

電気集じん装置内の放電線の振動現象 (第2報)

足立宜良*・末沢洋介**・竹中智彦***

Vibration of Discharge Electrode in Electrostatic Precipitation (II)

Takayoshi ADACHI, Yōsuke SUEZAWA and Tomohiko TAKENAKA

Abstract

Currently used electrodes in a electrostatic precipitator (EP) mostly consist of long and slender wire, the vibration of which induces fatigue of the material and depresses its precipitating function. Structural modification of discharge electrodes is important for the best efficiency and the safe operation of EP. The subject of the present work is to investigate the method of the restraint of vibration by the use of the plate type EP which has zigzag arranged discharge electrodes.

The amplitude of the vibration was measured as a function of the applied voltage, the displacement of discharge electrode and the number of discharge electrodes. The behavior of Ionic Wind was also observed by the use of Schrieren method.

The experimental results indicate that the amplitude of electrode vibration in the modified system decreases in comparison with that of the plate type EP whose electrodes are mounted in its center. This effect can be explained in terms of, firstly, the disordered electric field due to the Coulomb force and force of corona point, and, secondly, the attractive force acting on the discharge electrode. It is concluded that the vibration of the discharge electrode is restrained by the force described above.

1. まえがき

近年、一段と増してきた大気汚染対策の手法として電気集じん装置 (以下 EP と略称) が脚光をあびている。この EP は、大容量の排ガス中のダストの微粗粒子にいたるまで高い効率で処理できて、しかも運転費が安い等の特徴を持っている。しかし、その反面 EP もいくつかの欠点を持ち、その一つとして放電線における振動障害があげられる。この放電線は、コロナ放電の性質上¹⁾ 一般に細長いワイヤーで作られているために、放電線に外部力²⁾ や内部力²⁾ が作用して振動が発生する。その結果として、火花電圧の低下や放電線の断線による EP の稼働停止等の障害を生じる。そこで、この振動防止対策として、放電線の硬度や半径を大にするハードダンピング法³⁾ と放電線の途中に適当な節を作って固有振動数を変えたり、各放電線の固有

振動数を変えたりするソフトダンピング法³⁾ とが考えられている。しかしこれらの方法は振動抑制にはそれほど有効ではなくしかも経済的には高価である。

これまでに、EPの放電線振動現象の研究は、小松、小堀⁴⁾ による槌打による振動現象の実験ならびに理論的解析および、前原、足立²⁾ による円筒型 EP 内での振動現象の実験に基づく検討がみかけられるにすぎない。それによると、集じん電界内で放電線振動の原因と考えられる、線に作用する力には下記が考えられている。

- (1) 放電線と集じん電極間に働くクーロン力
- (2) コロナ放電に伴うイオン風による風圧
- (3) コロナ輝点による作用力
- (4) 火花放電による作用力
- (5) 重錘による張力
- (6) ガス流による作用力

ここで、(4)の作用力は火花放電の発生に伴って散発的に発生し、(5)の作用力は放電線が振動しているときのみ働く。また、本実験はダストを含むガスを通していないので、ガス流による作用力は考えない (付録参

* 電気工学科

** 大学院電気工学専攻 (現: 川崎重工業 KK)

*** 大学院電気工学専攻

照)。したがって、残りの(1), (2), (3)の作用力が常時働くものとする。

放電線を集じん電極間の中心に配置すると、放電線に働く上記(1), (2), (3)の作用力は、理想的に考えると互いに打ち消し合いそれぞれ零になる。そこで最初のコロナ輝点の消長、あるいはコロナ放電に伴うイオン風の風圧などごく微小の断続的な力によって振動は励発され、一度振動が生じると、コロナ放電が構造的関係から振動数に比例して発生するので、振動が持続されることになる。

そこで、筆者らは、円筒型 EP 内での放電線振動抑制の手法⁵⁾の一部を平板型 EP に適用して、放電線振動抑制の立場から、放電線の振動現象を研究した。その結果、集じん電極間に放電線を互いに逆方向に千鳥型に配置すると、各放電線に働くクーロン力やコロナ輝点による作用力等の電気的作用力は電界分布が乱れるために不均一になる。そして、放電線に作用するこれらの合力は両平板に対して一方だけとなり、この一方の作用力によって、振動は抑制されることが判明した。なお、本実験は、ガス流のない大気中で行ない、雰囲気条件は、気温 12.7~32°C、湿度 42~83%、気圧 1011~1033mb であった。

2. 予備実験

2.1 円筒型 EP における振動抑制の実験

円筒型 EP における放電線振動現象の詳細は前報²⁾で報告した。ここでは、振動抑制のために放電線を中心からある距離変位させた場合の振動現象についての研究をまとめる。実験装置等、実験条件は前報²⁾と同じであるが、放電線を中心より距離 X だけ変位（以下「変位 X 」と略称）してある。この場合の放電特性を Fig. 1 に示す。コロナ電流は変位 X が大きくなるほど増加している。この原因は、放電線を中心より変位さ

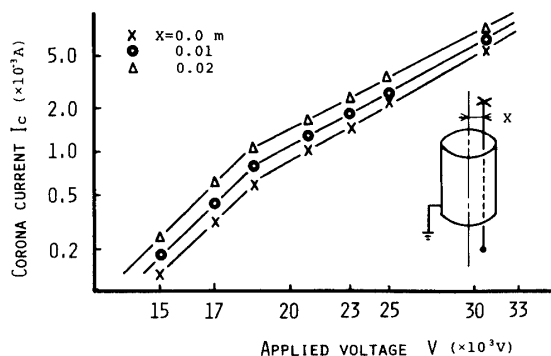


Fig. 1 Discharging characteristics for various shifting distance X for the case of cylinder type EP

