

令和 5 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K13906

研究課題名（和文）大気変遷を再現した放電誘起反応場の解析と新規生理活性分子種の制御合成

研究課題名（英文）Investigation on chemical reactions induced by discharge with historical atmospheric composition and application for controlled synthesis of bioactive molecules

研究代表者

佐々木 渉太（Sasaki, Shota）

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：90823526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、大気放電活性種が誘起する気相・液相反応場を理解すること、その知見を基に生物作用が未知の放電由来活性種を制御合成すること、さらには生理活性の高い新しい放電由来活性種を同定することを目的として研究を行った。大気放電誘起反応場の理解を深め、五酸化二窒素（N₂O₅）という生物作用が未知の活性種を、大気からその場制御合成することに成功し、N₂O₅が硫化水素をポリ硫化する作用、アミノ酸を改質する作用を有することを明らかにした。さらに、N₂O₅は植物に感知され生理応答を誘起する生理活性分子種であることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

五酸化二窒素の選択合成技術とその気相化学反応モデルの確立、五酸化二窒素という新規生理活性分子種の同定に至ったため、学術的意義は大きいといえる。また、100 W以下の電力消費で、周辺大気から、300 ppmの五酸化二窒素をその場で選択合成可能な本技術は、学術分野のみならず社会における五酸化二窒素の活用を大きく推進する画期的合成技術であり、社会的意義の大きい成果である。

研究成果の概要（英文）：This study aims to understand the gas- and liquid-phase chemical reactions induced by atmospheric discharge-generated reactive species, to precisely synthesize discharge-derived reactive species with unknown biological effects, and to identify new discharge-derived reactive species with high biological activity. Based on an understanding of the atmospheric discharge-induced reactions, we succeeded in on-site synthesis of dinitrogen pentoxide (N₂O₅), a reactive species with unknown biological effects. In addition, it was newly found that N₂O₅ can generate polysulfane from hydrogen sulfide and modify amino acids with oxidation and nitration. Furthermore, N₂O₅ was found to be a bioactive species that can be sensed by plants and induces physiological responses.

研究分野：大気圧プラズマ

キーワード：大気圧プラズマ 大気放電 五酸化二窒素 活性酸素種 活性窒素種 活性硫黄種

1. 研究開始当初の背景

大気中放電により生成される活性種（一酸化窒素や一酸化炭素等）には、いわゆる「毒ガス」、言い換えると生理活性の高い化学種が多く見つかる。この事実は、長年の時間を要し複雑なシステムに成り立った生命の進化過程に対する放電活性種・放電誘起反応場の関与を仄めかすものである。これまで、大気中放電により生成される活性種やそれらで形成される化学反応場に関する研究は盛んに行われ、プラズマ分野では数多くの活性種が認知されているが、その中には生物への作用に関して報告例がほとんどない活性種が存在する。従って、(1) 大気放電誘起反応場をより深く理解し、生物作用が未知の活性種を制御合成すること、(2) それら活性種の生理活性作用を明らかにすること、(1) (2) を通して新規生理活性分子種の効率的なスクリーニングを行うことは、重要な研究課題であるという認識に至った。新規生理活性分子種の放電制御合成に成功し、その生理的作用機序まで解明できれば、生物学分野へ新しい潮流を巻き起こすに留まらず、新しい学術分野やプラズマ応用提起につながる可能性も秘めている。

2. 研究の目的

本研究では、大気組成と海洋溶存ガス組成の変遷を模した放電によって誘起される気相・液相反応場を理解すること、その知見を基に生物作用が未知の放電由来活性種を制御合成することを第一の目的とした。また、原始・現代大気放電によって生成される気相活性種群・液相活性分子種群を検出すると同時に、細胞に供給して応答を観測するシステムを用いて、新規生理活性分子種（群）を探索することを第二の目的とした。含硫化学種も考慮に入れ、大気組成や海洋溶存ガス組成の変遷を再現して放電する点、生物作用が未知の活性種の放電制御合成を試みる点は、独自のアプローチであり、新規生理活性分子種を効率良く探索する手法として新たに提案するものである。

3. 研究の方法

本研究課題達成のため、以下の実験を行う (図 1)。

- (1) 大気放電中気相反応の解析
- (2) 大気放電活性種が誘起する液相反応の解析
- (3) 大気放電活性種・活性生体分子による Ca^{2+} 応答解析

