

菱 孝*
松村光家**
椋田宗明**

混合プラスチックの素材化と事業化

Making a Business out of Producing High Quality Materials from Mixed Plastic

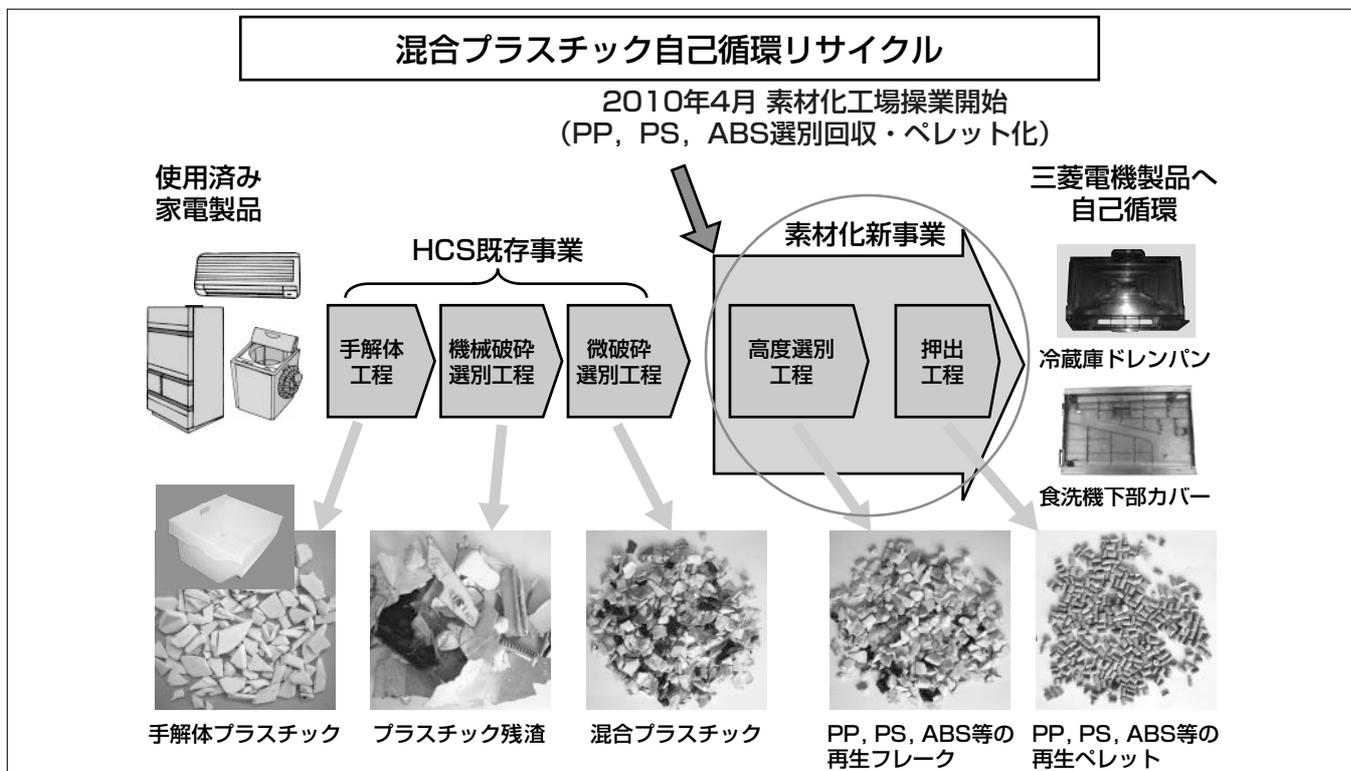
Takashi Hishi, Mitsuie Matsumura, Muneaki Mukuda

要 旨

使用済みの特定家電4品目(エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機)から従来のインフラで環境汚染物質や素材を安全かつ効率的に回収することが技術面及び投資コスト面で困難であることから、2001年4月に施行された“特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)”によって、メーカー主導でリサイクルを行うことになった。都市鉱山と言われて久しいが、集められた使用済みの特定家電製品から素材回収を行い、再生素材として市場に還流することや、有害物を回収して適正に無害化処理を行うことは、素材延命・地球環境改善を通して“持続型社会”構築に必要なことである。1999年4月に三菱電機は千葉県市川市で業界初の家電リサイクル工場である(株)ハイパーサイクルシステムズ(HCS)の運営を開始し、千葉県を含む首都圏の東地区から集められた特定家電製品から金属類やプラスチックを回収し、再生素材として市場に還流している。大きなプラスチック類は手解体で回収され、粉碎処理後、使用中に経年

