

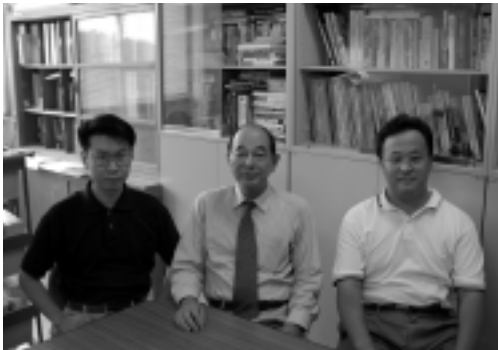


In Laboratory Now

研究室訪問 2

ミクロの世界の機械たち

下河邊研究室～精密工学研究所



左から、進士 助教授、下河邊 教授、秦 助手

近年、我々の使用する機械はますます高密度化、高性能化し、それに伴って機械に使われる部品もますます精度が高く微小なものになっている。こうした流れの中、非常に小さなものを自在に操作しようとしている人々がいる。

東京工業大学の附属研究所である精密工学研究所に属する下河邊研究室では、マイクロマシンに関する研究や、半導体の製造には欠かすことのできない技術である「超精密位置決め」に関する研究など、微小な世界を扱う様々な研究がなされている。



MEMSの新材料

皆さんはマイクロマシンという言葉からどのようなものを想像するだろうか。一般に、マイクロマシンとはmm単位以下の微小な機械を指す言葉で、もしこの技術が実用化されれば、様々な分野に大きな影響を与えるだろうと考えられている。

例えば医療現場では、体内の患部に投薬を行う場合、薬剤を血流にのせて患部に働かせなければならぬ。すると、薬剤が健康な部分にまで作用してしまうことにより、副作用が生じてしまう。ここでもし薬剤を直接患部まで運ぶことができるマイクロマシンが開発されれば、健康な部分への薬剤の影響を最小限に抑えることができるため、副作用に苦しめられる人は劇的に減ることだろう。これ以外にもマイクロマシンには様々な応用例が考えられるが、実際にそれらのことが実現するのはまだまだ先の話で、今はまだその基礎の段階を研究しているような状況である。

現在、一般に研究されているマイクロマシンは、大きく二つに分けられる。一つは従来の機械の部品や全体を小さくし、微小機械化したもの。そしてもう一つがMEMS (MicroElectro-Mechanical Systems) と呼ばれるものである。

MEMSとは、半導体の製造技術を利用して基板上に作られるものを指す。これは、同じものを多数作ることができ、機械要素とエレクトロニクスを容易に組み合わせることもできるという利点を持つ。現在、マイクロマシンの研究はこのMEMSに関するものが主流となっている。東工大でもMEMSに関する研究が盛んに行われており、すずかけ台キャンパスの創造研究棟にはMEMSやMEMSの材料となる薄膜を作るために、真空加工システム室という日本で唯一の機械系専用クリー



写真1 真空加工システム室

ンルームが設けられ、多数の装置が設置されているほどである（写真1）。

こうした環境の下で、精密工学研究所に所属する下河邊研究室でもMEMSの研究が行われている。ここの研究で特徴的なのはMEMSの材料として金属ガラスという合金を使っていることだ。

従来、MEMSの材料には半導体の材料として一般的なシリコンが用いられてきた。しかし、この物質には黒鉛と同じように、特定の方向からの力に対して層状にはがれやすいという特性があるため、機械部品の材料としてはあまり向いていなかったのだ。そこで目をつけたのが金属ガラスである。この物質は常温では普通の金属なのだが、加熱すると400 程度で水飴のように柔らかくなり、非常に加工しやすくなるという特性を持つ。

この特性だけでも材料物質として適している金属ガラスだが、これを使うに当たってもう一つ下河邊先生が着目した点がある。それは、金属ガラスがアモルファス、つまり結晶構造を作らない物質であるということだ。普通、機械材料として用いられる金属などの物質は、何らかの結晶構造をとるようになっている。このような物質の結晶構造は、ある程度の大きさの物体を作るときには殆ど何の影響も与えない。しかし、非常に小さな物体を作るとき、結晶構造の影響が無視できなくなるのだ。それにはいくつか理由が考えられるが、



写真2 薄膜を作るためのスパッタリング装置

その一つとして結晶構造の不均一性がある。物質を意図的に綺麗に作らない限り、殆どの場合の一部に欠損した結晶などが混ざってしまう。こうした不均一な部分が混ざった物質は、どんな特性を示すのか予測が困難となるのだ。その点、アモルファスだと非常に小さなものを作ろうとするときも結晶構造の影響がないため、ある程度の大きさを持つ物体の特性と殆ど変わらず、マイクロマシンの材料として都合がよい。このように、金属ガラスはマイクロマシンの材料として非常に優れている。下河邊研究室では金属ガラスを薄膜化し、その特性を利用して今までにないような微小な部品やマイクロマシンの動力である、マイクロアクチュエータの研究、開発が行われている。



