

# 電気集じん器の電極面におけるダストの影響

庄 靖彦\*・足立 宜良\*\*

Influence of the Dust on the Plate-Electrode of the Electric Precipitator

Yasuhiko SYO and Takayoshi ADACHI

## Abstract

The efficiency of the electric precipitator is low for the particle resistivity smaller than  $10^4$  ohm-cm or greater than  $10^{11}$  ohm-cm.

We observe mainly the region of lower resistivity and investigate some characteristics of lower resistivity dust in a corona discharging field. The graphite that is lower resistivity, and the cement and the by-product of cement which are higher resistivity are used. The experimental equipment is consisted of discharging electrode, plate-electrode and probe-electrode on which the dust is accumulated. Under the variable applied voltage, the corona current is measured for the various spacing electrodes and the thickness of the dust.

We considered the characteristics of these corona currents for three dusts, the peculiar dispersed phenomena for the by-product of cement and etc. It is thought that the results of these experiments and consideration are useful data for raising the efficiency of the electric precipitation.

## 1. 緒 言

電気集じん器の対象とする煙じんの種々の性質のうち、電氣的固有抵抗に問題を限定しても広い範囲があり、 $10^4 \sim 10^{11} \Omega\text{-cm}$  の範囲では集じん効率が高く容易に運転できる。そして  $10^{11} \Omega\text{-cm}$  以上の高抵抗領域と  $10^4 \Omega\text{-cm}$  以下の低抵抗領域では何らかの特別な対策を講じないと満足な集じん効率を得られない。この高抵抗領域については、増田閃一氏等によって研究されている<sup>1,2)</sup>。

そこで著者らは、この低抵抗領域に着目し、これまでの研究<sup>3,4)</sup> につづいて、電気集じん器の諸特性を左右する要素としての集じん極面上に堆積したダストの影響が、コロナ放電電流に与える変化を測定し、これの実験結果に基づいて考察を行なった。

この実験において、低抵抗のダストとしてグラファイト、また、比較のために、高抵抗のダストとしてセメントおよびセメント中間生成物（セメントキルンからの排ガスから収集したもの）の三種類のダストを実験対象として用いた。

## 2. 実験装置の概要

本実験装置の電源回路図は Fig. 1 に示す。Fig. 1 において、調整用スライダック  $SL_1$  および  $SL_2$  は定格  $0 \sim 260\text{V}$ ,  $20\text{A}$ , 昇圧トランス  $Tr_1$  は容量  $5 \text{ kVA}$ , 巻数比  $250$ , ヒータトランス  $Tr_2$  は容量  $0.2 \text{ kVA}$ , 巻数比  $0.1$ , 平滑コンデンサー  $C$  は  $3.3 \mu\text{F}$ , 高電圧整流管  $K$  は  $150\text{kVP}$  の熱電子整流管である。Fig. 1 に示すコロナ放電電界の放電極として針端（材料は銅）を用い、その形状および寸法を Fig. 2 に示す。そして、集じん極として電界を平等にするのに十分な大きさの平板電極 ( $40 \times 50\text{cm}$ ) を用い、この中央に Probe 電極を設置した状態を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 における Probe 電極を小さくして ( $1 \times 1 \text{ cm}$ )、この Probe 電極をある任意の負の高電圧のもとで平板電極面上を左右に移動させて、電流密度分布を求めた。電界強度  $G$  とこの電流密度  $I$  との間の近似的な関係<sup>5)</sup>

$$G = K\sqrt{I} \quad (1)$$

を用いて計算して、集じん極面上の電界強度分布を Fig. 4 に示す。このような電界分布を構成する平板電極面上の Probe 電極 ( $20 \times 20\text{cm}$ ) 上に種々のダストを堆積させて実験を行なった。

