不平等電界球ギャップにおける負極性 衝撃電圧によるフラッシュオーバの形成 過程とその検討

上智大学 金 東 海

1. ま え が き

不平等電界を形成する電極間に負極性衝撃電圧を印加した場合に、電極間の空気の絶縁破壊現象が種々の特異な性質を示すことがある。たとえば、古くから知られているように、負極性の絶縁破壊電圧が正極性のそれよりも著しく高くなること、あるいは各国の比較試験において、試験条件の統一にじゅうぶんな努力を払ったにもかかわらず、その結果に驚くほどの差異が生じたこと、⁽¹⁾⁽²⁾ そればかりでなく、同じ実験室で同じ実験条件のもとでも、違った日に実験を行なった場合に、いわゆる“Wochenschwankungen”現象が起り、⁽²⁾⁽³⁾ 50% フラッシュオーバ電圧が変動することが報告されている。

さらに重要な現象として、多重雷の直撃の際に架空送電線に非常に急しゅんな立上りをもつ衝撃電圧、いわゆる急しゅん波衝撃電圧を誘起することがあり、その極性はほとんど負極性であるが、⁽⁴⁾ このような負極性の急しゅん波衝撃電圧に対して、電極形状とギャップによっては電極間の空気の絶縁耐力が著しく低下し、⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾ 35% ものフラッシュオーバ電圧の低下が報告されている。⁽⁶⁾ これらの現象は、現時点においてほとんどが未解明のままである。そればかりか、不平等電界電極間における衝撃電圧による空気の絶縁破壊現象そのものが、ケースバイケース的に実験的な研究による断片的な説明はあっても、全体像としてのはっきりした説明はいまだになされずに見過ごされてきた。こ

れを解明することは、放電現象の学問的研究にとって重要であるばかりでなく、工学的にも早急に解明すべき重要課題である。

著者は現象の解明を試みて、まず波頭立上りのわずかな違いで絶縁耐力が著しく変化したことに着目して究明し、これを現象解明の手がかりとして、負極性衝撃電圧による破壊現象について研究した。電極の形状については、いままです棒対平板または棒電極間での破壊について多くの報告が見られ、球ギャップについての研究は比較的少ないが、本論文の研究は現象がより簡明で、かつ、計算に乘せやすい球電極について主に行なわれた。

2. 実験装置

実験に用いられた衝撃電圧発生装置は第1図に示す構成回路からなっている。 C_1 は $0.5\mu\text{F}$ のコンデンサ

第1図 衝撃電圧発生回路

Fig. 1. Circuits of the impulse voltage generator.

The Processes of the Negative Impulse Voltage Flashover in a Sphere Gap Having a Non-uniform Field. By TUNG-HAI CHIN, Member (Faculty of Science and Technology, Sophia University).

金東海: 正員, 上智大学理工学部

第 2 図 衝撃電圧波形

Fig. 2. Waveforms of the impulse voltage.

(a) 球 (黄銅) (b) 棒 (銅)

第 3 図 実験電極

Fig. 3. Test electrodes.

を 20 段直列接続したもので、 R_1 も各段の寄生振動抑制抵抗を合計したものである。回路は (a) 標準波、(b) 急しゅん波と (c) 長波頭波の 3 種類を用いたが、供試物から見た電源のインピーダンスがなるべく等しくなるように配慮した。第 1 図の回路によって発生した衝撃電圧の波形を第 2 図に示した。(a) 標準波は $1.1 \times 37 \mu\text{s}$ 、(b) 急しゅん波は $0.37 \times 37 \mu\text{s}$ 、(c) 長波頭波は $2.4 \times 45 \mu\text{s}$ の波形 (ともに規約値) になっている。実験試料として用いた球および棒電極の寸法は第 3 図に示されている。

3. フラッシュオーバー試験

第 1 図に示す試験回路を用いて、球および棒電極についてフラッシュオーバー試験を行なった。標準波と急しゅん波について求めた 50% フラッシュオーバー電圧を第 4 図に示した。急しゅん波の場合のフラッシュオーバー電圧は、球、棒のいずれにおいても標準波のそれに比

第 4 図 50% フラッシュオーバー電圧対ギャップの長さ特性

Fig. 4. 50% flashover voltage versus gap spacing.

