

デジタルカメラによるトリーイング劣化現象の簡易計測

柳原昌輝・柏谷順洋*

Simple measurement of the treeing degradation phenomenon by the digital camera

Masateru YANAGIWARA and Nobuhiro KASHIWAYA*

(2003年11月28日受理)

Electric treeing generates the sample which modeled the cable insulator for electric power by applying the high voltage. In this paper, we investigated whether electric treeing generating voltage, insulated destructive voltage, and an electric treeing progress speed could be measured using a digital camera. As a result, it was possible to catch the moving image of the treeing by using the digital camera. Therefore it was proven that the digital camera is used for the measurement of the treeing was possible.

1. 緒言

ポリプロピレン (PP)⁽¹⁾は絶縁性能が高く、加工性にも優れていることから、電力ケーブルなどの高電圧機器の絶縁材料として広く使用されている。このポリプロピレンを、溶解状態から徐冷すると、その過程で球晶と呼ばれる結晶が形成される。その形成された球晶が絶縁破壊現象であるトリーイング劣化現象に影響を与えるのではないかと検討されてきた。^{(2), (3)}

本実験では、電力用ケーブル絶縁体をモデル化したポリプロピレンの試料に交流電圧を印加、球晶分布状態におけるトリーの進展速度、トリーの発生電圧、絶縁破壊電圧などとの関係についてデジタルカメラを用いた簡易計測を行った。

2. 実験方法

2.1 試料の作製⁽⁴⁾

試料の構成を図1に示す。試料には厚さ25 μm のPPフィルム(10mm \times 10mm)を8枚重ね、それをカバーガラス(24mm \times 24mm)で挟み、その間に電解研磨した直径50 μm の軟銅線を挿入した。

このように作製した試料を重さ5kgの鋼板でプレスしつつ恒温槽に入れ、200 $^{\circ}\text{C}$ 程度まで昇温する

* 秋田高専専攻科学生

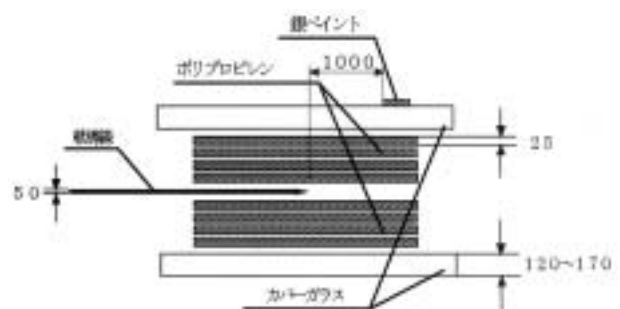


図1 試料構成 (単位： μm)

ことでポリプロピレンを熔融させた。その後1 $^{\circ}\text{C}/$ 分の割合で徐冷し、90 $^{\circ}\text{C}$ から150 $^{\circ}\text{C}$ 範囲で析出、0 $^{\circ}\text{C}$ の水で急冷した。急冷することにより球晶の成長を止め、球晶を生成させた。絶縁破壊試験を行うため、針電極の先端から1000 μm の位置に銀ペイントを塗布し、これを平板電極とした。

2.2 短時間絶縁破壊試験

絶縁破壊試験回路を図2に示す。作製した試料に高圧をかける時に生じる沿面放電を防ぐためにシリコン油の中に入れ、50Hzの交流100Vを、ネオン変圧器を用いて昇圧し、0Vから1秒間に200Vづつ上げトリーを発生させるという短時間絶縁破壊試験を行い、発生電圧、絶縁破壊電圧等について計測した。

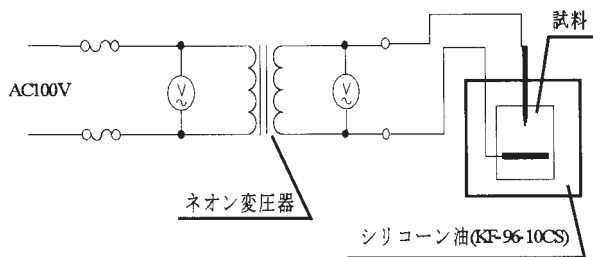


図2 絶縁破壊試験回路

3. 球晶の分布状態

球晶分布状態は、析出温度によって、(a) 球晶分布状態なし、(b) 球晶分布状態まばら、(c) 球晶分布状態飽和に分類することができる。各球晶分布状態を図3に示す。球晶は析出温度120℃付近で発生し始め110℃付近で飽和に至る。

