

2019年3月31日

報告書

実施期間 2018年6月1日～2019年3月31日

ASR ミックスプラスチックから選別された再生 素材の回収率及び品質の向上に関する検証

ヴェオリア・ジェネッツ株式会社

プラスチックリサイクル本部

本田大作、鈴木穰

日産自動車材料技術部

服部直樹、端野直輝

概要

名称

ASR ミックスプラスチックから選別された再生素材の回収率及び品質の向上に関する検証

実施期間

2018年6月1日～2019年3月31日

開発/調査 代表者

ヴェオリア・ジェネッツ株式会社 プラスチックリサイクル本部
本田大作

実施者

ヴェオリア・ジェネッツ株式会社 プラスチックリサイクル本部
本田大作、鈴木穰

日産自動車株式会社 材料技術部 服部 直樹、端野 直輝

目的

ASR(Automobile Shredder Residue)より回収された混合廃プラスチックからPPを高度選別し、自動車用PPとして適用しうるマテリアルリサイクルプロセスの構築

実施内容

H29年度は、ASR中の混合プラスチックからのPP樹脂の高度選別方法の検証、および臭素含有状況の把握を実施した。

H30年度は本事業の最終年度とし、29年度の検証結果をもとに、①一次選別後の原料組成のばらつきの把握、②更なるPP回収歩留り向上に向けた選別方法の検証、③臭素系難燃剤(Deca-BDE)、SCCP含有量の把握、④ASR由来PPを原料としたコンパウンド品の物性評価を実施する。

成果

①一次選別後の原料組成のばらつきの把握

一次選別プロセス間でのばらつきに対し、同一プロセス内でのロット間ばらつきは小さいことが確認された。

②更なる PP 回収歩留り向上に向けた選別方法の検証

1)高タルク含有 PP の回収と選別手法の検証

二次選別として、重比重選別と静電分離の組み合わせが高タルク含有 PP の回収率を最大化できることが確認された。

2)オートフィルタによる選別の検証

最終コンパウンド品の用途によっては、オートフィルタによる選別のみで二次選別を省略し、選別によるロスを削減可能なことが示唆された

③臭素系難燃剤 (Deca-BDE)、SCCP 含有量の把握

分析の結果、Deca-BDE は ASR 中のウレタン材料で高濃度で検出されており、選別後の硬質プラスチックでの検出値は最大 21ppm と低いことが確認された。適正に選別を実施することで Deca-BDE 混入量をごく微量に抑えられることが示唆された。また SCCP はすべての試料で検出限界以下であった。

④ASR 由来 PP を原料としたコンパウンド品の物性評価

タルクを含有した高比重の高剛性用途、低比重の高衝撃に対し、ASR 由来 PP によるコンパウンド品の評価を実施した。一般的に自動車用に用いられる物性目標を完全に満たすレベルまでには至っていないものの、PP コンパウンド用原料として十分に検討しうるレベルであることが確認された。

H29 年度、H30 年度の事業を通じ、ASR 中の混合プラスチックの高度選別による PP のマテリアルリサイクルの実現に向けた課題とその解決策が見いだされた。

今後、本結果をもとに ASR 由来 PP 活用による Car to Car リサイクルの実現が期待される。

日産自動車株式会社 御中

ASR ミックスプラスチックから選別された再生
素材の回収率及び品質の向上に関する検証業務

報告書

2019年3月

ヴェオリア・ジェネッツ株式会社



1.	本事業の目的	6
2.	検証方法	7
2.1.	2017年度の検討	7
2.1.1.	検討結果	7
(1)	手解体部品由来の粗原料と ASR 由来の粗原料の比較	7
(2)	一次選別方法（ ASR 由来 PP 粗原料 ）	7
(3)	二次選別方法（ ASR 由来 PP 粗原料 比重<1 ）	7
(4)	臭素含有状況の把握	8
2.1.2.	2017年度事業を受けて抽出された課題	8
(1)	ASR 由来ミックスプラスチックのバラつきの影響	8
(2)	比重 1 以上の樹脂（特に高タルク含有 P P）の利用方法の検討	9
(3)	臭素の含有状況の把握、除去方法の検討	9
2.2.	2018年度の検討の概要	9
2.3.	実施体制	10
2.4.	用語の定義	11
2.5.	検証における選別フロー・コンパウンド原料等の名称等の整理	12
3.	実証試験結果	14
3.1.	原料の質のバラつきの評価	14
3.1.1.	目的と試験内容	14
3.1.2.	マテリアル施設によるミックスプラスチックの特徴	14
3.1.3.	施設間、ロット間の組成のバラつきの分析結果	17
(1)	組成のバラつき結果	17
(2)	機械物性のバラつき結果	18
3.2.	更なる PP 歩留まり向上のための選別方法	20
3.2.1.	目的と試験内容	20
3.2.2.	高タルク含有 PP の最適な選別、利用方法の検討	20
(1)	検討した高タルク含有 PP 向けの選別フロー	20
(2)	高タルク含有 PP の二次選別品の組成分析結果	21
(3)	高タルク含有 PP の二次選別産物の基本物性および機械物性評価	22

(4)	高タルク含有 PP の自動車用素材原料としての評価	23
3.2.3.	オートフィルタのみによる選別の妥当性について	24
3.3.	含有臭素、SCCP への対応	25
3.3.1.	目的と試験内容	25
3.3.2.	臭素の含有状況の分析	25
(1)	手選別後の試料の成分別の臭素含有状況	25
(2)	硬質プラスチック中の臭素含有状況	27
(3)	混入異物（ゴム・ウレタン）中の臭素含有状況	28
(4)	ペレタイズ後の臭素の含有状況	29
3.3.3.	含有状況を踏まえた臭素濃度管理の方法	29
(参考)	XRT ソーティングによる除去の有効性	30
(参考)	塗膜剥離装置による除去の有効性	30
3.3.4.	SCCP の含有状況の分析	31
3.4.	各原材料別のコンパウンド後の性能確認	32
3.4.1.	目的と試験内容	32
3.4.2.	コンパウンド処方検討結果	34
(1)	高剛性用途向けのコンパウンド結果	34
(2)	高衝撃用途向けのコンパウンド結果	35
4.	まとめ	37
4.1.	本実証事業の成果	37
4.1.1.	原料の質のバラツキの評価	37
4.1.2.	最適な二次選別フロー（高タルク含有 PP、オートフィルタのみ処理）	37
4.1.3.	含有臭素、SCCP への対応	37
4.1.4.	コンパウンド結果	38
4.1.5.	プロセス全体の事業性の評価	39
4.2.	今後の課題	40
4.3.	むすび	40
	(添付資料 1) 組成調査方法	41

(添付資料 2) 全臭素分析の方法.....	43
(添付資料 3) 臭素が検出された樹脂ピース画像.....	45

1. 本事業の目的

使用済自動車由来樹脂の再生樹脂への活用には、経済性や品質面（自動車部品向け物性適合、Deca-BDE等の残留性有機汚染物質の混入防止等）の課題があり、その解決手段の提示が、使用済自動車のリサイクル高度化の一つとして、要望されている。

本事業の目的は、使用済自動車からの樹脂回収とその自動車部品への利用にあたって、ASR由来の樹脂選別回収スキームの最適化と、品質とコストを比較検証することにより、品質を満足し、かつ経済的に優位なシステムを提案することにある。

2. 検証方法

2.1. 2017 年度の検討

2.1.1. 検討結果

2017 年度の検討では、ASR から PP を実際に回収し、自動車用の部品原料としての物性等を評価した。参考として 2017 年度に想定された処理フローを以下に示す。

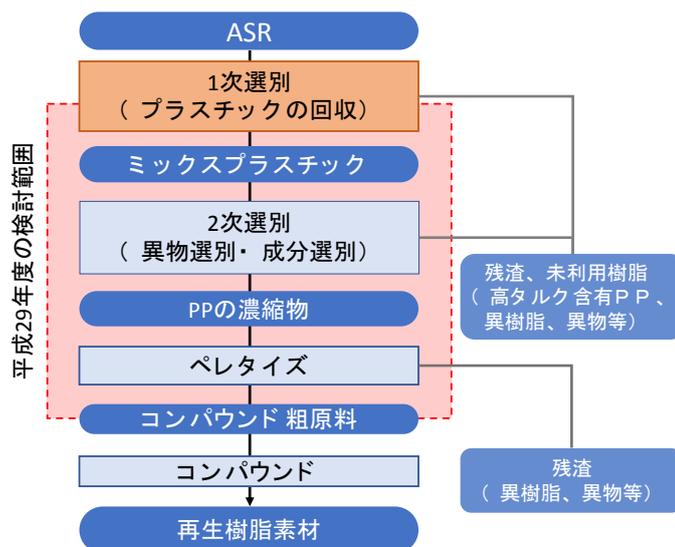


図 2-1 2017 年度検討における想定処理フロー

主な 2017 年度の成果（本年度の検討に関連するもの）を以下に挙げる（2017 年度報告書 P69 以降参照）。

(1) 手解体部品由来の粗原料と ASR 由来の粗原料の比較

品質においては、手解体由来粗原料が優れているが、コストは ASR 由来粗原料が優れる。また廃自動車からの回収率でも ASR 由来粗原料が優位であった。

(2) 一次選別方法（ASR 由来 PP 粗原料）

1 次選別については異物混入の多い機械選別によるものは利用が難しく、手選別によるもののみ自動車向け再生原料として利用可能と判断された。

(3) 二次選別方法（ASR 由来 PP 粗原料 比重<1）

異物選別はペレタイザーに接続するオートフィルタのみで可能であるとされた。

成分選別については、前段の一次選別方式（手選別 異物除去方式、手選別 PP 回収方式）および最終用途で場合分けを行い、最適な二次選別工程を選定した。

表 2-1 用途別の最適な 2 次選別フロー（2017 年度結果）

<p>● 高剛性用途：高弾性率が必要</p> <p>・弾性率低下、流動性低下につながる PE の除去が必要。手選別 PP 回収方式では異物・異樹脂の混入がほぼなく、オートフィルタのみで選別が可能。</p>	
手選別 異物除去方式原料 最適 2 次選別フロー	BlackEye(中赤外線選別) → オートフィルタ
手選別 PP 回収方式原料 最適 2 次選別フロー	オートフィルタのみ
<p>● 高耐衝撃用途：高い Izod 衝撃強度が必要</p> <p>・手選別 異物除去方式は PE を 20%含んでいるが、高耐衝撃用途では PE 除去工程がない場合でも剛性と耐衝撃性を損なうことはなかった。</p>	
手選別 異物除去方式原料 最適 2 次選別フロー	オートフィルタのみ
手選別 PP 回収方式原料 最適 2 次選別フロー	オートフィルタのみ
<p>● 低密度用途：低比重性が必要</p> <p>・PE、タルクが含有された PP を除去する必要がある、低比重液による選別 (Liquisort) が有効であった。しかしながら PE および比重 0.92 以下のタルク含有 PP も除去するため回収率は 4 割以下と低い。</p>	
手選別 異物除去方式 原料 最適 2 次選別フロー	Liquisort(比重 0.92) → オートフィルタ
手選別 PP 回収方式 原料 最適 2 次選別フロー	Liquisort(比重 0.92) → オートフィルタ

(4) 臭素含有状況の把握

ASR 由来のコンパウンド粗原料について、全臭素分析を実施した結果、おおむね 10~30ppm 程度の臭素の含有が認められた。

2.1.2. 2017 年度事業を受けて抽出された課題

2017 年度の検証等を受けて、抽出された課題を以下に示す。(参考 図 2-2)

(1) ASR 由来ミックスプラスチックのバラつきの影響

2017 年度の実証実験では、各マテリアル施設において、一時的に採取した原料を試験に供したため、その時間軸（または原料ロット）に対するバラつきについて把握できていない。加えて、施設間の品質の差異も予想される。したがって、これらバラつきによる最終素材への影

