

コロナ放電を利用しない電気集塵装置

- 集塵率による考察 -

片谷 篤史^{*1}, 細野 洋^{**}, 村田 光^{**}, 飯塚 悠気^{**}, 八幡 大志^{**}, 水野 彰^{***}

(2016年3月14日受付; 2016年5月25日受理)

Electrostatic Precipitator without Using Corona Discharge

- Discussion based on Collection Efficiency -

Atsushi KATATANI^{*1}, Hiroshi HOSONO^{**}, Hikaru MURATA^{**},
Yuki IIZUKA^{**}, Hiroshi YAHATA^{**} and Akira MIZUNO^{***}

(Received March 14, 2016; Accepted May 25, 2016)

The authors have been studied the electrostatic precipitator (ESP), which can charge suspended particles instead of corona discharge, to collect particles with Coulomb's force in strong electric field. By the observation of the vestiges of attached particles on the electrode-plates in the previous first-study, it was confirmed that the particles were collected mainly by the gradient force and then re-entrained into the gas stream with acquired induction charge. In the parallel plate section set at the downstream, these charged particles were collected. The collection efficiency of this first study, however, was not measured. In order to clarify the performance of particle collection, we measured the size-dependent collection-efficiency in this second study.

1. はじめに

本研究の著者による先行研究として、参考文献1)「コロナ放電を利用しない電気集塵装置 - 電極板の堆積状態」があり、この先行研究の概要と課題を以下に述べる。

この先行研究では、6枚の接地極板と5枚の荷電極板(いずれも SUS304製の平板、厚さ0.4 mm)を、平行かつ互い違いにずらし、不平等電界を形成しやすいように配列した1段式の電気集塵装置(Electrostatic Precipitator, 以降 ESP と表記)を用いた。ESPの各極板には、コロナ放電用の突起を設けておらず、コロナ放電が発生しないことを予め確認した直流高電圧 +8 kV を印加した。この ESP に、粉塵濃度 0.35 mg/m³ のディーゼル排ガスを、風速 9 m/s で通風し、18 h 後、極板を取り出し観察した。

その結果、極板に粉塵が付着・堆積していることを確認した。また、いったん極板に付着した粉塵が再飛散する際、誘導荷電作用により帯電し、電界中のクーロン力で捕集されることを確認した。即ち、コロナ放電を利用しなくても、粉塵が捕集されることを確認した。しかし、この先行研究では、集塵率を測定しなかったため、集塵率自体が不明であった。また、極板の風上端部と風下端部に、粉塵が多く付着する傾向があったが、この点に関する検討が必要であると考えた。

そこで、今回の研究では、先行研究と同様の構造の ESP を用い、室内大気塵に関する集塵率を測定することとした。また、2種類の板厚の極板を用い、端部条件の変化が集塵率に及ぼす影響を確認することにした。

キーワード：静電気、電気集塵、再飛散、誘導荷電

* パナソニック環境エンジニアリング株式会社

(〒486-8524 愛知県春日井市鷹来町字上仲田 3905 番 3)
Panasonic Environmental Systems & Engineering Co., Ltd,
3905, Takaki-cho Kasugai-city, Aichi-pref., 486-8524,
Japan

** パナソニックエコシステムズ株式会社

(〒486-8522 愛知県春日井市鷹来町字下仲田 4017 番)
Panasonic Ecology Systems Co., Ltd, 4017, Takaki-cho
Kasugai-city, Aichi-pref., 486-8522, Japan

*** 国立大学法人 豊橋技術科学大学

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)
Toyohashi University of Technology, 1-1, Hibirigaoka,
Tenpaku-ku, Toyohashi-city, Aich-pref., 441-8580, Japan

¹ katatani.atsushi@jp.panasonic.com

2. 実験装置および方法

図1に、ESPに用いる極板の形状を示す。全長200 mm、幅36 mmであり板厚は0.4 mmと0.8 mmである。(板厚0.8 mmについては、板厚0.4 mmの極板を2枚重ねて用いることとした。)先行研究と同様に、コロナ放電用の突起を設けない形状である。