第 5 図 標準波に対する急しゅん波の 50% フラッシュオーバー電圧減少率対ギャップの長さ特性

Fig. 5. Decreasing rates of 50% flashover voltage of short-front wave to standard wave versus gap spacing.

べて低下している。ここで、Wiesinger 氏⁽⁶⁾にならって 50% フラッシュオーバー電圧の低下率を $\Delta V = (V_{50-st} - V_{50-sf}) / V_{50-st}$ と定義し、ギャップの長さ ΔV の関係を第 5 図に示した。 $(V_{50-st}$ は標準波、 V_{50-sf} は急しゅん波の場合の 50% フラッシュオーバー電圧) これを見ると、急しゅん波の波頭長が $0.37 \mu\text{s}$ で、Wiesinger 氏の $0.1 \mu\text{s}$ に比べてだいぶゆるやかであるのにもかかわらず、球ギャップにおいて最大 22% 前後の電圧降下率があった。また、棒ギャップの場合の電圧降下率が球ギャップのそれに比べて低いことは、Wiesinger 氏の結果と同じである。

なお、上述の試験は昇降法により行なわれ、各測定点について約 50 回の放電を行ない、放電の時間間隔は 1 分以上とした。

4. さい断波による前駆放電現象の観察

電極間に衝撃電圧を印加してからフラッシュオーバまでの間に、電極空間に起こる前駆放電を電圧さい断法で観測した。さい断電極には 50 cm の球ギャップを用い、ギャップの長さの調節によりさい断時間の調整を行なった。カメラのレンズはキャノン FL 50 mm, F1.4, マーク II を用いた。フィルムはコダックトライ X を増感現象して用いた。

上述の方法で撮影して、フラッシュオーバまでの前駆現象を順次に示したのが第 6 図である。同図はギャップの長さ 40 cm にほぼ 80~90% フラッシュオーバ電圧に相当する波高値 450 kV の急しゅん波電圧を印加したときのものである。同時に撮ったさい断波形写真も同図にスケッチしてある。この場合、多くのデータから総合して、時間的ばらつきが約 $0.02 \mu\text{s}$ 以下のものは実線に、 $0.02 \sim 0.06 \mu\text{s}$ 程度のものは点線に、 $0.06 \mu\text{s}$ 以上のものは一点鎖線によって示した。

次に各写真の状況を説明すると、(a)図は陰極にグロー状の微光を発し、ストリーマ発生直前の状態である。(b)図は多数のストリーマが 10 cm 前後の長さに

第 6 図 ストリーマ発生よりフラッシュオーバ直前までの前駆放電の諸段階 (急しゅん波)

Fig. 6. Steps of predischarge from streamer occurrence to pre-flashover. (Short front wave)

成長している。(c)図は前段階よりさらにストリーマが進展した状態である。(d)図はストリーマがその数を増大しながら継続的に進展し、そのうち電極中心軸付近の電界の強いところを通して、1本のストリーマが接地陽極に到達している。(e)図はストリーマが陽極に到達してから、始めてその到達した陽極表面よりストリーマが発生し、大量に枝分かれしながら陰極に向かう。陽極向けストリーマはあまり枝分かれしないのと対照的である。枝分かれしつつ成長した陰極向けストリーマは、さきに成長した陽極向けストリーマが残留した導電性部分と出会い、空間に網目状の導電部分を形成していく。(f)図は(e)図と同程度の成長状況であるが、異なるところは電極橋絡の陽極向けストリーマが中心線付近を通らずに、より長いパスを回って回り込んでいる。このような状態も起こりうることを示した。当然のこととして、陽極向けストリーマはより弱い電界の部分を通り、しかも長いパスを通るので、より高い電極間電圧を必要とし、時間的にも遅れる。(g)図は網目状の導電部分が限りなく増殖して、電極空間をほとんど埋めつくしてしまう。(h)図はより高輝度の放電路が両電極前面に形成され、いわゆるリーダと称される高導電性の放電路と推測される。⁽¹⁵⁾ この写真はストリーマによる発光を消すためにカメラの絞りを $1/4$ にした。また波形では、さい断時刻以前において、すでに電極間電圧が発生電圧より低下していることに注目されたい。これは前駆放電電流が相当な値に達し、電圧発生回路の内部インピーダンスによる電圧降下を示すものである。リーダが進展して電極間を橋絡すればフラッシュオーバになる。

