとめるわけではない。また、復興・再生については非常に難しいところもある

が、その中で特にナノテク・材料に求められるものは何かと考えたときに、代表的なものとしては三つぐらいだろうと考えている。もちろんご意見があればぜひ伺いたい。

■ ナノテクノロジーはイノベーションの源泉であり、ナノテクが 10 年後の社会に新しい価値、新しい絶対的な価値を提供するということをきっちり説明して、戦略を組もうという考え方もよく分かる。しかし、非常に気になるのが、2022 年の姿があって、社会的なニーズがあり、それでこういう技術が必要だとなっていることである。それは非常に重要なことだと思うが、むしろ今問われているのは、それをどうやってやるかという、要するに What よりも How のほうが遥かに重要なことである。ひとつはイノベーションのために新しい戦略で、新しいやり方でやることもあろう。ナノテク自身の問題もあれば、ナノテク以外の要因、例えば厚生労働省とか国土交通省とか、そちらの人の問題のほうが遥かに大きいような気がするが、内閣府としてはどのような位置付けでいるのか。

→先ほどの 2022 年までに求められるニーズというところは、内閣府のワーキンググループの中で検討した結果であり、ニーズを具体的に決めて、どうやってやっていくかということを議論するのは、戦略協議会との話し合いだろう。その中で本当にやらなければならない、政策的に具体的に取り組まなければいけないものが出てくる。それは科学技術でないかもしれないが、そういったところを戦略協議会との間でしっかり話を進めていかなければならないと考えている。この話題に関しては、今日の後半でもう少し詳しく議論していただきたいと思う。

■ イノベーション戦略協議会が今年の春からスタートしたが、まだ全体として十分リンケージがとれて機能している状態ではない。What よりも How だという話なのだが、まさにそのとおり。ちょうど 9 月から全体のシステム開発をどうやるかということに議論の重心が移ってきているので、どのくらいコマが進むかわからないが、我々も努力してできるだけそういう方向にきちんとした道筋が見えるように議論していきたいと思っている。また、この CRDS のワークショップの意味付けとしては、必ずしも JST のための研究開発課題を見つけるというよりは、国全体を見て、冷静な科学的助言をしていくことだと思う。したがって、決して陳情集団でもないし、政策誘導をしようということでもないという立場でこういう会をさせていただく。最近、科学的助言と政府の関係は社会的に大きな問題になっているが、そういう中で、こういう場に産官学の方が同じ立場というか同じ視線で議論をきちんとフリーにやることが重要である。最近は政府の方々にも積極的に来ていただいて、必ずしも省を代表したり庁を代表してものを言うというよりは、行政のエキスパートとしての個人として出ていただいて積極的にご発言いただいている。

■ グリーンについてご説明いただいたそれぞれのテーマについては、ナノテクから見たときにはこういうものが出てくるのだなと思って拝見して、違和感は特にないが、第 4 期の Issue-driven ということから考えると、特にエネルギーの分野は非常に重要なファクターとしてコストがある。日本のこれまでの技術開発というのは、より良いもの、性能追求でがりがりやる癖があるが、実は原理的に可能であっても高いと入ら

ない。そこが非常に重要である。ある意味では非常に厳しい条件に置かれているので、できればSeeds-pushingの場合であっても、最終的にそういう絵姿を思い浮かべて基礎研究をやることが重要で、原理・原則の方向だけがむしゃらにやるということは、結果的にいいものができても決して市場には入らないという状況になってしまう。時間軸もビジネスのやり方も含めて、戦略的に考えておく必要がある。

**中本信也（科学技術振興機構　研究開発戦略センター）**

ライフイノベーション関係の研究領域はバイオナノ計測・診断デバイス、ドラッグデリバリーシステム(DDS)、生体材料、バイオイメージングのこの四領域にまとめた。

バイオナノ計測・診断デバイスの領域には、生体関連物質を高感度で検出していくと同時に、微量のサンプルから特定の物質を迅速かつ簡便に分離していくという技術、さらにはこれらをアレイ化してひとつの計測あるいは診断デバイスにまとめあげていく技術が含まれると考えている。分科会ワークショップの中ではこういったデバイスを構成する部分としての生体高分子、酵素など分子認識機能を担う要素に関して、半導体技術を活用した発想で機能を高度化するといった研究開発の重要性が指摘された。

ドラッグデリバリーシステム（DDS）には幅広い技術が含まれるが、ここではナノキャリアを利用して薬物を身体の中の特定の部分に送達していくタイプを主に想定している。この領域は近年急速な進展が見られているが、患部に特異的に送達するというところではリガンドの利用等が必要であり、さらには診断と治療を一緒にするという意味で分子イメージングとも関連してくる分野だと考えている。

生体材料（バイオマテリアル）では、生体適合性、あるいは生体親和性が非常に重要で、この点に関してはいわゆる界面の観点から分析をして、きちんと基礎的なところを固めていくと同時に、単に生体適合性、生体親和性だけでなく、たとえば特定の癌細胞等を選択的に吸着したりするといったプラスαの機能を出していくことが必要である。人工関節や人工骨等に使われるような金属材料においても、生体適合性を向上させていく上で、材料の基盤的な研究が必要であると捉えている。

バイオイメージングについては、これまでにも様々な手法が開発されてきているが、特に医療の分野においては検出の手法がいかなるものであれ、画像化して医療現場に提供していくということが必要であり、そのためには、分子スケールから非常に大きなスケールまでをマルチスケールでカバーし、解析ソフトウエアなど広範な技術領域での開発が必要である。さらに、それらをシステム化していくことが非常に重要な分野であると考えている。

【質疑応答】

■　医療の場合は非臨床研究の種を多く出していくというのは比較的簡単であるが、治験をやって承認までもっていくところを、これは研究者の仕事でないと放り出してしまうと何も進まない。医療機関に渡しても開発が進むわけではない。海外の医療機関はそれ自身がエンタープライズ化している。メイヨーやMDアンダーソンなど、その中で研究者と一体になって取り組んでいる。特に医療機器の場合は一体になって開発しているので、医療機関自体が研究者と一緒になってそこまでやる体制を作り込んでいることがすごく重要ではないか。日本には種は多くあり、むしろ外国よりも多くの種が出されているが、そこから先に深刻な問題がある。研究の中身の議論よりはむしろ体制の議論が必要で、それを一緒に考えないといけないのではないか。

→分科会の中でもそういった議論は非常に多く出ている。医療の現場へ実際にどうやって技術を出していくのか。特に医療への応用では、早い段階から関係するレギュラトリーの

部分にも関与していかなければいけないということが、分科会でも指摘された。

■ 以前医療メーカーにいて今大学にいる立場から客観的に申し上げると、医療といってもたとえば消化器系と血管系ではまったく異なる。治験が必要なものと必要でないものによっても異なる。治験が必要ないものだと、うまくすれば3年くらいで、産学連携すれば製品は出るものもある。一方、治験が必要なものになると、今までのJSTのプロジェクトだとそこまで支援していただけないので、そこにギャップがある。ぜひその辺もサポートの仕方を国として考えるべき。

■ 省庁の壁というのはやはり大きくて、産官学と言われるが、たとえば医薬で言うと、産官学が一緒にやっていっても、商品化して世の中に出していくというときにはかなりハードルが高い。これを乗り越えることがライフイノベーションを起こすためにはどうしても重要なことである。

■ 生体材料やバイオイメージングについても、いい装置はけっこう出ているが、それはある特定の分野に限られていて、本当にどこでも使えるかというと、なかなか難しい。たとえば例としてファンクショナルMRIをみると、新潟大学がに7テスラのものがあり、解像力が非常に高い。これを利用すれば癌を早期診断できる。こういう技術をバイオイメージングの分野から出していっていただきたい。日本が世界に打って出られるものはいったい何かというものを考え、得意技術はかなりあるので、その集積とネットワーク化をやれば、かなり日本は出ていける分野が多い。強いところを伸ばしていって、世界に見えるような形のイノベーションを起こすということが重要だ。ナノサイエンスの分野においては、医工連携ということはよく言われるが、本当の意味で交わるという仕組みがまだ日本では少ない。

→ここに出ている重要領域というのは、ナノテクノロジー・材料という学術技術の分野から見てどういう要素があるか、どういう要素を用意しておかなければいけないのかということの抽出結果である。今課題達成型になっているから、こういうものを国家のイニシアティブ、戦略に組んでいくときには、他の分野と組み合わせて、たとえば再生可能エネルギーをいかに早くやるかの戦略になっていく。したがって、これらをそのまま太陽電池の研究とか、あるいは薬物送達の研究といったイニシアティブになるということは、今後は非常に稀なことであろうと考える。これから用意しなければならないものを今抽出している。そういうものを横断的にチームを組んで、課題達成を戦略として立てるというのが我々のやり方である。まさにHowということを我々は重視しており、その部分の議論をお願いしたいと考えている。

■ 死の谷を越えるということ、コストを安くするといくこと、こういいたことをここで議論しすぎると、研究戦略の本質を失うのではないか。もっと先を見据えて、こういうことが絶対必要だからきちっとやっておかないといけないという、そういうものをここで抽出して議論するということのほうが必要なのではないか。すぐに役に立つような、今やる必要があるということはまた別のところでやるというのも手ではないか。

### 島津博基（科学技術振興機構　研究開発戦略センター）

復興・再生／国家基盤、新材料・製造プロセス、最後にナノ・材料科学技術基盤ということで、三つのカテゴリーを説明する。まずはじめに、これは縦軸の最後のカテゴリーになるが、復興・再生。国の基本計画では復興・再生だけになっているが、少し拡大解釈をして国家基盤といったものも一緒に含めている。四つある。ひとつ目が元素戦略、希少元素代替技術、二つ目が水の分離・浄化、三つ目がセンシングデバイス・システム、四つ目が放射性物質除去である。

元素戦略は、昨今の希少元素の地理的偏在を受けて、国として研究開発を進めていかなければいけないということで、磁石、電子材料、触媒などの希少元素を代替していこうという流れがあるが､そのほかにも応用としてはいろいろ考えられるということで､こういったところは中長期的に考えていかなければならない。水の分離・浄化は、プラント、システムのほうの問題もあるが、今後の国際的な需要を考えたときに、まだまだナノテク・材料としても膜技術をはじめとしていろいろやっていくことがある。三つ目、センシングデバイスは、自然環境のモニタリングをはじめとしてアプリケーションはいろいろあるが、今まで極限環境というものがあまり対象とされていないのではないか。放射性物質はもちろんだが、建築物の老朽化や、高温・高圧の環境など、そういったところのセンシングにもつながってくるようなデバイス・システムの研究開発、こういったものが必要ではないか。四つ目が放射性物質除去。今、国のほうでも物理的、化学的、生物学的手法ということで、吸着、膜、微生物的手法、いろいろ取組はあるが、こういったところを今後も継続的に進めていくことが必要ではないか、という四つの提案となる。

グリーンイノベーションのところで説明したナノ組織構造制御材料のようなところでも、先ほどは耐熱化というところがあったが、免震・耐震材料のようなものも当然考えられるので、再掲はしていないが、そういったところも復興・再生に関係してくる。

CRDS でもこの領域はこれまであまり蓄積がなく、学としてもコミュニティがあまりできているとは言いがたいと思うので、ぜひこの場で皆様からこういったところが不足しているという具体的なご提案をいただきたい。

【質疑応答】

■ 応用物理学会でも、復興・再生に向けてどういう課題に取り組まなければいけないかというので八つ課題を取り上げて議論することになっている。ここはかなりナノテクに特化したものということで理解した。

■ エネルギーを作るほうに注目が集まりがちだと思うが、特に省エネや $CO_2$ を減らしたりするところで制御が果たしてきた役割はすごく大きいと思う。自動車などもそうだが、昔のフォードから現在までエンジンの仕組みは変わっていないが、制御がすごく変わって効率がよくなっている。ナノテク・材料という視点からは特に極限環境では材料がもたないという問題が大きくて、そういうところでたくさんやっていくことがある。

■ 「放射性物質除去」というのが少し引っかかる。除去はできない。基本的には吸着というか、濃縮をして量を小さくして無害化するということで、気をつけないと誤解を与える。

■ これは除去した後、どうするのか。農地を使っていたらもうこんなところで農業はしない。それは技術のせいではないが、そういうことをリンクして考えないと、放射性物質をとりました、と言っても、そこでは産業も何もできない。そういうものと組み合わせてどういう産業を作っていくかとか、そっちのほうに提言をもっていくような仕組みを考えないと、これだけでは浮いてしまうのではないか。

続いて「新物質・新材料」に移る。ここからは縦軸ではなくて横軸として、すべてのアプリケーション、イノベーションにつながっていくような基盤的な領域を五つ説明させていただく。ひとつ目のバイオミメティクスは、バイオインスパイヤードとかバイオミミクリという言い方もあるが、製造使用時のエネルギー消費が少なく、環境適用性も高い材料、デバイス、システムというものを、生体システムに学びながら構築していく領域。

二つ目はナノ・マイクロ空間・空隙構造制御・材料。ナノ・マイクロスケールで空間を制御することによって、材料の高比強度、高靭性、選択透過性、反応性、分離、吸着、触媒、貯蔵、イオン伝導、エネルギー変換等々、様々な機能を実現するということで、かなり裾野の広い領域になっている。

三つ目は分子技術。従来の解析ベースの材料開発ではなく、狙った機能の発現を目指した設計ドリブンの技術と、それによって高効率、高機能な新反応場・濃縮場・結晶成長場、化学プロセスや加工プロセスを生み出すことができるのではないか。もしくは新しい分離・抽出・濃縮技術、結晶成長、印刷技術によるデバイス創製を実現したいという領域である。

四つ目が超微細加工技術。これは今後のシングルナノメートルレベルでのシリコンの微細加工というところが主な対象になっているが、日本では EUV に関する取組が少しあるほかは、国の政策としてはほとんどとられていないということで、今後たとえばナノインプリントやブロックコポリマーの自己組織化の併用など、いろいろなことが考えられるのではないか、というところ。

五つ目が MEMS・NEMS だが、今後のエレクトロクスにおいては異種機能を盛り込んだようなデバイス開発が中心になってくるのではないかということで、MEMS・NEMS と LSI との統合化によって、小型化、高機能化をどんどん図っていきたいという領域である。

「ナノ・材料科学技術基盤」としては、五つの領域。中長期に亘って、ずっと先鋭化が必要だろうという領域が掲げられている。

ひとつ目が計算を利用した新材料探索・設計ということで、理想的には計算が先行して材料を設計した後に合成プロセスが続くというようになれば効率化が進むが、まだまだ計算科学的手法が確立していない部分も多いので、そういった方法論を開発していかなければいけないというもの。

二つ目がナノ計測。計測が進むと当然材料の開発は進むのだが、これまで以上にニーズを意識した計測の研究開発が必要なのではないかという、これも相当広い。

三つ目がボトムアップ型のプロセスということで、原子・分子制御や自己組織化といっ

たところをトップダウンのプロセスとあわせて継続的にやっていかなければならないという領域。

四つ目がナノ表面界面制御で、LSI が表面界面の連続だということが書かれているが、ほとんどの材料において複雑界面がマクロスケールでの物性発現の原因となっているので、そういったところはサイエンスとしてやっていかなければいけない。

最後にリスク評価・リスク管理・リスクコミュニケーションであり、日本はこれまで弱いが、研究開発と同時にこういうところもやっていかなければいけないという提案である。

【質疑応答】

■ 最後のリスク管理というのは、実はハザードとリスクという概念があって、まずはハザードとして、本当にその物質が生体に問題を起こすのかどうかと。その次に曝露限界だとか管理手法でそれが抑えられるかどうかというのは切り分けが必要だ。特にリスク管理という前にハザードがどういうものかというのは、実はあまり情報開示されていない。たとえばベンゼンなどというのはハザードといえば非常に危険なものだが、一般市民の方はベンゼンだってそんなに怖いものだと思っていない。それはきちんとリスク管理されているからであって、いたずらに今ナノ材料というのは怖いものだと思われているが、それはきちんとリスク管理すればいいので、そもそものハザードとリスクという概念をきちんと理解していただけるような表現をしてほしい。

■ サイエンスとテクノロジーとエンジニアリングとビジネスというのはやはり役割分担がある。非常に大事なことは、日本は人口が限られているので、若い人が出てきたときにそのタレントをどこにどれくらい振り分けるかという観点がある。

■ 日本が価値を生み出し続けられる産業と、割と他の国が肩を並べてしまってかなり苦しくなってしまっている産業がある。いわゆるサイエンスに相当する領域はまだまだやることがいっぱいあるし、いろいろなところに出口があると思うが、従来日本が割と得意だったところに出口をあわせて絵を描くと、必ずしもあわなくなっているものがずいぶんある。ひとつの例として参考にしていただければと思うが、たとえば半導体の製造装置の分野、次の世代はたとえばステッパーが作れる会社、リソグラフィーができる会社は世界で 1 社、生き残ったのは IMEC（ASML）だけである。こういう産業集積がだんだん進んでいる領域があり、残念ながらベンダーよりも買う側のほうが人数が少ないという産業がもうずいぶん出てきた。しかもそのベンダー中に日本企業が 5 社入っているとか、そういう産業も実はずいぶんある。半導体は実は世界的に見ると売上はまだ伸びているから、非常に重要な産業であるし、経済的なインパクトも明らかにあるが、けっこう波が高い。だから、サイエンスをやってテクノロジーをやって、エンジニアリングをやってビジネスにしなければならないが、そこはかなり大変なところで、話をする相手というのが非常に限られているということがチャンスを減らしていることになっていると思う。

■ ひとつのサイエンスをもとにテクノロジーができる時間は、実はどんどん短くなって

いる。ドラッグなどがそうだが、発見されてから町のお医者さんが使うまでの時間は、統計をとると対数グラフで描けばいいくらい短くなっている。世界的にはそこをつなぐ仕掛けはすごく進歩していて、では日本はどうするのかという話があるが、割とわかりやすい牽引者の数が減ってしまっているところを狙いすぎると大変だ。ただ、覚悟してやるのだったらそういうふうにすればいい、ということを申し上げたい。

→もっときちんと応用することも考えて、ということと、それも大事だけど、長期にわたって本当に大事なものは何かというのを考える、ということで、たぶんこのひとつの解決は、縦軸にあるようなものはやはり課題解決である、それがきちんとシナリオを作らないかぎり成り立たない。しかし、横軸にあるようなもので、新しいものというのはかなり長期に向かってやっていく。それをどうやって結び合わせてうまく選んでいくのか。それが、基本のところともう少し応用にいくところをどううまくつないでいくかの議論なのだと思う。

→ 30 領域紹介があったが、これはあくまで今後の戦略、イニシアティブの構成要素として考えている。ナノテクノロジー・材料の技術領域でどうしても時間がかかってでもこれをやっておかなければいけないといったものを抽出する。それがこの目的。イニシアティブ、戦略というものはナノテクノロジーだけではなくて、ライフ、環境エネルギー、ICT のほうでも同じように要素が抽出されるはずだが、そういうものを含めて横断的に議論をして、戦略として、提案していくというプロセスになっている。ここはあくまでナノテクノロジー・材料の科学技術サイドで将来を見たときに絶対にこれは必要になる技術、あるいはサイエンスでやっていかなければいけない、といったことの抽出作業とお考えいただきたい。

■ 時間軸の話があったが、確かにこれはいろいろな技術のアイテムが並んでいる。重要度というのは時間とともに変わってくるだろうし、あとは各々のところが、材料が重要になっている期間、それがやがてデバイスへ移り、いろいろな新しい使い道を作っていく流れがある。たとえば半導体もあれだけすごい技術だったのがやがてコモディティ化し、最近太陽電池のメーカーが苦しんでいるというのは、シリコン系のコモディティ化。同じように二次電池も非常に重要だが、これもやがていろいろなところが技術的に追いついてくる。ところが同じアイテムでも付加価値が少しずつ移っていくのではないのかと。つまり、たとえば二次電池でいえば、安全性も含めて電池にして、いろいろな新しいアプリケーションが広がっていく。そういうところで、どうシステムを作り込んでいくか。これは時間とともに 課題解決という意味で重要ではないか。それがたぶん、今ではなくて旬が過ぎた後のこともしっかり考えないといけない。

→その問題意識はまったくおっしゃるとおりだと思っていて、それぞれの状況を見ながら戦略を組み上げていかなければいけないという視点はもちろん私たちももちたいと思っているが、現実にそれをしていくとなると、提言はかなり踏み込んだやり方が必要であり、関係する各セクター、ステークホルダーの方々とも協業化・共同化、また共通認識をいかに作っていくかというところが課題だろう。

■ サイエンスだけで収まらないところがあるから、次のセクターとのコミュニケーションというのはすごく重要になってくる。システム化というところへナノが進化してい

く姿ではないか。

■ 先ほど、よい装置があってもどこでも使えるとは限らないとライフについて議論があったが、ほかの領域、たとえば材料にしてもグリーンにしてもある。特にグリーンは、熱とか電気とか運動エネルギーのかかるようなものだったら何でもで技術領域が非常に広いが、今持っている基盤的な先端のいろいろな知識、技術が使える形でうまく提示されてコミュケーションが出来ているのかということも非常に重要なこと。たとえば、先端的な計測を特定の条件からなるべく幅広い条件に広げるという成功例はSpring-8 では産業利用で、初期に思われていた以上の幅広い応用がされていて、成果も上がって、非常に今需要が伸びている。そういうものがもっとたくさんあるのではないか。そうすれば課題からという Needs-driven というところがもう少しわかりやすくなって、Needs と Seeds をつなげるのではないかということを感じている。そこをつなぐということは How の中に入るのかもしれないが、そういう How の中に、たとえば産業利用ということを念頭に置いた開発ということもあるのではないかと思う。

■ 長い間研究されている課題というのは、非常に重要だから研究されているわけだが、そういう中でどういうところを解決するとブレイクスルーになるのかということをもう少し詰めて考えて課題を考える必要があるのではないか。たとえば人工光合成は何十年もやられている課題で、その辺りも検討するということは大事なのではないか。

→非常に重要だろう。縦軸を実現するために、研究者は実は具体的にどうやっていいかわからない。なんとなく何年もやってきたという面も正直言ってある。重要なのは、そういう意味で縦の軸と横のほうをどうやってきちんと科学技術としてつなげていくかというときに、おそらくロードマップ的なものをきちんと作って、シナリオを作っていかないといけないのだろう。

→たとえば太陽電池を取り上げたときにロードマップをどうするか。これは NEDO でもいろいろやっているが、そういうものも全部含めて全体の俯瞰をした後、その上である提案を作るときには、どういうところに大きな問題があるのかという抽出もニーズや研究サイドのことも、時間軸に関する情報も全部含めて提案をしている。科学技術分野の俯瞰と研究開発の提案は別である。たとえば地方の 1 ギガワットの再生可能エネルギー供給システムを作るということになった場合には、それはナノテクだけではだめで、ICT や環境エネルギーシステムのいろいろな知識を全部組み合わせ、しかも国の制度も全部調べた上で提案をしている。社会的期待の分析はまだ十分ではないが、何が重要であるか。それを産業界の助けも借りて、期待、産業界の期待という項目があがったときにどうやって優先順位をつけていくかということも含めて今一生懸命やっているところ。先ほど説明したナノテクの科学技術群を、単独で戦略として提案するということは想定していない。

■ ICT とナノテクというのは、どこにも絡むというところは共通である。ただ、ICT とナノテクはどこが違うかと考えて見ると、やはり ICT のほうは社会に近いというのか、応用に近いところがあるので、ナノテクに比べると余計に社会のデザインや個別技術のインテグレーションだとか、そういうところが非常に重要になっているとい

うことがひとつ。もうひとつは、変化が速いというのがICTの特徴。かなり長期にわたってナノテク・材料というのはやっていただかないと、しょっちゅうテーマが変わっていくというのではまずいだろう。そういう点で、縦軸と横軸の関係で、横軸でテーマを決めていく、あるいは進めていくという、これは非常にいいのではないかと思う。また、ICTの関係からいうと、最近話題のビッグデータとか、あるいはクラウドとか、あるいはスマホでも端末に非常に高機能が入ってくると、ナノテク・材料分野に期待することの非常に大きいひとつは電力の問題で、それを長期にわたって解決していくことを期待したい。

■ 方法論の話だが、分野間融合の戦略は大事だという、これはまったくそうだが、それを具体的にどうやってやるのかというのはすごく難しくて、皆が集まって議論すればいいというだけではなかなか済まない。ICTの中でも上位のレイヤーからシステム、ソフトウエア、デバイス、アーキテクチャー、いろいろあるから、その中ですらなかなか言葉が一緒にならないとか、噛み合ないとか、そういうところがあり、なかなか難しいが、今後もチャレンジしていかなければいけない。

■ 会社のコーポレートリサーチでこういう議論をして、5年以内のスケールでやったほうがいいと判断されることと、今どのようになっているかわからないけれどもたぶん重要という話がどうもちゃんぽんになって議論が進む可能性があって、よくそれを考えて話を進めていかなければ、所詮学者と言われる者は自分のやっているところが大事ですよ、とうまく言うに決まっている。そういうことをよく我々の見識でもって謙虚に見ながら、分けて考えないと、話が進まないのではないか。この縦横はそういうことを示すでもない。

→やはり課題解決につながる意味では、筋道が、年限も入れたようなものをきちんと示す必要があるし、ある程度長期的に非常に重要な、横軸の観点からきちんと議論して。同時にそれがつながらないとバラバラになってしまうので、きちんとつなげていくということで理解して進めている。

■ しかもそれが時間とともにダイナミックに変わっていっているので、それも含めて3年ごとくらいにやるのが大事だと思う。

■ 太陽電池はオバマ大統領が作った会社が潰れたことに象徴するように、だんだん苦しくなっていて、今太陽電池に投資しようと言っている国は世界で日本とアメリカの一部だけではないか。ヨーロッパはもうほぼ止まっている。なぜかというと財政危機でフィードインタリフが止まってしまったから。中国の今の太陽電池の工場は在庫の山で潰れ始めている。もうほとんどただみたいにパネルが出るようになっている。もうひとつは太陽電池のメガソーラーを建てると、実はパネルのコストは5%にも満たなくてほとんど建設・施工業者に払っている。風速40メートルに耐えなければいけないから。こういう議論はサイエンス、テクノロジーではないところで価値があるかないか決まる。

■ アメリカも言ったことが全部 100%そうなっているかというと、いろいろな理由から途中であっちに曲がったりこっちに曲がったりしているが、その強さは何かというと、やはりタレントだとかサイトがきちんと用意されているということなのではないか。それが横軸に相当する。だから、何をしていくのかということは横できちんと決めて、出口があるのかないのかという議論をし始めると、それはエンジニアの責任だけで決まらないことはたくさんある。エンジニアががんばればなんとかなるのであれば、日本はこんなに苦労していない。縦は場合によっては架け替えてもいい。でも、横は結局国の中の資源配分の問題だ。

■ どちらかというと横方向が重要だと思うが、たとえばグリーンイノベーションの中で、実はここに挙がっていないキーワードを足すとやっと何かの機能を発揮し始めるというか、夢のあるようなものが出てくる。それが俯瞰の意味だと思っていて、たとえばライフイノベーションだったら 50 年後には日本の平均寿命を 100 歳にし、かつ健康で生きていてもらう。そのためには何をするのだとか、そういうちょっと違う、夢のあるような方向から何かこういう提案がないと、子どもたちを理系に行かせるような魅力的な社会にならないような気がしている。

■ これは要するに、特に目立った研究課題が並んでいるだけであって、地味な研究課題がたくさん潜んでいる。たとえばここには出ていないが、絶縁材料とか、そういうものはいろいろなところで使われなければいけないはずだが、そういうものがなかなか見えてきていない。

