

ポリマー絶縁材料表面における漏れ電流の特性

長谷川 誠 一

Characteristics of Leakage Current on Polymeric Insulating Material Surfaces

Seiichi HASEGAWA

(2000年11月30日受理)

This paper describes a characteristics of leakage current on polymeric insulating surfaces under tracking and erosion resistance test. The leakage current behavior can provide information about the deterioration of insulating materials surfaces. When the material surface is hydrophobic, though many discharges occur, heat dissipation isn't large quantity. Once the surface losses hydrophobicity, the discharges grow into scintillation discharges, so heat dissipation increase markedly. Therefore, frequency of discharges and heat dissipation level of leakage current will make an estimate of the life time of the polymeric insulating materials.

1. 緒 論

ポリマー絶縁材料の耐候性の指標となる一つが耐トラッキング性である。これを評価する試験法として IEC587 試験法¹⁾が広く用いられている。この試験法は厳しい環境条件で用いられる電気絶縁材料のためのものである。この試験法では45度に傾斜させたプレート状の試験材料表面両端に電極を取り付けて課電し、導電性のある汚損液を流下させることで漏れ電流を流し、沿面放電を発生させ試料表面の劣化を促進する。規定では試料表面がトラッキング破壊して電流が60 mA を越えて流れた時点を終点とし、課電電圧と破壊までの時間でもって耐トラッキング性の優劣を判定するものである。

筆者はこれまでこの試験中において試料表面を流れるもれ電流を測定し検討を行ってきた²⁻⁵⁾。一般に耐トラッキング性試験中試料表面を流れる漏れ電流はサージ状となる。本報告は、一定時間内に放電によるサージ電流が流れる回数（サージカウント）およびサージ電流が試料表面で放散する熱エネルギー（熱放散量）について検討を行ったものである。

試験開始まもない時点では試料の表面の撥水性が強く、沿面放電（グロー）が各所に盛んに発生する。しかしサージ電流は大きさ、継続時間も小さいので、熱放散量もそれほど大きくない。時間が経過するにともない、もれ電流のジュール熱と沿面放電の

熱によって劣化が進むと放電回数（サージカウント）は減少するが、サージの持続時間が長くなって、放電がグローからシンチレーションに進展して熱放散量は大きくなる。このシンチレーション放電は材料表面を急激に炭化劣化して、最終的にはトラッキング破壊に至らしむる。このように試料表面が完全破壊に至らずとも、試験中の漏れ電流の特性から試料の耐トラッキング性を判断することが可能であることが分かった。

2. 実 験

2.1 試 料

本研究で使用した試料はポリカーボネート (PC) ABS 樹脂 (ABS)、ポリプロピレン (PP) ですべて充填剤を含まないベースポリマーである。試料の寸法 (120×50×3 ミリ) および前処理、判定はすべて IEC587 試験法に準拠した。

2.2 漏れ電流測定

耐トラッキング性試験中の漏れ電流を測定し、データ処理を実行するシステムを図1に示した。漏れ電流は分流抵抗および電子回路を介してシステムボルトメータ (HP34401A) によって測定される。システムボルトメータは収集したデータをコントローラ (HP9122) に送り、後述の方法でデータ処理を行

