家電製品のリサイクル*

菱 孝¹ 藤崎 克己²

Recycling of Home Appliances

by Takashi HISHI^a and Katsumi FUJISAKI^ba. President, Hyper Cycle Systems Corporation, 1-2-4, Higashihama, Ichikawa, Chiba, Japan
(Corresponding author E-mail: hishi@h-rc.co.jp)

b. Technical Manager, Mitsubishi Electric Corporation, 2-7-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan

Law for the Recycling of Specified Kinds of Home Appliances (Home appliances recycling law) was enforced in April, 2001. Air-conditioners, television sets, refrigerators and washing machines are in scope of this law. Manufacturers have not only collected and recycled these appliances, but also removed and treated hazardous materials such as CFC and Cathode-ray tube glass containing lead under this law.

The home appliances recycling law has been going fine even after 6 years passed since the enforcement of law. We will explain the situation and the issue of these appliances recycling at this section.

KEY WORDS: Home Appliances, Recycling, Material Production, Environmental Conscious Design

1. はじめに

2001年4月に「特定家庭用機器再商品化法」(略称：家電リサイクル法)が施行され、メーカーによる特定家電4品目(エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機)のリサイクルが始まった(2004年4月には冷凍庫が追加)。家電4品目から有用素材を高効率で回収したり、含有されるフロンや鉛含有ガラスなどの環境影響物質を回収したりすることは、技術的難易度及び投資コストの問題で従来のインフラでは困難であった。

家電リサイクル法施行後、消費者から回収した使用済み家電製品はメーカーの指定するリサイクルプラントで処理されている。リサイクルプラントは、金属・ガラス・プラスチック等を素材として効率よく回収して世の中に還流しており、またフロンなどの環境影響物質の回収や無害化処理を確実に実施している。

家電リサイクル法に対応するため、1999年4月に三菱電機は千葉県市川市に業界初の家電リサイクルプラントである(株)ハイパーサイクルシステムズ(以下、HCS)の運営を開始した。本稿では、家電リサイクル法の流れとともにHCSの取り組み状況について述べる。

2. 製品の概要

家電リサイクル法でエアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機の家電4品目が対象品目となった背景として次に示す理由があった。

①従来施設での処理が困難

大型で複合した製品のため、従来のシュレッダー施設では処理困難であり、金属やプラスチック等の有用素材やフロンやブラウン管ガラス等の有害物が十分に回収されていなかった。

②重量比で全家電製品の約80%(60万トン)を占める。

HCSにおける上記家電4品目の製品別の素材構成をTable 1に示すが、鉄・銅・アルミニウムだけでなく、多くの高級プラスチック

Table 1 Material composition of home appliances of HCS.

Appliances	Material	Ratio[wt.%]
Air-conditioners	Steel	48
	Copper	17
	Aluminum	25
	Plastic	11
	F-gas	1
	Others	8
Television sets	Steel	5
	Copper	3
	Aluminum	1
	Plastic	18
	Glass	64
	Others	9
Refrigerators	Steel	49
	Copper	5
	Aluminum	4
	Plastic	32
	F-gas	1
	Others	9
Washing machines	Steel	51
	Copper	5
	Aluminum	1
	Plastic	29
	Salt water	3
	Others	11

* 2007年3月15日受付 10月9日受理
1. 代表取締役 株式会社ハイパーサイクルシステムズ
2. 技術担当部長 三菱電機株式会社
[著者連絡先] FAX: 047-327-5861
E-mail: hishi@h-rc.co.jp

キーワード：家電、リサイクリング、素材化、環境配慮設計

Table 2 Estimated volumes of used home appliances before the recycling law was enforced (Thousand units)¹⁾.

Year	1,997	1,998	1,999	2,000	2,001	2,002
Appliance						
Air-conditioners	2,678	2,666	2,774	3,023	3,378	3,788
TV sets	7,937	8,280	8,687	9,031	9,175	9,102
Refrigerators	3,749	3,832	3,940	4,071	4,210	4,331
Washing machines	3,925	4,075	4,294	4,530	4,719	4,817
Total	18,289	18,853	19,695	20,655	21,482	22,038

Fig.1 Scheme of Home appliances recycling in Japan²⁾.

Table 3 Sold material ratios regulated by recycling law.

