

線対平板電極における縁効果対策

岸本勝美*・山田正実*・川崎元之**・足立宜良***

Countermeasure for Edge Effect of Wire-Plate Electrostatic Precipitator

Katsumi KISHIMOTO, Masami YAMADA, Motoyuki KAWASAKI
and Takayoshi ADACHI

Abstract

The breaking of discharge electrode that makes the operation of electrostatic precipitator (EP) impossible is considered to be a cause of the material fatigue due to the excessive sparkover on discharge electrode opposite the edge part of collecting plate electrode. In this paper, the optimum countermeasure for edge effect in the latter case has been determined with taking notice of the geometric structure of electrodes.

As for the discussion of the edge effect, the corona current density distributions on collecting and discharge electrode have been measured by the use of a divided electrode and a particular discharge electrode. Observations of corona discharge phenomena in the edge area with Schlieren apparatus have completed the edge effect measurements.

The set of results indicate that the edge effect is lowered as the geometric coefficient D/R (the ratio of the space distance between active and passive electrode D to the radius of collecting electrode edge R) and the average field strength decreases. It is concluded that the countermeasure for the edge effect is sufficient if the geometric conditions which D/R is less than equal to 1 are satisfied.

1. ま え が き

近年、急速な産業の進歩とともに大気汚染が大きな社会的問題として提起され、その規制が一段ときびしくなってきた。その対策の有力な一方法として、コロナ放電を利用した電気集じん装置（以下 EP と略す）が脚光を浴びている。EP は他の集じん装置に比べて、微細な粒子まで集じん可能であり、集じん効率が高く、運転費が安い等の特徴を持っている反面、稼働中に生じる種々の障害も見逃さない。その一つとして、放電線断線があげられる。放電線断線は、放電線振動¹⁾²⁾³⁾による金属疲労に基づくものおよび集じん電極縁端部に対応する放電線上でのスパーク過多による線の損傷に基づくものの2つが原因と考えられている。

EP の集じん電極の縁端部は、中央部に比べ電界が集中し易く、そのため局部的にスパークも発生し易くなる。この現象を EP の縁効果 (Edge Effect) 現象と呼び、この効果をなくし、局部スパークの発生を抑制することを縁効果対策と呼ぶ。これまでに、集じん効率を向上させるための集じん電極の形状についての研究⁴⁾は行なわれているが、最適な縁効果対策を行なった電極構造ならびに配置については、十分に検討されていない。

本報告は従来の EP における縁端部の形状について、電界の集中の緩和ならびに局部スパークの抑制を目的としたものである。実験用の EP としては、線対平板型模擬 EP を使用し、はじめに従来型の EP の縁端部における電界の様子を調べるために、分割電極により、電流密度を測定して、縁端部の電界パターンについて推定した。その結果、集じん電極の縁端部を適当な曲面にすることで、この電界の集中が緩和できる

* 大学院電気工学専攻

** 西日本工業大学、電気工学科

*** 電気工学科

と考えられたので、静電界における近似ロゴウスキー電極⁵⁾を参考にし、電流密度を基本にして縁効果の起きない適切な電極構造を求めた。また、シュリーレン装置によりイオン風の挙動も観察し、この現象の確認をした。

ところで、放電線に対する要求としては、機械的な強度および軽量化などがあるが、その対策として、従来の放電線に代わり、炭素繊維を素材としたトレカ放電線が使用されている。ところが、この放電線はスパークに弱いという欠点を持っているため、その使用に制限を受けている。そこで、ステンレス線の場合に得た基礎知識をもとに、トレカ放電線のスパーク対策を実験的に考察した。

結果として、線対平板電極における縁効果が明らかになり、縁効果対策として幾何学的電極構造を決定することができた。なお、本実験はダストを含むガスを流していないため、ダストによる影響については考慮していない。また、実験はすべて静止大気中にて行ない、雰囲気条件は、気温 25~32°C、湿度 61~90%、気圧 1010~1035mbであった。

2. 平板電極における縁効果の基礎特性

線対平板電極系における平板の縁効果現象を明らかにするためには、縁端部における電界の分布を知る必要がある。そこで、平板上に分割電極を設け、縁端部での電流密度を測定して、電界の集中の様子を推定した。

2.1 実験装置

Fig. 1 に実験装置(1)の概要を示す。分割集じん電極は、断面積 $9 \times 9 \text{ mm}^2$ 、長さ 600 mm (この値は、図

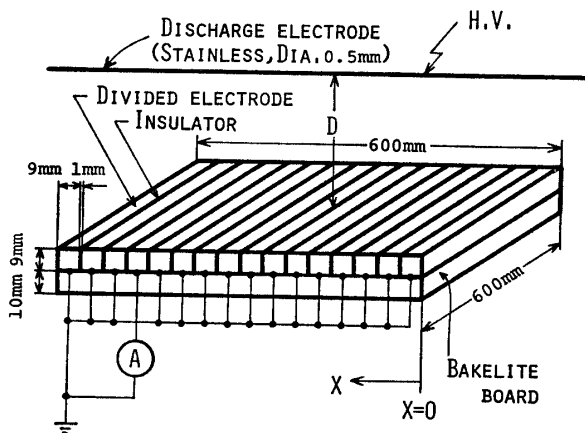


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus (1) for the plate edge effect.

