

熱刺激電流による多孔体ポリプロピレンの トラップ評価と帯電特性

吉田 福蔵^{*,1}, 吉浦 昌彦^{*}

(2009年9月28日受付; 2010年2月5日受理)

Charge Trap Parameters Studied by Thermally Stimulated Current and Charging Property in Porous Polypropylene Film

Fukuzo YOSHIDA^{*,1} and Masahiko YOSHIURA^{*}

(Received September 28, 2009; Accepted February 5, 2010)

It is well known that the charge storage of a polymer is influenced by the charge carrier traps. Charge trap parameters and charging property of porous and solid polypropylene (PP) films were studied using thermally stimulated current (TSC). We proposed already the Asymptotic Estimation Method (AEM) to evaluate trap parameters such as the energy depth of the trap E_t and the escape frequency factor ν from TSC spectrum caused by multiple carrier traps, separately. To describe the $\nu - E_t$ correlation, the trap sites caused by the porous structure were evaluated in the range of 1.0-1.1 eV. In addition, the ν values for those trap sites were found to be in the range 10^{11} - 10^{12} s⁻¹. A comparison of surface potential decay revealed that drawing treatment caused discharge property by heating and the porous structure in the PP film induced charge storage stability.

1. はじめに

高分子材料には、優れた機械的特性、軽量、成型が容易、錆びない等、天然有機材料にない特質があり、いまや現代社会の維持には無くてはならない存在になっている。その中で多孔体高分子¹⁻³⁾は、多様な機能性を携えたエレクトロニクスデバイス材料の一つとして、その特質が発現できる種々のメカニズムを解明することが重要になっている。その一つに、母材ポリマーと孔が形成する帯電機構を調べることが必要となる。帯電現象には、トラップの存在が大きな役割を果たしているが、多孔体ポリマーに関する帯電機構には、不明な点が多く、鋭意研究が進められている。そこで従来からトラップを調べる計測法としては、熱刺激電流 (Thermally Stimulated Current; 以下 TSC と略記) 法^{4,7)}が有効であり、特にトラップのエネルギー分布の評価に優れている。

本研究では耐熱温度が熱可塑性プラスチック中では高いポリプロピレンの多孔体ポリマーフィルムを用いた。実験は TSC 計測の他に、帯電電荷量そして帯電電荷の温度特性が直接調べられる熱刺激電荷減衰 (Thermally Stimulated Charge Decay; 以下 TSCD と略記) 測定⁸⁾を行った。TSC スペクトルの分離には、漸近解法⁹⁾トラップ分離システム (以下、AEM 分離法) を導入、昇降温による試料への熱履歴の影響を極力

低減させた TSC 全体図を適用した。その結果、本研究ではトラップのエネルギー準位 E_t だけでなく、離脱周波数因子 ν からの解析にも言及でき、無孔体ポリマーとの比較から、多孔体ポリマーが形成するトラップと帯電性との関係を調べた。

2. 試料及び実験方法

実験試料は、フィルム状態の異なる三種類のポリプロピレン (PP) である。二種類の無孔体 (無延伸フィルム (厚み 50 μm) と二軸延伸フィルム (厚み 50 μm), 各々、フタムラ化学 (株)) と多孔体二軸延伸フィルム (厚み 75 μm) であり、それぞれ PP1, PP2, そして PP3 と呼ぶ。PP3 の孔の大きさは数 μm 程度である。

図 1 には各種実験の電極部を示す。表面電位 V_s のグリッド電圧 V_g 依存性実験は、ニードル電極の電圧 V_N を ± 3 kV とし、グリッド電圧 V_g を ± 2 kV 程度以内で実施した。TSC 測定はコロナ荷電による実電荷注入で行った。コロナ荷電後、図 1 に示

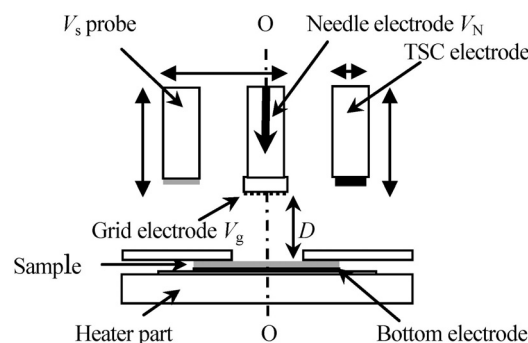


図 1 実験装置の電極部構造

Fig. 1 Schematic diagram of electrode configuration.

