

令和 3 年 5 月 10 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04082

研究課題名(和文)パルス電界と植物の刺激応答メカニズムの解明(光合成と植物ホルモンに着目して)

研究課題名(英文) Stimulus Response Mechanism on Plants Using Pulsed Electric Fields (Focusing on photosynthesis and phytohormone)

研究代表者

王 斗艶 (Wang, Douyan)

熊本大学・産業ナノマテリアル研究所・准教授

研究者番号：30508651

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)：本研究は、電気刺激が植物光合成に与えるストレス応答について調べたものである。パルス幅 $1\mu\text{s}$ 固定、電界強度 $0.1\sim 1.0\text{kV}/\text{cm}$ 、繰返し周波数 $1\sim 1000\text{pps}$ のパルス電界を、リーフレタスの葉部へ印加すると、その電界強度と繰返し周波数の組合せにより、光合成活性または不活性化を引き起こすことができる。また、その際のリーフレタスに対する光順応照度は、光合成活性の結果に影響を与える。暗順応に対しては、明順応よりも繰返し強い刺激を与えることで光合成パラメータを活性化でき、明順応では、比較的繰返し弱い刺激で活性化できる。また、通常栽培照度の半値程度で光順応させた場合、光合成活性化傾向が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、パルス電界の印加パラメータを制御することで、光合成のチラコイド反応における電子伝達速度ETR、非光化学消光NPQ、ストロマ反応における蒸散速度E、炭素固定速度Aに影響を与えることを明らかにし、さらに、その効果はパルス電界印加前の植物の光順応照度にも依存することを見出した。これらの学術的新規性に加え、得られた研究成果より、パルス電界をリーフレタスへ印加することでその光合成の活性あるいは不活性を制御できる可能性が示唆され、例えば人工光を用いた植物工場では、ランニングコストの大部分を占める栽培時の光照度を下げることで省エネが期待でき、社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the stress response of electrical stimulation on plant photosynthesis. Pulsed electric fields of fixed pulse width of $1\mu\text{s}$, electric field strength of $0.1\sim 1.0\text{kV}/\text{cm}$, and repetition rate of $1\sim 1000\text{pps}$ applied to leaf lettuce leaves can induce photosynthetic activity or inactivation depending on the combination of the applied electric field parameters. The light acclimation irradiance to the leaf lettuce also affects the result of photosynthetic activity. For dark acclimation, the photosynthetic parameters can be activated by repeated and stronger stimulation than for light acclimation, while for light acclimation, they can be activated by relatively repeated and weaker stimulation. The tendency of photosynthetic activation was also confirmed when light acclimation was performed at about half of the normal cultivation irradiance.

研究分野：パルスパワー

キーワード：パルス電界 植物バイオエレクトロクス 植物光合成 リーフレタス

1. 研究開始当初の背景

超高圧や超高温、非熱平衡状などの極限状態を瞬間的に発生可能なパルスパワーは、大電力や高エネルギー密度、短い立ち上がり時間などの特徴を有する。パルスパワーは、これまでに核融合や加速器などの科学研究の基盤技術として発展してきたが、近年、産業利用に関する様々な研究が盛んにおこなわれている。その応用は多岐にわたり、パルスパワーにより、排ガス処理や殺菌、汚染水の浄化などを実現可能であることがわかってきた。新しい科学や産業技術につながる可能性から、現在ではパルスパワーを生体へ作用させる分野に注目が集まり、その分野は“バイオエレクトロクス”と呼ばれる。この分野では、がん治療や創傷治療、遺伝子・タンパク質導入など、これまでに薬剤リスクや人体への負担などの問題を抱えていた医療分野への応用を目指す研究が主におこなわれている。それに加え、植物に対するパルスパワー応用も期待され、植物種の発芽促進や休眠打破効果、生長制御を目指した研究がごく近年より、実施されている。その多くは、植物を取り巻く環境を制御することにより、間接的な効果として植物の生育を改善する内容である。一方、我々は、先行研究において植物体そのものを刺激することにより直接的な生育促進効果を来し、栽培サイクル短縮を実現した。先行実験では、養液中にあるリーフレタスの根に電気エネルギーを印加した結果、パルス電界強度 1.0kV/cm 以下ではレタスの生育促進効果、1.5kV/cm 以上では生育阻害効果を、根部と葉部の両方に同時に得られた。すなわち、パルス電界が植物本体(根)を刺激することにより、レタス全体の生育に影響を与えた。

しかしながら、電気導電率が高い養液中でパルス電界を損失なく植物へ印加することは、特性インピーダンスの低いパルス電源(上記では 10Ω)を設計・製作する必要があり、容易ではない。そこで、養液を介さない、空気中の植物本体に対するパルス電界印加を行い、その結果引き起こされるストレス応答メカニズム解明に注目した。

