

論文

廃プラスチックを利用した電気材料の開発

山本克美* 殿谷保雄* 重松宏志*

Development of electric material using waste plastic

Katsumi YAMAMOTO, Yasuo TONOYA and Hiroshi SHIGEMATSU

Abstract We developed plastic compound, taking advantage of high insulation of waste plastic. We used PET as matrix and ABS or FRP as fill. We prepared test pieces of the compound and measured their volume resistivity, dielectric constant, dielectric loss tangent, and dielectric breakdown voltage under a constant temperature and humidity. We examined the compounding uniformity of the fill by observing vertical sections of the pieces with as electron microscope. The PET-ABS compound is easy to form. The PET-FRP compound is more difficult to form, as increasing FRP. The compound has adequate electric characteristics for insulation and is suitable for insulating barrier material, etc.

Keywords Waste plastic, Electric material, PET, ABS, FRP

1. はじめに

プラスチックは、軽く、耐久性が高く、成形性が良いなど優れた特徴により容器から家電製品に至るまでさまざまな分野で使用されている。ところが使用済みプラスチックは埋め立てでも腐らず、PVC等の焼却処理時には大気汚染の問題も生じている。従って、廃プラスチックを原料と考えマテリアルリサイクルすることが重要である。本研究では、PETボトルリサイクルで多量に発生するPETフレークをマトリクス材に、パソコンや家電製品の筐体に多く使用されているABS樹脂と軽量性、剛性、加工性等が優れている特徴から多様な分野で使用されているガラス系FRP樹脂を充填材として複合材を試作した。絶縁材料としての電気的特性を検討した結果、リサイクルが可能な材料だけでなく、リサイクルが困難な汚れのあるPETやFRP樹脂についても優れた性能を持つことが確認でき、新たな用途開発の可能性が見いだせたので以下に報告する。

2. 実験方法

2.1 複合材の試作

PETとABSの複合材では、マトリクス材としてリサイクルが困難な汚れのあるPETについても、電気特性の改善と成形性を検討した。また、PETとリサイクルが困難なFRPの複合材は、FRPに含まれるガラス繊維の誘

電率が高く、充填量により特性に影響を与えるため、電気特性や成形性が得られるかを検討した。

2.1.1 マトリクス材

マトリクス材は、PETボトルの再処理工場で粉砕し、フレーク状にされた物で、繊維にリサイクルできるフレークとリサイクルが困難な汚れのあるフレークの2種類を用いた。

表1 基本特性

材料 電気的性質	樹脂		
	PET	ABS	FRP
体積抵抗率 (Ωcm)	10^{14} 以上	10^{14} 以上	10^{12}
比誘電率	3.2程度	3.2程度	4.2
誘電正接	0.01程度	0.01程度	0.005
絶縁破壊強度 (kV/cm)	17~26	14~20	—

*PET・ABSは電子・電気ハンドブック及びプラスチック読本等より、FRPは実測値

2.1.2 充填材

充填材は、家電リサイクル工場より4mm程度に粉砕されたABS樹脂を入手した。また、FRPはガラス繊維を含み粉状に粉砕されている。

FRP粉体の形状とガラス繊維の有無については、電子

*電気応用技術グループ

顕微鏡 (SEM) で観察, 確認を行うこととした。

表 1 に PET, ABS の基本特性と FRP 粉の実測値を示す。

2.1.3 特性の測定

電气的特性は, JIS K 6911 (熱硬化性プラスチック一般の試験方法) に準じて行い, 体積抵抗率は, 直流 500V で測定した。比誘電率および誘電正接は, LCR メータを用い 1MHz の周波数で測定した。測定環境は, 20°C・60% の恒温恒湿室で行った。絶縁破壊電圧は, 電圧上昇速度が 1kV/s で JIS C 2110 (固体電気絶縁材料の絶縁耐力の試験方法) 図 2 の電極を用い油中で測定した。

充填材の均一性については, 試料破断面を電子顕微鏡 (SEM) で観察, 確認を行うこととした。

3. 結果

3.1 FRP 粉体の観察

図 1 は, FRP 粉体の形状を SEM で観察した写真で, 図 2 は SEM 写真の棒状部分を EDX 分析した結果である。分析結果より主成分として Si, Al など, ガラスに含まれる成分が検出されたことより, ガラス繊維を含んだ廢 FRP であることが確認できた。

