

OpenFOAM を用いた EHD ポンプ内の流動場および電磁場の解析

杉岡健一^{1†} 根来昌史¹ 村田尋斗¹ 中山勝之² 小柳健一¹

¹富山県立大学 ²オープン CAE 勉強会@富山

Flow and electric fields analysis in EHP pump by OpenFOAM

Ken-ichi SUGIOKA^{*†} Masashi NEGORO^{*} Hiroto MURATA^{*} Katsuyuki NAKAYAMA^{**} Kenichi KOYANAGI^{*}

^{*}Toyama Prefectural University ^{**}OpenCAE Study Group @ Toyama

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Electric Hydro Dynamics, Electric Field Analysis, OpenFOAM

1. 緒言

近年、コンピュータによって作り出された空間内で、様々な事象を現実として知覚、体験できる、バーチャルリアリティ(Virtual Reality, 以下 VR)の技術が注目されている。この技術を用いることで、自分自身の五感を介して目の前に存在しない世界を体感することが可能となる。VR 技術のひとつに、力覚提示システムがある。力覚を提示することでその場の臨場感を高める効果があり、アミューズメントだけでなく、リハビリテーションなど様々な分野での実用化が期待されている。

既存のグローブ型力覚提示デバイスとして、Cyber grasp^[1] が挙げられる。このデバイスはアクティブ型と呼ばれ、アクチュエータとして主にモータが用いられている。そのため、モータの暴走などの危険性ははらむ。またモータの自重や部品の多さから、装置の重量の増大、大型化などにより、装着の困難さ等の不利点も有している。

ER 流体や EHD 流体といった柔軟かつ、軽量の機能性流体を関節部分のポンプに使用できれば、それらの不利点の解消が可能になる。またこれらの機能性材料は制御が容易であるという特徴を持つためモータの代用として利用することが望ましい。そこで筆者ら^[2] は機能性流体を用いた小型・軽量・柔軟な EHD ポンプの開発を行っている。開発されたポンプの概略図を図1に示す。直径 10mm 程度の円筒形で、小型でありグローブに設置し、流体を動かすことは可能だが、出力が十分ではない。他の同様の EHD ポンプは直列に接続し、高出力化を図っているが、本研究で望まれる小型・軽量という条件から外れてしまう。

そこで、EHD ポンプの高出力化を行うには、EHD ポンプ内で起こる現象を把握して、装置設計の最適化をする必要がある。それを行うには、内部の流動および電場の把握に有効な手法の開発が必要である。そこで、本研究では OpenFOAM を用いて、EHD ポンプ内部の流動および電場の解析を行った。

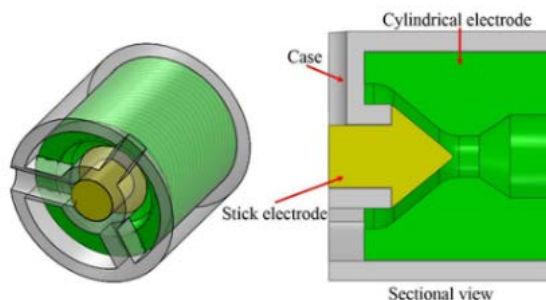


Fig.1 Schematics of actuator part of EHD pump ^[2]

[†] E-mail address of corresponding author: sugioka@pu-toyama.ac.jp

2. 計算対象および計算手法

今回解析を行うモデルは図 1 に示すものであり、寸法は直径 10 mm, 長さ 30 mm, 計算格子数を(25,25,100)とした。また形状変更を行う際は電極間の間隔を保持する, 外径を変更しない, ケースの厚みを確保するという点に注意して行う。

流動場の解析は、pimpleFoam(OpenFOAM ver.4.1)を用いて行った。境界条件として入口は自由流入, 出口は自由流出条件, 壁面は nonslip 条件を与えた。圧力境界条件は入口で 0.2Pa, 出口で 0Pa とし, 壁面では圧力勾配が無いとした。また内部流体の物性は水と同様として計算を行った。計算するモデルは前述の筆者らの開発したポンプ形状(図 1)であり, 形状モデルの概略を図 2 に示す。

