

資源循環社会に対応する 家電リサイクルの取り組み プラスチックの自己資源循環スキーム構築

プラスチックには「軽い」、「錆びない」、「腐らない」といった長所があり、家庭用電化製品をはじめとした日立グループの多くの製品に長年にわたり使用されている。一方、廃棄の際にはこれらの長所が短所となり、土壌・海洋汚染や、燃焼時に排出されるCO₂による地球温暖化など、世界規模の環境問題を引き起こす要因ともなっている。

日立はプラスチックの特徴を活用しつつ環境問題の解決にも貢献するべく、家庭用電化製品を中心としたプラスチックの自己資源循環スキーム構築に取り組んでいる。本稿では、このスキームの詳細と、今後取り組むべき課題について紹介する。

松本 達哉 | Matsumoto Tatsuya

五本上 智基 | Gohonjo Tomoki

後藤 一也 | Goto Kazuya

根本 武 | Nemoto Takeshi

1. はじめに

日本では、2001年4月1日より特定家庭用機器再商品化法（以下、「家電リサイクル法」と記す。）が施行された。これは一般家庭や事務所で廃棄された家庭用電化製品（以下、「家電」と記す。）4製品〔エアコン、テレビ（ブラウン管、液晶・プラズマ）、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機・衣類乾燥機〕からプラスチックなどの有用な部分や材料をリサイクルし、廃棄物を削減するとともに、資源の有効利用を推進するための法律である。

家電において、プラスチックは幅広い範囲で多く使用されている。例えば、冷蔵庫や洗濯機では製品全体の約4割にプラスチックが使用されており、重要な材料の一つである（図1参照）。また、プラスチックの原料は原油であるが、その市況価格は需給だけでなく、マクロ的要

因（政治・経済・投機）の影響も受ける。図2に示すとおり、世界経済の伸長と原油需要増に伴い、原油価格は長期的に上昇基調にあり、プラスチック材料の安定的な調達は年々難しくなっている。

こうした中、日立グループでは、国内外でプラスチックのリサイクル化を推進している。しかし、日本に比べ

図1 | 家庭用電化製品本体におけるプラスチックの使用比率

家電におけるプラスチック材料の使用比率は、製品全体の約4割に上る。

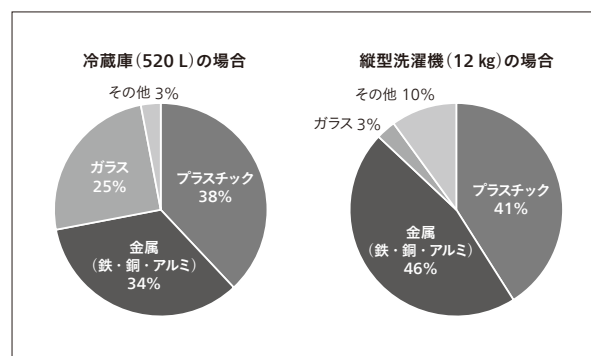
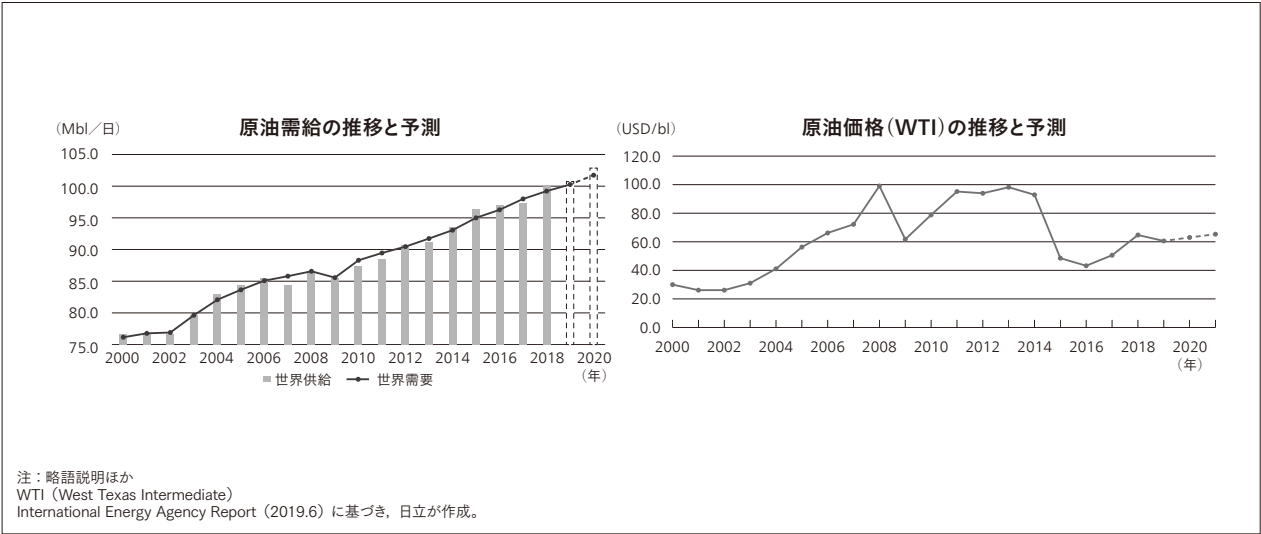


