

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01893

研究課題名（和文）低温プラズマ照射に対する種子の外部情報認識に関する分子メカニズム解明

研究課題名（英文）Molecular Mechanism of recognition of external information in seeds against low temperature plasma irradiation

研究代表者

古閑 一憲 (Koga, Kazunori)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：90315127

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：「プラズマ照射に最適な種子の生理状態は何か」を明らかにすることを目的とした本研究では、種子の老化や種皮の色により、プラズマ照射に対する感受性が変化し、同じ照射条件でもプラズマ照射効果が異なることを明らかにした。また、プラズマ照射が種子内のDNA修飾を変動することを明らかにした。また、種子の休眠状態によりプラズマ照射に対する応答が異なり、研究代表者の用いているスケラブル誘電体バリア放電プラズマでは、休眠が深い状態においてその成長促進効果が大きい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

プラズマ照射した種子の発芽・成長促進効果は、新しい農業生産性向上法として期待されている。しかしながら、実用化のためには、プラズマ照射効果にばらつき抑制が課題であった。本研究では、プラズマ照射効果のばらつきの原因のひとつとして、種子の状態（保存状態、種子の色、休眠状態）が重要であることを明らかにしたものである。この成果は、種子へのプラズマ照射効果の機序解明のために重要知見を与えるものである。加えて、プラズマから種子へ照射される、活性酸素窒素種、電場、UV光子を網羅的に明らかにすることに成功した。この成果は、プラズマ照射効果の定量評価を可能にするものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to clarify "what is the optimum physiological state of seeds for plasma irradiation". We found that the sensitivity of seeds to plasma irradiation changes depending on seed aging and seed coat color. The effect of plasma irradiation changes depending on the state of seeds even under the same irradiation conditions. The study also revealed that plasma irradiation can alter DNA modifications in seeds. The response to plasma irradiation differs depending on the dormancy state of seeds. For our developed scalable dielectric barrier discharge plasma, its growth-promoting effect was greater when seeds were in a deeper dormancy state.

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：プラズマ農業 種子科学 活性酸素窒素種 エピジェネティクス 遺伝子発現 電子スピン共鳴分光
休眠状態 低温プラズマ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究課題における学術的問いは、「プラズマ照射に最適な種子の生理状態は何か」である。植物へのプラズマ照射では、発芽特性の向上や栄養成長期の体長や重量の増加、収穫期における収量増加などの可能性を示す結果が得られており、プラズマ照射が短寿命かつ局所的であるため環境にやさしい革新的成長促進法として期待されている。しかしながら、従来研究はプラズマ照射に対する生体長や種子の収量などの情報取得が成果のほとんどであり、プラズマと植物の形態的な変化の相関を検討することに留まっている。なぜならプラズマ照射のばらつきと植物の個体差、栽培条件のばらつきが共存しているため、プラズマ照射の効果が個体差や栽培条件のばらつきにマスクされてしまうためである。これは実験室系における再現性の低下につながり、プラズマに対する生体応答機序の解明を妨げる結果となる。種子の個体差や栽培条件のばらつきに対して明らかな効果を示すプラズマ照射を実現するために、研究代表者は一つの学術的問いを設定した。それは「プラズマ照射に最適な種子の生理状態は何か」である。

2. 研究の目的

上述した問いに答えるため、本研究ではプラズマ照射に対する種子の応答の分子メカニズムの解明を本研究の目的とした。本研究では、発芽特性の植物内の ROS 量最適領域を示す oxidative window をプラズマの農業応用で初めて導入する(図1)。また従来評価が困難であった疎水性の分子について、超臨界液体クロマトグラフィーを用いて評価可能であるところに独自性を持つ。

本研究では3年間の研究期間において、プラズマ照射による種子の生理状態の変化(つまりプラズマに対する種子応答の分子メカニズム)とプラズマ照射に最適な種子の生理状態を明らかにする。この場合、プラズマ照射によるイオン、短寿命ラジカル、RONSの照射範囲を広くとることが重要である。これを実現するため、密閉型のプラズマ照射装置により低圧から大気圧までのプラズマ照射を行う。加えて、種子を磁場・電場に晒すことによりプラズマに対する吸収特性等を変えて照射実験を行う。

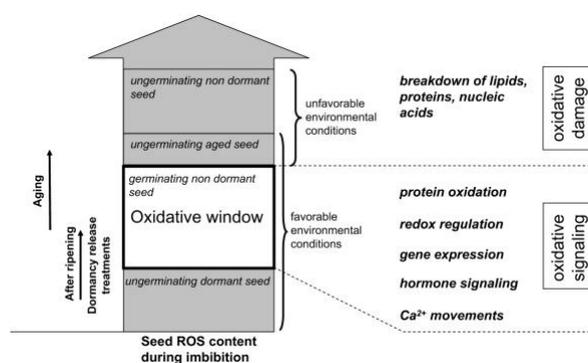


図1. Oxidative window の概念図。種子は適度な ROS 量の領域内において良好な発芽特性を持つ。(出典: C. Bailly, et al., C.R. Biologies Vol. 331 (2008) p. 806.)