→この中には絶縁材料も誘電体みたいな形で入っている。そういう意味では隠れてはいるが、継続的にウォッチする 30 を選んだということ。

■ ここ 50 年を振り返ってみると、やはりエレクトロニクス関係は大きく変化して、日本の会社が非常に積極的に役割を果たしたお陰で人材の育成から学生の就職も含めて非常に大きな貢献を果たしてきたが、いまそういう状況が変わってきている。それに対して、今後国全体としてどのように考えていくかということだが、材料や化学の分野は依然として日本の企業は強いという指摘があった。豊田工業大学には、日東電工から博士の社会人が来ていて、日東電工は液晶フィルムの偏光板を作るのに世界的に非常にシェアが高い会社であるが、そこに要素の入った分子はどのように入れるのかという非常に面白い問題があって、それが制御されると、色が非常に制御されると。しかもそういうフィルムが液晶のセットにマウントされるときにゴミがつかないようなトータルシステムみたいなことも考えられて、現在は日東電工から買わないと液晶装置ができないというような、トータルのコンペティティブネスでやっている。何を申し上げたいかというと、液晶はもうすでにコモディティ商品だが、ある一点に絞り込むと、非常に変革がおきていて、そこの一点に限ればかなり勝負ができる。そういう面から言うと、刺激の強い新製品ということを求めるのももちろん大事だが、トータルな製品として見てしまうと、革新的なものはそう出てこない。すでに何兆円と売上があるもののほんの数パーセントの部分かもしれないけれど、そのコアの部分を変革していく。そういうところにフォーカスした化学会社や材料会社は相当競争力があ

る。そういう種類の技術というものをもう少し深く見ていかないと見落とすのではないか。だから、太陽電池で有機エレクトロニクスも大事だが、シリコンの中でどこまでの工夫の余地があって、その一部かもしれないけれど、ペネトレートするようなユニークな斬新な部分があれば、トータルとしては中国が全部作っているかもしれないけど、そこの一点では日本の企業が必ず入ると、そういう見方も要ると思う。

■ エレクトロニクス会社、化学会社ががんばって人材育成してきたが、その企業環境が今非常に大きく変わってきている。そういう中でこの分野の人たちをどういう形で今後育てて一生のプロフェッショナルとしてやっていけるようにするかということに相当工夫がいる。そういうことを特に最近、学生の就職など身にしみて感じつつある。液晶とかそういうものの一部分を根本的にリプレイスするようなコンテクストでのインパクトというのは大きい。もう少し説明の仕方として一歩中に入った形でビジョンを与えないと、学生は何か液晶はやられっぱなしだとか、そういう見方になってしまうのではないか。

■ 基本的に、各学会のセクショナリズムが表に出ているキーワードだ。これではしょうがなくて、我々が欲しいのは有機、無機金属ではなくて機能である。機能を発現するためにどういうものが必要か。材料設計という立場では、機能をどうやって設計するかということから始めないと、俯瞰的にならない。

→まったくその通り。我々の研究開発戦略センターでいろいろなプロセスで提案を出していくが、その一部を切り取ってこういうところに出して議論することの難しさを切に感じる。今後の設計の仕方をいろいろと考えさせていただきたい。くれぐれも誤解のないようにしていてほしいのは、これはプロジェクトを提案しているわけではない。また、機能の問題では、機能設計こそ重要だということを最初のお話で申し上げた。それは社会が期待としてどういう機能を求めるのか、あるいはその優先度を決定するほうでやるべき仕事だ。今後世界はどう展開するかという予測に関しても、相当のインテリジェンスも必要だし、そういうことも含めてどうやってそれを決めていくのか。その社会が要求する機能に対して、科学技術サイドがどう答えていくかという、そういう意味での設定が重要になっている。

■ 内閣府の中でも技術を見る視点として、3年、5年というようなスパンで見るのか、あるいは10年、20年で見るのかということは議論のスタート地点として重要だと認識していた。ワーキンググループでは10年、あるいはそれを超えるスパンで見ていったときにどういう技術を重点化すべきか、ということを議論するという共通認識でやってきた。一方、たとえば、縦軸にある復興・再生の課題解決となると、協議会自体の議論が2年とか、長くて5年くらいのスパンで考えている。そういう意味では、こういう一面に載せるものは非常に誤解を生みやすいというか、難しい面があるのではないかというのは感じた。短期中期的な範囲でのテーマ選定と長い目で見たテーマ選定というのをある程度分けて議論するということが重要ではないかというのは感じている。

■ 例えばファインセラミックスは 2 兆円産業で、非常に利益率も高い産業だが、中国、韓国の論文が伸びているという中には、ファインセラミックス業界の論文数が相当増えている。確かに日本の学術界からすれば枯れた技術かもしれないが、実際には企業では相当細かい研究までされているし、最近は Spring-8 なども使ったりして、さらに微細構造の解明などもやっているわけで、研究として伸びゆくところと今既存の中で必要とされる技術というのは、もう一度見直すところもあると感じている。

■ 縦と横という議論に関して、結局そのマッピングを元にプロジェクトメーキングする人がいないというのがいちばんの問題と感じている。実際 METI のプロジェクトも、たとえばある原課が、ある企業の提案をそのままプロジェクト化していたり、CREST のテーマをそのままプロジェクト化するというところで、その味付けというところがなかなかされていない。その辺に関して CRDS や NEDO のような中立機関が、こういうプロジェクトを組むべきではないのかとか、こういうメンバーを入れるべきではないかとか、そういうところに実はもう少し力を入れるべきではないか、と考える。

# 3．全体討論

## 3－1 「連携融合の実践とこれからの課題」

片岡 一則（東京大学）

2005 年からナノとバイオの融合拠点に関するプロジェクトを東大で行った（図 1）。このプロジェクトは課題解決型拠点のさきがけであり、そこでの経験をお話ししたい。

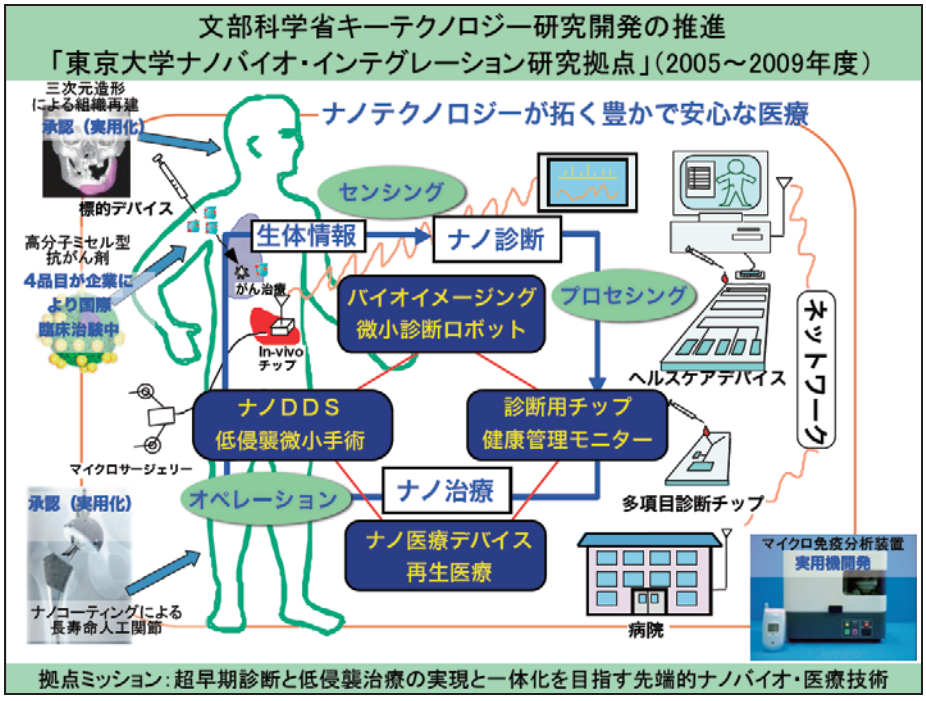



図 1

このプロジェクトは、ナノテクノロジーをベースに医療を革新しようというもので、5 年間の活動で人工関節、組織再建のデバイスを製品として世の中に出している。そのほか免疫の分析装置や DDS の開発を行ってきた。DDS では 4 品目が企業によって臨床治験に入っており、1 つは今年 8 月からすでに臨床第 3 相に入っている。数百人規模の患者を対象に国際的な治験をやっている。今日はこういうことをやっていく上で何が問題だったのかや今後の課題についてお話ししたい。

プロジェクトを始めるときに、基礎研究と応用研究を分けるということは意味がないのではないか、基礎から応用に至るというリニアモデルは誤りではないか、入口として社会からの要請があるのだから、社会はむしろ入口であって、出口ではないのではないか、といったことを考えた。つまり、社会の要請から入る基礎研究を考えようとした。しかし、社会の要請を入口からどんどんそのまま詰め込むと消化不良になってしまう。消化不良になったから胃腸薬を飲むというのでは、大学の研究ではないので、そこはよく考えて、例えば新しい消化メカニズムの提案と実証という本質に回帰するようなことをやらなければいけない。

大学の原点を考えると、中世の大学は実は社会からの要請にこたえる「実学」を教授するものであった。中世の大学は医学、薬学、法学、神学を扱った。これら実学を要領よく教えるために縦割体制になった。一方、ギリシャのアカデミーは物事の形而上化を行った。したがって分野にとらわれない。大学とアカデミーで双方の悪い方をとると、縦割りの中での物事の形而上化がおこなわれ、これがいわゆる象牙の塔というものになる。良い方をとると、分野にとらわれずに社会からの要請に応えるということになり、中世の頃から、今の課題解決は人類の大学の歴史そのものであると思う。

研究室制にはきちっとした教育ができるといういい面がある。しかしよく考えてみると、研究室しかないのでやはり壁ができてしまう。分野にとらわれず社会からの要請に応えるためには、るつぼとなる場の設定が必要だろうということになる。

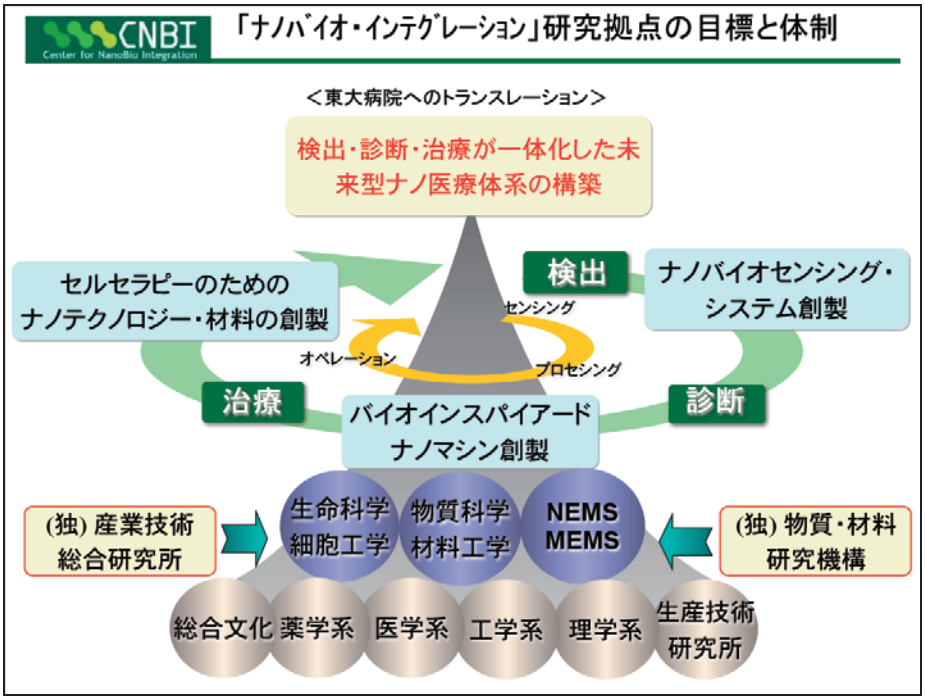



図 2

プロジェクトではいろいろな分野から人が集まって、皆に共通のマインドをもってもらうために、検出・診断・治療が一体化した未来型ナノ医療体系をつくるという明確な目標を掲げた。そして班分けは、ポリマーや金属といった分野ではなく、機能で分けた（図 2）。この図に託したもう 1 つの意味は、上から下に、つまり、「検出・診断・治療が一体化した未来型ナノ医療体系の構築」という目標があって、これを達成するには何をやらなければいけないのかという流れが重要であるということである。

こういったことをやる上で、今までの共用施設は家族風呂のようなイメージであり、たとえば高分子化学の風呂や機械工学の風呂があって、家族は楽しくやっているが、隣の家族風呂で何をやっているのかわからないというイメージになってしまう。そこで大浴場のように皆一緒にしてしまい、協調と競争による研究の進化を可能にしようとした（図 3）。これを実施してみて、るつぼ型にするということが大変重要であることが分かった。

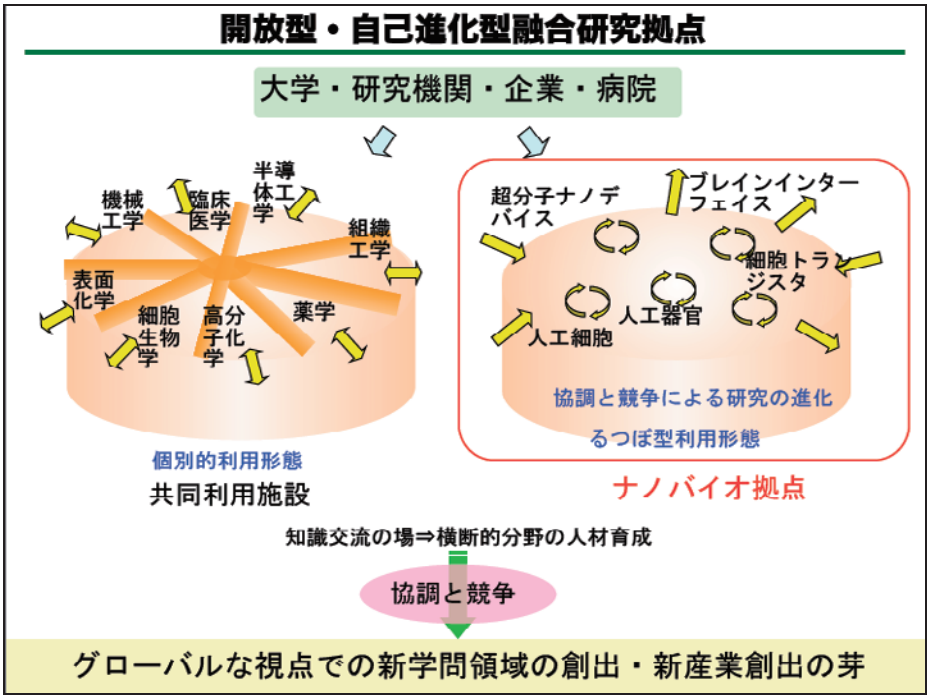



図３

たとえばDDSの研究者は化学会、高分子学会、DDS学会で活動しており、皆同じことをやっているが、同じ大学にいても所属学会が異なると会うことはない。るつぼ型にすると皆１つの「場」に来るので、相手の発表を聞いて思わず冷や汗が出てしまうとか、負けてはいられないという強調と競争が起こる。

経費に関しても、研究者への配分は全体の３割にし、残りは全部共用ベースで使用した。そのうちのかなりの部分が共通機器の整備費と拠点活動の活性化費、それからこの共通機器を整備するために必要な支援スタッフと教員の人件費に支出した。特任教員も特定の教授に配するのではなく、全体をみてもらうという仕組みにした。これを実施するためには場所がないといけないので、医学部と工学部にスペースを貰い、さらに、研究補助員や動物実験をやるために獣医を配置し、常に使えるようにした。共通設備の管理には、インターネットを介した装置の予約システムや、ICカードによる装置の鍵の管理を導入した。

拠点は管制塔で、研究室から拠点という飛行場に赴いてもらい、そこでは研究室のしがらみを越えて皆で一緒に研究をするという仕組みをつくろうとした。とくに若手研究者が装置的な制約から研究が進めにくくなることがないよう配慮した。こういう仕組みを利用して一気に異分野の研究者を離陸させ、離陸した後は、自分で研究費を獲得して研究を進めてほしいという考え方である。

また、意識の共有化が大事なので、全員１泊２日の合宿を人里離れたところでやり、そこで強制的に合宿をして、研究紹介なども実施した。

結果的にどうなったかというと、１つは本当に拠点の中で共同研究をやっているのか、という点については、拠点内共著論文比率の年次推移でみると、始まった当時はゼロだったものが、５年後には拠点の研究者から出る論文の25%が拠点内共同研究になった。これ以上増えると弊害が出てくるので、25%というのはいい数字ではないかと思っている。東大全体の競争的資金獲得枠におけるシェアという点でも平成17年度に比べるとシェア

が上がってきている。受賞に関してもやはり平成 17 年度に比べて増えた。とくに若手研究者に関して顕著であった。

アンケートの結果からみると、とくに研究の進捗、実績、対外的認知数など、研究動向情報に関して、拠点が結構役に立ったのではないかと思っている。異分野の共同研究に関しても、やはりスペースが非常に有用であったということと、情報交換の機会が非常に増えたという結果がでており、これがこういった拠点の 1 つの客観的にみた役割ではないかと思っている。産学連携に関しても、ほとんどのメンバーが産学連携に関与していたが、とくに企業との情報交換の機会、とくにベンチャーとの産学連携に関しては非常に有用に働いたという結果が出ている。

論文に関しても、拠点開始前は特定の研究者間に共著関係が集中していて、実質的には師弟の関係にあることから、本当の意味での共著論文ではないものが、開始後には多様な組み合わせで、かなりネットワーク化してきたという結果が出ている。部局レベルでは工学系、薬学系、医学系というそれぞれの部局内での関係であったものが、工学系を中心にネットワーク、とくに工学と医学が非常に近くなってきているという結果が得られている。

ただ、こういう活動は期間限定でやるのでは、次になかなかつながらない。この点に関しては自助努力をしており、医療ナノテクノロジー人材養成ユニットの立ち上げ、バイオエンジニアリング専攻の設置、教育のグローバル COE など、ナノバイオ拠点で集まった人たちがベースになって現在のリーディングプログラムにつながっている。さらに先端医療工学教育プログラムを立ち上げた。

**医工連携の教育研究努力**

**教育**
**平成15年：医療ナノテクノロジー人材養成ユニット（振興調整費）**
**平成17年：工学系研究科バイオエンジニアリング専攻設立（概算要求）**
**平成21年：学融合に基づく医療システムイノベーション（グローバル COE）**
**平成24年：ライフイノベーションを先導するリーダー養成プログラム（リーディングプログラム）、先端医療工学教育プログラム（概算要求）**

**研究**
**平成17年：ナノバイオ・インテグレーション研究拠点（文部科学省）**
**平成24年：医療福祉工学開発評価研究センター（学内措置）、「低侵襲治療デバイス・マテリアル及びナノバイオデバイス応用革新的医療機器に関する評価方法の策定」（厚生労働省）**

図 4

研究開発が進んでくるとレギュラトリーサイエンスが非常に重要になるため、学内組織で医療福祉工学開発評価研究センターができた。厚労省で今年から始まった革新的医薬品・医療機器評価方法のプロジェクトにも参画して進展を図っている。

こういった課題解決型拠点に対して、たとえば治験に進んでいるものは拠点が出来る前からシーズがあったのだから、拠点の成果ではないのではないかといったコメントをよく受けるが、これは大いなる間違いで、非臨床から治験、承認までのプロセスを研究者が企業と一緒に加速化するのが課題解決型拠点の重要な使命だろうと思っている。また、これはトランスレーショナル事業ではないかということで区切ろうとするが、資金や人を切り分けてしまうのは、実体とまったく乖離しており、同じ人が両方にコミットしてやらない限り、絶対にうまくいかない。大学研究機関の拠点はベンチャー的に行うことが加速につながる。この点がきわめて重要であり、医師主導治験をいくらやっても産業にはならない。医師主導治験は、要するに企業がやらないから医師がやっている。これをいくらやったところで産業は生まれない。大規模国際企業治験に持ち込むことが必須で、これにはシーズ、非臨床、治験、承認までをシームレスに１つのところでやる必要がある。したがって、基礎段階、応用段階、トランスレーショナル段階という各段階を別の拠点にして、別々のプロジェクトにし、別々の公募の中でプロジェクト採否が決まるというのは実にナンセンスであり、シームレスにやらないと意味がない。

一方、対極的なものとして、いつ実用化できるかわからないような研究課題が設定されているといったコメントもあるが、これも大いなる間違いで、目前の山火事の消火を考えるだけでなく、なぜ山火事が起こるのかを分析し、その原因を絶つ抜本的な解決法を提示しない限り、単なる蕎麦屋の出前のような研究拠点になってしまう。このようなコメントに見られる考えによって課題解決型拠点を分けること自体がナンセンスで、同一のプラットフォームで融合的におこなうという発想でやらないと、うまくいかないのではないかと考えている。

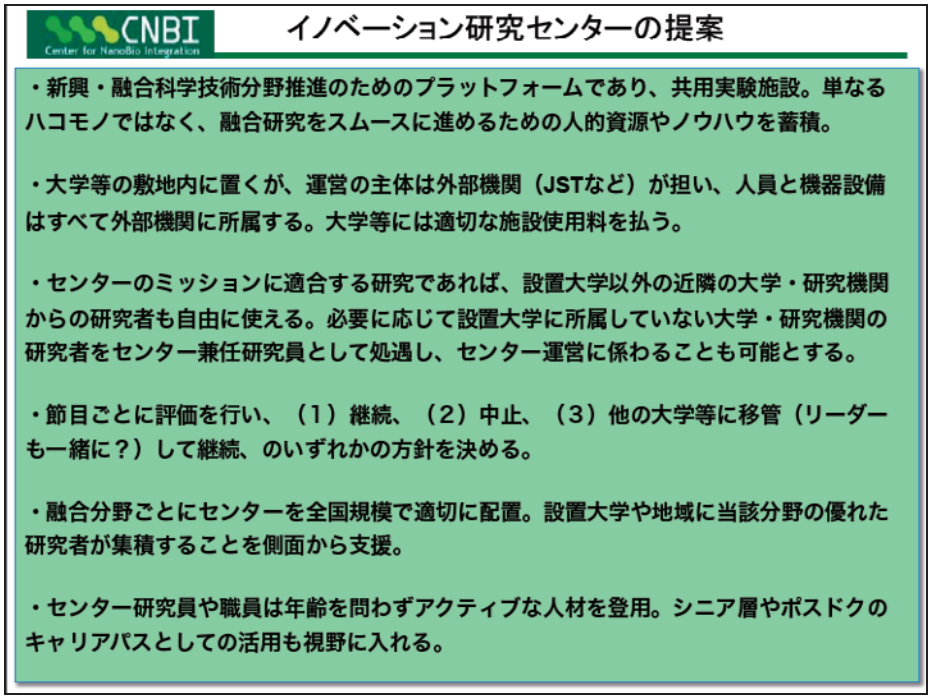



図５

「イノベーション研究センター」（図 5）は前にも提案したもので、新興・融合科学技術

分野推進のためのプラットフォームであり共用の実験施設であるが、単なるハコモノではない。融合研究をスムーズに進めるための人的資源やノウハウを蓄積する。大学等の敷地内に設置するが、運営の主体は外部機関が担う。つまり大学に全部引き渡さない。そして人員と機器設備はすべて外部機関に所属し、大学等には適切な施設使用料を払う。センターのミッションに適合する研究であれば、設置大学以外の近隣の大学・研究機関からの研究者も自由に使える。必要に応じて設置大学に所属していない大学・研究機関の研究者をセンター兼任研究員として処遇し、センター運営にかかわってもらう。評価については、継続、中止のほかに、他の大学等にリーダーも一緒に移ってしまうという第三の選択肢があってもいいのではないかと考えている。つまり「イノベーション研究センター」は機関を補助するための拠点ではないので、その研究分野を活性化する拠点であれば、どこにあってもいいという発想が必要だろうと考えている。そして融合分野ごとにセンターを全国規模で適切に配置し、設置大学や地域に当該分野の優れた研究者が集積すれば、「我が大学は」、「我が省は」といったことから離れたもっと融合的なシステムができるように思う。

もう１つは、やはり世界に日本の研究サポーターをつくるということが必要だと思っている。たとえば人材流出・技術流出への危惧がいろいろといわれているが、どうやって防ぐかという議論では内向きになってしまう。大学はもう国際化していて、実はもうたくさん外国人が来ている。人材はますます国際的に流動化していくので、情報や技術が漏れるのはもう常識・前提で、漏れることを前提にものごとを考えないとうまくいかないのではないか。顕在化する前の科学技術情報を取り込んで、その一方で日本発の科学技術の世界標準化を後押しするようなネットワークを構築していくことが、きわめて重要なのではないか。例えば、ドイツのフンボルト財団の予算はドイツの外務省から出ている。世界各地からの奨学生や財団が賞を与えた顕彰者などを Humboldtian として登録し、組織化をして Humboldt Network というものを作っている。そして Humboldtian の継続的なドイツとの交流を支援して、ドイツへの最新科学技術の取り込み、ドイツからの科学技術成果の世界展開を加速するということで、財団のポリシーは、研究課題を支援するのではなく、研究者個人を支援するという形でやっている。これは言葉を替えていうと、ドイツのサポーターをつくるということである。日本も日本のサポーターをつくらなければ、いろいろな意味で難しいのではないかと思っており、日本の外務省にもこういった取り組みで頑張ってほしい。

【質疑応答】

■ 最初のプロジェクトで集めた人材ネットワークは、次のフェーズに入っても強力に動いているということか。

→その後につながっているプロジェクトでは、ほぼこのメンバーが全部そのまま活きている。ヒューマンネットワークが一度できると、それがベネフィットだと感ずる限り継続する。

■ 異分野融合がエスタブリッシュされてしまうと、それがまた１つのエスタブリッシュされたものになってしまうということはないのか。

→新しい分野を切り出すと、別の人がやろうとすると「これは俺がやるのだから、お前は

やるな」という発想が出てきてしまうので、できるだけオープンにしてやることが必要だ。たとえばバイオエンジニアリング専攻というのは、専任教員の他に協力教員がいて、協力教員が固定化しているのが少し問題ではあるが、学内措置でいくらでも入れたり出したりできるので、そういう仕組みをつくって、なるべく固定化しないといった工夫はしている。

■　連携が成功した理由は何か。
→考え方としては、「俺はこれが必要なのだから、お前もってこい」というような、つまり「私つくる人、あなた使う人」のようにはならないようにすること。そこで、まず人材養成ユニットから始めた。これは 1 人の個人の中に「医」と「工」の両方が入った人材を養成しようということである。医師が手術をしているときに、工学の人が文句をつける、それから、医学部の人が装置開発をしてしまうなど、そういうふうにもっていくことがすごく重要だと思っている。それから、要するにセクトをつくらない。皆で合宿をするなどして、お互いの技術、研究紹介を 10 分ずつ全員やるなどして、なるべく情報を公開した。日本の大学の場合、同じ学内にいても、教授会ではサイエンスの話はしないから、「初めてあなたが何をやっているかを知った」という話が結構あり、そうすると、お互いに元から知っている人なので、割とすんなりと連携が進む。学校の壁を越えるというのは大変大事である。

