

2023年3月31日

報告書

実施期間 2022年4月1日～2023年3月31日

ASR 回収プラスチックのアップグレード リサイクル技術研究報告(第六報)

福岡大学工学部教授 機能・構造マテリアル研究所所長

八尾 滋

日産自動車材料技術部

美藤洋平、端野直輝、森 直樹

目次

第一章	目的・実施内容	2
第二章	技術評価	4
2-1	2022 年度に用いた試料について	4
2-2	樹脂溜まり部設置 2 軸押出機でのペレタイズ効果	6
2-3	自動車材料としての適用可能性について	11
第三章	経済性評価	13
3-1	現状分析	13
3-1-1	A(高品質) 廃車由来プラ選別事業収支分析	13
3-1-2	B(中品質) 廃車由来プラ破碎選別事業収支分析	14
3-1-3	C(低品質) 廃車由来プラ破碎選別事業収支分析	14
3-2	本技術適用後の ASR リサイクルの自動車部品適用機会の拡大について	15
第四章	総括	16

第一章 目的・実施内容

目的

ASR 発生量削減を目的に、ASR 回収プラスチック(PP)の物性改質技術を確立し、自動車用部品へのリサイクル材適用を拡大する事である。本研究では福岡大学の樹脂だまり技術を用いて ASR 回収プラスチックを高品質・中品質・低品質に選別し、ASR の頻出基準を検証した。

また、ASR アップグレードリサイクル技術により品質改質により、自動車適用可否を判断し、それに伴う市場調査を行い、事業性評価を行った。

実施内容

選別精度などに基づき、高品質(2種類)・中品質・低品質までの ASR を 4 種用意し、それぞれに対して福岡大学で再ペレタイズ処理・物性評価を行い、どの選別レベルまでなら、物性向上が見込まれるかを検討した。

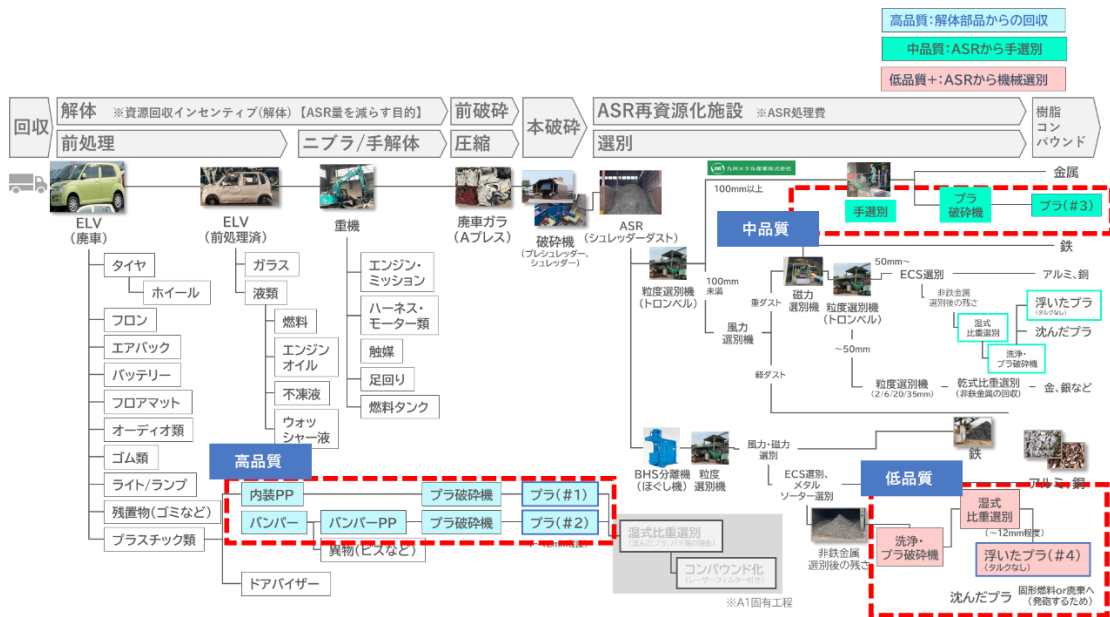
測定条件

射出成形・・・(株)ソデック製 MS200 (型締力 200t), CT 200°C, MT 60°C, IPmax 70-80MPa, HP 30MPa

測定方法・・・JIS K6921 準拠, 恒温恒湿室(25°C, 50%RH), 何れも N=7(最小値と最大値を除く平均)

- Izod 衝撃試験片：ノッチ付き, 厚み 4 mm
- 引張試験片：ダンベル(JIS K7139 タイプ A1, 厚み 4 mm), 引張速度：50 mm/分.

