



Title	微小間隙を進展する沿面放電に及ぼす点背後電極の影響
Author(s)	上野, 秀樹; 平田, 智之; 西川, 哲司 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2004, 13, p. 64-71
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/76780">https://hdl.handle.net/11094/76780</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 微小間隙を進展する沿面放電に及ぼす点背後電極の影響

上野 秀樹、平田 智之、西川 哲司、中山 博史

兵庫県立大学大学院工学研究科電気系工学専攻  
〒671-2201 姫路市書写2167

## Influences of Point Backside Electrode on Creeping Discharge Developed in Narrow Gap

Hideki UENO<sup>1</sup>, Tomoyuki HIRATA<sup>1</sup>, Tetsuji NISHIKAWA<sup>1</sup>, Hiroshi NAKAYAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>:Department of Electrical Engineering and Computer Sciences,  
Graduate School of Engineering, University of Hyogo  
2167 Shosha, Himeji 671-2201, Japan

Discharge characteristics in a narrow gap between two insulators have been investigated for a needle-plane electrode configuration with a point backside electrode. The negative flashover voltage decreased when backside electrode became longer. Moreover, the flashover voltage with a backside electrode below the needle was lower than one without a backside electrode. These characteristics were more remarkable in a negative needle. In the case of a configuration with a backside electrode, corona generated from the needle has easily extended to the gap. On the other hand, for the case of configuration without backside electrode, the corona has hardly extended to the gap, and then by increasing applied voltage the corona has greatly developed in the gap. The corona extended until the place where a backside electrode exists. This difference on the corona extension should affect to the flashover characteristics in the present system.

キーワード：沿面放電，界面放電，背後電極，SF<sub>6</sub>

### 1. はじめに

GIS (ガス絶縁開閉装置) などの多くの電力機器に、絶縁耐力・安全性に優れた SF<sub>6</sub>ガスが用いられ<sup>(1)</sup>，機器の高電圧化・大容量化・小型化・高信頼度化などが図られてきた<sup>(2)</sup>。しかし，SF<sub>6</sub>ガスの絶縁耐力は最大電界に強く依存し，不平等電界下では著しく絶縁性能が低下するため<sup>(3)</sup>，金属異物等による局部高電界発生源を模擬した研究がされている<sup>(4)</sup>。

多くの場合，電力機器の絶縁は，固体絶縁物との複合絶縁となっており，SF<sub>6</sub>等のガスと固体絶縁物との複合絶縁についても活発に研究されている<sup>(5)(6)</sup>。機器の複合絶縁化に伴い，電極

と固体絶縁物が接する部分や絶縁物同士が接触する部分が多くなる。通常，接続部は絶縁物を密着させ，間隙等が生じないように配慮がなされている。しかし，運転中の振動・熱による経年劣化で，接続部に微小な間隙が生じたり，固体絶縁物に亀裂が発生する可能性がある。微小間隙や亀裂存在下での交流電圧印加時の部分放電や破壊特性について報告されているが<sup>(7)(8)</sup>，未解明の部分も多い。

筆者らも，電力機器の小型化・信頼性の向上に寄与すべく，亀裂を有した絶縁物に雷サージが加わった場合を想定し，SF<sub>6</sub>ガス中で微小間隙内を進展する針－平板電極間の沿面放電におけ

る背後電極の影響についてパルス電圧を用いて調べてきた。その結果、平板状背後電極の有無、位置や長さが、微小間隙を貫くコロナやフラッシュオーバーに大きく影響することを示している。また、背後電極による電極間での電界分布の変化との関係について議論してきた<sup>(9)-(11)</sup>。

ところで、実際の電力機器では、金属粒子や導体上の突起など複数の局部電界集中源が存在する可能性がある。また、三重点の影響を緩和するため埋め込み電極が採用される場合があるが、その表面に突起等がある場合、点状の背後電極とみなし得る場合も考えられる。

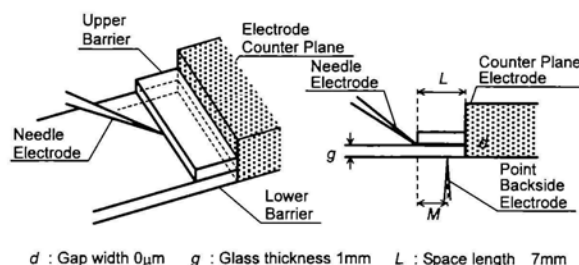
そこで、本研究では、上述の状況を鑑み、従来の平板状背後電極とは異なり、点背後電極を採用し、本電極形におけるパルス電圧印加時のフラッシュオーバー電圧、微小間隙近傍や間隙内でのコロナの挙動等の基礎的な放電特性と点状背後電極位置の影響を明らかにすることを目的として検討を行った。

