

Title	非定常磁場下における磁気機能性流体中の磁性体クラスターに起因する流動特性の検討
Sub Title	Flow characteristics of magnetic functional fluids under unsteady magnetic fields
Author	澤田, 達男(Sawada, Tatsuo)
Publisher	
Publication year	2018
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2017. )
JaLC DOI	
Abstract	<p>磁性流体やMR流体といった磁気機能性流体を取り巻く環境を動的に変化させ、磁気機能性流体の動的諸特性を明らかにすることを目的として、超音波伝播特性に関する実験、新しい衝撃緩衝器として、テーパー付きピストンを有する構造を提案し、その内部流れの解析および実験を、遂行した。その結果、非定常磁場下での様々な現象をある程度明らかにすることができた。</p> <p>Magnetic fluids (MF) and magnetorheological fluids (MRF) are stable colloidal dispersion of small magnetic particles in a liquid carrier. When an external magnetic field is applied to an MF or MRF, some of the inner particles coagulate and form a clustering structure. In the present study, the following experiments were carried out : (1) Ultrasonic propagation velocity was measured and the change of ultrasonic propagation velocity was calculated. Based on the experiment results, the relation between the change of ultrasonic propagation velocity and magnetic field strength and frequency of AC magnetic field were discussed. (2) used Bingham plastic model was used to represent the dynamic behavior of MR fluid flow in a circular pipe under a magnetic field theoretically. The author carried out the flow experiment of MR fluid at a constant flow rate and compared experimental results and analytical results quantitatively.</p>
Notes	研究種目：基盤研究(C)(一般) 研究期間：2015～2017 課題番号：15K05806 研究分野：流体工学
Genre	Research Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_15K05806seika">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_15K05806seika</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05806

研究課題名(和文) 非定常磁場下における磁気機能性流体中の磁性体クラスターに起因する流動特性の検討

研究課題名(英文) Flow characteristics of magnetic functional fluids under unsteady magnetic fields

研究代表者

澤田 達男 (Sawada, Tatsuo)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：00162545

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：磁性流体やMR流体といった磁気機能性流体を取り巻く環境を動的に変化させ、磁気機能性流体の動的諸特性を明らかにすることを目的として、超音波伝播特性に関する実験、新しい衝撃緩衝器として、テーパ付きピストンを有する構造を提案し、その内部流れの解析および実験を、遂行した。その結果、非定常磁場下での様々な現象をある程度明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：Magnetic fluids (MF) and magnetorheological fluids (MRF) are stable colloidal dispersion of small magnetic particles in a liquid carrier. When an external magnetic field is applied to an MF or MRF, some of the inner particles coagulate and form a clustering structure. In the present study, the following experiments were carried out: (1) Ultrasonic propagation velocity was measured and the change of ultrasonic propagation velocity was calculated. Based on the experiment results, the relation between the change of ultrasonic propagation velocity and magnetic field strength and frequency of AC magnetic field were discussed. (2) used Bingham plastic model was used to represent the dynamic behavior of MR fluid flow in a circular pipe under a magnetic field theoretically. The author carried out the flow experiment of MR fluid at a constant flow rate and compared experimental results and analytical results quantitatively.

研究分野：流体工学

キーワード：磁性流体 MR流体 超音波 磁場 クラスター

### 1. 研究開始当初の背景

磁場によって流体の挙動を変化できる流体は、磁気機能性流体と呼ばれており、磁性流体とMR流体が代表的である。これらの流体中には、強磁性微粒子が分散されており、磁場を印加すると、磁場印加方向に内部の強磁性微粒子のクラスターが形成される。そこで、申請者は磁性流体やMR流体中の超音波伝播特性の印加磁場による変化を調べる事により、印加磁場とクラスター構造との関係を、超音波を用いて実験的に検討してきている。これまでの研究成果により、磁性流体やMR流体といった磁気機能性流体の超音波伝播特性が印加磁場によって大きく変化し、それが内部のクラスター形成と関連があることが、様々な実験を遂行する事によって明らかになってきている。

### 2. 研究の目的

上述したように、クラスター形成に起因する特徴的な現象を実験的に捉えているものの、これらは主に準定常状態での結果である。印加磁場、外力、圧力、加振振動といった機能性流体をとりまく環境が動的に変動した場合、その影響は内部のクラスターに大きな影響をおよぼすと考えられる。そこで、本研究では、磁性流体やMR流体内部に形成されるクラスターの動特性を様々な観点から調べる事を目的としている。直流磁場に加え、交流磁場を印加した場合の両流体中の超音波伝播特性変化や変動圧力が加わった場合の特性変化等を実験的に調べていく。

