

2022 年度「ASR からの樹脂回収と部品適用技術の研究」

最終報告書

2023 年 3 月

いその株式会社

用語集

用語	注釈	
ASR	使用済自動車からエアバッグ類、フロン類、ドア、エンジンといった部品を取り外し、破砕し有用金属を回収した後に残る自動車破砕残さ (Automobile Shredder Residue)。	
ASR 試料	一次 選別品	破砕事業者において自動車破砕後の ASR になる前段階から抽出された樹脂リッチな材料又は ASR 再資源化施設において ASR から抽出された樹脂リッチな材料を指す。なお、破砕事業者・再資源化施設で実施される選別方法は各社で異なる。
	二次 選別品	二次選別品とは破砕事業者・再資源化施設で一次選別されたものを、さらに機械選別メーカーにて選別(風力選別、洗浄粉砕)した材料を指す。
	三次 選別品	二次選別にさらに追加選別を実施しており、この追加選別を本事業では三次選別とする。三次選別として比重選別、摩擦選別、光学選別、レーザーフィルター式押出機による加工を実施。
A プレス	車を破砕・選別処理した後の、廃車ガラをサイコロ状にプレスしたものを指す。	
軽ダスト	破砕事業者にて使用済み自動車を破砕し、破砕物から金属を回収するが、金属回収の前工程である風力選別で破砕物を集塵サイクロンで軽いもの、重いものに分ける。前者が軽ダスト、後者が重ダスト。	
重ダスト		
ベントアップ	メッシュに未溶融の異物や異樹脂が目詰まりすることによって、押出機内の熔融樹脂の流れが妨げられ、ベント口(脱気孔)から樹脂があふれ出る現象。	
シルバーストリーク	成型材料の中に含まれる空気や揮発ガスまたは水分が成型品の表面に現れることで成型品表面に銀状の筋が発生した状態を指す。	
SOC 評価	環境負荷物質 (Substances of Concern) の濃度評価を指す。	
ELV 指令	使用済自動車に関する 2000 年 9 月 18 日の欧州議会と欧州連合理事会の指令 (DIRECTIVE 2000/53/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 September 2000 on end-of life vehicles) (2000/53/EC)。各種規制物質の閾値を定めている。	

目次

1. 事業の計画	5
1.1. 事業の位置付け、背景.....	5
1.2. 事業実施内容.....	7
1.2.1. 事業計画（概要）.....	7
1.2.2. 事業の実施体制.....	9
1.2.3. 2021 年度の実施概要と確認できた課題及び解決方法.....	10
(1) 実施概要.....	10
(2) 課題と解決方法.....	11
1.2.4. 2022 年度実施スケジュール.....	12
2. 実施内容の報告	13
2.1. 2021 年度未実施分の評価.....	13
2.1.1. 一次選別品及び二次選別品の分析及び評価.....	15
(1) 組成分析による異物量確認.....	15
(2) 押出加工性.....	16
(3) プレート作製及び作製品の外観評価.....	17
(4) 物性測定結果.....	18
(5) SOC 測定.....	19
2.1.2. 評価試験結果のまとめ.....	20
2.2. 三次選別の分析及び評価.....	21
2.2.1. 三次選別品の追加実施.....	21
(1) 組成分析による異物量確認.....	25
(2) 各選別効果の検証.....	34
(3) 押出加工性.....	35
(4) プレート作製及び作製品の外観評価.....	37
(5) 物性測定結果.....	38
(6) SOC 測定.....	39
2.3. 評価まとめ.....	40
2.4. 再生コンパウンドの開発.....	42
2.5. コスト試算.....	43
2.6. 成型実施.....	46
2.6.1. 部品試験.....	46
3. まとめ	47

1. 事業の計画

1.1. 事業の位置付け、背景

2020年10月26日に菅内閣総理大臣所信表明演説において「日本が2050年までにカーボンニュートラルを目指すこと」を宣言した。2021年4月の地球温暖化対策推進本部及び米国主催の気候サミットでは、「2050年目標と整合的で、野心的な目標として、2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減すること」を表明している。また、2021年7月の産業構造審議会産業技術環境分科会廃棄物・リサイクル小委員会、自動車リサイクルワーキンググループ、中央環境審議会循環型社会部会自動車リサイクル専門委員会合同会議の自動車リサイクル制度の施行状況の評価・検討に関する報告書において変化への対応と発展的要素として「温室効果ガス発生削減の観点からもその再資源化の在り方」について改めて検討する必要があると指摘されるなど、脱炭素社会の実現が喫緊の課題となっている。

使用済自動車は引取業者や解体事業者によりエアバック類やフロン類の処理、資源価値のある部品が取り外された状態となり、プレス（ソフトプレス、三方プレス）されたスクラップとして破砕事業者へ引き渡される。これらスクラップは破砕事業者にて破砕され、鉄・非鉄といった主に有用金属類が選別・回収されたのち、残渣物が自動車破砕残さ（Automobile Shredder Residue、以下 ASR）として再資源化施設へ引き取られる。再資源化施設では、ASR をさらに選別しマテリアルリサイクルされ、その他は熱源としてサーマルリサイクルされている。

一部の使用済み自動車は全部再資源化認定を持つ解体事業者により精緻解体がされ、A プレスとして全部利用者である転炉・電炉事業者において鉄鋼原料として利用されている。

自動車リサイクル法施行により ASR の再資源化は進展しているが、大部分が熱回収によるリサイクルである。

本事業では、破砕事業者において自動車破砕後の ASR になる前段階から回収された樹脂リッチな材料又は ASR 再資源化施設において ASR から回収された樹脂リッチな材料(図 1-1 の ASR 試料（一次選別品）)を集める。またこの ASR 試料を洗浄・PP 選別、劣化した物性の復元技術の開発といった手法により自動車で使用可能な PP 再生材を作製する。

これらの取り組みにより、ASR 量を削減しリサイクル費用を低減するとともに、脱石油資源プラスチック材の採用拡大につなげる。

使用済自動車リサイクルにおける本実証事業の位置づけと実施概要を図 1-1 に示す。

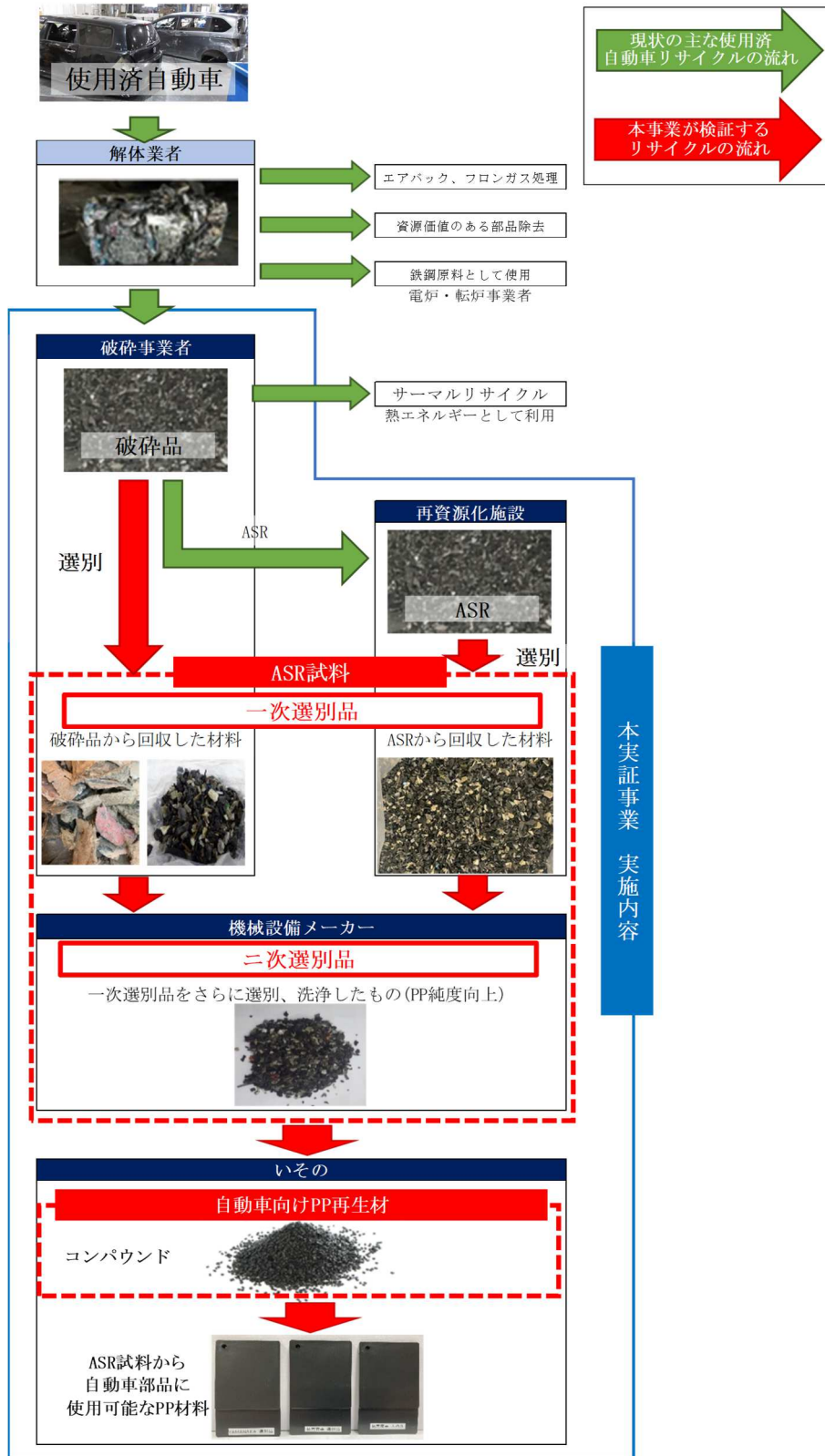


図 1-1. 使用済自動車リサイクルにおける本実証事業の位置づけと実施概要

出所：いその

1.2. 事業実施内容

1.2.1. 事業計画（概要）

1年目の実施項目は（1）ASR 試料提供企業の選定及び（2）ASR 試料の分析及び評価である。

ASR 試料（一次選別品）を提供してくれる破砕事業者・再資源化施設を3～5社選定する。なお、破砕事業者・再資源化施設で実施される選別方法は各社で異なるため、まずは一次選別品としての異物量や物性を確認する。

ただし、一次選別品は図 1-2 にあるような繊維、ゴム、ウレタン、紙類、木類等の樹脂以外の異物が多く、かつ樹脂も PP 以外の異樹脂が混在していると考えられる。そのため自動車向け PP 再生材としての使用が難しいことが想定されるため、機械設備メーカーにおいて再度選別（洗浄粉碎）を行い、二次選別品を得る。

二次選別品の分析及び評価も実施し、2年目の成型品作製に向けた課題の抽出とその改善方法を決定する。

2年目は（3）選別による ASR 試料の PP 純度向上を進め、自動車向け PP 再生材として使用可能な材料の開発を行う。さらにその材料を用いて成型品を作製し、（4）ASR 試料を使用した成型品の評価を行う。

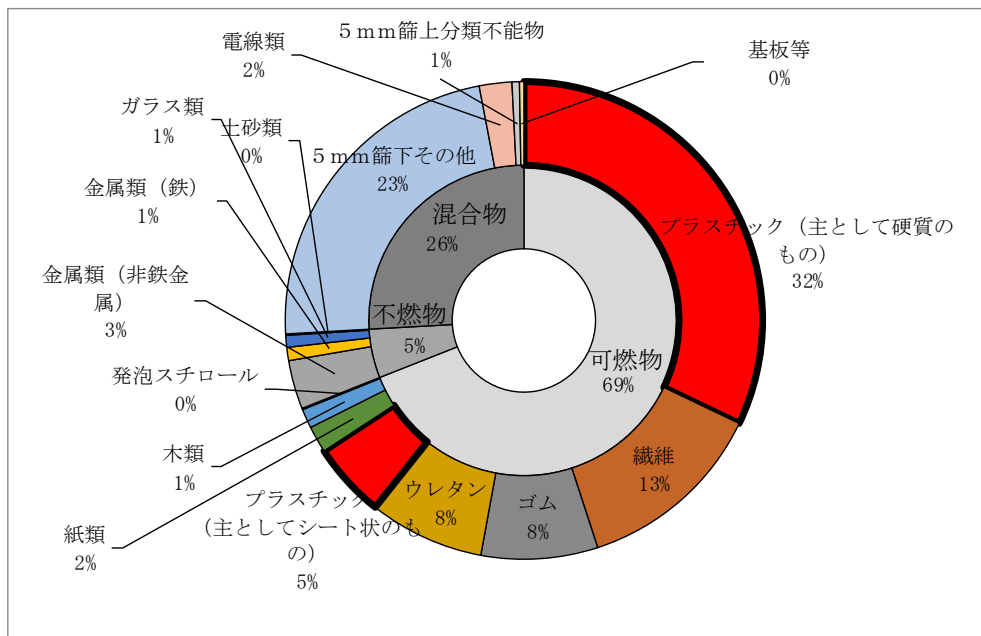


図 1-2. ASR の物理組成（平成 24 年度）

出所：平成 25 年 8 月 7 日 環境省「ASR 分析調査結果について」

表 1-1. 実施計画概要

実施年度	実施内容
2021年度	(1) ASR試料（一次選別品）提供企業の選定
	(2) ASR試料（一次選別品・二次選別品）の分析及び評価
2022年度	(3) 選別によるASR試料のPP純度向上
	(4) ASR試料を使用した再生材による成型品の評価

