

経済産業省 産業技術環境局長賞

「プラスチック材質選別装置 (エアロソータⅢ)」

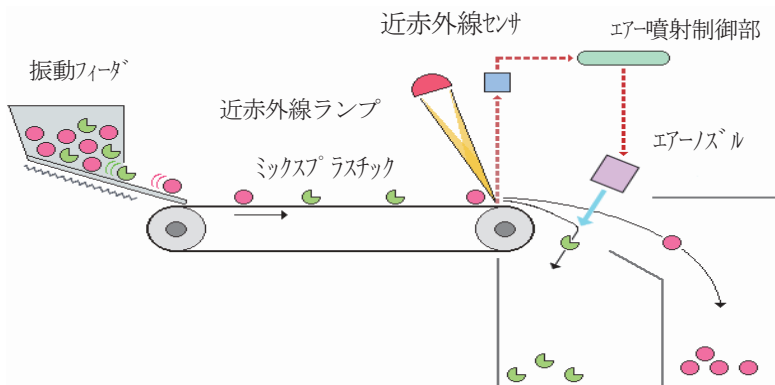
ダイオーエンジニアリング株式会社

1. 装置の詳細説明

エアロソータⅢの構造は、①選別対象物を貯留しベルトコンベヤ上に均一に分散させる振動フィーダ、②搬送中の対象物に近赤外光を照射するハロゲンランプ、③対象物に当たり跳ね返った近赤外光をセンサでとらえスペクトル分光し、あらかじめ登録されたスペクトルと照合し、プラスチック材質を高速で識別する識別制御システム、④噴射エアノズル、で構成する。

エアノズルは幅方向に 4mm ピッチで配置しているため、5～25mm の小粒形を選別することが可能である。

従来主流であった選別方式の静電選別装置での課題である 2 種類での選別、選別許容サイズが 4～8mm と小さい、汚れに弱い、プラスチックの選別材質が変わるごとに機器調整が必要等の問題を解決した。



エアロソータⅢのフロー図

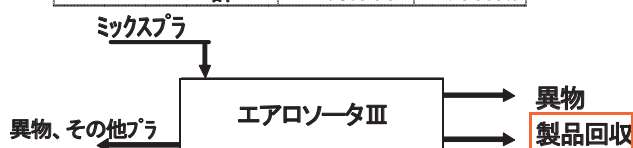


エアロソータⅢ実用機外観

ミックスプラ45kgの材質構成

材質	重量(kg)	比率(%)
PP	11.280	25.1%
ABS	9.660	21.5%
PS	2.575	5.7%
その他プラ	3.435	7.6%
黒プラ	13.655	30.3%
ゴム類・軟質ゴム	1.710	3.8%
電線	1.935	4.3%
アルミ	0.654	1.5%
基板	0.032	0.1%
ウレタン付着	0.064	0.1%
計	45.000	100.0%

