

論 文

電気集じん装置内の粉じん粒子の挙動

足立 宜良*, 川崎 元之**, 中林 広光***

(1979年10月3日受理)

The Behavior of Dust Particle in Electrostatic Precipitators

T. ADACHI,* M. KAWASAKI,** and H. NAKABAYASHI***

(Received October 3, 1979)

An influence of ionic wind generated along with negative corona discharge in an electrostatic precipitator on the precipitation process of dust particles is experimentally discussed. In a wire-to-plate electrode system, the wire electrode (0.65 mm) is replaceable with pipe electrode (10 mm) with aligned holes (1.5 mm) of 10 mm intervals. Simulated ionic wind might be generated by jetting air out of these holes. Electrostatic field, electric field of corona discharge, field of simulated ionic wind and etc. were prepared as dust collecting electric field by setting either wire or pipe electrode. The behavior of particles which was introduced into these systems was analyzed by photographs. Dust of cement, small particles of polyethylene, small particles of lycopodium, and joss stick's smoke were used in the respective experiments. Four ranges of electric field which affect ionic wind in different manner could be classified by analyzing behaviors of submicron particles. The range of electric field for the most effective collection was determined under the existence of ionic wind. It was observed that DL and θ for the locus of a particle as shown in Fig. 9 increased with increment of the average field strength, and both DL and θ of the large particle were larger than that of the small particle under the same average field strength. As the result of discussion for these criteria (DL and θ) of particle collection in above described electric field, it was confirmed that an existence of ionic wind was essentially important for an efficiency of collection of even larger particles than about 1 μm .

1. まえがき

電気集じん装置（以下 EP と略す）におけるダスト粒子捕集過程の挙動についての研究は重要な課題であって、これまでにも基礎的研究報告^{1,2)}がなされている。そして、ダスト粒子捕集作用として種々の作用力³⁾について考慮されているが、とくにコロナ放電に伴って発生するイオン風⁴⁻⁶⁾による作用力がダスト粒子の挙動にどのように影響を与えるかについての報告は見当たらない

ようである。

このイオン風についての研究の歴史は Robinson⁴⁾が集約して報告しており、EP に関しては針と平板電極において平板上のダスト堆積パターンからイオン風の効果が予想的に検討され報告⁵⁾されている。また前述の装置における空間のイオン風の挙動についてのシュリーレン写真⁵⁾に基づいて、粒子捕集効果の予想的検討もなされている。イオン風による作用効果を定量的に解析するための基礎研究でも、針対平板電極からなる電界中のイオン風速度分布の理論値は実験値とよく一致するとの報告⁶⁾がある。

本研究では、線対平板型 EP を試作して、種々のダスト粒子の装置内における挙動を写真撮影した。放電電極として線電極のほかに多数の穴を設けたパイプ電極を用いて、これらの穴から空気を自由噴流させて模擬イオン風を発生させた。これらの電極によって、静電界の場、コロナ放電電界の場、模擬イオン風の場等を構成し、これらの場合における荷電または無荷電のダスト粒子の挙動について比較検討を行ないイオン風の効果を考

* 山口大学工学部電気工学科 (755 宇部市常盤台)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University, Tokiwadai, Ube 755, Japan

** 西日本工業大学電気工学科(800-03福岡県京都郡苅田町)
Department of Electrical Engineering, Nishinippon Institute of Technology, Kanda-machi, Miyako-gun, Fukuoka Prefecture 800-03, Japan

*** 日新製鋼株式会社周南製鋼所 (746 新南陽市富田 44976);
元山口大学工学部大学院電気工学専攻
Shun'an Works, Nissin Steel Co., Ltd., 44976,
Tonda, Shinnanyo 746, Japan

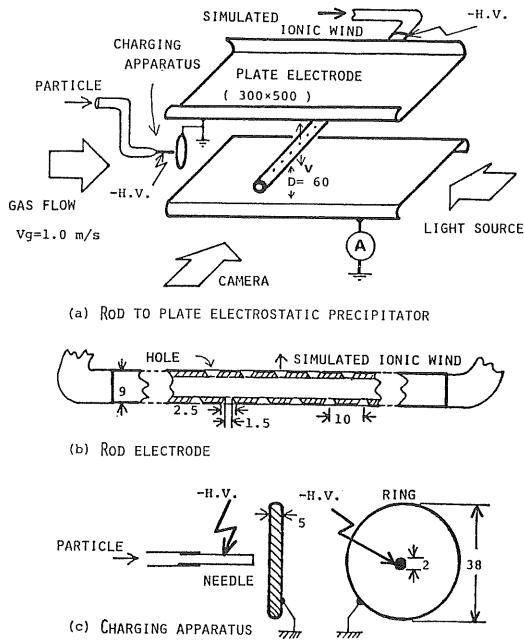


図 1 実験装置の概要

Fig. 1 Experimental apparatus.

