

# 次世代家電リサイクル技術

山田 朗\*  
 椋田宗明\*

## Advanced Recycling Technologies for Plastics used in Home Appliances

Akira Yamada, Muneaki Mukuda

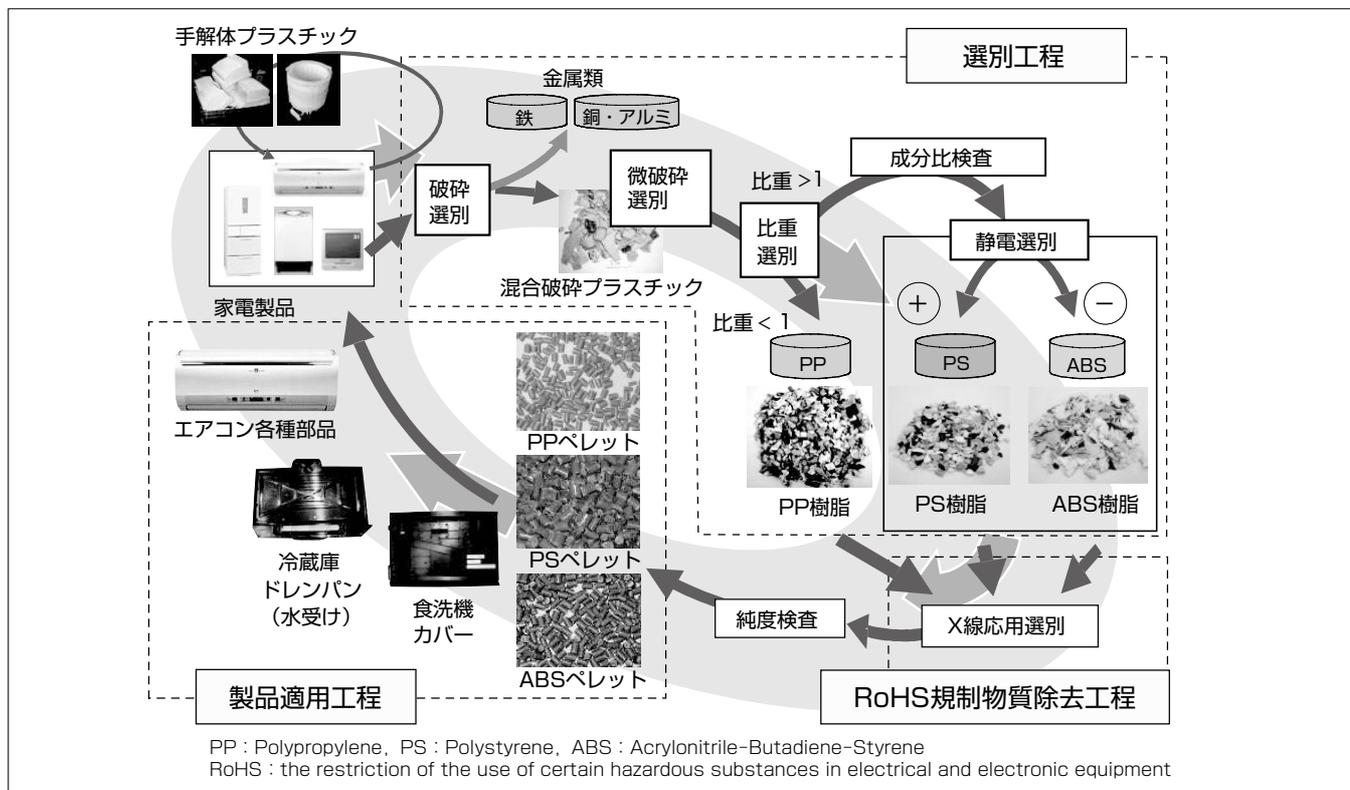
### 要 旨

家電リサイクル工程で発生する混合破碎プラスチックを三菱電機製品へ再利用する自己循環プラスチックリサイクルの拡大には、選別工程の効率化と品質の向上が必要である。そのため、①プラスチックの高精度な自動樹脂識別技術、②高濃度臭素含有樹脂の大量選別除去による環境適合(RoHS適合)化技術、③製品適用時の意匠性を担保するプラスチックの色彩選別及び異物隠蔽技術、の開発を行った。

