

# PM分解のための低コスト・安全な 表面プラズマ拡大技術

大阪工業大学 工学部 電気電子システム工学科  
教授 吉田 恵一郎

2024年11月5日

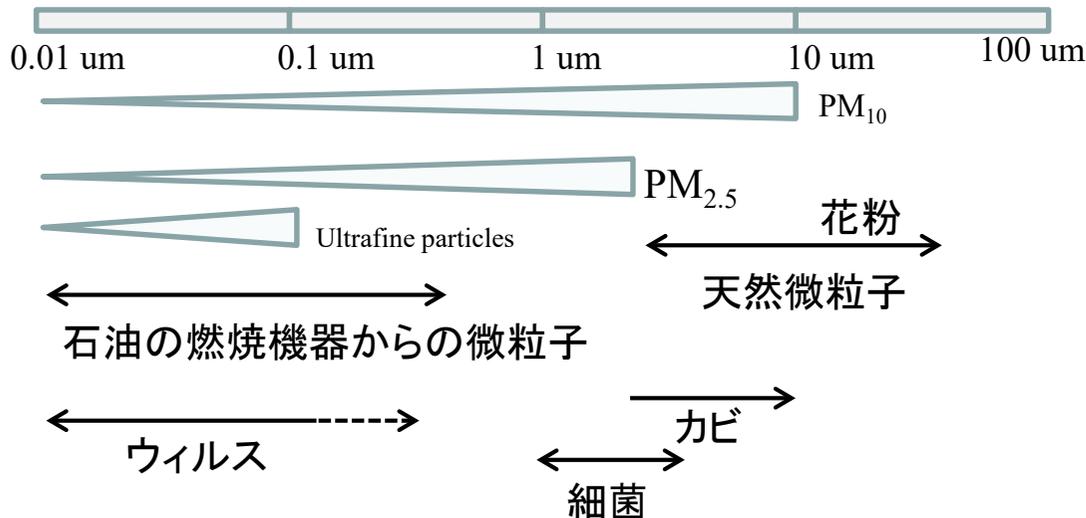
# 本発明の社会的位置付け

## 大気PM<sub>2.5</sub>の現状

北部～中部アフリカ, アラビア半島, インド, 中国を中心とする地域で, 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上のPM<sub>2.5</sub>が頻繁に観測されており(※), 発生源の多くは人為起源である。

(※)WHOはPM<sub>2.5</sub>の1年間平均値を15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下とするように勧告している

## 粒子サイズの比較

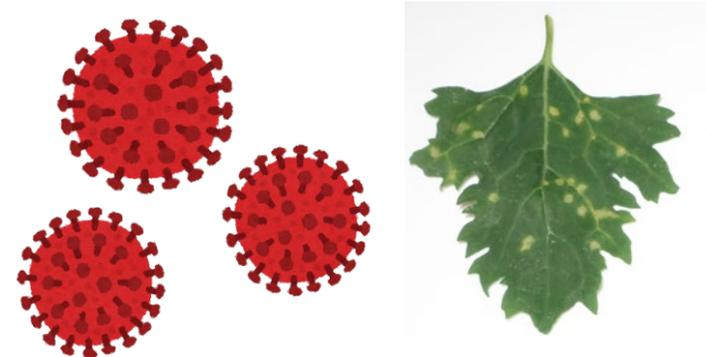


## 炭素粒子の模式図



炭素粒子の間隙に有害物質が吸着されており, 呼吸器疾患, 循環器疾患および肺がんの増加因子となる。また, 炭素粒子自身が太陽光を吸収し, 温暖化の一因となる。

## ウイルス



コロナウイルス

タバコモザイクウイルス

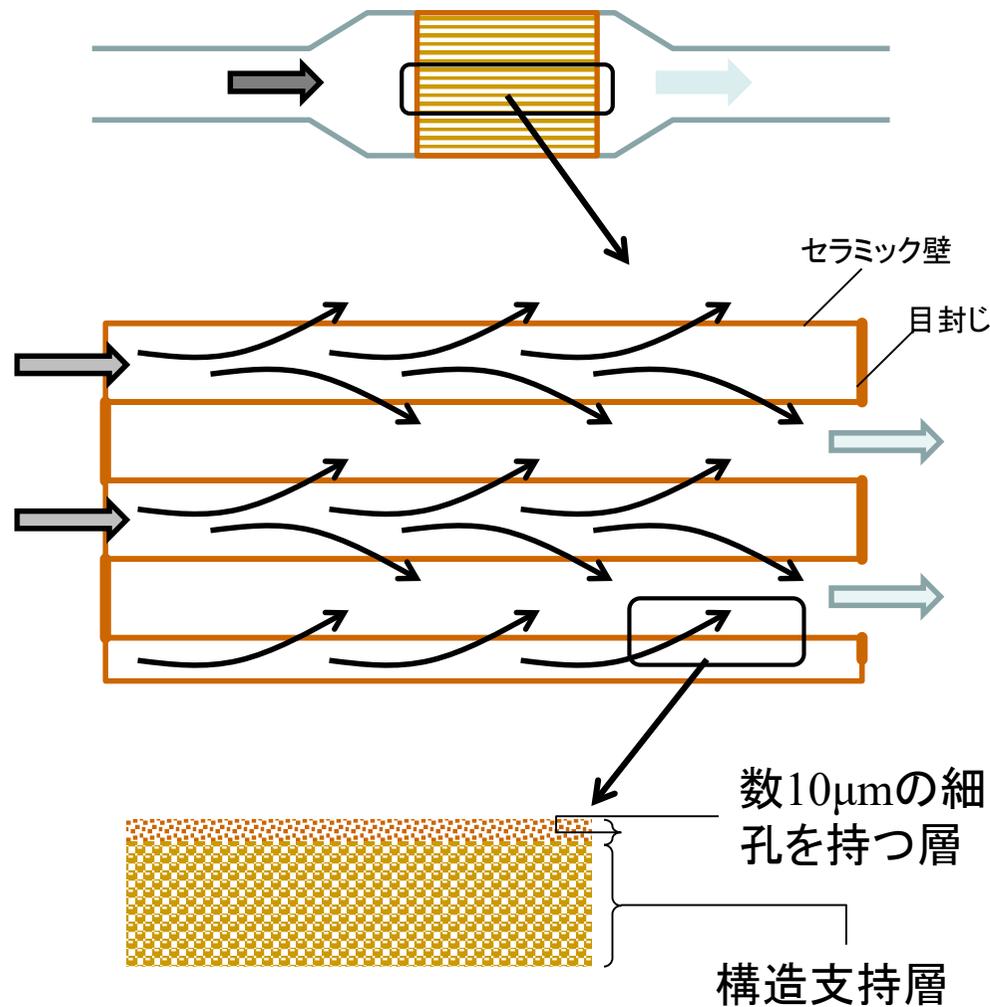
## 微粒子問題の現状と展望

- 商用車，建機にはディーゼルエンジンが使われている
- 船舶の微粒子除去は手つかず
- 航空機についても除去技術はない
- 非排気粒子は増加傾向(※)
- 化石燃料産出に伴う微粒子の発生