せることにより、放電線と集じん電極との間隔に差が出来る。そこで、電極間隔が小さくなった方向のコロナ電流は放電線を中心に配置した場合のコロナ電流より大きくなり、電極間隔が大きくなった方向のコロナ電流は放電線を中心に配置した場合のコロナ電流より小さくなる。その結果、全体のコロナ電流は放電線を中心に置いた場合のコロナ電流に比べて、前述のコロナ電流増加分が減少分を上まわるため増加する。

次に、放電線を変位した場合の振幅減少効果を Fig. 2 に示す。振幅は、変位 X の増大とともに減少してい

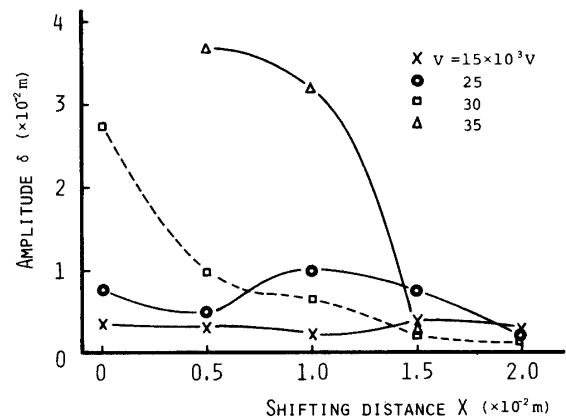


Fig. 2 Relation between shifting distance X and amplitude for the case of cylinder type EP

る。この原因としては、放電線を中心に配置し、放電線に垂直な同一平面を考えると放電線に働くクーロン力の合力は零となる。そこで、放電線にわずかな作用力が働いても振動は励発される。それに対し、放電線を変位した場合、クーロン力の合力は力のバランスを崩し放電線の一方に作用力を生じる。そこで、放電線は、重錘による逆向きの力はクーロン力が釣り合う位置に拘束される。

以上が、円筒型 EP における振動抑制の手法である。

2.2 平板型 EP におけるコロナ輝点による作用力

放電線を中心より変位して配置した場合、放電線に作用する合力は零とならず、放電線に一方から作用する。この作用力の合力を調べるために、下端に約 480g の重錘を吊した放電線を変位して配置し、電圧を印加した。実験装置は Fig. 5 に示す平板型 EP である。この時の放電線の移動状態を Fig. 3 に示す。コロナ開始電圧以下では放電線にクーロン力のみが作用する。そこで、放電線は集じん電極方向へ湾曲する。しかし、コロナ開始以後は電圧の上昇とともに、クーロン力と逆方向の力であるコロナ輝点による力が働き、放電線は反対方向に移動する。そこで、その移動の途中で、

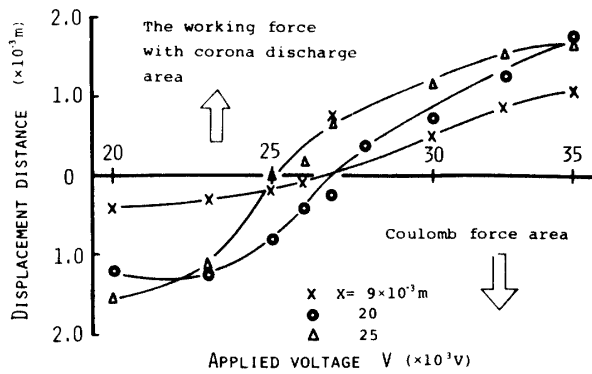


Fig. 3 Relation between Coulomb force and the working force with corona discharge for various shifting distance X for the case of plate type EP

変位が零になる時、コロナ輝点による作用力とクーロン力とが等しくなると考えられる。コロナ輝点はコロナ電流に関係するため両作用力が等しくなる電圧時の各集じん電極のコロナ電流密度差を求め、同じ電圧でのクーロン力を静電的に求めた値と比較するとコロナ電流密度差とコロナ輝点による作用力の関係が求まる。

この方法で、放電線を変位させた時両集じん電極に流れるコロナ電流密度 I_A, I_B の差とコロナ輝点による作用力との関係を求め、Fig. 4 に示す。それによると、

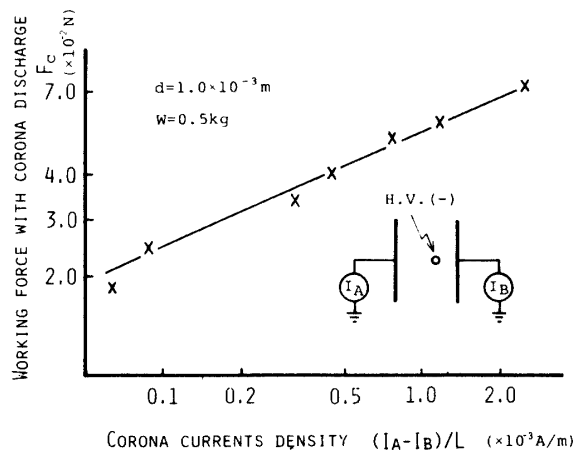


Fig. 4 Relation between corona current density $(I_A - I_B)/L$ and working force with corona discharge does logarithmic linear, where L is the length of collecting electrode

両者の関係は次式で表わされる。

$$\log I = \alpha \log F_c + \beta \quad (1)$$

ただし、 I : 両集じん電極のコロナ電流密度差 ($\mu\text{A/m}$)

F_c : コロナ輝点による作用力 (N)

α, β : 放電極寸法や外部条件によって定ま

る定数

上記のことから、放電線の変位 X が大きくなり、かつ電圧が上昇するとコロナ輝点による作用力は増大し、放電線に一方向の力として働き振動を抑制すると考えられる。次章において、この手法を用いて平板型 EP での振動抑制効果を検討する。

