

一般セッション(口頭講演) | 8 プラズマエレクトロニクス：8.5 プラズマ現象・新応用・融合分野

■ 2023年9月22日(金) 13:00 ~ 18:00 | 会場 A309 (熊本城ホール)

[22p-A309-1~16] 8.5 プラズマ現象・新応用・融合分野

白井 直機(北大)、古閑 一憲(九大)、伊藤 剛仁(東大)、呉 準席(大阪公立大学)

13:00 ~ 13:15

[22p-A309-1] [講演奨励賞受賞記念講演] プラズマ-液体界面における短寿命活性種の挙動解析

○武田 一希¹、佐々木 渉太¹、高島 圭介¹、金子 俊郎¹ (1.東北大院工)

◆ 注目講演

13:15 ~ 13:45

[22p-A309-2] [分科内招待講演] 低温大気圧プラズマ技術を用いた骨・靱帯再生医療への応用

○豊田 宏光¹、呉 準席²、嶋谷 彰芳¹、伴 祥高¹、斉藤 公亮¹、中澤 克優¹、折田 久美¹、白藤 立²、中村 博亮¹ (1.大阪公大医、2.大阪公大工)

14:00 ~ 14:15

[22p-A309-3] ガス温度による誘電体バリア放電の自己組織化における放電構造の違い

○明石 治朗¹、吉永 智一¹ (1.防衛大)

14:15 ~ 14:30

[22p-A309-4] 大気圧直流放電と水の相互作用を用いたアンモニア合成

○白井 直機¹、ラモイ メアリー¹、佐々木 浩一¹ (1.北大工)

14:30 ~ 14:45

[22p-A309-5] プラズマを用いたCO₂の水素還元における選択性の制御

○都甲 将¹、奥村 賢直²、鎌滝 晋礼²、竹中 弘祐¹、古閑 一憲²、白谷 正治²、節原 裕一¹ (1.阪大接合研、2.九大シス情)

14:45 ~ 15:00

[22p-A309-6] SEM中の局所プラズマ照射による水素脆化き裂発生過程の観察

○八田 章光¹、富松 宏太²、大村 朋彦²、小林 憲司²、青木 貴浩² (1.高知工科大、2.日本製鉄)

15:00 ~ 15:15

[22p-A309-7] 表面発射型プラズマ弾丸の印加電圧dV/dt依存性

～実験による系統的調査～

○松本 侑¹、川西 元輝¹、白藤 立¹、呉 準席¹ (1.大阪公大工)

15:30 ~ 15:45

[22p-A309-8] 大気圧アルゴンプラズマジェットを用いたCNTシートの親水化

○桑畑 周司¹、高尻 雅之¹ (1.東海大工)

◆ 奨励賞エントリー

15:45 ~ 16:00

[22p-A309-9] 大気圧直流グロー放電における自己組織化した発光模様とルミノールケミルミネセンスの相関

○(D)宮崎 俊明¹、白井 直機¹、佐々木 浩一¹ (1.北大工)

◆ 奨励賞エントリー

16:00 ~ 16:15

[22p-A309-10] 低ガス圧HeプラズマとNaCl水溶液ジェットの界面における酸化還元反応に対するバイアス電位印加の効果

○(M2)高橋 仁¹、佐々木 浩一¹ (1.北大工)

◆奨励賞エントリー

16:15 ~ 16:30

[22p-A309-11] 液中プラズマ中でのアルコール類の分解におけるOHラジカルの役割

○(M1)宮本 天樹¹、南 英治¹、河本 晴雄¹ (1.京大院エネ科)

◆奨励賞エントリー

16:30 ~ 16:45

[22p-A309-12] 準安定励起ヘリウム原子を用いた光ポンピング磁気センサの原子密度計測及び磁場感受性に関する検討

○日高 颯哉¹、豊田 みなみ¹、占部 継一郎¹、伊藤 陽介¹ (1.京大院工)

17:00 ~ 17:15

[22p-A309-13] オゾン処理土壌濾液の基礎特性測定

○新原 爽平¹、光木 文秋¹ (1.熊本大学)

17:15 ~ 17:30

[22p-A309-14] 酸路ラジカル照射によるトリプトファン分解物の高効率精製

○荒木 祥多¹、岩田 直幸²、西川 泰弘¹、堀 勝²、伊藤 昌文¹ (1.名城大学、2.名古屋大学)

17:30 ~ 17:45

[22p-A309-15] 気液界面プラズマを用いたフコイダンの低分子量化効率の濃度依存性

○加藤 晴輝¹、山本 紗哉加¹、新歩 和明¹、吉田 佳祐¹、白藤 立¹、呉 準席¹、高岡 素子² (1.大阪公大工、2.神戸女学院大)

17:45 ~ 18:00

[22p-A309-16] 面発射型プラズマ弾丸によるPLA表面親水化のパルスオフ時間依存性

○川西 元輝¹、松本 侑¹、呉 準席¹、白藤 立¹ (1.大阪公大工)

プラズマ-液体界面における短寿命活性種の挙動解析

Dynamics of Short-Lived Reactive Species at Plasma-Liquid Interface

東北大院工

○武田 一希, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎

Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ.

○ Kazuki Takeda, Shota Sasaki, Keisuke Takashima, Toshiro Kaneko

E-mail: takeda.kazuki.t5@dc.tohoku.ac.jp

液体界面を持つプラズマは、極めて反応性の高い短寿命な活性酸素・窒素種（RONS）を液中にその場供給する手段として医療・農業・環境分野で期待されている。しかし液中生成した短寿命RONSはその反応性の高さ故に、界面近傍で複雑な反応ネットワークを構築しながら濃度勾配をもって分布するため、時空間的挙動に関する理解は乏しい現状にある。そこで筆者らは、微細（ $D \approx 130 \mu\text{m}$ ）かつ高速（ $> 10 \text{ m/s}$ ）な水流を大気圧プラズマへ導入するプラズマ-高速液流を構築し、これまで高時間分解能（ $\approx 80 \mu\text{s}$ ）で液相 $\cdot\text{OH}$ 減衰の実験検出と、数値モデルによる時空間分布の予測を行ってきた^[1]。現在、筆者らは $\cdot\text{OH}$ に続いて液相短寿命活性窒素種（ N_xO_y ）に対しても同様にその挙動を実験評価している。

図1にプラズマ-高速液流システムを示す。He/0.5% N_2 ガス流に対して高電圧を印加してプラズマを生成し、その上部から液流を射出導入する。下流では NO_2^- および NO_3^- 前駆体の捕捉剤としてp-ヒドロキシフェニル酢酸（p-HPA）や、 N_2O_3 蛍光試薬であるDAF-FMを位置（ d_g ）制御しながら注入する。この際、p-HPAは混合後直ちに各前駆体を捕捉すると仮定すると、その濃度は最終物である NO_2^- 及び NO_3^- の蓄積濃度の減少分と解釈できる。

図2に NO_2^- および NO_3^- 前駆体濃度とDAF-FMによる蛍光強度の試薬注入距離依存性を示す。各前駆体に関して、 d_g の増加により NO_2^- 前駆体のみが有意に濃度減少したことから、p-HPAが捕捉する短寿命活性種は最終的に NO_2^- へと至る NO_2^- 前駆体である事を突き止めた。また、その半減期は2~3 msと、DAF 蛍光体の半減期とおおよそ一致していることから、 N_2O_3 が NO_2^- 前駆体の有力候補である事を見出した。講演では以上の実験と N_xO_y の化学反応モデル比較による短寿命活性種の挙動に関する議論を行う。

[1] K. Takeda et al., Appl. Phys. Express **14**, 056001 (2021).

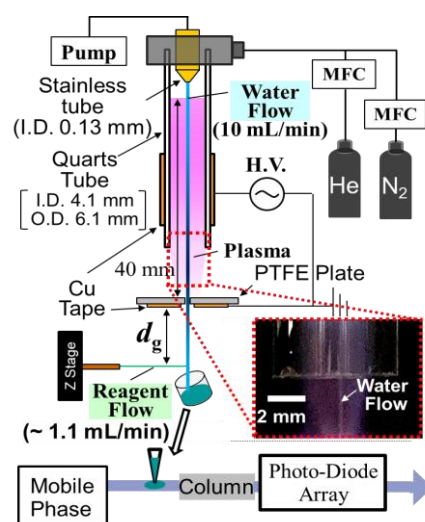


図1 プラズマ-高速液流システム概要

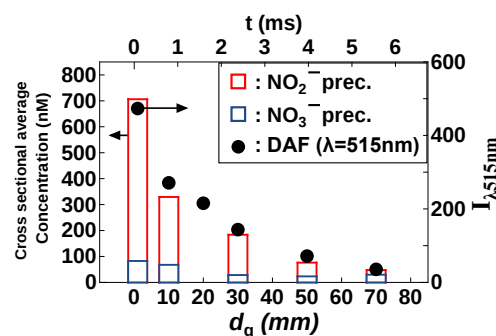


図2 NO_2^- および NO_3^- 前駆体濃度とDAF 蛍光体の蛍光強度に対する d_g 依存性

低温大気圧プラズマ技術を用いた骨・靱帯再生医療への応用

Biomedical application of non-thermal atmospheric pressure gas discharge plasma for the healing of bone and tendon injury

¹大阪公大医, ²大阪公大工 ○豊田宏光¹、吳準席²、嶋谷彰芳¹、伴祥高¹、
齊藤公亮¹、中澤克優¹、折田久美¹、白藤立²、中村博亮¹

¹Graduate School of Medicine, ²Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan Univ.

