

## 論文

## PET 廃棄物の汚れ表面の電氣的簡易評価法

山本克美\*<sup>1)</sup> 殿谷保雄\*<sup>1)</sup> 重松宏志\*<sup>1)</sup> 木崎 勝\*<sup>2)</sup>

Simple electrical evaluation method of the contamination degree on PET wastes

Ktsumi YAMAMOTO, Yasuo TONOYA, Hiroshi SHIGEMATSU and Masaru KIZAKI

**Abstract** In recycling plastic waste, it is indispensable to remove both of adgereing stuff and foreign substances. We discussed the relationship between contamination on plastic waste and its electrical characteristics. Therefore we adopted electrical resistance, dielectric constant and dielectric loss tangent as indexes for evaluating the degree of contamination on PET flakes. We measured the characteristics of various grade PET bottle flakes at a recycling plant to investigate the effect of contamination on them. The electrical resistance of low grade flakes is lower than that of virgin flakes. On the contrary, the dielectric loss tangent of low grade flakes is higher than that of virgin flakes. We found that both the values of the electrical resistance and the dielectric loss tangent are useful indexes of the degree of contamination, and we developed a simpe electrical evaluation method.

**Keywords** Plastic waste, PET, Recycle, Contamination, Resistance, Dielectric loss tangent

## 1. はじめに

容器包装廃棄物のリサイクル法が成立し、プラスチックメーカーにおいては、廃棄物再利用の本格的な取り組みを開始している。容器等に使用されるプラスチックを、使用後にリサイクルに供するためには、容器の汚れを取り除くことが重要である。汚れの度合いによっては、再利用の範囲が限定されることから、汚れの付着状態を評価する技術の開発が求められている。

PET (Poly Ethylene Terephthalate) ボトルは、再処理工場で洗浄してから破砕し、再度の洗浄工程を経て、再生品原料としてリサイクルに廻される。しかし、再生品原料に汚れやアルカリ性洗剤が付着していた場合、再生PET を変色させたり曇らせたりする原因となり、再生品の品質が低下する。

このため、PET 廃棄物の表面状態を評価できる電氣的物性値について検討し、再生プラスチックの汚れ度合いの簡易評価を開発する。

## 2. 実験方法

PET ボトル再処理工場の製品でグレードの異なる PET フレークを用い、汚れの評価を検討するために次のような実験を行った。

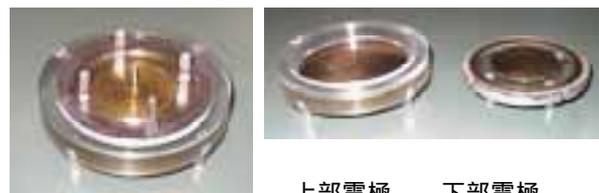
## PET フレークの汚れや変色についての観測

再処理工場において汚れているとされる PET フレークの表面を電子顕微鏡や実体顕微鏡により観察し、汚れの

状態を検討した。また、PET フレーク表面にどんな物質がついているかを X 線分析により調べた。

## 測定電極の信頼性の検討

PET フレークの電気抵抗や誘電正接等の電氣的物性値測定に用いる、図 1 および図 2 に示す測定電極の精度と再現性を PET シートを用い確認した。



外観

図 1 測定電極



外観

電極部

図 2 粉体用電極

\*<sup>1)</sup> 電気応用技術グループ \*<sup>2)</sup> 城南地域中小企業振興センター

### 再処理工場で使用されている洗剤による実験

再処理工場で実際に用いられている洗剤を用い、洗剤がPETフレークに残留したときの電気抵抗を測定した。洗剤濃度は、1%としPETシートとフレークに付着させ、電気抵抗を測定した。

### PETフレークの電気物性値の実験

再処理工場で生産されたPETフレークのうち紡糸などに用いるグレードの良い製品、埋め立て廃棄や使いみちが限定されるグレードの低い製品およびPETボトルを作るバージンのPETフレークを用い実験を行った。実験の試料としたPETフレークの粒子径は、穴径1.5mmのふるいを用いそろえた。また、電気特性の測定は、PETフレークを温度20℃、湿度60%RHの恒温恒湿室内に72時間放置した後同室内で行った。



