

誘電体面の気中放電におよぼす影響

長谷川 誠一・沓 沢 俊雄・赤 上 陽出男*

The effect of dielectric surface in air breakdown

Seiichi Hasegawa, Toshio Kutsuzawa, Hideo Akagami

(昭和47年11月10日受理)

1. ま え が き

沿面放電に関する研究は数多いが、これらの大部分は衝撃電圧によるものであり、商用周波電圧によるものは比較的少ない。また商用周波電圧による研究であっても、懸垂がいしやがい管などに適応しやすい汚損面や、背後電極のある場合についてであって、同一面上における沿面放電についてはあまり報告されていない。

筆者らは実際上ありがちな、たとえば長幹がいし等のような背後電極のない同一面上の商用50Hz電圧による沿面放電について基礎的な研究を行ってきた。その過程において電極の密着状態や、その形状が沿面フラッシュオーバー電圧に大きく影響し、その影響の度合は大気相対湿度に大きく支配されることを見いだした(1)。(2)。(3)。

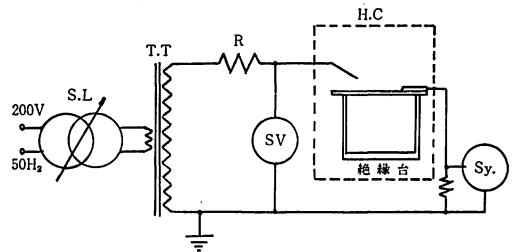
これらの現象を解明するため、モデル的に一方の電極を針電極とし電極の配置、大気相対湿度等の各種の条件のもとで実験的に検討を行なった。

その結果、針電極を誘電体面より空気中に浮かし、その直線距離を延ばしてもフラッシュオーバー電圧は変化しない、という工学的に重要な現象を発見し、その条件を決定した。

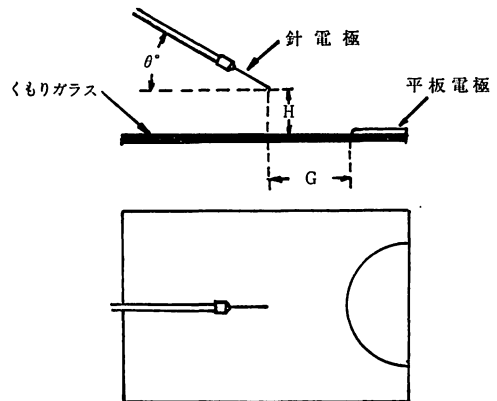
2. 実 験 方 法

実験回路および電極配置の概略を第1図に示した。誘電体としては市販のくもりガラス(300×200×2mm)を用い、そのくもり面を放電面として一方に半円板電極(半径60mm、厚さ1.2mm)を密着した。なお、半円板電極の電界側の上縁を丸く研磨している。針電極は半径が1.0、0.75、0.5、0.35、0.25mmのタングステン線を用い、その針端を半球状に研磨した。ガラス板は両端を高さ30cmの合成樹脂製絶縁台上で水平に保持した。針電極は第1図の(B)のようにそのガラスのくもり面に対し θ° の角度をもって、水平ギャップの長さG(cm)

および誘電体面からの垂直高さH(cm)を自由に調節できるように配置した。これらの試験装置を約0.9 m^2 の槽に収納し、調湿を行なった。



T.T: 試験用変圧器 (200V/150kv, 15KVA)
S.L: スライダック
S.V: 静電電圧計
Sy: シンクロスコープ (DC~15MHz)
R: 保護用水抵抗 (1M Ω)
r: 電流観測用抵抗
H.C: 調 湿 槽 (0.9 m^2)
(A) 実 験 回 路



