

# 生分解性プラスチックの伝導電流に及ぼす湿度の影響

信 山 克 義\*・藤 田 成 隆\*\*

## Influence of the Humidity on the Conduction Current of Biodegradable Plastics

Katsuyoshi SHINYAMA\* and Shigetaka FUJITA\*\*

### Abstract

A polylactic acid (PLA) that is a biodegradable plastic, was subjected to measurements of conduction current and dielectric properties. For the electrical properties of PLA, its volume resistivity ( $\rho$ ) was larger than those of polyethylene (PE) and polypropylene (PP). The relative permittivity ( $\epsilon_r$ ) indicated intermediate values between that of polyester and those of polyethylene (PE) and polypropylene (PP). The dielectric loss tangent ( $\tan \delta$ ) was larger than those of PE and PP, but smaller than that of Polyester. From the results of temperature dependence of  $J$  of a PLA, PE and PP,  $J$  of PLA became smaller than PE and PP in the temperature from room temperature to 90°C. However, when it became 90°C or higher,  $J$  of PLA became larger than other plastics. The time dependability of  $J$  of PLA which absorbed moisture was investigated. Consequently, although  $J$  of PLA became high by moisture absorption, it becomes a value lower than PE and PP.

**Keywords:** Biodegradable plastics, Polylactic acid, Electrical properties, Moisture absorption

### 1. ま え が き

油化学工業の発展により、ポリエチレンやポリスチレンをはじめとする合成プラスチックの生産は急速に増大し、今では我々の生活と産業のあらゆる分野に浸透している。また、合成プラスチックは粘弾性体としての力学的性質、電気絶縁性、断熱性、耐食性などの特性をもつ上に、軽量で加工しやすいという優れた性質を持っているため、電気絶縁材料としても幅広く利用されている。さらに、近年の電気電子及び情報通信産業の発展に伴い、家庭用電気機器や情報端末機器が急速に普及しているため、合成プラスチックの電気絶縁材料としての利用は

益々増加するものと推測される。しかし、これらの機器の大半は使用後廃棄されており、地球環境を破壊するため大きな社会問題となっている。

生分解性プラスチックは、使用後微生物の働きによって水と二酸化炭素に分解されるため、廃棄物の処理に際しても地中への埋め立てが可能で、燃焼させても発生熱量が低くダイオキシン等の有害物質が放出されることもない。さらに、使用中は合成プラスチックと同質の機能を持っている。したがって、合成プラスチックの代わりに生分解性プラスチックを使用すれば、地球環境を保護することができるため、近年注目を集めている。

生分解性プラスチックの代表的な材料はポリ乳酸樹脂(PLA)であり、図1に示すように、乳酸がトウモロコシ澱粉からグルコースを経て作

平成 15 年 12 月 19 日受理

\* 電子知能システム学科・講師

\*\* 電子知能システム学科・教授

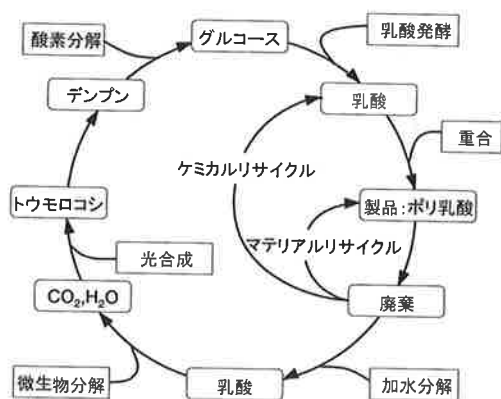


図1 ポリ乳酸のリサイクル・システム

られる点が炭酸ガスゼロのエミッションシステム構築に寄与するとして期待を集めている。また、PLA は強度、剛性、耐熱性および寸法安定性など他の生分解性プラスチックより優れた特性を有し、しかも合成プラスチックと同質の機能を持っているため、合成プラスチックに代替できる素材として近年注目を集めている<sup>(1~3)</sup>。しかし、PLA の電気的特性はほとんど明らかにされていないため、電気電子部品への応用は進んでいない。そこで、本研究では生分解性プラスチックである PLA の体積抵抗率、伝導電流特性および誘電特性を調べ、PLA の基礎物性を調べるために熱分析も行った。一方、PLA の透湿度 (40°C/90% RH) は 250 g/m<sup>2</sup>・24 hr であり、合成プラスチックよりもはるかに高いため、電気的特性に及ぼす湿度の影響を調べる必要がある。そこで、伝導電流特性に及ぼす湿度の影響も調べた。以上の結果から生分解性プラスチックの電気絶縁材料としての可能性を検討した。

