

# 配電用絶縁電線の耐トラッキング性を決定するための加速試験と破壊現象

正員 西田 眞 (秋田大)  
 正員 吉村 昇 (秋田大)  
 正員 能登 文敏 (秋田大)

正員 糸賀 暎二 (藤倉電線)  
 正員 菅 省治 (藤倉電線)

## 1. まえがき

有機絶縁材料の多くは、汚損環境下において炭化劣化を生じ、最終的にはトラッキング破壊に至る。従って、トラッキング破壊までの寿命特性を明らかにし、使用環境に適する材料を選択することは実用上重要な問題となる。絶縁材料の耐トラッキング性を判定する試験法は、これまでに内外で20近い提案を数えるが<sup>(1)</sup>、まだ決定的とされている方法はない。これは現状では、一つの試験法ですべての材料について、あらゆる実使用条件をカバーすることができないためであり、トラッキング破壊の様相の複雑さと、それをもたらす因子の多様性を実験室で再現することの困難さを示している。このため、一つのスクリーニング試験を経た材料に対し、更に二次的な機能試験を課したうえで使用に供しているのが現状である。

この機能試験法の一つとして、電気協同研究会塩害対策委員会が提案した電線の耐トラッキング性試験法がある<sup>(2)</sup>。そして、この試験法を用いた耐トラッキング性の検討が行なわれ、その結果の有効性については既に報告されている<sup>(3)</sup>。しかしながら、上記試験法は提案されてから約20年が経過し、その間耐トラッキング性に優れた各種配電用絶縁電線が開発され<sup>(4)-(7)</sup>、従来の方法では試験時間が長期にわたることを余儀なくされている<sup>(4)(5)(7)(8)</sup>。このため試験時間の短縮を目的とした加速試験法の確立と、それに伴うトラッキン

グ破壊現象を明らかにすることは、現時点では重要な課題と考える。

本論文では、配電用絶縁電線の耐トラッキング性を比較的短時間に判定する方法を確立することを目的に、電線の耐トラッキング性試験法<sup>(2)</sup>（以下、塩水噴霧法と記す）の中で、接地電極の改良により試験の加速を試みた。更に、加速試験におけるトラッキング破壊現象を明らかにするため、炭化路を形成過程と進展過程の二つに分けて検討した。その結果、塩水噴霧法で規定された従来の電極構成<sup>(2)</sup>では、トラッキング破壊までの噴霧回数が数万回に達する材料でも、接地電極先端を針状にすることにより、数百回以下まで加速できるなどの有効性が明らかとなった。

## 2. 実験装置、実験方法および試料

〈2.1〉 実験装置 図1に実験に用いた試験装置の構成図を、図2に電源回路をそれぞれ示す。なお、試験方法は塩水噴霧法<sup>(2)</sup>の規定に準じている。試験は90 cm×90 cm×90 cmの霧室中で行ない、噴霧用水溶液はポンプで循環し噴霧装置へ供給した。噴霧用水溶液としては、NaCl 0.2重量%溶液に界面活性剤としてnブチルナフタリンスルホン酸ナトリウムを0.1重量%加えたものを用いた。導電率は20°Cで約4,300

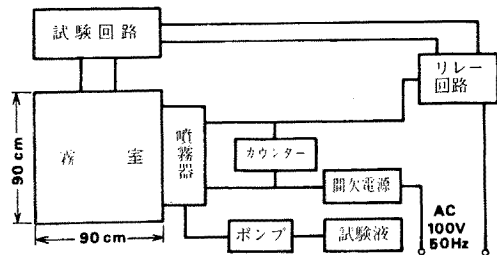


図1 試験装置の構成図

Fig. 1. Block diagram of experimental set up.

Accelerated Test to Evaluate Tracking Resistance for Rubber and Plastic Insulated Wires and Breakdown Phenomena. By Makoto Nishida, Member, Noboru Yoshimura, Member, Fumitoshi Noto, Member (Mining College, Akita University), Eiji Itoga, Member & Shoji Suga, Member (Fujikura Ltd.)

西田 眞: 正員, 秋田大学鉱山学部電気工学科  
 吉村 昇: 正員, 秋田大学鉱山学部電気工学科  
 能登文敏: 正員, 秋田大学鉱山学部電気工学科  
 糸賀暎二: 正員, 藤倉電線(株)電力事業部  
 菅 省治: 正員, 藤倉電線(株)電力事業部

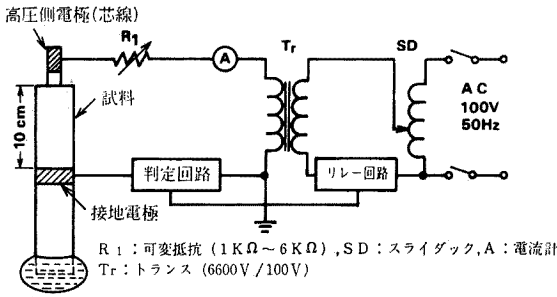


図2 電源回路

Fig. 2. Experimental circuit.

