

手解体による高効率家電リサイクル技術

Highly Efficient Recycling Technologies for Manual Disassembly of Waste Electric Home Appliances

高田 憲孝 多賀 健二 上山 大治郎
 TAKADA Noritaka TAGA Kenji UHEYAMA Daijiro

2001年4月から始まった家電リサイクル法は順調に推移し、循環型社会形成を推進している。今後は有償化を条件とする法定リサイクル率向上が課題である。(株)テルムではこの動きを先取りし、従来の機械破碎に代えて手解体を主体としたリサイクルを実施している。テレビブラウン管の高速分割法や簡易なプラスチック選別・異物除去法を開発し、回収材料の品質向上、有償化、リサイクルコスト削減を図ることにより、法定リサイクル率に対して約10%向上した。回収材料は家電材料として再利用され、クローズドリサイクルが始まっている。手解体は循環型社会形成の有効な方法として、今後もパソコンなど対象製品を拡大していく。

The recycling of waste electric home appliances, which began in Japan in April 2001, is propelling the construction of a recycling-based society. The next task of this business sector is further improvement of the recycling rate, with 2006 as the target year.

TERM Corp. has already anticipated this movement in advance, and has been recycling electric home appliances by manual disassembly such as implementing the separation of glass from TV cathode ray tubes (CRTs), and easy classification and simple foreign-substance removal technology for plastic materials. This has contributed to a more than 10% improvement over the normal recycling rate. The recovered materials are reused as materials in electric home appliances, so that a closed recycling system has started. Products targeted for manual disassembly will also be expanded from now on, such as personal computers, as an effective method of promoting a recycling-based society.

1 まえがき

2001年4月から始まった家電リサイクル法では、予想以上に多くの使用済み家電製品が回収されており、消費者にリサイクルが周知されたものと思われる。また、全国に40か所設置されたリサイクルプラントでは、家電製品を機械破碎して金属類を機械選別回収しているが、金属とガラスの回収により法定リサイクル率(有償化が条件:エアコン60%,テレビ55%,冷蔵庫50%,洗濯機50%)を上回っている。2002年度のリサイクル率を表1に示す。金属やガラスを回収する技術はほぼ確立したと言える。

今後、更なるリサイクル率の向上を目指すためには、プラスチックのリサイクルが重要となる。現在の機械破碎では、金属類を回収した残さ(シュレッダーダスト:20%程度の金属類と多種類のプラスチックの混合物)から経済的にプラスチックを選別回収するのは困難である。このため(株)テルムでは家電製品を手解体することにより素材を選別回収する方法でリサイクル率向上にチャレンジしており、現在でも機械破碎型リサイクルプラントに比べて、約10%高いリサイクル率を得ている。

ここでは、その現状と技術について述べる。

表1. 2002年度の家電リサイクル率(全国平均)
 Recycling rates of electric home appliances in 2002

項目	エアコン	テレビ	冷蔵庫	洗濯機
引取り台数 (千台)	1,636	3,520	2,565	2,426
処理台数 (千台)	1,624	3,515	2,556	2,409
処理質量 (t)	72,009	95,134	148,662	71,053
リサイクル質量 (t)	56,739	72,110	91,006	42,967
リサイクル率 (%)	78	75	61	60
法定リサイクル率 (%)	60	55	50	50

2 家電製品の解体技術

テレビ・エアコンの手解体ラインの全景を図1に示す。

解体コンベア上に置かれた製品は、製造時とは逆の流れ作業で手解体される。解体で生じた解体物はコンベア間に設置された解体物回収コンベアで運ばれ、人手でピックアップされて部品別、材料別の鉄箱に回収される。解体と回収の併走する二つのラインにより工程が分離され、作業能率が向上してレイアウトもシンプルになった。更に、このときに発生する多量のほこりは、解体コンベア台下部に設置されたフードを経て吸引し、集塵(しゅうじん)機で処理する。解体作業での粉塵発生は必然的であるため、発生時点で舞い上