図2| 世界における原油需給および原油価格の推移と予測

2000年から2020年にかけての原油需給の推移と予測（左）および2000年から2021年にかけての原油価格（WTI）の推移と予測（右）を示す。



て国外ではリサイクルの品質保全が難しいことに加え、リサイクルスキームが確立されていないことから、まずは国内主導でリサイクル材の活用を推進している。本稿では、「日立環境イノベーション2050」に示す「高度循環社会」において、日立が掲げる2050年までの資源利用効率50%改善（2010年度比）に貢献する、家電リサイクル事業を活用したプラスチックの自己資源循環の取り組みについて述べる。

2. 廃家電のリサイクル処理

家電リサイクル法に基づき、家電メーカーには回収された廃家電をリサイクル・再商品化する義務が課せられている。また、消費者は対象となる家電を処分する際、家電の小売業者や量販店に対し、収集料金とリサイクル料金を支払うよう協力を求められている。これらの料金は主に、家電メーカーがリサイクル企業に再商品化を委託する際の費用に充当されている。また回収された廃家電は、地域ごとにリサイクル企業各社の拠点に集積され、手解体および破碎・選別などの処理を通じて再商品化される。併せてエアコンや冷蔵庫・冷凍庫などに含まれる冷媒フロン、断熱材フロンの回収・破壊も実施している。家電メーカーは表1に示すA、Bの2グループに分けられており¹⁾、全国で家電4品目の廃棄物回収および再商品化などを実施している。日立グループはBに属し、株式会社関東エコリサイクル、北海道エコリサイクルシステムズ株式会社、東京エコリサイクル株式会社の三つの家電リサイクル企業に出資している。そのうち関東エコリサ

イクルについては、日立グローバルライフソリューションズ株式会社栃木事業所内に設立され、稼働している（図3参照）。

2.1

プラスチック破碎品の回収プロセス

家電に使用されるプラスチック素材の7～8割は、PP (Polypropylene)、PS (Polystyrene)、ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) の3種類が占める。廃家電から回収するプラスチックの品目や回収方法は、保有する破碎機

表1| グループ別製造業者一覧

2018年7月1日時点でのグループ別製造業者一覧を示す。

Aグループ	Bグループ
LG Electronics Japan株式会社	アクア株式会社
エレクトロラックス・ジャパン株式会社	シャープ株式会社
大阪ガス株式会社	ソニー株式会社
オリオン電機株式会社	ソニー株式会社(アイワ)
クリナップ株式会社	株式会社長府製作所
株式会社コロナ	株式会社トヨトミ
サムスン電子ジャパン株式会社	株式会社ノーリツ
株式会社JVCケンウッド	ハイアールジャパンセールス株式会社
ダイキン工業株式会社	日立アプライアンス株式会社 ^(※)
株式会社デバイススタイルマーケティング	日立コンシューマ・マーケティング株式会社 ^(※)
東京ガス株式会社	日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社
東芝映像ソリューション株式会社	株式会社富士通ゼネラル
東芝ライフスタイル株式会社	船井電機株式会社
ドメティック株式会社	三菱重工冷熱株式会社
パーパス株式会社	三菱電機株式会社
パナソニック株式会社	三菱電機エンジニアリング株式会社
パナソニック株式会社(三洋電機)	株式会社良品計画
株式会社ミスターマックス	リンナイ株式会社
ヤンマーエネルギーシステム株式会社	

