

架空配電用絶縁電線の耐トラッキング性 試験の加速方法

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・湿潤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（炭化導电路による電極間の橋絡）に至るため、そ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が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 を越える提案を数えるが⁽¹⁾、まだ決定的とされている方法はない。これはトラッキング劣化をもたらす因子が多様なため、実用下におけるすべての因子を網羅して、これを実験室で再現し試験を行なうことが困難であることに起因している。このため幾つか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⁽²⁾。しかしながら、この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、従来の規定された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^{(3)~(7)}。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重要な課題となっている。

著者らは、これらの問題に対処するため、電線の耐トラッキング性試験法⁽²⁾の中で、接地電極の改良による試験の加速を試み、その結果の一部は既に報告した⁽⁸⁾。しかしながら、試験法としての最適な試験条件、従来の試験結果との対応性および試験の加速率などについては明らかにされていない。本論文では、前報⁽⁸⁾に引き続き接地電極を針電極に改良した方法（S 電極構成）の加速試験法としての有効性を明らかにすることを目的に、次の 4 項目について主として検討した。

- (1) 電極の設置位置と試料の配置
- (2) トラッキング破壊を引き起こすための最適な試験条件
- (3) 従来の方法による耐トラッキング性との対応
- (4) S 電極構成による加速特性

その結果、トラッキング劣化が最も生じやすい電極配置および試験条件の存在すること、新たに提案した S 電極構成による各種材料の耐トラッキング性の序列は、従来の方法で得られた結果に対応すること、試験の加速率は約 10 倍であることなど、多くの知見が得られたので報告する。

2. 電線の耐トラッキング性試験法

〈2.1〉試験法の概要 図 1 に試験回路を、表 1 に電線の耐トラッキング性試験法に規定された試験条件をまとめて示す。試験には実用に供する絶縁電線を 20 cm 以上の長さに切断したものを使用する。電線上部の絶縁被覆を直角にはぎ取って導体部分（心線）を

Accelerated Test Method to Evaluate Tracking Resistance for Overhead Insulated Wires. 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

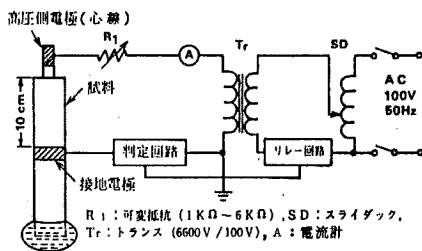


図 1 試験回路

Fig. 1. Experimental circuit.

表 1 試験条件

Table 1. Experimental conditions.

項目	規定条件	本研究での設定条件
供試試料	実使用電線	同 左
試料の長さ	20 cm 以上	同 左
高圧電極	導体(心線)使用	同 左
接地電極	1 mm の裸電線を巻き付けて使用	同左および針状電極(先端角度 60 度, 先端曲率半径 30 μm)
印加電圧	4 kV	1~6 kV
電極間距離	10 cm	同 左
試験液	NaCl 0.2% + ポリオキエチレン/ニールフェノールエーテル 0.1%	NaCl 0.2% + n ブチルナフタリンスルホン酸ナトリウム 0.1%
導電率	約 3,000 μs/cm	約 4,300 μs/cm (20°C)
噴霧量	0.5 ± 0.1 mm/min (水平分)*1	1.2~1.7 mm/min (水平分)**
噴霧速度	約 3 m/s	5.5~10 m/s**
ノズルからの距離	0.5 m	同 左
噴霧時間	10 s	同 左
休止時間	20 s	同 左
破壊の規準	0.5 A 以上の電流が流れたとき	同 左

*1: 噴霧器から 0.5 m 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。

*2: 霧室中で測定

*3: アネモマスター (熱電形風速計) により測定した。

高圧電極とし, 接地電極には直径 1 mm の裸銅線を巻き付けて使用する。試料と噴霧装置のノズル間の距離は約 0.5 m であり, 試料への噴霧方法は噴霧時間 10 s 休止時間 20 s とし, 30 s で 1 サイクルとなるように設定する。トラッキング破壊は電極間に 0.5 A 以上の電流が流れたときと規定し, 破壊までの噴霧時間を求め, 耐トラッキング性を判定する方法である。

〈2・2〉 試験時間を短縮するための加速方法について 材料の耐トラッキング性を判定する試験法で, 試験時間の短縮を目的とした加速方法を考慮する場合には, 表 1 に示した各種の試験条件をかこく化するの

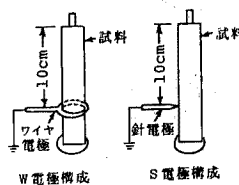


図 2 電極構成

Fig. 2. Arrangement of electrode.

