

2024 年度 自動車リサイクルの高度化等に資する
調査・研究・実証等に係る助成事業
(Car to Car リサイクルに向けた樹脂の高度選別技術開発)

報告書

2025年3月21日

株式会社マテック

担当者連絡先

担当者名：鈴木 寛

部門：石狩支店

電話番号：0133-60-2277

メールアドレス：suzuki-h@matec-inc.co.jp

はじめに

項目	内 容	
事業の背景	➤ 昨今の CO₂ 排出抑制やプラスチック資源循環への関心の高まり、EU における新たな規制により、ELV からの樹脂リサイクルの重要性が増している。 ➤ しかしながら ELV 解体や ASR からの樹脂回収は進んでいるものの、一部の事業者に限られているとともに、PP 以外の高価値樹脂のリサイクルには技術的・経済的な課題がある。 ➤ また、各種選別装置の発展により、高精度の分離回収が可能となっているが、高品質リサイクルの例が少ない。これは、各装置に適した前処理が不十分であったり、複数の選別方法を組み合わせて選別精度を向上させる必要があることが要因として考えられる。	
事業のゴール	➤ 比重選別、静電選別、赤外線ソーターなどの選別技術を最適化し、組み合わせることにより、効率的に多種の再生樹脂を回収する技術の開発を目指す。この技術開発により、様々な樹脂を回収対象とし、自動車向け材料として使用できる樹脂を増やすことを目標とする。	
2024 年度 実施 内容	① 原料分析	➤ 原料は、株式会社マテック 苫小牧工場の ASR 再資源化施設から発生するミックスプラスチックとし、大径品 (30~120mm) の「MIX 樹脂 A」と小径品 (10~30mm) の「MIX 樹脂 B」の 2 種類を対象とした。 ➤ MIX 樹脂 A、MIX 樹脂 B から各 200 ピースを抽出し、フーリエ変換赤外分光光度計を用いて樹脂種と比重を測定した。
	② 湿式比重選別（ジグ選別）	➤ 回分式と連続式の 2 種類のジグ試験機を導入した。 ➤ 回分式により各比重域の閾値とフロート比重の関係性を確認した。 ➤ この結果をもとに連続式により比重閾値ごとに選別試験を行い、90%程度の精度で選別可能であることを確認した。
	③ 静電選別	➤ 比重域 1.00 - 1.10 の MIX 樹脂 B について比電荷分布評価（帯電試験）を実施した。ABS と PP に帯電傾向差が確認され、比電荷・2.0nC 周辺で仕切ること、静電選別によって両素材の分離が可能であることが確認できた。
	④ 赤外線ソーター	➤ 中赤外線ソーターを用いて比重液により分別したミックスプラスチックの選別試験を行い、識別可能な樹脂種や性能を確認した。 ➤ MIX 樹脂 A では、PA 類、PC+PC/ABS、POM が高純度で回収できた。 ➤ MIX 樹脂 B は、いずれの樹脂も MIX 樹脂 A に比べると純度は低くなったものの、一定程度の純度での回収が確認できた。
	⑤ 全体試験	➤ 原料分析の結果から MIX 樹脂 A は 1.00 - 1.10、1.10 - 1.23 の 2 比重域、MIX 樹脂 B は 1.00 - 1.10、1.10 - 1.23、1.23 - 1.60 の 3 比重域に、ジグにより選別し、各比重域に多く含まれる樹脂種を対象に、静電選別、赤外線ソーターによって回収する全体選別試験フローを設定した。 ➤ ジグ比重選別では、フロートセンサーの制御により任意の比重を閾値として、一定の精度で樹脂の比重選別を行うことが可能であった。対象素材の濃縮に比重選別は有効であると言える。 ➤ 静電選別では、比重域 1.00 - 1.10 を対象に比電荷分布評価を行い、これをもとに PP と ABS の選別試験を実施した。 ➤ MIX 樹脂 A は、比電荷分布評価をもとに、ねらい通りの静電選別ができたと考えられるが、MIX 樹脂 B は、比電荷分布では少量の回収が予想された PP の回収量が多くなった。これは原料中の組成のばらつきが大きいことによるものと考えられる。 ➤ 赤外線ソーターでは、比重域 1.00 - 1.10 で静電選別により選別した PP と ABS の高純度化と、比重域 1.10 - 1.23 ではこの領域に多く含まれる PA と PC+PC/ABS の回収、さらに比重域 1.23-1.60 の MIX 樹脂 B では POM、PBT の回収試験を行った。 ➤ 比重域 1.00-1.10 の MIX 樹脂 A、MIX 樹脂 B はともに PP、ABS の高純度化ができたが、MIX 樹脂 A の PP 以外は回収率が低かった。その他の試験も概ね回

項目	内 容	
⑥製品分析・評価		収純度は高かったが、回収率に課題が残る結果となった。 ➤ 赤外線選別においては、回収対象の樹脂種だけではなく、その他の樹脂種との比較で選別閾値が決定されるため、前処理による樹脂種の限定や専用プログラム設定による改善の余地があると考えられる。
		➤ 回収品評価のため、全体試験で回収した PP 及び ABS を二軸押出機でペレット化した。 ➤ MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B から回収した PP、ABS には、少量の異物の混入があるが、支障なくペレット加工ができた。 ➤ 製造した PP ペレットについて物性試験を実施。異物混入等の課題はあるが、主要物性は自動車向けとしての物性に近い値であり、自動車向け再生原料として使用できる可能性が高い。

目次

1. 助成事業の計画	1
1.1. 自動車リサイクル業界における事業の位置付け・背景	1
1.2. 事業の実施内容	3
2. 助成事業の報告	10
2.1. 助成事業実施結果	10
2.2. 設備導入内容及び稼働結果	43
2.3. 実施結果を踏まえた考察	46
3. 今後の実証事業実施における課題及び解決方法等	56
3.1. 現状の課題	56
3.2. 課題の解決方法	56
3.3. 次年度以降の助成事業展開	57
4. 事業化の計画	58
4.1. 想定する事業	58
5. 事業の評価	59
5.1. 採算性の評価	59
5.2. 有効性の評価	60

1. 助成事業の計画

1.1. 自動車リサイクル業界における事業の位置付け・背景

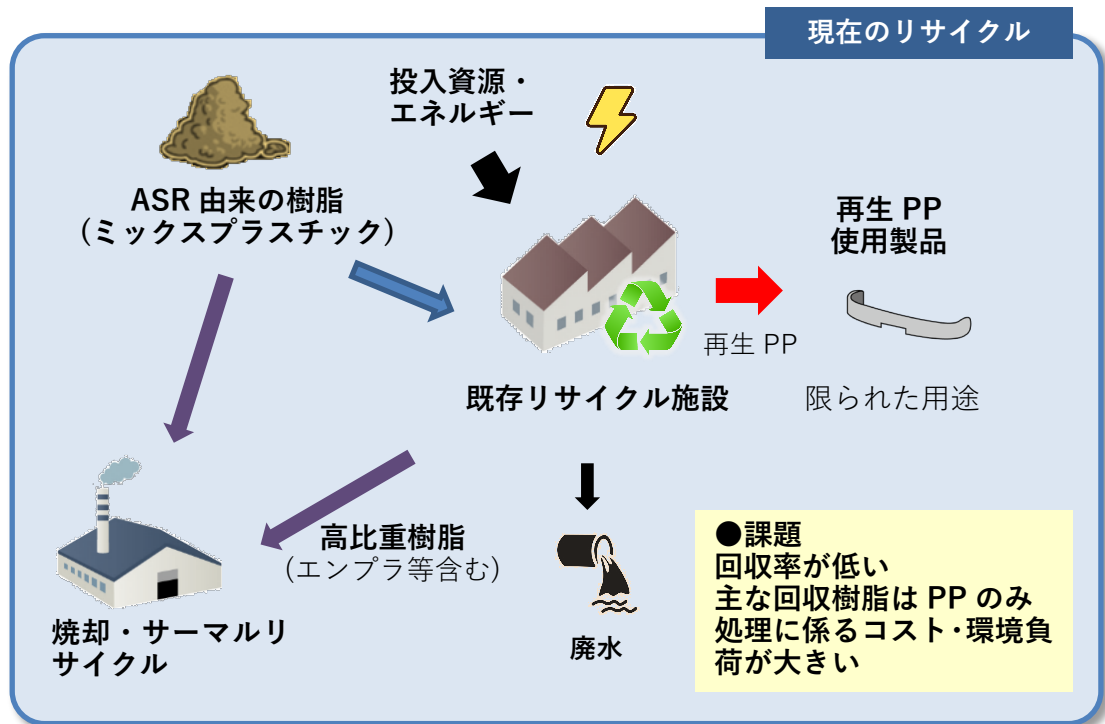
昨今の CO₂ 排出抑制の観点やプラスチック資源循環への機運の高まり、EU における自動車製造に関する新たな規制などにより、使用済み自動車（以下「ELV」という。）からの樹脂リサイクルの重要性が増している。また、多くの製品を輸出する我が国の産業構造においても、再生資源の確保は急務となっており、より多くの再生樹脂を効率的に回収することが求められている。

これまで ELV 中の樹脂の多くは焼却処理されていたが、近年では ELV 解体時の樹脂回収や、自動車破砕残さ（以下「ASR」という。）からの樹脂の選別回収が一部で行われている。しかしながら、このような樹脂のマテリアルリサイクルを行っているのは一部の事業者にとどまっているとともに、Car to Car リサイクルの用途としては、主に PP 樹脂のみが対象として進められている。自動車には PP 以外にもエンジニアリングプラスチックなど高価値の樹脂が多種類使用されているが、技術的・経済的な課題から、そのリサイクルは進んでいない。これらの多様な樹脂種を効率的に回収する技術の確立が、樹脂リサイクルの拡大には不可欠である。

また、カーボンニュートラルの観点からリサイクル時の CO₂ 排出を抑制することも重要であるが、現状ではリサイクル工程に多くのエネルギーを投入するため、再生樹脂がバーゲン材よりも高コストとなるケースも散見され、より効率的で環境負荷の少ない手段での樹脂リサイクルを確立する必要もある。

さらに、各種選別装置の発展により一定の条件下では高精度の分離回収が可能となっているものの、高品質のリサイクルを実現している例が少ない。これは、各装置に適した前処理が不十分のため機械の性能が発揮されていないことが大半の原因であり、複数の選別方法を組み合わせることで選別精度を向上させることが可能だと考えられる。

このような背景のもと本事業では、比重選別、静電選別、赤外線ソーターなどの選別技術を最適化し、組み合わせることにより、効率的に多種の再生樹脂を回収する技術の開発を行う。この技術開発により、様々な樹脂を回収対象とし、自動車向け材料として使用できる樹脂を増やすことを目標とする。あわせて現存の方法よりも高い回収率を低コストで実現し、環境負荷の少ないリサイクル技術の確立を目指す。



樹脂回収量・品種の拡大
高回収率の効率的な回収技術の検討
リサイクルコスト・環境負荷低減

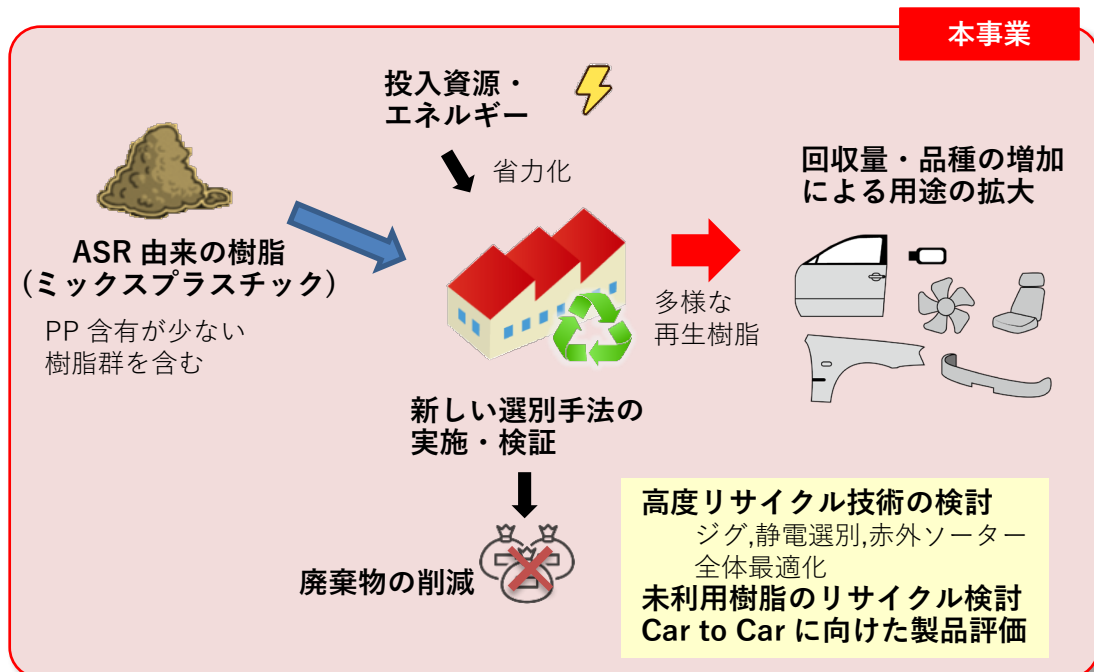


図 1-1 本事業の概要

1.2. 事業の実施内容

1.2.1. 事業計画概要

本事業では、ASR 由来のミックスプラスチックから効率的に再生樹脂を回収する技術の開発を行う。特に、有効なリサイクル手法が確立していない PP 以外の多くの樹脂を含む小径のミックスプラスチックや高比重のプラスチックに重点を置いて検討を進める。

PP のみならず多くの種類の樹脂を対象に、選別・回収を行い、回収した樹脂は自動車向け材料として利用を想定し、必要な材料評価を行う。これらにより、低コストで環境負荷の少ない方法でのリサイクル技術の開発を目指す。

具体的には、ASR 由来のミックスプラスチックを対象に、湿式比重選別、静電選別、赤外線ソーターによる選別を検証し、それらの組み合わせにより最適なりサイクル手法を選定する。

特に、剛性の高い樹脂を多く含む小径のミックスプラスチックや比重 1.0 を超える高比重樹脂も対象とし、PP に加えて PE、ABS、PS、PC、PMMA、PA、POM、PBT など多くの樹脂種を対象に回収試験を行い、リサイクル性を評価する。

さらに、回収した樹脂は物性等の分析を行い、自動車向けまたはその他の用途への適用を検討する。

本事業の実施内容を表 1-1 に示す。

表 1-1 事業の実施内容

実施項目	内容
①原料分析	原料となる ASR の組成分布、比重、静電特性、赤外吸収スペクトルなど、選別工程を検討する上で必要な分析を行い、理論的考察に基づいて検討を進める。
②湿式比重選別（ジグ選別）検討	比重液を使用した方法はコストや環境負荷が大きいため、真水での処理が可能なジグの適用を検討する。試験機を導入し、各比重域の樹脂を精度よく分離回収する条件を検討する。
③静電選別検討	サンプルごとに比電荷分布評価（帯電試験）を行い、樹脂ごとの帯電特性を評価する。その結果をもとに、比重選別により分離した各比重域の原料を静電選別装置で選別する。回収対象ごとに最適な運転条件で再生樹脂を回収し評価する。
④赤外線ソーター検討	赤外線ソーターにより、単一樹脂回収、他工程の障害物の除去、回収樹脂の高純度化を実施。中赤外線ソーターを使用することで、黒色樹脂も含めて検証する。
⑤全体フロー・追加処理検討	試験結果を踏まえて、最適なりサイクルフローを検討し分離試験を行う。品質が不十分な回収物について、押出工程での異物除去など、追加で必要な処理を検討する。
⑥製品分析・評価	回収物の物性等を分析し自動車向け材料としての適用性を評価し、対象となる自動車部品を検討する。自動車への適用が不向きな樹脂は、自動車以外の用途も検討する。

(1) 原料となるミックスプラスチック

選別対象とする原料は、株式会社マテックの ASR 再資源化施設から発生するミックスプラスチックとし、下記に示す「MIX 樹脂 A」と「MIX 樹脂 B」の 2 種類を対象とする。

水比重選別により選別された比重 1.0 以下の樹脂は、大部分が PP であり、少量の PE を含むものの再生ポリオレフィン樹脂としてリサイクル可能であるが、比重 1.0 以上の樹脂は、回収・リサイクルがほとんど行われていないため特に重点を置いた。

なお、ASR は一般的にハンマー式のシュレッダーで ELV を破砕することで発生するが、高靱性樹脂は細かく割れずに大径側、高剛性樹脂は破砕時の衝撃により細くなり小径側に多く分布すると考えられる。そのため本事業では、ASR から回収されるプラスチックの内、大径品 (30~120mm) と小径品 (10~30mm) の 2 種類に分けて検討を進めることとした。

また、湿式比重選別工程において、繊維状の物質は水を含んだ状態での挙動が不安定であり選別に悪影響を与える。同施設においては、サイズを揃えてから風力選別を実施するなど工程により、繊維状物質を極力除去している。

① MIX 樹脂 A

発生までの処理工程は図 1-2 に示すとおり、ASR を風力選別した後に 30~120mm で分級し、磁力選別、渦電流選別、メタルソーターにより金属類を除去する。ラバーリムーバーによりゴム類を除去した後、20mm に破砕し、水比重選別後の沈降物として回収される。

このように選別された MIX 樹脂 A は、比較的異物が少なく、汎用樹脂 (PP、PE 等) の割合が高い。

② MIX 樹脂 B

発生までの処理工程は図 1-2 に示すとおり、ASR を風力選別した後に 10~30mm で分級し、磁力選別、渦電流選別、メタルソーターにより金属類を除去した後、水比重選別後の沈降物として回収される。

このように選別された MIX 樹脂 B は、異物 (ゴム類、金属等) が多く、高剛性樹脂 (PC、PA 等) の割合が比較的高い。

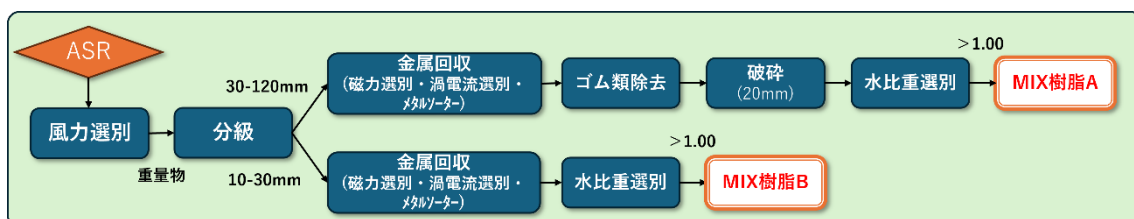


図 1-2 ミックスプラスチックの回収フロー



MIX 樹脂 A



MIX 樹脂 B

図 1-3 対象原料とするミックスプラスチック

(2) 湿式比重選別（ジグ選別）の概要

ミックスプラスチックのリサイクル工程では、比重選別に塩水等の比重液を用いた浮沈分離が用いられることが多いが、ここでは環境負荷の少ない方法としてジグを用いた選別を検討する。

ジグ選別は、固体粒子の密度の差を利用した比重選別技術の一つであり、固体粒子の密度差に基づいて流体（通常は水）内で行う選別技術である。

ジグ選別の原理としては、粒子の沈降速度が比重により異なることを利用して、水中の網上にある粒子層に上下に脈動する水流を与え、粒子を比重順に網上に成層させて分離するものである。ジグ選別は、現在も選炭の分野で主要な選別法として利用されている。

ジグ選別機にはその構造により種々の種類があるが、本事業では図 1-4 のように空気室を網下に置き、空気室内に圧縮空気を入・排気することで脈動水流を発生させる TACUB ジグを採用している。