\* 山口大学大学院工学研究科電気工学専攻

\*\* 山口大学電気工学教室

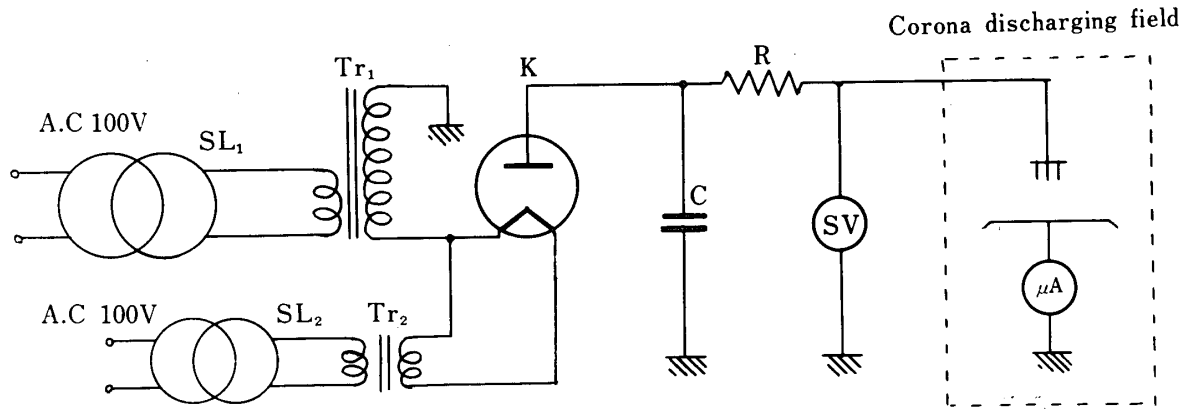


Fig. 1 Schematic diagram of experimental circuit

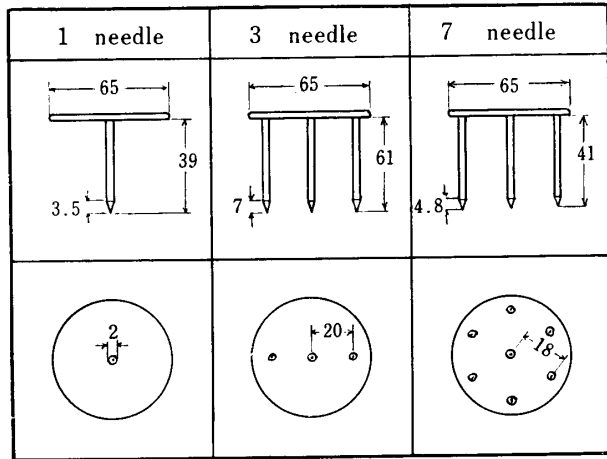


Fig. 2 Schematic diagram of discharging electrodes

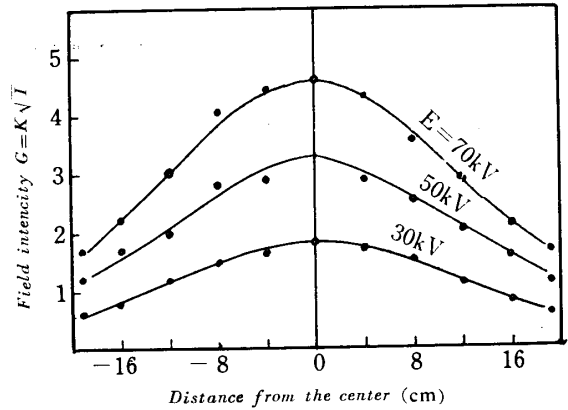


Fig. 4 Field intensity distribution just before the plate-electrode

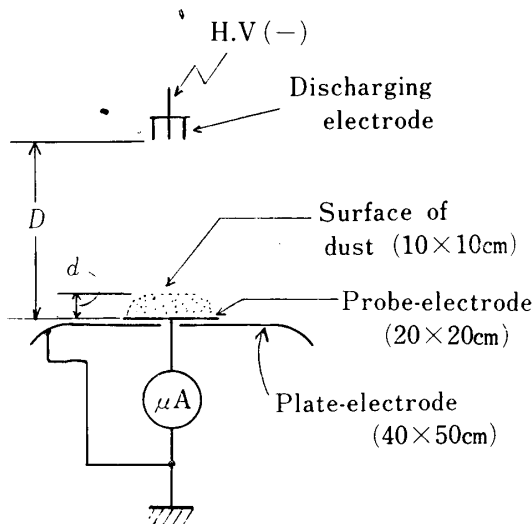


Fig. 3 Corona discharging field

### 3. ダストの種類, 特性

Probe 電極上に堆積させたダストとして, グラファイト, セメントおよびセメント中間生成物の三種類を用いた. ここで, 次章の実験結果に影響を与えるダス

トの性質として, 固有抵抗, 粒度分布および見かけ比重について調べた.

固有抵抗の測定は, 絶縁円筒 (3.7cmφ×7.6cm) にダストを詰め込んでの直流電圧—電流法を用いた. 各々のダストについての固有抵抗と, その値に密接な関係のある詰込み密度をまとめて Table 1 に示す. セメントとセメント中間生成物の間には詰込み密度がほとんど変わらなくて約1桁のちがいがあがるが, グラファイトにおいては詰込み密度が前者の約3分の1にかかわらず7~8桁も小さな値であることが注意される.

Table 1 Specific resistance and density of the dust

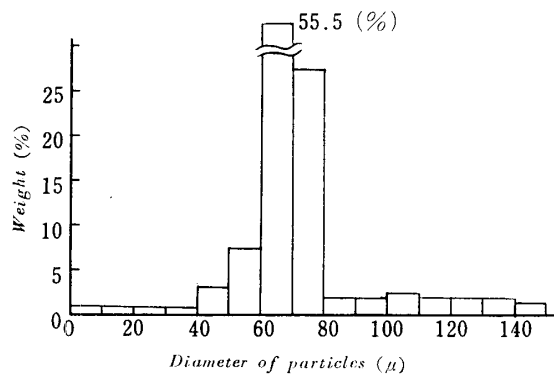
Dust	Nature	Specific resistance [Ω · cm]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]
Graphite		59	0.4
By-product of cement		1.1×10 <sup>8</sup>	1.2
Cement		7.6×10 <sup>8</sup>	1.4

ダストの比重には空気中に堆積した状態での見かけ比重と、粒子それぞれの比重(真比重)がある。ここでは、ダストの見かけ比重  $C_a$  をつぎの式を用いて測定し、まとめて Table 2 に示す。

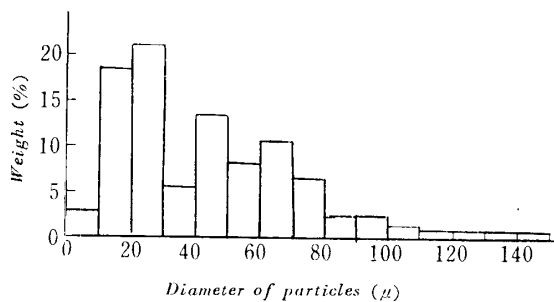
$$C_a = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Table 2 Specific gravity of the dust

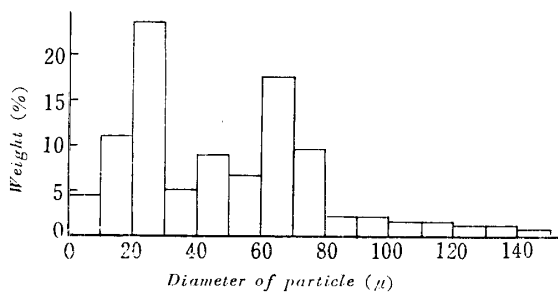
Dust	Specific gravity [g/cm <sup>3</sup> ]
Graphite	0.507
By-product of cement	0.808
Cement	0.817