金属ガラスを用いた微小部品

では具体的にどのようなものが下河邊研究室で研究、開発されているのか見ていこう。まず最初に紹介するのは、金属ガラスの優れた加工特性を

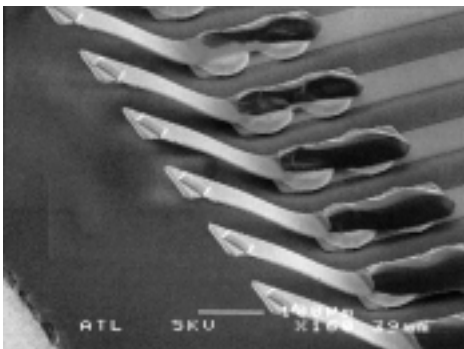


写真3 集積化三次元マイクロプローブ

利用して形作られている集積回路検査用プローブである（写真3）。これは写真のような端子を数万個並べ、集積回路の検査機器に利用することが考えられている。このプローブの特筆すべき点は、先端の綺麗な曲線にある。この曲線部分の形成は、約400 程度で加工しやすくなる金属ガラスを用いているからできたものである。

また、下河邊研究室では上下に動くマイクロアクチュエータも作られている。その一つとして、ディスクから光情報を読み取るレンズの上下の動きを制御するためのものがある。現在記録媒体として用いられている光磁気ディスクはディスクを回転させて、レンズを用いてデータを読み書きしている。このとき、ディスクは高速で回転しているため中心から遠い所ではレンズが空気の圧力で

浮き上がってしまうのである。この浮き上がりをなくすことができれば、更なる記憶容量の向上を望めるのではないかとということで開発しているのだ。もしかしたら将来、私達の使う光磁気ディスク装置などに下河邊研究室で開発されたマイクロマシンが使われるようになるかもしれない。

さらにユニークで興味深いのは、蚊取り線香を上下に引き伸ばしたような形をしている円錐ばね型マイクロアクチュエータである（写真4）。このアクチュエータは金属ガラスの薄膜を渦状に切り、加熱して柔らかくして持ち上げて冷却することで作られる。このアクチュエータの特徴は、基板面に垂直に、世界でも類を見ないほど大きな振幅で上下運動をするということである。MEMSは基板上に作られるため、平面的には複雑な形状を形成できても、基板に垂直な方向にまでその構造を広げることは難しいとされていた。そして、その動きも基板面上を基板面に平行に動くものが主流だったのである。こうした点において、このアクチュエータは非常に画期的なものなのだ。

このマイクロアクチュエータには色々な応用例が考えられている。最もわかりやすい例は、これをディスプレイ上に並べ、動かして点字のようにするというものだろう。つまり、これを利用すればある面上に様々な点字の文章を表示させることが可能となるのである。これを携帯電話などに取り付けることで、目の不自由な人でもメールなどのサービスが利用できるようになるだろう。

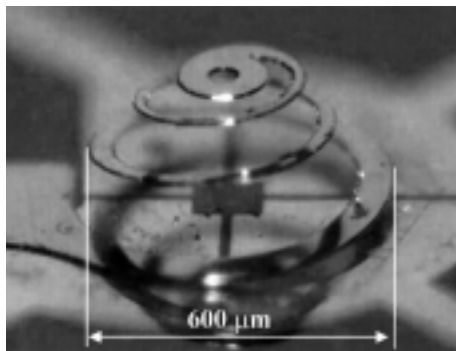


写真4 円錐ばね型マイクロアクチュエータ



摩擦を利用する位置決めを目指して

近年、半導体デバイスは非常に高密度になっている。こうしたものの製造過程では、基板上に色々なものを配置し、焼き付ける作業が行われているのだが、このときにきちんと所定の位置に所定のものが配置されていないければ製品は正常に動作しなくなってしまう。そうした理由から、これらの過程ではものを動かしたときの目標位置からの誤差を数nm程度にまで抑える必要が出てくるのだ。このようなことを実現させる技術が、下河邊研究室でも研究されている「超精密位置決め」である。

一口に「超精密位置決め」と言っても、それを実現するためにはいくつか解決すべき重要な問題があった。最も重要な問題は、距離を正確に測らなければならないということである。目標とする位置までの正確な距離が測定できなければ、正確な位置決めなど不可能だからだ。現在、nm単位の距離を測定できる装置は何種類が存在するが、下河邊研究室ではレーザー干渉計という、光の波長を利用する装置が使われている。これを使うことによって、0.1nmオーダーという精度での距離

