

廃棄ミルクボトルのトナーボトルへの活用技術

Overcoming Physical Degradation and Quality Instability during Toner Bottle Production from Recycled HDPE Milk Bottles

篠原 洋平* 日月 應裕* 瓜生 直人**
Yohei SHINOHARA Masahiro TACHIMORI Naoto URYU

要旨

近年、持続可能な社会の実現に向けて地球温暖化防止や石油由来資源の消費量削減など、様々な取組みが世界中で行われている。我々の生活に利便性を与え欠かさないプラスチックでも、環境負荷低減に向けて再資源化の取組みが行われている。しかしながら、廃棄されたプラスチック製品をリサイクルし、再生材として活用する場合、一般に市販のバージン材に比べ物性劣化や品質の不安定化を伴う場合が多い。そのため、要求性能が高い製品へのリサイクルはコスト的な制約もあり、あまり進んでいない状況にある。我々は欧米を中心に一般家庭から大量に排出されるプラスチック製のミルクボトルに着目し、情報機器の消耗部品であるトナーボトルに再生利用することを目指し、技術開発を行った。

本検討では、不純物混入による材料物性および品質の低下、ミルクボトル成形時の熱履歴による物性低下、原料ばらつきに起因する成形の不安定化等の課題を解決する洗浄技術や成形技術の検討を行った。その結果、要求性能を満足し十分に生産安定性を確保した再生材活用技術を確立することができ、廃棄ミルクボトルを原材料としたトナーボトルの製品展開を実現した。

Abstract

Because a sustainable future for society depends on it, efforts are being taken today to deal with such challenges as global warming and the over-consumption of petroleum resources. Plastics such as HDPE (high-density polyethylene) are found in a myriad of household products, products whose recycling reduces the need for virgin plastic materials. However, unlike commercially-available virgin materials, when discarded plastic products are recycled, the plastic obtained is often physically degraded and of unstable quality. Because of this, and together with cost restrictions, when a product requires stringent properties, recycled plastic materials are not often used.

Huge numbers of used HDPE milk bottles are discarded daily across Europe and the US. To render this resource valuable, we challenged the obstacles of physical degradation and unstable quality, and we created technologies for the recycling of HDPE milk bottles into the toner bottles found in Konica Minolta's production printers and MFPs (multi-function peripherals). The physical degradation of the HDPE from used milk bottles, and the resultant quality degradation of the toner bottles into which that HDPE is transformed, are due to contaminants accumulated during milk bottle use/ collection and to the heat history during milk bottle formation, while unstable bottle formation is caused by excessive variation in the raw materials.

We solved these problems with new HDPE milk-bottle cleaning technologies, and we stabilized quality of the HDPE having great variability in quality with new toner bottle formation technologies. These advances have successfully been implemented in Konica Minolta's current manufacture of toner bottles from recycled HDPE milk bottles.

* 生産本部 生産技術開発センター 加工技術部
** 生産本部 生産企画部

1 はじめに

持続型社会の実現が我が国のみならず国際社会の中で大きな命題として取り上げられるようになり久しい。温室効果ガスによる地球温暖化、あるいは石油由来資源の枯渇など様々な環境課題に対し地球規模でその対応が進められており、CO₂の排出抑制を規定した京都議定書の採択、排出される品目に応じたリサイクル法の制定、様々な環境ラベルの設定など多くの取り組みがなされている。コニカミノルタでも長期環境ビジョン「エコビジョン2050」を掲げ、製品ライフサイクルにおけるCO₂排出量を2050年までに2005年度比で80%削減することを目標として、限りある地球資源の有効活用の最大化と資源循環を図ると共に、生物多様性の修復と保全に向けた取り組みが開始された。2015年の改訂版「新中期環境計画2016」では、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いた取り組みが明文化され、自社製品への再生材適用拡大に向けた取り組みが進められている¹⁾。