表 1-2. 実施計画詳細（2 か年）

項目	取組内容	会社	2021年度				2022年度			
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
試料及び選別事業者選定	破砕事業者3～5社からASR試料選定	いその								
	ASRからPP選別									
	分析（一次選別品、二次選別品）									
	評価（一次選別品、二次選別品）									
ASRからの材料選別	重量確認、粒度分布確認	いその								
	PP純度測定									
	PP以外の回収素材確認									
	コスト算出									
再生コンパウンド開発	物性値測定	いその								
	SOC測定									
	MMCスペックに調整									
	コスト算出									
部品評価	再生PPを使用した成型品をMMCにて評価（3～5サンプル）	MMC								
報告書作成	実施内容のまとめ	いその								

1.2.2. 事業の実施体制

本事業の実施スキーム、実施体制を表 1-3、図 1-3 に示す

表 1-3. 事業実施体制

役割	会社名	実施内容詳細
委託元	 MITSUBISHI MOTORS Drive your Ambition	<ul style="list-style-type: none"> 再生PPを使用した成形品の評価
委託先	 ISONO いその株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 試料及び事業者の選定 ASR試料からの材料選別 再生コンパウンドの作成



図 1-3. 事業スキーム

出所：いその

1.2.3. 2021 年度の実施概要と確認できた課題及び解決方法

(1) 実施概要

1 年目事業では ASR 試料の選定、試料の分析・評価を実施した。ASR は破碎事業者・再資源化施設によって回収品の大きさや付着物の状況が異なる。そのため破碎事業者・再資源化施設を 4 社選定し、それぞれから ASR 試料（一次選別品）を入手した。ASR 資料提供事業者を表 1-4 に示す。以後、イ～ニ社が回収した ASR 試料（一次選別品）は A～D と示す。ただし、A～D 及びイ～ニは順不同である。

ASR 試料作製の流れを図 1-4 に示す。破碎事業者・再資源化施設において回収した一次選別品をいそので均一混合を実施し均一混合により磁石に付着した以外の材料で押出加工性評価、組成分析、外観評価、物性測定、SOC 測定を実施した。なお、組成分析にあたっては、簡易的な水比重分離を行い、水浮き品のみを対象に分析を実施した。

表 1-4. ASR 試料提供事業者

会社名	ASR試料回収における特徴
イ社	地区における取扱量がトップクラス、かつASR試料の回収に協力的な意向を示した
ロ社	シュレッダー取扱量のうち、自動車由来のシュレッダーが大部分を占めているうえ、ASRのメテリアルリサイクルを機械選別で行っている
ハ社	公益財団法人自動車リサイクル高度化財団（J-FAR）の実証事業を通じ、水流選別装置システムの量産検討を行うなど、破碎事業者のなかでは先進的な取り組みを行っている
ニ社	地区の軽自動車の普及率が全国的に高く廃車発生量も軽自動車が多いことから、軽自動車比率の高いASR試料のポテンシャルを確認するため

出所：いその

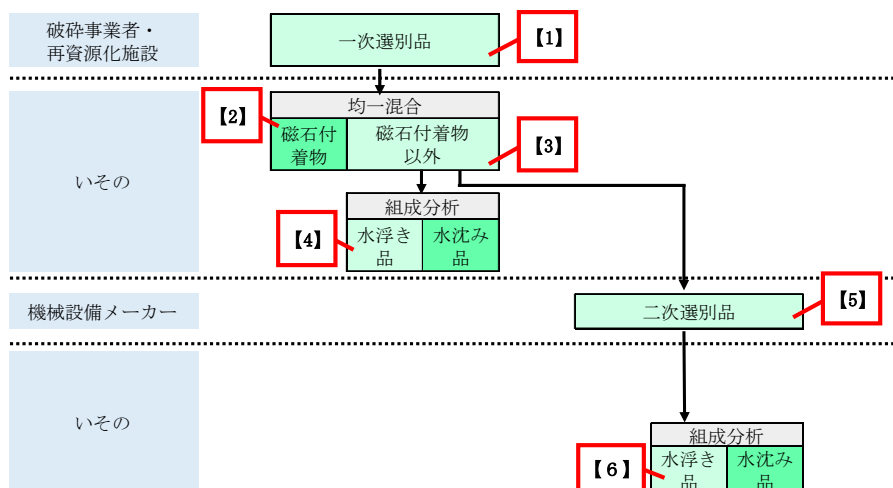


図 1-4. ASR 試料作製の流れ

出所：いその

(2) 課題と解決方法

異物が混入している ASR 試料を活用して成型用の再生材を作製するには、押出加工性を確保することが重要である。そのためには押出加工性を妨げる異物を除去すること、除去しきれない異物が混入している材料であることを踏まえた押出加工方法や、他原料を活用した材料配合設計が必要であると考ええる。

2021 年度事業において、①ASR 試料の組成分析による異物量確認、②押出加工性評価、③プレート外觀評価、④物性測定、⑤SOC 測定を実施した。①及び②の結果から、異物を除去するための最適な選別方法の確立が課題として確認できた。現時点では、一次選別品においては人力ピッキングによる手選別品の押出加工性が高いことが確認されている。しかしながら、数量分母拡大に繋げることを考えた場合、手選別に頼らない一次選別品においても押出加工性の確保を目的とする二次選別としての機械選別を確立する必要がある。このことから 2022 年度事業では、押出加工性に影響の大きいゴム系や PA・PBT などの異物除去のため、ゴム系を除去する摩擦選別を含めた機械選別に加えて色相や形状・赤外線などの識別により特定の対象物を選別し PP 純度を高める光学選別を実施する。押出加工方法や他原料を活用した材料配合設計を確立し表 1-5 に示す目標を達成し、ASR 試料から自動車部品で使用可能な材料への物性面を含めた作り込みを行う。作製した再生材にて成型品の評価も実施することで、ターゲット製品の確立を目指す。

表 1-5. 2022 年度事業に向けた課題と解決方法及び最終目標

	課題	解決方法	目標
(1)	押出加工性確保に向けた異物（ゴムや PA、PBT、PET）の除去	<ul style="list-style-type: none"> ・比重選別による PA や PET、PBT の除去 ・摩擦選別によるゴム系除去 ・光学選別による PP 純度向上 	押出加工性の確保 安定した連続生産ができること
(2)	異物混入品であることを踏まえた材料活用方法の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・温度条件変更による異物のメッシュ詰まり緩和 ・材料配合設計による異物メッシュ詰まりの緩和と目標物性への調整 	<ul style="list-style-type: none"> ・押出加工性の確保(1 同様) ・要求物性への一般機械物性適合

出所：いその

1.2.4. 2022 年度実施スケジュール

2022 年度事業の実施スケジュールを表 1-6 に示す。

表 1-6. 2022 年度事業実施スケジュール

項目		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. ASR試料の分析及び評価	追加選別の実施 PP純度測定 PP以外の回収素材確認 コスト確認									→			
2. 再生コンパウンドの開発	選別材料の物性値、SOC測定、スペック調整、コスト確認							→					
3. 部品評価	成形評価												→
定例会議	MMC、いその、他※オンライン開催、月1回開催	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
報告書作成	実施内容のまとめ												→

出所：いその

2. 実施内容の報告

2.1. 2021 年度未実施分の評価

1 年目に報告した内容も含めて、2021 年度に未実施だった D の二次選別結果を報告する。

D は一次選別品の押出加工の結果、砂などの表面付着物や木くずが確認されたため、押出加工性の向上にむけて木くずなどの軽量物除去を目的とした風力選別と表面の汚れ除去を目的とした洗浄粉碎を実施した。選別の目的と原理を表 2-1 に示す。

表 2-1. 設備の目的と原理

項目		本事業での目的	原理	回収物
二次選別	風力選別	木くず、ウレタン、綿、不織布、砂類といった軽量物の除去によるPP純度及び押出加工性向上	送風により軽比重物と重比重物を分離	木くず、不織布
	粉碎 ^{※1}	押出加工へ適したサイズ（8～15mm）へ一次選別品を加工	回転刃や固定刃によってせん断やすり潰しを行いサイズダウン	—
	洗浄 ^{※1}	粉碎品に付着している砂や表面付着物の除去による押出加工性向上	水によるたたき洗いやすすぎ洗いによる洗浄	—

※1：洗浄・粉碎は選別ではない



※設備構造や仕様・技術などが異なるため、上記内容は一例として記載している





出所：いその

二次選別品の分析及び評価（一次選別品との比較）を以下項目で実施した。

- ① 二次選別品の組成分析による異物量確認
- ② 二次選別品の押出加工性
- ③ 二次選別品のプレート作製及び作製品の外観評価
- ④ 二次選別品の物性測定結果
- ⑤ 二次選別品の SOC 測定

表 2-2. 一次選別品概要及び二次選別品の回収フロー及び外観

一次選別品※1			A	B	C	D
一次選別品実施項目	選別	手選別	○	○	—	—
		金属/磁力選別	○	○	○	○
		渦電流選別	—	○	—	○
		粒度選別	—	—	○	○
		風力選別	—	—	○	○
		比重選別	—	○	—	—
		水流選別	—	—	—	○
	浮沈選別	—	—	○	—	
粉砕	—	○	○	○		
洗浄	—	○	—	○		
形状		300mm程度 ※シュレッダー形状	8~15mm程度	8~15mm程度	8~15mm程度	
回収重量		軽ダスト：97kg	軽ダスト：439kg	軽ダスト：500kg	軽ダスト：502kg	
写真						
評価	粉砕サイズ (加工しやすい大きさ)		加工できない大きさ	加工しやすい大きさ	加工しやすい大きさ	加工しやすい大きさ
	異物量		異物多	異物少な	異物多	異物多
	押出加工性評価試験		押出加工不可	押出加工可能	押出加工不可	押出加工不可
	プレート外観評価試験		ペレット加工できず 評価不可	概ね良好	ペレット加工できず 評価不可	ペレット加工できず 評価不可
	SOC測定		ペレット加工できず 評価不可	ELV指令の閾値内	ペレット加工できず 評価不可	ペレット加工できず 評価不可

二次選別品※2			A	B	C	D
二次選別実施の目的			【洗浄粉砕】 押出加工可能なサイズにし、かつ表面付着物の除去 【風力選別】 軽量物の除去	【風力選別】 押出加工性を更に高めるために軽量物を除去 ※粉砕サイズ・表面付着物少ないため、洗浄粉砕は未実施	【洗浄粉砕】 砂や表面付着物の除去(粉砕サイズは問題なし) 【風力選別】 軽量物の除去	【洗浄粉砕】 砂や表面付着物の除去(粉砕サイズは問題なし) 【風力選別】 軽量
二次選別実施項目	洗浄付粉砕		○	— ※4	○	○
		投入量	5.12kg	—	2kg	9.8kg
		排出量※3	3.8kg	—	1.32kg	8.8kg
		投入時間	2分40秒	—	40秒	5分40秒
		含水率	1.01%	—	1.31%	—
	風力選別 (40Hz)		○	○	○	○
		投入量	1.48kg	2.00kg	0.66kg	10.00kg
選別後残渣		0.02kg	0.06kg	0.02kg	0.20kg	
選別後残渣比率(%)	1.4%	3.0%	3.0%	2.0%		
形状		8~15mm程度	8~15mm程度	8~15mm程度	8~15mm程度	
写真						