中の D の最大値 150 mm から決定した) の四角い鉄棒を平行に並べて平面状にしたものである。各鉄棒は厚さ、1 mm のベーク板で絶縁され、集じん電極上のコロナ電流分布測定用の分割電極かつ平板電極として用いた。放電線 (ステンレス線、直径 0.5 mm、長さ 1000 mm) は、分割電極の分割方向と直角に配置した。また、電極間距離 D は、50~150 mm の実用 EP の範囲を用いた。なお、直流高電圧発生装置は、ネオントランソを用いた倍電圧整流回路であり、電流計は可動コイル型マイクロアンペア計で内部抵抗は約 $10 \text{ k}\Omega$ である。また、 $1 \mu\text{A}$ 以下の微小電流は増幅付電流計 (YEW Type 2709, 感度 0.2 mA/div , 内部抵抗 $1 \text{ k}\Omega$) を用いて測定した。

2.2 実験結果および考察

<放電特性> 実験装置の基礎特性である放電特性を Fig. 2 に示す。図の縦軸は、縁効果の影響のない集

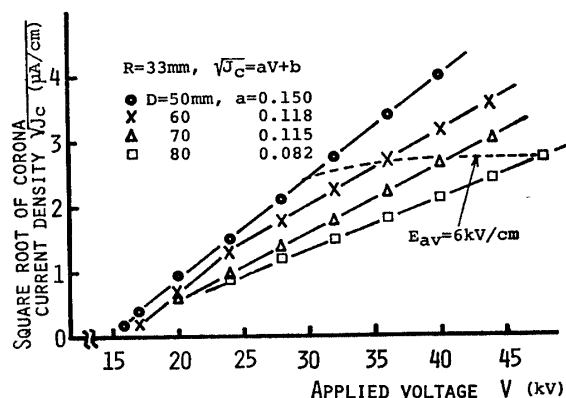


Fig. 2 Negative corona characteristics.

ん電極平板上の放電線単位長当たりの電流の平方根である。コロナ開始電圧⁶⁾以上、すなわち印加電圧 V が約 20 kV 以上では、放電特性は次式のような直線関係で表わされる。

$$\sqrt{J_c} = aV + b \quad (1)$$

ただし、 a 、 b は電極形状および雰囲気条件等に関する定数である。この直線の傾き a は、電極間距離 D が大きくなるにつれて、小さくなる。また、図中に破線で示したように平均電界強度 E_{av} が一定のとき、電極間距離 D が大きくなるにつれて、放電線単位長当たりの電流の平方根 $\sqrt{J_c}$ は、幾らか大きくなっている。

<縁効果現象> Fig. 3 に分割平板電極の縁から中心まで (分割数 30) のコロナ電流 I_c (9 mm 幅の分割電極の電流) の分布の一例 ($D=10 \text{ cm}$) を示す。集じん電極の縁端部 ($X=0 \sim 10 \text{ cm}$ 近傍) における電流の急増により、電界が集中していると考えられる縁効

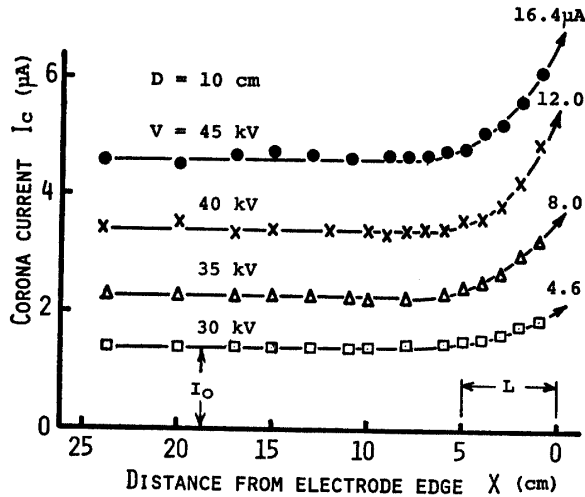


Fig. 3 Distribution of corona current.

果現象が現われはじめる。

縁効果の影響のない分割電極の電流の平均値 I_0 で規格化した場合の規格化電流 (I_c/I_0) 分布を Fig. 4 に

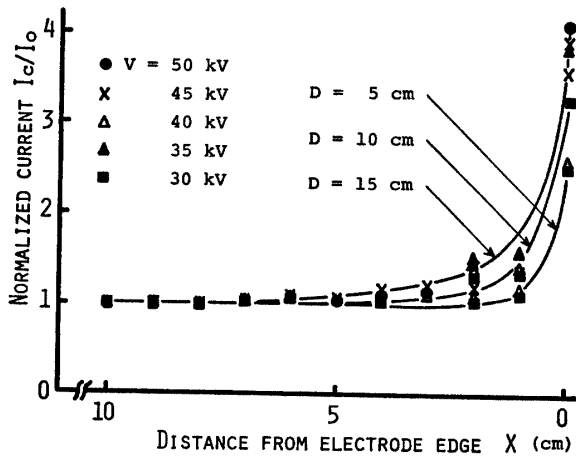


Fig. 4 Normalized distribution of corona current.