3. 研究の方法

「プラズマ照射に最適な種子の生理状態は何か」を明らかにするため、プラズマ照射に対する種子の応答の分子メカニズムの解明を目的とした本研究では、カイワレ、シロイヌナズナ、イネの種子を主な対象として、プラズマ照射から種子への吸収、植物内応答の結果としての発芽・成長過程の変化までを一貫して評価する。研究遂行にあたり、設定した課題は、

- 1) 種子への照射量(吸収量)の定量、
- 2) 種子に対する磁場・電場の印加効果、
- 3) プラズマ照射による種子の生理状態変動評価である。

4. 研究成果

研究項目 1) プラズマ粒子の選択照射と照射量定量:

電子スピン共鳴分光計測を用いて、プラズマ照射した種子のラジカル量の変化を明らかにした。従来明らかであった、フェノール分子に関連するセミキノラジカル量のプラズマ照射による変動とともに、液体窒素を用いた低温計測により、Fe(3)イオンがプラズマ照射により増加することを明らかにした。詳細を以下に示す。

実験では、カイワレダイコンの趣旨を用いて、2017年と2018年に入手し、常温、大気下で保存した種子を使用してその老化の違いを調べるとともに、種の色を灰色と茶色に分けて、プラズマを照射した(図2)。種子内の生体ラジカル量は、電子スピン共鳴分光法を用いて計測した(図3)。液体窒素を用いた計測により、図4左に示すようなスペクトルを計測し、g=2.0にセミキノラジカル、g=4.3付近にFe(III)の信号が現れることを明らかにした。

図4と図5に、それぞれ種子内セミキノラジカル量とFe(III)量の、プラズマ照射による変動と入手年、種の色の違いを比較した結果を示す。

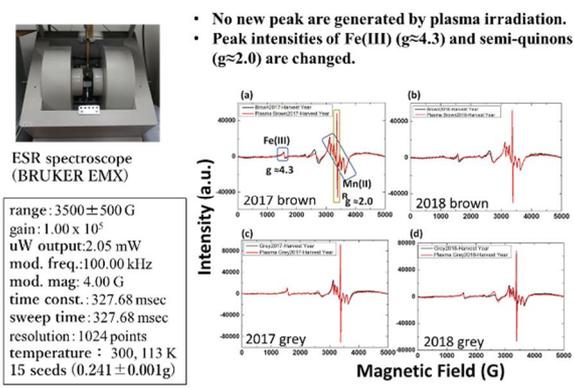
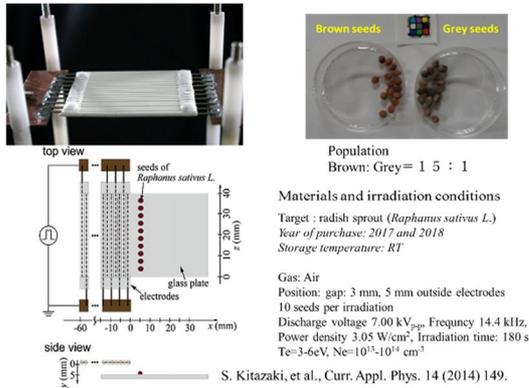


図2 .(左)実験装置であるスケラブル誘電体バリア放電(SDBD)の写真と照射時の種子配置。(右上)カイワレダイコン種子の色分け写真。

図3 .(左)電子スピン共鳴 (ESR) 分光装置。(右)典型的なプラズマ照射前 (黒線) と照射後 (赤線) ESR スペクトル。

まずセミキノラジカルの結果について検討する。セミキノラジカルは、種子の抗酸物質のひとつであるフェノール類を構成する分子であり、フェノール類が酸化することでセミキノラジカルとなり、さらに酸化してキノンとなる。カイワレダイコンは、多量のフェノール類を保持しているが、種皮の典型的な色素がその一種であるポリフェノールである。得られた結果を以下に示す。

