

# 家電製品における自己循環リサイクル

高木 司\* 鈴木章元†  
井関康人\*\* 根岸康昌††  
松尾雄一\*\*\*

## Closed-loop Recycle System of Plastics in Household Electrical Appliance

Tsukasa Takagi, Yasuto Iseki, Yuichi Matsuo, Akimoto Suzuki, Yasumasa Negishi

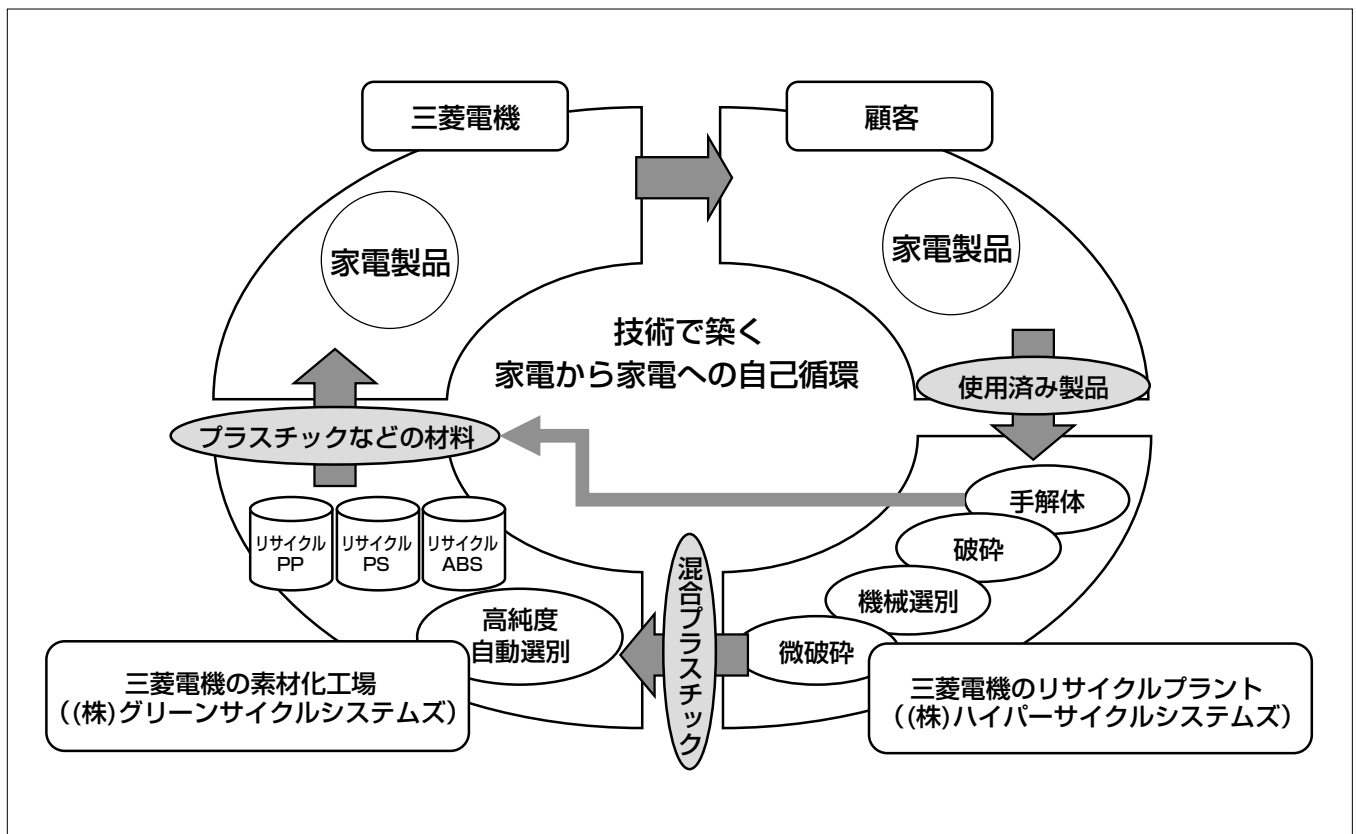
### 要 旨

経済的にも環境負荷的にも理想的なリサイクルは、回収物を元の製品群の素材として再利用する“自己循環リサイクル”である。三菱電機は、2001年の“特定家庭用機器再商品化法”（通称：家電リサイクル法）施行以降、使用済み家電製品から回収したプラスチックの自己循環リサイクルに積極的に取り組んできた。