ミックスプラスチック品手選別後の原料構成写真



単一材質プラ PP、ABS、PSの選別実績

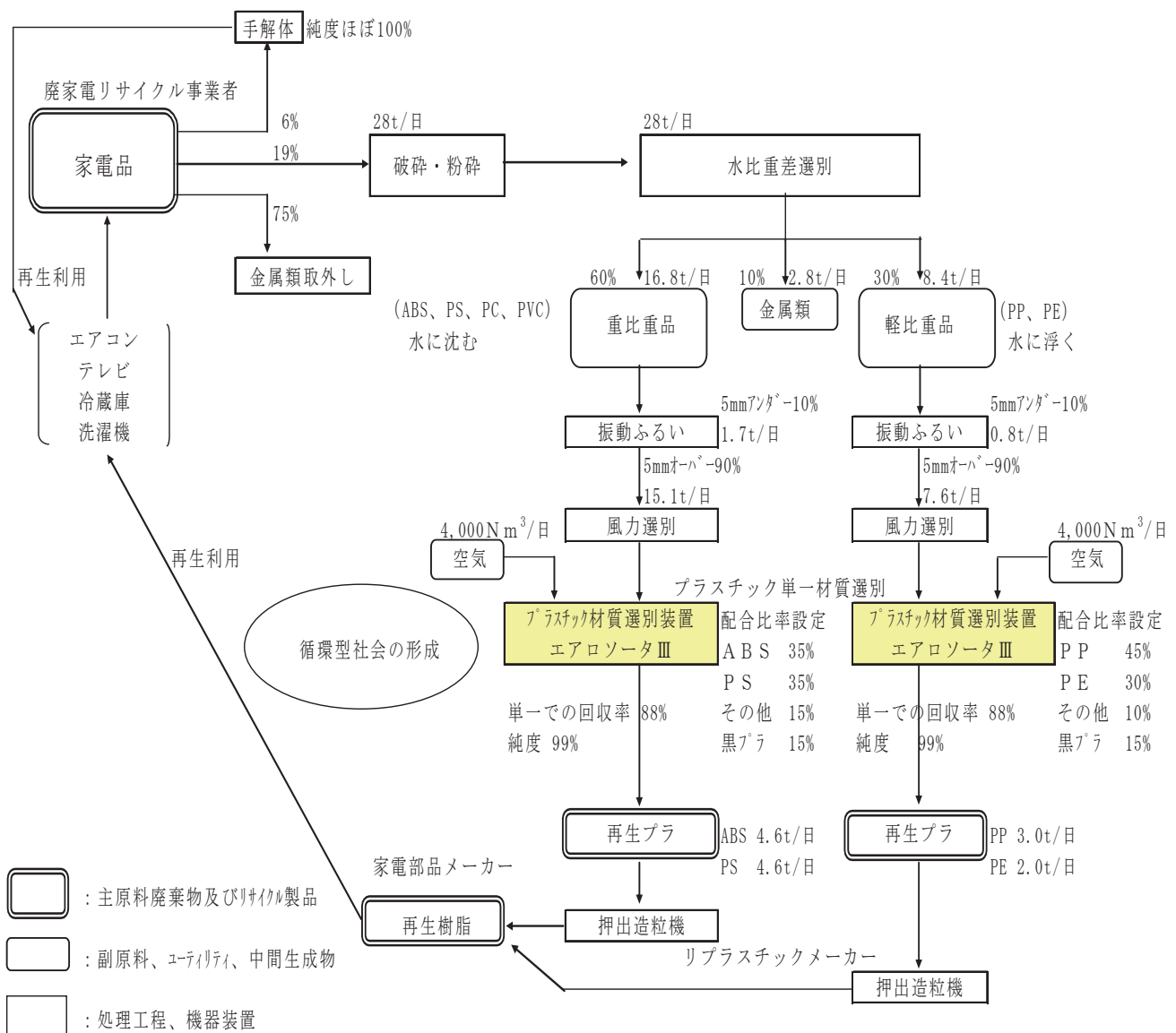
材質	純度(%)	回収率(%)
PP	99.95	95.0
ABS	99.80	89.0
PS	99.55	85.0

大手家電リサイクル事業者の選別実績の一例

検 出 方 式	近赤外線式材質識別
選 別 方 式	圧縮空気による吹き降ろし
装置長さ・幅・高	4.7m×2m×2.78m
コンベヤ幅	1,400mm
コンベヤ速度	120～170m/分
処 理 量	0.5～0.7 t /時
選 別 粒 度	5～25mm

エアロソータⅢ機器仕様

家電リサイクル全体の処理工程の中で、リサイクルプラスチックメーカーでエアロソータⅢを2台使ったマテリアルリサイクルフローを下図に示す。



2. 開発経緯

第34回優秀環境装置表彰において、プラスチック選別装置(エアロソータ)を応募申請した経緯がある。この平成20年当時の選別装置名はエアロソータⅠであり、軟質系容器包装プラスチック品の材質識別を目的としたものであった。

エアロソータⅠは、近赤外線ファイバーセンサをライン幅方向に31mmピッチで配置し、選別対象物の大きさは35mm～300mmである。それに対しエアロソータⅢは、硬質系廃家電プラスチック品の材質識別を目的とした新開発であり、近赤外線ラインカメラセンサ1台をコンベヤ中央上部に配置し、エア噴射ノズルピッチは4mmで幅方向に318個配置し、選別対象物の大きさは5mm～25mmとし、材質選別後すぐに押出造粒機に投入できる仕様である。