4. トリーの自動計測

4.1 動画の取り込み

自動計測システムを図4に示す。シリコーン油に入れた試料を実体顕微鏡に設置し、短時間破壊試験を行う。その過程の様子を実体顕微鏡に取り付けたデジタルカメラを通してパソコンに送り記録する。このシステムにより、トリー発生電圧、絶縁破壊電圧、進展速度等を計測する。また、表1に今回用いたデジタルカメラの仕様を示す。

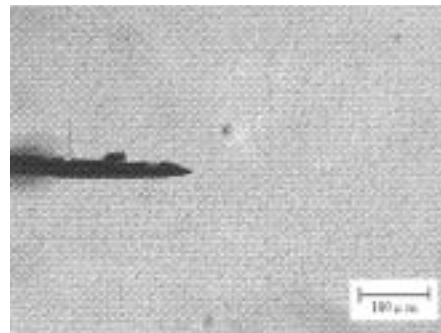
4.2 動画処理

自動計測システムによりパソコンに取り込んだ動画を、(a) に示すように0.1秒単位に画像を分割し、任意の閾値で (b) に示すように二値化した後、(c) に示すように針電極の先端にポイントをおいてトリーの進展を計測する。これらの過程を図5に示す。

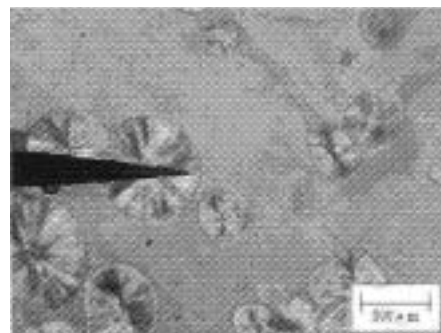
5. 実験結果

5.1 発生電圧・絶縁破壊電圧と析出温度の関係

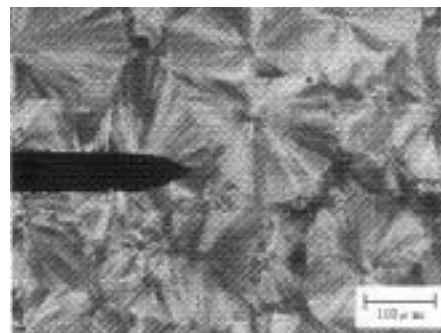
発生電圧と析出温度の関係について (a) 目視計測と (b) 自動計測における関係を図6に示す。目視計測の場合、100℃で8kV付近、150℃で8.5kV付近であることがわかる。また、自動計測の場合、100℃で7kV付近、150℃で10kV付近であることがわかる。両図からわかるように析出温度が上がる(球晶分布状態が疎になる)につれ、トリー発生電



(a) 球晶分布状態無し (析出温度150℃)



(b) 球晶分布状態まばら (析出温度120℃)



(c) 球晶分布状態飽和 (析出温度100℃)

図3 球晶分布状態の分類

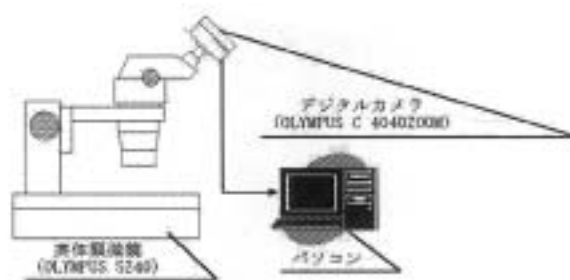


図4 自動計測システム

表1 デジタルカメラの仕様

撮像素子	413万画素 (総画素数)
シャッタースピード	4~1/800秒



(a) 分割画像



(b) 二値化画像



(c) ポイント画像

図5 動画処理

圧が上がっていることが分かる。

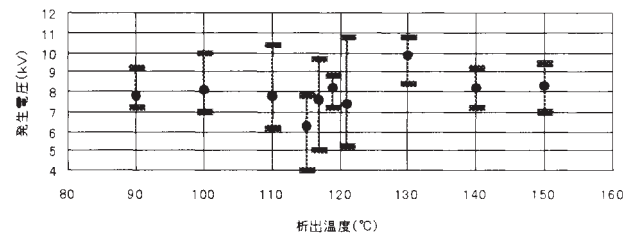
次に絶縁破壊電圧と析出温度の関係について、(a) 目視計測と (b) 自動計測における関係を図7に示す。目視計測の場合、100℃で9 kV 付近、150℃で11kV 付近であることがわかる。また、自動計測の場合、100℃で9 kV 付近、150℃で11kV 付近であることがわかる。両図からわかるように発生電圧と同様に析出温度が上がる（球晶分布状態が疎になる）につれ、トリー絶縁破壊電圧が上がっていることがわかる。これは、球晶分布状態が密の時、球晶同士がぶつかり合い、その球晶の沿面に不純物が集まり他の球晶分布状態より、電氣的強度、機械的強度が劣るためである。