- ・未照射種子の結果：種子色・収穫年により種子内有機ラジカル量が異なる。灰色のラジカル量が茶色よりも有意に大きい。
- ・プラズマ照射の効果：茶色に比べて、灰色はプラズマ照射によるラジカルの増加が大きい。灰色のラジカル増加量は2018年種子が大きい。
- ・種子の色の違いは、フェノール類の量の違いを示唆する。
- ・色の違いは、抗酸化活性の違いとして現れ、灰色と茶色でプラズマ照射による ESR 信号強度の変化に差を生む原因となる。
- ・つまり色の違いがプラズマ照射に対する感度の違いとなる。(プラズマの種子もしくは胚への透過率は色の違いに依存する)

次に Fe(III)について検討する。生体分子内に Fe は存在するが、これらは、還元作用によって ESR 信号として現れることが予想される (U. Schlemmer, W. Frölich, R.M. Prieto, F. Grases, Mol. Nutr. Food Res. 53 (2009) .)。実験結果は、種子内に含まれる Fe³⁺錯体がプラズマ照射によって還元され、ESR 測定により検出されたと考えられる。つまり、プラズマ照射により酸化のみならず還元も起きている可能性を示唆している。加えて灰色の種子の Fe(III)量のプラズマ照射による増加量は、茶色に比べて多く、種子の色によりその感度が異なる可能性をしめしている。

次に、種子照射に用いている SDBD 装置から種子照射位置における電場強度、光子量、硝酸イオン、過酸化水素量を、ポッケルスセル、分光器、試薬を用いて計測することに成功した。結果を表1に示す。この結果は、SDBDから生体への照射量を硝酸イオンや過酸化水素などの活性酸素窒素種 (RONS) のみならず、UV 光子や電場までを網羅して定量した結果であり、RONSのみならず、プラズマ照射の定量的な検討を可能にするものである。プラズマ照射における発芽促進効果について、プ

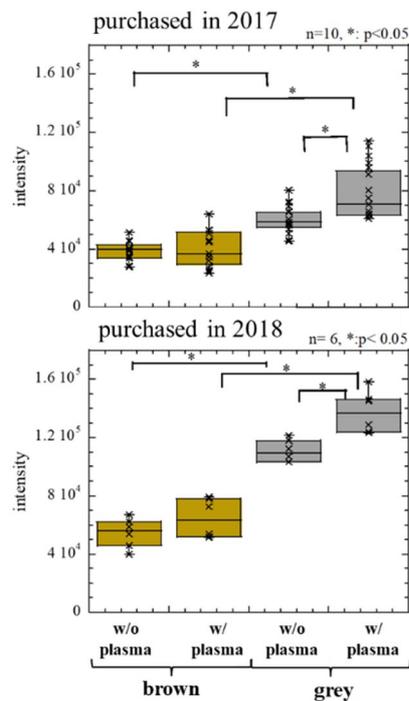


図4 . 種子内セミキノラジカル量の入手年違い (図の上下) と色違い (図中の左2つが茶色、右2つが灰色) におけるプラズマ照射の効果。

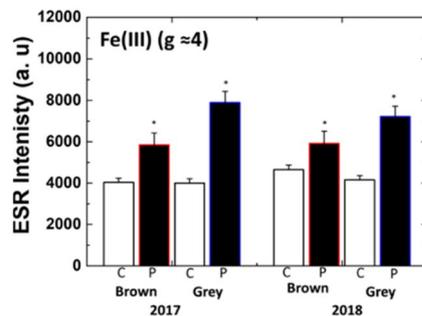


図5 . 種子内 Fe(III)量の入手年違い (図中の左右) と色違い (図中の左2つが茶色、右2つが灰色) におけるプラズマ照射の効果 (Cがコントロール、Pがプラズマ)。