図2に、ESPの極板配置を示す。接地に繋がれている7枚の極板が接地極板(図1の形状)であり、直流高電圧が印加される6枚の極板が荷電極板(これも図1の形状)である。荷電極板の風上端を接地極板の風上端よりも30 mm風下側にずらし、平行かつ互い違いに配置して、不平等電界を形成しやすい構造とした。隣接する極

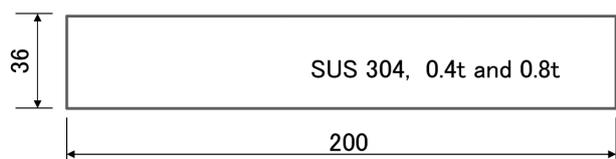


図1 実験で用いる極板
Fig.1 Electrode-plate for experiment.

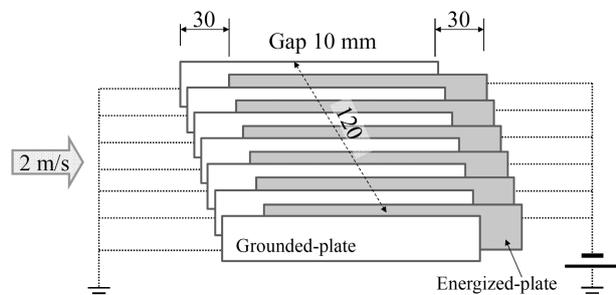


図2 極板の配置
Fig.2 Layout of electrode-plates.

板の間隔は 10 mm である。(注記：隣接する極板について、板厚中心の仮想面間の距離で 10 mm.) 全て板厚 0.4 mm の極板を用いる場合をケース 1 とし、また、全て板厚 0.8 mm の極板を用いる場合をケース 2 とし、それぞれのケースで集塵率を測定することとした。

印加する直流電圧は、最大 -8 kV であるが、この電圧では放電電流は流れず、コロナ放電が発生しないことを、予め確認している。(注記：印加電圧を変化させた時の放電電流値は、-8 kV で 0 μA、-9.5 kV で 0.2 μA、-10 kV で 1 μA であった。-8 kV で放電電流は測定されなかった。但し、トリチェルパルスの発生の有無については未確認である。) 印加電圧値を、-8 kV、-6 kV、-4 kV、-2 kV と降下させ、最終 0 kV とし、5 種類の電圧値で集塵率を測定することにした。

図 3 は実験装置の系統を、表 1 は実験装置の仕様を示す。室内大気塵を除去対象の粒子とした(注記 1 参照)。
#1 と #2 は入口ダクトおよび接続ダクト、#3 は ESP 収納ダクト、#4、#5、#6 は接続ダクト、#7 は出口ダクト、#8 は可変速ファンである。ダクトは全てアクリル製である。

各ダクト部 #1 から #8 を直列に接続し、これに室内大気塵を含む空気を通風できるものを、本 ESP 実験の実験装置とした。#9 は直流高圧電源で、ESP 収納ダクトに接続される。高電圧回路の電圧と電流を、#12 電圧計と #13 電流計で確認した。#11 風速計で、入口ダクトの吸い込み位置の風速を計り、#3 ESP 収納ダクトの内部風速が 2 m/s になるように、風速調節を行った。#10 パーティクルカウンターで空気中の粉塵の個数濃度を測定

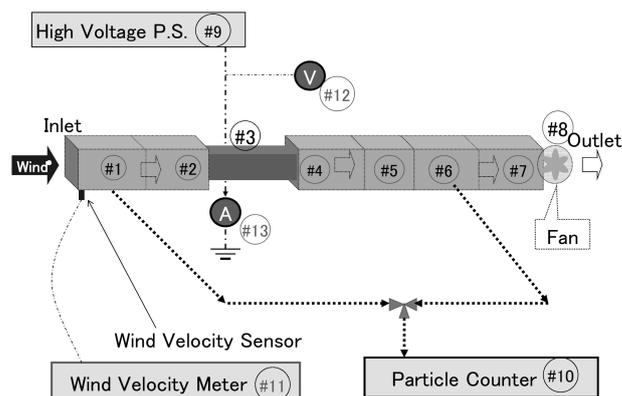


図3 実験装置の系統図
Fig.3 Schematic diagram of test equipment.