塩水を用いた比重選別では比重 1.2 以上の選別は難しいが、ジグ選別では同一設備で広範囲の比重選別に適用可能である。

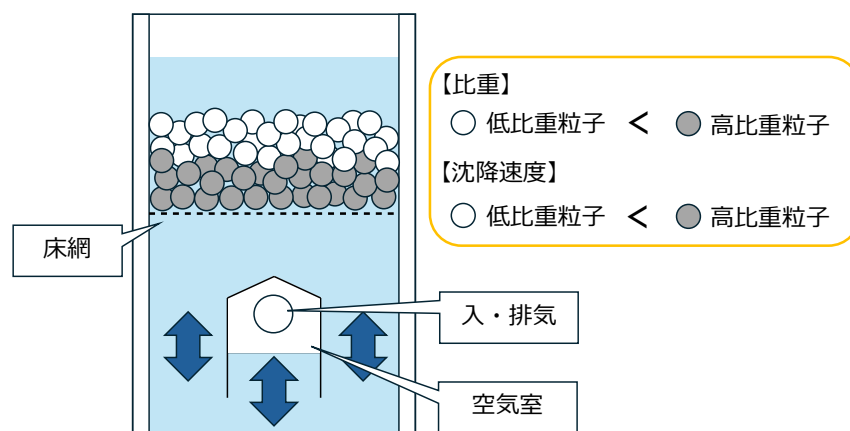


図 1-4 ジグ選別の原理

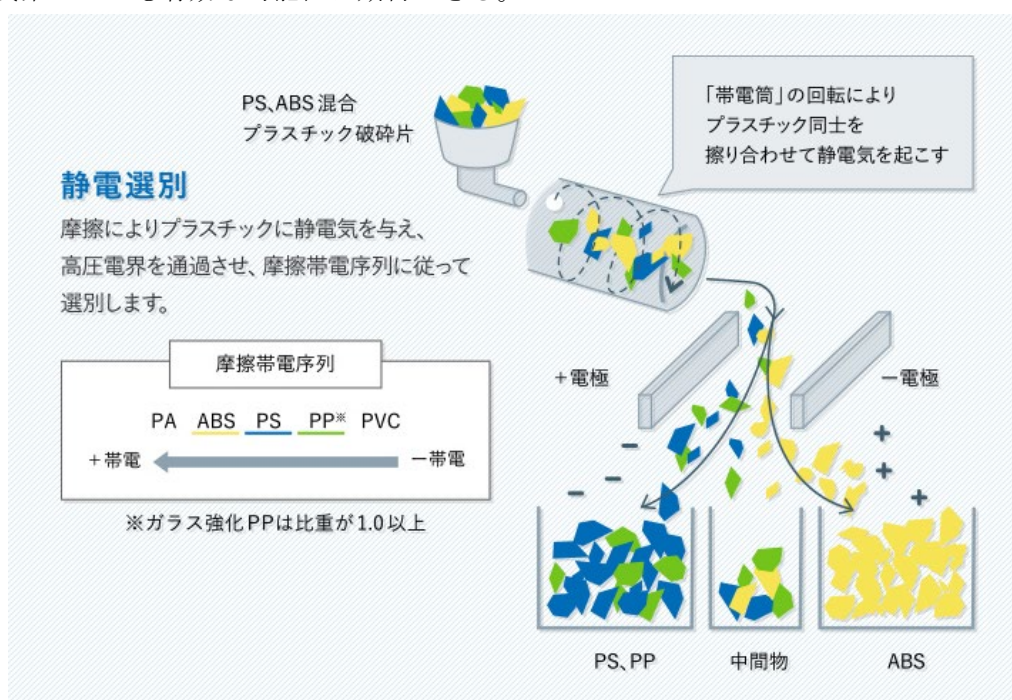
(3) 静電選別の概要

静電選別は、粒子に働く電氣的な力の差を利用した選別技術である。プラスチックの選別への適用にあたっては、粒子の形状が整っていること、湿度が管理されていること、試料が乾燥していること等の制約はあるものの、乾式法であることから水処理の必要がなく、比重差がない場合も選別が可能といった利点がある。

静電選別の原理を図 1-5 に示す三菱電機株式会社のグループ会社、株式会社グリーンサイクルシステムズ（以下「GCS」という。）の使用済み家電プラスチックの静電選別工程を例に説明する。

回転する帯電ドラムに混合プラスチックを投入し破碎、混合、プラスチック片同士を擦り合わせて摩擦帯電させる。その際、摩擦帯電序列に従い ABS はプラス、PS はマイナスに帯電する。帯電した混合プラスチックを、高電圧を印加した電極間に投入すると、静電気力によってプラスに帯電した ABS はマイナス電極側に、マイナスに帯電した PS はプラス電極側に引き寄せられながら落下する。それらを装置の下側に備えた回収容器で別々に受けて選別が完了する。

三菱電機では家電とは異なる様々な業界の破碎混合プラスチックサンプルについて、約 30 社からサンプル提供を受け共同で検証を行っている。既存の近赤外線選別が苦手とする黒色プラスチックや、PE と PP のような比較的分子構造の近いプラスチック等についても選別可能な事例が多数確認されており、本プロジェクトにおける ASR の高度選別システムの一要素としても有効な可能性に期待できる。



出所) 株式会社グリーンサイクルシステムズ公式サイト <http://www.gc-s.co.jp/>

図 1-5 静電選別の原理

(4) 赤外線ソーターの概要

センサーソーターは、近年リサイクル分野での普及が広がっているセンサー選別技術の一つであり、選別対象物をベルトコンベア等で高速で供給しながら非接触で検知し、その検

知情報を瞬時に処理することで、対象物の素材を識別し、その結果に基づいて機械的に分離する方法である。

近赤外線ソーターは、プラスチックに近赤外線を照射すると、物体を構成する分子構造に依存して特定の波長の光が吸収される。このプラスチック表面から反射した光吸収スペクトルの違いを検知して分離する装置である。

近赤外線法の弱点として、黒色のプラスチックは吸光度が高く反射波を検知できず識別が困難となる点が挙げられるが、本事業では中赤外線を使用した赤外線ソーターを適用することにより、黒色プラスチックの識別も可能である。中赤外線法による素材判別のイメージを図 1-6 に示す。

選別装置の概念図は図 1-7 のとおりであり、中赤外線カメラで検知・識別した後に、識別結果に基づいてエアジェット（噴射ノズル）により、素材ごとに異なる回収容器に分離回収する。

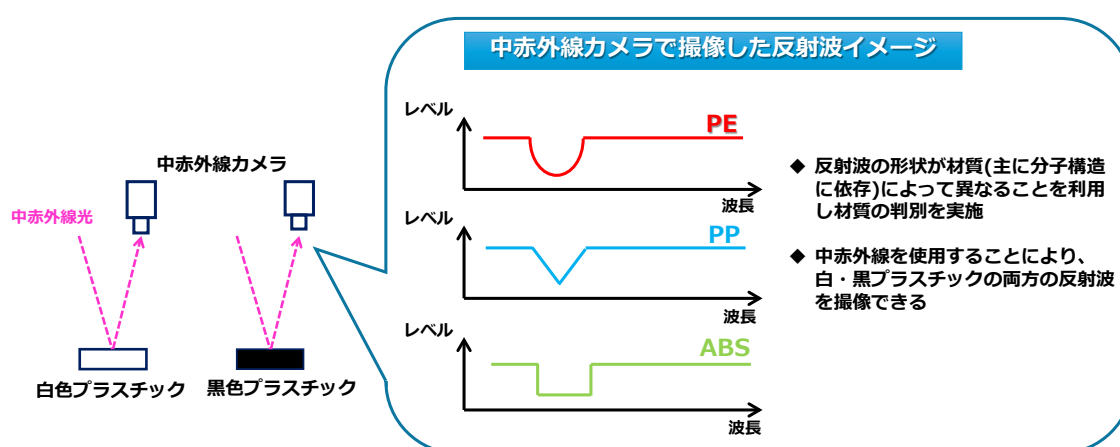


図 1-6 中赤外線ソーターによる素材判別のイメージ

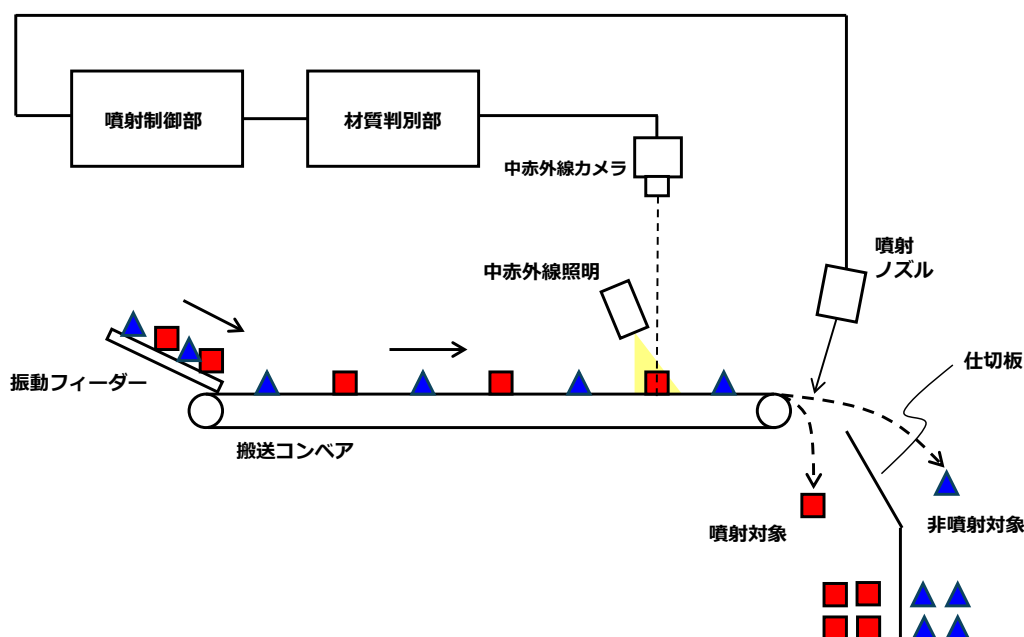


図 1-7 中赤外線ソーターの装置概念図

1.2.2. 事業実施体制

本事業は図 1-8 及び表 1-2 に示すとおり、リサイクラーとメーカーが協働して実施する。

表 1-1 で示した事業内容のうち、代表事業者及び共同事業者全体で「②湿式比重選別（ジグ選別）検討～④赤外線ソーター検討」を実施する。その結果を踏まえて「⑤全体フロー・追加処理検討」を行う。

また、関東プラスチックリサイクル協同組合は、外注先として評価・分析を行う。さらにアドバイザーとして自動車向けリサイクルに関する助言を行う。

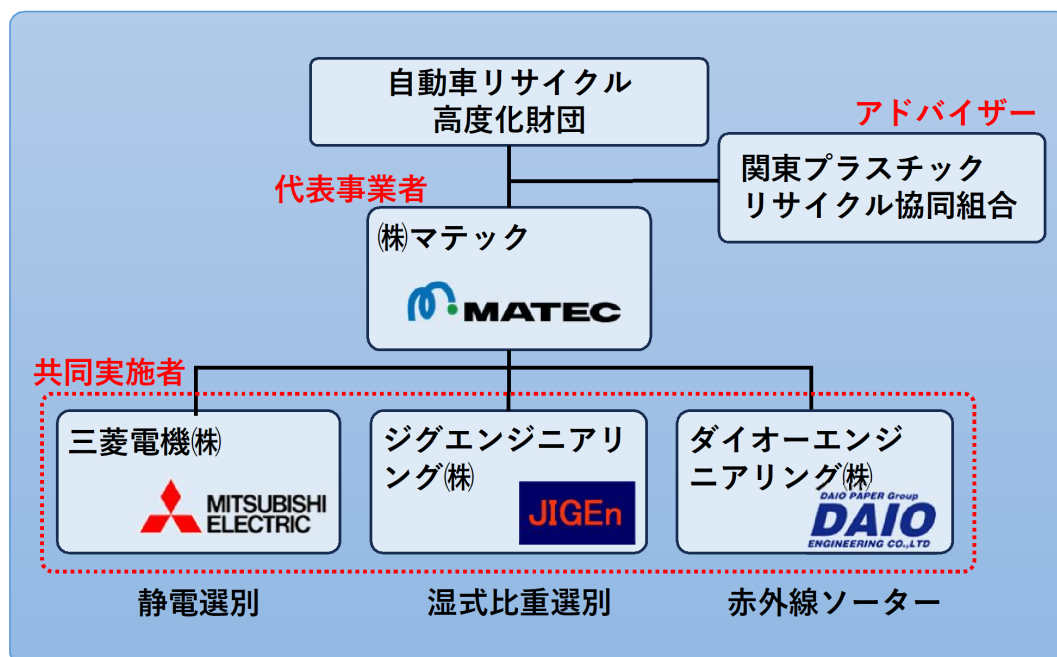


図 1-8 本事業の実施体制

表 1-2 本事業の実施体制

【代表事業者】	
株式会社マテック	ELV リサイクル全般・樹脂リサイクルを行っている。 事業全体の取りまとめを行う。
【共同実施者】	
三菱電機株式会社	静電選別装置を開発し、家電由来樹脂のリサイクルを実施している。 対象原料の静電選別を実施し、自動車由来樹脂への適用性を検証する。
ジグ・エンジニアリング株式会社	ジグの開発・製造を行っている。 ジグを用いた湿式比重選別を実証し、高精度選別が可能な処理条件を検討する。
ダイオーエンジニアリング株式会社	赤外線ソーターの開発・製造を行っている。 赤外線ソーターによる選別実証を行う。回収率、品質向上に必要な調整を検討する。
【アドバイザー】	
関東プラスチックリサイクル協同組合	樹脂リサイクルの高度化に向けたアドバイスをを行う。 事業の回収物ついて、自動車向け適用に必要な分析を行う。

1.2.3. 事業の実施スケジュール

本事業の実施スケジュール（計画）は表 1-3 に示すとおりである。

表 1-3 本事業の実施スケジュール（計画）

	2024年度											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
関係者会議	(1)			(2)	(3)	(4)	(5)			(6)	(7)	
	※ 必要に応じてweb会議を随時行う											
①原料分析	①-1 材質・ 比重測定				①-2 帯電特性測定	①-3 IRスペクトル測定						
②比重選別 検討	②-1 試験機製造			②-2 試験実施				②-3 改善検討	②-4 追加試験	最適フローで の処理実施		
③静電選別 検討					③-1 試験実施			③-2 改善検討	③-3 追加試験	③-4		
④赤外線ソー ター検討						④-1 試験実施		④-2 改善検討	④-3 追加試験	④-4		
⑤追加処理 全体70-検討							⑤-1 追加処理検討		⑤-2 全体70-策定	⑤-3		
⑥分析・ 評価							⑥-1 回収物分析				⑥-2 回収物分析	
⑦報告書 作成							⑦-1 中間報告 取りまとめ					⑦-2 報告書取 りまとめ

2. 助成事業の報告

2.1. 助成事業実施結果

助成事業により実施した試験結果について報告する。

本事業は、対象原料の素材構成等の分析、各選別技術の選別性の調査を実施した上で、回収対象とする樹脂種、最適と考えられる選別手順を検討し実証する手順で実施した。

原料分析と各選別工程の試験結果から全体の処理フローを策定し、MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B の低比重域（比重 1.00－1.10）から PP 及び ABS、中比重域（比重 1.10－1.23）から PA、PC+PC/ABS、MIX 樹脂 B の高比重域（1.23－1.60）から POM、PBT を回収した。

2.1.1. 原料分析

フーリエ変換赤外分光光度計（以下「FTIR」という。）を用いて対象原料の素材構成を分析し、水中置換法にて個体ごとの比重を測定することで、素材ごとの比重分布を調査した。

原料に含まれているプラスチックの種類・比重分布の把握を目的として、原料から 100 ピースの分析サンプルを抽出し、ピースごとの樹脂種と比重を測定した。

なお、サンプル抽出は 2 回実施し、計 200 ピースを分析した。

本年度の事業としては、PA6、PA66 等の種類分けは行わず PA として取り扱い、軟質 PVC 等、軟質の物質についてはゴム類として、ガラス・石・金属付着物等、樹脂以外の物質を異物として整理した。

(1) MIX 樹脂 A

同一材種においても多くの樹脂種で比重分布に広がりが見られた。MIX 樹脂 B と比較すると PP、ABS の割合が高く、比較的ゴム類や異物が少ない。低比重域に汎用樹脂である PP が多く含まれており、同比重域に ABS も存在することがわかる。多くの比重域において種々のプラスチックが含まれているが、比重域を限定することで特定樹脂の濃縮や、混合する異物の量や種類を削減することが可能と考えられる。

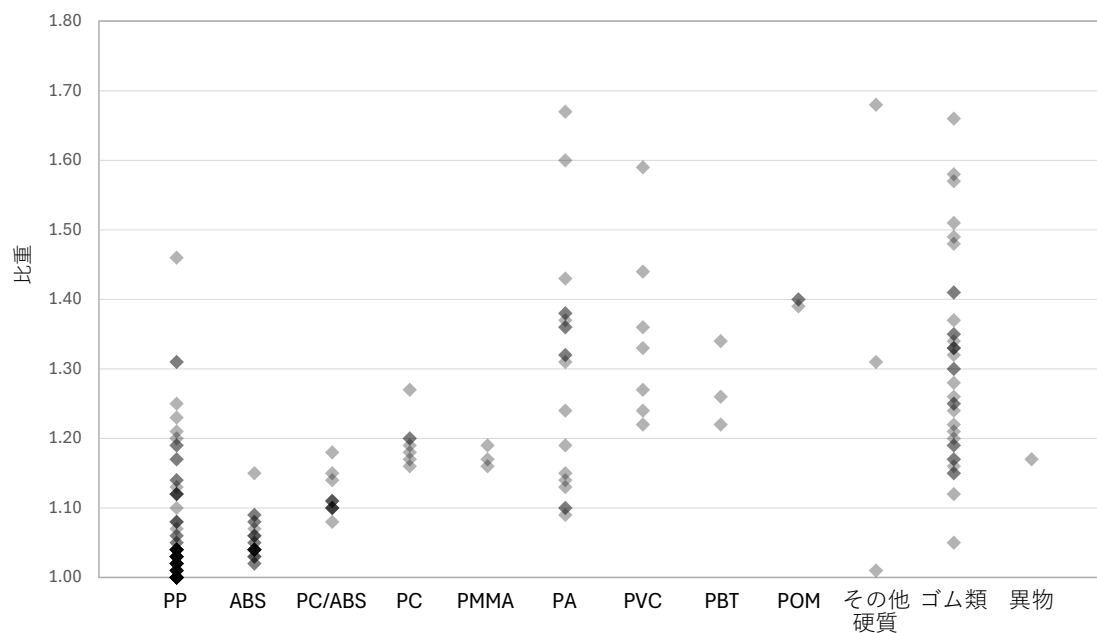


図 2-1 MIX 樹脂 A の素材ごとの比重分布 (n=200)

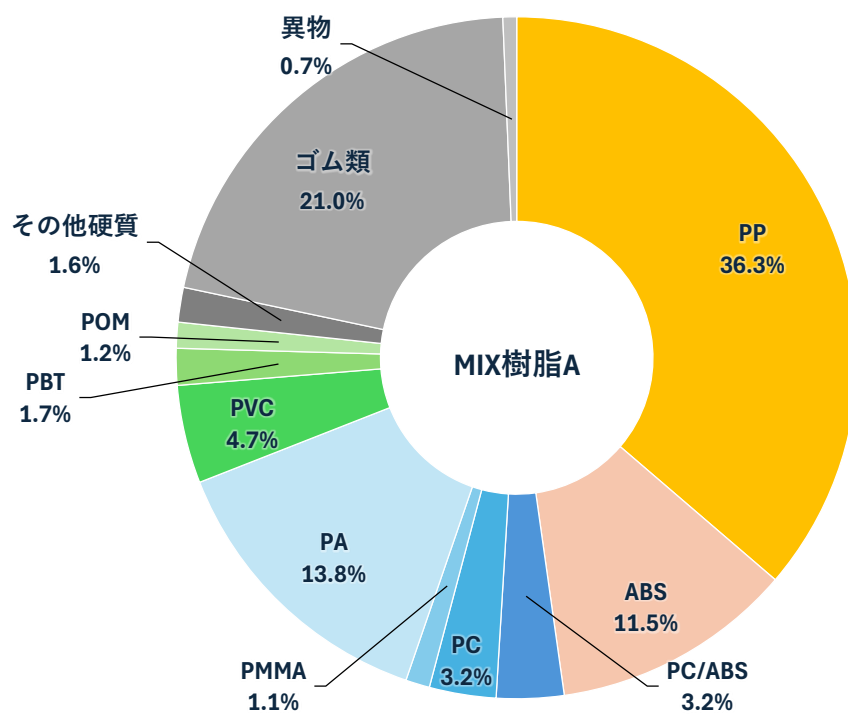


図 2-2 MIX 樹脂 A の素材構成 (重量比)

表 2-1 MIX 樹脂 A の素材構成

素材	個数	重量/g	重量割合	平均比重※2	最小比重	最大比重
PP	83	21.17	36.3%	1.06	1.00	1.46
ABS	24	6.70	11.5%	1.05	1.02	1.15
PC/ABS	11	1.87	3.2%	1.12	1.08	1.18
PC	7	1.85	3.2%	1.20	1.16	1.27
PMMA	3	0.67	1.1%	1.17	1.16	1.19
PA	19	8.04	13.8%	1.30	1.09	1.67
PVC	7	2.72	4.7%	1.35	1.22	1.59
PBT	3	1.01	1.7%	1.27	1.22	1.34
POM	3	0.71	1.2%	1.40	1.39	1.40
その他硬質	3	0.96	1.6%	1.33	1.01	1.68
ゴム類※1	36	12.27	21.0%	1.33	1.05	2.12
異物	1	0.38	0.7%	1.17	1.17	1.17

