

論 文

負極性パルス電圧波頭における突起付き球-平板電極の N₂ガス中のパルスコロナの挙動

坂本 直規*, 河野 太一*, 西川 哲司*, 上野 秀樹*, 中山 博史*

(2003年2月10日受付, 2003年5月8日受理)

Characteristics of Pulsed Corona for Sphere as Protrusion-to-Plane Electrode
at Wavefront of Negative Pulse Voltage in Nitrogen

Naoki SAKAMOTO*, Taichi KAWANO*, Tetsuji NISHIKAWA*,

Hideki UENO* and Hiroshi NAKAYAMA*

(Received February 10, 2003; Accepted May 8, 2003)

This paper describes the characteristics of the pulsed corona for the sphere as protrusion-to-plane electrode geometry in nitrogen at the wavefront of the negative pulse voltage. The protrusion was used to simulate a metallic particle attached to the surface of high voltage conductors for the power apparatus. The discharge behavior was investigated as a parameter of electrode distance defined by the difference between the bottom of the sphere and the needle tip. An observation using the ultra high-speed camera indicated that the flashover path was influenced by the electrode distance. At the initial stage, the corona generated from the needle tip was developed in the direction of the plane electrode. Then, the flashover occurred between the sphere and the plane when the corona extension was weak. The corona generated from the needle was induced the flashover between the sphere and the plane.

1. はじめに

SF₆ガスはGIS, C-GISを始めとする電力機器の絶縁媒体として、幅広く使用されている。しかし、温室効果の性質を持つために、その排出量の削減が問題となっている。そこで、環境負荷を小さくする目的で、N₂/SF₆混合ガス、高気圧N₂ガスを用いた研究が行われている¹⁾⁻⁵⁾。

一方、SF₆ガスは局部的な電界の増大に対して強い影響を受け、コロナ発生時にはSF₆ガスの絶縁耐力は著しく低下する場合がある。特に、機器の製作時に混入する金属異物は局部電界集中源となり、また完全に除去することが困難なために、コロナ発生の対策は充分ではない。

絶縁耐力向上のために金属異物が絶縁破壊に及ぼす影響について多くの研究が行われており、導体直下に突起物を設けて(球と針の直列配置)絶縁特性を調べたもの⁴⁾、金属異物のコロナ発生時に起こる電磁波(部分放電波形)を調べたもの^{6,7)}、誘電体コーティングが施された高圧導体付近の金属異物からのコロナ特性を調べたもの等がある⁸⁾。また、球-球または針-平板電極系の中心軸上に金属異物を配置した構成⁹⁾、二枚の平板電極による楔形ギャップ中の

金属異物の挙動と破壊特性も詳しく検討されている¹⁰⁾。しかし、これらのは多くは交流または直流電圧印加時について調べられており、雷インパルスのような過電圧がかかる条件でのコロナや破壊特性についてはあまり検討されていない。

本研究では金属異物を針電極で模擬し、異物が高圧導体の側面に付着した場合を想定した複合電極のもとにおいて放電特性を調べた。この複合電極は、球-平板電極系の中心軸から離れた位置に針電極が配置され、針電極が球-平板電極とのギャップに対して並列に配置されている。このような構造を用いたのは、異物から発生したコロナが導体間のラッシュオーバーを引き起こす過程において、導体と異物間の距離に依存するコロナ挙動を把握するためである。特に、近年C-GISでは小型化が進み、容器内に母線や断路器などの機器が密集して配置されており、導体間の距離が比較的短い。そのため、接地側に対して、異物の付着位置によっては高圧導体と並列ギャップとなる可能性がある。

この電極をN₂ガス中に配置し、パルス電圧を印加して波頭部におけるラッシュオーバー電圧特性、針先付近および球-平板間のコロナ挙動について調べた。その結果、負極性において、球下端と針先端間の距離を変化させると針先からのコロナ挙動に変化が見られた。また、球下端と針先端間の距離によって、2通りの経路でラッシュオーバーが観測され、針-平板間でラッシュオーバーに至る場合と、球-

キーワード：金属異物、パルスコロナ、N₂ガス、電子供給*姫路工業大学大学院工学研究科電気系工学専攻
(671-2201 兵庫県姫路市書写 2167)Department of Electrical Engineering and Computer Sciences,
Graduated School of Engineering, Himeji Institute of Technology, 2167 Shosha, Himeji 671-2201, Japan

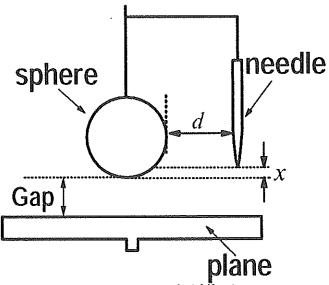


図 1 電極構成
Fig.1 Electrode configuration.