※『タイヤ摩耗粉塵を含む非排気由来の粒子排出実態に関する研究 その2』伊藤晃佳(日本自動車研究所)

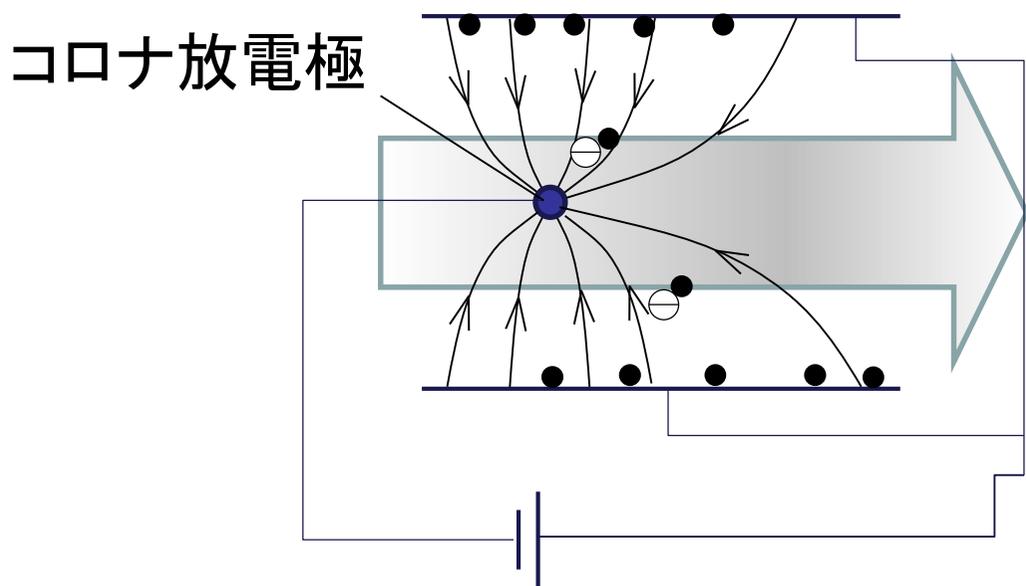
# 現状のスス除去技術(非排気性の炭素粒子でも同様に適用可)

## セラミック・ディーゼル微粒子フィルタ(Diesel particulate filter: DPF)



- 濾過は通風抵抗が高い → エネルギー損失
- 排ガスを定期的に昇温してススを燃やす必要がある → 燃料消費の増加

静電集塵を使いたい



荷電部と集塵部を兼ねる場合

長所

- 通風抵抗が圧倒的に低い

短所

- 導電性粒子を上手く捕集できない
- 捕集したススの処理手段がない

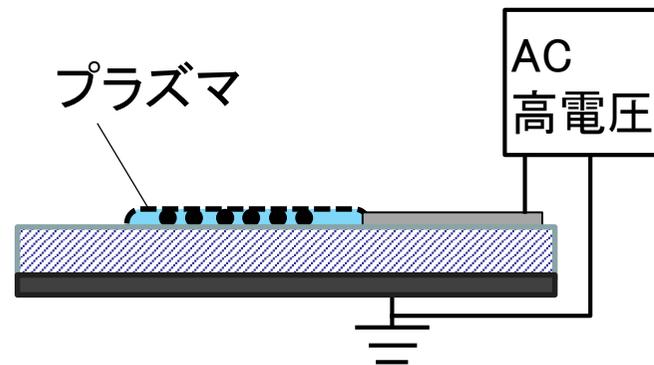
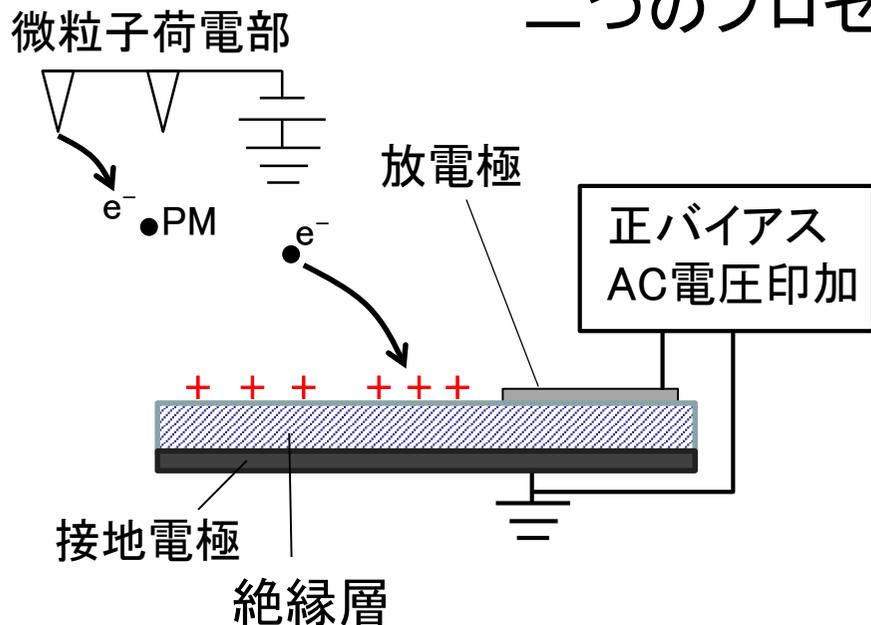
# 本発明の技術的背景