(1) 開発主旨

家電リサイクル工場(全国で A・B グループ計 48 工場)では、手解体で取外し可能なプラスチックは再生利用されているが、解体できないものは約 5~25mm に小さく粉碎されミックスプラスチックとなり、「その他有価物」としてサーマルリサイクル(燃料化)や埋立処分及び海外輸出されている。従来技術では、再利用可能な純度まで選別し高速・大量に処理する装置は無く、長時間の処理か手作業が必要であった。廃家電メーカーやプラスチックリサイクルメーカーから、細かく粉碎したミックス品を選別し単一材質のプラスチックにリサイクルしたいとの要望が強かったため装置開発を実施した。

(2) 開発目標

平成 19 年より取り組んできた廃家電ミックスプラスチックから単一材質の選別を行える実用化装置は、選別処理量が 500kg/hr 以上は必要であること、さらに選別後純度が 95% 以上必要であることがわかってきた。そのためには、装置を高速化し、高速化で材質を認識し、高速化でコンベアより飛び出した対象物を的確にエアで選別する、3つの課題を解決することが目的であった。

(3) 開発経緯

平成 19 年 11 月	近赤外線方式で 30mm アンダの硬質プラスチック選別を行う装置(エアロソータⅡ)開発に着手
平成 22 年 11 月	愛媛県 えひめ中小企業応援ファンド事業 テーマ「大量迅速処理を可能とする廃棄硬質プラスチックの高精度材質選別装置の開発」で事業採択。
平成 22 年 12 月	ファンド事業で選別装置エアロソータⅢの技術開発に着手。
平成 23 年 6 月	エアロソータⅢ実用化選別装置(選別処理量 500kg/hr 以上、選別純度 98%以上)を完成。大手家電リサイクル事業者からの廃家電粉碎品を使い選別テストを繰り返し実施し、選別純度 98%以上を達成。
平成 24 年 3 月	実用機として完成させたエアロソータⅢ 1号機をプラスチックリサイクル事業者に納入据付。

なお、本装置は、ダイオーエンジニアリング株式会社と愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻 岩本幸治氏(当時大学院助教)が共同で開発を行った。それぞれが担当した開発の内容は次の通りである。

- ・ダイオーエンジニアリング株式会社：
プラスチック材質選別装置の機械設計、電気設計、制御設計
- ・岩本幸治氏(愛媛大学)：
流体力学の分野でエア噴射の打合せを行い、プラスチックを噴射するタイミング設定の方法等噴射技術のアドバイスを得て、制御設計に活かした。

3. 独創性

近赤外線によりプラスチックの材質を識別しエアノズルで対象物を噴射選別装置は、本装置の他に T 社製と P 社製がある。

	ダイオーエンジニアリング(株)	T 社	P 社
材質識別方式	近赤外線式	近赤外線式	近赤外線式
検出方式	ハイパースペクトルイメージング分光方式	ミラーを利用したポイントスキャン方式	ミラーを利用したポイントスキャン方式
選別方式	エアノズル噴射方式	エアノズル噴射方式	エアノズル噴射方式
エアノズルピッチ	4mm	12.5mm	12.5mm
廃家電硬質プラ選別納入実績	6 台	2 台 (大手家電メーカー)	無し
粉碎プラ形状	5mm～25mm (平均 10mm)	20mm～40mm (選別後、細かく粉碎している)	無し

