磁界方向への自走型アクチュエータ

Self Running Actuators Moving in the Same Direction as the Exciting Magnetic Field

榎園正人・戸高 孝・後藤広生

大分大学工学部, 大分県大分市旦野原 700 (☎870-1192)

M. Enokizono, T. Todaka, and K. Goto

Faculty of Engineering, Oita University, 700 Dannoharu, Oita 870-1192

This paper presents two kinds of drive units whose rotation axes are parallel to the exciting outer magnetic field. One is a hard-material-type that uses permanent magnets and silicon steel sheets to obtain the radial components of the field strength, and the other is a soft-material-type that uses the vibration of an amorphous ribbon to induce a rotational force. These drive units were developed to improve the freedom of movement of sensing devices. By combining the developed units with conventional ones, it will be possible to control the movement of devices freely by means of the outer magnetic field. In this paper, the basic characteristics of the drive units and their applicability are discussed.

Key words: permanent magnet, silicon steel, diamagnetic field, amorphous ribbon, magnetic moment, vibration

1. はじめに

近年、核融合炉や原子力施設などの複雑な構造をもった施設が急増しており、今後も増加の傾向にある。そのような構造物は、ほとんどが複雑に張り巡らされた配管によって構成されており、人間やロボットが入り込めないような場所が多数存在する。そのような配管の保守、点検のためには、配管の内部を通り目標のところまでいき、配管内部を自由に動作することができるアクチュエータの開発が必要である。複雑に湾曲した配管内部を移動するためには、小形であることはもちろん、高出力であり、動作の安定した駆動装置が必要となる。そのためには、動作の妨げとなる電源コードを用いず、エネルギーを外部からワイヤレスで供給する方法が望まれるが、外部からの磁場のエネルギーを用いればこれらの問題を解決できると思われる¹⁾。

配管内部は普通、液体などで満たされているので、スクリュウのように回転運動を利用して、移動するのが効率的であると考えられる。ただし、その構造はできるだけ単純化されなければならない。一般の多くの回転駆動部は、Fig. 1 のように、トルクが簡単に効率的に得られるように回転軸が磁界方向と垂直である。一方、実際の配管は多くの湾曲部をもち、励磁器の配置スペースは限られている。そこで一般には励磁コイルは Fig. 2 のようにソレノイドコイルを設置せざるをえない。よって磁界は配管の長さ方向に誘起されることになる。回転力を推進力へ変換する場合に問題になるのが、これまでの回転方向では磁界と垂直な方向への動作に限られており、外部磁界に

おけるアクチュエータの動作をコントロールすることが困難なことである。

我々は、まずこの問題を解決すべく回転軸が外部磁界と平行は回転力発生のための2種類の回転駆動部を試作した。一つは硬質磁性材料である永久磁石を用い、交流磁界中のけい素鋼板との間に働く磁気力を利用したもので、もう一つは軟質磁性材料であるアモルファスリボンの交流磁界中での振動を利用したものである。この回転方向ならば、湾曲した配管内でも配管の長さ方向へ移動が可能になるものと考えられる。本報告では、試作したこれら2種類の回転駆動部について述べる。

Fig. 1 Ordinary direction of rotation.

Fig. 2 Exciting coil and bending pipe.

Fig. 3 Photograph of hard-material-type.

2. 硬質磁性材料を用いた駆動部

2.1 構造と動作原理

硬質磁性材料である永久磁石を用いた回転駆動部を Fig. 3 および Fig. 4 に示す。Fig. 5 はモータの固定子に相当するもので、アクリル性の円筒の内壁に横 20 mm、縦 40 mm、厚さ 0.5 mm の方向性けい素鋼板 6 枚を 60 度間隔で円状に、長さ方向に対しては互いに交差するように装着している。筒の大きさは半径 42 mm、高さ 70 mm である。そして、円筒の内部には Fig. 6 のように、アクリル性の回転子がある。回転子の表面には 6 個の永久磁石が交互の磁化方向で配置されている。用いた永久磁石は Ne-Fe-B 系のもので、半径 3.6 mm、幅 1.0 mm である。回転子の寸法は、半径 30 mm、厚さ 7.45

Fig. 4 Hard-material-type drive unit.

Fig. 5 Schematic view of the stator.

Fig. 6 Schematic view of the rotor.

Fig. 7 Appearance of the diamagnetic field.

mm である。

外部交流磁界が印加されると、Fig. 7 に示すようにけい素鋼板の両端には反磁界による磁極が同期で発生する²⁾。けい素鋼板どうしが交差している円筒中間部では、隣合うけい素鋼板の端は互いに逆の極性になり、また同期で変化している。そこでは移動磁界が発生していることになり、回転子に装着された永久磁石には、けい素鋼板の先端部との間で斥力および反発力が発生する。このとき、力の作用反作用により外側の円筒が回転しないように駆動部が固定されているならば、回転子のみが回転運動を行うことになる (Fig. 9)。しかし、移動磁界は逆方

Fig. 8 Photograph of a cross section.

Fig. 9 Mechanism of rotation.

Fig. 10 Frequency characteristic of the rotation speed and of the field strength which this drive unit could keep on rotating.

