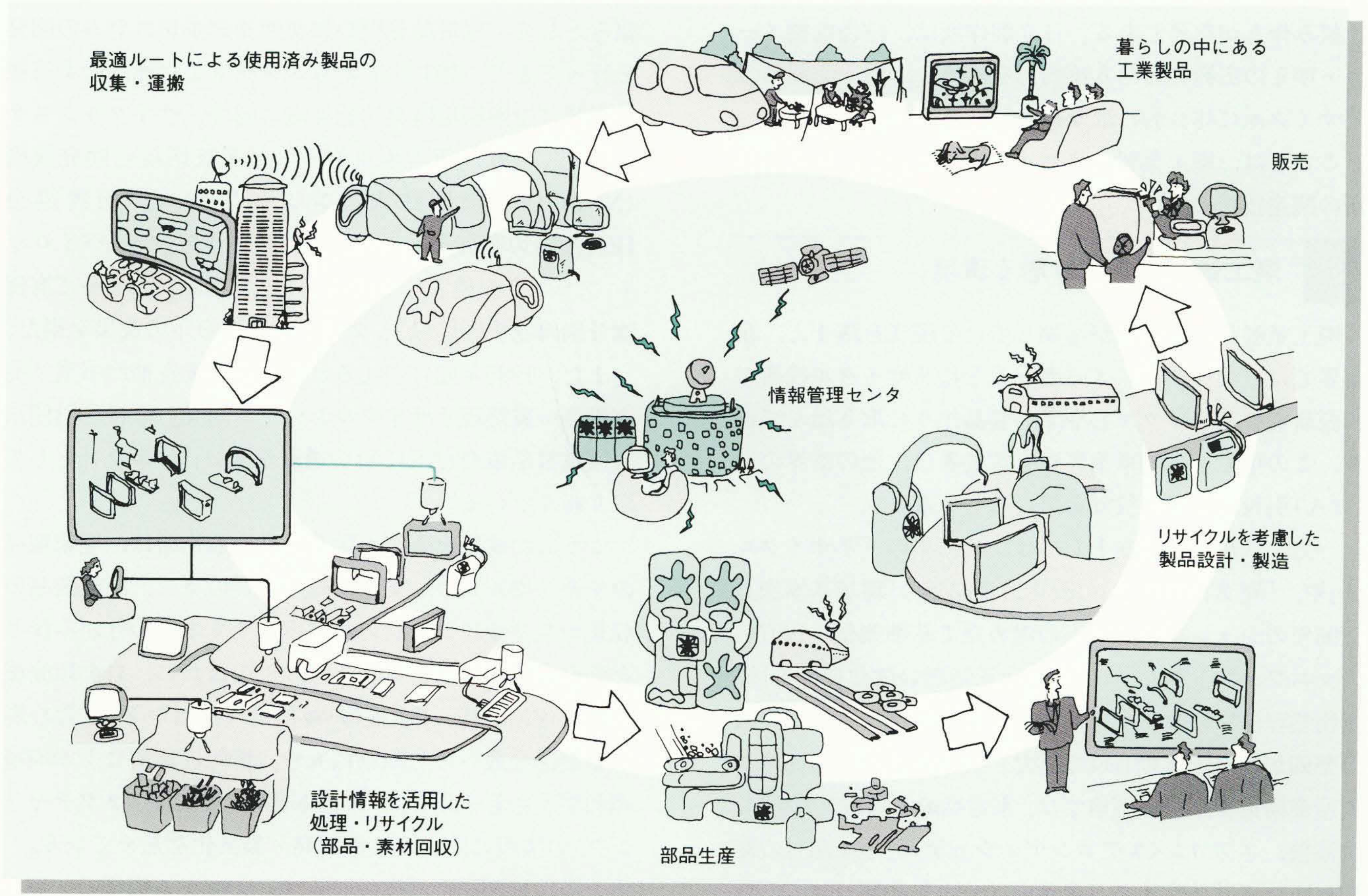


廃工業製品のリサイクル

Recycling Systems for Waste Industrial Products

福本千尋 Chihiro Fukumoto 林 政克 Masakatsu Hayashi
喜多 修 Osamu Kita 吉田卓弥 Takuya Yoshida



工業製品のライフサイクル

きたるべき循環型社会では、工業製品はそれまでの製造→使用→廃棄という一方通行の流れをたどるのではなく、部品、製品、素材と姿を変えながら循環ようになる。処理・リサイクル工程は、新しい製品を製造するための資材調達工程に融合されていく。工業製品の一生を巡る各段階は、情報システムを通じて調整、統合される。

近年、幾つかの自治体で、廃棄物の最終処分場建設の是非を問う住民投票が実施されたり、廃棄物の不法投棄問題がマスコミで大々的に報道されるなど、暮らしの身近にある環境問題に対する関心が高まっている。一方、1997年12月に開催された気候変動枠組み条約第3回締約国会議(COP3)で、グローバルな視点からとらえた地球環境の変動に関するデータが公開され、国際的な合意形成が図られるなど、循環型社会システムを確立して持続可能な発展を目指す動きは、いよいよ本格化している。こうした中で、廃家電品の処理について「特定家庭用機器再商品化法」が1998年6月に公布されるなど、トータルな意

味での「適正処理・リサイクル」が強く求められている。

日立製作所は、従来の家電品リサイクルの取組みの中で培った技術に加え、対象物のセンシング(検出)と設計情報を活用した自動認識仕分け技術、銅やアルミなどの金属を高度に選別する金属選別技術、プラスチック選別技術、基板処理技術、環境負荷性評価システム、環境情報システムなどを開発し、広範な廃工業製品に対してそれぞれの性状や立地条件に応じた総合リサイクルシステムの開発・提案を行っている。また1998年2月、社内に「リサイクルシステム委員会」を新設するなど、廃家電品リサイクルシステムの実現に向けた検討を進めている。