Sold material ratios regulated by law	
Air-conditioners	60%
Television sets	55%
Refrigerators	50%
Washing machines	50%

クやフロン等を含んでいることがわかる。

家電リサイクル法を検討する際に経産省が推定した家電4品目の排出量を Table 2¹⁾ に示す。2001年の排出量は2148万台/年と推計されていた。

3. 使用済み家電製品の回収・リサイクルシステム

家電リサイクルの仕組みを Fig. 1²⁾ に示す。家電リサイクル法において使用済み家電製品を廃棄する場合には、排出者、小売業者、製造業者の3者に夫々法律上の義務がある。製造業者は引き取った使用済み家電製品のリサイクル処理を行い、回収した素材や部品を有価物として法に定められた規制値以上の重量比率（再商品化率）で売却しなければならない。法に定められた再商品化率を Table 3 に示す。

ここで定義づけられた再商品化率は従来のリサイクル率とは異なり、有効に使用される物であっても逆有価で出荷されたものや熱回収の重量が加算されない。

家電リサイクル料金については、全国一律になるように処理費だけでなく物流費を含めて、処理プラント毎に回収エリアが決められている。例えば Fig. 2 に示すように、HCSの回収エリアは千葉県全域、埼玉県の一部、東京都の一部、茨城県の一部となっている。

4. 使用済み製品等の回収・リサイクル実績

これまでに全国で回収された使用済み家電製品量を Fig. 3³⁾ に示す。2001年から回収量は毎年増加し、2005年度には1162万台

Fig.2 Stock yards around HCS.

が回収され、法律が順調に浸透していることを示している。

次に2005年度の家電リサイクル実績を Table 4³⁾ に示す。再商品化率は法規制値を大幅に上回っており、メーカーの素材化技術開発やリサイクルプラントの素材化回収努力の成果が見られる。

市場に還流された再商品化素材は、Table 5³⁾ に示されるように33万トンになり、Fig. 4⁴⁾ に示される従来処理の2倍以上の素材回収が行われている。

5. HCSにおけるリサイクル

5・1 HCSのリサイクル方針

HCSにおいて使用済み家電製品をリサイクルする際の基本的な考え方は、低コストで下記の項目を実行することである。

- ①環境汚染物質の拡散を最小にする
- ②資源の回収を最大にする（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する

5・2 電気電子機器の処理プロセス

リサイクルには手分解と機械破碎・選別の2つの工程がある。

5・2・1 手分解 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、最初人手で素材や有害物の回収を行う。後述する機械破碎・選別工程よりも回収素材の純度が高いが、人件費等のコストが高くなる。

5・2・2 機械破碎・選別 破碎機で破碎した後、各種選別機で金属やプラスチック等の素材を回収する。機械化のための技術開発と初期投資が必要となる。手分解に比べるとコストが安い、素材純度が低下する。

Fig.3 Collected volume of used home appliances in Japan³⁾.

Table 4 Result of home appliances recycling (in 2005) ³⁾.

Item	unit	Air-conditioners	TV sets	Refrigerators	Washing machines	Total (average)
Collected volume at stock yard	[10 ³ units]	1,989	3,857	2,820	2,952	11,618
Treated volume at recycling plants	[10 ³ units]	1,990	3,852	2,807	2,950	11,599
Treated weight	[ton]	85,814	107,993	162,419	92,801	449,027
Sold material weight	[ton]	72,585	83,530	108,284	69,664	334,063
Sold material ratio (national average)	[%]	84	77	66	75	74
Sold material ratio designated by law	[%]	60	55	50	50	—

Table 5 Recovered material weight (in 2005) ³⁾.

Item	unit	Air-conditioners	TV sets	Refrigerators	Washing machines	Total (average)
Steel	[ton]	26,200	8,678	70,931	39,225	145,034
Copper	[ton]	5,490	4,068	1,309	1,016	11,883
Aluminum	[ton]	2,228	192	384	520	3,324
Mix metals etc.	[ton]	33,925	1,035	20,661	13,713	69,334
Braun tube glass	[ton]	—	53,727	—	—	53,727
Other valuables	[ton]	4,742	15,830	14,999	15,190	50,761
Total weight	[ton]	72,585	83,530	108,284	69,664	334,063

Fig.4 Treatment flow of specified four kinds of home appliances recycling before the enforcement of law⁴⁾.