以上、急しゅん波の場合について放電前駆現象の諸段階を説明した。標準波でも、より高いフラッシュオーバ電圧を必要とするが、前駆現象の各段階はほぼ同様にふるまうことが観測された。第 6 図に示した各段階

第 7 図 ストリーマ発生よりフラッシュオーバ直前までの前駆放電の諸段階 (標準波, 符号は第 6 図参照)

Fig. 7. Stages of predischarge from streamer occurrence to pre-flashover. (Standard wave, symbols see Fig. 6)

に相当する標準波の各さい断波形を第7図に示した。第7図は 40cm のギャップに 544kV の標準波電圧 (約 100% フラッシュオーバー) を印加したときのデータである。

なお、さい断法といっても電圧は瞬間的に零にはならないので、現象がさらに進行し、さい断点をはっきり定義できないことがある。特に波高値が大きいときに問題になる。40cm のギャップの場合は、その影響がどうやら無視できる限界に近い条件にある。

5. 球ギャップにおける負極性衝撃電圧による破壊現象

前章の現象説明より考察すれば、球ギャップの負極性衝撃電圧による空氣の絶縁破壊現象は次に記述する三つの過程に分けられる。

〈5・1〉 初期電子の存在と陽極向けストリーマ発生の過程 電極構成が一球接地の不等電界であるため、電界は大部分非接地の負電極近傍に集中する。(第8図参照) 電極間電圧が上昇する際に、波高値に達する以前にストリーマを形成させるだけの電界強度が負電極の前に形成される。問題は最初のきっかけとなる初期電子の存在にある。第6図(a), (b)によれば、ストリーマ発生の時刻がほとんどばらつかないこと、ほぼ同長のストリーマが幾本も同時に発生していることから推測すると、常に多数の初期電子が電極付近に存在すると考えられる。初期電子の発生源についてすでに多くの文献において考察されているが、⁽⁸⁾ この場合については空中負イオンよりの解離および電極よりの放出が候補として考えられる。簡単な数値的検討により、10 個オーダの初期電子が 10^{-7} s 程度の短期間内に発生することの根源を空中負イオンよりの解離に求めるのは困難のようである。

一方、電極よりの放出については、Llewelly-Jones 氏⁽¹⁰⁾によればある状態の銅電極で 3.7×10^4 V/cm の電界下において約 10^5 個/s の電子放出が観測された。第6図(a)の時刻における負電極前面の電界は 4.8×10^4 V/cm に達するので、電界強度の増加に対する電子放出量の指数関数的上昇を考慮すれば、電極よりの電界放射によって初期電子が供給されると考えるのが妥当のようである。初期電子が常に存在することから、この過程はフラッシュオーバーが起こるのに必要ではあるが、決定的条件ではない。

〈5・2〉 陽極向けストリーマの成長と電極間橋絡および陰極向けストリーマ発生の過程 ストリーマの成長は種々の要因により影響される。しかし、ある特定の電極配置で比較する場合においては、空間の電界

第8図 一球接地球ギャップの電気力線と等電界線 (ギャップの長さ 40cm, 逐次影像法による) および陽極向けストリーマ停止位置 (本文〈6・2〉節参照)

Fig. 8. Electric field lines and equipotential lines between sphere electrodes, where one electrode is grounded (40cm gap spacing, by repeated imaging method), and points where anode directed streamers stop stretching. (see 〈6・2〉)

強度の分布は重要な要素になる。第8図に一球接地球ギャップの電気力線と、等電界線の分布が示されている。図中 E_0 の電界強度は電極を結ぶ中心線上の最小電界強度で、電界分布のくら (鞍) 点の電界強度である。このような電界分布の空間をストリーマが進む場合に二つのケースが考えられる。その一つは、負電極より出発したストリーマが扇状に展開しながら進行し、その中で中心部を直進したストリーマだけが比較的電界の強いくら点を通して相手電極に到達する。当然のこととして、その際にストリーマがくら点をこえるのにじゅうぶんだけ電極間電圧が上昇していることが必要である。中心よりずれた方向に進むものは E_0 等電界線付近で停止してしまう。第6図(d)はこのケースを示している。ストリーマの相手電極到達時刻もほぼ一定に近い。このケースを第1種ストリーマ橋絡と名づけよう。第1種に含まれないケースで、たとえば第6図(g)に示すようにくら点を通らずに長いパスを通して橋絡する場合、あるいは後述のように先発ストリーマが進展を停止しても、後続ストリーマが先発ストリーマによる抑制作用に打ち勝って橋絡する場合が起こりうる。これらを合わせて第2種ストリーマ橋絡と名づけよう。このケースは一般に第1種ストリーマ橋絡よりも高い電極間電圧を必要とする。