※1：表1-5 ASR試料（一次選別品）の回収フロー及び外観の再掲

※2：図1-1の【5】

※3：排出量は貴か居ないの残留発生もあり目減りしている

※4：Bは一次選別品が加工しやすいサイズでかつ表面付着物も少なかったため二次選別において洗浄粉砕は実施しなかった

※選別、粉砕、洗浄を実施している場合は○、していない場合は—で表記

洗浄粉砕・脱水、風力選別を実施している場合は結果を表記、していない場合は—で表記

出所：いその

2. 1. 1. 一次選別品及び二次選別品の分析及び評価

(1) 組成分析による異物量確認

ASR 試料の大きさ、比重選別結果、混入物、異物に関する確認結果を表 2-3 に示す。

二次選別品の組成分析は、二次選別品のなかからサンプルを抜き出し確認を行った。D の結果としては、一次選別品、二次選別品ともに異物量が多い結果であった。

二次選別において、風力選別による木くずや不織布除去を実施したものの、すべての除去には至らなかった。

表 2-3. 一次選別品及び二次選別品の組成分析による異物量確認

ASR試料		A		B		C		D		
		一次選別品	二次選別品 ※6	一次選別品	二次選別品 ※6	一次選別品	二次選別品 ※6	一次選別品	二次選別品 ※6	
サイズ※1		300mm程度	8~12mm程度	8~15mm程度	8~15mm程度	8~15mm程度	8~12mm程度	8~15mm程度	8~12mm程度	
均一混合作業時の 磁石付着物量	全体重量(kg)	粗粉砕でサイズが大きく確認不可	439kg	439kg	500kg	500kg	502kg	502kg	ハンドサンプルのみのため確認できず	
	付着重量(kg) ※2		0.00kg	0.00kg	0.11kg	0.00kg	0.00kg			
	付着比率 (%)		0.00kg	0.00kg	0.02%	0.00kg	0.00kg			
水による 比重分離 (浮き品の 分類)	確認試料 の内容	確認全体重量 (g)	978g	1,000g	200g	1,004g	202g	974g	200g	
		水浮き品重量 (g) ※3	無し	824g	946g	192g	672g	150g	896g	171g
		水浮き比率 (%)	無し	84.25%	94.60%	96.00%	66.93%	74.26%	91.99%	85.50%
	水浮き品 の構成比 率 (%) ※3	PP (黒、グ レー、白系)	(61.0%) ※5	86.3%	87.8%	81.9%	83.1%	84.6%	83.6%	79.7%
		塗装付PP	(15.5%) ※5	6.9%	7.0%	14.0%	5.5%	5.5%	2.8%	4.7%
		PA系 ※4		0.0%	3.7%	3.3%	2.6%	0.0%	4.1%	8.0%
		ゴム系	(23.5%) ※5	0.0%	0.9%	0.7%	7.6%	7.4%	7.0%	4.6%
		その他		6.8%	0.6%	0.1%	1.2%	2.5%	2.5%	3.0%
	合計	(100.0%) ※5	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	
	PP以外の混入物等 (砂、木くず、シール、ゴム含む異樹脂 等)		粗粉砕のため 未確認	PS、PET、木くず	ABS、ウレタン、 不織布、PA	ABS、ウレタン、 不織布、PA	金属、ガラス、 ゴム系、PA、 砂、 ハーネス	ABS、ガラス、 金属	ABS、PA、木くず	ウレタン、 ガラス、 木くず、ゴム
評価	粉砕サイズ (加工しやすい 大きさ)	加工出来ない 大きさ	加工しやすい 大きさ	加工しやすい 大きさ	加工しやすい 大きさ	加工しやすい 大きさ	加工しやすい 大きさ	加工しやすい 大きさ	加工しやすい 大きさ	
	異物量 (PP以外の混入物等)	異物多 (異物量 23.5%)	異物少 (異物量 6.8%)	異物少 (異物量 5.2%)	一次選別品と 変わらず異物 少	異物多 (異物量 11.4%)	一次選別品と 変わらず異物 多	異物多 (異物量 13.6%)	一次選別品と 変わらず異物 多	

一次選別品は※1：図1-4の【1】、※2：図1-4の【2】、※3：図1-4の【4】、二次選別品は※1：図1-4の【5】、※3：図1-4の【6】

※3：水浮き品の構成比率は、水浮き品重量 (g) から算出している。

※4：PA系には、PA単独や、PAとPEが層状になっている素材も含まれる。

※5：Aの一次選別品は粗粉砕でサイズが大きく、水による比重分離は未実施の状態では構成比率を出しているため()表記

※二次選別品については、サンプルテストを目的としたハンドサンプルのため、均一混合作業を実施していない。

出所：いその

(2) 押出加工性







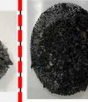

押出加工性の評価結果を表 2-4 に示す。

二次選別品から押出加工を実施した。押出加工の押出条件として、シリンダー温度 C1～C4（シリンダーに配置されたヒーター番号を材料供給部側から順に C1、C2、C3、C4 とする）及びダイス温度を 230℃と設定、メッシュは#40/#60/#40 とした。二次選別品を押出加工した際にメッシュに詰まる異物の確認を行った。

D の一次選別品の押出加工性を確認したところ、メッシュに異樹脂や木くずの付着が確認されたため、加工性を高める目的として網の目が粗い #20/#20 メッシュに変更し、再度実施したが状況は変わらず加工ができなかった。そのため機械設備メーカーで洗浄粉碎および風力選別を行い、二次選別品を製造したが、大きな効果は得られず、メッシュ詰まりが原因でペレット加工ができなかった。

D のメッシュ詰まりにはゴム系の付着物が目立った。そのことから押出加工性に対してはゴム系の要因が大きいと推測される。それに加え、一次選別品及び二次選別品の各メッシュ付着物を確認した結果、PA や PET の付着がありそれらによる押出加工の影響もあると推測される。

表 2-4. 一次選別品及び二次選別品の押出加工性評価結果
(一次選別品は図 1-4 の【3】、二次選別品は【5】の結果)






ASR試料		A		B		C		D		
		一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	
押出作業	押出条件 (°C)	c1	230							
		c2	230							
		c3	230							
		c4	230							
		D	230							
	スクリー回転	64								
押出作業 での確認 内容	メッシュ	40/60/40 ↓ 20/20 ※目詰まりにより変更	40/60/40	40/60/40	40/60/40	40/60/40 ↓ 20/20 ※目詰まりにより変更	40/60/40 ↓ 20/20 ※目詰まりにより変更	40/60/40 ↓ 20/20 ※目詰まりにより変更	40/60/40 ↓ 20/20	
	メッシュ付着物	・PET、PA、砂、木くず	・PBT、PA、綿、砂	・PA、ウレタン、PET	・PBT、ゴム系、PA、砂	・PBT、ゴム系、PA	・ゴム系、PA、PET、砂、木くず	・ゴム系、PA66、PA、木くず		
	加工状況	※粗粉碎のため、加工できず評価不可 ・洗浄粉碎後も異物によるスクリーンの詰りが発生	・押出加工時、スクリーンに異樹脂は少量付着したが、異樹脂等の除去ができなければ問題はないと推定	・加工性に問題なし	・押出加工時、スクリーンにゴム系やPBT、PA、砂が多く付着して生産ができないう状況が発生 ・ペレット加工まで至らなかった	・洗浄粉碎実施後も状態が変わらず加工が困難 ・ペレット加工まで至らなかった	・押出加工時、スクリーンにゴム系やPET、PA、木くずが付着 ・ペレット加工まで至らなかった	・押出加工時、スクリーンに異樹脂、木くずが付着		
押出加工品外観										
評価 (押出加工できるかどうか)		不可	可能	可能	可能	不可	不可	不可	不可	

出所：いその

(3) プレート作製及び作製品の外観評価

2.1.1 (2) の結果より、D の二次選別品はペレット加工できなかったため、プレート作製できず外観評価は実施できなかった。評価結果を表 2-5 に示す。

表 2-5. 一次選別品及び二次選別品のプレート外観評価結果
(一次選別品は図 1-4 の【3】、二次選別品は【5】の結果)

ASR試料			A		B		C		D	
			一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品
成型作業	成型温度 (°C)	c 1	220							
		c 2	220							
		ノズル	220							
成形品 (プレート)での 目視確認	曲げ等による層状剥離		無	無	無					
	プレート表面の凹凸、異物等		多	表面に凹凸を確認	表面に凹凸を確認					
	シルバーの発生確認		無	無	無					
プレート外観		※ペレット加工できず評価不可				※ペレット加工できず評価不可	※ペレット加工できず評価不可	※ペレット加工できず評価不可	※ペレット加工できず評価不可	※ペレット加工できず評価不可
拡大写真 レンズ ZS20: X20		—				—	—	—	—	—
評価 (外観評価)		ペレット加工できず評価不可	表面の凹凸、異物が多い	概ね良好	概ね良好	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可

出所：いその

(4) 物性測定結果

2.1.1 (2) の結果より、Dの二次選別品はペレット加工できなかったため、物性測定は実施できなかった。評価結果を表 2-6 に示す。

表 2-6. 一次選別品及び二次選別品の物性測定結果
(一次選別品は図 1-4 の【3】、二次選別品は【5】の結果)

ASR試料				A		B		C		D	
試験項目	試験条件	(単位)	試験方法	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品
メルトフローレート	230℃、 21N	g/10min	ISO 1133	※ペレット加工できず 評価不可	4.93	10.7	11.3	※ペレット加工できず 評価不可	※ペレット加工できず 評価不可	※ペレット加工できず 評価不可	※ペレット加工できず 評価不可
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	KJ/m2	ISO 179-1		47	32	32				
引張降伏強さ	—	MPa	ISO 527-1		18.9	19.3	19.2				
引張破壊ひずみ	—	%	ISO 527-1		19	27	26				
引張弾性率	—	MPa	ISO 527-1		1180	1250	1260				
曲げ強さ	—	MPa	ISO 178		25.2	26.2	26.5				
曲げ弾性率	—	MPa	ISO 178		1180	1280	1290				
ロッキング硬さ	Rスケール		ISO 2039-2		62	66	66				
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1		80	87	87				
比重	水中置換法		ISO 1183		0.97	0.97	0.97				
評価 (物性測定)				ペレット加工できず測定不可	物性測定済み	物性測定済み	物性測定済み	ペレット加工できず測定不可	ペレット加工できず測定不可	ペレット加工できず測定不可	ペレット加工できず測定不可

出所：いその

(5) SOC 測定

2.1.1 (2) の結果より、D の二次選別品はペレット加工できなかったため、プレート作製できず SOC 測定は実施できなかった。評価結果を表 2-7 に示す。

表 2-7. SOC 評価結果
(一次選別品は図 1-4 の【3】、二次選別品は【5】の結果)

ASR試料		A		B		C		D	
		二次選別品	三次選別品	二次選別品	三次選別品	二次選別品	三次選別品	二次選別品	三次選別品
SOC分析 ppm (単位)	カドミウム		ND	ND	ND				
	鉛	※ペレット加工 できず評価不可	5.2	8.4	10.8	※ペレット加工 できず評価不可	※ペレット加工 できず評価不可	※ペレット加工 できず評価不可	※ペレット加工 できず評価不可
	水銀		ND	ND	ND				
	総クロム		23.0	23.0	20.9				
評価 (SOC測定)	ペレット加工 できず評価不可		ELV指令の 閾値内	ELV指令の 閾値内	ELV指令の 閾値内				

※NDは化学物質が全く存在しないことを意味するのではなく、検出限界未満の濃度であることを示している。

※六価クロムについては、総クロムの簡易分析を実施した。

※分析機器の検出限界の目安は、カドミウム：1ppm以下、水銀：0.1ppm以下である。

出所：いその

2.1.2. 評価試験結果のまとめ

一次選別品及び二次選別品の評価試験の結果を表 2-8 に示す。

D においては一次選別品及び二次選別品でも押出加工ができず更なる異物除去が必要な状況であった。2021 年度に実施した他のサンプルにも共通するが、風力選別では押出加工性に影響の大きいゴム系や PA・PBT などの異物除去ができないため、動摩擦係数を利用してゴム系を除去する摩擦選別、色相や形状・赤外線などの識別による特定の対象物を選別する光学選別の実施など、他の複数の機械選別を組み合わせることによる品質向上への効果が期待できると推測される。

表 2-8. 一次選別品及び二次選別品の評価試験の結果一覧
(一次選別品は図 1-4 の【3】、二次選別品は【5】の結果)

ASR試料		A		B		C		D	
		一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品	一次選別品	二次選別品
ASR試料の客観的評価試験	粉碎サイズ (加工しやすい 大きさ/できない 大きさ)	不可	概ね良好	概ね良好	概ね良好	概ね良好	概ね良好	概ね良好	概ね良好
	異物量 (多/少)	多 (異物量 23.5%)	少 (異物量 6.8%)	少 (異物量 5.2%)	少 (異物量 4.1%)	多 (異物量 11.4%)	多 (異物量 9.9%)	多 (異物量 13.6%)	多 (異物量 15.6%)
押出加工性評価試験 (押出加工不可/可能)		不可	可能だが、 連続生産不可	可能	可能	不可	不可	不可	不可
プレート外観評価試験 (評価済み/ペレット加工で きず評価不可)		評価不可	表面の 凹凸、異物 が多い	概ね良好	概ね良好	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可
物性測定 (物性測定済み/ペレット加 工できず評価不可)		評価不可	済み	済み	済み	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可
SOC測定 (ELV指令の閾値内/閾値外 /ペレット加工できず評価 不可)		評価不可	閾値内	閾値内	閾値内	評価不可	評価不可	評価不可	評価不可