キーワード: 熱刺激電流, 多孔体, トラップ準位, 離脱周波数因子, ポリプロピレン

* 大阪工業大学 (535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号)
Osaka Institute of Technology, 5-16-1, Omiya, Asahi-ku,
Osaka 535-8585, Japan

¹ yoshida@rsh.oit.ac.jp

す中心軸(O-O)に TSC 上部電極を移動させ、コンタクトレス回路 ($D=1\text{ mm}$) で昇温速度 β として 3 K/min とし、 250 K から 430 K の温度域で TSC スペクトルを測定した。無孔体フィルムの片面には真空蒸着により銅電極を、そして多孔体は機械的に下部電極を圧着した構成で用いた。また、TSCD 測定はコロナ荷電後、上部電極を表面電位プローブ (図1中の V_s プローブ) に変えるだけで、基本的に TSC と同じ操作である。

3. 実験結果

3.1 表面電位のグリッド電圧依存性

ニードル電圧 V_N を $\pm 3\text{ kV}$ とし、グリッド電圧 V_g を変化させたときの三種類の PP フィルムの表面電位 V_s を図2に示す。コロナ放電条件は 1 atm 、室温下で放電時間 (t_d) として 60 s で実施した。

どの PP フィルムにおいてもプラス荷電での帯電電位が高いのがわかる。プラス荷電においては、 V_g の約 1 kV まで V_s が比例して増加し、その後 V_s は飽和傾向を示す。一方マイナス荷電では、各 PP フィルムで最大帯電電位に明確な差がみられ、PP3 で最も高い。そして PP1 の V_s は最も低く、 t_d を 600 s まで長くしても顕著な V_s の増加は確認されなかった。

3.2 表面電位等温減衰

図3には、 1 atm 下の室温条件での正・負コロナ荷電による表面電位の等温度減衰特性を示す。縦軸は測定開始時の表面電位 V_{s0} で規格化し、各 PP フィルムで上方にシフト (1 目盛り 0.01) させて表示している。マイナス荷電の場合、 3 h 経過時でもほとんど電位の減衰がなく、PP1 (▲) と PP3 (●) で約 $1\text{--}2\%$ の上昇がみられる。一方、プラス荷電では PP1 (△) と PP2 (□) で電位の低下があり、 3 h 経過時、初期値の約 4% の減衰がある。各特性から、長時間側の緩やかな減衰からの時定数 τ を求めると、両無孔体はオーダー的には同じ (10^5 s) であるが、多孔体では一桁長い。アワーオーダーでは PP1 (τ_1) が 121 h 、PP2 (τ_2) が 161 h 、そして PP3 (τ_3) が 806 h となった。つまり多孔体 (PP3) の時定数は、PP1 の約 5 日に対して、 6.7 倍の約 34 日と長くなっている。

3.3 TSCD 特性

一般に電気電子材料の帯電性を調べる上で、温度条件は重

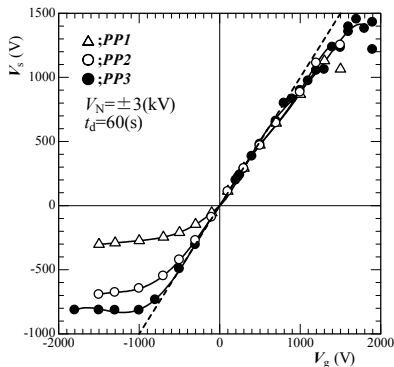


図2 表面電位 V_s のグリッド電圧 V_g 依存性
Fig. 2 V_g dependence of polypropylene films on V_s

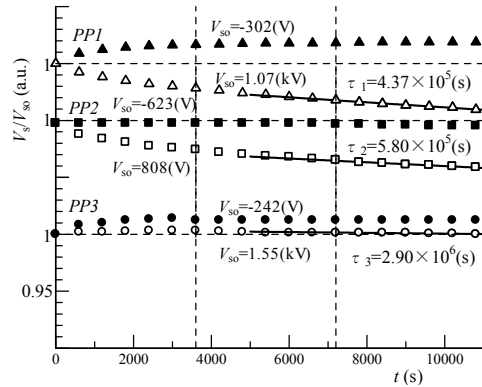


図3 多孔体 PP 及び無孔体 PP の室温における表面電位等温減衰特性 (▲, ■, ●: マイナス荷電, △, □, ○: プラス荷電)
Fig. 3 Isothermal surface potential decay curves for porous and solid PP films at room temperature (▲, ■, ●: -charged, △, □, ○: + charged).