3. 平板型 EP の実験装置

3.1 実験装置と測定法

実験装置の概略図とそれらの寸法を Fig. 5 に示す。

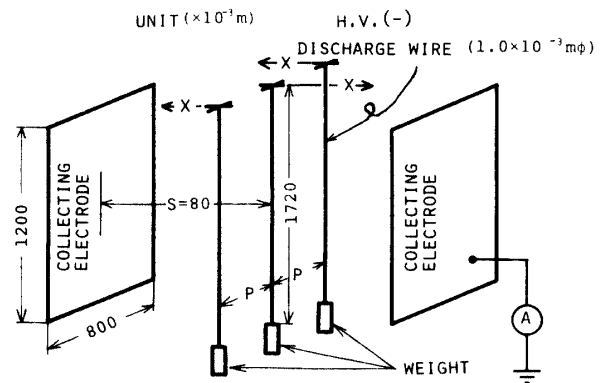


Fig. 5 Schematic diagram of experimental apparatus for plate type EP

放電線には、負の高電圧が印加されるようになっている。この図で示す各放電線は自由に変位出来る。放電線の下端は張力として重錘を吊すとともに横振れを防ぐための支持が備えられている。また、放電線は放電によって生じたオゾン等によって表面にサビを生じ、このサビが放電や振動に影響をあたえると考えられるので、一連の実験が終わるごとに取り替えた。実験は、出来るだけ実用規模で行なうことが望ましいので可能な限り実用 EP に近い規模で実験を行なえるよう装置を設計した。

放電線の振幅ならびに振動数の測定の概略を Fig. 6

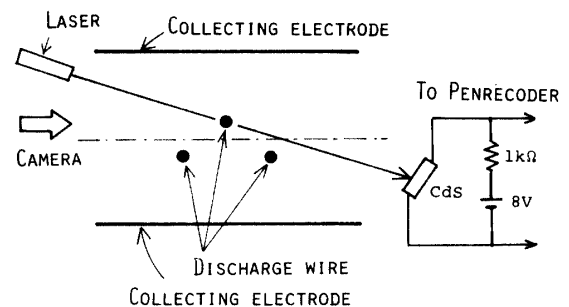


Fig. 6 Schematic diagram of measurement

に示す。振幅の測定は、放電線の振動が定常 (電圧印加 3 分後) に達した後に 2 回以上写真撮影した。撮影

に使用した露光時間は、振動周期を考慮して1/8~1/15秒とした。次に振幅の読み取りは、ネガフィルムを幻灯により拡大映写して測定した。振動数の測定は、レーザ光線を放電線が振動により切る回数をCdSにより検出し、ペンレコーダに記録した。なお、CdSの周波数応答は、ストロボにより検査した結果50Hzであり、ペンレコーダの応答は80Hz(誤差+5~-10%)以内である。なお、本実験の放電線の振動数は26Hz以内であった。

3.2 固有振動数と測定した振動数

放電線の固有振動数 n_0 は次に示す方程式⁴⁾で表わされる。

$$n_0 = \sqrt{(P/\rho A)}/2l = \sqrt{(T/\rho)}/2l \quad (2)$$

- ただし、 P : 放電線の重錘 (kg)
- l : 放電線の全長 (m)
- ρ : 放電線の比質量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-4}\text{s}^2$)
- A : 放電線の断面積 (m^2)
- T : 放電線の張力 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)

振動数の実験値と上式による固有振動数の計算値の比較の一部を Fig. 7 に示す。なお、Fig. 7 以外の実験

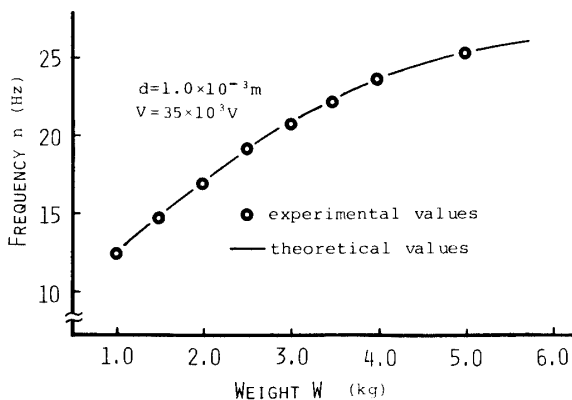


Fig. 7 Relation bet ween frequency of the vibration of discharge electrode and weight compared with theoretical values