向にも考えられるため、現段階では始動トルクのない状態である。Fig. 8 は、この回転駆動部を長さ方向から見た写真である。

2.2 動作特性

Fig. 10 は本回転駆動部における空气中で磁界強度が 20 Oe のときの回転速度と空气中で回転を維持するための磁界強度の測定結果を示している。同期で回転していることがわかる。また、微少な磁界強度でも回転しうることが確認された。しかし、トルクは非常に小さいと思われる。ただし、磁界強度は回転子中心部で測定したものである。

3. 軟質磁性材料を用いた駆動部

3.1 構造と動作原理

軟質磁性材料のアモルファスリボンを Fig. 11 のように交流磁界に対して斜めに固定すると、アモルファスリボンの容易磁化方向と外部磁界とが平行になろうとするモーメントにより、リボンは振動を行う。交流磁界中での予想される変位の状態を相対的に示したのが Fig. 12 である。磁界強度 (H) の変化に沿って同様に変位 (δ) も変化すると考えられ、また、磁界の向きが正負逆転するとき (図中 a) は惰性により、一瞬だが負方向へ振れると予想される。Fig. 11 のような状態でのアモルファスリボンの先端の最大変位 $\delta_{\max}$ の周波数特性を Fig. 13 に示す。用いたアモルファスリボンは幅 2 mm、長さ 20 mm、厚さ 0.05 mm であり、底面に対して約 35° 傾斜させている。Fig. 13 より、20 Hz 付近までは、いずれの磁界強度でも変位

Fig. 11 Vibration of the amorphous ribbon.

Fig. 12 Relationship between the field strength and the deflection.

は 2~3 mm 程度であるが、25.96 Oe においては 25 Hz では 12 mm と変位が急増している。これは、形状による共振が発生したためと思われる。

Fig. 14 および Fig. 15 はいくつかのアモルファスリボンを組み合わせた回転駆動部である。Fig. 16 のようにアモルファスリボンを 6 枚、半径 20 mm、厚さ 0.1 mm の薄い円形の PET フィルムの円周上にヒンジを介して装着してある。用いたアモルファスリボンは Fig. 11 と同じ条件であり、同様に回

Fig. 13 Frequency characteristic of the deflection.

Fig. 14 Photograph of soft-material-type.

Fig. 15 Soft-material-type drive unit.

Fig. 16 Schematic view of the drive unit.

Fig. 17 Mechanism causing the force.

Fig. 18 Frequency characteristic of the rotation speed.

Fig. 19 Resonance of the amorphous ribbon.

転面に対して約 35° 傾斜させている。Fig. 16 のようにフィルムとアモルファスリボンは PET フィルム状のヒンジによって重ね合わせて装着されているので、交流磁界を印加するとアモルファスリボンは振動を行い、断続的に機械的な力が装着部分に与えられる。その様子を Fig. 17 に示す。装着全体として見ると、アモルファスリボンは回転板の円周方向に装着されているので、1枚1枚から発生する力が合成され回転することになる。

3.2 動作特性

Fig. 18 に軟質磁性材料を用いた回転駆動部における空気中での回転速度と励磁周波数の関係を示す。いずれの磁界強度に

おいても 25~30 Hz 付近でしか回転していない。29 Hz 近傍で 124.3 Oe のとき 570 rpm で最大になっている。25 Hz 付近で動作が不安定になり逆回転が生じているが、これは Fig. 13 に示したように、同周波数 25 Hz でのアモルファスリボンの振幅の急増と関係があると考えられる。すなわち、Fig. 19 に示すように、点 S を節として共振が発生したとすると、PET ヒンジ側のリボンの先端は点 P1 または点 P2 の位置へ移動しようとヒンジに力が生じる。相対的に逆方向への力が強くなったとき、逆方向にトルクが生じ、逆回転が生じたのではないと思われる。

4. ま と め

配管内を移動する自走型アクチュエータの移動機構として、磁界と平行な軸での回転運動を行う回転駆動部を2種類試作した。それぞれの回転駆動部についての特徴を以下に述べる。

(1) 硬質磁性型駆動部

硬質磁性材料である永久磁石を用いて、交流磁界中に設置されたけい素鋼板の端に生じる磁極の変化を利用することで、回転軸が磁界と平行な回転運動が得られた。将来的には、回転軸にスクリューのようなものを装着することによって、複雑な配管内を移動する自走型アクチュエータへの応用が期待される。

しかし、現段階では本回転駆動部は始動トルクがなく、トルクもまだ小さい。したがって今後は始動トルクの発生方法と、トルクの増大を検討する必要がある。

(2) 軟質磁性型駆動部

軟質磁性材料であるアモルファスリボンを交流磁界中に設置し、磁気モーメントから生じるアモルファスリボンの振動を利用することで、回転軸が磁界と平行な回転運動が得られた。しかし、振動を利用しているため動作が不安定であり、トルクも非常に小さい。今後は、動作の安定化を検討する必要がある。

アクチュエータの構造は、単純でかつ強固であり、動作の安定性が要求される。本報告では試行錯誤の実験により、2種類のアクチュエータを考案した。しかし、外部エネルギーの効率的な利用や動作の安定化のためには、気体や流体中でのアクチュエータの運動シミュレーションが必要である。

文 献

- 1) 本田 崇, 島崎克彦, 荒井賢一: 日本応用磁気学会誌, 20, 541 (1996).
- 2) 加藤哲男: 技術者のための磁気・磁性材料, p. 25 (日刊工業新聞社, 東京, 1991).

1997年10月29日受理, 1997年12月18日採録