

リサイクルPET材を利用したMFP外装用再生樹脂材料の開発

Reprocessed Resin Material for MFP Exteriors Utilizing Recycled PET Bottles

齊田 靖 治* 間 簀 雅* 土 居 厚**
Yasuharu SAITA Masashi MAMINO Atsushi DOI
鵜 飼 晃 生*** 江 尻 綾 美****
Akio UKAI Ayami EJIRI

要旨

近年、石油由来資源の使用量削減やCO₂排出量削減など、さまざまな環境負荷低減の取り組みが行われている。その中の一つとしてリサイクル活動が行われているが、リサイクルにより回収されたプラスチック製品を再生材として利用した場合、一般的にバージン材に比べて性能が低下するとともに製品品質が安定しにくいという課題がある。そのため、高い回収率を誇るPETボトルの場合も、要求性能が低いシートや繊維などへのリサイクルがほとんどで、元のボトルそのものやその他の要求性能が高い製品へのリサイクルはあまり進んでいない。

本検討では、強度・難燃性・成形性などの高い性能が要求されるMFP外装用樹脂材料の原料としてリサイクルPETボトルを採用し、他材料との複合化による材料改質、品質を安定化させるシステム構築、作製した樹脂材料の使いこなしの検討を行った。そして、要求性能を満足しつつバージン材使用時と同等の品質安定性が得られる再生樹脂材料を開発し、業界で初めてMFP外装へ採用を果たした。

執筆者



齊田靖治



間簀 雅



土居 厚



鵜飼晃生



江尻綾美

Abstract

In recent years, various efforts to reduce environmental burdens have been made such as reducing the use of petroleum-derived resources and reducing carbon dioxide emissions. Though recycling has also been one of these efforts, there is a problem utilizing recovered plastic products as reprocessed material for manufacture. The properties of reprocessed materials are in general degraded compared with those of virgin materials, and the quality of products made of the reprocessed material is unstable. Therefore, even given the exceptionally high recovery rate of PET bottles in Japan, most recycled PET bottles are reused only for plastic sheets or fibers which require only low performance. The recycling of PET bottles for products requiring high performance has been less advanced.

We challenged the use of recycled PET bottles as a raw material producing the resin for the exteriors of multi-functional peripherals (MFPs) for which great strength, flame resistance, and formability are essential. Guided by this, we explored a system wherein such material properties are modified by compounding PET with other material and additives so as to stabilize quality and make full use of the newly produced resin material. As a result, and for the first time in this industry, we successfully developed reprocessed resin which satisfies required properties and possesses stability equivalent to virgin material, allowing us to adopt reprocessed resin in manufacturing exteriors of MFPs.

* コニカミノルタビジネステクノロジーズ㈱

開発本部 先端技術開発センター 機能材料開発部

** コニカミノルタビジネステクノロジーズ㈱

生産本部 デバイス技術センター 部品技術部

*** コニカミノルタビジネステクノロジーズ㈱

開発本部 開発イノベーションセンター CE推進部

**** コニカミノルタビジネステクノロジーズ㈱

開発本部 開発イノベーションセンター プロセス改革推進部

1 はじめに

地球温暖化や資源の枯渇など、さまざまな地球環境問題が深刻化しつつある。その流れを抑制するため、温室効果ガスの排出削減を規定した京都議定書の採択、PETボトルなどの容器包装廃棄物の再資源化を規定した容器包装リサイクル法の制定、再生材の使用など環境負荷低減への貢献を評価する環境ラベルの制定など、さまざまな取り組みがなされている。コニカミノルタも「中期環境計画2015」を策定し、循環型社会への対応による石油由来資源の使用量削減、CO₂排出量削減による地球温暖化防止などに取り組んでいる。特に、製品に使用する樹脂系材料の資源量削減に重点を置き製品開発を進めており、再生材の使用を推進している。