出所：いその

2. 2. 三次選別の分析及び評価

2. 2. 1. 三次選別品の追加実施

1. 2. 3. (2) 課題と解決方法でも述べたが、異物が混入している ASR 試料を活用して成型用の再生材を作製するには、押出加工性を確保することが重要である。そのためには押出加工性を妨げる異物を除去すること、除去しきれない異物が混入している材料であることを踏まえた押出加工方法や他原料を活用した材料配合設計が必要であると考えられる。

そのため、押出加工性向上と PP 純度向上を目的に、二次選別後における A~D の異物混入状態や一次選別工程の特性も踏まえ、それぞれ追加選別を実施した。この追加選別を本事業では三次選別とする。三次選別として①比重選別、②摩擦選別により押出加工性に影響の大きいゴム系や PA・PBT などの異物除去、③光学選別により PE などの除去、④レーザーフィルター式押出機により PP 加工温度帯で熔融せずメッシュに詰まる異物の除去を行い PP 純度の向上を図った。

一次選別 (表 2 1 の【1】)、二次選別 (表 2 1 の【5】)、三次選別表 2 1 の【7】~【10】の流れと収率、PP 比率、押出加工、物性評価、コスト、再生コンパウンド評価のまとめを表 2-9 に示す。

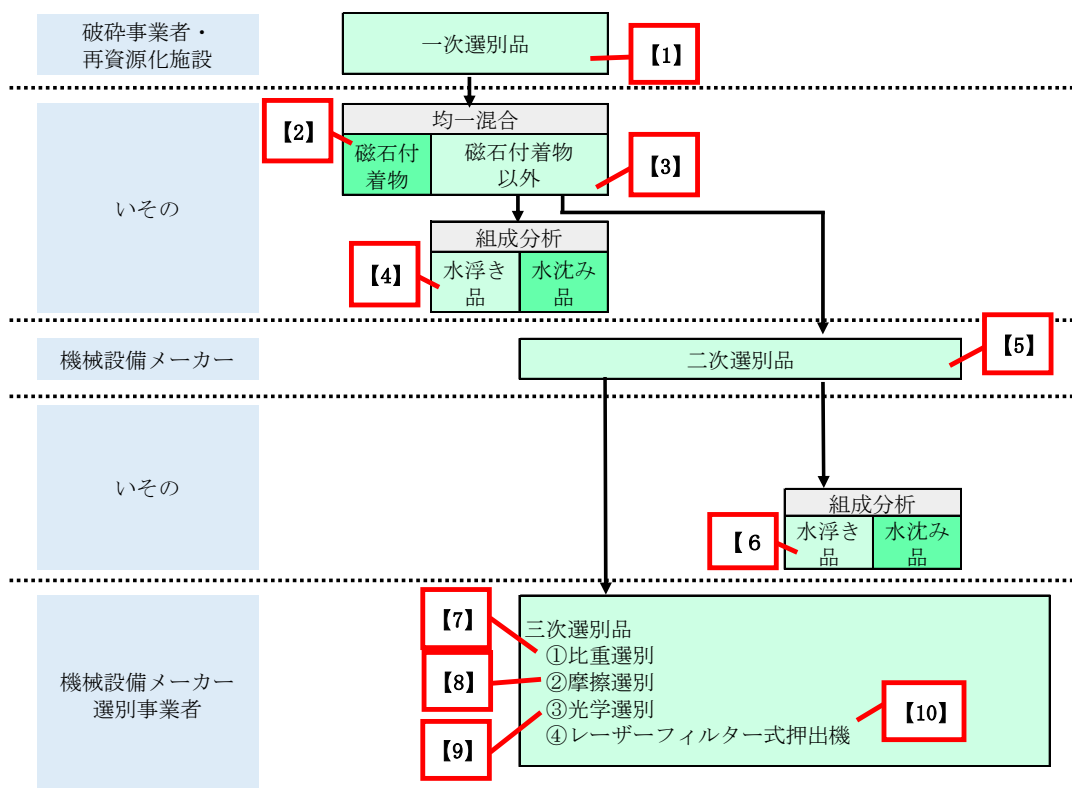


図 2-1. ASR 試料作製の流れ (図 1-4 に追記)

出所：いその

表 2-9. 一次選別の流れと収率、PP 比率、押出加工、物性評価、コスト、再生コンパウンド評価のまとめ
 (表 2-2 の【1】)、二次選別 (表 2-2 の【5】)、三次選別表 2-2 の【7】～【10】)

サンプル	番号	一次選別										二次選別		三次選別				収率	PP比率	押出加工	物性評価	コスト (円/kg)	再生 コンパウンド
		手 選別	金属 ・ 磁力	渦 電流	粒度	風力	比重	水流	浮沈	粉碎	洗浄	洗浄 粉碎	風力	比重	摩擦	光学	レーザー フィルター						
A	A-1	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0%		×	-			
	A-2	●	●	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	92.3%	70.7%	-	-			
	A-3	●	●	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-	-	90.9%	75.2%	○	実施済み	108		
	A-4	●	●	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	-	-	-	62.3%	75.4%	○	実施済み	143		
	A-5	●	●	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	-	●	-	30.4%	95.8%	○	実施済み	348		
	A-6	●	●	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	-	●	●	-	-	○	MFRのみ	359	○	
B	B-1	●	●	●	-	-	●	-	-	●	●	-	-	-	-	100.0%	88.9%	○					
	B-2	●	●	●	-	-	●	-	-	●	●	-	●	-	-	97.1%	89.6%	○	実施済み	46			
	B-3	●	●	●	-	-	●	-	-	●	●	-	●	-	●	78.0%	96.2%	○	実施済み	155			
	B-4	●	●	●	-	-	●	-	-	●	●	-	●	-	●	●	-	-	○	実施済み	166	○	
C	C-1	-	●	-	●	●	-	-	●	●	-	-	-	-	-	100.0%	77.4%	×	-				
	C-2	-	●	-	●	●	-	-	●	●	-	●	-	-	-	98.7%	76.3%	×	-				
	C-3	-	●	-	●	●	-	-	●	●	-	●	●	-	-	98.7%	74.7%	×	-				
	C-4	-	●	-	●	●	-	-	●	●	-	●	●	-	-	55.6%	88.1%	×	-				
	C-5	-	●	-	●	●	-	-	●	●	-	●	●	●	-	48.4%	89.3%	×	-				
	C-6	-	●	-	●	●	-	-	●	●	-	●	●	●	●	39.5%	96.2%	×	-				
	C-7	-	●	-	●	●	-	-	●	●	-	●	●	●	●	●	-	-	○	実施済み	177	○	
D	D-1	-	●	●	●	●	-	●	-	●	●	-	-	-	-	100.0%	80.5%	×	-				
	D-2	-	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	-	-	-	98.5%	87.8%	×	-				
	D-3	-	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	-	-	-	98.0%	83.1%	×	-				
	D-4	-	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	-	●	-	88.2%	88.8%	×	-				
	D-5	-	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	-	●	●	75.9%	95.4%	×	-				
	D-6	-	●	●	●	●	-	●	-	●	●	●	●	-	●	●	-	-	○	実施済み	179	○	

各選別で使用した設備の目的と原理を表 2-10、各選別の狙いの除去物を表 2-11 に示す。比重選別は主に PA、そのほか ABS、PS の除去、摩擦選別はゴム系の除去、光学選別は PE 等を除去することを目的としている。

表 2-10. 設備の目的と原理

項目	本事業での目的	原理	回収物	
三次選別	比重選別 (水比重選別)	PA、PBT、ガラス、金属といった重量物の除去によるPP純度及び押出加工性向上	材質による比重の違いを利用し、水の比重1.00程度を分離点として浮沈で分離	水比重の1.00より重たいものを沈め、浮いたものをPP側として回収
	摩擦選別	ゴム系の除去によるPP純度及び押出加工性向上	動摩擦係数の違いを利用し、対象物を回転するローラーにあてて反発の仕方により分別	摩擦係数が大きいゴム系と摩擦係数が小さいプラスチック類を分別しプラスチック側を回収
	光学選別	PP以外の夾雑物除去によるPP純度向上及び押出加工性向上	一般的な近赤外線手法では黒系樹脂識別が困難であるため、中赤外線手法を利用して対象物を識別	赤外線スペクトルによりPPと識別したものを回収
	レーザーフィルター式 押出機	PPの加工温度帯で溶けない夾雑物の除去によるPP純度向上及び押出加工性向上	レーザーにより鉄板に異物を取り除くための穴をあけた強固なフィルターが押出機に装着されており、フィルター表面上に溜まった異物を連続的・自動的に除去する	各選別で取り除けなかった異物をフィルターで取り除きペレット化したものを回収

※設備構造や仕様・技術などが異なるため、上記内容は一例として記載している

出所：いその

表 2-11. 各種選別と狙いの除去物

選別方法	異物
比重選別	PA、ABS、PS
摩擦選別	ゴム
光学選別	PE 等

出所：いその

表 2-12. 二次選別品

(図 1-4. ASR 試料作製の流れの【5】)の押出加工性評価と課題及び三次選別の実施内容

選別手法		A	B	C	D	フロー No	本事業での選別の目的
二次選別	洗浄粉砕	○	—	○	○	【5】	ルーダー加工しやすい大きさに粉砕し、洗浄により異物を除去
	風力選別	○	○	○	○	【5】	重量による混合物の分別
三次選別	比重選別	比重<1.0	○	—	○	—	【7】 PA、PBT、ガラス、金属といった重量物の除去によるPP純度及び押出加工性向上
	摩擦選別		—	—	○	○	【8】 ゴム系の除去によるPP純度及び押出加工性向上
	光学選別		○	○	○	○	【9】 PP以外の夾雑物除去によるPP純度向上及び押出加工性向上
	レーザーフィルター式押出機		○	○	○	○	【10】 PPの加工温度帯で溶けない夾雑物の除去によるPP純度向上及び押出加工性向上

出所：いその

図 2-1 の二次選別品【5】において、各種異物を除去するため三次選別を実施した。A は PET、PA 等を除去するため比重選別【7】を、C は PBT、PA を除去するため比重選別【5】及びゴム系を除去するため摩擦選別【8】を、D については PA の混入も確認されたが比重選別を行うと水より大きい比重のものを回収している水流選別の特性を損なってしまうため、比重選別は行わずゴム系を除去するための摩擦選別【8】のみを行った。

また、上記選別の実施に加え、更に PP 純度の向上や押出加工性の改善を図るため、それぞれのサンプルに対し光学選別【9】及びレーザーフィルター式押出機（連続異物除去装置付き押出機/以下レーザーフィルター）での加工【10】を実施した。各サンプルの回収率を表 2-13 に示す。

表 2-13. 材料別、選別手法別回収率

サンプル	選別手法	投入量	回収量	回収率	全選別後回収率	
A	A-2	洗浄粉碎	220kg	203kg	92.3%	30.44%
	A-3	風力選別	203kg	200kg	98.5%	
	A-4	比重選別	200kg	137kg	68.5%	
	A-5	光学選別	90kg	44kg	48.9%	
B	B-2	風力選別	209kg	203kg	97.1%	75.73%
	B-3	光学選別	177kg	138kg	78.0%	
C	C-2	風力選別	223kg	220kg	98.7%	39.46%
	C-3	洗浄粉碎	220kg	220kg	100.0%	
	C-4	比重選別	220kg	124kg	56.4%	
	C-5	摩擦選別	124kg	108kg	87.1%	
	C-6	光学選別	108kg	88kg	81.5%	
D	D-2	風力選別	203kg	200kg	98.5%	75.86%
	D-3	洗浄粉碎	200kg	199kg	99.5%	
	D-4	摩擦選別	199kg	179kg	89.9%	
	D-5	光学選別	179kg	154kg	86.0%	