※1 軟質樹脂を含む。

※2 個数での単純平均

(2) MIX 樹脂 B

MIX 樹脂 A に比べ、ゴム類、異物の含有が多い。また、MIX 樹脂 A 同様に同一材種のものにおいて比重分布に幅が見られた。PC や PA 等の剛性の高い樹脂の割合が比較的高い。また、自動車中に機能部品として比較的小さなパーツとして使用される POM や PBT などエンジニアリングプラスチックも含有する。MIX 樹脂 B についても、比重域を限定することで特定樹脂の濃縮や、混合する異物の量や種類を削減することが可能と考えられる。

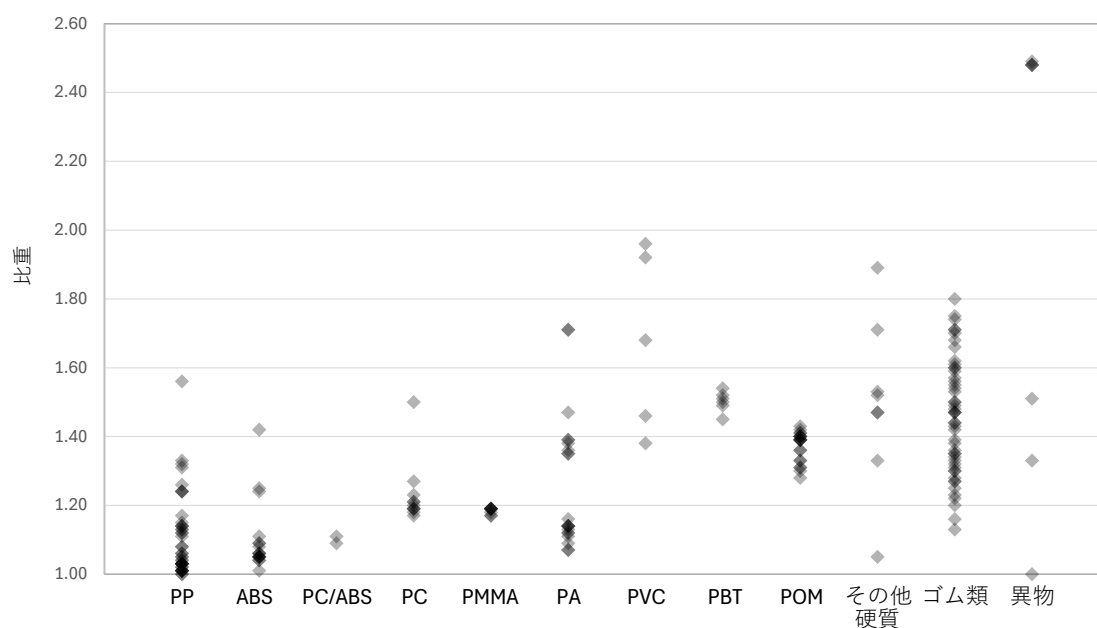


図 2-3 MIX 樹脂 B の素材ごとの比重分布 (n=200)

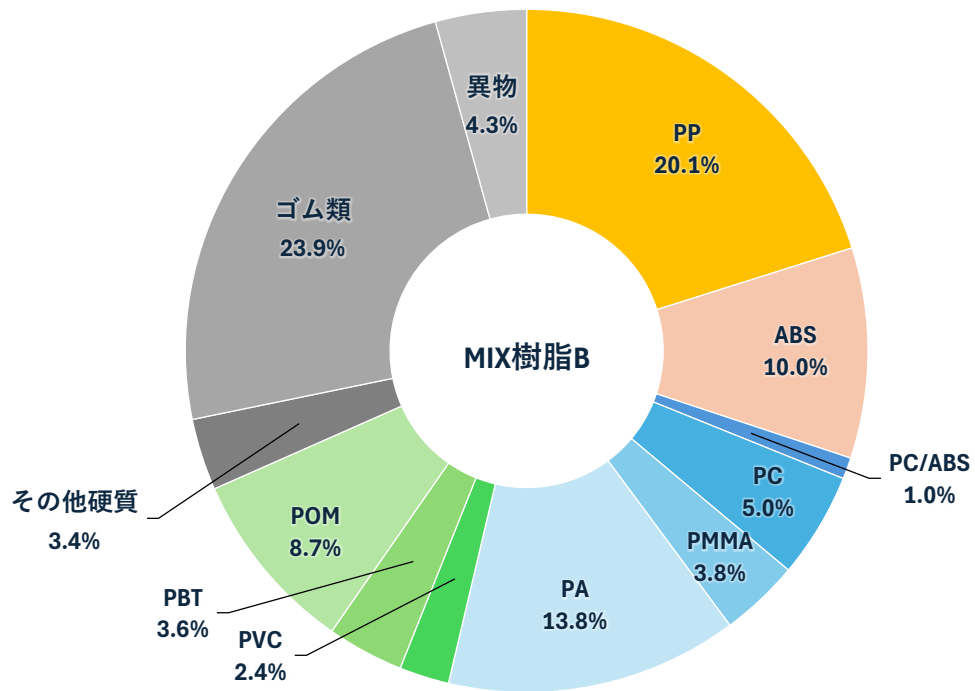


図 2-4 MIX 樹脂 B の素材構成 (重量比)

表 2-2 MIX 樹脂 B の素材構成

素材	個数	重量/g	重量割合	平均比重※2	最小比重	最大比重
PP	43	27.87	20.1%	1.11	1.00	1.56
ABS	18	13.79	10.0%	1.10	1.01	1.42
PC/ABS	2	1.41	1.0%	1.10	1.09	1.11
PC	11	6.91	5.0%	1.23	1.17	1.50
PMMA	9	5.20	3.8%	1.18	1.17	1.19
PA	21	19.16	13.8%	1.26	1.07	1.71
PVC	5	3.27	2.4%	1.68	1.38	1.96
PBT	6	5.03	3.6%	1.50	1.45	1.54
POM	21	12.06	8.7%	1.37	1.28	1.43
その他硬質	8	4.70	3.4%	1.50	1.05	1.89
ゴム類※1	49	33.11	23.9%	1.46	1.13	1.80
異物	7	5.97	4.3%	1.97	1.00	2.49

※1 軟質樹脂を含む。

※2 個数での単純平均

2.1.2. 湿式比重選別（ジグ選別）

(1) 回分式ジグ試験機による運転条件の検討

ジグ選別の選別精度は、振動数や振幅の影響を受けることがわかっており、処理材料の形状や比重により挙動が変わるため、回分式ジグ試験機を用いて選別対象ごとに最適な運転条件を検討した。

試験機に色付けした既知の比重の材料を投入し、処理条件を調整し分離精度の高い運転条件を選定した。検討結果より、以下の運転条件を最適運転条件として設定した。比重の高い領域では、短時間で上下に分離したが、低比重域においては分離に時間を要し、高比重域と比べ分離境界が明確とならなかった。

表 2-3 ジグ選別試験の運転条件

比重閾値	脈動周波数 min ⁻¹	波高 mm	層厚 mm	処理時間 min
1.20	13	70	150	1
1.10	8	50	150	4
1.05	10	85	150	5

(2) 各比重帯の取り出し方法の検討

特定の比重を選別境界とするために、水槽中にフロートセンサーを入れ、特定の比重境界をモニタリングした。フロートの比重を調整することで、モニタリングする境界の比重を可変とした。

試験方法は、いくつかの比重帯に分けた既知の比重の色付けしたサンプルを準備し、回分式ジグ試験機によるジグ選別試験を行い、フロートが 2 つのサンプルの間にあるようにフロートの比重を調整した。検討試験中の様子を図 2-5 に示す。



【ジグ選別中の様子】

【ジグ選別後の様子】

図 2-5 各比重帯の取り出し方法の検討試験の様子

試験の結果、一定の精度でフロートの比重を調整することで検出する比重閾値を変化させることが可能であった。

そこで、いくつかの比重帯に分けたサンプルを準備し、フロートが 2 つのサンプルの間に位置するようにフロート比重を調整し、図 2-6 に示す検量線を作成した。グラフより

フロート比重と比重閾値は比例関係にあることが確認できる。この結果を用いて、任意の比重閾値に相当するフロート比重を調整することで、連続ジグ選別試験に活用することとした。

ただし、フロート位置は処理条件や原料の性状により影響を受ける可能性があり、状況に応じてフロート比重の微調整が必要と考えられる。

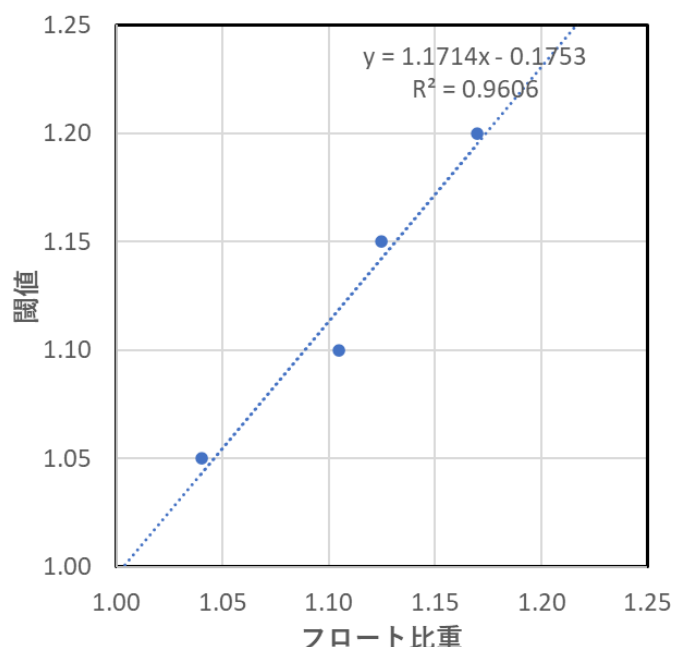


図 2-6 比重閾値とフロート比重の関係

(3) 連続式ジグ選別試験

前項で調整したフロートセンサーの閾値を、比重 1.20、1.15、1.10、1.05 として MIX 樹脂 A を原料として連続式ジグ選別試験を行い、浮上物及び沈降物を回収した。回収物をそれぞれ比重液に浸漬し、選別精度を確認した。

試験結果を表 2-4 に、選別精度の確認の様子を図 2-7 に示す。

連続式ジグ選別試験の結果は、90%程度の精度で選別が可能であったが、低比重側（閾値 1.05）で設定比重域からのずれが生じた。これについてはフロート比重の調整と事前に 1.00～1.10 に比重域を絞ってから選別試験を行うことで選別精度の改善を確認した。

この条件を用いて、連続式ジグ選別機により対象原料の比重選別を行い、試験試料を作成する。

表 2-4 MIX 樹脂 A の連続式ジグ選別試験結果

比重閾値	回収割合 (浮上物/沈降物)	浮上物純度 (閾値以下割合)	沈降物純度 (閾値以上割合)
1.20	78 / 22	95.7%	88.6%
1.15	67 / 33	91.2%	90.5%
1.10	65 / 35	83.3%	100.0%
1.05	54 / 46	39.5%	100.0%
1.05 (再試験)	43 / 57	86.7%	76.1%

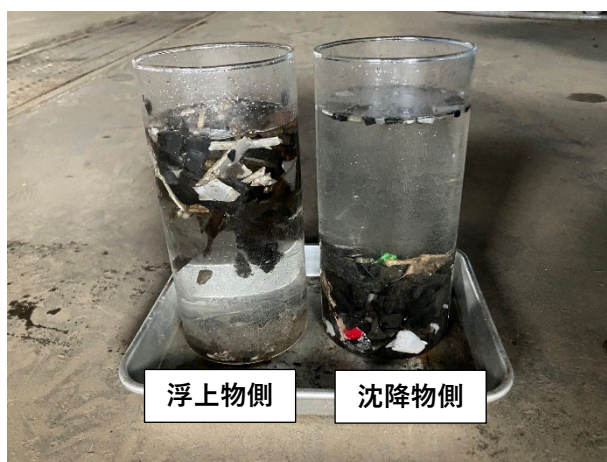


図 2-7 選別精度の確認の様子

2.1.3. 比電荷分布試験（帯電試験）

比重域 1.00～1.10 の MIX 樹脂 B を対象に、静電選別試験の事前評価として比電荷分布評価（帯電試験）を行った。なお、図 2-8 で示すとおり帯電試験は、静電選別試験の事前評価として実施する試験にあたるものである。（試験方法の詳細は、2.1.5 (4) を参照）

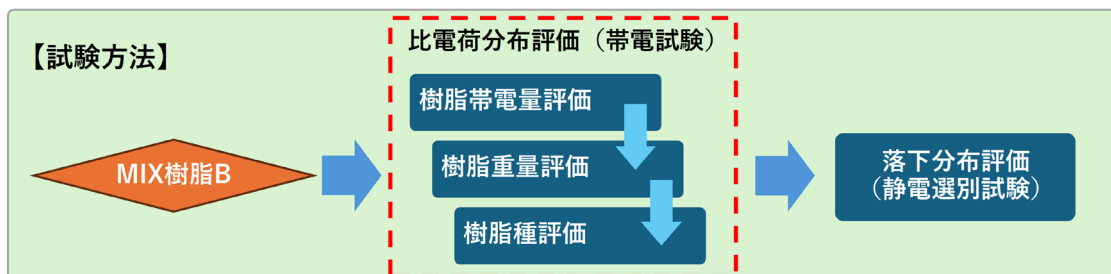


図 2-8 静電選別試験の流れ

帯電試験の結果を図 2-9 に示す。対象の樹脂群を帯電筒で帯電させ、ピースごとに帯電量を測定した後、重量計測、樹脂種の同定を行う。横軸に比電荷（帯電量 / 重量）、縦軸に樹脂種ごとに色付けした対象比電荷範囲の度数をプロットした。

MIX 樹脂 B（比重域 1.00～1.10）のサンプル中において、ABS と PP に帯電傾向差が確認され、比電荷・2.0nC 周辺で仕切ること、静電選別による分離が可能であることが示唆された。特に PP は、サンプル調査ではあるものの PP 以外が含まれておらず高純度の回収が見込まれる。

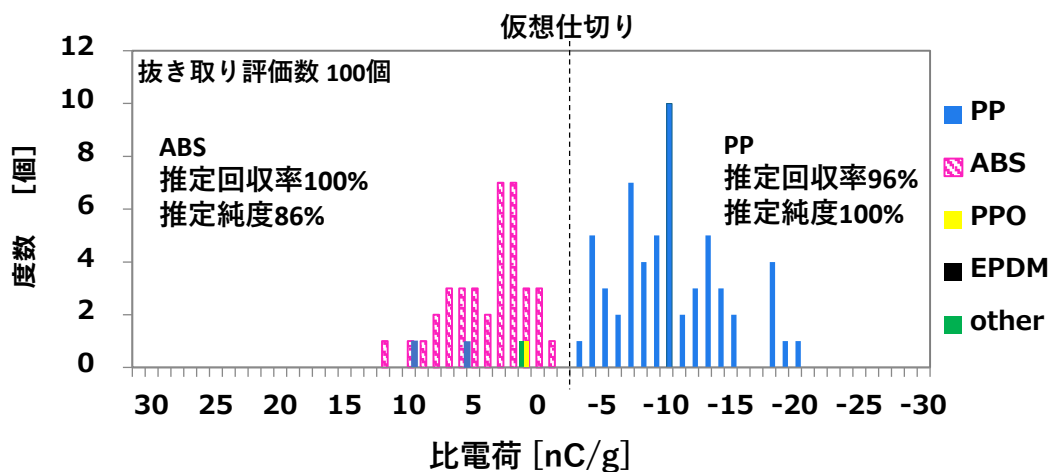


図 2-9 帯電試験結果

2.1.4. 赤外線ソーター

赤外線ソーターにより識別可能な樹脂種や性能確認のために、比重液により分別したミックスプラスチックを用いて、選別試験を行った。本事業では中赤外選別機であるエアロソーターV（ダイオーエンジニアリング社製）を用いて試験を実施した。



図 2-10 中赤外線ソーター（エアロソーターV）

(1) 実施内容

表 2-5 で示す塩水により比重ごとに分別した試料に対して、赤外線ソーターによる単体樹脂の回収試験を行った。

表 2-5 対象原料と回収対象樹脂

試料	比重域	対象樹脂
MIX 樹脂 A	1.1-1.2	PA, PC, PMMA
	1.2 以上	POM, PBT
MIX 樹脂 B	1.1-1.2	PA, PC, PMMA
	1.2 以上	POM, PBT

(2) 試験結果

試験結果を表 2-6 に示す。MIX 樹脂 A では、PA 類、PC+PC/ABS、POM が高純度で回収された。特に PA 類は赤外線ソーターによる素材構成比率（以下「ソーター純度」という。）は 99%、抽出したサンプルを FTIR 測定により同定した PA の個数割合（以下「FTIR 純度」という。）は 98%と高純度の結果となった。

一方、PMMA は、ソーター純度 53%、FTIR 純度 63%と純度は低く、PC/ABS の若干の混入が見られた。また、PBT についてもソーター純度が 62%と低かった。これについてはサンプル中の PBT が少なく、誤選別の影響が大きくなったと考えられる。

MIX 樹脂 B は、いずれの樹脂も MIX 樹脂 A に比べると純度は低くなった。この要因としては MIX 樹脂 B には、樹脂以外に繊維やゴムといった様々な異物の混入が多く、これが

選別へ悪影響を与えたと考えられる。

以上の結果から、ASR 由来の MIX 樹脂については、PMMA、PBT のように選別精度が低い物もあったが、複数の樹脂種は赤外線ソーターにより回収可能であることがわかった。

表 2-6 試験結果

試料	比重	選別対象	判定	ソーター 純度※1	FTIR 純度※2	詳細
MIX 樹脂 A	1.1 - 1.2	PA 類	◎	99.22%	98%	
		PMMA	△	52.94%	63%	PC/ABS が混入
		PC+PC/ABS	○	96.24%	94%	異物側に若干の取り残し
	> 1.2	POM	◎	95.33%	97%	
		PBT	△	61.54%	63%	低純度、PVC 等混入
MIX 樹脂 B	1.1 - 1.2	PA 類	△	88.46%	54%	PP 混入
		PMMA	△	33.05%	56%	ABS,PCABS 混入
		PC+PC/ABS	○	91.47%	72%	ABS,PA 混入
	> 1.2	POM	△	35.19%	53%	PA 混入
		PBT	×	1.37%	6%	低純度、ゴム類混入多

※1 赤外線ソーターによる素材構成比率

※2 FTIR 測定により同定した選別対象樹脂の個数割合

2.1.5. 全体試験

(1) 素材構成からの検討

機械選別においては、回収対象とする物質の濃度が高く、異物の量、種類が少ない方が一般的に有利と言える。2.1.1 に示したとおり、含有樹脂の素材及び比重の分析結果から、一定範囲の比重域を抜き出し構成する素材種を限定することで、回収対象とする樹脂を濃縮し、対象外の異材の量及び種類を減らすことができる。

処理コストや設備導入の観点では、比重選別の回数を少なくすることが好ましいが、本事業では、処理工程が煩雑になりすぎぬよう分別する比重領域を現実的に実施可能と考えられる4領域までとし検討した。

1) MIX 樹脂 A

原料分析の結果から MIX 樹脂 A の比重域を図 2-11 に示す4領域とし、各比重域を構成する樹脂種の分布をシミュレーションした。2.1.1 で示した原料分析の結果から指定した比重域に含まれる個体を抜き出したシミュレーション結果を表 2-7～表 2-9、図 2-12～図 2-14 に示す。

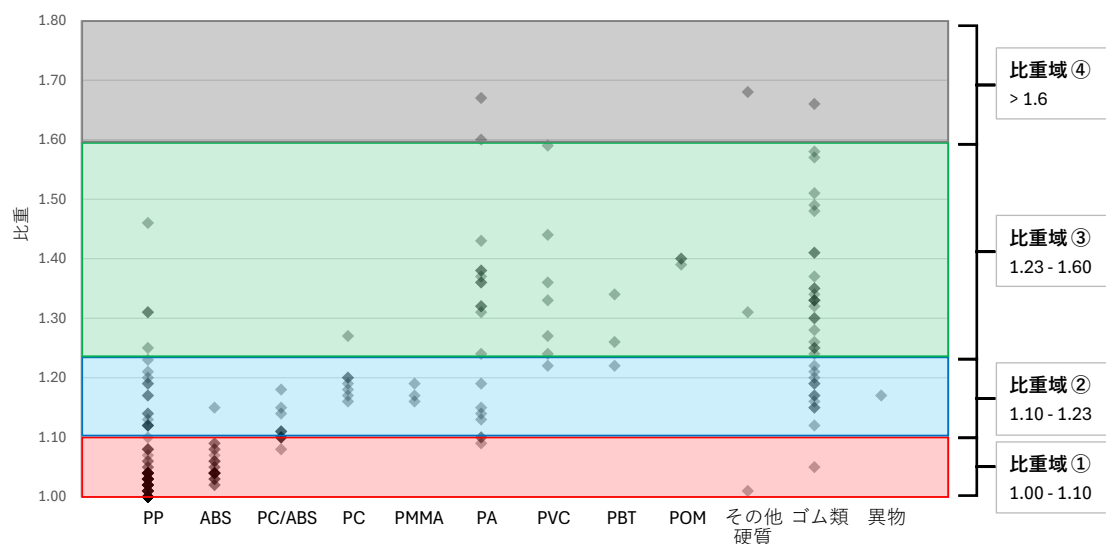


図 2-11 MIX 樹脂 A の比重分布

表 2-7 MIX 樹脂 A (比重域 1.00 - 1.10)
素材構成シミュレーション結果

樹脂	個数	重量/g	重量割合
PP	64	15.46	66.5%
ABS	23	6.57	28.3%
PC/ABS	1	0.12	0.5%
PA	1	0.26	1.1%
その他硬質	1	0.59	2.5%
ゴム類	1	0.23	1.0%

