

プラズマガス温度が殺菌能に影響を与える要因調査

Influence of plasma gas temperature on bactericidal effect and active species generation

堂山英之¹, 川野浩明¹, 高松利寛², 松村有里子³, 宮原秀一¹,
岩澤篤郎³, 東健², 沖野晃俊¹

(1. 東工大院総理工, 2. 神戸大院医学, 3. 東工大院生命理工)

Hideyuki Doyama¹, Hiroaki Kawano¹, Toshihiro Takamatsu²,
Yuriko Matsumura³, Hidekazu Miyahara¹, Atsuo Iwasawa³, Takeshi Azuma² and Akitoshi Okino¹
(1. Department of Energy Sciences, Tokyo Tech, 2. Graduate School of Medicine, Kobe University,
3. Department of Bioengineering, Tokyo Tech)
E-mail: doyama@plasma.es.titech.ac.jp

大気圧非平衡プラズマは様々な菌に対して高い殺菌効果を示し、残留毒性がないことから、薬剤を使用しない新しい殺菌法として注目され、生体への適用を視野に入れた研究が行われている。生体にプラズマを照射するには、照射対象に熱損傷を与えないよう、プラズマのガス温度を制御する必要がある。しかし、従来のプラズマ装置でプラズマのガス温度を調節するには、プラズマの放電電力を制御するなどの方法が用いられていた。そこで発表者らは、プラズマの放電電力と独立にガス温度を、零下から 160°C 程度の範囲で±1°C 以内の精度で精密に制御できる温度制御プラズマシステム（特許第 4611409 号）を開発し、プラズマのガス温度が殺菌能に与える影響を調査してきた。その結果、殺菌能を単位時間あたりに減少させる生存菌数の桁数とすると、プラズマのガス温度が 10°C のときには殺菌能が 3.5 digits/min, 50°C では 16.5 digits/min となり、プラズマのガス温度が高くなるほど殺菌能が高くなることなどが明らかになってきた。

プラズマのガス温度上昇とともに殺菌能が高くなった要因は、①ガスの膨張に伴うガス流速の増加、②プラズマの熱、③液中に導入された活性種の濃度変化の 3 点が考えられる。そこで本研究では、プラズマのガス温度がプラズマの殺菌能に影響を与える要因を調査した。液面上 6 mm の位置から酸素 3%, ヘリウム 97% の混合ガスプラズマを照射した。プラズマ源には、研究室で開発したプラズマバレット型の温度制御プラズマジェットを用い、15 kHz, 9 kV の交流電圧を印加してプラズマを生成した。照射対象にはダルベッコリン酸緩衝液を溶媒とした 200 μL の大腸菌の菌液を用い、菌数は 10⁸ CFU となるように調製した。

まず、ガスの膨張に伴うガス流速の増加の影響を調べるため、プラズマのガス温度を 40°C に固定し、ガス流量を 10.0~12.9 L/min に変化させて流速を変え、殺菌能を調べた。その結果、ガス流速を上げるほど、殺菌能が高くなった。しかし、これまでの殺菌実験でプラズマのガス温度を 10°C にした場合と 50°C にした場合では生菌数に 5 桁以上の差があったのに対して、流速を変えた実験では、プラズマのガス温度を 10°C と想定した場合と 80°C と想定した場合の差は約 1 桁であった。このため、ガス流速の変化が主な要因ではないと考えられる。

次に、プラズマの熱による影響を調査するため、先の菌液に対して 80°C のガスのみを照射したところ、生菌数は減少せず、熱による影響は認められなかった。

最後に、液中に導入された活性種の濃度変化による影響を調べるため、プラズマのガス温度を 10~80°C に制御し、殺菌能が高いと考えられているヒドロキシラジカル、一重項酸素 (¹O₂), オゾン, 過酸化水素のそれぞれが液中に導入される量を測定した。その結果、いずれの活性種も温度の上昇に伴って増加し、特に高い殺菌能を有する 50°C 以上のプラズマでは ¹O₂ の濃度が急激に増加した。各プラズマガス温度による殺菌能と各活性種の濃度の相関を調べるために、横軸に活性種の濃度、縦軸に殺菌能を取ってグラフを作成すると、図 1 に示すようにガス温度による殺菌能と ¹O₂ の濃度上昇の間に相関が確認された。これらの結果から、プラズマのガス温度の上昇に伴う殺菌能の向上には、液中に導入された ¹O₂ の量が寄与していると結論づけた。

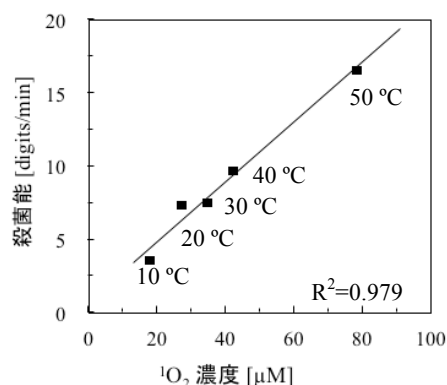


図 1 殺菌能と ¹O₂ 濃度の関係