が一般的な方法である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。すなわち, 試験電圧を高くすること, 試験液の噴霧量を多くすること, 噴霧速度を上げること, 噴霧時間を長くすること, 電極間距離を実効的に狭めること, などが試験条件のかこく化として挙げられよう。しかしながら, これら個々の試験条件を単純に変更しても, トラッキング破壊までの時間を短縮できるとは限らず, 結果的に試験時間を長くしてしまうことも多い⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。従って, 試験条件の変更によって, 試験時間を短縮する場合には最適な試験条件を選択することが必要となる。

一方, トラッキング劣化過程を検討することから, 試験時間の短縮方法を見いだすことも可能である。すなわち, 絶縁材料のトラッキング劣化は, 材料表面で発生する放電(コロナ放電やシンチレーション)によって促進され⁽¹¹⁾, 放電エネルギーの大きさと, その供給状態, 例えば放電の発生位置や放電の表面からの距離などが破壊時間の要因となることが報告されている⁽¹²⁾。このことは, 放電の発生を特定の場所に集中させることにより, トラッキング破壊までの時間を短縮することが可能であることを示唆している。しかしながら, トラッキング破壊に至るまでの各過程に要する時間は試験条件に依存するため, 劣化過程と試験条件を分離して考えることは困難である。このように, 劣化過程の観点から加速試験を検討する場合でも, 最適な試験条件を明らかにする必要がある。本論文では, 上記視点に基づき, 図 2 に示すような規定された接地電極(W 電極構成)を針電極(S 電極構成)に改良する方法を提案し, この S 電極構成の加速試験法としての適用性について検討したものである。

〈2・3〉 実験方法 実験に使用した試験装置は前報⁽⁸⁾と同様である。試験は 90 cm × 90 cm × 90 cm の霧室中で行ない, 試験液はポンプで循環し噴霧器へ供給した。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% 加えたものを用いた。導電率は, 20 °C で約 4,300 μs/cm (東亜電波製 CM-8 ET で測定)である。試料と噴霧装置のノズル間の距離は約 0.5 m

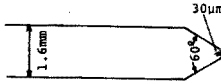


図 3 針電極形状

Fig. 3. Shape of needle electrode.

である。印加電圧は 1~6 kV を適宜使用し、回路の短絡電流は R_i を可変にし、各印加電圧で 1 A となるように設定した。接地側電極としては、図 2 に示した針電極 (S 電極) を使用し、直径 1.6 mm の銅線を図 3 に示すように先端角度 60° 、針端曲率半径を $30\mu\text{m}$ に研磨したものをを用いた。また、 S 電極はバネを用いて所定の接触圧力となるように試料に設置した。なお、比較のため従来から規定されている電極構成 (W 電極: 図 2 参照)⁽²⁾ も一部用いた。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、その時点でリレーが動作して一次側回路を遮断するようになっている。本法で設定した各種条件をまとめて表 1 に示す。なお、同表中○印は試験条件として本研究で検討した項目を示している。

〈2.4〉 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、架橋法の異なる 3 種類の架橋ポリエチレン絶縁配電線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、PDP-1、PDC-1、PDC-2、PDC-3、PVC と略記) の計 5 種類を使用した。試料はエチルアルコールを含ませたガーゼで拭いた後、約 2 時間脱気乾燥したものを実験に使用した。なお、試料の下部はエポキシ系接着剤で封止した。

3. 各種試験条件のトラッキング破壊に及ぼす影響

〈3.1〉 針電極と試料の配置 実使用下における配電用電線は、垂直に設置されるとは限らず、ある角度を持って取付けられることが多い。また、棒状試料を用いた試験では、垂直に試料を設置するより、水平位置がトラッキング破壊に至りやすいとの報告⁽¹³⁾ もあり、トラッキング破壊を生じやすい電極-試料の位置関係を明らかにする必要がある。そこで針電極を用い、図 4 に示す 7 種類の電極-試料の位置関係について検討を加えた。各々の配置における試験結果を表 2 にまとめて示す。なお、試料には PDP-1 と PDC-1 を使用し、トラッキング破壊あるいは貫通破壊 (針電極と心線の橋筋) に至らない場合には最高 200 回噴霧で試験を中止した。また、両試料とも、規定電極構成 (W 電極) では 2,000 回以上噴霧してもトラッキング

