

# プラズマ流体シミュレーションにおける表面バリア放電の3次元プラズマ挙動の解析 Investigation of Three-dimensional Plasma Dynamics in Surface Barrier Discharge Using Plasma Fluid Simulation

板垣朱莉<sup>\*1</sup>, 西田浩之<sup>\*1</sup>, 小室淳史<sup>\*2</sup>  
Akari ITAGAKI<sup>\*1</sup>, Hiroyuki NISHIDA<sup>\*1</sup> and Atsushi KOMURO<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 東京農工大学, <sup>\*2</sup>東京大学

<sup>\*1</sup> Tokyo University of Agriculture and Technology, <sup>\*2</sup> University of Tokyo

## 1. 緒言

表面バリア放電は、2枚の電極と誘電体で隔たれた2電極間に交流高電圧を印加することで生じる放電である。Figure 1のように、大気中で非対称な電極配置において表面バリア放電を発生させると、電界により加速された荷電粒子は、大気中の中性粒子と運動量交換衝突を起し、体積力を生じる。その結果、誘電体表面に沿った流れを誘起することができるため、流体制御デバイスとしての応用が期待されている(プラズマアクチュエータ: PA)。そのため、表面バリア放電におけるプラズマ挙動および体積力生成の詳細な理解が求められる。これまでプラズマを流体近似した数値シミュレーションを用いて、電極スパン方向断面におけるプラズマ挙動および体積力場の2次元的な解析が行われてきた。しかし実験による先行研究では、放電および形成される誘起流はスパン方向に非一様であることが明らかにされている。すなわち生成される体積力場も、スパン方向に非一様、あるいはスパン方向成分を持つこと示しており、2次元計算では考慮することができない。そこで本研究では、3次元数値シミュレーションを用いて3次元的な放電特性およびプラズマ挙動を、特に誘電体表面の帯電効果に着目して明らかにすることを目的とする。

## 2. シミュレーションのセッティングおよび条件

1価の正イオンと1価の負イオン、電子を考慮したDrift-Diffusion方程式と電場のPoisson方程式を支配方程式とし、離散化手法として有限体積法を用いた。電場については半陰解SOR法を用いた。時間積分にLU-ADI陰解法、数値流速スキームにはScharfetter-Gummelを使用し、拡散項は2次精度中心差分により計算した。

運転条件として、AC電極には周波数20 kHz、ピーク値7 kV<sub>p</sub>の正弦波電圧を印加した。計算セッティングをFig. 1に示す。

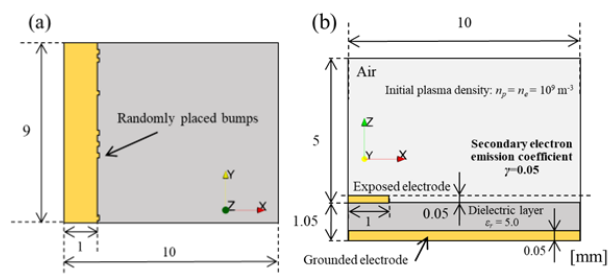


Figure 1 (a) top view and (b) side view of simulation model and settings.

## 3. 計算結果

表面バリア放電発生時には、プラズマの進展にともない、荷電粒子が誘電体表面に帯電する。本稿では表面の電荷密

度分布を示し、プラズマの挙動を考察する。Figure 2に交流電圧の(a) 2周期目、(b) 3周期目における誘電体表面の電荷密度分布を示す。まずFig. 2 (a)の、 $t = 50 \mu\text{s}$ から放電2周期目が開始し、電圧最大となる $t = 75 \mu\text{s}$ にかけて、正に帯電した分枝状の分布が電極端から生じ、最大長さ9 mm程度まで進展している。これは電圧正勾配区間で生じるストリーマ型放電の進展の様子を示しており、正イオンが誘電体表面に蓄積したものである。 $t = 75 \mu\text{s}$ 以降は印加電圧が負勾配になり、グロー型放電が発生することで負に帯電している。先のストリーマ放電よりも進展長は短く、 $y > 3 \text{ mm}$ の領域では正勾配時に蓄積した正電荷が残留していることがわかる。次にFig. 2(b)の放電3周期目の結果を見ると、プラズマ進展は2周期目の残留電荷の影響を大きく受けていることが分かる。 $t = 100 \mu\text{s}$ 前後から正電荷を持つストリーマ放電が形成され始めるが、4 mm程度の長さまでしか進展していない。これは残留電荷に進展が阻害されたためと考えられる。負電位分布形成フェーズに関しては、2周期目と大きな差は見られない。これらの挙動は、実験における計測結果と整合性が取れている[1]。

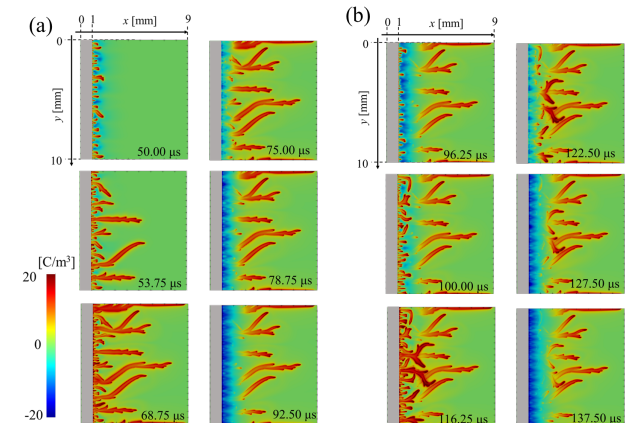


Figure 2. Spatiotemporal variations of the charge density distribution on the dielectric.

## 4. 結言

表面バリア放電の3次元的なプラズマ挙動を解明するため、3次元数値シミュレーションを行った。交流電圧の勾配によって形状・伝播範囲の異なる放電が生じること、またその違いにより形成される残留電荷が、後のプラズマ挙動に影響することが分かった。

## 5. 参考文献

- [1] Kodai Mitsuhashi, Atsushi Komuro, Kento Suzuki, China Natsume and Akira Ando, "Spatiotemporal variations of the electrical potential on surface dielectric barrier discharges", *Plasma Sources Sci. Technol.* 30 (2021).