

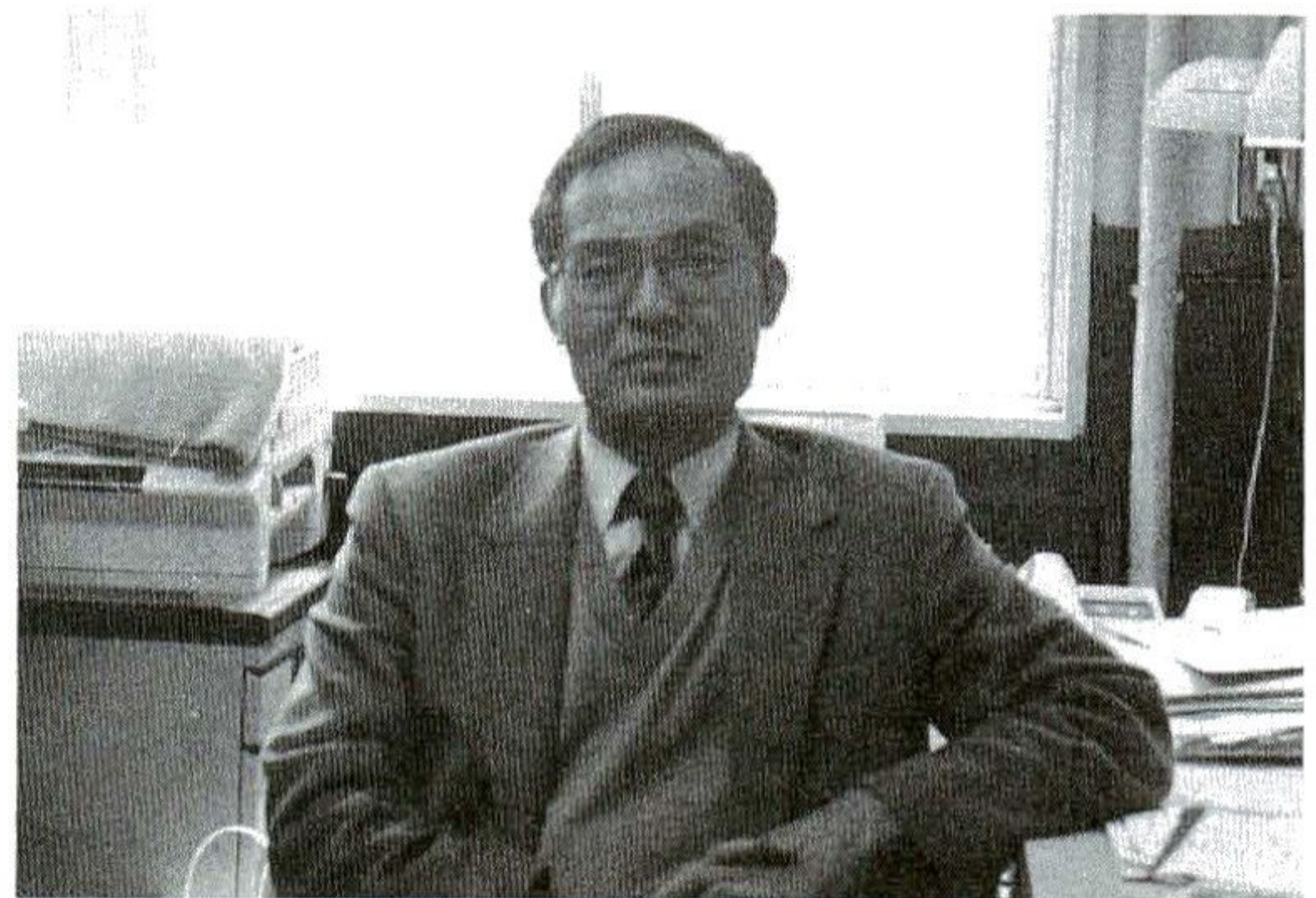


情報機器のキーテクノロジー

——小野研究室～機械科学科——

現在、我々の社会はコンピュータをはじめとする多くの情報機器によって支えられており、これらの情報機器における記録の高速・高品質化がますます求められている。このためには、高速・高精度な運動を可能とする小型の位置決め機構が必要である。ところが、これはたいへん小さな物なので、今までは気にする必要のなかったようなわずかな振動、摩擦、熱などが問題となる。したがって、これらを考慮した機構部品の開発や制御が求められているのである。

今回伺った小野研究室では、こうした機構部品の小型化・高速化に関する運動・振動の解析と制御について研究されている。



小野 京右 教授



よりよいレーザースキャナを

小野研究室では、様々な情報機器に応用できるような基礎的な要素技術の研究をしている。具体的な代表例は、レーザースキャナやヘッドスライダなどに用いられている空気軸受けについての研究である。