μs/cm である。試料と噴霧装置のノズル間の距離は約 0.5 m である。試料への噴霧は、噴霧時間 10 秒、休止時間 20 秒であり、30 秒で 1 サイクルとなるように設定した。1 回の噴霧量は約 0.33 mm/回 (水平分\*) であり、噴霧速度は約 4.5 m/s である。

印加電圧は 2~6 kV を適宜使用し、回路の短絡電流は R<sub>1</sub> を変えることにより、各印加電圧で 1 A となるように設定した。また、トラッキング破壊の判定は 0.5 A の電流が流れたときとし、リレーで一次側回路をしゃ断した。本法で設定した各種条件をまとめて表 1 に示す。

〈2.2〉 実験方法 一般に、絶縁材料のトラッキング破壊に要する時間は、劣化過程で発生する放電エネルギー<sup>(9),(10)</sup>とその供給状態、例えば放電の発生位置、発生した放電の材料表面よりの高さが、材料のぬれ性や印加電圧によって変化することなどに関連する<sup>(11)</sup>。特に、放電の発生位置は炭化を開始するうえで重要な要因となる。このため、放電の発生を特定の場所に集中させることにより、トラッキング破壊の加速が可能と考え、塩水噴霧法<sup>(2)</sup>の中で接地側電極を針電極に改良して耐トラッキング性試験を試みた。試験に用いた接地側電極は次の 3 種類である。

- (1) 裸銅線を試料に巻き付けた場合 (規定電極)
- (2) 銅線先端を針状に研磨し電極とした場合 (針 1 本電極)
- (3) (2) 項で用いた針電極を対向して 2 本用いた

表 1 試験条件

Table 1. Experimental conditions.

印加電圧 (kV)	試 験 液		噴 霧 条 件					
	溶液の種類	導電率	噴霧時間	休止時間	噴霧周期	噴霧量	噴霧速度	ノズルからの距離
2~6	0.2% NaCl + 0.1% n-ブチルナフタリ ンスルホン酸ナトリウム	4,300 μs/cm	10 s	20 s	30 s	0.33 mm/回	4.5 m/s	0.5 m

\*: 噴霧器から 50 cm 離れた垂直位置に、10 cm × 10 cm の断面積を有する規定の霧捕集用の容器を設置し、これにたまる水量を深さで表わしたものを水平分と称する。

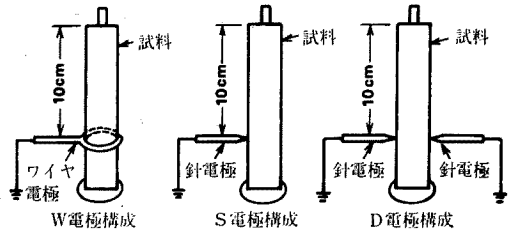


図3 電極構成

Fig. 3. Arrangement of electrodes.

場合 (針 2 本電極)

以下それぞれ W, S, D 電極と略記し、各電極構成を図 3 に示す。電極に用いた銅線はいずれも直径 1.6 mm であり、S, D 電極の場合、先端角度を 60° とし、針端曲率半径はあらかじめ設定した所定の値に研磨した。実験に用いた針端曲率半径は 30, 45, 60, 850 μm の 4 種類である。針電極は噴霧の軸方向に対し 90° となるように設定し、高圧側電極と接地側電極間距離は各電極構成とも 10 cm とした。なお、高圧側電極には電線の絶縁被覆を直角にはぎ取った心線を使用した。

〈2.3〉 試料 試料には、6 kV 配電用エチレンプロピレンゴム絶縁高圧引下線 (断面積 5.5 mm<sup>2</sup>, 絶縁厚さ 4 mm) と、比較のため一部に架橋ポリエチレン絶縁配電線 (断面積 5.5 mm<sup>2</sup>, 絶縁厚さ 3.3 mm), および低圧配電用として用いられている塩化ビニル樹脂 2 心ケーブル (以下、それぞれ PDP, PDC および F ケーブルと略記) を用いた。試料はエチルアルコールを含ませたガーゼでぬぐった後、約 2 時間脱気乾燥したものを実験に用いた。なお、試料の下部はエポキシ系接着剤で封止した。

3. 実験結果

〈3.1〉 W 電極でのトラッキング破壊試験結果

図 4 に、W 電極を用い、2,000 回噴霧した後の試料表面の劣化状態の一例を写真で示す。塩水噴霧法で規定されている W 電極を用いた場合の PDP は、印加電圧 4 kV と 6 kV では、2,000 回噴霧 (約 16 時間 30 分経過) してもトラッキング破壊に至らず、接地側電

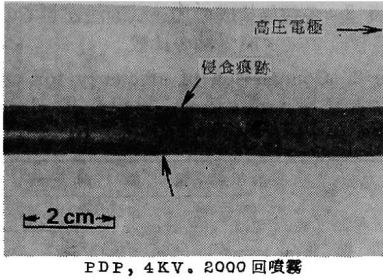


図4 W電極でのPDPの劣化状態

Fig. 4. Photograph of deteriorated surface with W-type electrode system.