## 2. 実験方法

本研究で用いた電極構成を図1に示す。厚さ $g=1.0\text{mm}$ 、 $40\times 26\text{mm}^2$ の硼硅酸ガラス(以下、下部バリア)の上に、大きさ $7\times 26\text{mm}^2$ の硼硅酸ガラス(以下、上部バリア)を直接重ねた。このときの間隙幅を $d=0\mu\text{m}$ としているが、バリア表面の凹凸(表面粗さ約 $50\text{nm}$ )のために、放電進展が可能な微小な間隙が存在している。この間隙の一端に、下部バリアの上面と間隙に接するようにアクリル柱で斜めに支持された先端曲率半径約 $35\mu\text{m}$ の針電極を設置した。他方の間隙の端には厚さ $5\text{mm}$ 、大きさ約 $10\times 30\text{mm}^2$ の対向平板電極を設置した。間隙長に相当する針電極先端から対向平板電極までの距離(沿面距離)は $L=7\text{mm}$ 一定である。点背後電極には、針電極と同じ先端曲率半径約 $35\mu\text{m}$ の針を用い、針電極と対向平板電極を最短距離で結ぶ線の下部バリア下方に設置した。針電極の真下の位置を基準として、針電極と点状背後電極間の水平距離を $M$ とした。なお、対向平板電極と背後電極は同電位になるよう接続されている。

電極系を黄銅製容器内に設置、排気後、 $\text{SF}_6$ ガスを封入した。容器付属の端子を介して、針-対向平板電極間に波頭長 $T_f=1.5\mu\text{s}$ の方形波パルス電圧を印加した。負極性パルス電圧発生装置を用いており、対向平板電極を接地し、針電極にパルス電圧を印加した場合を負極性、針電極を接地し対向平板電極に印加した場合を正極性とした。電圧波形は高圧プローブ(HV-P30, DC~50MHz, 岩崎通信機)を、コロナ発光は光電子増倍管(931A, 300~650nm, 浜松ホトニクス)を介してオシロスコープ(DL-1540, 200MS/s, 150MHz, 横河電機)で観測した。電圧波頭部で最初のコロナ発光が観測された瞬間の電圧をコロナ開始電圧、波頭部でフラッシュオーバーが生じた瞬間の電圧をフラッシュオーバー電圧とした。コロナ進展と沿面放電の様子を、高速ゲートイメージインテンシファイア内臓 CCD カメラ(ICCD)(C4362, 浜松ホトニクス)と高速フレーミングカメラ(IMACON468, 385~900nm, HADLAND PHOTONICS)で撮影した。

なお、硼硅酸ガラス(体積抵抗率 $P=10^{12}\Omega\cdot\text{m}$ 、比誘電率 $\epsilon_r=7$ )の電位減衰の時定数 $\tau$ は68秒であるが<sup>(12)</sup>、パルス電圧印加60秒後のガラスの表面電位は検出されなかった。したがって、電圧の印加間隔を60秒以上とすることで電圧の印加時のコロナ等によるバリア上の残留電荷が、次の測定に影響を及ぼさない。一方、電圧波頭部の時間領域( $1.5\mu\text{s}$ )でのバリア表面の電荷減衰は無視でき、コロナによるバリア上の蓄積電荷が、その後のコロナの発生・進展に及ぼす影響は維持されるため、エポキシ樹脂を用いた場合と同等の結果が得られる。



$d$  : Gap width  $0\mu\text{m}$     $g$  : Glass thickness  $1\text{mm}$     $L$  : Space length  $7\text{mm}$

図1 電極構成図  
Fig.1 Electrode configuration

### 3. 実験結果

#### 3・1 フラッシュオーバー電圧およびコロナ開始電圧の点背後電極位置依存性

SF<sub>6</sub>ガス中のフラッシュオーバー電圧  $V_f$  およびコロナ開始電圧  $V_c$  の点背後電極の位置依存性を図2に示す。フラッシュオーバー電圧およびコロナ開始電圧の測定は同一条件で各々10回、5回行い、その平均と最大、最小を図に示した。図中の矢印(↑)は、印加電圧( $V_p=35\text{kV}$ )の波頭部で破壊しなかったことを示し、その上の数字は破壊しなかった回数を示す。なお、放電はすべて間隙内を進展し、針-対向平板電極間の間隙内でフラッシュオーバーが生じていることを確認した。

