

# 直流コロナの双極放電を用いた2段階電気集塵装置

片谷 篤史<sup>\*1</sup>, 水野 彰<sup>\*\*</sup>

(2011年9月12日受付; 2011年11月7日受理)

## 2-Stage-type Electrostatic Precipitators with Bipolar-discharge of DC-corona

Atsushi KATATANI<sup>\*1</sup> and Akira MIZUNO<sup>\*\*</sup>

(Received September 12, 2011; Accepted November 7, 2011)

Two-stage-type ESPs (electrostatic precipitators) are composed of ionizers and collectors. DC high voltage is applied to the discharge poles in the front stage ionizers. Particles passing through the space of positive or negative corona are charged. The rear stage collectors capture the particles. Although spike-type dischargers are adopted widely, the spikes in this test are arranged not only in the energized plates but also in the grounded-plates in the ionizer. As the test result, particles are collected by the discharge from both the energized plates and the grounded-plates. The discharge in the grounded-plates generates ions of opposite polarity to those from the energized plates. This bipolar collection method using positive and negative discharges simultaneously shows a possibility that particles are efficiently captured not only on the grounded-plates but also on the energized plates in the collector. The results of this study imply the first step of the higher performance ESPs with the bipolar-collection method.

### 1. はじめに

日本の自動車道路トンネルにおける排気浄化用電気集塵装置の基本仕様は、帯電部と集塵部から構成される2段階であり、通過風速は9 m/sである<sup>1)</sup>。最近では、集塵部に交流高電圧を印加し、再飛散現象を抑制するという新方式が出現している<sup>2)</sup>。この新方式は、結果として、集塵部における集塵面積を増大させる効果を合わせ持っている。

別の文献<sup>3)</sup>には、空気清浄器における電気集塵部分から排出される粒子およびイオンを中和して周辺への粒子付着を防止する手段が示されている。この方式では、帯電部において、電圧が印加される極板に放電用のトゲを設けるだけでなく、接地される極板にも放電用のトゲを設けている。正コロナと負コロナを同時に発生させ双極で帯電させることを狙っている。

この文献には、正に帯電した粉塵は接地板側に捕集され、負に帯電した粉塵は正極性の荷電極板側に捕集されると記述されている。荷電極板上にも粉塵捕集するこの方式は、集塵面積の増大を意味している。さらにこの文献には、正と負

の帯電粉塵が帯電部から集塵部に至る短い区間ではほとんど中和されず、従って集塵効率を低下させないとも記述されている。双極で帯電させ、2段階の直流高電圧が印加される集塵部で粉塵粒子を捕集する技術は、他文献では殆ど示されていない。しかし、この文献には、双極帯電と集塵の概念のみが記載されており、極板寸法やその結果得られるはずの集塵性能などの数値的記述が無く、その諸特性は不明である。よって、今回、電気集塵装置の高性能化の可能性を見出すために、双極帯電による集塵性能を、単極帯電の性能と比較しながら評価し、その研究の第一歩とすることとした。

### 2. 実験装置および方法

図1は、双極のコロナ放電を行う帯電部の原理図である。各金属製の極板は端部にトゲを有している。このトゲが風上を向く極板に正または負の直流高電圧が印加される。トゲが風下を向く極板は接地されている。風上向き極板枚数は、風下向きのそれよりも1枚少ない。この形態で、たとえば正の高電圧を印加すると、風上側の放電空間F.D. (First discharge

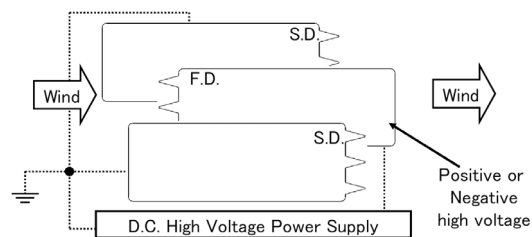


図1 双極放電用帯電部

Fig. 1 Ionizer for bipolar discharge.

キーワード: 電気集塵, 直流コロナ, 双極, バイポーラー

\* 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

<sup>1</sup> katatani.atsushi@jpp.panasonic.com

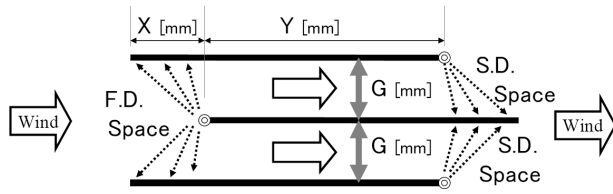


図2 双極放電用帯電部の平面図  
Fig. 2 Top-view of ionizer for bipolar discharge.

