

# 技術懇親会：講演録

## 『 ナノテクノロジーがもたらす大転換 』

中小企業がナノテクを武器に21世紀を勝ち抜くには

講師：川合知二氏

- ・大阪大学 産業科学研究所 教授
- ・大阪大学 高次インターマテリアル研究センター長

財団法人 **あさひ中小企業振興財団**  
**The Asahi Bank Foundation**  
For Small And Medium Enterprise Promotion

**【技術懇親会】**

**開催日：平成13年11月13日(火)**

**会場：大阪大学産業科学研究所 第2研究棟 1階 109号室**

**主催：財団法人 あさひ中小企業振興財団**

## 要約

中小企業が時代の変化・グローバル化に対処していくには、ナノテクノロジーという武器をどのように使うか、また大学でベンチャーをどのように起業するか、産学連携を有効に活用できるかが重要となります。

ナノテクノロジーは小さな世界を扱うものと理解されがちですが、ナノメートルのところは機能があらわれる最小単位であり、分子・原子の並び方をうまく調整すればすごく豊富な機能を発現させることができるという、実はとてもスケールの大きいものなのです。

ナノメートルの世界に入るにはトップダウン、ボトムアップの2つの方法があります。トップダウンという方法は大きなものを小さくしていったナノメートルにするもので、大企業向けのナノテクノロジーの方法です。ボトムアップという方法は原子を組み上げていったモジュール化もしくは複雑化していく方法で、中小企業向けのナノテクノロジーの方法ですが、実はアメリカがこれに気づき産業などへの応用を図ろうとしています。

ナノテクノロジーの応用で中小企業にとって重要なのはセンサーです。例えば五感や脳やDNAといった部分が重要視されていますが、これは我々にとって一番身近で優れた情報材料、システムだからです。人間が情報を得るインターフェースは五感であり、これを判断するのは脳、DNAは精神のプログラム、この3つが重要です。この五感と脳が結びついたようなセンサーシステムは中小企業が取り組みやすい例だといえます。

ナノテクノロジーは着実に中小企業にも浸透してきており、ある意味では生命線ではないかと考えています。時代の流れとしてナノのところが戦場となってきており、大企業の周りにはいる中小企業でナノでうまく制御しているところが勝ち組で残っています。

日本は高度成長期には、基礎的な科学技術をいろいろと工夫し優れた高品質なものを作ってきました。しかしそれが90年代あたりからアメリカに比べて劣ってきています。(サイエンスリンケージの伸びの違い) 今後日本の企業は、ナノテクノロジーを自社独自の特殊技術と結び付けていくことによって変わっていくことができると思います。

それには大学・研究所等の頭脳と企業の持った技術を結び合わせた産業展開を行っていく必要があります。

## <はじめに>

今日は、「ナノテクノロジーがもたらす大転換 - 中小企業がナノテクを武器に21世紀を勝ち抜くには - 」というタイトルでお話をします。

少し自由に話したいと思いますので、そのつもりでお聞きいただければと思います。

今日の集まりの趣旨は、産学連携と、新しい技術に対して中小企業はどうやって対応していくかということだと思いましたので、その辺を中心にお話ししたいと思います。

実は「21世紀ビジネス塾」というのが、NHK教育テレビで平成13年12月1日の土曜日23時から30分間「ナノテクノロジーの衝撃」というタイトルで放映されます。

その1週間前の11月24日は「大企業がナノテクノロジーにどう取り組むか」というのをいろんな映像を使って話しています。それから、21日は、「町工場からの挑戦」ということで、中小企業はどうやってナノテクノロジーに取り組むのか、幾つかの例が紹介されて、私がそれに対していろいろ説明したりしました。

ちょうど今日の集まりの趣旨に合っているかなということで、一応紹介しておきます。お時間があったらご覧ください。

## <時代の変化・グローバル化への対処>

本題に入ります。まず、ナノテクノロジーのお話をこれからしますが、特に中企業、小企業において、考えておかないといけない基本的な考え方を最初にお話ししたいと思います。

ナノテクノロジーに全部関係してくるのですが、大事なことは、いつでも時代というのは変化して、進化していくように思います。

つまり、産業構造も時代の変化に合わせて当然変わっていくので、永遠に続くというのはあり得ません。これは地球上の生物の原理に非常に合っていると思います。地球上の生物は必ず競争したり、協調したりして時間と共に進化してくるわけです。

そういう意味で、実は、大企業というのは比較的動きが鈍いのです。特に中企業と小企業では、共生と競争によって変化が速い。これは進化とっていいと思いますが、そういう目で技術を見ないと、ある技術は永遠に続くと思うとまずいのではないかなと思います。これが1つです。

それから、2番目に、産業と社会のグローバル化、競争、役割分担という問題。これも日本の役割を考えた時に、みんなわかっていることですが、なかなか我が身には感じないので、ここも重要な点だと思います。

というのは、インターネットの情報化社会になって、物流はものすごくグローバル化されています。前だったら、国内だけでいいとか、中小企業の場合は大企業の周りだけを押えるという感覚で話は済んだのですが、もうほとんど無理ではないでしょうか。

世界が大体一つの地域になって、例えば中国が製品をつくるのを担当するという事になって、製品は全部中国に担当されたら大変なことになります。そういうことに対してどういうふうに対処するかという、グローバルな感覚で見ないと、今は中小企業でもやっていけないと思います。

ここにタオル業界の方がいらっしゃるかわかりませんが、大阪のタオル業界がセーフガードで何とかしようとはしますが、ほとんど無意味です。セーフガードで幾らがんばっても、中国の製品が安くていい。そういう意味で、

世界中隣近所と考えるというのは、中小企業であっても非常に大事なことだと思います。

グローバル化に対して、どう取り組むかという時に、今日の趣旨である、1つは日本が強いナノテクノロジーという武器を使うということと、それからもう一つ、大学でベンチャーをどう起業していくかということと産学連携というものが非常に重要なキーワードになると思います。

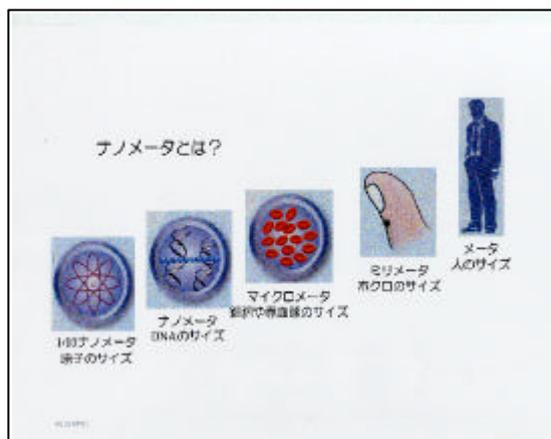
これは今度のNHKの放送の時も強調していますが、大企業だと研究所を持てますし、そこに研究者がたくさんいるのですが、中小企業、特に小企業の場合、研究者を多数置くのは非常に難しいのです。でも、ちょっと周りを見回すと大学があるわけです。大学の人は比較的いろいろな知識や技術を持っています。そして、中小企業の方は独自の技術を持っているので、それが結びつくと非常に強力になります。

