

ゲル構造電気粘性流体の開発と精密位置決め機構への応用

Development of Gel-structured Electro-rheological Fluids and their Application to Precision Positioning Devices

80221922 柿沼康弘 (Yasuhiro Kakinuma) Supervisor 青山藤詞郎 (Tojiro Aoyama)

1. 緒論

機能性流体の一つに電気粘性流体 (Electro-rheological Fluids, 以後 ERF) がある。ERF は外部から電場を印加することによってみかけの粘弾性が変化する流体である¹⁾。ERF は電場を印加するだけで、その効果を生じさせることができるため、これを利用した装置の小型化や高性能化に有効だと考えられている。しかし、ER 効果²⁾の大きい粒子分散系の ERF は、これを長時間放置すると粒子の沈降を起し、ER 効果が低下してしまうという問題や、機械要素に使用した場合シール構造が必要になるといった難点がある。そこでこれらの問題を解決する方法として、ゲル構造 ERF (以後 ERG) を新たに開発し、ERG の基本性能を評価し、メカトロニクスデバイスへの応用可能性を検討した。メカトロニクスデバイスとして、本研究では位置決め機構に着目しエアスライド、インチワームを試作し、その性能評価を行った。

2. ERG の基本構造

開発した ERG の基本構造を図 1 に示す。ERG は格子状のゲル骨格を持ち、このゲル骨格により形成されたセル内に ER 粒子が封入されるため、これまで粒子分散系 ERF の大きな欠点であった粒子の沈降や凝集が起らなくなる。またゲル状であるので応用デバイスの設計においては、流体の漏れ止めシール構造が不要となり、構造が簡単になるといった特徴を持つ。個々のセル内において ER 粒子は自由に運動することができるので、ERF と同様、図 1 (b) に示すように、電場の印加によって ER 粒子がクラスタを形成して降伏応力を発生するものと考えられる。このように ERG は ERF の特性を残したまま、その欠点を改善した新しい機能性材料である。

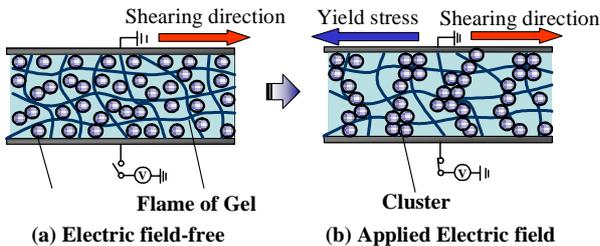


Fig. 1 Structure of ERG

3. ERG の基本特性測定

3.1 測定装置

特性評価には縦 50mm × 横 70mm × 厚さ 0.5mm の ERG シートを準備した。ERG シートを 2 枚の平行平板電極で挟み、下部電極を固定し上部電極をスライドできるようにしておく。このとき、下部電極には表面を粗くする加工が施されており、せん断を行う際に ERG が上部電極のせん断に追従して滑らないようにしてある。この平行平板電極に挟まれた ERG シートを図 2 に示すせん断応力測定装置に組み込み、ERG シートに電場を印加した状態で上部電極をスライドさせた時に発生するせん断応力を測定した。渦電流式変位計により上部電極の変位量を、ロードセルを介して動ひずみ計に

よりせん断力を測定した。せん断はマイクロメータテーブルの送り部分をモーター駆動することにより定速で行った。またこれとは別に上部電極を加振し、この時の ER 効果の応答性を測定した。

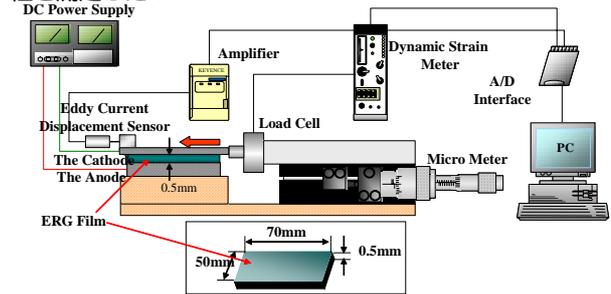


Fig. 2 Equipment component for shear stress measurement

3.2 せん断応力測定結果

電界強度を 250V/mm 毎に 0kV/mm から 1500kV/mm まで変化させ、各電界強度において 600 μm せん断させた時のせん断応力測定結果を図 3 に示す。ERG は ERF 同様に無電場時には Newton 流体的挙動を示し、電界印加により Bingham 流体的挙動に推移していることが確認できる。また、電界強度に応じて、せん断応力が大きく変化していることが確認できる。電界強度 1500V/mm 時には、約 4000Pa と高い降伏応力を発生している。

