

# 理研ニュース

理化学研究所

## 電子ビーム励起 プラズマエッチング装置の開発

固体・液体・気体につく物質の第4の状態であるプラズマが半導体集積回路の生産現場で使われている。最も理想的なプラズマ発生法を用いることが高い性能を持つ製造装置につながる。「電子ビーム励起プラズマ」と呼ぶユニークなプラズマ発生法を用いるドライエッチング装置を紹介する。

### ドライエッチングとは

半導体のエッチング(食刻)は、超微細な回路をシリコン基板に直接的に刻み込む技術である。エッチング工程には、プラズマ(電離気体)を用いるドライエッチングが一般的である。反応性に富むガスのプラズマを発生させてその中に基板を置く。反応性ガス(例えば塩素)のプラズマからイオンを加速して基板にぶつけ、保護膜のマスクでおおわれていない表面を化学反応により削り取り、微細なパターンを形成する。イオンをノミ代わりに用い基板にミクロン以下の微細な回路を刻むわけである。

では、どれほど細かい加工が原理的に可能であろうか?次々世代の半導体デバイスを作るには0.3~0.4 $\mu\text{m}$ の幅の細い溝を掘ることが必要とされている。

これは従来のエッチング技術の限界に近いが、本当に技術の限界であろうか。この溝の幅を3 $\mu\text{m}$ と仮定すると、エッチングに使うイオンの大きさは2~3 $\mu\text{m}$ の仁丹の粒ほどしかない。これはプラズマをうまく制御しさえすればさらに桁違いに細い溝を精度良く掘ることもできることを意味している。

### 理想的なプラズマ発生法

エッチングの際にはプラズマ中のイオンは基板との電位差により加速されて表面に衝突する。加速は基板表面上の約0.1 $\mu\text{m}$ の境界層(イオンシース)を通過するとき起こるが、この間にイオンが他の粒子と衝突するとその運動方向が乱れ加工精度が低下する。そのため、微細なパターンを精度良くエッチングで刻むには、低いイオン温度を持つプラズマを1 mTorrという低いガス圧中でつ

くる必要がある。半導体の生産に使われるシリコン基板の直径が現在の6インチから8インチへと今後大きくなるので、エッチング用プラズマの直径も大きくする必要はある。さらに、今後のエッチング装置はシリコン基板を1枚ずつ処理する枚葉式装置であるため、高い面内均一性を保ちながら加工速度は従来より高いことが要求される。即ち、従来より低いガス中でより高い密度のプラズマを大体積で生成する技術が求められている。これに応えるためには効率の高いプラズマ生成法を開発することが不可欠である。

プラズマの生成法にはいろいろあるが、適度なエネルギーを持つ電子を気体状の分子に衝突させて電離させる方法が原理的に最も優れている。電子は80から100ボルトの電位差で加速されたときが最も効率よく分子を電離してイオンにすることができる。従って、この電位差で加速した大電流の電子ビームを用いれば良いのである。しかし、このような電子ビームができないことは「常識」と考えられてきた。電子源から電子ビームを真空中へ引き出す場合には、電子自身のつくる空間電荷により後続の電子が追い返されてしまうので、100ボルト程度の低い加速電圧では微々たる電流値しか得られないからである。

電子ビームをガス中に引き出す場合にはいささか事情が異なる。この場合には電子ビームによってつくられたプラズマ中のイオンの一部が電子源に引き寄せられ、電子の空間電荷を中和するように働き、全く「非常識」な程の大電流の電子ビームを加速できる。この電子ビーム源は、普通の気体放電ではプラズマを生成しにくい1 mTorr前後の低いガス圧のときでも、安定に高密度のプラズマを発生できる。また、電子ビームの加速電圧とビーム電流を独立に制御できること、プラズマ発生室のガス圧を変化させても電子ビームの運転にはほとんど影響しないこと等の大きな特徴を持っている。つまり、電子ビームが大電流で引き出せるだけでなく、運転の基本パラメータであるビームのエネルギー・電流・ガス圧を全て独立にコントロールできるのである。我々はこれを「電子ビーム励起プラズマ」(EBEP: Electron Beam Exci-

ted Plasma) 方式と名付けて開発し、その有用性を実験的に示してきた。この「非常識」な電子ビーム源を用いることは、実は「理想的」なプラズマ生成法なのである。