■　バイオに限らず、非常に若い領域で、教育のプログラムをつくって専攻までつくったときに、実は産業のほうが遅れていて成熟していないという一種のジレンマがある。そうすると、ああいう一種の横型専攻をつくったときに皆、学生は自分自身のディシプリンのところに戻って就職を探さざるを得ないという大変な難題があるが、この辺はどのように考えているか。
→まず研究科として完全には独立させない。だからバイオエンジニアリング専攻は工学系の中にある。企業の方に聞くと、たとえば化学企業などは顕著だが、医療は将来非常に重要なターゲットなので、化学に根があってバイオのこともすっと入っていける人材は非常に必要であるといった意見があり、企業もかなり理解されているのではないか。

■　「イノベーション研究センター」の提案は、まさしくオープンイノベーションで大変面白いアイディアだと思うが、運営の主体を外部機関が担わせるというのは可能か。
→センターを設置した機関に張り付けてしまうと、そこに未来永劫くっついてしまうので、それが本当にいいことかどうかという疑問がある。たとえば大きな大学にいると、それだけがメリットになってしまって、たとえば若い人の場合、だからそこにいるのだという発想が出てきてしまう。しかし、ある程度それをオープンにすれば、たとえば東京、京都、大阪、あるいは他の都市でも、こういうものがあれば、そこへ行ってやることができる。これはおそらく大きな大学にいる人にも刺激になるのではないか。大きな大学にいる人は、本当に自分に能力があって、そういう成果が出ているのか、たまたまそこにいるから出ているのかがわからない。若手 B ぐらいの研究費をとってここに来てやると、大きな大学にずっといるプロパーの人よりもはるかにいい成果が出たりすると、そこにいる人にもすごい刺激になるし、本人にも自信がつく。また、第 3 の選択肢として述べたように、評価も継続か中止かだけではなく、他の大学に移してしまう、リーダーも一緒に行ってしまうというのも研究機関にとっても刺激になるし、本人にとってもやる気が出るし、そう

いう流動性が必要だ。私が心配なのは、やはり独法化してから、ますます各研究機関がある意味ではすごくアイデンティティが出てきたのはいいが、一方においては「我が大学」といった意識がものすごく強くなっていることである。

■ 融合や連携など、こういうものを1つの目標にしたプロジェクトをうまく成功に導くためには、おそらく受け入れる研究室だけでなく、属する研究機関のマネジメントのサポートが非常に重要になる。もう1つはプロジェクトが終わった後の継続性、この2点についてうかがいたい。第1点は、研究拠点共通実験室を作ったときに、工学部と医学部がある中で大学のマネジメントの強力なサポートがあったか。第2点は、この実験室は今も継続しているのか。

→サポートということに関しては、工学系の研究科と医学系の研究科には全面的にサポートをもらった。共通実験設備に関しては、医学系のほうはそのまま残っており、同じように運営している。工学系のほうは建屋の建て替えがあり、一部を移設して運用を継続している。外部資金のサポートがなくなったので大変ではある。ただ、学内的にも各研究室が機器を溜め込んでいるというのは、スペースも無駄になるし、よくないということで、共通化するという意識は随分出てきているように思う。

■ 目標設定が重要。コンセンサスが得られる課題をいかに冷静に見つけるかにかかっているのではないか。地震が来るということが5年後だとわかっていれば、おそらく誰も反対することなく、地震学と材料学とが共同する。そういう設定をする冷静な、しかし熱い目が要るのではないか。

■ 半導体のナノ分野では、サンタバーバラの研究グループが複数の教員が協力して、いい成果を挙げているという有名な例があるが、彼らがそれを始めた頃によく言っていたのは、ハーバードやスタンフォードは1グループで十分にスペースも予算もあり、一緒にやる必要がないので、皆エンパイアになる。おそらく大学にはそういうところがあって、リソースが自分のところで十分だというときには、協力のモチベーションが少なくなる。そうすると、やはりリソースが不足している人たちが大活躍するというのが1つのインセンティブではないか。それは若い人たちに当てはまる。もう1つは、やはりリソースは十分あるのだけれども、もっと高いもの、もっと新しいところへ行きたいということで連携するというあり方。東大はかなりエンパイアをつくれるような人たちがたくさんいるので、難しい環境でやられたのに成功している。その辺の分析を教えていただきたい。

→確かに予算的に恵まれた研究室もあるが、そうはいっても自分の研究分野を一気に、あるいは部分的にも移そうとすると、やはり一から全部いろいろなものを揃えていかなければいけないため、踏み切れないという部分が結構あったのではないかと思う。しかし、共用拠点があるおかげで一気に踏み込めた。1回踏み込んでしまうとやめられない。それから結構よかったのは、とくに若い研究者が、共通設備だけで研究できてしまうので、お互いの中で情報交換したり、サンプルをやりあったりしていくうちに、そこから成果が出てくる。成果が出てくると、教授は文句をいわない。

■ 今のようなセンターに対して、企業側からみると、どのように見えるのか。参加したいという意欲が湧いてくるのか、あるいは「ここが足りないね」ということがあるのか。産学連携を新しくつくっていくために意見をお聞きしたい。

→大いに参加すべきだと思う。ある分野を加速したいという目的でつくるものについては、筑波にもそれに近いものはいくつかあったと思うが、半導体だったので、それが最終的に成功したかどうかという議論はいろいろあると思う。日本に全然なかったわけではないが、こういうものを今後もつくっていかなければならない。

## 「トップサイエンスからトップイノベーションを生み出すには」

**細野 秀雄（東京工業大学）**

私は材料屋である。物質の中で社会に直接役に立つものが材料である。理想の研究は何かと言われたら、次の 3 つがアンド（AND）で結ばれることである。まず、ネイチャーやサイエンスぐらいに論文が出なければ仕方がない。2 番目に、それが世の中の社会的困難の解決あるいは産業化につながるということ。3 番目が、それを通じて権威に媚びないような志のある学生が育つということ。この 3 つがアンドで揃うということが自分の理想とする研究である。

1999 年から 2010 年まで、私は ERATO と ERATO-SORST で多額の研究費を使った。そこから出てきたものが何かということを 3 つにまとめた。

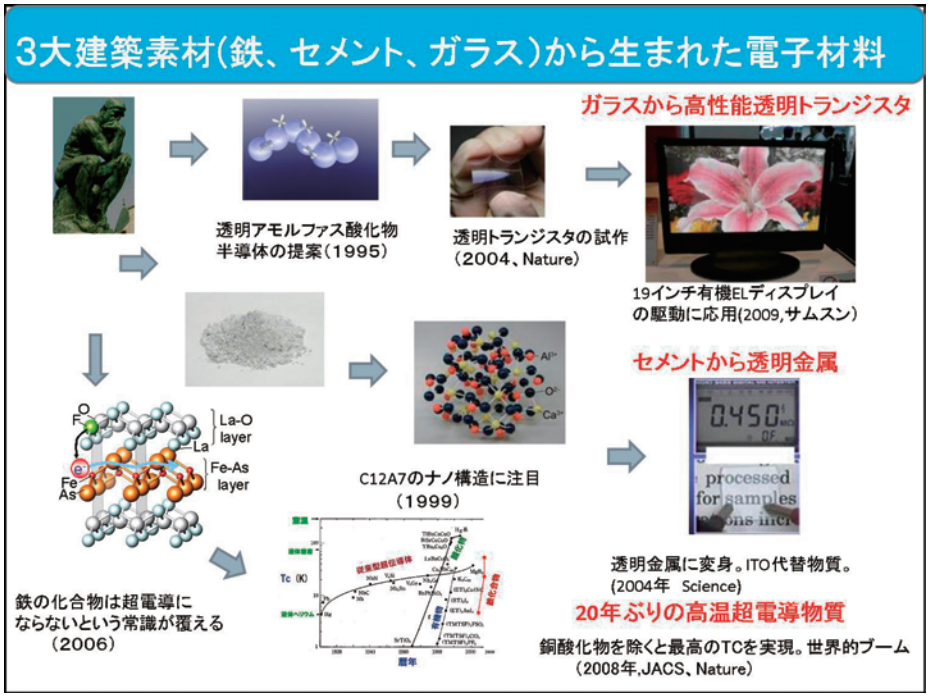



図 1

ひとつはこれから話をするガラスの半導体で iPad ができたという話である。2 番目はセメントに電気が流れるようなって金属になる話、あとは世界の超伝導の論文の 70%を占めるようになった鉄系超電導の話である。最後のものは論文ばかり多くて Tc が全然上がらないという非常に困った状況にある。

実は、C12A7 エレクトライドでアンモニア合成の触媒機能を研究したかった。アンモニア合成の触媒は 100 年変わっていないので、これを何とかやってやろうということで本気になっている。C12A7 エレクトライドのケージの中に電子を入れると金属になってきちんと表面をつくり、表面に高濃度の電子（～ $10^{13}/cm^2$）、低い仕事関数（2.4eV）となる。カリウムと一緒だが、手で触っても大丈夫である。この上に窒素分子を吸着させると、反結合性軌道に電子が入るので、N－N結合が切れやすくなってアンモニア合成ができるだ

ろうという考えだ。いま使われているルテニウムの触媒より 1 活性点あたりの turnover frequency が 10 倍になり、反応速度は半分になる。ルテニウム触媒は水素で被毒してしまうが、これは 10 気圧に上げても、ほとんどリニアに上がり被毒しない。今までの欠点をある意味では全部克服したと思っている。これが直ちに使えるかどうかはわからないが、こういうものをやりたい。これは他人の領域、触媒の領域にズカズカと入っていくことになるわけで、そういう仕事が材料屋としては一番面白いと思う。

アモルファス半導体については、大学院生の時、田中一宜先生の話を聞いて、将来、アモルファス酸化物の半導体をやりたいということが 20 年ぐらい前からずっとあった。それまでのアモルファス半導体は共有結合性のものしかなかったので、イオン結合性のものをつくりたいと思っていた。あるとき透明導電体のできそこないが出来て、調べてみるとアモルファスなので、移動度を測ったらやたらと大きかったとことが始まりである。

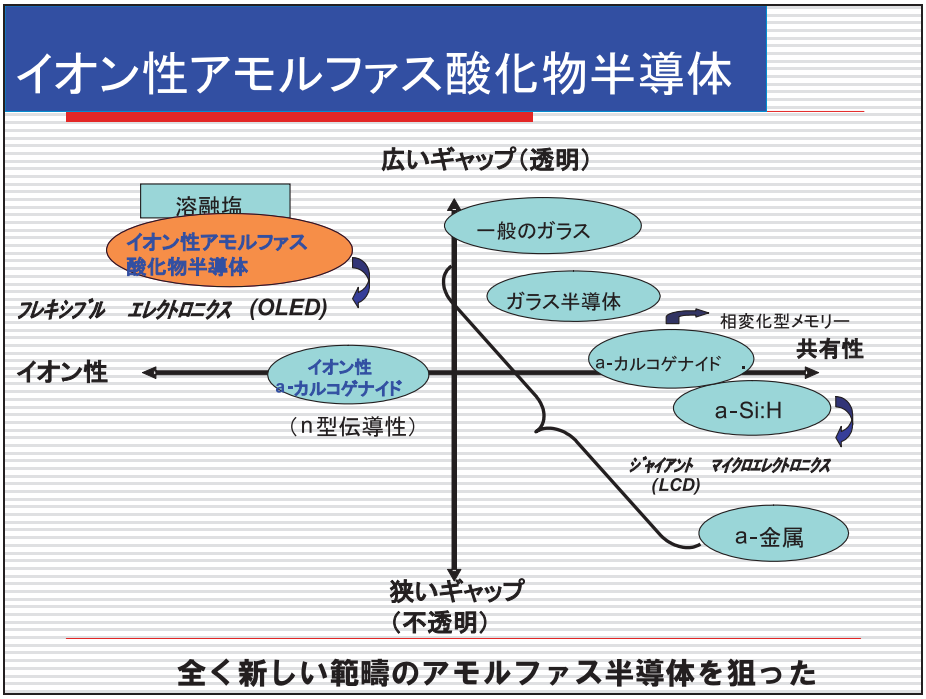



図 2

もともとは実用化などまったく考えず、新しい範疇のアモルファス半導体を創りたかった。それまでシリコンやガリウム砒素（GaAs）などテトラヘドラル系しかなかったが、イオン結合性のものがあるはずだと思った。シリコンの電子移動度は結晶で 200cm²/Vs ぐらいあるが、アモルファスにすると 0.5 cm²/Vs ぐらいになってしまう。アモルファスにすると、安かろう悪かろうで性能が落ちてしまう。本当にそうなのだろうか。そんなことはないのではないか。イオン結合性で考えたら（N 型で考える）、伝導帯の底は全部軌道が丸い数珠でつながっている s 軌道でできているわけだから、真っ直ぐにしても曲げても、パチンコ玉でできた数珠の電導度は変わらないだろうということになる。こんな発想で、重金属の s 軌道でできているものを使う。そうすると、実際にいま使われているアモルファスシリコンの 30 倍ぐらいの性能のものが簡単にできたわけである。

では、どこに応用があるかというと、フラットパネルディスプレイの背面にあるスイッチであるアクティブマトリックスの TFT になる。液晶だけではなく有機 EL も含めアクティブマトリックスのディスプレイ全部にこれが必要である。1975 年に見つかった水素化アモルファスシリコンを TFT として 30 年も使っている。

私が初めてこれを神戸での第 16 回アモルファス半導体国際会議で発表したときには、酸化物の発表は 900 件のうち 1 件であり、私が発表して帰るときに「細野さん、ここはあなたの来るところではないよ。ここはガラスの会議ではなく半導体の会議だよ」と言われたので、相当腹が立って、「こんちくしょう」と思って頑張ったわけである。

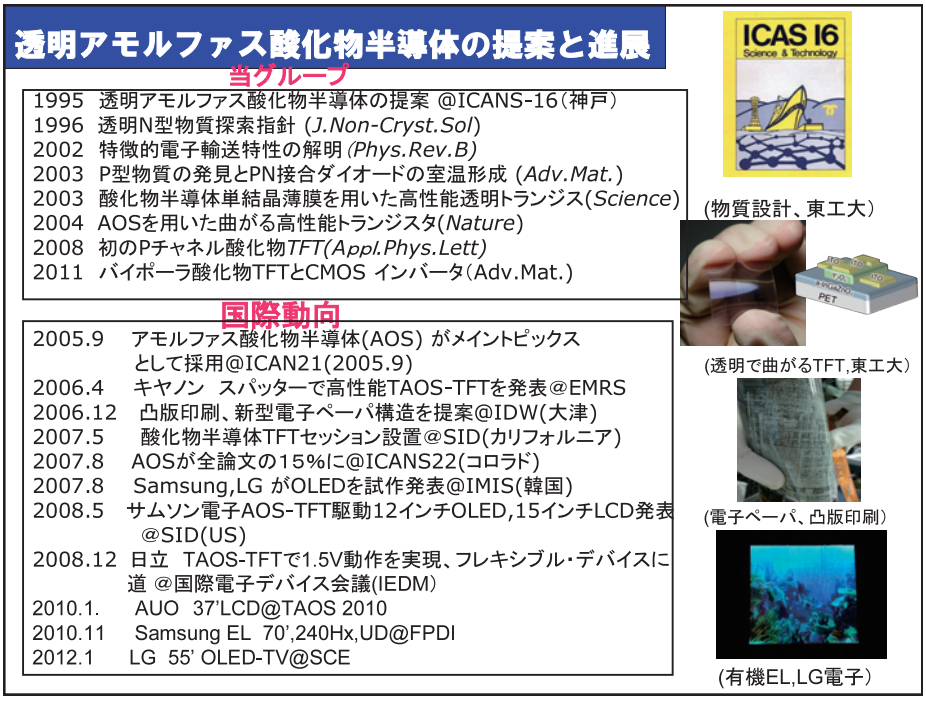



図 3

これはスパッタで簡単にできてしまうので、95 年にそれを発表し、2003 年ぐらいに PN をつくり、2003 年に薄膜のエピタキシャル膜で多結晶シリコンに近い移動度、2004 年 11 月にはアモルファス酸化物半導体を使ったトランジスタを示した。実はこれがいま世の中でいう IGZO である。今は私の手を離れており、あとは企業が頑張った。本気になったのはサムスンである。サムスン中央研究所だけでなくサムスン電子という現業が入ってきて、学会で酸化物 TFT の研究が多くなって、世の中はすっかり変わった。今回シャープが IGZO を産業化したと言っているが、あれはシャープの意志ではなく、アップルの意向であろうと推察している。アップルがどこかにつくらせなければいけないということで、実は学会ベースで動いたのである。学会の事業化だったのであり、今となっては非常に重要なところだと思う。

特許を出したら韓国から拒絶が来た。実は私自身は特許にあまり興味がなく、大型研究費を得たのだから特許ぐらい出さなければ怒られるという程度の認識で出していた。ところが審判請求をやっても、容易に類推できると却下になった。「容易に類推できる」と言われては研究者として絶対に引っ込むわけにはいかないので、ここから初めて本気になっ

た。特許を担当した人が、「裁判所を相手取って、無効訴訟をやっても勝つ確率は 10% なので、素人はやめなさい」と言われたのだが、「容易に類推できる」だけは収まらず本気になった。その結果、これをひっくり返すことができた。審査官の論理は、要するにキャリア濃度が低くて、コントロールできれば半導体は皆 TFT になるというものだった。アモルファスシリコンがそうだったので、本にはそのように書いてある。しかし、そのようなことはなく、アモルファスシリコンは例外だった。ところが、教科書は失敗したものの歴史は書いておらず、非常にうまくいったものだけでできている。だから、後から勉強すると当たり前に見えてしまうわけである。それで、実は重要なのは裾状態の密度とキャリア濃度であり、キャリア濃度だけではないということをきちんと説明した。テイルステートがあってキャリア濃度が少なくても、窓ガラスは全然 TFT にならないということをきちんと 1 時間説明した結果、原決定を取消し差し戻すとの判定が来た。ここまでに数カ月かかった。

我々が 2004 年にやった後、いろいろな応用が出てきた。例えば、ディスプレイでは G8 のスパッターゲットがあり、アルバックは G8 の基板上に IGZO の TFT を一様につけることができた。それが IGZO TFT を後押しし、シャープや、今年 55 インチを出すといっている LG も酸化物 TFT になっている。

7 月 20 日に、JST とともにサムスンへ特許ライセンスをした。すると新聞が書きたて、「JST、日本の先行技術をサムスンに先行供与」と書かれた。「先行供与」という日本語は、あげてしまったということだが、実は単に通常実施権を出したにすぎない。この後が大変で、JST だけでなく私のところにも多くの苦情や質問が来たので、日本のどの企業にも平等に声をかけた経緯を説明した。日本の企業がやらなかった理由はもちろん様々あったと思うが、サムスンがやるとなったら日本の企業が後からたくさん来たわけである。

もう 1 つの面白い話は、ちょうどサムスンにライセンスした後、台湾の物理研究所の所長のモーケン・ウーさんから「たまには細野さん、来てよ」ということで台湾のナノテク展に行ったときのことである。すると、テリー・ゴウという人が会いたいと電話がかかってきた。「台湾で一番大きい会社だから会って」ということで行ったわけだが、この人に「お前はけしからん。サムスンは日本と台湾共通の敵であるのに、サムスンにライセンスするとは何事か」と怒られた。それで「何を言ってるんだ、通常実施権を出したにすぎない」と言うと急に態度が変わって、「それなら、お前はいくらで売るのだ、何が欲しいんだ」いうので、相当腹が立ったものだから、“Freedom of research”と言ったわけである。すると黙ってしまった。ライセンスしても、ライセンスするだけでは製品はつくれない。要するに全部が欲しいわけで、技術や初めにやった人に対するリスペクトが感じられなかった。そのかわり、ビジネスに対してはものすごく厳しい姿勢を持っている。その場を後にしてから、彼が鴻海の CEO であることがわかった。そのときは全然知らなかったが、実はサムスンに匹敵する大企業である。最近、新聞を見るたびに、この人がよく出てくる。これはある意味で、私自身が特許を持っていたから会えたということで、やはり論文だけでは駄目というのが教訓である。

まとめを示す。

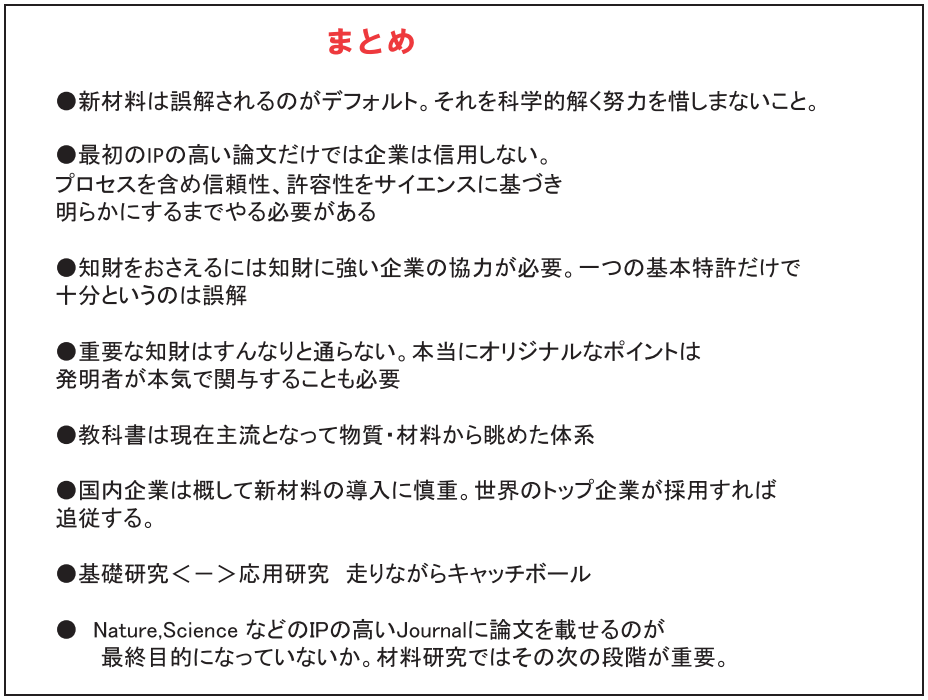



図 4

これだけを言えればいいのだと思うが、新材料ははじめから理解してもらうことはできない。例えば、アモルファスシリコンは水素の中でつくるので、同じように酸化物を水素の中でつくると、初めから電気が流れてしまい TFT にならない。こういうことを全部説明しないと駄目である。このため、科学的にきちんと論文にして説明していかないと、産業界は納得しない。それから、企業は最初のインパクトファクターの高い論文だけでは、どうせいいところだけをとって論文を大学が書いているのだからと考え、信用しない。プロセスの信頼性・許容性をサイエンティフィックな意味で明らかにする必要がある。

重要な知財はいろいろなところから横槍が入ってすんなりとは通らない。このため、本当にオリジナルなポイントについては、発明者が本気で関与しないといけないと思う。研究をやっている人間にとって、これは相当辛いが、やらなければならない。特に、私は材料屋と言っている以上、やらざるをえなかったということである。

教科書は、現在主流となっている物質・材料から眺めた体系であって、現在の半導体の教科書はシリコンの立場で書かれている。このため、ものが変わればまた変わるのである。

国内企業は、概して新材料の導入に慎重であるが、世界のトップ企業が採用すれば、黙って追従する。これは嫌味だが、事実だと思う。それから、基礎研究と応用研究を独立にやるというのは難しいと思う。走りながらキャッチボールしていくように、研究相手がどんどん変わっていく必要があるのではないかと思う。

これは特に物質・材料研究の場合であるが、ネイチャーやサイエンスに書くのが最終目標になっているのではないかという気がする。材料という言葉からすれば、やはりそれは中間なのである。この後をどのようにするかというところまでやらないと、材料屋としては完成したことにはならない。

最後のメッセージは、とにかく成功例を増やすことである。身近にそういう例が増えれば、状況は劇的に変わるのではないかと思う。

【質疑応答】

■ 企業から見ると、日本の産業が煮詰まったときの図式がすごくよく出ていて、こういうことが1つのブレイクスルーになっていると思う。もう1つは、研究成果をどういうところに活用するか、これはインターナショナルに活用している例であるが、やはり出口を少し広めにするべきである。日本の産業の中だけで考えているとすごく狭くなってしまう。いくつかのところは日本がきちんと押さえているところがあるので、そういう出口の設計をするときに、今までよりは少し広め、フレキシブルに考えることが重要である。そういうことをこのケーススタディが教えてくれ、非常に重要なものが出ていると思う。

■ どうして、サムスンの前に日本企業がライセンスを受けなかったのか。

→液晶の工場は1つ建てるのに1,000億円。最近のものは2,000億円以上かかる。シャープが苦しんでいるのはその回収であり、工場の操業度がフル生産の9割を切ると、非常に厳しいことになる。一度投資をしてしまうと、その回収が終わるまで次のものを簡単に建てられない。新しい工場は、回収に最低5年かかる。ほとんどの液晶の会社は、アモルファスシリコンで非常に大きい工場を建ててしまっていて、先に投資したことが足かせになって、新しいテクノロジーが使えないのである。この分野はあまりにも早く新しい技術が出てきたので、5年の間に次の技術が来てしまったという、少し残念なことが起きてしまったのである。これは事業規模の問題であるが、サムスンは続けて工場を建てられる。ところが、日本の会社では、1つ2,000億円の工場を毎年建てるのは、ほぼ不可能である。

エレクトロニクスも同じである。なぜ存在感がないかというと、非常に古いインフラで稼いでいるので、新しいインフラあるいはビジネスモデルで稼いでいる会社よりも稼ぎが悪い。端的にいうと、欧米の先端企業に比べると、日本の企業の稼ぎは半分ぐらいであり、再投資がきかなくなっているという問題がある。

細野先生の例のように、テクノロジーがきちんとエンジニアリングに結びついていく例はグローバルにみればあるので、これをどう捉えるかという議論をしたほうが実りはあるだろう。

■ 新しい材料は大概無視されることが多く、誤解されることはあまりない。ある程度の興味を持たせるレベル以上の性能・機能が出てきたときに、突然、注目を集めるというのがこの業界である。研究者としていい仕事をしたというのは、新しいものを見つけたときであり、一番ドキッとするのだが、そうでないタイミングで世の中の反応が起こる。

→新材料のブレイクスルーにおいて、大学の人が考えているようなブレイクスルーと、企業の多くの人が分かる形のものとは、理解が違う。研究者にとっては、水素など入れたら酸化物が駄目になるのは当たり前だが、アモルファスシリコンは水素の中でつくっていたわけである。一番面白い質問は、「ダングリングボンドはないのか」と聞かれたことで、これが一番本質的なことだと思う。アモルファスシリコンをやっている人は、ダングリングボンドが当たり前であるが、イオン結合にはダングリングボンドがない。それを説明するのに一番時間がかかったかもしれない。もう一つは水素を使ってはいけないということだった。そこに2年ぐらい、私は呼ばれたところで全部その話をした。なぜかというと、私は材料屋だと言ってこれまで研究費を使ったので、実用で使ってもらわない限りは責任

とれないと思ったためである。一生のうちに「あれは、あいつが作ったんだ」ということをやらないと、学生に対して偉そうなことを言えない。ネイチャーやサイエンスに書いただけでは駄目である。

■ 大事なところは2つある。1つは他人の専門領域を平気でやることであり、すごく重要だと思う。2つ目は、材料の本質をかなりしっかりと理解していた上で出ていることである。

■ 教科書が現在主流になっているものの見方だということが非常に重要な点だと思う。教科書になっている話はもう古い話であり、確立したものしかない。例えば、キッテルの“Introduction to Solid State Physics”の中でアモルファス半導体という章があるが､書いてあるのはアモルファスシリコンだけである。あそこだけを読むと､キャリア濃度が下がったらTFTになるのは当たり前だと思ってしまう。その現場を生きてきた人にとっては、そんなものは例外中の例外である。しかし、教科書というのは後から書かれたものだから、その時代にいないとわからない。教科書は能率よく300ページならば300ページでわかるようになっているが、それは今の時点での視点で書いたものであり、また時代が変われば、違った視点になる。教科書を書く立場からみると、それしか書けない。しかし、それだけではないということを言外ににおわすような教科書を書かなければいけないとうことだろう。

