

低温大気圧プラズマ照射による
細胞への電力が細胞死に及ぼす影響の数値解析

Numerical Analysis of Influence of Power at Cell Induced by Nonthermal Atmospheric
Pressure Plasma Irradiation on Cell Death

千葉工業大学¹, 東京都立大学², 大分大学³

°(M2)石原 卓也¹, 中島 大雅¹, 八木 一平², 立花 孝介³, 内田 諭², 小田 昭紀¹

Chiba Inst. Technol.¹, Tokyo Metropolitan Univ.², Oita Univ.³

°T. Ishihara¹, T. Nakajima¹, I. Yagi², K. Tachibana³, S. Uchida², A. Oda¹

E-mail: s19a4011js@s.chibakoudai.jp

1. はじめに

低温大気圧プラズマは大気圧下で効率的に活性種を生成できることから滅菌・創傷治療などの医療・バイオ分野へ応用されている。その特性を利用して、従来の遺伝子導入法と比較して細胞への遺伝子導入効率が高いプラズマ遺伝子導入法が発見された[1]。しかし、プラズマと細胞の電氣的相互作用については未解明であり、かつ照射されるプラズマはパルス状であるため、細胞への電氣的作用の解析が必要である。

これまで筆者らは、プラズマと細胞との相互作用の解明を目的に、本プラズマとプラズマ照射層の等価回路モデルからなる連成モデルを構築し、駆動周波数が及ぼす細胞への電氣的作用の解析結果を報告した[2]。本報告では、照射部での大気圧プラズマによる消費電力密度が細胞への電氣的作用に及ぼす影響を検討した。

2. 解析手法

本研究で用いた計算モデルは、低温大気圧プラズマモデルとプラズマ照射層の等価回路モデルから構成される。前者のモデルは数密度連続の式とポアソンの式からなる局所電界近似に基づく空間一次元流体モデル[3]であり、後者のモデルは緩衝液層、細胞層（細胞質と細胞膜から構成）、培養プレート層の計3層からなるプラズマ照射層を各部の抵抗およびコンデンサで置き換えて等価回路にしたモデルである[4]。前者のモデルから得られる放電電流が、後者のモデルにおける各部の電流や電圧としてどう伝搬するかをキルヒホッフの電圧則と電流則に基づいて解析した。

3. 結果および考察

Fig. 1 に、正弦波交流電圧印加時の低温大気圧 He/N₂(20ppm) プラズマ中の電圧・電流波形を示す。プラズマ照射層の等価回路における細胞層や培養プレート層のコンデンサの作用により半周期に一度パルス放電が発生している。Fig. 2 に、一周期平均値とパルス放電時の細胞膜での消費電力密度の空間分布を示す。照

射層中心部への低温大気圧プラズマ照射による細胞膜での消費電力密度に着目すると、他の箇所と比較して一桁高い。また、パルス放電時 (Fig. 2 中の赤色の実線) は周期平均値 (Fig. 2 中の青色の実線) の約3倍高い値を示す。以上の結果から、細胞層中心部の細胞膜への消費電力密度がパルス放電時に瞬間的に高くなるため、細胞死の電氣的作用の一因であることが示唆される。その他結果の詳細は、講演当日に報告する。

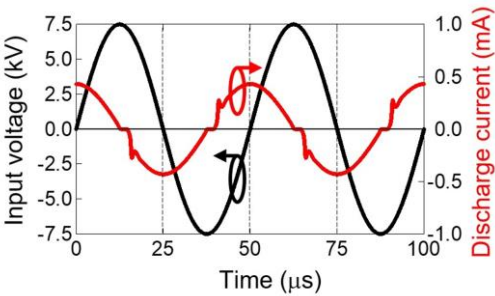


Fig. 1 Simulated voltage-current waveforms in nonthermal atmospheric pressure He/N₂(20ppm) plasma.

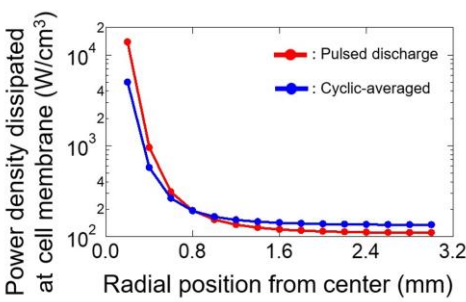


Fig. 2 Simulated spatial distribution of the power density at cell membrane.

4. 謝辞

本研究は、科学研究費補助金 (24929106, 代表: 内田 諭) の助成を受けて遂行された。ここに謝意を表する。

文 献

[1] M. Jinno et al., *Plasma Sources Sci. Technol.*, **26**, 065016 (2017).
[2] 石原ら, 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 22a-12H-4 (2024).
[3] Yu. B. Golubovskii et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **36**, 39 (2003).
[4] Y. Kido et al., *PLoS ONE*, **16** e0245654 (2021).