

2.2 リサイクル技術の紹介

再商品化施設では、新たな処理設備の導入や手解体工程の見直し、処理ノウハウの蓄積、将来を見据えた実証実験など、再商品化率の向上を目指した取り組みを行っている。

リサイクル技術を代表的な5つのテーマに沿って紹介する。

- (1) プラスチック選別・再生利用技術
- (2) フロン回収・管理体制
- (3) 再商品化処理技術の更なる向上を目指して
- (4) 高度なりサイクルを目指して
- (5) 生産性向上と環境整備

リサイクル技術名		ページ 番号
(1) プラスチック選別・再生利用技術		
①	混合プラスチックの振動、風力選別	52
②	洗濯機の混合プラスチック比重差選別	52
③	使用済みエアコンファンのマテリアルリサイクル	53
(2) フロン回収・管理体制		
①	フロンの分解処理	53
②	断熱材用ウレタンの固形燃料化技術	54
③	冷蔵庫のウレタン再商品化	55
④	フロンIT管理システム	55
⑤	フロン管理レベルの向上	56
(3) 再商品化処理技術の更なる向上を目指して		
①	電線の単一素材化	57
②	工程排水再利用設備	57
(4) 高度なりサイクルを目指して		
①	色彩選別法による銅、アルミニウムの高度分別処理技術	58
②	近赤外線識別による精度重視選別技術	59
③	有機物分解処理技術	59
④	混合破碎プラスチックの静電選別と RoHS 指令対象物質の高速除去技術	60
(5) 生産性向上と環境整備		
①	粉塵対策・噴霧設備	61
②	薄型テレビ処理のための搬送装置・作業台の導入	62
③	洗濯機塩水回収のための塩水リング破断装置導入	62
④	ブラウン管のレーザー加工による高品位な分割技術の導入	63
⑤	ブラウン管テレビの処理に対応した全自動防爆バンド除去システム導入	63
⑥	プリント基板減容システムの導入	64
⑦	冷蔵庫破碎工程にて窒素ガスを封入することによる安全対策	64
⑧	薄型テレビリサイクルの合理化装置の開発	65

(1) プラスチック選別・再生利用技術

① 混合プラスチックの振動、風力選別



導入前



導入後

<目的>

マテリアルリサイクルの向上を目的として、価格が低く、情勢により逆有償になってしまうことがあった破碎処理後の混合プラスチックのプラスチックとしての品位向上を目指す。

<工程>

振動と風力選別を利用した比重差選別機と粉碎整備を導入したことにより、ミックスプラスチック中のウレタンや線材、金属等の異物の混入率を低減し、ミックスプラスチックとしての品位を高め、付加価値を上げると共に作業人員の低減を図ることが出来た。

<成果>

ミックスプラスチック中の異物混入率を 37%から 4%に削減し、作業人数も 6 名から 1 名へ削減することができた。

② 洗濯機の混合プラスチック比重差選別

<目的>

混合プラスチックから単一素材プラスチックへの選別を徹底し、より高品位な素材（PP・PS 樹脂）を回収する。

<工程>

混合プラスチックを水槽内で比重差（浮上/沈殿）と水圧を組合わせて選別する。まず、混合プラスチックを一次選別機に送り、水槽内で比重差選別する。比重の軽い浮上がってきた PP 樹脂を掻揚機で回収し、水切り後袋詰めする。下部に沈んだプラスチックをコンベアで二次選別機に送り、水・空気を吹込んで強制浮上させた PS 樹脂（中比重物）を二次回収ゾーンで回収する。

<成果>

比重差と水圧を組合わせ、一次回収品は PP 樹脂、二次回収品は PS 樹脂の、それぞれ高品位な素材の回収が可能になった。



内部



湿式選別機内の二次選別機

③ 使用済みエアコンファンのマテリアルリサイクル

リサイクルプラントでクロスフローファンを回収・分別・破砕



素材メーカーでリサイクルASGへ



クロスフローファンへ再利用



<目的>

エアコン室内機に使われるクロスフローファンの材料は、一般にガラス繊維強化 SAN (図中では ASG と表記) である。この材料はファンに付着している異物やガラス繊維の折損等により再生後の物性が低下するため、リサイクルが困難と考えられてきた。そこで、素材メーカーとの共同開発により、部品回収プロセスの効率化、洗浄プロセスの最適化などにより本材料の水平リサイクルを実現する。