平板間でフランシオーバに至る場合があった。本論文では 2 通りのフランシオーバの原因となる針先付近のコロナ挙動に焦点を当てた。

2. 実験方法

図 1 に本研究で用いた電極構成を示す。球電極の半径は 2.5mm、針電極先端の曲率半径は約 35μm、平板電極の大きさは 35 × 35mm² である。球-平板間のギャップ長を Gap とした。また、平板電極に対して、球下端と針先端との間の垂直方向の距離を x とし、垂直方向に -0.5 ~ 2.0mm まで変化させた。ここで、平板電極から球下端までの距離と平板電極から針先端までの距離が等しいときを $x=0\text{mm}$ とし、針先が球下端よりも上側にあるときを正とした。

一方、ギャップ間のコロナが球と針の 2 つの電極からどのような影響を受けるについて検討するために、球電極と針電極との間の水平方向の距離を d として、放電特性を調べた。これらの電極系を黄銅製容器(約 3 × 10³cm³)内に入れ、N₂ガスを 0.1 ~ 0.3MPa まで封入した。

印加電圧は、波頭長 $T=1.5\mu\text{s}$ 、波高値 $V_p=35\text{kV}$ の負極性方形波パルス電圧である。フランシオーバ電圧はパルスの波頭部でフランシオーバさせたときの瞬時値である。電圧波形は高電圧プローブ(HV-P30、岩崎通信機(株))を介してオシロスコープ(DL1540、横河電機(株))で測定した。コロナ開始電圧は光電子増倍管(931A、浜松ホトニクス(株))を介して、前述のオシロスコープで測定した。また、放電の進展過程の観測はイメージインテンシファイア(XX1500、PHILIPS, Ltd.)を取り付けたカメラ、および高速デジタルカメラ(IMACON468、HADLAND PHOTONICS, Ltd.)を用いた。

3. 実験結果

3.1 針先の位置によるフランシオーバ電圧の変化

$d=0\text{mm}$ におけるフランシオーバ電圧と垂直方向の球下端と針先端との間の距離(x)との関係を図 2 に示す。針-平板間で放電したときの電圧と球-平板間で放電したときの電圧をそれぞれ黒印、白印で表す。それぞれの x において、20 回の測定を行った。 $x=0\text{~}1.0\text{mm}$ の領域では、針-平板

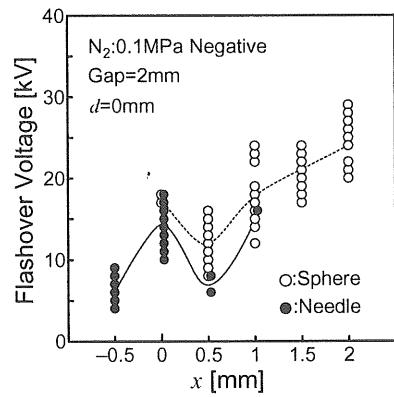


図 2 フラッシュオーバ電圧-x 特性
Fig.2 Dependence of x , which is a distance across the vertical between a sphere and a needle-tip, on the flashover voltage.

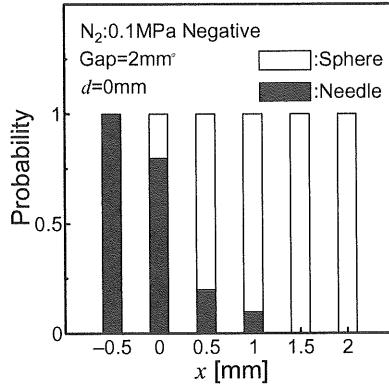


図 3 放電確率-x 特性
Fig.3 Dependence of x on the discharge probability.

