

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03687

研究課題名(和文) 新概念高速液流気液界面プラズマによる短寿命活性種バイオサイエンスの基盤確立

研究課題名(英文) Establishment of the basis for bioscience of short-lived reactive species using a new concept of gas-liquid interfacial plasma with high-speed liquid flow

研究代表者

金子 俊郎 (KANEKO, Toshiro)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：30312599

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)：本研究では、気液界面プラズマで生成される活性種を寿命で区別して、特に1秒未満の時間で反応・自己分解してしまう「極短寿命活性種」の生成・消滅過程を明らかにすると同時に、生体分子・細胞への作用を実験的に明らかにすることを目的として、「高速液流導入大気圧プラズマ装置」を製作して研究を推進した。

その結果、高速液流中での極短寿命活性種(OHラジカルおよび亜硝酸前駆体)の高時間分解計測に初めて成功し、さらにOHラジカルの表面局在分布と長寿命活性種による消費を考慮した反応拡散モデルを構築するとともに、極短寿命活性種の生体分子(アミノ酸)への作用を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに大気圧プラズマ中の活性種を用いた応用研究が盛んに行われてきたが、1秒以下の寿命を持つ極短寿命活性種のみ効果を調べた例は報告がなかった。本研究により、極短寿命活性種の液中での挙動が明らかとなり、数値計算モデルが構築できたことから、生体分子や細胞への極短寿命活性種の固有の作用を調べることが可能となることで、プラズマ医療科学のみならず、いま発展を続けているプラズマ植物科学、プラズマ農業科学へも貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to distinguish reactive species generated in gas-liquid interfacial plasmas by their lifetimes, to clarify the generation and extinction processes of "extremely short-lived reactive species", which react and self-dissolve in less than one second, and to experimentally clarify their effects on biomolecules and cells. The research was promoted by constructing an "atmospheric pressure plasma apparatus with high-speed liquid flow". As a result, we succeeded in the time-resolved measurement of extremely short-lived reactive species (OH radicals and nitrite precursors) in high-speed liquid flow for the first time, and constructed a reaction diffusion model that takes into account the surface localization distribution of OH radicals and consumption by long-lived reactive species. In addition, the effects of the extremely short-lived active species on biomolecules (amino acids) were also clarified.

研究分野：プラズマ科学，プラズマ医療，プラズマ植物学，プラズマ材料科学

キーワード：気液界面プラズマ 短寿命活性種 高速液流 マイクロ流路 生体分子・細胞反応

1. 研究開始当初の背景

非平衡大気圧放電プラズマの発明以来、非熱的に生成される化学反応性が高く寿命が短いラジカルの利用が低温大気圧下で実現可能となり、大気圧放電プラズマによる生命科学との融合分野が急速に発展している[1][2][3]. 液体中に存在する細胞または組織が気相のプラズマと接触する気液界面プラズマが多く用いられ、そのプラズマ照射により細胞内では低濃度でしか存在しない化学反応性の高い化学物質(活性種)を液中および細胞に時間的に制御して供給している. このとき、プラズマ照射の時間制御は一般的には1秒が最小単位であり、その範囲でプラズマ照射特有の種々の生物的応答とその因子が報告されている[4][5]. プラズマ照射により生成される液中活性種は50種類以上であると推測されているにもかかわらず、1秒より長い時間スケールで一部の比較的長寿命の活性種を観測し議論しているのが現状である[6][7].

プラズマ照射で生成される活性種は、その寿命や生成要因で区分され、市販の薬品として維持できるほど寿命が長い「長寿命活性種」、薬品の混合により生成できるが数秒で自己分解してしまう「短寿命活性種」、さらに、薬品だけでは有意な濃度の維持が困難で、生物を構成する有機物と高い反応性を有し1秒未満の時間で反応または自己分解してしまう活性種を「極短寿命活性種」と定義している. 極短寿命活性種の観測はその寿命がプラズマ照射の時間スケールより短く、多くの場合プラズマ気液界面から数mm以内に分布するため、液中活性種分析が大きく制限されている(図1). このため、極短寿命活性種の時間発展・空間分布を示す直接計測例がプラズマ照射実験ではほぼ存在せず、極短寿命活性種の濃度、空間分布・時間発展の実験的事実の積み重ねが欠如しているという課題があった.

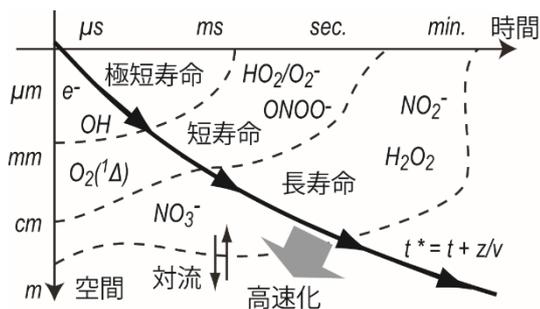


図1：活性種の時空間分類

2. 研究の目的

以上の研究背景から、本研究では、気液界面プラズマで生成される活性種を寿命で区別して、特に1秒未満の時間で反応・自己分解してしまう「極短寿命活性種」の生成・消滅過程を明らかにすると同時に、極短寿命活性種の生体分子・細胞への作用を実験的に明らかにすることが本研究の目的である. 第1に、高速液流を用いた新概念気液界面プラズマにより活性種反応の時間発展を空間分布に変換し、プラズマ発生後の特定時刻に存在する極短寿命活性種を定常的に計測する手法を開発する. 第2に、高速液流に極短寿命活性種を高密度で制御して供給する革新的プラズマ発生技術を確認する. 第3に、マイクロ流路中の高速液流を用いてプラズマ発生後特定時刻の極短寿命活性種を短寿命・長寿命活性種から区別して定常的に生体高分子・細胞に作用させる手法を開発し、極短寿命活性種の細胞応答を明らかにする. 以上より、極短寿命活性種を基軸とした新しいプラズマバイオサイエンスの基盤を確認する.

3. 研究の方法

本研究では、極短寿命活性種である「液中OHラジカル」の時間空間分布を得るために、高速液体流を用いた気液界面プラズマを開発し、高時間分解能(〜0.1 ms)でのOHラジカル減衰測定と数値シミュレーションによる時間空間分布の解析を行った.