ただ、産学連携をどこでもやって成功するわけではなくて、アンケートにも書いてありましたが、大学の先生とやるのではなくて、ただ学生の手伝いだけがあって、全然実りがない、というような企業側に満足が得られないケースもあるわけです。そのことは後でお話したいと思います。産学共同自体については私は全く賛成で、ただ、ちゃんとやってくれる先生と一緒にやるというのが重要です。

良い相手を見つけることができさえすれば、企業の側からすると研究員を1人雇うよりはるかに安くついて、はるかに信頼できる。相手を選ぶということが重要で、これがまず基本です。

## <ナノスケール>

ナノテクノロジーのほうに入っていきますが、一般にナノテクノロジーというと、ナノメートルの材料や物質、システムを扱うという、イメージがあります。



この図がちょうど大きさをあらわしますが、人間だと1メートルぐらいの世界にいるわけです。千分の1というとミリメートルでホウロウとかノミの大きさぐらい。髪の毛とか赤血球、ここら辺が大体マイクロです。ここまでは大体目で見えます。

ところが、これより下のナノになると目に見えなくなってしまいます。例えば、DNA、これは2ナノメートルです。ナノメートルというのは、1メートルの千分の1がミリ、その千分の1がマイクロ、さらに千分の1がナノですから原子が数十個集まったぐらいです。小さいですがものすごく重要です。

もう一つ。カーボンナノチューブのように、小さいがその機能はものすごく豊かであるというものが、今続々と見つかっています。

こういうナノメートルの世界には、本質的なもの、それから非常に豊富な機能というものがあるわけですが、多分皆さんのイメージとしては、何か小さいものをちょこまか扱う

なという感じを持っていたと思います。

それから、2番目にナノテクノロジーは先端技術で中小企業の人には扱いにくいという印象を持っていると私は思います。それはそうではないことをこれからお話しします。

DNAは自然界のものですが、人工的な物質においてもずっと小さくなっていくと、最先端の世界で使えるいろんな電子素子があります。

それで、今日はこれから、こんな小さな世界がなぜ大事なのか。どんな応用例があるのかという話をしていきたいと思います。

「図解 ナノテクノロジーのすべて」(監修者川合知二、発行所(株)工業調査会)という本が昨日から売り出されました。

この本は日本のナノテクノロジーのそれぞれの分野の第一人者数十人に書いてもらっています。ナノテクノロジーの全分野が網羅されていますので、これは面白そうだなと思っただら、その執筆者に連絡すればいいです。

小さな世界を扱う、それがナノテクノロジーだと思っておられるでしょうが、小さいからいいというだけの話ではありません。

問題は、メートルの世界である私たちの体だとか、マイクロの世界である赤血球の性質を決めているのは、実はそれより百万分の1とか千分の1小さいナノメートルのDNAだということです。もしこのナノメートルよりもさらに小さくしたらどうなるかというと、これより小さくしてしまうと原子になってしまいます。原子は112種類しかありませんから、非常に味気ない世界になってしまいます。それを数十、数百と組み合わせてナノメートルのところに入っていくと初めて機能があらわれるのです。

だから、ナノメートルというのは、機能が

生じるための最小の単位だということです。結晶でいうと核ということですが、そこさえ制御してしまえば、あとは自動的に決まってしまうわけです。

このDNAがいい例ですが、ここの塩基のところを1個でも分子を変えると、病気になったり、場合によってはすごいスーパーマンができる。だから、ナノメートルのところというのは機能があらわれる最小単位であり、実はそこをちょっとでもさわると後を大きく変えてしまうような決定的に重要な、そういうスケールだということです。

3番目に、先ほどナノチューブで言いましたように、ナノメートルのところを我々が扱えるようになってくると、すごく豊富な機能を発現させることができるようになるということがわかってきました。時間があつたらいろいろ例をお話したいのですが、とにかく大体ナノメートルにすると、ほとんどの材料はよくなります。構造の材料としても、機能材料としてもです。そういう背景があるのだということをまずご理解ください。

### < トップダウンとボトムアップ >

原子よりは大きいのが、マイクロよりは小さい非常に豊かなナノメートルの世界に入るには、2つの方法があります。1つの方法は、トップダウンという方法で、大きなものを小さくして行って、ナノメートルにするというやり方です。もう1つのやり方は、原子を組み上げて行って、モジュール化もしくは複雑化していく。そういう2つの流れがあります。

この豊かなナノメートルの世界に、実は、時間とともに科学技術が近づいてきたのです。昔ですと、工具とか、文具、ねじとか比較的大きなものを扱っていたと思います。しかし、

科学技術が進んで、ディラムを例とすればいいのですが、256メガビットから、今は1ギガビット。ちょうど100ナノメートルの世界に入っている。つまり、年と共に半導体の微細化の技術が進んできて、ナノメートルが戦場になってきた。ナノメートルの世界に入ってきたということは、歴史の必然だということです。

このナノテクノロジーというのは、非常にわかりやすいトップダウンの方法です。私はこれを、大企業のナノテクノロジーの方法であると理解しています。お金がたくさんあって、例えばあるプロジェクトに1千億円かけてナノメーターの機械加工をする。それは、大企業のやり方だと思います。

一方、下の原子分子をうまく組み上げていくナノテクノロジー、これは、私は中小企業向けのナノテクノロジーだと思います。

実は、アメリカがそこに気がついてボトムアップのナノテクノロジーをやろうとしています。そこで日本が負けたら非常に困るわけですし、ましてや中小企業にとっては非常に重要な勝機があると思います。

このボトムアップのナノテクノロジーは、一言で言うと、現在の錬金術であるといえます。要するに、欲しいと思うものを好きなようにつくるといふ技術です。例えば、ここに炭素があります。炭素は12番目の元素で112種類の原子の中のたった1個です。しかし、この炭素を3次元的にSP3という結合でつなげていくとダイヤモンドができる。ところがもしこの炭素を亀の甲みたいな、横にシートをつくって積み重ねていくと炭になってしまう。どっちが欲しいか。私は別に炭でも結構ですが、女性の心を射たい人はダイヤモンドを欲しいと思います。しかし、同じ炭

