

汚損した有機絶縁材料表面における放電特性

長谷川 誠 一

Characteristics of Discharge on Polluted Organic Insulating Material Surface

Seiichi HASEGAWA

(1995年11月30日受理)

The tracking resistance of organic insulating materials like polystyrene, polyvinylchloride, etc have been studied using Inclined Plate Test apparatus. The investigations have been carried out by the IEC 587 inclined-plate test. Observations of discharge and also work presented by energy measurements have shown that the most damaging discharges are not necessarily those of highest energy. The stable discharge bring about tracking failure. Though, the mechanism of tracking is not completely made known, yet.

1. まえがき

最近、配電機材の軽量化および小型化のため、これまでのセラミック系の絶縁材料に替わって、プラスチック系（有機合成樹脂）の絶縁材料を屋外用電力機器に使用する例が増えつつある。このプラスチック系（有機合成樹脂）の絶縁材料は表面において放電が発生すると、局部的に炭化して導回路を形成するいわゆるトラッキング劣化を生ずることがある。このトラッキング劣化はセラミック系のがいしのフラッシュオーバー現象と異なり、回復性のない致命的なトラッキング破壊（ブレイクダウン）に至る恐れがあるため、有機絶縁材料の屋外用電力機器への適用範囲の拡大を妨げている。

また一般住宅における家庭電気製品、事務所などのOA化にともなう電気機器類は増加の一途をたどっており、これにともなってこれら電気器具、機器類が原因と見られる火災件数はかなりの数に上っている。東京消防庁によれば、1993年に所轄管内で発生した電気火災件数は901件となっている。このうち、トラッキング破壊によると見なされる火災は66件となっており、しかもこれは年々増加の傾向にある。⁽¹⁾

このため、有機絶縁材料の耐トラッキング性能の向上および評価と並んで、トラッキング劣化の進展の度合いを的確に判定する方法の確立が望まれている。本論文では数種類の有機絶縁材料に IEC Publi-

cation 587⁽²⁾ 耐トラッキング性試験を行ったときの絶縁材料表面のトラッキング劣化の進展の度合いを判定する試みについて、実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験方法と試料

本実験において用いた IEC Publication 587 は傾斜平板試験とよばれる絶縁材料の耐トラッキング性と耐侵食性の評価試験法のひとつである。

図1に試料と電極のアッセンプリの概略を示した。試料面上方に三角形の上部電極を配置し、その

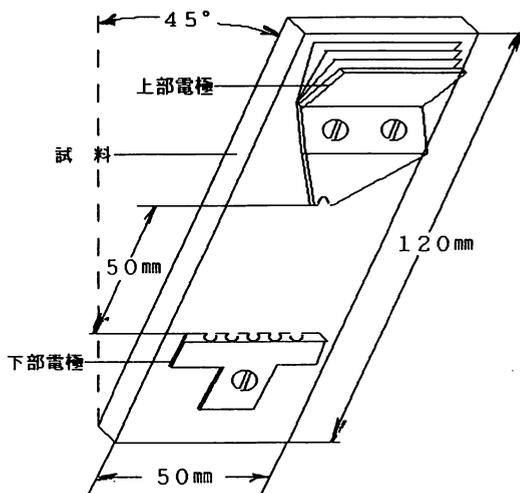


図1 電極と試料

表1 試験液成分⁽¹⁾

成分	重量%
NH ₄ Cl	0.1 ± 0.002
Polyoxyethylene(10) Octylphenyl Ether	0.02 ± 0.002

先端から50[mm]下方に T 字形の下部電極を配置する。このアッセンブリを垂直面に対して45°傾け、上部電極端から試料表面につたわせて汚損液を流下させる。下部電極は接地側とし、上部電極は高電位側とし6[kV]、10[kVA]配電用変圧器から制限抵抗33[kΩ]を通して4.5[kV]を課電した。

試験液は表1に示した成分が規定されている。すなわち蒸留水に0.1重量%の塩化アンモニウムと0.02重量%の非イオン性界面活性剤（ポリオキシエチレンオクチルフェニルエーテル）を溶解したもので抵抗率が23°Cにおいて3.95[Ω・m]である。本実験では規定に従い、試験液流量は0.6[ml/min]とした。試料としてはポリプロピレン(PP)、ポリカーボネ