1 はじめに

近年、廃工業製品の排出量が増加し、廃棄物の最終処分場不足の問題や、資源の有効活用の観点から、廃棄物のリサイクルが社会的な要求となっている。環境汚染物質の適正処理(無害化)に対する要請も強く、技術開発、仕組み作りが急務である。日立製作所は、総合電機メーカーゆえの広範にわたる技術力を結集し、廃工業製品のリサイクルに総合的に取り組んでいる。

ここでは、廃工業製品リサイクルの動向と、日立製作所の関連技術について述べる。

2 廃工業製品を取り巻く環境

廃工業製品の排出量が増加している現状を踏まえ、産業界では、業界団体、メーカーごとにリサイクル技術の実証研究やリサイクルしやすい製品作りに取り組んでいる。この中でも自動車業界や家電業界は、他の業界の牽(けん)引役としての役割を果たしている。

一方、法規制の動向としては、1991年の「リサイクル法」や、「廃棄物処理法」の改正、1993年の「環境基本法」、1996年のシュレッダダストの埋め立て基準強化、1997年のマニフェスト制などにより、適正処理の強化を図る「廃棄物処理法」の改正など、循環型社会の実現に向けた法の整備が着々と進められてきた。1997年6月の通商産業省産業構造審議会の答申では、家電品の冷蔵庫、テレビ、洗濯機、エアコン(エアコンディショナー)の4品目の処理について、「リサイクル実施のメーカー義務づけ」と「費用の消費者負担」が明確に打ち出され、厚生省生活環境審議会も、費用負担のあり方など一部を除いて、基本的にこれに同調した報告書をまとめた。これを受けて、1998年6月に「特定家庭用機器再商品化法」が公布されている。また、環境庁内の「成層圏オゾン層保護に関する検討会排出抑制分科会」の答申が1997年8月に報告され、政府は産業界と共同で、費用負担を消費者に求めたうえで特定フロンの回収を始めることとなった。まずカーエアコンのフロンの回収から着手し、将来的には冷蔵庫、エアコンなどの家電品に対しても適用を拡大するとしている。

また、海外に目を転じれば、メーカーに環境負荷の少ないもの作りを求める「生産者責任」の概念を示したドイツの循環経済・廃棄物法(1994年制定)など、メーカー主導によるトータルな意味での適正処理・リサイクルを求める動きは、先進国に共通するものとなっている。

3 廃工業製品リサイクルに関する日立製作所の取組み

日立製作所は、「環境汚染物質の適正処理(無害化)」および再利用の用途先を考慮した「素材の高度選別回収」を基本コンセプトに、廃工業製品リサイクルに関する取組みとして、家電品を中心にリサイクルシステムの開発を行ってきた。1992年度からスタートした通商産業省補助事業「冷熱利用廃棄物低温破碎総合リサイクルシステム開発」では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と、財団法人エンジニアリング振興協会(ENAA)の委託を受け、廃家電品リサイクルパイロットプラントを建設(1995年3月)し、実証研究によって有価物分別回収率90%以上、ダスト率10%以下の成果を得た。

また、1995年度に開始された通商産業省補助事業「廃家電品一貫処理リサイクルシステム開発」では、財団法人家電製品協会(AEHA)の委託を受け、幹事会社として取り組んでいる。

こうした成果を基に、現在、日立製作所は、廃家電品のリサイクルについて全国的な視野の下に、廃棄製品の収集からリサイクル材の再利用に至るまでの仕組み作りを強力に推進中である。また、このほかに、自動販売機や業務用冷蔵庫、OA機器(液晶処理技術など)を含む廃工業製品全般への対象物拡大や、情報の活用による環境調和型「生産―再生」システム(エコマニュファクチャリング)の実現に向けた技術開発・製品化を進めている。

この環境調和型「生産―再生」システム構築の一環として日立製作所は、1996年に開始された「インバース・マニュファクチャリング・フォーラム」に参画し、基本コンセプトの提案などを行っている。産・官・学の50機関以上が参加するこのフォーラムでは、近い将来の廃棄物問題に対し、業種の壁を超えた検討が行われている。こうした先導的な取組みは、環境問題に対して、対症療法的に対応するのではなく、積極的に資源循環型産業社会の育成を図ろうとするものである。

一方、家電メーカーとしての立場から、廃家電品のリサイクルに関する総合的な取組みを開始するため、1998年2月に「リサイクルシステム委員会」を社内に創設し、各種の検討を行っている。

4 廃工業製品リサイクルシステム

日立製作所は、廃工業製品それぞれの特徴や立地条件に応じたりサイクル設備はもちろんのこと、LCA(Life

Cycle Assessment)のような環境負荷性評価や、マニフェスト管理などの環境情報システムを含めたトータルな対応を図っている。個々の主要技術について、以下に述べる。

4.1 破碎・分別技術

4.1.1 前処理技術

処理対象物の製品種類ごとの仕分け・分解工程は、現状では、主に手作業に依存している。対象物のセンシング(検出)と設計情報を活用した自動認識仕分け装置の開発により、この工程が自動化(省力化)でき、重量物取扱作業の軽減と処理コストの低減が可能となった。処理量は毎分約2台、自動認識率は99%以上を達成している。装置の外観を図1に示す。

冷蔵庫やエアコンなどの処理に際しては、破碎や分解に先立って冷媒フロンを回収する必要がある。独自に開発した冷媒フロン回収システムでは、フロンを冷凍機油ごと抜き出し、加熱かくはんで冷凍機油からフロンを分離することにより、高い回収率(90%以上)と作業の効率化(冷蔵庫の場合で1台当たり5分)を実現した。システムの外観と構成を図2に示す。

4.1.2 低温破碎技術

低温破碎技術は、液体窒素などの冷媒を用いて鉄が脆(ぜい)化する -100°C 以下まで冷却した後に衝撃破碎を行う技術である。材料の低温脆化特性を利用することにより、常温破碎に比べて、鉄や非鉄金属などを効率よく分離し、破碎動力も、 $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ 程度に低減できる。コンプレッサやモータなどの金属塊状物をはじめ、廃工業製品の処理に広く適用することができる。