5・3 HCSの運営と処理システム

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。具体的には、Fig. 5⁵⁾のリサイクル処理フローに示す機械破碎・素材選別・異物除去等の設備開発・改善や、各種選別機等の回収条件の設定あるいは機器配置等により選別精度を向上させている。これらの技術開発により、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、「再生素材の生産工場」という運営方針を持っている。「環境汚染物質の拡散防止は作業環境から」との合い言葉のもとに、作業環境の徹底的な改善を行ってきており、現在最終段階にかかっている。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。

リサイクル処理工程で回収物は多くの工程から選別されるが、これらは精錬等の出荷先の素材化工場で素材化率が最大になるように出荷物を工夫しつつ手解体・破碎と選別・高純度化等を行っている。この結果、現在では出荷品種が100種類以上になっている。

次に、HCSにおける処理について述べる。手解体で外される部品は、3つのカテゴリーに分けられる。

①有害物、環境影響物質、引火性物質等の破碎不適物

冷媒フロン、蛍光灯管、基板、油、ガラス

②難破砕物

モーター、コンプレッサー、コンクリート、ゴム

③有価性の高い物

熱交換器、プラスチック筐体、基板、ケーブル

これらの部品類をはずした後、機械破碎・選別処理システムに投入され、風力・磁力・比重差等を利用して必要なものの回収を行う。機械破碎・選別処理システムは、家電4品目に最適な状態で設計された目的別の3種類のシステムから構成されている。

①機械破碎して金属を回収する「HEART(*)システム」

(*) High Efficient Applicable Recycling Technology

手分解後、衝撃型破碎機に投入して一定サイズ以下にして破碎機から排出した後、風力選別機でダストを除去し、吊下型磁選機で鉄等の磁性金属を回収する。その後、分級機(トロンメル)で破碎物をサイズ毎に分けた後、渦電流選別機や比重選別機を使って非鉄金属を回収する。残ったプラスチック残渣は後述するプラスチック残渣処理システムへ送られる。

②冷蔵庫・冷凍庫から断熱材に含まれている断熱材フロンを回収する「断熱材フロン回収システム」。

冷蔵庫や冷凍庫を手分解した後に衝撃型破碎機へ投入する。

Fig. 5 Recycling process flow of HCS⁵⁾. Fig. 6 Micro-Shredding process flow⁵⁾.

破砕機内で冷蔵庫から剥離されたウレタンを風力選別機で選別して、ウレタン粉砕工程へ送り、断熱材フロンを回収する（詳細は後述）。ウレタンが取り除かれた破砕物は、吊下型磁選機で磁性金属を回収した後、HEARTシステムの金属選別工程に送られる。

③混合プラスチック残渣から高純度プラスチックを回収する「プラスチック残渣処理システム」

HEARTシステムから排出されたプラスチック残渣をさらに破砕した後、素材毎に選別するシステムである。プラスチック残渣処理システムの処理フローを Fig. 6⁵⁾ に示す。最初にプラスチック残渣から難破砕物を除去した後、数 mm ～ 10 数 mm のオーダーまで破砕する。破砕後は風力選別でダスト主体の軽質物を除去し、比重選別機で銅線を主体とした微小金属を取り除く。その後、静電選別機を用いて塩化ビニル主体のプラスチック、塩化ビニルを含まない混合プラスチックに分けるシステムである。塩化ビニルを含まないプラスチックは石炭代替の高炉還元剤としてリサイクルすることが

できる。

5・4 個別品目ごとのリサイクル処理

5・4・1 冷蔵庫処理

手解体で、野菜ボックス、棚板、電球、蛍光灯、基板、ドアパッキン等を外し、冷媒フロンを回収する。コンプレッサーを取り外した後、断熱材フロン回収システムに投入される。冷蔵庫は衝撃型破砕機により数 mm から数十 mm の大きさに破砕され、断熱材であるウレタンは風力選別機により選別され、ウレタン粉砕機に送られる。ウレタンを粉砕機で細かく粉砕することによって微小気泡として存在するフロンを空気とともに回収し、活性炭を利用した回収システムでフロンを分離回収する。

断熱材フロン回収システムでは、断熱材フロンが外気に逃げないように全工程が負圧になっている。全工程からのフロンが混ざった空気を回収し、フロンを活性炭に吸着させて空気と分離する。

ウレタンが取り除かれた残渣には金属と冷蔵庫の筐体であるプラスチックが含まれており、全て「HEARTシステム」に送り込まれる。

5・4・2 エアコン処理

手解体で、熱交換器、送風ファン、配管銅部品、ケーブル、基板等を外し、冷媒フロンを回収する。コンプレッサーを取り外した後、筐体等は「HEARTシステム」に送り込まれる。

5・4・3 洗濯機処理

手解体で、モーター、ゴムベルト、ケーブル、基板、操作パネル、内槽等を外し、水槽のバランスとして使用されている塩水を回収する。筐体等は「HEARTシステム」に送り込まれる。

5・4・4 テレビ処理

手解体で、筐体、ケーブル、基板、電子銃、偏向ヨーク、防磁ワイヤー、スピーカ等を外し、ブラウン管はカレット化システムに投入され、パネル、ファンネル、マスク、防爆バンド等が分離選別される。

