

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360107

研究課題名（和文）

磁気応答性ゲルダンパによる適応的制振

研究課題名（英文）

Adaptive Vibration Control with Magneto-Rheological Gel Damper

研究代表者

森下 信 (MORISHITA SHIN)

横浜国立大学・環境情報研究院・教授

研究者番号：80166404

研究成果の概要（和文）：本研究ではゲルやグリースなどの内部架橋構造を有する柔軟性のある材料の内部に磁性粒子を分散させ、外部磁場強度により特性を制御することのできる磁気応答性流体を開発し、それをダンパに応用することで外部磁場により特性を制御できる可変ダンパを試作し、さらにその可変ダンパによって機械構造物の適応的制振を実証した。制御性を維持し、さらに目的とした分散磁性微粒子の分散安定性を確保した流体を開発し応用することに成功した。

研究成果の概要（英文）：This report describes the development of a new type of Magneto-Rheological (MR) fluid whose typical characteristics can be controlled by the applied magnetic field strength. This MR fluid was based on grease and the dispersed magnetic particles might be supported by three-dimensional filament in the grease, and it showed quite good dispersion stability of particles. A variable damper was constructed with this MR grease and its performance was investigated. Furthermore, the variable damper was installed into a small-size structural model and the vibration mode can be varied by changing the damping property of the variable damper.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 5,700,000 | 1,710,000 | 7,410,000 |
| 2010年度 | 4,400,000 | 1,320,000 | 5,720,000 |
| 2011年度 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,600,000 | 4,380,000 | 18,980,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械力学・制御

キーワード：制御機器，インテリジェントシステム

1. 研究開始当初の背景

本研究は機能性流体の機械力学分野における応用研究として位置づけることができ

る。機能性流体には多くの種類があるが、歴史的にみて工学応用，産業応用の対象となった流体には磁性流体，電気粘性流体（ER流

体), 磁気粘性流体 (MR 流体) をあげることができる。これらはいわゆる固液二層流であり, 一様流体中に磁場もしくは電場に応答する機能性粒子を分散させている。

磁性流体の実用化は主として日本で行われる一方で, 学術的研究は東北大学の神山新一教授を中心に実施された。磁性流体は他の機能性材料同様に用途の開拓が進まず, 最終的には磁性流体シールに適用された例がある。水系もしくはケロシン系の一様な流体をベースに数十ナノメートルの磁性粒子を分散させている。この大きさの固体は流体のブラウン運動により再分散される可能性が高く, 産業用として利用されるに至った。

研究対象として次に注目を浴びたのが ER 流体であった。ER 流体は電場を加えることにより流体中に分散された半導体粒子が電極の間で架橋構造を作り, 電場強度に対するその効果で流体としての降伏応力を変化させることができる。降伏応力の変化は摩擦力の変化として機械的に取り出すことができる。日米欧で実用化を試みたが, 高電圧を利用するという点と分散させている半導体粒子の沈殿が発生するという2つの問題を解決できず, 研究者や技術者の興味が次第に離れてしまった。ただし, ER 流体の一種と位置づけられる液晶は一部の研究者による学術的研究が進められている。

MR 流体は 1950 年前後に上記の流体と同時期に開発されているが, 近年特に実用化が進んでいる。基本的には一様流体中にマイクロオーダーの磁性微粒子を分散させたもので, 外部磁場の強度により流体の降伏応力を変化させることができる。ER 流体と異なる点は, 変化する降伏応力の範囲が格段に大きく, ほぼ固体に近くまで降伏応力を高めることができる。応用分野は ER 流体と重なるが, 特に実用化が進んでいるのが乗用車のサス

ペンションである。米国の自動車会社である GM が先行し, 欧州でもいくつかの車種に搭載され, また米国産の日本車にも搭載されている。サスペンションの堅さを自動的に制御できるために, 乗り心地の改善に加えて操縦安定性も高まるとされている。しかし, 粒子沈殿の問題は未だに解決されたとはいえない状況が続いている。

