

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05095

研究課題名(和文) 大気圧プラズマの生化学反応場への照射と解析

研究課題名(英文) Influence of plasma irradiation on biochemical reactions

研究代表者

栗田 弘史(Kurita, Hirofumi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70512177

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)：本研究課題では、大気圧プラズマの生物・医療応用に向けた基礎研究として、プラズマ照射の生化学反応への影響を解析した。まず、モデル酵素を水溶液に溶解し、これにプラズマ照射を行い酵素反応への影響を調べた。プラズマ照射により水溶液中に活性種の生成が認められ、酵素の不活化が示唆された。熱変性による失活との比較を行ったところ、これとは明らかに異なる様式で不活化していることが示唆された。また、ヒト肺がん由来培養細胞株へのプラズマ照射によって、アポトーシス誘導に關与しうる修飾塩基である8-オキソグアニンがゲノムDNA上に生成され、これを認識・除去する酵素がプラズマ照射後に活性化していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気圧プラズマが生化学反応に及ぼす影響を調べ、プラズマ照射により損傷を受けた生体分子が修復される生化学反応が細胞内で起こっていることが明らかになった。このときの細胞生存率はプラズマ未照射と比較してほとんど低下しておらず、一見プラズマ照射の影響がないような照射であっても細胞内の生体分子は損傷を受けており、細胞自身がそれを修復していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Influence of plasma irradiation on biochemical reactions were investigated. First of all, model enzymes were dissolved in an aqueous solution and then irradiated to an atmospheric pressure plasma jet. Plasma irradiation resulted in decrease in enzymatic activity, and reactive species were produced in the aqueous solution as predominant factors. The inactivation process was difference from that of heat denaturation. In addition, the results suggest that plasma irradiation of cultured human lung cancer cell lines may be involved in the induction of apoptosis. In addition, DNA damage in the A549 human lung cancer cell line treated with cold plasma irradiation was investigated. 8-oxoguanine (8-oxoG) formation as well as DNA strand breaks, which have been thoroughly investigated, were induced by plasma irradiation. In addition, up-regulation of 8-oxoG repair enzyme was observed after plasma irradiation.

研究分野：プラズマ応用

キーワード：プラズマ応用 プラズマ医療 DNA損傷 生体分子損傷

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、減圧を必要としない、大気圧や液中での低温プラズマの生物・医療応用が盛んにおこなわれている。具体的には、熱感受性の高い医療器具の殺菌等への応用だけでなく、プラズマ照射による癌細胞の選択的死滅や皮膚疾患治療・創傷治癒への有効性を示す画期的な実験結果が相次いで報告されている。さまざまな効果の作用機序を明らかにするためにプラズマ計測や細胞応答などで数多くの成果が報告されている一方、研究開始当初から現在に至るまで依然として推測に留まっている部分も多く残されている。このことからプラズマ照射に対する細胞応答に関する知見は学術的にも実用的にも重要であり、現象の理解をもたらす基礎研究が必要不可欠である。大気圧低温プラズマの生物・医療応用に向けた細胞応答の理解のためには、細胞を構成する生体分子や、それらが関わる生化学反応への影響のさらなる解析が必要不可欠であると考えた。既往研究の多くは、生化学反応に寄与する DNA やタンパク質 (酵素) など生体高分子の損傷の解析に留まっており、本研究課題ではタンパク質が機能しているその場にプラズマを照射したときの生化学反応への影響を解析することで新たな知見が得られると考えた。

2. 研究の目的

本研究課題では、生化学反応場と細胞の双方へのプラズマ照射において直接的な影響因子となり得る水溶液中に生成される活性種 (RONS : reactive oxygen and nitrogen species) の同定・定量を行った上で、生体分子損傷と生化学反応の関係を明らかにすることを目的とした。まず、酵素を溶解した緩衝液にプラズマ照射を行い、酵素反応への影響を評価することを目指した。プラズマ照射で生成される RONS はタンパク質の変性や修飾により酵素を失活させる可能性がある。プラズマ照射後の酵素のダメージを分析したり、失活を抑制した状態でプラズマ照射を行ったことでプラズマ照射の生化学反応への影響を解析した。続いて生細胞を用いた実験により細胞内で生じる生化学反応を解析した。具体的には DNA 損傷とその修復反応に着目した。酸化ストレスは、鎖切断、塩基修飾、糖修飾などの DNA 損傷を介して遺伝毒性やアポトーシスなど医療応用に関わる重要な現象を誘発する可能性がある。このことから、これまでに知見の少ない塩基修飾の解析を行い、アポトーシス誘導に関与する修飾塩基のひとつである 8-オキシグアニン (8-oxoG) の生成とその修復酵素の活性化を解析することを目指した。