### 大口径ドライエッチング装置の開発

現在、ドライエッチング装置の開発の中心は64メガ(一メガは百万)ビットダイナミックRAM(64MDRAM、記憶保持動作が必要な随時書き込み読み出しメモリ)の製造装置開発である。この装置は、従来より広い面積である8インチ基板を均一に処理するだけでなく、基板に損傷を与えない、速い処理速度、より細かい加工が出来るなど技術的課題が厳しいため、一部の研究者は全ての目標性能を備えた装置の開発は困難とみなしているほどである。これまでの研究の主流は、電子サイクロトロン共鳴(ECR)法と呼ばれるプラズマ発生法であった。ECR法では低ガス圧で高密度プラズマを生成できるが、磁場中であるため一様な性質の大直径プラズマを作ることが容易ではない。特に基板面上のプラズマの電位が均一にならないことが大きな問題であった。

我々は、EBEP方式を用いて従来の技術の壁を突破した。EBEP法では、プラズマの発生に効率の良い100電子ボルト前後の低エネルギーの大電流電子ビームを磁場の無い領域で反応性ガスと衝突電離させるため、大きな体積にわたって一様な高密度プラズマを発生させることが可能である。図1に本エッチング装置の概念図を示す。反応室外部に設けた逆磁場コイルにより、電子ビーム源の磁場と逆方向の磁場を印加し、反応室内の大部分においてはほとんど無磁場の領域をつくった。さらに反応室の中心部に電子ビーム散乱用の永久磁石を配置し、電子ビーム源から入射される電子ビームを反応室内で効果的に広げている。反応室内周辺部には多極磁場を設置し、プラズマを保持している。電子ビーム源にはAr、反応室にはCl<sub>2</sub>ガスを導入し、反応室のガス圧を0.5~3 mTorrと低くして実験を行った。図2は8インチ基板と同じ直径にわたってプラズマ密度の不均一性が±2.5%以下という極めて均一なプラズマが実現されていることを示している。また、プラズマの空

