

論 文

N₂/SF₆, N₂/O₂ 混合ガス中における沿面放電特性上野 秀樹*¹, 渡部 克典*, **, 中山 博史*

(1999年6月24日受付, 1999年8月30日受理)

Creeping Discharge Characteristics in N₂/SF₆ and N₂/O₂ Gas Mixture

Hideki UENO, Katsunori WATABE and Hiroshi NAKAYAMA

(Received June 24, 1999; Accepted August 30, 1999)

Creeping flashover characteristics of a composite insulating system with a solid insulator between a needle electrode and a plane electrode have been investigated. A negative creeping flashover voltage drastically decreased by the 0.5% admixture of electronegative gas (SF₆, O₂) into N₂ gas, and a highly emissive region at the top of a creeping corona was found in their gas mixtures. However, a photon emission in the creeping corona extension process in N₂/SF₆ and N₂/O₂ was very similar to that in pure N₂. These results suggest that a formation of negative ion by the electron attachment would not be so effective in N₂/SF₆ and N₂/O₂ at a low electronegative gas content.

1. はじめに

電気的負性ガスである SF₆は、非常に優れた絶縁性能を有することから、ガス絶縁開閉装置(GIS)や管路中送電路等の電力機器に利用され、その小型化や信頼性の向上に貢献してきた。特に、キューピクル型ガス絶縁開閉装置に約1気圧の SF₆ガス絶縁方式が採用されたことは、GISの小型化に大きく寄与した。それ故、SF₆は電力機器の絶縁媒体としての重要な地位を確立している。

その一方で、金属導体表面に突起が存在したり、金属異物が混入した場合、急峻波サージ電圧の侵入により、局部的に不平等電界が発生し、これにより SF₆ガスの絶縁耐力が著しく低下することが知られている¹⁾。今後の電力機器の小型化・高電圧化、信頼性向上には、この不平等電界下での問題を解決することは重要である。さらに、近年 SF₆ガスの排出量は未だ少ないものの温暖化係数は CO₂ガスの2万倍以上であるため、規制対象温室効果ガスとされている。そのため、SF₆を用いた電力機器の絶縁方式においても環境問題の点からの対応も求められている。

このような背景のもと、SF₆の代替ガスに関する研究が行わ

れてきた。特に、SF₆ガスと N₂等のバッファガスとの混合ガスについて、その平等電界下での絶縁特性に関する研究は数多く行われている²⁾。その結果、N₂/SF₆混合ガス絶縁や高気圧 N₂ガスを用いた絶縁が SF₆ガス絶縁に替わる方式として有望視されている。一方、不平等電界下では、コロナを経由して絶縁破壊に至ることから、絶縁破壊過程にはコロナ安定化作用が影響を及ぼし、その破壊特性は複雑である。渡辺らや Safarらによって N₂ガスおよび SF₆等との混合ガスの不平等電界下での特性が調べられているが^{3,4)}、これらは主に長ギャップ下のもので、微小ギャップにおける混合ガス中の特性については、必ずしも明らかではない。

一般に、電力機器においては、絶縁ガスと固体絶縁物の複合絶縁構成となっていることから、筆者らは急峻波を用いて複合絶縁構成における不平等電界下の沿面放電特性に関する研究を行ってきた^{5,6)}。その中で、N₂ガスに SF₆ガスを微量混合すると負極性沿面ラッシュオーバ電圧が大きく低下することを見い出した^{7,9)}。本研究では、上記背景を基に、N₂ガス、N₂/SF₆混合ガスおよび N₂/O₂混合ガスを中心とする各種ガス中の沿面放電特性について調べた。

2. 実験方法

本実験に用いた複合絶縁構成の電極配置を図 1 に示す。上部電極には先端曲率半径約 35μm の針を、下部電極には大きさ 50×50mm の黄銅製平板を用いた。針-平板電極間の距離 d は、針電極に設置したマイクロメータで 1.0mm 一定とした。この針-平板電極間に大きさ 40×50mm、厚さ 0.5mm の固体絶縁パリアを挿入した。この電極系を黄銅製容器(約 3×10³cm³)

キーワード: 沿面放電, パラレル電圧, 電気的負性ガス
*姫路工業大学工学部電気工学科 (672-2201 姫路市書写
2167)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Himeji Institute of Technology, 2167 Shosha, Himeji 671-
2201, Japan

**現在 関西電力(株) (530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22
Present address The Kansai Electric Power Co. Ltd. (3-3-22
Nakanoshima, kita-ku, Osaka 530-8270)

