

平成 19 年度
グローバル製品の資源循環における
低環境負荷・易資源循環製品設計技術
に関する調査研究報告書

平成 20 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
財団法人 製造科学技術センター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>



序

近年、技術の発展と社会との共存に対する課題がクローズアップされ、機械工業においても環境問題、安全問題が注目を浴びるようになってきております。環境問題では、京都議定書の第一約束期間が開始し、排出権取引やCDMなどの柔軟性措置に関連した新ビジネスの動きも本格化し、政府や産業界は温室効果ガスの削減目標の達成に向けた取り組みを強化しているところです。また、欧州化学物質規制をはじめとする環境規制も一部が発効し、その対応策が新たな課題であるとともに、新たなビジネスチャンスとも考えられます。

一方、安全問題も、機械類の安全性に関する国際規格の制定も踏まえて、平成19年には厚生労働省の「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改正に伴い、リスクアセスメント及びその結果に基づく措置の実施が事業者の努力義務として規定されるなど、機械工業にとってきわめて重要な課題となっております。

海外では欧米諸国を中心に環境・安全に配慮した機械を求める気運の高まりから、それに伴う基準、法整備も進みつつあり、グローバルな事業展開を進めている我が国機械工業にとって、この動きに遅れることは死活問題であり早急な対処が求められております。

こうした内外の情勢に対応するため、当会では環境問題や機械安全に係わる事業を発展させて、環境・社会との共存を重視する機械工業のあり方を追求するため、早期からこの課題に取り組む調査研究を行って参りました。平成19年度には、海外環境動向に関する情報の収集と分析、それぞれの機械の環境・安全対策の策定など具体的課題を掲げて活動を進めてきました。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業の環境・安全対策のテーマの一つとして財団法人 製造科学技術センターに「グローバル製品の資源循環における低環境負荷・易資源循環製品設計技術に関する調査研究」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成20年3月

社団法人 日本機械工業連合会
会 長 金 井 務

はじめに

日本の人口減少、高齢化の急速な進展による労働力の逼迫、技術力を担う人材の質の低下による技術革新の弱体化、過激なグローバル競争にさらされる産業構造を支える基底層（中小企業）の空洞化、急速に発展するインド、中国等開発途上国による追い上げによるマーケットシェアの低落の長期的見通しに加え、地球規模の環境危機に直面していることは、大方の見方と言って宜しいかと思えます。特に、地球規模の環境危機は、その蓋然性が高まっております。一方見方を変えますと、国際間で共有する危機は、我が国にとって逆にチャンスでもあります。いちはやく高度環境付加価値を持った産業システムを構築することによって、国際的競争力を回復する機会でもあります。

本調査研究は、わが国の国際収支基盤のひとつでもあるグローバル家電製品を取り上げ、持続可能な資源利用を実現するための技術である「易資源循環製品設計とリサイクルとを整合させた設計・リサイクル技術、およびグローバルな資源循環を可能にする循環チェーンの構築技術」を開発するために避けられない問題、すなわち「世界各地で、リサイクルや易資源循環製品設計に対する基本的考え方及び体制が大きく異なる」問題を分析し明らかにすることを直近の目標としています。そのため、日本、欧州、中国、米国のリサイクルの現状を調査し、各地域の特徴をモデルとしてまとめ、これらのリサイクル方法の違いが資源回収効率、環境負荷の面からどのように異なるのかを見るため、家電製品14種136台を用いたリサイクル実験を行うことによって、課題を明確にした次第です。

今後は、今回整理したリサイクルモデルの中でどのモデルが優れていると言えるのか、あるいはどのようにして最適なりサイクルプロセスを設計するのかといった点を検討していく必要があります。このためには、リサイクルプロセスのより詳細な評価が必要と考えられます。すなわち、単に分解・分別された材料の量的な評価だけでなく、それらの質、価値などの面から、リサイクルの本来の目的である資源・環境問題の軽減という面からの評価を体系的に行えるようにしていかなければいけないと思えます。

本報告書は、この調査研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成20年3月

財団法人 製造科学技術センター
理事長 庄山悦彦

事業運営組織

本事業は、次の委員会を設けて実施した。

平成19年度グローバル製品の低環境負荷・易資源循環設計技術検討委員会

委員長	高田 祥三	早稲田大学 創造理工学部 経営システム工学科 教授
委員	上野 潔	国際連合大学 プログラムアドバイザー
委員	梅田 靖	大阪大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授
委員	熊澤 孝明	(株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第一研究部 研究員
委員	馬場 研二	東京エコリサイクル(株) 代表取締役社長
委員	平尾 雅彦	東京大学 大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
委員	弘重 雄三	(株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第一研究部 第4研究室 室長
委員	藤崎 克己	三菱電機(株) リビング・デジタルメディア技術部 技術担当部長
委員	松野 泰也	東京大学 大学院 工学系研究科 マテリアル工学専攻 准教授

※委員変更

2007年10月12日まで (株)日立製作所 並河 治

2007年10月15日から (株)日立製作所 熊澤 孝明

(敬称略・50音順)

事務局	瀬戸屋 英雄	(財)製造科学技術センター IMSセンター 所長
事務局	鈴木 一規	(財)製造科学技術センター IMSセンター 研究開発部 部長
事務局	八木 淳一	(財)製造科学技術センター IMSセンター 研究開発部 部長代理
事務局	高橋 慎治	(財)製造科学技術センター 生産環境室 主席研究員

目 次

第 1 章 調査内容.....	1
1.1 調査の目的.....	1
1.2 調査の内容.....	2
1.3 調査体制.....	3
1.4 委員会開催状況.....	4
第 2 章 E-Scrap の技術の現状と問題点.....	5
2.1 電気機器資源循環（リサイクル）の現状.....	5
2.1.1 日本における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状.....	5
2.1.2 欧州における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状.....	16
2.1.3 中国における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状.....	46
2.1.4 米国における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状.....	72
2.2 FPD の資源循環（リサイクル）技術の現状・問題点と基礎検討.....	97
2.2.1 LCD のリサイクルについて.....	97
2.2.2 PDP のリサイクルについて.....	102
2.2.3 各地域のリサイクルにおける FPD の扱い.....	103
2.2.4 FPD リサイクルに関する現状のまとめ.....	104
第 3 章 E-Scrap の分解・破砕実験.....	105
3.1 目的.....	105
3.2 実験における前提条件.....	105
3.3 分解・破砕実験の内容.....	108
3.4 総合評価の方法.....	111
3.5 実験結果.....	113
3.6 取得データの評価と今後の課題.....	122
3.7 まとめ.....	123
第 4 章 グローバル製品の資源循環・リサイクルモデル.....	126
4.1 背景、社会動向.....	126
4.2 国内における資源循環・リサイクルフロー.....	127
4.3 海外における資源循環・リサイクルフロー.....	131
4.4 国際資源循環における資源循環社会像.....	138
第 5 章 グローバル製品の低環境負荷・易資源循環設計のための技術課題.....	139
5.1 課題（1）：循環システムの設計に関する課題.....	139
5.2 課題（2）：製品設計に関する課題.....	140
5.3 課題（3）：具体的なリサイクル技術に関する課題.....	142
5.4 まとめ.....	142
第 6 章 総括.....	144

第 1 章 調査内容

1.1 調査の目的

環境問題と資源有効利用の観点から、持続性のある産業社会の仕組みとして循環型社会の構築が必要とされ、我が国においては、循環型社会基本法のもとで、3R（リデュース、リユース、リサイクル）の普及が進められている。また、世界各国でも新しい環境規制（欧州の WEEE、RoHS、EuP 等）の導入が進みつつあり、これらの動きに対応した産業界の施策の重要性が急激に増しつつある。しかし、環境規制は市場規模の大きな輸出製品が相手国の環境法規制に抵触する場合など、製品輸出に大きく影響することも懸念されている。事実、電子機器製品の製造企業がオランダの有害物質規制に抵触して莫大な損害を蒙った例などがある。

また、地球規模の循環型社会対応技術の開発は、これら内外の環境規制対応としてだけでなく、産業競争力の強化の視点からも実現されなければならない。すなわち、循環型社会の実現による資源の有効活用は、企業活動における資源の調達保全の観点でも非常に有効であると考えられる。

ここで、循環型社会に対応する技術は、全く新規に構築するのではなく、従来から行っている使用済み製品処理の方式を基礎にこれを低コスト、低環境負荷のものに改良して実現することが効率的・効果的である。しかしながら、現状の再資源化は個々の業者の経験とビジネス方針とに頼った処理方法で実現されており、高機能な新製品に対しては適正な再資源化処理技術が無い、再資源化しやすく製品を設計する技術も無いなどの理由により、地球規模の再資源化は質の良い適正な処理を実現できていない。

このように、低環境負荷・易資源循環製品・循環的サプライチェーンの設計・計画技術は、世界的に拡大しつつある使用済製品の再資源化を義務化する規制制度への対応はもとより、適切な再資源化の実現による希少資源の保全の観点からも、グローバル製品の競争力に大きく影響を及ぼす。望ましい地球規模のリサイクルを実現するためには、次のような幅広い循環型社会対応技術の開発を推進することが重要である。

- (1) 多国間に跨る垂直分業を適正化する計画技術
- (2) リサイクル容易な製品の開発を支援する設計技術
- (3) 使用済製品の処理段階での環境影響の定量評価技術
- (4) 資源循環化対応のトータルサプライチェーン管理、情報処理技術

本調査では、今後グローバル市場で成長が見込まれる情報家電やデジタル家電、その基幹部品（例えばフラットパネルディスプレイ）等の戦略的に重要な製品について、このような循環型社会対応技術の開発を円滑かつ適切に推進するための基礎作業として、製品の販売先となる海外を含めた再資源化方法や技術の実態、販売先の処理に適した製品設計を支援する技術、必要となる再資源化処理技術の調査・分析を行ない、その技術開発の推進計画として取りまとめることを目的とする。

1.2 調査の内容

本事業の目的達成のため、「あるべき資源循環社会の将来像」、「それに基づく開発すべき技術」の仮説を立てながら、日本、欧州、アジア（中国）、米国について、次のような調査・分析を実施し、現状把握、問題点抽出、さらには仮説の検証、詳細化を行ない、技術開発ニーズを明確化する。

- (1) 各地域（日本、海外）における現状の再資源化方法や技術
 - ・ 使用済み製品の再資源化方法やその現状、問題点、ニーズ
- (2) 各地域において、今後必要となる再資源化技術の調査
 - ・ 法規制動向を踏まえた再資源化技術の将来の方向性と、それを実現するために必要な方法と技術
 - ・ 再資源化技術を開発する上での課題
- (3) 上記に基づき、易再資源化設計を支援する技術の調査
 - ・ 製品設計を支援する技術の現状と、望ましい設計支援方法に対するニーズ
- (4) 易再資源化設計支援の実現に不可欠なシステムの調査
 - ・ 各地域の再資源化事情に合わせた適切な製品設計を支援するために必要となる企画・設計を支援するシステム、技術のあり方
 - ・ 上記技術の開発課題

調査・分析に際しては、現状の再資源化における、

- (1) 使用済み製品の価値が未反映
- (2) 再資源化難易度がコストに未反映
- (3) 製造業者による再生部材の確保の視点での運用が未実施
- (4) 再資源化業者による非付加価値部位の不法投棄

といった課題を踏まえ、「あるべき資源循環社会の将来像」について、以下のような仮

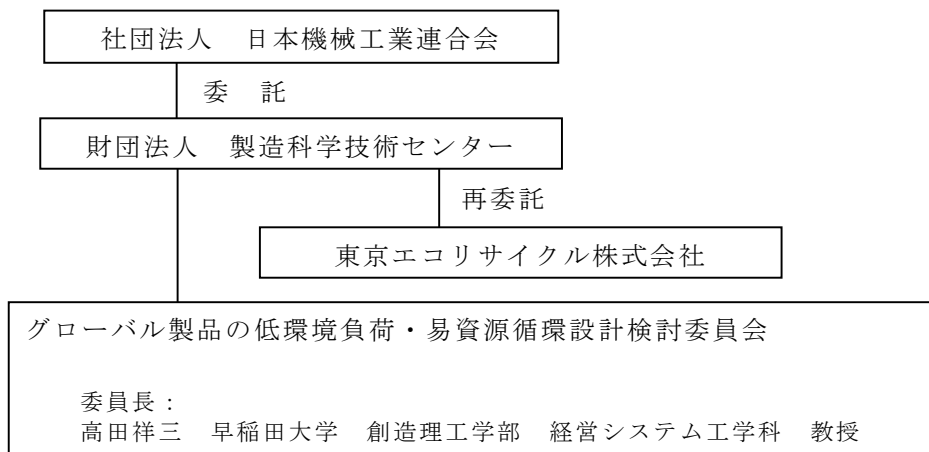
説をふまえて推進する。

- (1) 利材的価値の集合物の“再資源化・再生作業”を業者に委託するというスタンスに基づく処理
- (2) 個別製品の有価物価値、作業コストを反映したコスト負担方式
- (3) 原価管理・コスト削減を意識した有価物の回収・再生コストの負担
- (4) 再資源化業者はサプライチェーン最上流でもあり、部材の調達保全の点でも活用
- (5) 勘と経験ではなく、情報に基づく効率的な再資源化作業

これらの調査結果に基づき、市場毎の使用済製品価値の差違、再資源化難易度、希少価値を持つ再生原材料等に配慮し、その将来展望像をも検証しつつ、循環型社会対応設計の支援技術、処理技術の現状と課題、あるべき姿などを検討して、循環型社会対応技術の開発計画を立案する。

1.3 調査体制

(財)製造科学技術センター内に、本事業の運営と事業計画作成、調査研究遂行、事業の取りまとめ等を実施するために「グローバル製品の低環境負荷・易資源循環設計検討委員会」を設け、当初の目的を達成すべくこれを推進した。



1.4 委員会開催状況

本調査を実施するため、以下の通り、委員会を開催した。

第1回 平成19年8月8日

「日・欧・亜のリサイクルに関する取り組みの相違」や「リサイクル社会の将来像（仮説）」について議論した。

第2回 平成19年9月18日

「リサイクル社会の将来像（仮説）」の議論、また国内調査、海外調査、実験内容を計画した。

第3回 平成19年11月20日

国内調査、海外調査の報告、また実験内容の詳細を確認した。

第4回 平成20年1月9日

実験結果の報告、また報告書作成の分担とスケジュールを確認した。

第5回 平成20年3月4日

報告書原稿の内容を確認した。

第 2 章 E-Scrap[※]の技術の現状と問題点

2.1 電気機器資源循環（リサイクル）の現状

2.1.1 日本における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状

(1) 家電リサイクル法と資源回収

日本では埋立地不足解消や資源有効利用の大きな流れの中で、個別リサイクル法や資源有効利用促進法の下、製造メーカーが過去に自ら製造した家電、自動車、パソコン等のリサイクルを実施している。パソコンを除くコピー機等の OA 機器のリサイクルにおいては、法的なリサイクル義務が無くても、大手メーカー自らが製造、販売した使用済み機器を回収して全国的なリサイクルネットワークを構築しているケースがある。

家電リサイクル法は、エアコン、テレビ、冷蔵庫（後に冷凍庫が追加）、洗濯機の特定家電 4 品目を対象として 2001 年 4 月に施行された。

図 2.1.1-1 に全国の再商品化施設を示す。各施設では処理品目毎に適した個別の処理ラインでリサイクルを行なうことにより、同様の素材構成の機器から金属、ガラス、プラスチックといった有用資源を効率良く回収している。

※) E-Scrap (Electronic Scrap) : 使用済み電気製品

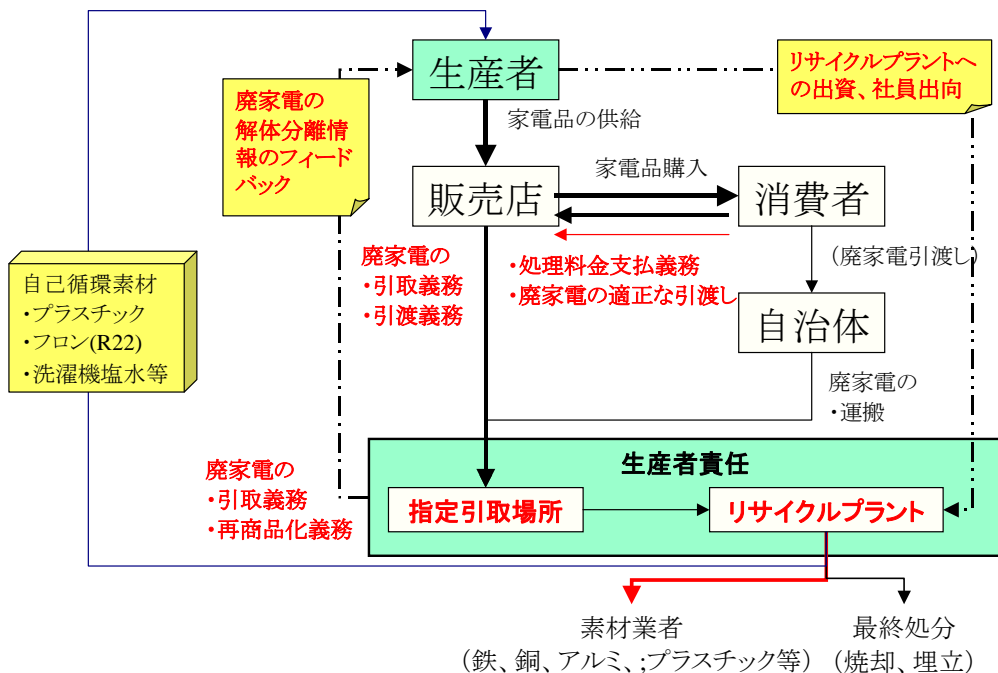


図 2.1.1-2 家電リサイクルにおける生産者とリサイクルプラントの連携

このような状況のもと、家電リサイクルは法律施行後順調に推移し、回収量や再商品化率（リサイクルプラントの1台あたり有価回収素材重量を製品重量で除した値）は年々増加傾向にある。図 2.1.1-3 に再商品化処理台数、図 2.1.1-4 に再商品化率の推移を示す。

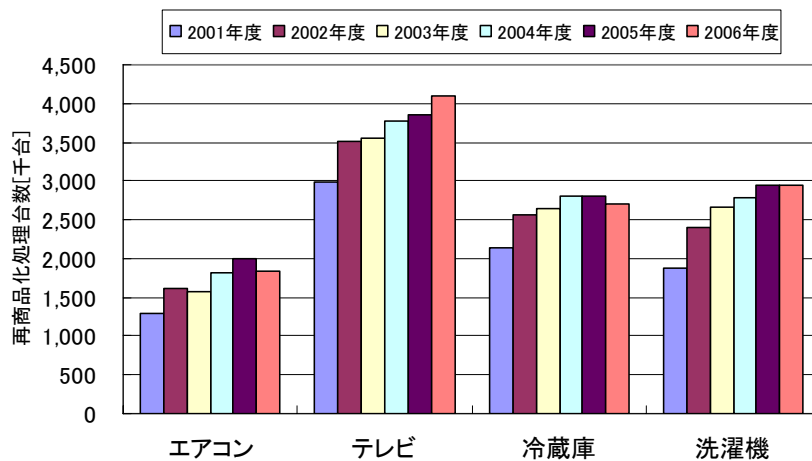


図 2.1.1-3 再商品化処理台数の推移
(財団法人家電製品協会 HP 掲載データから作成)

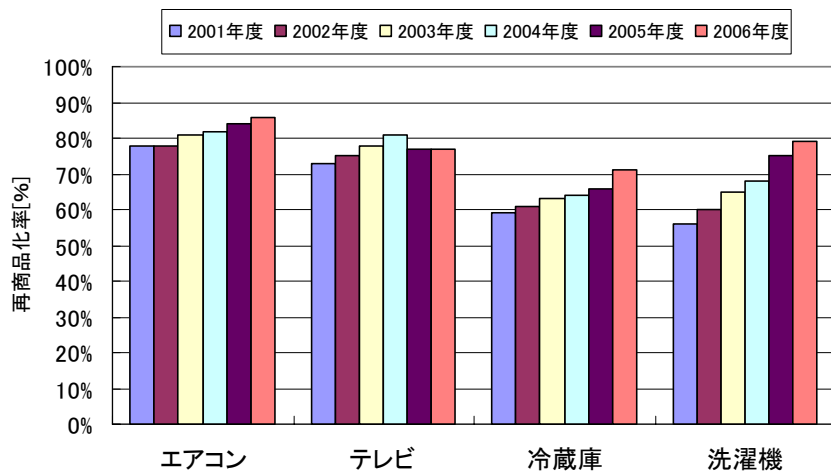


図 2.1.1-4 再商品化率の推移
(財団法人家電製品協会 HP 掲載データから作成)

図 2.1.1-5 に 2006 年度の家電 4 品目の再商品化素材構成を示す。2006 年度の実績から家電 4 品目で年間約 345 千トンの素材が再商品化されている。各品目から共通的に回収される素材は、鉄、銅、アルミ、非鉄混合金属、その他有価物であり、その他有価物のほとんどはプラスチックである。テレビについては、ブラウン管ガラスが 6 割近くを占めていることがわかる。

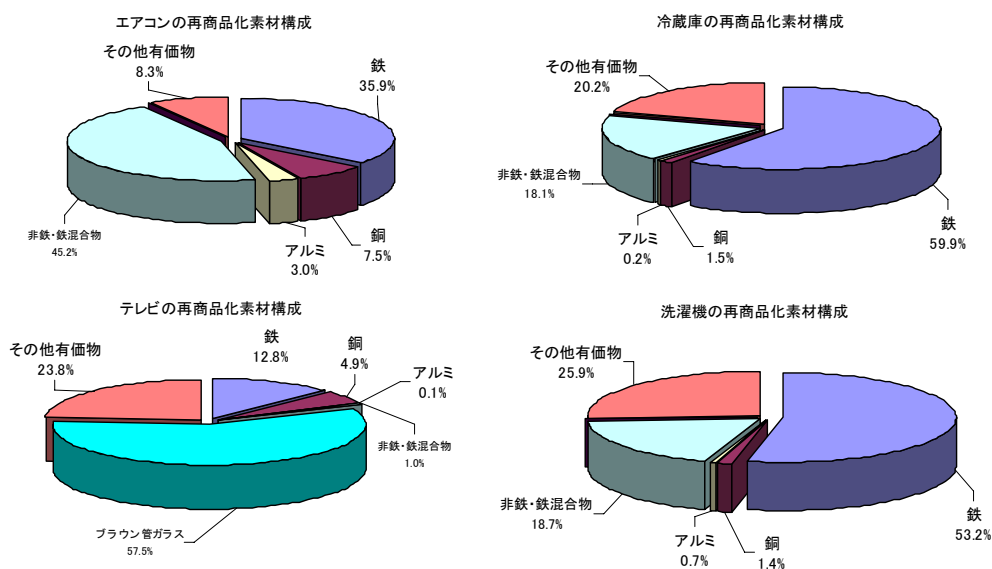


図 2.1.1-5 再商品化素材構成
(財団法人家電製品協会 HP データから試算)

図 2.1.1-4 においてテレビの再商品化率が近年減少傾向にあるが、これはブラウン管メーカーが海外移転したことに伴い、処理の実態は変わっていないが、一部が再商品化重量としてカウントできなくなったためである。

一方、最近では素材価格高騰が継続しており、素材価格の低かった数年前よりもコストをかけて純度の高い素材を回収することができるようになり、リサイクルの用途も従来に比べてハイグレードなものに移行している。家電リサイクルでは、メーカー自身が過去に製造していた製品を処理していることから、解体したプラスチック材料等に識別表示等がなくても、どの部位にどの材料を使用していたかある程度把握できる。また、素材の購入ルートが自身で持っていることから各製品の生産工場へのリサイクル材の提供も容易である。このため、図 2.1.1-2 に示すように、家電リサイクルにおいては、使用済み家電製品から取り出したプラスチックを新しい家電製品のプラスチック材料に適用する「自己循環リサイクル」が始まっている。使用済み洗濯機から回収した水槽の PP（ポリプロピレン）を洗濯機や冷蔵庫の部品に適用したり、使用済みエアコンの室内機ファンを新製品のエアコン室内機ファンに適用したりする等の取り組みが行われている。さらに、最近では複合したプラスチックを機械的に選別して、PP 等の単一素材を回収する事例も出てきている。この自己循環リサイクルは海外では見られない事例であり、メーカー自身が直接使用済み製品を回収して品目別にリサイクル処理していることによる成果である。

その他の素材については、図 2.1.1-6 に示すように、鉄は自動車鋼板や建築用形鋼、銅は銅製錬で銅素材、アルミは鋳物等に再生利用されている。基板は主として銅が回収される他、金、銀、白金、パラジウム等の貴金属も同時に回収されている。

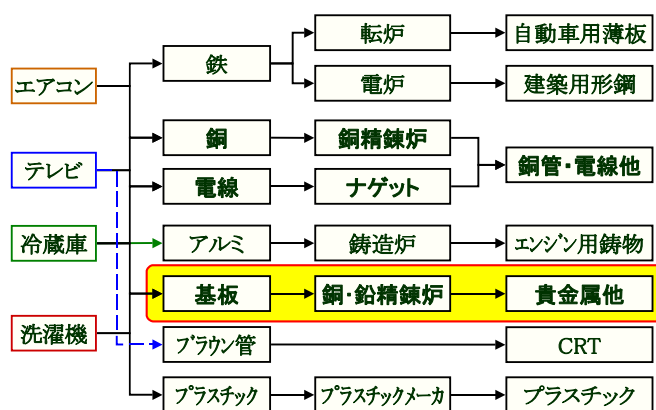


図 2.1.1-6 家電 4 品目から回収した素材の再生ルート

本委員会では、家電等から回収された基板や電気電子機器から回収される複数の非鉄金属の処理に注目し、従来から非鉄金属リサイクルを行っている日鉱グループの 2 つの工場を対象として調査を行った。以下、調査内容を報告する。

(2) 日鉱敦賀リサイクル株式会社のリサイクル処理

①会社概要

日鉱敦賀リサイクル(株)は図 2.1.1-7 に示すように日鉱金属(株)傘下のリサイクル会社の 1 つである。1957 年に前身の三日市製錬(株)が設立され、当時は亜鉛鉱石から硫酸を製造していた。1994 年に産業廃棄物処理業および特別管理廃棄物処分量の許可取得し、1995 年 11 月に日鉱敦賀リサイクル(株)として産業廃棄物処理を始めている。また、産業廃棄物とは別に貴金属スクラップのリサイクル処理も実施している。資本金は 50 百万円、敷地面積は 23 万 m² で、1 交替 4 名の操業形態をとっている。

主な事業内容は廃電子機器(PC、携帯電話等)の解体選別、貴金属スクラップのリサイクル、廃酸、廃アルカリ、廃油、汚泥等の産業廃棄物処理である。

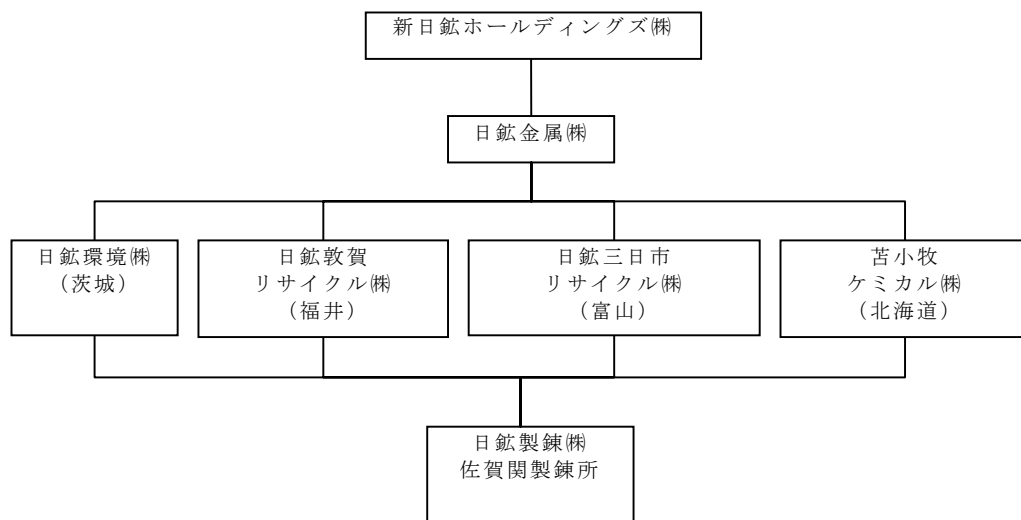


図 2.1.1-7 日鉱グループの環境リサイクル事業組織図

②処理概要

a) 廃電子機器の処理

手解体を行っている使用済み機器は、パソコン、携帯電話、ファックス、コピー機、プリンター、その他 OA 機器等である。日鉱敦賀リサイクル(株)の廃電子機器の処

理フローを図 2.1.1-8 に示す。

携帯電話、PC については、金属含有量の高いものと分別できるプラスチックを手解体して選別している。廃電子機器を手解体した後は、日鉱敦賀リサイクル工場内で回収した素材のうち、鉄、アルミ、ステンレス等の金属スクラップ、ガラスくず、廃プラスチックを外部素材メーカー等に販売して再生している。バッテリーについては、焼却処理後に破砕選別し、ニッケル滓、コバルト滓を外部素材メーカー等に販売し、銅滓等を日鉱製錬（株）佐賀製錬所で金属回収している。銅滓と同様に銅スクラップ、貴金属スクラップについては焼却前処理後に粉砕して、日鉱製錬（株）佐賀製錬所で金属回収している。

佐賀製錬所で回収される主な金属は、金、銀、パラジウム、銅である。

プラスチックについては、分別できるものを回収し、それ以外は焼却前処理後である。携帯電話は大手通信会社との取り決めでバッテリーと本体を事前に分別してから入荷している。

b) 貴金属リサイクル処理

日鉱敦賀リサイクルの貴金属リサイクル処理フローを図 2.1.1-9 に示す。貴金属スクラップは、定置燃焼炉で焼却前処理後に粉砕して貴金属滓として回収し、日鉱製錬（株）佐賀製錬所に出荷する。

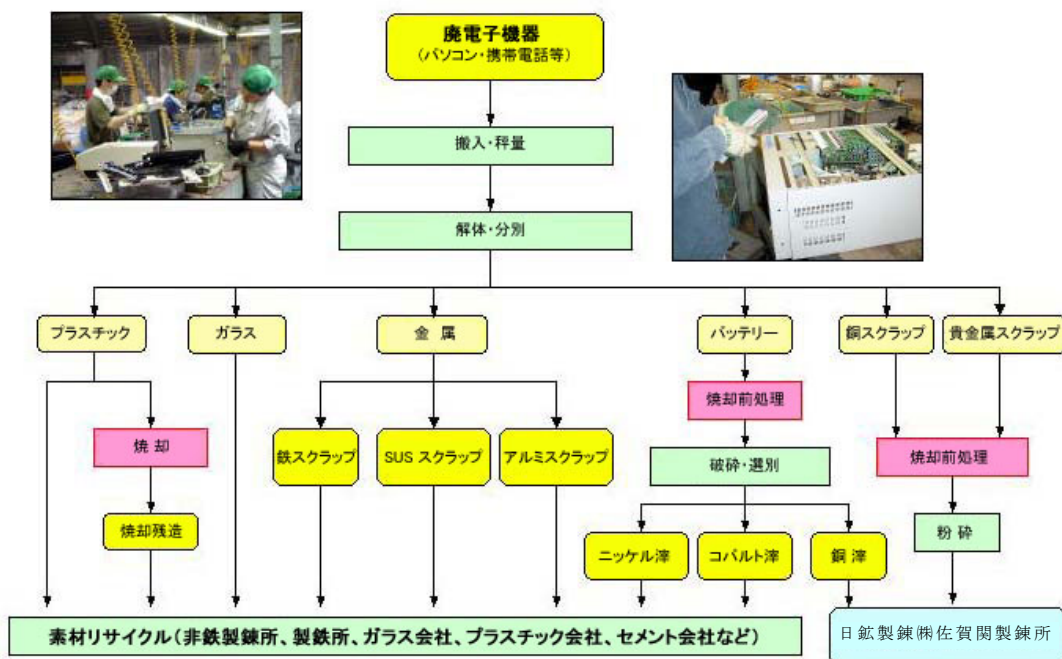


図 2.1.1-8 日鉱敦賀リサイクル（株）における廃電子機器の処理フロー
 （日鉱敦賀リサイクル HP から抜粋）

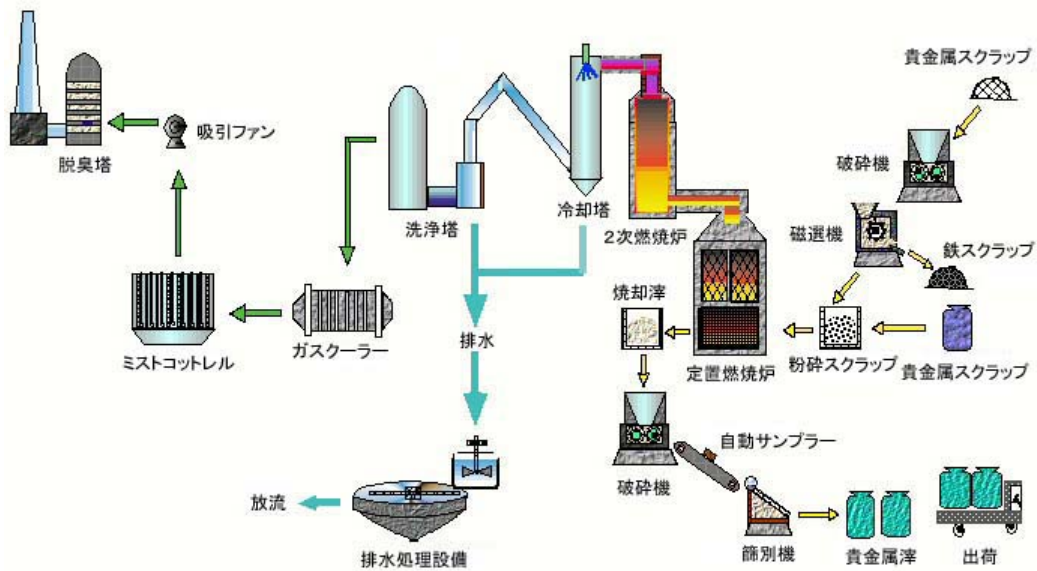


図 2.1.1-9 日鉱敦賀リサイクル（株）における貴金属リサイクル処理フロー
 （日鉱敦賀リサイクル HP から抜粋）

c) 産業廃棄物処理の概要

図 2.1.1-10 に日鉱敦賀リサイクルの産業廃棄物処理フローを示す。図 2.1.1-10 に示す焼却炉は、過去に使用していた焙焼炉を改造して産業廃棄物焼却炉としたものである。

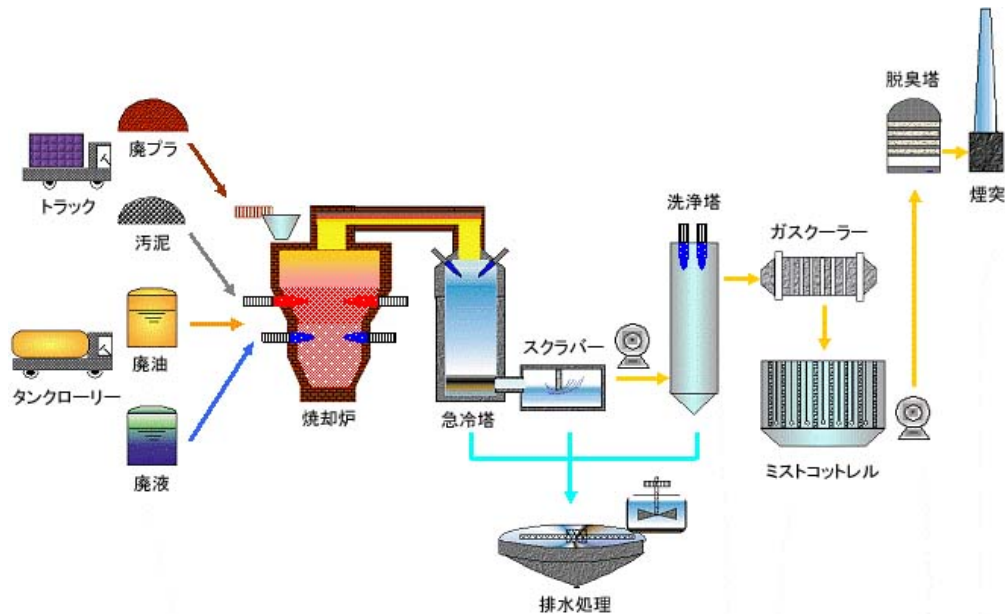


図 2.1.1-10 日鉱敦賀リサイクルの産業廃棄物処理フロー
(日鉱敦賀リサイクル HP から抜粋)

d) 油化設備

上記リサイクル処理や産業廃棄物処理とは別にプラスチックが多く含まれている貴金属スクラップを主な対象とした油化設備がある。貴金属スクラップを無酸素状態で加熱し、プラスチック部分を気化させ、冷却させることにより油として回収する処理設備である。回収油は自社の産業廃棄物焼却炉の助燃油として使用している。この処理により、マテリアルリサイクル率は向上する。

(3) 日鉱製錬（株）佐賀関製錬所の非鉄金属回収プロセス調査

①会社概要

大正 5 年（1916 年）に銅製錬業を開始した。原料である銅鉱石は、チリ・インドネシアなどから輸入している。採掘した粗鉱（銅品位 0.5～1.0%）は、現地で銅品位約

30%に濃縮されて輸出される。

日鉱製錬（株）の銅製錬事業は、佐賀関製錬所と日立精銅工場で行っている。電気銅生産は、佐賀関で23万トン、日立で22万トンである。佐賀関製錬所では国内初となる「湿式法による貴金属回収設備」を導入している。湿式法は、従来の乾式法に比べて、貴金属の回収期間が短い、品質が高いことがメリットとなっている。

最近は、国際非鉄メジャーによる銅市場の寡占化が進み、また、電気銅は中国・インドへの輸出量が増加している。

②製錬処理概要

日鉱敦賀リサイクル（株）等から入荷した貴金属サイは、銅精鉱と混合されて自溶炉で溶解、または、転炉で溶解されて、貴金属は粗銅（アノード）に濃縮される。

電解精製工程では、銅は硫酸溶液に溶解するが、金、銀、白金などは硫酸溶液に溶解しないことを利用して、殿物として分離回収される。この殿物から、金、銀、白金を別工程で回収する。鉛は、粗鉛として三井金属鉱業（株）に外販し、回収されている。

