

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02806

研究課題名（和文）酸素プラズマによる植物機能のエピジェネティックな発現および遺伝機構の解明

研究課題名（英文）Epigenetic expression and genetic mechanism of plant function by oxygen plasma

研究代表者

林 信哉（Hayashi, Nobuya）

九州大学・総合理工学研究院・教授

研究者番号：40295019

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,200,000円

研究成果の概要（和文）：酸素プラズマを植物種子に照射することで植物の発芽および成長促進効果が得られることが従前の研究で分かっている。本研究課題では、プラズマ照射による植物成長促進機構を調べ、酸素プラズマ中の一重項酸素により植物の遺伝子発現が変動することが主要因であり、その遺伝子発現変動が主にDNAのメチル化によるエピジェネティクスで説明されることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、動植物細胞や微生物等にプラズマを照射することで新奇な生体反応や効果が見出されてきた。本研究によりプラズマ照射が生体に誘導する現象のメカニズムの一つがエピジェネティクスであることが世界で初めて明らかとなった。本研究により、プラズマ照射により誘導される生体反応は、遺伝子変異を伴わず次世代に遺伝しない一世代のみの現象であることが判明したことから、品種の保護が必要な植物の成長促進や医療応用にもプラズマを活用可能であることが示された。

研究成果の概要（英文）：Previous studies have shown that irradiation of plant seeds with oxygen plasma has the effect of promoting plant germination and growth. In this research project, we investigated the mechanism of plant growth promotion and found that the main factor was the fluctuation of gene expression in plants due to reactive oxygen species in oxygen plasma, and that the gene expression fluctuation was explained by epigenetics.

研究分野：プラズマ応用理工学

キーワード：酸素プラズマ 植物成長促進 活性酸素種 遺伝子発現変動 エピジェネティクス

1. 研究開始当初の背景

【研究の学術的背景】

プラズマを農業や医療分野へ応用するための研究が国内外で益々盛んになってきた。生体へのプラズマ照射により、生体表面の物理的变化とともに、細胞内で一連の生体反応が誘導され、植物の成長促進や細胞の増殖促進およびアポトーシス誘導等の生体機能が発現することが分かってきた。しかしながら、プラズマ照射により誘導される生体機能発現のプロセスや生体機能の遺伝に関するメカニズムについては、これまで明らかになっていない。

<外部からの刺激による生体反応と遺伝子発現>

動物や植物などの生物は、外部刺激に対する防御や外部環境への適応する機能を有しており、必要に応じてこれらの機能を発現・遺伝させ刺激や環境に順応している。生体における機能の発現や遺伝の際には遺伝子が関係する。遺伝子の塩基配列(遺伝情報)を読み取り酵素等のタンパク質を合成することにより機能が発現し、また、塩基配列を複製することにより次世代への遺伝が生じる。

紫外線や放射線等の外部刺激を生体を与えると、それらに対する防御機能の発現や次世代への防御機能の遺伝が観察される。数 eV 以上のエネルギーを持つ紫外線や放射線は、遺伝子を構成する塩基間の結合を解離することが可能である。従って、紫外線や放射線などの高エネルギーな外部刺激が引き起こす生体機能の変化は、一般的に遺伝子の塩基配列の変化によるタンパク質合成の変化や次世代へ遺伝情報の変化によるものである。

ところが近年、遺伝子の塩基配列の変異を介さない機能の発現や発現した機能の遺伝が見出されてきた。このような現象はエピジェネティクス(epigenetics)と呼ばれ、塩基配列の変化ではなく、遺伝子のより大きな構造であるクロマチン構造やヌクレオソーム構造の変化が機能発現の変化や遺伝に関係していると考えられる。

<プラズマ照射による遺伝子発現>

植物の種子にプラズマを短時間照射すると、植物が刺激を受け、成長促進や抗酸化活性が向上することが知られている。プラズマを照射した植物から採種した種子を栽培し、プラズマ照射効果の二世世代目への継承を調べた結果(図1)、プラズマのパラメータによって(a)成長促進等のプラズマ照射効果が

