F41 管内移動用ケーブルレス型磁気マイクロアクチュエータの特性改善

Improvement of Moving Characteristics of a Cableless Magnetic Micro-actuator Capable of Movement in a Pipe

残間 寿浩 (東北学院大) 加藤 公男 (東北学院大) ○正 矢口 博之 (東北学院大) 石川 和己 (東北学院大)

Toshihiro ZANMA, Kimio KATO, Hiroyuki YAGUCHI, Kazumi ISHIKAWA

Tohoku Gakuin University, 1-13-1 Tagajo, Miyagi

Key Words: cableless micro-actuator, mechanical DC-AC inverter, double excitation, reversible motion

1. はじめに

原子炉, 化学プラントライン, さらには医療などの幅広い分野において, 管内探索マイクロロボットの要求が高まってきた。これらのロボットは, 人手では作業不能な配管の検査および修理を目的とするもので, 医療分野では生体内における診療用などへの応用も期待されている。本研究では, 管内探索マイクロロボットを最終目的として, 振動体が発生する慣性力を動力源として, 内径 8 mm の細管内を走行可能なケーブルレス型アクチュエータを提案し, 筆者らが以前試作したアクチュエータ¹⁾において得られた走行特性の改善を図るものである。実験では電池の直流電源を直接交流電源に変換する DC-AC インバータについて考察し, アクチュエータのケーブルレス化を図った。また電磁石を有する振動体を永久磁石 1 個により単一加振した場合と, 2 個用いて 2 重加振した場合について, 推進性能の検討も行った。さらにアクチュエータの移動方向制御についての検討も試みている。

2. ケーブルレス磁気マイクロアクチュエータの構造

Fig.1 は本研究において試作された内径 8 mm の管内を走行可能なケーブルレス型磁気アクチュエータの構造を示したものである。本アクチュエータは, 2 個の永久磁石 I および II, 並進ばねおよび 1 個の励磁用電磁石により構成される。用いた永久磁石 I および II は, 高さ方向に着磁された円筒型 NdFeB 磁石で, その寸法は $\Phi 6 \times 3$ mm および $\Phi 6 \times 5$ mm であり, 表面磁束密度はそれぞれ 350 mT および 400 mT である。並進ばねとしては外径 6 mm, 自由長さ 14 mm, ばね定数 $k = 632$ N/m のステンレス鋼製圧縮コイルばねを用いた。励磁用電磁石は直径 1.7 mm の軟鋼材に直径 0.07 mm の銅線を 2550 回巻いたものであり, その電気抵抗は 160 Ω である。本アクチュエータの断面と構成材の寸法を Fig.2 に示す。静止時における鉄心と永久磁石との空隙は 1.9 mm である。また長さ 10 mm, 幅 5 mm, 厚さ 0.5 mm の柔軟な自然ゴム材がアクチュエータの両端へ 2 枚取付けられている。なおアクチュエータの全長は 63 mm, 総質量はボタン電池 10 個搭載時において 7 g である。

Fig.1 Cableless magnetic micro-actuator.

Fig.2 Propulsion module of an actuator.

Fig.3 Mechanical DC-AC inverter.

Fig.4 Detail of curved beam.

3. 自動振回路によるエネルギー供給

本マイクロアクチュエータに搭載するボタン電池は、直流を発生するため、これを交流に変換する必要がある。Fig.3はアクチュエータ駆動用DC-ACインバータの原理を示したものである。これは1自由度振動体と振動体上に取付けられた銅製電極およびFig.4に示すような先端部に銅製電極を有する円弧状片持りにより構成される。電極および電磁石をFig.3のように結線し、電池等に接続する。両振動体が振動を行うと電極同士が接触し、直流電源の電圧は方形波電圧に自動的に変換される。この交流性の電圧が電磁石の両端に磁気反発力と吸引力を発生させ、振動体は振動を継続することができる。

4. ケーブルレス磁気マイクロアクチュエータの走行特性

Fig.1に示す磁気マイクロアクチュエータを試作した。アクチュエータを駆動する直流電源としては、マクセル社製SR621W ボタン型酸化銀電池 10 個を直列結合して用いた。Fig.5はアクリルパイプの傾き角 α と移動速度との関係を示したものである。図において $\alpha = -90^\circ$ は垂直下降移動、 $\alpha = 90^\circ$ は垂直上昇移動に相当するものである。また図中、○印は永久磁石 I および II を双方用いた場合、□印は永久磁石 I のみを単独で用いた場合である。永久磁石 I、II を双方用いた場合、振動体への加振力は、永久磁石 I のみを用いた場合に比べ 2 倍となる。図より 2 倍加振の場合、その水平移動速度は 40.8 mm/s、垂直上昇速度は 33.6 mm/s である。Fig.6はアクチュエータに付加質量を取付け、付加質量と垂直上昇速度との関係を示したものである。図より 10 g の付加質量を取付けても 24 mm/s の速度で移動可能であることから、2 倍加振型アクチュエータは極めて高い推進性能を有することが分かる。

5. 移動方向制御の検討

本アクチュエータで非磁性体配管内を走行させる場合は、管外に複数個のコイルを配置し、アクチュエータに電磁力を加えて、本体に取付けられたゴム材を反転させることにより、移動方向を制御することが可能となる。移動方向制御の概略をFig.7に示す。コイルAは直流電源に、コイルBおよびCは、FFTアナライザと抵抗回路を経た乾電池の双方に接続され、両者は分離可能形式とした。これら複数個のコイルを用い、コイル中央部において発生させる磁界を制御することで、アクチュエータの移動方向を反転させた。

6. まとめ

内径 8 mm の細管内を走行可能なケーブルレス型磁気アクチュエータを試作し、そのモデルについて推進性能を検討した。永久磁石 2 個を用いて 2 倍加振型アクチュエータとした場合、酸化銀型ボタン電池 10 個搭載時、その水平移動速度は 40.8 mm/s、垂直上昇速度は 33.6 mm/s であり、10g の負荷質量を搭載しても 24 mm/s の速度で垂直上昇することを確認した。さらに複数のコイルを管外に配置し、外部磁界によるアクチュエータの移動方向制御に関する実験を試みた。

参考文献

- 1) 南條勇太・加藤公男・矢口博之：管内走行用ケーブルレス型マイクロアクチュエータの走行特性，日本機械学会関西支部第 82 期講演会，2007 年 3 月。

Fig.5 Relationship between angle and speed.

Fig.6 Relationship between load mass and vertical motion speed.

(a) Outline of reversible motion.

(b) Arrangement of coil.

Fig. 7 Principle of reversible motion.