その中でも、MFPは樹脂製部品が多用されており、さらに外装部品は重量比で大きな割合を占めている。この外装部品に再生材を使用することで石油由来資源の使用量削減やCO₂排出量削減など、環境負荷低減へ大きく貢献できる。しかし、外装部品はその大きさと機能ゆえに樹脂材料に求められる性能も高く、一般的にバージン材より性能が劣る再生材の適用は困難とされてきた。

本稿では、リサイクル材として一般市場から回収されたポリエチレンテレフタレート（以下PETと略す）材を再生材の原料としたMFP外装部品に適応可能な再生樹脂材料の開発について報告する。

2 環境負荷の低減手段

石油由来資源の使用量やCO₂排出量を削減する手段は、リデュース・リユース・リサイクルの3つに大きく分類することができる。リデュースは製品の小型化や部品の薄肉化などで実現することができる。リユースは市場から回収した使用済み製品を分解・清掃などを行い製品に再利用することで、弊社でもbizhub 750RMなどで実施されている。リサイクルは回収したプラスチック製品を新たな製品の原料や熱源として再利用することである。

リサイクルには、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルがあり、その中でもマテリアルリサイクルはリサイクル時のエネルギー効率が良い循環型のリサイクルである。しかし、リサイクル時に熱履歴を受けるため、一般的に樹脂が劣化しプラスチックの特性が低下することや、品質が安定しにくいという課題がある。そのため、回収率が高い使用済みPETボトルも要求性能が低いシートや繊維などへのリサイクルがほとんどで、新品同等、もしくは、それより高い性能が要求される用途へのリサイクルが進んでいないのが現状である。

コニカミノルタでは効率的な環境負荷低減を可能とする循環型リサイクルを目指し、MFPの樹脂製部品の中で大きな重量比を占める外装部品に対して、前述のマテリアルリサイクルの課題を解決しうる技術の構築を試みた。

3 MFP外装用再生樹脂材料の技術検討

MFPの外装部品はその使用用途から、高い耐衝撃性や難燃性などが求められるため、樹脂材料にも同様の性能が求められる（Table 1）。また、外装部品は射出成形により作成されるが、大型の部品が多いことから、良好な射出成形性も求められる。そのため、従来はそれらを両立するためにPC/ABSなどのエンジニアリングプラスチックが用いられてきた。今回は、石油由来資源の使用量やCO₂排出量を削減するため、従来材と同等以上の性能を有するリサイクル材を使用した外装用樹脂材料を開発し、マテリアルリサイクルを行うことを検討した。

Table 1 Characteristics required of MFP exterior resin material.

Characteristic	Regulations/standards	Required performance
Flame resistance	UL94	5VB
Strength	Company standard	Equal to or better than conventional materials
Restriction of dangerous substances	RoHS	Non-use of the 6 materials listed in RoHS or of brominated flame retardants
Effect on environment	EPEAT	Reduction of brominated and chlorinated flame retardants Use of at least 5% PCR(post consumer recycling) materials

3.1 リサイクル材の選択

採用するリサイクル材を選択する際のポイントの一つとして、リサイクル材を安定して入手できるかという点が挙げられる。汎用性のプラスチックにおいてはPET、ポリオレフィン、ポリスチレン、エンジニアリングプラスチックではポリカーボネート（以下PCと略す）などがリサイクル体制が確立されつつある。その中でも、国内外で流通量が多く（Fig. 1）回収ルートが確立されており、安価で入手可能なPETボトルが有力候補となる（2011年度の国内での回収量は約50万トン）。

また、PETボトルは回収量に対して再生材として利用する需要が十分でないため、さらなる再資源化ニーズの創出が求められている。そこでPETボトルを外装用樹脂材料の原料として再資源化することは、再資源化ニーズ創出の要求に応えることができる。これらの観点から、外装用樹脂材料に採用するリサイクル材としてPETボトルを選択し検討を始めることとした。

