

姫路工業大学大学院工学研究科

研 究 報 告

REPORTS OF GRADUATE SCHOOL
OF ENGINEERING,
HIMEJI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No. 56 (2003)

姫 路 工 業 大 学

姫路工業大学大学院工学研究科研究報告 No. 56

平成 16 年 1 月 23 日 印刷
平成 16 年 1 月 30 日 発行

編集者 姫路工業大学大学院工学研究科
発行者 姫 路 工 業 大 学
〒671-2201 姫 路 市 書 写 2167
電 話 (0792) 6 6 - 1 6 6 1

印刷所 高橋総合印刷株式会社
姫路市福沢町 3 6 番地
電話(0792)92-1100代

目 次

N ₂ ガス中 μ s パルス電圧下における複合電極の放電特性	西 川 寛 之 上 野 秀 樹 1 中 山 博 史
バリア表面上の窪みが放電特性に及ぼす影響	加 古 直 之 上 野 秀 樹 8 中 山 博 史
沿面放電に及ぼす背後電極の影響	松 井 良 介 上 野 秀 樹 14 中 山 博 史
2 針－平板電極におけるバリア放電特性に 針先端の間隔が及ぼす影響	畑 孝 司 上 野 秀 樹 20 中 山 博 史
アプリケーション連携プロトコルの実装	坂 口 智 哉 坂 上 仁 志 27 新 居 学 高 橋 豊
OpenMP ベンチマークプログラムの HPF 化と 性能評価に関する研究	森 井 宏 幸 坂 上 仁 志 43 新 居 学 高 橋 豊

CONTENTS

Hiroyuki NISHIKAWA, Hideki UENO, Hiroshi NAKAYAMA Discharge Characteristics of Composite Electrode on μ s Pulse Voltage in N_2 Gas	1
Naoyuki KAKO, Hideki UENO, and Hiroshi NAKAYAMA Influence of Pit on Barrier Surface on Discharge Characteristic	8
Ryosuke MATSUI, Hideki UENO, Hiroshi NAKAYAMA Influence of Backside Electrode on Creeping Discharge	14
Koji HATA, Hideki UENO, Hiroshi NAKAYAMA Effect of Distance of Needle Tips upon Barrier Discharge Characteristics for Twin Needles-Plane Electrode	20
Tomoya SAKAGUCHI, Hitoshi SAKAGAMI, Manabu NII and Yutaka TAKAHASHI Implementation of Application Collaboration Protocol	27
Hiroyuki MORII, Hitoshi SAKAGAMI, Manabu NII and Yutaka TAKAHASHI Rewriting OpenMP Benchmark Programs With HPF and Evaluating Their Parallel Performances	43

N₂ ガス中 μ s パルス電圧下における複合電極の放電特性

西川 寛之・上野 秀樹・中山 博史

(電気系工学専攻)

Discharge Characteristics of Composite Electrode on μ s Pulse Voltage in N₂ Gas

Hiroyuki NISHIKAWA, Hideki UENO, Hiroshi NAKAYAMA

(Department of Electrical Engineering and Computer Sciences)

Abstract

This paper describes the discharge characteristics of a composite electrode at wave front under μ s pulse voltage application in N₂ gas. The composite electrode was consisted of a sphere with a borosilicate glass on a sphere-plane configuration. In the positive polarity, the flashover voltage increased with the gap length increasing up to $g=3$ mm, and decreased at $g=4$ mm, and then rose again at $g=5$ mm. On the other hand, in the negative polarity, the flashover voltage increased up to $g=3$ mm with increasing gap length, saturated at $g=4$ mm, and increased after that. And we observed the discharge behavior using an ultrahigh-speed camera and an CCD camera. In the negative polarity, the progresses of the coronas were different between $g=3$ mm and $g=4$ mm.

Key words : composite electrode, triple junction, N₂ gas

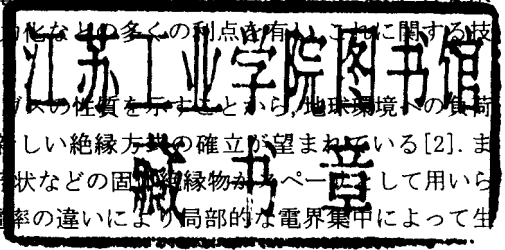
1. はじめに

今日、発電所の大容量化は年と共に進み、機器性能の向上と長期にわたる信頼性の維持は電力供給の確保に直結し、近代社会では不可欠の条件となってきた。したがって、そのための電気絶縁が重要な問題となっている。この要求のもとでガス絶縁開閉装置(GIS)は小型・軽量、高信頼性、保守点検の省力化など多くの利点を有し、これに関する技術は国内外においてめざましい発展を遂げている[1]。

GISの絶縁媒体にはSF₆ガスが用いられているが、SF₆ガスは温室効果ガスの性質を示すことから、地球環境への負荷を軽減する目的で、排出を削減するとともに、SF₆ガス単独に代わる新しい絶縁方式の確立が望まれている[2]。また、GIS内部はガス中の高圧導体とそれを支持するために、円錐形や柱形状などの固体絶縁物が用いられており、複合絶縁構成となっている[3]。複合絶縁では、絶縁物どうしの誘電率の違いにより局所的な電界集中によって生じたコロナが機器の絶縁性能に影響を及ぼすことがある。

複合絶縁構成の金属導体と絶縁物との接触点(三重点)で局所的な電界集中が生じ、それにより発生する沿面放電が機器の絶縁に重大な影響を及ぼす。このような接触部の電界集中を避ける方法として、埋め込み電極や逆に電極を凹形状にして接触部の電界を弱めるものが提案されているが、機器の絶縁設計における三重点のコロナ放電特性の十分な把握および複合絶縁に関する三重点の電界集中と沿面放電との関係については未だ不明な点が多い。また、複合絶縁に関する研究の多くがSF₆ガスを絶縁ガスとして用いているが、N₂ガスを用いた研究は少ない[4-6]。我々の研究室においても電力機器における絶縁性能向上を目的とし、不平等電界下、微小ギャップでの絶縁特性、および三重点と金属異物の共存を針電極に固体絶縁物を接触させた複合電極で模擬したパルス放電特性を調べてきた。その結果、微小ギャップを有し、針と誘電体を接触した複合電極において印加電圧の極性によりコロナの発生・進展が異なることがわかった[7][8]。しかし、GISの高圧導体とそれを支持するためのスペーサの接触部(三重点)を模擬した場合のパルス放電特性は明らかになっていない。そこで、本研究では複合絶縁の三重点に焦点を当て、コロナの進展挙動がパルス放電特性に及ぼす影響を調べた。

すなわち、GIS内部の三重点から生じるコロナの進展挙動を調べることを目的とし、GISの内部構造を模擬するために高圧側導体に球、絶縁物に硼硅酸ガラスを接触させ三重点を構成し、複合電極とした。この電極系をN₂ガス中に設置し、 μ s方形波パルス電圧を印加し、そのときのフラッシュオーバー電圧特性やコロナの様子を調べた。



2. 実験方法

Fig. 1 に電極構成図を示す。球電極に半径約 2mm のスチールボールを、平板電極には黄銅製平板 ($30 \times 30 \text{mm}^2$) を用いた。球電極には幅 15mm、厚さ 1mm の硼硅酸ガラス (体積抵抗率 $\rho = 1.1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$, 比誘電率 $\epsilon_r = 7.0$) を接触させ、硼硅酸ガラスを平板電極に対して垂直に設置し、複合電極を構成した。そして、球先端から平板電極までの距離をギャップ長 g とし、1~5mm の範囲で変化させた。また、本実験は三重点からのコロナの進展挙動を調べることを主に焦点を当てており、沿面距離が短い条件においてもコロナの発生源となる三重点において相違はないと考えた。Fig. 2 に実験回路図を示す。電極を黄銅製容器 (約 $3 \times 10^3 \text{cm}^3$) 内に設置し、 N_2 ガスを 0.3MPa まで封入した。印加電圧には μs 方形波パルス電圧 (波頭長 $1.5 \mu\text{s}$, 波高値 35kV) を使用した。フラッシュオーバ電圧はすべて波頭部で破壊させたときの瞬時値であり、測定は同一条件で 20 回行った。電圧波形は高電圧プローブ (HV-P30, 岩崎通信機 (株)) を介してデジタルオシロスコープ (DL1540, 横河電機 (株)) で測定した。また、放電の進展過程を CCD カメラ (C4346, 浜松ホトニクス (株)) と高速度カメラ (IMACON468, HADLAND PHOTONICS, LTD.) を用いて観測した。ここで、真空の誘電率を ϵ_0 , 絶縁体の比誘電率を ϵ_r , 絶縁体の体積抵抗率を ρ とすれば、絶縁体の表面堆積電荷減衰の時定数は $\epsilon_0 \epsilon_r \rho$ と表される [8]。これから求まる硼硅酸ガラスの時定数は約 1 分である。実際、電圧印加後 1 分の残留電位を測定したが検出されなかったことから、パルス電圧の印加間隔は 1 分以上とすることで、前課電による残留電荷の影響は避けられる。本研究ではパルス電圧波頭部における放電特性を調べることを目的としており、波頭長が $1.5 \mu\text{s}$ であるため、波頭部で起こる放電特性を調べる際にはガラス表面での電荷減衰が無視できる。したがって、波頭部の時間ではコロナによる蓄積電荷が放電の進展に及ぼす影響は保持されている。以上のことから本研究の目的とするパルス電圧波頭部での放電特性を調べるために GIS のスペーサとして一般に用いられているエポキシ樹脂を硼硅酸ガラスで模擬することは問題無いと考えられる。