■ サイエンスから本当の意味のイノベーションにつなげるときに、今後CRDSとしてはどんなところを強調して進めていくべきなのか。

→教科書の話にも関係あるが、例えば人工光合成の研究は30年前とほとんど変わっていないのではないか。それは、やはり悪い例を読んでいないことにある。だから、自分で本気に新しいと思っている人もいる。昔からずっとわかっていて駄目なことをやっている人もいるが、それをどうするのかが難しい。

■ おそらく「何が欲しいか」という部分が違うのだと思う。産業界が欲しいのはシーズではない。そして私たちが「ニーズがある」という言い方でも、おそらく違うフェーズまで来ていて、おそらく細野先生がおっしゃったのはその一部である。先生がこんなことができたら欲しいというように、私たちが欲しいのはウォンツである。ウォンツというのは、具体的なシーズやニーズのちょうど中間ぐらいに来ている。これから5年、10年という世界をみたときに、世の中がどう変わって、その本質は何なのかという、この辺の領域というぐらいのイメージがまず先にあって、それをブレイクダウンしたときに機能がどういうふうに設計できるか、さらにそれを材料に落とし込んでいくと、どうなるのか、というようなストーリーになるはずである。だから、今までのように、ほとんどリニアモデルに近いような形でシーズのほうからずっと上げていってしまうと、大きなギャップがある。例えば、韓国では国と民間企業が一体化していって、かなり早い時間で回している。こういう技術を採用していくには、おそらくリニアモデルではもう駄目である。日本がこれからこういうものをやっていくのであれば、こういうウォンツというものを世界に対して見つけていき、それを具体的に

どういうふうに落とし込むかということを、もう少し組織的に真面目に考えるような形での課題設定が必要であるが、まだ十分できていない。おそらく民間企業や大学単独ではできない。JST の仕組みだけでもできないので、国として横断的に戦略のようなものを考えるところに来ていると思う。

→国にそのインセンティブがあるか。言いにくいことだが、今のような人事制度や政治の仕組みの中で、そういうインセンティブを持っている方がどれだけいるのか。それをやるとすると、私はやはり自分たちの手で、少なくとも生きている産業界が何らかの形で仕掛ける必要があるのではないかと思う。

→自主努力という部分は、おそらく民間企業だけでできるものではない。それは産業が融合したようなところで新しい産業をつくっていくことになってくるので、日本という国がどうするかということであって、今の政府が弱いからというのは、また別の議論だと思う。そこのところの仕掛けというものが必要なのではないか。

■ 希土類や非常に希少なものを使って高機能を出すというのも重要だが、極めてありふれた鉄や銅で今までになかったようなものをつくるという、ある意味で本当に元素戦略につながるところに課題を設定すると、いま言ったようなところを生み出してくれるので、そういう設定の仕方を CRDS としても入れていくと良いのではないか。

■ 1 つは元素戦略の場合もそうだが、ある意味で細野先生のサムスンとの間のものもそうだが、ニーズははっきりしている。乱暴にいうと、ある程度のマーケットができている。その中のある一部にいろいろ制約がある。例えば、磁石であれば希少な金属が要るが、その問題を回避するというような戦略である。それができた暁には基本性能はそれを使った場合と変わらないけれども、その制約、コストが下がる。そういう意味では、今までのような新しいものが次から次へと出てくるという時代とは少し変わってきている。いろいろな制約を乗り越えることによって、価格が下がる、需要が上がるというところにクリティカルに貢献でき、しかもこれが学術的に非常に面白ければ、それは非常に素晴らしいものだと思う。従来は何となく新しいもの、無いものだけを言っているようなところがあるので、ここは少し検討すべきことかとまず思う。しかし、それだけでは何も新しいものがないというところもある。そこはやはり将来の社会のビジョンというものがどういうものかということで、それは今まさに言われたことだと思う。わくわくするもの、確実に必要とされるものなど、高齢化や原子力の安定化の問題、万一のときの対応などを含めると、いろいろあると思う。そういうストーリーを元にした技術のビジョンのようなものがあって、そこに抜けているものがあるとするとターゲットになると思う。大きくいうと、今のままのもののどこか一部を学術的に面白く、かつ非常にメリットのあるものにリプレイスするというところが非常に重要な分野だと思う。

■ まさにそのとおりで、やはりイノベーションとインベンションは違う。しかし、混同されているところもある。ネイチャーやサイエンス、あるいはインベンション、それらは＝（イコール）イノベーションではない。イノベーションというのは先生が言われたように、やはり境界条件がある。つまり、それをやることよって境界条件を設定

して、その中でガラッと変えるということなので、そういう意味の研究のやり方を目利きするということが重要である。ともするとインベンションの枕詞に、これはこういうふうに使えるなどと書いてあるが、真面目に考えていない。でもイノベーションを真面目に考えたら、医療などまさにそうだが、こういう条件も設定されているわけである。

■ 先ほどの元素戦略はかなり大きな発想の転換で、境界条件をつけたということだろう。また、昔、我々の頃は車といえばF-1だ何だとガソリンをがぶ飲みしてつくるのが最先端だと思っていたが、今はもう学生の意識も随分変わっていて、燃料が少なく燃費がよくて皆で使えるものが最先端だと思われている。そういうふうに意識が変わってきているように思うし、そういう中で考えると面白いものはたくさんあるのではないかと思う。そういうものがこれからの発想の転換だし、細野先生が言ったようにネイチャー、サイエンスの次をどうするのかということがあまりにも曖昧になっているのではないか。

■ 現代のイノベーションとは何かというのがある。社会的な問題を解決するというもう少し高邁なものももちろんあるが、経済と結びついたイノベーションというのは最近すごくわかりやすくなってきて、類型はだいたい2つになっていると思っている。1つは、提供する価値としては従来からすでにあるもの、まったく新しいというものではない、例えば、テレビならテレビである。しかし、中で何か新しいものが取り入れられていて、その価値をエンドユーザーが享受したり、商売をやっている人がもっと儲かるようになる、というようなタイプのもの。もう1つは、iPadのように従来なかったもので、新しい市場の創造のようなもの。この2通りがあって、両方とも私の理解では、サイエンスとテクノロジーから来ている。

■ 細野先生の技術が産業に受け入れられるには、実は非常に重要な理由があった。それは、液晶の精細度が高くなったことである。すごく細かいパターンを出さなければいけなくなったので、アモルファスシリコンのTFTでは流せる電流が足りない。電流を流すために大きいトランジスタにすると、開口率が下がって小さい絵が出ない。トランジスタを大きくせず大きな電流を流すためには、ポリシリコンのTFTにしなければいけないが、装置がものすごく高い。解像度を上げても値段を上げたくないということで、新しい材料が欲しいという強烈なニーズがあった。結局、液晶が使われ方のほうで進化していって、技術的な要求が出てきたのが非常にはっきりしている。実はその後、アモルファスシリコンも随分と進歩はするが、やはり限界があって負けていくわけである。このようによくよく見ていくと、サイエンティフィックな従来の発想からジャンプするところと、産業がテクノロジーの使い方で行き止まりまで行ってしまっているということが、ちょうど合った時期なのである。ある意味ではラッキーといえなくもないが、これは努力しないとそうならないので、そういうことをもっと増やすことが重要である。サイエンスに対する深い理解と、商売をいったいどうするのだという悩みとが合うと答えが出てくるというようになっていて、それをどうやってこの国でたくさんつくっていくかということなのだと思う。

## 「事業を創造する技術・製品とは　（国際競争における日本の課題）」

塚本 建次（昭和電工）

技術と事業はなかなかつながらない。私は今年 3 月まで CTO をしていたが、研究開発というものは投資をしてもなかなか事業にはならない。研究開発の現場では技術的にはうまくいくし、特許もとれる、ところが残念ながら事業になかなかならない。東大の妹尾堅一郎先生なども言われているように「技術で勝って事業で負ける日本勢」という、なぜこのようなことが起こってしまうのかについての考えを述べたい。

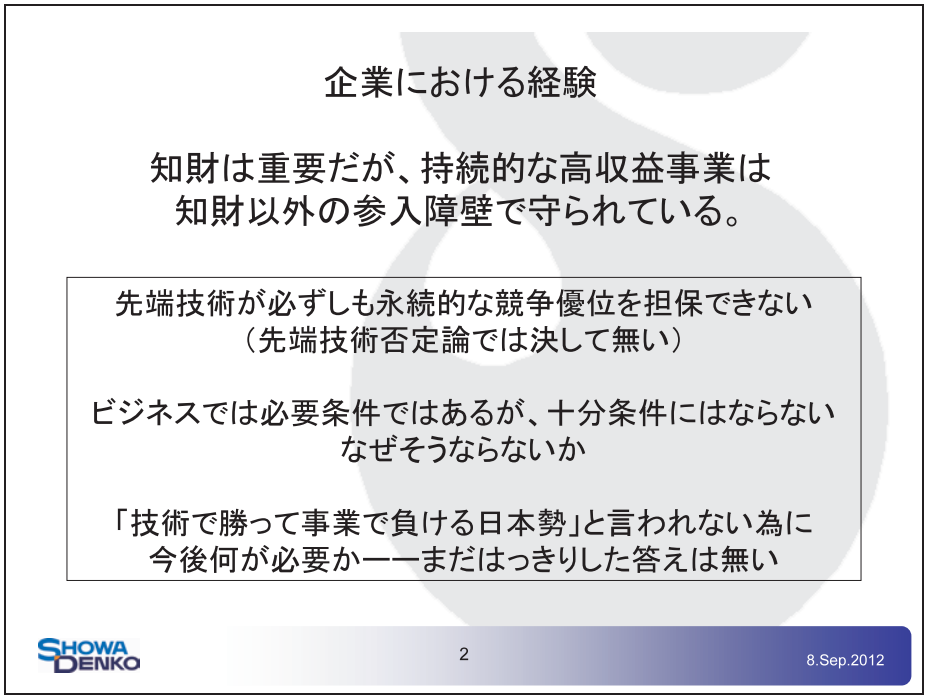



図 1

知財は非常に重要である。もちろんサイエンスや技術をないがしろにする気はまったくないが、事業ということを考えるとそれだけでは極めて不十分である。とくに競争優位を確立して海外の競合に勝つことを考えた場合は、技術以外のところでの競争のほうが極めて多いということをまずご理解いただきたい。

当社は年間 240 億円ぐらいの開発費を投じており、全国の上場企業の 78 位、上位の大企業とは 1 桁～ 2 桁も違う世界だが、仮に 5 年間この費用を使うと 1,200 億円使うことになる。上場している当社の企業価値は 2,000 億円程度にまで縮んでおり、開発投資を 5 年間何もしなければ、昭和電工クラスの会社が買収できることになる。株式を 51% 取得すれば買収できるからである。今我々の属する化学産業において、2,000 億円で買収できない会社は、三菱化学と旭化成など数えるほどしかない。ほとんどの会社は 2,000 億円もあれば簡単に過半数を握れるのである。つまりそれほどお金は使っていても、なかなか事業の答えが出てこないというのが現実だ。この辺りの悩みも含めて日本企業の事業創造の問題点を示す。オープンイノベーションの重要性を 5 年間ほどずっと社内でも唱えてき

たが、残念ながらなかなかそうはならない、これはなぜなのか。

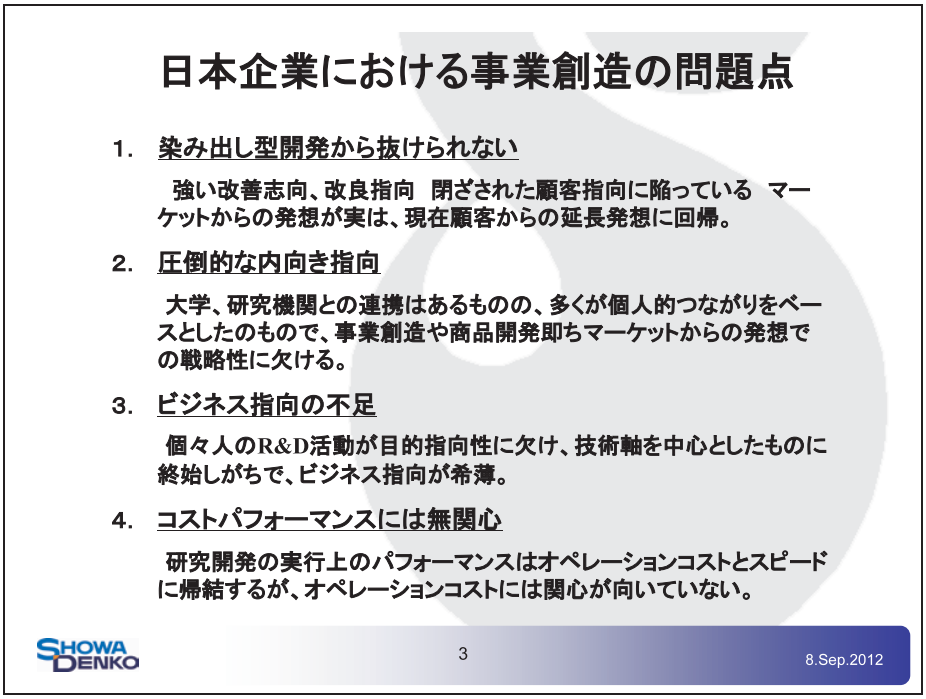



図２

１．染み出し型開発から抜けられない。これは企業だけでなくおそらく大学の研究室もそうだと思う。世の中が変化して、今の技術のトレンドではどうも不連続なことを起こさなければいけないのだけれども、やはり自分たちのレガシーの財産、知識、あるいは企業ではレガシーコスト、それらをなかなか捨てられない。どうしても延長で考えてしまう。それから２．圧倒的な内向き志向。昭和電工も大学と随分付き合わせていただいているが、多くは個人のつながりで、戦略的にこういう方向へ持っていこうという人は非常に希薄である。これは私自身の責任の問題でもあるが、全体で何百人規模の研究員がいるとなかなか細かいところまでは目が届かない。気がついてみると「なぜそんなことをやっているんだ」ということがよく起こっている。そして３．ビジネス指向の不足。特に企業内の研究者というのは、当然ながらビジネス化を考えなければいけないが、どうしても技術軸だけで考えてしまう。たしかにサイエンスとしては面白い部分がたくさんあるが、事業にはならない。最大の企業内の問題は４．コストパフォーマンスには無関心。コスト意識が非常に低い。当社でも例えば４～５人のグループである研究をしているとすると、「これはいつ成果が出るんだ？」と訊くと、「まだ随分かかります」と返ってくる。「相当お金を使っているんだよ」というと、「いや、研究開発費は2,000万円ほどしか使っていません」という。ところが５年も抱えれば１億円ほど飛んでいるわけで、その認識が非常に薄い。パフォーマンス、特にオペレーションコストに意識がいかない。そして何よりスピードが少しずれている。企業内であってもそういう意識でいる。

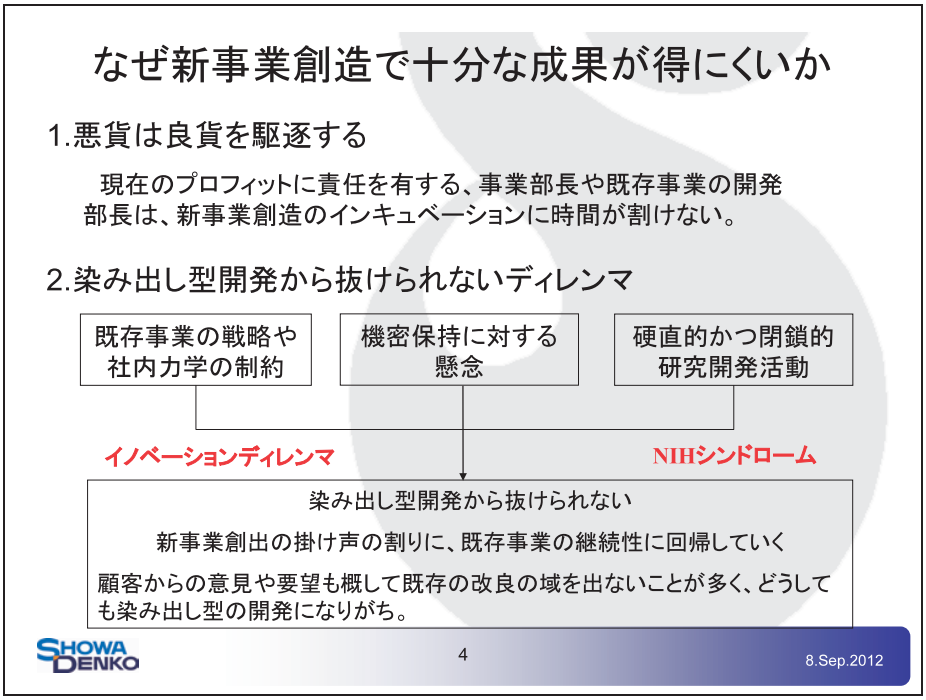



図 3

なぜこうなるのかということだが、基本的には「悪貨は良貨を駆逐する」。いま 1 兆円弱の事業を抱えているが、目の前の事業が当然一番大事であり、まずはそこでいかに収益を上げるかになる。その先のことになると今の事業部長あるいは既存事業の開発部長は、目の前のことに非常に忙しいために、時間のかかるもの、特に素材のように 10 年かかり、10 年先のことまでコミットして進めるというのはなかなか難しい。年度予算は、最近では四半期の実績を株主に求められるから、その辺りはどんどん悪化している。染み出しから抜けられないということでは、まさしくイノベーションジレンマだが、今の事業の延長でどうしてもものを考える。するといわゆる破壊的イノベーションを起こすような素材というものは、場合によっては顧客を敵に回してしまうことになりかねない。そのような恐怖心があって、社内でたまに提案があっても途端に現業の事業部長が「そんなことをやると、今の最大のお客様から総スカンをくらうからやめておけ」といったことが起こる。もう習い性だが研究員は「Not invented here（ここで発明したものではない）」。自分たちがやっているものが最高だと常に思っている。一方で社外あるいは海外でもっと進んでいる研究があるということになかなか意識が向かない。こんな構造になっている。

私は 40 年間企業生活をやってきて、30 年間は生産技術だった。研究開発には 4 つの無駄があるということをずっと社内で言い続けている。シーズ指向の研究開発の無駄、要は非常に面白い技術ができるが、その結果、誰に使ってもらえるのか、どの産業に活かされるのか、要は提供する価値は何か。案外、企業内研究者でも考えていない人が極めて多い。残念ながら私の指導不足も含めて、ターゲット顧客をなかなか設定しない。それから多くあるのが、ワンポイントのチャンピオンデータで「出来たできた」といい、いざプラントを建ててベンチテストに入って動かしてみると、全くそうならない。化学のプラントでよくあるが、ビーカーでは収率 78%、80% といって、実際に規模化してフタを開けてみる

と 20% か 30% しかいかない。そして結局コストが合わないということがよくある。コスト意識、つまり売れる・勝てるコスト。これは特に素材の基礎研究をやっている段階では、ついつい忘れがちである。それからマイペース。他社のベンチマーキング、この俯瞰のワークショップの中でもベンチマーキングが非常に大切だというご意見があった。

これまで、素材産業というのはまず先行して一定のシェアを取る、すると当然生産量が増えるから、そこで経験曲線が進む。さらに規模化でコストが下がり、生産技術も上がる。いわゆる先行開発することで優位性を武器にして市場を取っていくことで、さらにシェアが拡大できてきた。しかし最近、特に巨大マーケットではこの図式が成り立たなくなってきている。私は「後出しじゃんけんマネーゲーム」と呼んでいるが、昨年秋に韓国の CTO クラブとディスカッションする機会があり、そのときに出てきたのがポスコ、現代、サムスン、LG、SK ホールディングスや暁星など、化学・自動車・鉄鋼の大手が出てきた。話を聞くと彼らの事業計画の立て方は日本とまったく違う。日本の場合はどちらかというとボトムアップ、積み上げ型で経営がある程度それを集約した上で、ある収益目標をつくるといった分配の仕方をするが、彼らは完璧に上意下達で、例えば 30 兆円売っているものを今後 50 兆円にすると指示を出し、20 兆を何で埋めるかは、スタッフがどういうジャンルのものがありうるかを考える。それに対して、どういう技術が要るかを考えるのが技術陣である。最後にその事業にどんなリスクがあるかを考えるが、技術が自社にあるか／無いかはまったく議論しない。異口同音に各社が言っていた。したがって技術というものは、買えるのだと彼らは思っている。ところが実際は、今まで日本がやってきたように、韓国も日本に追いつけ、追い越せとやっている。そういう中で、実は韓国のこういう一流企業も、そろそろ曲がり角に入り始める。次はどうするのかと質問をしたが、「いや、それが問題なのだ」という回答だった。本当の次のネタがなくなり始めている。そういう意味では、改めて我々日本企業も海外を恐れる必要はない。今こそ対等にスタートラインから競争できる時期になっているのではないかと思っている。

では、ナノテクノロジーや材料分野で日本の強みが発揮できるのかどうか。

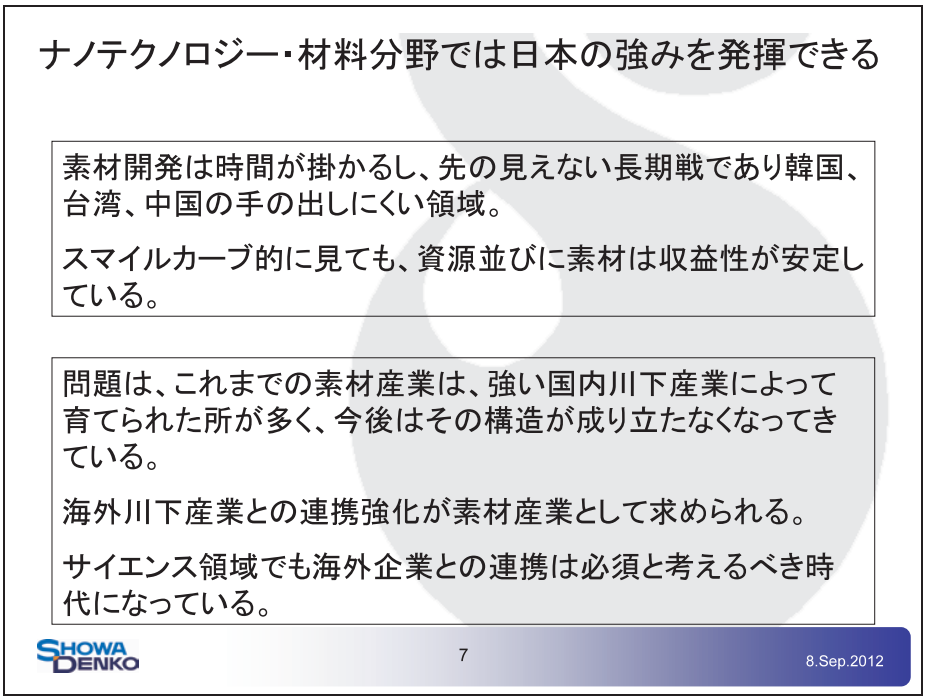



図４

スマイルカーブとよくいわれるが最も強いのは資源を持っている側だ。中国のレアアースを筆頭に、ロシアの石油・天然ガスなど、いわゆる資源を持っているところは圧倒的に強い。その次にくるのが資源に少し機能付与した素材産業、これは１つの日本の生き残る道だろうとは思う。素材産業は、今まで日本の川下産業、我々でいけばいわゆる家電、エレクトロニクス、自動車、そういう産業の方々に尻を叩かれて素材開発が進んできた。液晶もしかり、液晶に使うフィルム素材の世界も、シャープなどいわゆる液晶の強い人たちがいろいろな形で先出しのニーズを叩いて、それに対して素材産業が必死になって応えてきた。ところが今、ふと見ると川下が弱っている。では我々はどうするのか。私どもの会社は残念ながら日本企業だけではもうもたないので、米国、韓国、台湾、中国市場に出ている。とくに今我々が開発している電池材料などは、日本企業がすでに電池の製品シェアでサムスンなどに追い抜かれているように、海外と付き合っていかざるをえない。その意味では、私はサイエンスの領域でも企業のように、大学や国の研究機関がもっと海外企業、海外の研究者ではなく海外企業との連携を進めることが重要である。私は Battelle や SRI、MIT などと付き合ってきたが、彼らは非常に熱心に日本企業を訪問する。日本の大学や研究機関でそういうことをやっているところは１つもない。彼らはあるレスポンスをすると、１週間もすると「では、こんなネタはどうか」と出してくる。こちらが少し興味を示すと、１カ月ぐらいでホワイトペーパーを送ってくる。こういうところで共同に研究開発をできないか、と。ぜひ、サイエンスの領域の皆さんもそういう動きをしてほしい。ただし、これは学者がやるべきではない。MRT や SRI、Battelle もすべて、いわゆるリエゾンオフィサーのような方が、学と産の間をつなぐためのいろいろな努力をされている。組織としては、そういうトランスレーションする機能が必要になっている。

これは経産省に提供いただいた図だが、横軸がシェア、縦軸が世界の市場規模で、特に

右下のシェアが高くそれなりに強い事業、ここには日本企業が結構いる。

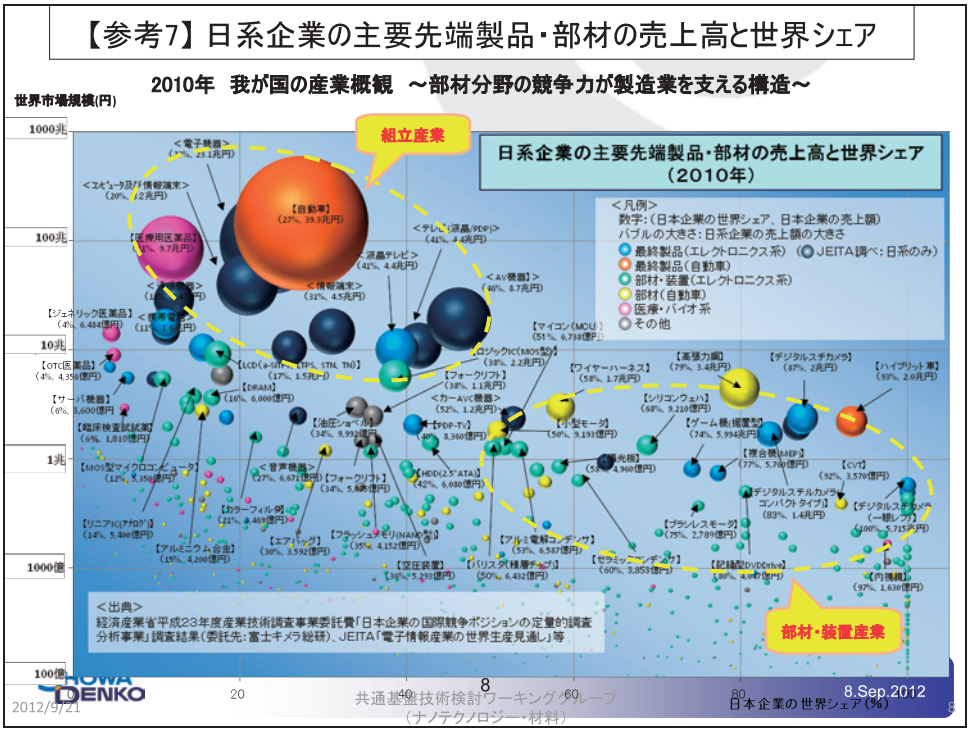



図 5

特にこの中には素材や部材といった領域のものが多い。組立産業になると世界的に何十兆円規模の世界だから、日本が独占するということは不可能である。日本が今まで素材産業あるいは設備産業に強かったが、これは実は組立産業のバックアップがあって成り立っていた。左上が弱ると、実は右下も弱ってくるという構造になっている。これを踏まえてどうやって日本の戦略として考えていくかが非常に大事である。素材開発には 10 年、場合によっては 20 年かかるが、Market-in か Product-out か、で考えるのはあまり意味がないと思っている。私のイメージでは、Technology-out・Market-driven。要は技術がないと何も始まらない。基礎技術は非常に大事だが、素材開発というのはニーズを受けたときに、今日明日の改良・改善はできても、目の前のニーズをすぐに解決するというものは基本的にはない。そうすると、どんなテクノロジーがどんな機能を、あるいはどんな価値を提供できそうか、その価値はいずれ社会に役立つかどうか。そういう視点で考える必要がある。

