## 展　望

# 平成２５年度の機能性流体分野の研究活動の動向*

竹村研治郎**

*平成 26 年 6 月 5 日原稿受付
**慶應義塾大学理工学部，〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

### １．はじめに

油圧，空気圧，水圧などと並んで，機能性流体もフルードパワーシステムにおける重要な研究分野である．一般的に機能性流体とは，電場あるいは磁場の印加によって物理的性質が変化する流体のことであり，電気粘性流体（ERF），磁性流体（CMF），磁気粘性流体（MRF），電界共役流体（ECF）などがよく研究されているが，近年は電気粘性流体の考え方から発展した電気粘着ゲル（Electro Adhesive Gels, EAG）や磁気粘性流体を発展させた磁気粘性コンポジットなどの研究も行われており，本分野の研究は広がりを見せている．さらに，電場や磁場だけでなく，光や熱などの物理量の影響によって何らかの物理的性質が変化する流体も含めれば，研究例は多い．

このような機能性流体の利用によって，従来の要素技術を利用した機械の枠にとらわれない新たなモノ作りの可能性が期待できる．本稿では平成 25 年度の機能性流体分野の研究動向を紹介する．

### ２．電場応答性の流体

機能性流体の多くは電場あるいは磁場によって物理的性質を変化させる．ここでは，電場の印加によってレオロジー特性を変化させる電気粘性流体（ERF）と電場の印加によって流動を発生する電界共役流体（ECF）に分けて，研究動向を紹介する．

#### ２．１ 電気粘性流体（ＥＲＦ）

吉田らは内視鏡への応用を目指して，形状適応機能を有する多自由度 ER アクチュエータを提案した [1]．図 1 は本アクチュエータを構成する基本ユニットであり，これを直列に複数接続することによって多自由度アクチュエータとなる．基本ユニットは可動電極形 ER バルブと流体アクチュエータから構成されている．図 2 に示すように，可動電極に外部から力が加わると電極の変位に応じて下流側の電極間隔が狭まり，その結果，作動流体である電気粘性流体に高い電界強度が印加され，その場所で見かけ上の粘度が上昇するため流体アクチュエータが動作し，外力を低減するよう屈曲する．これにより，内視鏡を体内に挿入した際の患者への負担を自律的に低減することを目指した．現状では基本動作の確認に留まっているものの，内視鏡に新たな機能性を自律的に付加する提案であり，興味深い．

#### ２．２ 電界共役流体（ＥＣＦ）

金らは電圧の印加によって活発に流動しマイクロポンプとして期待されている電界共役流体のポンピング性能の向上に取り組んでおり，MEMS 技術によって高アスペクト比電極対を集積化した ECF マイクロポンプを報告している [2]．電界共役流体は，平面電極に比べて 3 次元構造を持つ電極によって活発な流動が発生することが知られている．このため，サブ mm オーダーの微小な 3 次元構造を持つ電極を MEMS 技術によって集積化できる可能性を示した．特にメッキ技術を巧みに使った電極の製作方法（図 3）は広く応用の可能性があると考えられる．

小林らは電界共役流体を利用して Droplet μTAS のための液滴混合デバイスを開発している [3]．試薬や試料を極めて微小な体積で扱い，化学分析や診断を行う Droplet μTAS において，チップ上での液滴の混合は重要な基本機能のひとつである．小林らは電界共役流体によって旋回流を生じさせ，これに滴下した複数の液滴を向心力によって自律的に旋回流中心に移動させ，混合するデバイスを実現した（図 4）．特別な制御系を必要とせず自律的に混合が行えるため，Droplet μTAS における基盤技術としての利用が期待できる．

## ３．磁場応答性の流体

磁場の印加によって機能を発生する流体の研究も盛んである．武田らは磁気機能性流体を用いた円管内面のマイクロ加工における磁気クラスタの特性を報告している [4]．図 5 に加工原理を示す．円管内部に挿入された永久磁石を有する回転体の周囲に磁気混合流体（MCF）と砥粒の懸濁液が配置されており，非磁性体である砥粒が磁気浮力によって磁場強度が小さい円管内面側に凝集し，円管の内面加工が達成される．この際の加工条件と加工量, 加工中の磁気クラスタの可視化によって, 本加工法のメカニズムを明らかにしている．機能性流体は液圧機器の作動流体として利用できるだけではない．こうした加工分野への機能性の付加も今後の発展が期待できる．

中野らはナノ・マイクロ粒子分散系 MR 流体の構造形成とマグネトレオロジー効果について報告している [5]．ミクロンサイズの鉄粒子を利用した磁気粘性流体にナノサイズの鉄粒子を添加し，磁場印加時の粒子チェーンの構造および MR 効果向上への影響を実験的に明らかにした（図 6）．ナノ粒子を利用した新たな磁場応答性の機能性流体の試みであり，機能性流体の応用範囲の拡大につながる可能性がある．また，中野らは MR 流体コンポジットを利用した回転ブレーキを免震・制振要ダンパに応用する研究にも取り組んでいる [6]．

## ４．おわりに

以上のように，機能性流体を利用した応用研究に留まらず，ナノ粒子を利用した新たな機能性流体の創製も試みられるなど，幅広い研究が展開されている．現在，機能性流体に関する研究はどちらかというと応用研究が数多いようであるが，機能性流体に見られる現象は物理的にも興味深いため，基礎研究の対象としても今後の展開が期待される．