極上部に侵食のこん跡が一部認められるにすぎなかった。このため、W電極を用いたトラッキング破壊を生じさせるためには、著しく長い試験時間を必要とする。

〈3.2〉 S電極でのトラッキング破壊試験結果

S電極を用いたトラッキング破壊試験の結果の例としてPDPの場合を図5に示す。プロットした点は5~7個の試料の相加平均値であり、縦線は実験データのばらつきの範囲を示している。PDPの場合、針端曲率半径の大小により破壊の形態が異なる。すなわち、針端曲率半径が30μmおよび45μmでは各試験電圧とも試料表面を炭化路が進展し最終的なトラッキング破壊に至るが、比較的曲率半径の大きな60μmおよび850μmでは、トラッキング破壊には至らず、針電極と心線(高圧側電極)間で、侵食による貫通破壊

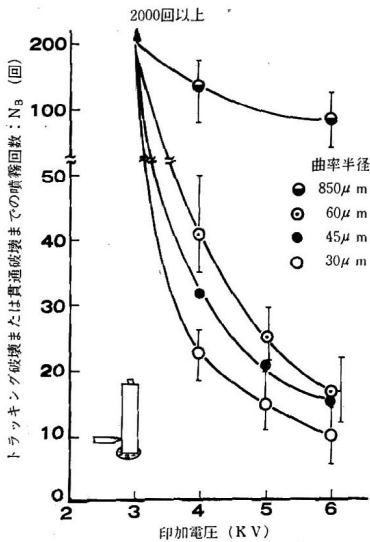


図5 S電極によるPDPのトラッキング試験結果

Fig. 5. Experimental result of PDP with S-type electrode system.

(以下、貫通破壊と称す)を生じる。図6にトラッキング破壊と貫通破壊をしたときのそれぞれの試料表面の写真を示す。貫通破壊に至る場合は、針電極近傍に炭化のこん跡は認められるが、炭化路は進展しない。また、各試験電圧ともトラッキング破壊または貫通破壊に至るまでの噴霧回数(N<sub>B</sub>)は、針端曲率半径に依存し、850μmのほうが60μmよりも多い。

〈3.3〉 D電極でのトラッキング破壊試験結果

PDPについてD電極を用いた場合のトラッキング破壊試験の結果を図7に示す。針端曲率半径30μmと45μmではトラッキング破壊となるが、60μmでは貫

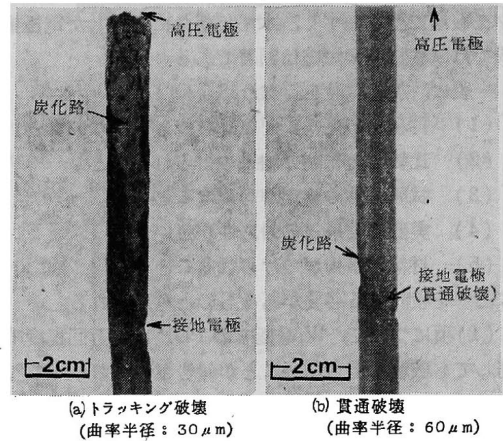


図6 PDPのトラッキング破壊と貫通破壊の例  
Fig. 6. Photographs of tracking and erosion breakdown of PDP.

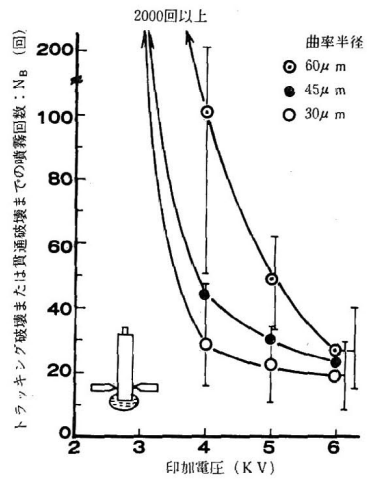


図7 D電極によるPDPのトラッキング試験結果

Fig. 7. Experimental result of PDP with D-type electrode system.

通破壊となる。また、各試験電圧とも破壊までの噴霧回数は針端曲率半径の大きなものほど多くなることが認められた。なお、*D* 電極では針電極のいずれか一方で破壊を生ずるが、その発生位置は両電極でランダムであった。

#### 4. 実験結果の検討

##### 〈4・1〉 トラッキング破壊試験の加速条件について

*W*, *S*, *D* 各電極における PDP 試料の  $N_B$  の間には、*W* 電極  $>$  *D* 電極  $>$  *S* 電極 (*S*, *D* 電極は同一曲率半径で比較) の大小関係が認められる。また、*S*, *D* 電極では、針端曲率半径の小さいほどトラッキング破壊に至りやすく、本法で新たに考案した電極構成では試験時間の短縮は顕著である。

一般に、加速試験を行なう場合は

- (1) 再現性の良いこと (ばらつきの少ないこと)
- (2) 比較的短時間で結果の得られること
- (3) 試験条件の設定が容易なこと
- (4) 実際の結果との対応性が良いこと
- (5) 材料の序列がつけられること

など<sup>(1)</sup>を検討する必要があるものと考えられる。

(1) 項について、*W* 電極での PDP は数万回程度噴霧しても破壊に至らないことが報告されており<sup>(4)~(7)</sup>、再現性については必ずしも明確ではない。しかしながら、規定電極ではばらつきが多いことが報告されており<sup>(3)</sup>、*S*, *D* 電極に比較して再現性に劣ることが予想される。また図 5 と図 7 の結果より、*D* 電極に比較し *S* 電極のばらつきは少ないようである。このため *S* 電極の再現性が比較的優れているものと考えられる。

