

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：37110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04430

研究課題名(和文) 生体内部への活性種輸送に着目にしたプラズマ源の比較研究

研究課題名(英文) Comparative study of plasma sources in the basis of ROS transportation in biological tissue model

研究代表者

川崎 敏之 (Kawasaki, Toshiyuki)

西日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：30352404

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：プラズマの医療応用に関する研究に使用されるプラズマ発生器は多種多様で、構造の最適化についての検討はほとんど行われていない。そこで、本研究ではプラズマ発生器構造が生体に及ぼす化学的・物理的影響を調べることを目的とした。特に本研究室の独自手法である酸化反応の可視化技術によって、様々な発生器構造の特長を調べた。生体中に誘起する酸化反応は発生器構造によって大きく異なることを示した。また、発生器に供給するガスによっても大きく異なることを明らかにした。これらの結果は、今後のプラズマ医療の発展に重要な情報であると確信する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラズマ医療では生体内部に化学種をどう輸送するかが重要なポイントである。しかしながら、そのような観点でプラズマ源の比較研究はこれまで行われていなかった。そのような中、本研究では生体内部の化学種の分布を可視化しながらプラズマ源の比較を行った。どの発生器が良いのか悪いのか判断は現状では困難であるが、各プラズマ源の特長は把握することができた。今後はそれぞれのプラズマ源が有する特徴が有効なのかをさらに調べる必要がある。本研究結果によりそのスタートラインが整備された。

研究成果の概要(英文)：There is a wide variety of plasma-generators used in research on medical applications of plasma. However, little research has been done to optimize their structures. Therefore, the purpose of this study is to investigate the chemical and physical effects of plasma-generator structures on living tissues. In particular, we investigated the features of various generator structures using our original technique to visualize oxidation reaction. It was shown that the oxidation reactions induced in living organisms differ greatly depending on the generator structure. It was also clarified that the oxidation reactions were significantly different depending on the gas supplied to the generator. We believe that these results provide important information for the future development of plasma medicine.

研究分野：プラズマ基礎・応用

キーワード：プラズマジェット プラズマ医療 プラズマ農業 活性酸素 酸化反応 気液化k面相互作用

1. 研究開始当初の背景

プラズマの医療応用に関する研究には様々なプラズマ源が使用されている。代表的なプラズマ源を図 1 に示す。ここでは詳細説明は省略するが、多種多様なプラズマ源が研究に使用されている。しかしながら、それぞれのプラズマ源が生体に与える影響の違いは明らかになっていなかった。実際、同様な実験条件下でも構造が異なれば、実験結果が異なることは予備実験で確認していた。プラズマ源の比較研究を進める必要があった。

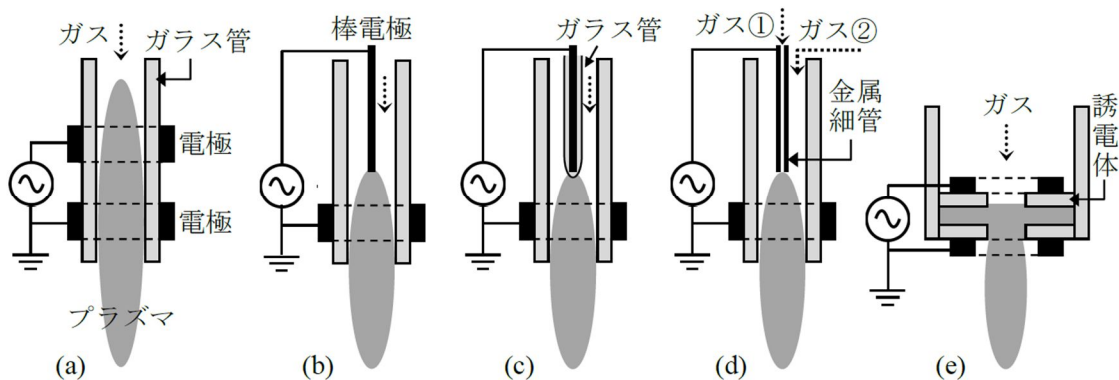


図 1 代表的なプラズマ源

2. 研究の目的

プラズマ医療においてプラズマ源の主な役割は生体内部への活性種の輸送である。そこで、活性種輸送という観点でプラズマ源の比較を行うことを目的とした。従来から本研究グループは、独自手法により液体や模擬生体内の活性種可視を得意としていた。その手法により様々なプラズマ源を用意し実験を行った。プラズマ発生用ガスには主としてヘリウムが利用されているが、プラズマ源によってはヘリウムとともにアルゴンでもプラズマの生成が可能である。本研究では供給ガスの影響も目的に追加して実験を行った。