響の把握が今後必要とされた。

(2) 比重 1 以上の樹脂（特に高タルク含有 PP）の利用方法の検討

手選別 異物除去方式 50-100mm の原料の約 50%は、高タルク含有 PP であったため、ASR からの樹脂回収の歩留まり向上のためには、これらも原料として回収することが望ましい。しかしながら、二次選別後の高タルク含有 PP 回収物中の異物量が多かったため、2017 年度の検証では、通常のペレタイズで造粒、物性評価ができなかった。なお、オートフィルタを用いればこの造粒は可能であると予想されたため、今後の検討項目となった。

(3) 臭素の含有状況の把握、除去方法の検討

ASR 由来の粗原料の全臭素の分析結果では、0-50ppm の間で臭素が検出されたが、その由来物質や分布状況は不明であった。よって臭素の由来を明らかにするとともに、選別工程で臭素を除外する工程について今後の検討が必要とされた。

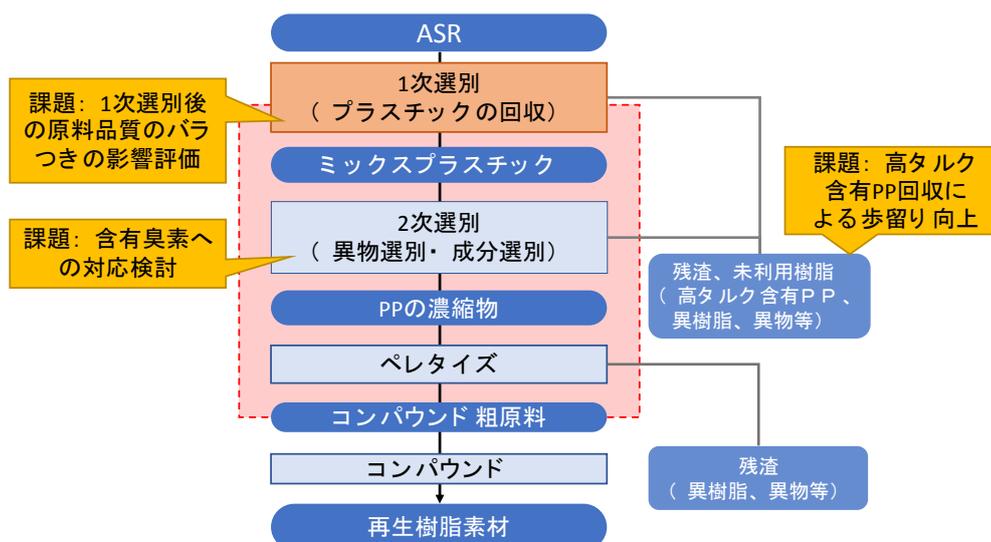


図 2-2 2017 年度検討における課題

2.2. 2018 年度の検討の概要

2018 年度は 2017 年度の課題等をうけて、ASR 由来樹脂の再生利用方法の更なる高度化、実現性向上のための検討を実施した。検討項目の全体像を、図 2-3 に示す。

【一次選別工程に関する検討】

【二次選別工程に関する検討】

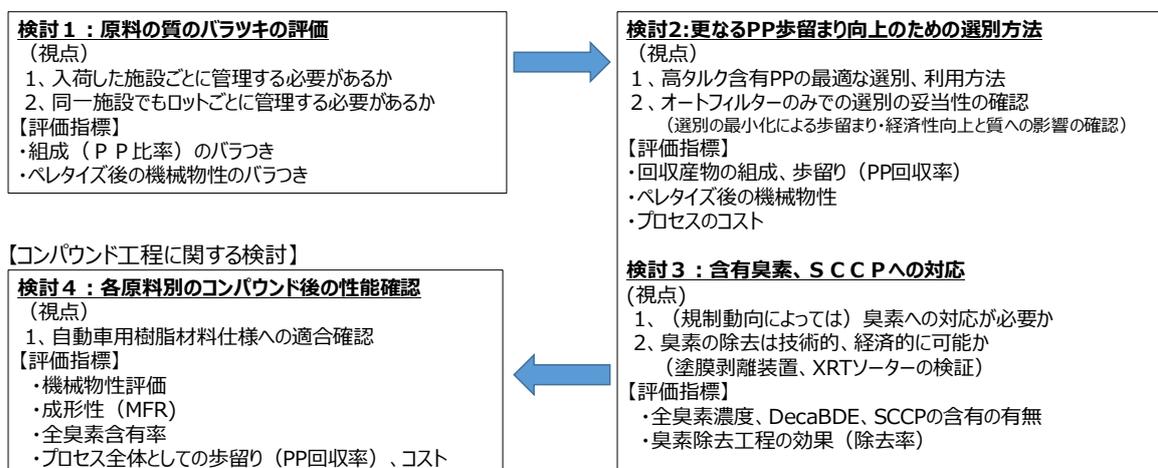


図 2-3 2018 年度の検討項目

検討項目は大分類として以下 4 点である。

検討1 原料の質のバラツキの評価：

2017 年度課題(1)に対応し、ミックスプラスチックの供給元のマテリアル施設別、ロット別の質のバラつき状況を把握し、対応を検討する。

検討2 更なる PP 歩留まり向上のための選別方法：

2017 年度課題(2)に対応し、高タルク含有 PP の回収・利用を検討する。加えて、2017 年度検討で大きな効果が判明したオートフィルタのみによる二次選別の実現性も検証する。

検討3 含有臭素、SCCP への対応：

2017 年度課題(3)に対応し、臭素の含有状況、除去方法を検討する。加えて、2017 年度検討では分析しなかった SCCP（短鎖塩素化パラフィン）についても、臭素同様の規制物質として、含有状況の把握が必要と考えられたため追加検討する。

検討4 各原材料別のコンパウンド後の性能確認：

2018年度の回収原料を用いてコンパウンドを実施し、原料としての機能を確認する。

2.3. 実施体制

今回の事業においては、以下の企業が表2.2-1に掲げる役割を分担した。

表 2-2 各社の役割

企業	役割
九州メタル産業株式会社	・実証に用いる ASR 由来ミックスプラスチックの提供
マキウラ鋼業株式会社	・実証に用いる ASR 由来ミックスプラスチックの提供
株式会社SRテクノ	・実証に用いる ASR 由来ミックスプラスチックの提供
協和産業株式会社	・風力/振動分離による異物選別の検証 ・静電分離による成分選別の検証 ・Br 除去における塗膜剥離の有効性検証
株式会社マテック	・中赤外線選別による成分選別の検証
Veolia Polymer (オランダ)	・磁力比重選別による成分選別の検証
進栄化成株式会社	・押出機スクリーンによる不溶融物、異物の除去
ヴェオリア・ジェネッツ茨城工場 (旧株式会社日泉)	・二次選別材料のペレタイズ、樹脂物性の測定
環境管理センター	・臭素化合物の含有・同定分析
株式会社三菱総合研究所	・報告書作成補助
ヴェオリア・ジェネッツ株式会社	・計画の立案、全体まとめ、報告書作成 ・成分分析・調査

2.4. 用語の定義

本報告書で用いる用語について、表 2.3-1 のように定義する。

表 2-3 用語の定義

用語	定義
ASR	Automobile Shredder Residue、自動車破碎残渣
マテリアル施設	ASR を選別処理し、各成分を素材原料及び燃料代替物として回収する施設
一次選別	ASR から硬質プラスチックを取り出す選別
二次選別	一次選別により回収されたミックスプラスチックから更に異物除去、成分選別を行い、ペレタイズ可能な性状とする工程
ミックスプラスチック	異物を含むプラスチック主体の混合物の総称
異物	本報告では、樹脂以外の溶融しない材料(金属、架橋ゴム、木片、紙片など)を総称したものを指す
異樹脂	本報告では、PP、PE、PP タルク以外の樹脂における総称で、ポリアミド(PA)、ABS、PS、ポリカーボネート(PC)、ポリエステル(PET、PBT)、ポリ

	アセタール(POM)などを指す
PP	ポリプロピレン
PE	ポリエチレン
低タルク含有 PP	比重 1.0 より軽量のタルクを含まないかごく少量しか含まない PP
高タルク含有 PP	比重 1.0 より重量のタルクを比較的多く含む PP(約 15%以上)
粗原料	二次選別により取り出された原料(プラスチック他含む)
異物除去	本報告では、マテリアル施設で、ASR からミックスプラスチックを回収する際に金属、ゴムほか異物を除去することを指す
異物選別	本報告では、二次選別工程において、金属、架橋ゴムなどを取り除くことを指す
残渣	本報告では選別工程で目的物(PP・PE を含む)を回収した残りの部分をいう。
重比重選別、 軽比重選別	本報告では、比重が 1.0 より大きい比重液を用いて、比重 1.0 を超える樹脂類、金属異物類を選別する工程を重比重選別とし、 比重 1.0 未満の比重液を用いて、PP と PE・異樹脂を選別する工程を軽比重選別という。 水を用いた比重選別では、比重 1.0 を境界に重産物と軽産物を分ける。
重ダスト、軽ダスト	マテリアル施設で、破碎物から金属を回収する前工程で、風力選別工程で回収した ASR をサイクロンで軽いもの、重いものに分ける。本報告では、前者を軽ダスト、重ダストとした。

2.5. 検証における選別フロー・コンパウンド原料等の名称等の整理

本検証は 2017 年度からの継続的な事業のため、2017 年度報告書で使用されているナンバリング等と本年度のナンバリング等の関係を以下に整理する。

表 2-4 2017 年度および 2018 年度の試験フロー名称等の整理

1 次選別方式	1 次選別施設	作業年度	粒群区分	水比重選別(比重)	1 次選別ロット名	2 次選別 フローNo. および 選別内容 ※1	コンパウンド原料名	想定コンパウンド素材用途 ※3
A: 手選別異物除去方式	施設 1	2017	-	浮側 (<1.0)	-	No.1~6 ※2	A2~A5	高耐衝撃、高剛性、低密度
						No.2: AF のみ	A2 材 FY17 版	高耐衝撃
						No.4: BE のみ	A4 材 FY17 版	高耐衝撃 高剛性
			沈側 (>1.0)	-	・No.7: 重比重→静電 ・No.8: BE のみ	(造粒できず)	-	
		2018	-	浮側 (<1.0)	第 1 ロット LotA11	・AF のみ (2017 年度 No.2 と同様)	A2 材 FY18 版	高剛性 高耐衝撃
	第 2 ロット LotA12				・AF のみ	(未採用)	-	
	第 3 ロット LotA13				・AF のみ	(未採用)	-	
			沈側 (>1.0)	-		・フローAT1: 重比重	(未採用)	-
					・フローAT2: 重比重→静電 (2017 年度 No.7 と同様)	AT2 材 (高タルク材)	高剛性	
					・フローAT3: 重比重→BE ・フローAT4: BE→重比重	(未採用)	-	
B: 手選別 PP 回収方式	施設 2	2017	>100mm	浮側 (<1.0)	-	No.9~11 ※2	(未採用)	-
			50-100 mm	選別なし	-	No.12~17 ※2 No.13: AF のみ (選別フローは施設 1 由来原料の No.2 と同様)	B1~B5 B2 材 FY17 版	高耐衝撃、高剛性、低密度 高耐衝撃 高剛性
		2018	>100mm	選別なし	第 1 ロット LotB21	・AF のみ (選別フローは 2017 年度の施設 1 由来原料の No.2 と同様)	B2 材 FY18 版	高剛性 高耐衝撃
	第 2 ロット LotB22				・AF のみ	(未採用)	-	
	第 3 ロット LotB23				・AF のみ	(未採用)	-	
		施設 3	2018	>80 mm	浮側 (<1.0)	第 1 ロット LotB31 第 2 ロット LotB32 第 3 ロット LotB33	・AF のみ	(未採用)
C: 機械選別方式		2017	-	浮側 (<1.0)	-	フローNo.18~20 ※2	C2~C3	未検証

