

令和元年6月20日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02231

研究課題名(和文)パルスパワー・プラズマによる青果物の収量改善と鮮度保持科学の深化

研究課題名(英文) Keeping freshness and improving yield of agricultural products using pulsed power plasma and its scientifically deepening

研究代表者

高木 浩一 (Takaki, Koichi)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：00216615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、パルスパワー放電による青果物の収量改善とその鮮度保持について、植物の発芽・生長促進、酵素活性制御などの観点にわけて実施した。前者では、プラズマ照射によるエピジェネティック的な効果で、発芽や生長促進関連遺伝子が発現して発芽や生長が促進されること、青枯れ病菌などの不活化、運作障害を引き起こすアレロパシー物質の分解などで植物成長の促進などを実現した。後者では、植物の成長ホルモンであるエチレンを分解する装置を輸出用コンテナに取り付け、輸出時の青果物の鮮度劣化を抑えた。電界印加により、清酒発酵過程で麹菌や酵母の活性、たんぱく質の立体構造、酵素活性などを変化でき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

本研究は、バイオメカニズム解明(生物・農学・理学)など、科学的及び応用的探究に基づく包括的な研究であり、このような取り組みは、世界にも例を見ない。本研究成果は、植物バイオ(アグリ)エレクトロニクスの融合分野の科学の深化や、農工融合学術領域の創生にもつながり、国際的な先導拠点として、世界に新しい視点でのパーマカルチャー(持続可能農業)としての情報発信へとつながった。加えて、パルスパワー技術の新たな応用分野としての開拓へもつながり、学術面からも、社会実装の観点からも、意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Pulse electric field and discharge plasma by pulsed power are used to improve yielding and freshness of agricultural products through promotion of seed germination, growth enhancement and enzyme activity control. For pre-harvest phase, the seed germination and plant growth are promoted by the plasma irradiation through the epigenetics process including gene expressions related to the germination and the growth. The plant growth is also enhanced through the inactivation of pathologic bacteria such as *Ralstonia solanacearum* and the decomposition of allelopathy chemicals with the pulsed power discharges. For post-harvest phase, the freshness keeping period is enlarged by decomposition of plant hormone such as ethylene in the exportation container. The pulse electric field is also effective for protein conformational change. The enzyme activity such as alpha-amylase is changed through the protein conformational change.

研究分野：高電圧パルスパワー工学

キーワード：パルスパワー プラズマ 静電気 生長促進 鮮度保持 酵素活性制御 ストレス

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景 高電圧は、農業では品種改良や農薬の静電散布などに用いられてきた。近年では、植物の発芽制御、生長促進、成長阻害菌の不活性化、担子菌での子実体形成促進、培地の殺菌、生鮮食品の鮮度保持の研究が進められ、実験ベースの多くの成果や、活発な製品開発が行われている。現在、農工融合領域での多くの研究成果は報告されているが、その大半は、実験事実に基づく報告や、装置開発に関するもので、電場やプラズマが植物の生体面に及ぼす効果について、明確な説明が可能なモデルは構築できていない。学術深化には、電場やプラズマが植物の生体面に与える効果を明確に説明できるモデルの構築が欠かせない。

2. 研究の目的 本研究の目的は、高電圧パルスパワー技術およびプラズマを用いた青果物の収量改善および鮮度保持技術の開発及びその学理深化、それらを通じた農工融合学術領域の確立になる。農業・生物分野では、ストレス応答の解析に、PCRを用いた分泌タンパク質や発現遺伝子の同定、ウェスタンブロットング法による活性酵素の同定、SDS-PAGE法によるタンパク質変移の把握、紫外線吸光による膜タンパク二次構造変化の同定などを用いる。これを本研究に導入することで、電場およびプラズマに対するストレスレスポンスなどメカニズムの解明につながり、農工融合分野の学理深化、学術領域の確立に近づくことが期待される。