また、目視計測と自動計測で発生電圧ならびに絶縁破壊電圧において値に差があるのは同一の試料での実験結果ではないためである。

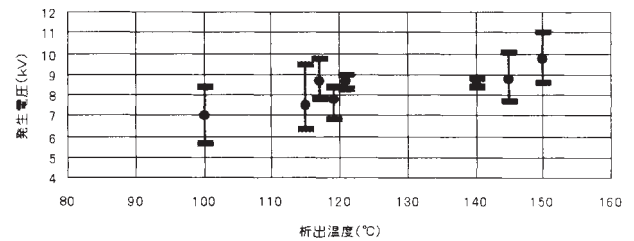
5.2 トリーの進展速度

5.2.1 球晶分布状態がまばらの場合

動画処理を行って測定したトリー長と印加時間の関係について図8に示す。このグラフは、120℃付近（球晶分布状態まばら）に析出した試料である。また、(a) 印加後17秒から (f) 印加後27秒までの画像を図9に示す。図より印加時間が16秒を過ぎたあたりでトリーが発生し、球晶が周囲にない23秒付近までは約8 μm/sec で進み、球晶近くの23秒付近からは約40 μm/sec で進むことがわかった。これらのことから、析出温度が120℃付近の試料におけるトリーの進展速度は球晶近くまで緩やかに進展し、

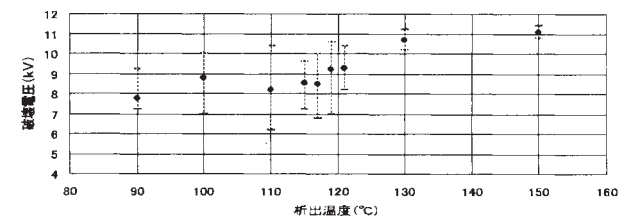


(a) 目視計測

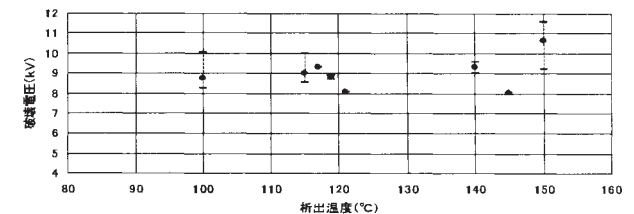


(b) 自動計測

図6 発生電圧と析出温度の関係



(a) 目視計測



(b) 自動計測

図7 絶縁破壊電圧と析出温度の関係

デジタルカメラによるトリーイング劣化現象の簡易計測

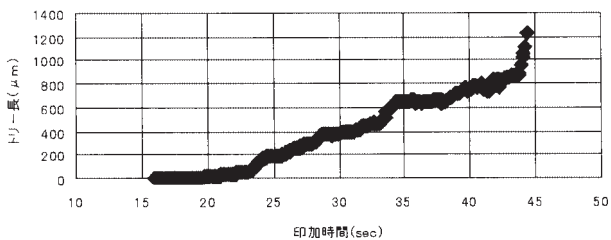
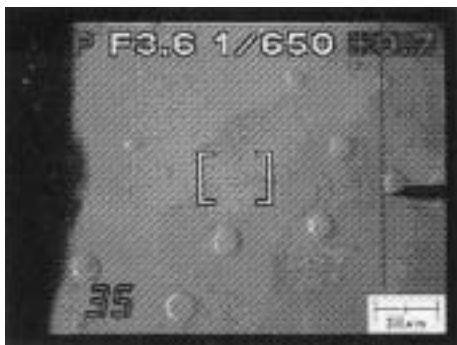
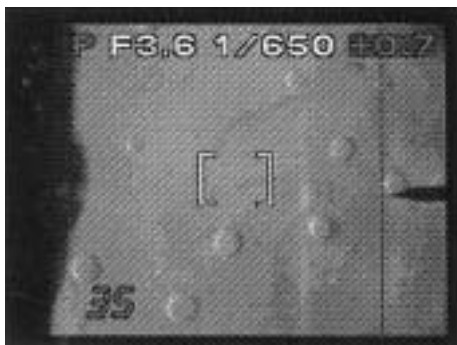