値も固有振動数とほぼ一致している。よって放電線の振動は基本振動と判断できる。

3.3 放電特性

この装置の放電特性を Fig. 8 に示す、この2直線からなる特性は一般に次のような方程式⁶⁾で表わされる。

$$\log I = \alpha_1 \log V + \beta_1 \quad (3)$$

$$\log I = \alpha_2 \log V + \beta_2 \quad (4)$$

- ただし、 I : コロナ電流 (μA)
- V : 印加電圧 (kV)
- α, β : 放電極寸法や外部条件の性質によって

定まる定数 $\alpha_1 > \alpha_2, \beta_2 > \beta_1$

次に、放電線2本によるコロナ電流と放電線1本の場合のコロナ電流との比較を Fig. 9 に示す、放電線の増加と共にコロナ電流も増加する。しかし、コロナ電

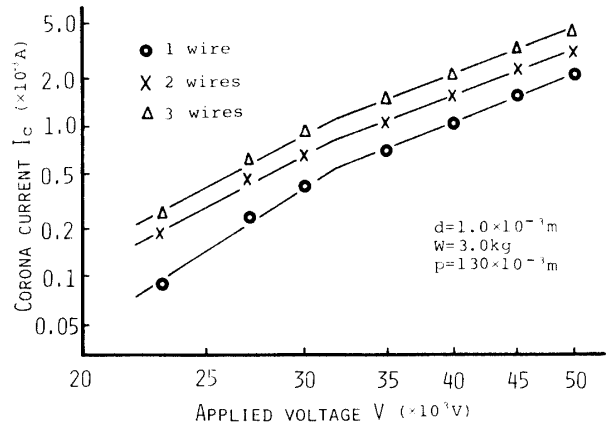


Fig. 8 Discharging characteristics for the number of discharging wires

流は2倍になっておらず、放電線数に比例して増加していない。このことは3本の場合も同様である。この原因は各放電線の電荷が電界分布に影響を与えるため

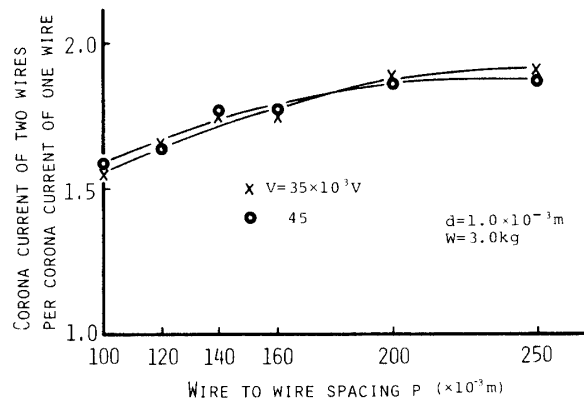


Fig. 9 Comparisom of corona current for one discharge wire and two of them

である。そこで Fig. 9 に示されるように、放電線間隔を徐々に増加させると放電線相互の影響は小さくなり、各放電線が静電的に独立した状態に近づき、コロナ電流と放電線数は比例する状態に近づく。このように、印加電圧や放電線間隔等がコロナ電流の値を左右する。そこで、EP では高い効率で運転するために実用範囲が定められている。例えば実用電界強度 $4 \sim 6 \times 10^5 \text{V/m}$ において、放電間隔 P と両電極間隔 S との実用範囲の関係は $P/(2S) = 0.7 \sim 1.0$ ⁸⁾ である。これらの実用範囲を本実験装置に適用すると、 $S = 0.08\text{m}$ より印加電圧は、 $32 \sim 48 \times 10^3 \text{V}$ となり、放電線間隔は $P = 0.11 \sim 0.16\text{m}$ となる。以後の実験については、これらの実用範囲を考慮して行なうことにする。

4. 実験結果および考察

4.1 放電線1本の場合

＜重錘の影響＞ 重錘は一般に放電線下端に張力として吊され、振動抑制力として働くと考えられる。しかし、無制限に加重を増加すると放電線の固有振動数、機械的強度等に影響する。そこで重錘は、放電線の全長、半径、材質等のほかに排ガスによるカルマン渦の固有振動数(付録参照)も考慮して決定しなければならない。重錘の実用範囲についての文献はみあたらないが、文献²⁾の円筒型EPでは張力を $1\sim 2\times 10^5\text{kg/m}^3$ としている。それゆえ、本装置の重錘は $1\sim 2\text{kg}$ となる。しかし、この範囲では、振幅が大きくなりすぎ、火花電圧が低下する。そのため、振幅を小さくする必要があり、 $2\sim 4\text{kg}$ の重錘を使用した。次に、この範囲内での重錘と振幅の関係をFig. 10に示す。図から

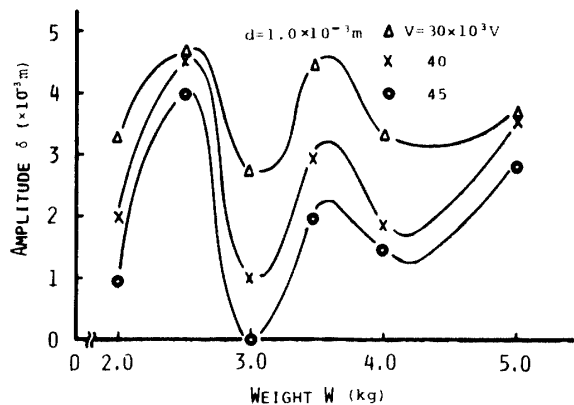


Fig. 10 Relation between weight and amplitude for one discharge wire arranged in the center of collecting electrodes

判断して、今後の実験では、パラメータを減らす意味で3kgの重錘を使用する。

＜振幅特性＞ 放電線を変位して配置した場合の振幅特性をFig. 11に示す。また、変位Xと振幅の関係

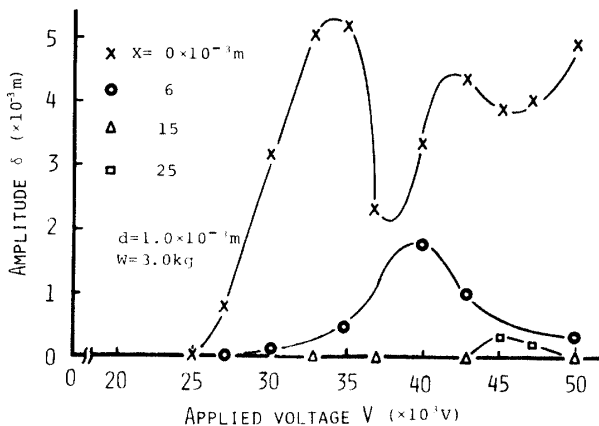


Fig. 11 Relation between applied voltage and amplitude for one discharge wire shifted from the center

