

# 新規開発の再生プラスチックの特徴とその事例

## <社会実装へ向けての着実なあゆみ>

コニカミノルタ(株) 中村 公亮・上田 麻理

### 1. はじめに

近年、異常気象による農作物への被害や海面上昇による沿岸部の浸水など、地球温暖化の影響が顕在化している。地球温暖化の原因の一つは大気中のCO<sub>2</sub>濃度上昇であり、CO<sub>2</sub>の排出量を実質的にゼロにする脱炭素社会の実現が求められるようになってきている。これに対し、ヨーロッパではCO<sub>2</sub>排出量削減につながる循環型社会の実現に向けた行動計画「サーキュラー・エコノミー・アクション・プラン」の採択や各種法整備などを進められ、日本でもプラスチック資源循環促進法が施行されるなど、各地域で取り組みが加速している。

この取り組みの一つとして、リサイクルプラスチックの活用がある。プラスチックのリサイクル方法は、大きく分けて、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の3種類がある。当社では、比較的成本が安く、リサイクル工程におけるCO<sub>2</sub>排出量が少ないマテリアルリサイクルの取り組みを推進している。

マテリアルリサイクルでは、使用済みのプラスチックを熱溶融して再加工するため、使用時の環境履歴に加え、熱溶融時の熱履歴による劣化を受けやすい。そのため、物性要求の低い用途に再利用するカスケードリサイクル(ダウングレードリサイクル)や、バージン材同等に再生し、同等の用途に再利用する水平リサイクルが一般的であるが、再生時に新たな価値を付与することによって、より高機能な用途に再利用するアップグレードリサイクルという概念も存在する。

本稿では、事務機器外装部品に使用する再生プラスチックを例にアップグレードリサイクル技術と、再生プラスチックの自社製品への適用例と他社製品への展開を紹介する。

### 2. 本技術の概要、特徴

事務機器外装部品に使用する再生プラスチックの原材料として選定したのは、使用済みPETボトル由来のPET (polyethylene terephthalate) とガロンボトル由来のPC (polycarbonate) である。これらの原材料を選定した理由は、回収量が安定していることや使用時の変質や汚れの付着が少ないこと、異材料との分離が容易であることである。これらの樹脂単体でのリサイクルでは成し得ない機能を獲得するために、PC/PET (PCとPETのブレンド材) のアップグレードリサイクルに取り組んできた。

事務機器外装部品に用いる材料には、難燃性、流動性、耐衝撃性が求められる。難燃性に関しては、情報技術機器の国際規格 (IEC 60950) が定められており、複合機などの大型情報技術機器の外装部品には、Underwriters Laboratoriesの定めるUL94規格の5 VBが必要となる。また大型の部品であることから射出成形時の流動性は特に重要である。

PCは約150℃にガラス転移温度を持つ非晶性樹脂であり、優れた耐衝撃性を有するが、事務機器外装部品に要求される5 VBまでの性能は有していない。また分子構造中に剛直な芳香環が高い比率で存在するため分子運動が制限され、射出成形における流動性はよくない。一方、PETは約260℃に融点を持つ結晶性樹脂であり、融点より高い温度で溶融し、急激に粘度が低下するため、射出成形において良好な流動性を示す。難燃化に関しては、環境負荷を抑えるためにハロゲンフリーである必要がある。

したがって、本稿で紹介するアップグレードリサイクルは、PCの持つ耐衝撃性を維持しながらPETの持つ流動性を付与し、さらに高い再生材比率を実現しながらハロゲンフリーで難燃性を高めることを目指したものである。

### 3. アップグレード技術の詳細

#### 3-1 難燃性改良技術

PCは燃焼時に炭化層を形成するため燃えにくい性質があるが、PETとブレンドすると難燃性が低下するため改善が必要である。そこで炭化層形成を促進するリン系難燃剤によって難燃性の底上げを図った。PCやPETに分散しやすい化学構造を有するリン系難燃剤を選定することで、少量で効率的に難燃化を実現した。また、分子量の小さい物質を使うことで溶融時のマトリックスポリマーの運動性も向上させることができた。リン系難燃剤によって難燃性と流動性を改善できたが、副作用として耐衝撃性が低下するという課題が発生した。