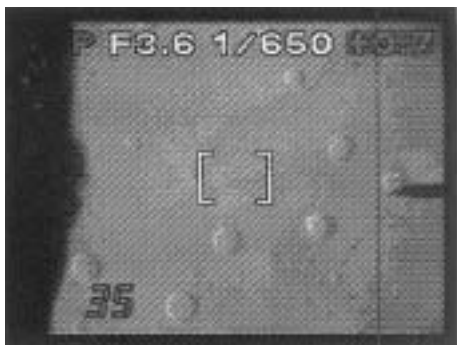
図8 トリー長と印加時間の関係（球晶分布状態まばら）



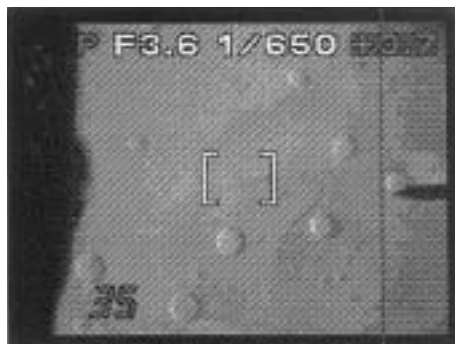
(a) 印加後17秒の画像



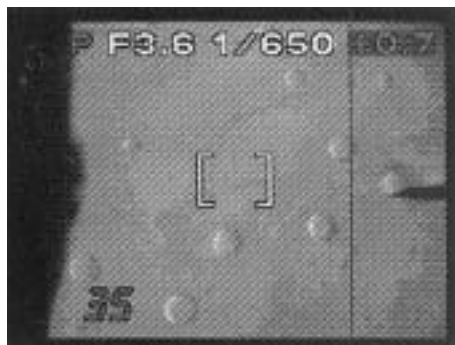
(b) 印加後19秒の画像



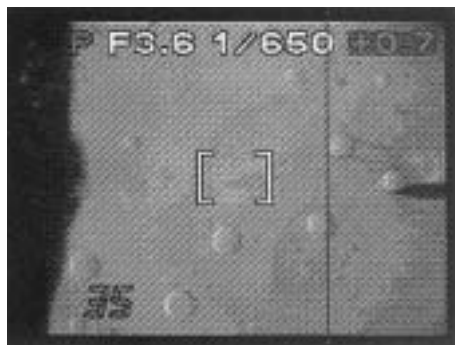
(c) 印加後21秒の画像



(d) 印加後23秒の画像



(e) 印加後25秒の画像



(f) 印加後27秒の画像

図9 各印加時間の分割画像

そこからは速度を速めて進展していくということがわかった。

5.2.2 球晶分布状態が飽和の場合

100℃付近（球晶分布状態飽和）に析出した試料のトリー長と印加時間について図10に示す。また、(a) 印加後47秒の画像、(b) 印加後48.5秒の画像を図11に示す。図10より印加時間が47秒あたりでトリーが発生し、その後平板電極に近づくに連れて進展速度が速くなっていることがわかる。このことから、析出温度が100℃付近の試料のトリー進展速度は、平板電極に近づくに連れて速くなっていくということがわかった。

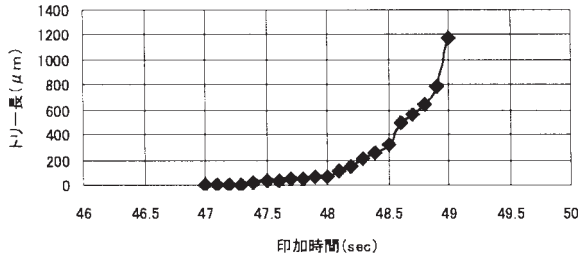


図10 トリー長と印加時間の関係（球晶分布状態飽和）

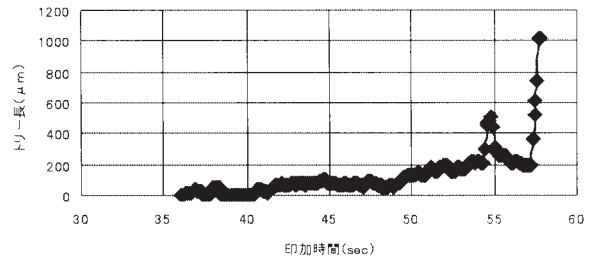
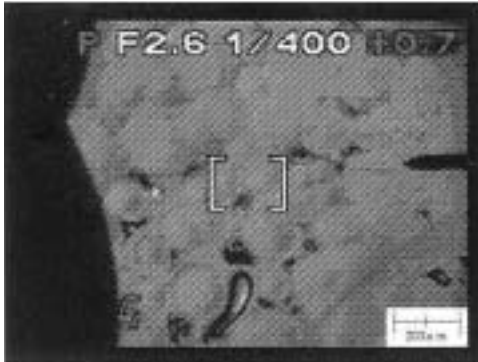