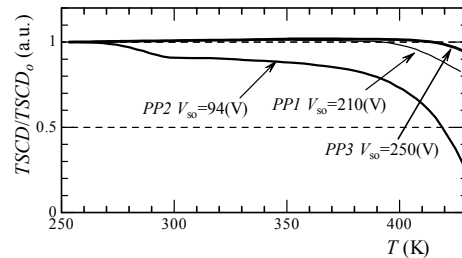


図4 プラス荷電による PP フィルムの TSCD 特性
Fig. 4 TSCD characteristics from positively corona-charged PP films.

要なファクターとなる。そこで正・負コロナ荷電させた三種類の PP フィルムの熱刺激電荷減衰 (TSCD) 実験を行った。図4にはプラス荷電での各フィルムの TSCD 特性を示す。TSCD 特性は昇温開始時 (250 K) の初期値 ($TSCD_0$) で規格化している。

無延伸フィルム (PP1) で約 390 K 以上、また二軸延伸フィルム (PP2) では約 280 K から電荷の減衰が現れ、約 385 K 以上からの減衰が顕著であるのがわかる。一方、多孔体フィルム (PP3) は、約 410 K 以上の温度から電荷の減衰がみられる。 430 K の温度において、PP1 は初期帯電電荷の約 20% 、PP2 では約 78% の減衰となるが、PP3 では約 7% と僅かな減衰である。この傾向は、表面電位等温減衰から求めた τ の長さとも一致している。

3.4 TSC 特性

図5(a)から図5(c)には PP1, PP2 そして PP3 の各フィルムの TSC 特性を示す。TSC は 3 K/min の昇温速度で、観測温度 250 K から 430 K までにシールド遮蔽した外部回路に流れるコンタクトレス電流である。図中において、太線がプラス荷電、細線がマイナス荷電であり、帯電後1回目の昇温は実線、1回目測定後急冷し、そのまま加熱し、2回目に行った測定を破線で示している。

PP1 フィルムの TSC スペクトル (図5(a)) において、プラス荷電 TSC はマイナス荷電 TSC に比べ、非常に大きな信号として観測されている。そして2回目の昇温ではトラップ電荷がほとんどクリーニングされているが、約 370 K 付近に信号がみられる。挿入図

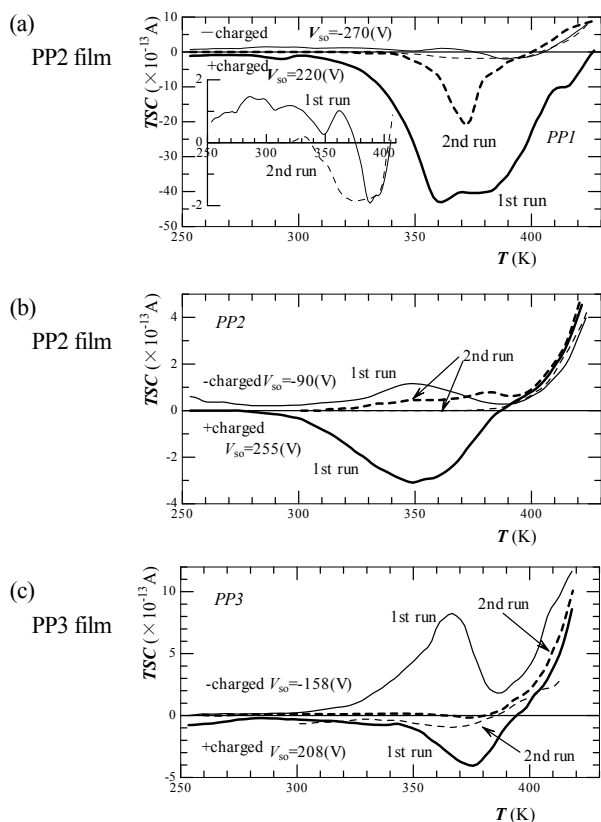


図5 無孔体PP及び多孔体PPのTSC特性
Fig. 5 TSC characteristics for porous PP and solid PP.

はマイナス荷電TSCの拡大図である。約250 Kから約375 Kにおいて複数個のTSCピークが温度的に重複して観測され、約375 Kから約405 K付近に反転TSCがみられる。2回目の昇温では反転TSCの温度域が拡大している。しかし同一試料でも、2回目の昇温でみられるこのような信号は、観測されないこともあるため、その原因は不明である。現段階では、一度デトラップした電荷が、残留電荷として残り、再トラップしたことによる影響と考えている。

次にPP2フィルムでは(図5(b)), プラス・マイナス両荷電で約350 K付近にTSCスペクトルの最大値が観測されている。そして両荷電で1回目・2回目昇温において、約390 K付近から温度上昇と共にプラス方向に増大する電流が流れている。