#### 3-2 耐衝撃性改良技術

PCは耐衝撃性、難燃性に優れる樹脂材料であるが、溶融粘度が高く、長尺部品や大面積の部品では金型内での流動性が不足する。そこでPCにPETをブレンドし、成形加工時の溶融状態においてPC分子間の強い相互作用を部分的に低下させて粘度を低下させることを検討した。PETをブレンドすることでPC単体に比べて流動性は改善したが、耐衝撃性は著しく低下した。PCとPETの相構造を観察した結果、PCマトリックス中にPETが大きな島状に分散しており、PCとPETが十分に相溶していないことや、PC/PET界面が脆弱であることが推定された。PC中のPETの分散状態を制御するため、相容化剤としてSAN-GMA (styrene-acrylonitrile-glycidyl methacrylate copolymer) を用いた。これによりPC/PET中のPETを微細に分散させることができ、耐衝撃性が向上した。

#### 3-3 結晶性制御による流動性と耐衝撃性改良技術

射出成形時における金型内での流動性確保及び耐衝撃性を向上させるために、PETの結晶性に着目した。PETは結晶性プラスチックであり、結晶部と非晶部が混在している。結晶部は固く、PC/PETの界面に存在すると界面強度が損なわれ、耐衝撃性の低下を招く。また、射出成形時に金型中で樹脂の温度が低下すると結晶化が進行し、流動性が低下する。そこで、PETの結晶性を抑制することで耐衝撃性と流動性を同時に改善できると考えた。

プラスチックの結晶はポリマー分子鎖の集合体が分子スケールで規則的に配列し、周期構造を持つ部分である。そのため、ポリマー分子鎖が規則的に配列することを阻害できれば結晶化が抑制される。

PETはテレフタル酸とエチレングリコールが縮合重合した化学構造であり、このモノマーユニットを変性して配列をランダム化することができれば結晶化の抑制につながる。

PETの変性手段として、PETのエチレン部が一定の割合でシクロヘキサジメチレンに置き換わったPETG (glycol-modified polyethylene terephthalate) を選定した。PET/PETGを溶融混練すれば、化学構造に共通部分が多く親和性が高いため溶融混練中に相溶し、ランダムな化学構造の配列となり結晶化が抑制される。このPET/PETGの混練品とPC、および他の材料を溶融混練して最終的な複合材料を得た(第1図)。

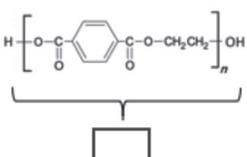
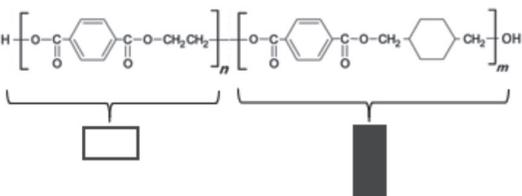
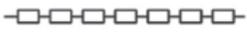
PETを単独で使用した場合と比較して、PET/PETGを使用した場合に、耐衝撃性が大幅に向上し、流動性も向上した。またこの最終的なPC/PET複合材料は、UL94規格5 VBの難燃性を有することも確認した。

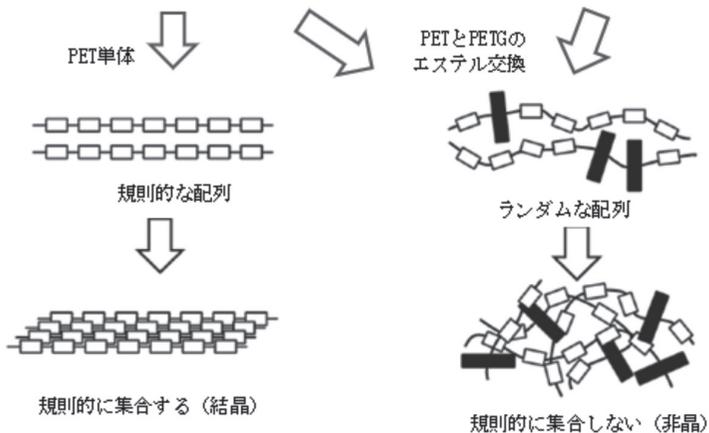
このようなアップグレードリサイクルの結果として、リサイクルPC/PETの品質を事務機器外装部品の要求水準以上に改良することができ、再生材比率も約70 wt%と高水準を達成することができた。