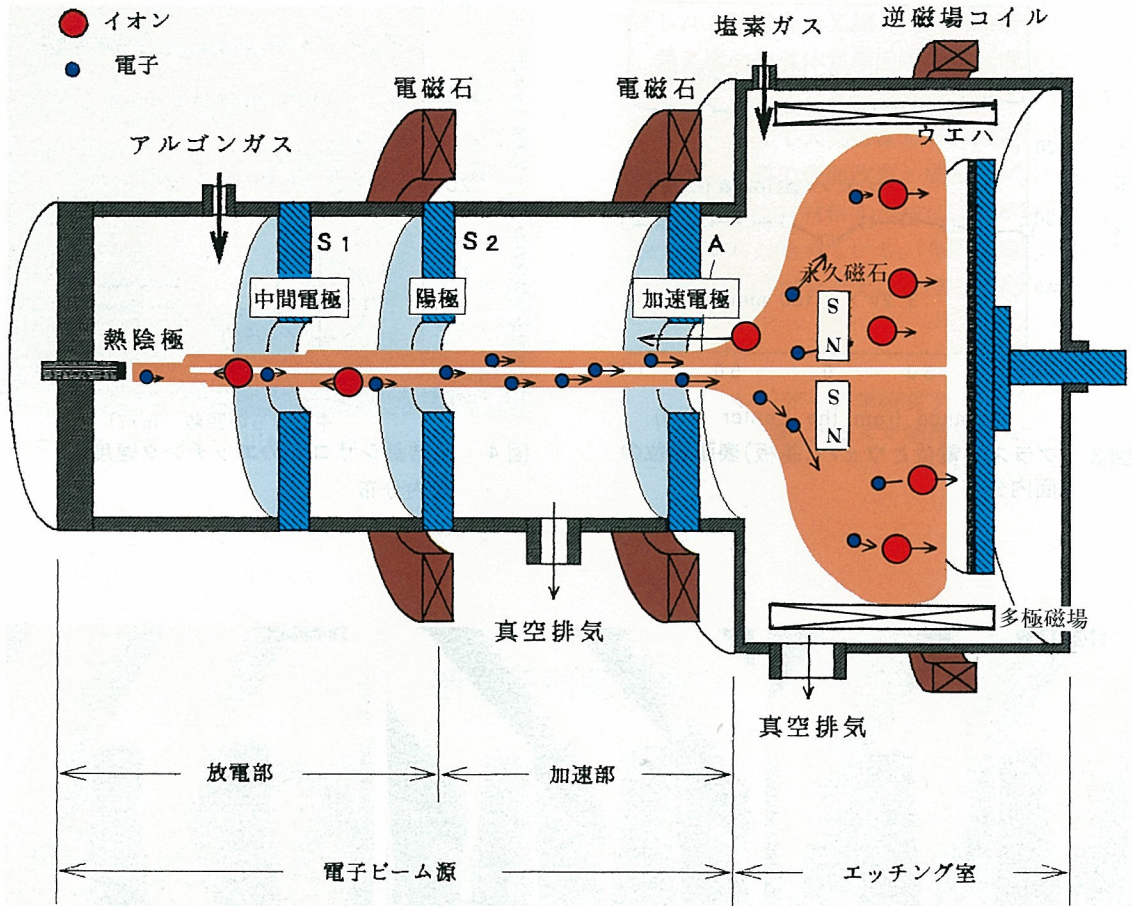


図1 EBEPエッチング装置の概念図

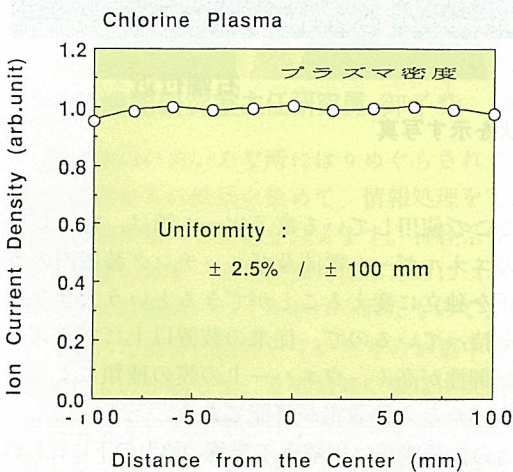


図2 イオン電流密度の面内分布

間電位のみならず浮動電位も図3に見られるように変動幅が約 $\pm 2$  Vと高い面内均一性が得られている。この浮動電位の高い均一性は、本装置を用いればゲート酸化膜の絶縁破壊を発生すること無くエッチングが可能であることを意味している。この装置の開発によりドライエッチング装置に対する全ての課題が解決されることになる。

本装置では、プラズマから基板に入射するイオンのエネルギーは10~20電子ボルトであるため、イオン衝撃による基板結晶の損傷は問題にはならないだけでなく高選択性のエッチングが出来る。Cl<sub>2</sub>ガスを用いて多結晶シリコンのエッチングを行った結果、エッチング速度の高い選択比（対フォトレジスト40、対SiO<sub>2</sub>150以上）で高い異方性を

