

2011年10月10日

## 日本学会議後援

# マイクロ・ナノ産業化シンポジウム 結果報告書

企画責任者 木股雅章（立命館大学教授）  
[kimata@se.ritsumei.ac.jp](mailto:kimata@se.ritsumei.ac.jp)  
益一哉（東京工業大学教授）  
[masu.k.aa@m.titech.ac.jp](mailto:masu.k.aa@m.titech.ac.jp)  
鈴木雄二（東京大学教授）  
[ysuzuki@mesl.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:ysuzuki@mesl.t.u-tokyo.ac.jp)

## 【目次】

1. 概要
2. 質疑応答
3. パネルディスカッション
4. 添付資料：予稿集

## 【1. 概要】

今回タワーホール船堀で開催された「第28回センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムにおいて2011年9月26日(月)15時から18時に、参加費無料として、社団法人電気学会、一般社団法人日本機械学会、社団法人応用物理学会の共催で「マイクロ・ナノ産業化シンポジウム」を日本学術会議後援のもと開催した。

「マイクロ・ナノ産業化シンポジウム」は、近年のマイクロシステム及びナノテクノロジー技術に焦点を当て、産業化の進展と課題について議論を行った。前半の司会を東工大教授である益一哉先生、後半の部の司会を静岡大学橋口 原先生に務めていただいた。

最初に、開会挨拶として 京都大学工学部教授であり、日本学術会議第3部会員の北村隆行先生からシンポジウムに期待することについてお話を頂いた。

次に、電気学会特別講演として東北大学教授であり日本学術会議連携会員の江刺正喜先生から「マイクロシステムと産業化」と題して講演を頂いた。江刺研究室と国内及び海外との交流について、取り組みの例を挙げながらご講演頂いた。産業として発展させるには、それなりの枠組みが必要で、国家戦略として推進すべきとのご意見を頂いた。

次に、応用物理学会特別講演として東京大学教授の和田一実先生から「シリコンフォトニクス展望」と題して講演を頂いた。何故シリコンフォトニクスが必要なのか？その背景と今後異種機能集積化に期待する趣旨のお話を頂いた。

次に、日本機械学会特別講演として東京工業大学教授の大竹尚澄教授から「DLC膜の産業応用」と題して講演を頂いた。DLC膜が日本が世界で一步リードし、今後の展開が期待できるお話を頂いた。

本シンポジウムの基調講演として産業界から村田製作所技術・事業開発本部門田研究室室長の門田道雄氏から「RFデバイスの開発と今後の展開」と題して講演を頂いた。村田製作所で実現したデュプレクサというデバイスの開発と今後の課題についてお話し頂いた。

最後に、基調講演の2件目としてイノベーション・エンジン(株)代表取締役 佐野睦典氏から「先端技術の産業化を加速するために」と題して講演を頂いた。世界の大企業と対峙するには、国家戦略が必要である趣旨のお話を頂いた。

講演後東工大教授益一哉先生の司会のもと「マイクロ・ナノの展開と異分野融合の課題」と題してパネルディスカッションを開催した。パネリストとして、江刺正喜(東北大学 教授)、藤田博之(東京大学 教授)、和田一実(東京大学 教授)、大竹尚登(東京工業大学 教授)、門田道雄(村田製作所 門田研究室室長)、佐野睦典(イノベーション・エンジン(株)代表取締役)、川原伸章((株)デンソー)に登壇して頂き開催した。貴重なかつ活発な討論会であった。

最後に、閉会挨拶として立命館大学教授 木股雅章先生より挨拶を頂き閉会した。



## 【2. 参加者】約100名

## 【3. 質疑応答】



北村隆行 先生

1) 講演の前に北村隆行先生による挨拶を下記のように頂いた。皆さんこんにちは。産業化のシンポジウムにお越しいただき、どうもありがとうございます。日本学術会議の第3部の会員をしております北村と申します。きょうは大きな三つの学会が合同でシンポジウムをされるというので、ぜひ学術会議も交えていただきたく思い、無理をお願いいたしました。

このマイクロ・ナノというのは、プログラムの最初のところにも少し書いてありますが、ほとんどすべての学術分野で、それを冠すれば主な仕事が行なわれている部分に相当していると思います。ただし、個別でされている傾向があります。このような大きな学会が三つ寄せ集まって行われているということに非常に興味を持ち、学術会議としても非常にサポートしたいところです。学術会議は文部科学省に所属していると思われている方もいらっしゃるかもしれませんが、実は内閣府に所属しております。ミッションは主に二つあります。一つは「長期間にわたる日本の学術的なサポートをする。具体的には、方向性について提言をする」ということです。マイクロ・ナノの、それも産業化というのは、もちろん大きく含まれている部分です。もう一つは、「学術自体の振興を図る」ことで、分野間の振興を図るということもとても大きなミッションです。その二つのミッションを持っております。

学術会議はマイクロ・ナノのエンジニアリングをサポートしようと思っっているわけですが、実は私は、その中の「マイクロ・ナノエンジニアリング分科会」の主査をしております。ここの分科会は少し変わっておりまして、普通はその上に「分野別委員会」というのがありまして、だいたい学科とか専攻にあるような「機械工学」や「土木工学」など分野別委員会になっています。ところがこのマイクロ・ナノエンジニアリング分科会というのは、通常は一つか二つしかない上の委員会が、五つあり、その合同で作られております。一つは電気、電子、科学、材料工学、総合工学、機械です。この五つの委員会が一緒になって作っている委員会というのは、学術会議の中にはほとんどありません。つまり、それだけ横への広がりをもっとかしたいというわけです。このシンポジウムもこの3学会だけではなくもっと大きく広がっていきなると、期待をしております。

この分科会の副主査は、これからお話しいただく東北大学の江刺先生にさせていただいております。江刺先生のお話を聞いていただくと、学術会議がいかにかこの分野に期待しているかということがよく分かっていただけたと思います。

マイクロ・ナノの分野で一つ大きいのは、エンジニアリングが付いているということなのです。工学の分野を見てみますと、先ほど言いましたように今までは機械工学や土木工学、化学工学であるとか、今までの産業をベースに従って分野分けがされているようなところがあります。ところが昨今、工学のパラダイム変化についてよく話されていますが、どうもマクロやメゾ、ミクロなどのほうが分け方がよくなっているようです。この前私は各大学のカリキュラムを調べたので

すが、そうしますと各学科、あるいは専攻で、このマイクロ・ナノのカリキュラムが作られています。それは、学部ではなくて大学院、特に博士課程など、上に上がるほどそのような分野分けで作られています。これは、産業の形が変わってきているのと同時に、教育もその影響を受けて、「これからどうしていこうか？」ということも大学も考え始めてる証拠なのです。ただ残念なことにそれが横につながっているかという点、どこの大学も全くつながっておらず、ばらばらです。これはある意味 mismatch で、これがラティスのように縦横の格子状になるのか、ネットワークになるのかは分かりませんが、大学でも考えていかなければならないことなのでしょうが、その大きなモチベーションの一つはもちろん「産業化」なのでしょうから、そこが大きなベースになっているのだらうと思います。

きょうはそういう話を聞きながらダイナミックな日本の将来について考えていかなければならないところに来ているのだらうと思います、私自身も勉強するために参りました。できれば来年からも、もう少し広がって一緒にやっていけたらと考えております。これを、最初のキックオフの言葉とさせていただきます。勉強させていただきます。

## 2) 江刺先生講演の質疑

質問者 メーカーにいた経験から申し上げますと、大変いいお話をしてくださり、ありがとうございました。質問というよりは、ぜひお願いしたいことなのですが、先生のノウハウをいろいろな人に覚えていただいて、日本の産業が活性化するようにお願いをしたいと思います。きょうは大変ありがたいお話をありがとうございました。



江刺正喜 先生

江刺 ここにあるのは、テレビを初めて作った高柳健次郎が昔 NHK のプロジェクト X という番組で取り上げられたときの題です。「大勢の人間の努力は1人の天才に勝る」。われわれはやはり、1人2人ではなくてたくさんの人間を育てて、外国と競争していかないとダメだと思います。

益 ほかにございますか？ 先生のきょうの一言の中に「日本は、技術では勝っているのにマーケティングやビジネスで負けたとよく言うけれども、実は MEMS は技術で負けている」というのがありました。まさか先生からこんな言葉が出るとは、と思ったのですが、負けた理由よりも、「じゃあもう1回これをひっくり返すのか、今後どうすればいいか」というところをお伺いしたいのですが。

江刺 日本である程度、私の関係しているものでうまくいっているのは、LSI テスターへのスイッチや、自動車用のジャイロなど、装置の一部で付加価値を上げるところです。ただ、数が出るもので日本が勝っているものというのはほとんどないのです。つまりそれは、半導体屋がコストで勝負し合ってる世界なのですが、それに日本は負けています。日本の半導体メーカーはずっと DRAM などがんばってきて、ちょっとそっちに振り向かないでいるうちに、ヨーロッパは最

初少し負けていたものですから、そっちのほうでやったということもあるし、そのほかにヨーロッパはやはり産学連携の体制がいいのですよ。大学のそばに研究所があって、ドイツやフィンランド、スイスもそうですが、フランスなどもそのようにして、ST マイクロエレクトロニクスも強くなってきたわけです。そのような仕組みが日本が一番負けていると思います。これは考えてみると、日本だけではなくてアジアはみんなだいたいそうではないかという気がしています。韓国も似たような感じですし、台湾も昔、キャッチアップの時代は ITRI ががんばっていたのですが、最近はいとりもちょっと影が薄いですね。アジアの体制はキャッチアップ用にできていて、キャッチアップを終えて、ほかと先端で競争するとなると、やはりヨーロッパの体制のほうがよくできていると思います。



益 ほかにも質問のある方はいらっしゃいますか？ かなり本音が出てきているようですが、よろしいでしょうか。では、どうぞ。

司会 益一哉 先生

質問者 江刺先生どうもありがとうございます。立命館大学の杉山でございます。江刺先生が先ほど「技術でも負けている」というお話をされましたけれど、昔から「必要は発明の母」といわれていますように、企業からいいテーマというのでしょうか、産学連携の上で、次の商品企画や産業化の中で本当に必要な技術を大学に頼まないとなりませんね。企業が大学にお願いに行ったり、大学へ研究に行くというのは、「今、こういう MEMS をちょっと勉強してこい」というような場合や、あるいは各技術研修の練習問題をやってくるというような形で、かじりにくことはあるのですが、実際、根幹に関わる必要な技術や必要となるべき技術を会社は出さず、会社の中でそれをなんとか解決するというスタンスを取っています。最近の言葉では、オープンイノベーションといいますが、それに慣れていないという感じがいたします。産学連携といわれて 20 年近くたっていますが、これからだと思います。先ほど、大学と企業が連携した製品として、DMD や ST マイクロの加速度センサーなどが挙げられました。これも商品企画と技術が、企画の段階からうまくお付き合いをしながらうまくコラボレートできたということなのですが、それが日本の国内の会社と日本の大学との間のコラボレーションがまだまだ成熟していないと感じます。もっと大学から産業界に行かなくてはいけないし、産業界は大学をもっと利用して、これからますます産学連携をやらなくてはいけないと思います。日本の中で、これからもたくさん企画が出てくると思います。その企画の段階、つまりマーケティング、あるいは製品企画と、われわれエンジニアリングが一体となって、最初から同じテーブルに着いていないといけないと私は思っております。例えばこのような会、センサーのシンポジウムやいろいろな MEMS の国家プロジェクトをやるときに、そこのメンバーというのはほとんどエンジニアリング、シーズメンバーが集まってやるのですが、実はそこにマネジメントが必要です。産業化のプロジェクトですから、マー