まず第一段階として、目視による選別が比較的容易な単一素材のプラスチック部品を対象に、手作業で選別・回収を行い、三菱電機の家電製品に再利用する取組みを行った。その結果、冷蔵庫野菜ケース（ポリプロピレン樹脂：PP）、冷蔵庫透明棚（ポリスチレン樹脂：PS）、ルームエアコン室内機ファン（ガラス繊維強化アクリロニトリル-スチレン樹脂）等、多岐にわたる部品を回収・素材化し、それを自社の家電製品に再利用する自己循環リサイクルのシステ

ムを実用化した。

一方、手作業の選別・回収が困難なものや複合プラスチックは、破碎後に金属類を取り除いても、金属と多種類のプラスチックで構成される混合プラスチックとして扱われ、素材価値がほとんどなく、自己循環リサイクルが実現できていない状況にあった。そこで三菱電機では、この混合プラスチックから家電製品の主要3大プラスチックであるPP、PS、ABS（アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン）を高純度で自動選別する独自技術を開発し、その実用化に向けて取組みを行った。その結果、2009年秋に発売したルームエアコン内部の主要部品に、混合プラスチックから選別したプラスチックを原料として適用し、自己循環リサイクルの適用拡大を図った。



### 三菱電機の自己循環リサイクル

三菱電機は、自社の家電リサイクル事業会社(株)ハイパーサイクルシステムズで、使用済み家電製品から素材を回収し自社の家電製品に再利用する自己循環リサイクルを展開している。この自己循環リサイクルをより拡大するため、混合プラスチックから高純度でPP、PS、ABSを自動選別する工程を、自社の素材化工場(株)グリーンサイクルシステムズ内に設置し、このたび運用を開始した。これによって、自己循環リサイクルの大幅な拡大が見込まれる。

\*三菱電機株 静岡製作所 \*\*株グリーンサイクルシステムズ \*\*\*三菱電機株 先端技術総合研究所 †三菱電機エンジニアリング株 ††三菱電機ホーム機器株

### 1. ま え が き

経済的にも環境負荷的にも理想的なリサイクルは、回収物を元の製品群の素材として再利用する“自己循環リサイクル”である。三菱電機は、2001年の“特定家庭用機器再商品化法”（通称：家電リサイクル法）施行以降、使用済み家電製品から回収したプラスチックの自己循環リサイクルに積極的に取り組んできた。プラスチックのリサイクルは、異物除去や材料劣化の回復といった課題を解決し、安定した品質を確保することが重要である。そのため、第一段階として目視による選別が比較的容易な単一素材のプラスチック部品を対象に、手作業で選別・回収を行い、家電製品に再利用する取組みを行った。一方、手作業の選別・回収が困難なものや複合プラスチックは、破碎後に金属類を取り除いても、金属と多種類のプラスチックで構成される混合プラスチックとして扱われ、素材価値がほとんどなく、自己循環リサイクルが実現できていない状況にあった。そこで三菱電機では、この混合プラスチックから家電製品の主要3大プラスチックであるポリプロピレン（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）を高純度で自動選別する独自技術を開発し、その実用化に向けて取組みを行った。

