



# マイクロEHDコンダクションポンプに関する研究

プロジェクトメンバー: 機械工学課程 植田 朋哉  
機械工学系 西川 理仁、横山 博史、柳田 秀記

## 緒言

### 電気流体力学(Electro hydro dynamics, EHD)ポンプ

絶縁性流体に高電界を印加した際クーロン力により生じる流動現象を利用したポンプ

特徴: 機械的駆動部が不要, 省スペースが容易等.

作動原理:

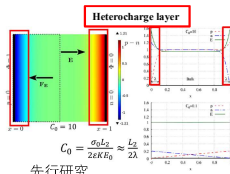
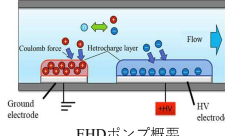
- ①液体に高電圧を印加②ヘテロチャージ層形成
- ③電荷に対して非対称のクーロン力が起こり, 流れが発生

### 先行研究

- ① 平行平板電極を用いたポンプのスケールの減少に伴い, ヘテロチャージ層が消失する
- ② 先行研究の電極配置では, ポンプとして動作しない

### 目的

ポンプとして動作する電極配置を用いたEHDポンプを製作し実験を行い, 数値解析を用いてポンプ特性を調査する



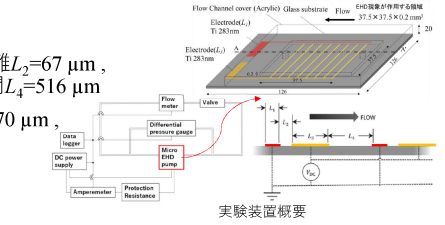
先行研究  
(平行平板電極を用いたポンプ)  
P.A. VÁZQUEZ, M. TALMOR, J. SEYED-YAGOOBI, et al. In-depth description of electrohydrodynamic conduction pumping of dielectric liquids: Physical model and regime analysis. Physics of Fluids 31, 113601 (2019).

## 実験装置

電極寸法:

- HV電極 $L_1=37\ \mu\text{m}$ , 電極間距離 $L_2=67\ \mu\text{m}$ , Ground電極 $L_3=135\ \mu\text{m}$ , Pair間 $L_4=516\ \mu\text{m}$
- Pair数 100 pair, 流路高さ $h=170\ \mu\text{m}$ , 流路幅 $w=37.5\ \text{mm}$

作動流体: Novec7100



①Tiスパッタ

②レジスト塗布

③露光

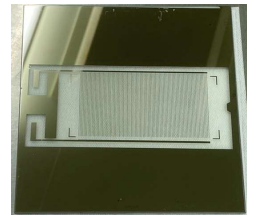
④現像

⑤HFエッチング

⑥レジスト除去



電極部作成方法



完成したTi電極

## 数値解析方法

仮定: 定常, 層流, 非圧縮性, 外力はクーロン力のみ

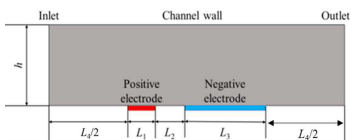
解析領域: 電極1対分

支配方程式

流れ場: 連続の式, クーロン力を加えたナビエ・ストークス方程式  
電場: ガウスの法則, 解離の電界依存性を考慮した電荷の保存則

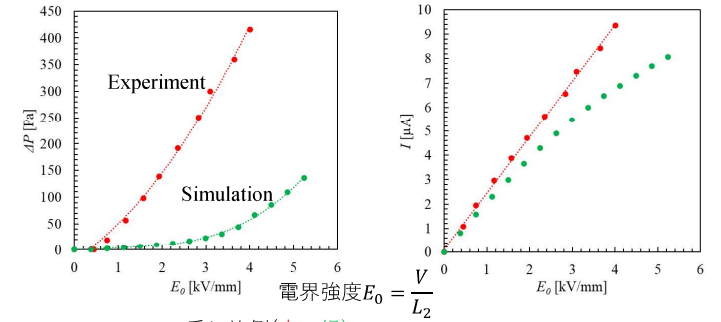
解析モデル

作動流体(Novec7100)



Physical properties	Novec7100
Density $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1520
Conductivity $\sigma$ [S/m]	$1.4 \times 10^{-8}$
Ionic mobility $\mu_i$ [m <sup>2</sup> ·Vs]	$1.4 \times 10^{-8}$
Relative permittivity $\epsilon$ [-]	7.52
Viscosity $\mu_f$ [Pa·s]	0.00058

## 実験と解析結果の比較



- $\Delta P$ :  $E_0$ の2乗に比例(赤, 緑)
- $I$ :  $E_0$ に比例(赤),  $E_0$ が大きくなると比例関係がなくなる(緑)

- 実験と数値解析の結果に違いがある考えられる理由
- ① 高電界強度時に電荷注入現象が発生している(実験)
- ② 作動流体の物性値の変化を再現できていない(解析)

## ヘテロチャージ層に及ぼす電界強度の影響

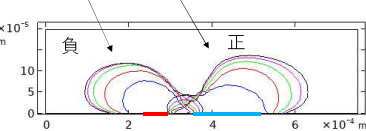
流量0

青: 1 kV/mm, 赤: 2 kV/mm,

緑: 3 kV/mm

ピンク: 4 kV/mm, 黒: 5 kV/mm

ヘテロチャージ層



$E_0$ [kV/mm]	ヘテロチャージ層高さ(負)[ $\mu\text{m}$ ]	ヘテロチャージ層高さ(正)[ $\mu\text{m}$ ]	比 [-]
1	75	70	1:0.93
2	100	110	1:1.1
3	110	125	1:1.14
4	120	135	1:1.13
5	120	140	1:1.17

- 先行研究\*と同様に, 正負のヘテロチャージ層の重なりが観測された.
- 電界強度の増加に伴い, ヘテロチャージ層の重なりが大きくなった.
- 電界強度2 kV/mm以上で, ヘテロチャージ層高さの非対称性が増す. →ヘテロチャージ層高さの非対称性の増加は, 発生圧力の増加につながる

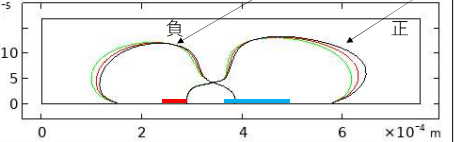
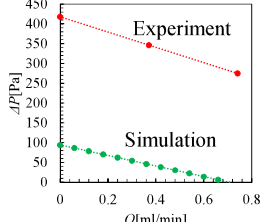
\* M. Talmor et al. J. Electrostat., 111 (19) (2021)

## ヘテロチャージ層に及ぼす流量の影響

電界強度 $E_0=4\ \text{kV/mm}$ ( $C_0=0.13$ )

緑: 流量0 赤: 流量0.36 ml/min

黒: 最大流量0.66 ml/min ヘテロチャージ層



流量 $Q$ [ml/min]	ヘテロチャージ層幅(負)[ $\mu\text{m}$ ]	ヘテロチャージ層幅(正)[ $\mu\text{m}$ ]	比 [-]
0	288	330	1:1.15
0.36	278	344	1:1.24
0.66	270	360	1:1.33

- EHDポンプによって発生し得る流量の範囲: ヘテロチャージ層は右側に30  $\mu\text{m}$ 広がる. 電荷の保存則の対流項と電気泳動項を比べると $u/\mu_i E_0=0.023$ となり, 対流項の影響は小さい.
- ヘテロチャージ層の幅は, 流量の増加に伴い非対称性が増す.