※1 AF:オートフィルタ、BE:Brack Eye、中赤外線選別、重比重:重比重選別、静電:静電選別

※2 2017 年度のフローの詳細については、2017 年度報告書 P29 表 3.2-1 等参照

※3 コンパウンドの副原料処方の違い等の検証のため、同用途で数本試作している場合がある

3. 実証試験結果

3.1. 原料の質のバラつきの評価

3.1.1. 目的と試験内容

2017年度検証では、マテリアル事業者の各施設から供給されるミックスプラスチックについて組成など質の面で差異があることが想定された。よって本年度は、これらのバラつきを把握し、影響を検討した。また、ロット毎の組成のバラつきについても、再生樹脂品質へ影響する可能性があるため調査した。検証の対象は、手選別の2方式 計3施設のそれぞれ3ロットである。手選別方式による差異や、同じ手選別の方式でも施設による差があるか、同一施設でも異なる日に回収されたロット間で差異があるかを確認した。

3.1.2. マテリアル施設によるミックスプラスチックの特徴

図 3-1に、3つのマテリアル施設におけるASR由来ミックスプラスチックの回収方法を示す。

● 手選別 異物除去方式 (施設1)

ASRの比較的大きい重ダスト成分から金属・異物を手選別で取り除いた後のミックスプラスチックを得て、その後比重選別を行ってPP比率の高いミックスプラスチックを回収している。

● 手選別 PP回収方式 (施設2、施設3)

ASRをトロンメルで篩い分けし、ダストが取り除かれたサイズの大きいPPの選別品 (>100mm) より、PPの樹脂片を手で回収することで、PP比率が高く効率のよい回収を目的としている。

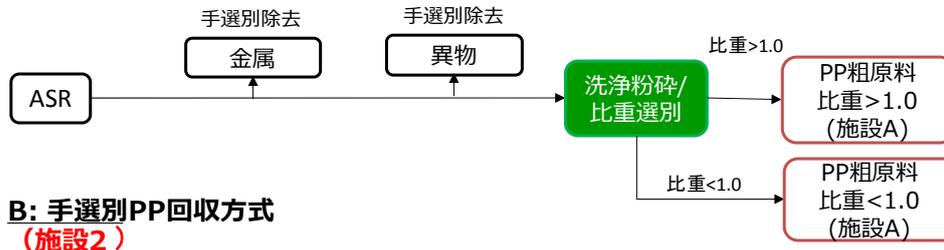
施設2では、樹脂率が高く異物の少ない50-100mmのカテゴリーからも、ECS等による金属選別残渣から比重選別と手選別による異物除去を実施し、PPリッチのミックスプラスチックを回収している。

施設3では、粒度・比重による機械選別後、手選別でPPを回収し、別事業者にて水比重選別を行っている。

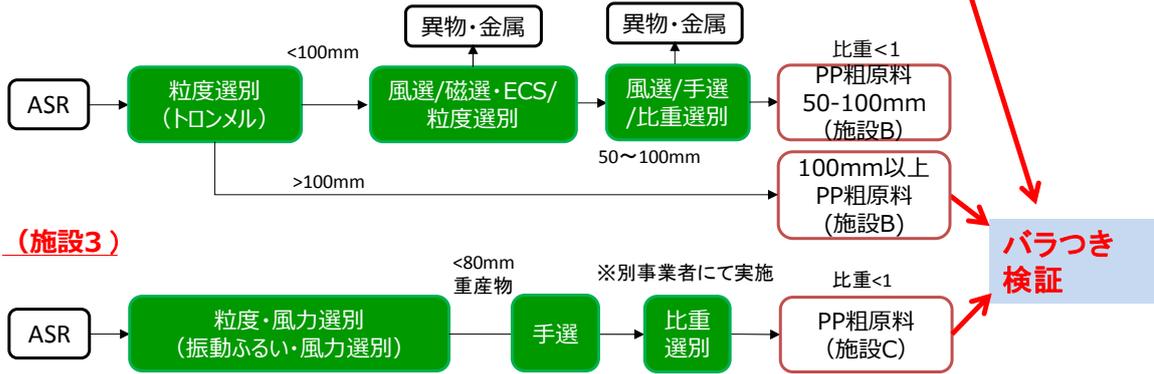
● 機械選別方式

本年度は機械選別による回収は検証していない。

A: 手選別異物除去方式 (施設1)



B: 手選別PP回収方式 (施設2)



(施設3)

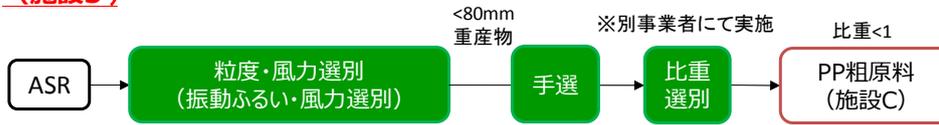


図 3-1 ASR 由来ミックスプラスチックの採取工程と選別工程

これら3つの施設から供給されたミックスプラスチックの組成分析を行った。2017年度および2018年度の採取試料の結果を図 3-2に示す。

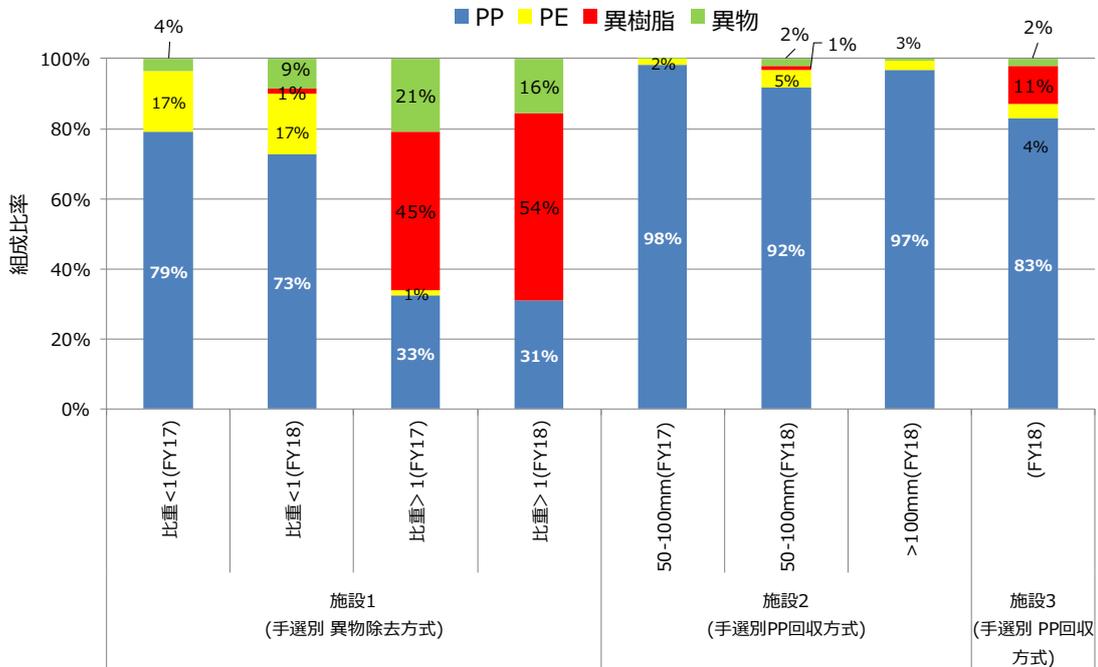


図 3-2 マテリアル施設による一次選別産物の組成

<施設ごとの差異>

●手選別 異物除去方式（施設1）

全体として木屑などの軽量物は少なく、異物としては架橋ゴム、ウレタンおよび塵（微粉）が多く存在した。比重選別の浮上側（比重<1.0）は、ゴム・異物が大幅に減っており、ほぼPPとPEの組成になっている。比重>1.0のゴム/ウレタンの異物は、沈側（比重>1.0）に回り、回収後の脱水工程で、微粉、塵類が取り除かれたためと考えられる。

浮上側（比重<1.0）のみを回収しても、全体のPP回収率は80%程度あるので、この工程で二次選別に渡せば、品質/回収率ともに期待できる。一方、比重>1.0の沈み側は、比重の重いタルクを多く含むPPを依然として約30%含む。沈側の回収の是非は二次選別コストとPP付加価値とのバランスで決まると考えられる。

ゴムなどの異物が含まれる原料は、成型品の外観を損ねるだけでなく、欠陥となることで面衝撃に対する強度の低下など機械物性に悪影響を及ぼすので、極力排除されなければならない。

●手選別 PP回収方式（施設2、施設3）

施設2では、樹脂片50-100mm、>100mmともにPP単一化ができており、95%以上のPP比率を達成している。また、木片、ゴム/ウレタンなどの軽量物、異物、微粉などはほとんど夾雑していない。洗浄粉碎工程を用いているので微粉に由来する異物混入はなくなっている。一方の施設3では、10%程度の異樹脂が混入しているが、PP濃度は手選別 異物除去方式の施設1より高い。施設2に比べて異樹脂の混入が多いのは、当該施設は樹脂選別の開始が比較的最近で、作業員の熟練度が低いためと考えられる。

3.1.3. 施設間、ロット間の組成のバラつきの分析結果

2018年度事業では、各施設から3ロットずつ試料の提供をうけ、1ロットごとの組成分析、オートフィルタ後の異物除去サンプルの機械物性分析、臭素濃度分析を実施した。

<分析試料一覧>

LotA11(施設1第1ロット)～LotA13(施設1第3ロット)	手選別 異物除去方式 施設1
LotB21(施設2第1ロット)～LotB23(施設2第3ロット)	手選別 PP回収方式 施設2 >100mm
LotB31(施設3第1ロット)～LotB33(施設3第3ロット)	手選別 PP回収方式 施設3→別事業者にて水比重選別済み

(1) 組成のバラつき結果

ロットごとの組成分析結果を図 3-3に示す。

施設1(手選別 異物除去方式)、施設2(手選別 PP回収方式)はともに、PP含有率の標準偏差が小さい。一方、施設3(手選別 PP回収方式)は、比較的大きくなっている。

この原因として、施設3では手選別の作業員の練度が低く、異樹脂を誤って回収してしまうケースがあった可能性が考えられる。

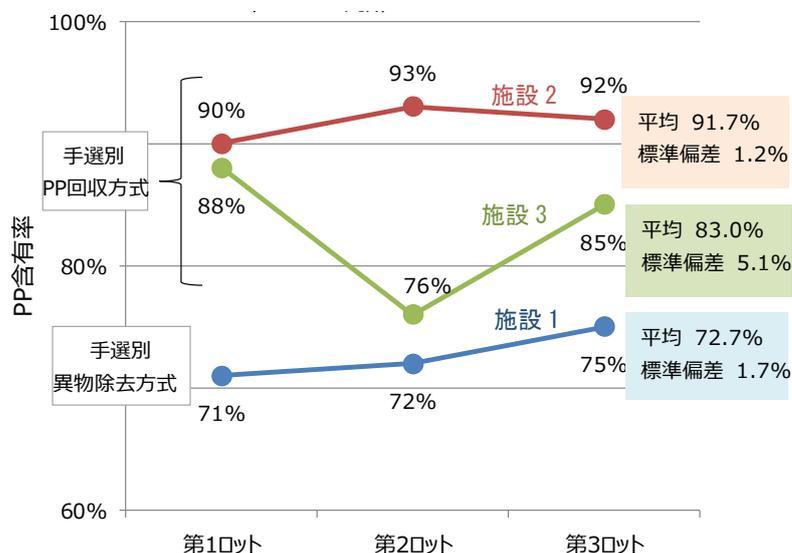


図 3-3 各マテリアル施設のロットごとの一次選別後産物の成分組成

(2) 機械物性のバラつき結果

ロット毎にオートフィルタによって異物除去、造粒し、試験片として機械物性を測定した結果を表 3-1に示す。

(施設間の差異)

