

## 流体が外力無しで自ら流れ出す不思議な現象

～「EHD(電気流体力学)現象」を応用した、新たな流体駆動型アクチュエータの開発～

東京電機大学工学部 機械工学科 先端機械コース 教授 三井 和幸

### 1. はじめに

油圧や空気圧など、流体の圧力を利用しシリンダやその他を駆動する技術、一般には油空圧技術と呼ばれ、最近では英語を用いてフルードパワーなどと呼ばれているが、このような技術を読者の方々にご存知だと思われる。この技術は歴史も古く、広く応用され、その基礎技術は完全に確立された技術となっている。この分野に、著者は研究室に所属する大学院生および学部4年生とともに、一瞬マジックかと思うような不思議な現象を応用し、根本から覆そうと研究を進めている。本稿では、その新しい変わった不思議な技術を紹介したいと思う。もちろんマジックのようだと言っても、インチキではなく、完全な工学的技術であるのでご安心頂きたい。

### 2. 一般的な油空圧機器の問題点

読者の方々もご存知の油空圧技術は、油圧や空気圧など流体と呼ばれる液体や気体に外力を加え、その結果として発生した圧力によっての動かす技術である。しかし、流体に外力を加える必要があるため、ポンプやコンプレッサなどの周辺機器が必要となってしまう、実際に力を出すために必要となる機器（アクチュエー

タ)以外の周辺機器があるために装置全体が大きくなり、また、振動や騒音の発生が問題となっている。これを解決するために、ポンプやコンプレッサなどの改良が図られ、小型で低騒音のものも利用されているが、やはり周辺機器があることには変わりなく、根本的な問題の解決にはなっていない。しかし、これを解決する方法は従来では試みられてはいない。なぜなら、周辺機器を無くすためには、液体や気体などの流体が外力無しで自ら流れ出すことが必要となり、通常の発想では、このような非現実的なことを試みようとする訳が無いからである。

### 3. EHD現象

既に述べたように、「流体が外力無しで自ら流れる」といった非現実的なことが実はできるのである。読者の方々には電気泳動という言葉はご存知であろうか。我々の研究室で行っている研究は、簡単に言えばこれをものすごく強くしたものである。具体的には、電気を流さない絶縁性の液体や気体に、(これも異常な方法であるが)あえて電圧を掛ける。しかも数kVという異常に高い電圧を掛けるのである。その結果、通常では想像できない現象、つまり絶縁性の液体や気体が電極間を流れ始め、電圧の大きさや、電極配置を工夫すると、強い流れ、す

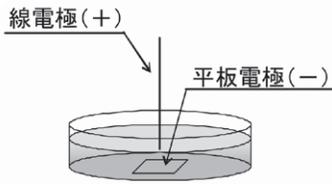


図1 絶縁性の液体の中に挿入した平板電極と線電極

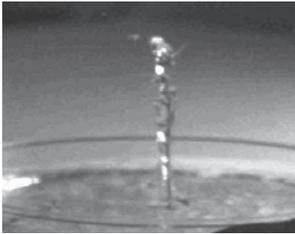


写真1 図1の電極の組み合わせに高電圧を印加したことにより、線電極を液体が上昇する様子

なわちジェット流となって流れ始めることがある。全ての絶縁性の液体や気体でこの現象が起こるとは言い切れないが、有る程度の条件が揃っていれば、この現象を発生させることが可能である。例えば図1に示すように、シリコンオイルなどの絶縁性の液体中に平板電極とこれに直交する形で配置した線電極の組み合わせを挿入すると、ポンプも無いのに液体が自ら線電極を下から上へと上って行く。この様子を示したものが写真1である。

この現象は、Electro Hydro Dynamics現象、略してEHD現象と呼ばれる現象で、日本語では電気流体力学現象と呼ばれるものである。この現象は、実は1950年代に日本人の数元氏により論文発表されているが、<sup>1)</sup> 現在のような強い流れを発生できる方法が見つかっていなかったため、殆ど実用化されてはいない。しかし、10数年ほど前ごろから、強い流れを発生できる流体が何種類か発見され、研究が進められている。ただ、その殆どが、マイクロマシンなどへの応用を目指したものである。それに対し我々の研究室では、マイクロマシンなど小さなものへの応用とは逆に、将来的に現在の油空圧技術に対抗するものを目指し、現実的な大きさ

の機器、特に医療や福祉ロボット等への応用を目指して研究を行っている。なお、この現象を発生させるために、絶縁性の流体にkVオーダーの高電圧を掛けるのだが、相手が絶縁性の流体であるため、電圧は高いが、流れる電流は数 $10\mu\text{A}$ から数 $100\mu\text{A}$ レベルであり、電力的にはたいしたことはない。そのため、これを応用すれば電池での駆動で、強い流れ、そして圧力が発生できるアクチュエータへと発展できるはずだと我々は考えた。