表 1 実験装置の仕様
Table 1 Specification of test equipment.

Items	Details
Duct (#1,2,4,5,6,7)	W 121, H 140, L 200 mm (Inside)
ESP duct (#3)	Duct ; W 121, H 32, L 300 mm (Inside) with slots for fixing electrode-plates
Fan (#8)	MU1238A-11B (Oriental Motor Co., Ltd.) Quantity ; 2 (tandem coupled) With a variable frequency controller
High voltage power supply (#9)	HVα-10K10N/OLTS/100 (Maxelec Co.,Ltd.) Max. output ; DC -10 kV, 10 mA Ripple 0.01 %
Particle counter (#10)	KC-01E (RION), Light scattering method Range ; 0.3, 0.5, 1, 2, 5 over μm Sampling volume for individual measurement ; sample-mode of 283 mL (per 34 s)
Wind velocity Meter (#11)	Climomaster MODEL6531 (Kanomax) Mode;1 s measuring & 10 times ave.
Voltage meter & Probe (#12)	Digital multi meter type73303 (Yokogawa) Ratio;1/1000 (FLUKE), For high voltage
Current meter (#13)	Type 201133 (Yokogawa) Range; 0.1, 0.3, 1, 3 mA

した。ESP の入口と出口で切り替えて測定することにより、(1)式で表される集塵率を求めた。

$$\text{集塵率} = [1 - (\text{出口個数} / \text{入口個数})] \times 100\% \quad (1)$$

尚、このパーティクルカウンターは、粒径別に粉塵粒子の個数濃度を測定できるもので、(1) 粒径 0.3 μm 以上の全個数、(2) 0.3 から 0.5 μm の個数、(3) 0.5 から 1.0 μm の個数、(4) 1.0 から 2.0 μm の個数、(5) 2.0 から 5.0 μm の個数、そして (6) 5.0 μm 以上の個数を、同時に測定することができる。

各ケースについて、各電圧で入口と出口の濃度測定を 5 回行い、その平均値を用いて集塵率を測定した。この

測定を5度行い、集塵率の再現性を確認することにした。また、測定に先立ち、実験装置を、各ケースの電圧条件で最低30分稼働させ、集塵率が安定したことを確認した上で、測定を開始することとした。

(注記1：先行研究では、極板への色濃い付着が期待できる「高濃度のディーゼル排ガスの粉塵」を観察の対象とした。一方、今回は、粒径別の個数濃度を測ることができるパーティクルカウンターを用いるので、測定対象の粉塵を「室内の大気塵」とした。)

3. 結果および考察

集塵率の全測定を、初冬の16日間で行った。その期間内の測定環境における温度は、12から19℃の範囲内であり、湿度は、37から68% Rhの範囲内であった。

本研究における濃度は、全て気体1L中の粒子個数である個数濃度で示される。期間中の室内大気塵の濃度について、0.3 μm以上の全個数濃度が最小の時と最大の時の各粒径毎の濃度値を表2に示す。最大時と最小時で、全個数濃度には数倍の開きがあった。しかし、各測定日の各回の測定中の全個数濃度は、概ね安定していた。

また、濃度が最大、最小いずれの場合でも、粒径0.3から0.5 μmの粒子個数が、測定された全粒子個数の約7割から9割を占めた。また、粒径が大きくなるにつれて、測定される粒子個数は減る傾向にあった。特に粒径5.0

表2 測定時の室内大気塵の最大および最小個数濃度
Table 2 The measured maximum and minimum concentration.
(By counted particle number in room atmosphere)

