

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01257

研究課題名（和文）放電発生ラジカルの長寿命化の解明と革新的プラズマ水処理技術の構築

研究課題名（英文）Investigation of discharge generated radicals with long lifetime and the construction of innovative plasma water treatment technology

研究代表者

金澤 誠司（Kanazawa, Seiji）

大分大学・理工学部・教授

研究者番号：70224574

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,400,000円

研究成果の概要（和文）：大気圧放電プラズマで発生する活性酸素・活性窒素の生成および反応メカニズムの解明とその応用としての水処理について研究を行った。大気圧放電プラズマの発生には、気液界面での現象を解明するためにプラズマジェットとパルスストリーマ放電を使用した。活性酸素としてはOHラジカルの測定を行った。さらに、放電化学反応で中心的役割を担う励起窒素について、レーザー誘起蛍光法でその放電空間の分布を可視化することに成功した。

応用としては、放電プラズマによる難分解性物質を含む水の処理研究を行った。処理水を水膜状にして、そこに水流を制御できるコアンダ効果を導入することで高効率化が図れることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放電プラズマ中にある主要な物質として、水から生成するOHラジカルと空気の主成分である窒素分子がエネルギーを得た準安定準位にある励起窒素について、その反応過程を解明した。

放電プラズマの応用として次世代の水処理で問題となる残留性難分解物質の処理を可能とするストリーマ放電によるプラズマリアクタを構築し、エネルギー効率の高い方式へとするための知見を得た。

研究成果の概要（英文）：We studied the generation of reactive oxygen and nitrogen species generated by atmospheric-pressure discharge plasma, elucidation of the reaction mechanisms, and water treatment as its application. For the generation of atmospheric-pressure discharge plasma, a plasma jet and pulsed streamer corona discharge were used to investigate the phenomenon at the gas-liquid interface. As reactive oxygen species, OH radicals were measured using chemical probe method and ESR spectroscopy. Furthermore, we succeeded in visualizing the distribution of excited nitrogen molecules, which play an important role in the discharge-induced chemical reactions, by laser-induced fluorescence.

As an application of this study, we conducted a research on the treatment of water containing persistent substances by discharge plasma. It was shown that high efficiency can be achieved by forming the treated water into a water film and introducing the Coanda effect that can control the water flow.

研究分野：プラズマ工学

キーワード：大気圧放電プラズマ OHラジカル 化学プローブ法 電子スピン共鳴法 レーザ誘起蛍光法 水処理
コアンダ効果

1. 研究開始当初の背景

大気圧放電プラズマは、活性なラジカルを大量供給できるため、現在オゾンを利用した促進酸化処理による水処理技術を凌駕するものとして期待される。現在、河川にはわれわれが服薬した薬剤の成分を含む物質が尿として放出されている。これは通常の下水処理では処理できない残留性難分解有機物質(POPs)として問題視されている。難分解性有機物の処理はオゾンでは無理で、酸化力の高いヒドロキシルラジカル(OHラジカル)の利用が必須である。このような背景のもと、ヨーロッパではプラズマと液体の相互作用を総括的に研究する取り組みが” COST ACTION TD1208” (2013年~2017年にEUを中心に41カ国参加して実施)として精力的に行われた。一方、日本では大手電機メーカーが将来の実用化を視野に放電を水処理装置に導入する開発が行われているが、申請者はそれよりも早くミニパイロットプラント規模の装置を大分県の地元の企業と共同開発した実績があった。学会においては、液中プラズマはこれまでも調査研究されてきたが経緯があるが、ちょうど研究開始当初に、筆者が委員長を務める静電気学会の「放電プラズマによる水処理研究委員会」(2016年~現在継続中)においてオールジャパンの体制で研究を推進させる時期と重なった。本研究では、大気圧放電プラズマにおいて水と界面の現象に着目し、気液界面で起きる複雑で不均一な反応過程の基礎を解明し、その応用として放電プラズマによる水処理技術を社会実装するための研究の機会となった。