一方、PP3フィルムでは(図5(c)), マイナス荷電で約370 K付近、プラス荷電で約375 K付近にTSCスペクトルの最大値が観測されている。2回目昇温では約390 K付近から温度上昇と共にプラス方向に増大する電流が流れている。特に、マイナス荷電の1回目昇温TSCスペクトルにおいては、上記の増大電流に重複して約410 K付近にショルダーが観測されている。

図6は試料をセットせずに上部・下部金属電極だけの構成で開回路に流れる電流 I_n を測定した結果である。電流 I_n は、昇温操作によって発生する熱雑音(測定する試料や電極構成によって変わる)、回路系に発生する不規則な雑音など除去できない電流成分だけであるのがわかる。つまり、図5に示したTSCの約390 K以上の高温域で観測された電流とブランク試験の結果を比

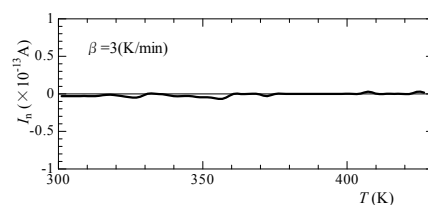


図6 試料を挿入しない場合の測定系の電流
Fig. 6 TSC recorded with no sample material.

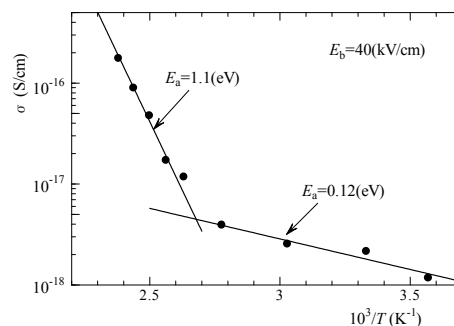


図7 無孔体無延伸PPの導電率の温度依存性
Fig. 7 Temperature dependence of conductivity in solid PP film.

較すると、増大する電流は、試料フィルム中の現象であると考えられる。

3.5 導電率の温度依存性

一般に高分子の高温域での伝導は、イオン伝導による電流の増加が考えられている¹⁰⁾。今回、どのPPフィルムでも観測された高温域の増大電流は、PPフィルムのイオン伝導が支配的になる温度域でもある¹⁰⁾。そこで、このことを導電率 σ の温度依存性から調べた。図7はPP1フィルムを例に、導電率の温度依存性を調べた結果である。導電率は図1において、上部電極を下げ($D=0$)、閉回路とし、電界($E_b=40$ kV/cm)を印加後の直流電流の一定値から計算した。特に約380 K以上で、導電率の増大が顕著であるのがわかる。この温度域は、TSCが温度上昇と共に増大する温度域と一致している。そして、高温域の導電率が温度に対してアレニウス型を示していることから、導電率の増加は、イオンが伝導を担っていると考えられる。つまり、温度上昇と共に増大する電流は、フィルムの加熱によって熱解離するイオン濃度、及び自由体積が増大することによって流れたものと考えている。

傾きから計算した見かけ上の活性化エネルギー E_a は、約1.1 eV、0.12 eVとなった。これらの活性化エネルギー値は、実電荷の脱トラップを介した電流以外の信号を含むため、TSCからの分離結果と直接比較することはできないが、高温側の E_a は、イオンを束縛している何かのエネルギーを評価したものと考えられる。

4. TSCスペクトルの分離

一般に観測されるTSCスペクトルは、単一トラップ寄与は希であり、ほとんどの実測TSCスペクトルは、複数個のTSCスペクトルが温度的に重複寄与している。このような場合、試料に昇温・冷

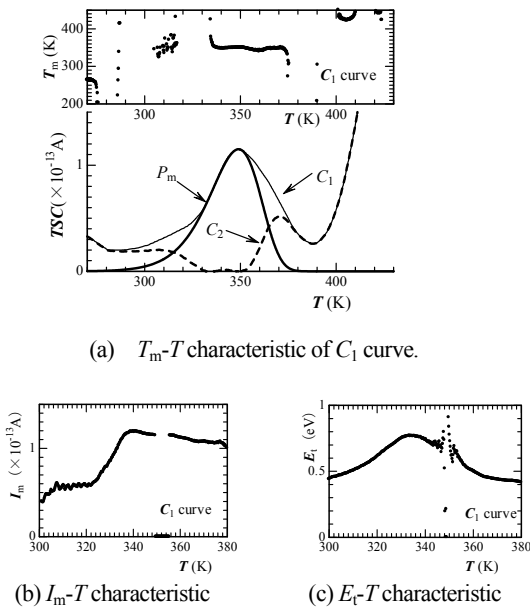


図8 AEM 分離過程の一例
Fig. 8 An example of AEM separation method.