## 2. 試料および実験方法

試料として、東セロ (株) 製の 2 軸延伸 PLA (Palgreen LC)<sup>(4)</sup>、低密度ポリエチレン (LLDPE, 以下「PE」という。) および 2 軸延伸ポリプロピレン (OPPP, 以下「PP」という。) フィ

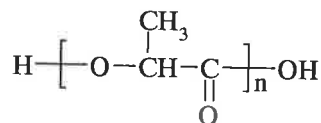


図2 PLA の化学構造式

ルムを用いた。試料の厚さ  $d$  はいずれも 25 μm である。図 2 に PLA の化学構造式を示す。

体積抵抗率 ( $\rho$ ) および伝導電流の測定は、アドバンテスト社製のエレクトロメーター (R8240) を用いて行い、電界 ( $E$ ) は 0.2 MV/cm ( $V=500$  V) とした。また、誘電特性の測定にはヒューレットパッカード (現在: アジレントテクノロジー) 社製の LCR メータ (4284A) を用いた。 $\rho$  および誘電特性測定を測定する場合、室温空気中 (27°C/65% RH) で行った。一方、伝導電流の温度依存性を測定する場合、電界を印加してから 3 分経過後、乾燥空気中で昇温速度を 1°C/min として 30°C から 150°C まで昇温しながら電流を測定した。さらに、湿度の影響を調べる場合、試料をメッシュ状のネットの中に入れ、エスベック社製の小型環境試験器 (SH-241) に設置した後、温度を 40°C 一定にし、湿度を 90% RH の状態にして 24 時間吸湿させた。その後、電界 ( $E=0.6$  MV/cm) を印加しながら電流を 1 時間測定した。測定環境は 25°C、50% RH とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 熱的特性

図 3 に PLA の DSC 曲線を示す。DSC 曲線は 40°C から 50°C 付近にかけてはほとんど変化が見られないが、55°C 付近から吸熱側に変化し、ガラス転移特有の階段状のシグナルが現れた。一般に、ガラス転移温度 ( $T_g$ ) として外挿開始温度 ( $T_f$ ) または中間点温度 ( $T_m$ ) を用いることが多いが、ASTM, D3418-82 において  $T_f$  を推奨しているので、本論文では  $T_f$  を  $T_g$  として評価した。その結果、PLA の  $T_g$  は約

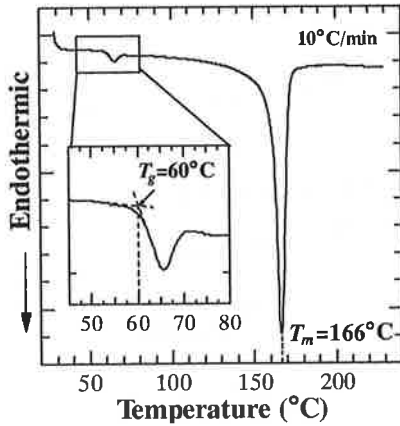


図3 PLAのDSC曲線

60°Cとなった。さらに、70°C以上になるとDSC曲線は緩やかに吸熱側に変化し、150°C以上の温度領域で大きな吸熱ピークが現れた。このピークは融解転移によるものであり、そのピーク温度は融点( $T_m$ )に相当する。この結果より、PLAの $T_m$ は約166°Cとなった。

### 3.2 室温における電気的特性

表1に、PLA、PE、ポリエステルおよびPPの電気的特性の比較を示す<sup>(5-8)</sup>。初めに、 $E=0.2$  MV/cmの時の伝導電流値からPLAの体積抵抗率( $\rho$ )を求めた結果、 $>5 \times 10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ となり、他のプラスチックより高い抵抗値を示した。次に、PLAの $\epsilon_r'$ を測定した結果、1 kHzの時2.46~2.59、100 kHzの時2.43~2.65となり、PEおよびPPとポリエステルの中間の値を示した。さらに、PLAの $\tan\delta$ を測定した結果、

