

論 文

負コロナを用いた電気集塵装置の性能向上に対する一考察

関谷昌久*, 細川辰三**, 三好保憲*

(1978年8月28日受理)

Consideration for the Improvement of the Performance of the Electrostatic Precipitator Used Negative Corona

Y. SEKIYA,* T. HOSOKAWA** and Y. MIYOSHI*

(Received August 28, 1978)

Discharge characteristics of the negative point-to-plane gap simulated the electrostatic precipitator were investigated from the point of view for the improvement of the performance of the electrostatic precipitator. Also, the characteristics of the corona in the multi-needles-to-plane gap simulated the discharge wire with protrusions were investigated. According to the needle electrode makes thin in the negative point-to-plane gap, the onset voltage of the corona decreases, and the sparking-voltage increases, consequently, the appearance range of corona expanded. Also, the discharge regions were divided into the three parts by the onset gap length l_T of the Trichel pulse corona and the onset gap length l_G of the pulseless corona. Moreover, the experimental equation of the l_T and l_G were represented. Discharge current in the negative point-to-plane gap increased according to the non-uniform field in the gap become strong. The shorter the distance of the needle electrodes, the smaller the discharge current per one needle. It meant that the electric field of the needle point tip became fainter by the approach of the needle points. And it cleared that the most suitable condition as total current had maximum value was $d/l=0.625$ (d : between needle and needle, l : gap length).

1. ま え が き

電気集塵装置には一般に負コロナ放電(以後コロナと記す)が利用され、コロナを安定に定在させることは集塵装置の性能向上に役立つ¹⁾。コロナの安定性は、電極形態によって大きく影響され、実用の集塵装置ではコロナ電流を増しコロナの安定化をはかるために突起針付き放電線が用いられている^{1,2)}。また、これらの放電線の放電電流は、突起針の形状、間隔などによっても大きく左右される^{1,2)}。

筆者らは^{3,4)}、負針コロナを用いた電気集塵装置の性能向上の観点から、集塵装置を模擬した負針対平板ギャップで種々の針先電極における放電特性について調べ、そ

の放電領域を明らかにした。さらに、突起針付き放電線を模擬した多針対平板ギャップにおけるコロナの特性を調べ、突起針間隔とギャップの長さの比が一定な値をとるとき放電電流が最大となって性能向上の最適条件を与えることを明らかにした。

本報告はこれらの結果をまとめたもので、負針不平等電界ギャップで種々の針先電極における放電特性について述べる。さらに、突起針付き放電線を模擬した突起針3本対平板ギャップにおけるコロナの特性について述べ、放電線電流が最大となる最適条件について検討する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は図1に示すとおりである。コロナ放電に起因した電流パルスの観測は周波数帯域幅 30 MHz のデュアルビームオシロスコープで、平均電流を測定するときは μA 計で、スイッチ S を切り替えることによってそれぞれ測定した。

負針対平板ギャップにおける針先電極は、図2(a)に示したような黄銅製頭部半球円柱で、その先端半径 r を

* 大同工業大学電気工学科 (457 名古屋市南区大同町 2-21) Department of Electrical Engineering, Daido Institute of Technology, 2-21, Daido, Minami-ku, Nagoya 457, Japan

** 名古屋工業大学電気工学科(466 名古屋市昭和区御器所町) Department of Electrical Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso, Showa-ku, Nagoya 466, Japan

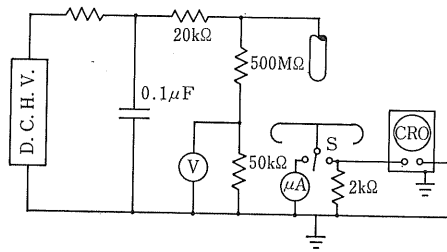


図1 実験回路
Fig. 1 Experimental apparatus.