(1) 大気放電中気相反応の解析

プラズマの生成には、二重管熱交換構造を持つプラズマユニットを用いる (図 2)。放電電力・外部ヒーターによって、異なるガス温度に設定された複数のプラズマユニットから排出するガスを混合・反応させた後、FT-IR によって活性種密度を定量しながら、大気放電活性ガスを取得。複数のプラズマ源を並列に接続し、活性種組成に大きく影響するガス温度制御とその後の反応時間制御によって、活性種組成の制御性を格段に向上できる。ガス組成、放電電力、反応時間、反応中温度などを変化させながら、活性種の網羅的測定を行う。こうして得られた結果と 0 次元化学反応シミュレーションを通して、大気放電誘起反応場の理解と活性種精密制御合成を目指す。

(2) 大気放電が誘起する液相反応解析

活性種の効率的な溶解と細胞への高速供給を実現するために、高速液流を利用する (図 3)。この高速液流ラインは、それぞれ液体クロマトグラフィー (LC)、吸光・蛍光測定系、細胞のライブイメージング系へと導入される。液体には、水、海水組成水、生理食塩水を用い、

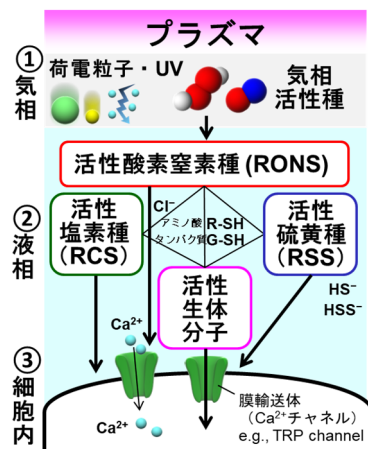


図 1. 研究の全体概略。

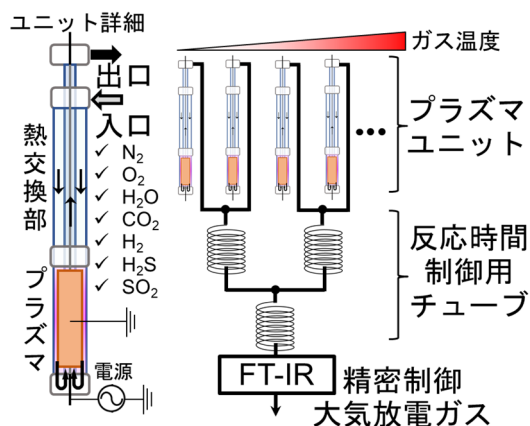


図 2. 活性種精密制御パラレルプラズマ源。

場合によって H₂S やアミノ酸等の生体分子を添加したものを使用する。硝酸イオン (NO₃⁻) 等の長寿命活性種は、直接吸収分光や試薬プローブによって測定する。計測が困難な活性種については、0次元化学反応シミュレーションも導入して、濃度推定を行う。気相活性種組成との相関を議論しながら、液相活性種反応系の全体像解明に迫る。

(3) 大気放電活性種・活性生体分子による Ca²⁺応答解析

生理作用を担うシグナル分子として、広範な生理機構に関わっていることが知られている Ca²⁺を対象とする。大気放電活性種を含むガス、あるいは処理溶液を、生物に作用させ、細胞内 Ca²⁺シグナルの継時変化を得る (図 3)。活性種組成を変化させながら (選択合成された単独の活性種供給も含めて)、細胞内 Ca²⁺シグナルの観測とともに細胞生存率を測定し、高い生理活性作用を持つ活性種の同定を目指す。

