

経営講演会

講演録

『世界をリードする産業技術創出へのわが国の課題』

—ナノテクノロジーを例とした技術戦略のあるべき方向—

講師 独立行政法人産業技術総合研究所

フェロー 田中一宜氏



財団
法人

リそな中小企業振興財団



講 師 独立行政法人 産業技術総合研究所
フェロー 田中 一宜 氏

プロフィールご紹介

研究分野：材料工学（アモルファス半導体）、ナノテクノロジー

主な経歴：1963年 東京大学工学部電気工学科卒業、工学博士

1963年 (株)松下電器東京研究所

1988年 電子技術総合研究所材料科学部長

1993年 産業技術融合領域研究所総合研究官

2000年 オンゲストロームテクノロジー研究機構常務理事

2001年 産業技術総合研究所理事

2005年より現職

この間、東京大学工学部化学工学科教授、UNIDO プロジェクトアドバイザー、筑波大学連携大学院物質工学系教授、アトムテクノロジー研究体（JRCAT）プロジェクトリーダー、総合科学学術会議ナノテクノロジー専門委員など歴任、2005年より科学技術振興機構開発戦略センターシニアフェロー

はじめに

産業技術総合研究所の田中でございます。私はビジネスをやって来た人間ではなくて、研究開発、国のプロジェクトのリーダー、国立研究所、特に独立行政法人になってからの経営や、さらに現在では産業技術総合研究所だけではなくて、独立行政法人になった科学技術振興機構の研究開発戦略センターというところで国の戦略についていろいろ議論をしている、そういう経歴でございます。

そのようなバックグラウンドの中で、この十数年間一貫してナノテクノロジーを見てきましたし、研究の現場にもいましたが、研究の様子だけではなくて、各国がどういう姿勢でそれに取り組んでいるかということについて、データ、写真その他ビジュアルなものを含めてお話をし、日本が今後技術開発等で生き抜いていくためには、何が重要であるかということをし少し申し上げたいと思います。

今日の話のアウトラインですが、まず「ナノテクノロジーとは」ということを簡単に申し上げます。次に国家プロジェクトの立ち上げ等、ナノテク投資が世界規模でどのように行われているのかを、最近5年間の政府予算、民間投資等を含めてお話をしたいと思いません。それから、各国研究開発戦略と政策動向、これはヨーロッパ、アメリカ、アジア、日本という形でごく簡単な比較をさせていただきたいと思います。その後、日本の特徴あるいは日本のナノテクノロジーに関する科学技術政策、こういうことをまず表の部分、政府がどういうことを実際に見えるところでやっているか、明確なところをお話しし、最後の結言のところでも多少私の本音をお話しさせていただきます。そういう構成で進めてまいります。

ナノテクノロジーとは

あまり細かく言う必要はないと思いますが、正確に言いますと1メートルの10億分の1、原子数個分の長さを1ナノメートルと言います。1ナノメートルとはどの位のものか、感覚では捉えにくいと思いますが、例えば地球の直径を1メートルとすると、地球の大きさに対してビー玉の大きさが1ナノメートルぐらいです。ここに入ると原子が実際に目に見えてくるという世界になります。そして、原子からスタートして、1ナノメートルから数十ナノメートルぐらいのスケールで物を作ったり、そういう精度で加工したり、そういう世界に特有の性質を引き出すということによって応用分野が切り開かれるというような、基盤的な技術領域を総称して「ナノテクノロジー」と言っています。しかし、ナノテクノロジーは実際の世の中ではもう少し広い意味で使われておりまして、1ナノメートルよりも千倍、1万倍ぐらい大きいミクロンぐらいの世界が十分に将来はナノになるということで、議論が

されているという状況です。

21 世紀には半導体技術あるいは分子エレクトロニクス、新しい領域、素材産業、バイオテクノロジー、先端医用技術、環境エネルギー、すべてに関係してくる、そういう共通の基盤技術であると考えられているわけです。

(図 1)



これは(図 1) 総合科学技術会のホームページから取りましたが、ここに長さのスケールがありまして、一番上が1メートル、1ケタずつ下がってきてここが1ミリ、1ミクロン、1ナノというのはここにあります。ここに1 とありますが、原子の大きさはちょうどこの辺りになります。自然界ではこのように猫などの哺乳動物、昆虫、さらにはヒトの細胞、細菌、赤血球、白血球等々小さくなり、ここがDNAの位置であり、どんどん小さくなっていきます。一方、人工物質を見ると、過去1世紀の間に大きな進展をして、最初はこのように大きな飛行機や自動車を造っていたわけですが、マイクロエレクトロニクスの時代になって真空管からトランジスタができてきます。そして、それが集積回路という形でどんどん小さくなっていっているわけです。このシリコンのLSIというのは単一のトランジスタがミクロンの単位となり、その中で行われている加工の精度は0.1ミクロンに迫ろうとしています。そしてさらにナノの領域に入り、研究所レベルでは加工精度が10ナノとか数十ナノぐらいのところまで来ているわけです。そしてその延長では、いろいろな自然界の細胞、例えば、がん細胞に1つ1つ、何らかの方法で発信回路をくっつけて、細胞レベ

ルでがん細胞がどこにあるのかということが将来にはできる可能性がある、つまり、人工物がナノの領域にどんどん入って来ます。このナノのほうに入ると最後は原子が見えてくるので、自然界の物質と人工物質がドッキングしているいろいろな技術の可能性が出てくるわけです。

このナノテクノロジーという分野は、既に存在する材料や、ライフサイエンス、エレクトロニクス、環境エネルギーといった分野に並列する独立した分野ではなくて、すべてに関連する横串的で基盤的な技術であるという捉え方が重要であるわけです。材料もナノのオーダーのいろいろな材料が最近出て来ていますし、またライフサイエンスでもDNAというものによって生命現象がきれいに撮れるようになりましたし、それを使って創薬事業やその他の産業にどんどん応用されるようになったわけです。それらは全部ナノの領域の話になりますし、エレクトロニクスもトランジスタもどんどん小さくなって、いままでは数十ナノの加工精度が市販されていますし、さらにその先にはもっと小さい単電子トランジスタというようなもの、あるいはDNAをうまく使ったデバイス、そうしたものがアイデアの段階としては出て来ています。ですから、環境エネルギー分野においても、例えば、いろいろな細菌の入った水を、フィルターで浄化しようとするときには、細菌やウイルスなどはナノの領域ですので、そういうものをうまく細工するような技術が出て来ると、一気に飲み水にまでフィルターできるということも可能になってきます(図2)。

(図2)



すべての業種の根本にある問題に全部ナノテクノロジーが関連しているというわけです。例えば、アメリカではこのナノテクノロジーを 1 つの国家的なプロジェクトとして現在進めています。目標の 1 つとして、国会図書館の全情報を角砂糖サイズに格納できるような小さいものを作るとか、いろいろな言い方で社会の関心を引いています。最近では、痛みを全く感じさせないでがんをいかに治療するか、または、がんを完全に撲滅するというようなこともナノテクノロジーの 1 つの将来の成果・目標として掲げています。

つまり、ナノテクノロジーはあらゆる異分野が融合し、それを通して新しい技術やビジネスが生まれ、増殖していくという特徴を持っています。特にここで重要なことは、あらゆる分野と結びつき、異分野を融合するということです。

ナノ構造体の簡単な例を申し上げます。詳しいことには立ち入りませんが、例えば DNA は縦に曲がっており、二重螺旋になっています。そして、遺伝子の情報がここに全部書き込まれていて、それに従っているいろいろな転写が行われて、顔まで似た子供が生まれたりするわけです。この螺旋の一周期が 3.4 ナノメートルとなっています。ナノの構造の代表的なものとして、この DNA がいろいろな形で利用されようとしています。

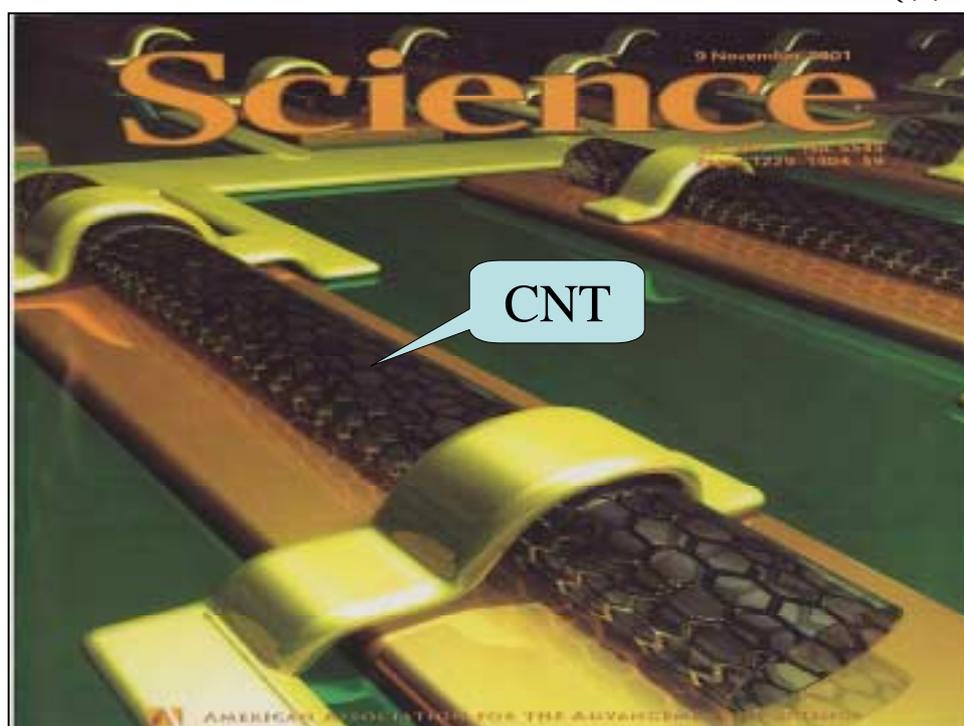
それから、無機の世界では、カーボンがいろいろな形で面白いナノの構造を作ることがよく知られています。例えば、ダイヤモンドももちろんそうですが、フラーレン、いわゆるサッカーボールと言われるものですが、炭素が 60 個集まって 1 つの球体の分子を作っています。この幅が大体 0.7 ナノメートル、7 Å です。これらをどういうふうにするかということで、いろいろな議論がされています。例えば、これに、ある特殊な分子をくっつけて HIV の治療薬に使うとか、いろいろな応用が考えられています。これを混ぜて、材料を強化していくという使われ方も模索されているところです。