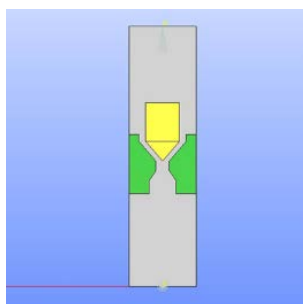


Fig.2 Cross section of Model

その形状から流動抵抗低減のための変更を行った。1 点目は電極部分の勾配の緩和, 2 点目は流体の合流地点の縮流部の除去, 3 点目は合流した後の流路の拡大を行い(図 3), 流動抵抗の低減効果を評価した。

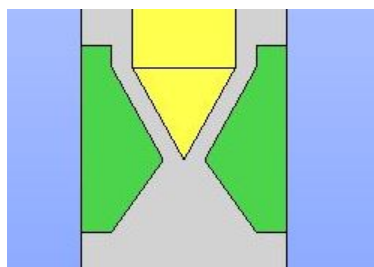


Fig.3 Cross section of Modified Mode

電場の解析は electrostaticFoam(OpenFOAM ver.4.1)を用いて行った。境界条件として陽極には 1kV, 陰極部には 0V, 絶縁体部には勾配なし条件を与えた。計算するモデルは前述の筆者らの開発したポンプ形状(図 1)であり, 形状モデルは前述の図 2 に示すものを用いた。

3. 計算結果および考察

3.1. ポンプ内の流動場

現在のポンプ形状(図 2)で流動解析を行った結果, 本研究で設定した条件では, 出口流量が $1.08 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ であった。この結果から圧力損失係数を算出すると, 7.04×10^3 であった。同様に, 流体抵抗の低減を目的としたモデル(図 3)では出口流量が $1.51 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$, 圧力損失係数は 3.62×10^3 となり, およそ 50%の流体抵抗低減を実現できることが分かった。

3.2. ポンプ内の電場

図 4 に現在のポンプ形状(図 2)におけるポンプ内の静電ポテンシャルの分布を示す. 赤色は静電ポテンシャルが高い状態, 青色が低い状態である. 電極間に大きな勾配が存在することが分かる. 本研究で利用する EHD ポンプは, 機能性流体に大きな電場勾配を与えることで, 電歪現象を誘起し, 電磁力を発生させることで, 流体を駆動させる. その際, 電磁力は電場の方向に働く. 本計算結果から, 電場により生じる電磁力の大部分は電極に対して垂直方向に働き, 流体を駆動する方向には働かないことが分かった. そのことから, 効率的に流体の駆動させる形状への変更が必要であることが分かった.

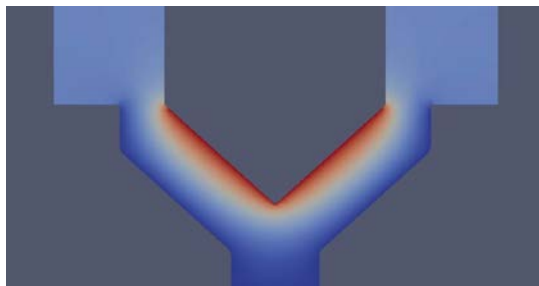


Fig.4 Electric potential in EHD pump

4. 結言

EHD ポンプのアクチュエータ部における入口, 合流部, 出口の 3 点の構造を変化させた結果, 初期形状より出口流量が約 1.5 倍に増加した. その結果から圧力損失係数を算出すると, 形状変更により約 50%の流体抵抗の低減が確認された.

EHD ポンプ内部の電場解析を行った結果, 解析対象とした形状では, 電場により生じる電磁力の大部分は流体を駆動する方向には働かないことが分かった. そのことから, 効率的に流体の駆動させる形状への変更が必要であることが分かった.

参考文献

- [1] CyberGloveSystems. CyberGrasp. <http://www.cyberglovesystems.com/cybergasp/>, (accessed 2018-11-2).
- [2] 金嶋ら 日本機械学会 北陸信越支部学生会 第 46 回学生卒業研究発表講演会論文集