第1種と第2種のいずれにせよ、破壊が起こるためにはストリーマによる電極橋絡が欠くべからざる条件であることは次にあげる理由で明らかである。

第 9 図 50% フラッシュオーバ電圧印加のもとで非破壊時のストリーマ伸展状況（急しゅん波、写真下の数字はギャップ長さ）

Fig. 9. Behavior of streamers for non-flashover, when 50% flashover voltage is applied.(for short-front wave; gap spacing given below photos)

(a) 全波の衝撃電圧を印加した場合、電極橋絡と電極間非破壊は両立しえない。これは、1,000 枚近い写真観測より得られた結論である。第 9 図に示す写真は 15~80 cm の各電極ギャップに、そのギャップに対応する 50% フラッシュオーバ電圧を印加して、ギャップが 1/2 の確率で破壊しなかったときの電極間現象である。各ギャップの長さとも大量の陽極向けストリーマが発生しているが、電極間を橋絡するストリーマは決して存在しなかった。また、第 9 図(b)を第 8 図と比較すると、各方向に伸びたストリーマがほぼ E_0 等電界線で停止した状況がよくわかる。

(b) 電極橋絡と陰極向けストリーマの発生は常に対となって起こる。この事実は数多くの観測写真を分析して得られた結論であるが、次のように考えてみればじゅうぶん理解できる事がらでもある。

陽極向けストリーマの導電率はもともと低いと考えられるが、特に導電率に寄与しているプラズマ中の電子は常温で急速に負イオン化するので、導電率の減少は急激である。Pack 氏⁽⁹⁾のデータより計算すれば、電子の負イオン化の時定数は約 4×10^{-9} s の速さに達する。したがって、初期においてストリーマが多量に発生しても静電界を著しく乱すほどにはならない。第 8 図に示すストリーマの停止点が空間電荷を考えずに計算した静電界の影響を相当に受けるのは、このことを示すものと考えられる。ゆえに、ストリーマの橋絡がなければ陽極前面の電界は陰極向けストリーマを発生するのに不じゅうぶんである。また、短期間に陽極直前での初期電子の存在確率は非常に低いため、⁽⁸⁾初期電子を供給する意味でも電極橋絡は重要である。

以上の説明より明らかのように、球ギャップで第 1 種ストリーマ橋絡が起こる条件では、陽極向けストリーマが電界分布の谷 (E_0 等電界線) をこえるか否か

がフラッシュオーバを決定する要素になる。15 cm 球、ギャップの長さ 40 cm で急しゅん波に対する E_0 の値は 3,800 V/cm であるが、ギャップの長さ 80 と 20 cm では E_0 の値はおおの 1,700 と 8,500 V/cm になる。ゆえに、 E_0 は電極配置と波形ごとに比較検討すべき値で、一般性はない。ストリーマ進展現象の複雑さから考えれば、これがむしろ当然であろう。

第 2 種ストリーマ橋絡がどのような条件で起こるかは、現象が複雑すぎて容易に説明できない。

〈5・3〉 陰極向けストリーマの成長からフラッシュオーバまでの過程 ストリーマによる電極橋絡が起こると陽極よりストリーマが発生する。陰極向けストリーマの進展に必要な最低電界強度は Nasser 氏らによると 500~600 V/cm 程度で、⁽¹¹⁾ 陽極向けストリーマの必要電界値（前節 E_0 の値参照）と比較して数分の一でよいので、陰極向けストリーマは急速に枝分かれしながら陰極に向かう。両極よりのストリーマによって空間に網目状の導電部分が形成されていく。この網目状導電部が空間を埋めつくし、やがてリーダが発生する。リーダが電極を橋絡すればフラッシュオーバになる。この過程はフラッシュオーバを決定するものではなく、また多くの論文でも論じられているので、ここではそれ以上の詳論を割愛する。