(a) Graphite



(b) By-product of cement



(c) Cement

Fig. 5 Distribution of particles for the dust

ただし、 $v$  はダストの体積で、 $m$  は重量である。

粒度分布測定にあたって44 $\mu$ 以上の粒子については「フルイ」(JIS規格)を使用して、これより小さい粒子については洗降法による自動粒度分布測定器を使用した。三種類のダストについてのこれらの結果を Fig. 5 に示す。ただし、グラファイトは44 $\mu$ 以下の粒度が少ないので洗降法は用いなかった。結果について、グラファイトは直径60~70 $\mu$ のところが大きなピークになり、セメント中間生成物は小さな直径のところにも山をもつ分布となり、セメントは2つの山をもつ分布になったことが注意される。

ここで用いた自動粒度測定法についてのべる。ある媒液中で粒子を自然洗降させたとき、その速度は、Stokes 氏の式でつぎのように与えられる。

$$v = \frac{H}{T} = \frac{g(\rho_f - \rho_s)}{18\eta} \delta^2 \quad (3)$$

$v$  : 洗降速度 [cm/sec]

$H$  : 洗降距離 [cm]

$T$  : 洗降時間 [sec]

$g$  : 重力の加速度 [cm/sec<sup>2</sup>]

$\rho_s$  : 媒液の比重 [g/cm<sup>3</sup>]

$\rho_f$  : 粒子の比重 [g/cm<sup>3</sup>]

$\eta$  : 媒液の粘性係数 [g/(cm $\cdot$ sec)]

$\delta$  : 粒子の直径 [cm]

この関係式は、多数の粒子を含む場合も、各粒子間に相互に作用が無いとすれば、各粒子について適用できるから、粒子径の大きさおよびその分布状態を求めることができる。この理論により、一定距離  $H$  を落下するに要する時間  $T$  を求めることによって、粒子径の大きさおよび分布を求めるのが洗降分析である。使用した測定器(鳥津製作所)は、この時間を求めるのに天びん法を用いたものである。

#### 4. 放電特性

##### 4.1 予備実験

##### A 放電極の形状による影響

Fig. 2 に示したように、放電極として針端を用いた。この針端数の違いによる効果は、針端数の増加につれてコロナ電流も増加することを確認した。しかし、針端数に比例するほどコロナ電流は増加しなくて、たとえば、堆積層がなく、両電極間距離  $D=7$  cm、印加電圧  $V=45$  kV のときに、1針のコロナ電流  $I=63 \mu A$ 、3針の  $I=82 \mu A$ 、7針の  $I=107 \mu A$  であった。これは放電極先端付近における針数に関係した電界強度分布の影響によるものと思われる。

**B 堆積層の広さについて**

Fig. 3 に示した銀板 Probe 電極 (20×20cm) 上に、ダストを堆積させて以後多くの実験を行なうわけである。したがって、両電極間距離 ( $D=5\text{cm}$ ) および堆積層厚さ ( $d=0.4\text{cm}$ ) を一定にして堆積層の面積を変化して実験した結果、Probe 電極上に  $10\times 10\text{cm}$  の広さにダストを置くことによって、そのダストの影響を十分に知り得ることを確認した。

**C 測定値のバラツキについて**

本実験装置においては、電界強度  $1.4\sim 4\text{ kV/cm}$  程度の範囲ではコロナ電流測定値にバラツキが大きく、この電界強度の範囲内で電界が大きくなるにつれて、誤差はだんだんと小さくなっていく傾向を示した。これは空間電荷効果によるもので、実験装置のごくわずかな周囲条件に左右されたと思われる。また、約  $4\text{ kV/cm}\sim 12\text{ kV/cm}$  の範囲の高電界においては、ほとんど測定値誤差はみかけられない。(この電界強度範囲は、実際の電気集じん器の実用範囲である。)

**4.2 両電極間距離  $D$  の効果**

Fig. 3 に示すコロナ放電電界において、グラファイトの堆積層の厚さ  $d=0.8\text{cm}$  を一定にして、両電極間距離  $D$  ( $3\sim 9\text{ cm}$ ) をパラメータとした、印加電圧と電流の関係を両対数グラフとして Fig. 6 に示す。印加

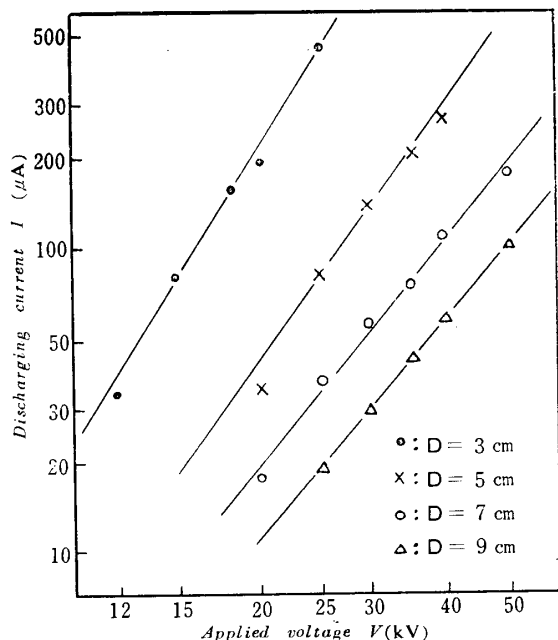


Fig. 6 Influence of spacing electrodes

電圧  $20\text{ kV}$  以上の範囲を、直線に近似することによって実験方程式<sup>6)</sup>として次式が得られる。

$$\log I = \alpha \log V + \beta \tag{4}$$

$I$  : コロナ電流 [ $\mu\text{A}$ ]

$V$  : 印加電圧 [ $\text{kV}$ ]

