

微小重力下における電気粘性液体の挙動と応用

余野建定(JAXA)、武田三男 (信州大学)、宮丸文章(信州大学)、増野敦信(東京大学)、趙国慶 (香港科技大)、沈平(香港科技大)、温維佳 (香港科技大)

Electrorheological Fluid under Micro Gravity and Applications

*Jianding Yu¹, Mituo Taketa², Fumiaki Miyamaru², Atunobu Masuno³, Guoqing Zhao⁴, Ping Sheng⁴, Weijia Wen⁴

¹Japan Aerospace Exploration Agency, Japan

²Shinshu University, Japan

³The University of Tokyo, Japan

⁴The Hong Kong University of Science & Technology, China

*ISAS/JAXA, Sagami-hara, Kanagawa 252-5210

E-Mail:yo.kentei @jaxa.jp

Abstract: We report the first observation of an electrorheological (ER) effect in a single phase ER suspension, comprising mono-dispersed dielectric particles, from a microgravity experiment. In microgravity, the particles can form stable single phase suspension without a suspending liquid, which is usually necessary for the conventional ER fluid. The size of the column structures formed by the particles exceeds the maximum column width usually observed in the twophase ER fluids. Numerically evaluating the variation of the electric energy density with respect to the strain yields a good account of the measured data, especially in the low field region.

Key words; Electrorheological effect, Microgravity experiment, Drop tower experiment

1. はじめに

溶液に誘電体微小球を分散させた流体に電場を印加すると、各微小球の分極の相互作用により、微小球が瞬間的に柱状に配列する。このような流体は、電気粘性流体と呼ばれる。

電場を印加することによって電気粘性流体の粘度が上昇することを利用して、ダンパによる振動の抑制やマイクロマシンのアクチュエータ制御、潤滑剤としての摩擦のコントロールなど、さまざまな方面に応用可能である。将来、電気粘性流体ダンパの可変減衰機能により、月・惑星探査機の着陸時の衝撃吸収材として有望である。これまで、電気粘性効果により生じる剪断強度は5kPaを超えなかった。本研究チームの香港科技大グループはナノ粒子を用いて、世界初めて140kPaを超える電気粘性流体の作製に成功した。JAXAは無容器技術によって、巨大誘電率をもつ球状ガラスの作製に成功した。その物質を利用して、さらに高い剪断強度をもつ電気粘性流体を得られと考えられる。

通常の電気粘性流体は誘電体の微小球をシリコンオイル等の液体中に浮力を利用して分散させる2相状態で、外部電場によりその粘性抵抗を制御するものである。本実験では、無重力状態においては、液体がなくても誘電体球が空間に浮遊することに着目した。自由落下実験により液体の無い状態でも外部電場により、誘電体球が柱状に配列し、粘性抵抗が制御できることを初めて見いだした。この単一相電気粘性液体は微小重力下の宇宙空間でのショックアブソーバ等の様々なモジュールに応用できる可能性がある。

2. 実験と結果

自由落下実験は日本無重量総合研究所(MGLAB, Japan)の落下施設で行った。落下カプセルの真空度は13.3Pa、自由落下距離100m、微小重力時間は4.5秒、重力は $10^{-5}G$ 。