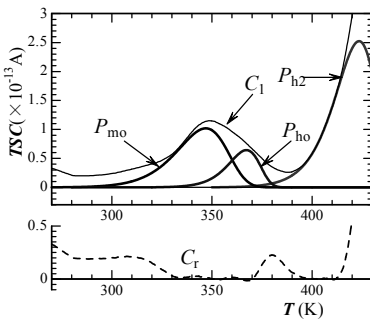


図9 AEM による分離結果
Fig. 9 An exactly separated TSC spectra by AEM.

却の繰り返し温度サイクルを必要回数与えることで、信号の分離を実施するが、逆に、この熱サイクルが原因で、TSC スペクトルからトラップパラメータを評価する際に与える影響は無視できない。これを解決するには、熱履歴が試料に与える影響を極力低減できる一度きりの測定データから、独立した TSC スペクトルへの寄与の分離ができる AEM 評価が不可欠である。

図8(a)から(c)は、図5(b)のマイナス荷電 TSC スペクトル(図8(a)の C_1 曲線)に AEM 分離法を適用した結果である。図8(a)の上図は C_1 曲線全体に ν 法⁹⁾を適用し、その T_m - T 特性を示す。そして順次 C_1 曲線に AEM (図8(b): I_m - T 特性), AEM LH (図8(c): E_t - T 特性)を適用後、三特性のフラット域の単純平均から計算した TSC スペクトルを図8(a)の P_m ピークとして示す。次に C_1 曲線から P_m ピークを除去した結果 (C_2 曲線)にも同様に AEM を適用していき、このような過程を必要回数繰り返す。最終的に分離した結果を図9に示す。三つの TSC スペクトルに分離でき、下図には拡大表示した C_1 曲線から分離した TSC スペクトルを除去した残留電流 (C_f) を示す。

5. 検討

実測した TSC スペクトルからトラップの情報を正確に評価するには、独立した単一トラップに信号を分離しなければならない。本章では AEM 分離法を適用し、その情報である E_t と離脱周波数因子から比較・検討する。

5.1 トラップ準位と観測温度

図 10(a)から図 10 (c)は、分離評価したトラップ準位 E_t を TSC スペクトルのピーク温度 T_m で示した結果である。図中に示す各ピーク (P) の添え字は、番号が大きいほど高温域で分離したトラップを表している。一般に観測温度域が高温になる程、トラップ準位はより深くなる。しかし、分離した結果は、一概にそのような結果とならず、これにはいろいろなトラップの起因が考えられる。

図 10(a)に示す無孔体無延伸フィルム(PP1)は、マイナス荷電で 350 K 以下に E_t として約 0.59–0.95 eV の 4 つのトラップ (P_1 ピークから P_4 ピーク)が存在している。350 K 以上の温度域にはマイナス荷電は (P_5 ピークの 0.841 eV, P_6 ピークの 1.77 eV)のトラップ、プラス荷電は (P_1 ピークの 1.61 eV, P_2 ピークの 0.617 eV)のトラップが存在している。同じ無孔体でも二軸延伸フィルム(PP2)のトラップ準位は、図 10(b)に示す。両荷電極性ともに三つのトラップがほとんど同温度域に存在し、すべて約 350 K 以上に観測されている。 P_{ho} , P_2 , P_{h2} そして P_3 ピークの 4 つのピークは、荷電極性に依存せず E_t として約 1.5 eV が評価されている。また、PP1 と PP2 のマイナス荷電どうして比較すると、二軸延伸させることでトラップ数が減少しているのがわかる。

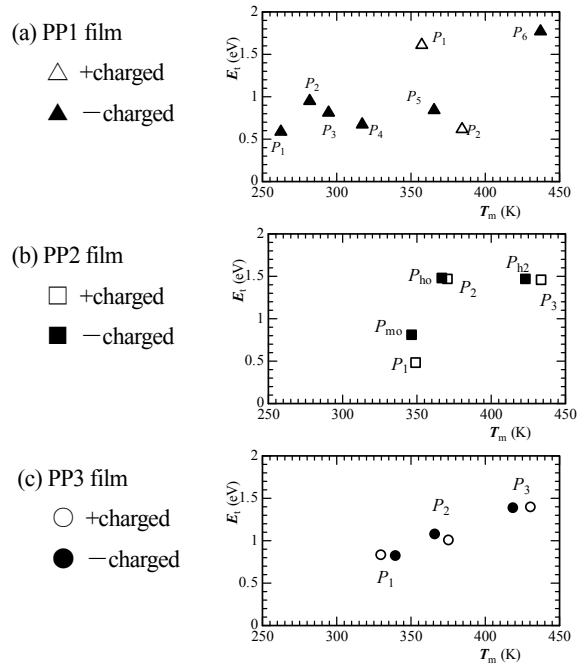


図10 トラップ準位 E_t の比較
Fig. 10 Comparison of separated E_t values.