6. 急しゅん波における 50% フラッシュオーバ電圧低下の原因

第 3 章において波頭しゅん度による 50% フラッシュオーバ電圧低下の実験結果を報告した。第 5 章の検討によれば、フラッシュオーバ電圧の低下の原因は陽極向けストリーマの成長に及ぼす波頭しゅん度の影響にあると考えられる。この章ではこの因果関係について考察を行なう。この前にストリーマの発生と成長に基となる影響を及ぼすストリーマ抑制作用について説明する。

〈6・1〉 ストリーマ抑制作用 この作用についてすでに多くの著書と論文において論議されている。すなわち、コロナストリーマによって放出された空間電荷は、それが拡散するまで後続ストリーマの発生を妨げる。この作用をこの論文の立場にたって、いま一度取り上げてみよう。

第 2 図(c)に示す長波頭衝撃電圧を球ギャップに印加してみた。そのときの 50% フラッシュオーバ電圧と偏差は第 1 表に示すように標準波に比べて偏差は小さくなっているが、50% フラッシュオーバ電圧においては有意差を認められない。しかし、陽極向けストリーマの成長状況は第 10 図(a)に示すように、標準波の

第 1 表 標準波と長波頭波の 50% フラッシュオーバー電圧と偏差の比較

Table 1. Comparison of 50% flashover voltage and deviation between standard wave and long front wave.

ギャップの長さ (cm)		20	30	40	50	60
50%フラッシュオーバー電圧 (kV)	標準波	324	436	545	620	705
	長波頭波	312	438	541	632	695
偏差 (kV)	標準波	1.1	5.1	4.5	4.1	3.2
	長波頭波	7.4	19.3	8.8	14.7	11.7

第 10 図 ストリーマ抑制作用を示す典型的写真 (ギャップの長さ 40 cm)

Fig. 10. Typical photographs showing streamer depressive effect. (40 cm gap spacing)

それとは全く異なっている。この写真の特徴は、中心線方向のストリーマよりも周囲方向のストリーマが長く伸びていることである。長波頭波の特徴は全電圧の 2/3 まで電圧が急上昇し、その後ゆるやかに増加する。ほぼ 2/3 の電圧で中心部にストリーマが出始めるが、(第 14 図参照) これらのストリーマは電極間電圧がまだ低いためにあまり進展しない。時間的に遅れて発生する後続ストリーマは、この先発したストリーマの残留効果により平均的抑制力を受けて、中心より離れた電極部分から周辺部に向けて発生成長する。その際の電極間電圧がより高いので、後続ストリーマの伸びも大きい。なお、長波頭波において 50% フラッシュオーバー電圧が標準波に比べてあまり上昇しないのは、波高値が高いため常に第 2 種ストリーマ橋絡が起こりうる状態にあると考えられる。したがって、それ以上に波頭長をゆるやかにしても、50% フラッシュオーバーの電圧は飽和値に達しているのだから、上昇しないであろう。

次に、いま一つの抑制作用を強調する典型的実験を説明しよう。負電極に第 11 図に示す各種の突起電極を付けて、50% フラッシュオーバー電圧の変化を求めた。突起電極を付けることの物理的意義は、電極近傍では電界が部分的に強くなり、ストリーマが出やすくなる

第 11 図 突起電極および取付状況 (単位: mm)

Fig. 11. Projecting electrodes and their arrangement. (units: mm)

が、電極より離れたところでは突起電極を付けないときと同じ電界分布にして、ストリーマの成長には影響を与えないようにする。たとえば、 d -電極を主電極に装着した状態の電界分布を近似計算したところ、突起電極の影響は突起電極の表面より約直径の 3 倍 (6 cm) までしか及ばざることが明らかである。また、突起電極の太さを変えることは、先発ストリーマの出発時刻を調整することに相当するので、ストリーマの抑制作用を調節することができる。すなわち、突起電極を太くすれば先発ストリーマの発生が遅くなり、長いストリーマができて、結果として抑制作用が強くなる。第 12 図に実験結果を示したが、抑制効果を強くすれば 50% フラッシュオーバー電圧が上昇し、ある点で最大値をこえて減少する。波頭長が長くなれば最大値の位置は抑制作用の弱いほうに移動する。このことは次のように説明される。急しゅん波のように元来、抑制作用の小さい波形では、抑制作用を起こさせると 50% フラッシュオーバー電圧は作用の強さに従って上昇する。

第 12 図 各種突起電極装着時の 50% フラッシュオーバー電圧の変化

Fig. 12. The fluctuations of 50% flashover voltage, when various types of projecting electrode are used.

