

【要 旨】

任意の方向に動力伝達の可能性があると思われる、流体を利用するマイクロシステムの圧力伝達機構を検討してきた。本報では磁性流体を用いたマイクロアクチュエータの実現可能性を検討するため、毛細管の中に入っている磁性流体に、ソレノイドに流れるピーク電流、パルスのデューティ比、パルスの周波数を変化させた変動磁場を加えたときに発生可能な磁気圧を検討した。

1. はじめに

これまで、静電力、ピエゾ素子、形状記憶合金、超伝導リニアモータ等を利用する多種のマイクロアクチュエータが開発され、歯車列等の動力伝達機構も一体成形が可能になっている。しかし、これらを用いた「マイクロマシン」全体としての構成を考えると、ほとんどが平面的な構成に限られることになり、任意の方向に動力を伝達することは困難である。我々は流体を用いた圧力伝達機構を構成して、空間的な動力伝達を自由かつ容易に実現することを目的として、マイクロシリンダーを用いての圧力伝達機構に対する基礎検討を行ってきた。¹⁾

本研究では、流体そのものを直接駆動する新しいマイクロアクチュエータとして、外部からの磁場により磁性流体を駆動することを考え、発生可能な磁気圧を検討することによってマイクロ磁性流体アクチュエータの実現可能性に関する基礎的検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

磁性流体に外部磁場を与えたときに発生する磁気圧を調べるため、Fig.1のように実験装置を構成した。

毛細管内の流体に圧力をかけるためマイクロメーターヘッド(図中1)と、シリンジ(図中2)で加圧部を構成した。加えられた圧力は圧力トランスデューサー(PGM-05KG, KYOWA)(図中3)および Strain Amp. (DPM-305A, KYOWA)(図中9)で測定した。毛細管は内径70, 100, 200, 400 μm のものを用いた。なお、ソレノイドにはシリコーンチューブを巻いておき通電中水冷した。

2.2 実験方法

各々の毛細管に、磁性流体をほぼ一定の長さ(約8mm)になるように毛細管現象を利用して吸引させた。毛細管をシリンジ先端に固定し、断面に平行に磁場がかかるよう、毛細管をソレノイドのギャップ中に固定した。加える磁場は、以下のパラメータで決定される変動磁場である。

(1)ソレノイドに流れるピーク電流

(2)パルスのデューティ比

(3)パルス周波数(直流を含む)

磁気圧は、磁場によって磁性流体に生じる圧力である。電流によってソレノイドのギャップに磁場が発生し、これが毛細管の中の磁性流体を保持し、ある圧力以下では磁性流体は動かない。しかし、毛細管にかかる圧力を上げていくと、ある圧力を越えたところで磁性流体が動き始める。本論文では、この時の圧力、いわば磁気保持力を磁気圧として定義し、上記のパラメータおよび毛細管の内径との関係を調べた。

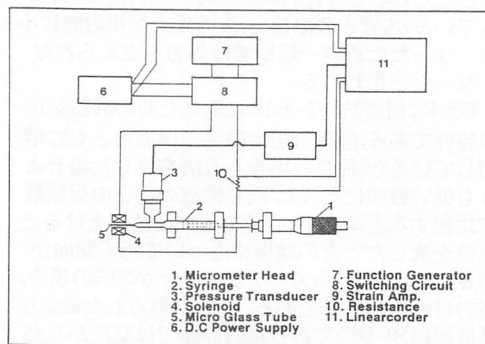


Fig.1 Schematic Diagram of Experimental System

3. 実験結果及び考察

Fig.2は内径70, 100, 200, 400 μm の毛細管での磁場と静磁気圧の関係である。磁気圧は磁場の増加と共に増加し、磁場と磁気圧はほぼ直線関係を示す。しかし、磁気圧は内径が小さいものほど増加した。毛細管が細くなると相対的に表面張力が増加することになり、表面張力が原因であると考えられる。本実験での磁気圧は管内の流体が動き出すまでの保持力であるから、表面張力は保持力を増加させる向きに働き、定性的に実験結果と一致することが分かる。表面張力によって生じる圧力は

$$P=4T/d$$

である。ここで、 T は表面張力(フェリコロイドHC-50で $25 \pm 2 \text{ dyne/cm}$)、 d は管径である。この式によって表面張力による圧力を計算すると、内径70, 100,