施設での回収方法の違いで、物性が大きく異なる。コンパウンド利用には、施設ごとに分けてレシピを組む必要がある。

- 施設1 (手選別 異物除去方式) : PEが多いため柔らかく耐衝撃性高い。またMFRが低い。
- 施設2, 3 (手選別 PP回収方式) : 両施設の原料による物性は比較的近い。PEが少なく、剛性高い。耐衝撃性は施設2ではやや低い傾向だが、施設3では手選別 異物除去方式の施設1に近く高い。

(ロット間の比較)

各施設とも施設間の差異に比べればロット間のバラつきはあまり大きくないが、個別にみると組成のバラつきが無視できないケースがある。

- 二次選別を行わずに、コンパウンド原料として使用する場合は、数ロットを平均化して使用することが推奨される。

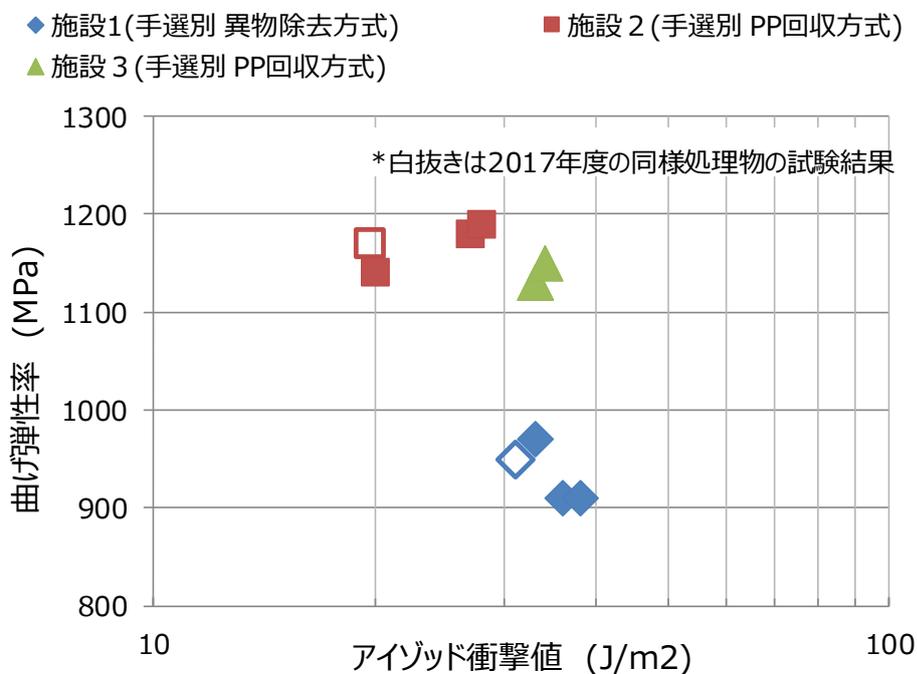


図 3-4 ロットごとの試験片の曲げ弾性率とアイゾッド衝撃値
(オートフィルタ処理のみ)

表 3-1 各マテリアル施設のロットごとの原料によるオートフィルタ後の機械物性

施設1 (対数での評価) 衝撃値は対数でリニアな加成性が成り立つ

		LotA11	LotA12	LotA13	標準偏差	標準偏差%	LotA11	LotA12	LotA13	標準偏差	標準偏差%
MFR	g/10min	9	9.2	8.2	0.43	5%					
密度	g/cc	0.96	0.96	0.96	0.00	0%					
引っ張り強度	MPa	17	17	17	0.00	0%					
破断伸び	%	22	21	18	1.70	8%					
曲げ強度	MPa	21	21	21	0.00	0%					
曲げ弾性率	MPa	910	970	910	28.28	3%					
アイソット衝撃値	kJ/m2	36	33	38	2.05	*2%	1.6	1.5	1.6	0.03	2%
シャルピー衝撃値	kJ/m2	35	28	35	3.30	*3%	1.5	1.4	1.5	0.05	3%

*対数評価

施設2 (>100mm)

		LotB21	LotB22	LotB23	標準偏差	標準偏差%	LotB21	LotB22	LotB23	標準偏差	標準偏差%
MFR	g/10min	18	18	18	0.00	0%					
密度	g/cc	0.96	0.97	0.97	0.00	0%					
引っ張り強度	MPa	19	19	19	0.00	0%					
破断伸び	%	30	31	38	3.56	11%					
曲げ強度	MPa	23	24	24	0.47	2%					
曲げ弾性率	MPa	1140	1180	1190	21.60	2%					
アイソット衝撃値	kJ/m2	20	27	28	3.56	*5%	1.3	1.4	1.4	0.07	5%
シャルピー衝撃値	kJ/m2	13	21	20	3.56	*8%	1.1	1.3	1.3	0.09	8%

施設3

		LotB31	LotB32	LotB33	標準偏差	標準偏差%	LotB31	LotB32	LotB33	標準偏差	標準偏差%
MFR	g/10min	16	17	16	0.47	3%					
密度	g/cc	0.96	0.96	0.96	0.00	0%					
引っ張り強度	MPa	19	19	18	0.47	3%					
破断伸び	%	46	2	13	18.70	92%					
曲げ強度	MPa	24	28	31	2.87	10%					
曲げ弾性率	MPa	1130	1130	1150	9.43	1%					
アイソット衝撃値	kJ/m2	33	33	34	0.47	*0.4%	1.5	1.5	1.5	0.01	0.4%
シャルピー衝撃値	kJ/m2	32	35	35	1.41	*1.2%	1.5	1.5	1.5	0.02	1.2%

3.2. 更なる PP 歩留まり向上のための選別方法

3.2.1. 目的と試験内容

ASR に含有される PP のうち再生利用される割合の向上のために、2つの項目を検討した。

1 点目は高タルク含有 PP の回収と利用である。一次選別で得られたミックスプラスチックのうち、水比重選別の沈降側 (比重<1.0) には 3 割程度の高タルク含有 PP が含まれているが、この利用可能性については 2017 年度に十分に検討が出来ていない。

2 点目は、オートフィルタのみによる選別の可能性の検討である。二次選別では、選別回数が増えるほど、一般的に歩留まりが低下し、コストは上昇する。そのため回収物の品質とのバランスをみながら、必要最小限の選別にとどめる必要がある。

3.2.2. 高タルク含有 PP の最適な選別、利用方法の検討

(1) 検討した高タルク含有 PP 向けの選別フロー

比重>1.0 の樹脂について、依然として 7 割程度を占める異物の除去および異樹脂 (ABS 等) の分離除去を目的として、最適な二次選別のフローの検討を実施した。

2017 年度検討において、手選別 異物除去方式の処理後に水比重選別で比重 1 以上として回収された産物について、二次選別手法および押出試験を検討したが、通常のスクリーンによる最終的なペレタイズは不可能であった。2017 年度は、この回収産物に対してオートフィルタによるペレタイズは実施しなかったため、2018 年度では二次選別のパターンを追加し、改めてオートフィルタ後の機械物性測定までの試験を実施した。

2017 年度の検討では、2つの二次選別フローを検討し、以下の結果を得ている (2017 年度報告書 P36-38)。異樹脂・異物除去については重比重選別によって PP 濃度の変化率 (濃縮率) が 2 倍程度と大きな効果が見られた。

表 3-2 2017 年度 高タルク含有 PP に対して適用した二次選別フロー

一次選別方式	フロー No.	選別内容	選別結果
手選別異物除去方式 (比重>1.0)	No.7	重比重選別 (比重<1.07) → 静電分離	PP 濃度 : 出発原料 49% → 選別後 99% PP 回収率: 76%
	No.8	中赤外線選別 (BlackEye)	PP 濃度 : 出発原料 72% → 選別後 79% PP 回収率: 69%

この結果も踏まえ、2018 年度の選別フロー検討では、大きな効果が認められた重比重選別

と、ペレタイズに必要不可欠と考えられるオートフィルタの組み合わせを基本とし、静電分離や中赤外線選別（BlackEye）を付加的に組み合わせるフローもあわせて検討した。2018年度のフローAT2は、2017年度のフローNo.7と同様の処理である。

表 3-3 2018年度 高タルク含有PPに対して適用した二次選別フロー

一次選別方式	フローNo	二次選別フロー
手選別 異物除去 方式 (比重 >1.0)	フローAT1	重比重選別(D=1.07) →オートフィルタ
	フローAT2	重比重選別(D=1.07)→静電分離 →オートフィルタ
	フローAT3	重比重選別(D=1.07)→BlackEye→粉砕 →オートフィルタ
	フローAT4	BlackEye→粉砕→重比重選別(D=1.07) →オートフィルタ

(2) 高タルク含有PPの二次選別品の組成分析結果

フローAT1～AT4選別品（造粒前）を縮分し、FT-IRにて組成分析を行った結果を図3-5に示す。

重比重選別と静電分離の組み合わせ（フローAT2）が最も回収産物の品位が高く、PP含有率97%まで濃縮できることが確認された。ただし、PPの回収率は56%と2017年度検討より低水準であった。この理由は、同じマテリアル施設であっても年によって出荷原料にバラツキが存在し、選別条件が多少変化したためと考えられる。（図3-2結果より、2018年度の原料は2017年度に比べ、PP含有率が数%低く、異樹脂が1割程度多い。）

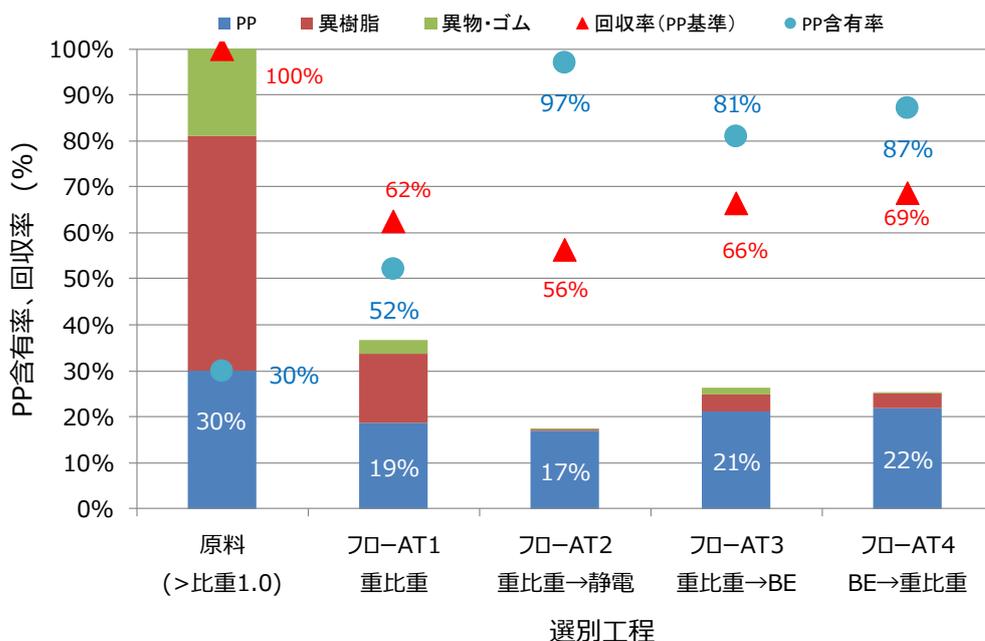


図 3-5 手選別 異物除去方式 比重>1.0 の二次選別結果

表 3-4 手選別 異物除去方式 比重>1.0 の二次選別結果一覧

二次選別フロー		原料 (>比重 1.0)	フローAT1 重比重	フローAT2 重比重→静電	フローAT3 重比重→BE	フローAT4 BE→重比重
組成	PP	30%	19%	17%	21%	22%
	異樹脂	51%	15%	0%	4%	3%
	異物・ゴム	19%	3%	0%	1%	0%
回収率 (PP 基準)		100%	62%	56%	66%	69%
PP 含有率		30%	52%	97%	81%	87%