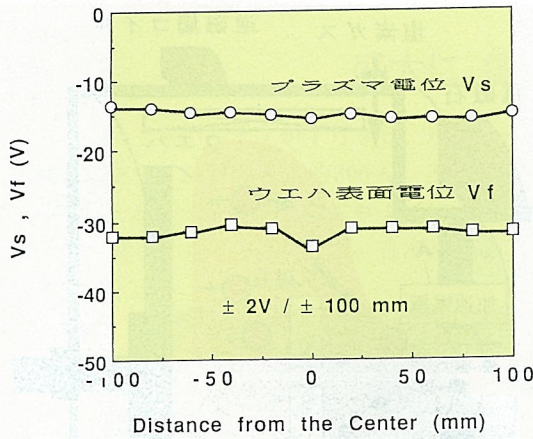


図3 プラズマ電位とウェハ(基板)表面電位の面内分布

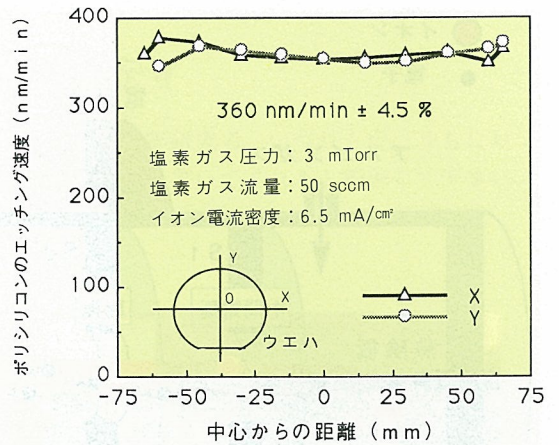
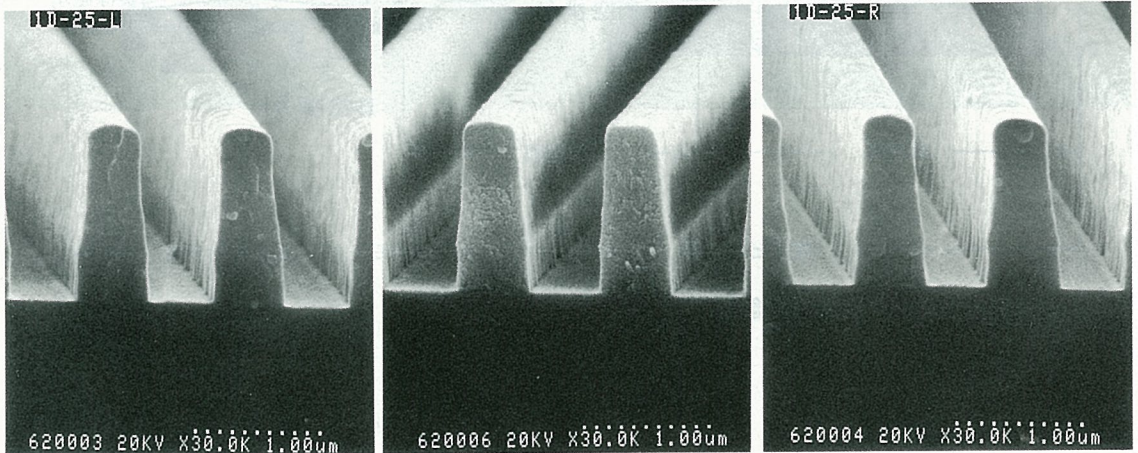


図4 多結晶シリコンのエッチング速度の面内分布



左端付近

中心付近

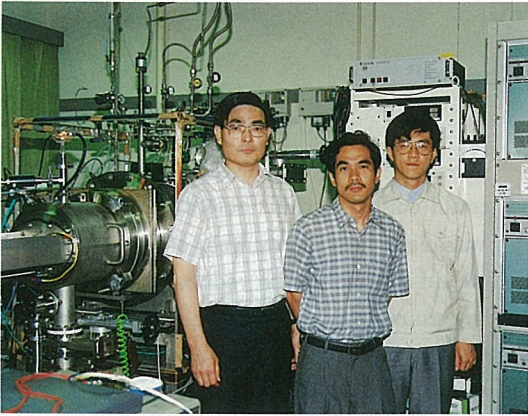
右端付近

図5 ウェハ各所の多結晶シリコンのエッチング断面形状を示す写真

保ちながら360nm/minという高速エッチングが容易に得られることが示された。図4と図5はそれぞれエッチング速度の基板面内分布、基板上の各場所における多結晶シリコンのエッチング断面SEM写真の例である。これらの実験結果は、EBEPエッチング装置が今後の半導体ULSIのドライプロセスに必要とされる性能を十分備えていることを示している。