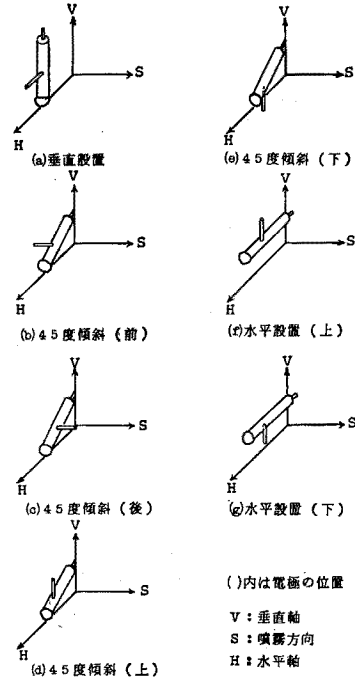


図 4 電極と試料の配置

Fig. 4. Arrangement of electrode and sample.

表 2 各種の試料-電極設置条件における試験結果
Table 2. Experimental results under several configurations of sample and needle electrode.

試料-電極の設置条件	トラッキング破壊あるいは貫通破壊までの噴霧回数 (N_B)						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
PDP-1	24(T)	27(P)	240(P)	>200	>200	>200	>200
PDC-1	10.5(T)	12.3(P)	18.3(P)	63(P)	>200	>200	>200

(T): トラッキング破壊, (P): 貫通破壊, 印加電圧: 4.5 kV

破壊には至らなかった。

PDP-1 と PDC-1 の両試料がトラッキング破壊に至るのは、試料を垂直に設置し針電極を試料側面に配置した (a) 図の場合であり、この設置条件の場合トラッキング破壊に至るまでの噴霧回数 (N_B) が最も少ない。(b), (c) 図の配置ではトラッキング破壊に至る前に貫通破壊を生じ、(a) 図の配置に次いで N_B は少ない。一方、(e), (f) 図および (g) 図の配置では、200 回噴霧しても炭化路はほとんど形成されず、結果的にトラッキング破壊あるいは貫通破壊に至らなかった。これらの結果は、電極と試料の配置条件がトラッキング破壊結果に変動を与える要因となりうることを示しており、この原因として試験液の表面への付着の状態が挙げられる。

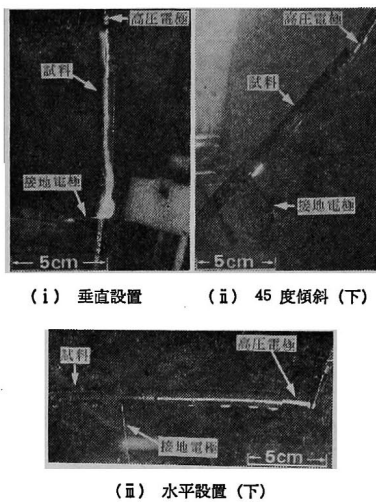


図 5 試験液の付着状態
Fig. 5. Adhesion of test solution on sample's surface.

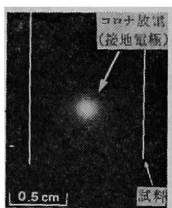


図 6 コロナ放電の発生例
Fig. 6. Corona discharge.

試料表面に付着した試験液の状態の代表例として、図 4 (a), (e), (g) の設置の場合を図 5 に示す。試料を水平に設置した (iii) 図では、試料下部に試験液が水滴状に付着し、電極間が橋絡しにくい様子が認められる。このため放電は著しく発生しにくく、炭化劣化は生じにくいものと考えられる。試料を 45 度に傾け、試料下方に電極を配置した (ii) 図の場合には、試験液は電極間を一時的に橋絡するものの、試料表面に付着した試験液が接地電極を介して急激に流出する。このため、試験液の蒸発に要する時間⁽¹⁴⁾は著しく短く (PDC-1, 4.5 kV 印加で約 2.8s) なり、乾燥帯は容易に形成される傾向が認められた。従って、放電は噴霧開始直後から噴霧終了直後までの短時間に集中的に発生するのみで、炭化劣化を促すに十分なほど連続的には発生しない。

