



より高性能の超音波モーターを

—— 上羽研究室～電子システム専攻 ——



上羽 貞行 助教授

私たちの日常生活に密接に関わっている“音”。しかし一口に音といっても高い、低い、大きい、小さいなど実に様々な音がある。

ところで、皆さんは音とはいったいどんなものなのか考えたことはあるだろうか。音はある周波数をもった弾性振動であって、人間の聞きとれる音の範囲は通常20～20000Hzといわれている。この範囲内の音を可聴音と呼んでいるが、実際に存在する音には範囲外の周波数を持ったものがある。例えば、「なますが動いたときは地震の起こるまえふれ」と昔からいわれるが、これは地震のとき

に、人間には聞きとれないがなますには聞きとれる周波数をもった音が発生しているためである。

このように、音には人間に聞こえるものとそうでないものがあるが、人間には聞こえない20数KHz以上の音波を一般に“超音波”と呼んでいる。

今回は、この超音波をおもにエネルギーの方面へ応用されている精密工学研究所の上羽貞行助教授の研究室を訪ね、超音波工学のあらまし、超音波モーターの仕組みや実用化などについて話をうかがった。



ソナーの研究から始まった超音波工学

超音波の研究は、1912年4月14日に起こったタイタニック号の沈没事故がきっかけで始まったといわれている。この事故はイギリス客船タイタニック号が、カナダ沖を航海中に氷山に衝突して乗客乗員2201人中1490人もの命を失ったというものである。「航海中に海中の障害物を見つけられたら……」といった考えからソナーの研究が始まり、この時に生まれたのが現在でも用いられている超音波探知機である。これが超音波工学の幕明けとなったのだ。

そして現在では、超音波の研究には大きく分けて通信（情報）的応用と動力（エネルギー）的応用の分野がある。ここで、前者は超音波のパルスエコーなどで物質の計測や性質を測定する分野で、後者は超音波を当てて振動させた物質などを使って超音波のもつエネルギーを利用しよ

うとする分野である。また、この動力的応用の分野のことを特に“強力超音波”と呼んでいる。

上羽研究室では、これまで強力超音波という研究分野で研究を行ってきたが、今年からさらに人と超音波との関係についても研究したいという考えから“ヒューマンウルトラソニックス”という観点から研究を推進している。では、実際に上羽研究室ではどのような研究が行われているのだろうか。

通信（情報）的応用

この分野の研究で上羽研究室が力を入れているのは、弾性定数や密度が連続的に分布する傾斜機能材料^{*1}の測定である。これは、結晶に超音波パルスを加えて、そのときの音波の反射や透過の度合を測定し、これらの情報から内部の分布を推定する

逆問題の一つで、傾斜機能材料が設計どおりできているのか、あるいは欠陥があるかどうかを調べるものである。

また最近では、人間の体など生体組織の硬さを超音波の持つ直流的力“放射圧”を利用して測定しようという研究もはじめている。この例として、肝硬変の診断について挙げてみよう。普通肝硬変の診断をするとき、医者がお腹のあたりを押して硬いなと感じたら「あなたは肝硬変です。」と宣言する。しかし、これはその医者の長年のカンから生まれたものなので、担当医によって微妙に硬さの度合が違ってくる。そこで、どの医者にかかっても同じ診断を受けられるような基準となるものが必要になってくるが、上羽研究室では超音波を使ってこのような基準を作ろうとしている。

このほかには、超音波の伝導システムについての研究がある。従来超音波振動はまっすぐにしか伝えられなかったが、これを光ファイバーのようにflexibleに伝わるようにする伝導システムを開発している。

動力(エネルギー)的応用

この分野の中で最も力を入れているのは超音波モーターで、上羽研究室の研究テーマの約6割を占めている。超音波モーターの特徴として第一に挙げられるのは、騒音がないということである。また普段良く使われている電磁型モーターは、電源を切っても慣性力で一定時間回りつづけているが、超音波モーターは電源を切るとすぐに止まる。現在超音波モーターは、CanonのEOSのレンズや新都庁のブラインドなどで実用化されている。超音波モーターの詳しい仕組みなどについては後に述べることにする。

また超音波溶接と呼ばれるものもある。超音波溶接というのは、まず

2つの物質をかさねて上からホーン*2で広範囲に拡大した超音波振動をあてる。すると、物質同士の摩擦熱と分子の自己発熱とで1/1000秒単位で溶接ができるというもので、プラスチックの溶接はほとんどこの方法で行われている。身近なものでは、自動車の非常停止板(赤色の三角形の形をしたもの)があげられる。