2. 研究の目的

一般にOHラジカルは酸化力が極めて高く、多くの研究者により難分解性有機物処理の鍵をにぎる有力なラジカルとして認識されている。本研究では、反応性の高さゆえに寿命が短いと言われるOHラジカルが、気液界面の特殊環境下で長寿命化している予備実験事実をもとに、〈基礎研究〉として、未解明な反応である長寿命ラジカルの生成機構を解明する。そのためにはOHラジカルを独自技術の化学プローブ法(CP法: Chemical Probe)やラジカル計測において信頼性の高い電子スピン共鳴法(ESR法: Electron Spin Resonance)で調査した。さらにOHラジカル生成に関与し、しかも長寿命とされる準安定準位にある励起窒素をレーザー誘起蛍光法(LIF法: Laser-induced Fluorescence)で測定し、得られた知見より長寿命ラジカルを直接活用する新たな反応経路の解明を行った。基礎研究と並行して、〈応用研究〉としては、放電プラズマによる水処理を実施した。設計要素の多いプラズマリアクタの作製に新しい付加製造技術(3次元製造技術)を導入して、放電プラズマによる水処理装置を試作し、評価を行った。さらに実処理の検証が行えるパイロットプラント規模の装置試作改良への知見を集積した。難分解性物質が処理可能な次世代プラズマ方式を提案してその有効性を実証し、プラズマによる新たな高度促進酸化処理技術の開発を目的とした。

3. 研究の方法

(1) OHラジカル($\cdot\text{OH}$)と励起窒素 $\text{N}_2(\text{A}^3\Sigma_u^+)$ の測定

大気圧放電プラズマの発生には、液体と相互作用させる上で安定なプラズマが得られるプラズマジェットとパルスストリーマコロナ放電を使用した。OHラジカルの測定には化学プローブ法と電子スピン共鳴法を用いた。化学プローブ法は生成したOHラジカルをテレフタル酸($\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$)でトラップすることで安定な2-ヒドロキシルテレフタル酸($\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2\text{OH}$)となる。この状態で紫外光(波長, 310 nm)を入射すると蛍光(425 nm)を発することで間接的に定量できる。さらにテレフタル酸を含む溶液をもとにアガロースを用いてゲル化することで、主成分は液体である寒天状の検出物質となる。これを厚さ1~3 mmのシートにして使用した。プラズマジェットで生成するOHはゲル化したプローブで測定することでジェットに由来する界面でのOHラジカルの分布状態を明らかにした。さらに同じ反応系で生成するOHラジカルを電子スピン共鳴法で定量化した。この場合は、OHラジカルのトラップ剤として主にDMPO($\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}$)を用いた。両手法ともOHラジカルをトラップした既存濃度の標準物質を用いて校正曲線を作成し、プラズマ由来の生成OHラジカルの定量化を行った。

大気圧放電のプラズマ発生環境は空気であるためその主成分である窒素に着目した。放電化学反応で中心的役割を担う準安定準位にある窒素(活性窒素)について、レーザー誘起蛍光法でその放電空間の分布を可視化した。励起窒素としては6.3eVのエネルギーを有する $\text{N}_2(\text{A}^3\Sigma_u^+)$ を対象とした。この状態には振動励起準位として $v''=0, 1, 2, \dots, 10$ くらいまでの多くの準位が存在する。そこで使用するレーザーの波長変更ができる $v''=0, 1, 2, 3$ までを測定対象とした。まず $\text{N}_2(\text{A}^3\Sigma_u^+, v'')$ から $\text{N}_2(\text{B}^3\Sigma_u^+, v')$ へ特定の波長のレーザーで励起し、 $\text{N}_2(\text{B}^3\Sigma_u^+, v')$ から $\text{N}_2(\text{A}^3\Sigma_u^+, v'')$ へ脱励起するときの蛍光を観測する。

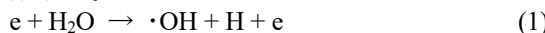
(2) 放電プラズマによる水処理

水処理にはエネルギー効率の高い方法として有望視されている処理水を水膜状にして、そこにプラズマを照射する方式を採用した。染め物工場からの廃液を模擬する着色水の脱色実験を行った。さらに、処理水の流体力学的な制御方法として”コアンダ効果”(Coandă effect)を導入した。コアンダ効果とは、曲がった表面に接触して移動する流体の流れは直線的に移動せずにその

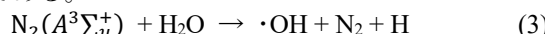
表面の曲率に従って流れるという効果のことで、Henry Coandăにより翼周りの気流の流れに現れていることが発見された。本研究ではその現象を応用して、リアクタの壁面を自由落下する膜状の水を回転しながら流れ落ちるように制御した。放電プラズマリアクタは円筒型と平板型を試作した。最適化を行うために、放電条件は印加電圧、パルス繰り返し周波数を、処理液の条件としては、色素の種類、濃度、流量、添加ガスおよびコアンダ効果の有無による影響を検討した。