次に多孔体二軸延伸フィルムの分離結果を図 10(c)に示す。分離した TSC スペクトルの温度域は、荷電極性に依存せず、350 K 以下に両 P_1 ピーク、350-400 K の温度域に両 P_2 ピーク、そして 400 K 以上に両 P_3 ピークが観測されている。 E_t は低温域のトラップから順次、平均して 0.821 eV, 1.04 eV, そして 1.39 eV と評価され、荷電極性に依存していないのがわかる。

5.2 離脱周波数因子との相関

高分子の帯電機構を調べるには、 E_t からのエネルギー分布を求めるだけでは不十分である。特に、帯電性能の耐熱性を追求するためには、トラップの離脱周波数因子 ν (1/s) の評価が重要な情報となり得る。 ν は、TSC 基本式の最大値を与える条件から導出でき¹¹⁾、次式となる。

$$\nu = \frac{\beta E_t}{k T_m^2} \exp\left(\frac{E_t}{k T_m}\right) \quad (1)$$

但し、 k はボルツマン定数である。 ν 値を評価するには、TSC スペクトルの T_m と E_t が必要で、AEM 分離法では分離した各 TSC スペクトルから両方の値が得られる。そこで、図 11 は 5.1 で述べたトラップ準位 E_t を、離脱周波数因子 ν との関係として調べた結果である。いま多孔体フィルムで分離した P_1 ピークから P_3 ピークにおける ν と E_t の関係から、それらを領域 I, II, III とする。

すると無孔体二軸延伸フィルムで形成されたトラップ (P_{m0} , P_{h2} , P_3) は、多孔体フィルムの領域 I と領域 III に存在し、無孔体無延伸フィルムは領域 I にある P_5 ピーク以外は、広く分布しているのがわかる。そこで、多孔体フィルムの P_1 ピーク (領域 I) と類似のトラップの物性 (E_t と ν) を示すのは、無延伸の P_5 ピーク (\blacktriangle) のトラップと二軸延伸の P_{m0} ピーク (\blacksquare) のトラップであるのがわかる。次に領域 III に存在する多孔体の両 P_3 ピーク (\bullet と \circ) のトラップは、二軸延伸の P_{h2} ピーク (\blacksquare) 及び P_3 ピーク (\square) の各トラップと類似している。これらのトラップは、400 K 以上にピークを持ちイオン伝導に関与したものと考えられるが、現段階において、詳細は不明である。多孔体の P_1 ピークのトラップは、無孔体無延伸状態でも形成されているトラップである。高分子物質の延伸構造は複雑であるが、延伸により結晶化度が増す。すると無延伸状態では、それによるトラップが領域 I を含め、その近傍に多く分布

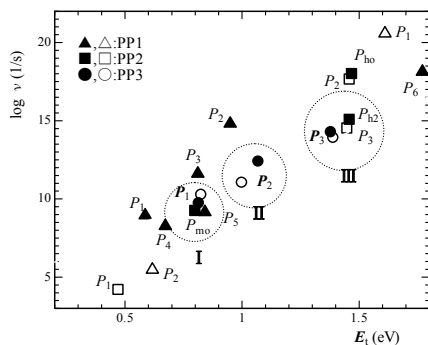


図 11 トラップの ν と E_t の関係

Fig. 11 Correlation of escape frequency factors ν with E_t values.

($P_1(\blacktriangle)-P_4(\blacktriangle)$)していることから、領域 I のトラップは主に非晶質部分、一方、領域 III の近傍に存在する PP2 のトラップ ($P_{h0}(\blacksquare)$ と $P_2(\square)$) は二軸延伸したものであるため、結晶化度が高いことから、結晶質部分で形成されているものと考えられる。これらの結果、領域 II に存在する多孔体の P_2 ピークのトラップは、ポリプロピレンフィルムを多孔体構造にすることによって形成されたものと考えられる。