1 kHzの時 $2.6 \sim 3.0 \times 10^{-3}$ 、100 kHzの時 $4.9 \sim 9.0 \times 10^{-3}$ となり、PEおよびPPの $\tan\delta$ より多少高くなる傾向になったが、ポリエステルの $\tan\delta$ よりは低い値となった。以上の結果から、PLAの電気的特性は、汎用合成プラスチックとほぼ同等であり、電気絶縁材料としての利用が有効であると考えられる。しかし、さらに絶縁破壊電圧や表面抵抗も測定し、検討する必要がある。

図3に、PLAの伝導電流の電界依存性を示す。ここでは、 $V$ を変化させたときの伝導電流( $I$ )を測定し、電流密度( $J$ )および $\rho$ を求めた。その結果、 $E=0.8$  MV/cmの時 $J=2.8 \times 10^{11}$  A/cm<sup>2</sup>、 $\rho=2.9 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ となった。また、電界が高くなるにつれて $J$ は急増し、 $\rho$ は急激に小さくなる傾向を示した。さらに、 $E \approx 2.8$  MV/cmで絶縁破壊を起こした。

### 3.3 伝導電流の温度依存性

図4にPLAとPEおよびPPの $J$ の温度依存性を示す。PLAの $J$ は、室温から90°Cまでの温度領域においてはPEやPPより小さくなり、伝導電流が流れにくいと言える。しかし、90°C以上の高温領域になると、PLAの $J$ は他の試料より大きくなり、伝導電流が流れやすくなることがわかった。

### 3.4 伝導電流に及ぼす湿度の影響

図5に吸湿前の電流密度の時間依存性を示す。PLAの $J$ は20~40 pA/cm<sup>2</sup>となり、PEやPPよりも低い値となった。また、 $J$ の時間的変

表1 PLA、PE、ポリエステルおよびPPの電気的特性の比較

Items	PLA	PE	Polyester	PP
$\rho$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	$>5 \times 10^{18}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$
$\epsilon_r'$ 1 (kHz)	2.46~2.59	2.3	3.2	2.4
100 (kHz)	2.43~2.65	—	—	—
$\tan\theta$ 1 (kHz)	$2.6 \sim 3.0 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$
100 (kHz)	$4.9 \sim 9.0 \times 10^{-3}$	—	—	—