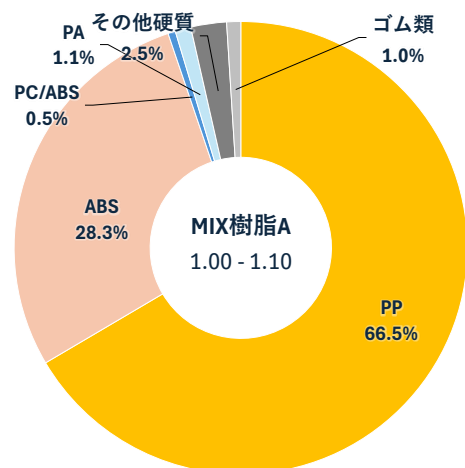


図 2-12 MIX 樹脂 A (比重域 1.00 - 1.10)
素材構成シミュレーション結果

表 2-8 MIX 樹脂 A (比重域 1.10 - 1.23)
素材構成シミュレーション結果

樹脂	個数	重量/g	重量割合
PP	14	4.32	29.1%
ABS	1	0.13	0.9%
PC/ABS	10	1.74	11.8%
PC	6	1.59	10.7%
PMMA	3	0.67	4.5%
PA	6	1.17	7.9%
PVC	1	0.55	3.7%
PBT	1	0.67	4.5%
ゴム類	11	3.59	24.3%
異物	1	0.38	2.6%

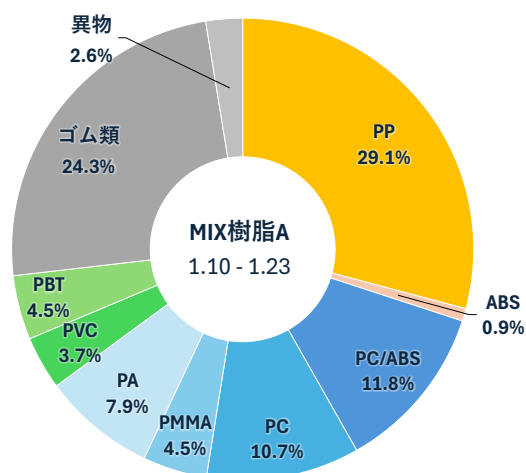


図 2-13 MIX 樹脂 A (比重域 1.10 - 1.23)
素材構成シミュレーション結果

表 2-9 MIX 樹脂 A (1.23 - 1.60)
素材構成シミュレーション結果

樹脂	個数	重量/g	重量割合
PP	5	1.39	7.5%
PC	1	0.26	1.4%
PA	10	5.88	31.5%
PVC	6	2.16	11.6%
PBT	2	0.35	1.9%
POM	3	0.71	3.8%
その他硬質	1	0.12	0.7%
ゴム類	22	7.80	41.8%

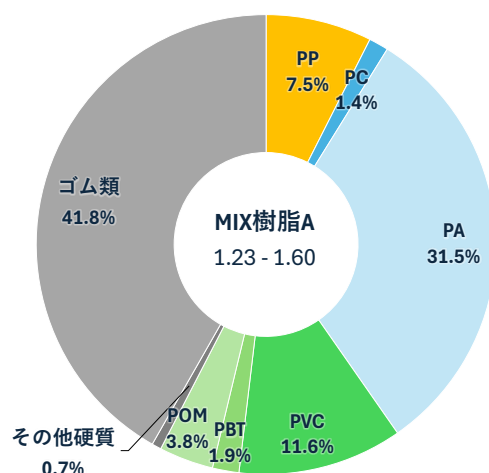


図 2-14 MIX 樹脂 A (比重域 1.23 - 1.60)
素材構成シミュレーション結果

2) MIX 樹脂 B

MIX 樹脂 B についても、MIX 樹脂 A と同様に 4 つの比重域への分離した時の素材分布をシミュレーションした。

シミュレーション結果を表 2-10～表 2-12、図 2-16～図 2-18 に示す。

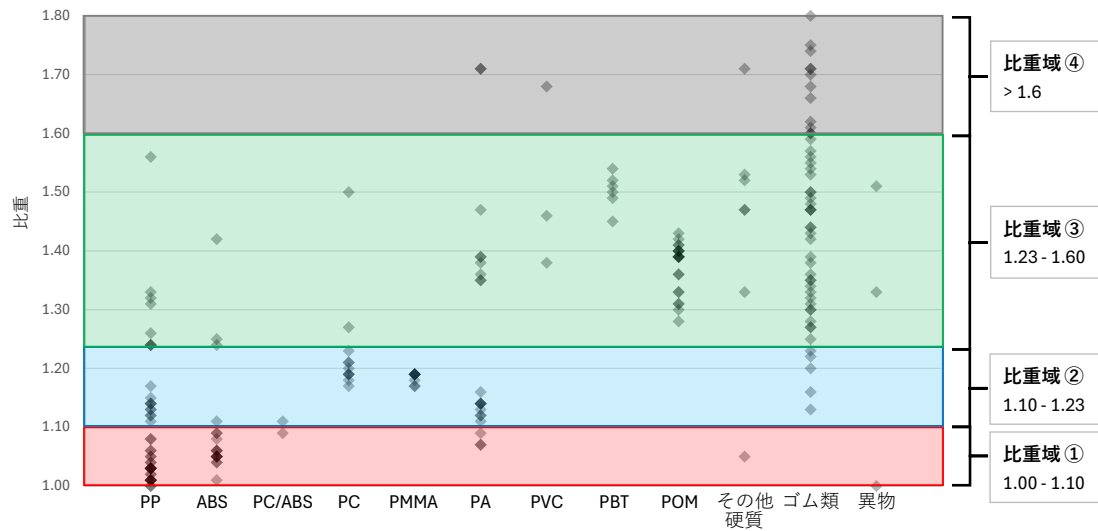


図 2-15 MIX 樹脂 B の比重分布

表 2-10 MIX 樹脂 B (比重域 1.00 - 1.10)
素材構成シミュレーション結果

樹脂	個数	重量/g	重量割合
PP	25	16.01	58.9%
ABS	14	7.95	29.3%
PC/ABS	1	0.20	0.7%
PA	3	2.10	7.7%
その他硬質	1	0.57	2.1%
異物	1	0.34	1.3%

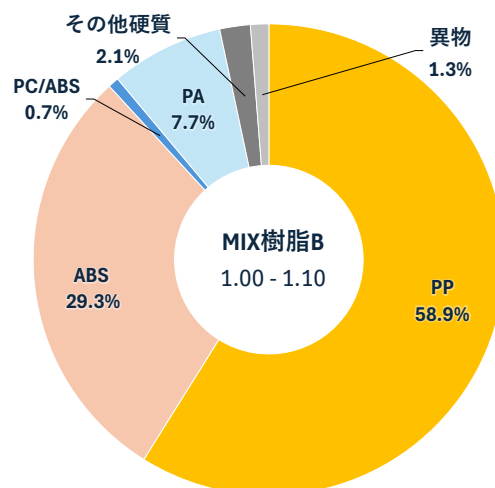


図 2-16 MIX 樹脂 B (比重域 1.00 - 1.10)
素材構成シミュレーション結果

表 2-11 MIX 樹脂 B (比重域 1.10 - 1.23)
素材構成シミュレーション結果

樹脂	個数	重量/g	重量割合
PP	10	6.76	25.0%
ABS	1	0.58	2.1%
PC/ABS	1	1.20	4.5%
PC	8	4.87	18.0%
PMMA	9	5.20	19.3%
PA	9	6.01	22.2%
ゴム類	4	2.40	8.9%

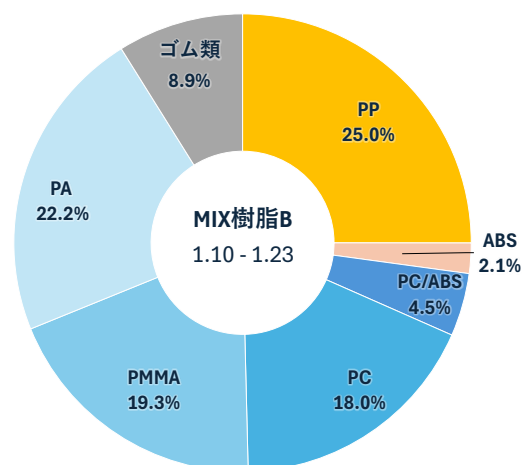


図 2-17 MIX 樹脂 B (比重域 1.10 - 1.23)
素材構成シミュレーション結果

表 2-12 MIX 樹脂 B (比重域 1.23 - 1.60)
素材構成シミュレーション結果

樹脂	個数	重量/g	重量割合
PP	8	5.10	7.9%
ABS	3	5.26	8.1%
PC	3	2.05	3.2%
PA	7	5.70	8.8%
PVC	2	1.08	1.7%
PBT	6	5.03	7.8%
POM	21	12.06	18.7%
その他硬質	5	2.88	4.5%
ゴム類	33	23.29	36.0%
異物	2	2.16	3.3%

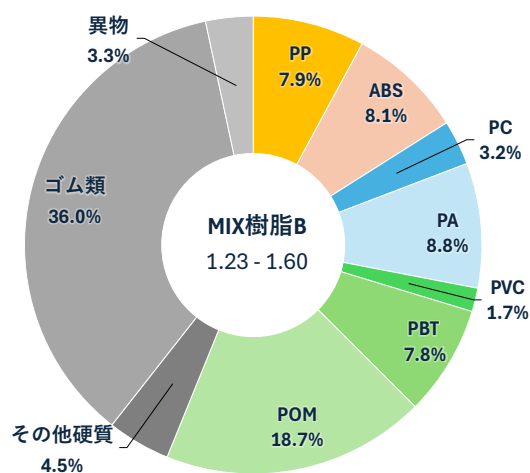


図 2-18 MIX 樹脂 B (比重域 1.23 - 1.60)
素材構成シミュレーション結果

3) 比重選別シミュレーションの考察

原料分析データからシミュレーションした素材構成を元に検討した結果、1.10、1.23、1.60を閾値として、対象原料を4つの比重域に分別し検討を進めるものとした。

- ・低比重域は、ABSの大部分が分布する1.00-1.10の領域とした。
- ・中比重域は、PC、PMMA、PA等の濃縮を目的とし、1.10-1.23の領域とした。
- ・高比重域は、POM、PBT等の濃縮を目的とし、ゴム類、ガラス、小石、金属付着物等の異物を含む1.60以上の比重域を除外した。

表 2-13 設定した比重域

MIX 樹脂 A

比重域	特長
1.00 - 1.10	PP が 60%以上を占め、残りの大部分は ABS。ABS は殆どがこの比重域に存在する。含有する樹脂種、ゴム等の異物が少ない。
1.10 - 1.23	多くの樹脂種が存在する領域。PP が最も多い 30%、PC、PC/ABS、PA が各 10%程度ずつ含有する。全体量が少ないものの PMMA はこの比重域のみに含有した。
1.23 - 1.60	ゴム類が多く 40%以上を占める。PA を 30%程度含む。
> 1.60	全体の 3%以下。ゴム等、ガラス繊維入り樹脂などリサイクル不適品が含まれる。

MIX 樹脂 B

比重域	特長
1.00 - 1.10	PP 約 60%、ABS 約 30%、PA 約 8%を含有する。比較的樹脂種やゴム等の異物が少ない。
1.10 - 1.23	PC、PMMA、PA が 20%程度ずつ含まれる。PC、PC/ABS は大部分がこの領域に存在する。PMMA はこの比重域のみに含有した。
1.23 - 1.60	MIX 樹脂 B の半分近くがこの比重域に含まれる。ゴム類等の異物が多い。POM や PBT 等のエンブラを多く含む。
> 1.60	ゴム類が大部分を占め、金属やガラスなどの異物も含まれる。

MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B の比重ごとの重量割合の分布を図 2-19 に示す。MIX 樹脂 A が 1.00 - 1.10 の低比重域の割合が高いのに対し、MIX 樹脂 B は 1.23 - 1.60 の高比重域の割合が高い。この結果からも ELV の破碎工程及び ASR 再資源化工程で大径側に PP 等の高靱性樹脂が、小径側に PC 等の高剛性樹脂が優先的に移行していることが読み解ける。

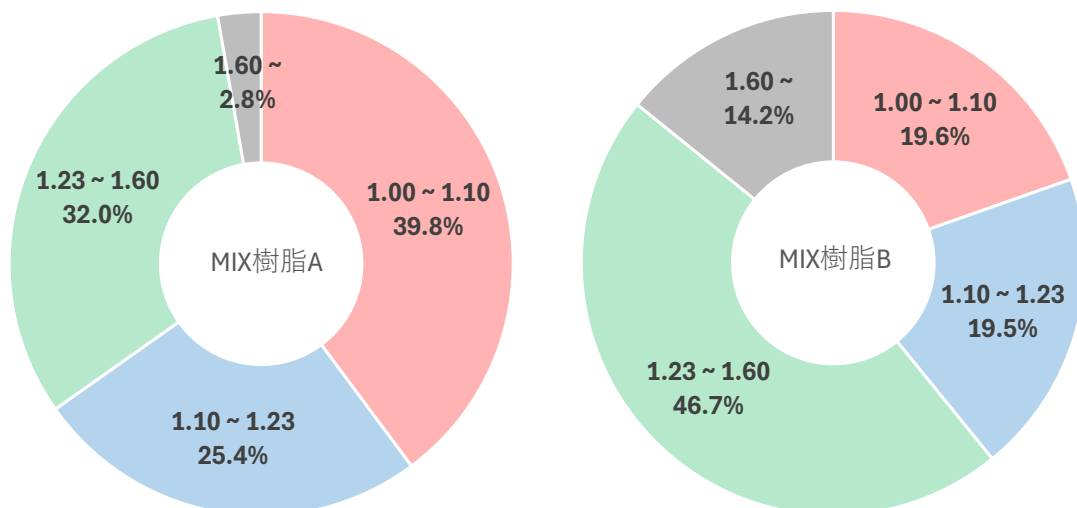


図 2-19 MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B の比重分布 (重量割合)

(2) 処理フローの検討

原料分析による、比重ごとの素材分布のシミュレーション結果に基づき、回収対象とする樹脂種及び選別工程について検討した。本事業では、MIX 樹脂 A について 2 比重域、MIX 樹脂 B について 3 比重域の処理を実施し、評価するものとした。

1) MIX 樹脂 A

比重域 1.00 - 1.10 は、PP 及び ABS が 90%以上を占めており、含有する樹脂種や異物が少ない。PP と ABS 間の帯電列には差があるため、静電選別により分離が可能と考えられる。比重選別後に静電選別で PP 及び ABS を分離した後、少量含まれる PC/ABS、PA 等の異物を赤外ソーターで処理することで、PP 及び ABS の分離回収する。

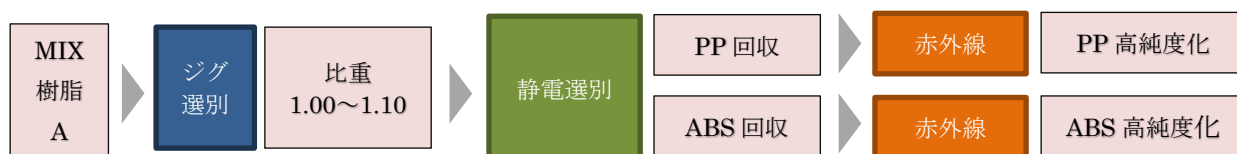


図 2-20 MIX 樹脂 A／低比重域 (1.00 - 1.10) 試験フロー

比重域 1.10 - 1.23 には、多くの樹脂種が含まれるものの PC や PA など付加価値の高い樹脂を多く含む。赤外ソーターで PC+PC/ABS 及び PA を回収した後、静電選別等による高純度化を検討する。

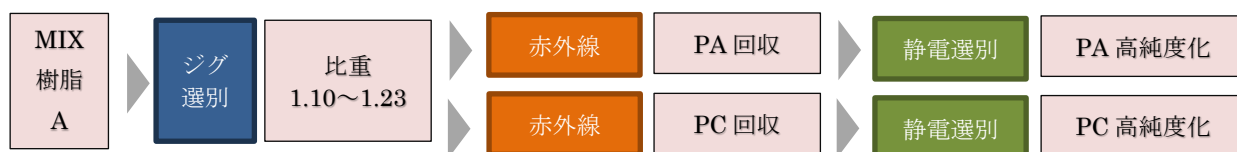


図 2-21 MIX 樹脂 A／中比重域 (1.10 - 1.23) 試験フロー

2) MIX 樹脂 B

比重域 1.00 - 1.10 は、MIX 樹脂 A 同様に PP と ABS が大部分を占めており、静電選別で PP 及び ABS を分離した後、少量含まれる PC/ABS、PA 等の異物を赤外ソーターで処理することで、PP 及び ABS を分離回収する。

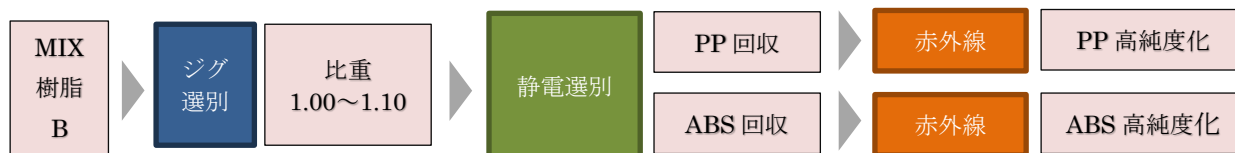


図 2-22 MIX 樹脂 B／低比重域（1.00 - 1.10）試験フロー

比重域 1.10 - 1.23 には、多くの樹脂種が含まれるものの PC や PA など付加価値の高い樹脂を多く含む。赤外ソーターで PC+PC/ABS 及び PA を回収した後、静電選別による高純度化を検討する。

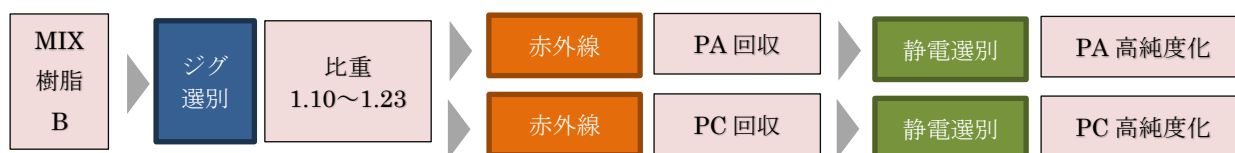


図 2-23 MIX 樹脂 B／中比重域（1.10 - 1.23）試験フロー

比重 1.23 以上の領域には、ゴム類などの回収対象外の素材を多く含む一方、POM、PBT 等のエンジニアリングプラスチックが多く含まれる。比重 1.60 以上の領域には、ゴム類のほか、金属やガラスなど後工程を障害する物質が多いため、高比重物は予め除外する。ジグ選別により比重域 1.23 - 1.60 とした後に、赤外線ソーターにより、POM、PBT を回収する。

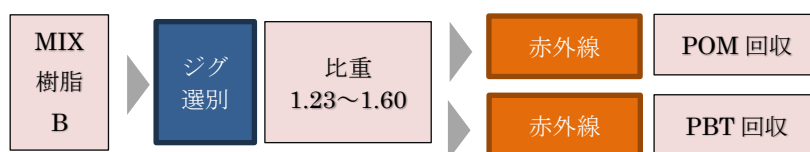


図 2-24 MIX 樹脂 B／中比重域（1.23 - 1.60）試験フロー

(3) 湿式比重選別工程

1) 試験手順

本事業においては、湿式比重選別を他選別技術の前処理と位置づけし、最初の工程として行うものとした。(2) 処理フローの検討で策定した処理フローを実施するために、MIX 樹脂 A は 3 領域、MIX 樹脂 B は 4 領域への比重選別を、連続式ジグ試験機で実施する。