コニカミノルタではオープンリサイクルの取り組みとして、一般市場から回収されたポリエチレンテレフタレート (PET) 材を複合機外装部品へ適用している²⁾。この取組みの根幹にあるのは、世界中の国や地域で社会問題化しつつある環境課題をコニカミノルタ独自のオープンリサイクルの切り口で解決することであり、他の品目に対しても拡大を進めている。

本稿では、我々の製品群のうち情報機器の消耗品、とりわけ生産量の多いトナーボトルについて、その原料となる高密度ポリエチレン (以下HDPEと略す) の再生樹脂の開発とその活用について報告する。

2 コニカミノルタのマテリアルリサイクル

CO₂排出量や石油由来資源の使用量を削減する手段は、一般にリデュース・リユース・リサイクルの大きく3つに分類される。リデュースは製品の小型化や軽量化による製品自体の重量を抑制することで実現でき、コニカミノルタでも新機種をリリースする毎に目標値を設定し低重量化に努めてきた。リユースは市場から回収した使用済製品を分解および洗浄し再利用することを指し、コニカミノルタでも事例がある。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好な循環型の手法である一方、一般的に物性に劣化が生じ、その結果品質が安定しにくいという課題が存在する。コニカミノルタの製品群に用いられる樹脂部品は、総じて高い性能が求められる精密部品であり、この品質面での課題の解決なくして自社製品への適用を実現することはできない。また同時にコスト優位性のあるリサイクル技術の構築が必要となる。トナーボトルにおいては、比較的安価に再生材の原料が入手できることから、再生材特有の品質課題を材料・成形

技術により解決できれば、品質とコスト競争力を両立できると考えた。次章以降で、トナーボトルへリサイクル材料を適用した事例について紹介する。

3 リサイクル材料採用の技術検討

3.1 HDPEのマテリアルリサイクル

トナーボトルは情報機器の消耗品として非常に生産数量が多いことから、リサイクル材料を適用することが出来れば大きな効果を得ることが可能となる。トナーボトルの原材料は機能性やコスト面から従来HDPEが用いられており、他方では欧米を中心に牛乳の飲用ボトルの原材料としてHDPEは広く活用されている。そこで我々は廃棄されたミルクボトルを情報機器のトナーボトルとして再生利用することを着想し、マテリアルリサイクルを行うべく検討を実施した。

3.2 リサイクル材利用での課題

廃棄されたミルクボトルをリサイクル材料として活用する上では多数の課題が存在する。それは廃棄物起因の不純物混入による材料物性および品質の低下、ミルクボトル成形時の熱履歴による物性低下、原料ばらつきに起因する成形の不安定化等である。これらの課題が要求性能の高い樹脂部品へのマテリアルリサイクルが進んでいない要因にもなっている。

以下の章では、これらの課題を解決するための技術検討について報告する。

3.3 不純物除去のための洗浄技術

原料であるミルクボトルは一般家庭から廃棄され、その他の廃棄物と併せ集積所に運ばれる。その後、ミルクボトルが選別・粉砕され再生材メーカーへ納入される (Fig. 1)。

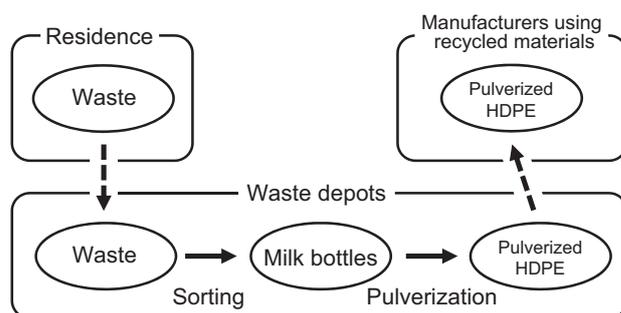


Fig. 1 Collection of raw materials for recycling.
(HDPE: high density polyethylene)

