



In Laboratory Now

研究室訪問 3

機能性流体が導く新たな可能性

横田・吉田研究室～精密工学研究所



横田 眞一 教授

吉田 和弘 准教授

技術の発展によって機械の性能は高められてきた。一方、ここ最近の研究では単純な性能以上に、機械の小型化が求められている。

横田・吉田研究室ではもともと油圧を利用した機械の研究が行われていたが、液体を使った機械の小型化は困難なものが多かった。だが、機能性流体には他の液体にはない特殊な性質があり、それには機械を小型化する可能性があったのだ。

今回は横田・吉田研究室における、機能性流体を利用した、機械の小型化に関する研究を紹介していこう。



マイクロ化と機能性流体

みなさんはマイクロアクチュエータという言葉聞いたことはあるだろうか。アクチュエータとはエネルギーを使い動作する駆動源のことであり、マイクロとはその駆動源がとても小さいということを指している。つまり、動作する極小の駆動源のことである。

昨今の機械全般を、軽く、小さくしていこうとする流れから考えても、駆動源のマイクロ化に関する研究は重要なものであろう。

機械を小型軽量化する方法としては、構成する部品を小さくする、材料を変える、加工技術を発達させる、設計を見直す、などが主な手段として挙げられる。そのような中、横田・吉田研究室のマイクロアクチュエータはある特殊な方法によってマイクロ化を実現させている。その方法の肝となるものが機能性流体と呼ばれる、外部刺激によりその性質を変化させる、もしくは何らかの機能を示すという特性をもった液体である。

もともと横田・吉田研究室では油圧を使ったアクチュエータに関する研究が行われており、先生は液圧アクチュエータの持つ体積あたりの力を表すパワー密度という値の高さに注目していた。そ

して10年ほど前に機能性流体の存在と、それにアクチュエータをマイクロ化する可能性があることを知った。さらに機能性流体の研究に、油圧研究で培った液圧アクチュエータに対する見識が役に立つということから、機能性流体を利用したマイクロアクチュエータの研究に転換したのである。

液圧を利用したアクチュエータのもつ力の強さは、かける圧力の大きさで決まる。圧力の限界はアクチュエータ自身の強度によるが、強度とは構造から決定される。よって、構造をそのままにマイクロ化する限りは、理論上同じパワー密度を持つはずなのである。

だが水や油など一般的な液体は、小さな容器の中にあるときや細い隙間を通そうとするときは、通常よりも粘性の影響が増すという性質を持っている。そのため、水や油で液圧マイクロアクチュエータを作っても、思うように液体が動かず、十分な出力を得る事ができないのだ。このように、一般的な液体を使用しても、高機能なマイクロアクチュエータを作ることはできない。

一方で、機能性流体の特性は容器の形状に関わらず発揮される。このため、機能性流体の特性を

利用したアクチュエータならば、マイクロ化してもシンプルな構造で高いパワー密度が得られるのではないかと考えたのだ。その他にも液体の流動による駆動が電気信号によって直接制御できること、その特性上機械加工への要求精度が低くてよいことなどが機能性流体を使った研究を行う理由である。

今回は、横田・吉田研究室の油圧や機能性流体に関する多数の研究の中から、電界共役流体 (ECF, Electro-conjugate Fluids)、電気粘性流体 (ERF, Electro-rheological Fluids) の二つの機能性流体の特性、そしてそれによって作られたマイクロアクチュエータの詳細について以下で紹介していく。

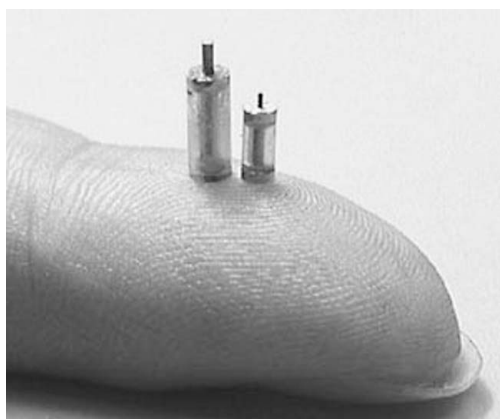


写真1 指の上に乗ったECFマイクロモータ



未だ謎の多いECF

ECFの機能性流体としての特性は、図1左のように電極間に高電圧をかけ、電界を発生させることでジェット流が生み出されるというものであり、応用先ではそのジェット流を圧力、回転力、循環力に変換して利用している。

ECFの特性を作り出している要因は未だ解明されていないものの、仮説の一つとしてECFは高電圧をかけられることで液体プラズマ化しているのではないかとこの液体プラズマは存在が理論的に証明されておらず、ここからもECFの特異さが伺えるだろう。

研究の一つであるECFマイクロモータは、ECFのジェット流を回転力に変換して利用している。その回転力だが、これは図1右のようにジェット流を発生させる電極を、+と-を一組にして円状に