また、二軸延伸した PP でも PP2 の TSCD 特性は、PP3 に比べ電荷減衰が顕著であった。このことを ν と E_t の関係から検討してみる。領域 I と領域 III には PP2 のトラップが存在し、これらのトラップは類似の性質であることを考慮すると、両フィルムの TSCD 特性の違いを反映しているトラップは、図 11 での PP3 の両 P_2 ピーク (\bullet と \circ) と、PP2 の P_{h0} ピーク (\blacksquare) と P_2 ピーク (\square) であると考えられる。そこで PP2 と PP3 の各トラップの違いをプラス荷電のトラップの ν と E_t の関係から次のように考えてみる。PP2 の P_2 ピーク (\square) と PP3 の P_2 ピーク (\circ) の E_t 値は、それぞれ 1.46 eV, 1.00 eV であるが、 T_m は PP3 の方が約 5 K 高温域にある。この結果 PP3 の ν は、PP2 に比べ約 6 桁 ($PP2:10^{17}$ 1/s, $PP3:10^{11}$ 1/s) の大幅な減少となり、PP3 の伝導を高温域へ移行させている。つまり、PP3 の P_2 ピークは多孔構造由来のトラップと考えられるので、無孔体二軸延伸フィルムを多孔体にすることで、高温での電荷保持性能の向上に働くトラップであることを ν と E_t の関係から検証している。

5.3 帯電電位の減衰量

TSC 測定において昇温開始温度時の帯電電位 (V_{s0}) と測定後の室温における残留帯電電位 ($V_{s\infty}$) を測定し、その減衰量を計算した。表 1 はその結果である。帯電電位の減衰量 ($\Delta V_{s,TSC}$) は、 V_{s0} 値に対する TSC 測定後の減衰量を表す。また ave. $\Delta V_{s,TSC}$ 値は、両荷電極性での $\Delta V_{s,TSC}$ の平均を計算している。 V_{sm} 値は、図 2 での最大帯電電位である。無孔体二軸延伸 (PP2) フィルムの場合、両荷電極性ともに減衰量は約 95% 以上と非常に多い。この内、プラス荷電した PP2 フィルムは、延伸によりトラップ数が減少したことと、トラップの ν が高い (10^{17} 1/s) ことで、TSC 測定後の帯電電荷量が激減したと考える。

これに対し、多孔体二軸延伸 (PP3) フィルムになると、両無

表 1 TSC 測定後の帯電電位の減衰量の比較

Table 1 Comparison of charge decay after TSC measurement.

実験試料	極性	V_{sm} (V)	帯電電位の減衰量	
			$\Delta V_{s,TSC}$ (%)	ave. $\Delta V_{s,TSC}$ (%)
PP1	—	-297	-29.7	-33.4
	+	1097	-37.0	
PP2	—	-685	-97.8	-96.6
	+	1253	-95.4	
PP3	—	-816	-16.5	-12.1
	+	1470	-7.69	

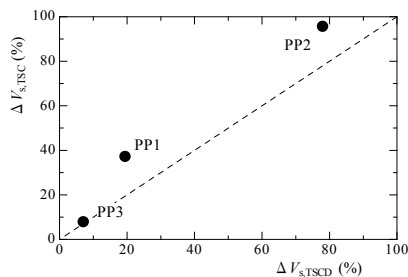


図12 TSC及びTSCD測定後の電荷減衰量の比較

Fig. 12 Comparison of charge decay after TSC and TSCD measurements from positively corona-charged PP films.

孔体フィルムに比べ、両荷電極性ともに $\Delta V_{s,TSC}$ が少ない。これを $\text{ave. } \Delta V_{s,TSC}$ 値で見ると、上述した無孔体無延伸で約33%の減衰、無孔体二軸延伸で約97%の減衰、そして多孔体二軸延伸で約12%の減衰となっている。つまり多孔体状態にすることで、二軸延伸であっても無孔体無延伸状態よりも、逆に $\text{ave. } \Delta V_{s,TSC}$ 値が約1/3低減している。このことは、多孔構造が形成したトラップの働きと考えられ、帯電電位の減衰量からも温度上昇に対して高い電荷の保持性能を有することを示している。

図12はTSC及びTSCD測定後の帯電電位の減衰量を比較した結果である。横軸の値はTSCD測定において V_{s0} に対する430 Kでの電位の減衰量($\Delta V_{s,TSCD}$)、縦軸の値は表1中のプラス荷電による $\Delta V_{s,TSC}(\%)$ を示す。両減衰量は絶対値で表している。図中の破線による直線はTSC及びTSCD測定による両減衰量が比例関係にあることを示し、TSC現象がそのままTSCDを反映していることを意味する。直線上の変化は理想的なケースであるが、同一温度範囲でTSC及びTSCD測定を行ったとき、例えば最高温測定温度での $\Delta V_{s,TSCD}$ が100%となった場合、同様に $\Delta V_{s,TSC}$ も100%となる。これはトラップに捕獲され、帯電に寄与していた電荷が、すべて昇温により開放されTSCとして測定されたことを表す。また減衰量が50%とすると、残りの50%は帯電電位の残留量となり、測定温度範囲を超える高温域に帯電に寄与するトラップ現象等があることを推定している。