¹ueno@elct.eng.himeji-tech.ac.jp

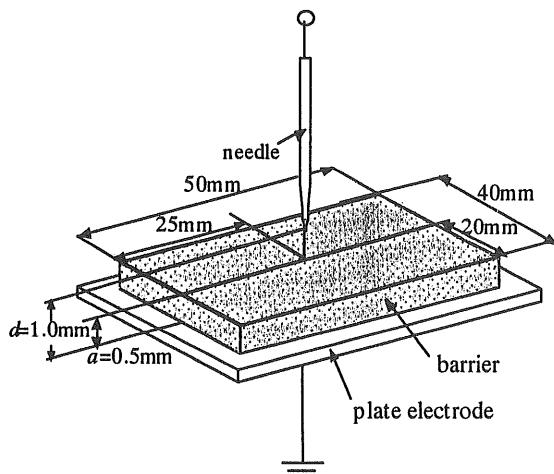


図1 電極配置

Fig.1 Electrode configuration

内に設置し、約0.1Paまで排気・減圧した後、ガス圧P=0.1~0.3MPaの範囲でガスを封入した。

針一平板電極間に、μsパルス電圧(波頭長T_f=1.5μs、最大波高値V_p=40kV)を印加し、そのパルスの波頭部でフランシオーバーを起させた。このパルス波頭部でフランシオーバーが生じた瞬間を沿面フランシオーバー電圧とした。また、コロナ放電が発生する電圧よりわずかに高い波高値V_pのパルス電圧を印加し、そのパルス電圧の波頭部でコロナ発光が観測され始める電圧をコロナ開始電圧とした。このときの電圧波形およびコロナ発光波形は、それぞれ高圧プローブ(HV-P30, DC-50MHz, 岩崎通信機(株))および光電子増倍管(931A, 波長領域300-650nm, 最高感度波長400nm, 浜松ホトニクス(株))を介してオシロスコープ(DL-1540, 150MHz, 横河電機(株))で測定した。また、高速ディジタルフレーミングカメラ(IMACON468:波長領域385-900nm, HADLAND PHOTONICS LTD.)を用いて黄銅製容器の石英窓を通して、フランシオーバーに至る沿面放電路の変化を撮影した。

なお、本実験では、固体絶縁バリアに硼珪酸ガラス(体積抵抗率ρ_v=10¹²Ω·cm, 表面抵抗率ρ_s=10¹¹Ω, 比誘電率ε_r=7)を使用した。コロナ放電による堆積電荷の電位減衰の時定数τが約1分と比較的短く¹⁰⁾、このためパルス電圧印加時のコロナ放電によるバリア上の堆積電荷の沿面放電に及ぼす影響を保存し、かつ連続する実験で、それまでの印加パルスによる前歴(残留電荷)の影響を避けることができる。実際に電圧印加1分後の表面電位を測定したが、電位は検出されず、本実験におけるパルス電圧の印加間隔は1分以上とした。

3. 実験結果および考察

3.1 フラッシュオーバー電圧の混合比依存性

図2にN₂/SF₆混合ガス中、ガス圧P=0.3MPaにおける沿面フランシオーバー電圧のSF₆ガス混合比依存性を示す。ここで、混合比Dは全ガス圧Pに対する電気的負性ガスの分圧の比である。

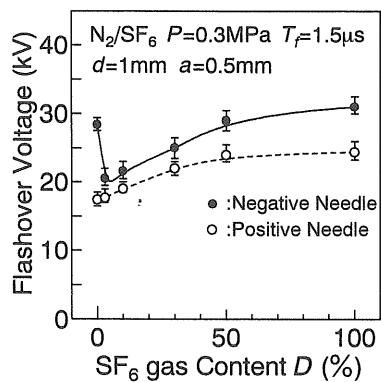


図2 N₂/SF₆におけるフランシオーバー電圧の混合比依存性
Fig.2 Dependence of flashover voltage on SF₆ gas content in N₂/SF₆.

