

コロナ放電を利用しない電気集塵装置－電極板の配置－

片谷 篤史^{*,1}, 水野 彰^{**}

(2016年8月18日受付; 2016年10月8日受理)

Electrostatic Precipitator without Using Corona Discharge
－Arrangement of Electrode Plates－Atsushi KATATANI^{*,1} and Akira MIZUNO^{**}

(Received August 18, 2016; Accepted October 8, 2016)

The authors have been studying the electrostatic precipitator (ESP) which can charge suspended particles without using corona discharge, in order to reduce the power consumption in the ESP. The ESP is consisted of parallel flat electrode-plates with staggered arrangement without corona discharge spikes. From the vestiges of attached particles on the electrode-plates and the collection efficiency measured in the foregoing studies, it was confirmed the particles were re-entrained into the gas stream with acquired induction charge after contacting to the electrode-plates. In order to clarify the performance of particle collection furthermore, the authors measured the collection efficiency with various electrode-arrangement in this study. The result showed “the longer electrode-plates, the higher collection efficiency” and “the longer distance between two sets of electrode-plates, the higher collection efficiency”.

1. はじめに

本研究の著者は、電気集塵装置 (Electrostatic Precipitator, 以降 ESP と表記) の消費電力を低減するために、コロナ放電を利用しない ESP の研究を行ってきた。この先行研究では、接地極板と荷電極板 (いずれも金属製の平板) 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値の直流高電圧を印加した。最初の先行研究として、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」がある。ESP にディーゼル排ガスを通風し、一定時間経過後、極板を取り出し観察した結果、極板に粉塵が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、粉塵がある程度捕集されることを

確認した。

また、次の先行研究として、参考文献 2) 「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」がある。この先行研究でも同様の ESP を用いた結果、室内大気塵で約 10% の集塵率が得られることを確認した。

これら先行研究では、電極板の配置を固定して評価したので、電極板配置を変化させた場合に集塵率がどう影響されるのかが不明であった。そこで、今回の研究では、ESP の電極板の配置を変化させ、室内大気塵に関する集塵率を測定することにより、集塵率の特性がどう変化するのか把握することを目的とした。

2. 実験装置および方法

図 1 に、ESP に用いる極板 (平板, 材質 SUS304) を示す。全長は 100 mm と 220 mm の 2 種類あり、幅は 36 mm, 板厚は 0.4 mm である。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。これら 2 種類の極板を、以降、「L100 板」、「L220 板」とそれぞれ呼ぶことにする。

ESP の極板配置については、図 2 と図 3 に示す 2 種類の配置形態とした。

図 2 では、直流電圧 -6 kV が印加される 6 枚の極板が荷電極板、接地される 7 枚の極板が接地極板であり、それぞれを互い違いに配置する。隣接する極板の間隔は 10 mm である。荷電極板の風上端を接地極板の風上端よりも X mm 風下側にずらし、これを「凹み距離 X」と呼ぶことにする。凹み距離 X を 0 mm, 10 mm, 30 mm, 50

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

** 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, Hibi-rigaoka,
Tenpaku-ku, Toyohashi-city, Aich-pref., 441-8580, Japan

¹ katatani.atsushi@jp.panasonic.com

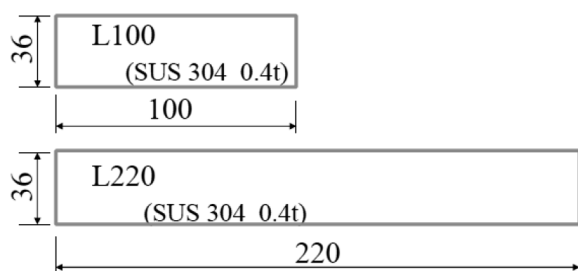


図1 実験で用いる極板
Fig.1 Electrode-plates for experiment.