2. 研究の目的

本研究は下記の3点を目的とした。

(1) 分散安定性に優れた磁気粘性流体の開発を行うこと: ゲルをはじめとする内部に架橋構造を有する流体材料をベースに磁性微粒子を分散させた新たな機能性材料を開発し, その特性を明らかにする。

(2) 磁場応答型機能性流体を用いた可変減衰ダンパを開発すること: 本研究で開発した機能性流体を作動流体とする可変減衰ダンパを開発し, ダンパとしての基本特性を明らかにする。

(3) 本研究で開発した可変ダンパを用いた制振システムの性能を明らかにすること: 本研究で開発するダンパは準能動型となるが, これを組み込んだ制振システムを開発しその性能を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 流体の特性測定

磁場を加えることが可能な回転式粘度計を用いて, 各磁場強度に対するせん断速度とせん断応力の関係を測定する。

(2) 可変ダンパの設計および性能測定

円筒型ダンパのピストン部分に電磁石を組み込んだダンパを試作し, その内部に MR グリースを封入して, コイルに流す電流, ピストンの振動数およびストローク量を変化させて減衰特性を把握する。

(3) 構造模型に組み込んだ制振実験

3層からなる構造模型の1階と2階の間に変換ダンパを設置し、構造物の振動抑制ができることを実験的に明らかにする。

4. 研究成果

(1) 磁気粘性グリースの開発および特性測定：本研究では鉱油を基油としたリチウム石けん系のグリースを用いた。リチウム石けん系は欠点が少なくグリースの中では様々な用途に利用できる万能タイプと位置づけられている。このグリースの中に磁性粒子をある濃度で分散させる。分散質として用いる磁性粒子はカルボニル鉄粉で、平均粒径は5.8ミクロンである。また、添加剤としてアミン系の酸化防止剤を用いている。

磁性粒子の濃度は40 wt%と75 wt%とした。グリースの硬さを表す指標として「ちょう度」が用いられるが、粒子濃度40 wt%の場合は300、粒子濃度75 wt%の場合は320である。2種類のグリースのちょう度をできるだけ合わせるために、粒子濃度40 wt%の場合は増ちょう剤の濃度は5 wt%、粒子濃度75 wt%の場合は1 wt%としている。

磁気粘性グリースの特性測定は回転式粘度計を用いて行った。実験結果の一例を図1に示す。せん断速度は0~232s⁻¹の範囲で変化させ、また磁束密度は0~0.5Tの範囲で与えた結果である。

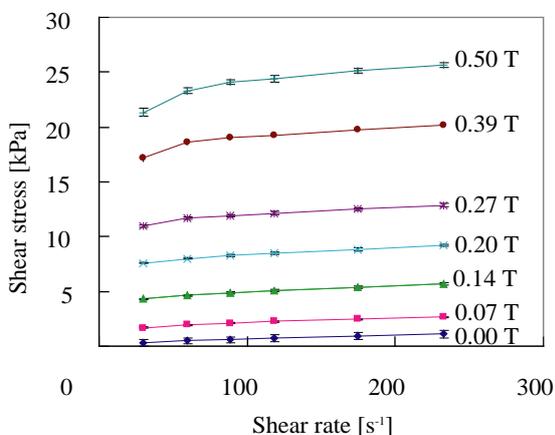


図1 磁気粘性グリースの特性(75wt%)

この結果より、磁場を加えない場合はせん断応力とせん断速度はほぼ線形関係にあり、ニュートン流体的特性を示している。磁束密度を高くするにしたがい、特性曲線の勾配が変化することなく平行移動することから、等価なニュートン粘度はあまり変化せずに降伏せん断応力が増大していることがわかる。この意味ではMR流体の基本的特性と同じ傾向を示している。降伏せん断応力の最大値は、本実験の範囲では20kPa程度という値が得られた。これは現在市販されているMR流体と同等の性能であり、実用化に十分供しうるものである。また、粒子の分散安定性に優れており、数ヶ月静置した状態でほとんど沈殿は発生しないことが確認されている。

(2) 可変ダンパの設計および特性：本研究で開発した磁気粘性グリースを作動流体として用いた可制御型ダンパを試作して、特性評価実験を行った。試作したダンパの断面図を図2に示す。主な諸元として、シリンダの体系は26mm、ピストンの外径は24mm、ピストンのストロークは50mm、ピストン部に内蔵した電磁石は222巻きとしている。