並べることによって、ジェット流が渦のような回転力を発生させるというものである。このとき電極を付けている円筒はモータの軸に固定されており、それがモータの中に充填されたECFに浮かんでいるような状態である。

ECFモータがマイクロ化された理由は二つある。一つは、前章で述べたように、その特性が容器の大きさに影響されず発揮されるため、液体を扱う分野にもかかわらずマイクロ化が可能であるということ。もう一つは、ECFモータはマイクロ化していったとき、現在のモータの主流である電磁モータにパワー密度で勝るようになるということである。

電磁モータはその構造上、磁力を制御する部品の発熱が大きいため小型化に限界があり、小さく

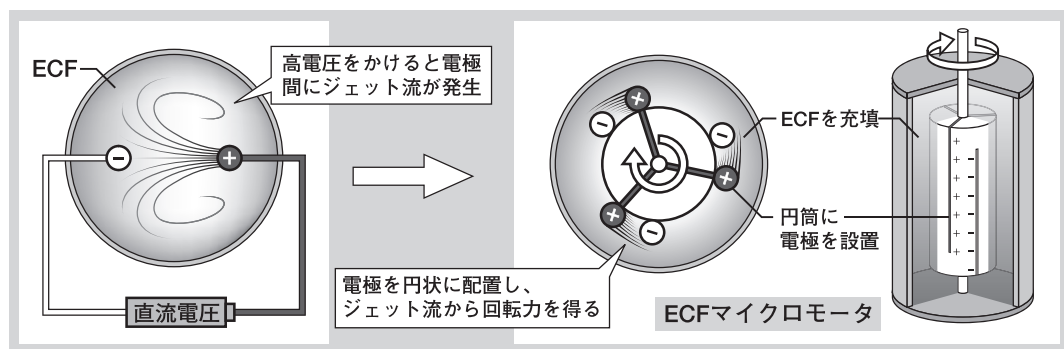


図1 ECFマイクロモータの原理

すると段々とパワー密度が下がっていく。だが、ECFモータは小さくしていくとパワー密度が急激に増加し、ある大きさを境にそのパワー密度は電磁モータを超える。また、このマイクロ化されたモータを束ね、重ねるなどして集積化することによって、パワー密度を維持したまま、通常の大きさで使用することも可能である。現在もモータの高さや軸の太さ、電極を付けている板の枚数や形などを変更し、ECFモータの出力と効率をさらに上げるための研究が行われている。

またECFモータの持つメリットは極小化した時のパワー密度の大きさだけではない。もう一つのメリットは、電界によって制御されているという仕組みそのものである。なぜなら、電磁モータは

磁界によって回転が制御されている。そのため、発電所などの多量の電気が扱われている場所においては、電流によって発生する磁界の影響を受け、精密な動作ができなくなってしまう。さらに、その影響はモータを小さくすればするほど大きくなってしまうのだ。その点ECFモータは電界により制御されるため、電磁モータと違い磁界が発生するような場所にあっても正確な動作を行うことができる。

一方で液体を使ったモータであることから、モータを貫く軸周辺における密閉性などの問題もある。このような流体を使ったアクチュエータ特有の課題克服のためにも研究は続けられている。



ERFでマイクロマシンを動かす

ERFの特性は、かけられた電界の強さに応じてその粘性が変化するというものである。実際に扱う時にはERFを流しているパイプを横切るように電界を発生させることで、電界中のERFの粘度を上昇させ流量を減らすというようにしている。

この特性の原理はECFと異なりすでに解明されており、それは二種類あるERFそれぞれで異なっている。

一つは絶縁性の油のようなものの中に誘電性の粉を入れることで作られるERFだ。これは電界をかけると粉が誘電分極して静電氣的につながり、それが電極にも張り付くことで抵抗になり、あたかも粘度が上がったかのように見えるのである。

もう一つは均一系のERFと呼ばれるものであり、例えばネマティック液晶という、ディスプレ

イなどに使われるものがこれに該当する。ネマティック液晶というのは棒状の細長い分子で構成されており、これが電界により向きを変えするという性質を持っている。ディスプレイなどの液晶として使われるときには、向きを変えて光の透過率を変え、それにより明暗を調整している。そしてERFとして使われるときは、図2のように向きが変わることで、進行方向に流れにくくなっている。

横田・吉田研ではこの特性の応用としてバルブ、すなわち圧力を制御する圧力弁の機構を作り出している。これをERバルブといい、圧力弁の機械的な仕組みをより少ないパーツで再現することができ、その結果マイクロ化できるというものである。