図2(a)に負極性における結果を示している。ガス圧0.1MPaの場合、点背後電極位置  $M=0\sim3\text{mm}$  の範囲では、フラッシュオーバー電圧は約27kVであるが、 $M=4\text{mm}$ 以上でフラッシュオーバー電圧の上昇が見られ、 $M=6\text{mm}$ では、 $V_p=35\text{kV}$ の印加によっても、10回の測定中の8回、その波頭部でフラッシュオーバーに至らない状態になった。また、0.2MPaにおいては、点背後電極位置  $M=0\sim2\text{mm}$  の範囲では、フラッシュオーバー電圧は約31kVであるが、 $M=3\text{mm}$ でフラッシュオーバー電圧は上昇し、さらに  $M=4\text{mm}$ 以上ではフラッシュオーバーに至らなかった。フラッシュオーバー電圧が上昇し始める背後電極位置は、ガス圧0.1MPaでは  $M=3\text{mm}$ 付近、0.2MPaでは  $M=2\text{mm}$ 付近と異なっているが、いずれのガス圧においても、ある  $M$  値の範囲ではフラッシュオーバー電圧は一定で、その後  $M$  値の増大とともにフラッシュオーバー電圧が上昇するという同様の背後電極位置依存性が得られた。一方、コロナ開始電圧  $V_c$  は、いずれのガス圧においても、明確な背後電極位置  $M$  依存性は認められず、約3kVでほぼ一定であった。

次に、図2(b)に正極性の結果を示しているが、ガス圧0.1MPa、0.2MPaにおいては、 $M=0\sim3\text{mm}$ の範囲ではフラッシュオーバー電圧は一定で、その後  $M$  の増大とともに上昇している。また、0.3MPaにおいても同様の傾向であるが、 $M=3\text{mm}$ 付近からフラッシュオーバー電圧の上昇が認められる。また、コロナ開始電圧は約4kVでほぼ一

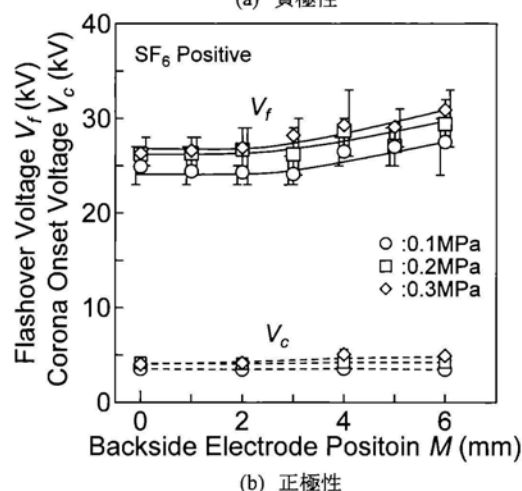
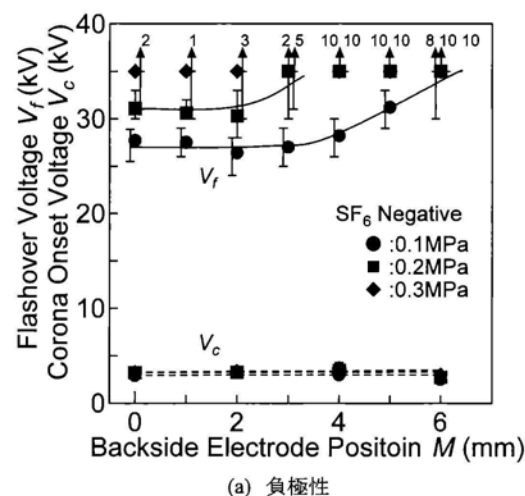


図2 フラッシュオーバー電圧、コロナ開始電圧の背後電極位置依存性  
Fig.2 Backside electrode position dependence of flashover voltage and corona onset voltage

定であった。

以上の結果から、いずれの極性においても、点背後電極位置  $M=0\text{mm}$ から  $M=2\text{mm}$ あるいは  $M=3\text{mm}$ 付近までの範囲では、フラッシュオーバー電圧はほぼ一定の値となるが、その後  $M$  の増大とともにフラッシュオーバー電圧が上昇する結果が得られた。また、0.1MPaの  $M=3\text{mm}$ と  $M=6\text{mm}$ のフラッシュオーバー電圧の差は、負極性で8kV以上、正極性で約3kVの差であることからわかるように、 $M$  の増大によるフラッシュオーバー電圧の上昇は、正極性に比べて、負極性において顕著であった。

ところで、コロナ開始電圧が背後電極位置に依存せずほぼ一定であること、また、点背後電極がない場合に比べてそのフラッシュオーバー電圧が低下していること（背後電極のない場合、負極性では35kV以上、正極性では約29kV）を考