一方、(i) 図の配置の場合には (iii) 図に比較すると試験液による電極間の橋絡は生じやすく、(ii) 図に比較すると流下しにくいこと (蒸発に要する時間が約 12s 程度) など、(ii) 図と (iii) 図の中間的な様相を示し

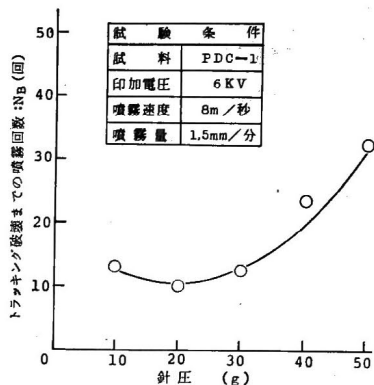


図 7 N_B の針圧依存性
Fig. 7. Relation between contact stress of needle electrode and N_B .

た。更に、接地電極近傍で発生するコロナ放電 (図 6 参照) は噴霧の休止時間内でも、連続的に発生する様子が認められた。接地電極近傍で発生するコロナ放電は材料の炭化劣化を促進するものであり⁽⁸⁾、この放電が発生しやすい条件ほど炭化劣化が生じやすくなるものと考えられている⁽⁸⁾⁽¹²⁾。従って、材料の炭化劣化をもたらすコロナ放電の発生しやすい条件として、適度な試験液の供給が必要であり、上記 7 種配置の中で試料を垂直に設置し、接地電極を噴霧方向に対して 90 度に配置した図 4 (a) が最も適しているものと考えられる。

以上の結果から、次節以後、図 4 (a) の試料-電極の配置を S 電極構成と規定し、この電極構成を用いて各種の試験条件について検討する。

〈3.2〉 針電極の接触圧力 (針圧) の影響 S 電極のように電極を針状に研磨して使用する場合に問題となるのは、電極の接触圧力 (針圧と記す) である。本節では針圧のトラッキング破壊に及ぼす影響について、針圧を 10~50 g の範囲に設定して検討した。なお、針圧は S 電極をバネばかり (最小目盛 1g) を用いて軸方向に引っ張り、電極が試料表面から離れたときと規定した。

トラッキング破壊に至るまでの噴霧回数 (N_B) の針圧依存性を求めた一例として PDC-1 の結果を図 7 に示す。針圧によって N_B の値は変化し、針圧が約 20g のとき N_B が最小値となる V 字特性を示す。 N_B の針圧依存性が V 字特性を示す原因としては、図 8 に示すように針電極の試料表面への接触状態が針圧によって異なるためと考えられる。すなわち、S 電極は針圧が高いほど試料内部にくい込み、試料表面での S 電極の断面積は針圧 20g で約 $4.6 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 、針圧 50g

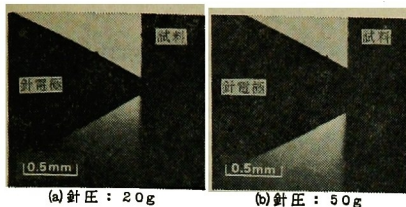
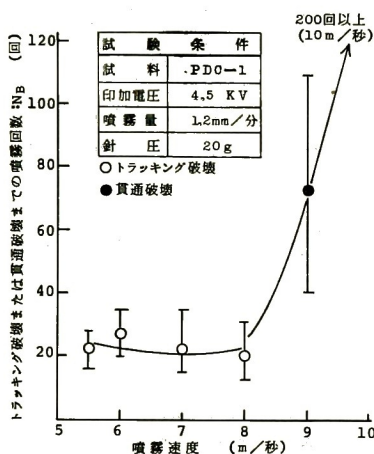


図 8 針電極と試料の接触状態

Fig. 8. Contact conditions of needle electrode.

図 9 N_B の噴霧速度依存性Fig. 9. Relation between stream velocity of fog and N_B .