表 1 粒子の特性（常温）

Table 1 Characteristics of particles.

	Dia. (μm)	ρ (Ω·cm)	ϵ_s
Polyethylene	≈90	10 ¹³	2.3
Fly ash	1.0~50	8×10 ¹⁵	
Smoke (Joss stick)	0.05~0.1		
Lycopodium	≈15	1.04×10 ¹⁵	5.0

察した。ただし、実験は大気中で行なった。

2. 実験装置の概要と基礎実験

図 1 (a) は放電電極対平板電極からなる EP の模擬装置である。はじめに放電極に一般によく使用される線電極 (直径 0.68 mm) を用いて、この電界内に表 1 に示す種々の粒子を気流 1.0 m/s に乗せて注入して、粒子の挙動を写真測定した。次にコロナ放電に起因するイオン風の粒子挙動への影響を明らかにするため、線電極に代えて同図 (b) に示す中空の棒電極 (直径 10 mm) を用い、この棒に 10 mm の間隔であけた穴 (直径 2.5 mm) から送り出された気流 (自由噴流) を模擬イオン風とした。ここで負イオン風の発生点である放電線上の負コロナ輝点 (文献 14 の図 15 参照) の間隔は印加電圧の増加とともに狭くなるが、模擬イオン風の発生点の間隔を便宜上 10 mm 一定とした。図 1 (c) は針対リング電極

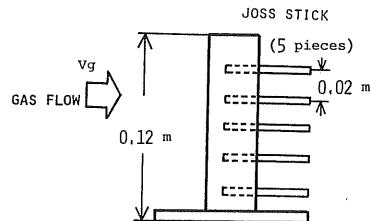


図 2 線香の煙発生装置

Fig. 2 Joss stick's smoke generator.

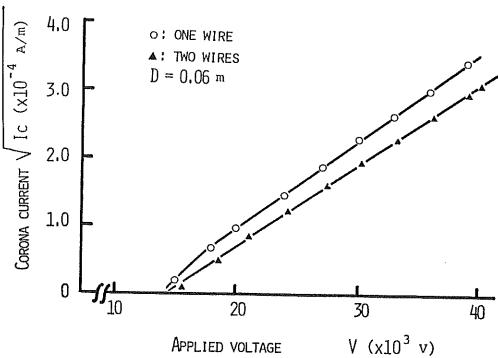


図 3 1 および 2 放電線のコロナ電流特性

Fig. 3 Corona current characteristics of one and two discharging electrodes.

(線直径 5 mm, リングの直径 38 mm) からなるダスト粒子荷電装置である。この装置によって荷電した粒子の帯電量は、荷電粒子を交流電圧が印加された平行平板電極中に落下させて、その粒子軌跡の写真解析から電荷量を算出する「交流平等電界による比荷電の測定法」¹⁸⁾によって求めた。

両平板間に流れる気流は整流板および金網を用いて整流し、平板近傍の境界層領域を最小にするよう対策した。線香の煙発生の場合は図 2 に示す装置を使用した。そして、粒子挙動の写真撮影用のカメラと光源 (超高压水銀ランプ) は図 1 (a) に示すように直角の関係位置に設置した。粒子の速度は光源の前面に取り付けた回転円板の穴 (10 個) で光をショットして、写真上の断続した粒子軌跡から計算して求めた。

図 3 は気流 (1.0 m/s) がある場合の放電特性で、放電線が 2 本の場合のほうが相互干渉によって放電線の単位長さ当たりの電流値は低い値を示す。図 4 は放電線が 1 本の場合の平板上の電流密度分布特性で、この電流密度は平板上に 5×5 mm の電流検出プローブを平板と絶縁して取り付けて測定し、その値の 2 回の平均を測定値とした。負イオンの速度 (イオン移動度と電界強度の積) は平均電界強度 7×10^5 V/m で約 150 m/s なので気流 (1.0 m/s) による電流密度分布への影響はほとんどな

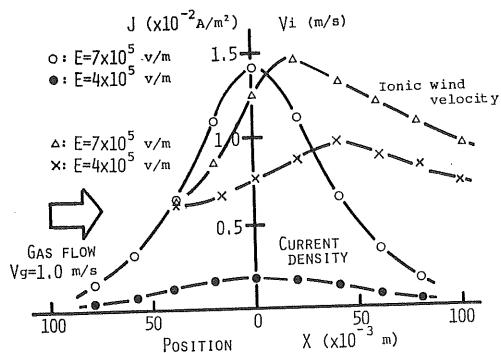


図 4 平板電極上のイオン風速とコロナ電流密度の分布
Fig. 4 Ionic wind velocity and corona current density distributions on the plate electrode.