3. 研究の方法

(1) 大気圧プラズマジェット生成

本研究では、アルゴンまたはヘリウムを導入ガスとした大気圧プラズマジェット (APPJ) をプラズマ源として用いた (図 1)。石英ガラス管の外側に銅テープを 2 枚巻き付け、上部を高電圧電極、下部を接地電極として用いた。電極間距離 5 mm、電極幅 10 mm とし、接地電極からガラス管先端までの距離を 20 mm に設定した。このガラス管を注射器に貫通させ、2 つの電極の周囲を絶縁油で満たし、ガラス管外壁で放電が発生しないようにした。高電圧電極には 10 kV_{0-p}、17 kHz の正弦波を印加し、供給ガス流量は 1.5 L/min に調整した。

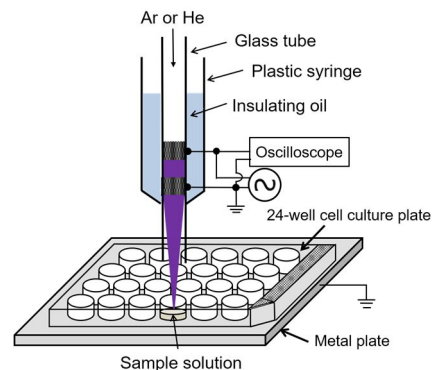


図 1 本研究課題で用いたプラズマ源

(2) プラズマジェット照射した溶液中の活性種計測

APPJ 照射により水溶液中に生成されたラジカルは、電子スピン共鳴 (ESR) とスピントラッピング法を組み合わせることで測定した。スピントラップ剤として CYPMPO を用い、10 mM CYPMPO 溶液を 24 穴プレートに入れ、サンプルが入ったウェルが APPJ 直下にくるようにプレートを設置した。また、長寿命活性種である過酸化水素・亜硝酸イオン・硝酸イオンの濃度も化学プローブ法により測定した。

(3) 酵素溶液へのプラズマ照射と解析

ここではモデル酵素として過酸化水素を分解するカタラーゼを選択した。過酸化水素は、水分子とプラズマとの反応過程で溶液中に生成される主要生成物で、他の化合物と比較して多く残留することが知られており、抗腫瘍効果の一因とされている。これまでも研究代表者は溶液中過酸化水素濃度の測定を行っており、カタラーゼと組み合わせることで溶液中活性種制御にも利用できると考えた。まず、カタラーゼ溶液に大気圧プラズマジェットを照射し、その後カタラーゼ溶液を分取して過酸化水素水と混合し、過酸化水素濃度を測定した。続いてプラズマ照射後のカタラーゼ溶液そのものの過酸化水素濃度を測定した。また、プラズマ照射によるカタラーゼのダメージを UV-vis 吸収スペクトルで解析した。

(4) 細胞懸濁液へのプラズマ照射とゲノム DNA 損傷の解析

本研究ではヒト肺がん由来培養細胞株である A549 細胞を用いた。プラズマ照射中に生じた DNA 損傷とその修復を解析するため、細胞懸濁液にプラズマジェットを照射した後、遠心・上清除去により溶液を置換し、24 時間培養後の細胞生存率を測定した。A549 細胞を PBS に懸濁

し、細胞懸濁液 1 mL にプラズマジェットを照射した。その後遠心分離で上清を除去し、培養液に置換して 24 時間培養した。培養後の細胞を死細胞染色して細胞生存率を測定した。また、プラズマ照射中の細胞における RONS レベルの上昇も測定した。細胞膜透過性を有する RONS 反応性蛍光色素を細胞懸濁液に添加し、この色素を細胞内に導入した後でプラズマジェットを照射した。その後即座にフローサイトメーターで細胞の蛍光強度を測定した。ゲノム DNA 損傷は comet assay で解析した。上記と同様にプラズマ照射を行い、その後即座に低融点アガロースゲルに細胞を包埋し、ゲルを溶解液に浸して細胞を溶解した。続いて、8-oxoG を認識・除去する hOGG1 をゲルに添加してインキュベートした後、アルカリ電気泳動に供した。その後 DNA を染色し蛍光像を取得した。取得した蛍光像を解析し DNA 損傷の定量化を試みた。