る。正極性(針電極が正極の場合)では、SF₆ガスの混合比Dの増加とともに沿面フランシオーバー電圧も上昇した。特に、混合による沿面フランシオーバー電圧の上昇は、混合比Dが30%以下の領域で顕著であり、それ以上では飽和した。これは、平等電界下におけるSF₆混合ガスの混合による放電電圧の相乗効果に対応するものと言える²⁾。一方、負極性(針電極が負極)の場合、N₂ガスにSF₆ガスをわずか3%混合しただけで、沿面フランシオーバー電圧は、N₂ガス中の場合の約28kVから約19kVに急激に低下した。さらにSF₆ガスの混合比Dを増加すると、沿面フランシオーバー電圧は上昇した。しかしながら、D=50%以下では、その沿面フランシオーバー電圧は、N₂ガス中の値よりも低く、この領域では、SF₆ガスの混合は負の効果をもたらした。また、ガス圧をP=0.2MPaとしても、P=0.3MPaの場合と同様の結果であった。

SF₆同様電気的負性ガスであるO₂ガスのN₂ガスへの混合についても検討した。O₂ガスの混合における沿面フランシオーバー電圧の混合比依存性を図3に示す。図3(a)に正極性の結果を示した。O₂ガス中の沿面フランシオーバー電圧はP=0.3MPaでは約20kVで、この値はSF₆ガス中の値(約23kV)に比べて低く、またN₂ガス中の約17kVに近い値である。そのため、混合比Dを変化させても沿面フランシオーバー電圧は大きく変化せず、O₂ガスの混合比の増大とともに、わずかに上昇する程度である。また、ガス圧Pを変化させても同様の結果が得られた。図3(b)に負極性の結果を示す。ガス圧がP=0.2MPa以上において、O₂ガスをわずか3%混合するだけで、沿面フランシオーバー電圧は急激に低下した。O₂ガス中の沿面フランシオーバー電圧がSF₆ガス中のそれに比較して低いため、各混合比における沿面フランシオーバー電圧は、N₂/SF₆混合ガス中の場合より低いが、N₂/SF₆混合ガス同様、極小を有する下に凸の混合比依存性、すなわち、混合による負の効果が得られた。

以上のように、N₂ガスにSF₆ガスやO₂ガスの電気的負性ガスを微量混合した場合、負極性沿面フランシオーバー電圧が大幅に低下することが分かった。そこで、種々の混合ガスに対

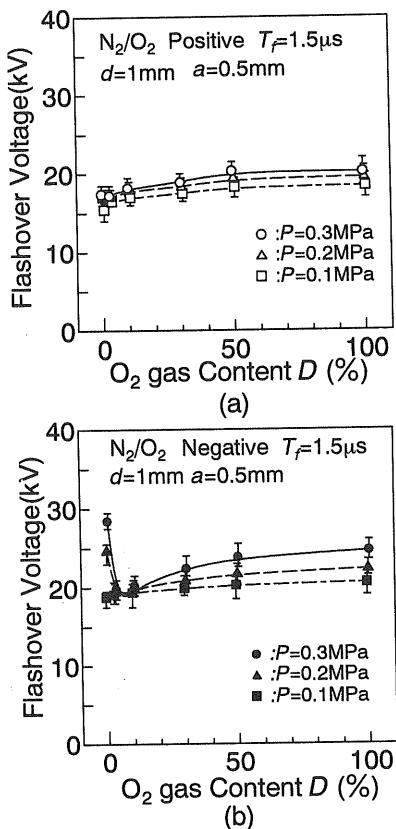


図3 N_2/O_2 混合ガス中におけるフラッショーバ電圧の混合比依存性

Fig.3 Dependence of negative flashover voltage on O_2 gas content in N_2/O_2 .

し、負極性沿面フラッショーバ電圧の混合比依存性について調べた。ガス圧 $P=0.3 \text{ MPa}$ における結果を図4に示す。まず、電子付着性を持たないガス同士である N_2/CO_2 混合ガスでは、 N_2 ガス ($D=0\%$) 中と CO_2 ガス ($D=100\%$) 中の負極性沿面フラッショーバ電圧にはほとんど差は無く、またいずれの混合比においても、沿面フラッショーバ電圧に大きな変化は見られなかった。さらに、電気的負性ガス同士の O_2/SF_6 混合ガス (SF_6 ガスの混合比を D とする) では、 SF_6 の混合により負極性沿面フラッショーバ電圧は低混合比領域で急激に上昇し、負極性沿面フラッショーバ電圧の低下はみられなかった。

これらの結果は、 N_2/SF_6 混合ガス及び N_2/O_2 混合ガスにおいて見られた負極性沿面フラッショーバ電圧の著しい低下には、電気的負性ガスが関与しているが、単に電気的負性ガスの存在だけがその要因ではないことを示唆している。

次に、 N_2 ガスの存在に着目し、 N_2 ガスと同じくそれ自体では電子付着性を持たない Ar ガスおよび CO_2 ガスと SF_6 ガスの混合についても検討を行い、その結果を同じく図4に示している。 Ar/SF_6 、 CO_2/SF_6 ともに N_2/SF_6 において見られたような、 SF_6 ガスの微量混合による負極性沿面フラッショーバ電圧の著しい低下は見られなかった。