示す。電極間距離 D が一定の場合、分割電極の同一位置における規格化電流 I_c/I_0 の値は、印加電圧 V にあまり影響されない。また、印加電圧 V が一定の場合、電極間距離 D を小さくするほど平均電界強度は大きくなる。そのとき、規格化電流 I_c/I_0 は減少している。したがって、縁効果の程度を示す I_c/I_0 は、平均電界強度すなわち印加電圧の影響が少なく、電極の幾何学的配置の影響の方が大きいと考えられる。

分割平板電極の縁端部から縁効果の影響が及ぶ位置までの距離を L (Fig. 3 参照、以後、縁効果領域と呼ぶ) として、平均電界強度 E_{av} との関係を図 5 に示す。電極間距離 D が一定の場合、縁効果領域 L は平均電界強度 E_{av} にほぼ比例しており、電極間距離

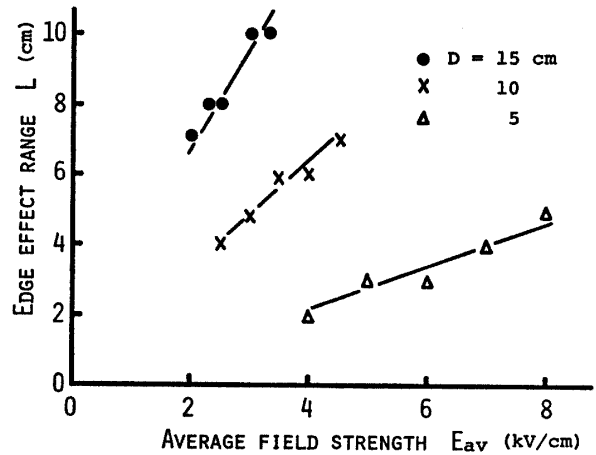


Fig. 5 Characteristics of the edge effect area.

D が小さくなるほど、同一平均電界強度に対する縁効果の影響は減少する。

これらの実験より、電極の幾何学的配置と平均電界強度が縁効果に影響を与えることが明らかになった。前者は主として、規格化電流の値に影響を与え、後者は縁効果領域に影響を及ぼす傾向がある。全体的に見れば、電極間距離および平均電界強度が小さいほど、縁効果の影響は小さくなる傾向にある。そこで、次章では平板電極の縁効果対策を考える。

3. 集じん電極の縁効果対策

前章では、集じん電極の縁端部に縁効果対策を行わない場合の縁効果について、実験的に検討した。本章では、集じん電極の縁端部に縁効果対策を行なった場合について考察する。

通常、縁効果対策としては次のような方法が考えられる。

- (1) 集じん電極の縁端部を適当な曲面にする。
- (2) 集じん電極の縁端部に絶縁物で丸味をつける。
- (3) 放電線実効長 (集じん電極の長さ) 以外の部分の放電線径を大きくするかまたは絶縁物で覆う。

以上のような方法は、装置の規模により適時経験的に定められているようである。

ここでは、縁効果対策として上記の(1)の方法に基づき、近似ロゴウスキー電極を参考にして、集じん電極の縁端部を半径 R の円に沿う曲面にし、その集じん電極縁端部半径 R と電極間距離 D を変化させて、縁効果をなくすための最適な電極の幾何学的配置について実験的に検討した。

3.1 実験装置

Fig. 6 に実験装置(2)の概要を示す。ここでは、集じ

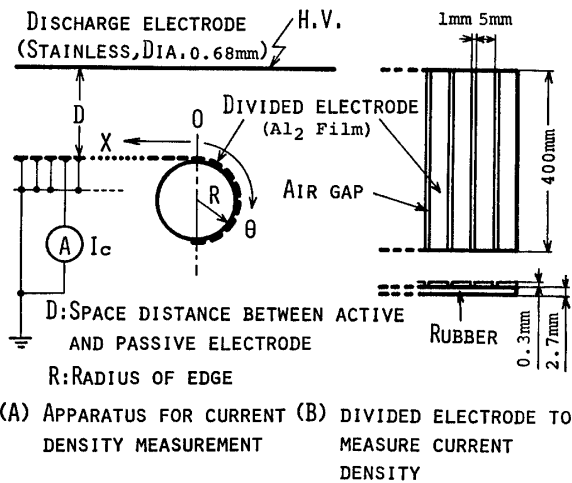


Fig. 6 Schematic diagram of experimental apparatus (2) for the countermeasure of plate edge effect.

ん電極の縁端部を曲面にするため、実験装置(1)で用いた四角い鉄棒の分割電極の代わりに、薄いアルミ製の分割電極 (5×400mm²) を使用し、1mm 間隔でゴム板に取り付け集じん電極上のコロナ電流分布を測定した。なお、放電線はステンレス線、直径0.68mm、また電極間距離Dは、電源の関係上30~80mm、集じん電極縁端部半径Rは27.5~74mmの範囲内で変化させた。電源および電流計等は、実験装置(1)と同様である。また、この実験では負コロナとあわせて正コロナも用いて実験を行なった。これは、正コロナの方が電流変動が少ないため縁効果現象を明確に把握できるためである。

3.2 実験結果および考察

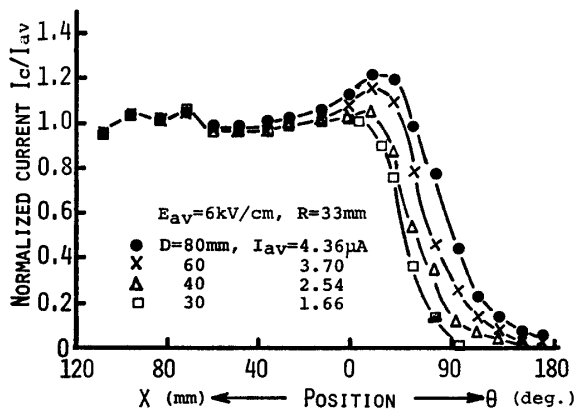


Fig. 7 Normalized distribution of positive corona. (See Fig. 6 A)