をFig. 12に示す。振幅は、放電線を集じん電極間の中心に配置した場合に比べ放電線を変位して配置すると小さくなる傾向を示す。その原因として次のことが

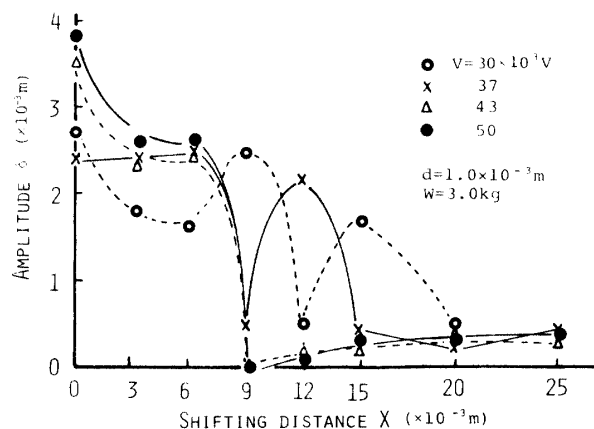


Fig. 12 Wave mode of amplitude by changing applied voltage for one discharge wire

考えられる。前者の場合、放電線への作用力は釣り合いの合力は零となる。そこで、振動はコロナ輝点の消長やコロナ放電に伴うイオン風等の作用力により励発される。前述の原因により振動が開始すると放電線が集じん電極に近づいた側では、コロナ輝点による作用力等のために振動を促進し、増大された振動は抑制力と促進力が釣り合うところで固有振動数の振動を持続する。それに対し、後者の場合、作用力の合力が零になる点は、Fig. 3に示すようにある電圧範囲に存在するのみである。そこで、その他の電圧では、作用力が一方に働き、振幅抑制力として働くと考えられる。振幅は、Fig. 12に示すように、変位Xの位置によって変動する。振幅は $X=0.006\sim 0.015\text{m}$ において電圧の増加に対し、増大減少を繰り返したたかも波打つような現象を示している。しかし、 $X=0.02\text{m}$ 以上になると上記の現象は観察されなくなるとともに振幅も減少

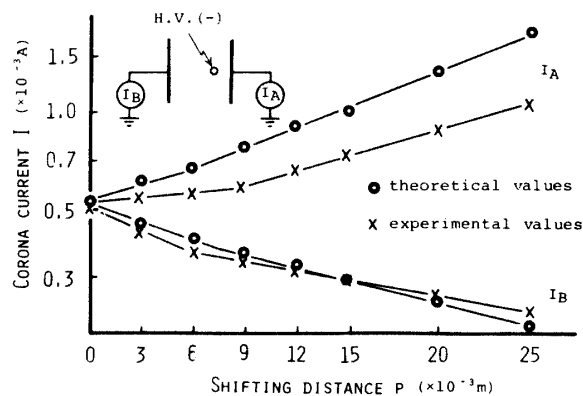


Fig. 13 Discharge characteristics of each collecting electrode, and compared with experimental values and theoretical values

する。

〈放電特性〉 変位 X によるコロナ電流を各集じん電極ごとに表わしたものを Fig. 13 に示す。放電線を変位して配置したため放電線から近い集じん電極へのコロナ電流は、変位の増大とともに増加する。しかし、放電線が遠のいた集じん電極へのコロナ電流は減少する。

4.2 放電線 2 本の場合

〈放電線を集じん電極間の中心に配置〉 放電線 2 本を集じん電極間の中心に配置すると、2 本の放電線の振幅特性は異なり、片方の放電線のみ振幅が大きくなる。大きい方の放電線の振幅特性を Fig. 14 に示す。

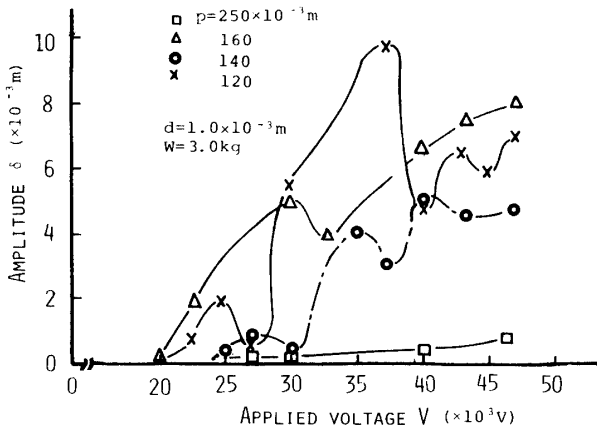


Fig. 14 Characteristics of applied voltage and amplitude at the two discharge wires. Amplitude of one discharge wire is larger than another

小さい方の振幅特性も傾向は同様である。この線図より振幅は電圧の上昇とともに増大する傾向を示し、放電線 1 本の場合とは相違している。次に、放電線間隔 P を変化した場合を Fig. 15 に示す。これより振幅は、

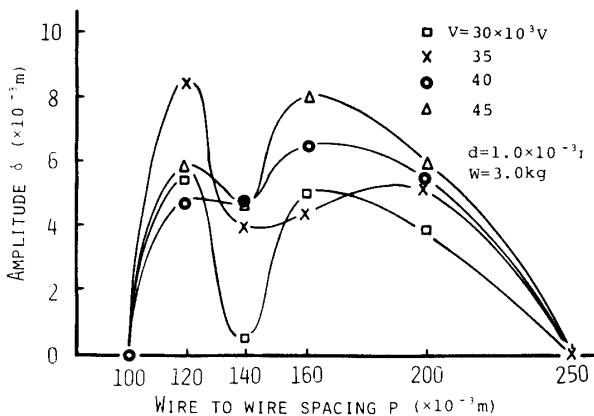


Fig. 15 Relation between wire to wire spacing and amplitude for two wires arranged in the center of collecting electrodes

