

# 繊維状磁性体を用いることでマグネトロロジー効果を強化した

## 繊維強化磁気粘性流体の開発

### Development of fiber-reinforced Magneto Rheological fluid

#### with enhanced magneto rheological effect by using fibrous magnetic material

立命館大学工学部機械工学科 助教 立山 耕平

Department of Mechanical Engineering, Ritsumeikan University, Kohei Tateyama

#### 要旨

磁気粘性流体の様々な分野への応用のためにマグネトロロジー効果の向上が大きな課題となっている。そのため、磁気粘性流体の機能性向上に関する研究はこれまでも多く行われてきた。しかしこれまでの研究で用いられる磁性体粒子は“真球形状”かつ“単分散”が基本であり、磁気粘性流体のマグネトロロジー効果に及ぼす磁性粒子の形状や分散状態の影響に関する研究はこれまでにほとんど報告がない。そこで著者らは、“針のような繊維状”の磁性体粒子を使用することで鎖状構造の異方性が強化されてマグネトロロジー効果に大きく影響を及ぼすことを予想した。本研究では、磁気粘性流体に対して繊維状磁性体等の球状ではない磁性流子を用いることでマグネトロロジー効果を強化した磁気粘性流体を開発することを目的とした。

#### 1. はじめに

磁気粘性流体とは、磁性体粒子、ベース溶液および分散性向上のための界面活性剤で構成される機能性流体である。磁場の印加により内部の磁性体粒子が鎖状構造を形成することでその流動特性が変化するユニークな特性（マグネトロロジー効果）[1]を有しているが、様々な分野への応用のためにマグネトロロジー効果の向上が大きな課題となっている。そのため、磁気粘性流体の機能性向上に関する研究はこれまでも多く行われてきた。例えば磁気粘性流体のマグネトロロジー効果を高めるために、マイクロスケールの磁性粒子に対してシリカ等のナノ粒子を添加する手法[1]や、ベース溶媒に用いるオイルの粘度を調整する手法等が提案されている。また、磁性体粒子の表面改質によって濡れ性を高めることで分散性とマグネトロロジー効果の向上が期待できること[2]も報告されている。しかし、これまでの研究で用いられる磁性体粒子は“真球形状”かつ“単分散”が基本であり、磁気粘性流体のマグネトロロジー

効果に及ぼす磁性粒子の形状や分散状態の影響に関する研究はこれまでにほとんど報告がない。そこで本研究では、磁気粘性流体に対して繊維状磁性体等の球状ではない磁性流子を用いることでマグネトロロジー効果を強化した磁気粘性流体を開発することを目的とした。本報告では、磁気粘性流体における磁性体粒子の形状およびその分散性に着目し、強磁性体粒子として球状、フレーク状、針状の3種類を用いた磁気粘性流体の作製を試みた。この際、作製した磁気粘性流体に対して磁場下および無磁場下における粘度測定を行うことで、そのマグネトロロジー効果を評価した。

#### 2. 試験体

本研究に使用する磁気粘性流体は、分散媒に高粘度シリコンオイル（信越シリコン社製：KF96-100CS）、添加剤にオレイン酸（ナカライテック社製）を使用し、球状（Jiangsu Tianyi Ultra-Fine Metal Powder製）、フレーク状（パウダーテック製）、針状（DOWAエレクトロニクス製）の3種類の強磁性体粒子を混合

することで作製した。強磁性体粒子の詳細を表1に、フレーク状粒子およびナノサイズ針状粒子の粒子形状を図1および図2にそれぞれ示す。上記構成の磁気粘性流体の組成を調整することで、表2に示すように5種類の試験体を作製した。それぞれ強磁性体粒子を35 wt%、シリコンオイルを64.55 wt%、オレイン酸を0.45 wt%とした。

表1 強磁性体粒子の種類

形状	名称	サイズ
球状	カルボニル鉄粉	約 1~2 $\mu\text{m}$
フレーク状	板状フェライト粉	数~50 $\mu\text{m}$ 板厚 5 $\mu\text{m}$
針状	メタル粉	長軸長 35 nm 軸比 4

