603 管内走行用磁気アクチュエータの走行特性におよぼす加振力の影響

Electromagnetic Force on Locomotion properties of Magnetic In-Piping Actuator

○渡邊 龍一（東北学院大学） 泉川 友宏（東北学院大学） 正 矢口 博之（東北学院大学）

Ryuichi WATANABE, Hiroyuki YAGUCHI
Tohoku Gakuin University, 1-13-1 Tagajo, Miyagi

Key words: magnetic actuator, dc-ac inverter, locomotion principle, resonance drive, inertia force.

1. はじめに

原子炉，化学プラントライン，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ている．これら問題の一つとして著者らは，配管の検査やメンテナンスを最終目的とした，管内走行用ケーブルレス型マイクロ磁気アクチュエータ¹⁾を提案している．しかし，本ケーブルレス型アクチュエータにおいては，走行距離や推進特性については未だ改善点も多く，実用化に向けて性能の更なる向上が必要となる．

本研究では，ボビン状の形状を有する電磁石を搭載し，共振エネルギーにより走行可能な内径 8 mm の管内走行用ケーブルレス型磁気アクチュエータを提案している．実験では，アクチュエータの動力源となる磁気発生力が大となるように，ボビン形状の検討を行った．さらにアクチュエータの保持力変化させた場合の走行原理の確立を図った．

2. ケーブルレス型磁気マイクロアクチュエータの構造

図 1 は内径 8 mm の管内を走行可能な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，自身の振動によりボタン電池の直流電圧を交流電圧に自動的に変換させる DC-AC インバータと図 2 に示すような推進部とに大別される．推進部は，リング型永久磁石 A および B，同一諸元を有する 2 個の並進ばね並びにボビン状電磁石により構成される．用いた永久磁石は，両面 2 極着磁リング型 NdFeB 磁石で，その寸法はタイプ A については外径 Φ 7.8 mm，内径 Φ 5.8 mm，厚さ 4.6 mm，タイプ B については外径 Φ 6.5 mm，内径 Φ 2 mm，厚さ 1.5 mm である．並進ばねとしては，ばね定数 $k = 1425 \text{ N/m}$ ，自由長 5 mm，外径 6 mm のステンレス鋼製圧縮コイルばねを用いた．

さて図 2 に示すようなボビン状電磁石において，両端の円盤状コアの直径は 5.0 mm，幅は 0.5 mm であり，両者を連結する軟鋼丸棒の直径は 2.5 mm である．本電磁石には外径 0.07 mm の銅線を 3200 回巻きつけており，その電気抵抗は 225 Ω である．また図 1 に示すように，アクチュエータのフレーム両端には 2 枚の柔軟な長方形の自然ゴム材が

Fig.1 Structure of actuator.

Fig.2 Propulsion module of actuator.

取り付けられている．このゴム材によってアクチュエータは管内で保持され，推進部において生じる交差的な力を効果的に一方方向運動に変換することが可能である．アクチュエータの寸法は，ボタン電池搭載時において全長 78 mm，外径 7.8 mm であり，総質量はボタン電池 10 個搭載時において 9.7 g である．

図 3 はボタン電池などの直流電圧を，振動体が必要とする交流電圧に変換する，DC-AC インバータによる自励振回路の原理を示したものである．これら DC-AC インバータは，磁気感应素子である長さ 10 mm，外径 1.8 mm のリードスイッチと，アクチュエータ本体に固定された円弧状永久磁石により構成される．なお，アクチュエータ静止時において，リードスイッチは永久磁石に感応せず，電磁石に電力は供給されない．電磁石に外部から初期変位を与えると，結合ロッドに取付けられたリードスイッチは，永久磁石を中心として比較的大きな振幅で振動する．この振幅差によりリードスイッチと永久

Fig.3 DC-AC inverter.

Fig. 4. Experimental apparatus.

磁石との間には、磁界の強弱が発生する。これらを利用してリードスイッチは ON-OFF 動作を行い、電池の直流電圧は方形波に自動的に変換される。この生成された電圧が、電磁石に電磁的加振力を与え、アクチュエータは永続的に共振状態を維持することができる。

Fig. 5. Relationship between number of battery and vertical upward speed.

また、図4に示すように、入力電流を変化させた場合の推進部の磁気発生力をフォースゲージを用いて測定した。

さて、電磁石に入力する電流をパラメータとして、推進電流を変化させた場合のアクチュエータの走行速度を測定し、磁気発生力と走行特性との関係を明らかにした。入力電流を変化させた場合のアクチュエータの推進特性の変化を図5に示す。入力電流の増加により推進部の磁気発生力は増加し、推進部の振動変位は増加する。この変位の増加により走行速度は2次的に増加することを解明した。また、本アクチュエータは4個の電池でも走行可能であることを明らかにした。

3. アクチュエータの走行特性

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 SR626W ボタン型酸化銀電池を用いた。その諸元は、外形 6.8 mm, 厚さ 2.6 mm, 質量 0.4 g, 公称電圧 1.55 V である。図6はパイプ傾き角度とアクチュエータの走行速度との関係を電池の個数をパラメータとして示したものである。図において、90° は垂直上昇、-90° は垂直下降を意味している。図より電池 10 個搭載時、本アクチュエータの垂直上昇速度は 225 mm/s, 水平移動速度は 287 mm/s である。

Fig.6 Relationship between angle and speed.

4. まとめ

新しい電磁石コアを搭載した高推進力発生が可能な管内走行用ケーブルレス型磁気アクチュエータを試作し、その試作モデルについて推進性能を検討した。また、推進部の磁気発生力が推進特性と与える影響を明らかにした。ボタン型電池 10 個搭載時、その垂直上昇速度は 225 mm/s であり、10 g の負荷質量を搭載しても、90 mm/s の速度で垂直上昇することが確認された。