

# ER アクチュエータの開発と その力覚提示システムへの応用



坂口正道\*, 古荘純次\*\*

## Development of ER Actuator and its Application to Force Display System

**Key Words** : ER fluid, actuator, clutch, force display system

### 1. はじめに

産業用ロボットや機械システムには、AC/DCサーボモータをはじめ、油圧アクチュエータ、空気圧アクチュエータなど様々なアクチュエータが用いられている。これに対し、遠隔操作システムのマスタアームやバーチャルリアリティシステムにおける力覚提示システムなど、人間が直接操作するロボットに用いるアクチュエータには、従来のアクチュエータとは異なっ

た特性が要求される。

筆者らは、近年開発の進んでいる機能性材料の一つである電気粘性流体(Electrorheological Fluid, 以降 ER 流体)<sup>1)</sup>を用いた新型アクチュエータ「ER アクチュエータ<sup>2), 3)</sup>」を開発した。このアクチュエータは、応答速度が速く、トルク/慣性比が大きいなど、力覚提示システムのアクチュエータに適した特徴を持つ。また、この ER アクチュエータを用いた力覚提示システム<sup>4), 5)</sup>を開発し、力覚提示実験を行っているのでこれらについて紹介する。

\*Masamichi SAKAGUCHI

1970年6月29日生  
1995年電気通信大学大学院電気通信学研究科、博士前期課程機械制御工学専攻修了  
現在、大阪大学大学院工学研究科、電子制御機械工学専攻、助手、修士(工学)、ロボット工学、制御工学



TEL 06-879-7345  
FAX 06-879-7344  
E-Mail saka@mech.eng.osaka-u.ac.jp

\*\*Junji FURUSHO

1947年3月22日生  
1975年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程産業機械工学専攻単位取得退学



現在、大阪大学大学院工学研究科、電子制御機械工学専攻、教授、工学博士、ロボット工学、メカトロニクス、制御工学  
TEL 06-879-7343  
FAX 06-879-7344  
E-Mail furusho@mech.eng.osaka-u.ac.jp

### 2. ER 流体とは

ER 流体とは機能性材料の一種で、電場を印加することで見かけ上の粘性(レオロジー特性)が変化する流体の総称である。ER 流体は、大きく分けると粒子分散型のコロイド溶液である粒子系流体、および液晶を用いた均一系流体の二種類に分類される。粒子系流体は、図1(a)に示すようにかける電場が零の時はニュートン流体としての特性を、電場が印加されるとビン

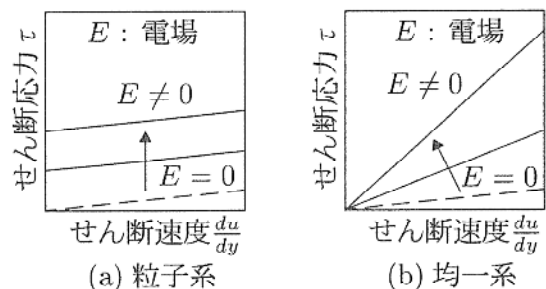


図1 ER 流体の特性

ガム流体の特性を示す。つまり、クーロン摩擦のような振る舞いをする。一方、均一系流体は図1 (b)に示すように、一定の電場のもとでせん断速度に比例した機械的制御力(せん断力)が得られ、その傾きが印加する電場により制御できる。つまり、微分制御に相当するものが機械的に実現できる。筆者らは、このうち前者の粒子系ER流体を用いてERアクチュエータを開発した。

### 3. ERアクチュエータ

ERアクチュエータとは、トルクコンバータ(クラッチ)の一種でありモータを含む入力駆動部、入力回転円筒、ER流体、出力回転円筒(出力軸と一体)により構成される。入力回転円筒は、モータにより一定速度で駆動される。入力回転円筒および出力回転円筒が電極となり、電場を印加することで円筒間のER流体が力を発生する。図2に開発したERアクチュエータの断面図を図3に内部の写真を示す。