この他にも ERG の特性として、ER 効果の再現性が高いことや消費電力が低いことが確認できた。

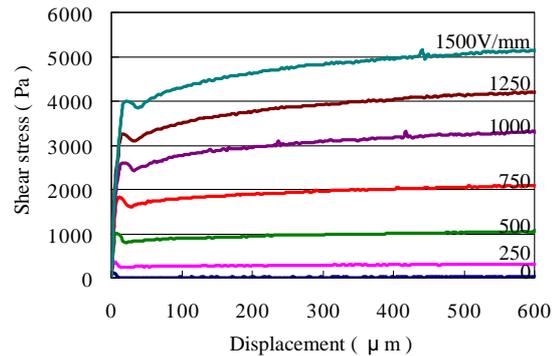


Fig. 3 Stress-Displacement diagram (600μm)

3.3 応答性測定結果

応答性測定のため振動抑制実験を行った結果を図 4 に示す。また測定結果より算出した ERG の印加電界に対する応答性 (時定数) を表 1 に示す。電場印加により振動振幅が 5 分の 1 以下に抑制されていることが確認できる。これは、ERG が振動抑制材料として十分応用が可能であること示している。応答性に関しては、ERF の応答性が数 msec オーダーなのに対し、ERG は多少遅くなり、電場印加時に伴う応答性 (ON 応答) が、数十 msec、電場除去時に伴う応答性 (OFF 応答) が、数百 msec となっている。これは、ERG 内のゲル骨格が ER 粒子のクラスタ形成を阻害しているためと考えられる。

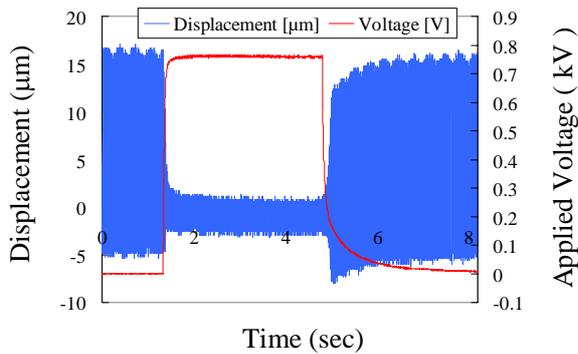


Fig.4 Dynamic response of ERG

Table.1 Response time of ERG

	ON応答速度 (ms)	OFF応答速度 (ms)
ERG	10	117

4 ERGの精密位置決め機構への応用

4.1 試作したエアスライドの構造

基本特性測定の結果から, ERGのメカトロニクスデバイスへの応用可能性が高いことが明らかとなった. そこで応用分野の一つである精密位置決めに焦点をあて, ERGの固定特性を応用したエアスライド位置固定機構を考案・試作し, その基本性能を評価した.

試作したエアスライドの構造を図5に示す. エアスライドは両端支持型のガイド部と口型のスライダ部からなる. エアスライドには, 2枚の平板固定電極でERGシート付きの移動電極を挟む形で構成されたERG固定機構が組み込まれている. 移動電極はERGシートを介し平板固定電極と接触しながらスライド可能な構造となっており, 直動する移動電極に電界を印加することで両者の間に固定力を発生する.

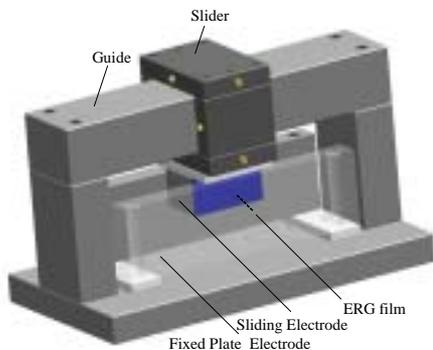


Fig.5 Air Slide with ERG Clump

4.2 エアスライドの基本性能評価

エアスライドに組み込まれたERG固定機構に電界を印加することでの固定力測定を行った結果を図6に示す. また, 外力による振動抑制効果を調べるためインパルスフォース応答法による動コンプライアンス測定を行った. その結果を図7に示す. この他に印加電界に対するスライダの微小変位を調べるための実験も行った.