### 4. 自社製品への適用例と効果

当社では、事務機器の外装部品に再生PC/PETを使用し、表面積比で約88%まで高めた。また、パチンコ台などの遊技機から回収したABS (acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer) をリサイクルし、複合機内装部品に採用している。この再生ABSの再生材比率は約100%である。さらに難燃性を向上させたグレードも採用している。いずれの材料もバージン材と比較して遜色ない物性を確保できている。ミルクボトルの廃材を原料とした再生HDPE材をトナーボトルにも採用している。牛乳の臭いや品質悪化につながる微細細胞を取り除く洗浄技術を開発し、再生材比率を40%以上まで高めることができていた。以上のような再生プラスチックを自社製品に適用することで、年間約5,000トンの廃棄プラスチックをマテリアルリサイクルし、バージン材使用時と比較して製造時のCO<sub>2</sub>排出量を年間約7,000トン削減している。

われわれは、高い再生材比率のラインナップを増やすため再生PC/PET以外にも再生PCアロイ樹脂などの開発に取り組んでいる(第2図)。

| ポリマー種  | PET   | PETG  |
|--------|---|---|
| 結晶性    | 結晶性   | 非晶性   |
| ユニット構造 | $\text{H} \left[ \text{O}-\text{C} \left( \text{O} \right) \text{C}_6\text{H}_4 \text{C} \left( \text{O} \right) \text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2 \right]_n \text{OH}$  | $\text{H} \left[ \text{O}-\text{C} \left( \text{O} \right) \text{C}_6\text{H}_4 \text{C} \left( \text{O} \right) \text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2 \right]_n \left[ \text{O}-\text{C} \left( \text{O} \right) \text{C}_6\text{H}_4 \text{C} \left( \text{O} \right) \text{O}-\text{CH}_2 \left( \text{C}_6\text{H}_{10} \right) \text{CH}_2 \right]_m \text{OH}$  |
| ユニット配列 |    |   |



第1図 新規複合材料の概要



第2図 自社製品への適用事例

### 5. 採用事例①

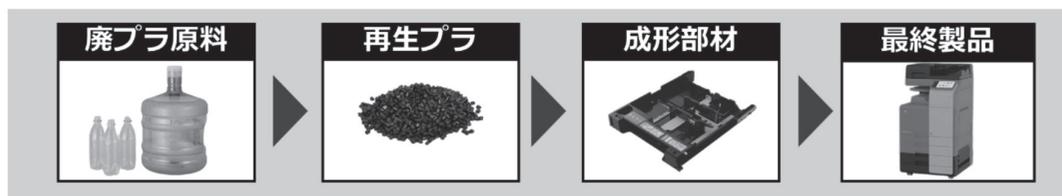
当社のアップグレードリサイクル技術を用いて、NECプラットフォームズ(株)の家庭用Wi-Fiルータ「Aterm WX5400T6」向けに新たに再生ポリカーボ

ネートを開発し、外装プラスチックの約40%(質量比)に採用された事例を紹介する。

脱炭素、循環型社会が注目される中、NECプラットフォームズは通信機器製品向けに再生プラスチッ



写真1 NECプラットフォームズ株式会社採用例



第3図 原料調達から最終製品まで一貫して携わることで再生プラ共通課題を克服

クの採用検討を以前より行っていたが、バージン材に対して、再生プラスチックはコスト面と品質面での課題があり、製品採用には至っていなかった。

NECプラットフォームズ社内で材料評価を進める中で、再生プラスチックのコスト高に加え、異物による外観不良が問題となっていた。

当社から材料を紹介する機会とNECプラットフォームズの新製品開発のタイミングが重なり両社共同で材料開発の検討を開始するに至った。

当社と一般的な材料メーカーとの違いとしては柔軟なカスタマイズ対応があげられる。

材料メーカーが提供する材料は、カタログに掲載されているものから選択するのが一般的であり、物性面で顧客ごとに個別にカスタマイズするのは難しく、時間もかかる。

一方で当社はNECプラットフォームズの製品の物性に合う材料の評価を繰り返しながら迅速にカスタマイズ対応することで、短期間で製品採用に至った。

当社は2011年から再生プラスチックの開発および製品適用を行っており、廃材の回収から材料設計、部品成形に至るまで、サプライチェーンに跨ってトータルサポートできることが強みである(第3図)。

本製品への再生プラスチックの検討において物性面での課題は衝撃強度であり、衝撃強度向上のため、添加剤の処方検討だけではなく廃材プラ種の選択から見直し、バージン材を添加することなく高PCR比