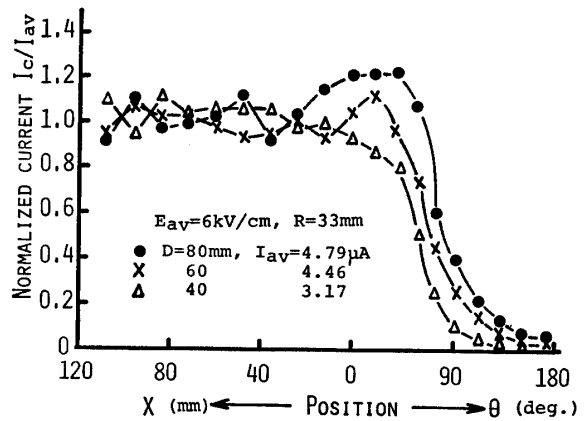


Fig. 8 Normalized distribution of negative corona. (See Fig. 6 A)

＜電流密度分布＞Fig. 7, Fig. 8 に縁効果の影響のない集じん電極平板部の各分割電極に流入する電流の平均値 I_{av} で規格化した場合の正、負コロナ放電の規格化電流分布を示す。このとき、平均電界強度 E_{av} は 6 kV/cm 一定とした。Fig. 7 の正コロナ放電の場合、電極間距離Dが大きくなるほど、規格化電流密度のピーク値は増加する。また、同一の縁端部角度 θ における規格化電流密度は、電極間距離 D が大きくなるほど、大きくなっている。ところで、電流密度ベクトル J (A/m²) と電界強度ベクトル E (V/m) の関係は次式のように表わされる。

$$J = k\rho E \quad (2)$$

ここで、 k (m²/v・sec) はイオン移動度、 ρ (C/m³) は空間電荷密度である。よって、平均電界強度 E_{av} が一定のとき、 k と ρ が一定であると仮定すると、電流密度ベクトル J は、電界強度ベクトル E に比例する。したがって、平均電界強度 E_{av} が一定のとき、電極間距離Dを大きくするほど、集じん電極縁端部の電流密度が平板部に比較して大きくなっていることより、縁端部に電界が集中してくることがわかる。このとき、縁効果による電界の乱れは、図より平板の曲がり始めの点を原点として、X 方向に約 30~40 mm の位置まで及んでいる。一方、負コロナ放電の場合は、Fig. 8 より正コロナ放電に比べて、電流値の変動が大きいが、全体的には、電極間距離Dが大きくなるにつれて、縁効果が顕著になる傾向は一致する。また、前章の結果と同様、平均電界強度 E_{av} は縁端部の電界集中に影響を与えない。

＜幾何学的形状の影響＞正コロナ放電の規格化電流密度のピーク値の位置を Fig. 9 に示す。電極間距離Dが60~80mmでは、ピークは縁端部の角度 θ が20~30

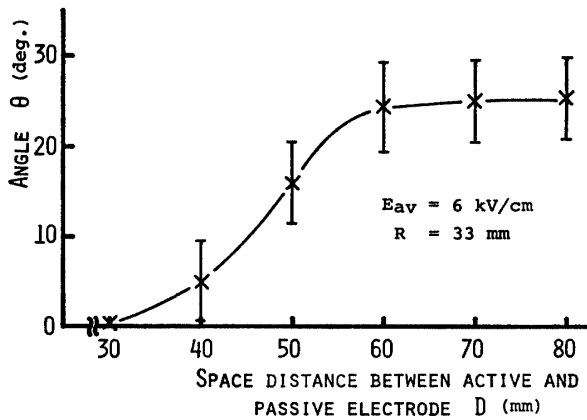


Fig. 9 Peak position of normalized current, Positive corona.

度の範囲にあるが、電極間距離 D が小さくなるにつれて、ピークは角度の小さい方へと移行し、縁端部への電界集中がなくなる。また、電極間距離 D が大きいほど、放電線上では集じん電極縁端部からより遠く離れた点まで、コロナ放電を行なっていると考えられる。

ところで、電極間距離 D の増加は、相対的に集じん電極の縁端部半径 R の減少を意味する。よって、 D/R という幾何学的係数を導入し、それぞれ独立に電極間距離 D と集じん電極縁端部半径 R を変化させた場合の縁端部領域の規格化電流密度のピーク値と幾何学的係数 D/R の相関図を Fig. 10 に示す。集じん電極平板領域のコロナ電流の変動の割合が、約 7% であることを考慮すると、縁端部の電界集中が柔らぎ、縁効果の影響が無視できる電極配置は、幾何学的係数 D/R が約 1 以下のときであることがわかる。

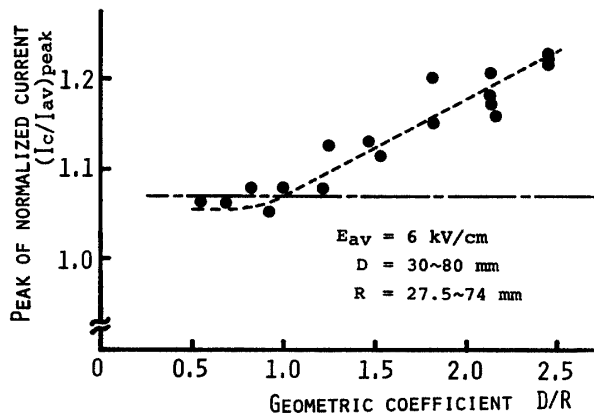


Fig. 10 Scatter diagram between geometric coefficient D/R and peak of normalized current $(I_c/I_{av})_{peak}$, Positive corona.

