

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13928

研究課題名(和文) グラディエント力を利用した電気集塵装置の異常再飛散抑制手法

研究課題名(英文) Suppression of abnormal reentrainment utilizing gradient force on a collection plate of electrostatic precipitator

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) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ディーゼルPM等の導電性微粒子の電気集塵では、集塵電極上に捕集された微粒子がクーロン力によって空間中に飛散することが問題である。本研究では捕集された微粒子をプラズマによって酸化的に除去する手法とグラディエント力を用いて微粒子を集塵電極上に保持する手法の研究を行った。

集塵電極上で沿面放電を発生させることによって捕集したディーゼルPMが酸化されることを示した。また、集塵電極上に金属メッシュを配置することによって集塵効率が上昇したことから、グラディエント力によって微粒子の保持が向上したことが示唆される。

研究成果の概要(英文)：Fine particles can be collected by electrostatic precipitator (ESP) effectively with very low pressure drop compared with conventional mechanical filters. However particle re-entrainment occurs when the particles are conductive. In this study, feasibility studies on plasma oxidation of the particles collected by an ESP and on electrostatic adhesion of the particles utilizing gradient force are carried out.

Experimental results show that collected diesel PM was oxidized by generating surface discharge on the collection plate of an ESP. It was shown that removal efficiency of the ESP was improved when a collection plate equipped with a metal mesh on it was used.

研究分野：電気工学、反応性プラズマ科学

キーワード：電気集塵 コロナ放電 グラディエント力

1. 研究開始当初の背景

ディーゼル機関はガソリン機関と比較して熱効率が高く、多様な燃料に対応可能であるという特徴を有している。また連産品である化石燃料の有効活用のためにもディーゼル機関は重要な動力源である。しかしながら、排ガス中には燃焼メカニズムに起因するナノサイズの微粒子 (PM) が不可避免的に含まれており、発がん性等の人体への悪影響が指摘されているためこれを除去する必要がある。多孔質セラミック製のディーゼル・パーティキュレート・フィルタ (DPF) を用いた経過が一般的に用いられているが、圧力損失と極小微粒子に対する除去性能の向上の間にトレードオフの関係があり、低圧力損失で極小微粒子を高効率に除去する新規手法が求められている。

そのため、電気集塵を用いたディーゼル PM 除去の研究が行われているが、ディーゼル PM が導電性を有しているため集塵電極上に捕集された PM が誘導によって逆極性に帯電され集塵電極から剥離し空間内に放出される異常再飛散現象が生じ、その結果集塵効率が低下する問題があり、このことへの対策が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的はディーゼル PM を電気集塵する際に生じる異常再飛散を抑制する手法に関する feasibility study を行うことである。異常再飛散の特性は集塵電極上に堆積している PM の量と集塵電極上の電界によって影響を受けると考えられるため、捕集した PM を沿面放電によって酸化的に除去することおよび集塵電極上への微細構造の導入によりグラディエント力を誘起することによって異常再飛散を抑制することが可能であるか実験的な検討を行った。

3. 研究の方法

図 1 に異常再飛散のメカニズムを示す。コロナ放電によって単極性に帯電した粒子は気流によって下流に移動しながらクーロン力を受け集塵電極方向へ移動する。荷電粒子が集塵電極に接触したとき、粒子の導電率が十分に低い場合は粒子は電荷を保持し集塵電極上

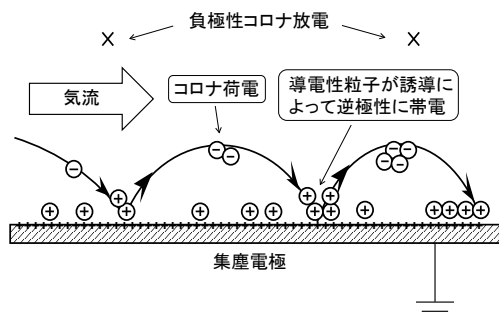


図 1: 異常再飛散現象

に留まるが、粒子が導電性の場合には電荷を喪失し誘導によって逆極性に帯電される。その結果、集塵電極から離れる方向へクーロン力を受け、気流中に飛散する (異常再飛散現象)。最飛散された粒子は再びコロナ放電により帯電され同様の過程が繰り返されることによって捕集効率が低下する。