(3) 高タルク含有 PP の二次選別産物の基本物性および機械物性評価

二次選別産物をオートフィルタ付押出機で混練造粒し、機械物性を比較した結果を以下に示す。

比重>1.0 材 (フローAT1~AT4) は、低タルク含有の比重<1.0 材に比較すると、弾性率が高く、衝撃強度は小さい傾向となった。

フローAT1~AT4 の中でみると二次選別後の PP 含有率 (純度) が高いほど、弾性率、衝撃強度が大きい傾向となっている。最も PP 含有率の高かったフローAT2 (重比重→静電) が機械物性としても最も優れ、弾性率は 2000MPa 近くに達している。また、MFR も比較的高い。

この結果より、重比重選別⇒静電分離⇒オートフィルタによる選別 (フローAT2) が最も有望である。

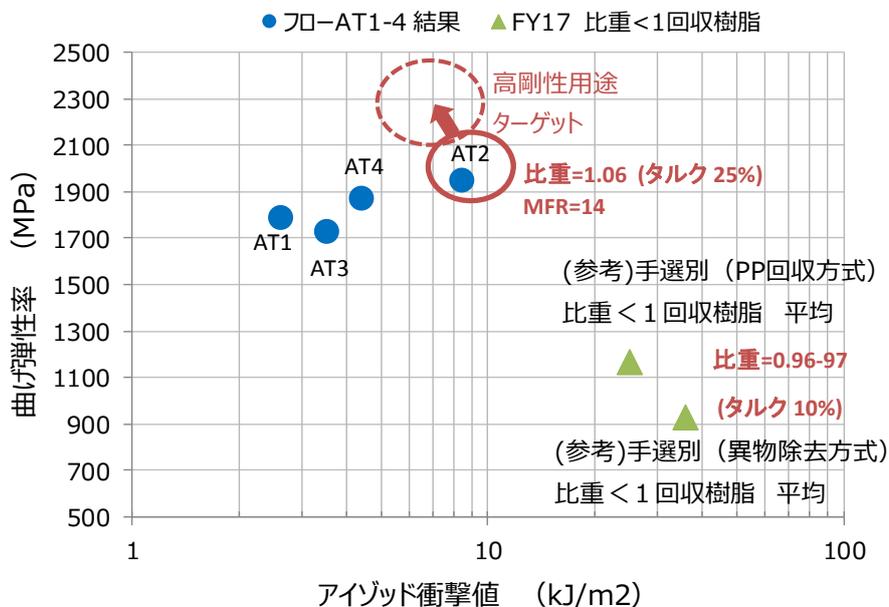


図 3-6 手選別 異物除去方式 比重>1.0 の二次選別後の機械物性

(4) 高タルク含有 PP の自動車用素材原料としての評価

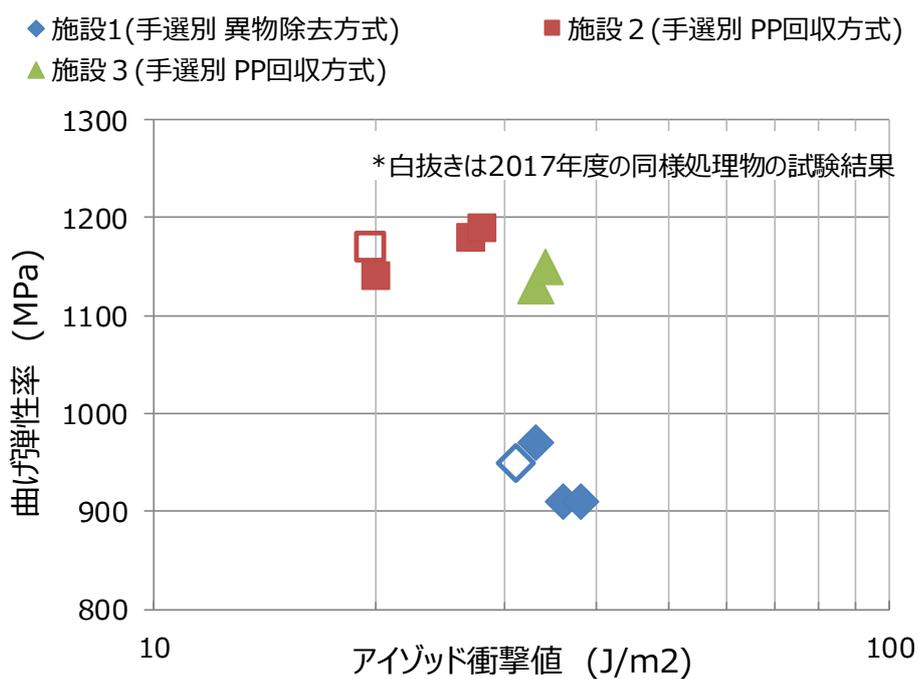
前述のとおり、フローAT2（重比重選別→静電分離）で選別を実施した高タルク含有 PP 産物は、高剛性用途原料への利用可能性が高い。ただしバージン材を念頭にした比重のターゲット値が 0.97 であるのに対し、回収されたフローAT2 材の比重は 1.06 であるため、必要に応じてコンパウンド時に低タルク PP 等によりタルク濃度を薄めることとなる。

3.2.3. オートフィルタのみによる選別の妥当性について

ASR からの素材回収時の歩留り向上のためには、回収原料の質とのバランスをみながら、歩留まりの低下につながる選別工程を必要最低限とすることが有効である。2017 年度の検証では、オートフィルタによる異物除去能力により、成分選別が必要でない原料・用途では、他の 2 次選別工程は省略することができる可能性が示唆された。(2017 年度報告書 P48~49)

本年度検証では、サンプル数を増やして、オートフィルタのみによる選別工程の妥当性について再確認を行った。サンプル数を増やしたことで、特に品質のバラツキを考慮した場合でも、オートフィルタのみで 2 次選別を不要とすることが妥当であるかを再確認している (3.1 節のバラツキの検証と試験は兼ねている)。

下図に示される結果により、測定された機械物性は、2017 年度事業において確認された物性と大きな違いはなく、再現性があった。よって PE 分離などが不要である高耐衝撃用途向けでは、オートフィルタのみで選別可能であるという 2017 年度事業の結論 (本報告書 2.1.1 項、2017 年度報告書 P48~49 参照) は支持されると考えられる (耐衝撃向けのコンパウンド方法の検討については後述)。



(図 3-4 再掲) ロットごとの試験片の曲げ弾性率とアイゾッド衝撃値 (オートフィルタ処理のみ)

3.3. 含有臭素、SCCP への対応

3.3.1. 目的と試験内容

ASR 由来樹脂の原料としての再生時に障害となる含有臭素（特に DecaBDE）と SCCP の 2 つの規制物質について含有状況等について把握し、対応策について検討した。

2017 年度の検討において、原料および二次選別産物に対して全臭素の分析を実施した結果、いずれのフローの産物についても 10～30ppm（重量ベース）の臭素が検出された（2017 年度報告書 P47 表 3.2-8）。2018 年度の検討では、臭素の含有部位のより詳細な調査を行うとともに、含有臭素が規制物質である DecaBDE を含む PBDE に由来するものかを分析した。また、Br 濃度をさらに低下させる選別処理等の必要性、有効性の検討を行った。

また、2017 年度では、SCCP の含有状況については分析を実施していなかったため、新たに含有状況について分析を実施した。

- 対象（サンプル名）

手選別 異物除去方式（施設 1） 回収産物（粉砕前ミックスプラ）

手選別 PP 回収方式（施設 2） 回収産物（>100mm 粉砕前ミックスプラ）

- 分析方法

全臭素濃度分析 : 添付資料 2 を参照

PBDE 濃度分析 : 「平成 23 年度使用済み自動車再資源化に係る臭素系難燃剤等対策調査業務（環境省）」報告書で示されている分析方法参照

SCCP 濃度分析 : ガスクロマトグラフィーイオントラップ型質量分析法により定量分析

3.3.2. 臭素の含有状況の分析

(1) 手選別後の試料の成分別の臭素含有状況

ランダムに縮分、回収した試料採取及び組成分類結果を以下に示す。手選別 異物除去方式では、12%のウレタン類と 2%程度のゴムが混入しており、それらの分析も実施した。手選別 PP 回収方式では、回収された試料ピースは硬質プラスチックのみであった。

表 3-5 手選別 異物除去方式の回収産物の試料採取、組成分類結果

採取重量 13455 g
組成分析

区分	重量 (g)	重量比率 (%)	分析個数
硬質プラスチック	11415	84.8	85
ウレタン	1605	11.9	5
ゴム	240	1.8	5
その他	195	1.5	5
合計	13455	100	100

表 3-6 手選別 PP 回収方式の回収産物の試料採取、組成分類結果

採取重量 8735 g
組成分析

区分	重量 (g)	重量比率 (%)	分析個数
硬質プラスチック	8735	100	100
ウレタン	—	—	—
ゴム	—	—	—
その他	—	—	—
合計	8735	100	100

分析した試料ピースの素材成分ごとに Br の含有状況を整理した結果を図 3-7 に示す。

硬質プラスチックについては、2 割程度の試料ピースから Br が検出されたが、Br の重量加重平均濃度は 5ppm 弱と小さかった。

一方で、ウレタンやゴムのピースにおいては Br が検出される割合が 6 割以上と高く、加重平均濃度も 60~80ppm と高濃度となっている。

これらの結果より、原料中の Br はウレタンやゴムに集中しており、ウレタンやゴムを除去することが、全体の Br 濃度抑制には有効であるということが示唆される。

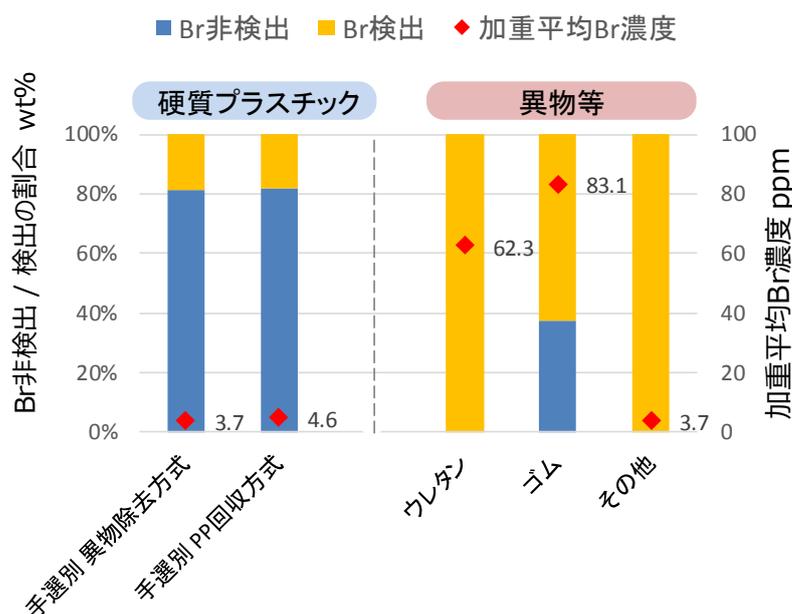


図 3-7 成分ごとの Br 含有状況（手選別 異物除去方式および PP 回収方式）

(2) 硬質プラスチック中の臭素含有状況

臭素が検出された硬質プラスチックの試料ピースについては、更に臭素の含有部位と臭素系難燃剤の含有量分析を実施した。

まず硬質プラスチックでは、表面処理がされているケース、樹脂片にウレタン等の貼合物が付いている場合があるなど、樹脂表面と内部、貼合物それぞれについて Br の含有状況を把握する必要があると考えられた。よって、表面、表面を研磨した部分、付着物（貼合物）の3つの部分について Br 濃度を測定し、比較を行った。結果を表 3-7 に示す。

結果より、硬質プラスチックでは、臭素系難燃剤が練りこまれているケースは少なく、臭素が検出されたピースはウレタンや織物が貼合されたものであった。このことより、臭素濃度を低減させるために、硬質プラスチックについては貼合物を削り落とすか、付着しているピース自体を除去することが有効であるといえる。

