

小論文

BaTiO<sub>3</sub> 分散系流体の ER 効果

信平清隆\*, 藤田豊久\*\*, 吉村昇\*

(1992年9月14日受理)

ER Phenomenon of the Fluid Suspended Barium Titanate

Kiyotaka NOBUHIRA,\* Toyohisa FUJITA\*\* and Noboru YOSHIMURA\*

(Received September 14, 1992)

The electrorheological (ER) phenomenon for the stable barium titanate suspension was studied under AC electric field. By using a cone-plate viscometer, the viscosity of 20 wt.% fluid was measured in the range of 0 to 2.2 kV/mm. The viscosity remarkably increased with increasing AC electric field. This fluid became Bingham body. The motion of particles in dilute fluid was observed at 1 kV/mm through a microscope. The particles were moved immediately after applied AC electric field and aligned gradually between the electrodes. As the ER fluid is stable and become to get large viscosity with increasing AC electric field, this will be useful for the application.

1. はじめに

電気粘性流体 (electrorheological fluid : ER 流体) とは, 外部から電界を印加すると粘性が増大する流体である。この現象は, 電気粘性効果 (ER 効果) と呼ばれており, アメリカの Winslow によって報告された<sup>1)</sup> のが最初とされている。粘性の増大が著しい流体は, オイル類や有機溶剤などに固体微粒子を分散したコロイド分散系である<sup>2)</sup>。このため, 流体中の粒子の誘電分極及びその挙動は ER 効果にとって非常に重要な因子であるといえる。ER 流体の特徴は, 粘性を電氣的に制御できることである。この性質を利用して, クラッチ・ダンパ・各種振動素子など, 主に機械分野への応用が考えられているが, 分散安定性・作動温度域・耐久性などの問題があり, まだ実用化には至っていない。分散相として金属酸化物の粒子を用いるとき, 一般に密度の差により粒子は重力下において沈降する。コロイド分散系は熱力学的

に不安定であり, 可逆的に分散性を回復することは困難である。ER 流体の性能を向上するために分散安定性が良く, かつ粘性の変化が大きい流体の開発及び研究が必要である。

本研究では, 藤田らによって新たに開発された極めて微細なチタン酸バリウム粒子<sup>3)</sup>を分散相として用いた。そして, この微粒子をアルキルナフタレンに分散し, 重力下で安定なコロイド分散系を作製して, 交流電界 (50 Hz) 下での ER 現象について実験的に検討した。

2. 電気粘性効果 (ER 効果)

コロイド分散系の ER 流体中の粒子は, ブラウン運動をしており流体中に均一に分散している。これに電界を印加すると粒子及び粒子界面の分極が生じ, その双極子相互作用によって粒子間には引力が働く。この結果, 分散していた粒子は電極間に数珠状に配列し, 粒子ブリッジを形成する。ER 効果の機構は, この粒子ブリッジにより相対する2面の電極が移動するとき, 剪断抵抗を受けるために流体の見かけの粘性が変化したようになるとされている。そして, 粘性が変化するためには数 kV/mm の電界強度が必要である。粒子間引力については, 3~5 個の粒子を用いてモデル的に研究した例もある<sup>4)</sup>。

3. 実験

3.1 試料の作製<sup>5)</sup>

チタン酸バリウム (モル比 BaO : TiO<sub>2</sub> = 1 : 1) 粒子は, テトラ-*n*-プロポキシチタンと酢酸バリウムを等モ

キーワード : ER 流体, チタン酸バリウム, 交流電界, 粘性変化, 粒子ブリッジ

\* 秋田大学鉱山学部電気電子工学科 (010 秋田市手形学園町 1-1)

Department of Electrical and Electronic Engineering, Mining College, Akita University, 1-1, Tegata Gakuen-cho, Akita, 010 Japan

\*\* 秋田大学鉱山学部資源・素材工学科 (010 秋田市手形学園町 1-1)

Department of Geosciences, Mining Engineering and Materials Processing, Mining College, Akita University, 1-1 Tegata Gakuen-cho, Akita, 010 Japan