$\alpha$  : 放電極寸法等による定数

$\beta$  : 雰囲気ガスの状態や性質ならびに電極寸法等に関する定数

(4)式の  $\alpha$  および  $\beta$  を、グラフのそれぞれの直線から求めて Table 3 に示す。定数  $\alpha$  および  $\beta$  は電極形状および寸法で大きく変るが、ここでは、定数  $\alpha$  および  $\beta$  は共に  $D$  の増加に伴って減少するが、特に  $\beta$  が負であることが注意される。

Table 3 Relation between  $\alpha, \beta$  and spacing electrodes

D (cm)	No dust (d=0)		Graphite (d=0.8cm)	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
3	2.96	-1.77	3.43	-2.09
5	2.83	-2.15	2.64	-1.76
7	2.80	-2.51	2.54	-2.03
9	2.70	-2.71	2.43	-2.19

つぎに Fig. 3 において、印加電圧を一定として、両電極間距離  $D$  とコロナ放電電流との関係を Fig. 7 に示す。Fig. 7 の両対数グラフが直線となるので、両電極間距離  $D$  [cm] とコロナ放電電流  $I$  [ $\mu\text{A}$ ] との関係は、実験方程式としてつぎのように示される。

$$\log I = \gamma \log D + \theta \tag{5}$$

$\gamma$  : 放電極寸法や電界強度等による定数

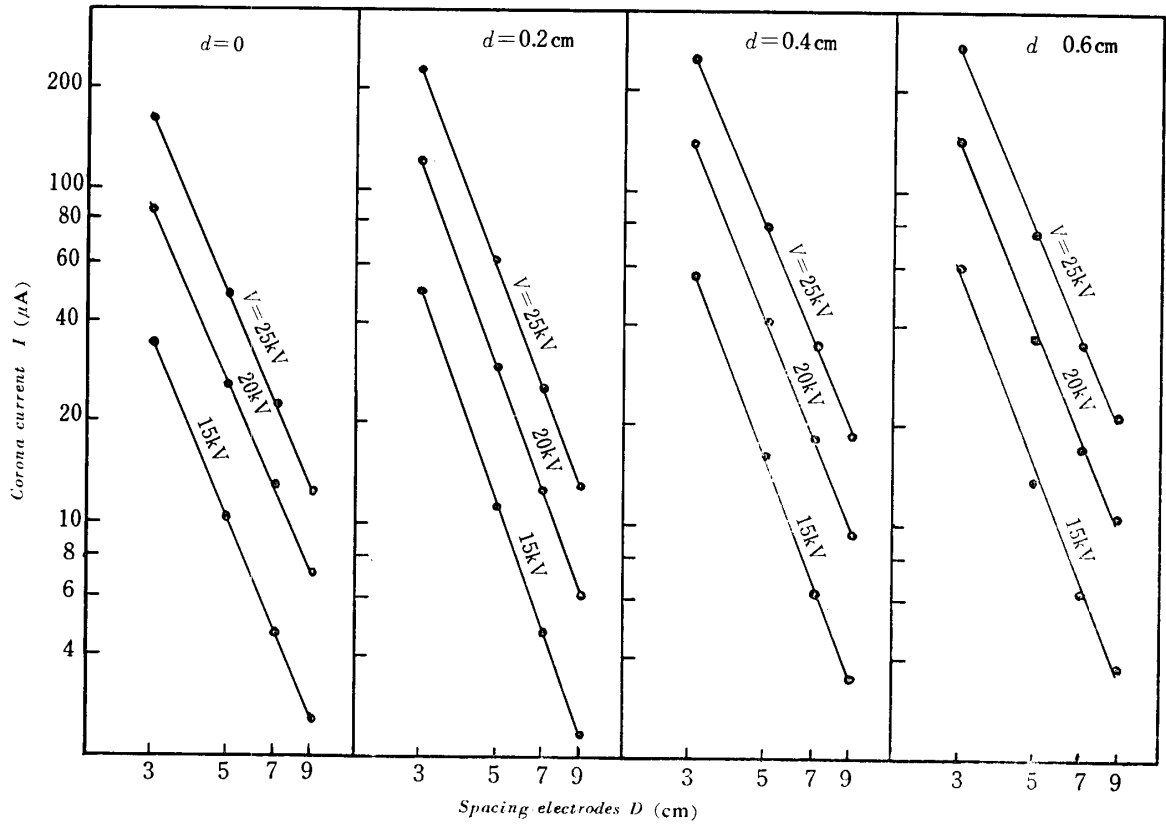
$\theta$  : 雰囲気の状態や電極寸法等による定数

Fig. 7 において、印加電圧一定のもとで電極間距離  $D$  が増加することは、Fig. 3 のコロナ放電電界の場の平均電界強度が低下することに相当するので、コロナ放電電流  $I$  は減少する。したがって、勾配  $\gamma$  は負の値になる。

