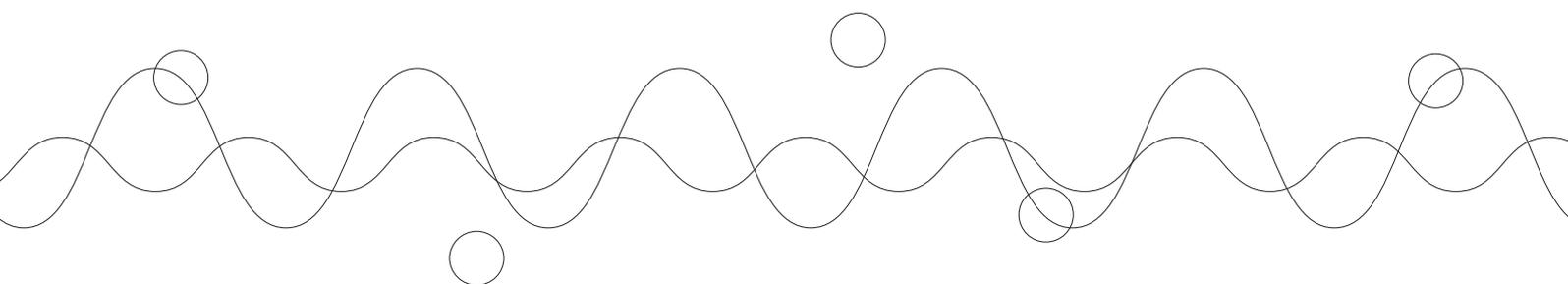


CRDS-FY2014-WR-12

俯瞰ワークショップ報告書
ナノテクノロジー・材料分野「全体構想会議」

平成26年7月16日（木）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

エグゼクティブサマリー

本報告書は、(独) 科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター (CRDS) が平成 26 年 7 月 16 日に JST 東京本部別館にて開催した俯瞰ワークショップ「ナノテクノロジー・材料分野 全体構想会議」に関するものである。このワークショップは、CRDS が 2013~2014 年にかけておこなってきた一連の俯瞰ワークショップ技術領域別分科会を踏まえて開催したものであり、次期科学技術基本計画期間を含む向こう 10 年程度を見据えて、科学技術政策におけるナノテクノロジー・材料分野の推進の在り方や、構造的課題について参加者間で議論し論点を共有することを目的に開催したものである。

CRDS の分野別俯瞰活動は 2 年ごとに見直すこととしており、すなわち 2 年間をかけて内外の研究開発動向全体を調査・分析して、その結果を俯瞰報告書に取りまとめることとしている。今回の俯瞰活動の最終的な結果は、俯瞰報告書 2015 年版として 2015 年度初に発行の予定である。

今回 CRDS では事前の領域別分科会において、2011~2012 年の俯瞰からさらに踏み込んだ調査が必要であると判断した 5 つの領域に注目してきた。それは、ナノ計測技術、光 (フォトンクス・オプティクス)、バイオナノテクノロジー、新物質・新材料、ものづくり・製造・生産技術の 5 領域である。(これら 5 つの領域別分科会の報告書は CRDS の web サイトで公開している)。分科会や関連の調査活動、そして第 3 期および第 4 期科学技術基本計画期間を踏まえた現状認識と問題点を共有したうえで、『日本が 2016 年からの次期計画期間を含む向こう 10 年間程度において、ナノテクノロジー・材料分野の科学技術全体の研究開発を如何なる方向性で推進すべきかを展望する』ことが、この俯瞰ワークショップ全体構想会議の目的であった。特に、他の分野、環境・エネルギー、医療・健康、ICT や、各産業技術の諸領域に対して非連続な革新をもたらし、競争力の源泉となる科学と技術を生み出し続けるためのナノテクノロジー・材料分野の推進方策の議論、また、学术界の活性化や変革に何が求められるのかについて、参加者間で活発な議論がおこなわれることを期待した。ワークショップの形態としては、CRDS ナノテクノロジー・材料ユニットに所属する 6 名の特任フェローが独自の問題意識を順に表明していくかたちを取り、そのそれぞれについてディスカッションを経た後、参加者全員による総合討論をおこなった。上記 6 名の他に、ディスカッサントとして産学独からの識者および内閣府、文部科学省、経済産業省の各担当官を招聘し、様々な角度からの意見提示を得た。

議論は、ナノテクノロジー・材料分野だけではない科学技術政策全体を推進する上での、組織、仕組み、人材育成、教育、グローバル化への対応、文化的考察にまで及んだ。また、戦略という観点では、戦略の構築・策定プロセス、戦略と共に「戦術」にも特化することの国際競争上の重要性、未来動向、国レベルの科学技術戦略と企業戦略との関係性・調和性など、それぞれの主張と議論は広範且つ深い洞察にもとづくものとなった。全体として一致をみたことは、ナノテクノロジー・材料に関する科学技術は、他のあらゆる科学技術分野の先端研究開発や競争力を強化するために今や必須の横断的分野であるということである。その推進にあたっては特に「サイエンスに立脚し、技術融合をドライブし、技術シーズの市場化へ向けてシステム化を促進すること」、「国際コミュニケーションを図りながら、日本全体をカバーする産官学連携のナノテク・材料研究開発のプラットフォーム構築」が重要であるといった、イノベーション環境の整備と戦略的運営が中核概念となる。

目 次

エグゼクティブサマリー

第一部	1
1-1. ワークショップ開催趣旨説明 永野智己 (JST-CRDS)	1
1-2. ナノテク・材料分野の俯瞰と展望 曾根純一 (JST-CRDS)	3
第二部	8
2-1. 構造的課題 (組織・仕組み・人材育成) にどう取り組むか ～CRDS の経験から～ 田中一宜 (産業技術総合研究所)	8
2-2. 今後の科学技術政策に対する文化的考察 河田 聡 (大阪大学)	15
2-3. ナノテクノロジー・材料分野においてなすべきこと – 2、3 の事柄 – 川合知二 (大阪大学)	19
2-4. グリーンナノテクノロジーにおける課題 魚崎浩平 (物質・材料研究機構)	24
2-5. 戦略とともに戦術を 村井眞二 (奈良先端科学技術大学院大学)	29
2-6. 日本の大型新技術の未来動向とナノテクとの関係 北澤宏一 (東京都市大学)	36
第三部	40
総合討論	40
付録	44
付録 1 プログラム	44
付録 2 参加者一覧	45

第一部

1-1. ワークショップ開催趣旨説明

永野 智己 (JST-CRDS)

研究開発戦略センター (CRDS) は、国の科学技術イノベーション政策に関する調査、分析、提案を中立的な立場で行う公的シンクタンクの一つであり、文部科学省を主務省とする科学技術振興機構 (JST) に属する。CRDS では、科学技術分野全体像の把握 (俯瞰)、社会的期待の分析、国内外の動向調査や国際比較を踏まえて、さまざまな分野の専門家や政策立案者との対話を通じ、「戦略プロポーザル」を作成する。日々試行錯誤を続け、方法論を開発・改善しながら戦略プロポーザルを作成している。プロポーザルの土台には分野全体の「俯瞰」があり、この俯瞰に最も力を入れている。俯瞰の単位は「環境・エネルギー」、「ライフサイエンス・臨床医学」、「情報科学技術」、「ナノテクノロジー・材料」、「システム科学技術」の5分野でおこない、世界各国の国家計画、投資戦略、研究ポテンシャル、技術進化そして企業化動向、重要な研究開発領域を含む分野全体の結果を「俯瞰報告書」としてまとめることにしている。俯瞰報告書は、CRDS が政策立案コミュニティおよび研究開発コミュニティとの継続的な対話を通じて把握した研究開発の大きな流れを、研究開発戦略立案の基礎資料とすることを目的として、CRDS の視点からまとめたものである。

本ワークショップは、ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰報告書を取りまとめる段階で開催するものである。前回 2011～2012 年におこなった俯瞰を、2013 年～2014 年をかけて見直し、その結果は本ワークショップ報告書とは別に、「俯瞰報告書 2015 年版」として発行する予定にしている。各分野における研究開発の方向性や主要な研究開発領域、さらに国際的なわが国のポジションを把握するのに役立つものとして、また、複数分野にまたがる新しい切り口からの研究開発戦略を立案することにも役立つことを期待している。

今回 2013 年～2014 年にかけて CRDS では、前回の俯瞰よりさらに踏み込んだ調査が必要と認識した5つの領域に注目し、俯瞰ワークショップ領域分科会を開催してきた。ナノ計測技術、光 (フォトンクス・オプティクス)、バイオナノテクノロジー、新物質・新材料、ものづくり・製造・生産技術の5つの領域である (5つの分科会の報告書を、それぞれ CRDS の web サイトで公開している)。これらの分科会や調査活動、第3期および第4期科学技術基本計画期間を踏まえた現状認識と問題点を共有したうえで、『日本が 2016 年からの次期計画期間を含む向こう 10 年間程度において、ナノテクノロジー・物質・材料科学技術分野全体の研究開発を如何なる方向性で推進すべきかを展望する』ことが、この俯瞰ワークショップ全体構想会議の目的である。特に、他分野、環境・エネルギー、ライフ・医療、ICT や産業技術の諸分野に対して、非連続な革新をもたらす、競争力の源泉となる科学と技術を生み出し続けるためのナノテクノロジー・材料分野の推進方策、また、学术界の活性化や変革に何が求められるのかについて、参加者間で活発な議論がおこなわれることを期待している。

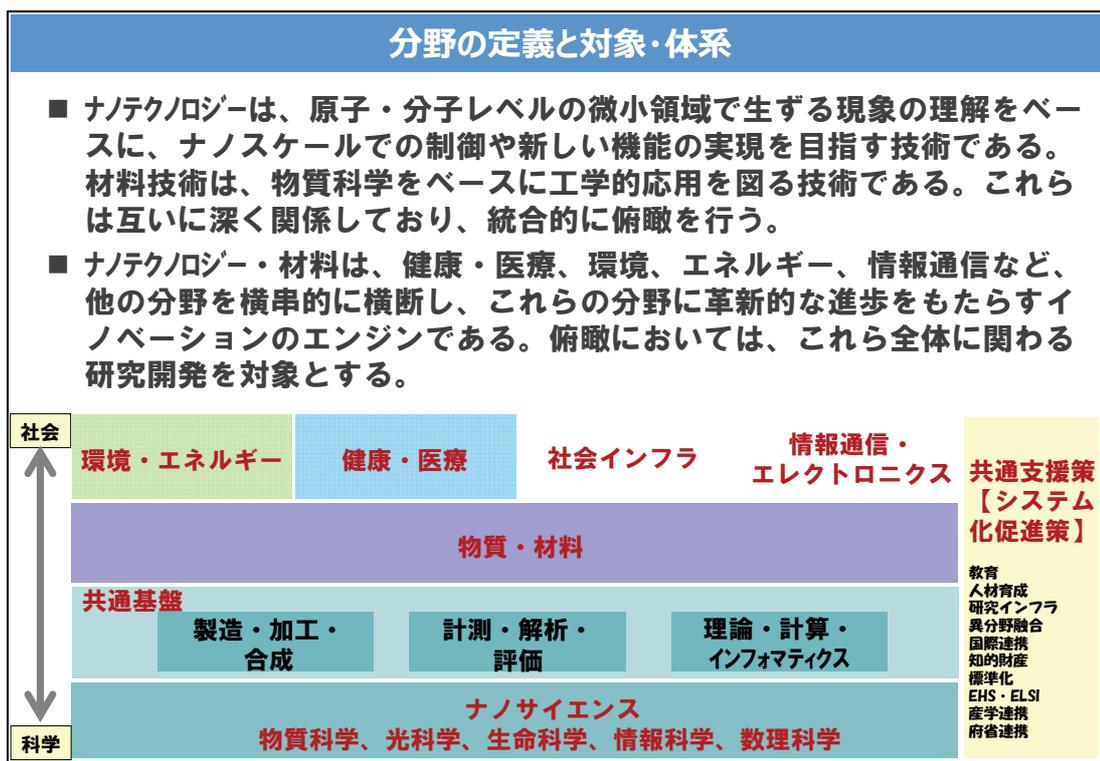
想定する論点としては、ナノテク・材料分野で今後期待される技術革新はどのようなものがあるか、基礎学術のみならず、産業化の可能性、その中で日本が国際的にどのような役割を果たすべきなのか。実際にそれを行っていくためには、国内のさまざまな問題や構造的な

事情があるが、それらに対してどのように取り組むべきなのか。グローバル化への対応、特に人材の面ではどうするのか。日本のアカデミアがどうあるべきなのか、そして産業界と学界との関係はどうしていくべきなのか。これらについて、参加者間で活発な議論がおこなわれることを期待する。

1-2. 「ナノテク・材料分野の俯瞰と展望」

曾根 純一（JST-CRDS）

CRDS が考えるナノテクノロジーの定義は、物質科学、光科学、ナノサイエンス、そういった科学・サイエンスをベースに、それを材料、部材、デバイス、部品、へ展開し、最終的に社会、すなわち健康・医療、環境・エネルギー、情報通信・エレクトロニクス、社会インフラすべてを貫くキーテクノロジーとしてイノベーションのエンジンであるとしている。これら全体に関わる研究開発戦略を練っていくのが、このワークショップの趣旨である。



CRDS 俯瞰報告書 2013 年版を発行して、その後 2 年間、内外には大きな変化があった。環境・エネルギーではシェールガスが登場し、現実には世の中を変えつつある。福島第一原子力発電所事故後のエネルギーミックスの見直し、地球温暖化への対応。昨年の COP の報告によれば温暖化問題の状況はますます厳しくなっている。健康・医療では、iPS 細胞を中心とする幹細胞への大型の研究投資と、再生医療、創薬スクリーニングへの期待が高まっている。また、ゲノムの解読の技術が劇的に進展している。そのような中で、半導体の技術の重要性がクローズアップされている。情報通信では、IoT の世界がやってきて、ビッグデータもどんどん進展しており、ナノテク・材料への多様な期待がある。また、それらを駆使することでナノテク・材料研究開発のやり方も変わってくる。一方、産業の方は、強い自動車産業の一方で、電子・電機産業がやや失速状態、部素材は第 4 の輸出産業として存在感を増している。これは、産業・技術の変遷とナノテクノロジーの進化と関係している。2000 年以降の IT 革命は、米国主導で進んだ。そのドライビング・フォースはなんといっても半導体の技術に代表されるデジタル化である。また、インターネットが世の中を完全に席卷し、産業構造はガラッと変わった。日本が得意だったエレクトロニクスも、アジアの急進、デジ

タル化による開発のモデル変更、グローバル化。これに対してナノテク・材料は何ができるのかを問われている。そうした流れを受けて、私たちはどのように考えていけばよいのか。

主要国（日・米・欧・中、韓）のナノテク・材料の政策的な位置づけを整理した。

主要国の国家戦略	
国	ナノテクおよび材料の基本政策
日本	◆第4期基本計画では共通基盤として位置づけ/特化したイニシアティブは無かったが、イノベーション総合戦略（2014）において新たに横断領域として位置づけ
米国	◆National Nanotechnology Initiative（2001-） -第4期新戦略プラン（2014-）。省庁横断テーマとして5つの重点領域を設定
	◆Materials Genome Initiative（2011-） -実験ツール、計算機、データの連携により、研究室での新材料の発見から製造までの時間を半減
欧州	EC ◆Horizon 2020（2014-） -産業課題のKey Enabling Technologies（KETs）として、ナノテクノロジー、先進材料、マイクロ・ナノエレクトロニクス、フォトニクス、先進製造が選定
	独 ◆Nano Initiative - Action Plan2015（2005-）2010年に更新（2期目） -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
	英 ◆UK Nanotechnologies Strategy（2010-） -BISが中心となった省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略
	◆UK COMPOSITES STRATEGY（2009-） -BISを中心に航空機、自動車向けの耐久性が高く軽量かつ高性能な複合材料の開発
仏	◆France Europe 2020（2013-） -製造業の復権においてナノエレ、ナノマテリアル、マイクロ・ナノ流体工学が優先領域
中国	◆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」、重大科学計画4分野の一つ「ナノ研究」 -第12次5か年計画の戦略的新興産業の一つ「新素材」
韓国	◆第三次科学技術基本計画（2013-2017） -30重点国家戦略技術の一つ「先端素材技術（無機、有機、炭素等）」 ◆ナノテクノロジー総合発展計画（2001-）2011年から3期目（ナノ融合2020） -研究開発、教育・人材育成、インフラ整備の3つの柱。

よく知られるようにアメリカは2001年にクリントン政権がNNIを開始した。アメリカはこの14年間、ぶれずに投資がされて施策を打ってきている。時代の変遷とともに重点が移ってきているが、国全体を貫く骨格としての政策になっている。最近では、2010年からナノテクノロジー・シグニチャー・イニシアチブとして、太陽エネルギーの収集・変換、そこはナノテクが非常に重要な役割を果たすだろうということである。それから最近、非常にクローズアップされているのは製造・ものづくりである。しかも、旧来のものづくりではなくて、ITで武装された新しいタイプのナノ製造、これが非常に重要になってきている。エレクトロニクスもBeyond 2020ということでナノエレクトロニクスが引っ張っているが、この後どうなっていくのかが重要だ。また、ナノ知識基盤、これも非常に重要になってきている。マテリアル・ゲノム・イニシアチブ（MGI）と関係している。また、5つめのイニシアティブになっているセンサーの重要性は医療・環境の側面からいうまでもない。