4. 研究成果

(1) OH ラジカル($\cdot\text{OH}$)と励起窒素 $\text{N}_2(A^3\Sigma_u^+)$ の測定<基礎研究>として OH ラジカルの長寿命化に関わると考えられる反応過程を調査した。OH ラジカルは主に放電で生成する高速電子と水との反応で生成する。



その他の生成反応としては、励起窒素との次の反応である。



放電ではオゾンが生成するため、その分解で生成する $\text{O}(^1\text{D})$ からの生成経路もある。



まず最初に OH ラジカルの生成について、放電プラズマによる生成としてプラズマジェットによる生成と超音波照射による生成を比較調査したものを図1に示す。キューベットに入れたテレフタル酸溶液を通常の超音波洗浄機に入れて超音波照射した場合と同じ設定条件のもとでプラズマジェットを液面に照射した場合の結果である。超音波では生成したマイクロバブルが圧壊するときに OH ラジカルが生成するが、放電プラズマでは上に挙げた式(1)~(4)の反応で生成する。比較より放電プラズマが OH ラジカルの生成に有効であることが確認された。

次にこのプラズマジェットで生成する OH ラジカルを化学プローブ法と電子スピン共鳴法の両方でクロスチェックした。OH ラジカルを捕捉するための最適なトラップ剤の濃度を調べた。テレフタル酸二ナトリウムは中性の水に溶けて液相内ではテレフタル酸となるが、10 mM 以上に溶解させるのは難しい。一方、DMPO は生成した OH ラジカルをすべてトラップ可能とするように高濃度化できるが、50 mM 以上でほぼ一定となった。1 分間のプラズマ照射で OH ラジカルの生成量としては 10 μM 程度であり、CP 法と ESR 法の測定では、ほぼ同じ測定結果になることを確認した。中性 pH7 の条件での生成量を CP 法と ESR 法で比較したものが図2である。本研究では、CP 法と ESR 法の2つの方法のクロスチェックから放電プラズマにより生成される OH ラジカルの定量化に関するデータの信頼性が確保されたと考えられる。

プラズマを液体に作用させる場合に対象液体の pH は重要と要素となる。酸性溶液からアルカリ性溶液に対する OH ラジカルの生成特性を調べた結果を図3に示す。ここでは酸性溶液でも OH ラジカルの検出が可能な ESR 法での結果を示している。中性溶液から酸性あるいはアルカリ性に溶液の状態が変化するとともに OH ラジカルの量は減少する傾向にあることがわかる。酸性下では、OH ラジカルとともに生成する水素と窒素の反応により亜硝酸や硝酸への反応が進められること、アルカリ性雰囲気では OH ラジカルの酸化ポテンシャルの低下やオゾンが存在

