

審査の結果の要旨

氏名 朴 賢緒

本論文は「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」と題し、液体ガリウム中に感温特性を持つ磁性微粒子を分散させる場合の材料特性および磁場を印加し応答する磁性流体及び MR 流体の流動特性に関する研究を行ったものである。液体ガリウムベース機能性流体を、その温度に依存した磁化変化をもつ感温特性を利用して、流体に磁場を印加すると温度差により流動する新型のエネルギー変換プロセスに適用することが本研究の目的であり、6章から構成される。

第1章の序論では、新素材の開発として活発に研究されている機能性流体すなわち ER 流体(Electro-Rheological Fluid)、MR 流体(Magneto-Rheological Fluid)、磁性流体(Magnetic Fluid)の通常の特長及び製造方法を記述した。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、これよりかなり小さい 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。研究の具体的な指標としては、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 応用することができる新素材の開発について概説した。

第2章は、本研究に用いた材料及び実験方法に関する全般的な内容である。ニッケル、感温フェライト、合金の粒子の合成方法及び粒子特性に対して 概説した。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する。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。また、微量のナノサイズの二酸化ケイ素を添加することによってガリウムの融点が低下する現象も見出した。さらに本研究で合成した磁性粒子及び機能性流体の特性を測定する装置についても概説した。

第3章から第5章では「液体ガリウム中に 二酸化ケイ素で被覆した 3種類の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」について述べた。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。ついで 10 nm の感温フェライトを共沈法で合成し、ヘテロ凝集理論に従い二酸化ケイ素で 5 nm の被覆を行った。被覆の最適条件は pH 7.5、二酸化ケイ素/感温フェライトの mol 比は 0.92、温度 323 K で反応時間は 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。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粒径(30-50 nm)はメカニカルアロイングで作製した鉄合金粒子(約 1500 nm)よりも小さく、優れた感温性を保有していた。それらに二酸化ケイ素を被覆してガリウム中に良好に分散させることを試み、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($\text{Fe}_{84}\text{Nb}_3\text{V}_4\text{B}_9$)粒子はバナジウムを含有する場合は、含有しない場合に比べて耐酸化性が大きくなった。また、0.3 mass%の磁性粒子をガリウムに添加した流体は流動性を保持しているが、3.0 mass%を添加した場合、流動性を持たなくなった。

第 6 章では、この二酸化ケイ素を被覆した鉄合金粒子を 0.3 mass%ほど液体ガリウム中に添加した流体を作製し、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移動距離が異なることを確認した。

第 7 章は結論である。

本研究の成果は、ナノサイズの二酸化ケイ素を分散させ常温で流体である液体ガリウムを製造できることを明らかとし、耐酸化性の 0.8T の飽和磁化をもつ鉄合金(FeNbVB)微粒子 30-50nm を化学的に合成し、これを二酸化ケイ素で粒子間相互作用を用いて 10 nm の被覆を行い、0.3 mass%ほど液体ガリウム中に添加し、液体ガリウムベースの新しい感温性の機能性流体を製造したことである。温度変化のある磁場中での本流体の流動が観察でき、閉じたパイプ中の流動については今後の課題であるが、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、ソーラーシステムなどのエネルギー変換プロセス分野への応用が期待される。

よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。