③リサイクル処理

基本的には、銅製錬工程を利用して、リサイクル原料を処理している。リサイクル原料を適正に価格評価するために、受入ロット毎に原料中の有価成分を評価している。また、直接、銅製錬炉で処理できない原料は、焼却などの前処理を行なっている。

有価成分の評価では、ロット中に有価成分が均一に分布していないことが多く、サンプリング誤差を可能なかぎり少なくすることが重要である。佐賀関製錬所では、JISをベースに独自の工夫を加えたサンプリングにより、リサイクル原料の評価を行なっている。

(4)まとめ

家電リサイクルで再商品化されている345千トンの内訳は、鉄143千トン／年、銅12千トン／年、アルミ3千トン／年、金属混合物65千トン／年、ガラス52千トン／年、その他有価物（主としてプラスチック類）70千トン／年である（2006年度実績）。

鉄、銅、アルミ等の金属は安定した需要があり、既存の大規模インフラにより量的安定性を維持しながら再生されている。家電品等の電気電子機器からは、単一素材だけでなく、基板や信号線等のような複合部品が発生するが、必要な前処理を行うこと

により非鉄金属素材は確実に回収されていることを今回の調査により確認できた。

一方でテレビのブラウン管ガラスについては、前述の通り需給バランスが崩れ、ブラウン管ガラスとしての再生用途が減少してきている。業界等でブラウン管ガラス以外への代替用途への転用も検討されているが、どの用途も需要規模が小さく余剰が生じるため、代替用途は未だに決まっていない。PC モニタ等他の機器にもブラウン管ガラスが使われていることを考慮すると、新しい代替用途の開拓は今後のリサイクルにおける大きな課題である。

プラスチックについては、一部メーカーによる自己循環リサイクルが行われているものの、回収したプラスチック全体から見れば少量であり、基本的にダウングレードユースによるマテリアルリサイクルやサーマルリサイクルが行われている。ブラウン管ガラスとは違って需要は大きいため、今後の高度選別技術開発や環境適合設計の推進によるマテリアルリサイクル規模の拡大が望まれる。

参考文献

- 1)財団法人クリーンジャパンセンターHP : <http://www.cjc.or.jp/>
- 2)財団法人家電製品協会 HP : <http://www.aeha.or.jp/>
- 3)社団法人プラスチック処理促進協会 HP : <http://www.pwmi.jp/>
- 4)廃棄物処理学会 HP : <http://www.jswme.gr.jp/recycle/>
- 5)日鉱敦賀リサイクル株式会社 HP : <http://www.nikko-tsuruga.co.jp/>
- 6)日鉱環境株式会社 HP : <http://www.nikko-kankyo.co.jp/>
- 7)社団法人電子情報技術産業協会 HP : <http://www.jeita.or.jp/>

2.1.2 欧州における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状

EU は 2003 年に廃電気電子機器のリサイクル規制（WEEE 指令、Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment）を発効した。これを受けて EU 諸国は各国法の整備を進め、2005 年より新たな法規制に基づくりサイクルを開始している。

このように EU は現在、あるべきリサイクル社会の実現に向けて国と企業が一体となってリサイクルシステムの構築を進めているところであり、将来のリサイクル像を検討する上で日本が参考にすべき点が多い。そこで本調査では欧州のリサイクル業者、政府機関、研究機関を訪問し、将来の環境適合設計（特にリサイクル性設計）や IT を活用した処理支援技術の検討に必要な、WEEE 指令の実施状況およびリサイクル処理技術の調査を行った。

(1) 調査期間および調査先

第 1 回：2007 年 11 月 11～17 日

11/12（月）SIMS Recycling Solutions（Eindhoven, Netherlands）(①)

11/13（火）欧州委員会（Brussels, Belgium）(②)

11/15（木）Solenthaler Recycling（Gossau, Switzerland）(③)

11/16（金）REMONDIS Electrorecycling（Łódź, Poland）(④)

第 2 回：2008 年 1 月 15～20 日

1/16（水）、17（木）7th International Electronics Recycling Congress

会場：Salzburg Congress（Salzburg, Austria）(⑤)

1/18（金）Fraunhofer IZM（Berlin, Germany）(⑥)

ベルリン工科大学（Berlin, Germany）(⑦)

(2) 調査方法

調査は訪問先におけるヒアリングや工場見学の結果をはじめとして、当日入手した資料および訪問先業者などのホームページの情報を利用した。

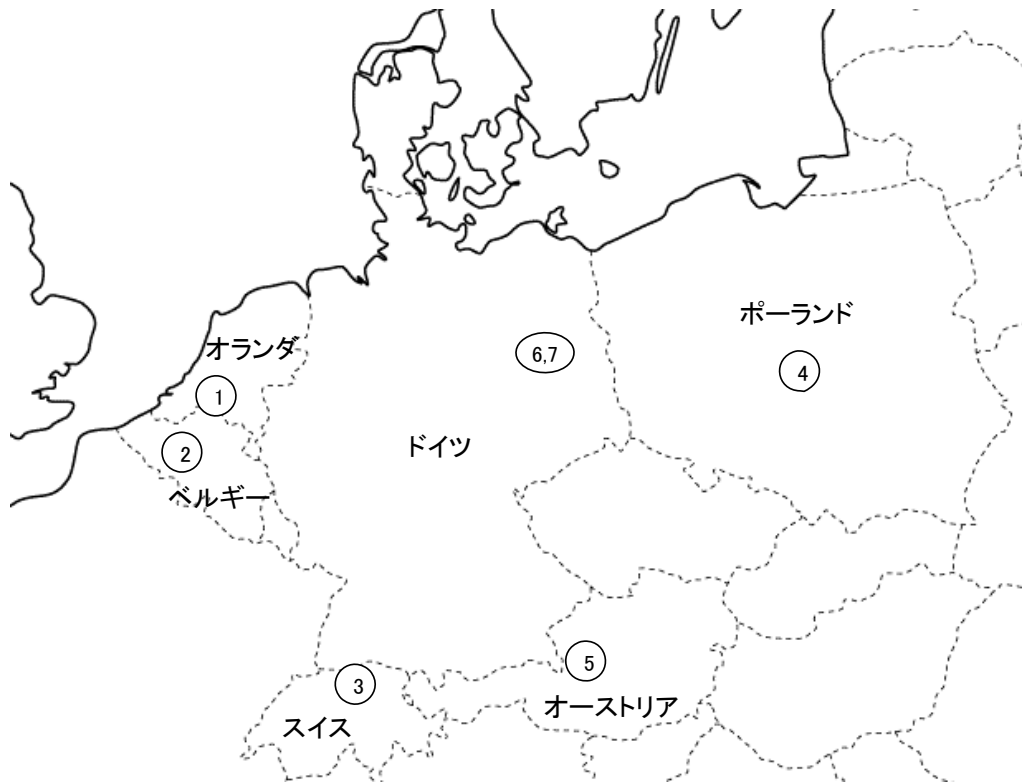


図 2.1.2-1 調査ルート

(本地図は http://www.freemap.jp/europe/euro_kouiki_1.html を利用)

(3) リサイクル業者調査

リサイクル業者の調査先は、欧州における代表的な業者の中から廃電気電子機器のリサイクルに必要な工程を網羅するように選定した。特に廃電気電子機器の特徴が顕著な破碎・選別工程については、欧州域内の地域差も考慮して複数の業者を選定した。

破碎・選別業者には世界的規模でリサイクル事業を展開している SIMS、先進技術の活用に積極的な Solenthaler、ポーランドに部品解体の専用施設をもつ REMONDIS を選定した。また精錬業者には欧州で最大規模の銅精錬施設を持つ Umicore を選定した。

①SIMS Recycling Solutions (Eindhoven, Netherlands)

<会社概要>

SIMS はオーストラリアに本社を持つ世界最大規模のリサイクル業者であり、現在

EU や北米など世界各地に 140 ヶ所以上の拠点を持つ (図 2.1.2-2)。SIMS は主に電気電子機器や自動車を対象として破碎・選別処理を行っており、出荷量はグループ全体で年間約 9 百万トンとなっている (2006 年度)。欧州には約 40 ヶ所の拠点があるが、環境規制や製品交代が盛んな地域を背景に同社のリサイクル技術を先導する役割を担っている。

電気電子機器に関しては破碎・選別処理による有用資源回収の他、製品や部品のリユースも行っている。欧州には電気電子機器の処理プラントが約 10 ヶ所あり、年間の処理量は約 32 万トン (2006 年度) となっている。内訳は以下の通りである。

- ・ 白物家電 : 110,000 トン (冷蔵庫 : 75 万台)
- ・ その他 : 210,000 トン (デスクトップ PC : 13 百万台、CRT : 4 百万台)

今回は電気電子機器の処理プラントの中でも先端的な設備がある、オランダ (Eindhoven) のプラントを訪問した。同プラントは敷地面積が約 55,000m²、作業人員が約 170 人という大規模なプラントである。

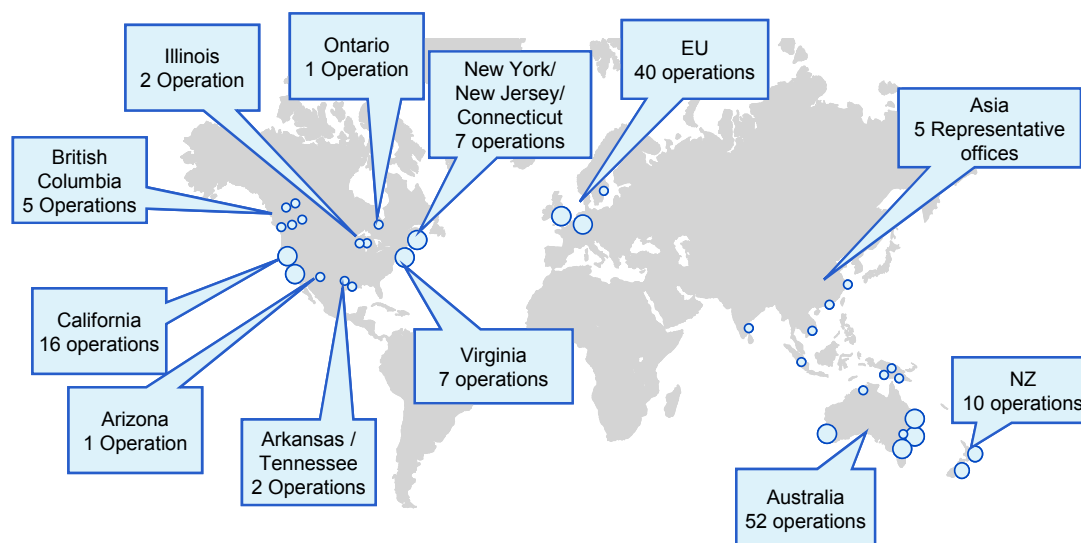


図 2.1.2-2 SIMS の拠点分布
(同社より提供された資料より抜粋)

<回収・リサイクルスキーム>

オランダでは地方自治体が廃電気電子機器の回収義務を負っており、消費者から回収した廃電気電子機器を国内に 65 ヶ所ある回収拠点に収集している。製造業者は回収

拠点から自らの製品を引き取りリサイクルする義務を負っているが、主に共同のリサイクルスキームを活用することにより対応している。オランダにおける代表的なリサイクルスキームは以下の3団体である。

- ・ NVMP : テレビや冷蔵庫、小型の家電製品を中心に扱う。登録会社は約1350社。
- ・ ICT Milieu : 情報通信機器を扱う。登録会社は約230社。
- ・ RTA : 計測機器を扱う。

オランダ国内において、テレビや小型家電製品の回収量の約半数、ICT機器の回収量のほぼ全量がこれらスキームを通じて回収されている。SIMSはNVMPとICT Milieuに登録して市場の廃電子電気機器を回収している他、オフィス機器を独自の流通経路により回収している。

<入荷>

SIMSはリサイクルスキームを通じて市場の廃電気電子機器を入荷している他、製造業者との個別契約や独自の回収経路を通じて、以下の製品を入荷している。

- ・ 製造業者における製品の製造過程で生じる廃材やプロトタイプ品
- ・ 新製品への切替えで発生する余剰在庫品

入荷した製品の量は、製品の搬出入時にトラックの重量を計測することにより把握しており、入荷製品の代金も基本的には計測した重量に基づいて決めている。しかしプリント基板などは含有する基金属の量によって価値が大きく変化するため、リサイクル処理後に含有物の検査を行い、その結果に基づいて価格を決めている。このため入荷製品は回収拠点からリサイクル処理が終わるまで顧客ごとに管理されており、問題が発生した場合に原因追跡することも可能となっている。

また入荷製品の保管は、使用済み製品に関しては製品の種別ごとに木箱に分けて保管されていた。製造業者で発生する余剰在庫品は、販売用の梱包箱に入ったまま入荷し保管されていた。

<処理方法>

図 2.1.2-3 は廃電気電子機器に関する処理の全体の流れを示している。前述のように、SIMS は使用済み製品の他に製造業者で発生する余剰在庫品などのリサイクルも行っている。余剰在庫品などは開梱作業を行ったあと各種の診断テスト等を行い、製品（または部品）としてリユース可能か判定する。リユース可能と判断した製品（または部品）はサービス部品等として出荷している。

一方リユースされなかった製品（または部品）は、使用済み製品と同様のリサイクル処理が行われる。リサイクル処理はまず有害物を含む部品などを製品から取り外し、その後プラスチックや金属、ガラスなどの材料に選別するという手順で行われる。回収物のうち金属有価物は精錬業者などに販売され、有害物質を含む部品は専用の処理施設に送られる。

詳細なリサイクル処理は製品の種類によって異なるが、今回は一般的な電気電子機器と CRT、トナーカートリッジの処理現場の一部を見学した。以下では見学内容と同社より提供された資料に基づいて、同社における各製品の処理方法を説明する。

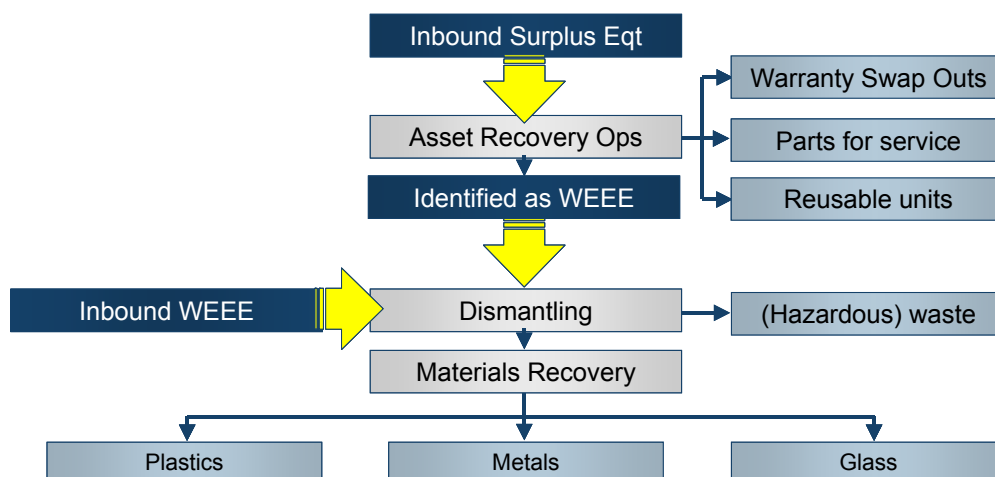


図 2.1.2-3 全体処理フロー
(同社より提供された資料より抜粋)

○電気電子機器一般の処理

パーソナルコンピュータやプリンターなどの情報通信機器を含む、電気電子機器の一般的な処理について述べる。図 2.1.2-4 に示すように、これらの機器はまず有害物質を含む部品などを手作業により解体あるいは切断した後、機械による破砕と材料の選別処理を行っている。以下、各処理の内容について説明する。

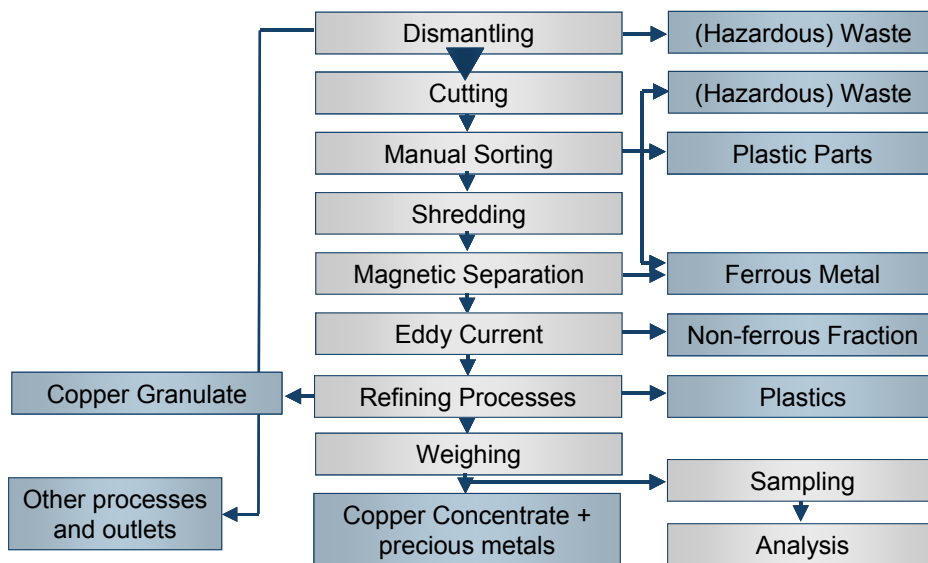


図 2.1.2-4 電気電子機器の処理フロー
(同社より提供された資料より抜粋)

- ・ 解体

処理ラインを見学したところ、電源ケーブルやバッテリーなど WEEE 指令で選択的処理が義務付けられている部品その他、モニタの筐体など大型のプラスチックパーツやモーターなどの一部の部品が選別されて保管されていた。ここで規制対象の部品以外はいずれも有価で販売できる部品であり、解体するか否かは解体費用とのバランスで決められている。例えばモーターは品位によって解体するか否かを決めており、トースタやアイロンなどの小型家電は手作業による解体はほとんど行わず直接破砕機に投入している。このように SIMS は後工程である破砕・選別処理との組合せを考慮し、手作業による解体は最小限にとどめている。

なお入荷した製品が解体対象の部品を含んでいるか否かは、製品の外観で判断している。このため必要な場合は製造業者から製品の情報を提供してもらっている。

- ・ 破砕

部品を取り外した後に残った製品は、成分を均質化するため小片に破砕する。破砕処理は機械を用いて一括処理するため、製品は一定量蓄積されるまで倉庫に保管される。

また有価資源を効率よく回収するためには、含有物質の種類に応じた処理を行う必

要がある。このため製品はグレードごとに管理されている。例えばパーソナルコンピュータやコネクタ類などは貴金属を多く含むためハイグレード品として、キーボードやプリンターなどはローグレード品として管理されている。紙類は廃棄物となる。

このように分類された製品は一定量まで蓄積されると重機を用いて破砕機に運ばれ、20mm～100mm 角程度の破砕屑となる。破砕後に鉄の大きな塊や、解体対象部品が残る場合があるが、これらは破砕屑の中から手作業で回収される。またその他の破砕屑は、ベルトコンベアで磁選機に搬送される。

- ・ 選別

磁選機は、磁力で鉄を吸着することにより鉄分を回収する装置である。この装置により破砕屑中の鉄分がその他の成分から選別される。

鉄を回収した後の破砕屑は、次にベルトコンベアによって渦電流選別機に搬送される。渦電流選別機は、金属が磁場を通過する際に生じる電流（渦電流）の強さが材料によって異なることを利用し、材料を分離する装置である。この装置により破砕屑中の非鉄金属（アルミ、銅、真鍮、など）が、プラスチックなどの非金属やケーブル、プリント基板など金属含有率の低い成分から選別される。

渦電流選別機を通過した破砕屑はベルトコンベアで比重選別機に搬送され、非金属成分が回収される。比重選別機は比重の違いを利用して材料を選別する装置であり、同社ではプラスチック片をプリント基板やケーブル類などと分離するのに使用している。またプラスチックはさらに ABS、PVC、PP/PE の 3 種類に分別されている。

以上の処理を行うことで、SIMS は廃電気電子機器から鉄、アルミ、銅の破砕屑の他、プラスチック屑を回収している。図 2.1.2-6 は銅の破砕屑の例を示す。

- ・ その他

Eindhoven のプラントには処理能力の異なる破砕機が 2 台あり、プリント基板のようなハイグレード製品は 1 回、その他のローグレード製品は 2 回以上の破砕・選別処理を繰り返すことにより、回収物の純度を上げている。



図 2.1.2-5 処理設備の全体像

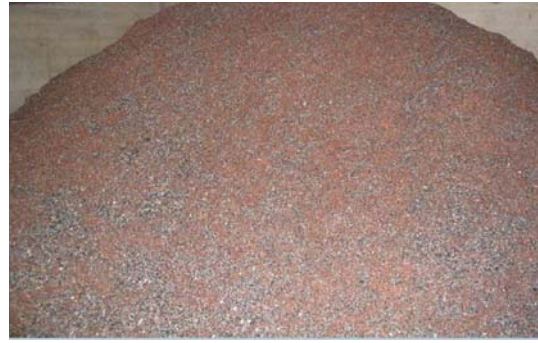


図 2.1.2-6 銅の破砕屑

(同社より提供された資料より抜粋)

○CRT (Cathode Ray Tube) の処理

CRT は、今後 FPD (Flat Panel Display) への市場の移行により、廃棄物が大量に発生することが懸念されている製品である。SIMS は約 4 万トン (3 百万台) の CRT を処理可能としている。

SIMS は Eindhoven のプラントでは CRT の解体を行っており、今回その作業場を見学した。CRT の解体は、まず筐体を解体して中から電子部品や CRT を取り外す。解体は基本的に天井から吊り下げられた電動ドリルで行われるが、解体が困難な場合はハンマーなどで破壊している。

次に取り外した CRT から電子ビームを取り外す。電子ビームは CRT の端部に取り付けられているが、ハンマーで CRT ごと破壊することで取り外していた。

この作業場では以上に示す解体作業のみを行っており、解体した部品はそれぞれ別の工程に運ばれる。CRT 部分は、図 2.1.2-7 に示すように鉛の含有部と非含有部とに分離して破砕し、それぞれ個別に出荷している。

なお解体は全ての作業を 1 人で行うセル方式で行われている、見学当時の作業人員は数名であった。

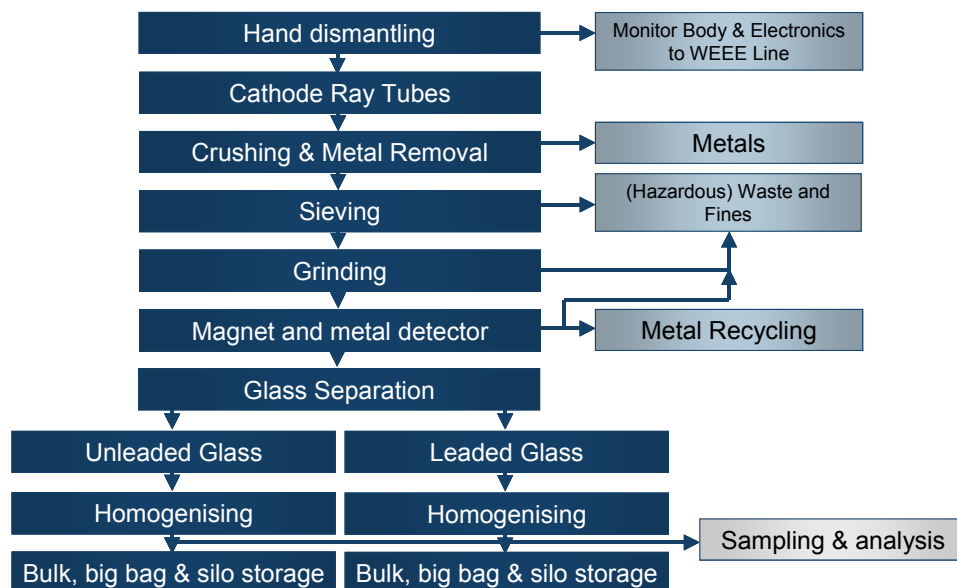


図 2.1.2-7 CRT の処理フロー
(同社より提供された資料より抜粋)

○トナーカートリッジの処理

プリンターやコピー機などに使われるトナーカートリッジは、製造業者との個別契約に基づいて入荷している。Eindhoven のプラントにはトナーカートリッジ専用の処理装置があり、オランダ国内の全量を処理可能である。

この処理装置の特徴はカートリッジからトナーを回収するため、密閉された環境でカートリッジを破壊するところにある。現在この装置は、本プラントの他は世界に数台しかないとのことであった。回収したトナーは熱利用される。

なおトナーを回収した後の処理は電気電子部品と同様であり、磁選機や渦電流選別機などを用いて鉄やアルミなどの金属成分とプラスチック成分を回収している。

○その他

SIMS はエアコンや冷蔵庫の処理をイギリスで行っている。SIMS ではフロンガスと冷凍機油を製品から抜き取って、その他の処理は他の業者に委託している。

また余剰在庫品は製品梱包の状態に入荷している。このため使用済み製品と比較して開梱作業の分が余計に工数がかかるように思われた。

- ・ 出荷先

SIMS における電気電子機器のリサイクルによる回収物は、以下の通りである。

破砕屑： 銅、アルミ、鉄、プラスチック、ガラス、など

銅の破砕屑は金や銀などの貴金属を含んでいるため、最も重要な回収物の 1 つとなっている。銀の含有率は製品によって異なるが、ハイグレード品で約 150ppm 程度である。

部品： ケーブル、モーター、バッテリー、など

また各々の回収物の出荷先を以下に示す。

- ・ 銅の回収物は、ベルギー、カナダ、ドイツの精錬業者に出荷している。
- ・ アルミの破砕屑は、ベルギー、カナダ、ドイツの製錬業者に出荷している。
- ・ 鉄は現地の精錬業者に出荷している。価格が安いいため長距離の運搬は採算が取れない。
- ・ ミックスプラスチックの一部は SIMS グループのプラスチックリサイクルプラントで材料リサイクルを行っているが、まだ実験的なレベルで処理量はわずかである。
- ・ CRT ガラスはインドに出荷している。

②Solenthaler Recycling (Gossau, Switzerland)

<会社概要>

Solenthaler はスイスの Gossau にある破砕選別業者である。設立は 1953 年で、現在約 30 人の従業員を擁している。同社は新しいリサイクル技術の開発に積極的で、ベルリン工科大学 (Technical University of Berlin) などと連携した研究を行っている。同社の主な顧客は、製造業者や飲食産業、地方自治体や一般消費者など、となっている。

<回収・リサイクルスキーム>

スイスは欧州連合 (EU) に属していないが、WEEE 指令に対応して独自に廃電気電子機器のリサイクル規制 (VREG) や廃棄物の輸送規制 (VeVA) を制定している。

リサイクル料金の支払いは前払い方式となっており、製品の使用者は新製品の購入時にリサイクル料金を支払う必要がある。使用済み製品は小売店などにより無料で引

き取ってもらうことができる。

製造業者によるリサイクルの運用はリサイクルスキームを通じて行われている。代表的なスキームとして、SENS と SWICO がある。SENS は小売業者と家電メーカーにより設立された非営利団体で、冷蔵庫や大小家電製品の回収およびリサイクルを担っている。SENS が管理するリサイクル業者は、EMPA（素材品質検査研究所）が定期的にリサイクル率などの監査を行っており、法規制への適合を管理している。一方 SWICO は情報通信機器メーカーや輸入業者などにより設立された組織であり、事務用機器と情報・通信機器の回収を担っている。Solenthelar はこれらのリサイクルスキームを通じて、製品を入荷している。

<入荷物>

Solenthelar は、解体業者によって有害物や有価物が解体された後の製品を入荷し、破砕・選別処理を行っている。スイスでは解体業者の一部は社会福祉事業として運営されており、低コストで実施が可能になっている。

Solenthelar の主な入荷物は以下の通りである。また入荷物の写真を図 2.1.2-8～図 2.1.2-13 に示す。

家庭からの粗大ゴミ、ガラス機器、食品パッケージからのアルミ、ブリキ缶、家電製品、コンピュータ、消費者向け電気電子機器、など



図 2.1.2-8



図 2.1.2-9



図 2.1.2-10



図 2.1.2-11



図 2.1.2-12



図 2.1.2-13

< 処理方法 >

Solenthaler の処理プロセスを、図 2.1.2-14～2.1.2-16 を用いて説明する。倉庫に蓄積された製品は図 2.1.2-14 に示す重機を用いて圧縮・裁断されたあと、ベルトコンベアにより粗破砕機に運ばれる（図 2.1.2-15）。ベルトコンベア上のスクラップからは、プリント基板などの有価物や粗破砕機に不向きな重量物、および要適正部品などが手作業で選別されている（図 2.1.2-16）。



図 2.1.2-14



図 2.1.2-15



図 2.1.2-16

スクラップはその後、粗破碎機に運ばれる。粗破碎機は製品に適度な圧力をかけることで、部品を破壊せずに分解する装置である。この装置は部品を破壊しないため、有価物が部品の形で回収できる、有害物が飛び散らないなど、手作業による解体と同じ効果が得られる。このようにして解体された製品は、さらに以下の処理により材料の選別が行われる。

- 1) 風力選別機によりダストを分離
- 2) 磁力選別機 (図 2.1.2-17) により鉄 (Fe) 成分を回収 (図 2.1.2-18)
- 3) 渦電流選別機により、アルミ (Al) 成分を選別 (純度 95%)



図 2.1.2-17



図 2.1.2-18

<手作業による解体について>

- ・ Solenthaler 社は 2～3 年前まで手作業による解体を行っていたが、現在は処理コストを低減するため機械を用いた解体を行っている。手作業による解体はパーソナルコンピュータなどの一部の製品を除いて行っていない。
- ・ 表 2.1.2-1 は (株) 東京エコリサイクルにおける家電 4 品目の解体対象部品である。表 2.1.2-1 を用いて Solenthaler の解体部品を日本と比較していただいた。その結果粗破碎機による解体も含めると、モーター以外はほぼ同じとのことであった。

表 2.1.2-1 (株) 東京エコリサイクルの解体部品 (家電 4 品目)

製品	解体部品数	主な解体部品
エアコン	15	冷媒フロン, 熱交換器, コンプレッサ, コンデンサモータ, 吸音材, 真鍮バルブ, 変圧器, 筐体, 他
TVs	13	CRT, プリント基板, コイル, 吸音材, 電子銃, 他
冷蔵庫	14	冷媒フロン, コンプレッサ, 冷凍機油, ガラス, コンデンサ断熱材, ドアパッキン, 野菜室プラケース, 他
洗濯機	17	洗濯槽, モータ, バランサ, コンデンサ, キャビネット蓋, キャビネットベース, プリント基板, 他

(同社ホームページより抜粋)

<回収物および出荷先>

Solenthaler の主な回収物は以下の通りである。

鉄、銅、アルミ、ステンレス、プリント基板、など
また回収物の利用先は以下の通りである。

- ・ プリント基板は高価（4～6EUR/kg）で取引される。
- ・ ミックスプラスチックは逆有償による焼却、あるいは建築資材として利用している。
- ・ 冷蔵庫のプラスチックは材料の識別が可能のため、材料リサイクルをしている。

③REMONDIS Electrorecycling (Łódź, Poland)

<会社概要>

REMONDIS は 1934 年にドイツで設立した環境専門会社であり、主要事業は水処理管理とリサイクルである。日本やアジアには水処理プラントがある。

リサイクル事業の本社はドイツ（Lünen）にある。活動拠点は現在世界 14 ヶ国以上にあり、従業員は約 15000 人、グループ全体の売上高は 23 億ユーロ（2007 年度）である。

リサイクル事業において同社が扱っている廃棄資源は、スクラップ金属や建設廃材の他、紙類や廃食材など多岐に渡る。廃電気電子機器の扱ひ量は全体の 10% に満たないが、Lünen を拠点として先進的な廃電気電子機器のリサイクルを進めている。

今回は訪問したのは、ポーランドにある廃電気電子機器の解体センターである。REMONDIS は 1990 年代にポーランドに進出したが、現在ポーランドは同社にとってドイツに次ぐ 2 番目に大きなマーケットになっている。解体センターはワルシャワから車で 2 時間ほど離れた Łódź という町にある。

<回収・リサイクルスキーム>

ポーランドにおける WEEE 指令の国内法は、2005 年に設立された。この国内法は、消費者に対して使用済み電気電子機器を回収拠点に返却する義務を、製造業者に返却された廃電気電子機器の回収とリサイクルの義務を課している。

製造業者はリサイクル業者と直接契約するか、共同出資などにより設立するリサイクルスキームを通してリサイクル義務を果たしている。ポーランドにおけるリサイクルスキームは地域レベルの小規模な組織もあるが、代表的な組織としては Elektro Eko がある。

Elektro Eko は家電、消費者向けのエレクトロニクス、情報通信機器、照明機器を対象にしたリサイクルスキームであり、これらの製品を扱う製造業者によって設立された。Elektro Eko は、消費者から返却された製品を回収・リサイクルするシステムを組織するとともに、製造業者とリサイクル業者間のリサイクル料金の授受や、処理結果のレポートなどリサイクル処理に関する情報伝達を支援する役割を担う。製造業者は Elektro Eko が作成したレポートに基づいて政府への報告を行っている。

消費者による廃電気電子機器の返却方法は、以下の 3 つである。

- 1) 新製品の購入時に小売店に返却する
- 2) 廃電気電子機器の回収会社に依頼する
- 3) リサイクル会社に直接持ち込む

一般的なのは回収会社に依頼する方法である。REMONDIS は約 30 の回収会社と連携することにより、ポーランド全土から廃電気電子機器を回収している。

なおリサイクル料金の支払いは前払い（新製品購入時に支払う）となっており、廃棄時に料金はかからない。しかし廃棄物の回収システムがまだ一般に徹底されておらず、不法投棄も多いとのことであった。

<入荷>

REMONDIS は回収会社を通じてポーランド国内から廃電気電子機器を入荷している。また回収会社に対しては製品の代金と輸送量を支払っている。製品の代金は入荷量に応じて決めているが、製品の数が多いためから入荷量は台数ではなく重量（kg）で管理している。

国内法が定めている対象製品のカテゴリは 10 種類であるが、回収会社では十分に分類されないことがあるため、入荷後に REMONDIS が分類している。

図 2.1.2-19 は訪問した解体センターの全景である。当日は建物の内外に入荷物がコンテナに入れて並べられていた。

<処理方法>

解体センターの処理ラインは、CRT、冷蔵庫、その他、の 3 種類で構成されている。以下、各ラインの処理内容について見学およびヒアリングした結果を述べる。

○CRT の処理

CRT の解体手順を以下に示す。図 2.1.2-20 に示すように、全ての処理はベルトコンベアを用いたライン作業となっている。

- 1) 手作業による有害物、有価物の解体
 - ・ 筐体（プラスチック、木）、CRT、プリント基板、電源ケーブルなどを解体
 - ・ CRT から電子銃、ヨークを取り外し
 - ・ CRT の防爆バンドの取り外し
- 2) レーザ加工装置（図 2.1.2-21）による、ファンネルガラスとパネルガラスの分離
 - ・ レーザ加工装置は CRT のサイズを自動判別してガラスを切断可能
 - ・ レーザ加工装置の処理能力は 60 台/時間
- 3) CRT 内部のシャドーマスク（鉄）を分離
- 4) パネルガラスから蛍光材を除去
- 5) ファンネルガラスとパネルガラスをそれぞれ破碎（カレット化）
 - ・ ファンネルガラスとパネルガラスはいずれも有価で出荷可能

○冷蔵庫の処理

冷蔵庫の解体手順を以下に示す。

- ・ ドアやガラス棚などの部品を取り外し
- ・ 冷凍機油の回収。図 2.1.2-22 に示す冷凍機油の回収装置は 1 回で 15 台の処理が可能
- ・ 回収した冷凍機油を加熱し、オイル成分とフロンガスを分離

○その他の処理

パソコンやプリンター、小型の家電製品、掃除機などは同じラインで部品を解体している。解体対象部品や処理手順は製品によって異なるが、概ね以下の手順は共通である。

- ・ ケーブルを切断する。
- ・ プラスチックやプリント基板、モーターなどを取り外す。
- ・ モーターは取り外した後、専用処理会社に販売する（有価）。



図 2.1.2-19 解体センター全景



図 2.1.2-20 CRT 解体ラインの全景



図 2.1.2-21 ガラス切断装置



図 2.1.2-22 冷凍機油の回収

(Remondis 社より提供)

<その他>

その他にヒアリングした内容を以下に示す。

- ・ 解体作業はコスト的な制約が強いため、欧州ではあまり盛んではない。しかしポーランドは欧州の他の国に比べて人件費が低いため、解体センターが成り立っている。
- ・ この解体センターでは現在は破砕機を持っていないため、解体した部品はすべて破砕業者などに出荷している。ポーランドには REMONDIS 以外にも大手のリサイクル業者があるが、それらの企業は解体だけでなく破砕処理も行っている。REMONDIS もドイツでは解体のみではなく破砕・選別処理も行っている。
- ・ 製造業者が支払うリサイクル費用は、全て回収会社から REMONDIS に支払われている。2 次リサイクル以降の業者への支払いは REMONDIS が行っている。

- ・ 東京エコリサイクルにおける家電 4 品目の解体部品（Solenthaler の章、表 2.1.2-1 を参照）と本解体センターの解体部品を比較してもらったところ、ほぼ同じとことであった。

< 結論 >

- 1) 本調査を通じて、欧州のリサイクル方法には以下の特徴があることがわかった。
 - ・ 部品の解体は材料の回収率向上よりも有害物質の適正処理の観点で行われており、解体部品数へのこだわりは特にない。
 - ・ 部品解体のコストを低減するため、機械を用いた解体・破砕と手作業による選別を組み合わせる、安価な労働力を活用する、などの対応が取られている。
 - ・ 材料の選別は磁力、渦電流、比重などの方法が用いられており、日本と同様である。
 - ・ CRT のリサイクル方法は日本と大きな違いはない。
 - ・ FPD もエアコンと同様に今後需要の拡大が見込まれる製品であるが、現状では水銀（Hg）の処理などに技術的な問題があり、今後の課題となっている。
- 2) 本調査結果から将来のリサイクル配慮設計および IT による処理支援技術として、以下のニーズがあると考える。
 - ・ 手作業による解体が有害物質の適正処理を目的に行われていることから、有害物質の含有部品に着目した解体性向上を図ることが必要である。
 - ・ 破砕・選別業者では製品構造の情報を、精錬業者は製品の素材情報を必要としており、これらの情報を製造業者とリサイクル業者で共有できる仕組みが必要である。
 - ・ 顧客管理の観点から廃棄物のトレーサビリティ管理が必要である。