#### 4. EHD現象を使ったEHDポンプの開発

##### (1) EHDポンプの基本構造

我々の研究室では、既に述べたEHD現象で発生するジェット流をさらに強くかつ一方向性の流れとして発生させるために、図2に示すように、板状電極の上に上面を被膜し絶縁させた平板電極を斜めに配置する電極構成を試行錯誤の結果として考案した。<sup>2)</sup> そしてこれを基に図3のような一段のEHDポンプを作製したところ、印加電圧の上昇に伴い圧力・流量ともに上昇する傾向を示し、 $10\text{kV}$ 印加時には圧力 $3.1\text{kPa}$ 、流量 $8.6\text{ml/s}$ という一方向性のジェット流の発生が確認できた。

##### (2) EHDポンプユニット

(1)で示した板状電極と傾斜させた平板電極という電極構成で発生するEHD現象による一方向性のジェット流を利用し、連続的に液体を圧送するEHDポンプを開発することとした。

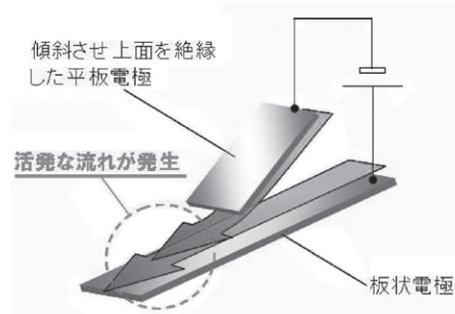


図2 考案した電極構成

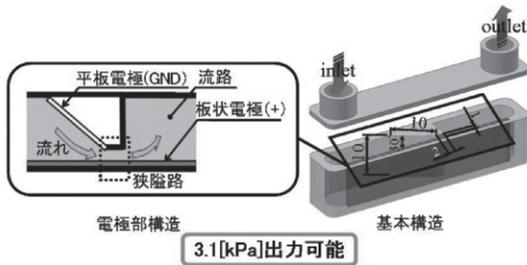


図3 一段のEHDポンプ

そのためまず基本となるEHDポンプユニットの開発を行った。このEHDポンプユニットは図4(a)に示す形状をしており、(b)に示すように使用する平板電極を切り替えることにより、流れの方向を変化させることができる。

(3) EHDポンプモジュールとそのシリンダ駆動

EHDポンプは、(2)で示したEHDポンプユニットを基に製作した。しかし、(1)で示したように、1段のEHDポンプユニットのみでは、出力される圧力が小さいため、圧力を上昇させるために、EHDポンプユニットを複数段直列に配置した構造を採用することとした。これをEHDポンプモジュールと呼ぶ。実際に試作したEHDポンプモジュールの形状を図5に示す。まず、ポンプモジュールの大きさは掌に収まる程度にすることとした。そしてEHDポンプユニットを可能な限り収め、結果として12段のEHDポンプユニットを流路内に直列配置した構造となった。なお、EHDポンプユニットを単純に12段直列に配置すると全体として細長くなってしまうため、流路を腸のように折りた

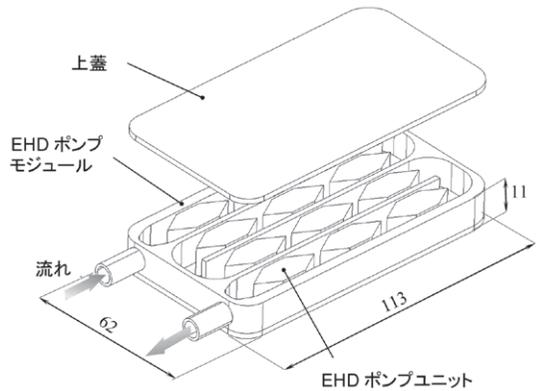


図5 12段構成によるEHDポンプ

たむ方法を採用した。

試作したEHDポンプモジュールの性能を調べたところ17kV印加時には毎分約2リットルを得ることができた。さらに、このEHDポンプモジュールのアクチュエータへの応用例の1つとして、写真2のように、試作したEHDポンプモジュールで空気圧シリンダの直接駆動を試みたところ、シリンダは3kVから動作を開始し、