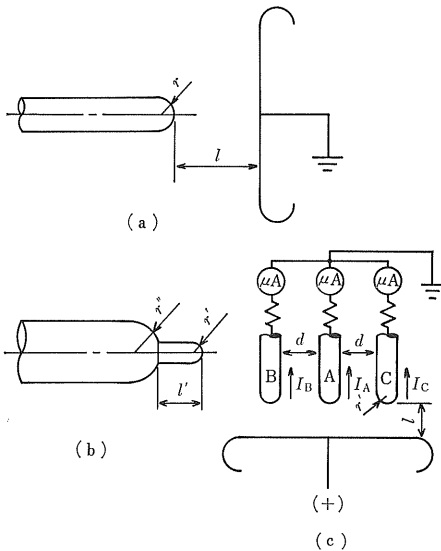


図2 各種の電極構造
Fig. 2 Various electrode structures.

もってその曲率半径とした。また、突起針付き放電線を模擬した電極としては、図2(b)に示したような黄銅製突起針付き(突起針曲率半径 r' 、突起針長 l')頭部半球円柱を用いた。平板電極には直径15cmの黄銅製ゴウスキー形電極を用い、これらの電極は実験ごとによく磨き常に清浄に保った。

陰極からの初期電子供給用外部照射源として、水銀燈の紫外線を用いた。

突起針付き放電線において突起針の間隔と放電電流の関係を調べる場合は図2(c)に示したような電極を用いた。すなわち、突起針電極は先端半径が0.08cmの銅製頭部半球円柱を用い、平板は端をそれぞれほぼ半径5cmの円形状に折り曲げた50×40cmのトタン板を用いた。

なお実験は、すべて大気圧室内空気中で行なった。

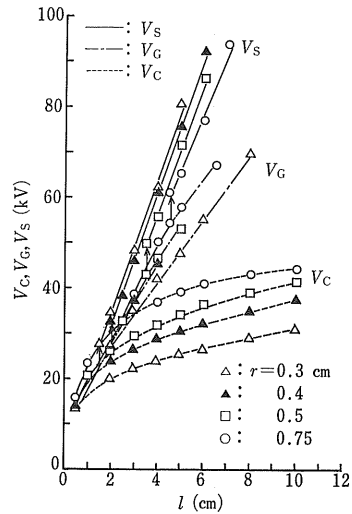


図3 針先曲率半径 r の種々な値における破壊電圧とギャップ長 l の関係

Fig. 3 Relation between the breakdown voltage and the gap length l for the various values of the point radius r .

3. 実験結果

3.1 負針ギャップにおける放電特性

負コロナ放電の安定性は電極形態によって大きく影響されるので、これを模擬した負針対平板ギャップで種々の針先電極における放電特性について調べた。

図3は、パルス性負コロナ(トリチアルパルスで以後TPと記す)開始電圧 V_T 、無パルス性コロナ(以後PLCと記す)開始電圧 V_G および火花電圧 V_S とギャップ長 l の関係を針先曲率半径 r をパラメータとして示している。図より V_T 、 V_G は r の増加とともに上昇しているが、 V_S は降下している。しかし、いずれの針先においても V_T 、 V_G 、 V_S はそれぞれ l にはほぼ比例して増加している³⁾。

図4は、図3において l をパラメータとし、 V_T 、 V_G 、 V_S と r の関係を示したものである。図において、 V_G 、 V_S は r の増加とともに飽和の傾向を示しながら増加している。他方 V_T は、コロナが定在するギャップでは r の増加に対して減少し、逆にコロナの定在しないギャップでは上昇する傾向を示した。しかも後者における V_S は、前者における V_G の延長線上をたどり r に対してV字型特性を示した³⁾。さらに、PLCが定在なくなると、いずれのギャップにおいても V_S は不連続的に低下した。また、 l が増加するに従ってV字型特性は r の大きなほうへ移行し、コロナ出現範囲が拡大している。

図5は、図3においてTPおよびPLCが観測されは

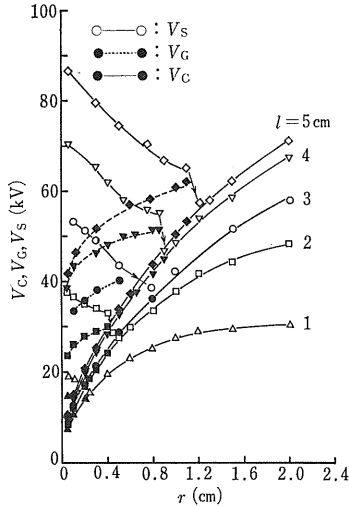


図4 ギャップ長 l の種々な値における破壊電圧と針先曲率半径 r の関係
 Fig. 4 Relation between the breakdown voltage and the point radius r for the various values of the gap length l .

