

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	MEMS技術を用いた交流圧力駆動ERマイクロアクチュエータシステムの研究
Title(English)	
著者(和文)	三好 智也
Author(English)	Tomoya Miyoshi
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10538号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉田 和弘,金 俊完,進士 忠彦,只野 耕太郎,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10538号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

# 論文要旨

## THESIS SUMMARY

専攻：                   メカノマイクロ工学                   専攻  
Department of  
学生氏名：                   三好 智也  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士                   ( 工学 )  
Academic Degree Requested                   Doctor of  
指導教員 (主)：                   吉田 和弘 教授  
Academic Advisor(main)  
指導教員 (副)：                   金 俊完 准教授  
Academic Advisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は、「MEMS 技術を用いた交流圧力駆動 ER マイクロアクチュエータシステムの研究」と題し、全 6 章で構成されている。各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章「緒論」では、小径管路内などの閉鎖的で狭い場所において自立駆動される産業用のマイクロロボットが求められており、そのようなマイクロロボットには高パワー密度を有する液圧マイクロアクチュエータを複数有するシステムの適用が望ましいが、システム全体のマイクロ化とエネルギー損失低減の両立が必要であることを述べている。液圧マイクロアクチュエータシステムの動作流体として電界により可逆的に粘度変化を生じる機能性流体 ERF (Electro-Rheological Fluid) を用いるとともに交流圧力システムを適用し、さらに MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いることにより前述の課題が解決されるとしている。このような研究背景を踏まえて、1 本の液圧配管のみで動作流体の供給・戻りが可能で、液圧配管側とアクチュエータ側の動作流体を水と ERF で分離してエネルギー損失を低減させる交流圧力駆動 ER マイクロアクチュエータシステムの提案、開発を本論文の目的に設定している。

第 2 章「交流圧力駆動 ER マイクロアクチュエータシステムの提案」では、システム全体のマイクロ化とエネルギー損失低減の両立のために、機能性流体 ERF を用いた新動作原理の液圧マイクロアクチュエータシステムの提案を行っている。まず、ERF として使用するネマティック液晶の概要と特性について述べた後に、ネマティック液晶を動作流体とした制御バルブである ER マイクロバルブについて従来の開発状況をふまえて説明している。そして、従来の ER マイクロアクチュエータシステムについて説明しその問題点を明らかにしている。次に、提案する交流圧力駆動 ER マイクロアクチュエータシステムについて、交流圧力源によって生じる ERF の交番流れを ER マイクロバルブで整流することで、局所的な一方向流れを形成してアクチュエータを駆動することを動作原理とすること、またその利点を明示している。さらに、交流圧力駆動 ER マイクロアクチュエータシステムの一種として交流圧力駆動 ER 屈曲アクチュエータシステムを提案し、簡易モデルなどを用いた理論解析を行い、その妥当性を明らかにしている。

第 3 章「ラージモデルによる動作原理検証」では、第 2 章で提案したシステムのラージモデルを試作し、特性実験を行うことにより動作原理の検証を行っている。提案した交流圧力駆動 ER 屈曲アクチュエータシステムの構成要素である交流圧力源、ER バルブ、ER 屈曲アクチュエータのラージモデルを NC 工作機械による機械加工によって製作している。試作した ER バルブについては、従来の ER マイクロバルブと同等の静特性を有することを特性実験により確認している。ボイスコイルモータを駆動源とした交流圧力源から供給される交流圧力を黄銅製の ER バルブによって整流し、可動部長さ 10 mm のシリコンゴム製液圧屈曲アクチュエータを駆動することによりその特性を解明し、提案したシステムの妥当性を明らかにしている。

第 4 章「MEMS 技術を用いた 1 自由度 ER 屈曲アクチュエータ」では、第 3 章で動作原理を検証した交流圧力駆動 ER 屈曲アクチュエータシステムをマイクロサイズで実現するために、MEMS 技術を用いた 1 自由度 ER 屈曲アクチュエータの試作を行っている。高性能化のために高アスペクト比構造を有する液圧屈曲アクチュエータの実現のために、シリコンゴム PDMS (poly(dimethylsiloxane)) の新しい成形プロセスを開発している。また、ER バルブのマイクロ化のために高粘度 ERF の必要性を指摘し、低分子ネマティック液晶を選定している。さらに、開発されたプロセスにより製作された可動部長さ 1.6 mm の PDMS 製液圧屈曲アクチュエータ部とシリコン微細加工により製作された ER マイクロバルブを有する 1 自由度 ER 屈曲アクチュエータを試作し、特性実験により上下両方向への 1.1 mm の屈曲変位を立ち上がり時間 1.1 s で達成し、管内作業用マイクロロボットへの応用可能性を示している。