え合わせると、点背後電極がコロナ開始以降の、間隙内沿面コロナの進展に影響を与えていることが考えられる。

### 3・2 超高速度カメラによるコロナの進展挙動の観測

特徴的なフラッシュオーバー電圧の点背後電極位置依存性は、背後電極位置によってコロナの進展挙動に差があるためと考えられる。そこで、フラッシュオーバー電圧に顕著な変化が見られた負極性において、フラッシュオーバーに至るまでの一連の挙動を超高速度カメラにより観測した。

背後電極位置  $M=2, 4, 6\text{mm}$  における、ガス圧  $0.1\text{MPa}$  での間隙内を進展する沿面コロナの進展挙動を斜め上方よりコマ撮り撮影した結果を図3に示した。各図の左には電極配置図を示し、Frame1に配置を白線で示している。また、各Frameの下には、撮影時の時間とそのときの印加電圧を示した。なお、超高速度カメラに内蔵されているインテンシファイアの感度は、光電子増倍管よりも劣るため最初にコロナ発光が確認できる電圧は、コロナ開始電圧よりも高くなる。

まず、図3(a)に示した背後電極位置  $M=2\text{mm}$  の場合、Frame1 ( $-8.8 \sim -13.7\text{kV}$ ) においては、針電極からのコロナは観測されないが、Frame2 ( $-14.0 \sim -18.6\text{kV}$ ) では、針電極先端から発生した

コロナが間隙内を進展し始めている様子が観測された。さらに、Frame3 ( $-18.9 \sim -23.0\text{kV}$ )、Frame4 ( $-23.3 \sim -26.7\text{kV}$ ) と印加電圧の上昇とともに、コロナは間隙内を進展し、Frame5 においてフラッシュオーバーに至っている。一方、 $M=4\text{mm}$  の場合、 $M=2\text{mm}$  の場合と同様、Frame2 ( $-13.1 \sim -17.7\text{kV}$ ) で針電極からのコロナが確認される。しかしながら、Frame3 ( $-18.0 \sim -22.5\text{kV}$ )、Frame4 ( $-22.8 \sim -26.4\text{kV}$ ) では、コロナは間隙入り口の針先近傍に留まっており、間隙内での進展はほとんど認められない。さらに印加電圧が上昇した Frame5 において、コロナは一気に間隙内を進展しフラッシュオーバーに至っている。また、 $M=6\text{mm}$  においては、Frame2 ( $-14.4 \sim -19.9\text{kV}$ ) で、針電極先端からのコロナが認められた後も、コロナは針先近傍に留まったままである。さらに、Frame5 ( $-29.7 \sim -32.2\text{kV}$ ) においても、依然として針先で停滞し、フラッシュオーバーには至らなかった。類似の進展形態は、ガス圧が上昇した場合や正極性においても観測された。

以上の結果から、 $M$  がある値以上では、その値が大きくなるほど、コロナは間隙内に侵入しにくくなるものと考えられる。そのため、フラッシュオーバー電圧の点背後電極位置依存性においては、背後電極位置  $M$  がある値(負極性:  $0.1\text{MPa}$  では  $3\text{mm}$ ,  $0.2\text{MPa}$  では  $M=2\text{mm}$ ) までは、コロナ