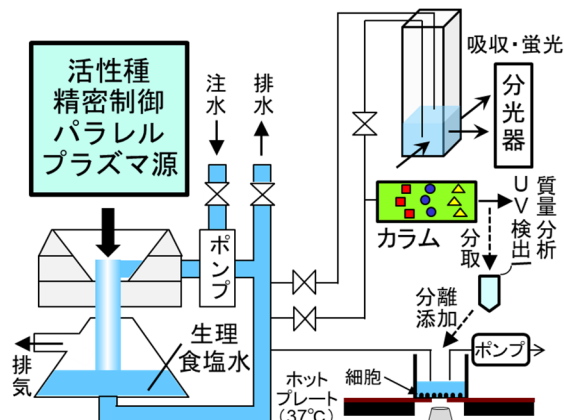


図 3. 液相反応解析・細胞供給システム。

4. 研究成果

(1) 大気放電中気相反応の解析

図 2 に示した、活性種精密制御パラレルプラズマ源を実際に製作し、様々な条件にて活性種を FT-IR によって密度定量する実験を繰り返す過程で、五酸化二窒素 (N₂O₅) を、空気から選択合成できることを見出した。その装置構成図を図 4 に示す。高温プラズマにより安定合成した一酸化窒素 (NO) / 二酸化窒素 (NO₂) と、低温プラズマにより安定合成したオゾン (O₃) を、室温にて混合、数十秒以上反応させることで、N₂O₅ が他の活性種より 10 倍以上高い密度で選択合成される [図 5 (a)]。

N₂O₅ は、従来、硝酸を五酸化二リンで脱水する方法でイオン結晶として合成されるが、ドラフトを必要とする上、高い吸湿性と熱分解性を持つため、安定貯蔵することが困難であった。そのため、工場等での集中生産には不向きであり、O₃ と同様に、プラズマ技術でその場生成する価値がある物質であるといえる。本技術は、周囲大気を用い、100 W 以下の電力消費で、N₂O₅ をその場合供給できるため、学術分野のみならず産業においても、N₂O₅ の利用障壁を大きく下げるものである。さらに、本プラズマ合成法は、原理上、NO / NO₂ や O₃ を選択合成しているため、これらの活性種もスイッチ一つで切り替えて供給可能である [図 5 (b)]。

さらに、こうした大気放電が誘起する気相反応場をより深く理解するために、0次元化学反応シミュレーションを用いて、実験結果と数値計算を比較しながら検討を進めた。まず、大気化学でよく使用される反応式 26 種を用いて、実験で得た活性種密度の継時変化を説明しようとしたが、実験結果と計算結果に大きな乖離が見られた。特に、化学反応シミュレーションにて計算された O₃ 密度は実験より高い傾向にあり、何らかの O₃ 分解反応が考慮されていないことが原因であるように推察され

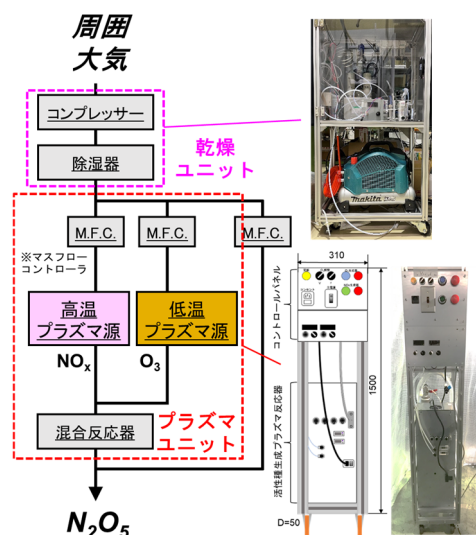


図 4: N₂O₅ のプラズマ制御合成システム。

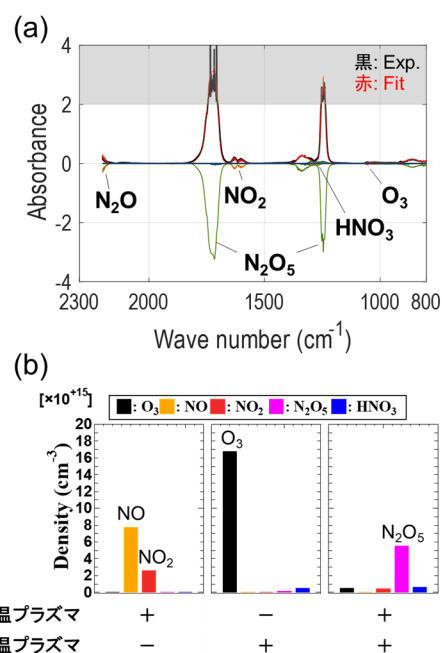


図 5: (a) N₂O₅ 選択合成時の典型的な FT-IR スペクトル。 (b) 各プラズマ反応器のオンオフによる供給活性種モード制御。

た. そこで, O_3 分解反応として, 既報の N_2O_5 触媒的分解反応と未報告の N_2O_4 による分解反応をそれぞれ新たに追加して, 反応速度定数を変数として実験結果をフィットした結果を図 6(a), (b)に示す. N_2O_4 による O_3 分解を考慮した計算モデルの方 [図 6(b)] が, よく実験結果を説明できていることが分かる. さらに, プラズマ合成した N_2O_5 に対して O_3 を添加混合する実験を通して, O_3 は分解されないことを実験的に確かめた. 従って, 報告があった N_2O_5 触媒的 O_3 分解反応は, 見かけの反応であり, 素反応では無いことが示唆された.