まず、レーザースキャナの研究について述べよ

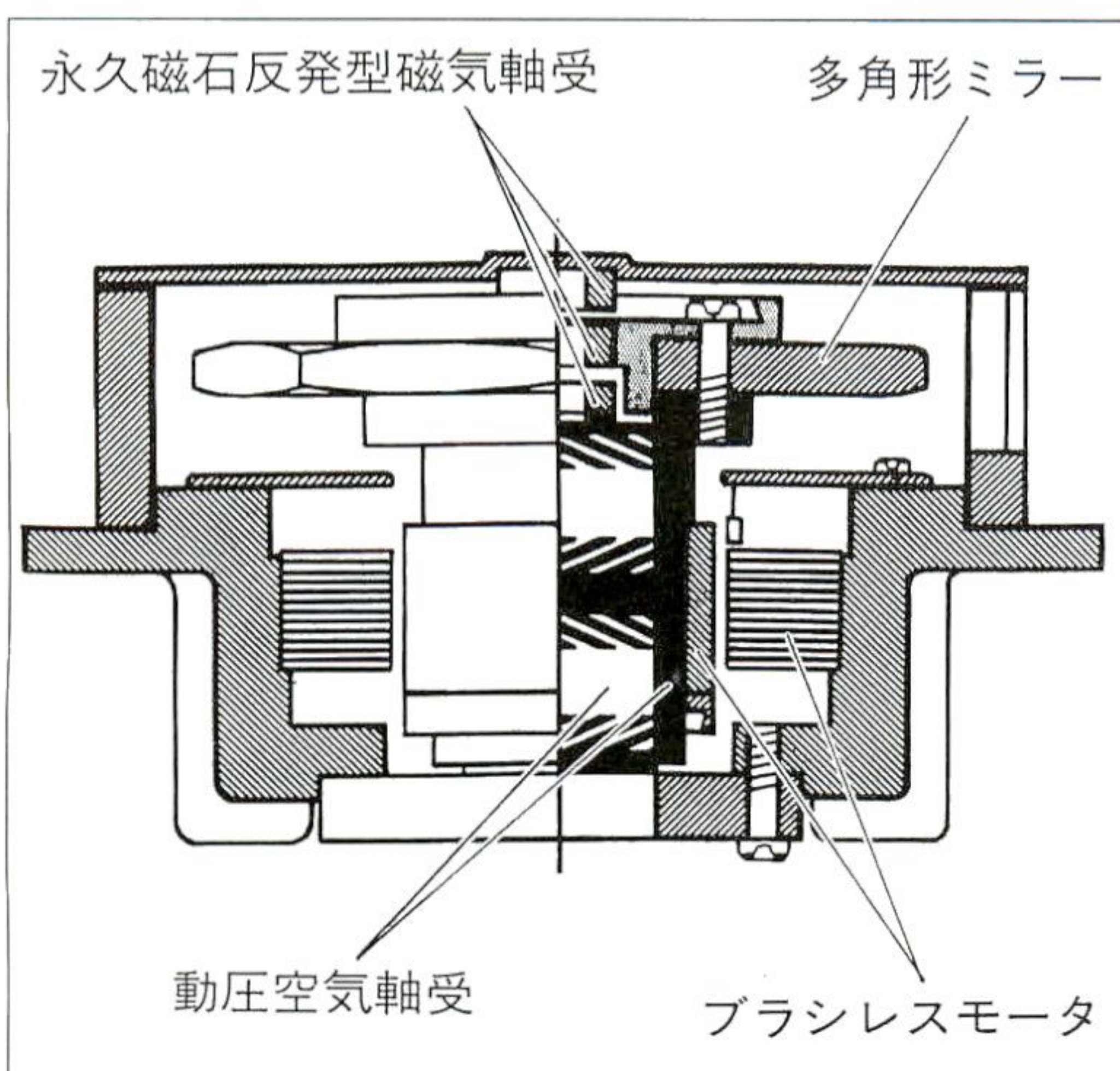


図1 レーザースキャナの全体構造

う。レーザースキャナとは図1に示したように多角形ミラーという光を反射させる部品を毎分数万回転という速さで回転させ、レーザービームをぶれることなく走査し、高精細な文字や図を描く装置である。これはレーザープリンタ等に用いられている。このレーザースキャナの小型化・高速における安定化が研究の対象になっている。

レーザープリンタの記録速度・品質は、多角形ミラーをどれだけぶれることなく高速に回転させることができるかで決まる。そのためにはどのようにすればよいのであろうか。一般に、多角形ミラーの高速回転におけるぶれの原因は回転軸を支える軸受けにある。したがって、高速回転においてもぶれることなく正確にレーザービームを走査するためには、軸受けの剛性や安定性を高める必要がある。

では、軸受けの高速安定化とはどのように行われているのであろうか。物体が毎分1万回転程度の比較的ゆっくりとした回転をする時には、ボールベアリングという軸受けが使われている。これ

は、ジャーナルと軸受けの間に数個の鋼球を入れたもので(図2)、球が転がりながら回転軸を支える仕組みになっている。しかし、これでは物体を毎分2～3万回転という高速回転にすると振動や熱が発生し、軸受けの信頼性が低くなってしまう。そこで、高速回転の場合には空気軸受けが用いられている。これには、図2の鋼球のかわりにくさび型の溝がつけられている。この状態で回転運動が起こると、この溝の中に空気がかき込まれ、押し込められて圧力が生じる。この圧力により、ジャーナルと軸受けは接触することなく回転軸を支えるのである。これにより、多角形ミラーをぶれることなく高速回転させることができる。このように、空気軸受けを用いることにより軸受けの高速安定化がはかられている。

空気軸受けには、高速回転においても安定性を維持できる、油などの潤滑材を用いないので周囲を汚染することがない、振動・騒音を発しないといった利点が多くある。しかし他方では、外部からの振動に弱い、高価になるといった欠点もある。