(2) 項について、*S*, *D* 電極を用いた場合の  $N_B$  は 10 数回~数百回となり、*W* 電極に比較し、試験時間は著しく短縮される。また、*D* 電極に比較し *S* 電極の  $N_B$  は少ない。(3) 項について、電極の設定は *W* 電極が最も簡単であり、*D* 電極は対称配置を設定するのにかなりの困難を伴う。

以上(1)~(3)項までをまとめた結果を表 2 に示す。なお、表中 3 種電極構成のうち最も優れていると考えられる電極構成を○印とし、劣っているものを×印、中間となるものを△印でそれぞれ示した。3 種電極のうちで、*S* 電極が再現性、加速性に優れており、電極配置の設定も比較的容易なことが認められる。従って、上記(1)~(3)の項目については *S* 電極が加速試験には適しているものと考えられる。

一方、(4) 項については *W* 電極を用いた塩水噴霧法が、実際の条件に良く類似していると考えられている<sup>(2)(3)</sup>。しかしながら、*S* 電極を用いた場合には試験

表 2 各電極構成の加速試験法としての有効性の比較

Table 2. Comparison of efficiency for accelerated test among three kinds of electrode systems.

項 目	電 極 構 成		
	<i>W</i> 電 極	<i>S</i> 電 極	<i>D</i> 電 極
(1) 再現性	×	○	△
(2) 加速性	×	○	△
(3) 設定の難易	○	△	×

○: 優れている場合, △: 中間と考えられる場合, ×: 劣る場合

時間が著しく短縮されるため、試料の初期特性、すなわち材料作製直後の基本特性 (耐アーク性やねれ性など) が結果に影響することが予想される。このため、*S* 電極を用いた場合の破壊過程および各種材料間の序列 [(5) 項に関連する] を明らかにし、実用条件での結果との対応性について考慮する必要があるものと考え、以下の項目について検討を加える。

〈4・2〉 *S* 電極を用いた場合のトラッキング破壊過程 *S* 電極を用いた場合のトラッキング破壊に至る過程を図 8 に、放電発生時の電流-電圧波形を図 9 に、放電の発生状態の例を図 10 にそれぞれ示す。噴霧開始後、電極間は図 8 (a) に示すように試験液によって橋絡され、試験液を介して流れる漏れ電流 [図 9 (a) および図 10 (a)] により蒸発が生じる。その後、接地側電極と試験液間で図 9 (a) と図 10 (b) に示すような放電 (以下、コロナ放電と称す) が局部的に集中して発生する。噴霧終了後、次の噴霧が始まるまでは、コロナ放電の発生と試験液の蒸発の繰返しとなる。なお、噴霧回数が増加すると試験液の蒸発からコロナ放電の発生までの時間は短くなり、コロナ放電が発生しやすい傾向が認められた。

炭化路は、接地側電極で発生するコロナ放電の繰返しにより、図 8 (c) のように接地側電極近傍に形成された。その後、炭化路先端で図 10 (c) に示す黄赤色のシンチレーションが発生し、このシンチレーションにより炭化路が高圧側電極に向けて次第に進展し、最終的にはトラッキング破壊に至る。なお、炭化路の進展に伴い、炭化路先端と高圧側電極間で沿面フラッシュオーバーが発生しやすくなり [図 8 (e)], 沿面フラッシュオーバーの生じた位置に沿って炭化路は進展しやすい傾向が認められた。従って、*S* 電極を用いた場合には、接地側電極で発生するコロナ放電が炭化路の発生を促進しているものと考えられる。また、炭化路先端と高圧側電極間を橋絡し発生する沿面フラッシュオーバーが乾燥帯の形成を促し、シンチレーションを発生しやすいているものと推察される。なお、図 10 (c) はシンチ

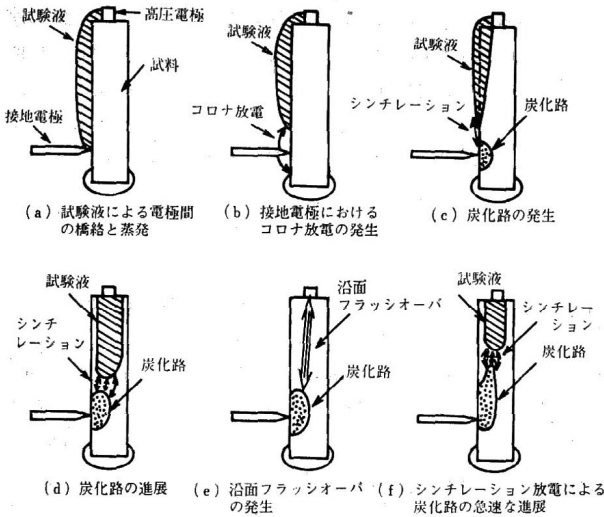


図 8 S電極におけるトラッキング破壊過程のモデル

Fig. 8. A process model of tracking breakdown with S-type electrode system.