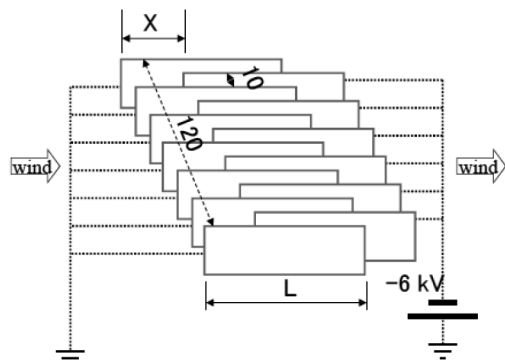


図2 極板配置と回路 (1)
Fig.2 Plate-arrangement and circuit (1).

mm と変化させて、集塵率を測定することとした。使用する極板については、接地極板と荷電極板の全てが L100 板である場合（「ケース 1」）と、全ての極板が L220 板である場合（「ケース 2」）の 2 ケースとした。

次なる配置形態を図 3 に示す。図 2 における凹み距離 X を 0 mm としたときの極板群を 2 セット用いており、使用する極板は L100 板のみである。風上側に配置する 1 セットを「1 段目」と呼び、風下側に配置する 1 セットを「2 段目」と呼ぶことにする。1 段目の極板の風下端と 2 段目の極板の風上端との距離を「離隔距離 Y 」と呼ぶことにする。離隔距離 Y を 0 mm, 10 mm, 30 mm, 50 mm と変化させて、集塵率を測定することとした。印加電圧は直流 -6 kV である。この図 3 による実験ケースを、「ケース 3」とした。

ケース 1 から 3 のいずれの極板配置においても、印加する直流電圧 -6 kV 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て放電電流を確認したが、-6 kV で 0 μ A, -8 kV で 0 μ A, -9.5 kV で 0.2 μ A, -10 kV で 1 μ A であった。）

図 4 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。#1 と #2 は入口

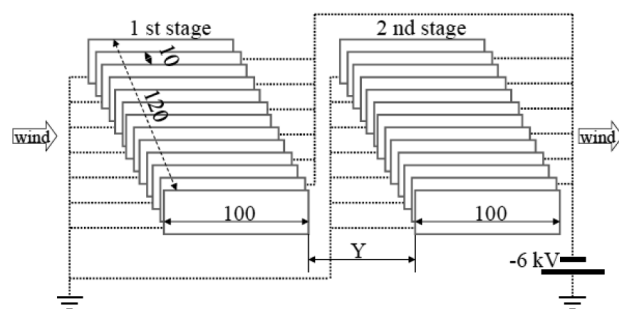


図3 極板配置と回路 (2)
Fig.3 Plate-arrangement and circuit (2).

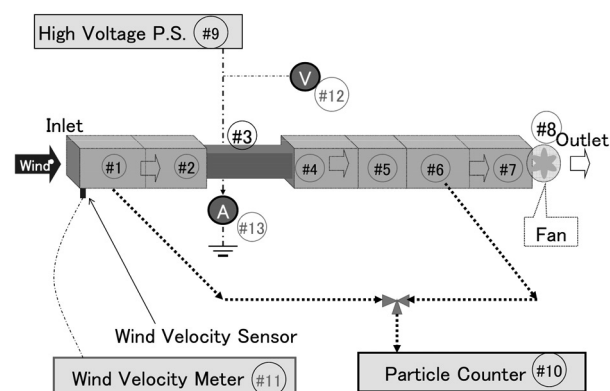


図4 実験装置の系統図
Fig.4 Schematic diagram of test equipment.

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)	HV α -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 μ m 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

ダクト及び接続ダクト、#3 は ESP 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ようにし、本実験装置とした。#9 は直流高圧電源で、ESP 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 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) 式で表わされる集塵率を求めた。

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

各ケースについて、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、電圧印加条件下で最低 30 分間稼働させ、集塵率が比較的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。

3. 結果および考察

集塵率の全測定を、5 月末から 6 月末の約 1 カ月間で行った。その期間内の測定環境における温度は、23 から 28℃ の範囲内であり、湿度は、45 から 62% RH の範囲内であった。

本研究における濃度は、全て気体 1 L 中の粒子個数を示す個数濃度である。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とき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、全個数濃度に約 15 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、全粒子個数の約 9 割を占めた。また、粒径が大きくなるにつれて、粒子個数は減る傾向にあった。特に粒径 5.0 μm を超える粒子は、殆ど測定