率(90%以上)かつ高衝撃性の材料開発を実現した。

再生材特有の物性ばらつきについては、当社の廃材選別ノウハウおよびコンパウンド技術により、ばらつき低減を図っている。

材料変更で分子量が高いことなどにより流動性低下が懸念されたが、衝撃強度との両立を図りながら適切な処方設計を行うことで、バージン材で使用していた金型から変更することなく成形を可能とした。採用部品においては、バージン材比較で90%以上のCO<sub>2</sub>削減を実現している(当社にて自社算定)。

今後は他製品への横展開を目指し、衝撃強度のより高い材料開発などの検討を共同で実施していく方針である。また再生材特有のデザインを採用により、再生材の付加価値として市場へアピールする取り組みも進めていく。

## 6. 採用事例②

(株)サトーの主力製品であるラベルプリンター、スキャントロニクス®「CL4NX Plus」および「CL6NX Plus」の筐体部品の約40%(質量比)に、当社が開発した使用済みエンターテイメント機由来の再生ABSが採用された事例を紹介する(写真2)。

この材料は、当社の主力製品である複合機の内装部品(給紙トレイなど)にも水平リサイクルされており、自社製品でも7年以上の使用実績がある。

同社は原材料調達における環境負荷低減の施策の

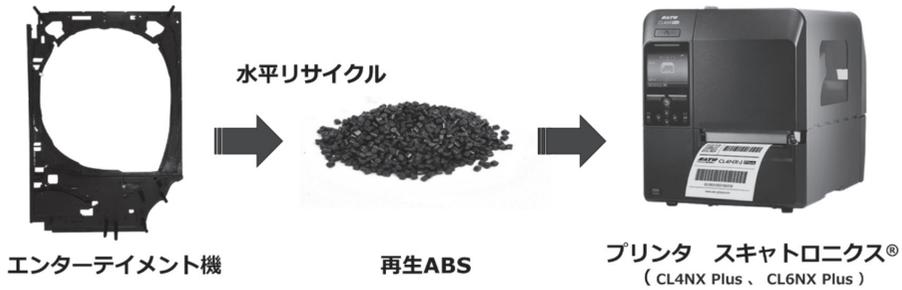


写真2 (株)サトーの採用例

一つとして、再生プラスチックの製品採用を検討しており、採用要件として生産工場での調達が可能、品質が高い、コストに見合った材料を探していた。

(株)サトーの懸念点として、再生プラスチックの安定供給性と物性ばらつきが挙げられていた。安定供給に関しては、同じ材料を当社の複合機に、継続して使用し続けているという実績を評価いただいている。

物性ばらつきに関しては上述の通り当社の廃材選別ノウハウおよびコンパウンド技術により、ばらつきを低減しており、(株)サトーにおける試作評価や実機評価において製品にもとめられる耐久試験、強度試験をクリアしたことで製品採用に至った。成形性に関しては、従来のバージン材での金型から変更なく、スムーズに量産適用へ移行できている。再生プラスチックの製品搭載の効果として、従来部品と比較して約65%CO<sub>2</sub>排出量の削減に寄与している（自社算定）。

## 7. おわりに：今後の展望

欧州を発端に世界各国でプラスチックの利用規制が進み、日本においても資源有効利用促進法の改正が議論されており、今後は再生プラスチックのニーズがさらに高まると予想される。

当社は自社製品への再生プラスチック採用実績で培った、材料開発技術や生産技術（成形技術）、各種ノウハウを蓄積している。再生プラスチックを製品採用検討したい企業に対して、製品企画から材料開発、量産適用に至るまでのトータルサポートが可能であり、再生プラスチックのトータルソリューションサービス「Matelier<sup>®</sup>」として展開を開始している。

当社の再生プラスチック技術や商材紹介の特設サイトを開設し、すでに多数の問い合わせをいただいている。顧客の要望に緻密に対応し、着実に採用実

績を拡大することで、再生プラスチックのリーディングカンパニーを目指していきたい。

• Matelierはコニカミノルタ(株)の登録商標です。

### <参考文献>

- (1) 2024年版 (Vol.21) テクノロジーレポート「トナーボトルへの再生材適用拡大による環境貢献」
- (2) 2016年版 (Vol.13) テクノロジーレポート「廃棄ミルクボトルのトナーボトルへの活用技術」
- (3) 2013年版 (Vol.10) テクノロジーレポート「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」

### 【筆者紹介】

中村 公亮

コニカミノルタ(株) 化成品事業部  
アシスタントマネージャー

上田 麻理

コニカミノルタ(株) 化成品事業部  
アシスタントマネージャー