樹脂識別技術では赤外分光法を応用することで、プラスチックの色にかかわらず、80%以上の樹脂識別精度を得て、混合破碎プラスチックの成分管理及び選別後の樹脂の純度管理が可能な基本技術として目処(めど)を得た。環境適合化技術では、X線を応用した臭素含有樹脂の個別識別と除去用エアの高精度制御によって、PP、PS、ABS樹脂に対

し、大量処理でのRoHS適合化を実証した。製品適用技術では、表面シボ金型の適用や成形条件の選定による再生プラスチック表面での異物隠蔽性の改善と調色範囲を広げる白系と黒系樹脂の色彩選別条件を導出し、製品適用範囲を拡大する要素技術を開発した。これらの開発技術を適用した自己循環プラスチックリサイクルでは、温室効果ガスの排出量は、埋立てやケミカルリサイクルに比べ、約76~83%の削減が見込める。

開発技術の本格適用には、樹脂識別精度の向上、連続大量処理時の臭素含有樹脂除去性能の確認、製品適用では複雑な製品形状に対する応用技術開発が必要であり、引き続き技術開発を進め、自己循環プラスチックリサイクルの拡大を推進する。



### 自己循環プラスチックリサイクル

家電リサイクルでは、機械破碎選別後に多様な樹脂種が含まれる混合破碎プラスチックが発生する。この混合破碎プラスチックは、当社独自の比重選別、静電選別等によって、単一種の樹脂(PP、PS、ABS)に選別分離される。これに樹脂識別技術を応用することで、リアルタイムな樹脂選別条件最適化や樹脂純度の自動評価が可能となり、効率と品質の向上が期待できる。また、X線を応用した環境規制物質の選別除去技術によって、RoHS適合化される。さらに、異物隠蔽、色彩選別技術の適用による意匠性の確保によって、水平リサイクル(自己循環リサイクル)が可能となる。

## 1. ま え が き

当社では、循環型社会の構築を目指し、“特定家庭用機器再商品化法”（家電リサイクル法）の施行に先立ち、1999年に業界初の家電リサイクル工場である㈱ハイパーサイクルシステムズ(HCS)を立ち上げた。さらに、HCSの機械破碎選別工程で発生する多種類の樹脂が混在した混合破碎プラスチックを高度選別する再生素材化工場である㈱グリーンサイクルシステムズ(GCS)を、2010年度に稼働開始させた。GCSでは、比重選別、静電選別技術等を用いたプラスチック選別ラインが構築されている。混合破碎プラスチックは、単一種の樹脂に選別・再生され、当社の一部の製品に再生プラスチックとして適用されている。

## 2. 自己循環リサイクルの拡大に向けて

混合破碎プラスチックから選別回収した樹脂を更に大量に製品に適用するためには、選別工程の効率化による大量の樹脂の選別回収と品質の向上、再利用時の適用範囲の拡大が必要である。

したがって、製品市場への大量循環を実現するためには、

- (1) プラスチック破砕片の樹脂種を高精度に識別する技術  
静電選別前の成分比管理による選別効率の向上と選別樹脂の純度管理
- (2) 環境規制物質の大量選別除去技術  
臭素含有樹脂片の除去によるRoHS適合化
- (3) 再生プラスチックの製品適用技術

新材に匹敵する色合いの自由度の獲得や不可避免的に残存する異物の隠蔽

の開発が必要である。樹脂の高純度化とRoHS適合化による高い品質とともに再利用時の意匠性等を確保することが重要である。

## 3. プラスチックリサイクルの高度化技術開発

### 3.1 樹脂識別技術

混合破碎プラスチックには、PP、PS、及びABS樹脂を中心に多様な種類のプラスチックが含まれており、これらの混合樹脂から高精度かつ自動で樹脂種を識別する技術の検討を行った。近赤外光を用いた樹脂識別技術は、既に白色樹脂に対し有効性が示されているが、有色樹脂に対しては適用が難しい。家電からの混合破碎プラスチックには、比較的多くの有色樹脂が含まれるため、有色樹脂に対しても識別できることが求められる。そのため、有色樹脂に対しても識別が可能であり、装置構成が比較的簡便である中赤外光による反射スペクトルを用いた樹脂識別法の検討を行った。