で約 $38 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ に増加する。試料表面での S 電極の断面積の増加は見かけ上、針端曲率半径の大きな電極を使用したことと同じ効果を有するものと考えられる。針端曲率半径と N_B の関係については、曲率半径が小さいほどトラッキング破壊に至りやすく、 N_B は少ないことは既に報告した⁽⁸⁾。従って、針圧が高くなるほど S 電極は試料内部に食い込み、試料表面での断面積を増加し、結果的に N_B が増加するものと考えられる。なお、本研究で用いた5種類の試料それぞれに、同じ針圧で S 電極を設定した場合、試料表面での S 電極の断面積には相違は認められなかった。このため、各試料への S 電極の食い込みの程度はほぼ等しいものと考えられる。

一方、針圧が低くてもトラッキング破壊を生じやすいとは限らず、針圧が10g程度では逆に N_B が増加している。この場合、放電により S 電極近傍が侵食されると、針電極と試料間にすき間が生じ、表面から電極が離れる様子が観察された。このため、放電は連続的に発生せず断続的となり、トラッキング破壊が生じにくいものとする。

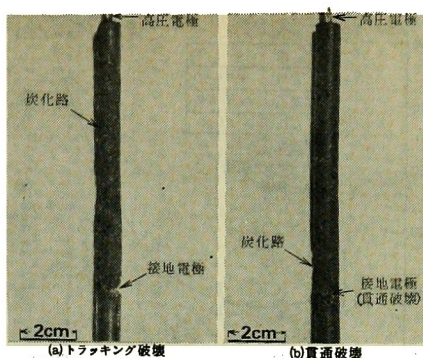


図 10 トラッキング破壊と貫通破壊の例 (PDC-1)

Fig. 10. Photographs of tracking and puncture breakdown.

以上の結果より、 S 電極と試料表面との接触状態は針圧によって変化し、本研究で使用した曲率半径 $30 \mu\text{m}$ の S 電極では、約 20 g の針圧が最適の設定条件として考えられる。

〈3.3〉 試験液の噴霧速度 トラッキング破壊あるいは貫通破壊に至るまでの噴霧回数 (N_B) の噴霧速度依存性を求めた結果の一例として、PDC-1 の結果を図9に示す。なお、図中○印はトラッキング破壊、●印は貫通破壊に至った場合(図10参照)を示し、それぞれ試料5個の平均値である。また縦線は結果のばらつきの範囲を示している。

図9の結果より、噴霧速度 8 m/s を境として破壊形式および N_B の値は著しく変化する。噴霧速度が 8 m/s 以下での N_B は $20 \sim 28$ 回(各噴霧速度の平均値)とほぼ一定値でトラッキング破壊に至っているのに対し、 9 m/s 以上の領域では N_B の値が急増し、トラッキング破壊に至る前に貫通破壊を起こした。特に 10 m/s では、 200 回噴霧してもトラッキング破壊あるいは貫通破壊のいずれにも至らず、噴霧速度のわずかな相違が試験結果に著しく関与している。

試験法として試験条件を規定する場合には、許容誤差を考慮するのが一般的である⁽¹⁵⁾。しかしながら、試験条件の誤差内で試験結果が著しく変動するのは望ましくなく、可能な限り同一の結果が得られるように規定する必要がある。本法で提案した S 電極を用い、得られた N_B がほぼ一定値を示し、同一の破壊形式(トラッキング破壊)となる噴霧速度は $5.5 \sim 8 \text{ m/s}$ の範囲である。従って、噴霧速度を $5.5 \sim 8 \text{ m/s}$ の範囲内に設定するのが最適な試験条件を与えるものと考えられる。

〈3.4〉 試験液の噴霧量 N_B の噴霧量依存性を

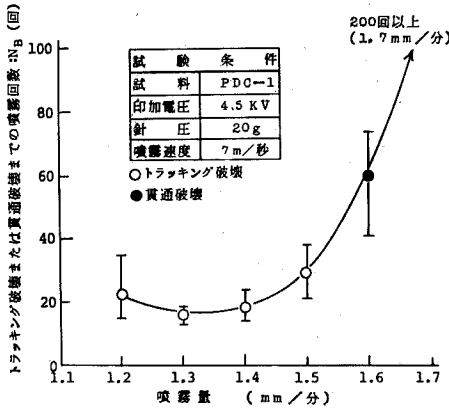


図 11 N_B の噴霧量依存性

Fig. 11. Relation between quantity of fog supply and N_B .