プラスチックの筐体はプラスチック粉砕システムで粉砕されプラスチックとして利用される。

5・5 素材としてのリサイクル

上記工程で回収された素材は、HCS から直接・間接に精錬炉・電炉等に送られて素材化される。この素材化工場で単一素材として回収された量を素材含有率で推定した量を Table 6 に示す。Table 6 に示すように、処理重量の大凡 75% が素材化されている。

一方で埋立量に関しては、直接埋立が 2% 程度、焼却処理における残渣が焼却投入量の 10～15% 程度として合算すると、大凡 5% 程度であると推定される。

このように、極めて質の高いリサイクルが実現できているのは、素材化率を高めるよう HCS で選別精度を向上させているからである。

5・6 プラスチックのリサイクル

洗濯機の水槽や冷蔵庫の野菜ケースなど手分解で回収した約 200 トンのプラスチックについては、家電製品の部材として適用される「自己循環リサイクル」が進んでいる。しかし、HCS で発生する機械破砕後の約 7,000 トンの混合プラスチックは、複数種類のプラスチックや微少の金属類が混ざった混合物で家電製品の部材として適用するには難しく、従来は土木材料等の極めて低グレードの利用方法しかなかった。

HCS では、前述した「プラスチック残渣処理システム」により、上記混合プラスチックから塩化ビニルを含まない混合プラスチックや微小金属を高精度で選別している。このシステムが素材化率を高めることに大きく寄与している。

さらに、HCS では塩化ビニルを含まない混合プラスチックから単一品種の PP (Poly-Propylene: ポリプロピレン) 等のプラスチックを選別するシステムの技術開発を行っている。現在 PP については一部製品へ導入開始しており、量産化設備構築へ向けての技術開発を進めている。

5・7 製品解体情報のフィードバック

使用済み家電製品を処理する過程で得られた易解体性技術情報は、家電メーカーの商品開発部門へ伝達され、製品設計に反映される。将来の製品は現在回収されている製品と比較してリサイクルしやすい製品となって回収されることになる。例えば、最近の製品設計ではプラスチックの種類が数十種類から 10 分の 1 以下になっており、構造的にも素材回収がしやすい設計になってきている。

6. 今後の展開

「持続型社会」実現のためには、使用済製品を適正に処理して素材として社会に還流する「静脈産業」を無視することはできない。

Table 6 Shipping material weight and rate of HCS (in 2005).

Item	Weight[ton]	Rate
Steel	14,000	38.9%
Copper	2,200	6.1%
Aluminum	2,100	5.8%
Stainless	100	0.3%
Plastic	4,400	12.2%
Cullet (Braun tube glass)	4,100	11.4%
F-gas (Fluorocarbon resin)	100	0.3%
Subtotal (Mechanical recycling)	27,000	75.0%
Thermal recycling	6,100	16.9%
Subtotal (Thermal recycling)	6,100	16.9%
F-gas(Destruction)	100	0.3%
Incineration	2,000	5.6%
Landfill	800	2.2%
Subtotal	2,900	8.1%
Total	36,000	100%

くなっている。HCS は三菱電機という「ものづくり（動脈産業）」の思想を静脈産業に取り入れ、5・1 項で掲げた 3 つの役割を確実に具現化し、低コストで透明性の高いリサイクル会社を構築している。

今後さらに質の高いリサイクルを実現するには、環境配慮設計を進めるとともに、手分解で発生する複合部品や機械選別工程で発生する混合非鉄金属・プラスチック等の混合素材を単一素材化するための機械選別技術を低コストで開発する必要がある。

リサイクル工場としては、順法・安全・環境汚染拡散等のリスク管理を怠らず、高純度の素材を社会に最大限還流することで、「再生素材生産工場」が実現できる。このようなリサイクルシステムの構築に進むことが求められている。

References

- 1) Ministry of Economy, Trade, and Industry, 3R-policy Homepage, <http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/20.html> (2001)
- 2) Ministry of Economy, Trade, and Industry, 3R-policy Homepage, http://www.meti.go.jp/policy/kaden_recycle/case1/case1_02.html
- 3) Association for Electric Home Appliances, Siryouhen Home page, <http://www.aeha.or.jp/05/c.html>
- 4) Japan Society of Waste Management Experts, Dai 16 Kai Haikibutsu Gakkai Kenkyu Happyou Kai Homepage, <http://www.jswme.gr.jp/recycle/Re051031/sougougre051031.pdf> (2005)
- 5) Hyper Cycle Systems Corporation, Homepage, <http://www.h-rc.co.jp/>