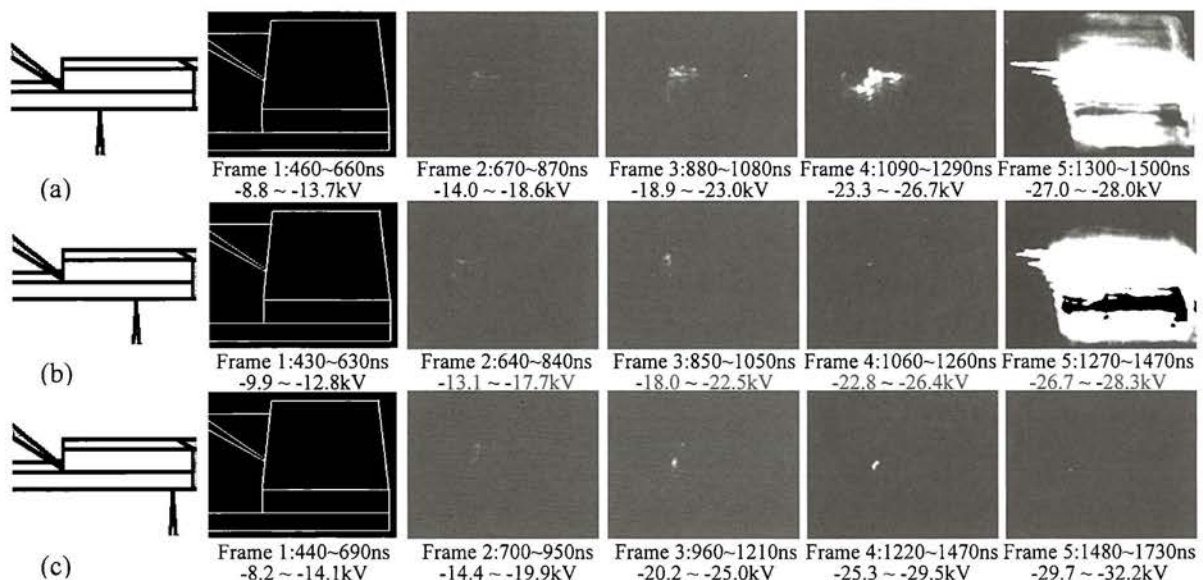


図3 高速度カメラによるコロナの進展像 ( $\text{SF}_6: 0.1\text{MPa}$ )

Fig.3 Corona extension images by high-speed camera ( $\text{SF}_6: 0.1\text{MPa}$ )



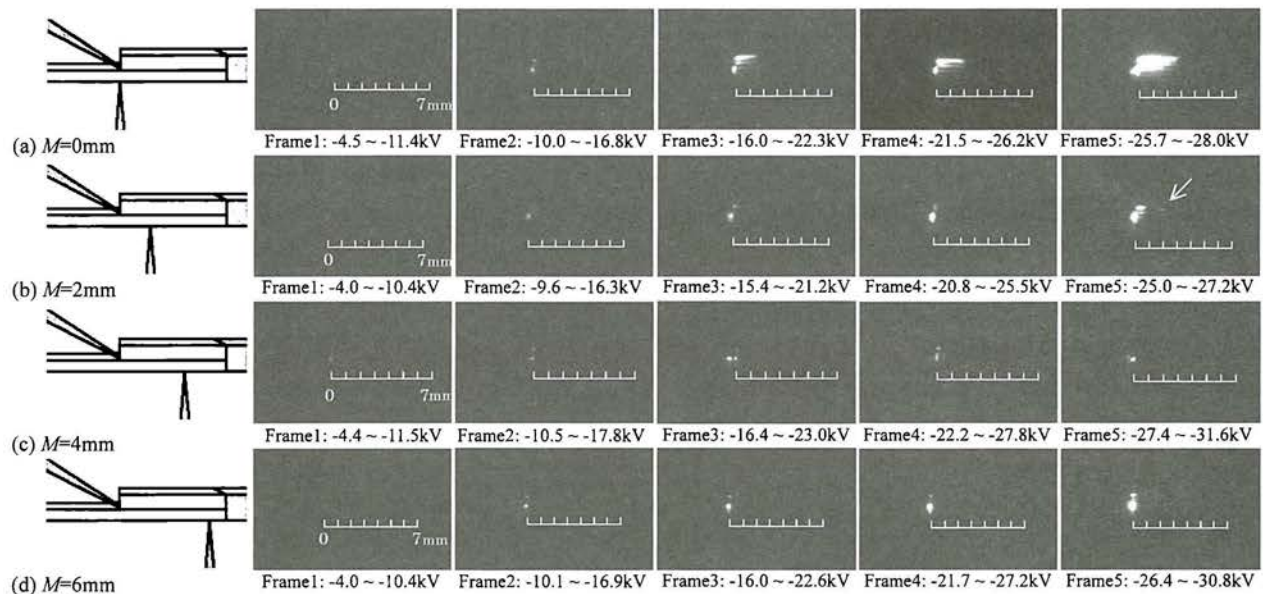


図4 高速ゲートイメージインテンシファイア CCD カメラによるコロナ像 (SF<sub>6</sub>:0.3MPa)

Fig.4 Corona images by CCD camera with high-speed gated image intensifier (SF<sub>6</sub>:0.3MPa)

は間隙内を比較的容易に進展するためにフラッシュオーバー電圧は一定の値になる。また、 $M$  の値がさらに大きくなるとコロナは間隙内に進入しにくくなるため、フラッシュオーバー電圧は上昇したと考えられる。