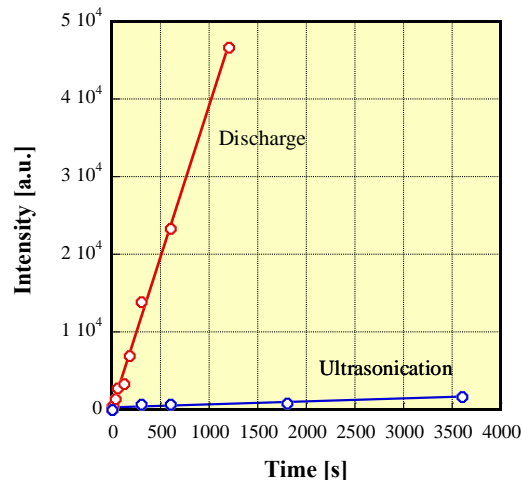


図1 放電と超音波による OH ラジカルの生成時間特性

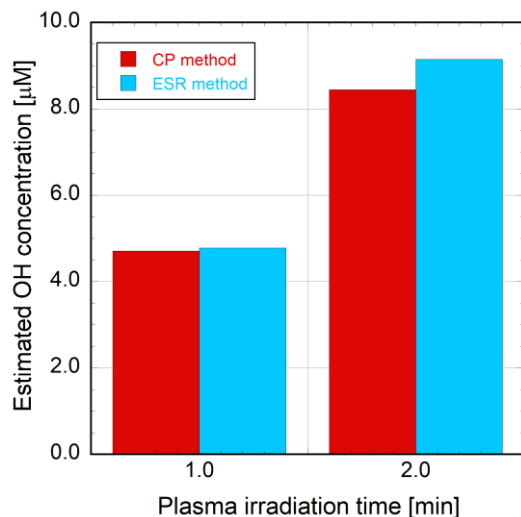


図2 CP 法と ESR 法による OH ラジカルの生成特性の比較

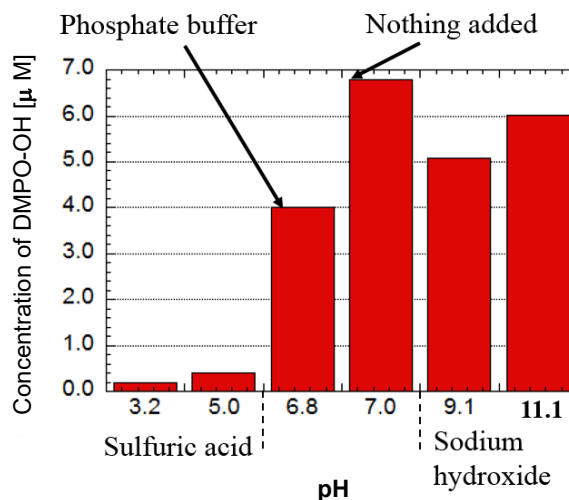
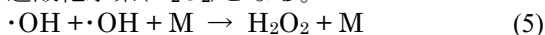


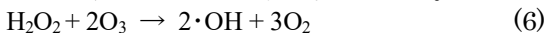
図3 酸性溶液からアルカリ性溶液に対する OH ラジカルの生成特性

できなくなることなどが影響していると思われる。

ここでOHラジカルの消失を促進する主要な要因として、次のOHラジカル同士の再結合が挙げられる。OHラジカルの寿命は長く生存できる条件下でもマイクロ秒のオーダーであり、水との界面では浸透できる範囲は1 μm以下である。そのため高濃度で生成した場合や対象分子の酸化分解に作用しない場合には速やかに過酸化水素(H₂O₂)となる。



ここでMは第3体であり、 $\cdot\text{OH}$ の反応エネルギーを吸収するために必要となる。このままではOHラジカルの反応が限定されるため、水処理を効果的に行う戦略としては、OHラジカルの再生反応を活用することが重要と考えられる。



過酸化水素はOHラジカルが再結合したものである。オゾン放電でも発生するが、オゾン発生器で生成させて投入することもできる。本研究ではオゾン単独でも酸素原子への解離による式(4)の反応でOHラジカルの生成が生じていることを化学プローブ法による蛍光観測から確認した。

以上の実験と考察より、放電プラズマで難分解性物質を分解できるOHラジカルは、そのもの単独では短寿命ではあるが、OHラジカルと過酸化水素及びオゾンさらにはOHラジカルの貯留物質と呼ばれるHO₂ラジカルを介した連鎖反応により、長寿命化することをわかった。

次に、式(1)にも現れる励起窒素N₂(A³Σ_u⁺)の単独測定をLIF法で試みた結果について報告する。準安定準位にあるN₂(A³Σ_u⁺)は、論文や教科書では2秒もの寿命があると説明されている。したがって、多くの研究者がこれに信じているところでもある。実際の気圧空気雰囲気下ではクエンチングの影響が極めて大きく、現在までに観測例は見当たらない。今回は、準大気圧で窒素雰囲気を中心として、または微量の酸素が混合する条件で測定に成功した。これにより放電化学反応を理解する上では大切な知見となることを期待される。放電にはパルスストリーマコロナ放電を用いた。電極は針対平板電極を用いた。

ここでは振動準位v''=2に存在する励起窒素のみを測定した。LIF計測のための励起波長λ_{exc}は606.923 nmであり、蛍光波長λ_{LIF}は662.3 nmである。図4は準大気圧30 kPaにおける放電の様子と電圧印加1 μs後のN₂(A³Σ_u⁺, v''=2)のLIF画像およびその分布を示す。さらにLIF信号強度の電圧印加後の時間特性を図5に示す。準大気圧でパルスストリーマコロナ放電により生成されるN₂(A³Σ_u⁺, v''=2)の初期濃度N₀は10¹⁴ cm⁻³程度であり、寿命は10 μsのオーダーである。実際には振動準位v''=0~10程度までそれぞれの準位に励起されている。そのことを考慮すると準安定準位にある励起窒素はかなりの量が生成されると考えられる。比較的長い寿命と合わせれば、その放電化学反応への影響は大きいと言える。