1 つの素材の勝ち続けるいろいろなパターンをどう考えるか。海外企業にも我々素材屋が勝てる技術というのは、無限スペックというイメージだと思う。実は私どもはハードディスクのメディアで世界の外販トップだが、サムスンは先日撤退した。これはなぜそうなったかというと、技術が飽和しないからだと考えられる。この 20 年、特に最近の 10 年は毎年倍々ゲームで容量が増えてきて、いま 650 ギガプラッタとさらに増えている。この速度で上がり続ける限り、買った途端に半年もすれば次のステップへ行く。そういう技術は日本勢が強いのだろうと思います。逆に言えば、飽和した技術というのは装置を買えば

誰でもつくれるわけで、急速にコモディティ化するものはやはり勝てない。

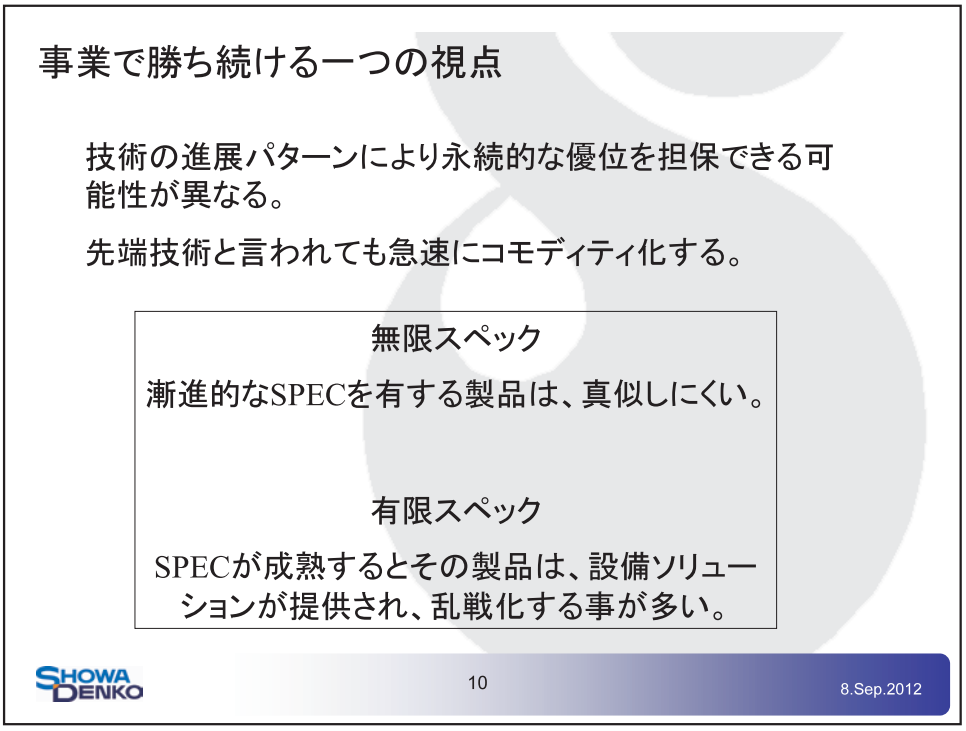



図 6

研究の基本 3 要素は、先見性・排他性・連続性。社内で常に話をすることだが、先見性というと実は裏表で唯我独尊に陥る。新しいことを考えようとすると、誰も興味を持っていないことをやってしまうということになりがちである。排他性というのは、自分が一番だと思うばかりに自前主義に陥る。外を見ない。それから連続性、どうしても明日の連続を考える。いわゆるイノベーションジャンプを起こさない。こういう相反するリスクを持っている。リスクを抱えながら、当社ではいま、全社的な開発への取り組み、独創性への挑戦、R&D プロセスイノベーション、オープンイノベーション、5 番目にずっと私がやり続けているヒューマンイノベーションがある。研究員が事業を考えるという MOT 教育をずっとやっているが、そういうことが非常に大事だと思っている。独創性への挑戦も言うほど簡単ではなく、実はある単品の素材でイノベーションを起こしたり、あるいは特許で排他性を主張できるというのは、医薬以外にはないと思っている。医薬というのはある物質の特許をとれば、それですべて排他できるが、例えば先ほど申し上げたメディア事業の場合、世界トップで数百件の特許も持っているが、特許でお互い牽制することはほとんどない。特許よりも、いかに人より先にいいものをつくるかしかない。特許で攻撃されないために、パテントトロールからいかに守るかだけの観点で、企業内で特許だけで事業が成立しているものはほとんどない。特許以外のところがはるかに競争力を持っている。いかに製造プロセスも含めて素材をブラックボックス化させるか。半導体の形式知化を招かないようにするかが大事だと思っている。

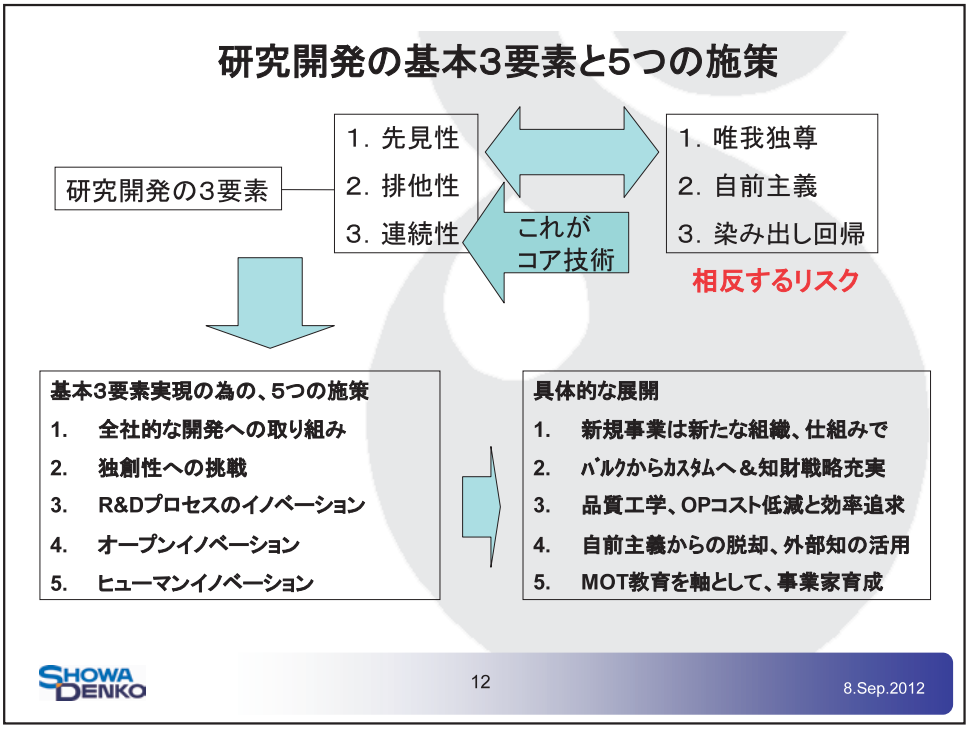



図７

バルクの研究、材料の研究は、μ、ε、σ B など、いわゆる物性を目標値にしてやっている時代ではもはやない。物性というのは当たり前で、その物性値プラス顧客の価値を生むような、ある機能をどうやってつくるのか。いわゆるカスタム設計をすることで初めてバルキーな世界から抜けられる。後発者がなかなか理解できないという事業をつくることで、おそらくこれは、顧客のスイッチングコストの増大という参入障壁も築ける。

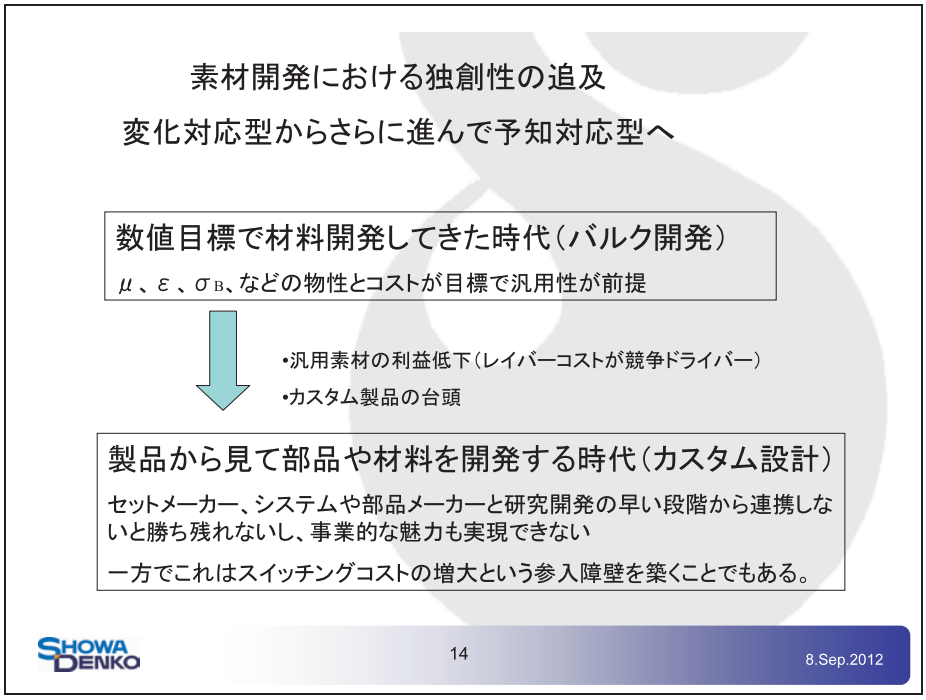
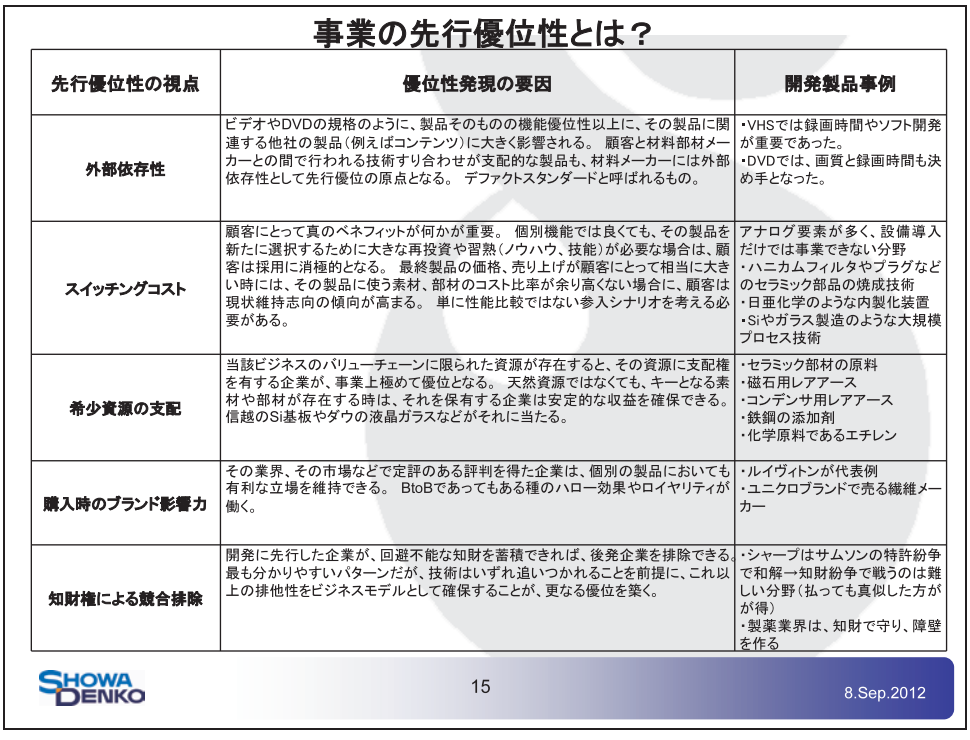



図 8

最後に事業の先行優位性、ずっとこれは 10 年近く考えてきたことだが、5 つある。




| 先行優位性の視点 | 優位性発現の要因 | 開発製品事例 |
|---|---|---|
| 外部依存性 | ビデオやDVDの規格のように、製品そのものの機能優位性以上に、その製品に関連する他社の製品（例えばコンテンツ）に大きく影響される。 顧客と材料部材メーカーとの間で行われる技術すり合わせが支配的な製品も、材料メーカーには外部依存性として先行優位の原点となる。 デファクトスタンダードと呼ばれるもの。 | •VHSでは録画時間やソフト開発が重要であった。<br>•DVDでは、画質と録画時間も決め手となった。 |
| スイッチングコスト | 顧客にとって真のベネフィットが何かが重要。 個別機能では良くても、その製品を新たに選択するために大きな再投資や習熟（ノウハウ、技能）が必要な場合は、顧客は採用に消極的となる。 最終製品の価格、売り上げが顧客にとって相当に大きい時には、その製品に使う素材、部材のコスト比率が余り高くない場合に、顧客は現状維持志向の傾向が高まる。 単に性能比較ではない参入シナリオを考える必要がある。 | アナログ要素が多く、設備導入だけでは事業できない分野<br>•ハニカムフィルタやプラグなどのセラミック部品の焼成技術<br>•日亜化学のような内製化装置<br>•Siやガラス製造のような大規模プロセス技術 |
| 希少資源の支配 | 当該ビジネスのバリューチェーンに限られた資源が存在すると、その資源に支配権を有する企業が、事業上極めて優位となる。 天然資源ではなくても、キーとなる素材や部材が存在する時は、それを保有する企業は安定的な収益を確保できる。 信越のSi基板やダウの液晶ガラスなどがそれに当たる。 | •セラミック部材の原料<br>•磁石用レアアース<br>•コンデンサ用レアアース<br>•鉄鋼の添加剤<br>•化学原料であるエチレン |
| 購入時のブランド影響力 | その業界、その市場などで定評のある評判を得た企業は、個別の製品においても有利な立場を維持できる。 BtoBであってもある種のハロー効果やロイヤリティが働く。 | •ルイヴィトンが代表例<br>•ユニクロブランドで売る繊維メーカー |
| 知財権による競合排除 | 開発に先行した企業が、回避不能な知財を蓄積できれば、後発企業を排除できる。最も分かりやすいパターンだが、技術はいずれ追いつかれることを前提に、これ以上の排他性をビジネスモデルとして確保することが、更なる優位を築く。 | •シャープはサムソンの特許紛争で和解→知財紛争で戦うのは難しい分野（払っても真似した方が得）<br>•製薬業界は、知財で守り、障壁を作る |

図 9

一番簡単に排他性を主張できるのは外部依存性だと思っている。マイクロソフトが一番典型例だが、ほとんどのコンピューターに Windows が入っている。この上にパワーポイン

トやワード、エクセルなどのアプリケーションが載っているから、たとえばLinuxのような新しいOSが出ても、なかなかそれが普及しない。後から来たものにやられない、使っている顧客が「いやいや、それは交換したくないのだ」ということが起こって初めて、外部依存性になる。

次にスイッチングコスト。ラインのコストというのは非常に複雑な構造で成り立っているが、我々素材メーカーはB to Bであるため、新しい材料が入る時には顧客の側でもラインを変更する必要がある。今ほとんどの会社は4M変更、我々が少しプロセスをいじるだけで、Man・Machine・Material・Method、4つのMのどこを変更したかを全部申請し、ライン監査を受けて、それで初めて新しい材料が入るという時代だから、スイッチングコストをどれだけ高くしておけるかが参入障壁となる。

それから希少金属の支配。これはバリューチェーンの最も川上のマイニングの世界、どれだけ押さえられるかにかかわっている。我々は実は、昨年レアアースや研磨用のセリアといったもので利益を出したが、これは資源が高騰すればするほど儲かる仕掛けになっている。なぜかというと、より川下の方は資源が払底すると思うので購買に走るため、値段がどんどんつり上がる。昨日まで100円だった同じものが、今日は1,000円になったりする。だから簡単に大きな利益がそこから出てくる。その意味で希少資源の支配は非常に大事だ。

購入時のブランド影響力とは、これはB to Bでも成り立ついわゆるルイ・ヴィトンやユニクロの世界。

そして最後に知的財産権。私は研究開発を8年間マネジメントしてきた経験から、知的財産というのは最も排他性に乏しいと思っている。ただし知的財産がないと話にならない。参入できないし、持っていないと競合から刺される。あるボリュームを持っていると、企業間のネゴシエーションでは、「おたくは何件持っていますか」、「うちは500件、おたくは300件」と、ほとんど天秤の議論である。その知財だけで排他、他社を追い落とすというのは現実的には不可能だろう。

【質疑応答】

■ 知財に関する認識は意外と低い。価値がまだわからないときに、早い時期に手に入れてしまえばいいのだという程度。しかし一方で、何らかの形で守らなければいけないブラックボックスのノウハウ、それを守るのはなかなか大変だと思うが、どう守っていったらいいのか。

→今、私たちのもう1つの収益源にカーボンの事業があるが、ほとんど特許にしていない。特許にすると教えるだけのようなことになる。物質特許はとれないためほとんどプロセス特許になる。そういう意味では、我々の多くの事業の柱になっているような収益源になっているものは、残念ながら知財で守っているわけではなく、ノウハウと長い間の操業の経験、あるいは初期投資の大きさ。例えばカーボンの工場を建てると500～600億円要するから、参入するのも簡単ではない。

■ すると今度は人材の流出が気になる。そういうものを頭に持っている人が競合に行ってしまうのではないか。

→我々化学産業というのは社内で縦割り組織になっていて、案外工程がある。ある反応工程や、ある焼結工程など。そうすると、一方を知っていても、別の工程を知らない人がほとんどであり、ある意味、意識的にも我々はそうしている。とくに現場のオペレーションに携わる方というのは、あまりローテーションをしない。そこは非常にエキスパートだけれども、横のことは一体何をやっているかわからない。それだけではラインが構築できないということになっている。

■ 我々研究者はいろいろな国家プロジェクトなどをやっているが、知財というのは一体、役に立っているのか。今の話を聞いて「危ないな」という感じがした、どうなのか。

→知財は非常に重要である。ただし知財があるからといって、永続的に競争優位は保てないということ。知財は 20 年、25 年でいずれ切れる。すると、それだけで事業をやっていると、いずれコロンと行くよと。だから知財以外のところに、競争優位を持っておかなければならない。

■ いま国際特許は 1 件に 1,000 万円近くかかる。それをやって本当にコストが合うのだろうか、非常に心配になるときがある。その辺はどうか。

→合わないことが多い。国プロは、大学の知財も含めて多くが国内特許、ある資料では国内特許だけを出して放置されているものが 90%を超える状態だという。それはある意味で教えているだけ。海外の特許を取とらずに日本だけ特許が成立しても、海外は関係ない。そういう意味では各大学や国の研究機関も、特許を出すからには事業としてどこの国まで押さえるべきか、あるいはどの事業のスパンで知財を押さえるべきかを見るべきだろう。事業の構想がないまま、ただ知財を出すということでは、ほとんど意味がないどころかマイナスの面もある。

■ そこのところが一番現場では頭の痛いところで、何とか有効な知財にしたい。極端にいえば、どこの国で出していいかもわからない。企業の人がこちらで話していることと、社内で話していることが、おそらく違う。だから、それを本当にどうしたらいいかというのは、国全体のことを考えたときに、何かもう少しうまい手はないのか。

→ 1 つの答えになるかわからないが、先ほど申し上げた Battelle や MIT、SRI など、彼らのインダストリアル・リエゾンオフィサー（ILO）は、企業経験も持っていて、ある学術分野に非常に造詣が深い。彼らは年中、企業を回っており、我々が、あるレベルで適当な嘘をついても見抜く能力も持っている。主たる国の研究機関あるいは大きな大学でそういう人が育成されて、企業連携をし、場合によっては企業にまで意見を言えるようになっている。

■ 素材産業は海外との連携が非常に強くなっている。そういう状況を踏まえて、今後はどういう選択をしていったらよいのか。むしろ強いところを伸ばして、弱いところは海外に譲るなど、グローバルで垂直がとれるような体系を強化すれば、それでだいたいいいのか。なおかつ日本の中で何らかの垂直連携がとれるような体制をとる重要性は、まだ残っているのか。

→乱暴にいえば、もはやその選択肢は残っていないと思っている。日本の中で、閉じこもっ

て競争することはできない。車の産業はまだ日本が相当強いところがあるが、残念ながらエレクトロニクスや他の産業はどんどん弱くなっている。そうすると素材側から見たときに、せっかくのいい素材、新しい機能付与ができても、レガシーコストを抱えてしまっている。とくに老舗の企業。そうすると後から出てきた中国や韓国のほうが、新しいところに投資でき、最新鋭の装置が並んでいる。すると、そういう素材も新しく活かせる道が多い。だからIGZOなどもまさしくそうだったと思うが、我々は産学連携にしろ、企業側からしても、もはや国内を前提に考えるのではもう成り立たないと思う。

■ 産業としてはたしかにそうかもしれないが、今度は、研究開発の能力あるいは公的研究開発機関の割くべき重点として、どのぐらいのところまで日本としてカバーすればよいのか。

→日本の研究機関や基礎研究をやっているところも、海外の人材との交流をもっとやらなければならない。たとえば日本は日本人の社会だから何となくそう思ってしまうが、米国には米国人など元々いない。たとえばオラクルやベイシステム、ヒューレットパッカードなどへ行くと、幹部も含めもう半分以上がインド人や中国人だ。フォーチュン500社で社長を張っているのはインド人が一番多い。日本というのは、どうしても日本人の世界でものを見るが、物理的には日本という離れ小島にいるが、もはや日本人とか日本産業とか日本の学術といった領域を意識してやっていたのでは、早晩立ち行かなくなるのではないか。

■ 海外と競争するときに、主語は「日本は」、「日本人は」となるが、では競争相手は海外、日本以外、という考え方が本当に通用するのかといったことは疑問。やはり日本人だけでやろうとしているという時代ではないのではないかと思う。本気で勝とうと思ったら、オープンイノベーションと言葉ではいっているが、本当の意味でグローバルにものを考えないと、そもそもステージには立てない。危機感が本当にあるのであれば、あらゆる禁じ手など、誰も考えなかったようなことも含めてやらなければならないような時代に入ってきているのではないか。個人的にはそういう危機感を非常に強く持っている。

## 「国際連携・社会受容の諸課題と方策」

竹村 誠洋（物質・材料研究機構）

国際連携についてはいろいろな側面があるが、ここでは国際ネットワークについてお話をする。社会受容については、できるだけ客観的な情報に基づいて説明したい。この三角形の図は、R、D&B（研究、開発、ビジネス）、EHS（環境、健康、安全）、そしてELSI（倫理、法、社会的課題）の関係を表している。この国際ネットワークの中で定期的に会議を開いていけば、日米欧やアジアのオーガナイザーとは、それなりのネットワークができる。

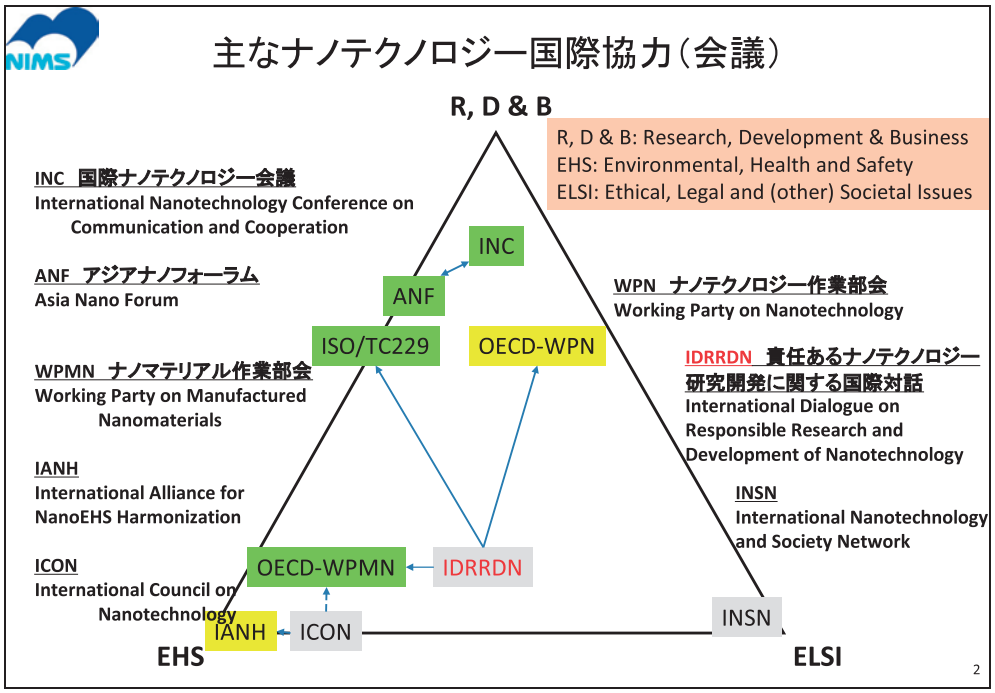



図 1

まずINC（International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation、日本語では国際ナノテクノロジー会議）は、日本は過去2回主催をしており、1つはこの5月につくばで開催したINC8、その前が東京で開催したINC4である。WPMNはOECDの中の作業部会で、ナノテクノロジーネットワークマテリアル関係の作業部会である。IANH（International Alliance for NanoEHS Harmonization）は、少しボランタリー的なもので、ナノトキシコロジー、つまりナノ粒子の生体影響評価に関する国際ラウンドロビンテストをやろうという集まりである。ICON（International Council on Nanotechnology）は2004年に立ち上げたもので、米国のライス大学の、当時まだご存命のスモーリー先生と、その指導を受けたビッキー・コルビンという女性の教授が中心となって立ち上げたものである。

右側のWPNはOECDのナノテクノロジー作業部会である。こちらはナノマテリアルの安全性以外の項目を扱っている。IDRRDN（責任あるナノテクノロジー研究開発に関する国際対話）は2004年春、ロコ氏が提唱した国際対話である。これはOECD

の WPMN、WPN、ISO/TC229 にも影響を与えている。あと INSN（International Nanotechnology and Society Network）は社会学者中心のネットワークである。もとは、米国のアリゾナ州立大学が Center for Nanotechnology and Society という NSF のナノテクセンターの応募をする際に、プロモーション活動として立ち上げたネットワークである。

黄緑、黄色、灰色に色分けしているが、これはその活動の度合を私なりに評価したものである。黄緑色は活発、あるいは割と安定して活動が続いていることを示し、黄色は立ち位置の問題もあり、なかなか軌道に乗れないところを意味し、灰色はほとんど活動停止状態、あるいは他の機関や会議に役割が引き継がれるといった形で発展的解消を意味している。