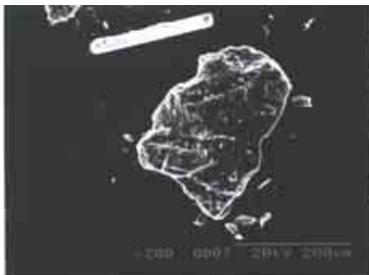


図 1 FRP 粉体

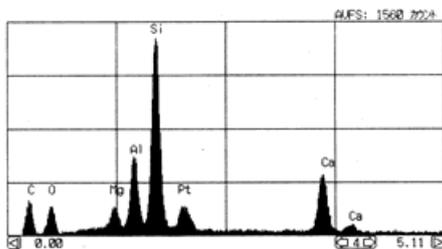


図 2 棒状部分の EDX 分析結果

3.2 複合材の試作

3.2.1 PET と ABS のペレット作成と射出成形

PET のマトリクス材に充填材として ABS を混合させた複合材を試作した。PET は 130°C, ABS は 80°C で予備乾燥しておき, 体積分率で 10%, 20%, 30% 配合を袋で

秤取り, 均一になるようにドライブレンドし, 2 軸混練押出機を用いて混練, スtrand を冷却カッティングしてペレットを作成した。

PET と ABS の射出成形では, ペレットを 130°C で乾燥し, 次の条件で射出成形し, 試作した複合材を図 3 に示す。

- 条件
- 温度 : 255°C
- 射出圧力 : 593kg/cm²
- 金型温度 : 30°C
- 射出時間 : 5s ・ 冷却 20s

充填材の ABS チップは, 表面にウレタン材や紙と思われる異物が付着している物があつた。しかし, ペレット作成する混練り過程では特に問題なく, 均一で表面性も良い物が得られた。また, 射出は, 流れやすいので, 温度を低くして成形した。ただ, 混練りや成形時に ABS 粉砕物に付着していたと思われるゴミが見られた。

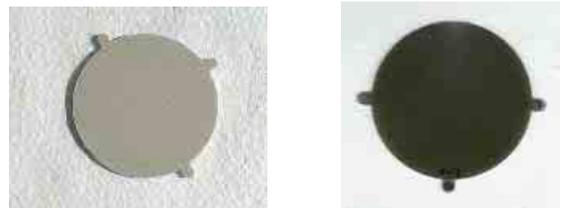


図 3 試作した PET と ABS 図 4 試作した PET と FRP

3.2.2 PET と FRP のペレット作成と射出成形

PET のマトリクス材に, 充填材として FRP を用いた複合材を試作した。ペレット及び射出成形の試作方法や条件は ABS の場合と同様である。充填材の割合が 5% の複合材についても試作した。図 4 に試作した複合材を示す。

ペレットを作成する混練り過程では, 特に FRP30% の場合は, 分解臭があり, 発泡が起こつた。さらに, FRP 粉に混ざっていたと思われるゴミで押し出し機先端のブレーカープレートが詰まつた。FRP 粉は, 10%, 20% と充填量を増やしていくと色が黒くなり, ガラス繊維がスクリューを削っているような状態になった。

また, ペレット化するためstrand をカットするペレタイザーがガラス繊維で擦れて傷が付いた。その点からも, 添加方法はマトリクス樹脂が熔融してから添加するサイドフィード方法で行うほうが良い。

射出成型時にも FRP の充填量が 30% のときは, 発泡が起こり, ホルマリン臭があり危険であることがわかつた。

3.3 複合材の電气的特性

3.3.1 複合材の体積抵抗率

絶縁材としては体積抵抗率が大きい方が望ましい。

① PET と ABS の複合材

表2にPETボトル再処理工場のフレークの抵抗値を測定した値を示す。繊維にリサイクルできるフレークの抵抗値は $10^{13} \Omega$ 、リサイクルが困難な汚れがあるフレークで $10^7 \Omega$ 程度であり、未使用のPETフレーク抵抗値の $10^{14} \Omega$ 以上より低い値であった。しかし、試作した複合材の抵抗値を測定すると充填材が 10%・20%・30%の各試料とも $10^{14} \Omega$ 以上であり、体積抵抗率では $10^{16} \Omega$ 以上となった。リサイクル品のPETフレークは、リサイクル工程において洗剤で洗浄したり、リンス材を使用するためフレーク表面に界面活性剤等が付着しており抵抗値がPET樹脂の本来の抵抗値より低くなると考えられる。しかし、複合材に成型すると体積抵抗率が高くなるのは成形過程で温度を 255°C にするため、界面活性剤等の付着物が蒸発してしまうためであると考えられる。