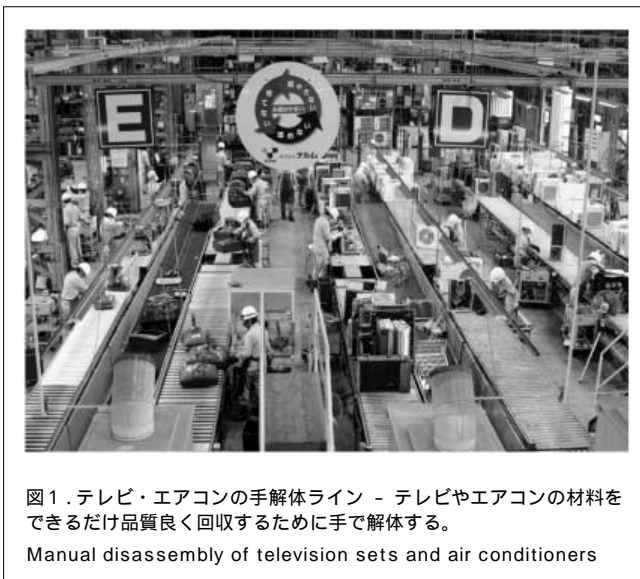


図1. テレビ・エアコンの手解体ライン - テレビやエアコンの材料をできるだけ品質良く回収するために手で解体する。
Manual disassembly of television sets and air conditioners

がらないようにダウンフロー方式で集塵する方法を採用し、作業環境を大幅にクリーン化した。

テレビとエアコンは手解体ですべて解体できる。金属類も部品ごとに回収でき、高価な非鉄類(テレビの電子銃, エアコンの熱交換器など)も純度良く回収できる。プラスチック製のキャビネットやテレビのブラウン管も取り外すことができる。ブラウン管は前後異なるガラスでできているため、更に分割する必要がある。従来はニクロム線を分割する箇所巻きつけて通電加熱し、熱衝撃を与えて分割していたが、通電時間が長いことや分割破断面が鋭角で危ないこと、破断面が一定せず前後のガラスが混じり合って純度が低下すること、またニクロム線がすぐ硬くなって使えなくなるなどの欠点があった。今回、熱の与え方として、近赤外線を集光してブラウン管に照射する方法を考案¹⁾した(図2)。ニクロム線

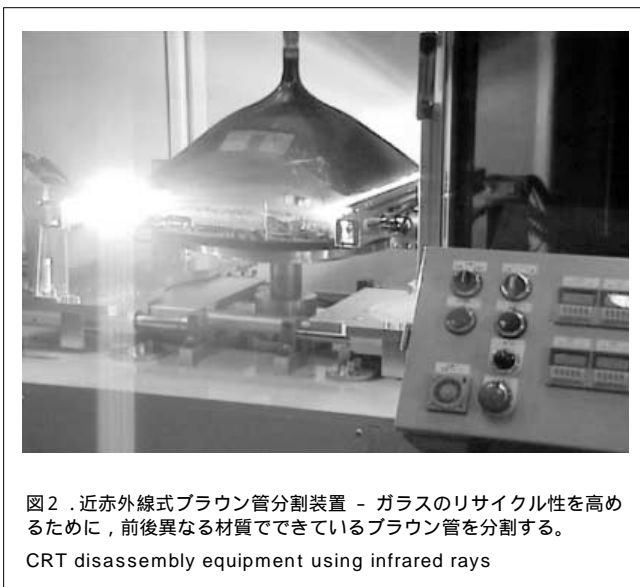
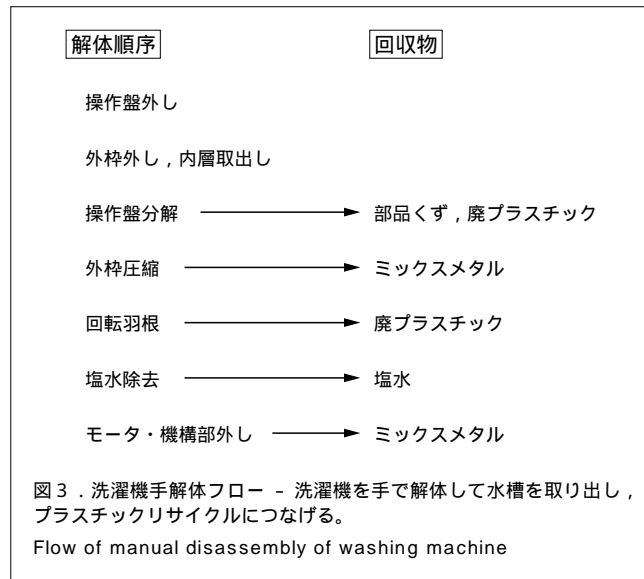