ケティングやマネジメント、あるいはターゲットを経済的な視点で見られる観点での議論がなされていないのではないかと思います。「必要」とされる部分が、切実にエンジニアリングに届いていないのではないかと、これまで20年の見方です。ですから、先生も今おやりになっている融合研究会で全国を行脚されているように、大学からも外に出なければいけないし、企業や産業界も大学にもっといい技術があるのだと認識して、ますますコラボレーションをしなくてはいけないのかなど、もう20年ずっと感じております。

結局「負けてしまった」という言葉になってしまいますが、僕は技術の本当の中身は負けていないと思います。企画力や総合力というのでしょうか、最終的な目標としては経済の発展がありますので、そこにエンジニアリングがどうやって関わるかというところで、先ほどのプロジェクト X ではありませんが、そして誰もいなくなったといっても江刺先生が1人残っているように、ぜひこれからもお願いしたいと思います。どうもありがとうございました。

江刺 どうも貴重なご意見ありがとうございました。日本は会社がたくさんあって、国内で競争し合っていますよね。ヨーロッパなどだとそれぞれの国に分かれているわけですが、その代わりあちこちに拠点があります。だからそれぞれの拠点ともっと密接にやったらいいと思います。最近「うちはトヨタと仲良くしているから日産は産業技術総合研究所に行ってください」とか、「凸版印刷と仲良くしているから、大日本印刷は産業技術総合研究所に行ってください」とか、少し極端なことを言っているのですけれども、そのくらい思い切ったことをやった方がいいと思います。やはり競争相手がいなければ、もう少し密接にやれるところもあるでしょう。これは一つの方法ですが、どうだろうかと思っています。

益 どうもありがとうございます。江刺先生ありがとうございました。

江刺 どうもありがとうございました。

### 3) 和田先生講演の質疑

益 和田先生、どうもありがとうございました。ご質問かコメントはございますでしょうか？



和田一実 先生

和田 もしなければ、あと二つスライド用意してきましたので、簡単にご紹介させていただきます。ここにありますが、人工知能と人間というタイトルを付けました。ご存じのように、1997年にはチェスの名人がIBMのディープブルーに負けました。これはIBMがチェスでは人間に勝ったということです。ところが、今年の2月16日にIBMのワトソンというスーパーコンピューターが、「ジャパディ！」というアメリカのクイズ番組で、以前のチャンピオン2人を破りました。これは皆さんもびっくり仰天しましたと思います。つまり、人間の言語をきちんと理解して、ちまたにある情報を全部サー

チしてきて、人間よりも早く答えるということで勝ってしまったわけです。機械ですから 10 ミリ秒あればスイッチが押せるので、人間はそこにハンデがありました。とはいえ、これを考えると、先ほどの絵で示したように、今から 16 年後の 2027 年には、ノートパソコンで同様のことができてしまうようになる可能性が高いわけですから、そのころには人間にできることはあまり残っていきなくなります。つまり、クリエイティビティという重要な部分を鍛える以外に手がありません。そのような教育をわれわれはしているのだろうか、と自問自答しているところです(笑)。

益 どうもありがとうございました。「クリエイティビティはどうですか？」という、最後のコメントが一番大事なところだったかもしれません。どうもありがとうございました。

### 3) 大竹先生講演の質疑



司会 橋口 原 先生

橋口 大竹先生、ご講演どうもありがとうございました。それではせっかくの機会ですので何かご質問などございますでしょうか？ 先生は先ほど、DLC の世界ではほかの地域に勝っているとおっしゃいましたが、その秘訣（ひけつ）のようなものはあったのでしょうか？



大竹尚登 先生

大竹 カーボンについては歴史的に強いのだと思います。ダイヤモンドの気相合成に成功したのも無機材質研究所（無機材研）が最初ですし、DLC はアメリカが最初ですが、実用化したのはやはり日本が最初ですし、CNT もそうですし、グラフェンは負けてしまいましたが。そのような意味では、歴史的に研究者が多いというのが一つ要因かなと。その DNA が結構引き継がれているのだと思います。

橋口 どうもありがとうございます。ほかに何かございますか？

質問者 非常に表面の摩擦が少ないというお話でしたが、そういう材料が鉄など、さまざまな材料にはがれずにきちんとくっつくということも理解できるのでしょうか？

大竹 非常に重要なご質問だと思います。10 年前まででしたら、このご質問には「そこが弱い



です」とお答えしていたと思いますが、最近は中間層を積む技術がかなりうまくいくようになりました。一つのやり方は基材にイオンを打ち込んでいくというものがあります。先ほど残留応力の話がありましたけれど、もう一つは内部応力を徐々に緩和するようにします。具体的には、シリコンの量をコントロールして、最初は 10%にして、500 ナノ上のところで0%にするといった傾斜層を作るというような具合で、今は安定して作れるようになっていると思います。

質問者一 ありがとうございます。

#### 4) 門田先生講演の質疑

質問者 途中で、材料によって金と銀と銅の薄膜の差によって、かなり違いが出たというデータがありましたが、あれに関してモデリングと申しますか、ご説明を少しいただければと思います。



門田道雄 様

門田 普通はアルミが使われているのですが、軽いのでアルミの膜厚が多少ばらついても周波数がばらつかないという特徴があるからです。ところが今回は、温度特性を良くするために、SiO<sub>2</sub>を付けてやったので、アルミは結構厚いのですが、SiO<sub>2</sub>のせいで特性が悪くなりました。アルミはSiO<sub>2</sub>と同じくらいの密度なので、ここをフラットにしてやると反射係数が取れないのです。そのために重い銅電極を使ったらどうだろう考えたのが初めです。重い電極だとさらに圧電性が大きく取れます。ところが、金、銀、銅とやると、金や銀は電力を掛けるとすぐに溶けてしまいます。そのために、結局銅が一番よかったのです。銅は、アルミに比べて抵抗も同じか低いくらいなので、銅が一番よかったのです。赤銅君が勝ったのですね。

橋口 ほかにございますか？ 今 1.8 ギガくらいまでということですが・・・

門田 今、W-CDMA のデュプレクサは 2.4 ギガくらいまでやっています。

橋口 さらにその上も出る・・・。

門田 これは第4世代の携帯電話が、3.4 から 3.6 ギガヘルツといわれています。その基板をなんとか開発する必要があると考えています。

橋口 そうですね。期待しております。それでは門田先生どうもありがとうございました。

門田 どうもありがとうございました。

## 5) 佐野様講演の質疑

橋口 ご講演、ありがとうございました。それでは、何かご質問等ございますでしょうか。

質問者 今お話に私も同感です。海外の大企業とやればいいが、日本の企業がコンサバティブでなかなかうまくいかない。しかしながら、すぐには言えないですけども、それを変えていくにはどうすればいいのか、根本的なところはあると思いますが、その辺のお知恵をいただければと思います。



佐野睦典 様

佐野 その回答があればいいのですが・・・。先ほど先生の絵を見ても、企業が全然動いておらず、大学が一生懸命近づいている。あれが典型だろうとあらためて思いました。その溝をどうやって埋めるかという話になります。

その観点で、1つは、技術を持っている方からどんどん近づいていくことです。大企業は斜に構えているわけではないのですが、すぐに成果を上げないといけないでしょうから、そこのニーズをもう少し深く取り入れるためのコミュニケーションを図ることが大事だと思います。企業とお付き合いするとき、海外だと2年ぐらいでいいのですが、日本の場合

5年ぐらいひざを突き合わせてやっていくことによって、お互いの存在を認め合える気がします。

それから、製品開発だけではなく、その手前の段階で、サンプル加工や受託加工という形で収入を得るようにすることも必要です。いろいろありますが、とにかく金をもらわない限り仕事をしないように突き放すと、本当に大事な技術であれば、意外と向こうから寄ってくると思います。逆に近寄っていくと、絶対に向こうからは来ません。どこかで突き放しながら間を取る。それによって、本当にこれは取らないといけないと思うケースは、来てくれるような気がします。日本の企業とのお付き合いがある会社も結構ありますので、その場合はそういう手練手管でやっていられるようであります。

しかし、そういうことは、ベンチャー企業としても10年ぐらいの歴史を持っていらっしゃる経営者でないとできません。新米経営者は、なかなかそこまではできないと思いますが、早くそういうノウハウを仕入れてやっていけるように、経営的にもご支援していく必要もあろうかと、われわれも思っている次第でございます。

それから、「海外でやっているぞ」という脅しは結構利きます。まずそういうものをうまく使いながらフィードバックしていく、ブーメラン効果を生かすこともあろうかと思えます。

いろいろ考えないといけませんね。

質問者 ありがとうございます。

## 【5. パネルディスカッション】



司会 益 一哉 先生

益 司会は、私、東京工業大学の益が努めさせていただきます。きょうのパネリストは、私の知る限り、私にとっても大先輩の先生方ばかりで、司会をするのは大変緊張しています。空中分解せずうまくいくかどうか、楽しんでいただければと思います。

きょうの「マイクロ・ナノ産業化シンポジウム」の目的は、異分野を融合することではありません。先ほど佐野さんのお話にもありましたが、新技術を開発することが目的ではなくて、それを使って何をするか

ということです。新たな日本の産業の仕組みと成長にどうつなげるか。その手段として異分野融合を議論できたらと思っています。

パネリストのご紹介させていただきたいと思います。このパネルの中での講演順にお名前を書かせていただいております。緑で囲った部分は、きょう3時からご講演していただいた、江刺先生、和田先生、大竹先生、門田先生、佐野先生。その前に、きょうのシンポジウムあるいはパネラーの方へという投げ掛けということで、パネリストとして特別に東京大学の藤田先生にお願いしました。そして最後に産業化という意味も含めまして、このシンポジウムにも関係しているデーンソーの川原さんに、特に企業家の部分についてコメントいただこうと思っています。



このパネル討論については、時間が限られているので、藤田先生には、本シンポジウムについて、また異分野融合に向けて、きょうのご講演も踏まえて、あるいは藤田先生がいつもお考えのことをお話ししていただきます。講演者の方には、非常に短い時間で恐縮ですが、ご講演

内容を基に、異分野融合への課題は、研究の位置付けも分野も全然違うので、技術的な側面からなのか、研究体制という意味の環境なのか、国際協力なのか、人材育成なのか、切り口はいろいろ

ろあるかと思いますが、全部でもどれかでも結構ですので強調して述べていただきます。川原さまには、企業から見た異分野融合への課題。内容によっては途中で質問を入れて、最後は討論のまとめとさせていただきたいと思います。

それでは早速でございますが、藤田先生、よろしくお願いいたします。



藤田博之 先生

藤田 皆さん、パネルディスカッションまで残っていただき、ありがとうございます。生産技術研究所の藤田です。生研でやっていることや、BEANS というプロジェクトと絡めて、日ごろ異分野融合について考えていることを、お話ししたいと思います。

2点、例をお話ししたいと思います。10月から、社会人新能力開発支援プログラムを生産研で始めています。社会人である企業の研究者は、普通は大学や企業で基本的には限られた数の専門で研究されていますが、それとは違う専門も少しかじってみて、ネットワークを作り、異分野融合のプロジェクトが始められるような支援をしようという、教育プログラムです。そのご紹介をします。

それから、もう4年目になりますが、NEDOのサポートでやっている、異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト(BEANS)。これは、トップダウンとボトムアップの技術を融合した製造技術プラットフォームを作ろうということです。このシンポジウムに関係が深いかと思ひまして、ご紹介したいと思います。

全体の問題意識とも関わりますが、また、私ども大学の教育の問題でもあると思いますが、問題を与えられると解ける、指示されるとやれるという方は多いのですが、自分で問題を見つけて、定義して、それに必要なチームを組んで解いていく、そういう勉強をする機会はなかなかありません。

従来は企業の中でオンジョブトレーニングでなさっていたわけですが、今はなかなかそういう余力がありません。また、最近は修士のレベルで研究して企業に入られる方が多い。新しい事業展開や融合的事業をやる時に、修士レベルの研究から出て、もっと広い分野を学んだり、今あるシーズをあらためて見たり、異分野融合をして統合していく洞察力をつくったりする力を、企業の方に身に付けていただくべきではないか。これは、生産研のある顧問研究員、企業の上のレベルの方とお話しする機会があったのですが、そのとき企業の方から承った問題意識です。