選別の順序は図 2-25、図 2-26 に従って実施した。

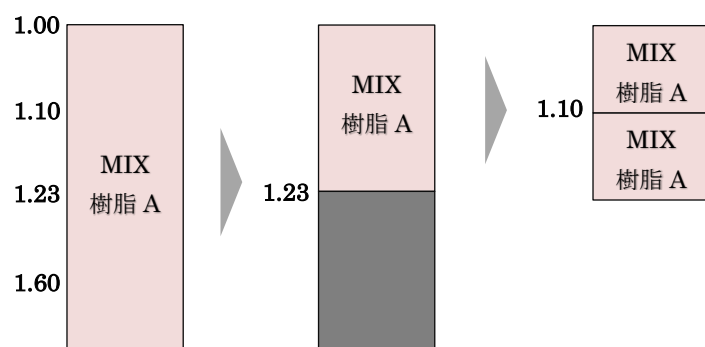


図 2-25 MIX 樹脂 A 比重選別順序

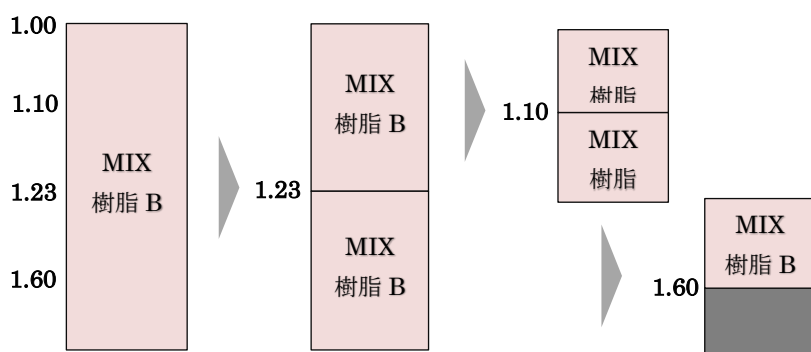


図 2-26 MIX 樹脂 B 比重選別順序

2) 試験結果

ジグで選別後の回収物からサンプリングした試料の分離精度を比重液により確認した。結果を表 2-14 に示す。ここで、選別精度は回収物の内、対象とした比重範囲内の割合、回収率は対象比重となる原料の回収割合（1－ロス率）を示す。

表 2-14 ジグ選別物の分離精度

試料	比重域	選別精度	回収率
MIX 樹脂 A	1.00 - 1.10	94.7%	88.4%
	1.10 - 1.23	77.4%	86.9%
	> 1.23	97.4%	68.6%
MIX 樹脂 B	1.00 - 1.10	95.1%	75.9%
	1.10 - 1.23	75.5%	70.6%
	1.23 - 1.60	84.9%	85.0%

MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B における 1.10 - 1.23 の領域で選別精度が低い結果となったものの、比重が閾値から大きく離れた物の混入は少なかった。MIX 樹脂 A における 1.23 以上の比重域の回収率が低いのは、1.23 の閾値が高比重側にずれていたことが原因として推察され、フロートの調整で精度を改善できるものと考えられる。

比重選別後の回収物から各 100 個の試料をサンプリングし、FTIR 測定により樹脂種と比重を測定した。各測定結果を図 2-27～図 2-31 に示す。

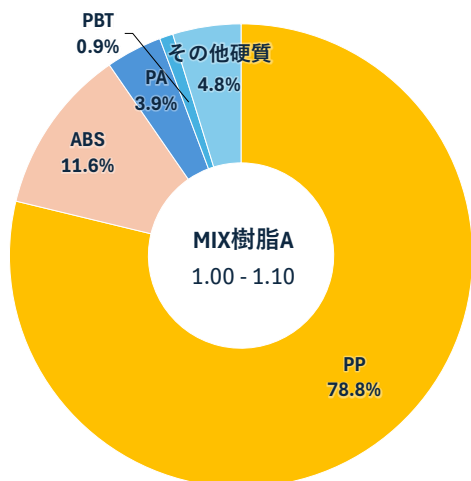


図 2-27 MIX 樹脂 A／低比重域
(1.00 - 1.10) 素材構成

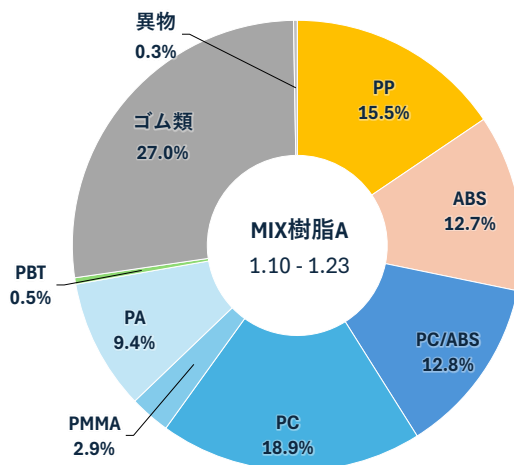


図 2-28 MIX 樹脂 A／中比重域
(1.10 - 1.23) 素材構成

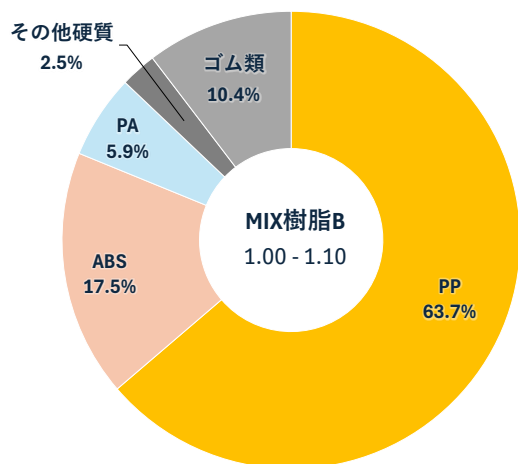


図 2-29 MIX 樹脂 B／低比重域
(1.00 - 1.10) 素材構成

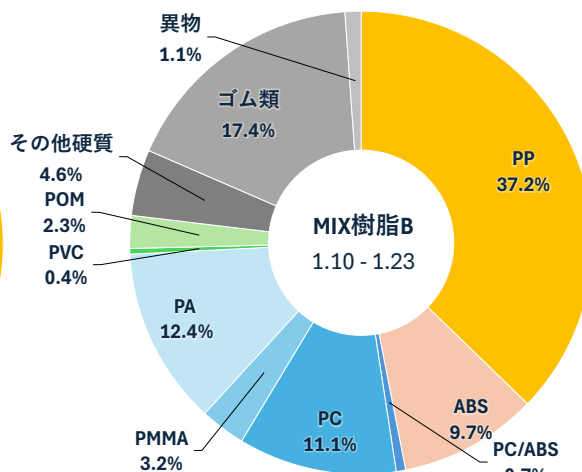


図 2-30 MIX 樹脂 B／中比重域
(1.10 - 1.23) 素材構成

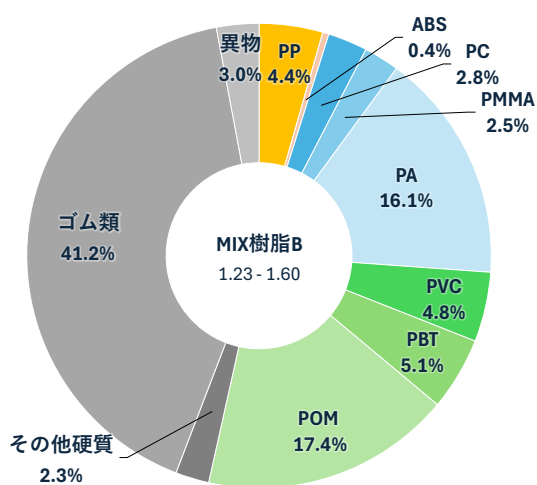


図 2-31 MIX 樹脂 B／高比重域
(1.23 - 1.60) 素材構成

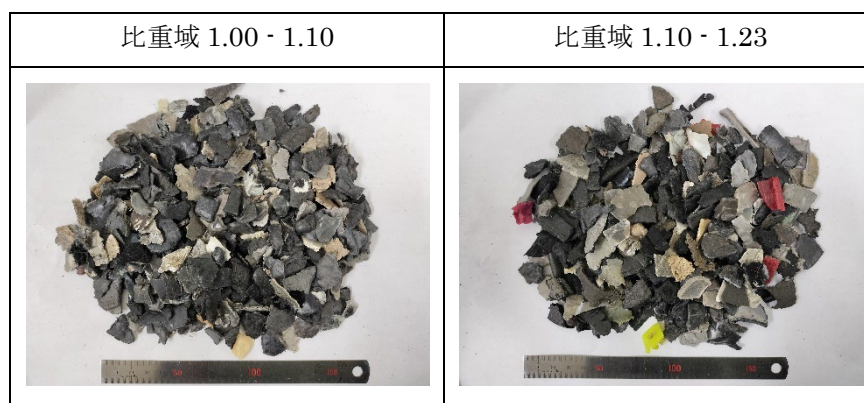


図 2-32 ジグ選別回収品 (MIX 樹脂 A)



図 2-33 ジグ選別回収品 (MIX 樹脂 B)

比重選別のシミュレーション結果と比較し、素材構成や分布に一部で差異が見られたものの、概ね同様の分布傾向であった。

ABS は、比重 1.00 - 1.10 への濃縮を期待していたが、1.10 - 1.23 の領域にも分布した。これは、サンプルのばらつきや比重選別の精度による要因が考えられ、ジグの運転条件や設定比重閾値の再検討や、サンプル量を増やしての追加試験を行い検証する必要がある。

3) 湿式比重選別工程の考察

ジグによる湿式比重選別では、フロートセンサーによる制御で任意の比重を閾値として、精度よくミックスプラスチックを分離することができた。比重選別により、各比重域における樹脂種を限定し、回収対象の樹脂が濃縮されたことを確認した。

本事業においては、フロートセンサー位置が設定値よりも高くなった時に沈降物の排出スクリーンを動作させることで分離回収したが、フロート高さが安定せず一定の範囲を上下した。沈降物の排出制御の改善や投入量制御により精度の改善が考えられる。

(4) 静電選別工程

1) 試験手順

静電選別の試験手順を図 2-34 に示す。

選別対象の MIX 樹脂サンプルに対し、事前に比電荷分布評価（帯電試験）を行う。樹脂種間に静電的な物性差があることを確認し、仕切り位置をシミュレーションした上で選別試験を実施する。

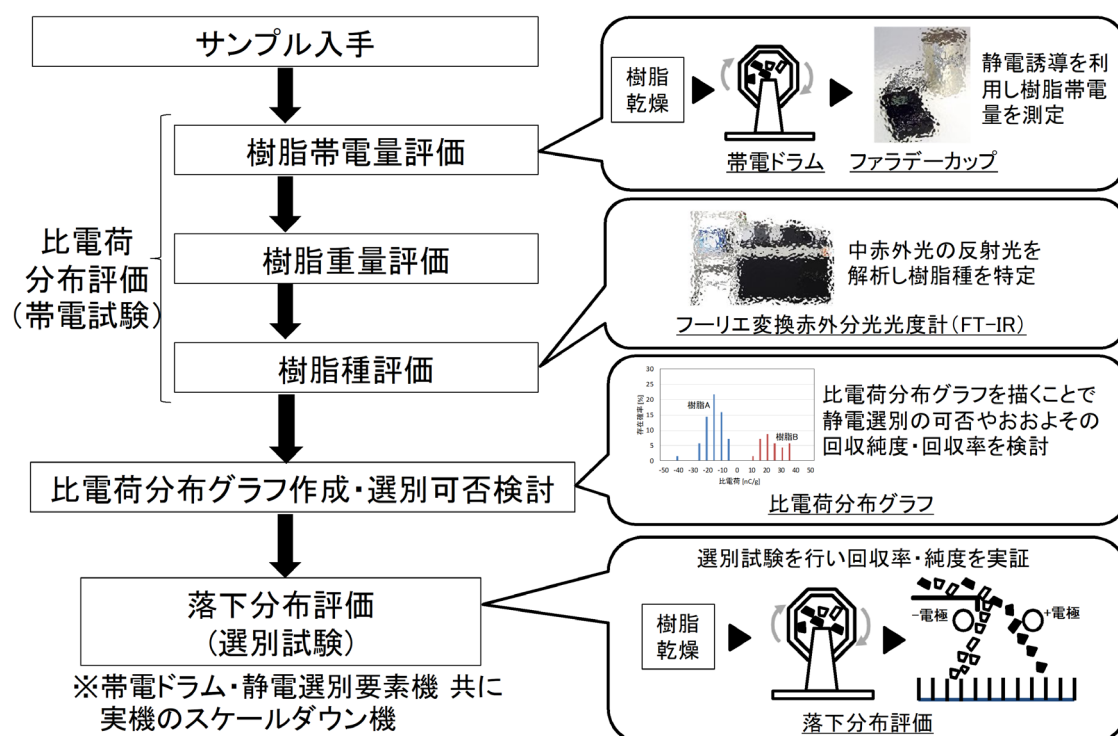


図 2-34 静電選別の試験手順

2) 比電荷分布評価（帯電試験）

比電荷分布評価の手順を図 2-35 に示す。

サンプル 1kg を 80℃ で 1 時間熱風乾燥した後、図 2-36 に示す帯電ドラムにより攪拌摩擦帯電を 15 分間行う。

摩擦帯電後の樹脂を絶縁ピンセットで 1 片ずつランダムにピックアップし各片の帯電量、重量、樹脂種を計測する。それらの作業を 100 回繰り返し、比電荷分布を得る。比電荷とは摩擦帯電後の樹脂片の帯電量を質量で除した物性値である。比電荷が大きい樹脂ほど選別電極間での変位が大きくなる。樹脂片ごとの形状ばらつきや摩擦帯電時の擦れ方の違いなどによって、同種の樹脂片であっても比電荷は一定の値にはならず分布を取る。

図 2-37 に示すように比電荷分布と、選別電極間を通過した後のプラスチックの落下位置の分布には相関性があるため、比電荷分布を得ることが、静電選別の可否や最適な仕切り位置を検討する上で重要な手がかりになる。

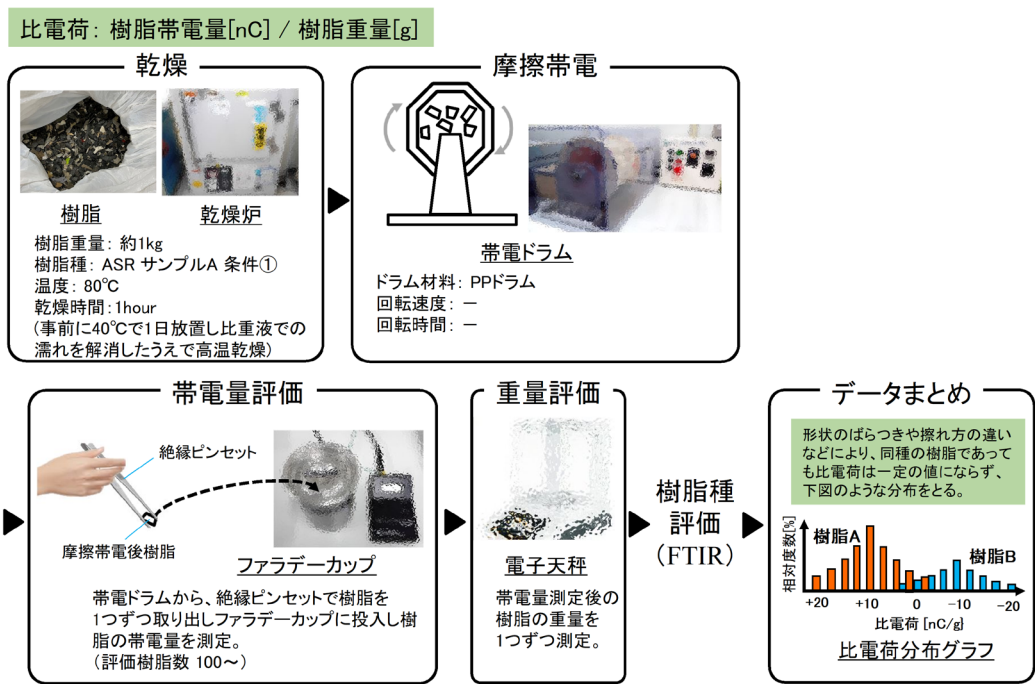


図 2-35 比電荷分布評価の手順

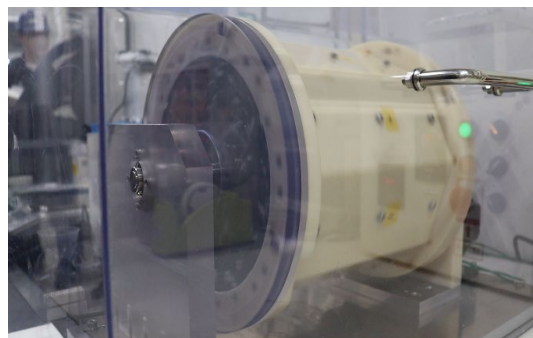


図 2-36 帯電ドラム

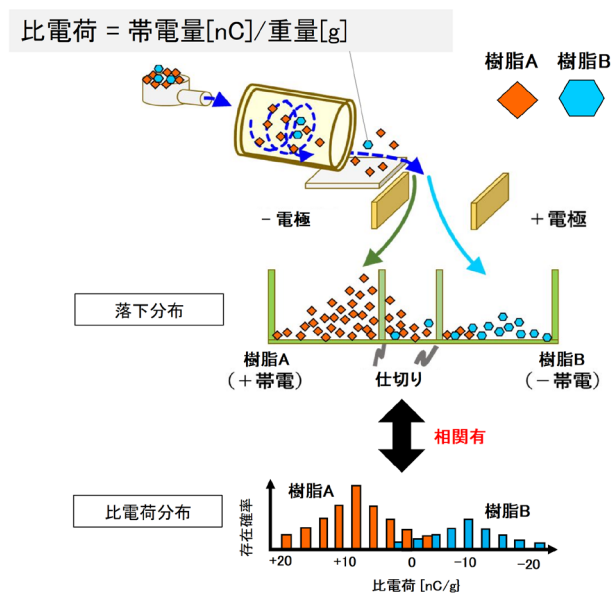


図 2-37 比電荷分布と落下分布の関係

3) 落下分布評価（選別試験）

選別試験は、図 2-38、図 2-39 に示す GCS の静電選別装置の 1/10～1/20 スケールダウン装置を用いた。帯電ドラムは図 2-36 と同様のものを用い、乾燥や摩擦帯電は前項で示した条件と同様である。

摩擦帯電後の樹脂 1kg を約 18kg/hr のペースで振動フィーダに投入した。振動フィーダから搬送された樹脂は電極間に投入され、比電荷に応じて変位しながら落下し、装置下方に備えた 3 分割された回収容器で回収される。今回のサンプルでは両端の容器で回収対象が回収され、中央の容器では中間物（確率的な帯電不良などによりうまく選別できなかった樹脂）が回収される。サンプルの比電荷分布評価結果に応じて容器幅 A、B、C の寸法を変え選別試験を実施した。

帯電ドラムで摩擦帯電できるのは一度に 1kg ずつのため、今回はこれらの作業を繰り返し行い、数十 kg 規模の選別試験を実施した。

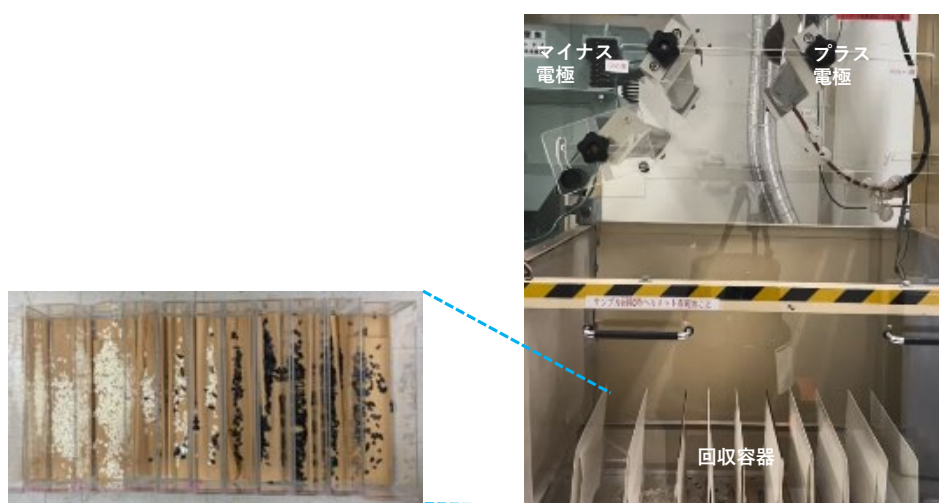


図 2-38 静電選別スケールダウン機

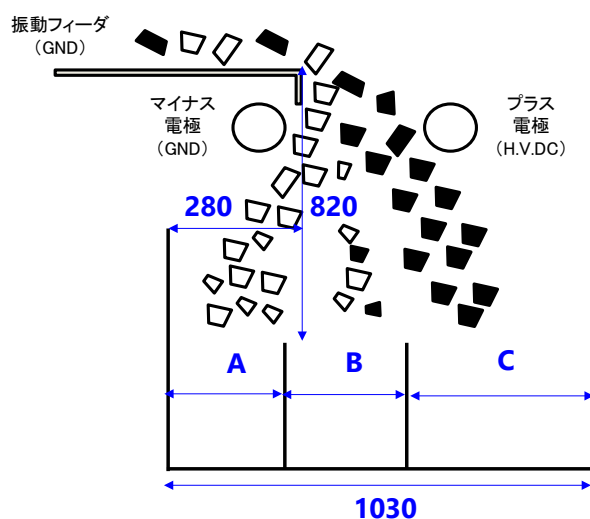


図 2-39 静電選別スケールダウン機概要

4) 試験結果

a) MIX 樹脂 A／低比重域（1.00 - 1.10）比電荷分布評価（帯電試験）結果

ジグにより比重域 1.00 - 1.10 で選別した MIX 樹脂 A について、比電荷分布評価を行った。結果を図 2-40 に示す。ここで、PC で示した部分には ABS を多く含む PC/ABS が含まれていたため、ABS 側の領域として検討した。