Applied voltage (kVpp)	Discharge power (W)	Marchantia polymorpha Phenotype		Electric field (kV/m)	UV photon flux ($\times 10^{12}/s\text{ cm}^2$)			RONS (μM)	
		Fresh Weight (mg)	Size (mm^2)		UV-A (400-315 nm)	UV-B (315-280 nm)	UV-C (280-200 nm)	NO_2^-	NO_3^-
0	0 \pm 0	17.15 \pm 3.96	55.84 \pm 15.1	0 \pm 0					
1.68	0.13 \pm 0.003	20.45 \pm 5.45	59.38 \pm 17.9	3.63 \pm 0.631					
4.72	0.57 \pm 0.014	24.66 \pm 5.39	70.98 \pm 17.2	19.3 \pm 2.31					
6.48	1.87 \pm 0.117	17.21 \pm 5.13	49.39 \pm 16.4	27.9 \pm 2.48	20.9 \pm 0.392	2.77 \pm 0.212		25.87 \pm 2.79	
6.80	4.31 \pm 0.220	14.00 \pm 5.94	42.53 \pm 16.7	33.6 \pm 2.96	26.2 \pm 0.394	3.60 \pm 0.207	6.37 \pm 1.14	33.91 \pm 0.85	106.3 \pm 46.1
7.52	7.82 \pm 0.309	14.60 \pm 5.52	43.79 \pm 15.8	37.0 \pm 3.00	111.0 \pm 0.454	15.5 \pm 0.217	13.2 \pm 1.11	40.47 \pm 2.29	288.7 \pm 47.0
7.80	10.73 \pm 0.321	8.07 \pm 5.74	26.12 \pm 18.4	40.1 \pm 2.99	143.9 \pm 0.447	19.6 \pm 0.219	17.7 \pm 1.09	41.54 \pm 0.53	328.0 \pm 47.9
SD/mean [%]	2.31 - 6.26	21.9 - 71.1	24.2 - 70.4	7.46 - 17.4	0.311 - 1.88	1.12 - 7.65	6.16 - 17.9	1.28 - 10.8	14.6 - 43.4

表 1 . SDBD から種子に照射された電場強度、UV 光子、RONS 量。

ラズマからの放射熱による加熱の影響と、長寿命 RONS のそれぞれの効果について、ヒーターや試薬を用いて比較検討した結果、プラズマ照射時の温度上昇では、発芽特性に特に変化は見られず、温度上昇による影響はないことを明らかにした。プラズマ照射時の H₂O₂ と NO₃-ドーズ量を純水に照射したときの濃度計測から明らかにしたのちに、試薬を用いて同じ濃度の RONS 混合溶液をつくりこれを用いて発芽試験をしたところ、プラズマ照射による発芽特性が、溶液による発芽特性よりも発芽促進していることを明らかにした。この結果は、長寿命 RONS のみではない、短寿命 RONS やそのほかの要因との重畳効果などプラズマ特有の発芽成長促進効果の要因の存在を示唆している。

研究項目 2) 種子への磁場・電場印加効果の検討 :

項目 1 で示したように、強磁場下での種子内ラジカル量の評価を行うとともに、項目 1 で記したパルス電場の強度の定量評価に成功した。

プラズマ照射後に強磁場下においた種子の発芽特性は、そうでない種子の発芽特性とほぼ同じであることを明らかにした。

研究項目 3) プラズマに対する種子の生理状態変化 :

プラズマ照射による種子の生理状態変化の検証として、まずイネ種子を対象に、その発芽についての分子生理を調べた。親世代のイネが種子を突らせる登熟期において、30 以上の高温ストレスに晒されると、収穫したイネ種子の発芽特性が劣化し、休眠状態が深くなることが知られている。図 6 は、健康なイネ種子 (control) と高温障害を持つ種子 (heat)、高温障害を持つ種子にプラズマを照射したもの (heat+plasma) の発芽特性曲線を示す。この図は、横軸に栽培開始からの時間、縦軸に発芽率を示す。健康な種子に比べて、高温障害を持つイネ種子は同じ栽培開始からの時間でも、発芽率が低く、休眠が深いことが分かる。この高温障害を持った種子に対して研究代表者らが開発した SDBD を用いてプラズマ照射した。