# 発表者の独自技術

微粒子の捕集

ススの分解

二つのプロセスを交互に実施



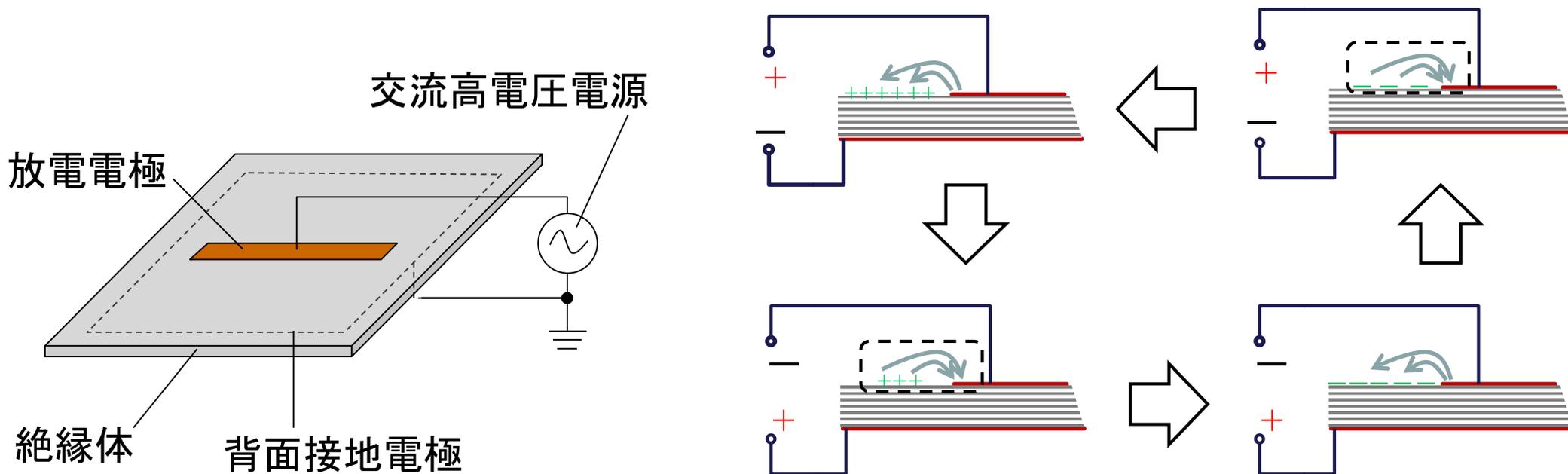
沿面バリア放電によりプラズマ状態を作り出し、すすを酸化分解する

本発明はこの部分に関わる



# 沿面バリア放電について

- 沿面バリア放電は、安定して気体放電を生じさせる手法の一つ



イオンのやり取りにより気体放電が生じる

放電の過程で絶縁体表面にプラズマが生じる

# 従来技術とその問題点

沿面バリア放電の問題点として

- 放電極のごく周辺にしかプラズマが生じない
- 放電極を密に配置しても放電極間の中間領域ではプラズマが生じない

等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

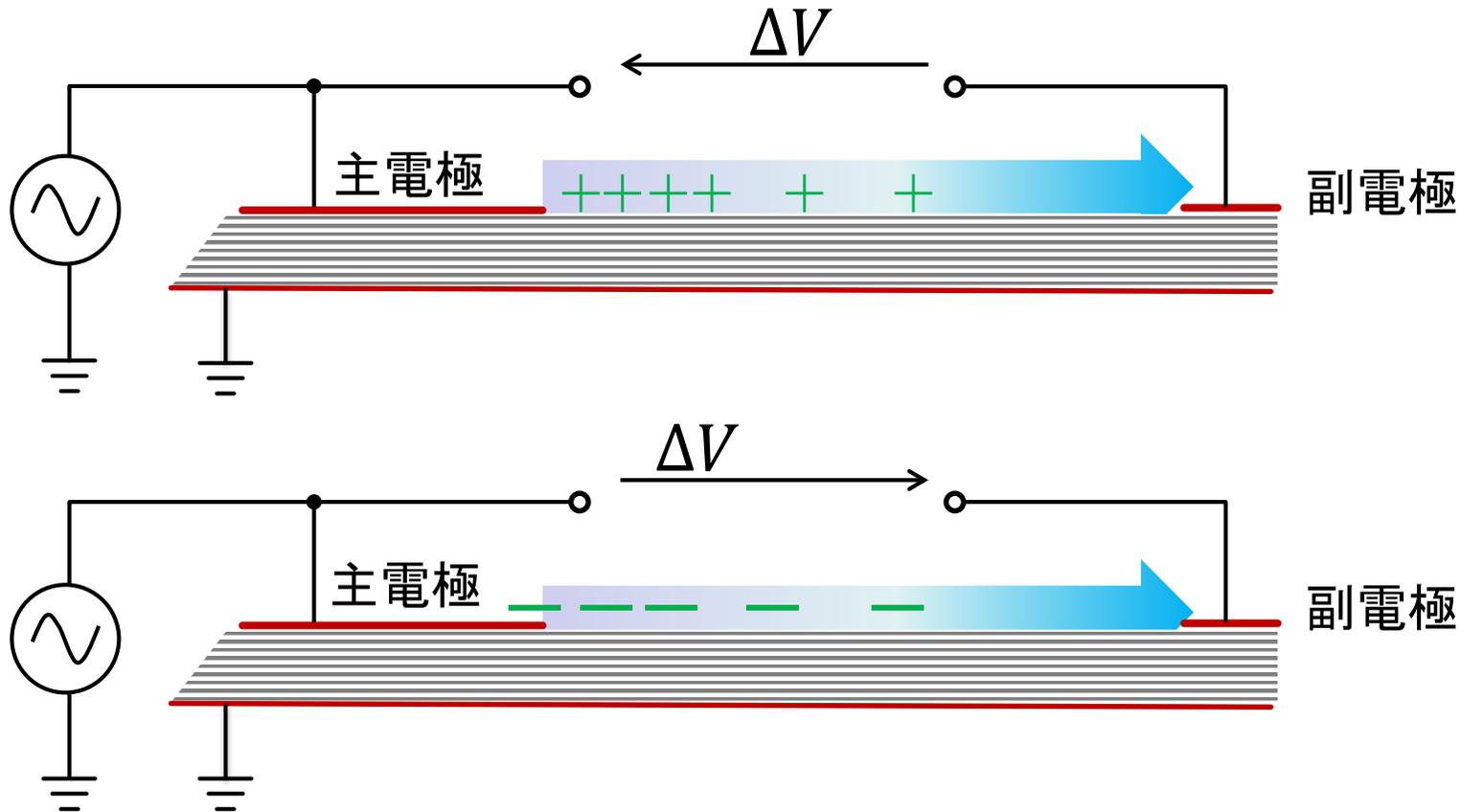
# 新技術(=プラズマ伸展技術)の 特徴・従来技術との比較

- 表面プラズマの**伸展効果**が得られる。
- 電極表面のより広い領域を清浄化できる。
- 導電性微粒子（炭素粒子を想定）が濃厚に付着した場合、従来技術ではほとんど分解できないが、本技術により分解が可能となる。