劣化した材料特性を家電製品の部品に必要なレベルまで改善する改質剤を加え、三菱電機の家電製品に再生素材として使用している。

しかしながらその他の多くのプラスチックは、機械破碎によって粉碎され微少な金属を含む数種類のプラスチックの混合残渣(ざんさ)となり、素材としての利用が困難であった。三菱電機はHCS創業初期からこの残渣の素材化を目指してプラスチック残渣微破碎選別装置を導入し、金属類を高度に除去した混合プラスチックとして回収し、外部に素材として出荷してきた。このたびこの混合プラスチックからポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン(ABS)として高純度素材を選別回収する技術を完成し、千葉市に事業化工場を作ることになった。この素材化技術の状況と今後の課題について述べる。



混合プラスチック自己循環リサイクル

使用済み家電製品からプラスチックが回収される工程を表している。手解体工程では大きなプラスチック類を回収し粉碎処理後、PP・PS等の単一プラスチック粒として出荷している。機械破碎選別工程で回収されるプラスチック残渣は、プラスチック残渣微破碎選別装置によって高純度の混合プラスチックとして回収される。さらに三菱電機が開発に成功した選別回収技術による素材化新事業を推進することで、高純度な再生PP・PS・ABSの家電製品への大量適用が可能になる。

*株)ハイパーサイクルシステムズ **三菱電機株) 先端技術総合研究所

1. ま え が き

HCSは、使用済み家電製品の解体・素材回収に対して、家電製品の生産工場に比肩する近代化を進めることで、“再生素材生産工場”という新しい業態を作り上げることを目指してきた。その結果、3Kの払拭(ふっしょく)・徹底した塵埃(じんあい)除去・集中冷暖房・高効率でかつ低コストの素材化設備など近代的な工場を構築している。素材化する際の基本的な考え方は、次の5項目である。

- ①環境汚染物質の拡散を最小化
- ②資源の回収を最大化(廃棄物を最小にする)
- ③処理のしやすい製品設計情報を提供
- ④処理コストを最小化(手分解と機械破碎・選別を融合)
- ⑤近代化(家電製造工場と同等以上の環境・設備化対策)

家電4品目の素材構成を表1に示す。高性能プラスチックや鉄・銅・アルミニウム等を含んでおり、高純度で回収できれば再利用可能な素材が多く含まれる。

本稿では、HCSでの素材回収、主としてプラスチックの高純度回収と製品適用の状況、課題について述べる。

2. HCSの概要

HCSでは、素材回収量と素材純度の向上に向けて、三菱電機と共同で技術開発を行っている。この素材回収処理フローを図1に示す。フロー図に示される機械破碎・素材

表1. 家電4品目の製品別素材構成(HCS)

	エアコン	テレビ	冷蔵庫	洗濯機
鉄	48	5	49	51
銅	17	3	5	5
アルミニウム	15	1	4	1
ガラス	-	64	-	-
プラスチック	11	18	32	29
フロン	1	-	1	-
塩水	-	-	-	3
ほか	8	9	9	11

単位:%

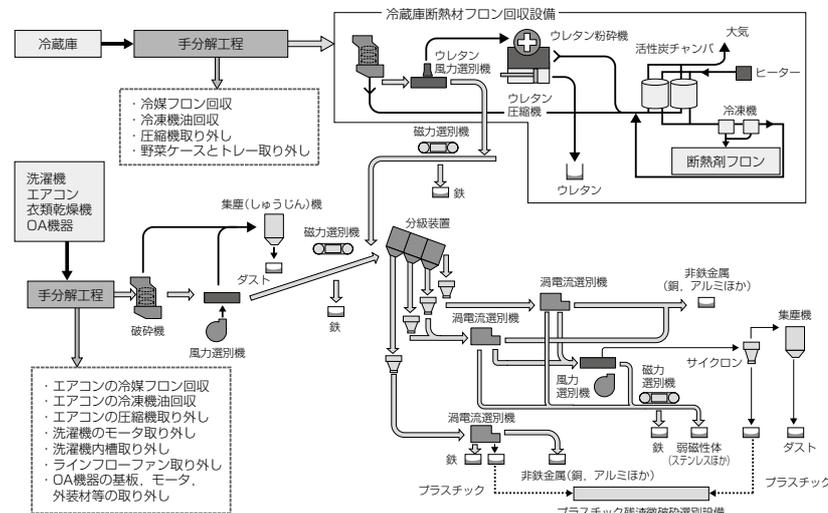


図1. 素材化フロー(HCS)