<工程>

家電リサイクルプラントでは、手解体によりエアコン室内機からクロスフローファンを取出し、金属等を除去した後、粗破砕し、材料メーカーに引き渡す。材料メーカーでは洗浄と微量の金属除去を行った後ペレット化し、バージンペレットとブレンドする。共同開発では、この異物除去システムとバージン材との最適ブレンド処方を確立した。

<成果>

成形性、強度特性、及び品質の安定性においてバージン原料 100% とほぼ同等の物性を実現した。これまでリサイクル不可能と考えられていたガラス繊維を含有するプラスチックについても、材料メーカーとの共同開発により、その水平リサイクルを確立することができた。

(2) フロン回収・管理体制

① フロンの分解処理



高周波プラズマ処理の様子



生成されたフッ化カルシウム

<目的>

回収フロンの分解、無害化を図る。

<工程>

回収したフロンを分解反応装置に送り、装置内の高周波プラズマにより原子レベルに高温熱分解する。分解によって生成したハロゲン成分(フッ素、塩素)はアルカリで中和し、安定したフッ化カルシウム(螢石)や塩化カルシウムにし、無害化する。

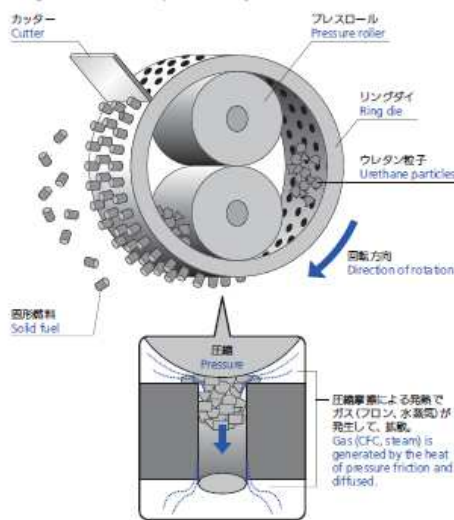
<成果>

回収したフロンを自らの施設で分解し、無害化することにより、漏洩防止や運搬エネルギーの削減に貢献した。

② 断熱材用ウレタンの固形燃料化技術



固形燃料化装置



ウレタンを圧縮して摩擦熱を発生、フロンを気化させる仕組み



フロン含む発泡ウレタン 破碎ウレタン



ウレタン粒子 固形燃料

断熱材に使われたウレタンが固形燃料になるまでの流れ

<目的>

1990 年代後半までに作られていた冷蔵庫では、断熱材であるウレタンをキャビネットの隅々まで行渡らせるため、発泡剤としてフロンが使われていた。

フロンは塩素を含む有機化合物で、燃やすと焼却炉を傷める塩素ガスを発生する。このためフロンで発泡したウレタンはそのままでは燃料として再利用ができず、油圧プレスで圧縮した後、廃棄物として処理せざるを得なかった。

この技術によってウレタンからフロンを取除き、固形燃料を生成する。

<工程>

数千個の穴を開けた円筒状の金型（リングダイ）にウレタンの粒子を投入してローラーで押し付ける。粒子がリングダイの穴に入り込んで圧縮されると摩擦熱が発生するため、ウレタンが固形燃料となって穴から押し出されるまでにフロンが気化する仕組みである。

<成果>

ウレタンに含まれるほぼ全量のフロンを気化させるとともに体積を 1/3 に減らすことに成功した。

現在、この固形燃料は有価でユーザーに販売しており、ゼロエミッションや地球温暖化防止に寄与することが期待される。

③ 冷蔵庫のウレタン再商品化

<目的>

冷蔵庫の破砕物から断熱材ウレタンを分離し、純度の高いウレタンフォームを再商品化する。



回収されたウレタンフォーム

<工程>

冷蔵庫の断熱材には発泡剤としてフロンが含まれているため、破砕と分離は密閉破壊室内で行われる。まずフロンを回収、その後磁力で鉄を分離し、風力でウレタンを吸引して、写真上のような円筒形に圧縮した状態で回収する。