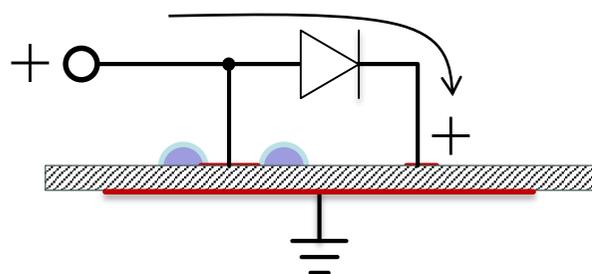
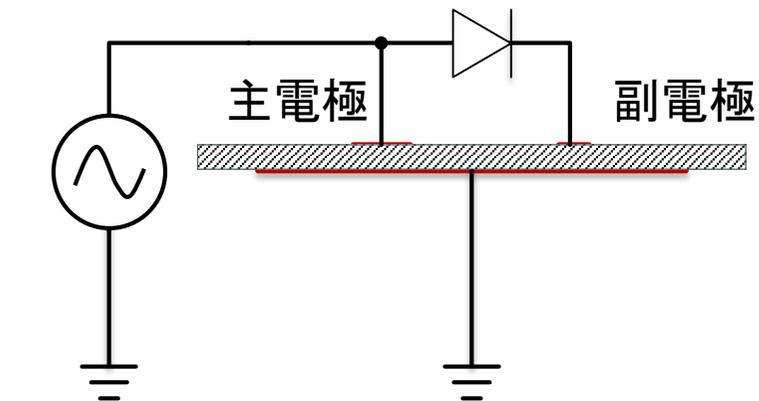
# 新技術の原理と概要

- a) 放電極(=「**主電極**」と呼称)と同一平面上に「**副電極**」を設ける.
- b) 副電極に主電極とは異なる位相の電圧を与えることで, 主・副電極間に強い電界を生じさせ, プラズマを引き延ばす.

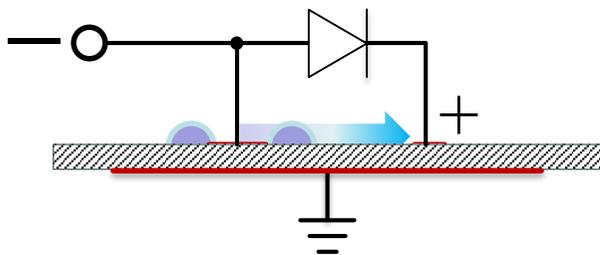
a) のみでは, 他機関の特許が存在する. 本特許は, a) のみの技術に対する優位性を持つ.



主・副電極間にダイオードを挿入する:  
ダイオード型

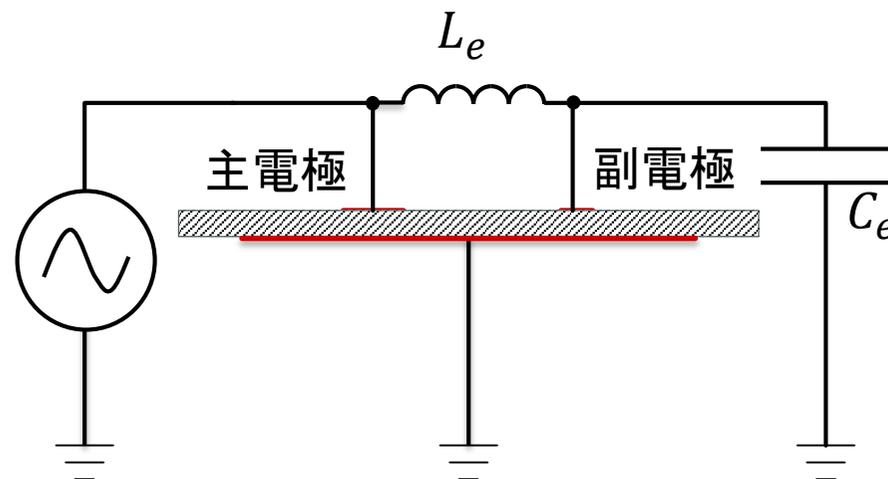


印加電圧が正極性  
のとき、副電極は正に充電



印加電圧が負極性  
のとき、主・副電極間に大きな  
電位差

主・副電極間にインダクタを挿入し、副電極  
と並列にキャパシタを追加する:LC型



- 副電極に直列共振電圧が印加される
- 場合により、主・副電極間に互いに逆位相に近い電圧が印加される

これらにより、主・副電極間に大きな電位差を生じさせる。

# プラズマの拡がり

## 従来技術

主電極のみ



7 kVpp, ~8 W



9 kVpp, ~20 W

副電極: 浮遊



7 kVpp, ~8 W



9 kVpp, ~20 W

## 本発明

ダイオード型



7 kVpp, 10 - 20 W

LC型

$$L = 1.07 \text{ H}$$
$$C_e = 50 \text{ pF}$$



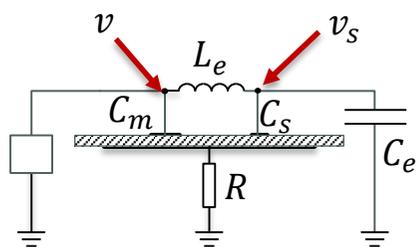
7 kVpp, ~20 W

$$L = 1.07 \text{ H}$$
$$C_e = 100 \text{ pF}$$



7 kVpp, ~20 W

# LC型の自己チューニング効果



Rはここでは実際の回路の寄生抵抗を代表する。

$$\text{電圧増幅率 } \left| \frac{V_s}{V} \right| = \left[ (1 - \omega^2 L_e^2 C^2) \sqrt{1 + \omega^2 R^2 \left( C_m + \frac{C}{1 - \omega^2 L_e^2 C^2} \right)^2} \right]^{-1}$$

