

反応速度論に基づく低 pH 法による液体殺菌の物理化学機構

Physicochemical mechanism of plasma sterilization in liquid with the reduced pH method based on chemical kinetics

阪大工¹、大阪府立産業技術総合研究所²、阪大理³ 北野勝久¹、井川聡²、中島陽一²、谷篤史³

Katsuhisa KITANO¹, Satoshi IKAWA², Youishi Nkashima², Atsushi TANI³

Eng. Osaka Univ.¹, TRI Osaka², Sci. Osaka Univ.³

E-mail: kitano@plasmabio.com

大気圧プラズマを人体組織へ照射して医療行為を行う Plasma Medicine と呼ばれる研究分野は世界的に高い注目を集めており、人体に付着した有害な微生物を不活化するプラズマ消毒の研究を進めている。人体はぬれ環境であるために液体に対する殺菌というコンセプトが重要であり、これまで、液中の殺菌において、pH を 4.8 以下に調整することで D 値が 1/100 と劇的に効果が高まる「低 pH 法」を開発し[1]、歯科や外科への臨床応用に向けた研究を進めているが[2]、体液の pH が中性であるためにプラズマ消毒では必須の技術である。

低 pH 法の物理化学機構として、溶液中に生成された $O_2^- \cdot$ が酸性環境下で酸解離平衡 (pKa 4.8) によりプロトン化して $HOO \cdot$ に変化することが重要であると考えている。電氣的に中性な $HOO \cdot$ は高い細胞膜透過性を持つために細胞内酸化ストレスを与えることにより高い殺菌力をもたらすことが知られている。化学殺菌において殺菌過程を反応速度論的に解析するためのモデルとして Chick-Watson の法則[4, 5]が一般的に用いられる。

$$\log(N/N_0) = -kCt$$

(N : 生菌数、 N_0 : 初発生菌数、 k : 不活化速度定数、 C : 消毒剤の濃度、 t : 作用時間) 殺菌速度が消毒剤の濃度に比例する事を示しており、プラズマ殺菌で良く用いられる D 値 ($D = t/\log(N/N_0)$) はこの殺菌速度の逆数である。低 pH 法を消毒剤が $HOO \cdot$ である化学殺菌と考える。 $O_2^- \cdot$ の供給速度を一定とし、酸解離平衡ならば不均化反応の式よりし $HOO \cdot$ 濃度の pH 依存 (pH 1 の時の値で規格化) が図 1 の様に計算できる[5]。種々の pH における殺菌速度とその pH における $HOO \cdot$ の濃度を比較すると、様々な菌種において比例関係にあることが分かった。また細胞内酸化ストレスを色素内包人工細胞 (ミセル) の脱色速度から評価したところ、同様の比例関係があることがわかった。これら pH 依存の実験結果から低 pH 法における殺菌因子は $HOO \cdot$ であると反応速度論から結論づけることができる。

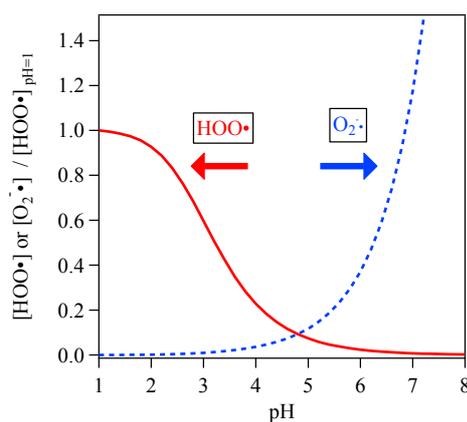


図 1 $HOO \cdot$ と $O_2^- \cdot$ 濃度の pH 依存

- [1] S. Ikawa et al., Plasma Process. Polym., 7, 33 (2010). 特許第 4408957 号.
- [2] H. Yamazaki et al., Dental Mat. Journal, 30, 384 (2011).
- [3] Chick, Harriette, The Journal of Hygiene 8, 92-158 (1908).
- [4] Watson et al., The Journal of Hygiene 8, 536 (1908).
- [5] E. Takai et al., J. Phys. D: Appl. Physics. 46, 295402 (2013).