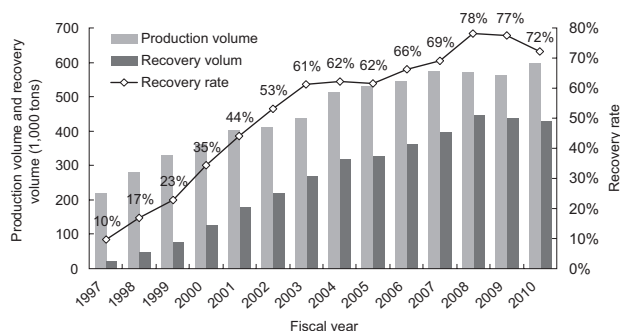


Fig. 1 Recovered PET bottles and their recovery rate in Japan.

3.2 リサイクル材を利用した樹脂材料の課題

回収した樹脂の再資源化には多くの課題が存在するが、その中で外装用樹脂材料の原料として回収したPETボトルを採用する際は技術的難易度の高い課題が存在する。

PET材と従来材の強度や成形性の差、リサイクル時および成形加工時の熱履歴による物性低下、リサイクル材の物性や色のばらつきによる製品性能への影響などである。これらの課題が存在することが、より高い性能が要求される用途へのPETボトルのリサイクルが進んでいない原因にもなっている。

3.3 MFP外装用樹脂材料として必要な特性の付与

リサイクル材としてPET材を用い、外装用樹脂材料として必要とされる成型性・強度・難燃性を満足できる樹脂材料を作成するため、材料技術検討を行った。

PET材は結晶性のポリエステル樹脂で、熔融状態の粘度が低く、冷却されると急激に粘度が上昇するという特徴がある。そのため、射出成型の材料として使用すると、粘度が低すぎるため熔融シリンダー内でのスクリュウ搬送が行いにくいことと、金型内に樹脂を射出した際に樹脂が冷却されるため急激に粘度が上がり金型の端部まで樹脂が充填できないという課題が出てくる。また、PET材は外装用材料として必要とされる強度と難燃性をそもそも持ち合わせておらず、リサイクル時の熱履歴で更に低下する。そのため、外装部品用の樹脂材料としてPET材を用いるためには、射出成型に適した熔融粘度に調整することと強度・難燃性の付与が必要である。

これらの課題への解決手段として、他種の樹脂と複合化させるポリマーアロイ化を考えた。ポリマーアロイ化は、材料の弱点補強や混ぜ合わせる各樹脂の特徴を併せ持った樹脂を得ることができる技術である。PET材とポリマーアロイ化する対象樹脂としてはいくつか候補があるが、その中でもPETと対照的な粘度特性を持ち、強度・難燃性に優れたPC材を選択した (Table 2)。

Table 2 Characteristics of various resins.

	PET	PC	ABS	PS	POM
Flame resistance	Low	High	Low	Low	Low
Strength	Low	High	Medium	Medium	Medium
Formability	Medium	Medium	High	High	High
Structure	Crystalline	Amorphous	Amorphous	Amorphous	Crystalline

ポリマーアロイ化においては、PETとPCの分散状態と界面状態を制御することが重要になる。特に界面状態は衝撃強度などの特性に大きな影響を与える。PC/PET材に対して衝撃などの外力が加わった際にPETとPCの界面の接着が弱いとそこから破断してしまい、逆に強度が下がることもある (Fig. 2)。ここでは、PC/PET双方の樹脂によくなじみ界面の接着を強化する相容化剤を添加することでPETとPCの界面を強化し、従来材以上の衝撃強度を得ることを成功にしている (Fig. 3, 4)。その

ほか、アロイ化のプロセス条件やPC/PETの比率、添加剤等を検討することで、従来材であるPC/ABS材に近い溶融粘度特性 (Fig. 5)・成形特性や、安全規格を満足する難燃性を兼ね備えた再生PC/PET樹脂材料を得ることができた。また、PC材としてリサイクル材を用いた場合にも諸要求を満足させることができたため、リサイクルPC材の採用に踏み切り、樹脂材料の再生材比率を向上することができた。リサイクルPC材としては、性能と品質の安定性を考慮し、ウォーターサーバー用のガロンボトルを選択した。