<成果>

回収した純度の高いウレタンフォームは、建材(断熱ボード)の材料として利用されている。



再商品化された建材

④ フロン IT 管理システム

<目的>

フロンの回収・出荷・破壊量の把握及び管理は、家電リサイクルの重要な遵守事項の一つである。IT システムを導入してこれらを一括管理し、遵法の徹底と処理の効率化を図る。



<工程>

エアコンと冷蔵庫から回収したフロンの重量を計測し、システムに自動入力する。データはボンベごとに回収・出荷・破壊量を管理する。異常があれば速やかに発見される。日報や月次報告の形でデータをアウトプットし、回収・出荷・破壊量を把握、記録する。



ボンベに回収されたフロン

<成果>

自動的に計測とデータ収集を行い、一括管理することで、漏洩防止や作業ミス防止、及び作業効率のアップを達成した。

⑤ フロン管理レベルの向上



ポンベ上部に透明のカバーを取り付けることで微妙な漏洩も検知する



<目的>

フロンガスの漏洩防止・早期発見のため、回収ラインにある仕掛けポンベ（冷媒フロン回収装置と接続されているポンベ）のフロン濃度連続監視システムと、ポンベ及びドラム缶（断熱材フロン回収容器）保管庫の温度連続監視システムの導入により、フロン管理レベルの飛躍的向上を図る。

<工程>

1. 仕掛けポンベのフロン濃度の連続監視

仕掛けポンベの上部に透明のポンベカバーを取付け、当該部分の空気を吸引センサーによりフロン濃度を連続監視することで、万一、バルブ周辺部で漏洩が起こった際、従来の重量監視システムでは検知困難な極初期の段階で漏洩を検知する。

2. ポンベ及びドラム缶保管庫温度の連続監視

ポンベやドラム缶保管庫に、従来からのフロン濃度監視に加えて温度センサーを取り付け、保管温度の連続監視を行なうことにより、猛暑による温度異常や保管庫用クーラー故障等を発見する。

3. 上記1. 2. の仕組みを既存の安全監視システムに組み込み、センサー出力値をサーバーに自動記録すると同時に、異常時は自動でメール発信し、迅速な対応を行う。

<成果>

仕掛けポンベにおけるフロン濃度の連続監視システムの導入により、従来の重量監視システムに比べ、感度を格段に向上させた漏洩防止対策が可能となった。また、保管庫の温度連続監視システムの導入により、終業後や休日中に猛暑やクーラー故障などで温度異常が発生した際には管理者の携帯電話に自動発報し、直ぐに対処できるようになった。

(3) 再商品化処理技術の更なる向上を目指して

① 電線の単一素材化



回収された高純度の銅



回収された塩ビ

<目的>

従来は電線を切断してそのまま電線メーカーなどに売却していたが、銅と塩ビに分離することで、より高価な再生資源として売却する。

<工程>

減容のための破碎と安価な乾式選別方式を組合わせ、さらに対象を家電用電線に絞って分離装置(銅と塩ビ)の軽便化を図った。家電製品に多く使われている電線は塩ビの被膜径が2～3ミリ、中には芯径0.1～0.2ミリの極細銅線を燃っている。これまでの経験から電線を4ミリ以下に剥離粉碎し、細かな銅と被膜を形状別に分離後、風力選別を行う。

<成果>

単一素材化により、純度99.9%の銅を回収できた。より高価な有価物として売却可能になった。電線をそのままの形で機械に投入できるので、作業コストも抑えられた。

② 工程排水再利用設備



屋外の廃水処理設備



プラント内の廃水処理設備

<目的>

洗濯機再商品化工程のプラスチック比重差選別設備で使用する水を浄化し、再び選別設備へ循環させる。

<工程>

洗濯機再商品化工程のプラスチック比重差選別設備で使用中に汚れてくる水を、毎日、数回に分けて屋外の排水処理設備に送り、浄化する。浄化した水は循環・再利用する。

<成果>

プラスチック比重差選別設備で使用する水を浄化・循環して使用することにより、水の使用量を大幅に削減している。

(4) 高度なリサイクルを目指して

① 色彩選別法による銅、アルミニウムの高度分別処理技術



<目的>

廃家電を構成する主な金属は鉄、銅、アルミニウムであり、鉄は磁性を持つため磁力選別機で分別回収しやすいが、銅とアルミニウムは分離回収が困難であった。この技術は、ミックスメタル（混合非鉄）の中に含まれる、銅（赤色）とアルミニウム（白色）の色が異なることに着目し、色彩により両者を分離・回収し、回収素材の品位向上を目的とする。