(5) DNA 修復酵素の up-regulation

本研究では Molecular beacon (MB) を用いて生細胞内での DNA 修復酵素の発現を検出した。MB とは、5' 末端に蛍光色素、3' 末端に消光物質を修飾したステムループ構造をとりうるオリゴヌクレオチドである。MB のステム構造が崩壊すると、それまで近接していた蛍光色素と消光物質が分離し、蛍光増大が生じる。本研究で用いた MB は、ステム部位のグアニンのひとつが 8-oxoG に置換されており、DNA 修復酵素がこれを認識するとステムが崩壊して蛍光増大が生じる。この MB を生細胞に導入し、蛍光増大をフローサイトメーターによって測定することで 8-oxoG 修復酵素の発現を解析した。

4. 研究成果

ヘリウムプラズマジェット照射による RONS 生成を ESR で測定した結果を図 2 に示す。観測された ESR スペクトルに示す印が $\cdot\text{OH}$ 、 \blacktriangledown 印が $\text{O}_2^{\cdot-}$ 由来で明確に区別できるスピニングダクトである。また、同様の照射条件で PBS に 3 分間プラズマ照射したところ、過酸化水素 250 μM 、亜硝酸イオン 5 μM 、硝酸イオン 19 μM が検出された。このことから、以下に示す実験結果において RONS が酵素の不活化や DNA 損傷の直接的な影響因子として示唆された。

続いて、モデル酵素であるカタラーゼ溶液にアルゴンプラズマジェット照射を行った。まず、カタラーゼ溶液に大気圧プラズマジェットを照射し、その後カタラーゼ溶液を分取して過酸化水素水と混合し、過酸化水素濃度を測定した結果、カタラーゼ濃度が低い場合にプラズマ未照射の試料と比較して過酸化水素濃度の低下が小さかった。これはプラズマ照射によってカタラーゼの失活を示唆している。続いてカタラーゼ溶液にプラズマ照射を行い、照射後の溶液の過酸化水素濃度を測定した。対照実験として、カタラーゼを含まない 100 μl のリン酸緩衝液に 3 分間プラズマ照射したところ、427 μM の過酸化水素濃度となり、同じ溶液に 10 ng/ μl となるようにカタラーゼを加えて実験したところ、過酸化水素濃度は 360 μM となり過酸化水素の分解が認められた。このことから、基質の生成・分解が同時に生じる生化学反応場へのプラズマ照射において酵素反応が進行していることが示唆された。また、タンパク質はプラズマ照射で生成される活性種によって不活化する可能性があるため、カタラーゼを多孔性無機材料に固定化し、構造変化などによる失活の抑制を試みた。酵素量を揃えてリン酸緩衝液に添加して実験した結果、無機材料に固定化した場合に過酸化水素濃度はさらに低下し 266 μM だった。無機材料とカタラーゼの複合化によって、プラズマ照射によるカタラーゼ活性の低下を抑制できる可能性が示唆されたが、複合化の効果は想定よりも低かった。カタラーゼ失活の要因を調べるため、カタラーゼ溶液に対しプラズマ照射した後で吸収スペクトルを測定したところ、カタラーゼ活性中心特有の Soret band と呼ばれる 410 nm 付近のピークがプラズマ照射後に消失し、250-280 nm 付近の芳香族アミノ酸が示すピークの増大と長波長側へのシフトが観察された (図 3 (a))。プラズマ照射の代わりに 60°C で熱変性させたカタラーゼに対して同様の測定を行ったところ、プラズマ照射後の試料とは明らかに異なるスペクトルを示した (図 3 (b))。プラズマ照射で生じた 250-280