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 ($1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$)	
	Max. concentration (ratio to all [%])	Min. concentration (ratio to all [%])
5.0 over	5 (0%)	0 (0%)
2.0 to 5.0	85 (0.1%)	0 (0%)
1.0 to 2.0	333 (0.5%)	15 (0.3%)
0.5 to 1.0	3,466 (4.6%)	164 (3.1%)
0.3 to 0.5	72,378 (94.8%)	5,060 (96.6%)
All over 0.3	76,245 (100.0%)	5,271 (100.0%)

されなかった。本実験では、粒径 0.3 μm 以上の全粒子個数を用いて、集塵率を評価することとした。

3.1 実験ケース1およびケース2 (凹み距離Xの変化)

ケース 1 では L100 板のみを用い、またケース 2 では L220 板のみを用いて、凹み距離 X を 0 mm, 10 mm, 30 mm, 50 mm と変化させ、集塵率を測定した。ケース 1 の測定結果を図 5 に、またケース 2 の測定結果を図 6 に示す。図 5, 6 の両ケースともに、5 度の測定回の測定値を示し、5 度の測定の平均値を実線で示す。

両ケースとも、各測定値にはバラツキがあり、図 5 (ケース 1, L100 板) の集塵率は、3.2 から 5.2% の範囲にあり、図 6 (ケース 2, L220 板) では、5.2 から 7.3% の範

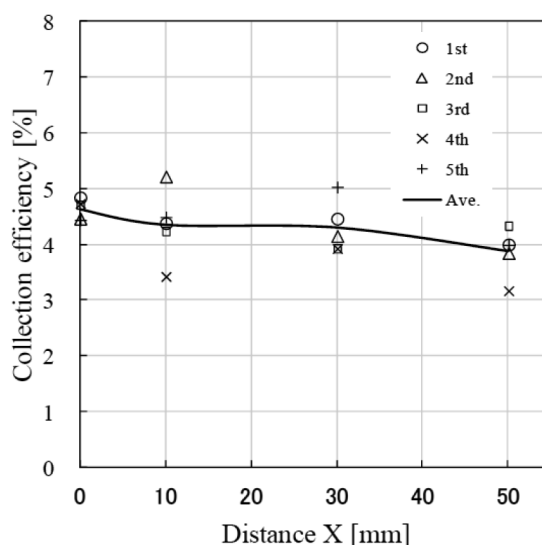


図 5 ケース 1 (L100 板) の集塵率
Fig.5 Collection efficiency of Case 1 (L100).

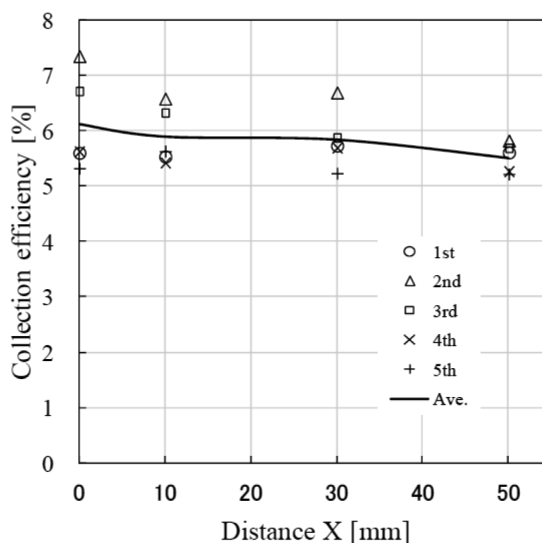


図 6 ケース 2 (L220 板) の集塵率
Fig.6 Collection efficiency of Case 2 (L220).