### 3・3 高速ゲート ICCD カメラによるコロナ像

コロナ挙動をより詳しく観測するため、高感度の高速ゲートイメージインテンシファイア内蔵 CCD カメラ (ICCD) を用いて、ガス圧 0.3MPa、負極性の条件でコロナの挙動を斜め上から撮影した。なお、露光時間は 200ns 一定で、印加電圧波高値  $V_p$  は  $M=0\text{mm}$ ,  $M=2\text{mm}$  では  $V_p=30\text{kV}$ ,  $M=4\text{mm}$ ,  $M=6\text{mm}$  では  $V_p=35\text{kV}$  に設定し、各コロナ像の下に撮影時の印加電圧を示している。また、コロナ進展は駒撮りとなっているがすべて別バッチの放電によるものである。

まず、図4(a)に示している背後電極位置  $M=0\text{mm}$  の場合、Frame1 (-4.5 ~ -11.4kV) で針電極先端からのコロナの発生が見られ、その後 Frame2 から Frame5 で、印加電圧の上昇とともに、針先からのコロナが間隙内を進展していく様子が観測された。 $M=2\text{mm}$  の場合では、Frame1 (-4.0 ~ -10.4kV) において針電極先端近傍でコロナの発生が観測されるが、印加電圧の上昇にともないコロナ発光は強くなるものの、Frame4 (-20.8 ~

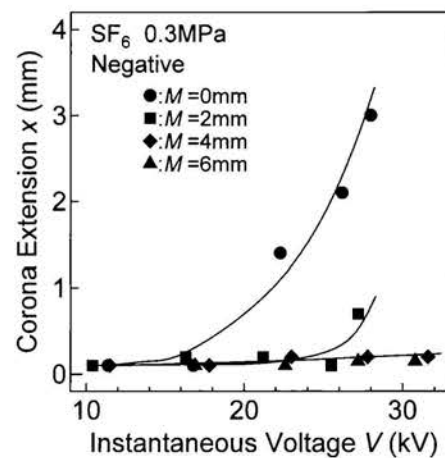


図5 コロナの伸びと印加電圧の関係 (SF<sub>6</sub>:0.3MPa)

Fig.5 Relationship between corona extension and applied voltage (SF<sub>6</sub>:0.3MPa)

-25.5kV) までコロナは間隙入り口付近で停滞し、Frame5 (-25.0 ~ -27.2kV) において間隙内の進展が認められた。また、Frame5 において図中の矢印で示した部分に点背後電極からのコロナと考えられる発光が確認された。一方、 $M=4\text{mm}$ ,  $M=6\text{mm}$  では、Frame1 で針電極先端からのコロナの発生が見られたが、印加電圧の上昇によっても、コロナは間隙内を進展せず、 $M=2\text{mm}$  の場合コロナの進展が認められた Frame5 においても、依然としてコロナは間隙入り口で留まった状態であることが確認された。また、背後電極からのコロナ発光も確認されなかった。

ICCD カメラを用いてコロナの挙動を観測し



た結果をもとに、各背後電極位置  $M$  において、印加電圧に対するコロナの伸び  $x$  を図5にまとめた。ここで横軸の電圧は、それぞれのコロナ像を撮影したときの電圧の最大値である。

図5から背後電極位置  $M$  の小さい方（背後電極が針電極に近い方）が、針先からのコロナはより低い電圧で間隙内に侵入し、伸び始める。この結果は、針電極先端からのコロナの発生には背後電極位置  $M$  の影響はほとんど認められないが、高速度カメラでの観測から、背後電極位置  $M$  が小さいほど、コロナは間隙内に侵入しにくいことを示したが、本観測においてもその考えが支持される。しかし、フラッシュオーバー電圧の背後電極位置依存性において、 $M$  が2~3mmまでは、フラッシュオーバー電圧は、ほぼ一定の値を示している。このことは、針先からのコロナが間隙内に侵入する電圧は、 $M$  が大きくなるほど高くなるが、間隙内でのコロナの進展性が異なると思われる。すなわち、 $M=2\text{mm}$ の方が $M=0\text{mm}$ に比べて、コロナは間隙に入り込みにくい、侵入後は、急激に間隙内を進展し、 $M=0\text{mm}$ とほぼ同等の印加電圧でフラッシュオーバーに至ったと考えられる。

#### 4. 検 討

以上の結果から、コロナの進展とフラッシュオーバー電圧に及ぼす点背後電極の位置の影響について考察する。コロナの進展においては、初期コロナや紫外線によるバリア表面からの光電子などによる間隙入り口近傍の空間電荷やバリア表面に蓄積する電荷の影響を考慮する必要がある<sup>(12)</sup>。点背後電極の位置、極性によらず、上部針電極先端からコロナが発生する。したがって、点背後電極の場合においても、同様にこれらの電荷による上部針電極先端近傍での電界緩和作