間と球-平板間の 2 通りの放電経路が観測されたために、2 種類の近似線を描いている。

針-平板間での放電では、 $x=-0.5\text{~}0\text{mm}$ の範囲ではフランシオーバ電圧が上昇したが、 $x=0\text{~}0.5\text{mm}$ にかけて約 15kV から約 8kV まで低下した。球-平板間での放電を見ると、 $x=0\text{~}0.5\text{mm}$ の範囲ではフランシオーバ電圧が約 18kV から約 12kV まで低下した。 $x \geq 1.5\text{mm}$ の範囲では x の増加、すなわち針先が平板から離れていくとフランシオーバ電圧は上昇した。

図 3 に球-平板間、針-平板間それぞれの放電経路の割合(放電確率)と x との関係を示す。この放電確率は 20 回の測定中に得られた球-平板間のフランシオーバ回数と、針-平板間のフランシオーバ回数との割合をまとめたものである。針先が球下端よりも下側にある $x=-0.5\text{mm}$ のときでは、すべて針-平板間においてフランシオーバが観測された。フランシオーバ電圧の低下が見られた $x=0\text{~}1.0\text{mm}$ の範囲では針-平板間と球-平板間の 2 通りのフランシオーバが生じており、この範囲での針-平板間での放電確率は x の増加に伴い、0.75 から 0.1 まで低下した。 $x \geq 1.5\text{mm}$ の範囲では、すべて球-平板間でフランシオーバが生じた。これより、 $x=0\text{~}1.0\text{mm}$ の範囲では針-平板間から球-平

板間のフラッシュオーバに転移することが分かる。

これらの結果より、針一平板間の距離の増大によって、針一平板間から球一平板間でのフラッシュオーバへの転移を引き起こしていることが考えられる。しかし、 $x=0\sim1.0\text{mm}$ の領域では、フラッシュオーバ電圧の低下が見られることに加え、 $x=0.5\text{mm}$ および 1.0mm のときでは、一般に最も電界が集中し、コロナが発生しやすいと思われる針一平板間での放電確率が少ない。そこで、 $d=0\text{mm}$ の条件において放電経路が転移する領域に焦点を当て、球一平板間でフラッシュオーバが生じる原因について検討を行った。

3.2 コロナ開始電圧

図4に $d=0\text{mm}$ におけるコロナ開始電圧と x との関係を示す。フラッシュオーバ電圧が低下した $x=0\sim1.0\text{mm}$ の領域では、コロナ開始電圧の低下は観測されていない。この領域でのコロナ開始電圧は $3.0\sim3.5\text{kV}$ 程度である。 $x=1.0\text{mm}$ よりも大きくなると、コロナ開始電圧は大きく上昇した。例えば、 $x=0.5\text{mm}$ の針先端の位置に相当する針電極に何も接触させていない針一平板構成(電極間距離 2.5mm)でのコロナ開始電圧(平均値約 2.5kV)と比較すると、本電極構成でのコロナ開始電圧の方が約 $0.5\sim1.0\text{kV}$ 高い結果が得られた。

3.3 ガス圧による放電特性の変化

ガス圧の増加による放電特性の変化を見るために、ガス圧を 0.3MPa に増加させたときの放電特性について調べた。図5にガス圧 0.3MPa 、 $d=0\text{mm}$ におけるフラッシュオーバ電圧 $-x$ 特性を示す。また、フラッシュオーバの転移が起こる $x=0\sim1.0\text{mm}$ での放電確率について図内の表にまとめている。 $x=-0.5\sim0.5\text{mm}$ の範囲では、針一平板間でのフラッシュオーバ電圧はほぼ 12kV 一定であり、フラットな特性を示した。 $x=0.5\sim1.0\text{mm}$ の範囲では、フラッシュオーバ電圧は上昇に転じた。一方、球一平板間でのフラッシュオーバについては、 x の増加とともにフラッシュオーバ電圧は上昇した。 $x=0\text{mm}$ では球一平板間フラッシュオーバは観測されず、 $x\geq0.5\text{mm}$ において観測された。また、 $x=0.5\text{mm}$ でのフラッシュオーバ電圧は約 15kV であった。

$x=0\sim1.0\text{mm}$ の領域における放電確率を測定した結果、 0.1MPa の場合と同様に x の増加とともに針一平板間の確率が減少した。つまり、ガス圧に関係なく、放電確率の変化は同様の傾向を示した。針一平板間の確率は $x=0.5\text{mm}$ および 1.0mm において、それぞれ 0.9 、 0.6 であった。