囲にあった。

両図を比較すると、図6（ケース2，L220板）の方が、図5（ケース1，L100板）よりも、全体的に高い集塵率を示している。その理由は、ケース2（L220板）の方が、ケース1（L100板）よりも、平等電界部（この場合、極板端部を含まない極板群の内部空間）のスペースが大きいことにあると考えられる。

3.2 実験ケース3（離隔距離Yの変化）

L100板を、1段目と2段目に配置した。1段目と2段目の離隔距離Yを0 mm, 10 mm, 30 mm, 50 mmと変化させて、集塵率を測定した結果を図7に示す。

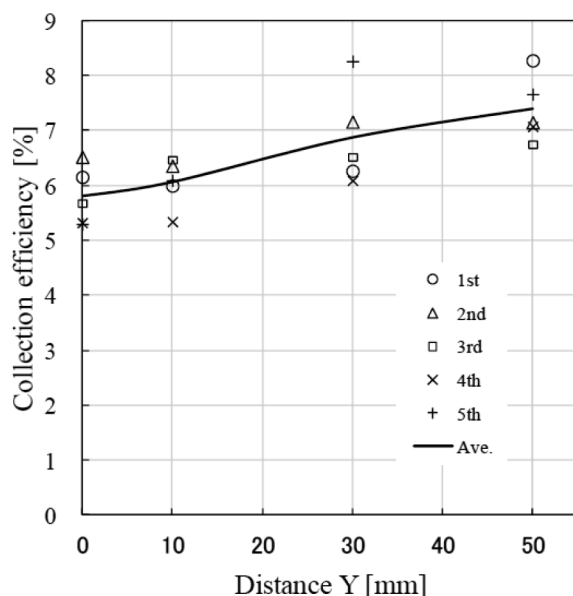


図7 ケース3（L100板を2段）の集塵率
Fig.7 Collection efficiency of Case 3 (2 sets of L100).

集塵率の各測定値は、5.3 から 8.3% の範囲にあった。各測定値にバラツキはあるが、離隔距離Yの増大とともに、集塵率が増加する傾向にあった。平均値(実線)も、この傾向を示している。

離隔距離Yが短い場合、1段目の極板の風下側の端部と、2段目の極板の風上側の端部との距離が近いので、両端部近傍の空間における電界の不平等性は比較的弱いものと考えられる。一方、Yが長くなると、両端部間の空間の電界の不平等性が強まり、粒子にグラディエント力が作用した可能性がある。これが、離隔距離Yの増加により集塵率が高まる理由のひとつと考えられる。

今回の実験結果は、いずれも集塵率が10%に満たないものであり、実用化を睨むと、集塵率の向上が課題である。一方、参考文献3)に示す著者の先行研究では、

金属板に静電植毛を施した極板を用いて、約40%の集塵率を達成している。

今回の実験結果と、著者の先行研究¹⁻³⁾の結果を踏まえ、実用化に向けて「コロナ放電を利用しないESP（集塵率70%）」を達成すべく、研究を継続する計画である。

4. まとめ

金属極板(全長100 mm または 220 mm)を複数枚用い、ギャップ10 mmで平行に配置した1段または2段のESPを構成した。これにコロナ放電が発生しない程度の電圧(dc -6 kV)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。その際、ESPが1段の場合は、荷電極板を風下側にずらす距離を「凹み距離X」とし、Xを0から50 mmの範囲で変化させて集塵率を測定した。また、ESPが2段の場合は、1段目と2段目を離して配置し、これを「離隔距離Y」として、Yを0から50 mmの範囲で変化させて集塵率を測定した。その結果、以下が判明した。

- (1) 全長100 mmの極板を用いた1段ESPの場合の集塵率は、3.2 から 5.2% の範囲にあった。また、全長220 mmの極板を用いた場合、集塵率は5.2 から 7.3% の範囲にあった。より長い極板の方が、平等電界部のスペースが大きいため、より高い集塵率になったものと考えられる。
- (2) 全長100 mmの極板を用いた2段ESPの場合の集塵率は、5.3 から 8.3% の範囲にあった。離隔距離Yの増大とともに、集塵率が増加する傾向があった。

謝辞

本研究に多くの御支援をいただいたパナソニックエコシステムズ株式会社環境エンジニアリングビジネスユニットの村山将氏、細野洋氏、村田光氏らに謝意を表す。

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) 片谷篤史, 細野洋, 村田光, 飯塚悠気, 八幡大志, 水野彰: 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－, 静電気学会誌, **40** [4] (2016) 206
- 3) 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－静電植毛を施した電極板－, 静電気学会誌, **39** [4] (2015) 159