200,400 μm で、それぞれ12.0,8.4,2.8,1.4 mmHgとなり、内径に依存する差はこの圧力によってほぼ補正でき、この差の原因は大部分が表面張力であると考えられる。表面張力は流体を移動させるためには抵抗となり、アクチュエータとして使用する際には不利に働くと考えられるので、さらに細い管を用いる場合には十分な注意が必要となる。

Fig.3は周波数を10Hzに固定してパルスのデューティを20%~100%に変えた時の特性を示す。毛細管の内径は(a)で70 μm 、(b)で400 μm である。(a)では磁場の増加に従って磁気圧は増加し、ほぼパルスのデューティに比例する関係を示す。しかし、(b)では(a)の傾向と大部異なっており、毛細管の径がパルスのデューティと磁気圧に影響を与えていることがわかる。パルス電流を加えた場合、電流が流れていない間は磁性流体にかかる力は外力のみで、保持する側は摩擦抵抗、表面張力、流体の慣性力等であり、流体が動き出す前に次のパルスがかかれば磁性流体の保持が可能と考えられる。従って基本的には周波数特性と共通の問題であると思われる。内径400 μm の管では特性が異なっているが、管との摩擦力、表面張力が相対的に小さくなったため同一周期では外力を支えられなくなったと思われる。

Fig.4は周波数を2~30Hzに変えた時の静磁気圧の特性である。静磁気圧は磁場の増加とともに増加しているが、何れの場合も直流を流した場合よりも低い数値になった。同じ電流の場合の周波数で比較すると、2~30Hzの間では周波数を上げると直流を流したときの結果に近づいて行く傾向が示されている。パルスのデューティが50%の場合、電力は直流の半分である。しかし、得られた磁気圧は直流の50~80%であり電力の面では交流が有利である。デューティと周波数の組み合わせで、より低電力で磁気圧を得られる可能性があり、また、低電力化は発熱の観点からも重要であるため、今後の検討が必要である。

4.まとめ

磁性流体を外部磁場で駆動するマイクロアクチュエータは、現段階では、ソレノイドがミリオーダーのサイズでなければ実用的なものは難しいと思われる。しかし、流体を直接に駆動できるという点は、他のアクチュエータにない大きな長所であり、今後、"マイクロコイル"の研究が流体システムにとって重要であると考えられる。

【参考文献】

1)金 他：精密工学会北海道支部講演論文集(1992)

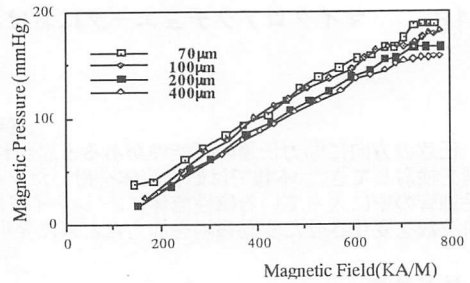


Fig.2 Relationship between Magnetic Pressure and Magnetic Field on Various Diameter

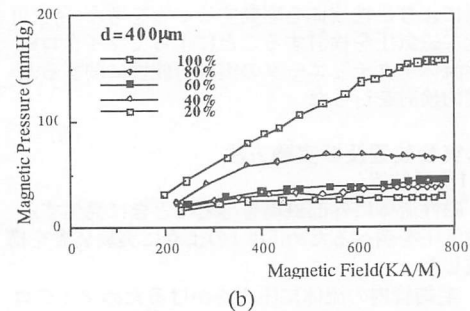
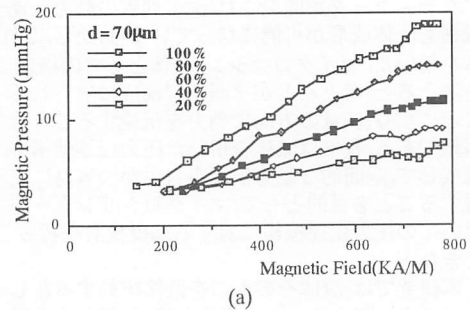


Fig.3 Relationship between Magnetic Pressure and Magnetic Field on Various Duty

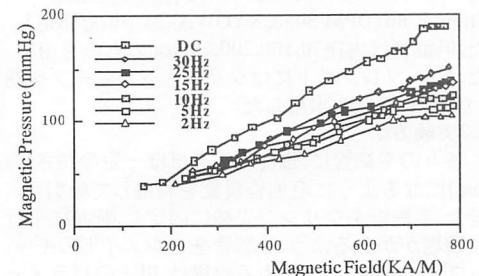


Fig.4 Relationship between Magnetic Pressure and Magnetic Field on Various Frequency.