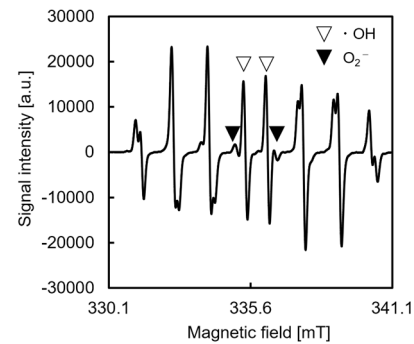


図 2 ESR による RONS 計測

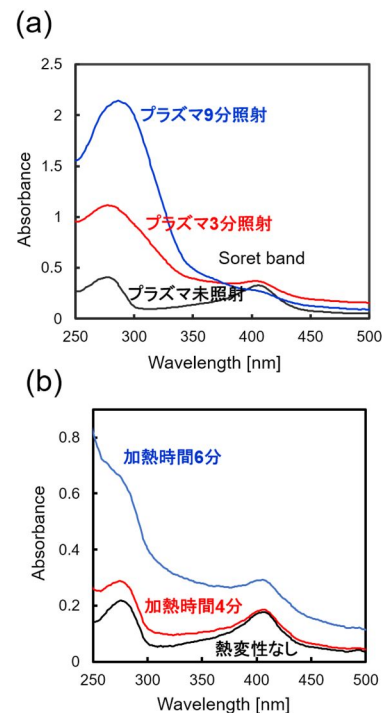


図 3 カタラーゼ溶液の紫外可視吸収スペクトル (a) プラズマ照射後 (b) 熱変性後

nm のピークの長波長側へのシフトは、芳香族アミノ酸の開裂を示唆しており、活性種がその反応に寄与していると考えられる。以上のことから、プラズマ照射によるカタラーゼの失活過程は、古くから知られている熱変性とは異なることが推察され、新たな現象を発見したと考えられる。

続いて、ヒト由来の細胞を PBS 緩衝液に懸濁してプラズマ照射を行った。プラズマ照射後 24 時間培養し、細胞生存率を測定した結果、プラズマ未照射およびヘリウムガスを 3 分間照射した場合に 97.9%であったのに対し、プラズマ照射時間 30 秒で 96.2%、1 分で 95.5%、3 分で 89.0% だった。本研究でのプラズマ照射強度は、照射後に溶液を置換すれば細胞増殖に大きな影響を与えないものであることが考えられる。図 4 に RONS 反応性蛍光プローブを用いて細胞内 RONS をフローサイトメーターで検出した結果を示す。横軸は RONS 反応性蛍光色素の蛍光強度、縦軸は細胞数を表している。プラズマ未照射のヒストグラムと比較すると、プラズマ照射後の細胞で照射時間依存的な蛍光増大が観察された。この蛍光プローブは様々な RONS と反応性を示すため、RONS を同定することはできないが、細胞内 RONS レベルの上昇が認められた。

続いて A549 細胞を PBS に懸濁してヘリウムプラズマジェットを照射し、照射後の細胞をコメットアッセイに供したところ、プラズマ未照射の場合は Tail がほとんど認められず、プラズマを照射した場合に明瞭な Tail が観察された (図 5 (a), (b))。また、に示すように、細胞を溶解した後、8-oxoG を認識・除去するヒト-8-オキソグアニングリコシラーゼ (hOGG1) を添加した細胞群では、酵素未処理の細胞群と比較して Tail length の有意な増大が認められた (図 5(c))。また、酵素未処理の細胞群はプラズマ未照射の細胞群と比較して Tail length の有意な増大が認められなかった。これらの結果は鎖切断を引き起こさないようなプラズマ照射であっても塩基修飾が生じていることを意味しており、8-oxoG、SSB、DSB のうち 8-oxoG 生成が最も生じやすいことが示唆された。

以上の結果から、ゲノム安定性維持のために DNA 修復機構が機能していると考え、8-oxoG を認識・除去する DNA 修復酵素の up-regulation に着目した。図 6 に実験方法と結果を示す。本研究では、ステム部位のグアニンが 8-oxoG に置換された MB を用いた。8-oxoG 修復酵素が MB と反応するとステム部位に切断が生じ、近接していた蛍光色素と修飾物質が分離し、8-oxoG 修復酵素の up-regulation を反映した蛍光増大が生じる。プラズマ照射前の A549 細胞に MB を人為的に導入し、プラズマ照射から 24 時間後の細胞の蛍光強度を測定した結果、プラズマ未照射の細胞群と比較して、プラズマ照射した細胞群では蛍光強度が有意に増大した。プラズマ照射によって 8-oxoG が細胞内に生成し、ゲノム安定性維持のために DNA 修復機構が機能していることが示唆された。