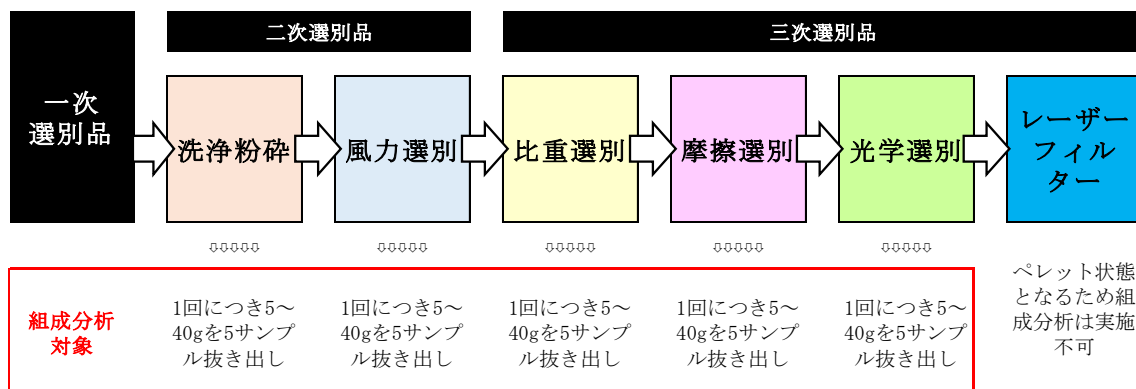
出所：いその

(1) 組成分析による異物量確認

一次選別品、二次選別品である①洗浄・粉砕、風力選別、三次選別である②比重選別、③摩擦選別、④光学選別における組成分析結果を表 2-14～表 2-21、図 2-3～図 2-6 に示す。

図 2-2 で示したように各選別後に ASR 試料のサイズに応じて 5～40g を 1 サンプルとして 5 サンプル (n=5) 抜取り組成分析を行っているが、レーザーフィルター後についてはペレット状態となるため組成分析は実施できていない。また、サンプル A の一次選別品についても粗破碎のため組成分析はできていない。

PP 純度 (PP 及び塗装付き PP) は、サンプル A は二次選別品の 75.2% (試料番号 A-3、以下同) から①比重選別により 75.4% (A-4) に、サンプル C は二次選別品の 76.3% (C-2) から①比重選別及び、②摩擦選別により 89.3% (C-5) に、サンプル D は二次選別品の 87.9% (D-2) から②摩擦選別により 88.8% (D-4) となった。A・D については大きな変化がない数値となっているが、後述する (2) 各選別効果の検証で示す通り目的物の除去効果が確認されている。また、各サンプル共通で実施した光学選別の結果、PP 純度としては、サンプル A は 75.4% (A-4) から 95.8% (A-5) に、サンプル B は 89.6% (B-2) から 96.2% (B-3) に、サンプル C は 89.3% (C-5) から 96.2% (C-6) に、サンプル D は 88.8% (D-4) から 95.4% (D-5) となり PP 純度は向上した。



※二次選別の順番は風力選別後洗浄粉砕のパターンもある
 ※各サンプルはすべての選別を実施しているわけではない

図 2-2. 組成分析の方法

出所：いその

表 2-14. A の各選別工程後の組成割合

単位：%

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		洗浄粉碎脱水	風力選別	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	A-1	A-2	A-3	A-4	—	A-5
PP	—	70.7	75.2	75.4	—	95.8
	—	64.3	59.1	64.5	—	91.9
	—	6.4	16.1	10.9	—	3.9
PE系	—	20.3	21.1	22.2	—	3.8
ゴム系	—	0.8	2.7	2.4	—	0.0
PS	—	0.0	0.0	0.0	—	0.0
PA	—	7.3	0.3	0.0	—	0.0
ABS	—	0.1	0.6	0.0	—	0.0
木	—	0.0	0.0	0.0	—	0.0
その他	—	0.8	0.1	0.1	—	0.3
合計	—	100.0	100.0	100.0	—	99.9

出所：いその

表 2-15. A の一次選別品全体を 100 とした組成割合

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		洗浄粉碎脱水	風力選別	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	A-1	A-2	A-3	A-4	—	A-5
PP	—	65.2	68.4	46.9	—	29.2
	—	59.3	53.7	40.2	—	28.0
	—	5.9	14.6	6.8	—	1.2
PE系	—	18.7	19.2	13.8	—	1.2
ゴム系	—	0.7	2.5	1.5	—	0.0
PS	—	0.0	0.0	0.0	—	0.0
PA	—	6.7	0.3	0.0	—	0.0
ABS	—	0.1	0.5	0.0	—	0.0
木	—	0.0	0.0	0.0	—	0.0
その他	—	0.7	0.1	0.1	—	0.1
合計	—	92.3	90.9	62.3	—	30.4

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

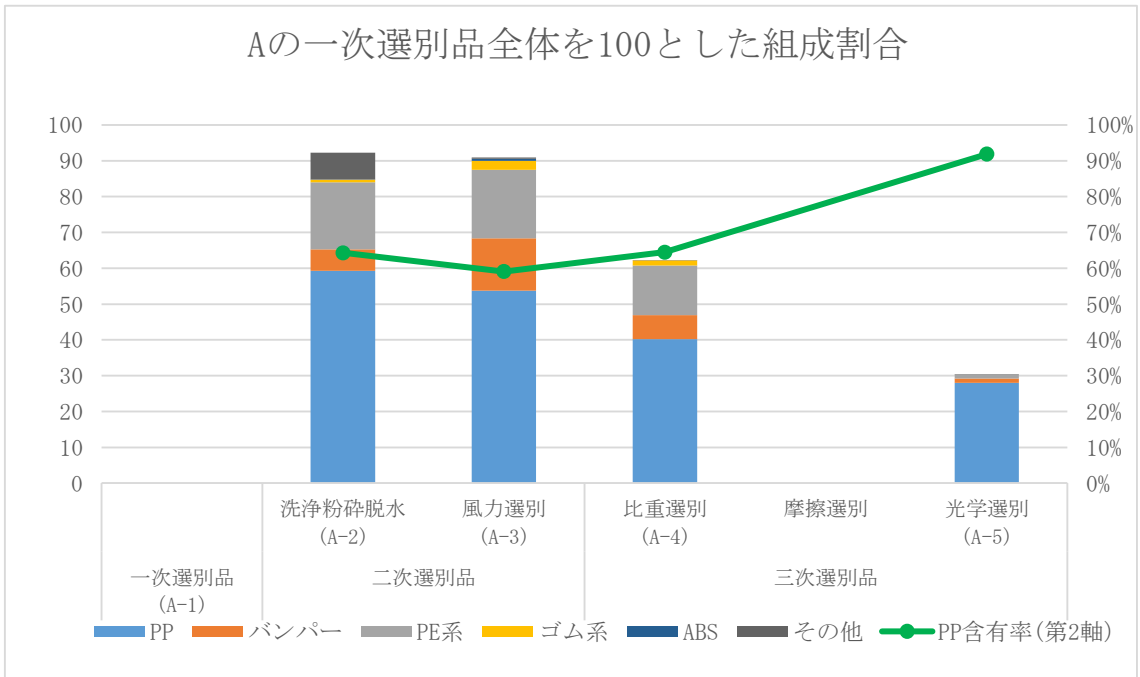


図 2-3. A の一次選別品全体を 100 とした組成割合及び PP 含有率推移

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

表 2-16. B の各選別工程後の組成割合

単位：%

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		洗浄粉碎脱水	風力選別	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	B-1	—	B-2	—	—	B-3
PP	88.9	—	89.6	—	—	96.2
PP	79.7	—	79.1	—	—	90.0
バンパー	9.2	—	10.5	—	—	6.2
PE系	9.5	—	9.4	—	—	3.3
ゴム系	1.3	—	0.9	—	—	0.5
PS	0.0	—	0.1	—	—	0.0
PA	0.0	—	0.0	—	—	0.0
ABS	0.0	—	0.0	—	—	0.0
木	0.0	—	0.0	—	—	0.0
その他	0.1	—	0.0	—	—	0.0
合計	100.0	—	100.0	—	—	100.0

出所：いその

表 2-17. B の一次選別品全体を 100 とした組成割合

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		洗浄粉碎脱水	風力選別	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	B-1	—	B-2	—	—	B-3
PP	88.9	—	87.0	—	—	72.9
PP	79.7	—	76.8	—	—	68.2
バンパー	9.2	—	10.2	—	—	4.7
PE系	9.5	—	9.1	—	—	2.5
ゴム系	1.3	—	0.9	—	—	0.4
PS	0.0	—	0.1	—	—	0.0
PA	0.0	—	0.0	—	—	0.0
ABS	0.0	—	0.0	—	—	0.0
木	0.0	—	0.0	—	—	0.0
その他	0.1	—	0.0	—	—	0.0
合計	100.0	—	97.1	—	—	75.7

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

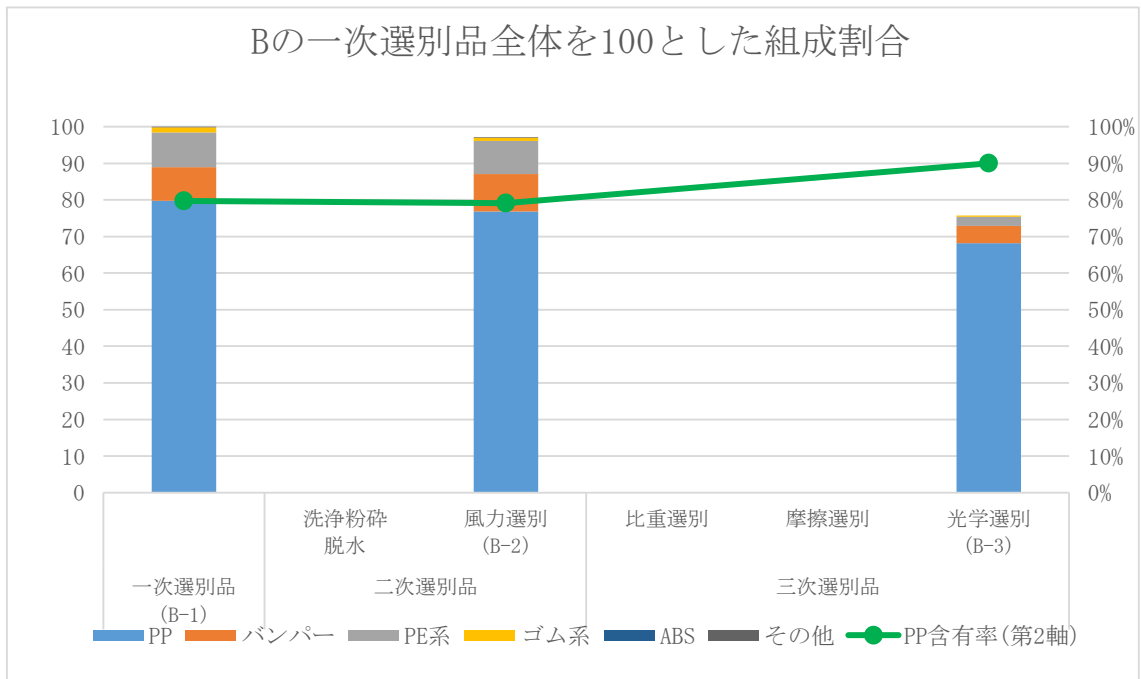


図 2-4. B の一次選別品全体を 100 とした組成割合及び PP 含有率推移

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

表 2-18. C の各選別工程後の組成割合

単位：%

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		風力選別	洗浄粉碎脱水	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
PP	77.4	76.3	74.7	88.1	89.3	96.2
PP	70.8	71.1	68.8	84.1	86.2	88.6
バンパー	6.6	5.2	5.9	4.0	3.1	7.6
PE系	3.4	4.2	4.8	6.3	7.1	0.6
ゴム系	10.8	11.2	12.8	4.8	3.3	3.1
PS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PA	1.7	1.8	0.7	0.0	0.0	0.0
ABS	4.7	5.9	4.5	0.0	0.0	0.0
木	0.5	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
その他	1.4	0.4	2.5	0.5	0.0	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

出所：いその

表 2-19. C の一次選別品全体を 100 とした組成割合

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		風力選別	洗浄粉碎脱水	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
PP	77.4	75.3	73.7	49.0	43.3	38.0
PP	70.8	70.2	67.9	46.8	41.8	35.0
バンパー	6.6	5.1	5.8	2.2	1.5	3.0
PE系	3.4	4.2	4.7	3.5	3.5	0.3
ゴム系	10.8	11.1	12.6	2.7	1.6	1.2
PS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PA	1.7	1.8	0.7	0.0	0.0	0.0
ABS	4.7	5.8	4.4	0.0	0.0	0.0
木	0.5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
その他	1.4	0.4	2.5	0.3	0.0	0.0
合計	100.0	98.7	98.7	55.6	48.4	39.5

