

# がいし面上を進展するアークの写真観察

長谷川 誠 一

(昭和61年10月31日受理)

## Photographical observation of propagation of electric discharge on the surface of an insulator.

Seiichi HASEGAWA

Flashover of wet polluted insulator is caused by the propagation of electric discharge across the surface of an insulator.

Two kinds of photographing equipment have been used for the observation. One is a conventional motor drive camera with rotating slit adapted for this work. The other is a Image Convertor Camera (ICC).

The observation with these equipment has shown that a local discharge arises at the surface near the high voltage electrode tip. Subsequently, some local discharges arise at some parts and grow until complete flashover.

### 1. まえがき

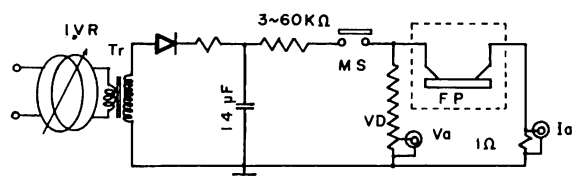
湿潤した汚損がいしのフラッシュオーバー現象は局部アークの進展によって引き起こされる<sup>1)</sup>。この局部アークの進展時間はフラッシュオーバー電圧が低くなるにともない長くなり、数100 msにも達する。これまで、この局部アークの進展の観測にはがいし面に沿って配置した電位プローブを用いた測定のような電気的な方法や、スリーク撮影による光学的な測定が行われ、報告も数多い<sup>2)</sup>。とくに、局部アークの進展速度を測定しようとする場合、ストリーク撮影が最もダイレクトな方法である。この方法はアーク進展方向が一方向に限られている場合はよいが、アークスポットが数ヶ所に発生したり、あるいは発生消滅を繰り返すような場合は写真の分解能の面で困難な点が多い。これに対し、情報としては断続的なものとなるが駒どり撮影の場合、アーク像を静止画像としてとらえることができるので、その挙動の直感的な把握がしやすい。この観点から筆者は2つの方法、改造カメラとイメージコンバータカメラ(ICC)による局部アークの駒どり撮影を試み、いくつかの定性的な特性を把握することができた。

われる人工汚損試験法に準じて行った。使用した汚損液は1ℓの蒸留水に10~40gの食塩と、40gのカオリンを混合したものである。がいしのモデルとしては24×9×2.5(cm)の平板がいし(FP)を用いた。これを約45°の傾斜した台にのせ、汚損液をがいし表面に十分に噴霧して、余分な液は自然流下させた。3分間放置した後、がいし表面のほぼ中央部分に所定の長さで幅1(cm)の長方形の汚損帯を残して、他の部分をガーゼで拭きとった。この人工汚損がいしを相対湿度80±5(%)、温度25~30(C°)の霧室にいれて実験を行った。電圧印加方法は突印法で、あらかじめ14(μF)のコンデンサに所定の電圧で充電しておき、油入電磁スイッチ(MS)を投入して印加するものである。電極には銅板(厚さ0.3mm、幅2cm)を用い、汚損膜両端に配置した。なお、分圧器VDからは実験中の電極間電圧Vaをと

### 2. 撮影装置と撮影例

#### 2.1 実験回路と実験方法

実験に用いた回路を図1に示した。実験は通常行



IVR : 誘導電圧調整器 (3KVA,200V,15A)  
Tr : 単相変圧器 (5KVA 220/6600V)  
MS : 油入電磁スイッチ  
VD : 高圧分圧器 (1000 : 1, 100MΩ)  
FP : 平板がいし

