2210 バルブ分割形 FERV を用いたマイクログリッパ

A Microgripper Using Valve Division Type Flexible ER Valves

正 吉田和弘 (東工大精研) 学 原 創太 (東工大院)
 ○ 正 嚴 祥仁 (東工大精研) 正 横田眞一 (東工大精研)

Kazuhiro YOSHIDA, P&I Lab., Tokyo Institute of Technology, R2-42, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama
 Souta HARA, Graduate School, Tokyo Institute of Technology
 Sang In EOM, P&I Lab., Tokyo Institute of Technology
 Shinichi YOKOTA, P&I Lab., Tokyo Institute of Technology

For maintenance microrobots for small diameter pipes in power plants and so on, we proposed and developed a novel microgripper using valve division type flexible electro-rheological valves (FERVs). Each bendable arm consists of the FERV and a rubber chamber with several millimeters long. The FERV has plural short length ER valves in a rubber channel. Each ER valve controls the electro-rheological fluid (ERF) flow by changing the viscosity with the electric field. The FERV has high flexibility with sufficient pressure control range. The rubber chamber has plural walls inside to restrict the radial expansion and axially extends by the inner pressure controlled with the FERV. Arm large models and a gripper were fabricated and characterized.

Key Words: Microgripper, Microactuator, ERF (electro-rheological fluid), Flexible, ER valve

1. まえがき

発電所や化学プラントにおける直径 10 mm 程度の細管内でメンテナンス作業を行う管内作業マイクロマシンの開発が求められている⁽¹⁾。著者らの一部は、印加電界による見かけの粘度の変化により高パワー密度の流体パワーを制御できる均一系 ERF (electro-rheological fluid) を応用したマイクロマシンの開発を進めている⁽²⁾。管内作業マイクロマシンの作業用ハンドとして、樹脂を主な材料とした薄いカンチレバー構造で、厚さ方向に柔軟に屈曲可能なカンチレバー形 FERV (flexible ER valve) を応用したマイクログリッパを提案、試作し、その屈曲動作を確認した⁽³⁾。しかし、カンチレバー形 FERV の剛性がまだ高いため先端変位は小さく、物体の把持には不十分である。

本研究では、軸方向に分割した ER バルブをゴム製流路で接続した構造の FERV と、内側にひだを有し、大きな伸縮変位が得られるゴム製チャンバを一体化したアームから成るマイクログリッパを提案、試作し、特性実験を行う。

2. バルブ分割形 FERV を用いたマイクログリッパの提案

提案するマイクログリッパアームは、Fig. 1 に示すように、バルブ分割形 FERV とゴム製チャンバから構成される。

(a) Schematics of the overall structure

(b) Structure of the arm

Fig. 1 Proposed microgripper

流路中の平板電極対による印加電界で均一系 ERF の流れを制御するシンプルでマイクロ化に適した ER バルブにおいて大きな圧力変化を得るためには、電極部流路は、高さの減少は応答性の低下を、幅の減少は側壁の影響による ER 効果の低下を生じるため、十分な長さが必要である。バルブ分割形 FERV は、十分な圧力変化と高い柔軟性を得るため、Fig. 1(b)に示すように ER バルブを軸方向に分割し、それらをゴム製流路で接続した構造である。シリコーンゴムの一種である PDMS (Polydimethylsiloxane) のヤング率はカンチレバー形 FERV⁽³⁾の材料の SU-8 の 1/500 以下であり、高い柔軟性が得られると考えられる。

ゴム製チャンバは、Fig. 1(b)に示すように内側にひだをもち、径方向の膨張を抑えつつ軸方向に伸長する。バルブ分割形 FERV により内圧を制御し伸縮するゴム製チャンバと軸方向の剛性が高い FERV との相互作用で、アームは Fig. 1(a)のように屈曲し、開閉動作を行う。

3. バルブ分割形 FERV の試作および特性実験

3.1 バルブ分割形 FERV の試作

本マイクログリッパの基本特性を把握するため、長さ 10 mm のアームラージモデルを試作した。電極部を Fig. 2 に示す。流路の高さは 0.12 mm、幅は 1 mm で、配線部を除く電極部の流路の長さは合計 5 mm である。電極はニッケル、ゴム製流路は PDMS、絶縁体はエポキシ系接着剤である。製作プロセスを以下に示す。

1) 電極板の製作: Fig. 2 のような電極板を機械加工により製作する。配線部は、FERV の屈曲による軸方向の伸縮に適応するため、Z 形としている。

Fig. 2 Fabricated valve division type FERV

Fig. 3 Measured static characteristics of the valve division type FERV

Fig. 4 Fabricated arm

- 2) 平行平板電極対の製作: 下側の電極板の上に離型剤を塗布した SUS304 製スペーサを置き、電極部の両端にエポキシ系接着剤を塗布した上で上側の電極板を固定し、接着剤を硬化させる。その後、余分な接着剤を切除する。
- 3) ゴム製流路の製作: ポリエーテルイミド製の型に、プライマー処理した電極対、PDMS シート、および液状 PDMS を入れ、PDMS を熱硬化させる。その後、余分な PDMS を切除し、電極部周囲をエポキシ系接着剤により補強する。最後にスペーサを引き抜く。
- 4) 導線の接続: 電極パッドに導線を接続する。

