UDC 621.3.015.52.018.756; 537.525.2

論文

52-A33

低気圧空気中における針対平板ギャップの 負インパルスフラッシュオーバー過程

正員 常 安 暢 (福岡大)

正員 嶋 崎 俊 行 (福岡大)

正員 赤 崎 正 則 (九州大)

1. ま え が き

針あるいは棒対平板ギャップに負インパルス電圧を印加したときの破壊前駆現象については、既に幾つかの観測結果が報告されている^{(1)~(5)}。これらの報告によると、その現象は正インパルス電圧印加時のそれよりも更に複雑である。このため、ある特定の条件における現象の解明にも、その条件だけではなく、他の種々の条件における現象を観測することが不可欠であると考えられる。

このような観点から、筆者らは気圧、ギャップの長さ、電極の形状、印加電圧の極性および波形などの幅広い条件における現象を観測し、諸特性とあわせて考察し、フラッシュオーバー過程を系統的にはあくすることによって努めてきた^{(6)~(7)}。

本論文では、低気圧空気中の針対平板ギャップに、 $1 \times 150 \mu\text{s}$ の負インパルス電圧を印加した時の放電状況をイメージコンバータカメラを用いて観測した結果を示し、明らかにし得たフラッシュオーバー過程をフラッシュオーバー諸特性と対応させて述べる。

2. 実験方法と装置

直径が 0.5 mm で先端がほぼ半球状の白金線を高圧側電極、直径が 50 cm の銅円板を接地側電極とした

針対平板ギャップを、内径 60 cm 、高さ 90 cm の鉄製真空そう内にギャップ軸が鉛直になるように置き、ギャップの長さを 1 ないし 10 cm の範囲で変化した。そう内の空気は、いったん 0.5 mmHg 程度まで排気した後、温度を 20°C 程度、湿度を 45% 程度に保った室内空気を 30 ないし 500 mmHg の範囲の所要の圧力になるまで注入した。針電極の紫外線照射には水銀灯を使用し石英レンズで集光した。

第1図に示した実験回路で、 $1 \times 150 \mu\text{s}$ の負インパルス電圧をギャップに印加し、このときの 50% フラッシュオーバー電圧およびフラッシュオーバー時間を測定し、かつ放電状況を観察した。 50% フラッシュオーバー電圧の決定は 25 回の昇降法により、電圧印加の時間間隔は 1 分以上とした。放電状況の観測にはイメージインテンシファイヤを装着したイメージコンバータカメラを用い、同一条件での同様な現象についても多数回を変えて繰返し行なった。フラッシュオーバー直前までの

$R_1=50 \Omega$, $R_2=103 \Omega$, $R_3=1.6 \text{ k}\Omega$, $C=0.1 \mu\text{F}$,
G: 供試ギャップ, G_1 : 始動ギャップ, G_2 : 電圧発生遅延用ギャップ, T: 鉄製真空そう

第1図 実験回路

Fig. 1. Schematic diagram of experimental circuit.

Flashover Processes of Needle to Plane Air Gaps in Low Pressure with Negative Impulses. By Itaru Tsuneyasu, Member, Toshiyuki Shimazaki, Member, (Faculty of Engineering, Fukuoka University) & Masanori Akazaki, Member (Faculty of Engineering, Kyushu University).

常安 暢: 正員, 福岡大学教授
嶋崎俊行: 正員, 福岡大学講師
赤崎正則: 正員, 九州大学教授

全体の状況を観測する際には比較的低速度の流し撮りを、電圧印加後の種々な時間における状況を詳細に観測する際には、カメラの始動時間を適当に遅延させた比較的高速度の流し撮り、あるいは適当な露出時間のこま撮りを行なった。またストリーマなどの進展速度を測定する際には、イメージコンバータ管の陰極面にスリットを取付けて高速度の流し撮りをした。各観測写真と電圧印加後の経過時間との対応は、イメージコンバータカメラのモニターパルスと印加電圧波形を2ビームシンクロスコープで対応させる方法によった。

