The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	磁性流体および磁性エラストマーを用いたソフトアクチュエータの研究
Author(s)	加嶋, 俊大
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27539
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【109】

氏　　名	加　嶋　俊　大（かしましゅんた）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学　位　記　番　号	第　２６１７５　号
学位授与年月日	平成25年３月25日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科知能・機能創成工学専攻
学　位　論　文　名	**磁性流体および磁性エラストマーを用いたソフトアクチュエータの研究**
論文審査委員	（主査） 教　授　平田　勝弘 （副査） 教　授　荒井　栄司　　教　授　中谷　彰宏　　教　授　南埜　宣俊 教　授　浅田　　稔　　教　授　安田　秀幸　　教　授　菅沼　克昭

論文内容の要旨

本論文は磁性流体および磁性エラストマーを用いたソフトアクチュエータに関する研究内容の報告であり，7章からなる．

緒論では，機能性材料を用いたソフトアクチュエータの研究動向およびその応用事例を概観し，それらに対する磁性流体，MR流体，磁性エラストマーの位置づけについて述べた．また，本論文の対象と目的についても明らかにした．

第2章では，本研究で扱う物理現象の磁性流体の支配方程式の導出について論じた．マクスウェル方程式からは磁性流体解析に対しては渦電流を考慮する磁場の支配方程式を，磁性エラストマーに対しては永久磁石を含む静磁場の支配方程式を導出した．また，連続体の保存則から，流れ場に対しては非圧縮性のナビエ・ストークス方程式を，粘弾性場に対してはナビエの方程式を支配方程式として導出し，構成方程式とともに連続体を記述する場の方程式を導出した．

第3章では，磁性流体を用いたソフトアクチュエータの基礎的な検討を行った．まず電磁場に対しては2次元有限要素法を用いた離散化手法を，流れ場についてはレベルセット法および安定化有限要素法を用いた自由表面を含む界面挙動の取り扱いについて述べた．最後に電磁場から導かれる磁気力と表面張力を外力として，これらを連成させた磁性流体の連成解析手法を示し，交流磁場印加時の磁性流体の挙動を数値計算から求め，計算モデルと同様の実験装置を用いて検証を行った．以上の結果を元に，ソフトアクチュエータとしての磁性流体の可能性について検討した．

第4章では，磁性エラストマーの材料特性について述べた．まず，磁性エラストマーの作成手順を述べ，シランカップリング処理を用いた鉄粉のシリコーンへの分散特性改善について述べた．続いて平均粒子直径と粒子密度に着目し，作成した磁性エラストマーの測定により，磁化過程と弾性特性を明らかにした．

第5章では，磁性エラストマーを用いたソフトアクチュエータの提案を行った．磁性エラストマーの磁気回路および磁気回路の変形を考慮した動作原理を提案し，また作成したアクチュエータの変位，発生力，減衰特性を測定した．これらの実験結果から，ソフトアクチュエータとして磁性エラストマーの適用可否の考察を行った．

第6章では，磁性エラストマーアクチュエータとしての特性改善を図るために数値解析が有用であるという点から，計算手法の提案と検証を行う．まずMPS法による離散化手法について論述する．次に3次元辺要素有限要素法を用いた磁場計算手法を述べ，得られた磁場から節点力法を用いてエラストマー内部の電磁力計算方法を行う手

法を論述した．以上を元に粒子データと節点データの整合を取り，MPS法と有限要素法の連成解析手法を提案した．最後に，提案した解析手法を用いて静磁場中の磁性エラストマーの挙動を解析し，観察結果との比較を通して解析手法の妥当性について検討を行った．

結論では，第5章までの内容を総括し，本研究で得られた最終的な成果を要約した．

論文審査の結果の要旨

近年，メカトロニクス技術の多様化・複雑化に伴い，従来の剛性の高い電磁アクチュエータを補完する低剛性のソフトアクチュエータの研究が盛んである．本論文では，磁場応答性の機能性材料である磁性流体および磁性エラストマーに着目する．これらの材料は鉄粒子を流体・エラストマーへ安定に分散して作成され，磁場印加によって変形を生じる機能性材料であり，磁場制御によってアクチュエータとしての応用が期待できる．しかし従来の研究では，磁性流体・磁性エラストマーを用いたアクチュエータでは磁気回路設計が効率的に利用されているとは言いがたく，発生変位・発生応力とも不十分である．従って新しい駆動原理によるアクチュエータの開発を行う必要があり，そのためには磁場による変形を考慮した数値解析手法の開発が不可欠である．

本論文では，磁性流体および磁性エラストマーを用いたソフトアクチュエータ開発のために，新しい駆動原理のソフトアクチュエータの検討と，磁性エラストマーに対する数値解析手法の開発を行う．磁性流体への基礎的な検討として，磁性流体に交流磁場を印加した際に生じる流体の振動現象に対し，有限要素法を用いた磁場と流体の連成解析結果と実験結果との比較によって磁性流体の振動現象が有限要素法を用いて解析可能であることを明らかにする．磁性エラストマーへの基礎的な検討として，磁性エラストマーを用いた新しい駆動原理のソフトアクチュエータを開発し，実験により駆動原理を検証する．加えて磁場印加による磁性エラストマーの変形問題へ粒子法（MPS 法）と有限要素法の弱連成による数値解析手法を提案し，簡易的なモデルを用いて実験検証を行う．本論文で明らかにされている主な点は，具体的には以下の通りである．

（1） 二次元節点要素有限要素法を用いて電磁場と自由表面を有する流体の連成解析を行い，磁性流体の運動を定式化するとともに，数値解析結果と実験結果との比較を通して，本手法で磁性流体の管内振動現象が扱えることを確認している．

（2）電磁石をシリコーンエラストマーと磁性エラストマーとで二重に覆う新しい原理の磁性エラストマーソフトアクチュエータを提案し，実験により発生力，変位，周波数応答特性を明らかにしている．

（3）磁性エラストマーの数値解析のための粒子法（MPS 法）と三次元辺要素有限要素法とを連成させた解析手法を提案し，解析結果と実験結果との比較により，磁性エラストマーの変形現象に対し提案手法が有効であることを明らかにしている．

以上のように，本論文は磁性流体の運動に関する数値解析と実験検証，磁性エラストマーを用いたソフトアクチュエータの提案と実験検証，磁性エラストマーの数値解析手法の提案とその実機検証を行うことを通してこれらの有用性を明らかにしており，今後の磁場駆動するソフトアクチュエータ開発の基盤としての応用が期待される．

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．