図1に高精度粘性抵抗を自動測定装置は示す。二つ平行電極板の距離は1mm。電極板の断面サイズは95.8mmX95.8mm。電極板の剪断移動速度は5mm/min。

高速ビデオカメラを用いて、微小重力における単相微小粒子の分散挙動をその場観察しながら粘性抵抗を測定した。単相微小粒子は直径0.1mmのSiO₂ガラス粒子である。

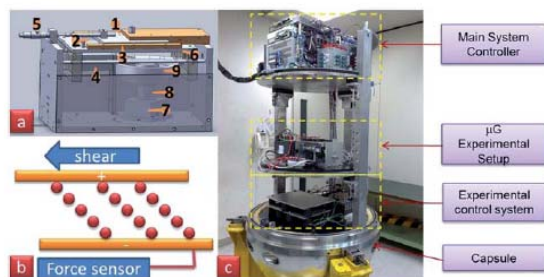


Fig. 1 (a) Schematics of the electro-rheometer for the microgravity experiment with (1) upper electrode, (2) bottom electrode (ITO glass), (3) sample vessel, (4) motor, (5) force sensor, (6) suspending stage, (7) CCD, (8) optical lens for imaging system, (9) illuminating system. (b) Schematics of the measurement. (c) Equipment arrangement inside the drop capsule.

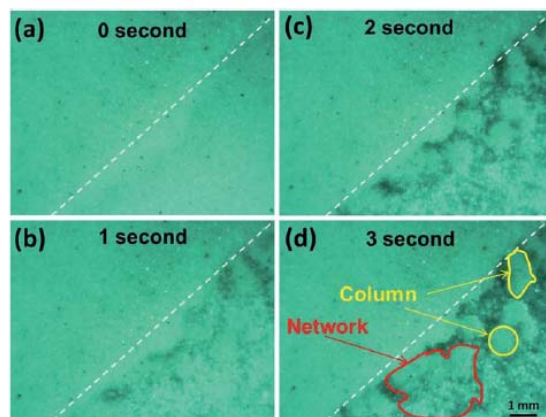


Fig. 2 Top-view images of the sample taken at (a) 0 s, (b) 1 s, (c) 2 s, and (d) 3 s of the microgravity drop period, with an applied field of 700 V mm⁻¹, showing the structure formation (indicated by the light-colored areas) driven by the electric field. Particles are seen to be initially well distributed in the region below the dash line. In (d) the column and network structures are highlighted by yellow and red circles, respectively.

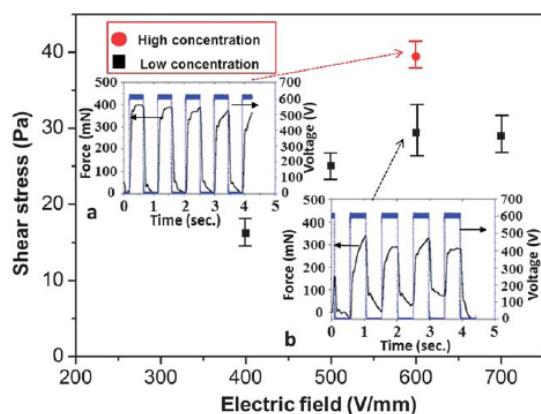


Fig. 3 Measured shear stress as a function of the electric field. The recorded force signal as a function of time at 600 V mm⁻¹ for the 60% and 36% (volume fraction) samples are shown in the insets (a) and (b), respectively. The applied voltage pattern is plotted on the same graph.

図2は自由落下時に700Vmm⁻¹の電場を印加によって、SiO₂ガラス粒子分散の変化の写真を示す。初めて微小重力を利用して、ER理論により予測した“柱状集合体”の形成が観察された。粒子の柱状構造の太さは通常二相電気粘性流体のそれに比較して大きい。

図3は剪断応力と印加電場の依存性を示している。剪断応力は電場の変化により変かされ、単相粒子の電気粘性効果が初めて無重力環境により確認された。低電場の剪断応力と電場の依存性は理論計算値とほぼ一致した。印加電場400 V/mm時に剪断応力約16.4 Pa、印加電場500 V/mm時に剪断応力約25.6 Pa。しかし、高電場の剪断応力と電場の依存性は理論計算値に比較して低い。さらに微小重力実験により検討する必要がある。

参考文献

- 1) , G. Zhao, S. Chen, W. Wen, F. Miyamaru, M. W. Takeda, J. Yu and Ping Sheng, Single-phase Electrorheological Effect in Microgravity, *Soft Matter*, 2011, 7 (16), 7198 – 7200