同じように、カーボンでできた他の構造体としてカーボンナノチューブというのがあります。この 1 つ 1 つの円が炭素原子ですが、こういうチューブは日本がを見つけました。信州大学の遠藤先生が、あるいは飯島さんが見つけたと言われていますが、これはいろいろな面白い特性を持っているのでかなり広い応用が考えられます。例えば、触媒に使えないかとか、あるいは、水素吸蔵はチューブよりもナノホーンという円錐形をした同じ炭素のほうがいいと言われていています。それからナノマシン、こういうものの直径の違うものを作ろうと思えば幾らでもできる訳でありまして、直径の違うもので、殆ど摩擦のない分子のピストンを作るとか、そういう実験を実際にやっているところもあります。すぐに実用という訳にはいかないのですが、全く新しいコンセプトとしては、そういうものも出て来ております。

使い道を考える側としては、網目の作り方によって半導体になったり、金属になったり、電気を全く通さなくしたり、電気を非常に通しやすくしたりというように性質をいろいろ

変えることができます。これを半導体として使った場合は、新しいトランジスタ、あるいは金属の線としても使えます。それから、これに電解と電圧をかけると電子が非常に飛び出しやすいので、大型テレビや最近流行のディスプレイに使うということもされます。サムソンなどがこういうことをやっているわけです。これは『Science』という雑誌に4年ぐらい前に出たものですが、この黒いカーボンナノチューブ(CNT)を使って、これは金の電極ですが「トランジスタができた」という発表です。これはオランダのデルフト大学の一例ですが、こういうものがいろいろなところで発表されて人々の注目を引いているわけです(図3)。

(図3)



国家プロジェクトの立ち上げとナノテク投資

次に、ナノテクノロジーについて国家プロジェクトの立ち上げと投資がどのように行われているか、最近5年の民間投資について申し上げます。

国家プロジェクトの立ち上げは米国が仕掛けたわけで、ナショナル・ナノテクノロジー・イニシアティブ(NNI)というのがありまして、これは「国家ナノテクノロジー戦略」とでも訳したらいいと思いますが、各省横断で4年間の準備、分析の後、2001年に開始されました。クリントンさんが、アメリカは21世紀前半にナノテクノロジーに大きな投資をしてイノベーションを起こし、社会を変革していく、そういう技術開発をやるということ

を発表したので有名になりました。

この後、その投資規模が非常に大きかったということと、戦略的にやるという発表のインパクトが大きかったので、各国がそれに応じて、放っておくと大変なことになるということでバタバタと動き始めたということです。日本は、第2次科学技術基本計画が2001年に始まって今年度で終了します。来年度から新たな5年の第3次科学技術基本計画が始まりますが、2001年のスタート時期に間に合ったので、ぎりぎりでナノテクノロジーが2001年に開始するということになりました。ヨーロッパは、少し出遅れましたが、あらゆる主要国がやっており、EC-15で始まって、いまはEU-25、25カ国が入り、かなり戦略的に動いていて、各国がさらに独自の戦略を立ててやっています。しかし、アジアはかなりスタートが早く、韓国は日本とほぼ同じ2001年に開始しています。それから、台湾は2002年に開始、中国も2003年に国家プロジェクトを発表しています。特に韓国・台湾はかなり大きな投資をしています。

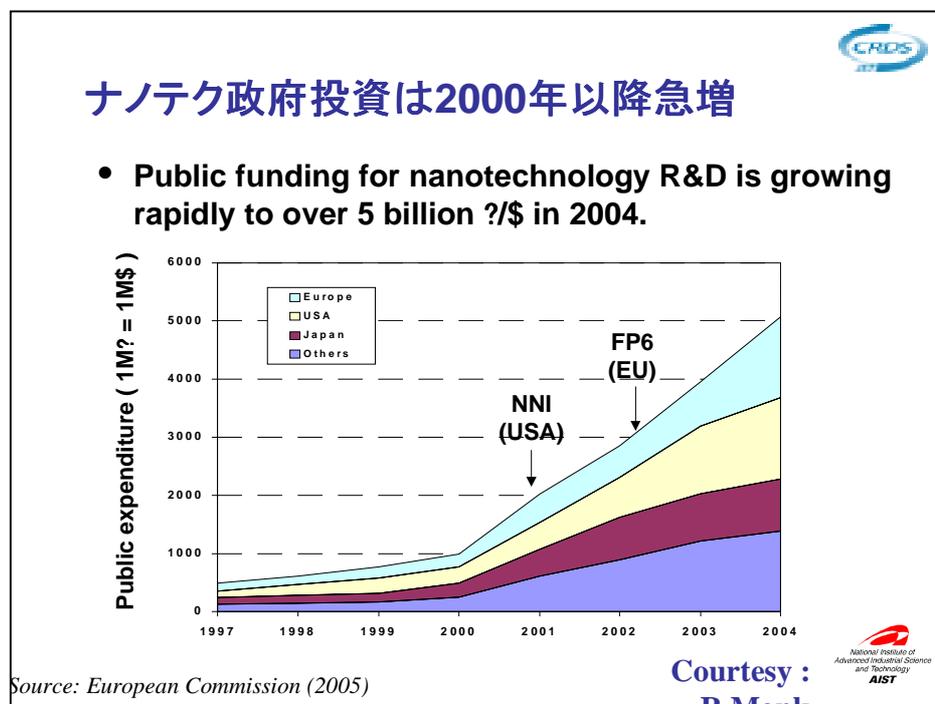
このような投資は、いきなり2000年から始まったのかというとそうではなく、ナノテクノロジーに属するような技術的な研究開発の国家プロジェクトは、既に1980年代からありまして、特にアメリカ、日本、ヨーロッパ、中でも特に英国は、個別のナノテクノロジーがたくさん走っていたという経緯があります。

国家投資が一体どうなっているのかということですが、2001年以後、ナノテクノロジーの国家投資は世界的に急増しています。政府投資だけを申し上げますと、2000年に全体で800億円ぐらいだったのが、今は5,500億円と急増しています。わずか5年間に全体の投資が大きく増えている訳です。国別に見ると、アメリカ、日本、EU-25というのは大体900~1,000億円のところで、ほぼ同額の大きな投資をしています。韓国、中国、台湾も、それなりに大きな投資をしています。後でもう少し分析すると相当に大きな投資だということがわかりますが、人口当たりの投資額で見ると、日本はかなり投資が大きいということがこれでわかります。韓国も大きいです。そして、中国、台湾、米国、EU-25等々になっています。国家投資と民間投資を含む世界総投資額は約1兆円です。アメリカが一番大きくて、国家投資のさらに2倍を州や産業界が投資していますから国家投資の3倍ぐらい、全体としてはこういう数字になります。これは横軸が年別になっていて、米国のNNIのスタートは2001年です。これは、年間約100億円以上のナノサイエンスとナノテクノロジーに関する国家プロジェクトがいつ始まったかを示したのですが、アメリカが2000年から始まっています。日本、韓国、EC-15、ドイツ、台湾、それからUK、中国というように始まっています(図4)。

各国政府のナノテクノロジーの研究開発投資ですが、グラフを見ていただければよくわかると思います。上からEU-25、アメリカ、日本、その他となっています。ご覧のように、投資は2000年から大きく伸びてきた訳ですが、これが、アメリカの国家プロジェクト

がいかに世界的に大きなインパクトを与えたかということを示しています。

(図 4)



これは、政府の投資を別の面から分析したもので、「各国政府ナノテクノロジー研究開発投資」です。米国、EU-25、日本、中国、韓国、台湾の投資を示しています(図5)。人口当たりのGDP、ナノテク政府投資、ナノテク投資人口当たり、それから一番右側にGDP当たりナノテク投資となっています。GDP当たりのナノテクへの政府投資は、日本、韓国、台湾の順になっており、アメリカやヨーロッパよりも、投資が高いということがこれでご理解いただけたと思います。額だけ見ると、台湾、韓国は相当に大きな投資をしているということがわかります。

世界の投資総額は約1兆円です(図6)。政府が56%、産業界から44%となっています。そしてヨーロッパ、米国、日本、その他という順番になっています。産業界の投資については、アメリカが最も多いということがわかると思います。政府投資で、Statesと書いてあるのは州の投資です。

ECは、それぞれの国が独自で投資しています。この5年間に投資が急激に行われていることがわかりただけたと思います。そして、韓国・台湾といったアジアが大変大きな投資をしていることもわかりただけたと思います。

(図 5)

各国政府ナノテクノロジー研究開発投資(2004)

