

プラズマ - 高速液流界面を介した短寿命活性種の生成と輸送 Generation and Transport of Short-lived Reactive Species through Interface of Plasma and High-speed Liquid Flow

金子 俊郎, 武田 一希, 高島 圭介, 佐々木 渉太
Shota Sasaki, Kazuki Takeda, Keisuke Takashima, and Toshiro Kaneko

東北大院工
Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ.

現在, 非平衡大気圧プラズマの生命科学分野への応用の観点から液体と接触するプラズマが注目され, 特に液中の生体組織に対して供給される短寿命の活性種が重要な作用因子とされており, その生成・消滅等の挙動の解明が課題となっている. プラズマ-液体界面では, イオンのスパッタリング, 気相活性種の溶解, 液体の蒸発, 電気分解などの様々な物理・化学現象が複雑に絡み合っており, さらに界面の揺らぎは気相・液相の短寿命活性種の挙動に大きく影響を与えると考えられるが, これらに関する実験はほとんど行われていない. また, 一般に使用される静止液体との間に形成する気液界面プラズマでは, 気相・液相において巨視的に不均一な流れ場を形成し, 現象が複雑化する難点がある.

そこで筆者らは, 気液界面プラズマにおける短寿命活性種の生成・消滅に対する界面揺らぎの影響を低減し, 比較的均一なプラズマ-液体界面を広範囲で形成できる, 「高速液流導入非平衡大気圧プラズマ生成装置」を開発し, 基礎的な実験を行ってきた. 今回, この高速液流導入プラズマを用いることで, 極めて短寿命の液相ヒドロキシルラジカル(OH)の高時間分解計測を試み, 得られた活性種濃度の減衰を説明可能な輸送モデルを構築したので報告する.

図1に高速液流導入プラズマの構成を示す. 大気圧ヘリウムプラズマ中へ高速液流($v \sim 12.6$ m/s)を導入し, 下流側においては位置制御された試薬注入口から, OHの検出試薬としてテレフタル酸を注入する. 以上の系により, 流れ方向の空間分布と時間発展を同一視($\Delta t = \Delta z / v$ から $\Delta z = 1$ mm で $\Delta t \sim 80$ μ s)でき, 高時間分解測定が実現可能となる.

図2にOH濃度に対応するヒドロキシテレフタル酸(HTA)生成量の試薬注入距離(d_g)依存性を示す. OH濃度が, 試薬注入距離(時間経過)の増加に伴って急速に減衰していく様子が観測された. このOH減衰は, 水平(ξ)方向の一樣分布を仮定したモデル(A-1)のシミュレーション結果に比べて非常に速く, プラズマ側から一定のOH流束(Γ_{OH})を仮定した表面局在を考慮したモデル(B-1)を用いることで実験結果に近づくことが分かった. さらに, 長寿命活性種(NO_2^-)との反応も考慮したモデル(B-2)により実験的に得られたOH減衰を良く説明できることが分かった. 従って, 今回構築したモデルはプラズマ生成液相中OH挙動の予測に有用だと考えられる.

講演では, OH流束の影響や液中化学反応の検討について詳細に述べる.

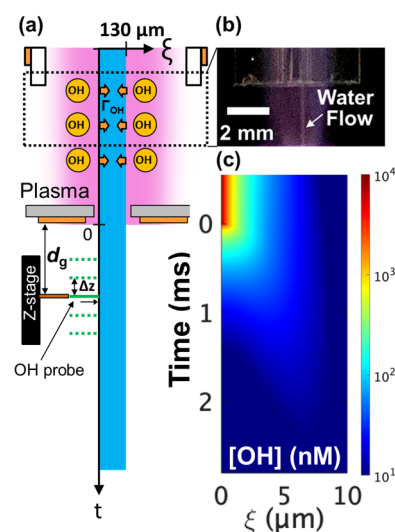


図1: 高速液流導入プラズマの(a)構成と(b)写真. (c)液流中OH分布のシミュレーション結果.

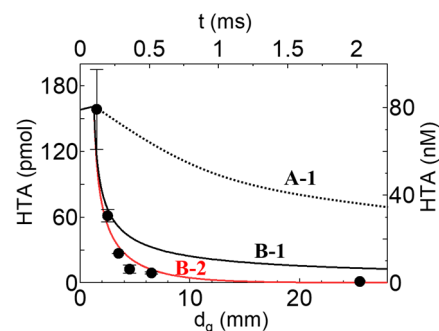


図2: HTAの生成量の d_g 依存性と3種類のモデルに基づく理論減衰特性.