

結晶性高分子材料における電気トリーイング劣化現象

柳 原 昌 輝・村 井 豊*

Electric treeing degradation phenomenon in a crystalline high polymer material

Masateru YANAGIWARA and Yutaka MURAI*

(2004年11月22日受理)

The crystalline morphology of polypropylene (PP) is spherulites which are formed during cooling process from melted state. It is known that spherulites influence progress of electric treeing in PP. In this paper, we discussed the influence which spherulites gives to the progress of electrical treeing in the specimen of PP. As the result, we understood a tree progresses toward the nearby spherulites, and when a tree collides with a spherulite, it doesn't go into the inside of the spherulite, but it avoids the spherulite and progresses.

1. 緒言

結晶性高分子材料であるポリプロピレンやポリエチレンは絶縁性能が高く、加工性、耐熱性に優れているので電力ケーブルなどの高電圧機器の絶縁に広く利用されている。これらの試料は、熔融状態から徐冷していく過程で球晶が形成され、この球晶は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とされている。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

本研究では、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を恒温槽からの析出温度を変化させることにより、球晶の分布状態が飽和、まばら、無しの異なる3種類の試料を作製した。作製した試料に印加する電圧を0 [V] から500 [V/sec] の割合で6 [kV] まで昇圧し、その後数分間印加し続ける長時間絶縁破壊試験を行った。そして、電気トリーの進展と球晶との関係を検討した。

2. 実験方法

2.1 試料の作製

10 [mm] × 10 [mm] のポリプロピレンフィルム(厚さ25 [μm]) を8枚重ね、その中心にリン酸溶液による電解研磨法で研磨した直径50 [μm] の軟銅線を針電極として挿入し、それを24 [mm] × 24

[mm] のカバーガラスで挟んだものを試料とした。

その試料を重さ5 [kg] の鋼板でプレスしながら恒温槽に入れ、200 [°C] 程度まで昇温し、ポリプロピレンを熔融、その後1 [°C/min] の割合で徐冷し、90 [°C] から150 [°C] の範囲で析出、急冷し、球晶の成長を止めた。

球晶を生成させた試料に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。作製した試料の構成を図1に示す。

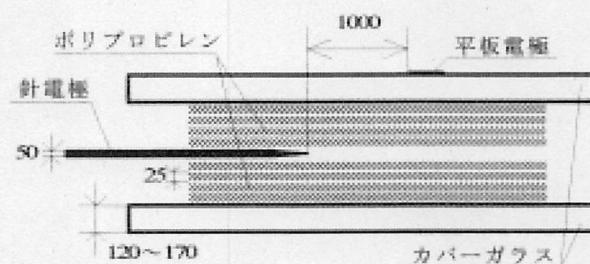


図1 試料の構成 (単位 [μm])

* 秋田高専専攻科学生

2.2 長時間絶縁破壊試験

図2の回路のように、試料の外部から絶縁破壊をする沿面放電を防ぐために試料をシリコン油に浸し、針電極・平板電極間に交流高電圧を印加する。⁽⁴⁾ 印加電圧は0 [V] から500 [V/sec] の割合で6 [kV] まで昇圧し、その後数分間印加し続けた。

3. 球晶について

結晶性高分子材料は熔融状態から冷却すると、結晶化が進む。このとき一つの核を中心に板状結晶が放射状に成長して球形になったものが球晶である。この板状結晶はラメラと呼ばれ、高分子鎖の折りたたみ結晶がラメラ構造を形成し、ラメラ構造はタイ分子（非晶相）によりラメラ繰返し構造を形成し、さらにそれらがフィブリル（小繊維）となり、球晶に成長する。図3に球晶の構造の概念図を示す。