以上のことから、負極性沿面フラッショーバ電圧の低下は、

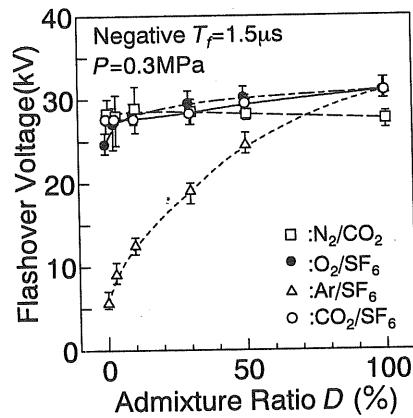


図4 各種混合ガスにおける負極性沿面フラッショーバ電圧の混合比依存性

Fig.4 Dependence of negative flashover voltage on admixture ratio in various mixed gas systems.

N_2 ガスへの電気的負性ガスの微量混合によってのみ生じる特異な現象であることが示唆された。

そこで、いかなる量の電気的負性ガスを混合した場合、沿面フラッショーバ電圧が大きく低下するかを検討した。

図5に N_2/SF_6 混合ガス中の SF_6 ガスの混合比 D が $D=0\sim 3\%$ である微量混合域(ガス圧 $P=0.1\sim 0.3 \text{ MPa}$)における沿面フラッショーバ電圧の変化を正負両極性について示した。図5(a)に示す正極性では、いずれのガス圧 P においても、混合比 $D=0.5\%$ における沿面フラッショーバ電圧が他の混合比に比べわずかに低い値となっているものの、負極性に見られるような大きな沿面フラッショーバ電圧の明確な変化は見られない。このことは、正極性においても、微量の SF_6 ガスの混合では、沿面フラッショーバ電圧における混合による正の効果が得られないことを示している。他方、図5(b)に負極性の結果を示す。ガス圧 $P=0.1 \text{ MPa}$ では、沿面フラッショーバ電圧はわずかに低下する程度であるが、ガス圧 $P=0.2 \text{ MPa}$ 及び $P=0.3 \text{ MPa}$ では、わずか0.5%の SF_6 ガスを N_2 ガスに混合するによって、沿面フラッショーバ電圧は急激に低下することが明らかとなった。さらに、沿面フラッショーバ電圧が最も低くなる混合比 D は、 $P=0.1 \text{ MPa}$ で $D=0.5\%$ 、 $P=0.3 \text{ MPa}$ では $D=1.0\%$ であり、ガス圧の上昇とともにわずかに高混合比側にシフトした。

3.2 コロナ開始電圧の混合比依存性

以上の検討結果から、 N_2 ガスへの電気的負性ガスの微量混合によって、負極性沿面フラッショーバ電圧が N_2 ガス中に比べ大幅に低下することが明らかとなった。そこで、負極性沿面フラッショーバ電圧に著しい低下が見られた N_2/SF_6 混合ガスおよび N_2/O_2 混合ガスにおける負極性コロナ開始電圧の測定を行った。

ガス圧 $P=0.3 \text{ MPa}$ における負極性コロナ開始電圧の SF_6 ガスおよび O_2 ガスの混合比依存性を図6に示した。 N_2/SF_6 、 N_2/O_2 共に、 SF_6 ガスあるいは O_2 ガスの微量混合(混合比 $D=3\%$)に

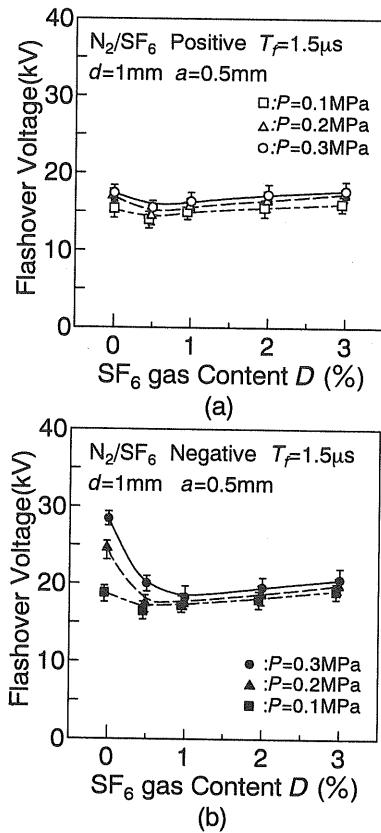


図5 N₂/SF₆におけるSF₆ガス微量混合域でのフランシオーバ電圧の変化

Fig.5 Change in flashover voltage at low SF₆ gas content for N₂/SF₆ gas system.