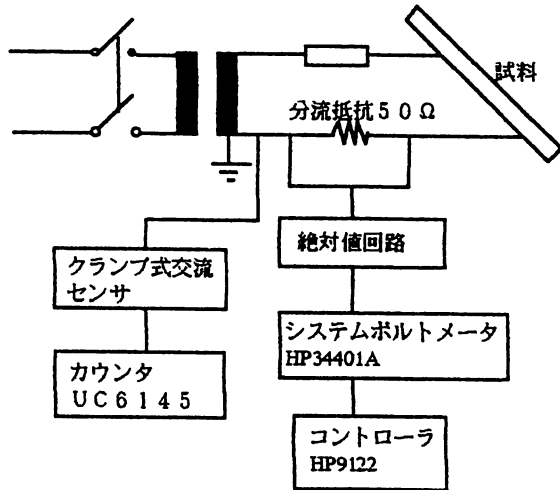


図1 漏れ電流測定システム

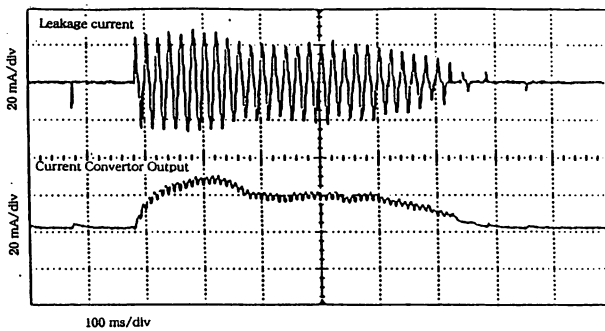


図2 サージ状漏れ電流波形と絶対値変換波形

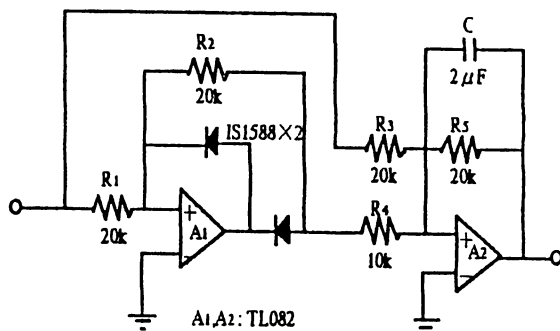


図3 絶対値回路

ないサージ電流が流れた回数（サージカウント）およびこの電流が試料表面で放散した熱エネルギー（熱放散量）を計算した。システムボルトメータはコントローラと GPIB で接続され、データ収集および計算処理が自動的に行なわれるシステムを構成している。同時にサージカウントをカウンタ（岩通 UC6145）でモニターした。

2.3 熱放散量の算定

耐トラッキング性試験中に試料表面に流れる漏れ電流は次の3つのタイプに分けられる⁶⁾。1つは導電性電流である。これは試料両端に取り付けられた電極間が汚損液膜でつながった時流れる電流である。2つは放電電流である。これは前述の導電性電流が汚損液膜をジュール熱で蒸発させて液膜を分断し、乾燥帯が形成されたとき、そこに電界が集中してグロー放電が発生して流れる電流である。放電電流にはもうひとつのタイプがある。それは乾燥帯に発生した放電によって試料表面が局部的に熱せられて炭化部分が出来て、ここに発生するシンチレーション放電によって流れる電流である。この3番目の電流が炭化部分を進展させ炭化導電路を形成して最終的にはトラッキング破壊へ導くこととなる。試験中の試料表面では液膜中の導電性電流、乾燥帯を挟んでのグロー放電、炭化部分のシンチレーション放電の3つのタイプの電流が混在して流れ、図2のオシログラム上段の波形のように1~2回/秒の割合いでサージ状に流れる。

本研究では漏れ電流が試料表面に与えるダメージを熱量の形で捉えるため次のように測定とデータ処理を行った。分流抵抗の電圧降下を図3の絶対値回路を通して完全両波整流、積分して漏れ電流を絶対値化して図2のオシログラム下段の波形のように変換した。これをシステムボルトメータ（サンプリングデータ300点、約6秒）で読み取り、コントローラのメモリに収納しつぎの手順でデータ処理を行なった。まず絶対値化した漏れ電流のサージ波形の開始点から終点までを時間積分した。この値は累積電荷量[C]になるがここでは課電電圧をかけて電極間に消費された電力量[Ws]、換言すれば試料表面における漏れ電流の熱放散量[J]として扱う。このプロセスを1000秒間くり返し時間内にサージ電流が流れた回数（サージカウント）および一つのサージ電流が試料表面で放散した熱エネルギー（熱放散量）についてプリントアウトした。測定は試料がトラッキング破壊するまで続行した。

