

# 空气中負極性直流沿面コロナの観測\*

菅原 宣 義\*\*

保 莉 和 雄\*\*

土 方 正 範\*\*

(昭和53年4月28日受理)

## Observations of the Negative DC Surface Corona in Air

by Noriyoshi SUGAWARA, Kazuo HOKARI  
and Masanori HIJIKATA

Experiments of the atmospheric discharge, the surface discharges with and without the backing electrode using the needle-to-edge gap have been done in the air at atmospheric pressure. The corona threshold voltage, the breakdown voltage and the corona current have been measured and a photograph of the corona has been taken. It is confirmed that those discharges hold respectively the unique mode of a discharge and oscillographic wave of a corona current.

### 1. 緒 言

沿面放電に関する研究の多くは衝撃電圧による電荷図<sup>1)</sup>およびリヒテンベルグ図形<sup>2)</sup>を利用して古くから行われている。しかし、これらの方法には実験に熟練を要すること等から、近年カメラを利用した放電光写真を利用する研究が行われており、研究成果が発表されている<sup>3~7)</sup>。

交流電圧による沿面放電の研究に関しては、FRP 板上の沿面破壊電圧<sup>8)</sup>を求めたり、ガラス沿面上の V-I 特性<sup>9)</sup>を求める事が行われており、特に近年は電力需要の増大に伴って必要となるであろう超高電圧 (UHV) 送電の気中絶縁設計の基礎研究の一環として、碍子の沿面放電に関する研究が精力的に行われている<sup>10~12)</sup>。

直流電圧による研究はフラッシュオーバー電圧に及ぼす試料と電極との接触性に関して<sup>13)</sup>行われたもの等が少しあり、多くは研究されていないようである。かかる電源は交流とはことなり極性を選定でき、昇圧速度は衝撃電圧とはことなって任意に設定できるとともに、ステップ状に印加する事も可能である利点をもっている。また、従来行われている沿面放電の研究は、それぞれ電極配置が背後電極付きか背後電極なしのどちらか一方の場合についてしか研究され

\* 昭和52年10月 電気四学会北海道支部大会、昭和53年4月 電気学会全国大会で発表

\*\* 北見工業大学電気工学科

ていないようである。

この様な直流の利点を利用して、気中と同じ電極配置を沿面上に作り、背後電極なしと背後電極付きについて実験を行うことにより三種類の条件、すなわち気中放電（以下、ただ気中と記す）、背後電極なしおよび背後電極付きの沿面放電（以下、ただ背後なしおよび背後付きと記す）に関する比較考察より、より一層沿面放電現象を明らかにできるのではなかろうかと研究を行っている。沿面コロナを研究する場合にも、気中における場合と同じように不平等電界で行い、針対刃形電極の構成で実験を行っている。

本文は、気中、背後なしおよび背後付きの条件で、ギャップ 10 mm の場合に関するコロナ電流—電圧特性を電流計により求めるとともに、コロナ開始電圧とブレイクダウン（以下、BD と記す）電圧も求めた。肉眼によりコロナを観察してスケッチするとともに、オシログラフにコロナ電流、フォトマルチプライア（以下、PM と記す）の光電流およびコロナ写真の同期信号を同時記録したところ、それぞれの電極配置に特有の放電の形態の変化が認められた。

## 2. 実験方法

本実験に使用したそれぞれの電極配置を図-1 に示す。図からわかるように、(a) の場合は両電極とも電極台から 6 mm 空中にあり、(b) の場合は試料板が電極台から 3 mm 空中にある。また (c) の場合には背後電極と可動電極（刃形電極）とが電気的に結ばれている。

負極性直流高電圧は針電極に印加され、針は試料と  $30^\circ$  の角度をなすように固定されており、上下のみ移動可能である。使用した針は“三ノ五”の“がす針 5 号”であり、太さ 0.71 mm のものの先端を曲率半径 0.2 mm の半球状にしてあり、長さは 50 mm である。対向する刃形電極は銅製 (90×20 mm, 厚さ 3 mm) であり、針と対向する長辺を  $30^\circ$  に切っている。この銅電極を移動する事によりギャップ ( $l$ ) を変化できるが、今回は 10 mm で行った。これら両電極とも鏡面仕上とし、実験毎にピカールでみがいた後アルコールでふき、コロナ開始電圧の不