3. 実験結果と考察

〈3・1〉 50% フラッシュオーバー電圧 種々のギャップの長さ d (cm) に対する 50% フラッシュオーバー電圧 V_{50} (kV) と気圧 p (mmHg) との関係を第2図に示す。同図に見られるように、 $d \geq 2.5$ cm ではそれぞれに V_{50} - p 特性が互いに相違する二つの圧力範囲がある。そこで、これらの圧力範囲を第2図に示すように、圧力の高い方から A 領域および C 領域とする。このようにすると、A 領域では実験的に

$$V_{50} = 3.0 + 18.6pd/760 \text{ (kV)} \quad \dots\dots (1)$$

がほぼ成立し、C 領域では

$$V_{50} = (0.23 + 21.3p/760)d \text{ (kV)} \quad \dots\dots (2)$$

がほぼ成立する。また $d=1$ cm の場合には(2)式が成立するので、この場合はその全域を C 領域とした。

なお、 V_{50} 測定の際の標準偏差/ V_{50} の値は 0.025 程度以下で極めて小さい。

〈3・2〉 フラッシュオーバー時間 第3図は V_{50} を 25 回印加し、フラッシュオーバーしたときの電圧印加後フラ

第2図 50% フラッシュオーバー電圧 V_{50} と気圧 p
Fig. 2. 50% flashover voltage V_{50} as a function of pressure.

第3図 気圧とフラッシュオーバー時間 ($d=7.5$ cm)

Fig. 3. Relation between pressure and flashover time.

ッシュオーバーまでの時間、すなわちフラッシュオーバー時間 t_f の測定値それぞれ約 12 個の平均値、最大値および最小値と気圧との関係を、 d が 7.5 cm の場合について示したものである。同図から明らかなように、C 領域 ($d=7.5$ cm の場合は $p < 140$ mmHg) における t_f の値は A 領域 ($d=7.5$ cm のとき $p \geq 170$ mmHg) のそれよりもかなり大きい。他の d の値に対してはほぼ同様である。このような傾向は正インパルス電圧印加時にも見られる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

〈3・3〉 電圧-時間特性 $d=7.5$ cm の場合の電圧-時間特性を第4図に示す。 p が 30 mmHg (C 領域) の場合は、同図(a)に見られるように印加電圧 V の上昇と共に t_f の値およびばらつきが減少し、通常よくみられる傾向を示す。但し、全般的にギャップの長さのわりに t_f の値が大きい。例えば $V=8.0$ kV ($\approx V_{50}$) で t_f は 100~140 μ s, $V=8.6$ kV ($\approx 1.08 V_{50}$) で 20~27 μ s 程度である。

p が 220 mmHg (A 領域) の場合は、第4図(b)に示すように t_f は $V=43$ kV ($\approx V_{50}$) のとき 29~36 μ s で、 V を上昇するとその値およびばらつきは減じ、 $V=47.7$ kV ($\approx 1.11 V_{50}$) では 11 ないし 14 μ s になる。更に V を上昇させ 49 kV ($\approx 1.14 V_{50}$) にすると、 t_f は 11 ないし 13 μ s の比較的に小さな値と、27 ないし 43 μ s の著しく大きな値との二つのグループが見られるようになる。 V を 50 kV ($\approx 1.16 V_{50}$) とすると、 t_f は 18 ないし 27 μ s の大きな値のグループだけになり、その後は V の上昇と共にその値およびばらつきは減少する。すなわち、この場合は 1.14 V_{50} 程度の電圧を印加したときに、異常に大きな値の t_f が現れ、電圧-時間特性は互いに不連続な二本の曲線で表わした方がより適切となる。同様な傾向は、A

(a) $d=7.5\text{ cm}$, $p=30\text{ mmHg}$ (C領域) (b) $d=7.5\text{ cm}$, $p=220\text{ mmHg}$ (A領域)

第4図 電圧-時間特性

Fig. 4. $V-t$ characteristics.

領域の他の条件でも認められるが、気圧が高くなるほど、この傾向は弱まる。

A領域において、過電圧印加時に t_f が異常に大きくなる現象は、C領域の実験式(2)の計算値程度の電圧を印加したときに起る。このような理由と後述の観測結果から、第4図(b)では下方の曲線を a 、上方の曲線を $a(c)$ として示した。

〈3・4〉フラッシュオーバー過程 以上に述べた V_{50} - p , d 特性, t_f - p 特性および電圧-時間特性などから、A領域およびC領域における V_{50} 印加時のフラッシュオーバー過程が互いに相連すること、およびA領域では印加電圧の値によってもフラッシュオーバー過程が相連する場合があることが推測される。そこで、放電状況を主としてイメージコンバータカメラを用いて観測した。本節では得られた多数の観測結果から明らかにし