3. 研究の方法

実験装置全体の模式図を図 2 に示す。このプラズマ源はヘリウム、アルゴンの両方でプラズマ生成が可能である。構造の詳細説明は省略するが、基本的には金属（電極）、ガラス（バリア）の組み合わせで構成されている。アルゴン、ヘリウムで発生させたプラズマジェットの写真も示している。ガスによりプラズマ発光の様子は全く異なる。これらのプラズマを模擬生体 / 活性酸

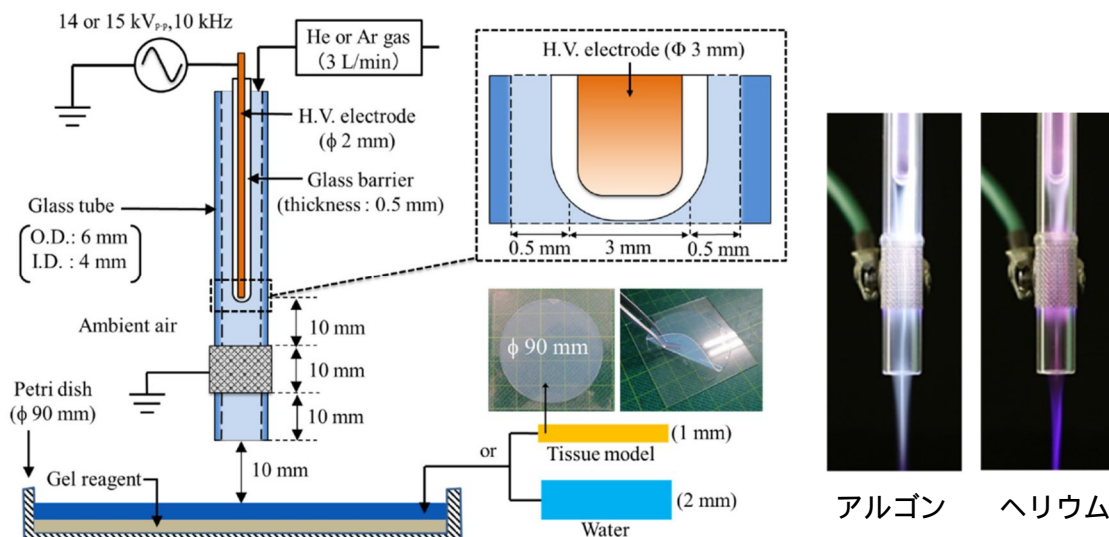


図 2 プラズマ源含む実験装置全体の模式図とプラズマジェットの様子

素検出用試薬からなる 2 層構造のターゲットに照射する。活性酸素検出用試薬を用いた実験は本研究グループの独自手法である。この実験手法により模擬生体を經由して試薬に到達した活性種による酸化反応を可視化することができる。すなわち、模擬生体中の酸化反応を可視化したことになる。このような方法で、プラズマ源によって生体内部への活性種輸送がどう変化するかを実験を行った。

4. 研究成果

代表的な結果を図 3 に示す。図 3(a), (b) にそれぞれ供給ガスとしてアルゴン, ヘリウムを使用した場合の 模擬生体内の酸化反応を可視化した結果である。アルゴンを使用した場合の方が、プラズマ照射直下に強い酸化反応が検出された。これらの呈色から吸光度測定によって得られた二次元プロファイルを図 3(c) に示す。吸光度は活性種の濃度に比例する。この結果より、アルゴンの方が 2 倍程度の活性種が模擬生体内に供給されることが明らかとなった。