米国のThe Materials Genome Initiative（MGI）は、国家の安全保障、生活の向上、クリーンエネルギー、人材育成のために、この領域が非常に重要だとしている。特に、マテリアルイノベーションインフラストラクチャーということで、Computational ツール、実験装置、そして非常に重要になってきているのは、ビッグデータに代表される材料のデジタルデータ

である。これらをどう駆使して、材料の研究開発をどうスピードアップするか、どう低コスト化を実現するか、そういったアメリカの野心的な計画である。年間 100 億円規模の予算を投じる状況になっている。

欧州では、Horizon 2020 が開始した。ここでは 3 つのプライオリティを挙げているが、卓越した科学、そして産業化に重要な Key Enabling Technologies。これらのテーマは全てナノテクノロジー・材料に関係している。米国も欧州もアジアも、ナノテックが科学と産業を切り拓くという認識の下に着実に投資を継続している。

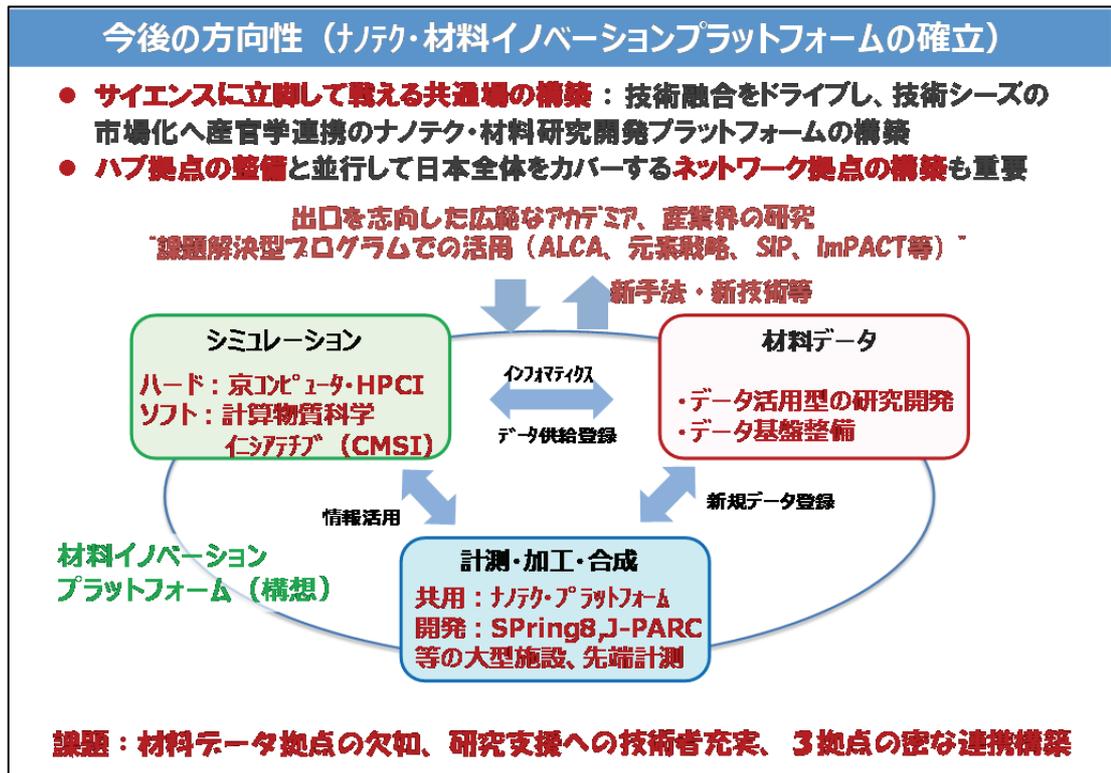
また、エネルギーに関しては、米エネルギー省が非常に大きな資金を投じてクリーンエネルギーへ向かっている。オバマ政権発足時の大きな戦略だったが、シェールガスが普及したり、様々な時代の変遷があるものの、しっかりこの政策をキープしている。特に、5 つのイノベーションハブが存在し、最近設立されたハブは、クリティカル・マテリアルズとバッテリーのハブである。クリティカル・マテリアルズは、日本が府省連携の元素戦略で先行したのをフォローするようなハブと認識している。バッテリーは、アメリカの場合には自動車用というよりも、再生エネルギーで生まれたエネルギーをどう蓄積するか、それをエネルギーグリッドとしてどう展開するか、そういったところに重点が置かれているという認識だ。

それから、ナノエレクトロニクスがどんどん進化している。NY の Albany とベルギーの IMEC が先端の半導体技術を引っ張ってきているし、台湾の TSMC が製造を席卷している。最近の状況を見ると、Albany がますます拡大していて、ここを見学してきた人は皆一様にびっくりして帰ってくる。IMEC は、エネルギーやライフ応用で新機軸を打ち出しているが、半導体の先端エレクトロニクスに関して、Albany に絶対に負けるわけにはいかないというのが彼らの強い決意であった。最近の状況に関する個人的な印象ではこの二極から Albany の一極に移りつつあるのかなというぐらい、Albany が伸びてきている印象だ。それに対して、日本は TIA の第 1 期が終わって、第 2 期をどうするか、そういう状況になっている。そのような中で、共用ネットワークというのが非常に重要になってきている。日本も負けずにナノテックプラットフォームを展開している。共用の仕組みは日本が遅れていたが、ようやく本格的に立ち上がり、将来が展望できるようになってきたと認識している。

研究コミュニティの動向を見ると、学会が元気ないとよく言われる。特に、主要学会の産業界の会員数が非常に減っている。全体の会員数も決して伸びている状況ではない、その一方で欧米の主要学会は伸びている。論文を生み出している日本の研究者数は、欧米に比べて伸びが鈍い状況だ。さらに、非常に重要なのはキャリアパスとしての高度専門エンジニアの存在だ。日本はその手当てが立ち遅れていると認識しており、議論すべきテーマである。

このワークショップで議論を充実させたいのは、今後の方向性についてである。技術的には、環境・エネルギーや健康・医療、情報通信、おのおののところでナノテックへの期待が非常に高まっている状況だが、では、その期待にどう応えていくか。最近の新しいトレンドや、こういう技術が重要になってくるという視点でご指摘を賜りたい。

プラットフォームの構築が、国の施策として非常に重要になってきているという認識を持っている。現在のナノテックプラットフォームをさらにドライブし、その基盤・仕組みを活用してさらに地方創生・ものづくり技術などにも展開していくのが非常に重要ではないか。



材料あるいは部品・デバイスの開発において、日本が国際競争力を維持していくためには、こういった研究開発インフラが必要だ。幸いなことに近年、シミュレーションでは京コンピューターが、実験技術ではナノテクプラットフォームが立ち上がってきた。もう一つ重要なものは材料データである。大量のデータを活用し、加工され、新しい知識が発見される。それがシミュレーション・計測・加工と非常に強いリンクを保ち、材料開発を下支えしていくような「材料イノベーションプラットフォーム」の構築が求められるのではないかと。

【コメント・質疑】

- ・新しい技術を創造したり開発することに向かって進むのはよいが、それが社会に入っていくときにどんな障害あるかという、国としてのビジネスモデルみたいなものがなければ、社会には入っていかない。そのようなインフラをどう理解するかや、どのような段取りで進めていくかのあたりを織り込んでいかなければならない。「技術をこういう方向でつくっていく」や「全体を俯瞰するとこうなる」というだけでは進まない。
 - 重要な指摘。おのおのの領域で産業の状況、日本の置かれている状況は違っている、必要となる技術もそれぞれ違う。ただし、ナノテク・材料は、確実にそれらをドライブする重要な技術領域だという認識を持っている。プラットフォームはつくったけれども、それを単純に延長すればつながっていくのかということ、決してそういうことはない。どう充実をさせるのかが1つの大きな視点。

- ・ ナノテックが大事と言われて随分経ち、各分野における成熟度が変わってきている。何兆円規模の産業に育っているものもあれば、まだほとんどゼロのものもある。成熟度によって、次の 10 年に何をしなければいけないかは全く違う。そこを分類して議論した方が分かりやすい。例えば、もう何兆円にもなっているようなところにゲームチェンジのようなものが出てくるかどうか。環境・エネルギーでは、太陽電池、人工光合成、燃料電池、熱電変換、蓄電デバイス、いろいろあるが、将来本当にものになったときには産業規模が全然違う。プライオリティが高いものから順番に考えていった方がよいだろう。
- ・ 俯瞰と戦略というのは別物。戦略というのは、勝てる場所と勝てない場所、あるいはより重要な場所と重要でない場所をどう切り分けるかである。例えば産業に与えるインパクトが大きい、あるいは競業に対して勝ち目があるとか、どういう視点でこれを議論するのかをある程度決めなければならない。それぞれの専門領域でいけば全部大事となって切りがない。
- ・ 第 5 期の科学技術基本計画を考えたときに、安倍政権において成長戦略の中に科学技術政策が組み込まれてきたと認識している。科学技術イノベーション総合戦略の中で、5 つの重要な項目が挙げられた。クリーンエネルギー、健康長寿、次世代インフラ、地域資源、それから復興再生。そして共通基盤として、ナノテクノロジーは位置づけられた。それを踏まえて分野の議論と出口の議論を分けながらやっていくべき。
- ・ 若い研究者の人材育成とポジション、評価をどうやっていくか。主要なプレーヤーは若い研究者であり、今、どんどん正規のポジションが減り、評価も厳しくなっている。論文ばかり評価している状況を再考しなければならない。
- ・ 将来という意味では、ビッグデータの果たす役割がすごく大きい。環境・エネルギー、健康医療、情報通信とあるが、これはどれもビッグデータと大きく関係する。例えば、医療の方針をどうするか。そのときに、センサーや通信を含めて「使うもの」としてのナノテック・デバイスとの関係を作っていくべきだろう。

第二部

2-1. 「構造的課題（組織・しくみ・人材育成）にどう取り組むか ～CRDS の経験から～」

田中 一宜（産業技術総合研究所）

科学技術政策全体に関わる問題に触れながら、しかしナノテク・材料分野としても非常に重要と考えている構造的な課題、組織、仕組み、人材育成などの問題点を挙げ、対策点も話したい。CRDS での 9 年近い経験とアイデアに基づくものである。

国の科学技術投資の目的、その計画・実践とは、イノベーションを通じて日本に貢献することである。CRDS では、社会的期待との邂逅によって基礎研究からイノベーションへの最短距離化を図る。いかに短い時間でやり遂げるかというのが、世界 50 カ国以上のナノテクの国家計画のほとんどの国において目指されていることである。最短化を図るための手法は異分野融合と連携、それらを効率的・加速的に進めることである。その中で起きているコンセプトの変化は、Interdisciplinary Research から Technology Convergence という形になっている。諸外国のアクションプランは、このようなことをベースにしてつくられている。

政府の組織・システムに関して、内閣府 CSTI の司令塔機能不足がある。これは政府の責任であるが、幾つか指摘したいのは、CSTI 事務局への出向人事の任期が短か過ぎることである。CSTI 議員の任期はやっと 3 年に延びたが、それに沿って事務局への出向人事も 3 年から 5 年は本来必要である。そうしなければ、省に予算をとという省益から、国のために省を越えて頑張ろうというようなインセンティブは出にくい。極端な表現だが、省益を一生懸命やっている人が集まって、国益が議論できるだろうか。

次に、戦略構築のための必要データ・資料が全く不足している点を挙げる。現状を把握するための系統的なデータの整理・蓄積機能を持っていないかぎり、本当の中長期のアクションプランはできない。アメリカなど海外で言っているからとして、その政策を安易に日本に入れてしまうことになりかねない。最近、日本創成会議が全国の市区町村の半数は人口減で消滅するという予測を発表した。これは若年女性、20 代、30 代の人口にフォーカスして、全国の何百ある自治体の将来を予測したものだ。2040 年に半分ぐらいが消滅してしまうとされ、増田ショックと言われている。ここで申し上げたいのは、的確な切り口の調査で現状を把握するという。何に注目して、何を調査するかというのは、後の戦略に関わることで、戦略を本当に練ろうとしない限り決まらない。そのためには、戦略構築のインセンティブを国全体が持つ必要がある。具体的には、事務局に国際調査班に相当する組織の常設が必要になる。

さて、今の国の現状はどうか。例えば大学研究の予算と論文数の増加率を見ると、米・英・独は、予算、論文ともに順調に伸びているが、日本は停滞している。論文増加率の違いは、国際共著論文数の増加率を反映していることが、同じように昨年度の科学技術白書の中で分析されている。そして、国際共著論文は引用度が 2 倍あることを考えると、絶対率が低いだけではなくて、共著論文数が低く、国際的なネットワークへの発展の力が日本は弱い。すると、引用度も少ないから人のネットワークも少なくなってくる。これはつまり、日本が全体的に見て内向きだということを示している。中国・韓国については言うに及ばず論文数が急

増しており、ナノテクに関しては日本を凌駕している。質的にも肉薄している。

各国大学研究開発費と論文数の増加率 (2000年→2009年)		
主要国の大学部門研究開発費増加率／全部門論文増加率		
米国	43 %	27 %
英国	56 %	19 %
独	33 %	26 %
中国	335 %	312 %
韓国	115 %	171 %
日本	5 %	5 %

科学技術白書(平成25年版／第2章第1-2-11表:p.74)から抜粋構成

**米英独は、予算、論文ともに順調に伸びているが日本は停滞
論文増加率の違いは共著論文数の増加率を反映(第1-2-3図)
(国際共著論文の被引用度は2倍:第2章第1-2-2表)
中国、韓国は急増、ナノテク論文数では日本を凌駕、質的にも肉薄**

次に府省連携の指導不足を挙げる。これは、権限不足と言った方がいいかもしれない。府省連携は、継続が絶対に必要なことであり、アメリカの NNI の例を見ても明らかである。府省連携については、第2期基本計画のときにナノテク・材料分野から府省連携プロジェクトの提案をして実行され、それが第3期では、全分野で連携施策群というものができた。重要プロジェクトについては省を横断しておこなうことになったが、第4期ではなくなっている。これは、何が悪いのか／良いのかの蓄積ができていないことに問題がある。状況を打破するためには、CSTI のリーダーシップ改善のために、例えば、第一次安倍内閣のときにはあった科学技術特別顧問を復活するべきではないか。また、意思決定メカニズムの複雑さも問題である。例えば再生可能エネルギーについて、米国と日本を比較してみると、全体シナリオをどうつくるか、R&D 投資、インフラ構築を、どこが扱うのか。米国は DOE を中心に原子力も含めて全体をコーディネートしている。一方日本では複数のプレーヤーが交錯して、全体シナリオのコーディネートができてない。これだと、どうしても予算の取り合いになる。原子力の孤立、国としての真の戦略構築不能、の問題が生じる。

このような意味で、政府中心のシステムをどのように変えていくかが重要だ。これは、われわれの仕事ではないと言われるかもしれないが、私の最終的な結論は、提案と仕掛けによってそのきっかけを作れないこともないと言いたい。

再生可能エネルギー／担当政府機関の日米比較

		米 国	日 本
全体シナリオ		OSTP	CSTI
		DOE	METI, MEXT, MOE
R&D投資	基礎	DOE	MEXT, METI
	応用	DOE	METI, MEXT, MAFF
	企業化	DOE	METI, MEXT
インフラ	共用施設	DOE, NSF	MEXT
	大型施設	DOE	MEXT

**米国／DOE 中心に原子力も含めて全体をコーディネート
日本／プレイヤーが交錯して、全体シナリオをコーディネート
できていない。原子力の孤立。国としての戦略欠如**

次に、組織としての独立行政法人、国立大学法人のことを挙げる。大きな問題の一つとして、この 10 年間における研究者の短期成果主義への急傾斜がある。希薄な倫理観については、説明の必要がない。現法人が実施している個人評価制度の見直しというのは絶対に必要だろう。そうでなければ、短期成果主義の人たちにいくら資金を投じて、論文の数だけ増やして質は低下する一方だろう。また、法人の裁量権が十分に行使されていない。独立行政法人あるいは国立大学法人になったことによって、新たに獲得した裁量権があるが、それを十分に使い切っていない。研究者や技術専門職の処遇についても、法人によっていろいろ差異がある。NIMS におけるエンジニアの処遇制度は、見習うべきものがある。これは裁量権を行使した好例だ。また、産官学連携における法人の役割は社会に評価されたのだろうか。国家プロジェクトにおける各法人の役割や、あるいは法人発ベンチャーがたくさんできたが、民間はこれをどう評価しているのか。フィードバックを集めて、調べてみる必要があろう。大学法人・独法ともにスタート後、10 年を超えているわけで、徹底的な評価を実施して今後に反映しなければ、今までの実験は一体何だったのかということになる。トップの人事権、組織、研究者の評価方法も含めて、詳しい分析にもとづく見直しが必須である。