ルの割合で混合し、加水分解することによって作製した。そして、粒子に界面活性剤 (polyoxyethylene alkylether acetates) を液中において吸着して、60°C で2日間乾燥後、アルキルナフタレン (粘度 0.05 Pa·s) に分散した。このとき、分散しない粒子は遠心分離 (3,000 rpm, 20分間) して除去した。試料作製のフローチャートを図1に示す。作製した試料の分散粒子濃度は約 20 wt.% である。

### 3.2 粘性の測定

粘性の変化は図2に示すようなコーン・プレート型粘度計 (島津 Rheometer RM-1) を用いて 20°C で測定した。円錐板 (コーン) と平板 (プレート) 間に流体を満たし、平板を一定速度で回転して円錐板に伝わるトルクを測定した。このとき交流電界強度 (50 Hz) は 0~2.2 kV/mm, 剪断速度は 15~60 s<sup>-1</sup> とした。そして、粘性の変化は剪断応力として求めた。

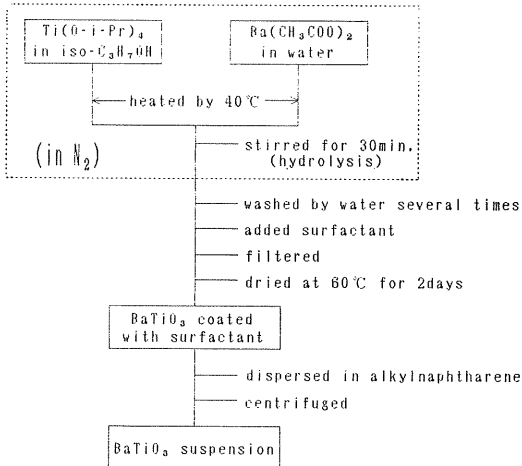


図1 試料作製のフローチャート

Fig. 1 A flow chart of sample preparation.

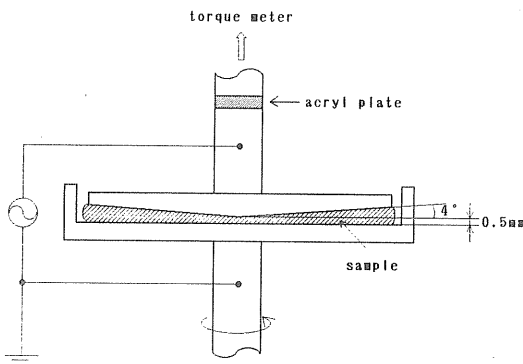


図2 コーン・プレート型粘度計の概略図

Fig. 2 A schematic of a cone-plate viscometer.

また、電極間に形成される粒子ブリッジを顕微鏡 (倍率: 64倍) で観察した。図3に示すような電極間隔 1 mm のセルを用い、交流電界 (50 Hz, 1 kV/mm) を印加した。本研究で作製した ER 流体中のチタン酸バリウム粒子は極めて微細なため (1 μm 以下), 顕微鏡観察は不可能であった。そのため顕微鏡観察の時のみ、粒径が 5 μm 程度の比較的大きなチタン酸バリウム粒子を用いて懸濁液を作製し、粒子の挙動を観察した。

### 4. 実験結果及び考察

剪断応力は図4に示すように電界強度の増加とともに2次曲線的に増大する。注目すべきことは、剪断応力は 0.6 kV/mm 以上で著しく増大していることである。この流体の絶縁破壊強度は 2.5 kV/mm であり、その付近まで安定して剪断応力は増大している。また、図5に示すように 0 kV/mm においてはニュートン流体の性質を示しているが、電界を印加すると剪断応力は剪断速度に対して降伏値 (降伏応力) を有し直線的に増大する。このような性質を示す流体は、一般にビンガム流体 (Bingham body) と呼ばれている。

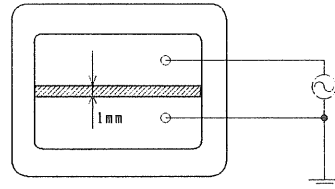


図3 粒子配列観察用セル

Fig. 3 Cell for observation of particle alignment.