3.4 放電挙動の光学的観測

針先から発生したコロナの挙動がフラッシュオーバの起こる経路に影響していることが考えられるため、コロナ発生からフラッシュオーバまでの放電挙動について、数十 ns に時間分割して観測を行った。

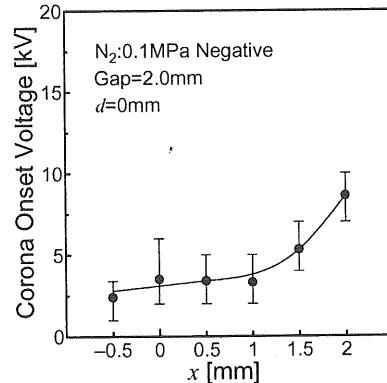


図4 コロナ開始電圧 $-x$ 特性
Fig.4 Dependence of x on the corona onset voltage.

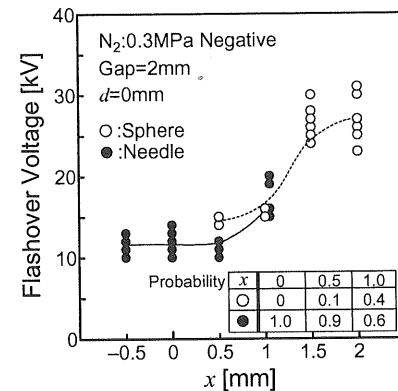


図5 ガス圧 0.3MPa での放電特性
Fig.5 Discharge characteristics at 0.3MPa .

図6はガス圧 0.1MPa 、 $d=0\text{mm}$ 、 $x=0.5\text{mm}$ のときの放電挙動である。露光時間とインタフレーム時間をそれぞれ 30ns に設定してある。また、コロナ挙動を詳しく観測するために、Gap の大きさを 3.5mm に設定した。前述の図2および図3でのGapの大きさとは異なるが、Gap= 2.0mm と同様の放電確率が得られることを確認している。図6(a)は放電確率が小さい(確率 0.2)針一平板間でのフラッシュオーバ過程であり、図6(b)は放電確率が大きい(確率 0.8)球一平板間でのフラッシュオーバ過程である。針一平板間でフラッシュオーバが起こる場合(図6(a))、frame(2)のように針先からコロナが発生・成長してフラッシュオーバに至る(frame(3))。この際、球一平板間ではコロナの発光は観測されていない。

球一平板間でフラッシュオーバが生じる場合(図6(b))においても、最初に電界が集中する針先からコロナが発生する(frame(2))。この時点で、コロナの先端は平板電極の表面まで達している。frame(3)では針一平板間のコロナは成長して発光が強くなるが、図6(a)・frame(2)の針一平板間のコロナよりも発光は暗く、フラッシュオーバするほど成長はない。その後、球一平板間のコロナ発光の方が強くなり、frame(4)のように球一平板間でフラッシュオーバする。

次に、ガス圧 0.3MPa 、 $d=0\text{mm}$ 、 $x=0.5\text{mm}$ における球

ー平板間での放電挙動を図7に示す。露光時間は30ns、インターフレーム時間は50nsである。この場合においても最初に針先からコロナが発生し、平板電極面までコロナは進展する(frame(2))。frame(3)では、針ー平板間のコロナはさらに成長して発光は強くなると同時に、球ー平板間で微かなコロナ発光(球ー平板間の白い発光点)が観測されている。その後、frame(4)のように球ー平板間でフラッシュオーバーが起こる。

ガス圧0.1MPaおよび0.3MPaの両条件とともに、コロナは最初に針先から発生し、平板電極方向にある程度成長したときに球ー平板間で電離による発光が観測されている。これより針先からのコロナ進展が、球ー平板間の空間に電子を供給し、供給された電子が新たに電離を引き起こして球ー平板間のフラッシュオーバーに至ることが推測される。