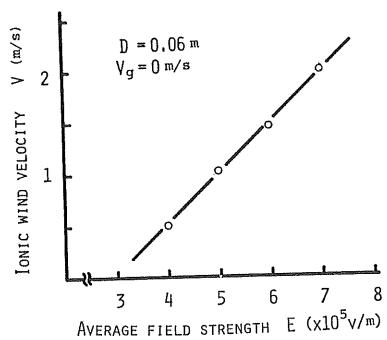


図 5 線対平板電極における最大イオン風速特性
Fig. 5 Maximum ionic wind velocity characteristics for a wire-to-plate electrode.

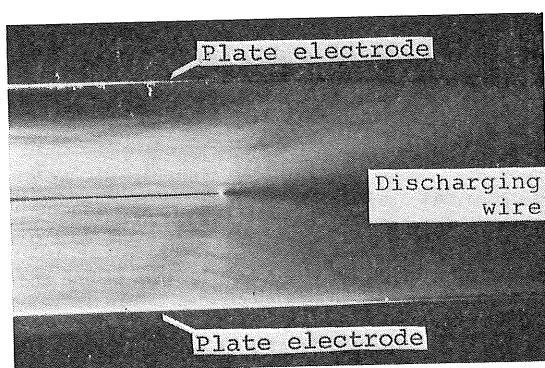


図 6 線香の煙粒子挙動のパターン
Fig. 6 Flow pattern of Joss stick's smoke particles ($V_g = 1.0 \text{ m/s}$).

い。

イオン風速の測定法には種々の方法⁹⁾があるが、ここでは平板電極の代わりに金網電極（メッシュ $3 \times 3 \text{ mm}$ ）を用いて、その下 5 mm のところにサーミスタプローブを設置するサーミスタ風速計法を使用した。この方法によって求めた気流がある場合の速度分布特性を図 4 に記入した。この図から明らかのように、気流の影響を受けているのがうかがえる。気流がなければ、速度分布は電流密度分布と類似の特性（文献 5 の図 11 参照）を示す。

図 5 は気流がない場合の放電極直下に当たる最大イオン風速度と平均電界強度との関係である。この最大イオン風速度は平均電界強度の増加とともに増加するので、パイプ電極での自由噴流の速度をこの図を用いて平均電界強度の変化に対応させて変化させた。最大イオン風速度と自由噴流の速度分布の最大値を一致させた場合に、それぞれの分布特性にわずかな相違（文献 13 の図 9 参照）があるので自由噴流による模擬イオン風は十分にイオン風をシミュレートしたわけではない。

3. 粒子の運動

3.1 サブミクロン粒子（線香の煙粒子）の運動

ダスト粒子運動の解明のために EP 内の気流分布を知ることが必要である。このためには LDV (laser Doppler velocity-meter) による方法¹⁰⁾ ならびにヘリウムガスを気流に混入させたあと検出して気流分布を測定する方法¹¹⁾が報告されている。ここでは線香の煙粒子を使用して、気流ならびにイオン風による流れのパターンを調べた。線香の煙粒子に働く平均電気力と平均粘性力の比を表わす電界寄与率 $k^{12)}$ は 1 より非常に小さいので（前述の LDV 法でもサブミクロン粒子である DOP 粒子を使用），この煙粒子は主として気流の流れに乗って運動するものと考えられる。

図 6 は気流速度 1.0 m/s ，平均電界強度 $3 \times 10^5 \text{ V/m}$ ならびに $6 \times 10^5 \text{ V/m}$ における線香の煙粒子の流れの運動写真である。前者の場合のクーロン力による煙粒子の移動速度は約 $2.8 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ ，自由落下速度は約 $8.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ であって、これらの作用力による影響は気流

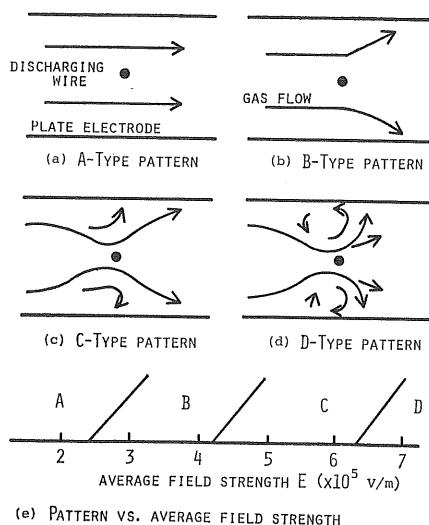


図 7 線香の煙粒子挙動のパターン分類（図 6 参照）

Fig. 7 Classification of flow pattern of Joss stick's smoke particles ($V_g = 1.0 \text{ m/s}$, see Fig. 6).