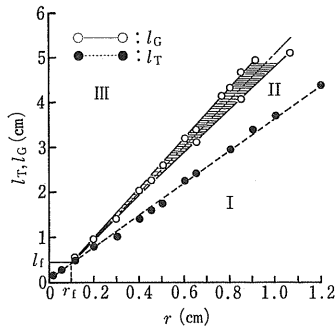


図5 トリチェルパルス開始ギャップ長 l_T 、無パルス性コロナ開始ギャップ長 l_G と針先曲率半径 r の関係
 Fig. 5 Relation between the onset gap length l_T of the Trichel pulse corona, the onset gap length l_G of the pulseless corona and the point radius r .

じめたギャップ長 l_T および l_G と r の関係を示している。図より l_T は r の増加とともに比例して増加しているが、 l_G つまり PLC 開始ギャップ長は $l > 0.45$ cm で定在し、いくぶん不整を伴いながら r に比例して増加している (図中斜線部分)。また、図に示したように放電特性は l_T 、 l_G によって I、II、III の3領域に分けられる⁵⁾。I 領域はコロナが定在せず暗流からただちに火花へ遷移する領域、II 領域は TP を経て火花へ遷移する領域、III 領域は TP から PLC を経て火花へ遷移する領

域をそれぞれ示している。

3.2 電流-電圧特性

電気集塵装置の効率は放電電流すなわちイオン生成量の多少によっても変わる。この放電電流は電極形態によって大きく左右されるので、この影響について調べた。

図6は、針先曲率半径 $r=0.15$ cm とし、コロナ平均電流 I_C と印加電圧 V の関係をギャップ長 l をパラメータとして示している。図から I_C は、 V の上昇とともに増加するが、TP から PLC へ遷移する過程では不連続的に降下⁶⁾している。また、同じ V のもとでの I_C は l を増すと減少するが、火花へ遷移前の I_C は l が増すほど増加している。これは、 l が増してギャップの不平等性が強まると、針先端付近の電界が強まることから、火花へ近づくと電離増殖が増し電流の増加を促していることを示している。

図7は、 $l=2.0$ cm における I_C と V の関係を r をパラメータとして示している。図から I_C は V の上昇とともに増加しているが、同じ V に対する I_C は r が減少するほど増加する傾向を示している。また、この電極条件では、 r が小さなギャップほど V_S は上昇し、したがって火花へ遷移前の電流は増加している。つまり、この場合も図6同様、ギャップの電界の不平等性が強まるほど火花へ遷移前の電流は増加することを示している。

他方、実用の集塵装置においては、線電極に突起針を付けた突起針付き放電線が使用されているが、このような電極配置においても突起針および放電線の太さが放電電流に大きく影響する。ここでは、その影響について述べる。

図8は、図2(b)に示したような突起針付き電極において、背後電極の曲率半径 $r''=0.75$ cm、突起針部の長さ $l'=0.4$ cm におけるコロナ平均電流 I_C と印加電圧 V の関係を突起針の曲率半径 r' をパラメータとして示している。この電極構造においても図7同様、 I_C は V の上昇とともに増加する傾向を示したが、TP から PLC へ遷移する過程では不連続的に降下している。また r' が減少すると、同じ V では I_C は増加しかつ V_S も上昇して、火花へ遷移前の電流は増大する。これはギャップの電界の不平等性が強いほど I_C が増すことを意味している。

図9は、 $l=2.0$ cm、 $r'=0.1$ cm、 $l'=0.4$ cm における I_C と V の関係を r'' をパラメータとして示している。この条件でも、 I_C は V の上昇とともに増加するが、TP から PLC へ遷移する過程で不連続的に降下している。また、 r'' が減少すると、同じ V における I_C は増加し、かつ V_S も上昇する。

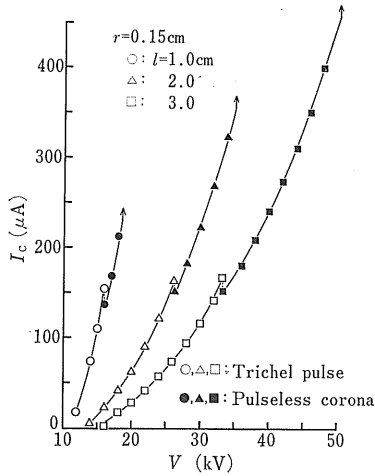


図6 ギャップ長 l の種々な値における電流-電圧特性
Fig. 6 Current-voltage characteristics for the various values of the gap length l .