## 参考文献


1) 吉田和弘，箱田智史，嚴祥仁，横田眞一：形状適応機能を有する多自由度 ER アクチュエータに関する研究（基本ユニットラージモデルの試作および基礎実験），平成 25 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2013), pp. 112/114.
2) 金俊完，山田嘉雄，横田眞一，枝村一弥：多層化による高アスペクト比電極対を用いた ECF マイクロポンプ，平成 25 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2013), pp. 109/111.
3) 小林紀穂，竹村研治郎，横田眞一，枝村一弥：電界共役流体を用いた Droplet μTAS のための液滴混合デバイス，平成 25 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2013), pp. 121/123.
4) 武田健太郎，西田均，島田邦雄，井門康司：磁気機能性流体を用いた円管内面マイクロ加工における磁気クラスタの特性，平成 25 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2013), pp. 106/108.
5) 中野政身，阿部浩也：ナノ・マイクロ粒子分散系 MR 流体の構造形成とマグネトレオロジー効果，平成 25 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2013), pp. 115/117.
6) 中野政身，稲場智亮，戸塚厚，福喜多輝：MR 流体コンポジット回転ブレーキを活用した免震・制振要直動ダンパとその減衰力特性，平成 25 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集，(2013), pp. 118/120.


## 著者紹介

たけむら　けんじろう
竹村　研治郎君
2002 年慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了．2002 年同大学助手．2003 年から 2008 年東京工業大学助手（2007 年度より助教）．2008 年慶應義塾大学理工学部専任講師，2012 年より准教授，現在に至る．機能性流体，超音波などの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会などの会員．博士(工学).
E-mail: takemura@mech.keio.ac.jp
URL: http://www.takemura.mech.keio.ac.jp

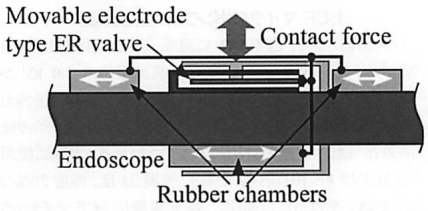


図１　多自由度 ER アクチュエータの基本ユニット [1)]

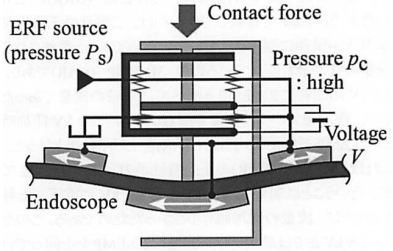


図２　多自由度 ER アクチュエータの駆動原理 [1)]

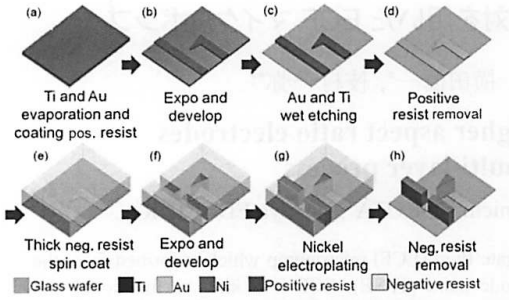


図３　MEMS 技術を用いた３次元電極の製作法 [2)]

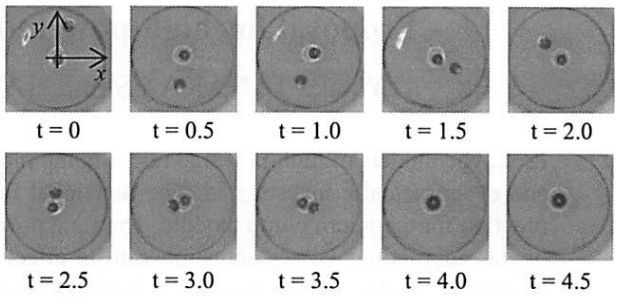


図４　ECF による旋回流を用いた液滴混合の様子 [3)]

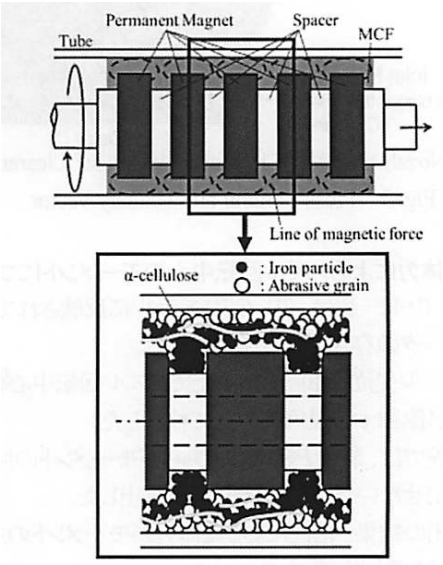


図５　磁気機能性流体を用いた円管内面の加工 [4)]

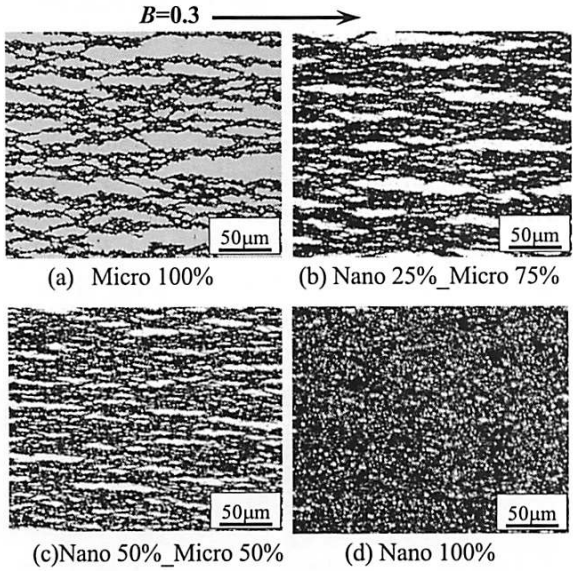


図６　ナノ・マイクロ粒子 MR 流体の粒子チェーン [5)]