注：一般財団法人家電製品協会「家電リサイクル制度を支える仕組み」より抜粋
※) 現 日立グローバルライフソリューションズ株式会社

図3 日立グループにおける家電リサイクルの流れ

日立は、グループ内に家電リサイクル企業、リサイクルプラスチックメーカーおよび家電メーカーを擁し、協調して資源循環に取り組んでいる。

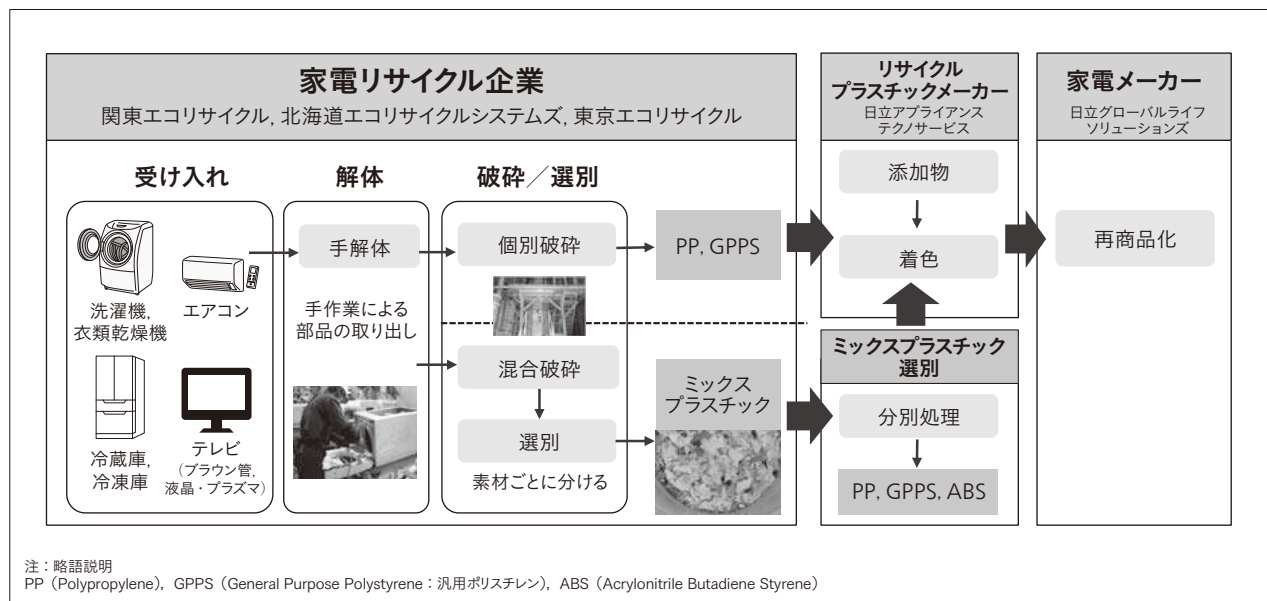


図4 リサイクル時に回収可能な主なプラスチック材料

家電リサイクル時に回収可能な主なプラスチック材と回収率を示す。

リサイクルする部品	回収可能材料(色彩)	回収率
冷蔵庫の野菜室ケース、洗濯機の洗濯槽	PP(白色)	約8%
冷蔵庫の内棚板	GPPS(透明)	約12%
その他(プラスチックの混合物)	ミックスプラスチック(雑色)	約80%