国名 (経済圏)	人口 (百万人)	GDP (1兆ドル)	人口あたり GDP (千ドル/人)	ナノテク 政府投資 (2004) (百万ドル)	ナノテク投資 人口あたり (ドル/人)	GDPあたり ナノテク投資 (ドル/百万ドル)
米国	293	11.0	37.5	989	3.4	90
EU-25	456	11.1	24.3	~950	2.1	86
日本	127	3.6	28.3	~900	7.1	250
中国	1,300	6.45	5.0	~200	0.2	31
韓国	48.6	0.86	18.0	~250	5.1	291
台湾	23	0.53	23.0	~110	4.7	208

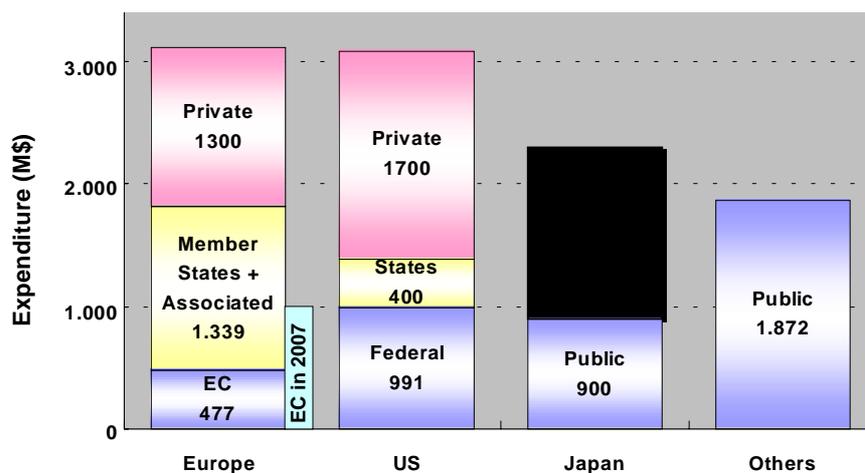
出所: Courtesy of M. Roco(NSF) / GDPデータ(2003, ATIP)

為替レート(1ドル=105円, 8.2元, 1100ウォン, 34NTドル)



(図 6)

世界投資総額\$10B / 官(\$5.6B)+産(\$4.4B)



Source : European Commission(2004)

: Private figures based on upon Lux Research



各国研究開発戦略と政策動向

次に各国研究開発戦略と政策動向についてお話しします。政府予算の投資が戦略のすべてではなく、それをどうやって使うか、どういうところに投資するかということが、実は各国の戦略の数値的な表現になるわけです。

(1) 米国

NNIというのが、米国のナノテクノロジー戦略になるわけですが、4年間の準備を経て、2001年にスタートしました。第1次戦略プランが2005年に大体終了して、2006年から2010年の第2次戦略プランというのが現在作られています。そこに、今後5年間にどんどん投資していくのだという決意が述べられています。

そして、米国の場合は州政府・産業界などからの投資もかなり多いということです。世界のナノテク総投資は約1兆円ですが、そのうち米国が3分の1を占めています。こういう政府計画の中に、PCAST（大統領科学技術諮問会議）というのがありまして、法律に則ってこの2004年までのプロジェクトの評価をしています。その評価結果が今年の5月に発表されていますが、米国はナノテク研究開発の世界のリーダーであると結論しています。資金は適切に使用され、運営方法も良好と判断されています。ナノ粒子が環境やヒトの健康に与える影響については、初期から着手しており、科学教育に対しても期待を十分果たしていると評価されています。米国は、こういうことにナノテク全投資額の10%近くを充当している訳ですが、これはどういうことかということ、ナノ粒子が人体に吸収されると悪影響が起るのではないかという懸念を否定できないからです。

アメリカの場合は、遺伝子組み換え食物の失敗に懲りて、新しい技術が、人類や社会に害毒を流すのではないかという不安が生じた際に、それに対してきちんと説明のできる科学的なデータを持っていることが政府としては重要になっています。遺伝子組み換え食物のときにはそれが十分できていなかったし、メディアが徒に社会不安を煽ったために、十分な研究開発をやりにくかったということがあるわけです。今回の場合はその轍を踏まないように、このNNIが2001年に始まったときに、全予算の10%をかけて、ナノ粒子というものがどれだけ身体に吸収されるのか、あるいは、どうすれば無害になるのかといったことを、安全面から相当にシステムチックにデータを蓄積しています。しかも、静かにデータを蓄積しているわけです。科学的なデータがはっきりしないうちに社会にいろいろな発言をすべきではないというはっきりとした方針があってそうしているわけです。ヨーロッパ、特にEUはナノテクノロジーが出遅れたために、ISOその他環境問題について積極的に発言するというのを1つの経済戦略と思えるほどにやっています。しかしながら、アメリカはデータをきちんと積み重ねているというところがあるわけです。そういう意味では、同時に、技術の社会需要に関して大きなプロジェクトを発信させるときに、大統領科学技術諮問会議は予算の使い方が健全であって、そのデータを蓄積する努力をして

いると評価をしたわけです。

それからナノテクの主要論文、『Nature』『Science』その他、一流の論文誌の50%をアメリカが出していますので、かなりサイエンスとしても進んでいるということです。またUSPTO、特許への出願、その他、登録特許のうち60%をアメリカが占めております。重要なことは、インフラ構築をきちんやるということです。インフラ構築は何かと言いますと、ナノテクノロジーが非常に特殊であり、ナノテクノロジーを実際に研究しようとすると、小さな会社ではなかなかそれに取りかかることが実は難しいという側面があります。なぜかという、ナノテクノロジーは最初にお見せしたように極限の小さいサイズを持っています。そういうものをどうやって測り、その性質をどうやって評価するかというのは、そう簡単にその辺の装置を使っては出来ないわけです。かなり高価な測定評価装置が必要になります。ですから、そういう共用設備を政府が予め用意し、センターを作って、外にオープンにして、ある場合にはただで使う。ある場合には、本当にわずかのチャージを取って使っていただくという形で小さなグループや、またお金のあまりない大学、スタートアップ企業がどんどんこの領域に参加できるようなシステムを用意することが重要です。それがインフラ構築というものです。NNINというのは、ナショナル・ナノテクノロジー・インフラストラクチュア・ネットワーク、という意味ですが、ここに13の大学が加わって、建物を建ててそういう装置を用意し、地域にオープンにして使わせています。そこには年間6,300という、大変多くのユーザーがいます。

他にもいろいろありまして、NCNというのはナノテクノロジー、コンピューショナル・ネットワークのことですが、ナノテクノロジーをいろいろ研究するとき、コンピュータでシミュレーションをやることがあります。そういうものも一般の方が使いやすいように、大学がネットワークを組んでオープンにして使えるようにしています。これが実は、ナノテクノロジーを本当に産業界に浸透させていこうとしたときに、中長期での重要な施策になるわけです。大学にもナノテクノロジー学科というのがありませんので、ある意味では教育も含めてこういうシステムをポリシー・戦略として働かせて充実させていかなければいけないということです。

ナノテク教育プログラムの浸透についてですが、NSF(=米国科学財団)というのがあります。ナノテクの研究をするためのセンターにお金をつけたときに、同時にそこに参加する大学院の学生は、教育プログラムに参加しなければならないという仕組みにします。大学の新しいナノテクノロジーのカリキュラム作りをやっているわけです。K-12プログラムというのは、アメリカの幼稚園を卒業してから高校を卒業するまでの間の一貫した教育システムづくりのことです。このNNIができたときに、ナノサイエンスを中心にとそれができるのではないかとということで、このK-12から、さらにK-16つまり、学部の教育まで含めてシームレスな、一貫した教育システムをつくらうとして、このナシ

ヨナル・ナノテクノロジー・イニシアティブの中で一生懸命やっています。つまり、中長期でナノテクノロジーを本当に根づかせようとしたときには、こういうインフラ構築とか、教育というものが戦略としては大変重要だということになります。

これは、米国の研究開発戦略と政策動向の 1 つですが、その中でこの P C A S T という評価をやった大統領の諮問会議が、外部に技術諮問グループをつくりまして、そこに有識者を集めて、今後のインパクトの大きな領域はどのようなところにあるかということで問いかけて、全体を集計したものの例が示されています。

短期的戦略 (1~5 年)

例えば重量比強度、靱性その他の特性が飛躍的に改善されたナノ複合材の実現。浄水、淡水化、その他の応用のためのナノ膜とナノフィルターの実現。それから、現行より 1 ケタ以上安い金属を用いて機能が改善された触媒の実現。感度、選択性、信頼性の高い化学物質及び生物物質を検知する固体センサーやポイントオブケアにおいて用いる医学的診断デバイス、持続時間の長い充電バッテリーといったものが、今後短期的なものとしてナノテクノロジーが注目しなければならないというように示されています。

中期的戦略 (5~10 年)

特定疾病に対する薬剤治療、それから高度な医療イメージングが大きな分野になってきています。医療イメージングというのは、例えば手術するときに、がんのところだけが光るように 3 次元的な表示をさせて、それを見ながら手術するというような方法です。それからエネルギー関係では、発電効率や費用効果の高い太陽電池、燃料電池や水の直接分解による水素。それから CO₂ 固定についても、ナノテクノロジーの貢献が期待されています。

長期的戦略 (20 年~)

いま 1 つのナノテクノロジーの流行として、ドラッグデリバリーシステムという細胞壁を通過する薬剤輸送が注目されています。これは、抗がん剤を投与すると、同時に正常細胞を攻撃するので身体が弱ることがあります。そこで、患部だけに選択的に薬剤を投与して、そのがん細胞をアタックするというようなことが必要とされているわけですが、それにナノの物質が使えないかということで、努力がなされています。薬剤輸送は、ナノテクノロジーの 1 つの大きなジャンルです。

