

## 展 望

## 平成 14 年度の機能性流体分野の動向\*

横田眞一\*\*，吉田和弘\*\*

\* 平成 15 年 6 月 24 日原稿受付

\*\* 東京工業大学精密工学研究所，〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259

## 1. まえがき

印加電界により見かけの粘度を制御できる ERF (Electro-Rheological Fluids, 電気粘性流体), 印加磁界により見かけの粘度を制御できる MRF (Magneto-Rheological Fluids, 磁気粘性流体), 直流電圧印加でジェット流を生じる ECF (Electro-Conjugate Fluids, 電界共役流体) など, 電気信号により特有の機能を発現する機能性流体の開発およびバルブ, ダンパ, クラッチなどへの応用研究が活発化している。機能性流体を用いると, 可動部のないシンプルな構造で電気信号によりフルードパワーを直接制御できる機能要素を実現できる。可動部がないシンプルな構造のため, 小形, 高信頼, 頑強などの優れた特長を有する。さらに摺動部や接触面を必要としないため, 機械加工の要求精度を低くできる, 流体中にゴミが混入しても影響が少なくいわゆるコンタミに強いなどの特長を発揮できると考えられる。

本稿では, 平成 14 年度の機能性流体分野の研究動向について概観する。

## 2. 平成 14 年度の機能性流体分野の研究動向

機能性流体分野では, その特異な特性を利用したデバイス, システムへの応用研究が多くおこなわれている。以下では, 機能性流体として ERF, MRF, および ECF を取り上げ, それぞれの研究事例を紹介する。

ERF については, 粒子分散系 ERF を用いたマンマシインタフェース, 均一系 ERF 特性の実験解析, 均一系 ERF を用いたマイクロアクチュエータ, ダンパなどの研究がおこなわれている。粒子分散系 ERF は絶縁油中に誘電体微粒子を分散させたものであり, 近似的にビンガム流体の降伏応力が電界印加で増加する流動特性を示す。比較的低コストで大きな力を制御できるが, 分散粒子の沈降, 磨耗などが問題となる。一方均一系 ERF は, ネマティック液晶に代表される均一な液体であり, 近似的にニュートン流体の粘度が電界印加で増加する流動特性を示す。液晶の場合, 高コストであるが, 分散粒子に起因する問題は生じない。

古荘らは, リハビリテーションなどの筋力トレーニングのため, 粒子分散系 ERF を作動流体とした ER ブレーキを用いた高精度な等運動性訓練・評価システムを提案, 試作し, その特性を実験的に検討している<sup>1)</sup>。図 1 に開発した ER ブレーキの構造を示す。特性実験により高速で安定な応答を確認している。訓練・評価システムは, この ER ブレーキの入力軸に減速機を介してハンドルを取り付けたものである。訓練実験をおこない, 等運動性訓練が実現できることを確認している。

Bose らは, パーチャルリアリティに応用するため, 粒子分散系 ERF を応用したハプティックインタフェースデバイスを提案し, 試作したラージモデルの特性実験をおこなっている<sup>2)</sup>。提案するデバイスは, 図 2 に示すダンパをアレイ状に配列したものである。ピストンを上部から押し込むとき, 電極間に電圧を印加すると, 封入された ERF の見かけの粘度が増加しピストン内圧が増加し抵抗力が大きくなるものである。ラージモデルを試作し, その静特性の一部を実験的に明らかにしている。

Tsukiji らは, 均一系 ERF であるネマティック液晶を平行平板電極間に流したときの ER 効果について, 実験的に検討している<sup>3)</sup>。実験装置を図 3 に示す。流動状態を観察するため, 平板電極には透明電極を用いている。ネマティック液晶を平行平板電極間に一定流量で流し, ステップ状に電界を印加したときの上下流間の差圧の時間応答を測定するとともに, 高速度カメラにより液晶の挙動を記録している。得られた結果に基づき, 液晶分子の配向と差圧の増減の関係について考察を加えている。