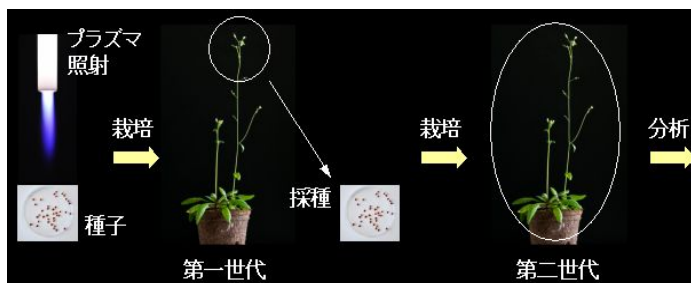


図1 プラズマ照射効果の継代・遺伝の評価。

一世代限りで次世代には継代されず二世目以降は元の性質に戻る場合と、(b)プラズマ照射効果が次世代以降も継代される場合とがあることが実験により明らかになった。予備的実験より、(a)の一世代限りケースは中性の活性酸素種が作用した場合に観察され、(b)のプラズマ照射効果が継代するケースはエネルギーの高いイオンが寄与する可能性が示唆された(図2)。この場合、高エネルギーのイオンにより遺伝子の塩基配列の変化(突然変異)が生じると考えられる。

(a)の場合、酸素プラズマを照射した種子から発芽・成長した第一世代の間は発芽や成長の促進が継続的に生じることから、酸素プラズマ照射の効果が細胞分裂を経て継承されると考えられる。一方、第一世代から採れる種子では遺伝情報が初期化されヒストンの修飾やDNAメチル化等の獲得形質は継承されず、第二世代では成長促進等のプラズマ照射効果が観察されない。このような、酸素プラズマ照射による後天的な獲得形質の継承特性を説明するために最も適した概

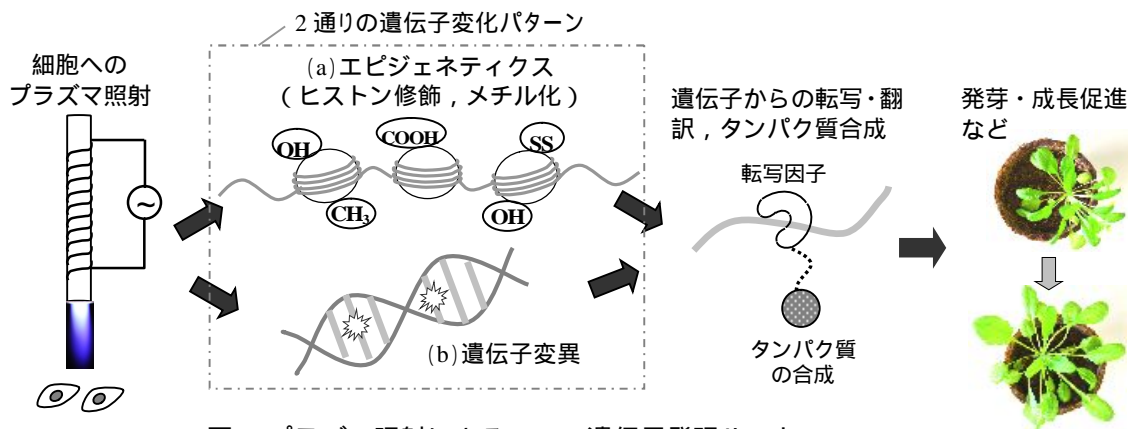


図2 プラズマ照射による二つの遺伝子発現ルート。

念は、エピジェネティクスであると考えられる。エピジェネティクスにおいては、プラズマ照射による成長促進効果は DNA のクロマチン構造に保存され、細胞分裂を経て娘細胞に継承されると推察される。

これまで、プラズマを照射した植物種子の網羅的な遺伝子発現解析の結果にエピジェネティクス関連遺伝子の発現を示す場合が見出されている。しかしながら、プラズマ照射による生体機能の発現や、細胞分裂を越えた遺伝・継代のメカニズムは、未解明のままである。

2. 研究の目的

酸素プラズマ照射による植物の遺伝子発現および遺伝情報継承のメカニズムを明らかにする。特に、酸素プラズマを照射した植物に成長促進や抗酸化活性の向上が観察される場合に、酸素プラズマにより種子細胞内に惹起される遺伝子発現の変動、およびその次世代細胞への遺伝特性について調べ、以下の3点を明らかにすることを目的とする。