結果として、(1)幾何学的係数 D/R が約 1 以上では、 D/R と規格化電流密度のピーク値は、相関関係が強

く、(2)幾何学的係数 D/R が約 1 以下になるように電極配置を考慮すれば、実用的には縁効果の影響が無視されることが明らかになった。

4. 放電線の縁端部特性

これまでの実験で、適切な集じん電極縁端部における幾何学的関係が定まったが、この状態での放電の様子をさらに詳しく知る必要がある。これまでの、電流密度を中心に考えてきたが、EP 内ではイオン風の挙動も無視できない。そこで、シュリーレン装置によりイオン風の挙動もあわせて調べ、縁効果対策の成果について検討した。

4.1 実験装置

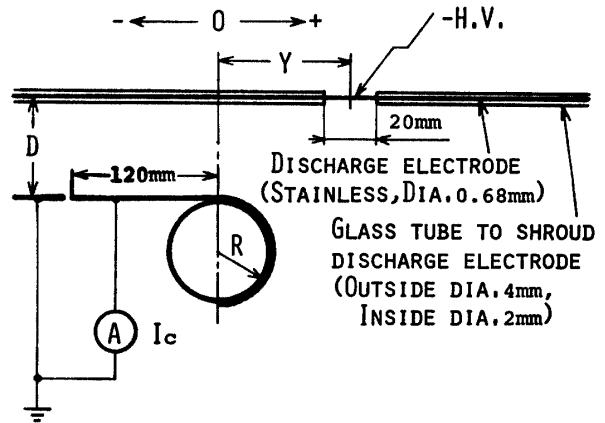


Fig. 11 Schematic diagram of experimental apparatus (3) for the wire edge effect.

Fig. 11 に実験装置(3)の概要を示す。集じん電極は、Fig. 6 の実験装置(2)と同様である。放電線上のコロナ電流分布は、ガラス管(外径 4 mm、内径 2 mm)で放電線を覆い、2 cm の間げき部分だけが放電を行なうようにして、その間げき部分を順次スライドさせ、集じん電極の縁端部に流れ込む全電流を測定して求めた。また、放電電極を加熱し(ヒータ電流は約 5 A)、シュリーレン装置でイオン風の挙動を観察した。

4.2 実験結果および考察

<放電線上の電流分布> Fig. 12 に平均電界強度 E_{av} をパラメータとした場合の放電線上の規格化電流分布を示す。平均電界強度 E_{av} が 4 kV/cm 以上になると、放電線上では集じん電極縁端部の曲がり始めの真上を原点として、その点から約 30 cm 以上、すなわち電極間距離の約 4 倍以上の点までコロナ放電を行なっている。

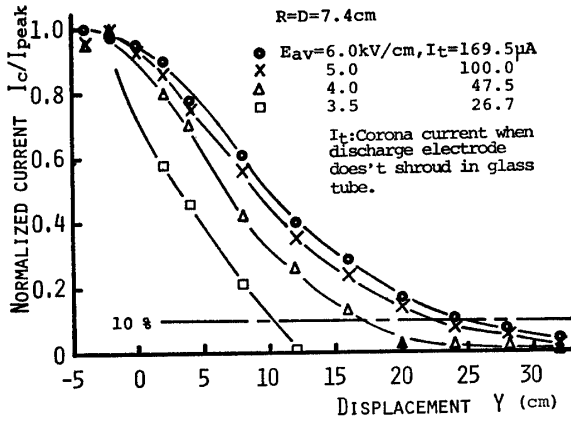


Fig. 12 Normalized distribution of corona current on discharge electrode, Negative corona.

次に、放電線 Y 方向のコロナ放電状態を調べるために、Fig. 12よりコロナ電流がピーク値の10%以下となるまでの距離 Y_c (以後、等価縁端部放電距離と呼ぶ) を求めた。Fig. 13に、平均電界強度 E_{av} と等価縁端部放電距離 Y_c の関係を示す。平均電界強度 E_{av} が大きくなるにつれて、縁端部からより遠く離れた点までコロナ放電を行なっていると考えられる。

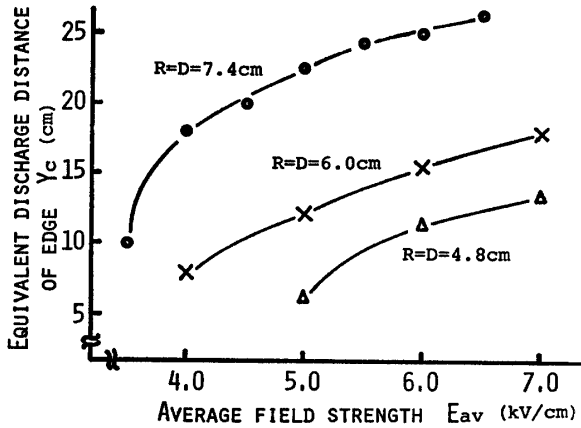


Fig. 13 Correlation between average field strength and equivalent discharge distance of edge, Negative corona.