今は15年置きに産業が変わってくるとお話がございました。人は30年、40年勤めるわけですから、ある花形分野で非常に優秀な人材がいたとしても、その産業分野自体が変わってしまう。特にいろいろなところが統合されて、そのポジション自体が少なくなるという事態で、人材自体の雇用危機になるし、せっかくの有能な人材が生きてこない。

それから、技術を追求するだけでソリューションが提示できないと駄目だというお話がございました。ビジネスにつながらないとせっかくの技術が宝の持ち腐れになってしまうというわけであって、ここは社会状況と今の技術状況をきちんと見て、さまざまな技術をうまく統合して事業をつくり出せる人をつくらなければなりません。

実はソリューションはあまりパツとしなくて竜頭蛇尾の感が強いのですが、とにかく生産研と  
してできることは何か考え社会人新能力開発支援プログラムを開始しました。従来の専門、例え  
ば電子工学のデバイスをなさっていた方が、近いところでは IT の部分、広いところでは土木・建  
築や脳情報処理のシステム、そういう分野の研究室に飛び込んでいく。卒論の最初で、うちの研  
究室でこういうことをやっているから勉強してくださいと言われて、2、3カ月猛勉強したご記  
憶もあるかと思いますが、そういうことをやって、新しい分野をいろいろ身に付ける。

そして、先生とも会う。ウェブで見ても、腐るほど情報があるから、どれがいい情報か分かり  
ません。でも、例えば江刺先生に聞けば、MEMS はこれを勉強すればいいと、一言で教えてもら  
えます。僕もそうやって MEMS を始めたのですが、そういうことをやれる仕組みを作ったらど  
うかと考えたわけです。

ここに、NExT(New Expertise Training)プログラムがあります。受付のテーブルの上にフライ  
ヤーを置いてありますので、特に企業の皆さま、1枚持って帰ってください。ウェブで見るとい  
ろいろなことが書いてありますので、見ていただきたいと思います。

今までの自分の専門とは別にほかの研究室をいろいろ回って、興味のある分野を生研の研究室  
なり東大の研究室なりで見つけて、そこでいろいろな調査をやって、最後に統合していただきま  
す。これを1年でやろうというのでなかなか忙しいのですが、取っ掛かりができれば、あとは自  
分で進められる能力のある方を前提としたプログラムです。

そこで気を付けなければいけないのは、一つずつやるのが単峰的で各々が孤立しているのでは  
駄目だということです。こうすると融合になりませんね。だから、広がりを持った見方で問題意  
識を持ち、検討してもらおう。そうすると、統合的な知恵も出てきます。こういうところを、どう  
やってみなでつくっていくか。これも10月から始まる新しいプログラムで、私が責任者になっ  
ていますが、そこは実行者の方々と一緒に考えながら、いいやり方を考えていきたいと思ってお  
ります。

2番目は、BEANS のプロジェクトです。これは、ナノからメートルまで、いろいろなスケ  
ールを融合する。バイオから半導体まで、材料を融合する。トップダウンからボトムアップまで、  
いろいろなプロセスを融合する。ナノテク、バイオから MEMS までいろいろなものを融合した、  
基礎的な生産技術をつくっていかうとするものです。

具体的には MEMS、ナノ加工。すごいところでは、糸の上に MEMS を作って、それを織って、  
フレキシブルなシートにする。ロールや何かで長いシートに印刷する。バイオ、有機も使って  
いく。こういう融合を起こして、ライフイノベーション、グリーンイノベーションにつなげる。も  
う4年になりますが、実際にこのような項目を研究して、使えるような技術も出てまいりました。  
実証デバイスで、血糖値を知るためのゲルを埋め込んで、3カ月、皮膚を通して非侵襲で血糖値  
が分かるようなものなど、いろいろなネタが出てきました。今まではプロセスをやりましたから、  
これを続けて、今度はソリューションやシステムまでつなげるようなプロモーションをやる時期  
に来ています。

また新しいプロジェクトも考えたいと思っているので、企業の方々、こういうことにご興味  
があれば、ぜひご一報いただければと思っています。

ということで、異分野融合をさらにやらなければいけない、そういう実行をしているという



お話でございました。以上です。



益 どうもありがとうございます。

一つの実践例が紹介されましたが、クイッククエスションというか、確認の質問等がありましたらどうぞ。

NEExTは、期間が決まっているのですか。

藤田 これは、10月と4月の入学があって、1年間です。研究室を4カ月ぐらいで3回回って、前後にオリエンテーションとまとめの発表があります。もっとやりたければ共同研究したり、もう1年間ある研究室でみっちりしたり、その辺は可能です。

益 どうもありがとうございました。

次は、ご講演の順番に一言ずつお願いします。まず江刺先生、よろしくお願いいたします。

江刺 高校生、大学生などを対象とした、iCANというMEMS応用コンテストをやっています。5月17日に国内予選をやるので、ぜひ応募していただきたいと思います。

今までずっとやってきたのですが、ことしの6月、トランスジューサーの会があったときに引率していきました。優勝者は京都大学の田畑先生のところの学生さんで、指などに付いた磁気センサーや加速度センサーで、手話が音声に変換されるという機械です。もう一つの優勝者はドイツのほうで、超音波センサーでラジコンのヘリコプターが壁にぶつかりそうになると自動的に戻る、下手な人が操縦しても壊れない機械です。

中国では既に、学生が始めたベンチャーの会社が数社できているようで、こんな会社のでき方もあるのかと思いました。中国では何しろ数百人ぐらいの応募者がいて、そこの中から出てくるわけですからすごいですよね。

こういう分野でうまくいっているのは、やはり半導体の量産効果を生かせるところです。例えばアメリカのインベンセンス社というファブレスの会社が開発して、それをTSMCで作っている。こういう例がうまくいっています。

それから、ファウンドリーがなかなか難しい状況です。台湾のAPMはUMCの孫会社になりましたし、カナダのダルサも、うまくいっていたのですが、テレダインの下に入りました。でも、世の中にはこういう需要があり、メムス・コアにもたくさん会社が来ます。こういうものが世の



中に必要だということは、誰もが認めている。だけど、一つ一つが量産効果を生かせないで生きていくのは大変で、みんな生き延びるために必死にやっている。こういう状況だと思います。

これは、SVTC というアメリカの会社です。シリコンバレーのテクノロジーセンターというところですが、スタートアップの企業が生き延びていくためには、ものづくりができなければいけないということで、西海岸のベンチャーキャピタルがお金を出して維持している設備です。古い工場を使っているわけですが、パスキーとって、自分で作るのと、タンキーとって頼んで作るのと、両方あります。

面白いのは、SVTC も IMEC も、全部出口が TSMC になっていることです。全部 TSMC とつながった技術でやっています。世界のほかの国は、どうも台湾につながっています。日本はそういう点が少し違います。

以上です。ありがとうございました。

益 どうもありがとうございます。ご質問かコメントがございますか。

恐縮ですが私から質問します。先生のご指摘の中で、集積回路で成功したのは少品種大量生産品の DRAM とマイクロプロセッサで、日本は SOC で思いっきり失敗していると、よく言われます。MEMS も、加速度センサーのように少品種大量生産的なものはよく成功している例だと思いますが、少品種大量生産でどうしても勝負しないといけなくなると、もう一ひねりどこからやっていけばいいのかが、いまひとつ分かりません。

江刺 ダルサ、APM、メムス・コアが人気があるのは、やりにくいけれども何とかありませんかということなのです。

益 そうし続けることが、日本が少なくとも台湾・韓国に勝ち続け、アジアの中でリーディングカントリーであり続けるキーである。そういう理解でよろしいでしょうか。

江刺 やはり日本の特徴をもう少し出したほうがいいかもしれません。

以前、ST マイクロの人に教えてもらったのですが、日本の MEMS のいいところは材料なのです。水晶だ、パナソニックの圧電薄膜だと、材料はやはり強い。そういうもので何か特徴を出して勝っていけばいいのではないのでしょうか。

益 分かりました。どうもありがとうございます。

質問者 先ほど門田先生からもありましたが、部品は大量に作って安いものだというコンセプトを今までずっと持っているけれども、これを破らないといけないのではないのでしょうか。例えば 1 個か 2 個のセンサーでも、そのセンサーがなければ、大きなシステムが動かないようなものがあるわけです。そういうものと、何万個何億個のものが同じレベルだという価値判断を、つい持ってしまう。部品とシステムを比べたときに、システムは確かに高いですが、システムを動かすためのキーパーツの評価は値段ではない。その機能に応じた価値を認める文化が、技術屋や研

究者にないといけないのではないかと思います。

江刺 作りやすいものを作っていたのでは、安くなります。マイクロホンも加速度センサーもそうです。けれどもアクチュエーターが入ったもの、マルチミラー、MEMS スイッチ、光スキャナー、そういうのは高く売れます。やはりほかでできないものを作れば、売れるのです。

益 どうもありがとうございました。

それでは次に和田先生、よろしくお願いします。



和田 きょう、お話を聞いていて自分の印象とだいぶ違うものですから、用意してきたものがどこまで役に立つかわかりませんが、きょう聞いていて自分の経験から非常にレゾネートといえますか、よく分かったことがあります。

シリコンフォトリソグラフィを始めたころ、どういう方向に適用するのか、実はあまり考えていませんでした。何とか半導体技術を使って、シリコンで光部品を作る。これだけです。インテルとの出会いは、われわれが考えたものではありません。

MITのスローンスクールの連中と話をしたときに、まず、バリューチェーンを書きます。バリューチェーンは、日本語で言うと価値連鎖でしょうか。材料から始まって、最後のお客さままで、それぞれの研究あるいはプロダクトコンポーネントを書いていきます。その中で、例えばITでバリューが一番細いところはどこにあるか。その細いところに自分の研究を役立てれば、それはうまくいく。細くないところにいくら自分の研究が役に立っても、世の中には出ていかない。これがスローンの言っていたことです。

スローンが紹介してくれたのは、シリコンチップの上に電気素子と光素子を同時に作るものです。それは、クロックスピードが上がらないということで、インテルで非常に問題であったわけです。その時期に、たまたま光クロックという技術を、そういうふうには言えませんが、われわれは思っていなかった。そういうものをうまく結び付けてくれたのがスローンです。

それは、佐野先生もおっしゃっていたプロデュースという言葉にも相当します。あるいは、エンジニアリング自体が、実はマーケティングと一緒にしなければならないという話を、江刺先生もされていました。そういうことで非常に相通じるものがあります。

今回、スローンに相当するようなところが身近にないのではないかと、思った次第です。そういったところとの議論がうまくいって、方向性が出てくれば、異分野融合に一気に弾みがつきます。

例えばシステム開発で WDM(波長分割多重)をどうしたらいいかという問題も、どこがネックになっていて、それをつぶすためにこの異分野融合が必要だという言い方が、私にとっては非常に分かる気がいたしました。

もう一つ、ファウンドリーの話も出ておりました。アメリカには、ここにサイトを置きましたが、BAE や Freescale など素晴らしいファウンドリーがありまして、シリコンフォトニクスを推進してくれています。欧州では、先ほど初めて知りましたが、MEMS を IME が持っているのはどうしてかと思っていたのですが、これは江刺先生との共同研究のたまものなのですね。そういったことで、ここだけは MEMS をメニューとして持っている。アジアで見ますと、IME はシンガポールですけれども、CMOS ラインでわれわれの欲しいものが作れます。