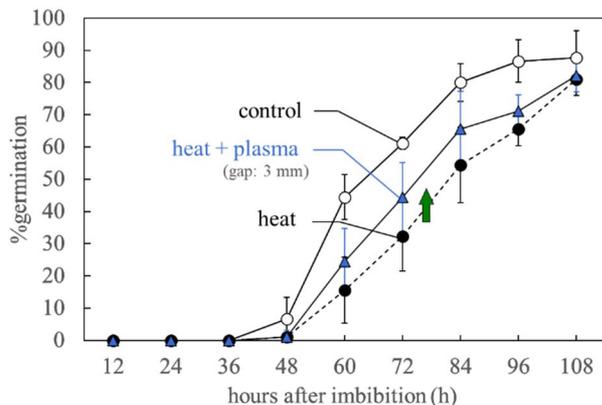


図 6 . 健康な種子(control)、高温障害を持つ種子 (heat)、プラズマ照射した高温障害を持つ種子 (heat+plasma) の発芽特性。

照射種子の発芽特性は、高温障害を持つ種子に比べ発芽特性に改善が見られた。この原因を分子生物学的に検討するため、発芽に関連する 5 つの遺伝子発現 (アブシジン酸に関連する NECDs, ABA⁸OHs、ジベレリン酸に関連する GA20oxs, GA3oxs。これに加えて アミラーゼ関連遺伝子) を調べた。その結果、ABA⁸OHs と アミラーゼ関連遺伝子の発現が、heat では control に比べて下がるのに対して、heat+plasma は control の場合の発現量まで回復していること、その他の遺伝子には差が見られないことを明らかにした。これらの遺伝子発現のふるまいは、発芽のプロセスでは説明できず、エピジェネティックは調節の可能性を示唆している。そこで、発芽関連遺伝子の DNA プロモーターのメチル化レベルを MeDIP-aPCR 法で評価した。その結果、遺伝子発現変動のあった、OsABA⁸OH3 と OsAmy1C、OsAmy3E のメチル化レベルが、heat では control に比べて上がるのに対して、heat+plasma では control 並まで減少することを明らかにした。この結果は、高温障害でメチル化レベルが増加した ABA と アミラーゼ関連遺伝子をプラズマ照射により健康な種子のレベルまで減少したことを示している。この結果は、植物は、DNA 修飾を通して親世代の環境変動の経験を記憶した種子が、プラズマ照射により、DNA 修飾を変動して、植物の記憶を改変していることをしめしている。

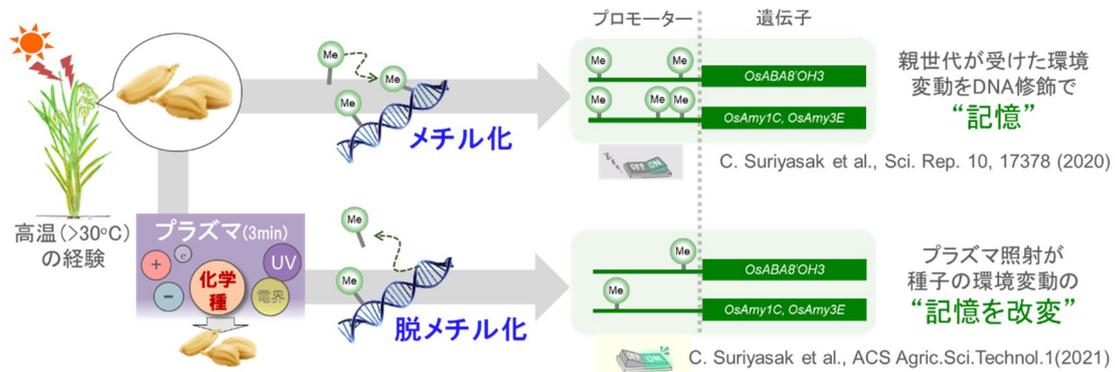


図7. プラズマ照射による DNA 修飾の変動の概要。

次に、プラズマ照射に対する植物ホルモン量の液体クロマトグラフィー/トリプル質量分析器を用いた、種子内植物ホルモン量を簡単な前処理で定量可能とした。

最後に、種子の休眠に対するプラズマ照射の影響について調べた。種子の休眠は、種子内部で産生した活性酸素種(ROS)が重要な役割を果たし、種子保存期間や外部条件により種子内 ROS 量が増加し、適切な ROS 量において吸水することで正常な発芽が起きる。プラズマは、ROS などの活性種を生成するため、種子は高密度の ROS 照射下にさらされる。このため、プラズマ起因の ROS の種子への導入により種子の休眠性を変動するとともに、照射時の種子休眠性がプラズマ照射効果に影響することが考えられる。ここでは、高再現プラズマ照射を実現するために必要な要因を明らかにすることを目的として、種子の休眠性とプラズマ照射種子の発芽特性の相関を調べるとともに、プラズマ照射による活性種の種子内導入の確認のため、プラズマ照射による種子内分子の変動について検討した。

種子へのプラズマ照射には、種子へのプラズマ照射に実績のある SDBD 装置を用いた。電極下面に 5mm にレタス種子を配置し、空気プラズマを照射した。種子の休眠性制御には、種子の保存とともに、種子の休眠解除加速に従来用いられる調湿を用いた。種子保存では、冷蔵庫内での保存期間をパラメーターとした。調湿は、種子を室温、湿度 85% の条件下に置き、調湿日数で種子水分量を調節した。発芽率測定は、種子をシャーレに播種し、培養開始後 24 時間までの発芽率を 12 時間ごとに測定した。プラズマ照射による構造変化の解析には電子スピン共鳴分光計 (ESR) と質量分析計を用いた。

