



## 電力をもとに限りない高性能を

—— 深尾研究室～電力・電子コース ——



深尾 正 教授

私達人間が電力を生み出し、使い始めたのはいつ頃からでしょうか。科学の進歩によって発展した私達の生活は電力に支えられているといってもよいでしょう。さらに科学の進歩はとどまる所を知らず、より高度な技術が求められています。このような中、科学技術の動力源である電力をいかに効率よく制御し、他のエネルギーに変換して利用するかという分野が注目を集めています。

そこで今回の取材では、深尾研究室を訪れて、この分野の最先端の研究をのぞいてみました。



## 電力を効率よく役立てるさまざまな工夫

私達が電力を便利だと感じるのは、電力が私達の役に立つように制御されているからです。そのためにはどのような研究が行われる必要があるのでしょうか。深尾研究室では半導体技術を利用して、電力の損失をなるべく少なくして効率よく利用する電力制御の研究が行われています。

普段、私達が生活している中でなにげなく使われている電力は、発電所で発電され、送電されてきたものです。ところが送電線にはわずかですが抵抗があるため、電力の損失が発生します。送電線で送られる電力は電圧と電流の積に比例し、一方で電力の損失は電流の大きさの二乗に比例します。そのため送電線の電圧を高くし、電流を小さくすることで同じ電力を送るのに、できるだけ送電の損失を少なくするようにしています。これにも増して重要なのは、送電線にコイルの性質もあることです。このため長距離にわたって電力を送ろうとすると電圧が下がってしまい、大きな電力が送られなくなってしまいます。

電気回路の素子には抵抗とコイル、さらにコンデンサがありますが、理想的なコイルとコンデンサは電気エネルギーを消費せずに、電力をためた

り、はきだしたりすることができます。そこでコンデンサを送電線の途中や、端に接続して、送電線のコイルとしての性質を打ち消し、コンデンサの大きさをスイッチで切り換えて電圧を一定に制御できるわけです。しかし、スイッチ素子で制御されたコンデンサでは段階的にしか調整ができません。そのため、送電線の電力の損失をおぎなう働きをコンデンサを使わないで、半導体のスイッチ素子の組み合わせで実現しようというのが、深尾研究室の研究内容のひとつです。開発している装置では連続的に変化ができ、しかも高速でできますから、電圧変動を押さえることができます。

こうする事によって、常に一定の周波数で運転したのでは無駄に消費してしまう電力を減らし、遠くの発電所から、目的地までの電圧変動を押さえ、より効率よく電力を使用することができるのです。

今度は電力を他の運動に変換する“モータ”を考えてみましょう。深尾教授は、十数年前にそれまでのモータより小型で高速回転が可能な高性能のモータが必要になる、とお考えになりました。その事がきっかけで、深尾研究室では、このモー



タについても研究が行われています。モータを高速化すれば、同じ出力を得るのに小型ですみ、したがって軽くなります。また、モータでの損失はモータを作っている材料の重量に比例するので、損失も少なくなると考えられます。また、いろいろな産業で高速回転の動力源の要求が高まっていました。

例えば、機械加工をする場面では穴開けや研削があります。砥石やドリルで金属を削ったり、穴をあける場合には最適な速度があります。平面を削る時には直径の大きな砥石を使えば、砥石の回転速度を上げなくても、必要な力が得られます。しかし数mm以下などの小さな穴をあけようとする、必要な力を得るためには、回転速度を上げなければなりません。別の例として、半導体は真空状態の中でつくられますが、その時に当然真空ポ

ンプが必要となります。真空ポンプは、タービンの羽のようなものを毎分数万回転で回転させる装置のことですが、この羽を高速で回転させる必要があります。ここでも高速回転のできるモータが求められていることになるでしょう。交流モータは、交流電流を加えて回転磁界を作って作動していますが、この回転磁界の速度は周波数で決まります。従って、周波数が一定値である普通の交流電流で作動させると、速度に制限がでてしまいます。しかし、半導体を用いた装置を使えば、周波数を変化させることができます。この事を考えると、高速回転のできるモータへ一歩近づいたことになります。自由に周波数を変えられるということは、交流モータの速度制限は理論上なくなることだからです。