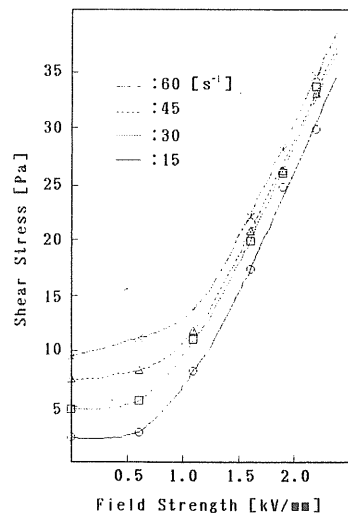


図4 交流電界に対する剪断応力の変化

Fig. 4 Shear stress change to AC electric field at each shear rates (15, 30, 45 and 60 s<sup>-1</sup>).

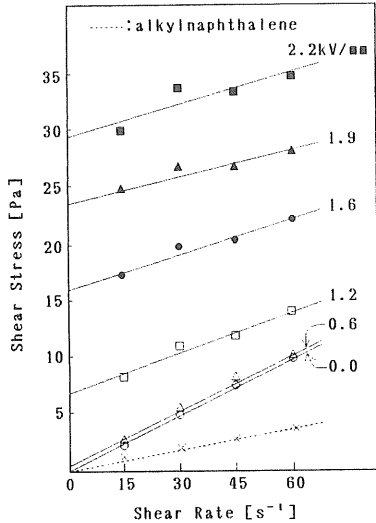


図5 剪断速度に対する剪断応力の変化

Fig. 5 Shear stress change to shear rate at each AC field (0.0, 0.6, 1.2, 1.6, 1.9 and 2.2 kV/mm)

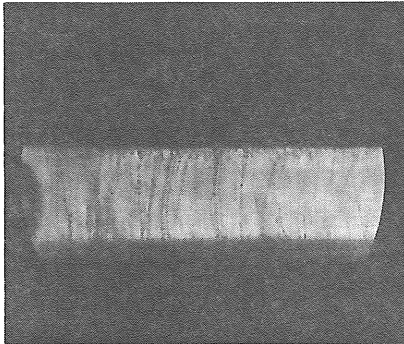


図6 電極間の粒子ブリッジの顕微鏡写真  
(電極間隔: 1 mm)

Fig. 6 Microscopic photograph of particle alignment between electrodes.

ER 効果で特徴的な粒子の電極間ブリッジの顕微鏡写真を図6に示す。電界を加えると粒子は流体中を移動し、電極間に配列する。ここでは、低濃度の懸濁液を用いているので、完全に配列するまでには約1分間必要とした。この場合、粒子サイズは5  $\mu\text{m}$  の粒子を用いたため、一般に報告されている ER 流体の応答性<sup>2,5)</sup>と比較すると非常に長い時間必要とする。これは、電界以外にも分散粒子濃度、粒子サイズ及び粒子の形状が大きく関与しているものと推測される。

## 5. ま と め

新たに作製したアルキルナフタレンを分散媒とするチタン酸バリウム分散系を用いて、その ER 現象について実験的に検討した。

粘性の変化に関しては、電界強度の増加にともない2次曲線的に絶縁破壊強度付近まで増大すること、この流体はビンガム流体の性質を示すことを明らかにした。また、外部電界を印加することによって粒子は電極間に配列することを確認した。このように電界下での粘性の変化は、粒子ブリッジに大きく関与すると推測できる。

ここで作製した ER 流体は分散安定性の面で優れており、また粘性の変化も大きいため、応用面でもかなりの可能性が期待できるであろう。しかし、ER 効果に影響を及ぼす因子は非常に多く、これらの点に関してなお一層の検討が必要である。

## 参 考 文 献

- 1) W.M. Winslow: J. Appl. Phys., 20 (1949) 1137
- 2) H. Block and J.P. Kelly: J. Phys. D: Appl. Phys., 21 (1988) 1661
- 3) T. Fujita, I.J. Lin and K. Kawata: *Proceedings of 2nd World Congress on Particle Technology*, Kyoto, Japan Part III, p. 174 (1990)
- 4) A.F. Sprecher, Y. Chen and H. Conrad: *Proceeding of the Second International Conference on ER Fluid*, p. 82, Electrorheological Fluid (1989)
- 5) 大坪泰文, 渡辺綱市朗: 日本レオロジー学会誌, 18 (1990) 111