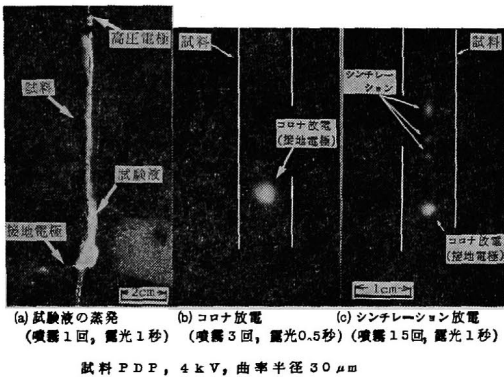


図 10 放電発生状態の例

Fig. 10. Photographs of discharges.

レーションの発生状態を撮影するため露光時間を長くしたものである。このためコロナ放電とシンチレーションは同時に発生しているように見られるが、実際には図9(b)と(c)に示されるように、シンチレーション発生時にはコロナ放電の発生は著しく減少する傾向が認められた。

一方、W電極の場合もS電極同様に、接地側電極でコロナ放電の発生することが認められた。しかしながら、このコロナ放電は試料に巻き付けたW電極周辺の任意の位置でランダムに発生するため、試料表面上の特定の場所への放電の集中は生じにくく、材料表面を局部的に炭化するのに十分なエネルギーの供給とはならないことが推察される。一方、S電極では放電が同一位置に集中するため炭化劣化が生じやすく、ト

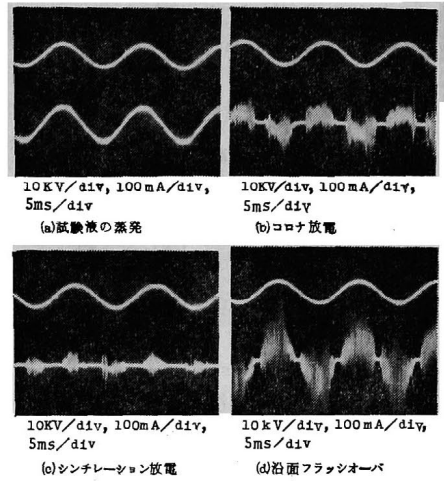


図 9 放電発生時での電流-電圧波形

Fig. 9. Current and voltage waveforms under discharge.

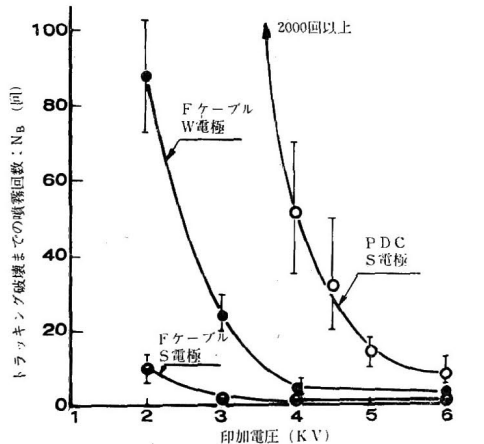


図 11 PDC および Fケーブルのトラッキング試験結果

Fig. 11. Experimental result of PDC and flat type PVC cable.

ラッキング破壊に至りやすくなるものと考えられる。

〈4.3〉 各種試料の耐トラッキング性 S電極(針端曲率半径 30 $\mu$ m)での各種試料の耐トラッキング性を比較するため、PDC および Fケーブルのトラッキング破壊試験を行なった。その結果を図 11 に示す。なお、W電極を用いた場合、PDC は各印加電圧とも2,000回噴霧では破壊に至らず、図12(a)に示すように、PDPと同様、接地側電極近傍にわずかに侵食のこん跡が認められるにすぎなかった。また、Fケーブルでは同図(b)に示すようにW電極でもトラッキング破壊となり、その結果を図11に併せて示した。この

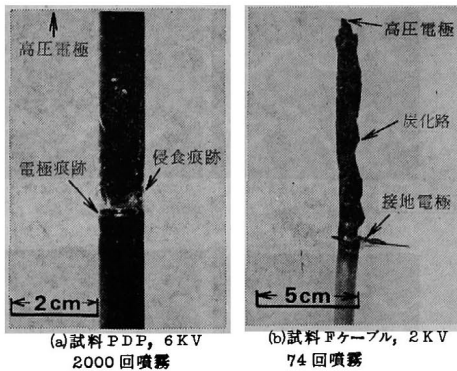


図 12 W 電極における PDC と F ケーブルの劣化状態

Fig. 12. Photographs of deteriorated surface of PDC and flat type PVC cable with W-type electrode system.