○Hiromitsu Toyoda¹, Jun-Seok Oh², Shimatani Akiyoshi¹, Yoshitaka Ban¹, Kosuke Saito¹,
Nakazawa Katsumasa¹, Kumi Orita¹, Tatsuru Shirafuji², Hiroaki Nakamura¹

E-mail: h-toyoda@omu.ac.jp

【目的】低温大気圧プラズマの医療への応用として、生体適用材料の改質、殺菌、滅菌、創傷治療、がん治療などの分野で盛んに基礎および臨床研究が行われているが、骨癒合や骨、腱再生など運動器再生への応用について検証した報告はほとんどない。骨折や腱断裂などの運動器障害は日常生活を著しく低下させるため、治療期間を短縮することが可能な革新的な治療法が開発されれば、高齢者の寝たきり防止や若い世代の早期社会復帰につながり、社会にもたらす影響は大きい。私たちは、低温大気圧プラズマの技術が運動器再生の分野で応用可能であるか検証するため、いくつかの基礎研究を行ったきたので、その成果について報告する。

【方法】骨再生を促進させる作用があるかを検証するため、白色家兎の前足に自然治癒が困難な巨大骨欠損を作成しプラズマを照射する実験を行った[1]。さらに、ラットの大腿骨を骨折しその後内固定する骨折モデルならびに、骨折部の骨膜を焼灼し内固定した自然治癒が困難な骨折遷延治癒モデルを作成し、骨折後の骨癒合を促進させる効果についても検証した。また、腱損傷の治癒促進効果を検証するために、ラットのアキレス腱を切離した後に縫合する

アキレス腱縫合モデルを作成しプラズマ照射の効果を検証した。いずれの実験もヘリウムガスを用いたペンシル型・誘電体バリア放電式の低温大気圧プラズマ照射装置を用いた。

【結果】骨や腱組織に直接低温大気圧プラズマを照射すると、親水性の向上やXPSにおいて表面改質（Oの増加、Cの低下等）を認めた。ウサギ骨欠損モデルにおいては、プラズマ照射群において新生骨の有意な増加を認めた[1]。ラットを用いた骨折モデルにおいては、通常の骨折モデルでは照射の有無で大きな差異を認めなかったが、骨折遷延治癒モデルにおいては照射群にのみ骨癒合を認めた。ラットを用いた腱損傷モデルにおいては、組織学的、力学的にプラズマ照射群において早期に修復を確認することができた。

【まとめ】動物実験の検証ではあるが、適切な条件下での低温大気圧プラズマ照射は、骨折、腱断裂、骨欠損などの障害に対して修復促進効果をもたらす可能性があることが示された。

【謝辞】本研究は、科研費(19K03811)の支援を受けて行った。

【参考文献】[1] A. Shimatani *et al*, PLoSONE, **16** (2021) e0255861.

ガス温度による誘電体バリア放電の自己組織化における放電構造の違い

Differences in discharge structure due to gas temperature in self organization of dielectric barrier discharge

防衛大応物¹ °明石 治朗¹, 吉永 智一¹

Dept. Appl. Phys., N.D.A.¹, °Haruaki Akashi¹, Tomokazu Yoshinaga²

E-mail: akashi@nda.ac.jp

筆者らはこれまで AC 大気圧誘電体バリア放電を対象として流体モデルによる解析を行ってきた[1]。今回はガス温度が誘電体バリア放電中の自己組織化構造を変化させるかを検討した。ガス温度以外の条件は同一としてシミュレーションを行った。1 周期平均した電子密度の空間分布を図 1 に示す。図 1 に示すようにガス温度を考慮した場合としない場合において放電構造が大きく変化することがわかった。ガス温度を考慮しない場合は放電空間全体的にある程度電子が存在し、誘電体表面に高密度領域が接地側(G.E.@Y=0cm)、電源側(P.E.@Y=0.2cm)で交互に生成されている(Quincunx 構造[2])。考慮した場合は、従来からのフィラメント状放電による自己組織化構造である。図 2 に示す蓄積電荷密度の時間変化を見てみると、考慮しない場合は高密度領域が形成されない場所から正電荷の蓄積が始まり、その後複数の高密度領域が同時に形成されている。沿面放電による広がり観られず複数の電極間方向だけの放電と推定できる。詳細は当日述べる。

参考文献：[1] G.Takahashi et al, IEEJ Trans. FM, Vol.131, No.3, pp.205-210 (2011) [2] B. Bernecker et al, J.Phys. D: Appl. Phys., 44, pp.262002 (2011)

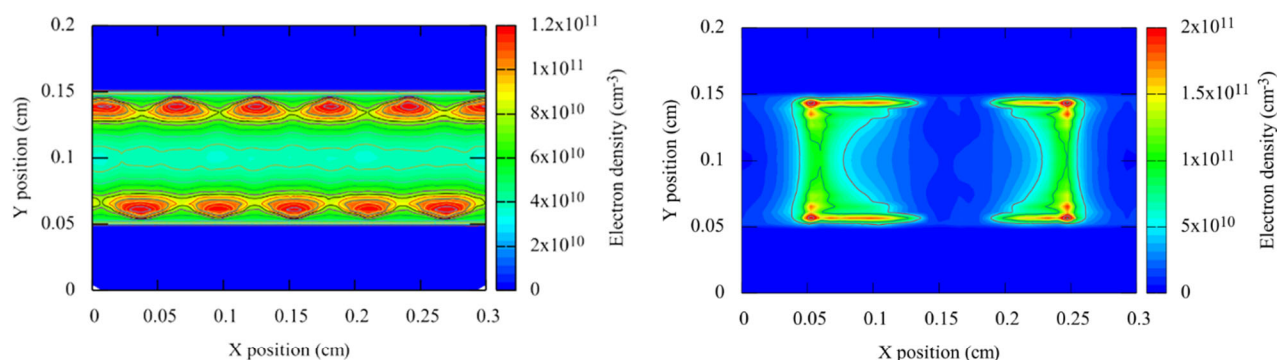


Fig.1 Spatial Distribution of Electron Density. Left: Without Gas Temp. Eq., Right: With Gas Temp. Eq.

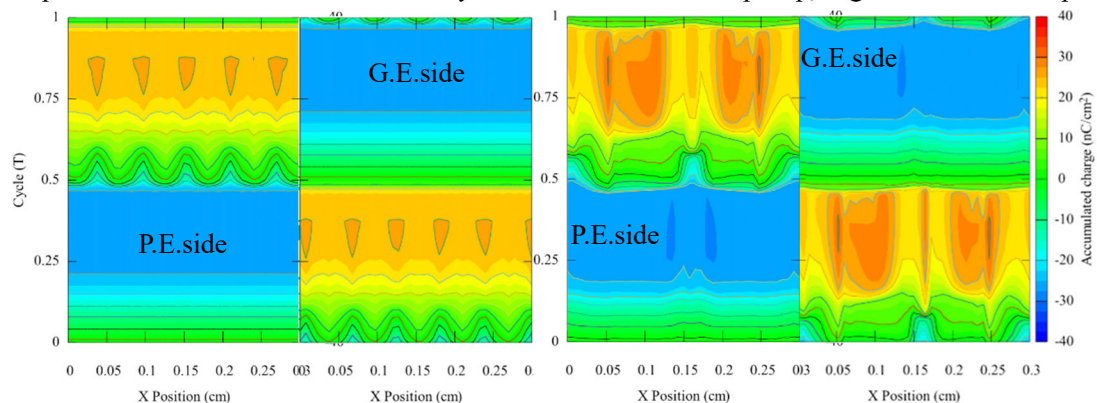


Fig.2 Temporal evolution of Accumulated Charge Density Distribution. Left: Without Gas Temp. Eq., Right: With Gas Temp. Eq.

