

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06227

研究課題名(和文) ナノ秒極性反転パルス沿面放電を用いた排ガス中有機化合物の高効率分解

研究課題名(英文) Improvement in decomposition efficiency of persistent substances in exhaust gas with polarity-reversed voltage pulses

研究代表者

門脇 一則 (Kadowaki, Kazunori)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・教授

研究者番号：60291506

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)：パルスパワーを用いて、排ガス中や廃水中に含まれる難分解性物質を分解する技術の高効率化を目指す。注射針電極先端と水面との間の空間に、静電噴霧(エレクトロスプレー)により微小液滴を拡散させると共に、同一電極からストリーマ放電を進展させる。通常、ひとつの注射針電極から、噴霧とストリーマを同一空間に進展させることは難しい。我々はこの問題を解決するため、針先端の水滴の固有振動周波数に合致する脈動電圧にパルス電圧を重ねることにより、噴霧と放電を周期的かつ交互に進展させる手法を考案した。トルエン含有ガスの分解実験において、本手法の処理効率は、スプレー単独処理や放電単独処理よりも高い値を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放電の休止期間に確実に静電噴霧を引き起こすことのために、脈動電圧を注射針に印加する理由は、一定電界下での静電エネルギーのみで半球状液滴の先端部にテイラーコーンを形成するよりも、脈動電圧で水滴を固有振動させることにより運動エネルギーを付与したほうが、一定の位相で確実にテイラーコーンが形成されやすいのではないかと考えたからである。このような発想を元にして噴霧と放電の同一空間形成に対するミリ秒オーダーでの時間制御を試みた例はこれまでなく、学術的にも価値がある。さらに本技術は新しい排ガス・廃水処理技術としての応用が期待されることから、本研究は社会的意義も有している。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to improve decomposition efficiency of persistent substances in exhaust gas and waste water using pulse power. Extension of many microdroplets produced by an electrospray technique with an injection needle electrode facing the water surface is followed by subsequent pulsed streamer propagation from the same electrode. Normally, it is difficult to spread the spray and streamer in the same space from one needle. In this study, an alternate propagation method for the spray and the streamer discharge is proposed. Repetitive pulse voltages with ripple component corresponding to the natural vibration frequency of the water droplet at the needle tip are superimposed onto a DC component, so that the electrospray can be followed by the streamer discharge. In the decomposition experiment for toluene-containing gas, the treatment efficiency of this method becomes higher than that of the treatments with spray-only or discharge-only.

研究分野：高電圧工学，パルスパワー工学，誘電絶縁材料

キーワード：静電噴霧 ストリーマ放電 交互進展法 排ガス処理 廃水処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大気汚染や水質汚染を抑止するための環境保全技術の革新が待たれている。これまでに、放電プラズマを用いて排ガスや排水中の有害物質を除去する研究が数多くなされている。これらの研究成果を実用化につなげるための課題はエネルギー効率の向上である。効率を高めるために、触媒との併用や、吸着による有害物質濃縮処理との併用によるハイブリッド化の手法が採用されている。しかし、触媒の材質は、白金、パラジウム、ロジウムなどの希少金属が主流であり、大量消費に不向きであることが問題である。また、濃縮処理との組み合わせにおいては、メンテナンスや工数の増加などが問題である。例えば、実機における触媒・放電併用システムで揮発性有機化合物（トルエン）含有ガスを分解するときのエネルギー効率はおよそ 40g/kWh である。残念ながら放電プラズマによる単独処理で、これと同等のエネルギー効率を得たとの報告例はない。

2. 研究の目的

希少金属を用いた触媒技術に頼ること無く、静電噴霧（エレクトロスプレー）とパルス放電の交互進展法を用いることにより、排ガス中や廃水中に含まれる難分解性物質や臭気性物質を高効率分解する技術の確立を目指す。直流脈動電界下で針先からの静電噴霧により気液混合領域を電極間に形成した状態のもと、立ち上がりの急峻な高電圧パルスを直流に重畳することにより、ストリーマ放電を気液混合領域中に進展させる。水面に接する針電極から、単に水上沿面放電を広げるだけでなく、電極間に気液混合領域を形成し、その空間全体に放電を進展させることで、プラズマと水分子の接触面積を大きくすることが狙いである。実用化に向けて以下の課題を解決する。