(4) 欧州委員会訪問

欧州委員会は欧州における法規制の発案機関であり、現在 WEEE 指令の見直しに向けて現状分析に基づく対応策が検討されている。本調査は WEEE 指令の最新の検討状況を把握するとともに、今後の課題の 1 つと思われるリサイクル配慮設計と個別生産

者責任の考え方について意見交換を行った。

<WEEE 指令の見直しについて>

EU は 2005 年に廃電気電子機器のリサイクル法 (WEEE 指令¹⁾) が施行したが、2008 年にこれまでの運用状況を踏まえた見直しを行うことを予定している。このため見直しに向けた調査研究が各研究機関によって行なわれ、リサイクル実施上の問題点や対策の方向性などが議論されている。これらの議論は日本におけるリサイクルの将来像を考察する上で参考になると思われるため、その状況をヒアリングした。

現在 WEEE 指令の対象製品は、以下に示す 10 カテゴリで指定されている。

- 1) 大型家庭用電気製品、2) 小型家庭用電気製品、3) IT および遠隔通信機器
- 4) 民生用機器、5) 照明機器、6) 電動工具、7) 玩具、レジャー、スポーツ機器
- 8) 医療用機器、9) 監視・制御機器、10) 自動販売機

またこれらのカテゴリごとに、表 2.1.2-2 に示す目標値が定められている。

表 2.1.2-2 WEEE 指令の対象製品カテゴリ (Annex I A)

カテゴリ	回収率	リサイクル率
1, 10	80%以上	75%以上
3, 4	75%以上	65%以上
2, 5, 6, 7, 9	70%以上	50%以上
8	2008 年末までに設定	

対象製品の カテゴリ および 目標値 について、国連大学などによる調査研究²⁾では以下の見解が示されており、現在これを参考にした議論が行われている。

- ・ 大型家庭用電気製品は内在する価値が高く、自動的にリサイクルが促進されると予想される。このためカテゴリ 1 は WEEE 指令のスコープから外す、目標値の設定をなくす、などの簡略化を検討する価値がある。
- ・ エアコン、冷蔵庫はカテゴリ 1 に属するが、フロンガスが使われているため環境への影響が大きい。このため他の製品と同じ処理が行われることを避けるべきである。またリサイクル率の達成よりフロンガスの適正回収を

優先すべきである。

- ・ 小型家庭用電気製品の回収率は国によって大きく異なっており、改善の余地が大きい分野と思われる。単一プラスチックのリサイクルは環境影響に貢献するが、ミックスプラスチックや小型製品のリサイクルは環境効率がよくない。
- ・ CRT は鉛の処理や不法輸出の問題があるため、回収率を最大化することが課題である。また FPD への移行により今後は回収量が低下していくため、目標値は動的に変える必要がある。LCD は水銀 (Hg) を含んでおり、安全かつ効率的な回収が課題である。
- ・ 照明機器は LCD と同様にリサイクルによる水銀の放出を避けることが課題である。市場が大きく影響が大きいため、高い回収率を設定すべきである。

<リサイクル配慮設計について>

製造業者はリサイクルの促進を目的として、従来からリサイクル処理に適した製品構造や材料を用いた製品の設計を進めている（リサイクル配慮設計）。日本のリサイクル業者は高いリサイクル率を達成するため、特性の異なる部品を極力解体して専用処理を行っている。このため日本におけるリサイクル配慮設計は、部品の解体に必要な工数を低減することが重視されている。

一方欧州では日本と異なる方針でリサイクル処理が行われていると思われるため、リサイクル配慮設計に関してどのような議論がされているかを伺った。

その結果、リサイクル配慮設計の目的は製品によって異なり、有害物の適正処理やリサイクルコストの低減など様々な要素を考慮して検討する必要がある、とのことであった。関連するデータとして図 2.1.2-23 にリサイクル費用の内訳を示す²⁾。リサイクル配慮設計が貢献するのは、解体および破碎・選別費用である。この部分が特に大きいのはエアコンや冷蔵庫 (C&F) であるが、これは冷媒フロンの処理コストが影響している。また大型家電 (LHHA) は破碎・選別費用より輸送費用の割合が大きい。このためこのカテゴリの製品はリサイクル配慮設計の効果が少ないと思われる。

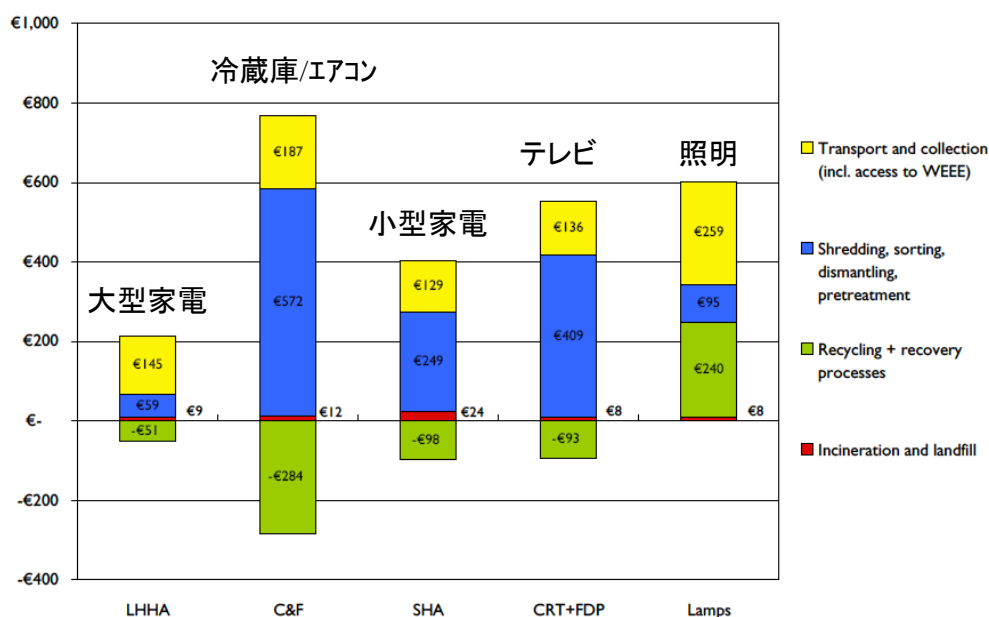


図 2.1.2-23 リサイクル費用の内訳
(WEEE 指令レビュー資料²⁾より)

<個別生産者責任について>

製造業者がリサイクル配慮設計を推進するためには、その投資が自社に還元されるシステムが必要である。すなわち製造業者が自社製品のみに関与し、個別生産者責任 (IPR: Individual Producer Responsibility) の考え方に基づいたリサイクルシステムを構築することにより、リサイクル配慮設計が促進され、結果的にリサイクル率やコストの改善に繋がることが期待される。

日本の家電リサイクルシステムは、使用済み家電製品は製造業者別に管理されており、個別生産者責任を実現しやすいシステムといえる。一方欧州では多くの製造業者がリサイクルスキームに参加し、共同で使用済み製品の回収とリサイクルを行っており、日本より個別生産者責任を実現し難いシステムと思われる。

そこで欧州における個別生産者責任はどのような方法で実現し得るのか、意見を伺った。その結果、欧州では以下の理由で製造業者別のシステムを実現するのは困難である、とのことだった。

- ・ 日本の家電リサイクル法の対象品目は 4 品目であるが、WEEE 指令は 10 カテゴリー (98 品目) あり、圧倒的に数が多い。またリサイクル義務を負う

製造業者は中小企業が多く輸入業者も含むため、その数も日本より多い。
 このため廃電子電気機器の回収拠点が製造業者や製品ごとに使用済み製品を管理しようとする、必要なコストが日本に比べてはるかに大きくなる。

- 図 2.1.2-24 に示すようにリサイクルスキームは国ごとにあるため数が多い（現状約 140）。製造業者が個別に自社製品管理をしようとする、国ごとに実施しなければならないため、管理工数が膨大となる。

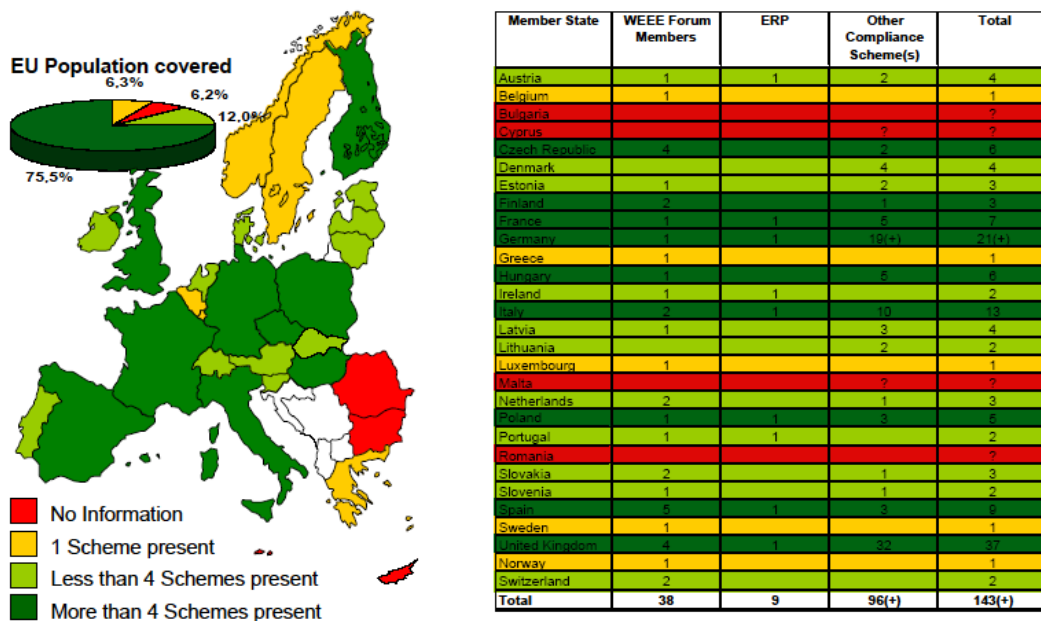


図 2.1.2-24 EU 諸国のリサイクルスキーム
 (WEEE 指令レビュー資料³⁾ より)

参考文献

- 1) Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)
- 2) 国連大学など、2008 Review of Directive 2002/96 on WEEE (Final Report)
http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/legis_en.htm
- 3) Workshop on the review of the WEEE directive, Brussels, 15 March 2007

(5) 学会調査

国際電子機器リサイクル会議（IERC：International Electronics Recycling Congress）は、廃電気電子機器のリサイクルに焦点をあてた国際会議であり、今年で7回目の開催となる（年1回）。参加者は欧州を中心として、米国、アジアなど世界各地の工業会および政府関係者を中心に構成されており、処理技術から社会システムまで幅広く議論される。そこで今回はリサイクルの世界的な動向を把握するため、本会議に出席することにした。

<調査内容>

○Session 1: Keynote speakers from industry and government

1) Dr Leopold ZÄHRER, Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Austria

オーストリアにおける WEEE 指令の適用状況が示された。オーストリアの国民1人あたりの回収量は2007年に8.41kgであり、欧州基準（4.0kg）を越えている。また WEEE 指令の今後の課題として、製造業者の定義や RoHS 指令とのスコープの調和などがあることが示された。

2) Timo MAKELA, European Commission, DG Environment, Belgium

WEEE 指令の実施状況や指令の見直し状況が示された。WEEE 指令は現在 EU26 カ国で告知されているが、全ての国で運用が進んでいるわけではなく、例えばリサイクルスキームの存在が不明の国が4カ国ある。またこのような状況を踏まえ、リサイクルの効率向上およびコスト削減を目的に、WEEE 指令の対象製品、処理内容、製造業者責任などの見直しを図っている。

3) Graham DAVY, Sims Group UK Limited, United Kingdom

EU や米国、カナダは国や州ごとに規制があり、規制別の対応が必要であるとされた。リサイクルの将来的な発展を考えると WEEE 指令の大きな変革が必要であるとされた。

4) Dr Herbert MROTZEK, BSH Bosch und Siemens Hausgerate GmbH, Germany

白物家電のリサイクルについて、現状と今後の課題が示された。BSH では有害物

質の排除、資源保護、修理の容易化、再生可能材料の使用、などの観点でエコデザインを進めてきた。また CFC エアコンの廃棄に備え、適切なリサイクル処理システムを構築することが重要とされた。具体的にはリサイクル技術の向上と廃棄物の流れを適切に管理する仕組みが必要であるとされた。

○Session 2: How do electronics manufacturers close the recycling loop?

1) “Take back systems for electronics” Jean Cox-Kearns, Dell Inc., Ireland

Dell の環境問題に対する取組みが紹介された。Dell はリサイクルよりリユースを重視している。製品設計では消費エネルギーや使用材料の低減を考慮している。データセキュリティの問題からリサイクルはコスト追求のみでは問題がある、などの見解が示された。

2) “How to implement practically individual producer responsibility today?”

Andreas Bohnhoff, Sony Europe GmbH, Germany

SONY における日本と欧州における個別生産者責任（IPR）の考え方の違いが述べられた。日本では自社製品を回収・リサイクルする形で IPR を実現しているが、欧州ではリサイクル処理の質やコストの改善により自社固有の価値を創出している。例えばサプライチェーンの監査やトレーサビリティの確保などを行っている。

3) “Make haste, cut energy waste” Fanni Meszaros, CECED Magyarorszag

Egyesules, Hungary

ハンガリーにおける 4kg/人ルール達成のための取組みが紹介された。ハンガリーでは使用済み製品の返却により新製品の値引きが得られるキャンペーンを行ったところ回収量が増大した。現在 4kg/人を達成可能な見込みである。この結果から市場を変えるには消費者に金銭的メリットが必要であり、政府からの経済的支援も必要であるとの考えが示された。

○Session 3: How do countries close the recycling loop?

1) “Experience in WEEE collection and treatment in Hungary” Jozsef Kelemen, Ministry for Environment, Hungary, Ervin Tihanyi, Inter Metal Recycling, Hungary

ハンガリーにおけるリサイクルの実施状況が紹介された。ハンガリーではリサイ

クルの課題の1つである消費者向け製品の回収を製造業者の責任とし、さらに製品の買い替え時に販売店で回収できるようにした。またブタペスト近郊のリサイクル業者（Inter Metal 社）の紹介があった。同社は鉄・非鉄金属のリサイクル業者であるが、1999年から廃電子電気機器のリサイクルも行っている。

2) “EPEAT - A product life-cycle standard / Closing the design - End-of-life loop”
Wayne Rifer, Green Electronics Council, USA

米国の環境アセスメントツール（EPEAT）とパソコンの環境評価基準（IEEE1680）が紹介された。EPEATはグリーン調達を目的としており、IEEE1680に準拠して製品を3段階で評価する。またIEEE1680はリサイクル方法として破碎重視の処理を指示しているが、米国のリサイクル業者のアンケートで破碎を主要な処理としたのは11%である、との結果が示された。また同アンケートにおいて、FPDのリサイクルは現状では手解体を中心に行っている、との結果が示された。

○Session 4: Challenges of the systems & the recycling industry

1) “Challenges and opportunities in Asia” Venkatesha Murthy, Cimelia Resource Recovery Pte Ltd., Singapore

中国、インドをはじめとしたアジアのリサイクル問題が提示された。アジアには先進国から未知数の廃電機電子機器が持ち込まれているが、リサイクル法整備の遅れ、充実したリサイクル施設の不足、小規模のリサイクル業者におけるモラルの低下、といった問題が起こっていることが指摘された。また現状のリサイクル市場はアジアの処理能力をはるかに越えており、専用のリサイクル業者が必要であるとの見解が示された。

2) “REACH, WEEE and the BATTERY DIRECTIVE. The position of the Rechargeable Battery Industry” Dr Jean-Pol Wiaux, RECHARGE aisbl, Belgium

バッテリーのリサイクル規制状況について言及された。バッテリーはバッテリー指令とWEEE指令の両方の対象になっており、リサイクル費用が二重に徴収されないように注意しなければならない。またリサイクル業者の80%が製造業者からWEEE中のバッテリーの位置情報が欲しいと考えているというアンケート結果が示された。今後必要な施策として、バッテリー分離の容易化設計、バッテリー処理プラントとWEEE解体プラントとの情報交換やトレーサビリティなどが示された。

3) “A complete service managing end-of-life products (WEEE) for manufacturers, retailers and importers” Dr Anton Greiersen, CCR Logistics Systems AG, Germany

ドイツのリサイクル支援会社 (Vfw AG) の紹介である。Vfw AG は製造業者やリサイクル業者、リサイクルスキーム間の情報伝達を EU 全体で管理しており、WEEE の回収・リサイクルの運用支援、リサイクル率管理などを行っている。

○Session 5: How to prevent illegal export

1) “Waste shipment of E-waste: The EU and a wider perspective” Kurt Van der Herten, European Commission, DG Environment, Belgium

廃電気電子機器の輸出に関して EU には WEEE 指令や廃棄物輸出法があるが、現状では相当数がアジアやアフリカに輸出されている。アジアは資源需要の高まりが、アフリカは安価なリユース製品の需要が増えていることが背景にある。また EU 域内においても埋立価格の高騰などから廃電気電子機器が近隣国に持ち込まれ、大気や水質汚染などに問題を起こしている。今後は規制の明確化、検査や罰則の強化などが必要との見解が示された。

2) “Illegal export of WEEE / next challenge of the WEEE” Nico Krukenberg, REMONDIS Electrorecycling GmbH, Germany

EU の廃電気電子機器がリユース用としてアジアやアフリカに流出しているが、実際にリユース可能な製品は数%に満たない。また廃電気電子機器の流出は、回収率にも影響を及ぼしており、電気電子機器の出荷量は 15～20kg/人なのに廃電気電子機器の回収量は 3～5kg/人に過ぎず残りは流出している。流出は使用者とリサイクル業者との間で発生しており、さらなる強制力が必要との見解が示された。

○Session 6: New technologies & recycling equipment

1) “The mine above ground - Opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from end-of-life electronic devices” Dr Christian Hagelucken, Umicore Precious Metals Refining, Germany, Dr Matthias Buchert, Oko-Institut e.V., Germany

廃電気電子機器は天然鉱石を上回る資源含有率があるが、アジアなどでは低い技術で処理されているためリサイクル率が低く、環境や人体への影響も配慮されてい

ない点が問題とされた。今後は高い技術を用いた効率のよいリサイクルを行わなければならないとの考えが示された。また現状のリサイクル率は材料の重量で評価しており、微量元素の価値を無視している点が問題とされた。

2) “MSS optical sorting technologies for automated sorting of electronic scrap - Practical case studies from the USA” Felix A. Hottenstein, MSS, Inc., USA

光学選別機メーカー（MSS）の材料選別機（e-Sort）が紹介された。e-Sort は近赤外線（プラスチックの識別）、誘導電流（鉄と非鉄およびステンレスの識別）、色の3つの方法により破砕屑の材料を識別する。また識別機と空気ジェットとを連動させることにより、破砕屑を識別した3つの材料に選別できる。

3) “Better together! Or, why joint processing of CFC and VOC fridges is essential for the environment” Dr Viktor Haefeli, RUAG Components, Switzerland

EUで使用されている冷蔵庫は冷媒としてCFCを使うものとHCを使うものが混在しているが、リサイクルではこれらを個別に回収する必要がある。しかし冷蔵庫上の表示が十分でないため、回収時にCFCとHCを区別することが困難になっている、との問題が示された。このためCFCを放出せず回収するには、1つのプラントでCFCとHCの両方を処理できるようにする必要がある、との見解が示された。

< 結論 >

- ・ WEEE 指令が施行されて3年あまりが立つが、リサイクルの実施状況は国や製品によって異なるなど、様々な問題を抱えていることが明らかになった。
- ・ 本学会（IERC）は参加者の立場、発表テーマともに幅広く、様々な視点から議論される。このため世界のリサイクルの動向を把握するには有益な学会である。

(6) 研究機関調査

Fraunhofer 研究所はドイツの代表的な研究機関の1つであり、環境政策研究においては政府機関からの委託を受けるなど重要な役割を担うとともに、ベルリン工科大学などと密接に連携しながら基盤技術の開発に取り組むなど幅広い活躍を見せている。

今回は環境政策研究に取り組んでいる Fraunhofer の信頼性・微細集積研究所 (IZM: Institut Zuverlässigkeit und Mikrointegration) と、環境配慮設計の研究を行っているベルリン工科大学の工作機械・工場運営研究所 (IWF: Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb) を訪問し、欧州におけるリサイクルの動向について情報交換を行った。

①Fraunhofer IZM

Fraunhofer IZM では、リサイクルの現状と課題について議論した。以下に要旨を示す。

Q：欧州のリサイクル処理は手作業による部品解体が日本に比べて限定的だが、解体工数を意識したリサイクル性設計は必要か。

A：解体はコストが高いため、現状では有害物を含む部品を中心とした解体が行われている。しかし今後の需要が拡大する FPD はネジの点数が多く、解体工数の配慮が重要になる可能性がある。

Q：製造業者が自社製品の回収リサイクルを個別に行うシステム（個別生産者責任）はリサイクルの促進に有効と思われるが、実施上どのような問題があるか。

A：ドイツでは、廃電気電子機器は回収拠点において製品種別ごとに用意したコンテナを用いて管理している。廃電気電子機器を製造業者と製品種別ごとに管理するためには、膨大な数のコンテナが必要となる。

Q：EU におけるリサイクルの今後の課題は何か。

A：最大の課題は製品の回収率を上げることである。リサイクル配慮設計は数%程度の改善しか望めないが、回収率は数 10%の改善が見込めるため、効果が大きい。

②ベルリン工科大学 (Technical University of Berlin)

ベルリン工科大学の工作機械・工場運営研究所 (IWF) で環境配慮設計の研究を行っている研究室を訪問し、研究内容をご紹介いただいた。IWF は Fraunhofer の生産技術研究所 (IPK) と人材交流などを通じて、密接に連携した活動を行っている。

< 研究概要 >

- ・ 訪問先の研究室では、リサイクルよりリユースの方が再生に必要なエネル

ギーが小さいことに着目してリユースの促進に向けた取組みを行っている。

- ・ 主な研究テーマはリユース設計であり、携帯電話や薄型テレビを対象にした部品の共通化設計、コスト視点でリユース対象部品を決定するシミュレーションツールの開発などを行っている。
- ・ 部品の解体工数などリサイクル性評価を行うモデルは、リユース性評価機能の一部として取り込まれている。
- ・ 同研究室がリユースを行っている他の理由として、ドイツではリユース製品（または部品）の価格が安く、需要が高いとことが上げられる。例えば車は中古車だけでなくリユース部品も一般消費者の需要が高い。またパーソナルコンピュータは教育用などでリユース製品がよく使われる。
- ・ 同研究室は以上のような環境研究の他に、スケジューリングなどの生産管理関連のテーマにも取り組んでいる。

<実験室見学>

IWFはFraunhofer IPKと共同の実験室を所有しており、3次元モックアップや高圧プレスなどの機械加工装置を中心として充実した設備を誇っている。また実験室には機械加工の専門部署があり、簡単な実験装置は内作されている。リサイクル関係では、主に解体工数の低減を目的とした装置が開発されていた。以下に例を示す。

- ・ 携帯電話、洗濯機、車のエンジンなどを対象に、製品からネジや筐体を自動で取り外す装置の開発が行われている。装置は製品の種類によって異なる。まだプロトタイプ段階であり、ネジ止め方向が複数あると解体できないなどの問題がある。
- ・ 手作業による解体に工数がかかる理由の1つに、ネジ形状が一樣でないためにドライバーを持ち変えるという作業が発生する点がある。この問題を解決するため、ネジの頭に溝を刻むことにより、あらゆるネジを1本で外すことができるドライバーが開発されている。

<結論>

欧州のリサイクル業者は日本に比べて手作業による解体を重視しない傾向がある。しかしその一方で大学のような研究機関が解体作業の自動化に取り組んでいることは興味深い。

2.1.3 中国における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状

<中国調査概要>

日 程：2007年11月11日（日）～16日（金）

訪問地：山東省臨沂（12日）、上海市（13日～16日）

目 的：中国における再生資源の利用に関する現地調査および情報収集

活動内容：11月12日

山東省臨沂市の E-waste リサイクル現場

- ・ 廃金属交易市場（華東有色金属城）
- ・ 廃家電リサイクル企業（山東豊緑資源再生有限公司）
- ・ 廃プラスチック交易市場（徳利西塑料再生）
- ・ 廃テレビリサイクル業者（名称不明）
- ・ 廃基板リサイクル業者（名称不明）

11月13日、16日

World Recycling Forum, Shanghai '07 / Technical Visits

11月14日～15日

World Recycling Forum, Shanghai '07 / Conference & Exhibition

Nov. 13, 2007 / Technical Visits			
14:00-18:00 Lenovo Group	14:00-17:30 Shanghai General Motors Company	14:00-18:00 Shanghai White Elephant Swan Battery Co., Ltd.	
Nov. 14, 2007 / Conference & Exhibition			
09:00-12:30 Keynote Speakers & Panel Discussion			
14:00-17:30 Electronics & Battery Recycling Session (I)		14:00-17:30 Car Recycling Session (I)	
Nov. 15, 2007 / Conference & Exhibition			
09:00-12:30 Electronics & Battery Recycling Session (II)		09:00-12:30 Car Recycling Session (II)	
14:00-18:00 Electronics & Battery Recycling Session (III)		14:00-18:00 Session of How to import scrap and used parts to China	
Nov. 16, 2007 / Technical Visits			
08:00-12:00 Evergreen Bio-plastics Technology Co., Ltd.	08:00-12:00 Shanghai Eastern China Vehicle Dismantling Co., Ltd.	08:00-15:00 Taicang Port Secondary Resources Importing & Processing Zone	08:00-13:00 TES-AMM Corporation (China) Ltd.

※網掛け部は参加した Tour または Session

(1) 調査目的

本調査では、中国における使用済み電気機器の資源循環方法や技術の実態および将来に向けた動向を調査し、将来のあるべきリサイクル社会像の検討に役立てると共に、必要となる技術（情報システムによる支援や処理技術）を明らかにすることを目的とする。

(2) 調査結果纏め

今回の海外動向調査は以下のような中国におけるリサイクルの実態を実際に確認できるなど、非常に有意義なものであったと考える。

- ① 中国の **E-Scrap** リサイクルの現場においては、従来から言われている低い人件費を活かした徹底手作業を行なうリサイクラが引き続き多く存在することに加え、欧米を中心とした先進国の資本が投入され、手作業と機械処理を組み合わせた次世代のリサイクラが共存している状態にあること。
- ② ①の前者のリサイクラにおいては、作業者の健康への配慮や汚水・排気処理などの周辺環境への配慮が不十分な事例も散見されるのに対し、後者においては、作業環境・環境配慮両面で大きな前進が見られていること。
- ③ 中国本土においても **E-Scrap** に対するリサイクル法が準備されており、そこではリサイクラに対する認定が導入される予定である。この状況において上記②も踏まえ、いずれのタイプのリサイクラが主流となっていくか、動向を注視する必要がある。
- ④ 先進的リサイクラならびに参加した学会の展示エリアを見ても、欧米豪を中心とした先進国のリサイクラが多く中国への進出を目指していることが読み取れる。リサイクルも世界で淘汰が進む状況を踏まえると、日本だけが特殊な法律制度が故に取り残されている印象を否めない。リサイクルの仕組みならびにビジネスの両面から注意が必要と考える。
- ⑤ リサイクル性設計については手作業が多いことから本来必要性はありそうだが、その人件費の低さ（数百～1000RMB／月（≒5000～15,000¥／月）程度）から現段階ではニーズは高くないようである。また設計の情報を活用した処理についても、作業現場のIT化や各作業者の教育などの観点から、従来の方式の処理では必要性は感じられない。これに対して、先進リサイクラにおいては機器の導入などが進んでおり、今後その重要性は増すと思われる。

なお今回、上海および少し内陸に入った山東省臨沂市を訪問した。幸いほぼ天候には恵まれたが、いずれの地域でも全体に「黄色掛かった空」で「青い空」を見ることができなかつたように思う。全体に雨の少ない土地柄だけの理由かもしれないが、リサイクル現場で地面に座って作業する多くの作業者を見るに併せると、作業者の環境などを含め、色々配慮すべき点があるのではないかと感じた。

(3) 山東省臨沂市の E-waste リサイクル現場 (2007/11/12)

① 山東省臨沂市について

臨沂市は、山東省の東南部に位置する省内で人口、面積ともに最大の地級市（人口：約 1000 万人、面積：約 17,000 km²）である。

そのロケーションの特徴として、北京市と上海市のほぼ中間（共に直線距離で約 500km）に位置する（図 2.1.3-1）ことがあり、臨沂市を中心に半径約 500km の範囲に 4 億 5000 万人の人口がある。そのため中国北部（揚子江より北の地域）で最大の再生資源の集積地とされ、様々な再生資源（家電、産業機器など）が中国全土から運ばれてくる（陳百川氏によれば、国外からの回収はないとのことであった）。市内には、廃金属、廃プラスチック、廃家電などの再生資源を処理する家内工業的な小規模業者を集めた交易市場が複数存在する。

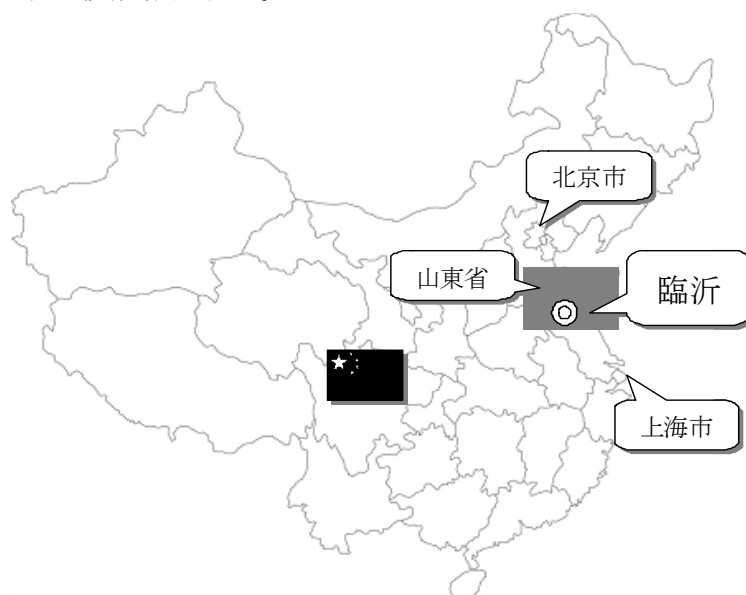


図 2.1.3-1 山東省臨沂市のロケーション

②廃金属交易市场（華東有色金属城）

廃金属の交易市场は「華東有色金属城」と呼ばれる一角にあり（「有色金属」は非鉄金属の意味）、敷地面積は約 50 万 m²、業者の総数は約 600 とされ、鉄、銅、アルミを中心に合計の処理規模は約 3000 トン／日である。それぞれの業者は、モーターの銅線の分離やステータの分解など個々の作業に特化しており、銅を中心に扱う業者やステンレスを中心に扱う業者などがある。また、臨沂の市内には新たな廃金属の交易市场が建設中であり、予定地の面積は約 70 万 m² とされる。

施設内を見学した業者の 1 つでは、廃ステータの鉄の外枠から銅線を分離する作業が行われていた。まず前処理として、廃ステータの内部に火を点けて（野焼き）、外枠と銅線を分離しやすい状態にする（図 2.1.3-2）。この際、廃プラスチックを燃料として用いているようにも見えた。次に、大きな金槌と釘のような工具を用いて、人手によって外枠から銅線が引き抜かれる（図 2.1.3-3）。分離された外枠と銅線は、敷地内に山積みになっていた（図 2.1.3-4）。また、この業者の施設内には、家族と思われる女性と子供が居住していた。陳百川氏によれば、この交易市场では夜間に再生資源が盗難されることを防ぐために、処理施設内に居住することが通常であるとのことであった。

交易市场の外には「山東金升集団」という精錬業者の工場があり、交易市场の中の小規模業者によって分離された廃金属は、こういった業者に持ち込まれるとのことであった。



図 2.1.3-2 臨沂の廃金属交易市场における廃ステータの前処理（野焼き）



図 2.1.3-3 臨沂の廃金属交易市场における廃ステータの銅線分離処理



図 2.1.3-4 臨沂の廃金属交易市场において分離された
廃ステータの外枠（左）と銅線（右）

廃金属交易市场の中では、上記の業者の他にも、バッテリーを扱う業者やステンレスを扱う業者が確認された（図 2.1.3-5）。他に、PVC 製と思われる銅線の被覆のみを積載しているトラックが確認されたため、再生 PVC にも需要があることが示唆された。また、交易市场の一角では再利用不可能な屑が野焼きされていたが、その脇で女性が有価物を拾い集める様子が見られた（図 2.1.3-6）。



図 2.1.3-5 臨沂の廃金属交易市场におけるステンレスのペール（左）とバッテリー（右）



図 2.1.3-6 臨沂の廃金属交易市场における屑の野焼きと有価物を拾い集める女性

③廃家電リサイクル企業（山東豊緑資源再生有限公司）

山東豊緑資源再生有限公司は、台湾に 9 つの拠点を持つ廃家電リサイクル企業「緑電再生 E&E Recycling」のグループ企業である。同社には台湾松下や台湾日立が出資する合弁会社であり、今回中国本土への最初のリサイクル拠点として 2007 年 4 月 1 日に開業した拠点（ただし、中国の規定により別法人）である。同社総経理（社長）は、松下グループの現地法人（台湾松下電器）の製造・生産技術部門に 20 年間ほど勤務した後、「緑電再生 E&E Recycling」の立ち上げ時から携わっている。同社立ち上げの段階で、当時（1998 年）日本で行なわれていた家電リサイクルの実証実験等の調査を行ない、その一部技術を採用しており、今回訪問した山東豊緑資源再生有限公司においても日本と似た考えの技術が少なからず採用されていた。現状では廃テレビの処

理設備を持ち、今後洗濯機、冷蔵庫、エアコンの処理設備を追加することで、中長期的には年間の処理能力としてテレビ 120 万台、洗濯機 24 万台、冷蔵庫 24 万台、エアコン 12 万台を目標としている。敷地面積は約 10 万 m² であり（ただし一部を国道に抛出）、現状で完成している約 5000m² の施設の他に、同規模の施設がさらに 3 棟建設される予定とのことであった（図 2.1.3-7）。



図 2.1.3-7 山東豊緑資源再生有限公司の敷地（左）と回収された廃テレビ（右）

廃テレビの処理について、受け入れているものの多くは白黒テレビである。流れ作業による解体（図 2.1.3-8）の処理規模は 1 日 8 時間当たり 1200 台であり、解体後、基板、トランス、チューナはそのままの状態に売却される。基板の売却価格は 7100～8200 RMB/トンであり、⑤で述べる業者に売却されている。CRT のパネルは埃を吸引した上で、大きく破砕された状態（カレット）で売却される（図 2.1.3-9）。プラスチックの筐体は、破砕前に 3 種類（薄色の ABS、黒色の ABS、PS）に選別され（図 2.1.3-9）、定格電力 75kW の破砕機で 3～4 cm 角に破砕された後、売却される（ABS 破砕品の相場は、未洗浄のもので約 8300RMB/トンとのこと）。プラスチック破砕品の売却先は中国で最大の再生プラスチック市場がある浙江省寧波であり、異物は売却先で比重選別などによって分離される。また、売却先が国内に限られることから、難燃剤の混入が問題となることはないと言われた。現在は廃テレビを、例えば 17 インチであれば 1 台当たり 40～46RMB（1 RMB は約 15.5 円）を支払って回収している状況であり、経営状態は厳しく、中国におけるリサイクル法制度の整備を待っている実情にあるとのコメントを得た。プロセスを説明する VTR（北京語、日本語、英語）を用意するなど、広報活動に積極的である印象を受けた。



図 2.1.3-8 山東豊緑資源再生有限公司における廃テレビの解体



図 2.1.3-9 山東豊緑資源再生有限公司において解体された
廃テレビのパネル（左）と筐体（右）

また、廃冷蔵庫の解体工程では、(3) ②で述べた交易市場の中の業者と同様に、金槌のような工具を用いて人手によって銅線を引き抜く作業が行われていた。この作業に従事しているのは正規に雇用された社員ではなく、800～1000RMB/月で雇われた労働者ということであった。

④廃プラスチック交易市场（徳利西塑料再生）

山東省臨沂の廃プラスチック交易市场（徳利西塑料再生）は、敷地面積は約 40 万 m²、業者の総数は約 270 とされ、小規模の業者が破碎や洗浄などを分業しているようであった。廃冷蔵庫のプラスチック部品や食用油のペットボトルの回収、破碎品の天日干しなどが確認された（図 2.1.3-10）。

なお図 2.1.3-10（右）の破砕品の天日干しに二人の作業者がいるが、白色のプラスチックから品質に影響の出る有色の破片を分別しているものと思われる。



図 2.1.3-10 臨沂の廃プラスチック交易市场における
廃冷蔵庫の部品の回収（左）と破砕品の天日干し（右）

施設内を見学した業者では破砕品の洗浄を専門に行っており、破砕品を水槽に浸して比重選別を行う場合もある。洗浄に用いられている機器は洗浄を兼ねた湿式破砕のための機器であった（図 2.1.3-11）。洗浄された破砕品は外部に売却され、改めて破砕されてから利用されるとのことであった。



図 2.1.3-11 臨沂の廃プラスチック交易市场における破砕品の洗浄

⑤ 廃テレビリサイクル業者

山東省臨沂で訪問した廃テレビ専門のリサイクル業者は、敷地面積は 1 万 m²程度、

処理量は約 1500 台／日であり、訪問時には約 20 名が、廃テレビの解体や筐体の破砕といった作業に従事していた。

解体プロセスでは、手作業でブラウン管、基板、トランス、筐体などを選別していた（図 2.1.3-12）。トランスは鉄と銅線に分離され、筐体は破砕機への投入前に PS と ABS に選別されていた。