そういうことでかなりのレベルまでいっていますが、わが国を見ますと、NTT-AT は日本の中では非常に進んでいますけれども、世界と太刀打ちできるかという、残念ながら例えば CMOS ラインがない(補足訂正: CMOS の技術はあります)。それだけでも非常に大きなハンディです。研究環境をいかによくしていくか、ファウンドリーの体制を作る、あるいは整備をしていくかというところが、これからネックになってくるであろうと思っております。

国際協力は、欧米とは非常に緊密な連携ができておりますので、アジアと果たして連携を取れるのか。なかなかわがままなところが多いですから、どういう戦略が一番いいのか、よく分かりません。

最後に、こういう新しくできた分野ですから、何と言っても若手が育っていかないと困ります。シリコンフォトニクスなんて聞いたこともないという若手が多いですから、そういった方にスクールなどいろいろ参加していただきたいと思っています。そういう試みも、私どものほうでやっております。

益 先生のご経験を元に、大変面白い話をありがとうございました。ご質問か何かございますか？ まず私から和田先生に一つお聞きします。プロデュースの重要性は、きょうの講演にも出て、先生もご指摘されたのですが、日本の大学の先生はわがままな人が多いから、プロデューサーとなる方に真摯(しんし)に耳を傾けない人が多いような気がします。先生が真摯に話を聞かれたときの心構えを教えてください。

和田 非常に簡単なことですが、お金がないんです。アメリカではお金がないので、誰でも手を握って支え合って生きていくしかありません。でも日本の場合には、私もここで7年経験してみて、お金がなくて困ったということは本当にありません。もちろんそれなりの努力はしておりますが、アメリカと比べますと満たされた状況にある。

非常に不思議なのですが、会社で研修所もびっしり持っていて、そういった中で自分で全部やっという流れが一つあります。アメリカは全く違います。研究が一番お金がかかるので、アウトソーシングする。日本は、会社での収益がどこまであるか分かりませんが、きちっと研究

所体制を持って、依然として進んでいくわけです。そういう中で、大学は一体何をしたらいいのか、いまだに自分の中ではスッキリしておりません。一方で、今申し上げた状況で、あまりハングリーにもならないので、どうしていったらいいのか、答えを見つけられずにあります。

益 日本の大学の先生は、まだハングリーさが足りない？

和田 満たされて・・・(笑)。

益 初めてお聞きしたので、大変面白い指摘だと思いました。どうもありがとうございました。

和田 先ほどの教育事業の一環としての若手の育成ですが、11月に京都で、シリコンフォトニクスに関して、著名な先生に集まっていただいて4日間のスクールをやります。その宣伝ですが、ご興味がある、あるいは周りにご興味のある方がおられる場合には、私に教えていただければご連絡いたします。ぜひよろしくお願ひしたいと思います。

益 どうもありがとうございます。それでは大竹先生、よろしくお願ひします。

大竹 藤田先生の NExT には、東工大が許してくれれば私も入りたいぐらいです。やはり異分野融合は大事だと思います。

この1枚だけスライドを用意させていただいております。これは機械学会で作った加工のロードマップです。応物学会さんも電気学会さんも作っていましたが。経産省が技術戦略マップをやったときの話です。これは横が切れていますが「加工分会能 ナノメーター」と入っていて、ここが10 マイナス1乗で、ここが10の7乗になっています。ここは10の0乗なので、1ナノになります。

横軸は年代で、1960年からです。私は1963年生まれなので、このあたりです。放電加工あたりです。一番向こうが2030年になっています。

ここでみそなのは、1次元微細加工、2次元微細加工、3次元微細加工を分けたことです。先ほど私の講演で、薄膜は1ナノで一応担保できると申し上げました。要するに機能を実現できる限界が、今は1ナノだと申し上げました。これはまさに1次元に対応するものかと思ひます。それと同様に、ある1次元の方向の加工分解能であれば、1ナノにいつていると、機械屋としては見ています。もう今現在で、です。ただし2ナノになると、これはデバイスプロセスになりますが、10ナノかそれ以下になります。

機械屋として問題なのは、多分3次元です。先ほどの多品種少量生産の話のとおりなのですが、機械を作るときに、シリコンウエハーと同じように全く同じものをずっと作ることは、まずあり得ません。いろいろなものを作らなければいけない中で、3次元の加工分解能をどう下げていくのか。これは喫緊の課題だろうと、間違いなく申し上げられます。

これは、機械屋さんだけでやるのは、とても無理です。NExT ではありませんが、いろいろなプロセスの方が集まってやっていく必要があることは、想像に難くない。皆さんが考えるところかと思ひてお願ひします。それが技術として一番大事なところでは、

一つ心配なことがあります。これをやっていくには、いろいろな人材が必要です。機械だけではなくて、電気、応用物理、化学、あるいは生物が必要かもしれません。

これが大切なのですが、今、大学が抱えている矛盾というのは、そういう人材を大量に出した

ところで、会社が採ってくれるのかどうかということです。東京工業大学機械工学科卒とナノマイクロ物理化学学科卒、リクルートの方が見てどちらを採るのかというと、現状では前者に違いありません。そういう意味では、NExT は非常にいいプログラムだと思います。ベースがある上で、NExT は非常に納得できる場所です。このナノマイクロの人材をどう育てていくのか。これは、これから非常に重要なところだと思っています。

国際協力という観点で、アジアは意外と重要だと私は思っています。東日本大震災の話は、きょうはあまり出ませんでした。岩手大学の先生と「思い返してみると、隠れた大国ってあるんですね」という話をしました。アメリカはもちろん助けをくれましたが、台湾やタイからかなりの援助をしてもらったことは、忘れ難きことだと思います。

もしかすると技術もそうかもしれません。今われわれは上から見ているのは違いありませんが、将来はどうなるか分からない。将来助けをもらえる国と一緒にやるのもいいと思います。アジアの一部とは手を取り合って、Win-Win の関係を築くのは、リーダーとしての日本の役目かと同時に思っています。

最後に研究開発についてです。この2次元や3次元の分解能を実現していくことに際しては、当然拠点が必要でしょう。つくばナノテク拠点は、もうできているのでしょうか。私はいま一歩分かっていないのですが、既に活動しているのであれば非常にいいことだと思います。また、東大、早稲田、慶應、東工大の枠組みで、ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアムは、既に動いています。

これがいい例だろうと思います。今、ここまで残って熱心に議論を聞いてくださってる皆さんがいらっしゃいますが、もし、今ここにいるメンバー全員でコンソーシアムが組めたら、かなりことができるのではないのでしょうか。そんなことが一つ実現できればと思っています。

以上でございます。

益 どうもありがとうございます。大竹先生に、ご質問、コメントはございますか。

このロードマップは3次元で書いてあって、2035年は1ナノの3次元加工だと。

大竹 そこに向かっています(笑)。

益 そののところはどういう世界なのかと。

大竹 それはぜひ、この委員会あるいは研究会でやっていただきたいと思います。

益 応用物理学会のロードマップは、3次元加工のロードマップにはなっていないはず。1次元と2次元寸法は書いてあったと思いますが。大竹先生、どうもありがとうございます。それでは、門田さん、よろしくお願いします。

門田 先ほどの講演で、コミュニティ無線とマルチバンドに対応する新しいフィルターができるという、お話ししました。そのためには、異分野の技術が必要です。例えばこういうものは、

現在は CMOS のスイッチで切り替えているのですが、それを一つのフィルタでできると、フィルタの数量が減ります。これが実現できると、かなりシェアを取れるのではないかと思います。

そのためには、広い帯域を持つ共振子、高い Q と大きな可変幅を持つ可変容量、制御する IC、それを構成するシステムの開発、こういったことをいろいろな関係者が集まって開発できたらと、現在、世界最先端で、江刺先生、田中先生、NICT とやっています。そういったフィルターができれば、世界を制覇できるのではないかと思います。

以上です。

益 門田さんに、ご質問、コメントはございますでしょうか？

きょうは通信関係の方が少ないのですが、私も少し通信をかじって分かったことがあります。フィルター一つとっても、門田さんのレベルだとそのスペック、例えばバンド幅にしても、どれだけアイソレーションを取るのか分かります。しかし大学にいと、私は部品を作っているわけではないのですが、回路開発をしているわれわれにも、意外とスペックは降りてきません。そういうところはどやうやって食い込めば、われわれ大学のような者でも、実際に何が本当に必要なのか分かりますか。

門田 それは難しいです。僕らも、例えばノキアやサムソンなどから、こういうスペックで作れと言われていいます。ただ、バンド幅などはインターネットで見たら多分分かります。しかし、例えばアイソレーションをどれだけ取れというのは、そういったところから厳しい要求がきます。

益 それは、やはり足で稼ぐしかないのですか。例えばコグニティブだったら、どやういう周波数帯の何個の回路が欲しいとか、パワーアンプでも、どれだけの数を入れたいとか。一般論としては、たくさんあったほうがいいと言えるのですが、いざどこのパワーアンプを作れとなると、すごく分かりにくい。

門田 分かりにくいでしょうね。僕らはバンド対応で一応分かりますが、普通の大学の先生は入手しにくいでしょうね。

益 全然分からなくて困っているのや、ぜひ一度議論させてください。

質問者 私の経験を申し上げますと、今の大学教育の中には、企業で現実のものづくりをした経験やそのノウハウを、サイエンスとして体系化して、くみ上げるシステムがありません。ものづくりの技術を必死になってやっった人には、論文は出ないわけや。異分野融合という意味で言えは、どやういふところもサイエンスとして見直す、大学の在り方が課題かもしれませぬ。

益 非常に厳しいコメントをありがとうございます。

門田 実はずちの会社でも、アナログ回路とか補償回路の分かる人が、技術者としてほしいので



す。ところが、それは研究にならないので、大学ではあまりやっておられない。できたら大学の  
実習でも、そういうことをやっていただくといいかと思ひます。

益 アナログ回路は言ひたいことがありますが、言ひだすとほかのほうに行つてしまひそうです  
(笑)。どうもありがとうございます。次に、佐野さん御願ひします。

佐野 少し大きな話になつてしまひましたが、キーポイントなる言葉を幾つか申し上げていき  
たいと思ひます。

技術開発手段であるということですので、基本は産業と技術の連携をどう進めていくのか、も  
う少し真剣に考えたいといつも思つております。政府の方針でも、昨年成長産業戦略で出ました  
が、それはスローガンです。

どうも成長戦略と言つたときに、大体物事がおかしくなつてくるような気がします。成長して  
いる分野は付加価値の低い分野が多く、特にライフイノベーションや介護など、本当は日本人が  
やつてはいけない産業を、どんどん伸ばそうということになつてしまひます。人がたくさん必要にな  
るので、需要が増えて失業率が減ると言つてしまひますが、「では、時間給 300 円でいいですか」とい  
う話が全然入つていません。

それよりも、日本が「これこそ」というコアの産業、ここは日本が世界で勝てるというコアな  
技術、ここをきちんと持つていければ世界が市場になります。成長していなくても世界のマーケッ  
トを取つて、結果的に、その分野で世界中から付加価値が取れる。そういう切り口にしたほうが、  
絶対に取りななければいけない分野が見えそうな気がしますので、成長産業戦略という言ひ方を変  
えてもらえないかと、つくづく思ひます。

どうしてもドメスティックマーケットを見据えた産業と技術にならざるを得ないような切り口  
を、日本の政府はいつもおっしやつてしまひます。いろいろな国プロあります。私どもも、国からだ  
いぶファンドをいただひてしまひますが、とにかく日本の企業さんにしか投資してはいけない。とに  
かくグローバル視点なしでやつてしまひるという問題点がありますので、グロースよりコアというの  
が一つござひます。