<技術内容・方法>

CCD カメラで材料を撮影し、映像データをコンピューターに送信する。コンピューターが赤色（銅）と白色（アルミニウム）を見分け、エアーにて赤色（銅系）のみ吹飛ばす技術である。

<成果>

1. 本技術の導入により、純度 95% の銅の回収が可能となった。
2. 本技術導入以前、銅とアルミニウムは作業者がラインに入り、手選別で分けていたが、機械化により作業環境の改善が図られた。



本技術の導入により回収された銅（左）とアルミニウム（右）

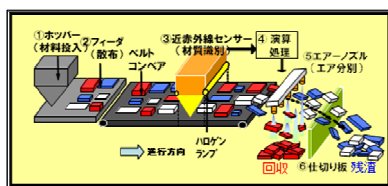


選別機を導入する前の作業状況

② 近赤外線識別による精度重視選別技術



回収された単一樹脂



高精度樹脂選別システムのフロー

<目的>

粉碎処理された樹脂片はシュレッダーダストとして燃料などに再利用されることが一般的だが、環境負荷を減らすため、シュレッダーダストからも再利用可能な樹脂を回収する。

<工程>

- ・近赤外線反射スペクトルにより、各種樹脂を高速自動判別
- ・独自の高精度制御エアの吹き出しによる高精度回収

<成果>

- ・家電シュレッダーダストから単一樹脂（PP、PS、ABS）を高精度で回収
- ・有害物質の含有（臭素）を同時に検出し除去
- ・水を使わない乾式で、システムが小型、環境負荷も低減

③ 有機物分解処理技術



処理前：廃棄物（ダスト）



処理後：金属回収が可能となった

<目的>

（資源選別回収後の）シュレッダーダスト中の有機物を、酸化チタンの触媒反応を用いて、廃樹脂材の残渣（ごんさ）を焼却せずに安全にガス化处理し、取り残った金属類の回収と、廃棄物のゼロ化を達成する。

<工程>

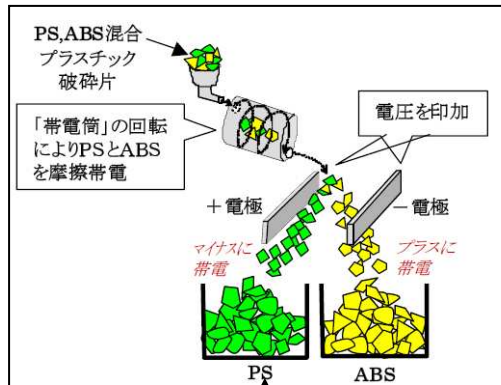
- ・触媒（酸化チタン）反応を用い、燃やさないでダスト（廃棄物）の処理が可能
- ・ダストに含まれる金属は処理時連続回収され再資源として活用可能。

<成果>

- ・焼却設備でないため、設置許可が容易
- ・触媒反応熱で処理するため、加熱用補助燃料が不要で省エネ処理を実現
- ・独自の攪拌方式により触媒反応を効率化
- ・樹脂選別残渣を無害ガス化处理し、残渣中の金属を連続回収

④ 混合破碎プラスチックの静電選別とRoHS 指令対象物質の高速除去技術

A：混合破碎プラスチックの静電選別装置



<目的>

プラントで処理される混合破碎プラスチックには、家電製品に主として使われている PP、PS、ABS の3種類のプラスチックが含まれているが、混合状態であるために、有効な用途が無かった。そこで、新たな技術により、高純度な単一素材へと選別し、そのマテリアルリサイクルを実現する。

さらに RoHS 指令対象物質を除去することにより、家電から家電へのクローズドリサイクルも実現可能とし、高度な資源循環を促進する。

<工程>

A. 静電選別技術

比重選別により、水より軽い PP を回収した後、水より重く比重差では選別できない PS と ABS を回収する方法として静電選別技術を開発した。帯電筒の中でプラスチック同士を擦りあわせ、帯電した PS、ABS 粒子を高電圧の電極間を通すことによって、それぞれの素材へ選別する。