(B) 電 極 配 置

第 1 図 実験回路および電極配置

* 秋田大学鉱山学部電気工学科教授

試験電圧は商用周波50Hzで1.5~2.0kv/sの上昇速

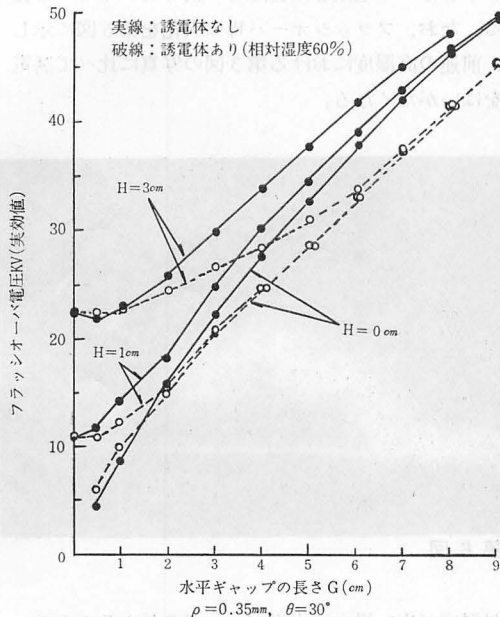
度で印加した。なお、針電極を高電圧側とし、半円板電極は電流波形観測用の抵抗を通して接地した。印加電圧の上昇過程におけるコロナ電流波形を周波数帯域15MHzのシンクロスコープで観測した。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 誘電体面の有無によるフラッシュオーバー電圧特性

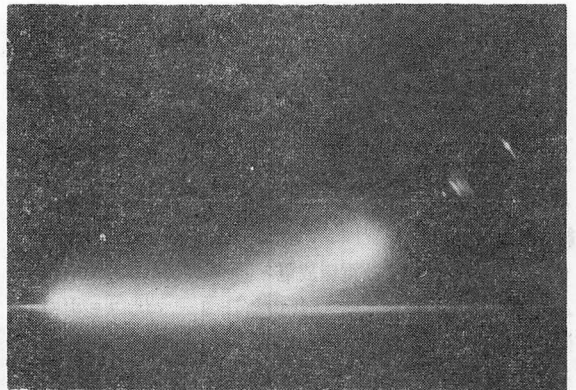
第1図の電極配置のもとで誘電体としてのガラス板の有無によるフラッシュオーバー電圧特性を第2図に示した。これは針端の曲率半径 ρ が0.35mm、針電極の傾き角度 30° におけるものである。

誘電体がない場合、フラッシュオーバー電圧は水平ギャップの長さ G 、および垂直高さ H の増大にもなって上昇する。しかし、水平ギャップの長さ G の増大にしたがって、垂直高さ $H=0$ のフラッシュオーバー特性曲線に収束するような傾向がみられる。これはフラッシュオーバー時の火花が平板電極端と針電極との直線方向に橋絡するため、水平ギャップの増大によって垂直高さ H の直線距離の増大におよぼす影響が小さくなるためである。また、針電極正極時のコロナの進展性が大きい。以上のよう誘電体のない電極配置では一般の針対平板、あるいは針対針の気中放電の特性に類似している。



第2図 誘電体の有無によるフラッシュオーバー電圧特性

誘電体のある場合のフラッシュオーバー電圧は、一般に大気相対湿度に大きく支配され、水平ギャップの長さの大きい範囲では大気相対湿度が高くなるにもなって、フラッシュオーバー電圧は著しく低下する。第2図には誘電体がない場合に比較する意味で、大気相対湿度の比較的低い60%の場合のフラッシュオーバー電圧特性を示した。誘電体がない場合のそれに比べて、水平ギャップの長さ G の小さい範囲においては、水平ギャップの長さの増大にもなうフラッシュオーバー電圧の変化は著しく小さい。これは大気中の場合と異なって平板電極端から誘電体に沿うコロナの進展が正、負ともに大きいためである⁴⁾。そして水平ギャップの長さ G のある値のもとで、フラッシュオーバー電圧曲線は垂直高さ $H=0$ 、すなわちこの場合の針対平板端の沿面フラッシュオーバー電圧曲線に収束する³⁾。この収束点に対応する水平ギャップの長さ G は針電極を誘電体面から浮かした高さ H の増大にもなって大きくなる。この収束点以上の水平ギャップの長さの電極配置のもとでは、針端正極時において誘電体面に沿っては、正のストリーマ状コロナがあらわれる。また、フラッシュオーバー時の火花も第3図の写真のように誘電体面の一部をはって、電極間を橋絡する。

