

## プラズマ照射による生体細胞への電氣的効果の等価回路解析

### Equivalent circuit analysis of electrical effects of plasma irradiation on living cells

都立大院 システムデザイン ○山内 翔太, 岩田 優太, 八木 一平, 内田 諭

Tokyo Metropolitan Univ. °Shota Yamauchi, Yuta Iwata, Ippei Yagi, Satoshi Uchida

E-mail: yamauchi-shouta@ed.tmu.ac.jp

#### 1. はじめに

近年、大気圧非平衡プラズマの安定生成技術が確立し、その医療応用は急速に発展している。プラズマ医療は、電氣的効果や化学的効果、光による効果などが複雑に関与している[1]。しかし、複数ある要因の影響力のバランスや相互作用は不明である。特に電界や電流などの電氣的効果はあまり理解されていない。そこで従来研究されてきた活性種とは別に、本研究では電界と電荷の供給による細胞との相互作用に着目し、プラズマ医療の基本的なメカニズムを明らかにすることが研究目的である。本報ではプラズマと細胞の等価回路を構築し、細胞に対しプラズマ照射した際の、細胞膜にかかる電界や電荷を、回路シミュレータを用いて解析した。

#### 2. 解析手法、条件

単一の細胞に対し、プラズマが直接照射されている状況を想定した等価回路を作成した。

白血病由来の浮遊癌細胞(Jurkat細胞)の細胞各部の比誘電率や導電率を文献値から導出した[2]。プラズマ領域の抵抗については、筆者が以前行った1次元流体解析の結果を利用し、導出した。以下にプラズマ領域の抵抗の導出式を示す。

$$R_p = \rho \frac{D_{\text{gap}}}{S_{\text{gap}}} [\Omega] \quad (1) \quad \rho = \frac{1}{qn_e \mu_e} [\Omega \cdot \text{m}] \quad (2)$$

ここで、 $\rho$ はプラズマ抵抗の抵抗率、 $q$ は電荷素量、 $n_e$ は電子密度、 $\mu_e$ は電子の移動度。

プラズマ領域の抵抗は、式(2)のように $n_e$ と $\mu_e$ に依存し、連続的に変化する可変抵抗となる。

解析条件は、印加電圧が30 kV、周波数が1 kHz、ガス温度及び圧力は300 Kおよび760 Torrとした。背景ガスには $N_2$ を用いた。Fig. 1に回路を示す。回路シミュレータPsimを用いて解析を行った。

#### 3. 解析結果および考察

Fig. 2に、細胞膜の電圧波形を示す。細胞膜には最大で $5.8 \times 10^{-3}$  Vの電圧が印加された。細胞膜に $1 \times 10^{-2} \sim 1$  V程度をかけると、電気穿孔や膜電位変動による輸送特性に変化が生じることがあるが、今回の条件では同様の現象は生じないと推察される。また、塩基性イオンは膜輸送時に約1 nA

の電流が流れる[3]が、本解析では約7倍の電流が流れた。これは、本解析が一次元モデルを用いており、プラズマ照射範囲が細胞半径と同等という仮定(均一照射)のためである。

#### 4. 今後の展望

細胞からの蒸散に伴う気液混合層も考慮したモデルの構築およびモデルの二次元化を行い、より実験系に近いモデルを構築していく。

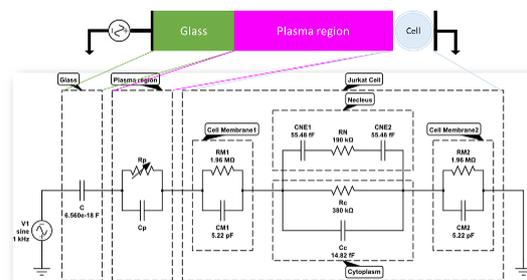


Fig. 1 Image of the simulation area and equivalent.

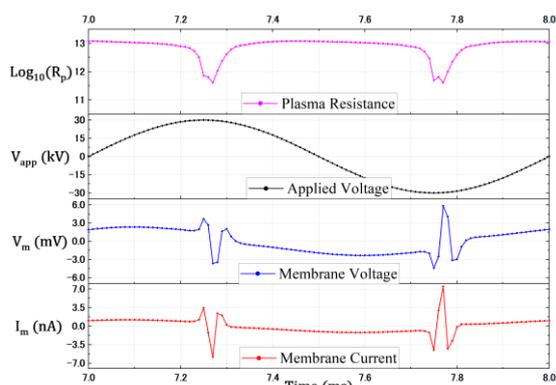


Fig. 2. Plasma resistance, applied voltage, changes in membrane voltage and current.

#### 参考文献

- [1] M. G. Kong *et al.*, *New J. Phys.*, Vol. 11, No. 11, p. 115012 (35pp), (2009).
- [2] Y. Guo *et al.*, *IEEJ Trans. Sensors Micromachines*, Vol. 141, No. 4, pp. 108–113, (2021).
- [3] Y. Kido, M. Hideki, Y. Ikeda, S. Satoh, and M. Jinno, *PLoS One*, Vol. 16, No. 1, pp. 1–15, (2021).