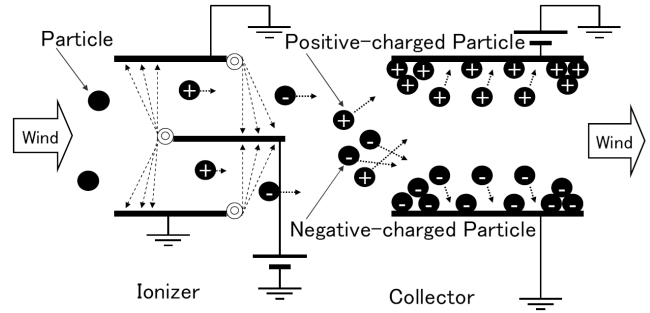
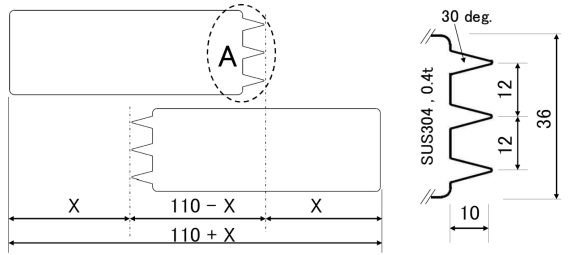


図4 双極放電による電気集塵の原理詳細  
Fig. 4 Principle of ESP with bipolar discharge.



(a) 配置 (a) Layout.  
(b) A部詳細 (b) Detail of A-part

図3 双極放電の電極形状  
Fig. 3 Shape of discharge-poles for bipolar discharge.

space)では、正のコロナ放電が発生し、風下側の放電空間 S.D. (Second discharge space)では、負のコロナ放電が発生する。負の高電圧を印加する場合は、正コロナと負コロナの発生場所が入れ替わる。

図2は双極放電用帯電部の平面図である。各トゲの先端を二重丸で示した。隣接する極板の間隔 Gap を電極間ギャップ  $G$  (mm)で表す。また、トゲの先端が、隣接する極板の端部より何 mm 凹んでいるかを、凹み距離  $X$  (mm)で表す。さらに、隣接する極板同士のトゲ先端間の距離を  $Y$  (mm)で表す。

図3は双極放電の帯電部電極となる極板の形状を示す。使用した極板はすべて同じ形状である。全長 110 mm、幅 36 mm、板厚 0.4 mm である。トゲの先端角度は 30 deg.でトゲの高さは 10 mm、二つの短辺のうちの一辺に3個のトゲを配列し、トゲの配列間隔は 12 mm である。極板の材質は SUS304 である。

実験条件は、電極間ギャップ  $G$  については、10, 15, 20 mm の3ケースとした( $G10, G15, G20$ )。また凹み距離  $X$  は、10, 20, 35, 50, 65, 75 mm の6ケースとした( $X10, X20, X35, X50, X65, X75$ )。

図4は双極放電を生成する帯電部と、直流電圧を印加する集塵部を組み合わせた集塵原理の詳細図である。トゲが風上を向く極板には正電圧が印加され、風上向きのトゲは正コロナを、風下向きのトゲは負コロナを生成する。黒丸は帯電部に流入する粉塵粒子を示し、帯電部を通過した粒子は正また

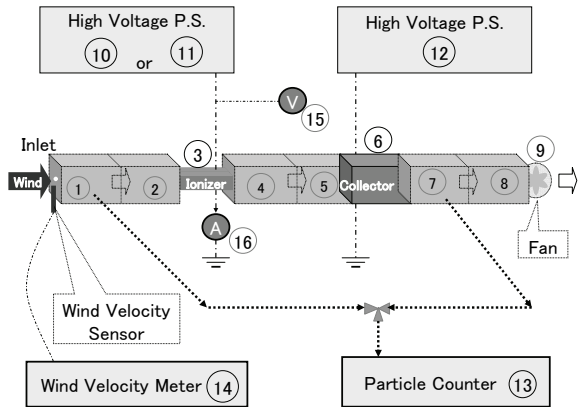


図5 実験装置の系統  
Fig. 5 Schematic diagram of test equipment.

は負に帯電される(黒丸に極性を付す)。集塵部に流入する粒子の内、正に帯電した粒子は負電圧が印加された極板に捕集され、負に帯電した粒子は接地された極板に捕集される様子を示している。なお、帯電部において、風上を向く極板に負電圧を印加すると、正コロナと負コロナの発生場所が入れ替わって、双極コロナの放電空間が形成される。また、集塵部において正電圧を印加すると、正に帯電した粒子と負に帯電した粒子の付着場所が入れ替わる。

図5は実験装置の系統を示し、表1は実験装置の仕様である。①から⑨は通風ダクト系で、アクリル製である。①は吸い込み部分、③は帯電部、⑥は集塵部、⑨は軸流ファン付の吐出部分である。帯電部の印加電圧は正負含めて可変としたが、集塵部の極板間隔は 10 mm 一定、印加電圧は DC -9 kV 一定とし、帯電部の条件変化が集塵効率にどのように影響するのかを把握することにした。⑨のファンは周波数制御により回転数を可変できる。⑭は熱線風速計であり、①吸い込み部での風速を計るのに用いた。

③帯電部の内部で、風速が 9 m/s 一定になるようにファンの周波数を微調整した。③帯電部用に、⑩負高圧電源と、⑪正高圧電源を切り替えて使用した。⑥集塵部用に⑫負高圧電源を使用した。⑥集塵部において、電圧が印加される極板と

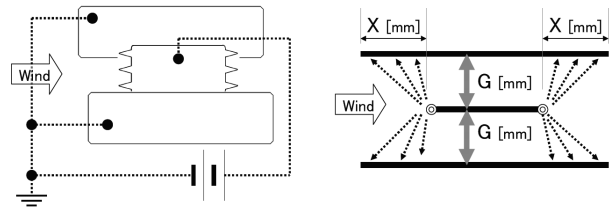
表1 実験装置の仕様

Table 1 Specifications of test equipment.