(1) 実験方法: 気液界面プラズマ実験装置は、ヘリウムを原料ガスとして、石英管外側に巻かれた円筒電極に対して高電圧 ($V_{p-p} = 8.8 \text{ kV}$, $f \sim 9 \text{ kHz}$) を印加することで、非平衡大気圧プラズマを生成した(図2). プラズマ生成部の上流に接地された内径 0.13 mm のステンレス管を中心軸に沿って配置し、高圧ポンプを使用して蒸留水を導入することで、プラズマ生成領域へ高速液流(〜12.6 m/s)を導入した. また下流側には、プラズマプルームを遮断するために、裏面に接地電極を配置したテフロン板が置かれている. プラズマ領域通過後の液流内 OH ラジカル濃度を測定するために、z 軸ステージで位置制御された試薬注入口から、OH ラジカルの化学反応プロ

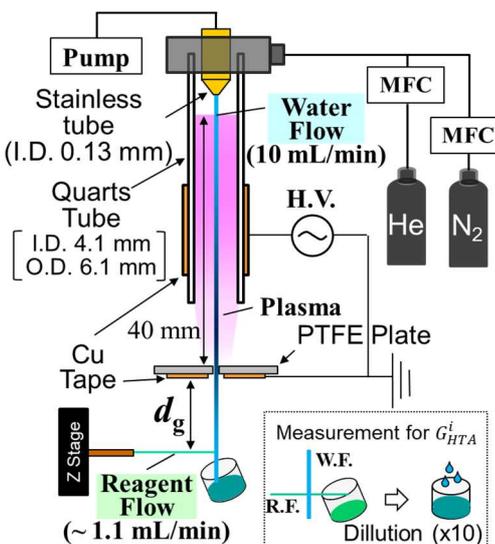


図2：高速液流導入非平衡大気圧プラズマ生成装置

ブであるテレフタル酸 (TA) を注入する. この時, テフロンプレートから試薬注入口までの距離 d_g を制御して, 測定を行った.

(2) 評価方法: 本実験系では OH ラジカルの検出試薬としてテレフタル酸 (TA) を使用し, 蛍光体 2-ヒドロキシテレフタルアニオン (HTA^{2-}) の濃度減衰を OH ラジカル減衰として検出している. ここで HTA^{2-} への変換過程を以下のように定式化した.

$$G_{\text{HTA}} = Y_{\text{HTA}} \cdot F_{\text{trap}} \cdot \varphi_{\text{col}} \cdot G_{\text{OH}} + G_{\text{HTA}}^i$$

また, OH ラジカル生成レート (G_{OH}) を定量する為に, 実験的に得られる HTA^{2-} 生成レート (G_{HTA}) に含まれる, 液中 $\cdot\text{OH}$ と TA の反応効率 (F_{trap}) や TA 試薬流の混合効率 (F_{trap}), 気相中の OH ラジカル等による HTA^{2-} 生成干渉量 (G_{HTA}^i) の実験的検討を行った. その評価方法を図 3 に示す.

この結果, 液中 OH ラジカルはその殆どが即座に HTA^{2-} へと変換可能な実験条件を採用している事, かつ気相因子による HTA^{2-} 干渉量は十分小さいことが明らかとなった. 以上より計測箇所における OH ラジカルの液流断面平均濃度 ($[\text{OH}]_{\text{csa}}$) が実験的に得た HTA^{2-} 濃度から水流量 (F_{DW}) と試薬流量 (F_{RG}) の希積分を考慮するのみで即座に定量可能となった.

$$[\text{OH}]_{\text{csa}} \approx \frac{F_{\text{DW}} + F_{\text{RG}}}{F_{\text{DW}}} [\text{HTA}]$$

4. 研究成果

(1) 高速液流導入非平衡大気圧プラズマ生成装置を用いて, プラズマ照射液中の OH ラジカルの減衰測定を行った. 図 4 に, OH ラジカルの濃度 $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ の d_g 依存性を示す. プラズマ照射後の時間は, 流速 12.6 m/s と距離 d_g から換算した. 測定された OH ラジカル減衰は非常に速く, 0.5 ms でほとんど消費されることが明らかとなった. このように, 1ms 以下の時間分解能で, プラズマ生成液相 OH ラジカル減衰を捉えたのは世界で初めてである[8].

(2) 実験的に得られた OH ラジカル濃度 $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ の減衰を説明するために, 表面局在する OH ラジカルの拡散と実験的に得られた最終生成物である過酸化水素 (H_2O_2) 及び亜硝酸イオン

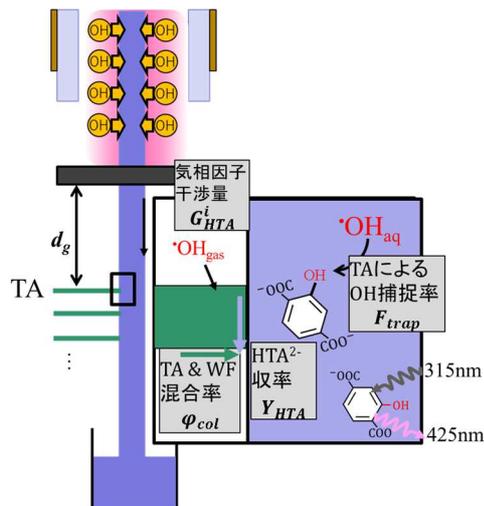


図 3: 液相 OH ラジカル濃度の定量に向けた評価方法.

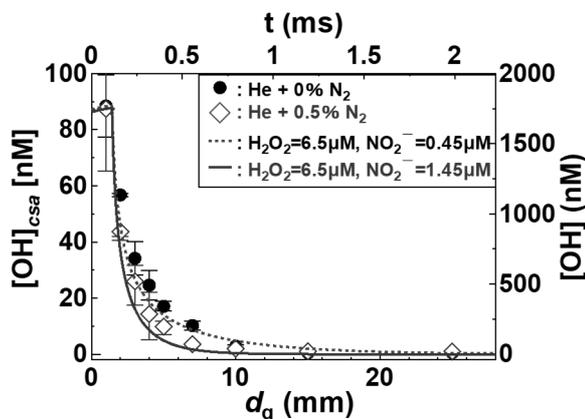


図 4: $[\cdot\text{OH}]_{\text{csa}}$ 減衰と数値計算結果の比較.