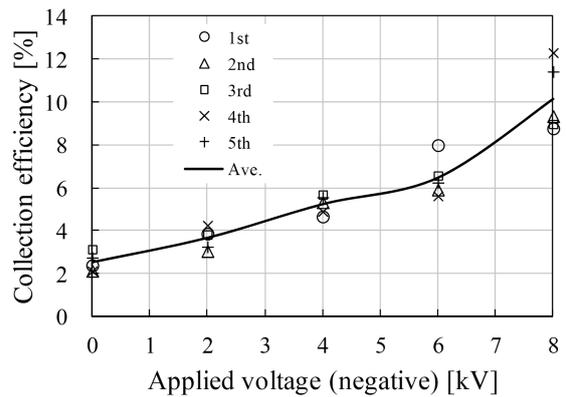
Size of Particle [μm]	Counted number per 1 L (1 × 10 ³ m ³)	
	Max. concentration (ratio to all [%])	Min. concentration (ratio to all [%])
5.0 over	0 (0%)	3 (0.1%)
2.0 to 5.0	25 (0.1%)	50 (1.1%)
1.0 to 2.0	200 (0.7%)	317 (6.6%)
0.5 to 1.0	1,927 (6.3%)	1,087 (22.7%)
0.3 to 0.5	28,373 (92.9%)	3,325 (69.5%)
All over 0.3	30,525 (100.0%)	4,782 (100.0%)

μmを超える粒子は、殆ど測定されなかったもので、集塵率の評価は、5.0 μm以下の粒子で行った。

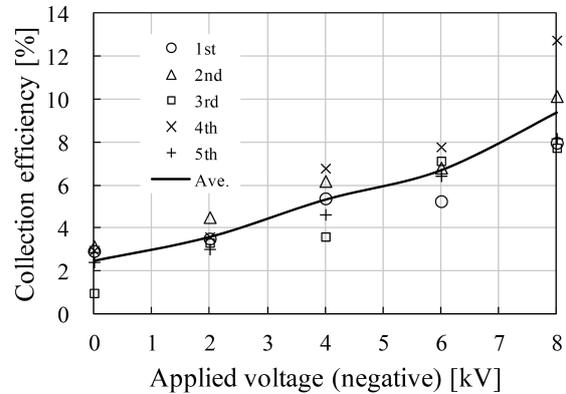
一方で、全個数濃度が安定していても、粒径1.0から2.0 μmと、2.0から5.0 μmの個数濃度は比較的変動した。ケース1の各測定回における各粒径の個数濃度とその変動幅を表3に示す。ケース2の個数濃度と変動幅は、表3の内容と同程度であったので記載を省く。

3.1 粒径0.3 μm以上の粒子についての集塵率

ESPの印加電圧を変えた時の、0.3 μm以上の全粒子個数についての集塵率を図4に示す。図4(a)は、ケース1



(a) ケース1：極板板厚 0.4 mm
(a) Case 1 :Plate thickness 0.4 mm.



(b) ケース2：極板板厚 0.8 mm
(b) Case 2 :Plate thickness 0.8 mm.

図4 集塵率特性 (粒径0.3 μm以上全て)
Fig.4 Collection efficiency. (all diameters over 0.3 μm)

表3 流入側の個数濃度の範囲 (ケース1：極板厚さ 0.4 mm)
Table 3 The range of counted particle number at inlet of ESP. (Case 1 of plate thickness : 0.4 mm)

Size of particle [μm]	Range of counted particle-number per 1 L (Range-ratio [%] to the center value of range)				
	1 st measurement	2 nd measurement	3 rd measurement	4 th measurement	5 th measurement
2.0 to 5.0	7 – 38 (± 68.9)	9 – 23 (± 43.8)	3 – 19 (± 72.7)	4 – 17 (± 61.9)	5 – 18 (± 56.5)
1.0 to 2.0	49 – 97 (± 32.9)	58 – 119 (± 34.5)	121 – 186 (± 21.2)	60 – 91 (± 20.5)	55 – 79 (± 17.9)
0.5 to 1.0	423 – 572 (± 15.0)	488 – 669 (± 15.6)	1,446 – 1,921 (± 14.1)	768 – 883 (± 7.0)	622 – 759 (± 9.9)
0.3 to 0.5	4,848 – 5,990 (± 10.5)	5,107 – 5,647 (± 5.0)	19,806 – 23,373 (± 8.3)	11,081 – 12,487 (± 6.0)	10,434 – 11,521 (± 5.0)
All over 0.3	5,403 – 6,590 (± 9.9)	5,699 – 6,387 (± 5.7)	21,500 – 25,378 (± 8.3)	12,012 – 13,362 (± 5.3)	11,166 – 12,322 (± 4.9)