速度に対して問題にならない。この場合のイオン風速度は平板電極近傍で約 1.0 m/s (図 4 参照) であるが、放電極近傍ではさらに大きくなる⁶⁾のでイオン風によって主ガス流に変化が生じる。これらのことから図 6 はイオン風によって生じた気流の流れのパターンと考えられる。

印加電圧を種々変化させた場合のイオン風作用力による流れのパターンの変化を、多くの写真に基づいて図 7 に示すように A, B, C および D 型のパターンに分類した。これらのパターンが生じる境界の平均電界強度は明瞭に区別されないので、図 7 (e) に示すようにそれぞれの境界を傾斜をもった実線で表現した。図中の領域 A は印加電圧 0 V からコロナ放電が生じるまでの間の現象であって、煙粒子はイオン風が発生していないかまたはごく微少なので、気流によってのみ流されて集じん効果はうかがえない。領域 B (図 6 (a) 参照) ではイオン風が発生して集じん電極方向へ吹きはじめるので、煙粒子は集じん極方向へ偏向される。領域 C ではイオン風がある程度安定化してその風速も強くなり放電極近傍の水平方向の気流速度が増加し、そして平板電極の近くでの淀み効果をもたらす。領域 D ではイオン風速度がいちだんと強くなり集じん電極からの吹き返し、放電線と集じん電極間の攪乱が生じる。以上により、B および C 領域のイオン風パターンが粉じん粒子の捕集に効果的だと考えられる。

以上は気流速度 V_g が 1.0 m/s 一定の場合であったが、 $V_g < 1.0 \text{ m/s}$ の場合は図 7 (e) 中の境界線が左に

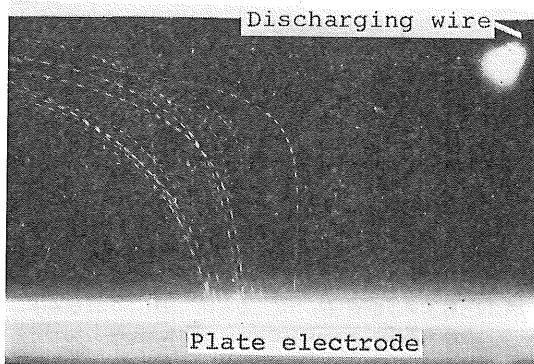


図 8 コロナ放電電界中のポリエチレン粒子の軌跡の写真

Fig. 8 Picture of polyethylene particle loci in the corona field ($D = 0.06 \text{ m}$, $V_g = 1.0 \text{ m/s}$, $E = 7 \times 10^6 \text{ V/m}$, $I_c = 4.04 \times 10^{-4} \text{ A}$).

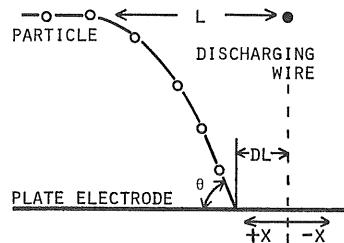


図 9 粒子突入角度と落下位置の概要

Fig. 9 Schematic diagram of particle striking angle and falling position (see Fig. 8).

移動し、 $V_g > 1.0 \text{ m/s}$ の場合は境界線は右に移動する。

放電線 2 本を間隔 $P = 9 \text{ cm}$ ($P/2D = 0.75$ で実稼動 EP の使用範囲を満足) に設置しての同様の実験では、図 7 の D 型パターンは生じなくて、B と C 領域の境界線が右に移動した。このことは放電線 2 本の電界相互干渉による単位長さ当たりのコロナ電流の減少 (図 3 参照) と、それぞれのイオン風の相互干渉 (装置は異なるが文献 5 の図 7 参照) による効果の減少によるものと考えられる。