Items	Details
Duct (①②④⑤⑦⑧)	W 121, H 140, L 200 [mm] (Inside)
Ionizer (③)	Duct ; W 121, H 32, L 180 [mm] (Inside) 5 mm-pitch slits on ceiling and floor part. Type ; Parallel-flat-plates type Wind velocity rate ; 9 m/s In case of G10; 6 plates for F.D. & 7 for S.D. In case of G15; 4 plates for F.D. & 5 for S.D. In case of G20; 3 plates for F.D. & 4 for S.D.
Collector (⑥)	Duct ; W 111, H 120, L 200 [mm] (Inside) Plate ; Thickness 0.4, H 124, L 200 [mm] 10mm-pitch slits on ceiling and floor part. Type ; Parallel-flat-plates type Wind velocity rate ; 2.6 m/s Amount of high-voltage-applied plates ; 6 Amount of earth-plates ; 6 Gap between adjacent two plates ; 10 mm
Fan (⑨)	MU1238A-11B (Oriental Motor Co., Ltd.) Quantity ; 2 (tandem coupled) With a variable frequency controller
High voltage power supply (⑩)	Model-502 (Pulse Electric Engineering) Max. output ; DC +25 kV , 25 mA Stability 0.01%
High voltage power supply (⑪)	MODEL-600F (Pulse Electric Engineering) Max. output ; DC -15 kV , 30 mA Stability 0.005%
High voltage power supply (⑫)	APH-10K5N (Maxelec Co., Ltd.) Adjusted output voltage ; DC -9 kV (constant) Max current ; 30 mA Ripple ; 0.02%
Particle counter (⑬)	KC-01C (RION) , Light scattering method Range ; 0.3, 0.5, 1, 2, 5 over [μm] Sampling volume ; 0.01 CF (approx. 34 s)
Wind velocity Meter (⑭)	Climomaster MODEL6531 (Kanomax) Mode; 1 s measuring & 10 times ave.
Voltage meter & Probe (⑮)	Digital multi meter type73303 (Yokogawa) Ratio; 1/1000 (FLUKE), For high voltage
Current meter (⑯)	Type 201133 (Yokogawa) Range; 0.1, 0.3, 1, 3 mA
Digital camera	DMC-FX01 Lumix (Panasonic) Mode; starry sky exposure; 60 s

接地される極板については、形状・使用枚数ともに同一とした。⑮は高電圧測定用のプローブと電圧計であり、⑯は電流計である。⑬は粉塵の濃度測定用のパーティクルカウンターであり、帯電部の風上側と集塵部の風下側をサンプル場所とし、場所を交互に切り替えて、集塵効率測定を行った。0.3 μm以上の全ての粒径による粉塵濃度を用いて、集塵効率を算出した。消費電力を一定に保ちつつ、Xを変化させて、双極放電による集塵効率を測定した。除去対象の粉塵は、室中の大気塵である。

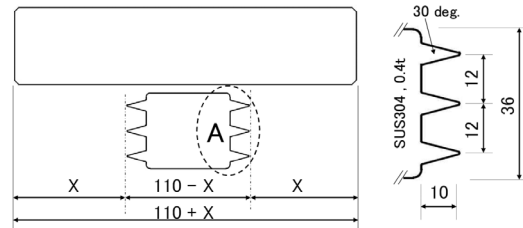
双極のコロナ放電と単極のコロナ放電を比較することは



(a) 構成 (b) 平面図  
(a) Composition. (b) Top-view.

図6 単極放電の帯電部

Fig. 6 Ionizer for mono-polar discharge.



(a) 配置 (b) A部詳細  
(a) Layout. (b) Detail of A-part.

図7 単極放電の電極形状

Fig. 7 Discharge-poles for mono-polar discharge.

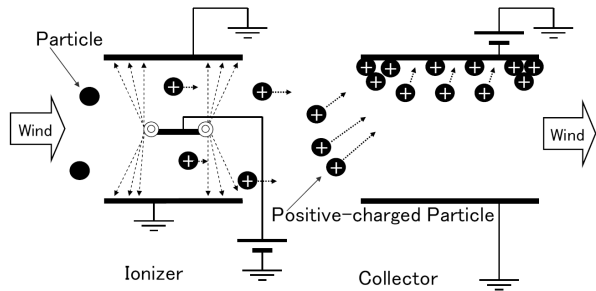


図8 単極放電による電気集塵の原理  
Fig. 8 Principle of ESP with mono-polar discharge.