次はアカデミアの問題について。主要学会の海外会員比率は、日本化学会、物理学会、応用物理学会、電子通信情報学会、いずれも 10% に届いていない。しかも、電子情報通信学会を除くといずれも 1% 以下になっている。過去十数年、日本のナノテック関連学会の会員数はおしなべてフラット、あるいは減少した。国際化の遅れが顕著で、急増するアジアの研究人口を取り込むことができていない。特に、ナノテック・材料分野の政府投資は、今、欧米よりもアジアが増加傾向にある。ナノテック・材料研究の重心がアジアに移っているにも関わらず、先進国で先端科学の大先輩であるはずの日本が、アジアの研究人口を吸収できないのは、ア

カデミアとして少し怠慢ではないだろうか。しかしながら、一部には、学会の欧文誌発行編集の懸命な努力や、全国学術大会を英語化する動きが出てきているので、少し希望を持ちたい。特に、アジアの研究者を吸引する必要があるのではないだろうか。

日米ナノテクノロジー関連学会の海外会員比率					
学会名		2008年	2010年	2011年	2012年
日本化学会	会員数(人)	28,636	30,871	30,592	30,055
	海外会員比率(%)	0.6	0.48	0.48	0.47
日本物理学会	会員数(人)	17,169	17,579	17,122	17,267
	海外会員比率(%)	0.98			1.16
応用物理学会	会員数(人)	23,209	24,246	24,039	24,219
	海外会員比率(%)	0.8			
電子情報 通信学会	会員数(人)	32,964	35,010	33,922	32,814
	海外会員比率(%)	7.3	9.22	9.83	9.89
APS 米国物理学会	会員数(人)	46,269	48,263	50,055	49,653
	海外会員比率(%)	20.9	21	21	
IEEE	会員数(人)	382,400	(2009年) 397,001	(2010年) 407,541	(2011年) 415,000
	海外会員比率(%)	45.1	46.5	48.6	50.2
MRS (材料科学会)	会員数(人)	16,000			
	海外会員比率(%)	39			

日本は電子通信情報学会以外は海外会員比率1%前後
米国はAPSで20%を超え、MRSやIEEEは40~50%

異分野融合については、米国は1980年代から政府を挙げて系統的に進めてきた。30年以上の歴史がある。その中で、いかにそれが難しいかがよく分かっていて、NNI以後も、例えば、“Facilitating Interdisciplinary Research”という学際研究についての冊子を、The National Academies Pressが2005年に出している。さらにその進化形として、2014年に同じThe National Academies Pressから出ている“Convergence”がある。これは、基礎研究の成果と、事業化・起業化を最初から一体的に考えている。リニアモデルではなくて、一体化していくという考え方だ。Convergenceの中には、明らかに学際研究の拡張の概念がはっきり書かれている。

共用施設ネットワークについては、文部科学省のナノテクノロジープラットフォームが頑張っている。世界にキャッチアップし、リードできる可能性がある。課金制導入における制度面のハードルを突破できないのではないかという懸念もあったが、われわれCRDSは10年近く前から取組み、文科省に再三提案し、育ててきた。米国は異分野融合と産学連携を1980年代から国策として促進している。また、融合を促進するキーコンセプトをDOE前長官のステイブ・チュー氏が述べているが、Under one roofと共に、Mutual Understandingが重要である。同じ空間を共有すると同時に、異分野の人同士が相手の専門領域をお互いに理解する、理解しようという努力が必要で、この2つがなければ駄目だと言っている。あとは、どうインセンティブを与えるかという工夫が、あらゆる仕組みをつくる時に重要となる。

世界の留学生について、これはその国からどれだけ学生を外国へ送り出しているかという意味だが、日本はなんと 22 位である。その上には、中国、インド、韓国、それからサウジアラビア、マレーシア、ベトナムなどがある。「内向き」とはいっても、これはあまりにも問題ではないだろうか。さらには、アジア新興国だけで留学生数の変化を、2000 年と 2012 年で比較すると、ほかは全部 2 倍から 5 倍増やしているのだが、日本は減っている。これは異常なことで、待ったなしの状況にきている。人材育成・教育問題についてどうするか。学生や若い研究者の内向き志向が非常に顕著であり、リーダー人材が育っていない。グローバル意識やコミュニケーション能力をどう涵養していくかということが重要になる。一部の公立大学、私立大学では徐々に改革が始まっているが、若いうちに海外経験を積み、各国の言語、文化、歴史を含め、多面的にグローバル環境を自分の肌で理解することが大前提である。そうすることによって、若い人たちに自分で考える能力を付けていただく。それより、日本の将来はないのではないか。

アジア新興国／留学生数の変化		
国名	2000年	2012年
中国	14万人	69万人
インド	6万人	18万人
韓国	7万人	12万人
ベトナム	0.9万人	5万人
日本	5.9万人	3.3万人

日経(夕刊)2014年6月14日(土)

**2000年から2012年にかけて
アジア新興国は留学生数を2～5倍増やす
日本の留学生数だけが減少しているという異常さ**

若手教官・研究者のサバティカル・リーブ、学生、院生の海外留学の必修化の検討。これは、政府に関係なく、アカデミアあるいは大学関係者の裁量範囲でできること。そういうことをビルトインしたインセンティブ付きのプロジェクトも十分考えられるのではないか。若者の「内向き」を含む日本の現状は、実は、日本人の国民性と日本語に直結した根深い文化の問題にかかわっている。例えば、欧米では、権利の主張は正義であり、沈黙は軽蔑されるが、日本人の感覚では自己中心的や生意気だと見られる。また、欧米人は主義にこだわり、主義や神に忠実だが、日本人は和を重んじ、組織に忠実、空気を読んで意見を控える時がある。言葉は意思伝達の 100%のツールというのが欧米だが、日本の場合は、あまりしゃべり過ぎると「あいつは、うるさい」と言われるし「沈黙は金なり」という言葉がある。これは、

良くも悪くも日本の精神文化であり、私は大変重要なものだと考えているが、グローバル社会ではマイナス面にもなる。谷崎潤一郎は「われわれの国語がおしゃべりに適しないように発達したのも偶然ではない」と言っている。

RAND の 2011 年の **Technical Report** (内閣府が三菱総研に委託し RAND に再委託) では、日本に滞在経験がある日本の研究をよく知っている海外の研究者に、聞き取り調査をおこなった。その結果として、6 項目を出している。項目の第 1 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くべきであるとのことが指摘されている。そして第 2 に、日本の研究組織マネジメントに浸透している社会慣習や制度上の障壁を緩和することが必要との指摘がある。

以上のまとめとして、ナノテクノロジー・材料分野の日本の科学技術ポテンシャルはまだ高いが、しかし、日本独特のシステムや社会構造に根差して、横への展開力や海外とのコミュニケーション力が弱い。これが、日本の基本ポテンシャルを著しく落としている。競争力回復のため、産官学各セクターの自主努力が必要である。アカデミアのやるべきことは無数にある。政府の施策を待っているだけでは、日本は沈んでしまうだろう。是非とも、自主努力の強力なサポートが不可欠である。やっかいな問題を先送りしないで、いわゆる旧体制に蟻の一穴を開けてほしい。蟻というのは、非常に小さな組織が何かを仕掛けて全体を破っていくことができる。また、若い人材を海外に放り出すこと。それによってグローバル社会の何たるかを肌で感じ、経験を積んでもらうことが肝要。いずれも施策にはインセンティブの付与が必要である。

【コメント・質疑】

- ・大学でも人事制度や評価制度を改革しようということがあがるが、国立大学法人の執行部は 6 年刻みで変わる。改革に振ると次は安定化路線へいくという傾向がある。学生や若い研究者をどんどん海外へ出したくても、実際に、その予算というのは大学にはない。そういう意味では、文部科学省のトビタテ！留学 JAPAN などのプロジェクトがあるが、それが今、国立大学法人の幾つかところへどれくらいの枠で来るかという、20 人ぐらいしか来ない。もっと重点指向で人を出すことが必要ではないか。また、若手のポジションをつくらなくてはならない。今、大学の研究者になることは学生にとって魅力的ではない。インセンティブをどう付けるかを工夫しないと、大学の研究者も増えないし、大学からいい人が出ていかない。大学の英語教育も、留学生が増えない大きな問題の 1 つ。自主努力もそうだが、外からの圧力をいかにかけるかも大学改革の 1 つではないか。大学が自分でやるという制度をこのままやるのか、もっと国からプレッシャーをかけるのかを検討すべきではないか。

→ 自主努力と国の努力は一体してやらなければならない。ただ、大学側が待ちの姿勢ではだめだということだ。国のプロジェクトであっても、必ず研究者を 1 年間、海外に滞在させるとか、いろいろなやり方が考えられるだろうが、往々にして柔軟性に欠けるところがある。そこに大学側の自主努力の意義が生じる。国はインセンティブ付与のプロジェクトをどう構築するかを常に考えるべきである。大学側の自

主努力を引き出すようなインセンティブ付きのプロジェクトが望まれる。

- ・どこに対する競争力かという、やはり、グローバルの競争力だ。日本の過去 10 年ぐらいで大きくなっている会社は、全て、海外で大きな事業を持っている。国家プロジェクトの検討で行政と議論をすると、日本の雇用の話がすぐ出てきて、国内雇用の意識が結構あった。多くの場合は、国内の産業を守る視点が抜けきれなくて、そこから先に踏み込んでいかない。素材というのは、特にそういうことがある。逆に、海外から来る人材にも、日本に来たらいろいろなデータを持って帰って、自分のところで勝手にやってしまうことがある。それをどうプロテクトするかという、その方針がなければ人を受け入れることができない。なので、人材を外に持っていく、または受け入れるのであれば、そういうことも踏まえて、国としてどういうふうな技術戦略でもってそれを受け入れて、私たちはこういう戦略でやっていくという絵が描けなければならない。国としてどういうふうな技術とサイエンスを守って、発展させていくかの戦略がはっきりないと、ただ言葉ができないとか、コミュニケーションが足りないといっても、その前提として国として守るべきことを強く持つておかないとできない。

→ その通り。申し上げたかったことは、国に期待しすぎてはいけないということ。

国が実際にリーダーシップを持って、国際戦略・グローバル戦略を持つまでには、時間がかかる。それまでは待てないから、各セクターが自主努力も含め、グローバル社会に対応できない旧体制を補完する、そのための一歩を踏み出すことをやっていく必要があるのではないかとということを申し上げたかった。

- ・若手を海外に出すことは大賛成。どの年代の人を出すかというのでも相当変わってくる。今、大学院学生を国際学会に参加させるために、多い人だと 10~15 回くらい経験させることもある。しかし彼らが海外にポジションを持って出ていくかという、そう簡単にはいかない。もっと若いころから海外経験を済ませないと、「ああいうものか」ということで帰ってきて、日本の企業に就職する。
- ・日本から外国へ行く留学生と韓国から外国へ行く留学生では全く違う。韓国から外国へ行く留学生は学位を取りに行っている。日本から行くのは 1 年行って「留学だ」と言って帰ってくる。何が違うかという、外国へ学位を取りに行く若者を支援する役所が日本にはない。中国も韓国もその役所がある。統計をそういう目で見ると、ほかの国はほとんど学位留学で、日本は学位留学がほとんどない。これがもっとも深刻な問題である。

2-2. 「今後の科学技術政策に対する文化的考察」

河田 聡（大阪大学）

サミュエル・スマイルズが、1858年に『Self-Help』という本を書いている。これは明治の初めに日本でも『西国立志編』という名で翻訳され、一時は教科書となり『学問のススメ』と同様に売れた。成功者の物語を並べた書き物だが、初めに「われわれは制度を重視しすぎ、人間を軽視しすぎた」、「社会制度にできることがあるとするならば、人々を放っておくことぐらいであろう」と書かれている。福沢諭吉の「独立自尊。国を支えて、国を頼らず」と同じ趣旨である。「ほかの誰かに手を差し伸べることは、たとえそれがどんなに偉いことであっても、本人の自己解決への機会を奪ってしまう」とも書かれている。明治の初めに言われたことが、現在の日本においても同じことが言える。

もう一つ、ピーター・ドラッカーの『Innovation and Entrepreneurship』に、「Planning is the kiss of death of entrepreneurship」というくだりがある。「計画を立て過ぎるな。計画通りでは新しいものは生まれない。計画をその通り実行することだけが仕事になって、サイエンスも新ビジネスも産業も生まれない」という趣旨である。計画はもちろん必要だが、あまりに細かくプランを立ててそれを繰り返しチェックして、ということをやると、新しいサイエンスもテクノロジーもビジネスも生まれない。日本の科学技術政策は計画通り主義になり過ぎていないか。

学生の「KY」という感覚は、われわれが思っている以上により深刻な状況にある。KYな雰囲気をつくってはいけない、周りの人と協調しないといけないという意識が強すぎる。この学生文化は教育の中でつくられていったものであり、その結果として均質化が極めて進んだ。

環境、エネルギー、医療、健康。この4つはたしかに本当に大事だ。国としてこれらに取り組むことは重要である。しかし、これらは別に今始まったことではない。第何期の計画とかではなくて、100年前でも医療は大事だし、環境は大事だし、エネルギーは大事であった。したがって、ナノテクをやっている全員がこの4つだけに取り組むということがよいとは思わない。しかしこれらを要らないと言う人はいないので、結果としてこの4つに集中してしまう。私はむしろ、この20年の間に生まれてきた新しい概念や新しい技術、新しい材料を真剣に科学して、応用することに集中するべきだと考えている。20年間に生まれ育った科学技術というと、ナノテク、ナノ材料、インターネット、そういったものである。私の専門分野では、フェムト秒レーザー、プラズモニクス、メタマテリアルなどがこの20年の間に大きく展開した。このことを無理に環境やエネルギーに合わせるのではなくて、そこから何が生まれるかを模索するのがよい。さもなければ、せっかく生まれた芽が皆同じところへ向いてしまい、結果的に新しいものが生まれない。

医工連携も当然大事である。しかし、これも昔から、それこそレントゲンの時代から医工連携はあった。しかし誰も彼もが医工連携をするというような状況にはなってはならない。電子産業などの大企業がこぞって医療機器産業へ向かっているが、それで新しいマーケットを生み出して新しい産業を生むことができるだろうか。今ある日本の中堅の医療機器産業を食いつぶすことにならないだろうか。日本企業が心臓ペースメーカーを手がけることは、日

本人の文化や規制により現実的にはできないだろう。最終的に人体実験を必要とする研究は、国が規制しているからではなくて、文化的に国民が許さないという面がないだろうか。国の政策というのは、国民の文化を反映している。脳死による臓器移植も承認には長くかかったが、それは厚生労働省というよりもまず国民が、その実験を認めることを許さないムードがあった。だとすると、アメリカで生まれて来るような革新的な医療機器は、日本ではなかなかできないのではないか。そうすると、日本の産業界全体が医療よりも健康機器分野に参入することになってしまわないだろうか。

基礎科学は、いくらお金を掛けてもいいのだろうか。天文、素粒子、スーパーコンピューター、脳科学は必要だという。しかし、国民の税金を使っているから結果を出せということで、議論が起こる。こういった分野は基礎科学というよりも防衛に関わる分野ではないだろうか。防衛関連研究をやるといったら、国民の納得は難しかろう。しかし、防衛関連研究から新しいものが生まれてきたのは事実だと思う。ロボットに防衛という概念があるかないかで、ただその辺を歩くだけのかわいいロボットをつくるのと、本当に危険なところで活動するロボットの違いが生じる。アメリカでは国立研究所が原子力を研究し、スーパーコンピューターも買う。日本の国立研究所は、Max Planck Society や、Fraunhofer Society のような運営方式で、基礎科学や産業貢献の研究を自由にやることができないのだろうか。理研と違い、Max Planck Society は 3 割程度が政府から出ているが、残りは地方政府と民間、個人から出ている。

産学連携も、今は誰も文句は言わない。しかしいまの産学連携ブームはちょっと極端である。産業側は自ら開発することをやめて大学に頼れば何かやってくれると思ってしまわないだろうか。大学は資金欲しさとテーマ欲しさに下請けをし、互いに自立心の欠如を生み出す。そして他力本願になる。壁の中にいて外が見えないというのではなく産学連携・融合をすることは必要だが、開発情報を外部に出さずに密かに開発するという発想も必要である。今の産学連携は、投じた資金の割にサクセスストーリーが非常に少ない。他力本願ではなく自立心が必要である。私は、大学教授の兼業・兼職規制緩和後にただちに製造会社を設立して、12年経つ。社員は16人で、ポスドク・博士出身者がほとんどの構成である。しかし、これはベンチャーではない。皆の生活があり、失敗しては困る。中小企業なのだ。初めから100億円のビジネスはない。1億円を経て、10億円、100億円を経て、1000億円企業になるのに、今はいきなり100億円とか1000億円の売上を期待される。Apple や Google だって、iRobot だって、ルンバだって、小さな売り上げから始めた。これらは大学の近くで、あるいは大学から生まれているが、大企業との産学連携ではなくビジネス・スタートアップであった。大企業と大学が組んでというのは一つのモデルだとは思いますが、それは Apple とも Google とも異なる。