PP


GPPS


ミックスプラスチック

やスペース、作業人員などにより、家電リサイクル企業ごとに異なるが、中でもほぼ共通する回収品を図4に示す。

PPおよびGPPS (General Purpose Polystyrene) はリサイクルする部品が明確なため、回収可能材料および色彩の観点からリサイクルしやすく、付加価値が高い。そのため、小型の専用破碎機での破碎処理を経て個別に回収される。その他のミックスプラスチックについては、まず個別回収できない解体品とともに混合破碎処理される。その後、素材の材質特性ごとに磁力（鉄選別）、比重、渦電流（非鉄選別）、色彩などによる選別を経て回収される。しかし、近年の家電においては、断熱のためのウレタンとグラスウールが密着したプラスチック品や、強度増強のために一定量のガラス繊維が含有されているものなどもあり、PPやGPPSであってもリサイクルが難しいものが増えている。さらに、導入されている破碎機によって回収品の粒径が10～50 mm角と異なることが、

破碎品からのプラスチック材ペレット[※]生成を難しくしている。

2.2

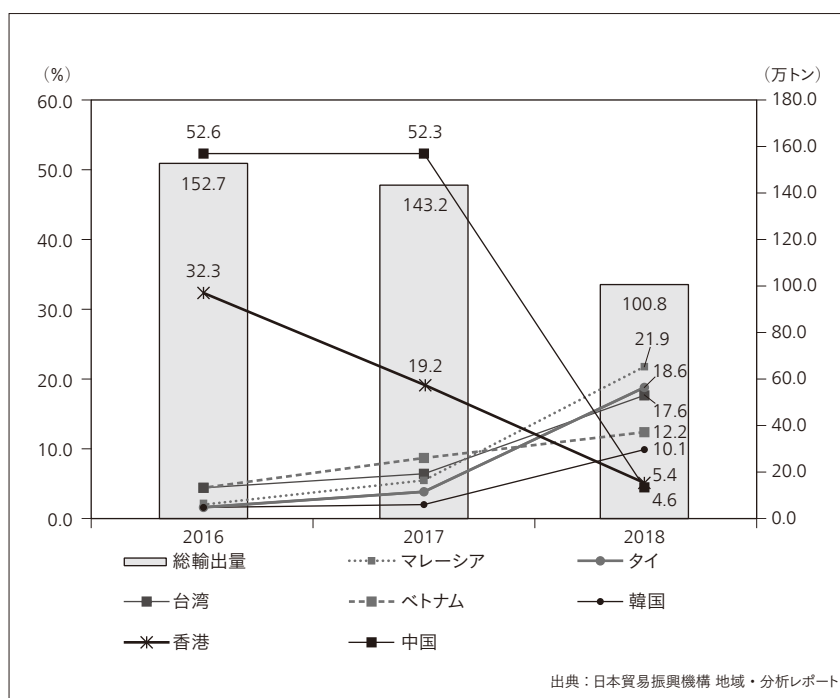
ミックスプラスチック破碎品への対応

混合破碎処理から回収されるミックスプラスチックはさまざまな種類のプラスチック品の混合物であり、選別に除去しきれない銅線やウレタン粒などの異物も含まれている。従来、その一部は選別コストが安価な中国へ輸出されていた。しかし環境規制の強化により、2018年1月より中国は廃プラスチック品の輸入を禁止した。以降の輸出先はタイ、マレーシア、ベトナム、台湾が全体の約80%を占めているが、これらの国・地域も環境意識の高まりから輸入基準が厳格化されているため、今後も従来と同水準の輸出を維持するのは困難である（図5参

※）プラスチック製品を成形する際に使用される、粒状のプラスチック原料。

図5|日本の廃プラスチック輸出量の推移

2016年から2018年にかけての日本からの廃プラスチックの輸出量の推移を示す。各国・地域の廃プラスチック輸入規制強化の影響から、2018年の輸出量は大きく減少している。



照)。そのため、国内でのミックスプラスチックの選別を加速するべく、ミックスプラスチックをPP、PS、ABS材などに分離できる分別処理機を導入するメーカーも増えてきた。主な分離方法としては、水を使う湿式法（比重分離）、水を使わない乾式法（静電分離）などがあるが、いずれも設備費や維持費が高額であり、普及の障壁となっている。こうした中、経済産業省を中心として国を挙げて廃材輸出を自主規制する動きが高まっており、設備を導入する国内企業への補助金支給などの支援も行われている。