(2) 放電プラズマによる水処理

現在の水処理は、沈殿・ろ過、活性炭への吸着と微生物による処理、化学薬品の投入およびオゾン処理などの組み合わせである。促進酸化処理としてオゾン(O₃)/紫外線(UV)/化学薬品(H₂O₂)による処理は、OHラジカルを生成し、難分解性物質の処理へも対応できるためその研究も盛んに行われている。一般に、オゾンはバリア放電で生成し、処理水へバブリングすることで利用されている。そのため、オゾン処理そのものはプラズマを直接使うことはない。一方、放電プラズマには、高エネルギーの電子、活性酸素・活性窒素、高電界、紫外線、衝撃波などによるシナジー効果が期待できる。そのため次世代水処理として、放電プラズマを直接利用するプロセスの開発が望まれる。本研究では処理水を水膜状にして、そこにプラズマを照射する同軸円筒型プラズマリアクタをもとに、そこにコアンダ効果を付加することを中心にエネルギー効率向上と大量処理へ向けた検討を行った。

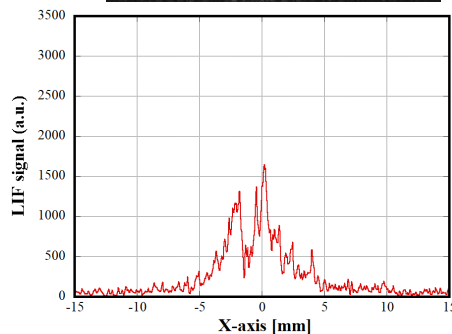
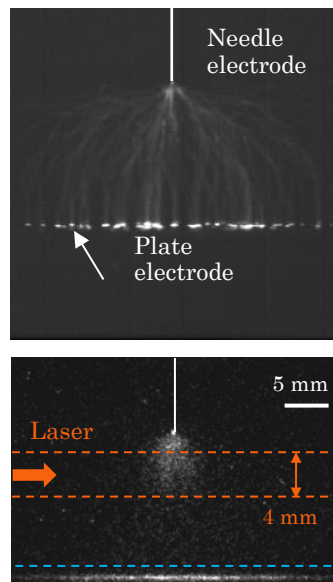


図4 準大気圧窒素雰囲気でのストリーマ(上)、LIF画像(中)及びその分布特性(下)

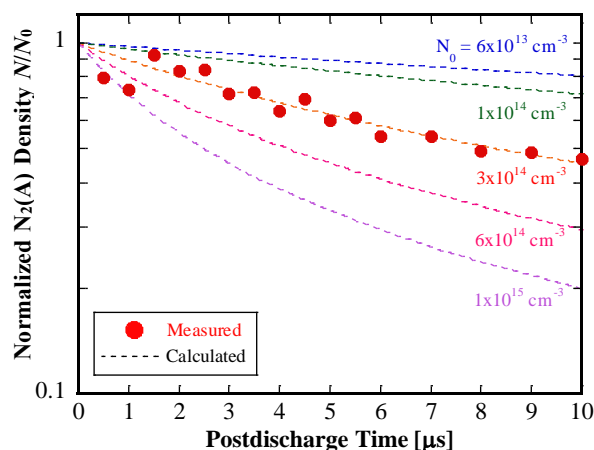


図5 電圧印加後のLIF信号強度の時間特性とプーリング反応をもとに算出した初期濃度との関係(初期濃度N₀を3×10¹⁴ cm⁻³とすると測定値に一致した特性が得られる)