$P=0.16\text{m}$ 以上になると徐々に減少する。その原因は、 $P=0.16\text{m}$ 以上になるにしたがい、放電線相互の電荷の影響を受けにくくなり、放電線 1 本の電界分布に近づくとともに、イオン風作用力等の影響を受けにくくなるためだと考えられる。なお、 $P=0.16\text{m}$ は、実用 EP の放電線間隔の限界である。($S=0.08\text{m}$ 一定)

〈2 本の放電線を互いに逆方向に変位して千鳥型に配置〉 放電線を中央より平板方向へ移動した変位 X と電圧が振幅にあたえる影響について、Fig. 16 に示す。

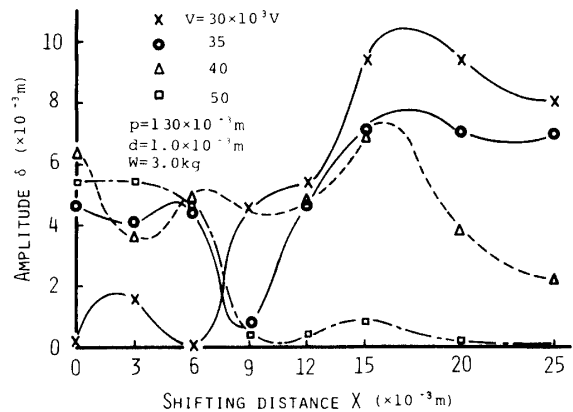


Fig. 16 Relation between shifting distance and amplitude for the case of zigzag arrangement of two wires

ただし、この線図は、2 本の放電線のうち振幅の大きい方の特性で、他方の放電線の振幅特性も傾向は同様である。また、 $P=0.13\text{m}$ を使用した理由は、 $P/(2S)=0.8$ となり、放電線間隔の実用範囲⁸⁾でも最適位置のためである。この線図より、電圧が $30\sim 35 \times 10^3\text{V}$ のとき、振幅は変位 X の増加とともに大きくなり、 $X=0.015\text{m}$ を振幅の最大にしてそれ以上の変位では減少していく。それに対し、電圧が $45\sim 50 \times 10^3\text{V}$ の振幅は、変位 X の増加とともに徐々に減少する。この現象は、変位が $X=0.025\text{m}$ のとき振幅の最大値は電圧が $20\sim 25 \times 10^3\text{V}$ と低いときにあり、変位 X が減少するとともに振幅の最大値は電圧が高い方に移動する。

変位によるコロナ電流の特性は Fig. 13 に示した放電線 1 本の場合と同じ傾向を示す。すなわち、変位 X の増加とともに全コロナ電流は増加する。しかし、各集じん電極へのコロナ電流は変位の増加とともに、放電線から近い側の集じん電極では増加するけれども放電線から遠のいた側の集じん電極では減少する。

4.3 放電線 3 本の場合

〈放電線 3 本を集じん電極の中心に配置〉 3 本の放電線のうち、中央の放電線における振幅特性を Fig. 17 に示す。放電線 3 本を配置した理由は両端に放電線

がある場合に中央の放電線にどのような影響が現われるかを調べるためである。中央の放電線の振幅は両端に比べて倍近くの振幅値を示した。この原因については、次節でイオン風の挙動と関連して考察する。

<放電線を逆方向に変位して千鳥型に配置> 中央の放電線の振幅特性を Fig. 18 に示す。この傾向は、放電線 2 本の場合とほぼ一致した。すなわち、電圧が 30

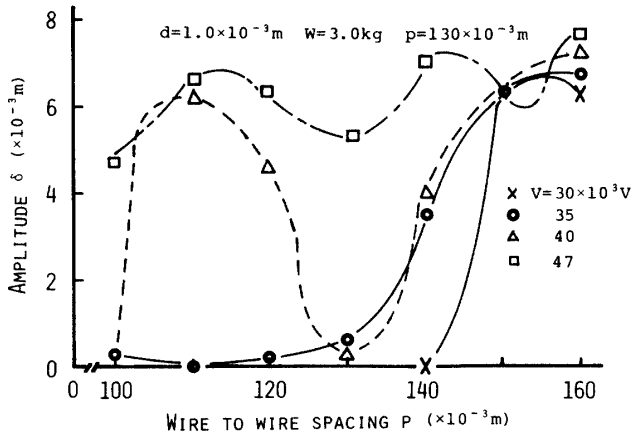


Fig. 17 Relation between wire to wire spacing and amplitude for the case of three wires arranged in the center of collecting electrodes

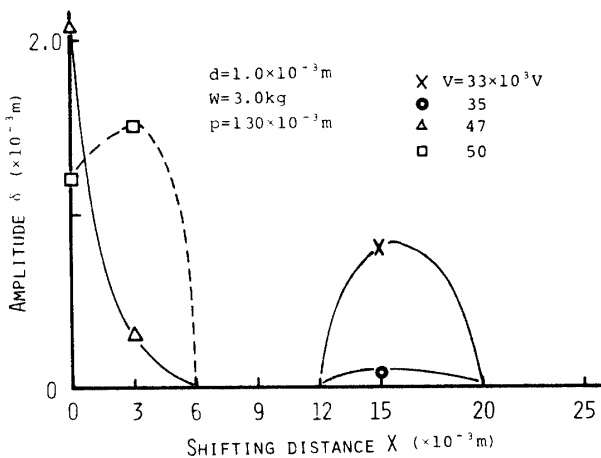


Fig. 18. Relation between shifting distance and amplitude for the case of three wires arranged

~35x10³V では変位 X=0.015m で振幅は最大となるが、45~50x10³V で変位 X の増加とともに振幅は減少する。また、放電特性は放電線 1 本、2 本の場合と同様の傾向を示す。