大気圧直流放電と水の相互作用を用いたアンモニア合成

Ammonia Synthesis Using Atmospheric Pressure DC Discharge and Water Interaction

北大工, °白井 直機, ラモイ メアリー, 佐々木 浩一

Hokkaido Univ., °Naoki Shirai, Mary Ramoy, Koichi Sasaki

E-mail: nshirai@qe.eng.hokudai.ac.jp

アンモニアは植物への窒素固定だけでなく近年エネルギーキャリアとしての利用も検討される重要な物質であり、これまで大規模設備であるハーバーボッシュ法により合成されてきたが、中規模・小規模レベルの合成のための触媒開発やプラズマプロセスの研究が世界中で実施されている。アンモニアの原料として一般的には窒素と水素を利用されるが、水素の代わりに水を原料にした研究も近年報告されている[1, 2]。

本研究ではアンモニア合成のためのグリーンな触媒レスのプロセスとして、直流電源で生成した大気圧プラズマを水と接触させる方法を検討した。図1が実験装置の概略であり、窒素ガスをマイクロリアクタ内に吹き込み、水面または水中で窒素ガスを原料としたプラズマを生成する。一般的に希ガス等を利用せずに水中でプラズマを安定に生成することは難しいが、誘電体チューブで放電部を閉じこめることで、誘電体チューブ並びに気泡の中で、安定した窒素プラズマを発生させることができる。アンモニアの合成量は、放電電流を大きくし、窒素の流量を増やし、水の導電率を下げるとより高い生成率が得られた。直流電源の極性は水を陰極として放電させた場合の方が高い生成率が得られた。最適化した放電条件では 0.98 mol/min の最大生産量を実現し、これは水と接触する直流放電を用いて得られた文献値[1] より高くなった。プラズマと水の相互作用においてアンモニアが合成されるメカニズムは十分に理解されておらず、合成される場所も気相、界面、液相どの領域が支配的なのかも十分にわかっていない。講演ではその合成メカニズムの考察についても報告する。

[1] R. Hawtof, et al., Sci. Adv. 5, eaat5778 (2019)

[2] T. Haruyama, et al., Green Chem., 18, 4538 (2016)

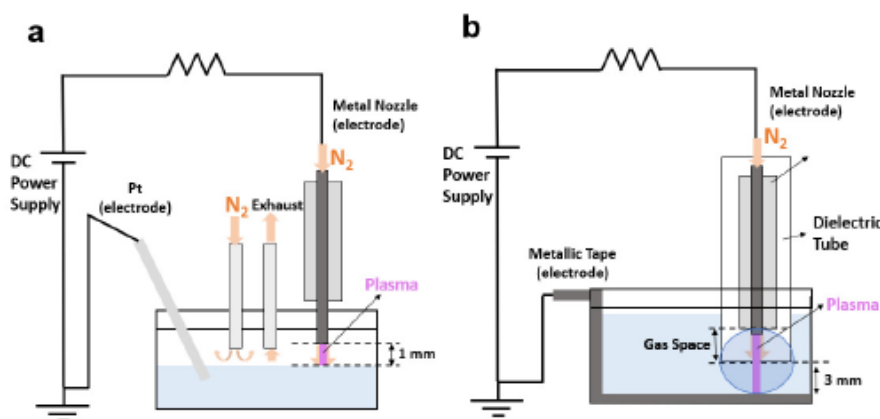


図1 プラズマ液体相互作用を利用したアンモニア合成装置

プラズマを用いた CO₂ の水素還元における選択性の制御

Control of selectivity in hydrogenation of CO₂ using plasma

阪大接合研¹, 九大シス情²

○都甲 将¹, 奥村 賢直², 鎌滝 晋礼²,

竹中 弘祐¹, 古閑 一憲², 白谷 正治², 節原 裕一¹

Osaka Univ.¹, Kyushu Univ.²,

○Susumu Toko¹, Takamasa Okumura², Kunihiro Kamataki², Kosuke Takenaka¹,

Kazunori Koga², Masaharu Shiratani², Yuichi Setsuhara¹

E-mail: susumu.toko@jwri.osaka-u.ac.jp

CO₂ の水素還元技術は、持続可能な社会の実現に向けた有力なアプローチとして大きな注目を集めている。CO₂ の水素化によって得られる CH₄ や CH₃OH は優秀な水素キャリアであり、より効率的なエネルギー運用を可能とし、また化成品への利用も見込める。一般的には熱触媒作用によって CO₂ 分解の活性化エネルギーを低減し、反応を促進する。しかし、CO₂ が非常に安定な物質であるため、反応には高温を必要とし、触媒の失活やエネルギー効率の低下を招いている。そこで、近年非平衡プラズマと触媒を併用したプラズマ触媒作用による反応促進が注目されている。プラズマ中の高エネルギー電子によって、容易に CO₂ を分解、励起することが可能であり、より低温での反応促進を実現、プロセスの安定性やエネルギー効率の増加が期待される[1, 2]。しかし、プラズマ触媒作用による反応は、反応系が非常に複雑であるため、プラズマと触媒の相互作用をはじめとした反応メカニズムがほとんどわかっていない。社会実装にあたり、最適なプロセス条件、装置デザインの指標となる反応メカニズムの理解は不可欠である。本研究では、低圧非平衡プラズマを用いて、触媒の有無や圧力、CO₂/H₂ 流量比など、プラズマ触媒作用における基本的な条件と生成物の選択性の関係について調査した。

実験では、放電管として外径 5.0 cm、内径 4.2 cm のアルミナ管を使用した。プラズマは 3 回転のコイルアンテナによって管内に発生させた。管の出口に触媒として Cu メッシュを設置した。管の上部から H₂ と CO₂ を導入した。CO₂ を 2 sccm で固定し、H₂ を 0 ~ 20 sccm の範囲で変化させた。圧力を 1 mTorr, 10mTorr で固定した。四重極型質量分析計を用いてガス組成を測定した。ここでは生成物として CH₄, CH₃OH を想定し、CH₄ 分圧として 15 信号を、CH₃OH 分圧として 31 信号を参照した。

結果として、CH₄ 収率は圧力によらず、H₂ ガス流量の増加とともに増加した。一方で、CH₃OH 収率は H₂ = 0sccm の時に最も高く、流量の増加とともに減少していくが、その後再び増加する傾向を示した。また、この時最も低い CH₃OH 収率を示す H₂ 流量は圧力によって異なった。このような傾向の違いは、各条件においてそれぞれの反応の律速段階、またその変化に由来していると考えられる。すなわち、プラズマ制御による選択性の制御が可能であることが示された。詳細は講演にて。

[1] S. Toko, et al., Sci. Adv. Mater., **10** (2018) 655.

[2] R. Debek, et al., Renew. Sust. Energ. Rev., **116** (2019) 109427.

SEM 中の局所プラズマ照射による水素脆化き裂発生過程の観察

Observation of hydrogen embrittlement cracking by local plasma irradiation in SEM

高知工科大¹, 日本製鉄² °八田 章光¹, 富松 宏太², 大村 朋彦², 小林 憲司², 青木 貴浩²

Kochi Univ. Technol.¹, Nippon Steel Corp.², °Akimitsu Hatta¹, Kota Tomatsu²,

Tomohiko Omura², Kenji Kobayashi², Takahiro Aoki²

E-mail: hatta.akimitsu@kochi-tech.ac.jp

1. 背景と目的

水素脆化を抑制する材料開発において、水素脆化き裂の発生・進展過程を高倍率でその場観察する手法が求められている。本研究は、走査電子顕微鏡 (SEM) の高真空試料室で試料に局所ガスジェットによる水素放電マイクロプラズマを照射して脆化を促進し、き裂の発生・進展過程をその場で SEM 観察することを目的とする。

2. 実験方法

SEM の試料室に、先端がマイクロオリフィスであるステンレス製ノズルを通して、水素ガスを局所的にジェット状に供給し、試料室に取り付けたターボポンプで差動排気して水素ガスを流しながら高真空での SEM 観察を行う。ノズルにパルス高電圧を印加してノズル (陽極) と試料 (グラウンド・陰極) 間で局所的なマイクロ放電水素プラズマを生成する[1]。

3. 結果と考察

Fig. 1 は水素プラズマ照射しながら SEM 観察を行って、撮影した動画から、き裂の進展の様子を取り出した写真を示している。約 25 秒の間にき裂が進展していることが確認できる。写真の中央部の横向きの白線は、パルス放電によるノイズである。SEM の走査と同期し、電子ビームが観察領域から外れたタイミングで間欠パルスの放電させることにより、放電ノイズを避けて SEM 観察を行った。

SEM の画質を確保するため走査周波数を 0.04Hz の低速スキャンモードとしており、Fig. 1 の 2 枚の写真は、連続した 2 フレームである。水素マイクロプラズマは水素脆化を実験観察可能な時間で促進する効果が確認されたが、さらなる分析に、高画質と高速スキャンの両立が課題である。

4. まとめ

SEM 中の局所水素プラズマ照射によって、水素脆化のき裂発生を SEM 中でその場観察することが可能となった。

参考文献

[1] Kota Tomatsu, et al.; Rev. Sci. Instrum. 94 (2023) 023707. <https://doi.org/10.1063/5.0129618>

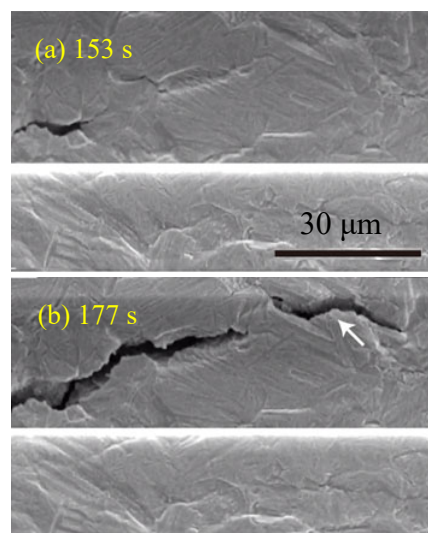


Fig. 1. SEM images of hydrogen embrittlement cracking observed after plasma irradiation for (a) 153 s and (b) 177 s.

