バイオ応用におけるプラズマ誘起液中化学反応の反応素過程

Reaction process of plasma-induced chemical reactions in liquid for bio application

阪大工[1]、大阪技術研[2]　北野勝久[1]、井川聡[2]

Osaka Univ.[1], ORIST[2]　K. Kitano[1], S. Ikawa[2]

E-mail: mail@plasmabio.com

被照射物に対して熱負荷を与えることなく様々な化学種を供給できる大気圧低温プラズマの特徴を活かし、半導体などのハードマテリアルではなく、生体（組織）などのソフトマテリアルへのプロセスを行うバイオ応用の研究が盛んになってきている。当初は「プラズマ照射で〇〇の効果が得られた」という現象論的な報告が多かったものの、その反応素過程を科学的に明らかにする研究が重要であるという認識が世界的に広まりつつある。プラズマから化学種、電界、光子等の様々な形でエネルギーが供給されるが、本発表では最も重要な化学種による影響の議論を行う。

生体は濡れ環境であり、反応素過程の科学的検証のためには、気相中に生成された化学種（主に活性酸素窒素種）が、液中で化学反応を伴いながら拡散し、生体高分子と化学反応し、生体に対してマクロな影響を与えるというプラズマ誘起液中化学反応場を理解することが重要である[1]。プラズマ内部、もしくは周辺ガスとの境界層において、様々な化学種が生成され、その一部は大気イオンとしてプラズマ外へ拡散する。その様な化学種は液相に供給されるが、化学反応により化学種のスペクトルが変化しつつ拡散するため、空間・時間的に濃度勾配を持つ点が、一般的な溶液化学反応と大きく異なるところである[2]。凝縮相である液体に入射すると拡散距離が一気に短くなるため、液体表面では急激な濃度勾配を持つこととなる。一般的に化学反応性が高いとされる OH・、$^1O_2$、O、H・、水和電子などの化学種は短寿命であり数μm 程度の深さに局在することとなる。気液界面より供給された化学種がそのまま拡散するのみならず、単一や複数の化学種同士や、溶媒、溶質、溶存ガスと互いに反応して生成される二次的な化学種が拡散することもある。生体へ影響するのは少なくとも数 mm オーダーで浸透可能な化学種であるが、多数の化学種が同時に作用する複雑な反応場である。それぞれの化学種がアミノ酸、タンパク質、脂質、糖、核酸などの生体分子へ化学修飾を行うことで、酵素活性などへ影響を与えるが、それら二次的な生体分子の酸化物も生体へ影響を与えうる。細胞内へ浸透できる化学種は限定的であり、細胞内外で反応は異なる。その様な結果として、最終的に細胞の生理活性などマクロな影響が現れる。

プラズマ誘起液中化学反応場は同時に複数の化学種が作用する複雑な反応場だが、気相・液相の化学種の診断等を通じて、相関関係だけではなく因果関係を明らかにし、作用因子ならび機序を解明し、科学研究としてのステージへ進まなければならない[3]。我々は反応速度論を併用しながらプラズマ処理水中の殺菌有効成分が過硝酸（$HOONO_2$）であり、気液界面で生成されることを明らかにしたが、プラズマ研究を深化させることで世界初の殺菌技術の開発につながったと言える[4]。応用ごとに作用機序は異なるが、反応素過程の検討という点では共通課題も多く、物理化学、分析化学、構造生物学、分子生物学等の研究者と学際的に研究を進めるのが重要である。

[1] 北野勝久、青木裕紀、浜口智志、応用物理学会秋期講演会、(2005/9).
[2] 大西直文、北野勝久、谷篤史、井川聡、応用物理学会春期講演会、(2010/3).
[3] 北野勝久、谷篤史、井川聡、中島陽一、PE 分科会会報 No.67 (2017).
[4] S. Ikawa, A. Tani, Y. Nakashima, K. Kitano, J.Phys. D: Appl. Phys. 405401 (2016). 特許第 6087029 号.