

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	交流圧力源を用いたフレキシブルERマイクロバルブ搭載多自由度ソフトマイクロアクチュエータに関する研究
Title(English)	A study on a multi-DOF soft microactuator with built-in flexible electro-rheological microvalves using an alternating pressure source
著者(和文)	SUDHAWIYANGKULT.
Author(English)	Thapanun Sudhawiyangkul
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11508号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉田 和弘,大竹 尚登,松村 茂樹,吉岡 勇人,金 俊完
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11508号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	SUDHAWIYANGKUL, Thapanun	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	吉田 和弘	教授	金 俊完	准教授
	審査員	大竹 尚登	教授		
		松村 茂樹	准教授		
吉岡 勇人		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A study on a multi-DOF soft microactuator with built-in flexible electro-rheological microvalves using an alternating pressure source (交流圧力源を用いたフレキシブル ER マイクロバルブ搭載多自由度ソフトマイクロアクチュエータに関する研究)」と題し、以下の5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、細管内で作業を行うマイクロロボットに搭載するマイクロマニピュレータを取り上げ、複雑な狭隙空間内で高度な作業を行うため、多自由度でソフトなマイクロアクチュエータが必要であると述べている。その実現には、液圧ソフトマイクロアクチュエータが高パワー密度とソフトな点で適している。また、ERF (electro-rheological fluid) の流れを電界により制御する柔軟なマイクロバルブ FERV (flexible electro-rheological microvalve) が実現できれば、液圧ソフトマイクロアクチュエータに搭載することができる。さらに、交流圧力源による交番流れを同期して開閉するマイクロバルブで整流してアクチュエータを駆動する交流圧力源システムを用いると、複数のアクチュエータでも配管系を小さくできる、と指摘している。そこで本研究の目的が、柔軟性が高い FERV および交流圧力源を用いた多自由度ソフトマイクロアクチュエータの要素技術の構築にあると述べている。

第2章「Development of hybrid structure FERV」では、柔軟性が高く、製作が容易なハイブリッド構造の FERV を提案、開発している。まず、ゴム製流路の上下面に導電性高分子の薄膜電極を設けた柔軟な流路と、電極間隔を維持する樹脂製の高剛性の強化部品を軸方向に複数配置したハイブリッド構造を持ち、紫外線硬化性材料を用いることで MEMS (micro electro mechanical systems) 技術により容易に製作することができる FERV を提案している。次に、幅 0.60 mm、高さ 0.19 mm、長さ 5.0 mm の FERV を設計し、FEM (finite element method) 解析により、従来の同一サイズの FERV に比べ、電極間隔を維持しつつ7倍以上高い屈曲の柔軟性が得られることを示している。さらに、開発した MEMS プロセスにより設計した FERV を試作し、特性評価実験により直線形状および屈曲形状において電圧により4倍の圧力変化が得られることを示すと同時に、圧力制御の動特性を明らかにしている。

第3章「Optimal design and fabrication of one-DOF bending microactuator with built-in FERVs using alternating pressure source」では、提案する FERV および交流圧力源を用いた1自由度屈曲形マイクロアクチュエータの最適設計と試作を行っている。まず、屈曲形液圧マイクロアクチュエータの構造について検討し、蛇腹構造を有し、圧力により膨張するひだの壁で隣接するひだを押すことで伸長変位を得るアクチュエータを2個組み合わせた拮抗駆動形構造を採用している。次に、交流圧力源を用いた1自由度屈曲形アクチュエータの最適構造を明らかにするため、交流圧力駆動の拮抗駆動形アクチュエータの集中定数系数学モデルと、1自由度屈曲形アクチュエータの FEM モデルを用いた2段階の解析を行っている。集中定数系数学モデルによる解析では屈曲特性が二つのパラメータで表されることを見出している。続く FEM モデルによる解析では、各部の寸法を変えて前述の二つのパラメータを求めることで、屈曲変位が大きく、応答性が高く、大きな発生力が得られる構造を明らかにしている。最後に、設計した長さ 10 mm のアクチュエータを開発した MEMS プロセスにより試作し、交流圧力源を接続して動作実験を行い、 $\pm 11^\circ$ の屈曲動作を確認している。

第4章「Development of multi-DOF soft microactuator with built-in FERVs using alternating pressure source」では、複数の1自由度屈曲形マイクロアクチュエータを応用した多自由度ソフトマイクロアクチュエータを提案し、2自由度アクチュエータを試作している。まず、FERV の上下方向の屈曲の柔軟性を活かすため、複数の1自由度屈曲形アクチュエータを軸周りに回転させて直列に接続した多自由度アクチュエータを提案している。次に、長さ 20 mm の2自由度アクチュエータの FEM 解析を行い、先端の2方向の変位を等しくすることができる基部側と先端側のアクチュエータの長さの比を求めている。さらに、2個のアクチュエータの流路の接続方法を考慮して2自由度アクチュエータを設計し、開発した MEMS プロセスにより試作し、空気圧を用いた動作実験では、2自由度の動作を確認している。

第5章「Conclusions and future work」では、本論文で得られた結果を総括するとともに今後の課題について述べている。

以上要するに本論文は、複雑な狭隙空間内で作業を行うマイクロロボットの多自由度マニピュレータなどのため、柔軟なマイクロバルブ FERV と交流圧力源を用いた多自由度ソフトマイクロアクチュエータを提案、試作し、FEM 解析および実験によりその有効性を明らかにしたもので、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって我々は、本論文を博士(工学)の学位論文として十分に価値があるものと認める。