

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム

フィージビリティスタディ【FS】ステージ 探索タイプ

完了報告書

【高出力密度を有するマイクロ液圧アクチュエータの開発】

平成 26 年 3 月 31 日

【プロジェクトリーダー】

所属：法政大学 デザイン工学部

氏名：田中 豊 印

## 1. 課題の名称 等

課題番号： AS251Z00941K  
課題名： 高出力密度を有するマイクロ液圧アクチュエータの開発  
研究責任者氏名： 田中 豊  
(所属・役職) (法政大学 デザイン工学部・教授)  
コーディネータ等または企業の研究開発関係者氏名： 村上 義英  
(所属・役職) (法政大学 研究開発センター・産学連携コーディネーター)  
研究開発実施期間： 平成 25 年 8 月 1 日～平成 26 年 3 月 31 日

## 2. 研究開発の総括

液圧によるパワー伝達はマイクロ環境下でも高出力密度を実現できることが指摘されている。一方、最近開発された機能性流体 ECF を用いた液圧駆動原理はマイクロ環境下に適している。本研究開発では、これまでの知見を整理し、より小形で高出力なマイクロポンプモジュールに必要な電極形状や配置方法について検討した。また新たなマイクロポンプモジュールと電極対を製作し、実験により形状パラメータの最適化を図った小形で高出力なポンプモジュールの構造を提案した。従来の円筒形マイクロポンプモジュールの全長を 10 分の 1、内径を 3 分の 1 に小形化し、印加電圧 5 kV で最大圧力 5.0 kPa の性能を実現できる見通しがついた。

## 3. 実施内容および研究開発成果

### ①目標

本研究の最終目標は、システム全体の質量が 20 g、最大定格出力が 10 W、すなわち、最大出力密度が 0.5 W/g の性能を有する、図 1 の領域 C に位置するような、高出力密度を有する指先大の大きさの液圧源を含む液圧駆動小形アクチュエータシステムの開発である。

最終目標の実現のためには、現状の小形液圧源のさらなる小形化と高出力化が必要となる。現状（自重 5 g、最大吐出圧力 6.1 kPa、最大吐出流量 172 mm<sup>3</sup>/s、最大定格出力 1 W）の小形液圧源のさらなる小形化と高出力化に向け、全体の質量を 2 分の 1 に小形化し、出力を少なくとも 5 倍から 10 倍程度まで高める。

### ②実施内容

(1) これまでに開発された指先大の小形液圧源を高出力化させて流体パワーの駆動源として用い、圧力や流量の変化により駆動する流体駆動小形アクチュエータを開発して液圧源と一体化することにより、高い出力密度を持つ小形液圧駆動アクチュエータシステムを開発する。

