

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560256

研究課題名（和文） 機能性流体を用いたマイクロ流体パワー素子の研究

研究課題名（英文） Study on Micro Fluid Power Module Using Functional Fluid

研究代表者

田中 豊（TANAKA YUTAKA）

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：70179795

研究成果の概要（和文）：本研究では機能性流体の一種である電界共役流体（ECF）の特徴的な流動現象を用いた小形で高出力の流体パワー素子を開発することを目的として、ECFの流動現象の数学モデルを構築し、不均一な電界分布の場におけるECF流動現象を数値計算した。また流れの可視化実験結果を数学モデルの計算結果と比較した。流れの可視化実験や出力測定実験の結果から、電極の形状や配置が出力特性に大きく影響することが明らかとなり、小形で高出力な流体パワー素子を実現するための設計指針が得られた。

研究成果の概要（英文）：Electro-Conjugate Fluid, ECF can directly convert electric energy into kinetic energy of the fluid without mechanical moving parts. Prototype models of high-powered and miniaturized micro fluid power module using the ECF were fabricated and experimentally and numerically investigated. Mathematical model for numerical simulation of the ECF jet flow were proposed and simulation code was developed. Flow visualization through the electrodes was carried out. New shape and arrangement of electrodes was proposed and fabricated to miniaturize the high-powered micro ECF pump module.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総 計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：マイクロマシン、機能性流体、アクチュエータ、電極、流れの可視化

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、流体パワーを用いたパワーメカトロシステムの研究を継続して行っており、流体パワーの利用は、大きなパワー密度と機械的摺動部を持たない閉鎖空間の圧力や流量の変化に伴う変形という駆動原理により、マイクロ化に極めて有利な駆動原理であることを見出していた。

電界共役流体(ECF)は大坪・枝村および横田らの研究グループによって発明・開発され、そのアクチュエータやバルブ、ポンプへの応用が最近、積極的に進められている電気誘電性の機能性流体である。高電圧を印加した電極間に強力なジェット流が発生するという、この流体の持つきわめて特徴的な性質は、マイクロ化に適した原理である。しかし、その

応用範囲は未知数であり、より一層の広範囲な分野への取り組みが求められている。また流動現象の発生メカニズムについても、未だ詳細が明らかとなっていない。

2. 研究の目的

電界共役流体 (ECF) は電極間に高電圧を印加するとジェット流が発生する。この流動現象の発生メカニズムは、電気流体力学 (Electro-hydrodynamics, EHD) 現象の一種と考えられ、電界強度分布と密接な関係にあることが実験により間接的に実証されているが、そのモデル化は行われていない。

本研究の目的は、機能性流体 ECF の流動生成メカニズムを解明し、新しいマイクロポンプとマイクロアクチュエータからなる新たな原理の高出力マイクロ流体パワー素子を試作することである。

3. 研究の方法

まず流動現象の数学モデルの提案と構築を行う。次にこの数学モデルに基づく数値シミュレーションコードを作成し、汎用流体解析ソフトウェアと連成実装する事により、流動現象を数値計算する。さらに流動現象の計算結果と条件を合わせた可視化実験との比較から、その妥当性の検証を行う。さらに明らかとなった流動メカニズムの数学モデルから、最適な電極配置や形状、流路構造などの設計パラメータを求め、小形で高出力なマイクロ流体パワー素子を設計・試作し、その特性を実験的に明らかにする。

4. 研究成果

機能性流体を用いたマイクロ流体パワー素子の高出力化に取組み、新たに提案した図1に示す円筒形マイクロポンプの電極構造や配置を工夫することにより、従来の成果に比べ、体積が12分の1、吐出圧力が2倍以上の小形・高出力が実現できる指先大のマイクロポンプの試作した。

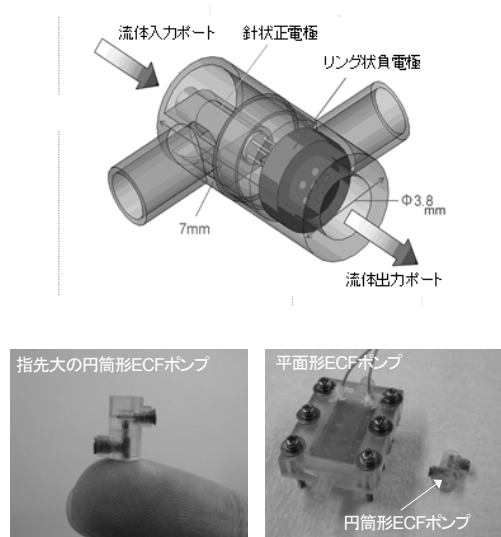
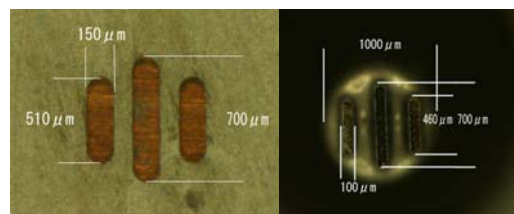