それから、まだコンセプトの段階ですが、分子を使ってエレクトロニクスができないか、また、光信号だけで情報処理できないかとか、人工神経をつくる、あるいは自然環境中の熱源や化学資源をエネルギーに変換できないかというようなことも挙げられています。米国では、研究開発戦略政策動向で第 2 次 (2006~2010 年) にどのようにするか、エネルギー環境関連にナノサイエンスの最先端の技術を入れようとして大きな計画を立てています。

第2次NNI戦略プランにおける「4つのメインゴールと今後5年の新しい重点」

基本的には第1次の2001年から2005年の計画とそう変りはなく、バランスが取れています。

まず第1は、World-class R & Dプログラムを維持発展し基礎研究で常にリーダーになることです。そして能動的ナノ構造と、ナノシステムのR & Dサポートです。これは話が長くなりますので、ここでは省略します。それから2番目が、生まれた新技術を含わせて製品化あるいは公的利益へシフトしていくということで、それを促進するためのいろいろなシステムを持つ、あるいは投資をするということです。3番目は、教育資源、ナノテクノロジーという新しい分野での熟練労働力を開発することです。人材を開発する、育成するというようなことであり、そのために先端ナノテクのための機器インフラを充実させていくということです。最後は、社会環境、健康に関するR & D、市民との対話を通したナノテクの責任ある開発です。これは世界的にも言われていますが、技術の社会受容のためにはこれが不可欠ということになっています。最近はCSR（コーポレート・ソーシャル・レスポンシビリティ）というのがISOの国際標準化になったので、経団連も企業行動憲章の中で、製品を生み出す企業が責任を持って、その安全性についてチェックをする、努力をするということを宣言しています。これを無視すると、グローバルな経済活動の中からもだんだん弾き出される恐れがあるようになってきています。

次に、2015年に向けたR & Dの対象について見てみましょう。まず、ナノの可視化と3次元シミュレーションですが、先ほどイメージングの話をしましたように、非常に小さいところのいろいろな構造を目で見えるようにする、しかも、3次元表示にするということが、いろいろな基礎研究や応用の面からも大変重要になってくるということです。

それから新しい10ナノメートル以下の集積CMOSを超えるトランジスタができないものか、これは、いま日本のナノテクノロジーの産業界でも幾つか考えられているいろいろな方法が作られています。

化学的製造に向けた新触媒、がんの苦痛と死からの解放といった項目が見られます。それから、気中・土中・水中でのナノ粒子の制御、これは空中に撒くといろいろ問題がありますので、どう制御するかということについては安全の面からも大変重要視されます。先端材料、先端製造技術ですが、1つは、分子レベルから積み上げていくということを製造技術として使えないだろうかということです。創薬、薬物送達ですが、半分はナノをベースにしてやるということですね。それから、ナノスケールからの技術集結、これは人工組織等々、つまり、ある組織を分子レベルから積み上げていって、ある目的のものに作り上げていくということです。それからライフサイクル、生体適合、持続可能な発展等々となっています。生体適合材料といろいろなところで問題になっていますが、ナノの技術を使って、そういう無機の構造物と生体との界面をどのようにつくっていくか、あるい

は、細胞の接着をどうするかというようなものです。

教育はミクロのスケールからナノスケールにまで下がって、科学技術の全体像を捉えるようにしていくことによって、ナノテクノロジーに関する社会的な需要というか、理解を深めていくということが考えられます。これはK - 16 という教育システムです。つまり、幼稚園を卒業してから学部教育まで一貫してナノサイエンスを中心にして俯瞰的に技術を理解していく教育システムをつくらうということです。

(2) EU

EUは出遅れましたが、ナノテクノロジーは放置しておけないと考えており、現在熱心に取り組んでいます。ECは、先ほど申し上げたとおりナノテクノロジーについては2002年にスタートしました。EU全体の方針を決めるFP6(フレームワークプログラム6 2001~2006年)の中で現在取り組んでいる状況です。このFP6になってから初めてEUはナノテクを主戦力分野に決めて、相当の投資や宣伝をしています。先ほどのグラフを見ておわかりのように、2002年から2005年にかけて投資金額が増えています。

今はFP7(FP6に次ぐ第7次フレームワークプログラム)、これは2007年から7年間の計画ですが、これを策定しています。これまでの5年間の評価を兼ねて、またその強化をしながら、2007年からの計画を立てているわけです。コ・オペレーションというプログラムのテーマ4で、その戦略が記述されています。それからナノテクノロジーは応用も重要なのですが、EUが重要なものとして抽出したものに、材料を挙げています。さらには、ヨーロッパはこの分野で非常に遅れてしまったということのを反省して、新生産技術ということを中心に挙げています。

実際の進め方としては、ナノ科学+ナノテクにより知識を生み出し、そして、界面やサイズ依存の現象を探し出し、材料のナノスケール制御を新応用として考えていきます。それから、ナノスケールでの技術の集積、この辺は大体どこでも同じですが、セルフアセンブリーを進めるということです。セルフアセンブリーというのは、生体は放っていても自然に組織を作るのと同じように、小さいナノの世界で1つ1つピンセットで運んでくっつけるということをやると、使い物にならないので、いかにスループットを上げるかということを見ると、自己組織化や自己整列とか、そういうことを使わざるを得ないわけで、実際に物を作るときにそういうものを組み込んでいくということです。

ナノ機械、ナノシステム等々も挙げられていますが、材料については、ある機能を予測して、その機能を満足させるような材料を自分たちでデザインしていくというテイラード材料があります。しかし、一番重要なのは、新生産技術でありまして、FP7で打ち出された新しい方向ですが、ジェネリックテクノロジーの統合集積が必要だということです。伝統的なマクロ製造業を脱して、知識ベースの生産技術を目指す、そしてキーワードは、ヨーロッパの研究活動の分散を防ぐために、国際協力(ERA-NET)を活用して、1

ヶ所にインフラを集中させ、そこに人材その他の組織を全部集めて共同研究をさせるということです。EUの2007年からのFP7の方針の骨子は、産業を常に意識した長期的な戦略アプローチ、民間企業と研究機関の密な接触、そのためのインフラをつくるということです。

これは、EUのインフラの例ですが、グルノーブルにMINATECというセンターがあり、3,500人ぐらいの人が集まって、研究開発とか、企業との共同研究等々を行えるようにいろいろな装置を揃えて、共同研究の場、あるいは接触の場をつくっています。世の中がナノテクノロジーを理解してくれない限りはなかなか進まないということで、ヨーロッパはアメリカと同じように教育に力を入れています。ナノテクノロジー・イノベーション・トモロズワールド（明日の世界へのイノベーションとしてのナノテクノロジー）という教育プログラムを23ヶ国語に訳して各国に配るということをしたり、映画も幾つか作って普及推進に努めています。

ナノの粒子あるいは材料が、それを作っている工場の労働者の健康に影響を与えないように、また、環境に拡散されないようにということで、そういうものをシステムティックに調べるための安全面の研究も行われています。こういうものが3つほどさらにリニューアルされていると思います。最近化粧品としてナノ粒子を皮膚に使います。ナノの領域になると透明感が出るということで、実際に使われていますが、それが皮膚の中にも吸収されるのではないかとということで、ナノダームというプロジェクトが走っています。

日本の化粧品メーカーは、こういう安全性の調査はやっていますので、このようなプロジェクトが国内にないからといって、安全をなおざりにしているということではありません。

(3) 韓国

韓国は、ナノテクノロジープログラムについては、2001年から2010年までのある程度のシナリオはできています。この10年計画は2001年にスタートしています。第1フェーズ、第2フェーズ、第3フェーズになっていますが、トータルで約1.4兆円ぐらいを10年にわたって投資します。特徴は、官と民に分ける、官が60%ぐらい出すので、民に残りの投資を要求しているわけです（図7）。

目標は、10のトップテクノロジーを取ることで、ナノテク製品で世界市場を開き、医療・エネルギー・環境などへの応用を期待しています。そして戦略としては、従来技術とうまく接合させる、つまり、従来技術を殺すのではなくて、上手に接続していきたい、そして、分野融合を促進したいと考えています。

ナノテクノロジー研究開発戦略と政策動向—韓国



韓国国家ナノテクノロジープログラム(FY2001 - FY2010)

10年計画で2001年スタート。2004年見直し。

第1フェース(01-04)、第2フェース(05-07)、第3フェース(08-10)で、トータルUS\$855M(官)+436M(民)=US\$1.3B。

2005年8月時点では、10年トータルでUS\$983.5M(官)+501.5M(民)=1.485B。

目標 - 10のトップテクノロジー、ナノテク製品で世界市場、
医療・エネルギー・環境などへの応用

戦略 - 従来技術とのうまい接続、分野融合促進、選択と集中、インフラ、人材・教育

3重点化 - 研究開発、インフラ&ネットワーク構築、教育・人材育成。

インフラ&ネットワーク構築(10年でUS\$164M)、教育・人材育成(10年でUS\$73M)、
両方併せて全投資額の20%。

MOSTの2つのナノファブセンター (NNFC と KANC)

MOCIE - さらに3つのナノファブセンター(韓国南部)建設予定



分野融合促進というのは、ナノテクノロジーは、あらゆる業種の横串的なものですから、ある1つの発明が、半導体だけではなくて医療・エネルギーなどいろいろ応用されることがあるため、あらゆる産業分野のニーズを知っていないと、知財を見落とすことになりかねません。ですから、常に俯瞰的な視野を持つということがナノテクノロジーの分野では重要であり、そういう意味では、研究であれ産業分野であれ、それを支持するための分野融合促進が大切であり、ナノテクノロジー戦略の1つの鍵になります。