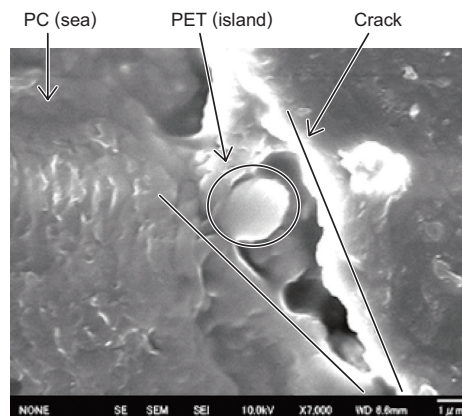


Fig. 2 Electron micrograph of a crack caused by lack of adhesive strength between PC and PET.

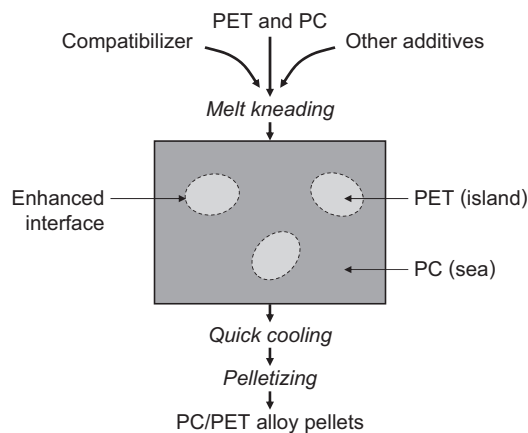


Fig. 3 Producing an alloyed polymer of PET and PC.

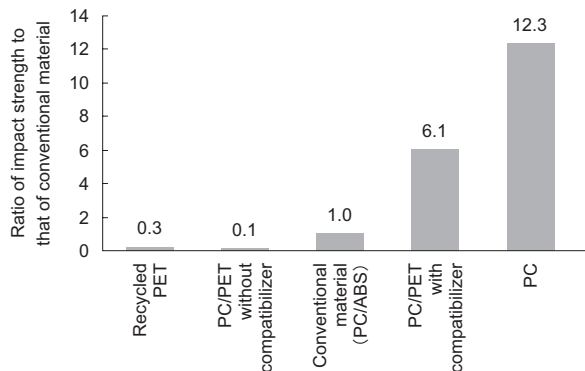


Fig. 4 Effect of compatibilizer on strength of PC/PET alloy (notched Izod impact strength).

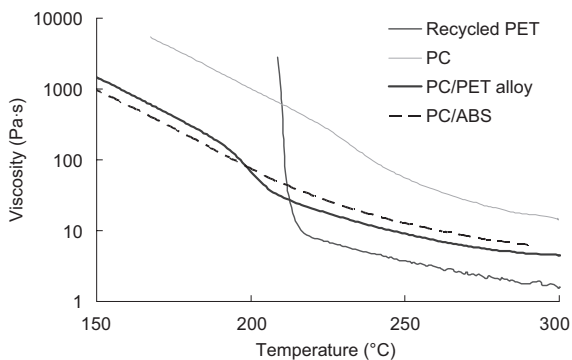


Fig. 5 Change in melt viscosity of alloyed PC/PET polymer. The viscosity curve of the PC/PET alloy closely tracks that of conventional PC/ABS material.