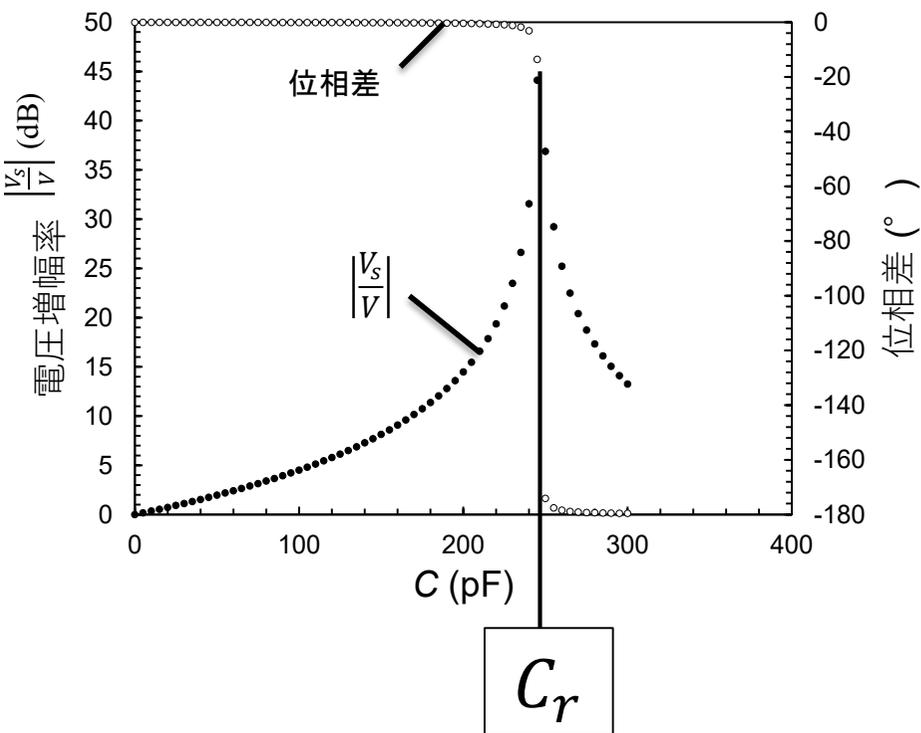
$$\text{位相差 } \Delta\phi = \frac{\pi}{2} [1 - \text{sign}(1 - \omega^2 L_e^2 C)] + \tan^{-1} \left[ R\omega \left( C_m + \frac{C}{1 - \omega^2 L_e^2 C^2} \right) \right]$$

$$C = C_s + C_e$$

副電極に印加される電圧が共振状態に近いほど、主・副電極間に大きな電位差が生まれると同時に、副電極自体もその周辺にプラズマを発生しやすくなる。

プラズマの発生により、主電極、副電極それぞれの接地電極との間の静電容量  $C_m, C_s$  は増加する。

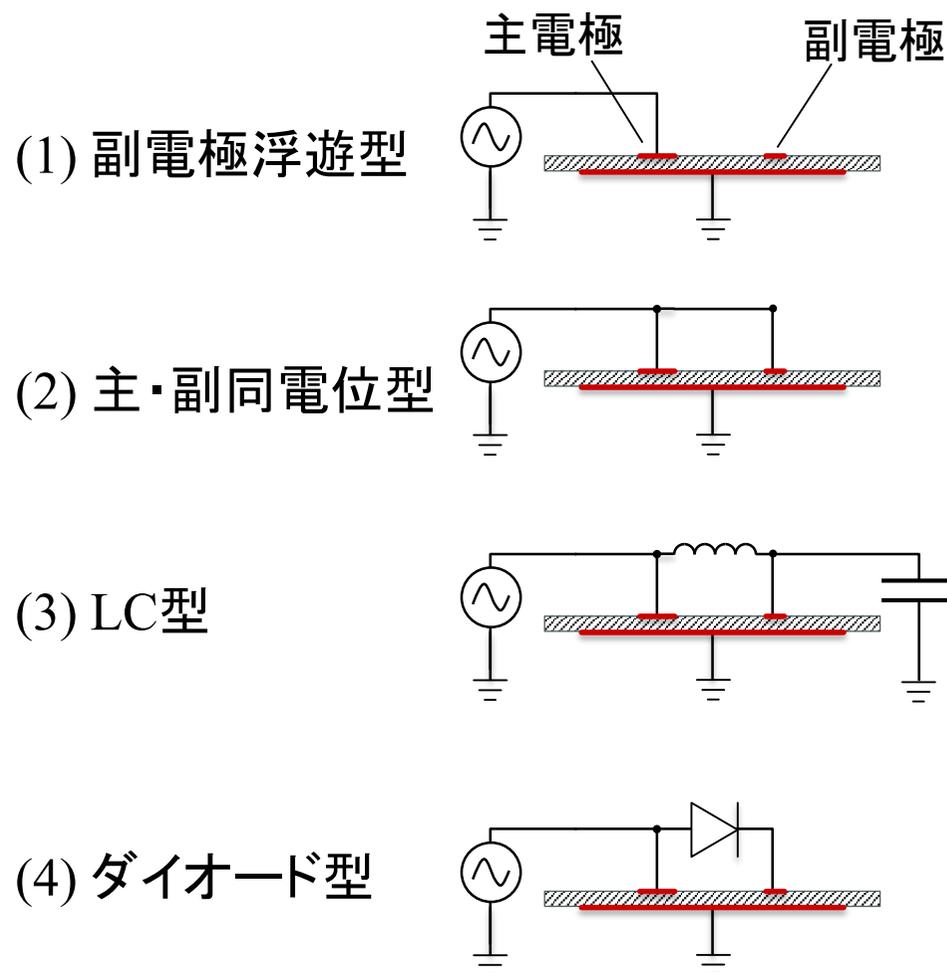
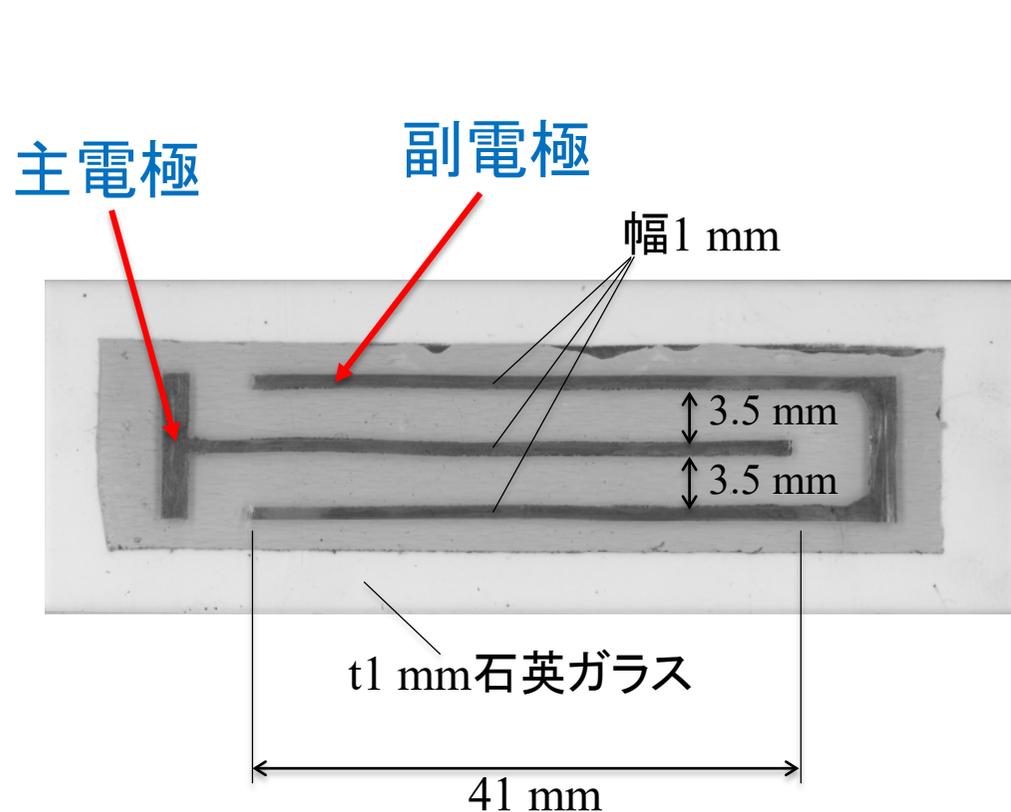
したがって、 $C (= C_m + C_s)$  を共振容量  $C_r$  よりも小さく設定した場合は、放電により、 $C$  が増加し、共振状態により近づく。もし、放電が活発化して  $C$  が  $C_r$  を超えると、逆に共振状態から遠ざかる。同じことが  $C > C_r$  と初期設定した場合も生じうる。つまり、放電状態は、共振に近い状態に固定され、安定なプラズマ伸展効果が得られる。