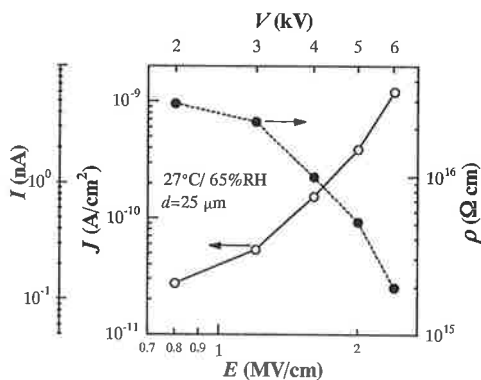


図4 PLAの $J$ および $\rho$ の電界依存性

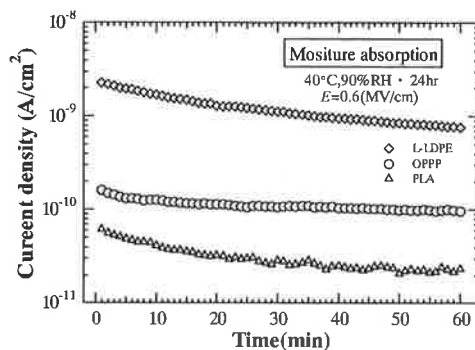


図7 吸湿後の電流密度の時間依存性

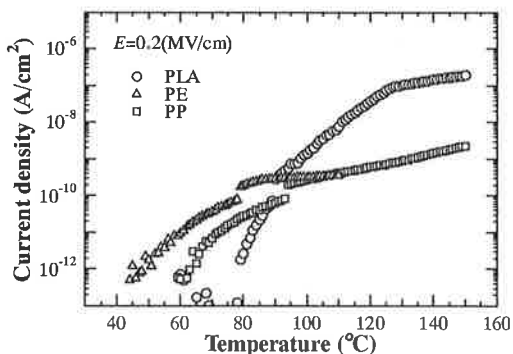


図5 PLA, PE および PP の電流密度の温度依存性

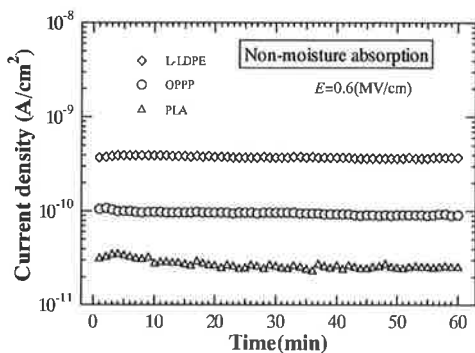


図6 吸湿前の電流密度の時間依存性

化はいずれの試料もほとんど見られなかった。図2に吸湿後の電流密度の時間依存性を示す。PLAの $J$ は、吸湿させても未処理時と同様にPEやPPより低い値を示した。また、PLAの $J$

は電界印加直後約60 pA/cm<sup>2</sup>となり未処理時よりも高くなるが、時間の経過とともに徐々に減衰し約30分経過後には未処理時の $J$ とほぼ同じ値になった。よって、24時間の吸湿では加水分解はほとんど起きていないものと推測される。一方、PEおよびPPの $J$ も未処理時より高くなり、時間の経過とともに徐々に減衰する傾向が見られた。

#### 4 あとがき

生分解性プラスチックであるポリ乳酸樹脂(PLA)の伝導電流特性および誘電特性を調べ、さらに湿度による影響も調べた結果、次のようになった。

- (1) DSC装置を用いて熱分析を行った結果、PLAのガラス転移温度( $T_g$ )は約60°C、融点( $T_m$ )は約166°Cであることがわかった。
- (2) 室温(27°C/65%RH)におけるPLAの電気的特性を調べた結果、体積抵抗率( $\rho$ )は $>5 \times 10^{19} \Omega \cdot \text{cm}$ となり、ポリエチレン(PE)やポリプロピレン(PP)より高い抵抗値を示した。また、比誘電率( $\epsilon_r'$ )はPEおよびPPとポリエステルの中間の値を示した。さらに、誘電正接( $\tan \delta$ )はPEおよびPPより多少高くなる傾向になったが、ポリエステルよりは低い値となった。PLAの伝導電流の電界依存性を調べた結果、電界( $E$ )が高くなるにつれて

電流密度 ( $J$ ) は急増し、体積低効率 ( $\rho$ ) は急激に小さくなる傾向を示した。さらに、 $E \approx 2.8 \text{ MV/cm}$  で絶縁破壊を起こした。

(3) PLA の  $J$  の温度依存性を調べた結果、 $J$  は室温から  $90^\circ\text{C}$  までの温度領域においては PE や PP より小さくなるが、それ以上の高温領域になると、PLA の方が大きくなった。

(4) 吸湿した PLA の  $J$  の時間依存性を調べた結果、PLA の  $J$  は吸湿によって高くなるが、時間の経過とともに徐々に減衰し約 30 分経過後には未処理時の  $J$  とほぼ同じ値になった。また、PLA の  $J$  は吸湿の影響を受けても PE や PP より低い値になることがわかった。

なお、本研究の一部は八戸工業大学平成 15 年度特定研究助成金によって行われた。

- 2) Biodegradable Plastics Society (BPS), [http://www.bpsweb.net/02\\_english/index.htm](http://www.bpsweb.net/02_english/index.htm)
- 3) 筏 義人: 「生分解性高分子の基礎と応用」, アイビーシー, 1999
- 4) TOHCELLO, Co, <http://www.tohcello.co.jp/new-e.html>
- 5) 小関栄一: 「生分解性プラスチック (グリーンプラ) としてのポリ乳酸」, 島津評論, 53, 1, pp. 1-8, 1996
- 6) Tillar Shugg, W., "Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials," IEEE Press, New Jersey, p. 143, 1995
- 7) Dorf, Richard, C., "The Electrical Engineering Handbook," CRC Press, Inc., USA, p. 1147, 1993
- 8) K. Shinyama and S. Fujita: "Fundamental Study on Electrical Properties of Biodegradable Plastics", Proceedings of the Fourth International Conference on Materials Engineering for Resources, Volume 2, pp. 284-287, 2001

## 参考文献

- 1) 白石信夫, 谷 吉樹, 工藤謙一, 福田和彦: 「実用化進む生分解性プラスチック」, 工業調査会, 2000