

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25年 6月 6日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22656202

研究課題名（和文） 金属ガリウム溶媒の磁性機能性流体による省エネルギー型熱

研究課題名（英文） A gallium-base magnetic fluid for heat conversion devices

研究代表者

Dodbiba Gjergj (DODBIBA GJERGJ)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：10466782

研究成果の概要（和文）：本研究では金属液体として金属ガリウムを使用し、分散させる強磁性粒子には数百 nm の粒子径で温度の上昇とともに飽和磁化が低下する感温性がある鉄合金粒子をシリカ被覆してガリウムに分散させやすくして使用した。ガリウム中に3%程度の本粒子径の鉄合金粒子を分散させると、流体は外力でやわらかく変形するゲル状になった。本流体は流動性が少ないため、流動性がある磁性流体よりは懸濁液である MR 流体に近いと考えられる。この金属流体へ磁界の印加の有無によるトルクと角速度の関係を円錐平板型粘度計および共軸二重円筒型にて測定した。磁界中での流体の粘度変化が少なければ、応用として磁界の印加でオンとオフで移動できるスイッチ、あるいは、磁界印加状態で温度が変化すると流体が保持されなくなることによる温度スイッチなどが考えられる。

研究成果の概要（英文）：A gel type MR suspension was prepared by dispersing silica-coated iron alloy particles into a liquid gallium. In other words, the iron alloy particles of 30 to 50 nm in diameter were first prepared and then coated with silica. Next, the particles were suspended in a liquid Ga (assay: 99.9999%). In addition, the magnetic properties of the synthesized particles and suspension under the influence of the magnetic field were investigated. One of the main findings of this study is that the prepared powder showed a temperature sensitive of magnetization within the testing temperature range of 293 - 353 K. The saturation magnetization of silica-coated FeNbVB particles was about 0.55 T, whereas the saturation magnetization (297 K) of the synthesized MR suspension was 0.019 T.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	0	1,900,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：省エネルギー、ナノ粒子、磁性流体、MR 流体

1. 研究開始当初の背景

従来のMR流体および磁性流体は流体の溶媒ベースとして水、油を用いているが、熱伝導率は低く、熱交換媒体としての性質はあまり高くなかった。また、溶媒ベースとして液体金属を用いた研究はこれまで水銀で行われてきたが、水銀の人体および環境への毒性を考慮すると、今後実用化される可能性は低かった。

2. 研究の目的

本研究は液体金属ガリウムを溶媒ベースとしたMR流体および磁性流体を作製し、この流体を用いて省エネルギー型熱交換媒体（熱駆動媒体等）を開発することである。

熱伝導が高いガリウムをベースに使用することで、熱交換媒体としての特性が大幅に向上することが予想されたほか、ガリウムは実用面でも環境面でも良好であることから、ガリウムを用いた省エネルギーでクリーンなエネルギーシステムを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

強磁性粒子の合成方法は、第一鉄を主成分とし、ニオブ、バナジウムを含有する酸性水溶液にアルカリ性の水素化ホウ素ナトリウムを添加することによりこれらの金属イオンを還元して作製した。ついで粒子をエタノールで洗浄した後、デシケータ中で、室温、大気雰囲気中で乾燥させる。合成した粒子の組成をICP-OES装置で分析したところ、鉄、ニオブ、バナジウム、ホウ素の原子比率は80 : 3 : 4 : 13のFeNbVB粒子であった。バナジウムは金属鉄の酸化を低減させ、ニオブ、ホウ素は常温付近での磁化変化を大きくする感温性に寄与すると考えられる。製造した鉄合金粒子の粒子径は30~50nmの粒度分布であった。つぎに、金属鉄はガリウムと反応しやすいので、ガリウムと親和性の高いシリカを合成した鉄合金粒子に被覆する。テトラエトキシシランを加水分解・脱水縮合反応させることによりシリカを鉄合金粒子に被覆した。

シリカ被覆前後のFeNbVB粒子の飽和磁化を試料振動型磁化測定装置(VSM)により測定した。室温300K付近では鉄合金粒子の飽和磁化は0.72Tであるが、非磁性のシリカを被覆すると飽和磁化は0.50Tと低下し、約10nmのシリカが被覆されていると考えられる。

金属ガリウム中に20~30nmのFeNbVB強磁性粒子をシリカで被覆して約3%分散させたゲル状金属ガリウム流体を製造した。この金属流体へ磁界の印加の有無によるトルクと角速度の関係を円錐平板型粘度計および共軸二重円筒型にて測定した。

