

平成 26 年度工学系共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所 属	大学院理工学研究科 電気電子工学専攻
研究者 (ふりがな)	竹内 希 (たけうち のぞみ)
タイトル	物質移動および気相・液相流を考慮した気液界面プラズマの反応解析
助 成 名	工学系若手奨励賞
採択金額	1,200,000 円
研究の背景	<p>液体を一方の電極として生成される気液界面プラズマは、高度水処理技術として高い能力を有し、さらに、バイオ・医療分野への応用が進んでいる。これらの応用においては、気相で生成された活性種が液相へと輸送され、有機物の分解や細胞処理等に寄与するが、複雑な反応過程を理解するためには、気液界面を通しての物質輸送を考慮した反応シミュレーションが有効なツールとなる。本研究は、反応過程に大きく影響すると考えられる、プラズマにより発生する液相の流れを観測するとともに、流れを考慮した反応シミュレーション技術の確立を目的とする。</p>
結果と考察	<p>(1) 気液界面プラズマにより誘起される流れの観測</p> <p>図1に示すプラズマリアクタを用いて、PIV (Particle Image Velocimetry) を用いた処理水中の流れの観測を行った。PIVのトレーサ粒子にはポリスチレン粒子を用いた。針電極には200 kΩのバラスト抵抗を介して直流電圧を印加し、処理水である酢酸溶液の底部を接地することで、針電極と処理水面の間に、気液界面プラズマを生成した。放電ガスはアルゴン、処理水の初期濃度は10 mg_{TOC}/L (TOC: 全有機炭素)、電流値は1~10 mAとした。</p> <p>図2に、PIV法により得られた処理水中の流速ベクトルを示す。このときの電流値は1 mAである。プラズマと処理水の界面 (針電極下部) から、界面に沿って壁面に向かう方向の循環流が処理水中に誘起され、流速は界面近傍で最大であった。また、流速は電流値が大きいくほど速くなった。</p> <p>次に、図1のプラズマリアクタを用いて、気液界面プラズマによる酢酸分解実験を行った。酢酸はオゾン等では分解できない難分解性の有機物であり、気液界面プラズマにより生成されるOHラジカルにより分解が可能である。処理水中に攪拌子を入れ、マグネティックスターラで処理水を攪拌した場合と攪拌しない場合の酢酸分解速度および分解効率を比較した。攪拌の有無で、酢酸分解結果に大きな差異は見られなかったことから、気液界面プラズマの生成により誘起される処理水中の循環流により、有機物分解に必要な処理水の攪拌が十分になされていることが明らかとなった。</p> <p>(2) 気液界面プラズマの反応シミュレーション</p> <p>次に、図3に示す軸対称2次元モデルを用いて、気液界面プラズマの反応シミュレーションを行った。放電ガスは水蒸気を含むアルゴンとし、パルス幅200 nsのパルスプラズマによる電子衝突反応および気</p>

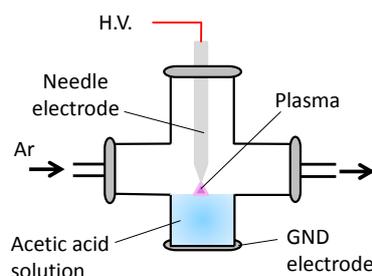


図 1 : プラズマリアクタ

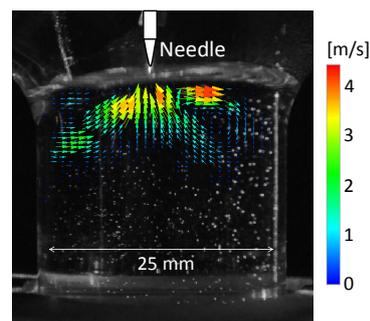


図 2 : PIV 測定結果

相反応と、液相反応を計算した。気液界面を通しての物質移動は、各粒子に対して、ヘンリーの法則に従う平衡状態と、フラックス連続の2つの境界条件を気液界面で与えることで模擬した。ここで、気液界面において、対称軸から壁面に向かう方向に0~5 cm/sの流速を境界条件として与えて、気液中で循環流を発生させ、プラズマにより誘起される処理水中の流れの影響を調査した。

1パルス当たりにはOHラジカルにより分解される酢酸の量を図4に示す。横軸は気液界面での流速である。流速が大きくなるほど酢酸分解量が増加した。OHラジカルはその反応性の高さ故、OHラジカル同士で反応して過酸化水素を生成する。処理水中に吸収された過酸化水素は、OHラジカルのスカベンジャとして働くことから、酢酸の分解反応を阻害してしまう。処理水中に流れが誘起されると、プラズマと処理水の界面近傍での過酸化水素濃度が下がるため、OHラジカルが酢酸分解に有効に使われる。0.5 cm/s程度の非常に弱い流れでも、酢酸の分解量が2倍に増加していることから、気液界面プラズマの反応シミュレーションでは、処理水中の流れを考慮することが重要であることが明らかとなった。

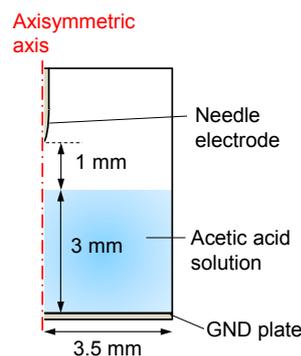


図3：軸対称2次元モデル

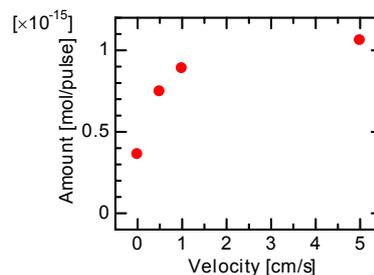


図4：界面流速に対する酢酸分解量の変化

結論と今後の課題

気液界面プラズマを形成すると、処理水中に数 cm/s 程度の流速を有する循環流が形成されることを、PIV計測により観測した。気液界面プラズマにより生成されるOHラジカルを用いた酢酸分解では、この循環流によって処理水が十分に攪拌されていることを実験的に明らかにした。

気液界面を通しての物質移動を考慮した、気液界面プラズマの反応シミュレーションモデルを構築し、処理水中に誘起される流れの、有機物分解反応への影響を調査した。0.5 cm/s 程度の非常に弱い流れでも、OHラジカルによる酢酸分解量が2倍に増加したことから、気液界面プラズマの反応シミュレーションにおいて、処理水中の流れを考慮することの重要性が明らかとなった。

今後の課題としては、物質移動以外の液相OHラジカル生成過程の寄与を解明することが挙げられる。

使用内訳書

費目	内訳	金額
備品1	PIVソフトウェア	1,073,520
備品2		
消耗品	リアクタ部品, 測定器消耗品, 等	126,480
旅費		
その他		
合計		1,200,000

記入上の注意：

備品は、品名ごとに記入。
 差額が生じた場合は、消耗品で調整。
 消耗品を購入しなかった場合は、経費の差額と補填した予算科目名を合計額の内訳欄に記入。