本稿では、これら家電製品に適用したプラスチックの自己循環リサイクル事例について述べる。

### 2. 自己循環リサイクルの体制

三菱電機の自己循環リサイクルは、千葉縣市川市にある家電リサイクル事業会社（株）ハイパーサイクルシステムズ（HCS）で回収した使用済み家電製品部材を素材化、量産適用を図っている。また、混合プラスチックから、PP、PS、ABSを高純度で自動選別する技術に関しては、HCSにパイロットプラントを構築し、本格量産に向けての技術開発を図る一方、パイロットプラントで製造した素材をもとに材料開発を行い、限定的ではあるが製品適用を図ってきた。今般、混合プラスチックの高純度自動選別化ラインを、千葉県内の（株）グリーンサイクルシステムズ（GCS）に設置し、運用を開始した。

自己循環リサイクル開発に関しては、リサイクルプラント、研究所、製品製造場所の各メンバーから成るワーキンググループを組織し、各部門の連携を図りながら、自己循環リサイクル拡大に向けて、継続的な活動を展開している。

### 3. 手作業選別・回収部品の自己循環リサイクル

#### 3.1 ルームエアコン室内機ファンの自己循環リサイクル

ルームエアコンの主要構成樹脂部品である室内機ファンに関して、使用済み製品の室内機ファンを回収し、ルームエアコン室内機ファンの原料として再利用する自己循環リ

サイクルの技術開発を行った。この開発は、このファン原料を製造している東レ（株）との共同開発によるものである。

ルームエアコン室内機ファンの材質は、ガラス繊維強化アクリロニトリル-スチレン樹脂（ASG）が一般的である。ASGをリサイクルする場合、主にガラス繊維の折損によって、物性低下が引き起こされる。また、使用済み製品のファンには、埃（ほこり）、カビなどの付着異物や元々ファンに付属していた金属シャフト等があり、物性低下抑制とともに異物除去が重要な課題となる。

図1に、使用済みエアコン室内機ファンの外観性状を示す。また図2に、今回量産化したリサイクル工程を示す。除去すべき異物の材質・性状を踏まえ、各所に適切な異物除去工程を配置することによって、異物除去が確実になされ、製品に再利用可能な品質を確保可能となった。図3に、この工程で作製されたリサイクル材のクリープ特性を示す。室内機ファンにとって、クリープ特性は重要品質である。引張クリープ試験の結果、ガラス繊維含有率を一定にした場合、クリープ変形量は、リサイクル材の混合率に比例して、増大することが分かった。これは、リサイクル材はガラス繊維の折損によって、補強効果が薄れた結果と考えら