- ・脈動電圧の周波数と、パルス重畳位相の最適化
- ・噴霧下でのパルス放電の進展特性の理解
- ・交互進展法による揮発性有機化合物（VOC）の分解

3. 研究の方法

湿式放電処理法の特徴を生かせば、水分を多く含んだ空間でのストリーマ進展により多量のOHラジカルを発生させ、その結果、酸化促進作用を発現させることができるのではないかと考え、その可能性を実験的に明らかにするために以下の方法を用いた。

- (1) 1本の針電極（注射針）で、エレクトロスプレー法による気液混相領域の形成とストリーマ進展の両立を実現するための電圧印加方法について検討する。高速度カメラを用いた霧滴の拡散分布観察と、高速ゲート付きイメージインテンシファイアを用いた過渡的放電光の観察を実施し、気液混相領域と放電プラズマ進展領域を一致させる条件を探した。
- (2) (1) で得られた最適条件のもと、スプレーとストリーマの交互進展によるトルエンガス分解を試みた。エレクトロスプレー単独の場合、およびストリーマ放電単独の場合と比較することにより、交互進展法の有効性を検証した。

4. 研究成果

(1) 平流電圧印加時の噴霧と放電光

単一針電極側に直流電圧（正・負）を印加した場合の静電噴霧の高速度撮影写真と放電光の長時間露光写真を図1、図2に示す。照明下で撮影された液滴の写真

（図中の左列側）において、電極間に伸びる白い線は放電光ではなく、霧化されることなく落下した直径 10^4 m オーダーの液滴の軌跡である。図1の正極性平流電圧印加時では、+5 kV 印加時に霧状の液滴群が拡散しているものの、右列の写真中の放電光は微弱である。これに対し電圧を+8 kV まで上昇させた場合は、放電光の強度は高まっているものの、液滴の拡散が認められない。図2の負極性平流電圧印加時では、いずれの電圧でも霧状の液滴群が拡散しておらず、霧化されることなく液滴が下部電極に達している様子が確認できる。放電の進展と噴霧の発生はトレードオフの関係にあることはよく知られている。上記の実験事実もこれまでの知見と矛盾していない。すなわち、放電と噴霧を同時に発生させるのではなく、まずは噴霧により液滴群を電極間に拡散させ、液滴群が電極間に存在しているうちに、引き続きパルス放電を同一空間に進展させるための時空間制御が必要である。液滴の移動速度に比べて、ストリーマの進展速度は桁違いに早いので、仮にストリーマが遅れて進展したとしても、液滴群に追いつくことは物理的に可能である。

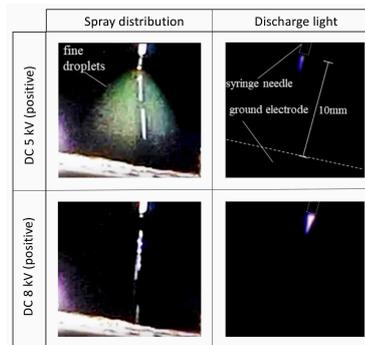


図1 噴霧と放電光の写真（正極性）

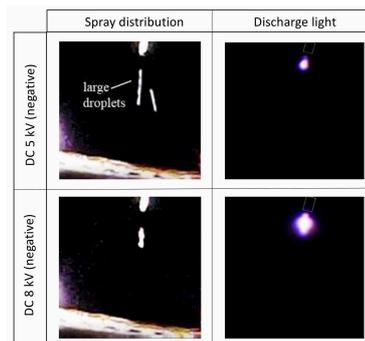


図2 噴霧と放電光の写真（負極性）

(2) 噴霧針と放電針を独立させた場合の放電光

噴霧用の注射針とは別に、放電専用の針電極を注射針に隣接して並べることにより噴霧と放電の同一空間への形成を試みた。両方に直流電圧を印加した状態のもとで、対向する接地電極に向かう放電光の静止写真(露光時間 30 秒)を図 3 に示す。左が放電専用針、右が噴霧専用針である。左側の放電専用針から広範囲にコロナ放電が進展している様子がわかる。ここで注目すべきは、左側の放電針からのストリーマコロナの進展領域が右側の注射針からの噴霧により形成されている気液混合領域を避けるように進展している事実である。液滴が噴射する領域を避ける理由については、空間電荷効果をもとに説明できる。正の直流電圧により噴霧された微小液滴群の拡散は、粒子状の正の空間電荷が電極間に分布していることと等価である。空間電荷群により噴霧領域の電位は高まるため、放電針から進展するストリーマコロナの先端は噴霧領域に侵入できず、より電位の低い下部電極に向かっていくと考える。図 3 の実験条件では、直流電圧をかなり上昇させているため、注射針からもコロナが進展しているが、電圧が低い状況においても放電針からのストリーマコロナが噴霧領域に向かって進展することはない。以上の結果からわかるように、別に置かれた針電極から噴霧空間に放電を進展させるのではなく、同一電極から噴霧と放電の進展を時間的に制御する交互進展法の効果に期待がかかる。