日本の競争原理とは、東京大学と大阪大学と京都大学などと、地方大学との競争である。日本はオールジャパンで世界と競争すればいいと思うが、国内の競争である。

人材育成も、議論が足りない。育成されるのではなく、自ら育たなければいけない。自ら育つための環境をつくるべきである。それがすなわち、海外へ行かせるということになる。サイエンスを生み出すのも、テクノロジーを生み出すのも、ビジネスを生み出すのも「ひと」だから、人を育てないといけませんが、人は自ら育たないといけな。それが自助論。もっと勉強したいと思わせるようにし、それが他人との競争を目的としてではない形に、教育がも

っていけたらいい。大学の運営費交付金が少なくなったが、持続性のある教育のための資金を作るべきだ。

最後に、本業・本職で勝負をすることを提案したい。ナノテクノロジーの応用ではなくナノテクノロジーを研究開発することが必要である。応用先は医療や環境もありうるが、半導体、通信、電気製品、産業ロボット、フォトニクス、そういったメインの分野でもっともっと新しいアイデアを出すという苦勞をしなければいけない。ナノテク、ナノ材料で今まで生まれてきたものを諦めず進化させて、プローブ顕微鏡、ナノカーボン、あるいはマイクロマシン、ナノロボット、自己組織化、私の分野であれば、近接場光学やプラズモニクスで花を咲かせるべきである。今年、私が『ネイチャー・コミュニケーションズ』に書いた論文は、光でありながら、1.4 ナノメートルの分解能で、カーボンナノチューブのイメージングができるというもの。本業はしんどいから違うテーマに移り、資金を得やすい方へと移るのは安易だ。本業にこだわってやるということが大事だ。

【コメント・質疑】

- ・いわゆる競争的資金の割合が多くなってしまった。先生方は研究費を得やすいところへ動いて行って、研究遊牧民みたいになって行って、プロポーザルが上手で器用な人ばかりがそこで生きて、本当に落ち着いて研究する人が減った。国の政策もそういう面があるが、もうちょっと安定的な資金を作るよう、工夫が要るのではないか。

- ・日本という国にやれることとやれないことがある。例えば人工衛星を防衛ではないと言って打ち上げる以外にやりようがあるのだったら、日本はきっと考えると思うが、今そういうところは、様々な勢力のせめぎ合いによって、現在の形で宇宙開発は行われている。子どもたちが無重力空間でメダカを見たいという夢を叶えてやるために、人工衛星を飛ばすってことだってあり得る。そんな国があるっていうのは不思議だが、しかし、世界の中でそういう国が存在している。そこは、われわれが言ってもなかなか解決しない。

優秀な科学者たちが遊牧民になり、研究費を求めて、自らの意思ではなくて、資金を得られるように動くというのは、そうではないのでは。JSTの多くのプロジェクトでは、そう見えない人を選んでいいる。問題は、プロジェクト期間が切れるその次の年に、資金が継続するかどうかであり、2~3年開いても大丈夫なのであれば誰も心配しない。評価が良いプロジェクトは、その翌年も継続できるようにするという事になれば、非常に違うと思う。JSTでもそういうことを試してきたが、この人はもう5年やったのだから我慢してもらって、次はまた違う人というようになる。前の評価に基づいて次の研究費を決めるというような制度は、いまだもって確立していない。

- ・しかし、例えばCRESTに参加したポスドクが、今何をしているかということを見れば、明確に遊牧民だ。その人たちは、CRESTのテーマがなくなった途端に、バイオに行くか、何か全く違うところに行かないと、職が見つからない。ポスドクレベルではそのことが起きている。
- ・その点に関しては、私は、そういう人たちは遊牧民でいいのではないかと申し上げたい。

つまり、自分が数年間材料科学を学んだからといって、私は材料屋だと言って一生暮らしていくというこの日本のシステムから、もう材料屋がバイオ屋にもなるし、何でもなるっていうことを経験した上で、それを総合していく方が、今の社会には適していると思う。

- ・結局、いつ本業・本職と言われるだけの実力をつけ、本業・本職を確保するかが問題である。私の場合は有機化学で修士を取り、それから半導体電気化学でドクターを取り、それからバイオエレクトロケミストリーでポスドクを、というように最初の10年ぐらいはまさに遊牧をしていた。そのあとポストを得てから自分自身を確立していった。逆に言うと遊牧時代の経験が、いろいろ生きている。だから、修士やドクターでやったことがずっと本業・本職だと思ったら、それは大きな間違いである。自分自身誰かに育成されたかという、そのような気はしない。ここにいる人で育成された人は1人もいないのではないか。だから、本業・本職をいつ本当に自分の力で確保できるかによって、その人が決まってくるのではないか。

2-3. 「ナノテクノロジー・材料分野においてなすべきこと - 2、3の事柄 - 」

川合 知二（大阪大学）

次の基本計画をある程度考えながら、どのような方向性で推進すべきか、ナノテク・材料分野の推進方策に何が求められるのかを考えたい。CRDS の特任フェローを続けてきたが、今年の4月からNEDOに技術戦略研究センター（TSC）ができて、センター長を拝命した。この2つにも関係する。

今の科学技術政策には、必ずと言っていいほどイノベーションという言葉がある。とにかくイノベーション実現のためにというが、だんだんお経のようになり、これが必ずしもいい効果だけではない効果を若い人に与えていないだろうか。論文を書くのはよくないのだという風潮まで出たりすることがある。なにかすごく社会を変える応用的なイメージが強すぎると、そのようなことになる。最初にイノベーションとシュンペーターが言ったが、「新結合」と提示した。ある事柄から次に飛躍するために、何かと新たな結合をすることで新結合が正しい訳としてなっている。そこでは、Invention と Improvement と Innovation、この区別をある程度理解しなければならない。Invention は発明だから、0 から 1 をつくる。Improvement は改良。つまり、ある程度ある技術を改良して、1 を 10 にする。イノベーションは、この定義によれば、1 と 2 や 1 と 3 を結びつけて、3 または 10 にするような作業になる。イノベーションだけをあまり強調してしまうと、本来の 0 から 1 になるという作業にあまり力を注がなくなり、世の中が変わればいいじゃないかというのが、逆に弊害になっていないだろうか。

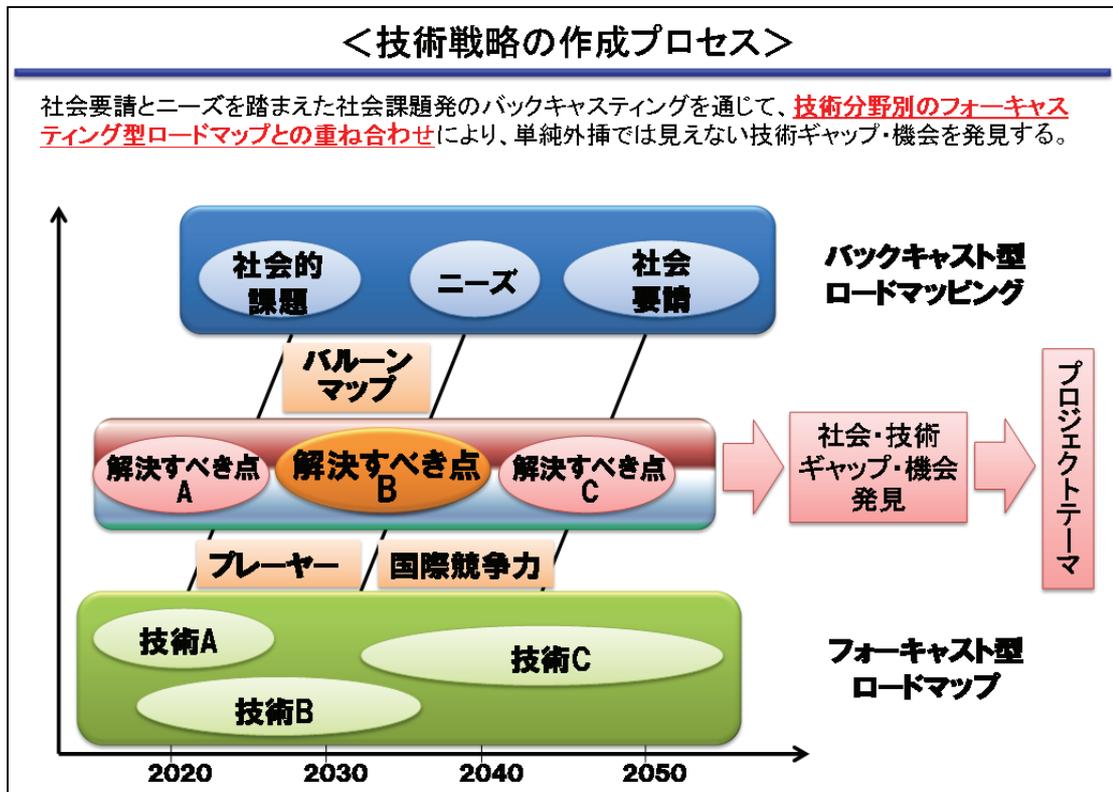
日本語としてのイノベーションは、私の理解では、科学技術分野では社会や産業を変えるような科学技術・システムの開発という意味で使われている。このような理解のもとに、今後どうしていくべきか、最近強く思うのは、省庁を越えたシンクタンクの協力と役割分担ではないかと思っている。あらためて科学技術関係のシンクタンクを見ると、文科省にNISTEP（科学技術・学術政策研究所）があるが、これは、主にデータを扱う。それからJSPSにRCSS（学術システム研究センター）がある。これは、学術の振興に関するシンクタンクで、科研費などの審査システムを担う。いわゆる科学技術の戦略として重要なのは、JSTのCRDSと、それから経産省、NEDOに関係するTSCであろう。このCRDSとTSC、つまり文科省と経済産業省とが、これから第5期基本計画の進め方に関しては、もっと協力した方がいい。4月からこのTSCのセンター長をやり始めて、その違いを説明したい。

CRDSは、概念や考え方の提示。科学技術全体の俯瞰がまず土台にあり、非常にいい俯瞰が毎年できている。そして内外の科学技術レベルの比較をしたり、重要分野・領域・課題の抽出を行なって立案するという、これらは主として科学技術ベースでおこなわれる。実装をどうするかという課題があるのは、全くその通りである。

TSCは、テクノロジーストラテジーセンターの略で、CRDSも参考にして設計された。センター長の下に、様々なユニット、再生エネルギーや、環境科学、ナノテクノロジー・材料ユニット、電子情報や新領域、マクロ分析などがある。調査・研究を通じて、産業技術やエネルギー・環境技術分野の技術開発戦略およびこれに基づく重要なプロジェクトを企画・立

案し、提示する。一見そんなに違わないように思えるが、完全に産業ベースである。TSC をお引き受けしてから、あまりの見方の違いに、最初はちょっと戸惑った。つまり、CRDS で提案を決めるときは、本当にその技術をやってくれる会社があるかどうかまでは特定しない。これが本当に日本にとって大事かという議論までである。しかし、TSC の場合はそうではなくて、本当にプレーヤーがいるのかどうか、そして幾らぐらいの市場になって、今後伸びるのかどうか、そういったことが非常に重要になる。また、NEDO における予算配分についてもセンターに大きな責任がある。経産省と NEDO 関係の施策の両方について、社会実装や産業化のプレッシャーが非常に大きい。

どのように協力するかが、科学技術政策を策定しどこに投資をすべきかの戦略について、その方法論・考え方を共有するということだ。基礎研究から産業までの公的研究開発投資を、省庁の特徴を生かしながらもシームレスにつないでいく。CRDS では、日本の科学技術競争力を俯瞰からブレークダウンして、国際比較をしている。ナノテク・材料分野でいえば、グリーンナノテク、バイオナノ、ナノエレクトロニクス、のように分野を決め、さらにグリーンナノテクでは、太陽電池、燃料電池と、研究開発領域単位の中項目にしていく。それぞれについて、強いところ弱いところが説明とともに示される。ここでの1つの問題なのは、技術領域をブレークダウンしていくときに、勝手に選んでいるのではないかと見られることであり、その課題はある。



TSC では、わが国の産業のポテンシャルの大きさ、伸びしろの大きさなどを分析して、わが国が強くて、応用も強い、であるとか、学術は強いけど応用的にはどうか、といったこと

を検討する。特に重要なところは、市場性がどれくらいあるのか。そして本当に実社会、産業に実装していくような担い手があるのかどうか。これらを分析して、国の政策との整合を取っていこうというアプローチである。その結果、ナノテク・材料分野では、例えば人工生体分子システムなどがあぶり出される、このような論理構造になっている。

これらは俯瞰と戦略という問題であり、俯瞰というのはきちんと全体を見ていこうということで、CRDSでは選択よりむしろ俯瞰をきちんとすることが土台にある。しかし、研究開発投資をおこなうときは、何を選び、何を捨てるかを決めなくてはならないので、その筋道が求められる。そこで重要になるのはTSCの方法論だ。やはり投資するからには、必ず将来を予測せねばならないので、技術戦略のロードマップを書くことになる。そのときに、一つは社会的課題やニーズから、バックキャスト的に落としてくること。同時に、必ずフォーキャストの技術のシーズに基づいたロードマップ。それぞれをつないでみると、何を解決しなければいけないかという点が、かなりはっきりと浮かび上がってくる。そこに本当に投資すべきなのかどうかは、経済産業省の場合、そこで社会に実装されるかどうか、産業になるかということになり、そこで本当にプレーヤーがちゃんと存在するのか、もしくはベンチャーややる気のある人たちを集められるのかという、仕組みの問題になってくる。また、大学に期待する部分について、本当にやってくれるようなところがあるのかということが課題になる。

こういったプログラムをマネジメントするときには、JSPS方式、CRDS方式、NEDO方式、DARPA方式とあるなかで、最もいいプログラムの組み方を構築していくことが重要である。

【コメント・質疑】

- ・公的投資で非常に難しいのは、国が何をやるべきなのか、どこから産業界に任せるのか。産業の発展は、あまり国がちょっかいを出さない方がいいというところもある。アメリカのシリコンバレーなどは多産多死で、ありとあらゆる野心を持った人がアイデアを持ち込んで、社会と激しくインタラクトして、技術が未成熟な時代から、最終的に勝ち残っていくというかたち。日本もいろいろな策を打ってきた。半導体はいい例だったと思うが、なかなかうまくいっていない。それはなぜなのか。やはり産業というのは、シリコンバレーの多産多死のように激しい競争なのである。5年～10年のプロジェクトを国がサポートすることで、これで研究をやっているなど研究者が急に安心してしまう場合がある。ところが産業は、来年自分たちはどうなっているのだろうかという不安の中で戦っている。そのスピードも全然違う。論文を書くなんて相手に情報を渡すだけだという、そういう状況の中で生き残っていかなければならない。むしろ、それを積極的にエンカレッジしているのが、シリコンバレーのイノベーションエコシステム。そこで国がどういう役割を果たせるのか。JSTで考えているいろいろな技術領域、それをイノベーションへどう結びつけていくか。そのシナリオ作りをしたい。
- ・産業を考えると、ロードマップやバックキャストは、過去を振り返ると当たらなかったことが多いのも事実。

- ・うまくいっていないから、ちゃんと戦略をやらなきゃいけないのではないかということが、経産省でも議論された。なぜ当たらなくなったのか、今までキャッチアップ型だったので、その手本があり、その見えているところへ資源を集中して、産官学が集まってきたやっていければ、それなりに何か絵が描けていた。しかしその後の絵が描けなくなってしまった。どうするかというときに、エコシステム上、変化が速いところから、駄目になっていくリスクが高く、電子・電気のところが先に来ている。
- ・出口指向と言ってきた関係もあって、全体的に短期的なプロジェクトが増えてきている。では長いパスを見て、何かプロジェクトを作っているかという、10年間最初に決めるとそのままやってしまうとか、その辺りのジレンマをどう克服するか。
- ・行政組織の短期的な人事異動により、同じケースハンドラーやケースオフィサーが担当している状況を4~5年見てやっていく欧米のタイプと比べると、全く追いついていないという話もある。
- ・財政状況から、何を削っていくかというときに、単に目の前にあるものだけでは選べないだろう。すると、全体を俯瞰しながら、先の話も見ながら、担い手はどうなるか、市場がどうなるかというのを見ながら、考えていかななくてはならない。それは各機関の現場よりも、一段高いところで見ていく人をつくる必要がある。
- ・1990年前後の通産省の政策は基礎シフトの面があった。これは、1980年代から2000年に至る辺りまで、海外の影響があったり、産業界がバブルのときでもあった。産業界の責任もあるかもしれないが、戦略という面からすると日本は独自に考えてやってきと言えないところがある。それは国としてそこまで成熟していなかったということでもある。JSTとNEDOが協力することは非常に重要だが、そこにCSTIが存在しないと、国の戦略にはならない。むしろそちらの方をどうやって充実させるかが重要ではないか。
- ・今のCSTIの中には、そういう調査をしたり、戦略をまとめるための基礎的なデータを集めたり、海外とのベンチマーキングなど、知を蓄積していく機能がない。きちんとした機能を持って、それを元に判断できる文化をつくっていかないと、結局、幾ら新しいアイデアなりいい考えが出てきてもそのときだけで、今までと変わらないまま行ってしまう。しかし、内閣府直属のセンターなどをすぐにつくれるわけではないので、今各所に存在する機関を、少しでもより多く活用していくというようなフレームワークをつくっていくことをすべきではないか。
- ・リーダーになる人が本当に、その戦略を実施できるかが大事。日本のJSTも含めてだが、大体はリーダーの権限をどうやって制約するかということになってしまっていることが多い。JSTでもいろいろなプロジェクトを見たときに、どういう総括を選んだか。その人が、自分のリーダーシップを本当に最後まで発揮しようとしたかどうか、その権限を持っていたかどうか。本来はPOやPMの責任はものすごく重い。話し合いで、こちらの方が0.5ポイント多いから、こちらにしようであるとか、そういう運営をすると大体うまくいかない。しかし、その権限が剥がされるように剥がされるようにと、いろいろなステップでされてしまうことに問題がある。
- ・今後の在り方としては、CRDSもTSCも、最初のシナリオ作成やプログラムの作り込