3. 実験結果と検討

3.1 熱放散量とサージカウント

図4 a, b 及び図5 a, b に ABS 樹脂, PC の耐トラッキング性試験中の熱放散量とサージカウントの変化についてそれぞれの代表例を示した。この場合、トラッキング破壊時間は ABS が33分, PC が98分

ポリマー絶縁材料表面における漏れ電流の特性

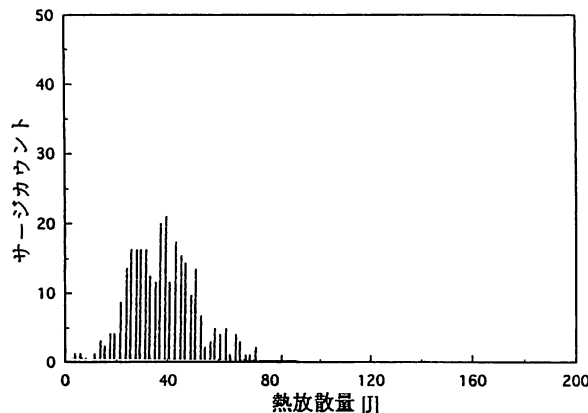
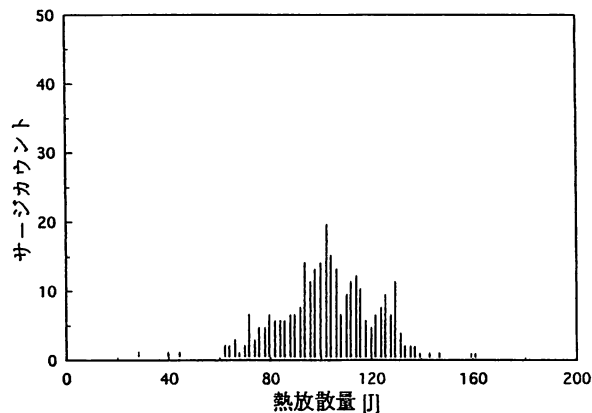
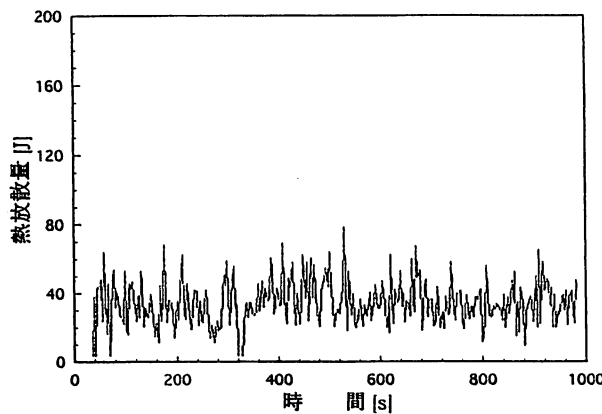
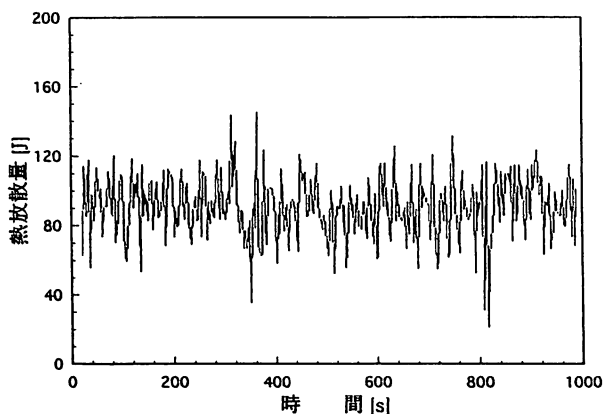


図 4 a 試験開始直後の熱放散量とサージカウント (ABS)

図 4 b 試験開始直後の熱放散量とサージカウント (PC)