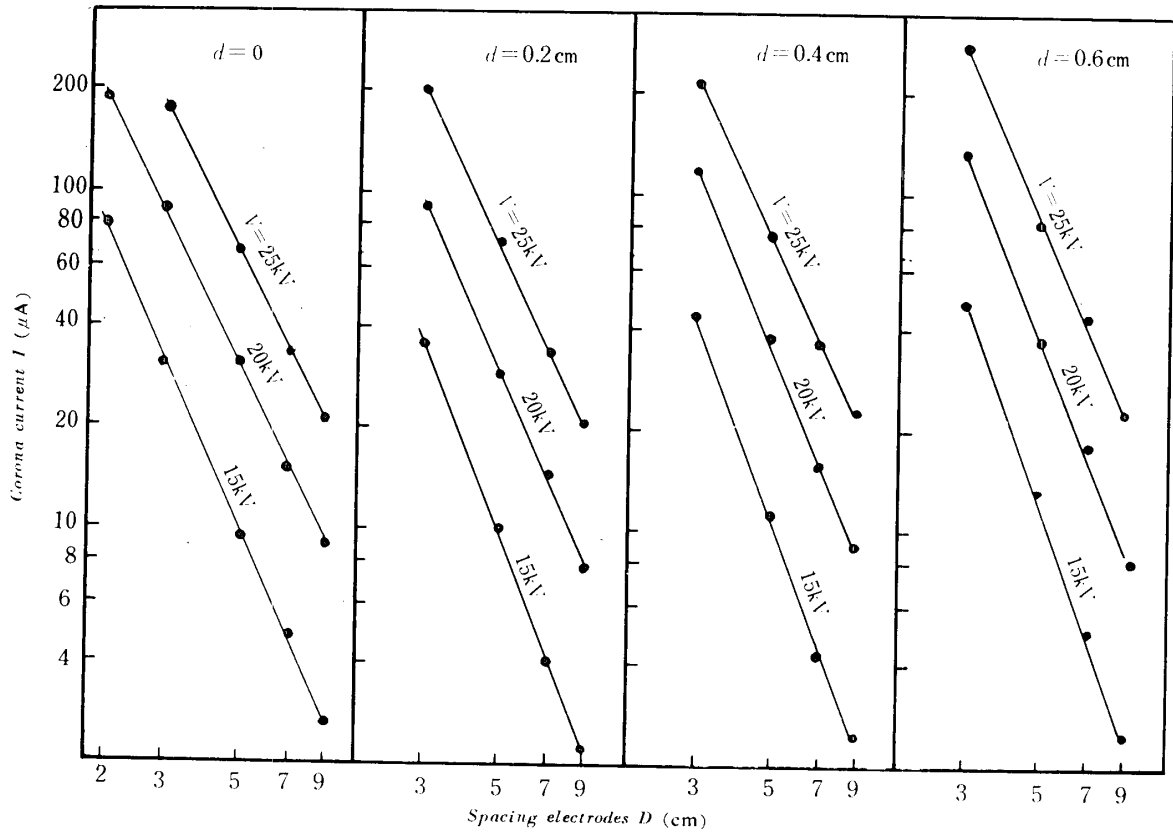
**4.3 堆積層の厚さによる効果**

Fig. 7 の3つのグラフを基にして、両電極間距離  $D = 5\text{ cm}$  一定として、印加電圧  $25\text{ kV}$ 、 $20\text{ kV}$  におけるダスト堆積層の厚さ  $d$  とコロナ電流  $I$  との関係を Fig. 8 に示す。

Fig. 8 (a) のグラファイトの  $d$  の増加につれて、 $I$  は増加の傾向を示したが、Fig. 8 (b) のセメントおよびセメント中間生成物はほとんど同じ値で  $d$  の増加につれてほとんど変化しなかった。グラファイトについては Table 1 に示したように固有抵抗は非常に小さいので堆積層の増加によって見かけ上両電極間距離  $D$  の減少と考えられる。つまり、堆積層内での電圧降下が非常に小さいことである。セメントとセメント中間生