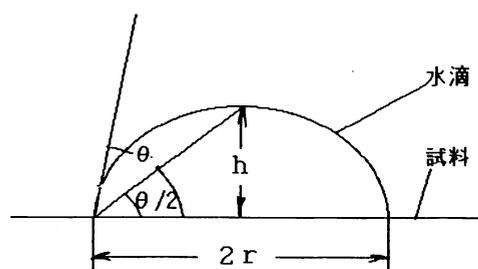


図2 接触角

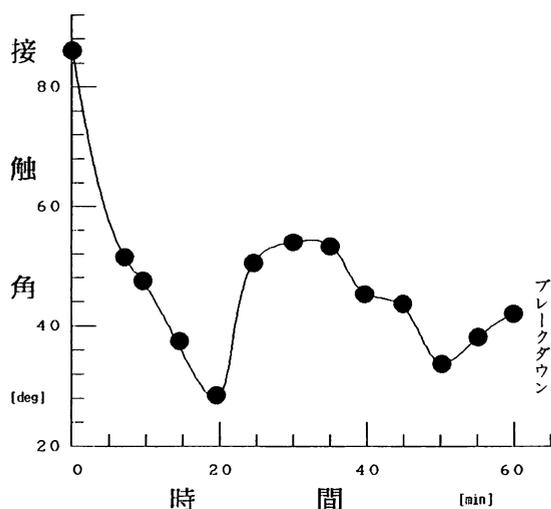


図3 接触角変化 (PC)

ート (PC), ポリスチレン (PS), ポリ塩化ビニル (PVC) のいずれも充填剤を含まない材料を用いた。試料の大きさは図1に示したように120 mm×50 mmである。なお、試料は試験前にイソプロピルアルコールで清拭し、デシケータ内で乾燥した。

3. 実験結果と検討

3.1 接触角の測定

有機絶縁材料のトラッキング劣化の直接的原因はその表面に起こる放電の熱であるが、この放電発生の原因となるものは表面の汚損と湿潤である。屋外用電力機器は全天候下にさらされるのでこの汚損と湿潤は免れ得ない。しかし汚損と湿潤を受けても、材料表面の撥水性が十分に強ければトラッキング劣化は防げるはずである。

そこで耐トラッキング性試験中の材料表面の接触角の経時変化を各試料について測定した。測定箇所はもっとも放電の発生しやすい下部電極付近の表面で、3～5箇所について測定した。接触角の測定には液滴法を用いた。この方法は図2に示したように、水平に置いた試料表面に蒸留水をシリンジで滴下し、直径が約1[mm]の水滴を形成する。この水滴の直径(2r)および高さ(h)を顕微鏡で読み取り接触角(θ)を決定するものである。

図3、4にポリカーボネート(PC)、ポリスチレン(PS)それぞれの耐トラッキング性試験中の接触角の経時変化の一例を示した。

接触角は絶縁体表面の撥水性を表す指標で、撥水性が強い場合はθが大きく、濡れにくい。撥水性が

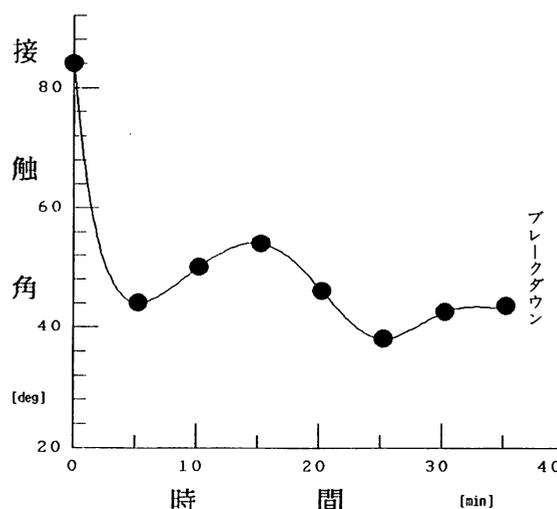


図4 接触角変化 (PS)