の測定が可能となっている。

距離が測定できたところで、次に重要なことは摩擦の問題である。摩擦がある状態では、力を入れすぎれば目標から行き過ぎてしまい、力を弱めすぎると手前で止まってしまうという具合になるため、制御が非常に困難となる。そのため、超精密位置決めを行うためには摩擦をできるだけ小さくしなければならぬと考えられてきた。そこで、超精密位置決めの研究では物体を浮上させるなどの方法で摩擦をなくそうとする研究が数多く行われ、摩擦がない状態でのnmオーダーの超精密位置決めはすでに可能となっている。

ところが最近になって、手間のかかる摩擦をなくす作業を行わずに、摩擦がある状態のままでも超精密位置決めが可能なのではないかと考えられるようになってきた。下河邊研究室では、この「摩擦がある状態での超精密位置決め」を実現すべく研究が行われている。

「摩擦がある状態での超精密位置決め」が可能なのではないかと考えられるようになった背景には、最近知られるようになったある現象がある。

通常、我々は摩擦力に打ち勝つのに十分な力をかけないと静止している物体は動かないと考える。しかし、摩擦力には打ち勝てないような小さな力をかけたときでも物体は僅かに動いていて、力を抜けばまたもとの位置まで戻ってくるという、まるでばねがついているかのような挙動を示す現象があることがわかってきたのだ(図1)。この現象は物体の接触面での弾性変形や接触面に凝着した油分や水分が原因なのではないかと言われているが、はっきりした原理はまだわかっていない。

「摩擦がある状態での超精密位置決め」の方法としては、次のようなものが考えられている。すなわち、まず目標の大体の場所まで物体を移動させておいて、その後僅かな力を加えることによって物体が目標とする位置まで動くよう微調整、その場所で物体を固定するというものだ。しか

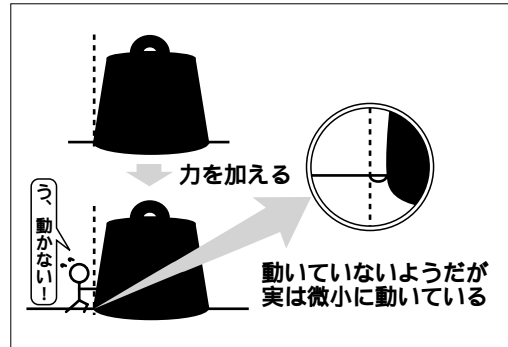


図1

し、微小な力を加えたときの物体の動きは非線形の挙動を示すため制御するのが難しい。これを実現すべく、現在下河邊研究室では研究が続けられている。



誰にでも簡単に使える技術に

ところで、nmオーダーとまではいなくても、従来より高い精度での位置決めを行うことが可能となれば、今よりも研究・開発の幅が広がることは明らかであろう。位置決めを行うためには、物体の位置を制御するためのコントロールプログラムを作成することが必要不可欠なのだが、実はこれはそう簡単なことではない。コントロールプログラム作成のためには、物体の物性や環境を解析しなくてはならない。こうしたことを行うためには豊富な経験が必要となってくる。そのため、今まで位置決め技術は大学や大企業の研究者以外の人にはなかなか使えるものではなかった。

そこで、下河邊研究室では誰にでも簡単に位置決め技術を利用できるようなコントロールプロ

グラムを自動的に作成してくれるソフトウェアを開発しようとしている。このソフトウェアを使えば、組み立てた装置とコンピュータをつないで数回の簡単な実験を繰り返すだけで、位置決め技術が利用できるのだ。面倒な準備のための実験や高度な制御の知識を必要とせず、いつでも、だれでも、どこでも、精密位置決め技術を使えるようにする、を合い言葉に、現在下河邊研究室では実験とシミュレーションが繰り返されている。もしこれが実現されれば、様々な所で今までは一部の人にしか使えなかった超精密位置決めなどの技術が使えるようになり、町工場や中小企業の可能性をさらに広げることとなるだろう。

あるものを研究するときには、それが何に使えるのかははっきりと見通してから研究するべきである、と考える人もいるだろう。しかし、下河邊先生は、大学の研究にはすぐ世の中の役に立つ研究は半分程度で良いと言う。今役に立つものばかりを研究していると、後で役に立たなくなる。だから、そういう意味で言うとうすぐに役に立たないものの、将来何に役に立つのかわからないけれども、

やっておかなければならないと思うような研究も必要であると下河邊先生は考えている。

最後になりましたが、お忙しい中取材に応じていただき、写真等の資料を提供して下さった下河邊先生を始めとする下河邊研究室の皆様、この場を借りてお礼申し上げます。

(曾我部 豪)