通常の油圧ダンパを基本構造として、ピストン部にコイルを巻いて電磁石としていることだけが異なっている。コイルからの導線は中空のピストンロッドを通して外部へ導き、電源へ接続させている。

振動数は0.05, 0.1, 0.5, 1.0Hzと段階的に設定し、それぞれの振動数において振幅を一定に保って正弦波加振を行った。コイルに流す電流は0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0Aと

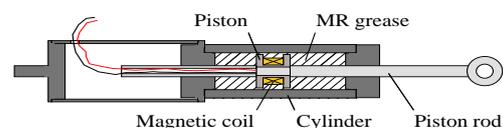


図2 試作した可変ダンパの断面図

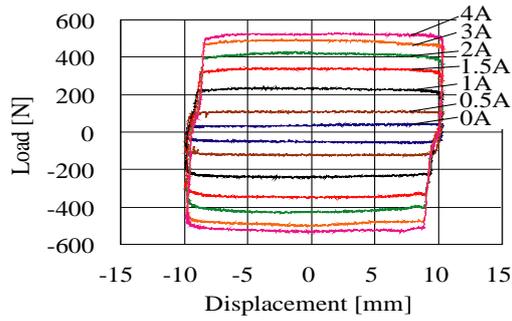


図3 可変ダンパの特性 (0.5Hz)

変化させた。結果の一例を図3に示す。振幅は10mm一定で、振動数0.5Hzに対応した結果を示している。いずれの実験でも、ヒステリシスは矩形に近く、摩擦減衰力が支配的であることを示している。また、いずれの振動数においても、コイルに流した電流値と発生した減衰力の大きさはほぼ同じであり、したがって、減衰力はほぼ磁気粘性効果によるということがわかる。電流を流さない場合に約40Nの減衰力が発生し、さらに4.0Aの電流を流したときに約520Nの力が発生していることから約13倍のダイナミックレンジを有していることが示された。

磁気粘性グリースは、基本的にグリースであるので見かけ上の粘度は高く、一般的には流体としての応答性に対して懸念がある。そこで、ピストン速度を一定に保って、電流をオン/オフした際の減衰力の応答性について検討した。結果の一例として図4には立ち上がりの応答を示している。電流に関しては時定数として目標値の63.2%に達するまでに

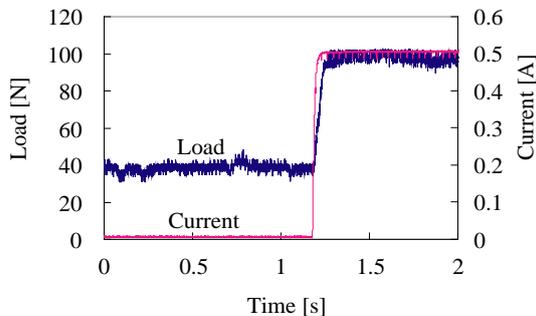


図4 磁気粘性グリースの応答性

要した時間として0.011秒、立ち上がり時間として目標値の10%から90%に至る時間として定義すれば、0.022秒である。減衰力に関しては、それぞれ0.043秒、0.045秒という結果となった。