表面発射型プラズマ弾丸の印加電圧 dV/dt 依存性 ～実験による系統的調査～

Dependence of Surface-Launched Plasma Bullets on Applied Voltage dV/dt

～Experimental Systematic Survey～

大阪公大工, °(M2) 松本 侑, (M1) 川西 元輝, 白藤 立, 吳 準席

Osaka Metropolitan Univ. °Atsumu Matsumoto, Genki Kawanishi, Tatsuru Shirafuji,

Jun-Seok Oh

E-mail: shirafuji@omu.ac.jp

大気圧低温プラズマの生成方式の一種である大気圧プラズマジェットは、プラズマ弾丸という局所的なイオン化領域の伝播によって形成されていることが知られている。このプラズマ弾丸について以前我々は、スライドガラス片面の貼り付け電極にパルス電圧を印加し、もう片面に He ガスを流し当てると、ガラス表面からプラズマ弾丸が射出されることを見出した[1]。これまでの研究により、この表面発射型プラズマ弾丸の生成には、高い dV/dt が必要であることを示唆する結果が得られていた[2]。しかし、実験による系統的調査はできていなかった。

今回我々は、表面発射型プラズマ弾丸伝播現象の印加電圧 dV/dt 依存性について ICCD カメラを用いた評価を行った。図 1 に実験装置の構成を示す。弾丸生成装置に高電圧用抵抗器を直列接続し、放電部をコンデンサと見なした RC 直列回路を形成している。抵抗器はそれぞれ $1k\Omega$, $5k\Omega$, $10k\Omega$ を使用した。この抵抗値によって RC 回路の時定数が変化することを利用し、 dV/dt が異なる状態を実現した。

正パルス立ち上がり時の様子を ICCD カメラで撮影した結果を図 2 に示す。それぞれ左から順に $1k\Omega$, $5k\Omega$, $10k\Omega$ の抵抗を接続したときのシーケンスを示している。どの場合でも、プラズマの伝播が観測できたが、 dV/dt が小さいほど発光が全体的に弱くなる。この傾向は電子雪崩開始の時間遅れが深く関わっていると考えている。この他にも、形状や伝播速度の違いが見られる。これらの考察についても、発表時に行う予定である。

謝辞：本研究は、科研費 (19H01888, 19K03811, 20K20913, 23H0116)、名古屋大学低温プラズマ科学センターの補助を受けて実施された。

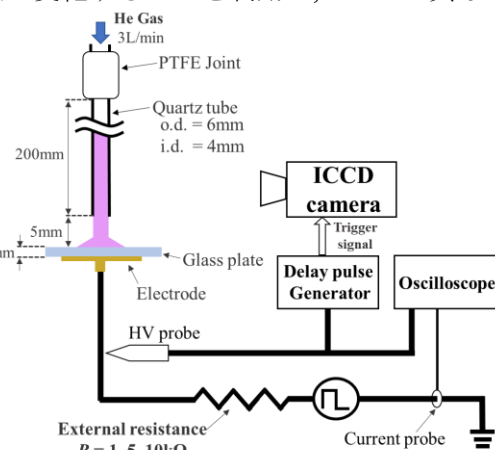


図 1. ICCD 撮影の実験系

[1] R. Matoba, Y. Nishimura, J.-S. Oh, and T. Shirafuji: ISPlasma 2021/IC-PLANTS 2021, 08pB08O (2021).

[2] 白藤立, 吳準席：第 38 回プラズマ・核融合学会年会, 22P-1F-13 (2021).

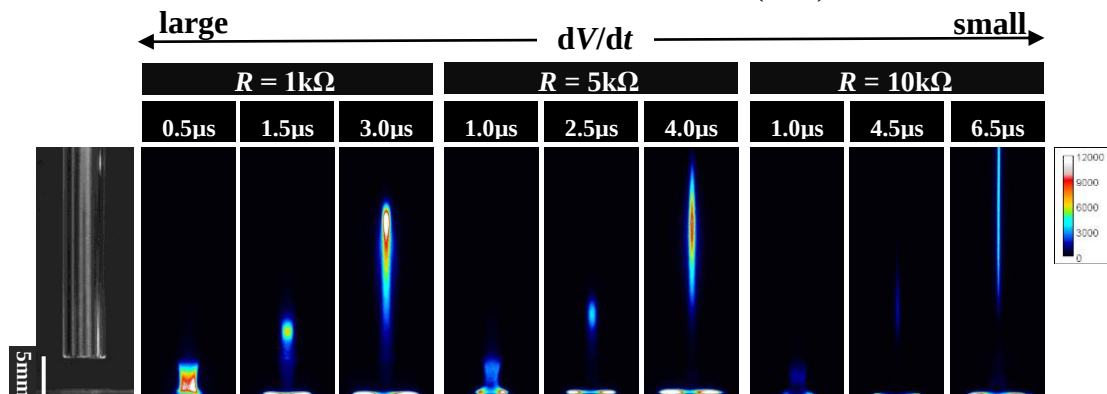


図 2. 異なる抵抗器を接続して撮影したプラズマ伝播シーケンス

大気圧アルゴンプラズマジェットを用いた CNT シートの親水化 Hydrophilization of CNT Seat using Atmospheric-Pressure Argon Plasma Jet

東海大工 ○桑畑 周司, 高尻 雅之

Tokai Univ., ○Hiroshi Kuwahata, Masayuki Takashiri

E-mail: Kuwahata@tokai-u.jp

1. はじめに

カーボンナノチューブ(CNT)は、炭素原子のみによって作られる六員環ネットワークが同軸管状になった物質であり、高い電気伝導率・熱伝導率、化学的安定性、高い機械的強度を有している。CNT シートは、この CNT を多数絡ませシート状にしたもので、表面に微細な凹凸構造を有するため、新規熱電デバイスなどへの利用が期待されている。しかしながら、疎水性(水をはじく性質)のため、性能の向上や実用化には問題が多い。

本研究の目的は、大気圧アルゴン(Ar)プラズマジェットを用いて CNT シートの親水性を向上させることである。

2. 実験

大気圧 Ar プラズマジェットは、ロジー電子製高電圧電源 LHV-AC10 を用いて、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間で発生させ、照射距離 5 mm で CNT シート(厚さ約 80 μm)に 1~5 秒間照射された。

親水性の評価として、Nick 製接触角計 LSE-ME1 を用い水の接触角測定を行った。CNT シート表面の観察には、JEOL 製卓上走査型電子顕微鏡(SEM) JCM-6000 Plus を用いた。

3. 結果と考察

図 1 に CNT シートへのプラズマ照射の様子を示す。石英管内の薄紫色の筋のように見える多数のストリーマが CNT シートにあたっており、そこがリング状に光っていた。

図 2 にプラズマ照射された CNT シートの写真を示す。3 秒間照射および 5 秒間照射には直径約 6 mm のリングがうっすらと見られた。これは、図 1 で見られたリング状に光っていた部分と同じであることから、ストリーマがあたった痕であることがわかる。

図 3 に水の接触角測定の結果を示す。未照射では、水がはじかれ半円形になっており疎水性であることがわかる。この時の接触角は 87° であった。1 秒間照射では、水は半円形にならず膜状に広がり、そ

の時の接触角は 1° であった。この結果から、1 秒間照射で親水化することがわかった。3 秒間照射および 5 秒間照射では、水が CNT シートへ浸み込むことがわかった。



図1 CNT シートへのプラズマ照射の様子

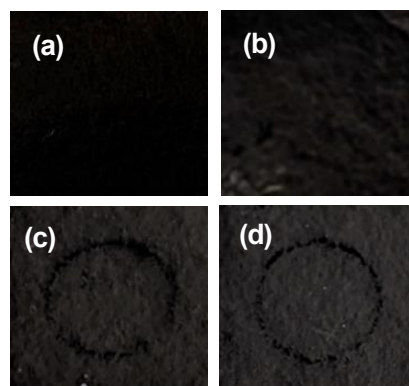


図2 プラズマ照射されたCNTシートの写真
(a) 未照射、(b) 1秒間、(c) 3秒間、(d) 5秒間照射

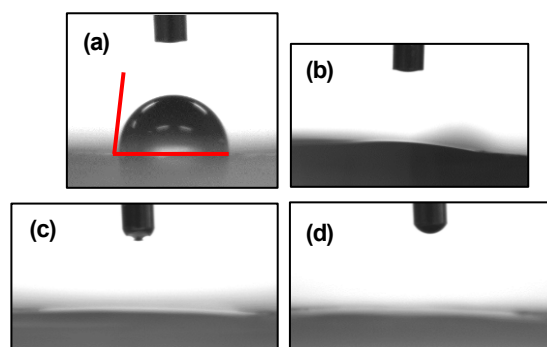


図3 CNT シート上の水滴の様子(水の接触角測定の結果)
(a) 未照射、(b) 1秒間、(c) 3秒間、(d) 5秒間照射

大気圧直流グロー放電における自己組織化した発光模様と ルミノールケミルミネッセンスの相関

Correlation between self-organized luminous pattern and luminol chemiluminescence in atmospheric-pressure DC glow discharge