また球晶の大きさは平均120 [μm]、最大260 [μm] となった。

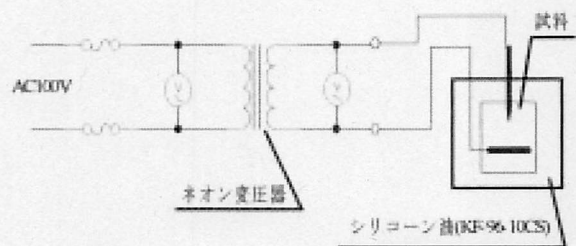


図2 長時間絶縁破壊試験回路

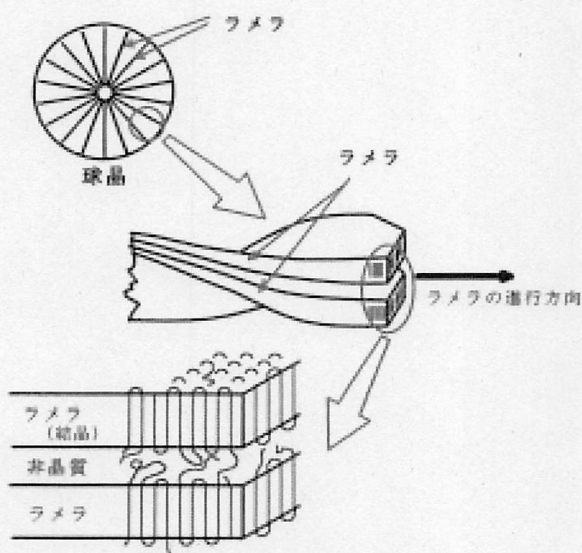


図3 球晶およびラメラの構造の概念図

4. 実験結果

4.1 電気トリーの進展

図4～図9は球晶がまばら状態の試料に6 [kV] の交流高電圧を印加したときの電気トリーの進展状況の例である。図4～図8は左側が実体顕微鏡による画像で、右側のイラストは実体顕微鏡による画像の実線枠内であり、図9は左側が実体顕微鏡による画像、右側がそのイラストである。図4のように針電極から出た電気トリーは初め太く、分岐もないが、図5、6と進展していくにつれ徐々に細くなり、先に出た電気トリーからは細かな分岐が起こっていく。また電気トリーは近くの球晶に向かって進み、球晶にぶつかると球晶の内部には侵入せずに球晶を避けて進展していき、その後平板電極に到達した。これより電気トリーは球晶に向かって進んでいくが、球晶は密度が高く機械的に強いため、電気トリーは球晶の中に入り込まずに避けて進展していくものだと考えられる。

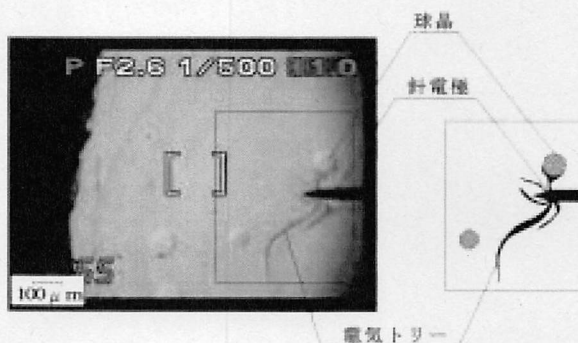


図4 電気トリーの進展例（15秒後）

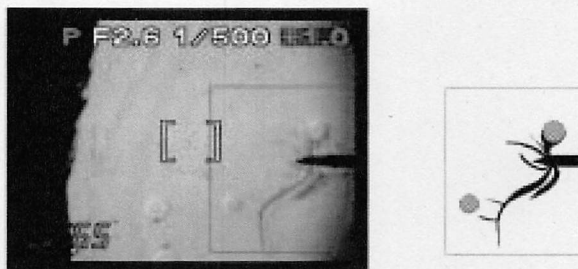


図5 電気トリーの進展例（17秒後）

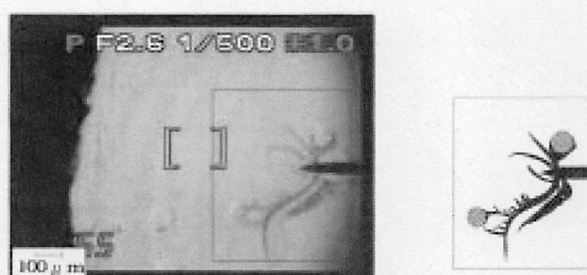


図6 電気トリーの進展例 (20秒後)

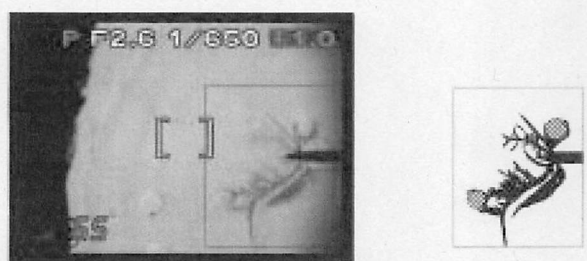


図7 電気トリーの進展例 (25秒後)

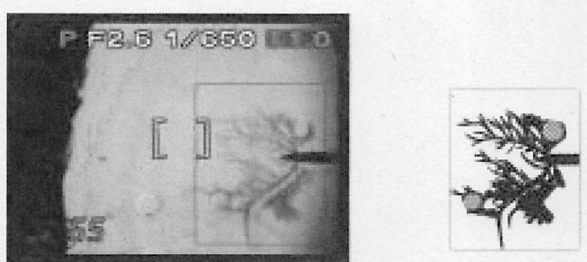


図8 電気トリーの進展例 (50秒後)