2 番目は、世界から見た市場を、それぞれの産業領域でのポジショニングを、もう 1 回精緻 (せ  
いち) に作つていけないものかと感じます。太陽電池一つとっても、通常の普及にいくには、コ  
ストを 5 分の 1 に下げなければならぬと言われてしまひます。そのためには、材料なのか、薄膜の  
製造手法なのか、トータルのアッセンブリーなのか、あるいは、その据え付けからメンテナンス  
なのか。据え付けとメンテナンスが、実はトータルコストの 6 割を占めていて、材料と薄膜、ア  
ッセンブリーで 4 割だといふ話があります。オペレーションも大事ですが、据え付けやメンテナ  
ンスがやりやすい材料、あるいは薄膜製造方法という切り口を持つて、その 6 割を下げるような  
製品作りを考える必要があります。

全体論の中で、日本はどういう貢献できるのか。最終的な目標は、例えば太陽電池でやるグリ  
ッドパリティに本当にいくのかといふ、冷静な議論の中で世界を取りに行く。こういう話ができ  
ないものだろうか、つくづく思ひます。

3 番目はです。今までの経緯で言つると、科学技術に詳しくない人が科学技術に関する大臣をや

っています。文科省の下なのか経産省の下なのかという人事の取り合いも含めて、副総理格が科学技術と産業をリンクしてやっていくような重み付けを、科学技術会議さんも含めて、大提案をしてほしいと思います。

アメリカや中国を見ると、科学技術のトップクラスは副総理格です。あるいは、自分の力で産業で大成功した方が、科学技術担当の大臣になられています。そもそもスタートの時点で、国家レベルで負けているのです。悔しい限りであります。

最後の、4番目のポイントは、一般論で書かせていただいたのですが、和田さんのお話を聞かせていただいている、あらためて思いました。アメリカや欧米の製造業の企業さんは、めちゃくちゃもうかっています。利益率が2割ぐらいいは平気であるような会社がいっぱいあります。日本の場合は、5%いったら高収益会社です。これは、どうなっているのか。

基本的には、R&Dをなるべく社内でやらないで、一番効率のいい方にアウトソースで振ることによって、もうかっている部分があります。ある意味、グローバル市場は、R&Dの市場化ではないかと、あらためて思いました。それがいいかどうかは分かりません。日本は製造業が強いという、いわゆる伝統の歴史がありますが、一方で、いつまでたっても結論が出ないという伝統の歴史も結構あります。そうならないようなR&Dの市場化が必要ではないか。1年単位でなくても、一番フィットした単位があると思いますので、3年なのか5年なのか、市場化する必要性を感じております。

一応、そういうことでの提案でございます。

益 どうもありがとうございます。ご質問かコメントはございますか。研究者や技術者からは違う立場からの、厳しい指摘ですが。最後にもあると思いますが、佐野さん、どうもありがとうございます。それでは最後に、パネリストとしてデンソーの川原さまにお願いいたします。



川原伸章 様

川原 株式会社デンソーの川原です。株式会社デンソーという会社は、自動車部品を作っておりまして、特に電子制御システムの部品を、カーメーカーさんに納めています。その中に、MEMSを使ったセンサーがあります。私は今まで研究所でその開発をしていて、今は事業部でビジネスをやっております。

どのように車のエレクトロニクス化が進んできたのか、まずこれでご説明したいと思います。1955年の車には、センサーやECUは全くありません。ECUというのはコンピューターのことです。自動車のすべての機能は、機械的に制御されております。今の車はセンサーが120個ぐらい、ECUが70個ぐらいあって、車のほとんどの機能が電子制御されるようになっております。このセンサーがすべて

MEMS というわけではありませんが、車の機能が電子制御になっているということです。先日、大学の研究室の友人で家電メーカーに入った者に会いました。そのとき、家電製品はどんどん進

化しているのに、車は高くなる一方で進化していないと言われまして、ちょっとカチンときまして、このような表をまとめました。

確かに値段は上がっております。ただ、車の馬力は、同じガソリンを使って5倍以上に上がっています。このときの燃費を調べようとしたのですが、この当時の車には燃費という概念がなく、カタログ値がありませんでした。ただ、乗っていた人に聞いてみると、今の車のほうが燃費がいいと言われているので、同じガソリンを使って大変ハイパワーになっていると思います。

もう一つ大きな違いは、環境によろしくないガスの排出が非常に減っていることです。これは、MEMS のセンサーで正確に酸素量を測って、適用領域でガソリンを噴射して、完全燃焼させて、きれいな排ガスを出すというところで、環境に貢献しています。また、たくさんの電子制御の安全機器、快適な部品が載っていて、昔の車に比べて、随分安全、快適になっていると言えるのではないかと思います。

例を一つ挙げますと、エアバッグ用のGセンサーがありますが、これは 1989 年から量産しています。最初は片持梁に回路が一体化された、 $8.2 \times 3.5$  ミリのものです。作った時には小さいと思ったのですが、市場に投入しますとどんどん安くしなければいけないし、コンペチターも出てきますので、MEMS 技術によって、抵抗式から静電容量式に変わってきています。同時に、CAN パッケージからセラミックパッケージで、貫通電極型から今は表面実装になりました。周辺の実装技術で、非常に小さくなって安く来ています。

実際に 10 年ぐらい前から、今でいう SiP という構造の、回路の上に 2 段積みにして、MEMS の構造体を回路の上に載せて、ワイヤボンディングで止めて成り立っています。また、冷熱衝撃を受けますので、熱膨張差があってもハンダが切れることがないようなハンダパターンなど、いろいろな実装技術によって、小さいGセンサーが成り立っています。

このようにそれぞれのセンサーを小さくすることによって、当初はエンジン制御システムやエアバッグ、ABS は、高級車の一部にしか載っていなかったのですが、小さく安くすることによって、MEMS 技術によって、今はコンパクトカーにも載るようになってきました。技術の進展によって、かつては高級車にしか与えられなかった安全性や快適性を、コンパクトカーのユーザーにも与えられるようになったと言えると思います。ただ、たくさんの安全装備がまだ高く、コンパクトカーにまだ載っていないものがありますので、MEMS 技術はこれからもますます重要だと思っています。

いただいたお題について、私見を交えて少しお話しします。まず 1 番目。MEMS をやっている先生方はたくさんいらっしゃるが、MEMS 技術自体がフォーカスされ気味ですが、周辺技術が重要だと僕は思っています。例えば実装技術。先ほど少しお話ししましたが、そういう環境の中で実装するのは大変難しいのです。例えば圧力センサーだと、構造体のところまで圧力を持っていかなければいけない。江刺先生から、MEMS マイクロホンの話がありましたが、あれも、キーは実装技術ではないかと思っています。そういう周辺技術が重要だと思っています。それを低コストしていくこと。

それから、温度保障や製造ばらつきがあります。エッチングで作るとどうしてもばらつきますので、センサーの出力がばらつきます。センサーを使う側から言うと、どのセンサーを買ってきても、ある物理量では同じ出力にしてほしいのに、それがばらつく。そこを、例えばアナログ回

路で補正するのか。最近マイコンが載っているのソフトで補正する手もありますが、ここは周辺技術との融合がないと、うまくいきません。

社内をよくけんかになるのですが、回路で何とかしろと言うと、そんなものは MEMS のほうで特性を一定にしろという話が出てきます。このところで本当に融合が必要だと思っています。

この底上げを産官学でやれたら、いいと思います。もちろん、ここにいらっしゃる先生方が、そこをおろそかにしているという話ではありません。江刺先生は実装の研究もたくさんされています。しかし、こういう分野での研究がもっと進んでほしいと思っています。

開発には時間とお金が必要なので、スポンサー、会社で言う役員ですが、仲間づくりが必要だと思っています。あとは、周辺分野の技術で融合する仲間が必要だと思っています。それから、一緒にやっていくためには信用してもらわなければいけないので、成功例が一つ必要だと思っています。

佐野先生からもお話がありましたが、システム思考、僕は顧客視点という言い方をしますが、うれしさを提供する感じがないと、なかなかうまくいかないと思っています。

異分野融合の観点で言うと、まだまだ仕掛けが足りないと思っています。困っているところまで、もっと踏み込んで議論できる場、そういうワークショップがどんどんあるといいと思います。

その一つとして、国の役割も重要だと思っています。例えば BEANS で産官学で共同研究をやっている。あれはとてもいい仕組みです。ただ、国の役割として、規模や期間は本当にこれで十分でしょうか。もっと技術が上がった人がマネジメントしなければいけないのではないかと。批判をするつもりはありませんが、お役人の方は、新しいプロジェクトを立ち上げるときにはすごく頑張りますが、だんだん尻つぼみになる、本当に成果が出るまで十分な期間をサポートしない、短期での成果を求める等の傾向があります。要素技術開発はどうしても時間がかかるものですから、それをきちんとサポートするのは国の役割ではないでしょうか。

ありがとうございました。

益 どうもありがとうございました。最後にほとんどのことがつながるように書いてあるので、このまま残したいと思います。川原さまに質問かコメントはございますでしょうか？

パネリストの先生方、これは言っておかなければいけない、言い忘れていたということはございますか。そう言いますと止まらないかもしれませんが(笑)。

質問者 僕から藤田先生に質問があります。異分野融合していくためには、T型の人や、周辺を見るような人が必要だと、先生は言われました。確かに、研究をやっているとI型になってしまって、そういう人が集まってもなかなか融合できないので、横に視線がいくような人を育てていかなければいけないのでしょうか。僕の会社でもそうではない人がいるのですが、どうやったら、そういうところに気づいてもらえるのか、何かアイデアがありましたら教えてください。

藤田 それは難しいかもしれません。でも、一つは楽しくないと駄目だと思います。昔、科学雑誌を読んで面白かった。そういう理科系少年に戻るような場所。それも異分野融合の仕掛けなのかもしれません。あまり現実の問題を突き詰め過ぎて、楽しむ余裕がないのはよくないので。そういうことを少し思い切ってプロモートしてみる。一度ラジカルにその根源まで戻ってみると、

物事がよく見えることもありますよね。だから、先端ばかりやらないで、もう少しみんなで余裕を持って見る。そうすると、何か出てくるような気がします。

門田 僕は川原さんに非常に同調しました。僕は開発も製造も両方経験したことがありますが、特性を出すのは1年ぐらいでできても、信頼性を確立したり、デバイスのばらつきをなくすには、5年ぐらいかかります。そっちのほうの技術者のほうが、実は企業では大事です。

江刺 先週、産学官連携推進会議で、内閣府の先生方にお話ししました。試作コインランドリーをやっている、会社の人があるわけですが、MEMSの量は少ないから、そのまま売ってもいいくらいにできてしまう。そういうときに、税金の問題などいろいろ解決して、どこで作ったから売っては駄目だとか、また作り直さないと駄目だとか、なるべくそんなことのないようにしなければならぬと思います。そのチップ自体は大して高くなくても、それを入れたシステムが意外と売れたり、そこから始まって大きい話になったりすることもあると思いますので。

益 何かと足枷（あしかせ）もまだまだあるということですね。

パネリストの先生方、あるいは会場からコメントがございませうでしょうか？

質問 私もメーカーにいた経験であえて質問します。周辺技術の底上げを産官学に任せる。それは、やってもらえれば一番いいのですが、そこまで任せますかという話があります。本来、企業というのはそれぞれのノウハウを蓄積してきていますが、技術が発展して、今はもうそれすら無理になっているのでしょうか。そういうところを産官学でやっていかないと駄目だという話になると、もっと大学のシステムを変えなければならぬと思います。現役の方の意見として、周辺技術の底上げが本当に必要なのか。それとも、例えば量産化でのファウンドリーを国がつくれればいいのか。あるいは、プロデュースするベンチャーキャピタルの会社も、それぞれが技術をもっと理解して、これとこれを組み合わせればいいのか、そういう話のほうがかっと必要なのではないかという気がします。

川原 周辺技術を大学とやるのかという話について。最近エレクトロニクス実装学会が始まりましたが、実装技術も学問的に体系化していくことができる分野だと思います。ある実装技術がこちらでも使えるということが、たくさんあると思っています。そういうところを体系化していく活動は、産官学でやれるのではないかと思います。特定のセンサーの一つの実装技術をやるわけではない、そういうつもりで言いました。