ため、W 電極での各試料の耐トラッキング性は PDP, PDC > F ケーブルとなる。なお、F ケーブルでは W, S 両電極構成ともに図 8 に示した劣化過程を経てトラッキング破壊に至った。従って、本法では電極構成によらず、トラッキング劣化機構は同一であるものと考えられる。

一方、図 5 に示した PDP および図 11 の PDC, F ケーブルの結果からは、S 電極では PDC ≥ PDP > F ケーブルの大小関係が認められる。また、F ケーブルに比較し PDC と PDP の試験時間の短縮が顕著である。そこで、S 電極を用いた場合、試験時間の短縮の程度の著しい PDP と PDC について、更に検討を加える。

S 電極の破壊までの噴霧回数は、図 5 および図 11 の結果により印加電圧 5 kV 以上で PDP と PDC の間に有意差は認められないが、印加電圧 4.5 kV 以下では、PDC のほうがわずかに破壊に至りにくい。このように、W 電極では明確でなかった両試料の有意差が、S 電極では生じている。

一方、PDP は耐トラッキング性に優れた材料と考えられており<sup>(4)-(6)</sup>、また塩水噴霧法で規定された電極構成 (W 電極) では、PDC に比較しトラッキング破壊の生じにくい結果が報告されている<sup>(4)-(6),(8)</sup>。

屋外課電での寿命については、PDP が優れているとする報告<sup>(5)</sup>がある一方で、PDC の破壊が生じにくいとの報告<sup>(8)</sup>も一部にあり、試験条件や試験環境によってその序列は必ずしも一定しないようである。この原因としては、屋外での使用条件が複雑多岐にわたり、その劣化因子がそれぞれ異なることや、加速試験では実使用条件を厳密にモデル化できないことなどが

挙げられる。このため、材料の耐トラッキング性の序列を検討する場合には、各試験法での材料の劣化状態とその要因を詳細に把握し、屋外使用時の結果との対応性を考慮する必要がある。

そこで、S 電極での PDC と PDP のトラッキング破壊までの過程をより詳細に明らかにするため、炭化開始、炭化進展の二つの過程に分けて次節で検討を加える。

〈4.4〉 PDP と PDC の炭化開始と炭化進展

PDP と PDC のトラッキング破壊までの過程を、噴霧開始後、試料表面に炭化路が形成されるまでの噴霧回数  $N_c$  および炭化路形成後トラッキング破壊に至るまでの噴霧回数  $N_b$  に分けて測定した。PDP と PDC の  $N_c$  および  $N_b$  の結果 (S 電極, 針端曲率半径 30 μm) を図 13(a), (b) にそれぞれ示す。なお、本法では噴霧開始直後から試料表面で放電が発生するため、トラッキング破壊までの噴霧回数  $N_B$  は、 $N_B = N_c + N_b$  となる。また、炭化路の形成の有無は、各噴霧回数ごとに試験を一時停止して目視で確認した。このため、図 13 に示した  $N_c$  と  $N_b$  の和  $N_B$  は、図 5 および図 11 での PDP, PDC の結果とは必ずしも一致していない。

印加電圧 6 kV では PDP と PDC の間に  $N_c, N_b$  とも有意差は認められない。一方、印加電圧 5 kV 以下では PDC に比較し PDP の  $N_c$  は少なく、 $N_b$  は逆に PDP のほうが PDC に比較して多いことが認められる。このように、炭化開始過程と炭化進展過程は、PDC と PDP ではそれぞれ異なる結果が得られた。

(1) 炭化開始過程 湿潤条件下における炭化開始までの過程は、試料固有のぬれ性と耐アーク性に関連することが報告されている<sup>(11),(12)</sup>。図 14 に PDC と PDP のぬれの状態の一例を写真で示す。図 14 より求めた接触角は PDP で約 30°, PDC では約 90° となり、PDC のほうが PDP よりも接触角は大きい。

一方、ASTM D-495<sup>(13)</sup> 耐アーク性試験装置を用いて測定した耐アーク性時間 (表 3) では、PDP のほうが PDC よりも長く、耐放電性は PDP のほうが PDC に比べて優れている。このように耐アーク性が優れているにもかかわらず、PDP の  $N_c$  が少ない原因としては、ぬれやすいためと考えられる。すなわち、接触角が小さく、ぬれやすい試料ほど放電が試料表面に接近しやすくなる<sup>(11),(12)</sup>、放電の熱エネルギーの材料への供給が多くなることが考えられる。従って、PDP は PDC に比較して耐アーク性は優れているものの、接触角が小さく、ぬれやすいため、接地側電極と試験液

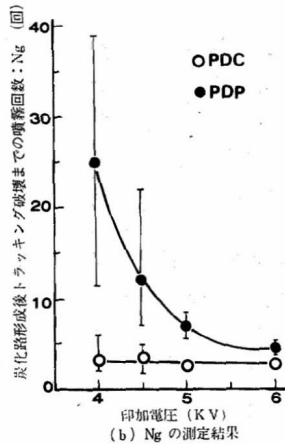
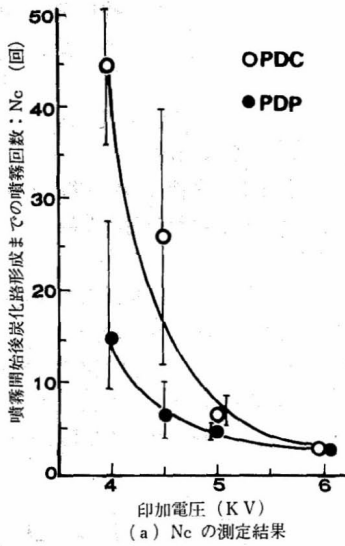


図 13  $N_c$  および  $N_g$  の測定結果

Fig. 13. Experimental results of  $N_c$  and  $N_g$ .