### 3. 研究の方法

本研究ではいくつかの実験を並行して行った。ここでは、ここではその代表的な研究について記載する。

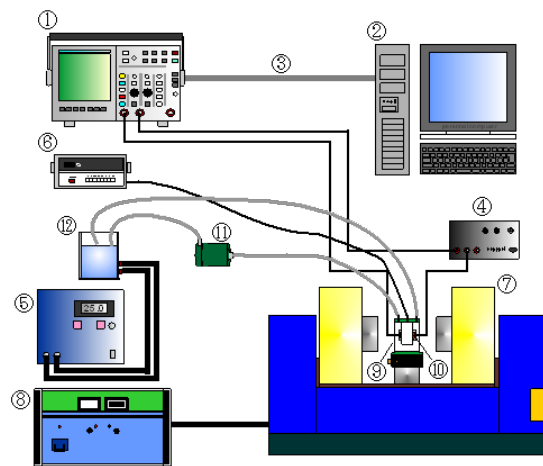
#### (1) MR流体中の超音波伝播特性

図1に実験で用いる実験装置の全体図を示す。装置は、超音波測定部分、磁場印加部分、恒温水循環部分の3つに分かれている。

まずパルスジェネレータ④から発生するバースト波をテストセル⑨に付けた振動子⑩で超音波に変換し、試験流体中を伝播させる。それをもう片方の振動子で受信し、パルスジェネレータで発生させたトリガ信号と共にオシロスコープ①で観測し、パソコン②で解析し、試験流体中の超音波伝播時間を求める。恒温水をテストセル回りに循環させることで、テストセル中の試験流体の温度を一定に保っている。

実験で求めた超音波伝播時間から、クラスター成長の評価を行うために、超音波伝播速度変化率(以後、変化率と略す。)を用いる。この値を用いてクラスター成長の評価を行う。強磁性微粒子中を通過する部分が多いほど、超音波は速く伝播する。つまりこの値が大きいほど磁場印加による超音波伝播速度変化が大きく、クラスターが多く形成されていると推定できる。逆にこの値が小さいと、

磁場印加による超音波伝播速度変化は小さく、クラスター形成が少ないと推定できる。



- |                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| ① Digital oscilloscope | ② Computer           |
| ③ GPIB cable           | ④ Pulse generator    |
| ⑤ Thermostat bath      | ⑥ Thermistor         |
| ⑦ Electromagnet        | ⑧ Power supply       |
| ⑨ Test cell            | ⑩ Ceramic oscillator |
| ⑪ Pump                 | ⑫ Water tank         |

図1 MR流体中の超音波伝播速度測定装置

#### (2) MR流体の衝撃テーパ付きパイプ流れ

テーパピンを用いた可変オリフィスを有するMR緩衝器において衝撃実験を行い、ピストン速度や衝撃緩衝性能が磁場の影響を受けることを示してきた。しかしながら、可変オリフィス内のMR流体の流動状態が明らかでないので、定量的な衝撃緩和と性能評価は実施されていない。そこで、本研究では、テーパピンを設置したシリンダー内でのMR流体の流動解析を行い、磁場強度、ピストン速度、テーパ角、磁場印加位置を変化させた時の抵抗力の変動を理論的に調べ、実験値との比較検討を行った。

まず、図2のようなテーパピンを設置したシリンダモデルを考え、MR流体にビンガム流体モデルを適用して、理論解析を行った。印加磁場に応じて、MR流体中には降伏応力が生じるので、図2のように、速度分布が一樣な栓流領域が生じている。理論解析結果を用いて印加磁場によって増加する抵抗力を求めることができる。

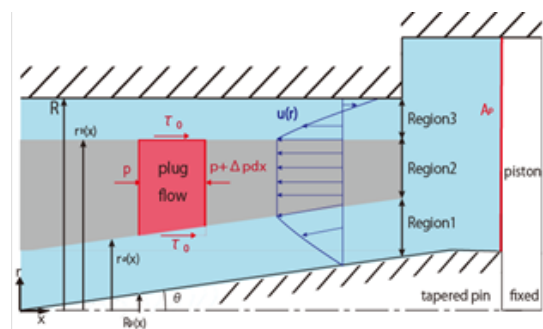


図2 テーパのあるパイプ内流れのモデル

#### 4. 研究成果

##### (1) MR 流体中の超音波伝播特性

磁場印加直後から、磁場振動に応じて変化率が変動しながら増加する。それがやがて時間経過と共に規則的な振動状態となり、変化率の平均値はほぼ一定となる。以上より、磁場印加直後は経過時間と共に全体としてクラスター形成量が増加する。その結果、変化率も平均的に増加していると考えられる。やがて一定の時間が経つと、クラスター成長が終了し、交流磁場に応じてクラスターは形成と崩壊を繰り返すため、変化率の値は増減を繰り返すが、その平均値は一定となると考えられる。

