

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02129

研究課題名（和文）導電性粒子の異常再飛散現象の制御を利用した電気集塵

研究課題名（英文）Electrostatic precipitation utilizing reentrainment of conductive particles

研究代表者

高島 和則（Takashima, Kazunori）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：60303707

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では導電性の微粒子の電気集塵において避けることのできない再飛散現象を用いて粒子を凝集させることによって粒子径を増大させ、より圧損の小さな物理的フィルタを用いて捕集する手法の実現可能性の検討を行った。ディーゼル実排ガスを用いた検討の結果、電気集塵を動作させた場合にはディーゼル排ガス中にもともと含まれる数10nm程度の直径の粒子からなる高度な凝集体が電気集塵装置内部で観察された。電気集塵装置の下流においては上流と比較して配管への粒子の付着がより顕著であったことより、電気集塵装置内で生じる凝集や化学反応によって粒子の付着性が上昇している可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、電気集塵装置を用いることによってディーゼル排ガス中に含まれる数10nm程度の微粒子を捕集することができ、再飛散により電気集塵装置から排出される粒子についても粒径が増大するとともに、付着性が向上するなど、後処理をより容易にするような粒子の性状の変化を誘導することができることを見出した。このことは、電気集塵装置内の物理的・化学的素過程の解明につながるだけでなく、電気集塵と機械的フィルタの併用によって、従来よりも目が粗く圧力損失の小さなフィルタを使用することができる可能性を示唆しており、内燃機関を用いるエンジンの高度化や動力源の多様化を通して低エネルギー消費社会への寄与が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, abnormal re-entrainment phenomenon that cannot be avoided in the electrostatic precipitation (ESP) of conductive fine particles is used to increase the particle diameter by inducing the aggregation of the particles, and to realize a hybrid collection method using the ESP and coarse mechanical filter with smaller pressure loss. As a result of the feasibility study using actual diesel exhaust gas, when the ESP was on, advanced aggregates consisting of particles with a diameter of several tens of nanometers originally contained in the diesel exhaust gas were observed inside the electrostatic precipitator. It was also found that adhesion of particles to the pipes was more pronounced downstream of the ESP compared to upstream, suggesting that aggregation and chemical reactions occurring within the ESP may have increased the adherence of particles.

研究分野：電気工学

キーワード：電気集塵 ディーゼル排ガス

### 1. 研究開始当初の背景

内燃機関(エンジン)を動力源とする自動車は電気自動車とは異なり、高価で希少な金属(レアメタル)を必要とする駆動用のバッテリーを搭載していないため、バッテリーの製造や廃棄の過程で発生するコストやエネルギー消費とも無縁である。したがって、特にエネルギー効率の高いディーゼルエンジンを搭載する自動車は本質的には環境負荷の小さな自動車である。一方で、ディーゼルエンジン排ガス中には数 10nm 程度の粒径の極めて小さなススの粒子(一般に粒子状物質, PM と呼ばれる)が含まれている。この粒子状物質は呼吸により人体に取り込まれ、肺や気管支等の呼吸器に沈着し、肺がんや呼吸器系疾患などの原因となる危険性が指摘されている。そのため、通常はディーゼル・パティキュレート・フィルタ (DPF) と呼ばれるセラミック製のフィルタを用いて捕集(除去)されるが、非常に目の細かいフィルタが必要となるため高い圧力損失が発生し、エンジンに対する負荷となる。また、微粒子の捕集に伴いフィルタの目詰まりが発生するため、頻繁なフィルタの再生が必要となり、そのためのエネルギー消費も無視できない。以上のことから、既存の DPF に代わる、低圧力損失で高効率なディーゼル PM の除去法の開発が急務とされている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は電気集塵を利用したディーゼル PM の除去方法の実現可能性を検証することである。電気集塵はコロナ放電によって帯電された粒子が静電気力を受けて空間中を移動し集塵電極上に捕集されることを利用したものであり、物理的なフィルタを用いないため低い圧力損失でナノメートルからミリメートルサイズの広範囲の粒子を高効率に捕集できる特徴を有しており、石炭火力発電所の排ガスに含まれる石炭灰(フライアッシュ)の捕集に広く用いられている等、確立された技術である。

しかしながら、導電性の微粒子においては補習された粒子が集塵電極上で電荷を失い誘導帯電により逆極性に帯電されることによって、一旦捕集された微粒子が再び空間中に放出される再飛散現象が生じ、捕集効率が低下する問題がある。本研究では再飛散粒子が一般的に凝集体を形成していることを利用して粒子の凝集状態を制御することによって、電気集塵と DPF との併用する新しい微粒子除去法に関する指針を得ることを目指し、電気集塵による微粒子凝集過程を実験的に調べた。電気集塵によってディーゼル PM を高度に凝集させることが可能になれば、電気集塵装置から再飛散する粒子をより容易に捕集することが可能になり、例えば再飛散粒子を目の粗いフィルタで捕集することによって、全体としては低圧損かつ高捕集効率の微粒子除去が可能になると期待される。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験装置