(板厚 0.4 mm の場合) であり, 図 4(b) はケース 2 (板厚 0.8 mm の場合) である. 両ケースとも, 5 度の測定回の測定値を示し, 5 度の測定の実線を実線で示す. 両ケースとも電圧の増加とともに集塵率は上昇しており, 平均値 (実線) で比較すると, 両ケースともほぼ同じ集塵率特性と言える. また, 電圧が増加して (即ち, 電界強度が強くなって), 集塵率が上昇する原因として, 参考文献 1) に述べられているように, 「不平等電界中の極板端部近傍に付着した粉塵が, 再飛散する時, 誘導荷電作用で, (再飛散する) 粉塵が帯電し, この帯電粉塵が, 電界中でクーロン力により捕集される」ことが挙げられるが, また一方で, 大気中の浮遊粉塵が, もともと帯電していることに触れた報告^{2,7)} もあるので, この帯電粉塵が, 強電界で捕集されたことも考えられる. また, 両要因により捕集された可能性も考えられる.

また, 両ケースとも電圧 0 kV で, 集塵率がほぼ同じ 2 % 程度の値となっている. 電界が存在しないのに集塵率が現れた原因として, 1) 実験ダクト系がアクリル製であり, 通風による摩擦で帯電したダクトの内壁に粉塵が接触して捕集されたこと, 2) 極板の風上端部に粉塵が接触して捕集されたこと, が考えられる. ただし, 後者に関しては, ケース 1 よりもケース 2 の板厚が 2 倍厚いが, 両ケースの集塵率がほぼ同じである事実からすると, 極板端部が厚くなったからといって, 粉塵の衝突確率が増し集塵率が増加するようなことはなかったものと思われる.

両ケースとも, 各電圧値における各測定のバラツキが最大となったのは, 電圧 -8 kV の時であったが, 各測定の再現性は, 概ねあると言える.

3.2 粒径 0.3 から 0.5 μm の粒子についての集塵率

粒径 0.3 から 0.5 μm の粒子についての, ケース 1 の集塵率を図 5 に示す. この粒径での粒子数は全粒子数の約 7 割以上を占めるので, 図 4 (0.3 μm 以上の粒子についての集塵率) とほぼ似た特性を示している. ケース 2 の集塵率特性は, ケース 1 と同様だったので記載を省く.

3.3 粒径 0.5 から 1.0 μm の粒子についての集塵率

ケース 1 における粒径 0.5 から 1.0 μm の粒子についての集塵率を図 6 に示す. 電圧の増加とともに, 全体としては集塵率が上昇する傾向にある. 粒径 0.3 から 0.5 μm の場合と比べると, 同電圧条件下での集塵率のバラツキが大きくなっている. (ケース 2 においても同様の傾向を示した.) バラツキが大きくなるということは, 各測定回の再現性が弱まることを意味するので, 粒径が大きくなると測定の再現性が弱まるものと考えられる. その原因としては, 粉塵粒子の粒径が大きいと粉塵粒子の再飛散が活発になることが考えられる.

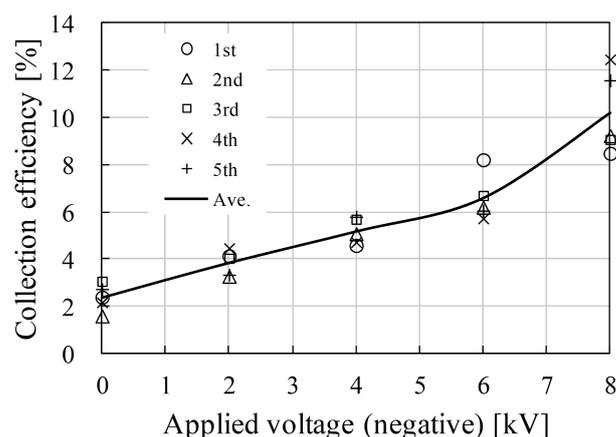


図 5 集塵率特性 (粒径 0.3–0.5 μm)
(a) ケース 1: 極板板厚 0.4 mm
Fig.5 Collection efficiency. (Diameter: 0.3–0.5 μm)
(a) Case 1: Plate thickness 0.4 mm.