3. 研究の方法 上記の背景および目的を踏まえ、以下の3つのテーマについて研究を進めた。テーマ1; 農水食分野の応用に最適なコンパクトで制御容易なパルスパワー電源の開発では、コンパクトな磁気圧縮型(MPC)パルス電源を開発し、FPGAを用いて波形、周波数、電圧値の高速な任意制御を可能とするシステムを実現する。テーマ2; 高電圧・プラズマによる植物の種子発芽促進および生長促進科学の深化では、植物種子にプラズマ照射や電圧印加を行い、チオール量やレドックス変移と、その後の遺伝子発現の計測を中心に、発芽促進機構の解明を行う。テーマ3; 高電圧・プラズマによる青果物・魚介類鮮度保持科学の深化では、パルス電界による液状食品の殺菌効果の検証(ファージ不活性化、芽胞不活性化)、青果物保管庫内の静電気の静菌・殺菌効果、エチレンなど熟成促進ガスの分解を中心に、青果物鮮度保持機構の解明を進める。最後に、得られた知見を統合し、書籍にまとめ、農工融合学術領域の確立の後押しとする。

4. 研究成果

【パルスパワー電源の開発】前述の背景および目的を踏まえ、農水食分野の応用に最適なコンパクトで制御容易なパルスパワー電源の開発を行った。高速・高出力特性をもつパルス発生装置の開発を目的として、3.3kV級高耐圧SiC-MOSFETの評価を行った。本素子は、伝達特性の評価から、高速なピンチオンと200°Cの高温下でも動作する。また、165Aのパルス電流の導通が可能であることがわかった。立ち上がり時間および立ち下がり時間はそれぞれ31ns、22nsであり、温度の上昇とともにスイッチング時間は減少することがわかった。また、オン抵抗値は室温で約80mΩであることがわかった。そこで、本素子を用いてIES型パルス発生装置(図1)を開発し、その特性を評価した。各部の電流・電圧波形(図2)を測定し、出力電圧の最大値は9.8kVが得られることを確認した。電圧のパルス半値幅は、一次側巻き線トランスの電圧は30nsであるのに対し、出力電圧は76nsであった。負荷抵抗による(a)消費エネルギー、(b)エネルギー転送効率の変化を、1次側で消費されたエネルギー u_1 および、出力側の負荷で消費されたエネルギー u_0 にて評価した。また、出力パルスの消費エネルギーとして扱うのはMOSFETのターン・オフ後であるため、充電期間中の消費エネルギー $u_{O(ON)}$ と、パルス発生による消費エネルギー $u_{O(OFF)}$ に分けて評価した。その結果、負荷抵抗が0.125kΩのとき u_1 は38.0mJで最大となる。また、 $u_{O(ON)}$ は0.25kΩのとき9.59mJ、 $u_{O(OFF)}$ は1kΩのとき9.77mJで最大となった。それぞれの u_1 に対するエネルギーの総転送効率は負荷抵抗が0.5kΩのとき最大となり49.6%であり、高効率な電源を開発することができた。本装置で得られた電圧やパルス幅は、従来のSIサイリスタ等の半導体素子を用いたIES型パルス発生装置と比較し、ほぼ同等の結果が得られた。本装置では主な半導体回路素子は単一のMOSFETのみで動作が可能であり、回路構成を単純化し、電圧電源を低電圧化、小型・軽量化などが実現できること利点である。このことから、各プラズマ応用に関して取り扱いが極めて容易なパルス電源を実現できた。