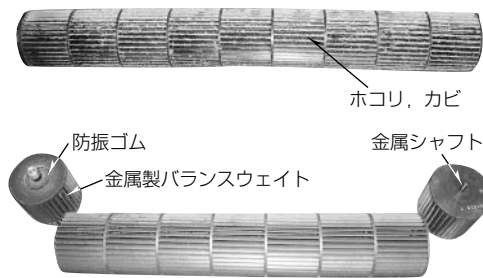


図1. 使用済みエアコンの室内機ファン

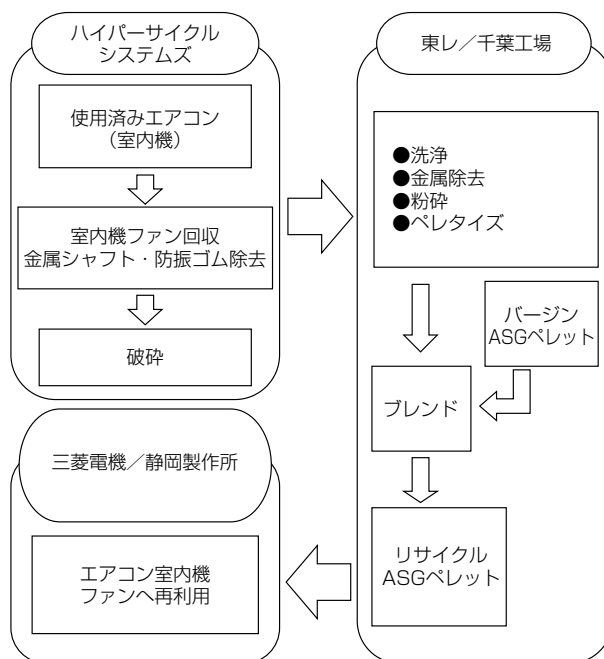


図2. 室内機ファンの自己循環リサイクル工程

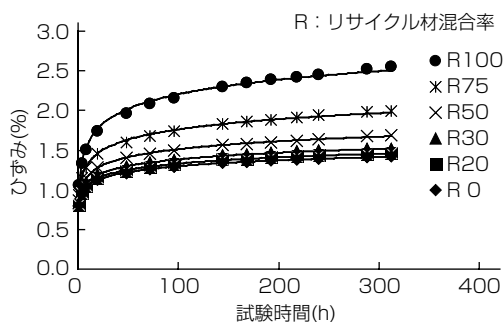


図3. リサイクルASGの引張クリープ特性(@60°C, 35MPa, GF20%)

れる。実際、室内機ファンを成形し、品質評価を実施したところ、リサイクル材混合率があるレベルを超えると、ファンとしてのクリープ特性が品質規格を満たせないことが分かった。よって、リサイクル材の混合率をある一定量に管理した上で、量産適用を図ることとした。

3.2 冷蔵庫透明棚の自己循環リサイクル

冷蔵庫庫内の透明棚や扉ポケットは、一般的にPSで成形されている。これを、発泡スチロール原料として活用し、家電製品の断熱構造部品や包装用緩衝材として再利用する技術開発を行った。この開発は、発泡スチロール原料を製造している(株)JSPとの共同開発によるものである。

回収部品である冷蔵庫の透明棚や扉ポケットの成形材料は、PSが一般的ではあるが、一部アクリロニトリルスチレン(AS)が使用されている。PSとASは、透明な成形品で外観上の見分けがつきにくい。一方、PSとASが混合されると、強度低下の原因となり、リサイクルしにくい状況があった。そこで、(株)JSPが技術を持つシード重合法を利用して、この問題の解決を図った。図4に、今回開発したリサイクル工程を示す。発泡スチロールのビーズは2重構造となっており、リサイクル材の核粒子の周囲をバージン材が包んでいる。これによってAS混入による物性低下を抑制することが可能となった。

表1に、このリサイクル発泡ビーズで成形した発泡スチロール成形品の圧縮強度と熱伝導率を示す。熱伝導率は、バージン材と同等であったが、圧縮強度は、バージン材より約10%低下した。そのため、一部の部品では形状変更等の改良を加えた上で、冷蔵庫、エアコンの断熱構造部品、包装用緩衝材として量産適用を図った。

4. 混合プラスチックの自己循環リサイクル

4.1 混合プラスチックのリサイクル工程

手作業で選別・回収された使用済み製品は、破碎処理後、鉄、銅、プラスチックなど素材別に選別・回収される。この破碎処理後に回収されたプラスチックを“混合プラスチック”と呼んでおり、家電製品に多用されているPP, PS, ABSの3種から主に構成されている。現状、手作業で回収可能なプラスチックは限られており、多くが混合プラス

