

## 二重接地三電極プラズマアクチュエータの作動メカニズムに関する数値解析 Numerical Analysis on the Mechanism of Dual-Grounded Tri-Electrode Plasma Actuator

○中野 朝\*、西田 浩之\*、白石 朋巳\* (\*.農工大)

○Asa Nakano\*, Hiroyuki Nishida\*, Tomomi Shiraishi\* (\*. TUAT)

E-mail: 50011255089@st.tuat.ac.jp

### 1. 緒言

近年、誘電体バリア放電(Dielectric Barrier Discharge, 以下, DBD)を利用した DBD プラズマアクチュエータ(DBD Plasma Actuator, 以下, DBDPA)が流体制御デバイスとして注目されている。DBDPAは Fig. 1(a)で示す様に二電極と誘電体から構成されており、電極間に数 kV, 数 kHz の交流電圧を印加することで誘電体バリア放電が発生する。放電により生じたプラズマ粒子が周囲の中性粒子と衝突することで体積力が発生し、この体積力により流れが誘起される。しかしながら DBDPA 実用化に向けた課題として、誘起流速が数 m/s 程度と小さく高速流への適用が難しいことが挙げられる。この解決方法の一つとして我々は Fig. 1(b)に示す様な、通常の DBDPA に絶縁被覆した接地電極を一つ追加した三電極タイプの Dual-Grounded Tri-Electrode Plasma Actuator (以下, DGTEPA)を提案した。DGTEPA では誘起流の反力として生じる推力が DBDPA と比べ約 3 倍になることが分かっている。しかし推力向上の要因は明らかでない。そのため本研究では数値解析により DBDPA と DGTEPA で生じるプラズマ粒子の運動の比較を行う。

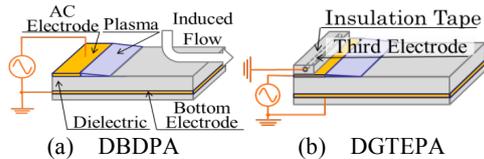


Fig. 1 Schematics of Plasma Actuators.

### 2. 解析モデル

支配方程式にはプラズマ粒子種として 1 個の正イオンと 1 個の負イオン、電子を考慮した Drift 拡散方程式と電場の Poisson 方程式を連立して用いる。有限体積法により時間発展的に解き、プラズマの生成と運動、電場の時間発展を得る<sup>1)</sup>。また各荷電粒子のスウォームパラメータは Boltzmann solver BOLSIG<sup>2)</sup>を用いて算出した。電子及びイオンの拡散係数はアインシュタインの式より求める。次に AC 電極に印加する電圧を以下に示す。  $Vp = 5 \text{ kV}$  としている。

$$EEV = Vp \times \{0.5 \tanh\left(\frac{t - 1.0 \times 10^{-9}}{0.3 \times 10^{-9}}\right) + 0.5\}$$

計算モデルを Fig. 2, 計算手法を Table 1 に示す。接地された三電極目と下部電極の電位は 0 V として計算を行い、 $w$  は  $w = 1.0 \text{ mm}$  として計算を行う。

Table 1 Computation method

Drift-Diffusion equation	Time Integral	Second-order accurate (approx) LU-ADI
	Drift term	Third-order accurate upwind difference biased by MUSCL
	Diffusion term	Second-order accurate central difference
Poisson's equation		Semi-implicit SOR method

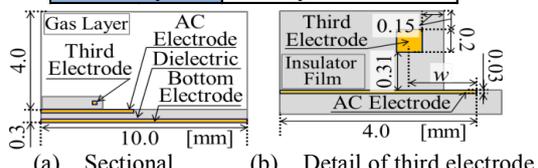


Fig. 2 Simulation model of DGTEPA.

### 3. 計算結果

Fig. 3 に計算結果を示す。(a)に DBDPA, (b)に DGTEPA の結果を示している。また左に正イオンの密度分布を示し、右に体積力の分布を示す。

Fig. 3(a) から DBDPA では放電により誘電体表面に正イオンが生じていることが分かる。また正イオンの高密度領域において体積力が発生している。次に Fig. 3(b)から DGTEPA について述べる。正イオンの密度分布を見ると、三電極目を追加したことで三電極目を覆う絶縁材壁面付近にも正イオンの密度が高い領域が生じている。次に体積力分布を見ると、絶縁材壁面の正イオンの高密度領域付近で大きな体積力が生じている。このことから、DBDPA と比べると DGTEPA では三電極目を覆う絶縁材周りにも放電が生じており、高密度な陽イオン領域及び、大きな体積力が発生している事が分かる。

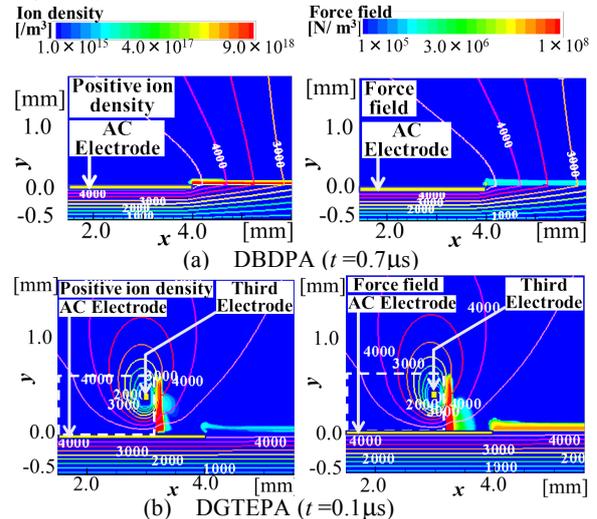


Fig. 3 Distribution of density of positive ion occurred by DBD and force field. (left: Positive ion density, right: Force field.)

### 4. 結言

数値解析により DBDPA 及び DGTEPA において生成される正イオンと体積力を数値的に調査し、比較した。その結果、三電極目を設置することで三電極目の絶縁材壁面付近に高密度の正イオンが新たに発生していることが分かった。また、高密度の正イオンが発生している領域では大きな体積力が生じていた。この体積力及びイオンの密度変化が DGTEPA の推力向上に寄与していると考えられる。今後、流体運動の解析も行い、より詳細に体積力強化メカニズムについて考察していく予定である。

### 参考文献

- 1) J. P. Boeuf, L. C. Pitchford, "Electro hydrodynamic force and aerodynamic flow acceleration in surface dielectric barrier discharge", AIP 97, 103307 (2005).
- 2) Lab. on plasma and conversion of energy, BOLSIG+ : Electron Boltzmann equation solver, "http://www.bolsig.laplace.univ-tlse.fr/" , (参照 2014-05-22)