(1) 酸素プラズマ中の活性酸素照射効果の発現や次世代細胞への継承がエピジェネティクスであることを、マイクロアレイや試薬を用いた解析により明らかにする。

(2) 細胞への酸素プラズマ照射の条件により、エピジェネティクスまたは遺伝子変異を選択的に発現可能であることを示す。

(3) 細胞への酸素プラズマ照射からエピジェネティクスに至るまでの、植物細胞内で生じる生体反応経路を明らかにする。

3. 研究の方法

実験1 エピジェネティクスおよび遺伝子変異の確認

本研究では高周波酸素プラズマ(図3)を照射した Arabidopsis (シロイヌナズナ)の種子を以下に記述する方法で解析する。遺伝子変異の発生は、DNA シーケンス解析により遺伝子配列を決定することで明らかにする(解析委託,申請分)。エピジェネティクスの発現については、DNA メチル化とヒストン修飾により確認する。メチル化した DNA をスクリーニングかつ定量化するためには、メチル化 DNA 濃縮法を採用する。本方法では、ゲノム DNA の抽出および断片化 DNA メチル化領域の濃縮 濃縮産物の解析といった手順で定量化を行う。定量化のプロトコルは以下の通りである。

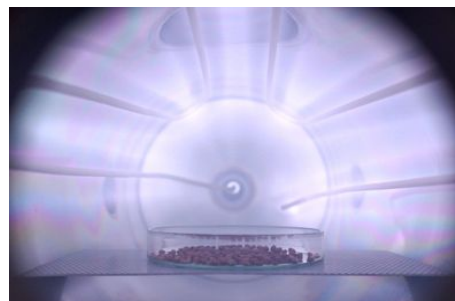


図3 種子へのプラズマ照射。

1. 植物種子より DNA を抽出
2. ゲノム DNA の断片化
3. アガロース電気泳動により断片化した DNA のサイズを確認する
4. メチル化した DNA を抽出
5. 溶出した DNA を解析し定量化する

実験2 エピジェネティクスを誘導する活性酸素種の特定

(1) 活性酸素の選択的生成

本研究では、低圧酸素プラズマ中での選択的な活性酸素の生成と、活性酸素によるエピジェネティックな遺伝子発現変動(ヒストン修飾および DNA メチル化)の可能性を検討する。酸素プラズマ中の活性酸素種の持つ酸化エネルギーは 100 ~ 150 kcal 程度であり、活性酸素の種類によっては二重らせん構造を持つ遺伝子の核酸塩基の配列を変化させることが可能である。励起酸素分子 $^1\Sigma_g^+$ 、一重項酸素原子 $O(^1D)$ は、核酸塩基の C-H や N-H の結合エネルギーより高いエネルギーを持つ。

そこで、真空容器内の圧力や電源電圧の制御により、酸素プラズマ中の電子のエネルギーを変化させ、異なる種類および励起状態の活性酸素種の生成を行う。特に、核酸塩基に影響を与えずにエピジェネティクスを誘導可能な $O(^5P)$ の選択的生成を行う。圧力の制御により $O(^1D)$ や $^1\Sigma_g^+$ と $O(^5P)$ との選択生成を試みる。各粒子種の生成量は、可視~赤外領域に対応した狭スリット幅の分光器を用いた発光分光計測により求める。また、プラズマ生成電極への印加電圧の違いによって $^1\Sigma_g^+$ や $O(^5P)$ 等の中性の活性酸素と酸素イオン O^+ との選択的生成を試みる。 $O(^1D)$ の計測法の較正や得られたデータの妥当性の評価のために、172nm の真空紫外光により $O(^1D)$ を発生する Xe エキシマランプを使用する。

(2) 粒子種に依存した遺伝子発現および植物成長特性の確認

低圧酸素プラズマ中で選択的に生成した活性粒子種(中性活性酸素や酸素イオン)を植物種子(ロイヌナズナ)に照射する。照射した種子から DNA を抽出し、粒子種に応じてエピジェネティ

クスまたは遺伝子変異が生じることを、実験項目 1 で述べた解析方法（検出試薬等）を用いて確認する。

以上(1)(2)より、エネルギーの高い酸素イオン O^+ や $^1\Sigma_g^+$, $O(^1D)$ が遺伝子変異を引き起こし、エネルギーの低い $O(^3P)$ がエピジェネティクスを誘導することを示す。

実験 3 プラズマ照射からエピジェネティクスを経て機能発現に至るパスウェイの解析

(1) プラズマ照射効果と、種子細胞内でのエピジェネティックな遺伝子発現との相関

プラズマの照射パラメータを変化させて、ヒストン修飾や DNA メチル化の反応を触媒する酵素の産生をコードするエピジェネティクス関連遺伝子 (histone H1.2 や RDM4 等) の発現と、成長促進や抗酸化活性との相関を明らかにする。同時に、遺伝子変異の指標となるシャペロン遺伝子の発現量を調べる。解析方法は、マイクロアレイ解析による網羅的な遺伝子発現変動解析を用いた。酸素プラズマを照射した *Arabidopsis* の種子から試薬により RNA を抽出し、マイクロアレイを作成する。マイクロアレイスキャナにより発現が変動している遺伝子を見出す。遺伝子オントロジー解析により、プラズマ照射で変動する遺伝子の機能を特定し、それらの遺伝子の変動が上方制御または下方制御であることを確認する。