図3では磁場強度による変化率の違いを、図4では磁場周波数による変化率の違いを、それぞれ表している。その結果、図3のように交流磁場強度  $B_{ac}$  が大きいほど変化率の値も大きくなり、より多くのクラスターが形成していると推定できる。図4より、磁場周波数が大きくなっても、磁場振動に対応した変化率の変動が確認できた。すなわち、磁場周波数が増加しても磁場振動に追従したクラスターの成長と崩壊が生じている、と考えられる。変化率のFFT解析から、変化率の変動周波数は、それぞれ印加磁場周波数の2倍であることが分かる。これは交流磁場特有の現象である。

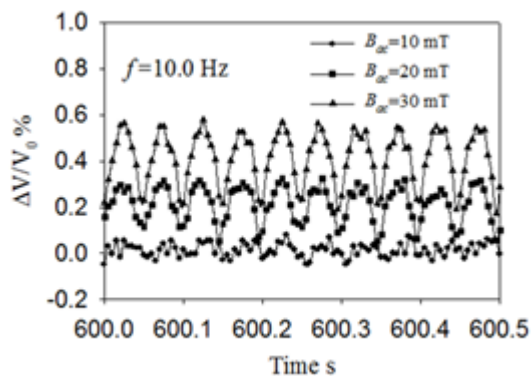


図3 磁場強度に応じた変化率

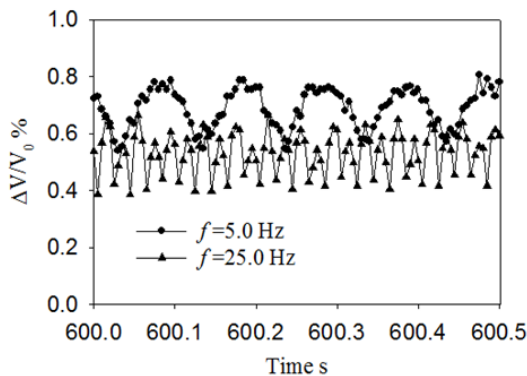


図4 磁場周波数に応じた変化率

##### (2) MR 流体の衝撃テーパ付きパイプ流れ

図5に実験結果を示し、図6に理論解析に基づく計算結果を示す。全体的な傾向として、印加磁場強度の増加によってMR流体の抵抗力も増加していくことがわかる。実験値は終始一定であるのに対し、計算値はピストン移動距離  $x=140\text{mm}$  あたりから大きく増加していることが確認できる。また、印加磁場強度が大きいほど実験値との差も大きくなっている。理論解析には、実際の磁場分布が考慮され、管軸方向には磁場分布が変化しないことを仮定している。しかし、磁場分布は3次元的に変化しており、実験における磁場印加状態が理論解析に十分反映されていないため、実験結果と理論解析結果に差異が生じたものと考えられる。特に、磁場強度がピークを示す領域で際は、この影響は大きくなるものと考えられる。各パラメータの抵抗力への影響を確認すると、磁場による増加量と比較してテーパ角及びピストン速度による増加量は小さく、磁場強度が最も支配的なパラメータであることが表れている。

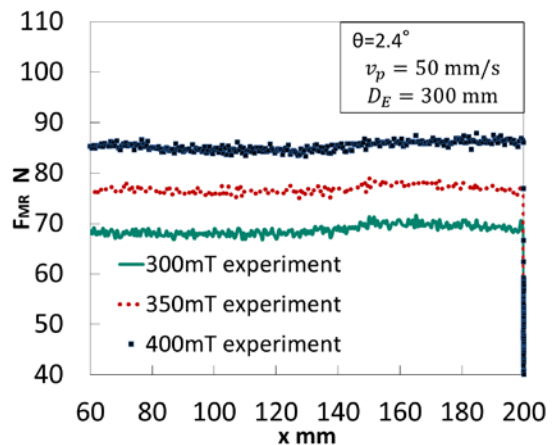


図5 磁場による抵抗力変化 (実験結果)