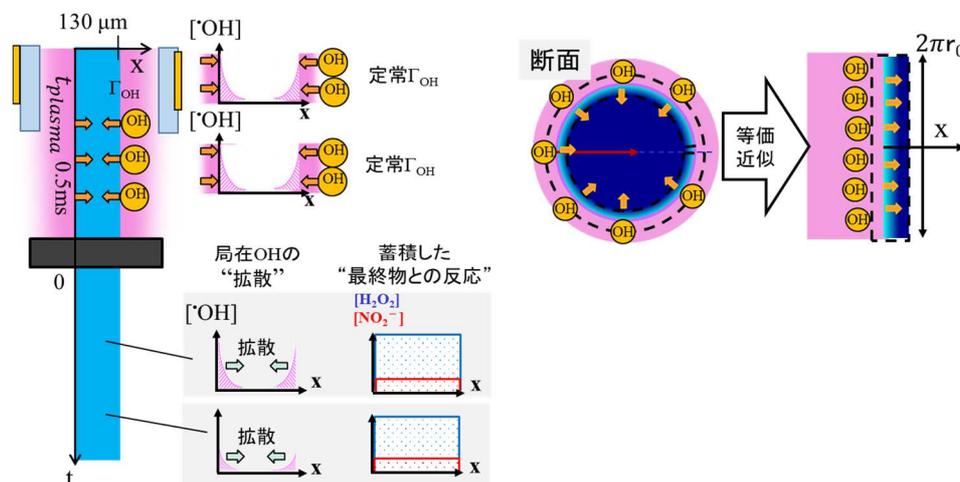


図 5: 表面局在する OH ラジカルの拡散と長寿命活性種との化学反応消費を考慮した数値モデル.

(NO_2^-) との化学反応消費を考慮した数値モデルを構築した (図5)。なお、拡散定数 D_{OH} は文献値 ($2.3 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) を使用している[9]。

$$\frac{\partial[\text{OH}]}{\partial t} - D_{\text{OH}} \frac{d^2[\text{OH}]}{dx^2} = f([\text{OH}])$$

上記方程式を解く際は境界条件としてプラズマから液流表面へ定常的に流入する OH ラジカル流束 (Γ_{OH}) を照射中だけ与える事とした。定量された $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ 減衰と数値計算との比較を上述の図4に示す。照射直後の $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ に整合する Γ_{OH} を探索したところ、実効 $\Gamma_{\text{OH}} = 4.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 程度と見積もられた。また、OH ラジカル同士の二次反応と上記最終生成物との損失反応を考慮したモデルにより、照射後初期 ($d_g < 2 \text{ mm}$) の急峻な減衰は表面局在する OH ラジカル同士の二次反応が主に寄与しており、中期から終期 ($d_g = 3 \sim 10 \text{ mm}$) に渡る緩やかな減衰は主に NO_2^- の反応が寄与していることが明らかとなった。

(3) 次に原料ガス中への窒素添加の効果を調べた。 $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ の実験減衰においては、図4に示すように、窒素添加 (\diamond) による減衰の早まりが観測された。これは窒素添加で積極供給された活性窒素種 (RNS) の効果によるものと考えている。同様に数値計算と比較したところ、照射後中期から終期 ($d_g = 3 \sim 10 \text{ mm}$) に渡って、計算の方が減衰の早まりを過大評価する結果となった。照射直後には最終生成物は一様分布するという仮定でありながらも過大評価する結果となったことから、照射後初期～中期においては、 NO_2^- としてではなく、前駆体の形で存在している可能性を見出した。

(4) 存在が示唆された NO_2^- 前駆体の実験検出に向けて、ニトロ化活性種の捕捉剤として有用な *p*-ヒドロキシフェニル酢酸 (*p*-HPA) を使用した[10]。図6に示すように、終濃度 1 mM となるよう調整した *p*-HPA をプラズマ照射された液流へ射出し、残存する NO_2^- の濃度減少分から前駆体の量を見積もった。その結果を図7に示す。 NO_2^- 前駆体は半減期が 2~3 ms 程度を持つ減衰を示した。OH ラジカルは半減期が ~0.1 ms 程度であったのに対して明らかに長い寿命を有していることが分かる。また、照射直後においては、 NO_2^- 全体の約 40%程度も前駆体の形で存在している可能性が実験的に示された。

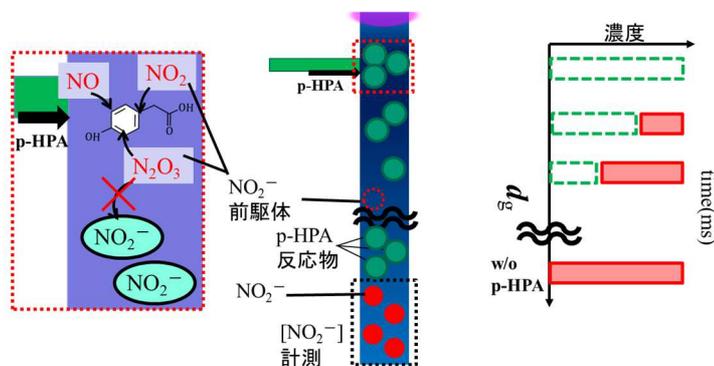


図6: NO_2^- 前駆体の実験的検出手法。

(5) その NO_2^- 前駆体の同定にむけて N_2O_3 の選択検出試薬である DAF-FM の注入を行った。終濃度 10 μM に調整した DAF-FM を距離制御注入し、蛍光体のスペクトル強度に対する減衰を計測した。その結果を図7の黒点として併せて示す。 N_2O_3 と考えられる減衰は半減期 2~3 ms 程度を有していることが分かり、 *p*-HPA によって示唆された前駆体の減衰結果と良い一致を示した。以上の結果から、長らく不明であったプラズマ照射液体における NO_2^- の生成経路・由来に関して、 N_2O_3 のような短寿命前駆体を經由して徐々に生成されていくことを明らかとした。

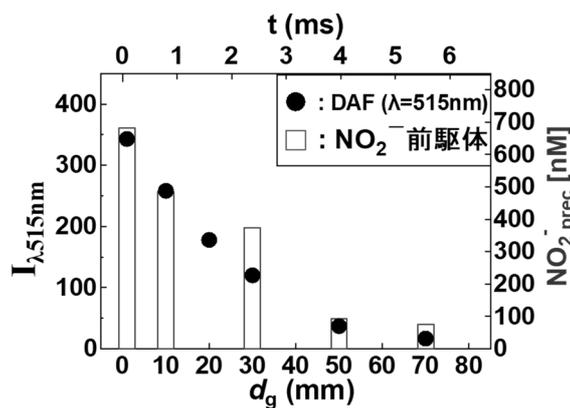


図7: NO_2^- 前駆体の減衰特性の計測。

(6) これまでに減衰特性を明らかにした極短寿命活性種を生体高分子・細胞に作用させる実験として、アミノ酸 (チロシンおよびシステイン) に大気圧ヘリウムプラズマ生成極短寿命活性種 (OH ラジカルおよび NO_2^- 前駆体) を照射した後、液体クロマトグラフィー-フォトダイオードアレイ検出器/四重極型質量分析計 (LC-PDA/MS) でアミノ酸の派生物を測定した。