一方、アジアナノフォーラムについては、2004 年に、産総研が当時の理事であった田中一宜先生などの主導で立ち上げ、NIMS も協力させていただいている。ここで中国は、メインランドチャイナ、台湾、香港をそれぞれ独立してカウントして 15 経済圏と呼んでいる。その 15 経済圏から各国の研究機関がこのようにメンバー機関となっている。メンバー機関になっているということは、実際に年会費を出していることを意味する。主な事業活動は年 1 回のサミット会議で、先月タイで第 9 回のサミット会議が開かれた。第 10 回は来年度、日本で開催する予定になっている。ナノテクキャンプは若手研究者のための教育プログラムで、これも年 1 回開催している。あとは、これからお話しするナノ EHS に関するワーキンググループや共用施設、ユーザーファシリティに関するワーキンググループといったものを設立し、コミュニケーションを続けている。

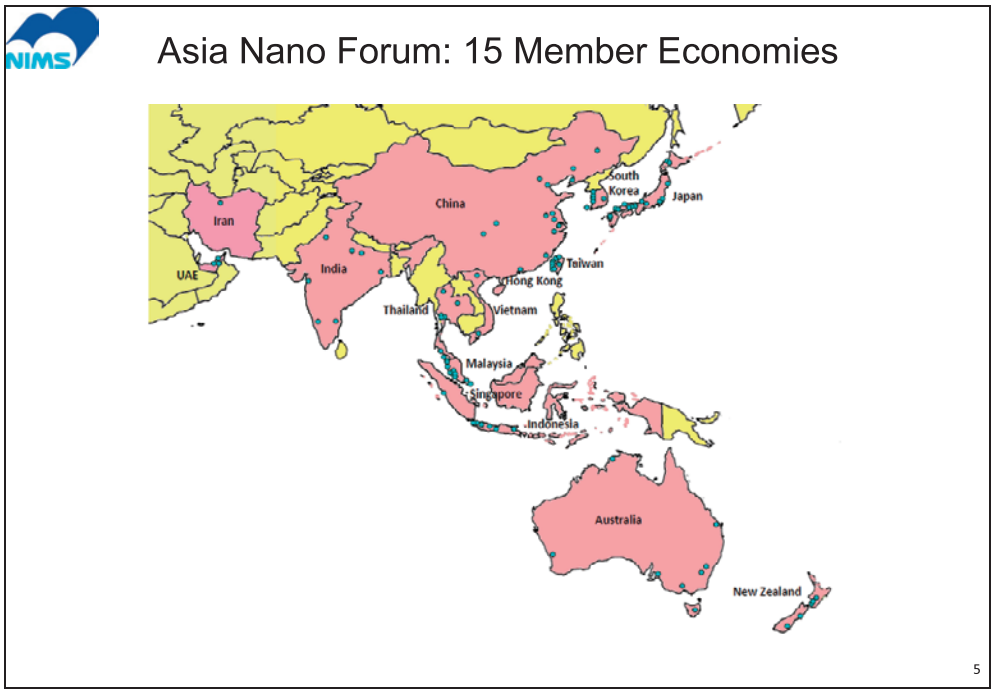



図 2

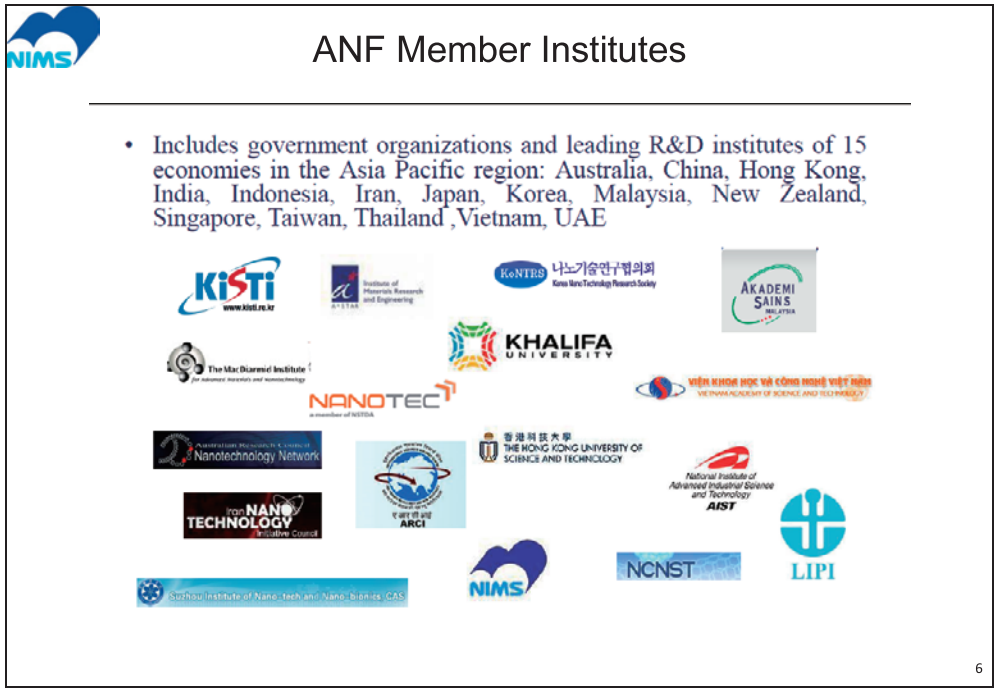



図 3

INC にしても、ANF にしても、定期的に会合を開いていろいろなディスカッションをしているが、会議開催の資金集めがやっとで、共同研究をやるだけの余裕はない。しかし、一つの注目すべき活動は、JST の国際科学技術部が中心になって立ち上げた e-ASIA ジョイントリサーチプログラムで、いわば欧州の FP7 のアジアオセアニア版を目指して開始された。現在すでにファンディングを始めている。実際ファンディングをおこなっている国は、まだ日本とタイとベトナムだけであるが、とりあえずそのマルチラテラルなコラボレーティブリサーチができるような形になってきている。

次に社会受容に関して説明する。実際の社会受容は EHS と ELSI があるが、喫緊の課題としては EHS、とくにナノマテリアルのリスク評価管理が重要である。リスク評価に関しては、基本的には、「ハザード×ばく露、がリスクである」という言い方がよくされる。

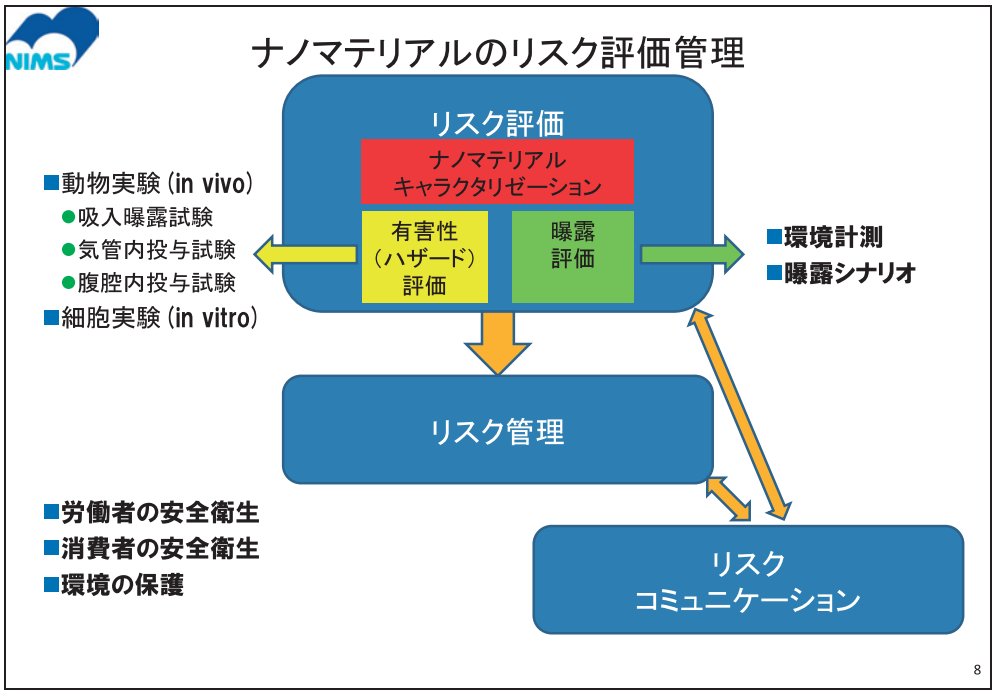



図 4

ナノマテリアルの場合、まずキャラクタリゼーションが非常に重要である。たとえばカーボンナノチューブにしても、フラーレンにしても、製造者、プロセスによって性質は異なる。かつては、同じ製造者でもバッチが異なれば結果が変わるということもあったそうである。供試材そのもののキャラクタリゼーションが不十分なために相反する結果が出てくることもある。したがってこの点をしっかりやることが必要で、1 つの項目として抜き出してある。

ハザード評価は、具体的には in vivo 試験によって行われ、これはラットやマウスを使っておこなう、いわゆる動物実験である。例えば吸入ばく露試験、気管内投与試験、少し変わったやり方としては腹腔内投与試験といったものをやる。他に、in vitro 試験という、細胞、生体組織を用いる実験がある。しかし、この実験から得られた結果をハザード評価に用いることは適切ではない、というのが大方の毒性学者の考え方のようである。一方、ばく露評価は、まず環境計測をやり、あとは実際にどの程度浴びるかというばく露のシナリオも考えていかねばならない。ハザード評価で難しいのは、動物の実験結果から、いかに人に外挿するかである。あまり良い例ではないが、アスベストの場合、実際に中皮腫になる人が出てくる。我々が対象にしているナノマテリアルでは、そのような病気になった人はいないので、ある程度外挿することで予測をせざるをえない。その点が難しい。ただ実際に、これからご紹介するプロジェクトの中で、いわゆる職場ばく露限界値といった値も算出されてきている。

リスク管理の対象の中では、労働者が最もナノマテリアルに接触する可能性が高いことから、彼らの安全衛生が最も。また消費者の安全性に関しては、例えば化粧品に含まれているものや食品などを通して体内に取り込まれるものもある。それらに対する安全性を考える必要がある。もう 1 つ大事なのはリスクコミュニケーションである。これは一般市民で心配している方もいるし、この種の問題に対して厳しい NGO もある。できるだけ多

くのステークホルダーとのコミュニケーションが必要である。

下記は、政府によるナノマテリアルの安全対策の検討範囲を示したものである。厚生労働省、経済産業省、環境省の役割を示しているが、文部科学省は直接的にはこの課題に関与せず、関連分野の基礎基盤研究を通して貢献すると理解されている。

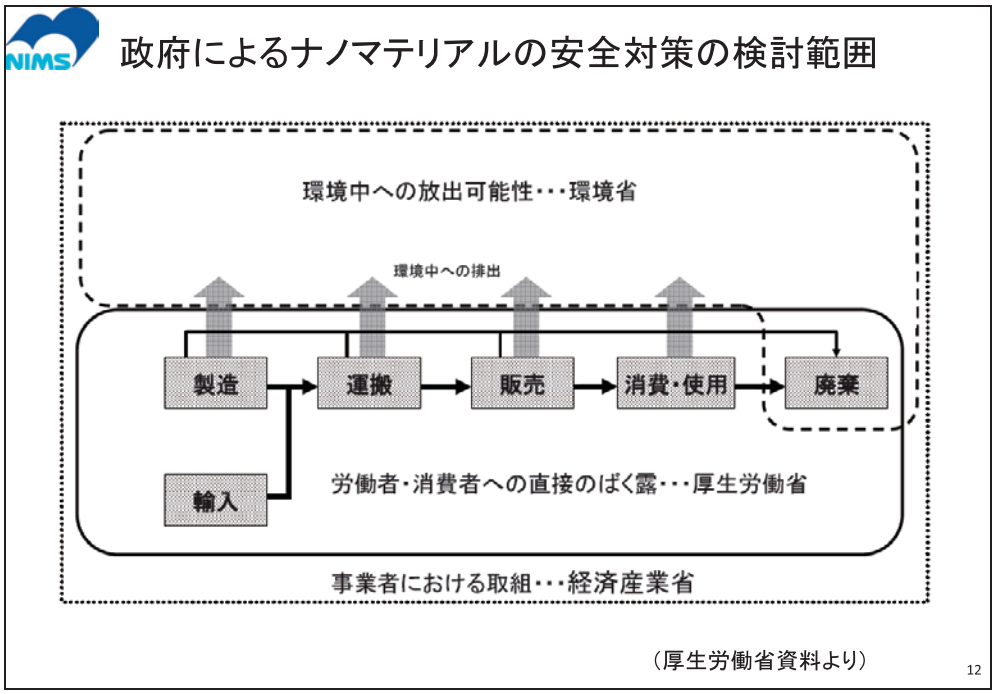



図 5

下記は日本の主な国家プロジェクトを示している。かなりいろいろやっていることが分かる。各省の資金を積み上げると、年間 10 億円くらい EHS に投資していると思われる。

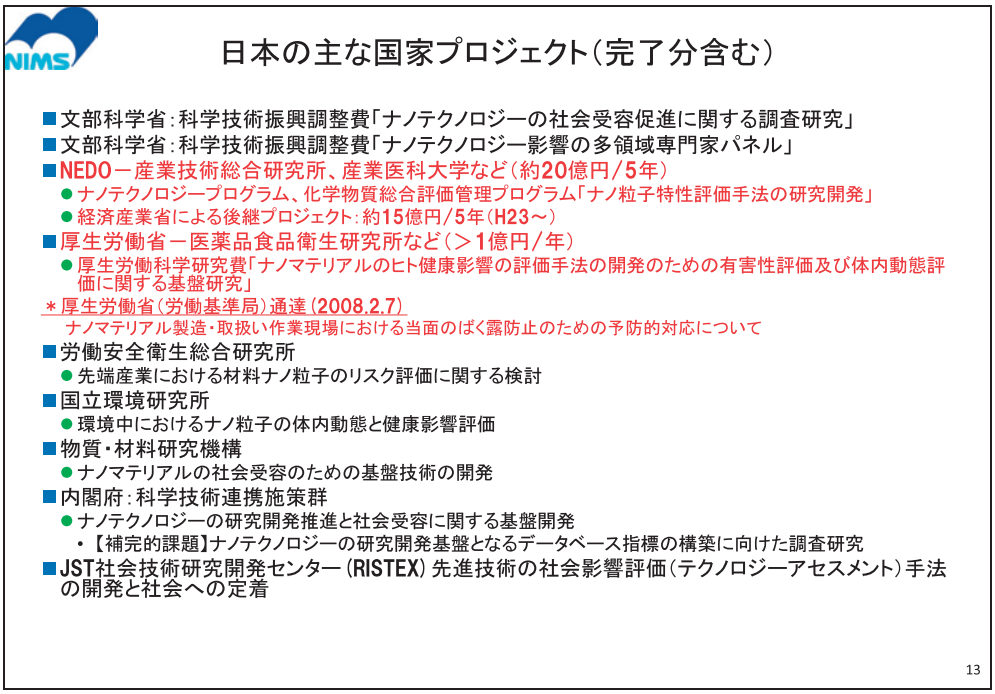



図６

日本は EHS や ELSI に対して国家予算の１割ぐらいを費やそうとの目標を掲げているが、米国はその目標をほぼ達成していることが下記の図から分かる。

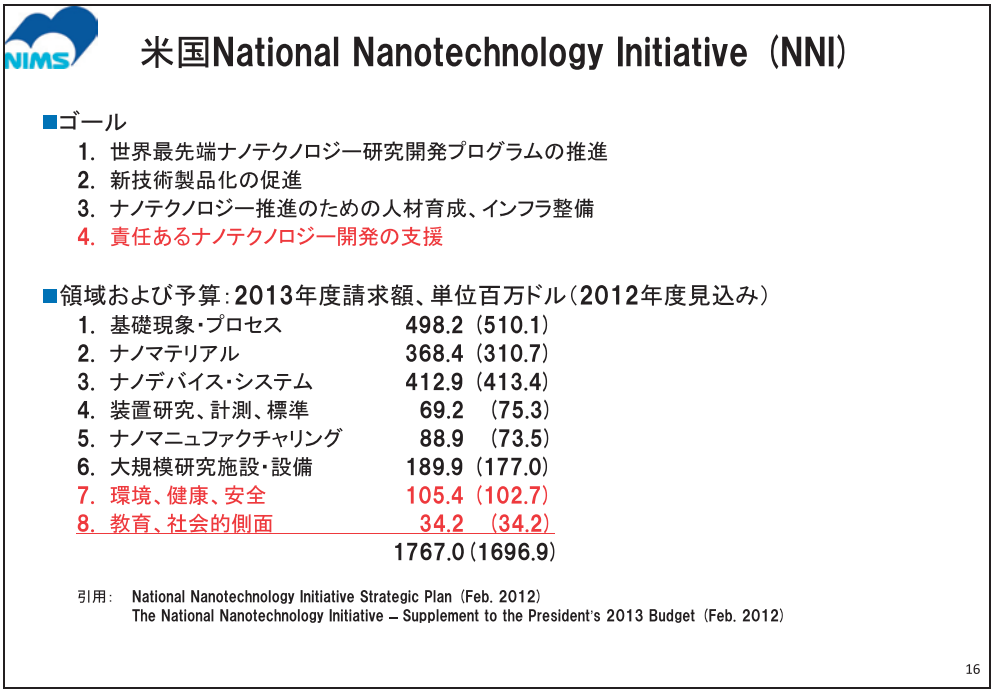



図７

米国における実際の EHS 研究活動では、NIOSH が従来から活発である。この他に、最近の動向の一つに、NNI Signature Initiatives がある。これは 2011 年度に開始された、

省庁横断で推進される重点戦略であり、テーマとしてナノエレクトロニクス、ナノマニュファクチャリング、太陽エネルギー利用が選ばれた。その中で、持続性のあるナノマニュファクチャリングの実現のために、主にボトムアッププロセスに伴う可能性のある EHS の課題を取り上げている。また、UCLA、デューク大学に設立されたナノテク環境影響に関する NSF のセンターも、健康影響と比較して取り上げられることが少なかった環境影響に取り組む拠点として、注目すべきである。

欧州については、著者が関連プロジェクトの資金額を積み上げた結果、EC の FP7 のファンディングは年間 700 万ユーロ程度と推測する。この他に各国のファンディングがあり、特に英国やドイツ、スイスが多いと思われる。ただ、いずれの国も、日本の 3 分の 1 から 2 分の 1 程度で、日本はおそらく世界第 2 位の投資国ではなかろうか。

OECD については（下記に示すように）WPMN がスポンサーシッププログラムと称して様々なナノマテリアルに関するプロジェクトを実施しており、経産省などがかなり貢献している。

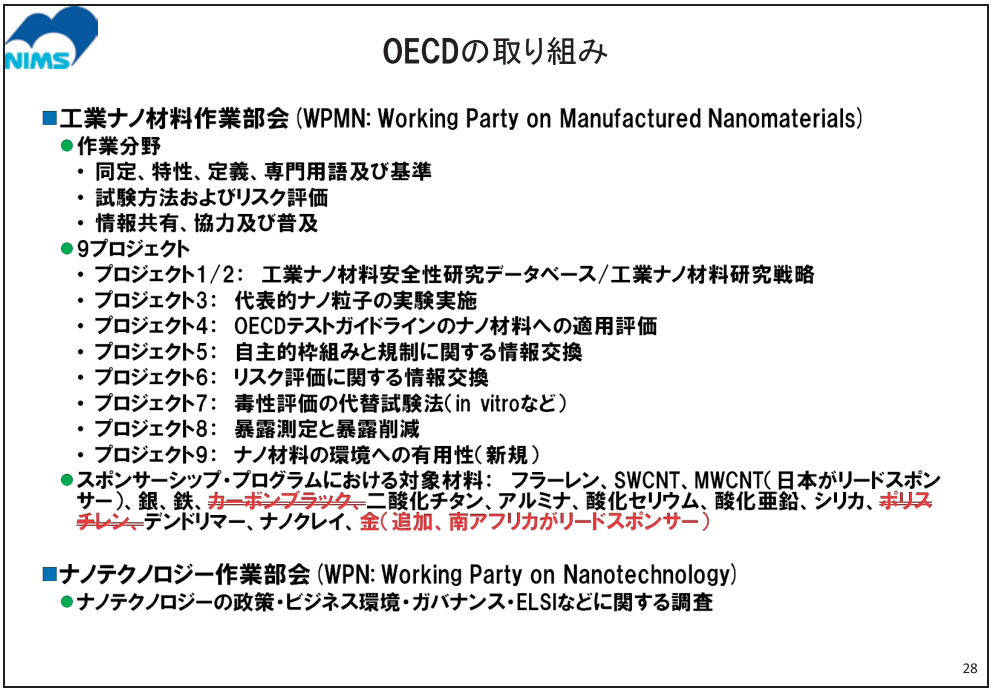



図 8

社会学者の動きを 1 つ紹介する。JST の中の社会技術研究開発センター（RISTEX）でテクノロジーアセスメントのプロジェクトが実施されていた。その中で、ナノテクを題材とした TA の実践をやった。そこで、医療関連、エネルギー関連、食品関連を選び、レポートも作成している。DDS も、研究開発や技術そのものより、それを社会に導入する場合にどういう障害があるかを検討し、そのプロセスのアセスメントをやっている。

下記に全体のまとめを示す。

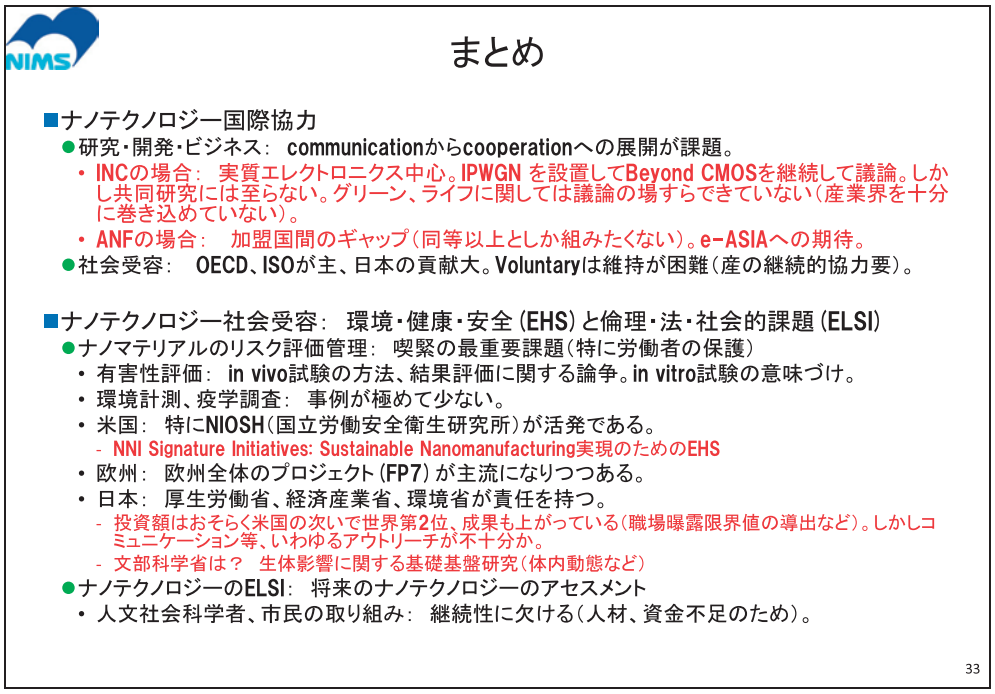



図９

【質疑応答】

■ 国際連携として、INC やアジアナノフォーラム、リスク管理として EHS、ELSI の現状をお話しいただいたが、これらは特に問題なく進んでいると考えて良いか？

→ INC の場合は、米国の半導体産業が主導して会議を立ち上げたことから、実質的にナノエレクトロニクスが中心になっており、これは IPWGN (International Planning Working Group for Nanoelectronics) という Beyond CMOS に関するワーキンググループを設置して、継続的に議論をしている。ただグリーン、ライフは、まだこのレベルまでは行っていない。半導体産業のように、WG 活動を支えられる企業のコンソーシアムがないためである。ANF の場合、共同研究をやるのはまだ難しく、特に加盟国間のギャップが大きい。たとえばシンガポールは、日本とはやりたいが、他の東南アジア諸国とはやりたくないとはっきり言っている。おそらく中国や韓国も同じ考えで、要するに自分と同等以上のところとしかやりたくないという感じではなかろうか。

EHS はノンコンペティティブな分野なので、協力しようという機運はある。しかしこの分野は公的、私的ともに資金の獲得が難しい。例えば ICON の場合、最初はインテルや P&G、ロレアルといった産業界が協力して成り立っていたのが、徐々に資金が不足し、結局活動が停滞してしまったようだ。

■ ナノリスク評価については、NEDO の中西プロジェクトが OECD の中でも評判を得ていると聞いている。しかし WPMN の中では、標準を 8 項目ほどに揃えなければいけないということがあった。その辺のマッチングはうまくとれているか？

→私が理解している限りでは、WPMN はナノマテリアルを化学品として扱い、その管理の枠組みは従来の化学品と同様とし、ナノマテリアルの新規性に応じて新規技術を適宜導入している。日本の責任ある 3 省の考え方もそれに一致しているはずである。かつナノ

マテリアル以前からOECDを化学品管理に関する国際的な合意形成の場と考えて積極的に協力してきたので、ナノマテリアルについても基本的に整合性をとるべく最大限の努力をされていると思う。

■ 1つ目はCNTのことである。当社で昨年1年、カーボンナノチューブの安全性試験、外部に支払った費用が2億円である。大量の試験を必要としている。実際には、デュポンのハスケル研に払っている。日本の場合、経産省、厚労省、文科省、環境省、すべてが縦割りで、安全性試験、吸気ばく露の試験1つとっても、プロトコル1つ承認されていないのが現状である。そのため、我々自身で、マテリアルセーフティを保障するために、MSDSを発行しなければならない。つまりデュポンのハスケル研など、権威のあるところでやってもらい、EPAのコンセントオーダーをとって公表するという手段しかない。大金が海外へ流出する。そのノウハウはすべてデュポンに蓄積される。日本ではプロトコルがないので、海外に金もノウハウも蓄積されていく。非常に問題だと思う。

■ 2つ目は、化審法という化学物質の規制に関するものである。シンガポールやタイを中心にアジアは中国を嫌って、日本と組みたいという動きをしている。たとえば化学物質の管理の仕方も、日本がうまくリードしていけば、少なくともASEAN、アジア標準は作れるはずである。ところが、その辺の動きが政府では極めて鈍い。何となく企業任せである。

→2つ目の化審法の件は、おそらく今年度予算で製造局の中でも動かそうとしている。アジア中心で化審法を整えるための海外への資金援助などを計画している。その辺がまとまれば産業界の方々と議論したい。1点目のプロトコルの承認については、CNTなどの関係は、おそらく標準化などと少し違う経緯をたどっているのではないか。私の聞いている限りでは10年ほど前にCNTが開発されたときに、なかなか需要が無く、産総研におんぶに抱っこになってしまった経緯がある。本来なら、どこかの企業群の協会などが中心になって動くところが、産総研が中心になって動いているのが特異的なところある。ただ一方、化審法でナノ材料を扱おうという気運があり、経産省、厚労省を含めて議論が始まりつつある。遅ればせながら徐々に動きつつあると思っている。