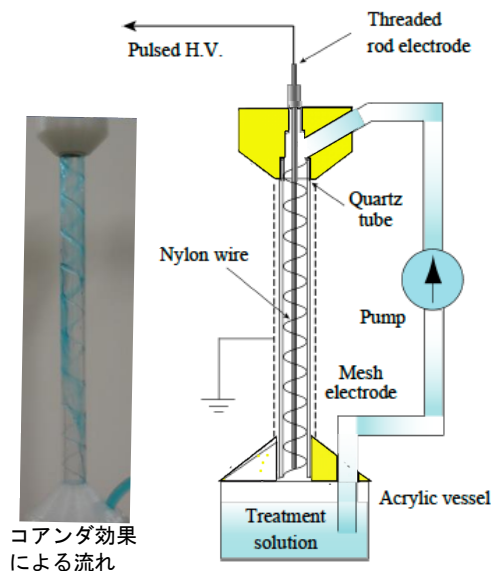


図6 円筒型水処理リアクタ

図6 円筒型水処理リアクタ

図6は同軸円筒型水処理リアクタの内壁にナイロン線をらせん状になるように装荷して水流がコアンダ効果を生じるようにしたものである。装置はガラス管を利用して内部が観測できるようにしたもの(図6)とガラス管を金属管に換えたものの2通りを作製した。ガラス管がある場合は、バリア放電となるが、電極間を進展する放電はパルスストリーマ放電であった。図6にはコアンダ効果による水流の様子も示す。処理水はリアクタ上部の供給部から斜め方向に噴出するため旋回流が得やすい構造となっている。コアンダ効果があると、水の滞留時間が増加し、さらにプラズマとの接触が増えるため、より早い水処理が可能となった。図7は、青色染料のインジゴカルミン水溶液を処理したときの処理時間に対する脱色率である。処理条件は、濃度10 mg/Lのインジゴカルミン水溶液300 mLを流量1 L/minで供給し、放電にはパルス電圧として15 kV、放電回数が100回/sである。さらに脱色率50%におけるエネルギー効率(脱色された色素の重量/投入電力量)を図8に示す。一般にエネルギー効率を向上させるには、処理液の濃度を高くし、放電電力を抑えるために、印加電圧と放電の繰り返しは低く設定するとよい。ただし、脱色までの時間はかかることになる。現在までのところ、インジゴカルミン水溶液の分解ではエネルギー効率として最大で450 g/kWhを達成した。

比較的大容量の水処理への対応としてすでに同軸円筒型水処理リアクタの並列化も提案してきたが、新たに複数の細線と平板電極からなる放電システムにおいて平板上に処理水を膜状に流れるようにして、そこにパルスストリーマ放電を発生させて水処理を行うシステムも開発した(図9)。現在、このような放電プラズマ方式は、パイロットプラントとして試みられている水処理システムの多くで採用されるようになった。放電プラズマによる水処理を社会実装するには、放電の長所であるOHラジカルを難分解性有機物の分解のトリガーとして使用することがよいのではないかと考えられる。分解はその後段階的にすすむため、無機化までをプラズマ単独で行うとなるとエネルギー消費がかさむ。そのため、水処理へのプラズマの適用は、完全分解よりも副生成物の生成も考慮のもとでエネルギー効率の高い条件下で使用し、そのあとは生物活性炭処理に任せるなどの方策も考えた戦略が必要と考えられる。

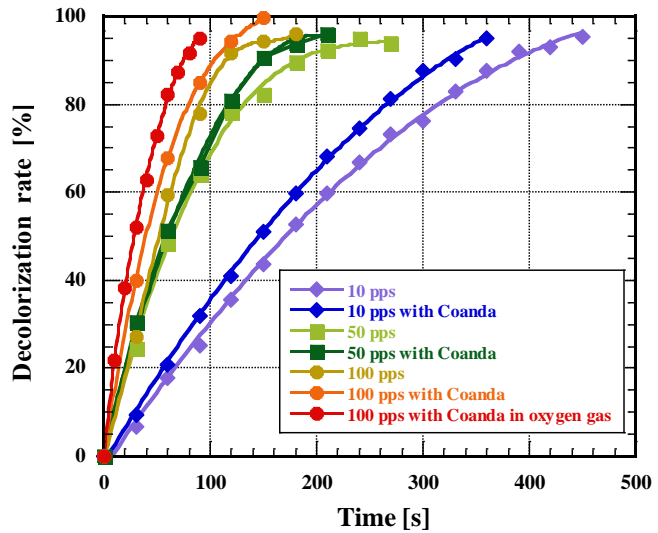


図7 水処理特性(脱色率)

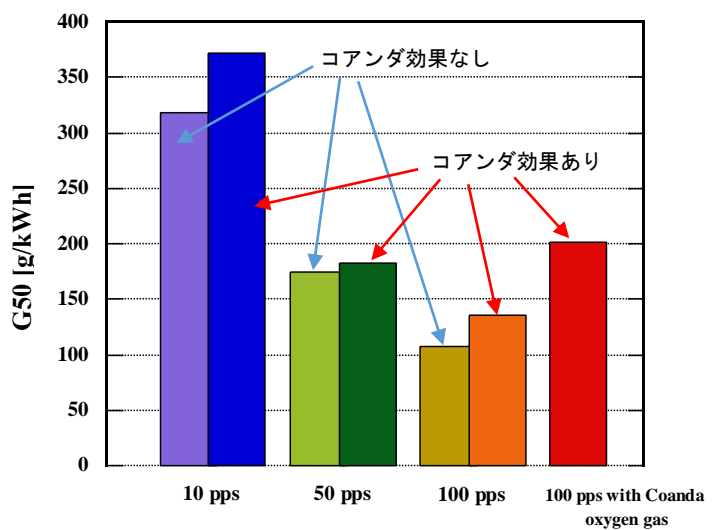


図8 水処理特性(エネルギー効率)