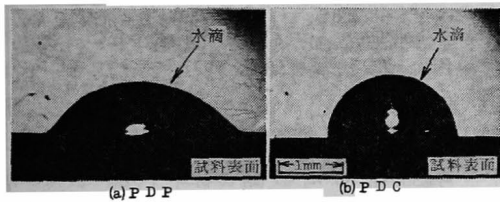


図 14 PDP と PDC への水滴の付着状態の例  
Fig. 14. Photographs of adhered droplet on the surface of PDP and PDC.

表 3 ASTM D-495 による耐アーク性試験結果  
Table 3. Experimental result by the ASTM D-495 arc resistance test method.

試料	耐アーク性時間 (s)
PDP	142
PDC	125
PDP-l	140
PDC-l	124

間で発生するコロナ放電が、試料表面に接近しやすいことが考えられる。このため PDP の場合、炭化路は形成されやすくなり、 $N_c$  は少なくなるものと推察される。

(2) 炭化進展過程 一度炭化路が形成されるとシンチレーションによって進展する。一般に、シンチレーションは試料表面に接近して発生すると考えられており<sup>(19)</sup>、このため  $N_c$  の過程で発生するコロナ放電とは異なり、放電の試料表面への接近状態は PDP と PDC ではほぼ同様になるものと推測される。従っ

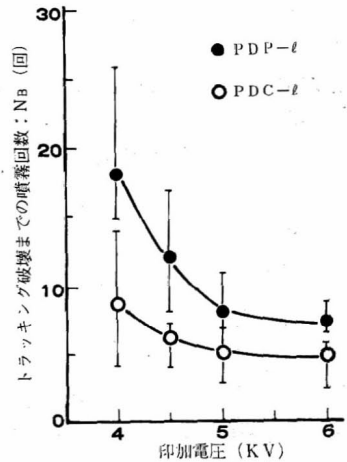


図 15 S電極における粗面試料でのトラッキング試験結果

Fig. 15. Experimental result of roughened surface with S-type electrode system.

て、耐アーク性や耐コロナ性<sup>(4)</sup>などに優れた、PDP の  $N_g$  が PDC よりも多くなるものと考えられる。

以上のように、 $N_B$  (トラッキング破壊までの噴霧回数) は  $N_c$  と  $N_g$  の重畳した結果として現われ、特に  $N_c$  は試料のぬれ性に影響される。このため、試料のぬれ性の低下が比較的少ない条件での耐トラッキング性を検討する場合には、加速性に優れた S 電極が有効と考える。

<4.5> 試料表面をぬれやすくした場合の耐トラッキング性 前節で試料固有のぬれ性が  $N_B$  に影響することを示した。また実使用下での材料は、日光による紫外線や汚損物の付着などにより試料表面が劣化し<sup>(14)(15)</sup>、接触角の低下することが報告されている<sup>(16)(17)</sup>。そこで、接触角の低下した状態を考慮するため、紙やすり (1番) で PDP および PDC の表面を荒くした場合 (以下、PDP-l, PDC-l と記す) の  $N_B$  について検討した。粗面試料の接触角は、PDP-l および PDC-l のいずれも  $20^\circ$  以下となるものの、表 3 に示すように耐アーク性には変化は認められない。なお、PDP-l, PDC-l の両試料ともに、W 電極において 2,000 回噴霧してもトラッキング破壊に至らなかった。粗面試料における  $N_B$  の結果 (S 電極、針端曲率半径  $30\mu\text{m}$ ) を図 15 に示す。PDP-l, PDC-l のいずれの試料も、粗面試料ではトラッキング破壊に至りやすいことが認められる。また、PDC-l に比較して PDP-l の  $N_B$  は多く、前節までとは逆の結果となる。



粗面試料を用いた場合、いずれの試料も1~3回の噴霧で炭化路が形成されることが認められた。このため、PDC-*l* および PDP-*l* の粗面試料の場合にはほぼ  $N_B \approx N_0$  となっていることが考えられ、接触角の低下した条件では、PDC に比較し PDP のほうが耐トラッキング性に優れている。また、*W* 電極に比較して *S* 電極での両試料の序列は短時間に得られる。

実使用下での試料のぬれ性の低下は、劣化に伴う分子状態の変化<sup>(18)</sup> の一つの結果として現われるため、ここで得られた結果を単純に屋外との結果と比較することは困難と考えられる。しかしながら、試料のぬれ性は最終的なトラッキング破壊を決定する重要な要因となり<sup>(11)(16)(17)</sup>、ぬれ性の低下した条件下での耐トラッキング性を考慮する必要があるものと考えられる。

## 5. あとがき

電氣協同研究会塩害対策委員会が提案した、電線の耐トラッキング性試験法(塩水噴霧法)を一部改良した試験法の加速性について検討した。改良した点は、接地側電極を針電極にした点である。得られた結果をまとめると次のようになる。

(1) 塩水噴霧法で規定された電極(*W* 電極)を用いた場合、PDP と PDC では2,000回噴霧してもほとんど劣化を生じないが、針1本電極(*S* 電極)および針2本電極(*D* 電極)を用いると10数回~数百回でトラッキング破壊に至り、試験時間が著しく短縮されることが認められた。また、三種電極では *S* 電極が再現性と加速性に優れており、電極の設定も比較的容易であるため、加速試験法として適することが明らかとなった。