図 2.1.3-12 臨沂の廃テレビリサイクル業者における解体(左)と分離された基板(右)

筐体の破砕・選別プロセスでは、重液および水を用いた比重分離によって金属およびオレフィン系樹脂が除去されるとともに、各プロセスでの PS のロスが徹底的に回収されている反面、廃水は未処理で放流されていた（図 2.1.3-13）。筐体の破砕・選別プロセス(PS 筐体の例を示したが、ABS 筐体についても同様と思われる)を図 2.1.3-14 に示した。



図 2.1.3-13 臨沂の廃テレビリサイクル業者における筐体の破砕・選別

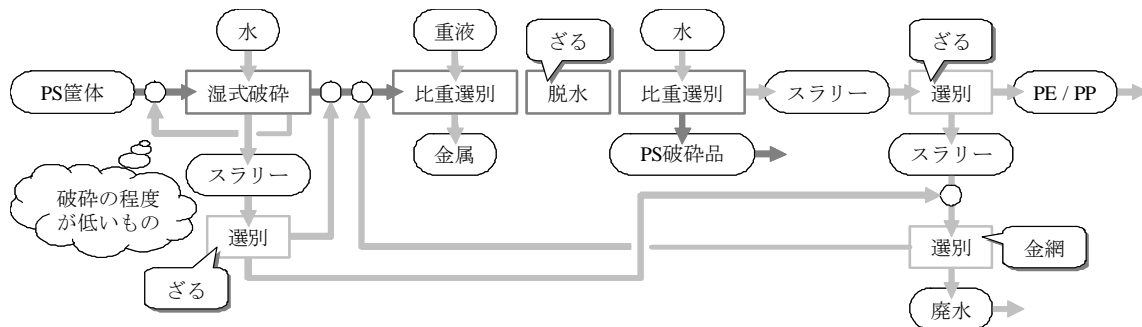


図 2.1.3-14 臨沂の廃テレビサイクル業者における管体の破碎・選別プロセス

⑥ 廃基板リサイクル業者

山東省臨沂で訪問した廃基板のリサイクル業者は、中国北部（揚子江より北の地域）で最大規模（処理量：300 トン／月）の業者で、(3) ③で述べた山東豊緑資源再生有限公司からも基板を受け入れている。従業員は 85 名とされ、多くのプロセスを人手に依存した処理が行われていた。

処理プロセスは、下記のような手順で行われているものと推察された。

- (1) ねじ止め部品（例：サイリスタなどの大型アルミ放熱板付部品）を手作業で外す。
- (2) ホットプレートで半田を溶かして、部品を衝撃またはナイフのようなもので外す（図 2.1.3-15）。
※回収した半田の量で日当が支払われる。
- (3) 取り外した部品を手作業による篩で大小に選別する（図 2.1.3-16）。
- (4) 大型部品（特に電解コンデンサ）は手作業で選別する。
- (5) 小型部品は磁石で分離する。磁石に付かないものには電解コンデンサが多く含まれる（図 2.1.3-16）。
- (6) 磁石についたものをさらに篩にかけ、薄い部品（フィルムコンデンサ等）を分離する（図 2.1.3-17）。



図 2.1.3-15 臨沂の廃基板リサイクル業者における半田の熔融



図 2.1.3-16 臨沂の廃基板リサイクル業者における
篩による選別（左）と磁石による選別（右）



図 2.1.3-17 臨沂の廃基板リサイクル業者における選別後の回収物の例

このような工程を経ることで、基板上の部品をかなり細かく選別している。本業者では部品の再使用のための出荷はしていないとのことで、より高値で出荷（精錬業者に出荷していると思われる）できるように選別を実施していると思われる。

⑦臨沂市内に見られるその他のリサイクラ

臨沂市内には、上述したようなリサイクラやリサイクル団地的な施設・区域の他にも、至る所に E-Scrap、タイヤなどのリサイクラがあった（図 2.1.3-18）。



図 2.1.3-18 臨沂市内に見られるリサイクラの例

ただし、いずれのリサイクラもその作業環境や管理方法は適切に行なわれているとは言えない状況で、例えばリサイクラに通じる道路にまで解体したものが放置されている、近くの川には冷蔵庫の断熱ウレタンなどが大量に散らばっているなど、少なからず問題があると感じられた。

(4) World Recycling Forum, Shanghai '07 / Technical Visits

① Evergreen Bio-plastics Technology (Shanghai) Co., Ltd. : 恒塑生物科技（上海）有限公司

同社は 2005 年に設立され、トウモロコシ（コーンスターチ）を原料として PLA 樹脂（コンパウンド）および PLA 製のシートを製造する企業である。生産規模は 2000 ～ 3000 トン／年とされた。

「GBP」と命名された同社の製品は、植物由来であることから化石資源の枯渇への対策になること、生分解性を持つことから埋立処分をした際の環境影響が小さいこと、焼却処理をしても有害物質が発生しないことが特長とされている。また、原料への特

殊な成分の混合により、PLA 樹脂の耐水性や耐熱性が改善されて製品への適用可能性が増すとともに、HDPE や PS といった石油由来のプラスチックと同じ機器（押出成形機、フィルム成形機など）を用いることが可能となり、新たに PLA 樹脂を原料として導入する企業にとっての初期投資が低く抑えられることも特長とされた。同社の PLA 樹脂と、これを原料としたフィルム製品（レジ袋）を示す（図 2.1.3-19）。

同社の工場の敷地は約 50m 四方であり、その中でコンパウンドを製造する熔融押出機 1 台と、フィルムを製造するインフレーション成形機 1 台が稼働していた。他に、シートの製造に用いられると思われる押出成形機 2 台が置かれていた。作業員は、熔融押出機に 2 人とインフレーション成形機に 2 人が配置されている他に、熔融押出機で造粒されたコンパウンドを手で混ぜ合わせて温度と水分率を均一にするために、2 人の作業員が配置されていた。



図 2.1.3-19 恒塑生物科技（上海）有限公司の PLA 樹脂（左）とフィルム製品（右）

②Shanghai White Elephant Swan Battery Co., Ltd. (SWSBC) : 上海白象天鵝電池有限公司 (<http://www.swsbc.com>)

同社は約 70 年の歴史を持ち、中国国内だけでなく海外市場にも進出している電池製造会社（図 2.1.3-20）。マンガン、アルカリ等の一次電池、Ni-Cd、Ni-MH、Li-ion などの二次電池両者を手掛ける。単 3、単 4 などの規格電池の他、各社のパソコン等の電気機器製品向けの OEM 出荷も多く、製品の 60%は西アフリカ、東アフリカ、米国、カナダ、日本など 20 カ国以上に輸出している。

当日は単 3 タイプの電池製造ラインを見学した。ラインの構成する個々の機器も工夫は見られるものの付加価値の高いものは見当たらない。強く印象に残ったのは安全

面での配慮不足と作業者の低い付加価値だった。例えばプレス機器はケースに覆われているがインターロックはなく、装置にアクセス可能な状態でプレス作業を実施しており、また1ロット（約2.5分）に10秒、20秒程度だけの作業がある作業者が複数のラインに居る状況。作業者の労務費は公称：1500～2000 RMB/月とのことだが、実際にはその半分以下ではないかという見解もあった。



図 2.1.3-20 上海白象天鷄電池有限公司の製造ラインと同社の環境方針

③ TES-AMM Corporation (China) Ltd. : (<http://www.tes-amm.com/>)

同社はシンガポールを本拠に、欧州、米国、香港などにも進出している処理業者の上海の最新施設。

上海中心部から車で45分程度の工業団地内の一角に位置し、現状は中国国内に限定した BtoB の E-Scrap 製品を対象にリサイクルを実施。Dell、HP などの外資系企業が主たる委託元。

責任者 (Mr. Ramkripal Pandey, TES-AMM Singapore) は日本アルミ、大同メタル工業などの日系企業との交流が深く親日家の印象。シンガポールのプラントでは富士通とリサイクル関連の取引も始めており、新聞報道もされたとの説明あり。

基本ポリシーは「埋立最小化」、キーワードは“Recycling Technology for Tomorrow”。これを実現するために人手によるかなり徹底した手解体に加え、(見学はできなかったが) 回路基板からの部品取り工程、さらには回路基板のベース板からの静電分離などを含めた機械選別による銅回収、電解、精錬などの化学的プロセスを含めた貴金属 (Au、Ag、Pt、パラジウム等) 回収を組合せ、鉄、非鉄金属、プラスチック (パレットなどに加工) の回収を実現。施設内に分析室 (当日の担当者は2名) を持ち、受託した廃棄物について適切な工程を決定し、処理を実施しているとのこと。

これらのリサイクル工程に加え、排水や排気処理を徹底するなど、低い人件費を活用した徹底手作業による選別と装置を用いた資源回収、さらには規制を越えた CSR にも配慮したシステム作りがこれからの処理施設のあり方を示しており非常に参考になる。

写真撮影は許可されなかったので、詳細は上記 Web サイトを参照のこと。

(5) World Recycling Forum, Shanghai '07 / Conference & Exhibition

① Conference の概要

Conference は今年で 2 回目（図 2.1.3-21）。本 Conference を主催する ICM（スイス）は、元々欧州で廃家電、自動車、バッテリーに関する学会を毎年開催している組織で、昨年からアジアでの開催拠点として上海で前述の 3 テーマを纏めた学会を開催している。したがって中国で開催された学会にも関わらず、欧州からの参加者も多いことが一つの特徴と言える。



図 2.1.3-21 World Recycling Forum Shanghai '07 の Conference 会場

参加者（事前登録者）は約 200 名、内、中国：46 名、日本 11 名などアジアから約 70 名、ドイツ：19 名、オランダ：10 名など欧州から約 70 名、米国：27 名など北米から約 30 名などが目立つ。2 日間を通して 38 件（Keynote Speakers は除く）のプレゼンテーションがあった。発表者は、主に中国と欧米の政府機関またはリサイクルに従事する企業であり、他にリサイクル企業を対象としたソフトウェアを販売する企業による発表もあった。発表者数を、国別および所属別にまとめた（表 2.1.3-1）。

表 2.1.3-1 World Recycling Forum Shanghai '07 における国別・所属別の発表者数

	政府機関／研究機関				リサイクル企業／業界団体				その他企業：製造／情報／商社			
	中国	欧州	台湾	中国	欧州	北米	日本	韓国	中国	欧州	北米	日本
11月14日												
Keynote Speakers	2			1		1						
Panel Discussion	4			2	2	1				1		1
Electronics & Battery Recycling (I)		2		1	2						1	
Car Recycling (I)				1	1	2			1	1		
11月15日												
Electronics & Battery Recycling (II)	1		1	1	1	1						1
Car Recycling (II)	2	2			1		1					
Electronics & Battery Recycling (III)				1	4	1		1				
How to import scrap and used parts to China	2				1	2			1	1		
計	11	4	1	7	12	8	1	1	2	3	1	2

②Keynote Speakers

中国・国家環境保護総局の李新民氏、中国・国家発展和改革委員会の馮良氏、世界最大のリサイクラである Sims Recycling Solutions 社（米国）の Kumar Radhakrishnan 氏（Steve Skurnac 氏に代わる発表）、および有色金属工業再生資源公司（中国）の姜松氏から、それぞれ 20 分程度のプレゼンテーションがあった。

○李新民（中国・国家環境保護総局）：Environmental Management and Recycling of Solid Waste in China

李氏のプレゼンテーションは中国における固形廃棄物に関する法規制とその実施、および固形廃棄物のリサイクルとその方法についてで、その概要は以下の通り。

中国における固形廃棄物による環境汚染の防止と管理に関する基本的な法のメカニズム、および法規制を実施するための政策は、下記のように世界的な実情に従うように変わってきている。

- ・ 「減量化」「資源化」「無害化」の原則
- ・ 拡大生産者責任（EPR）
- ・ 固形廃棄物による環境汚染の防止と管理の情報公開
- ・ 危険廃棄物に関する許可制度

- ・ EoL 製品の管理

また、法規制の執行も厳しくなっている。例えば、広東省と広西自治区の境界地域での E-waste の不法な焼却処理に対して、NGO の告発に応える形で、2007 年 5 月に SEPA が規制を執行した。

中国において固体廃棄物のリサイクルに関する環境保護のレベルは、廃棄物の種類によって様々である。中国で固体廃棄物のリサイクルは始まったばかりで、技術レベルも高くないが、その可能性は高い。紙やプラスチック製の飲料用ボトルなど MSW に含まれる再生可能資源のリサイクルについては、リサイクル率は比較的高いが、環境保護の観点からはレベルが高くない。リサイクルに従事する業者や企業の環境マネジメントを促進することが、緊急課題である。

産業廃棄物については、有価でリサイクル率が高いもの（石炭灰、鉄鋼スラグ、廃油、廃有機溶剤）と無価でリサイクル率が低いもの（赤泥、リン石膏、化工残渣）がある。後者についてはリサイクル技術を高めるとともに、その不法な処理・処分に対して有害物質の管理を強めることが緊急課題である。

E-waste や廃タイヤ、EoL 自動車や EoL 船舶のリサイクル率はとても高いが、統制されていない回収システムのために、リサイクルも統制されていない。ライセンス制も含めて、体系的な回収システムを作ることが課題である。下水汚泥、脱硫装置からの石膏、MSW の焼却灰など、幅広い範囲の固体廃棄物をリサイクルするための高度な技術も必要である。

固形廃棄物による環境汚染の防止と管理について継続的に規制を強めるとともに、廃棄物の減量にも取り組む必要がある。また、個々のリサイクルに対する具体的な方法を整備する必要もある。経済・社会・環境への影響を総合的に考慮して、リサイクルに適したものはリサイクルするとともに、不適なものは適切に処理・処分するという方針である。

○Kumar Radhakrishnan（米国・Sims Recycling Solutions 社）

Radhakrishnan 氏のプレゼンテーションは、Sims グループの事業内容についてであった。同社は世界全体で 148 のリサイクル施設を持ち、3600 人を雇用、年間 900 万トン以上のリサイクルを手掛けている。

事業内容の一例として、下記のような New York 市とのリサイクルに関する契約が紹介された。

- ・ EoL 冷蔵庫のリサイクル／タイヤのリサイクル／埋立処分場におけるメタンガス発電
- ・ WEEE のリサイクル：電子機器／ブラウン管／プラスチック／トナー／資産管理
- ・ 使用済（post-consumer）プラスチック
- ・ 冷蔵庫からのリサイクル品：鋼鉄／非鉄金属／プラスチック／その他
- ・ トナーカートリッジからのリサイクル品：鉄／アルミ／プラスチック／トナー粉末
- ・ WEEE からのリサイクル品：鉄／非鉄金属／磁石／プラスチック／ガラス

リサイクル企業として重視するポイントとしては、リサイクル品（recyclate）の価格、リサイクルコスト、法規制、原料選択の 4 点を挙げていた。また、中国におけるビジネスの可能性を質問された際には、中国は市場が未成熟であることと、共産主義国家のため制約が多いことを理由に消極的であった。

なお、セッション終了後に日本への進出の可能性について直接会話したところ、日本は規制、取組み共に「Strange」であり、参入の障壁が高いという回答であった。「一般廃棄物」と「産業廃棄物」という考え方、「有価で売却すればリサイクル」という考え方などが特に奇妙と考えられているようである。

○姜松（中国・有色金属工業再生資源公司）：Development and Prospective of China Metal Recycling Industry

姜氏のプレゼンテーションは、鉱物の採掘や非鉄金属の再生に関わる企業である有色金属工業再生資源会社の事業内容と、中国における金属リサイクルの現状の説明であった。

2006 年、中国では非鉄金属の総生産量が約 1917 万トンに対して、非鉄金属リサイクルの総生産量は 453 万トン（国内回収 208 万トン、輸入 245 万トン）であった。中国は世界一の廃金属の輸入国でもあり、2006 年には廃非鉄金属 698 万トンと廃鉄鋼 538 万トンを入力した。港ごとの廃非鉄金属の輸入量では、広州、寧波、杭州、天津、上海が多く、輸入元は日本、米国、オーストラリア、スペイン、フィリピンの順である。

金属リサイクルの能力は中国全土で 1045 万トン／年であり、広東省、浙江省、江蘇省、安徽省、江西省などの施設が大きな能力を持っている。その他に、環境保護の観

点から、近年、金属リサイクルのエネルギー効率が改善していることが述べられた。

③ Electronics & Battery Recycling Session (I)

このセッションでは、Stena Technoworld AB 社（スウェーデン）の Phar Oscar 氏、Immark 社（アイルランド）の Gerard R. Killen 氏、深圳 GEM 社（中国）の許開華氏、Levinson 環境法事務所（イスラエル）の Julia Lietzmann 氏、Techprotect International 社（カナダ）の Armin Kienle 氏、および欧州電池リサイクル協会の Corinne Faure-Rochu 氏から、それぞれ 30 分程度のプレゼンテーションがあった。

○ Phar Oscar (スウェーデン・Stena Technoworld AB 社) : WEEE in Europe - History and Future

Oscar 氏は、スウェーデンの WEEE リサイクル企業である Stena Technoworld AB 社の事業内容を、EU の WEEE 指令への対応に焦点を当ててプレゼンテーションした。同社の WEEE の処理量は年間 175,000 トンで、420 人を雇用している。

2002 年に EU 加盟国によって、生産者責任を柱とした WEEE 指令ができた。その目的は、reuse と recycle を増やすことで、埋立処分される WEEE を減らすことにある。同社では、WEEE の回収およびリサイクルへのトータルソリューションを提供することで、生産者、販売者、企業、その他の消費者が WEEE 条例を遵守することを助けており、多くの自治体や企業との協力実績があるとされた。

○ Julia Lietzmann (イスラエル・Levinson 環境法事務所) : The New Waste Shipment Regulation and its Relevancy to EEE Traders/Recyclers

Lietzmann 氏の所属する Levinson 環境法事務所では、環境に関する法制度を、法学や科学（農学、化学工学など）のバックグラウンドを持ったメンバーで研究している。EU からの有害廃棄物が途上国で埋立されるというような事例を避けるために、EU はより監視を強化した法律を作る必要があるという主張のもと、EU における廃棄物の越境移動に関する法律の枠組みについてプレゼンテーションされた。

廃棄物越境移動規制（WSR）でも、「WEEE」の定義、すなわち EEE がまだ製品か廃棄物かの判断は困難である。この 6 月に EU が、スペインからベトナム経由で中国へ輸出されたケーブルについて、銅線も PVC 被覆も Green（青信号の）廃棄物に分類されているものの、それらが組み合わされている場合は Green 廃棄物でないという判断を下した例があった。

EU の外で再利用される WEEE の輸出手続は、輸出先が OECD 加盟国かどうか、および有害廃棄物かどうかによって分類される。再利用目的の OECD 加盟国への輸出手続は、Green 廃棄物と amber（黄信号の）廃棄物に分けられ、amber 廃棄物については、事前の通知と同意および経済的な補償が求められる。EU から OECD 非加盟国への輸出手続は複雑で、Green 廃棄物と Annex V 廃棄物（場合によっては禁止され、場合によっては許可される）に分けられる。後者の輸出が禁止されるのは、下記のような場合である。

- ・ 輸出先の国の法律で有害と分類される。
- ・ 輸出先の国で輸入禁止とされている。
- ・ 環境的に望ましい方法で処理されないと当局が確信する理由がある。

Lietzmann 氏のプレゼンテーションに対しては、欧州のリサイクル企業の関係者と思われる人物から、中国に E-Scrap の輸出が可能かどうかの結論を求める質問がなされた。こうした質問に対して、座長を務めていた精華大学（中国）の李金恵教授は「中国では E-Scrap の輸入は全面的に禁止」との見解を示した。しかし直後に、中国のリサイクル企業関係者と思われる人物からは、EU が輸出できる E-Scrap はどういったものかの結論を求める質問がなされ、必ずしも李教授の見解が中国の実情を表しているわけではないことが示唆された。

Lietzmann 氏とは Hamburg での学会で知り合い、以前より交流があるが、今後とも日本の法規制の最新情報を発信することで、欧州等の情報を幅広く入手して行きたいと考えている。

④ Electronics & Battery Recycling Session (II)

このセッションでは、IBM Japan 社の Kazumi Nozawa 氏、富勤環保（中国）有限公司の王波氏、Kinsbursky Brothers 社（米国）の Todd Coy 氏、同済大学 環境科学工学科（中国）の李光明教授、AFE Valdi 社（フランス）の Roland Fraysse 氏、および台湾・環境保護局の I-Wei Lian 氏から、それぞれ 30 分程度のプレゼンテーションがあった。

○野澤一美氏（日本 IBM、Corporate Environmental Affairs、Program Manager of IBM Asia Pacific Environmental Affairs）：Implementation of IBM Supplier management for End of Life Products

野澤氏が進めるアジア地域におけるリサイクルの選定基準についての説明が非常に印象的であった。IBM ではグローバルに統一されたサプライヤの選定基準があり、リサイクルも EoL サプライヤと位置付けられ、連携にあたっては現場での監査と承認を得ることの必要性、その監査基準などが明確に示された。今回の調査において、二次以降のリサイクルを中心に作業環境等に少なからず問題を感じる部分もあり、二次、必要に応じて三次以降も現地調査するという日本 IBM の対応方針は大きなインパクトがあった。各国で少なくとも 1、2 組は二次、三次以降までを含めてきちんと管理されたリサイクルは存在しており、それが見つかるまで各国を訪問し続けている旨の具体的な説明があった。

○李光明（中国・同済大学 環境科学工学科）：Systems for Management and Recovery Technology of WEEE in China

李教授からは、EEE および WEEE に関する世界的な状況、基板を例にした WEEE 中の再生可能資源の含有量、WEEE に含まれる有害物質、EU の WEEE 指令と RoHS 規制といった、プレゼンテーションの前提となる知見が説明された上で、中国における環境影響を考慮しない手作業による分解・処理の実情が写真を用いて示され、ライフサイクルを考慮した EEE の管理が必要であるとされた。続いて、テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコンおよびパソコンについて、中国における 1 家庭当たりの保有量と WEEE の発生量の経年変化（2010 年までの予測量を含む）が示され、WEEE の増加に対処することの必要性が強調された。

以上の背景を受けて、中国における WEEE の管理と再利用技術（分解、アップグレード、精製）についての現状と課題が述べられた。WEEE を管理する法規制については、下記のとおりである。

- ・ 輸入禁止廃棄物のリスト：電池／エアコン／冷蔵庫／電子レンジ／電話／テレビ／…
- ・ WEEE の環境管理に関する SEPA の告知（2003 年 9 月）
- ・ 廃家電および電子製品のリサイクルと処理についての管理規制の起草（2004 年 9 月）

最後の管理規制については、資源のリサイクルと環境保護を目標として、拡大生産者責任のシステムを実行するとされており、廃棄物の回収ネットワークと情報管理システムも研究・開発されている。

○I-Wei Lian 氏 (台湾・環境保護局、資源リサイクル資金管理責任者) : Recycling Glass in Taiwan

Lian 氏からは、エネルギーの 98%を輸入するなど資源に乏しく、資源確保、リサイクルは持続的開発に不可欠という台湾の事情や「持続可能&廃棄物ゼロ」が最終目標という前提に基づく説明がなされた。

この目標に向けて、台湾では 1997 年からリサイクルプログラムを設立、民間および自治体による回収システム、補助金制度などを構築すると共に、EPR を前提とした基金を立ち上げ、製造事業者からの資金を有効に活用したりサイクルを推進している (Waste Disposal Act、<http://www.epa.gov.tw/english/laws.wasteact.htm>、この基金を活用するリサイクラ：約 600、処理プラント：約 130、このシステムにより、1700 万トンのリサイクル (2005 年))。

終了後に個別に各メーカーの負担額の決め方を質問したところ、トータルコストを政府機関が出して、合意を得た上で、その先の分け方は委員会 (メンバー：政府、NGO、製造事業者など) で議論して決めるが、明確な基準があるわけではない、との回答だった。

⑤Session of How to import scrap and used parts to China

このセッションの前半では、オランダ・廃電子電気機器財団の Williem Conneman 氏、MBA Polymer 社 (米国) の Chris Slijkhuis 氏、および中国・長江三角循環経済技術研究院の杜歆政教授から、それぞれ 30 分程度のプレゼンテーションがあった。

○Chris Slijkhuis (MBA Polymer 社) : The Challenges of Importing Plastic Rich Scrap as Raw Material into China

Slijkhuis 氏のプレゼンテーションは、下記のような内容であった。

1. 中国におけるプラスチックスクラップの輸出入について利用可能なデータ
2. 中国における輸出入の法的な枠組み
3. 中国におけるプラスチックリサイクルの現状
4. 中国における高技術のプラスチックリサイクル
5. 結論とコメント

1.について、公式なプラスチック屑の輸入量は 586 万トン (2006 年) だが、実際には 1000 万トン近いと推計されている。輸入の状況を把握するのは困難である。中国に

における新規樹脂の生産量 1800 万トンに対してプラスチックの消費量が 3800 万トンであることも (2005 年)、プラスチック屑の実際の輸入量を推察する情報となる。また、2015 年のプラスチック消費量は 9000 万トンとも予測され、今後もプラスチック屑の輸入量の増加は続くものと思われる。輸入元は香港が最大であるが (29% : 2006 年)、当然、中継地にすぎない。輸入量の多い港は、広州と深圳である。樹脂の種類について、貿易統計では PE が急増しているが、以前は「その他」と分類されていたものが PE に分類されたことが原因と考えられる。EU からの WEEE の混合プラスチック屑の組成を調べると、HIPS が 27%、ABS が 24% で多いが (このスライドは、CD-ROM の PPT 資料には含まれていない)、その他の樹脂の種類は多様であり、ピンポイントで統計をとることが困難であることを示している。

2. について、中国への輸出入に関わるライセンスと書類としては、下記のものが必要である。

- ・ SEPA による輸入業者のライセンス
- ・ AQSIQ による輸入業者および輸出業者のライセンス
- ・ CCIC による輸入された物品の検査
- ・ 輸入されるプラスチック屑に対する関税 : 7.6%
- ・ 増値税 : 中国の税関が設定したプラスチック屑の価値 (現在は 450 USD/t) の 17%

WEEE のプラスチック屑の輸出に関する EU 指令では、PCB などの物質の混入が 50 mg/kg 以上のものは輸出が認められていないが、港で全てのプラスチック屑について異物混入を調べることは不可能でサンプル検査によることが実情であるから、50 mg/kg という数字は現実的に意味を持たない。また、EU 指令で notification について規則が厳しくなったが、記入するべき書類をトレーダーに渡したが、現地工場に現物が届かないといったトラブルも起きたことがあるなど、notification の概念は中国では有効ではないとされた。

3. について、中国でプラスチック屑のリサイクルに従事する業者は 4~6 万とされるが、その 90% 以上は小さな家内工業的な業者である。プラスチックリサイクルに関わる人は、全部で約 1000 万人とも言われる。中国でのリサイクル現場の写真が示され、多くのプロセス (選別、洗浄など) が人手に依存していることや、ペレット化の際の樹脂の混合が精密ではないことが述べられた。また、通常は 25 kg 入りの袋に入れられ、再生樹脂が市場で売られている光景も示された。そして、2006 年 1 月の中国政府

による「プラスチックリサイクルおよび再利用に関わる汚染管理技術基準」が規範的なリサイクル産業を目標としていることから、環境配慮型でない小規模リサイクル業者にとっては状況が厳しく、EUの規制と合わせて、貿易業者にとっても小規模リサイクル業者に原料を供給することは困難になっていくとの見通しが述べられた。

4.については、同社が中国で設立した合弁会社（広州 GISE-MBA 塑料新技術有限公司）の紹介であった。ここでの内容は、Exhibition で同社の担当者から得た情報とともに、⑦で述べる。

⑥ Electronics & Battery Recycling Session (III)

このセッションの後半では、Cedar Resource Management 社（アイルランド）の Brendan Keane 氏、佛山市南海邦普ニッケル・コバルト技術有限公司（中国）の李長東氏、Hamos 社（ドイツ）の Rainer Koehnlechner 博士、および CITRON 社（スイス）の Ines Bub 氏から、それぞれ 30 分程度のプレゼンテーションがあった。

⑦ Exhibition の概要

Exhibition 会場では、Albert Hoffmann 社（ドイツ）、Hamos 社（ドイツ）、Innov-X Systems 社（米国）などのリサイクル機器の製造・販売企業と、MBA Polymer 社の中国法人である広州 GISE-MBA 塑料新技術有限公司、Stena Technoworld 社（スウェーデン）などのリサイクル企業が展示を行っていた。

中国で開催された学会にも関わらず、スウェーデン：2 件（水銀回収、リサイクルソリューション）、ドイツ：2 件（破砕機、一次処理プラント）、スペイン：1 件（破砕機）、U.K.：1 件（リサイクルソリューション；物流＋処理サービス）、U.S.A.：1 件（プラスチックリサイクル）に加え、中国：2 件（金属選別、2 次バッテリーリサイクル）となっており、大半が欧米のリサイクル設備業者、リサイクラであったことが極めて印象的である。欧米のこの業界が中国ビジネスへの進出を強く意識していることが感じられる。ただし、中国からの発表を含めた装置主体のリサイクル技術は、現在中国で低い人件費を活かした手作業中心のリサイクルに対してコスト面でどのように優位に立っていくかについての検証は不十分で、実際にプラントビジネスは大きくなっていない印象が強い。規制の始まる 2009 年以降のビジネス動向に注視が必要である。

今回、発表を含め、世界のリサイクル業界は、世界最大となった SIMS（豪州）を始め、企業統合により寡占化が進んでおり、世界トップクラスの企業集団のみが生き残れる環境になる可能性もある。特にリサイクルソリューションサービスは、欧米豪

の SIMS 社、STENA 社、One51 plc 社などが業者の囲い込み（企業買収によるホールディングス化）を進め、世界 10 強といったキーワードを使って寡占時代の到来を予言している。日本は廃掃法の特異性などから「特異な存在（SIMS 社副社長との会話での表現）」となりつつあり、世界の流れに取り残されないように、最新状況を掴みながら世界の潮流に併せた技術開発を推進する必要性を強く感じる。

○Guangzhou GISE-MBA New Plastics Technology Co., Ltd. : 広州 GISE-MBA 塑料新技術有限公司

同社では、香港経由で輸入した廃家電由来の混合プラスチックを、広州工場（処理能力：4 万トン／年）で ABS、PS、PP のコンパウンドに加工し、家電の筐体などの原料として販売している（図 2.1.3-22）。



図 2.1.3-22 広州 GISE-MBA 塑料新技術有限公司の混合プラスチック（左）とコンパウンド（右）

混合プラスチックの多くは欧州からの輸入であるが、一部は日本の家電リサイクル工場（A グループ）から輸入している。ゴムや金属も混入した破碎品として輸入されるが、自社で処理設備を所有していることを前提に、当局から輸入の許可を得ている。処理プロセスは、異物を除去する乾ベースのプロセスと、樹脂の種類ごとに選別する湿ベースのプロセス、乾燥プロセス、さらにペレット化、コンパウンディングのプロセスからなる。

2.1.4 米国における家電品等の資源循環（リサイクル）の現状

(1) 調査結果全体纏め

今回の海外動向調査は以下を確認できるなど、非常に有意義なものであったと考える。

①米国リサイクル処理の特徴

使用済み電気機器リサイクルは、以下の2種類の方法に大別される。

- (a) 破砕機等の機器を一切利用せず、手作業による解体・選別のみを実施し、選別後のユニット（例：CRT、HDDドライブ、回路基板）を適切な二次処理業者に出荷。
- (b) (a)に加え、破砕・機械選別を導入し、鉄、非鉄金属（例：アルミ、銅）などに選別も行なった後、二次処理業者に出荷。

②リサイクル処理後の回収材料の再生状況

(a)のいずれの方法においても、その出荷先として米国内に留まるものは一部であり、鉄、非鉄金属、回路基板はカナダ、ヨーロッパの精錬業者、プラスチックは中国を中心としたアジア（一部のみ米国内リサイクル）に出荷、再生される。結果として米国内再生は極わずか。

③高い「適正処理」への意識

いずれの業者においても「環境影響化学物質の除去」への意識は非常に高く、有価部位に優先し、部位の解体・適正処理を徹底している点は、今後日本企業が米国でのリサイクルを推進するにあたり配慮すべき点と考える。

④環境配慮設計はこれから、ただし危機感強い

環境配慮設計（リサイクル性設計）は、米国内ではその検討がまさに始められた段階で、日欧に遅れているという認識。ただし、時代を反映し、一気に「リユース」まで含めた検討を行なうプロジェクトが発足している状況である。また設計情報を用いた処理については、処理業者と製造事業所との間に距離があり、現段階では一部での実施に留まる。

⑤法律面の特徴

日本の「一般廃棄物」と「産業廃棄物」という排出者による差異ではなく、（連邦法上は）有害廃棄物（Hazardous Waste）と非有害廃棄物（non Hazardous Waste）に大別。例えば鉛や水銀を含有する廃棄物が前者に分類され、それ以外とは異なる規制が掛けられている。

E-Scrap リサイクルに関する規制は、連邦法には存在せず、カリフォルニア州、メイン州など各州で立法化。しかし州毎に責任分担などの考え方が異なり、メーカー側としては対応が難しい状況にある。

今後規制の考え方の統一化や連邦法化の可能性については、必要性を訴えるものはあったが、現実には難しいという意見が大勢。

(2) 調査の背景・目的

本調査に至った背景について説明する。

拡大生産者責任をキーワードに使用済み製品のリサイクルに関する規制がグローバルに拡大している。日本では家電リサイクル法、欧州の **WEEE** 指令、中国では中国版 **WEEE** と言われているものなどがあり、この傾向は今後さらに強まると思われる。

このような社会動向において、製造事業者は自らの製品のリサイクルをグローバルで把握する必要が出てくる。日本の廃電気機器リサイクルは家電リサイクルプラントなどを調べることで実情把握が可能であり、また欧州も **WEEE** 指令対応で多くの調査を進め、情報も集まっていると認識している。さらに中国などのアジア地域についても、国内リサイクルの二次処理委託先監査などを通じて多くの情報が集まっている。

これに対して米国は、使用済み製品のリサイクルに関する連邦法が存在しないこともあり、ビジネス規模に対して十分な情報が得られていないのが実情である。

そこで今回、米国のリサイクル関連状況調査を実施することとした。

したがって、本調査の目的は、グローバルに広がる製造事業者による使用済み製品リサイクル責任に対応し、より進んだ循環型社会を実現するため、製品の輸出・販売先となる海外（今回の対象は米国）において、

- ・ 使用済み製品に対するリサイクル方法や技術、考え方の実態
- ・ 環境適合設計（特にリサイクル性設計）技術や、IT を活用した処理支援技術について、その状況やニーズ

を調査・把握し、その結果を踏まえて、

- ・ 開発が必要なリサイクル技術の明確化
- ・ より進んだ循環型社会の実現を支援する技術の明確化
- ・ 次世代ビジネス対象の明確化
- ・ ライフサイクル管理業務への活用

を実現することにある。

(3) 調査日程および訪問先概要

表 2.1.4-1 調査日程、訪問先概要

日時	訪問先	立地	訪問先の概要
10/21(日)	成田発、米国着		
10/22(月)	Amandi Service (eco international)	①Vestal, NY	CRTリサイクル を得意とするE-Scrapリサイクル業者のNY州リサイクル施設
10/23(火)	Waste Management Recycle America	②Springfield, MA	米国最大規模 の廃棄物処理業者Waste Management社のE-Scrapリサイクル部門の MA州リサイクル施設
10/24(水)	E-Scrap 2007	③Atlanta, GA	米国最大規模 のE-Scrap関係カンファレンス併せて CA州E-Scrap担当者 との面会も実施
10/25(木)			
10/26(金)	NCER ・Envirocycle ・West Virginia University ・SDR Technology LCC ・Commercial Plastics Recycling	④Davisville, WV	West Virginia 州も出資するリサイクル団地 その中の、リサイクルコンサルティング、E-Scrapリサイクル施設、プラスチック再生業者、プラスチックリサイクル業者を訪問
10/27(土)	西海岸に移動		
10/28(日)	-		
10/29(月)	AM	⑤Roseville, CA	豪州に本社を置く 世界最大規模 のリサイクル業者の米国拠点の一つ、元HP社のリサイクル拠点
	PM	⑥Fresno, CA	カリフォルニア州最大 のE-Scrapリサイクル業者Waste Management社のCA州提携業者でもある
10/30(火)	米国発		
10/31(水)	日本(成田)着		

10/24～25 に開催される米国最大規模の廃電気電子機器（以降、E-Scrap）に関するカンファレンス「E-Scrap2007」にあわせ、その前後 11 日間で調査を実施した。

本調査ではリサイクル業者訪問、カンファレンス参加、州出資のリサイクル団地の訪問、カリフォルニア州 E-Scrap 担当者面会など、多岐に渡る調査が実施できたと考えている。

今回の各調査先の特徴は、世界最大規模のリサイクル業者である SIMS 社、米国最大規模の廃棄物処理業者である Waste Management 社（全体のビジネス規模は SIMS 社の数倍、ただし埋立業部分が大きいためリサイクル業の部分は SIMS 社より小さい）、カリフォルニア州最大のリサイクル業者 Electronic Recyclers 社、CRT を得意とするリサイクル業者 Amandi Service 社など、米国らしい大規模業者を一通り調査することができた。また、E-Scrap2007 への参加の機会を利用し、米国で環境関連の規制・行動が最も進んでいるとされるカリフォルニア州の E-Scrap 対応責任者とも直接会話