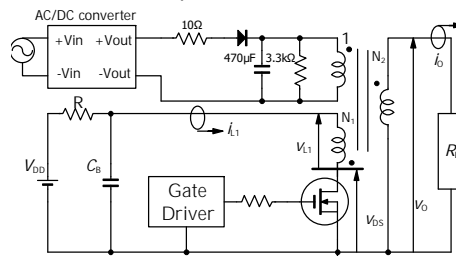


図1 開発したパルス電源の回路図

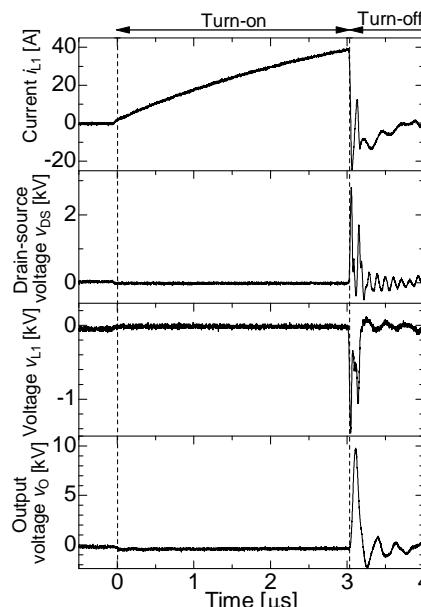


図2 各部位の電圧波形

【植物の種子発芽促進および生長促進】前述の背景および目的を踏まえ、高電圧・プラズマによる植物の種子発芽促進および生長促進の機序解明を試みた。高電圧が植物の成長促進へ与える影響として、水耕栽培リーフレタスへパルス電界を印加したときに光合成へ与える影響を調査した。出力電圧パルス幅 400 ns のパルス電圧を周波数 1pps にてリーフレタスの葉部へ 500 回印加した。印加電界強度を変化させた場合、植物の葉緑体内にあるチラコイド膜上の光化学系IIから光化学系Iへの電子伝達速度 (ETR) について、Control に対して、0.2 kV/cm 処理では最大で約 35% の ETR 増加がみられ、一方、1.0 kV/cm 処理サンプルは有意な変化は確認できなかった (図3)。ETR 増加の結果として、葉緑体内における ATP や NADPH 生成の活性化が示唆されるため、ATP や NADPH を利用するカルビン回路の速度を反映する炭素固定速度 (A) を測定した (図4)。励起光強度 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ において、0.2 kV/cm 処理では A に有意な増加を確認できた (* $p < 0.05$, 平均 \pm SE)。ETR の増加は、ストロマ反応におけるカルビン回路に必要な ATP や NADPH の生成活性化を示唆する。カルビン回路では、ATP や NADPH を用いて植物の栄養となる糖生成が行われることから、A の増加は、カルビン回路が活性化した可能性が考えられる。したがって、パルス電界処理により、光合成の活性化を引き起こし、糖の生成を盛んにする可能性が示唆された。

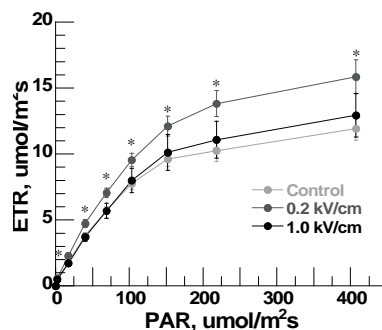


図3 励起光強度 PAR-ETR 特性

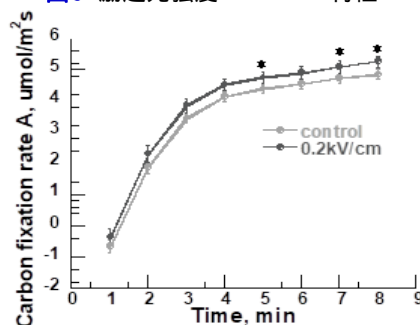


図4 励起光強度 PAR-ETR 特性

図5に酸素プラズマを照射した種子から発芽した植物の成長速度を示す。発芽から 80 時間後でも成長速度は未処理のものよりも大きくプラズマ照射による成長促進が持続することが分かる。プラズマが照射された種子の細胞から細胞分裂を経て、成長促進の情報が継代していることが分かった。図6に遺伝子解析用モデル植物であるシロイヌナズナの種子にプラズマを 3 分間照射し、その種子から育成した成長促進の様子を示す。未照射の葉に対して、面積が最大で 2 倍程度に増大した。