より、コロナ開始電圧は急激に上昇し、それ以上の混合に対してはゆるやかに上昇した。この混合比依存性はガス圧を変えて同じであった。N₂/SF₆混合ガスとN₂/O₂混合ガスではSF₆ガスあるいはO₂ガスの微量混合によって沿面フランシオーバ電圧が大幅に低下するのに対し、コロナ開始電圧は混合比に対し単調に増大している。また、N₂/SF₆混合ガスの正極性コロナ開始電圧やN₂/CO₂混合ガスの負極性コロナ開始電圧においても、同様の結果が得られている^{8,9)}。これらの結果は、沿面フランシオーバ電圧の低下が、コロナ開始以降の進展過程(ギャップ中および沿面)に起因することを示唆している。

3.3 混合ガス中の沿面放電進展形態

N₂/SF₆およびN₂/O₂混合ガスでは、SF₆ガスあるいはO₂ガスの微量混合により負極性沿面フランシオーバ電圧に著しい低下が見られる。これはコロナが発生した後、コロナがガスギャップ中および固体絶縁物沿面を進展する機構が関与しているものと考えられる。そこで、これらのガス中における負極性沿面コロナの進展形態を、高速度カメラを用いて観察した。各ガス中における、沿面放電の進展形態を斜め上から駒撮りし、フランシオーバ直前(N₂ガスにおいては直前90ns間、N₂/O₂混合ガス及びO₂ガスにおいては直前50ns間)の沿面放電像を図7に示した。なお、各放電像撮影中の印加電圧を図中に併

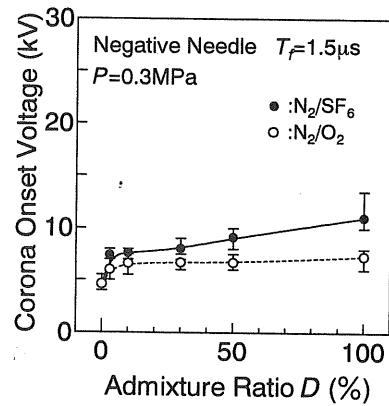


図6 N₂/SF₆, N₂/O₂におけるコロナ開始電圧の混合比依存
Fig.6 Dependence of corona onset voltage on SF₆ and O₂ gas admixture ratio in N₂/SF₆ and N₂/O₂.

記している。先ず、図7(a)のN₂ガス中では、針電極先端からコロナが固体絶縁バリア表面に進展し、バリアに到達した後、比較的太い数本のコロナに枝分かれし、バリア沿面を進展している。一方、N₂ガス中のコロナが弱く湾曲しながら進展するのに対し、図7(b)に示すO₂ガス中のコロナは、進展途中で強く多数回屈曲しながらバリア沿面を進展する。これは電子付着によって形成される負イオンが、沿面コロナ先端でその進展を抑制することに起因しているものと考えられる。一方、N₂/SF₆(D=3%)混合ガスとともに、沿面フランシオーバ電圧に著しい低下が見られたN₂/O₂(D=3%)混合ガス中の沿面放電像を図7(c)に示した。N₂/O₂(D=3%)混合ガスの沿面コロナの進展形態は、コロナが沿面に達した後のコロナの枝分かれ、沿面を進展する過程における屈曲とともに、N₂ガス中及びO₂ガス中における沿面コロナの進展の中間的なものとなっている。しかしながら、N₂ガス中やO₂ガス中のコロナにおいては見られない沿面コロナ先端での比較的強い発光領域の広がりが観測された。これは、固体絶縁バリア上を進展する沿面コロナ先端で電離が活発に行われていることを示している。SF₆ガスの混合によって沿面フランシオーバ電圧の低下が見られたN₂/SF₆(D=3%)混合ガス中の沿面コロナにおいても、N₂ガスやSF₆ガス中では見られなかった球状の強い発光が沿面コロナの先端部分で観測されている^{8,9)}。一方、正極性についてもの同様の観察を行ったが、沿面コロナ先端に強い発光領域は確認されなかった。