ここで使用している電子ビーム源は、電子ビームのエネルギー、電流及びエッチング装置内のガス圧を独立に変えることができるという大きな特徴を持っているので、従来の装置以上にプラズマの制御性が高く、ウェハー上の膜の種類によってきめ細かな条件設定が可能である。

この装置開発は川崎重工工業㈱の協力の下に行われた。プラズマが、クリーンなエネルギー源として



左から原、浜垣、龍治(川崎重工業KK)

期待される核融合やX線レーザーの研究だけでなく、最先端の半導体集積回路の生産現場にも不可欠とされるようになったことはプラズマ物理を専門とする者として大変喜ばしい。最近ではフロンの分解処理、材料の表面改質・成膜、ダイヤモンドをはじめとする新材料の合成にもプラズマが重要な役割を果たし始めている。今後も地球環境や人間のためにプラズマを大いに役立てたいものである。

レーザー科学研究グループ  
(兼)プラズマ物理研究室

研究員 原 民夫

## 新主任研究員紹介



遺伝子機能研究室主任研究員 御子柴 克彦

脳は体のいろいろな所にはりめぐらされている感覚器官からの情報を集めて、情報処理をした後、末梢の効果器へと情報を伝えます。神経系はもとも私達の体を一定の状態に保つために(ホメオスタシスの維持)つくりあげられたもので、体のいろいろな部分に散在していたものが集中化してきたのが脳です。その意味で脳は中央集権化の典型ともいえます。はじめは単なる情報処理器官であったものが今では自分の意志、創造能力をもち、より快適な生活のためには自分自身が育く

まれてきた環境をもかえる存在にすらなっています。脳は人間そのものの人格の代名詞にもなっています。脳の働きは中央集権制と深くかかわっている筈です。脳の細胞数の飛躍的な増加(量的増加)が、細胞相互作用に基づく質的転換がおきたためと考えられます。脳とは本当に不思議です。脳の形と脳の働きは密接に関連しているために、まず脳が出来上ってくる過程を明らかにすることが非常に大切であると思われます。私は今まで、脳の形と働きがおかしいミュータントマウスを解析しながら、何がおかしくさせる原因かを調べてきました。それにより何が脳の形成と働きに大切かがわかります。これまでに正常動物の解析のみでは得られなかった多くの原理が明らかとなりました。脳を理解するには単一の手法では不十分です。

これまでは、遺伝子、蛋白質、組織・細胞、固体レベルで研究を進めてきましたが、これから物理、化学、工学の各分野の多くのご専門の先生方のいる理研で、脳を含めたダイナミックな新しい学問体系がつくりあげられればすばらしいと考えています。



## "A Supprising Chance"

SCIENCE BRINGS

by Dr. Waltraut Schwarze

If any person asked me three years ago, if I could imagine living in Japan for over two years, I had roared at such question. It was absolutely clear for me that never I would have such a possibility. Because, I would not get any permission from my government to go abroad during my working life time. (I had unsuccessfully tried to obtain such permission with an invitation to work in the U.S.A. and also to visit my 79 years old relative.) Perhaps, I would get such permission after finishing my working life time. But I would never have enough money to pay such an expensive trip and stay. Now I am certainly here for more than two years.

I am sure, you have guessed that I come from East Germany. I am a graduated female biochemist, engaged in the investigation of the enzyme cytochrome P-450, which is ubiquitous in all living organisms, localized in mitochondrial and microsomal compartments. It has important functions in the metabolism of steroid hormones and foreign compounds such as drugs, carcinogens, pesticides and others. In the Institute of Molecular Biology of the former Academy of Sciences of the German Democratic Republic in Berlin-Buch, I realized immunological, fluorescence spectroscopical and quantumchemical investigations mostly on reconstituted cytochrome P-450 enzyme systems. After the change of power in my country in 1989, the above mentioned Academy of Sciences should be closed according to the Treaty of Unification to be effective on the date December 31, 1991. A new scientific institute should be founded in stead of the old one. It had been unclear for

more than two years, which of the personnel could continue their scientific work; but it was clear that the number of staff members would drastically be reduced. I knew that my chance to stay would be very small; until that time I could not go abroad, I reported none of my own scientific results in international congresses, I had no joint work with anybody from abroad, and therefore, nobody knew me. How should I do to improve such bad situation? I was to go outside by using any of new possibilities! Then I was looking for outside offers, and chose the grant of the Science and Technology Agency of Japan from among three possibilities.