3.5 針先からのコロナによる球ー平板間の空間への影響

針先からのコロナが球ー平板間の空間への電子供給源となることを調べるために、針先からのコロナの拡がりに注目した。

$x=0.5\text{mm}$ におけるフラッシュオーバー電圧と球ー針間の水平方向の距離(d)との関係を図8に示す。 $d=0\sim4\text{mm}$ においては、球ー平板間のフラッシュオーバー電圧はほぼ13kV一定である。また、 $d=5\text{mm}$ では球ー平板間ではフラッシュオーバーが観測されない。一方、針ー平板間のフラッシュオーバー電圧は $d=0\sim2\text{mm}$ の範囲で約7kVから9kV程度まで僅かに増加し、 $d=5\text{mm}$ では針ー平板間のみでフラッシュオーバーが見られた。また、 $d=0\sim3\text{mm}$ の領域では針ー平板間のフラッシュオーバーは少なく、そのときの放電確率は0.1~0.2である

った。 $d \geq 4\text{mm}$ では針ー平板間での放電確率が増加した。

$d=5\text{mm}$ では針ー平板間でのみフラッシュオーバーが観測されたが、このときのフラッシュオーバー電圧は針ー平板電極(電極間距離:2.5mm)での実測値とほぼ同等であった。また、針電極のない球ー平板構成(電極間距離:2.0mm)において、実測したフラッシュオーバー電圧のばらつきは約12~24kVであった。 $d=0\sim3\text{mm}$ の領域のフラッシュオーバー電圧と比較すれば、本電極でのフラッシュオーバー電圧の方が約4~5kV低い。これより $d=3\text{mm}$ までの範囲では、針先から発生したコロナが球ー平板間の空間に影響を及ぼし、球ー平板間でのフラッシュオーバー電圧の低下と球ー平板間でのフラッシュオーバーの回数を増加させていることが推測される。

そこで、針先から発生したコロナの球ー平板間の空間への影響を見るために、コロナの影響が最も強い条件である $d=0\text{mm}$ において、高速度カメラよりも高感度のイメージインテンシファイアを取り付けたカメラを用いてコロナ像の撮影を行った。なお、ここで印加電圧波高値 V_p はフラッシュオーバー電圧の測定よりも低く設定されている。

図9に $x=0.5\text{mm}$ におけるコロナの静止写真を示す。 $V_p=-6\text{kV}$ で針先からコロナ発光が観測された。その後、 $V_p=-8\text{kV}$ で発光が強くなり、 $V_p=-10\text{kV}$ ではコロナは球ー平板間に近づくように大きく成長した。また、球電極表面の斜め下部の発光は、針先からのコロナ発光による反射である。針先から発生したコロナによって球下方にも電離を引き起こし、 $d=0\sim3\text{mm}$ の領域では球ー平板間でのフラッシュオーバーが生じやすいものと考えられる。

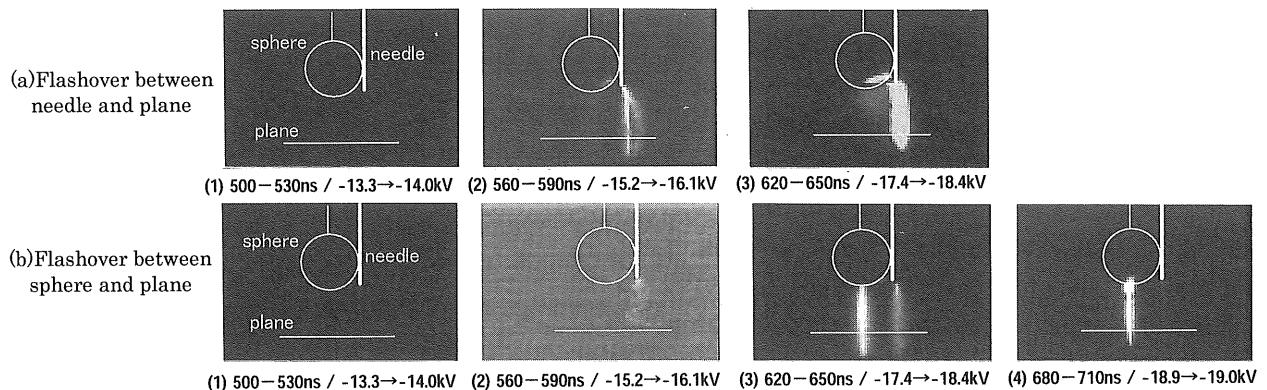


図6 $d=0\text{mm}$, $x=0.5\text{mm}$ における放電挙動 (0.1 MPa)
Fig.6 Discharge behavior at $d=0\text{mm}$ and $x=0.5\text{mm}$. (0.1 MPa)

