

展 望

2025 年度の機能性流体分野の研究活動の動向*

吉田 和弘**

* 2026 年 7 月 13 日原稿受付

**東京科学大学 総合研究院 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

電場や磁場の外部刺激により特有の機能を発現する機能性流体には，電場で粘度が変化する ERF (electro-rheological fluid, ER 流体, 電気粘性流体), 磁場で粘度変化や吸引力が生じる MRF (magneto-rheological fluid, MR 流体, 磁気粘性流体), 磁場で吸引力が生じる磁性流体, 電場で著しい流れが発生する ECF (electro conjugate fluid, 電界共役流体), EHD (electro-hydro-dynamics) 流体, MRF と磁性流体を混合した MCF (magnetic compound fluid, 磁気混合流体), ERF の媒体をゲル化した ERG (electro-rheological gel), MR 粒子を混合した MR エラストマーなどがあり，活発に研究開発が行われている。本稿では，文献データベースの検索結果と国際会議，国内会議で発表された研究事例に基づき，2025 年度の研究活動の動向について概観する。

2. 文献データベース検索による概観

機能性流体の 2025 年の研究動向の概観のため，文献の Abstract におけるキーワードで 2025 年の英文のジャーナル論文を検索した。ここでは，ERF, MRF, 磁性流体, および ECF/EHD 流体を取り上げた。

ERF 関連として，Abstract に「electrorheological」, 「electro-rheological」または「ER-fluid」を含み，かつ「fluid」を含む文献を検索した結果，68 件ヒットした。被引用数最多の文献は ERF を用いた剛性可変アクチュエータに関するもので，被引用数は 25 であった。次に被引用数が多い文献は ER 効果関連，ERF 関連，ER エラストマー関連の 3 件で，被引用数は 7 であった。

MRF 関連として，Abstract に「magnetorheological」, 「magneto-rheological」または「MR-fluid」を含み，かつ「fluid」を含む文献を検索した結果，580 件ヒットした。被引用数最多の文献は MR エラストマーを用いた制振に関するもので，被引用数は 83 であった。次に被引用数が多い文献は MR 効果関連で被引用数 42，その次も MR 効果関連で被引用数 39 であった。

磁性流体関連として，Abstract に「magnetic-fluid」または「ferrofluid」を含み，かつ「fluid」を含む文献を検索した結果，283 件ヒットした。被引用数最多の文献は磁性流体を用いたポンプに関するもので，被引用数は 51 であった。次に被引用数が多い文献は MHD (magneto-hydro-dynamics) 関連で被引用数は 34，その次は医用磁性流体関連で被引用数は 27 であった。

ECF および EHD 流体関連として，Abstract に「electroconjugate」または「electro-conjugate」を含みかつ「fluid」を含む文献と，「electrohydrodynamic」または「electro-hydro-dynamic」を含みかつ「fluid」を含む文献を検索した結果，332 件ヒットした。被引用数最多の文献は，EHD を用いたセンサ加工法に関するもので被引用数は 76 であった。次の被引用数が多い文献は EHD による加工法を用いたアクチュエータ関連で被引用数は 48，その次は EHD 効果関連で被引用数は 47 であった。

以上の結果より，MRF に関連する研究，開発が盛んに行われていたことがわかった。次いで，ECF/EHD 流体，磁性流体，ERF に関するものであった。

3. ERF に関する研究事例

Yoshida は，パワーマイクロロボットの要素として，積層形 ER マイクロバルブを用いたソフトマイクロアクチュエータ，交流圧力源システムなどを紹介している¹⁾。Ishizeki らは，積層形 ER マイクロバルブを用いた交流圧力駆動のソフトマイクロフィンガの試作，評価を行っている²⁾。青柳らは，交流圧力

源システムのため、チェック弁と閉鎖の動作を切替える ER ダンパ制御チェック弁を提案している³⁾。猪股らは、繊維毛アクチュエータアレイなどのため、交流圧力を ER バルブで同期整流するマルチポート圧力制御プラットフォームを提案している⁴⁾。