北大工 〇(D1)宮崎 俊明, 白井 直機, 佐々木 浩一

Hokkaido Univ., 〇T. Miyazaki, N. Shirai and K. Sasaki

E-mail: shun_me77@eis.hokudai.ac.jp

【はじめに】

液体を陽極として用いた大気圧直流グロー放電のある条件では、液体陽極の近傍で自己組織化した発光模様が観察されるが、その形成メカニズムは未解明である。一般に、自己組織化現象は「反応拡散系」と呼ばれる数理モデルによって再現でき、そこでは反応および拡散（輸送）によって密度が増減する2つの生成因子が必要となる[1]。先行研究によると、プラズマでの発光模様形成には水蒸気や酸素ガスなどの負性ガスの存在が重要であるため[2]、我々は2つの生成因子として電子密度と負イオン密度の増減が重要であり、それぞれが模様の発光部分および非発光部分に存在していると予想している。本講演では、気相部の発光模様および液相部に輸送される電子や化学種を同時に診断するために、陽極となる液体にルミノール溶液を用いた結果を報告する。ルミノールは O_2 と反応して波長 425 nm にピークを持つケミルミネッセンス(CL)を放つ物質である。ソノケミストリーの分野ではOHラジカルの可視化に用いられており、ルミノール溶液を液体陰極として用いた場合には、主に気相部のOHラジカル密度分布と対応したルミノールCLが観察されている[3]。

【実験方法】

実験装置の概略を図1に示す。電極構造は文献[2]と同様にして、直流グロー放電を発生させた。液体陽極には水酸化ナトリウムによりpHを13に調製した水溶液にルミノールを溶かしたものを使用した。Heガス流量は200 ccmで一定として、陽極-陰極間の距離(2-12 mm)および電流(20-80 mA)を変化させたそれぞれの条件において、気相部の自己組織化した発光模様および液相のルミノールCLを観察した。

【実験結果および考察】

図1右に気相部での発光模様および液相部でのルミノールCLの様子を示す。これらを比較すると、発光模様はよく類似していたが、気相の非発光部に対応する部分にも弱いCLが観察された。また、図2に放電停止後のルミノールCLの強度および気相部でのOHラジカル密度(LIF信号強度)の時間変化を示す。放電停止直後、ルミノールCLは急激に低下した。その後の数100 μs の時間帯におけるCL強度の緩やかな低下は、気相におけるOHラジカル密度の時間変化とよく一致していた。そのため、放電停止直後でのルミノールCLの急激な低下は、液面に照射される荷電粒子に由来するのに対して、その後の数100 μs 程度の期間におけるCLはOHラジカルに由来すると考えられる。液体陰極の条件では、液相のルミノールCLは気相のOHラジカル密度分

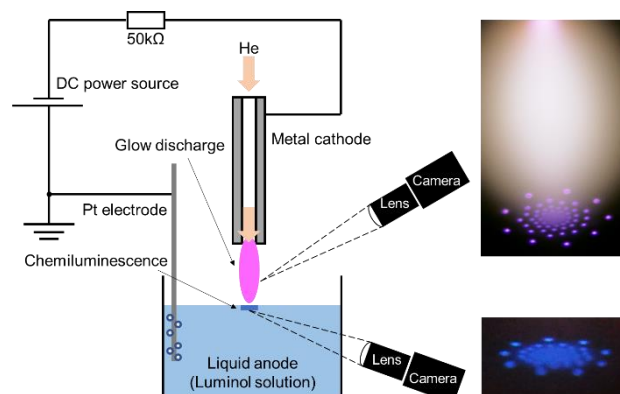


図1. 実験装置概略および気相部の自己組織化した発光模様と液相部のルミノールCLの様子

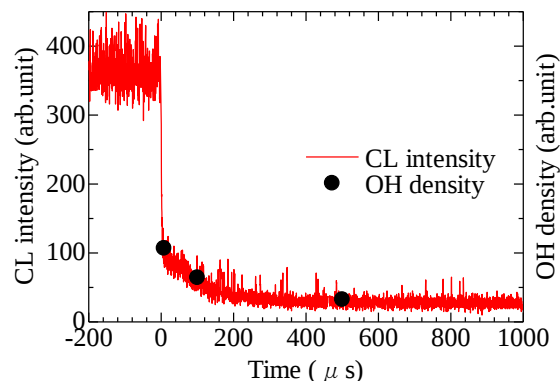


図2. 放電停止後の液相中 CL 強度および気相中 OH ラジカル密度の時間変化

布と対応していたが[3]、液体陽極の条件でルミノールCLの生じる主な要因は、液面に照射される荷電粒子であると予想できる。気相部の発光部は電子密度が高いと予想されるが、図1右に示した発光模様の類似性から、発光部分では液相に輸送されて水和した電子と溶存酸素との反応($e_{aq} + O_2 \rightarrow O_2^-$)により O_2^- が生成し、ルミノールCLを生じさせると考えられる。また、気相部の非発光部には負イオンの存在を予想しているが、非発光部に対応する液相部における弱いルミノールCLの起源がOHラジカルか負イオンかは現状では区別できていない。これは、負イオンおよびOHラジカルと比べて電子のフラックスが圧倒的に大きいためであると考えられる。以上より、今回の結果から、気相部での模様の発光部は電子密度が相対的に高く、その電子が模様と対応した分布で液相へ輸送されることを明らかにした。

参考文献

- [1] A. Turing, Philosophical Transactions of the Royal Society (1952).
- [2] N. Shirai, et al., Plasma Sources Sci. Technol. 23, 054010 (2014).
- [3] N. Shirai, et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 52 39LT02 (2019).

低ガス圧 He プラズマと NaCl 水溶液ジェットの界面における酸化還元反応に対するバイアス電位印加の効果

Effect of bias voltage on redox reactions at interface

between NaCl solution jet and low-pressure He plasma

北大工¹ ○(M2) 高橋 仁¹, 佐々木 浩一¹

Hokkaido Univ.¹, °Jin Takahashi¹ and Koichi Sasaki¹

E-mail: aporo2030@eis.hokudai.ac.jp

【研究背景及び目的】

最近、浮遊電位の水ジェットと低ガス圧ヘリウムプラズマの界面において、無電流であるにもかかわらず酸化還元反応が同時に生じ、水素分子および酸素分子が生成されることが見出された。この場合の酸化還元反応は、 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ 、 $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}_p \rightarrow 2\text{H}_2 + 4\text{OH}^-$ 、および、 $4\text{He}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{He}$ であると考えられている[1]。ただし e_p はプラズマから輸送される電子をあらわす。本講演では、水ジェットにバイアス電位を印加し、プラズマから輸送される電子とイオンのフラックスをアンバランス化した場合の結果について報告する。バイアス電位を印加するために NaCl 水溶液ジェットを用い、その電位を負に制御した場合、水素の生成が抑制される一方、酸素の生成に変化は無いと予想出来る。

【実験方法】

水とプラズマを相互作用させる実験では大気圧プラズマが広く用いられているが、本実験では低ガス圧誘導結合プラズマに、電位を制御したジェット状の NaCl 水溶液を入射する装置を用いた。直径 50 μm のノズルを用いて NaCl 水溶液ジェットを発生すること、真空排気で大排気速度のターボ分子ポンプを用いること、および、真空容器内に液体窒素温度に冷却したトラップを設置することにより、真空容器内の水蒸気分圧を 2~3 mTorr まで低減した。水蒸気分圧が 2~3 mTorr の真空容器にマスフローコントローラを用いてヘリウムを供給し、容器内の圧力を 15~16 mTorr とした。以上のガス条件において、真空容器に取り付けたパイレックスガラス管の周囲に巻いた 2 ターンのスパイラルアンテナに 13.56 MHz の高周波電力を供給することによってプラズマを生成した。高周波アンテナに対向する位置に設置した作動排気した真空容器に四重極質量分析器を