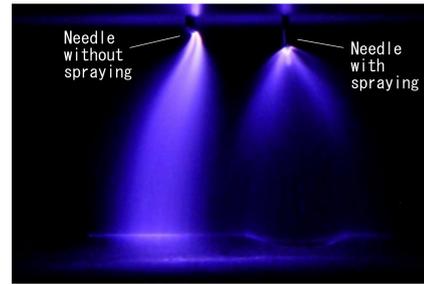


図 3 放電専用針(左側)と噴霧専用針(右側)を並べた時の放電光

(3) 電圧の脈動による噴霧発生時期の位相制御

我々はまず予備実験として、太めの金属パイプを用いて、電圧が脈動したときにパイプ上の水滴が実際どのように振動するのかを目視で観察した。内径 7 mm の接地金属パイプを上向きにして、その上端に表面張力を利用して水滴を形成した。このパイプ電極の上側に平板電極を対向させ、ギャップ長 10 mm のパイプ対平板電極ギャップを形成し、そこに平流電圧 4 kV を印加した。この状態では電界の時間変化が無いので水滴は全く振動しない。ここに 4 kV の正弦波交流電圧を重畳することにより、印加電圧を 0 kV から 8 kV の間で振動させたところ、脈動の周波数をある特定の値にすると、水面が電圧の脈動に同期して大きく振動することを確認できた。図 4 は、21.5 Hz の交流電圧を印加した時の水面のコマ送り写真である。左から二番目の写真からわかるように、パイプの軸上に波の山があり、その外周に波の谷部がある。すなわちこの場合は、管径が波長のおよそ 1.5 倍(半波長の 3 倍)に相当することから、3 倍振動モードとみなされる。このように交流電圧により水面に誘起される表面波の半波長の整数倍と、管の内径が一致するとき固有振動が引き起こされ、その結果、伸縮運動によりテイラーコーンの形成が促進される。以上の予備実験結果をもとに、水滴上の表面波の速度を $v=f\lambda$ の関係から導いたところ、 $v=0.1$ m/s と推定された。この速度を用いて、直径 0.7 mm の注射針先端部に直径の 2/3 倍の波長を有する表面波が形成される時の周波数を計算すると、およそ 210 Hz と見積もられた。すなわちこの程度の脈動電圧を加えれば、針先先端で 3 倍モードの振動が引き起こされ、その結果、噴霧が周期的に安定して発生すると思われる。

(4) 噴霧と放電光の時間分解観察

噴霧の高速撮影および過渡的放電光の撮影が可能な観測システムの概要を図 5 に示す。針電極はテルモ注射針(TERUMO Co., 22G, 外径 0.70 mm, 内径 0.38 mm)を用いた。下部電極にはステンレス製のメッシュ電極を用いた。針電極と下部電極との間隔は 10 mm である。点滴センサを用いて流量を制御しながら、注射針の上部から精製水を供給した。過渡的放電光の観測には、高速ゲート付きイメージインテンシファイア(浜松ホトニクス(株), C2925-01)を用い、噴霧の高速撮影にはデジタルカメラ(SONY, RX100)を用いた。

最初に、直流成分 $V_{dc}=4.5$ kV に正弦波交流 $V_{ac}=1.0$ kV を重畳したときの噴霧の様子を目視で観察した。交流電圧の周波数を 10 Hz から 1 kHz の間で細かく変えていくと、250 Hz において噴霧の拡散が特に顕著となることを確認できた。ことから、この周波数において図 4 に示したよ



図 4 脈動電圧の印加により振動する水滴のコマ送り写真 ($f=21.5$ Hz)