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

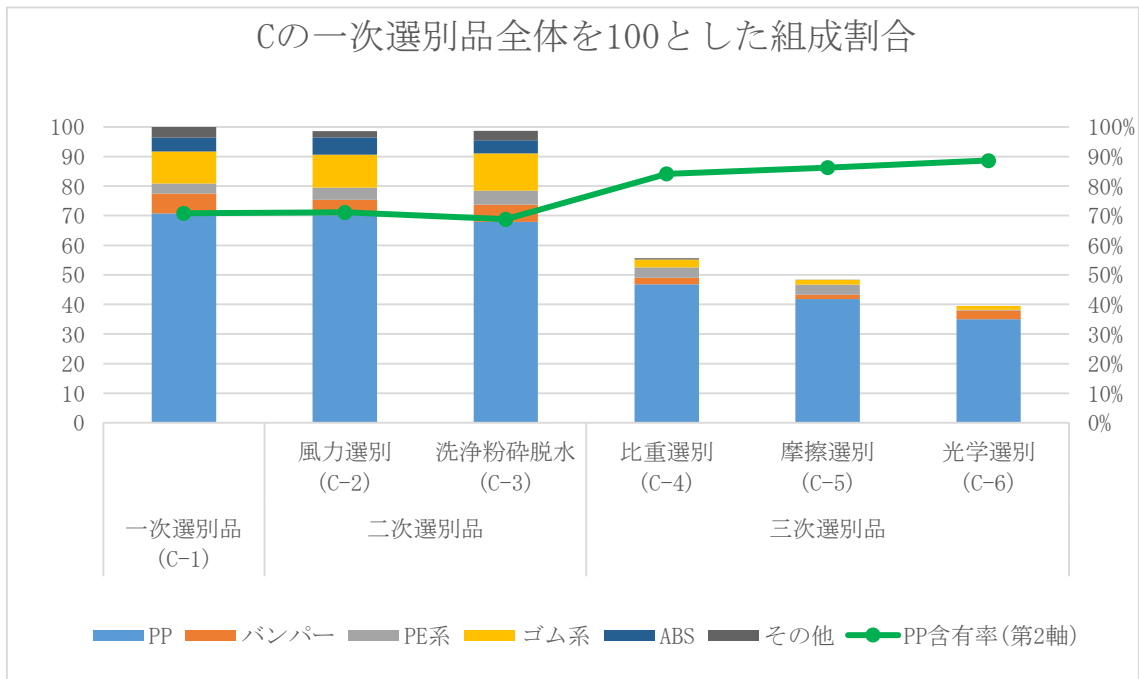


図 2-5. C の一次選別品全体を 100 とした組成割合及び PP 含有率推移

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

表 2-20. D の各選別工程後の組成割合

単位：%

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		風力選別	洗浄粉碎脱水	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	D-1	D-2	D-3	—	D-4	D-5
PP	80.5	87.8	83.1	—	88.8	95.4
PP	72.6	79.9	76.8	—	82.8	89.9
バンパー	7.9	7.9	6.3	—	6.0	5.5
PE系	11.9	5.4	8.1	—	7.1	1.5
ゴム系	5.4	5.5	7.6	—	2.6	1.9
PS	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0
PA	0.2	0.1	0.1	—	0.0	0.0
ABS	1.9	0.1	0.4	—	0.8	0.3
木	0.0	0.2	0.3	—	0.2	0.3
その他	0.0	0.8	0.4	—	0.4	0.6
合計	100.0	100.0	100.0	—	100.0	100.0

出所：いその

表 2-21. D の一次選別品全体を 100 とした組成割合

項目	一次選別品	二次選別品		三次選別品		
		風力選別	洗浄粉碎脱水	比重選別	摩擦選別	光学選別
番号	D-1	D-2	D-3	—	D-4	D-5
PP	80.5	86.5	81.5	—	78.3	72.4
PP	72.6	78.7	75.3	—	73.0	68.2
バンパー	7.9	7.8	6.2	—	5.3	4.2
PE系	11.9	5.4	7.9	—	6.3	1.1
ゴム系	5.4	5.5	7.5	—	2.3	1.4
PS	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0
PA	0.2	0.1	0.1	—	0.0	0.0
ABS	1.9	0.1	0.4	—	0.7	0.2
木	0.0	0.2	0.3	—	0.2	0.2
その他	0.0	0.8	0.4	—	0.4	0.5
合計	100.0	98.5	98.0	—	88.2	75.9

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

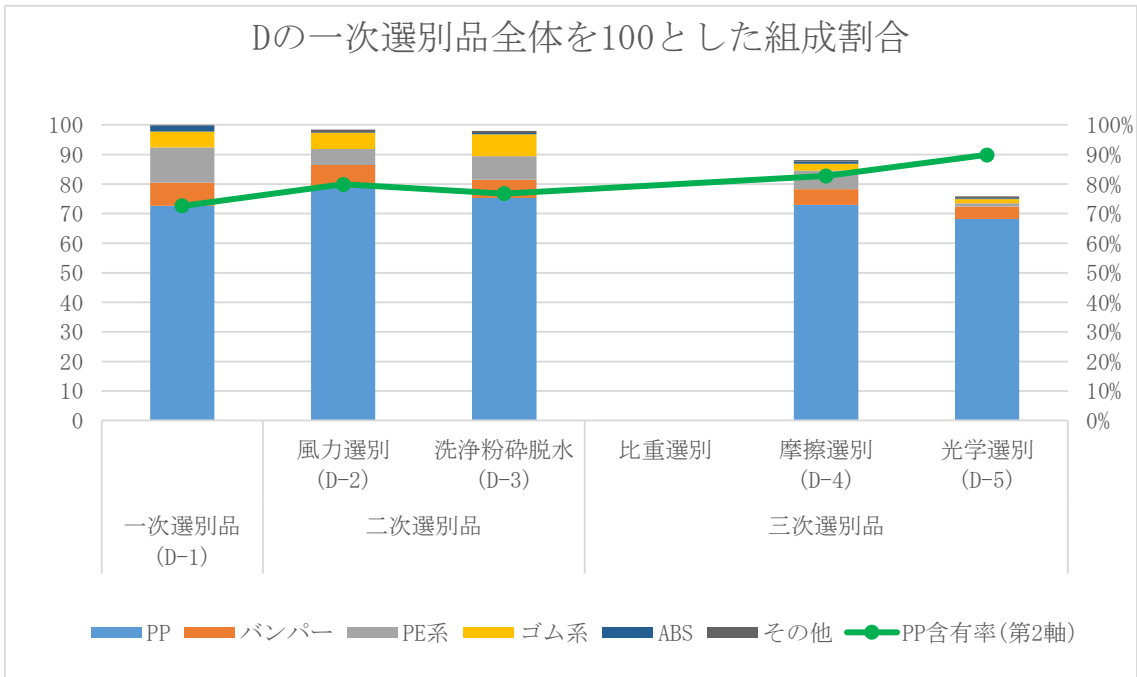


図 2-6. D の一次選別品全体を 100 とした組成割合及び PP 含有率推移

※各選別での組成割合は一次選別品全体を 100 として計算

出所：いその

(2) 各選別効果の検証

比重選別の結果、PA や ABS の組成割合は 0.1%以下となっており、狙い通り水より比重の大きい異物の除去効果が確認された。加えてゴム系に関しても除去効果が確認され、特に C では 12.8%→4.8%へ減少している。追加検証として比重選別前の C に含まれるゴム系のみを取り出し簡易的に水比重選別を行ったところ、65%前後が水に沈む結果となり、沈んだものは IR 分析で特定は出来なかったが、比重が水より大きいニトリルゴム、クロロプレンゴム、アクリルゴム系と推測される。ASR に含まれるゴム系の種類によっては比重選別でも一定の除去効果が期待できるものとする。ただし、ロス率が高く、光学選別と同様の効果が期待できることから、取捨選択を検討する必要がある。

摩擦選別においては、ゴムの除去効果は狙いとしていた半減程度であった。後述の通り、非溶融成分はレーザーフィルターを活用する方が効率的であるとする。

光学選別では、それぞれのサンプルでゴム系や ABS、その他 PP 以外の不純物の減少が確認されるなか、他の選別では除去が難しい PE に対する除去効果が大きく確認された。特に A では 22.2%→3.8%と効果が著しい。光学選別装置の仕様内の試料サイズよりも小さかったが、PP の選択的選別として一定の効果が確認され、装置に適した試料サイズに調整することでより選別の効果が期待できるものとする。

(3) 押出加工性

各三次選別の過程でそれぞれの押出加工評価を実施した結果、Aは光学選別後、Bは二次選別後、C・Dはレーザーフィルター後に安定した押出加工ができた。三次選別品の押出加工性評価結果を表 2-23 に示す。

Aは比重選別後においても押出加工はできるが連続的な加工ができない状況であった。これはPP加工温度帯で溶融しないゴム系の影響であり、光学選別により取り除かれたことで安定した加工が出来る結果となった。

光学選別を実施後も、Cにおいては押出機で溶融しないゴム系、Dはそれに加え木くずや繊維類の異物がメッシュに詰まるため加工が出来なかった。しかし、レーザーフィルターによって異物を除去することで押出加工が可能となった。Bについては三次選別による押出加工性の大きな変化はなく、どの段階でも安定して押出加工ができた。

押出加工可能となった時点での各サンプル組成を表 2-22 に示す。なおレーザーフィルター後の組成分析は不可のため、CとDは光学選別後の組成分析で示している。

表 2-22. 押出加工可能となった時点でのPP及び塗膜付きPPの比率

サンプル		PP及び塗膜付きPPの比率
A	光学選別後	95.60%
B	二次選別後	89.59%
C	光学選別後	96.18%
D	光学選別後	95.41%

※C及びDはレーザーフィルター後に押出加工可能となったが、比率を計測できないため光学選別後の比率を表示

出所：いその

表 2-23. 三次選別品の押出加工性評価結果（比重選別は図 2-1 の【7】、摩擦選別は【8】、光学選別は【8】、レーザーフィルターは【9】）

ASR試料			A				B				C				D			
			二次選別品	三次選別品			二次選別品	三次選別品			二次選別品	三次選別品			二次選別品	三次選別品		
				比重選別後	光学選別後	レーザーフィルター後		光学選別後	レーザーフィルター後	比重・摩擦選別後		光学選別後	レーザーフィルター後	摩擦選別後		光学選別後	レーザーフィルター後	
押出作業	押出条件 (℃)	c1	230												230			
		c2	230												230			
		c3	230												230			
		c4	230												230			
		D	230												230			
		スクリー回転	64												64			
押出作業 での確認 内容	メッシュ	40/80/40 ↓ 20/20 ※目詰まりにより 変更	40/80/40	40/80/40	40/80/40	40/80/40	40/80/40	40/80/40	40/80/40	40/80/40 ↓ 20/20 目詰りにより変 更	40/80/40 ↓ 目詰まりにより 変更 20/20	40/80/40 ↓ 目詰まりにより 変更 20/20	40/80/40	40/80/40 ↓ 20/20	40/80/40 ↓ 目詰まりにより 変更 20/20	40/80/40 ↓ 目詰まりにより 変更 20/20	40/80/40	
	メッシュ付着物	・PET、PA、砂、 木くず	PET/PA/木くず/ PPPO-PA/ゴム/ 非鉄	シリコン/ゴム/ PA66	オレフィン系ゴ ム	PA、ウレタン、 PET	TPU系/PET繊維	オレフィン系ゴ ム	PBT、ゴム系、PA	ゴム/木くず/ウレ タン/ PPPO/PA	セルロース系 (紙、木)/ゴム/ オレフィン系ゴ ム	オレフィン系ゴ ム	ゴム、PA66、 PA、木くず	ゴム/木くず/ウ レタン/繊維	ゴム/セルロース 系(紙、木)/PET 繊維	オレフィン系ゴ ム		
	加工状況	洗浄粉砕後も異 物によるスク リーンの詰りが 発生した	ベントアップは 発生せず加工は できた。ただ し、途中ストラ ンド切れが複数 回発生した	加工性に問題な し	加工性に問題な し	加工性に問題な し	加工性に問題な し	加工性に問題な し	加工性に問題な し	洗浄粉砕実施後 も状態が変わら ず加工が困難 ペレット加工ま で至らなかった	20メッシュでも ベントアップ し、ペレット加 工まで至らな かった	ストランド切れ が断続的に発生 し、ペレット加 工まで至らな かった	加工性に問題な し	押出加工時、ス クリーンに異樹 脂、木くずが付 着	20メッシュでも ベントアップ し、ペレット加 工まで至らな かった	20メッシュでも ベントアップ し、ペレット加 工まで至らな かった	加工性に問題な し	
押出加工品外観																		
評価（加工できるかどうか）			押出加工可能	押出加工可能	押出加工可能	押出加工可能	押出加工可能	押出加工可能	押出加工可能	押出加工不可	押出加工不可	押出加工不可	押出加工可能	押出加工不可	押出加工不可	押出加工可能		

出所：いその

(4) プレート作製及び作製品の外観評価

押出加工によるペレット化ができた各三次選別品について、90mm×50mm 程度の平板プレートを作製し、目視による外観評価を実施した。評価結果を表 2-24 に示す。A・B の各三次選別品は外観上大きな差はなく、最終選別工程となったレーザーフィルター後もプレート表面の凹凸、異物が多い結果となった。C・D のレーザーフィルター後も同様にプレート表面の凹凸、異物が確認された。これはバンパー材が含まれることから塗膜片によるものと推定する。