## 超高速モータ、ここに現れる

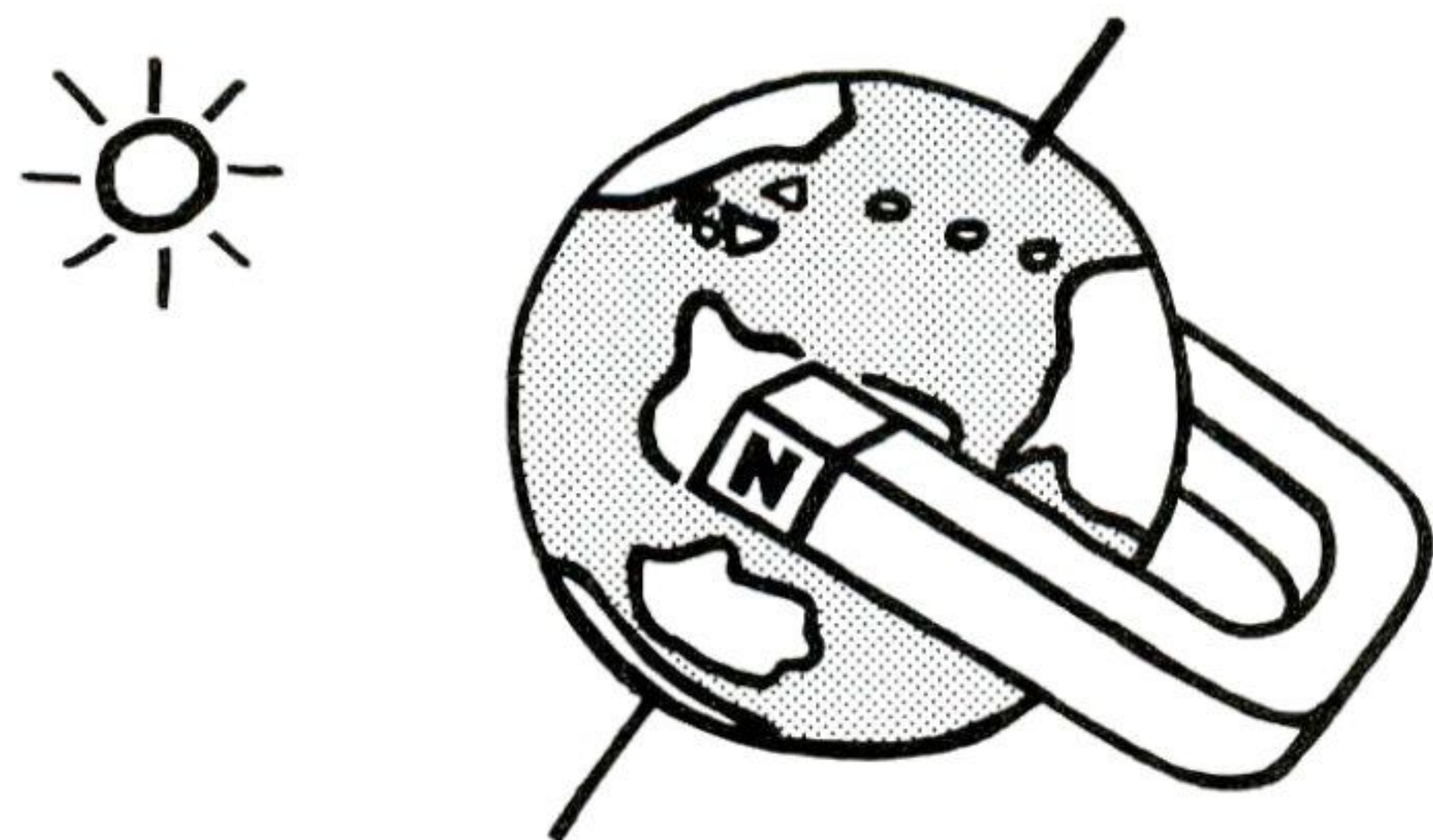
超高速のモータを実現するためには、モータ自身がその超高速に耐えられる事が必要です。特に実際にモータ内部で回転しているもの（回転子）を支える部分が、高速回転に長時間耐えられるものでなくてはなりません。従って回転している軸と回転子を支えている軸受けが問題となります。普通のモータの軸受けには、金属球の転がり軸受け——ベアリングがあります。しかし高速回転をすると、回転するうちにベアリングが徐々にすり減っていきます。また、それによっても軸が振動してしまうので、モータの回転速度に限界が生じてしまいます。そこで正常な運転を続けるためには定期的にベアリングを取り替えなくてはなりません。しかし、このような整備が非常に困難な環境の場合、例えば、極低温下や原子炉内、宇宙空間などで使用する時には、モータを使う事自体