重要である。できるだけ双極放電と同じ条件で、単極放電の集塵効率を測定することにした。

単極放電の帯電部の構成を図6(a)に示す。トゲ極板には、風上を向くトゲと風下を向くトゲが設けてある。風上を向くトゲ先端が、隣接する接地極板の端部から凹む距離を凹み距離Xとする。このとき、風下を向くトゲ先端が隣接する接地極板のもう一方の端部から凹む距離についてもXとなるように、トゲ極板と接地極板の全長が決められている。双極放電の場合、Xは10, 20, 35, 50, 65, 75 mmの6ケースであったので、単極放電の場合も同一の6ケースのXとする。この単極放電のトゲ極板と接地極板を、図6(b)に示すように平行に配置する。隣接する極板間の間隔Gは、双極放電の場合と同じく、10, 15, 20 mmの3ケースである。

図7(a)(b)に単極放電の電極形状を示す。一辺に配置するトゲの形態は、双極放電の場合と同じである。

図8は単極放電の電気集塵原理を示す。帯電部のトゲ極板には正の直流高電圧が印加され、正コロナ放電により正に帯電した粒子が、集塵部において負電圧が印加された極板に捕集される。集塵部の条件は双極放電の場合と同一であり、極板間隔は10 mm、印加電圧はDC -9 kVである。

帯電部の通過風速は9 m/s で不変である。消費電力を一定に保ちつつ、Xを変化させて、単極放電による集塵効率を測定した。

### 3. 結果および考察

図9は、双極放電の帯電部における印加電圧と放電電流の特性である。G10, G15, G20 (電極間ギャップ) の各ケースにつき、X10, X35, X65 (凹み距離) の時の特性を示す。プロット記号の正負の意味は、風上側のトゲの放電が正であるか負であることを示す。G20の負の特性は、グラフが途中で途切れているが、これは負の高圧電源の出力電圧が、-15 kV程度までしか上昇できなかったためである。各グラフのプロットは三つあり、電圧の低い順から、概ね1.3, 2.0, 2.8 Wの消費電力になるように電源を調整した。

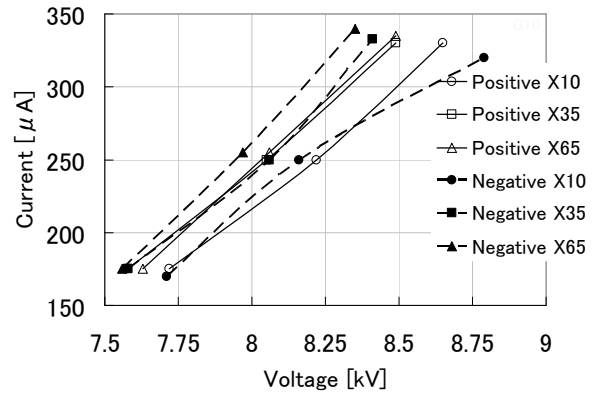
各ケースとも、印加電圧が上昇すると、放電電流は増加する。各ケースとも、X35とX65では電圧電流特性が比較的接近しているが、X10については、X35やX65よりも放電電流が比較的強く抑制されている。その理由は、X10では、トゲ先端と隣接する極板の端部の距離が短く、コロナ放電が空間に円滑に広がらないので、活発な放電が妨げられ放電電流が強く抑えられるからと考える。

また、同電圧では、風上向きのトゲに印加する電圧が正よりも負の方が、概して放電電流が大きい。これは正イオンと電子の大きさの違いなどが原因として考えられるが、今後の課題である。

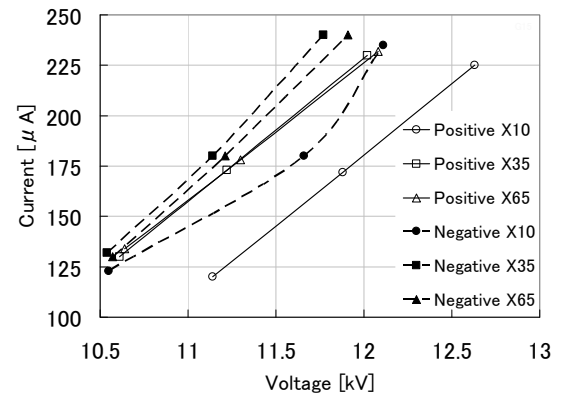
図10は、双極放電の帯電部において、通過風速を9 m/sに保った場合の集塵効率特性である。各電極間ギャップGにおける各凹み距離Xについて、印加電圧と放電電流を増大させ、即ち消費電力を増大させて集塵効率を測定した。消費電力1.3, 2.0, 2.8 Wをパラメータとして、各ギャップごとに三つの図にまとめた。

ここで凹み距離Xが小さい値の領域を“Small X range”と呼び、 $X/G < 1$ を満足するXの領域を指すことにする。即ちG10では $X < 10$  mmの領域であり、G15では $X < 15$  mmの領域、G20では $X < 20$  mmの領域である。

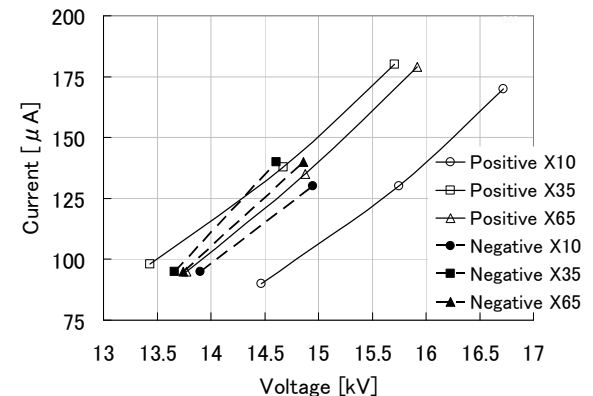
図10において、Small X range 以外では、消費電力の増大とともに集塵効率が上昇している。しかも正の方が負よりも集塵効率が高い。この装置における特徴的な現象である。正とは即ち、風上側のトゲで正コロナを風下側のトゲで負コロナを発生させる場合のことであり、風上で負コロナを風下側