3重点化という項目がありますが、研究開発とインフラネットワーク構築、教育人材育成というふうに、韓国は戦略を挙げてインフラをつくります。教育に重点を置くという事は、先ほどのアメリカの戦略と似たところがあります。

実際に数値で示しておりまして、教育・人材育成も含めてインフラとネットワーク構築に全投資額の20%のお金をかけるということをやります。日本は、わずか3%以下です。国としての戦略的な投資はあまり考えられていないのが、日本の大きな問題です。実際に、MOST(科学技術省)が2つのナノファブセンターを既に作っていて、片方は既に稼動していますし、別の方は間もなく動き始めようとしています。さらに、MOCIE(商業工業エネルギー省)は、MOSTに対抗して、さらに3つのナノファブセンターを南の方に作るかと計画しています。これが全部完成すると、5つのナノファブセンターができるようになります。ちなみに日本はゼロです。

MOSTの2つのナノファブセンターですが、1つはKANC(コリア・アドバンスド・ナノファブセンター)といいますが、京畿道、ソウルの近くにあり来年の4月から稼働予定の大きな建物です。クリーンルームは3,500平米あり、コンパウンド半導体がメインになります。韓国は、ナノテクノロジーはIT・情報エレクトロニクス関係がメインですが、それだけではなくバイオテクノロジーチップといったものもこの中に含まれているというのが大変重要な点です。もう1つは、NNFC(ナショナル・ナノファブ・センター)で、大田(テジュン)のKAISTの中にあります。これは動き始めていますが、クリーンルームが5,000平米以上あります。日本の未来プロジェクトというのがありますが、それとそう変わらないぐらいの大きなものです。メインはシリコンですが、それだけではなく、バイオテクノロジーをきちんと入れて、実際にそのプロジェクトを動かしています。

韓国の場合は、このようにファシリティーに大きなお金をかけましたので、実際にプロジェクトが動こうとすると運営費がなくて困っています。ただし、オープンにされていますので、お金のあるサムソンがほとんど使うのであろうと取りざたされています。

(4)台湾

6年計画が2003年にスタートしました(図8)。主なテーマは、他の国と同じように、ほとんどの項目が入っています。1つは、ナノ構造の化学的・物理的・生物学的基礎研究とか、プローブ操作・ナノリソ技術の研究開発。それから層間接続・界面・ナノデバイスシステムのデザイン製造、これもエレクトロニクスを強く意識しているテーマです。今は、それに加えて、ナノバイオ技術に相当力を入れ始めていて、日本の優秀な人材へのアクセスが現在かなり進んでいます。2つ目はインダストリゼーション・ナノテクノロジー・プログラムで、台湾の場合は大変重要です。3つ目は、コア・ファシリティー、つまりインフラです。共同利用ラボの建設、電子ネットワーク等々の構築、それから新工具設計製造援助プログラムの構築などです。そして、エデュケーションプログラムですが、全体を教育していかないと、ナノテクノロジーというのは産業としては社会に浸透しないだろうという考え方です。この辺りの考え方やプログラムは、アメリカとほとんど同じです。

最後にコア・ファシリティーとありますが、これはインフラ設備で、やはり韓国と同じようにナノテク全投資額の約20%のお金をかけています。ナノテク技術社会受容問題、これは安全の問題ですが、台湾はアジアで最も早くこの問題に取り組んでいます。日本は、この2、3年何もしていませんでした。去年辺りから産総研を中心にして経済産業省、あるいは文科省の科振費の中でようやく2005年から始まりましたが、台湾は最初からやっています。標準化プロジェクトのなかで、ナノテクノロジーをどうやって標準化するか、サイズをどうやって測るか、ナノテク製品が出たときに誰がそれを保証するのか、工業標準の問題もありますが、その標準化の問題も彼らはAPECをうまく取り込んで、APECのプロジェクトとして進めて、大変戦略的な活動をしています。この標準化プロジェクトとい

うのは世界的にも大きな問題です。

(図 8)



ナノテクノロジー—研究開発戦略と政策動向—台湾

国家ナノテクノロジープログラム (FY2003 – FY2008)
6年計画で2003年スタート。US\$ 622M (NTD / USD=1 / 34) 投資予定

4つの主テーマ

Academic Excellence Program / ナノ構造の化学的・物理的・生物学的基礎研究、プローブ・操作・ナノリソ技術の研究開発、層間接続・界面・ナノデバイスシステムのデザイン・製造、MEMS/NEMS技術の開発、ナノバイオ技術、ナノ材料の合成・集積・プロセス

Industrialization Nanotechnology Program / ナノ材料プロセス技術、ナノエレクトロニクス、エネルギー、ディスプレイ、実装、データストレージ、ナノバイオ、フォトン、伝統産業への技術移転

Establishment of Core Facilities Program / 共同利用ラボの建設、電子ネットワーク、新工具設計製造援助プログラム

Education Program / 学際ナノ科学技術カリキュラム構築、基礎科学教育(K-12)、国際協力・人材交流、国外からの人材登用、産学の研究交流・人材交流

Core Facilities (インフラ設備)に全予算の19%、教育に1.3%を投資。
ナノテク技術受容問題、標準化プロジェクト(APEC)をアジアで先導。
米国流の中長期戦略構築と国際戦略。



一番下に米国流の中長期戦略構築と国際戦略と書いてありますが、私の見るところ、台湾のやり方というのはアメリカの戦略の結果を持ってくるのではなくて、アメリカの戦略のソフトをそのまま輸入しているということです。それは、いままで日本がやってきたのと随分違うのではないのでしょうか。台湾の科学技術の大臣は、アメリカで高温超電導を十何年もやってアメリカの文化をよく知っているMKWuという男ですが、彼が大臣になっていますし、また、ITRI（工業技術研究院）のナノテクノロジーの研究開発センターのセンター長は、プリンストン大学の学位をとったというように、アメリカの戦略のつくり方、そういったものを全部経験して持って来ていると思いました。

台湾の地図で施設の分布を見ると、どこに共同利用施設を作るかを考えて、完璧なくらい上手に全国にセンターが作られています。そして、一般の会社、小さい会社、全員が使えるようにオープンにされているわけです。また、人材の教育センターを台湾全土で作ろうとしています。

(5) 中国

同じようにいろいろなナノテクの共用センターをどんどん建てているというところですが、中国は、一風変わっていて、1つの言葉では言い表せないほどいろいろな側面を持っていますが、基礎研究は極めて高い状況になっています。

というのは、アメリカで育った人間を、非常にいい条件を出して帰国させるという政策をとっていますので、北京大学とか、清華大学などに、超一流の研究者が帰って来て、いい成果を出しています。

(6) 日本の特徴

こういう状況の中で、日本の特徴はどうか。今後の戦略ビジネスをどうするのだろうかということをお話したいと思います。

日本のナノテクノロジーは、実は大変古い歴史があります。基礎研究は 1970 年代、1980 年代を通じて連綿とやっけていまして、相当のベースを持っているということでもあります。ただ、問題は、半導体関連ナノ技術は世界トップですが、バイオや医用技術との融合が欧米に比較して不十分だという特徴があります。つまり、融合という点が非常に弱いわけです。自分の専門はかなり知っていますが、他の分野でどういうニーズがあるかということについてのアンテナがあまり強くないので、異分野に関する情報収集力が弱いということでもあります。これは、研究者においても同様にそういう傾向が見られます。これは、ナノテクノロジーにとっては大きな問題です。例えば、半導体で面白い加工技術が見つかったときに、日本の半導体の研究者や技術者は、それをどういうように使うかと言えば、せいぜいエレクトロニクスの延長上にある光技術に使うというようなアイデアしか湧きませんが、アメリカでは同じ分野の研究者であっても、電機メーカーの研究者であっても、DNA の関連で使うということを考えますし、バイオのニーズもかなり知っています。これはアメリカ社会のインフラの問題だと思えます。そういう意味で、横の融合が弱いというのは日本にとって大きな問題だと思えます。産業を広げていく上においても大きな問題だと思えます。

それから、省庁間連携は改善の方向にありますが、まだ不十分です。これは日本に限らずアメリカでも実際に同じようなことがあります。日本は特にこれが顕著であると思えます。

国家として、具体的かつ中長期のトータルプランが実は出来ていないという問題があります。国政に責任ある方の人事が 2 年に 1 回も変わるようだと、中長期で物を考えるインセンティブがなかなか湧かないということがありまして、その辺りは実はナノテクノロジーについては大きな問題です。ですから、将来のことを考えて、インフラを作るとか、あるいは教育プログラムを作るとか、そういったインセンティブは政府の中にはなかなか湧いてこないという問題があります。

アメリカのノーベル賞をもらったファイマンという有名な物理学者がナノテクノロジーの始祖みたいに言われていますが、ほぼ同じころに日本に久保亮五先生という素晴らしい物理学者がいて、ナノの重要なことについての示唆をしています。

日本では、第 2 次科学技術基本計画が 2001 年から始まっているわけですが、日本が目指

す国の姿は、知の創造、国際競争力、安心・安全ということが言われました。その中で、日本の科学技術の重点分野を決めました。内閣府の中に日本全体の科学技術を決めている総合科学技術会議がありますが、2001年から2005年の重点4分野とは、ライフサイエンス分野、情報通信、環境分野、そしてナノテクノロジー・材料分野が入っています。そして、第3期についても、これを維持発展させていくということが、ほぼ基本方針として確認されています。

2001年から2005年のナノテクノロジー・材料分野の推進戦略はどういうものなのか。これは、産業競争力の強化とか、豊かな国民生活の実現とか、題目はいろいろありますが、重点領域としては、次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料、環境保全・エネルギー利用高度化材料、医療用極小システム・材料、生物のメカニズムを活用し制御するナノバイオロジー、それから計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基盤技術、あるいは革新的な物性、機能を付与するための物質、つまり、あらゆるものがここに入っています。