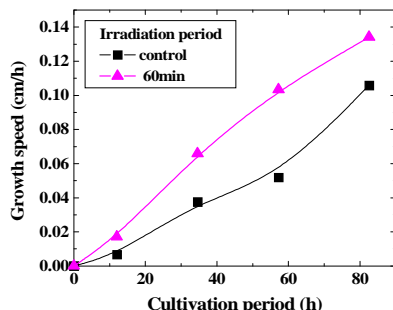


図5 酸素プラズマを照射した種子から発芽した幼芽の成長速度

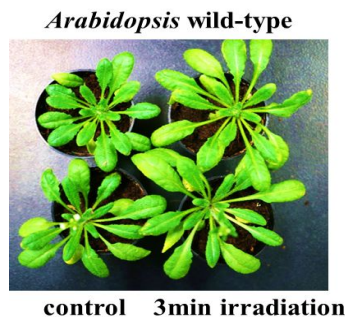


図6 プラズマによるシロイヌナズナの成長促進(右)

以上の酸素プラズマ照射により誘導される現象のメカニズムを明らかにするために、マイクロアレイを用いた植物種子の遺伝子発現解析を行った。酸素プラズマの照射により、光合成、成長、ホルモン応答、ストレス応答に関係した遺伝子の発現が変動することが示された。図7にチラコイド表面での反応パスウェイを示す。酸素プラズマによりプロトンポンプの機能が向上する可能性がある。プロトンポンプの活性化は ATP 合成や他の細胞内の反応等に必要なエネルギー産生につながる。酸素プラズマ照射により TCA 回路におけるいくつかの反応を触媒する酵素をコードする遺伝子の転写が活性化されると考えられる。その他にも、解糖系や細胞周期における反応が加速させるように遺伝子が発現することが分かった。得られた遺伝子の発現変動により、プラズマ照射から成長促進へ至る推定される反応ルートが初めて推定された。

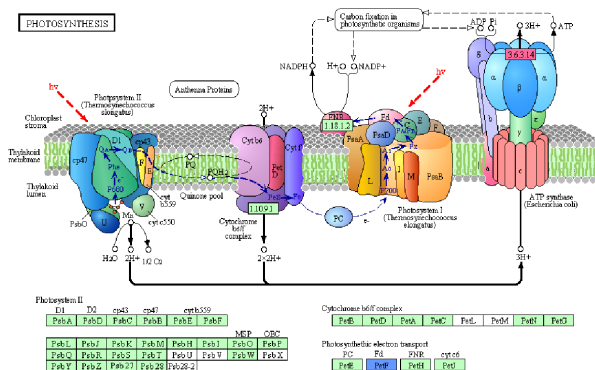


図7 チラコイド表面プロトンポンプ活性化

プラズマ照射によるエピジェネティクスの発現を定量的に示すために、DNA メチル化に関係する遺伝子の発現量およびメチル化した DNA の量を測定した。DNA メチル化とヒストン形成に関係する遺伝子の変動を図8に示す。ヒストン形成に関する遺伝子の発現が減少していることから、酸素プラズマ照射により DNA メチル化がより生じやすい状態になることが分かる。同時に DNA メチ

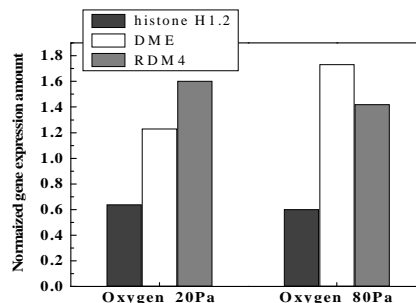


図8 DNA メチル化とヒストン修飾に関する遺伝子の変動

同時に DNA メチル化がより生じやすい状態になることが分かる。同時に DNA メチル化がより生じやすい状態になることが分かる。同時に DNA メチル化がより生じやすい状態になることが分かる。

