

## 解 説

## 平成 28 年度の研究活動の動向\*

吉田 和弘\*\*

\* 平成 29 年 7 月 12 日原稿受付

\*\*東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所, 〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-R2-42

## 1. はじめに

機能性流体として、電界印加で粘度が上昇する ERF (Electro-Rheological Fluids, ER 流体, 電気粘性流体), 磁界印加で粘度が上昇する MRF (Magneto-Rheological Fluids, MR 流体, 磁気粘性流体), 不均一電界印加で活発な流動を発生する ECF (Electro-Conjugate Fluids, 電界共役流体) (EHD (Electrohydrodynamics, 電気流体力学) 現象を含む) を取り上げ, 平成 28 年度 (2016 年度) の研究活動の動向について述べる. 本稿では, 英文ジャーナルの文献検索を行うとともに, 本学会および日本機械学会における講演論文を代表例として調べた. 本学会には「機能性流体テクノロジーの次世代 FPS への展開に関する研究委員会」(委員長: 東北大学, 中野政身教授) が設置され, 技術情報交換を活発に行っているが, 同委員会が企画したオーガナイズドセッションの講演論文も多く含まれている.

## 2. 英文ジャーナルの文献検索結果

研究活動の世界的な動向を概観するため, 英文ジャーナルについて文献検索を行った. 発行時期を平成 28 年 4 月~2017 年 3 月とし, 簡単のため, 機能性流体名で論文題目に含まれるキーワードを検索した. 検索結果からレビューおよび国際会議講演論文は除外した. その結果を以下に示す.

(1) ERF 関連: 7 件 (ER エラストマ 1 件を含む)

内訳: ER 効果 3 件, ERF 開発 2 件, ダンパ 1 件, アクチュエータ 1 件

(2) MRF 関連: 35 件 (MR エラストマ 1 件を含む)

内訳: MR 効果 11 件, ダンパ 17 件, ブレーキ・クラッチ 4 件, ハプティックインタフェース 2 件, 加工応用 1 件

(3) ECF, EHD 関連: 94 件

内訳: EHD 効果 28 件, アクチュエータ 5 件, ポンプ 3 件, 噴霧器 11 件, 熱伝達 5 件, 加工応用 36 件, その他 6 件

ECF, EHD 関連が多いが, フルードパワー関連に限定すれば 36 件程度であり, 基礎研究を除けばアクチュエータ関連が多い. 次に多いのが MRF 関連で, とくに MR ダンパ関連が多い. ERF 関連は比較的少なく, 基礎的な研究が多いことがわかる.

## 3. 国内会議における ERF 関連の研究

以下では, 国内会議の講演論文を中心に各機能性流体の研究活動の動向を概観する.

ERF 関連では, 小形, マイクロデバイスへの応用, ER エラストマの開発, 応用が行われている. 彭らは, 小形走行ロボット用 ER ブレーキの設計を行っている<sup>1)</sup>. Miyoshi らは, 交流圧力を ER バルブで同期整流して駆動する屈曲形マイクロアクチュエータ<sup>2)</sup>およびその 2 自由度駆動屈曲形アクチュエータ部を開発している<sup>3)</sup>. 邱らは, ゴムシートの表面に微粒子を塗布した構造で, 電界印加により粘着力が上昇する EAR (Electro-Adhesive Rubber, 電気粘着ゴム) を開発している<sup>4)</sup>. 山木らは, シリコンゴムに誘電体微粒子を分散させた構造で, 電界印加によりせん断応力が上昇する EAM (Electro Attractive Materials, 電氣的吸引材料) を用いた小形力覚提示デバイスを開発している<sup>5)</sup>.