の機会を設けることができたことは大きな収穫であった。

図 2.1.4-1 に本調査の調査ルートを示す。

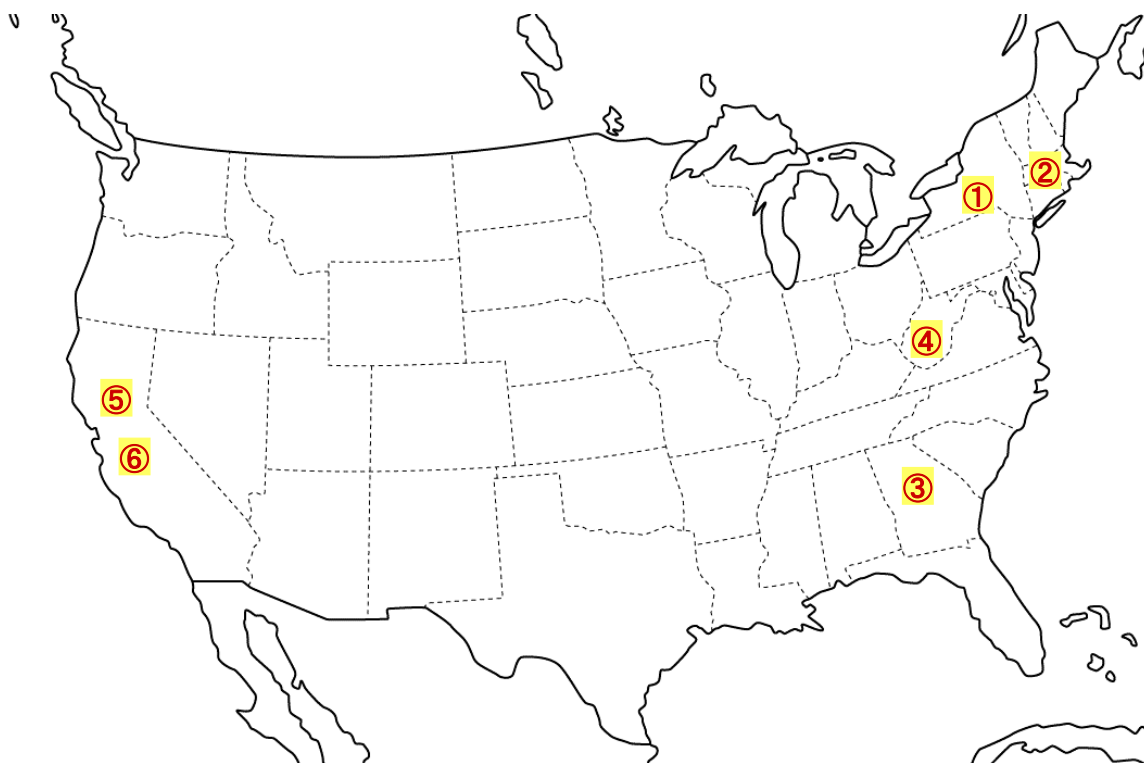


図 2.1.4-1 調査ルート

(本地図は <http://www.freemap.jp/>を利用)

(4) 各リサイクル業者調査結果詳細

本章では、各リサイクル業者訪問、調査の結果詳細について説明する。

①Amandi Service 社 (訪問時、eco International 社に社名変更)

< 場所 >

Amandi Services 米東部本社 (Vestal、NY)

< 対応者 >

Senior Vice President、Senior Vice President、Vice President マーケティング & セールス担当

<会社および処理概要>

- ・ 米国内でも先駆けとして 90 年代初頭から行なってきた CRT のガラスリサイクル技術を最も得意とするリサイクラ。全米 10 箇所の拠点を有し、全従業員 300 人、年間売上 20milUSD 程度。ただしファミリー企業を含めると 500millUSD（約 500 億円）のビジネス規模を持つ。
- ・ Vestal Office は人員：70 人、内 53 人がライン作業に従事（2 シフト 16 時間稼働）。
- ・ TV、CRT モニタ、DVD プレイヤー、サーバ、茶物家電等 40 品目を扱う。
- ・ 事業者／消費者系双方から E-Scrap を受け入れ、製品再使用、部品再使用、解体・リサイクル、廃棄資産管理などを実施。
- ・ 処理受入量は概ね 1.2～1.5millbs／月（1.2millbs とすれば 600 トン／月に相当。20 日稼働とすると平均 30 トン／日に相当）。
- ・ 大規模な設備は持たず、ゴム手袋＋ゴーグルの T シャツ、ヘルメットなしの作業者がのんびりと手解体しているという印象。
- ・ 事業者からの製品を多く受け入れ、再使用を積極的に取り入れていることが印象的。
- ・ リサイクル材料は鉄を除いて国外処理となっており、非鉄金属はスウェーデン、プラスチックは中国を中心としたアジアに出荷、再生を実施。
- ・ CRT ガラスの出荷先については、日本国内と同様に困っている状況。現在はブラジル、インド、中国、マレーシア、シンガポールなどに出荷。
- ・ 持参した東京エコリサイクルの VTR に対しては、強い興味を示していた。

<処理フロー概要>

図 2.1.4-2 に処理フローの概要を示す。

同社の処理フローの特徴は以下の通りである。

- ・ 人手による解体中心で、破砕機は利用していない。
- ・ 装置と言えるものは下流リサイクラへ送る梱包用として、金属、プラスチック、基板などの簡単なプレスを行なう程度。
- ・ 下流リサイクル仕向け先は下記の通り。
 - －鉄材スクラップはおもに米国、カナダへ。
 - －非鉄金属、基板（low grade）はスウェーデンの精錬会社へ。
 - －プラスチックは白色のものと黒色のものを分けて梱包し、中国、アジアへ。

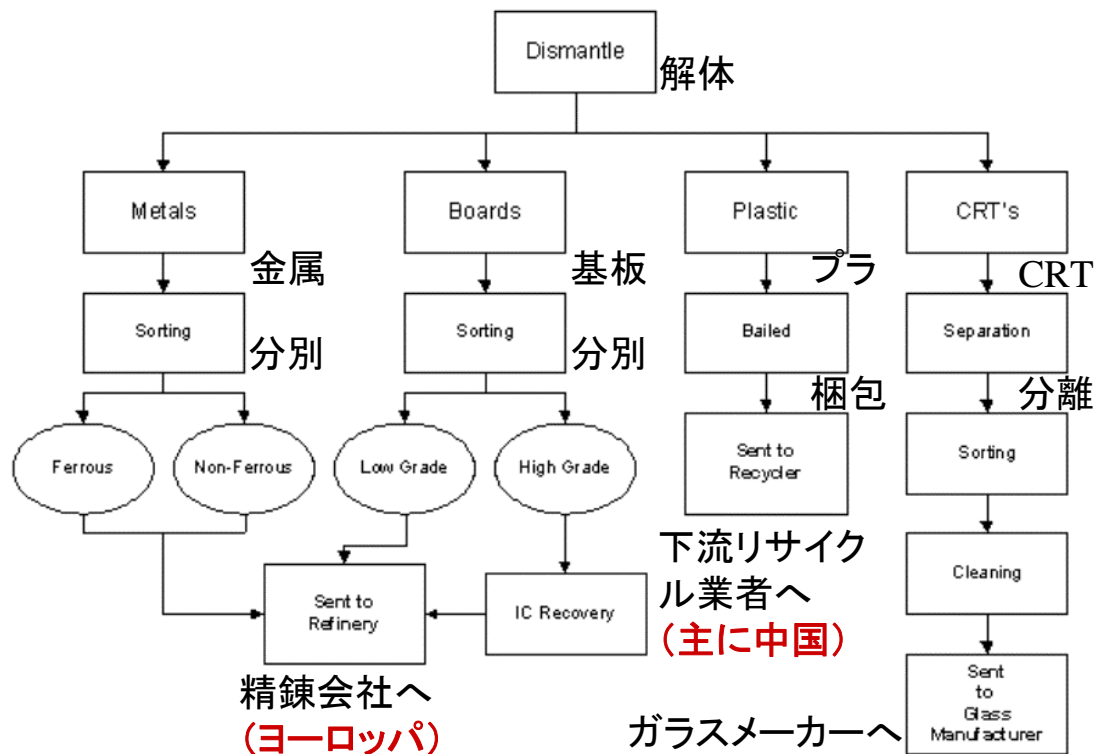


図 2.1.4-2 Amandi Service 社処理フロー概要
(同社 Web サイト情報を加工)

< CRT 処理フロー概要 >

図 2.1.4-3 に Amandi Service 社が得意とする CRT の処理フロー概要を示す。なお、CRT の処理エリアのみは写真撮影は許可されなかったが、訪問時の説明および同社 Web サイトの情報を併せると以下のようになっていると考えられる。

- ・ ブラウン管ガラスの化学組成ごとに有鉛パネル、無鉛パネル、有鉛ファンネル、モノクロームの 4 種に分ける。
- ・ 有鉛／無鉛は紫外線を当てることでチェックする。
- ・ コーティング（蛍光体と思われる）を研磨で除去（ガラスクリーニング）。
- ・ カレット化したガラスは、米国内別拠点を經由してアジアに出荷。
- ・ アジアでは新しい CRT 製造のための材料として利用。

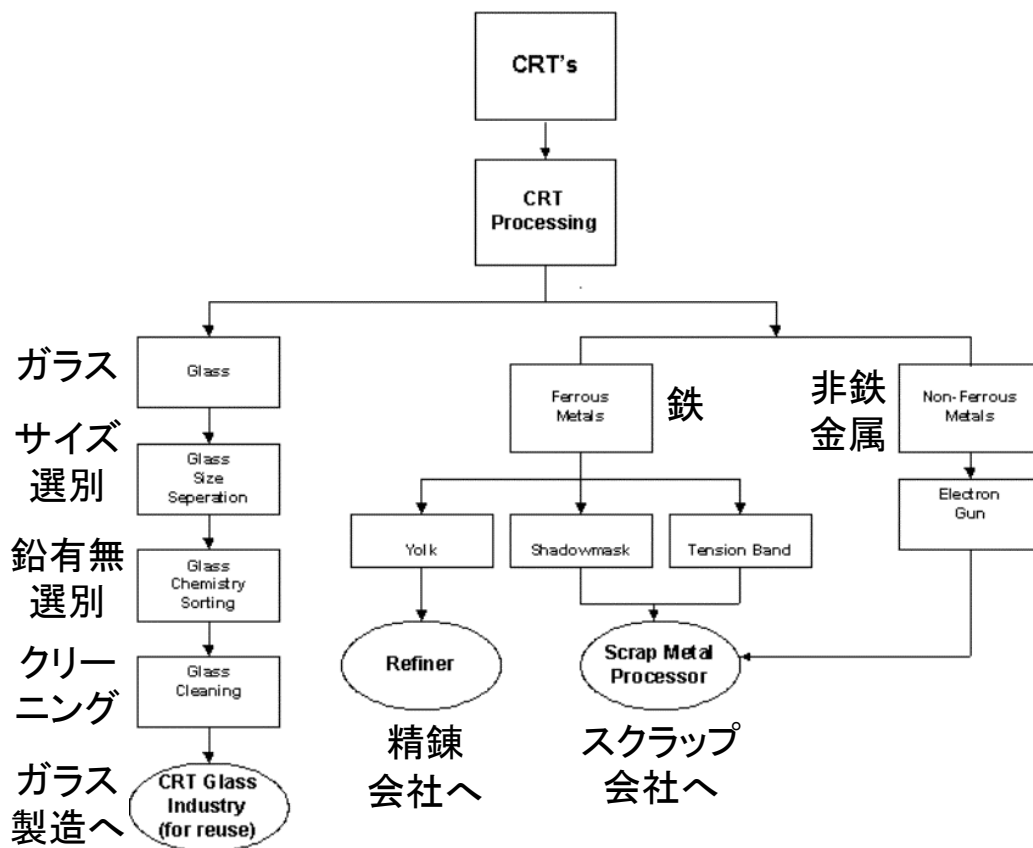


図 2.1.4-3 Amandi Service 社 CRT 処理フロー概要
(同社 Web サイト情報を加工)

②Waste Management Recycle America 社

< 場所 >

Waste Management Recycle America 社 (Springfield、MA)

< 対応者 >

Senior Account Manager、Plant Manager

< 会社および処理概要 >

- ・ Waste Management 社は売上約：1 兆 6 千億を誇る米国最大の廃棄物処理会社。グループ全体で従業員約 5 万人。
- ・ 全米 48 州全土に展開、埋立地：約 290 箇所、ゴミ発電所：16 箇所を保有し、全米のゴミ処理の約 40%を占める。

- Waste Management 社のロゴの入ったゴミ箱は、今回の訪米中も全米の至る所で見ることができた。
- 全米の埋立地に「回収用コンテナ」を置き、E-Scrap を有償で回収。全米に 100 箇所ある Recycle 工場に持ち込んで処理を実施。回収場所には製品種別毎の価格が記述されたボードがある。
- Waste Management Recycling America 社は、E-Scrap および紙、空き缶などのリサイクル担当する部門で、内 E-Scrap は全米 4 箇所のリサイクル工場で 700 トン／月を処理。
- 視察した施設は 4 つの中では最小規模のもので倉庫跡地を利用した約 3 千 m²、従業員は 8 名、処理量：200 トン／月。
- 処理方法については、他の E-Scrap 処理施設も同様。
- 工場は、手解体中心で装置類がほとんどない。

< 処理概要 >

Waste Management Recycling America 社の E-Scrap の処理概要は以下の通り。

- 手解体作業を中心として、いわゆるセル方式（解体台上で 1 台を一人の作業者が最後まで解体）で、ハサミ、エアドライバー、ハンマ程度の一般的な工具を用いた解体が行なわれている。取り外した部品は解体台近くの段ボール箱（1m×1m×1m程度）に投げ入れられる（ブラウン管は運ばれる）。ただし、TV でも 10 種類以上の部品に解体。かなり徹底した解体を行っている。
- サイズの大きな金属、プラスチックについて、唯一の機械といえるプレス機で 50cm×50cm×1.5m 程度のサイズにプレスされ、出荷される（破砕なし）。
- TV で平均 5 台／h・人と比較的ゆっくりした印象の作業。
- 軽装でゴーグルとヘルメットのみは訪問先全社に共通であり、日本のような統一した作業服とは異なる文化。
- 回収物について、鉄は米国内だが、非鉄は欧州、プラスチックはアジアに出荷する構図は他のリサイクル業者と同様。CRT はそのまま米国内二次処理業者に出荷、最終的には旭硝子に流れているという説明あり。

③NCER (National Center for Electronics Recycling)

○National Center for Electronics Recycling

< 場所 >

ウエストバージニア (以下、WV) 州

< 対応者 >

WV 州機関 : Executive Director

ウッド郡開発公社 : President and CEO、Vice President

WV 州政府開発局 : Project Manager

< NCER の概要 >

- ・ 2005 年設立の NPO 研究機関。
- ・ スタッフ 3 名で運営される小組織だが、米国各地で現在進められている E-Scrap 関連の法制化や試行プロジェクトに関する官民関係者のコーディネーションやデータの収集分析と公開、リサイクルシステムにかかわる費用負担軽減のためのプログラム開発等の活動を推進。
- ・ WV 州政府の支援プログラムの基でこの地に開設した経緯があり、州内のローカルな E-Scrap リサイクル産業 (主にプラ系) の技術開発面を支援
- ・ E-Scrap 制度に関して、偏りのない分析評価を行うことを主旨 (同様の機関は米国内でも他に無い) とし、中心の Executive Director は、米国電子工業会 (EIA) の環境担当ディレクターからの転身で、米国内でもっとも各州の E-Scrap リサイクル法制度の議論内容を詳しく把握し研究している人物 (E-Scrap2007 でのスピーチも好評だった)。



図 2.1.4-4 National Center for Electronics Recycling の全景とミーティング風景

<米国における E-Scrap 関連規制の概要>

カリフォルニア州を始めとして、ここ数年で米国では州ベースで E-Scrap のリサイクル法制度の検討が非常に早いスピードで進んでいる。カリフォルニア州では消費者がリサイクル料金を負担する方式だが、他の州では、製造者責任を基本とする多様な方式となるなど、各州で内容が異なり注意が必要である。

- E-Scrap のリサイクル法制定の流れは、もともと TV や PC を連邦が規制する埋立て禁止物質を含み、(州にもよるが) 他の家電品と異なり埋め立てられないことから、収集・処理と費用負担に困った州で検討されてきた。
- E-Scrap の埋立て禁止令が発効しているのは、カリフォルニア、マサチューセッツ、メリーランド、メインの 4 州で、07~08 年にさらに 3 州が加わる。
- E-Scrap リサイクル法は既にカリフォルニア、メイン、メリーランド、ワシントンの 4 州で施行されている。2007 年だけで、さらにミネソタほか 5 州が新たにリサイクル法の制定を予定し、これら 9 つの州で全米人口の 32% をカバーする。08 年、09 年にもいくつかの州が法制化を予定している。
- 多くの場合、リサイクル法の対象は CRT を持つ TV や PC などであり、いわゆる白モノ家電は対象ではない。
- カリフォルニアのリサイクル法は 2005 年に施行され、現在の対象機器は CRT、LCD 機器と TV、プラズマ TV、携帯 DVD プレイヤーである。これらは消費者が購入時にリサイクル費用を州へ払う。州は使用済み機器を収集してリサイクル業者にリサイクル費用を支払う。その際のリサイクル費は 0.48\$/lbs (うち収集分 0.28\$、リサイクル分 0.20\$) である。
- カリフォルニア州での収支状況は下記で、収支は大きく乖離していない。

収入	支出	処理重量
FY2004-05 3100 万ドル	2005 3100 万ドル	6500 万 lbs (約 32500 トン)
FY2005-06 7800 万ドル	2006 6000 万ドル	12500 万 lbs (約 62500 トン)
FY2006-07 7900 万ドル	2007Q2 まで	7200 万 lbs (約 36000 トン)

- カリフォルニア以外の法制化または検討中の州では、TV や PC モニタが主な対象機器で、自治体が収集、州政府に登録されたりリサイクル業者がメーカーとの契約のもとでリサイクルし、その費用はメーカーが負担するという形が主流である。製造者が既に消滅しているブランドもメーカーが共同で費用負担するのが一般的。

- 一 州によっては、販売シェアや回収シェアに応じてメーカーがファンドを分担する。回収ターゲットに不足した場合は課徴金を課すというものもある。また、リサイクル対象の消費者には住民、コミュニティ、小事務所を含んだり含まなかったりバラエティがある。リサイクル業者へ要求される環境レベルも各州で異なる。焼却やエネルギー回収を禁止している州もある。

< Executive Director の見解 >

- ・ 各州のリサイクル法制定への取り組みは統一性がなく、情報共有や協力体制の努力も見られない。まさにパッチワークの状態。同じような作業の繰り返しも多いことから、全米でかなりのムダなコストを発生させている。
- ・ 2004年のメイン州に続く法制度で、カリフォルニア型ではなく生産者責任が主流となったのは、大手小売業者組織が、カリフォルニアのシステムに大反発して活動したこと、HP や Dell がリサイクル推進へのメーカーによるファイナンス構築を支持したことが影響。
- ・ 2007年7月からスタートしたミネソタ州のリサイクル法は、収集とリサイクルの双方含めたメーカー負担が規定される初めての法。対象は Video Display Devices であるが、メーカーは州内一般消費者向けに販売された重量の60%をリサイクルする義務を負うというきわめて厳しいもの。
- ・ このような方式では、メーカーが市場を気にして収集・リサイクルコストを押し下げることになろう。また州がリサイクルの実態を把握しきれなくなることもある。今の時点では、今後の「製造者責任」という実態がどんな形でどれだけの幅を持つものになっていくのか、ステイクホルダーの役割がどのように変わって行くのか、まだ明確でない。
- ・ E-Scrap リサイクルに関し、連邦法 (National Law) を制定する機運は今のところかなり弱い。独自の州法の準備に手をこまねいたところは、連邦法ができたときにそれに従えばよいと考えて問題を先延ばしにしているところも多い。現実に困っているところ (埋立て禁止や収集リサイクル費用が重荷になってきているところ) から州独自のリサイクル法策定に進んでいる。
- ・ いずれかの時点で連邦法ができると考えている人は多いが、たぶんそれは、全米統一的に、安全な製造デザインの規定や、気候変動対策の観点が盛り込まれるといったレベルのものに留まるだろう。

○Envirocycle 社

NCER 内に設置された E-Scrap リサイクルで、実際には、前述の Amandi Service 社の WV 拠点となっている。同社の Senior Vice President の案内を受けた。処理方法等は、同社の方法と同様。ただし CRT 処理施設は設置しておらず、ブラウン管の状態で NY 州 Vestal の施設に送り、処理しているとの説明。

○West Virginia University

NCER 訪問にあわせ、West Virginia 大学を訪問し、Parkersburg 校校長、工学部長らの歓迎を受け、我々の訪問・調査目的などの説明を行なった。

我々の訪問は、翌日の地元紙に掲載された。

○SDR Technologies, LCC (SDR-T)社

同施設近傍のプラスチック再生業者、SDR Technologies, LCC 社を訪問し、同社の親会社である Star Plastics, Inc.社 Business Development Manager、Start Plastics, Inc.社 Sales Manager、など 4 名に対応頂いた。

同社では、E-Scrap から解体したプラスチック等を、以下のような手段で選別し、再生プラスチックとして出荷する業務を実施していた（現場での写真撮影は許可されなかった）。

- －重液利用による比重分離
- －炎を当てた際の色、煙、その匂いから選別
- －蛍光 X 線分析

○Commercial Plastics Recycling Inc.社

SDR Plastics 社の近くのプラスチックリサイクル業者、Commercial Plastics Recycling Inc.社を訪問し、Account Representative に対応頂いた。

同社では、化成メーカーのプラスチック製造時の端材、民生用ペットボトル、運搬用トレイなどの材料リサイクルを実施していた。

工場や市内から直結する鉄道で原料（＝端材、ペットボトル等）を運び込み、簡単な選別後にリペレットを実施する作業工程であった。

④SIMS Recycling Solution 社

< 場所 >

California 州 Roseville

< 対応者 >

President, 同社 U.S. の責任者、Plant Manager & Engineering Director、
Operations Manager

< 会社概要 >

- SIMS 社は世界最大の総合リサイクル会社（本社：豪州）
世界に 148 拠点、売上約 3450 億円、総資産約 2300 億円、取扱量 960 万トン／年。
2007 年 3 月 30 日に三井物産(株)が約 20%の株式を取得して筆頭株主に。
今回、三井物産（株）に同社訪問の仲介を依頼して実現。
- 近年、E-Scrap に着目、2003 年からグローバルにビジネスを展開開始。
- 訪問先は、HP 社の再生センター内にある旧 Noranda 社施設を買収したものの。他に米国内ではシカゴ、アトランタなどにリサイクル拠点を持つ。
- IT 機器、TV、携帯電話などを中心に手解体中心のリサイクルを実施。
IT 機器については、今も HP 社のものが 60%を占める。
- 従業員は 170 名、内常勤は 62 名。
- 処理量：24,000 トン／年（キャパシティ的にはまだ十分）、面積：約 19,000 m²。
- 低価格の（復路）空コンテナを使った E-Scrap へのアジア（中国、インド、フィリピン、シンガポール）への流出が課題という認識。
- 従業員の通用口では入退室（指紋）管理を全員が実施。高いセキュリティ意識。
- 手解体ヤードの全景。リサイクルの順番待ちする製品や解体後の部品等も棚にきちんと保管。整然とした様子が印象的であった。

< 処理概要 >

- SIMS Gr.として最先端の設備はオランダ Eindhoven のプラント。ただし今回訪問のプラントもほぼ類似の考え方。
- 最大の特徴は手解体後に、3 段階の破碎機と人手・機械選別を組み合わせた

資源回収。今回の訪問先では最も日本の家電リサイクル施設の方式に近い。

- IT 機器の CPU、メモリは丁寧に解体し、スペックによりリユース、リサイクルを判断、旧タイプの方が金含有量が多く、ビジネス的には有用。
- 選別・回収物の出荷先は以下の通り。
 - ・ Fe、Al、Cu → SIMS Metal 社
 - ・ モーター、ケーブル → SIMS Metal 社
→ 破碎、再選別後スウェーデン Bolden 社等に
 - ・ 残りの非鉄金属 → 小規模精錬業者（ノランダ社、エクストラダ社）
→ 小型インゴットにして銅精錬業者へ
 - ・ プラスチック → 中国に輸出
 - ・ CRT ガラス（鉛） → カナダの鉛精錬業者
 - ・ 他のガラス → タイ、マレーシア
- 解体作業台には CRT モニタが置かれており、解体品、選別方法などの作業指示が行なえるという説明あり。ただし、同じ製品を繰り返し解体することも多く、ほとんどの作業者の画面はスクリーンセーバー状態。

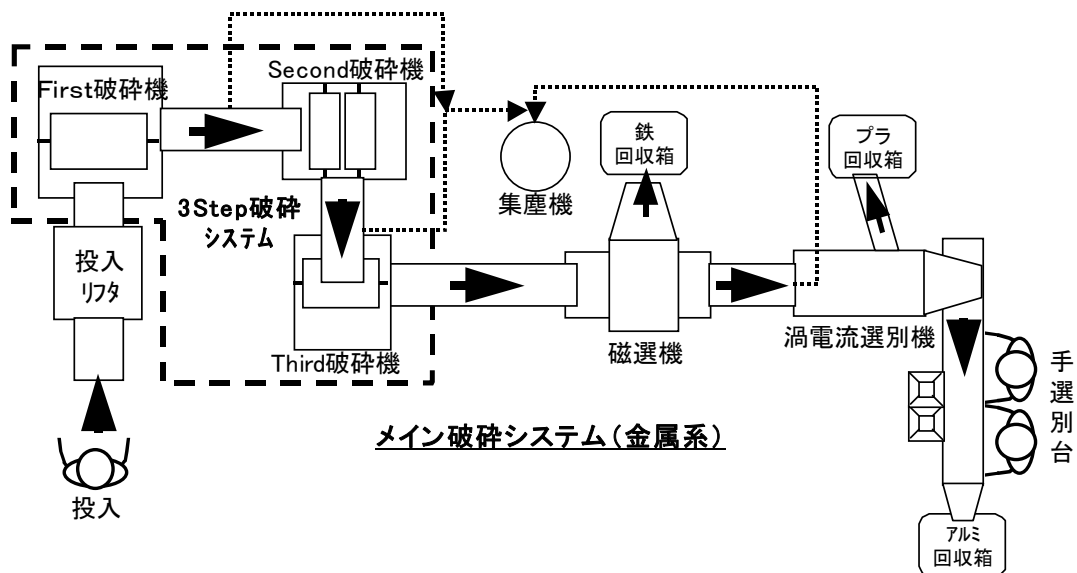


図 2.1.4-5 SIMS Recycling Solution 社メイン（金属系）破碎システムフロー

手解体後の破碎選別ラインの流れを以下に示す。

- ・ 破碎機の 3 基直列配置

理由 1) 破碎エネルギーによる破砕片の高温化 (=発熱による発火) の防止
 理由 2) 三段階低速破碎による安定的破砕片の確保→手作業選別の負荷低減
 日本ではあまり見かけないが、大量処理に向くと考えられる。

- ・ 鉄・非鉄については、日本と同様、吊下げ式磁選機、渦電流選別機などで機械的に選別・回収人手による手選別を併用し、回収物は日本と同様の品質を確保。

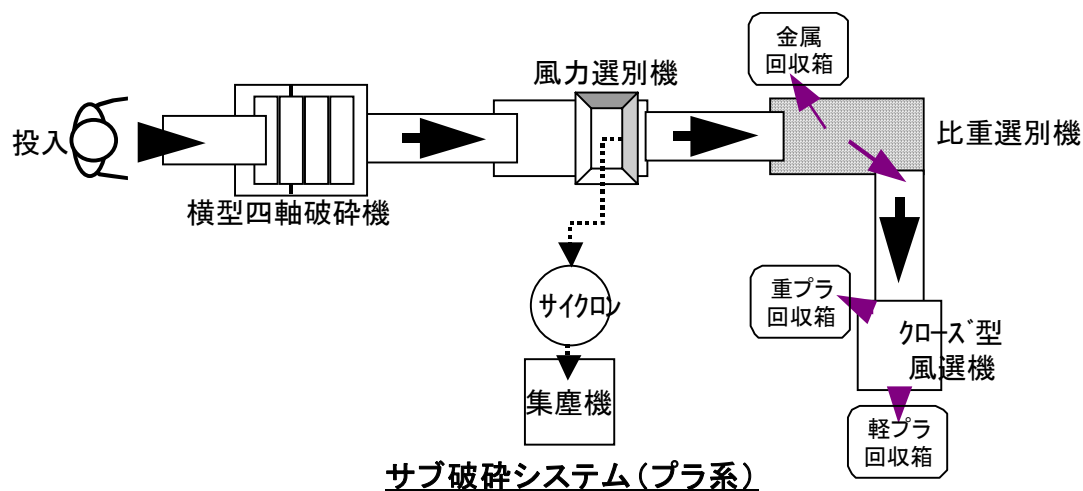


図 2.1.4-6 SIMS Recycling Solution 社
 サブ (プラスチック系) 破碎システムフロー

プラスチック専用の破碎・選別ラインの概要を以下に示す。

- ・ 一段の破碎機で破碎
- ・ 破碎物の比重特性を利用した選別機を多用
 - －吸引される軽いもの (粉塵など)
 - －風力で飛ばされる物 (PP など)
 - －飛ばされない物 (ABS など)

に選別。

金属含有率の高い物とプラスチック含有率の高い物を別のラインで処理することは、安全面、選別・回収精度向上面共に優位。

SIMS Recycling Solution 社の特徴的な考え方として以下がある。

- ・ 圧倒的な管理システム
 - － 作業員は一人一人入退出の際に指紋認証を実施

- － 手解体から Shipping までを一元管理
- － IT システムを用いた解体作業指示
- － 破碎に適さない（特に爆発要因物）物の分別・回収に神経質
- ・ 作業安全への配慮（例：機器メンテ中）
 - － メンテ作業者が該当機器の電源スイッチの所持。複数のメンテ作業者が必要な機器は、人数分の電源スイッチを保持。
 - － 全作業者がメンテ作業を終了するまで、全電源スイッチが揃わず、工場管理者も電源投入不可。

⑤Electronic Recyclers 社（ER 社）

< 場所 >

ER 社本社（カリフォルニア州 Fresno）

< 対応者 >

Chairman & CEO、COO、CMO、Co-founder、CCO、Co-founde、Plant Manager（工場見学時のみ）、Recycling Specialist

< 会社概要 >

- － カリフォルニア州で最大の E-Scrap リサイクル業者。
受入量は年間 100m lbs（約 5 万トン）。カリフォルニア州がリサイクル法の下で集める E-Scrap（TV、CRT、VTR など）の 42%のシェア。
- － 事業所はカリフォルニア Fresno とマサチューセッツ Gardner（2007 年 4 月稼動）の 2 箇所。2008 年にロサンゼルス近郊にも買収により増設予定。
- － Waste Management 社との契約関係にあり、カリフォルニアでは exclusive に E-Scrap を扱う。
- － Fresno 事業所は従業員 300 名。カリフォルニア全域から 1 日 6-7 m lbs の廃棄電気製品が集まる。このうち E-Scrap 処理加工量は 1 日 200k lbs（約 100 トン）。

< 工場見学での説明 >

- － 建屋 72,000ft²（770m²）、敷地は 4.5 エーカー（2.6 万 m²）。
- － 1 日に 40 台のトレーラ（ER 社所有）が入り、6-7 m lbs/d の E-Scrap を集荷。事業者と民間（住民）からの排出品があり、後者が 75%。民間からは

大手小売業 Best-Buy 社と連携したコレクションイベントにトラックを送り、廃棄品を回収。

- 集荷廃棄品の 75%が「Video Display Device」。「Video Display Device」とは、カリフォルニア州リサイクル法での定義で、CRT、LCD、プラズマパネルなどの動画表示パネルを有する装置（TV、PC、VTR など）がこれに当たる。（販売時に消費者からリサイクル料金を徴収する対象。）残りの「E-Scrap」としては、PC、PDA、VCR、ファックス機、携帯電話、コピー機、MP3 プレイヤー、モニタ、ステレオ等がある。
- 廃棄 TV や PC は人手で解体。コンベヤ作業ではなく、一人当たり一個のテーブルでドライバ程度の工具を使い解体し、大まかに分解されたパーツを、仕分けされたダンボールボックス（約 1m 角）へ放り込む。Amandi Service 社や WM 社に比べるとかなり忙しく作業をしている。1 人当たり一日の解体作業量は 4000lbs（約 2 トン）。2 シフト 16 時間体制。各シフト 120 人程度で、うち 40 人が解体作業員である。受入量が増加しており、近々 24h 体制になる予定とのこと。
- 工場内の様子は 90 台のカメラでモニターされている。これは受入品のフロー監視によるトレーサビリティ確保や労働安全上の監視が目的だが、当然、作業効率の監視にもなる。効率の良い作業員にはボーナスが加算されるとのこと。そのためか、特に解体作業員の動きはせわしい。
- TV や PC の解体後の筐体は、（破碎せず）黒色と白色のプラスチックに分け、それぞれ梱包されて出荷。木製の TV 筐体だけは green waste と称し、チップ化されて最終処分場へ埋め立てられる。
- CRT 処理は、ER 社の自慢技術。小型の破碎機ラインがあり、ブラウン管ごと投入し破碎。処理量は 300-500 台/h。下流側のコンベヤ上で、破碎されて出てきた 1-2 インチ角程度のガラス片を、数人の人手によりパネルガラスかファンネルガラスかを色で目視し選別。
- 破碎され分別されたガラスはガラスリサイクル大手の Dlubak 社のアリゾナ工場へ送られ、ここで化学的に鉛が除去される。その後ガラスはレンガ材料として使い、商業ビルやスポーツスタジアム等に活用。
- PC から取り出された HDD は、破碎保障のため小型クラッシャで潰し、個々の写真を残す。潰した後のアルミはベルギーの Umicore 社（世界的規模の非鉄精錬会社）へ出荷。

- － HDD を含め、E-Scrap 受入品はすべて、排出元・受入日時・ロット等が記載されたバーコードラベルで管理される。顧客はこの記録を全てトレース可能。
- － 基板の処理では、高機能な CPU やメモリを注意して取り外し、まだ使えるものであれば中古品市場へ出荷。使えないものはしばらく保管し、日々の金の相場を見て高く売れるときに貴金属屑として売却。新型の CPU は小型軽量化し金の含有量が少なくなっとうまみが減っているとのこと。
- － プラスチックは中国、ベトナム、シンガポール向けに出荷。

<リサイクル事業見通しについて（同社 Chairman & CEO 談）>

- － 世界の E-Scrap 市場は 2004 年には\$7.2billion であったが、今後毎年平均 8.8%の成長が期待され、2009 年には\$11billion（約 1.1 兆円）規模と予想。それに加えて、米国の PC E-Scrap リサイクル市場は 5 年間で\$1.3billion、10 年間で\$17billion（約 1.7 兆円）に膨らむと見ている。
- － EPA の推定によれば、2005 年に米国で廃棄された電子機器は 5 billion lbs（約 250 万トン）だが、そのうちリサイクルされたのは 10%に過ぎない。
- － 全米の家庭では今でも 5 億台の廃 TV が処理されず死蔵されている。米国では 2009 年にテレビの地デジ移行が完了するので、2007 年から旧式 TV の廃棄が進む。8000 万台の廃 TV が出てくると見ている。
- － ブッシュ政権は E-Scrap のリサイクルを重要テーマとは考えてこなかった。強力な連邦法がないのもそのためだが、次期の大統領は別の立場を取ると予測。今後 8 年以内に、この分野の事業は大きく変わる。NY タイムズや Wall Street Journal などのナショナルメディアは世界にかかわる深刻な問題として取り上げている。E-Scrap 問題は Political ドリブンではなく、Media ドリブンである。

⑥E-Scrap 2007 (The North American Electronics Recycling Conference 2007)

<Conference の概要>

E-Scrap-2007（イースクラップ 2007 北米電子機器リサイクル・カンファレンス）は、北米最大規模の廃電気電子機器リサイクルに関するカンファレンスである。米国の E-Scrap News 社が主催して米国ジョージア州アトランタで 2007 年 10 月 24 日・

25日に開催された。米国とカナダを中心に、電気電子機器メーカーと廃電気電子機器の資源リサイクル関連業者、及び政府関係者等が一同に集い、廃電気電子機器の資源リサイクルに関するセッションと展示会を行なうことを目的としている。

今回（2007年）のカンファレンスには、米国とカナダを中心に計23ヶ国から900名を超える参加者があり、日本を始めとするアジアやヨーロッパの国からもかなり参加していた。また、出展数は80社を超えており、やはり米国とカナダの資源リサイクル関連業者が多くを占めていた。今回の参加者数及び出展数はいずれも前年を大きく上回っている。

今回のカンファレンスのスポンサーは、米国の大手電気電子機器メーカーのデルコンピュータ社やヒューレットパッカード社、それに米国とカナダの資源リサイクル関連業者が中心であった。また、セッションのスピーカは、電気電子機器関連の大手メーカー、大手小売業、各種研究機関、州の関係者、大学、NPO等、多彩な顔ぶれであった。

なお、主催者・E-Scrap News社は今回のようなカンファレンスを主催すると共に、22年前からE-Scrap News等の資源リサイクルに関する定期刊行物を発行しており所在地は米国ポートランド（OR）にある。



Conference風景



発表内容の一部



発表内容の一部(中国の例)

図 2.1.4-7 E-Scrap2007 の Conference 風景

<セッションの概要>

今回のセッションは 2 日間に亘り、本セッションが 4 テーマ、並行セッションが 6 テーマ、計 10 テーマが行なわれた。本セッションでは次のテーマについて報告と議論が行なわれた。

- ・ 廃電気電子機器の資源リサイクルに関する産業界の動向
- ・ 世界各地域における資源リサイクルの現状
- ・ 米国とヨーロッパにおける環境関連の法規制の動き
- ・ 合併・買収・新たな投資による業界の変化

並行セッションは、本セッションに関連する内容や別の視点からみた内容について報告と議論が行なわれた。各セッションの報告内容のポイントは次の通りである。

○本セッション 1. 電子機器の資源リサイクルに関する産業界の動向

電気電子機器の調達や利用方法など製品のライフサイクル全体について、環境負荷を軽減する方向に動いているおり、資源リサイクル業界にとっては今後ビジネスチャンスが増加してくるものと予想される。

サプライチェーンやリバーズ・ロジスティクスの視点から、資源の再利用や再資源化などを目指した活動やサービスが電気電子機器メーカーや資源リサイクル業界に強く求められる。小売業者と電気電子機器メーカー（サプライヤー）との協力により、環境に優しいコンピュータ（グリーンコンピュータ）の導入など、製品のライフサイクルに影響を及ぼすための方策についての事例が紹介された。

○本セッション 2. 世界各地域における資源リサイクルの現状

現代の電子機器はグローバルな市場で製造や販売がなされ、最後に廃棄やリサイクルが行なわれている。そのために、世界のあらゆる場所で使用済みの電子機器の処理に大きな影響を及ぼしている。