3.2 粒径大の粒子の挙動

3.2.1 線対平板電極

前節で述べたように、サブミクロン粒子の挙動についてはイオン風作用力による影響は顕著である。直径 $1 \mu\text{m}$ 以上のダスト粒子は、クーロン力の作用力が増大して前述の挙動とは異なった挙動を示す。一例として、図 8 は線対平板型のコロナ放電電界中に無荷電のポリエチレン粒子を注入した場合の粒子軌跡を示す写真である。図 9 は一つの粒子軌跡の概念図で、図中に示してあるように、(1)粒子偏向点と放電極との距離を L 、(2)放電線直下と粒子落下位置との距離を DL 、(3)粒子突入角度を θ とする。これら三つの粒子捕集効果の評価基準について

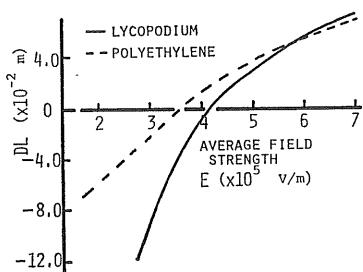


図 10 粒子落下位置 DL (m) の特性 ($DL > 0$ は線直下より風上)

Fig. 10 Characteristics of particle falling position (see Fig. 9).

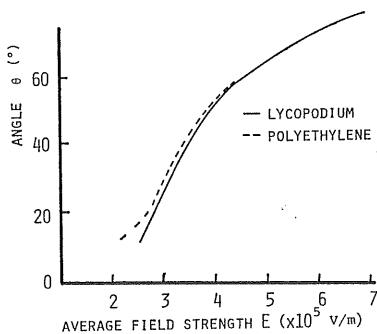


図 11 粒子突入角度 θ (°) の特性

Fig. 11 Characteristics of particle striking angle (see Fig. 9).

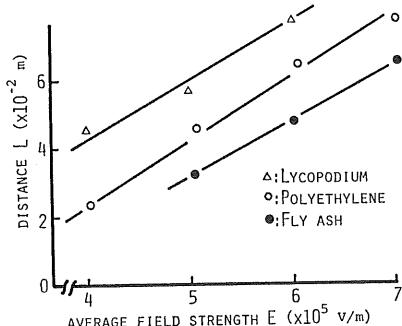


図 12 偏向点と放電線間の距離 L (m) の特性

Fig. 12 Characteristics of distance L (see Fig. 9).

検討を進めることにする。

平均電界強度 E と上記の DL , θ , L との関係を図 10~12 に示す。ここで、 DL , θ , L の値はかなりのばらつきがあるので、四つの測定値の最大ならびに最小値を捨てた残り二つの値の平均値を実験値とした。粒径の大きいポリエチレン粒子は粒径の小さい石松子よりも DL , θ の値が大きいことから捕集効果が大きいと判断される。荷電時間と慣性とが大きいためかポリエチレン粒子の L

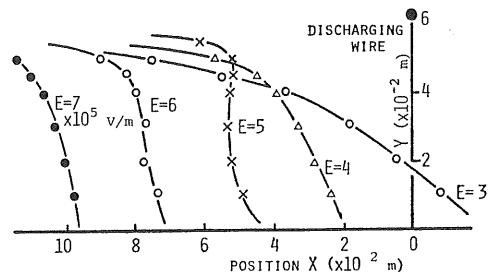


図 13 電界中の石松子の軌跡

Fig. 13 Lycopodium particle loci.

表 2 図11におけるカメラ測定法による石松子運動速度 ω_p (m/s)

Table 2 Lycopodium-drift velocity obtained by the camera measurement in Fig. 11.

$Y(10^{-2} \text{ m})$	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0
$E(10^5 \text{ V/m})$	ω_p (m/s)					
3.0	1.33	1.06	0.80	0.93	1.06	1.48
4.0	1.19	1.14	0.80	0.58	0.64	0.93
5.0	1.14	1.06	1.01	0.77	0.53	0.48
6.0	1.19	0.93	0.73	0.66	0.53	0.74
7.0	1.33	0.93	0.66	0.58	0.45	0.40

表 3 飽和帶電した場合の石松子の理論移動速度 ω (m/s)

Table 3 Theoretical lycopodium-migration velocity under saturation charge.