(2) これまでの研究成果から、電極の近接配置や凹凸形状により、高出力化が

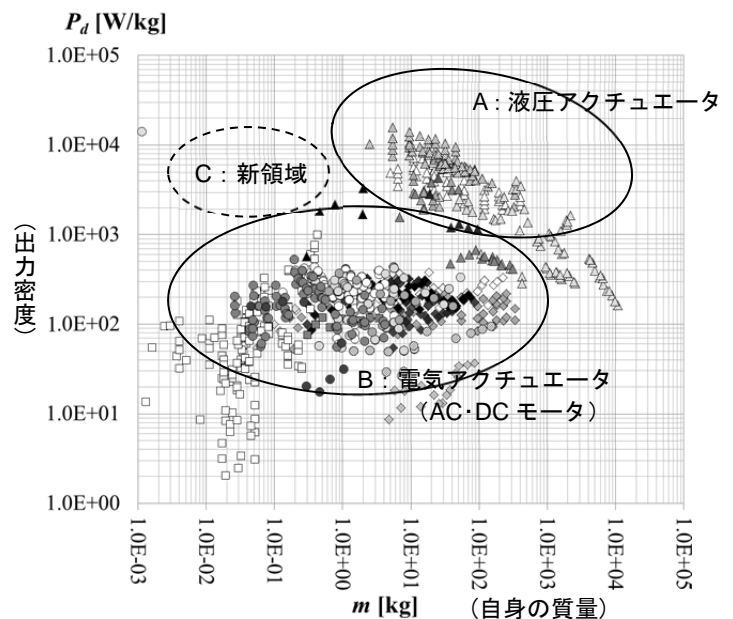


図 1 既存のアクチュエータの質量と出力密度の関係

可能であることが確かめられており、これらをさらに小形化した複数の電極対を直列あるいは積層上に配置することによって、小形液圧源の小形化と高出力化を実現する。

- (3) 一体化構造に適した小形高出力液圧源の実現には、正負電極対をどこまで小形化して近接配置できるかが課題となる。これまで利用してきたマイクロ放電加工法に加え、電子基板作成のエッチング技術により、小さな凹凸やメッシュ構造電極を製作して課題を解決し、この電極対の実装により小形液圧源を試作し、現状の定格出力 1W を 5W まで高出力化する。

### ③研究開発成果

本申請課題では、これまでに開発された指先大の小形液圧源を小形・高出力化させた流体パワー駆動源を開発した。①目標に対しての研究開発成果では、従来の円筒形マイクロポンプモジュールの全長を 10 分の 1、内径を 3 分の 1 に小形化し、印加電圧 5 kV で最大圧力 5.0 kPa の出力が得られ、吐出圧力については、従来と同性能を実現できる見通しがついた。

また②実施内容の各項目に対する研究開発成果は以下のとおりである。

- (1) 高い出力密度を持つ小形液圧駆動アクチュエータシステムを開発するため、申請時に図 1 に示した既存の従来型液圧駆動アクチュエータの特性を、最新のデータで再整理した。図 2 はアクチュエータの自重と出力密度の最新データによる調査結果である。領域 A の液圧駆動アクチュエータは、大形化とともに出力密度が小さくなる。しかし液圧駆動アクチュエータは、領域 B の電気駆動アクチュエータに比べ、出力密度は一桁以上大きい。また共同研究を行っている別の研究グループの ECF アクチュエータ(東工大・横田ら)のこれまでの試作成果は、従来の領域から大きく離れた領域 C に分類されることから、本

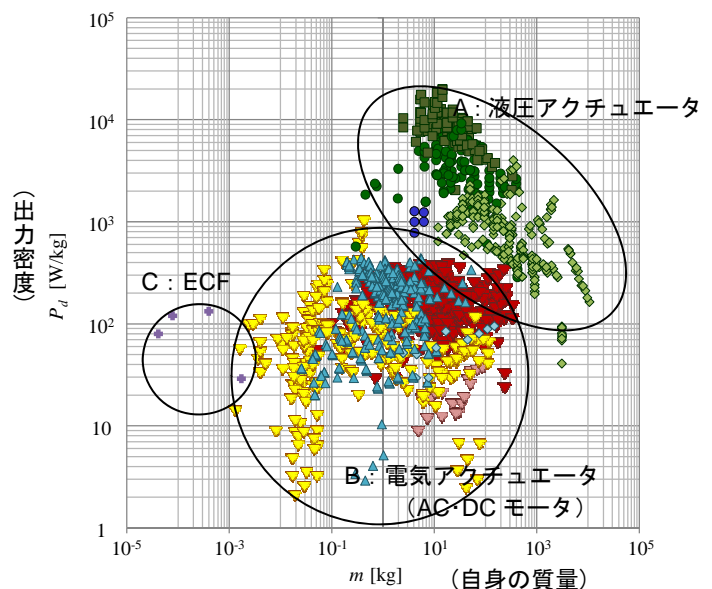


図 2 アクチュエータの自重と出力密度の関係(最新データ)

申請課題で開発目標としている小形液圧駆動アクチュエータは、構造上、より一層の小形化が実現できれば、従来より、大きな出力密度を達成できる可能性があるとの確信が得られた。これらの調査結果は、2013 年 10 月 9 日に米国で開催された国際会議 ASME/BATH 2013 Symposium on Fluid Power & Motion Control (FPMC2013)で発表し、欧米の多くの研究者から液圧駆動の利点をよく表した資料であるとの好評を得た。