光学的反射を用いた手法では、試料からの信号(反射光)を十分に捕捉する必要がある。混合破碎プラスチックでは、

個々の樹脂片の厚みが様々であり、反射位置が変動するため、安定して有効な信号を得ることが難しい。この不安定因子に対して、図1に示すように入射光の挟み角を小さくすることで、プラスチック片の厚さ尤度(ゆうど)5mmを実現した。これによって試料の厚さばらつきに対する光学系の調整を行うことなしに、移動するプラスチック片に対しても十分な信号強度を得ることが可能となった。また、識別の際には、試料台からの反射光がスペクトル上に異常散乱ピークをもたらすため、反射を抑制した試料台を採用することで明瞭なスペクトル取得を可能にした。図2に反射抑制試料台を用いた場合の赤外スペクトル例を示す。これらの知見を用いて、原理検証用の装置(図3)を試作した。赤外反射分光分析法に基づいた発光・検出部、データ処理部、光照射部、そして簡易な搬送機構を備えている。この試作装置を用いて、リサイクルプラントで選別回収されたPP、PS、ABS樹脂のプラスチック片に対して識別性能の検証実験を行い、約1秒/個の速度で、80~85%の識別精度を得た。

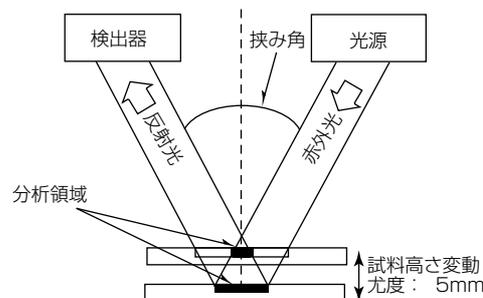


図1. 挟み角と試料高さ変動に伴う照射領域と検出領域の関係

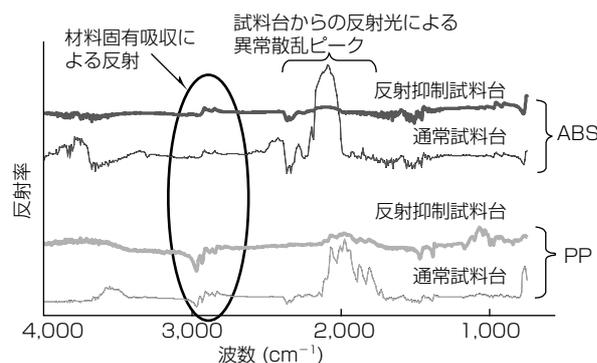


図2. 赤外スペクトル例



図3. 赤外分光応用樹脂識別装置原理検証機

3.2 臭素(Br)含有樹脂の大量選別除去技術の開発

再生プラスチックを家電製品に適用するためにはRoHS指令に適合することが不可欠である。これまでの調査から、当社の回収プラスチックでは、RoHS指令対象物質のうちBr系難燃剤の残留のみが問題であり、家電3大プラスチックと呼ばれるPP, PS, ABS樹脂では、Br濃度1wt%以上を含有するプラスチック片を除去することで、RoHS規制値に相当するBr濃度300ppm以下が達成可能である。Br含有樹脂の識別のため、BrのX線吸収効果を利用してX線透過量の差から搬送される破碎プラスチック片全量に対し、Br含有量を評価し、除去すべき破碎プラスチック片を識別して、エアガンで選択的に除去する技術を開発した。破碎プラスチック片の大量処理時に破碎片の搬送密度が高まると、エアガンでBr樹脂片を除去する際に、除去不要な周囲の樹脂片と一緒に除去する“とも連れ”が顕在化する。この現象は、除去エアがBr樹脂片のみに限定して噴射されず、その周囲(主に移動するBr樹脂片後ろ側)に広がるために発生すると考えられる。除去エアの実際の持続時間はエアガン配管内のエア量に依存するため、配管内体積を小さくすることで、気流制御精度を高めることができる。そこで、樹脂除去用エアガンの内部エア量をゼロに近づけた電磁弁・エアノズル一体構造のエアガンを備えた大量選別除去装置(図4)を開発した。図5は、開発機で模擬試験



図4. 臭素含有樹脂の大量選別除去装置

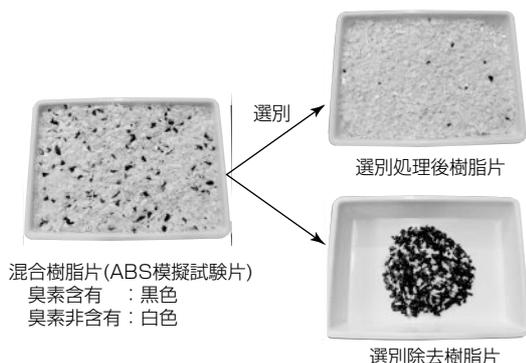


図5. 選別後の破碎プラスチック片(模擬試験片)