$L_e = 1.07 \text{ H}, R = 96.5 \Omega$  の場合の計算例

# 炭素粒子の分解事例

## カーボンブラック(CB)による模擬試験例



## 結果まとめ

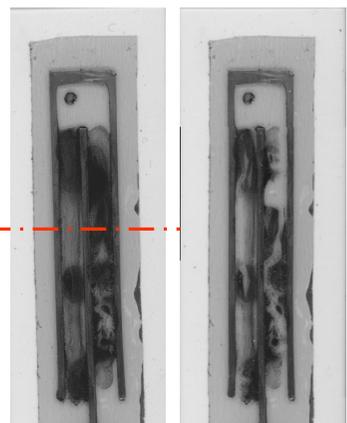
- 表面に付着させたCBが濃い場合（導電性CBが放電を妨げるレベル）、LC型とダイオード型の場合に分解が可能、浮遊型でも時により可能であり、同電圧印加型では分解できなかった。

# 条件A: 7 kVpp, 2分間放電

(1) 副電極浮遊型

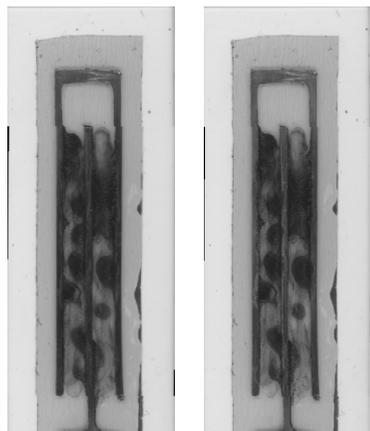
(2) 主・副電極同電位型

(3) LC型



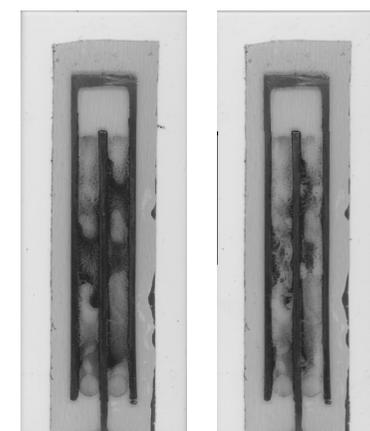
初期

2分放電後



初期

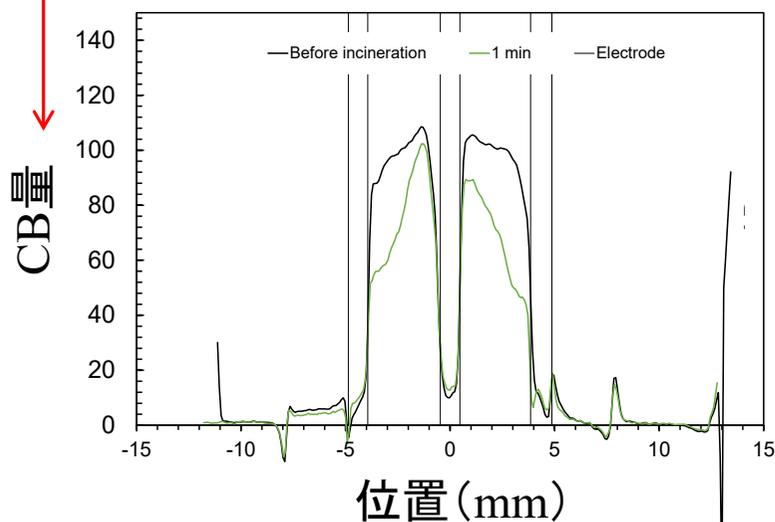
2分放電後



