

家電リサイクルシステム の現状と課題

天然資源の消費抑制を目的とする循環型社会形成推進基本法が2000年に制定され、環境への負荷低減を目指す循環型社会に向けて、我が国は大きな一歩を踏み出した。2001年4月に施行された家電リサイクル法は、循環型社会を支援する法整備の第一歩である。本稿では、同法律施行後1年が経過した家電リサイクルシステムの現状と最新のリサイクル技術について紹介する。

ジャパンモデルとして世界が注目

循環型社会の基本となるのは、廃棄物を減量化するための発生の抑制(Reduce)、再利用(Reuse)および再資源化(Recycle)の3Rである。これまで小売業者や市町村が回収していた一般家庭から排出される家電製品は、その一部をリサイクルしていたが、大部分はそのまま埋立処分されていた。このような現状を打開し、廃棄物の減量化と有用な部品・素材の回収・リサイクルを適正かつ円滑に実施することを目的として、「特定家庭用機器再商品化法」(以下、家電リサイクル法と呼ぶ)が制定された。同法の特徴は、以下のように要約される。

- ①製造業者及び小売業者は、使用済み家電製品(以下、廃家電と呼ぶ)を引き取る義務がある。
- ②製造業者等は、廃家電をリサイクルする義務を負う。
- ③廃家電の排出者(消費者)は、運搬、保管およびリサイクル処理に関する費用を負担する。
- ④小売業者、収集・運搬受託者および製

造業者等は、これらの流れを管理票で確認する。

とりわけ②は、リサイクル処理が規定されている4品目の大型家電製品(テレビ、冷蔵庫、洗濯機およびエアコン)を製造している家電メーカーに、リサイクル処理施設を操業する義務を負わせる初めての試みである。このシステムは、＜ジャパンモデル＞と呼ばれ、世界中から注目されている。

この家電リサイクル法に対応するため、家電製造各社は、主に既存の廃棄物工場を使うAグループ(松下電器産業(株)、(株)東芝など)とリサイクル施設を新設したBグループ((株)日立製作所、三菱電機(株)、三洋電機(株)、ソニー(株)、シャープ(株)、富士通ゼネラル(株)など)の2つのグループにまとめ、連携して責務履行に対応する体制を整えている。

順調に滑り出した 家電リサイクルシステム

現在、家電リサイクル法の対象となっている4品目の家電製品は、年間約2,000万台(重量にして60万t)が破棄されてい

ると推計される。「当初は、1台もリサイクル施設に集まらないのではないか、という不安がありました」(三菱電機 リビング・デジタルメディア事業本部 技術担当部長 上野潔氏)。

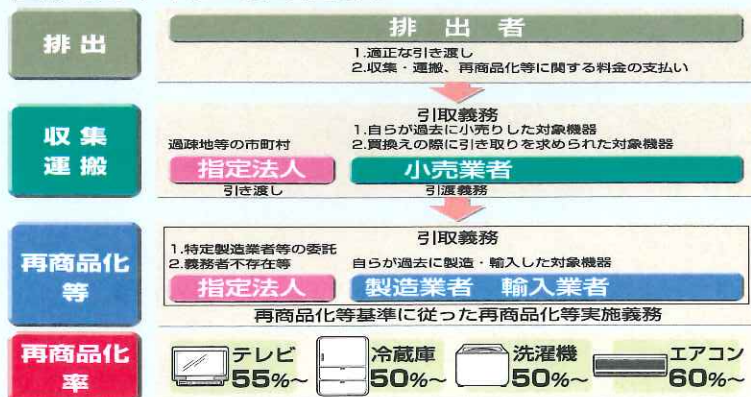
しかし、この1年間をふり返ると、家電4品目の回収は予想をはるかに上回る実績を上げている。「我が社が出資して設立したリサイクル施設は、年間約60万台の廃家電を処理する能力があります。予想処理台数は年間30万台でしたが、実際には1年間で75万台に達しました」(上野氏)。

経済産業省によると、家電リサイクル法が施行された2001年4月から2002年3月までの1年間に、全国のリサイクル施設に回収された家電4品目の総数は、837万台である。

この結果を見る限り、家電リサイクルシステムは成功していると言えるだろう。しかし、残りの約1,000万台はどこへ消えたのか、という疑問が湧いてくる。

「よく質問されるのですが、わからないというのが現状です。懸念されていた不

■家電リサイクル法の仕組み



法投棄もそのような台数には達していません。考えられる理由は、廃家電の多くが中古品として海外に流出していることなどが考えられます。しかし、この流出台数については、国も調査していますが、まだ実態がつかめておりません」((財)家電製品協会)。