(a) Graphite



(b) By-product of cement

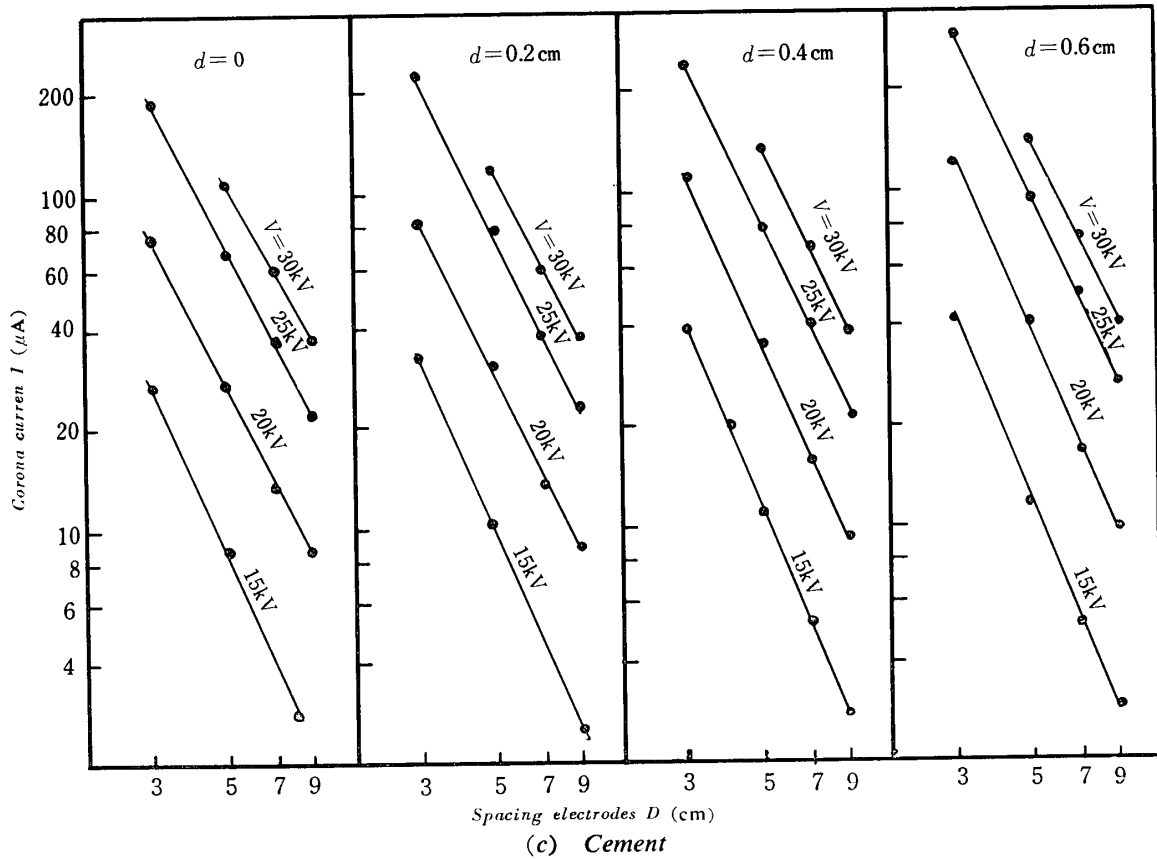


Fig7 Relation between corona current and spacing electrodes for the dust

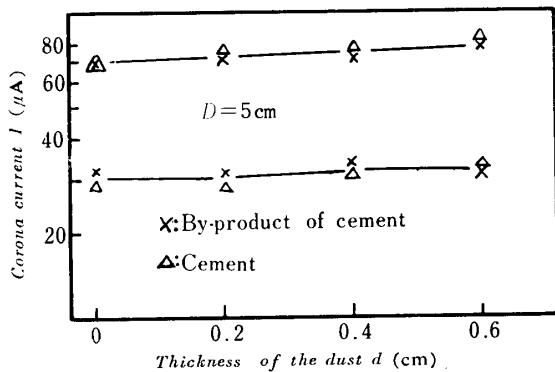
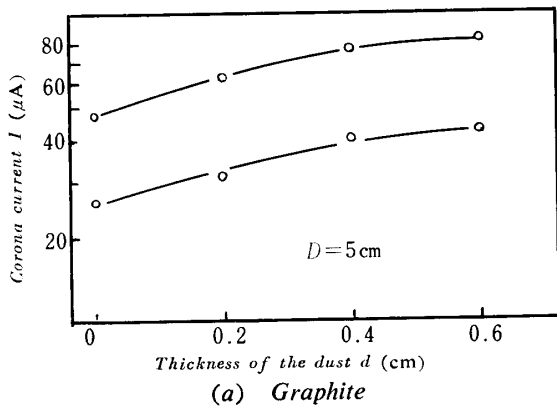
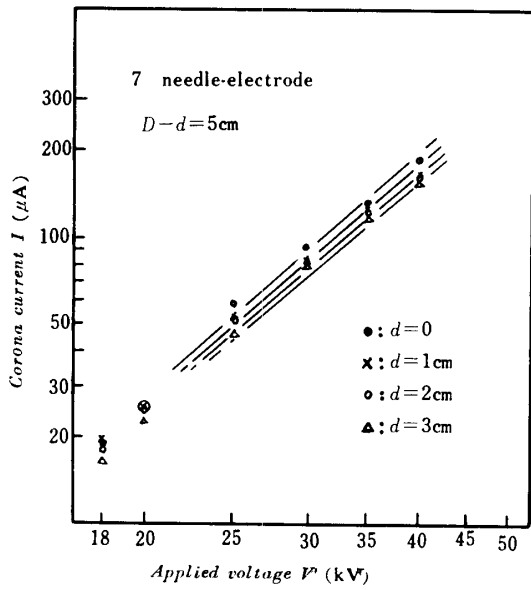


Fig 8 Relation between corona current and thickness of the dust

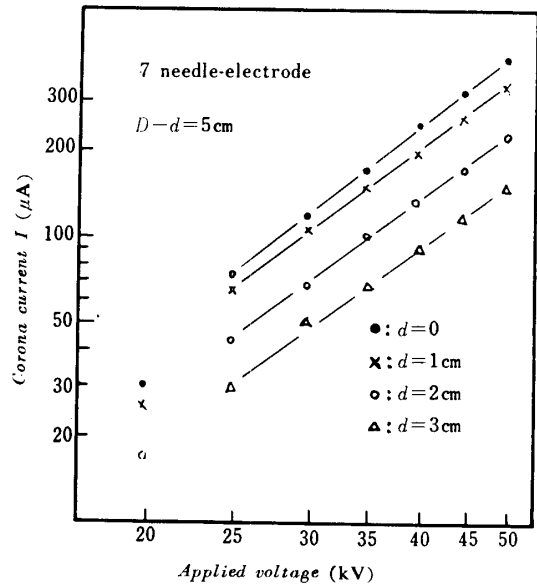
成物の固有抵抗値は Table 1 で 1 桁異なるが、その影響はほとんど見かけられない。

#### 4.4 (D-d) を一定とした場合

堆積層の効果をより詳しく知るために、放電極と堆積層表面間の距離を一定、つまり (D-d) を一定として堆積層の厚さ d を大巾に変化して実験を行なった。その結果を Fig. 9 に示す。Fig. 9 において、堆積層の厚さ d を増していくにしたがって、コロナ電流 I は減少しているが、その減少の度合はグラファイトおよびセメント中間生成物では小さく、セメントで大きくなっている。これらの事情は Table 1 の各ダストの固有抵抗と文献 7 の図 2・65 の放電電流と固有抵抗の関係に関連があると思われる。グラファイトの場合は固有抵抗が小さいので、d を大きくしても電流減少が少なく、セメントの場合は固有抵抗が大きいので、d の増加に伴って大幅な電流減少がみられ、これら 2 つの現象は当然である。しかし、セメント中間生成物は固有抵抗が大きいにもかかわらず、セメントと同じ傾向を示さなくて、図 2・65<sup>7)</sup> の D 領域にあたる逆電離現象域の結果を示したことになる。逆電離現象について述べれば、堆積層の表面電位が急激に増加すると、その層内で局所的な放電を始める。するとこの堆