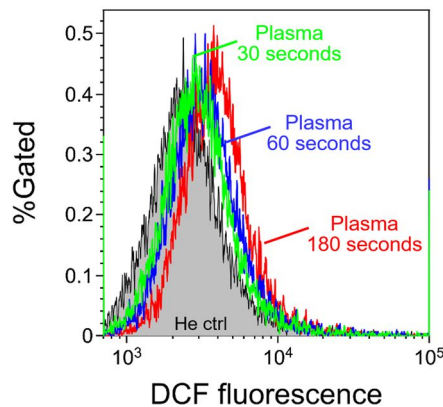


図 4 細胞内 RONS 生成の測定

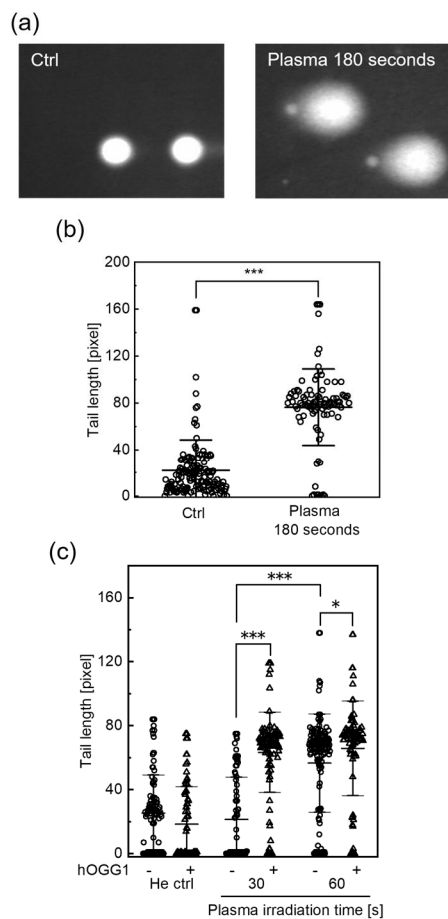


図 5 コメットアッセイによるゲノム DNA の解析 (a) ゲノム DNA の典型的な蛍光像 (b) Tail length の定量化 (c) hOGG1 処理の有無による Tail length の変化

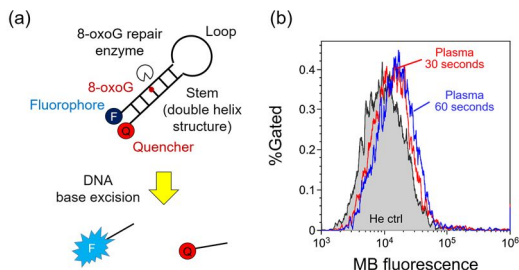


図 6 MB による 8-oxoG 修復反応の解析 (a) 検出原理 (b) フローサイトメーターによる解析結果

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 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ogawa Kotaro, Oh Jun-Seok, Gaur Nishtha, Hong Sung-Ha, Kurita Hirofumi, Mizuno Akira, Hatta Akimitsu, Short Robert D., Ito Masafumi, Szili Endre J.	4. 巻 58
2. 論文標題 Modulating the concentrations of reactive oxygen and nitrogen species and oxygen in water with helium and argon gas and plasma jets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAB01 ~ SAAB01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aaea6b	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 該当する

1. 著者名 Szili Endre J, Gaur Nishtha, Hong Sung-Ha, Kurita Hirofumi, Oh Jun-Seok, Ito Masafumi, Mizuno Akira, Hatta Akimitsu, Cowin Allison J, Graves David B, Short Robert D	4. 巻 50
2. 論文標題 The assessment of cold atmospheric plasma treatment of DNA in synthetic models of tissue fluid, tissue and cells	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 274001 ~ 274001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aa7501	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 該当する