このようにして, N_2O_5 という生物への作用が全く未知である化学種のその場制御合成に成功し, N_2O_5 を取り巻く化学反応系の理解を深めた.

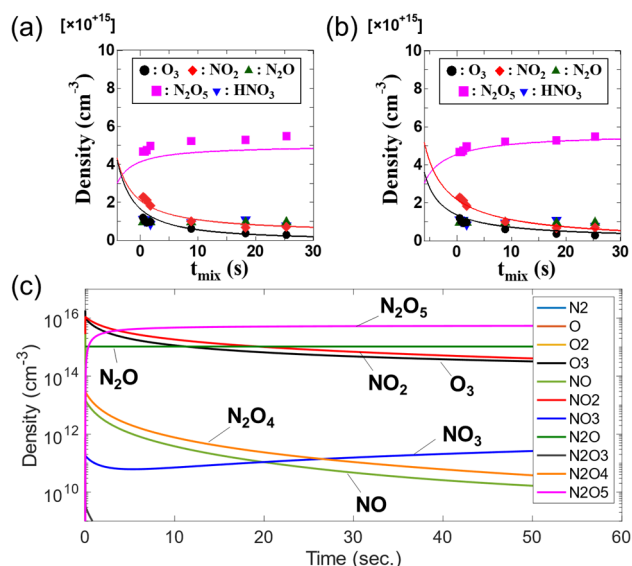


図 6: 各活性種密度の継時変化. NIST 掲載化学反応 26 種+ (a) O_3 の N_2O_5 触媒的分解反応, (b) O_3 と N_2O_4 の反応. プロット: 実験結果, 線: 計算結果.

(2) 大気放電活性種が誘起する液相反応の解析

活性種精密制御パラレルプラズマ源 (図 2) を用いて, 硫化水素 (H_2S) やアミノ酸を含有する水溶液を処理し, 誘起される液相反応場を解析した.

10 億年前の海洋では, 一時的に溶存 H_2S 濃度が高まったと言われており, その痕跡が生物の複雑なシステムの中に度々みられることから, H_2S は非常に注目されている化学種である. この実験では, 大気放電活性種と H_2S 間の化学反応を調べるために, 1 mM Na_2S 溶液を大気放電活性ガス処理した後の活性硫黄種の検出を試みた. この時, 溶存酸素による H_2S 消費を抑制するために, あらかじめ N_2 バブリングした超純水に, Na_2S を溶かすことで用意した. H_2S 及びポリ硫黄の検出には, 吸収分光法及び蛍光プローブ法を用いた. H_2S の 300 nm におけるモル吸光係数は非常に低いが, ポリサルフェンになると, 300 nm に吸収を持つようになる [図 7 (a), (b)].

このため, 300 nm の吸光度を観測することで, ポリサルフェンの生成を簡易的に検出可能である. 図 7(c)に示すように, 大気放電活性ガス処理後に, 300 nm 付近の吸光が見られることから, ポリサルフェンの生成が示唆される. さらに, ポリ硫黄生成を決定づけるべく, 蛍光プローブ SSP4 を用いたところ, 図 7(d)に示すように, 吸光度による定量と蛍光プローブ SSP4 による定量結果がほとんど一致した. 従って, 大気放電活性種が液相 H_2S と反応して, ポリ硫黄を生成することが明らかとなった. ポリ硫黄濃度は, 処理時間の増加に従い, 一時的に増加した後, 減少していく傾向が見られた. すなわち, 大気放電活性種の一部は, こうしたポリ硫黄を消費するものと考えられる. ポリ硫黄は, 細胞内でも生成され, 生理的な作用を有することが報告されているため, 大気放電活性種そのもののみならず, 活性硫黄種を介して生物が高感度に応答する可能性も考慮する必要があると言える.