求めた結果 (PDC-1) の一例を図 11 に示す。同図の結果より、最も少ない N_B を与える噴霧量は 1.3 mm/min の場合である。しかしながら、噴霧量が 1.2~1.5 mm/min の領域での N_B はいずれも 18~30 回 (平均値) の範囲となり、ばらつきを考慮するとほぼ一定値を示しているものとみなされる。これに対して噴霧量が 1.6 mm/min 以上では N_B の値は急増し、特に 1.7 mm/min の場合では、噴霧回数が 200 回に達してもトラッキング破壊あるいは貫通破壊のいずれにも至らなかった。このように、噴霧速度同様、噴霧量のわずかな相違も試験結果に変動を与える要因となる。従って、一定の N_B 値が得られ、結果としての破壊が同一の形式 (トラッキング破壊) を与える条件としては、1.2~1.5 mm/min の噴霧量に設定することが必要であり、この噴霧量の範囲が本法で用いた S 電極で最適な試験条件を与えるものとする。

なお、試験液の噴霧速度および噴霧量によって N_B の値が異なる原因については、試料表面に付着した試験液の挙動の観点から次節で検討する。

〈3.5〉 噴霧速度および噴霧量の変化と試験液の挙動
 噴霧速度や噴霧量の設定条件の相違は試料表面に付着する試験液の挙動に変化をもたらす、結果的に N_B を決定する要因となりうるものとする。そこで本節では、試験液を介して流れる正弦波漏れ電流の観点からその挙動について検討する。

噴霧直後に試験液を介して流れる商用周波数 (50 Hz) の正弦波漏れ電流の測定結果を図 12 に示す。(a) 図は、前節までに得られた最適試験条件に設定 (針圧 25 g, 噴霧速度 7 m/s, 噴霧量 1.4 mm/min) した場合の結果である。この場合 N_B は 14 回であった。

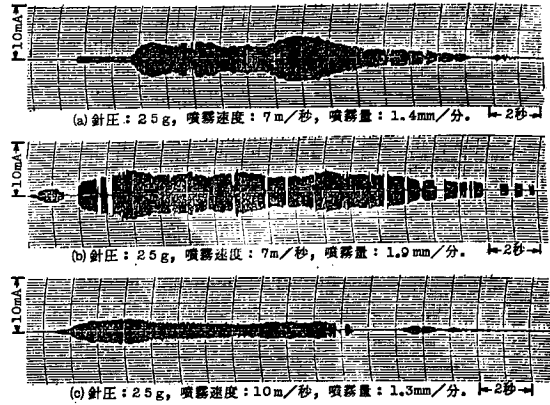


図 12 試験液を介して流れる漏れ電流の変化

Fig. 12. Change of leakage current under test solution.

(b) 図は噴霧量を多く設定 (1.9 mm/min) した場合、(c) 図は噴霧速度を速めに設定 (10 m/min) した場合の結果であり、いずれも 200 回噴霧までにトラッキング破壊には至らなかった。

トラッキング破壊に至る (a) 図に比較し、噴霧量を多く設定した (b) 図での漏れ電流のピーク値は高い値を示すが、分断されやすい傾向を示している。この事実は多量の試験液が試料表面に付着するものの流失しやすいことを表わすものである。従って、放電によって発生した炭化析出物は、試験液の流失に伴い洗い流されるため、炭化路の進展は抑制される。この現象がトラッキング破壊に至るまでの時間を長くする原因と考えられる。

一方、噴霧速度を速く設定した場合の (c) 図では、(a), (b) 図に比較して漏れ電流の持続時間は短く、そのピーク値も著しく低い。この結果は、噴霧量を同じ値に設定しても実際に試料表面に付着する試験液量は噴霧速度の設定条件に依存することを示すものである。すなわち、噴霧速度が増加すると、試料表面に付着する試験液量が減少することや、付着した試験液が吹き飛ばされやすくなるものと考えられる。このように、噴霧速度が増加すると試料表面に付着する試験液は減少するため、放電は発生しにくくなり、トラッキング破壊が生じにくくなるものと考えられる。

以上、得られた結果から噴霧速度や噴霧量の設定条件が試料表面での試験液の付着と、その挙動に寄与する因子となり、これが結果的にトラッキング破壊の生じやすさに影響を及ぼすことを明らかにした。従って、トラッキング破壊を引き起こすためには、最適な試験条件を設定する必要がある、本論文で提案した S

電極では、針圧を 15~25 g, 噴霧量を 1.2~1.5 mm/min, 噴霧速度を 5.5~8 m/s の範囲に設定するのが適当である。

4. 各種試料の耐トラッキング性と S 電極の加速特性

(4.1) 各種試料の耐トラッキング性 試験時間の短縮を目的とした加速試験法で最も重要視される要素は、従来の方法で得られた耐トラッキング性の序列との対応である。そこで本節では、架橋法の異なる 3 種の PDC および PDP-1, PVC の合計 5 種類の試料の耐トラッキング性について、規定電極 (W 電極) と新たに提案した S 電極を用いて比較検討を行なう。