- (2) これまでの研究成果と知見を整理し、電極の近接配置や凹凸形状により、小形化と高出力化が可能であることを確認した。

ECF マイクロポンプの小形化と高出力化のためのポイントを整理すると以下のようになる。

- ・ 電極間隔は狭いほどよいが、あまり狭いと放電しやすく、限界電極間隔は 0.2 mm である。
- ・ 正負電極の寸法は、針状正電極の径 0.1 mm に対して、リング穴径 0.3mm の対応が最も高出力である。
- ・ 正電極の針と負電極のリング穴は同じ形状で、できるだけ同軸上に配置される方がよい。これは電極の数が複数でも同様である。
- ・ 針状正電極の電極エッジ長さ(電極の周囲長さ)は、長いほど高出力である。

- ・ 針状正電極の突起高さは出力圧力に影響しない。従って小形化には、突起高さはできるだけ小さくする方が望ましい。
- ・ リング状負電極の板厚が薄いと大きな出力圧が得られず、厚すぎても出力圧は小さくなる。針状正電極の径 0.1mm, リング穴径 0.3mm の場合、リング状負電極の板厚は 0.3mm が最も高出力である。
- ・ 正電極をタングステン、負電極を黄銅で製作した電極から大きな出力圧が得られる。

またこれらの知見を踏まえ、さらに小形化した複数の電極対を配置することによって、小形液圧源の小形化と高出力化の両立への見通しが得られた。

(3) 一体化構造に適した小形高出力液圧源の実現には、正負電極対をどこまで小形化して近接配置できるかが課題である。従来の円筒形マイクロポンプ構造では、針状正電極は電極先端が加工された棒状電極が使用され、ECF の流路は電極の周囲に配置されていた。この形状では全体の小形化には限界があるため、高出力を維持しながら、より小形化を目指し、正負の電極を板状の加工電極によるポンプ構造を提案した。図 3 に従来のポンプと提案したポンプ構造の比較を示す。この提案した電極対の実装による小形液圧源を試作すれば、従来の円筒形マイクロポンプモジュールの全長を約 12 分の 1、外径を約 3 分の 1 まで小形化できる。これは自重に換算すると約 90 分の 1 に相当する。

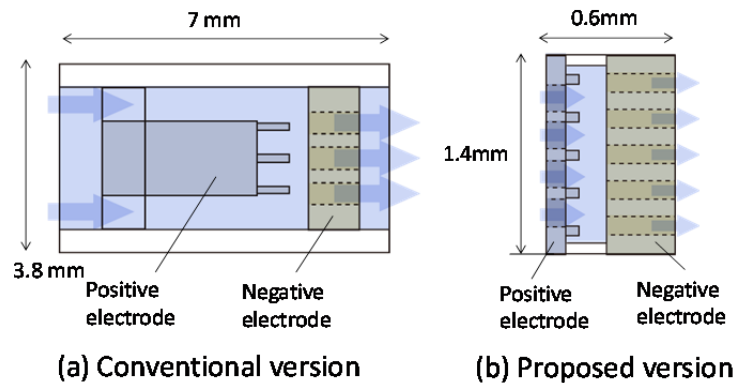


図 3 従来のポンプと提案したポンプ構造の比較

これまで利用してきたマイクロ放電加工法をブラッシュアップし、小さな凹凸やメッシュ構造電極を製作して課題を解決した。製作した電極形状を図 4 に、製作した 5 組の電極を用いて測定した印加電圧に対する出力圧力の実験結果を図 5 に示す。小さな凹凸やメッシュ構造電極を用いて、吐出圧力については従来と同性能の印加電圧 5 kV で最大圧力 5.0 kPa の性能を実現できる見通しがついた。しかし吐出流量は微小で、現状では測定できていないため、定格出力については同定できていない。