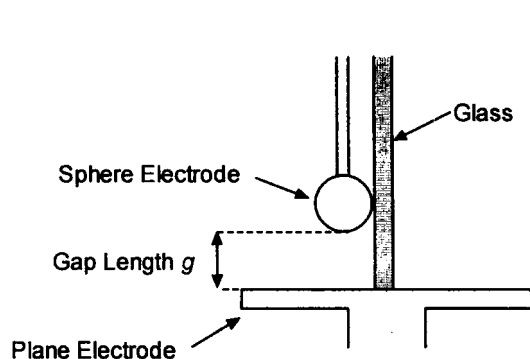
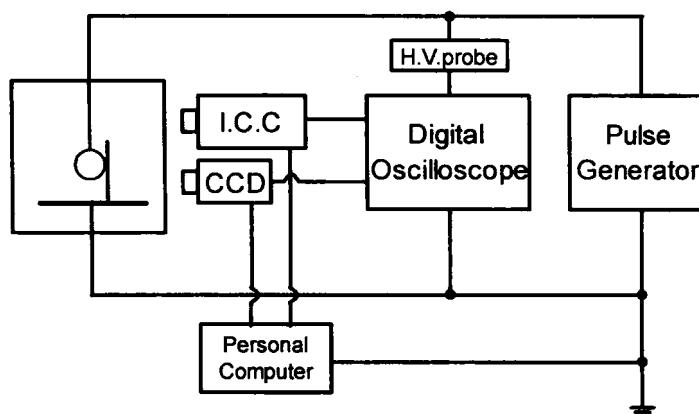


Fig.1 Electrode configuration



I.C.C: Image Converter Camera

CCD: Gated Image-Intensified CCD Camera

Fig.2 Experimental circuit diagram

3. 実験結果

3.1 フラッシュオーバ電圧-ギャップ長特性

Fig. 3 に N_2 ガス 0.3MPa 中におけるフラッシュオーバ電圧 (V_f) とギャップ長 (g) との関係を示す。測定は 20 回行った。Fig. 3 の上向きの矢印は、印加電圧 35kV ではその波頭部で破壊しなかったことを意味し、数字は 20 回の測定中で破壊しなかった回数を示す。また、下部の数字は 20 回の測定中で球-平板間での放電と沿面放電のいずれの経路で破壊に至ったかを示す回数である。Fig. 3(a) の正極性では、ギャップ長の増加に伴いフラッシュオーバ電圧は、 $g=3\text{mm}$ までは上昇したが $g=4\text{mm}$ では低下し、 $g=5\text{mm}$ で再び上昇している。そして $g=3\sim 4\text{mm}$ でフラッシュオーバ電圧は平均値で約 10kV 低下した。また、放電経路は、 $g=3\text{mm}$ までは球-平板間での放電のみであったが $g=4\text{mm}$ では沿面放電のみとなった。Fig. 3(b) の負極性では、ギャップ長の増加に伴いフラッシュオーバ電圧は、 $g=3\text{mm}$ 付近まで上昇し、 $g=4\text{mm}$ まではほとんど上昇せず、それ以降は上昇した。また、放電経路はどのギャップ長においても球-平板間での放電のみであった。

球にガラスを接触させた電極系において N_2 ガス 0.3MPa、負極性 $g=3\text{mm}$ のフラッシュオーバ電圧は平均値で約 27.5kV、 $g=4\text{mm}$ では約 30kV であるが、球-平板のみの電極系では $g=3\text{mm}$, $g=4\text{mm}$ ともに 35kV 以上であった。これより球にガラスを接触させることにより、フラッシュオーバ電圧は低下していると言える。

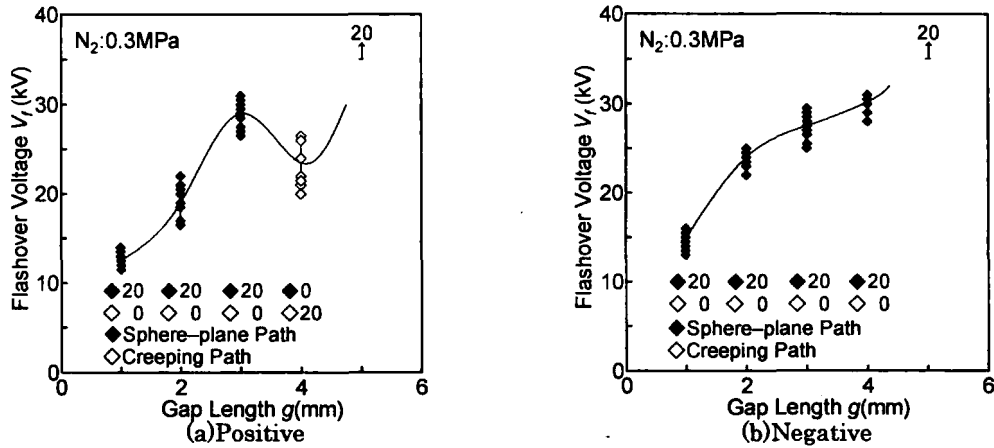
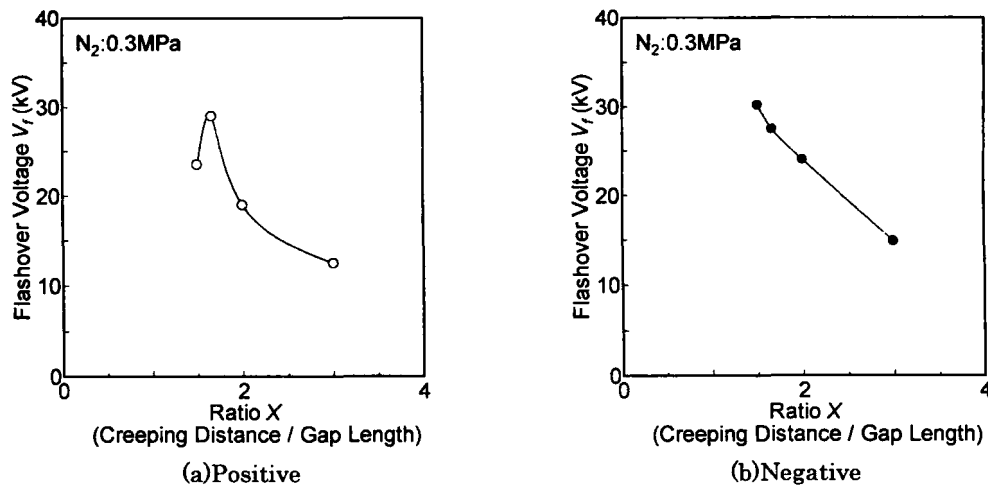


Fig.3 Dependency of gap length on flashover voltage

〈3.2〉フラッシュオーバー電圧ー沿面距離とギャップ長の比の関係

Fig. 4 に N₂ ガス 0.3MPa 中におけるフラッシュオーバー電圧 (V_f) と沿面距離とギャップ長の比 (X) の関係を示す. Fig. 4(a), (b) とともに比が小さい方の点から $g=4\text{mm}$, 3mm , 2mm , 1mm に対応する. Fig. 4(a) の正極性では, 沿面距離とギャップ長比が約 1.5 である $g=4\text{mm}$ では沿面経路で破壊に至っており, フラッシュオーバー電圧が低い. そして, 比が大きくなった約 1.7 の $g=3\text{mm}$ では球ー平板間で破壊し, フラッシュオーバー電圧は上昇する. このことから正極性では放電経路が変化しなければ沿面距離とギャップ長の比が大きくなるに伴いフラッシュオーバー電圧が低下することがわかる. Fig. 4(b) の負極性では, 沿面距離とギャップ長の比が大きくなるに伴いフラッシュオーバー電圧は低下した. したがって, 負極性では放電経路が変化しないため, 正極性と同様に沿面距離とギャップ長比が大きくなるに伴いフラッシュオーバー電圧は低下する.

Fig.4 Dependency of ratio X (creeping length / gap length) on flashover voltage

〈3.3〉高速度カメラによるコロナの進展挙動の観測

正負極性ともに, $g=1\text{mm} \sim 3\text{mm}$, $g=3\text{mm} \sim 4\text{mm}$, $g=4\text{mm} \sim 5\text{mm}$ をそれぞれ領域 I, II, III とした. そして, 波頭部の高電圧領域でのコロナの発生箇所とフラッシュオーバーに至る放電経路の違いを調べるために, 高速度カメラによってフラッシュオーバーに至るまでの一連の挙動を N₂ ガス 0.3MPa において観測した. 正極性 $g=3\text{mm}$, 4mm の結果を Fig. 5 に示す. 各画像の下に表示している時間, 電圧は高速度カメラの露光時間と瞬時電圧を示している.

Fig. 5 上段の正極性 $g=3\text{mm}$ は露光時間 50ns, インターフレーム時間は 20ns である. 一番左端は, 電極側面を斜め上方から撮影した写真で, 下側の線は平板電極の手前と奥の位置を示している. また, 各 Frame は電極図を重ねて示している. $g=3\text{mm}$ では Frame2 (28.4kV $\sim$ 29.2kV) で三重点付近からガラス沿面を進展するコロナと球下端から進展するコロナが見られ, 次の Frame3 (29.7 $\sim$ 30.7kV) で球ー平板間の経路でフラッシュオーバーした. 下段の $g=4\text{mm}$ は露光時間 30ns, インターフレーム時間は 20ns である. 球下端からのコロナは見られず, Frame2 (18.2kV $\sim$ 19.0kV) で三重点付近からガラス沿面をコロナが進展し, Frame3 (19.8 $\sim$ 20.0kV) でガラス沿面を介してフラッシュオーバーに至った.