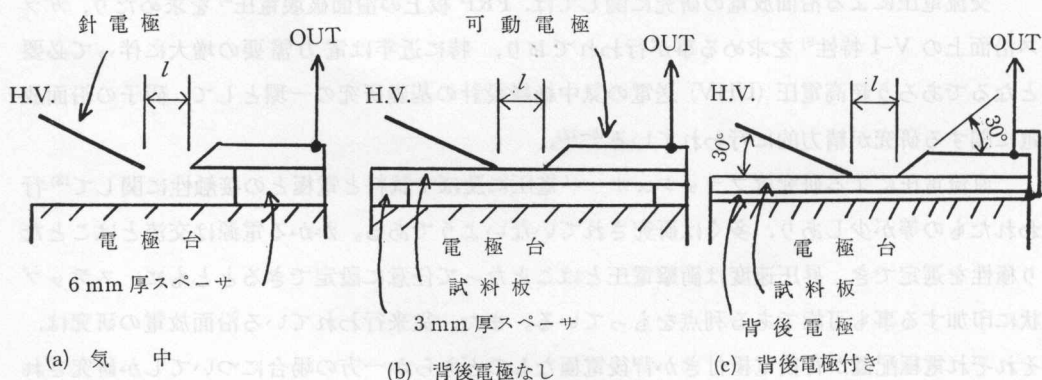


図-1 電極系の幾何学的配置

Fig. 1. Geometrical arrangements of electrode system.

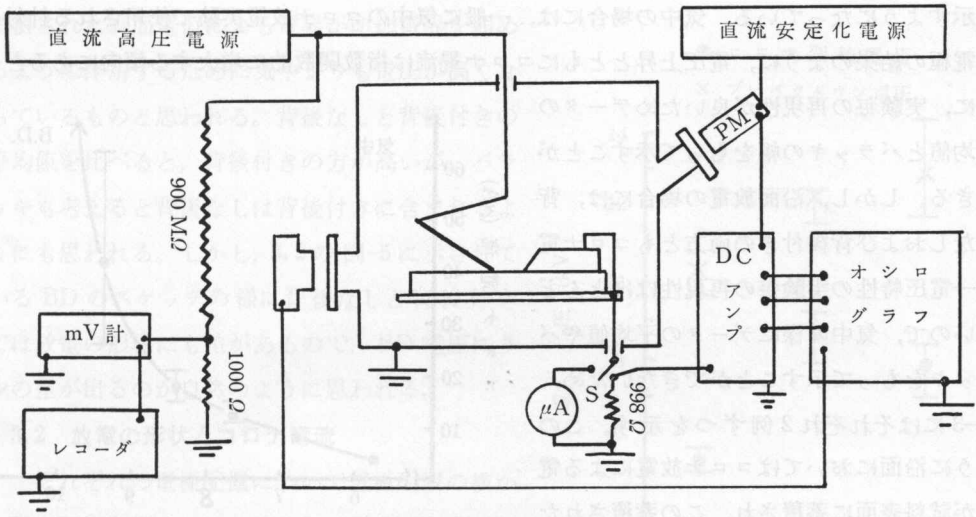


図-2 実験回路の構成図

Fig. 2. Block diagram of measurement circuit.

整を除くために約  $5 \mu\text{A}$  のコロナ電流を気中で 10 分間流した後使用した。試料の亚克力板 ( $100 \times 100 \text{ mm}$ , 厚さ  $3 \text{ mm}$ ) は純水とアルコール処理により電荷を除去するとともに、実験に使用する毎に静電気測定器により表面電位が  $\pm 100 \text{ V}$  以内であるものを使用した。