実験にはディーゼル発電機 (YANMAR YDG350VS-6E) の実排ガスを用いた。発生した排ガス全量を電気集塵装置に導入した。排ガスの温度は電気集塵装置の入り口部分で約 100 °C であった。本実験では同軸円筒型の電気集塵装置を用いた。その概略図を図 1 に示す。集塵電極は内径 54mm のステンレス管からなる。放電電極はステンレス棒に直径 20mm、厚さ 1mm の 8 個の突起を有

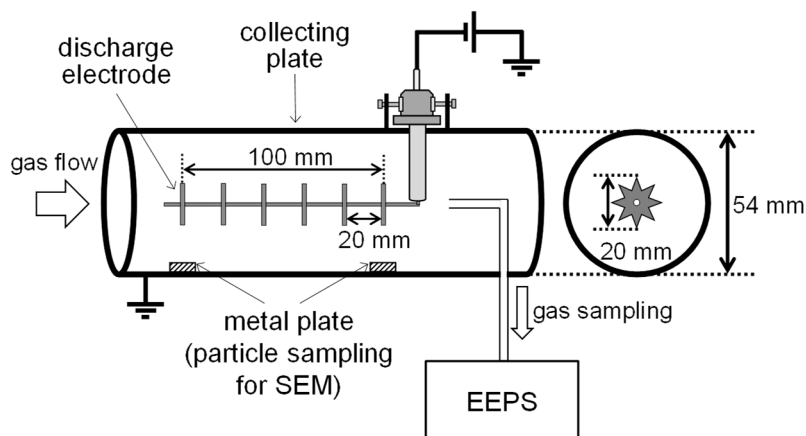


図 1: 実験装置の概略図

する星形電極を 20mm 間隔で 6 個結合したものを、集塵電極となるステンレス管の中心に設置した。放電電極に負極性高電圧を印加することによりコロナ放電を発生させた。本実験の条件では印加電圧が-6kV から-10kV の間で安定な放電が発生することを確認した。また、ガス中の微粒子の計測および SEM 観察サンプルの調製はディーゼルエンジンを十分に暖機した後の排ガスを用いて行った。

## (2) 粒子の計測

### ガス中の微粒子濃度の計測

ガス中の微粒子濃度の測定には Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) spectrometer (東京ダイレック EEPS 3090) を用いた。電気集塵装置の下流からサンプリングしたガスを清浄空気により希釈したのち EEPS に導入し、5.6nm から 560nm の粒径の微粒子の個数濃度と粒径分布をリアルタイムに計測した。電気集塵装置への電圧印加時と無印加時の個数濃度の比から次式により捕集効率を算出した。

$$\text{捕集効率} = 100 \times \left( 1 - \frac{\text{電圧印加時の粒子濃度}}{\text{電圧無印加時の粒子濃度}} \right) [\%]$$

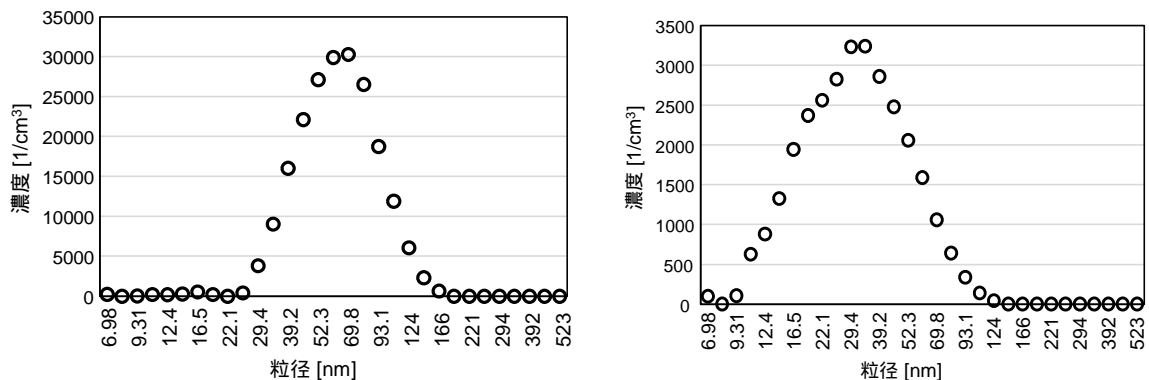
### 集塵電極上の微粒子の観察

集塵電極上の微粒子の観察には SEM (日立 SU8000 Type ) を用いた。SEM 観察用サンプルは、表面に導電性両面テープを貼付した 3mm×3mm のアルミニウム板を集塵電極上に設置し、電気集塵装置動作状態で 10min 間粒子をサンプリングすることによって調製した。サンプルは 200℃ で 24h 真空加熱脱ガス処理を行い未燃の燃料由来の成分を除去し、帯電防止のためにオスミウムコートによる前処理を行い、SEM 観察に供した。SEM 観察では一次粒子の粒径と凝集状態の観察を行った。