4. 研究成果

円錐平板型および共軸二重円筒型粘度測定装置を用いて金属ガリウム流体の測定を行った。試料測定する容器は、両装置ともに、SUS304のステンレス製である。測定温度はヒーターを用いて305Kに保持する。磁界印加の有無で粘度を測定した。磁界の印加で二重円筒型では強磁性粒子は流体中で磁界方向に配列し、円筒表面への強磁性粒子の圧力は低いと考えられる。一方、磁界の印加で円錐平板型では強磁性粒子は円錐および平板を押し方向に配列し強磁性粒子の圧力が加わると考えられる。試料を挟む円錐平板と垂直で、磁界の無印加と最大磁束密度0.09Tを印加した場合における角速度とトルクを比較し、その結果をFig.1に示す。

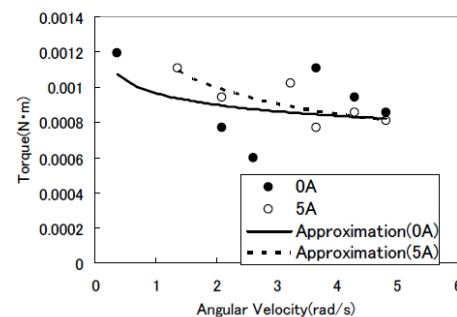


Fig.1 Effect of angular velocity on the torque of cone-plate viscometer

回転数の上昇に従ってトルクが下がるメカニズムを解明するため、円錐平板型の装置を用いて実験を行った。平板の回転速度が0.4 rad/sと小さい場合と4.8 rad/sと大きい場合において測定後に円錐部分を取り外し、光学顕微鏡を用いて試料の表面を観察した。低回転ではガリウム流体は鉄合金粒子の偏析が見られ、それがほぼ不規則に分布しているが、高回転になると、ガリウム表面に同心円状の凹凸が生じた。金属ガリウムと円錐のステンレス(SUS304)との親和性が低いために、円錐に接している面積が高回転になると減少し、トルクが低下したと考えられる。角速度0.5rad/sでの見かけの粘度が一定に保たれるとして、角速度の上昇とともに、この粘度が維持できる場合の、ガリウム流体と円錐が接する面積の減少を見かけの円錐の半径で表した。およそ円錐の直径が半分になる程度まで流体と円錐とのあいだに隙間が生じると推定される。ついで共軸二重円筒型粘度計でガリウム流体の粘度測定を試みる。試料を外筒と内筒の間に充たし、回転軸と平行に、磁界の無印加と最大磁束密度0.09Tを印加した場合における角速度とトルクを比較し、その結果をFig.2に示す。

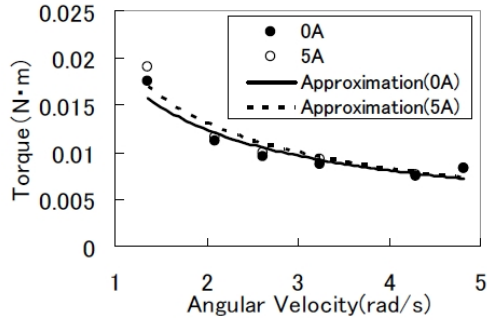


Fig.2 Effect of angular velocity on the torque of cylindrical viscometer

電磁石中の磁界勾配中に置かれた鉄合金粒子をガリウム中に分散させたゲルの磁界印加による移動を調査する。ガラス瓶の中に入ったガリウム流体の磁界を作用させない場合と、磁界を印加して電磁石の磁界の強い方向に吸引されて上昇した写真を Fig. 3 に示す。また、流体が移動するときの電磁石間の磁界強度分布を Fig. 4 に示す。電磁石に 15A の電流を流し、最大磁束密度 0.55T で流体は上部へ移動し、移動した状態から 4 A の電流になると最大磁束密度 0.13T で下部へ落下した。ゲル状の流体は柔らかければ、磁界のオンとオフで流体を電極への接触をコントロールし、スイッチとしての応用が考えられる。

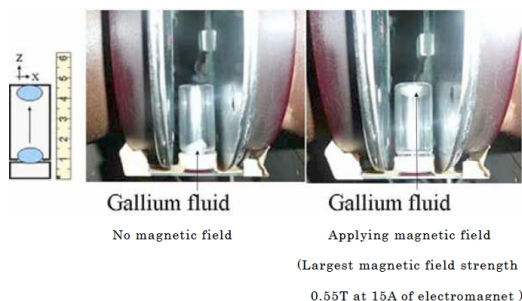


Fig.3 Photographs of the gel-type gallium fluid, indicating its displacement under the influence of 0.55T magnetic field