最近の基本計画の中のトピックスを申し上げます。1つは、ナノテクノロジー総合支援プロジェクトというのが小さいながら、とにかくがんばっているということをおきます。これが、いわゆるインフラに相当するものです。全体の予算の3%を使っています。韓国や台湾は20%使っているという事を先ほど申し上げましたが、日本は3%の中のごく一部です。しかし、研究者ネットワークを使って共用施設を無料でオープンにしています。特に、つくばではそれをかなり熱心にやっています。そして、全国14ヵ所にこういう施設がありますが、利用者数は2004年度804と、大変多くの方に利用していただいております。

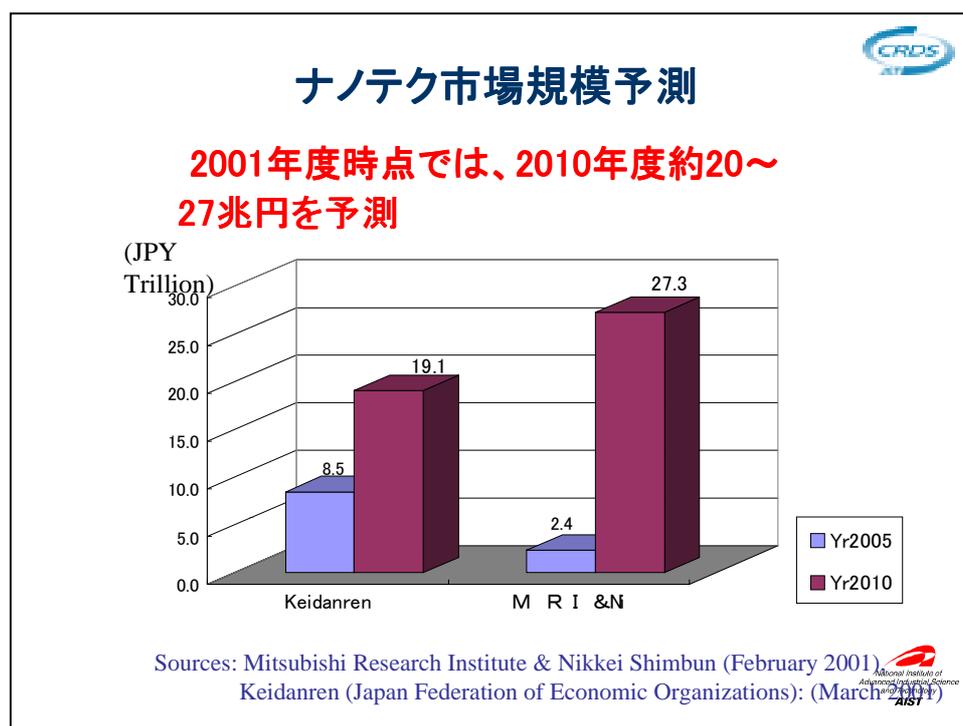
省横断・連携プロジェクトですが、これは横断と連携が非常に重要だということを申し上げました。ところが、余りにも各省が独自に似たようなプロジェクトをいろいろ出してくると、全体のコーディネーションができないものですから、予算が非常に非効率的に使われます。そのために、似たものは少し束ねて、情報を交換しながらやってくださいということで、府省連携プロジェクトができました。それをもう少しコーディネートして、強力にやろうということで、今年から連携施策群というシステムに昇格しました。その中で、薬剤を特定の患部のところだけに送達するというナノDDS（ナノ・ドラッグ・デリバリーシステム）やナノ医療デバイスについては、各省から似たようなものが出てきていますが、それを一人のコーディネーターが調整をする連携施策群という形になって今年からようやく始まっています。

恐らく数年の間には実質的なものが動いてくると思います。しかし、まだまだこれは他の国に比べると弱い。アメリカでは、ナショナルナノテクノロジー・コーディネーション・オフィスをきちんと作って、ナノテクノロジーの全体の政策を作ってきた連中がそこに張

り付いて、仕事をしています。それに比べると、かなり弱いところではありますが、日本でこういうのが出て来たということは評価すべきだと思います。

ナノテクノロジーの社会受容と評価法標準化、これもようやく動き始めました。これは、特に経産省が強く動いて、今は文科省も入り、国際的に顔向けできるぐらいのものが動くようになりました。日本のファシリティネットワーク、共用利用システムは、14カ所に分布していますが、つくばにもそういう共用施設があります。無料で利用できるということで、中小企業の方が大変喜んでます。これは、ただ使いなさいというのではなくて、指導も行なっています。指導するための人間をそのままこのプログラムのお金で雇うことが出来るようになってます。つくばのナノプロセス施設の例ですが、皆さんが、こういうのを測りたい、こういうものを作りたいというと、それに応じて、ここにいる人たちがアシストして使えるようにしています。また、スクールを開いて実際に使い方の指導までしています。これらは全部無料です。こういうものが一応ありますが、アメリカや、台湾、韓国が計画しているものに比べると、かなり予算が少ない気がします。

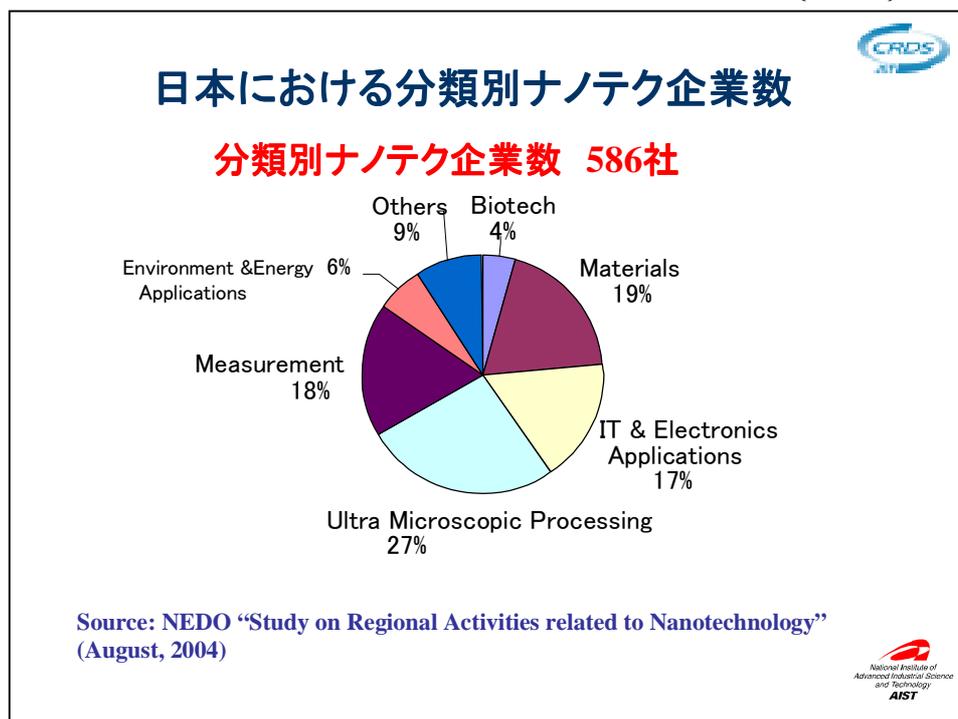
(図 9)



次に、ナノテクのビジネスについてざっと見ていただきますと(図9)、2001年時点での、日本におけるナノテクの市場規模予測ですが、この左側2005年、それから右側が2010年、経団連、三菱総合研究所、日経の予測は違っていますが、こんな規模です。2010年では、20兆円とか、27兆円を予測しているわけです。日本の場合、その半分はIT、工

レクトロニクス関連の市場であると見られています。それから材料、あるいは測定機器といったものがそれに続くということです。これはNEDOでやった調査結果です。日本における分類別ナノテク企業数ですが、この586社の中で見てみると、超微細プロセスとか、IT関連、それから測定関連、材料関連というふうに万遍なく含まれるということです（図10）。

(図10)



これらの586社についていろいろアンケートを取った数字が出ていますが、NEDOがナノテクビジネスについて調査した報告を次のようにまとめています。

ナノテク市場予測は、2010年で20兆円前後ではないかということです。それから2000年以降にナノテク企業が急増していますが、企業の50%が年間売上金1億円以下の規模で、約3分の1の企業のみが利益を得ており、3年以内にナノテク関連製品が市場に出ると考える企業は4分の1以下となっています。

これに対して、アメリカの状況ですが、アメリカはベンチャーキャピタルも盛んですが、いろいろな報道や、また調査会社の人たちと直接話をすると、いろいろ面白いことがわかります。世界のナノテク関連スタートアップ企業が1200あって、その50%が米国、その10%がベンチャーキャピタルから資金をもらっています。米国の例では、ナノテクノロジーに対するベンチャーキャピタルの投資額は全体の投資額の中の7%になります。

その中に、こういうデータがあります。2002年度のナノテクへのベンチャーキャピタルの投資額は385M\$ですが、2年後の2004年には200M\$に落ちています。これは、ベンチ

チャーキャピタルが引いたと見た人もいますが、よく調査をしてみると、ベンチャーキャピタルの投資割合は全然変わってなくて、投資全体が冷え込んだことによります。2005年のデータはまだ出ていませんが、むしろ、ナノテクへの投資割合が7%からもっと増えているという予測をしています。これは、調査機関として特にナノテクを専門にやっているラックスリサーチがそういう予測をしています。

しかしながら、ベンチャーキャピタルは投資に対するリターンが遅いと感じております。これは、仕方がないと思いますが、新しい技術が別の既存の分野に入っていくには、それなりの時間がかかるということもあると思います。