Fig. 14に、平均電界強度 E_{av} をパラメータとして、実験に使用した最小の電極間距離 D_0 および Y_{c0} で無次元化した場合の電極系の大きさと放電線縁端部の放電状態の関係を示す。無次元化した D/D_0 と Y_c/Y_{c0} の関係は、ほぼ直線となり次式のように表わされる。

$$Y_c/Y_{c0} = \alpha(D/D_0) + \beta \quad (3)$$

ここで、 α , β は電極形状による定数と考えられる。この直線の傾き α が1以上であることより、電極系を

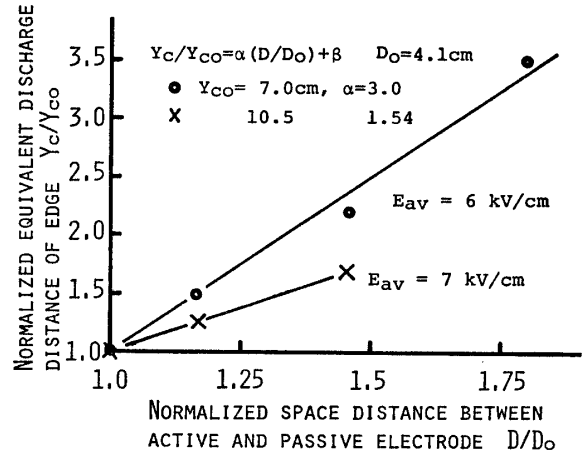


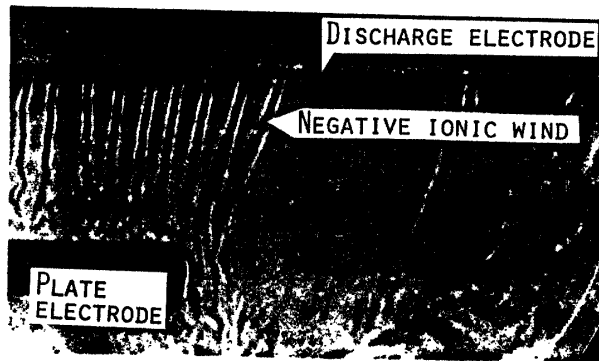
Fig. 14 Correlation between normalized D/D_0 and Y_c/Y_{c0} , Negative corona.

大きくすれば、等価縁端部放電距離 Y_c は電極系の大きさに比例した値以上になる。よって、 D/R が一定のとき電極間距離 D の増加は、相対的に放電線径の減少となり、それだけ縁端部からより遠く離れた点までコロナ放電を行なうものと考えられる。

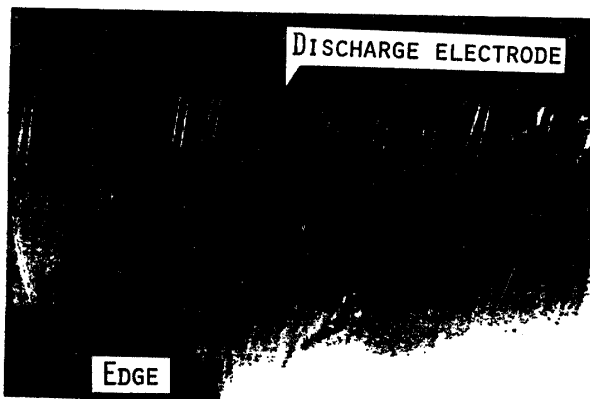
<シュリーレン写真によるイオン風の挙動>

Fig. 15 にシュリーレン装置により観察した縁端部領域の放電状態の写真を示す。(a)は縁効果対策を行わない状態、(b)(c)は集じん電極に縁効果対策を行なった状態で、特に(c)は適切な縁効果対策を行なった状態である。(a)では、イオン風が集じん電極の edge に向かって吹き、電界が集中していることがわかる。(b)と(c)を比較すると、イオン風の吹き出し点の間隔が、(b)では縁端部でやや密になっているのに対し、(c)では縁端部から離れるにつれて一様に広がる傾向を示す。このことより、(c)の適切な縁効果対策を行なった場合には、縁端部の電界集中が緩和されることが確認できた。また、集じん電極の縁端部から離れるにつれて、放電は間欠的となる。これは、その点の電界強度が放電を行なうために十分な大きさにまで達していないためと考えられる。

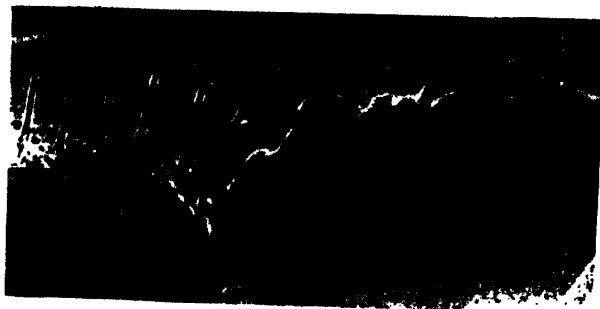
結果として、縁効果対策を行なった電極系 ($D/R=1$) において、(1)平均電界強度が大きくなる程、等価縁端部放電距離は増加する。(2)電極系を大きくすれば、等価縁端部放電距離は、電極系の大きさに比例した値よりも大きくなる。



(a) $D=60$ mm (See Fig.1)



(b) $D/R=2.0$, $R=38$ mm (See Fig.6)



(c) $D/R=1.0$, $R=38$ mm

Fig. 15 Schlieren photographs of negative ionic wind, where $E_{av} = 6$ kV/cm.