Yoshida らは, 均一系 ERF を作動流体としたマイクロ ER バルブとダイアフラム形流体マイクロアクチュ

エータを組み合わせたバルブ集積形マイクロアクチュエータを提案，試作し，特性実験を行っている<sup>4)</sup>．提案するアクチュエータの構造を図 4 に示す．マイクロ ER バルブは半導体プロセスを用いて試作し，上流側および下流側流路は幅 1.2mm，長さ 5mm，高さ（電極間隔）0.15mm である．ダイアフラムはポリイミド製である．静特性および動特性を実験的に明らかにするとともに，マイクログリッパ駆動に応用している．

Wang らは，均一系 ERF を応用したアクティブダンパを用いた空気圧除振台の能動振動制御について，シミュレーションを中心とした検討をおこなっている<sup>5)</sup>．除振台の構造を図 5 に示す．均一系 ERF のフローモードを用いたダンパが組み込まれている．空気圧除振台単体の数学モデルを構築し，その妥当性を実験結果との比較により確認した後，ER ダンパの数学モデルを求め，これを組み込んだ除振台のシミュレーションをおこない，共振周波数付近における振動振幅が低減できることを確認している．

MRF は油中に磁性体微粒子を分散させたもので，近似的にビンガム流体の降伏応力が磁界印加で増加する流動特性を示す．バルブ，ダンパ，クラッチなどへの応用が試みられている．

Yoshida らは，固定磁極から成る 3 ポート MR バルブを提案，試作し，ベロース駆動システムへの応用を試みている<sup>6)</sup>．軽量のフェライト微粒子を用いた基底粘度の低い新しい MRF を提案，試作し，その特性実験結果に基づき図 6 に示す 3 ポート MR バルブを設計，試作し，その静特性および動特性を実験的に明らかにしている．さらに試作 MR バルブを応用し，分散粒子が詰まる摺動部がないベロースをアクチュエータとした位置制御システムを構築し，特性実験をおこなっている．

Biasiotto らは，揺動回転形 MR ダンパを提案，試作し，その特性を実験的に解明している<sup>7)</sup>．試作した揺動回転形 MR ダンパを図 7 に示す．使用した MRF の特性実験結果に基づき構築した数学モデルを用い，設計している．試作 MR ダンパの磁界印加の静特性として，磁界強度分布およびヒステリシスについて実験的に解明している．また揺動回転形 MR ダンパのダンピング特性として，ダンピングトルクの静特性および動特性について実験的に明らかにしている．

長屋らは，四輪駆動車の駆動システムのため，MRF を用いたトルク可変継手を提案，試作し，その特性を実験的に検討している<sup>8)</sup>．試作したトルク可変継手の構造を図 8 に示す．図中の部分に軸に固定された円板とケース側に固定された円板が交互に配置され，その間に MRF が満たされており，電磁石により磁界を印加すると，見かけの粘度増加に伴い伝達トルクが増加するものである．試作継手の特性実験をおこない，実用上十分な性能であることを確認するとともに，四輪駆動車のトルク配分制御法についても検討している．

ECF は，線状電極対などにより直流高電圧を印加するとジェット流を生じる機能性流体である．ERF，MRF などと異なり，流動抵抗を変化させる機能ではなく，電力をフルードパワーに直接変換する機能を有するユニークな液体である．

横田らは，すでに提案している円板形のロータを積層化した DP-RE 形 ECF マイクロモータの多層化と高出力化について，実験的に検討している<sup>9)</sup>．試作した内径 9mm 8 層モータの構造を図 9 に示す．円板形ロータ上の薄膜状電極の厚さを増すと，高出力化が図れることを実験的に示している．また図 9 に示す高集積化を図った DP-RE 形 ECF マイクロモータを試作し，その特性を実験的に明らかにするとともに，4 層の場合に比べ高出力化が図れることを確認している．

大島らは，ECF ジェット流で駆動される 2 種類の直動形アクチュエータを提案，試作し，それらの特性を実験的に検討している<sup>10)</sup>．提案するアクチュエータの電極は，図 10 に示すように二つのコイルを組み合わせたコイル形電極と，円筒状の電極を軸方向に間隔をおいて配置した筒形電極の 2 種類である．試作アクチュエータの特性実験をおこない，コイル形電極の方が筒形電極と比べ駆動速度および発生力の点で優れていることを示している．