次に, 生物の基本構成ユニットの一つであるアミノ酸と大気放電活性種との反応を調べた. まず, 選択合成したガス状 N_2O_5 を 18 種のアミノ酸粉体に照射したところ, 2 種のアミノ酸 [チロシン (Tyr)・トリプトファン (Trp)] で明瞭な着色が見られた. 黄色→橙色と着色されることから,

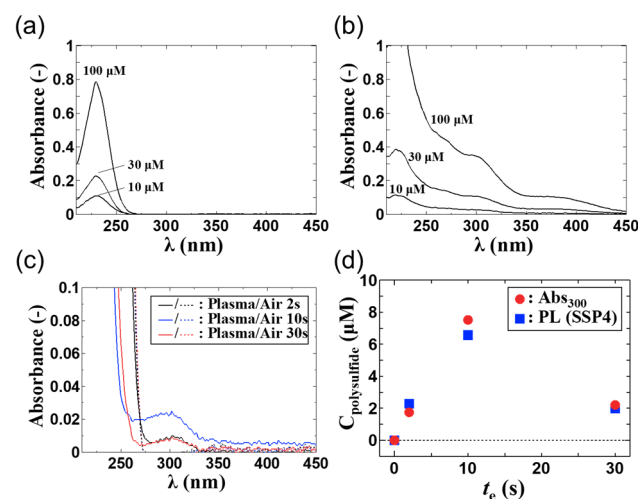


図 7: (a) Na_2S ・(b) Na_2S_4 水溶液の吸収スペクトル. (c) 1 mM Na_2S 水溶液を大気放電活性ガス処理した後の吸収スペクトル. (d) ポリ硫黄濃度の活性ガス処理時間依存性. Abs_{300} : 吸光度による定量, PL(SSP4): 選択的ポリ硫黄検出プローブ SSP4 を用いた蛍光測定による定量.

ニトロ化が進行していると推察し、液体クロマトグラフィー質量分析計 (LC-MS) で計測した所、3-ニトロチロシン、4-ニトロトリプトファン・5-ニトロトリプトファン・6-ニトロトリプトファン・7-ニトロトリプトファンが生成されていることを明らかにした。

さらに、チロシンと大気放電活性種との反応を詳細に調べた (図 8)。その結果、 N_2O_5 と O_3 や NO_2 の密度バランスによって、異なるチロシン派生物が生成されることが明らかとなった。図 8 (b) に示すように、多量の N_2O_5 (+ NO_2) では薄黄色、多量の O_3 では薄橙色に着色される。吸収スペクトル [図 8 (c)] から、それぞれニトロチロシン、メラニン前駆体であるドーパクロムであることが示唆され、どちらも LC-MS にて検出された。興味深いことに、 N_2O_5 単体ではそれほど反応性は高くないが、 $N_2O_5 + O_3$ や $N_2O_5 + NO_2$ のような混合ガスで、非常に高いチロシン消費速度が観測され、最終生成物も大きく変化した。これらのことは、複数の活性種が関与する反応経路が存在することや最終生成物の構造は、 N_2O_5 よりもむしろ共存活性種に依存することを示唆している。一方で、例えば O_3 のみでは、ドーパクロムの生成が見られなかったことから、 N_2O_5 も反応に寄与している可能性やドーパクロムが O_3 存在下で安定に存在できない可能性が考えられる。以上の結果を基に、図 8 (d) のような反応経路を予想する。 N_2O_5 の主な役割は、最初のチロシンの酸化 (トリガーを引く反応) であり、その後の化学修飾は、 N_2O_5 よりもむしろ共存活性種の寄与が大きいと考えられる。このため、 $N_2O_5 + O_3$ ではドーパクロム、 $N_2O_5 + NO_2$ ではニトロチロシンが主な生成物となったと考えられる。