$E(10^5 \text{ V/m})$	3.0	4.0	5.0	6.0
ω (m/s)	0.93	1.66	2.59	3.73

のほうが逆に小さいが、一度偏向すると理論移動速度が大きいため DL の値が大きくなると考えられる。

サブミクロン粒子もわずかに含まれる粒径分布幅の大きいフライアッシュを注入した場合に、たとえば $E=6 \times 10^5 \text{ V/m}$ の条件下で DL は $0 \sim 7 \text{ cm}$ の幅がある。多数の粒子軌跡のなかで顕著に平板方向に偏向する粒子軌跡を代表として取り出したときの L の特性は、図 12 に示すように他の粒子特性と同様に直線となつた。しかし、 DL , θ の測定値は上記の代表例でもばらつきが多いので省略した。

図 13 に平均電界強度 E をパラメータとした石松子の粒子軌跡を示す。この粒子軌跡にそった粒子速度 ω_p の写真測定値を表 2 に示す。この表より、粒子は放電線に近づくにつれ減速され、集じん電極方向へ偏向されたあとクーロン力によって加速され速度を増して集じんされることが理解される。表 3 に示す電界に基づいて計算し

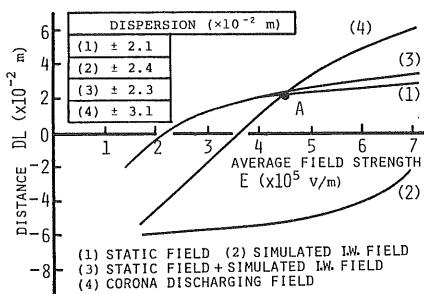


図 14 4種類の場中のポリエチレン粒子落下位置特性

Fig. 14 Falling position characteristics of polyethylene particle in 4 kinds of fields (see Fig. 9).

た粒子の理論移動速度 ω と ω_p を比較すると、 E が小さいときはほぼ同一値を示すが、 E が大きくなると粒子がその電界中にはいれないため（図 13 参照） ω と ω_p の間に大きな差が生じる。

石松子はポリエチレン粒子と比較して、粒径ならびに質量も小さいので、帶電量に比例するクーロン力ならびに重力も小さいと考えてよい。したがって、平均電界強度 E が小さいとき図 10, 11 の DL および θ がポリエチレン粒子の場合より小さくなっている。しかし、 E が大になるほどポリエチレン粒子の特性とあまり変わらないということは、イオン風の作用力がクーロン力および重力による作用力の減少分だけを補って捕集効果をもたらしているとも考えると断定はできない。

3.2.2 パイプ電極（模擬イオン風用）対平板電極

前節の線対平板電極において、粒径の大きい粒子についてイオン風作用力の効果がはっきりと判別できなかった。そこで、図 1(b)に示すパイプ電極を用いて、このパイプに設けた多数の穴より模擬イオン風を発生させ、イオン風作用力と電界の作用力を分離させた。ただし、この風は自由噴流であって、イオン風とはその特性に若干の相違が存在すること^{13,14)}、噴流した量だけ流れているガス量が増加すること、ならびに平板電極近傍での境界層に与える影響の相違があること¹⁵⁾などの欠点がある。使用したパイプ電極径が大きいので、 $8 \times 10^5 \text{ V/m}$ 以下ではコロナ放電は生じなくて静電界だけを構成する。

この装置によって、(1)静電界だけの場、(2)模擬イオン風だけの場、(3)静電界と模擬イオン風の合成された場、の 3 通りの場が作られ、パイプ電極を線電極に代えることによって、(4)コロナ放電の場、の合計 4 通りの場が作られることがある。(1)～(3)の 3 通りの場には図 1(c)の装置で荷電したポリエチレン粒子（飽和帶電量の 30～50%）を、最後の(4)の場には無荷電のポリエチレン粒子

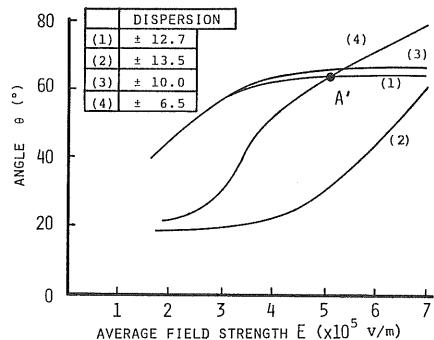


図 15 4種類の場中のポリエチレン粒子突入角度特性

Fig. 15 Striking angle characteristics of polyethylene particle in 4 kinds of fields (see Fig. 9).