横田らは，針状電極とリング状電極の間に発生する ECF ジェット流を用いたチューブ形マイクロ ECF アクチュエータを提案，試作し，その特性を実験的に評価している<sup>11)</sup>．提案，試作したチューブ形マイクロ ECF アクチュエータの構造を図 11 に示す．針状電極 ECF ジェットを湾曲した弾性体チューブ内に導き，ブルドン管と同様の原理でチューブが伸張する変形を利用する．電極寸法による針状電極 ECF ジェットの高出力化について実験的に検討するとともに，試作アクチュエータの動作を実験的に確認している．

## 3. あとがき

平成14年度の機能性流体分野の研究動向について概観した。今後も,機能性流体のユニークな特性を活かした応用研究がますます進展していくと考えている。

## 参考文献

- 1) 古荘, 菊池, 小田: 粒子系 ER 流体を用いた等運動性訓練・評価システム, 機論(C), Vol. 68, No. 672, (2002), pp. 2418/2424.
- 2) H. Bose, G. J. Monkman, H. Freimuth, D. Klein, H. Ermert, M. Baumann, S. Egersdorfer, and O. T. Bruhns: ER Fluid Based Haptic System for Virtual Reality, Proc. 8th Int. Conf. on New Actuators (ACTUATOR 2002), (2002), pp. 351/354.
- 3) T. Tsukiji and S. Tanabe: ER Effect of Liquid Crystal Flowing between Two Parallel-Plate Electrodes, Int. J. of Modern Physics B, Vol. 16, No. 17, (2002), pp. 2569/2575.
- 4) K. Yoshida, H. Yano, J.-H. Park and S. Yokota: A Valve-Integrated Microactuator Using Homogeneous Electro-Rheological Fluid, Proc. 8th Mechatronics Forum Int. Conf. (Mechatronics 2002), (2002), pp. 725/734.
- 5) T.-Y. Wang and M.-C. Shih: Active Vibration Control of a Pneumatic Vibration Isolator Embedded with the Electrorheological Fluid, Proc. 5th JFPS Int. Symp. on Fluid Power, Nara 2002, Vol. 3, (2002), pp. 653/658.
- 6) K. Yoshida, H. Takahashi, S. Yokota, M. Kawachi, and K. Edamura: A Bellows-Driven Motion Control System Using a Magnetorheological Fluid, Proc. 5th JFPS Int. Symp. on Fluid Power, Nara 2002, Vol. 2, (2002), pp. 403/408.
- 7) M. Biasiotto and F. Butera: Adaptive Rotary Damper Based on Magnetorheological Fluid for Automotive Applications, Proc. 8th Int. Conf. on New Actuators (ACTUATOR 2002), (2002), pp. 577/580
- 8) 長屋, 須田, 吉田, 大橋, 荻原, 若松: MR 流体を用いた四輪駆動車用トルク制御カップリングの開発, 機論(C), Vol. 68, No. 669, (2002), pp. 1503/1511.
- 9) 横田, 桑嶋, 河村, 枝村: DP-RE 形 ECF マイクロモータの多層化と高出力化, 機学第3回機素潤滑設計部門講演会講論集, (2003), pp. 87/90.
- 10) 大島, 中田, 柴田: 電界共役流体 (ECF) を作動流体として用いたリニア型駆動システムの提案, 機学第2回機素潤滑設計部門講演会講論集, (2002), pp. 147/150.
- 11) 横田, 阿部, 枝村: 針状電極 ECF ジェットを用いたマイクロアクチュエータ (製作と特性評価), 機学第3回機素潤滑設計部門講演会講論集, (2003), pp. 85/86.