図3 実験に用いた試料フレーク

#### (a)電気抵抗の測定

図1の電極を用い図4に示す直流100Vエレクトロメーター法により行った。

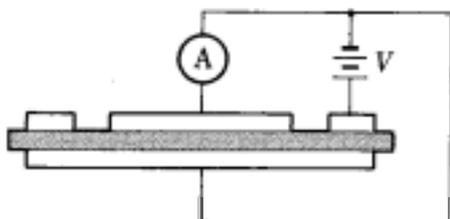


図4 電気抵抗測定回路

#### (b)静電容量および誘電正接の測定

図1の電極を用いLCRメーターにより、測定周波数1MHzで静電容量と誘電正接の測定を行った。

### 3. 実験結果と考察

#### PETフレークの表面観測について

再処理工場におけるグレードの低い再生品は、PETフレーク表面が黒ずんでいるものが多い。このため、再生用原料としては用途が限られてしまう。そこで、PETフレークの汚れがどのような物質に起因するかを電子顕微鏡やX線分析を行うことにより検討した。図2に電子顕微鏡の写真を示す。ただ、実体顕微鏡で、変色や汚れているPETフレークを観測したところ、着色ボトルのフレ

ークと思われるものや着色ラベルが付着している可能性があるフレークが混入している様子がみられた。



図5 PETフレークの表面観測

#### 測定電極の信頼性について

実験に用いる試料が固体の場合は、導電ペイントや錫箔を試料に付着させ電極とする。しかし、PETフレークは、粉体に近いため粉体用に用いる電極を使用することとした。このため、当室で試作したJIS K 6911の抵抗率試験電極を黄銅で作成し、アクリル樹脂に図1に示すように埋め込んで作成した電極と粉体用電極(図2)を測定電極に用い、信頼性を確認するために校正測定をPETシートを用いて行った。なお、校正用に用いたPETシートの誘電率と誘電正接は、LCRメーター、液浸間隙変化法および間隙法で測定した。

PETシートの測定結果を表1に示す。一般にPETは、周波数1MHzの時、誘電率が3.0、誘電正接が0.01~0.04程度である。従って、表1の結果より、測定の簡易性などより、静電容量と誘電正接はLCRメーターによる測定を行うこととした。図1の測定電極を用いてPETシートの測定を行った結果を表2、表3に示す。表2よりPETシートに錫箔を貼って測定した場合は錫箔を貼らなかったときより1桁電気抵抗が低くなった。これは、錫箔による接触面積が大きくなったためである。また、表3のPETシートの誘電率と誘電正接の測定結果より、静電容量の測定は、JIS K 6911の測定に準じて錫箔を用いて測定した場合に比べ、用いないで測定した場合では値が1/2程度となり、接触面積が影響することがわかった。ただ、測定は、おもりをういたり、時間をあけ再度測定しても値に変化がないことから再現性のある測定が行えることがわかった。また、誘電正接については、JIS K 6911の測定に準じて行った場合とほぼ一致しており測定値として用いることができる。図2の粉体用電極においても測定値は同じような結果となった。しかし、粉体用電極は試験品の設定が複雑なため、当室で作成した測定電極を用いることとした。

表1 PETシートの誘電率と誘電正接

測定方法	比誘電率	誘電正接
		tan
LCRメータ	3.3	0.017
液浸間隙変化法	3.4	0.028
間隙法	3.4	0.037

測定条件：温度 20 湿度 60 % RH  
 試料の厚さ 0.5mm  
 試験電圧 100V

表2 PETシート電気抵抗値

治具の使用	電極半径	抵抗値	錫箔
	(cm)	( )	
治具を使用しない	2.5	$6.7 \times 10^{14}$	あり
治具を使用	2.5	$1.7 \times 10^{14}$	あり
治具を使用	2.5	$1.7 \times 10^{15}$	なし