以上の高速度カメラを用いた沿面コロナの進展形態の観測において、N₂/SF₆(D=3%)混合ガス、N₂/O₂(D=3%)混合ガス中では、沿面コロナ先端に強い発光領域が観測され、N₂ガスへの電気的負性ガスの微量混合によって、沿面コロナ先端近傍での電離が活発化し、フランシオーバに至りやすくなり沿面フランシオーバ電圧が低下したものと考えられる。

3.4 N₂/SF₆, N₂/O₂混合ガス中でのコロナ発光波形

N₂ガスと電気的負性ガスのガス系における沿面コロナ進展

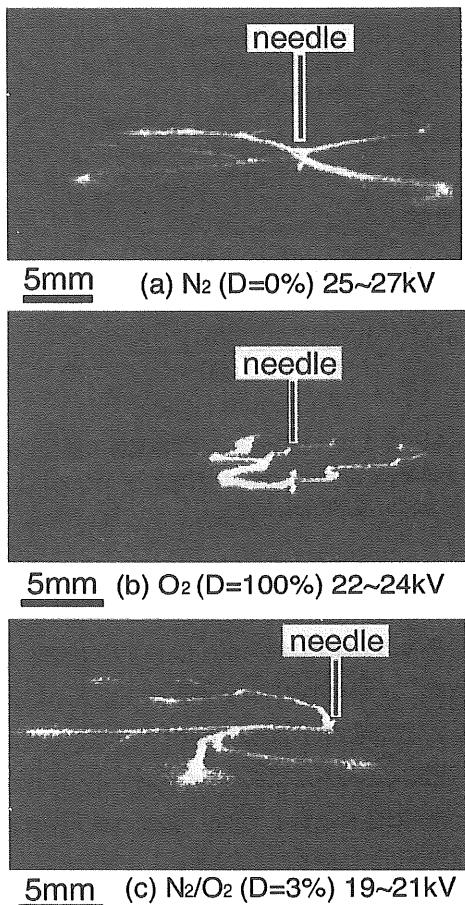


図7 N_2/O_2 混合ガス中における沿面放電像
Fig.7 Creeping discharge images in N_2/O_2 gas mixtures.

過程についてさらに検討するためコロナ発光の時間変化（コロナ発光波形）を調べた。ここでは印加パルス電圧の波高値を、沿面フラッシュオーバ電圧よりわずかに低い値に設定し、パルス電圧印加からフランシオーバ直前までのコロナ発光の変化を記録、観測した。

図8(a)は N_2 ガス中のコロナ発光波形を示しているが、電圧印加の初期段階における強くシャープな発光とそれに続く比較的ブロードな発光の2種類の発光ピークが観測された。また、図8(c)に示す SF_6 のコロナ発光波形では、不規則な周期で複数のパルス状発光が観測された。一方、 SF_6 ガスの混合によって沿面フランシオーバ電圧の $N_2/SF_6(D=3\%)$ 混合ガスにおいては、 N_2 ガスの場合と同様に、沿面フランシオーバ電圧よりわずかに低い波高値の電圧印加において、強くシャープな発光とそれに続くブロードな発光が見い出された。

次に、 N_2/O_2 混合ガスについても、コロナ発光の様子を調べた。図8(e)は、 O_2 ガス中のコロナ発光波形であるが、図8(c)に示す SF_6 ガスにおけるコロナ発光波形と同様に不規則なパルス状発光のみが観測された。さらに、図8(d)に示す沿面フランシオーバ電圧の低下が見られた $N_2/O_2(D=3\%)$ 混合ガス中では、 N_2 ガスや $N_2/SF_6(D=3\%)$ 混合ガス中の場合と同様、強くシャープな発光と後続のブロードな発光が見られた。また、

コロナ発光の強度に関しても、 N_2 、 N_2/SF_6 および N_2/O_2 混合ガス中のいずれにおいても大きな差異は認められなかった。

ところで、Kuffel らは N_2 、 SF_6 、 N_2/SF_6 の各種ガスに対し、針一平板電極間(電極間距離 $d=5\sim 50\text{mm}$ 、印加パルス $1.5/50\mu\text{s}$)での気中コロナ放電の発光波形を調べ、いずれのガス中の放電においても、波頭部でシャープな発光が、またパルス印加開始より数十 μs (10~40 μs)後にブロードな発光が見られるこことを報告している¹¹⁾。また、波頭部のシャープな発光はリーダーの形成、後続のブロードな発光はイオンの再結合によるものとして説明している。我々の結果は、2種類の発光とともに波頭部で観測される点、 SF_6 ガス中ではパルス状発光のみが観測される点で、Kuffel らの結果と異なっている。また、印加パルス電圧の波高値をコロナ開始電圧よりわずかに高く設定した場合のコロナ発光波形には最初の一本のパルス状発光ピークのみが観測され、後続のブロードな発光や複数の不規則なパルス状発光は観測されていない。従って、パルス波頭部で最初に現れるシャープな発光に続くブロードな発光あるいは不規則な複数のパルス状発光が、固体絶縁バリア沿面のコロナの進展状況を現しているものと言える。