得たフラッシュオーバー過程について述べる。CおよびAの各領域については、それぞれ代表的な場合の典型的な観測結果を例示し、フラッシュオーバー過程を、その概念図を提示して詳細に述べ、他の例については簡単にふれる。

(1) C領域におけるフラッシュオーバー過程

(a) V_{50} 印加時 $d=7.5\text{ cm}$, $p=30\text{ mmHg}$ で、 $V=8.1\text{ kV}$ ($\approx V_{50}$) のときの観測結果を第5図に示す。また第6図に、この場合のフラッシュオーバー過程の概念

第5図 C領域における V_{50} 印加時の放電状況とオシログラム ($d=7.5\text{ cm}$, $p=30\text{ mmHg}$, $V=8.1\text{ kV}$)

Fig. 5. Photographs of discharge phenomena and oscillograms at V_{50} application in the region C.

第 6 図 C 領域における V_{50} 印加時のフラッシュオーバー過程の概念図 (I)

Fig. 6. Conceptual figure of flashover process at V_{50} application in the region C (I).

図を下方に流し写真様式、その上方にこま撮り写真様式で示した。この場合は電圧印加後、まず、針端から負ストリーマ DNS が進展する [第 5 図 (b)]。この負ストリーマは放射状に進展し、拡散的な発光形状を示す [第 5 図 (e)] ので、このようなストリーマを本論文では「拡散負ストリーマ」と呼ぶことにする。拡散負ストリーマが正極に到達すると、その到達点から、発光波 LW が進展し [第 5 図 (b)], 拡散負ストリーマの内部、ほぼギャップ軸に沿って円柱状のチャンネルを形成する [第 5 図 (f)]。この円柱状のチャンネルを正インパルス電圧印加時に見られる同じようなチャンネル⁽⁸⁾と対応させるため、本論文でもグロー状チャンネルと呼ぶことにする。グロー状チャンネル GC が形成されると、その正極端には強く、かつ長時間持続する発光域 AG が現われる [第 5 図 (a), (c), (g)]。一方、針端には拡散負ストリーマの発生後、持続的な発光域 NG が認められるようになる [第 5 図 (b), (f), (g)]。その後、正極を起点とするグロー状チャンネルの長さは次第に減少し、負極との間の暗部 DS が広がる [第 5 図 (a)]。電圧印加後 $40\mu\text{s}$ 程度経過した頃、負極から発光域 NS が発生し、その広がりや速度を増しながら、 $1.5 \times 10^6 \text{ cm/s}$ 程度の平均速度で進展してグロー状チャンネルの上端に達する。これによって著しく高速度の発光波がグロー状チャンネル中を下方へ進展して正極に達し、反転して進展する。その後、負極から発光域 NS が間欠的に発生進展し [第 5 図 (a), (c)], 電流波形にリップルを生じる [第 5 図 (a)]。この間にグロー状チャンネルの正極端が細く絞られ、この部分はグロー状チャンネルに沿い $2 \times 10^5 \text{ cm/s}$ 程度の割合で次第にその長さを増す [第 5 図 (a), (c), (h)]。これに伴いグロー状チャンネルも $2 \times 10^5 \text{ cm/s}$ 程度の速度で負極方向

へ進展し、結果として細く絞られたチャンネルがグロー状チャンネルを負極方向へ押出すことになる。このようにしてグロー状チャンネルが負極に達した直後にフラッシュオーバーする [第 5 図 (d)]。これらのことから、上述の細く絞られたチャンネルは高い導電性を有し、かつそれがフラッシュオーバーに果たす役割は正インパルス電圧印加時の正リーダのそれと⁽⁸⁾⁽⁹⁾同様のものと考えられる。そこで、この場合も正リーダと呼ぶことにする。正リーダとグロー状チャンネルとの境界近傍、すなわち正リーダ頭部の発光は特に強く [第 5 図 (a), (c), (h)], この部分の電界は特に高いことが推測される。正リーダがいったん進展を開始すると、その後連続的に進展するのは、その頭部の高電界と持続的な放電電流によるものと考えられる。正リーダ前面のグロー状チャンネルが負極に達すると、電流は急増し、負極から負リーダが進展を開始する。この負リーダが正リーダと会すると電流は更に急増し、端子電圧は極めて低い値まで低下しフラッシュオーバーする。第 5 図 (i) はこのときの状況を、レンズの絞りを極度に絞って撮影した流し写真と、そのときの電圧電流オシログラムである。同図では、フラッシュオーバー直後のチャンネルの発光が、グロー状チャンネルのそれよりかなり弱い。しかし、フラッシュオーバー時に更に大きな電力がギャップに注入され得るように外部回路を変更すると、その発光は著しく強くなる⁽⁸⁾。