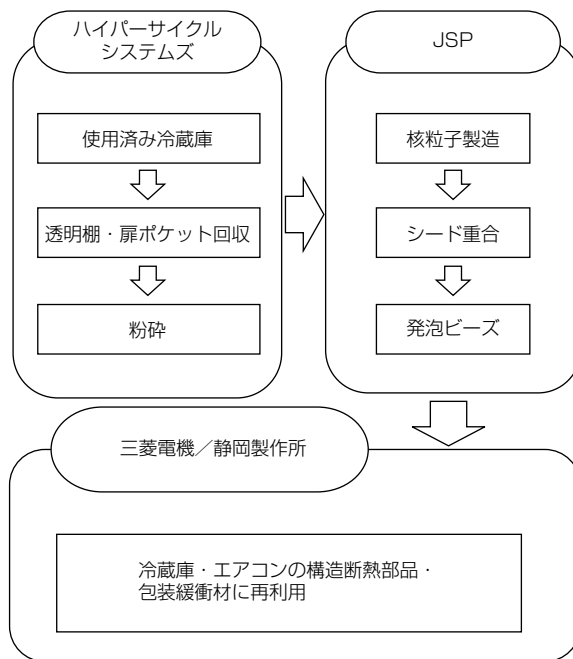


図4. 透明棚の自己循環リサイクル工程

表1. リサイクル発泡スチロールの成形品特性

	発泡倍率	バージン材	リサイクル材
5% 圧縮強度 (MPa)	30倍	0.25	0.22
	40倍	0.18	0.14
	50倍	0.13	0.10
熱伝導率 (W/mK)	30倍	0.034	0.034
	40倍	0.035	0.035
	50倍	0.037	0.037

チックとして処理されるため、この混合プラスチックの再利用が自己循環リサイクル拡大の重要課題となっていた。そこで三菱電機では、混合プラスチックからPP, PS, ABSを高純度で選別・回収する技術開発に着手、パイロットプラントによる運用を経て、今般GCSで、実業プラントの運用を開始した。混合プラスチックの自己循環リサイクル工程を、図5に示す。水より軽いPPは、三菱電機独自の比重選別技術によって回収し、その後水より重く比重差で分別できないPS, ABSは、三菱電機独自の静電選別技術を用いて、選別・回収する。これによって、いずれの樹脂も99%以上の高純度で回収が可能となった。

4.2 ルームエアコン部品への適用事例

ルームエアコン室内機の部品には、PS, ABSが多用されている。その中で、外郭の意匠部品ではなく、内部の部品に混合プラスチックから選別したPS, ABSの適用検討を行った。三菱電機の開発した自動選別ラインは、混合プラスチックからPP, PS, ABSの各樹脂を純度99%以上で選別・回収可能である。しかしながら、1%未満ではあるが異物の存在、回収部品の色調が様々であることによる色調の制約から、製品の意匠を形成する外郭部品への適用は難しい。そのため、室内機内部の構造部品への適用を検討した。エアコン室内機の部品には、構造強度以外にも耐薬

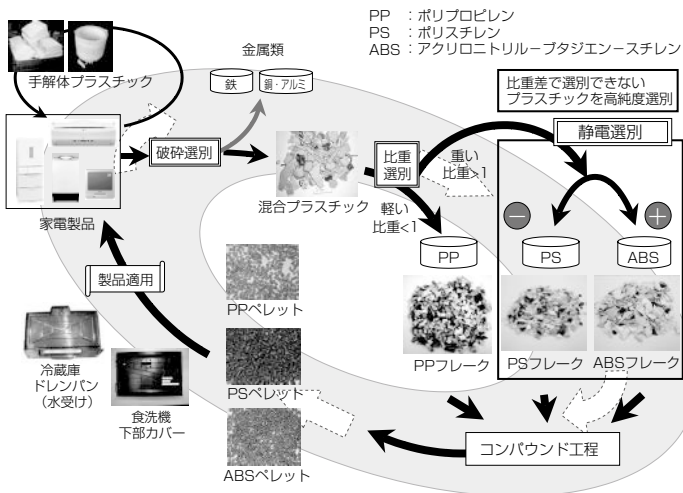


図5. 混合プラスチックの自己循環リサイクル工程

品性等、様々な要求特性がある。これらの要求特性に対し、従来のバージン材とリサイクル材との物性を比較したのが表2である。リサイクル材の引張強度、耐薬品性は、バージン材と同等又はそれ以上の物性を持つが、引張破断伸び、衝撃強度はリサイクル材の方が物性値が低い。これは1%未満ではあるが存在する異物の影響と考えられる。これらの結果、製品品質基準を一部満たせないものがあつたため、その対策として、バージン材を混合して物性低下の抑制を図った。これによって、品質基準を満足する配合を見だし、量産適用を可能にした。