(2) *S* 電極では、接地側電極で発生するコロナ放電が炭化路の発生を促進していることが明らかとなった。また、炭化路先端と高圧側電極間を橋絡して発生する沿面フラッシュオーバーが乾燥帯の形成を促し、シンチレーションを発生しやすくしていることが認められた。

(3) *S* 電極における PDP と PDC のトラッキング破壊までの過程を、噴霧開始後、炭化路が形成されるまでの噴霧回数  $N_c$  と、炭化路形成後トラッキング破壊までの噴霧回数  $N_d$  に分けて検討した。

$N_c$  は試料の接触角に、 $N_d$  は耐アーク性や耐コロナ性などに影響されることが示唆された。このため、接触角の大きな PDC の  $N_c$  は多く、耐アーク性や耐コロナ性に優れた PDP の  $N_d$  は多くなることが認められた。

(4) 接触角が低下した状態を考慮し、粗面試料の

$N_B$  を測定した。その結果、PDC に比較し PDP の  $N_B$  は多く、トラッキング破壊に至りにくいことが認められた。このため、試料の表面状態によっては耐トラッキング性の序列が変化することが示唆された。

(5) 本試験法では、試料のぬれ性が試験結果に影響するため、ぬれ性が低下した条件下での各試料の序列を考慮する方法としては、粗面試料を用い *S* 電極で試験を行なうことが有効であろう。

最後に、本研究に対し御協力くださった本学電気工学科 高橋重雄技官、学部学生 能登由一〔現、山武ハネウエル(株)〕、田中 定〔現、住友金属鉱山(株)〕および熊谷稔幸〔現、東北電力(株)〕の諸君に謝意を表す。(昭和58年8月22日受付、同59年2月1日再受付)

## 文 献

- (1) 例えば、吉村・西田・能登:「有機絶縁材料の耐トラッキング性」, 静電学誌, 6, 72 (昭 57-2)
- (2) 電氣協同研究会塩害対策専門委員会配電分科会:「配電設備の塩害対策」, 電氣協同研究, 20, 1, 128 (昭 39)
- (3) 「トラッキング現象と耐トラッキング性試験法の動向」, 電氣学会技術報告(1部), No. 86, 1 (昭 43-7)
- (4) 鳥居・一色・林・斎藤・井田・関口:「エチレンプロピレンゴムの特性と、電線、ケーブルへの応用」, 藤倉電線技報, No. 32, 31 (昭 41)
- (5) 鈴木・須藤・深沢・河原・石和・田村:「新しい耐トラッキング性 EP ゴム電線の開発と劣化寿命推定法について」, 古河電工時報, No. 72, 25 (昭 56-8)
- (6) 大谷・内海・今野・中沢:「エチレン・プロピレンゴムの諸特性と電線、ケーブルへの応用」, タツタ電線技報, No. 4, 67 (昭 45-11)
- (7) 山本・関・柳生・森屋・根本:「新しい超耐トラッキング性エチレンプロピレンゴム絶縁電線の開発」, 昭 53 電氣学会全大, 259
- (8) 阿部・今野:「配電用絶縁電線の耐トラッキング性とその促進試験について」, タツタ電線技報, No. 2, 59 (昭 43-12)
- (9) D. J. Groves & P. H. Kaye: "Tracking Events within a Dry Band", IEE. Conf. Pub., No. 117, Dielectric Materials Measurements and Applications, p. 270 (1979)
- (10) 日野・鈴木:「乾式低電圧耐トラッキング性試験に関する研究(トリガ放電利用による)」, 電学誌, 87, 200 (昭 42-1)
- (11) N. Yoshimura, M. Nishida & F. Noto: "Influence of the Electrolyte on Tracking Breakdown of Organic Insulating Materials" *IEEE. Trans. Elect. Insulation*, EI-16, 6, 510 (1981)
- (12) 西田・吉村・能登:「霧でぬれた有機絶縁材料表面のトラッキング破壊」, 電学論A, 99, 121 (昭 54-3)
- (13) ASTM D-495-61: Standard Method of Test for High Voltage, Low-current Arc Resistance of Solid Electrical Insulating Materials (1961)
- (14) 斎藤・小池・鈴木・須藤:「絶縁電線のトラッキング劣化評価の一手法」, 昭 52 電氣学会全大, 1277
- (15) 沢垣・田・増田・大川・菅・一色・関口:「ゴム・プラスチック電線の塩害(2)」, 藤倉電線技報, No. 29, 33 (昭 40)
- (16) T. Tanaka, K. Naito & J. Kitagawa: "A Basic Study on Outdoor Insulations of Organic Materials", *IEEE. Trans. Elect. Insulation*, EI-13, 3, 184 (1978)
- (17) 黒沢:「屋外用エポキシ樹脂の表面劣化(第3報)」, 電中研報, No. 73127 (昭 49-8)
- (18) 黒沢:「屋外用エポキシ樹脂の表面劣化(第2報)」, 同上, No. 72104 (昭 48-7)