

マイクロスケールEHDポンプの開発

プロジェクトメンバー: 機械工学課程 木佐 貴 陸久
機械工学系 西川 理仁、横山 博史



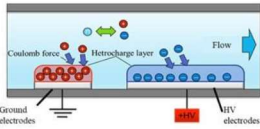
緒言

電気流体力学【EHD, Electrohydrodynamics】ポンプ
絶縁性の液体中で高電界を印加した際にクーロン力により生じる流動現象を利用したポンプ

利点: 機械的可動部が不要
⇒省スペース化が容易, 低振動・低騒音

宇宙機器などへの応用

原理 (コンダクション現象)
液体に高電界を印加すると電極上にヘテロチャージ層が形成。電極形状の非対称性により、クーロン力が非対称になることで流れを生む

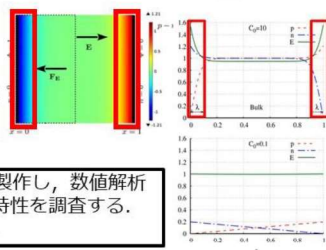


研究背景
スケールが小さくなることで
HV側とGround側のヘテロチャージ層が重なる
⇒ヘテロチャージ層が消失

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).

研究目的

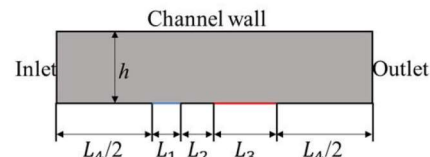
本研究ではマイクロスケールでのEHDポンプを製作し、数値解析と実験結果よりマイクロスケール下でのポンプ特性を調査する。数値解析ではイオン移動度に注目して調査した。



数値解析

解析条件
仮定: 定常, 層流, 非圧縮性, 外力はクーロン力のみ
解析対象: 電極1対

支配方程式
流れ場: 連続の式, コ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, 解離電荷に対する電荷の保存則



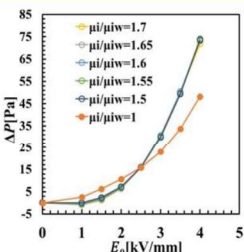
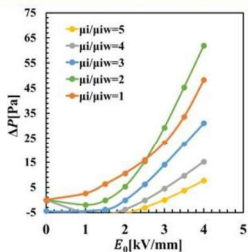
解析モデル

作動流体各物性値

Physical properties	Novoc7100[19°C]
Density ρ [kg/m ³]	1494
Conductivity σ [S/m]	1.4×10^{-8}
Ionic mobility μ_i [m ² /(V·s)]	1.4×10^{-8}
Relative permittivity ϵ [-]	6.9
Viscosity μ_f [Pa·s]	0.00074

Michelle, Vázquez, Nicolas: Experimental Models of the Variation of HFE-7100 and HFE-7000

イオン移動度の調査



電界強度に対する発生圧力 (広い範囲)

電界強度に対する発生圧力

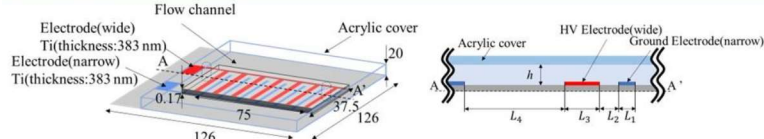
Walden則より得られたイオン移動度
 $\mu_{iw} = 1.4 \times 10^{-8}$ [m²·Vs]
 μ_i : C倍されたイオン移動度
 $\mu_i/\mu_{iw} = C$ [C: 倍率]

・3倍から5倍にかけて発生圧力は減少傾向

1倍から2倍の間を詳しく調査

・1.55倍までは圧力は上昇傾向にあるが1.6倍以上からは最大圧力が減少していく
・1.55倍が最も実験結果に近づく
⇒したがって、1.55倍を本実験においてのイオン移動度とした

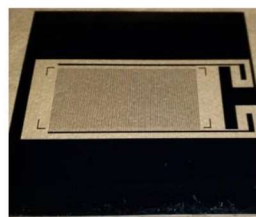
EHDポンプ・Ti電極



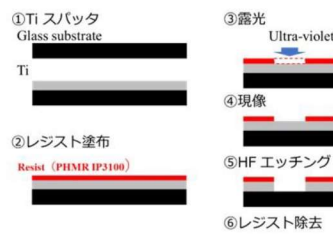
流路高さ $h = 170 \mu\text{m}$
流路幅 $w = 37.5 \text{ mm}$
電極Pair数: 100対
作動流体: Novoc7100

Ground 電極(Narrow) $L_1 = 43 \mu\text{m}$
電極間距離 $L_2 = 58 \mu\text{m}$
HV 電極 (Wide) $L_3 = 144 \mu\text{m}$
電極Pair間距離 $L_4 = 507 \mu\text{m}$

EHDポンプ概略図



作製した電極

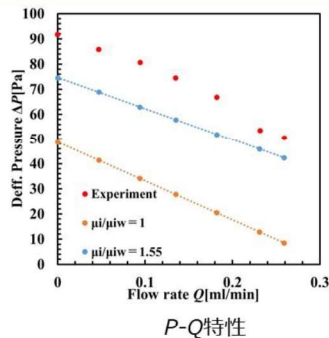


作製手順

P-Q特性 実験結果と数値解析の比較

Walden則より得られたイオン移動度
 $\mu_{iw} = 1.4 \times 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$

実験結果: 赤色
 $\mu_i/\mu_{iw} = 1.00$: 橙色
 $\mu_i = \mu_{iw} \times 1.00 = 1.40 \times 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$
 $\mu_i/\mu_{iw} = 1.55$: 青色
 $\mu_i = \mu_{iw} \times 1.55 = 2.17 \times 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$

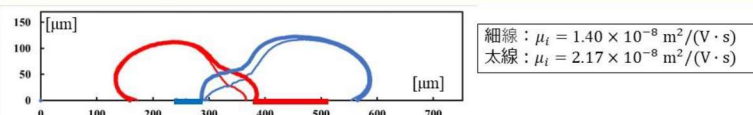


P-Q特性

・実験結果と解析結果では数値が離れている
・ $\mu_i = 1.40 \times 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ を用いた解析結果と
 $\mu_i = 2.17 \times 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ を比較すると圧力が大きくなっている

⇒実験結果と数値解析とで違いがある
作動流体の各物性について詳しく調査する必要がある

ヘテロチャージ層の比較



ヘテロチャージ層の厚さ

$$\lambda_h \approx \mu_i E_0 \tau_\sigma = \mu_i E_0 \frac{\epsilon}{\sigma}$$

μ_i : イオン移動度 [m²/(V·s)]
 E_0 : 電界強度 [kV/mm]
 τ_σ : 緩和時間 [s]
 ϵ : 流体の誘電率 [F/m]
 σ : 導電率 [S/m]

	Heterocharge layer width (Posi)[μm]	Heterocharge layer width(Neg)[μm]	Ratio[-]
1	187	239	1 : 1.28
1.55	219	289	1 : 1.32

	Heterocharge layer thickness (Posi)[μm]	Heterocharge layer thickness(Neg)[μm]	Ratio[-]
1	111	117	1 : 1.05
1.55	112	123	1 : 1.10

・イオン移動度を $\mu_i = 1.40 \times 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ から $\mu_i = 2.17 \times 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ に大きくするとヘテロチャージ層も大きくなることわかる
・それに伴い、非対称性も増加している
⇒非対称性が大きくなることで圧力が増加していると考えられる