2. 研究の目的

クロロフィル蛍光計測技術は、植物の光合成を詳細に調べるために広く用いられている。光合成が主に行われるクロロフィルが光エネルギーを受けた際に放出する蛍光を計測することで、光合成反応系の状態を評価可能な手法であり、植物生態学分野では多くの研究者から信頼性を集めている。また、植物体の中で生産され、微量ながらも生長に何らかの影響を及ぼす物質として、植物ホルモンがある。主な植物ホルモンには、オーキシン、サイトカイニン、ジベレリンやアブシジン酸などがあり、各々異なる機能をつかさどる。これらの物質について、パルス電界刺激前後の変化量を調べることにより、ストレス応答のメカニズムを推測することが可能と考える(図1参照)。

したがって、工学系研究者でも比較的容易に直接観測できる方法として、植物のクロロフィル蛍光測定に基づく植物光合成の測定やHPLC分析による植物ホルモンの変化を調査することで、パルス電界と植物の刺激応答メカニズムを解明し、光照度強度が低い環境での植物栽培の実現、特定植物ホルモンの制御による局所の選択的生長促進あるいは有害植物の駆除などを目的とした。

ここで、本研究において、レタスより抽出した植物ホルモンをHPLCで測定するために、エバポレーターを用いてリーフレタスから植物ホルモンを抽出し、各種標準試薬を用いたHPLC検量線と比較した基礎実験を行った結果、さまざまな工夫を施すにも、パルス電界印加前後の変化量を検出することができなかつたため、HPLCによる植物ホルモンの直接的評価を中断したことを申し添えておく。調査を重ねたところ、同じ植物ホルモンでもその種の分類により同一ではないことと、標準試薬を用いた検出は非常に困難であることが判明し、さらに、微量な変化を測定するには相当な技術を要することから、本研究では、光合成測定結果から植物ホルモンの関連機序を考察することとした。

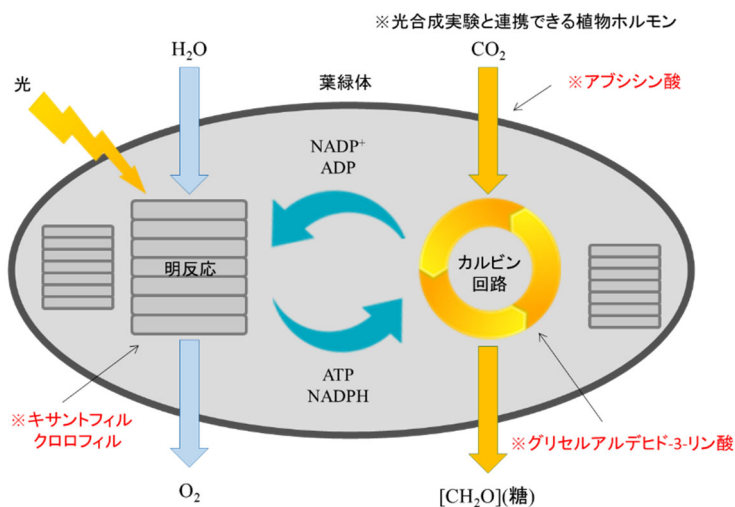


図1 光合成の概観(明反応とカルビン回路の協働)

3. 研究の方法

本研究では、リーフレタス (*Lectuca Sativa* L.) の一種であるフリルアイス (Frillice, Snow Brand Seed Co., Ltd., Japan) を対象とし、その葉部へパルス電界 (PEF) を印加した (図2 参照)。PEF の発生には、SI サイリスタを開放スイッチに用いた誘導性エネルギー貯蓄方式を採用している誘導性エネルギー蓄積方式パルスパワー電源 (IES 電源、自作) を用いた。出力パルス幅は $1 \mu\text{s}$ 固定、繰り返し周波数は 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 kpps と変化させた。また、レタス葉部への PEF 印加を行うために、ステンレス製の平板対平板電極を用い、電極間隔を 150 mm に固定した。IES 電源の出力電圧値を変化させることで、電極間へ印加されるパルス電界強度を $0.1 \sim 1.0 \text{ kV/cm}$ と調整した (図3 参照)。

一方、リーフレタスは播種・発芽後に水耕栽培し、葉部が一定の大きさになる 20 日歳前後まで栽培し、パルス電界印加前に 1 時間以上の明順応または暗順応処理を施した。これは、植物工場において通常栽培時には明期 ($150 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$) と暗期 ($0 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$) が存在し、それぞれの状態に対する電気刺激応答特性を調査するためである。