用を考える必要がある。

上部針電極先端の電界が大きい方がコロナは間隙内を進展しやすい。上部針電極先端部の電界  $E$  は、次式によって表される<sup>(13)</sup>。

$$E = \frac{2V(\sqrt{L+a}/a\sqrt{L})}{\ln \frac{2L+a+2\sqrt{L(L+a)}}{a}}$$

ここで、 $V$  は印加電圧、 $L$  は電極間距離、 $a$  は針電極の先端曲率半径である。

上式を用いて、印加電圧が同じときの各背後電極位置における上部針電極先端部の電界を見積り、 $M=0, 2, 4, 6\text{mm}$ 各背後電極位置を  $M=0\text{mm}$ のときの電界を基準として、比較してみる。 $M=2\text{mm}$ では $M=0\text{mm}$ のときの約82%、 $M=4\text{mm}$ では72%、 $M=6\text{mm}$ では68%となった。また、間隙が存在する場合、間隙入り口近傍での電界緩和作用が強くなり<sup>(7)</sup>、間隙入り口付近でコロナが停滞するという報告もある<sup>(9)</sup>。これらのことを考え合わせると、電界が小さくなるとコロナは間隙内に侵入・進展しにくくなると考えられる。実際に、ICCD カメラでのコロナ像において、 $M$  の値が大きくなるに従い、コロナは間隙内を進展しにくくなることも一致する。

しかし、実際には  $M$  が2~3mmまではフラッシュオーバー電圧はほぼ一定であり、超高速カメラでも同じようなコロナ進展挙動が観測された。これは、 $M=2\text{mm}$ では電圧が上昇し、コロナが一度間隙に入り込めば、そのコロナは急激に進展するためと考えられる。

ところで、ICCD によるコロナの観測において、図4(b)のFrame5 (-25.0~-27.2kV)に点背後電極からのコロナと考えられる発光が認められた。同じ条件下で下部バリアの斜め下方から撮影したコロナ像を図6に示す。Frame1 (-15.1~-21.0kV)では背後電極からのコロナの発生は認

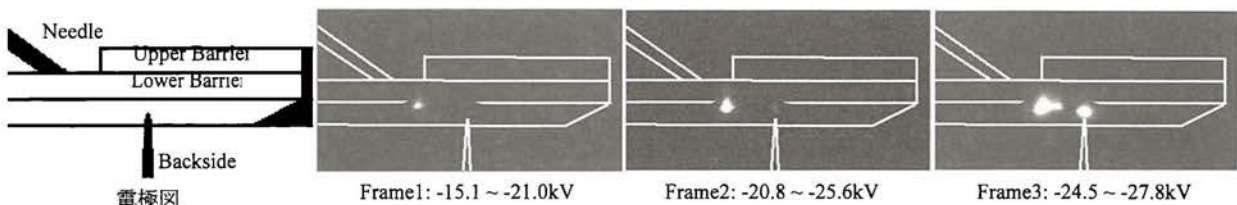


図6 下方からのコロナ像と点背後電極からのコロナ( $\text{SF}_6$ :0.3MPa,  $M=2\text{mm}$ )  
Fig.6 Corona captured diagonally below and corona from point backside electrode ( $\text{SF}_6$ :0.3MPa,  $M=2\text{mm}$ )

められないが, Frame2 (-20.8~-25.6kV)において背後電極からの弱いコロナ発光が観測された。さらに, Frame3 (-24.5~-27.8kV)では, 上部針電極からのコロナの進展と同時に, 背後電極からコロナ発光は強くなり, またその領域も広がっている。このコロナの広がった領域は導電率が高いと考えられる。したがって, 点背後電極から広がったコロナが, 平板状の背後電極の役割を果たすため, 針-背後電極間の距離が縮まる。その結果, 上部針電極からの発生したコロナ先端の電界は発生前より大きくなり, 進展しやすくなり, フラッシュオーバー電圧が低下したと考えられる。

このように, 平板状の背後電極との場合と異なり, 点背後電極はその部分が高電界となるためコロナが発生する。そのコロナの拡がりにより間隙内の電界分布が変化していく。したがって, 平板状背後電極の場合のように, 静的な電界分布のみではその特性を予測できない。今後, 針状背後電極からのコロナについてより詳しい検討をする必要がある。

## 5. まとめ

SF6ガス中において, 針-平板電極間に微小間隙を設置した電極系に $\mu$ sパルス電圧を印加したとき, その内部を貫く沿面放電への点背後電極の影響を調べた結果, 次のようなことがわかった。