(a) Gap length “G” = 10 mm (G10)



(b) Gap length “G” = 15 mm (G15)



(c) Gap length “G” = 20 mm (G20)

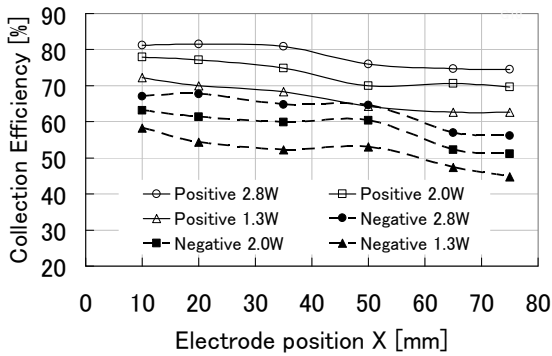
図9 双極放電の帯電部における各電極間ギャップ長Gでの電圧電流特性

Fig. 9 Characteristics between voltage and current in the ionizer for each gap-length “G” in bipolar discharge.

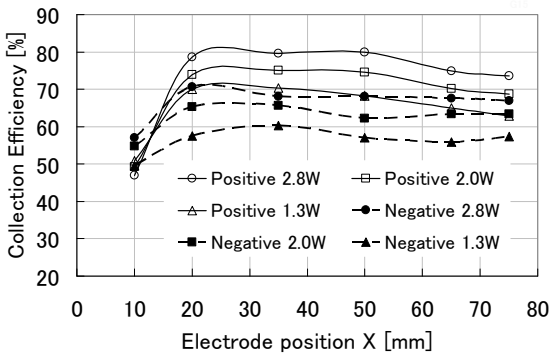
で正コロナを発生させる場合よりも集塵効率が高くなることを意味している。

G10においては、凹み距離Xの増大とともに、なだらかに集塵効率が減少している。この理由として、帯電部において集塵面積が減少することと、正放電のトゲと負放電のトゲの接近により、風上と風下の放電空間が互いに干渉することなどが挙げられるが原因は明らかでない。

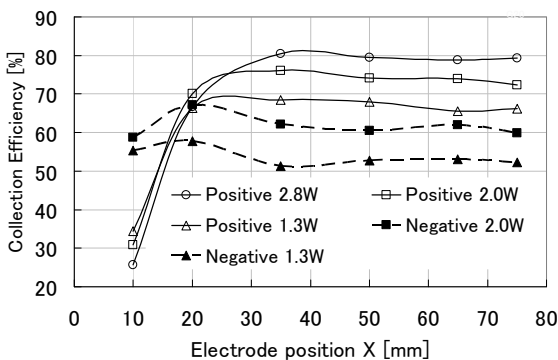
G15においても、顕著ではないが同様の傾向が見られる。



(a) Gap length "G" = 10 mm (G10)



(b) Gap length "G" = 15 mm (G15)



(c) Gap length "G" = 20 mm (G20)

図10 双極放電の各電極間ギャップGにおける凹み距離Xと集塵効率

Fig. 10 Electrode position X vs. collection efficiency in each gap G in bipolar discharge.

G20においては、凹み距離Xが増大しても、(即ちトゲ先端間距離Yが減少しても)集塵効率は、あまり減少していない。この理由を考える。同じ消費電力で比較すると、電極間ギャップGが大きい場合は、小さい場合に比べて、印加電圧が大きく、放電電流が小さい。即ち、電極間ギャップGが大きいことは、コロナ放電の電流が小さいことを意味する。よって、トゲ先端間距離Yが減少しても、風上のコロナ放電空間と風下のコロナ放電空間の相互の影響が小さいものと推察する。

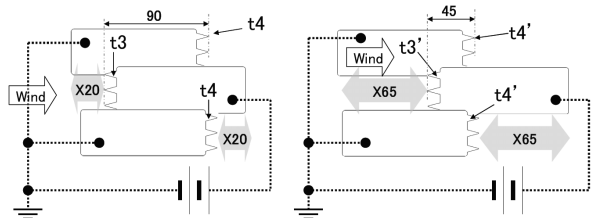
Small X range では、負の方が正よりも高い集塵効率となっている。言い換えると、負はXが小さい値でも大きく変化し

ないが、正においては、Xが小さいと極端に荷電効果が悪くなるということである。Xの最小値においては、最大消費電力が2.8Wの時、集塵効率が一番低くなっている。その理由として、Xが小さくなると、正放電のトゲと隣接する極板の端部から逆極性の負放電が発生し<sup>4)</sup>、電極間に両極性のイオンが存在するようになるため、荷電効果が低下することが挙げられる。