再商品化とは何か

家電リサイクル法では、従来の「リサイクル率」に代り「再商品化率」という新しい評価方法が採用されている。同法は、エアコンで60%以上、冷蔵庫で50%以上、テレビで55%以上、洗濯機で50%以上の再商品化率の達成をリサイクル施設に義務づけている。

ここで「再商品化」は、「製品の部品または原材料として利用する者に、有償または無償で譲渡し得る状態、あるいは自ら利用する場合」と定義されている。すなわち、リサイクル資源は、商品として販売できる価値を有するか無償で提供するに値するものでなければならないと言える。

「再商品化率」は、「廃棄物の総重量に対する再商品化資源の重量の百分率」として定義される。一方、「リサイクル率」は、「廃棄物の総重量に対するリサイクル資源の重量の百分率」を意味しており、リサイクル資源が逆有償(後述)で処理される場合もある。このように定義の異なるリサイクル率と再商品化率が混同されて、家電リサイクル法ではリサイクル率が低いという誤解も生じ、混乱を招いている面もある。

また、同法では、「再商品化等」という用語が用いられている。これは、再商品化(material recycle)と熱回収(thermal

recycle)を指している。熱回収については、現在のところ再商品化率の算出に含まれていないが、将来、再商品化率が引き上げられた場合には、熱回収も検討されると思われる。

リサイクル処理の流れ

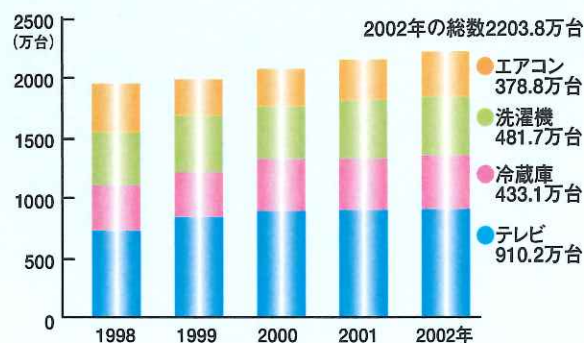
再商品化率を義務づけられているリサイクル施設では、一般的に搬入された廃家電を以下のような手順で処理している。

まず、事前処理において電源コードや冷媒フロンが回収される。処理工程の第一段階は、人間の手によるブラウン管、プリント基板、キャビネット(テレビ)、コンプレッサー、ドアパッキン、棚・容器(冷蔵庫)、モーター、ステンレス槽、ホース(洗濯機)、圧縮機、熱交換機(エアコン)などの分解作業である。この分解作業後、破碎や分別といった機械処理が行われ、鉄、銅、アルミニウム、ガラス、プラスチックなどの材料が回収される。

選別対象物の粉碎品を分別する方法は、従来の選鉱技術を応用したものであり、水溶液や有機溶媒などの液体溶媒を用いる湿式比重分別法(浮沈分別法、遠心力分別法など)、液体溶媒を使用しない乾式比重分別法(風力選別法、流動層選別法など)、電磁気力を利用する電磁・静電分別法(電磁分別法、渦電流分別法、静電分別法など)がある。

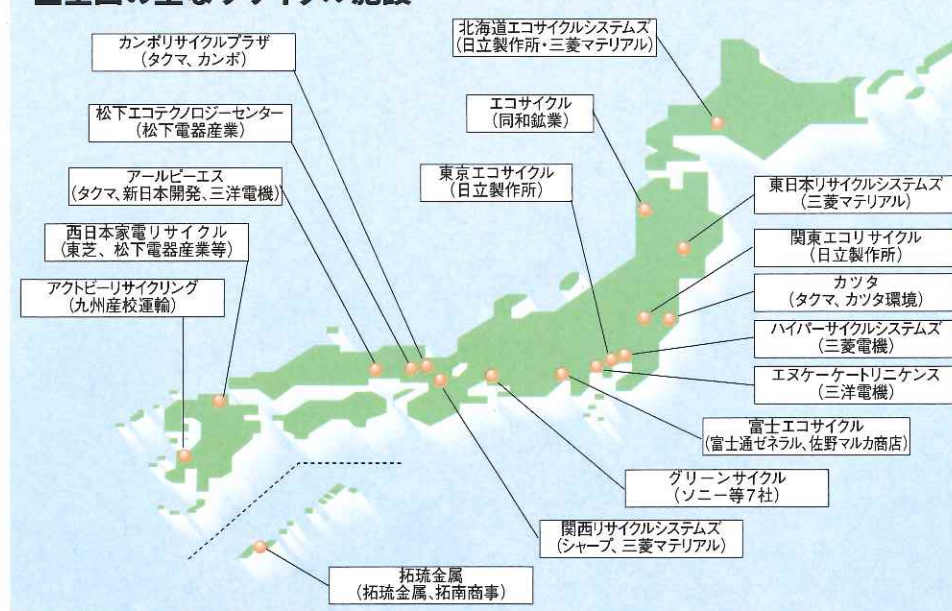
これら種々の分別法の中で、主流となっているのが、電磁・静電分別法である。磁石で磁性体を吸引する原理を利用した最も古くから行われている電磁分別法は、現在でも鉄の回収方法として重用されている。一方、磁界変化による物質の反発力の差を利用した渦電流分別法は、アルミニウムや銅などの非鉄金属材料の分別に用いられている。また、物質による静電気の発生挙動や帯電特性の違いを利用した静電分別法は、ガラスとプラスチックを分離する方法として採用され