みのところで真剣にやる作業と、それからもう一つ、プロジェクトが実際に決まったときに、今度は研究者と対立するのではなくて、研究者がやりやすいように、例えば橋渡しをすとか、それに積極的に絡むということであれば、力をそぐというふうにはならない。ただ、研究者というのはわがままであり、そういうのを承知のうえで、本当にこれだったらいいよというので接すること。やり方の問題ではないか。

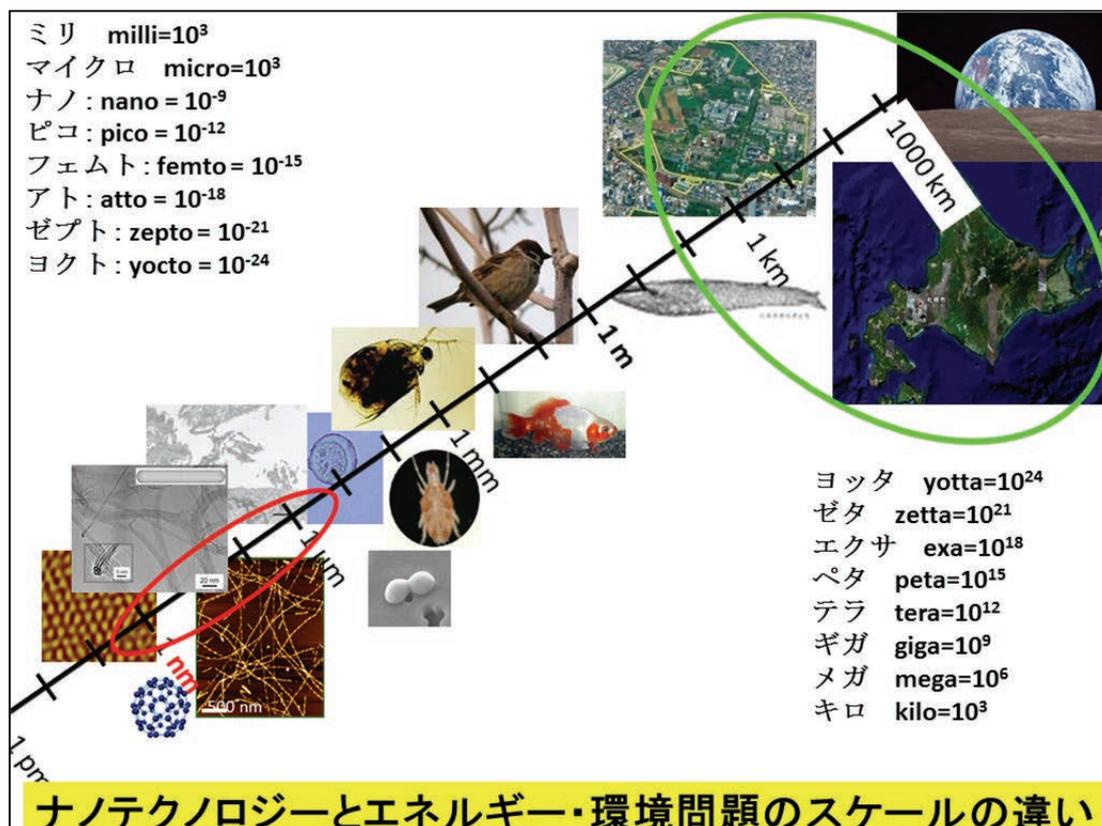
TSC では、フェローという形の他に、学会に対して NEDO から調査を依頼し、学会での知識を吸収しようというのを始めつつある。また、大学に対して、今までは個別に知り合いだけでやっていたが、そうではなくて、大学の中とこのセンターとでもう少し系統的なつながりをつくり、あるテーマをその大学としてどう受け取ってもらえるかというような、そういう仕組みもつくりつつある。

- ・ CRDS は研究者の活動をスタートの部分で触発していく。大きな方向性を提言として示し、それに対して研究者は自身で自らの課題を決めていく。いわゆる戦略センターのような組織を各省や各研究所が持つときに、それぞれの省庁や研究所の役割分担から、すぐにデマケという話が出てくる。しかし、ここが大事だというようなテーマや方向性があるのであれば、そこは積極的に重なっていくべきであり、その重なる部分でどのような協力をするかというのが非常に大事になってくる。

2-4. 「グリーンナノテクノロジーにおける課題」

魚崎 浩平（物質・材料研究機構）

ナノテクノロジーとエネルギー・環境問題は、空間的にも、時間的にもスケールが大きく違う。グリーンナノテックでエネルギーを作るという観点で太陽電池や人工光合成研究は非常に重要であるが、スケール感の違いを認識して研究開発を進めなければならない。

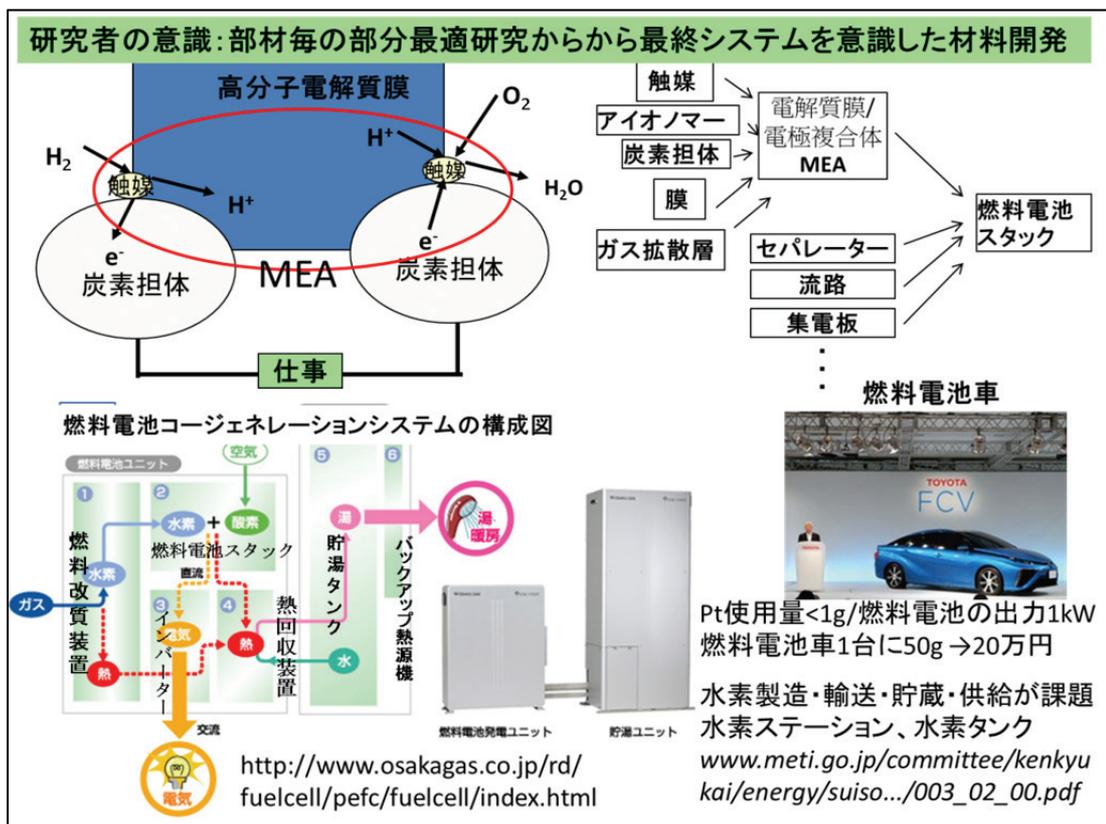


具体的な問題例として、新聞に掲載されていた、火力発電所から出た CO₂ を人工光合成で固定してエタノールを作るというケースで説明する。実用化の目標として、1 ヘクタールの面積で、年間 10t の CO₂ を固定し、ドラム缶 30 本分のエタノールを製造するとのことである。実排出係数を考えると、10t の CO₂ は火力発電所から 1 分半程度で出てくる。その 1 分半で出る 10t の CO₂ を、1 ヘクタールの敷地で 1 年間かけて集めるのが実用化の目標というのは、基本的な認識がずれている。実際、千葉県にある LNG の火力発電所の CO₂ は、年間排出量 794 万 t である。このようなスケール感無しに、基礎研究として重要だということと、地球スケールの課題であるエネルギー問題や環境問題の解決につながる研究とは厳密に区別しなくてはならない。

私自身 40 年ほど前にオーストラリアで、光電気化学的水素製造の研究で博士号を取得したが、当時に比べて太陽光利用の水素製造研究は確かに進展している。水素製造は、光触媒や、太陽電池と電気を組み合わせて水の電気分解でやるというようなことが今、真剣に考え

られている。その際、スケール感を考えてどれが一番いいのかという議論をしなければならない。プロセスを考えるときに、普通の水電解は一定の電圧あるいは電流のもとでおこなうと考えるが、太陽電池を直結すると当然のことながら出力に変動があり、ダイナミックオペレーションになる。また需給のバランスに応じて直ちに動かす Cold Start や、その逆に、ものすごく太陽光が強くなって overload がくるときにはどうするかを考慮する必要がある。初めから大きな容量を想定して電解装置を整備すれば、ある程度の出力がないと水素を作れないときが多くなるというような、固有の問題がある。そのようななかで、ナノテクノロジー・材料研究開発をどうするか。Hondaは、太陽電池と水電解を直結して、水素貯蔵もするという。最近では24時間で1.5kg、自動車が150km走行できる量を1日で作るというようなことを、岩谷産業と一緒にやっている。オーストラリアのCSIRO（連邦科学産業研究機構）では、太陽電池から水電解を直結して水素を作る研究を行う研究センターが設置され約1億円の資金で研究が始まった。課題に対応した材料開発になっているか、システムと材料開発の連携が重要である。

研究者の意識について。よく自分の研究を説明するときに、燃料電池の触媒が大事だということを書く。研究者が書くのはここまでだ。しかし実際に燃料電池にするときには当然、触媒、その担体、電解質膜、それからそれらをつなぐためのアイオノマーがあり、ガス拡散層があり、それでやっとMEAと称する部分になる。これが集まった上に、セパレーター、流路、集電板、が合わさって燃料電池スタックになる。さらに発電装置として動かすためには家庭用の簡単なシステムでも、燃料改質や熱回収が必要である。



しかし実際の研究では、触媒の酸素還元だけ取り出して、良い・悪いという議論をする。燃料電池のための触媒だという以上、本当はシステム全体の最適化まで考えた触媒開発をしなければいけないのだが、なかなかそうはならない。

最近の記事に、ついに電子産業が貿易収支で赤字になったとあった。電子産業において輸出が伸びているのは、部品ということで、輸出の80%が部品である。つまり、いまや日本の電子産業は部品産業である。それで結局、部品を輸出して、製品を輸入して、赤字になっている。Component だけに捉われているとこういう結果になるということを示している。蓄電池でも同じ傾向がみえており、電池のシェアは下がっていても、負極、正極、電解液、セパレーターの主要材料は強いぞと言ってきたが、これらのシェアも下がりつつある。システム全体の開発をしないで、末端だけをやっている、とどんどん力がそがれていくことになる。ここが一番言いたいところだ。最終システムを意識したインパクトのある材料開発をしなければいけない。

問題の設定・課題の理解は正確だろうか。すでに白金の使用量低減が進んできているのに、具体的な数値目標を示さず、枕詞のように白金使用を減らすということを掲げているケースが見られる。最近審査した研究提案でも、燃料電池のコストの80%は白金だと書いて、もっと白金を減らさなければいけないというような主張が書かれていたりする。勿論白金量の削減は永遠の課題ではあるが、実態とは無関係に、研究者がただ言っている場合がある。だからこそ、システム全体を考えながら研究を進める重要性を強調しておきたい。

問題に正面から取り組んでいるのか、科学的に正しいのか、といった当然のこともないがしろにされている場合も多い。太陽光発電では、変換効率達成の比較表が米国再生エネルギー研究所(NREL)で作成されているが、このような比較は光触媒や人工光合成ではできない。別の研究室との比較ができない。なぜか。測定法、実験方法が標準化されていないからだ。最近の論文で多く見受けるのが、光を扱っていないながら量子収率や光強度が書かれていないケース。だから論文と別の論文との比較すらできない。もっとひどいケースでは、化学量論が満足されていない。

最後に人材育成とプロジェクト研究推進のバランスについて。ALCAの次世代蓄電池プロジェクトのPOをするなかで、研究現場のサイトビジットで各地に行く。このプロジェクトは41機関76研究室で構成される非常に大きな組織である。現地を訪ねて思うのは、実際に研究を誰がやっているかということである。大学ではやはり大学院生中心になるのだが、プロジェクト関連テーマの教育的意義についてよく考えられているかどうかの問題だ。学生を、ただ実験データを取得するだけに使ってはならない。

また、研究推進の速度と学年歴のミスマッチがある。多くのプロジェクトは年度途中で採択結果が出るが、その段階ではすでに学生は別のテーマで研究を進めている。実際このプロジェクトは昨年7月に採択結果が出ている。その年度は装置や設備の整備で終わり、4月に新たに研究室へ入った学生をトレーニングして、5月、6月にそろそろデータを取り始めるということにある。しかし、行政的には「もう1年たった」ということで成果が求められ

る。初年度の成果で来年の予算請求をするという事情があるのはわかる。しかし現実には、そのような速度でこうしたプロジェクト研究をすることは難しい。さらに、テーマによっては成果の公表が制限されるという難しい問題がある。われわれのやっている電池プロジェクトは、産業競争に直結することから、知財を最重要視しており、キャリア形成とプロジェクト推進との間にミスマッチが存在する。定年制職員と任期制研究者とのバランスもある。これについては研究独法と大学とでは意味が違う。先に述べたように CSIRO では、完全に定年制職員を中心にプロジェクト研究をやっている。ちなみに、定年制／任期制の割合が日本とはだいぶ違う。全体で 6,500 人のうち、任期制は 1,500 人程度であり定年制のほうが多い。オーストラリアの人口が 2,300 万人ぐらいだから、日本に当てはめると 3 万人の国立研究所ということに相当する。

研究者の評価について、米国のアルゴンヌ国立研究所とオーストラリアの CSIRO を調べた。アルゴンヌは Program Development, Achievement, Mentoring, Outreach, Recognition, Coordination, Management, Future といった視点で評価をしている。Mentoring は特徴的だ。また、Outreach という、日本では市民への成果の紹介や中高校生へ対して教育的にやるといったことを指す事が多いが、ここではそうではなくて、産業化や共同研究のことを Outreach と称している。一方、CSIRO は、Science Excellence はもちろん、Deliverable を挙げている。これは Outreach 的なことを指している。また、Fund をいかに獲得しているかや、Behavior が評価の重要な視点であり、これらをバランスして評価している。特許はプロジェクトの評価には影響するが、個人評価には入らない。というのは論文には一応の審査があるが、特許は出した段階では審査はなく、いいかげんな特許もあるからだ。さらに、実際にもものになるまでには時間がかかるので個人の短期的な評価には向かない。また、日本と違って、特許で多額の収益があっても、個人には還元されないようだ。ポスドクには 3 年以上の在籍を認めておらず、キャリアのことを考えプロジェクト研究を担当させていない。したがってプロジェクト研究は定年制職員中心で進めており、プロジェクトの必要に応じて、定年制職員が随時移動しながらやっているという。「こんなプロジェクトをやるから集ってくれ」というかたちだ。それに対する対応を称して Behavior と言っていて、そのときに「そんなの嫌だ」と言うような人は評価が低くなるということだった。ただし年に 20 日間は自由研究が認められるという。

以上、ナノテクノロジーとエネルギー・環境問題のスケールの違いと、研究者の意識について述べた。

【コメント・質疑】

- ・評価について。産総研は独法としては最初に評価部を設けて始めたが、先駆的な評価をやっていた。評価した後、どういうふうにそれを反映するかが大事だ。産総研の場合は単年度ごとの短期評価と、昇格に関わる中長期評価というものを 7~8 年ごとにやっていて、短期評価に関しては 1 年ごとの評価できつそうに見えるが、あくまで個人が 1 年間に計画を出して、個人の出した計画に対してその達成度・結果を見て評価している。中長期評価の方はその人が関わっていたプロジェクトや、その結果としての昇格など、