即ち、 SF_6 ガスおよび O_2 ガス中でのコロナ発光波形に見られる不規則な周期で複数のパルス状発光は、これらの電気的負性ガス中ではバリア沿面を放電がステップ進展していることを示唆している。また、 $N_2/SF_6(D=3\%)$ 混合ガスおよび $N_2/O_2(D=3\%)$ 混合ガスにおいて、 N_2 ガスの場合と同様、シャープな発光と後続のブロードな発光が観測されていることから、 N_2 が弱点となって、その電離によりコロナがバリア沿面を進展しているものと考えられる。また、沿面放電進展像において $N_2/O_2(D=3\%)$ 混合ガスおよび $N_2/SF_6(D=3\%)$ 混合ガスでは、その沿面コロナの先端部で強い発光が見られたことは、 N_2 ガスへの電気的負性ガスの微量混合により、沿面コロナ先端部での電離が活発となり、 N_2 ガスに比べ沿面コロナが容易に進展し、沿面フランシオーバ電圧が低下したものと考えられる。

以上の結果から、 N_2 ガスへの電気的負性ガスのガスの微量混合による負極性沿面フランシオーバ電圧低下のメカニズムとして、以下のようなものが考えられる。まず、本電極構成では、コロナがガスギャップ中を進展する過程とバリア沿面を進展する過程に分けられる。後者の過程において、バリア沿面をコロナが進展するが、 SF_6 ガスや O_2 ガスの混合比が $D=0.5\sim 3\%$ 程度と低く、さらにあるエネルギー範囲の電子に対する SF_6 ガスや O_2 ガスの付着係数は小さい。 SF_6 の場合、2~3eV のエネルギーの電子に対する電子付着係数は、1eV 以下の電子に比べ約3桁小さく、また4eV 以上の電子に対しても1桁小さい¹²⁾。したがって、付着による負イオンの形成は少なく、また負イオンが形成されたとしても、この付着電子は、低いエネルギー(SF_6 の場合、0.05eV 程度)で放出され得る¹³⁾。その

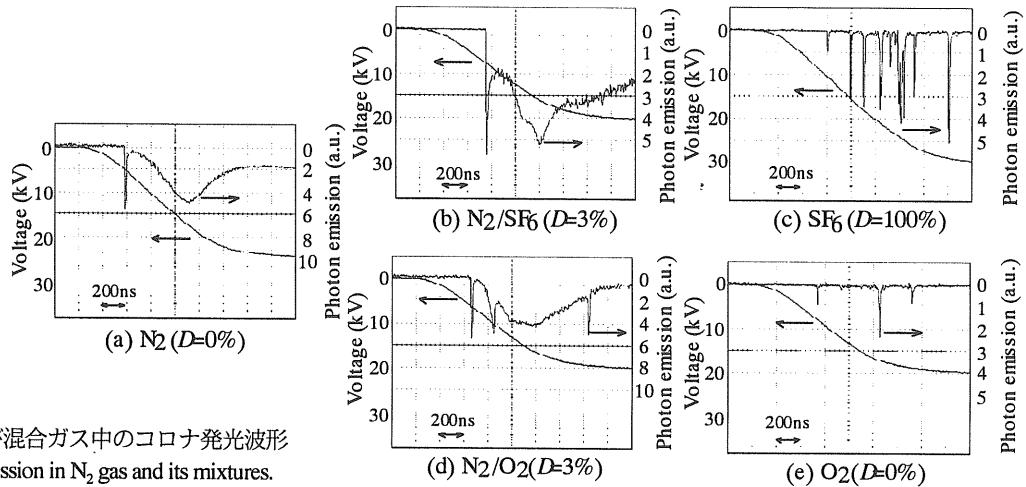


図8 N₂および混合ガス中のコロナ発光波形
Fig.8 Photon emission in N₂ gas and its mixtures.