本研究に用いる ASR として、解体業者・破碎業者のプラスチック選別工程によって以下のように定義した(図 1)。高品質 ASR は解体部品から回収したポリプロピレン(以下 PP)。また、高品質 ASR はバンパー由来の PP(①)と内装材由来の PP(②)を検証に用いた。中品質は破碎工程由来の ASR から手選別された PP(③)、低品質 ASR は破碎工程 ASR から選別された PP(④)である。



実施期間

2022年4月1日～2023年3月31日

開発/調査 代表者

福岡大学工学部教授 機能・構造マテリアル研究所所長 八尾 滋

実施者

福岡大学工学部教授 機能・構造マテリアル研究所所長 八尾 滋
 日産自動車株式会社 材料技術部 美藤洋平、端野直輝、森 直樹

第二章 技術評価

2-1 2022 年度に用いた試料について

高品質 ASR はバンパー由来の PP(①)と内装材由来の PP(②)を検証に用いた。中品質は破碎工程由来の ASR から手選別された PP(③)、低品質 ASR は破碎工程 ASR から選別された PP(④)である。2022 年度に用いた試料の詳細を下記の表に示す。(図 1)

① (高品質・バンパー) と③ (中品質・ASR、バンパーを含む) には、PP (または b-PP) 以外の成分が含まれると推測される。有機か無機か、両方かなどを確認した。② (内装材・高品質) の成分には、PP (または b-PP) 以外の成分は殆ど含まれないと推測される。④は低品質なので当然のように異物も含まれるようである。

図 1 実験試料

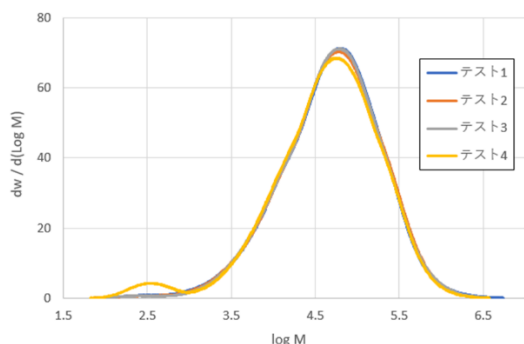
試料	品質	由来	観察結果
①	高	解体バンパー	プレス成形フィルム中の異物・GPC 溶媒 TCB への不溶分など (何れも外観目視)
②	高	解体内装材	他試料と比較して、異物は少量であった。
③	中	破碎手選別 PP	白色異物が観測された。
④	低	破碎機械選別 PP	黒色異物が観測された。他試料より黒色不溶分が多量。

以下に原料(未押出)のプレス成型フィルムの外観を示す。



次にゲル浸透クロマトグラフィーで得た試料①～④の分子量分布を示す。

原料（未押出）の分子量分布



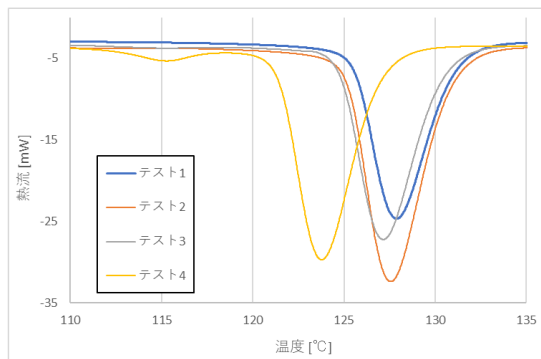
原料 (未押出)	分子量 [*] /10 ⁴			分散度 Mw/Mn	高分子量端 /10 ⁴	ピークトップ /10 ⁴
	数平均	重量平均	Z平均			
①	2.20	10.8	37	4.9	380	6.0
②	2.07	11.0	37	5.3	300	5.7
③	2.11	11.1	40	5.2	350	6.0
④	2.36	10.5	30	4.4	270	5.5