選別・異物除去等の設備の開発/改善, 各種選別機の運用条件や機器配置等の改良による選別精度の向上など, 高度な技術の投入と徹底した改良が図られている。これらの開発によって, 素材回収のコストが安く, 量が多く, 質が高く, 廃棄物の少ない工場を実現している。HCSでは単に素材回収を行うだけでなく, “再生素材生産工場”という運営方針を掲げ, 作業環境についても徹底的な改善を行っている。作業環境が改善されるにつれて作業効率が上がり, コスト改善にも寄与していることは留意すべきである。

3. HCSでの素材化処理

手解体と機械化の組合せによって, 素材の効率的な回収を進めている。

3.1 手解体

使用済み家電製品の処理は, メーカーや年代の異なる様々な品目に対応するため機械化が難しく, 最初に人手で素材や有害物の回収を行う。3.2節で述べる機械破碎・選別工程よりも回収素材の純度が高いが, 人件費等による素材回収コストが高くなる。

手解体ラインは, 1999~2001年に1次ラインを導入したが, 作業環境改善・効率改善・最大処理能力改善に限界が見られたため, これらを1段以上レベルアップさせる目的で, 2004~2006年に2次ラインに入れ替えた。この手解体ラインで回収できるプラスチックは, コストを考慮すると1,000トン/年程度(表2)であるが, 回収されたプラスチックは品種別に10mm程度に粉碎をし, この材料を元に三菱電機では年間600トン程度を新たな家電製品に利用している。

3.2 機械破碎・選別

機械破碎機で破碎したあと, 風力・磁力・静電気力・比重差等の乾式選別技術を利用して, 金属やプラスチック等の素材を回収する。この実現には, 機械化のための高度な技術開発と大きな初期投資が必要となる。手解体に比べると素材回収コストが安くなるが, 選別設備に工夫がないと回収純度が低下する。機械破碎後のプラスチックは, 図2で示す工程によって混合プラスチックとして回収される。このプラスチックはHCSでは4,600トン/年(表2)になり, 素材活用が課題であるが, これまでは主として外部に出荷され既存選別手段によって雑貨品や増量材に使用されるなど, 適用先はダウングレードユース主体であった。

4. プラスチックの高純度回収

4.1 高純度選別プロセス

混合プラスチックを家電製品に再利用する

表2. 家電製品のプラスチック回収(HCS)

2008年度実績		プラスチック質量(単位:トン)		
品名	機械破砕選別	手解体		備考
	混合プラスチック	主として粉砕	手解体品名	
エアコン	600	100	ラインフローファン	
冷蔵庫	2,000	700	野菜ケース等	
洗濯機	2,000	200	洗濯槽	
小計	4,600	1,000		
テレビ	0	1,600	キャビネット等	難燃グレード主
家電合計	4,600	2,600		

※ 家電製品由来のプラスチックのみを集計

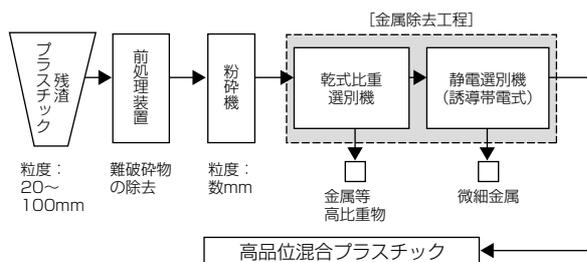


図2. プラスチック残渣微破砕選別装置

高度なりサイクルを目指し、プラスチックの高純度選別プロセス⁽¹⁾を開発した(図3)。混合プラスチックの代表的な混合組成を比重で整理すると、比重が水より軽いPPが35%(比重<1.0)、水よりやや重いPS, ABSが合計で30%(1.0<比重<1.1)、更に重い重比重プラスチックが35%(比重 \geq 1.1)である。ここで重比重プラスチックとは、難燃剤、ガラス繊維等の添加剤を含有するプラスチック、微量のエンブラ、塩化ビニルなどである。この中で、添加剤を含まないため再利用が容易でかつ家電製品で広く使用されるPP, PS, ABSフレーク(混合プラスチックの約65%)が、このプロセスでの回収対象である。比重差では除去できないゴム等の異物は異物除去装置で除去される。同じく比重差が小さく比重選別では分離が困難なPS/ABS混合物は、静電選別装置で分離回収する。この選別プロセスの特長は、コストや環境負荷面で有利な乾式の選別装置を積極的に採用した点にある。

