

機能性流体とその応用研究

彭 敬輝*, 外川 貴規**, 中村 栄竣**, 橘 拓真***, 田中 豊***, 李 松晶****

Application Study of Functional Fluids

Jinghui PENG*, Takanori TOGAWA**, Eishun NAKAMURA**,
Takuma TACHIBANA***, Yutaka TANAKA***, Songjing LI****

As combination of both mechanical and electronic systems, micro mechatronics is attracting more and more research interests with significant development of micromachining techniques. Micro mechatronics systems are expected to be the most potential high-tech integrated product. In our project team, functional fluids such as magnetic fluids (MF), electro-rheological fluids (ERF), and electro-conjugate fluids (ECF) with high performance are applied to the micro mechatronics components and systems. The viscosity and yield stress of the MF and ERF can be controlled widely and rapidly by changing external magnetic and electric fields, respectively. The ECF generates a strong jet flow according to applied DC voltages. We have proposed and developed three types of the micro-mechatronics component using the functional fluids, the MF, ERF and ECF. Damping effects of the MF on vibration suppression of torque motor in hydraulic servo valves has been quantitatively analyzed and experimentally verified. Development of a small-scale soft braking device using the ERF and a soft actuator using the ECF has a great potential to perfectly solve the problems for micro-mobile robots. A small scale disk type ER brake for the micro-mobile robot and a novel micro suction pad actuator with a flexible rubber film and a sucker driven by the ECF jet flow has also been proposed and developed. Prototype components have been designed and fabricated. The simulation and experimental results are compared and analyzed thoroughly.

Key Words : Electro-conjugate fluid, Electro-rheological fluid, Magnetic fluid, Functional fluids,
Micro-mechatronics components

1. はじめに

機能性流体は磁界や電界などの変化により流体の物理的特性が変化・発現する流体の総称で、従来の機械要素に比べ、簡易な構造で減衰、制動、駆動性能等を実現できることから小形化に適しており、マイクロメカトロニクスシステムを構成する要素への応用が期待されている。法政大学デザイン工学部の高機能メカトロニクス研究室では、中国・ハルビン工業大学の流体制御自動化研究室、(有) 新技術マネジメント殿と共同で、磁性流体 (Magnetic fluid : MF) や電気粘性流体 (Electro-rheological fluid: ERF), 電界共役流体 (Electro-conjugate fluid: ECF) が持つそれぞれの特性を活かした小形機械要素の研究開発を進めている。

本報では、MF の粘性減衰特性をトルクモータに用いたノズルフラップ形電気油圧サーボ弁、ERF の粘性変化による減衰・制動特性を用いた小形ロボット用制動装置、ECF 効果による発生する流動特性を

ソフトアクチュエータ駆動に用いた小形吸着アクチュエータについて紹介する。

2. MF の減衰特性を用いたノズルフラップ形電気油圧サーボ弁

Fig.1 に MF を用いたノズルフラップ形電気油圧サーボ弁の構成を示す¹⁾。初段のトルクモータの可動電磁子とコイルの間のギャップに MF が充填されており、MF の粘性変化により可動フラップは大きな減衰特性を得る。MF はコイル電流が零でも永久磁石の磁界によりギャップ間に留まっている。

MF が有る場合と無い場合でトルクモータ駆動電

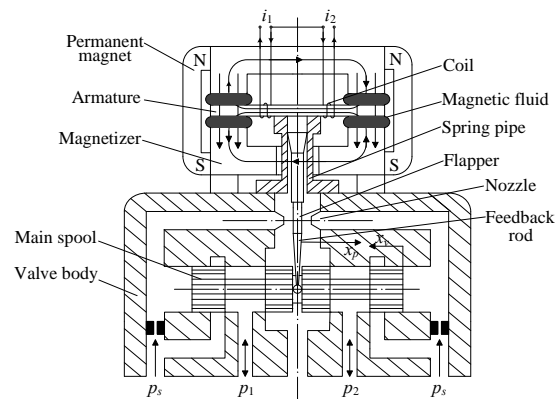


Fig.1 Structure of hydraulic nozzle-flapper servo-valve with the magnetic fluid

* 法政大学 マイクロ・ナノテクノロジー研究センター
(〒184 - 0003 東京都小金井市緑町 3-11-15)

** 法政大学大学院デザイン工学研究科

*** 法政大学デザイン工学部システムデザイン学科
(〒102 - 8160 東京都千代田区富士見 2-17-1)

**** ハルビン工業大学

* ** *** Hosei University, JAPAN

**** Harbin Institute of Technology, CHINA

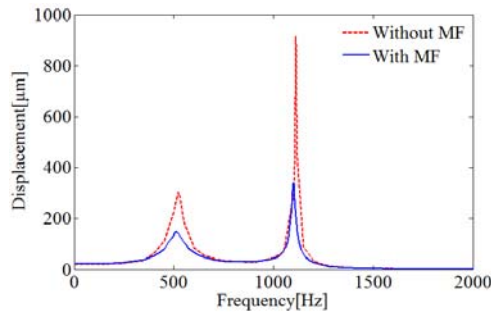


Fig. 2 Tested amplitude-frequency response of torque motor with and without the magnetic fluid