図2. 近赤外線式ブラウン管分割装置 - ガラスのリサイクル性を高めるために、前後異なる材質でできているブラウン管を分割する。
CRT disassembly equipment using infrared rays



を使わないため操作が容易であり、また加熱時間が約1/3になり、破断面は平滑で一定化した。これにより回収ガラスの価値が高まり、ブラウン管へのリサイクルを促進するとともにグラスファイバ化などそのほかの用途も可能になっている。

洗濯機の手解体フローを図3に示す。機械破碎では丸ごと破碎することが多いが(株)テルムではすべて手解体し、外箱などの鉄及び電線などの非鉄も回収するとともに、更に、ポリプロピレン(PP)製の水槽を回収してマテリアルリサイクルしている。洗濯機には、ネジなどがさびてドライバなどの工具では簡単に取り外せないものや、金属部品とプラスチックが嵌合(かんごう)したり溶着したりした難解体物が30%以上もある。そこで、対象部品ごとに専用の工具を開発して解体を迅速化している。また、プラスチック量の多い水槽では、金属製機構部と嵌合した回転羽根を除去する必要がある。



図4. 洗濯機水槽の圧縮切断装置 - 洗濯機水槽から金属製機構部を切断除去し、水槽を圧縮破碎してプラスチックを減容する。
Compression cutting machine for washing machine tubs

今回、水槽を圧縮しながら回転羽根を切り落とす圧縮切断装置を開発した(図4)。1回の操作で回転羽根を切断・分離するとともに水槽を圧縮破碎し、約1/3に減容している。

3 プラスチックのマテリアルリサイクル技術

家電製品に使われるプラスチックは、製品ごとに主要なプラスチック(テレビはポリスチレン(PS)、洗濯機はPP、冷蔵庫はPP、PS、ウレタン)があり、種類は少なく複合化も少ない。更に、手解体時に回収が容易なこともマテリアルリサイクルに適している。課題は廃プラスチックの選別と異物除去で、大量処理できる簡素で低コストな実戦的方法が求められている²⁾。ここで、代表的な二つの例を示す。

3.1 洗濯機のPP

洗濯機のプラスチックはほとんどPPであるが、流動性の異なる3種類のPP(高剛性:水槽、バスケットなど。汎用:台板、水槽カバーなど。ハイフロー型:トップカバー、洗濯ふたなど)が使われている。部品ごとの選別回収には手間がかかるため、混合物を調質剤で品質コントロールすることで対応している。ただ、流動性の異なるプラスチックが混じた場合、調質剤は流動性の高い部分に集まる傾向があるため、強めの混練が必要である。回収した水槽は破碎、洗浄、調質、リベレットされて再生プラスチックとなり、東芝では台板などの洗濯機部品として再利用されている(図5)³⁾。再生プラスチックの物性(表2)はリサイクル材15%混合の場合、現行材と大差はなく、耐熱老化性や耐候性もほぼ同等である(図6)。また、成型した台板の本体組込み落下試験でも良好な結果を得ている。これで、洗濯機プラスチックの約1/2が利用可能になり、洗濯機のリサイクル率は約10%向上する。