4.4 シュリーレン装置によるイオン風の挙動の観察

3 針対平板電極では、各針端から発生したイオン風が互いに衝突して渦¹⁰⁾を生じる。また、イオン風圧が放電線の振動を促進する²⁾と推測されている。そこで

集じん装置内に複数の放電線がある場合の各放電線から発生したイオン風の挙動をシュリーレン装置を使って観察した。

放電線を集じん電極間の中心に配置した場合に、放電線と平行に観察したシュリーレン写真の模式図を Fig. 19(a), (b), (c) に示す。(a) 図は、放電線 1 本を配置した場合である。放電線から発生したイオン風は集じん電極に衝突し、集じん電極にそって流れていく。(b), (c) 図は放電線 2 本、3 本を配置した場合である。集

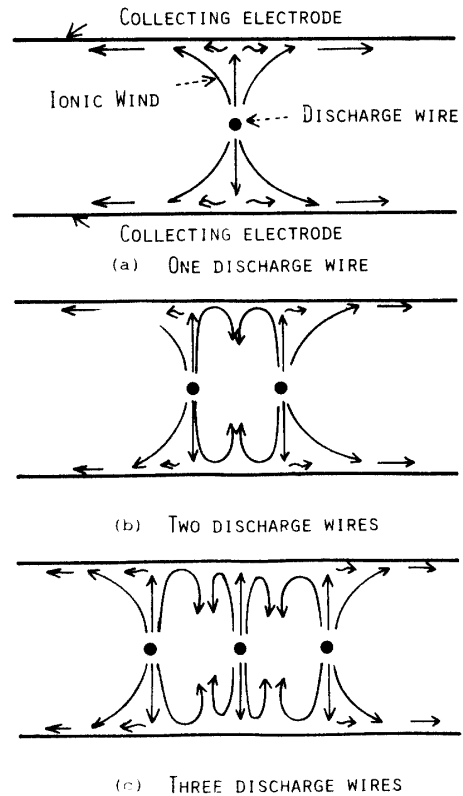


Fig. 19 Aspect of Ionic Wind when the wires are arranged in the center of collecting electrodes

ん電極上を拡がったイオン風は、放電線と放電線の間での集じん電極上で相互に衝突して渦流を生じる。特に、(c) 図のように 3 本の放電線を配置した場合、中央の放電線は両端の放電線から発生したイオン風のため放電線の両側にイオン風圧をうける。それに対し、両側の放電線は片側にイオン風圧をうけるにすぎない。3 本の場合、中央の放電線の振幅が両側の放電線の振幅に比べ大きくなるのは、このイオン風圧の差によるのではないかと考えられる。

次に、各放電線を変位した場合のイオン風の挙動を Fig. 20(a), (b) に示す。(a) 図は、2 本の場合である。各集じん電極へのイオン風速は、放電線を変位して配置したことにより差ができる。すなわち、放電線から近い側の集じん電極のイオン風速が遠い側の集じん電極

のイオン風速より大きくなる。そこで、(a)図のように、互い違いに放電線を変位させて、配置した場合に、イオン風は集じん電極で相互に衝突しても風速差のために渦流を生じにくいと考えられる。(b)図は、3本の場合である、両端の放電線から発生したイオン風は集

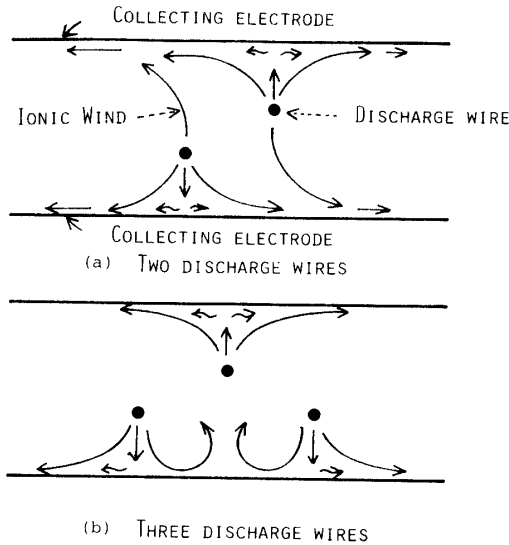


Fig. 20 Aspect of Ionic Wind when the discharge wires set away from the center (zigzag arrangement)

じん電極上の中央、すなわち、中央の放電線が配置されている位置で衝突し、渦流となるのが観察される。

次に、イオン風速の測定であるが、集じん電極に直径0.01mの穴をあけ、その外にサーミスタ風速計をおき、穴を通りぬけた風速を測定する。放電線を変位して配置することにより生じる両集じん電極上のイオン風速の相違を Fig. 21 に示す。変位 X を増加するに

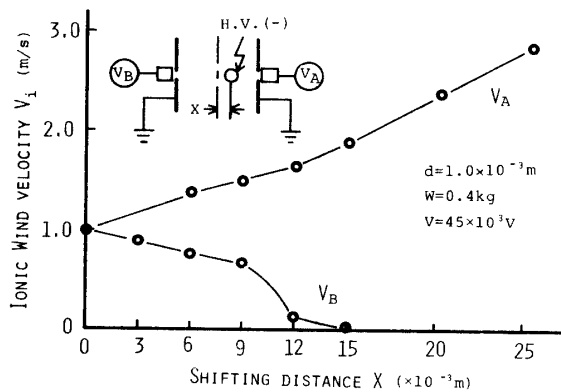


Fig. 21 Relation between shifting distance and Ionic Wind velocity on the collecting electrode