種子休眠性とプラズマ照射種子の発芽特性の相関を明らかにするため、調湿日数や保存期間をパラメーターとして、レタス種子の発芽率を測定した。この時発芽率は発芽勢を示唆する栽培後 12 時間の発芽率を評価した。結果を以下に示す。

(1) 図 8 に栽培後 12 時間の発芽率に関する、種子保存期間とプラズマ照射時間のヒートマップを示す。未照射種子の栽培開始 12 時間後発芽率は、保存時間に依存し保存期間 3 9 日で最大となり休眠打破し、その後発芽率が減少する。この結果は試験した保存期間において休眠性が変動することを示す。

(2) プラズマ照射 1 分のレタス種子は、未照射に比べて発芽率が増加する。一方調湿日数にも依存しており、調湿 1 日かつプラズマ照射時間 1 分で最も発芽促進することを明らかにした。

(3) 以上の結果は、種子のプラズマ照射に対する感度は、種子休眠性に依存することを示すものであり、種子休眠性はプラズマ照射の再現性向上の重要パラメーターである。加えて、プラズマ照射による発芽特性改善は、調湿による種子内 ROS 増加とはメカニズムの違うものであることを示唆している。

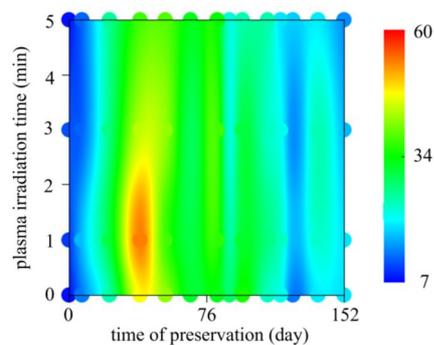


図8. プラズマ照射、保存期間に対する 12 時間後発芽率ヒートマップ(カラーバー: 発芽率)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Attri Pankaj, Okumura Takamasa, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Wang Douyan, Takahashi Katsuyuki, Takaki Koichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Outcomes of Pulsed Electric Fields and Nonthermal Plasma Treatments on Seed Germination and Protein Functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Agronomy	6. 最初と最後の頁 482 ~ 482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agronomy12020482	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 Attri Pankaj, Koga Kazunori, Okumura Takamasa, Takeuchi Nozomi, Shiratani Masaharu	4. 巻 11
2. 論文標題 Green route for ammonium nitrate synthesis: fertilizer for plant growth enhancement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 28521 ~ 28529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA04441A	査読の有無 無
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 Attri Pankaj, Koga Kazunori, Okumura Takamasa, Shiratani Masaharu	4. 巻 60
2. 論文標題 Impact of atmospheric pressure plasma treated seeds on germination, morphology, gene expression and biochemical responses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 040502 ~ 040502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe47d	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 Suriyasak Chetphilin, Hatanaka Kota, Tanaka Hayate, Okumura Takamasa, Yamashita Daisuke, Attri Pankaj, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Hamaoka Norimitsu, Ishibashi Yushi	4. 巻 1
2. 論文標題 Alterations of DNA Methylation Caused by Cold Plasma Treatment Restore Delayed Germination of Heat-Stressed Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Seeds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Agricultural Science & Technology	6. 最初と最後の頁 5 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsagascitech.0c00070	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 Attri Pankaj, Ishikawa Kenji, Okumura Takamasa, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Mildaziene Vida	4. 巻 11
2. 論文標題 Impact of seed color and storage time on the radish seed germination and sprout growth in plasma agriculture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-021-81175-x	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 Attri Pankaj, Ishikawa Kenji, Okumura Takamasa, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 8
2. 論文標題 Plasma Agriculture from Laboratory to Farm: A Review	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Processes	6. 最初と最後の頁 1002 ~ 1002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pr8081002	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 Tamosiune Inga, Gelvonauskiene Dalia, Ragauskaitė Lauryna, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Baniulis Danas	4. 巻 13
2. 論文標題 Cold plasma treatment of Arabidopsis thaliana (L.) seeds modulates plant-associated microbiome composition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 076001 ~ 076001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab9712	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