取り付け、オリフィスを介してプラズマ中のガスをサンプリングし、その組成を分析した。

【実験結果及び考察】

図 1(a)に示すように、NaCl 水溶液ジェットに負のバイアス電位を印加した場合、浮遊電位の場合と比較して水素の生成レートが減少した。これは、負にバイアスした NaCl 水溶液ジェットにはプラズマ中の電子 e_p が輸送されないため、 $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}_p \rightarrow 2\text{H}_2 + 4\text{OH}^-$ の還元反応が抑制されたためと考えられる。一方、図 1(b)に示すように、酸素の生成レートには変化がなかったことから、 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ および $4\text{He}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{He}$ のレートは負バイアスに影響されなかったと考えられる。バイアス電位が -200 V であるにもかかわらず水素の生成レートがゼロにならなかった要因としては、1) NaCl 水溶液ジェットの先端部分から発生した液滴が浮遊電位となりその表面で還元反応が生じた可能性、および、2) イオンが照射された NaCl 水溶液ジェットの気液界面付近に水と電子が生じ[2]、それが還元反応を生じさせた可能性が考えられる。

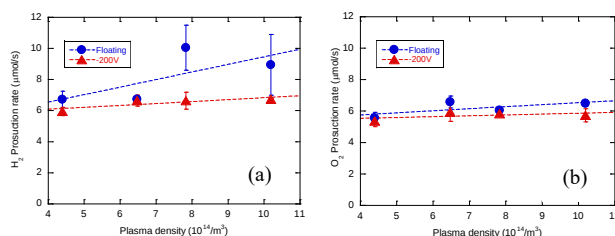


図 1 低ガス圧ヘリウムプラズマに NaCl 水溶液ジェットを入射したときの(a) H_2 および(b) O_2 の生成レートに対するバイアス電位印加の効果

[1] T. Ito, T. Sakka, and K. Sasaki, Plasma Sources. Sci. Technol. **31**, 06LT02 (2022).

[2] Y. Inagaki and K. Sasaki, to be published in Plasma Sources Sci. Technol.

液中プラズマ中でのアルコール類の分解における OH ラジカルの役割

The role of OH radicals in the decomposition of alcohols in solution plasma

京大院エネ科 ○(M1)宮本 天樹, 南 英治, 河本 晴雄

Kyoto Univ., °Takaki Miyamoto, Eiji Minami, Haruo Kawamoto

E-mail: miyamoto.takaki.62r@st.kyoto-u.ac.jp

[1] 緒言

カーボンニュートラル社会の実現のため、水素エネルギーへの期待が高まっており、我々はクリーンな水素製造技術の一つとして液中プラズマに注目している。本報では、低級一価アルコール類の液中プラズマ処理による水素製造を検討し、そのガス化メカニズムを議論した。

[2] 試料と方法

Fig.1 の反応装置を用い、メタノール(MeOH)、エタノール(EtOH)、1-プロパノール(PrOH)の水溶液 100mL (濃度 3wt%) を液中プラズマ処理した。プラズマ発生には高圧パルス電源を用い、放電電力は 20W、処理時間は 10 分とした。生成ガスはマイクロ GC で分析した。

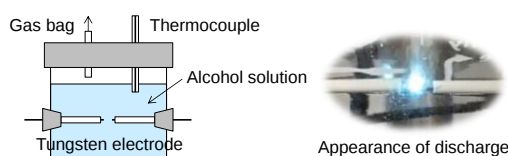


Fig.1 Solution plasma reactor

[3] 結果と考察

各アルコール水溶液からの生成ガス組成を **Fig.2** に示す(mol%)。どのアルコールからも主に H_2 と CO が生成し ($H_2/CO \approx 2/1$)、 CO_2 及び炭化水素ガス ($C_{1-3}H_n$) の生成は僅かだった。そのため、アルコールの種類によらず生成ガスの O/C 比は約 1/1 となった。一方、MeOH、EtOH、PrOH 分子の O/C 比はそれぞれ 1/1、1/2、1/3 なので、EtOH 及び PrOH からの生成ガスの O/C 比は元々のアルコール分子よりも大きい。この過剰な O は水由来でしかあり得ず、水中プラズマ内で発生することが知られている OH ラジカルがガス化に関与したことによるものだろう。以上より、一価アルコールのガス化経路を **Fig.3** に提案した。

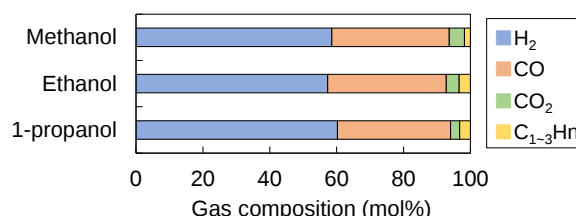


Fig.2 Product gas composition (mol%) from each aqueous alcohol solution (3wt%).

この経路では、アルコール RCH_2OH は水由来 OH ラジカルから H を引き抜かれ、アルデヒド $RCHO$ を経由し、脱カルボニルによってアルキルラジカル $R\cdot$ へと分解する。これが水由来 OH ラジカルとカップリングして炭素鎖が一つ短いアルコール ROH となり、この間、 H_2/CO を 2/1 の比で生成する。実際、中間体のアルデヒド $RCHO$ がマイクロ GC によって検出されており、この反応経路を支持している。生成したアルコール ROH はさらに同じ経路でガス化できる。

このように、全体の反応 (**Fig.4**) として PrOH は $\rightarrow EtOH \rightarrow MeOH \rightarrow H_2O$ へと段階的に分解し、各過程で H_2/CO を 2/1 で生成して完全にガス化する。この反応経路は、アルコールの種類によらず生成ガス組成が $H_2/CO = 2/1$ 及び $O/C = 1/1$ という実験事実を上手く説明しており、液中プラズマ中での反応における極めて強い OH ラジカルの関与を示唆している。

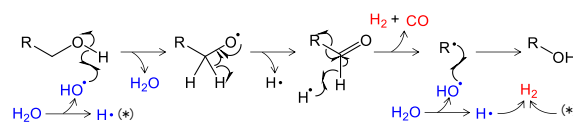


Fig.3 Alcohol decomposition with OH radicals

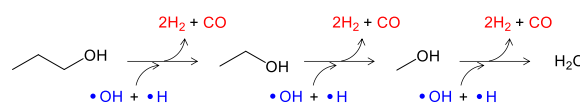


Fig.4 Net reaction of PrOH via EtOH and MeOH

準安定励起ヘリウム原子を用いた光ポンピング磁気センサの原子密度計測及び磁場感受性に関する検討

Measurement of the density of helium metastable atoms and investigation of magnetic field susceptibility in helium-4 optically pumped magnetometers

京大院工 ○(M2) 日高 颯哉, 豊田みなみ, 占部 継一郎, 伊藤 陽介
Kyoto Univ., Soya Hidaka, Minami Toyoda, Keiichiro Urabe, Yosuke Ito
E-mail: hidaka.soya.34a@st.kyoto-u.ac.jp

【背景・目的】

生体磁場計測は、脳をはじめとした生体機能の解明に寄与し、医療やリハビリテーションへの応用が期待される分野である。光ポンピング磁気センサ(Optically pumped magnetometer: OPM)は、電子のスピン偏極を用いたセンサであり、生体磁場計測が可能である。He プラズマを利用した準安定励起ヘリウム(He*)OPMは室温計測が可能であり、その利便性から製品化の動きもみられる^[1]。本研究では、He*OPMの最適な動作条件の模索を通じて磁場計測精度向上に寄与することを目的とし、放電時におけるガラスセル内のHe*の密度計測を行った。また、He*OPMの磁場への感受性に関する検討を行った。

【原理】

He*OPMの原理を説明する。まず、He ガスを放電させることで、He*を発生させる。次に 2^3S と 2^3P の準位間において、円偏光のポンプ光による励起および脱励起過程により、スピンの偏極を起こす。そこに計測対象磁場が印加されると、スピン偏極による巨視的磁化が回転する。直線偏光のプロブ光を入射すると、その偏光面が磁気光学効果により回転し、偏光面の回転角を計測することにより磁気計測が可能になる。

He*の密度測定は吸光測定により行う。波長1083 nm程度の直線偏光のレーザー光をガラスセルに入射させると、 $2^3S - 2^3P$ 間の遷移により光が吸収される。He の 2^3S と 2^3P の準位間には D0、D1、D2 遷移波長が存在し、それぞれスペクトル広がりを持って観測される。スペクトル広がりには、圧力広がりやドップラー広がりなどがあるが、ガス圧が比較的高い場合は圧力広がりが支配的となるため、ローレンツ型の吸光特性から密度の計算を行うことができる。

【方法】

He を 1×10^4 Pa 封入した内径1 cm、長さ3 cmの円筒ガラスセルに、電極間距離1 cmとなるように電極を巻いた。電極間にバイポーラパルス電圧(4 kV, 5 kHz)を印加し、誘電体バリア放電によりHe*を発生させた。電極間にレーザー光を入射し、透過光をフォトディテクタ(Photodetector: PD)で電圧に変換した。放電電圧印加直後と一定時間後のPD出力の比のプロットから得られたグラフをもとに圧力幅を求めた。得られた圧力幅より、準安定励起ヘリウム原子の密度計算を行った。

【結果】

得られた He セルの吸光特性を Fig. 1 に示す。He の D0、D1 及び D2 波長付近で吸光が確認できた。特に吸光の大きかった D2 波長で圧力幅を求めると1.683 GHzとなり(Fig. 2)、He*の密度は $3.76 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ と求められた。