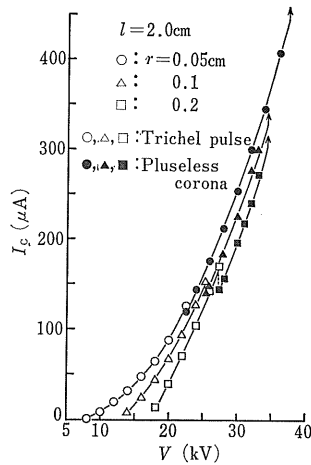


図7 針先曲率半径 r の種々な値における電流-電圧特性
Fig. 7 Current-voltage characteristics for the various values of the point radius r .

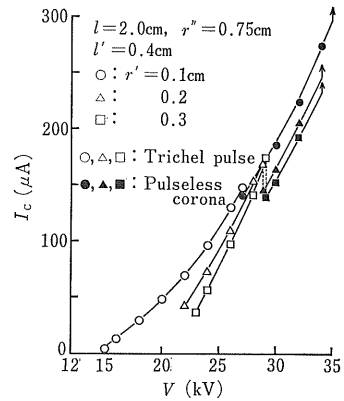


図8 突起の曲率半径 r' の種々な値における電流-電圧特性
Fig. 8 Current-voltage characteristics for the various values of the protrusion radius r' .

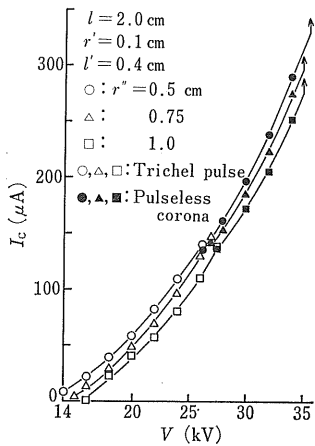


図9 背後電極の曲率半径 r'' の種々な値における電流-電圧特性
Fig. 9 Current-voltage characteristics for the various values of the back electrode radius r'' .

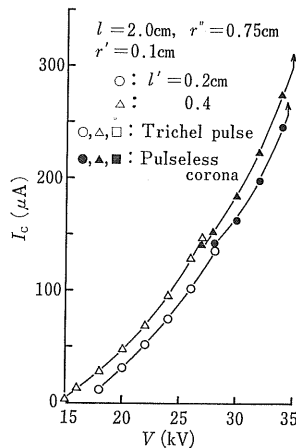


図10 突起部の長さ l' の種々な値における電流-電圧特性
Fig. 10 Current-voltage characteristics for the various values of the protrusion length l' .

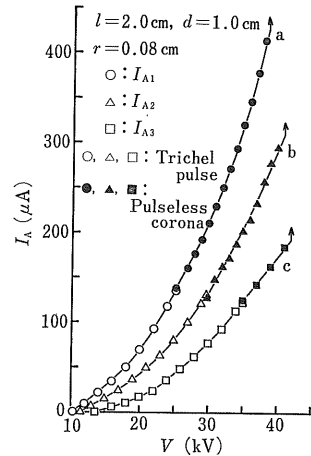


図11 突起針の数を変えたときの放電電流 I_A と印加電圧 V の関係
Fig. 11 Relation between the discharge current I_A and the applied voltage V for the various numbers of the protrusion.