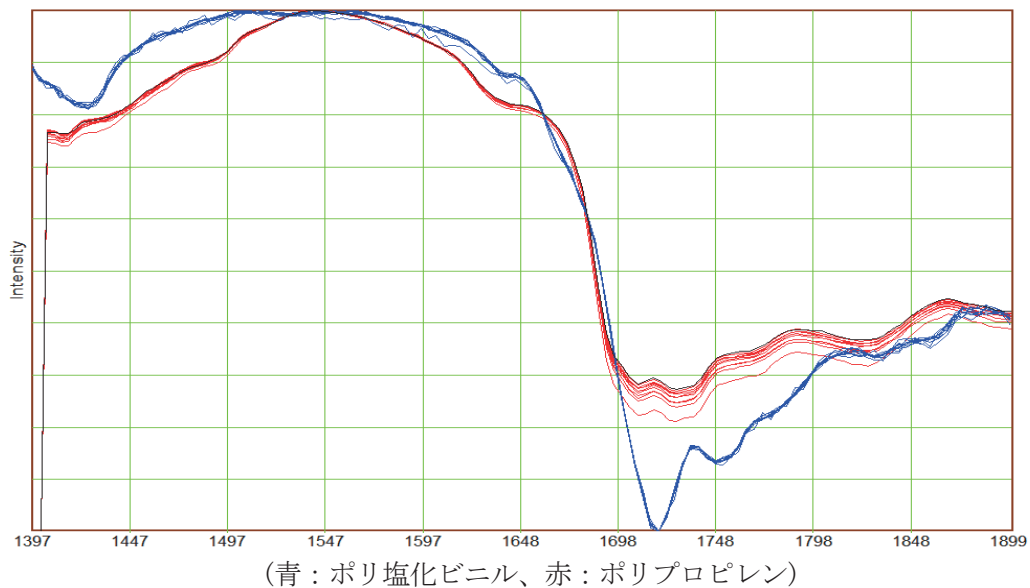
10mm 前後に粉碎した廃家電硬質プラスチック品を近赤外線とエアノズルを使い材質選別しているのは当社の選別装置のみである。T 社は数年前に大手家電メーカーに 2 台納入しているが、プラスチック形状は大きく、選別後に細かく粉碎する方式である。P 社も軟質系の容器包装プラスチック選別を手がけるが、小粒径プラスチック選別の納入実績はない。

10mm 前後に粉碎した硬質プラスチックを選別するのに、同等に比較できる装置は大手家電メーカーが行っている、静電選別装置であると考え、後述に静電選別装置との比較を行う。

当社のプラスチック材質選別装置（エアロソータⅢ）の特徴として、近赤外線センサで材質判別されその後 2m/秒でベルトコンベヤをエアノズルまで流れてくる、100mm の距離を進む間の、わずか 0.05 秒の間にタイムラグ無く正確に動作し、わずか数 mm の小さな選別対象物を狙って打ち落とす判別・動作アルゴリズムである。さらに、正確に解析され制御するエアノズルの吹き出し中心口が 4mm ピッチで隣接するという緻密な噴流制御装置の 3 つの技術構成から成る。

以前の近赤外線ラインセンサは高速識別することは可能であったが、材質識別を行うデータ量が少なかったため識別精度に問題があった。近年の近赤外線ラインセンサは性能が向上し、識別性能も向上したが、これを管理するシステムも高速大量処理を要求されるようになった。これに対応するため、高速リアルタイムコントローラを用いたプログラミングを行い、0.001 秒単位での識別データの授受、エアノズルへの信号の伝達を可能とし、高速・大量処理での選別を可能とした。

エアロソータⅢが使用する材質識別アルゴリズムの波形データを下図に示す。



従来主流であった静電選別方式は、処理物のサイズが均一で2種類のミックスプラスチックのみから選別する場合は優秀な選別装置である。ただし、破碎された処理物のサイズを均一にしようとした場合、大量のロス品が発生してしまう。また、ミックスプラスチックは2種類以上から構成されており、使用方法は限定されてしまう。

これに対して近赤外線式センサを利用したエアロソータⅢはサイズの限定が少なく、複数のミックスプラスチックの中から任意の材質を取り出すことができる。これは廃家電、廃自動車のように多品種から高品質に材料を取り出しリサイクルする用途には非常に適している。

下表に近赤外線を用いた選別装置と従来主流であった静電選別装置との比較を示す。

項目	近赤外線式選別装置 エアロソータⅢ	静電選別装置 (某大手委家電リサイクル事業者)
構造	近赤外線を利用し、エアで任意の材質プラを選別する。	原料プラ同士を摩擦させ、原料を材質ごとに＋に帯電し電極でプラを引き寄せて選別する。
選別サイズ	5～25mm	4～8mm(これ以上は精度が落ちる)
選別精度	純度:85～95% 回収率:70～90%	純度:90～95% 回収率:70%
長所	<ul style="list-style-type: none"> ミックスプラに対応可(任意の材質) 選別許容サイズの幅が大きい ある程度の汚れに対応 	<ul style="list-style-type: none"> 材質の分かった黒色プラを選別可能 材質に帯電率の差があれば近赤外線で識別できないものでも選別できる可能性あり
短所	<ul style="list-style-type: none"> 黒色プラの材質選別ができない 	<ul style="list-style-type: none"> 2種類での選別となる。もしくは帯電率が一番高いものと低いものしか選別できない 許容サイズ幅が小さい プラの材質が変わるごとに調整必要

