マイクロプラズマアクチュエータを用いた流れ方向制御の実験および数値計算

伊藤 暁彦[1]，Marius Blajan[2]，米田 仁紀[3]，清水 一男[1,2]

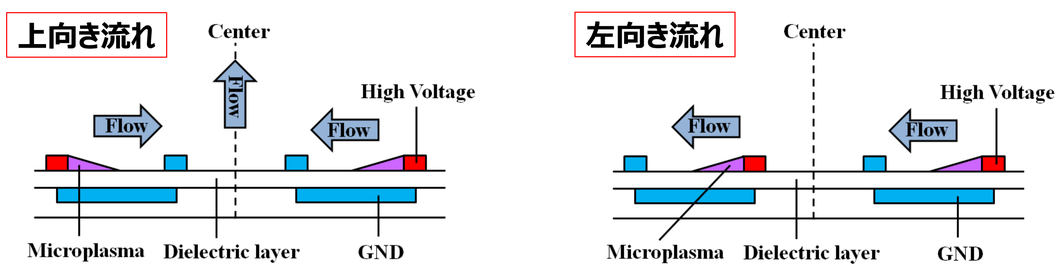
[1] 静岡大学大学院総合科学技術研究科　[2] 静岡大学イノベーション社会連携推進機構　[3] 電気通信大学レーザー新世代研究センター

マイクロプラズマアクチュエータは約1kVでの駆動が可能であるため，印加電圧を比較的容易に制御することができる．本研究では4つの独立したチャンネルから構成されている多電極マイクロプラズマアクチュエータを用いて，上下左右などのさまざまな誘起流の生成と制御を行い，PTV法を用いて上向きおよび左向き流れの観測・測定を行った．

また，実験と同時にSuzenモデルを用いた数値計算も行い，両者で得られた結果の比較を行った．本計算では，電極構造等は実際に使用したマイクロプラズマアクチュエータと類似するように設定した．その結果，実験結果に近い値と，実験では観測困難な電極表面近傍での誘起流速の最大値が得られた．

1. 目的

下図のように上側電極への印加電圧を制御することで流れ方向を変えることが可能



マイクロプラズマアクチュエータにより発生する誘起流は電極近傍に集中
一方で，電極近傍は電極からの反射光などの影響により測定が困難

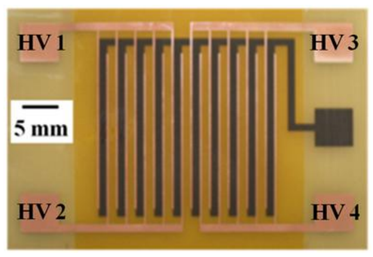
実験（PTV法を用いた測定）とともに数値計算を行い，両者の結果を比較

2. 実験方法

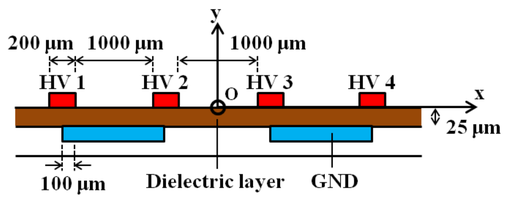
実験条件

マイクロプラズマアクチュエータ

Top view

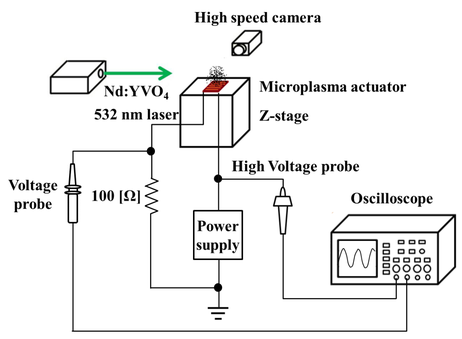


Side view



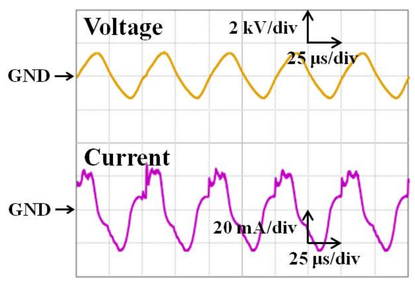
- 半導体スイッチを用いて，上部電極であるHV1~4に印加する電圧を制御
- 下側電極はGNDに接続

