

論文の内容の要旨

論文題目

Preparation and Properties of Metallic Functional Fluid Dispersing Fine Ferromagnetic Particles in Liquid Gallium

(液体ガリウム中に微細強磁性粒子を分散させた金属機能性流体の製造と特性)

氏名 朴 賢緒

海洋及び宇宙開発技術の発展に伴い、新素材の開発として機能性流体に関する研究が非常に活発に行われている。機能性流体として知られる ER 流体 (Electro-Rheological Fluid)、MR 流体 (Magneto-Rheological Fluid)、磁性流体 (Magnetic Fluid) は、過去の基礎物性研究の結果から、多様な形態のシステムを構築するためにその応用性が極めて高いことが明らかとなっている。磁界に応答する磁性流体および MR 流体は、外部磁場によってその流体力学的性質を大きく変化させるため、新しい応用分野への研究が長年継続されてきた。しかし、金属流体を用いた MR 流体および磁性流体は学問的な体系としては未完成な部分が多く、応用研究においても十分な体系が整っていないのが実情である。本研究では、液体ガリウムに μm および 10 nm オーダーの磁性粒子を分散させて、磁場を印加させることによって、応答する磁性流体及び MR 流体といった機能性に関して、分散における材料特性および流動特性に関する研究を行なう。

本研究で開発された磁界に応答する機能性流体は、液体金属を溶媒として用いており、油や水を溶媒とする場合に比べ、電気・熱伝導性に優れソーラーシステム、MHD 等のエネルギー変換プロセス分野への応用が期待される。過去に液体金属として水銀を利用した研究例が見られるが、本研究では蒸気圧が低く毒性の少ないガリウムを使用し、ガリウムの蒸気圧は $9.31 \times 10^{-21}\text{ Pa}$ (302.9 K)、融点は 302.9 K 、沸点は 2477.0 K 、熱伝導率が $40.6\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ である。本研究は液体ガリウムベースの MR 流体および磁性流体の作成を目的とし、エネルギー変換プロセスに応用する基礎研究を目的としたものである。

一般に、MR 流体は、直径が μm オーダーの強磁性体粒子を界面活性剤で被覆し有機溶媒や水などの溶媒中に均一に分散させたもので磁界印加によって粘度が極めて増大するという特徴を持つ。一方、これより小さい 10 nm オーダーの強磁性体粒子を分散させ、超

常磁性となる磁性流体はそれほど粘度が増大せず流動性を保持する。

本研究では液体ガリウム金属中に分散させる粒子としてニッケル、感温フェライト、鉄合金の粒子を用いた。通常、ガリウム中に金属粉の分散は困難であるため、ガリウムとの親和性が高い二酸化ケイ素で粒子を被覆しガリウム中に分散させることを試みた。また微量の二酸化ケイ素のみの最適添加によってガリウムの融点が低下する現象も見られた。まず、二酸化ケイ素で被覆したニッケルを分散させた MR 流体を作製した。粒子の密度とガリウム金属の密度がほぼ等しくなり分散が容易となる最適な被覆厚さは 22 nm のときであり、この粒子を液体ガリウム中に分散させたときの飽和磁化は 0.03 T、磁界印加による粘度の降伏応力は 178.0 Pa であった。次に 10 nm の感温フェライトを合成しヘテロ凝集理論に従い二酸化ケイ素の 5 nm 被覆を行い、被覆の最適条件は pH 7.5、二酸化ケイ素と感温フェライトの比は 0.92、温度 323 K で反応時間 1 時間であった。同様に液体ガリウム中に分散させたときの磁化および磁界印加による粘度を測定したところ飽和磁化 0.006 T、降伏応力は 55.0 Pa であった。

エネルギー変換システムに用いるためには高い飽和磁化と鋭い感温性(磁化の温度依存性)および 10 nm オーダーの小さい粒子径が必要とされる。耐酸化性があり、感温性の大きい鉄合金($\text{Fe}_{84}\text{Nb}_3\text{V}_4\text{B}_9$)粒子をメカニカルアロイングと化学的な合成法で作製した。化学的に合成した鉄合金はメカニカルアロイングで作製した鉄合金粒子約 1.5 μm よりも粒子径が 30-50 nm と小さく、優れた感温性を持っていたため、ガリウム中に二酸化ケイ素を被覆して良好に分散させることが試み、その磁化および磁界印加による粘度を測定した。化学的に合成した鉄合金を 0.3 mass%と 3.0 mass%とで液体ガリウムに添加したところ、3.0 mass%では流動性を失い弾性体となったが、0.3 mass%では流動性を保持し、飽和磁化 0.005 T、降伏応力は 24.0 Pa であった。この鉄合金粒子を 0.3 mass%ほど添加した液体ガリウムを作製し、常温から 363 K の異なる温度で最大約 1.0 T の磁場中において流体の温度差による磁化の差異から磁界勾配により移動距離が異なることを確認した。このことから化学的に合成した鉄合金を二酸化ケイ素で被覆し、0.3 mass%ほど添加した液体ガリウムを閉じたパイプ中の流動については今後の課題であるが、エネルギー変換システムに応用することが期待される。