報酬に関わってくる。

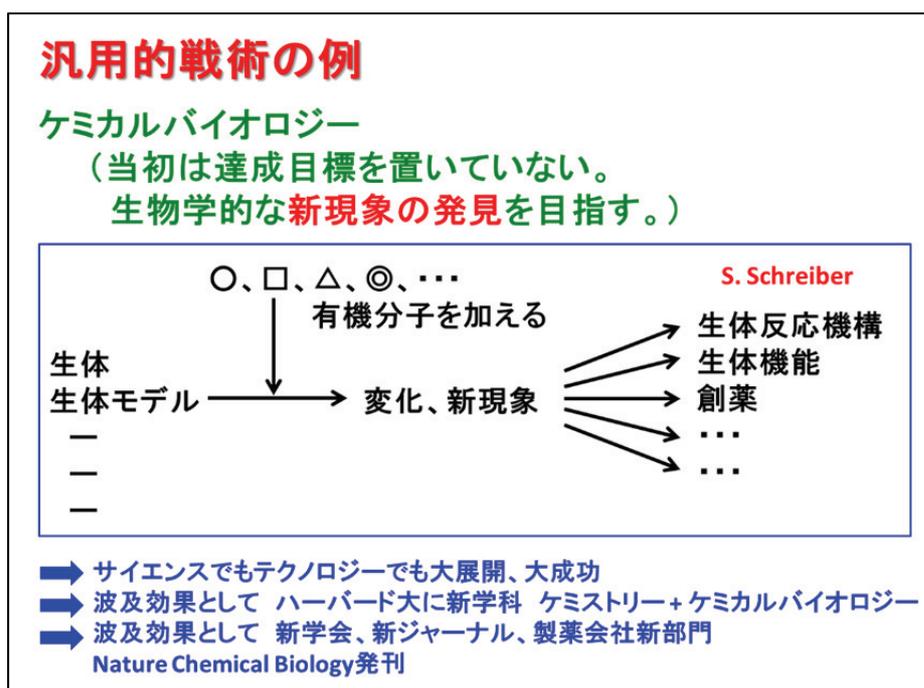
- ・オーストラリアの例で、定年制が主体ということだが、メリット、デメリットがあって、固定してしまうと、先端技術がどんどん変わっていく中で、専門領域がそれにフィットしていかないということが起こる。次々と新しい専門分野の人で、新しいターゲットに向かえるような体制というのは必要ではないか。
 - そこが **Behavior** の問題である。定年制職員を新しい分野にも入ってもらおうということをしている。しかしそれは簡単ではない。バランスが必要。
 - 理研では、過去ももともとは主任研究員以外も全て定年制だった。しかし、定年制職員を厳しく評価しなくてはならないということで、結果として **PI** がすべて任期制になった。そして、あなたは何をやってもいいが、ただしその分野は一代限りで退任とともになくなるという。今は **PI** が任期 5 年で、しかもミッションを持っているので、自由に新しい発想で研究をするというのとはだいぶ違う。**PI** たる人は、定年制でなければ責任を持って長期テーマの研究を続けることはできない。**Max Planck** がまさにそうで、ディレクターは定年制だが、その下の人たちは任期がある。構造的な問題として捉えなくてはならない。

2-5. 「戦略とともに戦術を」

村井 眞二（奈良先端科学技術大学院大学）

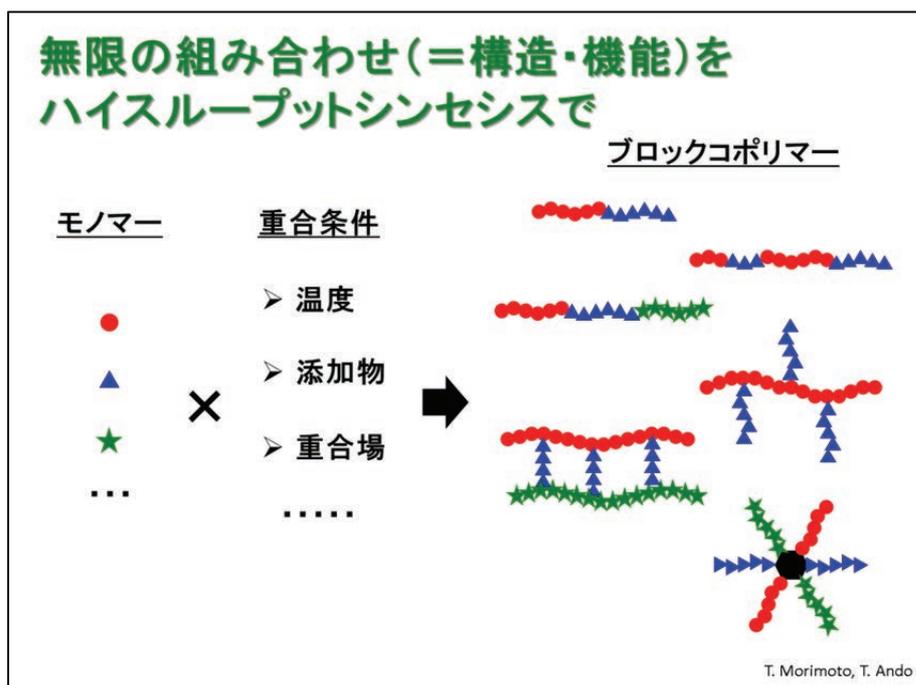
戦略で目標を達成するために、戦術を工夫する。これが普通の姿だが、新しい戦術があればそれにより可能となる戦略もある。戦略目標がいくつかあって、それぞれを達成するための戦術が伴う。その中には、この戦術は実は他にも使える、という戦術がある。もう一歩先へ行いき、戦術そのものをターゲットにして研究開発をやる。その結果、戦略目標の方が後から付いてくるという場合もあるのではないかと。物質分野は発見や発掘が大飛躍をもたらす。発見や発掘をもたらすための方法論を開発することも、一つのやり方ではないか。もちろん戦略と戦術では、切り分けられないことがたくさんある。ケミカルバイオロジー、ナイロンの発見、ブロックコポリマー、医薬品ハイスループットスクリーニング、ハイスループットシンセシス、様々な条件での物質合成や、触媒探索、1,000 ドルゲノム解析や、マテリアルズゲノムなど、いろいろなものがある。これらの幹は、実は戦術である。

ケミカルバイオロジーの例。ハーバード大学の若い、非常に優れた研究者が考えた。生体物質や細胞に、何でもいから有機分子をちょっとかけてみる。変化が起こる。その変化を解析していくと、何かいい Science のヒントが生まれるのではないかとということから始めた。初めのうちはまるで Science でないので冷たくあしらわれていたが、これから研究すべき生体反応機構がたくさん出てくる、新しい生体機能が出てくる、創薬が出てくる。そして大発展した。細胞等に何を加えていくか、何をするかということも、かなりまとまってきた。結果として Science でも Technology でも大成功し、ハーバード大学には Chemistry and Chemical Biology という学科ができた。そして新学会や新ジャーナル、製薬企業の部門に新部門がいっぱいできた。Nature Chemical Biology が発刊されるという状態で、最初は単純に何が起こるか片っ端からやってみようということが、大成功を収めた。



ナイロンの発見は、DuPont に居る天才的な研究者が、炭素鎖があって両方にアミンがあるものと両方にカルボン酸があるのを、片っ端から縮合させていったことによる。この場合は4の階乗だが、組み合わせにそれだけの可能性がある。この中から6-6 ナイロンがすごいということを見つけた。その後のほとんどの化学繊維は、実はこういう方法を企業が取って開発されてきた。DuPont という会社は、100年のスパンで主要テーマを変えている。最初の100年は火薬で生きてきた。次の100年は石油化学と合成化学、化学産業で生きてきた。今、世界トップの化学メーカーだが、今さらに方針をシフトしつつある。それは農業である。農業へシフトして、そのシフトの仕方が非常に極端で、石油化学部門を売却してしまうのである。そして大成功したテフロンから始まるフッ素部門も売ってしまう。大きな変革を今やっている。次の100年を生き残るために、自ら変革していくという。どうしてそういう儲かっているものを売るかというと、やがては価格競争になるものであり、そういうところで私たちはやりたくないという。

コンビトリアル化学は、ハイスループットスクリーニングの先駆的な例である。最近では、ブロックコポリマーがある。例えば成分を2つだけを見る、分子量の違いでいくつかある、それから組成比の違いでいくつかある。これを組み合わせてみると、ブロックコポリマーの消失の仕方の違いで、非常にいろいろな構造が出てくる。10nm以下のパターンングを得るとか、30nmのフォトレジストホールが作成できるとか、いろいろなパターンができる。ブロックコポリマーのモノマーをいくつか選んで、重合条件をいくつか選んで、それから組成比と分子量をいくつか選ぶと、ほとんど無限の組み合わせの物質ができてくる。この無限の組み合わせの物質から、中には非常に際立った物性を持っているものが出てくるというわけである。今分かっているだけでもすごいのだが、まだまだ未開拓の分野である。



1,000 ドルゲノムも有名だ。100 万ドルぐらいから値段が下がっていく予測がされていたが、実は予測よりもはるかに急速に下がっている。今、5,000 ドルぐらいまではいっている。サンガーの法則を発展させ、さらに全く新しい方法も開発されている。キーはほとんどが計測法。特色は、NIH が大規模投資をやったことと、受け皿としてのベンチャーが非常に多数、多種類あったということ。もう一つは要素技術の供給。多数の企業や学術グループに幅広く資金を投入した。どれから出てくるか分からないから、広く投入したという戦術である。

米国の Materials Genome Initiative は、開発のスピードを上げるということで、非常に括目すべき国家プロジェクトだが、大変面白いのは、この物質を理論や実験によって、賢くデザインして作ることに重きを置いている。すなわちコンビナトリアル and ハイスループットメソッド。非常にたくさんやってみるということが実は大事だということが、デザインの中に入っている。

戦略と戦術。社会的期待と俯瞰があって、それを深掘りして、目標が出てくる。それから社会的期待と俯瞰があって、これに直感が入って、洞察で合成的に目標が出てくる。このときには直感の中に戦略と戦術も入っているということがある。直接的な例ではないが、CRDS 提言発の例として「元素戦略」は、JST の CREST・さきがけ、文科省の拠点形成型、経産省の希少金属代替プロジェクト、未来開拓にも発展している。二つの目的があり、資源対応と、そもそも新しい元素の機能を見つけようとしている。次に「分子技術」というものがある。米国はバイオが強く、中国は情報が強くなりつつある、やがて日本は分子技術が強くて良かった、となることを目標にしているわけである。もう一つ、「空間・空隙」。原子レベルで空間形状を制御して、機能創出を狙う。これらの特色は、俯瞰の結果をアウフヘーベンして作っているプログラムであるということだ。じつは、元素戦略と分子技術と空間技術の3つのコンセプトは、直交している。これが非常に大事である。どこともオーバーラップせず、この3つのそれぞれが、互いに直交しているのだ。このようなことが研究プロジェクトのデザインの中に入っていってもいいのではないか。

俯瞰結果をアウフヘーベンして創るプログラムの例 —埋もれているタテ軸・ヨコ軸・ナナメ軸を読む

元素戦略(文科省産学連携型、CREST・さががけ)、文科省拠点形成型
(経産省 希少元素代替、未来開拓)

- 将来の資源制限からくる社会疲労の回避
- 新領域の開発

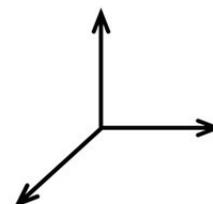
分子技術(CREST・さががけ)

- 米国はバイオが強い
- 中国は情報が強くなりつつある
- 日本は分子技術が強くてよかった・・・と言える時代へ

空間空隙(CRST・さががけ)

- 原子レベルの形状の動的制御による機能、新世界)

(次?) **高次原子間相互作用**



物質研究では、発見・発掘ということが非常に大事。例えば次のような公募を考えてはどうか。第1ステージとしてアイデアを集める。第2ステージで、その中で10件ほど採択して、フィージビリティスタディーの研究をやる。第3ステージでその中から数件、実証研究をやる。実機レベルまで持っていくことをやる。第4ステージとして、5年プラス2年、ゲートステージで本当にものを作るところまで実行するのだが、このときに第3ステージから第4ステージに移るということを公開して、そこで新しい支援技術の公募を行い、それを追加して、最後は生産規模で非常に多くのものを作っていくという流れだ。

例えばその中で、ハイスループットスクリーニングという戦術、その方法を公募するとしたらどうなるか。今年のNatureに載っていた例だが、新光触媒の探索。インクジェットプリンターでガラスプレートに100万以上の成分の違う合金を作って、光触媒特性を測定する。100万個を見ればどれかいいものが出る。超電導物質の探索や、低温熱電材料の探索で、こういうプロポーザルがあるとよい。原料を何らかの条件で処置する。それからまた何らかの手を加える。また、それから何らかの手を加える。この先でいろいろなプロセスの方法が、ものに依じてある。試料にするときも、粒々にするか線材にするかローラーをかけて面にするか、スピニングするか、いろいろな試料の作り方がある。原料の成分や条件の変え方で、1日に1万件を検索するぐらいはできるだろう。電気的な測定でもいいし、粒々にして低温の磁石の上に流して、マイスナー効果でピャッと浮くものだけ拾い出したら大成功。超伝導体だったということもあるかもしれない。いろいろなことが考えられる。その計測法も含めてだ。これはいろいろなものに向いているのではないか。かなりスケール大きくやることだ。

このようなハイスループットスクリーニング法の公募で期待する提案の例だが、多目的ハ

イスループットファクトリーを挙げる。簡単にいうと、こちらは試料を作る工場で、こちらはその試料を計測する工場で、試料を作る工場に関しては、共通でおこなう。同じような化合物が全部出てくる。ただし計測に関しては、生物的なアッセイでもいいし、それぞれのグループが独自の方法を持ってやる。そうすると皆独自のものを見つける。これで水平協調はできるのではないかと。諸外国に先駆けることが重要である。

このような戦術についての系統的な調査、研究はまだあまりない。ザクッといくと、解析に基づく戦術、先ほどのナイロンの発見とか、iPS の発見はそうである。それから直感に基づく戦術。IGZO の開発。細野先生は今、対カチオンとしてハイドライドを用いる金属化合物を片っ端からやっている。細野先生は「片っ端からやってみるのは嫌いで、私は賢くやっているのだ」と言っているが。それから、組織的・網羅的戦術。これは先ほどの 1,000 ドルゲノム。ゲノム解析の進歩は、非連続・飛躍的である。だから多数のベンチャー企業で、途中で多くの脱落がある。特に計測法については、選択の幅を広げて支援し、そこから多くのゲームチェンジングの戦術を創出した。

こういうプロジェクトを実行するとき、特に物質系研究で問題になるのは、ロードマップにしたがってつじつま合わせの成果を量産するだけで未踏領域に踏み込めないということ。また、複数の研究費獲得を制限すると、二流、三流の研究者を集めるだけになる。これでは海外の競争相手には勝てない。米国の競争相手は 3~4 種類の大型研究費を得ている。国際レベルで勝負にならない。少なくとも 1~2 年の重複を認めるとしてはどうか。また、アドホック研究組織で大型研究をやるときに、現在の日本の状況では特任助教、研究員、ポストドクの生活設計ができない。良い人材を集めることができないし、モラルも下がる。せめてプロジェクトで雇われても、その専念義務を緩和して、科研費応募などの独自研究を 5% は認めることにしてはどうか。非常に大事なことだ。それから研究費の年次計画は、これは難しいのだが、発見型探索研究にはなじまない。

研究員や大学教員は、若者にとって魅力ある職業ではなくなりつつある。ここまですでに、何度も話題にあがった。背景にサイエンスロマンの不足があるし、実質処遇の劣悪化もある。正当な評価が行われているかどうか。さらに、敗者復活の受け皿が無い。また、ポストドク問題には風評被害ともいべき部分がある。ライフ系を除けば、理工系で強い大学のドクターの卒業生では、多くはこの問題は当てはまらない。

【コメント・質疑】

- ・ファンディングのスキームに関して、ここ何十年かで一番大きな発見と言えるのは、iPS 細胞の山中先生や鉄系超伝導の細野先生が挙げられる。そのようなものは、科研費だけからは出てこなかったと考えている。なぜかという、ある程度の人数を動員して、実験施設も整えて研究しないとできないという研究であった。山中先生のケースもやはり、あのような実験をできるような部屋を奈良先端科学技術大学院に作ったからこそできた面がある。細野先生の場合でも、こういうことをやりたい、と考えたときに戦力が必要で、そのために彼はある程度の人数でいろいろなことを、「君はこれやれ、君はこれやれ」というようにやっている。そのやり方は、ERATO プロジェクトでスタートしたが、それが非常に功を奏した。したがって「科研費でやっていたらできるじゃないか」と言