パルス電界印加を行ったレタスの葉部を、植物光合成総合解析システム (LI6800, LICOR Ltd., USA) の測定チャンバーに挟み込むことで、光合成におけるチラコイド反応 (明反応) 内の電子伝達速度 (ETR) と熱放散 (NPQ) を、ストロマ反応 (カルビン回路) 内の炭素固定速度 (A) と蒸散速度 (E) を測定した。

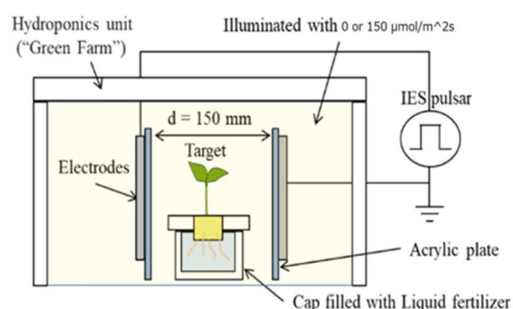


図2 リーフレタスへのパルス電界印加時の概略

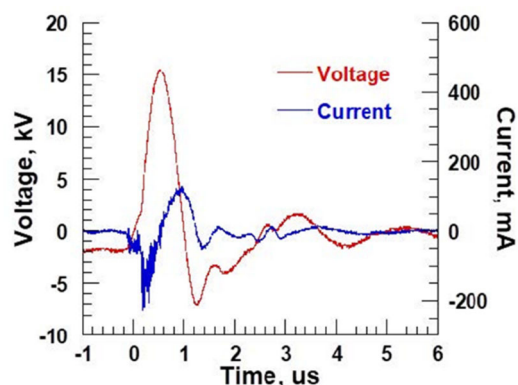


図3 パルス電界強度1.0kV/cm 時の出力電圧・電流波形

4. 研究成果

研究成果を説明するにあたり、まずは光合成に関して述べておく。光合成は、大きく分けて 2 つの過程からなり、それぞれチラコイド反応 (明反応) とストロマ反応 (カルビン回路) である。チラコイド反応は、光エネルギーを ATP と NADPH の化学エネルギーに変換し、 H_2O を分解して発生する O_2 を大気中に放出する過程である。ここで生成される ATP と NADPH は、ストロマ反応におけるカルビン回路で糖生成のために利用される。カルビン回路は大きく 3 段階に分別することができ、第 1 段階は CO_2 分子を取り込む炭素固定、第 2 段階は還元、第 3 段階は CO_2 受容体の再生である。また、カルビン回路で生成された ADP、無機リン酸、 NADP^+ をチラコイド反応に戻し、光合成活動は循環する。したがって、光合成はチラコイド反応とストロマ反応の協働である。

一連の光合成反応は、光合成色素が光エネルギーを吸収することから始まり、光エネルギーを吸収し、励起されたクロロフィル分子はそのエネルギーを「光化学反応：NADPH や ATP 合成用の電子を伝達する」、「熱放散：光化学反応に用いられなかったエネルギーを熱として放出する」、「クロロフィル蛍光：光化学反応に用いられなかったエネルギーを蛍光として放出する」の 3 つに利用する。この 3 つの反応には競合関係があり、クロロフィル蛍光を計測することにより、光化学反応や熱放散の情報を得ることが可能である。

(1) 光順応状態による光合成のパルス電界強度・周波数依存性

光順応状態を「明順応」と「暗順応」の両方について調査した結果、明順応処理下においては、炭素固定速度 A と電子伝達速度 ETR の有意な増加がみられ、特に電界強度 0.1 kV/cm 、繰り返し周波数 1 pps で光合成パラメータが活性化され、生長促進の可能性が示唆された。また、電界強度 1.0 kV/cm 、繰り返し周波数 1 kpps では非光化学消光 NPQ の有意な増加を確認したことから、生長阻害の可能性が示唆された。一方、暗順応処理下においては、電子伝達速度 ETR の有意な増加と非光化学消光 NPQ の有意な減少から、電界強度 0.1 kV/cm 、繰り返し周波数 1 kpps で光合成パラメータが活性化され、生長促進の可能性が示唆された。また電界強度 1 kV/cm 、繰り返し周波数 1 kpps では電子伝達速度 ETR の有意な減少と非光化学消光 NPQ の有意な増加を確認したことから生長阻害の可能性が示唆された (図4 参照)。

これらの結果より、暗順応に対しては明順応よりも繰り返し強い刺激を与えることで光合成パラメータを活性化できる可能性が考えられ、明順応では比較的繰り返し弱い刺激で光合成パラメータを活性化できる可能性が考えられる。暗順応では光合成はほとんど行われておらず呼吸のみを行っている状態であるのに対して、明順応では光合成が盛んに行われている状態であ