図1 実験回路

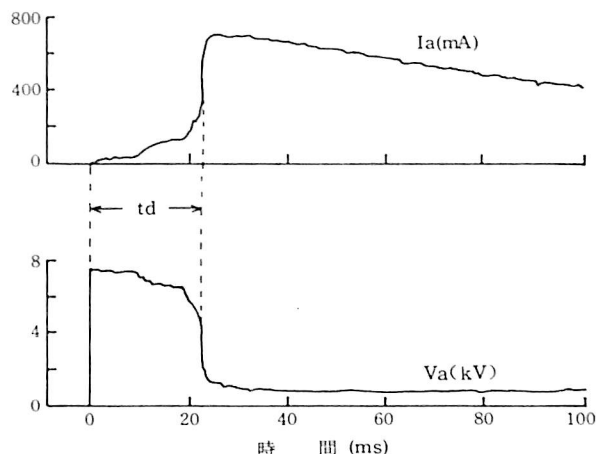


図2 クラッシュオーバー時の  $I_a$ ,  $V_a$  特性例

り出すと共に、撮影装置へスタート信号を送る機能も持たせてある。

図2に本実験で得られたフラッシュオーバー時の電流  $I_a$ 、電極間電圧  $V_a$  の時間特性の代表的な例を示した。電圧印加後、電流が最大値に達するまでにはある時間遅れ  $t_d$  があって、この間に局部アークが進展し、最終的なフラッシュオーバーに至っている。この時間遅れ  $t_a$  は、等価塩分付着密度が小さいほど、フラッシュオーバー電圧が低いほど長くなり、本実験でも約 200 (ms) に及ぶ例が観測された。

2.2 改造カメラによる駒どり撮影

一般の35ミリカメラに取り付け、ストロボフラッシュと併用して時間の経過と共に変化する現象を連続的に撮影する「流し撮り装置」(菅原研究所製ストリーク5型)が市販されている。これは、フィルムをいったん全部巻き上げておいて、小型モータによってフィルムを最高2 (m/s) の速さで、パトローネに巻き戻しながら撮影するものである。元来、この装置で撮影する場合は、被写体を暗い所においてストロボを発光させる。映像の時間分解能はストロボ発光周波数によって定まる。いま対象としている被写体はそれ自体が発光するので、カメラに高速で、しかも連続動作できるシャッタをとりつければ駒どり撮影が可能となる。前述のように本実験でのアークの進展時間は比較的長い。露光時間が1000分の1秒程度、インターバルが10 (ms) ぐらいのシャッタ装置が得られるならば、局部アークの発生からフラッシュオーバーに至る過程の一部が観測できるはずである。そこで幅6 (mm) の円弧状のスリットを切った回転円板をカメラのレンズの前に置いて、多重分解写真を撮影する装置(島津理化学器械ダイナミックスリッタ)を前述の流し撮り装置に組み合わせた。この装置の回転円板は直径195 (mm) で、円弧状

のスリットが等間隔で3ヶ所に切れ、回転数は900~1400 (rpm) である。本実験ではシャッタインターバルを10 (ms) とするため回転数を2000 (rpm) とした。平均露光時間は約1000分の1秒である。

撮影装置外観を photo. 1, 撮影システム構成を図3に示した。撮影の手順は次の通りである。まず回転円板モータ (RM) を起動し、その回転数をフォトデティクタ (PhD) で検出して、パルスカウンタ (PC) で監視して一定に保つ。次に流し撮り装置のフィルム巻き上げモータ (WM) を起動する。予備実験の結果、フィルム走行速度 (1.5 m/s) が一定になるまでの立ち上がり時間は約0.3秒であったので遅延装置 (Delay) により、この時間だけ遅らせて油入電磁スイッチ (MS) を投入する。同時にフィルムにスタートのマーカをいれるためのタイミングフラッシュ (TF) を発光させる。

図4, 5および photo. 2, 3に代表的な観測例を示した。これらの実験条件は次の通りである。ギャップ長10 (cm), 印加電圧9 (kV), 電流制限抵抗21 (kΩ), 等価塩分付着密度がそれぞれ0.9 (mg/cm<sup>2</sup>), 0.1 (mg/cm<sup>2</sup>) である。アーク像の撮影はアークの進展方向(ギャップ方向)に対して、フィルム走行方向が直交する向きにカメラを配置して行った。