図10は、 $l=2.0\text{ cm}$ 、 $r''=0.75\text{ cm}$ 、 $r'=0.1\text{ cm}$ における I_c と V の関係を l' をパラメータとして示している。図から同じ V に対する I_c は l' が長いほど大きく、かつ V_s が上昇して火花への遷移電流も大きくなっている。

これらの結果から、いずれの電極構造においても、 r 、

r' および r'' が減少してギャップの不平等性を強めると V_s が上昇して I_c も増し、コロナが安定に定在することがわかる。

3.3 突起針付き放電線における突起針間隔の放電電流への影響

突起針付き放電線の場合、放電電流は突起針の形状に

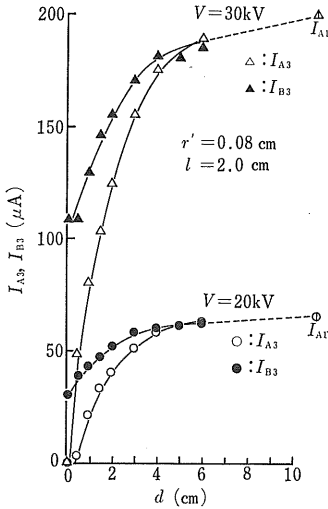


図 12 放電電流 I_{A3} , I_{B3} と突起間隔 d の関係

Fig. 12 Relation between the discharge current I_{A3} , I_{B3} and the interval d of the protrusion.

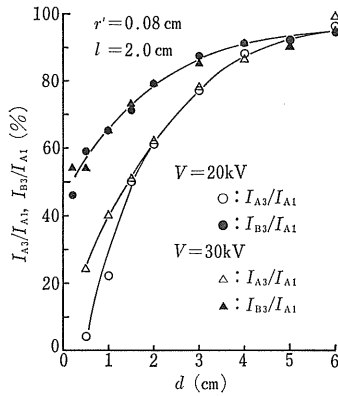


図 13 放電電流 I_{A3}/I_{A1} , I_{B3}/I_{A1} と突起間隔 d の関係

Fig. 13 Relation between the ratio of the discharge current I_{A3} , I_{B3} to I_{A1} and the interval d of the protrusion.

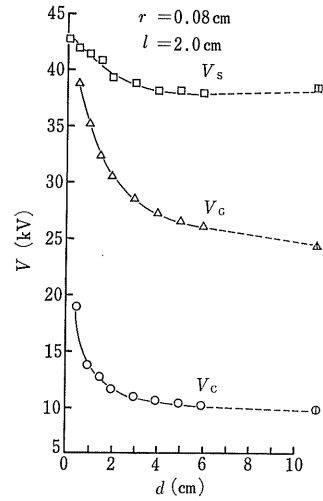


図 14 破壊電圧と突起間隔 d の関係
Fig. 14 Relation between the breakdown voltage and the interval d of the protrusion.

も影響されるが突起針の間隔によっても大きく左右される¹⁾。これらの特性を明らかにするために図 2(c) に示したような電極配置で突起針の間隔と放電電流の関係を調べた。

図 11 は、ギャップ長 $l=2.0$ cm, 突起針の曲率半径 $r'=0.08$ cm, 突起針の間隔 $d=1.0$ cm で突起針 1 本対平板 (a 曲線), 突起針 2 本対平板 (b 曲線), 突起針 3 本対平板 (c 曲線) それぞれにおける突起針 A のコロナ平均電流 I_{A1} , I_{A2} , I_{A3} と印加電圧 V の関係を示している。図から突起針の本数が増加すると I_A は減少し, かつコロナの開始電圧が上昇することがわかる³⁾。

図 12 は, d の影響を調べたもので, $l=2.0$ cm, $r=0.08$ cm の突起針 3 本対平板電極で $V=20$ kV, 30 kV における中心の突起針 A のコロナ平均電流 I_{A3} および外側の突起針 B のコロナ平均電流 I_{B3} と d の関係を示している。図より I_{A3} , I_{B3} は $d > 5.0$ cm ではほぼ等しく, かつ d の影響が現れないが, $d < 5.0$ cm ではいずれの突起針にも現われ, その影響は内側の突起針に強く, 突起針が接近するに従って増加している。なお, ①, ②印はそれぞれ $V=20$ kV, 30 kV おける突起針 1 本ときの電流値を示している。図 13 は, これらの結果を I_{A3} , I_{B3} と突起針 1 本ときの電流 I_{A1} との比 I_{A3}/I_{A1} および I_{B3}/I_{A1} と d の関係で表わしたもので, d が等しければ I_{A3}/I_{A1} , I_{B3}/I_{A1} は印加電圧にほとんど無関係であ