B. RoHS 指令対象物質高速検知・除去技術

X線透過像方式を用いた高速検知技術に、エアガンによる除去機構を付加し、RoHS 指令対象物質を含む臭素含有プラスチックを検知・除去する。

<成果>

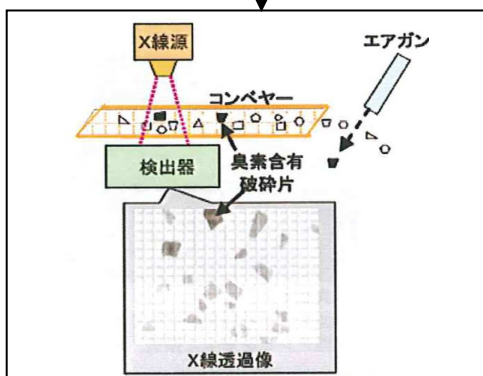
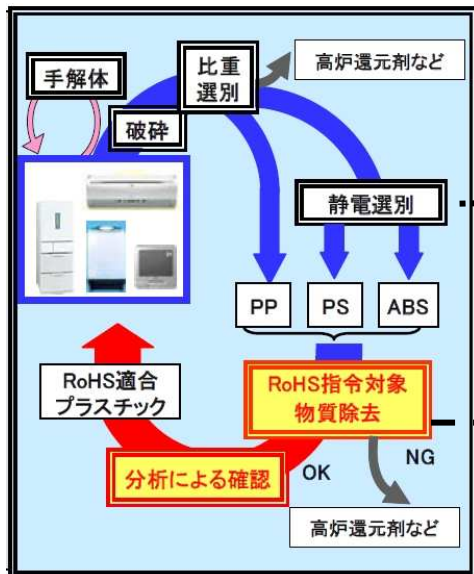
A. 静電選別技術

静電選別技術の開発により、99%以上の高純度で PS、ABS を選別・回収することを可能とした。比重選別と組み合わせることで、混合プラスチックの内の主要3大プラスチック (PP、PS、ABS) の高純度マテリアルリサイクルを実現した。

B. RoHS 指令対象物質高速検知・除去技術

透過X線方式の採用により、リサイクルプラスチックの RoHS 指令適合化を高速かつ大量に実施できるようになった。比重により臭素含有プラスチックを除去する方法に比べ、回収量を約 1.3 倍向上することができる。この技術の実現により、回収した大量のプラスチックを家電製品にも再利用することが可能となった。

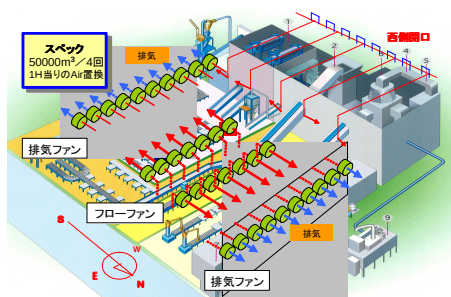
大規模リサイクルプラスチック・プラント



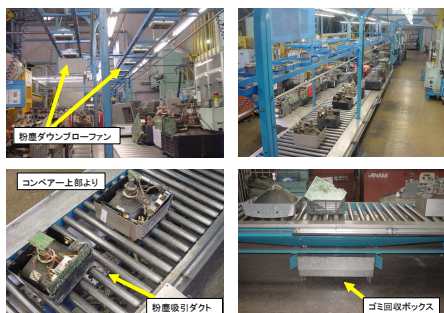
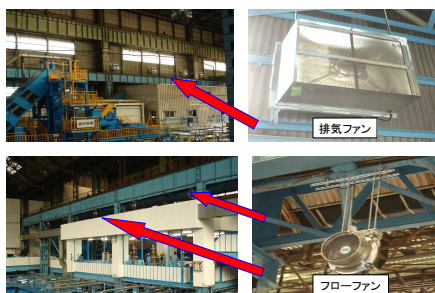
B：RoHS 指令対象物質高速検知・除去装置概要

(5) 生産性向上と環境整備

① 粉塵対策・噴霧設備



粉塵対策風向図・能力



<目的>

造船工場の建屋を活用したプラントであることから天井が高く、エアコンによる全館空調や集塵機による効率的な集塵が困難なため、粉塵対策に取組み、作業環境の改善を目指す。