図1 情報活用自動認識仕分け装置の外観

画像認識による外形寸法測定と質量測定の結果から家電4品目(冷蔵庫、洗濯機、エアコン、テレビ)を自動的に仕分け、次工程の必要に応じて製品の向きをそろえて送り出す。

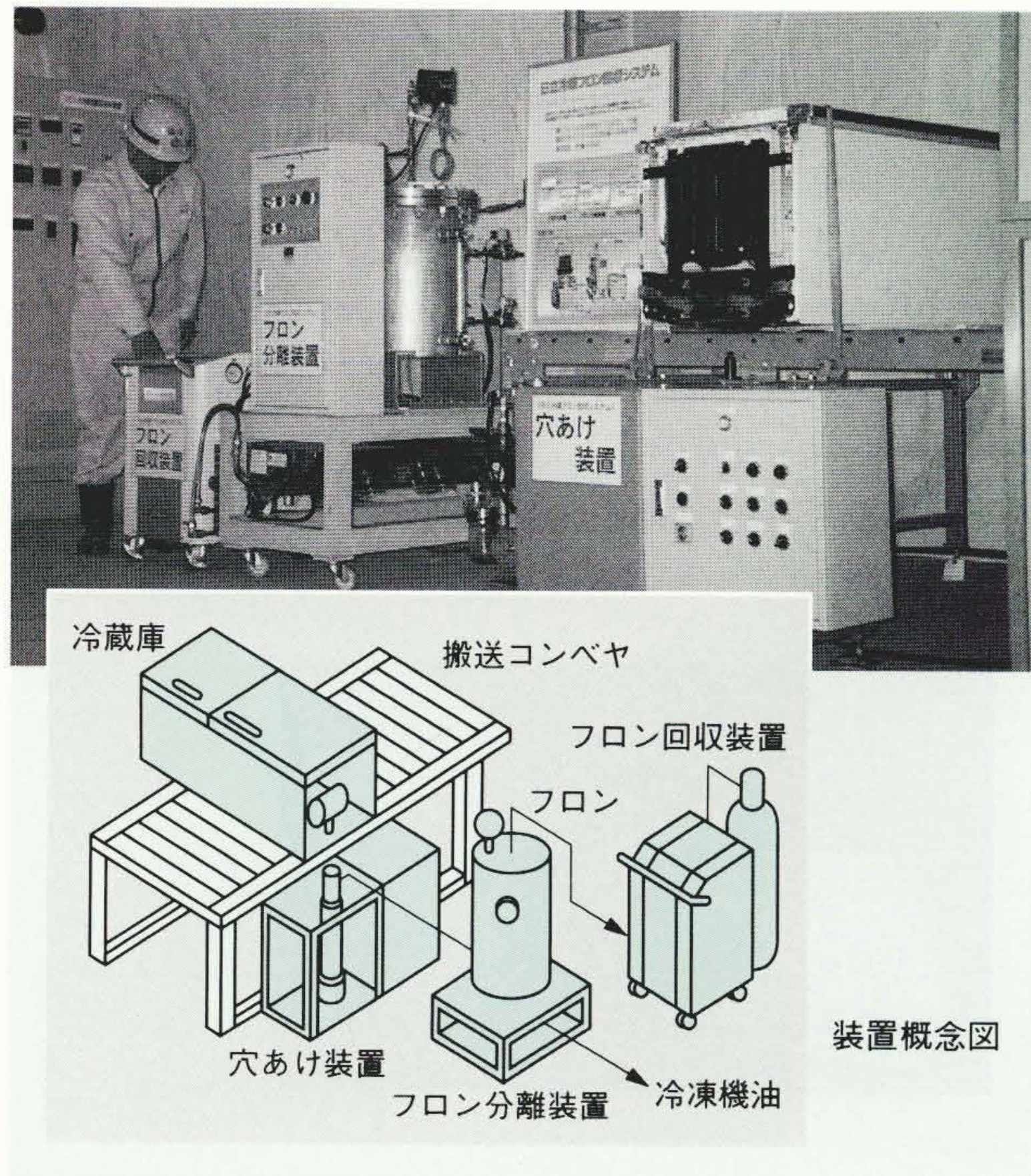


図2 冷媒フロン回収システムの外観と構成

圧縮機にドリルで穴をあけ、フロンを冷凍機油ごと抜き出す。冷凍機油に溶け込んでいるフロンも回収でき、高い回収率(90%)を実現している。

4.1.3 断熱材フロン回収技術

冷蔵庫の断熱材は、発泡剤を用いてウレタンを多孔質化して作られている。現状の廃棄製品の多くは、この発泡剤に特定フロン(CFC-11)を用いており、その封入量は冷媒フロンの約4倍である。日立製作所は、断熱材フロン回収システムを開発し、フロン回収率90%以上、ウレタン減容率 $\frac{1}{20}$ を実現した。

4.1.4 金属選別技術

自動車や自動販売機、家電品などの廃工業製品に含まれる銅やアルミなどの非鉄金属は、リサイクル性が良く付加価値も高いため、リサイクルが進んでいる。しかし、これらの非鉄金属の選別を手軽に行える装置がこれまではなく、手作業に依存する割合が高かった。このため、日立製作所は、コイル通過時のインダクタンス変化と破砕片の質量を検出し、両者の比を判別値として、銅やアルミなどを高精度に選別する金属選別装置を開発した。装置の構成と外観を図3に示す。1台の装置で数種類の金属の選別が可能であり、装置はシンプルかつコンパクトである。また、500 kg/h程度の小さな処理量にも対応が可能で、選別精度は約98%である。