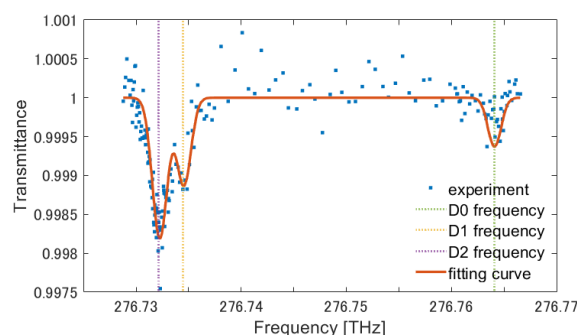
この値は、従来のアルカリ金属 OPM と比べて、5桁から6桁ほど小さい値であり^[2]、セル中に不純物として含まれる酸素や窒素がHe*をクエンチしていると考えられる。磁場応答信号はHe*密度に比例するため、この放電セルは高感度な磁場計測に適さない可能性がある。

【まとめ】

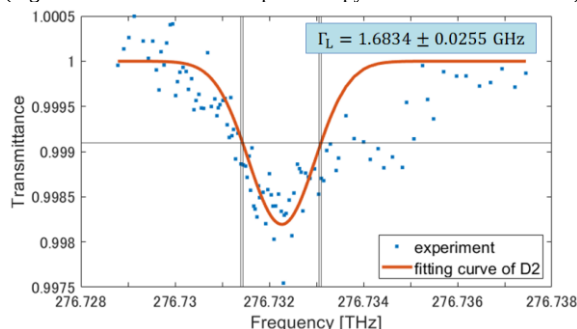
放電時のHe*の密度は $3.76 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ と求められ、不純物の混入を極力抑えることで密度の向上が期待される。発表ではHe*OPMの磁場感受性に関する検討についても報告する。

【謝辞】

本研究の一部は、JSPS 科研費 21H03807 の助成を受けたものである。



(Fig.1: Laser transmittance spectroscopy of the 10^4 Pa He cell)



(Fig.2: Full width at half maximum of D2 fitting curve)

[1] W. Fourcault, *et al.*, Opt. Express **29**, 14467-14475 (2021)

[2] Y. Ito, *et al.*, AIP Advances **2** 032127 (2012).

オゾン処理土壌濾液の基礎特性測定

Measurement of basic properties of ozone-treated soil filtrate.

熊本大¹ ○(M2)新原 爽平¹, 光木 文秋¹

Kumamoto Univ.¹, °Sohei Niihara¹, Fumiaki Mitsugi¹

E-mail: niihara@st.cs.kumamoto-u.ac.jp

1 はじめに

農業における窒素肥料の過剰使用は環境汚染要因の一つである。そのため、代替の硝化促進法が必要とされている。オゾンは高い酸化力があり、解離エネルギーも小さいことから紫外線などで光分解されたあとは酸素分子に戻り、残留農薬の心配がない。そのため様々な分野でオゾン応用が広まっている[1]。しかし、気相状態のオゾンを硝化促進に応用する技術は開発されておらず、オゾンが土壌に与える影響も未解明である。そこで我々は、パッケージ土壌の作成を最終目標とし、ビニール袋に入った土壌にオゾン処理を行った。その後、処理された土壌の濾液について、光学的評価を行った。

2 実験方法

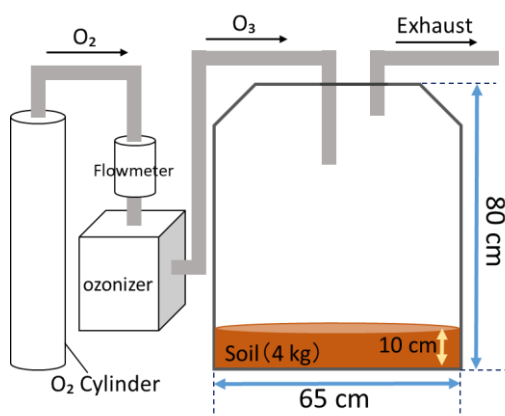


Fig.1 Schematic diagram of ozone treatment.

図1に示したように土壌にオゾン処理を行う。一度の処理に使用する土壌の重さは4000gに設定する。使用するオゾナイザは酸素流量が1.0 L/minのときオゾン濃度が38.1

g/m³の為、オゾン発生量は2.286 g/hである。処理を行った後、処理土壌の対象土壌20gに脱イオン水100 mLを加え濾過を行い、濾液を作成する。その後、各パラメータの測定を行う。測定する基礎特性は濾液のpH、NO₃-N(mg/kg)と吸光度である。

3 実験結果・考察

オゾン処理の影響を受けた土壌濾液は、pHが低下し、NO₃-Nが上昇していることがわかった。これは、土壌中の交換性カルシウムが減少することや硝酸態窒素や腐植酸の増加に伴い、H⁺イオンが増加したことが原因だと考えられる。また、吸光度の上昇は土壌中の微生物がオゾンにより分解し、蛋白質や核酸が土壌中に析出したことが原因だと考えられる。

4 まとめ

今回の結果から、オゾン処理によって土壌では、植物の成長に重要な関係のあるNO₃-Nの増加や、有機物質の分解によるフルボ酸などの腐植酸の増加とみられる現象が確認できた。従って、オゾン処理は植物の成長を助長する効果があると考えられる。

参考文献

- [1] F. Mitsugi, T. Abiru, T. Ikegami, K. Ebihara, S. Aoqui, and K. Nagahama, "Influence of ozone generated by surface barrier discharge on nematode and plant growth," IEEE. Transactions on Plasma Science, vol. 44, pp. 3071-3076, 2016.

酸素ラジカル照射によるトリプトファン分解物の高効率精製

High-Efficiency Production for
Tryptophan Degradation Products by Oxygen Radical Irradiation

名城大学¹, 名古屋大学², [○](M2)荒木 祥多¹, 岩田 直幸², 西川 泰弘¹, 堀 勝², 伊藤 昌文¹
Meijo Univ.¹, Nagoya Univ.², Meijo Univ.³, [○]Shota Araki¹, Masaru Hori², Yasuhiro Nisikawa¹, Naoyuki Iwata², Masafumi Ito¹,
E-mail: 223427001@ccmailg.meijo-u.ac.jp

1. 研究背景

本研究室では、プラズマ活性化溶液が殺菌効果や植物の成長促進効果を発揮することを明らかにしてきた[1]。
本研究では、アミノ酸の一種である L-トリプトファン (L-Trp) 溶液に酸素ラジカルを照射することで、生成されるトリプトファン分解物、特にホルミルキヌレニン (FKYN)、キヌレニン (KYN) の高効率精製に取り組んだ。

2. 実験方法

ラジカルのみを照射できる大気圧ラジカル源(FPA10、FUJI 製)[2]を用い、50 mM の L-Trp 溶液を調製した。ラジカル処理条件は、照射時間 1、3、5、7、10 分、照射距離 10 mm、ガス流量 Ar : 4.96 slm, O₂: 0.03 slm とした。逆相カラム (AQ-C18、粒子径 5 μm、カラムサイズ 3.0 × 30 mm、GL-Sciences Inc.) を装着した HPLC 装置(Prominence、島津製作所)を用い、移動相として、(A)MilliQ 水、(B)メタノールを合計流量 0.3 ml/min をグラジエントモードで送液した。PDA 検出器の観測波長は 190~400 nm に設定した。酸素ラジカル処理した L-Trp 溶液 0.5 μl をそれぞれ HPLC 装置に注入した。また、10 mM の FKYN および KYN 標準溶液を 1、2、4、8、16、32 倍に希釈し、それぞれを HPLC システムに注入した。得られたクロマトグラムの面積値から、酸素ラジカル処理した Trp 溶液中の FKYN および KYN を定量した。

3. 実験結果と考察

図 1 および表 1 に、ラジカル照射時間に対する FKYN および KYN の濃度および重量の変化を示す。その結果、10 分間のラジカル照射で 7mg の FKYN が精製され、0.8mg の KYN が生成することがわかった。

Table 1. FKYN and KYN concentrations and weights according to irradiation time.

Irradiation time [min]	FKYN concentration (mM)	FKYN weight (mg)	KYN concentration (mM)	KYN weight (mg)
0	N.D	—	N.D	—
1	1.1	0.50	0.2	0.08
3	3.2	1.51	0.6	0.24
5	6.1	2.90	0.8	0.35
7	7.9	3.73	1.3	0.34
10	14.9	7.04	1.9	0.80

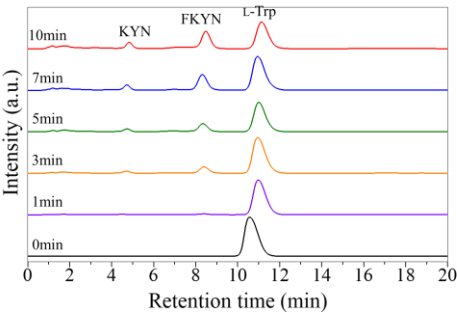


Fig. 1 Chromatogram as a function of Retention time for each irradiation time.