マイクロアレイ解析による網羅的な遺伝子発現変動解析でプラズマ照射により発現量が増加したエピジェネティクス関連遺伝子を特定した後に、リアルタイム PCR (申請分) を用いて、染色体領域の構造に関する遺伝子の発現量の計測を行う。特に、エピジェネティクス関連遺伝子や、遺伝子変異を抑制・修復する遺伝子 (シャペロン遺伝子など) の発現量の変化を調べる。

(2) プラズマ照射からエピジェネティクスへ至るパスウェイの解明

上記 (1) でエピジェネティクスが生じる条件下で酸素プラズマを照射した植物種子の遺伝子発現解析および発現量計測を行った結果より、発現量の高いエピジェネティクス関連遺伝子をリストアップする。これらの発現遺伝子から、植物種子への酸素プラズマ照射からエピジェネティクスへ至るパスウェイを同定し、プラズマ照射効果の発現および次世代への継承メカニズムの解明を試みる。パスウェイとして例えば、活性酸素が細胞膜を透過して核に到達。ヒストン修飾および DNA メチル化反応を触媒する酵素の酸素受容体 (-SH) に活性酸素が結合・活性化。ヒストン修飾および DNA メチル化反応が促進する、といった経路が予想される。

以上の実験項目 1~3 より、植物種子へのプラズマ照射により得られる効果 (発芽・成長促進等) の、次世代への継承特性および継承メカニズムを解明する。

4. 研究成果

(1) エピジェネティクスおよび遺伝子変異の確認

高周波酸素プラズマを照射した *Arabidopsis* (シロイヌナズナ) の種子を以下に記述する方法で解析した。

DNA シーケンス解析による遺伝子配列の確認により、遺伝子変異の発生は生じていないことを確認した。エピジェネティクスの発現については、DNA メチル化により確認を行った。メチル化した DNA をスクリーニングかつ定量化するために、メチル化 DNA 濃縮法を採用した。本方法では、ゲノム DNA の抽出および断片化。DNA メチル化領域の濃縮。濃縮産物の解析といった手順で定量化を行った。その結果、エピジェネティクスの発現が確認された。

(2) プラズマ照射遺伝子発現マップの作成

前項 (1) で得られた結果を エピジェネティクスのみが生じる場合、遺伝子変異のみが生じる場合、エピジェネティクスと遺伝子変異が同時に生じる場合に分類し、これら三つの場合を酸素ガス圧力と高周波電力をパラメータとしてマッピングし、酸素プラズマ照射による“遺伝子発現マップ”の作成を試みた (図 4)。得られた遺伝子発現マップと、発芽・成長促進や抗酸化活性向上等の発現した生体機能とを対比し、これらの現象がエピジェネティクスまたは遺伝子変異であることの同定を試みた。

このとき、エピジェネティクスおよび遺伝子シーケンス解析を行ったところ想定外に多くの遺伝子変異が認められた。本現象を精密に確認する必要があるため、追加の解析を実施した。この解析は実験植物の育成 (粒子種依存遺伝子発現解析および植物成長の特性確認) 後でなければ実施できず、また本現象により結果として計画が 12 ヶ月延長となったものの、追加のエピジェネティクスおよび遺伝子シーケンス解析により、以下の二点が明らかとなった。

- ・ エピジェネティクスを誘導する活性酸素種の特定
- ・ 粒子種依存遺伝子発現と植物成長特性との相関

また、プラズマ照射遺伝子発現マップの作成数が倍増したが、遺伝子発現マップと発芽・成長促進や抗酸化活性向上等の発現した生体機能とを迅速に対比する方法を見出したことで、これらの現象がエピジェネティクスまたは遺伝子変異であることを容易かつ迅速に確認可能となった。