図 2 に集塵電極表面に微細構造を導入した場合に粒子に働く静電気力 (クーロン力およびグラディエント力) の模式図を示す。クーロン力は粒子の持つ電荷量と電界強度の積で決まり、逆極性に帯電した粒子には集塵電極から離れる方向へ働く。一方、グラディエント力は粒径の 3 乗および  $\Delta E^2$  に比例し、帯電量および極性には無関係に低電界部から強電界部へ向かう方向 (微細構造の先端へ向かう方向) へ働く。したがって、逆極性に帯電した粒子に働く力は捕集方向へ働くグラディエント力と飛散方向へ働くクーロン力とのバランスによって方向が決まるが、粒子径および電界の不平等性が大であるほどグラディエント力がクーロン力と比較して優勢になるため、再飛散抑制に効果があると考えられる。図 3 に集塵電極上に金属メッシュを設置した構造の概略図を示す。メッシュにより集塵電極上

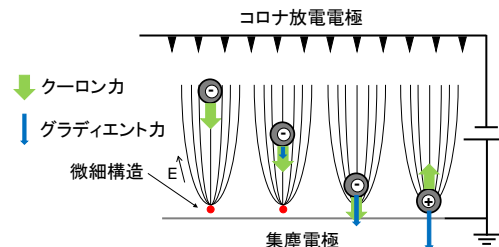


図 2: グラディエント力

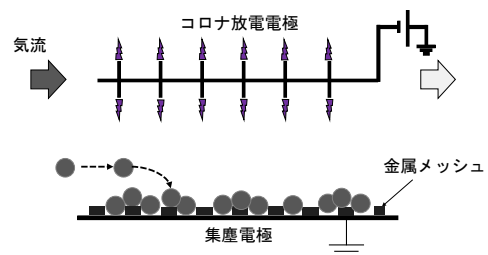


図 3: 金属メッシュを装備した集塵電極

に微細構造が導入されている。

PM をトラップした DPF の再生 (PM の燃焼) は通常は燃料噴射により高温の排ガスを発生させ、DPF を加熱することによって行われる。しかしながら、PM の燃焼に伴う発熱の制御が困難であり、過熱によって DPF 溶損する可能性がある。そこで、本研究では集塵電極上で沿面放電を発生させることによって生成するラジカルやオゾン等の活性種を利用して PM を酸化することの実験的検討を行った。図 4 に沿面放電による PM 酸化装置の概略図

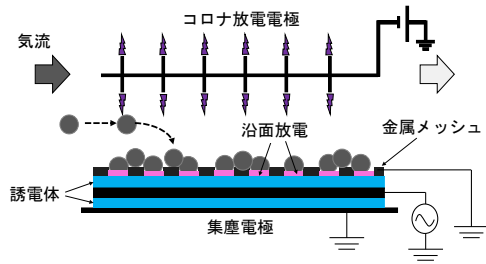


図 4: 沿面放電による PM 酸化装置を装備した電気集塵装置

を示す。電気集塵装置を模擬した構造とするため、最内面に金属メッシュを配置し、内部には電氣的に絶縁された高電圧電極を配置し、最外部には電気集塵装置の筐体としてのステンレス管が配置され、接地されている。金属メッシュを接地することで電気集塵装置として動作する。高電圧電極に交流高電圧を印加することによって金属メッシュの周辺に沿面放電が発生する。

#### 4. 研究成果

表 1 に金属メッシュの種類とディーゼル PM 捕集効率との関係を示す。いずれの金属メッシュを用いた場合においても、通常の電気集塵装置を模擬するために金属メッシュの代わりに同一厚さの金属板を設置した場合よりも高い捕集効率を得られている。実験終了後の金属メッシュ表面の様子を図 5 に示す。開口部が大きく、線径の大きなメッシュへは PM の付着が少なく、開口部が小さく線径の小さなメッシュへの PM の付着が大である傾向が示された。特に #18 の金属メッシュが最も高い捕集効率を示したが、集塵後の PM の付着は非常に少なかった。同時にメッシュ背面の金属板への付着が顕著であることを確認した。これらの実験結果から、開口部が大きなメッシュでは金属版と金属メッシュのいずれもが集塵電極として働くこと、金属板から再飛散する粒子はグラディエント力等の影響によってその上方に存在する金属メッシュに付着する可能性があることを示唆している。

図 4 の構造の電気集塵装置を用いて電気集塵のみを動作させた場合の捕集効率の時間変化を図 6(a) に、電気集塵と沿面放電による捕集微粒子の酸化を同時に行った場合の結果を図 6(b) に示す。比較のために、金属メッシュの代わりに同一厚さの金属板を設置することによって通常の電気集塵装置を模擬した場合のデータも示す。電気集塵のみを動作させた場合は通常の電気集塵装置が最も高い捕集効率を示した。これはメッシュを用いた場合はメッシュの背面に絶縁体が存在していたために有効な集塵電極面積が小さかったのに対して通常の電気集塵装置では全面積が集塵電極として働いたことに起因するものと考えられる。一方、沿面放電による PM の酸化を同時に動作させた場合は電気集塵のみを行った場