で、図示した以外の試験においても PC は ABS 樹脂に比較して強い耐トラッキング性が確認されている。

図 4 a 及び図 5 a はそれぞれの試験開始直後のデータである。熱放散量についてみれば、ABS に比較して PC の熱放散量は約半分と小さく、ときにはゼロとなっている。これは PC 表面を流れる漏れ電流が小さく、発生する放電もグロー放電が主であることと一致している。ABS の場合 PC より放電が盛んであって、放電の形式もグローからシンチレーション放電に移行することから熱放散量が大きくなるものとみなされる。熱放散量に対するサージカウントのヒストグラムはピークをもつ山形となっているが、サージカウントが最大となる熱放散量が PC では 40 J であるのに対し ABS では 100 J にも達している。

図 4 b 及び図 5 b はそれぞれトラッキング破壊直前のデータである。熱放散量については ABS, PC ともに試験開始時点より増加している。ABS の熱放散量の変動は激しくなり、これに対するサージカウントのヒストグラムでは、山形が緩やかになりピー

クがはっきりしなくなる。これに対し PC の場合はヒストグラムのピークが試験開始時点より増加し約 60 J になっているがその値は ABS の値には及ばない。

図 4 及び図 5 の結果から PC に比べて ABS が漏れ電流の発生する熱エネルギーによって受けるダメージが大きいことが推測される。この例の場合、試料の耐トラッキング性の優劣が熱放散量およびサージカウントの特性にもその違いが現われて判断しやすい。

3.2 平均熱放散量とサージカウント

前述の漏れ電流のサージひとつ毎に熱放散量を算定する方法は試料表面における放電の振る舞いを逐一あらわす点では優れているが、一連の測定及びデータ処理のサイクルが 1000 秒間隔と長いため急激な変化に対応できない場合がある。そこでサンプリングデータを 100 点におさえ、熱放散量算定をサージ毎ではなく平均値とすることによって一連の測定及びデータ処理のサイクルを約 5 分間隔まで短縮することが出来た。この方法で 1 秒当たりの熱放散量とそ

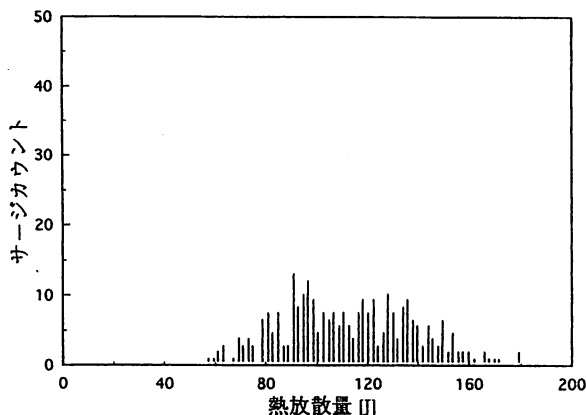
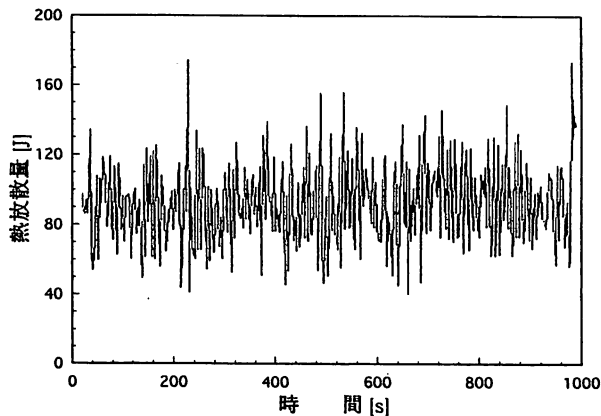


図 5 a 破壊直前の熱放散量とサージカウント (ABS)

