

低pH法を用いた大気圧低温プラズマによる汚染皮膚モデルの殺菌
Disinfection of Contaminated Skin Model by Low Temperature Atmospheric Pressure Plasma with the Reduced-pH method

横山 高史¹, 井川 聡², 北野 勝久¹
Takashi Yokoyama¹, Satoshi Ikawa², Katsuhisa Kitano¹

1 大阪大学大学院工学研究科, 2 大阪産業技術研究所
1 Eng. Osaka Univ., 2 ORIST

大気圧低温プラズマを用いて、プラズマの医療応用研究が広い分野で行われている。例えば、人体の殺菌消毒や、怪我の治癒促進、がん治療などが挙げられる。我々の研究グループでは、殺菌に着目し、菌懸濁液の殺菌に取り組んできた。人体表面は濡れ環境であることから、液中殺菌の研究は重要である。そして、菌懸濁液にプラズマを照射する際、懸濁液のpHを4.8以下に調整することで、中性条件と比べてプラズマ照射の殺菌力が100倍以上に高くなることを発見した(低pH法) [1]。反応速度論に基づく解析等から、低pH法において殺菌に作用するキープ活性種は、スーパーオキシドアニオンラジカル ($O_2^{\cdot-}$) が酸解離平衡 (pK_a 4.8) によって変化したヒドロペルオキシラジカル ($HO_2^{\cdot}$) であることが分かっている [2]。一方で、低pH法を用いたプラズマ殺菌技術は歯科分野での応用が進められており、ヒト抜去歯を用いたう蝕(虫歯)モデルの殺菌において、その有効性が実証されている [3]。

本研究では、低pH法を活用した皮膚表面の殺菌に着目した。皮膚表面は歯表面と比較して熱による損傷を受けやすく、プラズマの出力が制限される。また、有機物が多いため殺菌に寄与する活性種がスカベンジされ、殺菌効果が大きく抑制されると考えられる。さらに、皮膚表面は毛穴や汗腺といった、複雑な立体構造を有しており、それらに分布する細菌に十分な活性種が届かないことも考えられる。そこで、ヒトの皮膚のモデル組織として、ブタの表皮組織を用い、皮膚表面における低pH法の有効性を評価した。ブタの表皮組織に黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus*) の菌懸濁液を塗布し、汚染皮膚モデルとした。ブタ皮表面のpHコントロールはpHバッファー液を汚染領域に塗布することで行った。プラズマの生成は次のように行った。ヘリウムガスを流した石英管の外周に

電極を1つ取り付け、この単電極に高電圧 (13.2 kV, 17.6 kHz) を印加した。石英管を誘電体とし、誘電体バリア放電による大気圧グロープラズマが生成される。プラズマ装置を電動ステージで1 mm/secで走査することで、汚染皮膚モデルへ均一なプラズマ照射を行った。印加電圧、走査速度は、あらかじめ皮表面に熱損傷が生じない条件を確認して決定した。プラズマ処理後、汚染皮膚モデル表面から菌を回収し、CFU (Colony forming unit) アッセイにより生菌数を調べた。そして、非プラズマ処理サンプルから回収した生菌数と比較することで、プラズマ照射の殺菌効果を評価した。

その結果、プラズマ照射の殺菌効果 ($\log_{10}$ reduction, LogR) はpH 3.6で3.7、pH 6.7で0.8であった。プラズマ照射の殺菌効果は酸性条件のほうが4.6倍高く、低pH法はブタ皮表面においても有効であることが確認された。また、pH 3.6におけるプラズマ照射の殺菌効果は薬液消毒の殺菌力の目安 ($\text{LogR} > 3.0$) と比較して十分大きく、実用に耐えうる性能であることがわかった。低pH法はプラズマ照射前に酸性液を塗布するだけであるが、同じプラズマ照射条件で殺菌力を高める事ができ、熱負荷に対して繊細な生体殺菌には欠かせない技術である。今後、ヒト組織や生体に対する低pH法の応用が期待される。

[1] S. Ikawa, *et. al.*, Plasma Process. Polym., 7, pp.33 (2010).

[2] E. Takai, *et. al.*, J. Phys. D: Appl. Phys., 46, 295402 (2013).

[3] E. Usui, *et. al.*, Jpn J. Conserv. Dent., 58, pp.101 (2015).