益 まだたくさん出てくると思いますが、最後に少しコメントさせていただきます。

実装という言葉が、最後にお二人から出ました。きょうは漢字でしか書いていませんが、ご紹介しておくと、実装は JISSOU という英語になっています。アメリカでは Package ですが、実装に相当する英語がなくて、JISSOU でつながる和製英語になっていることを、紹介しておきたいと思っています。この異分野融合も、先ほどのエレクトロニクス実装学会が入ってくるだろうと思

ます。それから、朝の講演で小柳先生は指摘されたと思いますが、きょうの中では、システム応用の話はほとんどなくて、和田先生のスパコンの話が出口として少しあっただけでした。システムの話がこれからはもっと重要になるのではないかと思います。

いろいろな方のお話をまとめてみると、自分たちの強みが何であるかを理解して、それがうまくつながるバルーンチェーンまでよく考えていると、必然的に異分野融合して、日本の産業力を強くする方向に自分の考えが向くような気がしました。

パネリストの先生方、きょうは本当にどうもありがとうございました。最後までお付き合いいただきありがとうございました。これでパネル討論を終わります。



# 日本学会議後援

## マイクロ・ナノ産業化シンポジウム

日時：2011年9月26日（月）15時から18時

場所：タワーホール船堀

参加費：無料

共催：社団法人電気学会

一般社団法人日本機械学会

社団法人応用物理学会

## 【趣旨】

この度、「第28回センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム開催期間に社団法人電気学会、一般社団法人日本機械学会、社団法人応用物理学会の共催で「マイクロ・ナノ産業化シンポジウム」を日本学術会議後援のもと開催いたします。本シンポジウムは、近年のマイクロシステム及びナノテクノロジー技術に焦点を当て、産業化の進展と課題について議論したいと考えています。「マイクロ」及び「ナノ」という言葉は、あらゆる技術階層と学問分野の修飾語として使われています。しかし、世界をリードするイノベーションを継続的に創出するためには、「新たな」日本の産業の仕組みと成長に対する横断的な取り組みと枠組みが人材育成、異分野融合の形として必要となります。また、活発な議論を展開できるように、各分野で活躍する研究者をお招きし課題を提供していただくとともに、その分野で活躍する若手の研究者の御参加をいただき議論を深めたいと思っております。多くの皆様の積極的な参加を期待いたします。

企画責任者 木股雅章（立命館大学教授） [kimata@se.ritsumei.ac.jp](mailto:kimata@se.ritsumei.ac.jp)  
益一哉（東京工業大学教授） [masu.k.aa@m.titech.ac.jp](mailto:masu.k.aa@m.titech.ac.jp)  
鈴木雄二（東京大学教授） [ysuzuki@mesl.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:ysuzuki@mesl.t.u-tokyo.ac.jp)

## 【プログラム】

- 司会 益 一哉（東京工業大学）
- 15:00～15:10 開会挨拶 北村隆行  
（京都大学教授 日本学術会議第3部会員）
- 15:10～15:35 電気学会特別講演  
「マイクロシステムと産業化」  
江刺正喜（東北大学教授 日本学術会議連携会員）
- 15:35～16:00 応用物理学会特別講演  
「シリコンフォトニクス展望」  
和田一実（東京大学 教授）
- 16:00～16:05 休憩
  
- 司会 橋口 原（静岡大学）
- 16:05～16:30 日本機械学会特別講演  
「DLC膜の産業応用」  
大竹尚登（東京工業大学 教授）
- 16:30～16:55 基調講演  
「RFデバイスの開発と今後の展開」  
門田道雄（(株)村田製作所 技術・事業開発本部  
門田研究室 室長）
- 16:55～17:20 基調講演  
「先端技術の産業化を加速するために」  
佐野睦典（イノベーション・エンジン（株）代表  
取締役）
- 17:20～17:50 パネルディスカッション  
「マイクロ・ナノの展開と異分野融合の課題」  
司会 益 一哉（東京工業大学 教授）  
パネリスト  
江刺正喜（東北大学 教授）、藤田博之（東京大学 教授）、  
和田一実（東京大学 教授）、大竹尚登（東京工業大学 教授）、  
門田道雄（村田製作所 門田研究室室長）、佐野睦典（イノベー  
ション・エンジン（株）代表取締役）、川原伸章（(株)デンソー）
- 17:50～18:00 閉会挨拶 木股雅章（立命館大学 教授）

# 講演予稿集

論文番号 GDJM-2011-01

電気学会特別講演

## 「マイクロシステムと産業化」

江刺正喜

東北大学 日本学術会議連携会員

本講演では、大学と外部の企業、研究機関との関係を中心に説明します。まず、MEMSの歴史を説明し、本研究室の開発経緯を説明します。次に、コラボレーションの例として、まず、ベルギーのIMECやドイツのフラウンホーファー研究機構との国際交流についてお話しします。今年、ベルギーのIMECから「Strategic Partner になってくれませんか」という打診がありました。アメリカではスタンフォード大学、ヨーロッパではローザンヌ工科大学が結んでおります。コラボレーションの重要なファクターは契約です。IMECとの協定では、東北大学とIMECで取った特許は共同で出願し、お互いに断りなくライセンスングできるという契約です。また、ドイツのフラウンホーファー研究機構とは、仙台市とフラウンホーファーの協定を結んでいます。また、フラウンホーファー研究機構のプリンガー会長は今年再来月に仙台にお越しいただきます。私の大学には客員教授であるゲスナー先生のスタッフが5人ぐらい常駐して活動しております。

次に、地元企業とのコラボレーションについて説明します。仙台に「メムス・コア」という会社を設立しました。ここでいろいろな仕事を引き受けてやっております。かなりいろいろな仕事が無駄に込んできています。一応、4インチと6インチのラインを用意してあります。

次は、我々の東北大学マイクロシステム融合研究開発センターを説明します。どのような状態で実施しているか？オモチャのようなラインとCMOSを作れる2インチのラインと、「試作コインランドリー」という、会社の人に来て作るラインを使っています。さらに、我々のラインはウェハー径が小さすぎることで、日本のMEMSは特にコモディティが弱いので、産総研には8インチのラインを作って「量産技術にしましょう」という形でコラボレーション体制を構築しています。試作コインランドリーは、ファウンドリと関連しますが、会社で量の少ないものを作るために設備投資をしていたのでは採算が合わない場合や、ファウンドリであまりうまくいかないというケースが多いので、そういう場合のために作った設備です。本当は自分がよく知っているので設備さえあれば自分でやりたいという場合が多いので、このような人に来ていただいて作っていただく。そのための4インチと6インチのラインを用意しています。最近、ユーザーの数が下がっていますが、これは地震が起きたためで、地震から復旧してからは前よりも参加者は増加し、100件くらい毎月実施しています。

我々のところの目的は半導体技術での開発に非常にお金が掛かるので、なんとか経済性での行き詰まりを打破したいというのがあります。1つはウエハーに乗り合いで集積化MEMSを作る方法です。いろいろな別の会社のものが乗ったままプロセスすることとか、コストやリスクを下げる。また、ヘテロ集積化によって回路以外のいろいろな要素を入れるという、これは結構難しさを伴いますが、そういうことをやって付加価値を上げる。多くの人が乗り合いで作るというのは、このプロジェクトで、A社やB社など競合しないメーカーが16社ほど来て一緒に進めています。当然ですが、大学の先生も加わって日々励んでいます。一つ例を紹介します。20年ぐらい前はうちでICを作っていました。当時、作れるトランジスタの数は1000個くらいでした。20年前でも会社ではチップの上に100万個作ることができました。その1000倍の差はいかんともしがたく、やっても非常にむなしい思いをしていました。しかし、なんとか論文を書くということで、例えば触覚センサーネットワークで2本の共通線に複数のセンサーを付けて、電源電圧を変調すると一つのセンサーが選ばれて、触覚に応じて電流を消費して、それを読むことによって、個々の力が分かる。これを一つ一つ読んでいくというのを作りました。しかし、実際には「これはダメだな」というのはすぐに分かりました。選んでいけば時間が掛かるからです。大学の残念なところは、このようにインプリメントしてみても、やはり論文のための研究で終わってしまうという悲しさがあります。現在は乗り合いウエハとして高度なLSIを用いたイベントドリブンの触覚センサーネットワークを開発しています。こういうものを作るときに、MEMSの部分とLSIは接合するのですが、それにはBCBというポリマーを使って接合しています。

この関係の仕事で会社と一緒にやってるものを紹介をしますと、C社は20年前ぐらいに来て、2軸電磁駆動光スキャナーというのを作りました。鏡が2方向にを向くようになっているものです。かなり開発に時間は掛かったのですが、光のタイムオブフライト、戻りまでの時間を計ることによって3次元の画像を作り出せるようになり、いろいろなところに使われています。例えばJRのプラットホームドアです。駅のホームで使用され、電車との間に物がなにかなどをチェックしています。また「モバイルのレーザープロジェクターを作りましょう」ということも手がけていますが、この場合には小さく安くなくてはならないので、2.5ミリぐらいに作ります。そして圧電の膜を付けて、圧電アクチュエーターにしています。そのためにMOCVDの装置を5年ぐらい掛けて開発し、今に至っています。

次は、最先端研究開発のプロジェクトで、産業技術総合研究所と取り組んでいるものについて説明します。本プロジェクトは、C社やD社などと一緒に、集積回路上のRFフィルターの研究を行っております。研究したものは、実際に、マルチバンドの携帯電話に使われています。また、MEMSの可変容量を付けて、周波数を可変にするものも作っています。このようなMEMSのLSIとの集積化にはいろいろな形態があります。例えば表面マイクロマシニングで作る場合には高密度なできる反面、LSIにダメージを与えないようにプロセスが制約を受けます。または、別に作った後に張り合わせる手法もあります。この手



法では、自由度があるが、高密度にはできないこと及び寄生容量などの影響を回避できません。

最後に、このような技術では設備をみんなでシェアするということが大事なことです。一方で、多様な情報にアクセスできることは重要です。そういう観点で、毎年いろいろな場所でセミナーを無料で開催し自由に交流できる機会を企画しています。今年は京都の立命館大学で開催させていただきました。今後の進め方として、日本の MEMS は実用につながったところできちんと基礎からつないで実施すべきと考える。

## 「シリコンフォトニクス」の展望

和田一実  
東京大学

本講演では、「シリコンフォトニクス」という分野について異分野融合の必要性の観点から歴史も踏まえ説明いたします。シリコンフォトニクス自体が実は、エレクトロニクスとフォトニクスを異分野融合することそのものです。

スーパーコンピュータを例にすると、トップの性能を持ったスーパーコンピュータの速度は、だいたい10年で3けたというものすごいスピードで速くなっています。10年で一けた性能が上がることについては、「ムーアの法則」で説明されています。「サイズがどんどん小さくなり、それに従って速くなる」というものです。また、ソフトウェアにより高速化も実現しています。「パラレルプロセッシング」という分野の発展により、現在まで、ずっと10年で2桁の向上が実現しています。LSIとソフトの限界が出てきたので、ここで登場するのがシリコンフォトニクスです。シリコンフォトニクスというのは、今LSIを作っているCMOS技術を使って光素子を作り、さらに電子の集積回路を集積化するものです。従って、いわゆる電子集積回路、LSIの上を光が走る、というものです。シリコンフォトニクスは、その基盤技術です。その結果、計算と通信が高速化されます。

さらに、重要なことは、光には色があることです。1本のファイバーの中にさまざまな色を入れて、最後にプリズムで分けてそれぞれの情報を取り出すと、色の分だけビットレートが向上します。たとえば100色の光をファイバーに入れると、1980年から2000年までの間に、光通信だけで5桁速度向上しています。この方法で非常に高速化が図れるという見通しが立ちました。実際に講演では、インテル社と共同研究した世界で最初の例を紹介する予定です。米マサチューセッツ工科大学(MIT)で行った研究で電気回路と光回路をシリコンチップ状に集積した内容です。