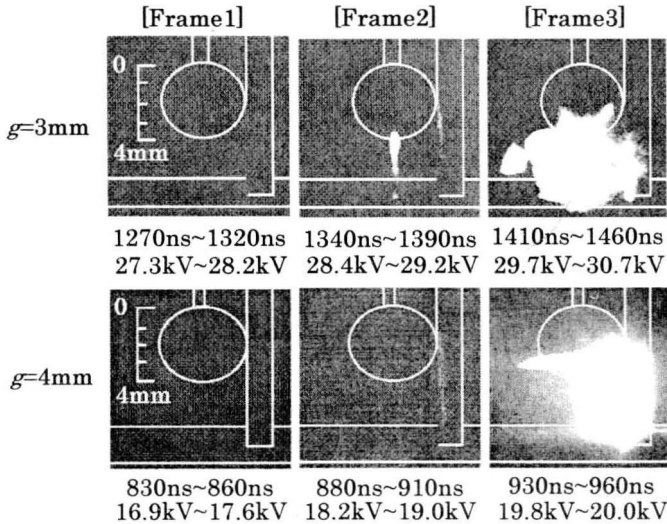


Fig.5 Behavior of discharge observed with ultra-high speed camera
(N₂:0.3MPa, Positive, g=3mm, 4mm)

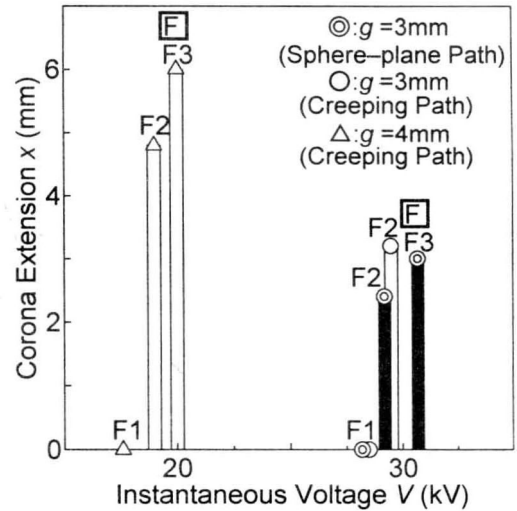


Fig.6 Corona extension - instantaneous voltage characteristics
(N₂:0.3MPa, Positive)

Fig. 6に正極性0.3MPaにおけるコロナの伸び-瞬時電圧特性を示す。横軸の瞬時電圧とは露光終了時間に対する電圧であり、縦軸がコロナの伸びを示している。◎印が $g=3\text{mm}$ の球-平板間のコロナ、○印が沿面コロナ、△印が $g=4\text{mm}$ の沿面コロナの経路で Fig. 6 の F1~F3 は Fig. 5 の各ギャップ長の Frame に対応している。また、E はフラッシュオーバーに至った Frame を意味する。

$g=3\text{mm}$ では電圧が Frame2 の 29.2kV 付近で◎印の球-平板間のコロナの伸びは約 2.4mm、○印の沿面コロナの伸びは約 3.2mm、Frame3 の 30.7kV 付近で球-平板間のコロナが進展し、フラッシュオーバーに至った。 $g=4\text{mm}$ では電圧が Frame2 の 19.0kV 付近で△印の沿面コロナの伸びは約 4.8mm、20.0kV 付近でガラス沿面を介してフラッシュオーバーに至った。

これらの結果より正極性の領域Ⅰの $g=1\text{mm}, 2\text{mm}$ では三重点付近からコロナが発生せず、球下端からのコロナが平板電極に進展し、フラッシュオーバーした。したがって、フラッシュオーバーギャップ長特性には球-平板間のコロナがフラッシュオーバーに影響していると考えられる。領域Ⅱでは、 $g=3\text{mm}$ で球-平板間のコロナが見られ、 $g=4\text{mm}$ で沿面コロナが見られたことから $g=3\text{mm} \sim 4\text{mm}$ でコロナの進展経路が移行していると考えられる。この領域のフラッシュオーバー電圧の低下は沿面コロナがそして、領域Ⅲではギャップ長の増加に伴い、沿面距離が大きくなることでフラッシュオーバー電圧が上昇していると考えられる。

次に Fig. 7 に負極性の結果を示す。上段 $g=3\text{mm}$ は露光時間 30ns、インターフレーム時間は 10ns である。一番左端は、電極の側面を斜め上方から撮影した電極の写真である。 $g=3\text{mm}$ では、Frame2 (22.8kV~23.4kV) で三重点付近からの沿面コロナが見られ、Frame3 (23.8kV~24.4kV) では沿面コロナと球下端からのコロナの両方が見られた。そして、Frame4 (24.7kV~25.3kV) において沿面コロナが消滅し、球-平板間のコロナの進展のみとなった。さらに電圧が上昇した Frame5 (25.4kV~26.0kV) で球-平板間の経路でフラッシュオーバーした。下段の $g=4\text{mm}$ は露光時間 30ns、インターフレーム時間は 20ns である。 $g=4\text{mm}$ では Frame2 (25.7~26.2kV) で三重点付近からの沿面コロナが見られ、Frame3 (26.6~27.0kV) で沿面コロナと球下端からのコロナの両方が見られた。そして、Frame4 (27.3kV~27.8kV) において沿面コロナが消滅し、球-平板間のコロナの進展のみとなった。さらに電圧が上昇した Frame5 (28.0kV~28.2kV) で球-平板間の経路でフラッシュオーバーに至っている。これに対して領域Ⅰの $g=1\text{mm}, 2\text{mm}$ では三重点付近からのコロナの発生は見られず、球下端からのコロナが平板電極に進展し、フラッシュオーバーした。

Fig. 8 に負極性での N₂ ガス中 0.3MPa におけるコロナの伸び-瞬時電圧特性を示す。横軸の瞬時電圧とは、露光終了時間に対する電圧で縦軸がコロナの伸びを示している。Fig. 8(a) $g=3\text{mm}$ では電圧が Frame2 の 23.4kV 付近で沿面コロナの伸びは約 4.3mm、24.4kV 付近で球-平板間のコロナの伸びは約 1.3mm、沿面コロナの伸びは $g=3\text{mm}$ のときの沿面距離に相当する約 5mm、Frame4 で沿面コロナが消滅し、Frame5 で球-平板間コロナが進展し破壊に至った。Fig. 8(b) $g=4\text{mm}$ では電圧が Frame2 の 26kV 付近で沿面コロナの伸びは約 2.7mm、27.0kV 付近で球-平板間のコロナは、球-平板間のギャップ長に相当する約 4mm、沿面コロナは沿面距離に相当する約 6mm、Frame4 で沿面コロナが消滅し、Frame5 で球-平板間のみでコロナが進展し破壊に至った。

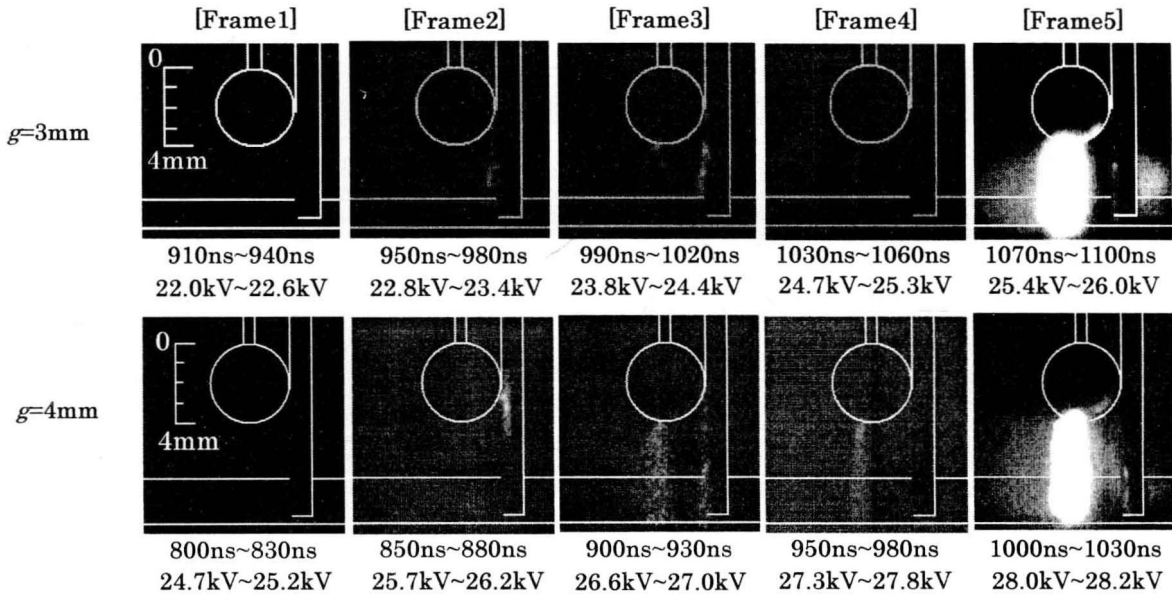


Fig. 7 Behavior of discharge observed by using ultra-high speed camera
(N₂:0.3MPa, Negative, g=3mm, 4mm)