次に $d=7.5 \text{ cm}$, $p=100 \text{ mmHg}$ (C 領域) で、 $V=23.0 \text{ kV}$ ($\equiv V_{50}$) の場合の流し写真と電圧、電流オシログラムを第 7 図に、フラッシュオーバー過程の概念図を第 8 図に示す。この場合は、負極からの間欠的な発光域 NS の進展が見られない点を除くと、 $d=7.5 \text{ cm}$, $p=$

第 7 図 C 領域における V_{50} 印加時の放電状況の流し写真とオシログラム ($d=7.5 \text{ cm}$, $p=100 \text{ mmHg}$, $V=23.0 \text{ kV}$)

Fig. 7. Streak photograph of discharge phenomena and oscillogram at V_{50} application in the region C.

第 8 図 C 領域における V_{50} 印加時のフラッシュオーバー過程の概念図(II)

Fig. 8. Conceptual figure of flashover process at V_{50} application in the region C (II).

第 9 図 C 領域における V_{50} 印加時の放電状況の流し写真

Fig. 9. Streak photographs of discharge phenomena at V_{50} application in the region C.

30mmHg の場合とほぼ同様な過程を経てフラッシュオーバーする。

第 9 図(a)および(b)はそれぞれ $d=2.5\text{cm}$ で $p=50\text{mmHg}$ および $d=1\text{cm}$ で $p=500\text{mmHg}$, 同図(c)および(d)はそれぞれ $d=1\text{cm}$ で $p=50\text{mmHg}$ の場合の前半および後半の流し写真である。これから, p が 50mmHg の場合のフラッシュオーバー過程は第 6 図に示す過程とほぼ同様であり, 500mmHg の場合は第 8 図に示す過程とほぼ同様であることがわかる。また負極からの間欠的な発光域 NS の進展は, 例えば $d=7.5\text{cm}$ の場合は約 95mmHg 以下, $d=2.5\text{cm}$ の場合は約 140mmHg 以下の低い気圧領域で見られる。

次に V_{50} を印加し, フラッシュオーバーしなかった場合について述べる。このような例として, $d=7.5\text{cm}$, $p=100\text{mmHg}$ のとき (C 領域) の放電状況の流し写真と電圧, 電流オシログラムを第 10 図に示す。 $1 \times 150\mu\text{s}$ 波印加の場合 [第 10 図(a)] は, グロー状チャネルはその形成後次第に長さを減じ, これと負極間

第 10 図 C 領域における非フラッシュオーバー時の放電状況とオシログラム ($d=7.5\text{cm}$, $p=100\text{mmHg}$)

Fig. 10. Streak photographs of discharge phenomena and oscillograms when the air gap withstood at V_{50} application.

の暗部 DS の長さが増す。しかし, 電流は次第に増加し, 電圧印加後 $120\mu\text{s}$ 程度経過したところ, すなわち端子電圧が約 13.5kV に低下したところ, 電流はピーク値 [第 10 図(a)では約 20mA] に達し, 発光域 AG および NG の発光も強くなる。その後グロー状チャネルが消滅したところ, 端子電圧は 11kV 程度に低下しているが, 電流はなおピーク値の 85% 程度でかなり大きい。特に比較のために示した第 10 図(b) ($1 \times 600\mu\text{s}$ 波印加) の場合, V_{50} は約 20kV となり, グロー状チャネル形成当初の電流は著しく小さいが, その後電流は次第に増加し, 電圧印加後 $300\mu\text{s}$ 程度経過し, 端子電圧が 14kV 程度に低下したところピーク値 (約 32mA) に達する。またグロー状チャネルはいったんはその長さを増すが, 電圧印加後, $400\mu\text{s}$ 程度で消滅する。このように, グロー状チャネル形成後の時間の経過と共に電流が増加し, 端子電圧がかなり低下したところそのピーク値に達することは, 持続的な電流の変化が端子電圧の変化に即応できないことを示している。これは電流と空間電荷分布とが相互に依存し, ギャップ中, 特に陰極領域の空間電荷の量と分布が持続的な電流によって次第に変化し, これがまた電流の変化を生じ, 次第にそのときの端子電圧における定常状態に近づこうとするからであると考えられる。従って, インパルス電圧印加時のこのような放電は過渡的なグロー放電であり, 発光域 NG, 暗部 DS, グロー状チャネルおよび発光域 AG はそれぞれ負グロー, フェラディ暗部, 陽光柱および陽極グローと考えられる。