測定条件：温度 20 湿度 60 % RH  
 試料の厚さ 0.5mm

表3 PETシートの誘電率と誘電正接

治具の使用	比誘電率	誘電正接	錫箔
		tan	
治具を使用しない	3.4	0.03	あり
治具を使用	3.5	0.02	あり
治具を使用しない	1.8	0.01	なし
治具を使用	1.2	0.01	なし

測定条件：温度 20 湿度 60 % RH  
 測定電極にかけた加重 5kg  
 試料の厚さ 0.5mm

残留洗剤について

PET 再加工工程では、PET の加水分解の触媒となりうる異物の混入を防ぐことが重要である。再処理工場の洗浄工程において苛性ソーダやこれを含んだアルカリ洗浄剤は触媒になる。しかし、再処理工場では、ラベル用の接着剤の除去等のためアルカリ洗浄剤が使用されている。これらアルカリ性洗浄剤は再処理工場 PET を熱水により洗浄しても、フレーク状の再生 PET に残ってしまうといわれている。また、接着剤も再生 PET フレークに残存すると加水分解の触媒となる。つまり、洗浄剤や接着剤は、触媒となりうるため、残留していると温度で暗色に変化し、再生 PET を変色させたり、曇らせたりすることになる。そこで、再生工場で使用している洗剤が残留した場合に再生フレークの電気抵抗に影響を与えるかを調べ、電気抵抗が変化すれば、残留洗剤の有無を評価できる。再処理工場の洗浄剤濃度を 1 % とし、洗浄液を PET シートに塗布したものと PET フレークを洗浄液に浸し、乾燥したものの、電気抵抗を測定した。結果を表 4、表 5 に示す。PET シート及び PET フレークの電気抵抗値

は、 $3.7 \times 10^{13} \sim 1.7 \times 10^{15}$  程度である。表 4、表 5 の電気抵抗値からも明らかのように、1 % の濃度のアルカリ洗浄剤でも残留していれば電気抵抗が低くなることがわかった。表 4 と表 5 の電気抵抗値の違いは、シートに濃度 1 % の洗剤を塗布し乾燥させたとき、塗りむらができ洗剤が塗布された部分とはじかれ塗布できなかったところできてしまったためと考えられる。

表4 PETシートに洗剤を塗布した抵抗値

濃度	抵抗値 ( )
1%	$5.5 \times 10^8$

測定条件：温度 20 湿度 60 % RH  
 シートの厚 0.5mm

表5 PETフレークを洗剤を浸け乾燥した抵抗値

濃度	抵抗値 ( )	
	1%	重りなし
	重りあり	$2.2 \times 10^7$

測定条件：温度 20 湿度 60 % RH  
 試験電圧 100V  
 測定電極にかけた加重 5kg  
 電極間隔 2mm 試料の重さ 6g

PET フレークの電気物性値について

(a) 電気抵抗の測定

電気抵抗の測定については、二端子を用いて測定した。この方法は、測定される抵抗値に、接触抵抗などの電極と試料の界面の影響が入ってきて、これを試料固有の抵抗値から分離できないため、一般には精度の高い測定はできない。しかし、PET のような高分子は抵抗値が大きく、接触抵抗などの影響は小さく無視できる。

測定において、高い抵抗値の試料では漏れ電流などが問題になるので、一方の電極の周りにガード電極を取り付けて接地した。誘導雑音を防ぐため、遮へい箱に試料を入れた。

また、温度、湿度、電極間隔、電極に加える圧力、試験電圧などの実験パラメータについても、個々のパラメータが測定結果に強く影響するため、測定条件を一定にした。実験に用いた試料は、PET のバージンフレーク、再処理工場製品として出荷しているもの、製品として出荷するにはフレークが変色または異物が混入していると思われるグレードの落ちるフレーク 3 種類を用いて行った。実験結果は表 6 に示す。実験結果によれば、バージン PET フレークは抵抗値が  $2.0 \times 10^{15}$  と表 2 の PET シートを測定した値と同じであった。再処理工場製品として出荷している PET フレークは  $3.7 \times 10^{13}$  であっ