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 奥村賢直, 阿南輝樹, パンカジアタリ, 古閑一憲, 鎌滝晋礼, 山下尚人, 板垣奈穂, 白谷正治, 石橋勇志
2. 発表標題 調湿レタス種子のラジカル量に与えるプラズマ照射の効果
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 古閑一憲, 坪山祥子, 田川雄大, 中尾匠, 田中颯, 阿南輝樹, 奥村賢直, P. Attri, 鎌滝晋礼, 山下尚人, 板垣奈穂, 白谷正治, 朽津和幸
2. 発表標題 植物へのプラズマ照射効果解明に向けたゼニゴケ実験系の確立
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 H. Tanaka, T. Okumura, P. Attri, T. Anan, K. Kamataki, N. Itagaki, M. Shiratani, Y. Ishibashi, M. Nakano, K. Namiki, S. Tsuboyama, K. Hashimoto, K. Kuchitsu, H. Hashizume, K. Ishikawa, M. Hori, K. Koga
2. 発表標題 Effects of Concentration of Plasma Activated Lactate on Germination of Arabidopsis thaliana Seeds
3. 学会等名 ISPlasma2022/IC-PLANTS2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿南 輝樹, 田中颯, 奥村賢直, アタリパンカジ, 中尾匠, 鎌滝晋礼, 山下尚人, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷 正治
2. 発表標題 プラズマ照射による酸化還元反応に対する種子内水分量の効果
3. 学会等名 SPP-39/SPSM34
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村 賢直, アタリパンカジ, 中尾匠, 田中颯, 鎌滝晋礼, 山下尚人, 古閑一憲, 板垣奈穂, 白谷正治, 竹内希
2. 発表標題 プラズマ照射肥料を用いて栽培した植物の成長解析
3. 学会等名 SPP-39/SPSM34
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Okumura, T. Anan, H. Tanaka, D. Yamashita, P. Attri, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Y. Ishibashi, Y. Fujimoto, M. Kumauchi, H. Matsui
2. 発表標題 Effect of intraseed moisture and plasma irradiation on lettuce seed surface
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 P. Attri, K. Koga, T. Okumura, N. Takeuchi, M. Shiratani
2. 発表標題 Green route for ammonium nitrate synthesis: Fertilizer for plant growth enhancement
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村賢直, アトリ パンカジ, 石橋勇志, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 プラズマ照射された植物種子に関する物理的、化学的および分子生物学的研究(招待講演)
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中颯, 阿南輝樹, 奥村賢直, A. Pankaj, 古閑一憲, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, S. Chetphilin, 石橋勇志, 白谷正治
2. 発表標題 イネ種子へのプラズマ照射がDNAメチル化レベルに及ぼす影響
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 中尾匠, 阿南輝樹, 田中颯, 奥村賢直, 山下大輔, A. Pankaj, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 スケーラブル誘電体バリア放電による対象物への活性酸素窒素種暴露量の評価
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 田川雄大, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, A. Pankaj, 山下大輔, 古閑一憲, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 ボッケルスセルを用いたスケーラブル誘電体バリア放電により生じる電界の測定
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 T. Anan, H. Tanaka, T. Okumura, P. Attri, D. Yamashita, K. Kamataki, K. Koga, N. Itagaki, M. Shiratani, Y. Ishibashi
2. 発表標題 Effects of Plasma Irradiation to Moistened Seeds on Radical Amount
3. 学会等名 The 6th Asian Applied Physics Conference (Asian-APC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古閑一憲
2. 発表標題 プラズマ照射した植物の発芽・生長の分子機構検討
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第38回年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村賢直, パンカジアトリ, 古閑一憲, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 種子に導入された大気圧空気プラズマ起因活性種の高感度微量定量測定法の創成
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第38回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古閑一憲, 田川雄大, 中尾匠, 阿南輝樹, 田中颯, 奥村賢直, P. Attri, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 白谷正治, 坪山祥子, 橋本研志, 朽津和幸
2. 発表標題 植物照射用スケラブル誘電体バリア放電の生成粒子の計測
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第38回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村賢直
2. 発表標題 乾燥種子内に導入されたプラズマ照射起因活性窒酸素窒素種の微量分析法の創成
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 M. Shiratani, K. Koga
2. 発表標題 Restoring germination rate of heat-stressed seeds by low temperature plasma treatment
3. 学会等名 Japan-RUB Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中尾匠, 阿南輝樹, 田中颯, 奥村賢直, P. Attri, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 スケラブル誘電体バリア放電プラズマで発生した活性種量評価