素です。

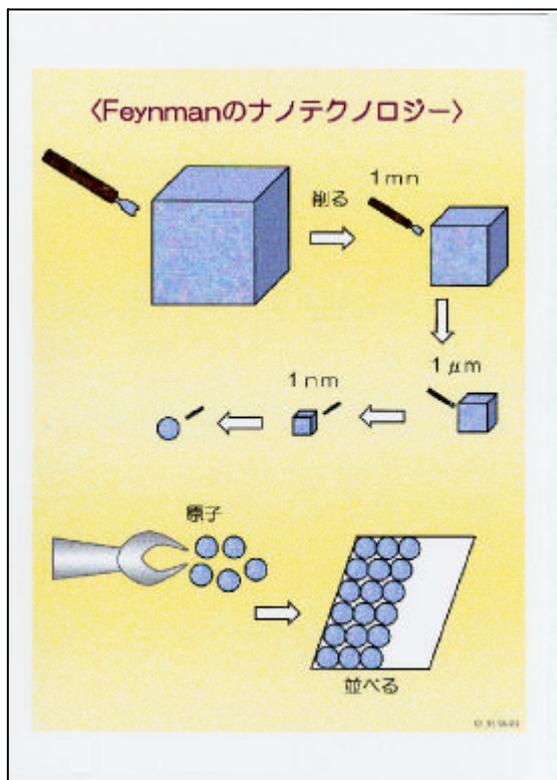


さらにCをぐっと巻くとナノチューブです。このナノチューブは軽くてしかも曲げても折れない。非常に丈夫で、しかもこの中に水素を入れたり、電子を非常に出しやすい状態で、エミッターとしても使える。それから、炭素と窒素、そういったものを組み合わせると、たんぱく質や薬などの非常に有用なものになります。

このように、ボトムアップのナノテクノロジーというのは、電子、分子を自由に扱って、望むものをつくっていくというテクノロジーです。そのすべてがほとんどナノメートルのところだけで決まってしまう。ダイヤモンドもナノメートルの核をつくれれば後はそのままずっと増えていきますし、たんぱくもナノメートルです。多分ナノチューブもそうです。こういう望むものを自由につくっていくというのがボトムアップのナノテクノロジーです。

実は、周りを見回すと、ものすごくいいお手本があります。それが何のことはない、神様のものづくり方、実は我々人間のづくり方です。皆さんはものをつくる時、熱をかけたり、機械で粉碎したりものすごく大変です。我々はなぜか知らないが、ある晩お父さんとお母さんが何かしたら急にできてしまった。

ほっといてもその辺のものを食べているうちにいろんなものをつくってくれる。



どんなものができているかという、例えばこれは細胞の断面です。ここのところに2分子膜というのがある。その中にたんぱく質がうまく折り畳まれて入っている。ここのところにイオンが通ったり抜けたりいろんな働きをして、我々の体の中の信号のやり取りをしている。オリゴ糖というものがいつもアンテナみたいになっているわけです。

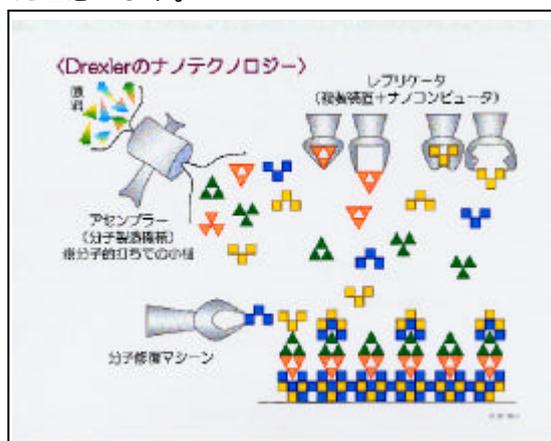
こういう細胞は自然にできるわけですが、私たちはつくることができるかという、誰もできない。これはナノメートルのサイズのもですが、2分子膜をつくって、たんぱく質、たんぱく質といってもアミノ酸がある程度ですが、それをきちんと折り畳んでその場所に入れるなんて、誰もできない。

それからもっと驚くべき装置は、エネルギーの代謝装置です。ATPというエネルギー

を、代謝するものですが、たんぱく質があって、その前にプロペラみたいなものがあって、これがぶんぶん回っている。そしてATPというのを分解している。こういう機械です。こういうのが我々の体の中にはごまんとある。たくさんあるが、実は何気なく普通にやっている。

ボトムアップをやっていく上で1つのものの作り方を学ぶ必要がある。人の体がどうやってつくっていかれるかという、実はDNAの設計図に従って作られるのです。つまり、DNAに書かれたプログラムで分子が自己組織化していくということです。どういうことかという、プログラムが非常にしっかりしているので、原子や分子を入れてやれば、自分で勝手に組織化してこんな複雑なものできてしまう。こんないい生産技術はない。

例えば、ヤギなんかは、新聞紙を食って、その辺の草を食べて、ごろごろと横に寝ていてもちゃんとミルクが出てくる。それはプログラムが非常にしっかりしていて、あるものの次にこういうものをつける。その次にこれをつける、あとは自然にそれが組織化してしまおう。こういうやり方、こういうボトムアップのナノテクノロジーを生産技術として取り入れるというのは、今後、非常に重要だと思います。



これは、1つの例ですが、本当に原子、分子を操れるのかということこんなやり方があります。例えば、板を置いておいて、それから原料になる物質を今2つありますが、それを3つ、4つ置いておいて、そこにレーザー光を当ててくれるわけですが、レーザー光というのは、遊園地でよくゲームで当たると「ウーッ」となるのと同じやり方で当ててくれるわけですが、レーザー光を当てると原子や分子が飛び出てくる。一番最初にここにあるように、こういうものをレーザーで当ててつくります。そしてその次に黄色いものをつくります。こう並べていくと、まさに神様がプログラム、順々に並べていったのと同じようなやり方でものをつくっていく。これは生産技術としては非常に重要です。

こういうのを聞くと、まず中小企業で自分たちはレーザーがない、それに原子、分子は大変ではないかと思われるでしょうが、この技術は小企業の生産技術にまでなっています。その例を話します。

こういう考え方を取り入れた生産技術は、携帯電話に見られます。携帯電話はご存じのように、その中に部品がいっぱいあって、そこにはナノテクノロジーがごまんと詰まっています。例えば、メモリーとかCPU。これは削る形のナノテクノロジー。さっき言いましたように、非常に超高集積のものは大企業のものです。

しかし、その他にセラミックフィルターであるとか、周りの電話機のケースはボトムアップのよい例です。これを作る工程はまずプログラムをしっかりと作る。これが重要で、神様はDNAのプログラムを非常にしっかりと組んだから、後は入れるだけでできてくる。そしてプログラムをインターネットで無人工場

に送る。そこにはさっき言ったレーザービームがある。レーザービームでコンピュータのプログラムに沿って、容域のところのデータを照射して、光造形で形をつくる。もしくは、レーザー光を当てて削っていくことができる。これで金型ができる。この後は、この金型を利用して同じものをつくる。