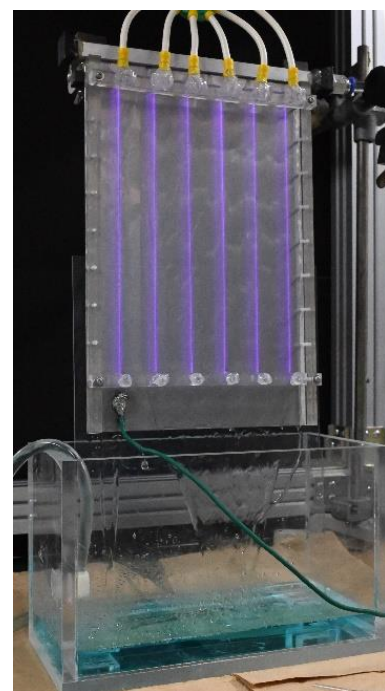


図9 パルスストリーマ放電による水膜上プラズマ(メチレンブルー水溶液の分解、印加電圧21 kV、放電回数100/s)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Tachibana Kosuke, Koshiishi Takahiro, Furuki Takashi, Ichiki Ryuta, Kanazawa Seiji, Sato Takehiko, Mizeraczyk Jerzy	4. 巻 108
2. 論文標題 A new measurement method of DC corona-discharge characteristics using repetitive ramp and triangular voltages	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Electrostatics	6. 最初と最後の頁 103525 ~ 103525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elstat.2020.103525	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 猪原哲、須貝太一、金賢夏、金澤誠司	4. 巻 44
2. 論文標題 放電プラズマによる水処理: 概論	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 189-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kanazawa Seiji, Ohno Akira, Furuki Takashi, Tachibana Kosuke, Ichiki Ryuta, Suzuki Asumi, Kuroi Kiyoshi, Suzumura Kei, Tanaka Toshio, Motegi Kanji, Kocik Marek, Mizeraczyk Jerzy	4. 巻 103
2. 論文標題 Temporal-spatial distribution of N ₂ (A ³ u+) metastable molecules in the pulsed positive streamer in the needle-to-plate gap in sub-atmospheric pressure nitrogen	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Electrostatics	6. 最初と最後の頁 103419 ~ 103419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elstat.2020.103419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Tanski Mateusz, Kocik Marek, Hrycak Bartosz, Czylikowski Dariusz, Jasinski Mariusz, Kawasaki Toshiyuki, Kanazawa Seiji	4. 巻 222
2. 論文標題 Measurement of OH radicals distribution in a microwave plasma sheet using LIF method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 117268 ~ 117268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.saa.2019.117268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Kumagai, S. Kanazawa, K. Ohtani, A. Komiya, T. Kaneko, T. Nakajima, T. Sato	4. 巻 124
2. 論文標題 Propagation and branching process of negative streamers in water	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5025376	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Kanazawa, W. Imagawa, S. Matsunari, S. Akamine, R. Ichiki, K. Kanazawa,	4. 巻 11
2. 論文標題 Ionic Wind Devices Prepared by a 3D Printer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Plasma Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 38-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金澤誠司, 竹内希	4. 巻 28
2. 論文標題 放電プラズマによる水処理研究の現状と展望	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 クリーンテクノロジー	6. 最初と最後の頁 10-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計55件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧放電プラズマの特性と応用 (基礎編) - ニューノーマルの時代での新たな試み -
3. 学会等名 東北大学流体科学研究所 特別講演会 (1) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧放電プラズマの特性と応用（応用編） - ニューノーマルの時代での新たな試み -
3. 学会等名 東北大学流体科学研究所 特別講演会（2）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金澤誠司
2. 発表標題 パルス放電プラズマの特性と水処理への応用
3. 学会等名 JSPS日本学術振興会，プラズマ材料科学第153委員会，（定例研究会）第140回研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiji Kanazawa, Akira Ohno, Takashi Furuki, Kosuke Tachibana, Ryuta Ichiki, Asumi Suzuki, Kiyoshi Kuroi, Kei Suzumura, Toshio Tanaka, Kanji Motegi, Marek Kocik, Jerzy Mizeraczyk,
2. 発表標題 Influence of the Operating Pressure on Pulsed Positive Streamer Corona Structure and Distribution of N ₂ (A ₃ u+) Metastable Molecules in the Needle-to-Plate Gap
3. 学会等名 ISEHD2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiji Kanazawa, Ryosuke Hanabata, Tomohito Hayashida, Takashi Furuki, Kosuke Tachibana, Ryuta Ichiki, Marek Kocik
2. 発表標題 Development of Plasma Reactor for Water Treatment Using Air-Liquid Interfacial Streamer Discharge and the Coanda Effect
3. 学会等名 IWEE2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Gembu Kitano, Takashi Furuki, Kosuke Tachibana, Ryuta Ichiki, Tadashi Kobayashi, Seiji Kanazawa
2 . 発表標題 Influence of Solution Properties on Generation Characteristics of Active Species in Liquid Generated by Atmospheric Pressure Plasma Jet
3 . 学会等名 EAPETEA-7 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Seiji Kanazawa, N. Kojima, S. Matsuo, T. Furuki, K. Tachibana, R. Ichiki, M. Kocik
2 . 発表標題 Characterization of Hydroxyl Radicals Produced by Electrical Discharges in Contact with Liquid Phase
3 . 学会等名 APSPT-11 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Seiji Kanazawa, R. Hanabata, K. Tachibana, T. Furuki, S. Akamine, R. Ichiki, M. Kocik
2 . 発表標題 Advances in Design of Plasma Reactor for Water Treatment Using Radical Measurement and Electrohydrodynamic Technology
3 . 学会等名 ISNTP-11 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Seiji Kanazawa, Suguru Matsuo, Koshuke Tachibana, Takashi Furuki, Shuichi Akamine, Ryuta Ichiki, Marek Kocik
2 . 発表標題 Comparison of ROS diagnostic methods for atmospheric-pressure plasmas at gas-liquid environment
3 . 学会等名 ISPB 2108 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiji Kanazawa, T. Hayashida, R. Hanabata, T. Furuki, K. Tachibana, A. Akamine, R. Ichiki, M. Kocik
2. 発表標題 Development of novel plasma reactor for next-generation water treatment
3. 学会等名 SPM 6 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiji Kanazawa, S. Matsuo, T. Furuki, K. Tachibana, S. Akamine, R. Ichiki, M. Kocik
2. 発表標題 Radical Measurement Methods in Plasma Reactor for Water Treatment
3. 学会等名 SPM 6 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiji Kanazawa, S. Kanda, S. Matsuo, S. Akamine, R. Ichiki, K. Yoshihara, Y. Hirayama, K. Tominaga, K. Higashiyama
2. 発表標題 Detection of OH Radicals Produced by Atmospheric Pressure Non-thermal Plasmas Using a Functional Hydrogel
3. 学会等名 ISEHD2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧放電プラズマへの誘い - 発生と計測から応用まで -
3. 学会等名 第33回電解プロセス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Seiji Kanazawa, Suguru Matsuo, Shuichi Akamine, Ryuta Ichiki, Marek Kocik
2. 発表標題 Diagnostics of ROS in Atmospheric Plasmas and its Application to Plant Biology
3. 学会等名 ICFD2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Seiji Kanazawa, Shuichi Akamine, Ryuta Ichiki, Marek Kocik
2. 発表標題 Characterization of Hydroxyl Radicals Produced by Electrical Discharges in Contact with Liquid Phase
3. 学会等名 APSPT-10 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 金澤誠司, 岡茂八郎, 佐藤拓	4. 発行年 2019年
2. 出版社 理工図書	5. 総ページ数 214
3. 書名 電気電子計測	