よって、納入されるミルクボトル粉砕品には牛乳残渣やボトルキャップ、ラベルに加えて、その他の廃棄物由来の多くの不純物が混入している。これらの不純物は粉体容器であるトナーボトルに必要な剛性や強度の低下要因となる。また、不純物は色味の悪化の原因ともなり、ボトル内のトナー色の判別を困難にするため、ボトル交換

時の作業ミスにつながる恐れがある。よって、まずは剛性や強度低下と色味の悪化を抑制できる不純物除去技術の開発を目指した。

再生材原料に含まれる不純物のうち、最も除去が難しいのは原料表面に付着した不純物である。一般的なマテリアルリサイクルで用いられる色選別や比重選別では、材料表面の異物を選択的に除去することが難しい。色選別や比重選別にて不純物量を低下させるには、異物が付着した樹脂も併せて取り除かねばならず、収率の悪化によるコストアップを招いてしまう。そのため、市販の安価なリサイクル材は異物が十分に取り除かれておらずバージン材に比べて黒味や黄味がかかった色となる (Fig. 2)。

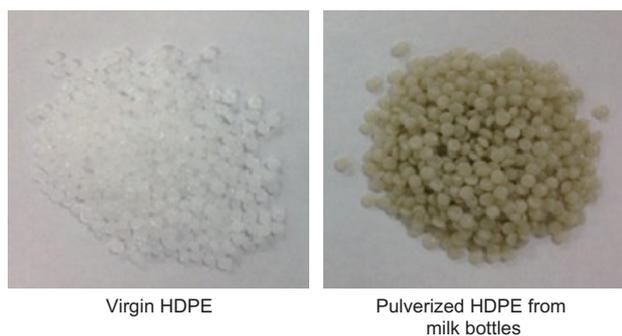


Fig. 2 Color difference of between virgin materials and conventional recycled materials.

そこで、材料表面の不純物を選択的に除去する洗浄技術を開発した。

洗浄技術の一つ目のポイントは洗浄剤の選定である。洗浄システムにおいて中心的な役割を果たす洗浄剤は、用途に応じて多様な種類が存在する (Table 1)。

Table 1 Types of contaminant and their effective cleaning agents³⁾.

Contaminants			Cleaning agents				
Class	Subclass	Examples	Water	Alkali	Surfactant	Oxidant/ reductant	Organic solvent
Water soluble	Easily soluble	Salt Carbohydrates	OK	OK	OK	OK	
	Poorly soluble	Dye Denatured proteins		OK		OK	
Oily	Highly polar	Fatty acids		OK	OK	OK	
	Moderately polar	Animal and plant oils and fats		OK	OK	OK	OK
	Non-polar	Mineral oil			OK		OK
Solid	Hydrophilic	Mud Rust		OK	OK	OK	
	Hydrophobic	Soot			OK		

よって、リサイクル材料の種類と汚れの種類に応じて適切な洗浄剤を選択することが重要である。そこで簡易的な洗浄実験を行い、材料表面の不純物を選択的に分解

できる、または材料表面と付着物間の吸着力を低下させる洗浄剤を選定した。

洗浄技術の二つ目のポイントは洗浄条件である。洗浄剤の種類が決まっても、洗浄剤の濃度や洗浄時間等により洗浄力は大きく変化する。また、これら洗浄力に寄与する洗浄条件のパラメータは多数存在する。そこで、各パラメータを基に直交実験を行い、洗浄力上昇に寄与するパラメータとその水準を見出し、不純物の高効率除去を達成した (Fig. 3)。

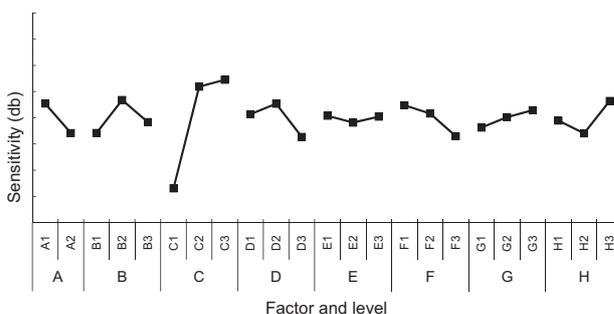


Fig. 3 Experimental results of cleaning condition parameters. Based on the factorial effects shown here, parameters contributing to detergency were selected for the high-efficiency removal of impurities.