表 2-24. 三次選別品のプレート外観評価結果（比重選別は図 2-1 の【7】、摩擦選別は【8】、光学選別は【8】、レーザーフィルターは【9】）

ASR試料			A				B			C				D		
			二次選別品	三次選別品			二次選別品	三次選別品		二次選別品	三次選別品			二次選別品	三次選別品	
				比重選別後	光学選別後	レーザーフィルター後		光学選別後	レーザーフィルター後		比重・摩擦選別後	光学選別後	レーザーフィルター後		摩擦選別後	光学選別後
成型作業	成型温度 (°C)	c1	220											220		
		c2	220											220		
		ノズル	220											220		
成形品 (プレート) での目視確認	曲げ等による層状剥離	無	無し	無し	無し	無	無し	無し		-	-	無し		-	-	無し
	プレート表面の凹凸、異物等	多	表面上に異物感の確認できる	表面上に異物感の確認できる	表面上に異物感の確認できる	表面に凹凸を確認	表面上に異物感の確認できる	表面上に異物感の確認できる		-	-	表面上に異物感の確認できる		-	-	表面上に異物感の確認できる
	シルバーの発生確認	無	無	無	無	無	無	無		-	-	無		-	-	無
プレート外観									※ペレット加工できず評価不可	-	-		※ペレット加工できず評価不可	-	-	
拡大写真 (レンズ ZS20-X20)									-	-	-		-	-	-	
評価 (外観評価)		表面の凹凸、異物が多い	概ね良好	概ね良好	概ね良好	概ね良好	概ね良好	概ね良好	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可	概ね良好	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可	ペレット加工できず評価不可	概ね良好

出所：いその

(5) 物性測定結果

押出加工ができた A・B の各三次選別品と C・D のレーザーフィルター後について試験片を作製し物性測定を行った。なお、A のレーザーフィルター後は成形材料確保を優先したため原料不足となりメルトフローレート (MFR) のみの測定となった。測定結果を表 2-25 に示す。A は光学選別後にメルトフローレートやシャルピー衝撃強さなどの物性変化が確認された。これは燃料タンク由来などの低流動性 PE が光学選別前には多く含まれていたものと考えられ、自動車に使用される PP に比べて低流動かつ高衝撃な PE が光学選別により減少したことで物性が変化したものと推測される。他のサンプルについては、選別による大きな物性変化は確認されなかった。

表 2-25. 三次選別品物性測定結果 (比重選別は図 2-1 の【7】、摩擦選別は【8】、光学選別は【8】、レーザーフィルターは【9】)

ASR 試料				A				B			C			D				
試験項目	試験条件	(単位)	試験方法	三次選別品				三次選別品			三次選別品			三次選別品				
				二次選別品	比重選別後	光学選別後	レーザーフィルター後	二次選別品	光学選別後	レーザーフィルター後	二次選別品	比重・摩擦選別後	光学選別後	レーザーフィルター後	二次選別品	摩擦選別後	光学選別後	レーザーフィルター後
メルトフローレート	230℃、 21N	g/10min	ISO 1133	4.93	3.07	7.6	9.6	11.3	12.9	13.4	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	20.8	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	16.6
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノブ 付	KJ/m2	ISO 179-1	47	61	36	—	32	34	25				9.5				8.4
引張降伏強さ	—	MPa	ISO 527-1	18.9	18.4	21.1	—	19.2	20.8	19.6				21.5				20.1
引張破壊ひずみ	—	%	ISO 527-1	19	21	20	—	26	22	32				23				19
引張弾性率	—	MPa	ISO 527-1	1180	939	1270	—	1260	1360	1240				1320				1360
曲げ強さ	—	MPa	ISO 178	25.2	21.2	28.4	—	26.5	29.2	27.3				30.1				28.4
曲げ弾性率	—	MPa	ISO 178	1180	888	1300	—	1290	1390	1300				1330				1380
ロッキング硬さ	—	RSケール	ISO 2039-2	62	49	72	—	66	70	68				81				73
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1	80	73	89	—	87	93	87				93				98
比重	—	水中置換法	ISO 1183	0.97	0.96	0.95	—	0.97	0.96	0.96				0.94				0.97
評価 (物性測定)				物性測定済み	物性測定済み	物性測定済み	原料不足のため MFRのみ測定	物性測定済み	物性測定済み	物性測定済み	ベレット加工 できず測定不可	ベレット加工 できず測定不可	ベレット 少量のため一部 物性のみ測定	物性測定済み	ベレット加工 できず測定不可	ベレット加工 できず測定不可	ベレット少量 のため一部物性 のみ測定	物性測定済み

出所：いその

(6) SOC 測定

プレートを使用し、いその所有の蛍光 X 線装置にて測定できる SOC 関連の重金属測定を行った。測定結果を表 2-26 に示す。三次選別品における全てのサンプルでカドミウム及び水銀は、検出限界未満の濃度で、鉛、総クロムは ELV 指令の閾値内であった。なお、六価クロムは総クロムとして簡易分析とした。

表 2-26. 三次選別品の SOC 評価結果（比重選別は図 2-1 の【7】、摩擦選別は【8】、光学選別は【8】、レーザーフィルターは【9】）

ASR 試料		A			B			C			D					
		二次選別品	三次選別品			二次選別品	三次選別品		二次選別品	三次選別品			二次選別品	三次選別品		
			比重選別後	光学選別後	レーザーフィルター後		光学選別後	レーザーフィルター後		比重・摩擦選別後	光学選別後	レーザーフィルター後		摩擦選別後	光学選別後	レーザーフィルター後
SOC 分析 ppm (単位)	カドミウム		ND	ND	ND	ND	ND			ND				ND		
	鉛	※ベレット加工 できず評価不可	9.9	10.4	7.8	10.8	14.4	12.7	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	8.4	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	※ベレット加工 できず評価不可	13.6
	水銀		ND	ND	ND	ND	ND	ND				ND			ND	
	総クロム		14.9	19.2	13.1	20.9	30.8	23.3				26.3			23.9	
評価 (SOC 測定)		ベレット加工で きず評価不可	ELV 指令の 閾値内	ELV 指令の 閾値内	ELV 指令の 閾値内	ELV 指令の 閾値内	ELV 指令の 閾値内	ELV 指令の 閾値内	ベレット加工で きず評価不可	ベレット加工で きず評価不可	ベレット加工で きず評価不可	ELV 指令の 閾値内	ベレット加工で きず評価不可	ベレット加工で きず評価不可	ベレット加工で きず評価不可	ELV 指令の 閾値内

※NDは化学物質が全く存在しないことを意味するのではなく、検出限界未満の濃度であることを示している。

※六価クロムについては、総クロムの簡易分析を実施した。

※分析機器の検出限界の目安は、カドミウム：1ppm以下、水銀：0.1ppm以下である。

出所：いその

2.2.2. 評価まとめ

二次選別品及び三次選別品の評価試験の結果を表 2-27 に示す。A・B の二次選別品の段階で押出加工はできる状況ではあったが、追加となる三次選別を行うことで異物量の低減効果が確認できた。また、特に A に関しては光学選別による PE 除去効果も確認することができ、PP 純度向上へ寄与する結果となった。一方で、C・D については二次選別品の段階では押出加工できず、三次選別の実施により異物量の低減を確認できたが、押出加工は出来なかった。レーザーフィルター使用後に押出加工が可能となった。押出加工が出来た A と C・D において光学選別後材料の PP 純度を比べたところ、3 点とも PP 純度が 95%以上であったが、PP 加工温度帯で熔融する PE も含めた比率では、A は 99.4%に対し、C は 96.8%、D は 96.9%となった。この結果に対して、本事業の検証では精査できていないが、熔融しない異物が少なからず 3%程度混入すると押出加工性が担保できない可能性が高くなると推測される。

外観はどのサンプルも表面に凹凸が確認される結果となった。これは異樹脂や塗装バンパーの混入による影響と推測される。

物性については、PE の混入によるメルトフローレートや、シャルピー衝撃強さなどへの影響が確認されたが、PP 純度をより高めることでどのサンプルも近い物性になると推測される。SOC 測定結果はどのサンプルも同様の数値であり、選別工程に関わらず同傾向になるものと推測される。

最終的にはどのサンプルも押出加工が可能ではあったが、特に C・D で最後までメッシュに詰まっていた木くずや繊維、ゴム系の除去には課題を残す結果となった。解決には各選別を重ねることによる除去効果向上や各選別に適した ASR のサイズ調整、他の選別手法活用など、それぞれに対する対策の必要性が考えられる。ただ、レーザーフィルターの活用により異物除去に大きな効果が確認されており、対策が困難な場合やレーザーフィルターを導入済みの企業にとっては有効な手段である。

表 2-27. 選別内容及び評価試験の結果一覧（比重選別は図 2-1 の【7】、摩擦選別は【8】、光学選別は【8】、レーザーフィルターは【9】）

サンプル	実施項目							物性測定結果																				回収率 ※3	PP純度 ※3	異物 比率 ※4						
	二次選別		三次選別					二次選別品					三次選別					ASR試験の客観的評価試験※1	押出加工性評価試験	プレート外観評価試験	物性測定	SOC測定														
	洗浄 粉砕	風力 選別	比重 選別	摩擦 選別	光学 選別	レーザー フィルター 式押出機	ASR試験の客観的評価試験		洗浄粉砕・風力選別					比重選別・摩擦選別後									光学選別後								レーザーフィルター式押出機後					
							粉砕 サイズ ※2	PP純度	押出 加工性 評価試験	プレート 外観 評価試験	物性 測定	SOC測定	ASR試験の客観的評価試験	押出 加工性 評価試験	プレート 外観 評価試験	物性 測定	SOC測定						ASR試験の客観的評価試験	押出 加工性 評価試験	プレート 外観 評価試験	物性 測定	SOC測定				ASR試験の客観的評価試験	押出 加工性 評価試験	プレート 外観 評価試験	物性 測定	SOC測定	
A	○	○	○	—	○	○	加工しやすい大きさ	75.2%	押出加工可能だが連続生産不可	表面の間凸、異物が多い	物性測定済み	ELV指令の閾値内	加工しやすい大きさ	75.4%	押出加工可能	概ね良好	物性測定済み	ELV指令の閾値内	加工しやすい大きさ	95.6%	押出加工可能	概ね良好	物性測定済み	ELV指令の閾値内	ベレット形状	押出加工可能	概ね良好	原料不足で未実施	ELV指令の閾値内	30.4%	95.8%	4.1%				
B	—	○	—	—	○	○	加工しやすい大きさ	89.6%	押出加工可能	概ね良好	物性測定済み	ELV指令の閾値内	—	—	—	—	—	—	加工しやすい大きさ	96.2%	押出加工可能	概ね良好	物性測定済み	ELV指令の閾値内	ベレット形状	押出加工可能	概ね良好	物性測定済み	ELV指令の閾値内	75.7%	96.2%	3.8%				
C	○	○	○	○	○	○	加工しやすい大きさ	76.3%	押出加工不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	加工しやすい大きさ	89.3%	押出加工不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	加工しやすい大きさ	96.2%	押出加工不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット形状	押出加工不可	概ね良好	物性測定済み	ELV指令の閾値内	39.5%	96.2%	3.7%				
D	○	○	—	○	○	○	加工しやすい大きさ	87.9%	押出加工不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	加工しやすい大きさ	88.8%	押出加工不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	加工しやすい大きさ	95.4%	押出加工不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット加工ができません 評価不可	ベレット形状	押出加工不可	概ね良好	物性測定済み	ELV指令の閾値内	75.9%	95.4%	4.6%				

※1：レーザーフィルター式押出機後のASR試験の客観的評価試験は、ベレット形状に加工されているためPP純度の測定が実施不可
 ※2：粉砕サイズは加工しやすい大きさか確認
 ※3：回収率・PP純度は光学選別後の数値
 ※4：異物=PE系、ゴム系、PS、PA、ABS、木、その他

出所：いその

2.3. 再生コンパウンドの開発

選別材料は、いずれも PP 純度 95%以上となったが、そのメルトフローレートは大きなバラツキが確認された。これは不純物の残留量だけではなく、選別した PP の物性がロットごとに異なることが原因である。そのため、目標物性を一般的な射出用ブロックコポリマーの物性と想定して材料物性の調整を行った。調整には ASR 使用率を高く維持することを第一優先とし、高流動ブロック PP と高衝撃ブロック PP を各サンプルの物性値に合わせて一定量配合することでメルトフローレートと比重を調整しコンパウンドを実施した。コンパウンド後の物性測定結果と ASR 使用比率を表 2-28 に示す。