■家電4品目の推定排出量 (通産省1997年度調査より)

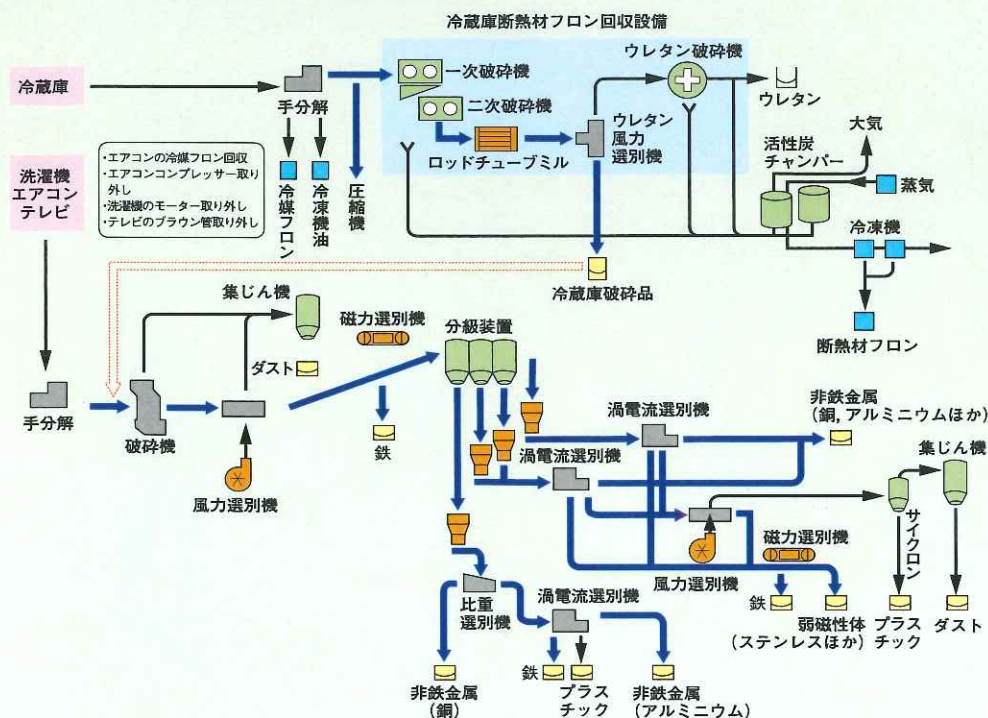


■全国の主なリサイクル施設

※2002年4月現在、全国で39箇所のリサイクル施設が稼働している。



■リサイクル施設の破碎・選別行程(例)



廃家電を破碎する340馬力の縦型破碎機



強力磁石で鉄と非鉄金属を分離する磁力選別機

ることが多い。

製鉄所と提携するリサイクル施設

各リサイクル施設における処理工程には、大きな違いはないものと考えられる。しかし、各リサイクル施設は、独自の工夫と特徴で互いに競い合っている。

例えば、神奈川県川崎市のエヌケーケー・トリニクス(株)は、NKK京浜製鉄所の敷地内にあり、製鉄所と連携しているのが最大の特徴である。リサイクル処理で取り出された鉄は、製鉄所に売却され、製鉄工程で再資源化されている。