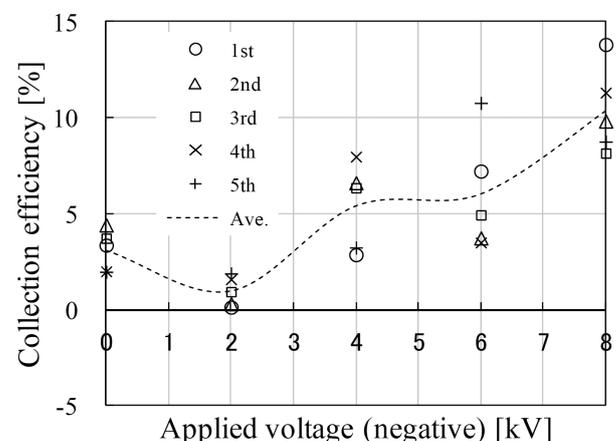


図 6 集塵率特性 (粒径 0.5–1.0 μm)
(a) ケース 1: 極板板厚 0.4 mm
Fig.6 Collection efficiency. (Diameter: 0.5–1.0 μm)
(a) Case 1: Plate thickness 0.4 mm.

3.4 粒径 1.0 から 2.0 μm の粒子についての集塵率

ケース 1 における粒径 1.0 から 2.0 μm の粒子についての集塵率を図 7 に示す. 電圧の増加とともに, 集塵率が上昇する傾向は見られない. 粒径 0.5 から 1.0 μm の場合と比べると, 同電圧条件下での集塵率のバラツキが更に大きくなっている. (ケース 2 においても同様の傾向を示した.) 粒径が大きくなって, 再飛散が更に顕著になったものと考えられる. 粒径が 1.0 μm を超えると再飛散が顕著になることは, 過去の研究^{8,9)} でも報告されている. 今回の実験結果は, これらと矛盾していないと言える.

3.5 粒径 2.0 から 5.0 μm の粒子についての集塵率

ケース 1 における粒径 2.0 から 5.0 μm の粒子についての集塵率を図 8 に示す. 電圧の増加とともに, 集塵率が上昇する傾向は全く見られない. 粒径 1.0 から 2.0 μm の場合と比べると, 同電圧条件下での集塵率のバラツキが

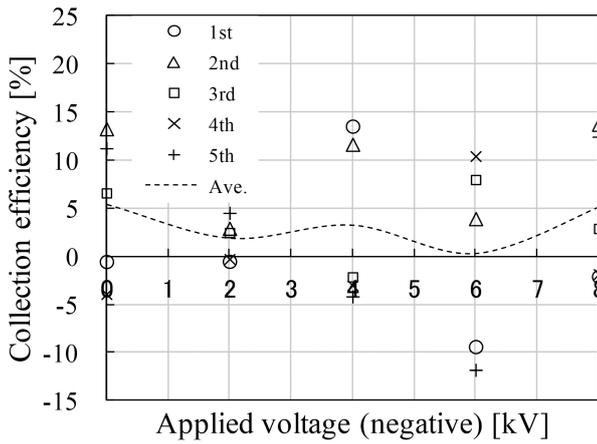


図7 集塵率特性 (粒径 1.0-2.0 μm)
 (a) ケース 1: 極板板厚 0.4 mm
 Fig.7 Collection efficiency. (Diameter : 1.0-2.0 μm)
 (a) Case 1 :Plate thickness 0.4 mm.