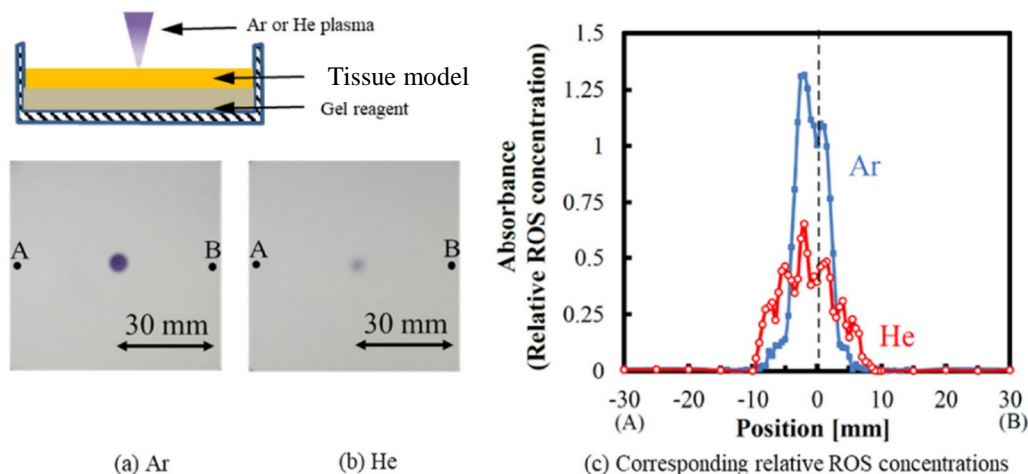


図 3 供給ガスが模擬生体中への活性種輸送に与える影響

その原因を調べるため、プラズマ照射が水の性質に与える影響を調べた。図 4(a), (b), (c), (d) はそれぞれ亜硝酸イオン, 過酸化水素, 導電率, pH の照射時間に対する変化を示す。呈色を引き起こす活性種でもある亜硝酸イオン, 過酸化水素はアルゴンを用いた方が多く生成していることがわかる。それに伴って導電率は高く, pH は酸性側に变化する傾向にあった。

ここでは省略するが、プラズマ源と供給ガスは液体の流れに対しても影響を与えることが明らかとなった。特にアルゴンを用いた場合、流れを制御することもできた (特許申請済)。