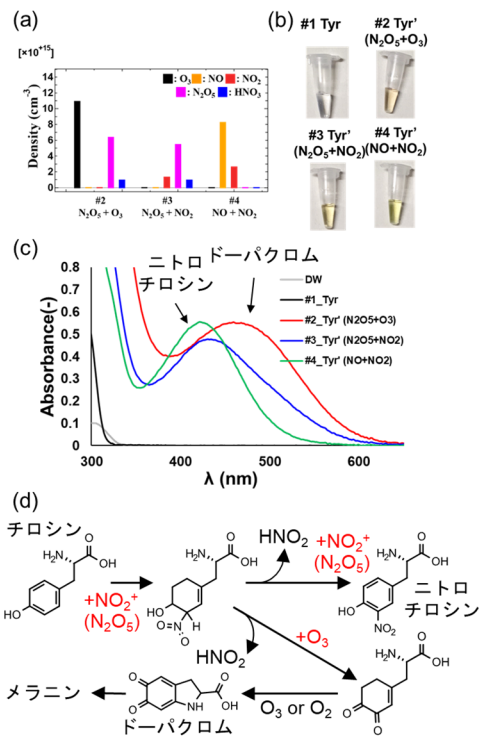


図 8: 大気放電活性種とチロシン (Tyr) との反応. (a) 各種大気放電活性ガスの密度組成. 各種大気放電活性ガス処理後の (b) チロシン溶液の写真, (c) チロシン溶液の吸収スペクトル. (d) 提唱する大気放電活性種とチロシンの反応経路図.

(3) 大気放電活性種・活性生体分子による Ca²⁺応答解析

図 9 に、モデル植物であるシロイヌナズナの大气放電活性種に対する Ca²⁺応答結果を示す。植物全体に対する N₂O₅ 照射は、速やかな細胞質内 Ca²⁺濃度 ([Ca²⁺]_{cyt}) 上昇を誘導し、生理活性を有することが明らかとなった。また、一枚の葉に対して、N₂O₅ を照射したところ、照射葉から非照射葉への Ca²⁺シグナル伝搬が観測された。これは、N₂O₅ を植物が感受した後、全身へ伝える機構を有していると解釈できる。今回標的とした [Ca²⁺]_{cyt} 応答は、ありとあらゆる生理現象に直結している機構であり、それを惹起できる大気放電活性種 (N₂O₅) を同定したことは、学術的意義が大きい。

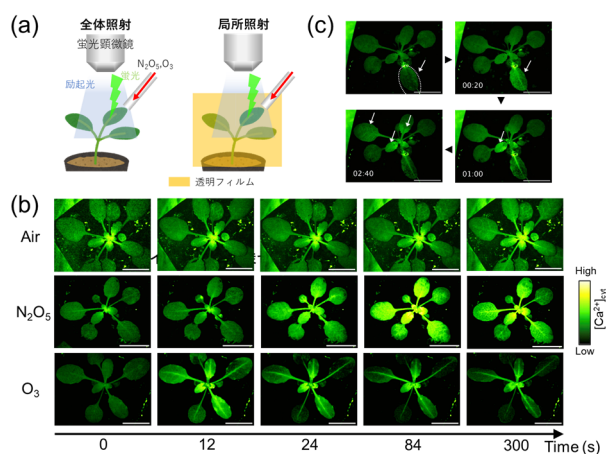


図 9: 大気放電活性ガスに対するシロイヌナズナの Ca²⁺応答. (a) 実験系概略図. (b) 植物全体への N₂O₅・O₃ 暴露後の細胞質内 Ca²⁺濃度 ([Ca²⁺]_{cyt}) の継時変化. (c) 1 枚の葉への N₂O₅ 暴露後の [Ca²⁺]_{cyt} 継時変化.

以上より、本研究では、大気放電誘起反応場の理解を深め、N₂O₅ という生物作用が未知の活性種を制御合成することに成功し、N₂O₅ が硫化水素をポリ化する作用、アミノ酸を改質する作用を有することを明らかにした。さらに、N₂O₅ は植物に感知され生理応答を誘起する生理活性を有する化学種であることを見出した。以上の成果は、社会における N₂O₅ 活用を大きく推進するという応用的側面と生物にとって未知の化学種 N₂O₅ の作用機序を明らかにするという学術的側面の、両面において意義の大きい成果といえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 S. Sasaki, S. Osana, T. Kubota, M. Yamaya, H. Nishimura, R. Nagatomi, T. Kaneko	4. 巻 55
2. 論文標題 Human coronavirus inactivation by atmospheric pressure helium plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 295203 ~ 295203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6463/ac6a8c	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 D. Tsukidate, K. Takashima, S. Sasaki, S. Miyashita, T. Kaneko, H. Takahashi, S. Ando	4. 巻 17
2. 論文標題 Activation of plant immunity by exposure to dinitrogen pentoxide gas generated from air using plasma technology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0269863-1 ~ 21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0269863	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 K. Takeda, S. Sasaki, W. Luo, K. Takashima, and T. Kaneko	4. 巻 14
2. 論文標題 Experimental detection of liquid-phase OH radical decay originating from atmospheric-pressure plasma exposure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 056001-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/abf80e	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 -