4.2 静電選別技術⁽²⁾

静電選別は図4に示すとおり、異種プラスチック同士を摩擦すると互いに異なる極性に摩擦帯電する性質を用い、帯電したプラスチックフレークを電界空間に自由落下させ、軌跡の差異で選別する技術である。リサイクルプラスチックを新材相当の素材として再利用するには純度99%レベルの選別が必要であるが、静電選別で上記純度が達成可能なことはすでに報告されている。その後実用的な見地から純度/回収率を高める開発を進め、帯電/選別条件の最適化による帯電量の増大/安定化や計算モデル検討によって、純度99%/回収率70%以上を実証した(図5)。

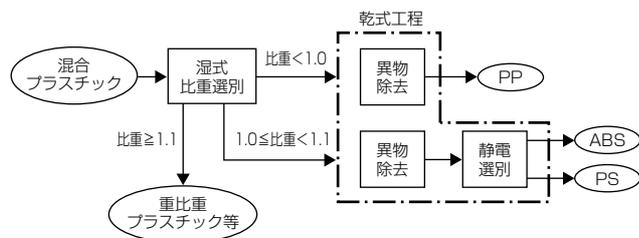


図3. 高純度選別プロセス

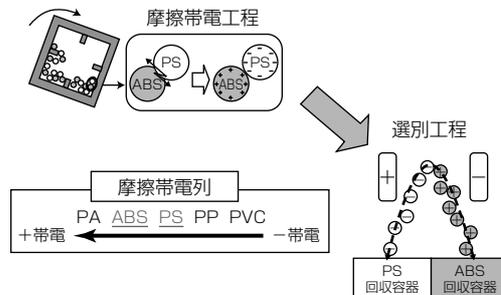


図4. 静電選別の原理

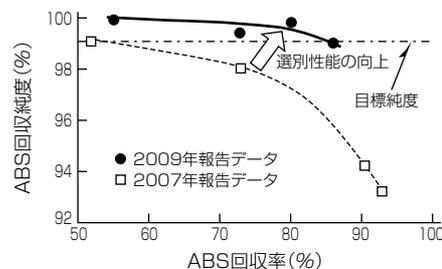


図5. 選別性能の向上

5. 製品適用技術

5.1 リサイクル材の機械特性評価⁽³⁾

高純度選別プロセスで回収した純度99%以上のフレークを押出機で押出加工することによって、再生ペレットを得る。押出機には、残存するシリコンゴムやウレタン樹脂等の異物を除くため、スクリーンメッシュが取り付けられている。表3にスクリーンメッシュの有無によるPPリサイクル材の機械特性の違いを示す。スクリーンメッシュによって、引張破断伸び、シャルピー衝撃強度を約3倍に改善できる。スクリーンメッシュの目開きを細かくするほど、ペレットの残存異物が減少し、機械特性が改善される。残存異物量を定量化するため異物残存率を定義した。異物残存率は、ペレットを圧縮成形機によってフィルム状にした場合に観察される異物の占める面積割合である。図6に、シャルピー衝撃強度と異物残存率の相関を示す。異物残存率が低いほどシャルピー衝撃値が高くなる。機械特性を新材相当にまで高めるには、異物残存率を0.2%以下にする必要がある。

5.2 RoHS指令対策⁽⁴⁾

リサイクル材を家電製品に適用するには、RoHS指令

表3. PPリサイクル材の機械特性

物性項目	材料	PPリサイクル材		新材PP
		メッシュなし	メッシュあり	
MFR(g/10min)		24	24	30
引張強度(MPa)		25	26	28
引張破断伸び(%)		14	42	22
曲げ弾性率(MPa)		1,120	1,120	1,200
曲げ強度(MPa)		29	30	31
シャルピー衝撃強度(kJ/m ²)		22	74	61
異物残存率(%)		0.96	0.13	-