#### 4. 国内会議における MRF 関連の研究

MRF 関連では、高機能な MRF, 応用デバイスなどの開発が行われている。阿部らは、重力による粒子沈降がほとんどない Soft-MRF の耐久試験装置を開発している<sup>6)</sup>。中野らは、分散媒として気体を用い粒子の沈降などの問題がないドライ MRF を提案、開発し、特性評価を行っている<sup>7)</sup>。村越らは、効率的に MRF に磁界を印加することができる磁界印加部を有する MR ダンパを提案、試作し、特性実験を行っている<sup>8)</sup>。また、金谷らは、磁性流体に砥粒などを混合した MCF (Magnetic Compound Fluid, 磁気混合流体) を用いた水平円管内面マイクロ加工の加工特性について実験的に明らかにしている<sup>9)</sup>。

#### 5. 国内会議における ECF, EHD 関連の研究

ECF, EHD 関連では、高機能なマイクロポンプの開発が進められるとともに、応用デバイスの開発が行われている。Mao らは、流量零で圧力を維持するときエネルギーを消費しないチェック弁を有する ECF マイクロポンプを提案し、MEMS プロセスによる開発を行っている<sup>10)</sup>。清水らは、円筒孔を複数有する多孔形電極の対を用いた EHD ポンプを開発している<sup>11)</sup>。Eom らは、ECF ジェットにより液圧室間で ECF を移動させ変位を得る複動形アクチュエータを提案、開発している<sup>12)</sup>。韓らは、ECF マイクロポンプの圧力で駆動するミニサイズフィンガをハイブリッド 3D プリンタを用いて開発している<sup>13)</sup>。嵯峨らは、ECF マイクロポンプを内蔵した偏心チューブ形マイクロハンドの試作を行っている<sup>14)</sup>。金らは、ECF マイクロポンプの圧力で柔軟な膜を膨張させ焦点位置を変化させる可変焦点液体レンズの高応答化を図っている<sup>15)</sup>。桜井らは、ECF マイクロポンプを用いた強制液冷システムの放熱部を 1D シミュレーションに基づき設計している<sup>16)</sup>。松原らは、電極を対向した構造で両方向のポンピングが可能な ECF マイクロポンプを用いた水溶液ポンピングシステムの特性改善を行っている<sup>17)</sup>。飯島らは、ECF ジェットの流れて液滴の生成、分割を行うシステムを提案、開発している<sup>18)</sup>。武井らは、上腕や大腿部に装着したカフを加圧し、末梢への血液の流れを止めるターニケットの加圧に EHD ポンプを用いた装置を提案、開発している<sup>19)</sup>。また、黒星らは、ECF 流動の数学モデルを構築し流動シミュレーションを行い、可視化実験結果との比較によりその妥当性を示している<sup>20)</sup>。

#### 6. おわりに

平成 28 年度の機能性流体分野の研究活動の動向について、英文ジャーナルの文献検索、本学会および日本機械学会の国内学会の講演論文を基に示した。ERF, MRF, ECF の他にも興味深い流体の特性を用いた研究が行われている。たとえば、Tian らは、せん断速度で粘度が上昇するずり増粘流体を用いたブレーキを開発している<sup>21)</sup>。和田らは、電気分解・合成による気液可逆反応を用いた気体圧アクチュエータを提案、開発している<sup>22)</sup>。

機能性流体のユニークな特長を活かすことにより、油圧、水圧、空気圧では実現困難な特性のシステムを実現できると考えられる。この分野の研究者がさらに増えることに期待している。

#### 参考文献

- 1) 彭敬輝, 外川貴規, 田中豊: ER 流体を用いた小形走行ロボット用制動装置の設計, 平成 28 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.100-102 (2016)
- 2) Miyoshi, T., Yoshida, K., Kim, J.-W., Eom, S.I., Yokota, S.: An MEMS-based multiple electro-rheological bending actuator system with an alternating pressure source, *Sensors and Actuators A*, Vol.245, p.68-75 (2016)
- 3) 三好智也, 吉田和弘, 金俊完, 巖 祥仁: MEMS 技術を応用したマイクロ交流圧力源搭載形 2 自由度 ER アクチュエータシステムに関する研究, 日本機械学会 2016 年度年次大会講演論文集 (DVD-ROM), J1110106 (2016)
- 4) 邱実, 柿沼康弘, 青山藤詞郎, 青戸淳, 吉野正樹, 鴨井澄男, 茂呂優希: 柔軟媒体搬送機構への適用に向けた電気粘着ゴムの特性評価. 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.24-26 (2016)
- 5) 山木涼太郎, 長妻明美, 甲斐新平, 安齊秀伸, 三井和幸: EAM を用いた小型力覚提示デバイスの開発に関する基礎的研究, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.39-41 (2016)
- 6) 阿部功, 菊池武士, 野間淳一, 上嶋優也: 永久磁石と V 字溝を有する MR 流体耐久試験装置, 平成 28