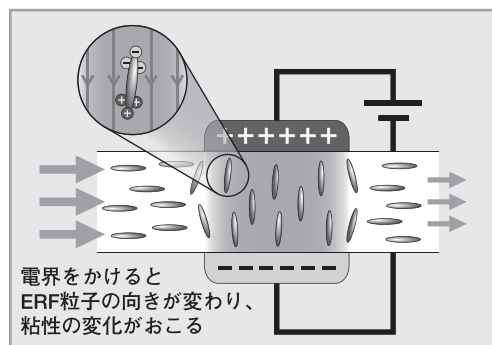


図2 ERFの電界による粘性変化

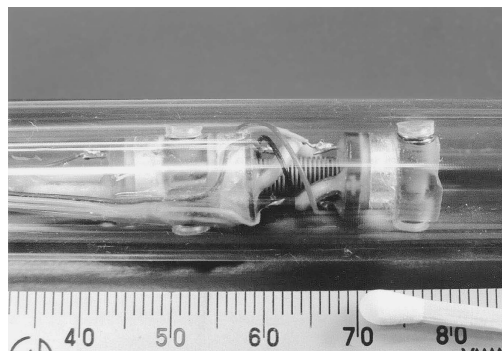


写真2 管内走行マイクロマシンの実物

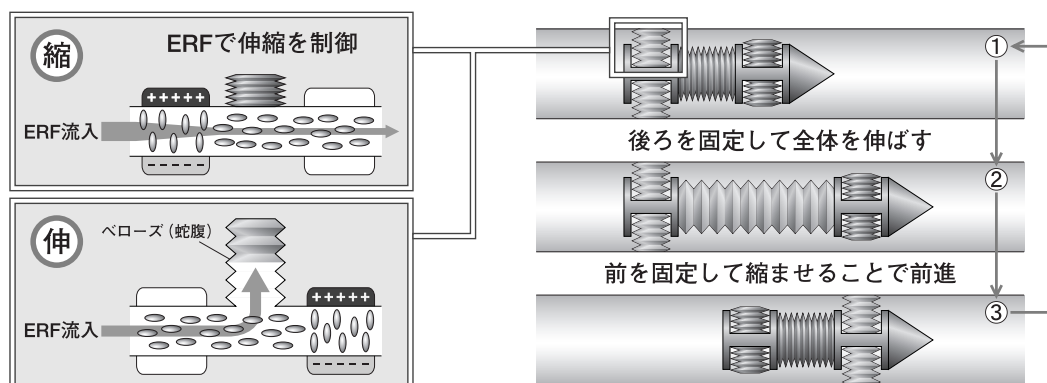


図3 ベローズ付きのERバルブ（左）と管内走行マシンの移動簡易図（右）

ERバルブは図3左のようにERFを流しているパイプに二組の電極を取り付け、その間を流れるERFの圧力を制御するというを基本としている。例えば、ERFが左から右へ流れているのなら、左側の電極に電圧をかけ、右側にかけなければ流れる圧力は低くなり、逆にすれば圧力は高くなる。このように、左右の電圧を制御することで圧力の変化を作り出しているのだ。図3ではERバルブの出力先にベローズと呼ばれる蛇腹の構造をした、圧力が高ければ伸び、低ければ縮むものが取り付けられている。

このERバルブを使用して作られているのが管内走行マイクロマシン（写真2）である。マイクロマシンとはマイクロアクチュエータを組み合わせで作られた、ある作業をすることを前提とした機械である。この管内走行マイクロマシンは、ERバルブを制御部に利用し、原子炉などの施設内にある細管内部の検査を目的として作られたものである。

このマイクロマシンは、図3のようにERバルブの出力部分にベローズを取り付け、変位を作り出し、それを動力としている。具体的には、棒状の本体の前後に外側への変位を作るベローズを取り付け、その間に進行方向への変位を作るベローズを取り付ける。動きと蛇腹の位置は図3右のようなものである。この移動法は尺取り虫をイメージしてもらえると分かりやすいかもしれない。これによって全長35mmのマシンは秒速1mmで動くことが可能である。

また、ERFを利用したアクチュエータの場合は、自身で流れを生み出す事ができないため、外部にポンプを用意してERFを送り込む必要がある。それを解決するため、極小で出力の大きいポンプの開発、そしてそれを使ったポンプ内蔵型の管内走行マイクロマシンの開発が進行中である。

このように多数の発展型をもっている機能性流体の研究は、今もなお、新たな可能性の発見とその発展のために続けられているのだ。

今回の取材では横田眞一先生と吉田和弘先生から、ECFやERFを使った多数の研究についてお話を伺いましたが、紙面の都合上詳しく紹介できなかったものがあるため、この場を借りて少し紹介したいと思います。

ECFを使った研究に回転力を利用したECFマイクロジャイロと、ジェット流を循環力に変えた冷却装置があり、これら二つは企業との提携などを含めた実用化が進んでいます。

この他にも人工筋肉と呼ばれる、伸縮の機能を

ECF、ERFそれぞれで再現するという研究もあります。

このように機能性流体を使った研究には、その特性の使い方次第で広い範囲での応用や、マイクロ化が可能となるのです。

最後になりますが、お忙しい中、度重なる取材に快く応じていただいた上に、製作施設まで見せてくださった横田先生と吉田先生に心よりお礼申し上げます。

（舟渡 隆平）