- (1) 背後電極位置  $M$ , すなわち上部針-点背後電極の水平距離が, 0.1MPa では0~3mm, 0.2MPa では0~2mmの範囲で, フラッシュオーバー電圧はほぼ一定となった。背後電極位置  $M$  の値をさらに大きくすると, フラッシュオーバー電圧は上昇した。このフラッシュオーバー電圧の背後電極位置依存性は正負両極性ともに現れたが, フラッシュオーバー電圧の上昇は, 正極性よりも負極性で顕著であった。一方, コロナ開始電圧においては, 明確な背後電極位置は現れなかった。
- (2) 超高速カメラおよび高速ゲートイメージインテンシファイア内臓 CCD カメラによ

る間隙内の負極性沿面コロナの進展挙動の観測を行った結果,  $M=0\text{mm}$ ,  $M=2\text{mm}$ の場合, 上部針電極先端から発生したコロナは, 電圧の上昇とともに間隙内を進展し, フラッシュオーバーに至ることわかった。一方,  $M=4\text{mm}$ ,  $M=6\text{mm}$ の場合では, 上部針電極から発生したコロナは, ある程度電圧が上昇するまで間隙入り口近傍で停滞する。その後コロナは間隙内を一気に伸展し, フラッシュオーバーに至る様子が観測された。

- (3) また, 高速ゲートイメージインテンシファイア内臓 CCD カメラによるコロナ挙動の観測において, 背後電極位置  $M=2\text{mm}$ の場合において, 背後電極から発生するコロナが観測され, 印加電圧の上昇とともに, 強くなり, 領域も拡がることが明らかとなった。
- (4) 背後電極位置  $M$  の値が大きくなるに従い, 針電極先端の電界が弱まるため, 針からのコロナは間隙に侵入しにくくなるため, フラッシュオーバー電圧は上昇する。しかしながら, 上部針電極と背後電極の距離が近い場合, 背後電極からもコロナが発生し, コロナの広がった領域が平板状の背後電極と同様の役割を果たし, フラッシュオーバー電圧を低下させる方向に作用する。上記の二つの作用のバランスによって,  $M$  が2~3mm以下の領域ではフラッシュオーバー電圧が一定になったと理解される。



# 参 考 文 献

- (1) 花村：電気学会雑誌, 116 (1996) 654
- (2) 河村：電気学会雑誌, 97 (1977) 349
- (3) 宅間：電気学会論文誌 B, 116 (1996) 1168
- (4) H.Ueno, N.Sakamoto, T.Hoshida, H.Nakayama: IEEE Trans. DEI (2004) in press
- (5) 電気学会技術報告(Ⅱ部)270号
- (6) T.Nitta and Y.Sibuya: IEEE Trans. PAS, 90 (1971) 1065
- (7) 劉, 甲斐, 浅井, 長尾, 小崎：電気学会論文誌 A, 119 (1999) 209
- (8) 大野谷, 山野：電気学会論文誌 A, 121 (2001) 70
- (9) 上野, 増岡, 中山：電気学会論文誌 A, 120 (2000) 25
- (10) 上野, 増岡, 中山：電気学会論文誌 A, 121 (2001) 990
- (11) 西川, 坂本, 上野, 中山：電気学会論文誌 C, 122 (2002) 1494
- (12) 家田, 澤, 篠原：電気学会雑誌, 88 (1968) 1107
- (13) J.H.Mason: Proc.IEE Pt.C, 102, (1955) 254

(2004年6月7日受理)



上 野 秀 樹 (会員)

昭和35年生まれ。昭和63年3月大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年4月住友電気工業(株)入社。平成9年10月姫路工業大学工学部助教授, 平成14年4月同大学大学院助教授, 平成16年4月兵庫県立大学大学院助教授, 現在に至る。主に, 複合絶縁, 沿面放電およびバリア放電の研究に従事。工学博士。



平 田 智 之 (非会員)

昭和55年生まれ。平成15年3月姫路工業大学工学部電気工学科卒業。平成15年4月同大学大学院工学研究科電気系工学専攻博士前期課程入学。



西 川 哲 司 (非会員)

昭和53年生まれ。平成13年3月姫路工業大学工学部電気工学科卒業。平成15年3月同大学大学院工学研究科電気系工学専攻博士前期課程修了。同年4月三菱電機(株)入社。現在に至る。平成14年度電気関係学会関西支部連合大会奨励賞受賞。



中 山 博 史 (会員)

昭和18年生まれ。昭和40年3月姫路工業大学電気工学科卒業。平成3年10月同大学電気工学科教授, 平成14年4月同大学大学院教授, 平成10年から2年間同大学学生部長兼任。平成16年4月兵庫県立大学大学院教授, 現在に至る。主として, 気体および固体絶縁物の絶縁破壊に関する研究に従事。工学博士。