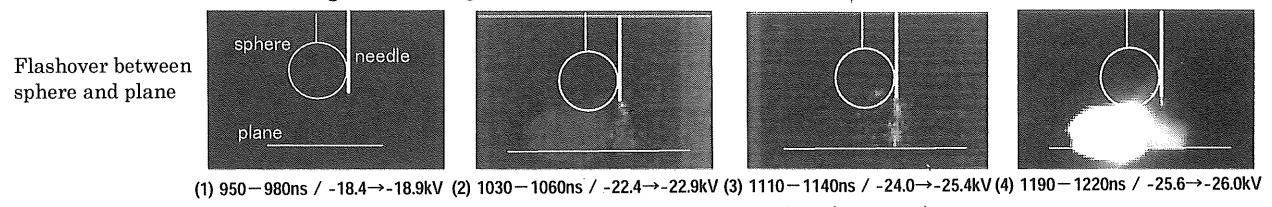


図7 $d=0\text{mm}$, $x=0.5\text{mm}$ における放電挙動 (0.3 MPa)
Fig. 7 Discharge behavior at $d=0\text{mm}$ and $x=0.5\text{mm}$. (0.3 MPa)

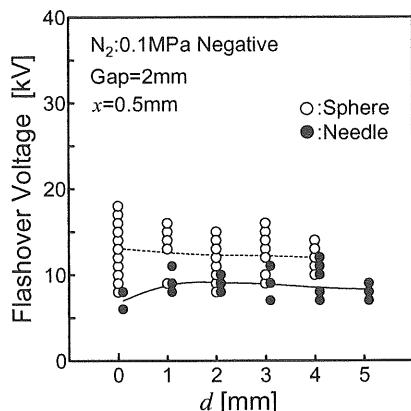
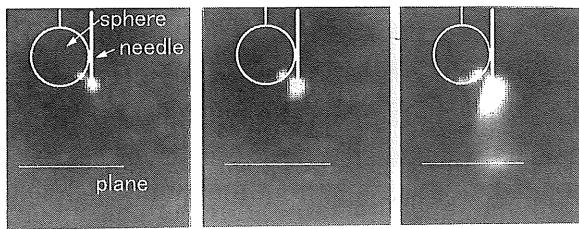


図8 水平方向の球ー針電極間距離(d)による放電特性
Fig.8 Discharge characteristics on d , which is horizontal distance of the needle from the center axis of the sphere-to-plane electrode.



(a) $V_p = -6\text{kV}$ (b) $V_p = -8\text{kV}$ (c) $V_p = -10\text{kV}$
図9 針先付近のコロナの静止写真($d=0\text{mm}$, $x=0.5\text{mm}$)

Fig.9 Corona images near the needle-tip at $d=0\text{mm}$ and $x=0.5\text{mm}$.

4. 考 察

以上の観測結果から、 N_2 ガス中において負極性パルス電圧印加時の突起付き球ー平板間で生じるフランシオーバについて議論する。

ガス圧 0.1MPa において、 $x=0\text{mm} \sim 1.0\text{mm}$ の範囲では2通りの経路でフランシオーバすることが観測された。即ち、球ー平板間でフランシオーバする場合と針ー平板間でフランシオーバする場合があった。パルス電圧を印加すると、最も電界が集中する針先からコロナが発生する。その後、印加電圧の上昇に伴ってコロナは進展・成長し、針ー平板間でフランシオーバに至る。しかしながら、 $x=0.5\text{mm}$ のときでは最初に針先からコロナが発生・進展するにも関わらず、針ー平板間よりも球ー平板間でフランシオーバする確率が多い結果が得られた。そこで、球ー平板間でフランシオーバに至る現象について考察する。

針先に注目すると、針ー平板間の空間は不平等な電界分布であるために、針先から平板方向にかけて急激に電界は弱まる。静電界分布を回転双極面で近似計算すれば¹¹⁾、コロナ開始電圧の平均値である $V_p = -3.5\text{kV}$ 印加時でのガス圧 0.1MPa の電離空間は、針先から 0.2mm までの領域である。また、 $V_p = -3.5\text{kV}$ 印加時での球ー平板間($\text{Gap}=2.0\text{mm}$)にかかる電界の大きさでも電離は起こらな