ただ、このようなりサイクル材を使った場合、台板表面には1mm以下の黒いはん点状の異物が多数観察され、見た目に良好とは言えない。そこで、異物除去法を検討した。表面研磨法(10mm程度に破碎したプラスチック片をピン型の

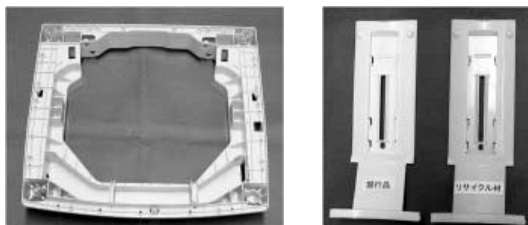


図5.リサイクル材で製作した洗濯機部品 - 洗濯機の廃プラスチックは再生プラスチックとなり、洗濯機部材として再利用されている(左:台板,右:カバー)

Washing machine parts made from recycled materials

表2.洗濯機水槽から再生したPPの物性

Physical properties of polypropylene reproduced from washing machine tubs

材料組成	リサイクル材(%)	100	50	15	0
	現行材(%)	0	50	85	100
流動性	(g/10 min)	25.5	26.0	25.8	26.5
引張強度	(MPa)	31.0	31.0	30.0	29.8
引張伸び	(%)	90	70	160	240
曲げ強度	(MPa)	43.0	43.0	42.0	41.0
曲げ弾性率	(MPa)	1,410	1,410	1,390	1,220
アイソット衝撃強度	(J/m)	62	60	66	69

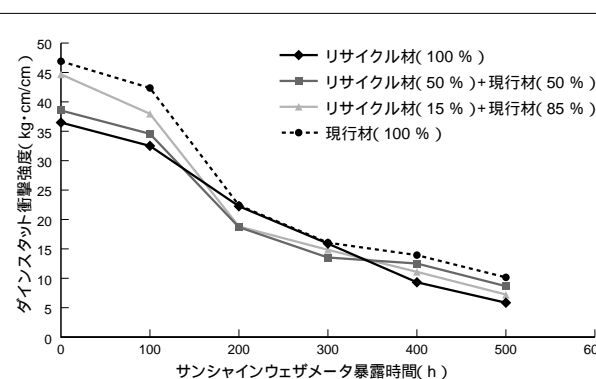


図6.再生PPの耐候性 - 水槽プラスチックから再生したPPの耐候性は、現行材とほぼ同等である。

Weatherability of polypropylene reproduced from washing machine tubs

粉碎機で表面を削り取る方法)では異物数が516個から26個に減り(減少率:95%)、水洗法では57個に減った(減少率:89%)。押し出し機のフィルタでは異物数は503個とほとんど減少しなかった。これは、繊維状の異物がフィルタをすり抜けたものと考えられる。また、色差においても同様な傾向が観察された。よって、異物除去法として、ラベルやシール、塗装などの固形物やプラスチック内に根を生やしているかびの除去には表面研磨法が、また、食品汚れ、洗剤かす、繊維くずなどの水溶性の異物には水洗法が向いている。

3.2 テレビキャビネットのPS

テレビキャビネットの素材にはPSとPPがある。両者には相溶性がなく、PPが1%混入してもPSの物性が数10%低下する。選別には赤外線などを用いるのが一般的であるが、現場でできる方法として打音法を採用した。キャビネットの手解体時に木づちでたたいて音を聞く方法でPSを選別し、純度100%を達成している。また、ラベルや塗装などの異物が物性に与える影響も大きく、除去が必要である。ラベルは溶剤や加熱ではがすことは可能であったが、手間と工夫が必要であり、切り落とすことにした。回収プラスチックの物性は衝撃強度や伸びに低下が見られるが、パーシと混合することにより物性は回復する。この材料で試作したキャビネットは、



図7. リサイクル材で製作したテレビキャビネット - テレビキャビネットの廃プラスチックから製作したもので、組込み試験も良好でクローズドリサイクルが可能になった。