が難しくなってしまうといえます。

このように従来のモータでは、とても超高速などは実用できません。

それではいっそのこと、ベアリングのないモータにしようという事が考えられました。もしベアリングがなくなり整備も楽になれば、先にあげた特殊な環境でも利用しやすくなります。そこで機械的なベアリングの代わりに、磁気の力を利用して回転子を空中に浮かせて回転させるモータが開発されました。実際に回転子に接している軸受けがなく、コイルによる磁気で回転子の位置を制御することが可能になったので、磁気ベアリングのモータによる高速回転の可能性が高まりました。

しかし実際には、ベアリングを磁気軸受けに単に置き換えた構造であったために、磁気軸受けの磁気はモータの回転子を回転させるための磁気とは独立していました。そのため、軸受け用の電磁石には常に電流を流して回転子を支えなければならず、電力が余分に必要となってしまいます。また、それぞれの磁気軸受けの磁束を作るためのコイルとこれを巻くための鉄心——すなわち電磁石です——はモータとほとんど同じ大きさになります。そのため、回転軸の長さは今までのモータより長くなってしまいました。結局、高速回転すると、回転子の材料を固くしても、回転子が長い分





振動しやすくなってしまう、回転速度を上げることが困難になってしまいます。これでは“効率よく”ということにはなりません。そこでモータの高性能化を求めて、新しいベアリングレスモータが開発されました（写真は新しく開発されたベアリングレスモータの試作品）。

新しいベアリングレスモータの基本的構造は、磁気を使って回転子を支えるという点では従来のものと変わりありません。しかし、それぞれ独立していたモータの回転磁界を作る磁気回路と軸受けのための磁気回路を組み合わせ、回転運動と磁気軸受けの両方の機能を兼ね備えています。このモータは、回転子の位置を知るために5個の位置センサがついています。これらで回転子の垂直方向、水平方向、回転軸方向のズレを測定し、回転子の位置を制御します。では、どのようなしくみで制御するのでしょうか。

下の図は、ベアリングレスモータを回転軸方向から見た図です。Rは回転子を示しています。そして、回転子を回転させるための磁気を発生させるための回路を含んだ部分Sは固定子を示しています。Nはモータの固定子に巻かれたコイルを示しており、 $\psi_d$ 、 $\psi_x$ はそれぞれ、 $N_d$ 、 $N_x$ を流れる電流によって発生する磁界です。磁束 $\psi_d$ はモータを回転させるためのもので、 $\psi_x$ はX方向の回転子のズレを、図では省略されていますが $\psi_y$ （ $N_y$ によって発生したものです）はY方向の回転子のズレを調整する磁束です。