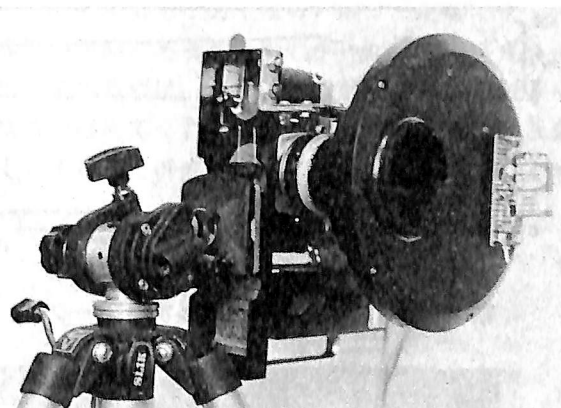


photo.1 改造カメラ

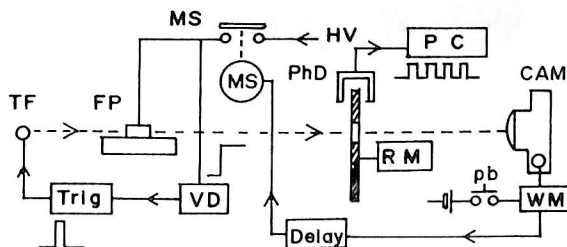


図3 撮影システム構成

まず、比較的汚損度が高い場合(図4, photo. 2) についてみると、電圧印加直後、アークスポットは高電位電極端付近(写真では下側)に発生し(1駒目)、次いでアース側電極端付近、中間部にあらわれ(2駒目)、それらが進展して5駒目で、両電極間を完全に橋絡する像として撮影されている。これを  $I_a$ ,  $V_a$  の変化のうえでみると、時間遅れが約48 (ms) となっており、ほぼ対応していることがわかる。汚損度が低い場合(図5, photo. 3), 各所にアークスポットが発生するものの、それらの進展速度は汚損度が高い場合より遅く、完全橋絡に至るまでの時間が約 100 ms と長くなっている。また局部アークがある程度まで進展すると、完全橋絡に至る前でも部分的にがいし面から浮き上がる傾向がみられる。まだ定量的な結論は得ていないが、一般に高電位電極端付近、および中間部に発生した局部アークはアース側電極端付近に発生したものより、進展速度がはやく、一種の極性効果といえる現象がみられる。カラー撮影を行ってみると、進展中の局部アーク