その結果、チロシン派生物の時間分離計測を実現し、120 秒のプラズマ照射で約 91% のチロシンが消費され、L-dopa を含む複数の派生物由来のピークが検出された。また、システインに極短寿命活性種を照射したところ、シスチン、アラニン、セリン等のシステイン派生物が計測され、特にアラニン、セリンは長寿命活性種を照射した場合には生成されなかったことから、極短寿命活性種により誘起された反応により生成されたものであることが明らかとなった。

(7) 以上の成果から、液相 OH ラジカルに関しては、液流断面平均濃度 $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ の定量に成功し、実験で得られた $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ 減衰と数値計算の比較から、プラズマ照射中の実効的な OH ラジカル流入量 (Γ_{OH}) の評価に成功した。また、その減衰の主要因は、照射後初期には OH ラジカル同士の二次反応で、中期～後期にかけては NO_2^- による消費であった。プラズマ生成 RNS を積極的に供給すると、 $[\text{OH}]_{\text{csa}}$ 減衰が早まり、原因を計算モデルと比較しながら考察した結果、着目されてこなかった NO_2^- 前駆体の存在に気付いた。

その NO_2^- 前駆体の検出法を新たに確立し、その濃度減衰を計測したところ、半減期が 3 ms 程度であり、OH ラジカルよりも遥かに長い時間スケールであった。また、 NO_2^- 前駆体の同定実験を進め、その有力候補として N_2O_3 を見出した。これらの発見は、これまで主要と考えられた NO_2^- 生成経路と全く異なる新しい反応経路が存在することを示すものであり、プラズマ-液体界面の反応系解明に大きく寄与するものである。

さらに、液相中の活性種によるアミノ酸 (チロシン, システイン) の変化を計測し、特に短寿命活性窒素種がニトロ化をはじめとする種々の反応のトリガとなっていることを明らかにした。

<引用文献>

- [1] G. Fridman, G. Friedman, A. Gutsol, A.B. Shekhter, V.N. Vasilets, and A. Fridman, *Plasma Process. Polym.* **5** (2008) 503.
- [2] S. Sasaki, R. Honda, Y. Hokari, K. Takashima, M. Kanzaki, and T. Kaneko, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **49** (2016) 334002.
- [3] S. Sasaki, Y. Hokari, A. Kumada, M. Kanzaki, and T. Kaneko, *Plasma Process. Polym.* **15** (2018) e1700077.
- [4] G. Uchida, Y. Mino, T. Suzuki, J. ichiro Ikeda, T. Suzuki, K. Takenaka, and Y. Setsuhara, *Sci. Rep.* **9** (2019) 6625.
- [5] N. Iwata, V. Gamaleev, H. Hashizume, J.S. Oh, T. Ohta, K. Ishikawa, M. Hori, and M. Ito, *Plasma Process. Polym.* **16** (2019) 285403.
- [6] W. Tian and M.J. Kushner, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **47** (2014) 165201.
- [7] Z. Liu, C. Zhou, D. Liu, T. He, L. Guo, D. Xu, and M.G. Kong, *AIP Adv.* **9** (2019) 015014.
- [8] K. Takeda, S. Sasaki, W. Luo, K. Takashima and T. Kaneko, *Appl. Phys. Express* **14** (2021) 056001.
- [9] P. Rumbach, D. M. Bartels and D. B. Go, *Plasma Sources Sci. Technol.* **27** (2018) 115013.
- [10] Y. Kimura, K. Takashima, S. Sasaki, and T. Kaneko, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **52** (2019) 064003.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 5件）

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 -
1. 著者名 S. Kumagai, C. Nishigori, T. Takeuchi, P. Bruggeman, K. Takashima, H. Takahashi, T. Kaneko, E. H. Choi, K. Nakazato, M. Kambara, K. Ishikawa	4. 巻 61
2. 論文標題 Towards prevention and prediction of infectious diseases with virus sterilization using ultraviolet light and low-temperature plasma and bio-sensing devices for health and hygiene care	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SA0808-1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac1c3d	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 T. Kaneko, H. Kato, H. Yamada, M. Yamamoto, T. Yoshida, P. Attri, K. Koga, T. Murakami, K. Kuchitsu, S. Ando, Y. Nishikawa, K. Tomita, R. Ono, T. Ito, A. M. Ito, K. Eriguchi, T. Nozaki, T. Tsutsumi, and K. Ishikawa	4. 巻 61
2. 論文標題 Functional nitrogen science based on plasma processing: quantum devices, photocatalysts and activation of plant defense and immune systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SA0805-1-25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac25dc	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. Sasaki, Y. Zheng, T. Mokudai, H. Kanetaka, M. Tachikawa, M. Kanzaki, and T. Kaneko	4. 巻 17
2. 論文標題 Continuous release of O ₂ -/ONOO ⁻ in plasma-exposed HEPES-buffered saline promotes TRP channel-mediated uptake of a large cation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Processes and Polymers	6. 最初と最後の頁 e1900257-1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ppap.201900257	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 M. Kawase , W. Chen , K. Kawaguchi , M. R. Nyasha , S. Sasaki , H. Hatakeyama , T. Kaneko , and M. Kanzaki	4. 巻 10
2. 論文標題 TRPA1 and TRPV1 channels participate in atmospheric-pressure plasma-induced [Ca ²⁺] _i response	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9687-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-66510-y	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. Takashima , Y. Hu , T. Goto , S. Sasaki , and T. Kaneko	4. 巻 53
2. 論文標題 Liquid spray transport of air-plasma-generated reactive species toward plant disease management	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 354004-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ab87bd	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 S. Sasaki , K. Takashima , and T. Kaneko	4. 巻 60
2. 論文標題 Portable Plasma Device for Electric N ₂ O ₅ Production from Air	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 798-801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.0c04915	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 K. Takashima , A.S. bin Ahmad Nor , S. Ando , H. Takahashi , and T. Kaneko	4. 巻 60
2. 論文標題 Evaluation of plant stress due to plasma-generated reactive oxygen and nitrogen species using electrolyte leakage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 010504-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abcf5b	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 Y. Kunishima, K. Takashima, and T. Kaneko	4. 巻 58
2. 論文標題 Apparent reduced electric field control with nanosecond pulse width in a DC discharge for nitrogen vibrational excitation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 060908-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab1e58	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 K. Shimada, K. Takashima, Y. Kimura, K. Nihei, H. Konishi, and T. Kaneko	4. 巻 17
2. 論文標題 Humidification effect of air plasma effluent gas on suppressing conidium germination of a plant pathogenic fungus in the liquid phase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma Processes and Polymers	6. 最初と最後の頁 1900004-1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ppap.201900004	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 R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, T. Sato, and T. Kaneko	4. 巻 58
2. 論文標題 Quantitative evaluation of reactive oxygen and chlorine species generated by discharge in PBS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 106002-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab4571	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 R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, M. Kanzaki, T. Sato, and T. Kaneko	4. 巻 59
2. 論文標題 Characterization of middle-molecule introduction into cells using mm-scale discharge in saline	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 040904-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7d7e	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 T. Kaneko , S. Sasaki , R. Honda , T. Sato , and M. Kanzaki	4. 巻 61
2. 論文標題 Control of Cell Function Using Gas-Liquid Interfacial Plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 143-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.61.143	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 S. E Hanbal , K. Takashima , S. Miyashita , S. Ando , K. Ito , M. M Elsharkawy , T. Kaneko , and H. Takahashi	4. 巻 163
2. 論文標題 Atmospheric-pressure plasma irradiation can disrupt tobacco mosaic virus particles and RNAs to inactivate their infectivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Archives of Virology	6. 最初と最後の頁 2835-2840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00705-018-3909-4	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 Y. Kimura , K. Takashima , S. Sasaki , T. Kaneko	4. 巻 52
2. 論文標題 Investigation on dinitrogen pentoxide roles on air plasma effluent exposure to liquid water solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 064003-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aaf15a	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150件（うち招待講演 45件 / うち国際学会 51件）

