

要旨

電気流体力学現象とは、絶縁性液体に高電圧を印加すると流動が発生する現象である。電気流体力学現象を利用すると、液体中に電極を配置して電圧を印加するだけで流動が発生することから、機械的可動部を使用しない小型化のポンプを構築できると考えた。本研究の目的は、ANSYS CFX を使用して、陽極上において電荷密度が一定の値で一様に分布していると仮定し、流れの数値シミュレーションを行い、圧力差と電圧、電荷密度の関係を調査した。

1. 緒言

従来の流体デバイスを小型化する場合、機械的部品を小型化することが必要となるため、加工精度の条件が厳しくなり、製作コストも高くなってしまふ。そこで、電場に応答する特殊な流体である電気流体力学 (Electrohydrodynamic, EHD) 現象の利用が考えられる。EHD 現象とは、絶縁性液体 (または誘電性液体) に高電圧を印加すると流動が発生する現象である。EHD 現象を利用すると、液体中に電極を配置して電圧を印加するだけで流動が発生することから、機械的可動部を使用しないポンプすなわち EHD マイクロポンプを構築できる。また、EHD マイクロポンプは機械的可動部を使用しないため、高い静粛性も期待できる。具体的には、人工関節や複雑な動作を必要とするロボットのアクチュエーター、精密機器の温度制御装置への応用が期待されている。EHD マイクロポンプの開発における主要な課題は、EHD 現象が十分に解明されていないことである。現象のモデル化は設計に十分利用できるほど進んでいないため、開発は試行錯誤的であり、効率的でない状況にある。

EHD マイクロポンプの作動原理としては、電気力が液体内部に作用する場合と、電極表面上に形成される電気二重層に作用する場合が考えられている。さらに、前者についてはイオンドラッグ型 (または注入型)、電導型、および誘導型の三種類が考えられている。しかしながら、定量的な理論には至っていない。EHD マイクロポンプの開発を効率化するためには、EHD 現象のモデル化と、モデルを実装した数値シミュレーション手法の研究をさらに進める必要がある。

電極表面上における電荷密度としては、2つのモデルが考えられる。1つ目は、電極表面上において電荷密度が一定の値で一様に分布していると仮定するモデルである。電極からの電荷注入過程は定量的にはよくわかっていないことから、一般的に使用されるモデルである。2つ目は、局所的な状況に応じて電荷密度が非一様に分布していると仮定するモデルである。本研究では、SolidWorks2020、ANSYS社の各ソフトウェアを用いて、陽極上で電荷密度を一定値として3種類変化させ、流れの数値シミュレーションを行い、電圧、電場、速度分布、圧力差と電圧、電荷密度の関係を解明する。

2. 解析モデルおよび境界条件

解析モデルは上智大学 理工学部 機能創造理工学科 築地研究室で使われた実験装置の円管型電極対ポンプを再現した。実験装置を図1、寸法を図2、実験装置に20mmの流路を追加したモデルと境界条件を図3に示す。本研究では3次元流れ、非圧縮、層流の条件で、壁面境界条件はすべりなし条件とし、断面の流入条件を出入可能な条件



図1 実験装置 (1)

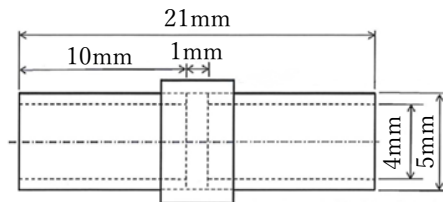


図2 実験装置の寸法

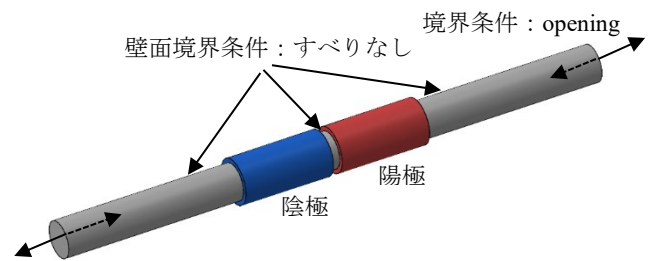


図3 解析モデルと境界条件

としている。なお解析には電極と流体領域のみ必要なため、モデルの電極左右の管路は流れ場のみ再現となっている。

3. 流れの数値シミュレーション結果および考察

3.1 電圧、電場および速度の可視化

計算は印可電圧 3000V, 1500V, 500V, 電荷密度 0.1C/m<sup>3</sup>, 0.01C/m<sup>3</sup>, 0.001C/m<sup>3</sup> を組み合わせた9条件で行った。なお、電荷密度に関しては、文献<sup>(2)</sup>を参考にして本研究の3種類を選定した。ポストプロセッサで得た結果の中で、電荷密度 0.01C/m<sup>3</sup>、印加電圧 3000V での長手方向断面の電圧分布を図4、電場分布を図5、速度ベクトルを図6にそれぞれ示す。図4よりポンプ中央から右側の陽極では、境界条件で設定した電圧の3000Vを、同様に左側の陰極では、0Vをそれぞれ示している。また図5よりポンプの中央部の電極間では電圧がゆるやかに変化していることが分かる。ポンプ

中央部に強い電場が発生しており、特に電極端に最も強い電場が生じている。また、拡大図より陽極から陰極に向かって発生していることも確認できる。一方、速度分布は図6より流路の中心が最も速度が速く、壁に近づくに連れて速度が減少していることが分かる。拡大図より全体の流れは陽極から陰極方向に流れていることが読み取れる。

