

RFプラズマ中の細菌浮遊現象 Phenomenon of levitation of microorganism in RF plasma

木上智仁¹, 三瓶明希夫¹, 川出恭隆¹, 林康明¹
Tomohito Kigami¹, Akio Sanpei¹, Yasutaka Kawade¹, Yasuaki Hayashi¹,

¹京都工芸繊維大学大学院電子システム工学研究科
¹Faculty of Electrical Engineering and Electronics, Kyoto Institute of Technology

背景&目的

私たちの生活環境を維持、改善していくには、衛生管理や汚染などの原因の究明が必要である。その方法の一つとして、細菌を同定する方法が挙げられる。例えば、MALDI-TOF MSは有名な方法の一つである。これは、高い精確性を持っている。しかし、高価な装置と複雑な手順が必要である。そのため、より簡便で同定を行う方法が求められている。

プラズマ中にマイクロオーダーの微粒子を入れると、負に帯電しクーロン力や重力等の力が釣り合う位置で浮遊することが知られている。浮遊する高さは、そのサイズや重さや形状に依存し、層を形成する^[1]。しかし、微粒子の高さはプラズマの状態により変化する。

本研究では、微粒子と細菌を同時に浮遊させ、その様子(浮遊位置や浮遊の様子)を記録し、解析することで、従来にない新たな細菌の同定法を開発することが目的である。これまでに肺炎桿菌や大腸菌を浮遊させる事に成功している^[2]。

帯電量&浮遊に必要な電場

帯電量は表面積に依存して変化する。今回、実験に用いた微粒子は球形であり、細菌の形状は楕円体に近い形をしている。球形と楕円体($a > b = c$ 、 a, b, c : 楕円体の半軸)の微粒子の帯電量 Q_s 、 Q_p は、

$$Q_s = C_s V_f = 4\pi\epsilon_0 r_d V_f \quad (1)$$

$$Q_p = C_p V_f = 4\pi\epsilon_0 \frac{(a^2 - b^2)^{\frac{1}{2}}}{\cosh^{-1}(\frac{a}{b})} V_f \quad (2)$$

と表される。 V_f は浮遊電位、 r_d は球形の半径。垂直方向の力のつり合い式は微粒子の重さを m 、重力加速度を g 、自己バイアスによる電場を E とおくと、

$$mg - QE + F_{id} = 0 \quad (3)$$

F_{id} はイオンドラッグ力であるが、重力 mg と比べると、ほぼ無視することが出来る^[3]。イオンドラッグ力を無視し浮遊電位 $V_f = -3$ Vと仮定すると、浮遊に必

要な電場は、代表的な細菌である納豆菌(枯草菌)で30~50 V/m程度と計算された。また、粒径6.5 μ mのジビニルベンゼンでは、1550 V/m程度と計算された。

実験方法

実験方法は以下の通りである。13.56MHzの電力を与え、プラズマを発生させる。微粒子と細菌は上から落下させ、プラズマ中に入射させる。浮遊している粒子にレーザーを照射し、その散乱光により、観測する。ガス圧は50~120 Pa程度、電力は3~6 W程度である。

結果&考察

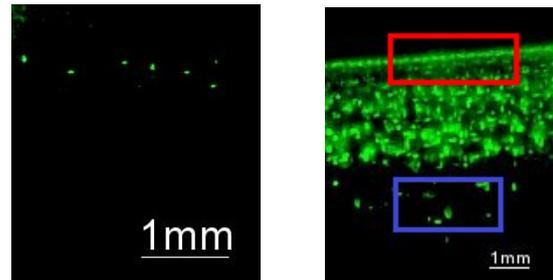


図1 納豆菌の浮遊 図2 納豆菌+微粒子の浮遊

プラズマ中に納豆菌のみを入射させたところ、浮遊が確認されたが、層は形成しておらず、凝集している可能性がある。(図1)

次に微粒子を入射し浮遊させた後に、納豆菌を入射した結果、同時に浮遊することが確認された。事前の計算では浮遊に必要な電場は納豆菌のほうが小さく、浮遊位置が高くなると期待されていたが、実際は微粒子の層の部分(図2赤部分)よりも浮遊位置が低かった(図2青部分)。これは、納豆菌が凝集し、想定よりも大きな納豆菌が浮遊しているためだと思われる。これは、実験前の事前処理により改善されることが期待される。

- [1] S. Nunomura, N. Ohno, and S. Takamura: Jpn. J. Appl. Phys. **36** (1997) L949.
- [2] A. Sanpei, T. Kigami, H. Kanaya, Y. Hayashi, M. Sanpei: IEEE Trans. Plasma Sci. **46**, 718 April 2018.
- [3] A. V. Ivlev, A. G. Khrapak, S. A. Khrapak, B. M. Annaratone, G. Morfill, and K. Yoshino: Phys. Rev. E. **68** (2003) 026403.