

高電圧を用いた水中プラズマの形成および水処理への応用に関する研究

○東北学院大学 学生会員 橋本 新
東北学院大学 学生会員 村上 雄紀
東北学院大学 学生会員 桑原 悠人
東北学院大学 正会員 韓 連熙

【序論】

プラズマとは固体、液体、気体につながる第4の物質状態である。固体を高温に熱すると融解して液体になり、構成原子や分子は蒸発して気体となる。さらに高温にすると、気体原子や分子が熱運動により激しく衝突するようになり、原子や分子から電子が剥ぎ取られる。このような電荷を持つ電子とイオンなどの粒子を含む高温気体のことをプラズマと呼び、応用された身近な物として蛍光灯などがあげられる。さらに最近では、自動車のヘッドライトやテレビなどにも使われていることが報告されている¹⁾。

プラズマは水中での形成も可能であり、ラジカルや紫外線などの強力な酸化剤を生成させることにより「新しい反応場」として水処理分野でも注目されている。特に、ラジカルの中でも有機物質との反応が非選択的かつ高い反応性をもつOHラジカルは水中プラズマにより水の解離が起こることで生成されると言われ、環境汚染物質の中でも処理が困難と言われている難分解性有機物質の処理にも期待されている²⁾。

水中プラズマの形成には、短いパルス幅、かつ数kHz以上の高い周波数で電圧を印加することが可能であるパルス電源が用いられることが多いが³⁾、本研究では水中プラズマを形成させるためにパルス電源装置ではなく単純電圧増幅器を用いて電圧を増幅させる方法で高電圧を生成させ、水中プラズマの形成を試みた。水中プラズマの形成を確認するために水中で生成されるOHラジカルはラジカルを直接捉えることが可能である電子スピン共鳴装置（ESR）を用いて測定を行った。また、水処理への応用について検討を行うため、モデル水中有機物質を染料として用いられるメチレンブルーを用いて脱色実験を行った。

【実験方法】

電極としては、耐久性が優れているタングステン電極を用い、電極間の距離は1mmになるようにリアクターに設置した。電源は、1.5Vの単3形乾電池4本を用いて増幅器によって10と100kVまでに増幅させた。リアクターにトラップ（スピントラップ）剤100μLを入れ、30秒間放電を行った。その後、リアクターからトラップ剤をガラス管に40μL取りESR（JES-TE300, JEOL）を用いてOHラジカルを測定を行った。短寿命で不安定なラジカルを安定にラジカルトラップするためのトラップ剤（スピントラップ）としてはCYPMPOを（株式会社司代システム）用いた。また、水処理への応用として0.03g/Lのメチレンブルー（和光純薬）水溶液を用いて脱色実験を行った。メチレンブルー水溶液は①純水のみ、②酸素バブリング、③硫酸添加の3種類を用いて調整した。

【結果・考察】

1) ESRを用いたOHラジカル測定実験

キーワード 水中プラズマ OHラジカル ESR

連絡先 〒985-0873 宮城県多賀城市中央1丁目13-1 東北学院大学工学部 環境建設工学科
TEL 022-368-7341

水中でプラズマが形成されると、水の解離により OH ラジカルなどが発生することが知られている²⁾。本実験では、水中プラズマの形成を目的とし、確認するために生成されるラジカルを ESR を用いて測定を行った。純水を用いて 100 kV の高電圧を電極に 30 秒間流した後、測定した ESR スペクトルを図 1 に示す。示したスペクトルの特徴（g 値）から OH ラジカルであることが確認された。このことから、本実験で用いた装置によって、OH ラジカルの生成が確認されたことから水中でのプラズマの形成が可能であると考えられる。

2) メチレンブルー水溶液を用いた水処理への応用実験

本実験では水処理への応用を目的とし、水中有機物質としてメチレンブルー水溶液を用いて脱色実験を行った。硫酸を添加した 0.03 g/L メチレンブルー水溶液に電圧 6 V を増幅器で増幅させた 10 kV と 100 kV の電圧を 60 分間流した結果を図 2 に示す。電圧 100 kV を用いた場合が最も高い脱色効果が見られた。結果は示していないが、溶液の調整条件①～③のすべてにおいて 10kV より 100kV の電圧の場合が脱色効果が高く、調整条件の中では条件③の硫酸添加時が最も高い脱色効果が得られた。このことから、本実験で用いた実験装置によって、水中プラズマが形成され、それにより生成された酸化剤によって水中有機物質の分解が可能であると判断された。

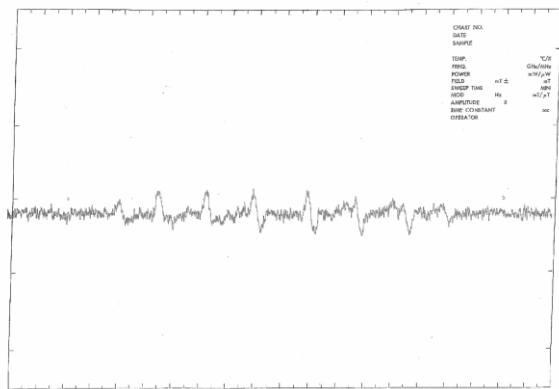


図 1. 純水に 100 kV の高電圧を電極に 30 秒間流した後に測定した ESR スペクトル

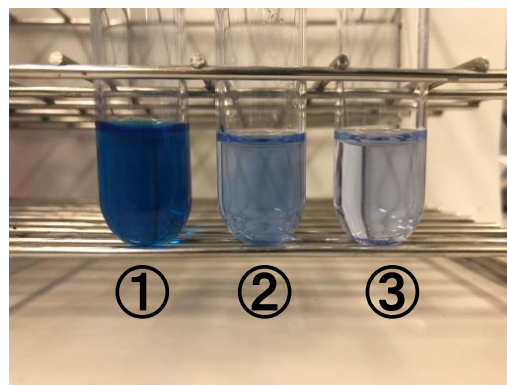


図 2. 電圧ごとによる硫酸添加のメチレンブルー水溶液の脱色実験。(①0 kV (原液), ②10 kV, ③100kV; 反応開始から 60 分後)

【結論】

本実験で用いた電源装置により OH ラジカルの生成が確認されたことから水中プラズマが形成される可能性が示唆された。さらに、水処理への応用についても、メチレンブルー水溶液の脱色実験の結果から可能性が十分あると判断される。今後の課題としては、パルス電源装置との比較検討や電極の多様性、リアクターの改善などが必要であると思われる。また、水処理への応用についても様々な水中有機物質を用いて分析する必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 多幾山憲, 難波慎一, プラズマとその応用, 大学院工学研究科 機械物理工学専攻.
- 2) PEKURIS 栗田製作所, 液中プラズマ【液中プラズマの特徴】
http://pekuris.co.jp/technology/l_plasma.php
- 3) 水越克彰, 玉井鉄宗, 清野智史, 堀部博志, 西村芳美, 水中プラズマの衛星分野・農業分野への応用, 表面技術, 67 (6), p26-29, 2016.