ル化に関する遺伝子の発現量が増加している。圧力の増加とともに、DNA のメチル化量が増加しており、酸素プラズマによるエピジェネティクスの誘導が示唆された。

【青果物・魚介類鮮度保持】

前述の背景および目的を踏まえ、高電圧・プラズマによる青果物・魚介類鮮度保持科学の深化を試みた。青果物・魚介類の腐敗は様々な微生物が関与するが、一般には低温（例えば冷蔵庫4℃）で抑制できると考えられてきた。事実、常温で大多数を占める中温菌（最適増殖温度30-37℃）のほとんどは4℃では増殖できない。しかし我々は主に市販の豆腐（冷蔵流通）を詳細に検討したところ、4℃で増殖するバクテリア2種（*Pantoea* 属および *Exiguobacterium* 属）を単離した。*Pantoea* 属はグラム陰性の桿菌であり、植物病原体や腐敗の原因にもなりうる菌である。また、食物繊維を減らしてしまう作用もあるといわれている。*Exiguobacterium* 属はグラム陽性の桿菌であり、高 pH、高塩濃度、高圧、低温等、様々な極限環境に対応できるという特徴があり、食品衛生の観点においては非常にやっかいな菌体といえる。どちらの菌体も増殖速度が30 近辺で最大となるが、4 でも世代時間がおよそ12 時間程度で増殖することが確認された。これらのバクテリアを様々な殺菌方法で殺菌特性を比較検討した。この結果を表1 に示す。これらのバクテリアは大腸菌と比べて、次亜塩素酸および高電圧パルスに対し高い感受性を示すことが実験的に明らかとなった。高電圧パルス殺菌法は高電圧技術を用いた非加熱殺菌法として注目されているが、詳細なメカニズムは不明であり、種々のバクテリアの感受性の説明も不十分であるため、実用化に至っていない。今回同定した2 種の低温（4 ）増殖可能なバクテリアは高電圧パルスに極めて高い感受性を示す。これをさらに詳細に検証すれば高電圧パルス殺菌法のメカニズムの解明および実用化の促進に有効であると考えている。

青果物を含む植物体は元来多くのバクテリアを伴っているが、ほとんどは表皮に存在している。また一般に青果物の表皮は電氣的にみると絶縁体とみなせるため、水中の存在する青果物に電界を印加した場合、表面近傍に電界集中領域が現れると考えられる。この電界集中領域を利用すれば青果物の洗浄過程で効率的に高電圧パルス殺菌法を適用できるのではないかと考え、評価を行っている。この現象を実験的に検証するため、ナイロン球（絶縁体）の表面を、バクテリアを含むアルギン酸カルシウムゲルで覆ったモデルを確立した。このモデル系で電界集中領域でのパルス殺菌の効率化を実証している。またバクテリアの一部は芽胞と呼ばれる極めて熱的・化学的に耐性のある状態になる。これらの芽胞は種子など乾燥状態で保蔵流通する農産物では極めて厄介な存在である。我々はこれらの芽胞の放電プラズマによる殺菌方法を検討している。図9 に放電プラズマを広範囲に発生させることができる誘電体バリア放電（DBD）を示す。種子に対しDBD を最適に暴露することでカビに加え、芽胞菌も殺菌できることを実証し、現在実際の種子への適用を図っている。

クエン酸は食品添加物をはじめ様々な工業的に使用されている。クエン酸のほとんどはカビの一種である *Aspergillus niger* を用いた発酵法で生産されている。我々は *A. niger* の発芽期に1 分の高電圧パルス刺激を与えると増殖が促進されることを見出している（図10）。この理由は発芽した菌糸が分岐し、増殖が盛んになると考えている。この現象を利用し、クエン酸発酵期間を大幅に短縮することが可能であることを流加培養法で確認している。