このほかで超音波振動を使ったものとして、洗浄機や加湿器などがある。洗浄機はメガネ屋などでよく見かけるが、水槽の下から超音波振動をかけると汚れがとれるというものである。また、加湿器は図1のように超音波振動子でゲートを作り、片側に水を送ると霧が作られるという仕組みである。

このほかにも、

- ・歯医者で歯石をとるときに、超音波振動を加えて治療時の痛みをやわらげる
- ・血栓や結石などに超音波振動を加えてそれらをこわす

など医療へ応用したものもある。

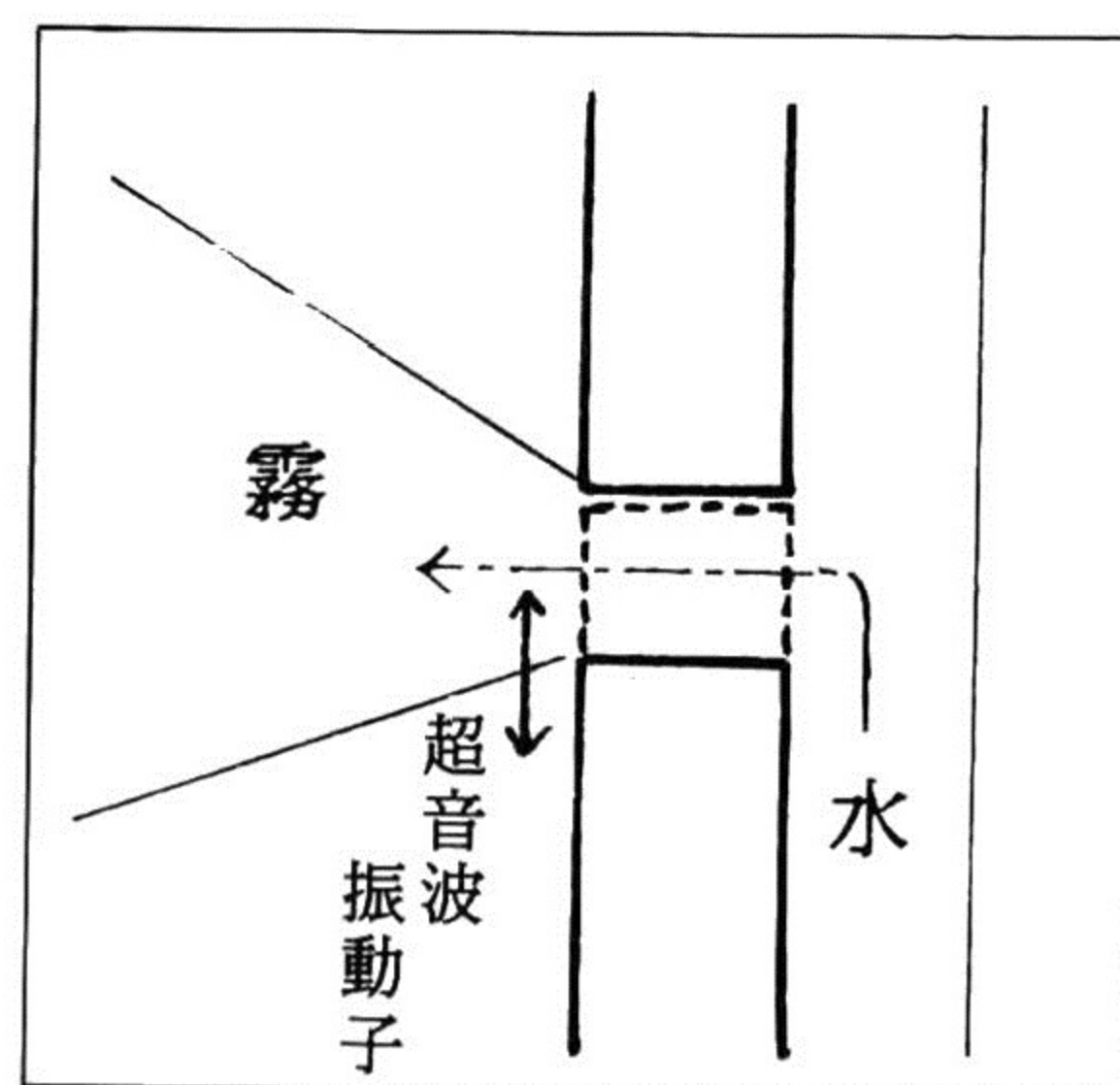


図1 超音波加湿器の構造

*1 傾斜機能材料

ある物質から別の物質(例えばセラミックスから金属)へ性質を連続的に変化させた材料。

