

## 高速活性種移流システムによるプラズマ生成液相 OH ラジカルの精密計測 Precise Measurement of Plasma-Generated Liquid-Phase OH Radicals by a High Speed Species Advection System

武田一希, 佐々木渉太, 高島圭介, 金子俊郎  
Kazuki Takeda, Shota Sasaki, Keisuke Takashima, Toshiro Kaneko

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

近年, 非平衡大気圧プラズマ (APP) の応用研究が幅広い分野で盛んに行われている. 一般的に, APPを液体と接触させることで得られる高い反応場を利用しており, 中でも界面で生成された短寿命な活性酸素・窒素種 (RONS) の作用効果は特に重要視されている. しかし, 高い反応性と界面偏在性を有する短寿命RONSは実験観測至難であり, 安定な最終生成物の実験計測やモデル計算から時空間分布を予測する他に方法がない状況にある. そこで筆者らは, 短寿命RONSの実験的検出が可能で, かつ計算モデルと比較議論可能な, 高速活性種移流システムを構築した. 微細かつ高速な液体をAPPへ導入することで, 本系では高時間分解能 ( $\approx 80 \mu\text{s}$ ) で液相OH減衰取得に成功している<sup>[1]</sup>.

活性種移流システムを図1に示す. APP中へ高速水流 ( $\approx 12.6 \text{ m/s}$ ) を射出し, 下流ではOHプローブであるテレフタル酸 (TA) を距離制御注入する. この時, 注入箇所での2-ヒドロキシテレフタル酸 ( $\text{HTA}^2$ ) の生成レート  $G_{\text{HTA}}$  (pmol/s) と液相OH生成レート  $G_{\text{OH}}$  (pmol/s) の間には

$$G_{\text{HTA}} = Y_{\text{HTA}} \cdot F_{\text{trap}} \cdot \varphi_{\text{col}} \cdot G_{\text{OH}} + G_{\text{HTA}}^i$$

の関係がある.  $Y_{\text{HTA}}$  は  $\text{HTA}^2$  変換率 ( $\approx 1$ ),  $F_{\text{trap}}$  は TA による OH 捕捉率,  $\varphi_{\text{col}}$  は TA 試薬と水流の混合効率,  $G_{\text{HTA}}^i$  は気相因子 ( $\text{OH}_{\text{gas}}, e^-$  等) の  $\text{HTA}^2$  生成干渉である.  $F_{\text{trap}}, \varphi_{\text{col}}, G_{\text{HTA}}^i$  は OH 生成レートを議論する際に検討する必要がある. 各因子に対して実験的な評価を行った結果,  $G_{\text{OH}} \approx G_{\text{HTA}}$  として良いことが示された. また,  $\text{HTA}$  生成レートと  $\text{HTA}$  濃度 ( $[\text{HTA}]$ ) の関係から,

$$G_{\text{OH}} \approx G_{\text{HTA}} = (F_{\text{DW}} + F_{\text{RG}})[\text{HTA}]$$

$F_{\text{DW}}$  は水流量 ( $F_{\text{DW}} = 10 \text{ mL/min}$ ),  $F_{\text{RG}}$  は試薬流量 ( $F_{\text{RG}} = 1.1 \text{ mL/min}$ ) である. ここで更に OH の液流断面平均濃度  $[\text{OH}]_{\text{csa}}$  を導入すると, 水流と試薬流の混合箇所における  $[\text{OH}]_{\text{csa}}$  は,

$$[\text{OH}]_{\text{csa}} \approx \frac{F_{\text{DW}} + F_{\text{RG}}}{F_{\text{DW}}} [\text{HTA}]$$

と表現され, 実験的に評価可能となる.

図2は実験的に得られた  $[\text{OH}]_{\text{csa}}$  の減衰特性である. OHは約1 ms以内に  $[\text{OH}]_{\text{csa}} = 88 \text{ nM}$  から  $2 \text{ nM}$  へと失活しており, この減衰は断面均一分布によるOH結合の計算モデル (図2: 実線) では説明できないほど高速であった. これは, OHが表面局在していることを示唆している. さらに, 材料ガスへの窒素添加で減衰の早まりが観測され, OHを消費する活性窒素種の存在を示唆している.

講演では, 実験評価の詳細や表面局在を考慮した計算モデルも含めて詳細に述べる.

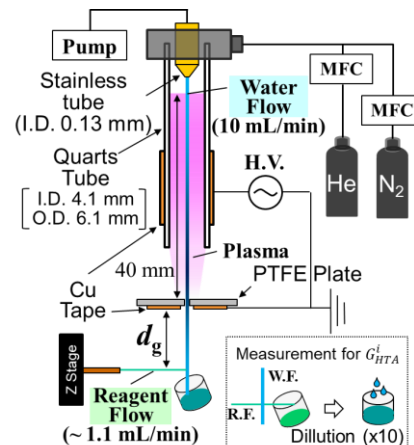


図1 高速活性種移流システムの概要

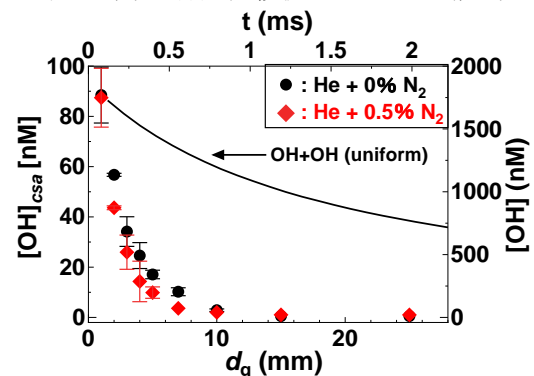


図2 液相  $[\text{OH}]_{\text{csa}}$  の実験減衰結果

### Reference

[1] K. Takeda, S. Sasaki, W. Luo, K. Takashima, and T. Kaneko, *Appl. Phys. Express* 14 (2021) 056001.