4.3 クリーナーへの適用事例

クリーナーへのリサイクル材適用を考えた場合、ルームエアコン同様、意匠上の理由から、外郭部品への適用は難しい。そこで、クリーナー内部の非意匠部品から、モータカバーを選定して適用検討を実施した。モータカバーの重要要求品質に難燃性がある。従来該当部品には難燃PPが使用されてきた。そこで、混合プラスチックから選別したPPを原料に、難燃化の検討を行った。表3に、今回開発した難燃PPの特性を示す。このように従来使用のバージン材に比べ、衝撃強度は低下するものの、要求難燃性能を満足するリサイクル材を開発し、量産適用を図った。このリサイクル難燃PPは、同じような要求品質であるIHクッキングヒーターの基板周り部品にも適用している。

5. むすび

家電リサイクル法の施行後、三菱電機は使用済み家電製品から回収したプラスチックの自己循環リサイクルに積極的に取り組んできた。その結果、家電6製品、約30部品へ自己循環リサイクル材の導入を図ることができた。表4に、代表的な導入部品を示す。これら自己循環リサイクル材導入によって、年間約500ton<sup>(注1)</sup>のバージン材を削減し、その結果年間約600ton<sup>(注1)</sup>のCO<sub>2</sub>排出削減に寄与することが

表2. 混合プラスチックのリサイクルPS, ABSの材料特性

物性	PS-HI		ABS	
	リサイクル材	バージン材	リサイクル材	バージン材
MFR(g/10min)	5	4	15	18
引張強度(MPa)	32	32	44	45
引張破断伸び(%)	30	32	15	23
シャルピー衝撃強度 ノッチなし(kJ/m <sup>2</sup> )	37	60	52	80
耐薬品性	サラダ油	0.25	0.25	0.52
	DOP	<0.25	<0.25	0.25

MFR : Melt Flow Rate  
DOP : フタル酸ジオクチル

表3. 混合プラスチックのリサイクル難燃PPの材料特性

物性	難燃PP	
	リサイクル材	バージン材
MFR(g/10min)	26	15
引張強度(MPa)	27	28
引張破断伸び(%)	27	86
シャルピー衝撃強度 ノッチなし(kJ/m <sup>2</sup> )	40	>182
難燃性(UL-94/t0.8mm)	V-0	V-0

表4. 代表的な自己循環リサイクル材適用部品

家電製品	材料(素材化原料)	自己循環リサイクル材適用部品
冷蔵庫	PP(冷蔵庫野菜ケース)	・庫内レール
	PP(混合プラスチック)	・ドレンパン
	PS(冷蔵庫透明棚)	・断熱構造部品 ・包装用緩衝材
ルームエアコン	PP(冷蔵庫野菜ケース)	・室外機意匠パネル
	PP(洗濯機水槽)	・室内機構造部品
	PS(冷蔵庫透明棚)	・室内機包装用緩衝材
	ASG(室内機ファン)	・室内機ファン
	PS(混合プラスチック)	・室内機モータ固定部品
	ABS(混合プラスチック)	・室内機ドレンパン
パッケージエアコン	PP(冷蔵庫野菜ケース)	・室外機意匠パネル
	PS(冷蔵庫透明棚)	・断熱構造部品
ビルトイン 食器洗い乾燥機	PP(混合プラスチック)	・下部カバー
クリーナー	PP(混合プラスチック)	・モータカバー
IHクッキングヒータ	PP(混合プラスチック)	・基板周り部品

できる。2010年4月から、混合プラスチックの素材化工場が順次稼働を始めた。今後は、混合プラスチックを主体とした自己循環リサイクル拡大を図り、地球温暖化防止と循環型社会構築に向けて活動を強化していく。

(注1) 2010年2月時点、JIS C9911 再資源化利用指標に基づく年間使用量換算予測値。CO<sub>2</sub>排出量は三菱電機測定及び算定結果による。

参考文献

- (1) 高木 司：クロスフローファンのマテリアルリサイクル技術、環境と新冷媒国際シンポジウム2006, 18~21 (2006)
- (2) 松尾雄一, ほか：使用済み家電混合プラスチックから選別回収したリサイクル材の品質評価、成形加工シンポジウム '09, 207 (2009)