る。葉緑体内の光化学系 PSII における初期電子受容体 (QA) は暗順応では非常に酸化された状態であり、明順応では、QA は電子を運ぶため、非常に還元された状態である。

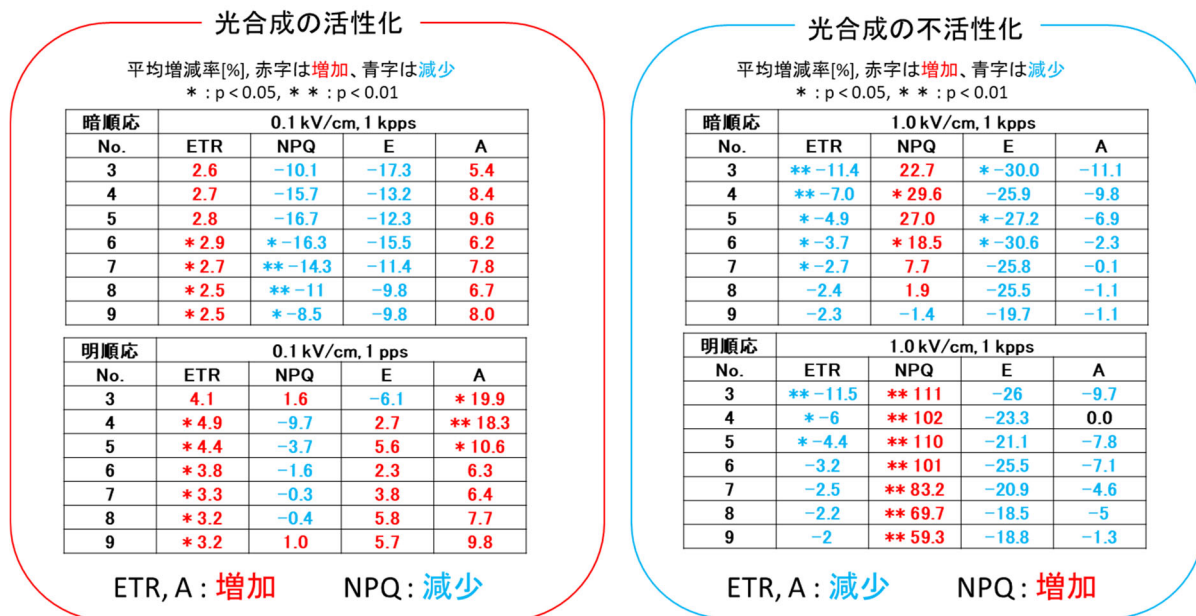


図4 明順応／暗順応それぞれにおける光合成の活性／不活性化

光合成の活性化に関する考察としては、電子伝達速度が上昇する要因として考えられるのは電子伝達系や PSII、電子伝達物質であるプラストキノン活性化させたことが考えられ、葉緑体内のチラコイド膜に存在する酸化還元物質の反応を促進する可能性が示唆される。電子は、PSII の複合体の中でチラコイド膜のルーメン側で水から抽出され、その電子が PSII から PSI へ向かって伝達される。PSII と PSI の間では、電子が中間電子受容体のプラストキノンプールの QA に伝達される。プラストキノンプールの酸化還元状態は、このプールからの電子の放出と吸収の相対的な比率により決定され、ここで、PSII の光合成の能力は、主として QA の酸化還元状態によって決定される^[1]。よって、暗順応では無処理区と比較して QA の完全酸化状態から非常に還元された状態に早く達したことが電子伝達速度の上昇要因として考えられ、光合成能力として見ると飽和値に至るまでの傾きの上昇としてとらえることができる。対して明順応では QA が非常に還元された状態であるため、電子伝達速度はほぼ飽和した状態である。それに対し、パルス電界処理区が無処理区よりも有意に上昇したことは通常の酸化還元反応を行う QA が活性化され、本来の光合成能力の効率が向上した可能性があると考えられる。また、NPQ が減少したことにより、熱放散の抑制が示唆され、照射された光エネルギーが効率よく電子伝達のエネルギーとして使用されたことが示唆された。以上より、パルス電界によって電子伝達が効率よく行われ、化学エネルギーである ATP や NADPH の生成が上昇した可能性が示唆された。