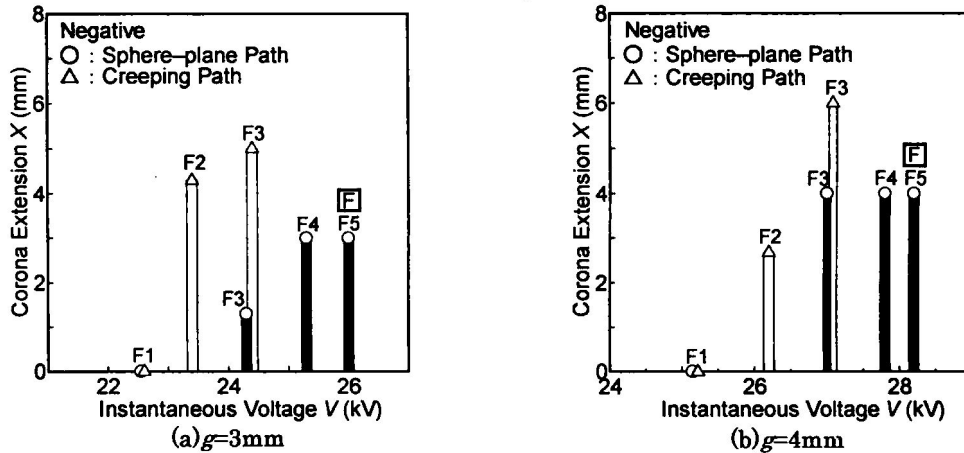


Fig. 8 Corona extension—instantaneous voltage characteristics

〈3. 4〉CCD カメラによるコロナの進展挙動の観測

N₂ガス 0.3MPa, 負極性でギャップ長の増加に対するフラッシュオーバー電圧の上昇が小さい $g=3\text{mm}, 4\text{mm}$ では, 高速度カメラの観測結果から最初に三重点付近から発生するコロナの電圧領域に違いが見られた. そこで最初にコロナが確認される電圧領域付近の詳細なコロナの進展過程を観測するために, さらに高感度のインテンシファイアを内蔵している CCD カメラを用いて N₂ガス 0.3MPa, 負極性 $g=3\text{mm}, 4\text{mm}$ のコロナの進展過程を斜め上方から側面より観測した. 露光時間は $g=3\text{mm}, 4\text{mm}$ どちらも 200ns であり, 各フレームの下の電圧は露光時間に対応する電圧である. パルス電圧の波高値は $g=3\text{mm}$ が 24.0kV, 4mm が 20.5kV である.

Fig. 9 上段の $g=3\text{mm}$ では Frame2 (11.8kV~13.5kV) でコロナ発光が三重点付近で見られ電圧の上昇と共にガラス沿面を進展し, Frame4 (15.2kV~17.0kV) ではコロナの発光の強さと伸びからコロナの進展が抑制されていることがわかる. さらに電圧が上昇した Frame5 (16.5kV~18.0kV) では再びコロナの進展が見られた.

Fig. 9 下段の $g=4\text{mm}$ のコロナの進展過程は Frame2 (14.8kV~17.8kV) で最初のコロナ発光が三重点付近で見られ, 電圧の上昇に伴い Frame3~5 でコロナがガラス沿面を進展した.

次に CCD カメラにより観測したコロナの伸びと瞬時電圧の関係を Fig. 10 に示す. 横軸の瞬時電圧とは, 露光終了時間に対する電圧で縦軸がコロナの伸びを示している. Fig. 10 (a) $g=3\text{mm}$ では電圧が Frame2 の 13.5kV 付近でコロナの伸びは約 0.6mm, Frame3 の 15.3kV 付近で約 1.3mm, Frame4 の 17.0kV 付近で約 0.42mm, Frame5 の 18.0kV 付近でコロナの伸びは約 1.4mm とコロナの進展は抑制され再び進展している. Fig. 10 (b) $g=4\text{mm}$ では電圧が Frame2 の 17.8kV 付近で沿面コロナの伸びは約 0.73mm, Frame3 の 19.0kV 付近で 1.64mm, Frame4 の 19.8kV 付近で 2.18mm, Frame5 の 19.8kV 付近で 2.18mm と電圧の上昇とともに沿面コロナが進展し, $g=3\text{mm}$ のようなコロナの抑制は見られなかった.

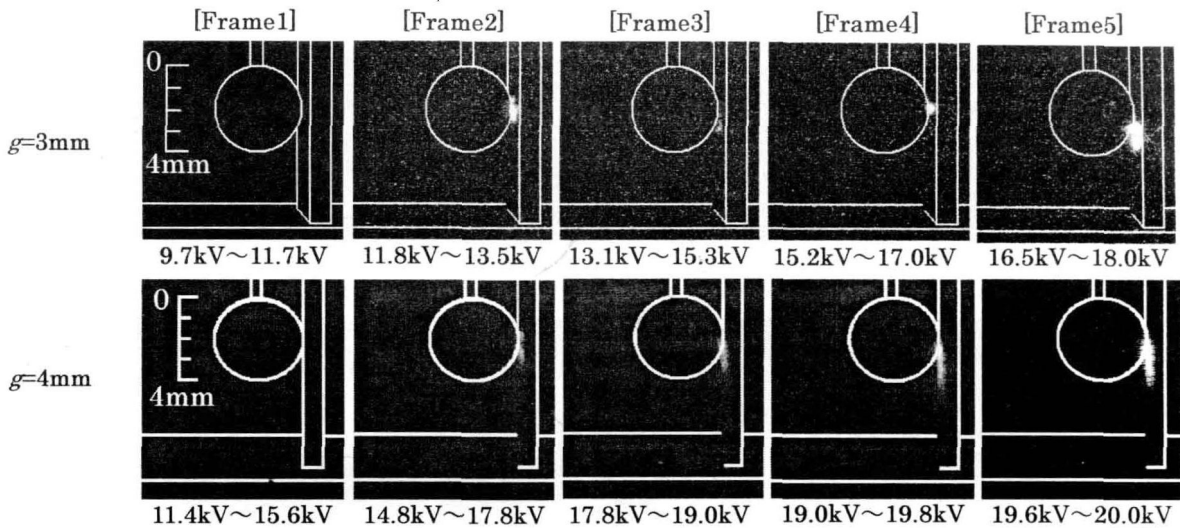


Fig.9 Behavior of discharge extension observed by using CCD camera
(N_2 :0.3MPa, Negative, peak value -24.0kV(g =3mm), peak value -20.5kV(g =4mm))

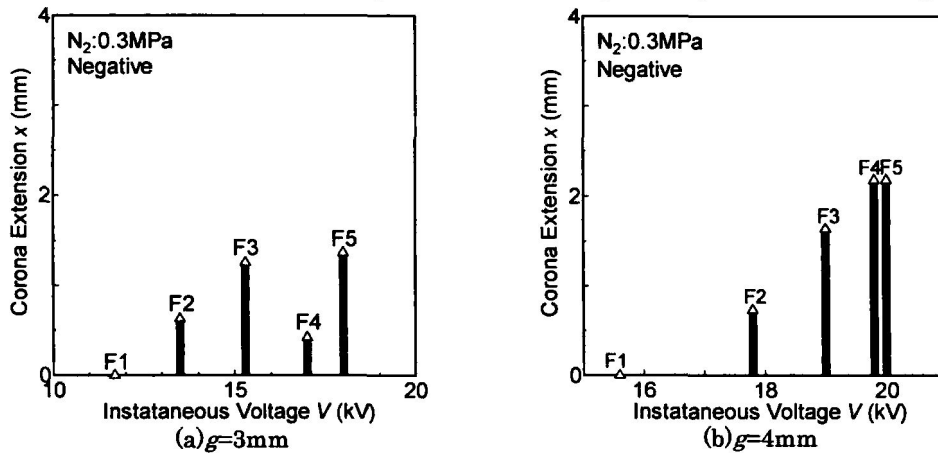


Fig.10 Corona extension—instantaneous voltage characteristics

4.検討

以上の結果より正極性の領域Ⅰ(g =1mm~ g =3mm)では g =1mm, 2mm は球—平板間のコロナの進展のみで三重点付近からのコロナが発生しなかったことから、沿面コロナのフラッシュオーバー電圧—ギャップ長特性への影響はないと考えられる。領域Ⅱ(g =3mm~ g =4mm)の g =3mm では、球—平板間の準平等電界だけでなく三重点付近の不等電界も強まることによって、沿面コロナの進展が見られ、 g =3mm~ g =4mm では球—平板間の放電経路からガラス沿面の放電経路の移行する条件となり、 g =4mm で球—平板間の電界よりも三重点付近の電界の方が強く、ガス中を進展するよりもガラス沿面を進展するコロナが容易となるために、フラッシュオーバー電圧が低下すると考えられる。そして、領域Ⅲ(g =4mm~ g =5mm)では球—平板間のギャップ長の影響が沿面距離の影響として現れるため、沿面距離が大きくなることでフラッシュオーバー電圧が g =5mm で上昇していると推測される。