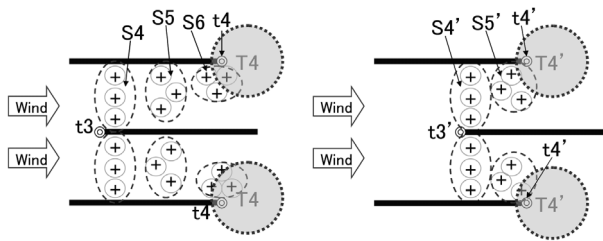
Small X range 以外で、風上で正コロナを発生させる方が、集塵効率が高くなる理由を考察する。この場合は、風上側の放電空間 F.D. (First discharge space)において、発生した正イオンとの衝突により粉塵粒子は正に帯電する。またこのとき、粉塵と衝突しなかった正イオンは、帯電した粉塵とともに風下側に流されてゆく。風下側の放電空間 S.D. (Second discharge space) では、負のコロナ放電が発生するが、このとき、風上から流されてきた正イオンが負の放電極であるトゲに衝突する。即ち、風上側からの正イオンが風下の負の放電極において $\gamma$ 作用を促進させるのではなかろうか<sup>5,6)</sup>。 $\gamma$ 作用は負の放電極からの電子放出を促進するものであり、これにより負の放電極近傍での負イオンの生成が加速され、粉塵粒子への荷電効果が増した結果、集塵効率が上がるものと思われるが明らかではない。

一方、風上で負コロナを発生させる場合は、風下側の正の放電極において、 $\gamma$ 作用が発生することはない。(風上側から流されてきた負イオンが、風下の正放電のトゲに衝突しても、 $\gamma$ 作用は発生しない。) よって、風上で正コロナを発生させる双極放電の方が、風上で負コロナを発生させる双極放電よりも、集塵効率が良くなると考えられる。ただし $\gamma$ 作用の影響については今後の課題である。

次に、双極放電におけるXの大小が、集塵効率に与える影響を図11の(a1)(a2)(b1)(b2)を用いて考察する。図11の(a1)は、双極放電で凹み距離Xが20mm(X20)の場合である。風上を向くトゲt3を有するトゲ極板には正の直流高電圧が印加され、風下を向くトゲt4を有するトゲ極板は接地されている。トゲt3とトゲt4の各先端間の距離は90mmである。図示していないがt3からは、正コロナが、t4からは負コロナが発生する。(a1)を平面図にしたものが(a2)であり、空間電荷のイメージを示す。風上側のトゲt3の正コロナにより生成した正の粒子が、t3から直近の風下の空間S4に放出され、その直近の風下S5には正の粒子が接地極板に移動する様子を示す。さらに風下の空間S6では正の粒子が接地極板側に集中する。このとき、風下側のトゲt4の近傍には、t3からの正粒子の密度が高い。双極放電なので、負極t4からは負コロナが発生する。t3により生成した正の粒子が、負極のt4の近傍に集中すればt4先端の電界強度を高め負コロナ放電T4を強める。これに加え、正イオンが負極t4に衝突すれば $\gamma$ 作用



(a) 電極配置 (X = 20 mm) (a1) Layout of X = 20 mm  
 (b1) 電極配置 (X = 65 mm) (b1) Layout of X = 65 mm



(a2) 空間電荷のイメージ (X = 20 mm) (a2) Image of space charge in X = 20 mm  
 (b2) 空間電荷のイメージ (X = 65 mm) (b2) Image of space charge in X = 65 mm

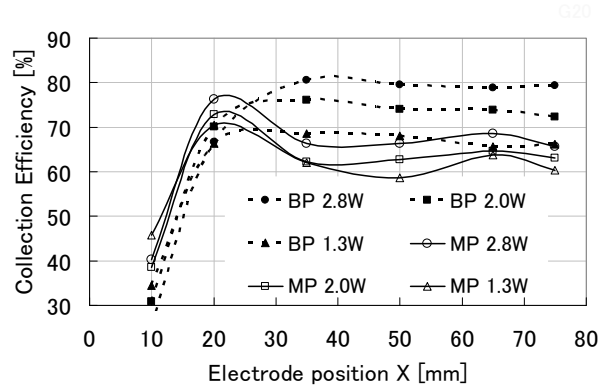
図 11 双極放電における凹み距離の説明

Fig. 11 Explanation of electrode position X in bipolar discharge.

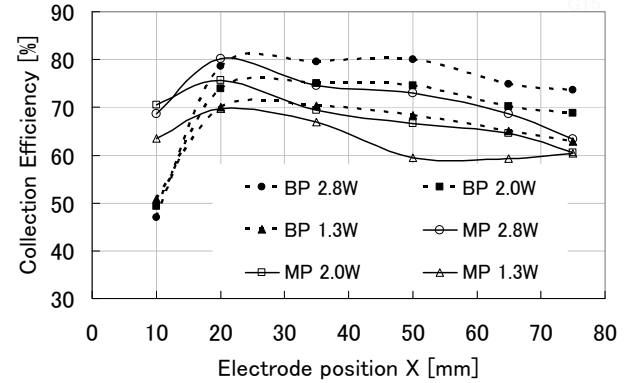
により、負コロナの生成が活発になる。これらにより強められた負コロナ放電 T4 で、粉塵は荷電されるものと考えられる。ただし、 $\gamma$ 作用については今後の課題である。ここで、双極放電の場合、T4 以降の空間で、正の粒子と負の粒子が結合し、帯電微粒子の中和が或る程度生じているものと考えられる。これは正極性の放電極と負極性の放電極の空間的な配置などにも影響されるはずであるが、今回の実験装置においては、中和の程度は不明であり、この点は今後の研究課題である。