を気流 1.0 m/s に乗せて注入した。

図 14 ならびに図 15 は多くの写真に基づいて得られた平均電界強度 E と、図 9 に示す粒子捕集効果の評価基準である DL と θ の特性を示す。測定値の分散を図中に表として記入してある。両図の曲線(2)から明らかなように、模擬イオン風だけの場合平均電界強度 E が大きい領域、すなわち図 5 で換算された自由噴流の速度が大きい領域で DL と θ の特性に模擬イオン風に捕集効果が認められる。この効果は両図の曲線(1)と(3)の E が大きいところで差異となって現われている。曲線(3)と(4)のそれぞれの図の交点 A ならびに A' 以上の電界強度で(4)の曲線が大きな値を取ることは、無荷電粒子が十分な荷電を得てクーロン作用力が大きくなったこととイオン風作用力の増加が考えられる。模擬イオン風（自由噴流）だけの粒子捕集効果ならびに静電場に模擬イオン風を重畠した場合のその効果は、曲線(4)に比較して顕著に現われていないのは実際のイオン風と模擬イオン風との相違が大きく原因していると考えられる。

図 16 は模擬イオン風の場合を含む三つの場に荷電したポリエチレン粒子を気流 1.0 m/s に乗せて注入した粒子の軌跡ならびに速度と位置の関係、図 17 はコロナ放電電界の場に無荷電ポリエチレン粒子を注入した同様の関係の特性である。これらの粒子軌跡は代表的なものを抽出したものであって、おのおのの条件下の傾向は十分に表わしている。図 16 の模擬イオン風 (I.W.) の場合と図 17 の平均電界強度が低い場合 ($E=2 \times 10^5 \text{ V/m}$) の粒子速度はほとんど変化がない。しかし、図 17 の $E=7 \times 10^5 \text{ V/m}$ でのポリエチレン粒子は集じん空間にはいってくると大きく減速され、そして集じん電極方向へ偏向されたあとクーロン力で加速されて速度を上げながら集じん電極に突入する。

図 16 の模擬イオン風と静電界の合成の場を静電場と

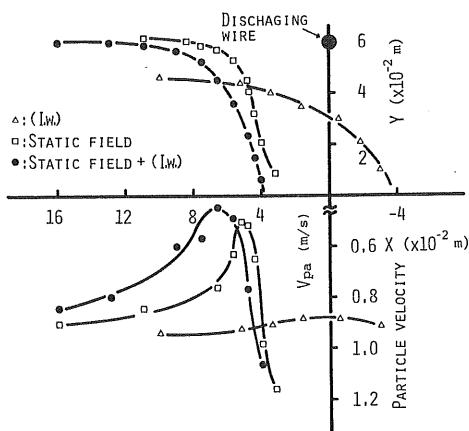


図 16 3種類の場中におけるポリエチレン粒子の軌跡と速度特性

Fig. 16 Loci and velocity characteristics of polyethylene particle in 3 kinds of fields.

比較すると、静電場だけのほうが集じん電極近傍での粒子速度が大きくて、平板上の落下位置 DL はわずかに小さい。これらのこととは、静電場に模擬イオン風が重畠されると噴流が集じん電極に衝突して吹き返しとなり、粒子を減速させる結果、粒子捕集効果をあげたと考えられる。

図 17 の $E=7 \times 10^5 \text{ V/m}$ の場合を図 16 の静電場の特性と比較すると、集じん電極近傍での速度は前者のほうが小さい。このことはイオン風の吹き返しが影響を及ぼしているものと思われる。そして $E=7 \times 10^5 \text{ V/m}$ でのイオンシャワが盛んな放電電極下の電界領域にポリエチレン粒子は突入することができず、両電極間 $D=6\text{cm}$ よりも大きい平板上 $DL \approx 7\text{cm}$ のところに落下している。この場合、粒子の荷電量測定はできなかったが、粒子軌跡と放電電極との距離は 7cm 以上なので電界強度は弱く、またイオンシャワの量も放電線直下に比べて非常に小さい（図 4 の電流密度分布曲線を参照）ので、その荷電量は非常に小さいものと考えられる。このように、荷電量の小さい粒子が平板上 $DL \approx 7\text{cm}$ のところに落下し、図 16 の場合 $DL \approx 4\text{cm}$ のところに落下することから、イオン風による乱流の影響（図 7 の D 領域参照）はかなり大きいものと考えられる。

最後に粒径分布の幅の広いフライアッシュについて、図 16 ならびに図 17 と同様な実験を行なった。実験データについての細部の検討は省略するが、結果として粒径大の粒子はポリエチレン粒子と、粒径が非常に小さい粒子は線香の煙粒子と同様な挙動の傾向を示した。この両極端な現象の区別は粒径 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ の粒子で生じるようである。この実験で、平板上に堆積されたフライアッシュの堆積層で逆電離現象が発生して、粒子再飛散現象が生じたことを付記しておく。

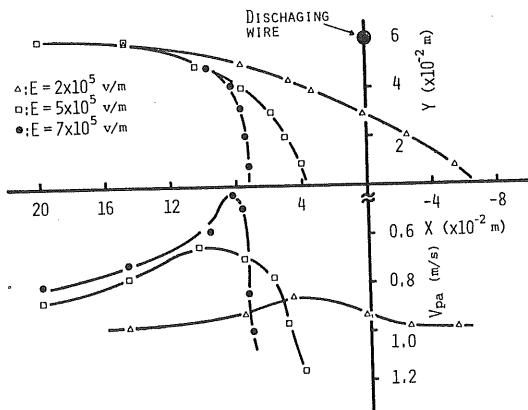


図 17 コロナ放電電界中におけるポリエチレン粒子の軌跡と速度特性

Fig. 17 Loci and velocity characteristics of polyethylene particle in the corona field.