実験装置図



電圧電流波形

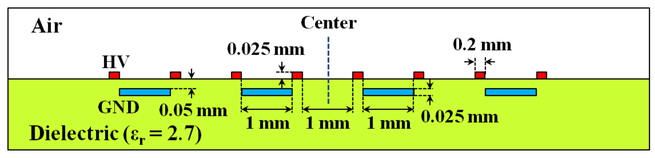
AC (1.4 kV & 20 kHz)



- 密閉空間に線香の煙を散布し，照射したレーザーの散乱光を高速度カメラで撮影することで誘起流を可視化

数値計算

数値計算における電極構造

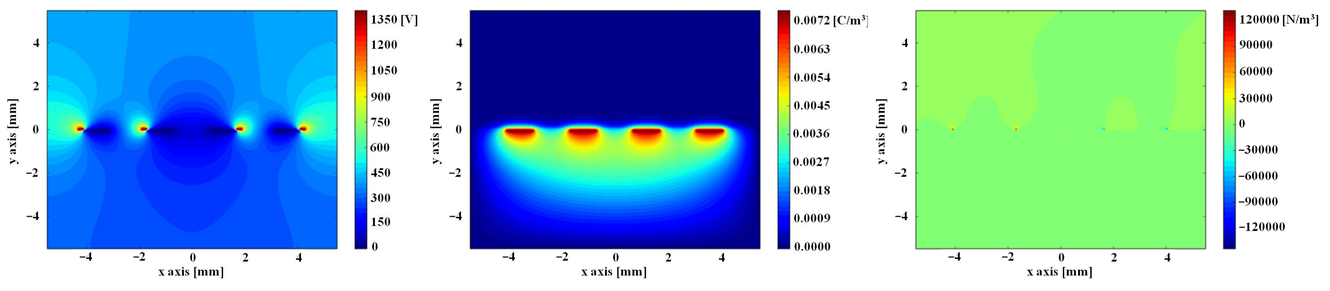


Suzen モデル

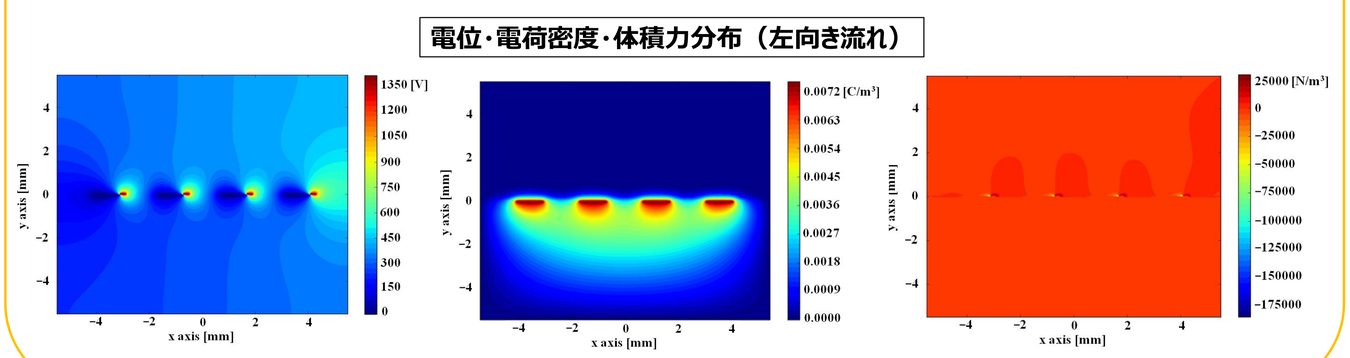
電荷分布を仮定し電界を計算することで体積力分布が求まる

⟶ Navier-Stokes方程式を用いて誘起流のベクトル分布図が得られる

電位･電荷密度･体積力分布（上向き流れ）



電位･電荷密度･体積力分布（左向き流れ）

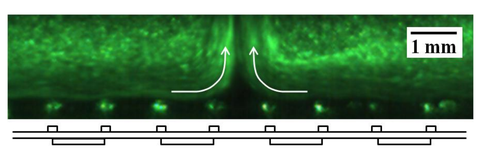


3. 結果

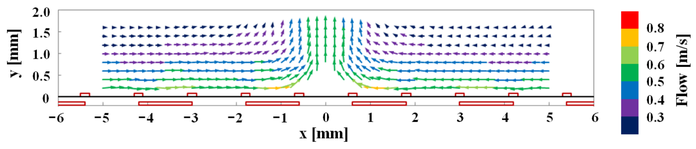
上向き流れ（60 ms 後）

HV1およびHV4に電圧を印加
⟶ 中心で上向き流れが発生

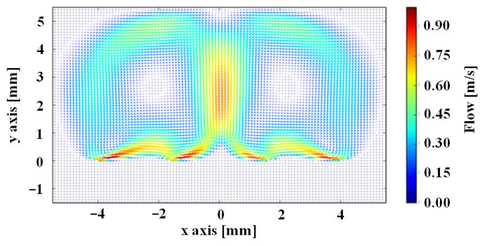
Visualized flow



PTV results



Simulation results

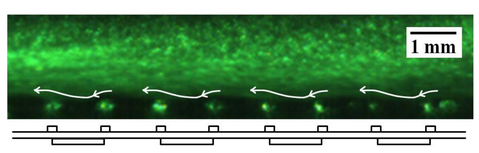


- 中心に向かう２つの誘起流が衝突し，上向き流れが発生