ここで仮に回転子が右方向へずれた場合を考え

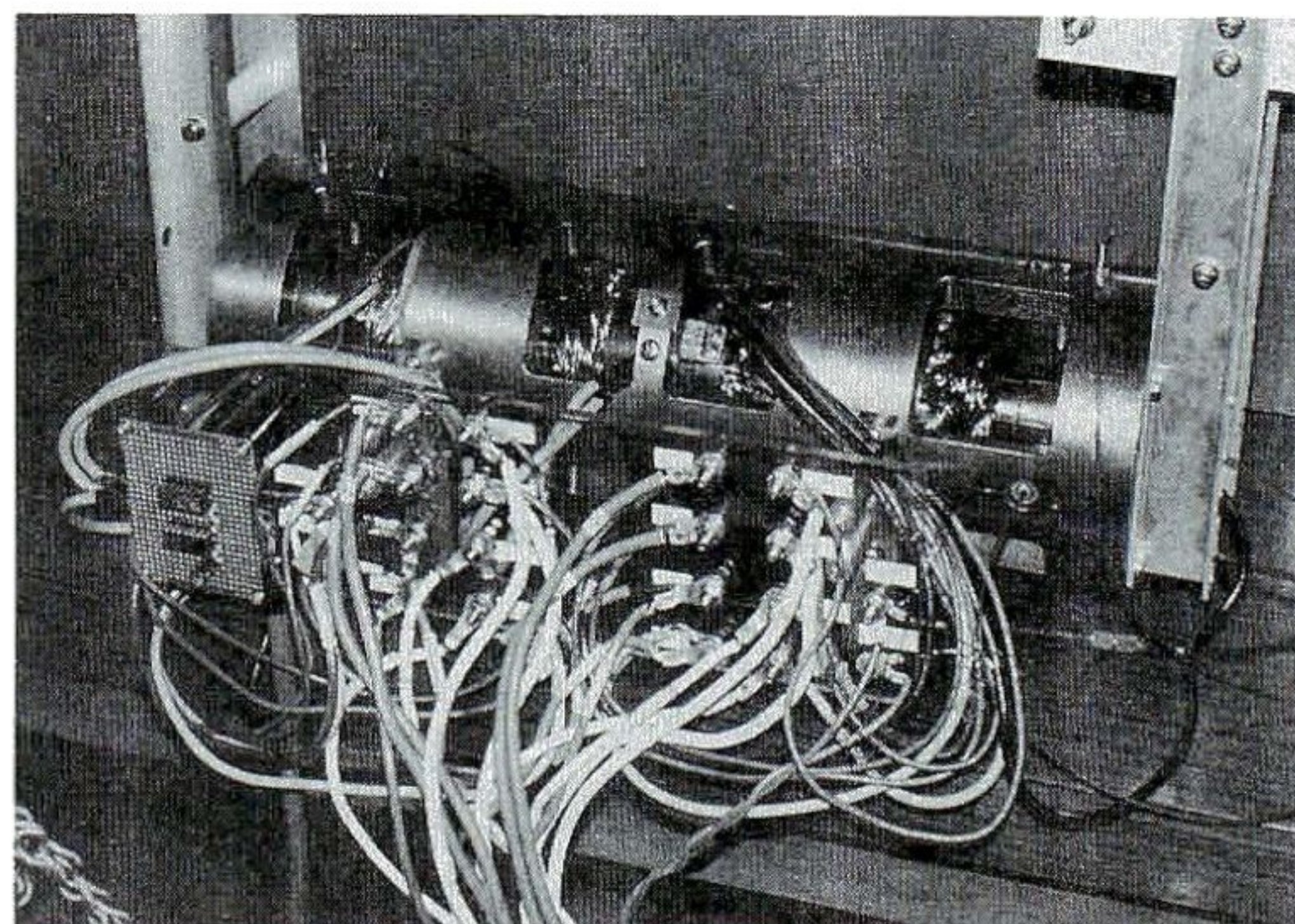


写真 ベアリングレスモータ

てみます。回転子が固定子の中心に正しく支持されていれば、つりあいがとれており、回転子の凸部1、2、3、4の磁束密度は等しく、半径方向には力が働かないことになります。ところが右方向に回転子がずれると、凸3部は固定子に近づくために磁束密度が大きくなり、一方逆に、凸1部では小さくなるため、右方向に磁気による力が働き、回転子が右へ移動してしまいます。こうなってしまうと、ますます右方向に力が働いて回転子が右に移動し、固定子にぶつかってしまうことになります。

ここで回転子を固定子の中心へもどし、回転子の位置を制御するためには、回転子に左方向の力を加えることが必要となります。モータのセンサが回転子が右方向へずれたことを感知すると $N_x$ に電流が流れ、回転子を右へ貫く磁界 $\psi_x$ が発生します。これにより、凸1部での回転子を右へ貫