1. 発表者名 高島圭介, 金子俊郎
2. 発表標題 プラズマは生命活動の理解と制御の新しいツールとなりうるか
3. 学会等名 学振153委員会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021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 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 R. Fujita, K. Takashima and T. Kaneko
2. 発表標題 Atmospheric pressure plasma generation at liquid interface for nitrogen fixation
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 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマは生物の敵か味方か？
3. 学会等名 学振153委員会研究会 (招待講演)
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 國嶋 友貴, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 非自己維持直流放電プラズマ中の窒素振動分布の時間発展
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 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 金子 俊郎
2. 発表標題 非平衡プラズマが拓くSDGs未来社会
3. 学会等名 名古屋大学プラズマ研究60年記念シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 俊郎, 高橋 英樹, 東谷 篤志
2. 発表標題 プラズマグリ - 機能性窒素を活用したサステナブルファーム -
3. 学会等名 新領域創成のための挑戦研究デュオ 公開セミナー (招待講演)
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 Y. Kunishima , K. Takashima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Nitrogen Vibrational Population Measurement in Non-Self-Sustaining DC Discharge Plasma Source
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
2. 発表標題 プラズマを使って空気のみで合成する窒素化合物の新応用技術
3. 学会等名 東北大学産学官フォーラム2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Takashima , Y. Kunishima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Non-Self-Sustaining DC Discharge Plasma Source toward Selective Vibrational Excitation for Nitrogen Fixation
3. 学会等名 The 8th East Asia Joint Symposium on Plasma and Electrostatics Technologies for Environmental Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Kunishima , K. Takashima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Measurement of nitrogen vibrational distribution in Non-Self-Sustaining DC discharge plasma source
3. 学会等名 Japan-RUB Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Takashima , Y. Kunishima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Plasma Generation and Chemistry of Reactive Nitrogen Species for Agricultural Applications
3. 学会等名 Japan-RUB Workshop 2021 (招待講演) (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 関根崇文, 高島圭介, 金子俊郎
2. 発表標題 植物病原体防除のための低気相オゾン放出装置の開発
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 K. Takashima, Y. Kunishima, and T. Kaneko
2. 発表標題 Generation of Vibrationally Excited Nitrogen in a Non-Self-Sustaining DC Discharge toward Plasma Nitrogen Fixation
3. 学会等名 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 國嶋 友貴, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 非自己維持直流放電による窒素振動励起プラズマの加熱過程
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 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 金子 俊郎, 高島 圭介
2. 発表標題 プラズマ液体スプレーにおけるプラズマ相互作用: 農業分野での応用
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
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 関根 崇文, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 植物病害防除のためのプラズマ生成液相オゾン選択噴霧装置の開発
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