なお、この装置のほかに、比較的小さな粒径の非鉄金属の選別に適した、厚み調整装置(ロールプレス)と風力

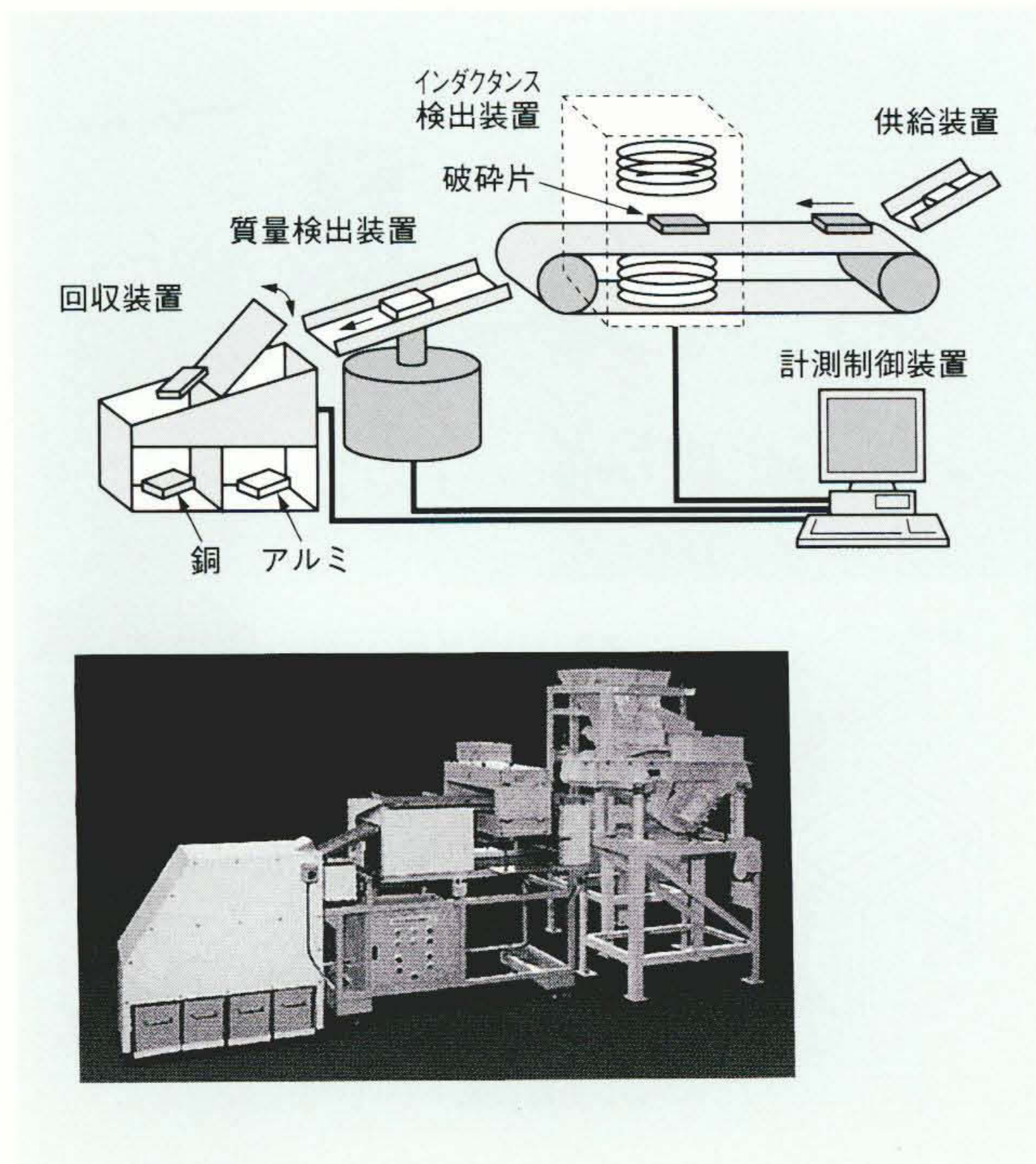


図3 金属選別装置の構成と外観

材質ごとの電気特性の違いを利用して金属を選別する。これ1台で、銅、アルミ、ステンレス、非金属(プラスチック、ゴムなど)を選別できる。

選別機を組み合わせた選別システムも実用化しており、対象物の性状に応じた適切な選別装置の選択を可能としている。

4.1.5 プラスチック選別技術

プラスチックを再利用するには、目的や用途に応じて各種のプラスチックを材質ごとに選別したり、特定の材質を分離、除去する必要がある。こうした技術として、比重選別装置とサイクロン式選別装置の2方式を開発した。

比重選別装置では、混合プラスチックの中から、処理時に特有な対応を必要とするPVC(塩化ビニル)を分離し、スチレン系やオレフィン系プラスチックをそれぞれ回収することを主な目的としている。この装置では、水よりも比重の小さいオレフィン系は水面で回収し、水槽内に沈降するPVCとスチレン系は、主流と上昇旋回流を組み合わせた2段水流を利用して選別する。家電品を対象とした場合、混合プラスチック中のPVCの95%以上を分離し、スチレン系やオレフィン系をおのおのPVC混入率2%以下で回収できる。

サイクロン式選別装置では、原料としての再使用も可能な高精度の選別が特徴である。サイクロン部分の構成と装置の外観を図4に示す。この技術は、水の下降旋回流と上昇旋回流、それにプラスチックの比重差を利用し