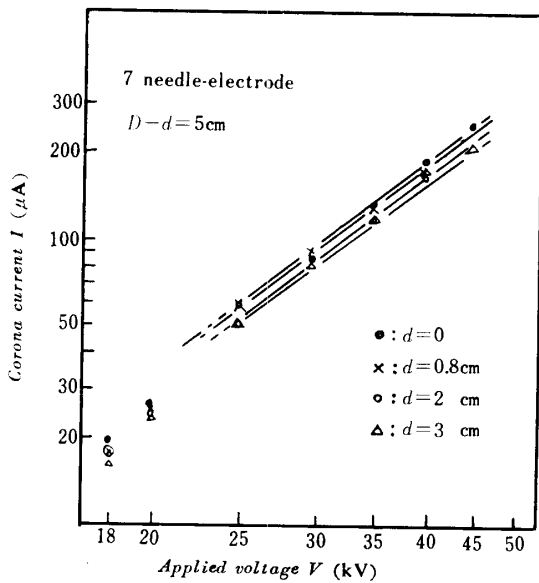


(a) Graphite



(c) Cement

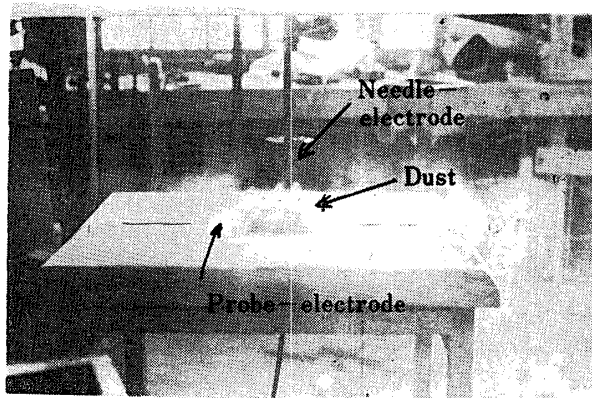
Fig. 9 Relation between corona current and applied voltage for the dust



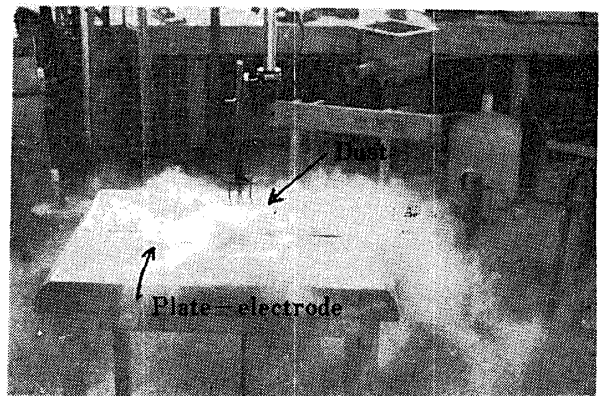
(b) By-product of cement

積層内の放電によって生まれた正極性イオンは表面から出て放電極に向い、負極性のイオンや帯電粒子を中性にしようとする。そのため空間電荷は少なくなって一層コロナ電流が流れるようになる。また、層内で生成された負極性イオンは余分な電流として、Fig. 3の放電々流計に指示される。これと共に堆積層の表面から正極性コロナ放電を始めるため、その特長としてスパーク電圧は低くなる<sup>8)</sup>。

Fig. 7においては、セメントおよびセメント中間生成物の間にはほとんど同じ傾向がみられたが、Fig. 8においては、これら2つの現象の間に非常に大きな違いがみられた。このことは、前者では堆積層  $d$  の変化が小さく、後者では  $d$  の変化が大きかったので顕著に現われたものと思われる。



(a)



(b)

Fig. 10 Photographs of the peculiar dispersed phenomenon for the by-product of cement ( $V=40kV$ ,  $D=4.6cm$ ,  $d=0.4cm$ )

4.5 堆積層の特異な飛散現象

印加電圧の上昇中に、突然ダストが Probe 電極上から飛散る現象は、セメント中間生成物を堆積層としての実験中に、偶然に発見した現象である。この現象について写真撮影した結果を Fig.10に示す。

Fig.10(a)の写真は、Probe 電極上に堆積したセメント中間生成物が、飛散し始めたときの状態であり、7針放電極の直下のダストが柱状に立上っており、あたかも、噴水のごとき挙動を示している。(b)の写真は、(a)の状態から数秒後の状態で、イオン風<sup>9)</sup>によってダストが吹き飛ばされている状態がよく現わされている。これらの現象の原因は、Fig.5の(b)からセメント中間生成物が、他の2つのダストより微細粒子分が多いことも一因ではあるが、特に第4.4節のFig.9の(b)と(c)のちがいについて述べたように、セメント中間生成物は電流特性から逆電離現象域にあり、これが大きな原因と思われる。

4.6 堆積層による電流波形について

Fig.3の装置において、電流計とProbe電極の間に1MΩの抵抗を直列に接続し、この両端をシンクロスコープに接続した。グラファイトの堆積層  $d$  (2cm) と両電極間距離  $D$  (7cm) を一定とし、印加電圧の変化に伴う電流波形をシンクロスコープで単掃引させて写真撮影した。波形の直流分をのぞき、リップル分だ