W 電極を用い、各試料の耐トラッキング性試験を行なった結果を図 13 に示す。なお、PDP-1 と PDC-1 の場合、W 電極では 2,000 回噴霧してもトラッキング破壊に至らなかったため、他の 3 種試料に比較し耐トラッキング性は優れているものとみなした。このため W 電極における各試料の耐トラッキング性の序列は、PDP-1, PDC-1>PDC-3>PDC-2>PVC となる。

一方、S 電極を用いた場合の結果を図 14 に示す。なお、S 電極を用いると規定電圧 (4 kV 一定) のみでは、各試料の耐トラッキング性の序列を明確に定めることは困難である。このため、トラッキング破壊に至る噴霧回数が 50 回に対応する電圧、100 回以上に達する電圧、200 回以上に達する電圧 (図 14 中の表を参

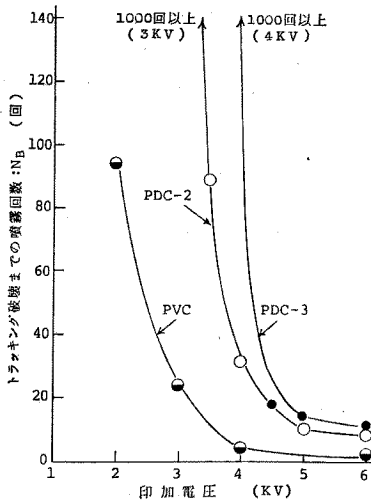


図 13 W 電極によるトラッキング試験結果
Fig. 13. Experimental result with W-type electrode system.

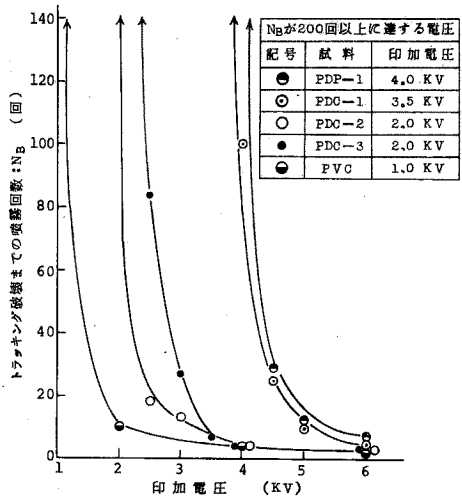


図 14 S 電極によるトラッキング試験結果
Fig. 14. Experimental result with S-type electrode system.

照) を評価規準とし、各試料の耐トラッキング性を比較した。その結果、いずれの評価規準に基づいても S 電極における各試料の耐トラッキング性の序列は、PDP-1≧PDC-1>PDC-3>PDC-2>PVC となる。この結果は、W 電極で得られた耐トラッキング性の序列に対応しており、S 電極は加速試験法としての要件を満たしていることを示している。更に、W 電極ではトラッキング破壊を生じにくい PDP-1 と PDC-1 の両試料とも、S 電極では少ない噴霧回数で破壊に至っており、耐トラッキング性の判定が可能となるなどの利点を有している。従って、新たに提案した S 電極を接地電極として使用する方法は、加速試験法として適しているものと考えられる。

(4.2) S 電極の加速特性 W 電極を用いた場合のトラッキング破壊噴霧回数 (NBW) と、S 電極を用いた場合のトラッキング破壊噴霧回数 (NBS) の関係を図 15 に示す。NBS と NBW の間には、

$$N_{BS} = aN_{BW} + b \dots\dots\dots(1)$$

なる比例関係が認められる。図 15 より a, b の値を求めるとそれぞれ、 $a=0.1, b=1$ が得られる。従って、(1)式は

$$N_{BS} = 0.1N_{BW} + 1 \dots\dots\dots(2)$$

と表わされる。(2)式は S 電極を用いた試験法が W 電極を用いた方法に比較し、約 10 倍の加速率を有していること、すなわち S 電極では約 1/10 の試験時間で結果の得られることを示すものである。また、NBS と NBW の結果に直線関係が得られたことは、W 電極に対して S 電極は等加速性を有していることを示

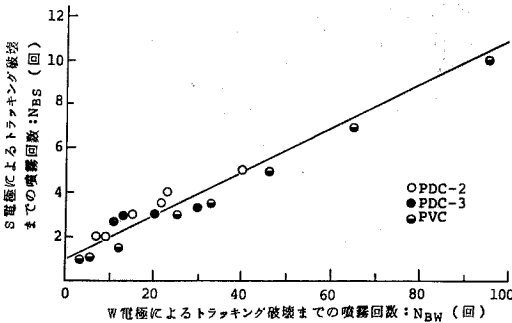


図 15 W 電極と S 電極によって得られた結果の関係

Fig. 15. Relationship between the results of W-type and S-type electrode systems.