光合成の不活性化に関する考察としては、非光化学消光 NPQ について増加を確認し、E や A、ETR に関しては減少を確認している。NPQ は熱放散の増減を示唆するパラメータである。熱放散の増大に伴って蛍光の収率が減少することが示される。カルビン回路における炭素固定には上述した化学エネルギーが必要である。一方でカルビン回路へ CO₂ の供給が滞った場合には炭素固定が行えず、カルビン回路の活性が停止する。この時、PSII への光エネルギーを制御しなければ使用されない電子や化学エネルギーが生成され、カルビン回路とは異なるものに使用される。その一つとして、酸素分子が活性酸素となり葉緑体内の酵素や膜脂質にダメージを与えてしまう。これを防ぐためのシステムが熱放散である。NPQ の増減については光エネルギーが吸収され、熱放散もしくは PSII へエネルギーが伝達されるキサントフィルサイクルに要因があると考えられる。B. F. Marin らは、パルス電界がカロテノイドの総量や pH 値に影響することを報告している^[2]。キサントフィルサイクルはカロテノイド(色素)で構成されている。ピオラキサンチン、アンテラキサンチン、ゼアキサンチンの 3 つのカロテノイドが環境に応じ相互変換することで供給された光エネルギーを熱放散に分配するかどうかを決定する。キサントフィルの脱エポキシ化はチラコイドルーメンの酸化により誘導される。酸性やアルカリ性(酸化還元状態)は pH での判断になる。強光下で活性される脱エポキシ化酵素によりピオラキサンチンはアンテラキサンチン、さらにゼアキサンチンの順に還元状態へと変化する。この状態は pH 値が高く還元状態となり熱放散へ多くエネルギー分配される。それに対して、弱光下で活性されるエポキシ化酵素によりゼアキサンチンはアンテラキサンチン、さらにピオラキサンチンの順に酸化状態へと変化する。この状態は pH 値が低く酸化状態となり、PSII へのエネルギー移動に分配される。よ

って PEF がカロテノイドの pH 値に影響し、脱エポキシ化酵素の活性を促し、エネルギーが熱放散に多く分配された可能性が示唆された。また、この熱放散の上昇に伴い電子伝達へのエネルギー分配が減少した可能性も考えられ、化学エネルギー生成の減少が示唆された。これから炭素固定の減少に影響した可能性が考えられる。以上のように、パルス電界によってエネルギー伝達の効率が低下し、様々な光合成パラメータが不活性化した可能性が示唆された。

(2) 低照度時における光合成のパルス電界強度・周波数依存性

パルス電界を印加することで光合成パラメータが活性化され、生長促進につながる可能性が示唆されたことから、レタスの光順応状態を通常栽培照度 (150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) の半値程度 (75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) と設定し、この低照度状態に対するパルス電界強度・周波数依存性を検証した。その結果、0.1 kV/cm, 1 kpps で光合成活性、1.0 kV/cm, 1 kpps で光合成不活性化の傾向にあることを見出し、さらに全体的な傾向として光合成活性化を確認した。

また、光合成におけるチラコイド反応とストロマ反応に関してはそれぞれ以下の電気刺激応答特性を確認し、そのメカニズムについて考察した。

① チラコイド反応：全体的な傾向として電子伝達速度 ETR の増加、熱放散 NPQ の減少を確認した。この原因としては、ストロマ反応 (暗反応) 側に供給される化学エネルギー (ATP, NADPH) の増加が考えられる。

② ストロマ反応：全体的な傾向として蒸散速度 E の減少、炭素固定速度 A の増加を確認した。このこの原因としては、

気孔から取り入れられる CO_2 量自体は減少したが、取り入れられた CO_2 を効率的に葉緑体内部へ浸透させたことで、炭素固定速度 A が上昇した可能性が考えられる。

上記実験結果および考察より、パルス電界をリーフレタスへ印加することでその光合成の活性あるいは不活性を制御できる可能性が示唆され、例えば人口光を用いた栽培環境では、栽培時の光照度を低く設定することで省エネを測ることが可能と考えられる。

表1 低照度時(75 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)における光合成のパルス電界強度・周波数依存性 (control区に対する平均増減率 [%])

電界強度	ETR	NPQ	E	A
1 pps				
0.1 kV/cm	0.75	-18.03	-14.99	2.26
0.2 kV/cm	-1.49	-3.28	-6.50	15.52
0.5 kV/cm	-0.21	-20.58	8.60	5.96
0.8 kV/cm	1.19	-19.57	-28.59	5.64
1.0 kV/cm	0.50	-25.52	-36.82	7.45
1 kpps				
0.1 kV/cm	2.54	-14.06	-18.45	11.17
0.2 kV/cm	1.26	-17.69	4.72	5.09
0.5 kV/cm	2.00	-15.47	-9.39	5.92
0.8 kV/cm	1.31	-29.05	-33.26	4.40
1.0 kV/cm	-0.44	16.64	-30.75	3.88