われると、それは出てこないように思っている。

- ・発見は計画できないけれども、発見の確率の向上は計画できる。二者択一である必要はなく、多様的に。ただもう少し公的資金が発見・発明に向いてもいいのではないか。科研費レベルではなくて、限定された目標を持って発見する。この池で魚を釣ろう、ということ。しかし、その採択は難しい。採択は、トップ 5%のような人が決めないといけないと思う。合意で決めてはいけない。そこが日本は今、非常に欠けている。
- ・企業内でよく、「思い入れと思い込み、ちょっとした違いで大違い」という言葉がある。うまくいく研究開発テーマというのは、思い入れの非常に強い人材がそこにいるかどうかだ。きれいにロードマップが書けたり、きれいに目標設定をしても、要はありていのものを、資料を集めてうまくきれいに書いても、うまくはいかない。本当にこれは大丈夫かというものでも、非常に思い入れの強いリーダーがいると、世の中が変化し、その中で変化に応じながら、間違いなく前に進んでいく。要はこういう話になると、どれだけ思い入れの強い研究者を見つけるか。あるいはその人にそれなりのインセンティブなり、環境を用意するかということなのではないかな。思い込みの強い人は非常に多いが、案外思い入れは少ないという人がいて、例えばある 1,000 億円を超えるような事業について、全く分からないものにどうやって意思決定をするかということ、その提案している人が本気かどうかを見抜くことだ。「私はあいつにかけたのだ」ということ。だから案外とそのようなところで物事は動いていくから、きれいに絵が描けているからうまくいくというのは、何の保証にもならない。
- ・いわゆる目利きをどう育てるか。あるいは目利きをどうやって見つけ出すか。これは JST にとっては死活的に重要な課題。まさに、思い入れと思い込みの問題。この分野は重要だ、あるいはこの分野は日本が弱い、などから選ぶわけだが、多くはうまくいかない。当たり前ではある。そのときに何らかのストーリーがあって、それでそのストーリーというものは必ずしもうまくいくとは、確信がなくても、可能性として否定はできないというふうに、総括が思う。こういう兆候があるからこういうことは可能性があるのだ、という感じで提案者が言い張ると、否定はできない。その意味でやっぱり思い入れなのか、思い込みなのかという、その間のプロセスをきちんと吟味してみて、それであいつの言うことには一理あるとなれば、可能性をとる。
- ・経産省・NEDO のライフ系のプロジェクトをみると、ツールを作るところにかなり特化している。したがって、それ自体を目標にできないということではない。タイミングや池の大きさ、担い手は誰か、経産省の場合はそうなる。タイミングよくできるかどうかというのは、予算制度の年度で区切られているという制約と、他方で独法の交付金の仕組みというのをうまく使いながらやれば、それなりの仕組みはだんだんできてくるのではないか。独法ができてまだそれほどの時間がたっていないので、過渡期の部分があるかと思う。これからまさに、どうやって年度のしぼりから機動的にやっていくかが課題。

- ・不採択とした中に実はいいものがあったかもしれないということの議論が足りない。もしその落とした中にいいものがあるとするならば、採択率をもっと上げて、それで金額を下げるか、あるいは金額に重みづけをするか。科研費もそうだが、採択率があまりに低い。この低さによって本当に優れた研究がたくさん、日本の中で失われているかもしれない。どうしてもカテゴリーがあって、金額と年数がすべて固定されていて、その中で採択率が決まっている。もっと長く、高い金額が要るものもあれば、もっと安くてもいいとか、いろいろなバラエティーがあるはず。固定されていて、採択率が非常に厳しいがゆえにいいものが、取りたいと思われても取れない場合が多くある。また、不採択のものも大事だが、採択して失敗したものを恐れてはいけないというのものもある。10個採択して、3つよい成果が出ればこれはハイペースではないか。これらは根本的に考えなければいけない。

2-6. 「日本の大型新技術の未来動向とナノテクとの関係」

北澤 宏一（東京都市大学）

いわゆるナノテク・材料のシーズから育ちあがっていくものに対しては、それほど心配はしていない。しかし、材料を他の分野と相対的に比較して考えてみると、材料の展開から新しい産業ができていくという形で材料から次のステップへいく大きなものが、だんだん少なくなっているというのは否めない事実だとみている。すると、今後ナノテク・材料を科学技術の中で位置付けていくときに、シーズとしてのナノテク・材料ということの他に、何らかの産業が育っていこうとするときに「助けてくれるナノテク・材料」という部分があるのではないかと。今後、大きく日本を変えていくものが出てくるかということを考えて。

まず医療技術では、がんの早期発見のための診断技術と手術、抗がん治療技術、診断用マーカー、超音波、X線。がんは2人に1人はかかる時代で、世界からがん患者を集める。あるいは人間ドックのレベルから観光にからめて、日本に来て人間ドックを受けたり、日本に行って治療をする、そういうことを考える。今、世界のMRIの半分以上は日本にある。がんの早期診断という意味では、日本が一番進んでいる。人間ドックシステムも日本が非常にうまくやっているという客観的な事実があり、日本は手術も上手だし、抗がん治療も非常に上手だ。しかもその辺りの技術は年々良くなっている。そういうことを仮に日本が目指したとすると、ナノテク・材料でやらなければならないことというのは、たくさんニーズとしては発生してくる。大学でもその頃を目指して、例えば医療工学科ではちゃんと英語や中国語を話せる医療技術者を育てようという心理を、私も働かせている。

iPS細胞を活用した老化のメカニズム。iPS細胞というのは日本の発見であるということ、日本の若者たちが誇りにできるように、そういったことも研究開発をやっていく上では重要である。老化のメカニズムといったような非常に基礎的な研究のレベルから、創薬スクリーニング、再生医療を、iPS細胞を使ったものに特化して育てるということが重要だ。ただし、「再生医療というのはもっと大きな分野なのだ。なんでiPSだけやるのだ」という横やりは入る。そのとき日本として、日本は再生医療のすべてに力を入れるのか。それともiPSだけは特化してやるのか。日本の将来においてどちらを選ぶかは重要で、何でもかんでもやると大体うまくいかない。ここの部分は弱い分野だから、日本はやっていかなければならないとあって、JSTでもそういうプロジェクトがたくさんあった。しかし、弱いからといってうまくいった例は、ほとんどないと申し上げていいかと思う。だから、この分野は弱いからといってやるようなプロジェクトはもうやめよう。ナノテク・材料だって、強い部分と弱い部分があり、この部分が良くないということで次のテーマを選んではならない。

農業と漁業。農業と漁業で地域の所得倍増がなされないと、おじいちゃんおばあちゃんだけで若者が帰ってこないままになる、というのが日本の地域の疲弊である。例えば私は、ソーラーシェアリングという言葉の普及させるために、この3年間努力してきたが、ようやく農水省でもソーラーシェアリングの言葉を使うようになってきた。いろいろな規制があっただけでなかなか物事が前に進まないのだが、農業、つまり植物と太陽電池とで、半々に太陽エネルギーを分けようというもの。それによって農地転用制度を変えていくということがある。これからの日本は農業と漁業を大型化しなければいけない。日本に適していて、技術的にも支

援してやっていく方法という意味で、植物工場などはいろいろなことが出てくるだろう。細野先生の最近のヒットであるアンモニア触媒というのがあるが、植物工場を助けていくためのナノテクノロジー、といった世界があるはずだ。私も大学で水素を取り上げようと思っている。水素テクノロジーを考えたときに、水素吸蔵合金は、例えばヒートポンプで農業用にゆっくりと大面積で動かすときには、悪くない。そういったことを考えると、ナノテクノロジーの研究対象も、農業を考えたときにはまた違ってくる。漁業でも、近畿大学はいまマグロ養殖を核にして、大波乱の要因になっている。近畿大学は日本で一番の受験者数、そのぐらい大きなインパクトがある。漁業でこれからは国際共同・海洋牧場までをターゲットに考えると、かなり長期的なことになる。漁業を高度化された技術牧場のような考え方をしている。JSTでも、例えば東京海洋大学の、サバにマグロを生ませるといった技術があった。

エネルギーの観点では、大学をどういうふうに変えていくかということを考えてときに、水素キャリアは今後長期的な観点でやっていかなければいけない。大学の研究者に働きかけて、水素キャリアということから各自の関連を何か提案してほしい、といったようなことをしようとしている。必ずしも燃料電池だけではない。つまり電池というものは充電と放電の両方を考えているが、「電気化学蓄電会社」や「電気化学発電会社」ということを考えると、電解して還元物質を作ることと、それから還元物質を使って発電することとは、別に違った工場・工程でやっても構わない。これからエネルギーキャリアとしていろいろなものを工場として考えた場合には、今の二次電池とは違ったものも出てくる。その意味でエネルギーキャリアというのは、もう一度ナノテクノロジーの観点からも広く考えるべきではないか。

今、2020年に向けて東京の都市再改造が始まっている。始まってみると、材料の観点からいろいろな問題があるということが分かってきている。その意味で、例えば首都高速を電気化学的な腐食の観点から評価するとか、そういう類のことを組織的に、大勢の人たちが従事してやらなければならない。そこから新たな技術が出てくる。これから、土木建築インフラの総取り替え、あるいはメンテナンスをどうするかという問題が数十年にわたって出てくる。これが一つのナノテックの大きなニーズエリアになる。

リニア新幹線は既成事実になった。21世紀の日本のシンボルとして、20世紀が新幹線の時代だったが、21世紀に日本に観光客が来たら必ずリニア新幹線に乗って、そのとき日本はハイテクの国だなと感じ、そして高信頼性の国だなと感じる。これが望ましい。リニア新幹線はまだまだこれからやっていくことはたくさんあるが、その点からもパワーエレクトロニクスまで含めてのナノテックが活躍する場は、超電導の部分だけではなく数多くある。今秋に、北海道（石狩市）で高温超電導ケーブルを使った送電が2kmにわたって行われる。しかも公道の下を通過して配線される。世界で初めて、民間のデータセンターにメガソーラーから電力を送るということと、発電所からデータセンターに電力を送るという、この2つをやる。これがうまくいけば、さらに北海道の北の方に伸ばして、宗谷岬を目指すであるとか、それで途中の風力エネルギーを集めようとか、いろいろな夢が広がってくる。これは全部地下に埋設する。地下に埋設するというのは、コスト的には10倍ぐらい高いので今まで日本はやらなかったが、最近、小池百合子氏が座長になって、日本の電柱3,400万本を全部地中に埋める構想が上がっている。その意味で、地下埋設になると超電導送電は急に有利になる。その理由は地下に埋設する管が非常に細くていいということになる。そうなってくると今後、

日本縦断型の直流電力幹線とか、そういったものも目指してやっていける素地がだんだんできてくる。するとこの部分でもナノテクにもう一度振り返ってもらって、今はナノテクの人たちが超電導からいなくなってきたりしてしまっているが、もう一度復活できないかなということ期待したい。

私は日本で、ナノテクの中で育ってきたシーズについては、強いところをみんなで応援して強くしてほしい。例えば桐蔭横浜大学から出てきた、ペロブスカイト型の太陽電池がそうだ。あそこまでいったものを海外に取られてしまうなどということは、あってはならない。iPS のときにも、山中先生が一番心配したのは、山中チームを助けてくれるのはうれしいが、しかしチームジャパンというものを作ってほしい。チームジャパンで iPS をぜひ応援してほしいということ。JST は、CREST やさきがけの領域を発足させて応援した。今回のペロブスカイト型の太陽電池も、JST がやるのがいいかどうかはともかくとして、とにかくそういういい研究が出てきたら、どこかがそれを助けようということを言わないと、日本の研究者たちは「俺がやった研究じゃないから、人のやった研究を真似するのは嫌だ」という感じで、それにとっつかないところがある。ところが海外は、面白いと思ったら飛びつく。そしてその発電効率をどんどん良くしてしまう。強いものが出てきて、これはいいなと思ったら躊躇なく応じる、スピードが大事である。

以上は、私が考えた独断と偏見であり、いろいろな側面から考えていただいて、ナノテクの人たちで「他分野お助け隊」みたいなものを作ってほしい。誰かがリーダーになって、そういう研究者たちを引き連れては、シンポジウムを一つの分野ごとに仕掛けていき、ニーズをナノテクの中に招き入れるということをやったらどうか、これが私からの提案である。

【コメント・質疑】

- ・ペロブスカイト型太陽電池は、日本の色素増感の研究者も自分の研究をやめて、多くがペロブスカイト型太陽電池へ参入してきている。NIMS のナノ材料科学環境拠点も、去年、宮野副拠点長をヘッドにした緊急推進チームを作った。ここでは単純な効率競争をやるのではなく基礎から原理を理解し、最終的には効率向上を目指すという観点から、色素増感太陽電池や有機薄膜太陽電池の研究者に加えて、関連材料について物理の立場から光学物性をやっていた研究者、化学の立場から合成や電子物性をやっていた研究者さらに理論や計測の研究者をネットワークにして、対応している。
- ・産学連携はどうあるべきなのかということが、実はよく分かっていない。企業の内部でも最先端技術に苦労している。ナノテク領域のことをいろいろやってはいるが、何をやっているかということは絶対外には出せない。だから内部で抱え込む。新しい原理が必要かもしれないある技術について、世の中の論文をいろいろと分類すると、大体 35~36 個ぐらいのパターンに分かれた。その中でわれわれの目から見て使えるものはどのぐらいあるかとやると、せいぜい 3 つぐらい。その 3 つを公表して、「やる人いないか」と大学に行ってやるかという、これもやっぱりやらない。そこは会社としてのポリシーや、自分たちの持っている Integration 技術と込みで初めて生きてくるので、それを出すということもできない、やっぱり内部で抱えてやっている。企業で競争の中で動いて

いるときに、大学の研究とどういうふうにつき合っていたらいいのかなというのは、非常に微妙なところがあり、実際つき合っているところもあるが、NDAをお互いに言いながら進める。そうすると、大きなプロジェクトのような場合は、一体どうしたらいいのかいつもすごく悩む。

- ・実際にやるときには、学生の参画が一番難しくなってくる。個々のケース・バイ・ケースで考えていかないと学生も困るし、企業も困る。しかし、今は少なくともそれほど難しくはない。話を始めることが大切。
- ・例えばIMECは、もともとは大学が母体になっていて、各企業に非常に個別にフリーなディスカッションをやって、研究アイテムを決めて、年に2回ぐらい研究成果をフィードバックして、個別の意見をもらって、研究方針を変えて、みたいなことをやっている。感心するのは、個別の企業とかなり深い議論ができる間を作りながらも、当然ながらも守秘義務は保ちつつ、競争的な領域の提案をしてくる。それを聞いていると、それだったらお金を会社として出してもかなり意味がある、というような提案をしてくれる。かなり競争領域に近いところでも、資金を集めてやる仕組みをうまくやっている。そういう仕組みがなかなか日本の中にない。TIAも残念ながらそこまではいけていない、TIAの場合は母体としてそういう提案をするようなところはない。むしろどちらかというと「企業さん、やることないか」という感じになってしまっていて、集約するような機能はない。日本として問題ではないか。

※北澤宏一先生は、本ワークショップの以降に体調を崩され、急性肝不全により2014年9月26日に急逝されました。本稿は北澤宏一先生の最期の講演として記録されるものでもあり、これまでの北澤先生による日本および世界への貢献とご活躍に敬意を表すると共に、謹んでご冥福をお祈り申し上げます。本報告書原稿は、CRDSの責任により構成させていただきました。

第三部

総合討論

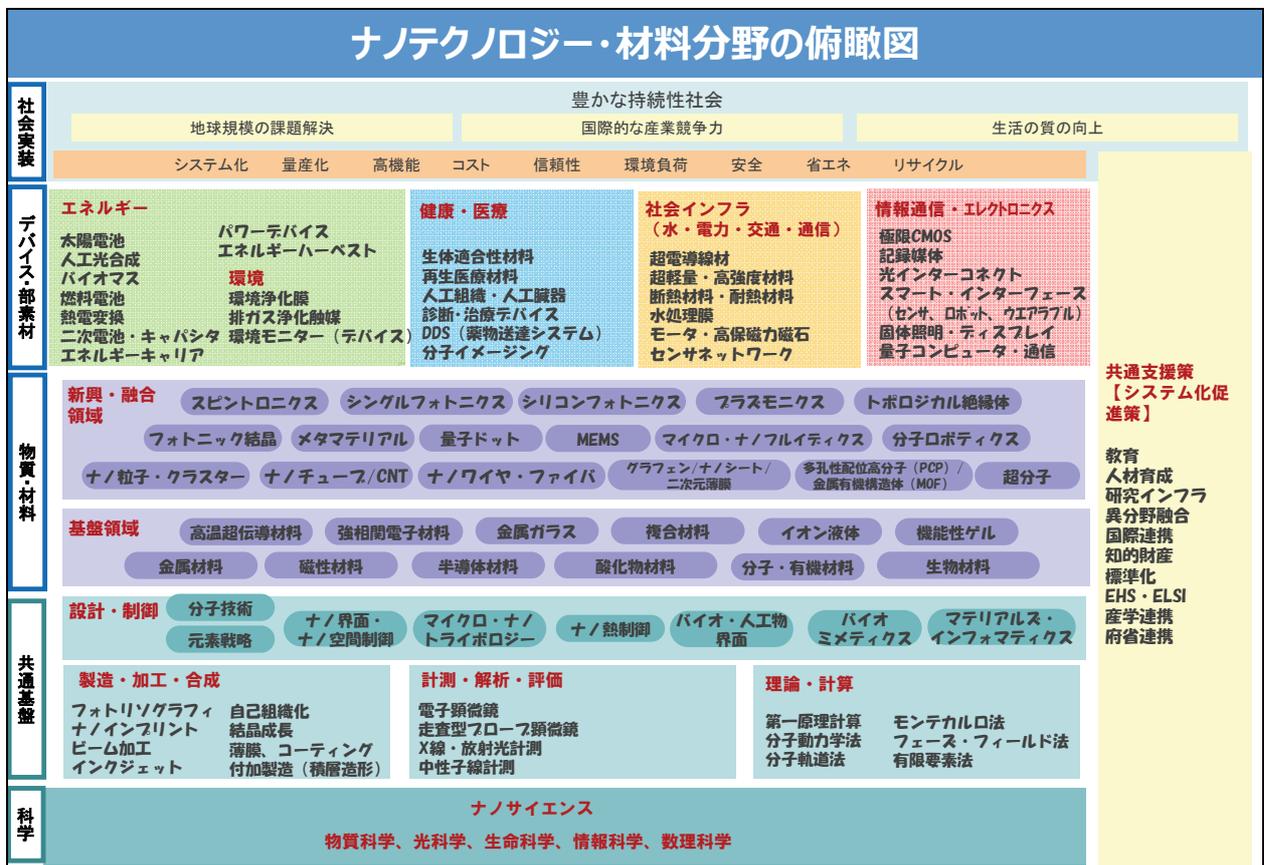
(オーガナイザー 曾根純一)