インドでは、世界各地の先進諸国から輸入される廃電子機器スクラップの量が急増しており、今後も続くものと予想される。生活に身近な場所でそのリサイクル処理が行なわれているために、健康被害など多くの問題が発生している。ラテンアメリカ諸国も国内外から発生する廃電子機器スクラップの処理は同様であるが、問題を軽減するためのインフラを整えようと努力している。

グリーンピース・インターナショナルは、先進諸国からの廃電子機器スクラップの輸出が開発途上国に大きな問題を与えている現状を懸念しており、自国の廃棄物に責任を負うよう強く求めている。

○本セッション 3. 米国とヨーロッパにおける環境関連の法規制の動き

国立エレクトロニクスリサイクルセンター（National Center for Electronics Recycling: NCER）は、最近制定された米国の電子機器リサイクル法の要点を纏めたが、その内容は州毎にそれぞれ異なっている。

これまでに電子機器リサイクル法が制定された州は、カリフォルニア、コネチカット、メイン、メリーランド、ミネソタ、ノースカロライナ、オレゴン、テキサス、ワシントンの各州である。

ヨーロッパの WEEE 指令に関して詳細な報告がなされた。そして、WEEE 指令の実施に伴う環境的、経済的、社会的な影響について考察しその重要性を指摘した。

○本セッション 4. 合併・買収・新たな投資による業界の変化

米国やカナダにおける電子機器リサイクル業界は、合併や買収を通して業界の統合に向けた動きが今後ますます加速される。

電子機器リサイクル法が実際に運用されると、大手電子機器メーカーは大手電子機器リサイクル業者を必要となってくる。従って、電子機器リサイクル業者は新たな投資により事業規模を拡大していかなければならない。

○並行セッション A. カナダの資源リサイクルの状況

アルバータ州は、電子機器リサイクル法が成立し既に実施している。しかし、他のブリティッシュ・コロンビア州、ノバスコシア州、およびサスカチュワン州では、各州が連携を取り合って共通の電子機器リサイクル法の成立を目指している。また、環境費用については全州で統一する方向で調整が行なわれている。

○並行セッション B. 3つの重要な要素：立法・回収・処理

今年はかつてないほど多くの電子機器リサイクル法案が各州議会に提出されている。また、E-Scrap News 社が家庭からの電子機器の回収イベントを全米各地で 1100 件以上行なって再利用資源の効率化等の模索を行なっている。

さらに、米国初の全州的な E-Scrap 回収プログラムにおいて、電子機器リサイクル業者に対して支払われるリサイクル費用の妥当性について調査を行なった。カリフォルニア州を例にとると、回収業者は回収する廃電子機器 1 ポンドにつき 20 セントの払い戻しを受け、更にその廃電子機器を解体処分するために追加分として 28 セントを受け取る。これらの事例は、将来的な回収システムの設計やリサイクル費用の適正について検討する際の重要な基準としている。

○並行セッション C. 連邦環境保護庁主導のプログラム概要

米国環境保護庁（EPA）は、クリーンで環境負荷の少ない廃電子機器処理事業の運営を目的としたガイドラインの作成を積極的に行っている。このガイドラインは、全国的な業界基準になる可能性が高くその実地テストを行うことにしている。また、EPA は、回収されるべき廃電子機器がどのくらいあるかを見積もるための基準を確立した。

バーゼル条約（有害廃棄物の越境移動及びその処分の規制）で規定している有害廃棄物の内容が、EPA の主張と相違しているので今後の調整が必要である。

○並行セッション D. 今日の処理における大きな課題

新しいタイプの電子機器（フラットパネル、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ等）が大量に市場に出回っているが、それが廃電子機器として出てくるようになると新たなリサイクルの問題が発生してくる。その問題を解決するためにいろいろな研究が行なわれている。また、廃電子機器からでるプラスチックのリサイクルについてはこれまでも課題であったが、異種類のレジンの混合や添加物については今後も同様の課題が残る。

ある大手リサイクル業者の廃電子機器の再利用（中古市場）についての事例が報告された。回収した廃電子機器のなかで再利用できそうなものを掃除・修理・改造・テストした後に中古市場に出して再販するものである。廃電子機器を資産として価値を積極的に高めていくひとつの方法を示した。

○並行セッション E. 重要かつ有用な最新情報

米国グリーン調達基準（Electronic Products Environmental Assessment Tool : EPEAT）の内容について説明があった。そして、この 1 年間で 550 を超える製品（ラップトップ PC、デスクトップ PC、モニタ等）が EPEAT の要求事項を満たした。

典型的な廃電子機器リサイクル工場で取扱われている機材（フォークリフト車、コンベヤ、シュレッダー等）の作業安全に関する規則の説明があった。これは、廃電子機器のリサイクル産業に特有な作業上の安全情報である。

○並行セッション F. リサイクル法の成立

新たに電子機器リサイクル法が成立したミネソタ州、ノースカロライナ州、オレゴン州、ワシントン州の代表者が、成立までの過程の概要を報告した。各州の法律の内容はいずれも独自なものとなっている。

< Exhibition の概要 >

Exhibition 会場には、米国だけでなく、カナダ、欧州などから処理業者や収集業者、リサイクルサービス業者など約 70 社がブースにより出展を実施。

米国内からは IT 機器対象の回収・処理受託ビジネスの展示が目立った。また 2009 年の TV 放送デジタル化を睨んでか、CRT 処理に関する展示が多かったことも印象的。「米国の精錬業は衰退している」という情報を証明するように、精錬についてはカナダ、欧州の業者が目立つ状況が確認できた。

米国内のプラスチック再生業者などが展示を行なうと並行して、回収プラスチックの（アジア等への）輸出を専門に行なう「リサイクル仲介商社」が盛んに動いていることが確認できた。



展示会会場



SIMS社(10/29訪問先)ブース

図 2.1.4-8 E-Scrap2007 Exhibition の風景

⑦California 州 E-Scrap 担当者との面会

< 対応者 >

Senior Integrated Waste Management Specialist

California Integrated Waste Management Board Special Waste/E-Waste (CA 州
環境省 E-Scrap 責任者)

< 面会目的 >

米国内で最も環境、中でもリサイクルに積極的なカリフォルニア州の E-Scrap 担当
者と DfR や IT 技術の必要性について直接意見交換を行なう。

< 面会概要 >

- 欧州の E-Scrap 関連規則である WEEE 指令との整合性は特に意識していな
い。
- 現在 CA 州でメーカー責任によるリサイクルの対象としているディスプレイ
はテストケース。この結果を踏まえ対象拡大予定。
- CRT ガラスが国内ではリサイクルされずに海外に輸出されている件につい
ては「適切なリサイクル」の範疇との認識。

- ー FPD リサイクルは課題であり、メーカーに対して積極的な検討を要求。
- ー リサイクル性設計（Design for Recycling）については、米国は日本、欧州に対して遅れているという認識。ただし今後は「リユース」を含めた資源回収が不可欠で、DfR を「リユース」を含めて検討するスキームを米国 EPA（環境省）と共に立ち上げ済。
- ー リサイクル現場での IT サポートは将来課題。
- ー 調査団であった根本氏が工場長代理を務める日本の家電リサイクルプラン「東京エコリサイクル」の VTR に高い関心。



図 2.1.4-9 California 州 E-Scrap 担当者との会合
(東京エコリサイクル VTR 視聴風景)

2.2 FPD の資源循環（リサイクル）技術の現状・問題点と基礎検討

FPD の市場は、2000 年頃から急速に拡大している。このため FPD の廃棄量は現段階ではまだ少ないが、初期製品が寿命を迎える 2010 年頃から急激に増大することが予想される。

また FPD は現在の家電リサイクル法では対象となっていないが、「経済産業省 産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会電気・電子機器リサイクルワーキンググループ中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会家電リサイクル制度評価検討小委員会合同会合」等において次回改正時に対象製品として組み込むことが検討されており、CRT に変わって今後規制対象製品の中心的な製品となることは確実である。

このように FPD のリサイクルはまだ本格化していないが、リサイクル処理技術については各方面で検討が開始されている。本節では主に欧州の LCD リサイクルプロジェクトである ReLCD と日本の電子情報技術産業協会（JEITA）のレポートを参考に、FPD のリサイクル技術の検討事例を紹介する。なお FPD には、LCD（Liquid Crystal Display）、PDP（Plasma Display Panel）の他、OLED、LED、SED など多くの方式があるが、今回は市場規模が大きい LCD と PDP を対象とした。

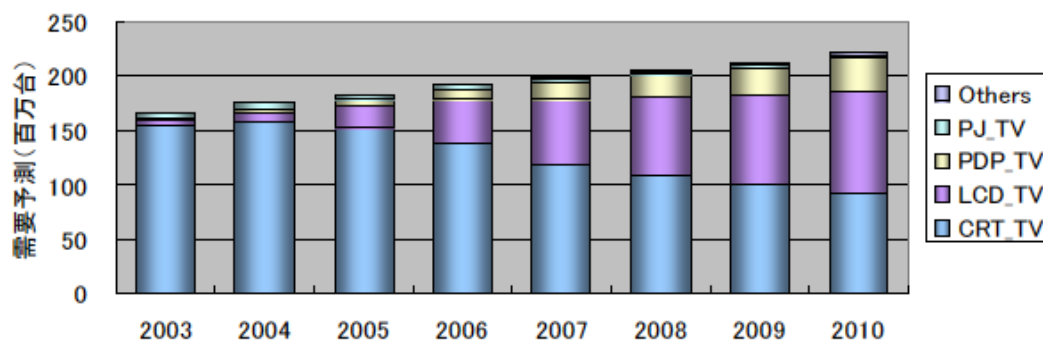


図 2.2-1 世界の FPD 需要

（韓国 Displaybank 社、「TV 中長期市場展望レポート」より）

2.2.1 LCD のリサイクルについて

(1) LCD の構造

LCD はカラーフィルタを備えた液晶パネルの背面から光を照射することにより画像を表示する表示システムである。LCD の構造は図 2.2.1-1 に示すように、LCD のモ

ジュール部と制御部とにより構成される。LCD の特徴であるモジュール部は、LCD パネルを中心として、周辺または背面にドライバーチップや光源となるバックライトなどが取り付けられている。

図 2.2.1-2 は LCD の材料構成の例を示す。LCD は銅やアルミなどの金属の他、プラスチック、ガラスなど多くの材料で構成されていることが特徴である。バックライトのランプには水銀 (Hg) が含まれており、適正に処理する必要がある。

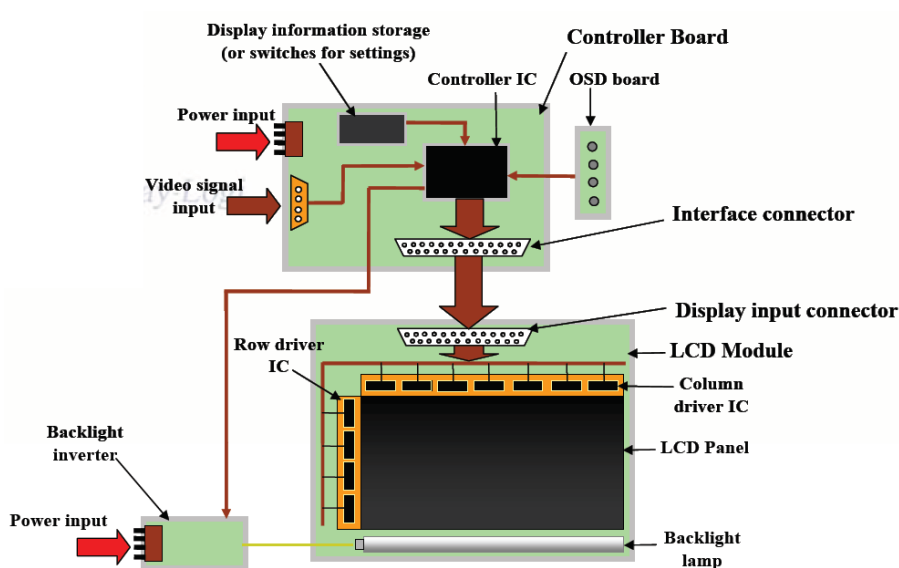


図 2.2.1-1 LCD の構造 (ReLCD の資料¹⁾ より)

Material	1	2	3
Metals (al, fe, cu)	46-60	31-57	37-68
Plastics	20-47	28-31	29-44
Glass	5-26	10-23	17-47
Circuit boards	1-8	6-10	8-24
Lamps, crystals, etc.	1	1-2	1-2

図 2.2.1-2 LCD の材料構成
(Environmental Practices 資料²⁾ より)

(2) LCD のリサイクル処理

LCD のリサイクルにおいて考慮すべきことはバックライトに含まれる水銀を適正

処理することであり、欧州の WEEE 指令でも面積が 10cm²以上の LCD の選択的処理が義務付けられている。このためリサイクル処理はまず LCD を解体し、水銀を含むランプを取り外す必要がある。

図 2.2.1-3 は LCD モニタを分解した例を示している。赤枠はバックライトである。バックライトは 4mg 程度の水銀を含んでいる。

また表 2.2.1-1 は FPD の解体時間を CRT と比較したものである。FPD は CRT より解体時間が大きいという結果になっている。



図 2.2.1-3 LCD の解体例 (Gaiker 資料³⁾ より)

表 2.2.1-1 解体時間

	CRT	LCD	PDP
解体時間 (分)	9.2	12.8	13.4

(Environmental Practices 社の資料²⁾ より)

解体したパネルについては以下の処理を行うことが検討されている。

- ・ 全面と背面ガラスを分離する。
- ・ 加熱した真空チャンバーにより、液晶を蒸発させる。
- ・ 触媒酸化により、ポリマーを分解する。
- ・ コーティングを研磨除去する。
- ・ 発生した粉末をガラス化し、タイルなどとして利用する。

またパネル以外については以下の処理を行うことが検討されている (図 2.2.1-4)。

- ・ ランプを取り外した部分を破砕機に投入し、粗く破砕する。

- ・ 破砕屑からフィルムプラスチックを吸引する。
- ・ 破砕屑を渦電流選別機に投入し、アルミとプラスチック/ガラス成分を選別する。
- ・ 破砕屑を比重選別機に投入し、ガラスとプラスチックを選別する。

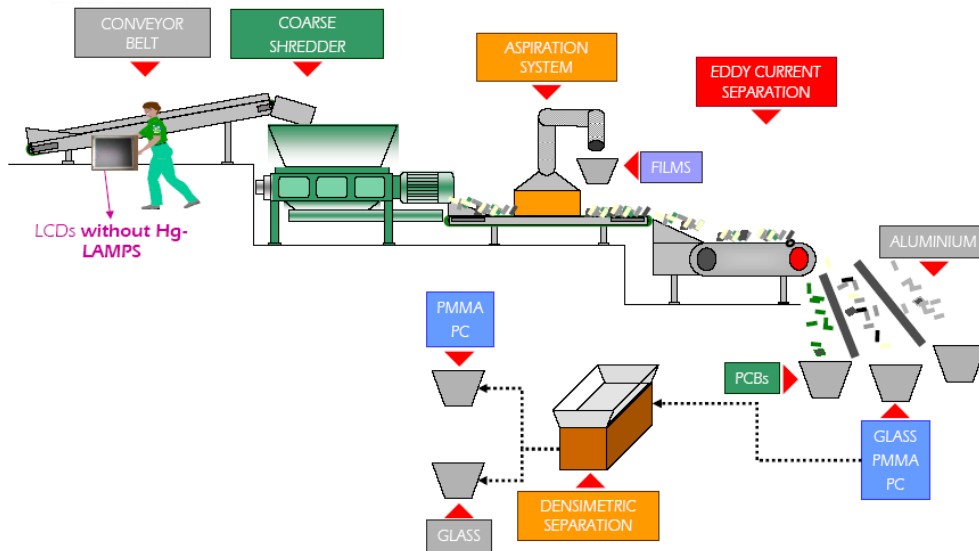


図 2.2.1-4 LCD のリサイクルフロー (Gaiker の資料³⁾ より)

(3) LCD リサイクルにおける問題点と対応策

LCD リサイクルの問題点および対応策としては以下の項目が検討されている。

表 2.2.1-2 LCD リサイクルの問題点と対応策

	問題点	対応策
バックライト	<ul style="list-style-type: none"> 場所を探すのが難しい。 作業が難しい位置にある。 薄く壊れやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 取り付け場所の表示 解体の容易化
材料	<ul style="list-style-type: none"> 標準化されていない。 接着剤で汚染されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 材料の統一、標準化 プラスチックの材質表示
構造	<ul style="list-style-type: none"> 過度に頑丈である。 留め具が小さい上、統一されていない。また手の届かないところにあり作業が困難。 設計が統一されていない。 (解体性に差がある) 	<ul style="list-style-type: none"> ネジ点数の削減 ネジ規格の統一 留め具の標準化 留め具の切断の容易化
パネル	<ul style="list-style-type: none"> 製品によってガラスの種類が異なる。 ガラスが LCD 用としてリサイクルできない。 	—
液晶	<ul style="list-style-type: none"> 製品によって組成が異なる。 使用量が少ない。 ガラスに付着しやすい。 	—
他	<ul style="list-style-type: none"> 小型モニタはリサイクル費用を回収できない。 	—

(Environmental Practice 社²⁾ および ReLCD⁴⁾ の資料より)

(4) バックライトの取り外し方法の検討

上述のように手作業によるバックライトの取り外しは安全上の問題があり、LCD リサイクルの課題の 1 つとなっている。バックライトの取り外し方法については ReLCD

が手作業による方法と機械を用いた切断方法を比較しており、投資額と処理能力の観点から評価すると、手解体が一番よいという結果になっている。

	手解体	水ジェット切断	レーザ切断	丸のこ
処理時間	1.5分	2.7分	1分	0.9分
デメリット	—	投資（130kEUR） メンテナンス	投資（340kEUR） 排気処理	耐久性、排気処理 振動
断面	—			

図 2.2.1-4 バックライトの取り外し方法（ReLCD の資料⁵⁾より）

2.2.2 PDP のリサイクルについて

PDP は、ガラス基板上のセルに封入されたガスを発光させることにより画像を表示するシステムである。PDP のリサイクル処理は、電子情報技術産業協会（JEITA）⁶⁾ が以下に示す検討を行っているが、現在のところ実用的な解は得られていない。

(1) PDP パネルとシャーシの分離方法

PDP パネルは熱伝導シートにより金属性のシャーシに貼り付けられている。これを分離する方法として、リサイクル業者では以下の方法が採用されている。

- ・ ダイヤモンドコーティングワイヤで熱伝導シートを切断する。
- ・ パネルとシャーシの間にクサビを挿入し、イソプロピルアルコール（IPA）を滴下する。

その他にもパネルを加熱する方法などが検討されているが、低コストで多量処理を行える方法は確立されていない。

(2) 封着材、リブ、機能膜の除去、回収方法

封着材やリブ、機能膜は、酸化鉛（PbO）を多く含む低融点ガラス（フリット）である。これらを除去する方法としてサンドブラストによる物理的除去方法と、酸処理

による化学的除去方法が検討されている。しかし前者は処理コストが大きく、後者は機能膜の成分に応じた酸を開発する必要があるが、現在の機能膜を使い続けるかわからないため処理プロセスを決定できない、という問題がある。

(3) パネルガラスのリサイクル

パネルガラスの再生について、以下の3つの方法が検討されている。

- ・ パネルガラスへのリサイクル：パネルガラスの成分はメーカ、種別ごとに異なるため分離する必要があり、実現が困難な見込みである。
- ・ カスケードリサイクル：建築用型板ガラスに混入することが可能である。しかし混合比率は1%が上限と予測されており、回収ガラスを消費できないため実用的でない。
- ・ 機能膜から有価物を回収：亜鉛精錬で使用される珪石の代替として溶鉱炉に投入することができる。ガラスの分別も不要で、大量利用も可能である。

(4) フリット（封着材、誘電体、リブ）のリサイクル

フリットとはパネルガラスの封着材などに使われる低融点のガラスである。フリットは多量の酸化鉛（PbO）と基盤ガラスにない添加物を含むため、亜鉛精錬などで鉛を回収し、無害化处理することが必要である。

2.2.3 各地域のリサイクルにおける FPD の扱い

以上に示したように、社会システムとしての FPD リサイクルを実現するには、まだ技術的な課題が残っているのが現状である。一方で日本を始めとした世界各国において、FPD を対象にしたリサイクル規制の整備が進められており、議論の動向を把握しておく必要がある。例えば欧州では 2008 年に WEEE 指令の見直しが予定されているが、その事前検討において LCD のリサイクルについて以下の見解が示されている。

- (1) LCD の市場は現在急速に拡大しているが廃棄数は今のところ少なく、リサイクルはまだ本格化していない。
- (2) LCD を安全かつ大量にリサイクルできるシステムはまだ確立されていない。その理由として、以下の問題点がある。
 - ・ リサイクル処理においてパネルとバックライトを手作業で分離するこ

とが必要である。バックライトのランプは水銀を含んでいるが壊れ易く、リサイクル処理において健康や安全上の問題がある。

- ・ 手作業による分離の他に、パネルを直接破砕する、あるいはパネルごと埋め立てる、という方法が考えられる。しかし前者は水銀を大気に放出する、後者は材料の価値を損失する、という問題がある。

- (3) リサイクル配慮設計については、バックライトの解体時間（コスト）を削減できたとしても水銀の放出が配慮されていなければ意味がない、とされている。

2.2.4 FPD リサイクルに関する現状のまとめ

- ・ FPD を大量に効率よくリサイクルする技術の検討が工業会などで進められているが、現在実用的な技術は存在しない。
- ・ FPD のリサイクルは今後数年のうちに本格化すると思われ、早急な対策が必要である。

参考文献

- 1) Bay Zoltan, Foundation for Applied Research, “Liquid Crystal Display Re-Use and Recycling”, ReLCD ワークショップ資料 (2006/3)
- 2) Betty Patton, Environmental Practices, “A Preliminary Assessment of Flat-Panel Recycling”, The E-scrap 2007 Conference (2007/10)
- 3) Gaiker, “Liquid Crystal Display Re-Use and Recycling “ReLCD””, ReLCD ワークショップ資料 (2006/3)
- 4) Active Disassembly Research Ltd., ReLCD ワークショップ資料 (2006/3)
- 5) Mag. Stefan Steiner, “Possible ways for the separation of backlight lamps”, ReLCD ワークショップ資料 (2006/3)
- 6) 液晶テレビ及び PDP テレビのリサイクルに関する調査研究, 社団法人 電子情報技術産業協会 (平成 16 年 3 月)

第3章 E-Scrap の分解・破砕実験

日本の家電リサイクル法(特定家庭用機器再商品化法)は2001年4月より施行(1998年6月制定)され、現在、冷蔵庫(冷凍庫含む)、洗濯機、エアコン、テレビ(ブラウン管式)の4品目が対象となっている。

本法律は製造者責任の一環として、廃棄された製品の回収・リサイクルを義務付け、資源循環を明示的に意図した法律である。今後は、家電4品だけでなく、液晶テレビやプラズマディスプレイテレビなどの薄型テレビは日本に留まらず、全世界に供給・使用される時代になっており、グローバルな視点からも製品のリサイクルを考えて行く必要性が高まっている。

次年度以降、現在の家電リサイクル法が改正され、現行4品に加え、薄型テレビ(Flat-Panel Display: FPD)と衣類乾燥機の2品目が追加される見込みとなり、益々リサイクル(資源循環)を重視した製品設計・製造への転換期を迎えようとしている。

全世界的に見れば、EU(European Union)についてはWEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment)指令の下、約100品目もの電子・電気廃棄物が資源循環対象になっていることを考えると、品目数では日本は遅れていることになる。日本では2009年度を目指してFPDなどの品目追加が審議されており、これらの分解性などを検討しておくことは重要である。

本報告では家庭で使用される現行の4品以外で世界的にも流通している小型家電品に限定し、将来の資源循環という観点からリサイクル性を評価する。これらのグローバル製品を対象に現有するリサイクルプロセスで生じる問題点などを整理し、今後の製品設計に反映すべく課題の抽出と提言を行う。

3.1 目的

家電リサイクル法適用外の家電製品等を対象に廃棄時におけるリサイクル手法を検証する。幾つかの現有するリサイクル手法を想定して模擬実験を実施し、今後の製品設計(低環境負荷・易リサイクル設計)に反映すべく課題の抽出と提言を行う。

3.2 実験における前提条件

3.2.1 対象品目

リサイクル実験においては、3種類のリサイクル手法(プロセス)を用い、次の10

製品（品目）を対象としたリサイクル（分解・破砕等）実験を実施するものとする。（白抜き数字は製品No.を示す。）①～⑧に着目したのは、現在、一般廃棄物として廃棄されている比率が高いためである。

- ①暖房器具、②ガステーブル、③掃除機、④AV機器、⑤音響装置、⑥電子レンジ、
⑦扇風機、⑧炊飯器、⑨プラズマTV（PDP）

（但し、⑨のFPDについては分解に要するネジ本数の比較のみとする。）

尚、現行の家電リサイクル法の4品目については今回の実験には含まず参考比較用とし、部分的に既存データ（出典、財団法人家電製品協会（以下、家製協）を用いることとする。

3.2.2 リサイクル手法の定義

本実験で用いるリサイクル手法は表3.2.2-1のように定義し、各実験で得たデータを比較する。

表 3.2.2-1 リサイクル手法の定義

	定義概要	対象台数	備考
A手法	手分解で出来る範囲の完全分解→分解品毎にR率※1評価	製品No①～⑧80台	
B手法	簡易分解※2後、複合品を破砕・選別→分解・回収品毎にR率評価	製品No①～⑧40台	破砕試験は実験施設で実施
C手法	製品原形のまま破砕・選別しその後手選別→回収品毎にR率評価	製品No①～⑧16台	

※1 R率とはリサイクル率を指す。

$$\text{リサイクル率} = \text{有価回収物} \div \text{分解・破砕前重量} \times \text{重量比} (\%)$$

※2 簡易分解とはガラス、基板、電池、灯油、ごみ、電球などの破砕不適合部品のみを取外す状態を指す。

3.2.3 取得データ

本実験で取得・評価するデータを表 3.2.3-1 に示す。

表 3.2.3-1 取得データ

	項 目	備 考
(1)	分解点数・分解時間（設備での処理時間含む）	
(2)	A 手法による製品毎の R 率、B、C 手法の R 率	
(3)	各手法による設備電力量（消費エネルギー）	実験施設に計測依頼
(4)	埋立量（ダスト量）	

3.2.4 対象品目の内訳、及びスケジュール

(1) 分解及び、破碎実験対象物の台数内訳を表 3.2.4-1 に示す。

表 3.2.4-1 対象製品の内訳

		A手法 (全分解)		B手法 (簡易分解+破碎)		C手法 (分解なし)		
		実施日: 11/20~12/10		準備期間:12/10まで				
1	暖房 器具	ハロゲンヒータ	4台	10台	2台	5台	1台	2台
		ガスファンヒータ	3台		1台		1台	
		石油ファンヒータ	2台		1台			
		電気ストーブ	1台		1台			
2	AV 機器	ビデオデッキ	8台	10台	3台	5台	1台	2台
		DVDプレイヤー	2台		2台		1台	
3	音響 装置	ラジカセ	4台	10台	2台	5台	1台	2台
		CDプレイヤー	3台		2台		1台	
		オーディオコンポ	3台		1台			
4		ガスレンジ	10台		5台		2台	
5		掃除機	10台		5台		2台	
6		電子レンジ	10台		5台		2台	
7		炊飯器	10台		5台		2台	
8		扇風機	10台		5台		2台	
計			80台		40台		16台	

注：実験用の使用済み家電品を入手する時間と台数に制約があった。

(2) 全体実験スケジュールを表 3.2.4-2 に示す。

表 3.2.4-2 全体実験スケジュール

	2007年(平成19年)		2008年(平成20年)			備考	
	11月	12月	1月	2月	3月		
(日機連)試験 1.試験対象品集め (暖房器、ガス台、掃除機、ビデオ、レンジ、音響、炊飯器、扇風機) 2.A手法(全分解試験) 試験項目:リサイクル率、埋立量、分解点数・時間 3.B.C手法(破碎試験) 4.試験結果まとめ 5.報告書	収集&簡易分解 暖房器、ガス台、掃除機、ビデオ、レンジ、音響、炊飯器、扇風機の8品種	全分解試験 ▼12/14 破碎実験(at.破碎実験施設)	▼12/16~27 破碎ガス成分分析(to.分析会社)			簡易分解とはガラス、基板、電池、灯油、ゴミ、ランプ類を取外した状態を指す。 全分解とは手工具で分解・分別できる範囲を指す。	
			手分別分析				
			データ整理				
				報告書作成 ▼08/1/15提出			

3.3 分解・破碎実験の内容

3.3.1 A手法(全分解)の実験内容

- (1) 一般工具を使用して分解できる範囲を全て分解し、リサイクル率の評価を行う。
- (2) 同時に分解点数、分解時間を記録し、対象製品毎のリサイクル時間(分解に要する時間)を計測する。
- (3) 電力量は分解作業に用いる電動工具(CO₂削減量を求める際の設備電力)の使用電力量とする。



図 3.3.1-1 簡易分解及び全分解の例

3.3.2 B手法（簡易分解→破砕・選別）の実験内容

(1) 簡易分解の内容

- ① 一般工具を使用して破砕不適合部品（表 3.3.2-1）を回収し、リサイクル率を評価する。リサイクル率は次式で定義した。

$$\text{リサイクル率} = \text{有価回収物} \div \text{分解・破砕前重量を重量比 (\%)}$$
 （但し、「有価」の判断は経済情勢にもよるため、現時点のものを指す。）
- ② 同時に分解点数、分解時間を記録し、対象製品毎のリサイクル時間を計測する。
- ③ 電力量は分解作業に用いる電動工具（CO₂削減量を求める際の設備電力）の使用電力量とする。

表 3.3.2-1 破砕不適合部品

部 品 名						
①ガラス	②基板	③電池	④灯油	⑤ごみ	⑥電球類	⑦その他部品

(2) 破砕試験の内容

- ① 破砕・選別工程については、図 3.3.2-1 のような模擬ラインを構成し、簡易分解後の対象製品を定格量（1 トン/h 換算）にて投入する。
- ② 各ラインから選別・回収した破砕片について各々の品位（手分別）を確認・評価をした上で、表 3.3.2-1 の事前除去品（破砕不適合部品）と併せて、リサイクル率を求める。
- ③ 破砕機投入開始から最終設備の払出しが終わるまでの破砕・選別時間を計測する。
- ④ 破砕・選別工程における設備使用時の電力量（計測電流値から対象設備電圧を乗じたもの）を算定する。本計測は、実験設備で行う関係から、一貫ラインで計測したデータはなく、設備単体毎の合計値（時間、電力量）とする。
- ⑤ 破砕（集塵）ダストについては未回収有価物の含有量を調査する。

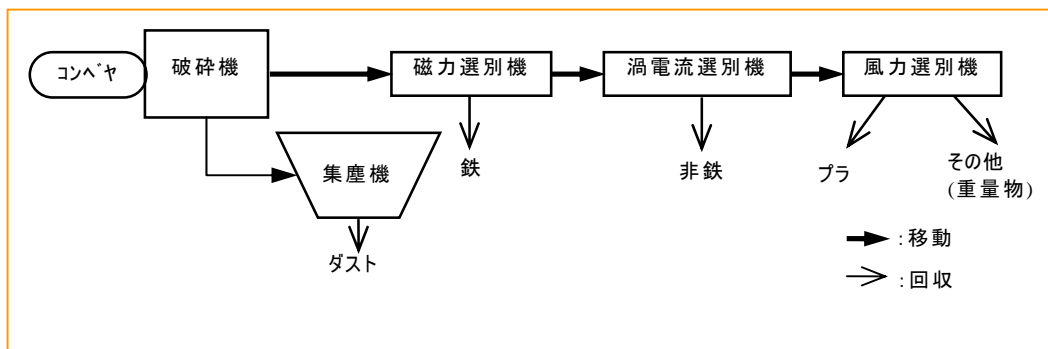


図 3.3.2-1 破砕試験用模擬ライン（構成図）

3.3.3 C 手法（製品原形のまま破砕・選別→手選別）の実験内容

(1) 破砕試験の内容

- ① 破砕・選別工程については図 3.3.3-1 のような模擬ラインを構成し、原形のままの対象製品を定格量（1 トン/h 換算）にて投入する。
- ② 各ラインから選別・回収した破砕片については、各々の品位（手分別）を

確認・評価をした上で、リサイクル率を求める。

- ③ 破砕機投入開始から最終設備の払出しが終わるまでの破砕・選別時間を計測する。
- ④ 破砕・選別工程における設備使用時の電力量（計測電流値から対象設備電圧を乗じたもの）を算定する。本計測は、実験設備で行う関係から、一貫ラインで計測したデータはなく、設備単体毎の合計値（時間、電力量）とする。
- ⑤ 破砕（集塵）ダストについては未回収有価物の含有量を調査する。

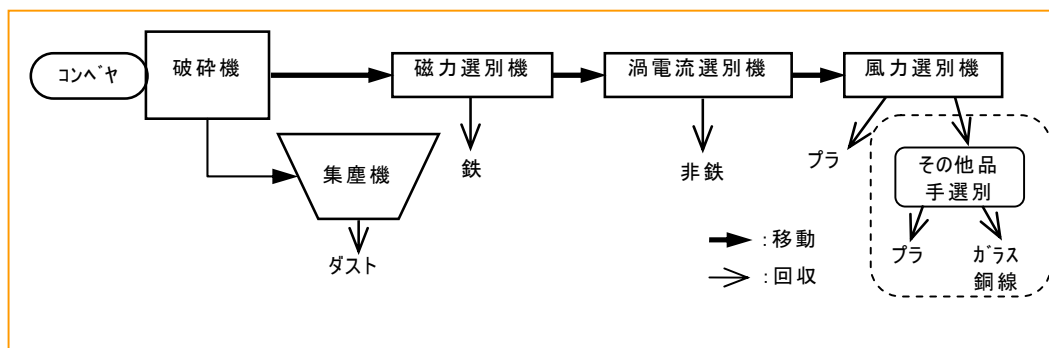


図 3.3.3-1 破砕試験用模擬ライン（構成図）

(2) 手選別（最終工程）の内容

- ① 風力選別機の重量物選別側から回収する物（その他品）を手作業により選別・回収し、リサイクル率の評価を行う。
- ② リサイクルに要する時間は本工程も含め、全体的に評価する。

3.4 総合評価の方法

3.4.1 各手法におけるリサイクル率評価

A 手法では手作業による全分解より回収した各々の部品、素材を東京エコの出荷ルートに当てはめた場合を想定し、リサイクル率を算定する。B 手法では簡易分解で回収した部品、又は素材の他、破砕後の回収物も併せ、東京エコの出荷ルートに当てはめた場合を想定し、リサイクル率を算定する。最後の C 手法についても破砕後の回収素材からリサイクル率を算定する。

3.4.2 各手法における粉塵ダストの有害物含有量評価

B手法、及びC手法に用いる破碎実験時の破碎粉塵を集塵機から回収し、ここで定めた特定成分(表3.4.2-1)の成分分析を行い、未回収有害物などの含有量を把握する。

表 3.4.2-1 特定成分表

元素名				
①Au	②Pd	③In	④Ag	⑤Cu

3.4.3 CO₂発生量抑制評価

小型家電品など、家電品の主な構成素材である鉄、非鉄金属(銅、アルミニウム)、プラスチック、ガラスを対象に原料毎に原石(原油)の採掘から原料調達(家電品に組み込まれる手前の状態)までの工程におけるCO₂(二酸化炭素)の排出量を把握し、リサイクル工程で生産される原料とのCO₂排出量を比較する。

比較する際に用いる概念図について、プラスチックを例に図3.4.3-1に示す。

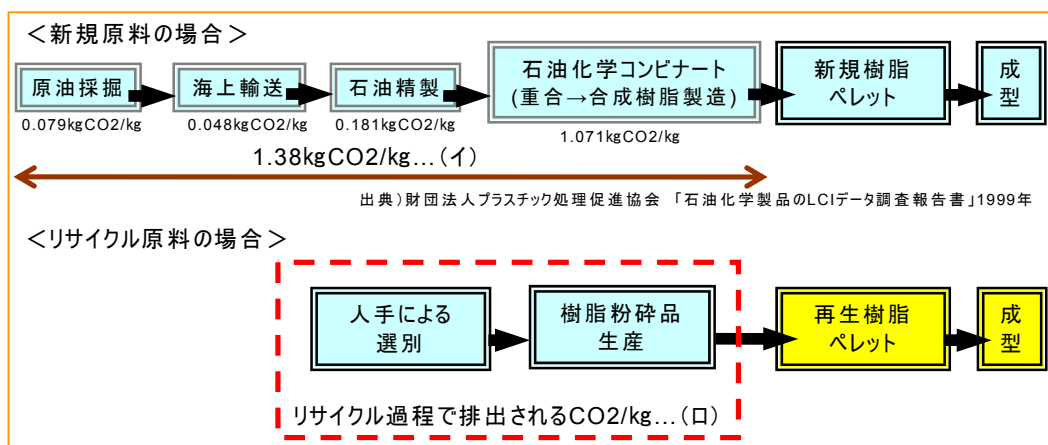


図 3.4.3-1 CO₂排出量比較の概念図

ここで使用するCO₂排出量については、新規原料の場合は一般に公開(文献など)されているCO₂排出原単位を用いて計算(図3.4.3-1(イ))し、リサイクル過程のCO₂排出原単位については、リサイクル施設で使用する電力量から電力使用時のCO₂排出原単位を用いCO₂排出量(図3.4.3-1(ロ))を求め、各々、原料毎に比較する。

3.4.4 作業時間と人数の評価

A～C手法において計測した作業時間から時間あたり1トン(1トン/h)を処理した場合の総作業時間と人員を求める。

A手法については、手解体工程における作業時間、及び必要人員を割り出し、小型家電(8製品一括)について、まとめる。

B手法については、手解体工程における作業時間、及び必要人員と破碎・選別工程における作業時間、及び必要人員(設備運転に関する管理者は含まず)を割り出し、小型家電(8製品一括)について、まとめる。