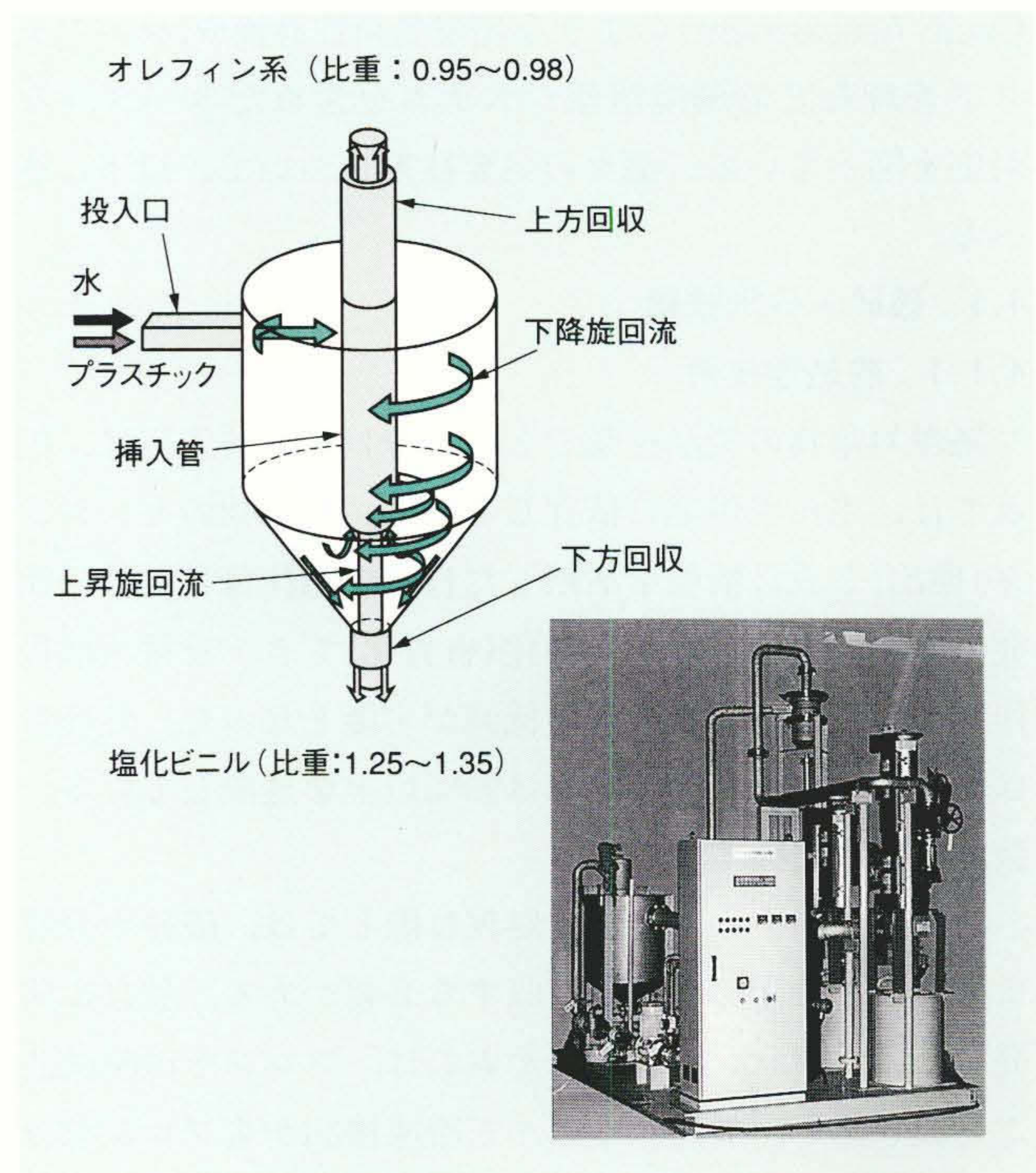


図4 サイクロン式プラスチック選別装置の構成と外観

比重差を利用してプラスチックを高精度に選別する。回収物は、付加価値の高い原材料として再び製品に生まれ変わる。

て2成分に選別するものであり、PVCとオレフィン系の混合物の場合、おのおの99%以上の高純度で選別、回収することが可能である。すでに、PET(ポリエチレンテレフタレート)ボトル リサイクル システムの一部として、本体部分(PET)と飲み口およびキャップ部分〔PP(ポリプロピレン)〕を選別する工程に実用化され、その広範な適用先に注目が集まっている。

4.2 適正処理技術

4.2.1 フロン分解技術

フロンを分解するには、通常、800℃以上の高温処理が必要であり、その設備も複雑で大規模なものとなる。日立製作所は、独自の金属酸化物触媒を開発し、比較的低温(約400℃)で99.99%の分解が可能な、コンパクトでエネルギー消費量の小さい装置を開発した。1~50kg/hの処理能力を持ち、小規模な処理にも対応できるため、回収ポンベの長距離輸送を伴う広域的大量一括処理に代わる、各回収拠点での処理が可能となった。

4.2.2 プリント基板(実装基板)処理技術

パソコンなどのOA機器の主要構成部品であるプリント基板(実装基板)には、はんだが多く使用されている。一般的に、はんだには鉛が含まれているため、基板使用製品の廃棄時には、環境中への鉛の拡散防止の観点から、

はんだの除去・回収が必要である。

プリント基板処理技術は、粒子状の熱媒体を利用し、プリント基板(実装基板)を熱媒体とともにはんだの融点以上まで加熱してはんだを溶融状態とした後、基板を振動または回転させることにより、はんだを取り除くものである。粒子状熱媒体が基板表面やスルーホールを研磨するため、はんだは、ほぼ100%分離される。このとき、大部分の電子部品は、基板から同時に分離される。取りきれずに基板上に残った電子部品についても、常温で簡単に分離することができる。

4.3 環境負荷性評価技術

日立製作所は、LCAによって廃棄物循環システムを解析し、環境負荷の小さいプロセスの開発に反映している。5章で述べる財団法人家電製品協会の家電リサイクル実証プラント(以下、「ISP型」と言う。)によるリサイクルの環境負荷低減効果の評価事例について述べる²⁾。