3.4 リサイクル材使用時の製品品質安定化

製品に使用する樹脂材料の品質は製品品質に大きく影響するため、リサイクル材および再生樹脂材料の品質安定化を検討した。

PETボトルに使用されているPET材にはさまざまな種類があり、耐熱グレードや耐圧グレードなど樹脂特性が異なるものや、着色されたものなどがある。さらにはPETボトル以外の異物が混入していることがある。そのため、市場から回収される様々なPETボトルをそのまま再資源化すると、製品性能や色などの製品品質ばらつきの原因となる。

Fig. 6 に再生PC/PET樹脂材料製造・使用工程と品質管理についてまとめた。まず、リサイクルPET材の品質安定化について述べる。原料となるPETボトルは飲料用ボトルに限定し、回収後にラベルの分離や色による分類、ボトルの粉碎、洗浄と異物の除去を行う。その後、固相重合と呼ばれる処理を行っている。この処理が物性低下の抑制と粘度特性の調整のために大きく貢献している特徴的な処理である。最後に、所望の粘度特性になっていることやRoHS禁止物質などが含まれていないことを出荷検査で確認する。これらの工程により、色や粘度特性などの品質安定化を行っている。リサイクルPC材についてもこれに相当する品質安定化を行っている。

また、再生樹脂材料としては、ポリマーアロイ化を行う工程で受入・出荷検査やリサイクル材に状態に応じた

調整を行い、射出成型による外装部品の製造を行う工程でも受入・出荷検査を繰り返すことで、従来材を使用した場合と遜色ない製品品質安定性を得ることを可能とした。

3.5 成形工程における再生PC/PET材の使いこなし

PC材とのポリマーアロイ化により従来材に近い粘度特性となった再生PC/PET樹脂材料であるが、PET材の特徴が残っているため射出成型時に従来材の特性と比較して若干の差が見られた。その一つが射出成形時の流動性の差である。この差は、樹脂材料が溶融状態から冷却された際の粘度上昇傾向が残っているため、条件によっては従来材と比べて10%ほど流動性が低くなり、従来材使用時と同じ条件で成形を行うと部品の末端まで樹脂が充填されなくなる (Fig. 7)。これを補償するため、樹脂が流れやすいように部品形状やゲート数・形状の変更や、成形条件の最適化を行った。

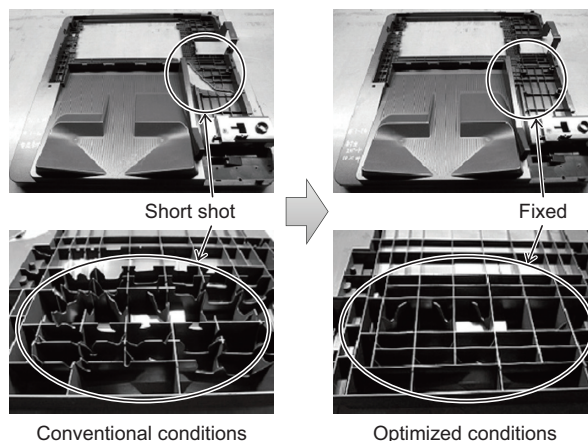


Fig. 7 Improving short shot by optimizing molding conditions.

もう一つの差が成形部品の外観特性である。再生PC/PET樹脂材料は従来材使用時と同じ条件で成形を行うと「ひけ」や「やけ」と呼ばれる成形部品の外観不良が発生することがあり、成形条件の調整では解消しきれない場合があった。「ひけ」は金型内に射出された樹脂が冷却される際に収縮して部品表面が凹む現象である。「やけ」は樹脂の分解などで生じたガスにより部品表面に黒く焼け