実験回路は図-2 に示す様になっており携帯型直流高圧発生装置 (DCG-30 KG) を使用し、高圧側には抵抗を接続していない。電極を入れる容器内は  $760 \text{ mmHg}$  に保ち、写真および PM 用の窓は  $8 \text{ mm}$  厚さの亚克力板を使用してある。この容器内は実験室空気であり気圧のみ一定にコントロールした。印加電圧の上昇速度は、電流計でコロナ電流—電圧特性およびコロナ開始電圧と BD 電圧を測定した時には毎秒  $200 \text{ V}$  であり、抵抗を使用してのコロナ電流および PM の光電流をオシログラフに記録し、コロナの肉眼観測と写真撮影の場合には毎秒  $100 \text{ V}$  である。電流計による実験は各プロット点で 10 回以上行い、電圧は BD まで昇圧しながらデータをとった。コロナ開始電圧は  $0.01 \mu\text{A}$  程度以上にコロナ電流が流れた電圧とした。オシログラフ及びコロナ写真の場合には 3~5 回の実験より写真のよく写っているものをデータとした。PM は 1P28 を使用した。コロナ写真に使用したフィルムは 2475 レコーディングフィルムであり、シャッタースピード  $1/2 \text{ 秒}$ ,  $F 1.2$  の開放で撮影し、ASA 16,000 相当まで増感現象を行った。

なお、本実験は紫外線などによる照射は行っていない。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 電流計による測定

使用した電流計は最小のフルスケールが  $3 \mu\text{A}$  のものであり、まずコロナ開始電圧を測定し、その後レンジを切替えながらコロナ電流と電圧との関係を測定した。これらの結果は図-3

に示すようになっている。気中の場合には、一般に気中のコロナ放電実験で使用される針対平板電極の結果のように、電圧上昇とともにコロナ電流は指数関数的に増大する傾向にあるとともに、実験毎の再現性が良いためデータの平均値とバラッキの幅をもって示すことができる。しかし、沿面放電の場合には、背後なしおよび背後付きの両方ともコロナ電流—電圧特性の実験毎の再現性はほとんどないので、気中の様にデータの平均値やバラッキをもって示すことができないため、図-3にはそれぞれ2例ずつを示す。このように沿面においてはコロナ放電による電荷が試料表面に蓄積され、この蓄積された表面電荷の作る電界と印加電界とが複雑に影響し合うために図に示すような結果になるものと思われる。発光の肉眼観測では、コロナ電流の大きい時には針電極の先の発光も強く、コロナ電流の小さい時には発光も非常に弱くなり、電流が零近くまで低下する時には発光もほとんど観測されない。また、図中のなみ形の線は電流計の針が振動したときの最大と最小を示している。沿面の場合には電流計が振動することが多く数十  $\mu\text{A}$  流れる時でも時計の振子ぐらいの速度で振動することがある。

コロナ開始電圧と BD 電圧を図-4に示す。図より、コロナ開始電圧と BD 電圧に関して各電極配置間の大小関係がことなっているのはおそらく沿面に対するコロナ開始電圧の定義に関して問題があるのかも知れないが、気中と同じ定義を適用するとかかる結果となる。この件に関しては 3.2 のオシログラフからも判るように今後の問題であると思われる。BD 電圧に関しては沿面の場合、コロナ放電により試料面上に