〔学会発表〕 計44件（うち招待講演 7件/うち国際学会 17件）

1. 発表者名 T. Kaneko, S. Sasaki, H. Iwamoto, K. Takashima, H. Takahashi
2. 発表標題 Selective N2O5 Synthesis Using Composite Air Plasma Reactors and Its Inactivation Effects on Bacteria and Virus
3. 学会等名 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Takeda , S. Sasaki , K. Takashima , T. Kaneko
2. 発表標題 Evaluation of Short-Lived Reactive Species Decay Using High-Speed Water Flow in Contact with Atmospheric Pressure Plasma
3. 学会等名 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Iwamoto , S. Sasaki , K. Takashima , A. Higashitani , M. Toyota , T. Kaneko
2. 発表標題 Calcium-based systemic activation of plant defense response by exposure to N2O5 gas synthesized in atmospheric-pressure plasma technology
3. 学会等名 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Oba , S. Sasaki , K. Takashima , T. Kaneko
2. 発表標題 Chemical Modification of Amino Acid Powder by Plasma-generated Dinitrogen Pentoxide Gas
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Oikawa , S. Sasaki , R. Honda , T. Kaneko
2. 発表標題 Measurement of Reactive Species Generated in Opti-MEM by Plasma in Liquid
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大場 優人, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ合成五酸化二窒素によるチロシンの化学修飾
3. 学会等名 第16回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 及川 和起, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 遺伝子導入用培養液Opti-MEM中の放電が生成する活性種の測定
3. 学会等名 第16回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩本 拓仁, 大学 保一, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 東谷 篤志, 金子 俊郎
2. 発表標題 分裂酵母を用いたプラズマ合成五酸化二窒素の生物への作用機序探索
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧プラズマを用いた五酸化二窒素のその場合成とその応用展開
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kaneko, S. Sasaki, and K. Takashima
2. 発表標題 New Plasma Device for Selective Generation of Dinitrogen Pentoxide from Air and Its Applications
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Oba, S. Sasaki, K. Takashima and T. Kaneko
2. 発表標題 Investigation on Reaction of Plasma-generated Dinitrogen Pentoxide Gas with Amino Acids
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, M. Kanzaki, T. Sato, T. Kaneko
2. 発表標題 Development of Gene Transfection Method Using Combined Plasma and Pulsed Electric Field in Liquid
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Takeshi, K. Takashima, S. Sasaki, A. Higashitani, T. Kaneko
2. 発表標題 Nitrogen fertilization effects of Plasma Generated Dinitrogen Pentoxide
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Oikawa , S. Sasaki , R. Honda , and T. Kaneko
2. 発表標題 The measurement of reactive species produced by plasma in liquid treatment in cell culture medium for gene introduction
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Iwamoto , S. Sasaki , K. Takashima , A. Higashitani , T. Kaneko
2. 発表標題 Calcium Based Systemic Activation of Plant Defense by Exposure to Plasma-generated N2O5
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Takeda , S. Sasaki , K. Takashima , T. Kaneko
2. 発表標題 Atmospheric Pressure Plasma in Contact with High-speed Water Flow for Evaluating Liquid-phase OH Transport
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Sasaki , S. Osana , M. Yamaya , H. Nishimura , R. Nagatomi , and T. Kaneko
2. 発表標題 Investigation of Plasma-generated Reactive Species Responsible for Human Coronavirus Inactivation
3. 学会等名 The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, A. Higashitani, S. Ando, H. Takahashi
2. 発表標題 Synthesis of Dinitrogen Pentoxide Using Air Atmospheric Pressure Plasmas and Application for Biomaterial Processes
3. 学会等名 The 242nd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 五酸化二窒素のその場プラズマ合成装置開発とバイオ応用への展開
3. 学会等名 第39回 プラズマ・核融合学会 年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, A. Higashitani, S. Ando, H. Takahashi
2. 発表標題 Synthesis of Functional Nitrogen Using Air Atmospheric Pressure Plasmas for Agricultural Applications
3. 学会等名 The 20th International Congress on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Oba, S. Sasaki, K. Takashima, and T. Kaneko
2. 発表標題 プラズマ生成五酸化二窒素ガスによるアミノ酸のその場修飾
3. 学会等名 第32回日本MRS年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 丸子 高志, 西牧 真木夫, 河合 伸典, 北川 清太郎, 金子 俊郎
2. 発表標題 過酸化亜硝酸を持続生成するプラズマ活性ミスト源の開発
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩本 拓仁, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 築館 大輝, 安藤 杉尋, 高橋 英樹, 東谷 篤志, 豊田 正嗣, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ合成N2O5の短時間照射による植物免疫活性