表 3-7 ピースにおける Br の検出部分（硬質プラスチック）

試験対象	検体名称	全臭素濃度 (ppm)		
		表面	研磨後 ⁽¹⁾	付着物 ⁽²⁾
手選別 異物除去方式	硬質プラスチック-53	119	19	262
	硬質プラスチック-58	23	21	—
	硬質プラスチック-82	<2	—	65
手選別 PP 回収方式	硬質プラスチック-14	3	—	23
	硬質プラスチック-35	10	6	—

	硬質プラスチック-45	<2	—	31
	硬質プラスチック-47	5	6	10
	硬質プラスチック-50	<2	—	11
	硬質プラスチック-53	139	137	—
	硬質プラスチック-59	25	20	—
	硬質プラスチック-68	22	9	—
	硬質プラスチック-86	<3	—	60
	硬質プラスチック-92	<2	—	38

※ —は分析未実施を示す

また、貼合物を除いた試料ピース自体に含有されていた臭素が規制対象となる臭素系難燃剤であるかどうかの分析を実施した。対象は特に全臭素濃度の高い硬質プラスチックの資料ピース7点とし、分析対象ピースの臭素とPBDEの分析結果を表3-9に示した。

この結果より、DecaBDEが検出限界(1ppm)以上のものが7点中4点検出されたが、難燃剤として効果を発揮させるために混合する濃度よりはるかに小さい濃度であった。

表 3-8 分析対象としたピースの全臭素と PBDE の分析結果

試験対象	検体名称	全臭素濃度 (ppm)		PBDE 濃度 (ppm)	
		表面	付着物	DecaBDE	Total PBDE
手選別 異物除去方式	硬質プラスチック-53	119	262	<1	N. D.
	硬質プラスチック-58	23	検出なし	<1	N. D.
手選別 PP 回収方式	硬質プラスチック-53	139	検出なし	21	28
	硬質プラスチック-59	25	検出なし	8	10
	硬質プラスチック-68	22	検出なし	<1	N. D.
	硬質プラスチック-86	<3	60	2	2
	硬質プラスチック-92	<2	38	9	9

※ —は分析未実施を示す

(3) 混入異物（ゴム・ウレタン）中の臭素含有状況

手選別 異物除去方式による回収産物に混入していたウレタンとゴムについて、臭素系難燃剤の定量分析を行った。

結果を表3-9に示す。いずれ試料ピースでもDecaBDEが検出され、ウレタンでは濃度が100ppmを超えていた。この結果より、ウレタンでは高頻度で含まれている臭素がDecaBDE由来である可能性が高いことが示唆される。

表 3-9 分析対象とした異物ピースの PBDE の分析結果

試験対象	検体名称	全臭素濃度 (ppm)		PBDE 濃度 (ppm)	
		表面	付着物	DecaBDE	Total PBDE
手選別 異物除去方式	ウレタン-5	449	—	1800	1900
	ゴム-1	152	—	17	17
	ゴム-5	50	—	2	2

※ —は分析未実施を示す

(4) ペレタイズ後の臭素の含有状況

施設 1~3 のペレタイズ後のある程度均一化されたサンプルについて、臭素の化合物の分析を行った。

いずれのサンプルでも、わずかに DecaBDE が検出（他種の PBDE は検出なし）されているが、難燃剤の規制濃度が数百 ppm であれば、問題になる濃度ではないと考えられる。数 ppm の PBDE は意図的に硬質プラスチックへ練りこんであったものとは考えにくく、ウレタン等の微粉が付着混入した可能性が疑われる。

表 3-10 ペレタイズ後の PBDE、PBB の含有状況（定量限界値 1ppm）

試験対象	ポリ臭化ジフェニルエーテル (ppm)		ポリ臭化ビフェニル Total PBB (ppm)
	DecaBDE	Total PBDE	
異物除去方式（施設 1）	3	3	検出限界以下
PP 回収方式（施設 2）	5	5	検出限界以下
PP 回収方式（施設 3）	2	2	検出限界以下

3.3.3. 含有状況を踏まえた臭素濃度管理の方法

これまでに述べた結果から、回収対象となる硬質プラスチックでは、わずかな DecaBDE しが含まれていないことを踏まえると、仮に臭素系難燃剤の規制濃度が数百 ppm となった場合でも、ウレタン等の混入をある程度抑制できれば、全体の臭素濃度のレベルを管理することができるといえる。具体的にはウレタン類を 1 次選別で極力除去（手選の徹底や風力選別の強化）することが考えられる。

なお、2 次選別工程において混入した微量の臭素を除去する方法は、本年度の検証では把握できていない。参考として、臭素含有部分の除去方法として本年度検討した 2 つの方法と結果を以下に示す。

(参考) XRT ソーティングによる除去の有効性

A) 試験方法

全臭素濃度が 10ppm 以上のピース 100 個を採取し、選別機メーカー (TOMRA 社) にて、同社の XRT ソーター (X-TRACK) によって検出・除去可能か技術検証を実施した。

B) 試験結果

検証の結果、全ての試験片について、臭素や塩素濃度が検出限界以下であったため、ソーティングによる除去はできなかった。なお、同種の選別機での選別には、最低 1wt% 程度の含有濃度が必要とされている。

(参考) 塗膜剥離装置による除去の有効性

A) 試験方法

前述の結果より、貼合物の除去が効果的であると予想された。そこで、2017 年度に調製した手選別 PP 回収方式 (施設 2) の二次選別品 (Br 濃度約 20ppm) を投入原料として、バンパー部品の塗膜剥離装置を用いた表面剥離によって Br が低減するかを確認した。

B) 試験結果

塗膜剥離によって表面剥離を行った後の臭素の含有分析結果を下表に示す。投入原料、表面剥離処理後、剥離物いずれも同様の臭素濃度が検出され、塗膜剥離装置による臭素の低減の効果は見られなかった。

この結果より、一旦剥離したものが再び表面に付着する可能性や、剥離効果が十分でないことが推測され、既存の剥離装置では更なる臭素濃度低減を図ることは難しい可能性が示唆された。

表 3-11 表面剥離による臭素低減効果

試料	全臭素濃度 ppm	歩留まり (累計)
投入原料	26	100%
剥離 3 回目	32	92%
剥離 5 回目	31	90%
処理によって剥離した粉	29	-

3.3.4. SCCP の含有状況の分析

A) 試験方法

POPs 条約対象物質である SCCP について、手選別 異物除去方式（施設 1）および手選別 PP 回収方式（施設 2）由来の原料によるペレタイズ後の試料について、ガスクロマトグラフィーイオントラップ型質量分析法により定量分析を実施した。

B) 分析結果

分析結果を以下に示す。すべての試料について、SCCP は分析限界濃度以下であった。

表 3-12 SCCP の分析結果

試験対象	短鎖塩素化パラフィン			
	塩素化デカン	塩素化ウンデカン	塩素化ドデカン	塩素化トリデカン
手選別 異物除去方式 (施設 1)	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下
手選別 PP 回収方式 (施設 2)	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下

※定量限界値 200ppm

3.4. 各原材料別のコンパウンド後の性能確認

3.4.1. 目的と試験内容

本事業において回収された樹脂原料の、自動車部品用の樹脂材料への利用可能性について検討するため、各種物性調整材料を添加したコンパウンドを行い、バージン材との互換可能性を検討した。特に以下の課題に着目し、改善を試みた。

表 3-13 コンパウンド時の課題と 2018 年度の改善の方向性

コンパウンド後の素材用途	コンパウンド時の課題と改善策
高剛性用途	<p>・コンパウンド原料(比重<1 の樹脂主体)そのものの物性と目標物性値の間に大きな差があるため、物性改善のために投入する副原料処方量が多く、高コストとなる。</p> <p>→2018 年度原料の高タルク含有 PP を活用して低コスト化を図る</p>
高耐衝撃用途	<p>・耐衝撃性はおおよそターゲット値付近となるものの、比重がバージン材由来より若干重く、流動性もバージン材品の値より大幅に下回る。</p> <p>→2018 年度原料を用いて MFR 調整剤などで、強度以外の物性もバージン材レベルへ近づける</p>
低密度用途	<p>・Liquisort による低比重の回収産物により、物性を満たす原料が得られるものの、回収率が低い。残渣中に残ったタルク含有 PP などの用途(高剛性用途等)の検討開発がいずれにしても必要。</p> <p>→まず上記 2 用途の検討を中心とし、低密度用途は検討しない</p>

コンパウンド原料は施設 1、施設 2 由来のものについて 2.1 節、2.2 節でそれぞれ選別試験を行った産物をベースとし、2017 年度の選別産物 (FY17 版) と比較したコンパウンド後の機械物性の再現性や改善の検証、新たに回収した高タルク含有 PP のコンパウンド方法の検討を実施した。2017 年度回収のコンパウンド原料名に合わせ、本年度は以下のコンパウンド原料および副原料処方を用いている。

表 3-14 コンパウンド原料

1 次選別 / 2 次選別	A 手選別 異物除去方式 (施設 1)	B 手選別 PP 回収方式 (施設 2)
・オートフィルターのみ (2017 年度事業で No.2 フローと呼称)	A2 材 FY17 版 (2017 年度原料) FY18 版 (2018 年度原料)	B2 材 FY17 版 (2017 年度原料) FY18 版 (2018 年度原料)
・Black Eye (中赤外線選別) のみ (2017 年度事業で No.4 フローと呼称)	A4 材 FY17 版 (2017 年度原料)	—
比重>1 の樹脂に対する ・重比重選別 + 静電選別	AT2 材 (高タルク材) FY18 版 (2018 年度原料)	—

表 3-15 コンパウンド時の副原料

添加目的	副原料
弾性率の向上	タルク、造核剤、ホモ PP
耐衝撃性の向上	ゴム
成型時流動性の向上	MFR 調整剤

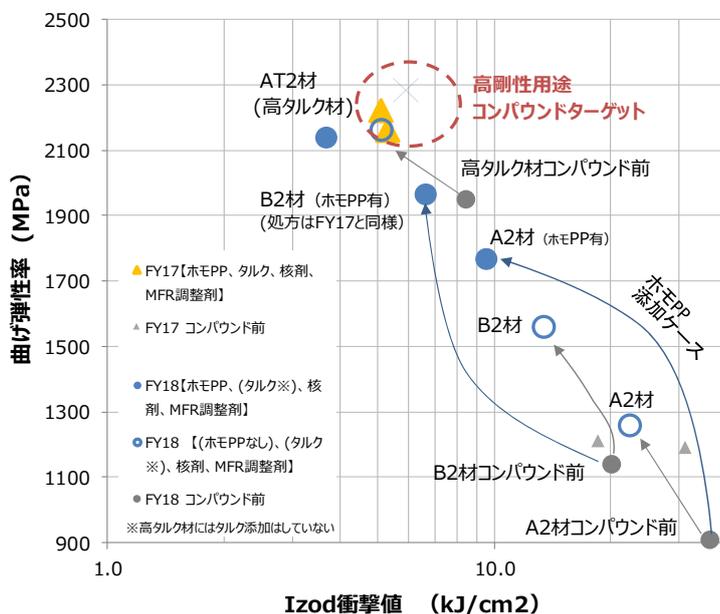
本年度のコンパウンド試験のターゲットとしたグレードは、高剛性用途規格と、高耐衝撃用途規格である。各コンパウンド方法の概略を以下に示す。

表 3-16 コンパウンド試験条件 (2017年度原料については2017年度報告書 表 3.2-9 参照)