表 1: 微細構造を有する集塵電極を用いたディーゼル PM の電気集塵

タイプ	線径 [mm]	線間隔 [mm]	捕集効率 [%]
#16	0.29	1.30	92.4
#18	0.34	1.07	95.2
#30	0.25	0.60	90.3
#40	0.18	0.46	91.1
#120	0.08	0.13	92.9
metal plate	-	-	88.6

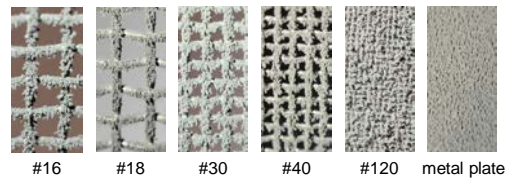
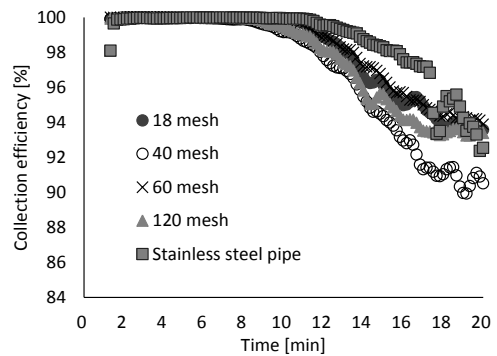
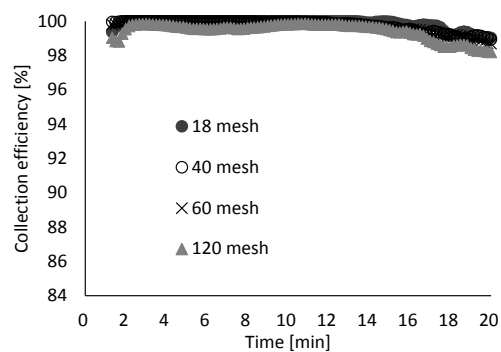


図 5: 微細構造を有する集塵電極を用いたディーゼル PM の電気集塵



(a) 沿面放電を発生させない場合



(b) 沿面放電を発生させる場合

図 6: 沿面放電発生装置を有する電気集塵装置のディーゼル PM 捕集効率

合と比較していずれのメッシュを用いた場合においても時間経過に伴う捕集効率の低下が顕著に抑制される結果が得られた。集塵電極上で両極性放電である沿面放電を発生させると正負両極性のイオンが生成されるためにコロナ放電で帯電した微粒子の電荷が中和されることによって捕集効率が著しく低下する可能性が考えられたが、ここで得られた結果は

沿面放電による電荷中和の効果が軽微であることを示している。また、沿面放電を併用した場合に高い捕集効率が示されたことから、電気集塵によるPMの捕集とPMの沿面放電による酸化が同時に進行することによってPMの堆積量が低い値に保たれた結果あるいは交流高電圧の印加によってメッシュ近傍にグラディエント力が発生した結果、再飛散が抑制された可能性を示唆している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- [1] K. Takashima, H. Kohno, A. Katatani, H. Kurita, and A. Mizuno, "Two-stage electrostatic precipitator using induction charging," Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 51, 174002, April 2018 doi: 10.1088/1361-6463/aab4bf (査読有り)

[学会発表] (計 5 件)

- [1] 久保田斗馬, 高島和則, 栗田弘史, 水野 彰, “電気集塵と沿面放電を用いたディーゼル微粒子の捕集・酸化同時処理”, 第 41 回静電気学会全国大会, 大阪, September 2017
- [2] A. Mizuno, A. Katatani, H. Kouno, Y. Yamanaka, T. Ota, H. Kurita, and K. Takashima, “Possible use of induction charging for electrostatic precipitation”, The 10th Conference of the French Society of Electrostatics, Poitiers, France, August 2016
- [3] K. Takashima, H. Kurita, H. Yasuda and A. Mizuno, “Application of atmospheric pressure plasma in environmental remediation and medicine”, 2016 Electrostatics Joint Conference, West Lafayette, IN, USA, June 2016
- [4] M. Takasaki, T. Kubota, M. Hayashi, H. Kurita, K. Takashima, and A. Mizuno, “Electrostatic precipitation of diesel PM at reduced gas temperature”, Annual meeting of IEEE Industry Applications Society, Dallas, TX, USA, October 2015
- [5] 高崎光博, 栗田弘史, 高島和則, 水野彰, “電気集塵機における排気ガス温度及び集塵電極表面粗さの捕集効率への影響”, 第 39 回静電気学会全国大会, 東京, September 2015

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等  
<http://ens.tut.ac.jp/electrostatics/>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者  
高島 和則 (TAKASHIMA, Kazunori)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60303707

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：

(4)研究協力者 ( )