## 著者紹介



よこたしんいち  
横田眞一君

1975 年東京工業大学大学院修士課程機械物理工学専攻修了，同年同大学精密工学研究所助手，1986 年同研究所助教授，1995 年同研究所教授，現在に至る．流体制御，油圧サーボ，非定常流量計測，マイクロマシンの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，計測自動制御学会などの会員．工学博士．

email: syokota@pi.titech.ac.jp

URL: <http://yokota-www.pi.titech.ac.jp>



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後期課程制御工学専攻修了，同年同大学精密工学研究所助手，1996 年同研究所助教授，現在に至る．流体マイクロマシン，流体制御システムの研究に従事．日本フルードパワーシステム学会，日本機械学会，IEEE などの会員．工学博士．

email: yoshida@pi.titech.ac.jp

URL: <http://yokota-www.pi.titech.ac.jp>

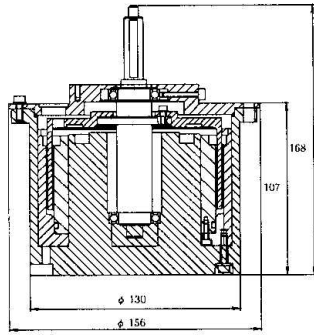


図1 粒子分散系 ERF を用いた ER ブレーキ<sup>1)</sup>

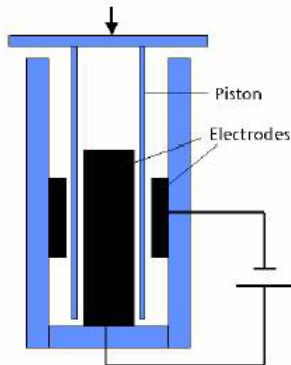


図2 粒子分散系 ERF を用いたハプティックアクチュエータ<sup>2)</sup>