もしくは、先ほどお見せしたようにレーザー光を当てて多層膜のようなものをつくってそれをまた加工する。金型がいい例ですが、こういうものは2、3週間でどんどん形が変わってくる。特に携帯電話なんかすごい勢いです。ここのところをちょっとさわるだけで随時それに対応できる。

こういうやり方はものすごく高級なところがやっているかということ、そうではないです。東京の蒲田の金型工場もこういうやり方を取り入れています。普通だとこういうケースをつくるのに2ヶ月かかるのに、ほとんど1、2週間で対応できます。これはナノテクノロジーのボトムアップの原理を取り入れてプログラムに沿って精密につくっていくという非常にいいやり方です。

この例だけかということ、そうではありません。これは私がとても気に入っている例ですが、和歌山に一部上場の島精機というところがあります。ここはナノテクノロジーの作り方を非常にうまく取り入れている。彼らはどうやっているかということ、例えば洋服をつくるのに普通だったら糸で布地をつくる。それをカットして、それを縫い合わせて洋服をつくる。縫い目みたいのがある。軍手だと指先がもこもことしてしまいます。

ところが、島精機の作り方は、糸から直接機械でセーターを一遍につくる。そうするとスキーウェアが全然縫い目なしにできる。

軍手なんかも指先にほとんど縫い目がない。こういうのはナノテクノロジーの生産技術からいうと非常に理にかなっている。

自然界ではカニやセミがやっています。例えば、カニは脱皮します。脱皮した皮は、本当によくできています。あれを応用して、例えば、コートをつくるとかができます。セミもそうです。そういうのをもっと糸の前の段階から一挙につくってしまうというのがセミヤカニです。

こういったようにプログラムに従ってものを非常に精密につくっていくというのは、一つのナノテクノロジーの生産技術としてのポイントだということが言えると思います。

ここまでまとめてみますと、ナノテクノロジーとは何かというときに、何かナノメートルスケール、つまり1メートルの10億分の1の小さなところをさわるんだよというイメージがあるかもしれませんが、それだけではありません。ナノメートルというのは、機能が生じる最小の単位です。ここのところをしっかりと抑えればあとは全部できてしまいます。それから、2番目に、より大きなスケールの性質を決定する最も重要な因子。そここのところをきちんとやれば、あとは苦労しません。しかも、ナノメートルのスケールで最近使っているものはすごく豊富な世界があって、そこら辺をもっと開発していくというのは非常に面白い。こういったところがあります。

#### <ナノテクノロジーの応用>

これがまずナノテクノロジーとは何かということですが、今度はそれを使ってどんな応用があるかということをお話します。

まず、ちょうど1年半ぐらい前ですか。クリントン大統領が国会図書館の情報を全部ワ

ンチップに入れてしまうということをお話したのは魅力的です。国会図書館にある情報を全部一挙に1センチ角の砂糖の粒のような大きさのチップの中に入れてしまう、ということです。

これが可能かどうかということですが、原理的には可能です。なぜかという、1立方cmの立体を構成している2種類の原子に0と1と割り振っていくわけですね。原子が何個あるかということ、1立方cmだと10の24乗個ぐらい。

今度は1冊の本はどれぐらいの情報量かということ、大体10の8乗から9乗ビットです。それは大体CD-ROM1枚の情報量です。だから、CD-ROMだけで大体1冊の情報量が入ります。そうすると1立方cmの中には10の16乗冊の本が入って、それは100万冊(10の6乗)の本が100億年(10の10乗)分入るという情報です。これで十分だと思います。1年間に100万冊売れても100億年持つぐらいの情報が入るわけです。

それでは、どうやって原子に0と1を当てはめていくか。それは、操作トンネル顕微鏡を使って針の先で原子をつまんで並べていくのです。例えば、赤と青を、赤で1、1、1、青にして0、0、0というふうに並べていって、1立方cmに積んでしまえば、100億年分は入るわけです。そもそもそんなことは可能かということ、原子の大きさを見分けることができるし、原子を動かすこともできるが、問題は原子を1個動かすのに1秒かかっていると、10の24乗秒。つまり、我々は生きているうちにとてもできない。天文学的な時間がかかってしまう。ところが、技術の進歩は恐ろしいもので、最近スイスのチューリッ

ヒのIBMで10の9乗根というディーラムの技術を使って、そういう針を同時に動かすような技術を開発しました。

この技術を使うと原子1個動かすのに1秒かけるのではなく、1ミリ秒、1マイクロ秒。1秒間に一編に10の15乗個動かせます。そういう意味でこれは決して荒唐無稽いではないのですが、それでも10年、20年かかります。

あした、すぐお金になるというものではなく、これは結構長時間かけてやるようなナノテクノロジーです。

皆様はむしろ、5年以内に製品になって、お金になるようなものを知りたいのではないのでしょうか。20年かかっては会社が潰れてしまいます。それを情報通信、ライフサイエンス、環境という分野で少しだけ説明していきたいと思います。

まず、情報通信の分野ですが、ナノテクノロジーが関係するようなものはたくさんあります。例えば、ハイデンシティーのハードディスクもそうです。それから大企業がやるようなディーラムを微細化するような方法。それから、ネットワーク、ブロードバンドになくようなもの。

しかし、私は中小企業、広い意味で日本にとって重要なのは、むしろセンサーだと思います。例えば、五感や脳やDNAといった部分ではないかと思えます。それがどうして言えるかということ、実は我々にとって一番身近で優れた情報材料、システムというのは五感と脳とDNAなのです。