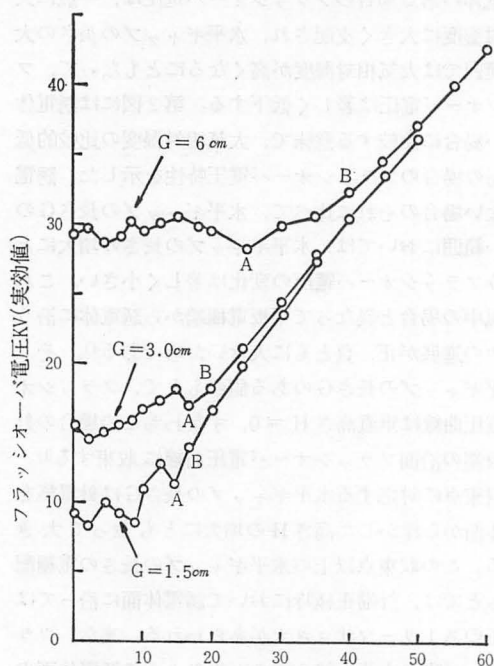


第3図

3.2 針電極を浮かした場合のフラッシュオーバー電圧特性

第4図に水平ギャップの長さ G をパラメータにして、針電極を誘電体面から浮かした垂直高さ H とフラッシュオーバー電圧との関係を示した。これは大気相対湿度が比較的高い82%のもとで、針端の曲率半径 ρ を0.35mm、針電極の傾き角度を 30° とした場合の結果である。

水平ギャップの長さ G に対して、垂直高さ H の比較的小さい範囲ではフラッシュオーバー電圧は不規則になる。浮かした高さ H の増大にもなうフラッシュオーバー電圧の



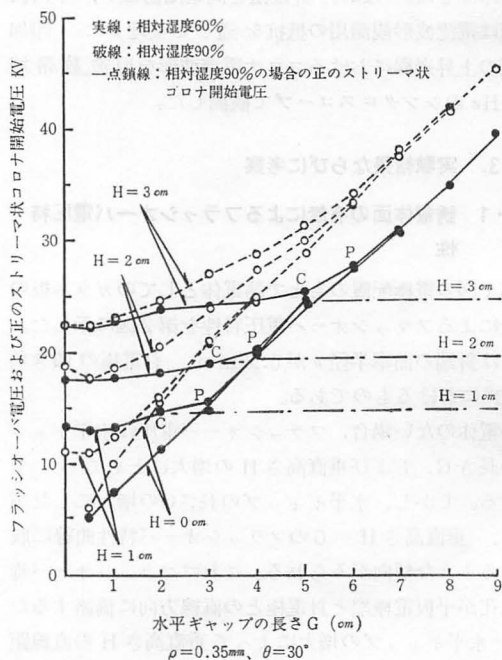
誘電体面から浮かした高さ H (mm)
 相対湿度 82%, $\rho = 0.35 \text{ mm}$, $\theta = 30^\circ$

第 4 図 針電極を誘電体面から浮かした高さ
 とフラッシュオーバー電圧)

上昇率は水平ギャップの長さ G が小さいほど大きく、さらに極小部を経て水平ギャップの長さ G に無関係なフラッシュオーバー電圧曲線を描く。このフラッシュオーバー電圧曲線をあらわす電極配置においては、誘電体面の影響はなく、大気中の針対平板電極放電と同一視できる。図中の A 点の極小部においては、正のストリーマ状コロナの発生が安定し、火花が誘電体面の一部をはって橋絡する¹⁾。また B 点においては、正のストリーマ状コロナが誘電体面をはわず、直接平板電極面上に到達する境界を示したものである。