(3) 遺伝子エピジェネティクスが生じるプラズマパラメーターの特定

プラズマ照射種子から成長した植物の細胞では遺伝子発現の際にエピジェネティクスが生じる場合があるが、このときのプラズマ条件の特定を試み、電子密度が $10^{12-13} / \text{m}^3$ 程度、電子温度が 2eV 以下、プラズマ照射時間が 60 分程度の場合に遺伝子発現がエピジェネティクスが効率的に生じることが分かった。これら以外のパラメータでは植物の成長促進がほぼ生じないことから、酸素プラズマによる植物成長促進はエピジェネティックな遺伝子発現により誘導されると推察される。このとき、マイクロアレイを用いた遺伝子発現網羅的解析により AT2G, DME, JmjC 等のエピジェネティクスを誘導する遺伝子群が優位に発現しており(図5)、5メチルシトシンの生成量が増加していることから DNA メチル化が生じている(図6)ことが明らかとなった。また、エクспанシンやシャペロン等の遺伝子も発現することから、細胞伸長や遺伝子修復によって植物の成長が促進すると考えられる。

上述のような、エピジェネティック的な発現を伴う各遺伝子が発現するプラズマのパラメータ(電子密度、電子温度、照射時間)の領域を実験によって見出し、プラズマ照射遺伝子発現マップを作成した。本マップを用いることで、植物の栽培、成長を待たずにプラズマによる成長促進効果がより精密に予測でき、本分野の研究者だけでなくプラズマを農業に応用する生産者等にとっても大きく貢献すると考えられる。本年度は次年度に行う予定のエピジェネティクス関連遺伝子群の発現量の定量化に対して、定量化する遺伝子の種類、リアルタイム RT-PCR 法を用いる際のプライマーの選択・設計を行った。また最適なハウスキーピング遺伝子も特定した。

(4) プラズマ照射効果(成長促進効果)と種子細胞内でのエピジェネティックな遺伝子発現との相関

マイクロアレイ解析による網羅的な遺伝子発現変動解析により、プラズマ照射により特発現量が変動するエピジェネティクス関連遺伝子が、Pkdm7d, Jmj14, MBD9, REF6, AT1G11950 であることを特定した。各遺伝子の発現量の変動を計測した結果、ガス種や放電電圧の変化により発現量が変化することが分かった。リアルタイム PCR を用いて染色体領域の構造に関する遺伝子の発現量の変化を定量的に調べた結果、エピジェネティクス関連遺伝子 JmjC や、遺伝子変異を抑制・修復するシャペロン遺伝子の発現が変動していた。特に、複数の酸素プラズマ源を用いて生成される活性酸素種の密度を変化させて、エピジェネティクスおよび抗酸化関連遺伝子の発現量を調べた結果、プラズマ中の活性酸素種の生成量とエピジェネティクス関連遺伝子の発現量とは正の相関があることが分かった。

(5) プラズマ照射からエピジェネティクスへ至るパスウェイの解明

酸素プラズマを照射した植物種子の遺伝子発現解析結果より特定した上述のエピジェネティクス関連遺伝子の変化の傾向から、植物種子への酸素プラズマ照射からエピジェネティクスへ至るパスウェイを推定した。活性酸素が細胞膜を透過して核に到達。ヒストン修飾および DNA メチル化反応を触媒する酵素の酸素受容体(-SH)に活性酸素が結合・活性化。ヒストン修飾および DNA メチル化が反応が促進する、といったパスウェイが想定される。これらの反応を触媒する酵素をコードする遺伝子の発現量を調べた結果、いずれの発現量もプラズマ照射により増加する結果が得られた。