用途	コンパウンド原料名	1次選別の方法 ※施設1は水比重選別有	2次選別の方法	コンパウンド副原料処方
高剛性用途向け	A4材 FY17版 ※2017年度回収原料 フローNo. 4	手選別 異物除去方式 (施設1) ※比重<1	BlackEye(中赤外線選別機)	ホモ PP、タルク、造核剤、MFR調整剤
	B2材 FY17版 ※2017年度回収原料 フローNo. 13	手選別 PP回収方式 (施設2)	オートフィルタ	ホモ PP、タルク、造核剤、MFR調整剤
	A2材 FY18版 ※3.1バラつき検証の LotA11 ロット	手選別 異物除去方式 (施設1) ※比重<1	オートフィルタ	ホモ PP (有・無)、タルク、造核剤、MFR調整剤
	B2材 FY18版 ※3.1バラつき検証の LotB21 ロット	手選別 PP回収方式 (施設2)	オートフィルタ	ホモ PP (有・無)、タルク、造核剤、MFR調整剤
	AT2材 FY18版(高タルク材) ※3.2.2 高タルク含有 PP回収検討 AT2 フロー	手選別 異物除去方式 (施設1) ※比重>1	重液選別 静電選別 オートフィルタ	ホモ PP (有・無)、造核剤、MFR調整剤
高耐衝撃用途向け	A2材 FY17版 ※2017年度回収原料 フローNo. 2	手選別 異物除去方式 (施設1) ※比重<1	オートフィルタ	タルク、造核剤
	A4材 FY17版 ※2017年度回収原料 フローNo. 4	手選別 異物除去方式 (施設1) ※比重<1	BlackEye(中赤外線選別機)	ゴム、造核剤
	B2材 FY17版 ※2017年度回収原料 フローNo. 13	手選別 PP回収方式 (施設2)	オートフィルタ	タルク、造核剤
	A2材 FY18版 ※3.1バラつき検証の LotA11 ロット	手選別 異物除去方式 (施設1) ※比重<1	オートフィルタ	ゴム、造核剤、MFR調整剤
	B2材 FY18版 ※3.1バラつき検証の LotB21 ロット	手選別 PP回収方式 (施設2)	オートフィルタ	ゴム、タルク(有・無)、造核剤、MFR調整剤

3.4.2. コンパウンド処方検討結果

(1) 高剛性用途向けのコンパウンド結果



コンパウンド結果を

図 3-8 に示す。

- 重比重選別/静電選別、オートフィルタによって新規に回収した **AT2材(高タルク材)**については、核剤の添加のみで目標値に近い物性を得られた。密度は 1.06 と若干高いものの、ホモ PP 材の添加が不必要な利用方法であればコスト低減が期待できる。
- 手選別 PP 回収方式による原料 (B2 材 FY18 版 施設 2 オートフィルタのみ) については、2017 年度原料への処方と同様のものを評価したが、曲げ弾性率が下がり、耐衝撃性が増加した。これは、2017 年度原料に比較し、2018 年度回収原料で PE 含有量が高く (2017 年度原料 : 1.7% → 2018 年度原料 : 6%)、弾性率が下がっていることによる。
 - 剛性 (弾性率) は PE 含有量に敏感なため、高剛性用途では極力取り除く必要がある¹。
- 手選別 異物除去方式による原料 (A2 材 FY18 版 施設 1 オートフィルタのみ) は PE が多く、高剛性には不向きである。

¹ 2017 年度選別結果 (2017 年度報告書 P35) では、手選別 PP 回収方式では成分選別は必要ないとされたが、PE 混入が多い場合には、BlackEye (中赤外線選別) 等による選別やホモ PP 添加による希釈が必要となると考えられる。成分選別に関しては、BlackEye が、Liquisort や静電選別に比べ、選別精度や回収率、コストのバランスの観点から最も望ましいとされた。

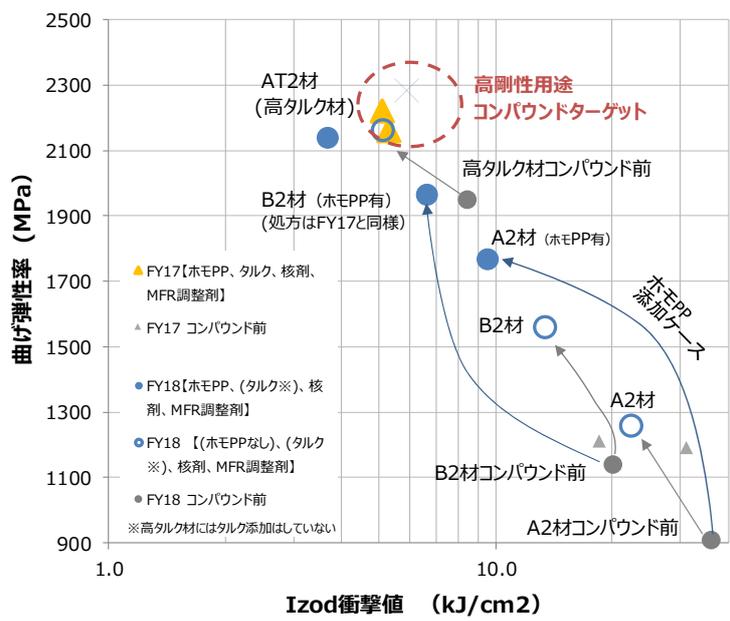


図 3-8 高剛性用途規格試作品の機械物性

(2) 高衝撃用途向けのコンパウンド結果

コンパウンド方法と結果を図 3-9 に示す。

- 手選別 PP 回収方式 (B2 材 FY18 版 施設 2 オートフィルタのみ) による原料では、ゴムとタルクの添加により、密度を現行材に近づけ、機械物性を現行材並みのターゲットレベルにより近づける取組みを行った。その結果、従来 1.0 程度であった密度は 0.96 と現行品並みに低下したものの、剛性の低下に比して Izod 衝撃値が低くなり、機械物性のバランスは悪いものであった。
- 手選別 異物除去方式 (A2 材 FY18 版 施設 1 オートフィルタのみ) でも、耐衝撃性を確実に発現させるべくゴムを添加したものの、PE 量が多く、狙いより大幅に増加し、逆に弾性率の低下が顕著になってしまった。
- MFR 調整剤によって流動性の改善を試みたところ、手選別 PP 回収方式 (B2 材 FY18 版) は大幅に流動性が改善された。一方で、PE の多い手選別 異物除去方式 (A2 材 FY18 版) は調整剤の効果が出にくく、MFR が向上しなかった (この傾向については、図 3-10 参照)。

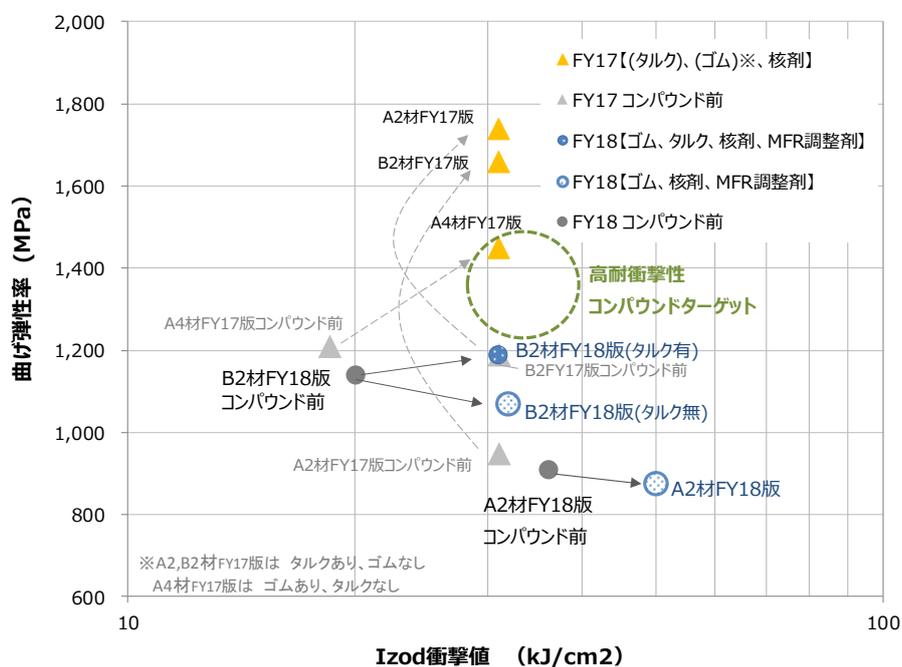


図 3-9 高耐衝撃用途規格試作品の機械物性

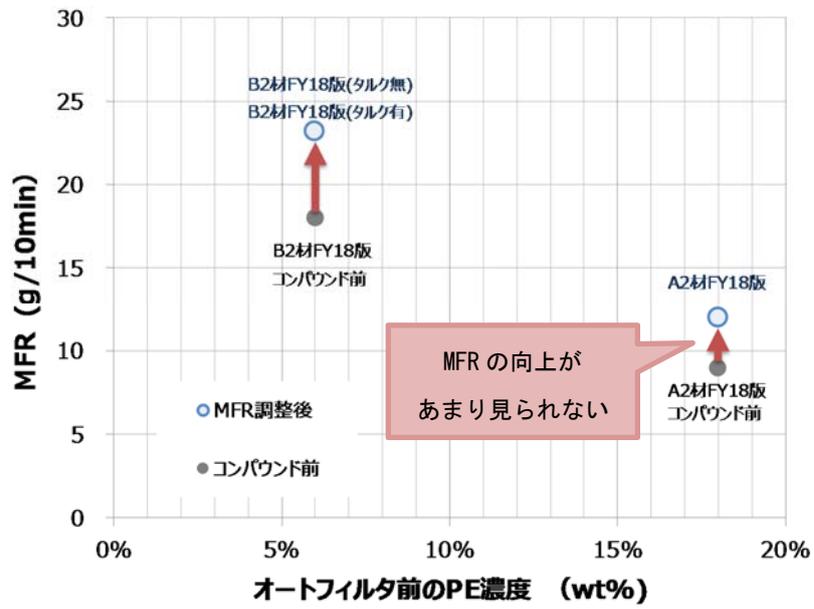


図 3-10 PE 濃度と MFR 調整剤の効果の相関性

4. まとめ

4.1. 本実証事業の成果

4.1.1. 原料の質のバラツキの評価

マテリアル施設間では明確なミックスプラスチックの組成の差異が存在するため、施設ごとに原料を分けて後工程の管理を行う必要性が高い。一方で、同一施設のロット間ではそこまで大きな組成のバラツキはないが、コンパウンドにおける機械物性の調整時には障害となる可能性がある程度のバラツキは存在した。よってオートフィルタ以外の二次選別を行わずに直接造粒を行う場合には、複数ロットを混合し平均化した原料を用いることが望ましいと判断された。

4.1.2. 最適な二次選別フロー（高タルク含有 PP、オートフィルタのみ処理）

- 高タルク含有 PP の回収（比重 1 以上の回収プラスチック）

タルク含有率が高いため、高剛性用途向けが前提となる。重比重選別 (D=1.07) と静電分離のフローが最も PP 純度を高めることができ、機械物性が優れていた。

表 4-1 高タルク含有 PP 高剛性用途向け二次選別工程

No.	二次選別工程	PP 回収率* /PP 比率
1	手選別（異物除去方式）→重比重選別 (D=1.07)→静電分離 →オートフィルタ	56% / 97%

*PP 回収率は回収された PP 量を分子として手選別プラスチック含有の PP 量を分母としている

- オートフィルタのみによる処理（比重 1 以下の回収プラスチック）

オートフィルタのみによる 2 次選別処理の妥当性検討に関しては、2017 年度結果（2017 年度報告書 P69 等）と同様にオートフィルタのみの処理で高耐衝撃用途向けの原料を回収可能であることが示された。この結果より、比重 1 以下の回収プラスチックについて、高耐衝撃用途向けでは約 95%以上の歩留まりでコンパウンド原料を生産できることが予想された。

4.1.3. 含有臭素、SCCP への対応

特別に臭素の除去等をしない状況下では、ペレタイズ後における最大の含有臭素は 10～20ppm であった。大部分の臭素はゴムやウレタンに含まれているため、これらの除去が濃度管理上有効と考えられたが、本年度の検証では有効な除去技術は確認できなかった。

ただし仮に臭素系難燃剤濃度 500ppm（臭素系難燃剤を DecaBDE とすると全臭素濃度にして 416.5ppm）という規制となった場合でも、現状濃度であれば特に除去の必要性は薄いと思