ため、ストリーマ先端近傍に電子が供給されやすくなる。また、窒素や酸素の最低励起電圧は数 eV と低く、励起・再結合や励起状態の N₂ 分子の電離によるフォトンの生成は比較的容易と考えられる。また、今回の実験においてフラッシュオーバ電圧の低下が見られた混合比領域に対応する 10%SF₆ ガス混合の紫外域での光吸収係数は、N₂ ガスに比べ数倍から 10 倍も増大する¹⁴⁾。即ち、生成されたフォトンが効率的に吸収され、ストリーマ先端近傍で光電離が起こりやすいものと考えられる。さらに、バリア表面上からの光電子放出も起こり得る¹⁵⁾。したがって、電気的負性ガスの微量混合では、N₂ ガス単独の場合に比べ、バリア沿面でのストリーマ先端近傍における電子の存在確率が高くなる。これにより、N₂ ガスへの SF₆ ガスや O₂ ガスの微量混合では、N₂ ガス中に比べ沿面コロナは進展しやすく、沿面フラッシュオーバ電圧も低くなったものと考えられる。

一方、前者のガスギャップ中の進展過程に関して、N₂/SF₆ 混合ガス中の長ギャップ放電ではコロナ安定化作用が弱くなりフラッシュオーバ電圧が低下する場合があることも報告されている³⁾。本実験は上記条件とは大きく異なるが同様にコロナ安定化作用が関与している可能性もある。したがって、メカニズムについては、今後さらに詳細な検討が必要である。

4.まとめ

微小ギャップに固体絶縁バリアを挿入した複合絶縁構成における、N₂/SF₆ および N₂/O₂ をはじめとする各種混合ガス中のパルス電圧による沿面放電特性について調べた。本研究で得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- (1) 電気的負性ガスである SF₆ ガスあるいは O₂ ガスの N₂ ガスへの混合においてのみ、微量混合域において、負極性沿面フラッシュオーバ電圧が、N₂ ガスの値に比べ大きく低下する。
- (2) 沿面フラッシュオーバ電圧は、混合比 D=0.5~1% で最小となり、この最小となる混合比は、ガス圧の上昇とともに高

混合比側にわずかにシフトする。

- (3) N₂ ガスへの SF₆ ガスあるいは O₂ ガスの微量混合において、その沿面コロナ先端部に強い発光領域が観測され、この特異な進展形態が、沿面フラッシュオーバ電圧の低下に関連していることが示された。
- (4) N₂/SF₆ (D=3%) 混合ガスおよび N₂/O₂ (D=3%) 混合ガス中の沿面コロナ進展過程におけるコロナ発光の状態は、N₂ ガスと同じであり、N₂ ガスへの電気的負性ガスの微量混合では、負イオンによる放電抑制効果は認められない。また、光電離等の作用も加わり、沿面ストリーマ先端近傍における電子の存在量が多くなるため、沿面コロナの進展が容易となり、沿面フラッシュオーバ電圧が低下するものと考えられる。

参考文献

- 1) 松本聰、村瀬洋：電気学会論文誌 B, **110** (1990) 111
- 2) 電気学会：電気学会技術報告（II部）第 248 号 (1987)
- 3) T.Watanabe and T.Takuma: J.Appl.Phys., **48** (1977) 3281
- 4) Y.A.Safar, N.H.Malik and A.H.Qureshi : IEEE Trans. EI-**17** (1982) 441
- 5) 渡部克典、釜谷文博、小林伸匡、小野田光宣、中山博史：電学論 A, **117** (1997) 1090
- 6) 中山博史、小野田光宣、西森康博、大前修二、天川清士：応用物理, **59** (1990) 1513
- 7) 渡部克典、増岡裕晃、小野田光宣、中山博史：電学論 A, **117** (1997) 893
- 8) 渡部克典、四宮康治、上野秀樹、小野田光宣、中山博史：電気学会論文誌 A, **119** (1999) 6
- 9) H.Ueno, K.Watabe, K.Tada, M.Onoda and H.Nakayama: Jpn. J. Appl. Phys., **37** (1998) 6595
- 10) 家田正之、澤五郎、篠原卯吉：電気学会雑誌, **88** (1968) 1107
- 11) E.Kuffel and A.Yiallizis: IEEE Trans., PAS-**97** (1978) 2359
- 12) 武田進：放電ハンドブック, p.41, 電気学会 (1984)
- 13) 侯海濤、細川辰三、宮本昌広、森田公、金田輝男：電気学会論文誌 B, **117** (1997) 1189
- 14) D.T.A.Blair, N.M.MacLeod and J.S.Orr: Proc. 4th.Int. Conf. Gas Discharge, p.401 IEE London (1976)
- 15) 湯本雅恵、堺孝夫：電気学会論文誌 A, **109** (1989) 1