4. 磁性流体、MCF に関する研究事例

本会誌 53 巻 3 号では「磁気機能性流体の基礎と応用」が特集されている。間宮は、磁性流体の物理と化学として、分散安定性、磁性体のサイズ効果、磁性体ナノ粒子の合成について解説している⁵⁾。西田は、MCF を用いた研磨における加工除去深さ分布の流体力学的特性を用いた予測法について解説している⁶⁾。山本は、MCF を用いた円筒内面マイクロ加工技術について、加工量、表面粗さ、加工液の挙動などの実験結果を解説している⁷⁾。島田は、MCF とゴムを組み合わせた HF (hybrid fluid, ハイブリッド流体) について、粘度特性、センサへの応用例などについて解説している⁸⁾。岩本は、粒子分散系磁気機能性流体の流体力学、感温性磁性流体を用いたエネルギー変換技術などについて解説している⁹⁾。本澤は、磁性流体の強制対流熱伝達、超音波による流動計測、乱流下における熱流動特性の実験結果について解説している¹⁰⁾。

松谷らは、水ベース感温性磁性流体の磁場と加熱による駆動圧特性を実験的に検討し、熱輸送装置への応用を図っている¹¹⁾。上野らは、磁性流体と非熱プラズマを用いた誘電体バリア放電プラズマアクチュエータの連続配置の特性を実験的に検討している¹²⁾。三田らは、外部磁場と熱入力により駆動する水ベース感温性磁性流体を用いた容器型熱輸送装置の特性を実験的に検討している¹³⁾。寄木らは、磁気ビーズを封入した細胞サイズの液滴を外部磁場により操作し細胞間力を測定するため、液滴生成などを実験的に検討している¹⁴⁾。

5. ECF, EHD 流体に関する研究事例

Ling らは、細胞培養面を双方向 ECF マイクロポンプの圧力で高速に伸縮させ肺機能を模擬する肺機能チップデバイスを提案している¹⁵⁾。原らは、ECF ポンプによる負圧を用いたジャミングマイクログリッパの各要素の改良について実験的に検討している¹⁶⁾。陸らは、CPU の液冷システムのため、3 枚の金属メッシュを対向させたメッシュ型 ECF ポンプを提案、開発している¹⁷⁾。肥後らは、ECF ポンプの噴霧モーメント法を用いた流量計測法検証のため、噴射流の平板衝突現象の CFD 解析を行っている¹⁸⁾。江口らは、ECF ポンプの負圧を用いたジャミング変位拘束機構を応用した多自由度アクチュエータを提案し、基礎実験を行っている¹⁹⁾。

Zhu らは、針ーリング形電極対アレイを用いた EHD マイクロポンプのため、SU-8 の熱分解を用いた針形電極の製作手法を開発している²⁰⁾。山崎らは、EHD ポンプにより伸縮する蛇腹形膨張体を用いた力覚提示デバイスを試作し、その特性を実験的に検討している²¹⁾。松島らは、EHD ポンプにより伸長する蛇腹形膨張体の変位をワイヤ機構で複数方向の収縮力に変換する人工筋を提案、開発している²²⁾。山崎らは、EHD ポンプによる空気圧制御機構を用いた、深部静脈血栓症を予防するフットポンプを提案、開発している²³⁾。

6. おわりに

2025 年度の機能性流体関連の研究動向について概観した。2025 年度から本学会に「機能性流体スマートフルードパワーシステムに関する基盤研究委員会」（委員長：(株)SmartTECH Lab.&東北大学 中野政身氏）が設置され、精力的に活動が行われている。機能性流体に関する研究、開発の今後のますますの活発化が期待される。

参考文献

- 1) Yoshida, K.: Micro Hydraulic System Technologies for Power Microrobots, Abstract Book of ICMDT2025, p.47-48, (2025)
- 2) Ishizeki, K., Yoshida, K., Kim, J.-w.: Fabrication and Evaluation of Soft Microfinger Integratable with Stacked ER Microvalve Unit for Alternating Pressure System, Abstract Book of ICMDT2025, p.60, (2025)
- 3) 青柳拓未, 吉田和弘, 金俊完: 交流圧力源システムのための ER ダンパ制御チェック弁の提案, 日本機械学会山梨講演会 2025 予稿集, p.36-37 (2025)
- 4) 猪股万太郎, 吉田和弘, 金俊完: ERF を用いた増地ポート圧力制御プラットフォームの提案, 日本機械学会山梨講演会 2025 予稿集, p.38-39 (2025)