*2 ホーン

振動子の振動振幅を拡大させるもの。スピーカーのらっぱのようなもの。

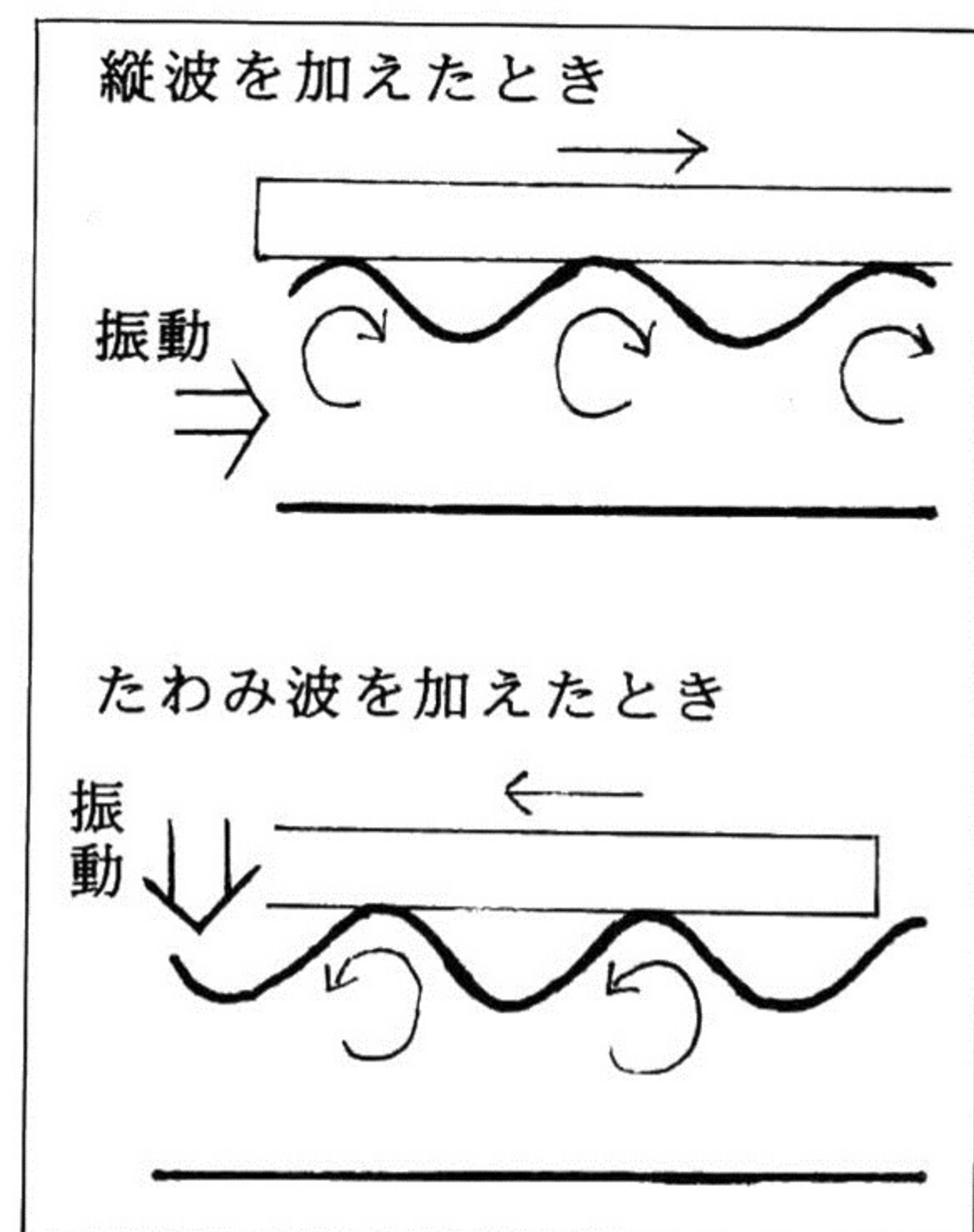


図2 超音波モーターの原理

*3 電磁型ステッピングモーター

コイルの間隔で精密な位置ぎめができるように作った制御用モーター

超音波モーターとは…

物質に超音波振動を加えると表面波が起こるが、その表面の粒子1点に着目すると実は楕円形に振動している。波の山はどこでも位相が同じであるから、上に物体をおけば振動子とは山の部分としか接していないので物体は動き出す。これが超音波モーターの仕組みである(図2)。超音波振動させる物質を海に、上にのせる物体をサーフボードやボートなどに見立ててみれば分かりやすいだろう。