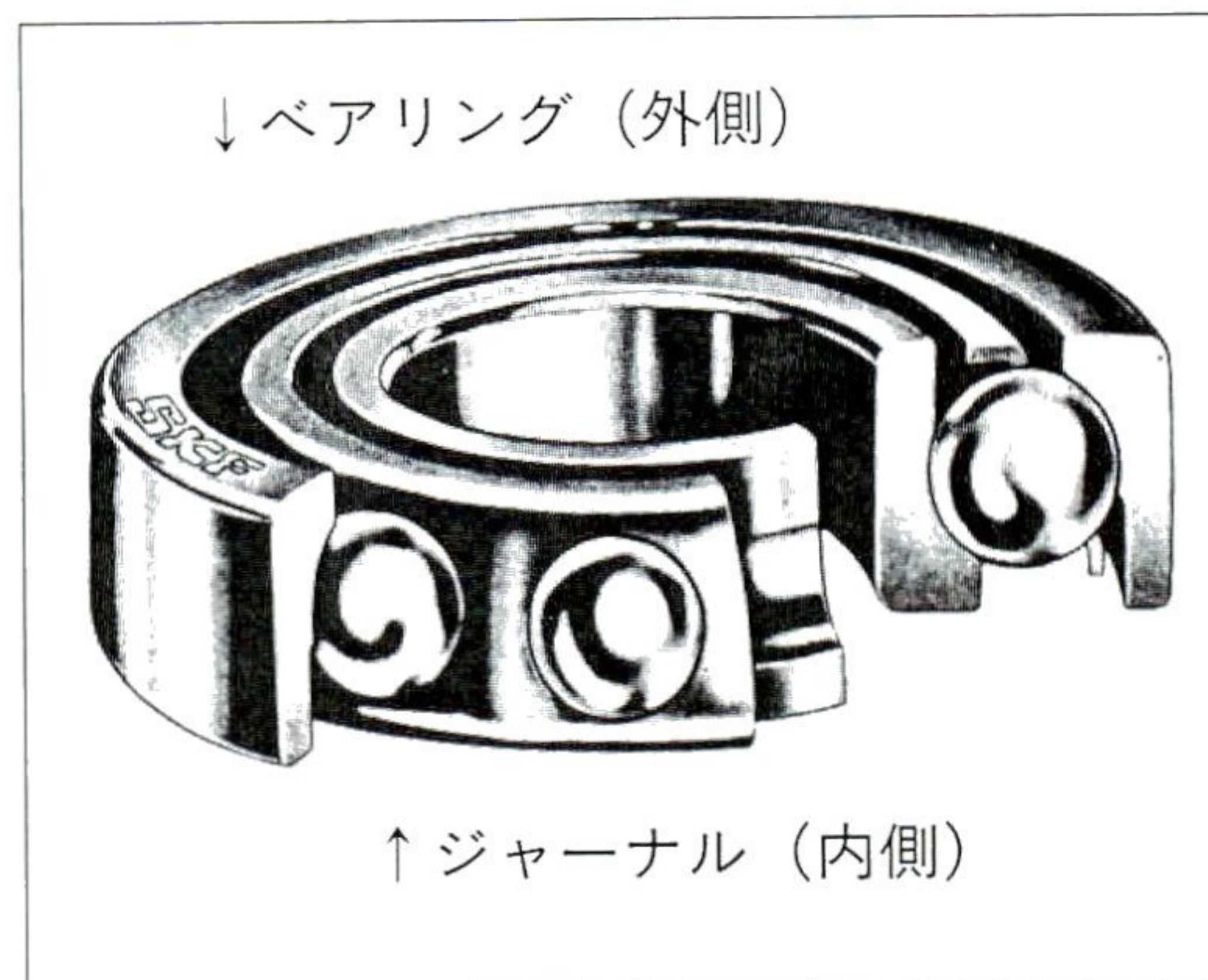


図2 ボールベアリング

小野研究室では空気軸受けの小型化・高速化に伴うこれらの問題を解決すべく研究している。実際には、軸受けの寸法と回転体を支える力の関係や外部からの振動・衝撃に耐えられるレーザースキャナの設計方法などをコンピュータで数値解析している。これらの数値解析をもとに、空気軸受けの最適設計を目指していくそうである。



ヘッドスライダを小型化しよう

さて、今度はハードディスクのヘッドスライダ(ヘッド)の研究について紹介する。

ハードディスクを小型化・大容量化する方法は単位面積当たりの記録密度を上げることであり、高密度化のためにはヘッドとディスクのすき間を狭くすればよい。しかし、ヘッドはディスクを削ってしまうため接触させることはできない。そこで空気軸受けの原理を利用した浮動ヘッド(図3)が発明された。これは100 μ m以上もあるディスク

面の凹凸に対し、0.1 μ m以下の微小なすき間を一定に保つようヘッドの位置を決める。例えば、ヘッドをジャンボ機、ディスク面を地面とすればこれは地上2.5mmの高度でジャンボ機が飛んでいるようなものである。ディスク面をいかに平らに加工しなければならないかが予想されよう。しかし、ディスク面があまりにも平らに加工されてしまうと、静止時にヘッドとディスク面が接触するとくっついてしまい、はがれなくなることがある。このため、ディスク面は数nm位の凹凸が意識的につけられている。

ところで、現在はコンタクトスライダの研究が進められている。これはハードディスクの小型化に伴いヘッドとディスクのすき間が10nm以下になり接触せざるを得なくなるが、接触しても吸着しないようにとの観点から考案された。ディスク面の負担を小さくするため、ヘッドを支えるバネの復原力によるヘッドの接触力は今までの100分の1になっている。また、ヘッドの質量も100分の1になり、接触部の面積は吸着しないように針のように小さい。