金属ガリウム中に 20 から 30nm の FeNbVB 強磁性粒子をシリカを被覆して約 3 % 分散させたゲル状金属ガリウム流体を製造した。この金属流体へ磁界の印加の有無によるトルクと角速度の関係を円錐平板型粘度計および共軸二重円筒型にて測定し以下の事項が明らかとなった。

円錐平板型粘度計では、円錐平板と垂直に磁界の無印加と最大磁束密度 0.09T を印加した場合、磁界を作用させたほうが低角速度ではトルクが大きく、角速度が 4 rad/s 以上

では磁界の影響はほとんど現れなくなった。磁界の印加の有無にかかわらず、角速度が上昇するとトルクが減少する傾向が観察された。

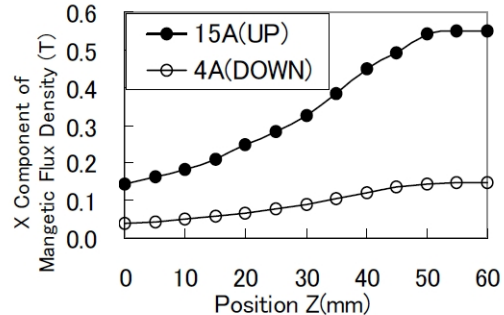


Fig.4 Distributions of magnetic flux density at 4 and 15 A

共軸二重円筒型では、回転軸と平行に最大磁束密度 0.09 T を印加した場合、低回転数では若干、磁界印加したほうがトルクは大きい、速度の上昇とともに検出されるトルクの差は減少した。円錐平板の結果と同様に回転速度が大きくなるに従って角速度が上昇するとトルクが減少する傾向が観察された。高回転になるとガリウム流体と接触する粘度計のステンレス (SUS304) 板との間に隙間が生じるからと考えられる。

電磁石中で 0.55 T の磁束密度を作用させ 3g の金属流体を重力に逆らって移動させることができた。磁界中での流体の粘度変化が少ないので、応用として磁界の印加でオンとオフで移動できるスイッチへの応用が考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

- ① T. Fujita, H.S. Park, K. Ono, S. Matsuo, G. Dodbiba, Movement of liquid gallium dispersing low concentration of temperature sensitive magnetic particles under magnetic field, J. Magnetism and Magnetic Materials, 査読有, Vol. 323, 2011, 1207-1210. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2010.11.007>
- ② L. Cao, H. Seok, G. Dodbiba, K. Ono, C. Tokoro, T. Fujita, Keeping gallium metal to liquid state under the

freezing point by using silica nanoparticles, Appl. Phys. Lett., 査読有, Vol. 99, 2011, 143120-143123.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3645596>

- ③ G. Dodbiba, K. Ono, H.S. Park, S. Matsuo, T. Fujita, FeNbVB alloy particles suspended in liquid gallium: investigating the magnetic properties of the MR suspensions, Int. J. Modern Physics B: Condensed Matter Physics; Statistical Physics; Applied Physics, 査読有, Vol. 25, 2011, 947-955.
DOI: 10.1142/S0217979211058444

[学会発表] (計 件)

- ① 蛭子陽介、ドドビバ ジョルジ、藤田豊久、MR けん濁液に分散させる鉄粒子の粒径と濃度の粘度に対する影響、資源・素材学会 春季大会、2013年03月29日、千葉工業大学 (千葉)
- ② T. Fujita, Nano to micro particle size distribution measurement in the fluid, The 10th NANO KOREA Symposium 2012 (招待講演), 2012年08月16日, Seoul (韓国)
- ③ Y. Kanemitsu, K. Sofuku, G. Dodbiba, T. Fujita, A Novel Way to Measure the Size of Nano-size Emulsion Fuel by Using Interactive Force Apparatus, The 10th Anniversary Korea/Japan International Symposium on Resources Recycling and Materials Science, 2012年05月30日, Daejeon (韓国)

[その他]

ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/dodbiba/WebSite/Home.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Dodbiba Gjergj (DODBIBA GJERGJ)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：10466782

(2) 研究分担者

藤田 豊久 (FUJITA TOYOHISA) ・教授
研究者番号：70124617

(3) 連携研究者

なし