もし幾らブロードバンドでもものすごい量の情報が飛び交うとしても、そんなの意味はなくて、最終的にはそこからの情報を我々が取り入れる。画像として取り入れる。もしくは

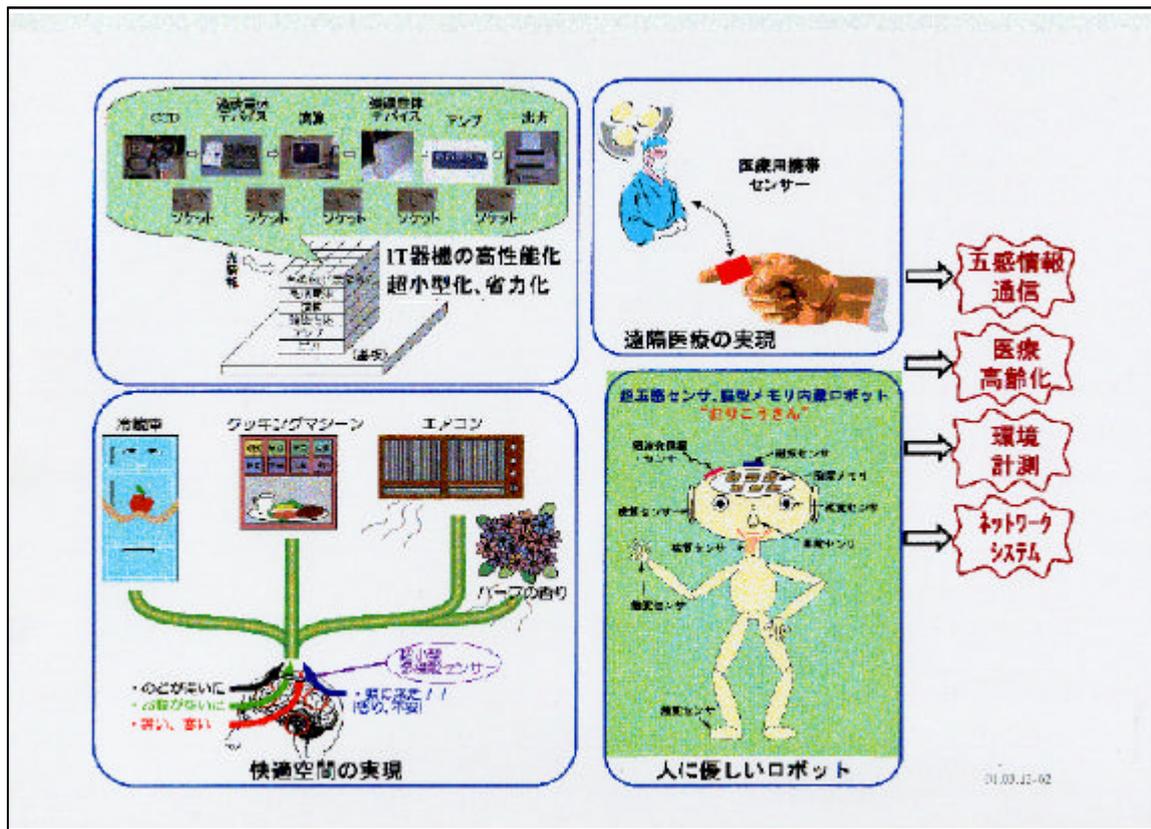
音として取り入れる。そういう必ず人間とのインターフェイスを通して初めて意味がでくる。そういう意味での人間のインターというのは五感しかありません。それを判断するのは脳です。それから、DNAというのは精神のプログラム。この3つが重要になります。

この五感と脳が結びついたようなセンサーシステムは、これから中小企業の方が比較的取り組みやすい例ではないかと思えます。例えば、典型的な例はロボットです。今ホンダやソニーでロボットがデモンストレートされていますが、体の動きを見ますと、まだぎこちなくて、まだ非常に不出来です。それと同時にセンサー類が非常に幼稚です。

センサーというのは鼻ですと臭覚。舌ですと味覚です。それから目は視覚。手は触覚。それから磁気センサーは頭についていますが、そういうセンサーは非常に有効だと思います。我々は五感に触れるような情報でやり取りするというのはうさくてしょうがないわけですが、磁気を感じるセンサーをうまく利用すると、我々は感じないが肌には感じる。そういうことがあって、こういうセンサー類が非常に重要だと思います。

このセンサー類が、どうやってできていくかということ、1つは極限ナノ加工。ここに書いてありますように、あるCPUがあって、それから周りに回路がある。それを小さなところに入れるというシステムの開発です。これは比較的大企業がやればよいのではないのでしょうか。

しかし、もっと重要なのは、今度はそういうものの上に光を感じる。手は磁場を感じる。電場を感じる。それから力を感じる。そういうものをうまくつなげていく技術です。これは技術としては非常に大変かということ、そ



んなに大変ではないと思います。むしろどう  
いう使い方をするか。どういうふうな形でこ  
ういうセンサーを組み込んでいくか。そこら  
辺で中小企業の工夫のしどころは非常にある  
と思います。

こういったセンサー類の一番元の材料。例  
えば、光に非常に敏感に感じるとか、光で感  
じて、いきなり磁石のようなもので覚えられ  
るという新しい材料の紹介が後ほど研究室見  
学の際にあると思いますのでご覧になってく  
ださい。

例えば、光に感じると視覚センサー。圧力  
に感じれば触覚センサー。こういうのは、な  
ぜ今後非常に重要かということ、まず今の機  
器をそのまま使ってやろうとすると、例えば  
CCDカメラのようにすごく大きなものにな  
ってしまう。それからそこから入ってきた情  
報でおしまいかということ、そうではなくて、C

CDで撮っても、それを記憶し、その情報を  
処理するということをしなければいけない。  
我々の体はそうやっているわけです。

例えば、人の目はCCDカメラみたいなも  
のだと思っていますが、入ってきたたくさん  
の情報をコンピューターに入れていくと、た  
ちまちハードディスクはいっぱいになってし  
まう。しかし、我々人間は連続的に情報を取  
り入れて処理をする。それはどういうことか  
ということ、入ってきた情報をメモリーしな  
がら一部分は落としていくとか、演算しなが  
ら処理しているわけです。それに従って声を出  
したりして出力する。こういったシステムが  
我々の五感はできているわけです。そういう  
ものを非常に小さなところに押し込めていく。  
そうすると、高性能化、超小型化が可能にな  
るわけです。

もう1つは、センサーを使って快適空間を

センシングするということです。一つの例は、年寄りが病室に入ってくる。その人はちょっと足が悪くて動けないという時でも、センサーを耳の後ろにつけておいて、暑くなって汗が出てくるとちゃんとエアコンが働いてくれるとか。それから余りお見舞いに来てくれないので、頭にきたというとハーブの香りが出てくるとか。そういうものが可能です。

これは、自動車会社や空間に関わる場所は非常にこれから重要で、自動車であれば外の状態をセンシングして、車の状態をセンシングして、それからドライバーをセンシングしてうまく処理をして、最適な条件をつくっていくインテリジェントなセンサーというのはものすごく大事です。

その材料としていいものをつくる。いろんな形だとか頭を使って、いろんな用途を開発して売り出すというのは、中小企業の動きの早い利点を生かした取り組みではないか。世の中は間違いなくそういうふうに変わっていくと思います。

いいことか悪いことか知りませんが、ここにありますように、バーチャルの世界に入るためのものとか、いろんなセンサーなどは、いろいろできていくわけですが、結局最初は道具として使っていました。しかし、それが衣類に入って、最後は肉体の一部に入るので

す。例えば、目の見えない人のために用いる視覚センサーです。三菱電機が視覚のチップをつくっています。そういったものが自分の体の悪くなった部分を補う形で使われていくと思います。