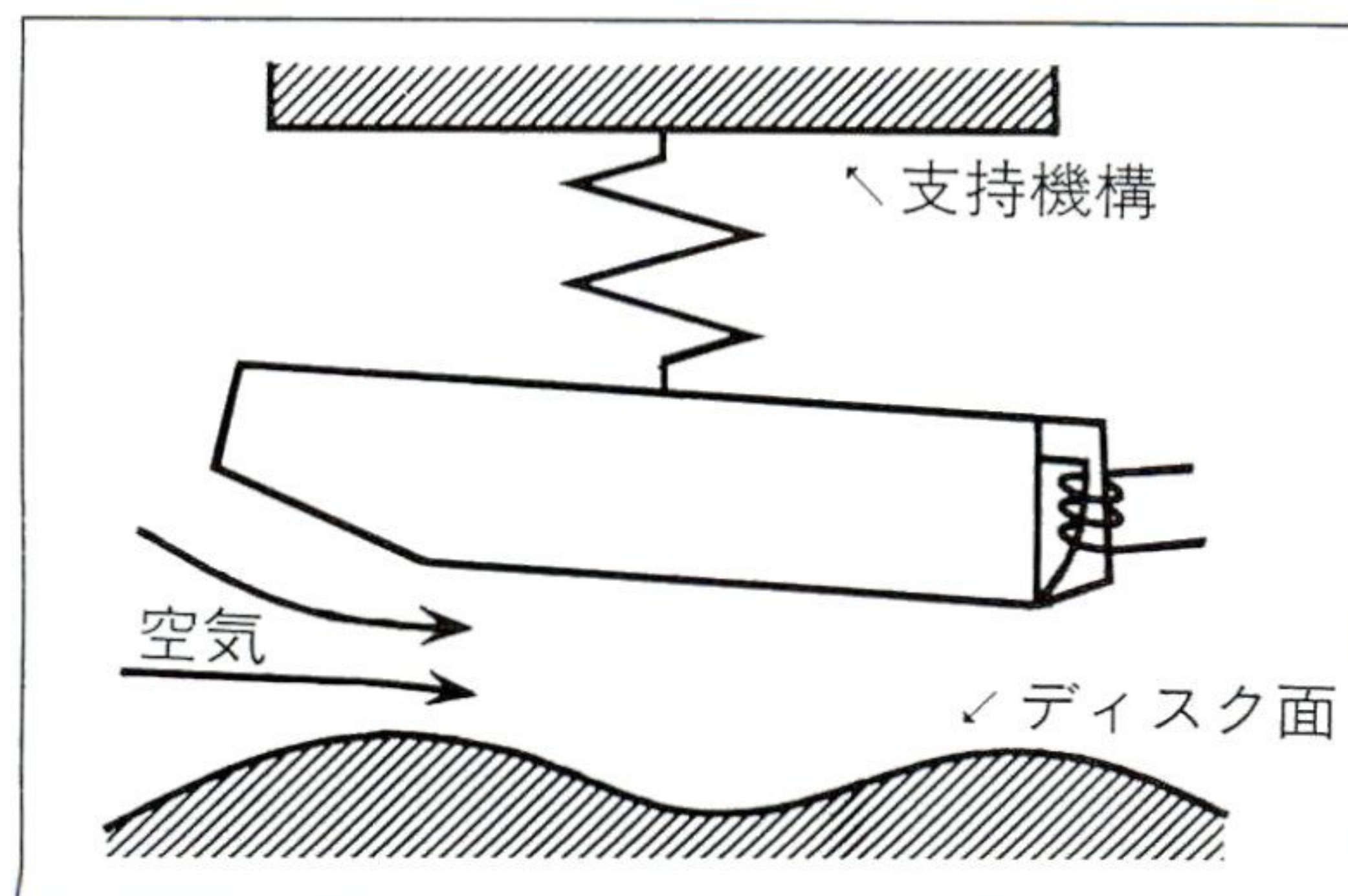


図3 浮動ヘッドスライダ

では、このような微小なヘッドが、1~3nmのうねりをもつディスク面を接触しながら走査するとどうなるであろうか。うねりの波長が短くなればヘッドはピンピンとディスク面からはねてしまいすき間が大きくなって高密度記録ができなくなることが予想される。実際の数値解析から、図4が得られた。ここではディスク表面の凹凸を正弦波($Z=\sin 2\pi ft$)として近似し、ヘッドが10nm上方から落ちてきた場合を想定している。正弦波の振動数 f は、Aが48kHz、Bが96kHzである。このようなシミュレーションを繰り返した結果、次のことが判明した。振動数が低ければ、やがてヘッドは周期運動をする。ところが、振動数が高いときはカオスという現象がおこるらしい。カオスとは簡単にいえば、周期運動をしない現象である。つまり、一度した運動は決して繰り返さないという現象のことである。カオスについては未だに不明な点が多く、今後の研究課題となっている。

このような数値解析の結果をまとめると、コンタクトスライダを実用化するためには、皮膜や潤滑材などによってディスク表面の反発係数を小さくし、ディスク表面の凹凸を0.5nm程度以下にすれば問題ないということがわかる。今後は、数値シミュレーションなどによりもう少し理論を明らかにしてから、実際のヘッドを用いて実験を行う予定だそうである。