また物体が動く向きは、物質に加えられた波の種類によって決まり、縦波ならば波の進行方向、たわみ波ならばその逆方向に物体は進む。このように、超音波モーターは2つの物質間に発生する摩擦によって動くのだ。

そこで、先程も少し述べたが普通の電磁型モーターとの相違点を見てみよう。まず、超音波モーターは音が静かであるということである。電磁型のモーターは低速の時より高速の方がトルクが高いため、低速のときはトルクを高くするためにギアダウンをするが、このために騒音が増加してしまう。超音波モーターは、低速のときに十分大きいトルクがとれるのでギアダウンは必要なく、さらにもとから音が静かなので人間にとってみれば心地よいということになる。また、超音波モーターは摩擦力によって動くので、超音波振動を止めれば電磁型モーターと違ってすぐに摩擦が働いて止まる(これを自己保持能力という)。だからステッピングモーター*3のように精度を要する

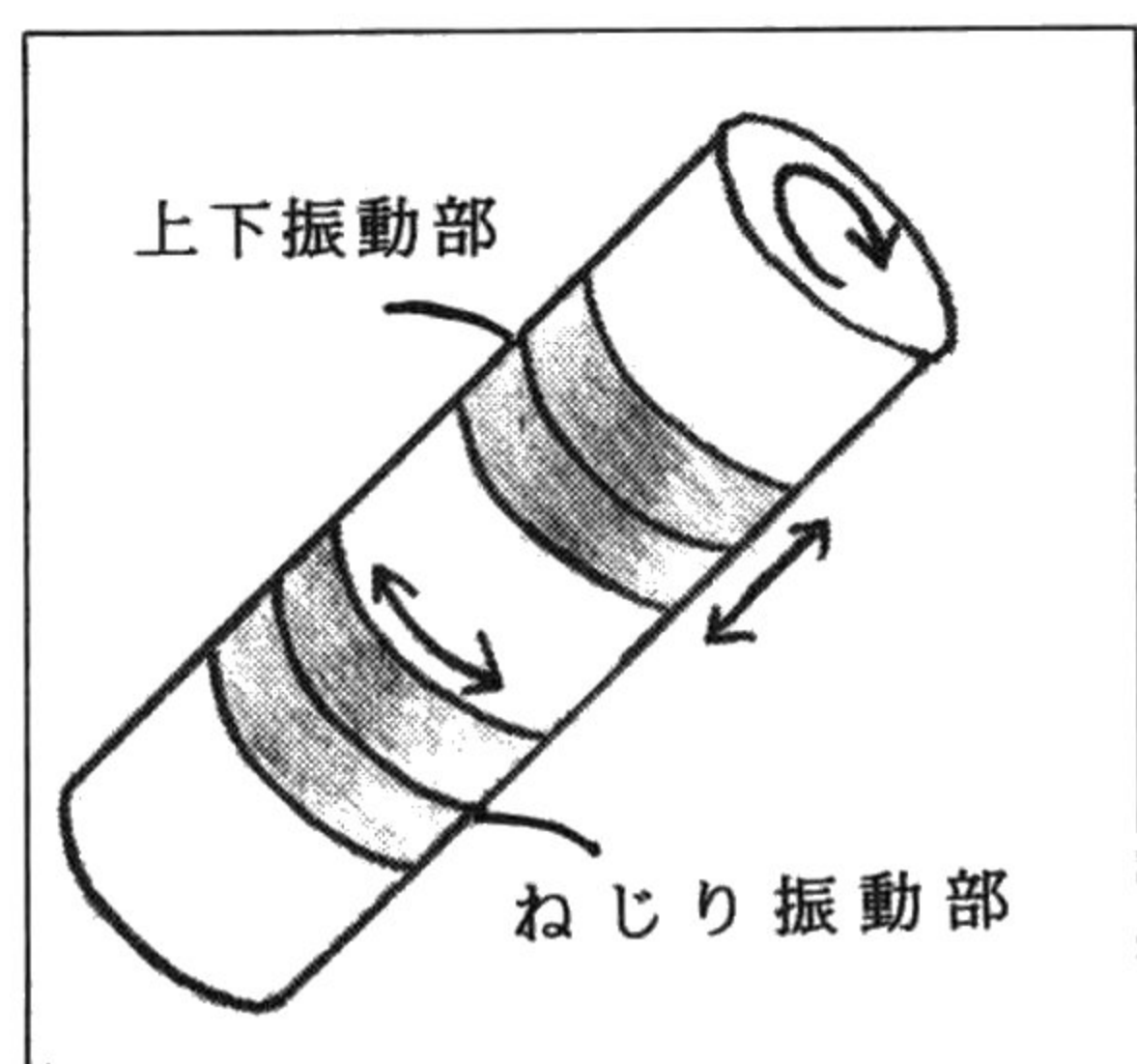


図3 複合振動型モーター