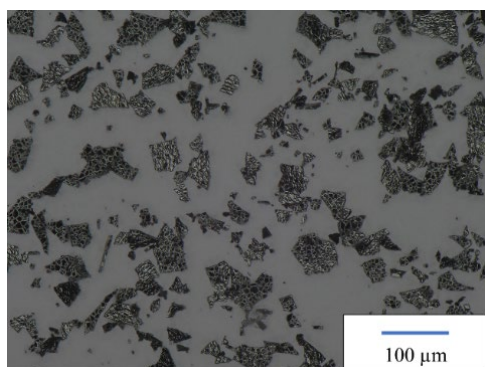


図1 フレーク状粒子の粒子形状

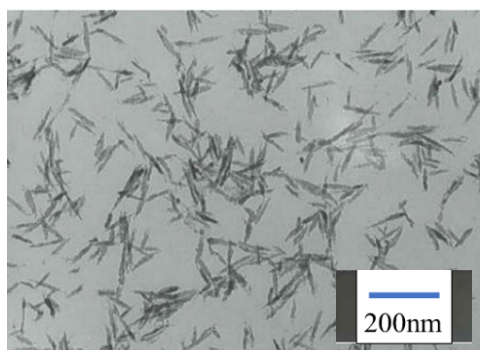


図2 ナノサイズ針状粒子の粒子形状

表2 5種類の試験体の組成

名称	組成
MR-B	球状粒子 35 wt%
MC-BN	球状粒子 30 wt%+針状粒子 5 wt%
MC-BN2	球状粒子 32 wt%+針状粒子 3 wt%
MR-F	フレーク状粒子 35 wt%
MC-FN	フレーク状粒子 30 wt%+針状粒子 5 wt%

### 3. 粘度測定

#### 3.1 粘度測定手法

粘度測定は、コーンプレート型回転粘度計 DV2T (Brookfield製) を使用して測定を行った。粘度測定中の試料の温度は、恒温槽にサーマルロボTR-1a (アズワン製) を用いることで 25 °C に保った。磁場下での粘度測定は、永久磁石を用いて磁場を印加することで実施した。磁場下での粘度測定における粘度計と永久磁石の位置関係を図3に示す。磁場強度は試料部において 10 mT、30 mT となるように調整した。コーンプレート型回転粘度計は、試料と接触したスピンドルの回転により発生したトルクから粘度の測定が行われる。本実験で使用したスピンドルは磁性体であり、磁場方向が回転軸の方向と異なる場合には磁場の影響により正確な測定が困難である。そのため磁場方向はスピンドルの回転軸と同じ方向とした。

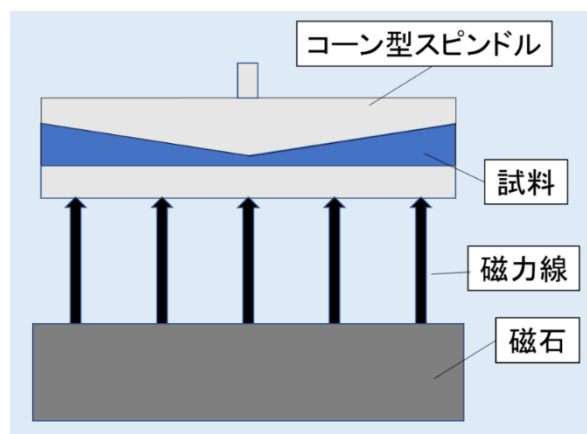


図3 スピンドルと永久磁石の位置関係

## 4. 結果と考察

### 4.1 無磁場下 (0 mT) における粘度特性

無磁場下における各試料の粘度測定結果を図4に示す。まず、単体粒子で構成されているMR-BおよびMR-Fを比較すると、せん断速度が $100 \text{ s}^{-1}$ 以下ではMR-F (フレーク状粒子) の方が高い粘度を示した。これは、MR-Fはその粒子形状が小さなクラスタとみなせることから低せん断速度域において抵抗となるためと考えられる。また、せん断速度が $100 \text{ s}^{-1}$ を超えるとMR-B (球状粒子) の方が高い粘度を示した。これは、MR-FはMR-Bに比して分散性が悪いため、せん断速度の増加に伴う粘度減少が生じたためと考えられる。次に、ナノサイズ針状粒子を混合した試料 (MC-BN、MC-BN2、MC-FN) の粘度に着目すると、いずれも単体粒子の試料と比べて高い粘度を示した。さらにMC-BNとMC-BN2を比較すると、ナノサイズ針状粒子の混合量が多いMC-BNの方が高い粘度を示した。これより、無磁場下ではナノサイズ針状粒子の混合量が多い程粘度が高くなることがわかった。