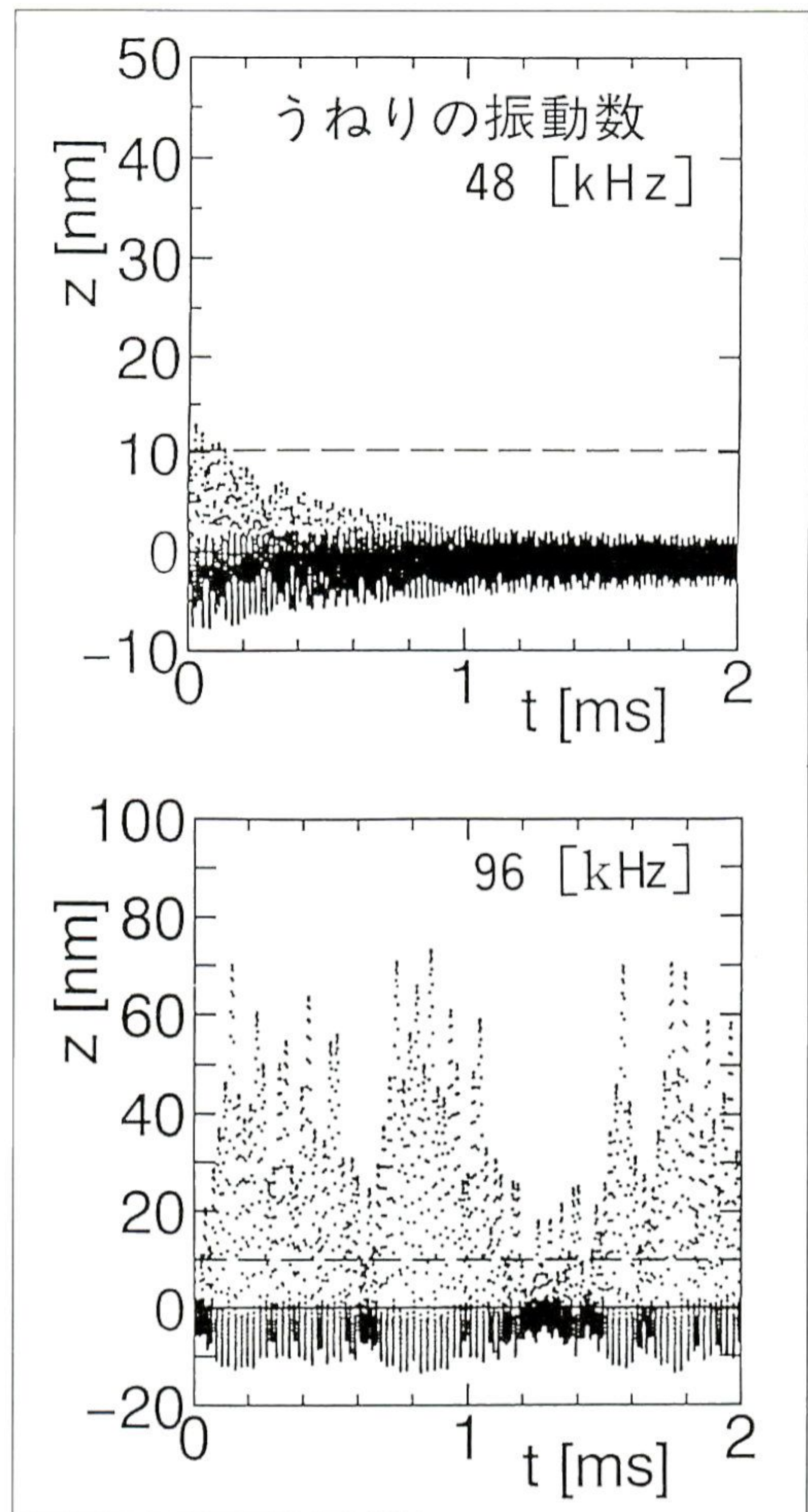


図4 1自由度うねりモデルの解析結果



運動を制御する位置決め機構

ハードディスクのもう1つの課題として、いかに速く情報をランダムアクセスできるようにすることがあげられる。アクセスとは、簡単にいってしまえばディスクのある場所からある場所へとヘッドを移動させることである。しかし、アクセスの高速化とはいっても、ただ速くヘッドを動かせばよいのではない。運動を制御する、つまり目的通りに最適の軌道で動くように調整することが必要となる。この制御の部分を担当しているのが、位置決め制御機構である。

位置決め制御機構は、1自由度の振動系モデルに置き換えることができる(図5)。そして、今まで紹介してきた空気軸受けや浮動ヘッドスライダも同じ1自由度の振動系モデルに置き換えられる。

図5は、軸受けにかき込まれた空気により生じる圧力をバネとしてモデル化したものである。このモデルにおいて、振動などにより地面が動いたときにすき間を一定に保つためには、どのようにすればよいのであろうか。図5より明らかなように、バネ定数 k を大きくすればよい。そうすることにより、地面と物体とは相対運動をしなくなるのである。したがって、 k が大きくなるような空気軸受けを考え出せば、ヘッドを凸凹しているディスク面に一定の微小なすき間で位置づけることができる。

また、アクセスするときには、あらかじめヘッドの動く軌道を設定する。ヘッドはその軌道に沿って加速、減速しながら目的地へと移動するのであ

る。アクセスする先が予定の位置とずれてしまっているときは、もちろんそのずれた所まで移動する。こうしてヘッドは予定された位置に到着し、静止する。ところが、高速でアクセスするとヘッドは静止しきれず、残留振動を生じてしまう。普通は剛体として扱える物体も高速で動かすことによりわずかな振動が生じ、もはや剛体として扱えなくなってしまうのである。アクセスの時間は、残留振動を生じるとそれだけ余計にかかってしまう。したがって、残留振動をおこさないように高速・正確にアクセスさせることが現在の研究課題となっているのである。