私は、ちょっとこれは行き過ぎで、余り進むと体中が人工的なサイボーグになってしまうような気がします。それでも補聴器のよう

な形でつけるとか、そういう形でやるということはありません。この辺は、数年以内にナノテクノロジーが活躍する非常に重要な分野です。

今度はこういう材料の加工や、デバイス技術。それがバイオと結びついていくと、また新しい展開が開かれます。

その典型的な例が、1つは分子デバイス。もう1つはバイオチップです。この分子デバイスというのは、先ほど言ったように非常に長期間かかって、長期的なテーマだと思えますが、これは後の見学の際分子デバイス、バイオチップともご覧になることができると思えます。分子デバイスというのはどういうことかということ、単に削っていただけという部分は、先ほど言ったように限界があります。しかも、100ナノメートル以下にするとものすごく大変です。

しかし、そうではなくて、ある程度削ったら分子、例えばDNAで配線してしまおうとか、そういったようなアプローチです。基盤の上に電極をつけて、その上にDNAの液をたらすだけで配線ができたり、磁性のメモリーをつけられる。そういった形で余り細かく削らなくても、いろんなセンサーができるものです。

もう1つのバイオチップ。これは分子デバイスのように長期にわたるテーマではなくて、恐らくここ数年で非常に大きな市場を形成していくと思います。バイオチップというのは、何かのチップがあって、そこにDNAをつけたり、たんぱく質を乗せたりします。これがなぜ今後ビジネスチャンスがあるかということ、我々は体を健康に保ちたいと、非常に強く思っています。我々の体だけではなく、ペットの状態。それから例えば食べもので0 - 15

7に当たるのは嫌だとチェックする。給食も今検査をするだけで1週間かかるので非常に大変です。こういったチップで完全に人の毎日の健康状態を、ほとんど意識しないで検査できれば非常にいいわけです。腐った物を食べるのも嫌ですよ。

どうやって検査するのかというと、チップの上にナノテクノロジーでDNAをつけたり、たんぱく質をつける。肝炎などはそれに対応するような抗体をつけて、体の調子を判断する。例えば、トイレで出したものをちょっとつけてみる。あるいは蚊が刺す程度、本当に意識しない程度の微小の量の血液を取ることができますので、その血液を入れて、特に何も異常がなければカルテが作成される。もし、ちょっと異常があればぱっと医者に通報する。

どういうところでビジネスチャンスがあるかということ、1つは、今使えるのはDNAチップが主ですが、たんぱく質もつくると、もっと直接的に環境汚染物質であるとか、体のある部分でそういったものを検出する。高血圧の人というのは、遺伝的に決まっているところもある。ちょうどその部分だけのDNAを置いておいて、これで検査する。もしくはそこからできてくるたんぱく質で検査する。糖尿病の検査も、こういうチップによる検査でビジネスが可能です。

もう1つは、そういうものを何かうまく組み合わせて、それで商売する。こんなのはiモードを使って情報を集めて商売する。人間だけでなく、チップを使ってペットの健康を保ちます。こんなアイデアもあるのではないのでしょうか。

例えば、こういうチップでO-157用を作ればいい。学校の給食とか、いろんな食堂とかの安全管理のビジネスができます。いろ

んなことができるわけです。

そういう意味で、チップの上にナノメートルの世界でこういった自分の体と関係するようなものを入れて検査していく。しかも、非常に簡便に早くできます。これが重要なところですよ。

そういうDNAをつけて、反対にうまく相性がいいDNAを巻くわけですが、ちゃんとうまく巻くか、ちょっと異常があって巻かないかとか、電気化学的に見ていくことができます。

そうやって、10のマイナス12乗、14乗、16乗モルというほんの少量でも検知していく。今までのDNAチップというのは蛍光、光を出すようなものをDNAにつけたりして、ものすごく面倒くさかった。我々の解決した方法は、何もそういうことをしなくても、DNAそのものを入れれば直接できるものです。

それから、ナノメートルの世界に我々が入ることができて、いろんなものをつくれるというのは、ナノメートルのものを見ることができるようになったということが大きい。例えば、DNAの二重らせんというのは、小学生でも知っている。

しかし、この二重らせんを1950年のワトソンとクリックが言い出して以来誰も目で見ることがない。それを、私の研究室で見れるようにするのに成功しました。ちょうど我々が操作トンネル顕微鏡という針で見る方法です。これはいろんなテレビ局でこの絵を使っているの、ご覧になったことがあるかもしれません。確かに二重のらせんになっているというのがわかると思います。こういうのが出てくると、非常にいろんなビジネスチャンスがあると思うのです。DNAだけでは

なくてアミロイドフィブリル、そういうものも見るができる。

アミロイドフィブリルというのは何かというと、狂牛病とかアルツハイマー病とかそういったものの元になっているファイバーです。ここで示しているのは、長期透析という腎臓などの病気の患者に起こる病気ですが、透析するとこういうファイバーをこすことができないで、体の中にどんどんたまっていってしまう。それがこういうつけ根にたまと、ものすごく痛いのです。そういうのを見ることができます。確かに見るといかにも痛いという感じです。

観測するというのは非常に重要で、アルツハイマーを引き起こす原因の物質がアミロイドフィブリル、狂牛病を引き起こすのはプリオンというたんぱく。透析の不全で引き起こされる腎臓病の原因となるのが 2M。これらには共通しているものが観察されるのです。さらにどうしたらこういうものができるかというのを知ることができる。結論としては 2M というのを見ると、針になるような材料がちょっとでもあって、それを粉碎して種を与えると急に針になる。

だから、どういうことかということ、狂牛病の怖いのはそこです。針状になったアミロイドがあります。それをちょっとでも食べると、それが種になって、普通の正常なたんぱく質、正常ではグニャグニャになるたんぱく質が伸びていって針になる。狂牛病はそういう異常な針状となったプリオンを食べるとそれが種になって他のプリオンを次々に針状に変化させて起こる病気なのです。だから、肉骨粉が怖いというのは、それで初めてわかりました。

要するに、粉に砕いて種にしてやるというのはまずいのです。これはどんどんついてい

って増えていく。これは14ナノメートルの針。ナノニードルというらしいです。ある薬を与えるとグニャグニャになる。いずれにしてもそうやって、こういうものを見ながらやっていると、どうやったらここら辺を変換して痛くないようにするか。そういう薬の開発につながってくる可能性もあります。

#### <ナノテクノロジーの発展予測>

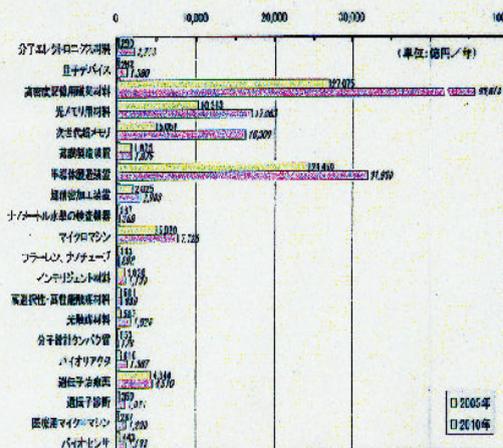
それでは、まとめをしたいと思います。まだ他に環境エネルギーとか幾つかありますが、本を見るといっぱい書いてありますから見てください。まず、ナノテクノロジーが今後どれくらいの市場を持つでしょうか。2つのところから市場予測がでています。1つは三菱総研と日経が大体2010年で19兆円という予測を出しています。それから、日立総研が経団連の依頼を受けて2010年で大体27兆円という予測を出しています。