図 11 の(b1) は、双極放電で凹み距離 X が 65 mm (トゲ先端間距離 Y は 45 mm) の場合を示す。(b2)は平面図である。風上側のトゲ t3' によって、正の粒子が、t3' から直近の風下の空間 S4' に充満しており、その風下の空間 S5' には、正の粒子が電界により接地極板に移動している。空間 S5' の直ぐ風下側にトゲ t4' があるが、t4' からは負コロナが発生する。トゲ t4' の近傍において、t3' からの正の粒子の密度が、(a2) の空間 S6 の場合より低く、負コロナ放電 T4' を強める効果が若干減るものと思われる。このため双極放電においては、X が増すと集塵効率が減少するものとする。

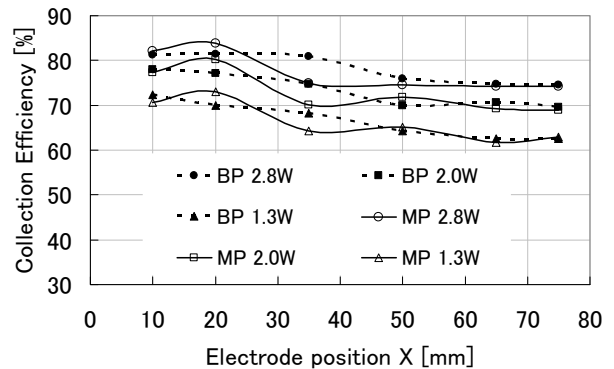
単極放電の場合でも、消費電力を一定に保ちつつ、各電極間ギャップ G において凹み距離 X を変化させ、集塵効率を測定した。その結果を図 12 に実線で示す。また、比較のために、双極放電(風上で正コロナを発生させ、風下で負コロナを発生させる場合)の集塵効率を、図 12 に破線で示す。



(a) Gap length "G" = 20 mm (G20)



(b) Gap length "G" = 15 mm (G15)



(c) Gap length "G" = 10 mm (G10)

図 12 単極放電 (MP) と双極放電 (BP) の各電極間ギャップ G における凹み距離 X と集塵効率

Fig. 12 Electrode position X vs. collection efficiency in each gap G between mono-polar discharge (MP) and bipolar discharge (BP).

図 12(a)は、電極間ギャップ G が 20 mm (G20) の場合である。単極放電の場合、凹み距離 X がおよそ 20 mm より大きい領域では、消費電力が上昇すると、集塵効率も大きくなる。双極放電で X が 30 mm より大きい領域でも、同じことがいえる。また単極放電と双極放電を比べると、30 mm < X では、同じ消費電力では、双極放電の方が単極放電よりも集塵効率

が大きいが、この理由は不明である。  $X < 20 \text{ mm}$  では、同じ消費電力では、単極放電の方が双極放電よりも集塵効率が僅かに大きく、両者とも  $X$  の減少とともに集塵効率が急激に小さくなっている。急に減少する理由は、 $X$  が小さいのでコロナ放電空間自体が小さく、粉塵の荷電効率が低くなるからと考える。単極放電の場合、 $X20$  近傍で集塵効率が顕著なピーク特性を示す。

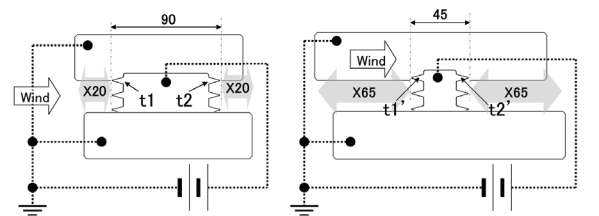
図12(b)は、電極間ギャップ  $G$  が  $15 \text{ mm}$  ( $G15$ ) の場合である。 $20 \text{ mm} < X$  で、消費電力の上昇とともに集塵効率が大きくなること、同じ消費電力では双極放電の方が単極放電よりも集塵効率が大きいこと、また単極放電の場合  $X20$  近傍で集塵効率のピーク特性があることについては、 $G20$  における  $30 \text{ mm} < X$  の場合と同様である。

図12(c)は、電極間ギャップ  $G$  が  $10 \text{ mm}$  ( $G10$ ) の場合である。 $10 \text{ mm} < X$  で、消費電力の上昇とともに集塵効率が大きくなること、また単極放電の場合  $X20$  近傍で  $\eta$  のピーク特性があることについては、 $G20$  及び  $G15$  の場合と同様である。しかし、同じ消費電力では、双極放電の方が単極放電よりも集塵効率が大きいとは必ずしも言えず、双極放電と単極放電の特性は、比較的接近している。

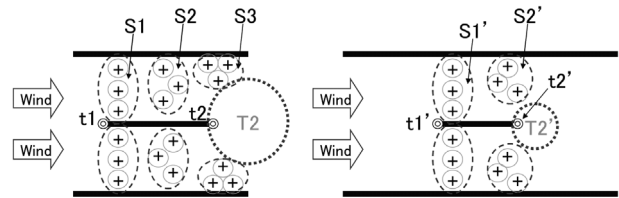
図12(a), (b), (c)の全てにおいて、単極放電の場合、 $X20$  近傍に集塵効率のピーク特性があるが、この理由について、図13を用いながら考察する。