流の正弦波状周波数変化に対するフラップの駆動振幅特性を測定した。Fig.2 に実験結果を示す。0~2.0 kHz の周波数領域に対して固有振動モードの周波数で振幅のピークが大きく減少し、トルクモータの安定性が向上することがわかる。この減衰効果は有限要素法による振動解析でも確認されている²⁾。

3. ERF の粘性制動特性を用いた小形制動装置

ERF は電極間の電界の変化により見かけ上の粘性が変化する機能性流体である。競技会用の小形走行ロボットに ERF を用いた制動装置を搭載することを提案し、その構造や動作特性を検討している³⁾⁴⁾。

Fig.3 に小形制動装置に用いる ERF の特性を示す。また Fig.4 に ERF 制動装置の構造図を示す。装置は正負の円板状電極と回転軸および導電性軸受と ERF を封入する筐体で構成されている。電極間に電圧を

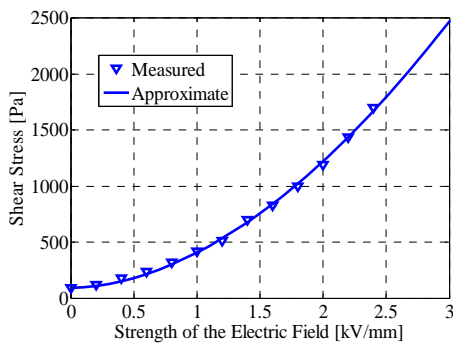


Fig.3 Shear stress vs strength of the electric field for particle type ERF

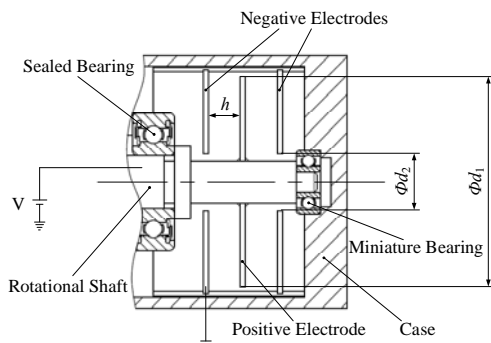
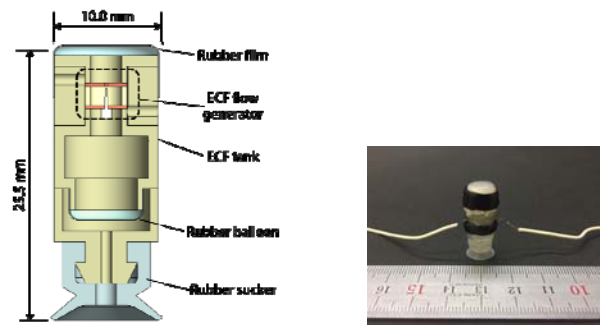


Fig.4 Construction of the ER brake

印加し、2層分の ER 効果が得られる。Fig.3 に示す特性を持つ ERF を用いた小形制動装置数学モデルを構築し、その制動効果の妥当性をシミュレーションで確認するとともに、小形制動装置を試作し特性の検証を行った。

4. ECF を駆動源とする小形吸着アクチュエータ

ECF は電極間に直流高電圧を印加すると電極間にジェット流が発生する機能性流体である。この ECF の流動特性を用いて蛸の吸盤を模した小形ソフトアクチュエータを構成した⁵⁾。Fig.5 に小形吸着アクチュエータの構造と試作結果を示す。



Cross-sectional drawing view Prototype of micro suction pad

Fig.5 Structure of the micro suction pad

5. おわりに

機能性流体は小形で高出力・高機能なマイクロ機械要素の構成に適している。本稿では、法政大学システムデザイン学科の高機能メカトロデザイン研究室で取り組んでいる機能性流体を用いた小形機械要素の研究開発状況を紹介した。

参考文献

- 1) Jinghui Peng, Songjing Li, Yutaka Tanaka, Vibration suppression of the armature assembly in a hydraulic servo-valve torque motor using the magnetic fluid, Proc. 20th ICMT in Dalian (2016).
- 2) Jinghui Peng, Songjing Li, Yutaka Tanaka, Numerical Study on the Vibration Suppression of the Armature Assembly in a Hydraulic Servo-Valve Using the Magnetic Fluid, Proc. 18th ISAEM, (2017).
- 3) Xiangxiang Fan, Sayako Sakama, Takanori Togawa, Yutaka Tanaka, Design and Fabrication of ER Braking Device for Micromouse, Proc. 7th FPM2015, IEEE No.CFP1599K-USB, pp.729-733 (2015).
- 4) Jinghui Peng, Takanori Togawa, Yutaka Tanaka, Design of ER Braking Device for Micro-mobile Robot, Proc. 9th ICFP2017, Session C: Simulation, pp.167-171 (2017).
- 5) 中村栄俊, 田中豊, 枝村一弥, 横田眞一, 機能性流体パワーを用いた小形吸着アクチュエータの設計と試作, 第15回「運動と振動の制御」シンポジウム 講演論文集 (2017).