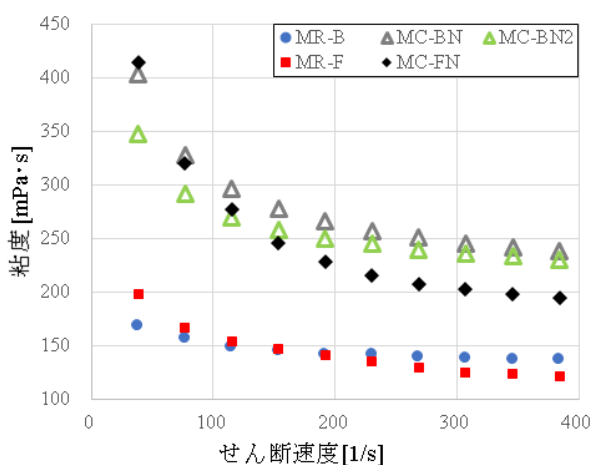


図4 無磁場下における各試料の粘度

### 4.2 磁場下 (10 mT) における粘度特性

10 mTの磁場下における粘度を図5に示す。フレーク状粒子で作製したMR-F、MC-FNについては球状粒子で作製した他の3種類よりも粘度が大きいことがわかる。また、無磁場下と同様にナノサイズ針状粒子を混合した試料の方が

単体粒子のみで作製した試料よりも粘度が大きく、ナノサイズ針状粒子の混合量が多い程粘度が大きいことがわかった。

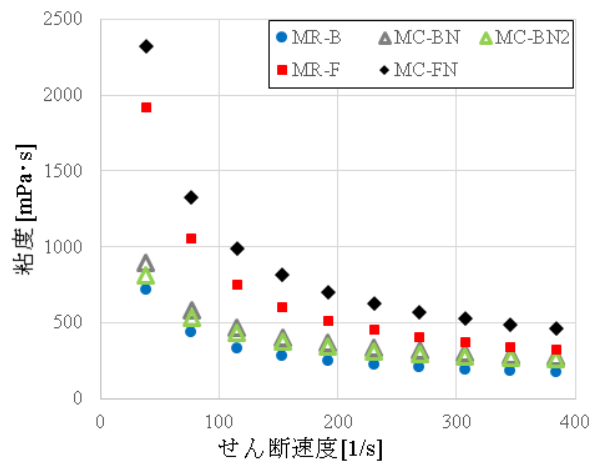


図5 10 mTの磁場下における試料の粘度

無磁場下から10 mTの磁場下における粘度増加割合を図6に示す。この際、粘度増加割合は磁場下の粘度を無磁場下の粘度で除し100を乗ずることで求めた。フレーク状粒子で作製したMR-F、MR-FNの粘度増加量が球状で作製したものよりも高いことがわかる。これは、フレーク状粒子は球状粒子よりも磁化が大きいためより強固なクラスタを形成し高い流動抵抗を生じさせているためだと考えられる。また、単体粒子のみで作製した試料に比べてナノサイズ針状粒子を混合した試料は粘度増加割合が小さいことがわかった。これより、ナノサイズ針状粒子