三種類のPPによる $\Delta V_{s,TSC}$ は、 $\Delta V_{s,TSCD}$ に対し比例関係にあるのがわかる。PP3はほとんど直線上にあるもののPP1とPP2に関しては、直線より上に位置している。このことは $\Delta V_{s,TSC}$ が $\Delta V_{s,TSCD}$ よりも多いことを表しているが、定性的には直線変化と一致している。

一方、帯電電位の残留量はPP3が最も多く、次いでPP1そしてPP2となる。まず無孔体のPP1とPP2で $\Delta V_{s,TSC}$ から残留量を比較すると、PP2ではほとんどないものの、PP1で約60%の帯電に寄与する電荷が残り、これは多くの非晶質部分で形成されるトラップの存在を示唆している。これに対し、PP3は430 Kの加熱後も約90%の帯電電位が残っている。

一般に多孔構造の孔の部分には、コロナ荷電することで疑似

双極子を形成するといわれている。この巨大双極子と実電荷トラップ間でどのような相互作用が働き、またそのメカニズムがどうであるかは、今後更に検討する必要がある。しかし、今回、TSCスペクトルを分離解析した結果を踏まえれば、 ν 値の減少が伝導をより高温域に移行させていること、更には高温域においても疑似双極子の何らかの働きとしてトラップ電荷を束縛する等考えると、このことも一因として帯電電位の高い耐熱性に繋げていると思われる。

6. 結論

PP無延伸、二軸延伸フィルム及び多孔体二軸延伸PPフィルムを用いて、コロナ荷電による帯電特性、そしてTSC測定を行い、次のことを明らかにした。

- (1) 無孔体、多孔体に関係なく、高分子ポリプロピレンはプラス荷電の方がマイナス荷電よりも最大帯電電位が高かった。最大帯電電位は、多孔体フィルムが最も高く、無孔体二軸延伸そして無孔体無延伸フィルムの順であった。
- (2) 複合TSCスペクトルをAEM分離法で分離評価し、トラップ準位 E_t だけでなく離脱周波数因子 ν も求めた。その結果、
 - (a) 多孔体フィルムのトラップは、 ν と E_t の関係から三領域に分布することがわかった。
 - 領域I E_t : 0.80–0.84 eV, ν : 10^9 – 10^{10} 1/s
 - 領域II E_t : 1.0–1.1 eV, ν : 10^{11} – 10^{12} 1/s
 - 領域III E_t : 1.4–1.5 eV, ν : 10^{14} – 10^{15} 1/s
 - (b) 無孔体フィルムとの比較から、領域Iのトラップは、主に非晶質部分、領域IIのトラップは多孔体構造によるもの、そして領域IIIのトラップはイオンの振る舞いに関係しているものと考えられる。
- (3) 離脱周波数因子の減少、TSCD及び帯電電位の減衰量から、多孔体の温度上昇に対する電荷保持性能の向上を確認した。

参考文献

- 1) Z. Xia, S. Ma and X. Qiu: *J. Electrostat.*, **58** (2003) 265
- 2) 石井啓介, 永田邦裕, 大澤裕, 難波典之: 電気学会論文誌A, **129** (2009) 373
- 3) Y. Cao, Z. Xia, Q. Li, J. Shen, L. Chen and B. Zhou: *IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul.*, **5**, 1 (1998) 58
- 4) 池崎和男: 静電気学会誌, **24** (2000) 193
- 5) 石本和之, 田中祀捷, 大木義路, 関口洋逸, 村田義直: 電気学会論文誌A, **129** (2009) 97
- 6) 池崎和男, 村田雄司: 静電気学会誌, **30** (2006) 14
- 7) R. Chen and Y. Kirsh: *Analysis of Thermally Stimulated Processes*. Pergamon Press, Oxford (1981)
- 8) 鈴木暁大, 竹内学: 静電気学会講演論文集'06, p. 59, 静電気学会(2006)
- 9) 吉田福蔵, 前田成欣: 電気学会論文誌A, **111** (1991) 323
- 10) 大木義路: 「誘電体物性」, 培風館 (2002)
- 11) 前田成欣, 阪口清和: 応用物理, **48** (1979) 955