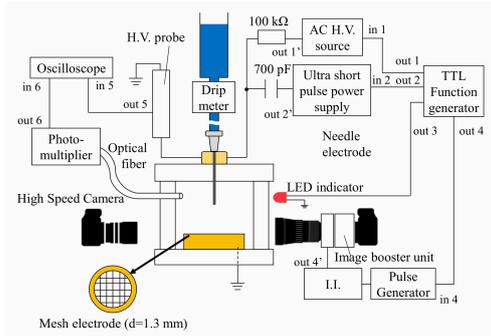


図5 光学的観測システムの構成図

うな3倍モードの固有振動が引き起こされ、その結果、周期的にテイラーコーンが形成されていると思われる。 $V_{dc}=4.6\text{ kV}$ に 250 Hz の正弦波交流 $V_{ac}=1.0\text{ kV}$ を重畳した場合における、噴霧の高速写真(シャッター速度: $1/12800\text{ s}$)の一例を図6に示す。グラフ中の正弦波は印加電圧波形の1周期を表しており、横軸が位相($0\sim 360^\circ$)で縦軸が電圧波高値である。点線の矢印は、各写真がどの位相で撮影されたのかを示している。印加電圧が最大となる 90° の位相にて噴霧が始まるのではなく、電圧が最大値から下がっていく過程において噴霧が引き起こされているのは興味深い事実である。各位相における切り取り撮影を繰り返し、どの位相において高い確率で噴霧が引き起こされているのかを統計的に調べた。電圧の位相と噴霧発生確率との関係を図7に示す。 90° から 180° の間で、高い確率で電極間に噴霧が広がっているのがわかる。一方その逆で、 270° から 45° の間では、ほとんど噴霧が引き起こされていないことがわかる。この事実は、印加電圧の脈動周波数の最適化により噴霧のタイミングを制御することが可能であることを示している。

この脈動電圧に、さらに高電圧ナノ秒パルスを重畳したときの放電光を観測した。高速ゲート付きイメージインテンシファイアを用いた切り取り撮影をする前に、パルスを重畳する位相を徐々にずらしながら、どの位相において放電光の強度が高まるのかについて、光電子増倍管を用いて調べた。図8は、パルスが重畳された位相と、各位相で引き起こされた放電の光パルス信号強度の平均値との関係である。図7と図8から、噴霧発生確率の高い位相においてパルスを重畳すれば、放電の進展範囲も拡大していることがわかる。各位相にパルスを重畳した時に高速ゲート撮影にて切り取られた放電光の写真を図9に示す。静電噴霧により液滴が拡散している時間領域において、パルスストリーマが進展し得ることを確認できた。

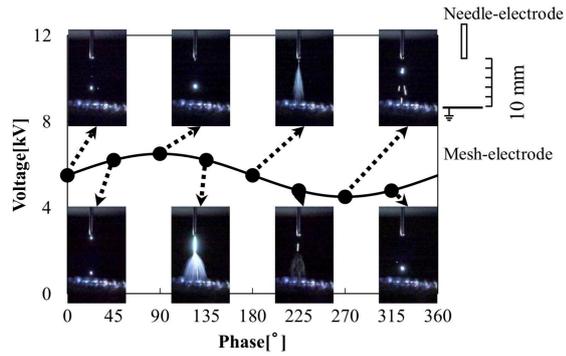


図6 噴霧のコマ取り写真($f=250\text{ Hz}$)

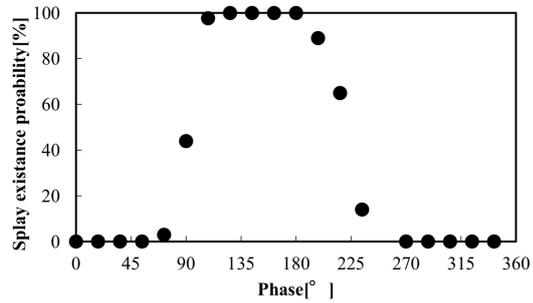


図7 脈動電圧(250 Hz)の位相と噴霧発生確率との関係

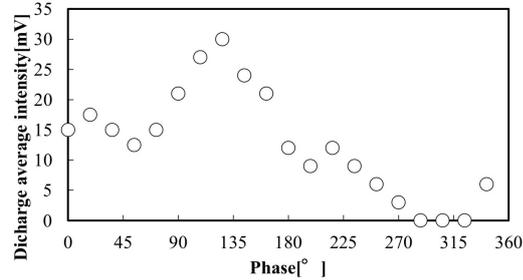


図8 パルスを重畳する位相と光信号強度との関係($f=250\text{ Hz}$)