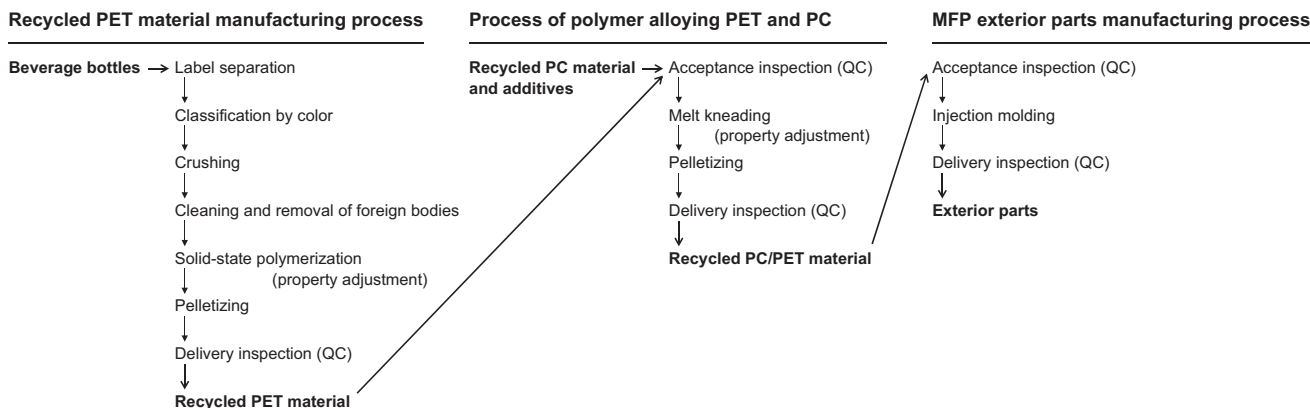


Fig. 6 Quality control in the production and use of recycled PC/PET material. (QC: quality check)

たような跡ができる現象である。これらの成形不良はPET材の結晶性と熱分解のしやすさに起因する。この対策としては、「ひけ」が生じやすいリブ周辺は肉厚を増して収縮の影響を抑制した (Fig. 8)。「やけ」が生じやすい部分は部品形状・ゲート形状の変更によるせん断発熱の抑制や、ガスベントの追加を行うことで対応した。

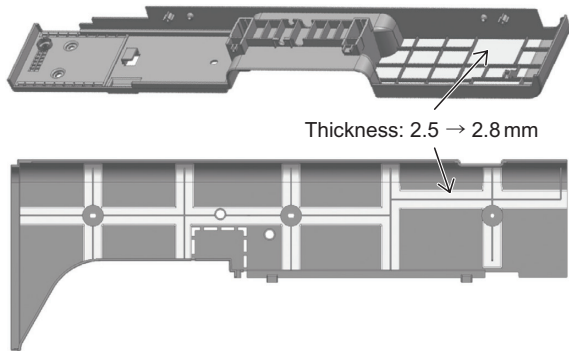


Fig. 8 MFP exterior parts with optimized shape for PC/PET material. A failure in external appearance caused by the reprocessed PC/PET alloy was corrected by increasing the thickness of the periphery of the ribs.

4 リサイクル材採用の効果

今回開発したリサイクルPET材とリサイクルPC材を使用した外装用再生PC/PET樹脂材料の再生材比率は43%となり、樹脂材料として約39%のCO₂削減を実現した。また、bizhub C754/C654では業界で初めて再生PC/PET樹脂材料を採用するとともに、リサイクルPC材を使用した再生PC/ABS樹脂材料とバイオプラスチック材料も使用することで、樹脂重量にして約6kgにおよぶ外装部品に環境対応樹脂を適用した (Fig. 9)。

Bioplastic is used in the register keys on the control panel.



Fig. 9 Locations where environmentally responsible plastics are used. In bizhub C754/C654, both the reprocessed PC/PET resin and the reprocessed PC/ABS resin are used, both containing recycled PC. Bioplastic materials are also used.

5 まとめ

材料技術検討やリサイクル材や再生樹脂材料の品質安定化に加え、成形条件や部品形状などの最適化を行うことで、再生PC/PET樹脂材料を使用して従来材使用時と同等の外装部品を得ることができた。

今後は、再生材比率の向上とMFP内外への適用範囲拡大が可能な再生樹脂材料の開発を継続していくとともに、再生樹脂材料を使いこなす成形加工技術の開発も行っていく。

●参考文献

- 1) PETボトルリサイクル推進協議会 PETボトルリサイクル 年次報告書 (2011)
- 2) 社団法人プラスチック処理促進協会 プラスチックリサイクルの基礎知識 (2012)