片を用いて除去状態を確認した結果であり、Br樹脂片(黒色)を分離できていることが分かる。

GCSで、比重及び静電選別後の樹脂片に対し、臭素含有樹脂の識別除去処理を行い、PP, PS, ABS樹脂片に対し、RoHS適合化が可能であることを確認した。

3.3 再生プラスチックの適用技術

混合破碎プラスチック由来の再生プラスチックでは、前使用時の色が残ったり、異物が微量残存したりするなど、意匠性確保が難しい。高い素材純度や品質に併せ、製品適用可能な意匠性を確保しうる製品適用技術が必要である。

3.3.1 異物の隠蔽成形技術

再生プラスチックの微量異物が成形品表面に現れた場合には、意匠性の低下を招く。異物の影響を緩和するため、表面に微細な凹凸を形成したシボ金型を用い、凹凸形状の成形体表面への転写による異物隠蔽成形を検討した。図6に検討結果を示す。成形品の表面が平滑な場合よりもシボ形成した場合に異物隠蔽性は高く、シボ付きの成形品では、一定温度保持型の金型温度制御の場合、樹脂温度の高温化、金型温度の高温化、射出速度の高速化の順で異物隠蔽性が高くなった。ただし、金型温度の高温化は、成形体の変形発生等も懸念され、注意が必要である。また、金型温度を成形工程内で加熱冷却する短時間加熱/冷却型金型温度制御の場合には、樹脂温度の高温化、射出速度の高速化、金型温度の高温化の順で異物隠蔽性が高く、樹脂温度の高温化と射出速度の高速化を組み合わせると、異物隠蔽性がさらに高くなることが分かった。

3.3.2 色彩選別技術

従来の再生プラスチックは、主に灰色や黒色の用途に用いられることが多かった。再生プラスチックには有色プラスチックが含まれており、また、異物の表出を目立たせないためには暗色系での利用が有利なためである。

プラスチックを色の濃淡によって、白色系と黒色系とに選別して分離できれば、適用時の色調範囲を大きく広げることができる。色彩選別装置を使って白色系プラスチックを高い精度で選別するため、搬送量などの種々の選別条件について、タグチメソッドを用いて最適化検討を行った。

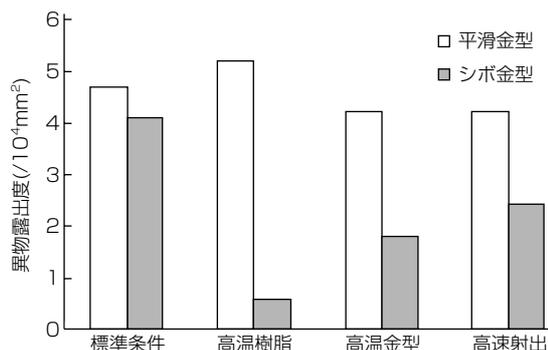


図6. 異物隠蔽性の評価結果(一定温度保持型温度制御)

表 1. 色彩選別前後の明度

樹脂種	選別前	選別後(白色系)
PP樹脂	53%	77%
PS樹脂	49%	77%
ABS樹脂	54%	80%

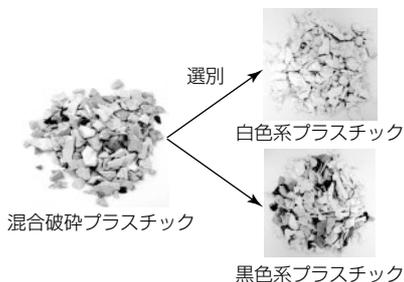


図 7. 色彩選別前後のプラスチック片

表 1 に色彩選別前後の明度を示し、図 7 に色彩選別前後のプラスチック片の一例を示した。ABS樹脂は目標明度 80%を得ることに成功した。PS, PP樹脂では明度80%に満たなかったが、酸化チタンなどの白色着色剤を添加することによって、明度80%が得られる目処を得ることができた。