る。また, このときの突起針 A の V_T , V_G , V_S と d の関係は図 14 で, 突起針が接近すると V_T , V_G , V_S はともに上昇している⁴⁾。なお, ①, ②, ③印はそれぞれ突起針 1 本ときの V_C , V_G , V_S を示している。

図 15 は, $V=20$ kV, $l=2.0$ cm で突起針 3 本の場合, 突起針 A と突起針 B に流れるコロナ電流の典型的なオシログラムで, (a) は $d=4.0$ cm, (b) は $d=2.0$ cm (c) は $d=1.0$ cm の場合をそれぞれ示している。図から, 突起が接近しても個々のパルスの波高値は変わらず, その出現は互いに規則性をもたないが, パルスの間隔が増加してその出現頻度が減少する。その影響は中心の突起針ほど顕著に現われ, (c) では突起針 A のパルス出現頻度は突起針 B の出現頻度に比べて 2/5 倍に減少していることがわかる。これはまた, 図 12, 13 で示したように, 突起針間隔を近づけると平均電流が減少することに対応している。

4. 考 察

4.1 負針ギャップにおける放電特性

負針対平板ギャップにおける放電特性を図 3~5 に示した。図 3 および図 4 の結果から, 針先電極の曲率半径 r を減少させると TP 開始電圧 V_C , PLC 開始電圧 V_G は低下し, 火花電圧 V_S はコロナが定在する領域では逆に上昇した。これは電極が細くなるほど同一印加電圧で

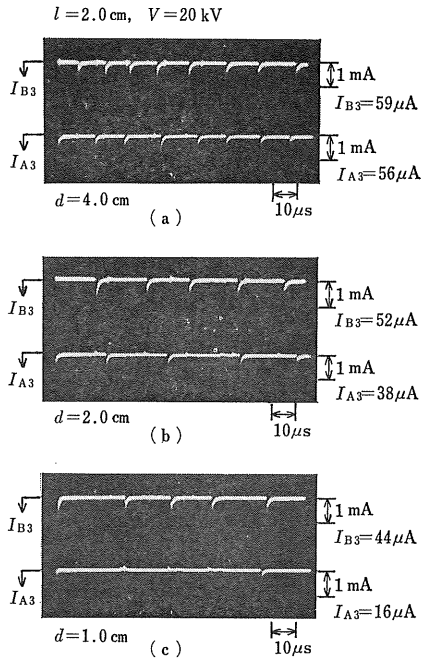


図 15 突起針3本対平板ギャップにおいて観測された放電電流 I_{A3} , I_{B3} の典型的なオシログラム
 Fig. 15 Typical oscillograms of the discharge current I_{A3} , I_{B3} observed in the negative three-protrusion-to-plane gap.

は針先端の電界強度が強まることから、低い印加電圧からコロナが定在し、それに伴って発生した負イオンによる空間電荷効果が静電界を弱めて V_s を高めるものと解釈される⁶⁾。さらに、図5に示したように、 l_G は $l < 0.45$ cm で定在し、多少不整を伴うが l_T とともに r に比例して増加している。この l_T と l_G は図より近似的に次式で表わすことができる。

$$l_T \approx 3.94r + 0.06 \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} 0.1 \leq r \leq 1.0 \quad (\text{cm}) \\ l_G \approx (0.03 \pm 0.47)r - (0.047 \pm 0.053) \quad (\text{cm}) \\ r < 0.1 \quad (\text{cm}) \\ l_G = l_T = 0.45 \quad (\text{cm}) \end{aligned} \right\} (2)$$

また、放電特性は l_T , l_G によって I, II, III の3領域に分けられ、このうち安定したコロナが得られるのは III 領域である。この領域は針が細いほど、またギャップ長 l が長い不平等な電極配置ほど拡大される。

これらの結果から、電極の不平等性が強まるとコロナ出現範囲が拡大し、より安定したコロナが得られることがわかる。

4.2 電流-電圧特性

負針対平板ギャップにおける電流-電圧特性を図6、7に示した。図から、 r が減少すると同じ V に対する

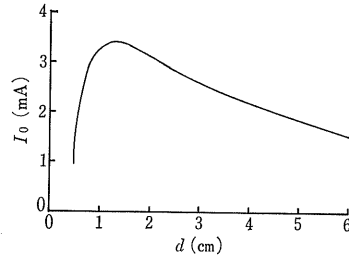


図 16 1 m の突起付き放電線における放電電流 I_0 と突起間隔 d の関係
 Fig. 16 Relation between the discharge current I_0 and the interval d of the protrusion per one meter discharge wire with the protrusion.