- 最大誘起流速　（電極近傍）
  実験：0.8 m/s ⟷ 数値計算：1.0 m/s
- 上向き流れの流速
  実験：0.6 m/s ⟷ 数値計算：0.7 m/s

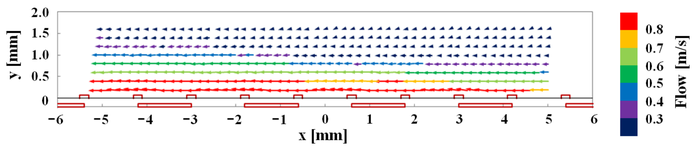
左向き流れ（50 ms 後）

HV2およびHV4に電圧を印加
⟶ 全体として左向き流れが発生

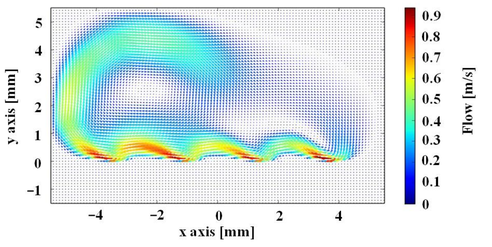
Visualized flow



PTV results



Simulation results



- 左方向へ徐々に加速していくような流れが発生
- 最大誘起流速　（電極近傍）
  実験：1.1 m/s ⟷ 数値計算：1.0 m/s
- 数値計算では境界での流れをゼロと仮定しているため，左端で上向き流れが生じている

4. 結論

- 半導体スイッチを用いて印加する電圧を制御することで，マイクロプラズマアクチュエータによる誘起流の生成と制御ができた．
- HV1およびHV4にAC電圧（1.4 kV & 20 kHz）を印加した場合，実験，数値計算でそれぞれ約0.6 m/s および約0.7 m/s の上向き流れが得られた．
- HV2およびHV4にAC電圧（1.4 kV & 20 kHz）を印加した場合，実験，数値計算でそれぞれ最大約1.1 m/s および約1.0 m/s の左向き流れが得られた．
- 数値計算において，実験では観測困難であった電極表面近傍の誘起流も得られ，最大流速は約1.0 m/s であった．