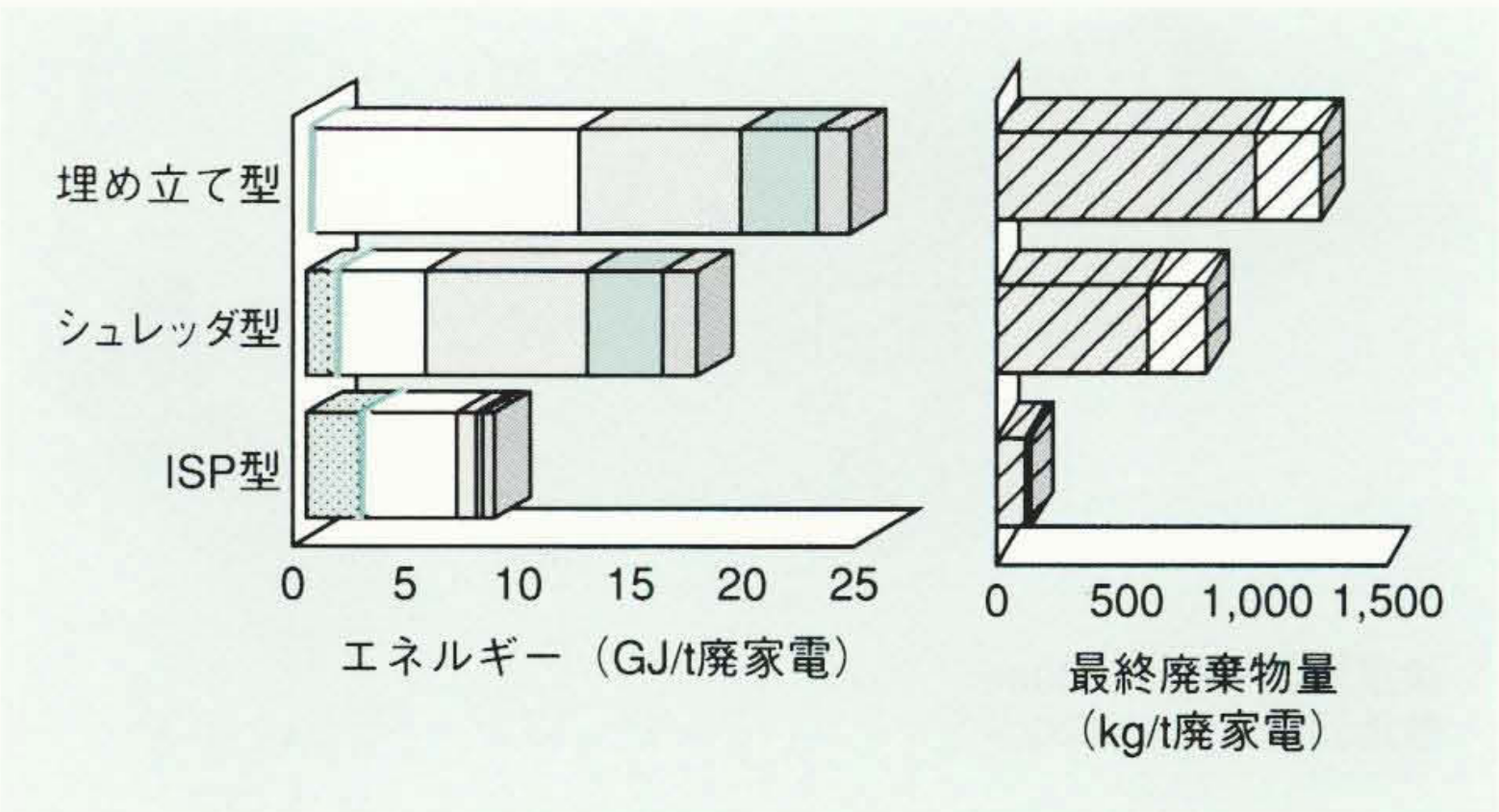
廃家電品の処理から回収資源の再生までを評価範囲として、廃家電品1tの処理に関連するISP型処理の環境負荷を解析し、廃家電品をそのまま埋め立てる場合(埋め立て型)と、破碎して鉄だけを回収する場合(シュレッダ型)を比較した。評価に用いた環境影響カテゴリーの種類と、その重み係数の定義³⁾を表1に、解析評価の結果を図5、図6にそれぞれ示す。この結果、ISP型処理では、「最終廃棄物」量が低減されるだけでなく、「エネルギー枯渇」や「オゾン層破壊」、「地球温暖化」などの各カテゴリーでも大幅な改善が確認でき、トータルでは、埋め立て型の約 $\frac{1}{3}$ 、シュレッダ型の半分以上の環境負荷であることがわかる。

表1 環境影響カテゴリーと重み係数の定義、およびカテゴリー重要度

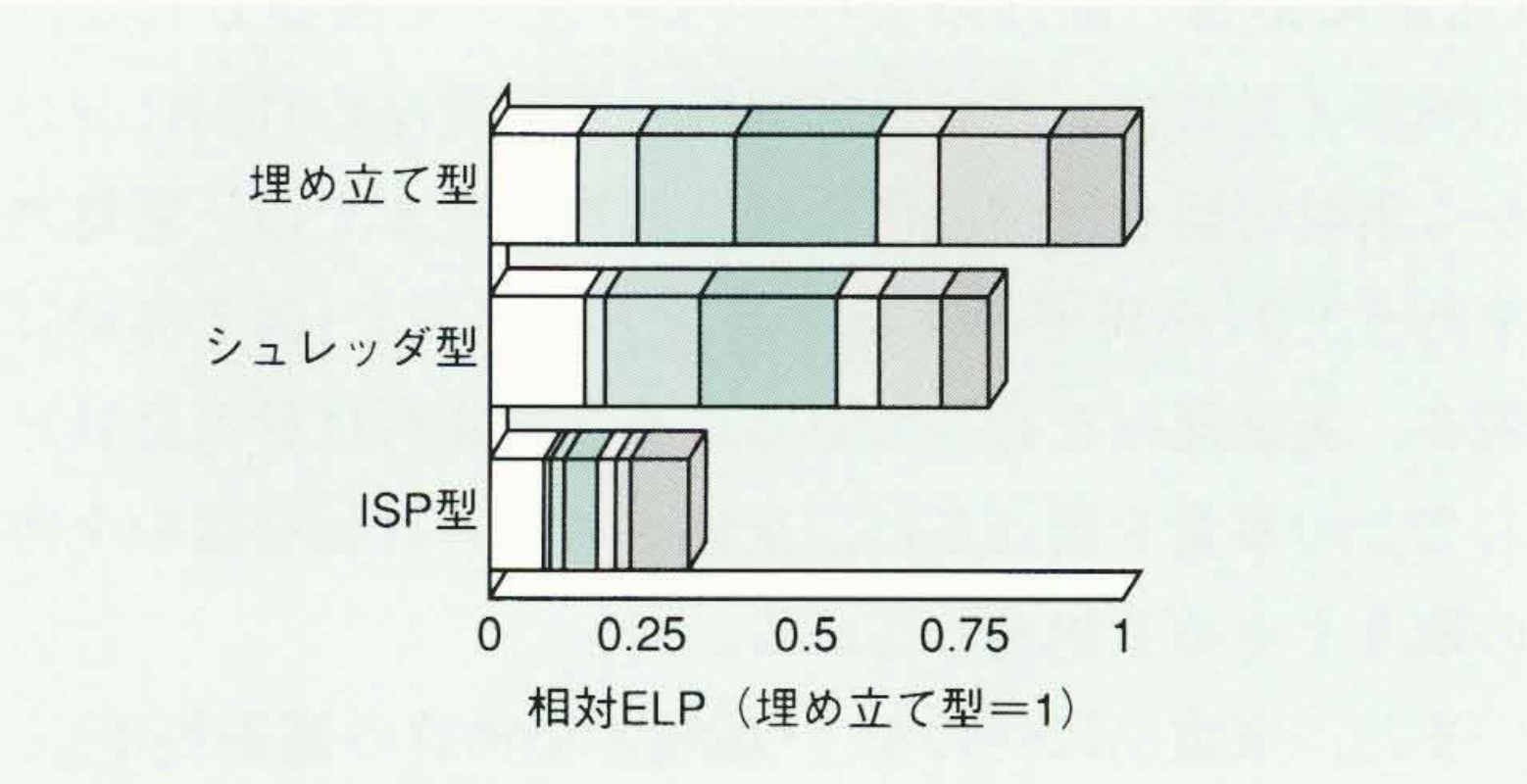
表に示す七つのカテゴリーおのおのについてLCA評価を行った後、それぞれの重要度を乗じて合計し、トータルの環境負荷を求めた。