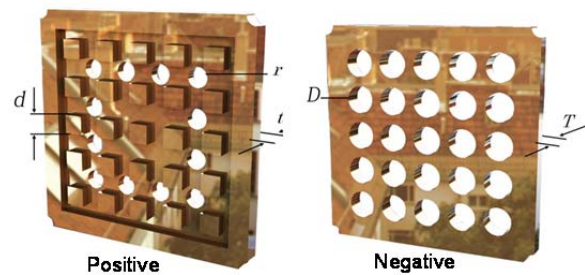


図 4 新たな電極対の構造

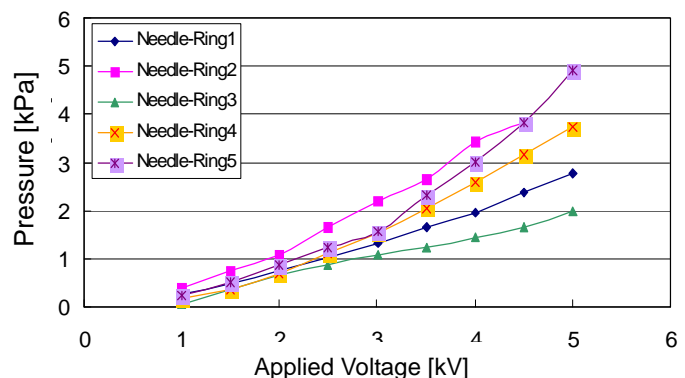


図 5 新しい電極形状による出力圧力の測定結果

外形体積を 90 分の 1 と大幅に小形化できる可能性が示された。しかし、この電極製作にはノウハウが必要で、実用化にあたり重要となる精密な電極の製法はまだ確立されていない。マイクロ放電加工法には限界があることが明らかとなったので、エッチングや半導体加工法など、新たな電極の製法を検討する必要がある。また今後の高出力化のカギは流動原理の解明にあると考えられる。

#### 4. 本課題の今後の展開

- A 公的な研究開発支援制度を活用して、産学共同に向けた研究開発を継続する  
【制度名： 科学研究費補助金】
- B 公的な研究開発支援制度を活用して、産学共同の研究開発を実施する  
【制度名：】
- C 民間企業の負担により、産学共同の研究開発を実施する
- D 産学共同に向けた研究開発を中断・中止する
- E 上記以外の進め方  
※具体的内容を以下の①今後の進め方に記載してください。

##### ① 今後の進め方

電極対の加工方法や微小流量の測定法など、さらなる小形・高出力化のために解決すべき課題は多い。また機能性流体 ECF の電界と流れ場に関する流動原理が未解明で、電極形状や配置の検討は、試行錯誤による実験的検討が先行している。今後は基礎的な流動原理解明への取り組みを積極的に進めたい。

##### ② 企業との連携について(コーディネータ等または企業の研究開発関係者記載)

###### ・企業へのアプローチ状況:

研究開発期間中に、研究開発担当者及びコーディネータの、企業への直接アプローチ等は特にありません。

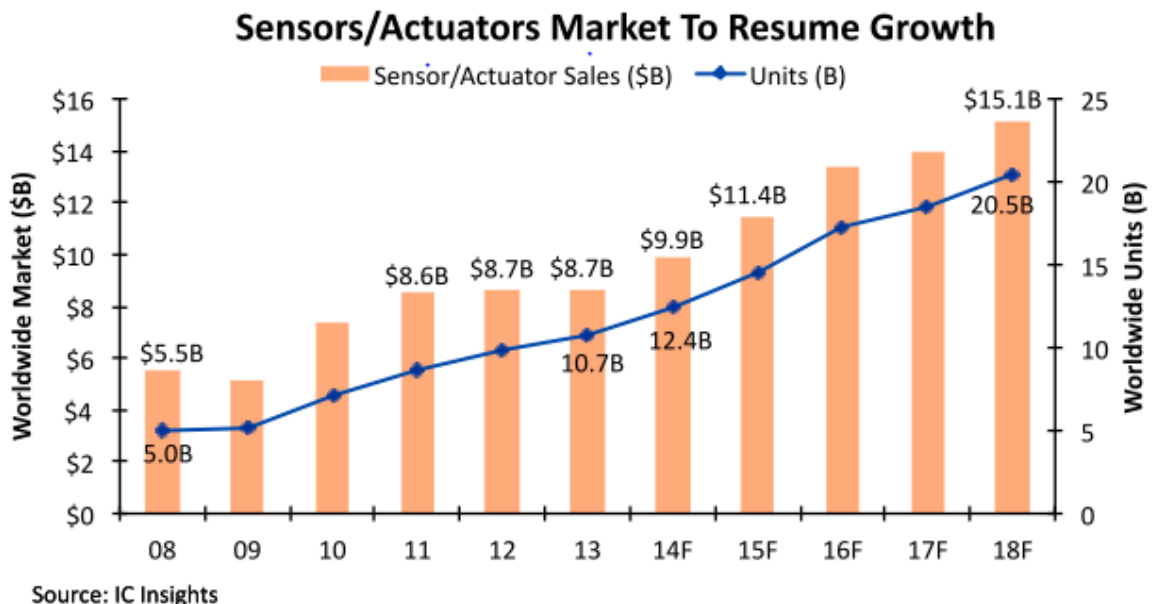
###### ・産業界のニーズ状況:

但し、研究開発担当者は、関連学会の研究会等で話題提供を行っており、その場を通して、電気駆動アクチュエータを製品化している企業や油圧駆動アクチュエータを製品化している企業等の技術者から高い関心を寄せて頂き、今更ながら力強い産業界のニーズを感じました。

###### ・実用化された場合に予測される市場規模:

最先端技術ゆえ、ずばり該当する各種調査、特に統計調査は見当たりませんが、下図の米 IC Insights 社の全世界「MEMS センサ./アクチュエータ」の実績統計と今後('14年以降)の予測データが参考になると思われます。今'14年が大きく飛躍し始める年になるようです。

既に'13年には100億個以上販売されており、これらを使った応用製品を考えると\$100B(約1兆円)以上の製品市場があるものと思われます。



③ 今後のフォローアップ活動予定(コーディネータ等または企業の研究開発関係者記載)

得られた研究成果については、JSTの技術移転プランナーのご指導、ご相談を頂きながら、研究開発者とコーディネータが二人三脚でフォローアップ活動を進めます。即ち、新技術説明会、イノベーションジャパン(2014年にはエントリー申込み済み)、産から学へのプレゼンテーションなどJSTの催しには可能な限りの積極的参加するとともに、JST広報誌や各種印刷物への可能な限りの積極的投稿するなど、得られた研究成果を幅広く、遍く、企業に周知頂き、企業パートナーの発掘に努める。

また得られた企業パートナーとともに、プログラムオフィサー/マネージャ(PO/ PM)のアドバイスを  
得て、A-STEP の次のステップであるステージ I (FSステージ)シーズ顕在化タイプ、更にステージ II (産学共同促進)、ステージ III(実用化挑戦)と必要に応じて研究開発の深掘りを進める。

## 5. 成果一覧(予定を含む)

知的財産権				
No.	特許等の名称 及び技術概要	出願番号 (出願日)	出願人	発明者
学術論文				
No.	タイトル	雑誌名	頁、巻、年など	著者
学会発表				
No.	タイトル	学会名	日付	発表者
1.	Comparative Study on Dynamic Characteristics of Hydraulic, Pneumatic, and Electric Motors	ASME/BATH 2013 Symposium on Fluid Power & Motion Control, FPMC2013	2013年10月7日	Yutaka Tanaka, Sayako Sakama, Kazuo Nakano, Hiroshi Kosodo
2.	機能性流体 ECF を用いたマイクロポンプモジュール (小形化と高出力化のための一提案)	平成 25 年秋季フルードパワーシステム講演会	2013年11月7日	田中 豊, 横田真一, 枝村一弥
展示会参加				
No.	タイトル	展示会名	日付	発表者
新聞・雑誌記事				
No.	新聞・雑誌名	日付・掲載面		
受賞等				
No.	賞名	機関名	日付	対象者

以下の項目については、事後評価の対象と致しません。

(その他)

① 知財活用等に関する要望事項

JSTに登録した特許について、JSTの果敢な技術移転の支援を期待しますと共に、今後の海外出願、国際出願に対する各種支援の量的拡大を頂けるとありがたいと思います。

② 産学連携活動に関する支援等要望事項

産学間のマッチングをとる際、大学の研究者が希望する企業に対し、企業から要望が来ていない場合、大学としての支援とともに、JSTの強力な支援が頂けるとありがたいと思います。