「我が社の鉄は、転炉製鋼の原料に用いることが想定されているので、品質が高くないと買ってもらえないのです。そこで、高品質の鉄を回収するために、磁力選別機を2台連結し、分別処理の精度を高めています。それでも、銅線などが鉄に絡んでしまうので、人間の手で丁寧に取り除いています。電炉製鋼用の原料であれば、そこまで拘らなくてもよいのですが、転炉製鋼で高級鋼材を製造する場合には手抜きはできません」(エヌケーケー・トリニクス副社長 福島徹氏)。

しかし、プラスチックのように、お金を払い使ってもらう、いわゆる「逆有償」のリサイクル資源もある。エヌケーケー・トリニクスでは、廃家電から分別したプラスチッ

クを高炉の還元剤として製鉄所に供給している。

「還元剤に利用するプラスチックは、粒径が8mm以下の微細粒でないと、高炉の羽口から吹き込めません。このような微細粒化処理を製鉄所が担当するので、逆有償になってしまうのです。この処理を我が社で行えば、無償で提供できる可能性もあります。しかし、処理設備を自前で所有するのは、コスト面を考えると困難です」(福島氏)。

多くの家電製品には、多量のプラスチックが使用されている。現時点におけるプラスチックの再商品化の最も有力な方法は、高炉製鉄における還元剤としての利用である。しかし、現在のように逆有償である限り、各リサイクル施設にとって再商品化率を高めるのは容易ではない。

プラスチックの最新リサイクル技術

家電各社もプラスチックのリサイクル技術を熱心に研究している。5～10年間使用されたテレビの筐体を構成するプラスチックは、ほこりやラベルなどの異物や塗装の除去が難しく、赤外線や紫外線による劣化のため機械強度が低下しているので、従来技術ではリサイクルが困難であった。

東芝は、新規に製造したプラスチック

材と同等の性能を発揮するプラスチック材を使用済みテレビからリサイクルする新しい技術を新日鐵化学(株)と共同で開発した。

この新技術は、乾式洗浄技術を応用したものである。すなわち、幅2m、奥行き3m、高さ2mの風洞に、分別・破碎したプラスチックを入れて強力な風を送りこむ。その際、プラスチック同士がぶつかり合うことによって、表面が摩耗し、10～15vol.%の表面劣化層が除去されることで機械強度が回復する。さらに、コンパウンド技術を用いて物性や成形性を調整すると、テレビの筐体に再利用可能なリサイクル資源となる。

「この新技術により、原材料の調達価格が1割安くなると考えられます。従来、廃プラスチックは廃棄物処理会社に有償で引き取ってもらっていました。しかし、この新技術によって、有償で売却できる可能性が出てきました」(東芝 広報部)。

また、三菱電機は、静電気に対する帯電特性の違いを利用して、効率的に廃プラスチックを分離する技術を開発している。

環境適合型設計への取り組み

10年ほど前から、環境適合型設計(design for environment; DFE)という言葉が家電業界でも盛んに使われるように



粉碎・選別行程で出された鉄

なってきた。DFEとは、製品のライフサイクル(素材、製造、使用、回収、廃棄)を通じて、製品が環境に与える負荷をできる限り小さくするように配慮した製品設計の手法である。近年は、この手法を生かして、解体作業を容易にするために、ネジの総数を減らしたり、接合部が簡単に外れる分解容易型構造を採用するなど、さまざまな試みがなされている。

また、以前はラベル用の材料として紙やポリ塩化ビニルなどが使われていたが、これらもリサイクルの障害となっていた。最近では、プラスチック部品と同じ材料で作られた相溶性ラベルが採用されるようになり、ラベルをはがさずに解体処理できるようになった。また、相溶性塗料も登場し実用化されている。