い。そのため、コロナ開始電圧付近の印加電圧では、針先からコロナは進展しにくい。

印加パルス電圧が上昇すると、 $\text{Gap}=3.5\text{mm}$ の条件では図6(b)・frame(2)のように、コロナは平板方向に向かって成長し、平板電極面付近まで進展する。しかし、コロナの発生・進展と同時に空間電荷も発生するためにコロナ先端の電界は弱められる。現時点では、急峻なパルス電圧(過電圧)の印加に対して、空間電荷によるコロナの抑制効果がどの程度作用するのかについては明確ではない。しかし、図6(a)・frame(2)での針ー平板間でのコロナ発光よりも図6(b)・frame(3)での針ー平板間でのコロナ発光が弱いことから、過電圧の印加によるコロナの進展よりも空間電荷の抑制効果の方が強く働く場合もあり得ることを示唆している。そのため、コロナは平板面まで到達しても充分に導電性が大きくならずに、すぐには針ー平板間でフランシオーバに至らなかったものと考えられる。

次に、針先からのコロナの球ー平板間への拡がりに注目する。コロナの進展は平板方向だけではなく、図6(b)・frame(2)および図7・frame(2)で見られるように、針先から円錐状にコロナが拡がる。つまり、針先から斜め下方にもコロナは進展する。また、球電極の体積(半径 2.5mm)は針電極の体積(曲率半径 $35\mu\text{m}$)よりも大きいことから、電子が加速される空間は球ー平板間の方が大きい。そのため、針先からのコロナ進展に伴って、球ー平板間の空間にも電子が供給された結果、図9(c)のようにコロナは球ー平板間の空間に近づくような形態をとったものと考えられる。

図7・frame(3)の球ー平板間において、微かなコロナ発光が観測されている。この発光は針先からのコロナによって供給された電子によって、電離時に生じた発光であると考えられる。図7の条件ではガス圧が 0.3MPa であるが、ガス圧 0.1MPa の条件でも同様に、針先からのコロナが球下方にも拡がって球ー平板間に電子が供給される。その後、球ー平板間の電界によって電子が加速され、電離が生じるものと推察される。

次に、ガス圧 0.1MPa , $d=0\text{mm}$, $x=0\sim 1.0\text{mm}$ の領域でのフランシオーバ電圧の低下について述べる。ガス圧 0.3MPa で観測されたように、針先のコロナから球ー平板間に電子が供給されることに関係しているものと思われる。 0.1MPa の条件では 0.3MPa のときよりもガス圧が低いため、針先からのコロナは 0.3MPa の場合よりも進展が容易である。また、ガス圧 0.1MPa , $x=0.5\text{mm}$ における球ー平板間でのフランシオーバ電圧は $8\sim 18\text{kV}$ (平均 11.5kV) であり、針の存在しない球ー平板間 ($\text{Gap}=2.0\text{mm}$) の値が $12\sim 24\text{kV}$ (平均 19.5kV) であるのに比べて低い。これらのことを考慮すれば、 $x=0\sim 1.0\text{mm}$ の領域では針先のコ

コロナから球-平板間の空間に電子が供給され、 x の増加とともにフラッシュオーバ電圧が低下したものと考えられる。また、 $x > 1.0\text{mm}$ の領域では、 $x = 0 \sim 1.0\text{mm}$ の条件よりも針先は球下端および平板面から上方に存在する。 $x > 1.0\text{mm}$ では球-平板間のみでフラッシュオーバすることに加え、特に $x = 1.5\text{mm}$ では針なしの球-平板間でのフラッシュオーバ電圧値に近いことから、針電極の影響が小さいものと思われる。そのために、 $x > 1.0\text{mm}$ ではフラッシュオーバ電圧は上昇する。

一方で、コロナによる電子供給とともに、コロナの発生・進展時に発生する紫外線による光電離の作用も考慮しなければならない。図8で示したように、球電極と針電極間の水平方向の距離 d が 4mm 以上の場合は、針-平板間の放電確率が増加している。また、 $d = 5\text{mm}$ では針-平板間でのフラッシュオーバのみが観測されている。このときのフラッシュオーバ電圧値は、針-平板構成でのフラッシュオーバ電圧とほぼ同様である。この結果より、 $d \geq 4\text{mm}$ では光電離の作用は小さいものと言える。光電離はコロナの進展とともに同時に起こり、飛火作用としてコロナ先端よりも前方の空間で生じる¹²⁾。そのため、コロナの拡がりと紫外線のエネルギーの関係について、今後さらに検討が必要となる。