3. 学会等名 第74回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田川雄大, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, P. Attri, 古閑一憲, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 スケラブル誘電体バリア放電プラズマの特性評価
3. 学会等名 第74回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村賢直, アトリ パンカジ, 古閑一憲, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 液体クロマトグラフ-トリプル四重極質量分析計を用いたプラズマ照射種子内植物ホルモンの定量分析
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 奥村賢直, アトリパンカジ, 石川健治, 古閑一憲, 白谷正治, ヴィダミルダズィネ
2. 発表標題 かいわれ大根種子の発芽と発芽の成長に対する大気圧プラズマ照射の影響 - 種子の色と貯蔵の効果
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 K. Koga
2. 発表標題 Influences of Plasma Treatment of Seeds on their Molecular Responses
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 奥村 賢直, 阿南 輝樹, 田中 颯, 有田 涼, 山下 大輔, アトリ パンカジ, 鎌滝 晋礼, 板垣 奈穂, 古閑 一憲, 白谷 正治, 藤本 祉史, 熊内 雅人, 松井 英享, 石橋 勇志
2. 発表標題 調湿レタス種子の発芽に及ぼす大気圧プラズマ照射の影響
3. 学会等名 SPP-38/SPSM33
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Shiratani, P.Attri, T. Okumura, K. Koga
2. 発表標題 Applications of Low Temperature Plasma to Agriculture in Preharvest Stage (Invited)
3. 学会等名 ICMAP 2020 & ISFM 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿南輝樹, 田中颯, 有田涼, 山下大輔, 奥村賢直, アトリ パンカジ, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治, 石橋勇志, 藤本社史, 熊内雅人, 松井英享
2. 発表標題 レタス種子の発芽特性に及ぼす調湿・プラズマ照射時間依存性
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Okumura, H. Tanaka, R. Arita, D. Yamashita, K. Matsuo, P. Attri, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Growth of Rice Cultivated in Field from Plasma-irradiated Seeds and Its Health Assessment for rats
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Koga, P. Attri, T. Anan, R. Arita, H. Tanaka, T. Okumura, D. Yamashita, K. Matsuo, K. Kanataki, N. Itagaki, M. Shiratani, Y. Ishibashi
2. 発表標題 Impact of Plasma Treatment Time on the Barley Seeds using Electron Paramagnetic Resonance
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Tanaka, R. Kogawa, Y. Oba, M. Fujita, T. Okumura, P. Attri, K. Koga, M. Shiratani, K. Kamataki, N. Itagaki
2. 発表標題 Nitric Acid Generation by Pulsed Needle-water Discharge Plasma
3. 学会等名 第32回日本MRS年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村賢直
2. 発表標題 プラズマ照射による種子内化学種生成
3. 学会等名 プラズマバイオコンソーシアム 2020 年度研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 P. Attri
2. 発表標題 Can plasma treatment solve the germination and growth problem in older seeds?
3. 学会等名 プラズマバイオコンソーシアム 2020 年度研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Koga, P. Attri, K. Ishikawa, T. Okumura, K. Matsuo, D. Yamashita, K. Kamataki, N. Itagaki, M. Shiratani, V. Mildaziene
2. 発表標題 Role of seed coat color and harvest year on growth enhancement by plasma irradiation to seeds
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 奥村 賢直, 石橋 勇志, C. Suriyasak, 田中 颯, 佐藤 僚哉, 有田 涼, 廣松 真弥, 古閑 一憲, P. Attri, 松尾 かよ, 山下 大輔, 板垣 奈穂, 鎌滝 晋礼, 白谷 正治
2. 発表標題 高温障害を持つイネ種子の発芽特性へ及ぼす誘電体バリア放電プラズマ照射の影響
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 奥村賢直
2. 発表標題 放電プラズマおよび電界のバイオ応用
3. 学会等名 Satellite meeting of AAPPS-DPP2020 : Workshop on cutting-edge of plasma applications
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

プラズマ工学研究室 http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html プラズマ工学研究室 http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	朽津 和幸 (Kuchitsu Kazuyuki) (50211884)	東京理科大学・理工学部応用生物科学科・教授 (32660)	
研究分担者	石橋 勇志 (Ishibashi Yushi) (50611571)	九州大学・農学研究院・准教授 (17102)	
研究分担者	奥村 賢直 (Okumura Takamasa) (60801149)	九州大学・システム情報科学研究院・助教 (17102)	
研究分担者	A t t r i P a n k a j (Attri Pankaj) (40868361)	九州大学・プラズマナノ界面工学センター・准教授 (17102)	

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			
リトアニア	ヴィータウタスマグヌス大学			