Adding to continuing my investigations on cytochrome P-450, I learn new scientific methods to live in another continent (not only in another country) with another culture, to try to learn Japanese speaking and writing, and also to understand as much as possible thinking and feelings of Japanese people. During my spare time, I am engaged in making any of Origami figures and in visiting beautiful parks and museums. And here in your country, I am learning to feel as a German which I have never felt. In the GDR I felt no nationality. I think no Japanese can understand this fact. I see here, that any of Japanese people is proud of his country and its achievements, isn't it? My national feeling started to develop with the process of wall opening. That was a long stepwise act experienced mostly on "my" part of boarder wall in Berlin-Mitte, only two minutes from my apartment. But this is another story and should not be told here.

## US TOGETHER

## 素晴らしいチャンス (要訳)

ベルリン・フンボルト大学卒、東ドイツ科学アカデミーで学位取得。趣味は音楽、楽器はバイオリン、ブロックフレーテと歌。折紙も大好き。

もし、3年前に誰かが「日本に2年以上住んでみることを考えられる？」と私に尋ねたら、私はそれを一笑に付したでしょう。私が仕事をしている人生の間に外国に行く許可を政府がくれる筈がなかったので、私にとっては、そのような可能性などありえなかったのです。私が定年を過ぎれば許可がおりたかも知れませんが、それでも外国に行ったり滞在したりするだけのお金を持てるはずもありませんでした。

それが、今では、ここに2年以上滞在できることになったのです。

もうお分かりだと思いますが、私は東ドイツから来ている女性生化学者です。ベルリン・ブッフにあるドイツ民主共和国（東ドイツ）の旧科学アカデミーの分子生物学研究所で、還元チトクロームP-450酵素系について免疫学的、蛍光分光学的、量子化学的研究を行っていました。1989年の我国での政権変革以後、この科学アカデミーは、1991年12月31日施行の統一条約に従って閉鎖されることになっていました。旧アカデミーに代わって新しい科学研究所が創られるはずでしたが、この間2年以上、旧メンバーの中の誰が研究を続けられるのかは不明でした。一つだけ明らかだったのは、人員が大幅に削減されるということでした。私は、自分の残れるチャンスが非常に少ないことは知っていました。というのは、それまで外国に行ったことはありませんでしたし、自分の研究成果を国際的な会議で発表したこともありませんでしたし、また外国の誰とも共同で研究したこともありませんでしたので、

誰にも知られていなかったからです。こんな不利な状態をどうしたら変えられたでしょうか。それには、新しく出てきたチャンスを活かして外国に行くことでしょう。そこで、外国からの招待を捜し、3つあった中から日本の科学技術庁の招待を選びました。

こうして、私はチトクロームP-450の研究を続けられることになりました。それだけではなく、新しい科学的方法も学んでいます。つまり、別の文化を持った別の大陸に住み、日本語の読み書きを覚え、日本人の考え方や感覚をできるだけ理解しようとしています。私は、少しでも自由時間があると、折り紙でいろんな物を作ってみたり、素晴らしい公園や美術館に行ってみたりしています。

ここに来て初めて、私はドイツ人であることを感じるようになりました。東ドイツでは、自分の民族性を感じたことはありませんでした。この感覚は日本人には分からないと思います。日本人は誰でも、自分の国と日本人の努力の成果を誇りに思っています。そうではありませんか。私にとって民族的感情とは、壁が開かれるという過程に至って初めて発生し始めたのです。このことは、ベルリン・ミッテにある私のアパートから2分位のところの国境の壁を、私が「自分」の中で、長くゆっくりと経験してできあがった感情なのです。でも、これは違う話ですから、別の機会にお話したいと思います。



