

DBD プラズマアクチュエータにおける体積力特性解明に向けた放電過程の数値解析

報告書番号：R17JACA16

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4282/>

● 責任者

大西直文 東北大学

● 問い合わせ先

大西直文 ohnishi@rhd.mech.tohoku.ac.jp

● メンバ

大西直文,佐藤慎太郎

● 事業概要

新たな能動的気流制御デバイスとして大気圧放電を利用した Dielectric-Barrier-Discharge Plasma Actuator (DBD-PA) に関する研究が数多く行われているが、誘起速度が小さいために高速気流中での制御効果が得られないことが課題である。DBD-PA は放電に起因する電気流体力によって流れを誘起しており、放電現象の解明は性能向上に向けて取り組むべき課題の 1 つである。本研究では、放電から誘起流れまでを統一的に解析する数値シミュレーションを行うことで、DBD-PA における詳細な放電過程の解明および電気流体力の生成に適した電圧波形の提案を目指している。

<http://www.rhd.mech.tohoku.ac.jp/>

● JSS2 利用の理由

本研究はナノ秒オーダーの放電現象とミリ秒オーダーの流れ現象を同時に扱うために、計算負荷は莫大なものになる。加えて、放電過程の数値計算には荷電粒子の運動と電位に関する Poisson 方程式をタイムステップ毎に解く必要があるため、計算の実施にはスーパーコンピュータの利用が必要不可欠である。さらに、印加電圧波形が放電形態や誘起流れ場に与える影響についての調査には、電圧波形を変えた計算を複数行う必要があるために JSS2 を利用している。

● 今年度の成果

本年度では、プラズマアクチュエータの性能向上に向けて誘電体の帯電サイクルに着目し、正弦波電圧ではなく、DC 電圧とナノ秒パルス電圧を重ねさせた波形を提案した。まず、本研究で提案した電圧波形を印加した時の放電過程の数値計算を行い、従来よりも大きな EHD 力を生成できることを示した (図 1)。

従来は帯電サイクルは 4 行程で形成されていたが、本研究で提案した手法は 2 行程のみでサイクルを形成する方式であり、ナノ秒パルス電圧によって荷電粒子の生成・誘電体表面電荷の除去を行い、

DC 電圧によって荷電粒子を加速することができることを示した。

次に、静止気体中で誘起される流れ場の数値計算を行った。ただし、流れ場が定常になるまでに必要な 100 ms 程度の時間に対し放電と誘起流れの密結合計算を行うことは現実的ではない。そこで、誘起流れ場の計算には、EHD 力と放電に伴う加熱によるエネルギー生成項のデータマップを作成することで流れの計算を行った。

その結果、誘電体表面に対して平行に噴流が形成されることを確認し、またパルス電圧印加時における局所加熱の影響により、繰り返しパルスと同じ周波数でブラスト波が形成されることも確認できた (図 2)。