C手法については破碎・選別工程における作業時間、及び必要人員(設備運転に関する管理者は含まず)を割り出し、小型家電(8製品一括)について、まとめる。

なお、本章3.4.1～3.4.4については、取得データを基に算出し、各々の評価項目毎に優位性(順位付け)を求めることとする。

3.5 実験結果

3.5.1 各手法によるリサイクル率について

小型家電品を対象とした場合、表3.5.1-1に示すようにリサイクル率はA手法→B手法→C手法の順で手解体重視の解体・選別方式を多用した方が高くなる。

A手法(92%)のリサイクル率はC手法(75%)に比べて約17%向上している。一括破碎・選別方式のC手法では、破碎機の特性にも左右されるが、元々複合部材で構成された家電品を原形のまま破碎しても複合部品が完全に分離(剥離)できないことから、破碎工程後段の機械選別工程においては、例えば鉄に同伴するプラスチックや、プラスチックに混じる非鉄金属などが存在する。このため、有価で売却できる部品(材料)は金属、プラスチック類の市場値に影響を受けるため、実験時(2008年1月時点)での評価であり、将来、この数値より低くなる場合もある。

完全手解体のA方式では、これら複合部材を構成する接合部分やネジの位置などを人間の目で確かめながら工具を用い分解・選別することで、最も高いリサイクル率を実現できることができる。

表 3.5.1-1 リサイクル率まとめ表 (参考値)

分類 製品名 平均重量	小型家電								
	暖房器具	ガスステール	掃除機	ビデオデッキ	電子レンジ	音響機器	炊飯器	扇風機	左記8品目
	6.4kg/台	7.0kg/台	4.5kg/台	4.8kg/台	11.7kg/台	7.4kg/台	2.6kg/台	2.9kg/台	
回収品目	A手法		B手法			C手法			
鉄・ステンレス	20.0kg		15.9kg			31.5kg			
雑鉄・ビス類	4.0kg		4.0kg						
プラスチック(再生)	5.9kg		6.1kg						
プラスチック(焼却)	0.5kg		0.7kg			11.4kg			
コード・線材	1.3kg		1.3kg						
銅	0.1kg		0.1kg			1.0kg			
アルミ	0.7kg								
ミックスメタル	0.1kg		0.2kg			1.9kg			
基板	2.8kg		2.8kg						
モーター	3.1kg		3.1kg						
トランス	4.0kg		4.0kg						
コンデンサ	0.1kg		0.1kg						
ガラス	0.8kg		0.8kg						
電池	0.1kg		0.1kg						
焼却廃棄物 (ゴム、吸音材等)	1.7kg		1.7kg						
埋立廃棄物 (シュレッターダスト等)			0.0kg			0.0kg			
電熱管、蛍光管	0.1kg								
マイクロ発振器	0.6kg								
スピーカ	0.9kg		0.9kg						
その他 (雲母、真鍮、ヒューズ、電球等)	0.2kg		0.1kg						
回収重量	47.2kg/8種類1セット		41.9kg/8種類1セット			45.9kg/8種類1セット			
リサイクル率	92.3%		91.5%			75.0%			

※青字下線が有価物 (現時点で東京エコが判断したもの)

※リサイクル率=有価回収物÷分解・破砕前重量を重量比 (%)

如実に現れたのは埋立廃棄物 (シュレッターダスト) である。東京エコの出荷基準点で有価か逆有価かを判定し、リサイクル率を算定しているため、A の手解体手法では破砕行為が無い分、ダスト発生割合などで優位となる。

一方、同じ有価物でも、A、B 手法ではモーター (異なる素材の複合部品) をそのままの状態出荷できたが、C 手法ではモーターも破砕し、機械選別で鉄、や銅、アルミをある程度回収しているため、見かけ上の金属回収量が高くなっている。

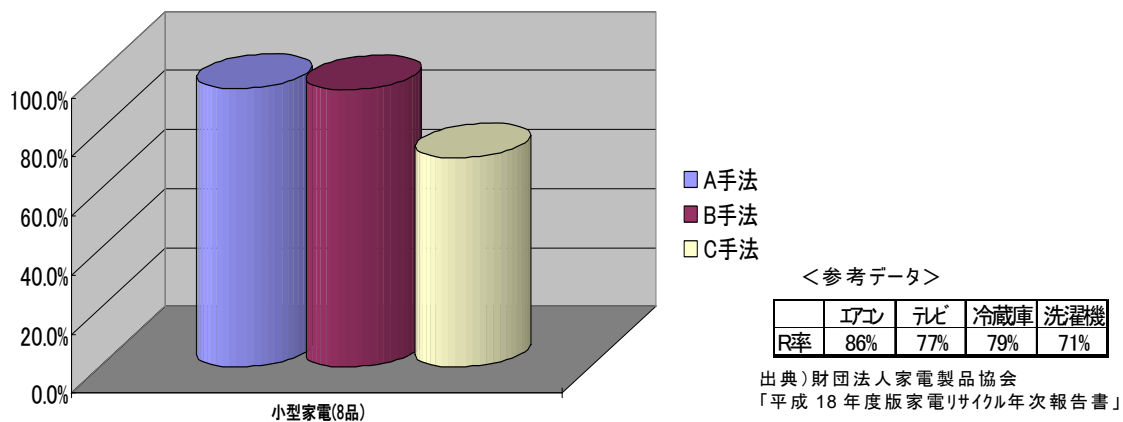


図 3.5.1-1 各手法別リサイクル率グラフ

3.5.2 各手法における粉塵ダストの有害物含有量について

本実験では各家電品に存在する高価値金属について、破碎時における浮遊・飛散状況を把握するため、破碎と同時に発塵する微量の粉塵を回収・分析した。表 3.5.2-1 の分析結果に示すように粉塵ダストには有価物として微量ではあるが Ag や Cu が確認された。

ただし、この小型家電の破碎試験は少量サンプルで実施したこと、及び B、C 手法ともに同日・同破碎機で実験を実施したため、時間的に前の実験の系内（破碎機内部や集塵機経路など）残留物を検出してしまっている可能性がある。今回は実験の日程、及び費用に制限があり十分な分析が出来なかったため、結果の信頼性は今後検証していく必要がある。

なお、Pb などの環境影響化学物質は測定しなかったが、過去の家電製品にはプリント基板などに Pb（はんだとして）が含まれているため、原形のまま破碎する C 手法では、鉛を含む粉塵が破碎機内で発生するポテンシャルがあると予想される。

表 3.5.2-1 各手法による粉塵ダストの分析結果（参考値）

分析 元素	小型家電			備 考
	A 手法	B 手法	C 手法	
Au	—	10ppm 未満	10ppm 未満	ICP 発光分光分析法
Pd	—	10ppm 未満	10ppm 未満	ICP 発光分光分析法
In	—	10ppm 未満	10ppm 未満	ICP 発光分光分析法
Ag	—	11ppm	19ppm	ICP 発光分光分析法
Cu	—	3600ppm	2600ppm	ICP 発光分光分析法

※同破碎機、及び同集塵機（濾布交換なし）で実験したため、系内に前の滞留物が残留した可能性が高いため、本データは参考値扱いであり、信頼性を増すためには多量のサンプルを用いた実験が必要である。

3.5.3 CO₂発生量抑制について

(1) 家電品の主構成素材の CO₂原単位

各々の手法で取得したデータを基に今回定めた CO₂原単位を用い、CO₂抑制効果を求める。表 3.5.3-1 は家電製品の主な構成素材である鉄、非鉄金属（銅、アルミニウム）、プラスチック、ガラスを対象に原料毎に原石（原油）の採掘から原料調達（家電品に組み込まれる手前の状態）までの工程における CO₂の排出量を把握し、リサイクル工程で同等の素材に再生されるまでの工程で排出される CO₂排出原単位を比較したものである。

CO₂の排出原単位は各業界や団体などから公開されている情報（文献など）を基に素材毎にまとめたものである。表 3.5.3-1 に示すように素材のみについての参考値は得られたが、本稿では素材回収の効果だけについて評価する。

表 3.5.3-1 素材毎の CO₂ 排出原単位 (東京エコ独自調査)

素材	区分	CO ₂ 原単位	単位	出典	対象範囲					
					資源採掘	海外製造	海外輸送	輸送燃料	国内製造	国内輸送
鉄(粗鉄)	新規	1.043	kg-CO ₂ /kg	1)	不明	不明	不明	不明	○高炉(焼結鉄-鉄鉄) ○製鋼(鉄鉄-粗鋼)	不明
	リサイクル	0.314	kg-CO ₂ /kg		—	—	—	—	電炉(スクラップ-粗鋼)	不明
銅	新規	2.103	kg-CO ₂ /kg	2),3)	○銅鉱石採掘	○	○	不明	○電機銅製造	—
	リサイクル	0.592	kg-CO ₂ /kg	2)	—	—	—	—	○電気銅製造	—
アルミ	新規	9.218	kg-CO ₂ /kg	4)	○ボーキサイト	○アルミ製造 ○アルミニウム電解精錬	○ボーキサイト輸送 ○アルミ・アルミニウム輸送	○燃料・輸送は資源採掘まで含む	対象外	対象外
	リサイクル	0.309	kg-CO ₂ /kg		—	—	—	—	○展伸用スクラップ溶解	—
プラ(PP)	新規	1.379	kg-CO ₂ /kg	5)	○石油採掘	—	○	不明	○石油精製 ○化学エポキシ樹脂	不明
	リサイクル	0.047	kg-CO ₂ /kg	7)	—	—	—	—	成形グラ粉碎	—
ガラス	新規	0.741	kg-CO ₂ /kg	6)	不明	不明	不明	不明	不明	不明
	リサイクル	0.440	kg-CO ₂ /kg		不明	不明	不明	不明	不明	不明

※モーターや基板などの部品を回収する場合の CO₂ 排出原単位が不明の為、一部未考慮。

出典文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、(社)産業環境管理協会、エネルギー使用合理化手法国際調査、NEDO-GET-9528、1996
- 2) 日本鉱業協会、非鉄金属地金の LCI データの概要、JICA-LCA データベース 2007 年度 3 版
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、(社)産業環境管理協会、製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書 (平成 14 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構受託)
- 4) 日本アルミニウム協会、アルミニウム新地金及び展伸材用再生地金の LCI データの概要、2005
- 5) (社)プラスチック処理促進協会、石油化学製品の LCI データ調査報告書、1999
- 6) 環境省、環境家計簿 (ただし、ガラスビンとして)
- 7) 東京エコプラスチック粉碎機の電力量(0.11kwh/kg)×電力 CO₂ 原単位

(2) 家電品構成素材の CO₂ 排出量換算

ここでは、表 3.5.3-1 で定めた CO₂ 排出原単位を基に本実験で得た素材別回収量 (表 3.5.1-1 参照) を各々乗じた値を CO₂ 排出量として計算し、表 3.5.3-2 のように新規時 (バージン材料から生産する場合) の場合とリサイクル時の場合との CO₂ 排出量 (差) を示したものである。

まず、絶対量としては、A、B、C 手法のいずれでも、直接埋め立てよりも CO₂ 削減効果がある。

各手法の違いについては、小型家電の CO₂ 削減量は A 手法→C 手法→B 手法の順となった。一括破碎・選別方式の C 手法の方が簡易分解・選別方式の B 手法より多いのは、C 手法は回収した鉄の品位は低いが見かけ上、鉄素材として回収されたため、CO₂

削減量が多くなったものである。

アルミニウムやプラスチック生産過程では新規時（バージン材料から生産する場合）の CO₂ 排出原単位とリサイクル時の排出原単位に極端な差（10 倍以上）があるため、生産量（使用量）が僅かでも、CO₂ 排出量の差が顕著に現れている。

表 3.5.3-2 CO₂ 換算まとめ表

			小型家電					
			A手法		B手法		C手法	
原料名	区分	CO ₂ 原単位	換算量	CO ₂ 排出量	換算量	CO ₂ 排出量	換算量	CO ₂ 排出量
鉄	新規	1.043kg-CO ₂ /kg	24.0kg	25.0kg	19.9kg	20.8kg	31.5kg	32.9kg
	リサ	0.314kg-CO ₂ /kg		7.5kg		6.2kg		9.9kg
プラ	新規	1.379kg-CO ₂ /kg	5.9kg	8.1kg	6.1kg	8.4kg	0.0kg	0.0kg
	リサ	0.047kg-CO ₂ /kg		0.3kg		0.3kg		0.0kg
銅	新規	2.103kg-CO ₂ /kg	0.2kg	0.5kg	0.2kg	0.4kg	1.1kg	2.3kg
	リサ	0.592kg-CO ₂ /kg		0.1kg		0.1kg		0.7kg
アルミ	新規	9.218kg-CO ₂ /kg	0.8kg	7.6kg	0.1kg	0.9kg	0.9kg	8.0kg
	リサ	0.309kg-CO ₂ /kg		0.3kg		0.0kg		0.3kg
ガラス	新規	0.741kg-CO ₂ /kg	0.8kg	0.6kg	0.8kg	0.6kg	0.0kg	0.0kg
	リサ	0.440kg-CO ₂ /kg		0.4kg		0.4kg		0.0kg
電力	リサ	0.425kg-CO ₂ /kw	0.5kw	0.2kg	9.7kw	4.1kg	9.5kw	4.0kg
再資源化可能物の回収率			72.0%		66.8%		71.3%	
再資源化可能物の回収合計重量			63.8kg		59.2kg		63.2kg	
新規時のCO ₂ 排出量(a)			41.8kg		31.1kg		43.2kg	
リサイクル時のCO ₂ 排出量(b)			8.8kg		11.1kg		14.8kg	
CO₂排出削減量(a)-(b)			33.1kg		20.0kg		28.3kg	

電力量の考え方については以下のように定義する。

- ① A 手法の電力は電動工具及び、施設電力（照明、空調など）の使用電力量とした。
- ② B 手法の電力については電動工具及び、施設電力の他に破砕機などの設備電力量とした。
- ③ C 手法の電力については施設電力及び、破砕機などの設備電力量とした。

なお、リサイクル率の検証では明確に表現できなかったが、各製品とも C 手法での有価物は、それぞれの回収品目（鉄、銅など）において、A 手法及び B 手法の回収物に比べ、品位が悪く、評価（売却費）も相対的に低くなった。

このため、C 手法ではそれぞれの有価回収物の品位を向上させるため、機械選別後

の後工程に混合物から逆有価物（鉄中の銅分などの低品位原因物質）を除外するピッキング作業（人手による破砕片回収作業）を設けたが、図 3.5.3-1 及び図 3.5.3-2 のように細い銅線やガラス片が予想以上に多く生成し、しかも破砕片が細かいため人手によるピッキング作業による分別は困難である。

図 3.5.3-2 のサンプルはこれ以上、鉄と銅線などに細かく分別できないと判断したものである。厳密にはそれらの混合物を丁寧に分別回収した重量を CO₂ 換算対象にする必要があるが、今回はそこまでの実験は未実施である。

また、B 手法ではモーターなどの部品を回収したことによる CO₂ 削減効果は含まれていないため、CO₂ 削減量は C 手法より低く見積もられている。

このように、今回の CO₂ 排出量をより正確に求めるには回収した素材の純度を適確に計測することと、部品単位で回収したものについても素材構成を把握することが必要である。



図 3.5.3-1 B 手法で回収・手選別後の鉄



図 3.5.3-2 C 手法で回収・手選別後の鉄
(細い銅線が絡みつき、分別不可能)

3.5.4 作業量（時間・人数）評価について

(1) 点数、及び分解時間について

各手法（A～C 手法）にて、小型家電品の分解点数（品数）、及び分解時間を計測した結果を表 3.5.4-1 に示す。限られた台数、または不慣れ作業などにより、データにはばらつきや、信頼性に欠けるものがあるが、ある程度の傾向は掴めたと思われる。

表 3.5.4-1 分解点数・分解時間まとめ表

分類	製品名	単体重量	A手法(手分解)				B手法(簡易分解+破碎・選別)				C手法(原形破碎・選別)			
			前処理工程		破碎+選別時間	合計時間	前処理工程		破碎+選別時間	合計時間	前処理工程		破碎+選別時間	合計時間
			分解品数	分解時間			分解品数	分解時間			分解品数	分解時間		
小型家電	暖房器具	6.4kg	13品	27.0分/台		27.0分/台	9品	19.0分/台	0.3分/台	19.3分/台			0.4分/台	0.4分/台
	ガステーブル	7.0kg	10品	35.0分/台		35.0分/台	8品	25.0分/台	0.4分/台	25.4分/台			0.4分/台	0.4分/台
	掃除機	4.5kg	9品	20.0分/台		20.0分/台	7品	14.0分/台	0.2分/台	14.2分/台			0.3分/台	0.3分/台
	ビデオデッキ	4.8kg	9品	25.0分/台		25.0分/台	7品	20.0分/台	0.3分/台	20.3分/台			0.3分/台	0.3分/台
	電子レンジ	11.7kg	15品	35.0分/台		35.0分/台	11品	25.0分/台	0.6分/台	25.6分/台			0.7分/台	0.7分/台
	音響装置	7.4kg	12品	40.0分/台		40.0分/台	9品	28.0分/台	0.4分/台	28.4分/台			0.4分/台	0.4分/台
	炊飯器	2.6kg	11品	26.0分/台		26.0分/台	9品	18.0分/台	0.1分/台	18.1分/台			0.2分/台	0.2分/台
	扇風機	2.9kg	7品	16.0分/台		16.0分/台	7品	11.0分/台	0.2分/台	11.2分/台			0.2分/台	0.2分/台
	平均タイム				28.0分/台				20.3分/台				0.4分/台	

傾向としては A 手法から B 手法を比較した場合では、ほぼ全製品について分解点数の違いにより分解時間の削減効果が出ている。分解点数を約 3 割低減することで、処理時間は概ね 27% 減となった。このことは部品点数を少なくすることで分解時間が、短縮できることにも繋がるとみられ、今後のリサイクル配慮設計においては重要なポイントになると思われる。

小型家電品は定常作業で熟練度も増すことで分解時間を半減できる可能性がある。しかし、大型家電品の洗濯機やエアコンに比べ、小型家電品は構造や素材構成に大きな違いがないため、分解時間を大型家電品よりも短縮することは困難と思われる。逆に小型家電品は部品（ネジなど）が細かく、手間（時間）が掛かるといった弱点がある。

薄型 TV については、使用済み製品を確保できなかったため、今回実験が出来なかったが、プラズマ TV（新品 1 台）の分解性評価（ネジ個数比較のみ）について分析した。図 3.5.4-1 はブラウン管テレビとプラズマ TV の取り付けネジ個数を示したものである。

ネジ個数の大きな違いの理由としては、プラズマ TV は全ての取付け部品が従来（ブラウン管 TV）の横置きから縦置きとなり、構造（取付方法や部材強度）に大きな違いが生じたためと考えられる。この結果はプラズマ TV のリサイクル（分解時間）に影響を与えるものと予想される。

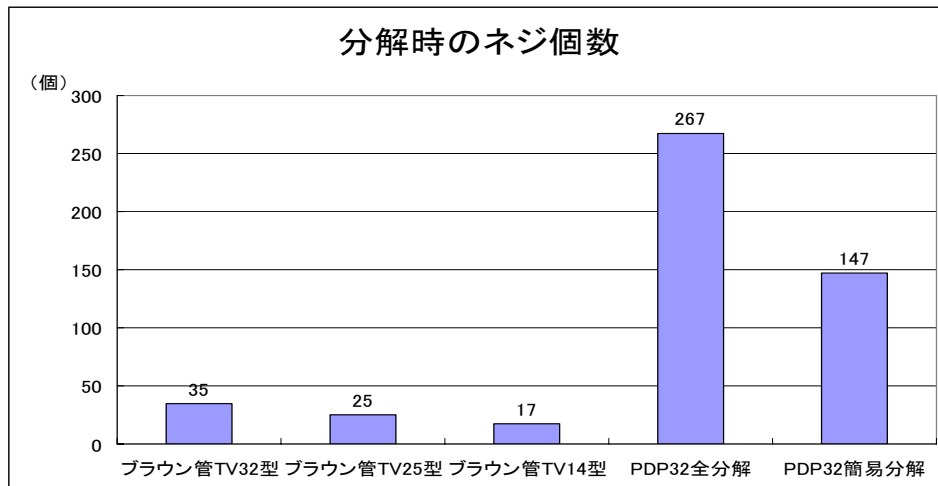


図 3.5.4-1 分解時のネジ個数比較

(2) 分解人数について

各手法について分解に要する人員（時間当たり 1 トン処理時）を表 3.5.4-2 にまとめ比較した。A 方式では 40 人以上の作業員を必要とするのに対し、B 方式は 28 人、C 方式は 16 人とそれぞれの手法によって作業員数に差が生じている。しかし A、B 方式については熟練度を向上させることで分解時間の大幅な短縮が見込めるため、実業作業を想定すれば、特に B 方式については、C 方式との差が僅差になることが予想される。

表 3.5.4-2 人員比較（東京エコ独自試算）

		前処理人員	後工程人員	合計
A手法	小型家電	44人	—	44人
B手法	小型家電	27人	1人	28人
C手法	小型家電	1人	15人	16人

※小型家電は 8 品目一括処理（リサイクル）にて試算

※前処理とは手分解で有価物や破砕不適合部品を回収する工程

※後工程とは破砕・選別工程にて選別を行った後に更に純度を高めるための手選別工程

(3) 経済性と環境影響化学物質の管理

表 3.5.4-2 に示したように、C 手法の後工程には 15 人程度を要したが、図 3.5.3-2 のような低品位の出荷物で妥協する場合は、この手選別で 5～10 人を削減でき、経済的には優位となる。しかし、環境影響化学物質の観点からは、旧型製品に見込まれる

鉛を含むプリント基板については破砕前の事前除去が望ましい。有価物の売却益、人件費、残渣中の環境影響化学物質濃度とのバランスで後工程のあり方が変わる。

3.6 取得データの評価と今後の課題

3.6.1 取得データの評価

(1) 必要時間と分解人員

A、B手法は時間（手間）が掛かるが、総人員数ではBとC手法では大きな差が生じないと思われる。特にB手法については、分解点数もAに比べ軽減されているため慣れや熟練度を増すことで、C手法との差も縮まるものと考えられる。

(2) リサイクル率

リサイクル率はC手法→B手法→A手法の順でA手法が最も高い結果であったが、小型家電品によっても素材構成に違いがあるため、この手順も一概ではない。現時点では逆有価物（ガラス部品）を含む電子レンジなど、今後、個別製品毎のリサイクル率を求めていく必要がある。

(3) CO₂ 排出量抑制効果

全体的には鉄、プラスチック、銅、アルミニウム、ガラスを基本とした素材を原料として再びマテリアルリサイクルした方が、原石（原油）から製造する場合よりもCO₂排出量が削減できる。

ただし、今後、どの方法が最もCO₂抑制に効果的な手段であるものかをさらに検討していく必要がある。

(4) 破砕ダストの分析

今回は有価物に着目したが、破砕行為により発生するその他の物質は、今後の調査項目としたい。

3.6.2 今後の課題

(1) 今回の実験ではA手法、B手法、C手法の3通りの実験を行ったが、A手法についてはあまりにも作業工数がかかり過ぎ、日本など人件費の高い先進国には不向きである。B手法、C手法のプロセスから見て、経済性と環境の両面から良いところを取

捨選択していく必要がある。

(2) 電子レンジなどに使われているガラス（強化ガラス）については、現在はリサイクルの用途がない。今後の課題である。（メーカーや業界主導でガラス製造業者との連携を高める必要がある。）

(3) 分解性試験は未実施に終わったが、プラズマ TV、液晶 TV は本体が大きく、持ちづらく、構造も複雑（ネジ個数、特殊な接合方法）なため、分解時の取り扱いが困難と予想される。

(4) 文献調査では薄型 TV には In（インジウム）などの希少金属が微量含まれていることが報告されているが、小型家電品にも若干の希少金属が確認された。それらの物質の特定方法や回収方法が今後の課題となる。

(5) 資源採掘から製造時までに排出される CO₂ 抑制については、リサイクルの効果があることを見い出した。今回は家電品構成素材の約 7 割に限定して算出したため、部品として回収した残る約 3 割についても、CO₂ 抑制効果をさらに評価していく必要がある。

3.7 まとめ

現代の家電製品は小型軽量化に伴い、構造が複雑化し、素材が多様化する傾向にあり、リサイクルする企業にとっては、理想と相反するものがある。今回は、入手可能な家電サンプル数、実験期間、費用、いずれも制約の多い中での実験となったため、数値の絶対値としての評価は難しい面があった。そのような状況の中、素材、部品を選別・回収することで、資源循環や CO₂ 排出量の抑制効果があることが判った。

しかし、それを人間の手で全て行うには経済性の観点で不利となる。また、機械式選別を選択しても、結局、環境影響化学物質管理の上では後工程（人手によるピッキング等）に人間の手が必要と予想される。人手をかければ、有価物の回収と環境影響化学物質の除去は可能であるが、それを経済性の観点も入れて、より実現可能なリサイクルプロセスを検討すべきと考える。

また、今後の資源循環型社会におけるリサイクルが如何なるものかを導き出すためには、製品設計者とリサイクルの現場との垣根を越えた議論が必要である。

< 補足説明資料 >

1. プラズマ TV のネジ個数調査実験

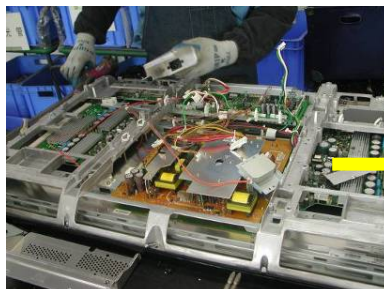
(工程 1) PDP の台座を外す作業



(工程 2) 本体背面カバーを外す作業



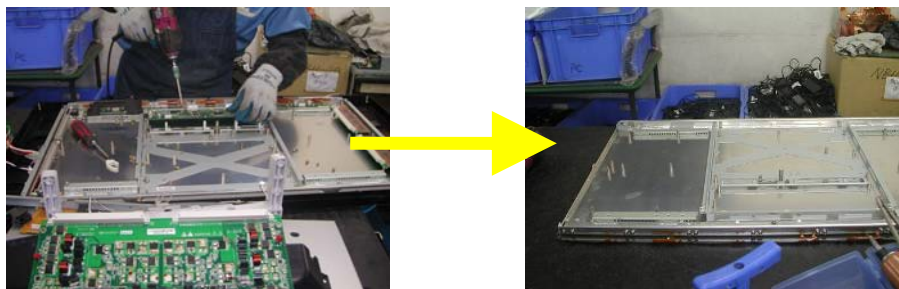
(工程 3) 内部フレームと基板外し



(工程 4) 基板取外し



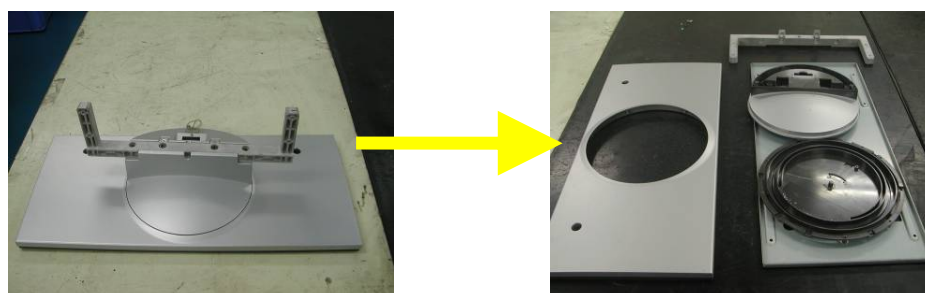
(工程 5) パネル裏面の付属部品外し



(工程 6) ガラス枠の分解、前面ガラスの取り出し



(工程 7) プラズマ TV 台座の分解



第4章 グローバル製品の資源循環・リサイクルモデル

4.1 背景、社会動向

使用済み製品、特に使用済み電気製品の資源循環・リサイクルをグローバルに見ると、数年前まではほとんどの国・地域で自治体により収集され、そのまま埋立られるなど、資源循環・リサイクルといえる取組みはされていなかった。

この状況に最初に具体的に対応したとされるのが、狭い国土から最終処分場の不足が指摘された日本であり、1991年に成立・施行した再生資源の利用の促進に関する法律（通称、リサイクル法）においてリサイクル性設計の推進などが促され、その後2001年の家電リサイクル法、リサイクル法を改正した資源の有効な利用の促進に関する法律（通称、改正リサイクル法）の施行などにより、自治体による処理が困難とされる「適正処理困難物」を中心に製造者責任による資源循環・リサイクルの仕組みの構築が義務化・推進されている。

これに対して、欧州では2005年に発効したWEEE指令により、使用済み電気製品98品目に対して回収リサイクルを実施することが求められ、欧州内各国において製造者の責任範囲を定め、それにしたがった活動が行なわれている。WEEE指令は、その検討の背景に電気製品等に含有する特定の化学物質の自然界への拡散を防ぐことに主眼を置いた議論がされ、またその要求項目に特定の化学物質を含む部品や、その他の特定ユニットの選別処理を求めるなど、再商品化率（日本固有の定義のリサイクル率）を要求の中心に据える日本の法律とは異なる部分がある。

また米国では、有害性リスクの観点からの取組みが特徴的であり、古くから存在する「有害・固形廃棄物法」において、有害とされる廃棄物についての適正処理の徹底が定められているが、現在も使用済み電気製品の資源循環・リサイクルに関して定めた連邦法は存在していない。ただし、カリフォルニア州を筆頭に多くの州で州法が成立・施行を始めており、例えばカリフォルニア州ではVideo Display Monitorを対象として、費用の消費者負担の仕組みによるリサイクルが、メイン州等では拡大生産者責任の考え方により、自治体が収集した使用済み電気製品を製造者責任により資源循環・リサイクルする規制が動き始め、製造事業者は各々対応を始めている。

このような規制の動きは、韓国、中国などアジア諸国にも波及しており、今後その傾向は世界的に広まるのが確実である。

また、2007年8月にソニー（株）が「全米で自社製品を無償回収する」旨の発表を

行い、実際に米国内で連携する大手廃棄物処理業者 Waste Management 社には、このスキームを利用するソニー製品が回収されており、その運用は既に始まっていることが確認できた。(http://news.sel.sony.com/en/press_room/corporate_news/release/31014.html)

このように、電気製品の製造事業者は、国・地域が定める規制や自主的なプログラムにより、販売した製品の資源循環・リサイクルをグローバルで推進する必要に迫られている。

しかし使用済み製品の資源循環・リサイクルは、国・地域毎に求める内容（例えば、回収率、リサイクル率、回収対象部位等）、国・地域毎に作業者の費用（＝人件費単価等）、さらには関連する規制等（例えば、大気、土壌、水質への排出の制約等）が異なり、それに伴って従来行なわれてきた資源循環・リサイクルが異なることが確認されている。

使用済み製品の資源循環・リサイクルを有効かつ効果的に進めるためには、実際のリサイクル現場にあったリサイクル性設計や、それを支援する仕組みが有効であると考えているが、その具体的な方法を検討する前段階として、第 2 章、第 3 章などにおける調査結果も踏まえ、国・地域毎に異なる「実際のリサイクル現場」の方法について、次節以降で整理する。

4.2 国内における資源循環・リサイクルフロー

本節では、日本国内における家電リサイクル、パソコンリサイクルなどの情報を整理し、日本国内における使用済み電気製品の資源循環・リサイクルフローを整理する。

日本の使用済み電気製品の資源循環・リサイクルフローの特徴は以下の通りである。

- ・ 高い埋立費（30,000～50,000¥/トンまたはm³といわれている）の発生を最小化するため、極力埋立が発生しない手法を採用。
- ・ シュレッダーダストの焼却は一部認められているが、ガス化熔融炉、セメントキルン、精錬所等に限定されており、埋立に対してコストメリットに乏しく、多くの場合シュレッダーダストは埋立られる。
- ・ 国内に高い精錬技術を持ち、鉄、非鉄金属、貴金属の回収を国内で実施可能。
- ・ 人件費が直接員を含め一般に高い。

これらの特徴を踏まえ、特にシュレッダーへの投入物の最小化を目的に、家電リサ

イクルやパソコンのリサイクルの第一次処理においては比較的多くの手解体作業が実施される。例えば家電リサイクル施設の一つである東京エコリサイクル（株）では、表 4.2-1 に挙げるような部品・ユニットを手解体している。

表 4.2-1 家電リサイクル施設における解体対象ユニットの例

対象製品	解体対象部品
エアコン	冷媒フロン、熱交換器、コンプレッサ、コンデンサ、モーター、吸音材、真鍮バルブ、トランス、プラスチック製キャビネット、冷凍機油、アルミ放熱板、銅管、基板、等
テレビ	テレビブラウン管、シャドウマスク、プリント基板、スピーカ、消磁コイル、偏向ヨーク、吸音材、電子銃、キャビネット、前面ガラス、防爆バンド、等
冷蔵庫	冷媒フロン、コンプレッサ、冷凍機油、板ガラス、コンデンサ、真空断熱材、ドアパッキン、野菜室プラスチックケース、銅管、基板、吸音材、等
洗濯機	洗濯槽、モーター、バラサ（塩水、コンクリートブロック）、吊り棒、コンデンサ、キャビネット蓋、キャビネットベース、ガラス、フランジ、排水ホース、基板、等
パソコン	キーボード、コード類、スピーカ、プリント基板、電源ユニット、電池、ドライブ類、アルミ放熱板、液晶パネル、筐体、ファン、等
液晶モニタ	液晶パネル、スピーカ、ケーブル類、筐体、等
CRT モニタ	ブラウン管、シャドウマスク、プリント基板、スピーカ、消磁コイル、偏向ヨーク、吸音材、電子銃、キャビネット、前面ガラス、防爆バンド、等
プリンター	プリント基板、ガラス、蛍光管、ケーブル類、カートリッジ、シャフト類、ファン、モーター、筐体部品、等
スキャナ	プリント基板、ガラス、蛍光管、ケーブル類、カートリッジ、シャフト類、ファン、モーター、鏡、発光体、筐体部品、等

東京エコリサイクル（株）Web サイトより

次に、上記各ユニットは一次処理業者内または適切な二次処理業者に出荷され、二次処理が行なわれる。具体的には以下のようなものが確認されている。

- ・ ブラウン管について、前面ガラスと背面ガラスの分離、シャドウマスク、蛍光体等の除去。
- ・ 冷蔵庫やエアコンのコンプレッサについて、強固な外装を切断し、銅を多く含有するコアの取り出し（環境新聞、2007/7/25）。
- ・ 各製品の電線類の被覆と銅を純度高く分離（日経産業新聞、2006/10/17）。

- ・ プリント基板から大形アルミ放熱板等の取り外し。
- ・ 熱交換器から銅とアルミを分離。

さらに一次処理業者においては、表 4.2-1 に例を示した解体対象物以外は、多くの場合破砕・粉砕され、その後「磁力選別機」「渦電流選別機」「風力選別機」「比重選別機」「振動篩い」「静電選別」等により、材質別（鉄、銅、アルミ、プラスチック（ポリウレタン、塩ビ、それ以外等）に選別される。

上記の工程を経た各回収物の多くは、表 4.2-2 に示すような業者で処理がされ、材料としての再生・リサイクルが行なわれる。

表 4.2-2 日本における選別材料・ユニットの処理方法と回収物

材料、ユニット	処理先	回収物
鉄(破砕・選別後を含む)	電炉	鉄
アルミ(破砕・選別後を含む)	アルミ鑄造炉	アルミ
銅(破砕・選別後を含む)	銅精錬	銅
モーター、コンプレッサコア		銅、金、銀、等
プリント基板		
パネルガラス	CRT メーカー(海外)	CRT
ファンネルガラス		
蛍光管	水銀精製業者	水銀
電池		
プラスチック (サイズ大単一素材)	再生プラスチック業者 (選別、粉砕、洗浄)	再生プラスチック
プラスチック(ウレタン)	焼却炉	—
プラスチック(上記以外)	高炉	—(コークス代替還元剤)
フロン	フロン処理業者	—(破壊処理)

東京エコリサイクル（株）／（株）ハイパーサイクルシステムズ
両社の Web サイトを参考に作成

このように金属については最終的には精錬業者に送られ、資源回収が行なわれるのが一般的である。またプラスチックについては、一部単一素材の大形の部品を対象に解体による回収が行なわれ、選別・破砕・洗浄などの工程を経て、再生プラスチックとして資源回収が行なわれる。それ以外のプラスチックについては、金属、塩化ビニ

ルなどを除去した後、高炉に送られ、還元剤として有効利用が図られる場合も多い。

これらの過程で、シュレッダー工程の後に設けられる集塵機等に回収されるシュレッダーダストが埋立されることになる。なお東京エコリサイクル(株)の例に拠れば、埋立量は入荷量の0.1%以下となっており、リサイクルによる最終処分場の延命効果が絶大であることが確認されている。

これらを整理すると、日本における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルは一般的には図4.2-1に示すように行なわれているといえる。