1. 著者名 大久保雅章監修、金澤誠司、他執筆者44名	4. 発行年 2017年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 321
3. 書名 プラズマ産業応用技術	

1. 著者名 佐藤岳彦、大橋俊朗、川野聡恭、白樫了 編著、金澤誠司、他執筆者68名	4. 発行年 2017年
2. 出版社 養賢堂	5. 総ページ数 197
3. 書名 高度物理刺激と生体応答	

1. 著者名 高木浩一、金澤誠司、猪原哲、上野崇寿、川崎敏之、高橋克幸	4. 発行年 2018年
2. 出版社 理工図書	5. 総ページ数 280
3. 書名 高電圧パルスパワー工学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

放電プラズマ研究室 http://elecls.cc.oita-u.ac.jp/plasma
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	市来 龍大 (Ichiki Ryuta) (00454439)	大分大学・理工学部・准教授 (17501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	立花 孝介 (Tachibana Kosuke) (10827314)	大分大学・理工学部・助教 (17501)	
研究分担者	小林 正 (Kobayashi Tadashi) (30100936)	大分大学・理工学部・名誉教授 (17501)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	金澤 康次 (Kanazawa Koji) (20244147)	崇城大学・工学部・教授 (37401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ポーランド	Polsih Academy of Sciences	Gdynia Maritime University	