MFR : Melt Flow Rate

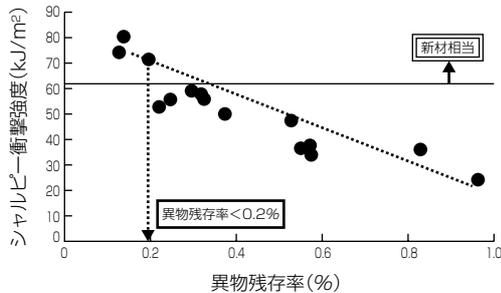


図6. シャルピー衝撃強度と異物残存率の関係

(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)への対応が不可欠である。家電から回収したプラスチックでは、RoHS指令対象物質のうち臭素系難燃剤の混入防止が必要である。このため、臭素含有プラスチックの的確な除去を目的として、臭素含有プラスチックの高速検知・除去装置を開発した。装置の概要を図7に示す。この装置は、臭素のX線吸収効果を利用して臭素の含有／非含有を高速に検知し、臭素含有フレークのみを除去するものである。

5.3 製品適用化

家電製品に使用するプラスチックは、使用環境下での酸化劣化を防ぐため酸化防止剤が添加されている。そのため使用済み家電製品のプラスチックは、回収時点では添加した酸化防止剤が消費されている。さらに自己循環リサイクルによって繰り返し使用する場合、酸化防止剤の消耗によって材料特性が製品寿命前に低下するリスクがある。それを防ぐため、再製品化の際に消費した以上の酸化防止剤を添加する。またリサイクル材は破碎、選別等の回収過程で極微量の金属が混入する可能性があり、プラスチックの酸化劣化が想定より早まる懸念がある。そのため金属不活性剤を用いて耐熱寿命を安定化させる。これらの改質を施したPPリサイクル材(成形品)によって、新材相当の耐熱性、外観、性能等を確認し、冷蔵庫ドレンパン(図8)等の製品に適用した。静電選別によって回収したABS、PSについても同様の評価を進めている。

6. む す び

“持続型社会”の実現には、使用済み製品を適正に処理し

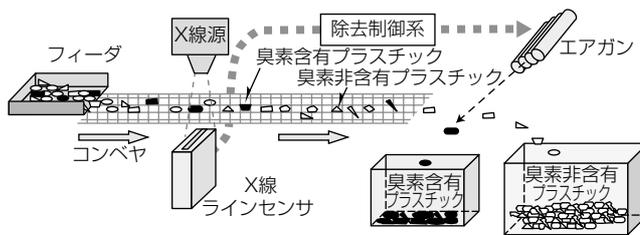


図7. 臭素含有プラスチック除去装置



図8. 冷蔵庫ドレンパン

素材として社会に還流する“再生素材生産工場”の役割が重要になる。その中で更に質の高い素材化を実現するには、金属類では、手分解で発生するコンプレッサ等の複合部品や、機械選別工程で発生する混合非鉄金属を単一素材化する安価な機械選別技術を開発する必要がある。プラスチックの素材化では、更なる低コストを志向することになるが、原料である混合プラスチックの処理量の拡大と選別効率の向上を目指し、各装置の改良と装置相互の連携性を高めるシステム運用が重要である。さらに、処理量の拡大では、より高度な品質管理技術が不可欠であるとともに、これまでリサイクル材の適用が困難と考えられていた意匠部品などへの用途拡大を目指した再生・製品適用技術の開発が重要である。HCSは、遵法・安全・環境汚染拡散等のリスク管理を怠らず、高純度な素材を社会に最大限還流し、“持続型社会”構築に貢献する。

参 考 文 献

- (1) 井関康人：使用済み家電破碎混合プラスチックの自己循環リサイクル技術，プラスチックエージ，54，No.12，67～72（2008）
- (2) 松村光家，ほか：廃棄物資源循環学会 リサイクルシステム・技術研究部会第3回講演会予稿集，35～40（2009）
- (3) 松尾雄一，ほか：廃棄物学会 リサイクルシステム・技術研究部会講演会予稿集，1～6（2006）
- (4) 真下麻里子，ほか：リサイクルプラスチックのRoHS適合化技術，三菱電機技報，83，No8，473～476（2009）