

氏 名 利根 忠幸

学 位 の 種 類 博士（ 人間情報学 ）

学 位 記 番 号 博 甲第 9 2 1 7 号

学位授与年月 平成 3 1 年 3 月 2 5 日

学位授与の要件 学位規程 第 4 条第 1 項該当（昭和 2 8 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）

審 査 組 織 グローバル教育院

学位論文題目 Ferrofuid-based deformable robotic sheet with magnetic field control
（磁場の制御を用いた磁性流体による変形ロボットシート
の研究）

（職名）

（学位）

（氏名）

主査	筑波大学 教授	博士（工学）	鈴木 健嗣
副査	筑波大学 教授	工学博士	山海 嘉之
副査	筑波大学 准教授	博士（情報科学）	望山 洋
副査	筑波大学 准教授	博士（医学）	羽田 康司
副査	芝浦工業大学 准教授	博士（工学）	前田 真吾

論文の要旨

近年、外部刺激により構成要素を反応させることにより、その形状を変化させることで所望の動作を実現するソフトロボティクスの研究が盛んに行われている。これらのソフトロボットは柔軟性や適応性に利点があるが、所望の形状変形を実現するために構造が複雑になったり、変形方向の制限やヒステリシスに課題がある。ロボットの応用範囲が広がる中、柔軟物の制御や人に接して動作するソフトロボットを利用する場面が急速に増えてきている。このような背景の下で、本論文の著者は、簡便な構造でありながら流体特性を有し多方向の変形が可能な磁性流体に着目し、その形状変形特性を用いて外部からの磁場の向きや大きさ、分布を変えることで3次元的なマニピュレーションを行う手法を提案している。ここでは、磁性流体を薄膜に封入したシート型ロボットを提案し、球体や平板、液滴といった物体の輸送を通して提案手法の実現可能性を明らかにしている。磁性流体は流体特性を有することから外部環境および対象物体の形状に適応し、磁場源の位置を平面に設置することで対象物体を平面上で扱うことも可能である。さらに、磁性流体を袋等に封入することで磁性流体と物体の直接の接触を防ぐと共に、固い構造体を必要とせず平面・立体的に設置することが可能である優位性を持つ。本論文は英文で全7章からなり、これら一連の研究成果が纏められている。以下にその概要と評価を述べる。

第1章は序論で、本研究の位置づけと研究の背景を述べている。磁性流体の特性に関する記述とともに、従来から現在までの代表的な関連研究について述べている。

第2章では、シート型ロボットの構成論と制御手法について具体的な内容を説明している。理論的な

位置付けを明らかにするとともに、物体のマニピュレーションについてその特徴と優位性を示している。

第3章では、磁性流体を薄膜に封入することで開発したシート型ロボットのシステム構成について述べている。本手法は、平面のみならず立体的に環境に合わせて使用可能であることが述べられている。

第4章では、シート型ロボットの特性について性能評価実験の結果が述べられている。3次元的な形状変形、磁場に対する空間・時間応答性、変化の振幅と時間特性について詳しく述べている。ここでは、実験方法を詳細に説明し、シート型ロボットによる実機実験の結果が述べられている。

第5章では、平面状及び球体の物体、及び液滴を対象とし、提案するシート型ロボットを用いたマニピュレーションについて検証している。まず、平面状及び球体の物体を段階的に搬送することが可能であることを示すとともに、液滴の輸送及び混合実験を行っている。ここでは、流路や表面の加工を必要とせずに、液滴への影響がない新しい方法についてその有効性を明らかにしている。

第6章、第7章では、全体としての考察と評価を行い、研究成果のまとめと将来展望を述べている。

審査の要旨

【批評】

本論文は、新しいソフトロボットを実現するための構成論として、磁性流体の形状変形特性を用いた3次元マニピュレーション手法を提案するとともに、磁性流体を薄膜に封入することで形成するシート型ロボットとして実現可能であることを示した。これは、外部の物体に対して流体の特性を利用しながらその形状変化により適応し、また外部の磁場の制御により膜状の形状変化を他の物体への物理的な作用として用いる独創的な手法である。ここでは、理論的な考察に加え形状や磁場応答性等の基本特性を明らかにするとともに、平面に設置した上で球体・平板・液滴の輸送、立体的に設置した上で球体の輸送に適用して有効性を示している。提案手法は、外界の環境からの制御入力に基づき形状を変化させることで異なる機能を実現する新たなロボティクスの技術を提供するとともに、実機実験を通じて提案手法の有用性を明らかにしている。このように、剛性が主たる評価である従来の機械システムとは異なり、形状変化により機能を変化させる新しい知能ロボットの実現は、ロボット工学の新しい応用の可能性を拓くものとして高く評価できる。また人と機械の相互作用という観点からも、人が柔軟物を制御する新たな領域を広げることは、人の能力を拡張することと位置づけられ、人々をエンパワーする技術の進歩にも寄与するものであり、知能ロボット工学の分野における応用も大きく期待出来る。

一連の成果を通じて、機能性流体を利用することで形状変化に基づき多様な機能を変化させるという柔軟性を有するソフトロボットの新たな方法論を提案し、知能ロボット分野を拓くものとして、その学術性を高く評価できる。これらの成果は、人間情報学、及びエンパワーメント情報学の発展に資すること大であるため、本論文は博士(人間情報学)の学位論文として相応しいものであると認める。

【最終試験の結果】

平成31年2月4日、専門委員会において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(人間情報学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。