## 4. 研究成果

図 2 に印加電圧 0kV と 9kV のときの電気集塵装置出口における排ガス中の微粒子の粒径分布を示す。印加電圧が 0kV のときのデータ (図 2 (a)) より、ディーゼルエンジンから排出される微粒子は約 60 - 70nm を中心とした単一ピークの粒径分布を有することが分かった。印加電圧が 9kV のときには図 2 (b) に示すように、粒径 60 - 70nm のピークは大きく減少し、印加電圧 0kV のときには見られなかった粒径 30nm 付近のピークが出現した。ディーゼル排ガスを含まない清浄な空気に対して電気集塵を行った場合、一切の粒子生成が認められなかったことから、電気集塵されたディーゼル排ガスに含まれる粒径 30nm 付近の粒子は、コロナ放電によって誘起される化学反応によって排ガス中のガス成分がエアロゾル化した結果生じたものではないかと考えられる。また、この粒径 30nm 付近の粒子は電気集塵によって除去されないことから、電気集塵装置内部では気体であり、その後ガスが冷却あるいは希釈される段階で粒子を生成した可能性がある。

印加電圧-9kV で 10min 間電気集塵装置を稼働させた時の集塵電極上からサンプリングした微粒子の SEM 画像を図 3 に示す。ガス流れの最も上流に位置するコロナ放電電極の直下の集塵電極上でサンプリングした粒子の SEM 画像 (図 3 (a)) は粒子が高密度で附着していることを示している。また、これらの粒子は比較的均一な分散状態を保っており、明確な凝集体は観察されな



(a) 電気集塵なし (印加電圧 0kV)

(b) 電気集塵あり (印加電圧-9kV)

図 2: 電気集塵前後の粒径分布の変化

かった。また、個々の粒子の粒径は排ガス中に含まれていた粒子の粒径約 60 - 70nm と整合的であることを確認した。なお、電気集塵を行った排ガスの EEPS 測定で生成が見られた粒径 30nm 付近の粒子を明確に認めることはできなかった。

ガス流れの最も下流に位置するコロナ放電電極の直下の集塵電極上でサンプリングした粒子の SEM 画像 ( 図 3 (b) ) からは、電気集塵装置の上流で観察されたものと同様の粒径約 60 - 70nm と推定される粒子に加え、高度に凝集した大粒径の粒子が観察された。前者の一次粒子の濃度は電気集塵装置上流でサンプリングされたものと比較して非常に低く、単独で存在しているか数個が近接して存在している様子が見られた。また、一次粒子と比較して巨大な凝集体の表面形状は一次粒子と同程度の大きさの凹凸を示しており、この巨大な粒子が一次粒子の凝集によって生成した可能性を示唆している。なお、一次粒子やその弱い凝集体、巨大な凝集体のいずれも SEM 観察では確認できたものの、EEPS による測定では認めることができなかった。これは電気集塵によって粒子濃度自体が大きく低下していたため、EEPS の測定限界を下回っていたためであると考えられる。

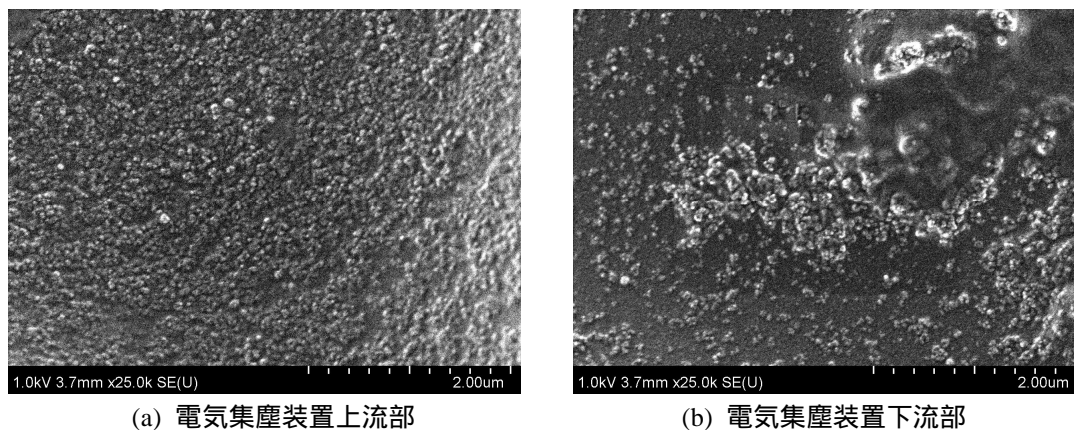


図 3: 集塵電極上の微粒子の SEM 画像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究分担者	小口 達夫  (Oguchi Tatsuo)  (90324491)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授    (13904)	

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