影響カテゴリー	重み係数の定義 ^{*1}	カテゴリー重要度 ^{*5}
エネルギー枯渇	低位発熱量÷可採年数 ^{*2} (原油=1)	0.133
資源枯渇 ^{*3}	1÷可採年数(鉄鉱石=1)	0.100
オゾン層破壊	ODP(特定フロンCFC-II=1)	0.152
地球温暖化	GWP ^{*4} (CO ₂ =1)	0.219
酸性雨	AP(SO _x =1)	0.107
大気汚染	1÷日本環境基準(SO _x =1)	0.173
最終廃棄物	1(質量換算)	0.166

注1：略語説明 ODP(オゾン層破壊ポテンシャル) GWP(温暖化ポテンシャル), AP(酸性化ポテンシャル)
注2：*1 かつこ内の項目を1とした相対化
*2 可採年数=年間消費量当たりの可採埋蔵量
*3 化石燃料を含まない。
*4 IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の値による。
*5 早稲田大学永田研究室のデータを基に、上記カテゴリーの合計が1となるように換算した。



注：□(プラント), □(埋め立て), □(鉄), □(アルミ), □(銅), □(ガラス)
□(直接系), □(間接系)
図5 処理方式によるエネルギー消費量と最終廃棄物量の比較
各カテゴリーでのLCA評価の例を示す。ISP型処理では、このほか「オゾン層破壊」などのカテゴリーでも、環境負荷が小さい。



注1：略語説明 ELP (Environmental Load Point)
注2：□(最終廃棄物), □(大気汚染), □(酸性雨)
□(地球温暖化), □(オゾン層破壊)
□(資源消費), □(エネルギー枯渇)
注3：カテゴリー重要度は表1に示す値による。
図6 処理方式による環境負荷性の統合化評価結果
トータルの環境負荷を表す。ISP型の処理が広く普及すれば、廃家電品処理での環境負荷が大幅に低減されることがわかる。

4.4 環境情報システム技術

環境情報システムは、リサイクル工程の情報を設計(CAD, CAE)に盛り込み、リサイクル性を向上させるとともに、設計情報をリサイクル工程に活用し、処理・リサイクルコストの低減を図るものである。また、このシステムにより、マニフェスト管理などの作業を効率よく、確実に行うことができる。このシステムの開発にあたっては、製品の設計・製造と処理・リサイクルの両方に実績を持つ日立製作所の特徴を生かしている。