4. 特許

特許なし

※ ただし関連特許及び商標登録は以下の通り

1) 特許番号：第 5528014 号 / 名称：プラスチック選別装置

内容：選別コンベア上にエアを吹きかけ、プラスチック材の走行姿勢を安定化させプラスチック材とコンベアスピードを同調させる機構を装備したプラスチック選別装置。

2) 特許番号：第 5367145 号 / 名称：黒色廃プラスチックの材質選別装置

内容：廃家電等の黒色プラスチックの材質を識別する選別装置

○特許商標登録：特許庁登録 第 5221819 号「エアロソータ」プラスチック選別装置

5. 性能

選別の方式、選別サイズ形状等異なるため、厳密な比較は困難であるが、静電選別装置及び T 社の近赤外線とエアノズル方式による選別装置との性能比較を下記に示す。

	ダイオーエンジニアリング(株) 近赤外線－エアノズル	大手家電リサイクル事業者 静電選別装置	大手家電リサイクル事業者 T 社近赤外線－エアノズル
選別サイズ	5～25mm	4～8mm (これ以上は精度が落ちる)	20～40mm (選別後に細かく粉砕)
選別精度	純 度:85～95% 回収率:70～90%	純 度:90～95% 回収率:70%(推定)	純 度:不明 回収率:不明 (選別時の粒度が大きすぎる)
選別環境	国内の四季環境には影響されにくい	一定温度、湿度に保った部屋 の中で選別する必要がある	国内の四季環境には影響されにくい
選別能力 コンベヤ速度	500kg/時間 120m/分	500kg/時間 落下方式(落下速度不明)	350kg/時間 120m/分

(1) 処理能力・性能

廃家電ミックスプラスチック品から特に ABS、PS を選別する。処理量は 500～700kg/時間、選別純度は 85～95%、単一材質回収率は 70～90%である。

(2) 耐久性、信頼性

平成 24 年 3 月に 1 号機を納入後、現在までに 5 社へ 6 台納入している。操業時間は約 10 時間/日であるが、4 号機・5 号機を納入した大手家電リサイクル事業者では 24 時間/日操業を行っており、納入後 2 年 6 か月経過している。大きなトラブルはなく、使用されている。

(3) 操作性、維持管理性、安全性

運転操作は1面のタッチパネルで容易に行うことができ、手動・自動運転モードがある。操業時は自動モードで「運転」ボタン1つを押せば全体運転となり、停止時は「停止」ボタンを押す。選別したい材質は画面上で容易に選択できる。選別装置(2m幅×4.7m長×2.78m高)周囲に安全カバーで覆い観音扉で開閉できる。



運転画面の例

(4) リサイクル(リユース)製品の品質等

平成23年10月、エアロソータⅢで大手家電リサイクル事業者のミックスプラスチック品から単一材質選別したPP、ABS、PSを、プラスチック物性分析機関の株式会社DJK千葉テクニカルセンターで再生原料の物性分析を行った。以下に結果を示す。

物性分析項目				PP		ABS		PS	
				エアロソータⅢ	バージン値	エアロソータⅢ	バージン値	エアロソータⅢ	バージン値
①	MFR (メルトフローレート)	JIS K-7210	g/10min	40	30	18	21	4.7	5.5
②	密度	JIS K-7112	g/cm3	0.91	0.91	1.077	1.07	1.05	1.05
③	曲げ強さ	JIS K-7111	Mpa	36.4	36	73.4	73	59.4	52
④	曲げ弾性率	JIS K-7111	Mpa	1,380	1,350	2,460	2,400	2,540	2,400
⑤	引張降状応力	JIS K-7162	Mpa	26		45.6		26.8	
⑥	引張破壊応力	JIS K-7162	Mpa	21.3	26	40.5	44	29.2	30
⑦	シャルピー衝撃強さ (ノッチ有)	JIS K-7111	KJ/m2	5.7	6.5	15	15	11	10