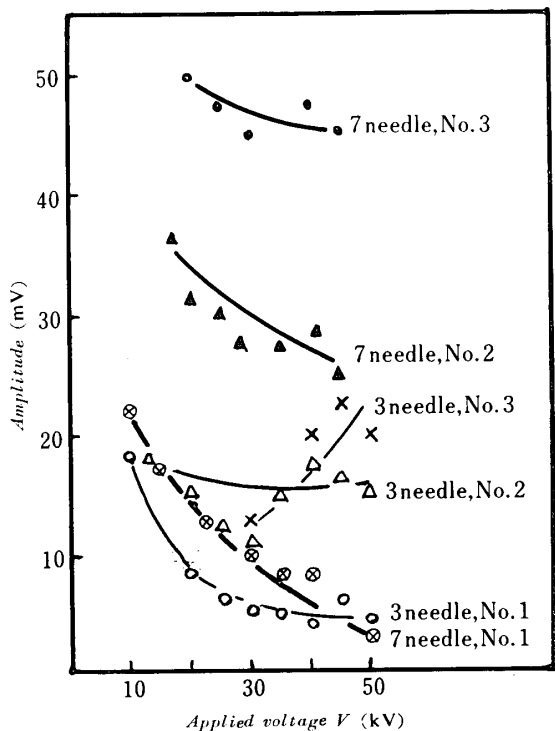


Fig. 11 Relation between applied voltage and amplitude of pulse current

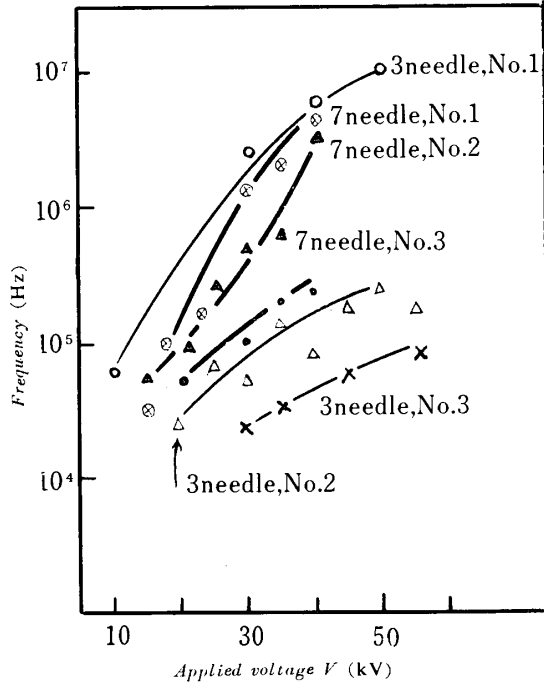


Fig. 12 Relation between applied voltage and frequency of pulse current

けの振幅と周波数につき解析し、その結果をFig.11とFig.12に示した。ここで、No.1, No.2, No.3というのは、基本的で小さな振幅で周期の短いパルス(第1波形(No.1))とし、これに重なった大きなパルス(周期は前者より大)を第2波形(No.2)とし、No.3は電圧を増加することによって新たに発生したところのパルス(No.3)とした。

これらの傾向は、印加電圧の増加に伴ってパルスの振幅は減少し、パルスの周波数は逆に増加する。また、第3波形は第1波形の数倍の大きさを示し、周波数は2桁も小さい。放電波形については多くの研究があるが、特に集じん器を対象にした放電波形解析はごくわずかである。ある学説によると、第3波形による放電線振動を述べているが、放電線振動周期と電流波形の周波数から計算される周期の間に大きなずれがあるので、これらの波形が放電線振動に寄与しているとは思われない。放電線振動の原因等に関しては、つぎの機会に発表したいと思っている。

5. 結 言

実験ならびに考察の結果をまとめるとつぎのようになる。

1 実験に用いたグラファイト、セメント中間生成物ならびにセメントの性質として、固有抵抗は、グラファイトが他の2者より非常に小さかった。また、粒



度は、グラファイトが一番粗く、セメント中間生成物が比較的緻密であった。

2 放電極は主として7針を用い、Probe電極(20×20cm)上にダストを堆積させる場合、10×10cmの広さで十分特性を得られることを確認した。また、測定値のバラツキは、電界強度約4~12kV/cmにおいてほとんどみかけられず、もっぱらこの範囲の電界強度で実験を行なった。

3 堆積層の厚さ $d$ を一定にして、両電極間距離 $D$ をパラメーターとした実験において、電圧電流特性は対数直線方程式の(4)式を満足した。 $D$ の増加に伴って、勾配 $\alpha$ および定数 $\beta$ の両者共減少した。

4 両電極間距離 $D$ を一定とし、印加電圧をパラメーターとした実験において、堆積層の厚さ対電流特性はグラファイトにおいてはかなり顕著な変化がみられたが、セメント中間生成物ならびにセメントはほとんど同じ値で $d$ の変化に伴う電流変化はみられなかった。原因は各ダストの固有抵抗に依存すると思われる。

5 ( $D-d$ )を一定にして、大巾に $d$ を変化させた場合の電圧電流特性において、セメント中間生成物のみが特殊な特性を示した。これは、ダストの固有抵抗に左右される逆電離現象によるものと思われる。

6 上記の電圧電流特性実験において、ダストがProbe電極上より飛散してしまう特異現象が起った。

この現象はセメント中間生成物においてのみ発生し、逆電離現象を確認させるものと思われる。

7 堆積層がある場合の電流波形には、3種類のパルスが含まれており、印加電圧の増加に伴ってパルスの振幅は減少し、パルスの周期は逆に増加する。これらのパルスはその周期から、実際の電気集じん器の放電線振動に直接影響を与えるものとは思われない。

本報告をまとめるにあたり、終始懇切なご指導を賜わった橋本清隆教授、ならびに熱心に実験を援助された技術員池田隆氏ならびに中国電力K K鎌足昭良君(昭和42年度卒論学生)の労を感謝する。

#### 参 考 文 献

- 1) 増田関一：電学誌，80，1790 (1960)
- 2) 増田関一：電学誌，81，968 (1961)
- 3) 足立宜良：山口大学工学部研究報告，17，No.1，1 (1966)
- 4) 足立宜良，池田隆：山口大学工学部研究報告，17，No.1，11 (1966)
- 5) 諫早典夫：電学誌，82，219 (1962)
- 6) Crbmer & Davies：Chemical Eng. Prac.，3，500 (1957)
- 7) 橋本清隆，足立宜良：静電気とその産業技術，東京電機大学出版局，(1969) P. 106
- 8) 橋本清隆，谷口堯：電気集じん装置の理論と実際，電気書院，(1965) P. 61
- 9) 足立宜良：公害と対策，2，405 (1966)

(昭和44年8月15日受理)