1. 発表者名 K. Takeda, S. Sasaki, R. Honda, K. Takashima, and T. Kaneko
2. 発表標題 Elucidation on Temporal-Spatial Distribution of Liquid -phase OH Radical Using High-speed Liquid Flow Passing through Atmospheric-pressure Plasma
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Sekine, Y. Hu, K. Takashima, and T. Kaneko
2. 発表標題 Liquid Droplet Transport of Air Plasma-Generated Reactive Species for Plant Disease Control
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國嶋 友貴, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 非自己維持直流放電による窒素振動励起プラズマの温度観測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子 俊郎, 羅 文承, 高島 圭介, 佐々木 渉太
2. 発表標題 プラズマ-高速液流界面における短寿命活性種の輸送モデル
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤 真穂, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧ヘリウムプラズマで処理したアミノ酸溶液の成分分析
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020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 液相中プラズマを活用した中分子・遺伝子の高効率導入
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田 一希, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流導入大気圧プラズマが明らかにする液相OHの表面局在
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高島 圭介, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流-プラズマ界面における液相水酸基ラジカルの局在領域に関する積分量
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Kunishima , K. Takashima , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Afterglow Measurement of Vibrationally Excited Nitrogen in an Apparent E/N Controlled Plasma by Non-Self-Sustaining DC Discharge Plasma Source
3 . 学会等名 The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Sasaki , M. Yanagisawa , K. Takashima , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Roles of Plasma-generated Reactive Species in Amino Acids Modification
3 . 学会等名 The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Kaneko , K. Takeda , K. Takashima , and S. Sasaki
2 . 発表標題 Gas-liquid Interfacial Plasma Using High-speed Liquid Flow for Analyzing Short-lived Reactive Species Transport
3 . 学会等名 The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Kaneko , S. Sasaki , and K. Takashima
2 . 発表標題 Direct spray of solution containing short-lived reactive species for plant pathogen control
3 . 学会等名 4th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧非平衡気液界面プラズマ生成短寿命活性種による細胞膜輸送促進
3. 学会等名 第36回 九州・山口 プラズマ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 活性窒素種精密制御プラズマ源を用いたアミノ酸の化学修飾
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2020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 高効率な細胞内分子導入における液相中プラズマの活用
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子 俊郎, 武田 一希, 高島 圭介, 佐々木 渉太
2. 発表標題 プラズマ-高速液流界面を介した短寿命活性種の生成と輸送
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤 真穂, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ生成活性種によって処理されたアミノ酸溶液の成分分析
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田 一希, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流導入プラズマによる液相OHラジカル分布の推定
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 湊 秀樹, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ生成活性種その場観測に向けたCRDS計測系開発
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 独自の非平衡プラズマ装置で拓くプラズマ科学 ~プラズマ物理からハード・ソフト材料科学へ~
3. 学会等名 The 38th Symposium on Plasma Processing / The 33rd Symposium on Plasma Science for Materials (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 一希, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流導入大気圧プラズマと反応拡散モデルの併用による液相OH分布の解明
3. 学会等名 The 38th Symposium on Plasma Processing / The 33rd Symposium on Plasma Science for Materials
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関根 崇文, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 植物病害防除のための空気プラズマ生成活性種輸送の改善
3. 学会等名 The 38th Symposium on Plasma Processing / The 33rd Symposium on Plasma Science for Materials
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kaneko, K. Takashima, and S. Sasaki
2. 発表標題 Plant Pathogen Control Using Direct Spray of Solution Contacting Plasma or Plasma Effluent Gas
3. 学会等名 3rd International Workshop on Plasma Agriculture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧プラズマにおける活性種選択生成
3. 学会等名 令和2年度 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Sasaki , K. Takashima , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Investigation on Interaction of N2O5-rich Plasma Effluent Gas with Tyrosine
3 . 学会等名 13th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 14th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Kaneko , S. Sasaki , and K. Takashima
2 . 発表標題 Plasma Generated Functional Nitrogen for Material and Biological Applications
3 . 学会等名 13th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 14th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Kaneko , K. Takashima , S. Sasaki , S. Ando , H. Takahashi , S. Osana , and R. Nagatomi
2 . 発表標題 Controlled Synthesis of Short-Lived Reactive Species Using Gas-Liquid Interfacial Plasmas for Sterilization and Virus Inactivation
3 . 学会等名 13th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 14th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 國嶋 友貴 , 高島 圭介 , 金子 俊郎
2 . 発表標題 窒素振動励起非自己維持直流放電プラズマ中の窒素分子加熱・緩和過程
3 . 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ - 液相境界の粒子輸送と物理化学相互作用
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 非平衡プラズマ研究の過去・現在・未来 ~ プラズマ科学と物理学・化学・生物学・学 ~
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國嶋 友貴, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 非自己維持直流放電プラズマによる窒素振動励起
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島 圭介, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 空気誘電体バリア放電プラズマによる五酸化二窒素の選択生成
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 空気プラズマを用いたアミノ酸改質における五酸化二窒素の役割
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021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 液相中プラズマを活用した遺伝子導入法開発に関する研究
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
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 Dominant Factors of In-Liquid Micro Plasma for Drug Introduction into Cells
3. 学会等名 The 10th International Workshop on Microplasmas (IWM-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Sasaki , K. Takashima , Y. Kimura , M. Yanagisawa , and T. Kaneko
2. 発表標題 Chemical modification of tyrosine by atmospheric pressure plasma exposure
3. 学会等名 24th International Symposium on Plasma Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Honda , S. Sasaki , K. Takashima , M. Kanzaki , T. Sato and T. Kaneko
2. 発表標題 Drug introduction into cells using direct exposure of gas-liquid interfacial plasmas
3. 学会等名 24th International Symposium on Plasma Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Honda , S. Sasaki , K. Takashima , M. Kanzaki , T. Sato , and T. Kaneko
2. 発表標題 The molecule introduction into cells by in-liquid plasma irradiation and investigation of the key factor for introduction
3. 学会等名 The 6th Japan-Taiwan Workshop on Plasma Life Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Sasaki , K. Takashima , M. Yanagisawa , and T. Kaneko
2. 発表標題 Tyrosine derivatives generation by atmospheric pressure plasma exposure
3. 学会等名 The 6th Japan-Taiwan Workshop on Plasma Life Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Hu , K. Nihei , T. Goto , K. Takashima , T. Kaneko
2. 発表標題 Investigation of plasma effluent gas-dissolved-solution for suppressing Colletotrichum gloeosporioides conidia germination
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 W. Luo , S. Sasaki , R. Honda , T. Kaneko
2. 発表標題 Decay Measurement of OH Radical in Plasma-exposed Water Using High-speed Liquid Flow
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Shahir A. Nor , K. Takashima , T. Kaneko
2. 発表標題 Arabidopsis Thaliana sensitivity and response to an air plasma effluent gas
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takashima , S. Sasaki , Y. Kimura , T. Kaneko
2. 発表標題 Reactive oxygen nitrogen species induced reactions at the gas-liquid interface by air plasma effluent gas
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Sasaki , M. Kawase , M. Kanzaki , T. Kaneko
2. 発表標題 Short-lived reactive oxygen nitrogen species continuously generated in plasma-exposed solution activates TRP channels and drug uptake
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kunishima , K. Takashima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Development of Nitrogen Vibrational Excitation Plasma Source with Non-Self-Sustaining DC Discharge
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Honda , S. Sasaki , K. Takashima , M. Kanzaki , T. Sato , and T. Kaneko
2. 発表標題 In-Solution Type Plasma Device for Highly-Efficient Drug Transfer
3. 学会等名 The Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Yanagisawa , S. Sasaki , T. Akazawa , T. Kaneko
2. 発表標題 Tyrosine treatment with humidified He plasma plume and air plasma effluent gas
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Minato , S. Sasaki , K. Takashima , T. Kaneko
2. 発表標題 Absorption measurement on liquid phase reaction of plasma induced reactive species
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kaneko , S. Sasaki , K. Takashima , R. Honda , M. Kanzaki
2. 発表標題 Gas-Liquid Interfacial Plasmas Yielding Short-Lived Reactive Species for Medical and Agricultural Applications
3. 学会等名 The 12th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Akazawa , S. Sasaki , R. Honda and T. Kaneko
2. 発表標題 Investigation of Ca ²⁺ response in cancer cell induced by plasma-generated reactive species
3. 学会等名 The 12th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Hu , K. Takashima , A. Shahir A. Nor , K. Nihei , T. Goto , T. Kaneko
2. 発表標題 Suppressing Colletotrichum gloeosporioides conidia germination with O ₃ dissolved in plasma-effluent-gas dissolved solution
3. 学会等名 The 12th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 気液界面プラズマの基礎と応用
3. 学会等名 第13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 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羅 文承, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ処理高速液流中短寿命活性種の生成・消滅機構解明
3. 学会等名 2019年日本物理学会秋季大会 (物性)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 俊郎, 二瓶 健司, 胡 ゲツ, アハマドシャヒー アハマトノール, 高島 圭介
2. 発表標題 大気圧空気プラズマを用いた低残留植物病害防除法の開発
3. 学会等名 第70回日本生物工学会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高島 圭介, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ修飾反応前駆体の生成制御と生物応答