負極性の領域Ⅰ(g =1mm~ g =3mm)では正極性同様 g =1mm, 2mm は球—平板間のコロナの進展のみで三重点付近からのコロナが発生しなかったことから、沿面コロナのフラッシュオーバー電圧—ギャップ長特性への影響はないと考えられる。また、 g =2mm まではギャップ長の増加に比例してフラッシュオーバー電圧が上昇し、 g =3mm で三重点付近に生じる沿面コロナが球—平板間に初期電子を供給することで、球—平板間のコロナの進展が容易となり、フラッシュオーバー電圧が低下すると考えられる。その結果、 g =3mm でフラッシュオーバー電圧がギャップ長の増加に比例して上昇しないと思われる。領域Ⅱ(g =3mm~ g =4mm)では g =3mm と 4mm 間で ギャップ長の増加に対するフラッシュオーバー電圧の上昇が小さい特性が得られた。この特性の放電の様子を超高速度カメラによって観測した結果、 g =3mm, 4mm とともに三重点付近で最初にコロナが確認された。しかし、どちらのギャップ長においても波頭部の電圧の上昇に伴いコロナの進展が抑制され、その後、 g =3mm では球下端から平板へコロナが進展しフラッシュオーバーに至った。この領域Ⅱ(g =3mm~ g =4mm)付近の詳細なコロナの進展過程を観測するために CCD カメラを用いて N_2 ガス 0.3MPa、負極性 g =3mm, 4mm のコロナの進展過程を観

測した。その結果 $g=3\text{mm}$ のコロナの進展過程では、最初のコロナ発光が三重点付近で見られた後、電圧の上昇に伴いコロナの進展は抑制されていることが発光の強さとコロナの伸びからわかった。その後、波頭部の電圧上昇と共にコロナはガラス沿面を進展した。一方 $g=4\text{mm}$ のコロナの進展過程は、 $g=3\text{mm}$ と同様三重点付近から最初のコロナ発光が見られ、波頭部の電圧上昇と共にコロナはガラス沿面を進展した。また、 $g=3\text{mm}$ のようなコロナの進展の抑制は見られなかった。以上の結果より、 $g=3\text{mm}$ と 4mm 間でフラッシュオーバー電圧の上昇が小さい特性が得られた原因として $g=3\text{mm}$ では低電圧領域で三重点付近からの沿面コロナがガラス表面の蓄積電荷によって抑制され、その結果波頭部の電圧が沿面コロナの十分に進展できる高い電圧に達する前に、球-平板間のコロナが進展できる電圧に達するために低電圧領域と高電圧領域のコロナの進展に違いが生じると考えられる。また、この領域では三重点付近に生じる沿面コロナが球-平板間に初期電子を供給することで、球-平板間のコロナの進展が容易となり、フラッシュオーバー電圧が低下していると考えられる。以上の要因から $g=3\text{mm}$ と $g=4\text{mm}$ 間のフラッシュオーバー電圧の上昇が小さくなると思われる。そして、領域 III ($g=4\text{mm}\sim g=5\text{mm}$) ではギャップ長の増加がフラッシュオーバー電圧の上昇に影響していると考えられる。

一般に複合電極における三重点付近は最大電界を生ずることが知られている。このことから正負極性において、三重点からの沿面コロナの進展が観測された領域では三重点付近の電界が大きくなり、放電特性に影響を及ぼしていると考えられる[4]。

5. まとめ

硼硅酸ガラスを球電極に接触させた複合電極構成におけるパルス放電特性について調べた結果を以下にまとめる。

- (1) N₂ガス 0.3MPa におけるフラッシュオーバー電圧-ギャップ長特性で正極性は、ギャップ長 (g) の増加に伴いフラッシュオーバー電圧が $g=3\text{mm}$ までは上昇、 $g=4\text{mm}$ では低下、 $g=5\text{mm}$ で再び上昇する特性が得られた。負極性ではギャップ長の増加に伴いフラッシュオーバー電圧は、 $g=3\text{mm}$ 付近まで上昇、 $g=4\text{mm}$ まではほぼ上昇せず、それ以降は上昇する特性が得られた。
- (2) フラッシュオーバー電圧-沿面距離とギャップ長の比の関係において正極性では放電経路が変化しなければ沿面距離とギャップ長の比が大きくなるに伴いフラッシュオーバー電圧は低下する。負極性においては放電経路に変化ないため沿面距離とギャップ長の比が大きくなるに伴いフラッシュオーバー電圧は低下した。以上のことから GIS の三重点からのコロナの進展がスペーサ距離と高圧導体と接地導体間の距離の比に影響されると考えられる。従って、これらの比は、GIS 設計において三重点からのコロナの影響を考慮する場合の判断基準となる。
- (3) 超高速度カメラによる放電挙動の観測より、正極性の $g=3\text{mm}$ では三重点付近からガラス沿面を進展するコロナと球下端から進展するコロナが見られ、球-平板間でフラッシュオーバーに至った。 $g=4\text{mm}$ では三重点付近から沿面コロナが進展し、ガラス沿面を介してフラッシュオーバーに至った。負極性 $g=3\text{mm}$ はコロナが三重点付近で見られ、波頭部の電圧がさらに上昇するとコロナが消滅する。しかし、波頭部の電圧がさらに上昇すると、球下端から平板に向かってコロナが見られ、球-平板間の経路でフラッシュオーバーした。
- (4) CCD カメラによる放電挙動の観測より、負極性 $g=3\text{mm}$ のコロナの進展過程では、最初のコロナ発光が三重点付近で見られた後、波頭部の電圧の上昇に伴いコロナの進展は抑制されていることがわかった。その後、電圧の上昇と共にコロナはガラス沿面を進展した。 $g=4\text{mm}$ のコロナの進展過程は、 $g=3\text{mm}$ と同様三重点付近から最初のコロナ発光が見られ、電圧の上昇と共にコロナはガラス沿面を進展した。

文 献

- [1] 河村達雄：「SF₆ガス絶縁開閉装置」，電学誌，97，pp. 349-354 (1977)
- [2] 宅間董：「ガス絶縁と地球温暖化問題」，電学誌，119，pp. 232-235 (1999)
- [3] T. Takuma and T. Kawamoto：「Field Intensification near Various Point of Contact with a Solid Dielectric and an Electrode」，IEEE. Trans.，PAS-103，pp. 2486-2494 (1984)
- [4] 宅間董：「複合誘電体における電界集中」，静電学誌，14，pp. 40-48 (1990)
- [5] 乾昭文，寺西常治，村瀬洋，柳父悟：「振動性インパルス電圧に対する SF₆ガス中くさびギャップにおける部分放電特性」，電学論 A，110，pp. 846-852 (1990)
- [6] 遠藤奎将：「ガスくさびを持つエポキシ棒の SF₆ガス中沿面絶縁特性」，電学誌，105，pp. 25-32 (1985)
- [7] 坂本直規，国中嘉人，上野秀樹，中山博史：「(針-誘電体，半導体)複合電極における局部コロナの挙動と沿面放電」，電学論 A，122，pp. 849-855，(2002)
- [8] 上野秀樹，坂本直規，国中嘉人，中山博史：「SF₆ガス(金属/ZnO)複合電極系における μ s パルス電圧による放電特性」，静電学誌，27，1，pp. 32-38 (2003)
- [9] 家田正之，沢五郎，篠原卯吉：「高分子表面電荷の減衰過程」，電学誌，88，pp. 1107-1113 (1968)

バリア表面上の窪みが放電特性に及ぼす影響

加古直之・上野秀樹・中山博史

(電気系工学専攻)

Influence of Pit on Barrier Surface on Discharge Characteristic

Naoyuki KAKO, Hideki UENO and Hiroshi NAKAYAMA

Department of Electrical Engineering and Computer Sciences

Abstract

In this paper, we describe influence of pit on barrier surface on discharge characteristic in N_2 gas under the μs pulse voltage application. Peculiar phenomena were observed barrier B(pit) at negative needle under 0.2MPa. Although flashover voltage increased as the inter-electrode length (L) increased for the barrier A(flat), for the barrier B(pit) the flashover voltage increased to the $L=2mm$, and the decrease of flashover voltage obtained at the $L=3mm$. A photomultiplier tube, CCD camera, and a ultra-high-speed camera were used for the investigation of the corona extension process. As a result, the influence of pit on barrier would be related to the peculiar phenomena.

Keyword: pit, discharge, flashover, corona

1. はじめに

今日までに、各産業界のエネルギー源である電気の需要は増加の一途をたどってきた。これに伴い、電力機器の高電圧化が進み、その絶縁耐力の向上・高信頼性が重要となってきた。また、GIS(ガス絶縁開閉装置)などのガス絶縁機器で使用される SF_6 ガスは多くの要求項目を満たし高い評価を得ている[1][2]。しかし、この SF_6 ガスはギャップ中の最大電界に強く依存するために、金属の突起や浮遊粒子などがその性能を著しく低下させ[3]、異常に低い電圧で放電が起こる。また、 SF_6 ガスの地球温暖化係数は CO_2 に比べ 23900 倍と非常に高く[4]、排出量を抑える必要がある。そのために代替ガスとして SF_6 ガスと N_2 ガスの混合気体や、 N_2 ガスの単独使用で使用量を抑えるといった研究もされている[5]。

一般に機器の絶縁にはガスだけではなく、固体絶縁物(バリア)とを組み合わせた複合絶縁方式が用いられている。この固体絶縁物は、機器の長期使用により高電界・振動・熱等のストレスに曝され劣化し、亀裂などが生じることが考えられる。そのような固体絶縁物の劣化(傷や溝)などを模擬し、数多くの研究がされてきた[6]~[8]。その中で固体絶縁物に傷を設けた場合、コロナは傷に沿って進展し、バリアに傷がないものに比べフラッシュオーバー電圧が低下することがわかっている。これにはバリア傷表面上の空間電荷の働きが大きく作用していることが考えられ、さらに違った形状(窪み)において空間電荷の影響を詳しく調べる必要がある。