- 5) 間宮広明：磁性流体の物理と化学，フルードパワーシステム，Vol.56, No.3, p.93-95 (2025)
- 6) 西田均：磁気混合流体を応用した研磨における加工除去量特性－流体力学的特性を用いた除去深さ分布の予測－，フルードパワーシステム，Vol.56, No.3, p.96-100 (2025)
- 7) 山本久嗣：磁気混合流体を応用した円筒内面マイクロ加工技術，フルードパワーシステム，Vol.56, No.3, p.101-104 (2025)
- 8) 島田邦雄：ハイブリッド流体 (HF) とその最前線，フルードパワーシステム，Vol.56, No.3, p.105-109 (2025)
- 9) 岩本悠宏：粒子分散系磁気機能性流体の基礎と応用，フルードパワーシステム，Vol.56, No.3, p.110-113 (2025)
- 10) 本澤政明：磁性流体の熱流動特性と流動場計測，フルードパワーシステム，Vol.56, No.3, p.114-117 (2025)
- 11) 松谷一矢，笠井翔，片山知季，矢吹純，林晋也，桑原拓也：水ベース磁性流体の駆動圧特性の解明と U 字形加熱部を有する熱輸送装置への応用，2025 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.1-3 (2025)
- 12) 上野翔，桑原拓也：磁性流体プラズマアクチュエータの連続配置による放電効率の向上，2025 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.4-6 (2025)
- 13) 三田佑樹，井門康司，岩本悠宏，廣田泰丈：感温性磁性流体を用いた容器型熱輸送装置の熱流動特性，日本機械学会 2025 年度年次大会予稿集，J051p-15 (2025)
- 14) 寄木隆矢，豊原涼太，大橋俊朗：磁気ビーズ封入液滴を用いた磁場による細胞間力操作技術の開発，日本機械学会 2025 年度年次大会予稿集，J223-01 (2025)
- 15) Ling, X., 吉田和弘，金俊完：内蔵 ECF マイクロポンプにより駆動遅延を軽減できる肺機能チップデバイスの提案，日本機械学会山梨講演会 2025 予稿集，p.40-42 (2025)
- 16) 原悠月，田中豊，枝村一弥，横田眞一：機能性流体を用いたマイクログリッパの試作と把持性能の検証，日本機械学会 2025 年度年次大会予稿集，J112p-06 (2025)
- 17) 陸一鳴，桜井康雄，枝村一弥：電界共役流体用メッシュ型ポンプの性能向上，日本機械学会 2025 年度年次大会予稿集，S111-13 (2025)
- 18) 肥後寛，許宗焄，桜井康雄，田中和博：CFD を用いた噴射流の平板衝突現象解析，2025 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.61-63 (2025)
- 19) 江口淳，吉田和弘，金俊完：ジャミング変位拘束機構を用いた多自由度アクチュエータのプロトタイプ，2025 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.67-69 (2025)
- 20) Zhu, Y., De Volder, M., Yoshida, K., Kim, J.-w.: Pyrolyzed SU-8 needle electrodes for Electrohydrodynamic (EHD) micropumps, Abstract Book of ICMDT2025, p.58-59 (2025)
- 21) 山崎啓太，村田隼人，寺阪澄孝，下大川丈晴，長妻明美，安齊秀伸，三井和幸：EHD ポンプを応用した蛇腹型力覚提示デバイスの開発に関する基礎的研究，2025 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.7-9 (2025)
- 22) 松島利宣，村田隼人，武井裕輔，寺阪澄孝，下大川丈晴，長妻明美，安齊秀伸，三井和幸：EHD ポンプを駆動源とした多方向型 EHD 人工筋の基礎特性の評価，2025 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.70-72 (2025)
- 23) 山崎啓太，村田隼人，前田浩行，前田睦浩，寺阪澄孝，下大川丈晴，長妻明美，安齊秀伸，三井和幸：EHD ポンプを駆動源とした新たな空気圧式フットポンプの開発に関する基礎的研究，2025 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，p.73-75 (2025)

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。2024 年 10 月大学統合により東京科学大学教授。機能性流体，パワーマイクロロボットの研究に従事。JFPS，JSME，IEEE などの会員。工学博士。

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