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 羅 文承, 本田 竜介, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流導入大気圧プラズマを用いた液相 OH ラジカルの高時間分解測定
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤澤 拓斗, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ直接照射による短寿命活性種の供給とがん細胞 Ca ²⁺ 応答への影響
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳澤 真穂 , 佐々木 渉太 , 赤澤 拓斗 , 金子 俊郎
2. 発表標題 加湿ヘリウムプラズマブルームと空気プラズマ活性ガスによって生成されるチロシン誘導体
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kunishima , K. Takashima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Rotational Temperature Evolution in Non-Self-Sustaining DC Discharge Plasma Source for Nitrogen Vibrational Excitation
3. 学会等名 The 72nd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takashima , N. Kenji , and T.Kaneko
2. 発表標題 Air Plasma Generation with an Electrically Conductive Liquid Column Jet
3. 学会等名 The 72nd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kaneko , M. Yanagisawa , K. Takashima , S. Sasaki
2. 発表標題 Effects of Plasma-Generated Reactive Species with Different Working Gases on Reaction of Tyrosine
3. 学会等名 The 72nd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Minato , S. Sasaki , K. Takashima , T. Kaneko
2. 発表標題 気液海面プラズマモデルとしての過酸化亜硝酸生成の温度依存性の測定
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Yanagisawa , S. Sasaki , T. Akazawa , T. Kaneko
2. 発表標題 加湿ヘリウムプラズマと空気プラズマによって生成されたチロシン誘導体の比較
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Honda , S. Sasaki , K. Takashima , M. Kanzaki , T. Sato , and T. Kaneko
2. 発表標題 液相中プラズマによる分子導入因子の探索
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takashima , A. Shahir A. Nor , S. Sasaki , and T. Kaneko
2. 発表標題 生体分子誘導体とプラズマ活性ガス噴霧における初期植物応答に関する実験的研究
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kaneko , S. Sasaki , R. Honda , M. Kanzaki
2. 発表標題 Gas-Liquid Interfacial Plasmas Generating Short-Lived Reactive Species for Drug/Gene Transfer into Living Cells
3. 学会等名 The 42nd Photonics & Electromagnetics Research Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 気液界面非平衡プラズマの局所反応場創成と材料・生命科学への展開
3. 学会等名 自然科学研究機構「自然科学における階層と全体」シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 機能性窒素：非平衡プラズマで創る新奇反応性窒素とその応用
3. 学会等名 応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会 第33回プラズマ新領域研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A.Shahir A.Nor , 高島 圭介 , 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ活性ガスによるシロイヌナズナの漏出電解質の評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020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 液相中プラズマ直接照射による薬剤模擬分子導入の作用機序に関する研究
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤澤 拓斗, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ誘導Ca ²⁺ 応答の作用因子・活性イオンチャネルの解明
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤 真穂, 佐々木 渉太, 赤澤 拓斗, 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧プラズマ処理によって生成されたチロシン由来生成物の分析
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 羅 文承, 本田 竜介, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流導入大気圧プラズマを用いた液相OHラジカルの時空間分布測定
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高島 圭介, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流気液界面プラズマにおける液相活性種局在領域の解析的評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國嶋 友貴, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 窒素振動励起非自己維持直流放電プラズマ中の温度観測
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ - 液相境界の物理・化学相互作用
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 R. Honda , S. Sasaki , K. Takashima , M. Kanzaki , T. Sato , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Introduction of drug simulated molecules into adherent cells using in-liquid plasmas
3 . 学会等名 The 6th International Workshop and the 5th International Mini Workshop on Solution Plasma and Molecular Technology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Kaneko , K. Takashima , S. Sasaki , R. Honda , K. Nihei , M. Kanzaki , and T. Sato
2 . 発表標題 Gas-Liquid Interfacial Plasmas for Medical and Agricultural Applications
3 . 学会等名 The 6th International Workshop and the 5th International Mini Workshop on Solution Plasma and Molecular Technology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Sasaki , Y. Zheng , M. Kanzaki , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Investigation of Chemical Components in Plasma-exposed Organic Buffer for Drug Transfer Application
3 . 学会等名 7th International Conference on Plasma Medicine (ICPM7) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Kaneko , S. Sasaki , and M. Kanzaki
2 . 発表標題 Cell Membrane Transport Activated by Gas-Liquid Interfacial Plasmas for Future-Oriented Gene/Drug Transfer Device
3 . 学会等名 7th International Conference on Plasma Medicine (ICPM7) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takashima, S. Sasaki, and T. Kaneko
2. 発表標題 Plasma-Liquid Interface Applications Spanning from Nano-Material Synthesis to Life Science
3. 学会等名 RUB-Japan Science Days 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子 俊郎, 佐々木 渉太, 神崎 展
2. 発表標題 気液界面プラズマ生成複合刺激による細胞膜輸送促進の機構解明
3. 学会等名 第40回日本光医学・光生物学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takashima, Y. Kunishima, and T. Kaneko
2. 発表標題 Generation of Vibrationally Excited Nitrogen in a DC Discharge Sustained by Repetitive Nanosecond Pulse
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 二瓶 健司, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 外部生成プラズマ活性ガスによるプラズマ照射溶液のイチゴ炭疽病菌分生子発芽抑制効果の向上
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018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 液相中プラズマによる薬剤模擬分子導入の作用機序の探索
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 神崎 展, 保苅 雄太郎, 冨並 香菜子, 目代 貴之, 金高 弘恭, 金子 俊郎
2. 発表標題 Roles of charged particles and reactive species on cell membrane permeabilization induced by atmospheric-pressure plasma irradiation
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kaneko, T. Akama, W. Okita, C. Li, and T. Kato
2. 発表標題 Fabrication of Solar Cells Using Plasma Processed Semiconducting single-Walled Carbon Nanotubes and Transition Metal Dichalcogenide
3. 学会等名 2018 International Symposium on Plasmas for Catalyses and Energy Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takashima, Y. Kimura, and T. Kaneko
2. 発表標題 Agricultural Application of Gas-Liquid Interface Reaction of Dinitrogen Pentoxide Generated by Atmospheric Air Plasma
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Sasaki , Y. Zheng , M. Kanzaki , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Continuous release of short-lived species induced by plasma irradiation and its application in drug delivery
3 . 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Honda , S. Sasaki , K. Takashima , M. Kanzaki , T. Sato , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Effects of in-liquid plasma on enhancement of cell membrane permeability
3 . 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kunishima , K. Takashima , and T. Kaneko
2 . 発表標題 Development of Nitrogen Vibrational Excitation Plasma Source with Repetitive Nanosecond Pulses
3 . 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 金子 俊郎
2 . 発表標題 新技術大気圧プラズマイオンの生物効果と未来への展望
3 . 学会等名 第18回マイナスイオン応用フォーラム (招待講演)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 赤澤 拓斗, 本田 竜介, 佐々木 渉太, 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧加湿ヘリウムプラズマによって生成される液相OHラジカルの空間分布測定
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木 渉太, 鄭 悦星, 本田 竜介, 高島 圭介, 神崎 展, 金子 俊郎
2. 発表標題 プラズマ照射緩衝液中で活性化されるラジカル連鎖反応の解明
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Sasaki, M. Kawase, M. Kanzaki, and T. Kaneko
2. 発表標題 Effects of short-lived reactive species generated by non-thermal plasma on TRP channels and organic cation uptake
3. 学会等名 The 49th NIPS International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kunishima, K. Takashima, and T. Kaneko
2. 発表標題 Improvement of Non-Self-Sustaining DC Discharge Plasma Characteristic
3. 学会等名 The 5th Taiwan-Japan Plasma Life Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kunishima , K. Takashima , and T. Kaneko
2. 発表標題 Improvement of Non-Self-Sustaining DC Discharge Plasma Characteristic
3. 学会等名 The 5th Taiwan-Japan Plasma Life Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kaneko , S. Sasaki , K. Takashima , R. Honda , K. Nihei , M. Kanzaki , and T. Sato
2. 発表標題 Development of Gas-Liquid Interfacial Plasma Devices for Medical and Agricultural Applications
3. 学会等名 The 5th Taiwan-Japan Plasma Life Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Shahir A. Nor , K. Nihei , K. Takashima , and T. Kaneko
2. 発表標題 プラズマ活性ガスによる植物の応答
3. 学会等名 第28回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Sasaki , Y. Zheng , M. Kanzaki , and T. Kaneko
2. 発表標題 大気圧プラズマによってトリガされる短寿命活性種の持続放出
3. 学会等名 第28回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kaneko , S. Sasaki , R. Honda , Y. Zheng , T. Mokudai , H. Kanetaka and M. Kanzaki
2. 発表標題 気液界面プラズマにおける細胞膜輸送増進短寿命活性種
3. 学会等名 第28回 日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Akazawa , S. Sasaki , R. Honda , and T. Kaneko
2. 発表標題 テレフタル酸・細胞を用いたセンサーによるプラズマ生成OHラジカル供給の分布測定
3. 学会等名 第28回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子 俊郎
2. 発表標題 気液界面プラズマの物理・化学と材料・生物への展開
3. 学会等名 第36回 プラズマプロセッシング研究会/第31回 プラズマ材料科学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Honda , S. Sasaki , K. Takashima , M. Kanzaki , T. Sato , and T. Kaneko
2. 発表標題 液相中プラズマの安定生成と薬剤分子局所導入
3. 学会等名 第36回 プラズマプロセッシング研究会/第31回 プラズマ材料科学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤澤 拓斗, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 金子 俊郎
2. 発表標題 大気圧加湿ヘリウムプラズマ照射によって液底へ供給されるOHラジカルの径方向分布測定
3. 学会等名 第66回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 胡 ゲツ, 二瓶 健司, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 空気プラズマ活性ガスを用いた精製水直接噴霧装置によるイチゴ炭疽病菌分生子発芽抑制効果
3. 学会等名 第66回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二瓶 健司, 高島 圭介, 金子 俊郎
2. 発表標題 気液界面プラズマ生成OHラジカルによるプラズマ照射溶液のイチゴ炭疽病菌分生子発芽抑制効果の向上
3. 学会等名 第66回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羅 文承, 佐々木 渉太, 本田 竜介, 金子 俊郎
2. 発表標題 高速液流を用いた気液界面プラズマ生成短寿命活性種濃度の時間発展計測
3. 学会等名 第74回 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, M. Kanzaki, M. Tachikawa, H. Kanetaka, T. Sato, M.G. Kong	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 458
3. 書名 Plasma Medical Science, pp.175-190	