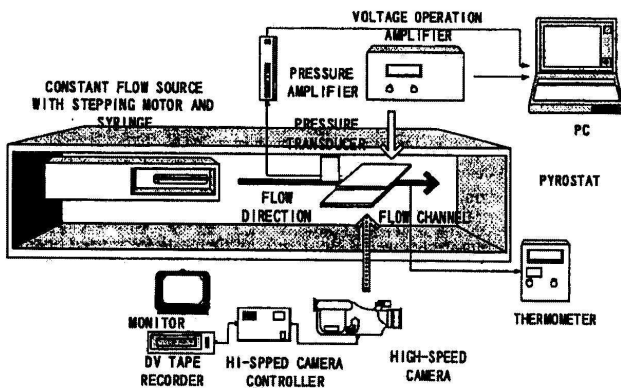


図3 均一系 ERF 特性実験装置<sup>3)</sup>

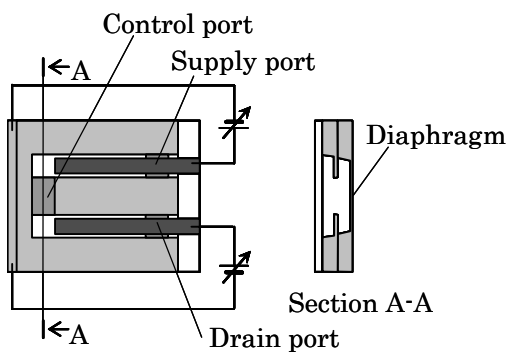


図4 ERバルブ集積形マイクロアクチュエータ<sup>4)</sup>

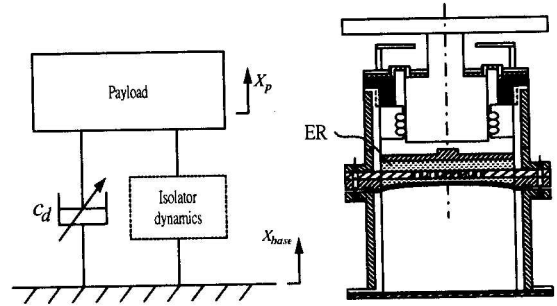


図5 ER ダンパを用いた空気圧除振台<sup>5)</sup>

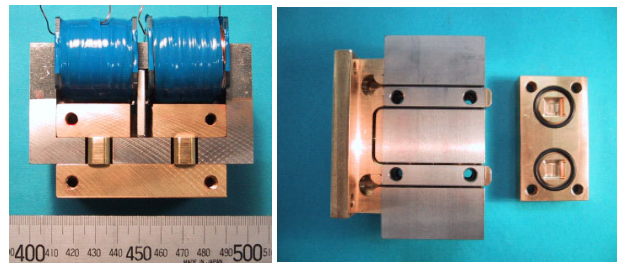
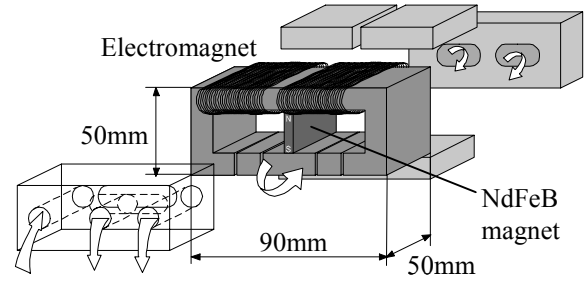


図6 3ポートMRバルブ<sup>6)</sup>



図7 揺動回転形MRダンパ<sup>7)</sup>

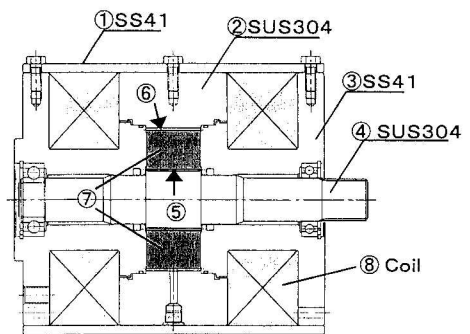


図8 MRF を用いたトルク可変継手<sup>8)</sup>

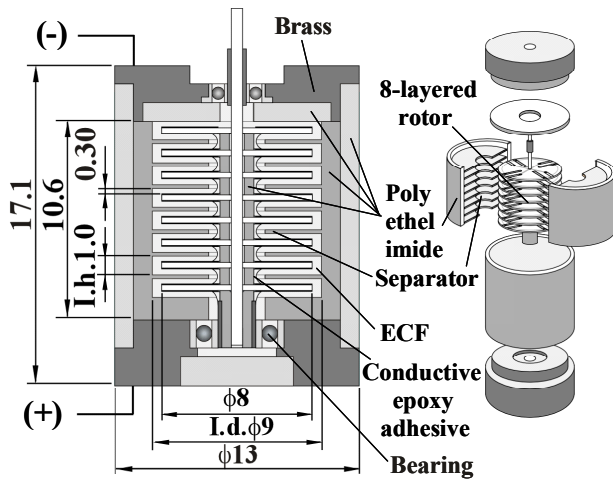


図9 内径9mm8層DP-RE形 ECFマイクロモータ<sup>9)</sup>

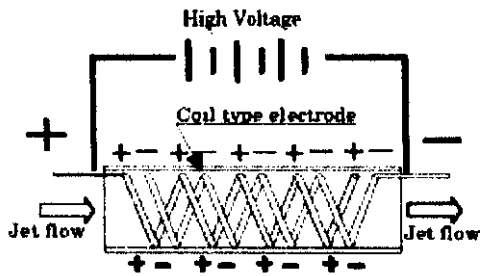


図10 コイル形電極を用いた 直動 ECF アクチュエータ<sup>10)</sup>

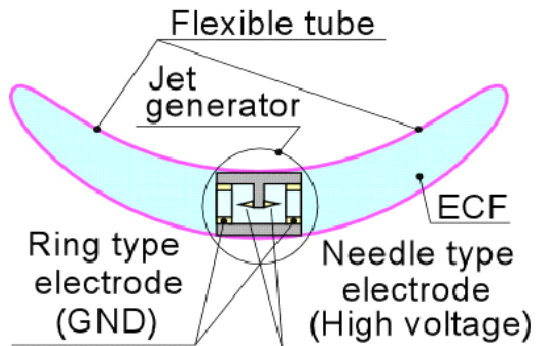


図11 チューブ形マイクロ ECF アクチュエータ<sup>11)</sup>