1. 著者名 Kurita Hirofumi, Haruta Natsuki, Uchihashi Yoshito, Seto Takahito, Takashima Kazunori	4. 巻 15
2. 論文標題 Strand breaks and chemical modification of intracellular DNA induced by cold atmospheric pressure plasma irradiation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0232724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0232724	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 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 2件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 栗田 弘史, 春田 夏輝, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧低温プラズマ照射が誘発するゲノムDNA損傷と修復酵素の活性化
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 Hirofumi Kurita, Natsuki Haruta, Yoshito Uchihashi, Takahito Seto, Kazunori Takashima
2. 発表標題 Analysis of genomic DNA damage in cold plasma-irradiated cells
3. 学会等名 12th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 13th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 長門 研吉, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧プラズマ照射による気相・液相活性種の生成過程に関する研究
3. 学会等名 第21回静電気学会春期講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenkichi Nagato, Takahito Seto, Hirofumi Kurita, and Kazunori Takashima
2. 発表標題 Mass spectrometric investigation of the ionic species generated by atmospheric pressure argon plasma
3. 学会等名 The 11th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-11) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長門 研吉, 徳弘 大輝, 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧プラズマ中の活性種生成過程に対するプラズマ発生条件の影響評価
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 春田 夏輝, 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 ヒト由来培養細胞への大気圧低温プラズマ照射によって生じるゲノムDNA損傷の解析
3. 学会等名 第43回静電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 長門 研吉, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧アルゴンプラズマで生成する気相・液相活性種の関連性
3. 学会等名 第43回静電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirofumi Kurita, Natsuki Haruta, Yoshito Uchihashi, and Kazunori Takashima
2. 発表標題 Damage to intracellular nucleic acids induced by atmospheric pressure plasma irradiation
3. 学会等名 3rd World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine and Food & Environmental Technologies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長門 研吉, 水田 成海, 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 質量分析法による大気圧プラズマ中の活性種診断
3. 学会等名 日本質量分析学会第67回質量分析総合討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長門 研吉, 水田 成海, 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧プラズマ中のイオン計測と反応活性種の検出
3. 学会等名 第8回イオン移動度研究会・第72回イオン反応研究会合同講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗田 弘史, 春田 夏輝, 内橋 義人, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧低温プラズマが誘発する核酸塩基修飾の解析
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 長門 研吉, 瀬戸 貴仁, 水田 成海, 宮本 潤一郎, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧アルゴンプラズマで生成する気相活性種と液中活性種の相関
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 瀬戸 貴仁, 水田 成海, 栗田 弘史, 長門 研吉, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧アルゴンプラズマ照射で生成する気相・液相活性種の関係
3. 学会等名 第20回静電気学会春期講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長門 研吉, 水田 成海, 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧アルゴンプラズマジェット内および周辺での正・負イオンの質量分析
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 栗田 弘史
2. 発表標題 大気圧低温プラズマ照射の生体高分子への影響と解析方法
3. 学会等名 平成30年度電気学会北陸支部シンポジウム 「プラズマが誘起する液中化学反応診断の最前線」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirofumi Kurita, Tomoko Nakajima, Kaori Sano, Saki Miyachika, Yoshito Uchihashi, Natsuki Haruta, Hachiro Yasuda, Kazunori Takashima and Akira Mizuno
2. 発表標題 Investigation of Damage to Nucleic Acids Induced by Plasma Irradiation
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirofumi Kurita, Yoshito Uchihashi, Junichiro Miyamoto, and Kazunori Takashima
2. 発表標題 Rapid Analysis of DNA Damage in Plasma-Irradiated Cancer Cells
3. 学会等名 The 7th International Conference on Plasma Medicine (ICPM-7) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長門 研吉, 水田 成海, 瀬戸 貴仁, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧アルゴンプラズマジェットของไอออน組成解析
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学术講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田 弘史, 内橋 義人, 宮本 潤一郎, 高島和則
2. 発表標題 大気圧プラズマ照射によって生じる細胞内DNA損傷の解析
3. 学会等名 第65回応用物理学会 春季学术講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内橋 義人, 宮本 潤一郎, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 ヒト由来培養細胞株へのプラズマ照射によって生じるDNA損傷の解析
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hirofumi Kurita, Saki Miyachika, Hachiro Yasuda, Kazunori Takashima, and Akira Mizuno
2. 発表標題 Use of molecular beacons for the detection of DNA damage induced by exposure to an atmospheric pressure plasma jet
3. 学会等名 The 2nd World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine, and Food & Environmental Technologies (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮本 潤一郎, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧プラズマジェット発生装置の構成要素と溶液中活性種生成の関係
3. 学会等名 第41回静電気学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮本 潤一郎, 栗田 弘史, 高島 和則
2. 発表標題 大気圧プラズマジェット発生装置の構成要素が溶液中活性種生成に及ぼす影響
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大久保雅章	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	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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