<引用文献>

- [1] R. M. Schuurmans, J. M. Schuurmas, M. Better, J. C. Kromkamp, H. C. P. Matthijs, and K. J. Hellingwerf, "The Redox Potential of the Plastoquinone Pool of the Cyanobacterium *Synechocystis* Species Strain PCC 6803 Is under Strict Homeostatic Control", *Plant Physiology*. Vol.165, pp.463-475, 2014.
- [2] B. F. Marin, L. Balaguer, R. Esteban, J. M. Becerril, and J. I. G. Plazaola, "Dark induction of the photoprotective xanthophyll cycle in response to dehydration", *Journal of plant physiology*, Vol. 166, pp.1734-1744, 2009.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 浪平隆男, 龍輝優, 王斗艶	4. 巻 96(3)
2. 論文標題 超高換算電界を有するナノ秒パルス放電プラズマの特徴とその制御	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 プラズマ・核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 97-102
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 Wang Douyan, Namihira Takao	4. 巻 29
2. 論文標題 Nanosecond pulsed streamer discharges: II. Physics, discharge characterization and plasma processing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 023001 ~ 023001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/ab5bf6	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 龍輝優, 王斗艶, 浪平隆男	4. 巻 139(9)
2. 論文標題 同軸円筒型電極内ナノ秒パルス放電の挙動特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌 A	6. 最初と最後の頁 445-452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.139.445	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 Koichi Takaki, Nobuya Hayashi, Douyan Wang and Takayuki Ohshima	4. 巻 52(47)
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
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 B. Peng, N. Jiang, X. Yao, Y. Ruan, D. Wang, K. Shang, N. Lu, T. Namihira, J. Li and Y. Wu	4. 巻 52(32)
2. 論文標題 Experimental and numerical studies of primary and secondary streamers in a pulsed surface dielectric barrier discharge	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 325202
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 該当する

1. 著者名 B. Peng, N. Jiang, X. Yao, Y. Ruan, D. Wang, K. Shang, N. Lu, T. Namihira, J. Li, Y. Wu	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Experimental and numerical studies of primary streamer and secondary streamer in pulsed surface dielectric barrier discharge	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 該当する

1. 著者名 D. Wang and T. Namihira	4. 巻 12
2. 論文標題 Application for Marine Industries Using Pulsed Power Technology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Plasma Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 49-54
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. Torigoe, A. Iwasaki, T. Namihira, D. Wang	4. 巻 12
2. 論文標題 Ethylene Decomposition by Nanosecond Pulsed Discharge and Evaluation of by-products	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Plasma Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 114-119
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 龍輝優, 山口仁志, 王斗艶, 浪平隆男	4. 巻 43
2. 論文標題 窒素及び酸素ガス組成比がナノ秒パルス放電の挙動に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 37-42
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 鳥越泰明, 王斗艶, 浪平隆男	4. 巻 43
2. 論文標題 直流重畳型ナノ秒パルス高電圧発生装置の出力特性及びその応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 13-18
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53件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 34件)