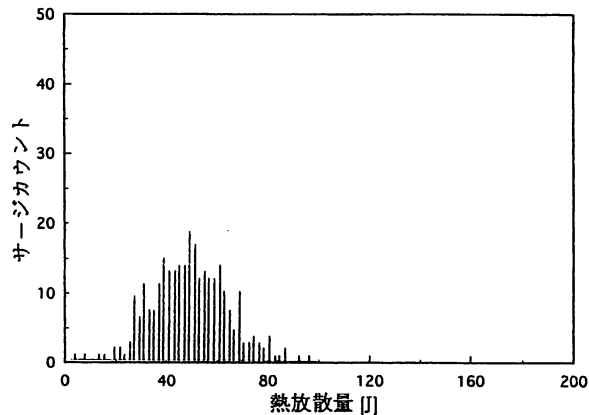
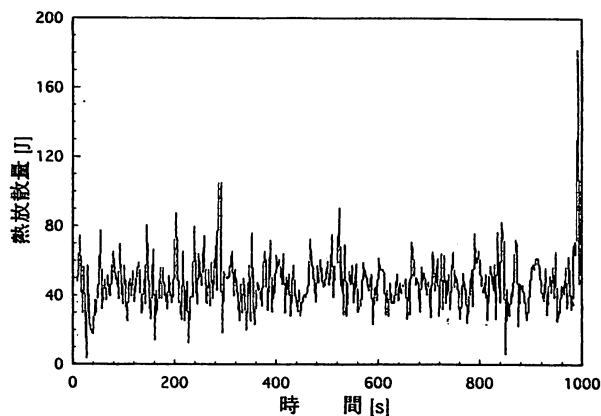


図 5 b 破壊直前の熱放散量とサージカウント (PC)

の標準偏差および1分当たりのサージカウントをプロットしてその経時変化を検討した。

一例として図6に65分でトラッキング破壊したPCのサージカウントと平均熱放散量および熱放散量の標準偏差の変化を示した。試験開始直後、サージ回数は79カウントあったものが次第に減少し、開始20分後に最低の60カウントになった。その後漸次増加し、55分から急増し破壊に至っている。平均熱放散量の場合、開始から漸増し破壊直前にやや増加割合が大きくなっている。標準偏差は大きな変化は示さない。このようにトラッキング破壊時間が1時間前後の比較的耐トラッキング性の強くない材料の場合、サージカウント数は初めは減少、その後漸増し最後は急増、平均熱放散量は時間経過とともに漸増という共通したパターンがはっきりあらわれた。

これに対し試験時間が6時間を超過しても破壊しない最上級のClass 1A 4.5と判定される耐トラッキング性の強い試料の場合の例を図7に示した。供試材料はPPである。この場合、サージカウントは開始初期大きく減少し、前述の比較的耐トラッキング性の強くない材料よりもカウント数は小さくなる。

その後は少し変動するが変動幅は小さい。このことは材料表面における放電が発生し難くなっていることを示している。熱放散量は初めは増加するが時間経過とともに漸増する。標準偏差は変動しつつ漸増するが変動幅は小さい。前述のPPの他PEのように耐トラッキング性の強い材料の場合、サージカウントが初期に大きく減少すること、サージカウント他各値ともおよそ1~2時間を経過すると変化は極めて小さくなる傾向が共通してあらわれた。

以上の結果から絶縁材料のトラッキング破壊に対する耐力は材料表面に発生する放電に影響されるとみなされる。すなわち放電の発生する頻度が高いほど材料表面の受けるダメージが大きくなり、炭化劣化を起し易くなり、ここに電界が集中してシンチレーション放電を発生して炭化導電路形成そして破壊へと進展する。したがって、サージカウントが材料の耐トラッキング性の指標を与えるものと考えられる。