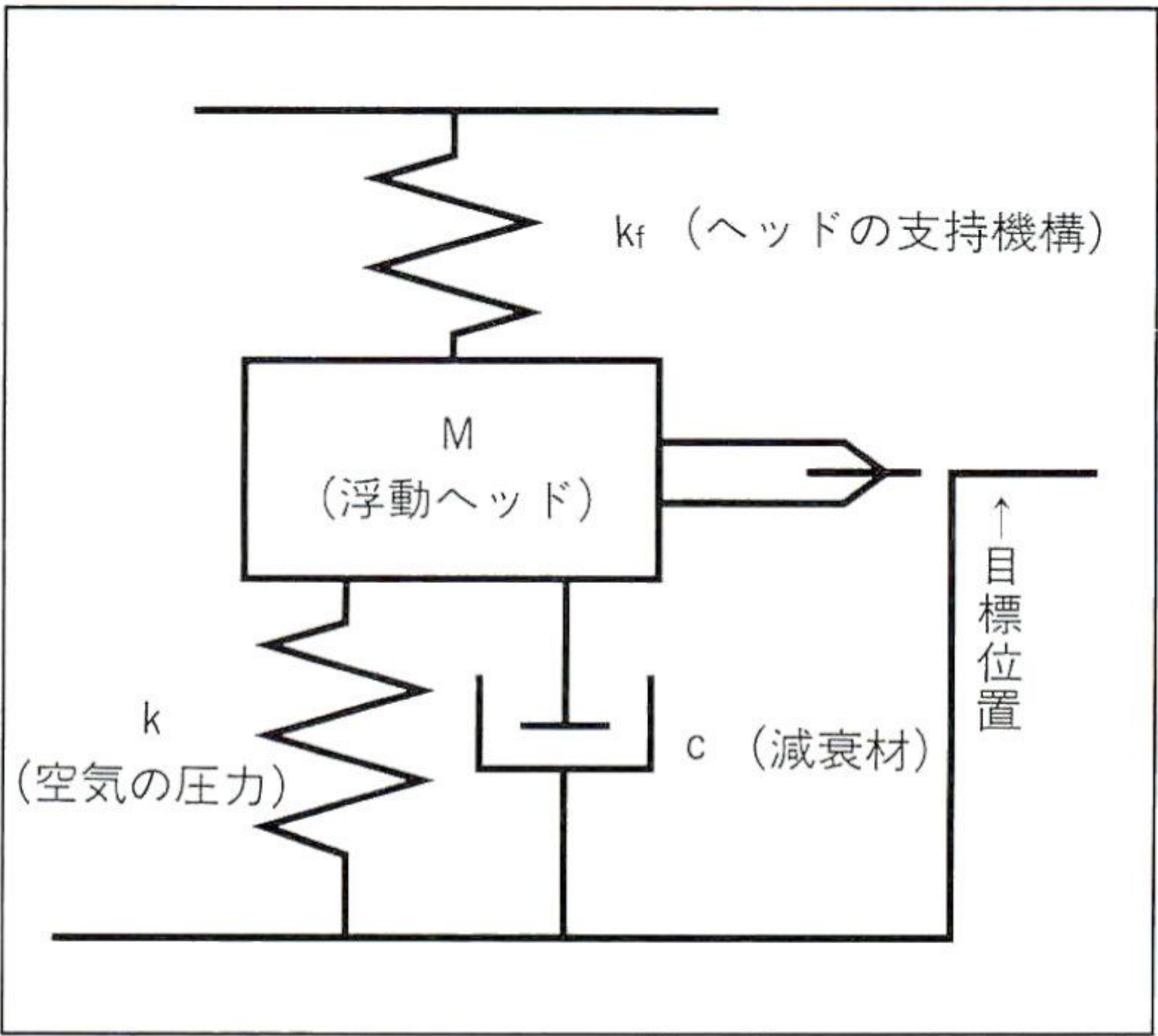


図5 位置決め機構の基本モデル



その他に行われている研究は？

また、小野研究室ではヘッド鳴きという現象についても研究している。これは、フロッピーディスクがドライブからキーキーと音を出す現象のことである。ヘッドとディスクが振動し、記録の信頼性が落ちるため使用不可能となる。5.25インチディスクが開発されたとき各社の技術者はヘッド鳴きで悩んだが、ヘッド支持機構に減衰材をつけてどうにか防止した。3.5インチディスクでも同じ方法が適用され、最近では滅多に鳴かない。しかし、ディスクとドライブの相性が悪いとまれになくことがある。鳴きを抑える方法はほぼ分かっているが、その発生のメカニズムは未だに解明され

ていない。そこで、4個の異なる発生のメカニズム理論を提出しているが、これを実験的に証明することが今後の課題となっている。もっとも、とても小さな物の摩擦や振動を調べなくてはならないため、実験方法や実験器具の開発からはじめなくてはならない。

今まで紹介してきた研究以外にも、魚の推進機構の研究、ゴンドラリフトの横振動を抑える研究、ロボットアームにより最も効率よく仕事を行える動作を探す研究、昆虫の羽ばたきと自励振動の関係についての研究など、小野研究室での研究テーマは実に多種多様である。