5. トレカ放電線にビニールパイプを用いた縁効果対策

集じん電極の edge でスパークが起こらないようにするための第2の縁効果対策として、前述したような放電線の縁端部を絶縁物で覆う方法が知られている。しかし、絶縁物の位置による影響については、検討されていないようである。特に、放電線の軽量化のために開発されたトレカ放電線の場合は、スパークによる

線の損傷が大であるため、放電電極を絶縁物で覆い、縁効果対策を行なう必要がある。ここでは、絶縁物（ビニールパイプ使用）の各位置におけるスパーク特性（スパーク電圧、スパークの発生する場所）に注目し、スパークを集じん電極の edge ではなく、平板部では散在的に発生させる適切な縁効果対策について実験的に検討した。

5.1 実験装置

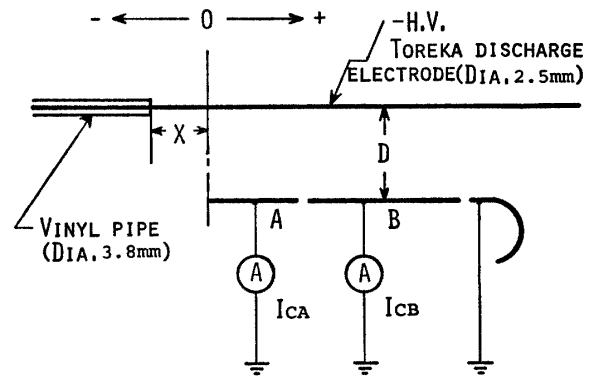


Fig. 16 Schematic diagram of experimental apparatus (4) for the countermeasure of wire edge effect with Toreka discharge electrode.

Table 1 Characteristics of Toreka discharge electrode.

Diameter	2.5mm
Weight per unit length	3 g/m
Breaking strength	70kg
Electrical resistance per unit length	15-20Ω/m

Fig. 16 に上記の目的に使用した実験装置の概要を示す。放電線としては、Table 1 に示すような実用 EP に使用されている軽量（同直径のステンレス線 38.8g/m）にして、機械的強度の強いトレカ放電線を使用した。そして、放電線の縁端部をビニールパイプで覆い、順次放電線上をスライドさせ、各位置におけるスパーク電圧の測定およびスパークの発生する場所に注目して実験を行なった。なお、高圧トランス出力を整流平滑した印加電圧は、トランスの1次側に接続した誘導電圧調整器で、徐々に上げ（約 3~4KV/min）スパークが起こるときの電圧を静電電圧計で読み取った。スパーク電圧は、3回の測定値の平均とした。

5・2 実験結果

Fig. 17 に放電特性を示す。スパークは、図中に破線で示しているように、平板 A に流入するコロナ電流が、ほぼ一定の値 (約 $1400 \mu\text{A}$) になると、発生するようである。

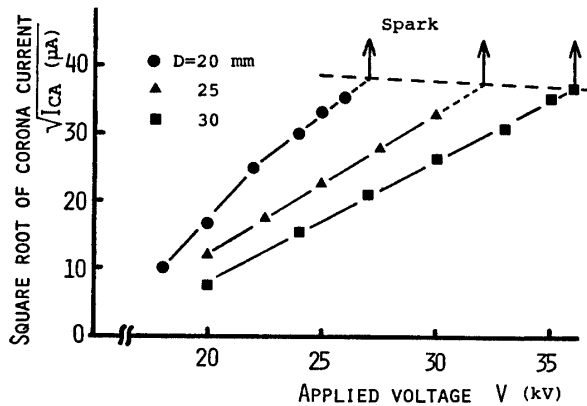


Fig. 17 Negative corona characteristics for edge.

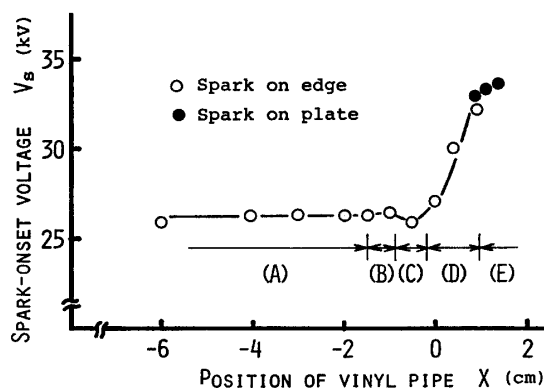


Fig. 18 Correlation between position of vinyl pipe and spark-onset voltage, where $D=20\text{mm}$.