モーターを作る際、電磁型モーターを使ったときのようにモーターをとまらせる仕掛けを作る必要がない。あと、電磁型モーターを小さくしていこうとすると、主に飽和磁束密度が制限要因となって限界がある。しかし超音波モーターは、超音波発生器の小型化ということができれば電磁型のような制限要因がないので、電磁型よりはるかに小さくできる可能性がある。

このように超音波モーターは、電磁型モーターとかなり違った特性を持っているが、パワーがあまりないという欠点があった。そこで、上羽

研究室では楕円振動を縦方向と横方向とに分けることによって、高性能のモーターを作る研究をしている。

これは、上下にのみ振動する物質と左右にのみ振動（この振動をねじり振動と呼ぶ）する物質の2つを組み合わせ、超音波モーターの原理で説明したような楕円振動を作ろうとしたのである（図3）。この方法だと、普通に楕円振動を加えて動かしたモーターより力が大きくなるばかりでなく、回転方向を逆にしたいときは上下方向の振動のタイミングを変えるだけでできるので、制御がしやすい。

常識をくつがえす超音波モーターの誕生

昨年の冬、上羽研究室で従来の超音波モーターの特性とかなり違ったモーター“フィンモーター”が生まれた。

フィンモーターの仕組みを簡単に説明しよう（図4）。まず、超音波振動子の上に鉛直方向から θ だけ傾けた弾性フィンを取り付けた可動部をおく。そして、その上から一定の圧力