①リサイクル製品の有用性・品質

物性分析結果から、再生したプラスチックとバージン材の物性値はほぼ同等である。
1号機据付後、生産された再生プラスチック品を造粒機にかけてペレット化した。
造粒工程もスムーズに行えた。現状の再生利用品の用途はプラスチック雑貨や建具内
装材等への利用がされている。

②安全性・無害性

選別装置で選別した高純度の単一材質プラスチックであり無害である。

③同種のリサイクル製品と比較しての特長

他社が静電選別装置で材質選別している ABS、PS のサンプルを、当社エアロソー
タⅢで材質構成を確認した結果、純度は 94～95%であった。異種材質のプラスチック
が混入していたと考えられる。他社リサイクル品と比較して当社品は高純度であった。

④同種のバージン原料製品と比較しての長所及び短所、並びに短所をカバーする具体的
方法

上表にエアロソータⅢで選別した家電主要プラスチックの PP、ABS、PS とバー
ジン材との物性分析を比較している。曲げ強さ、弾性率、衝撃強さはバージン材とほ
ぼ同等の物性である。MF R(流動性)、引張応力は劣ってはいるが、再生利用プラス
チックとして使用用途は多いと考える。

6. 経済性

従来の静電選別方式と処理量 500kg/時間で比較すると、コストを低く抑えられると推測され
る。静電選別装置は、仕様が一切明らかでないため推定値を示す。T社の近赤外線エアノ
ズル方式選別装置との比較も推定値で示す。

	従来装置 静電選別装置	エアロソータⅢ	T社 近赤外線・エア
イニシャルコスト	100	40	40
装置費用	100	50	50
設置費用	100	30	30
ランニングコスト	100	60	60
電気代	100	60	60
メンテナンス費用	100	70	70

現在はサーマルリサイクルや単純焼却・埋立処分されているものをマテリアルに再生利用す
ることができ、再生利用する分の新たな石油を使用する必要がなくなる。省資源・省エネルギ
ーの大きな効果につながると思われる。

ミックスプラスチックの価格は約 5 円/kg と低価格であるが、このミックスプラスチックから高純度の単一材質のプラスチックを選別すれば、約 110 円/kg(ABS の場合)の高付加価値の再生プラスチックに変えることができる。この再生プラスチックを造粒してペレット品にすると約 140 円/kg となる。しかしバージンペレット品は約 190 円/kg とさらに高く、再生利用していくためには再生プラスチックペレット品を成形加工し品質検証を継続していくことが必要である。プラスチック再生事業は 1～2 年後には売上高が数倍になると見込まれ、プラスチック再生利用が普及し、雇用も伸びることが期待できる。

リサイクルプラスチックメーカーにエアロソータⅢを 1 台設置し、家電品主要プラ ABS、PS、PP を単一材質選別する場合のコスト計算を下記に示す。

〔設定条件〕

○家電リサイクル事業者からリプラスチックメーカー（リプラメーカー）が、廃家電ミックスプラを購入し、単一材料プラに再生し造粒ペレット化し出荷する場合とする。

○家電リサイクル事業者で異物（ウレタン、電線、金属等）を除去

	円/kg
現状ミックスプラ	5
リプラメーカーがミックスプラを購入	7
引取運賃	10
水比重差・粉碎・脱水乾燥・風力ふるい	15
エアロソータⅢでの材質選別	15
造粒ペレット化	30
計	77

○エアロソータⅢでは、乾式選別のため水は使用しない。

○操業時間は 8 時間/日、年間操業 276 日、処理量 500kg/時間、ABS、PS、PP 白プラの回収率を 88%とする。

○ミックスプラの材質構成

ABS	35%	その他プラ	2%
PS	25%	黒プラ	15%
PP	20%	その他	3%
		計	100%

○機器動力

本体駆動コンベヤ	2.2kW	二次製品ファン	0.5 kW
振動フィーダ	1.5 kW	コンプレッサ	22.0 kW
集塵機	2.2 kW	照明ランプ	2.3 kW
垂直コンベヤ	0.4 kW	盤クーラ	0.4 kW
循環コンベヤ	0.4 kW	カメラヒータ	0.2 kW
一次ドロップファン	0.5 kW	パワーサプライ	12.0 kW
二次ドロップファン	0.5 kW	計	45.1 kW