洗浄技術の三つ目のポイントは品質とコストを両立できる生産条件である。洗浄効果の高い洗浄剤・洗浄条件を見出しても、長時間洗浄を行うと洗浄力は低下する。また、洗浄力を維持するために大きなコストが必要な場合がある。例えば、洗浄力が高い工程では除去される汚れの量が多くなり、長時間洗浄を続けると洗浄液中の不純物量が多くなる。結果として、洗浄力の低下や不純物の再付着等が発生してしまう。そこで、洗浄工程を洗浄機能毎に分離した多段階洗浄とし、またその機能に応じて洗浄条件を調整することで、不純物の高効率除去と低コストでの長時間生産の両立という課題を解決した。

これらの技術を組み合わせることで、トナーボトルに必要な剛性や強度を満たし、従来再生材に比べ色味が大幅に改善された再生材の量産を可能とした。

3.4 ブロー成形工程での再生材の使いこなし

トナーボトルの生産はブロー成形が用いられており、部品品質を確保するためにはパリソン（成形機から押し出されるチューブ状の熔融樹脂）の形成が安定して行われることが重要である (Fig. 4)。そのパリソンの安定形成には、樹脂の流動性が大きく影響を及ぼす。流動性が高い材料では、自重によりパリソンが伸長する「ドロウダウン」と呼ばれる現象が起こり、パリソンの長さや肉厚にばらつきが生じてしまうためである。

今回開発した再生HDPEは、バージン材に比べ流動性が高く、そのばらつき幅も大きい (Fig. 5)。そのため、バージン材使用時と同じ条件で成形を行うと、安定した品質の維持が難しい。

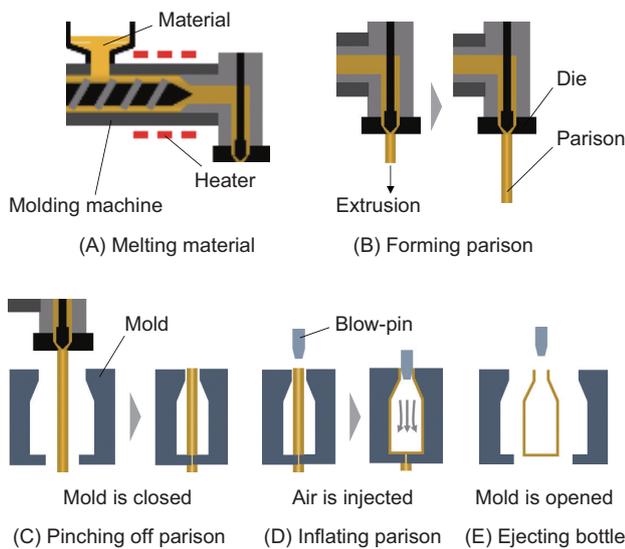


Fig. 4 Extrusion blow molding.

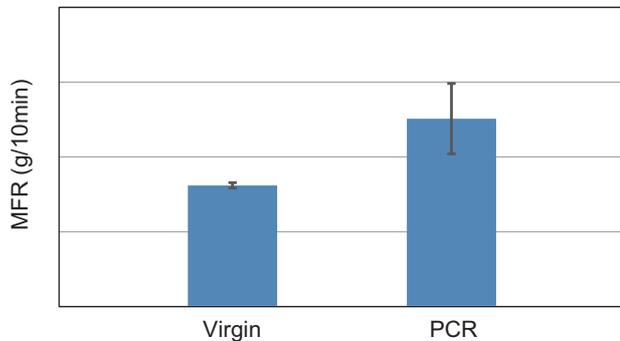


Fig. 5 Results of MFR (melt mass-flow rate) measurement. PCR stands for "post-consumer recycled." Bars in the figure indicate error size. PCR materials show more variety than virgin material in MFR.