以上の1から5の実験より、酸素プラズマ照射による植物生体機能(発芽・成長促進等)の発現および次世代への継承のメカニズムの一つが明らかとなった。

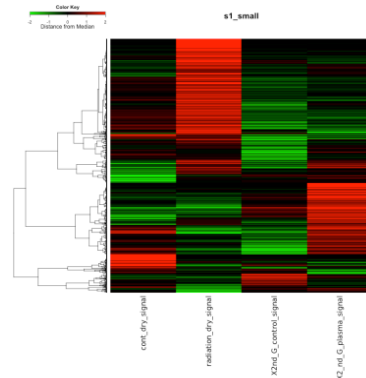


図 4. プラズマ照射した種子と未照射種子との遺伝子ヒートマップ。

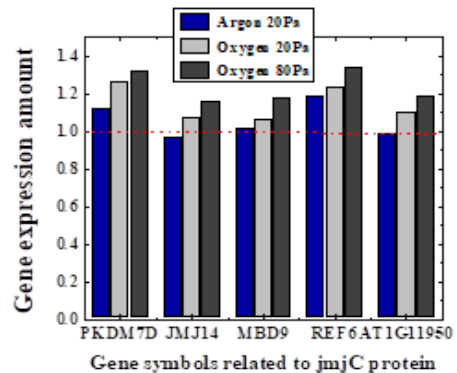


図 5. DNA メチル化とヒストン修飾に関する遺伝子の変動。

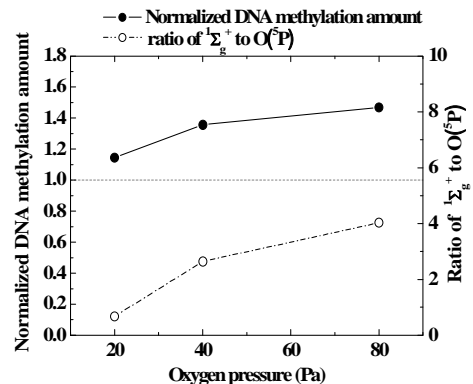


図 6. DNA メチル化と一重項酸素分子生成量の変化。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名 中野 陸, 林 信哉, 合島怜於奈, 山下佳雄, 小林 明 | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 低圧酸素プラズマの照射による植物種子の遺伝子発現効果 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of IAPS | 6. 最初と最後の頁 91-95 |
| 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 Takaki, Koichi, Hayashi, Nobuya, Wang, Douyan, Ohshima Takayuki | 4. 巻 52 |
| 2. 論文標題 High-voltage technologies for agriculture and food processing | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 473001 (42pp) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab2e2d | 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. Ide, N. Hayashi | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Investigation of Growth Enhancement Mechanism of Plants by Using Oxygen Plasma and Karrikin | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of the 7th International Conference on Plasma Medicine | 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) 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 Y. Ide, Z. Shi, N. Hayashi | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Mechanism of Plant Growth Enhancement Using Karrikin Produced by Oxygen Plasma | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of Dry Process Symposium 2018 | 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) 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 石 子玉、松本 光司、林 信哉 | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Plant Growth Enhancement using Reducing Active Species Produced by Water Vapor and Hydrogen Plasmas | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of the 7th International Conference on Plasma Medicine | 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) 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 Reoto Ono, Shohei Uchida, Nobuya Hayashi, Rina Kosaka and Yasutaka Soeda | 4. 巻 136 |
| 2. 論文標題 Inactivation of bacteria on plant seed surface by low-pressure RF plasma using a vibrating stirring device | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Vacuum | 6. 最初と最後の頁 214-220 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1016/j.vacuum.2016.07.017 | 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 Keisuke Mine, Yukie Miyamaru, Nobuya Hayashi, Reona Aijima, Yoshio Yamashita | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Mechanism of inactivation of oral cancer cells irradiated by active oxygen species from DBD plasma | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Plasma Medicine | 6. 最初と最後の頁 201-213 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1615/PlasmaMed.2017019246 | 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 N. Hayashi, R. Nakano, R. Ono, K. Tashiro, S. Kuhara, R. Aijima | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Modification of gene expression of plants induced by active oxygen species in oxygen plasma | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of IUMRS-ICAM2017 | 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) 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 R.Ono, N. Hayashi | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Clarification of Mechanism for Callus Growth Enhancement Induced by Active Species in DBD Plasma | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of ISAPS 2017 | 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) 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 Yu-Shian Liao, Reoto Ono and Nobuya Hayashi | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Investigation of Growth Enhancement Mechanism of Plants by Using Oxygen Active Species Plasma | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of the 39th International Symposium on Dry Process | 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) 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 N. Hayashi, R. Ono, A. Yonesu, K. Tashiro, R. Aijima | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Growth enhancement and gene expression of plants induced by oxygen plasma irradiation | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of the 26th International Toki Conference | 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) 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 - |

〔学会発表〕 計48件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 24件)