ただ、これにはバイオが入っていません。バイオはものすごく大きいです。2010年にバイオ全体で30兆円ですが、その中の恐らく3分の1、10兆円近くがナノテクノロジーを使ったチップとか、ナノ粒子の応用であると思います。そういう意味では非常に多くの市場が開けるといえると思います。

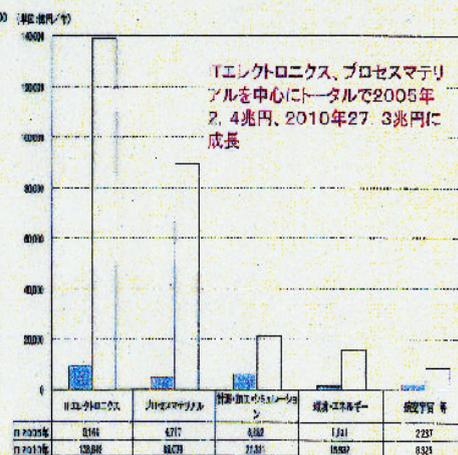
こういったものが、一体どれくらい今中小企業もしくは大企業に浸透しているかということですが、これは実は驚くべき数字が出ています。今年の2月の段階で調査をしたところ、4割がナノテクノロジーを持ち始めている。そういう結果が出ています。

# ナノテクノロジーの市場予測の例

ナノテクノロジーに関しては、2010年頃を見越した市場予測を行う試みもいくつかあるが、エレクトロニクス系(磁気材料、半導体等)に将来の市場が見込まれている。これに対して、生物系についてはまだ市場を見込むところまでたどり着いていないのが現状。



(出典)三菱総合研究所と日本経済新聞社の共同調査に基づく (2005年2月)



(出典)2001年3月の経団連の発表に基づく

それは実は、携帯電話などはさっき言いましたが、フィルターというコンデンサーです。例えば、TDKなのですが、電波を分けるためにインдукターとキャパシターという性質を使います。それをフィルターとした線です。つまり電極が入っていて、金属とかセラミックスが積層された線です。

この大きさが1ミリよりはるかに小さい。0.2ミリと0.6ミリ。その中にこんなものが入っている。ということは、ここに使う原材料、例えばペーストをつくるパウダーは均一で、完全にナノです。

そういうものをナノメートルできちんと厚さを制御してつくる周辺技術。これがないと勝てない。だから、中小企業にとってナノテ

クノロジーはある意味では生命線ではないかと考えています。

これは三菱総研が5月に調査したものです。「あなたのところではナノスケールの構造を利用した製品を発売していますか」と言うと、材料・エレクトロニクスの分野の企業では6割か7割が発売しているか、発売する予定と答えています。それからその次の調査で「ナノテクノロジーによってすごく影響を受けるかどうか」。根本的な変革を受けるとするのは、エレクトロニクスとかバイオの分野で、70~80%を占めます。

そういう意識が非常に高く、経団連もそれに対して答申をしています。いろんな大企業がそれに対応しています。実は、非常に

もしろい動きは大手商社。大手商社は、ファンドをつくったり、投資をしたりしています。彼らは小企業、もしくはベンチャーのようなものに投資をして、ナノテクで、そのところが伸びたところで高く売り払おうと考えています。

なぜこんなことをするかというと、実はバイオとナノテクは非常に基礎的なサイエンスがそのまますぐ商売につながるような領域だからだということを、ぜひご理解いただければいいと思います。

大阪地区で言うと、今日いらしている中にいらっしゃるかどうかわかりませんが、これは確か先週の新聞記事に「ナノテク、中堅も攻勢」というので、東大阪の8社がいろんな工夫をしています。

今までの話をまとめていきたいと思いますが、ナノテクノロジーは明らかに産業に大きく入り込んでいます。先ほど言いましたように、我々が意識しなくても時代の流れとしてトップダウンのナノテク、ボトムアップのナノテク、どちらも完全にナノのところが戦場になっています。

その戦場に大企業だけがいるかというところではなくて、実は、大企業の周りには中小企業がナノでうまく制御しているところは、非常に多く勝ち組で残っています。意識してください。それは半導体だけではなくて、エレクトロセラミックスなどはいいい例です。

それから、最初に言いましたように、ナノテクノロジーというのは実は1つの生産技術としても優れています。それはバイオの原理に習っていますから、バイオというのは非常に省エネルギー、環境になじみがある高効率、高品質な製品です。

例えば、炭酸カルシウムという白い粉があ

ります。それをもし高い温度で焼いて固めると白墨になります。すごくエネルギーを使って非常に力を使うのだけど、もろくてやわらかい白墨ができます。しかし、同じ炭酸カルシウムを、もしさっき言いましたDNAのプログラムでやれば、何のことはないどんどんそれを使って硬くて強い、しかも見て美しい形の揃った、そういうものが一遍につくれま

す。これをどうやって生産技術に取り入れるかということは、最初のほうで例に出しましたが、そういう意味で生産技術としても非常に重要です。

いずれにしても非常にはっきりしていることは、我々は通常的生活基盤材料で、世界をリードしていく、売上を伸ばすのは無理だと思います。それは、例えば、中国を見ても、ものすごくコストが安く、日本の10分の1ぐらいです。しかも、製品が悪かったら別ですが、すごくいいのです。だから、勝てるわけがないのです。

グローバル化に伴って、そこから買えばいいのです。しかし、しょうがなく工場をどんどん移転する。日本には誰もいなくなる。アメリカはハイテクで情報とバイオに注力し、特許をしっかり抑えている。どうすればいいのでしょうか。