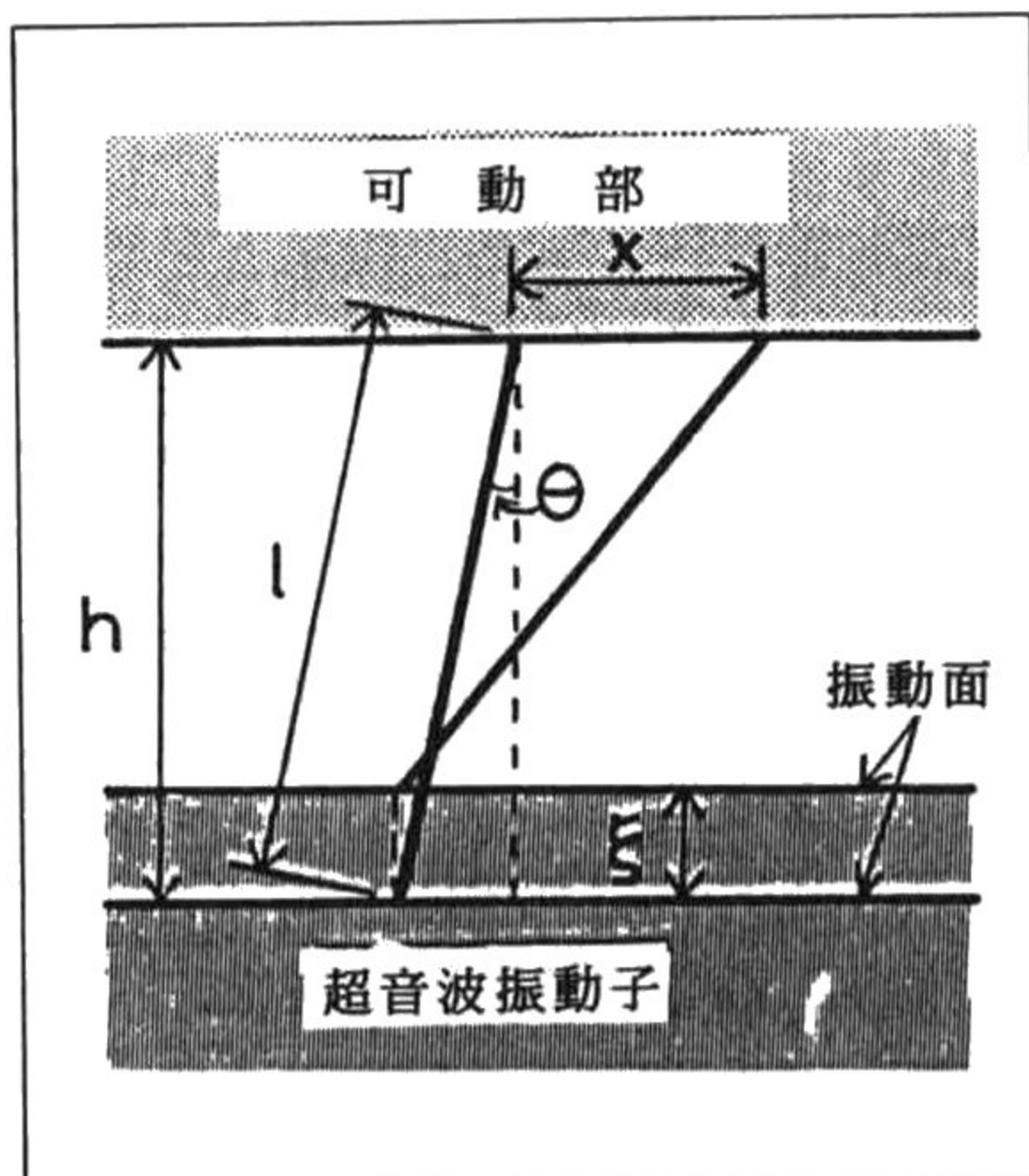


図4 フィンモーターの原理

をかけて振動子に押しつける。このような状態で超音波振動子を動かすと、振動面が上下に振動するために弾性フィンの傾きが変化し、かつ弾性フィンと振動子の間には摩擦が働くので可動部が横に移動する。

では、可動部の移動する距離と振動子との関係はいったいどうなっているのだろうか。図4のように、弾性フィンの長さを l 、振動子の変位を ξ 、可動部の変位を x とおくと x と ξ の間には

$$x^2 + \xi^2 + 2l(x \sin \theta - \xi \cos \theta) = 0$$

という関係が成り立つが、 x と ξ は小さい数なので、2次の微小項を無視すれば、

$$x = (\tan \theta)^{-1} \cdot \xi$$

というように表せる。これが、理論上の関係である。つまり、 θ が小さいほど x の大きさが大きくなるのである。

次に、フィンモーターの特徴につ

いて述べることにする。まず挙げられることは、上下に振動する超音波振動子を使っているということである。だから従来の超音波モーターのように、楕円振動を与えるためにねじり振動と上下振動の2つの振動子を組み合わせる必要がないので、小型化に有効である。さらには、従来の超音波モーターでは1000rpm以上の性能を持つモーターを作ることはできないと考えられていたが、上羽研究室が試作したフィンモーターは、現在1500rpmまで出すことができています。このようなことからフィンモーターは、従来の常識を大きく打ち破るモーターといってもよいだろう。

まだフィンモーターは試作段階のモーターであって、理論上の性能と実験時の性能がずれているが、上羽研究室ではこれから実験を繰り返してより理論値に近づけることを目標としている。

「最初は野球チームができるくらい研究室に人が欲しいな、と思っていたらいつのまにか人数が多くなりすぎて……」などと、取材中にいろいろとユーモラスな話をして下さった上羽助教授。教官は、自分のポリ

シーについて「大学生の間は“ヤッタ”というような感動が得られることを何か一つやってほしい。なんでもいいから……」と話されていた。

また、研究内容の話をされたときには「大学で超音波の研究をしてい

るところは、世界中どこを探しても例を見ないので、学会とかで重宝がられる。」とも話されていた。東工大の研究室で取り上げている研究分野は本当に多種多様な、と改めて実感させられた。（小野澤）