表1 *Pantoea* 属, *Exiguobacterium* 属および大腸菌の様々な方法による殺菌

| | <i>Pantoea</i> 属 | <i>Exiguobacterium</i> 属 | 大腸菌 |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 次亜塩素酸殺菌 | 4 ppm, 3 min以上で殺菌効果あり | 4 ppm以上で殺菌効果あり | 10 ppm, 3 min以上で殺菌効果あり |
| 水酸化ナトリウム殺菌 | 殺菌効果なし | 殺菌効果なし | 殺菌効果なし |
| 酢酸殺菌 | 殺菌効果なし | 0.5 min以上で殺菌効果あり | 殺菌効果なし |
| クエン酸殺菌 | 殺菌効果なし | 0.5 min以上で殺菌効果あり | 殺菌効果なし |
| 高電圧パルス殺菌 | 60 secで4桁の殺菌効果あり | 60 secで5桁の殺菌効果あり | 殺菌効果なし |
| 熱殺菌 | 50 で10 min以上、または 55 以上の処理で殺菌効果あり | 50 で15 min以上、または 55 以上の処理で殺菌効果あり | 55 で15 min以上、または 60 以上の処理で殺菌効果あり |
| オゾン水殺菌 | 1 ppm以上で殺菌効果あり | いずれの濃度でも殺菌効果なし | 1 ppm以上で殺菌効果あり |
| UV殺菌 | 2 minで殺菌効果あり | 殺菌効果なし | 2 minで殺菌効果あり |

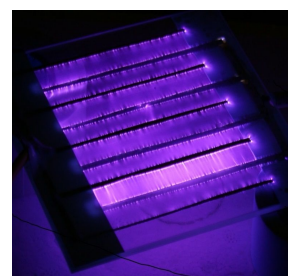
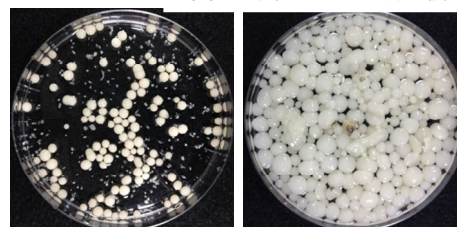


図9 平板型 DBD 装置例



高電圧パルス印加無し 高電圧パルス印加有り
図10 *A. niger* への PEF 印加の影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 33 件：すべて査読あり) # 以下は代表的なもの

- (1) D. Wang and T. Namihira, "Application for Marine Industries Using Pulsed Power Technology", International Journal of Plasma Environmental Science & Technology, **12**, 49-54, 2019.
- (2) Tanino, T., Arisaka, T., Iguchi, Y., Matsui, M., Ohshima, T., Inactivation of *Aspergillus* sp. spores on whole black peppers by nonthermal plasma and quality evaluation of the treated peppers, Food

- Control, **97**, 95-99, 2019. (DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.10.023)
- (3) S. Kodama, S. Matsumoto, D. Wang, T. Namihira, and H. Akiyama, “Persistent Organic Pollutants Treatment in Wastewater Using Nanosecond Pulsed Non-Thermal Plasma”, International Journal of Plasma Environmental Science & Technology, **11**, 138-143, 2018.
 - (4) K. Takahashi, K. Miyamoto, K. Takaki and K. Takahashi: “Development of Compact High-Voltage Power Supply for Stimulation to Promote Fruiting Body Formation in Mushroom Cultivation”, Materials, **11**, 2471, 2018. (DOI: 10.3390/ma11122471)
 - (5) 谷野孝徳, 岡本憲幸, 岸和範, 松井雅義, 大嶋孝之, 「高電圧パルス電界処理による黒麹 *Aspergillus niger* の増殖とクエン酸発酵の増進」静電気学会誌, **42**, 84-89 2018.
 - (6) K. Takahashi, T. Motodate, K. Takaki and S. Koide: “Influence of Oxygen Concentration on Ethylene Removal Using Dielectric Barrier Discharge”, J. Jpn Appl. Phys., **57**, 01AG04-6p, 2017 (DOI: 10.7567/JJAP.57.01AG04)
 - (7) T. Okumura, K. Yamada, T. Yaegashi, K. Takahashi, B. Syuto and K. Takaki: “External AC electric field-induced conformational change in bovine serum albumin”, IEEE Transactions on Plasma Science, **45**, 489-494, 2017. (DOI: 10.7567/JJAP.57.01AG04)
 - (8) 林 信哉, 柳生義人: 「高電圧・プラズマによる農業応用の基礎」, 電学誌 **136**, 798-801, 2017. (DOI: 10.1541/ieejjournal.136.798)
 - (9) Ohshima T., Tanino T., Kameda T., Harashima H. , Engineering of operation condition in milk pasteurization with PEF treatment, Food Control, **68**, 297-302, 2016. (DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.03.047)
 - (10) N. Hayashi, R. Ono, M. Shiratani and A. Yonesu: “Antioxidative activity of plant and regulation of Brassicaceae induced by oxygen radical irradiation”, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 06GD01-1-5, 2015. (DOI: 10.7567/JJAP.54.06GD01)
 - (11) N. Hayashi, R. Ono and S. Uchida: “Growth Enhancement of Plant by Plasma and UV Light Irradiation to Seeds”, J. Photopolym. Sci. Technol. **28**, 445-448, 2015. (DOI: 10.2494/photopolymer.28.445)
 - (12) K. Koga, S. Thapanut, T. Amano, H. Seo, N. Itagaki, N. Hayashi and M. Shiratani: “Simple method of improving harvest by nonthermal air plasma irradiation of seeds of *Arabidopsis thaliana* (L.)”, Appl. Phys. Exp. **9**, 016201-1-3, 2015. (DOI: 10.7567/APEX.9.016201)