日本は、2006年から2010年の第3次科学技術基本計画について、いま大体基本が決まっています。ここでも、ナノテクが、継続して投資される対象の分野として決まっているという事が新聞その他に既に報道されているところです。

重要なのは、産業技術力の維持・向上に加え、環境、エネルギーなど、社会問題解決と健康医療への貢献、国民への安全・安心の提供を手口として推進、それから、社会と産業への貢献大なる課題を選択し、将来像を明確にして推進、選択と集中ということが、重要なこととして挙げられています。そしてさらに大変重要なことは、分野間の融合を進めるということです。融合が進まないと、新しいものが生まれてきません。ナノエレクトロニクス、ナノバイオテクノロジー、ナノ材料設計・構造制御を中心に、基盤としてのナノ計測・加工技術への取り組みを推進する。国際協調を前提に、ナノテクノロジーの社会的影響や標準化のための研究開発を推進する。それから、府省間の連携必要性を重視し、科学技術連携施策群「ナノバイオテクノロジー」、府省連携プロジェクト「革新的構造材料」を充実する。この革新的構造材料と言うのは、小さな粒子にして、それを再び結着させることによって、例えば鉄よりも軽くて、鉄よりも強い材料を作り、輸送その他建造物に使うということです。

それから「ナノテクの特徴を生かした4つの国家目標」として経産省が出している内容ですが、原子分子レベルからの安全・安心社会の実現、それから原子・分子レベルからの環境調和型社会の実現、ナノテクで無駄のない生産、原子・分子レベルで製造の最適化を図るということが挙げられています。世界的にもそれから日本としても、ナノテクをうまく使って省エネの製造技術ができないだろうかということが重要視されていて、これから力を入れていこうという領域になっています。

ナノテクで安全・安心な社会、原子・分子レベルで守られた社会をつくる。これは、社会との関連、経済価値よりも社会価値という点での科学技術の位置づけが、政府に求められています。それに対する1つの回答です。

「イノベーションに向けた7つの提言」(図11)

いろいろありますが、先ずナノテクを巡る社会影響・標準化への対応。これは、それなりにいま日本に始まっています。

共通基盤技術の体系的整備と実用化への橋渡し。これは、先ほど言いました共通インフラの基盤技術でありまして、これをどうすればいいか、そういうセンターを作るということについては、まだそれほど政府の強いコンセンサスが得られているわけではないのです。しかし、世界的に見ると、これは大変重要なことであると思います。

それから、初期市場を形成するための調達制度の活用。これは、例えば消防服などにナノテクを使うというものです。製造したものを、政府が調達するということで、地域を刺激することもやっていこうと言っています。

(図11)

イノベーションに向けた7つの提言(各論)

- ◆ **ナノテクを巡る社会影響・標準化への対応**
 - － 社会影響を巡るリスクコミュニケーション、国際標準化への貢献
- ◆ **共通基盤技術の体系的整備と実用化への橋渡し**
 - － 共通インフラ基盤技術(計測、ソフト)開発、需要サイドと連携したR&D制度の拡充
- ◆ **初期市場を形成するための調達制度の活用(防衛、消防等の安全安心分野)**
 - － 社会課題を解決するための調達型R&Dプロジェクト
- ◆ **産学官一体での市場協創型ロードマップの策定**
 - － 将来のニーズとシーズの創造型コンセンサスによる事業リスク低減
- ◆ **大企業からの技術・人材を切り出すスピノフベンチャーの活用**
 - － 大企業保有の技術・人材の評価と切り出しのインセンティブ付与
- ◆ **大学等における基盤研究と産業ニーズのマッチング**
- ◆ **民間企業による「技術」「資金」「経営判断」の三位一体のコミットメント強化**
 - － 受け身からナノテクによるソリューション提案能力の強化
 - － アライアンス戦略(垂直、異業種、産学、アウトソーシング)の戦略的展開

それから産・学・官一体での市場協創型ロードマップの策定(図12)。中長期の視点を持って俯瞰的にやらなければならないという面から、ロードマップを作る作業は大変重要であります。ロードマップ自体が持っている意味合いもありますし、ロードマップを作る過程で、それに参加した人たちが、どんどん俯瞰的な視野を養っていくという意味もあるわけです。



戦 略 的 ロードマッピング

- 研究、開発、事業化が一体となって将来の方向性にコンセンサスを形成することで不確実性を低減
- 同時に大学に対しても長期的な研究テーマ候補を提示

戦略技術マップ（経済産業省、NEDO）

半導体、ストレージ・不揮発性メモリ、コンピュータ、ネットワーク、ユーザビリティ（テキスト等）、ソフトウェア、創薬・診断、診断・治療機器、再生医療、CO2固定化・有効利用、脱フロン対策、化学物質総合管理、3R、エネルギー、ロボット、航空機、宇宙、ナノテク、部材、MEMS、グリーンバイオの分野で策定

ビジネスロードマップ（NBCI）

- 産業界が主体となり、学官の協力の基にビジネスを指向したビジネス戦略ロードマップを策定し、ナノテク関連市場の新規開拓・拡大を目指す。



大企業からの技術・人材を切り出すスピンオフベンチャーの活用。これはなかなかインフラの問題があって、アメリカのようにはいきませんが、独立行政法人、あるいは国立大学法人のマイクメントがかなり始まりましたので、変ってくるだろうと思っています。

それから、民間企業の「技術」「資金」「経営判断」の三位一体のコミットメント強化。これも、大変重要ですし、具体的にどうしようにするかということが、現実提案されてこないとなかなかご理解いただけないと思いますが、実際に早く市場に出していかないと、社会から忘れられてしまうということがあります。これは、イノベーション・システムの変革ということです。イノベーションというのは最近よく言われている部分ですが、従来は、大企業による一気通貫システムというのがありましたが、現在は、ベンチャー企業を強く育てないといけないということが考えられています。これは、三位一体システムという言い方になっていますが、大変重要なことです。アメリカの場合は、イノベーションと言えるようなものが、ほとんどここから生まれてくるということです。ここに人材を引き付けるような大きなシステム、あるいは社会インフラが必要になると思います。ナノテクノロジーは、そういうようなシステムが出来上がると大きく伸びる分野であると考えています。

先ほど出てきましたが、戦略的なロードマッピングというのは、実は研究、開発、事業化を一体として、将来の方向性にコンセンサスを形成することで、その不確実性を低減したいという大きな意味があります。そういう意味で、このロードマップを作り、同時に、大学に対しても長期的な研究テーマ候補を提示しました。これに対して、経済産業省は300人の人間を投入し、産総研や企業の方に来ていただいて、ナノテクノロジーだけでなく膨大な戦略技術マップをつくりました。これはホームページで既に公開されています。こ

れは毎年見直しを行いますが、既に最初の見直し作業が始まっています。我々はこれを行うことによって、全体の俯瞰をしていこうというわけです。

こういう経産省の動きとは全く別に、NBCI（ナノテクノロジー・ビジネス・クリエーション・イニシアティブ）がビジネスロードマップというのを作っています。NBCIというのは、ナノテクビジネス推進協議会 319 社からなっています。これは経済産業省、経団連が中心になって、ナノテクノロジービジネスというものを、社会的に広げていこうという目的で作られたものです。

このナノテクノロジー推進協議会の 319 社というのは、大企業だけでなく、SM（スモール&ミディアム）の製造会社も入っています。NBCIで作ったロードマップは、エレクトロニクスから計測評価装置分科会を含めて、8 分野にわたって作っており、15 年先まで見通すわけです。2020 年までのものを作っていて、潮流、製品、技術、規制等について、どのようなロードマップでそれを伸ばしていくか、ビジネスにつなげていくかということを示しています。このロードマップは、今年 2 月 23 日のナノテクノロジーの総合展示会で公開されています。ホームページでは 3 つぐらいが公開されていると思います。多分来年も 2 月にナノテクノロジー総合展示会があって、何らかのプレゼンテーションがあるはずです。

政府予算の投資構造（図 13）

これは先ほど申し上げましたが、米国やEU、それからアジアでも韓国、台湾は、ナノテクノロジーを中長期的に社会に根付かせていくために、小さな団体あるいは中小企業が使えるような、共用施設を充実させていくということに、大きく投資します。それから、教育・人材育成にも相当にお金をかけています。それに対して日本は、そういうこともやっていますが、少し弱い。例えば、韓国・台湾が 20%かけているのに、日本は 3%ぐらいしかかけていないということです。それを表にあらわしたものがこれです。米国、EU、韓国、台湾、中国、日本となっていますが、R&D、Rは基礎研究、Dは応用研究、企業化研究というふうに見てください。こちらへの政府の投資を見てください。それを中長期的にサポートしてくれるインフラの共用施設での投資、それから教育、リスク倫理面での検討と続いています。米国は、それを万遍なく計画的にやっています。これを基準として、後は相対的に評価します。

日本は、R&Dへの直接投資については、予算もアメリカと並んで単独の国としても世界最大の投資をしていると思います。ところが、インフラあるいはリスク/倫理、こちらのほうが非常に弱く、特に、このインフラの問題は中長期に考えて見ると大変大きな問題で、我々の研究開発戦略センターでも、これをどういうふうにしていくかということについていろいろと話し合っています。

(図 13)



世界のナノテク主要国の投資戦略

	R & D		インフラ/教育		リスク/倫理
米国	◎	◎	◎	◎	◎
EU	◎	○	○	◎	◎
韓国	○	◎	◎	○	×
台湾	△	◎	◎	◎	○
中国	◎	△	○	△	×
日本	◎	◎	△(○)	△	△(○)