本研究では、GIS 内において高圧導体を支持する絶縁スペーサの窪みが局所的な高電界の発生によって生じた放電に与える影響を明らかにすることを目的としている。そこで、内部異常電圧として μs パルス電圧、絶縁ガスには N_2 ガスを使用し、機器内の浮遊金属粒子や三重点による不平等かつ高電界を模擬するために針-平板電極を使用した。この針-平板電極間に窪みがあるバリアを挿入し、窪みが放電特性に及ぼす影響について調べた。

2. 実験方法

本研究で使用したバリアを Fig.1 に示す。バリアには硼珪酸ガラスを使用し、大きさ $18mm \times 18mm$ 、厚さ $1mm$ である。Fig.1(a)は窪みのない平面バリア(バリア A)、Fig.1(b)は窪み(直径 $3mm \times$ 深さ $0.6mm$)を設けたバリア(バリア B)を示している。このバリアを針-平板電極間に挿入した構成を Fig.2 に示す。金属異物を模擬する針電極として先端曲率半径が約 $35\mu m$ の針を、平板電極($32mm \times 38mm$)として黄銅製平板を用いた。針電極から平板電極の距離を電極間距離 L とし、 $0.4mm \sim 5mm$ の範囲で変化させた。上述した電極系を黄銅製容器内に設置し、真空ポンプで約 $0.1Pa$ 以下まで排気した後、 N_2 ガスを $0.1 \sim 0.3MPa$ の範囲で変化させた。印加電圧には、高圧方

形波パルス発生装置((株)電研精密研究所)による μs 方形波パルス電圧(波頭長 $T_f=1.5\mu\text{s}$, 波高値 $V_p=35\text{kV}$)を用いた。電圧波形は高圧プローブ(HV-P30, DC-50MHz, 岩崎通信機器(株))を, コロナ発光測定時には光電子増倍管(931A, 波長領域 300-650nm, (株)浜松ホトニクス)を使用しデジタルオシロスコープ(DL-1540, 200MS/s, 150MHz, 横河電機(株))にて観測した。なお, コロナ発光が印加電圧波頭部で観測され始める電圧の瞬時値をコロナ開始電圧, 波頭部にてフラッシュオーバーしたときの瞬時値をフラッシュオーバー電圧とした。コロナの進展の様子は超高速デジタルフレーミングカメラ(IMACON468, 波長領域 385-900nm HADLAND PHOTONICS LTD.), 高速ゲートイメージングインテンシファイアを取り付けた CCD カメラ(C4346, (株)浜松ホトニクス)にて観測した。

なお, 実験で使用した硼珪酸ガラス(体積抵抗率 $\rho=1.1\times 10^{12}\Omega\cdot\text{m}$, 比誘電率 $\epsilon_r=7.0$)の電位減衰の時定数は約 1 分である。本実験にてバリアとして硼珪酸ガラスを使用したのは, パルス電圧印加時間中の蓄積電荷の減衰が無視でき, しかも次のパルス電圧印加時に前印加時の蓄積電荷の影響を排除するためである。

3. 実験結果

3.1 フラッシュオーバー電圧-気圧依存性

負極性・ N_2 ガス中(0.1MPa~0.3MPa)のフラッシュオーバー電圧(V_f)-気圧(P)依存性を Fig.3 に示す。測定は各気圧, 各電極間距離 L において 10 回行い, その平均値を誤差と共に示す。図中の矢印は 10 回の測定において印加電圧 35kV で波頭部にてフラッシュオーバーしなかった回数を示す。また, バリア A の $L=1\text{mm}$, バリア B の $L=0.4\text{mm}$ はそれぞれ針電極先端とバリア表面が接触している。

バリア A・B ともに気圧の増加にしたがって, すべての電極間距離($L=0.4\text{mm}$, 1mm , 1.6mm , 2mm)で単調増加の傾向を示した。また, 窪みの有無で比較すれば, 0.2MPa, 0.3MPa において, バリア A の針-バリア間よりも, バリア B の針-バリア間(針-窪みの底間)の影響の方が強くなった。例えば, 0.2MPa において, 針-バリア間のギャップにおいて, バリア A($L=1\sim 1.6\text{mm}$)ではフラッシュオーバー電圧の差は約 2kV($L=1\text{mm}$; 27kV, $L=1.6\text{mm}$; 29kV), バリア B ($L=0.4\sim 1\text{mm}$)では, フラッシュオーバー電圧の差は約 5kV($L=0.4\text{mm}$; 24kV, $L=1\text{mm}$; 29kV)となり, フラッシュオーバー電圧の差が大きくなった。

3.2 フラッシュオーバー電圧-電極間距離依存性

負極性・ N_2 ガス中(0.1MPa~0.2MPa)のフラッシュオーバー電圧(V_f)-電極間距離(L)依存性を Fig.4 に示す。

0.1MPa では, 各バリアに差はあるがバリア表面と針電極が接触する点から $L=2\text{mm}$ までのフラッシュオーバー電圧は, 各バリアともに低下し, それ以降の電極間距離で若干上昇する結果が得られた。しかしながら, 0.2MPa においてバリア B にて特異な現象が得られた。まず, バリア A では電極間距離の増加とともにフラッシュオーバー電圧は上昇したのに対し, バリア B では電極間距離 2mm まではフラッシュオーバー電圧が上昇し, 電極間距離 $L=3\text{mm}$ で低下がみられた。

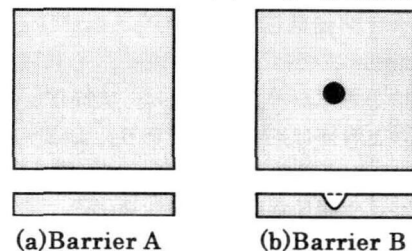


Fig.1 Barrier types

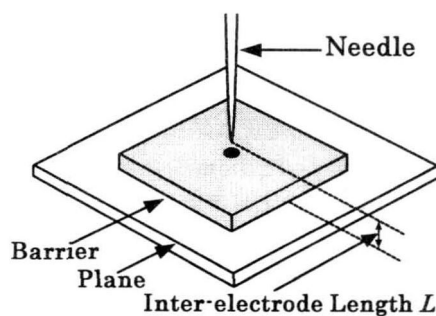


Fig.2 Electrode configuration

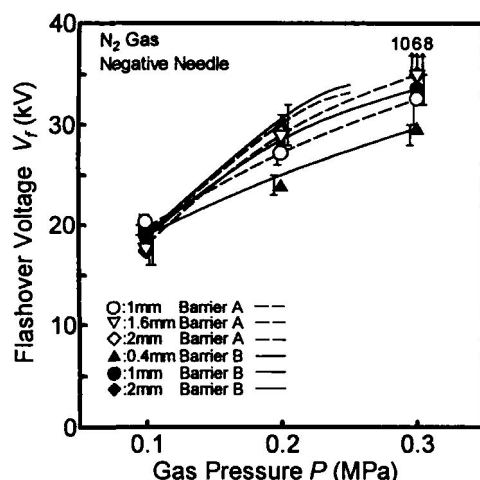


Fig.3 Dependency of gas pressure P on flashover voltage

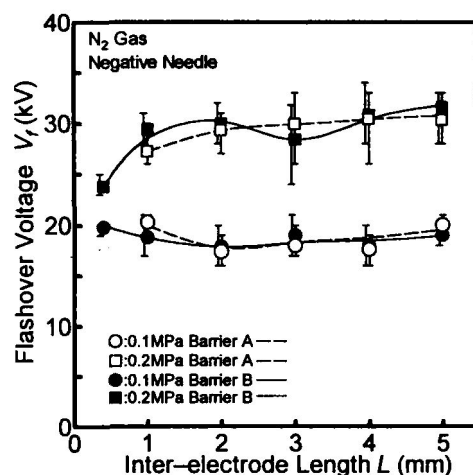


Fig.4 Dependency of inter-electrode length L on flashover voltage

3.3 コロナ開始電圧－電極間距離依存性

負極性・N₂ガス中(0.1MPa～0.2MPa)のコロナ開始電圧(V_c)－電極間距離(L)依存性をFig.5に示す. バリア Aにおいて, コロナ開始電圧は 0.1MPa・0.2MPa とともに電極間距離 $L=1\sim 2\text{mm}$ までは上昇率は高く, それ以降の電極間距離では上昇率は小さくなった. 例えば, 0.2MPa において, $L=1\sim 2\text{mm}$ までの上昇率は約 2.4 倍であり, $L=2\sim 3\text{mm}$ で約 1.08 倍で $L=3\sim 5\text{mm}$ までの上昇率は約 1.23 倍と電極間距離が大きくなれば, コロナ開始電圧は飽和状態に近づくことがわかる.

次にバリア B において, コロナ開始電圧は $L=0.4\sim 2\text{mm}$ では 0.1MPa・0.2MPa とともに上昇率は小さく, $L=2\sim 3\text{mm}$ で上昇率は大きくなり, $L=3\sim 5\text{mm}$ にて飽和状態になった. 例えば, 0.2MPa では $L=0.4\sim 2\text{mm}$ で上昇率は約 2 倍, $L=2\sim 3\text{mm}$ で約 1.8 倍, $L=3\sim 5\text{mm}$ で約 1.28 倍と電極間距離が大きくなればコロナ開始電圧は飽和していることがわかる. このようにバリア B の $L=2\sim 3\text{mm}$ のコロナ開始電圧の上昇率はバリア A の $L=2\sim 3\text{mm}$ の上昇率よりも大きくなった.