前述のように, 電流が増加しているときに, 陽極グロー部のチャネルが収縮して正リーダに移行し, これ

第 11 図 C 領域における過電圧印加時の放電状況とオシログラム ($d=7.5\text{ cm}$, $p=30\text{ mmHg}$, $V=9.2\text{ kV}$)

Fig. 11. Streak photographs of discharge phenomena and oscillogram at over-voltage application in the region C.

第 12 図 C 領域における過電圧印加時のフラッシュオーバー過程の概念図

Fig. 12. Conceptual figure of flashover process at over-voltage application in the region C.

が進展すると電流は更に急速に増加する。

(b) 過電圧印加時 $d=7.5\text{ cm}$, $p=30\text{ mmHg}$ で $V=9.2\text{ kV}$ ($\approx 1.15 V_{50}$) のときの観測結果を第 11 図に、フラッシュオーバー過程の概念図を第 12 図に示す。この場合は、端子電圧が波高値に達するころまでにグロー状チャネルが形成されギャップを橋絡する。その後、電流が数アンペアになったころ〔第 11 図(b)〕グロー状チャネルの負極端がリーダに移行し、次いで正極端もリーダに移行する。これらの負および正リーダが進展して相会するとフラッシュオーバーする。

(2) A 領域におけるフラッシュオーバー過程

(a) V_{50} 印加時 この場合の観測結果を第 13 図に、フラッシュオーバー過程の概念図を第 14 図に示す。まず拡散負ストリーマ DNS〔第 13 図(f)〕によって形成された弱い発光域が正極に到達したとき、その到達点から発生した発光波 LW がグロー状チャネル

(a), (c)~(g): $d=7.5\text{ cm}$, $p=220\text{ mmHg}$, $V=43.0\text{ kV}$
(b): $d=2.5\text{ cm}$, $p=350\text{ mmHg}$, $V=24.5\text{ kV}$

第 13 図 A 領域における V_{50} 印加時の放電状況とオシログラム

Fig. 13. Photographs of discharge phenomena and oscillogram at V_{50} application in the region A.

第 14 図 A 領域における V_{50} 印加時のフラッシュオーバー過程の概念図

Fig. 14. Conceptual figure of flashover process at V_{50} application in the region A.

を形成しながらある距離を進展すると、グロー状チャネルの頭部から一次正ストリーマが進展し、ほぼ同時に、その起点から二次正ストリーマと正極向け発光波が進展する〔第 13 図(b)〕。二次正ストリーマ SPS は一次正ストリーマ PPS の進展経路に沿い、それよりも著しい低速度で進展し、発光が持続的なチャネルを形

成する。一方、正極へ向かった発光波は正極で反転して進展し、グロー状チャネルの発光を強める。また一次正ストリーマは $4 \times 10^7 \text{ cm/s}$ 程度の速度で進展して負極に達し、負極から負ストリーマ NS を進展させる〔第 13 図(d)〕。この間に二次正ストリーマ基部が細く絞られ正リーダに移行する〔第 13 図(d), (g)〕。その後正リーダから一次正ストリーマが間欠的に発生進展し、その都度二次正ストリーマと正極向け発光波が進展して正リーダもその長さを増す。このような過程を経て二次正ストリーマが負極に達すると、電流が急増し、その直後にフラッシュオーバーする。このとき、グロー状チャネルからアーク柱への移行には、チャネルの他の部分よりもやや時間を要する〔第 13 図(e)〕。上述のグロー状チャネル頭部からの一次正ストリーマ発生以後の過程は、大気中正針対平板ギャップにおけるフラッシュオーバー過程と極めて良く似ている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