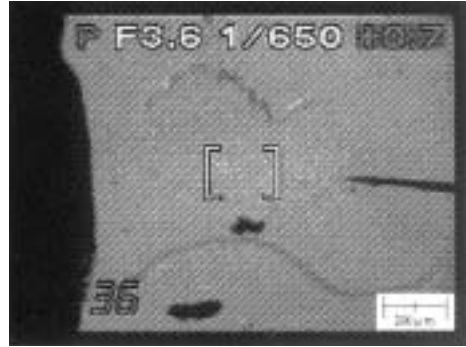
図12 トリー長と印加時間の関係（球晶分布状態無し）



(a) 印加後47秒の画像



(b) 印加後48.5秒の画像
図11 各時間の分割画像



(a) 印加後36秒の画像



(b) 印加後57秒の画像

図13 各時間の分割画像

5.2.3 球晶分布状態が無しの場合

150℃（球晶分布状態無し）に析出した試料のトリー長と印加時間について図12に示す。また、(a) 印加後36秒の画像、(b) 印加後57秒の画像を図13に示す。図12より印加時間が36秒あたりでトリーが発生し、57秒までは約10 μm/secで進み、その後絶縁破壊を起こしていることがわかる。このことから、析出温度が150℃付近の試料のトリー進展速度は、ある一定距離は緩やかに進展し、その後一気に絶縁破壊を起こすことがわかった。

6. 結 言

高分子絶縁材料である PP の試料において、短時

間破壊試験法によりトリーを発生させ、その後パソコンによる自動計測で試料に発生したトリーの発生電圧、絶縁破壊電圧、トリー進展速度等を調べ、球晶分布密度におけるトリーイング劣化現象に与える影響を調べた。その結果以下のことが分かった。

(1) 簡易計測については、本研究による簡易計測システムにより、トリー発生電圧、絶縁破壊電圧、トリー進展速度について今回試みた簡易計測によって計測が可能であることがわかった。

(2) トリー発生電圧、絶縁破壊電圧については、トリー発生電圧は、目視の場合は析出温度100℃の場合 8 kV 付近、析出温度150℃の場合 8.5kV 付近、自動の場合は析出温度100℃の場合 7 kV 付近、析

出温度150℃の場合10kV 付近と球晶分布状態が疎になるにつれて高くなっていく傾向にあることが分かった。また、絶縁破壊電圧も同様に、目視の場合は析出温度100℃の場合 9 kV 付近、析出温度150℃の場合11kV 付近、自動の場合は析出温度100℃の場合 9 kV 付近、析出温度150℃の場合11kV 付近と球晶分布状態が疎になるにつれて高くなっていく傾向にあることが分かった。

(3) トリー進展速度について球晶分布状態が飽和の場合、球晶界面に沿って進み、進展速度は速いということがわかった。球晶分布状態がまばらの場合、球晶に近づくにつれて速くなる傾向があることがわかった。球晶分布状態が無しの場合、進展速度が遅く、ある一定の距離に近づくと一気に絶縁破壊することがわかった。

本研究ではトリーイング劣化現象についての簡易計測が可能になったが、今後は計測システムを改善

し、計測データの精度をより高めていきたいと考えている。

7. 参考文献

(1) 荒井健一郎ほか、「わかりやすい高分子化学」三共出版, pp.148-151, (1994.4)

(2) 絶縁材料トリーイング専門委員会, 「有機絶縁材料のトリーイングについて—樹枝状放電劣化の調査と研究—」電気学会技術報告, 第100号, (1971.9)

(3) トリーイング劣化基礎過程調査専門委員会, 「高分子絶縁材料におけるトリーイング劣化の基礎過程」電気学会技術報告, 第674号, (1998.4)

(4) 池端秀雄, 松田直也, 「トリーイング劣化現象に対する結晶化度の影響」秋田高専卒業研究報告書, (2000)