さて、シリコンフォトニクスの効果について説明します。まず、シリコンフォトニクス以前の光通信には波長多重方式があります。例えば、光が何本か入ったとすると、特定の波長だけが通過し、残りの波長は全部反射されて、必要な光を取り出します。すなわち、部品レベルで、フィルターをファイバーに接続していた訳です。次にNTTは、AWGという方式で部品を集積化しました。この技術は、集積回路ですから、非常に再現性よくものができて、しかも小さくなります。

シリコンフォトニクスを使った、光通信に必要なデバイスはこれまでにほぼ実現しています。光導波路、変調機、受光器、光源、フィルター、それから光ファイバーとチップを

結ぶというのが非常に重要な技術ですが、これまですべて実現しました。従って、次の展開が、今の世界の流れです。

次に、ゲルマニウムに関するデバイスについて説明します。ゲルマニウムは、光変調機、光受光器、それから光源に使われています。ゲルマニウムに関しては、いくつかの発見があります。まず一つ目が、そのゲルマニウムをシリコン上に形成すると、そこに引っ張りひずみが自動的に入り、その結果そのひずみが、0.02eV 程度バンドギャップを小さくすることです。

二つ目の重要なことは、ドナーによって間接遷移のバンド間を全部埋めてしまう、つまり N 型にドーピングするわけです。ゲルマニウムを使った電子デバイスの研究は非常に盛んに行われていますので、CMOS 技術に使える材料ということです。これによって、CMOS 技術でチップ上にレーザーが集積できることが示されています。

次に、光の課題について説明します。まず最初に、色は1色を使うだけなのです。せっかく光を使っているのに色を使っていません。従って今後さらに情報容量を上げることを考えると、チップ間あるいはオンチップにするに際しては、波長多重をなんとかチップ上に入れ込むことが最大の課題です。その御利益は、例えばビットパーセコンドで情報量を見ると、光を入れることで1000倍上がります。次の課題は、チップというのは室温のままではいてくれません。使えば熱くなります。対策として我々が考えているのは、温度変動を抑制することです。温度が変わるのですから、高い温度で固定して保持することはできません。あるいは波長のシフトもひずみによって保証してやる。すなわち、ここで MEMS との出会いがありました。MEMS 技術を使って作ったシリコンの片持ち梁（はり）を想像して頂きたい。梁を上から押すと、梁の付け根の付近に、計算例で6%という大きなひずみが入ります。実際に作った MEMS 技術は適用できる大きさです。5ミクロン幅で数十ミクロンの長さを持った片持ち梁です。応力として1%入れると、バンドギャップが1.1あったシリコンが、0.9eV ぐらいまで変化してしまいます。これはものすごく大きな変化です。逆に、圧縮でもシリコンの場合は同じようなことが起こります。ということで、実際に、今のシリコンの片持ち梁を上から押しながら、付け根の部分のフォトルミネッセンスを計るという実験し、確認した結果を得ました。

最後に、シリコンフォトニクスというのは、CMOS 技術を使って光素子を電子回路に集積する技術基盤であり、通信や計算の高速化、低電力化、低コスト化というものを、各国がゴールとして国家プロジェクトで研究開発が進んでいるところです。実際に一部は、産業展開して、製品も我々が手に取れるところに来ています。今後については、是非光波長多重を導入し、課題として、波長可変と波長固定の二つを、ひずみの制御で実現することを、我々の研究のゴールにしています。そういった中では、応用物理学会の集積化 MEMS 技術研究会に期待したいと考えております。



## 「DLC 膜の産業応用」

大竹尚登

東京工業大学

本講演では、「DLC 膜 (ダイヤモンド状炭素膜)」について、その実態について説明します。このダイヤモンドライクカーボンとは、比較的新材料ながら機械的な分野で産業として順調に発展している材料です。まず最初に DLC について説明します。次いで、産業利用について説明します。マイクロ・ナノという観点から、「サブナノ膜」ということについて説明します。次に、このサブナノ膜の話題として、機械的な応用で保護膜があります。この保護膜について説明します。削れないとか、耐摩耗性を有するといった、保護膜を対象にしたときに、普通はミクロンオーダーで量産されています。最後に、「産業のための分類とまとめ」について説明します。

カーบอนは同素体が多いということで、非常に悩ましい材料です。しかも、アモルファスになったときに一体どう定義するのかという問題をはらんでいます。 実はいまだに DLC の定義をいえる人は世界で1人もいません。SP<sup>2</sup> の周期結合は、周期性はあります。しかし、TEM による観測結果がありません。このような不可思議な材料です。いまだに謎の多い材料です。

作り方は非常に簡単です。炭化水素のイオン、あるいは炭素のイオンを使い、プラズマ化します。しかし、DLC 自身の知見も不十分であり、その形成過程も不明な点が多く、現在、この問いに明快な回答を提供できる方はいません。

次に応用について説明します。これほど分からない膜でも、応用され実績が多い膜はありません。機械学会の立場から、機械系の話を中心に説明します。応用の代表例として1番に挙げられるのは、機械部材です。後に自動車関連も説明いたしますが、機械部材への応用ということになります。その理由は、材料に対して DLC は 0.1 程度の摩擦係数を示します。この値は優れた値です。材料に対して 0.1 の摩擦係数というのは恐らく DLC だけの特性であり、これは非常に低い摩擦係数です。なぜこのような低い摩擦係数を示すかについては、モデルについてさまざまな提案があります。

もう一つは耐摩耗性を示すことです。従って、機械部材としては非常に優れた材料です。削れなくて摩擦係数が低いので、これを表面にコーティングすると機械の寿命は非常に長持ちするというメリットがあります。耐凝着性については、アルミの凝着を起こしにくい特性があり、ドリルに使われたりしています。生体親和性とガスバリア性については、次

に、説明します。

このガスバリア性というのが非常に面白く、たとえば。ペットボトルを斜めにして見ると黄色に見えるものがあるかもしれません。これは DLC がコーティングされています。その理由は、20 ナノメートルほど DLC をコーティングしておく、酸素の透過量が 10 分の 1 程度になります。これは非常に魅力的です。酸化を抑えて味を維持できるので、ものすごく効果的です。また、生体親和性があるということにも関連しますが、当然毒性があったら使えないので、毒性がないこと、ガスバリア性があるということ、もう一点は、リサイクルが可能ということです。PET (ポリエチレンテレフタレート) に対して、CH 系のフィルムなのでリサイクルがしやすいという、この 3 点からも DLC はガスバリアとしても非常に期待されています。

自動車部品としてはエンジン、駆動系に採用されています。カムフォロワの部品だけで燃費を 2% 削減しています。これは大きな効果です。その理由で、「ものづくり日本大賞」を受賞しています。それを実現するために、DLC コーティングだけではなく、DLC とグリセロール、油の組み合わせが鍵だったようです。DLC の表面官能基修飾というのが重要ですが、それと油の組み合わせで、さらに進展するものと考えています。すなわち機械の世界も機械だけではないということが言えます。

次に、機械工学的に表面設計ということについて説明します。この分野は現在多くの研究が盛んに行われています。従来機械系のコーティングというのは、奇麗に均一に着けるかということが課題としてありましたが、そういう方法ではなく「テクスチャーを着けてコーティングしましょう」という考え方です。セグメント構造を用いることにより、曲げに強いことは想像できるかと思います。曲げ応力を溝のところで吸収するので曲げに強いということと、不要物があつたときにこの溝にトラップすることが可能ということです。その結果、このセグメント構造のコーティングができています。

次に、「膜はどこまで薄くできますか」ということについて説明します。題材としてハードディスクを例にして説明します。10 ナノメートル以下の場合に耐摩耗性を確保できるかということです。実際に 2nm 以下でも DLC の機能は維持できており、実際にハードディスクに使われています。

最後に、「DLC はいろいろ使える」ということで、今、ISO 化を目指して日本とドイツと韓国で議論されている最中です。この DLC に関しては、ヤング率が高い領域について実用化が今現在実現しているのは日本だけです。アメリカもドイツも韓国も追いついていません。そういう意味では、我々は自信を持っていますし、追いつかれないようにと思っています。私自身はこの DLC の今後に期待したいと思っていますし、マイクロナノの産業化、そしてマイクロナノの産業化に DLC が貢献できれば非常にありがたいと思っている次第です。

論文番号 GDJM-2011-04

基調講演

「RF デバイスの開発と今後の展開」

門田道雄

((株) 村田製作所 技術・事業開発本部 門田研究室 室長)

本講演では、RF デバイスの弾性表面波ディプレクサの開発についての説明と、今後の課題について解説します。携帯電話やスマートフォンでは、デュプレクサが使われています。従来は誘電体で作られサイズが非常に大きかったのですが、我々は弾性表面波を用いて小型化を実現しました。携帯電話のアンテナのすぐあとに受信側と送信側のフィルタをもつデュプレクサが使われていますが、温度特性のいいデュプレクサが要求されるようになってきました。特にアメリカの PCS 方式では送信側と受信側の周波数が非常に近いので、温度によってデュプレクサの周波数特性がずれると必要な信号が受信できない、送信できない等の問題が生じます。そういう理由で温度特性がよいものが要求される訳です。一方、全世界向 W-CDMA 方式用携帯電話でも、温度特性が良いと温度変動により周波数が変化しないので使用するすべての温度範囲で挿入損失が良くなります。この挿入損失の差が、携帯電話の消費電力、つまり電池がどれだけ長持ちするかに影響します。例えば、0.3dB 挿入損失が良好だと 10%程度電池の寿命が延びます。このように、いずれの方式の携帯電話でも、周波数特性や挿入損失に対し、温度特性のよいものが要求されるようになってきました。

従来、弾性表面波デバイスはリチウムタンタレートやリチウムナイオベートの基板の上にアルミニウムの電極を設けた構造になっていますが、それらの温度特性は悪く、温度に対して周波数はマイナスの方向に下がります。それに対して SiO<sub>2</sub> 薄膜はプラスの方向に周波数が上がる方向の温度特性を示すので、これらを組み合わせると温度特性が良くなるということは理論的に知られていました。デュプレクサは弾性表面波共振子を梯子状に並べたラダー型フィルタで構成されます。この弾性表面波共振子では、反射器の電極指での弾性表面波の反射を使用しており、10%程度以上の大きさの反射係数を必要とします。そのため、波長の8%くらいの厚さのアルミ電極を使用します。その素子上に温度特性がよくなるまで SiO<sub>2</sub> 膜を形成すると、弾性表面波共振子およびラダー型フィルタ共に、特性がおおきく劣化しました。従来構造の、基板上に厚いアルミ電極が形成された構造上に SiO<sub>2</sub> 膜を成膜するとアルミ電極と同じ厚さの大きな凸部が形成されます。この凸形状がそれらの特性劣化の原因と推定し、解析や実験を行いました。その結果、予想通り SiO<sub>2</sub> 膜を形成することにより形成された凸部の存在が圧電性の低下や弾性表面波の伝搬ロスの増大を招き、特性が劣化することがわかりました。

そこで、上記の凸部をなくし SiO<sub>2</sub> 膜表面を平坦化したり、SiO<sub>2</sub> 膜の膜厚をいろいろ変化させたりしたのですが、所望の特性を得ることができませんでした。SiO<sub>2</sub> 膜上を平坦に