3. リサイクルプラスチックのペレット化

3.1

リサイクルプラスチックの現状とペレット化

PP、PS、ABS材などの熱可塑性プラスチック材は、加熱溶解することにより何度も使用することができる。ただし、リサイクルプラスチック材(以下、「リサイクル材」と記す。)に求める物性を保持させるためには、帯電防止剤、熱劣化を防止するための酸化防止剤などの添加剤が必要である。またリサイクル材を家電に多く使用される白色系部品に適用するには、二酸化チタンなどの白色着色剤なども不可欠となる。

リサイクルプラスチックメーカーは、全日本プラスチックリサイクル工業会の加盟企業だけでも約150社あるが、リサイクル材の使用先はパレット、ハンガー、土

木用プラスチック製品など、リサイクル材を使用することが色調や性能面に大きな影響を及ぼさない製品が主であり、家電への適用が可能な汎用PP材で、かつ物性面まで管理されたリサイクル材の製造および品質管理ができる企業は限られている。日立グループでは、日立アプライアンステクノサービス株式会社がリサイクルプラスチックのペレットを製造している（図6参照）。

3.2

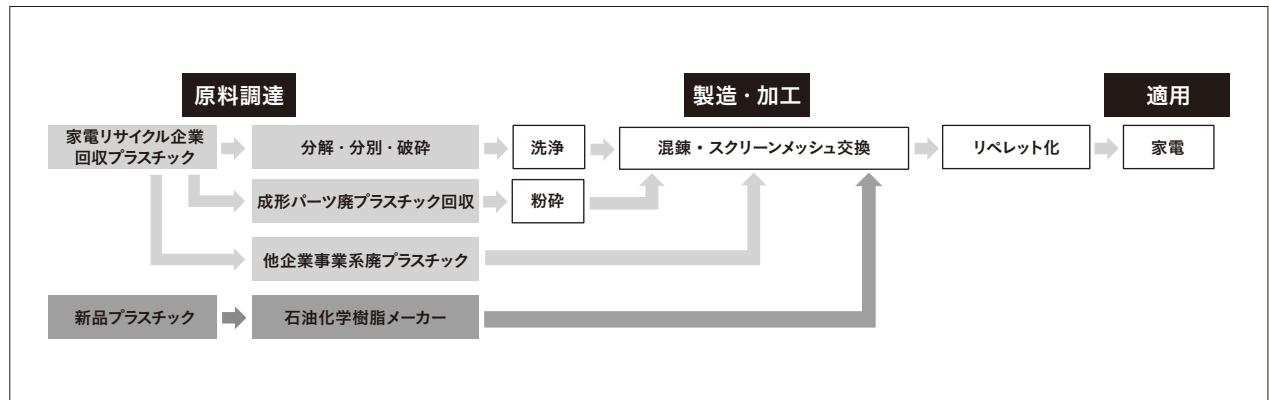
リサイクルプラスチックのペレット化における課題と対策

日立アプライアンステクノサービスにおけるリサイクルプラスチックのペレット化の課題は、以下のとおりである。

- (1) 破砕品をペレット化する押出機の投入口が狭く、10 mm角以上の破砕品は投入できない。また破砕機がないため、10 mm角以上の破砕品は外部に再破砕の依頼をする必要がある。
- (2) 強度向上や断熱性確保のためのガラス繊維やエラストマー、ウレタンなど、添加物を含有した破砕品が処理できない。特にガラス繊維を含有したリサイクル材を押出機で混練加工すると、ガラス繊維が細かく破壊されて硬く、もろくなり、成形時の寸法精度が落ちる。これは、プラスチックにガラス繊維などの無機フィラーが含まれることで成形収縮率が小さくなるためである。
- (3) 破砕品への異物混入（コンタミネーション）が発生すると、着色材を投入しても異物の色調が黒い点や線となって表れる。家電は白色をはじめとした明るい色調が