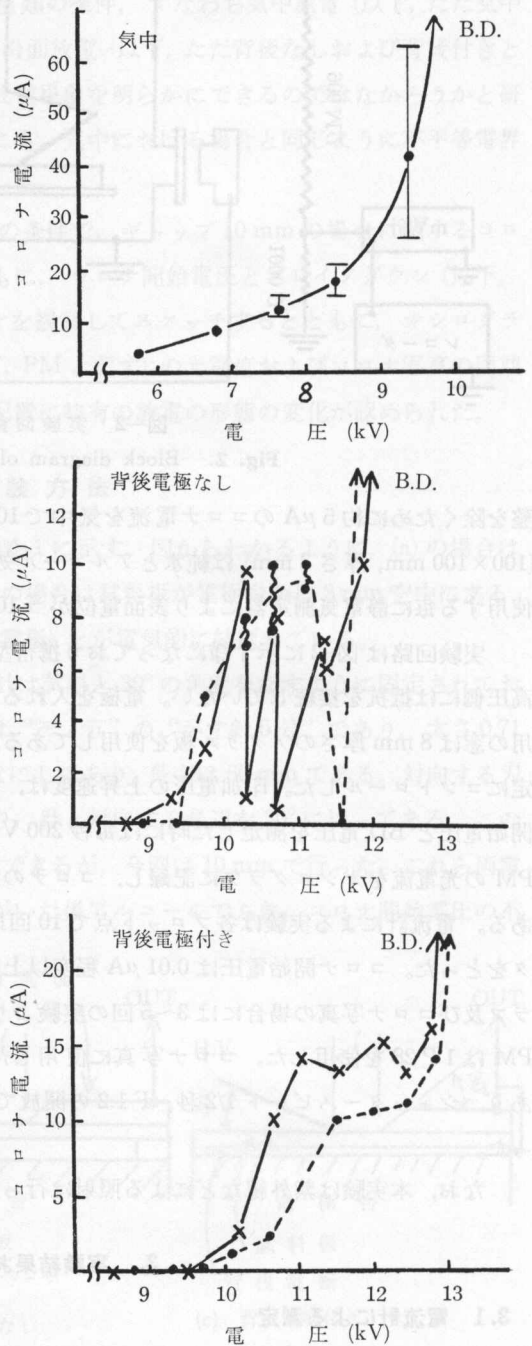


図-3 コロナ電流—電圧特性  
Fig. 3. Corona current vs. voltage.

蓄積された表面電荷による電界が印加電界を弱めるように作用するために気中よりも電圧が高くなっているものと思われる。背後なしと背後付きの平均値を比べると、背後付きの方が高いが、バラッキも考えると背後なしは背後付きに含まれるようにも思われる。しかし、3.2の図-5に示されているBDのスケッチの様に背後なしと背後付きでは放電の形状にも差があるので、BD電圧に多少の差が出るのが自然のように思われる。

3.2 放電の形状とコロナ電流

それぞれの電極配置について電極配置の横から発光観測を行いスケッチしたのが図-5である。

(a)の気中の場合、まず針の先が発光し、電圧上昇とともに、その明るさをまし、輝点が現われる。さらに電圧を高くすると、刃形電極の刃先も発光し((a)~(1))、その明るさをまし、BDの少し前になると両電極間を払子状に橋絡するようになり((a)~(2))、BDに至る((a)~(3))。このBD時の発光は図の様にV形をしており、その進展はジグザグ状になっている。このようなV形を示すのは電極底面より6mm下に電極台の絶縁面が在ることが影響しているのかどうかを検討中である。(b)の背後なしおよび(c)の背後

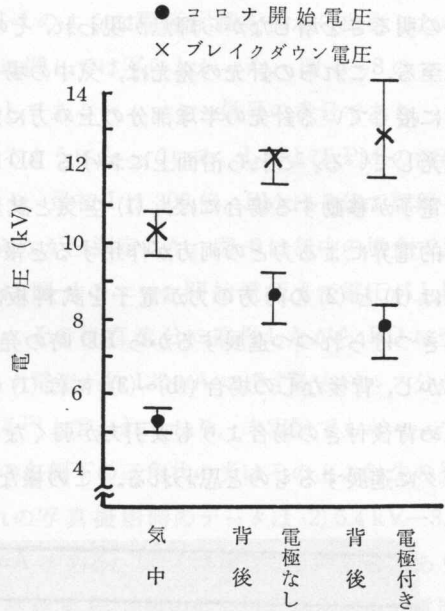


図-4 コロナ開始電圧とブレイクダウン電圧  
Fig. 4. Corona threshold voltage and breakdown voltage.