1. 発表者名 Douyan Wang, Takao Namihira
2. 発表標題 Pulsed Power Applications on Primary Industries
3. 学会等名 The 11th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Douyan Wang, Takao Namihira
2. 発表標題 Nanosecond Pulsed Discharge Plasma for Gas and Wastewater Treatment
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano(Fine) Bubbles to Agriculture and Aquaculture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Terumasa Ryu, Yamaguchi Hitoshi, Douyan Wang, Takao Namihira
2 . 発表標題 Propagation Velocity Distribution on Nanosecond Pulsed Discharge in Coaxial Electrodes using a quadruple emICCD camera system
3 . 学会等名 The 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 Yudai Suzuki, Soichiro Tomikawa, Takao Namihira, Douyan Wang
2 . 発表標題 Time-lapse Observation of HeLa Cell Death Induced by PAM Generated by EB Plasma Irradiation Using Digital Holo-tomographic Microscopy
3 . 学会等名 The 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 K. Eguchi, R. Fujita, D. Wang, K. Tomita and T. Namihira
2 . 発表標題 Laser Thomson Scattering Diagnostics for Streamer Discharge in HE Gas
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Ueji, Y. Suzuki, T. Namihira and D. Wang
2 . 発表標題 Inactivation process observation of HeLa cells induced by EB irradiated atmospheric-pressure plasma
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Yamashita, Y. Torigoe, D. Wang and T. Namihira
2 . 発表標題 Characteristics of negative-polarity DC superimposed nanosecond pulsed discharge and its applications
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Hidaka, D. Ikoma, K. Sasaki, T. Namihira and D. Wang
2 . 発表標題 Characteristics of nanosecond pulsed discharge type ozonizer with a tube to cylinder reactor
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Matsumoto, M. Yano, M. Shigeishi, D. Wang and T. Namihira
2 . 発表標題 Production of Crushed Sand Using Underwater Pulsed Discharge
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Ichiki, A. Iwasaki, D. Wang and T. Namihira
2 . 発表標題 Generation of Carbon Monoxide from Carbon Dioxide Using Nanosecond Pulsed Discharge
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Fukuoka, S. Iida, D. Wang and T. Namihira
2 . 発表標題 Improvement of Ozone Generation Characteristics with Shorter Rise Time of Nanosecond Pulse Voltage
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Ryu, H. Yamaguchi, D. Wang and T. Namihira
2 . 発表標題 Propagation Process of Streamers and Time History of Reduced Electric Field During Nanosecond Pulsed Discharge in Coaxial Electrode in Atmospheric Air
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Yamaguchi, T. Ryu, D. Wang and T. Namihira
2 . 発表標題 Observation of positive and negative nanosecond pulsed streamers in a coaxial electrode using a quadruple emICCD camera system
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Okada, K. Oishi, S. Kodama, D. Wang and T. Namihira
2 . 発表標題 Quantification of OH radicals generated by nanosecond pulsed discharge plasma
3 . 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Suenaga, A. Hyodo, Y. Kawamura, D. Wang and T. Namihira
2. 発表標題 Aggregation Inhibition of Nanoparticle Dispersion by Nonthermal Plasma Irradiation
3. 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Matsukawa, T. Yamaguchi, M. Matsuda, D. Wang and T. Namihira
2. 発表標題 Development of a compact nanosecond pulse generator
3. 学会等名 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 龍 輝優, 山口仁志, 王 斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 4台複合emICCDカメラシステムを用いたナノ秒パルス放電の実時間観測
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上倫理, 江口恭平, 王 斗艶, 富田健太郎, 浪平隆男
2. 発表標題 レーザートムソン散乱を用いた高気圧Heガス中パルスストリーマ放電プラズマの電子温度・電子密度計測
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本琢馬, 岩崎明暉, 市来竜也, 王 斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 ナノ秒パルス放電を用いた二酸化炭素からの一酸化炭素生成
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩崎陸生, 山下浩史, 福岡英明, 王 斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 負極性直流重畳ナノ秒パルス放電の特性およびその応用
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水本風輝, 辛嶋一樹, 浪平隆男, 王 斗艶
2. 発表標題 低インピーダンスナノ秒パルス電源のスパークギャップスイッチの改良
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富川宗一郎, 鈴木雄大, 浪平隆男, 王 斗艶
2. 発表標題 EB誘起プラズマによるHeLa細胞不活性化のホロトモグラフィック顕微鏡観察
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎木隆浩, 林 雄, 浪平隆男, 王 斗艶
2. 発表標題 パルス電界印加時におけるリーフレタスの光合成メカニズム解明
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 泉 法志, 松本直樹, 松田樹也, 重石光弘, 王 斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 水面下パルス放電による砕砂製造
3. 学会等名 2019年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 龍 輝優, 山口 仁志, 王 斗艶, 浪平 隆男
2. 発表標題 同軸円筒型電極内ナノパルス放電の進展課程と換算電界の経時推移
3. 学会等名 電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Douyan Wang, Takao Namihira
2. 発表標題 BIOLOGICAL APPLICATIONS USING PULSED ELECTRIC FIELD AND PLASMAS
3. 学会等名 22nd Symposium on Applications of Plasma Processes (SAPP XXII) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanji Sasaki, Daichi Ikoma, Shuhei Iida, Douyan Wang and Takao Namihira
2. 発表標題 Effect of coaxial reactor direction on performance of nanoseconds pulsed discharge based ozonizer
3. 学会等名 The 7th Euro-Asian Pulsed Power Conference (EAPPC) and the 22nd International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Oishi, Shintaro Kodama, Douyan Wang and Takao Namihira
2. 発表標題 ROS Measurement for Treatment of Produced Water Using Nanosecond Pulsed Discharge Plasma
3. 学会等名 The 7th Euro-Asian Pulsed Power Conference (EAPPC) and the 23rd International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ryu, H. Yamaguchi, D. Wang, T. Namihira