成形時の樹脂流動性は、樹脂温度にも大きく依存する (Fig. 6)。よって、再生材成形時には樹脂温度を下げることで、パリソン形成時のドロワーダウンを抑制した。

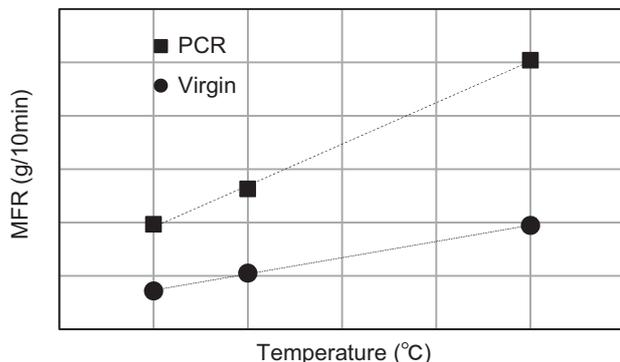


Fig. 6 MFR dependency on temperature. Lowering the temperature of the PCR material obtains an MFR matching that of virgin material.

一方で温度を下げることにより、ボトル径方向については延伸性が悪化してしまう。この課題に対してはパリソン肉厚の調整と吹き込みエア圧を多段制御することによって解決した。

また、流動性のばらつきが大きいことに対しては、重要寸法箇所では、パリソン肉厚の上下に余剰部分を設けることで、寸法安定性を高めた (Fig. 7)。

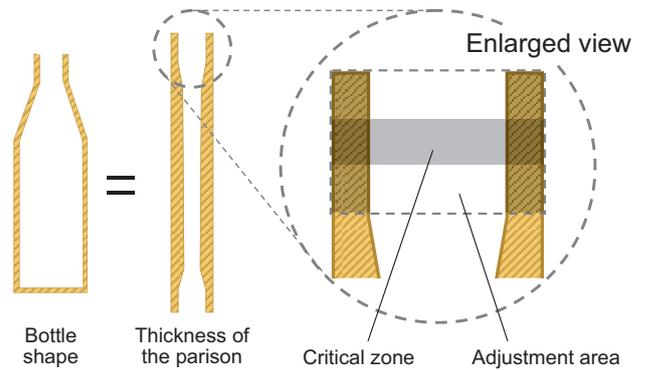


Fig. 7 Compensating for MFR variability with accessible surplus parison material.

4 リサイクル技術確立の効果

廃棄ミルクボトルをトナーボトル用の材料として適用するためのリサイクル技術を確立したことにより、トナーボトルの原材料の一部をリサイクル材料に置き換え、相応量のCO₂削減を実現した。またバージン材よりも安価になり、製品のコスト低減にも寄与することができた。

5 まとめ

廃棄ミルクボトルに新たな価値を見出し、廃棄物特有の不純物を洗浄技術によって取り除き、成形条件の最適化を行うことで、機能とコスト競争力を両立した新規環境配慮型トナーボトルの量産化を実現できた。

今後は、再生材比率の向上と、全ての機種の特ナーボトルへの適用を実現するため、材料リサイクル技術を継続的にブラッシュアップし、リサイクル材料を使いこなす成形加工技術の開発を行っていく。

●参考文献

- 1) プラスチックエージ Vol.61 (2015)
- 2) 齊田靖治・間裳 雅・土居 厚・鶴飼晃生・江尻綾美：(BT)：リサイクルPET材を利用したMFP外用再生樹脂材料の開発、KONICA MINOLTA Tech. Rep., VOL.10, 61-65 (2013)
- 3) 洗浄・洗剤百科事典 (新装版) 朝倉書店