## 「融合拠点・人材育成のこれから」

### 曽根純一（物質・材料研究機構）

オープンイノベーションへの新しい取り組みということで、TIA ナノグリーンという一種のコンソーシアムを始めている。これは、企業と産学連携の新しい仕組みをつくろうということで、国からのレギュレーションはあまりなく、自分たちでどうデザインしていくか、走りながら考えているという状況である。オープンイノベーションは、いろいろな側面から必要になってきている。まず企業が基礎基盤研究をカバーする余裕がなくなってきている。それから技術が非常に多様化、高度化してきており、全てを理解できる研究者集団を用意するのが困難になってきている。さらに、非常に高額な最先端の研究装置が必要になっている。とくにナノテクの分野は原子・分子が見えてハンドリングできないといけない。そういうインフラを持っていないと、ナノテクをベースにした材料開発あるいはデバイス開発のバトルに参加する入場券すら手に入らないという状況になっている。一方、我々はそういう中でグローバルな競争の中にさらされている。

また日本の企業も今どんどん海外の大学との共同研究を強化しているし、資金もそちらへ流れている。ビジネスそのものがグローバル化しているので、最先端の研究を共にしようとすると、日本でどうのこうのではなくグローバルにトップクラスの大学や公的研究所と付き合いたいという状況になっている。そういう意味で、学・独もグローバルに通用しないと、まったく相手にされないという状況だ。学・独の研究機関も産業界と議論をする先端技術のニーズに関し目から鱗の部分もかなりある。市場や社会のニーズを認識した上で、こういう側面でいろいろな新しい技術の可能性があるのだと認識することができる。学・独の潜在的な保有技術、その可能性を産業界といろいろ議論してアピールする場も必要になっている。そういう思いの中で TIA ナノというものがスタートした。これは内閣府を中心に経産省、文科省合体のプログラムであり、先日打ち出された日本再生戦略の重要施策にもなっている。ナノテクをベースとした産業化につながるイノベーションを引き起こす非常に重要な施策になっている。その中で、このオープンイノベーションにはどういう可能性があるのか、その社会実験をやってみようと考えている。

NIMS ではバイラテラルな 1 対 1 の共同研究は、200 本ほど走っている。2001 年に NIMS が発足してからまさに右肩上がりで、TIA ナノグリーンがこの 4 月にスタートして、さらに積み上がっているので、おそらく企業からのファンドは 15 億近くになるだろう。文科省系の研究所としては珍しい存在だが、いろいろな形で産学連携をやっている。

特許関係では出願、ライセンスは、アカデミア、国公立の研究機関の中でダントツの状況になっている。いま 5.1 億ぐらい積み上がっているが、これはおそらく絶対値でも日本の大学、公的研究機関の中でトップだと思う。ここでライセンス収入を 5 億稼ぐのに特許費用を 2 億ぐらいつぎ込んでいるが、今プラスになっているので、ポジティブ・フィードバックがかかっていろいろな施策がうてるという状況だ。一方で、そういう状況の中で、問題も顕在化しており、多くの企業との共同研究が一部の研究者に集中する傾向が現れており、技術コンタミの問題を考えると、危ない状況でもある。

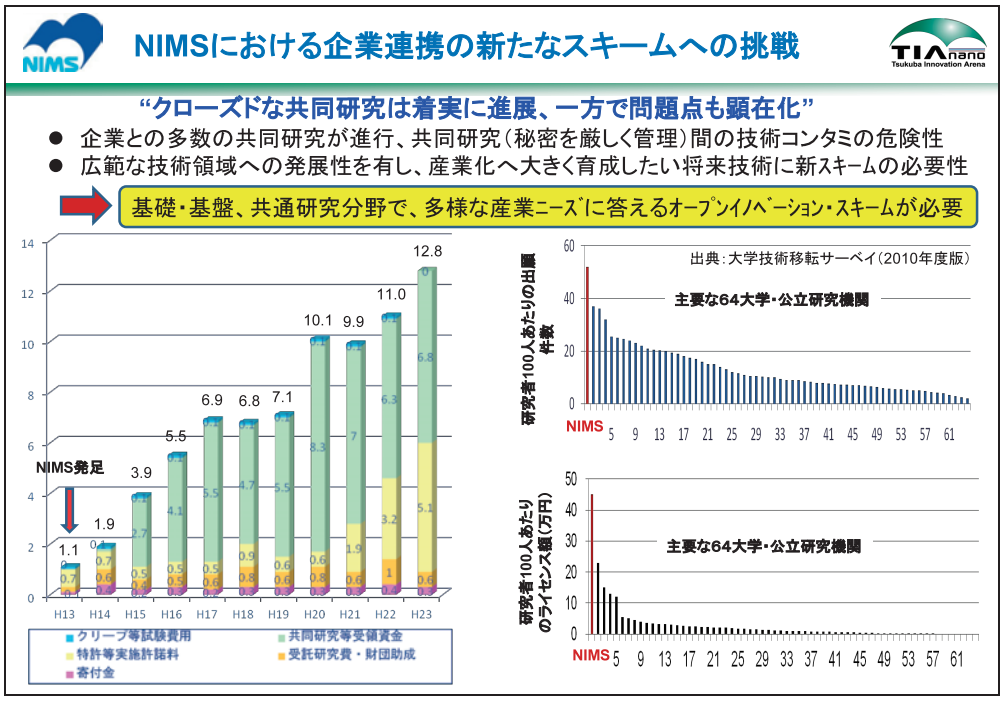



図 1

一方で、「将来非常に大きな可能性を有する技術で、重要な特許がとれました。それを産業化に向けて大きく育成したい」という将来技術に対して、どこかの企業が手をつけてしまうと、もう他の企業との共同研究はできなくなってしまう。そういう意味でもやはり基礎基盤、共通研究分野で多様な産業ニーズにこたえるオープンイノベーションが非常に重要になってきている。

私たちは TIA ナノグリーンという仕組みの中でオープンイノベーションのスキームをつくろうとしつつあるが、基礎・基盤技術をベースに多様なマーケットが開ける可能性がある。私たちは科学技術の最高到達地点を市場開拓へ向かうベースキャンプとして提供したい。電機メーカーなど日本にたくさんあるが、1 合目からみな同じような対象に多重投資をして、時間と費用をかけてそこまで来る。本番の戦いはここからなのに、そこでもう力尽きてしまう。だから、このベースキャンプからスタートしませんかということを企業の方に申し上げている。ただ、そうはいっても各社各様の経営戦略あるいはマーケット戦略をいろいろお持ちで、そこはかなり各社各様の戦略に則っているので、「これはバイラテラル、クローズでやりましょう。それはこのオープンイノベーションのところから地続きのクローズドの共同研究へ移行して行いましょう」といろいろな形態がある。すなわち、我々はオープンとクローズとのベストミックス、両方のイノベーションが必要だという認識だ。

TIA ナノグリーンが提供する魅力ということで書き上げてみた。

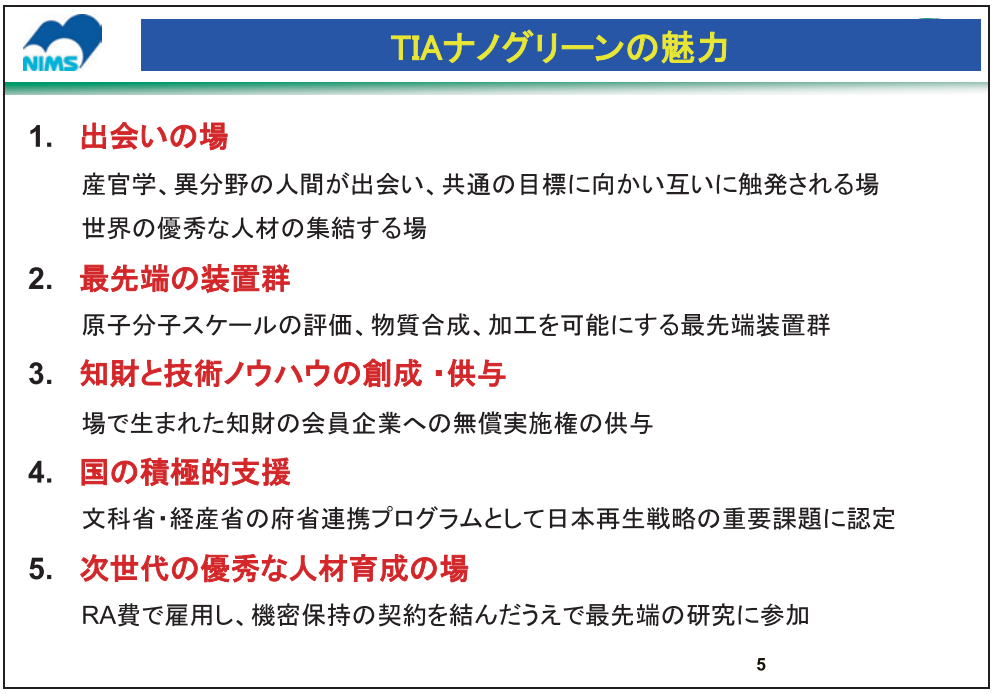



図２

一番大きいのはやはり出会いの場、企業同士のいろいろなコミュニケーションもある意味で非常に刺激的だと思う。それから産官学、いろいろなバックグラウンド、モチベーション、エキスパティーズを持った人が集まっている。あるいは、いろいろな異分野の人間が出会うメルティングポットとなっている。そこに世界からいろいろな形で優秀な人材が集結する。そういうところからイノベーションを引き起こしたい。

また最先端の装置が用意されている。これがないとナノテクの分野は戦えないという状況にある。評価装置、理論・シミュレーションの技術もそう。今年度からナノプラットフォームが始まり、NIMS はそれをオーガナイズするという役目をいただいているが、オペレーション自体もやっており、いろいろな最先端の装置をそこで共用装置として動かしている。要するに研究のインフラとしては最高のものが用意されていると考えている。それだけではなく、それをオペレーションする専門家集団がいることも重要。いろいろな形でいろいろなサンプルがいろいろなところから入ってくる。そういう日々の活動を通じて専門家集団が技術を高めている。さらに必要に応じて機器をバージョンアップする、そういう強い意識を持った専門家集団がいるというのは非常に重要だと思っている。

いろいろな形でここをベースにナショナルプロジェクトをとりに行くことが可能だと思う。まずは、そのための仕組みづくりをしっかりしようと考えている。

それから最後は人材育成。こういった最先端の設備があり、いろいろな知見・知識あるいはニーズを持った企業の研究者が集まっている場所で、アカデミアの若い人たちが一緒になって研究をする。そういった意味では、多様な人材育成の可能性を提供するのではないかと期待している。

ただ、まだ 4 月にスタートしたばかりなので、これからという状況である。NIMS が中心となるが、産総研、筑波大学もアカデミア会員となって参加していただいている。企業は一定の会費を払って入ってきている。正会員は 1,000 万円、特別会員は 2,000 万円。

特別会員はこのオープンイノベーション拠点の経営・運営に直接コミットすることができる。企業が本気になると「会費よりももっとお金と人をもっとつぎ込んでもいいからこれをやりたい、ここの地続きの技術を完成させたい」という場合もあろう。ここまで来ると他の企業さんと一緒というのは、なかなか厳しいという側面が出てくる。そういうところはクローズドな共同研究でつなげていくというスキームにしている。いま 9 社が会員として集まり、一緒に活動を始めており、順次、企業から人がこの研究棟に集まっている。基本的にはカスタマーは企業ですので、企業の方のご意見をうかがいながら進めている。我々も運営上、判断に迷う場面に遭遇する時もあるが、そのような時には、経営会議にも入って頂いている特別会員の方と相談、議論して、その結果を正会員も含めた全体へ展開していくという形になっている。

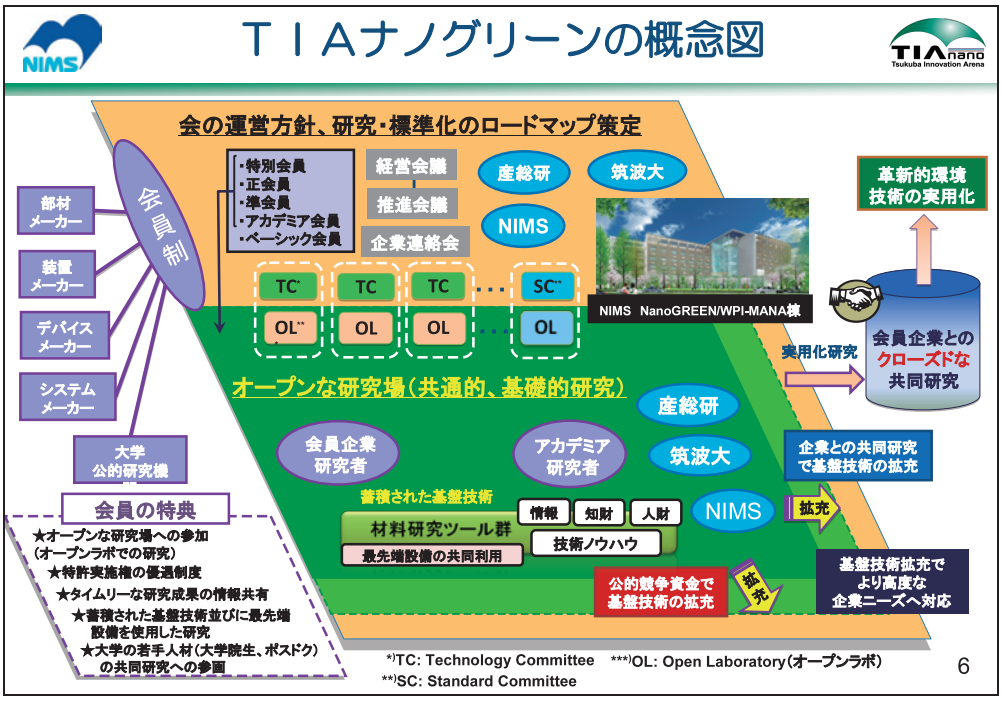



図 3

オープンイノベーションとクローズドの共同研究との地続きのところをどういうふうにうまく設計するか、これが非常に重要と認識している。オープンなところは、世界中の知恵を結集して産学の研究者が協力することで、将来の産業につながる技術の芽を創出していこうということで、自由闊達に議論できるスキームを用意している。

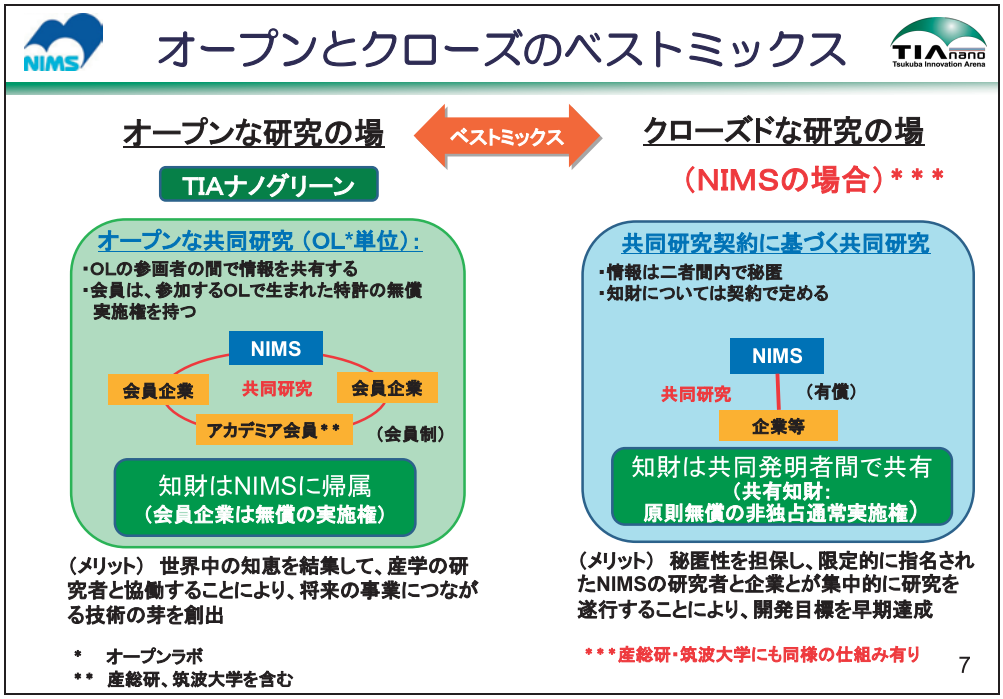



図 4

オープンイノベーションのところは、「NIMS はこういう高い技術を持っている。あるいは、そのバックグラウンド特許を持っている。これを産業界と一緒になって発展させたい」とまずは提案する。ただ企業のほうも、「NIMS さん、それいいですね。お金を投じますから是非がんばってください」というわけにはいかない。彼らの持っているマーケットの領域に発展させたい、あるいは自分たちの保有する技術とミックスして、融合技術をこの方向に拡大したいという要望があるわけで、その議論をここでする。その中で状況によっては、「ここまではオープンの場でやるのが適当ですね、これはクローズドですね」と仕分けをする。そういう形でテーマが拡大していく。ＮＩＭＳが提案するコアの部分に対して、企業の要望をここまでならオープンにできるが、ここからはクローズドで、という敷居をつくる。そのオープンのところを全部集めて、このオープンイノベーションの拠点でやる。

知財も NIMS が預からせていただくが、会員企業には無償の実施権を提供する。我々としては基本特許、バックグラウンド特許を提供するが、それは NIMS の中だけに閉じ込めておくと死蔵する危険性もある。こういう場に積極的に持っていって、企業と一緒になっていろいろな周辺特許を創出し、パッケージとして特許の価値を高める。それをライセンスしていくという戦略である。NIMS も永遠に保有するのは特許費用の面で非常に厳しいところがあるので、適当なところでインベントリをさせて頂く。優先度を決め、希望する会員企業に所有権を移していくことも行っていく。

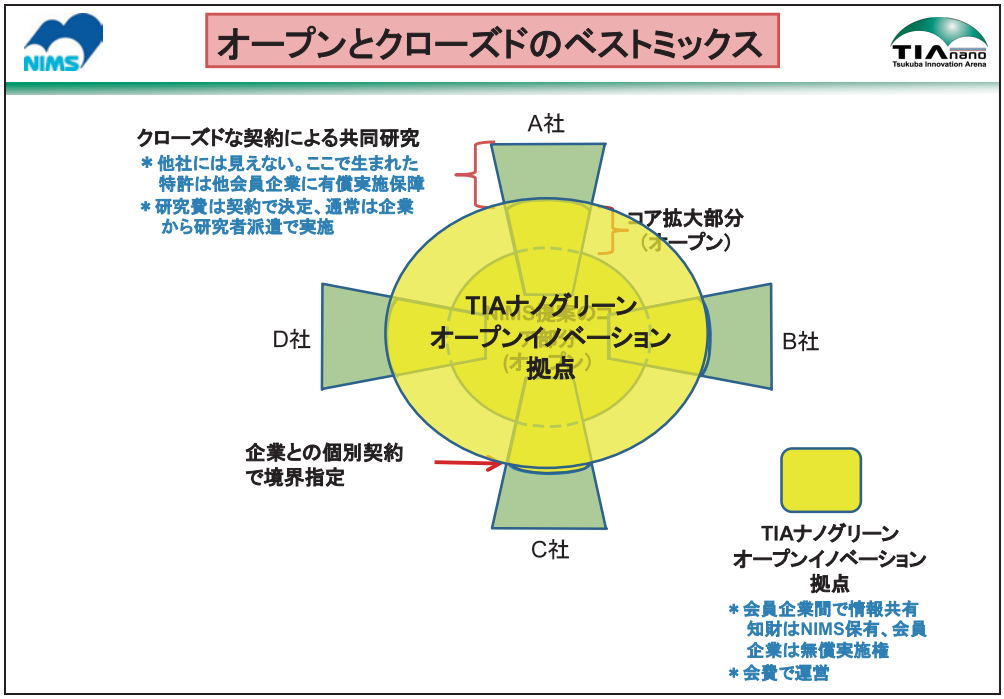



図 5

どのような技術の研究開発をするかというと、今は 3 つのラボを立ち上げており、1 つは電気エネルギーのフローあるいは変換をどうマネージするか。それから熱のエネルギーのフローと変換、熱も非常に重要と考えており、これを 2 大テーマにしている。あとは省エネの新しい材料技術である。

それから海外企業については、いま 1 社だけだが、これからおそらく増えていくと期待している。今の事業環境の中では、日本企業はどんどん海外展開していくだろう。円高や電気代などの問題もあるし、それ以前にマーケット自身がもう日本ではなくアジアになってきている。そういう状況の中で、IMEC が予算 300 億のうち日本から 50 億をとってきていることに代表されるように、R&D まで海外にとられてしまう危険性がある。一方で、日本企業も国内のアカデミアを相手にしているわけではなく、海外へ積極的にいろいろな共同研究を仕掛けていっているという意味で、我々、学・独サイドもグローバル化への対応が必要になっている。今は海外企業に関しては、技術の出入りのバランス面でメリットのある企業は受け入れたいと考えている。海外のグローバルなトップ企業群というのは、やはりトップを張っているだけの理由があって、将来のマーケットあるいは技術について、いろいろな情報を持っている。我々もそこから学びたいという思いがある。

あとは人材の話になるが、NIMS はスタートして 10 年の間に世界に伍して、日本では材料の研究ではトップの研究所になった。海外の研究者との共同の論文、それから国内の他の研究機関の研究者との共同論文が増え、各々、全体の 1／3 を占めるようになっている。昔はこれが 10%ずつだった。海外の研究者を積極的に受け入れることでグローバル化を進め、しかも外部との共同研究を推進していった。岸先生が理事長だった時代にそれを非常にドライブしてきたことが、今のこのポジションにつながっている。すなわち、海外の研究者をどううまく取り込むかということが非常に重要になっている。NIMS は大

学のような教育機関ではないが、国内外の大学と連携した大学院制度を設け、大勢の学生を受け入れている。研究者全体では、およそ30%が海外からの研究者である。

人材育成面でグローバル化を進めようとICYS（International Center for Young Scientists）という組織を作っている。ポスドクから選ばれた人がICYSに入って、それがNIMSの職員になり、あるいは海外のいろいろなところ、あるいは国内の大学といったところへ就職していく。今だいたい20人強の博士号を持った若手研究者が所属しているが、このうち4分の1が日本人、あとは海外の人である。この組織はいろいろな意味でNIMSのグローバル化をドライブしている。研究者だけでなく、スタッフも英語力が非常に高いので、日常生活まで含めたフルサポートをICYS所属の研究者に対して与えている。海外から来た研究員が即日研究に参加できるだけの研究インフラが整っている。今の課題はいい人をとろうという力学だけで進むと、中国からの研究者の割合が多くなってしまうので、日本の若手研究者を増やしたい、また、国の多様性を確保していきたいと考えており、それをどうやるかが課題になっている。新しく建設された建物はMANA棟とナノグリーン棟から成っている。MANA棟は半分以上の研究者が海外からの研究者で、完全に英語のコミュニティとなっている。ナノグリーン棟は基本的に産業界との連携を訴求したオープンラボであり、この両方がインタラクションスペースで、食事やいろいろなことでコミュニケーションできるようになっている。ここのメルティング機能を我々は期待していて、それを推進するためにいろいろな形で合同のセミナーなどを実行しようと考えている。

オープンイノベーション拠点では、筑波大学との連携をいま進めている。実際に何人かの先生に来ていただき、先生方もTIAに学生さんを送り込もうとしている。ここの1つの悩みは、大学は研究室にとって非常に重要な財産であるドクターの学生さんは出したくないとの考え。筑波大学の先生からは、「ドクター400人に対して、1900人のマスターなので、マスターの学生をTIAのような良い環境で是非、働かせてください」と言われている。我々はRA費を払って学生さんを雇用する。企業の人が来ているため秘密保持をキープした形で実行するためだが、今いくつか他の大学ともこういうTIAでの連携の可能性を議論をしている。これから海外へと展開していきたい。

【質疑応答】

■ いま大学でも素性の明らかでない中国の企業から、いろいろな共同研究の申し込みがあったり、随分持っていかれそうな不安のある事例もあるが、具体的に拒否されたような例はあるか。

→海外企業に対してはメリットのない場合は拒否する。ちなみにIMECは基本的に海外どこの企業が来てもウェルカムだと言っていたが、MINATECでは明文化はされていないが彼らのポリシーがあって、ある国は拒否しますということを明確に言っている。これは基本的には推進会議、経営会議、企業の方との議論でいろいろ決めていく。あとは、グローバル企業でも、ある技術領域では初心者だという場合は、そういった領域での参加はお断りさせていただく。

■ 東北大でもそのような感じで会員企業というようにやっているが、コンペティターに関してはどういうルールになっているか。

→ IMEC や MINATEC に聞くと、彼らはコンペティターは入れないと言っている。我々は最初に入った企業のコンペティターが入ってくるときは､その企業といろいろ議論する。オープンな場ということで、その企業が「いや、それはウェルカムだよ。ビジネスはその上のフェーズで戦うから、そういうところで一緒にやって、彼らのいろいろな意見も聞きたいね」と言うのであれば、それは入れるということ。

■ 材料の方からアプローチしていくと、融合の場合に相手はデバイスなど、かなり基礎知識も違うものが望まれると思う。そこの教育が割と難しいというか、ロングレンジでせっかく 2 つの領域でもう少し広く教育をしたいとか、その分野のバックグラウンドを身につけてもらいたいといったことが出てくると思うが、NIMS は大学と違うので科目を揃えるということはないのかもしれないが、方針というものはおありなのか。

→ターゲットに向かって集中して研究するということ以外に、ベースになるような学問、基礎技術も重要になる。それは、大学の先生方に来ていただくという事も必要だろう。あとは TIA ナノグリーンでは、ひっきりなしにいろいろなセミナーを会員向けにやっており、そういうところでは、その分野の先生方に来ていただいて、いろいろな講義というかセミナーでのお話と、そのあと懇親会のような形をもって、いろいろなディスカッションするという場を積極的に設けようとしている。

→いま NIMS の中には北大のドクターが 20 人ほどいる。少なくとも化学系については必要単位があるので、それについては北大に来て単位を取得する。だから、基盤的なところは、北大の学生としてのトレーニングを受けつつ、研究を NIMS で実施する。北大から NIMS に来て思うのは、たしかにファシリティやサポート体制など、圧倒的に NIMS は恵まれていて、逆に恵まれすぎていて学生が頼めば測ってくれるという、そういうふうになりかねないので注意が必要。

■ それぞれ研究の進め方で外国の拠点のほうが魅力があるのならば、できるだけそういうものを日本の大学に注文していただいて、日本の大学のナレッジも活用していただきたいと思うし、逆に日本の大学が外国の企業とやることで、そういうやり方について学ぶことがあれば、そういうものをシェアして自分たちのやり方を少しずつインターナショナルなものにしていくということもあると思うが、何かありますか。

→私も企業にいたときに MIT やスタンフォードと付き合っていたが、何といってもリエゾンというか、スタッフがしっかりしている。彼らは企業が何を欲しがっているか、よくわかっている。また、非常にうまいプレゼンをされる。そういうサポートするスタッフが圧倒的に充実していることを感じる。あとは、やはりテーマの設定、企業にとって魅力的なテーマに対して、必要な先生方を全部揃えてパッケージで見せていく。その辺のところは、やはり向こうのやり方に学ぶべきところがいろいろあるのではないかと考える。実力は、日本がけっして劣っているとは思えない。

■ その辺りを一歩踏み出せば、意外とすぐできるのはないかと思っているので、その

50億も外国に行っているということが、ある意味でショックなのではないかと思う。
→ IMECの50億は、環境部門に関してはTIAががんばれば少し取り戻せるのではないかと思うが、私は人材育成、とくに教育に関しては、本当にTIAでうまくいくかどうかは、まだわからない。