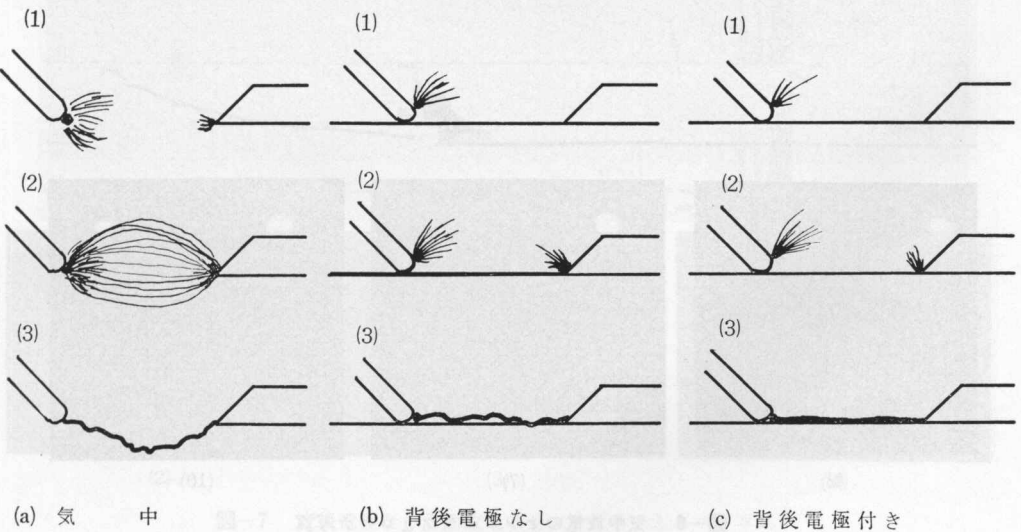
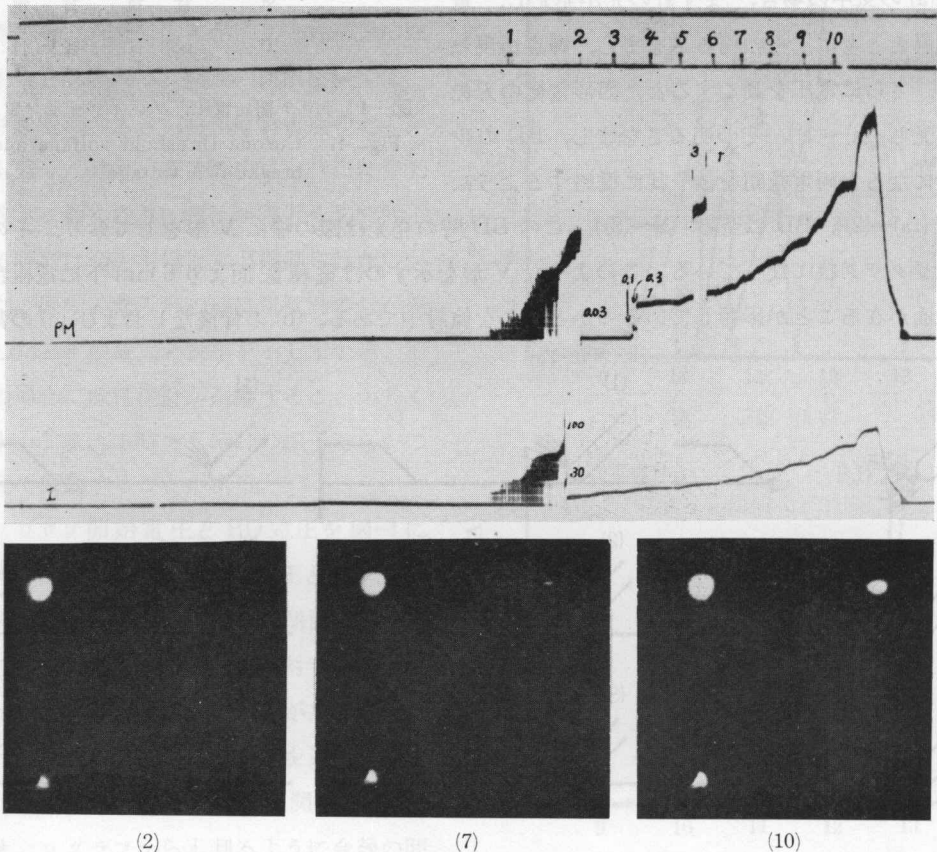


図-5 放電の形状  
Fig. 5. Sketches of discharge.