したがい両集じん電極のイオン風速差は増加し、 $X=0.015$ m 以下になると、放電線の遠のいた側のイオン

風速はほぼ零となる。そこで、Fig. 20(a)のように2本の放電線が互い違いに変位していると、 $X=0.015$ m 以上ではイオン風が集じん電極に衝突したのち集じん電極にそって流れていくのみである。この現象は、放電線1本の場合のイオン風の挙動とほぼ同様である。

4.5 放電線数による現象の比較と考察

一般に平板型 EP は多数の放電線を有する。そこで放電線の振動現象は放電線が両端に位置するか、または中央に位置するかによって異なってくる。そこで、放電線1本の場合を基礎特性、2本の場合を放電線が両端に位置する特性、3本の場合を中央の放電線の特性と考え、それぞれの現象を比較する。放電線を両集じん電極間の中心に配置した場合、放電線1本の振幅は電圧の上昇に対してほぼ一定である。それに対し、放電線2本、3本の場合は、電圧の上昇に対し比例的に増加している。放電線を変位して配置した場合、放電線数に対する大きな相違は観察されていないが、両者とも振幅は中心に放電線を配置した場合の方が変位した場合に比べて、例外はあるが大きくなることわかった。

このように、放電線を集じん電極の中心に配置した場合に振幅特性の相違が大きくあらわれている。そこで、放電線が1本の場合と複数の場合の作用力の相違を次に検討する。

本実験において、放電線に作用する力は、クーロン力、コロナ輝点による力、イオン風による風圧、重錘による張力等が考えられる。このうち、イオン風は、シュリーレン写真による挙動図から判断すると、放電線1本の場合は、集じん電極にそって逃げてしまい、放電線に対し作用力として働かないと考えられる。ところが、放電線2、3本の場合は、イオン風は互いに衝突して渦となり放電線に作用すると考えられる、しかもイオン風速は電圧に対して、比例的に増加するため、振幅が電圧の上昇に対して比例的に増大する原因として、イオン風による風圧をあげることが出来る。

5. むすび

以上、放電線振動抑制に関する種々の実験結果を要約すると次のとおりである。

1. 放電線の振動数は固有振動数にはほぼ一致しており高次の振動を含まない基本振動である。
2. 放電線の変位 X を増大すると、放電線から近い側の集じん電極のコロナ電流は増加するが遠い方のコロナ電流は減少する。また、全コロナ電流は変位

X の増加につれて、増大する。

3. 放電線1本を変位した時、放電前はクーロン力放電後はクーロン力とコロナ輝点による作用力との合力が作用し、電圧を上昇するにつれて、コロナ輝点による作用力が増大する。
4. 振動振幅は、放電線を変位して配置した方が中心に配置した場合に比べ小さくなる傾向にある。これは、コロナ輝点による作用力が放電線に対して一方方向に作用するためである。
5. イオン風速は、電圧の増加に対して直線的に増大し、放電線の変位により、近い側の集じん電極へのイオン風速は増加するが、反対側では減少する。
6. イオン風の挙動は、シュリーレン装置で観察した結果、放電線1本では、集じん電極にそって流されるが、放電線2, 3本では、お互いに衝突し渦を作る。その結果振幅に差異を生じる。
7. 放電線を変位することによる利点は、振幅の減少作用と放電線設置時の据付け芯出し調整の困難さの解消にある。

以上のような結論を得たが、実際のEPは槌打による衝撃力や排ガス圧力等が存在する。そこで振動現象はさらに複雑になるとともに、誘電作用力によって生じる放電線肥大現象が発生した場合も考えるとさらに複雑となる。

今後は、イオン風の影響やコロナ輝点による作用力等を放電線のエネルギー消費との関係に注目して実験を行ない検討する必要があると考えている。

終わりに、本研究を行なうにあたって、御指導をいただいた増田閃一教授(東大・工)ならびに橋本清隆教授(西日本工大)、また御支援いただいた本学橋崎久矩教授ならびに田中邦秀助教授に深く感謝する。なお、実験その他にて何かと御援助いただいた本学池田隆技官、大学院1年岸本勝美君、山田正美君に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 電気学会編：送電工学，電気学会(1969) p. 179
- 2) 前原弘典，足立宜良：山口大学工学研究報告，21, 3, 271 (1971)
- 3) 高分子学会編：静電気ハンドブック，地人書館(1970) p. 468
- 4) 平松力，小堀與一：日立評論 45, 4, 728 (1963)
- 5) 前原弘典：山口大学工学研究科修士論文(1971)
- 6) Crebmer, Davis: Chemical Engineer, 3, 500 (1957)
- 7) H.J. White: Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley Publishing Co. (1963) p. 235
- 8) 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. 92
- 9) 文献8) の p. 118
- 10) 足立宜良：電学誌 論文集，93—B, 273 (173)
- 11) 藤本武助：流体力学，養賢堂(1965) p. 71

付 録

カルマン渦の交番周期¹¹⁾ 流体中に円形断面を持つ物体がある時、その物体の背後ではカルマン渦を生じ、それによる交番力が物体に作用し、振動を促進すると考えられる。この時のカルマン渦の周期 n は次式で与えられる。

$$n = 0.202 \cdot V/d \quad (5)$$

ただし、ガスは常温で整流されており、 V ：ガス速度 (m/s)、 d ：放電線直径 (m) である。

一般に実用EPのガス速度 V は $1 \sim 2m/s$ で、放電線直径を $0.001m$ とするとカルマン渦の振動数は $202 \sim 404H_z$ となり、本装置の放電線の固有振動数は $26H_z$ 以下であるため、カルマン渦の影響は無視出来ると考えられる。しかし、実際のEP内では、イオン風が存在し、ガス流は複雑に乱され実際問題としてガス流だけの作用力の解析は困難である。

(昭和52年4月15日受理)