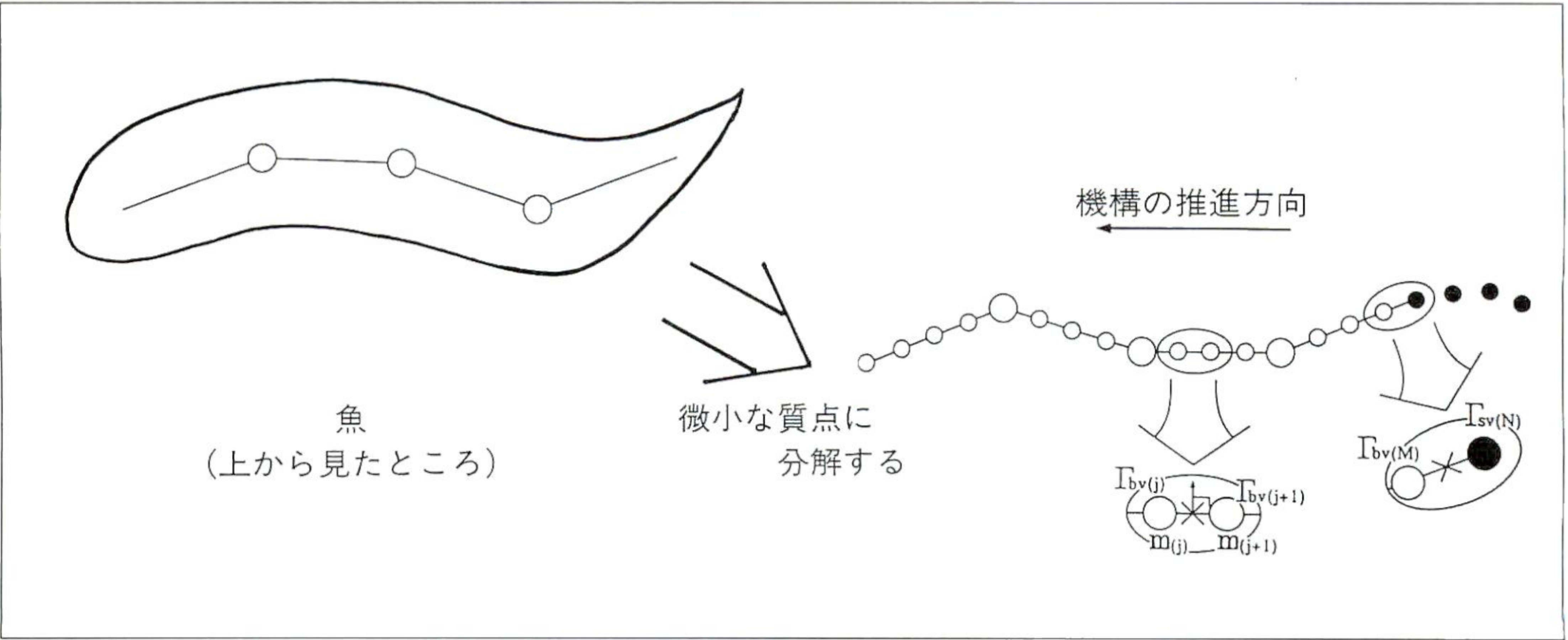


図6 魚の推進機構



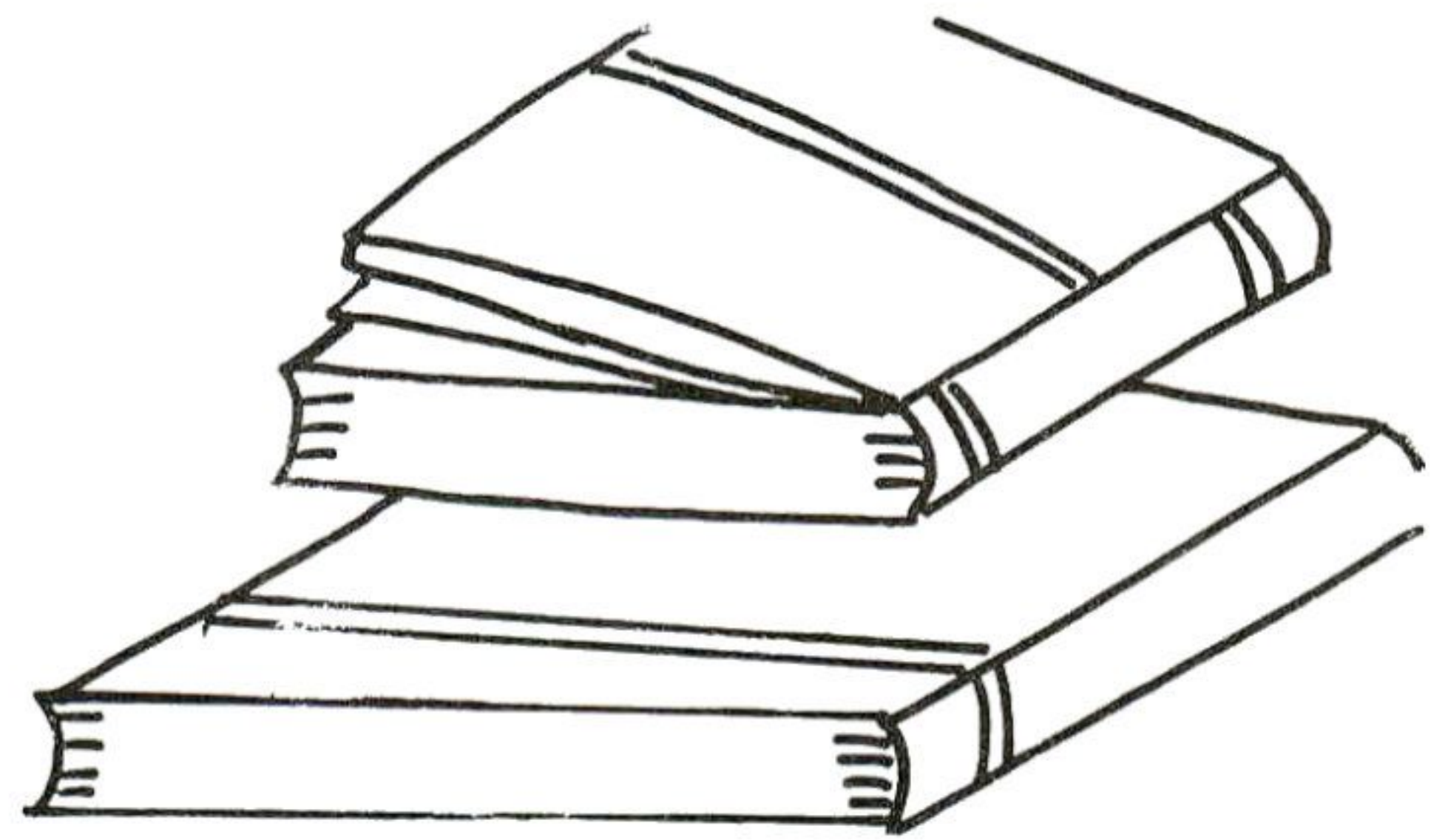
小野研究室ってどんな所？

現在、小野研究室には小野教授をはじめとして、助手2名、職員2名、学生13名が所属している。博士課程の学生の中には社会人が、また修士課程の学生の中には留学生もあり、多彩な構成となっている。

研究のテーマは学生一人ひとりが独立したものを扱っている。しかしそれは、動くものを対象にした研究、という点に関して共通している。研究の方法としては、まずはじめに理論に基づいた仮説をたて、コンピュータを使って数値解析をする。数値解析によって運動や振動という現象がどのようなものかわかってくると、実際にその機械をつくって実験を行う。繰り返し実験をして、詳細なデータを得る。このデータをもとに、その仮説が正しいか否かを確認するのである。