表 2-28. 再生コンパウンド

試験項目	試験条件	(単位)	試験方法	A		B		C		D	
				光学選別後※1	コンパウンド後	レーザーフィルター後	コンパウンド後	レーザーフィルター後	コンパウンド後	レーザーフィルター後	コンパウンド後
メルトフローレート	230℃ 2.16kg	g/10min	ISO 1133 JIS K7210-1	7.6	28.1	13.4	28.1	20.8	26.2	16.6	27.7
シャルピー衝撃強さ	23℃ ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1 JIS K7111-1	36	7.0	25	8.7	9.5	9.2	8.4	7.0
引張降伏強さ	—	MPa	ISO 527-1	21.1	24.4	19.6	22.8	21.5	22.7	20.1	23.7
引張破壊ひずみ	—	%	ISO 527-1	20	25.0	32	16	23	31	19	20.0
引張弾性率	—	MPa	ISO 527-1	1270	1400	1240	1420	1320	1330	1360	1500
曲げ強さ	—	MPa	ISO 178	28.4	33.8	27.3	31.9	30.1	31.1	28.4	33.8
曲げ弾性率	試験速度 2mm/min	MPa	ISO 178 JIS K7171	1300	1390	1300	1410	1330	1310	1380	1520
ロックウール硬さ	Rスケール		ISO 2039-2	72	92	68	85	81	84	73	88
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1 JIS K7191-1	89	99	87	98	93	96	98	101
比重	水中置換法	—	ISO 1183 JIS K7112	0.95	0.93	0.96	0.94	0.94	0.93	0.97	0.94
成形収縮率	MD	%	いその法	—	1.5	—	1.4	—	1.4	—	1.4
	TD	%	いその法	—	1.6	—	1.5	—	1.5	—	1.5
	平均	%	いその法	—	1.6	—	1.5	—	1.5	—	1.5
線膨張係数※2 23℃～85℃	MD	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359	—	1.30	—	1.24	—	1.32	—	1.18
	TD	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359	—	1.55	—	1.56	—	1.54	—	1.53
蛍光X線 (ELV基準を反映)	ppm	Cd		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Pb		10.4	3.6	12.7	5.2	8.4	7.3	13.6	6.6
		総Cr		19.2	11.6	23.3	14.2	26.3	18.7	23.9	10.7
		Hg		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ASR使用率 (%)				—	55	—	65	—	70	—	55

※1 サンプルAはレーザーフィルター後、成形材料確保を優先したため原料不足となり物性測定ができていないため、光学選別後の物性測定結果を掲載
 ※2 線膨張係数は調色及び耐候安定剤付加を行った材料にて測定を実施

出所：いその

2.4. コスト試算

二次選別及び三次選別の概算コストを各社へのヒアリングをもとに試算した。サンプルや選別工程によって回収率や歩留まりが異なるため、各々のコストはこれらを考慮して算出している。特に光学選別は選別設備の仕様外・用途外の条件下で実施しており処理能力や回収率が本来とは異なる性能での試算となる。サンプル別各選別コスト概算結果を表 2-29、再生コンパウンドコスト概算結果を表 2-30 に示す。

多種多様な異物や異樹脂が含まれる ARS 試料から取得した PP を活用し、目標材料を生産するという本事業の目的においては、現時点で実施でき得る最大限の選別方法と残渣処理までを含めた精密なコスト計算が必要である。しかし、本実施内容は量産材料としての取り扱いとなり、事前の組成分析を実施することが極めて困難であったため、今回示したコストは最大コストの位置づけとなる。

今回のコスト計算を出発点として、実運用では実際に使用する ASR 材料や目的の物性に応じて、選別方法等の項目を増減させることで、コストのバランスを図る必要がある。また、PP の高純度化を考慮すると、物理的・機械的選別のみでは PE は除去困難である。より効率的に PE の除去を行うためには光学選別実施が重要であり、仕様や用途を明確に定めようとして、精度の高いコスト算出が求められる。

表 2-29. サンプル別各選別コスト概算結果

選別工程	項目	単位	A	B	C	D
洗浄・粉砕	処理量(インプット)	kg/h	1,554		1,291	680
	発生残渣量	kg/y	85,466		71,009	37,426
	残渣処理費用	円/kg	0.5		0.5	0.5
	設備費	千円	74,588		61,971	32,662
	固定費	円/kg	7.1		7.1	7.1
	合計	円/kg	7.6		7.6	7.6
風力選別	処理量(インプット)	kg/h	1,538	644	1,278	674
	発生残渣量	kg/y	169,222	70,862	140,599	74,104
	残渣処理費用	円/kg	1.0	1.0	1.0	1.0
	設備費	千円	9,845	4,122	8,180	4,311
	固定費	円/kg	5.8	5.8	5.8	5.8
	合計	円/kg	6.8	6.8	6.8	6.8
比重選別	処理量(インプット)	kg/h	1,508		1,253	
	発生残渣量	kg/y	2,736,318		3,031,305	
	残渣処理費用	円/kg	24.6		39.3	
	設備費	千円	72,365		60,125	
	固定費	円/kg	10.5		12.5	
	合計	円/kg	35.1		51.8	
摩擦選別	処理量(インプット)	kg/h			701	660
	発生残渣量	kg/y			385,802	363,108
	残渣処理費用	円/kg			5.6	5.6
	設備費	千円			14,029	13,203
	固定費	円/kg			6.8	6.8
	合計	円/kg			12.4	12.4
光学選別	処理量(インプット)	kg/h	1,010	631	631	594
	発生残渣量	kg/y	2,777,778	694,444	694,444	490,196
	残渣処理費用	円/kg	50.0	12.5	12.5	8.8
	設備費	千円	1,010,101	631,313	631,313	594,177
	固定費	円/kg	155.3	97.1	97.1	91.4
	合計	円/kg	205.3	109.6	109.6	100.2
レーザー フィルター	処理量(インプット)	kg/h	505	505	505	505
	発生残渣量	kg/y	27,778	27,778	27,778	27,778
	残渣処理費用	円/kg	0.5	0.5	0.5	0.5
	設備費	千円	80,808	80,808	80,808	80,808
	固定費	円/kg	10.7	10.7	10.7	10.7
	合計	円/kg	11.2	11.2	11.2	11.2
材料費・・・A		円/kg	93.2	38.7	77.5	40.8
残渣処理費合計・・・B		円/kg	76.7	14.0	59.4	16.4
固定費費合計・・・C		円/kg	189.4	113.6	140.0	121.8
合計 (A+B+C)		円/kg	359.3	166.3	276.9	179.0

前提条件

- (1) 人件費単価 2,500円/人、従事作業員 1人/工程
- (2) 稼働時間 5500h/y(50週(250日)×110h/w)
- (3) 設備償却年数 8年
- (4) 保全費：設備費の5%、管理費：人件費の10%
- (5) 各ASR試料単価 30円/kg
- (6) 残渣処理(産廃) 50円/kg
- (7) 物流費、消耗品、諸経費などは費用算出に含まない
- (8) レーザーフィルターの処理量が505kg/hとなるように各選別の処理量や費用を算出

出所：いその

表 2-30. 再生コンパウンドコスト概算

項目		単位	A	B	C	D	
コンパウンド	処理能力(インプット)	kg/h	500	500	500	500	
	回収量(アウトプット)	kg/h	495	495	495	495	
	稼働時間	h/y	5,500	5,500	5,500	5,500	
	発生残渣量	kg/y	27,500	27,500	27,500	27,500	
	残渣処理費用 (kgあたり単価)・・・①	円/kg	0.5	0.5	0.5	0.5	
	設備費	円	50,000,000	50,000,000	50,000,000	50,000,000	
	設備償却費	円/y	6,250,000	6,250,000	6,250,000	6,250,000	
	人件費	円/y	13,750,000	13,750,000	13,750,000	13,750,000	
	保全費	円/y	2,500,000	2,500,000	2,500,000	2,500,000	
	管理費	円/y	1,375,000	1,375,000	1,375,000	1,375,000	
	固定費 (kgあたり単価)・・・②	円/kg	8.8	8.8	8.8	8.8	
コンパウンド概算合計 (①+②)・・・③	円/kg	9.3	9.3	9.3	9.3		
原料	三次選別品	単価	円/kg	359.3	166.3	276.9	179.0
		添加量	%	55.0	65.0	70.0	55.0
		原料費・・・③	円/kg	197.6	108.1	193.8	98.5
	調整材	単価	円/kg	250	250	250	250
		添加量	%	45.0	35.0	30.0	45.0
		原料費・・・④	円/kg	112.5	87.5	75.0	112.5
		材料概算合計 (③+④)・・・⑤	円/kg	310.1	195.6	268.8	211.0
合計 (③+⑤)		円/kg	319.4	204.8	278.1	220.2	

- (1) 人件費単価 2,500円/人とする
 (2) 稼働時間 5500h/y (50週(250日)×110h/w)
 (3) 設備償却年数 8年
 (4) 保全費：設備費の5%、管理費：人件費の10%
 (5) 調整材単価 250円/kgとする
 (6) 残渣処理(産廃) 50円/kgとする
 (7) 物流費、消耗品、諸経費などは費用算出に含まない
 (8) 原料となる三次選別品の費用は、③を引用

出所：いその

2.5. 成型実施

2.3 項にて一般的な射出用ブロックコポリマーの物性まで回復させた PP を使用し、自動車部品の試作および部品試験を実施した。材料 A はコンパウンド前のメルトフローレートが最も低く、再生コンパウンド材の開発時においても ASR 比率が最も低いことから、成型用材料から除外し、A 以外の 3 種類を用いて成型評価を実施した。

2.5.1. 部品試験

一般的な射出用ブロックコポリマー相当のグレードを想定し、自動車用部品を射出成型した。ヒケやウェルドライン等の成型不良は見られなかった。外観は、平滑面は異物感が認められるものの、シボ面は異物感がなく良好だった。また、部品性能についても試験を実施した。部品試験結果を表 2-31 に示す。実施耐熱性及び耐振動性について一定の条件下においても著しい外観変化や変形は見られなかった。以上により、適切にコンパウンドすることによって、自動車部品に適用できる可能性があると言える。

表 2-31. 部品試験結果

試験項目		A	B	C	D	備考
耐傷つき性		○	○	○	○	テストピースで実施
耐摩耗性		○	○	○	○	テストピースで実施
耐光性		○	○	○	○	テストピースで実施
耐薬品性	ガラスクリーナー	○	○	○	○	テストピースで実施
	中性洗剤	○	○	○	○	テストピースで実施
	ウォッシャー液	○	○	○	○	テストピースで実施
耐フォギング性		○	○	○	○	テストピースで実施
耐湿性		○	○	○	○	テストピースで実施
帯電防止性		○	○	○	○	テストピースで実施
成型		—	○	○	○	
耐熱性		—	○	○	○	
耐振動性		—	○	○	○	

3. まとめ

本事業では、破砕事業者において自動車破砕後の ASR になる前段階から回収された樹脂リッチな材料又は ASR 再資源化施設において ASR から回収された樹脂リッチな材料を ASR 試料として用い、各選別手法により PP 純度と押出加工性を向上し、コンパウンドにより物性を調整することで、自動車で使用可能な PP 再生材の作製に成功した。また、実際の自動車部品への成型も可能であり、基本的要求を満足した。

物性調整をしたコンパウンド材 4 種類の中から 3 種類の材料で行った部品評価はどれも良好であったことから、特定の ASR 試料に限らず ASR を使用した再生材で部品適用ができる可能性は示された。今回 ASR 使用率は 55~70% となっており、適用部品や成形方法・金型によって使用率の増減が考えられるが、EU ELV 指令など昨今の事情を鑑み、使用率を極力下げないようマネージしていく必要がある。

一方で、ASR からの回収率が 30~40% となる材料もあり選別手法と残渣処理には課題が残ると考える。より効果的な選別手法の選択や確立も重要となるが、選別工程では少なからずロスが発生するため、使用する ASR や適用部品にあわせた選別フローを構築し選別工程を減らすことも重要と考える。レーザーフィルターを用いて異物除去や押出加工性を確保する場合、風力選別や摩擦選別などの他選別工程を省ける可能性があり、加えてコンパウンドも同時に行うことでコスト低減にも繋がる。また、部品として PE の混入が許容できる場合には光学選別を省く手段も考えられる。必要となる選別工程を破砕事業者で行うことにより一貫処理や発生する残渣の熱源利用などのメリットも考えられる。

今後、ASR 量の削減や脱石油資源プラスチック材の利用拡大へ向けて ASR 由来プラスチックを自動車部品で使用することを図っていくためには、選別フローの最適化が必要不可欠となるが、最適化にあたっては適用部品要素も重要になると考える。そのため、自動車メーカーや破砕事業者、選別事業者、コンパウンド事業者での連携や役割分担をもって推し進めていくことが求められると考える。