■ これはある意味でいうと、非常に基礎的な研究場所と人間の交わる場所をつくったということで、言い換えれば、いろいろな人種がいるような村をつくったということだと思う。一方で、ここで集まる人たちというのは、やはりあるカテゴリの人たちが集まるに留まる。たとえばまったく違う人たちと触れ合うような場を若い研究者が持つといろいろなアイディアが出てくる。若いうちにまったく異分野の人と会う機会がほとんどない。生物関係の人など全然いない。今週、10年前にやっていたさきがけの同窓会があった。さきがけ研究というのは、そのときは1つの括りの中にいた人たちばかりだったが、10年経つと皆バラバラなことをやっている。研究発表会をやって議論をすると非常に面白い。「ああ、こんなことが進んでいるのだ」とやっとわかるのが、我々のようになってそういう場がやっと持てる。でも、それを20代後半や30代前半の人が持つ場がないということで、これは大きな村の実例としていいと思うのだが、もっとスケールの大きい人間の交流の場を考えないといけないのではないか。外国人は結構、全然違う交流を持ちたがるが、そこを積極的に動かす仕組みをつくらないといけないのではないかと感じた。

→今の話は非常に重要なお話で、そういうことを具体的にどうやって実現していくかということが今後、ものすごく重要。つまり我々自身が将来こういうふうにしなさいというのではなく、若い人たちが予測のつかない世界、情勢の中で、自分たちの力で情報を集めて、自分たちの力で考えて、そして打開策を提示していくという若い人を育てなければいけない。そういう意味でたとえば米国の例でいうと、たとえばコーネル大学のナノテクのファシリティでは、大きな建物、フィールドホールというものを建てて、そこにいろいろなプロジェクトを入れている。それからいろいろな測定器もそこに入れる。それと同時に、そこを利用する人たちのオフィスはパーテーションを低くして大きな部屋にざっくり入れる。そこで自由に交流させるといったことをやっている。それからやはり米国も放っておくと、たこつぼになりやすいので、たとえば米国の物理学会は若いポスドクあるいは大学院生に対して、たとえば米国の物理学会でいうと、「あなた方の物理をやる人たちにとっては広大な新しい挑戦すべき領域がバイオの世界にありますよ」など、学会がそういうキャンペーンをやっている。応用物理学会は比較的そういうことをやってきた学会だと思うが、学会としてどういうことを今後やっていかれるのか、あるいは大学としてどういうことをやっていかれるのかといったことを、少しお聞きしたい。

たとえば今の話は、いま与えられている独立行政法人の、ある限られた裁量権だけれども、その自由裁量権をいかして、あそこまでやった。マネジメントの意思によって、かなりのことができるのだろうと思う。そういうことは、大学でも考えなければいけない。産業界に「何か言ってください」ではなく、自分から出かけていって聞いて、それに合うようなものを設計していく。あるいは新しい人材育成の方法を考えるとか、あるいは英語能力をどうやって高めるかといったこと、いろいろと問題が山積している。

■ 大学としてお話ししたいのだが、教育というのはものすごく重要な課題で、結果が出てくるには時間がかかる。たとえば、私がかかわっているグローバル COE では、若手教員にわざと全然違う分野の人を 2 人組み合わせて提案させて、そこに予算をつけるなどしている。しかし、そういうものが本当にいい成果として出てくるのに時間がかかる。それから、あとは博士課程の学生を育てるには、まずやはり海外経験だということで、3 カ月インターンシップに出し、しかも優秀な人は半年早く出すなど、やっているが、結果としていま産業界から声を聞くと、それですごくいい学生が来たという話はあまり聞いていない。むしろ 2 年ではなく、3 年しっかり教育してからよこせといった話のほうが多く、やや戸惑い気味のところがある。

■ アンダーワンルーフという点では、東工大はつい最近、環境エネルギーイノベーション棟というものをつくり、ここに環境エネルギーに関係する教員が 30 名ほどいるが、エネルギー・環境・工学・医学・社会理工学のような系が全部同じ建物に入っている。学生もフロアに 100 人ほど、仕切りなしで本当のアンダーワンルーフになっている。ではそこで本当に学生同士でパワーエレクトロニクスの学生や燃料電池の学生がうまく話し合いを始めているかというと、まだそこまでには至っていない。いろいろ手は打っているのですが、成果が本当に見えてくるには時間が必要ということがある。

■ 学会レベルで考えると、応用物理学会では今まで学生主体の活動はあまり表に出てきていなかった。それはまずいということがあり、今度はスチューデントチャプターというものをつくろうと思っている。あまり教員主体で指導するようなことではなく、学生ベースで提案してもらって、それはある大学の中のメンバーでもいいし、複数の大学でもいいのですが、そういうグループをつくらせて、学生がとにかく提案して何か活動するというようなことをやってもらったらどうかということも考えている。

■ 分野という点では、応用物理学会はかなりいろいろなところに興味を持っている研究者が多いので、もう少しアプリケーションのほうに裾野を広げたような形でもっていきたいと思っており、学会活動全体を少しそちらのほうに向けた研究会をつくっていこうかと思っている。具体的には、いま半導体がこういう状況ではあるが、まだパワーエレクトロニクスの分野等はかなり力を発揮できそうだということもあるので、パワーデバイス関連の材料、デバイス、少しシステムに足を突っ込んだぐらいのところまでをターゲットにしていきたい。「トップダウンでつくるぞ」というふうに宣言をしている。うちの場合、会長は 2 年間ありますので、その間に少しずつ見える形で改革していきたいと考えているところだ。

■ NIMS の話をうかがって、大変大勢の外国の方がおられるということで、これはそういう方も応物に取り込めるなと考えていたのだが、逆に今そういう方は、応用物理に入っていただいても、あまりメリットを感じられないのだと思う。学会員になっても春秋の講演会は全部日本語でおこなっている。そういう方々に「やはり応物に入ってよかった」というインセンティブを与えるように、今いろいろ考えている。その第一弾が、秋の応用物理学会の一部、たとえばシンポジウムなどを英語のプレゼンテー

ションにすることも考えており、実は来週から松山で応用物理学会が開かれるが、米国の OSA とのジョイントのシンポジウムもあり、10 個ほどのシンポジウムが英語でおこなわれる予定。来年は MRS とジョイントでやるので、20 件ぐらいのシンポジウムが全部英語でおこなわれることになるのですが、そういったものを皮切りにして、少しずつ英語にしていきたい。

■ ナノテクの一番の面白さは、ナノテクというコンセプトで分野を越えていろいろインタラクションをしやすい、そういう問題提起になっているところだと認識しているが、大学でいうと、教員自身がそういう問題意識を持ち、かつ隣接分野を勉強し合って興味をもたないと、いくら掛け声をかけても駄目。たとえばスタンフォードの先生でデバイスの分野の先生は、結構異分野の先生と楽しげに話をしている。私も相当やってきたつもりだが、米国はそういう姿勢が非常に強い。だから、大学の教育そのものを新しいコンテクストでやるという姿勢で、教員が改めて自分自身の研究活動と教育の内容について見直す必要があるように思う。一方で、そういうふうになったときに、学生さんたちを別の研究室にしばらく預けるといったことが効果があり、私などは NIMS に修士の学生さんをお世話いただいたりしており、自前の派遣予算も持っている。そういう面で、TIA は筑波と非常に近いのでやりやすいが、ぜひ他の大学ともそれを広げていただければと思う。

■ 韓国が 1997 年に IMF で一番苦しい時、ソウル大学の卒業生が 25%職がないという時代に、ソウル大学の先生が何と言っていたかというと、「韓国の会社が全部つぶれても、本学の学生は他の国の企業がとりに来るような人材を育てることをモットーにしている。それはきっと実を結ぶ」という話をしていた。それぐらいの自己責任というか、本来の業務に徹すると道が開けていくのかなと思う。今、日本の置かれている厳しさはそういうところだと思う。

# 4．サマリー

**●研究開発領域の俯瞰について**

- 課題解決型と謳う以上、各研究開発領域について、筋道、年限も入れた提言をきちんと示す必要がある。
- 俯瞰においても短期的な課題なのか、中長期的な課題なのかを示す必要がある。
- 社会が要求するのは機能である。材料設計という立場では、機能を発現するためにどうやって設計するかということから始めなければ俯瞰的にならない。
- 縦軸にあるようなは課題解決型の領域と横軸にあるようなナノシステム、ナノデバイス、プロセス・製造、材料、ナノ・材料科学技術基盤といった技術の領域をどうやって結び合わせてうまく選んでいくのか検討することが求められる。それには縦軸がきちんとシナリオを作らないかぎり成り立たない。そして、横軸の新しいもはかなり長期にやっていく、という方向ではないか。

※注：研究開発戦略センターにおいて科学技術の俯瞰と研究開発領域の提案は別の作業・プロセスである。俯瞰の結果､社会の課題とつき合わせて各技術をベストミックスさせて、提言すべき研究開発領域を抽出する。その際は、課題解決に向けたシナリオやロードマップも示した上で提言を行う。

**●課題解決型の研究開発について**

- 基盤的な先端の知識が、出口の分野で使えるような形でうまく提示され、コミュケーションが出来ているのか。たとえば、先端的な計測を特定の条件からなるべく幅広い条件に広げるという仕組みが重要。SPring-8 では産業利用に展開したことで、初期に思われていた以上の幅広い応用がされていて、非常に需要が伸びている。
- 今問われているのは、各領域をどうやって進めるかという、要するに What よりも How のほうが遥かに重要。
- 俯瞰を元にプロジェクトメーキングする人がいないというのが大きな問題。
- エネルギーの分野は第四期科学技術基本計画の課題解決ということから考えると、非常に重要なファクターとして「コスト」がある。日本のこれまでの技術開発は、性能追求でやる習慣があるが、原理的に可能であってもコストが高いと実用に至らないので、基礎研究をやるにしても考慮して行う必要がある。
- ライフの分野で課題解決型といったときに一番大事なのは、非臨床から治験、承認までのプロセスを研究者が企業と一緒に加速すること。研究開発とトランスレーショナル事業でを区切って、資金や人を切り分けてしまうのは、実体とまったく乖離している。同じ人が両方にコミットしてやらない限り、絶対にうまくいかない。従来のように基礎段階、応用段階、トランスレーショナル段階という段階別の拠点にして、別々のプロジェクトにして公募をするというのはナンセンス。大規模国際企業治験に持ち込むことが必須で、シーズ、非臨床、治験、承認までをシームレスに１つのところでやることが重要。
- 一方で、治験をやって承認までもっていくとき、これは研究者の仕事でないと放り出してしまうと何も進まない。医療機関に渡しただけでは開発に乗らないから、海外の

医療機関はそれ自身がエンタープライズ化している。医療機関自体が研究者と一緒になってそこまでやる体制を作り込んでいることが重要。

**●人材育成**

- これまでエレクトロニクス会社、化学会社ががんばって人材育成してきたが、その企業環境が今非常に大きく変わってきている。そういう中でこの分野の人材をどういう形で今後育ててプロフェッショナルとしてやっていけるようにするかということは相当工夫が必要。
- 日本は人口が限られているので、若い人が出てきたときにそのタレントをどこにどれくらい振り分けるか。従来日本が割と得意だったところに出口をあわせて絵を描くと、必ずしも現状とあわなくなっている。
- 1 人の個人の中に医と工が入ってくるようなキャリアパスが必要。医師が手術をしているときに、工学の人が意見を言える、医学部の人が装置開発をしてしまうなどのようにもっていくことが重要。
- まったく違う分野の人たちと触れ合うような場を若い研究者が持つと、いろいろなアイディアが出てくる。もっとスケールの大きい人間の交流の場を考えて、積極的に動かす仕組みが必要。

**●連携融合プロジェクトにおける共用のあり方**

- 東大のナノバイオ融合拠点では、経費に関して、3 割を研究者に配分し、残りは全部共用ベースで使用。具体的には、共通機器の整備費と拠点活動の活性化費、それからこの共通機器を整備するために必要な支援スタッフと教員の充実に充当。
- 自分の研究分野を一気に、あるいは部分的にでも応用や異分野にもっていこうとすると、一からいろいろなものを全部揃えていかなければいけない。そこに踏み切れないという部分が結構あるのではないか。

**●イノベーションの類型**

- 経済と結びついたイノベーションというのは、大きく類型は 2 つになっており、両方とも、サイエンスとテクノロジーから来ている。1 つは、提供する価値としては従来から既にあるもの、まったく新しいというものではないけれども、中で何か新しいものが取り入れられている。その価値を誰と共有するかというと、エンドユーザーの場合もあるが、商売をやっている側はもっと儲かるようになっている。もう 1 つは、iPad のように従来なかったものによる新しい市場の創造のようなもの。

**●科学からビジネスまで**

- サイエンスとテクノロジーとエンジニアリングとビジネスというのは役割分担がある。一方で統計をとると、実際に薬は、発見されてから医者が使うまでの時間がすごい勢いで短くなっていることがわかっている。世界的にはそれらをつなぐ仕掛けはすごく進歩している。
- ビジネスは、サイエンスやテクノロジーではないところで価値があるかないか決まることが往々にしてある。出口があるのかないのかという議論をし始めると、エンジニ

アの責任だけで決まらないことはたくさんある。

- 研究成果をどういうところに活用するか、については出口を少し広めに考えるべきである。日本の産業の中だけで考えているとすごく狭くなってしまう。出口の設計をするときに、フレキシブルに考えることが重要である。
- 話をする相手が非常に限られているということがイノベーションのチャンスを減らしている。イノベーションはサイエンスだけで解決しない問題があるので、次のセクターとのコミュニケーションが非常に重要になってくる。それはシステム化というところへナノが進化していく姿と同調する。

**●技術から事業へ**

- エレクトロニクスをはじめ、いま日本の企業がなぜ存在感がないかというと、古いインフラで稼いでいるため、新しいインフラあるいはビジネスモデルで稼いでいる海外の会社よりも稼ぎが悪いから。工場は、設備投資の回収に最低 5 年かかる。先に投資したことが足かせになって、新しいテクノロジーが使えない。
- しかし、世界でトップクラスの事業規模を有するごく一部の会社のみが、回収前に新たな設備投資をすることができる。
- 細野先生の例は、サイエンティフィックな従来の発想からジャンプするところと、産業がテクノロジーの使い方という意味で、行き止まりまで行ってしまっているということが、ちょうど合った時期であった。テクノロジーがきちんとエンジニアリングに結びついていく事例というのは、グローバルにみればある。
- 大学の成果（新材料等）は企業にはじめから理解されるわけではない（インパクトファクターの高い論文だけでは企業はいいところだけをとって論文を書いているのだということで信用しない。）プロセスまできちんと科学的に信頼性・許容性を明らかにする必要がある。
- 大学の特許だけでは事業につながらない。IGZO においては、企業と一緒に特許戦略を検討した。
- 企業の中で見ても技術と事業はなかなかつながらない。
- 今のようにほとんどリニアモデルに近いような形でシーズのほうから進めていってしまうと、大きなギャップがある。
- これから 5 年、10 年という世界をみたときに、世の中がどう変わって、その本質は何なのか、この辺の領域というイメージがまずあって、それをブレイクダウンしたときに機能がどういうふうに設計できるか。さらにそれを材料に落とし込んでいくと、どういうふうにいくかというような、そういうストーリーで研究開発が進むことが望ましい。

**●オープンイノベーション**

- 企業側からしても、もはや国内市場を前提に考えるのでは成り立たない。産学連携についても同じ。
- 日本の企業は今海外の大学と共同研究を強化しているし、資金もそちらへ流れている。IMEC の年間 300 億円の予算うち 50 億円を日本企業が払っている。
- 日本の大学や公的研究機関も、グローバルに展開しないと、まったく相手にされない

という状況。海外の人材との交流を促進することも重要。

- 産業界と議論をすると、市場社会のニーズを認識した上で、こういう側面で新しい技術が生まれる可能性があるのだということがわかる。日本の大学や公的研究機関は、潜在的な保有技術、その可能性を産業界といろいろ議論してアピールする場が必要。
- Battelle や SRI、MIT などは非常に熱心に日本企業を訪問している。興味を示すと、1 カ月ぐらいで共同研究計画のホワイトペーパーを送ってくる。いわゆるリエゾンオフィサーのようなサポートするスタッフが圧倒的に充実していて、学と産の間をつなぐためのいろいろな努力をしている。日本のアカデミアも組織としては、そういうトランスレーションする機能が必須。
- オープンとクローズ、地続きのところをどのように設計するかが非常に重要。個別に企業と議論をし､オープンとクローズの仕分けをする。コアの部分に対して､こういった企業のウォンツに対して、どこまでオープンにできるか、ここからはクローズである、という敷居をつくる。そのオープンのところを全部集める形でテーマが拡大していく。
- 従来の国プロは、大学の知財も含めて多くが国内特許（ある資料では国内特許だけを出して放置されているものが 90%を超える状態)。海外の特許をとらずに日本だけ特許が成立しても海外は痛くも痒くもない。それはある意味、教えているだけ。各大学や国の研究機関も、事業の構想がないまま、ただ知財を出すということでは、ほとんど意味がないどころかマイナスの面もある。

**●大学・公的機関における海外交流**

- 人材はますます国際的に流動化しているので、情報や技術が漏れるのは前提にものごとを考えないとうまくいかない。例としてドイツのフンボルト財団は、世界各地からの奨学生や財団が賞を与えた顕彰者などを Humboldtian として登録し、組織化をして Humboldt Network というものをつくっている。そして Humboldtian の継続的な交流を支援して、ドイツへ最新科学技術の取り込み、ドイツからの科学技術成果の世界展開を加速するということでやっている。予算は全て、ドイツの外務省から出ている。

# 付属資料

## 1．プログラム（敬称略）

開催日時：平成２４年９月８日（土）１０：００～１７：１０
開催場所：科学技術振興機構　東京本部別館１F ホール（東京都千代田区五番町７）

総合司会・座長　川合知二（大阪大学 /JST-CRDS）

10:00 ～ 10:30　開会挨拶　～「ナノテク・材料」俯瞰の背景～　田中一宜（JST-CRDS）

10:30 ～ 12:35　趣旨説明および事前分科会の報告
（CRDS における検討手法・俯瞰構造と重要領域の抽出）

| | | |
|---|---|---|
| 10:30 ～ 10:40 | 全体事項説明 | 永野智己（JST-CRDS） |
| 10:40 ～ 11:10 | 内閣府 WG での活動、グリーンイノベーションへの貢献 | 馬場寿夫　〃 |
| 11:10 ～ 11:25 | ライフイノベーションへの貢献 | 中本信也　〃 |
| 11:25 ～ 11:40 | 復興再生･国家基盤としてのナノ･材料重要技術 | 島津博基　〃 |
| 11:40 ～ 12:00 | 基盤技術としてのナノ・材料技術 | 〃　〃 |
| 12:00 ～ 12:35 | 質疑・討論 | |

12:35 ～ 13:10　休　憩

13:10 ～ 15:10　全体討論①　（各講演 15 分 + 議論 20 分）

| | | |
|---|---|---|
| 13:10 ～ 13:45 | 話題提供 -1「連携・融合の実践とこれからの課題」 | 片岡一則（東大） |
| 13:45 ～ 14:20 | 話題提供 -2「トップサイエンスからトップイノベーションを生み出すには」 | 細野秀雄（東工大） |
| 14:20 ～ 14:55 | 話題提供 -3「事業を創造する技術･製品とは（国際競争における日本の課題）」 | 塚本建次（昭和電工） |
| 14:55 ～ 15:15 | 休　憩 | |

15:15 ～ 16:35　全体討論②　（各講演 20 分 + 議論 20 分）

| | | |
|---|---|---|
| 15:15 ～ 15:55 | 話題提供 -4「国際連携・社会受容の諸課題と方策」 | 竹村誠洋（NIMS） |
| 15:55 ～ 16:35 | 話題提供 -5「融合拠点・人材育成のこれから」 | 曽根純一（NIMS/JST） |

16:35 ～ 17:05　まとめと全体議論　川合知二（大阪大学 /JST-CRDS）
17:05 ～ 17:10　閉会　田中一宜（JST-CRDS）

## 2．参加者一覧

| 氏　　名 | 所　　属　・　役　　職 |
|---|---|
| 片岡　一則 | 東京大学大学院工学系研究科　教授 |
| 金山　敏彦 | 産業技術総合研究所　理事 |
| 亀井　信一 | 株式会社三菱総合研究所　人間・生活研究本部　本部長 |
| 川合　知二 | 大阪大学産業科学研究所　特任教授　／　科学技術振興機構研究開発戦略センター　ナノテクノロジー・材料ユニット　特任フェロー |
| 栗原　和枝 | 東北大学原子分子材料科学高等研究機構　教授 |
| 小長井　誠 | 東京工業大学大学院理工学研究科　教授 |
| 榊　　裕之 | 豊田工業大学　学長 |
| 澤本　光男 | 京都大学大学院工学研究科　教授 |
| 下山　淳一 | 東京大学大学院工学系研究科　准教授 |
| 瀬戸山　亨 | 株式会社三菱化学科学技術研究センター　合成技術研究所　フェロー・理事 |
| 曽根　純一 | 物質・材料研究機構　理事　／　科学技術振興機構研究開発戦略センター　ナノテクノロジー・材料ユニット　特任フェロー |
| 竹村　誠洋 | 物質・材料研究機構　調査分析室　室長 |
| 田中　　賢 | 山形大学大学院理工学研究科　教授 |
| 塚本　建次 | 昭和電工株式会社　技術顧問 |
| 西野　壽一 | 株式会社日立製作所　執行役常務 |
| 細野　秀雄 | 東京工業大学フロンティア研究機構　教授 |

JST-CRDS

| 氏　　名 | 所　　属　・　役　　職 |
|---|---|
| 田中　一宜 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　ナノテクノロジー・材料ユニット　上席フェロー |
| 浅島　　誠 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　ライフサイエンス・臨床医学ユニット　上席フェロー |
| 笠木　伸英 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　環境エネルギーユニット　上席フェロー |
| 丹羽　邦彦 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　電子情報通信ユニット　上席フェロー |
| 石原　　聰 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　ナノテクノロジー・材料ユニット　特任フェロー　／　一般財団法人ニューメディア開発協会 ニューメディア総合研究所 所長 |
| 魚崎　浩平 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　ナノテクノロジー・材料ユニット　特任フェロー　／　物質・材料研究機構　MANA-ナノグリーン分野　MANA コーディネーター・主任研究者 |
| 田中　秀治 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　ナノテクノロジー・材料ユニット　特任フェロー　／　東北大学大学院工学研究科　准教授 |
| 佐藤　勝昭 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　フェロー／さきがけ「次世代デバイス」領域　研究総括 |
| 河村誠一郎 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　フェロー・エキスパート |

| 氏　　名 | 所　　属　・　役　　職 |
|---|---|
| 島津　博基 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　フェロー |
| 永野　智己 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　フェロー |
| 中山　智弘 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　フェロー・エキスパート |
| 中本　信也 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　フェロー |
| 馬場　寿夫 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　フェロー |
| 宮下　　永 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　環境エネルギーユニット兼ナノテクノロジー・材料ユニット　フェロー |
| 高島　洋典 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　電子情報通信ユニット　フェロー |
| 川口　　哲 | 科学技術振興機構 研究開発戦略センター　ライフサイエンス・臨床医学ユニット　フェロー |

## 参加者（オブザーバー）

| 氏　　名 | 所属・役職 |
|---|---|
| 守屋　直文 | 内閣府　総合科学技術会議事務局ナノテクノロジー・材料担当　政策企画調査官 |
| 北岡　康夫 | 経済産業省 製造産業局ファインセラミックス・ナノテクノロジー・材料戦略室 産業戦略官 |
| 河西　純一 | 物質・材料研究機構　企画部門　企画調整室　次長 |
| 門平　卓也 | 物質・材料研究機構　調査分析室　主任エンジニア |
| 川喜多磨美子 | 物質・材料研究機構　ナノテクノロジープラットフォームセンター　マネージャー |
| 桐原　和大 | 新エネルギー・産業技術総合開発機構　電子・材料・ナノテクノロジー部　主任研究員 |
| 山崎　光浩 | 新エネルギー・産業技術総合開発機構　電子・材料・ナノテクノロジー部　主査 |
| 林　　正秀 | 一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会　事務局長 |
| 古川　雅士 | 科学技術振興機構　経営企画部イノベーション科学技術戦略室　チームリーダー |
| 荒岡　　礼 | 科学技術振興機構　経営企画部イノベーション科学技術戦略室　メンバー |
| 平川　誠也 | 科学技術振興機構　経営企画部イノベーション科学技術戦略室　メンバー |
| 嶋林ゆう子 | 科学技術振興機構　経営企画部イノベーション科学技術戦略室　主査 |
| 実近　健一 | 科学技術振興機構　戦略研究推進部　研究評価タスクフォース　主任調査員 |
| 東　　陽介 | 科学技術振興機構　産学官連携ネットワーク部　ナノテクノロジープラットフォーム 産学官連携推進マネージャー |
| 神谷　靖雄 | 科学技術振興機構　産学官連携ネットワーク部　ナノテクノロジープラットフォーム 産学官連携推進マネージャー |
| 北村佐津木 | 科学技術振興機構　産学官連携ネットワーク部　ナノテクノロジープラットフォーム 産学官連携推進マネージャー |

■ワークショップ企画・報告書編纂メンバー■

| | |
|---|---|
| 田中　一宜 | 上席フェロー |
| 河村誠一郎 | フェロー・エキスパート |
| 島津　博基 | フェロー |
| 永野　智己 | フェロー |
| 中本　信也 | フェロー |
| 中山　智弘 | フェロー・エキスパート |
| 馬場　寿夫 | フェロー |
| 宮下　　永 | フェロー |
| 石原　　聰 | 特任フェロー |
| 魚崎　浩平 | 特任フェロー |
| 川合　知二 | 特任フェロー |
| 北澤　宏一 | 特任フェロー |
| 曽根　純一 | 特任フェロー |
| 田中　秀治 | 特任フェロー |
| 村井　眞二 | 特任フェロー |

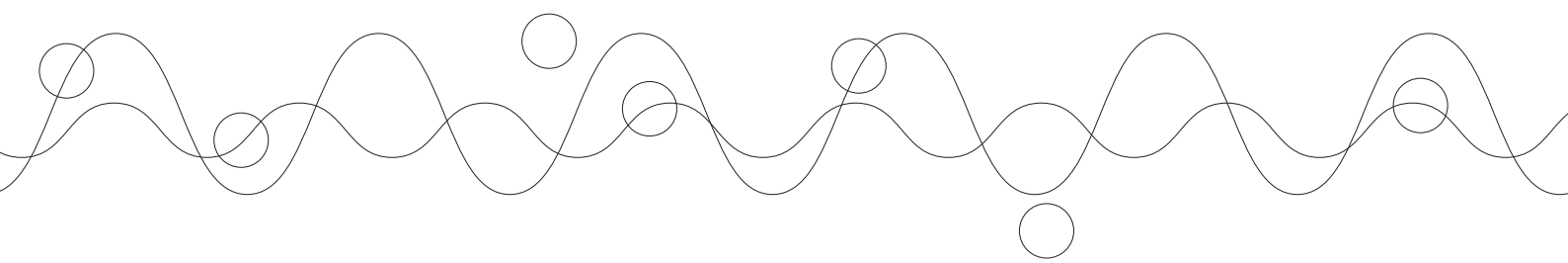
CRDS-FY2012-WR-05

ナノテクノロジー・材料分野

# 俯瞰ワークショップ 報告書（全体会議）

平成 25 年 1 月

独立行政法人科学技術振興機構　研究開発戦略センター　ナノテクノロジー・材料ユニット
Nanotechnology/Materials Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒102-0076　東京都千代田区五番町 7
電　　話　03-5214-7481
http://crds.jst.go.jp/
ⓒ2012 JST/CRDS

許可無く複写／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。
No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission. Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.