## 盛大に、国際親善パーティ

恒例の七夕パーティが7月9日、理研食堂で開かれました。参加者は約300人、その半数は外国人とその家族で30カ国におよぶ賑やかさ。

魅力的なインド女性研究者、日本語の達人な

ザイールの青年研究者、いづれも近いうちにお国の話を本誌に書いてくれると約束して下さいました。



## 理研の主な公開特許

### PH04-043941 エマルジョンの転相評価方法及び装置

生体高分子物理研究室 伊達 宗宏  
その他 1名

〔目的〕供試体を挟んで可動、固定の2つのプレートを相対的にしゅう動させ、固定プレートに加わるしゅう動方向と可動プレートの速度との比からエマルジョンの転相を評価することにより、エマルジョンの転相過程を客観的に評価する。

### PH04-048232 接触面圧分布の測定方法

素形材工学研究室 池 浩

〔目的〕圧力が転写された感圧箔の凹凸表面に照射した光の反射光を検出して、凹凸表面の光の輝度分布を測定し、光の輝度分布から接触面圧分布を測定することにより、感圧箔の微視的凹凸表面の全般的な光の輝度分布から能率的かつ高精度な2次元接触面圧分布を得る方法。



## 理研シンポジウム（8月）

テ - マ

担当研究室

開催日

Unstable Nuclei and Particles as Probes in Physics and  
Chemistry (UN3PC92)

核化学研究室

8 / 31  
~9 / 2

## スポットニュース

## 動摩擦安定化制御システムの開発

動物や鳥が、地球表面という重力環境の中でその位置を自由に移動させるには、なかなかのご苦労というか技術的な進歩が必要だったにちがいない。カタツムリがゴキブリのように素早く移動できないのはなぜか？それは足が無いからだ（ムム……）。その足とは技術的に見ると「摩擦を軽減して、少ないエネルギーで身体の移動を可能にするための器官」である。

このようにして、動物たちが足や翼を身につけた延長に、現代の機械の摩擦軽減のための技術（潤滑）がある。足は車輪（転がり接触部品）にひきつがれ、翼やヒレは流体潤滑という技術にひきつがれた。ハードディスクのヘッドは1000分の1mm以下の空気膜をのこしてディスクの表面すれすれを飛ぶ。

さて、もうすこし足という器官を潤滑学的な目でとらえると、足は関節という器官と一体となって初めて車輪の役目を完璧に果たす。

関節のしくみは、要するにスポンジに粘液を含ませたようなものが骨の間にはさまっていて、目方がかかるとスポンジの間から粘液を絞りだして流体潤滑膜を維持し摩擦を減らす。これは、つまり関節構造と関節液が織り成す自然の摩擦の安定化制御機構である。

それと全くおなじ構造のものを機械的に形成して、潤滑油を関節液の代わりに使用したものが、自動車のエンジン回りに使用されているすべり軸受けである。油という粘性流体はその圧力流動特性に自然の安定化制御構造を備えてい

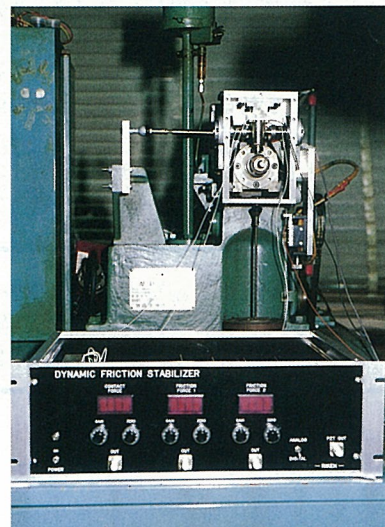
る魔法の液体である。

これらの潤滑機構は大変に有効なものであるが、油は現代では、3Kの元凶の一つと思われる嫌われているし、使わないですめばいろいろと応用範囲もひろがる。

現在開発中のシステムは、少し強引だが油の持つ圧力を緩和して安定化するという機構を圧力センサーとアクチュエーター、電子回路を組み合わせたアクティブ制御によって実現させ、動摩擦の安定化をはかるものである。