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武士 将熙, 高島 圭介, 佐々木 渉太, 東谷 篤志, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ生成五酸化二窒素による窒素施肥効果と傷害
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田 一希, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ 高速水流を用いた液相短寿命活性窒素種減衰の実験的検出
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kaneko, S. Sasaki, M. Kanzaki
2. 発表標題 TRP Channel as a Sensor for Reactive Species Generated by Atmospheric Pressure Plasma
3. 学会等名 8th International Conference on Plasma Medicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, M. Kanzaki, T. Sato, and T. Kaneko
2. 発表標題 Activation of Ion Channel and Uptake of Extracellular Dye Induced by In-liquid Plasma Treatment
3. 学会等名 8th International Conference on Plasma Medicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 渉太
2. 発表標題 大気圧空気プラズマを用いた五酸化二窒素の選択合成とその応用展望
3. 学会等名 第32回 自然科学研究機構シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Iwamoto, S. Sasaki, K. Takashima, and T. Kaneko
2. 発表標題 Investigation on the bactericidal effect of plasma-generated dinitrogen pentoxide
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Sasaki , K. Takashima , H. Takahashi and T. Kaneko
2. 発表標題 Selective synthesis of dinitrogen pentoxide using plasma and its biological effects
3. 学会等名 7th Global Plasma Forum (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本 拓仁, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 五酸化二窒素のプラズマ制御合成とその殺菌応用
3. 学会等名 第15回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本 拓仁, 大学 保一, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 東谷 篤志, 金子 俊郎
2. 発表標題 分裂酵母に対するプラズマ合成五酸化二窒素の増殖抑制効果
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 一希, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ接触移流システムを用いた液相OHラジカル減衰の実験的検出
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kaneko , H. Iwamoto , S. Sasaki , K. Takashima , and H. Takahashi
2. 発表標題 Selective Plasma Synthesis of Dinitrogen Pentoxide and Ozone for Sterilization and Virus Inactivation
3. 学会等名 The 74th Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Takeda , S. Sasaki , K. Takashima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Experimental observation of liquid phase short-lived reactive species by advection system in contact with atmospheric pressure plasma
3. 学会等名 The 74th Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 俊郎 , 岩本 拓仁 , 佐々木 渉太 , 高島 圭介
2. 発表標題 大気圧非平衡プラズマを使って空気のみで合成する五酸化二窒素の新応用技術
3. 学会等名 第37回九州・山口プラズマ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 一希 , 佐々木 渉太 , 高島 圭介 , 金子 俊郎
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第38回プラズマ核融合学会 年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 高島 圭介, 高橋 英樹, 金子 俊郎
2. 発表標題 N205選択供給プラズマ源の開発とその応用展望
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本 拓仁, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 東谷 篤志, 豊田 正嗣, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ合成五酸化二窒素によるシロイヌナズナの全身防御応答の誘導
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本 拓仁, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 東谷 篤志, 豊田 正嗣, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ合成N205によるカルシウム系植物全身防御応答活性化
3. 学会等名 The 39-th Symposium on Plasma Processing/ The 34-th Symposium on Plasma Science for Materials
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武田 一希, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ-高速液流システムによる短寿命活性窒素種の実験検出
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 明 帥辰, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧プラズマ処理システイン溶液の反応経路解析
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本田 竜介, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 神崎 展, 佐藤 岳彦, 金子 俊郎
2. 発表標題 液中プラズマ・パルス電場複合法による細胞内高効率遺伝子導入
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩本 拓仁, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 東谷 篤志, 豊田 正嗣, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ合成N2O5照射による植物全身防御応答の誘導機構
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 植物の病害抵抗性誘導方法および植物の病害抵抗性誘導装置、ならびに、植物の病害抵抗性誘導剤	発明者 金子俊郎, 高島圭介, 佐々木渉太, 他4名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/037518	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

東北大学大学院工学研究科 金子・加藤研究室
<https://www.ecei.tohoku.ac.jp/plasma/>
東北大学 研究者紹介
<https://www.r-info.tohoku.ac.jp/ja/16727afd960fb0fe4ddbcd2842f7767a.html>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------