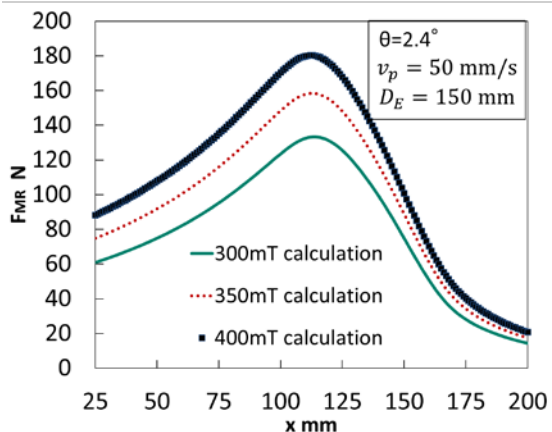


図6 磁場による抵抗力変化 (計算結果)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 7 件）

- ① Tatsuo Sawada, Takuma Endo, Yuzo Shimizu and Hitoshi Nishida, Changes in the resistance force of a magneto-rheological shock absorber induced by a magnetic field, Materials Science Forum, 査読有, Vol.915, 2018, pp.39-44  
DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.915.39
- ② Yusuke Saito and Tatsuo Sawada, Liquid sloshing in a rotating, laterally oscillating cylindrical container, Universal Journal of Mechanical Engineering, 査読有, Vol.5, 2017, pp.97-101  
DOI:10.13189/ujme.2017.050304
- ③ Masaaki Motozawa, Kosuke Takeda, Yasuo Kawaguchi, Tatsuo Sawada and Mitsuhiro Fukuta, Suppression of heat transfer of turbulent magnetic fluid flow by applying uniform magnetic field, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 査読有, Vol.52, 2016, pp.113-120  
DOI:10.3233/JAE-162183
- ④ Yuzo Shimizu, Takuma Endo, Shintaro Takagi and Tatsuo Sawada, Effect of a tapered metering pin on magnetorheological fluid under an impact load, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 査読有, Vol.52, 2016, pp.1393-1400  
DOI:10.3233/JAE-162097
- ⑤ Shinya Kondo, Kazuki Ikari and Tatsuo Sawada, Vibrating properties of magnetic fluid tuned liquid column damper with different U-pipes, Materials Science Forum, 査読有, Vol.856, 2016, pp.21-25  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.856.21
- ⑥ Yuzo Shimizu, Shintaro Takagi and Tatsuo Sawada, Effect of tapered metering pin on magnetorheological fluid subjected to shock loading, Materials Science Forum, 査読有, Vol.856, 2016, pp.3-8  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.856.3
- ⑦ 碓 一暉, 近藤真也, 澤田達男, 磁性流体を用いた同調液柱管ダンパーにおける液柱減衰力の変化が制振力に及ぼす影響, 日本AEM学会誌, 査読有, Vol.23, 2015, pp.368-373  
<http://www.jsaem.gr.jp/html/content/2>

3\_2j.html

〔学会発表〕（計 27 件）

- ① Yuta Itahashi, Ryutaro Hirano and Tatsuo Sawada, Magnetic fluid flow under DC and AC magnetic fields, The 18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Chamomix, 2017
- ② Takuma Endo, Sou Aoki and Tatsuo Sawada, The resistance force of a magneto-rheological shock absorber under a magnetic field, The 18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Chamomix, 2017
- ③ Tatsuo Sawada, Takuma Endo, Yuzo Shimizu and Hitoshi Nishida, Changes in the resistance force of a magneto-rheological shock absorber induced by a magnetic field, Abstract Book of The 10th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting and Nano Materials, Izmir, 2017
- ④ Yusuke Saito and Tatsuo Sawada, Liquid sloshing in a rotating, laterally oscillating cylindrical container, 2016 Hong Kong International Conference on Engineering and Applied Sciences, Hong Kong, 2016
- ⑤ Yuzo Shimizu, Shintaro Takagi and Tatsuo Sawada, Shock absorption in magnetorheological damper with tapered pin, The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Kobe, 2015
- ⑥ Yuzo Shimizu, Shintaro Takagi and Tatsuo Sawada, Effect of tapered metering pin on magnetorheological fluid subjected to shock loading, Extended Abstracts Proceedings of the 9th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting and Nano Materials, Sofia, 2015
- ⑦ Shinya Kondo, Kazuki Ikari and Tatsuo Sawada, Vibrating properties of magnetic fluid tuned liquid column damper with different U-pipes, Extended Abstracts Proceedings of the 9th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting and Nano Materials, Sofia, 2015

[その他]

ホームページ等

<https://www.st.keio.ac.jp/tprofile/mech/sawada.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

澤田 達男 (SAWADA, Tatsuo)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：00162545

(2)研究分担者

該当者なし

(3)連携研究者

該当者なし

(4)研究協力者

該当者なし