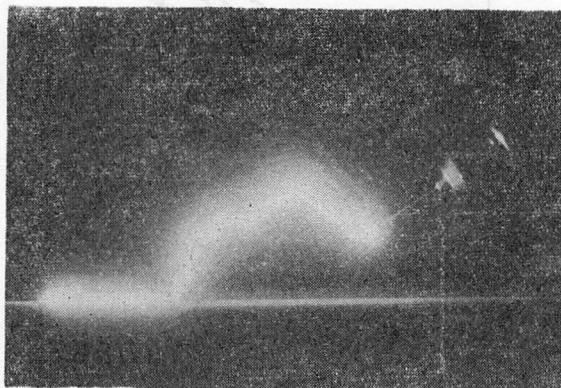
3.3 大気相対湿度のフラッシュオーバー電圧特性におよぼす影響

第 5 図に大気相対湿度の低い場合の例として 60%，高い場合の例として 90% のもとにおけるフラッシュオーバー電圧特性、および針端よりの正のストリーマ状コロナ開始電圧特性を示した。なお、針電極の曲率半径 ρ は 0.35 mm、誘電体面に対する傾き角度 θ は 30° である。相対湿度が低い場合、一般に針端正極時のストリーマ状コロナは進展しがたく、フラッシュオーバー時の火花も誘電体面をはいがたい⁵⁾。フラッシュオーバー電圧は水平ギャップの



第 5 図 大気相対湿度とフラッシュオーバー電圧
 および正のストリーマ状 コロナ開始電圧特性

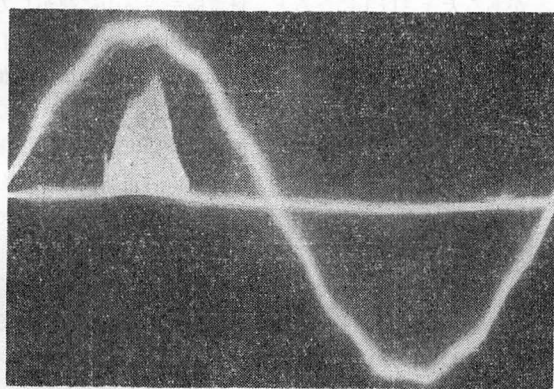
長さ G の増大にともなって上昇する。図中では正のストリーマ状コロナの発生を示していないが、その開始電圧はフラッシュオーバー電圧とほとんど一致しているものと見られる。なお、フラッシュオーバー時の火花を第 6 図に示したが、前述の高湿度における第 3 図の写真に比べて誘電体面をはいがたくなる。



第 6 図

相対湿度が高い場合は水平ギャップの長さ G の小さい範囲では、火花の形態は大気中の針対平板電極放電に類似し、フラッシュオーバー時の火花は直接電極間を橋絡す

る。フラッシュオーバー電圧曲線上のC点まではこのような水平ギャップの長さGの範囲をあらわし、フラッシュオーバー電圧は水平ギャップの長さGを変えても、ほぼ一定⁵⁾となる。ところが、水平ギャップの長さGをさらに増大すると、水平ギャップの長さGおよび浮かした高さHのある相関のもとで⁵⁾、針端正極時のストリーマ状コロナが安定に、誘電体面をはって橋絡するのが見られる。さらに水平ギャップの長さGを増すと、フラッシュオーバー電圧は沿面フラッシュオーバー電圧特性曲線にはほぼ一致する。この境界点を図中にPで示した。このC点とP点の間では、未だ正のストリーマ状コロナの発生が安定していない。P点に対応する水平ギャップの長さより大きい範囲では、正のストリーマ状コロナは針電極の延長方向に、おおよそ45°の角度で³⁾誘電体面に向かって展開し、その局部に輝いたスポットを形成する。この場合のコロナ電流の波形の一例を第7図に示した。この正のストリーマ状コロナは、著しく導電的であり⁸⁾、そのパルスの波高値は数mAに達する。また、このコロナは間欠的にあらわれる⁸⁾。この間欠性は誘電体面のコロナ電流による乾燥と吸湿との繰り返しによるものである。また、この正のストリーマ状コロナの開始電圧は、水平