図13の(a1)は、単極放電で凹み距離  $X$  が  $20 \text{ mm}$  ( $X20$ ) の場合である。通風方向は、左から右で、風上を向くトゲ  $t1$  と、風下を向くトゲ  $t2$  の距離は  $90 \text{ mm}$  である。このトゲ極板には正の直流高電圧が印加される。トゲ極板の両側の極板にはトゲがなく接地されている。図示していないが  $t1$  と  $t2$  から、正コロナ放電が生成される。

図13の(a1)における、単極放電の空間電荷のイメージを図13の(a2)に示す。風上側のトゲ  $t1$  から生じる正コロナによって、正に帯電した粉塵および正イオン（正の粒子）が、 $t1$  から直近の風下の空間  $S1$  に充満している。空間  $S1$  から直近の風下の空間  $S2$  では、正の粒子が電界により、接地された極板の方向に動いた様子を示す。さらに、空間  $S2$  から直近の風下の空間  $S3$  には、正の粒子が電界により、接地された極板側に集中する様子を示す。このとき、接地された極板  $S3$  近傍では、正の空間電荷密度が高く、風下側の正極のトゲ  $t2$  の近傍では、 $t1$  からの正の粒子による正の空間電荷密度が低い。よって、 $t2$  の正コロナ放電  $T2$  は空間電荷効果を受けにくく、十分な量の正イオンが生成されていると考えられる。これに対し、図13(b1) および(b2)に示す凹み距離  $X$  が  $65 \text{ mm}$  ( $X65$ ) の場合では、風下を向くトゲ  $t2'$  近傍の空間  $S2'$  には、正極性のイオンと帯電微粒子の濃度が凹み距離  $X$  が  $20 \text{ mm}$  ( $X20$ ) の場合に比べ高く、空間電荷効果により  $t2'$  での正コロ



(a) 電極配置 ( $X = 20 \text{ mm}$ ) (b) 電極配置 ( $X = 65 \text{ mm}$ )  
 (a) Layout of  $X = 20 \text{ mm}$  (b) Layout of  $X = 65 \text{ mm}$



(a) 空間電荷のイメージ ( $X = 20 \text{ mm}$ ) (b) 空間電荷のイメージ ( $X = 65 \text{ mm}$ )  
 (a) Image of space charge in  $X = 20 \text{ mm}$  (b) Image of space charge in  $X = 65 \text{ mm}$

図13 単極放電における凹み距離の説明

Fig. 13 Explanation of electrode position  $X$  in mono-polar discharge.

ナ放電  $T2'$  が抑制されていると考えられる。よって、単極放電において、 $X$  が増加すると集塵効率は減少する。

また、図示しないが凹み距離  $X$  が  $10 \text{ mm}$  ( $X10$ ) の場合は、トゲの先端と隣接する極板の端部の距離が短いので、荷電空間の距離が減少し、荷電効果が低下していると考えられる。以上から、 $X20$  に集塵効率のピークができたものと思われる。

双極放電の場合でも、 $X10$  の時、荷電空間が小さくなるため、集塵効率が低くなったものと考えられる。ただし、 $G20$  と  $G15$  で、双極放電は単極放電よりも集塵効率が急激に低下しており、この理由は不明である。

#### 4. 結論

2 段式電気集塵機の帯電部において、電圧が印加される極板の他に更に、接地される極板にもトゲを設け、正コロナと負コロナを同時に発生させる双極放電で、集塵効率を測定した。得られた結果は次の通りである。

- (1) トゲ先端の凹み距離  $X$  が大きい領域では、風上側を正放電に、風下側を負放電にした方が、逆よりも集塵効率が高かった。
- (2) 凹み距離  $X$  が小さい領域では、風上側を負放電にした方が、集塵効率が高かった。言い換えると、この領域では、風上側が正の場合、 $X$  が小さいと極端に荷電効果が悪くなる。

今後の課題取組は以下の通りである。

双極の放電空間で、粉塵粒子を正負両極性に帯電させ、集塵部の荷電極板と接地極板の両者で、粒子を捕集できるならば、集塵性能の向上が期待できる。一方、各粒子は、必ず正負両者の放電空間内を通過するので、電氣的に中和される粉塵粒子も存在するものとする。今後は、これらを定量的に把握し、集塵性能を向上するための諸条件を探求してゆく所存である。

#### 参考文献

- 1) 細野 洋, 片谷篤史: 松下エコシステムズの空気浄化装置. 静電気学会誌, **32**, 5 (2008) 203
- 2) 瑞慶覧章朝, 安本浩二: 富士電機システムズのトンネル用電気集塵装置—再飛散防止とナノ粒子の集塵性能. 静電気学会誌, **32**, 5 (2008) 192
- 3) 水島祝彦, 小沢栄一, 本美浩志, 赤松泰吉, 田口文和, 石井淳二, 三宅正晃, 金本一彦, 牛田善喜, 岩本昌克: 特許 2001-3124193
- 4) 片谷篤史, 水野 彰: 平行平板によるイオン風の発生技術. 静電気学会誌, **34**, 4 (2010) 187
- 5) 三好保憲: 気体の伝導, 材料科学, **8**, 1 (1971) 33
- 6) 大澤 敦: 大気圧グロー放電式イオナイザ. 静電気学会誌, **33**, 3 (2009) 115