図6|リサイクルプラスチック製品化のフロー

日立アプライアンステクノサービスでは、リサイクルプラスチックをリペレット化・加工し、品質を維持して家電に適用している。



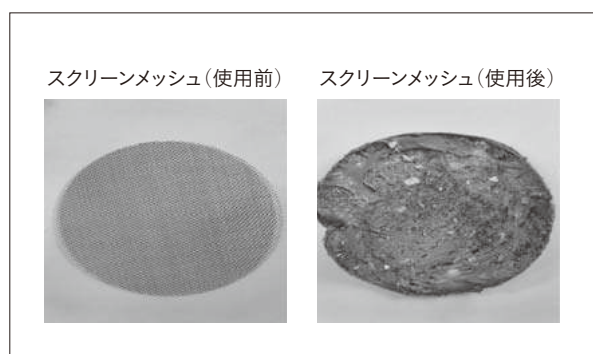
好まれる傾向にあるため、外観部品においては致命的な問題となる。これに対し、破碎品をペレット化する際に押出機の先端部分に金属製のスクリーンメッシュを取り付けて、リサイクル材への異物混入を抑制しているが、破碎品中のガラス繊維など含有物や異物の量が多いと、スクリーンメッシュが目詰まりを起こし、交換頻度が増えて生産効率が悪化する（図7参照）。

（4）経年使用された廃家電から回収した破碎品には汚れが著しいものもあり、淡い色調を要求されるリサイクル材では製品要求を満足することができない。これを回避するには、粉碎前の色彩に応じて白系・黒系に分別することが必須である。

これに対し、破碎品の大きさや原料への異物混入については、家電リサイクルプラントにおける処理の時点で対策を徹底することで対応している。また日立アプライアンステクノサービスでは、長年培ったコンパウンド技術とリサイクル技術を融合し、対策に当たっている。経済性に優れ、環境に配慮したリサイクル材は幅広い製品分野に対応しており、同社における廃家電を原料としたリサイクル材の新規製品への適用量は、10年前に比べて約2.7倍に増加した。

図7|使用前後におけるスクリーンメッシュの状態の比較

使用前（左）および使用後（右）のスクリーンメッシュの外観を示す。



また、廃家電などから生じるミックスプラスチックも、その多くはポリマーアロイ（樹脂相溶化剤の添加による異材樹脂同士の接着効果）の適用によりリサイクルが可能である。しかし、品質やペレット化までの製造コスト、原料コストの上昇が懸念される。プラスチックによる環境汚染を防ぐためには、今後、ポリマーアロイによるコストの上昇を許容し、さらなるリサイクル材適用の道を模索することが求められている。

4. リサイクルプラスチックの家電への適用

プラスチック材の調達活動においては、原油市況による価格変動に加え、日本国内のPP材メーカーをはじめとするプラスチック材メーカーが旺盛な需要と生産設備の老朽化、プラントトラブルを要因として供給制限を行うなど、厳しい状況が続いている。こうした状況も、販売量が多く値下がり激しい家電へのリサイクル材の適用拡大を後押ししているが、一方でリサイクル材は色味、歩留まりなどの点で新品材に劣る面もある。2018年度にリサイクル材の適用が大きく進んだ冷蔵庫を例に、今後の課題と対策を述べる。

4.1

冷蔵庫へのリサイクル材適用における課題と対策

リサイクルPP材の冷蔵庫への適用における課題は、以下のとおりである。

（1）調達時における上質なリサイクル材原料の確保

消費者が家電を購入する際、外観は大きなポイントの一つとなるため、製品の外観を損なうコンタミネーションは致命的な問題である。リサイクル材メーカーでは生産時の試験片と成形時に目視などでコンタミネーション

の有無を確認しているが、冷蔵庫のような大型成形品の場合、量産時に発見されることが多い。また、白物家電全般において、特定6物質の電気・電子機器の使用規格(J-MOSS)への準拠が求められており、食料品に関わる冷蔵庫では、さらに食品衛生法への準拠も求められる。

こうした厳しい条件をクリアしつつ、製品の品質を確保するには、リサイクル材メーカーが上質な原料をどれだけ確保できるか、原料に混入するゴミや製造過程で混入する埃などをいかに低減できるかが重要である。しかし、リサイクルしやすい上質な原料は需要が高く、一方で排出量は限定されているため、その調達は容易ではない。

そこで日立は、原料の調達をリサイクル材メーカーに任せるとはせず、各家電リサイクル企業に直接交渉し、リサイクル材メーカーとひも付けしていくことで、原料調達を強化した。これらの活動を通して、日立グローバルライフソリューションズが生産した家電が、日立グループやその他の家電リサイクル企業でのリサイクル処理を経て、再び日立グローバルライフソリューションズの調達先であるメーカーに戻る循環スキームを構築することにより、価格の上昇を抑えとともに環境保護にも貢献した。