<工程>

プラント内部に換気ファンやフローファンを設置し、粉塵濃度を12ヵ所で定点観測して粉塵を調整管理した。

使用済みテレビの内部には埃等が多く堆積しているが、それらを効率的に回収するためにラインの上に粉塵を吸引する専用のダクトを設置した。一方、ローラーコンベアの隙間から落ちたゴミは、ガイドを伝わってゴミ回収ボックスに集めることで、粉塵拡散を防止している。

さらに、工場内には霧状の水滴を発生させ、カーテン状に噴霧する「ミスト発生システム」を張巡らしている。この設備により作業場にミストが間欠的に降注ぎ、空気中の粉塵が除去されるほか、作業員の体感温度を下げる効果もある。

ただし、フロン回収作業区域はフロンの回収効率を維持するために湿度を低く保つ必要があり、ミスト噴霧は行っていない。

<成果>

2002年12月のテレビ手解体ラインの粉塵測定値は $1.35\text{mg}/\text{m}^3$ だったが、2006年8月には $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ まで改善された。

② 薄型テレビ処理のための搬送装置・作業台の導入

<目的>

「リサイクル処理業者の安全・安心」と「大画面薄型テレビを誰にでも解体できる」をコンセプトに、作業者に極力負荷をかけずに、薄型テレビを効率良く、安全に搬送・解体するための工程の改良を行うことがねらい。

<工程>

薄型テレビを作業台に投入する工程、また作業台において薄型テレビを傾斜、反転させる工程を全自動化している。

<成果>

移載装置や傾斜・反転作業台といった薄型テレビ専用のリサイクルラインを開発・導入したことで、作業者に極力負荷をかけずに作業を行うことが可能となった。



安全に搬送、解体することが可能



傾斜や反転が可能な作業台

③ 洗濯機塩水回収のための塩水リング破断装置導入

<目的>

「リサイクル処理業者の安全・安心」、かつ処理効率の向上を目指し、作業者に負荷をかけずに、塩水リングからの塩水抜き取り作業工程の改良を行うことがねらい。

<工程>

工程の改良以前は作業者がガトリングハンマーを用いて塩水リングを破砕。工程を改良し、油圧シリンダーと特殊刃による圧断方式の装置を採用し機械化している。

<成果>

装置の採用により、プラスチック破片の飛散防止とハンマー使用による危険作業が大幅に低減された。



塩水リング破断装置の外観



洗濯機の塩水リングを
破断している様子

④ ブラウン管のレーザー加工による高品位な分割技術の導入

<目的>

地上デジタル放送への完全移行を控え、ブラウン管テレビのリサイクル処理量が増加している。ブラウン管テレビを前面ガラスと背面ガラスに分割して処理する際の処理効率を高める。



技術導入前。
従来は熱線方式を用いていた



技術導入後。
レーザー方式を新たに導入した

<工程>

コンベアで投入されたブラウン管は自動的に形状を識別し、適切な加工プログラムが選択される。その後、作業ポジションに移送され、自動制御されたレーザーによってパネルガラスと、ファンネルガラスに分割される。

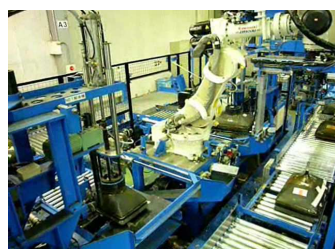
<成果>

従来のヒータ線（熱線）ブラウン管分割方式では1時間あたり 24 台のブラウン管のガラスを分割処理してきたが、レーザー光による分割方式では1時間あたり 72 台のブラウン管ガラスの分割処理が可能となり、3 倍の処理スピードを実現し、ブラウン管の自動判定機能と正確なレーザー光照射により高品位な分割ができるようになった。従来のヒータ線（熱線）ブラウン管分割方式ではガラスの分割断面にばらつきがみられたが、レーザー方式の導入によって安定してきれいな割断面を得ることが可能となった。

⑤ ブラウン管テレビの処理に対応した全自動防爆バンド除去システム導入

<目的>

ブラウン管テレビの回収増加に伴い処理効率を高めること。さらに、防爆バンドを手解体で引き剥がす際の作業負荷が大きかったことから、作業負荷を低減し安全確保することがねらい。