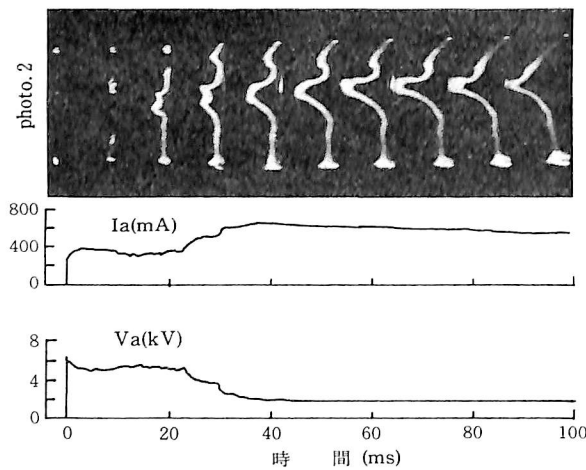


図4  $I_a$ ,  $V_a$  特性と進展するアーク像

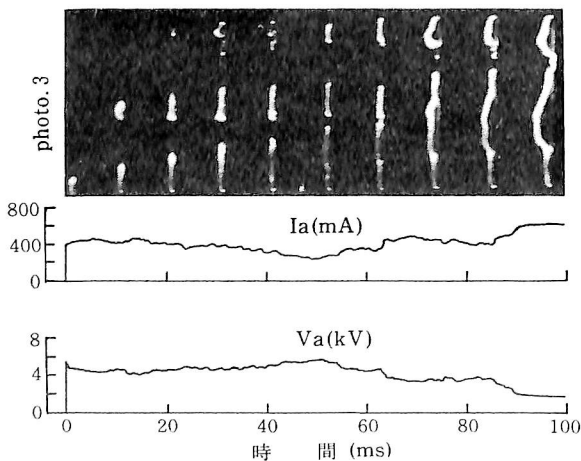


図5  $I_a$ ,  $V_a$  特性と進展するアーク像

クコラムは橙色を呈し、汚損液中の Na 原子の影響がみられる他、アークスポット周辺には水分の急激な蒸発を示す水蒸気のもやが観察された。

### 2.3 イメージコンバータカメラ (ICC) による駒どり撮影

印加電圧が高く、アーク電流が大きくなるにともない、アークの進展時間は数ms以下となる。このような現象になると、改造カメラでは撮影が難しくなる。そこでこの進展に適合するプラグイン 1/4 T を装着した ICC (ハドランド製 IMACON 790) で局部アークの撮影を試みた。ICC の主な仕様は次の通りである。フレーミングスピード  $1 \times 10^4$  駒/秒, 露光時間  $20 (\mu s)$ , インターバル  $100 (\mu s)$ , 全記録時間 1.6 (ms), 対物レンズ F 1.9, f 51 mm。

図6に撮影システム構成を示した。局部アークの進展の様子を立体的に観察できるように、平板がいし上方に表面鏡M (25×4 cm) を配置し、同一駒上に局部アークの上面から見た像と、正面から見た像を撮影できるようにした。油入電磁スイッチ (MS) を投入すると、平板がいし (FP) 上の電極間に電圧が印加され、同時に ICC にトリガパルスが送られ撮影が開始される。ICC からは 1/2 フレーミング周波数 (この場合は 5 KHz) でモニターパルスが送出されてくる。実験条件はギャップ長 5 (cm)

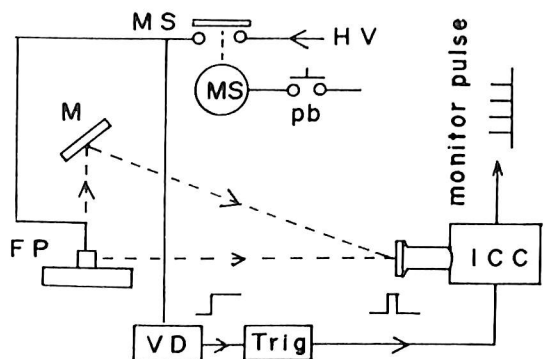


図6 ICC撮影システム構成

印加電圧 9 (kV), 電流制限抵抗 9 (kΩ), 等価塩分付着密度  $0.1 (\text{mg}/\text{cm}^2)$  である。

図7および photo. 4 に撮影例を示した。アーク最大電流 800 (mA), 時間遅れ 1.6 (ms) である。この場合、最初のアークスポットは高電位電極付近に発生しているが発光が弱く、次いで発生したギャップ中央部分のアークスポットがむしろ顕著である。その後、アース側電極付近にも発生し、時間の経過と共に中央部分の局部アークが最も旺盛に進展して最終的なフラッシュオーバーに至っている。局部アークの正面像を観察すると局部アークは、ある程度進展