5 適用事例

廃工業製品のリサイクルに関して、冷蔵庫、洗濯機、テレビ、エアコンの4品目を対象とした、財団法人家電製品協会の「廃家電品一貫処理リサイクルシステム開発」

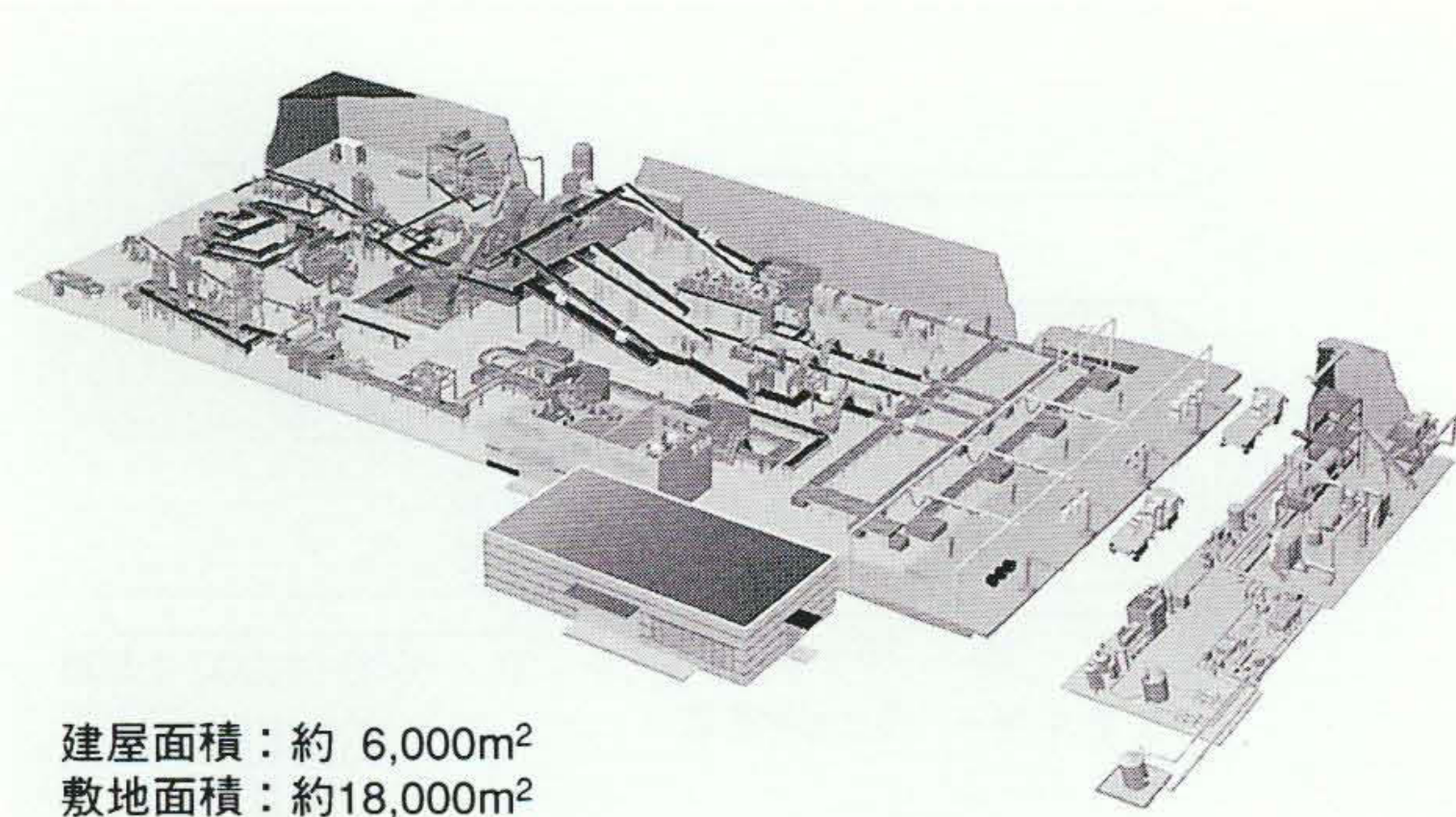


図7 家電リサイクル実証プラントの設備の外観図

財団法人家電製品協会の「廃家電品一貫処理リサイクルシステム開発」(通商産業省補助事業)の「家電リサイクル実証プラント」を示す。冷蔵庫、洗濯機、エアコン、テレビの4品目を対象とし、処理量は3.9 t/hの規模である。

(通商産業省の補助事業)が1995年度から開始された。1998年4月には、茨城県那珂町に廃家電品の自動仕分けから素材の回収、環境汚染物質の無害化までの一貫処理を行う3.9 t/h規模の実証プラントを建設し(図7参照)、現在、実証運転を行っている。日立製作所は幹事会社としてこの事業を委託され、全体システム評価を含む全体の取りまとめを担当している。

また、家電品以外にも、「環境汚染物質の適正処理」と「素材の高度選別回収」のコンセプトの下に、OA機器や自動販売機などの廃工業製品、さらに、自動車部品の生産工程で発生するプラスチック多層材のリサイクルプラント(三菱商事株式会社納め)など、きたるべきリサイクル社会の構築への貢献を目指して、各種廃工業製品の処理・リサイクルについて、システム開発・提案を行っている。

6 おわりに

ここでは、廃工業製品リサイクルの動向と、日立製作所の関連技術について述べた。

従来、工業製品に関する環境問題への取組みは、「廃棄されたものをどう処理するか」が中心であった。これからは、設計、生産、消費から処理、再利用までを含めた循環型社会の構築が求められる。そうした状況下で、日立製作所が行ってきたリサイクル技術の開発は、「持続可能な発展」の実現に向けてブレークスルーを生み出す要素の一つとして、大きな意味を持っている。

今後、日立製作所は、この分野での技術開発にますます努力し、トータルシステムの構築、提案を行っていく考えてある。

終わりに、この分野の研究開発にご指導、ご協力いただいている財団法人家電製品協会の関係各位に対し、ここに深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 社団法人日本非破壊検査協会編：新非破壊検査便覧，379～390(1988)
- 2) T. Yoshida, et al. : Waste-Life-Cycle Assessment of Used Household Appliances Recycling System, Proceedings of the 3rd International Conference on ECOMATERIALS, September 10-12, 1997, Tsukada, Japan
- 3) 永田，外：LCAにおける指標統合化への試み(その2)，第7回廃棄物学会講演論文集，pp.107～110(1996)
- 4) 小林，外：使用済み家電製品リサイクルシステムの開発，第6回 廃棄物学会研究発表会講演論文集
- 5) 福本，外：使用済み家電製品のリサイクル技術，第19回全国都市清掃研究発表会講演論文集(1998)
- 6) 北野，外：使用済み家電製品リサイクルシステム実証試験，第18回 全国都市清掃研究発表会講演論文集(1997)
- 7) 福本，外：使用済み家電品リサイクルシステムの開発，設計工学，Vol.33(1998)
- 8) 福本，外：廃電気・電子機器のリサイクル，電気学会誌，Vol.118，No.2(1998)

執筆者紹介



福本千尋

1978年日立製作所入社，機電事業部 環境・プラントエンジニアリング本部 環境システム部 所属
現在，廃工業製品リサイクルビジネスに従事
E-mail：CFK@cm.head.hitachi.co.jp



喜多 修

1971年日立製作所入社，笠戸工場 所属
現在，廃棄物ゼロエMISSIONの社会システム作りに従事
E-mail：kita@kasado.hitachi.co.jp



林 政克

1968年日立製作所入社，機械研究所 環境機器開発プロジェクト 所属
現在，環境装置の開発に従事
日本機械学会会員
E-mail：mhayashi@merl.hitachi.co.jp



吉田卓弥

1993年日立製作所入社，日立研究所 エネルギー・環境研究部 環境システム・制御グループ 所属
現在，廃棄物処理と環境システム評価の研究開発に従事
廃棄物学会会員，エネルギー・資源学会会員
E-mail：yoshidat@hrl.hitachi.co.jp