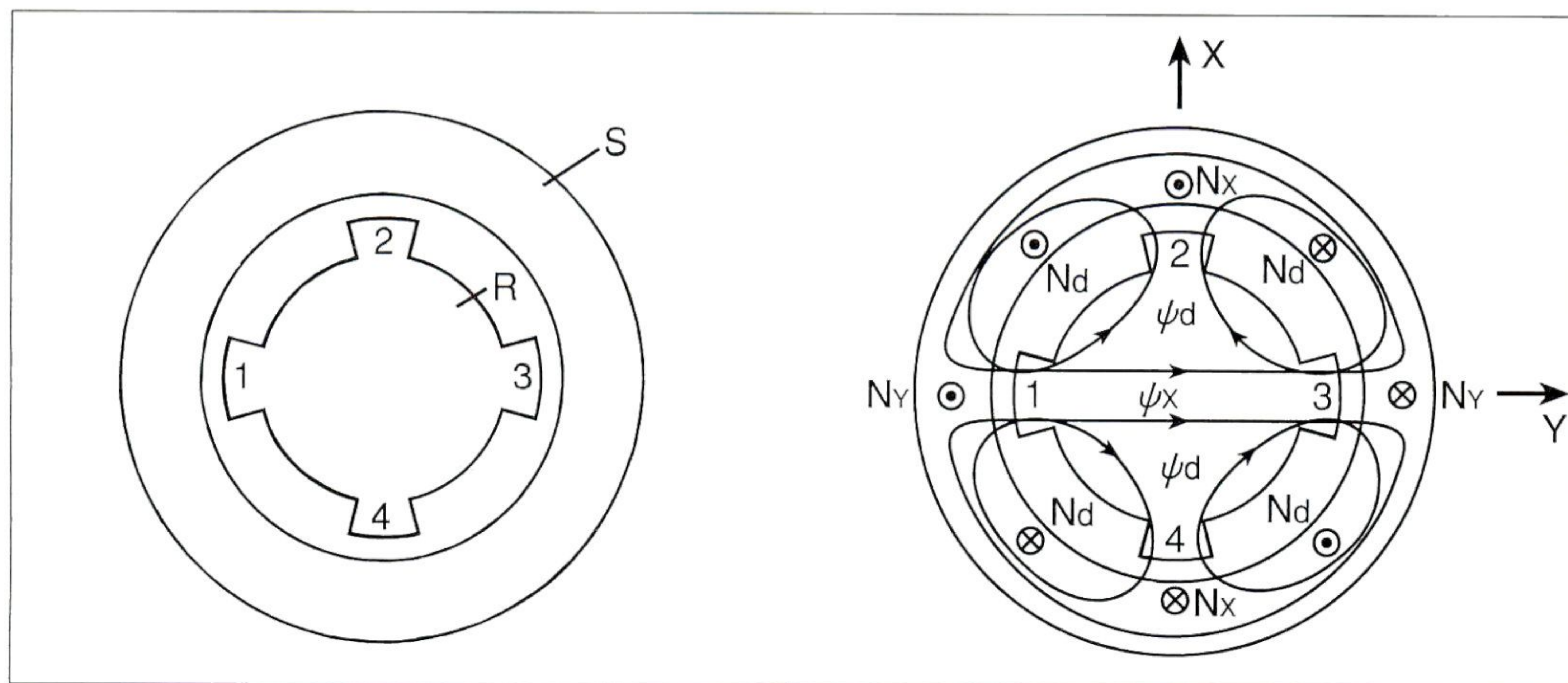


図 ベアリングレスモータの断面図



く磁界が ( $2\psi_d$  から  $2\psi_d + 2\psi_x$  となった分) 強まり、一方凸3部では回転子を左へ貫く磁界が ( $2\psi_d$  から  $2\psi_d - 2\psi_x$  となった分) 弱まるため、左方向に力が働き回転子を元の位置に戻すことができます。これが逆の方向へずれた場合は、 $N_x$  に逆に電流を流すことによって、またY方向では  $N_y$  コイルの電流によって、同じ要領で回転子の位置を制御することができます。

このベアリングレスモータには他にも特徴があります。モータの回転子は巻線も磁石もなく、単に鉄板を打ち抜いて積み重ねたものなので、構造

が単純で丈夫です。また、前にもあげた通り、回転子と軸受けの磁気回路が組み合わさっており、回転子を回転させるための磁界の働きの一部を兼ねています。その分モータが小さくなり回転子の長さが従来のものと比べ、約3分の2程度に小型化でき、回転子の位置制御のための消費電力も少なくて済みます。そのため以前より少ない電力で高速回転が可能となり、高速回転している時のモータの振動も非常に小さく済みます。