静電選別による PP 群と ABS+PC/ABS 群の分離を検討する。通常の摩擦帯電序列に従い、PP はマイナス、ABS はプラスの帯電傾向を示している。PP の平均比電荷は-4.42[nC/g]、ABS の平均比電荷は 10.12[nC/g]である。静電選別で大まかに PP 群と ABS 群に選別し、静電選別後の中赤外線ソーターにて PP 群に含まれる微量の PA や PE の異物を除去し、ABS 群に含まれる多様な PA、PC、PS、PE 等の異物を除去することで、それぞれを高純度化し回収できる可能性がある。

特に PP 群は高純度・高回収率で静電選別できる可能性が示されている。静電選別で分離した ABS 群には多くの異物が含まれると予想されるため、中赤外線選別ソーターでの高純度化が困難であれば、ABS 群のみを再度静電選別して ABS 純度を高める方法も考えられる。

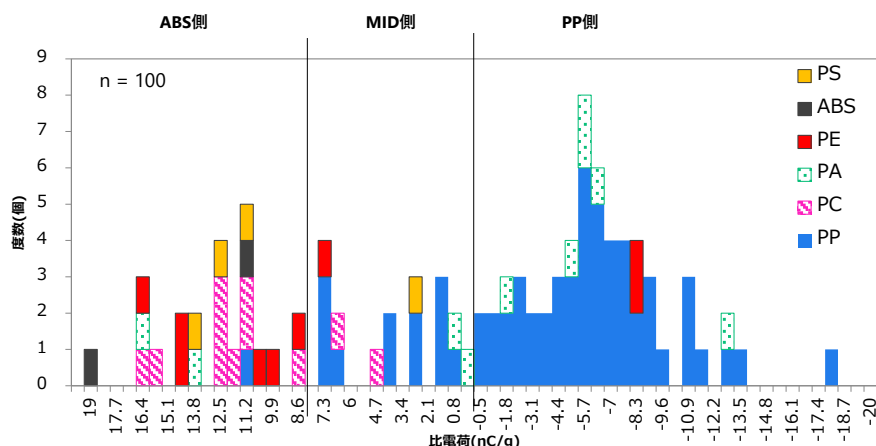


図 2-40 MIX 樹脂 A／低比重域（1.00 - 1.10）比電荷分布評価結果

b) MIX 樹脂 A／低比重域（1.00 - 1.10）落下分布評価（選別試験）結果

ジグにより比重域 1.00 - 1.10 で選別した MIX 樹脂 A について、比電荷分布評価結果をもとに A=280[mm]（ABS 群回収）、B=170[mm]（中間物回収）、C=580[mm]（PP 群回収）の回収容器条件で静電選別を行った。

静電選別結果を表 2-15 に示す。約 25kg の MIX 樹脂を静電選別に投入した。静電選別後の A～C の各回収容器の回収量は A（ABS 群回収）が 3.93kg、B（中間物）は 7.28kg、C（PP 群回収）が 13.19kg となり、PP 群の回収量が最も多かった。概ね比電荷分布をもとに狙った静電選別ができたと考えられる。

表 2-15 MIX 樹脂 A 静電選別結果 各回収量

単位:kg			
ABS 群回収量	中間物回収量	PP 群回収量	合計
3.93	7.28	13.19	24.40

c) MIX 樹脂 B／低比重域（1.00 - 1.10）比電荷分布評価（帯電試験）結果

ジグにより比重域 1.00 - 1.10 で選別した MIX 樹脂 B について、比電荷分布評価を行った。結果を図 2-41 に示す。

MIX 樹脂 A 同様、静電選別による PP 群と ABS+PC/ABS 群の分離を検討する。通常の摩擦帯電序列に従い、PP はマイナス、ABS はプラスの帯電傾向を示している。PP の平均比電荷は-5.41[nC/g]、ABS の平均比電荷は 1.26[nC/g]である。静電選別でだまかに PP 群と ABS 群に選別し、静電選別後の中赤外選別にて PP 群に含まれる微量の ABS 等の異物を除去し、ABS 群に含まれる多様な PA、PC、ABS、PE 等の異物を除去することで、それぞれを高純度化し回収できる可能性がある。

特に PP 群は高純度・高回収率に静電選別できる可能性が示されている。静電選別で分離した ABS 群には多くの異物が含まれると予想されるため、中赤外選別での高純度化が困難であれば、ABS 群のみを再度静電選別して ABS 純度を高める方法も考えられる。

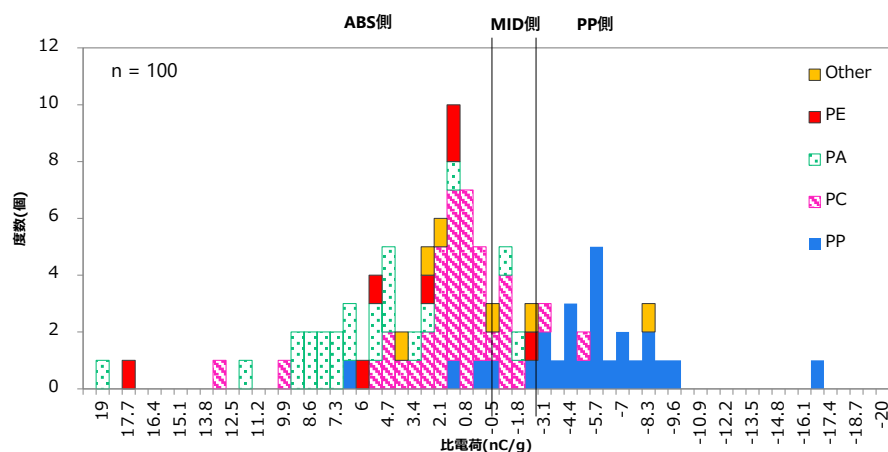


図 2-41 MIX 樹脂 B／低比重域（1.00 - 1.10）比電荷分布評価結果

d) MIX 樹脂 B／低比重域（1.00 - 1.10）落下分布評価（選別試験）結果

ジグにより比重域 1.00 - 1.10 で選別した MIX 樹脂 B について、比電荷分布評価結果をもとに A=450[mm]（ABS 群回収）、B=50[mm]（中間物回収）、C=530[mm]（PP 群回収）の回収容器条件で静電選別を行った。

静電選別結果を表 2-16 に示す。約 20kg の MIX 樹脂を静電選別に投入した。静電選別後の A～C の各回収容器の回収量は A（ABS 群回収）が 3.21kg、B（中間物）は 6.32kg、C（PP 群回収）が 9.66kg となり、PP 群の回収量が最も多かった。比電荷分布からは PP 群が最も回収量が小さくなると予想されたがそれに反する結果となった。ロット間の組成ばらつき、抜き取り誤差、湿度などに起因する静電選別の性能ばらつき等が要因として考えられる。

表 2-16 MIX 樹脂 B 静電選別結果 各回収量

単位:kg			
ABS 群回収量	中間物回収量	PP 群回収量	合計
3.21	6.32	9.66	19.19

5) 静電選別考察

MIX 樹脂 A から静電選別により PP と ABS を分離回収することができた。比較的純度の高い PP と異樹脂を含む ABS に分かれたが、両側に PA 等の異材が混合するため、赤外線ソーターにより追加選別を行う。

MIX 樹脂 A については、シミュレーションに準じた回収量の分布が得られたが、MIX 樹脂 B は PP 側が想定より多く回収された。原料のばらつきによる誤差が要因として考えられる。

処理原料の組成により最適な運転条件が変わるため、原料の安定性を確保することが重要と言える。

(5) 赤外線ソーター工程

1) 実施内容

赤外線ソーターでは、静電選別後の回収品の高純度化と、比重選別後に単体樹脂の回収を行うことを目的に表 2-17 に示す選別試験を実施した。

なお、PC と PC/ABS の判別を赤外線で高精度に行うことは困難であるため、両者が混合した状態で回収した。

表 2-17 赤外線ソーター選別試験実施内容

試料	比重域	実施内容
MIX 樹脂 A	低比重域 1.00 – 1.10	静電選別により回収した PP 及び ABS の高純度化
	中比重域 1.10 – 1.23	PC+PC/ABS 及び PA の回収
MIX 樹脂 B	低比重域 1.00 – 1.10	静電選別により回収した PP 及び ABS の高純度化
	中比重域 1.10 – 1.23	PC+PC/ABS 及び PA の回収
	高比重域 1.23 – 1.60	POM 及び PBT の回収

2) 実施結果

各試料を中赤外線ソーターで選別した時のソーターが判別した素材割合と、処理後の選別側（製品）と非選別側（異物）から各 50 個ずつランダムに取り出したサンプルを FTIR 測定により素材判別し、回収物の純度（FTIR 純度）と回収率を算出した。

a) MIX 樹脂 A / 低比重域 (1.00 - 1.10) / PP の高純度化

比重選別→静電選別の工程で比較的純度の高い PP が回収されたが、PC、PA などの異樹脂が少量含まれていた。赤外線選別により、これらの異物を除去し高純度化することができた。

表 2-18 MIX 樹脂 A (比重域 1.00 - 1.10)
PP 高純度化ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.12%	0.10%
PP	88.73%	99.17%
ABS	0.97%	0.05%
PS	0.28%	0.03%
PC	4.80%	0.37%
PA	3.67%	0.06%
POM	0.05%	0.00%
PVC	0.87%	0.07%
PMMA	0.01%	0.00%
PBT	0.51%	0.15%



図 2-42 回収した PP

回収重量 PP 側 : 7.75kg 異物側 : 5.44 kg
FTIR 純度 : 100% 回収率 : 75%

b) MIX 樹脂 A / 低比重域 (1.00 - 1.10) / ABS の高純度化

試験に使用したサンプルにおいては比重選別後の ABS 含有量が想定より少なく、静電選別工程における濃縮を十分に行うことができなかった。処理前の原料には PC、PA、PP が不純物として多く含まれたが、赤外線選別により純度の高い ABS を回収することができたものの回収率が低かった。

表 2-19 MIX 樹脂 A (比重域 1.00 - 1.10)
ABS 高純度化ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.20%	0.05%
PP	15.64%	1.15%
ABS	14.69%	88.23%
PS	2.02%	0.42%
PC	45.34%	8.84%
PA	16.67%	0.08%
POM	0.80%	0.02%
PVC	2.59%	1.07%
PMMA	0.10%	0.03%
PBT	1.96%	0.11%



図 2-43 回収した ABS

回収重量 ABS 側 : 0.42kg 異物側 : 3.51 kg
FTIR 純度 : 100% 回収率 : 19%

c) MIX 樹脂 A / 中比重域 (1.10 - 1.23) / PC + PC/ABS の回収

高回収率で PC+PC/ABS を回収することができたが、PP、ABS 等の異樹脂が混入した。追加処理による純度向上の検討が必要である。

表 2-20 MIX 樹脂 A (比重域 1.10 - 1.23)
PC + PC/ABS の回収ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	2.44%	0.13%
PP	22.14%	2.21%
ABS	6.39%	1.52%
PS	2.81%	0.56%
PC	48.81%	92.40%
PA	8.37%	0.15%
POM	0.24%	0.15%
PVC	6.68%	2.13%
PMMA	0.64%	0.04%
PBT	1.47%	0.70%

回収重量 PC 側：8.17kg 異物側：31.76 kg
FTIR 純度：80% 回収率：93%



図 2-44 回収した PC + PC/ABS

d) MIX 樹脂 A / 中比重域 (1.10 - 1.23) / PA の回収

PC 回収後のサンプルから PA を選別回収した。純度の高い PA を回収することができたが回収率が低かった。処理前の濃縮や処理条件の検討が必要と考えられる。

表 2-21 MIX 樹脂 A (比重域 1.10 - 1.23)
PA の回収ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	2.85%	0.06%
PP	37.44%	0.98%
ABS	8.46%	0.05%
PS	2.70%	0.06%
PC	24.86%	0.29%
PA	13.53%	98.25%
POM	0.35%	0.00%
PVC	7.13%	0.18%
PMMA	2.85%	0.06%
PBT	37.44%	0.98%

回収重量 PA 側：2.77kg 異物側：28.95 kg
FTIR 純度：96% 回収率：38%



図 2-45 回収した PA

e) MIX 樹脂 B / 低比重域 (1.00 - 1.10) / PP の高純度化

MIX 樹脂 A と同様に、純度の高い PP を回収することができた。異物側に回収できなかった PP が残っており、ソーターで PP として認識しない PP が含まれていた可能性が考えられる。

表 2-22 MIX 樹脂 B (比重域 1.00 - 1.10)
PP 高純度化ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.15%	0.01%
PP	81.67%	98.58%
ABS	6.21%	0.11%
PS	0.59%	0.00%
PC	4.77%	0.35%
PA	3.04%	0.24%
POM	0.01%	0.01%
PVC	2.77%	0.34%
PMMA	0.01%	0.01%
PBT	0.78%	0.36%



図 2-46 回収した PP

回収重量 PP 側 : 5.26kg 異物側 : 4.40kg
FTIR 純度 : 98% 回収率 : 80%

f) MIX 樹脂 B / 低比重域 (1.00 - 1.10) / ABS の高純度化

MIX 樹脂 A に比べ、静電選別後原料の ABS 濃度は高かったが、回収物のソーターが判別した純度は同等であった。回収率が低かったため改善の検討が必要。

表 2-23 MIX 樹脂 B (比重域 1.00 - 1.10)
ABS 高純度化ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.43%	0.09%
PP	31.86%	0.43%
ABS	32.11%	87.73%
PS	2.76%	0.26%
PC	17.53%	9.73%
PA	5.75%	0.19%
POM	0.04%	0.00%
PVC	7.12%	1.40%
PMMA	0.04%	0.03%
PBT	2.36%	0.15%



図 2-47 回収した ABS

回収重量 ABS 側 : 0.69kg 異物側 : 2.52kg
FTIR 純度 : 100% 回収率 : 50%

g) MIX 樹脂 B / 中比重域 (1.10 - 1.23) / PC + PC/ABS の回収

MIX 樹脂 A と比較して純度は高かったが回収率は低かった。原料の PC 濃度が低かったことに起因する可能性がある。

表 2-24 MIX 樹脂 B (比重域 1.10 - 1.23)
PC + PC/ABS の回収ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.18%	0.26%
PP	46.58%	0.61%
ABS	6.20%	4.46%
PS	1.37%	0.06%
PC	15.08%	87.06%
PA	21.05%	0.64%
POM	0.11%	0.00%
PVC	7.50%	4.31%
PMMA	0.13%	0.04%
PBT	1.80%	2.56%

回収重量 PC 側 : 1.43kg 異物側 : 19.07kg
FTIR 純度 : 89% 回収率 : 32%



図 2-48 回収した PC + PC/ABS

h) MIX 樹脂 B / 中比重域 (1.10 - 1.23) / PA の回収

純度は高かったが PP や PVC 等の混入が確認されたが、純度及び回収率が高かった。

表 2-25 MIX 樹脂 B (比重域 1.10 - 1.23)
PA の回収ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.22%	0.11%
PP	49.71%	0.73%
ABS	6.43%	0.01%
PS	1.53%	0.13%
PC	7.61%	0.22%
PA	23.73%	97.92%
POM	0.16%	0.01%
PVC	8.40%	0.67%
PMMA	0.15%	0.00%
PBT	2.06%	0.20%

回収重量 PA 側 : 2.07kg 異物側 : 17.00 kg
FTIR 純度 : 81% 回収率 : 100%



図 2-49 回収した PA

i) MIX 樹脂 B / 高比重域 (1.23 - 1.60) / POM の回収

原料濃度の低いところから、比較的高純度で回収することができた。異物側の分析は未実施。サンプル量が少なかったため、回収率の評価は行っていない。

表 2-26 MIX 樹脂 B (比重域 1.23 - 1.60)
POM の回収ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.83%	0.00%
PP	25.92%	0.61%
ABS	2.23%	0.00%
PS	2.82%	0.43%
PC	12.68%	1.76%
PA	31.44%	7.72%
POM	6.15%	83.83%
PVC	12.07%	1.64%
PMMA	0.91%	3.53%
PBT	4.96%	0.49%



図 2-50 回収した POM

回収重量 POM 側 : 0.52kg 異物側 : 19.84 kg
FTIR 純度 : 90%

j) MIX 樹脂 B / 高比重域 (1.23 - 1.60) / PBT の回収

含有量が少かったが、一定量の回収ができた。PET との判別が難しく製品側に混入した。その他 PA や PC も製品側に混入した。回収率評価は実施していない。

表 2-27 MIX 樹脂 B (比重域 1.23 - 1.60)
PBT の回収ソーター判別結果

素材	処理前	処理後
PE	0.66%	0.00%
PP	25.11%	2.41%
ABS	2.26%	0.10%
PS	2.65%	0.31%
PC	13.67%	8.66%
PA	32.07%	2.05%
POM	5.00%	0.05%
PVC	11.92%	4.83%
PMMA	0.94%	0.16%
PBT	5.72%	81.43%



図 2-51 回収した PBT

回収重量 PBT 側 : 0.36kg 異物側 : 19.48 kg
FTIR 純度 : 67%

3) 赤外線ソーター選別考察

全体的に見て、回収物の純度は比較的良好であるが回収率に課題が残る。赤外線選別では、回収対象の樹脂種だけではなく、その他の樹脂種との比較で選別閾値が決定される。そのため、前処理による樹脂種の限定や専用プログラム設定による改善の余地がある。

また、ベルト上で転がりやすい形状のものは、選別のタイミングのずれや転がって手前へ落下することがあり、物理的な影響による純度低下も確認された。原料中の回収対象物の含有率を上げることで、意図しない異物の混入を削減できると考えられる。

赤外線ソーターによる選別では、PBTとPETなど化学構造が類似している素材(図 2-52)や、PCとPC/ABSなど同一の素材を含む材料等は、赤外線ソーターによる選別が難しく他の選別方法を検討する必要がある。FTIR 分析装置で測定したPC及びPC/ABSの中赤外領域における吸収スペクトルを図 2-53に示す。また、図 2-54、図 2-55に示したとおり、同じ素材であっても添加剤等の影響で波形が変化することが確認できる。一般的に同一素材において高比重の物の方が添加剤の量が多いため、比重域ごとに選別プログラムを調整することで、選別精度を向上させられる可能性がある。