(b) 過電圧印加時 印加電圧を V_{50} から上昇すると、拡散負ストリーマの正極到達時間が早くなりその到達点から進展する発光波の速度も速くなる。また、グロー状チャネルの長さが長くなり、フラッシュオーバーまでの正ストリーマの発生回数が少なくなる。このため V が高いほど t_f は小さくなる。 V が (1) 式程度になると、端子電圧が波高値に達するころ、負極から強い発光波が発生し、拡散負ストリーマ内を進展して拡散負ストリーマのほぼ全域の発光を強めることがある。第 15 図は、このような場合の観測写真である。このときは、グロー状チャネルは一次正ストリーマを発生することなく、負極近傍で進展を停止する〔第 15 図(a)〕。これは前述の拡散負ストリーマの発光を著しく強める発光波によって形成された電子群が若干、正極方向へドリフトしたところにグロー状チャネルが形成され、その頭部は電子密度の高い領域の負極端で進展を停止する。このとき、その負極側には豊富な正空間電荷が存在するため、グロー状チャネル頭部の負極側電界が弱く、正ストリーマ発生の条件が満た

されなくなるからであると考えられる。この場合は、グロー状チャネルの正極端がまずリーダに移行し、 V_{50} 印加時の C 領域とほぼ同様の過程〔第 15 図(b)〕を経てフラッシュオーバーし、 t_f が異常に大きくなる。

印加電圧を更に高めると、グロー状チャネルはギャップを橋絡し、C 領域で過電圧印加時の過程〔第 12 図〕と同様の過程を経てフラッシュオーバーする。

〈3・5〉 負ストリーマとグロー状チャネルおよび一次正ストリーマ A, C いずれの領域においても、まず拡散負ストリーマが進展する。ギャップの端子電圧が上昇している間は拡散負ストリーマ内部のほぼ全域にわたって発光が持続し、その進展速度も比較的速い。しかし、端子電圧が波高値に達した後は、その進展速度、発光の強さが低下し、発光域が正極方向へ移動するのに伴い、その負極側には、暗部 DS が広がる。これらのことから次のようなことが考えられる。すなわち、拡散負ストリーマの発生進展により針端周辺に正イオンが集積し、これと針端間の電界が高くなる。一方その外側、負空間電荷が存在する領域との間の電界は低下する。しかし、端子電圧の上昇が急である間はこの電界緩和効果が補償され、負空間電荷存在領域の電界は高く、この部分の励起および電離係数も比較的に大きく、電子密度の高い負空間電荷領域が急速に広がる。端子電圧が波高値に達した後は、負電荷のドリフトに伴い、拡散負ストリーマの発光域が正極方向へ移動すると共に、その負極側には低電界領域が広がる。従って、DS の電子密度は拡散負ストリーマ先端部のそれに比しかなり低いと考えられる。

拡散負ストリーマが正極に接近すると共に、その前縁部中央部が次第に突出して正極に達すると、その点から発光波が進展して径の太いグロー状チャネルが形成される。この発光波は比較的電子密度の高い空間を伝搬する局所的な高電界域であり、既に存在している電子がこの高電界域に集中し、更に電子密度の高いグロー状チャネルが形成されるものと考えられる。この発光波は、その伝搬速度が印加電圧の値によって大幅に変化し（本実験では 8×10^5 ないし $3 \times 10^7 \text{ cm/s}$ 程度）、Loeb 氏ら⁽¹⁰⁾ による電離電圧波に対応する場合もあり、電圧波に対応する場合もあると考えられるが、観測による両者の区別は困難である。この発光波が拡散負ストリーマの発光域を伝搬し、DS に達すると、この部分の電子密度が低いいため、グロー状チャネルの形成は止む。前述のように拡散負ストリーマ進展中の DS の電界は比較的に低いと考えられるが、このとき負電荷群は放射状に広い範囲に広がっている。しかしグロー状チャネルが形成されると、正極を起点と

第 15 図 A 領域における過電圧印加時の放電状況 ($d=7.5 \text{ cm}$, $p=220 \text{ mmHg}$, $V=49.2 \text{ kV}$)

Fig. 15. Streak photographs of discharge phenomena at over-voltage application in the region A.