そのため油を嫌う超精密機器や真空、電気接点などに対しては摩擦を安定化させ、摩擦損傷を防止したり騒音を減衰させたりして油使用と同等の効果を期待できる。アクチュエーターの特性など面倒なこともあるが、制御さえかければ程度はともあれ安定するという結果が得られており、期待がもてそうである。

（表面界面工学研 河野、研究基盤技術部 大竹）





## 私の出会った interestな人



理研に来てから丸2年が過ぎましたが、この間、入所した時には想像もつかなかった様々な経験をしました。思いがけずに結婚もしてしまいましたし、天皇陛下と直接お話しする機会もありましたし、何の業績もないのにテレビに出演してしまったという事もありました。なかでも今回は、大変面白い人と知り合った事と（英語でinterestという意味がぴったりだと思いますが）、その時の思い出について書いてみたいと思います。

その人は私が入所してから3ヵ月位後に理研に来て、約9ヵ月間在所していました。始め伊藤先生（フロンティア研究システム長）が「フランスからDr.Kadoが来ます」と言われた時には、まさか映画「ベスト・キッド」のカラテの先生そっくりの人が来るとは想像も出来ませんでした。もちろんカラテとは縁もゆかりもない、素晴らしい生理学者でした。しばらくして、幸運にも私は、Dr.Kadoと一緒に実験をする事になりましたが、元来生化学出身の私に、根気強く電気生理学のABCから教える事は、たやすい事ではなかったと思います。もちろん英語で教えてくれるわけですが、「雰囲気わかる」程度の語学力の私でしたから、時々Dr.Kadoが「日本人はよくわからなくても、わかった様な返事をするが、わからなかったらわかる迄質問する様に」と言われても、自分の言いたい事の半分もいや一割すら伝えられない状態でした。それでも、一日14時間近く、ほとんど毎日の様に一緒に実験し、食事をし、時には遊びに行く事で、大分意志の疎通がスムーズになって来ました。おそらく私の語学力のレベルに気づいてくれたためと、多少Dr.Kadoの英語に慣れたためだと思えます。

実験室では、現在進行形の実験や、今後の仕事の進め方に関してはもちろんの事、昔の実験での成功談や苦労話が、毎日毎日尽きることがありませんでした。また、食事やコーヒープレイクの際には、仕事の話のみならずアメリカやフランスでの生活に関して、特にワイン等お酒の話は印象に残っています。

Dr.Kadoは、もちろん私の電気生理学の分野での恩師である事は言うまでもありませんが、その他にも様々な事を教え

てくださいました。例えば、料理。Dr.Kadoは両親が日本人のせいか、日本食は大好きだった様ですが、焼きサバに大根おろしをごちそうになった時は少しびっくりしました。また、ステーキは、フライパンで焼かず、サイオイルの様に牛肉にオリーブオイルを塗り、魚焼き用のグリルで焼くとおいしい等、実演込みで教えてもらったものです。

たまには、私も何か日本について教えてあげようと、川越や温泉等に行きました。民族博物館等に陳列されている、古き良き時代の骨董品を見るのですが、私たちは、さっぱり見たこともなく説明に詰まっていると、Dr.Kadoは、すかさず流暢な英語で説明し、どちらが日本人なのかとあきれてしまい、結局私が出る幕はなくなってしまったものでした。

教えられた事は他にもたくさんありましたが、Dr.Kadoが、研究、生活、人生何に関しても積極的であると同時に、良い意味で楽観的だった事は、今まで根拠の無い楽観論者などと悪口を言われて来た私にとって、安心の材料となった事は言うまでもありません。

この様なinterestな人と知り合う事が出来た事は、私の理研における研究生生活の中でも、特筆すべきものと思っております。その後も一年に数ヵ月のペースで理研で研究していますので、皆様、理研内で見かける機会も多いと思います。

長い研究生生活、人生の中には、多くの苦労もあった様ですが、その様な話も、決してグチる様子はなく、他の楽しかった事と同じ様に話すDr.Kadoに、普通の人とは違う何か卓越したのを感じました。



温泉に向うDr.Kado(右端)と私(左端)

フロンティア思考ネットワーク研究チーム  
基礎科学特別研究員 安島 綾子