すると反射器の反射係数が全然取れていないためです。すなわち、弾性表面波共振子のすだれ状電極から出ていった表面波が反射器で反射していなかったのです。密度の小さいアルミの代わりに高密度電極を使用してはどうかと考えました。アルミ電極の場合8%の厚さのアルミを使っていますが、高密度電極の金で2%、銀で4%、銅で5%の厚みで圧電性の最大値を取り、アルミの8%の場合に比べ、その圧電性も、反射係数も大きい値が得られることがわかりました。アルミの8%に対して、高密度電極では薄い電極厚みでも十分な圧電性と反射係数が得られ、SiO<sub>2</sub>膜表面上の凸部も小さくて済むわけです。そこで、金、銀、銅電極担当者を割り当て、開発を進めました。高密度電極の場合、SiO<sub>2</sub>膜表面上の凸部が小さいため、そこそ良好な特性が得られました。さらに、念のために、SiO<sub>2</sub>表面を平坦化したところ、十分な反射係数を持ち、弾性表面波の伝搬ロスも小さいため、さらに良好な特性が得られることがわかりました。それらの信頼性試験をやりますと、銅の信頼性特性が一番良いことがわかりました。普通オリンピックやワールドカップでは金や銀のほうが良いのですが、われわれの場合は銅が一番よかったということです。PCS方式用には基板としてリチウムタンタレートを使用しました。従来の弾性表面波基板であるリチウムタンタレートでデュプレクサを作成した場合、その送信側と受信側共に、温度特性が悪いため高温時や低温時には周波数が大きくシフトし、必要な信号が受信できなかつたり、送信できなかつたりします。それに対して、新しく開発した構造のデュプレクサはほとんど周波数がシフトせず、温度が変化しても良好な送受信特性を実現できます。温度特性を従来の弾性表面波基板の10分の1にまで改良できました。一方、従来の誘電体に対しては、面積比40分の1、体積比は150分の1の小形なデュプレクサを実現しました。

一方全世界向けW-CDMA方式はPCS方式に比べ広い帯域を要求されるので、上記のリチウムタンタレートを使うことが不可能です。そのため、W-CDMA方式では圧電性の大きいリチウムナイオベートを使用しました。ここでも平坦化SiO<sub>2</sub>膜と銅電極を使用し、温度特性のよい小形なデュプレクサを実現しました。挿入損失の温度特性が良好なため携帯電話の電池寿命を10%向上できました。これも、PCS方式向けと同じサイズの小型化を実現しました。

これらの構造を用いた小形なデュプレクサは上述のアメリカ向けのPCS方式や全世界向けW-CDMA方式以外にヨーロッパ向けのバンド8にも使われています。このバンド8も上述と同じサイズの小型品です。

電極膜厚に対して、アルミより高密度電極のほうが音速の変化が大きいため、電極厚みばらつきに対し、周波数ばらつきが大きいという生産上の課題がありました。それに対しては、周波数調整方法を確立し、その課題は解決しました。

世界における我々のデュプレクサのシェアや売り上げは非常に高いのですが、3年間で部品の値段が3分の1に下がりました。これは部品メーカーにとって非常に悲しい宿命です。車や電化製品はモデルチェンジすれば値上げが可能ですが、部品は小型化したら取れ個数が増えるため余計安く生産できると思われ、値上げできないという、非常に悲しい運命に



あります。

次に、今後の表面弾性波の課題について説明します。課題は2つあります。1つは高周波化で、もう1つは携帯電話のマルチバンド化、あるいはコグニティブ無線対応です。高周波化に関しては、なぜ難しいかという点、表面波で高周波化するためには、例えば携帯電話の第4世代は、3.4から3.6GHzといわれていますが、現在使っているSAWの基板の音速は、速くてもせいぜい4000m/s程度です。周波数は音速とすだれ状電極の幅で決まり、その幅に限界があるため高周波化が難しいのです。電極の幅を狭くしないで音速を速くする方法も、高周波化の1方式なので、この音速を上げる方法として、音速の速いラム波などを検討しています。

もう一つのマルチバンド、コグニティブ無線対応ですが、日本やヨーロッパではマルチバンドに対応して多くのデュプレクサが使われています。現在、それらのデュプレクサはスイッチで切り替えています。使用されているデュプレクサが多いため、これらのデュプレクサを使用しないシステムを考えている研究者もいると思います。そのシステムが実現できると、我々、部品メーカーにとっては死活問題です。そのシステムの実現前に、1つのフィルタでその機能を持たせたチューナブルフィルタの開発が必要です。現在、世界最先端プロジェクトで東北大学の江刺先生や田中先生のグループと一緒にその開発に取り組んでいます。コグニティブ無線は300から6GHzのうち使用していない周波数を自由に使用しようとするシステムです。出来るだけ少ないチューナブルフィルタでその周波数をカバーしたいという要望があります。ラダー型フィルタの共振子に直列と並列に接続した可変コンデンサの容量を制御して、それぞれの共振子の共振と反共振周波数を可変にすることで、チューナブルフィルタが実現できます。広い可変幅を実現するためには、広帯域共振子と可変幅が大きくQの高い可変容量が必要ですが、それらの実現がなかなか難しい課題なのです。近い将来この課題を克服したいと考えています。

論文番号 GDJM-2011-05

基調講演

## 「先端技術の産業化を加速するために」

佐野睦典

イノベーション・エンジン（株）

本講演は、技術の事業化・産業化の進め方について説明をしていきます。

まず、このことを考えるにあたり、産業構造がこれまでどのように変化をしてきたのかを考えたいと思います。戦後の日本では、ほぼ 15 年おきに新しいリーディング産業が生まれてきました。まず、戦後直後には、衣食住産業が立ち上がり日本産業の復興を果たしました。60 年代に入ると、自動車やエレクトロニクスといった輸出産業が台頭し外貨を稼ぐと共に成長をリードしていきました。70 年代半ばからは第三次産業の時代に入り、流通・サービスの成長企業が相次いで出現してきました。さらに 90 年代に入ると情報通信革命の名の下にソフトウェアやネットベンチャーが台頭し、日本経済のリード役となりました。

これらのように、次々に出現したこれまでの成長産業を振り返ると、それらの全てはアメリカから技術やアイデアを取入れたいわゆるモノマネ型産業創出ということになります。

さて、21 世紀に入ってキャッチアップも終わり、外に目を向けてもすでに受入れるべき産業はありません。方向性を失った現在の日本にとって重要なことは、日本の強みを活かして次の成長産業を創出することです。その強みとして日本が世界に誇れる重要な資源は「技術」であり、それを活用した「先端技術産業」こそが、今後の日本経済の成長をリードする産業と言えます。ただ、一口に先端技術と言っても、技術は手段であり「何のために」という目的の部分が抜けています。今後の世界経済が直面している環境・エネルギー問題や情報化による世界同時化、長寿高齢化などを解決するソリューションとしての先端技術産業を目指すべきです。

次に、日本の技術の強みを「産業のポジショニング」の観点から説明します。主要産業を左から、材料-デバイス-プロダクト-ネットワーク-ソフトというように並べた場合、1950 年頃の世界はアメリカが真ん中のプロダクトを頂点にして全ての産業を牛耳っていました。その後、1970 年代中頃から日本が、低コスト、高品質を武器にプロダクト分野を奪取していくと、アメリカは右側のソフトやネットワークの方へ意図的に重点を移し、米国産業の再構築を果たしていきました。1990 年代に入ってから韓国や台湾、さらに 2000 年代からは中国が低コストを武器に、日本が君臨していたプロダクト分野に入ってきました。これに対して日本は、アメリカとは反対のデバイスや材料の方へとシフトしていきました。ただ、日本の場合は材料・デバイスに立脚するという戦略的な方向付けをしないまま、韓国、台湾、中国の台頭に対して押し出される形で材料・デバイスの方に逃げてきている印象があります。また、すでにデバイスの多くについても韓国・台湾が侵攻し、今や

材料分野のみの牙城を守っているような状況です。

日本が今、取るべき戦略は何か。それは、まだ強みが残っている材料分野について、その強みを圧倒的なものにすることです。勿論、材料を造るためには製造装置と計測装置が不可欠なので、装置分野も含めて考えます。従って、この材料・装置分野の足場を固めると共に、二つの方向への反撃に打って出ることが必要です。

まず第一の方向づけとしては、デバイスの失地回復戦略です。新しい材料技術を駆使して、圧倒的に差別化されたデバイス開発戦略を展開することです。

第二には、プロダクト分野の奪回です。ただ、単純な「プロダクト」への回帰はコスト競争に巻き込まれるだけなので、プロダクトの上位概念に位置する「プロデュース」分野にチャレンジをするべきです。プロダクトは、材料やデバイス、ソフトウェアなどを組合せて製品にしたもので、ほとんどの場合、その付加価値は材料やデバイス、ソフトウェアがとり、プロダクトは単にアSEMBリをするだけの低付加価値分野になっています。それに対してプロデュースは、新しい課題やニーズに対するソリューションを提供する目的で、新たな材料、デバイス、ソフトウェアやネットワークを再構築し直すことです。また、単にプロダクトを提供するのではなく、常にプロデュースはソリューションという価値自体を提供し続けます。

幸い日本は、材料、装置という強力なコアコンピタンスを有しています。これを武器に、様々な課題を解決するためのプロデュースに乗り出していくことが求められます。このプロデュースについて、微細化技術との関係で話を致します。プロダクトの立場ではムーアの法則に則り直線的に微細化を追及して行く、ということになります。それに対してプロデュースの観点では、微細化の目的である情報の高密度集積を達成するためにはどのような方法があるのか、ということになります。そのためには、半導体積層化・3D化など微細化にこだわらない新しい技術を活用してソリューションを実現するということになります。すなわち、実現したいことに応じて、これまでのプロダクトにこだわることなく様々な技術や製品を自由自在に開発し、組合せて新たな価値をプロデュースしていくことが重要です。以前のように、一つの製品で完結する時代ではなくなっており、このようなプロデュース能力が問われていると思います。

次に、産業を構成する様々な組織が、一つ一つどのように関わっていくべきかということの説明します。10年ほど前までであれば、大企業が「研究から産業化まで引き受けてやっていく」という自負と能力を持っていたと考えます。しかし、現在の激動する世界において、大企業でさえ単独で勝ち抜いていくのは困難です。世界の大企業は、M&Aを活用したり政府との一体化活動により巨大化しており一社だけでは端から競争にならないことが多く出現してきています。特に、世界的な課題になっている環境、エネルギー、情報技術などについては、国家戦略を基に大企業、公的機関とベンチャー企業などがそれぞれ融合、連携しなければ道はないと考えます。

それでは、ベンチャーが事業化、産業化を立ち上げる活動は、どうあるべきかというこ

とを説明します。実は10年ほど前に、製造業の中でも先端技術ベンチャーブームがありました。ところがその後ブームが去り、「ベンチャー企業は存在感がなくなってきた」という声をよく聞きます。しかしながら実はそうではないのです。これは、というベンチャー企業群たちの相当数が収益化してきております。ただし、それらの多くは黒字化した段階で安定化しつつあります。そこで、それらの企業がアメリカの成功ベンチャー企業のように急成長を続けるためにはどうすればいいのでしょうか。研究、開発型企業にとって試作開発ができたとしても、そこから量産化を成功させて高収益企業になり、事業化、産業化を実現するにはどうすればいいのでしょうか。実はこれには三つのポイントがあります。一つは、技術の先端化を追うのではなく、マーケットの立場で見て「何を解決するのか」という「ソリューション」を戦略の中心に据えることです。第二に、生産技術の強化です。研究開発型ベンチャーの場合、新しい製品の開発を重視する一方でコスト低減や品質管理にはそれほど力が入っていません。ただ、最終的に採用されるかどうかは、低コスト・高品質・短納期の製品ですので、R&Dと同様の力を入れる必要があります。三つ目は、経営力者の能力です。先端技術ベンチャーの場合、極めて高い機能を発揮するものの一方でいろいろな弱点を持っていたり社会的に受け入れられないケースが大変多くあります。このような様々な困難を同時並行的に解決してゆくのは優れた経営者の能力です。特に、構想力、行動力、交渉力が重要です。

以上の三点を備えることにより、日本においてもダイナミックな先端技術ベンチャーが相次いで成長してゆくことが期待されます。