ところが長波頭波のように元来、抑制作用の強い波形では、突起電極はむしろギャップの長さを縮める役割をなして、フラッシュオーバ電圧はかえって低下する。

第 10 図(b)に突起電極を付けたときにおける陽極向けストリーマの成長状況を示した。(a)図と同様に周辺部へ向けて進展した後続ストリーマの様子がよくわかる。

〈6・2〉 急しゅん波における 50% フラッシュオーバ電圧低下の原因 まず基本的事項として、陽極向けストリーマの進展速度について考察する。第 6 図(a)の状態を時間の原点として、第 6 図のような写真約 50 例により、ストリーマの到達距離と必要時間の最小値との関係を第 13 図に示した。これを見ると、ストリーマは伸びるに従って速度が低下しているが、相手電極到達直前でギャップの長さ 40 cm では 2.2×10^8

第 13 図 陽極向けストリーマの進展距離とその所要時間

Fig. 13. The distance by which anode-directed streamers stretch and the time required.

第 14 図 印加電圧波形とストリーマ発生時刻を示すマーク(説明は本文中参照)

Fig. 14. The wave forms of applied voltage with marks to show the time when streamers are generated.

cm/s, 30 cm では 2.6×10^8 cm/s の速さに達している。

次に、第 1 種ストリーマ橋絡が起こる範囲内で、急しゅん波と標準波の場合について陽極向けストリーマの発生と進展について考察しよう。第 14 図に 445 kV の急しゅん波 (ギャップの長さ 40 cm の 50% フラッシュオーバ電圧)、529 kV の標準波 (同上) および 445 kV の標準波電圧波形がおのおの a, b および c 曲線に示されている。これは 445 kV の標準波電圧では破壊しない理由を示すためである。上記各電圧印加時に $0.01 \mu\text{s}$ ごとに初期電子が陰極より出発したとしてストリーマへの転換時間を計算し、その中で最も早くストリーマに転換したケースのストリーマ発生時刻および初期電子出発時刻を各電圧波形上で●と+印で示した。計算に際し、

衝突電離係数

$$\alpha_{\text{eff}} = 0.138(E - 21.4)^2 - 0.957 \text{ (cm}^{-1}\text{)}^{(12)}$$

電子速度

$$v = 263 \times (1.3E + 17,000) \text{ (cm/s)}^{(13)}$$

拡散係数

$$D = 840 \text{ (cm}^2\text{/s)}$$

ストリーマへの転換条件

$$E = e \exp\left(\int_0^d \alpha_{\text{eff}} dx\right) / 4\pi\epsilon_0 \cdot 6Dt \text{ (V/cm)}^{(14)}$$

t は距離 d までの走行時間とした。一方、第 6 図、第 7 図より、ストリーマ発生の実測値を○印で示した。実測値は計算値より遅れている。〈5・1〉節の初期電子についての考察および計算方法の不正確さを考えれば、この程度の遅れはありえよう。

ここで、実測値の示すように、約 350 kV 前後で陽極向けストリーマが発生するとし、ストリーマの進展速度を 2×10^8 cm/s とすれば、電界くら点までの時間は $0.014 \mu\text{s}$ である。この時刻における a 曲線の電圧は 425 kV, b 曲線は 410 kV および c 曲線は 380 kV である。425 kV がこの時刻においてくら点をこえる最小電圧とすれば、b と c 曲線の場合はくら点をこえられない。ゆえに、破壊が起こらない。しかし、先発ストリーマの初期電子が出発し、ストリーマに転換するのに約 $0.05 \mu\text{s}$ の時間がかかるので、抑制作用が現われるのにその数倍程度の時間を要し、その間に後続ストリーマの初期電子は抑制作用を受けずに出発できる。したがって、b 曲線の場合でも後続ストリーマや現象の確率的性格を考慮すれば、ストリーマがくら点をこえ、破壊になることもじゅうぶん考えられる。