(2) 設計・製造時における部品の外観仕様緩和と現場オペレーションの見直し

新品材の使用を前提とした従来の設計では、リサイクル材の使用は物性面や色味などの問題で困難であった。そこで、冷蔵庫の性能に影響しない物性や、製品の外観には無関係な部品などへのリサイクル材適用を前提として設計の見直しを行う必要があった。

また製造時においては、成形機のタクトタイムや生産工程が新品材とリサイクル材で異なるため、現場のオペレーション変更を行う必要がある。また新品材と異なりリサイクル材の材料物性は原料に左右されるため、物性が安定せず、成形時にバリやガスが発生しやすくなる。コンタミネーションによる不良も含めると、一時は新品材比で8%以上も歩留まりが悪化した。

そこで、成形品を外観部品と非外観部品に分類し、非外観部品は色やコンタミネーションを問わない仕様とした。外観部品については、リサイクル材評価の仕様を可能な限り緩和したほか、コンタミネーション対策として、目視検査の際に色調の可否を判断するための明確な基準を設け、不良が発生した時点での対応を徹底した。

また、リサイクル材を使用する成形機を専用化することで、材料切り替えによる段取工数も削減した。

5. 適用拡大に向けた今後の課題

有害な廃棄物の輸出入を規制するバーゼル条約の改正などで廃プラスチック問題が注目を浴びる中、ますますプラスチックリサイクルへの関心が高まっている。こうした中、リサイクル材の適用をさらに拡大していくためには以下の課題に応える必要がある。

5.1

リサイクルを意識した設計

白物家電と言われていた時代の製品とは異なり、現代の家電は多様なライフスタイルに合わせた機能性やデザインが重視されており、結果としてリサイクルがより困難になっている。そこで今後は、以下のような環境配慮設計を提案していく。

- (1) 材料の種類や標準仕様の集約による、耐熱や強度など、真に必要な仕様への見直し
- (2) 使用部品点数の削減による、解体工数の削減
- (3) マーク部を標準工具のみで解体するなど、解体体験を通じた易解体性設計

5.2

解体時の個別回収品の拡大

リサイクル材の物性低下は、ガラスやゴムといった異物や、異なる種類のプラスチック材の混入に起因する。これを防ぐには、高精度な回収を行い、異物などの除去を十分に行う必要がある。

しかし現状では、破碎設備や作業工数などの違いにより、個別回収した材料であっても各家電リサイクル企業間で差異が生じるため、最低限の個別回収品以外は混合破碎し、ミックスプラスチックとしているのが実情である。個別回収を拡大できれば、さらなるリサイクル材の増量が可能となる。

5.3

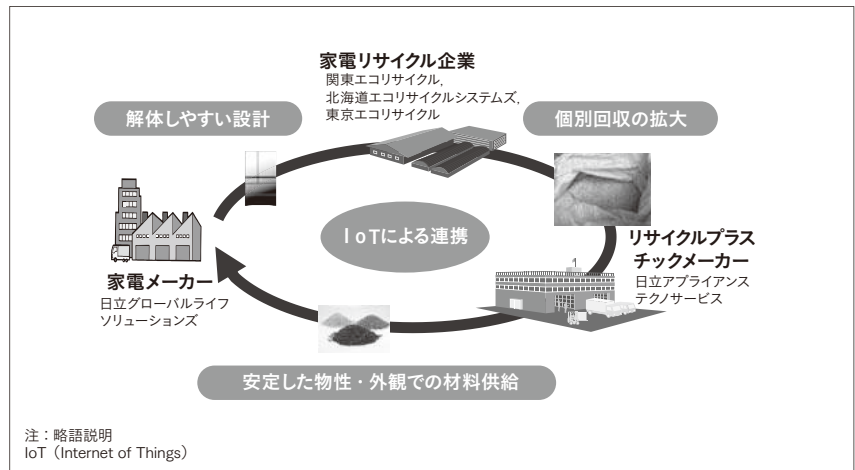
調達・運用面

調達、運用の面では、以下の対策が必要である。

- (1) 原油・ナフサ市況下落時の新品材より常に安価に調達できる価格設定による、リサイクル材の長期的な適用
- (2) 冷蔵庫に多く使用される、リサイクル材(PP白色)の破碎品供給の確保
- (3) 物流費の高騰対策と輸送効率を考慮した在庫オペ

