

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	ECFマイクロポンプのMEMS製作における最適化とこのマイクロポンプのソフトロボットへの応用
Title(English)	Study on the Optimization of MEMS Fabrication for ECF (Electro-conjugate Fluid) Micropumps and Its Application to Soft Robots
著者(和文)	HANDONG
Author(English)	Dong Han
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10880号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:金 俊完,吉田 和弘,初澤 毅,進士 忠彦,只野 耕太郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10880号, Conferred date:2018/3/26, 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	HAN, Dong		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	金 俊完	准教授	審査員	只野 耕太郎	准教授
	審査員	吉田 和弘	教授			
		初澤 毅	教授			
進士 忠彦		教授				

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Study on the Optimization of MEMS Fabrication for ECF (Electro-conjugate Fluid) Micropumps and Its Application to Soft Robots」と題し、以下の5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、狭小空間で走行する、または、多様な微小物体を把持するミニサイズロボットの実現において、柔軟な素材で構成された流体駆動のソフトロボットは、複雑な制御系が不要、損傷を与えない物体の把持が可能という観点で優位性があるが、コンプレッサやポンプなどのパワー源のロボットへの搭載が課題であると指摘している。そこで、本研究の目的が、直流電圧を印加することでジェット流を発生できる機能的流体 ECF (Electro-conjugate Fluid) とこの ECF ジェット用の電極対を微細化・集積化できる MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 加工技術を融合することによる小形、フレキシブル、高出力パワー密度のマイクロ液圧源の実現とミニサイズソフトロボットへの応用であると述べている。

第2章「Investigation of design dominant parameters for TPSEs' integration」では、ECF ジェットの発生と電極対の微細化・集積化が両立できる TPSE (Triangular Prism & Slit Electrode Pair) を用いたモジュラー設計法を提案している。製作した ECF マイクロポンプの吐出圧力・流量を実験的に求め、a) 直列に配置する TPSE 数、b) 並列に配置する TPSE 数、c) 並列化における TPSE 間のピッチ、d) 並列化における分離壁の幅、e) 並列化における分離壁の有無などがポンプ出力に与える影響を明確化し、異なる吐出圧力・流量をもつ ECF マイクロポンプの設計指針を明らかにしている。

第3章「Novel fabrication technology to increase power density of ECF micropump」では、ECF マイクロポンプの高出力パワー密度化を実現するために、TPSE の高アスペクト比化できる新たな UV-LIGA プロセスを提案している。優れた UV 透過性を有する超厚膜フォトレジスト SU-8 およびフィルムレジスト SU-EX を用いた手法を提案・開発し、高アスペクト比のマイクロ鋳型の形成に成功している。これらは従来のウェットエッチングでは選択的除去が困難であると指摘し、高アスペクト比のレジスト鋳型を選択的に効率よく除去する方法として、CO<sub>2</sub> レーザを用いた主プロセスと O<sub>2</sub>/CF<sub>4</sub> プラズマエッチングによる後処理プロセスを融合した新たな方法を提案している。この除去方法を用いることで従来の KMPR レジスト鋳型より2倍のアスペクト比を有する高さ 0.97 mm の TPSE の製作に成功し、これを用いる ECF マイクロポンプはより高パワー密度が達成できることを立証している。

第4章「Robotic fingers embedding ECF micropumps」では、ECF マイクロポンプを剛なフレームに組み込み、蛇腹構造の柔らかい関節を加圧することで変位するロボットフィンガと、新たに提案するフレキシブル ECF マイクロポンプを搭載し、圧力源を含む全体が柔軟なソフトアクチュエータを提案・開発している。硬質材料と軟質材料を同時に 3D プリントすることで組み立ての手間と ECF の液漏れを最小限にできる長さ 83 mm のミニフィンガを実現し、搭載したマイクロ液圧源による駆動特性を明らかにしている。また、ガラス基板の代わりにポリイミドフィルム上に集積化した TPSE フィルムと柔軟なシリコンゴム (PDMS) の流路を組み合わせたフレキシブルマイクロポンプを実現し、曲がりによる性能の低下がないことを実験的に確認している。開発したフレキシブル ECF マイクロポンプは PDMS によって製作された柔らかい蛇腹形アクチュエータと一体化され、駆動実験によりその特性を明らかにしている。

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、パワー源を搭載したミニサイズソフトロボットを実現するため、ECF マイクロポンプをマイクロ液圧源として用いることを提案し、多様な MEMS プロセスを開発して高出力パワー密度の ECF マイクロポンプを実現し、ソフトアクチュエータへ実装すること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、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

(1980文字)