シューの堆積層で逆電離現象が発生して、粒子再飛散現象が生じたことを付記しておく。

4. まとめ

本実験結果をまとめると次のようである。

- 1) 線対平板電極からなるコロナ放電電界に線香の煙粒子を気流 1.0 m/s に乗せて注入した場合、煙粒子はイオン風による気流の乱れに大きく影響され、平均電界強度に関して粒子挙動のパターンを四つに分類した。この四つに分類された領域の電界強度境界線は気流速度ならびに放電線の本数によって変化する。
- 2) この四つの領域のなかで、サブミクロン粒子の捕集には C 型パターンの領域（図 7 参照）が適していると考えられる。
- 3) 上記 1) の装置内に無荷電ポリエチレン粒子ならびに石松子を注入すると、放電極に近づくにつれて減速し、平板方向へ偏向されたあと加速されて速度が増加し、最後に平板電極近傍でやや減速して電極に達する。この粒子偏向点は十分なイオンシャワ領域外であることから、わずかな荷電によるクーロン作用力で偏向されると考えられる。集じん電極近傍での粒子減速作用はイオン風の吹き返しによるものと考えられる。
- 4) 上記 3) の粒子軌跡において、集じん効果の評価基準とした DL ならびに θ （図 9 参照）は粒径が大きいほどそれぞれの値が大きくなつた。これらのこととは集じん効果が大であることを示すものである。

- 5) 模擬イオン風のために工夫されたパイプ電極を用いた装置において、模擬イオン風だけの場、静電界の場ならびにこれら合成された場の合計三つの場に荷電ポリエチレン粒子を注入した。それぞれの場での粒子速度、落下位置などを比較検討して、電界が大きいほど模擬イオン風の作用効果があることが認められた。
- 6) 上記4) の種々の場における粒度分布幅の広いフライアッシュでは、粒径の大きい粒子はポリエチレン粒子と、非常に小さい粒子は線香の煙と同様な挙動を示した。これら二つの現象は $1\sim 5 \mu\text{m}$ の粒径で区別されるようである。

本研究について、ご指導ならびにご支援いただいた東京大学工学部増田閃一教授、九州大学総合理工学部赤崎正則教授、同工学部原雅則助教授ならびに山口大学工学部榎崎久矩教授に深く感謝する。なお、実験についてご援助いただいた本学池田隆技官に感謝する。

参考文献

- 1) G.W. Seman and G.W. Phnny : IEEE Trans., 86, 3 (1967), 365.
- 2) G.W. Seman and G.W. Phnny : IEEE Int. Conv. Rec., 13, 7 (1965), 69.
- 3) 橋本清隆、足立宜良：静電気とその産業技術、p. 69、東京電機大学出版(1969).
- 4) M. Robinson : Am. J. Phys., 30 (1962), 366.
- 5) 足立宜良：電気学会論文誌 B, 93, 7 (1973), 273.
- 6) 足立宜良、増田閃一、阿久津顯右：電気学会論文誌 A, 97, 5 (1977), 259.
- 7) W. Deutch : Ann. Phys., 476 (1925), 729.
- 8) 増田閃一：表面, 6, 12 (1968), 791.
- 9) 足立宜良、川崎元之：静電気学会誌, 2, 3 (1978), 160.
- 10) 中根偕夫、阿久津顯右、増田閃一：静電気学会研究会資料, B-79-5-03 (1979).
- 11) M. Robinson : J. Air Pollut. Control Assoc., 17, 9 (1967), 605.
- 12) 増田閃一、松本陽一：電気学会論文誌 A, 94, 12 (1974), 515.
- 13) 足立宜良：粉体工学研究会誌, 12, 3 (1975), 146.
- 14) 足立宜良、川崎元之、岸本勝美：静電気学会誌, 4, 1 (1980), 44.
- 15) 川瀬泰、三品博達、朝倉利光：静電気学会誌, 2, 3 (1978), 199.