付きの場合には BD 直前まで両者とも図に示すような同じ形状を示し、まず針の先が発光し、その明さを増しながら輝点が現われ、その後刃形電極の刃先が気中よりは弱いが発光し、BD に至る。これらの針先の発光は、気中の場合には針先がほぼ円形に発光するのに反して、試料面に接している針先の半球部分の上の方に輝点が現われ、図に示すように斜め右上に扇形状に発光している。これら沿面上における BD 時の発光は図に示すような差が認められた。沿面上を電子が移動する場合には、(1) 空気と試料板との誘電率の差による力と (2) 背後電極の幾何学的電界による力との両方が作用すると報告されている<sup>14)</sup>。従って、背後付きの場合 ((c)~(3)) には (1) と (2) の両方の力が電子を試料板に吸引するように作用するので沿面放電は試料面に引きつけられつつ進展するから BD 時の発光は図に示すように試料板上を一直線に進展する。しかし、背後なしの場合 ((b)~(3)) には (1) のみの力で電子を試料面に吸引するように作用するため背後付きの場合よりも吸引力が弱くなるから図に示すように若干沿面より離れた所をジグザグに進展するものと思われる。この様な BD 時の進展状態の相異が 3.1 で求めた BD 電圧



図—6 気中放電のオシログラフとコロナ写真

Fig. 6. Oscillograph and photographs of the corona in the atmospheric discharge.

の相異となって現われてくるものと思われる。

このように肉眼観測で見られるコロナ放電を 図-1 のような電極配置を横から撮影したのが 図-6~8 であり、スケッチに見られるような細部に関しては写らなかった。図-6~8 のコロナ写真の下の番号は、その上のオシログラフに記入してあるシャッター信号の番号であり、コロナ電流 (I) および PM の光電流との対応関係が判るようになっている。I および PM の波形中に入っている数字は DC アンプの倍率を示しており、最初 I は 300 倍、PM は 3 倍で記録しその後振れが大きくなるに従って倍率を小さく切替えながら測定した。図-6 は気中の場合であり、I と PM はほとんど同じ傾向を示すとともに I は 図-4 のコロナ開始電圧まで電圧が上昇するとステップ状にトリチェルパルス電流が出現し、その後直流分に重畳しながら BD に至る。気中における針対平板の電極配置では平均コロナ電流が約  $120 \mu\text{A}$  に達するとパルス分が急に消滅して、直流分のみの無パルス性コロナへ移る<sup>15)</sup>と言われており、本実験でもギャップを大きくすることにより観測できると思う。写真中の左側下の三角状の光はその上の針先の発光が電極台に反射して写ったものである。それぞれの写真撮影時のデータは (2)  $5.4 \text{ kV}-3.1 \mu\text{A}$ 、(7)  $7.6 \text{ kV}-12.3 \mu\text{A}$  および (10)  $8.95 \text{ kV}-25.4 \mu\text{A}$  である。図-7 は背後なしの場合であり I と PM は同じ傾向を示すとともに、図-4 のコロナ開始電圧以前の低い電圧からパルス電流が流れ、その発生ひん度は電圧上昇とともに多くなるとともにパルス波高値も大きくなり、あ