5. 結 論

N₂ガス中において、金属異物を模擬した針電極を球電極に接触させた突起付き球-平板電極構成に負極性パルス電圧波頭部での特性を調べた結果、以下のことが分かった。

- (1)ガス圧 0.1MPa , $d=0\text{mm}$ の条件において垂直方向に球下端と針先端との間の距離 x を変化させたところ、 $x=0 \sim 0.5\text{mm}$ の範囲ではフラッシュオーバ電圧の低下が観測された。また、 $x=0.5 \sim 2.0\text{mm}$ の範囲ではフラッシュオーバ電圧は上昇した。
- (2)ガス圧 0.1MPa , $d=0\text{mm}$, $x=0 \sim 1.0\text{mm}$ のときでは、針-平板間だけではなく、球-平板間でもフラッシュオーバする場合がある。 $x=0\text{mm} \sim 1.0\text{mm}$ の範囲では、針-平板間の放電確率は $0.75 \sim 0.1$ に低下する。 $x=1.5\text{mm}$ および 2.0mm では、球-平板間のみで放電する。
- (4) $d=0\text{mm}$ のとき、ガス圧 0.3MPa においても、ガス圧 0.1MPa と同様に針-平板間と球-平板間の2通りの経路でフラッシュオーバする。 0.1MPa のときと同様に、 $x=0\text{mm} \sim 1.0\text{mm}$ にかけての針-平板間から球-平板間でのフラッシュオーバの経路が転移する。
- (5) $d=0\text{mm}$ の場合、ガス圧 0.1MPa および 0.3MPa , $x=0.5\text{mm}$ において、球-平板間でのフラッシュオーバの場合、最初にコロナは針先から発生し、平板電極まで進展

する。その後、球-平板間のコロナが発生・成長してフラッシュオーバに至る。特に、 0.3MPa では針先からコロナの進展後、球-平板間に電離によるものと思われる発光が観測された。

- (6)球電極と針電極間の水平距離 d によるフラッシュオーバ電圧と放電確率の変化を調べたところ、 $d \leq 4\text{mm}$ の範囲まで球-平板間でのフラッシュオーバが観測された。特に、 $d \leq 3\text{mm}$ では球-平板間の放電確率は小さく、このときのフラッシュオーバ電圧のばらつきは、球-平板構成でのばらつきよりも小さい。 $d = 5\text{mm}$ では、針-平板間でのみフラッシュオーバが観測され、針-平板構成でのフラッシュオーバ電圧値と同様である。

参考文献

- 1) L.G.Christphorou and L.A.Pinnaduwage : IEEE Trans., DEI-2 (1995) 952
- 2) H. Ueno, N. Sakamoto and H. Nakayama : IEEE Trans., DEI-8 (2001) 195
- 3) 坂本直規,国中嘉人,上野秀樹,中山博史 : 電学論, 122-A (2002) 849
- 4) 五島久司,新開裕行,八島政史 : 電学論, 121-B (2001) 467
- 5) 宅間董 : 電学誌, 119 (2000) 952
- 6) C. M. Cooke, R. E. Wootton and A. H. Cookson : IEEE. Trans., PAS-96 (1977) 768
- 7) W. Ziomek and E. Kuffel : IEEE Trans., DEI-4 (1997) 39
- 8) 釜谷文博,渡部克典,小野田光宣,中山博史 : 電学論, 117-A (1997) 431
- 9) M.Kubuki, R.Yoshimoto, K.Yoshizumi, S.Tsuru and M.Hara : IEEE Trans., DEI-4 (1997) 92
- 10) K.Sakai, S.Tsuru, D.L.Abelia and M.Hara : IEEE Trans., DEI-6 (1999) 122
- 11) J. H. Mason : Proc. Instn. Elect. Engrs, 102, Pt.I, (1955) 254
- 12) 電気学会 : 「改訂新版 放電ハンドブック」, p.87, オーム社 (1975)