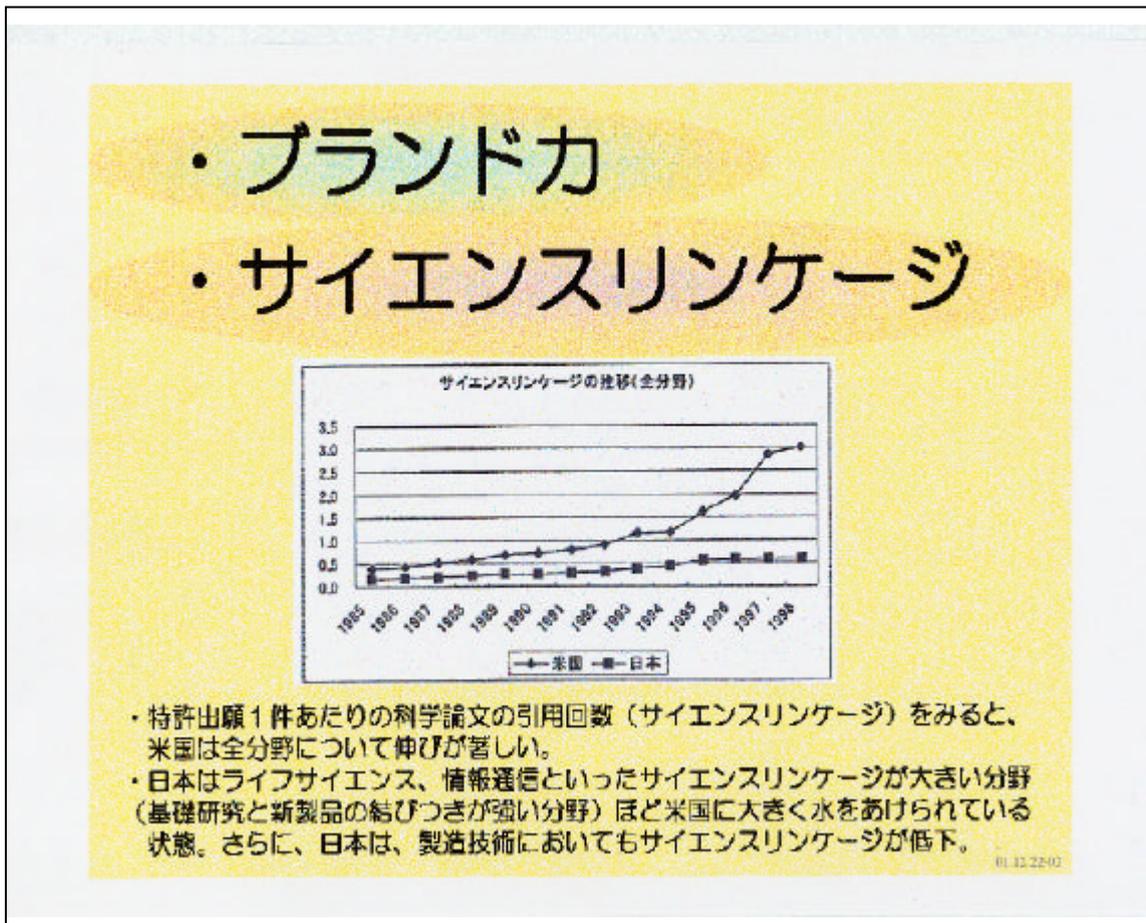
私は日本はナノテクノロジーでいく以外ないと思います。なぜかということ、日本人はやはり工夫しながら非常に優れた高品質のものをつくってきました。そして世界中に売ることによってやってきたのです。それが日本人の特質に合っています。中国や台湾より何年か先に進んでいけばいいのです。

私は中小企業は必ず自社独自の特殊な技術を持っていると思います。その特殊技術をナ

ノテクノロジーと結びつける。そして中国などの3年、4年先に行く。そうすると怖いことはなくて、彼らが追いついてきたらまた先に行く。そういう仕組みでいいのです。

ビデオがいい例です。かつては日本がビデ

オの先頭にいました。今は日本でビデオをつくっているところはどこにもありません。全部アジアの他の国です。日本はもうちょっと先のところで勝負しています。それは今後の中小企業で非常に重要な生き方です。



そのキーワードになるものが、このサイエンスリンケージです。これを見ますと、幾つか図がありますが、1つだけ見てください。サイエンスリンケージというのは、特許を出した時どれくらい基礎的な科学の論文が引用されているか、つまり、基礎的なところにアイデアを求めて製品化されているのがどのくらいあるかという割合を示しているものです。

ちょうど日本が負け始めた90年代あたりから、日本は変わらないがアメリカはぐーん

と伸びています。それはどういうことかという、例えば、大学であるとか、そういう基礎的なところの種をうまく使って、ベンチャーや中小企業がどんどん特許を取ったり、新しい事業を展開している。それが急速に増えている。日本が悪いことをして、失われた10年ができたわけではなく、日本は変わらないでただけです。

しかし、アメリカは勝ちパターンを覚えしました。どういう勝ちパターンかという、例えば、大学、そういうところの頭脳と、各自

の持った技術を結び合わせた産業展開というのをここで覚えたのです。これを日本がやらない限り、立ち直れる道はないと思います。

そういう意味で、今日お集まりの皆様もぜひいろんな大学なり、研究所なりと、我々のところももちろんそれをやるつもりですし、実際やっていますので、いろんな意味でコンタクトをとっていけばいいと思います。

以 上

〔本講演録は、平成13年11月13日(火)、大阪大学産業科学研究所にて開催された当財団主催の技術懇親会における講演を収録・編集したものです。(文責/財団事務局)〕

# 講師ご紹介

川合 知二(かわい ともじ)氏

大阪大学産業科学研究所 教授

大阪大学高次インターマテリアル研究センター長

## 略歴

- 1969年 東京大学理学部化学科卒業
- 1974年 同大学大学院理学系研究科博士課程終了、理学博士(東京大学)
- 1975年 国立分子科学研究所助手
- 1983年 大阪大学産業科学研究所助教授
- 1992年 同大学産業科学研究所教授
- 2001年 同大学高次インターマテリアル研究センター長(併任)

## 専門分野

多機能が調和した人工生体情報材料の創成、DNAナノテクノロジー

## 所属学会

日本化学会、日本物理学会、応用物理学会、米国物理学会

## 主な受賞・表彰歴

- 平成13年4月 大阪大学プロフェッサー オブ ザ イヤー
- 平成12年3月 日本化学会学術賞「高次機能調和材料の創成」
- 平成9年4月 文部省COE研究リーダー「機能調和材料創成の原子・分子プロセッシング」

## 大阪大学産業科学研究所

1939年「自然科学に関する特殊事項で産業に必要なものの基礎的学理及びその応用の研究」を目的として現在の大阪大学の前身である大阪帝国大学に設立、近代産業の欧米の基礎研究の成果を基にした外国技術導入型から自主技術開発型への転換に対応し、1995年「産業に必要となる先端的な事項で、材料、情報、及び生体に関するものの総合研究」を目的とする研究所に改組されたもの。

URL <http://www.sanken.osaka-u.ac.jp>

財団  
法人 **あさひ中小企業振興財団**

**The Asahi Bank Foundation**  
For Small And Medium Enterprise Promotion

〒102-0074

東京都千代田区九段南 1 - 5 - 6

あさひ銀九段ビル

TEL.03-3221-8451 FAX.03-3221-8454

E-mail:staff@asahibank-fdn.or.jp

URL:<http://www.asahibank-fdn.or.jp>