4. まとめ

トリプトファン溶液を酸素ラジカル処理することで、高効率で FKYN と KYN を生成することが確認できた。

謝辞
この研究の一部は、JSPS 科研費(JP19H05462 と JP22H01213)の支援を受けた。
参考文献
[1]N. Iwata, et al., Plasma Process. Polym.16, e1900023, 2019.
[2]H. Hashizume, et al., Appl. Phys. Lett., 103, 153708 (2013).

気液界面プラズマを用いた フコイダンの低分子量化効率の濃度依存性

Concentration Dependence of Depolymerization Efficiency of Fucoidan Using Gas-Liquid Interface Plasma

大阪公大工¹, 神戸女学院大² (M1) 加藤 晴輝¹, 白藤 立¹, 呉 準席¹, 山本 紗哉加¹,
新歩 和明¹, 吉田 佳祐¹, 高岡 素子²

Osaka Metropol. Univ.¹, Kobe Coll.² (M1) Haruki Kato¹, Tatsuru Shirafuji¹, Jun-Seok Oh¹,
Sayaka Yamamoto¹, Kazuaki Shinpo¹, Keisuke Yoshida¹, Motoko Takaoka²

E-mail : si23540x@st.omu.ac.jp

フコイダンは海藻から抽出される多糖類で硫酸基を多く含む特徴を持つ。フコイダンは抗血液凝固作用, 抗腫瘍作用, 抗アレルギー作用など, 多くの生理活性作用を持つ。さらに, 低分子化されたフコイダンは高分子フコイダンの比に比べてより顕著な生理活性作用をもたらすことが報告されている[1]。これまでに, 我々は Fig. 1 に示した気液界面プラズマプロセスで液中のフコイダン (1 mg/mL) を迅速に低分子量化する事ができることを報告した[2]。Fig. 2 にその結果を示した(赤破線)。濃度が 1 mg/mL のフコイダンを 5 分間処理した場合, 支配的な分子量が初期値の $10^{4.5} \sim 10^{5.5}$ Da から $10^3 \sim 10^4$ Da に低減されている。しかし, 1 回の処理でより多くの低分子量化フコイダンを得るためには, より高濃度のフコイダン水溶液の処理をすることが望ましい。そこで, 濃度 10 倍のフコイダン (10 mg/mL) を処理した。その結果は, 同図に示した通りである(青点線)。初期濃度を濃くすると処理効率が著しく低下した。この原因については, 現在検討中であるが, 液面直下の高濃度フコイダんに大部分の活性種が消費され, 液面から深い部分に活性種が到達しないことが原因の一つではないかと推測している。

一方, 我々は, 近年の研究により, Fig. 1 の方式よりも高効率でフコイダンを低分子量化できる新しい方式 (DBD 埋め込みマイクロコンタクト方式) を開発した。発表では, この新方式を用いた結果についても報告する。

謝辞: 本研究は JST A-STEP (JPMJTR20UK), JST OPERA (JPMOPI1843), 科研費(19H01888, 20K20913, 23H01166), 名古屋大学低温プラズマ科学研究センターの助成を受けて行なわれた。

[1] Z. Zhang et al: Mar. Drugs **11**, 81 (2013).

[2] S. Yamamoto et al: Proc. SPP-39/SPSM-34 (2022) LO25-PM-A-01.

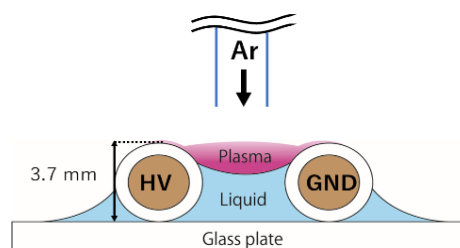


Fig. 1 Schematic illustration of our plasma-liquid interface process.

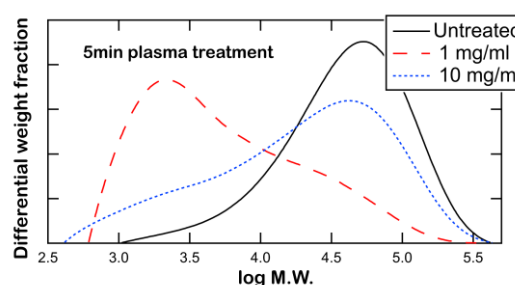


Fig. 2 Differential molecular weight distribution of the fucoidan treated with plasma for 5 min.

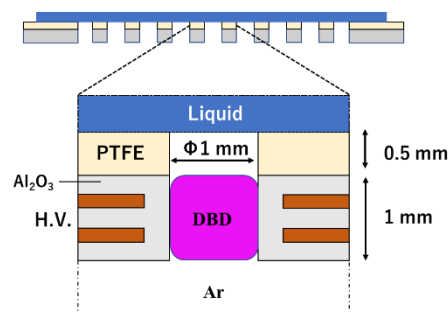


Fig. 3 Cross section of DBD-embedded gas-liquid micro-contactor.

面発射型プラズマ弾丸による PLA 表面親水化の パルスオフ時間依存性

Pulse-off time dependence in hydrophilic treatment of PLA surfaces using
surface-launched plasma bullets

大阪公大工, ○(M1)川西元輝, (M2)松本 侑, 吳 準席, 白藤 立

Osaka Metropolitan Univ. ○Genki Kawanishi, Atsumu Matsumoto,

Jun-Seok Oh, and Tatsuru Shirafuji

E-mail: si23532y@st.omu.ac.jp

プラズマ弾丸伝播型の大気圧プラズマジェット (APPJ) は, 各種物質の表面の親水化に多用されている. しかし, そのすべては, ガラス管のノズルから射出されるタイプである. これに対し我々は, 誘電体版の裏面に高電圧パルス電圧を印加することで, 表 (おもて) 面のヘリウム領域にプラズマ弾丸を生成させる方式 (表面発射型プラズマ弾丸) を開発した. この方式を用いると, 従来の APPJ の照射だけでは不可能な, 多孔体の内部の親水化が可能となる.

この表面発射型プラズマ弾丸に関する我々の研究により, 印加する高電圧パルス電圧のパルスオフタイム T_{OFF} が, プラズマ弾丸の速度・形状・到達距離に影響することを明らかにした[1]. このような弾丸伝播特性の違いは, 多孔体内部の親水化に応用した際に, 多孔体内部の親水化度に空間分布が発生することにつながる. 応用に向けてその空間分布の活用や抑制をするためには, 親水化度の空間分布の T_{OFF} 依存性に関する基本的な知見を蓄積しておく必要がある.

そこで我々は, 弾丸伝播経路の異なる位置における親水化度の T_{OFF} 依存性を調べた. 実験装置の概略を図 1 に示す. 微細な多孔体内の親水化度の評価は困難であるため, 今回は, マクロなガラス管内に置いたポリ乳酸 (PLA) 片の接触角 (の低下) により評価した. その結果を図 2 に示す. T_{OFF} が長くなると, 親水化度の悪い部分が, ガラス管の右側から左側へ広がっている. この傾向は, 図示はしていないが, 弾丸の到達距離の低下に対応している. 接触角の絶対値に目を向けると, $T_{OFF} = 2 \mu\text{s}$ の場合を除き, T_{OFF} が短いほど親水化度が良く (接触角が小さく) なる傾向がある. これは, 親水化の担い手とされる OH ラジカルの密度と対応していると考えられる. 発表では, OES との相関についても議論する.

謝辞: 本研究は, 科研費 (19H01888, 20K20913, 23H01166), 名古屋大学低温プラズマ科学研究センターの助成を受けて行なわれた.

[1] K. Sasaki, A. Matsumoto, J.-S. Oh, T. Shirafuji, ICRP-11/GEC2022, ER5.00005 (2022).

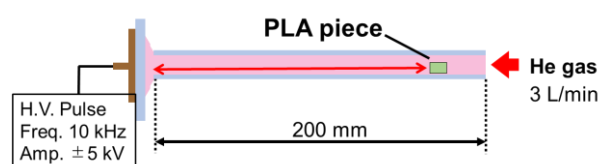


図 1 実験装置の概略図.

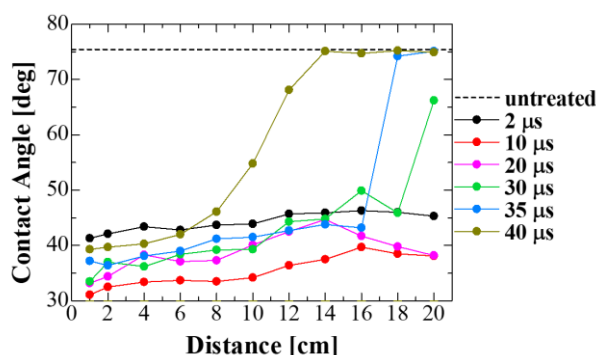


図 2 水接触角の PLA 片の位置と T_{OFF} 依存性.