する円柱状チャネルと針電極とが対向することになり、グロー状チャネル頭部近傍の電界が高くなり、電子などからストリーマへの転換が可能になる場合も起り得る。この場合はグロー状チャネル頭部から一次正ストリーマが進展し得る。

〈3・6〉 フラッシュオーバー過程とフラッシュオーバー特性

グロー状チャネルが形成された後、更にフラッシュオーバーするにはリーダが進展してギャップを橋絡する必要がある。このリーダの進展開始に次の三つの場合がある。すなわち、

① グロー状チャネルがほぼギャップを橋絡し、まずその負極端がリーダに移行する場合

② 正極を起点とするグロー状チャネルがギャップ中間で進展を停止し、その上端（負極側端）から一次正ストリーマが進展し、これによる二次正ストリーマの基部がリーダに移行する場合

③ ギャップ中間で進展を停止したグロー状チャネルの正極端がリーダに移行する場合
などである。

以上のうち、①は拡散負ストリーマのほぼ全域にわたって発光が持続している間、従って端子電圧が波高値に達する以前にグロー状チャネルが形成されるような十分に高い電圧を印加した場合に起り、②はグロー状チャネルが形成されたとき、その頭部近傍の電界が電子などから正ストリーマへの転換を可能とするような値と分布になることが必要であり、また③はグロー状チャネルの正極端、すなわち陽極グローの高電界と過渡的なグロー放電による十分な電流密度が必要であると考えられる。従って、②と③が必要とする条件は互いに相違する。結局、実験式(1)は $1 \times 150 \mu\text{s}$ 波印加時に②の過程を経てフラッシュオーバーする場合の V_{50} を与え、(2)式は③の過程を経てフラッシュオーバーする場合の V_{50} を与えている。

以上の理由から、A 領域と C 領域とでは $V_{50}-p$ 特性、 t_r-p 特性に明らかな差異が生じる。また A 領域で過電圧を印加した場合に、③の過程でフラッシュオーバーする場合があり、この場合は第4図(b)に見られるような特異な電圧-時間特性を示すことになる。

4. む す び

本論文で述べたところを要約すると、

(1) $V_{50}-p$ 特性が、互いに相違するギャップの長さや圧力範囲がある。実験式(1)および(2)が成立する範囲をそれぞれ A 領域および C 領域とした。

(2) A 領域では、 V_{50} 印加時のフラッシュオーバー時間が C 領域のそれよりもかなり小さく、電圧-時間特性が互いに不連続な2本の曲線で表わせる場合がある。

(3) 拡散負ストリーマ、グロー状チャネル、一次正ストリーマの進展などについて考察を加えた。

(4) リーダの進展開始に3種類の場合があり、これらについて述べた。

(5) フラッシュオーバー過程の詳細を述べ、これらをフラッシュオーバー諸特性と関連づけた。

以上、本研究ではギャップの長さが比較的短い針対平板ギャップに負インパルス電圧を印加したときのフラッシュオーバー過程を明らかにし、フラッシュオーバー諸特性と対応づけた。

しかし、ギャップの長さ、その他の条件が異なると、フラッシュオーバー過程および特性は複雑に変化することが予想され、特に長ギャップにおける現象はかなり様相を異にするので、今後、更に種々の条件における現象について研究を進める予定である。

(昭和51年3月31日受付、同51年9月27日再受付)

文 献

- (1) I.S. Stekol'nikov, et al.: Soviet Phys.-Doklady **7**, 712 (1963-2)
- (2) I.S. Stekol'nikov, et al.: *ibid.* **8**, 829 (1964-2)
- (3) 原田: 電中研報告 No. 65061, 1 (昭 40-10)
- (4) 和田: 電総研研究報告 No. 727, 94 (昭 47-4)
- (5) 鈴木: 電気学会論文誌 **93-A**, 517 (昭 48-12)
- (6) 常安・赤崎: 同上 **93-A**, 487 (昭 48-11)
- (7) 常安・赤崎: 放電研究会資料 ED-73-31, 1 (昭 48-12)
- (8) 常安・赤崎: 電気学会論文誌 **95-A**, 497 (昭 50-12)
- (9) 常安: 電気学会論文誌 **96-A**, 63 (昭 51-2)
- (10) L.B. Loeb (鈴木抄訳): 電学誌 **95**, 859 (昭 50-10)