われる。

SCCPについては、いずれの試験片においても検出限界以下の濃度であり、混入の可能性は非常に低い。

4.1.4. コンパウンド結果

(高剛性用途)

本年度事業で新規に回収した高タルク含有PPについて、核剤の添加のみでコンパウンドターゲット値に近い物性を得られた。密度の調整は必要なものの、課題となっていたコストの面で低比重の回収樹脂の利用より安いいため、バージン材の代替として利用できる可能性は高い。

(高耐衝撃用途)

本年度の試料に関して、課題であった比重とMFRの改善は達成した。しかし2017年度原料のコンパウンド物より、剛性と衝撃強度のバランスの調整が難しく、伸び率以外の物性値でバージン材由来品の代替が可能な水準へのコンパウンド方法の把握には至らなかった。

また、PE含有が多いとMFR調整剤が効きにくく、MFRが向上しにくいという傾向もみられた。

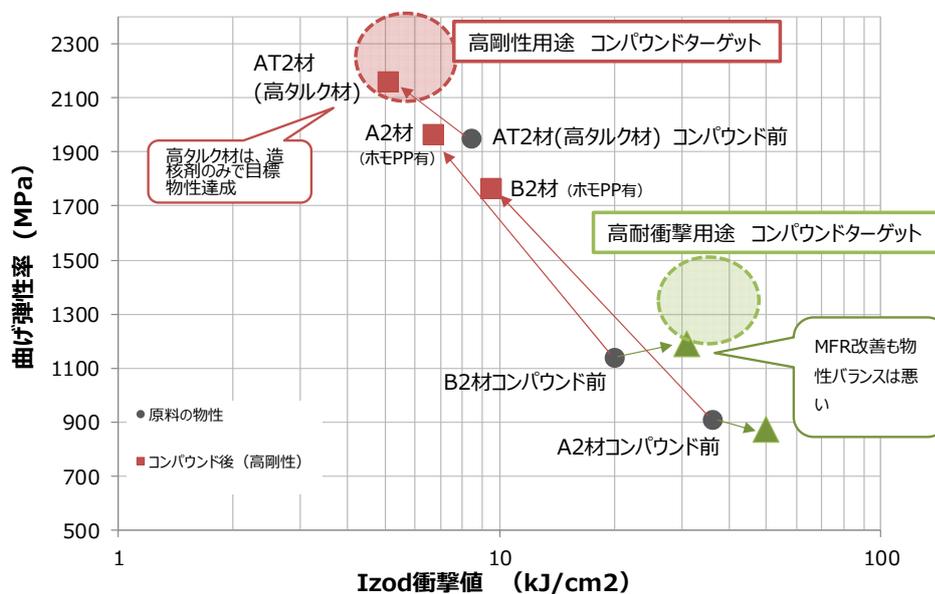


図 4-1 コンパウンド結果まとめ (2018 年度)

4.1.5. プロセス全体の事業性の評価

以下に事業全体での PP の回収量等を整理した。コンパウンド方法が確立した場合には、高タルク含有 PP の回収によって、全体で ASR 重量比最大 1.4% (ASR 含有 PP・PE 量比 4%)、マテリアル施設での手選別回収プラスチック中の PP・PE 量に対して最大 7 割程度の PP・PE の原料化が原理的には可能である。

表 4-2 プロセス全体での事業性

回収物	手選別 プラスチック (水比重選別後) の対 ASR 全体 回収率 %	利用可能なコンパウンド用途と 最大利用率* %		
		用途	対手選別 プラスチック	対 ASR 全体
低タルク 含有 PP メインの 回収物 (比重<1)	1.2%	高剛性用途	70%**	0.8%
		高耐衝撃用途	100%	1.2%
		低密度用途	40%	0.5%
高タルク 含有 PP メインの 回収物 (比重>1)	1.2%	高剛性用途	20%	0.2%

*最大利用率は回収されたコンパウンド原料の重量を分子とし、手選別プラスチックまたは ASR 全体の重量(異物も含む)を分母とした率

**オートフィルタの歩留まりは 100%としている

4.2. 今後の課題

本年度の事業により明らかになった課題について、以下に示す。

- ・ **1次選別（ASRからのプラスチック原料の回収）の歩留まり改善**

現状としてASRの2割程度を占めるPP・PEの5%弱しか回収できておらず、再生材の供給量としては不十分である可能性がある。残りの95%については残渣となっているが、性状などを検討し、回収可能なものはなるべく回収できるような1次選別方法の検討を行う必要がある。

- ・ **コンパウンド方法の確立**

高耐衝撃用途は低比重の低タルク含有PPと同時に回収されるPEを分離する必要がないため、低コストで現実的な用途と想定される。しかしながら、本年度の検証において回収されたコンパウンド原料（比重<1）に対しては、その物性に適した高耐衝撃用途向けのコンパウンド処方が確立されなかった。今後、原料の質が変動した場合でもカバー可能なコンパウンド手法の確立が求められる。

- ・ **ABS等の樹脂の回収**

現在は残渣として扱っているが、比重>1以上のPP以外の樹脂（ABS等）にも市場価値が存在し、適切に回収することで販売が可能である可能性がある。比重>1のASR由来ミックスプラスチックに占めるPP以外の樹脂の割合は5割と大きく、これらを回収、収益源の一つとすることは事業全体の収益性向上に資すると思われる。

4.3. むすび

2018年度事業によって、高タルク含有PPに関しても自動車材料向けの高いポテンシャルのある粗原料となることが示され、ミックスプラスチックに占める素材原料に利用可能な成分の割合を拡大できることが明らかとなった。しかしながらASR中に含まれている樹脂全体に対する回収率としてみると、まだわずかな回収量にとどまっており、事業として成立させるためには1次選別における質・量・コストを両立できる回収方法を模索していくとともに、2次選別段階でも異樹脂として廃棄される樹脂の回収を検討する必要がある。

一方、臭素系難燃剤やSCCPなどの規制物質の含有状態が明らかとなり、濃度を抑制・管理していくための具体的な方法についても検討を行うことができる段階となった。含有濃度は低く対策が必要になる可能性は低いものの、今後の規制動向に注視しながら適切なサプライチェーン全体での管理体制を設計していくことが求められる。

(添付資料1) 組成調査方法

1. 試料採取と測定サンプル作成

一次選別、二次選別の各施設から回収したミックスプラスチック及び各工程から発生する残渣において、それぞれ1kg×3箇所にてサンプルを採取し、それらを混合して、1kg測定サンプルを作成した。



2. 縮分

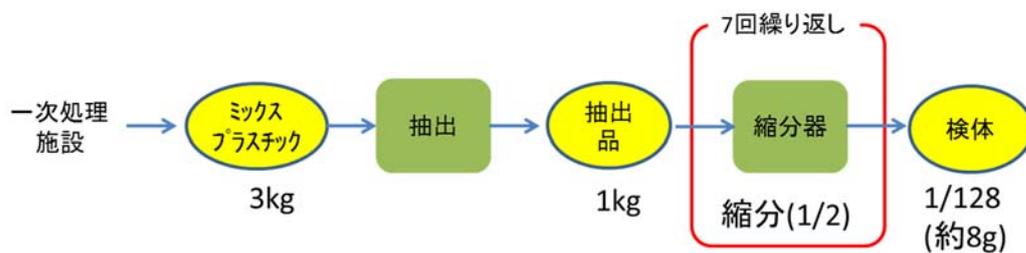
JIS M8100に基づき、縮分器を用いて測定用のサンプルを作成した。

縮分器



9~12mm用

30~50mm用



図A1-1 ASR由来ミックスプラスチック 縮分フロー

3. 分析測定

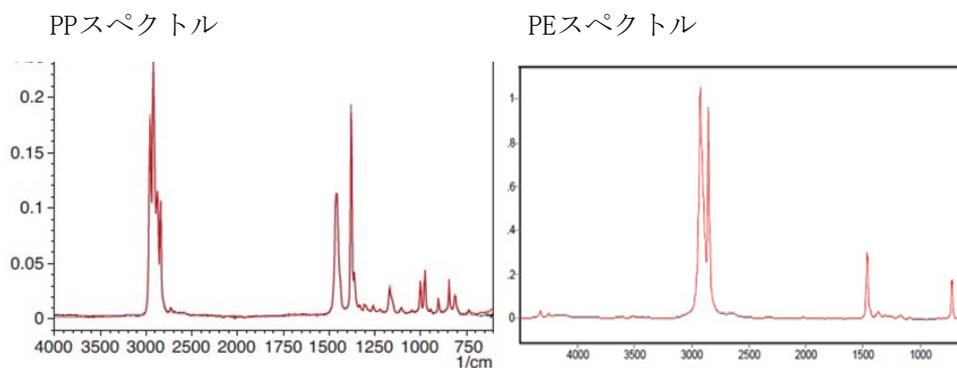
縮分より得られたサンプルを、一片ずつ、FT-IR（フーリエ変換赤外分光光度計 島津製作所 IRAffinity - 1S）にて試料をそれぞれ測定し成分を特定した。



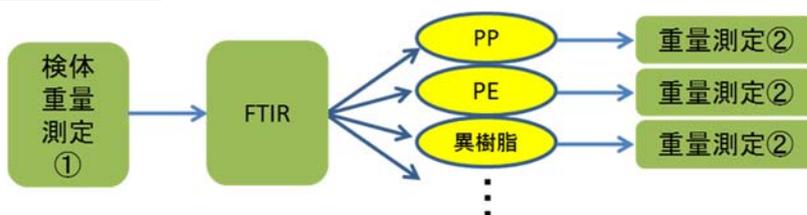
採取サンプル

FT-IR

測定結果（代表例）



分析フロー図と振り分け例



図A1-2 ASR由来ミックスプラスチック 分析フロー



分析結果まとめ

上記分析フロー図のようにFT-IRにて測定した結果から構成比率を重量から算出し下記表

A1-1のような形で選別毎に作成した。

表A1-1 ASR由来ミックスプラスチック 分析結果 (代表例)

主成分	重量 [g]	比率
PP	7.54	63.10%
PE	0.9	7.53%
他 (樹脂)	1.26	10.54%
ウレタン、ゴム、塵等	2.25	18.83%
合計	11.95	100.00%

(添付資料 2) 全臭素分析の方法

1. 試料採取

試料の採取については対象となる破材の性状に合わせて、産業廃棄物のサンプリング方法 (JIS K 0060 2012) に準じ試料を採取した。

- ・各破材 (210~220 kg) をビニールシート上に広げ十分に混合・均質化する。
- ・十分に混合した後、広げた試料から下記の条件でインクリメントとして分取する。
 - －B1: 5L×20 カ所
 - －B3: 10L×10 カ所

2. 組成分析

試料を「硬質プラスチック」「ウレタン等」「ゴム」「その他」に分類し組成比率を確認した。
(B1 (>100mm)は硬質プラスチック以外がほとんどなく、組成分類は未実施)

3. 測定試料の選別

試料の性状、プラスチックの種類、組成比率等を考慮し各試験対象で 100 個の破材を測定試料として選別した。



測定対象（施設 1 未破砕物回収物）



測定状況

4. 試料の測定

可搬型蛍光 X 線分析（XRF）装置で対象の臭素濃度を測定し、臭素濃度の分布を確認、5つの濃度区分に分類した（※対象が複合物の場合は、臭素濃度が高い部位の濃度で分類した。）。測定は塗装の無い部分を対象とし、対象が複合物（貼合していたり、嵌め込まれたりしているもの）の場合は各部位について測定を実施した。

表面分析で臭素濃度が 5 ppm 以上の試料については表面を研磨後の測定も併せて実施した。

(添付資料3) 臭素が検出された樹脂ピース画像

以下に、検出濃度別の試料片の画像を掲載する



図 A3-1 50ppm 以上の破材



図 A3-2 10~50ppm の破材



図 A3-3 不検出～10ppm の破材



図 A3-4 不検出の破材