弱くなって濡れやすい場合は θ が小さい。すなわち、絶縁体表面の分子がそれに接している液体の分子に及ぼしている付着力が液体の凝集力を上回っていることになる。

したがって試験開始後、急激に接触角が小さくなる現象は、絶縁体表面が試験液中を流れる電流の発生するジュール熱、および流下する試験液の先端を起点として下部電極との間に発生する沿面グロー放電による熱によってしだいに撥水性を失うためと考えられる。試験開始直後、まだ撥水性が強い時点で試験液は絶縁体表面のほぼ中央部の狭い部分を流下する。したがって沿面放電は下部電極付近に集中する。これが撥水性の低下をもたらす。一方、撥水性が失われるにともない、試験液は表面全体に拡がって流れるようになり、沿面グロー放電の発生箇所も各所に分散し、放電電流も減少する。そのためいったん小さくなった接触角が元通りにまではならないものの、かなり回復する。これを繰り返しブレイクダウンに至っている。

3. 2 エネルギーの測定

有機絶縁材料のトラッキング劣化の進展過程において発生する放電の頻度は材料表面の性状、すなわち撥水性か濡れ性かによって大きく異なる。撥水性が強いときは放電の発生頻度は少ないが、放電電流は大きくなる傾向がある。逆に濡れ性が勝るとなると小さい放電が各所に頻繁に発生する。これらの放電によって絶縁体表面に放散されるエネルギーがトラッキング劣化を促進することになる。そこで耐トラッキング性試験中絶縁材料表面に発生する放電によって放散されるエネルギーをアナライジングレコーダ（横河電機製3655E）によって測定した。

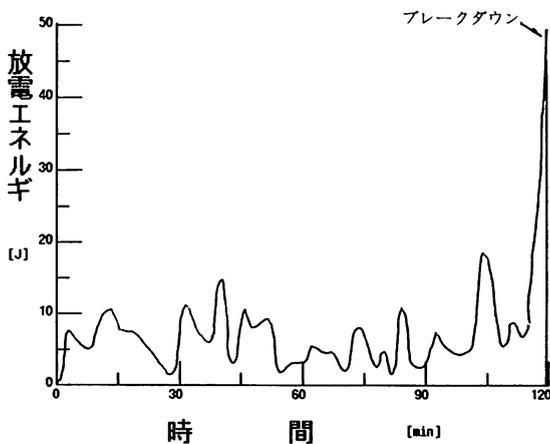


図5 放電エネルギー変化 (PP)

図5はその一例としてポリプロピレン (PP) のブレイクダウンに至るまでの放電エネルギーの経時変化を示した。アナライジングレコーダのサンプリングは2 [kHz]、メモリイは8000でエネルギーは1秒間当りの値である。

この場合の放電エネルギーは変動が大きい。ブレイクダウンに至るまでにエネルギーのピークが幾つか見られるが多くの観察結果から、これらの多くは試験液の流下量の変動によるものと判断される。これは試験時間が長時間に及ぶようになってくると絶縁体表面の性状（撥水性、濡れ性）が部分的に異なるようになって試験液の流下する経路が移動し、時には試験液が表面の一部に付着して流れが中断する。その直後、あらたに流下してきた試験液と途中に留まっていた試験液と一緒に流下して大きな濡れ電流が数秒間にわたって流れ、エネルギーのピークとなる。しかしながらこれはブレイクダウンの引き金とはなり難い。

A. J. Risino らによれば、最も大きな損傷を与える放電（ブレイクダウンの引き金となる）は最大放電エネルギーをあたえる放電ではなく、相当時間表面の同じ点で放電が安定に発生することである⁽³⁾としている。本実験においても沿面グロー放電が下部電極近傍に集中している場合は、ブレイクダウンの引き金となるシンチレーション放電が比較的短時間のうちに発生し、発生時の放電エネルギーは必ずしも最大になるとは限らないことが認められた。反対に試験液の流下する経路があちこちに移動する時には、放電エネルギーがある部分に集中することが困難で、ブレイクダウンまでの時間も長くなる。