I_0 は増加する。また、 r が減少または l が増すほど、すなわちギャップの電界の不平等性が増すほど V_s が上昇し、火花へ遷移前の I_0 は増加した。

突起針付き電極の場合も同様(図8~10)に、 r' および r'' が減少または l' が増してギャップの電界の不平等性が増すと同じ V に対する I_0 は増加し、かつ V_s が上昇して火花へ遷移前の I_0 は増加した。これらは、いずれも電極の不平等性を強めると I_0 が増加することを示している。

4.3 突起針付き放電線における突起針間隔の放電電流への影響

突起針付き放電線における突起針間隔の放電電流への影響を図11~15に示した。その結果突起針間隔 d が減少するとそれぞれの突起針に流れる電流および出現するパルス数は減少したが、コロナ開始電圧は上昇した^{6,7)}。これは、突起針と突起針の接近が互いに他の突起針先の電界を弱めるように作用していることを意味している^{6,7)}。このように d によってコロナ電流が変わるから実用的見地から放電線に付ける突起針の間隔をどのように選べばよいかを図16に示した。図16は、図13より突起針付き放電線の長さを1 m に換算した場合の放電の平均コロナ電流 I_0 と d の関係を示している。図よりこの電極条件では $d = 1.25$ cm のとき I_0 は最大となり、これから $r' = 0.08$ cm の突起針電極の場合 d と l の比 $d/l = 0.625$ が放電電流を最大とする最適条件といえる。この値はまた、実用の集塵装置に採用されている値²⁾ (0.5~0.7) に等しい。

5. ま と め

負針ギャップにおける放電特性および突起針付き放電線における突起針間隔の放電電流への影響について述べた。さらに、負針ギャップにおける放電域を明らかにするとともに突起針付き放電線における突起針間隔の最適

条件について検討した。得られた結果を要約すると次のようである。

- (1) 負針ギャップにおいて針電極の r を小さくすると V_G , V_G は減少し, V_S はコロナが定在する領域で逆に上昇した。また, V_S の上昇は負イオンによる空間電荷によるものと解釈された。さらに, 放電領域を I, II, III の三つの領域に分ける l_T , l_G の近似式を求めた。
- (2) 負針ギャップにおける放電電流は電極条件を不平等にするほど増加した。しかも不平等にするほど V_S が上昇し火花前における電流もいっそう増加した。
- (3) 突起針付き放電線の突起針間隔を小にすると突起針それぞれの放電電流が減少した。これは突起針が接近することによって突起針先端の電界が弱まるこ

とを意味し, 放電線の総放電電流を最大にするための最適条件は $r'=0.08$ cm の場合 $d/l=0.625$ であることが明らかになった。また, この値は実用の集塵装置に採用されている値に等しかった。

参 考 文 献

- 1) 服部一郎, 荻原正明: 静電気学会誌, 2, 2 (1978), 86.
- 2) 増田閃一, 新岡正樹: 電気学会論文誌 A, 96, 9 (1976), 411.
- 3) 細川辰三, 関谷昌久, 三好保憲: 昭和 50 年電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 2-12 (1973).
- 4) 関谷昌久, 細川辰三, 三好保憲: 第 1 回静電気学会全国大会講演論文集, 13P-B11 (1977).
- 5) 酒井長武, 細川辰三, 三好保憲: 電気学会雑誌, 78, 11 (1958), 1413.
- 6) M.R. Amin: J. Appl. Phys., 25 (1954), 627.
- 7) 細川辰三, 三好保憲: 電気学会論文誌 A, 96, 9 (1976), 365.