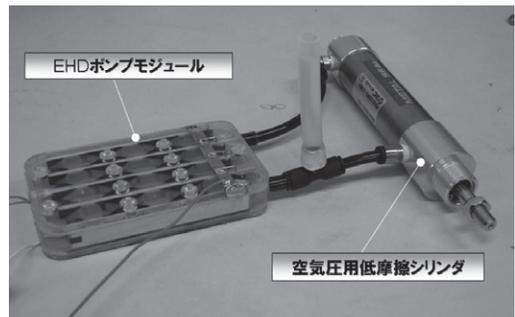


写真2 12段EHDポンプモジュールによるシリンダの駆動

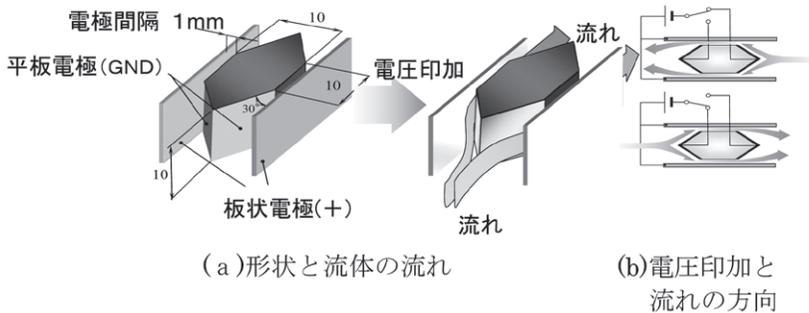


図4 基本となるEHDポンプユニット

印加電圧を高くするにつれ出力される力は増加する結果となった。また、流体の流れを反転させることによりシリンダの動作方向を逆転させることも可能であった。

現在では、5段のものから最大200段のEHDポンプモジュールを試作し、出力できる圧力は、瞬間値であれば、最大800kPaの出力が可能で、500kPa程度なら安定して出力することができている。数値的には約100kPaが1気圧に相当するので、800kPaというと8気圧となり、水で考えると80mも上昇させることができる圧力を出力できたことになる。

## 5. EHDポンプを用いた人工筋ロボットアームの試作

「4. EHD現象を使ったEHDポンプの開発」で示したように、EHD現象を利用し、かつ電極を多段にすることにより、小型で高圧力の発生が可能なEHDポンプの開発に成功した。そこで、将来的には介護ロボット等への応用を想定した写真3に示すような、上腕部の長さ130mm、前腕部の長さ110mmと、ヒトの腕の1/3程度の大きさのEHDポンプで駆動するロボットアームを試作した。このアームは、マッキベン型人工筋を模倣した自作の人工筋と、それを駆動する新たに試作した小型EHDポンプ、および作動流体のリザーバなど、これら全てを内蔵するもので、小型EHDポンプにより発生させた流体の圧力により人工筋を収縮させ、この

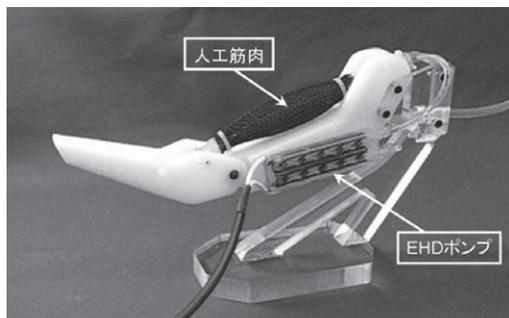


写真3 EHDポンプと人工筋によるロボットアーム

収縮により関節を駆動させる構造とした。

## 6. まとめ

これまで説明してきたように、EHD現象を自由に操れる電極構成を考案し、それを利用したポンプやアクチュエータの開発が可能となった。今後は、この技術を利用し、当初の目標であった医療福祉機器への応用や、さらには、従来の油空圧機器に置き換わる小型でコントロールのし易い機器を開発して行きたいと考えている。また、考案した電極構成を改良すれば、さらに小型化や高機能化ができるのではないかと考えている。

## 参考文献

- 1) 数元伊之助：液状誘電体が電極を上昇する現象，応用物理，Vol.25，p.264-265（1956）
- 2) 寺阪，三井他：EHD現象を応用した回転型アクチュエータの開発－EHDモータの開発－，精密工学会誌，Vol.74，No.1，pp.87-91（2008）
- 3) 三井，寺阪：EHD現象を利用した流体アクチュエータ，油空圧技術（日本工業出版），Vol.48，No.2，pp.1-4（2009）
- 4) 三井，寺阪：流体を機械的駆動部無しで駆動する技術－「EHD（電気流体力学）現象」の応用－，油空圧技術（日本工業出版），Vol.49，No.9，pp.22-26（2010）
- 5) 三井和幸：EHD現象利用ポンプの開発とアクチュエータへの応用，フルードパワーシステム，Vol.42，No.1，pp.33-36，（2011）
- 6) 寺阪，三井：EHD現象を応用した揺動運動型アクチュエータの開発，日本フルードパワーシステム学会論文集，Vol.42，No.5，pp.95-100（2011）