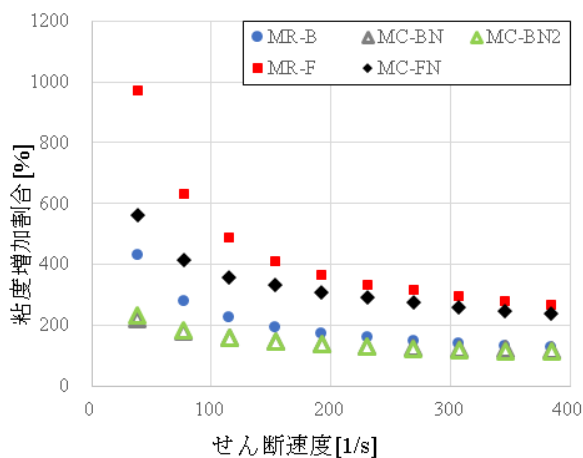


図6 10 mTの磁場下における粘度増加割合

の磁化は単体粒子より小さいことが示唆された。

### 4.3 磁場下 (30 mT) における粘度特性

30 mTの磁場下における粘度を図7に、無磁場から30 mTの磁場下における粘度増加割合を図8に示す。10 mTにおける結果と同様に、ナノサイズ針状粒子を混合するほど粘度増加割合は小さくなる傾向を示した。よって、ナノサイズ針状粒子は球状粒子と比較して磁荷が小さいものと推察される。また、30 mTの磁場を印加した場合、粘度増加割合は球状粒子を用いた試料がフレーク状粒子を用いた試料よりもやや高い値を示すことがわかった。これより、球状粒子を用いた試料はフレーク状粒子を用いた試料の磁荷と比べて飽和磁荷が高いことが示唆された。本報告により、10mT程度の磁場において運用する場合はフレーク状粒子を用いた試料の方がマグネトロロジー効果が高いことが明らかとなった。本報告では磁場の異方性を考慮した年度測定をすることができなかったが、今後磁場の異方性を考慮した粘度測定を行うことで、針状粒子のマグネトロロジー効果について更なる知見を得ることが可能と考えられる。

## 5. まとめ

本報告では、磁気粘性流体における磁性体粒子の形状およびその分散性に着目し、強磁性体粒子として球状、フレーク状、針状の3種類を用いた磁気粘性流体の作製を試みた。作製した試料に対して磁場下および無磁場下における粘度測定を行うい、そのマグネトロロジー効果を評価した。得られた結果を以下に示す。

- ・無磁場下ではナノサイズ針状粒子の混合量が大きいほど試料の粘度が大きいが、磁場下での粘度増加量が小さくなる。
- ・印加する磁場が10 mTの場合、フレーク状粒子で作製した試料は球状粒子で作製したものより粘度増加量が大きくなる。
- ・印加する磁場が30 mTの場合、球状粒子で作製した試料はフレーク状粒子で作製したものより粘度増加量が大きくなる。

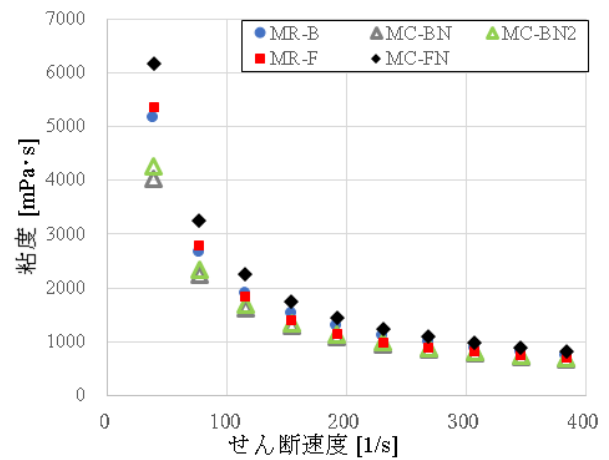


図7 30 mTの磁場下における試料の粘度

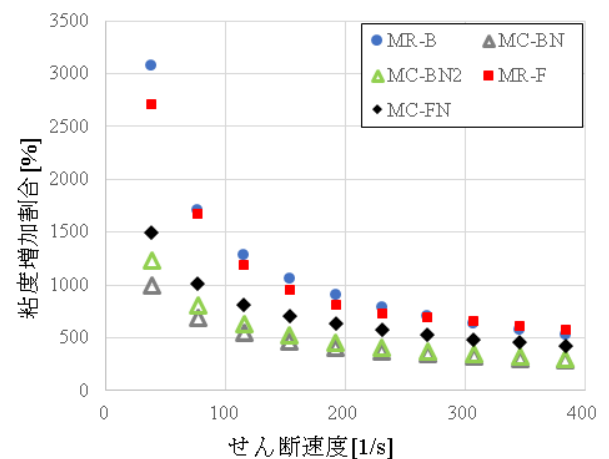


図8 30 mTの磁場下における粘度増加割合

## 謝辞

本研究を援助していただいた公益財団法人京都技術科学センターに感謝致します。

## 参考文献

- [1] 井門康司、林浩一、飛田隼佑、日本AEM学会誌、Vol. 21, No. 4, pp. 590-595 (2013)
- [2] 阿部浩也、近藤光、山中真也、内藤牧男、粉砕、Vol. 54, pp. 41-46 (2011)

## 研究成果発表

- 1) 立山耕平、三谷祐哉、渡辺圭子、材料、Vol. 70, No. 11, pp. 816-823 (2021)