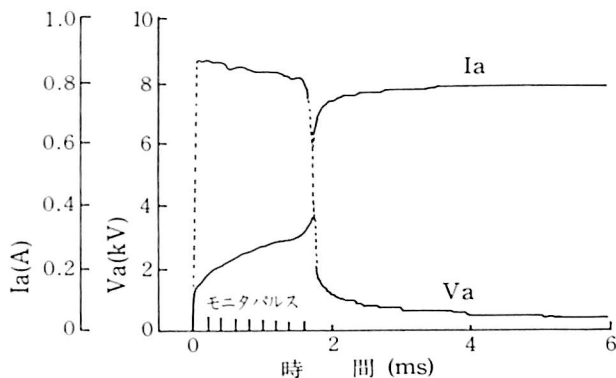


図7 I C Cモニタパルスと  $I_a$ ,  $V_a$  特性

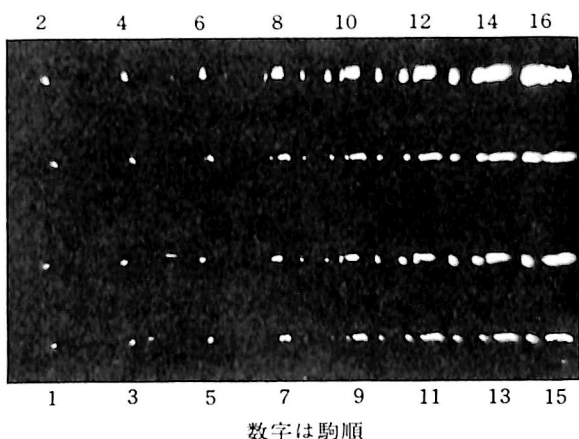


photo.4 I C C撮影例

すると孤状にがいし面から浮上し、これを上面像で見るとギャップ方向に対して横方向に拡がりゆく様子が見られる。phot. 5に時間遅れが、全記録時間1.6 (ms)より長い場合の撮影例を示す。はじめスポット状に発生したアークが、横方向に拡がり、いわゆる乾燥帯の形成が進行していることがうかがわれる。またアークスポット周辺では水分の蒸発と推測される光の拡散がみとめられる。試みに、すべて

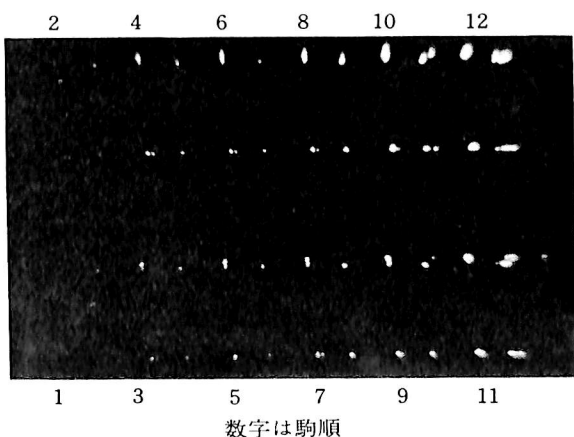


photo.5 I C C撮影例

の撮影例について、各駒間の局部アークの進展速度を求めてみると、数 (m/秒) ないしは数10 (m/秒) と遅く、ばらつきも大きい。このように遅い局部アークの進展は、他の放電機構にはみられない熱破壊的なもの<sup>3)</sup>で、電流通路の熱変形に基くもの<sup>2)</sup>と報告されている。本実験でも、フラッシュオーバー後の汚損帯をみると、各所に部分的な汚損液の蒸発ないしは飛散した痕跡がみられ、フラッシュオーバー前の電流通路が複雑にいりくんでいることが考えられる。

### 3. まとめ

進展速度が数10 (m/秒)以下という遅い場合の、がいし面上の局部アークを写真観察した結果、次のことがわかった。

- 1) 局部アークの起点は高電位電極付近になることが多く、電圧印加直後に生ずる。
- 2) 最終的なフラッシュオーバーに至る過程において局部アークは複数個所に発生し、それぞれが進展する。
- 3) アース側電極付近に発生した局部アークは進展し難く、高電位側電極付近、ギャップ中央部分の局部アークはこれより、進展し易い。

なお本実験で使用した改造カメラは時間分解能の点では、必ずしも十分ではないが、一応局部アークの撮影が可能であることがわかった。さらにカラー撮影ができる点は、アーク像の解析のうえで数多くの情報を与えてくれる秀れた点なので、今後改善を加えてI C Cと併せて、この現象の観測に役立てたい。

### 参 考 文 献

- 1) R. Wilkins & AL-Baghdadi : "Arc propagation along an electrolyte surface" PIEEE. Vol 118, No. 12, 1971.
- 2) 西村, 中島 : "電解液面を進展する局部アーク" 電気学会論文誌 Vol. 52-A11, 昭和52年
- 3) 富永 : "汚損面の霧中交流フラッシュオーバーについて", 電気学会論文誌 Vol. 88-12, No. 963, 1968.