〔学会発表〕(計 88 件) # 以下は代表的なもの

- (1) D. Wang, T. Namihira, “BIOLOGICAL APPLICATIONS USING PULSED ELECTRIC FIELD AND PLASMAS”, 22nd Symposium on Applications of Plasma Processes (SAPP XXII), pp. 21-22, Hotel Sorea TRIGAN, Štrbské Pleso, Slovakia, 2019.1.18-24.
- (2) 高木浩一, 高橋克幸: 「かみなりとキノコの不思議な関係; 高電圧プラズマの農水食分野での利用とその国際共働」, 2018 年日本表面真空学会学術講演会, 3Cp10 (2018.11.21 兵庫)
- (3) Ohshima T., (INVITED) “Application of high-voltage pulse on food industry”, The 3rd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano (Fine) Bubbles to Agriculture and Aquaculture, (3rd ISHPMNB 2018), Iwate university, Japan (2018.5.9-12)
- (4) N. Hayashi, R. Ono, A. Yonesu, K. Tashiro, R. Aijima: “Growth enhancement and gene expression of plants induced by oxygen plasma irradiation”, The 26th International Toki Conference (ITC-26) & The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (APFA-11), 2017 年 12 月 6 日, Ceratopia Toki
- (5) 林 信哉, 小野大帝, 田代康介, 合島怜央奈: 「プラズマ中の活性種が誘導する植物の発芽・成長促進」, 第 78 回応用物理学学会秋季学術講演会, 2017 年 9 月 6 日, 福岡国際会議場・福岡国際センター
- (6) N. Hayashi, R. Nakano, R. Ono, K. Tashiro, S. Kuhara, R. Aijima: “Modification of gene expression of plants induced by active oxygen species in oxygen plasma”, IUMRS-ICAM2017, 2017 年 9 月 1 日, 京都大学
- (7) 大嶋孝之, 谷野孝徳, 廣澤充 「高電圧パルス電界殺菌における炭素電極の利用」日本食品工学会第 17 回 (2016 年度) 年次大会 2D08 (2016 年 8 月 4-5 日, 東京海洋大学)

〔図書〕(計 7 件)