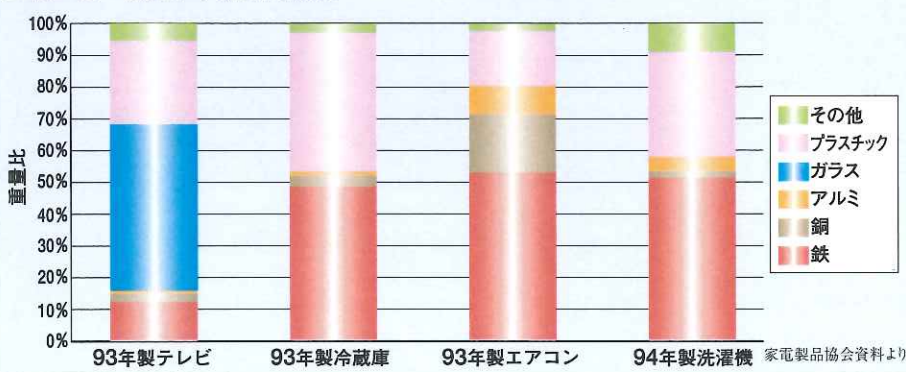
しかし、現在リサイクル施設に持ち込ま



使用済みのテレビキャビネットと粉碎された処理前プラスチック

新技術によって処理されたプラスチックはバージン材と同等の性能を持ち、キャビネットとしてリサイクルされる。

■家電4品目の素材構成



家電製品協会資料より

れる廃家電のほとんどは、DFEが考慮されていない時代に製造されているため、解体作業が困難であり現場の作業員に大きな負担をかけている。

こうした状況に対応するために、リサイクル施設をいち早く立ち上げた家電メーカーもある。Bグループの三菱電機は、(株)ハイパーサイクルシステムズ(千葉県市川市)を設立し、家電リサイクル法施行の1年前から稼働させている。

「このリサイクル施設を早期に稼働させたのは、事前に勉強し家電リサイクルのノウハウを早く蓄積しておきたかったからです。特に、リサイクル施設における実証実験の結果を製品設計に反映させることも大きな目的でした。施設を立ち上げるとすぐに、新品のエアコンを100台持ち込み、製品設計者に分解させてみました」(上野氏)。

このように、家電各社にとって、リサイクル施設は、DFEを進める上でも重要な役割を担っている。

ハロゲンランプによる ガラス分離技術

テレビのブラウン管は、鉛がファンネル

部に含まれているが前面のパネル部には含まれていない。このため、ブラウン管の構成材料をリサイクル資源として活用するためには、ファンネル部とパネル部を正確に分離して回収する必要がある。

現在、リサイクル施設では、加熱したニクロム線をパネル部とファンネル部の境界部に押し当てて、熱歪による亀裂を発生させることによって分離している。

しかし、この方法では、ニクロム線が接触せずに浮いてしまい熱が均等に伝わらない場合があり、不均等に割れることもあった。また、境界部にあらかじめ傷を付けておく必要があり、処理時間を要していた。

これに対して、解体作業の効率化に貢献する新技術として注目を集めているのが、東芝が発表したハロゲンランプの輻射熱を利用してテレビのブラウン管(cathode-ray tube; CRT)を解体する「集光式CRT分割法」である。

この新技術では、棒状のハロゲンランプの周りに反射鏡を置き、輻射熱を集光させることによって境界部を加熱することができる。集光部の温度が約1,200℃度にも達するこの方法を用いると、境界部が短

コラム

注目を浴びるガス化溶融炉



将来、熱回収(サーマルリサイクル)が再商品化率に含まれた場合、期待が寄せられているのがガス化溶融炉である。熱回収は基本的には焼却処理であり、塩化ビニルを含む廃プラスチックは、ダイオキシンの発生が問題となる。しかし、廃棄物の有するエネルギーを利用するガス化溶融炉は、高温の還元雰囲気中で溶融するため、ダイオキシン類の発生量を抑制することができる。さらに、プラスチックは燃焼させると、重油と同程度の熱量を発生することから、ガス化溶融炉の燃料としても有望である。ガス化溶融炉が数多く設置され、廃プラスチックの需要が増えれば、「高炉還元」との価格競争も期待できるという声もある。

◀都市ごみの諸問題に対する切り札として期待が集まるガス化溶融炉

■リサイクル上課題のある金属素材

区 分	使用箇所	課題と現状
磁性材料	冷蔵庫ドアガasket 直流モーター スピーカー、磁気センサー類	機械装置への付着防止のため、事前に手分解する。
高級金属（高合金） フェライト系ステンレス鋼 アンバー合金	洗濯機の洗濯槽 テレビのマスク（グリル）	磁力選別機で鉄側に選別されるため、事前に手分解する。
鉛フリーはんだ	プリント基板	銀、ビスマスなどの貴重金属の拡散が課題となる。
マグネシウム合金	軽量化筐体	破碎時の発火の恐れがあるため、事前に手分別、手分解する。

時間で加熱されるため、ファンネル部とパネル部を正確に分離することができる。30inのブラウン管に対する通電開始から分離終了までの時間は、ニクロム線法の場合約300secであるが、集光式CRT分割法では約90secと大幅に短縮されている。