Fig. 18に、電極間距離 D を 20mm とした場合のビニールパイプの位置 X (Fig. 16参照) とスパーク電圧 V_s の関係を示す。これらの関係は、ビニールパイプの位置 X により、以下の5つの領域に分けられる。

領域 (A) : スパーク電圧が、位置 X に依存せず一定である。

(B) : スパーク電圧が、領域 (A) に比べてやや増加する。

(C) : スパーク電圧が、減少し最小となる

(D) : スパーク電圧が、再び急激に増加する。

(E) : スパーク電圧が、増加し最大となる以上の5つの領域を、スパークの発生する場所からみれば、領域 (A)~(D) においては、集じん電極の

edge で発生するのに対し、領域 (E) においては散在的に平板部で発生する。また、スパークの進展過程に注目すれば、領域 (A) では放電線上の領域 (C) から負ストリーマ⁸⁾が進展し、集じん電極の edge からブラシ状の正ストリーマが進展する。よって、放電線上では領域 (C) に電界が集中しているものと考えられる。また、領域 (B), (C) においてスパーク電圧が増加および減少する理由は、ビニールパイプの切れ目に電界が集中し易いためであると考えられる。すなわち、領域 (B) においては放電線上で電界が集中する点とビニールパイプの切れ目が一致していないために、互いにスパークを抑制しており、領域 (C) においては2つの点一致するために、さらに強い電界集中が起こりスパーク電圧が減少するものと考えられる。

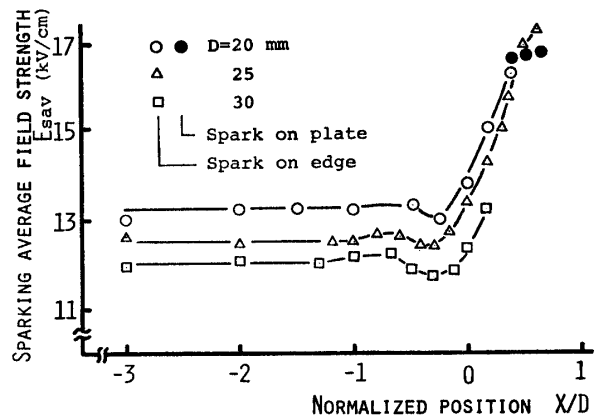


Fig. 19 Correlation between normalized position X/D and sparking average field strength E_{sav} .

Fig. 19 に、電極間距離 D をパラメータとした X/D とスパーク時の平均電界強度 $E_{sav}(=V_s/D)$ の関係を示す。電極間距離 D が 20mm のとき、 X/D が約 0.5 以上 (領域 (E)) になると、スパークは集じん電極の edge にはなく、平板部で発生する。このときのスパーク電圧は、領域 (A) のときの値に比べて約 1.25 倍ほど高くなっている。よって、ビニールパイプの位置としては X/D が約 0.5 以上である事が好ましいが、極端にビニールパイプで放電線を平板の内側まで覆うと集じん空間が狭くなり、好ましくない。よって、その境界付近が適切であると考えられる。ところで、電極間距離 D が $25, 30\text{mm}$ のときの領域 (E) に関しては、電源装置の関係上、確認できなかったが、 X/D の値は 0.5 以上であり、電極間距離 D の増加につれてその値は大きくなるようである。

結果として、ビニールパイプを X/D が約 0.5 以上になる条件を満足するように設定すれば、適切な縁効

果対策が行なえる。なお、 X/D の境界値は D の増加につれて大きくなる傾向を示す。

6. ま と め

本報告は、適切な縁効果対策について、4つの段階を踏まえて実験的に検討した。その結果をまとめると次のとおりである。

1. 縁効果対策を行なっていない線対平板電極系において、電極の幾何学的配置は、縁端部の電界集中に影響を与え、平均電界強度は縁効果領域に影響を及ぼす傾向がある。
2. 電極間距離 D と集じん電極縁端部の半径 R の比 D/R が、約1以下になるように電極配置を考慮すれば、集じん電極の適切な縁効果対策が行なえることがわかった。このことはシュリーレン写真によるイオン風の挙動でも確認した。
3. トレカ放電線を用いた場合、電極間距離 D とピニールパイプの位置 X の比 X/D が、約0.5以上になるようにすれば、縁端部のスパークが解消されて実用的に有効であると判断される。

本実験の結果は、今後のEPの設計に有意義な一考察を加えたものとする。

終わりに、本研究を行なうにあたって、御指導ならびに御支援をいただいた増田閃一教授（東大・工）、赤崎正則教授（九大・工）、樫崎久矩教授（山大・工）幡司明教授（西工大）に深く感謝する。なお、実験その他について何かと御援助いただいた本学池田技官、大学院2年竹中智彦君、卒論生の中重文隆君に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 平松力, 小堀与一: 日立評論, 45, 4, 728 (1963)
- 2) 前原弘典, 足立宜良: 山口大学工学部研究報告, 21, 3, 271 (1971)
- 3) 足立宜良, 末沢洋介, 竹中智彦: 山口大学工学部研究報告, 28, 1, 49 (1977)
- 4) H.J. White and W.A. Baxter. JR.: "A Superior Collecting Plate for Electrostatic Precipitators" Mechanical Engineering 82, 54 (1960)
- 5) 増田閃一, 河野照哉共訳: プリント電界計算法, 朝倉書店 (1974) P. 78
- 6) 橋本清隆, 川崎元之: 昭和52年電気学会全国大会 No. 1024
- 7) 橋本清隆, 足立宜良: 静電気とその工業への応用, 東京電機大学出版社 (1973) P. 85
- 8) 大重力, 原雅則: 高電圧現象, 森北出版 (1976) P. 57

(昭和52年10月15日受理)