図8 日立グループにおけるプラスチック材の自己資源循環スキーム

資源循環の促進とリサイクル材の適用率向上には、家電リサイクル企業、リサイクル材メーカー、家電メーカーが一丸となって取り組むことが重要である。



レーション

以前は、原油価格などで価格変動する新品材よりも安価となる時にのみ、リサイクル材の調達を行っていた。また、リサイクル材の中でも、廃家電由来の白色PP材はリサイクルに適しているため、需要が高く、新規供給の開拓は厳しい状況にある。前述のとおり、リサイクルプラスチックメーカーとの交渉にとどまらず、日立グループでは、日立製作所バリューチェーン・インテグレーション統括本部と日立グローバルライフソリューションズが連携して各家電リサイクル企業に出向き、直接交渉などにより調達活動を行ってきた。今後の事業拡大に向けては、さらなる原資の調達確保が必要となるため、全国の他の家電リサイクル企業からの調達や、家電由来以外のリサイクル材の適用も検討していく。

5.4

各拠点間の連携強化によるマテリアルリサイクル率の拡大

リサイクル材の再利用率が高い企業では、家電リサイクル企業、リサイクル材メーカー、家電メーカーが三位一体となって、技術開発や品質管理を一貫して行い、自己資源循環に取り組んでいる。図8に日立グループにおける自己資源循環のスキームを示す。日立は今後、IoT (Internet of Things) の活用により拠点間の情報共有と連携をさらに強化し、自己資源循環の取り組みを推進していく。

6. おわりに

今日に至るまで、日立グループでは廃家電から回収したプラスチックの自己資源循環を進めてきた。その結果、2018年度は冷蔵庫において従来の約20%から約50%に

までリサイクルPP材の適用比率を拡大することができた。今後、冷蔵庫への適用比率を100%に近づける活動を継続していくとともに、その他の家電への適用拡大、PSやABSなどの異なるプラスチック材のリサイクル、さらには自動車用部品などその他の日立グループ製品へのリサイクル材の適用を拡大していく計画である。また、環境に配慮したリサイクルしやすいプラスチックの適用拡大や、近年注目されている生分解性プラスチックの適用などを検討し、持続可能な社会の創造に貢献していく。

参考文献など

- 1) 一般財団法人家電製品協会:家電リサイクル制度を支える仕組み、家電リサイクル年次報告書 平成29年度版, pp.7~11 (2018.7) https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/01_04.pdf

執筆者紹介



松本 達哉

日立製作所 バリューチェーン・インテグレーション統括本部
材料集約購買部 所属
現在、非金属材料(主に樹脂)の集約購買業務に従事



五本上 智基

日立グローバルライフソリューションズ株式会社 調達本部
プロダクト調達部 所属
現在、プラスチック材料、ウレタン、冷媒などの調達に従事



後藤 一也

日立アプライアンステクノサービス株式会社 多賀事業所
多賀製造部 所属
現在、プラスチック材料の開発に従事



根本 武

日立製作所 水・環境ビジネスユニット 水事業部
サービス事業推進部 所属
現在、資源循環の企画・開発・事業化に従事

日立評論

日立評論は、イノベーションを通じて社会課題に応える
日立グループの取り組みを紹介する技術情報メディアです。

日立評論Webサイトでは、日立の技術者・研究者自身の執筆による論文や、
対談やインタビューなどの企画記事、バックナンバーを掲載しています。ぜひご覧ください。

日立評論(日本語) Webサイト

<https://www.hitachihyoron.com/jp/>



Hitachi Review(英語) Webサイト

<https://www.hitachihyoron.com/rev/>



 日立評論メールマガジン

Webサイトにてメールマガジンに登録いただきますと、
記事の公開をはじめ日立評論に関する最新情報をお届けします。