第 5 章「2 自由度 ER 屈曲アクチュエータシステム」では、交流圧力源を含めたシステム全体のマイクロサイズでの試作および多自由度アクチュエータシステムの構築のために、2 自由度 ER 屈曲アクチュエータシステムの実現を目的として各部の試作、特性実験を行っている。第 4 章で開発した PDMS 成形プロセスを用いて可動部長さ 1.9 mm の 2 自由度 PDMS 屈曲アクチュエータ部を試作し、空気圧試験により垂直方向に 1.1 mm、水平方向に 0.7 mm の 2 自由度動作を確認している。また、交流圧力源と ER マイクロバルブを 1 チップ上に搭載したシリコン流体チップを試作し、そのマイクロ交流圧力源の特性を実験的に検証している。さらに、2 自由度 PDMS アクチュエータ部とシリコン流体チップを一体化することによって 1 チップ上に交流圧力駆動 2 自由度 ER 屈曲アクチュエータシステムを構築し、ERF を動作流体とした駆動実験を行いその特性の一部を解明している。

第 6 章「結論」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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

専攻：                      メカノマイクロ工学                      専攻  
Department of  
学生氏名：                      三好 智也  
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士                      ( 工学 )  
Academic Degree Requested                      Doctor of  
指導教員(主)：                      吉田 和弘 教授  
Academic Advisor(main)  
指導教員(副)：                      金 俊完 准教授  
Academic Advisor(sub)

#### 要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

The thesis entitled “study on alternating-pressure-driven electro-rheological microactuator systems using MEMS technologies” is composed of the following six chapters.

In chapter 1, the background and purpose of this study were described. Microrobots working in narrow spaces such as tiny pipelines of industrial equipment are required and are being developed. Hydraulic microactuator systems are promising for the microrobots because they have high power density but they have the difficulty of miniaturization of their control valves and the energy losses in their piping space. In order to solve these problems, a new hydraulic microactuator system using ERF (Electro-Rheological Fluid), an alternating pressure source and MEMS technologies was proposed and developed in this thesis.

In chapter 2, an ER microactuator system driven by an alternating pressure source was proposed. The ER microactuator system was composed of an alternating pressure source and ER microactuators. Simple ER microvalves using homogeneous ERF as the working fluid were employed in the ER microactuators for fluid control without mechanical movable parts. Then, a working principle of the proposed ER microactuator system were described which is based on rectifying alternating flow by the ER microvalves. Furthermore, advantages and analytical results of the proposed system were presented.

In chapter 3, the working principle of the proposed ER microactuator system driven by alternating pressure was verified. For verification of the proposed system, a large model of the system was fabricated which consisted of a hydraulic actuator, two ER valves and an alternating pressure source. Bidirectional bending motions of the ER actuators were confirmed in characteristic experiments.

In chapter 4, a MEMS-based one-DOF (degree of freedom) ER bending actuator system was proposed and developed. For miniaturization of the high-performance hydraulic bending actuator parts featuring high-aspect-ratio and three-dimensional structures, PDMS (poly(dimethylsiloxane)) fabrication process were newly developed. The fabricated 1.6-mm long ER bending actuator demonstrated bi-directional motions that achieved a displacement of 1.1 mm and a rise time of 1.1 s.

In chapter 5, a two-DOF ER bending actuator system driven by alternating pressure was proposed and developed. Two-DOF PDMS bending actuator parts with 1.9-mm length were fabricated by the developed PDMS fabrication process. Then a pair of two-DOF actuators performed bidirectional two-DOF motions in air-pressure tests. A micro alternating pressure source using piezo bimorph actuator was designed by FEM analysis and their characteristics were experimentally confirmed. The chip-size two-DOF ER bending actuator system was partly characterized.

In chapter 6, summary and future work are described.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).