除去装置



防爆バンドが機械により
除去されている様子

<工程>

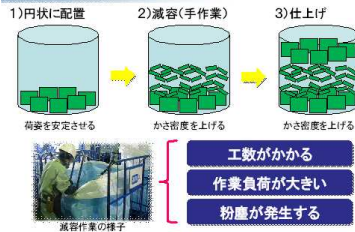
ロボットでコンベアからブラウン管を持ち上げて防爆バンド除去装置に移動・設置し、除去装置でブラウン管を回転させながら防爆バンドを取り外す一連の作業を全自動化している。

<成果>

このシステムにより、大幅な効率向上と同時に、作業者の負荷低減と安全確保が可能となった。

⑥ プリント基板減容システムの導入

導入前の工程



回収された高純度の銅

導入後のプリント基板



回収された塩ビ

<目的>

リサイクル処理で回収されたプリント基板は、嵩密度が低いため保管場所を占有し、また高頻度で搬送する必要があった。これまでは、嵩密度を上げるため荷姿を整えるなど手作業で対応していたが、工数がかかり、また粉塵が発生するなど課題があった。これらの作業効率、並びに作業環境の改善がねらい。

<工程>

回収したプリント基板を小さくプレス破碎し、その際に発生する粉塵を集塵した上でフレコンへ投入する。その後フレコンごと加振しかさ密度を上げるという一連の作業を全自動化した。

<成果>

このシステム導入により、減容効果が向上し、保管場所の有効利用、搬送回数の低減が図れた。さらに、粉塵の飛散を低減したことで作業環境改善も図れた。

⑦ 冷蔵庫破碎工程にて窒素ガスを封入することによる安全対策

<目的>

冷蔵庫を細かく破碎すると断熱材のウレタン等が粉状になり粉塵爆発のリスクがある。また可燃性ガスで発泡した断熱材を使用する冷蔵庫を破碎処理する際には可燃性ガスが発生し火災のリスクがある。それらのリスクを低減し安全に破碎処理することを目的とする。



窒素発生装置

<工程>

冷蔵庫の全破碎工程において、コンベア及び破碎機内に不燃性ガスである窒素ガスを封入する。これにより爆発や発火の要素である酸素濃度を低下させ安全対策を行なう。

<成果>

爆発や発火のリスクを低減し安全に破碎処理を行なうことが可能になった。



冷蔵庫破碎機

⑧ 薄型テレビリサイクルの合理化装置の開発

<目的>

リサイクル作業の安心・安全環境の確保と合理化を図るため、装置開発及び工程改善を行うことがねらい。

<施策>

- ① 大型薄型テレビのライン投入作業を、二人でかかえて運ぶ作業から、移載装置を使った一人での作業とした。
- ② 液晶式テレビの蛍光管ユニットと前面キャビネットを分離する作業を、手作業から、作業支援用の自動装置組込型作業台による半自動化工程とした。
- ③ 蛍光管ユニット分離作業中の万一の蛍光管割れの際に、直に吸引して水銀を回収できる装置を作業台に組込んだ。さらに作業台全体をビニールカーテン等で囲んで、周囲への飛散防止に対応した。

<成果>

- ① 作業者の直接手作業による重量物搬送をゼロ化し、作業者の安心・安全作業向上、並びに腰・肩等への負担の大幅削減が可能となった。
- ② 上記3施策を組み込むことで、ライン投入から手解体作業、蛍光管回収までのトータル時間を現状の40分/台・人から20分/台・人へ半減化する合理化ラインが可能となった。
- ③ 万一の蛍光管破損時による水銀飛散を無くし、安心・安全な作業環境が可能となった。



改善前。大型薄型テレビを二人で作業し運搬する様子



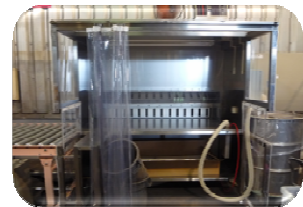
改善後。移載装置を導入し重量物を機械搬送するよう改良した



改善前。蛍光管ユニットと前面キャビネットを作業者が手で分離している様子



改善後。半自動分離装置を導入



さらに改善後。水銀吸着装置を導入