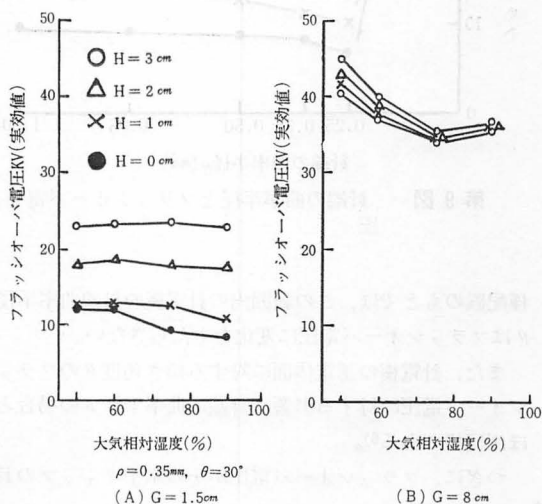
第7図

ギャップの長さGに関せず一定となる。この理由としては、このような条件においては吸湿した水分によって誘電体面が平板電極と同電位に近づいている⁷⁾と考えられる。すなわち、水平ギャップの長さGが変化しても、大気中の針対平板電極配置のギャップの長さGが変化しない場合に対応している。この正のストリーマ状コロナが安定に発生するためには、ある最小水平ギャップの長さG_m⁵⁾を要し、これは浮かした高さHならびに大気相対湿度によって変化する。

しかるに、フラッシュオーバー電圧はP点より大きい水平ギャップの長さにおいては、正のストリーマ状コロナ

の開始電圧のように一定とはならず、水平ギャップの長さGの増大にともなって、ほぼ直線的に増大している。これはフラッシュオーバーの前段として発生する、正のストリーマ状コロナが誘電体面に吸湿された水分を局部的に発散させるためである。

つぎに、水平ギャップの長さGを一定として、大気相対湿度を変えた場合のフラッシュオーバー電圧を第8図に示した。これは針電極の針端曲率半径 ρ が0.35mm、誘電体面に対する傾き角度 θ は30°である。水平ギャップの長さGの小さい範囲では、針電極を浮かした場合のフ



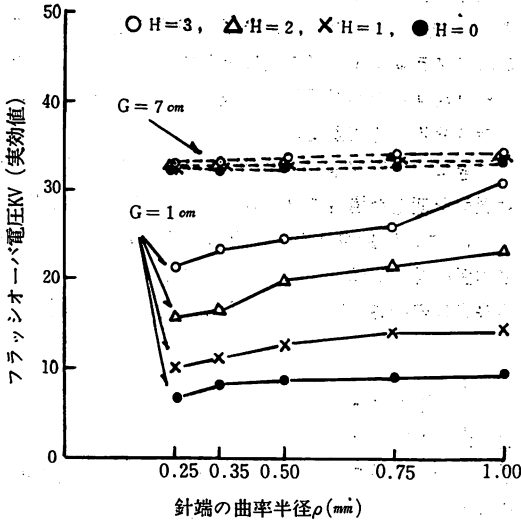
第8図 大気相対湿度とフラッシュオーバー電圧

ラッシュオーバー電圧の変化は少ない。しかし、水平ギャップの長さGを増して、火花が誘電体面をはう条件に達すると相対湿度の増加にともなってフラッシュオーバー電圧は低下し、相対湿度75%近くで最小値を示す。

3・4 針電極の針端の曲率半径とその傾き角度

以上のように、とくに高温時においては、針電極を誘電体面より浮かした効果がなくなる電極配置条件が存在する。このような高温時において、針電極の針端の曲率半径 ρ のフラッシュオーバー電圧に対する影響を第9図に示した。この図は針電極の傾き角度 θ が30°、大気相対湿度が90%におけるものである。水平ギャップの長さGが1cmと小さい場合は針端の曲率半径 ρ が増大するとフラッシュオーバー電圧は上昇する。しかるに、針電極を浮かした効果がなくなるような水平ギャップの長さGの大きい、G=7cmにおけるフラッシュオーバー電圧は針端の曲率半径 ρ には影響されず、ほぼ一定値を示す⁶⁾。