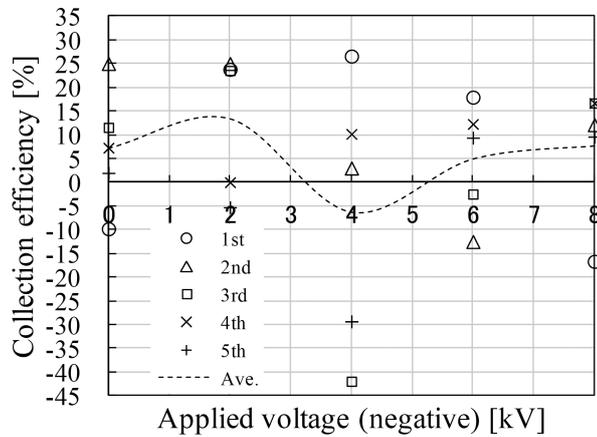


図8 集塵率特性 (粒径 2.0-5.0 μm)
 (a) ケース 1: 極板板厚 0.4 mm
 Fig.8 Collection efficiency. (Diameter : 2.0-5.0 μm)
 (a) Case 1 :Plate thickness 0.4 mm.

更に大きくなっている。(ケース2においても同様の傾向を示した。) 粒径が大きくなって、再飛散が更に一層助長されたものと考え。

3.6 集塵率の総括

ケース1 (板厚 0.4 mm) とケース2 (板厚 0.8 mm) の両者とも、粒径が大きくなるに従って、集塵率のパラッキが大きくなる。(特に、粒径が 1.0 μm を超えると、極端に大きくなる。) 図7 (粒径 1.0 から 2.0 μm の集塵率) と図8 (粒径 2.0 から 5.0 μm の集塵率) を見ると、測定回によっては、負の集塵率が現れている。これは粒子が捕集されるのではなく増加していることを意味している。このことを、参考文献1) に示す先行研究と照らし合わせて考察する。

図9は、ESPの接地極板と荷電極板を、1枚ずつ取り出し平面的に配置したもので、各位置にアルファベット

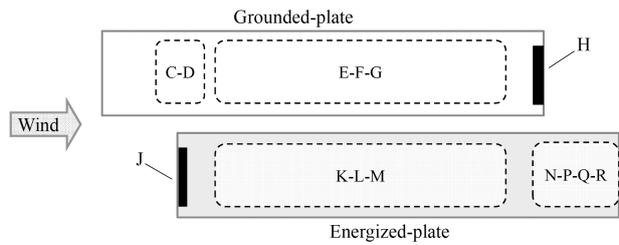


図9 極板の各エリアの表示
 Fig.9 Indication of each area in electrode-plates.

の大字で各エリアを示す名称を付してある。通風方向は左から右である。ESPにおける極板配置では、荷電極板を風下側にずらしたが、そのようにずれた配置となっている。参考文献1)における各極板観察画像をよく見ると、荷電極板の風上端Jと対向する接地極板のエリア「C-D」(不平等電界エリア)と、接地極板の風下端Hと対向する荷電極板のエリア「N-P-Q-R」(不平等電界エリア)には、比較的大きな塊りの粉塵が付着している。一方で、荷電極板の中央付近のエリア「K-L-M」(平等電界エリア)と、接地極板の中央付近のエリア「E-F-G」(平等電界エリア)には、比較的小きな塊りの粉塵が付着しており、大きな粉塵は存在していない。参考文献1)で述べられているように、エリア「C-D」に付着した粉塵は、対向する端部Jに接触した粉塵が再飛散したものであり、エリア「N-P-Q-R」に付着した粉塵は、対向する端部Hに接触した粉塵が再飛散したものである。即ち、不平等電界エリアにおいて、極板端部では比較的大きな粉塵が再飛散し、対向面に付着している。(注記: 粉塵粒子が再飛散する際、誘導荷電により粉塵粒子が電荷を帯びて対向電極に付着するという報告⁹⁻¹³⁾が以前からある。これら報告と、参考文献1)に示す先行研究における極板観察結果の間に矛盾はないと思われる。) 今回の実験において、1.0 μm を超える比較的大きな粒径で、負の集塵率が測定されたことは、(不平等電界部である) 極板端部に接触した比較的小きな粉塵が、極板端部で凝集し、大きな粉塵の塊りとなって再飛散し、対向面に付着したものと考えられる。ここで、大きな塊りとなって再飛散した粉塵のなかで、誘導荷電作用で十分に電荷を得ることができた粉塵は、対向面に捕集されやすいが、誘導荷電で得られる電荷量が不十分な粉塵は、対向面に捕集されることなく、ESPから流出する場合もあると考えられる。そして、そのような場合に、負の集塵率が現れやすいものと考えられる。一方、平等電界エリアでは、極板端部が存在せず、大きな塊りの粉塵が再飛散する可能性が低いので、比較的小きな塊りの粉塵しか捕集されなかったものと考えられる。