TV cabinets manufactured from recycled materials

組込み落下試験などにも合格した(図7)。

現在、リサイクルプラントから排出される材料を用いてプラスチック再生の実証試験中である。やはり、処理量が多くなると、異物の混入や物性の変動が生じるため、作業標準などによる安定化と、異物検出などの機械化や自動化などを進めている。また、テレビキャビネットには難燃剤が含まれており、再生プラスチックの品質に影響するため、キャビネットをそのまま油化蒸留再生してスチレンモノマー(SM)を回収する技術も検討している⁴⁾。難燃剤はSMの回収率に悪影響するが、異物除去の負担が軽くなるなど利点も大きい。

4 今後の動向

4.1 パソコンのリサイクル

家電以外でも、2002年12月に東芝が事業系パソコンの広域再生利用産業廃棄物処理者指定を取得したのに伴い、東芝パソコンリサイクルセンターが(株)テルムに設置され、事業を開始した。また、2003年10月からは家庭系パソコンの有料回収リサイクルが始まった。パソコンは埋立てや機械破砕しているところが多いが(株)テルムでは手解体で30種類にも分別している。2003年4月からは部品のリユース事業も始まっており、リサイクル率向上に貢献している。

4.2 循環型社会形成の課題

生産拠点の海外移転に伴い、国内で発生した廃棄物の回収再生材の海外輸出や、リサイクルからリユースへの転換など、社会システムの最適化も課題の一つである。家電生産拠点はほとんどが海外に移転したので、国内で回収された素材を海外の生産拠点に移送する必要がある。今後、早急に対策しないと家電リサイクルシステムが成立しなくなるおそれがある。リユースも始まったばかりで、量の確保など事業性にも問題がある。

また、リサイクル促進には解体性向上が重要であり、設

計・製造との連携が必須となっている。メーカーの注力度合いは高く、数年前に比べて解体性は確実に向上している。これらの製品の比率が高まってくると部品の回収も容易になり、リユースを促進すると思われる。

更に、循環型社会では相互の関係が密になるため、社会システムの信頼関係の構築が重要となる。特に、リサイクル事業者にとっては遵法こそが最大の信頼関係構築であり、企業の存在基盤でもある。(株)テルムは、今後も信頼に足る企業として活動を進めていく。

5 あとがき

家電リサイクル事業やその技術開発は官民あげでの協力体制により順調に進んでおり、循環型社会形成の大きな柱となりつつある。(株)テルムでは、多数の解体技術を組み合わせる積極的な手解体を進めており、特に、良質なプラスチックを回収することにより高いリサイクル率を達成している。更に、リサイクルが可能な設計に貢献すべく、東芝と一体となり、解体の簡素化を進めていく。

文 献

- (1) 特許第3375328号. 陰極線管の分割方法および陰極線管の分割装置.
- (2) 早田輝信,ほか. 家電プラスチックリサイクルの現状と課題. プラスチックエージ. 2003年8月臨時増刊号, p.144 - 149.
- (3) 久保田亨,ほか. プラスチックリサイクルの最前線, その取組みと今後の展望. 高分子学会第12回プラスチックリサイクル研究会講演会講演要旨集. 2000-3, p.14 - 17.
- (4) 神山 隆, ポリスチレンのモノマー化リサイクル装置の開発. 高分子学会第14回グリーンケミストリー研究会講演会, 2003-3, p.22 - 24.



高田 憲孝 TAKADA Noritaka

(株)テルム 環境リサイクル本部 技術担当グループ長。
家電リサイクル事業の技術開発に従事。
TERM Corp.



多賀 健二 TAGA Kenji

東芝コンシューママーケティング(株)技術企画部 環境管理担当グループ長。環境担当として冷蔵庫・洗濯機の家電リサイクル関連業務に従事。
Toshiba Consumer Marketing Corp.



上山 大治郎 UEYAMA Daijuro

デジタルメディアネットワーク社 生産技術統括部 環境保全担当グループ長。家電リサイクル技術の開発に従事。
Global Production Engineering Management Div.