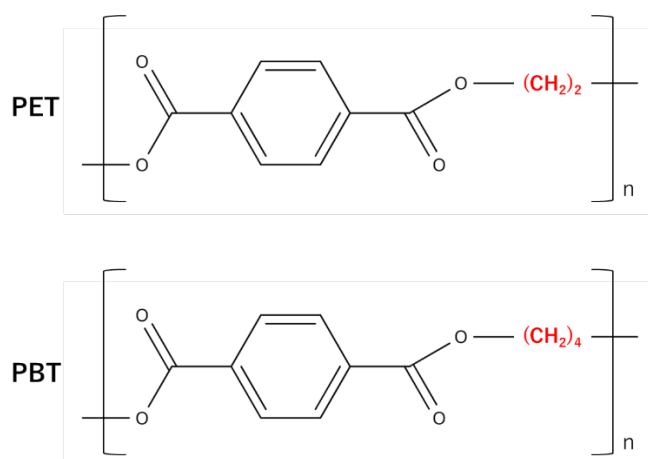


図 2-52 PET、PBT の構造式

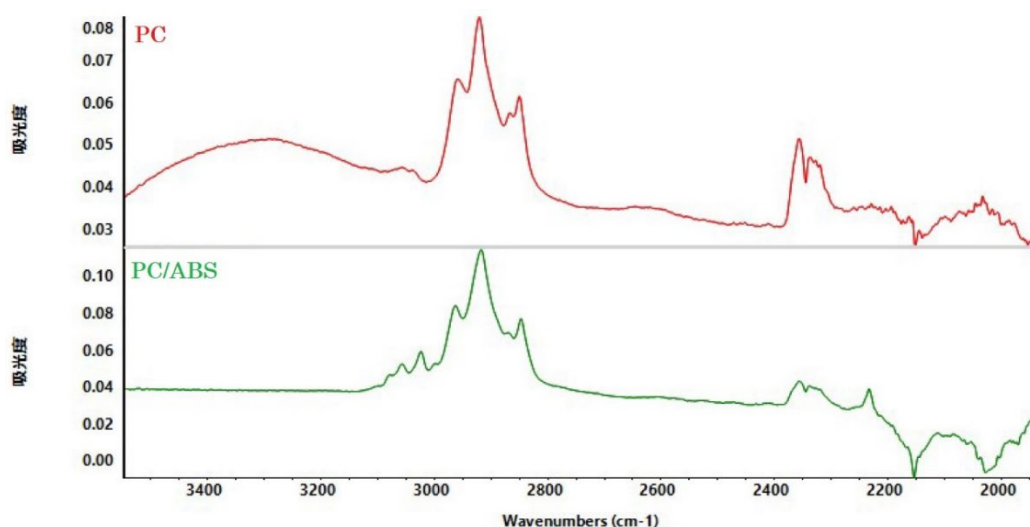


図 2-53 PC、PC/ABS の中赤外吸収スペクトル

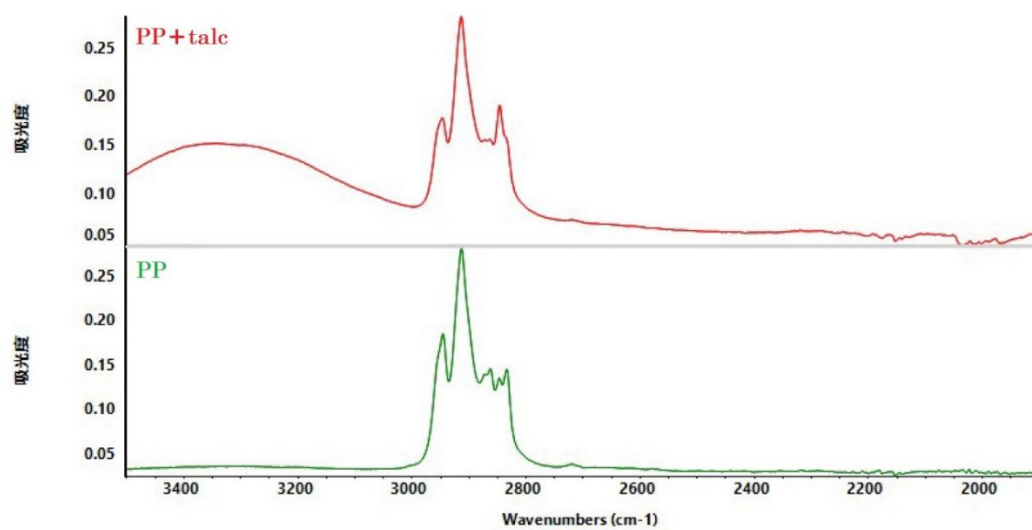


図 2-54 PP（低比重）、PP（高比重、タルク入り）の中赤外吸収スペクトル

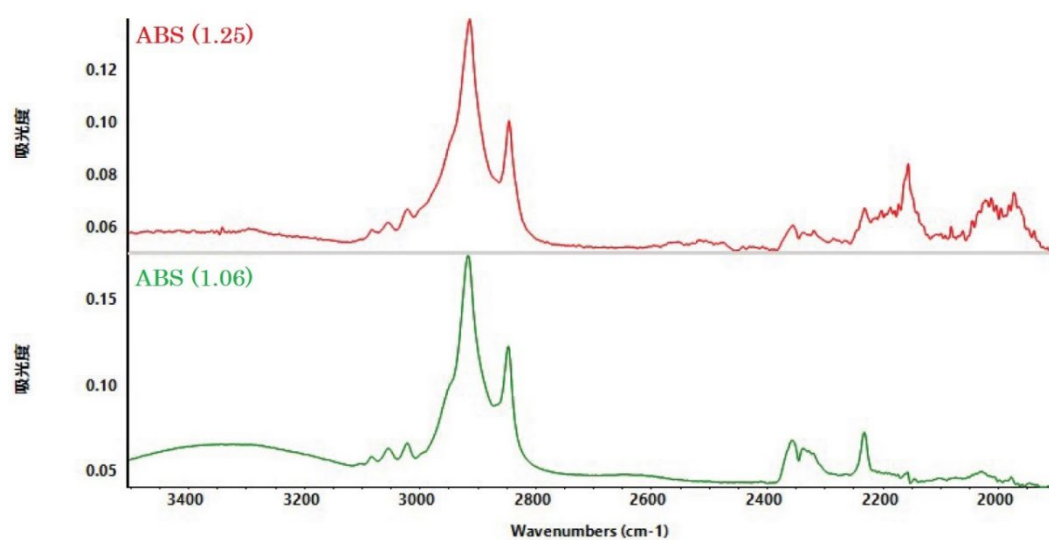


図 2-55 ABS（低比重）、ABS（高比重）の中赤外吸収スペクトル

2.2. 設備導入内容及び稼働結果

2.2.1. 湿式比重選別試験機（ジグ試験機）

(1) 設備導入内容

本事業では、回分式と連続式の 2 種類の試験を行えるジグ試験機を導入した。回分式ジグと連続式ジグの外観をそれぞれ図 2-56、図 2-57 に示す。なお、試験機はともに 2024 年 8 月 30 日に据付、試運転を完了した。

回分式ジグの仕様は、水槽（選別室）のサイズは幅 140mm×長 40mm×高 300mm で、少量の試料で試験が可能となっている。

連続式ジグの仕様は、水槽のサイズは幅 240mm×長 510mm×高 340mm で、原料投入後、選別を行いながら試料は水槽内を移動し、低比重物は上部から脈動水流とともに回収され、高比重物は水槽下部からスクリーンにより回収される仕組みとなっている。

表 2-28 ジグ試験機仕様

形式	網下空気室式湿式比重選別	
選別室	回分式	幅 140mm×長 140mm×高 300mm
	連続式	幅 240mm×長 510mm×高 340mm



図 2-56 回分式ジグの外観

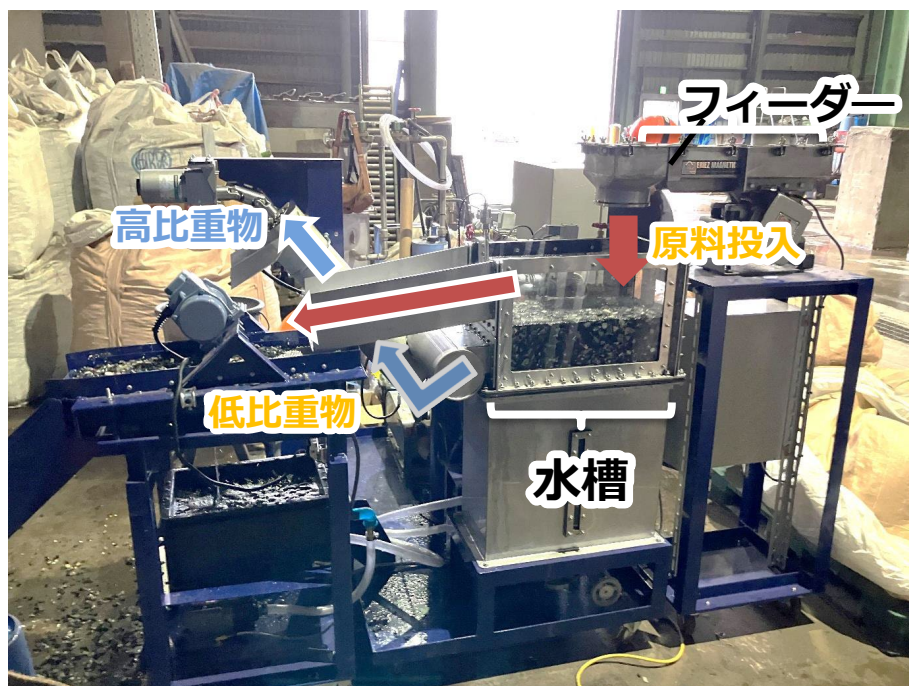


図 2-57 連続式ジグの外観

(2) 設備導入による成果目標及び検証方法

ジグ試験機により、種々の樹脂類・比重域のものが混合している原料から、特定の比重域ごとに選別することにより、選別対象となる樹脂類の絞り込みと次工程での選別をしやすいするための粗選別を目標とする。また、次工程での選別試験の原料作成の役割も担う。

ジグ選別試験結果は、目標とした比重閾値で選別回収した産物を、塩水などの比重液に浸漬させ、浮沈分離した割合を算出することで検証する。

(3) 導入設備による試験結果

「2.1 助成事業実施結果 2.1.2 湿式比重選別（ジグ選別）」で示すとおり。

2.2.2. フーリエ変換赤外分光光度計（樹脂分析装置）

(1) 設備導入内容

サンプルに赤外光を照射して得られる測定結果により、物質の化学的構造等を分析する装置である。黒色の樹脂の分析も可能である。

本事業において、原料となるミックスプラスチックの樹脂種を同定し、その構成を明らかにすることで、選別方法の適用手段を検討する。

試験時においては、処理物の素材を目視で判定することは不可能なため、運転しながら装置の調整を行うためには、試験中に分析を行いその結果に応じた調整を実施していくことで効率的な試験が行える。選別試験は装置ごとに異なった場所で行うため、必要に応じ分析装置を移動して事業者内で使用する。

また、赤外線ソーターにおいては、対象素材の赤外吸収スペクトルに差があることで選別

が可能となる。処理原料の赤外吸収スペクトルを測定することにより、その適用性の指標とする。

なお、分析装置は 2024 年 6 月 18 日に納入、据付を完了した。



図 2-58 フーリエ変換赤外分光光度計（樹脂分析装置）

(2) 設備導入による成果目標及び検証方法

分析装置の導入により、より多くの原料の素材分析を行うことで、データの信頼性を高める。各選別対象物をよりの確に性状把握すること为目标とする。試験精度の確認のため、試験結果の評価を即座に行うことで、選別試験の効率を高める。

(3) 導入設備による試験結果

「2.1 助成事業実施結果 2.1.1 原料分析」で示すとおり。

2.3. 実施結果を踏まえた考察

2.3.1. 回収品のマテリアルバランス

本事業の実施結果より、選別工程におけるマテリアルバランスを考察した。

MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B を各 1000kg 処理した時の試験フローにおけるマテリアルバランスを図 2-59 及び図 2-60 に示す。

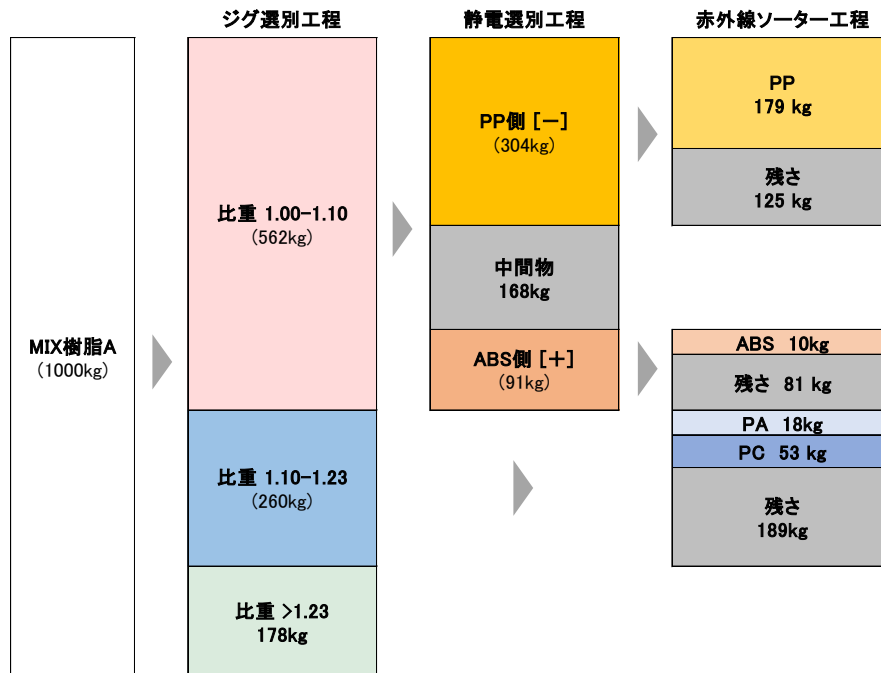


図 2-59 MIX 樹脂 A のマテリアルバランス

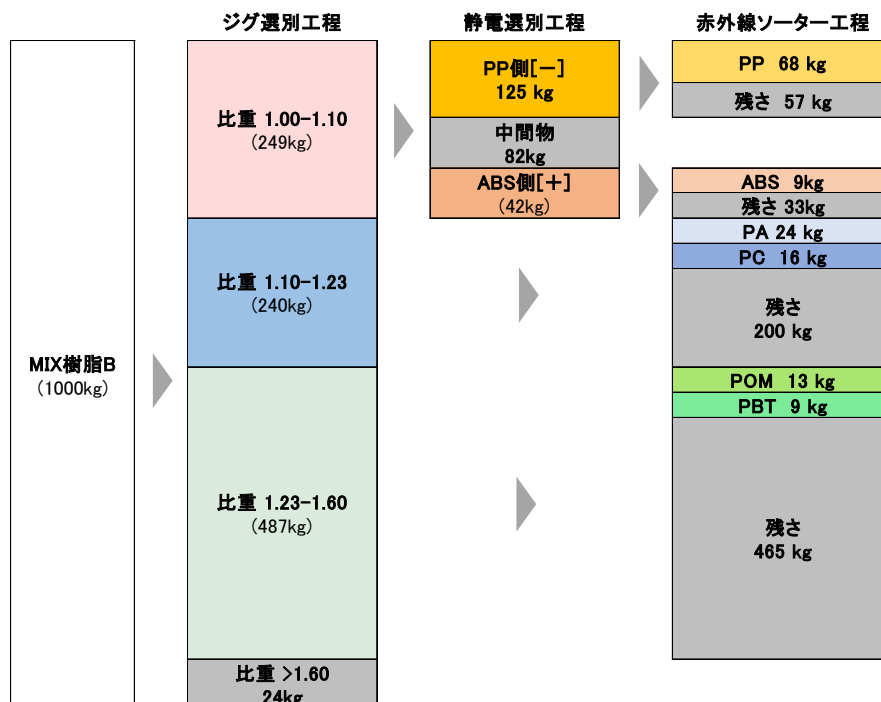


図 2-60 MIX 樹脂 B のマテリアルバランス

2.3.2. 回収品の評価

(1) 回収純度・回収率

本事業において、PP、ABS はペレット化し、純度の高い再生樹脂としてリサイクル可能であることを確認した。また、PC、PA、POM、PBT のミックスプラスチックからの回収を実証した。

本事業で選定した連続フローによる処理試験の結果を表 2-29 に示す。ここで回収率は原料分析により推計した各樹脂の含有量と試験での回収量から算出した値、純度は 50 ピースをサンプリングし FTIR で素材同定した時の重量割合を表す。

表 2-29 試験における回収率と純度

樹脂種	MIX 樹脂 A		MIX 樹脂 B	
	回収率	純度	回収率	純度
PP	38%	100%	33%	98%
ABS	16%	100%	9%	100%
PC	80%	80%	28%	89%
PA	43%	96%	30%	81%
POM	-	-	14%	90%
PBT	-	-	17%	67%

最も含有量の多かった比重 1.00 – 1.10 の領域中の PP について、各工程における回収率を表 2-30 に示す。

表 2-30 工程ごとの PP 回収率の評価

	ジグ選別	静電選別	赤外線ソーター	全体
MIX 樹脂 A	88 %	69 %	75 %	45 %
MIX 樹脂 B	76 %	70 %	80 %	42 %

※ジグ選別工程は、対象比重域の回収率の結果を PP 回収率とした。静電選別工程は、「PP 側回収率×純度÷原料分析の結果から推計する含有量」により試算した。赤外線ソーター工程は、2.1.5 (5) – 2) に示した回収率を用いた。

静電選別工程における回収率が低い、仕切りの調整やプラス・マイナスの中間側の回収品を再処理することで回収率の向上が見込まれる。製品純度を重視したことなどから、全体として回収率が低い結果となったが、各工程の最適化で回収率を改善させられるものと考えられる。

(2) 回収品の素材ごとのリサイクル性評価

本事業の結果から、ASR に含有するそれぞれの樹脂種についてそのリサイクル性を考察した結果を表 2-31 に示す。

表 2-31 素材ごとのリサイクル性評価

樹脂種	リサイクル性評価
PP	原料中に最も多く含まれる樹脂種。添加剤量により広い比重域に分布する。比重 1.00・1.10 の領域からは高い純度で回収できる。比重 1.10 以上の領域にも分布するため、追加の検討が必要。静電選別においては、最もマイナス側に帯電する傾向が確認された。比重域ごとに物性も異なるため、再生材の使用方法の検討が必要。
PE	比重 1.00 以上の PE は少量であった。水比重選別の軽量側に分布するため、重量側の選別においては考慮する必要性は低いと言える。
ABS	比重 1.00・1.10 の領域に多くが分布する。この比重域においては、共存する素材種が少ない。回収試験においては、比重 1.10 以上の領域にも分布が見られた。PP と ABS を主体とする原料は静電選別で高精度に分別できる。
PS	低比重域を中心に含有が確認されたが、その含有量はごく少量であり、回収するメリットは少ない。
PC	比重 1.10・1.23 の領域に大部分が分布する。赤外線ソーターによる回収が可能。PC と PC/ABS は混合して回収されるが、比重選別により分離できる可能性がある。
PA	赤外線ソーターにより回収が可能。回収率が低かったが、他の比重域からも回収することで、回収率を向上させられると考えられる。PA をさらに種類ごとに分別することは難しく、選別の検討やリサイクル用途開発が必要。
PMMA	比重分布の幅が小さく中比重域に集中した。試験での赤外線ソーターによる回収は精度が低かった。
POM	赤外線ソーターで高い精度で分離回収できる。リサイクル用途の検討が必要であり、用途によっては追加の選別を検討する。
PBT	原料の PBT 含有率が低く、異物の混入が多くなった。赤外線選別では PET の混入が確認された。

(3) 回収量の推計

株式会社マテック 苫小牧工場 ASR 再資源化施設において、ASR に対する MIX 樹脂の発生量は、実績から以下のとおりである。

MIX 樹脂 A： 4.2 %

MIX 樹脂 B： 2.5 %

全体フロー試験の結果から推計した、ASR 1000kg からの各樹脂の回収可能量を表 2-32 ～表 2-34 に示す。ここで、回収率は原料分析による MIX 樹脂中の各樹脂の含有量を母数とし、回収試験の結果を元に回収可能と考えられる重量の割合を表す。

表 2-32 MIX 樹脂 A からの再生樹脂の回収量推計

	ASR1t 中の 含有量 (kg)	回収量 (kg)	回収率
PP	15.20	7.52	49%
ABS	4.83	0.42	9%
PA	5.80	0.76	13%
PC	2.67	2.23	84%
合計	28.50	10.93	38%

表 2-33 MIX 樹脂 B からの再生樹脂の回収量推計

	ASR1t 中の 含有量 (kg)	回収量 (kg)	回収率
PP	5.03	1.70	34%
ABS	2.50	0.23	9%
PA	3.45	0.60	17%
PC	1.50	0.40	27%
POM	2.18	0.33	15%
PBT	0.91	0.23	25%
合計	15.57	3.49	22%

表 2-34 全体 (MIX 樹脂 A+B) からの再生樹脂の回収量推計

	ASR1t 中の 含有量 (kg)	回収量 (kg)	回収率
PP	20.23	9.22	46%
ABS	7.33	0.65	9%
PA	9.25	1.36	15%
PC	4.17	2.63	63%
POM	2.68	0.33	12%
PBT	1.62	0.23	14%
合計	45.28	14.42	32%

(4) 全体の評価・改善検討

ASR 由来のミックスプラスチックから試験フローにより複数種の樹脂を回収できることを確認した。複数の選別手法の組み合わせにより PP 及び ABS は高純度で回収が可能であり、ペレット加工まで問題なく行えた。PC、PA、POM についても単体樹脂として分離回収することができた。

原料のばらつきが大きく正確に評価することは難しいが、高純度の回収ができた一方、全体的に回収率は低かったといえる。試験のため回収純度を重視したことや特定の比重域のみからの回収を検討したことも要因であり、工程改善や追加の処理により回収率を向上さ

せられるものとする。

中～高比重域では特にゴム類の混入が多く、機械選別等の手法により事前にこれを取り除くことで、効率を大きく改善できると考えられる。また、各選別工程の最適化によりさらなる品質や回収率の向上が見込まれる。

PC と PC/ABS は混合状態での回収であり、PA も複数種類の PA が混合した状態の回収である。リサイクル用途によっては追加の分別の検討が必要となる。ミックスプラスチック由来の PC、PA、POM などのリサイクルは、現時点で確立された技術ではないため、用途開発とともに高純度化の検討が必要と考えられる。