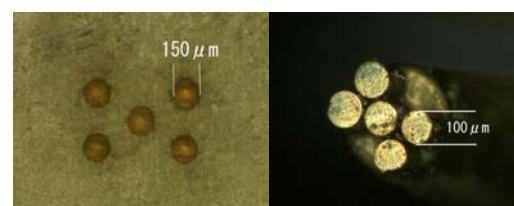
図1 円筒形マイクロポンプ

マイクロ放電加工機を駆使して、新たな電極対を試作し、実験により、電極パターンや電極の対応角度、正電極の高さなどの形状パラメータの影響をより詳細に検討し、小形で高出力なマイクロポンプモジュールのための新しい電極形状を探索した。

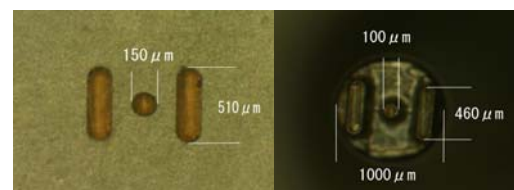
図2に小形化と高出力化のために試作した



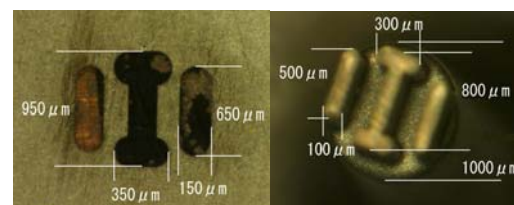
負電極 正電極
(a) スリットフィン1形電極



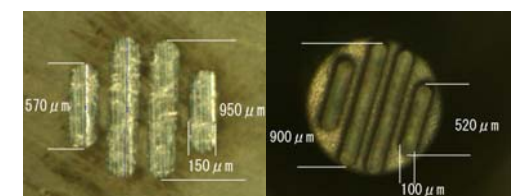
負電極 正電極
(b) 円形穴ピン形電極



負電極 正電極
(c) 複合形電極



負電極 正電極
(d) スリットフィン2形電極



負電極 正電極
(e) スリットフィン3形電極

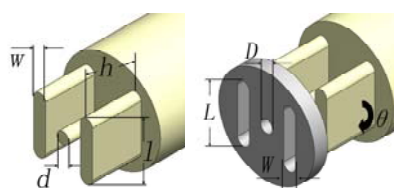


図2 試作した電極形状

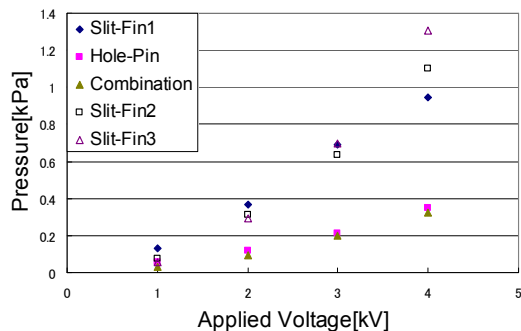


図3 電極の違いによる出力圧力

様々な電極形状を示す。実験に用いた電極は、正電極に直径 1mm のタングステン棒材、負電極には厚さ 40 μ m のステンレス板を使用し、マイクロ放電加工機を用いて正負の電極形状が対応関係となるように製作した。

図3に圧力測定結果の一例を示す、円形穴ーピン形電極や複合形電極に比べ、スリットーフィン形電極が大きな圧力を示した。特にスリットやフィンの外周長さを長くしたものや、スリットやフィンの数が多い電極の方が大きな圧力を示した。特にスリットーフィン形電極では、(d)のスリットやフィンの外周長さを長くしたものや、(e)のスリットやフィンの数が多い電極の方が大きな圧力を示した。ECFのジェット流は電界勾配が急峻となる正電極エッジ付近から強く発生することが知られている。スリットーフィン形電極(a), (d), (e)を比較すると、(e)が最もエッジ部の有効な外周長さが長く、ジェット流の形成に有利であることが要因である。