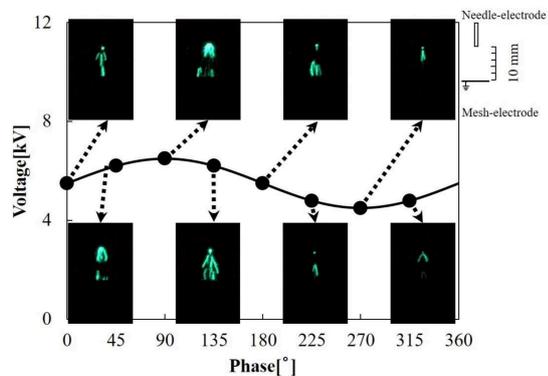


図9 脈動電圧(250 Hz)の各位相にナノ秒パルスを重畳したときの放電光(ゲート幅 50 ns)

(5) 交互進展法によるトルエンガス分解実験

図 10 にトルエンガス分解用反応器の外観写真を示す。濃度 50 ppm のトルエン含有空気を 1L/min の流速で反応器の側面から送気した状態のもと、反応器の一室で過酸化水素水の静電噴霧とパルス放電を交互に進展させることによるトルエンの促進酸化を試みた。パルスが重畳されない場合、すなわち静電噴霧によるラジカルインジェクションのみの場合には、トルエン除去率はゼロであった。これに対して、パルスを重畳することによって放電が広がると、トルエンが分解されることを確認した。反応器への投入電力の上昇とともに、トルエン除去率も上昇した。

比較のために、上記以外の様々な処理方法についても検討した。各種処理方法における反応器への投入電力と除去率との関係を図 11 に示す。パルス放電と静電噴霧の交互進展法を用いた場合

(図中の赤丸印)、0.3 W の投入電力で 50 % の除去率を得た。本装置では反応器の一室に、注射針電極が一本しかないので、送気されたトルエンガス分子のうち、プラズマの形成される空間を通過せずに排出される比率が高いため、除去率がこれ以上改善されることはなかった。これについては反応器の形状に起因する課題であって、今後針電極の本数や配置方法の変更により改善が期待できる。本実験において得られた重要な成果は、噴霧を伴わないパルス放電単独処理 (図中の白丸印) と比べて、交互進展法は高い効率で分解できることが明らかとなった点である。さらに、図 11 中に示されたように、パルスを重畳せずに、直流成分のみを上昇させた場合 (図中の白四角と黒四角) には、投入電力が著しく大きくなるために、エネルギー効率の面で好ましくないことがわかる。以上の結果より、静電噴霧によるラジカルインジェクションとパルスストリーマの同一空間への拡散が、排ガス処理に有効に作用することを実験的に示すことができた。今後は、注射針電極から模擬排水を噴霧することによって、排水中の難分解性物質の除去を試みる予定である。