各国投資優先度の相対比較(JST-CRDS、November 2005)



日本の特徴をざっと並べてみます。ナノテク材料へは巨大な政府投資をやっていまして、省横断のコーディネーションが、形だけできていますが、アメリカに比べるとまだ非常に弱い。これは、ナノテクノロジーの場合、いろいろな業種が入っていますから、省がお互いに連携してやることが大変重要です。府省連携プロジェクトは、関連プロジェクトの束から、連携施策群というように、コーディネーターがつかいましたが、形だけでまだ弱い状態です。

それからナノテク総合支援プロジェクトですが、これはインフラ整備に貴重な役割があります。ただし、融合促進交流の場としての共同利用センターの新設が必要ですが、これがないわけです。韓国や中国には、ああいうナノファブセンターがあるというのを先ほどお示ししましたが、日本の場合はそれがほとんどありません。現状は、既にあるところのごく一部の場所を使ってやっており、十分にいろいろな人が集まってきて、融合をさせるという場にはなっていません。アメリカでは、どんどん箱物を作っています。単に箱物を作っているのではなくて、彼らは、経験上、この分野は実際に新しいセンターを作って、そこにいろいろな異分野の人を集めて、そこで交流させるということが異分野融合から新しいものを生み出す、加速させる一番いい方法であるということを知っているからです。DOE、DOD、DOCというように、たくさん作っています。そこが日本の大きな問題ではないでしょうか。

教育人材の取り組みが極めて弱いということ。それから、社会的影響については、欧米や台湾に遅れていますが、約 2005 年からスタートしています。国際的ネットワークが熱心ではないということ。これもいろいろ問題がありますが、ここでは省略します。

技術戦略ロードマップ、ナノテクロードマップは非常にいいものを作ったと思っています。こういうものが、いまの日本の中では中長期の政策ツールとしては期待されます。これを中心に、やはり研究者や産業界の方も、自分の俯瞰的な視野を養っていただく必要があるのではないかと考えています。日本は、欧米からは、ナノデバイスやナノコンポジット、計測は強いけれども、バイオ、システムは弱いというふうに見られていますが、まさに、そのとおりだと思います。

中長期の R & D 戦略にインフラ教育トータルの施策の工夫が必要であるという事は言うまでもないと思います。

結言

(1) 俯瞰的視野からの戦略策定

今後の産・官・学の役割について、社会と経済のグローバリゼーションは避け難い。技術、産業の消長はめまぐるしく変ってスピードが速い、技術のライフサイクルが極めて短いわけです。何か 1 つの技術で自分の一生を生きていけるという時代ではなくなっているというところが、皆さんが、苦しんでいる原因だろうと思います。

そういう中を生き抜いていくためには、俯瞰的視野が絶対に必要だと思います。戦略策定能力が必要とされます。ですから、異分野で何が起っているかを、常にアンテナを張って情報を集める必要がありますし、また、そういう人達との対話が重要であると思います。

しかしながら、戦略作戦能力の人材は少ないし、システムも不十分です。これはキャッチアップ政策で来て、がっちりとしたインフラを作ってしまったということによると思います。それを潰して、一部を改変して行くというのはなかなか大変で、韓国や台湾に比べて、なかなか動かないというのが大きな原因だろうと思います。

国際的中長期的な視野に欠ける。これは、いろいろな面でアジアに出かけて行ってもよくわかります。処方箋といっても、なかなか簡単に出来るものではありませんが、産業界が、ものづくりの強さ、コアコンピテンスですが、これの維持・強化を図るのが絶対に重要だと思います。大学・国立系は社会ニーズ対応の基礎ポテンシャルを蓄積しなければいけない。企業では、頻繁に変わるため、自分のところでゼロから育てるというのは無理なので、それができるのは国立研と大学だと思います。その方たちが、産業はどう動くかということを中心に意識しながら、産・官・学の対話を常時行っていくことが必要だろうと思います。

産は、経済ニーズから社会ニーズの目を持つ必要があり、学は、R & Dだけではなくて、国際性、俯瞰視野を持つ人材養成の教育改革が必要であり、官は、中・長期の社会ニーズの見極め、科学技術の基礎ポテンシャルを育成するシステムづくりをしないといけないでしょう。そうしないと、産業界を支えていけないだろうと思います。

アメリカで昨年 12 月に「パルミサーノ・レポート」というのが出ました。2004 年に出了た、ナショナル・イノベーション・イニシアティブ、かつての「ヤングレポート」に相当するようなものですが、そこに書かれていることは、アメリカにとってよりもいまの日本に全部必要なことです。アメリカでは、イノベーションの普及スピードは非常に早くなっているという認識です。米国の全世帯の 4 分の 1 が、それを所有するまでに要した時間を調べると、自動車では 55 年かかったが、電話は 35 年、ラジオは 22 年、パソコンは 16 年、携帯電話は 13 年、インターネットは 7 年というように、猛烈に早くなっており、これが、質的な変化として捉えられています。

イノベーションについては、「社会的、経済的価値の創出につながる発明と洞察の交点でイノベーションが発生する」と定義されます。つまり、特定の専門知識から出てくるものではなくて、社会のインフラとか、社会のニーズというものを全部含めて、その洞察の上にある発明が重なったときに、イノベーションが起るわけです。ですから、そういう意味では、専門知識だけではなくて、学際的に俯瞰する力が絶対に必要です。これは、研究であれ、産業でも皆同じです。イノベーションへ向けた提言としては、人材開発、協調の文化、研究と商品化との共生、つまり、商品化において、ニーズが何であるかということ进行研究する人も知っていないといけない。それから、生産能力の開発、資源の投入、イノベーターに資源とインセンティブを与えるようなシステムが必要でしょう。口だけで言ってもだめですね。インセンティブをいかに湧かせるか、そういうシステム政策が必要だと思います。

インフラストラクチャの整備、新たな産学協力、柔軟な知財制度、製造業強化、それからイノベーションリーダーネットワーク、こういったインフラを作っていかなければいけないということを言っています。これは全体のことを言っていますが、先ほど申し上げました、いままでお話をしてきたナノテクノロジーに関する幾つかの提言と、ほぼ一致する問題であります。

(2) 連携と融合の進め方

考えていただかなければいけないことは、連携と融合を具体的にどう進めるかということです。この 4、5 年の間に連携融合ということが、日本全国津々浦々で言われるようになりました。ですが、どうやってそれを実現するのですか、ということに対する回答はほとんど出てきません。

そのことについて幾つか申し上げます。1つは、R & D政策において、政策側からインセンティブを与えるということであります。その前に申し上げますが、産官学連携は即効性があるということで、連携は、同じ分野だと即効性がありまして、プロジェクトで人材を選ぶときに、大きなマトリックスから人材を選ぶので、トップクラスの人間を集める確率が高くなります。それから、例えば、経産省の大型プロジェクトに、いままで大学を全然入れなかったわけですが、研究人口から見ると大学が圧倒的に多いわけですから、大学を含めて人材を選ぶということが重要なわけです。従来は、それをやってこなかったということですが、連携すると、良質の人材を選べるというメリットはすぐに出てきます。

ところが、異分野融合は、なかなか時間がかかります。時間がかかるからこそ、加速して異分野融合が成功すると、ものすごく新しいものが出てきて、その効果が絶大です。ですから、アメリカは、それをいかに加速するかということについてのソフトをたくさん知っています。R & D政策ではインセンティブが大切です。つまり、組織連携とか、分野融合をしたいので、投資をしてくださいというような提案があったときには、そこに重点を置くようにします。そうすると、自然と皆さんが融合して持ってきます。1つの学科の教授の提案ではなく、別々の学科の教授が組んだ共同提案や、特別に予算をつけるというような事は、日本の企業がアメリカの大学と組んでやるセンターの中ではよくやっていることです。これは、それと同じようなものです。米国NSFはそういう政策を取っており、英国の大学も取っています。文科省は、一部でそういうものをやろうとしています。研究機関側、これは組織・会社でもそうですが、会社の側が双方でできる努力・政策としては、センターあるいは建物を建ててあげるということもありますが、自分たちでできるやり方としては、このグループとグループを融合させたいというときに、オフィスをいろいろ工夫するわけです。常に出会う確率を高めるような時間的・空間的管理をする。例えば、ドイツのマックスプランク研究所固体物理研と言うのは、そういうことを建物の設計からやった研究所です。アメリカから半導体について覇権を奪い返したいという狙いで、1970年代に研究所が建ちましたが、その方針というのは、化学と固体物理とエンジニアリングと理論を融合させたいということで、その人間がお互いに出会う確率を増やすために建物を東西に長く作って、真中に螺旋階段を作りました。両側のエレベーターのドアは階段に向かわせるわけです。その南側に小さなスペースを設けて、机と椅子と、コーヒー・紅茶を設けて、毎日、3時には全員オフィスからそこへ来て話をさせる。そうすると、他の研究棟から帰って来た人間も、エレベーターで来ようが、階段で上がって来ようが、必ずそこで出会うことになるので、みんなが入って議論が始まるわけです。それが大成功であったということが言われています。

リーダー養成制度、これは外で学ぶ機会をいろいろな形で与えるということです。教育については、大学は非常に遅れていますが、社会の変化に対応したカリキュラム編成を絶

えずやらないとだめです。例えば、アメリカであれば、ハーバードでは文科系の方でバオテクノロジーが必修になっています。

教育というのは中長期の戦略として大変重要です。

駆け足でしたが、これをもって私の結論としたいと思います。ご清聴ありがとうございました。

この講演録は、平成 17 年 11 月 21 日、りそな銀行東京本社講堂で開催された、当財団主催の経営講演会を収録・編集したものです。