3. 3 絶縁材料の耐トラッキング性試験と接触角

図6は本実験に供したポリプロピレン (PP)、ポリカーボネート (PC)、ポリスチレン (PS)、ポリ塩化ビニル (PVC) の4種類の有機絶縁材料の耐トラッキング性試験の結果と試験前後の接触角の関係を示した。各試料とも IEC 規定の5例の実験結果である。トラッキング破壊時間を基準に耐トラッキング性試験格付けすると、PP を筆頭に PC, PS, PVC の順になる。これを試験前の接触角でならべてみると PP が4種類のなかでは一番大きい。他の PC, PS, PVC の間に有意差が認め難い。これは3.1で検討したように放電が集中する絶縁体表面の下部電極付近では、初期の接触角が大きくとも試験開始とともに大幅に低下することから、耐トラッキング性がある程度以上強い絶縁材料の場合、初期の接触角

汚損した有機絶縁材料表面における放電特性

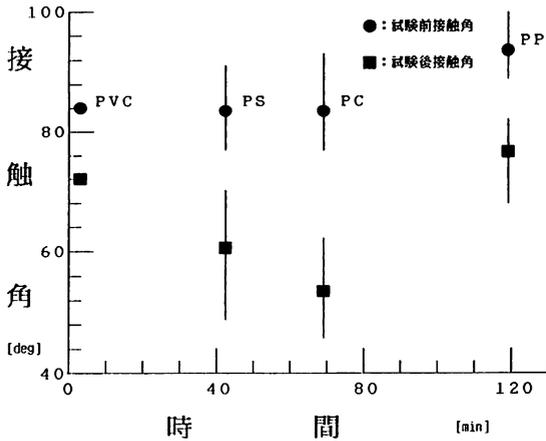


図6 耐トラッキング性と接触角

表2 試料の融点⁽⁴⁾

試料	融点 °C
ポリプロピレン(PP)	176
ポリカーボネート(PC)	150
ポリスチレン(PS)	100
ポリ塩化ビニル(PVC)	75~105

の差異はそれほどトラッキング破壊時間に影響しないためと考えられる。

有機絶縁材料の熱分解による損傷がトラッキング劣化現象の根本的要因とみなされている。表2に供試試料の融点を示した。試料を融点の高い順に並べると PP > PC > PS > PVC となり、トラッキング破壊時間を基準とした耐トラッキング性の格付けと一致する。

4. むすび

以上の実験・検討からポリプロピレン(PP)、ポリ

カーボネート(PC)、ポリスチレン(PS)、ポリ塩化ビニル(PVC)の無充填の有機絶縁材料の耐トラッキング性について次のことがわかった。

- 1) 有機絶縁材料の耐トラッキング性はその材料の融点に比例し、供試材料の場合 PP > PC > PS > PVC となる。
- 2) トラッキング破壊の引き金となるのはシンチレーション放電で、この放電はその前段階に発生する沿面グロー放電が下部電極付近に集中して安定に発生するとき、短時間のうちに発生する。すなわちトラッキング破壊時間が短くなる。

一方、絶縁体表面の接触角の大きさは、屋外に暴露されたときの汚損と湿潤をはじく性能を評価するうえでは有効であるが、いったん放電に晒されると急激に低下してしまうので、耐トラッキング性を判定するためには新たな観点からの比較・検討が必要である。

文 献

- (1) 東京消防庁予防部調査課編：“トラッキング現象ってなに”，新電気 第48巻8号 pp. 42, オーム社 (1994)
- (2) “Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used severe ambient conditions”, IEC Publication 587, Second Edition (1984)
- (3) A.J. Risino et al.: “A New Test Method for the Measurement of Surface Tracking Resistance”, Conference Record of the 1994 IEEE International Symposium on electrical Insulation, Pittsburgh, PA USA, June 5-8 1994
- (4) 大阪市立研究所プラスチック読本編集委員会, プラスチック技術協会共編：“プラスチック読本”, プラスチックエージ