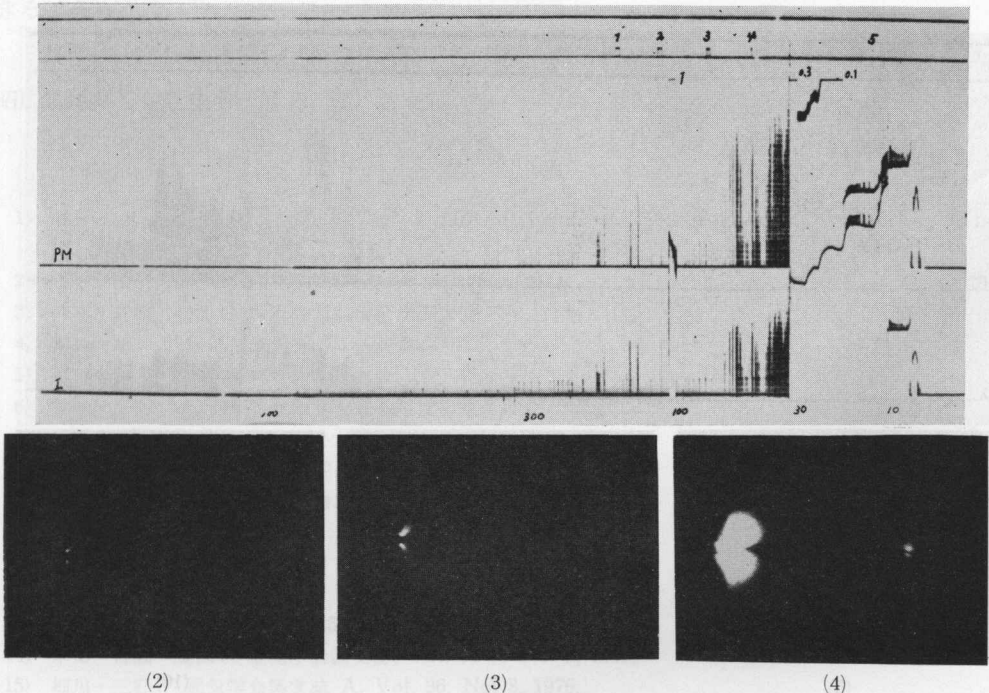


図-7 背後電極なし沿面放電のオシログラフとコロナ写真  
 Fig. 7. Oscillograph and photographs of the corona in the surface discharge without the backing electrode.

る電圧からは直流分に重畳しBD近くになるとパルスの波高値が大きくなる。しかし、図-8の背後付きの場合には、背後なしと同じようにコロナ開始電圧以前の低い電圧からパルス電流が流れ、電圧上昇とともにその発生ひん度を増しながらBD近くまで続き、BD直前に直流分が出現するように思われる。これら両者の場合の写真はほとんど同じであり、写真中左側の上下に光が扇形状になって分れているのは、試料板に針先の上側に出たコロナ光が反射しているからである。これらの写真のデータは次のようである。図-7では(2) 8.9 kV—3.2  $\mu$ A のパルス1個、(3) 9.2 kV—3.7  $\mu$ A のパルス1個および(4) 9.7 kV—13.2  $\mu$ A のパルス4~5個であり、図-8では(5) 8.2 kV—0.7  $\mu$ A のパルス2個、(7) 10.1 kV—3  $\mu$ A のパルス2個と 2.6  $\mu$ A のパルス1個および(10) 12.96 kV—2.3  $\mu$ A—8.8  $\mu$ A のパルス5~6個である。これら電流パルスの値は波高値で示した。

このように、沿面と気中とではコロナ電流の時間変化がことなるとともにパルス波高値がことなっており、背後なしと背後付きとを比較してみてもこれらの様子はことなっている。このような相違は、試料板を入れたことにより気中とはことなる電界分布となったことが原因なのか、試料板による表面吸着ガスが原因しているのかどうか、さらに背後なしと背後付きの現象の相違は先に述べた電子に対する2種類の吸引力のみによるものかなど検討すべき多くの問題があり、今後の研究で明らかにしてゆきたく思っている。