以下では、総合討論において挙げた主要な議論を、単位ごとに要約して示している。

- ・材料をやっている人と、デバイスをつくる人との話し合いは大分増えてきたが、やはりまだかなり互いに離れた位置にいる。同じパラメーターのことを言っているのに全然違う言葉を使っている、ということがあるので、材料とデバイスとをどうやって結び付けていくかが、重要なプログラム設計指針になる。バイオミメティクスでは、生物の機能構造模倣を光学的に応用して新しいものづくりに生かしていこうという動きがあるが、生物学と、博物学、光学の研究者が、全く言葉が違う。情報の受け渡しにおいて、たくさんビッグデータをいかに異分野の人が理解するか、それをつなぐ科学技術が必要。
- ・例えば太陽光発電を考えてみると、すでに年間 4,000 万 kW もつくられている時代になっていて、その 9 割以上はシリコン。基幹となるシリコンは、ナノ・材料という意味でもやっていかななくてはいけないが、そのような主要素材を公的資金プロジェクトにうまく組み込んでいない現状。そこをやらないと本当に日本の産業競争力はなくなってしまうのではないか。
- ・戦略において「何を選び何を捨てるか」という議論で、何を選ぶかという部分は良いが、何を捨てるかというのはやめるべきではないか。それはためておいて、時期が来るまで待つ。あるいは、もうちょっと煮詰まってくるまで、醸成されるまで待つということをやらないと、毎回捨てられたものはそこで研究が途絶えてしまう。そうではなくて、もう一回持ち上がってくるまでの期間で、いいものというのはやはりいいという判断をする。文科省側でそういうネタができれば、そのうちの何割かは経産省へ引き継ぐようなオブリゲーションを考えられないだろうか。
- ・戦略というのは取捨選択の問題だが、捨てるというのは非常に難しく、研究開発は当然ながら先見性、排他性、連続性。連続性がなければ、突然出てきたものはできない。国プロでは捨てられても、やり続ける思い入れのある人がどこかにいる。目利きが誰をするか、そういう人をどうやってうまく拾い上げてあげるか。産総研や NIMS、国研では、全体の予算の 1 割や 2 割は、部門長の采配で自由にやるとか、ある程度任せて予算を管理させる。その中から光ったものがあれば、それを拾い上げるという仕掛けが要るのではないか。
- ・企業としては、国の技術戦略と自社の R&D をハーモナイズすることが大事。国がこういう方向でいま動いているというときに、自社はこういう点が強いの、であればうちの会社はこういう研究領域で、こういう切り口で眺めることができる。ということでやって

いると方向が見えてきて、その領域ではやはりうちが入っていきやすいなど、行くところが見えてくる。ポイントが絞れてくる。日本は産業のすそ野が広いから、いろいろな領域があるので、もっと産学の連携というのは実のある形でできる、その仕組みをつくること。

- ・ 学術界の活性化について。学会や学術会議がほとんど国の政策に絡むことができていない。アメリカではアカデミーが、例えばパテントトロールの防止策など、学術界としていろいろな勧告を出す。日本ではそういう動きをほとんどしない。パテントプールの動きについても、アメリカのアカデミーは相当先行して動いている。その意味で、10年20年先、国がある方向に動く中で人材の育成も当然要る。いきなりイノベーションなんて起こせないから、20年先には層が厚くなるようにという動きをすること。



- ・ 企業の目から見ても、CRDS の俯瞰図案は重要なキーワードはほぼ入っている。環境、安全に関して、いわゆるハザード・リスク、EHS、それらもちろんこの俯瞰図に言葉としては入っているが、残念ながら国としてもほとんど施策化・予算化はされていない。これらの問題では、企業では何かあったときに費やす資金が莫大なものになる。ナノの研究開発というのは、ある物性をナノのレベルで解析することは全然問題ないが、製品そのものがナノで世の中に流通し始めると、必ずハザードやリスクの問題が関係してくる。当事者がいくら安全だと言っても世の中は認めない。やはり第三者が公的機関でハザード・リスクを評価する。プロトコルを決めて、国でオーソライズされて、そのうえ

でこの材料は大丈夫だと言わない限り、いくら企業が資料を出してもダメである。台湾や欧州は、ナノラベリングや規制で先行して動いている。日本はナノテクが進んでいるというのは事実で、進んでいるからこそ、ハザードとリスクの切り分けや、安全性の評価をきちんと公的に進めるべきである。

- ・研究分野としての絶滅危惧種をどうするか。アカデミック領域としてはなかなか論文が書きにくくても、産業技術として見ると、必ずどこかで人材育成も含めて必要だというものがある。冶金などが代表例。そういうものをプロジェクトとしてやっつけていこうという議論もあるし、大学・国研の中でどのように位置付けていくかという議論もある。その際にナノテクという新しい考え方で成熟した領域をもう一回見直すアプローチがあってしかるべき。ナノテクが学際分野としても非常に重要。
- ・本当に革新的なものを公的資金でやろうとすると、企業の既得権益を侵すケースもある。企業の意見を聞くと逆にできなくなってくる可能性もある。新しい「ショック」を自らつくっていくという観点から、企業とは距離を離れてやる官学のプレーヤーも必要だろう。
- ・アウトプットが単なる論文ではなくてイノベーションなのであれば、それができたときにきちんと評価をするシステムをつくらなければいけないが、いまだ霞ヶ関で論文が議論されている。論文も最近は数ではないといってインパクトファクターやサイテーションになったが、確かに一つの指標ではあるものの、国の科学技術に関する指標として、それだけでいいのか。本質は何なのかということをやちゃんと議論せずに、定量化せよということに対して安易に使っている。プラクティカルな研究分野について、研究者が本気になってある方向へ向かっていっていただくことが必要だが、環境を整備したり、システムをつくる議論が省内でもかみ合っていない。文科省で、大学や NIMS の研究現場まで知っているかという知らない。企業の戦略も知らない。私たちは知らないことが多すぎる。全部分かることはないにしても、もっと知る努力をしなければいけない。逆の立場になれば逆の事柄だと思うが、それで初めて政策決定者も研究現場もコミュニケーションがしっかり生まれてくるのではないかとにかく知らないということをまず認識しなければいけない。
- ・研究を担う人が重要。PI については、特にグリーンナノテクなどという場合に、本気にグリーンナノテクに展開するつもりなのか、作文や枕ことばだけで使っているのか。枕ことばで使っているのだったら、科学的に正しいことを長期的にやるべき。それがないと、いかにもすぐ実用化になりそうだと言いながら、永久にならないようなことをやって人材の無駄遣いになる。そういうことがまかり通る素地がどうしてもある。科学的に正しい議論なのか、実用に近いか、その見極めが非常に大事。
- ・研究開発をいかなる方向で推進すべきか、何が求められるかというときに、まずちゃんと俯瞰することがベース。俯瞰して、正しくきちんと知っていないと自分の思い込みだ

けでやってしまう。今度はどこに国として投資するか。限られた予算で、当然順位付けが必要。そのときに、今まで思い付きで、これと、これと、これというのが、どうしてもあったのではないか。何らかの筋道をもってここが大事だというのを決める方法論が必要。1つのやり方は、課題解決的なバックキャスト。ブレイクダウンしていくときに論理が必要で、国として何が重要か、いろいろな指標が出ている中で、共通項を探る。また、学協会や、JST、NEDOで、フォーキャストの各技術のロードマップはしっかりできているから、そことつないで足りないところを、その年、その年で決めていく必要がある。大事という意味は様々に違いがあるので、本当にプレーヤーがいるか、今後伸びるのか／伸びないのかとか、人材育成、そういう切り口を入れながらいくこと。そのやり方で1つだけ予言できないのが新発見である。新発見だけは、科研費などをウォッチしその可能性の高いところを探ることが重要。

- ・海外で新しく出てきたものを、安易に日本でも似たようなものを始めるということとはよくある。それは全然事情の違う国と、事情の違う、構造の違う官庁や行政、産業界、そういう気候の違うところで、そのまま日本に当てはまるはずはない。そういったことを批判的に見て選択する力というのは、中長期的に歴史的な視点で十分に調べて、データを蓄積している組織がなければ判断できない。課題解決型やバックキャストは、必ずしも成功していない。しかしながら、それをかなりまじめに取り組んだケースがアメリカ DOE のエナジー・フロンティア・リサーチ・センターである。エネルギーの将来の目標を決めて、そこからバックキャスト的に基礎研究のテーマを決めた。そうやって始まったエナジー・フロンティア・リサーチ・センターがどうなっているのか注意深くチェックしておくべき。これは一例だが、そういう視点を失わないこと。
- ・若手を海外に出すことは非常に重要。例えばプロジェクトやプログラムの中に、若手を必ず海外に2年ぐらい送るとか、共同で研究をやるとか、そういったことをビルトインすべき。そうしないと若手が、海外で一体何を問題としているのか、あるいは海外の意思決定システムはどうなっているのかということ、自分の体で経験して理解するという機会は得られない。
- ・グローバリゼーションは絶対避けて通れない。国内だけで通用する大学、国内だけで通用する研究所、これはグローバルにビジネスを展開している企業にとって何ら魅力のない組織で、世界で通用するからここに来てみようかなということが必要。海外と互角になるためには、海外の人も受け入れる。確かに NIMS も海外の人は多い。それは技術流出だという話もある。ところが各国からみれば頭脳流出であり、長い初期投資をかけて若い研究者を育成してきて、活性化して一番プロダクティブなときに日本に来て研究成果を挙げていくことになる。10年いてくれたら十分元が取れてしまう。そういうものをうまく機能させないと、世界で勝てる R&D の組織になっていかない。技術流出についてはいろいろな仕組みが考えられる。日本の企業は国研・大学に関してなかなか胸襟を開かないが、海外企業はもっとオープンで、それは諸刃の刃でもある。しかしそれでも一緒にやること。産学連携とグローバリゼーションとはかなりリンクしている。

付録

付録1. プログラム

開催日時：2014年7月16日（水）10:00～16:00

開催会場：科学技術振興機構 東京本部別館2階 会議室A-2

	司会・ファシリテーター	永野 智己 (JST-CRDS)
10:00～10:05	開会	曾根 純一 (JST-CRDS)
10:05～10:15	ワークショップの趣旨説明	永野 智己 (JST-CRDS)
10:15～10:45	「ナノテク・材料分野の俯瞰と展望」	曾根 純一 (JST-CRDS)
10:45～11:15	「構造的課題（組織・仕組み・人材育成）にどう取り組むか ～CRDSの経験から～」	田中 一宜 (産業技術総合研究所)
11:15～11:45	「今後の科学技術政策に対する文化的考察」	河田 聡 (大阪大学)
11:45～12:15	「ナノテクノロジー・材料分野においてなすべきこと – 2、3の事柄 –」	川合 知二 (大阪大学)
13:00～13:30	「グリーンナノテクノロジーにおける課題」	魚崎 浩平 (物質・材料研究機構)
13:30～14:00	「戦略とともに戦術を」	村井 眞二 (奈良先端科学技術大学院大学)
14:00～14:30	「日本の大型新技術の未来動向とナノテクとの関係」	北澤 宏一 (東京都市大学)
14:45～16:00	総合討論 (オーガナイザー 曾根純一)	
	論点1. ナノテク・材料分野の俯瞰概念について (構造・捉え方、範囲、境界領域)	
	2. 今後のナノテク・材料分野の研究開発の方向性と重要な柱・課題	
	3. 政策・制度上、共用拠点・研究拠点、産学連携、人材、グローバル化、学会に関する課題、他	
16:00	閉会	曾根純一 (JST-CRDS)

付録2. 参加者一覧

(敬称略、五十音順、所属・役職は WS 開催時点)

招聘者

- ・黒部 篤 株式会社東芝 研究開発センター 理事
- ・小寺 秀俊 京都大学 理事・副学長
- ・小長井 誠 東京工業大学大学院理工学研究科 教授
- ・清水 敏美 独立行政法人産業技術総合研究所 フェロー
- ・瀬戸山 亨 三菱化学株式会社 執行役員
三菱化学科学技術研究センター合成技術研究所 所長
- ・塚本 建次 昭和電工株式会社 技術顧問

- ・守屋 直文 内閣府総合科学技術・イノベーション会議事務局 共通基盤技術グループ
ナノテクノロジー・材料担当 政策企画調査官
- ・前田 豊 文部科学省研究振興局参事官 (ナノテクノロジー・物質・材料担当)
- ・立松 慎也 文部科学省研究振興局参事官 (ナノテクノロジー・物質・材料担当)
付参事官補佐
- ・田中 伸彦 経済産業省産業技術環境局研究開発課 企画官
- ・倉敷 哲生 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
戦略調整官

JST-CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット

- ・曾根 純一 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット 上席フェロー
- ・魚崎 浩平 独立行政法人物質・材料研究機構 フェロー/CRDS 特任フェロー
- ・川合 知二 大阪大学産業科学研究所 特任教授/CRDS 特任フェロー
- ・河田 聡 大阪大学大学院工学研究科 特別教授/CRDS 特任フェロー
- ・北澤 宏一 東京都市大学 学長/CRDS 特任フェロー
- ・田中 一宜 独立行政法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー/CRDS 特任フェロー
- ・田中 秀治 東北大学大学院工学研究科 教授/CRDS 特任フェロー
- ・松下 伸広 東京工業大学応用セラミックス研究所 准教授/CRDS 特任フェロー
- ・村井 眞二 奈良先端科学技術大学院大学 特任教授/CRDS 特任フェロー
- ・河村 誠一郎 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー/エキスパート
- ・佐藤 勝昭 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー
- ・島津 博基 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー
- ・永野 智己 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー
- ・中本 信也 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー
- ・馬場 寿夫 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー
- ・中山 智弘 CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー/エキスパート
CRDS 企画運営室室長代理

参加者

- ・石川 稔 内閣府総合科学技術・イノベーション会議事務局 共通基盤技術グループ
ナノテクノロジー・材料担当 政策調査員
- ・中根 茂行 内閣府総合科学技術・イノベーション会議事務局 共通基盤技術グループ
ナノテクノロジー・材料担当
- ・内藤 泰久 経済産業省産業技術環境局研究開発課 研究開発専門職
- ・大泊 巖 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム プログラムディレクター
- ・中原 徹 JST-CRDS 副センター長
- ・私市 光生 JST-CRDS 上席フェロー
- ・古川 雅士 JST 経営企画部重点分野推進チームナノテクノロジー・材料分野 研究監
/戦略研究推進部 調査役
- ・辻 伸二 JST 経営企画部重点分野推進チームナノテクノロジー・材料分野 メンバー
/戦略研究推進部 主任調査員
- ・竹村 誠洋 JST 産学基礎基盤推進部 技術主幹

■ワークショップ企画・報告書編集メンバー■

曾根 純一	上席フェロー
河村 誠一郎	フェロー／エキスパート
佐藤 勝昭	フェロー
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
魚崎 浩平	特任フェロー
川合 知二	特任フェロー
河田 聡	特任フェロー
北澤 宏一	特任フェロー
田中 一宜	特任フェロー
田中 秀治	特任フェロー
松下 伸広	特任フェロー
村井 眞二	特任フェロー

お問合せ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2014-WR-12

俯瞰ワークショップ報告書

ナノテクノロジー・材料分野「全体構想会議」

平成 27 年 2 月 February 2015

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 番地
電 話 03-5214-7481
ファックス 03-5214-7385
<http://www.jst.go.jp/crds>
©2015 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.