2. 発表標題 Influence of Nitrogen / Oxygen Gaseous Ratio on Nanosecond Pulsed Discharge Behavior
3. 学会等名 The 7th Euro-Asian Pulsed Power Conference (EAPPC) and the 27th International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuaki Torigoe, Shintaro Kori, Asuki Iwasaki, Pengyi Zhang, Takao Namihira and Douyan Wang
2. 発表標題 Toluene Removal using Nanosecond Pulsed Discharge Plasma Supported by MnO _x Catalysts
3. 学会等名 The 7th Euro-Asian Pulsed Power Conference (EAPPC) and the 27th International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryusei Sato, Yu Hayashi, Yuya Higashi, Takao Namihira and Douyan Wang
2. 発表標題 Influence of Pulsed Electric Field to Leaf Lettuce Evaluated by Photosynthetic Measurement
3. 学会等名 The 7th Euro-Asian Pulsed Power Conference (EAPPC) and the 27th International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuhei Iida, Daichi Ikoma, Kanji Sasaki, Douyan Wang, Takao Namihira
2. 発表標題 Energy efficiency improvement of nanosecond pulsed discharge plasma processing
3. 学会等名 The 7th Euro-Asian Pulsed Power Conference (EAPPC) and the 27th International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Asuki Iwasaki, Yasuaki Torigoe, Douyan Wang, and Takao Namihira
2. 発表標題 Ethylene Treatment Using Nanosecond Pulsed Streamer Discharge
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaaki Yano, Naoki Matsumoto, Kosuke Kawaoka, Mikiya Matsuda, Mitsuhiro Shigeishi, Douyan Wang, and Takao Namihira
2. 発表標題 Production of Recycled Fine Aggregate by Underwater Pulse Power Discharge
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2024) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Kawaoka, Masaaki Yano, Mikiya Matsuda, Douyan Wang, and Takao Namihira
2. 発表標題 Development of Freshness Preservation Technology for Cultured Yellowtail Using Pulsed Power Technology
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2024) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hitoshi Yamaguchi, Terumasa Ryu, Takao Namihira, and Douyan Wang
2. 発表標題 Characteristic Comparison between Positive and Negative Nanosecond Pulsed Discharges
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2024) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takehiro Yamaguchi, Ryuki Matsukawa, Mikiya Matsuda, Douyan Wang, and Takao Namihira
2. 発表標題 Miniaturization of Nanosecond Pulsed Discharge System for Industrial Application
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2024) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Fujita, Kyohei Eguchi, Douyan Wang, Kentaro Tomita, and Takao Namihira
2. 発表標題 Incoherent Laser Thomson Scattering Diagnostic for Pulsed Streamer Discharge
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2024) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Karashima, Ryusei Shimotsu, Douyan Wang, and Takao Namihira
2. 発表標題 An Efficient Spark Gap Switch Design for Low Impedance Nanosecond Pulse Generator
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2024) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Douyan Wang, Takao Namihira
2. 発表標題 Stimulus Control on Organisms Using Pulsed Power Technology
3. 学会等名 The AVS 65th International Symposium & Exhibition (AVS 65) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Douyan Wang
2. 発表標題 Pulsed Power Applications on Agriculture and Marine Industries
3. 学会等名 the 2018 Asia-Pacific Conference on Plasma and Terahertz Science (APCOPTS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takao Namihira and Douyan Wang
2. 発表標題 Waste-Water Treatment Using Nanosecond Discharge Plasma
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Douyan Wang, Takao Nanihira
2. 発表標題 Pulsed Power Applications for Marine Industry
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano(Fine) Bubbles to Agriculture and Aquaculture (3rd ISHPMNB 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 龍 輝優、山口 仁志、王 斗艶、浪平 隆男
2. 発表標題 同軸円筒型電極内ナノ秒パルス放電の内部電極径変化時窒素分子回転温度および電子温度の定性評価
3. 学会等名 平成30年(2018年)放電学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺謙, 鈴木雄大, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 大気圧プラズマジェットによるHeLa 細胞不活性化におけるH2O2の影響
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江口恭平, 藤田遼, 王斗艶, 浪平隆男, 富田健太郎
2. 発表標題 パルスストリーマ放電に対する非協同レーザートムソン散乱計測
3. 学会等名 平成30年度(第71回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 末永勝士, 兵頭歩, 河村勇太, 志田賢二, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 パルスアーク放電プラズマ生成ZnO微粒子に対するパルス幅および電流の影響
3. 学会等名 平成30年度(第71回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下浩史, 鳥越泰明, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 負極性直流重畳ナノ秒パルス放電の特性
3. 学会等名 平成30年度(第71回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福岡英明, 飯田脩平, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 ナノ秒パルス電源立ち上りの高速化
3. 学会等名 平成30年度(第71回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松川竜己, 山口全碩, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 DBDオゾンナイザ用パルス電源の開発
3. 学会等名 平成30年度(第71回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田清隆, 大石一貴, 児玉伸太郎, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 ナノ秒パルス放電による有機酸水溶液の処理
3. 学会等名 平成30年度(第71回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥越泰明, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 直流重畳型ナノ秒パルス高電圧発生装置の出力特性及びその応用
3. 学会等名 平成30年度第42回静電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 龍輝優, 山口仁志, 王斗艶, 浪平隆男
2. 発表標題 窒素及び酸素ガス組成比がナノ秒パルス放電の挙動に与える影響
3. 学会等名 平成30年度第42回静電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------