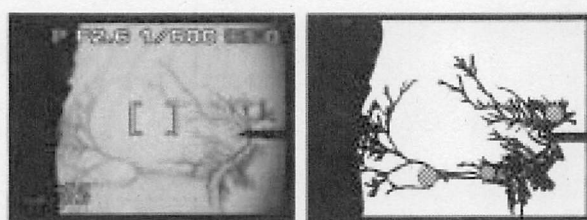


図9 電気トリーの進展例 (100秒後)

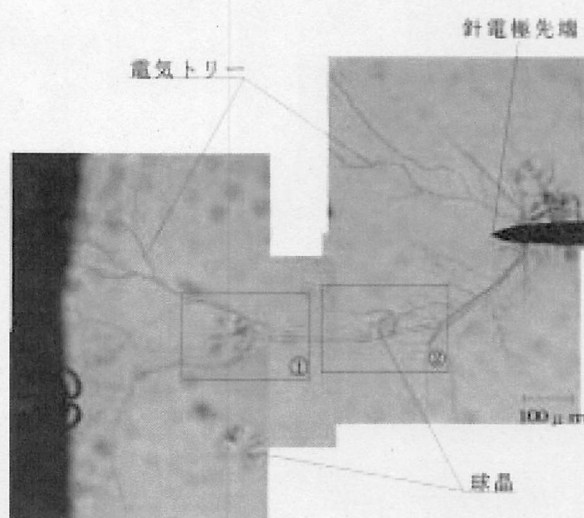
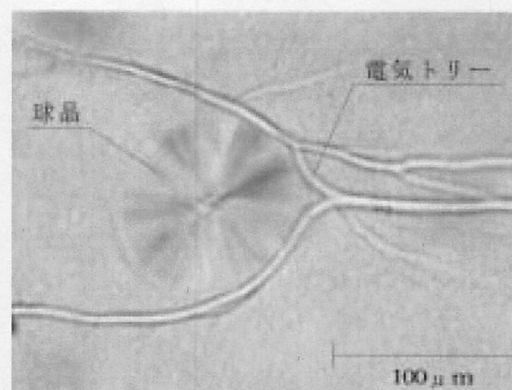
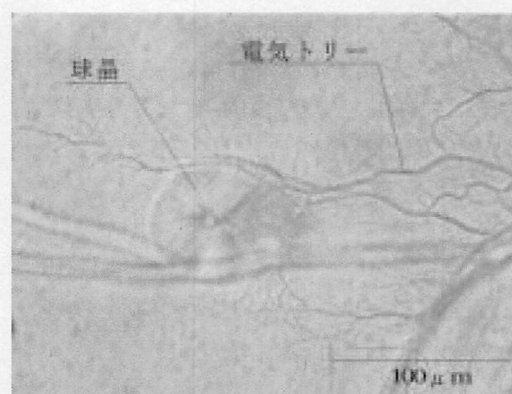


図10 電気トリーの進展と球晶の関係



(a) 領域①の拡大図



(b) 領域②の拡大図

図11 電気トリーと球晶の衝突部分の拡大図

4.2 電気トリーの球晶による分岐

図10は図9の偏光顕微鏡による画像であり，図11 (a)，(b) には図10で電気トリーが球晶にぶつかった部分の拡大図を示す。電気トリーの球晶による分岐点を拡大して見ると，電気トリーは球晶の内部には進入せず球晶を避けて進み，平板電極に到達していることがわかった。

5. 結言

電力ケーブルをモデル化した高分子絶縁材料であるポリプロピレンの試料に球晶を発生させ、その後長時間絶縁破壊試験を行い電気トリーの進展と球晶との関係を調べた。その結果を要約する。

(1) 電気トリーの進展

針電極から出た電気トリーの形状は初め太く、分岐もないが、進展していくにつれ徐々に細くなり、先に出た電気トリーからは細かな分岐が起こっていくことがわかった。

(2) 電気トリーと球晶の関係

電気トリーは近くに球晶がある場合、その球晶に向かって進み、球晶にぶつかると球晶の内部には入らずに球晶を避けて進展していき、その後平板電極に到達することがわかった。

6. 参考文献

- (1) 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)
- (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」
電気学会技術報告書, 第674号, (1998.4)
- (4) 犬石嘉雄ほか
「誘電体現象論」 電気学会, pp.333-335, (1993.8)