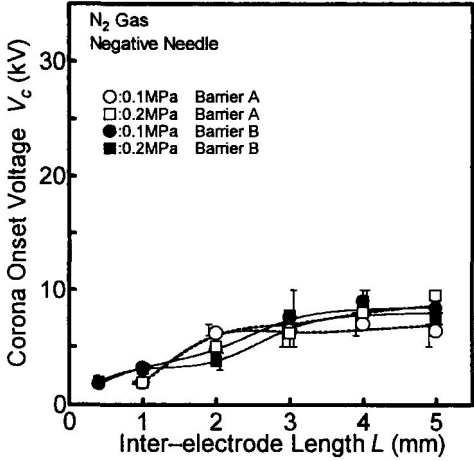


Fig.5 Dependency of inter-electrode length L on corona onset voltage

3.4 CCD カメラにおけるコロナ放電観測

バリア表面上の窪みが放電特性に及ぼす影響について調べた結果, フラッシュオーバー電圧に特異な現象がみられたバリア B, $L=3\text{mm}$, 0.2MPa においてコロナの挙動を詳しく調べた. コロナの挙動は CCD カメラを用い観測し, Fig.6 に示す. この CCD カメラは, 一連の放電挙動を撮影したものではなく, いくつかの放電をもとにしたものであるために, 瞬時電圧が前のフレームと重なっている. 印加電圧は $V_P=17\text{kV}$ とした. また, 図の左列にはバリア A のコロナの進展を, 中列・右列にバリア B のコロナの進展を示す.

各写真において, バリアの底面付近に平板電極による反射光が写っている.

バリア A において, F.2 (-5.7kV～-10.2kV) でコロナの発光が観測され, コロナは針先からアーチ型を描くようにバリア表面上にまで進展している. つづいて, このコロナは F.3, F.4, F.5 で大きくバリア表面上を進展した. このようにバリア A では, 針先からコロナの発光後, コロナは安定してバリア表面を進展する様子が得られたのに対し, バリア B では違った 2通りのコロナの進展が得られた. pattern1 では F.1 で発光は観測されず, F.2 (-6.0kV～-10.5kV) にて微小なコロナの観測後, バリア A 同様に円錐状にコロナはバリア表面を進展した. 一方 pattern2 では pattern1 と比較し, 第一発光の観測が F.3 (-13.3kV～-14.4kV) で観測され, 急速にコロナが進展している(バリア A: 2.72mm/kV, バリア B: 3.8mm/kV)ことがわかる. このようにバリア B・ $L=3\text{mm}$ では, 二通りの放電が観測されたが, 他の電極間距

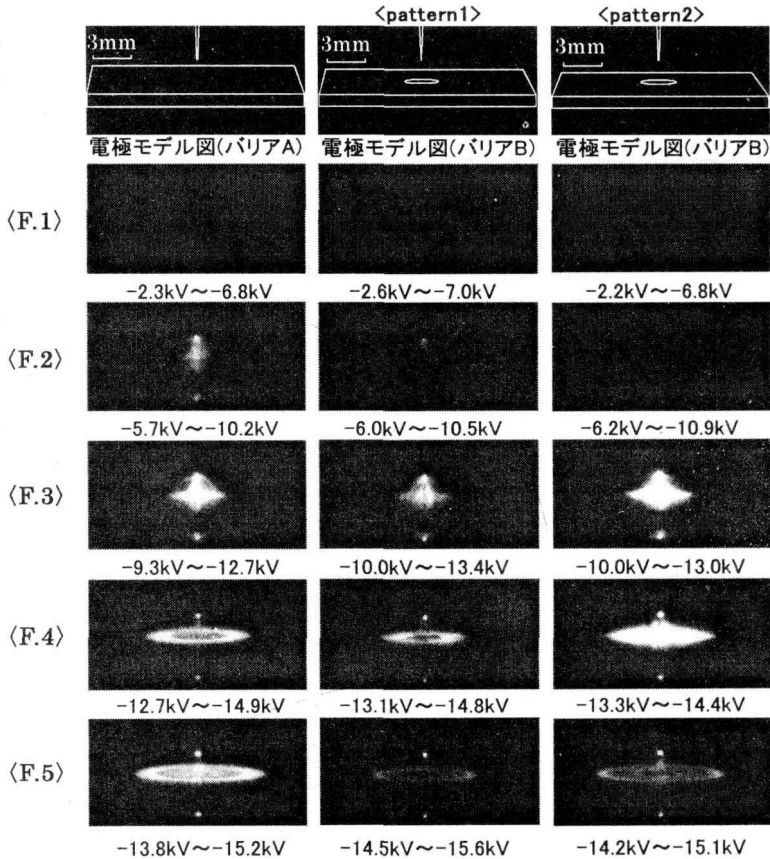


Fig.6 Behavior of discharge observed with CCD camera (Negative, N₂ gas, 0.2MPa, $V_P=17\text{kV}$)

離($L=1\sim 2\text{mm}$, $4\text{mm}\sim 5\text{mm}$)でも観測されている。

以上のことより、バリアB・電極間距離 $L=3\text{mm}$ でフラッシュオーバー電圧が低下する要因の一つとして、このように違ったコロナの進展が数多く起こるためであると思われる。さらに高電圧領域(フラッシュオーバー)でのコロナの進展を調べる必要がある。

次に、コロナ進展挙動の写真より得られたコロナの伸び-瞬時電圧依存性をFig.7に示す。横軸の電圧は、それぞれの撮影したときの電圧の最大値である。バリアBにおいて二通りのコロナの進展が得られたことより、この二つを比較するとコロナの進展は、**pattern2**の方がコロナの伸びが大きいことがわかる($V<15\text{kV}$)。また、**pattern1**は、**pattern2**およびバリアAのコロナの伸びに比べ小さいことがわかる($V<15\text{kV}$)。

3.5 超高速カメラにおけるコロナ放電の観測

超高速カメラを使用して、フラッシュオーバーに至るまでの一連のコロナ進展を行った。この超高速カメラは、光電子増倍管と比較し感度が劣るためにコロナが検出される電圧は若干高めとなっている。

Fig.8では、CCDカメラ同様、 0.2MPa , $L=3\text{mm}$, 負極性の条件でコロナの放電挙動の観測を行った。写真の左列にバリアAでのコロナの進展を、中列・右列にはバリアBでのコロナの進展を観測した。各写真において、バリアの底面付近に平板電極による反射光が写っている。また、各列の一番上には電極モデル図を示し、F.5ではフラッシュオーバーに至っている。

バリアA(左列)においてF.1にてコロナが観測され、針先からバリア表面に円錐状にコロナは進展しF.5($-28.7\text{kV}\sim -29.6\text{kV}$)にてフラッシュオーバーに至った。中列には、バリアBにおける**pattern1**のコロナの進展を示した。F.1にてコロナが観測された後、F.2, F.3, F.4とコロナはゆっくりとバリア表面上を進展し、F.5($-29.1\text{kV}\sim -30.6\text{kV}$)にてフラッシュオーバーに至った。**pattern2**(右列)ではF.1でコロナは観測されずF.2で大きく強い第一発光が観測された。つづいてこのコロナは、バリア表面上を急速に進展し、**pattern1**と比べ、低い電圧でフラッシュオーバーに至った。このバリアBの**pattern1**, **pattern2**のコロナの進展の挙動は、CCDカメラにおけるコロナの進展(**pattern1**, **pattern2**)と一致している。

コロナの進展の写真より求められるコロナの伸び-瞬時電圧依存性をFig.9に示す。横軸の電圧は、それぞれの撮影したときの電圧の最大値である。図中のFはフラッシュオーバーに至ったことを示す。この図の瞬時電圧の小さい範囲でコロナの伸びは、バリアB・**pattern1**より**pattern2**でほぼ同程となった。

次にバリアBの**pattern1**と**pattern2**を比較すれば $V=22\text{kV}$ 付近で、コロナの伸展は**pattern2**のほうが急速にコロナの伸展が大きくなることがわかる。また、バリアA, バリアB(**pattern1**, **pattern2**)の三線はコロナの伸展に差はあるが、特性に共通点がみられた。つまり、瞬時電圧が小