このような研究方法をとる理由は、研究対象がたいへん小さく精密な機械であるためである。非常に小型の機械では、実際の振動は目に見えないほど小さくなる。そのために、実験結果に大きな誤差を含む可能性がある。したがって、小野研究室では実験よりも理論の研究に多くの時間を費やしているそうである。

研究の場である“運動制御学講座研究室”は本館の地下1階にある。研究室は、数値解析などを



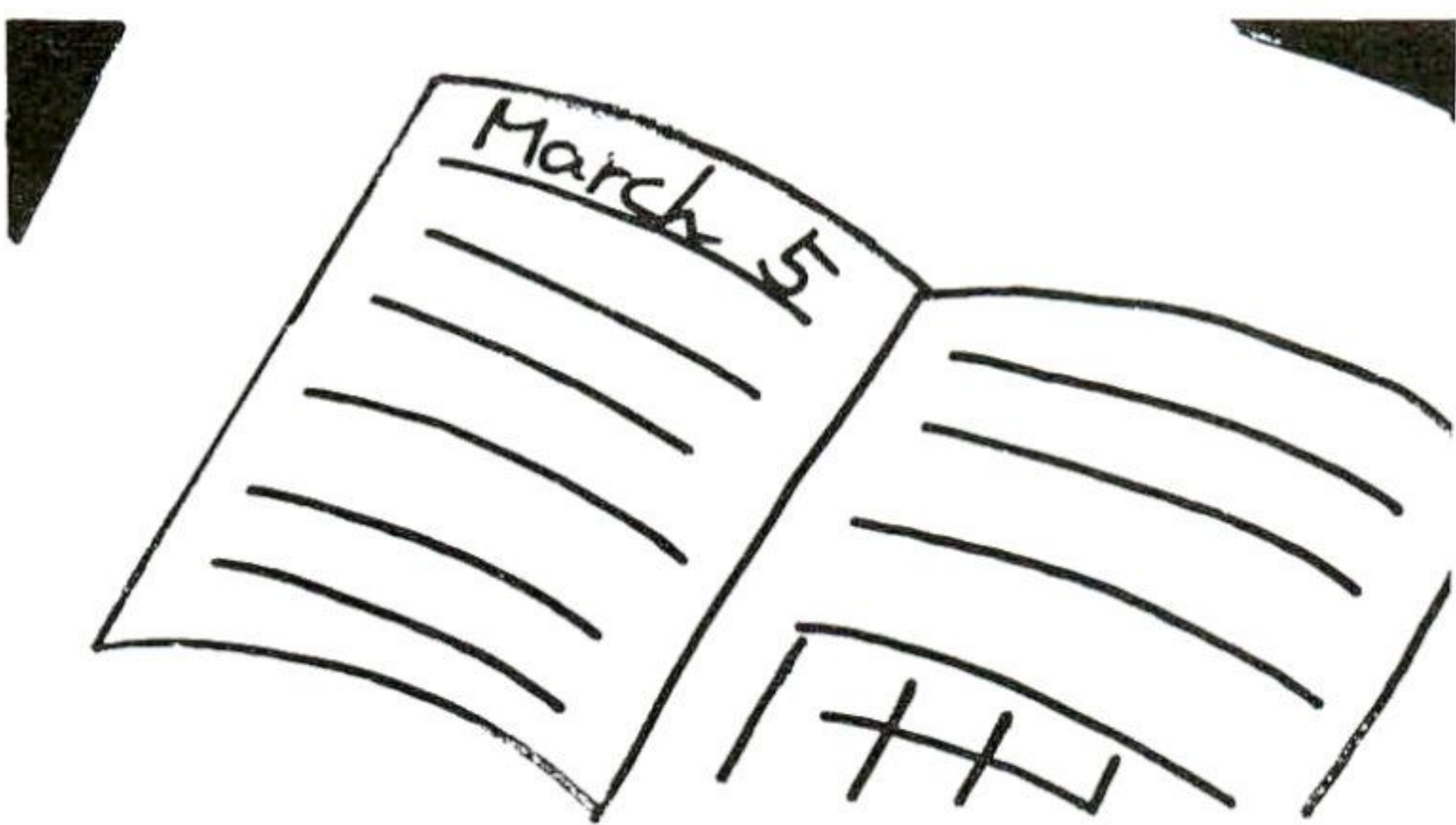
する学生室・コンピュータ室と実験室とに分けられる。実験室には、多くの実験装置が所狭しと並べられている。驚くべきことに、これら装置のうちの多くは学生が自分で考えだして作ったものであるという。

最後に、現在の東工大生に望むことを小野先生に伺った。

「自由な青年時代によく勉強しなさい。そして物事の基本的な考え方を身につけなさい」

そのためにはどうすればよいのか。1つの方法としては人類の歴史を振り返り、知識のための受験勉強とは違う自分の生き方を求める視点から歴史を見直せばよいという。名著と呼ばれる本を読み、深く考え、基本的・本質的な物事の見方ができるようになってほしいとおっしゃる。

このような考え方は研究に携わる上で重要なものになってくるといふ。研究というものは確かに知識の蓄積も必要であるが、それだけでは対処できない価値判断や実践的な問題も含んでいる。このような物事の考え方の基本は研究室に所属する前に養っておいた方がいいので、学部時代には社会の中で自分の生き方をみつめる作業を通じて、たくさん本を幅広く読んでほしいと先生はいわれていた。



ヘッドスライダの研究は平成4年度所属の4年生が行い、その結果を学会で発表したそうである。「たった1年間だけど、学部生でもがんばれば研究結果をだせるというよい例だね」

と、小野先生はおっしゃられた。この言葉には、学部生が少しでも身近に研究室を感じられるよう

にという先生の配慮がよく表れている。

最後になりましたが、大変お忙しい中、私たちの取材に快く応じて下さった小野先生に深く感謝いたします。

(細田 順子)