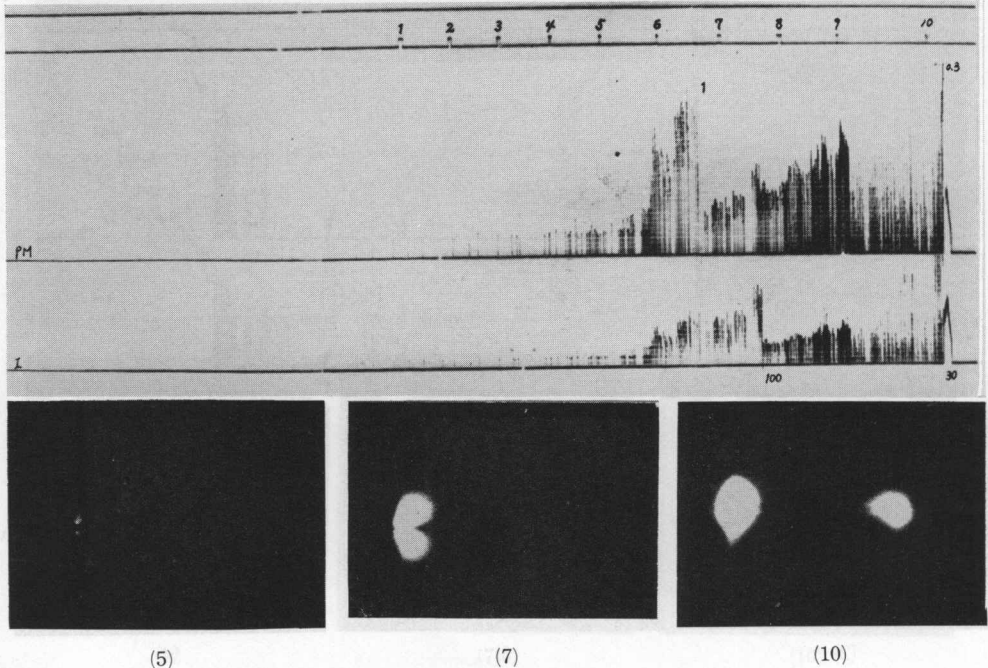


図-8 背後電極付き沿面放電のオシログラフとコロナ写真

Fig. 8. Oscillograph and photographs of the corona in the surface discharge with the backing electrode.



#### 4. 結 言

気中、背後なしおよび背後付きの3種の電極配置についてコロナ電流—電圧特性、コロナ開始電圧およびBD電圧を電流計を使用して求めた。また、オシログラフを使用して電流と光電流波形を記録するとともに放電の肉眼観測およびコロナ写真を写して比較・検討を行った処、以下のようなことが明らかとなった。

(1) BD電圧は試料板上にコロナ放電で蓄積された表面電荷の影響により気中よりも沿面の方が高く、背後なしよりも背後付きの方が若干高い。

(2) BD時の発光観測より、電子に作用する誘電率の差による力と背後電極の幾何学的電界による力とが可視的に確認された。

(3) オシログラフによるコロナ電流の測定で、気中、背後なしおよび背後付きに関して特有のものが観測され、沿面では電流計によるコロナ開始電圧よりも低い電圧からパルス電流が出現する。

本実験を通して気中、背後なしおよび背後付きの放電現象に関して定性的なことが判ってきたが、沿面放電のコロナ開始電圧に関しては問題点もありさらに研究を進めるとともに、表面電荷効果に関しても研究を進めることにより、沿面放電現象をより一層明らかにする事ができるであろう。

終りに、本実験に協力された本学卒業生高橋 透、上村裕幸の両君と本学専攻科学生大塚昭広君に厚くお礼申し上げる。

#### 文 献

- 1) たとえば, Yotuo Toriyama: Dust Figure of Surface Discharge and its Application, Kinokuniya Bookstore Co., LTD 1961.
- 2) たとえば, 坂本・田頭: 新高電圧工学, 朝倉書店, 1974.
- 3) 井関・倉橋・松浦: S 46年電気学会全国大会, No. 113.
- 4) 川島・鳳: 放電研究会資料, ED-75-10.
- 5) 川島・鳳: S 51年電気学会全国大会, No. 45.
- 6) 菅原・保莉: S 51年電気四学会北海道支部連合大会, No. 34.
- 7) 菅原・保莉・土方: 北見工業大学研究報告, 第8巻2号, 1977.
- 8) 池田・岡本: S 40年電気四学会連合大会, No. 59.
- 9) 西山・徳方: S 46年電気学会全国大会, No. 108.
- 10) 放電研究, No. 64.
- 11) 放電研究, No. 67.
- 12) 放電研究, No. 71.
- 13) 藤井・町田・光井・鳥山: S 51年電気学会全国大会, No. 329.
- 14) 岸田・佐藤・鳥山: 電気学会論文誌, Vol. 92-A No. 5, 1972.
- 15) 細川・三好: 電気学会論文誌 A, Vol. 96, No. 8, 1976.