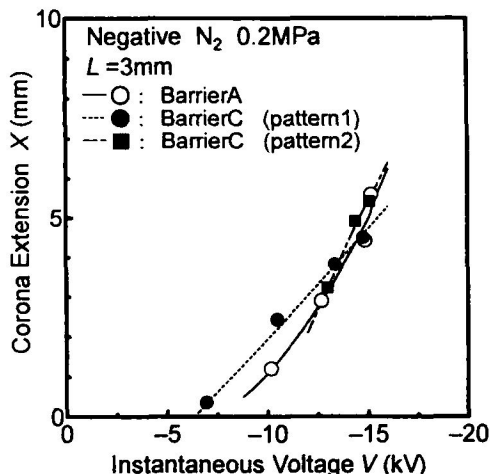


Fig.7 Dependency of instantaneous applied voltage on corona extension

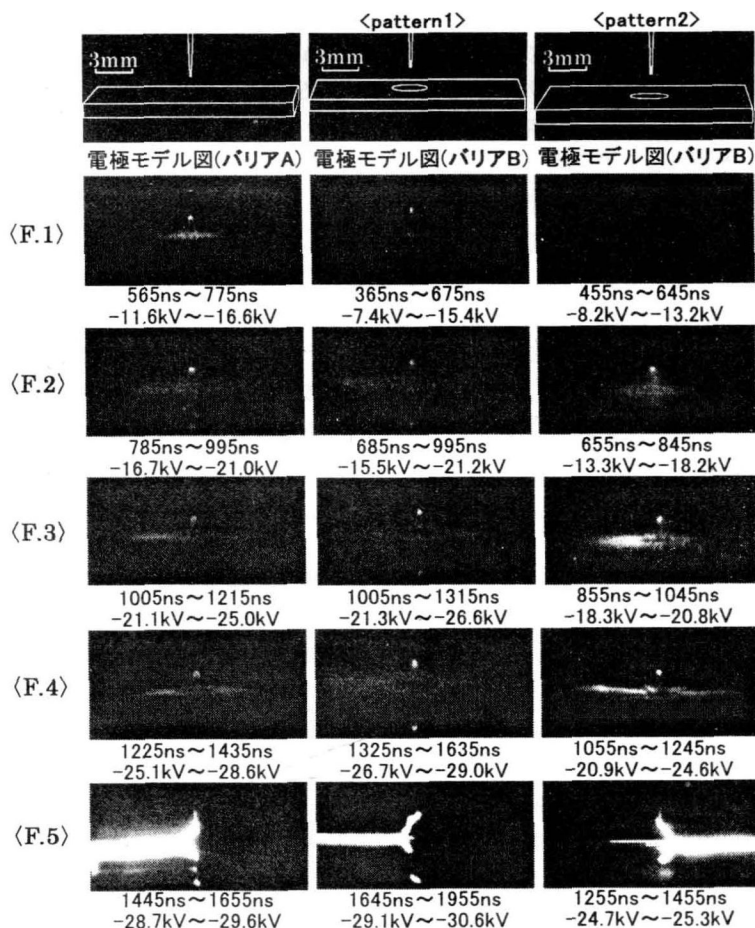


Fig.8 Behavior of discharge observed with ultra-high speed camera (Negative, N_2 gas, 0.2MPa , $L=3\text{mm}$, $V_p=35\text{kV}$)

さいときほどコロナの伸展率は急速で瞬時電圧 $V=20\text{kV}$ 付近でコロナの伸展率は小さくなり、フラッシュオーバー付近で再びコロナが急速に伸展している。例えば、バリア B・pattern1 において、 $V=15.5\sim 21.5\text{kV}$ でコロナの伸展率は約 0.72mm/kV と大きく、 $V=21.5\sim 29\text{kV}$ で約 0.19mm/kV と小さくなり、再び $V=29\sim 31\text{kV}$ で約 0.87mm/kV と大きくなる特性になった。

4. 検討

これらの結果より、バリア表面上の窪みが放電特性に及ぼす影響について検討を行う。

本実験において、 0.2MPa ・バリア B・ $L=3\text{mm}$ において、フラッシュオーバー電圧の低下の原因には二つの要因が考えられる。

まず、一つの要因として、CCD カメラ・超高速カメラによるコロナ放電の挙動から、バリア B における違った二通りの放電進展が大きく影響しているものと思われる。第一発光が弱くコロナの発光が観測されればゆっくりと進展し、高めの電圧でフラッシュオーバーに至る pattern1 と第一発光が強く、発光が観測されれば急速にコロナが進展し、低い電圧でフラッシュオーバーに至る pattern2 が観測された。このように二通りの違ったコロナの進展が観測される原因には、 $L=3\text{mm}$ という状態は針電極がバリアと離れることにより、直接的に窪みの影響が小さくなってきているものと考えられる。また、実際に電極間距離 3mm において、窪みの影響を受けた放電進展(pattern1)と窪みの影響を受けなかった放電進展(pattern2)との割合は約 3 : 2 であった。本実験では、窪みの影響が小さくなる pattern2 のような放電進展は $L=3\text{mm}$ だけではなく $L=3\text{mm}$ 以降($L=4\text{mm}$, 5mm)の電極間距離でも起こっており、基本的に電極間距離が大きくなれば、窪みによる効果が小さくなり、放電進展の割合も pattern2 の方が大きくなるものと考えられる。

次に第二の要因として、電極間距離 $L=1\text{mm}$ において、バリア A では針電極とバリアが接した所に蓄積される蓄積電荷が働くが、バリア B では窪みがあるために空間ができ、空間電荷+バリア表面上の蓄積電荷の 2 つの影響があるために(電界緩和作用[9])、これらの電荷が電界を抑制し電極間距離 $L=1\text{mm}$ でバリア B の放電電圧を上昇させているものと考えられる。しかし、電極間距離が大きくなることにより($L=3\text{mm}$)、バリアと針電極間にギャップが大きくなり、空間電荷や蓄積電荷から起こる針先からの電界の抑制、更にはギャップの影響など様々な要因が絡み、 $L=3\text{mm}$ でフラッシュオーバー電圧が低下するものと考えられる。

以上のようなことより、バリア表面上の窪みが放電特性に及ぼす影響について、電極間距離が小さい範囲(電極間距離 $L=1\text{mm}$)において、低電圧領域($V<10\text{kV}$)で窪みに蓄積した電荷がコロナの進展を抑制し、フラッシュオーバー電圧を上昇させていると考えられる。また、このように窪みや溝を有効に作用させ、絶縁耐力を向上させるといった報告もある[10]。今後さらに電極間距離の小さい範囲($L=0.4\text{mm}\sim 2\text{mm}$)での蓄積電荷がどのようにコロナの進展を抑制させているか検討する必要性があり、また、窪みの形状、絶縁ガスなどを変え検討することが必要である。

5. まとめ

N_2 ガス・負極性におけるバリア表面上の窪みが放電特性に及ぼす影響について、調べた結果を以下にまとめる。

- (1) バリア A (平面) とバリア B (窪み) を比較すると、 0.2MPa ・電極間距離 $L=3\text{mm}$ において、フラッシュオーバー電圧 V_f に違いが見られた。例えば、 0.2MPa ・バリア A では $L=3\text{mm}$ において他の電極間距離 ($L=1\text{mm}$ ・ $L=2\text{mm}$) より V_f が高いのに対し、バリア B では他の電極間距離 ($L=1\text{mm}$ ・ $L=2\text{mm}$) より低くなった。
- (2) 気圧の増加とともにくぼみの有無に関係なく、フラッシュオーバー電圧 V_f の増加が見られた。また、 0.2MPa において、バリア B のギャップ [$L=0.4\text{mm}$ (針-バリア接触) $\sim 1\text{mm}$] のフラッシュオーバー電圧の差 (5kV) は、バリア A のギャップ [$L=1\text{mm}$ (針-バリア接触) $\sim 1.6\text{mm}$] のフラッシュオーバー電圧の差 (2kV) よりも大きくなった。
- (3) CCD カメラ・超高速カメラによるコロナの進展挙動において、バリア B・ 0.2MPa ・ $L=3\text{mm}$ で違った 2 つのコロナの進展が見られた。まず、コロナの発生後ゆっくりとコロナが進展するもの (pattern1) とやや高い電圧で大きく強い発光後、急速にコロナが進展するもの (pattern2) が見られた。

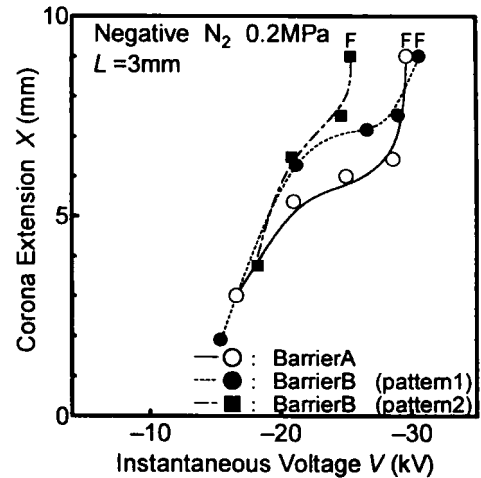


Fig.9 Dependency of instantaneous applied voltage on corona extension

文 献

-
- [1] 宅間:「SF₆とはどのようなものかーその応用と性質ー」, 電学誌, Vol.115, No.8, pp.488-491(1995)
 - [2] 青野・大野:「SF₆ガスの電力分野への応用」, 電学誌, Vol.115, No.8, pp.495-497(1995)
 - [3] 宅間:「ガス絶縁およびガス絶縁機器の基礎」, 電学論 B, Vol.116, No.8, pp.1168-1172(1996)
 - [4] 電気学会放電技術委員会:「電気学会技術報告 SF₆ の地球環境負荷と SF₆ 混合・代替ガス絶縁」, No.841p.5(2002)
 - [5] L.G.Chiristphorou and L.A.Pinnaduwege:「SF₆/N₂ Mixtures Basic and HV Insulation Properies」, *IEEE Trans.*, DEI-2, pp.952~1003 (1995)
 - [6] 釜谷・渡部・小野田・中山:「パルス電圧による SF₆ ガス中の微小ギャップを介した沿面放電特性」, 電学論 B, Vol.116, No.12, pp.1569-1574(1996)
 - [7] 渡部・釜谷・小林・小野田・中山:「SF₆ および N₂ ガス中のパルス電圧による沿面放電に及ぼす効果」 電学論 A, Vol.117, No.11, pp.1090-1096(1997)
 - [8] 繪川・釜谷・西川・上野・中山:「 μ s パルス電圧による混合ガス(SF₆/N₂)中の沿面放電特性に及ぼすバリア形状の影響」, 電学論 A, Vol.121, No.8, pp.751-757(2001)
 - [9] 奥村・犬石:「不平等電界における紙の隔壁効果」, 電学論, Vol.96, No.3, pp.127-132(1976)
 - [10] 放電バリア効果調査専門委員会:「放電バリア効果ーバリアによる放電進展の阻止ー抑制効果」, 電気学会技術報告(Ⅱ部), No.70, p.38 (1988)