ポリマー絶縁材料表面における漏れ電流の特性

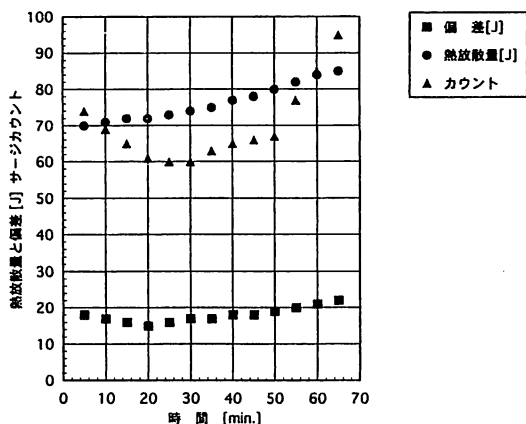


図6 平均熱放散量とサージカウント (PC)

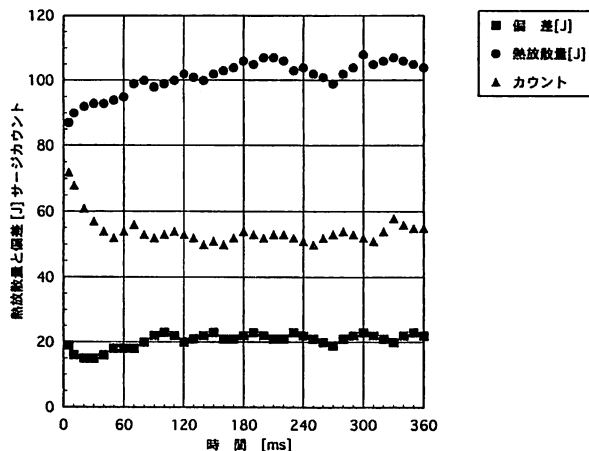


図7 平均熱放散量とサージカウント (PP)

4. 結 論

ポリマー絶縁材料の耐トラッキング性を判定する IEC587 試験において、材料表面に流れる漏れ電流の特性、すなわち一定時間内に放電によるサージ電流が流れる回数（サージカウント）およびサージ電流が試料表面で放散する熱エネルギー（熱放散量）について検討を行った結果次のことが分かった。

- 1) サージ電流毎の熱放散量算定結果は材料表面における放電の強さと頻度を精細にあらわしているので、放電状況を把握するのに有効である。
- 2) サージ電流毎の熱放散量に対するサージカウントのヒストグラムは放電強さの変動幅をあらわしており、耐トラッキング性の弱い材料の場合、破壊に近くなると分布幅が大きく広がるのに対し、強い材料の場合ヒストグラムのピークが熱放散量の大きい側に推移する。
- 3) 平均熱放散量およびその標準偏差、サージカウントの経時変化では耐トラッキング性の強い材料では、開始間もない初期においてサージカウントが急激に減少しその値は弱い材料より小さくなってほぼ一定となる特性が顕著にあらわれた。これに対して弱い材料では、初期のサージカウント低下は少なくただちに増加に転じ、破壊に近づくると急増する。

今後こうした漏れ電流の特性が材料表面における化学変化に如何なる関連を持っているか多面的に実験検討をすすめる予定である。

参考文献

- 1) IEC: “Test Method for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical Insulating Materials used under Ambient Conditions”, IEC Publication 587, 2nd Edition
- 2) 長谷川誠一, “汚損した有機絶縁材料表面における放電特性”, 秋田高専研究紀要, No. 31, pp 50-53, 1996
- 3) S. HASEGAWA et al. “Characteristics of Surfaces Discharges on Organic Insulating Materials” ;, 1998 Third International Conference on Materials Engineering for Resources Conference
- 4) 菅原丈留, 長谷川誠一, “汚損したポリマー絶縁体漏れ電流の分析について”, 平成12年電気学会全国大会講演論文集, Vol. [2], pp 639 (2000. 3)
- 5) 菅原丈留, 長谷川誠一, “差し込みプラグの電極間におけるトラッキング現象の研究”, 平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1H1, pp 278 (2000. 8)
- 6) M.A.R.M. Fernando and S.M. Gubanski “Leakage Current Patterns on Contaminated Polymeric Surfaces” IEEE TRANSACTION on DIELECTRICS and Electrical Insulation, Vol. 6, No. 5, pp 688-694, 1999