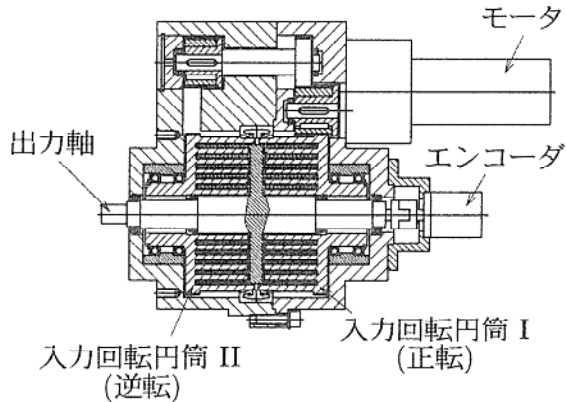


図2 ERアクチュエータ断面図

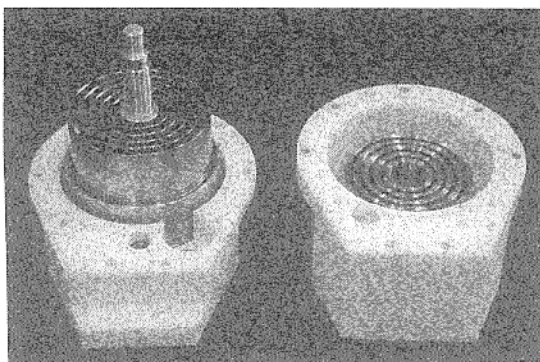


図3 ERアクチュエータ内部写真

ERアクチュエータの内部は多重円筒構造となっており、正転・逆転する二つの入力円筒を持つことで両方向の出力トルクを得る。最大発生せん断応力が2,000 [Pa]のER流体を用いた場合、ERアクチュエータの最大出力トルクは約8 [Nm]となる。このERアクチュエータは次のような特徴を持つ。

- 出力トルクの応答速度は数ミリ秒以下と非常に高速。
- 慣性モーメントが小さく、トルク/慣性比が大きい。
- モデルが簡単で制御性がよい。
- ダイレクトドライブ可能かつバックドライバビリティ性に優れる。
- 出力軸の最大回転数が機構的に制限できるなど安全性が高い。

### 4. 2次元力覚提示システム

2台のERアクチュエータと平行リンクを組み合わせて2次元力覚提示システムを開発した。その写真を図4に示す。操作者はリンク先端のハンドルを操作する。その動きにあわせて仮想環境から及ぼされる力をコンピュータで計算し、ハンドルを介して操作者に提示する。平行リンク機構を用いることで、アクチュエータのみでなくシステム全体の慣性も小さくしている。

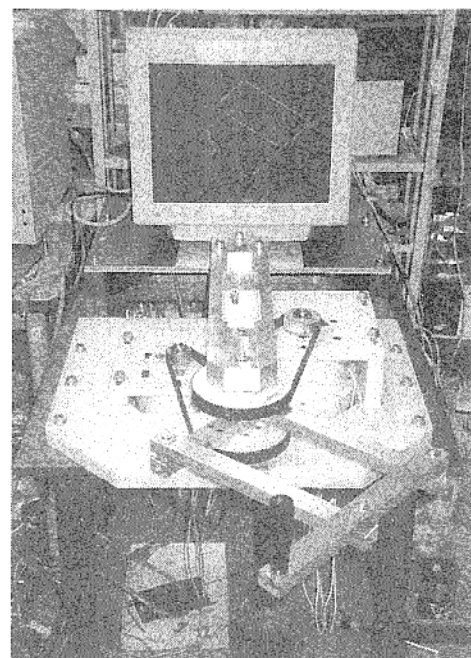


図4 平行リンク型力覚提示システム

ERアクチュエータおよびリンクの間は、ベルト-プーリを用いてトルクを伝達する。先端ハンドルの可動範囲はおよび半径60 [cm]の半円内であり、ERAの最大出力トルクが8 [Nm]の時、半径40 [cm]の円弧を中心に幅約30 [cm]の部分で全方向に50 [N]以上の力を提示可能である。一般的な人の腕の長さや発生力を考えた場合、これは十分な値といえる。

開発した力覚提示システムを用いて、力覚提示実験を行っている。まずは基本的な力感覚としてばね力や粘性力の提示を、そしてこれらの力を組み合わせることで仮想の堅い壁や角、水の流れ、荷物の移動や物体との衝突などを提示している。また、力覚提示システムの応用としてゲーム機器やトレーニングマシン、運動機能回復訓練装置などについて検討を行っている。

## 5. お わ り に

機能性流体の一つである。ER流体を用いて、新型アクチュエータを開発した。このERアクチュエータは、応答速度が速い、トルク/慣性比が大きいなどの特徴のほか、バックドライバビリティ性に優れ、安全性が高いなど特に人間が直接操作しなければならないロボットに用いるアクチュエータに適している。また、ERアクチュエータを用いて力覚提示システムを開発

した。操作者はリンク先端のハンドルを操作することで、仮想環境から及ぼされる様々な力感覚を体験することができる。

人間にとって、視覚情報や聴覚情報とともに力覚はとても重要な情報である。筆者らの開発した力覚提示システムは、今後様々な分野への応用が考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) ER流体の開発と応用(小山清人編), シーエムシー(1994).
- 2) 古荘純次: ER流体を用いたメカトロニクス機器の制御, 計測と制御, vol.34, No.9, pp.687-691 (1995)
- 3) 古荘, 坂口: ER流体を用いたニューアクチュエータ, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.3, pp.323-325 (1997).
- 4) 坂口, 千田, 魏, 古荘: ERアクチュエータを用いた人間に対する力感覚の提示, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97講演論文集, Vol.B, pp.961-962 (1997).
- 5) 坂口, 古荘, 千田: ERアクチュエータの開発および力覚提示システムに関する基礎研究, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp.133-134 (1997).