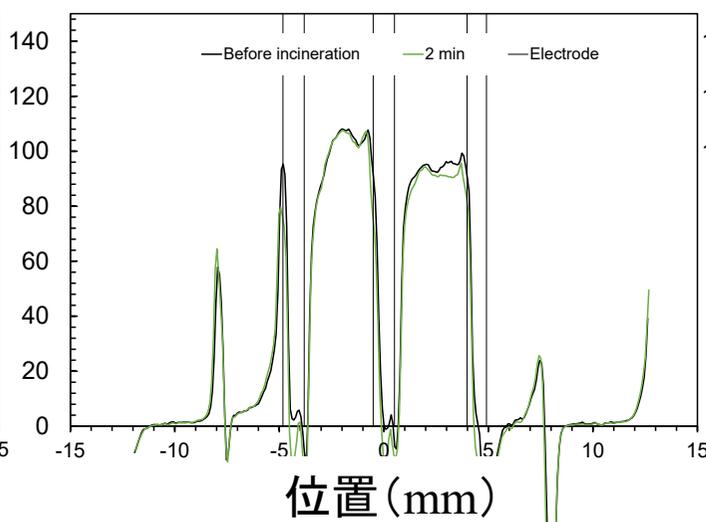
初期

2分放電後

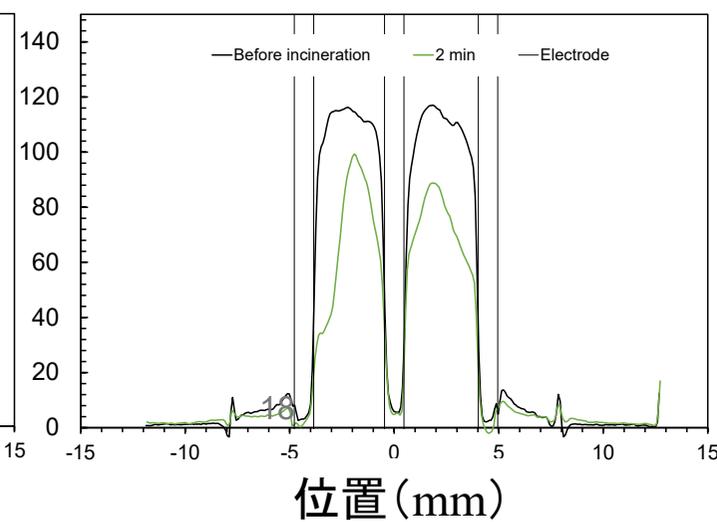
電極を横切る方向  
のCBの量を画素の  
暗さで定量化



$R_{av}$  (基板全体でのCB低減率) = 26%  
P = 17.6 W



$R_{av}$  = 0.28%  
P = 3 W (プラズマが生じない)



$R_{av}$  = 34%  
P = 9.5 W

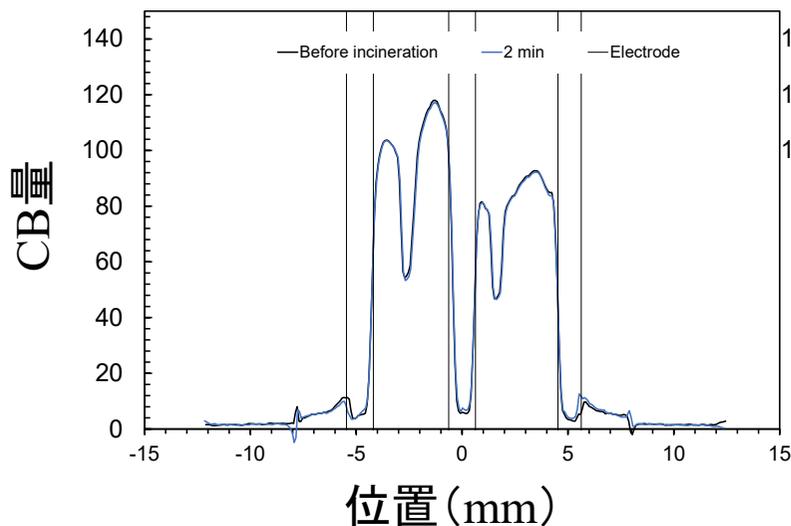
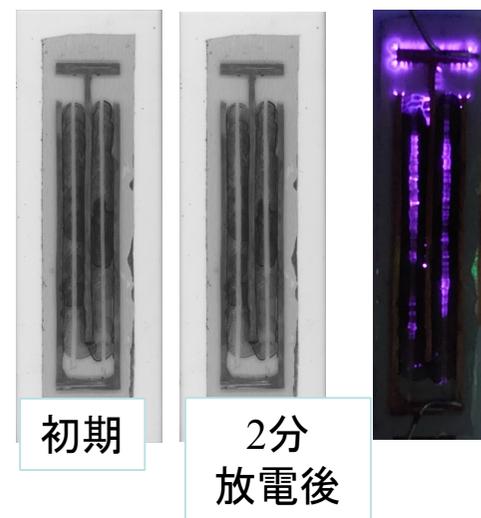
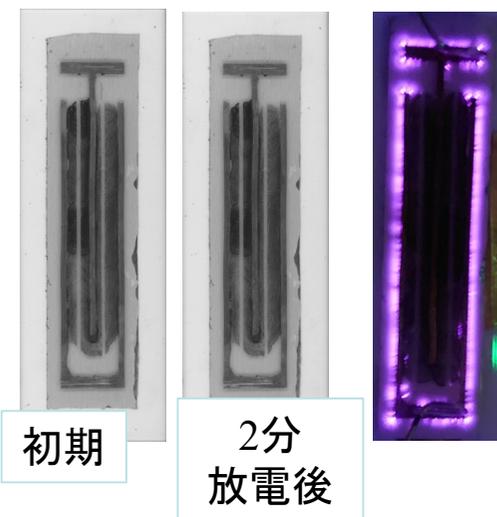
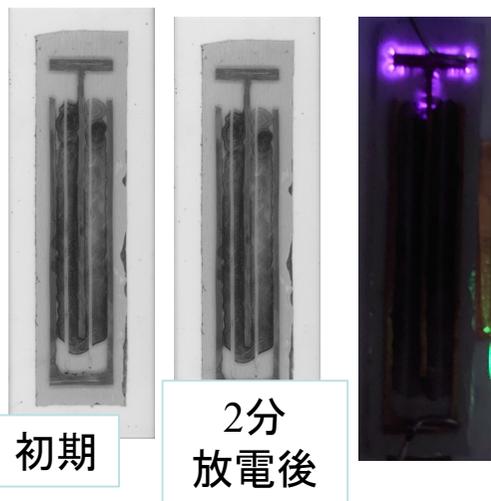
#この電圧では、ダイオード式はスパークが生じるためテストしなかった