表2 マトリクス材料及び複合材料の抵抗値

材 料	試験電圧(V)	抵抗値 (Ω)
PET フレーク (未使用)	500	10^{14} 以上
PET フレーク	500	5.56×10^{13}
PET フレーク (汚)	500	3.13×10^7
全ての試作複合材料	500	10^{14} 以上

② PET と FRP の複合材

マトリクス材のPETは、ABSの複合材料を試作したときと同様の $10^{13} \Omega$ の繊維にリサイクルできるフレークを用いた。充填材のFRPは、試験電圧が500Vで測定したとき抵抗値が $10^{12} \Omega$ であった。このことから充填量を多くしていくと若干抵抗値が低くなると予想したが、実際はマトリクス材の影響が大きく抵抗値はPET樹脂の値となった。このことより、体積抵抗率については、FRPの充填量が30%程度ではマトリクス材の特性と同等になることがわかった。

3.3.2 複合材の比誘電率および誘電正接

① PET と ABS の複合材

試作複合材に使用したPETフレークを成型した板材の比誘電率は図5に示すとおり3.7程度、誘電正接は0.025程度であった。ABSも同様に板材にした比誘電率は3.3程度で誘電正接は0.013程度の値となった。

試作した複合材の比誘電率は充填材料を10%~30%まで増やしても3.5程度であり、誘電正接も0.02程度と変化が少ない。このことは、PETとABSの比誘電

率や誘電正接の特性が表1に示すとおり似た特性であるためである。また、複合材成形時に紙やウレタン等のゴミやボイドが混入せず試作ができたと考えられる。PETの抵抗値の低い汚れのあるフレークで試作した複合材も同じように比誘電率が3.5程度、誘電正接は0.02程度の値を示した。リサイクルが困難な汚れのあるフレークを用いた材料でも電気絶縁材料としてPETやABS材と同様に使用できる可能性があることがわかった。

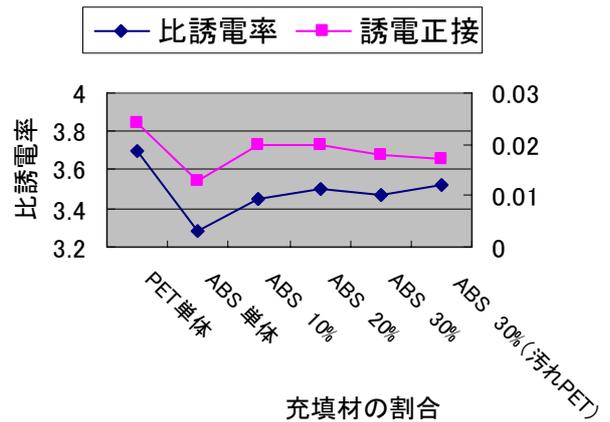


図5 PET と ABS の比誘電率と誘電正接

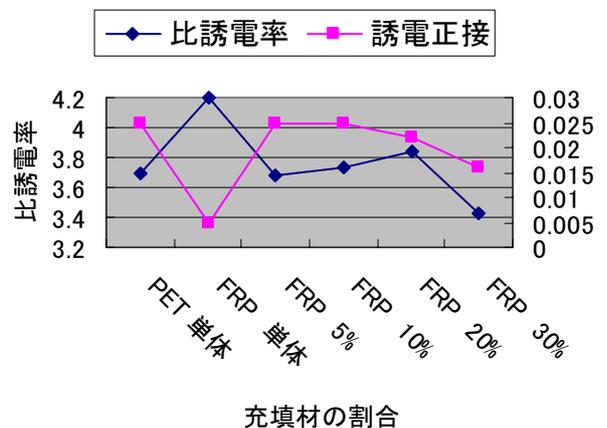


図6 PET と FRP の比誘電率と誘電正接

② PET と FRP 複合材

FRP粉体をプレスで固めた物をLCRメータを用い1MHzで比誘電率および誘電正接を測定したとき、4.2と0.005になった。この粉体を充填材として用い充填量を増やしていくと、図6に示すとおり30%で誘電正接の値に変化が現れ、マトリクス材の誘電正接より小さい値となった。FRPを30%程度充填できれば誘電正接を小さくできると思われるが射出成形で述べたよう