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 松村 速人, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 プラズマによる芽胞菌の不活性化メカニズムに関する研究 |
| 3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 石 子玉, 松本 光司, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 水蒸気と水素プラズマを用いた植物の成長促進メカニズム |
| 3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 ヤオ イーチー, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 果物鮮度保持のための大気圧プラズマによるエチレン濃度制御と防黴効果 |
| 3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Sitti Subaedah, Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Growth Characteristics of EL-4 T-cell Using Atmospheric Oxygen Plasma |
| 3. 学会等名 プラズマ応用科学学会年会 2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 ヤオ イーチー, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 The Growth Rate of Macrophage Cells Suffered Oxidative Stress from Atmospheric Plasma |
| 3. 学会等名 プラズマ応用科学学会年会 2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 姚 翊綺, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 大気圧プラズマによるマクロファージの活性化への影響 |
| 3. 学会等名 電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松村 速人, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 平行平板型DBDプラズマ処理による芽胞菌の不活化メカニズム |
| 3. 学会等名 電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 山本恭太郎, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 シロイヌナズナの葉への大気圧プラズマ照射の影響 |
| 3. 学会等名 応用物理学会春季講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 M. Marume, Y. Miyamaru, N. Hayashi, R. Aijima, Y. Yamashita |
| 2. 発表標題 Effect of Plasma Direct Irradiation on Oral Cancer Cells Using Torch Type Dielectric Barrier Discharge Plasma |
| 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 Y.C. Yao, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Atmospheric Oxygen Plasma Trigger to Activation of Macrophage-like Cells |
| 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 K. Yamamoto, N. Hayashi and K. Tashiro |
| 2. 発表標題 Gene expression analysis of Arabidopsis thaliana irradiated with oxygen plasma |
| 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 Ziyu Shi, Koji Matsumoto, Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Mechanism of Plant Growth Enhancement by Water Vapour and Hydrogen Plasmas Irradiation |
| 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 he Effect on Macrophage-like Cells from Atmospheric Plasma |
| 2. 発表標題 Y.C. Yao, N. Hayashi |
| 3. 学会等名 XXXIV ICPIG&ICRP-10 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松永 祐介, 姚 翊綺, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 大気圧プラズマ照射によるマクロファージの食作用の活性化 |
| 3. 学会等名 応用物理学会秋季講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岡林 良太, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 大気圧放電による活性酸素種を用いた果実表面殺菌と果実ダメージ評価 |
| 3. 学会等名 応用物理学会秋季講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 林 信哉 |
| 2. 発表標題 プラズマによる植物の発芽・成長促進 |
| 3. 学会等名 日本学術振興会プラズマ材料科学第153委員会第142回研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 姚 翊綺, 植松陽香, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 酸素プラズマによるマクロファージの増殖および活性促進特性 |
| 3. 学会等名 第35回九州山口プラズマ研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Nobuya Hayashi, Yi-Ci Yao and Yuki Inoue |
| 2. 発表標題 Activation and differentiation control of osteoclast precursor cells irradiated with oxygen plasma |
| 3. 学会等名 Dry Process Symposium 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Matsunaga, Yi-Ci Yao, Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Activation of macrophage phagocytosis by atmospheric pressure plasma irradiation |
| 3. 学会等名 Dry Process Symposium 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 R. Okabayashi, N.Hayashi |
| 2. 発表標題 Fruit surface sterilization and damage evaluation using active oxygen species by atmospheric discharge |
| 3. 学会等名 Dry Process Symposium 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Sitti Subaedah, Haruka Uematsu and Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Growth Characteristics of EL-4 T-cell with the activator CD3/CD28 Using Atmospheric Oxygen Plasma for Malaria Disease |
| 3. 学会等名 Dry Process Symposium 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Haraguchi Yoshiki, Nobuya Hayashi |
| 2 . 発表標題 Characteristics of plasma sterilization for medical equipment using peracetic acid gas |
| 3 . 学会等名 MRS-J 2019 |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Haruka Uematsu, Sitti Subaedah and Nobuya Hayashi |
| 2 . 発表標題 Enhancement of cytokine production of sensitized lymphocyte irradiated by atmospheric oxygen plasma |
| 3 . 学会等名 MRS-J 2019 |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Yi-Ci Yao, Yusuke Matsunaga, Nobuya Hayashi |
| 2 . 発表標題 Enhance the Effect of LPS on Macrophage-like Cells by Atmospheric Oxygen Plasma |
| 3 . 学会等名 11th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Sitti Subaedah Sahabuddin, Haruka Uematsu and Nobuya Hayashi |
| 2 . 発表標題 Activation and growth of EL-4 T-cell Using Atmospheric Oxygen Plasma |
| 3 . 学会等名 11th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryota Okabayashi, Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Freshness Preservation of Fruit by Treatment of High Concentration Ozone |
| 3. 学会等名 11th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Ide, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Investigation of Growth Enhancement Mechanism of Plants by Using Oxygen Plasma and Karrikin |