製作したバルブ分割形 FERV の写真を Fig. 2 に示す。

3.2 バルブ分割形 FERV の特性実験

試作 FERV の上流側に絞り弁を設置し、弁差圧を圧力センサで測定した。流量は、一定時間に流出した ERF の質量を電子てんびんで測定して求めた。均一系 ERF は、ネマチック液晶 (メルク・ジャパン株, MLC-6457-000) である。

静特性実験結果を Fig. 3 に示す。分割した ER バルブ間のゴム製流路における圧力損失のため従来の ER バルブと比べ圧力の変化率は小さいが、この圧力損失分を除くと、ER 効果の大きさ (最大粘度と基底粘度の比) は流量 $5 \text{ mm}^3/\text{s}$ までで $\kappa_{\text{ER}}=7.8$ と求められ、従来と同等であることが確認された。また、高流量において従来の ER バルブと比べ圧力の上昇が抑えられているが、これは内圧により電極間隔が広がっているためと考えられ、今後、改善が必要である。

次に、電界強度振幅 5 kV/mm のステップ応答実験を行った。その結果、立ち上がり時間は、流量 $5 \text{ mm}^3/\text{s}$ のとき圧力増加時 1.6 s 、減少時 1.1 s 、流量 $20 \text{ mm}^3/\text{s}$ のとき圧力増加時 0.25 s 、減少時 0.36 s であった。流量 $20 \text{ mm}^3/\text{s}$ のときバンド幅は 0.97 Hz 以上であり、カンチレバー形 FERV⁽³⁾ より高い応答性が得られた。

4. グリッパの試作および特性実験

4.1 アームの試作

アームラージモデルを試作した。外形および寸法を Fig. 4 に示す。製作プロセスを以下に示す。

- 1) バルブ分割形 FERV の製作: 3.1 節と同様に FERV を製作する。ただし、スペーサは引き抜かないで以下を行う。
- 2) ゴム製チャンバの製作: ポリエーテルイミド製の型に脱

Fig. 5 Measured tip displacement of the arm

Fig. 6 Motion of the gripper

泡した液状 PDMS を満たし、熱硬化させ、ゴム製チャンバを製作する。

- 3) FERV, ゴム製チャンバおよびキャップの接着: 1) の FERV, 2) のゴム製チャンバ, およびポリエーテルイミド製キャップを液状 PDMS の熱硬化により接着する。最後に FERV のスペーサを引き抜く。

製作したアームの写真を Fig. 4 に示す。

4.2 アームの静特性実験

上流側に絞り弁 (開度一定) を取り付け、印加電圧に対する FERV のたわみを先端変位としてレーザ変位計で測定した。結果を Fig. 5 に示す。圧力無印加時の変位が零である。電界無印加のとき、供給圧力により先端変位が生じている。供給圧力 300 kPa において最大の先端変位変化 1 mm が得られた。これは先端変位とアーム長さの比で従来の 5.4 倍であり、物体を把持できる可能性が示された。

4.3 マイクログリッパの試作および物体把持実験

4.1 節のアーム 2 本から成るグリッパを試作した。アーム先端の内側には、長さ 1.5 mm のツメを設置した。把持物体は長さ 5 mm 、質量 0.23 g の M2 のねじである。把持実験の結果を Fig. 6 に示す。物体のハンドリングが可能であることが確認された。

5. あとがき

本報では、バルブ分割形 FERV を用いたマイクログリッパを提案、長さ 10 mm のアームラージモデルを試作し、アーム長さに対する比が従来の 5.4 倍の先端変位を実現するとともに、グリッパを構成しその動作を実験的に確認した。

なお、本研究の一部は文科省科研費挑戦的萌芽研究 22656042 の補助を受けた。記して謝意を表す。

文 献

- (1) M. Takeda, Applications of MEMS to Industrial Inspection, Proc. MEMS 2001, (2001), 182-191.
- (2) K. Yoshida, T. Anzai, J.-W. Kim and S. Yokota, A Micro Mobile Hydraulic System Using Electro-Rheological Fluid, Proc. Int. Symp. on Fluid Power, Okinawa 2011, (2011), -.
- (3) K. Yoshida, T. Ide, J.-W. Kim and S. Yokota, A Microgripper Using Flexible Electro-Rheological Valves, WAC2010 CD-ROM Proc., (2010).