〔出願〕 計4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	権利者 国立大学法人東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/37518	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 五酸化二窒素生成装置および五酸化二窒素生成方法	発明者 金子俊郎, 高島圭介, 佐々木渉太	権利者 国立大学法人東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-134560	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 活性種含有液噴射装置	発明者 金子 俊郎, 高島 圭介	権利者 国立大学法人東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-156040	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 活性種含有液噴射装置および殺菌駆除方法	発明者 金子 俊郎, 高島 圭介	権利者 国立大学法人東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-029857	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>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/ 東北大学大学院工学研究科 非平衡プラズマ学際研究センター https://www.ecei.tohoku.ac.jp/plasma/IRCNP/</p>
--

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	高島 圭介 (TAKASHIMA Keisuke) (70733161)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	
研究分担者	宮本 浩一郎 (MIYAMOTO Koichiro) (70447142)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	神崎 展 (KANZAKI Makoto) (10272262)	東北大学・医工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	立川 正憲 (TACHIKAWA Masanori) (00401810)	徳島大学・大学院医歯薬学研究部(薬学域)・教授 (16101)	

	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
研究協力者	佐々木 渉太 (SASAKI Shota)		
研究協力者	武田 一希 (TAKEDA Kazuki)		

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

米国	The University of Minnesota	Old Dominion University		
----	-----------------------------	-------------------------	--	--