| 3. 学会等名 The 7th International Conference on Plasma Medicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 井手裕介, 石子玉, 林信哉 |
| 2. 発表標題 酸素プラズマとカリキンをを用いた植物の成長促進機序に関する研究 |
| 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 Y. Ide, Z. Shi, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Mechanism of Plant Growth Enhancement Using Karrikin Produced by Oxygen Plasma |
| 3. 学会等名 Dry Process Symposium 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Ide, Z. Shi, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Plant Growth Enhancement Owing to Karrikin Generated by Oxygen Plasma |
| 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 石 子玉、松本 光司、林 信哉 |
| 2. 発表標題 水蒸気と水素プラズマで生成した活性種を用いた植物の成長促進 |
| 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 石 子玉、松本 光司、林 信哉 |
| 2. 発表標題 Plant Growth Enhancement using Reducing Active Species Produced by Water Vapor and Hydrogen Plasmas |
| 3. 学会等名 The 7th International Conference on Plasma Medicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 石 子玉、松本 光司、林 信哉 |
| 2. 発表標題 水蒸気と水素プラズマを用いた植物の成長促進メカニズム |
| 3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 N. Hayashi, R. Nakano, R. Ono, K. Tashiro, S. Kuhara, R. Aijima |
| 2. 発表標題 Modification of gene expression of plants induced by active oxygen species in oxygen plasma |
| 3. 学会等名 IUMRS-ICAM2017 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 R.Ono, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Clarification of Mechanism for Callus Growth Enhancement Induced by Active Species in DBD Plasma |
| 3. 学会等名 The 11th International Symposium on Applied Plasma Science (ISAPS' 17) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yu-Shian Liao, Reoto Ono and Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Investigation of Growth Enhancement Mechanism of Plants by Using Oxygen Active Species Plasma |
| 3. 学会等名 The 39th International Symposium on Dry Process (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 R. Ono, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Identification of mechanism of callus growth enhancement by active species generated by DBD plasma |
| 3. 学会等名 The 39th International Symposium on Dry Process (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Koji Matsumoto, Reoto Ono, Liao Y-shian, Satoshi Watanabe, Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Effect of Reducing Active Species in Hydrogen Plasma on Plant Growth |
| 3. 学会等名 The 39th International Symposium on Dry Process (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 N. Hayashi, R. Ono, A. Yonesu, K. Tashiro, R. Aijima |
| 2. 発表標題 Growth enhancement and gene expression of plants induced by oxygen plasma irradiation |
| 3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 R. Ono, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Mechanism for Plant Growth Enhancement Induced by Active Species in Atmospheric Plasma Using Callus |
| 3. 学会等名 The 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications on Plasma Technology (APSPT10) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Koji Matsumoto, Liao Yu-shian, Reoto Ono, Nobuya Hayashi |
| 2. 発表標題 Growth Enhancement of Plants Irradiated by Reducing Active Species in Low-Pressure Water Vapor and Hydrogen Plasmas |
| 3. 学会等名 The 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications on Plasma Technology (APSPT10) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Liao Yu-shian, R. Ono, N. Hayashi |
| 2. 発表標題 Investigation of Growth Enhancement Mechanism of Plants by Oxidation Effect of Active Species in Plasma |
| 3. 学会等名 The 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications on Plasma Technology (APST10) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 林 信哉, 小野大帝, 田代康介, 合島怜央奈 |
| 2. 発表標題 プラズマ中の活性種が誘導する植物の発芽・成長促進 |
| 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 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本 強太, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 大気圧プラズマによる果実表面菌不活化における活性酸素種濃度効果 |
| 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 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yu-Shian Liao, 林 信哉, 小野 大帝 |
| 2. 発表標題 活性酸素プラズマを用いた植物成長促進因子Karrikinに関する研究 |
| 3. 学会等名 第70回電気・情報関係学会九州支部連合大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 小野 大帝, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 誘電体バリア放電で生成した活性種を用いたカルスへの影響 |
| 3. 学会等名 第70回電気・情報関係学会九州支部連合大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 林 信哉, 田代康介, 合島怜央奈 |
| 2. 発表標題 植物へのプラズマ照射が誘導する生体反応メカニズムの解明とその応用 |
| 3. 学会等名 Plasma Conference 2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本 強太, 林 信哉 |
| 2. 発表標題 大気圧空気プラズマによる果実表面の細菌不活化効果に対するオゾン濃度依存性 |
| 3. 学会等名 Plasma Conference 2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

| | | |
|---------------------------------|--|---------------|
| 産業財産権の名称 性質変化方法及びプラズマ生成装置 | 発明者 林 信哉, スバエダ シティ サハブディ ン, ヤオ イーチー | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-109476 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計1件

| | | |
|---------------------------|-------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 プラズマ生成装置 | 発明者 三沢達也, 林 信哉 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、2779803 | 取得年 2020年 | 国内・外国の別 外国 |

〔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 |
|-------------------|--|--|----|
| 研究 分 担 者 | 柳生 義人 (Yagyū Yoshihito) (40435483) | 佐世保工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授 (57301) | |