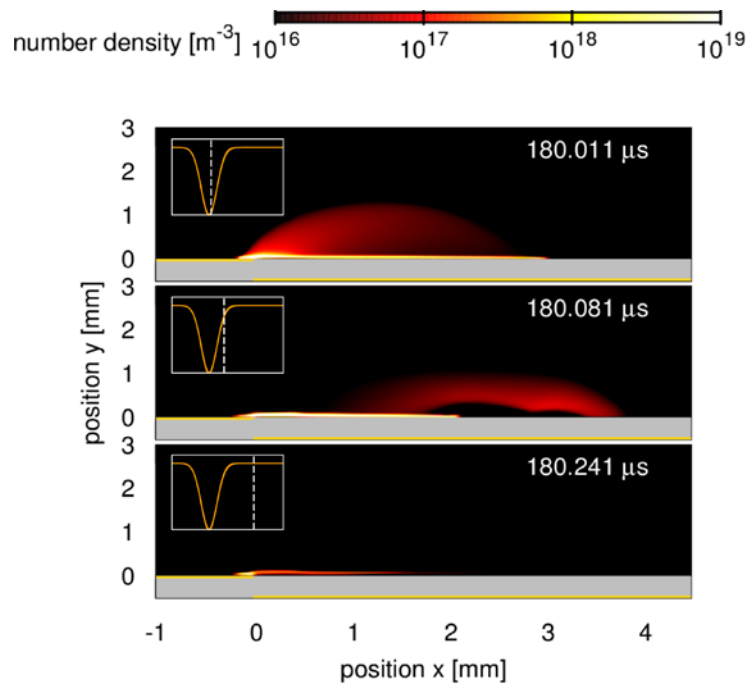


図 1 パルス電圧印加時の電子の数密度分布

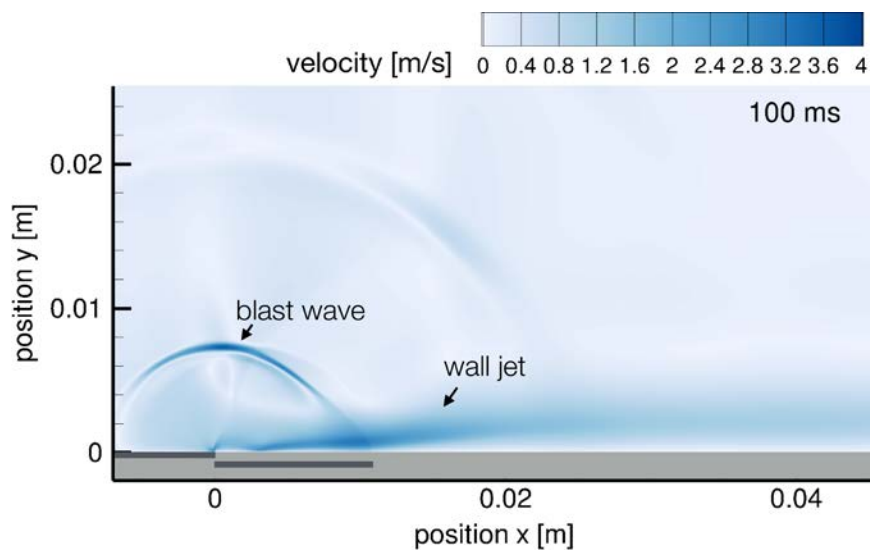


図 2 静止気体中で誘起される流れ場
(8 kV DC 電圧に 25 kHz の周波数でパルス電圧を重ね)

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Enhanced electrohydrodynamic force generation in a two-stroke cycle dielectric-barrier-discharge plasma actuator', Applied Physics Letters 110, 194101 (2017).
- 2) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Computational study of body force production process and performance improvement in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, accepted.

● 査読なし論文

- 1) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Induced flow simulation with detailed discharge modeling in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', AIAA paper 2018-1293 (2018).

● 口頭発表

- 1) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Computational study of body force production process and performance improvement in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', 31st International Symposium on Space Technology and Science, 26th International Symposium on Space Flight Dynamics & 8th Nano-Satellite Symposium, Matsuyama, June 3-9, 2017.
- 2) 佐藤慎太郎, 高橋 聖幸, 大西 直文, 'DBD プラズマアクチュエータの放電過程および誘起流れの数値解析', 第 49 回流体力学講演会/第 35 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2017 年 6 月.
- 3) 佐藤慎太郎, 高橋聖幸, 大西直文, 'DBD プラズマアクチュエータの性能向上に向けた誘電体表面電荷制御', 日本機械学会 2017 年度年次大会, 埼玉大学, 2017 年 9 月.
- 4) 佐藤慎太郎, 高橋聖幸, 大西直文, '放電過程を考慮した DBD プラズマアクチュエータによる誘起流れに関する数値解析', 第 31 回数値流体力学シンポジウム, 京都工芸繊維大学, 2017 年, 12 月.
- 5) S. Sato, M. Takahashi, N. Ohnishi, 'Induced flow simulation with detailed discharge modeling in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', AIAA SciTech Forum, Kissimmee, Florida, January 8-12, 2018.

● JSS2 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	N/A
プロセス並列数	160 - 320
1 ケースあたりの経過時間	120.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.31

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,544,476.92	0.33
SORA-PP	3,464.08	0.04
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	195.50	0.14
/data	9,813.31	0.18
/ltmp	2,929.69	0.22

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	0.99	0.04

※1 総資源に占める利用割合：3つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合