また、CRTカレット（溶かし直し用のガラスくず）の発生量は、テレビの大型化とパソコンの普及台数の増加にともない、2006年度には2001年度の倍の年間10万tに達する見込みである。ガラスメーカーは、CRTガラスへのCRTカレットの再利用率の許容限を30%程度と見ている。現在のカレットの品質では、それ以上再利用率を高めるとCRTガラスの品質劣化を招く恐れがあるからである。余剰カレットのリサイクルを推進するためには、現在7%である再利用率を許容限の30%近くまで高めなければならない。再利用率を増やすために、CRTカレットの品質を高める必要があり、集光式CRT分割法による精度の高い分離技術は、CRTカレットの高品質化に大きく貢献するものと期待される。

リサイクルにおける 金属材料の課題

リサイクルの現場では、解体作業の困難さばかりでなく、さまざまな問題に直面している。この中で、代替フロンの問題が特に深刻である。

冷蔵庫の冷媒やウレタン断熱材の発泡剤として、従来特定フロン（chlorofluorocarbon；CFC）が使用されてきた。しかし、現在販売されている冷蔵庫では、冷媒や発泡剤に可燃性のイソブタンやシクロペンタンがそれぞれ用いられている。無毒で不燃性のフロンは、冷蔵庫の冷却用コンプレッサーから安全

に回収することができる。しかし、可燃性のイソブタンは、回収作業の際に爆発する危険性がある。このような非フロン冷蔵庫のリサイクルシステムを確立するためには、可燃性の冷媒を安全に回収できる新技術の開発が急務である。

次に深刻な問題は、金属材料に関するものである。前記の代替フロンと同様に、電子機器の筐体に使われているMg合金も可燃性である。また、磁性材料もリサイクル施設では鬼門となっている。磁石が破碎機やコンベアに付着すると、機械を止める恐れがある。特に最近のエアコンは、省エネ設計のインバータ化により、永久磁石を界磁に用いた直流モーターが使用されている。破碎機やコンベアへの付着を防ぐためには、磁石をすべて手作業で取り除かなければならない。このような手作業は、作業効率を低下させる一因となっている。家電製品に使用されるフェライト系ステンレス鋼も磁性があり、磁力選別機では普通鋼と一緒に分別されてしまう。しかし、Crなどの添加元素を多量に含むステンレス鋼は、普通鋼にとっては異物である。このような異物の混入を防ぐためには、手作業に頼らざるをえない。

また、最近の大型フラットテレビには、アンバー合金が使用されている。しかし、使用材料に対する品質表示がないためにリサイクル施設の作業員には普通鋼との区別がつかない。このため、高価な合金材料であるにも関わらず、普通鋼として処理されているのが現状である。

法施行1年をふり返る

家電リサイクル法が施行されて1年が経過した。東京大学生産技術研究所の安井至教授は、家電リサイクル法をこう評

価している。

「各種のリサイクル法が存在する中で、家電リサイクル法は最もうまく機能しているものと考えられます。まず、不法投棄が意外に少なかったことが大きいと思います。また、家電メーカーはリサイクルを前提に製品設計を行うようになりました。消費者も、廃棄の費用負担が発生することを認識し、購入した製品を長く使うことを心がけるようになりました。このように、家電リサイクル法の影響はかなり大きいものといえるでしょう。鉄鋼業界については、プラスチックを還元剤として利用したり、リサイクル処理の容易な新材料を開発するなど、家電リサイクルに貢献できる余地がかなりあると思われます」。

家電リサイクル法は、家電リサイクル業という業種を誕生させ、新たな雇用を生み出している。また、間接的には、新しい技術分野と産業の創生をもたらしめている。

その一方で、産業の空洞化現象にともなう厳しい状況も存在する。例えば、ブラウン管リサイクルガラスの再商品化を計画しても、生産可能な工場が国内に少なくなっている。将来は、製品設計の可能な施設も海外に移転してしまうかもしれない。これからは、海外へ流出する中古家電の問題も含め、リサイクルに対する地球規模の視点に立った施策が求められるであろう。

■取材協力／東京大学生産技術研究所 安井至教授、財団法人 家電製品協会、株式会社東芝、三菱電機株式会社、エヌケーケートリニクス株式会社

■参考資料／『リサイクルの百科事典』（丸善）、『循環型社会科学と政策』（有斐閣アルマ）、『電気製品のリサイクル展望』（社団法人 日本エネルギー学会誌 2001年12月号）、『循環型社会の形成に向けて 家電リサイクル法』（中小企業総合事業団）

■撮影／千歩敦夫（エースファイブ）
石山祥次（NKBC）



ハロゲンランプの輻射熱を利用した集光式CRT分割装置