本研究からは、極板の板厚が 0.4 mm の場合と 0.8 mm の場合との明確な差異を確認することはできなかった。

4. 結論

金属極板を複数枚用い、ギャップ 10 mm で平行かつ互い違いにずらして配置した ESP を構成した。極板の板厚は 0.4 mm と 0.8 mm の 2 種類とした。これにコロナ放電が発生しない程度の電圧 (dc -8 kV 以下) を印加し、室内大気塵を風速 2 m/s で通過させ、パーティクルカウンターを用いて集塵率を測定した。その結果、以下が判明した。

- (1) 粒径 0.3 μm 以上の全粉塵粒子の集塵率は印加電圧の増加とともに上昇した。最大電圧 -8 kV で集塵率 10% 程度。測定の再現性は概ねあった。
- (2) 粒径 1.0 μm を超える比較的大きな粉塵の集塵率は、測定するたびに大きく変動し、再現性が弱まった。
- (3) 粒径 1.0 μm 以下の集塵率について、極板の板厚が 0.4 mm と 0.8 mm の場合の明確な差異を確認することはできなかった。

参考文献

- 1) 片谷篤史, 細野 洋, 村田 光, 八幡大志, 水野 彰: コロナ放電を利用しない電気集塵装置 - 電極板の堆積状態 -。静電気学会誌, **39** [1] (2015) 27
- 2) Harry J. White: Industrial Electrostatic precipitation. Addison-Wesley Publishing Company (1963)
- 3) 静電気学会: 静電気ハンドブック, オーム社 (1981)
- 4) 阪田総一郎: 静電気を除去する低ノイズクリーンイオナイザの開発。日本エアロゾル学会誌, エアロゾル研究, **17** (2002) 105
- 5) 吉田哲夫: IX-4 炉過による集塵。化学工学会誌, **26** (1962) 1218
- 6) 藤谷雄二, 平野靖史郎: ナノ粒子・ナノ材料の健康問題 - その 2 - 「ナノ粒子の測定法および気相中ナノ粒子の現状」。日本衛生学雑誌, **63** (2008) 663
- 7) 原野安土: 電気力学天秤を用いて一粒を測る。日本エアロゾル学会誌, エアロゾル研究, **27** (2012) 357
- 8) 安本浩二, 瑞慶覧章朝, 高木康裕, 江原由泰: 交流電界型電気集塵装置における再飛散防止と下流壁面への粒子付着防止。粉体工学会誌, **43** (2006) 198
- 9) T. Yamamoto, T. Mimura, T. Sakurai, Y. Ehara, A. Zukeran and H. Kawakami: Novel EHD-assisted ESP for collection of low resistive diesel particles. IJPEST, **5** (2011) 151
- 10) A. Zukeran, Y. Ikeda, Y. Ehara, M. Matsuyama, T. Ito, T. Takahashi, H. Kawakami and T. Takamatsu: Two Stage Type Electrostatic Precipitator Re-entrainment Phenomena under Diesel Flue Gases. IEEE Transactions on Industry Applications, **35** [2] (1999) 346
- 11) H. Kawakami, Zukeran, K. Yasumoto, T. Inui, Y. Ehara and T. Yamamoto: Diesel PM collection for marine emissions using double cylinder type electrostatic precipitator. IJPEST, **5** (2011) 174
- 12) H. Kawakami, Zukeran, K. Yasumoto, M. Kuboshima, Y. Ehara and T. Yamamoto: Diesel exhaust particle reduction using electrostatic precipitator. IJPEST, **5** (2011) 179
- 13) Y. Ehara, R. Nakano, T. Yamamoto, Zukeran, T. Inui and H. Kawakami: Performance of high velocity electrostatic precipitator for road tunnel. IJPEST, **5** (2011) 157