以上の容認、今後は流れも考慮して総合的に活性種輸送メカニズムを検討する必要がある。本研究分野の更なる発展に必要な情報を多く得ることができた。

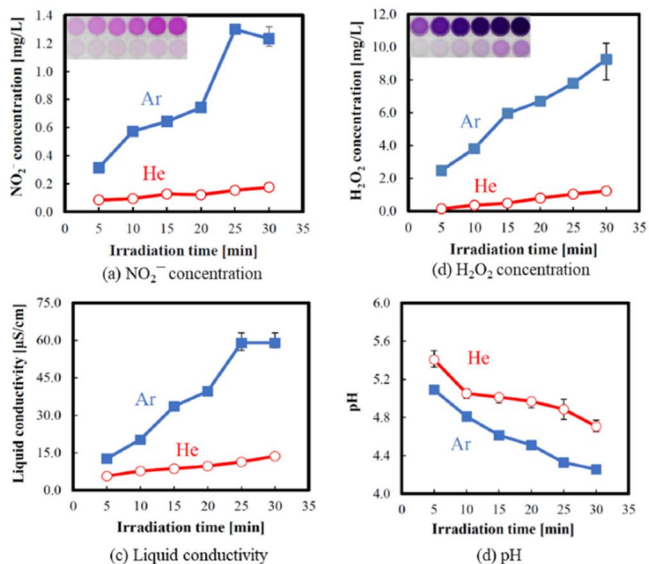


図 4 プラズマ照射が液体の性質に与える影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Heping Shi, Kecheng Shen, Toshiyuki Kawasaki | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Effect of supplied gas on ROS transport through liquid targets by plasma jet irradiation | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Plasma Environmental Science and Technology | 6. 最初と最後の頁 e01003 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34343/ijpest.2023.17.e01003 | 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 Kawasaki Toshiyuki, Kamasaki Masahiro, Takeuchi Nozomi, Mitsugi Fumiaki | 4. 巻 130 |
| 2. 論文標題 Effects of initial surfactant concentration on plasma-induced liquid flows | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 243303-1~13 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0071217 | 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 Mitsugi Fumiaki, Wago Mizuki, Sakamoto Ryuji, Nishida Keisuke, Kawasaki Toshiyuki | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Influence of Retrogradation on KI?Starch Visualization of Reactive Oxygen Species Emitted by Plasma Jets | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science | 6. 最初と最後の頁 2141~2147 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TPS.2021.3083400 | 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 Kawasaki Toshiyuki, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Experimental identification of the reactive oxygen species transported into a liquid by plasma irradiation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 110502 - 110502 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abc3a1 | 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 川崎敏之, 見市知昭, 立花孝介, 竹内希, 金澤誠司 | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 液中活性種の計測と化学反応シミュレーション | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 静電気学会誌 | 6. 最初と最後の頁 207 ~ 215 |
| 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 Mitsugi Fumiaki, Kusumegi Shota, Nishida Keisuke, Kawasaki Toshiyuki | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Visualization of Plasma-Induced Liquid Flow Using KI?Starch and PIV | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science | 6. 最初と最後の頁 9 ~ 14 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPS.2020.2986775 | 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26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 9件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 沈克成, 史合平, 西田誠, 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 プラズマ照射によって誘起される液体流の制御に関する研究 |
| 3. 学会等名 第24回静電気学会春期講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 沈克成, 史合平, 西田誠, 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 供給ガスがプラズマ誘起流に与える影響 |
| 3. 学会等名 電気学会研究会「誘電・絶縁材料 / 放電・プラズマ・パルスパワー / 高電圧」 |
| 4. 発表年 2023年 |

| | |
|---------|--|
| 1. 発表者名 | Khing Zaw Phyoo, Masahiro Kamasaki, Than Nu Nu San, Si Thu Han, Patamyar Oo, Toshiyuki Kawasaki, Fumiaki Mitsugi |
| 2. 発表標題 | Pressure Wave Measurement by Optical Wave Microphone During Plasma Formation |
| 3. 学会等名 | 2022年（令和4年度）応用物理学会九州支部学術講演会 |
| 4. 発表年 | 2022年 |

| | |
|---------|-----------------------------|
| 1. 発表者名 | 川崎敏之, 史合平, 沈克成 |
| 2. 発表標題 | プラズマ由来の駆動力を利用した液体流の制御 |
| 3. 学会等名 | 2022年（令和4年度）応用物理学会九州支部学術講演会 |
| 4. 発表年 | 2022年 |