すなわち、正のストリーマ状コロナが安定に発生し、フラッシュオーバー時の火花が誘電体面をはうような電

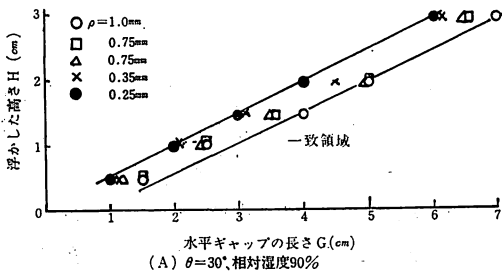


第 9 図 針端の曲率半径とフラッシュオーバー電圧

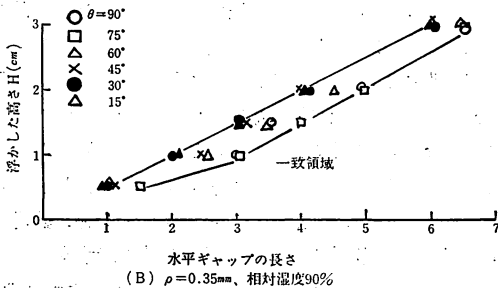
極配置のもとでは、この範囲内の針電極の針端曲率半径 ρ はフラッシュオーバー電圧に変化をもたらさない。

また、針電極の誘電体面に対する傾き角度 θ のフラッシュオーバー電圧に対する影響は針端の曲率半径 ρ の場合とほぼ同様である⁶⁾。

つぎに、フラッシュオーバー電圧がその水平ギャップの長さ



(A) $\theta=30^\circ$, 相対湿度90%



(B) $\rho=0.35$ mm, 相対湿度90%

第 10 図 フラッシュオーバー電圧が沿面フラッシュオーバーに一致する領域

さ G における沿面フラッシュオーバー電圧に一致する領域の代表例をプロットし、第10図に示した。第10図 (A) は針電極の傾き角度 θ が 30° で針端の曲率半径 ρ を 0.25 mm \sim 1.0 mm と変化させた場合、また同図 (B) は針端の曲率半径 ρ が 0.35 mm で、針電極の傾き角度 θ を $15^\circ \sim 90^\circ$ と変化させた場合である。すなわち、同一の浮かした高さ H において、フラッシュオーバー電圧が沿面フラッシュオーバー電圧に一致する水平ギャップの長さ G は、針端曲率半径 ρ 、傾き角度 θ が大きくなると、やや増加する傾向を示す。しかし、 ρ および θ には無関係に針電極を誘電体面から空気中に浮かした効果がなくなる領域⁶⁾が存在することになる。

4. ま と め

以上の結果から、同一面上にあり対した針対平板電極配置の放電特性についてつぎの諸点が明らかとなった。

1) ギャップの長さが大きくなると誘電体面の存在によって、フラッシュオーバー電圧が一般に著しく低下し、その低下の度合は大気相対湿度が高くなるにもなって大きくなる。

2) 大気相対湿度が高い状態で、水平ギャップの長さがある大きさ以上になると、針電極を空気中に浮かしてもそのフラッシュオーバー電圧は、その相対湿度における沿面フラッシュオーバー電圧にほぼ一致するような領域が存在する。

3) 高湿時、上記のような領域においては、針端正極時の正のストリーマ状コロナが安定に誘電体面の一部をはって橋絡し、フラッシュオーバー時の火花の形態も同様である。

4) 水平ギャップの長さが小さい範囲では、火花の形態は大気中の針対平板電極放電のそれに類似しているが、高湿時においては誘電体面が導電的になるため、フラッシュオーバー電圧は水平ギャップの長さを増大しても、ほぼ一定値を示す範囲がある。

以上のように電極を空気中に浮かし、電極間の直線距離を増大しても、フラッシュオーバー電圧の上昇を期待できない領域が存在する。したがって、これらの諸点は高電圧機器の絶縁設計上、注目を要する。

参 考 文 献

- 1) 赤上, 門脇: 電気学会東北支部連合大会 <14A-6> (1960)
- 2) 赤上, 成田, 門脇: 電気学会連合大会 <54> (1962)
- 3) 赤上, 成田, 門脇: 放電研究 <12号> (1962)

- 4) 斎藤：電気学会雑誌〈Vol.66〉(1946)
- 5) 赤上，加賀，長谷川：電気学会東北支部連合大会
〈7 A-21〉(1966)
- 6) 赤上，加賀，長谷川：電気学会東北支部連合大会
〈6 B-5〉(1966)
- 7) 赤上，加賀，長谷川：電気学会連合大会
〈107〉(1968)
- 8) 赤上，杳沢，長谷川：電気学会東北支部連合大会
〈2 C-25〉(1968)