たのに対し、製品として問題がある試料は、 $1.3 \times 10^7 \sim 6.7 \times 10^{11}$  の抵抗値であり、2桁から5桁も抵抗値が低くなった。このことにより、製品としてグレードの低いPETフレークほど電気抵抗値が低くなることになった。

表6 PETフレークの抵抗値

試料	抵抗値
	( )
バージンフレーク	$2.0 \times 10^{15}$
製品フレーク	$3.7 \times 10^{13}$
汚れフレークA	$6.7 \times 10^{11}$
汚れフレークB	$1.3 \times 10^7$
汚れフレークC	$1.1 \times 10^{12}$

測定条件： 温度 20 湿度 60 % RH  
 試験電圧 100V  
 測定電極にかけた加重 5kg  
 電極間隔 2mm 試料の重さ 6g

(b) 静電容量と誘電正接の測定

絶縁材料の電気的特性のひとつとして誘電率、誘電正接を測定した。たとえば、コンデンサーとして使用する場合はできるだけ誘電率の大きい材料を、交流の電力機器や電力ケーブルには小さい材料を選定する。また、誘電正接が大きいことは誘電損が大きいことになり、余分な電気エネルギーを消費することになる。このエネルギーから熱が発生し、絶縁物を加熱して絶縁性を悪くする。従って、PETフレークの誘電率と誘電正接を測定することは、絶縁材料としての電気的性質を知る重要なパラメーターとなる。表7に実験結果を示す。

表7 PETフレークの誘電正接

試料	静電容量(pF)	誘電正接
バージンフレーク	18.9	0.007
製品フレーク	18.8	0.008
汚れフレークA	19.9	0.011
汚れフレークB	22.4	0.093
汚れフレークC	19.3	0.023

測定条件： 温度 20 湿度 60 % RH  
 測定電極にかけた加重 5kg  
 電極間隔 2mm 試料の重さ 6g

静電容量の測定は、測定電極の信頼性を検討した結果測定値の精度は良くないことがわかっているが、値の傾向を見ることはできる。表7の静電容量の値より、グレードの悪い(品質が悪い)とされる再生フレークとの静電容量の差は見られなかった。また、誘電正接について

は、表1のPETシートの測定結果より、1桁低い値であった。これは、試料がフレークであり、測定電極と測定試料の間に空気が入ったため、誘電正接の値としては、小さくなったと考えられる。表7からバージンのフレークとグレードの高いとされる製品の誘電正接の値はほぼ同じであった。グレードの低い製品は、誘電正接の測定値が1桁~2桁大きい値となった。以上のことより、製品として問題があるフレークについては誘電正接が高い傾向にあることが明らかになった。

4. まとめ

プラスチック廃棄物の表面の汚れがどのように電気特性に影響するかを検討し、再生品PETフレークの品質管理を電気的特性を利用して簡易に評価する方法を開発することを目標としてきた。その結果次のようなことが明らかになった。

- (1)再生工場におけるグレードの低いPETフレークは製品となるPETフレークより、電気抵抗値が2桁から5桁低くなる。
- (2)逆に誘電正接の測定においては、値が1桁~2桁大きくなる。
- (3)PETフレークに洗浄剤が残留している場合は、電気抵抗値が低くなる。
- (4)当室で作成した測定電極がPETフレークの電気抵抗や誘電正接の測定に使用できることがわかった。
- (5)PETフレークの表面分析においては、変色の原因になる物質や電気特性に影響を与える界面活性剤のようなものは検出できなかった。しかし、実体顕微鏡の観測ではラベルが付着しているようなフレークが観測された。

本研究により、電気抵抗と誘電正接が汚れの評価の有効な指標になることがわかり、電気的評価法が開発できた。

参考文献

- 1) 総説 電気材料：村田禎造，理工学者
- 2) 電気・電子材料ハンドブック：朝倉書店
- 3) プラスチックリサイクリング：R.J.Ehrig 編著，工業調査会
- 4) 静電気ハンドブック：静電気学会編

(原稿受付 平成13年8月1日)