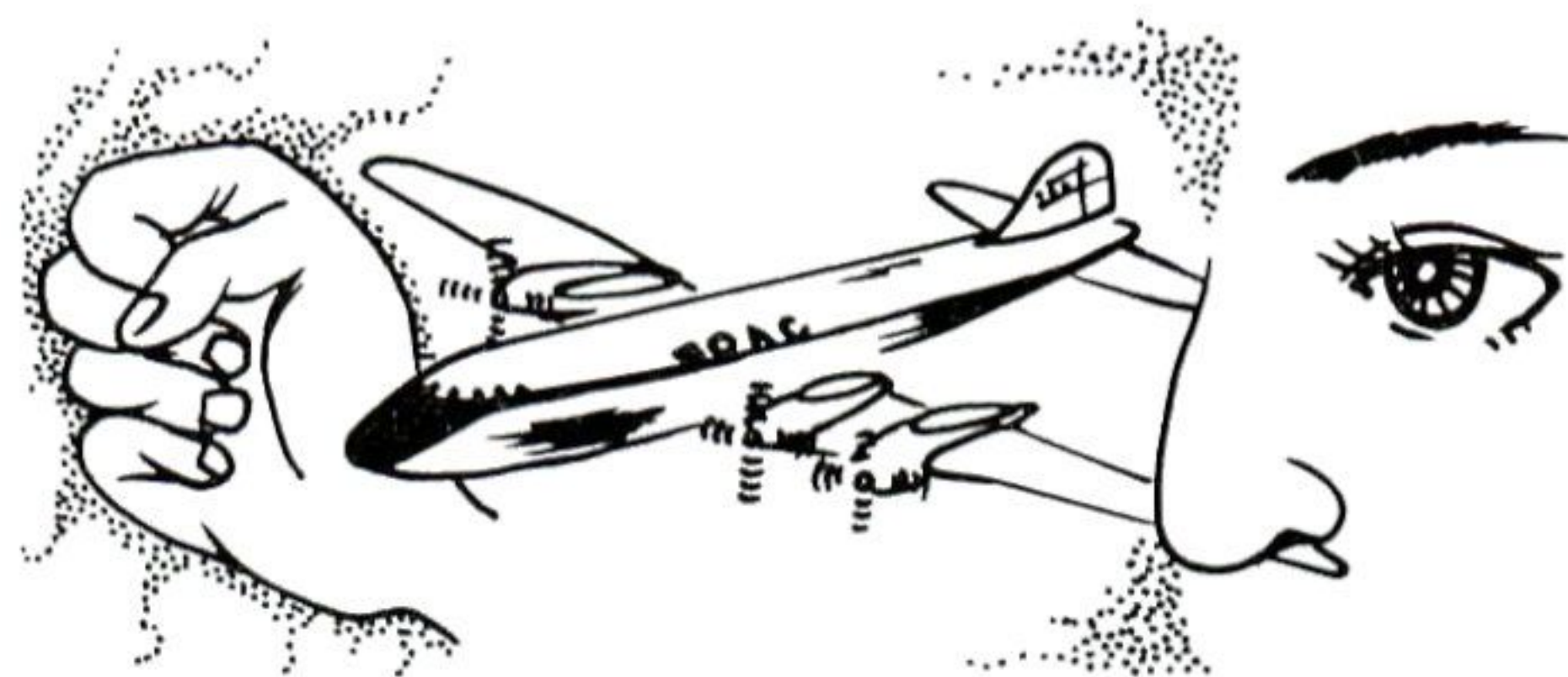
## さらなる飛躍を目指して

物には適材適所というものがありますが、このベアリングレスモータはどうでしょうか。前にもあげた通り、超高速機としてばかりでなく、宇宙空間や原子炉、極低温下など機械の整備が難しい場所で用いる発電器やモータとして期待されています。他には、大型の回転機でベアリングの負担を軽くしたい場合や軸が長い回転機で軸振動を制御したい場合など幅広い応用が考えられます。

このベアリングレスモータを実用化するためには、モータ本体の構造の研究だけでなく、高速の回転磁界を作るための電源、位置制御の電源を作るための高効率の一種の増幅器を開発しなければなりません。また、このモータの回転と位置の制御は相互に関連しあっています。そのため、モータを急に加速すると軸の位置がずれてしまうように、両方の制御が干渉するような事が起こっては困ります。このために極めて複雑な制御を実現しなければならないので、制御回路に組み込まれた

高速の処理ができる一種のコンピュータでこの処理をします。このためのプログラムの開発も必要です。

また、モータの信頼性を高め、経済的な装置にするためには、できるだけセンサの数を少なくする必要があります。そのために、センサを使わないでコイルに流れる電流や電圧から位置の情報を取り出して、コンピュータで処理しセンサを無くそうと研究しています。このように高性能を生み出す研究とともに、高性能の新しい制御方法の研究も進められています。



深尾教授は今の学生に対してメッセージをくださいました。それは、研究をやっていると、何かこれだけ、という事はなく、様々な事柄が必要になる、だから今の学生には色々な事に興味を持ち常に好奇心を持ってほしい、という事でした。どこの研究室でも同じことが言えるのですが、常に興味・疑問を持ち、限らない追求心をもちあわせている学生が求められていると言えるでしょう。

今回取材を行った時は、電気・情報系研究室の

一般公開日という非常に忙しい時に行ったのにもかかわらず、深尾教授をはじめ助手の方や研究室の学生の方々に貴重な時間をさいて頂きました。突然の不慣れな取材に対応して頂いたり、基本的な事から解説して下さった深尾教授や助手の方、研究室の学生の方々に心から感謝いたします。そしてまた、今後一層の発展をお祈りします。

(河野 隆一郎)