測定結果をまとめると ERG固定機構に印加する電界によりスライダ部の固定力を調整することが可能であることがわかる. ERGに電界を印加することにより動コンプライアンスを低く抑えることが可能である. 電界を印加することにより, スライダが移動方向とは直角のERG膜厚方向に $1\mu\text{m}$ 程度の微小変位を生じた. 以上の結果から, ERG固定装置に電界を印加することによりエアスライドの固定力を調整

可能であることがわかった. また, 外力による振動を電界により抑制可能であることもわかった. つまり, 空気摩擦抵抗が低く, 移動方向に振動しやすいエアスライドの振動抑制対策として, ERGは有効な手段となり得ることが明らかとなった. しかし, ERGは電界印加にともない, その膜厚方向に微小な収縮を起こしてしまうため, スライダに微小変位が生じた. この問題の解決策の一つとして, ERG固定装置の移動電極を左右二つの独立構造とし, 左右に異なる電圧を印加することによりスライダの膜厚方向変位の調整をおこなう方法が考えられる.

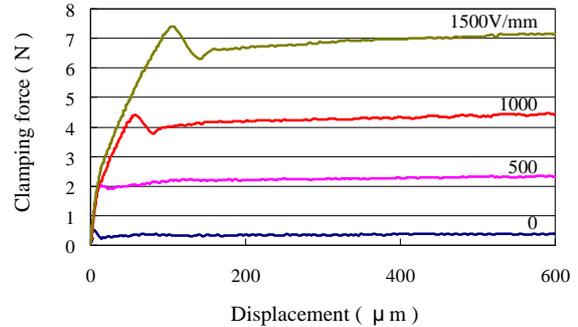


Fig.6 Force-Displacement diagram (600 μm)

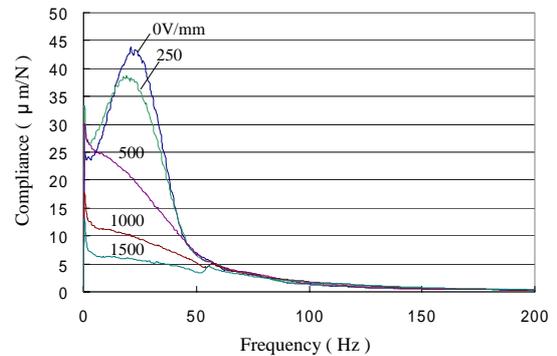


Fig.7 Compliance-Frequency diagram

5 結論

本研究の結果から, 開発したERGは, 粒子の沈降及び凝集によるER効果の再現性の低下を抑制し, ゲル状であることからシール構造を必要としないなど, 従来のERFの欠点を改善した新機能性材料であることが明らかとなった. さらに, ERGは従来のERFと比べ, 電界に対する発生応力が非常に高く, 耐久性にも優れていることが明らかとなった.

ERGはこれを2枚の電極板に挟み, 電界を印加するだけでせん断力(固定力)を発生する. つまり2つの物体が相対運動するような場所で, その運動を制御したい場合, ERGを機械要素に用いることで簡単かつ小型にデバイスを構成することができる. しかし, 一方で電界印加により $1\mu\text{m}$ 程度の収縮が起こることから, デバイ스에組み込む際にはこの収縮を考えた設計をしなければならない. つまり, デバイ스에収縮を打ち消すような工夫を施すことで位置決め機構などへの適用が可能となる.

参考文献

- 1) 三田達也: スマート流体に関する調査報告書, スマート流体研究会, (1990-2)
- 2) M.Nakano and T.Nagata: ER Properties and Flow-induced Microstructures of An ER Fluid between Two Parallel Disk Electrodes in Squeeze Flow Mode, International Journal of Modern Physics B, Vol. 16, Nos.17&18(2002)2555-2561