○単価

	再生プラ	再生ペレット	バージン価格
ABS	110 円/kg	140/kg	190/kg
PS	60/kg	90/kg	140/kg
PP	80/kg	110/kg	160/kg

	割振	500kg	操業	単価	年間	選別後プラ生産量内訳
	時間	内訳	日数	メット	メット	
	時間/日	kg	日/年	円/kg	千円/年	
ABS	4.0	161	276	63 (140-77)	10,346	500kg×0.35×0.85×4 時間/日×276 日/年=164.2t/年
PS	2.4	115		13 (90-77)	915	500kg×0.25×0.85×2.4 時間/日×276 日/年=70.4t/年
PP	1.6	92		33 (110-77)	1,237	500kg×0.20×0.85×1.6 時間/日×276 日/年=37.52t/年
その他		132			832	その他の選別残渣はペレットにはできないが、1 円/kg の有価物としてボイラ燃料とする。 (ABS+PS+PP)272t 1,104-272=832t/年
計	8.0	500			13,330	

○原料購入費

費目	コスト(千円/年)	内訳
原料費	7,728	リプラメーカーが家電リサイクル事業者からミックスプラを年間1,104t購入 7 円/kg×1,104,000kg/年=7,728 千円

○再資源化経費

費目	コスト(千円/年)	内訳
副材費	100	消耗品 100 千円/年とする
動力燃料費	837	45.1kw×0.7×8hr×12 円/Kwh×276 日/年=837 千円
減価償却費	2,615	設備費用 35,000 千円/台×0.9×0.083=2,615 千円 耐用年数 12 年 定額法による
設備保全費	800	800 千円/年とする コンベヤベルト交換 500 千円/年、ランプ、電磁弁交換他 300 千円/年
人件費	2,500	操業員 1 名 2,500 千円/年 原料製品ハンドリング作業、前処理(ふるい・風力選別)も兼ねるため、 5,000 千円/年・名の 1/2 の配分とする
その他	0	特に無し
計	6,852	

導入以前の経費		再資源化技術・装置・システム導入後の経費と収益			
自社中間処理経費	0 千円/年	再資源化経費	6,852 千円/年	再生品販売収入	33,449 千円/年
産廃処分費	0 千円/年	二次産廃処分費	0 千円/年	選別後残渣有価物	832 千円/年
原料購入費	0 千円/年	原料購入費	8,832 千円/年		
		引取運賃	11,040 千円/年		
計	0 千円/年	計	26,724 千円/年	計	34,281 千円/年

メリット：収入－経費＝34,281 千円/年－26,724 千円/年＝7,557 千円/年

7. 将来性

従来主流であった静電選別方式による材質選別を行う場合、大規模な恒温恒湿制御の部屋が必要である。さらに汚れに弱いこと、選別する許容サイズ幅が小さい等、従来の静電選別方式では制約が予想され、近赤外線方式のエアロソータⅢが今後普及する可能性が高いと思われる。

エアロソータⅢの開発実用化をきっかけとして、選別噴射制御部は技術確立したため、識別センサ部を入替することで、種々な選別装置実用化が可能となる。エアロソータⅢ以外にも、更なる金属・レアメタル材質選別装置の開発や黒色プラスチックの材質選別装置の開発が必要となる。これらの材質選別装置の開発により、廃家電品や廃自動車、小型家電等の最終工程で大量に発生する金属・プラスチック混合粉碎品から、選別困難な黒色プラスチックやレアメタルも含んだ金属の材質を、乾式かつワンスルーで高速・大量に識別し、材質毎に回収が可能となる。

このため、今まで多量に埋立・焼却などの産廃処分費用を要していたものが、ワンスルーで高速・大量に材質選別を行い有価な再生品として利用できること、及び乾式処理であり二次廃棄物もなく、プラスチックの再利用により焼却処分が不要となり CO₂ が低減することから循環型社会、低炭素社会構築が促進される。