- 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.21-23 (2016)
- 7) 中野政身, 阿部浩也, 田瞳菲, 戸塚厚, 佐藤忠一郎: ドライ MR 流体の流動性向上と MR 効果, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.27-29 (2016)
  - 8) 村越晴信, 横田周斗, 川上幸男, 堀川昭芳, 塩田浩司: 非直線型オリフィスを持つ MR 流体ダンパの開発, 日本機械学会 2016 年度年次大会講演論文集 (DVD-ROM), J1110107 (2016)
  - 9) 金谷航葵, 西田均, 山本久嗣, 島田邦雄, 井門康司: 磁気混合流体を用いた水平円管内面マイクロ加工における加工量と流体のせん断応力の関係, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.45-47 (2016)
  - 10) Mao, Z., 吉田和弘, 金俊完: マイクロチェックバルブを集積した ECF マイクロ液圧源の提案, 平成 28 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.97-99 (2016)
  - 11) 清水貴太, 築地徹浩, 濱田溪太朗: 多孔型電極対を用いた EHD ポンプの性能に関する研究, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.18-20 (2016)
  - 12) Eom, S.I., Masuda, H., Yokota, S., Yoshida, K., Edamuram, K.: An ECF-jet driven mini hydraulic piston actuator, *Sensors and Actuators A*, Vol.247, p.164-171 (2016)
  - 13) 韓冬, 金俊完, 横田眞一, 枝村一弥: ハイブリッド 3D プリントによるミニサイズ ECF フィンガーの動特性に関する研究, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.30-32 (2016)
  - 14) 嵯峨由彬, 金俊完, 横田眞一, 枝村一弥: ECF マイクロ液圧源を内蔵した偏心チューブ形マイクロハンドに関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集 (DVD-ROM), p.2P1-04b1(1)-(2) (2016)
  - 15) 金俊完, 中川卓也, 横田眞一, 枝村一弥: ECF 可変焦点形液体レンズの高速応答に関する研究, 日本機械学会第 16 回機素潤滑設計部門講演会講演論文集, p.67-68 (2016)
  - 16) 桜井康雄, 岡本拓也, 中田毅, 枝村一弥: 1D シミュレーションを利用した ECF による液冷システムの放熱部の適正設計, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.15-17 (2016)
  - 17) 松原竜也, 金俊完, 横田眞一, 枝村一弥: ECF ジェット駆動水溶液ポンピングにおける流路への水の残留に関する研究, 日本機械学会第 16 回機素潤滑設計部門講演会講演論文集, p.65-66 (2016)
  - 18) 飯島佳樹, 竹村研治郎, 枝村一弥: 電界共役流体を用いた液滴生成および分割デバイス, 平成 29 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.94-96 (2016)
  - 19) 武井裕輔, 柿沼祐貴, 前田浩行, 岩瀬秀明, 前田睦浩, 金子和夫, 寺阪澄孝, 下大川丈晴, 三井和幸: EHD 現象を応用した新たなターニケットの開発に関する基礎的研究, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.36-38 (2016)
  - 20) 黒星雄一郎, 竹村研治郎, 枝村一弥: 数値計算を用いた電界共役流体における流動現象の理解と考察, 平成 28 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.91-93 (2016)
  - 21) Tian, T., Li, W., Nakano, M.: A Rotational Brake with Shear Thickening Fluids, 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, p.42-44 (2016)
  - 22) 和田晃, 難波江裕之, 鈴森康一: 気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエーター第 5 報 変位フィードバック制御の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集 (DVD-ROM), p.2A1-05a5(1)-(3) (2016)

#### 著者紹介



よしだ かずひろ

吉田 和弘君

1989 年東京工業大学大学院博士課程修了, 同大学助手, 助教授 (准教授) を経て 2015 年 4 月教授. 2008 年 10 月~2009 年 3 月米国 UCSB 客員研究員, 2015 年 7 月~9 月米国 MIT 客員研究員. 流体マイクロマシン, 機能性流体の研究に従事. JFPS, JSME, IEEE などの会員. 工学博士.

E-mail: yoshida@pi.titech.ac.jp