| | |
|---------|--------------------------|
| 1. 発表者名 | 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 | プラズマ照射により生じる液体流の制御に関する研究 |
| 3. 学会等名 | 第38回九州・山口プラズマ研究会 |
| 4. 発表年 | 2022年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 | プラズマを照射した液体中の活性酸素分布と流れの可視化 |
| 3. 学会等名 | (独)日本学術振興会 プラズマ材料科学 第153委員会 第158回研究会 『大気圧プラズマの“非接触”診断と実装』（招待講演） |
| 4. 発表年 | 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 史合平, 沈克成, 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 周波数がプラズマ誘起流に与える影響 |
| 3. 学会等名 2023年度(第76回)電気・情報関係学会九州支部連合大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 史合平, 沈克成, 西田誠, 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 液体へのAr プラズマジェット照射による誘起流に関する研究 |
| 3. 学会等名 第46回静電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 沈克成, 史合平, 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 Arプラズマジェットを照射した液体中のROS分布可視化 |
| 3. 学会等名 第46回静電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 T. Kawasaki, H. Shi, K. Shen, M. Kamasaki, N. Takeuchi, F. Mitsugi |
| 2. 発表標題 Plasma-induced Liquid Flows in Surfactant Solution |
| 3. 学会等名 12th International Symposium on Non-Thermal/Thermal Plasma for Pollution Control & Sustainable Energy / International Symposium on Electrohydrodynamics 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Liquid Flows Induced by an Argon Plasma Jet Irradiation |
| 2. 発表標題 H. Shi, K. Shen, T. Kawasaki |
| 3. 学会等名 12th International Symposium on Non-Thermal / Thermal Plasma for Pollution Control & Sustainable Energy / International Symposium on Electrohydrodynamics 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Shen, H. Shi, T. Kawasaki |
| 2. 発表標題 Two-dimensional Visualization of ROS Transported into a Tissue Model by an Argon Plasma Jet |
| 3. 学会等名 12th International Symposium on Non-Thermal / Thermal Plasma for Pollution Control & Sustainable Energy / International Symposium on Electrohydrodynamics 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kecheng Shen, Heping Shi, Toshiyuki Kawasaki |
| 2. 発表標題 Two-dimensional Visualization of ROS Transported into a Mimic Tissue Model by Plasma Jet |
| 3. 学会等名 International Young Electrostatic Scholar Symposium for Convergence Technology (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Heping Shi, Kecheng Shen, Toshiyuki Kawasaki |
| 2. 発表標題 Liquid Flows Induced by Argon Plasma Jet Irradiation |
| 3. 学会等名 International Young Electrostatic Scholar Symposium for Convergence Technology (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toshiyuki Kawasaki, Masahiro Kamasaki, Nozomi Takeuchi, Fumiaki Mitsugi |
| 2. 発表標題 Two types of plasma-induced liquid flows and their mechanisms |
| 3. 学会等名 EAPETEA-8 (The 8th East Asia Joint Symposium on Plasma and Electrostatics Technologies for Environmental Applications) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toshiyuki Kawasaki, Masahiro Kamasaki, Nozomi Takeuchi, Fumiaki Mitsugi |
| 2. 発表標題 PIV Analysis of Plasma-induced Liquid Flows in Surfactant Solutions |
| 3. 学会等名 ICFD2021 (The 18th International Conference on Flow Dynamics) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 プラズマ照射が誘起する液体流に界面活性剤濃度が与える影響 |
| 3. 学会等名 第37回 九州・山口プラズマ研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toshiyuki Kawasaki, Masahiro Kamasaki, Nozomi Takeuchi, Fumiaki Mitsugi |
| 2. 発表標題 Relationship between Plasma-Induced Liquid Flows and Surfactant Concentration |
| 3. 学会等名 APSPT-12 (The 12th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 川崎敏之, 釜崎雅大, 竹内希, 光木文秋 |
| 2. 発表標題 プラズマが誘起する液体流と界面活性剤初期濃度の関係 |
| 3. 学会等名 第39回プラズマプロセッシング研究会 / 第34回プラズマ材料科学シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 釜崎雅大, Khing Zaw Phyoo, 川崎敏之, 光木文秋 |
| 2. 発表標題 プラズマジェット発生による衝撃波の光波マイクロホン計測 |
| 3. 学会等名 第39回プラズマプロセッシング研究会 / 第34回プラズマ材料科学シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 プラズマ照射により界面活性剤水溶液中に生じる2種類の液体流 |
| 3. 学会等名 2022年 静電気学会東北・関西・九州支部合同研究会 / 第449回 回生圏シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 史合平, 沈克成, 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 プラズマジェット照射による液中ROS輸送に供給ガスが与える影響 |
| 3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 釜崎雅大, 砂川風響, 西田圭祐, 竹内希, 光木文秋, 川崎敏之 |
| 2. 発表標題 プラズマ照射条件が液中誘起流に与える影響 |
| 3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西田佳祐, 和合瑞生, 川崎敏之, 光木文秋 |
| 2. 発表標題 トレーサ粒子とKI-デンブンをを用いたプラズマ誘起流の可視化 |
| 3. 学会等名 第38回プラズマプロセッシング研究会 / 第33回プラズマ材料科学シンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Kawasaki, K. Koga, and M. Shiratani |
| 2. 発表標題 Experimental identification of key species for ROS transportation in the depth direction by plasma irradiation |
| 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 Toshiyuki Kawasaki |
| 2. 発表標題 Experimental identification of reactive oxygen species transported in the liquid depth direction by plasma direct irradiation |
| 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 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

| | | |
|---------------------------------|--------------|---------------|
| 産業財産権の名称 洗浄装置及び洗浄方法 | 発明者 川崎敏之 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-004755 | 出願年 2023年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|---------------------------------|--------------|---------------|
| 産業財産権の名称 プラズマ輸送装置およびプラズマ輸送方法 | 発明者 川崎敏之 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-004756 | 出願年 2023年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

| |
|--|
| https://www3.nishitech.ac.jp/education/teachers/tkawasak http://www.nishitech.ac.jp/cgi-bin/www/researchdb/researchdb-output.pl https://www3.nishitech.ac.jp/education/teachers/tkawasak http://www.nishitech.ac.jp/cgi-bin/www/researchdb/researchdb-output.pl |
|--|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|