# 条件B: 0-1 min: 5.56 kVpp, 1-2 min: 6 kVpp

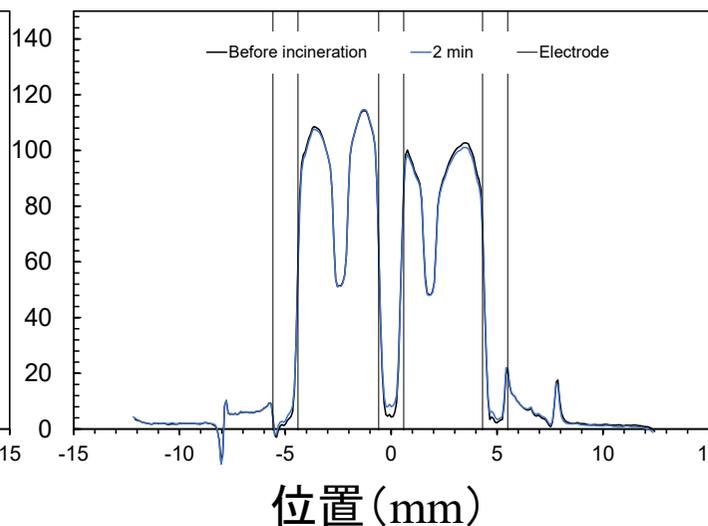
(1) 副電極浮遊型

(2) 主・副同電位型

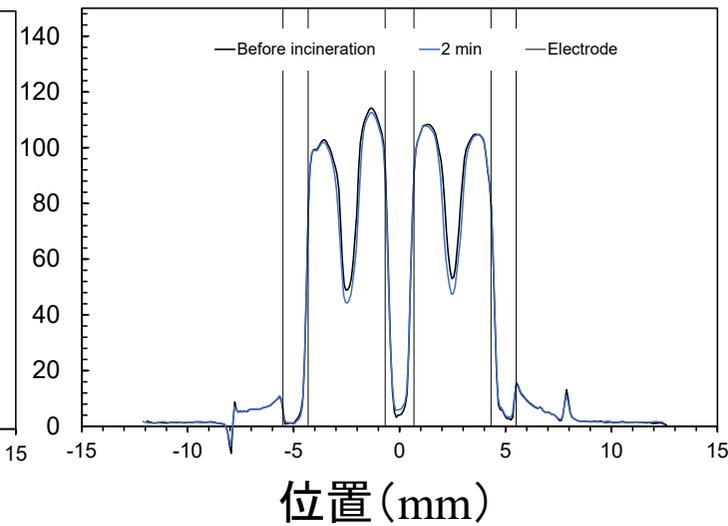
(3) LC型



Rav = -0.2%  
P = 6 W (1-2 min)

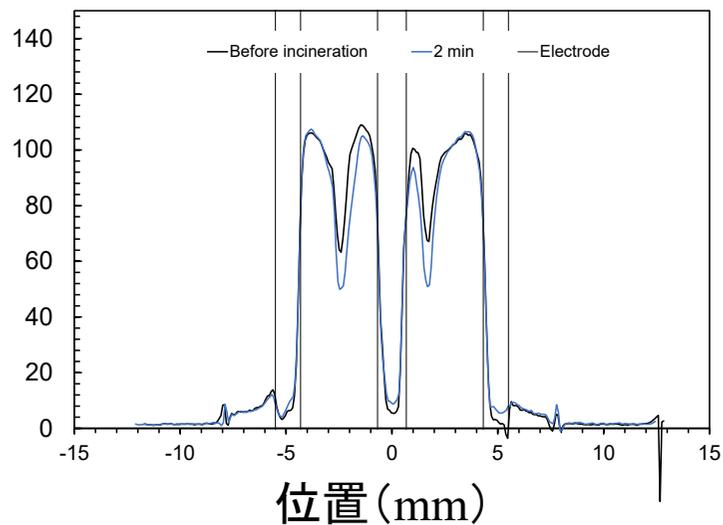
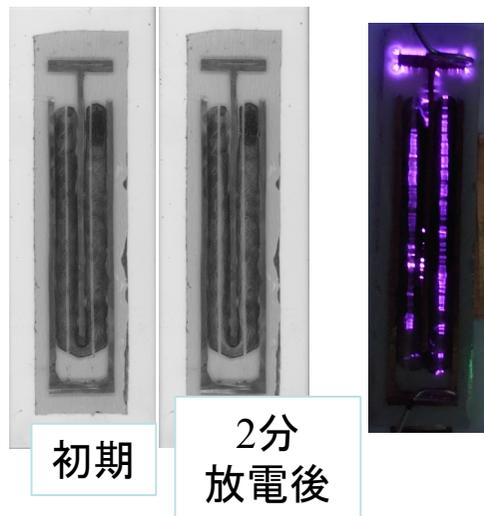


Rav = 0.9%  
P = 3.7 W (1-2 min)



Rav = 3.7%  
P = 6 W (1-2 min)

#CB領域が連続しないように塗布



$R_{av} = 5.8\%$

$P = 6 \text{ W (1-2 min)}$

条件A, Bいずれの場合においても、  
付着炭素の導電性のために、従来技術の電極では炭素が存在する領域でプラズマが生成できない。

# 実用化に向けた課題

- 表面プラズマの伸展と濃厚炭素粒子の分解効果については確認済.
- 今後、印加電圧の周波数、絶縁体板材質、電極諸元の最適化を行う.
- 実用化に向けて、炭素以外の物質による分解の阻害、捕集技術との最適な組み合わせ条件を探る.
- 他用途への展開を模索する.

# 想定される用途

- 排ガス中の微粒子の捕集技術と組み合わせることで、圧力損失ゼロでメンテナンス間隔の長い浄化措置が実現できる。
- ウイルスやカビ、細菌などの高効率無害化ができる。
- 従来技術よりも低い印加電圧で同等の放電電力が投入できるので、オゾン発生装置などを低電圧化できる。
- プラズマと流通ガスの接触面積が増加するので、有害な揮発性有機化合物（VOC）やにおい成分の高効率酸化分解が期待できる。
- イオンの加速距離が増加するので、プラズマによる気流発生装置として期待できる。

# 企業への期待

- 室内空気清浄，大気浄化，排ガス浄化，固体表面の清浄化技術，気流制御分野への展開を考えている企業との共同研究を希望。

# 企業への貢献、PRポイント

- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能
- 本格導入・試験的導入にあたっての共同研究・技術指導等

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : プラズマ発生装置及び  
微粒子除去装置
- 出願番号 : 特願2024-180786
- 出願人 : 学校法人常翔学園
- 発明者 : 吉田 恵一郎

## 産学連携の経歴

- 2014年-2016年 (株) デンソーへの技術指導
- 2022年-2022年 (株) ミライズテクノロジーズへの技術指導

# お問い合わせ先

大阪工業大学

学長室 研究支援社会連携推進課

T E L 06-6954-4140

e-mail [oit.kenkyu@josho.ac.jp](mailto:oit.kenkyu@josho.ac.jp)