に FRP の充填量が 30%になるとホルマリン臭等の問題で成形が困難になる。

3.3.3 複合材の絶縁破壊の強さ

絶縁物といっても完全な絶縁物はなく、電圧を加えれば必ず微少ではあるが電流が流れる。絶縁物に加わる電圧をしだいに高くすると微少であった電流が流れ、ある電圧に達すると急に大きな電流が流れる状態になる。この現象が絶縁破壊であり、絶縁物としては絶縁破壊電圧が高いことが望ましい。表 3、表 4 に試作した複合材の絶縁破壊電圧を示す。絶縁破壊の強さは、充填材の含有率が増加するほど破壊電圧が高くなる傾向にある。ただ、リサイクルが困難な汚れのある PET フレークを使用した複合材は、繊維に再利用できる PET フレークより低くなったが、絶縁材の性能としては問題がない値である。

充填材として用いた ABS の粉砕物は紙やウレタンの等のゴミが見られたこと、FRP はペレット作成時及び射出成形時に発泡が起きることから、充填材の含有率を高くするとゴミの混入やボイドが発生し、部分放電を起こして破壊電圧が低くなることが予測されたが、測定結果からはゴミやボイドの影響は見られない。

表 3 PET と ABS の絶縁破壊の強さ

試作試料	破壊電圧 (kV)
ABS	41.5
PET (90%)・ABS (10%)	36
PET (80%)・ABS (20%)	38
PET (70%)・ABS (30%)	40.5
汚れ PET (70%)・ABS (30%)	39.5

表 4 PET と FRP の絶縁破壊の強さ

試作試料	破壊電圧 (kV)
PET	31
PET (95%)・FRP (5%)	30
PET (90%)・FRP (10%)	32
PET (80%)・FRP (20%)	34
PET (70%)・FRP (30%)	36.5

3.4 均一性について

マトリクス材と充填材の間に空気層 (ボイド) が生まれると、複合材の電気特性、特に性能を低下させる。

図 8 は PET に 30%の ABS を充填したときの複合材の破断面を SEM で観察した写真である。写真から PET と ABS は均一に混練りされており、ボイドは見られなかった。図 9 は充填材に FRP を 30%加えた複合材の破断面である。FRP 粉体のガラス繊維やプラスチック片の粒子径

の異なる物が練り込まれている様子が確認できる。このことより、試作した複合材は、成形時にゴミや発泡が見られたが、SEM 写真からも電気特性に悪影響を与えるゴミやボイドは見られず、均一に成形できていることが確認できた。

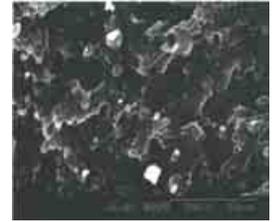
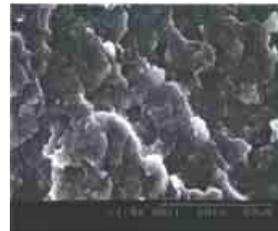


図 8 試作した PET と ABS 図 9 試作した PET と FRP

4. まとめ

廃プラスチックにより複合材を試作し、電気的特性を測定し、破断面を観察した結果、次のことが明らかになった。

- (1) 複合材の試作で、PET と ABS の組み合わせについてはペレットや成形加工工程において問題は発生しなかった。加工性が良いこともわかった。
- (2) 充填材に FRP を用い含有量を多くすると、ホルマリン臭や発泡が起こり、成形が困難になった。今回の結果からは 20%の充填量が限界である。
- (3) 複合材の電気的特性は、充填材が ABS または FRP でも絶縁材としての性能を十分に備えている。
- (4) マトリクス材の PET フレークは、色物やラベル等が混入し、リサイクルが困難な汚れたフレークでも複合材に使用できる可能性があることが明らかになった。
- (5) 複合材の SEM 観察より、充填材が実用上障害のない程度に均一に混入されており、ボイドの発生は見られない。

電気的特性や成型性等から電気材料の用途について検討すると、隔離材・モール材・ヒータ用絶縁材等に利用できると考える。本研究にあたり、複合材の試作に協力いただいた(株)高分子技研に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 電気・電子材料ハンドブック,朝倉書店
- 2) プラスチック読本,プラスチック・エージ
(原稿受付 平成 15 年 7 月 31 日)