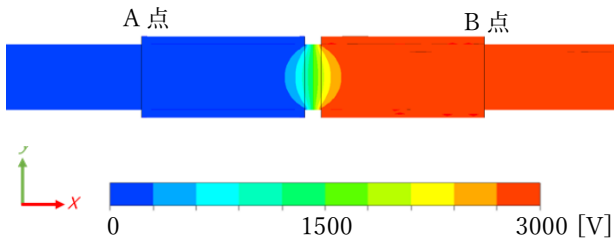


図4 電圧分布

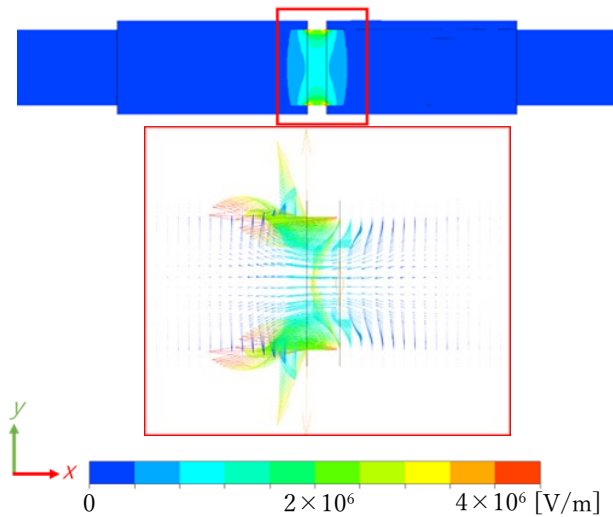


図5 電場分布

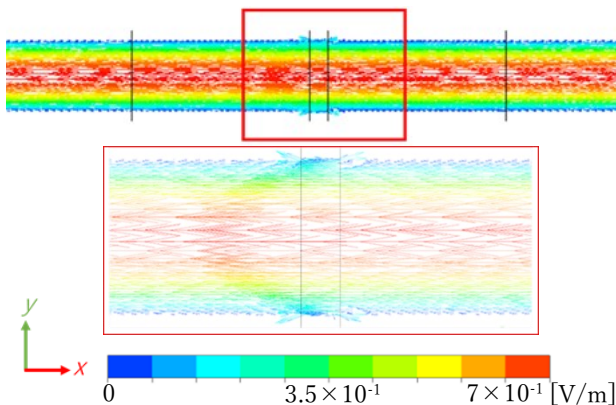


図6 速度分布

### 3.2 圧力差と電圧、電荷密度の関係

一定の電荷密度での電圧と圧力差との関係を図7に、一定の電圧での電荷密度と圧力差との関係を図8に示す。圧力差については、図4に示すA点とB点に面を作成しその

面間での圧力差を測った。A点とB点の間で発生する圧力差は電圧と電荷密度の両方に比例することが分かった。

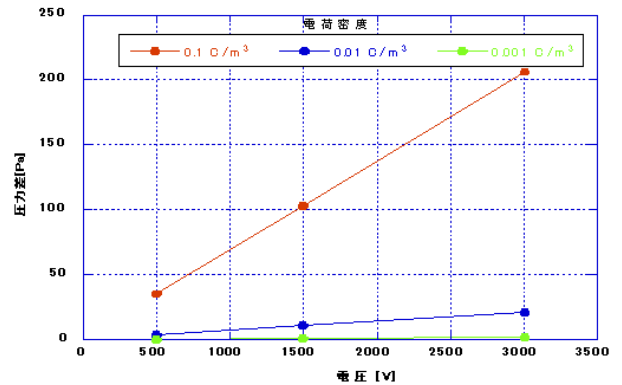


図7 電圧と圧力差の関係

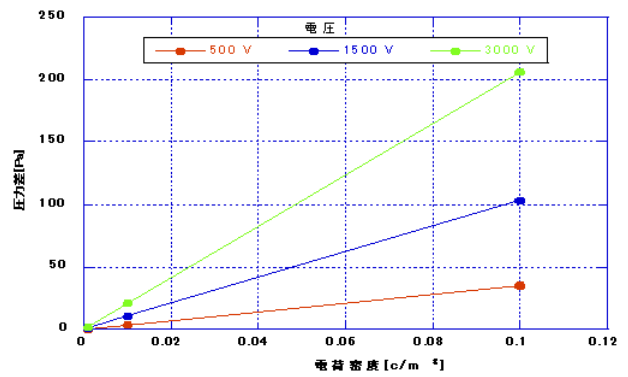


図8 電荷密度と圧力差の関係

## 4. 結言

本研究では、円筒型電極を使用したイオンドラッグポンプモデルにおいて、電極上での電荷密度を一定値としてCFD解析を行い、電圧、電界、速度分布、電圧と圧力差の関係を算出した。以下に知見を示す。

1. EHD現象において、今回作動流体として扱ったHFE-7100は、陽極方向から陰極方向に向けて、流動することが分かった。
2. 流路間において発生する圧力差は電圧と電荷密度に比例することが分かった。
3. 一方的に流動していたため、ポンプとして実用に使用することが可能ということが分かった。

今後は、意図的に電荷密度を陽極面上に分布させて一定の場合と比較、検討していきたい。

## 参考文献

- (1)宮原宏平, “機能性流体を利用したポンプに関する研究”, 上智大学大学院理工学専攻理工学研究科修士論文, (2013).
- (2)関純一, 松川豊, “EHD マイクロポンプ内流れの数値シミュレーション”, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 827(2015).