参考に、第 8 図にストリーマの停止点のデータを示したが、標準波 50% 破壊電圧 500 kV 印加時は、ストリーマはほぼ E_0 等電界線に到達し、中心部で E_0

をこえたものもあるが、標準波で 440 kV 印加時はストリーマは平均として $1.4 E_0$ 等電界線までしか到達していない

以上の説明より明らかなように、第 1 種ストリーマ橋絡の範囲では波頭長が長いと、より高い波高値の電圧でなければストリーマが電界くら点をこえることができず、破壊にならない。したがって、波頭長が長ければ 50% フラッシュオーバー電圧が高くなる。しかし、50% フラッシュオーバー電圧の上昇は第 2 種ストリーマ橋絡が常に起こる値で飽和する。

7. む す び

以上において、電界の不等さが比較的に弱い球ギャップにおける負極性衝撃電圧によるフラッシュオーバーの形成過程について考察を行ない、いままで多分に漠然だった破壊現象に明確な説明を与えることができた。これらを要約すると、

(1) 陽極向けストリーマ発生のための初期電子は常に存在し、陰極より電界放射されたものである。フラッシュオーバーを決定するのは陽極向けストリーマの電極橋絡、言い替えば、電界分布のくら点をこえられるか否かにある。

(2) 波頭しゅん度による 50% フラッシュオーバー電圧変化の原因は、ストリーマ進展に及ぼす電圧立上り

の影響およびストリーマ抑制作用にある。波頭しゅん度が大きければ、ストリーマが電界のくら点到達する時刻での電極間電圧がより大きい値になりうるので、より波高値の低い電圧でストリーマによる電極橋絡が起こり、フラッシュオーバーになる。

終わりに、本実験装置の設置にご尽力いただいた本学 三山 醇教授に対して衷心より感謝の意を表する。また、実験に協力した本学学生 竹下重雄君(現在、東芝) 黒沢良一君ならびに戸塚 猛君に深甚なる謝意を表する次第である。

(昭和 47 年 3 月 29 日受付, 同 47 年 6 月 16 日再受付)

文 献

- (1) H. Baatz: CIGRE-Ber. No. 325 (1962)
- (2) K. Berger: CIGRE-Ber. No. 326 (1956)
- (3) K. Feser: Elektrotech. Z. (ETZ)-A **91**, 6, 321 (1970)
- (4) K. Berger, et al.: Bull. SEV **56**, 1, 2 (1965)
- (5) J. Wiesinger: Bull. SEV **57**, 6, 243 (1966)
- (6) J. Wiesinger: Bull. SEV **58**, 3, 113 (1967)
- (7) J. Wiesinger: Elektrotech. Z. (ETZ)-A **90**, 17, 407 (1969)
- (8) W. Lampe: Arch. Elektrotech. **47**, 6, 338 (1963)
- (9) J. L. Pack, et al.: J. Chem. Phys. **44**, 5, 1870 (1966)
- (10) F. Llewelly-Jones: Proc. Roy. Soc. A **218**, 88 (1953)
- (11) E. Nasser, et al.: J. Appl. Phys. **39**, 4, 3707 (1968)
- (12) 伊佐: 電学誌 **91**, 1730 (昭 46-9)
- (13) S. C. Brown: Basic Data of Plasma Physics (1966) The MIT Press.
- (14) 三好: 火花理論入門 (昭 40) 電気書院
- (15) 原田: 第気学会全大シンポジウム S3-4(i), 21 (昭 47)

正 誤

岸田治夫・佐藤 禎 鳥山四男:「油中放電図形と沿面放電に対する細溝の効果」
(Vol. 92-A, No. 5, May, 1972, p. 246 掲載)

UDC 脱落

UDC 621.3.015.533: 537.528

曾禰元隆・堀 孝夫・光井英雄・鳥山四男:「有機絶縁物中の交流トリ－発生機構の解析 (付討論)」
(Vol. 92-A, No. 8, Aug., 1972, p. 374 掲載)

ペー ジ 行	誤	正
374 ページ 著者氏名	鳥 山 四 男	鳥 山 四 男