

博士学位論文審査要旨

2022年1月22日

論文題目： 磁気粘弾性流体の流動特性と応用展開に関する研究

学位申請者： 田澤 拓也

審査委員：

主査： 理工学研究科 教授 山口 博司

副査： 理工学研究科 教授 高岡 正憲

副査： 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授 井門 康司

要 旨：

磁気粘弾性流体は磁性流体と粘弾性流体の混合によって作成され、磁場により外部から能動的にレオロジー特性を変えることが可能な機能性流体である。本論文は、磁気粘弾性流体の流動特性と応用展開について実験的・数値解析的に調査を行い、その結果についてまとめられたものである。具体的には、磁気粘弾性流体の供試流体、および工学応用する際に想定される磁場を印加できるレオメータを作成し、低周波振動時のレオロジー特性についての評価を行うとともに、得られた結果を四要素モデルの導入によって考察を行った。また、拡張オリフィスのモデルを用いて磁気粘弾性流体の流動特性および圧力特性について実験的・数値解析的に研究を行った。実験結果より、粘弾性特性および流路条件が圧力特性にどのような影響を与えるか無次元数で定式化し評価するとともに、数値解析結果より、特定の（四要素モデルによって定義される）粘弾性パラメータおよび印加磁場条件の変化が圧力特性に対してどの程度支配的であるかについて明らかにした。最後に磁気弾性流体の応用展開について、実際にサンプル永久磁石を作成するとともに、磁気特性を測定し考察を行うことで新規技術の確立およびその有用性がまとめられた。以上の内容により、本論文は磁気粘弾性流体の工学的製品へと応用する際の基礎（レオロジー、流動、圧力）特性および将来技術の有用性について報告したものである。

以上、本論文は、磁気粘弾性流体の基礎特性の解明およびその工学的応用を念頭にした磁気粘弾性流体の流動特性および応用展開に関する研究において、既存の研究の問題点、未解決点を実験的、数値計算的に詳細に調査するとともに、同軸上に同一極が存在する永久磁石の作製技術として、新しい工学的応用を提案したものであり、工学的にきわめて価値のあるものと評価できる。

よって、本論文は博士（工学）（同志社大学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2022年1月22日

論文題目： 磁気粘弾性流体の流動特性と応用展開に関する研究

学位申請者： 田澤 拓也

審査委員：

主査： 理工学研究科 教授 山口 博司

副査： 理工学研究科 教授 高岡 正憲

副査： 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授 井門 康司

要 旨：

本論文提出者は2019年3月に同志社大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士課程（前期課程）を修了後、2019年4月より本大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士課程（後期課程）に在籍している。この間、主として磁気粘弾性流体を主とした機能性流体の応用研究を行ってきた。本論文の主たる内容は、日本レオロジー学会誌、Journal of Magnetism and Magnetic Materialsに掲載され、既に十分な評価を受けている。

2022年1月22日午前10時よりおよそ2時間にわたり、提出論文に関する学術講演会が開かれ、種々の質疑討論が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。

さらに、講演会終了後、審査委員により、論文に関連した諸問題につき口頭試問を実施した結果、本人の十分な学力を確認することができた。また、英語については本学在学中に、ドイツ語については奈良工業高等専門学校在学中に単位を取得しており、さらに国内学会において13件、国際学会で4件の英語による講演も行っており、十分な学力を有すると認める。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： 磁気粘弾性流体の流動特性と応用展開に関する研究

氏名： 田澤 拓也

要旨：

本論文において、第1章では研究対象となった磁気粘弾性流体の研究背景について、母材となる磁性流体および粘弾性流体のそれぞれの特徴について述べるとともに、磁気粘弾性流体が多機能性流体として作成された経緯及び工学的応用にあたって有用となる特性についても述べる。

第2章では、機械的応用が十分可能な範囲での磁場を印加できるレオメータを作成し低周波振動時におけるレオロジー計測を行い、試作レオメータによるレオロジー特性の評価を行うとともに、懸濁系の磁気粘弾性流体のレオロジー特性について、四要素モデルを用いて考察を行った。計測結果より、磁気粘弾性流体は周期振動ひずみの角振動数、印加磁場の増加に伴い、貯蔵弾性 G' 、損失弾性率 G'' が増加し、さらに粘弾性流体の濃度の増加に伴い、磁気粘弾性流体の貯蔵弾性率 G' 、損失弾性率 G'' は、共に増加することが確認された。

第3章では、拡張オリフィスのモデルを用いて、磁気粘弾性流体の流れについて実験的および数値解析的に調査を行った。実験結果より、磁気粘弾性流体が拡張オリフィスを流れる際の圧力損失について、スタートアップの圧力変化と磁場印加時の圧力の過渡的な挙動が確認された。実験結果と数値解析の比較により、磁気粘弾性流体に磁場を印加すると、時間的にも空間的にも振動的な挙動があらわれ、拡張オリフィスを通過する圧力損失の測定値が減少するとともにオリフィス通過前後の静圧差 Δp は、粘弾性流体の濃度（磁性流体の混合による）に応じて減少し、磁場をかけることによっても Δp が減少する。また、数値解析の結果として粘弾性流体の運動方程式に磁性体の力の項を導入することで、実験で得られた圧力効果 δp_m を本章で行った数値解析で定性的に再現可能なことが確認された。

第4章では、磁気粘弾性流体を供試流体とした拡張オリフィスの流れにおいて磁場印加時の流動特性および拡張オリフィス前後における圧力損失特性について、圧力係数および流量係数の定式化を目的とし、実験的に調査・検討を行った。実験結果より、定常圧力差測定において磁場の印加により圧力差が低減され、圧力差の時間変化についてはオーバーシュートし、拡張オリフィスにおける粘弾性流体特有の現象である振動的な流動が磁性流体濃度の増加および磁場印加によって抑制されることが確認された。また圧力差測定により圧力係数を算出し、磁気粘弾性流体の圧力損失および流量係数の定式化を行った。

第5章では、磁気粘弾性流体の物理パラメータの実験係数に対する支配性について明らかにすることを目的として、流路中心の流線に沿った流れ場について積分形の圧力方程式を用いて数値解析を行った。解析結果として、磁気粘弾性流体の流れはケルビン力、磁気スピンの作用、物性を決定づける四要素モデルによって数値的に表現可能だということが確認された。また、解析結果と実験結果を比較により拡張オリフィス内の合計圧力差について定性的な一致が確認され、拡張オリフィス内を流れる磁気粘弾性流体の全圧力差は、磁場の印加により減少し、過渡的な挙動が変化することから、材料特性における弾性パラメータの重要性が示された。

最後に、第6章では磁気粘弾性流体の工学的応用の有用性の検証として新規永久磁石の作成技術を具体化するとともに、作成された実験計測用の磁石の極性を調査するために、磁場分布を測定した。調査結果より、磁気粘弾性液体が硬化することで同軸上に同一極を持つ永久磁石が作成され、磁極や成形品の形状に柔軟性のある新たな永久磁石の作成の可能性が示された。