すものであり、両電極構成ともトラッキング劣化が共通の機構に基づいて発生していることを示唆している。なお、(2)式が成立するのは N_{BW} が 100 回以下の場合であり、 $N_{BW} > 100$ 以上については今後検討する予定である。

5. あとがき

耐トラッキング性に優れた材料の出現に伴い、その評価を判定するためには長期間にわたる試験を行なうことが余儀なくされているのが現状である。このため、耐トラッキング性を決定するための加速試験法の確立が望まれている。本論文では、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の試験時間を短縮する方法として規定された接地電極 (W 電極) を針電極 (S 電極) に改良することを提案し、S 電極を用いた場合の最適な試験条件と加速試験法としての有効性について検討した。得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) 電極および試料の設置条件は、耐トラッキング性試験結果に影響する因子の一つとなることを確認した。このため、7 種類の電極 - 試料配置について検討した結果、試料を垂直に設置し、針電極を噴霧方向に対して 90 度の角度に配置した場合 (以下、S 電極と規定した) が最もトラッキング破壊に至りやすく、試験条件として適することを明らかにした。

(2) 針電極の接触圧力 (針圧)、試験液の噴霧速度および噴霧量の設定条件もトラッキング破壊までの噴霧回数 (N_B) を決定する要因となる。 N_B の測定結果に変化を与えない最適な試験条件として針圧が

15~25 g, 噴霧速度が 5.5~8 m/s, 噴霧量が 1.2~1.5 mm/min の範囲であることを明らかにした。

(3) S 電極と W 電極を用い、各種材料の耐トラッキング性について検討した。S 電極と W 電極で得られる各種試料の耐トラッキング性の序列は対応することが明らかとなった。また、W 電極で評価が難しい試料でも S 電極では短時間で結果が得られ、評価できることなどの利点を有することも明らかとした。

(4) W 電極と S 電極で得られる耐トラッキング性試験結果には直線関係が認められ、S 電極は約 10 倍の加速率を有することを明らかにした。

最後に、本研究に対し御協力下された本学電気工学科 高橋重雄技官、学部学生 熊谷稔幸〔現、東北電力(株)〕、太田義則〔現、(株)東芝〕の諸氏に謝意を表す。
(昭和 59 年 7 月 13 日受付)

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」, 静電気学会誌, 6, 72 (昭 57-2)
- (2) 電気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」, 電気協同研究, 20, 128 (昭 39-1)
- (3) 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, p. 31 (昭 41)
- (4) 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, p. 25 (昭 56-8)
- (5) 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, p. 67 (昭 45-11)
- (6) 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 54 電気学会全大, 259
- (7) 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, p. 59 (昭 43-12)
- (8) 西田・吉村・能登・糸賀・菅:「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」, 電学論 A, 104, 379 (昭 59-7)
- (9) 「トラッキング現象と耐トラッキング性試験法の動向」, 電気学会技報 (I 部), No. 86, 1 (昭 43)
- (10) 「IEC Publication 112 による絶縁材料の耐トラッキング性試験方法」, 電気学会技報 (II 部), No. 115, 1 (昭 56)
- (11) 西田・吉村・能登:「有機絶縁材料表面のトラッキング劣化過程で発生する放電光の光パルス計測」, 電学論 A, 104, 41 (昭 59-1)
- (12) N. Yoshimura, M. Nishida & F. Noto: "Influence of the Electrolyte on Tracking Breakdown of Organic Insulating Materials", IEEE Trans. Elect. Insulation, EI-16, 510 (1981)
- (13) 上草:「フェノール樹脂表面の長ギャップ劣化特性とその抑制方法」, 電学論 A, 102, 413 (昭 57-7)
- (14) 西田・吉村・能登:「有機絶縁材料表面のトラッキング破壊における乾燥帯の形成過程」, 同上 A, 103, 593 (昭 58-11)
- (15) 例えば、IEC Publication 112, Third edition (1979)