さらに電極突起高さ h による有意な違いは見られず、小形化のためには正電極の突起高さは加工できる範囲で、できるだけ小さくすることが望まれることが明らかとなった。

また高出力マイクロポンプの実用化を視野に、さらなる小形・高出力化のための流動現象の数学モデルの構築と検証を行い、特徴的な流動現象の流れの可視化実験により、種々の条件を変えた流動現象を観測した。図4に電極先端の流れの可視化の一例を示す。

以上のように、本研究では流れの可視化実験の結果などから、微小電極の形状や配置と流れの特長を具体的に明らかにするとともに、シミュレーションによる流れの数値解析との比較検証を行った。流動メカニズムの数学モデルから、最適な電極配置や形状、流路構造などの設計パラメータを求め、小形で高出力なマイクロ流体パワー素子を試作設計することができるようになった。こうした研究成果により、可動部や摺動部を持たない新しい原理の高出力マイクロポンプは、実用化に向けて大きく前進した。

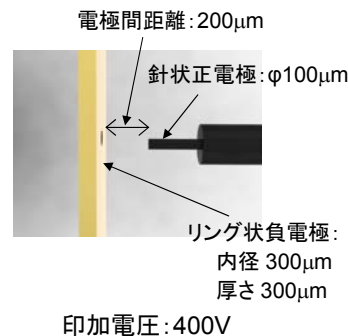


図4 電極付近の流れの可視化画像

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① Masahiro Ishida, Yutaka Tanaka, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura, Design and Fabrication of Electrodes for High-Powered Micro Pump Using Electro-Conjugate Fluid, Proceedings The 4th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Technology (ICMDT 2011), pp.69-70, 2011-4. (査読有)
- ② Yutaka Tanaka, Masahiro Ishida, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura, Miniaturized and High-Powered Micro Pump Using Electro-Conjugate Fluid, CD-ROM Proceeding of World Automation Congress 2010, TSI Press, 2010-9. (査読有)
- ③ Yutaka Tanaka, Shinichi Yokota, Chapter 14 Design and Fabrication of Micro Pump for Functional Fluid Power Actuation System, Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs Part III Micro Actuators, pp.153-164, Springer, 2010 (査読有)

〔学会発表〕(計6件)

- ① 田中 豊、ナノバイオデバイスの創製(メカトロデバイス)、法政大学マイクロナノテクノロジー研究センター開設10周年記念シンポジウム講演予稿集、pp.10、2012年10月13日(東京)。
- ② 田中 豊、フルードパワーアクチュエータの動向と将来像、基調講演、日本機械

学会 2012 年度年次大会講演論文集 DVD, No.12-1, K11500, 2012 年 9 月 12 日 (金沢).

- ③ 田中 豊, 酒井, 横田, 枝村, 電界共役流体の電気的特性に関する実験的検討, 山梨講演会講演論文集, pp.50-51, 2011 年 10 月 22 日 (甲府).
- ④ 田中 豊, 渡邊, 酒井, 横田, 枝村, 電極間における電界共役流体の流れの可視化, 日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集 DVD, No.11-1, J112024, 2011 年 9 月 13 日 (東京).
- ⑤ 田中 豊, 石田, 酒井, 横田, 枝村, 電界共役流体 (ECF) を用いたマイクロポンプモジュール, 第 23 回フルードパワーシステム国際見本市論文集, pp.3-4, 2011 年 7 月 20 日 (東京).
- ⑥ 田中 豊, 石田, 横田, 枝村, 機能性流体を用いたマイクロポンプモジュール (小形化のための新しい電極形状の提案と試作), 平成 22 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.67-69, 2010 年 5 月 26 日 (東京).

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 田中 豊 (分担執筆), アクチュエータ研究開発の最前線 (監修・樋口俊郎, 大岡昌博), 第 2 編, 第 2 章, 第 9 節「機能性流体を用いた高出力マイクロメカトロデバイス」, pp.215-220, (株) エヌ・ディー・エス, 2011-08

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://hams.ws.hosei.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 豊 (TANAKA YUTAKA)

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号: 70179795

(2) 研究分担者

松川 豊 (MATSUKAWA YUTAKA)

長崎総合科学技術大学・工学部・准教授

研究者番号: 10392846

(3) 連携研究者

なし