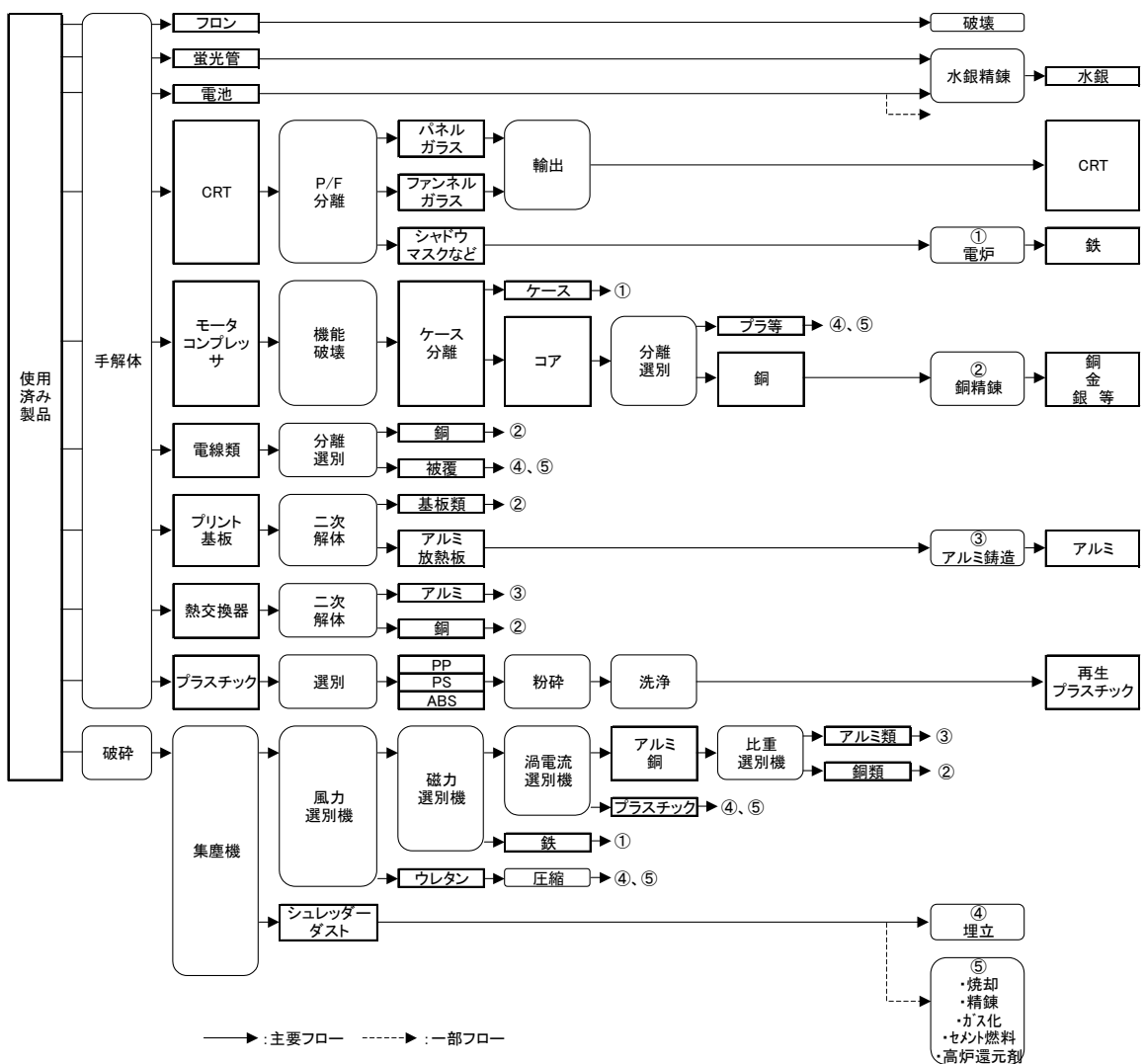


図 4.2-1 日本における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルフロー
(図中の○数字は右端の数字付プロセスに流れることを表す。)

なお、これらの過程において、例えば国内に製造工場がなくなった CRT 用ガラス、機能破壊を実施したコンプレッサなどの一部回収物は東南アジアを中心とした海外に輸出されている。

日本はシュレッダーダスト最小化を目指し、比較的多くの手解体作業を実施、プラスチックの材料リサイクルを実現、一部の先進リサイクル現場では埋立率 0.1%以下という極めて高い再資源化を実現しているが、高い人件費が大きなネックとなり、二次リサイクル以降の一部が海外で行なわれていることは確実である。

4.3 海外における資源循環・リサイクルフロー

4.3.1 欧州の場合

欧州のリサイクルについて、第 2 章の調査結果や文献を分析すると、その特徴は以下のように整理できる。

- ・ 一般に人件費が高い。
- ・ “粗破碎”といえる「製品の弱い部分を分離する技術」を多くのリサイクル業者が活用。
- ・ WEEE 指令 AnnexII（選択的解体対象リスト）が示すとおり、規制の面では環境影響化学物質等適正処理に対する意識が高い。
ただし、現場レベルでは上述の“粗破碎”後の回収でもこの目的は果たせるとの認識が強く、あくまで経済性を優先した方法が実践されている。
- ・ シュレッダーダストの直接埋立が禁止されている国が多く、多くの場合焼却を実施。
- ・ 欧州内 27 カ国において、各国で施行される WEEE 指令各国法の内容および運用に差異。
- ・ 欧州内 27 カ国において、既存の使用済み電気機器リサイクルの仕組み、リサイクル施設、保有するリサイクル技術、作業者の人件費などに大きな違い。
- ・ 欧州内には世界最大規模の精錬業者なども点在し、欧州内で閉じた金属回収も可能。



図 4.3.1-1 “粗破碎”装置の一例（QZ machine）

出典：TechRec Ireland Ltd Web サイト

これらの特徴を踏まえ、一次リサイクル業者においては、特に解体の人的費最小を意識し、“粗破碎”を活用した処理が行なわれている場合が多い（ただし、旧東欧諸国など人的費が比較的低い地域においては、手作業による解体が行なわれている場合もある）。

“粗破碎”後に人手により、モーター、プリント基板、電池、サイズの大きい金属片（銅、アルミ、ステンレス、真鍮、等）、サイズの大きなコンデンサ（電解コンデンサ等）、ハーネス類などを選別し、その後、破碎、「磁力選別機」「渦電流選別機」「風力選別機」「比重選別機」「振動篩い選別機」等により、材質別（鉄、銅、アルミ、プラスチック（ポリウレタン、塩ビ、それ以外等））に選別される。

上記の工程を経た各回収物の多くは、表 4.3.1-1 に示すような業者で処理がされ、材料としての再生・リサイクルが行なわれる。

表 4.3.1-1 欧州における選別材料・ユニットの処理方法と回収物

材料、ユニット	処理先	回収物
鉄(破碎・選別後を含む)	鉄精錬	鉄
アルミ(破碎・選別後を含む)	アルミ精錬	アルミ
銅(破碎・選別後を含む)	銅精錬	銅
モーター、コンプレッサコア プリント基板		銅、金、銀、等
パネルガラス ファンネルガラス	CRT メーカー(海外)	CRT
電池		
シュレッダーダスト	焼却	－

(処理業者ヒアリング等から作成)

これらを整理すると、欧州における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルは一般的には図 4.3.1-2 に示すように行なわれているといえる。

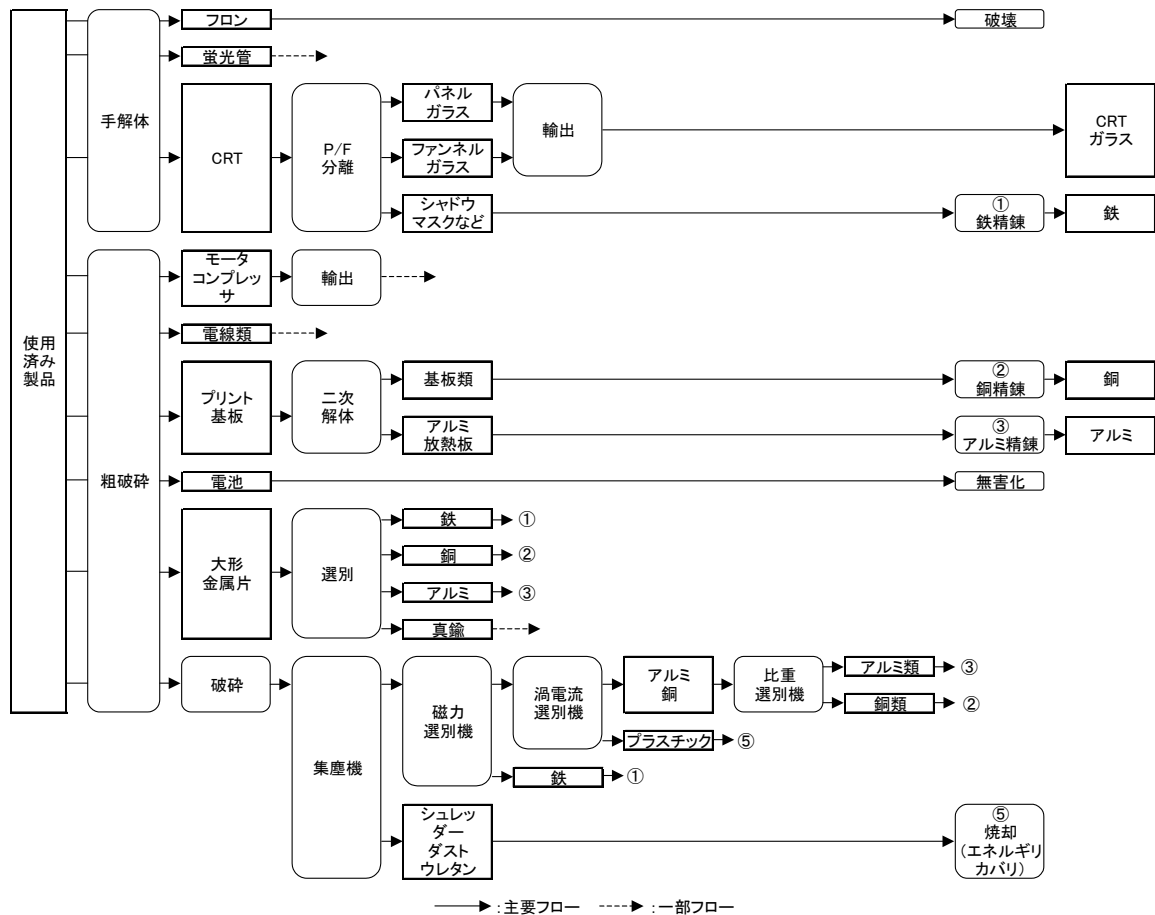


図 4.3.1-2 欧州における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルフロー
(図中の○数字は右端の数字付プロセスに流れることを表す。)

なお、これらの過程において、例えば CRT 用ガラス、モーター、プリント基板などの一部回収物は東南アジアを中心とした海外に輸出されている。高い人件費が大きなネックとなり、二次リサイクル以降の一部が海外で行なわれていることは確実である。

4.3.2 中国の場合

中国のリサイクルについて、第 2 章の調査結果や文献を分析すると、その特徴は以下のように整理できる。

- ・ 建屋、装置（コンベヤ、破砕機、排ガス・排水浄化装置）などに投資したリサイクル施設と、屋根もほとんどないような作業場で地面に座ったまま作業をするようなリサイクル業者に大別。
- ・ 業者を問わず、圧倒的に低い（400～800RMB／月、6000¥～12000¥／月、地域等によりさらに低い場合もある）人件費を有効に活用する手作業中心の作業を実施。
- ・ 中国国内に多くのリサイクル団地を持ち、各団地が「鉄」「非鉄金属」「プラスチック」「家電」などの特徴を持った運用。
- ・ 各リサイクル団地が連携し、極めて高い率の資源回収・リサイクルを実現。
- ・ （労働安全衛生に対する意識が低いと思われ）作業環境等への配慮が薄い。

中国の処理の特徴は安い人件費を活かした「徹底的な手作業による選別」である。例えば使用済み家電製品からあらゆるユニットを取り外すだけに及ばず、取り外したユニットもさらに手作業で解体・分離される。例えばモーターなどはケースを壊してコアを取り出し、巻線とコアの分離も手作業により行なわれる。この思想は小形のトランスなどになっても変わるものではなく、ハンマ等を使い、1つずつ筐体部分とコア部分、コア部分も巻線とコアをさらに分離する作業が施される。またプリント基板からは大き目の部品（サイリスタなど）は手作業で外し、それ以外の部品もはんだを溶かして取り外し、さらに種類別に手作業で分別するような作業が行なわれている。また、プラスチックについても、サイズの大きいプラスチック片をリサイクルするだけでなく、小さく破砕したプラスチックについても、重液を用いた比重分離により選別を行なった後、人手により色別の選別も行なうことで、あらゆるプラスチックの材料リサイクルを実現している。

これらを整理すると、中国における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルは一般的には図 4.3.2-1 に示すように行なわれているといえる。

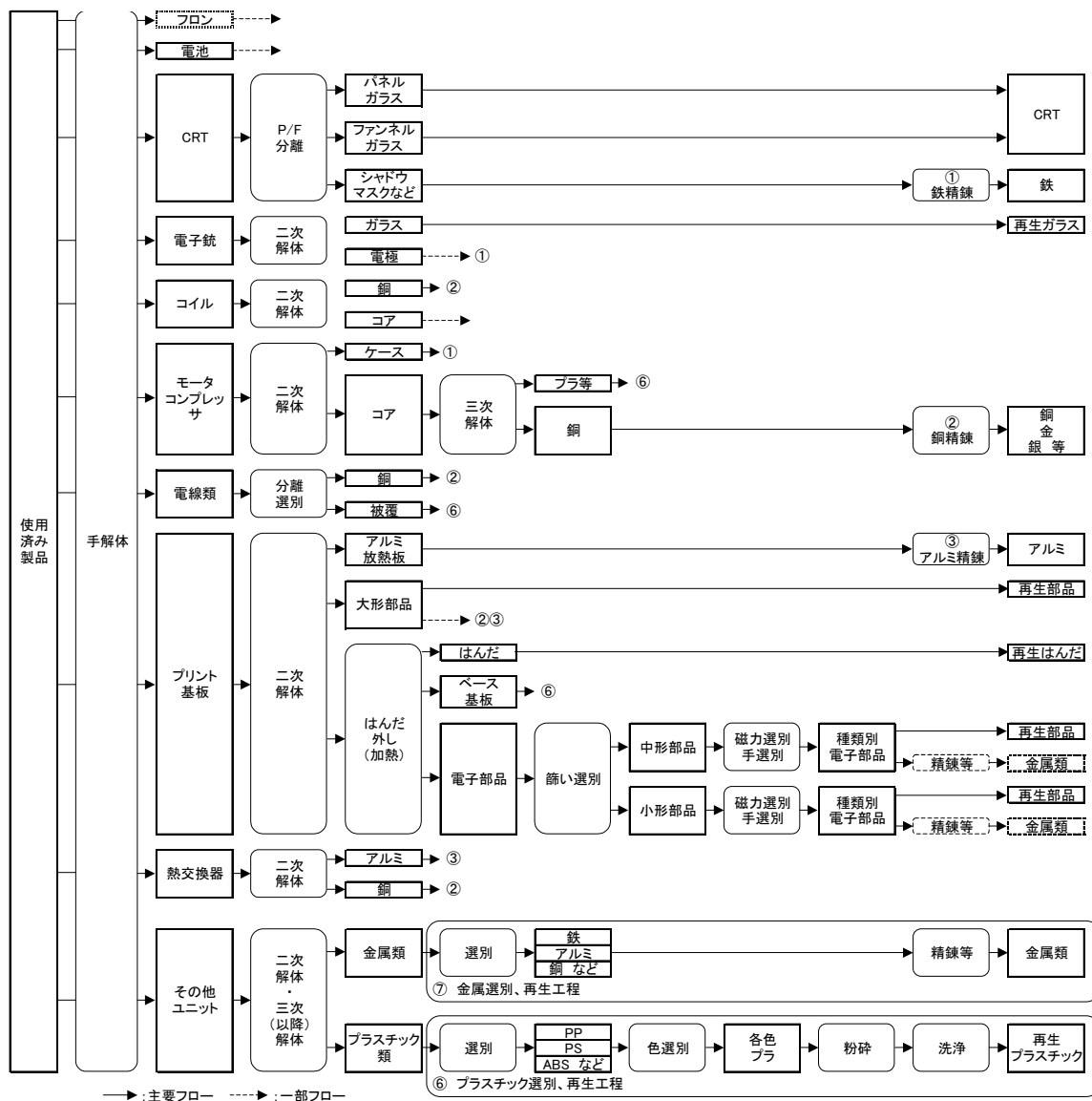


図 4.3.2-1 中国における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルフロー
(図中の○数字は右端の数字付プロセスに流れることを表す。)

中国のリサイクルの大きな課題は、以下のようなものがあると考える。

- (1) 精錬技術は未発達なため、例えば選別したプリント基板上の部品等から、有効な資源回収が十分には行なえていない可能性が否定できない。
- (2) 労働安全衛生への意識不足から、作業者に劣悪な環境を強いる。
- (3) 水・大気・土壌への汚染への意識不足から、汚水、排ガス等の処理の意識が不十分。

4.3.3 米国の場合

米国のリサイクルについて、第 2 章の調査結果や文献を分析すると、その特徴は以下のように整理できる。

- ・ 連邦法はないが、多くの使用済み電気製品の一次リサイクル業者が存在。
- ・ 手解体のみのリサイクル業者と、手解体と破碎・選別を組み合わせる業者に大別。
- ・ いずれの業者においても、再使用可能部品、環境影響化学物質含有部品、破碎困難部品を中心に手解体作業を積極的に実施。
- ・ 各業者で行なわれる手解体作業は、ハンマ、ドライバ程度を使った簡便なものが大半。
- ・ 手解体、機械選別いずれの回収物においても、その出荷先の多くは米国外。特に金属系はカナダ、ベルギー、スウェーデンの精錬業者、プラスチックは中国を中心としたアジア、CRT のガラスは東南アジア、ブラジルなどに出荷。
- ・ 米国内は精錬業が衰退しており、国内での金属再生はほぼ不可能な状況。
- ・ 人件費は現場作業レベルでは比較的安い労働者の確保が可能。
- ・ 使用済み製品についてもその管理レベルは高く、多くのリサイクル業者でトレースシステムを導入。
- ・ リサイクル業者においても IT サポートを進めているところもあり、現場管理から作業指示までを実施。

ここに示す米国の使用済み製品リサイクルの特徴は、米国の法律において「有害廃棄物」とされる例えば充電電池付プリント基板などはリサイクルを行なうことができず、埋立が義務化されることに大きな理由があると思われる。米国のリサイクル業者は、そのままでは製品全体が有害廃棄物になってしまうユニットを製品から取り出し、選別（例えばプリント基板から充電式電池を外す）、その選別品を国外に輸出して資源循環・リサイクルするという大きな流れを作っているといえる。これは米国ではリサイクル施設を持たずに、アジアや欧州、カナダへの輸出を専門に扱う「商社機能」のみを持つリサイクル業者（と彼らは称する）が多数居ることからも把握できる。

これらを整理すると、米国における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルは一般的には図 4.3.3-1 に示すように行なわれているといえる。

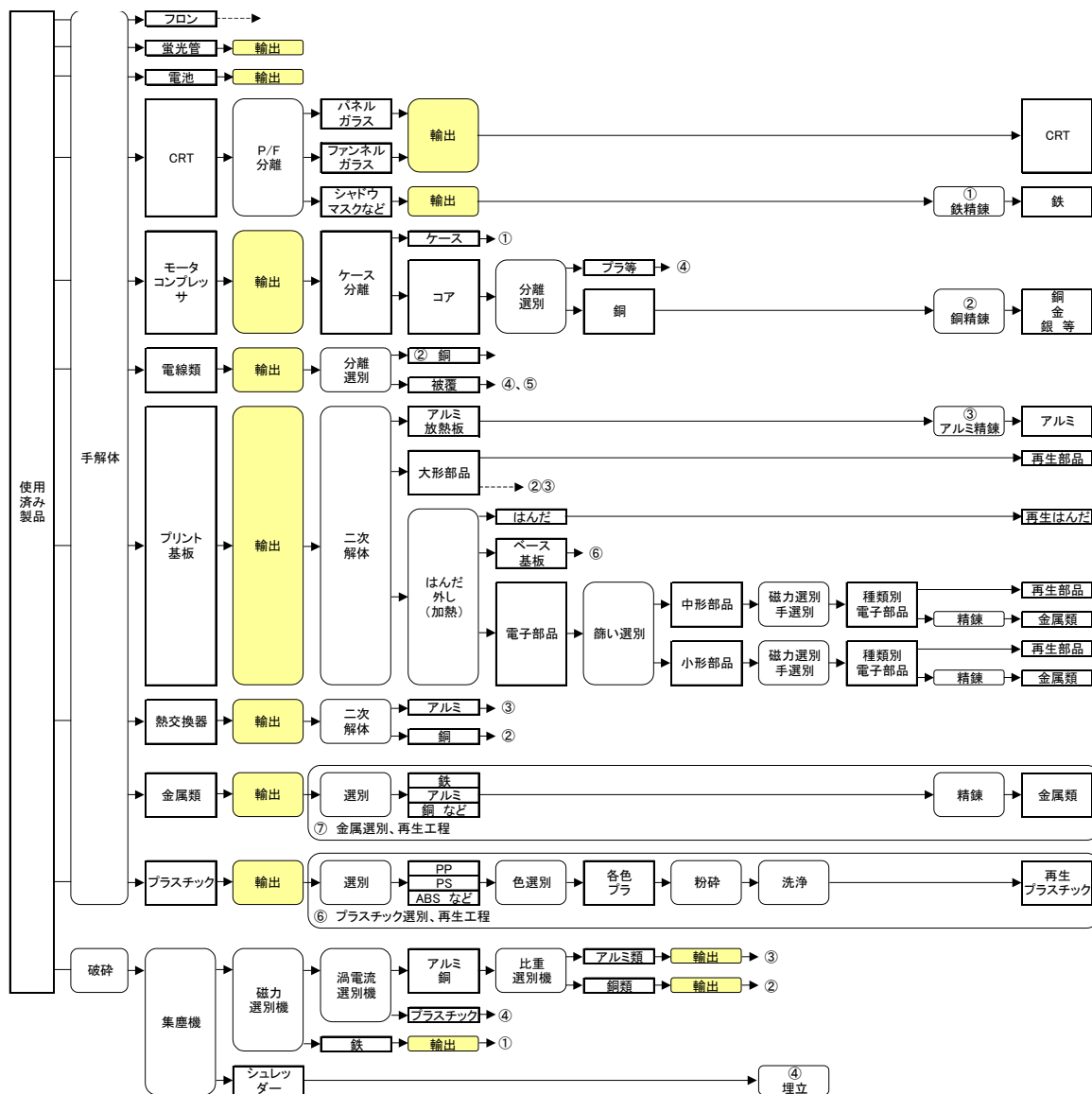


図 4.3.3-1 米国における使用済み電気製品の資源回収・リサイクルフロー
 (図中の○数字は右端の数字付プロセスに流れることを表す。)

米国には、スーパーファンド法（俗称、正式名称：Comprehensive Environmental Response、Compensation and Liability Act、略称：CERLA）と呼ばれる有害物質による汚染の浄化を、有害物質に関与した全ての潜在的責任当事者が永久に追うという規制により、結果として精錬業が衰退、国内での金属資源回収が事実上不可能という大きな問題がある。ただし、米国環境省の考え方として、米国内の使用済み製品およ

びその一次・二次処理後の回収物が、OECD 諸国に輸出されて処理されることに対しては、何ら制約を掛けていない。そのため金属資源などはカナダ、欧州等に輸出され、資源回収されていることが実情である。

また、米国でもプラスチックや先進国において需要がほぼなくなった CRT ガラスなどは中国、ベトナム、ブラジルなどに流れている状況である。

4.4 国際資源循環における資源循環社会像

このように見ると、埋立を最小化するための工程を持つ日本、環境汚染の小さい処理を目指す欧州、徹底的な手作業による最大限の資源回収を目指す中国、国内での再資源化が事実上困難な米国と、国・地域により資源循環・リサイクルの考え方、方法はまったく異なる。

現在、各国・地域は、自らのエリアが求める要件に沿った処理を進めているが、規制のグローバル化、資源価格の高騰、有用資源の偏在・資源ナショナリズムに端を発する調達困難の発生など、グローバル化し、高機能化する製品を持つ製造業が必要となる取組みは、今後複雑になる。

各国・地域に有効に対応可能な資源循環・リサイクルのための施策、例えばリサイクル性設計や処理支援技術などの開発が不可欠である。

第 5 章 グローバル製品の低環境負荷・易資源循環設計のための技術課題

これまでの議論から、グローバル製品の低環境負荷、易資源循環設計に関する課題は、(1) 循環システムの設計に関する課題、(2) 製品設計に関する課題、および、(3) 具体的なリサイクル技術に大別できる。さらに、それぞれの課題 (1) ~ (3) には、技術的な課題と法制度、経済社会システムに主として起因する課題に大別できる。本章では、本報告書で明らかになった課題のうち、主として技術的要因が大きい課題について整理し、その解決に向けて、技術開発の方向性について考察する。

5.1 課題 (1) : 循環システムの設計に関する課題

大きく、使用済み製品をどのように循環させるか、その循環システムをどのように設計するかという課題である。今回の調査で明確に示すことができた点は、各地域の循環システムには極めて強い地域性、すなわち、法制度、経済状況、社会状況などの相違が強く影響を与えていることである。その結果、第 4 章にまとめられているように、埋立を最小化するための工程を持つ日本、環境汚染の小さい処理を目指し、人件費の問題から手解体を優先しない欧州、徹底的な手作業による最大限の資源回収を目指す中国、国内での再資源化が事実上困難な米国、というように、異なるコンセプトに基づく循環システムが構築されている（これをここでは、循環シナリオと呼ぶ）。

一方で、我が国を除く諸外国では、リサイクル業者のグローバル化、寡占化も進んでいるが、これが直ちに、グローバル循環（多国間に跨る垂直分業を包含するリサイクルシステム）に結びついている訳ではなさそうである。すなわち、米国におけるグローバル循環の普及は、スーパーファンド法による精錬業者の衰退という要因を加味して考えるべきであり、中国における諸外国からのリサイクル可能製品・素材の受け入れも、中国の急速な経済成長による極端な素材不足と法制度の未整備状態の要因を加味して考えるべきであり、これらの状況から、使用済み製品のグローバル循環が拡大して行くとは必ずしも言えない。むしろ重要なことは、現状のグローバル循環は経済原則と法の盲点を突いた側面が多分にあり、環境影響の面から適切な循環が構築されているとは言えない点である。

今後は、効率性を求めたグローバル循環化の流れと、(希少資源を含めた)資源確保、国レベルでの使用者責任としての使用国処理、環境影響最小化などを目的とした政策的なローカルリサイクルの間で種々の試行錯誤が続くと考えられ、リサイクルを中心とした循環に限っても、当面は、シナリオが世界的に共通化されるのではなく、地域

特性に根ざした様々に異なるシナリオが維持されると考えられる。むしろ、ライフサイクルの明示化、トレーサビリティの確保というレベルにおいて世界レベルでレベル向上が図られると考えられる。

この意味で、循環システムの設計における技術課題として、トレーサビリティの確保を目的としたトータルサプライチェーン管理と、ライフサイクルを通じたステークホルダー間での情報流通の二つがあげられる。

トレーサビリティの確保に関して言えば、製品カテゴリー（CRTテレビ、冷蔵庫等）単位での EPR（Extended Producer Responsibility、拡大生産者責任）から、個別製造業者単位での IPR（Individual Product Responsibility、個々の製品に対する責任）、個体管理というように徐々に厳密化する方向で進むのは間違いない。米国におけるグローバルなリサイクル業者における高度なトレーサビリティ確保の例が見られたが、一般的には、トレーサビリティ確保のための管理コストの増大とそれに対する社会的信用を含めた経済的、環境負荷削減などの効果の関係性を客観的に評価することが課題として残されている。また、いずれの地域シナリオにおいても回収率向上は重要な課題であり、この意味でも、リサイクル業者に入ってからからのトレーサビリティのみならず、製品が廃棄する前の段階、もしくは、製品販売時点からのトレーサビリティ確保が大きな課題である。これは、使用済み製品の約 50%が家電リサイクル・ルートに乗っておらず、また、家電リサイクル法の下での不適切な製品リユースが問題となっている我が国においても重大な問題である。グローバル製品においては特に、トレーサビリティを確保する仕組みを製品にエンベッドする方策を今から検討すべき必要性が高い。

ライフサイクルを通じたステークホルダー間での情報流通技術については、本報告でも再三指摘しているように、リサイクル業者から、製造業者の有害物（バッテリー、蛍光管）、有価物、含有素材に関する情報提供のニーズは非常に強い。しかしながら、基盤的な情報流通技術、データベース技術に関しては大きな技術開発要素は多くなく、製造業者とリサイクル業者に代表される逆工程の種々のステークホルダーの間の協業の仕組みを構築することが課題である。技術的な課題としては、使用済み製品、部品、部材と情報を対応づける技術、および、ローテク機器が中心である逆工程において、必要な時に必要な情報を迅速に提示できる技術が挙げられる。

5.2 課題（2）：製品設計に関する課題

リユース、リサイクル、適正処理を含めて、使用済み製品を再資源化しやすくする

ように、製品を設計する技術課題である。

本報告書においても多数の製品設計に対するニーズが挙げられている。これらは例えば、易分解化、有害物質の易除去、貴金属が一箇所に集まる製品構造、不要材料の選別、一体としてリサイクルできる材料統一化、材質表示、複合部材の手解体・易解体性などである。これらの課題に対して、要素設計技術としては既にあると見ることが妥当であろう。すなわち、分解性設計技術、リサイクル性設計技術、モジュール化設計技術、材料統一化設計、材質表示設計などである¹⁾。むしろ問題はこれら要素設計技術の適用方法にあり、第4章にまとめられた地域で異なる循環シナリオを考慮していないこと、設計者が教条主義的な製品アセスメントマニュアルに従いこれらの要素設計技術を適用しており、現実と対応していないことに問題がある。すなわち、同じ解体性設計をとっても、有価物のリユースのための解体性設計、有害物質を除去するための解体性設計、有価素材を回収するための解体性設計は、技術としては同じでも、得られる製品形態は大きく異なる。

この問題に対しては、製品開発段階での、製造業者、リサイクル業者、精錬業者等の対話、もしくは各プロセスを明確化し、各シナリオに適した製品設計とリバースロジスティックス、処理プロセスの設計、計画を行う、まさに「ライフサイクル設計」¹⁾の必要性が明確化されたと言って良い。

特に、グローバル製品において固有の問題となるのは、これら地域で異なる循環シナリオに合わせて個別対応の再資源化設計を行うのか、どの循環シナリオにも適応可能なユニバーサルな再資源化設計を行うのかという点に戦略的な判断を必要とする。すなわち、このような戦略的判断を具体的な製品設計、製品設計技術に落とし込むシステム化技術が大きな課題として挙げられる。この問題に対しては、各地域の実情に合わせた循環シナリオを常に収集、アップデートし、各地域で適用可能な処理技術のデータベースを構築し、この情報を用いて、計算機上で設計対象製品のデジタル再資源化シミュレーションを行い、再資源化設計の効果を定量的に評価するシステムの構築を提案する。

米国で注目を集めている「リユース設計」についても問題の構造は同様である。すなわち、リユース設計とは、モジュール化設計、分解性設計、劣化予測技術、劣化不感化設計、易洗浄・検査設計などの要素設計技術の総合化設計課題であり、適切なリユースシナリオの設定とそれに対応した製品設計、プロセス設計が鍵を握っている。ただし、リユースはリサイクルよりも一般に高付加価値であり、環境負荷削減効果も大きいので、経済合理性がより高く、この意味で実現可能性が高い。ただし、リユ-

ス品の発展途上国への流出は、その後のトレーサビリティ確保を困難にするので、この点で注意が必要である。いずれにせよ、リユース、リサイクルを含めた設計技術において我が国の先進性を維持、確保するためにも、ライフサイクル設計技術の向上が重要な課題である。

再資源化設計の非技術的な課題としては、以下の点が挙げられる。

- ・ 技術的には可能であっても、その設計技術を適用することにより発生するオーバーヘッドコストや、全体性能への影響のトレードオフ問題。
- ・ 製品開発時期と製品が使用済みになる時期の時間的な遅れに起因する問題。
- ・ 製造業者がこれら再資源化設計を行う場合に、それが商品選択理由などの製品競争力に結びつくか、設計を行った投資が再資源化時点で製造業者に還元される仕組みの構築。

5.3 課題（3）：具体的なリサイクル技術に関する課題

破砕技術、金属とプラスチックの分離技術などの具体的なリサイクル技術の課題である。課題（3）については、基本的な技術の開発は既に世の中で行われており、解決できない要素技術（例えば、プラスチック材料の素材毎の選別技術）に関する共通認識もあると整理できる。この意味で、引き続き着実な技術開発は必要であるものの、その技術の導入に対する経済合理性（技術導入がコスト的に見合わない）が主要な課題であると考えられる。具体的には以下の点が挙げられる。

- ・ 希少金属の回収、リサイクル技術の開発。
- ・ FPD に代表される、高機能な新製品に対する適切な再資源化処理技術の問題。この点は、要素技術の問題もあるが、新たなカテゴリーの製品に対して、要素技術を組み合わせてプロセス設計を迅速に行う手法も大きな課題であると考えられる。

リサイクル技術に関して重要な課題は、リサイクル工程の環境影響と経済性の定量的評価技術である。特に、手解体の有無による得られるリサイクル材料の質、有害物質の回収率、それに伴う経済性、および、CO₂ 排出削減効果の評価は、より一層の具体化が必要である。これにより例えば、我が国の家電リサイクル法の下でのリサイクルプロセスの優位性、自己循環プラスチックの効果の定量的な評価が可能になる。

5.4 まとめ

我が国の家電リサイクル法の下で、製造業者がライフサイクル全体に責任を持つ仕

組みは、IPR の明確化、リサイクル工程への設計情報の流通、また逆に、リサイクル工程の経験の製品設計への反映、リサイクル材の生産での活用（自己循環など）といった面でメリットが多く、循環生産に向けた一つの理想的な形態であるが、世界的な視野で見れば例外的な状況である。例えば、今回の調査においても日本以外では埋め立て処理の話が殆ど話題に上っていない、我が国には国内に有力な家電製造業者がひしめいているといった特殊事情に起因してこのような状況になったと考えられる。技術的には、個々の要素技術、例えば、リサイクル性を高めるための易分解設計技術、は既に存在していると考えられるが、それらの技術の普及、日々の設計開発活動における十分な活用に課題があり、さらには、これら要素技術を有効に活用するためのシステム化技術が欠けていると考えられる。この意味で、この特殊なリサイクル・システムもさらに高度化できる余地が大きいと考えられる。特に重要な課題として、5.2 で挙げたリサイクルプロセスの評価技術、リユースを含めた戦略的な循環生産を具体的な製品設計に落とし込むライフサイクル設計技術が挙げられる。

日本の製造業が製造するグローバル製品の拡大生産者責任をこれまで以上に問われる状況になった場合に、これが、協業・連携によりライフサイクルマネジメントを行う仕組みに拡散するときに、どのような形態が考えられるか。特に、リサイクルを手広く扱うリサイクル・スキームの枠組の中では、IPR の実施が本質的に困難なのではないかなど、グローバル製品の循環シナリオについての合理的な検討がますます重要になったことが明らかになった。特に、ゴミ処理の高度化としてのリサイクルから、資源・素材・部品の最上流としての循環生産というコンセプトを我が国として発信し続けることが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 木村文彦 他(編著): インバース・マニファクチャリング ハンドブック, 丸善, 2004.

第 6 章 総括

使用済み電気、電子機器の処理については、我が国の家電リサイクル法、欧州の WEEE 指令等、各国で規制が導入されつつあり、効果的なリサイクルの実現がますます重要な課題となっている。また、最近の BRICs 等の急速な経済発展にともない、資源不足の問題が顕在化しており、その面でもリサイクルの重要性は高まっている。

一方、デジタル家電、OA 機器、自動車などの製品は、市場のグローバル化が急速に進行しており、生産、使用、再使用、使用済み製品の処理といったライフサイクルの各段階でのプロセスが異なった国で実施されるという状況がある。

このようなグローバル製品の資源循環に関しては、技術的には、易資源循環製品設計とリサイクルとを統合させた設計・リサイクル技術の開発、およびグローバルな資源循環を可能にする循環チェーンの構築技術の開発の問題として捉えることができる。

本調査研究が主に取り上げている前者の課題は、以前よりそれなりには検討されてきた問題であるが、それらは、例えば日本であれば日本における法規制、回収メカニズム、リサイクル施設等を暗黙の前提としている。ところが、実際には、世界各地でこれらの前提条件が異なっており、それに基づいたリサイクル技術や易資源循環製品設計技術に対する基本的な考え方もそれぞれ違っていると考えられる。このような違いは、グローバル製品の易資源循環製品設計の面からは大きな問題となってくる。

本調査研究においては、以上のような視点から、世界各地のリサイクルの現状を調査し、それぞれの特徴をモデルとしてまとめた。また、これらのリサイクル方法の違いが資源回収効率、環境負荷の面からどのように異なるのかを見るために家電製品 14 種類 136 台を用いたリサイクル実験を行った。これらの研究より、世界各地のリサイクルの考え方や技術に明らかな違いがあることが分かった。

今回明らかとなった違いは、各地域でのリサイクルのねらい、設備や回収ネットワーク、あるいは、法規制、社会制度といった多様な要因に基づくと考えられる。今後、我が国がグローバル製品を世界各地に供給していく上で、これらの違いに適切に対応していくことは非常に重要である。そのためには、今回の調査で明らかになった違いに関してさらに詳細な評価が必要と考えられる。すなわち、今回の調査では、リサイクルのモデル化については、主に各国のリサイクルプラントにおける処理プロセスを対象に行ったが、これらを、法規制、回収ネットワークなどを含めたリサイクルシステム全体のモデルに拡張する必要があると、さらにより広範で詳細な調査を実施する必要があると考えられる。

また、リサイクル実験に関しては、今回行ったような回収した材料の量的な評価に加えて、質、価値などの面からの評価も必要となる。このような評価を行うためには、その前提として、リサイクルの本来の目的である資源・環境問題の軽減の評価に明示的に繋がる評価の体系化を図ることが重要である。

さらに、以上のような、モデルと評価体系に基づいて、各地域のリサイクル特性についてのデータベースを構築し、それに基づいたリサイクルプロセスの最適化の方法論を確立するとともに、それらと整合したグローバル製品の易資源循環製品設計の方法論を確立していくことが必要である。

現在の資源・環境問題の逼迫した状況から考えて、このようなリサイクルの評価体系とプロセスの最適化、および易資源循環製品設計技術の検討は緊急の課題であるが、このような研究は一企業あるいは一国でできることではなく、その意味でも、本研究の成果に基づいた早急な研究体制の確立が必要と考えられる。

最後に、本調査研究を進めるにあたりご協力をいただいた方々に深く感謝の意を表するとともに、本調査研究の成果が今後のグローバル製品の易資源循環製品設計および循環技術の確立に資することを強く期待する次第である。

執筆者

第1章 (財)製造科学技術センター 八木 淳一

第2章

2.1.1 (財)製造科学技術センター 八木 淳一

2.1.2 (株)日立製作所 熊澤 孝明

2.1.3 東京大学 中谷 隼 (平尾雅彦)

2.1.4 東京エコリサイクル(株) 根本 武

2.2 (財)製造科学技術センター 八木 淳一

第3章 東京エコリサイクル(株) 馬場 研二

第4章 (株)日立製作所 弘重 雄三

第5章 大阪大学 梅田 靖

第6章 早稲田大学 高田 祥三

非 売 品
禁無断転載

平 成 1 9 年 度
グローバル製品の資源循環における
低環境負荷・易資源循環製品設計技術
に関する調査研究報告書

発 行 平成20年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目5番8号
電 話 03-3434-5384

財団法人 製造科学技術センター
〒105-0001
東京都港区虎ノ門三丁目11番15号
電 話 03-5733-3331