試験においては、原料分析からのシミュレーションとサンプル試験で結果が合致しないことがあり、処理量や分析件数を増やすことで、試験の正確性を向上する必要がある。

(5) 現行リサイクル方法との比較

現在 ELV 由来の樹脂リサイクルでは、PP が主な対象物として行われているが、本事業の手法で多種類の樹脂種を回収することで、PP 含有量が低いミックスプラスチックについても採算性を持ってリサイクルが可能となる。PC、PA、POM といった、現状ではリサイクルが進んでいない樹脂種についてもリサイクルの可能性が示された。本事業で原料となるミックスプラスチックは現時点で有効にリサイクルされていないものであり、回収したプラスチックはそのままリサイクルの増加量となる。

また、樹脂リサイクルでは前処理として比重選別が行われ、通常は塩水を用いて浮沈分離をする。この方法は液比重の管理や洗浄、廃水処理にかかるコストや、塩水により設備腐食するといった課題がある。本事業で採用したジグ選別機では、水を用いた選別が可能であるため、これらのコスト削減ができる。また、塩水では比重 1.2 以上の選別が不可能であるが、ジグ選別ではフロートの調整のみで、様々な比重に同一装置で対応することができる。

静電選別は、装置の普及は進んできているものの利用される用途は限られている。対象とする処理物によって運転調整が必要となるが、本事業で用いた処理物の帯電特性の分析等の手法により、様々な樹脂種のリサイクルに適用できると考えられる。

通常の外赤線ソーターは、黒や暗色の樹脂は外赤線が吸収され樹脂種を判別することができないが、本事業で使用中赤外ソーターでは、黒色樹脂も高精度で選別可能であることを確認した。中赤外線ソーターは現時点では他設備と比較し導入コストが大きい、前処理により処理原料を濃縮することで処理量を限定し効率的な処理が可能となる。

表 2-35 現行リサイクル方法との比較

項目	現行	本事業
比重選別	比重液での選別 ・比重液の管理が必要 ・洗浄・廃水の処理コスト大 ・設備の腐食が発生 ・塩水選別可能な比重は最大 1.2	ジグ選別 ・流体の管理不要 ・洗浄不要、廃水量少 ・腐食の影響少ない ・広い比重範囲へ適応
静電選別	・適用範囲に限られる ・運転調整に技術が必要	・多くの樹脂種の回収に適用できる ・前後の選別工程で選別を補完する
赤外線ソーター	近赤外ソーター ・黒・暗色の樹脂は選別不可 ・適切な前処理が必要	中赤外ソーター ・黒色樹脂も選別が可能製品純度や混入する異物を確認できる ・回収が難しかった高付加価値の樹脂回収が可能
全体	・PP が主なリサイクル対象 ・個々の技術では、高純度の回収が困難	・多くの樹脂種をリサイクル可能 ・複数の選別技術の組み合わせで高品質かつ効率的なリサイクルが可能 ・PP 含有量の低いミックスプラスチックも対象原料とできる

(6) 再生材のリサイクル材使用に向けた評価

1) ペレット加工

回収品の評価のため、全体試験で回収した PP 及び ABS を、試験用の二軸押出機を使用してペレット化した。

加工には、40 メッシュ（目開き 0.5mm）のフィルターを通したが、短時間で目詰まりが発生した。この原因としてゴム等の異物の混入が認められた。熱硬化性の異物は大型のスクリーンチェンジャーやレーザーフィルター等の使用により、加工時に除去可能と考えられるが、ここでは、フィルターを使用せずペレット加工を行った。

MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B から回収した PP 及び ABS は、少量の異物の混入があったものの、支障なくペレット加工することができた。

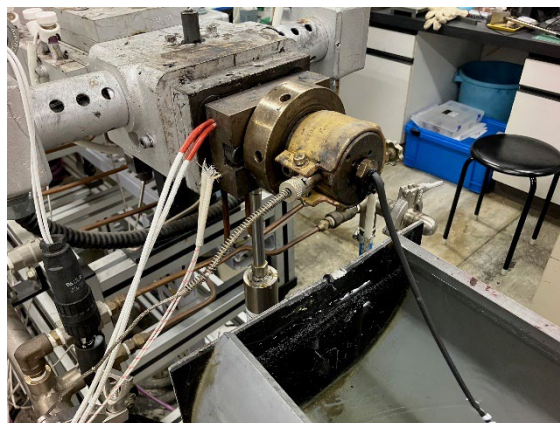


図 2-61 押出加工の様子



MIX 樹脂 A PP ペレット



MIX 樹脂 B PP ペレット



MIX 樹脂 A ABS ペレット



MIX 樹脂 B ABS ペレット

図 2-62 ペレット写真

2) PP ペレット物性評価結果

MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B から製造した PP ペレットについて、関東プラスチックリサイクル協同組合に評価を依頼した。

プレスシートを作成したところ、未溶融の異物の含有が確認された。異物の材種は特定不可であった。また、シルバーストリークの発生も起こったが、これはペレットに巣が発生し除去できない水分が残ったことに起因すると考えられる。実処理においては、押出加工時のフィルター処理や減圧脱気することで対策が可能である。PP ペレットの物性試験結果を表 2-36 に示す。

物性試験結果から MIX 樹脂 A は比較的衝撃強度が高く、曲げ強度及び引張強度が低い物性であり、MIX 樹脂 B は曲げ強度及び引張強度が高く、衝撃強度が低い物性である特性が認められた。これは、ELV 破碎の段階で靱性の高い樹脂が大径側、剛性の高い樹脂が小径側に多く分布したことに起因するものと推察される。

表 2-36 PP ペレット物性試験結果

試験項目	単位	検査結果	
		MIX樹脂A (1.00 - 1.10)	MIX樹脂B (1.00 - 1.10)
MFR (230℃、2.16kg)	g/10min	11.8	21.2
密度	g/cm ³	1.06	1.04
引張降伏応力	MPa	20.3	27.1
引張破壊 呼びひずみ	%	8	5
曲げ応力	MPa	31.5	41.7
曲げ弾性率	MPa	1990	2480
Izod 衝撃強度	kJ/m ²	14.1	4.3
シャルピー 衝撃強度	kJ/m ²	14.0	4.3

また、本事業で得られた PP ペレットの物性値について、日本自動車工業会（JAMA）が 2025 年 2 月に公表した再生樹脂の目標値との比較検討を行った。再生 PP における目標値を表 2-37 に、本事業による回収物との比較結果を表 2-38 に示す。比較結果は目標値を満たすものを「○」、目標値に近い値であるものを「△」、目標値から外れるものを「×」として整理した。

表 2-37 自工会が公表した再生樹脂（汎用 PP、複合強化 PP）の目標値

項目		汎用PP①	汎用PP②
配合（PCR比率）		25wt%以上	25wt%以上
配合（PCR中ELV比率）		報告	報告
配合（PIR比率）		報告	報告
密度（g/cm ³ ）		0.88～0.94	0.88～0.94
引張降伏強さ(MPa)	23℃	20以上	19以上
引張り弾性率(Mpa)	23℃	1000以上	940以上
引張破断伸び(%)	23℃	15以上	25以上
曲げ弾性率(MPa)	23℃	1000以上	940以上
曲げ強さ(MPa)	23℃	25以上	24以上
シャルピ衝撃値 (kJ/m ²)	23℃	5以上	10以上
	-30℃	2以上	3以上
荷重たわみ温度(℃)	0.45MPa	80以上	78以上
MFR（g/10min）	230℃,2.16kg	18～28	20～30

※汎用PP①：インパネアンダーカバーなど一般部品向け

汎用PP②：ドアトリムなど衝撃要求のある部品向け

項目		複合強化PP①	複合強化PP②	複合強化PP③
配合（PCR比率）		25wt%以上	25wt%以上	25wt%以上
配合（PCR中ELV比率）		報告	報告	報告
配合（PIR比率）		報告	報告	報告
密度（g/cm ³ ）		0.96～1.04	0.96～1.04	1.00～1.07
引張降伏強さ(MPa)	23℃	22以上	22以上	17以上
引張り弾性率(MPa)	23℃	1900以上	1900以上	1250以上
引張破断伸び(%)	23℃	40以上	25以上	20以上
曲げ弾性率(MPa)	23℃	2000以上	2000以上	1350以上
曲げ強さ(MPa)	23℃	27以上	27以上	22以上
シャルピ衝撃値 (kJ/m ²)	23℃	23以上	10以上	20以上
	-30℃	3以上	2以上	2以上
荷重たわみ温度(℃)	0.45MPa	100以上	100以上	90以上
MFR（g/10min）	230℃,2.16kg	25～35	25～35	22～32

※複合強化PP①：バンパーなど高剛性・高衝撃要求のある部品向け

複合強化PP②：インパネなど高剛性・衝撃要求のある部品向け

複合強化PP③：アンダーカバーなど高衝撃要求のある部品向け

出所）再生プラスチックの活用促進に向けた自工会の取組みについて ―汎用 PP、複合強化 PP の目標値公表―（一般社団法人日本自動車工業会、2025 年 2 月）

https://www.jama.or.jp/operation/ecology/recycle/pdf/Initiatives_of_the_JAMA_to_Promote_the_Use_of_Recycled_Plastics.pdf

表 2-38 本事業の回収物と自工会目標値との比較

項目※	MIX 樹脂 A					MIX 樹脂 B				
	汎用 PP		複合強化 PP			汎用 PP		複合強化 PP		
	①	②	①	②	③	①	②	①	②	③
MFR	×	×	×	×	×	○	○	△	△	△
密度	×	×	△	△	○	×	×	△	△	○
引張降伏強さ	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○
引張破断伸び	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
曲げ強さ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
曲げ弾性率	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○
シャルピ衝撃値	○	○	×	○	×	△	×	×	×	×

○：目標値を満たす △：目標値に近い ×：目標値から外れる

※表 2-37 で示す自工会が公表した目標値の項目名とした。

測定値と目標値の比較の結果、密度や引張破断伸びなど目標値に満たない項目があったものの、曲げ・引張強度など主要な項目においては目標値以上または同等の物性値であった。一般的に、樹脂中に異物が含まれる場合、外部から力を受けた時に異物を起点として破壊が進行するため、異物含有が多い材料は衝撃強度や引張破断伸びが小さくなる。試験品においては、回収量が少量だったため小型試験機でペレット化处理したが、実処理においては押出時にフィルター処理することが可能であり、異物除去による品質の改善が見込まれる。

3) Cat to Car リサイクルへの適用

自動車への再生樹脂の使用はバージン材や ELV 解体時の回収品などを混合してコンパウンドした原料を使用することが想定される。物性試験を行った PP は、追加の検証が必要であるものの、物性値が目標値から大きく外れる項目がないことや、コンパウンドによる物性調整が可能であることから、自動車向けの再生 PP 原料として使用できる可能性が高いと言える。比重 1.00-1.10 の領域からの回収物であり、密度が大きいこと、特に複合強化 PP への適用が期待される。

また、本事業で実施した回収方法では、破砕サイズ別、比重別の PP を回収することが可能であるため、異なる物性値を持つ PP を用途に応じて使い分けたり、ブレンドによる成分調整をしたりすることができる利点がある。

3. 今後の実証事業実施における課題及び解決方法等

3.1. 現状の課題

3.1.1. 実証試験における課題

本事業の実施期間中では、試験評価のできていない比重域や、回収検討ができていない樹脂種があり、全体評価のためには追加検証が必要である。また、原料のばらつきが大きくシミュレーション結果と試験結果の不一致があったため、試験規模の拡大によりデータの信頼度を上げることで実証の正確性を向上させられる。

3.1.2. 事業化に向けた課題

回収試験において、全体的に回収率が期待より低い結果となった。選別方法の最適化による改善や、回収検討できず残さとして計上した部分からの回収を検討することで回収率の向上を図る必要がある。

PP、ABS については、再生材のリサイクルルートが存在するものの、Car to Car に向けた用途開発が必要である。PC、PA、POM などは、現時点でリサイクルルートがなく、用途開発や追加処理の検討が必要。

3.2. 課題の解決方法

上記課題の解決方法を以下に示す。

表 3-1 現状における課題と解決方法

課題	解決方法
試験データの信頼性向上	・ サンプル量、分析検体数を増やした試験を実施する
試験未実施の項目	・ PC や PA の追加選別を検討する ・ 試験を実施していない比重域からの回収検討 ・ PMMA などの回収検討
回収率の向上	・ 各選別工程の最適化する ・ 試験未実施の比重域からの回収を検討
品質向上	・ ゴム除去等前処理により原料品位を向上させる ・ PC、PA 等の追加処理による純度向上を検討する
PP、ABS のリサイクル	・ 押出加工時のフィルターによる異物除去検討 ・ Car to Car に向けた用途開発
PC、PA、POM のリサイクル	・ 再生材の需要調査 ・ 追加選別による高純度化検討 ・ 用途開発

3.3. 次年度以降の助成事業展開

2024 年度事業では、ジグによる湿式比重選別、静電選別、赤外線選別の手法を用いて、ASR 由来のミックスプラスチックから多種類の樹脂を効率的に回収できる可能性が示された。しかし、量産レベルでの評価が行われておらず、回収検討に至らなかった樹脂種があるなど追加の検証が必要と考えている。また、処理工程の改善により、更なる効率の向上も見込まれる。

本事業は単年度事業であるため、同一事業で継続した検討は行わないが、必要な追加検証や事業化に向けた改善を引き続き同様の体制で実施する。

4. 事業化の計画

4.1. 想定する事業

株式会社マテックでは、ASR の再資源化の工程でミックスプラスチックを回収している。手選別で回収した高品位のプラスチックや水比重選別した比重 1 以下のプラスチックは、再生 PP の原料としてマテリアルリサイクルされている。一方、比重 1 以上のプラスチックや PP の含有率が低いミックスプラスチックは、素材の分別が困難であるため、採算性を確保することができずサーマルリサイクルされている。

本事業で実施した選別ラインを導入することで PP のリサイクル量を増加させ、さらに ABS、PC、PA といった多くの樹脂種の分離回収を可能とすることができる。現在マテリアルリサイクルできていない PP 含有量の少ないミックスプラスチックの処理も可能となるため、リサイクル対象となる原料を増加させることもできる。また、高比重の樹脂は他社施設においてもリサイクルが進んでおらず、これらの原料も併せて処理することが可能となる。

最適なミックスプラスチックの選別フローが確定した時点で、実用規模の処理設備を導入し、ミックスプラスチックの選別を実施する計画である。

機械メーカーも共同実施者として同事業に参画していることから同技術の全国展開も考えられる。複数個所で実施することで、運搬コストを削減できるため、国内のプラスチック資源の更なるリサイクル量増加も期待される。

5. 事業の評価

5.1. 採算性の評価

本事業の採算性の評価として、サーマルリサイクルとして処理していた MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B を、本事業により回収した樹脂はマテリアルリサイクル向けに販売、残渣は焼却処分するものとして、事業実施前後での MIX 樹脂 1t 当りの収支を比較した。

尚、回収樹脂の販売価格は明確な指標がないため、財務省貿易統計における 2023 年の原材料輸入価格の 1/2 の価格を想定して試算した。PBT は資料がなく、仮に 100 円/kg とした。処理コストは諸条件により大きく変わるが、1t/h の処理規模の施設を想定し、設備費を除く処理コストを計上した。

試算は不確かな数値が含まれるものの、事業の採算性を検討する上での参考として行ったものである。

【事業実施前】

$$\text{○処分費（焼却）} \quad 1,000 \text{ kg} \times \triangle 25 \text{ 円/kg} = \boxed{\triangle 25,000 \text{ 円/t}}$$

【事業実施後】

ジグ(1t/h)×1 基、ジグ(0.5t/h)×2 基、静電選別機(0.5 t/h)×1 基、中赤外ソーター(0.5t/h)×1 基による選別工程を想定。

表 5-1 回収樹脂の売却（試算）

回収樹脂	PP	ABS	PC	PA	POM	PBT	合計
数量 [kg]	137.6	9.6	39.2	20.2	4.9	3.4	214.9
単価 [円/kg]	90	121	173	249	140	100	—
価格 [円]	12,384	1,162	6,782	5,030	686	340	26,384

$$\text{○残渣処分費（焼却）} \quad 785.1 \text{ kg} \times \triangle 25 \text{ 円/kg} = \triangle 19,628 \text{ 円}$$

○選別コスト：電力費・人件費・その他経費（水、消耗費等）

$$1,000 \text{ kg} \times \triangle 9.0 \text{ 円/kg} = \triangle 9,000 \text{ 円}$$

（電力費：2.8 円/kg、人件費：5.0 円/kg、その他：1.2 円/kg）

$$\text{○収支} \quad 26,384 \text{ 円/t} - 19,628 \text{ 円/t} - 9,000 \text{ 円/t} = \boxed{\triangle 2,244 \text{ 円/t}}$$

$$\text{○事業実施前後の差} \quad \triangle 2,244 \text{ 円} - \triangle 25,000 \text{ 円} = \boxed{22,756 \text{ 円/t}}$$

試算結果より、MIX 樹脂 A 及び MIX 樹脂 B を選別処理することで、従来の焼却処理と比較し採算性を向上させることができると考えられる。しかしながら、収支はマイナスの試算であり、プラス評価に転じることが望ましい。ゴム類の除去や工程改善により効率改善の見通しは一定程度たっているが、事業化に向けては回収物の売却先の確保や更なる効率改善等を検討する必要がある。

5.2. 有効性の評価

本事業では、従来の技術ではリサイクルすることが難しかった PP 含有が少ないミックスプラスチックを、最初にジグを用いた湿式比重選別で複数の比重域に分別し、含有する樹脂種を限定した後に、静電選別及び黒色樹脂も識別可能な中赤外ソーターで選別することで、様々な樹脂種の分離回収が可能であることが示された。

湿式比重選別では、ジグを用いることで比重液による選別法では実用的でない高比重域の選別も実施できた。比重液を使わず水だけで選別することで、廃水量を大幅に削減し、経済的かつ低環境負荷の処理を実現できる。

静電選別は、基本的に 2 種の選別しかできないため、多種が混合した材料への適用が難しい。本事業では、ELV 由来のミックスプラスチックの比重別の帯電特性を調べることで、その適用性を評価した。湿式比重選別や赤外線選別で樹脂種を限定したり、他の選別法と組み合わせたりすることで精度良い分離回収を実証した。

従来の赤外線による選別法は、黒色や暗色の対象物は赤外線を吸収してしまうため、黒色の樹脂が多い自動車材料に適用できなかった。本事業で検討した中赤外選別機は、黒色樹脂の判別できるため、選別品の高純度化や、単体樹脂の分離回収が可能となる。今まで回収が難しかった PC、PA、POM、PBT といった付加価値の高い樹脂をリサイクルできる可能性も示された。

個々の選別技術において良好な選別結果となるためには、一定の条件がそろっている必要があるが、実処理においてはその条件が整わず、精度が不十分となるケースが多く、適用範囲は限られている。本事業では、各種選別手法を組み合わせることで、各工程に適した前処理を行い、不十分な選別を補完することで、ELV 由来のミックスプラスチックから高純度の再生樹脂を回収できることを実証した。物性のばらつきの評価や製品適用の検討などが必要なものの PP 及び ABS は高純度で回収できることが実証された。特に、PP は物性評価を行い自動車向け再生樹脂として適用できる可能性が高いことを確認した。

昨今の再生樹脂の需要増大に対応するためには、プラスチックのリサイクル量を大幅に増加させる必要がある。そのためには、多種のプラスチックをリサイクルすることや選別対象となるミックスプラスチックを増やすことが重要である。本事業では、PP のみならず多種の樹脂をリサイクルする可能性が示された。これにより再生樹脂の回収量を増加させることができるだけでなく、現状では PP の含有率が少なくリサイクルされていなかったミックスプラスチックも選別対象とすることが可能となり、PP を含む再生樹脂の回収量の大幅な増加が見込まれる。

しかしながら、本事業では時間等の制約から検討対象外とした比重域や樹脂種が多くあり、全体としての評価までは至っていない。また、物理選別によるゴム類除去や押出時のフィルター処理など、追加処理による工程の改善も見込まれるため、更なる検証も必要と言える。

また、本事業では PA、PC、POM 等の分別回収の可能性が示された。これらの樹脂は現時点において一部で単一素材を収集しリサイクルが行われているが、ミックスプラスチック由来の樹脂においては、有効なリサイクルは実施されていない。これらの新たなプラスチ

ックリサイクル技術を確立するには、素材メーカー等と協力し検討を進める必要があるが、付加価値の高いプラスチックをリサイクルすることで、プラスチック循環に大きく寄与することができる。

本技術は、小型家電や産業廃棄物由来の硬質プラスチックなど、自動車以外にも適用できる可能性があり、樹脂リサイクル、資源循環に大きく寄与するものとする。

以上