(3) 構造模型による制振実験：次に磁気粘性グリースを用いた可変ダンパを小型構造模型に組み入れて制振の可能性について検討した。上記に示した可変ダンパを小型の

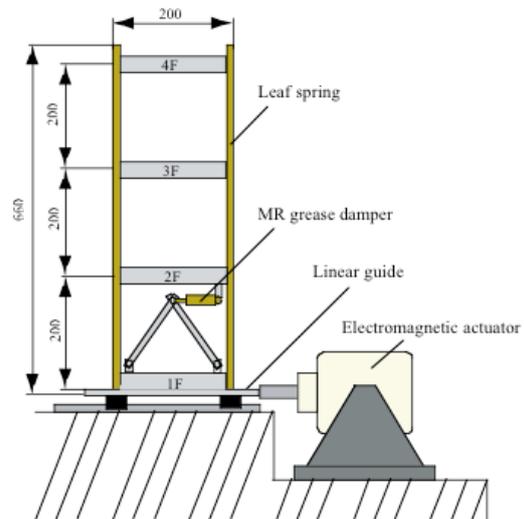


図5 構造模型

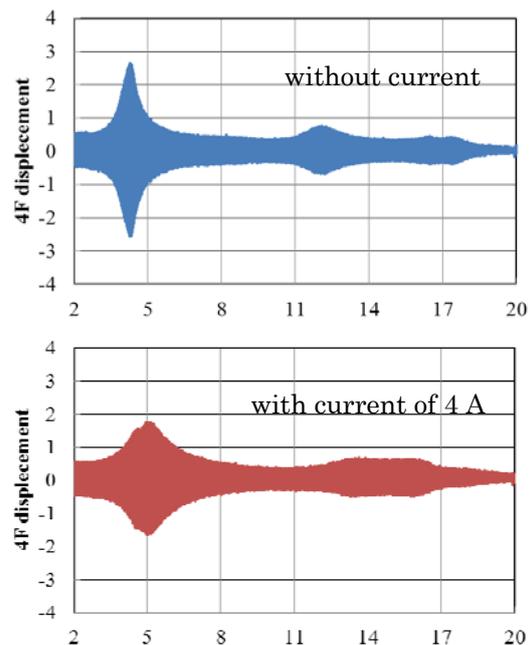


図6 構造模型の周波数応答

構造模型に組み入れることが寸法上困難であったために、さらに同様な構造を有する小型ダンパを構造模型に設置して、一定電流を可変ダンパに流すことでダンパの特性を変化させ、構造模型の動的特性の変化を測定した。小型構造模型の概要を図5に、また図6には4階の周波数応答を示している。図6から明らかのように、固有振動数における振幅が減少していることに加えて3次の固有振動がほとんど消滅しており、減衰によって構造物の特性が変化したことを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

(1)大谷洋二, 宮本俊輔, 森下信, 白石俊彦, グリース流動の可視化に関する実験的研究, トライボロジスト, 56巻, 4号(2011) pp.248-255

(2)白石俊彦, 三井田悠磨, 杉山慎也, 森下信, 磁気粘性グリースの基本特性と可制御型ダンパへの適用, 日本機械学会論文集, C編, 77巻, 778号(2011) pp.2193-2200

(3)Shinya Sugiyama, Toshihiko Shiraishi and Shin Morishita, Magneto-Rheological Grease and its Application to Variable Damper, Proceedings of Asia-Pacific Vibration Conference 2011 (2011-12)

(4) Yoji Oya, Shunsuke Miyamoto, Toshihiko Shiraishi and Shin Morishita Experimental Study on Visualization of Grease Flow, Proceedings of International Tribology Conference, Hiroshima 2011 (2011) (Digital media)

〔学会発表〕(計3件)

(1)三井田悠磨, 白石俊彦, 森下信, 近藤信也, MRグリースの基本特性と円筒型ダンパへの

応用, 日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集, No.110-1, (2011) pp.229-230

(2)杉山慎也, 三井田悠磨, 白石俊彦, 森下信, MRグリースの基本特性測定と減衰器への応用, 日本機械学会, MOVIC2011講演予稿集, No.11-00(2011) (CD-ROM)

(3)杉山慎也, 三井田悠磨, 白石俊彦, 森下信, MRグリースを用いた可変ダンパの基本特性と構造物への応用, 日本機械学会機械力学計測制御部門講演会講演論文集(2011) (CD-ROM)

6. 研究組織

(1)研究代表者

森下 信 (MORISHITA SHIN)
横浜国立大学・環境情報研究院・教授
研究者番号: 80166404

(2)研究分担者

白石俊彦 (SHIRAISHI TOSHIHIKO)
横浜国立大学・環境情報研究院・准教授
研究者番号: 30361877

(3)連携研究者

土屋高志 (TSUCHIYA TAKASHI)
静岡理工科大学・工学部・准教授
研究者番号: 70399012