- (1) Koichi Takaki, Katsuyuki Takahashi and Yuichi Sakamoto (Mohamed A. El-Esawi 監修), Intech Open Limited, 「Plant and Mushroom Development (Chap. 7 High-Voltage Methods for Mushroom Fruit-Body Developments)」2018.9.26., pp. 95-113 (19 pages)
- (2) Koichi Takaki et al, AVID SCIENCE, 「Top 10 Contributions on Microbiology (Chapter 07; Effect of Electrical Stimulation on Fruit Body Formation in Cultivating Mushrooms)」2018, 27 Pages.
- (3) 高木浩一, 高橋徹, 濱田英介 (編著): 「工業技術者のための農学概論」, 理工図書, 全 336 ページ (1 章執筆, pp.1-26 : 26pages), 2018.4.18.
- (4) 高木浩一, 金澤誠司 (編著), 高橋克幸他 (執筆): 「高電圧パルスパワー工学」, 理工図書, 全 280 ページ (1・2・3・6 章執筆, pp.1-90,131-158 : 118pages), 2018.3.10.
- (5) 大嶋孝之 他 (五十部誠一郎監修), S&T 出版, 「高付加価値化・生産性向上のための最先

端食品加工技術」(pp. 72-83) 2017.10.6.

- (6) 佐藤岳彦, 大橋俊朗, 川野聡恭, 白樫了 (監修), 高木浩一他 6 8 名 (執筆): 「高度物理刺激と生体応答」, 養老堂, 全 197 ページ (第 3 章 電気刺激, 3.2.3 電場による膜タンパク変化と水産物鮮度保持への利用, pp.92-95 : 4pages), 2017.8.26.
- (7) 大久保雅章 (監修), 高木浩一他 4 3 名 (執筆): 「プラズマ産業応用技術 - 表面処理から環境, 医療, バイオ, 農業応用まで - 」, シーエムシー出版, 全 321 ページ (第 4 章 医療・バイオ・農業への応用; 第 4 節 高電圧・プラズマ技術の農業・水産分野への応用, pp.273-283 : 11 pages), 2017.7.28.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 3 件)

名称: プラズマ殺菌装置

発明者: 林 信哉

権利者: 九州大学

種類: 特許出願

番号: 特願 2015-223431

出願年: 2015 年

国内外の別: 国内

名称: プラנקトン駆除方法及びプラנקトン駆除装置

発明者: 王斗艶, 浪平隆男

権利者: 国立大学法人 熊本大学

種類: 特許

番号: 特願 2018-137818

出願年: 2018

国内外の別: 国内

名称: 寄生虫殺虫方法及び寄生虫殺虫装置

発明者: 浪平隆男, 王斗艶, 松田樹也, 井上陽一

権利者: 国立大学法人 熊本大学

種類: 特許

番号: 特願 2018-137821

出願年: 2018

国内外の別: 国内

取得状況 (計 3 件)

名称: プラズマ生成装置

発明者: 三沢 達也, 林 信哉

権利者: 佐賀大学

種類: 特許査定

番号: 特許第 6083093 号

取得年: 2017 年

国内外の別: 国内

名称: 動植物成長促進方法

発明者: 林 信哉

権利者: 九州大学

種類: 特許査定

番号: 特許第 6218340 号

取得年: 2017 年

国内外の別: 国内

名称: プラズマ殺菌装置

発明者: 柳生 義人, 林 信哉

権利者: 国立高等専門学校機構, 九州大学

種類: 特許査定

番号: 特許第 6270032 号

取得年: 2017 年

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 林 信哉

ローマ字氏名: Hayashi Nobuya

所属研究機関名: 九州大学

部局名: 理工学研究科

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 40295019

研究分担者氏名: 王 斗艶

ローマ字氏名: Wang Douyan

所属研究機関名: 熊本大学

部局名: 学内共同利用施設等

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 30508651

研究分担者氏名: 大嶋 孝之

ローマ字氏名: Ohshima Takayuki

所属研究機関名: 群馬大学

部局名: 大学院理工学部

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 30251119

研究分担者氏名: 秋山 雅裕

ローマ字氏名: Akiyama Masahiroi

所属研究機関名: 岩手大学

部局名: 理工学部

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 50611430

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 小出 章二

ローマ字氏名: Koide Syoji

研究協力者氏名: 高橋 克幸

ローマ字氏名: Takahashi Katsuyuki