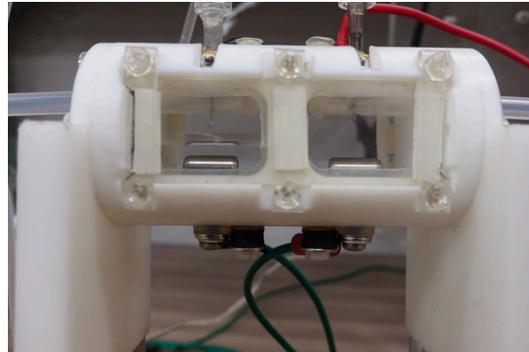


図 10 反応器の写真

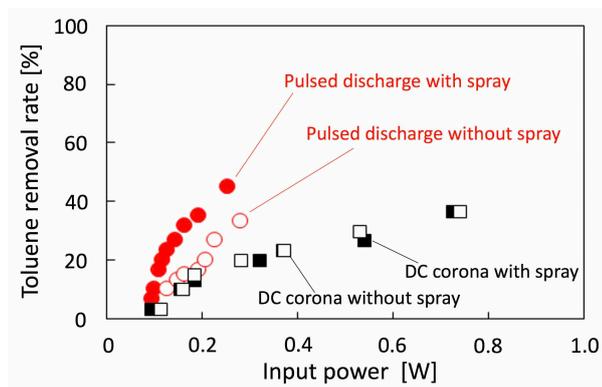


図 11 各種処理方法における投入電力とトルエン除去率との関係

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田丸 寛太, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則	4. 巻 139
2. 論文標題 電圧脈動効果による静電噴霧用単一針電極からのストリーマコロナと微小液滴群の交互拡散	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌 A(基礎・材料・共通部門誌)	6. 最初と最後の頁 205-211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.139.205	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 Shinji Yudate, Kanta Tamaru, Ryotaro Ozaki, and Kazunori Kadowaki	4. 巻 1
2. 論文標題 Optimization of High Voltage Ripples for Alternate Propagations of Streamer Discharges and Water Droplets Produced by Electrospray	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2nd International Conference on Dielectrics (ICD 2018)	6. 最初と最後の頁 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICD.2018.8514573	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 Takahiro Kondo, Ryotaro Ozaki, Kazunori Kadowaki	4. 巻 1
2. 論文標題 Effect of Superposed Repetitive Pulses onto DC Voltage on Discharge Extension into Fog Water Produced by Electrospray	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)	6. 最初と最後の頁 390-393
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18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Shinji Yudate, Ryosuke Tamada, Kanta Tamaru, Ryotaro Ozaki, Kazunori Kadowaki
2. 発表標題 Effect of Very Fine H2O2 Spray Alternated with Streamer Propagation from a Syringe Electrode on Gaseous Toluene Decomposition
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉田 亮介, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧用単一針電極から交互発生した H2O2 水溶液の微小液滴とストリーマ放電の相乗効果によるトルエンガス分解
3. 学会等名 第50回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好 修平, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 同一空間への微小液滴群とストリーマコロナの交互拡散がストリーマ放電進展へ与える影響
3. 学会等名 令和元年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉田 亮介, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧用単一針電極からのストリーマ放電とH2O2水溶液の微小液滴の交互拡散によるトルエンガス分解
3. 学会等名 令和元年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinji Yudate, Ryosuke Tamada, Kanta Tamaru, Ryotaro Ozaki, Kazunori Kadowaki
2. 発表標題 Effect of Very Fine H2O2 Spray Alternated with Streamer Propagation from a Syringe Electrode on Gaseous Toluene Decomposition
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉田 亮介, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧用単一針電極から交互発生した H2O2 水溶液の微小液滴とストリーマ放電の相乗効果によるトルエンガス分解
3. 学会等名 第50回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好 修平, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 同一空間への微小液滴群とストリーマコロナの交互拡散がストリーマ放電進展へ与える影響
3. 学会等名 令和元年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉田 亮介, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧用単一針電極からのストリーマ放電とH2O2水溶液の微小液滴の交互拡散によるトルエンガス分解
3. 学会等名 令和元年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好 修平, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 単一電極での静電噴霧と放電の交互進展による廃液処理の検討
3. 学会等名 第49回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田丸 寛太, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 脈動周波数最適化による静電噴霧と放電進展の時間制御
3. 学会等名 第49回電気電子絶縁材料システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三好 修平, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 単一電極への供給量増加が静電噴霧と放電の交互進展による廃液処理に与える影響
3. 学会等名 平成30年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田丸 寛太, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧とパルス放電の交互発生によるトルエン含有ガスの分解性能の検討
3. 学会等名 平成30年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三好 修平, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧とストリーマ放電の交互発生による気相中有害物質の除去
3. 学会等名 電気学会研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤 賢宏, 尾崎 良太郎, 弓達 新治, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧法における重畳パルス電圧の放電進展確率への影響
3. 学会等名 平成29年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田丸 寛太, 弓達 新治, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 直流電圧に重畳したパルス電圧の周波数成分が静電噴霧と放電進展に与える影響
3. 学会等名 平成29年電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 弓達 新治, 近藤 賢宏, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 エレクトロスプレー法による微小液滴形成と放電進展によるインジゴカルミン水溶液の脱色
3. 学会等名 平成29年電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤 賢宏, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 パルス沿面放電処理による水分含有トルエンガスの分解率とオゾン生成率との相関性
3. 学会等名 平成28年電気学会 基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 近藤 賢宏, 尾崎 良太郎, 門脇 一則
2. 発表標題 静電噴霧法における気液混相領域と放電プラズマ進展領域の対応性
3. 学会等名 平成29年電気学会全国大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 門脇一則(分担執筆:2章1節「水中・水上および霧中でのパルス放電応用」)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 254
3. 書名 パルスパワーの基礎と産業応用 ~環境浄化、殺菌、材料合成、医療、農業、食品、生体、エネルギー~	

〔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
研究分担者	尾崎 良太郎 (Ozaki Ryotaro) (90535361)	愛媛大学・理工学研究科(工学系)・准教授 (16301)	
研究分担者	弓達 新治 (Yudate Shinji) (40380258)	愛媛大学・理工学研究科(工学系)・助教 (16301)	