#### 4. 開発技術の展開：リサイクルフロー

図 8 は、開発技術の適用先となるプラスチックリサイクルのフローである。

樹脂識別技術は、樹脂選別前後でプラスチックの組成比や樹脂純度の自動測定に適用する。混合破砕プラスチックの成分比検査による静電選別での条件最適化に対しては、更なる改善によって適用できる可能性がある。選別樹脂の純度管理への適用では、品質の確保のために、より高い識別精度が必要であり、一層の識別精度の改善が必要である。

臭素含有樹脂の大量選別除去技術(X線応用選別)の適用によって、家電3大プラスチックにおけるRoHS適合化が実現できる。今後、更なる大量処理に対する動作安定性の確認を行い、本格的な量産適用を図る。

再生プラスチックの製品適用技術によって、意匠部品を含む幅広い部品への再利用が可能となる。意匠部品へ適用しうる要素技術としての目処は得られたが、実用化に向けては複雑な形状を持つ実際の部品への適用検討を進める必要がある。

#### 5. リサイクルプラスチックの環境負荷評価

自己循環リサイクル技術の環境適合性評価を行った。今回の評価では、破砕した使用済み家電からの混合破砕プラスチックを回収し、比重選別、異物除去、静電選別、Br含有樹脂選別除去を行い、外部委託先でのリペレットによって再生樹脂ペレットが得られるまでの工程を対象とした。詳細な数値は省略するが、評価にはHCS, GCSの実際のリサイクルシステムにおける処理量、処理時間、マテリアル

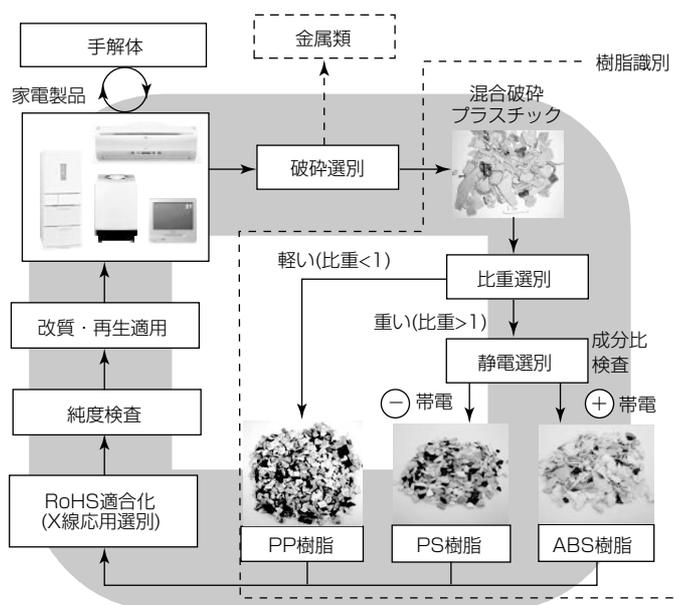


図 8. 大規模・高純度プラスチックリサイクルのフロー

バランス、各処理工程のエネルギー量データを収集して用いた。また、各リサイクル手法のプロセスで不足する産物を新規製造によって補い、アウトプットが等価となるように設定した製品バスケット法によって見積りを行った。評価の結果、自己循環リサイクルでの温室効果ガス排出量は、埋立てに比べ約76%、ケミカルリサイクルに比べ約83%の削減を見込むことができた。

#### 6. むすび

混合破砕プラスチックを更に大量に製品に適用するため、樹脂識別技術、環境規制物質の大量選別除去技術、製品適用技術の開発を行い、次の結果を得た。

- (1) 赤外分光法を応用した樹脂識別法によって、移動する破砕プラスチック片に対し、識別精度80%を実現する目処を得た。今後、実用化に向け、識別精度の向上と自動化を進めていく。
- (2) X線を応用し、樹脂中に混在するBr含有樹脂片の高速選別・除去が可能な大量選別除去装置を作製した。大量処理試験でPP, PS, ABS樹脂の全回収プラスチックのRoHS適合化が可能なことを確認した。
- (3) 再生プラスチックの意匠部品へ適用を可能とし、適用製品部材の大幅な拡大を実現しうる色彩選別、異物隠蔽などの調色改質と成形にかかわる要素技術を開発した。この開発は、平成21年度経産省委託事業である“プラスチック高度素材別分別技術開発”による成果である。

#### 参考文献

- (1) 三菱電機株：平成21年度経済産業省産業技術研究開発委託費(プラスチック高度素材別分別技術開発)事業報告書