※ 低分子量側の小ピークは除いて求めた

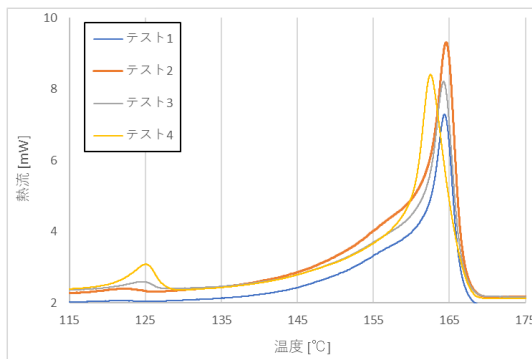
上記から分子量分布曲線は全ての試料でほぼ同等と言える。高分子量側のすそ野の拡がり方は、グラフでは同等だが、高分子量端の値は①と3で大きかった。特筆すべきは④の低分子量ピークの成分についての原因は不明である。

さらに、試料①～④の結晶化・融解挙動を確認した。④だけ、PP由来ピークがシフト（融点が約164°Cから約162°Cへ、結晶化温度が127～128°Cから123°Cへ）、また、PE由来ピークが観測されたことから、結晶化を阻害する成分を含む可能性がある。

降温過程



再昇温過程



原料 (未押出)	降温過程		再昇温過程		
	結晶化温度 /°C	発熱量 /J/g	融点 /°C	吸熱量 /J/g	結晶化度 /%
①	128.0	-55	164.4	52	25
②	127.7	-74	164.6	71	34
③	127.2	-59	164.3	52	25
④	123.7	-58	162.5	57	28

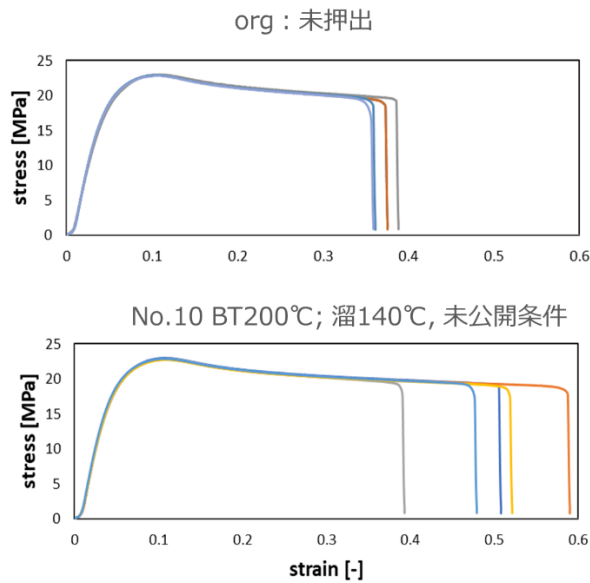
以上のような試料に対し、再ペレタイズ処理による物性変化の検討を行った結果を次に示す。

2-2 樹脂溜まり部設置 2 軸押出機でのペレタイズ効果

試料②の再ペレタイズの結果について結果を示す。

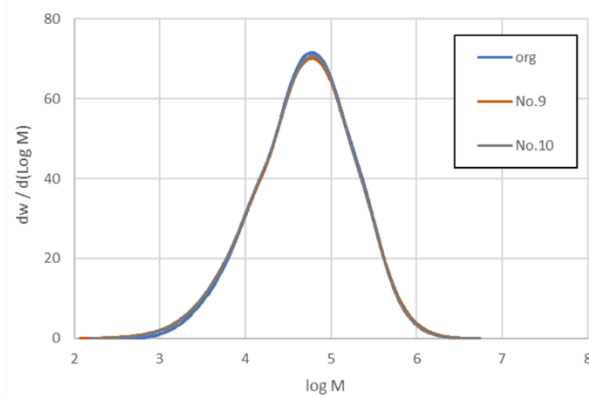
Ex.	押出条件		衝撃強度 ノッチ付きIzd /kJ/m ²	引張特性				
	スクリー 温度 /℃	樹脂溜 温度 /℃		破断伸び /%	ヤング率 /MPa	降伏応力 /MPa	破断応力 /MPa	破断エネルギー /MJ/m ³
org	未押出		12.0 [11.6~12.1]	37	510	23	17	7.1
std			11.2 [10.7~11.7]	32	490	23	16	6.1
1	200	200	12.0 [11.4~12.7]	33	510	23	18	6.5
2			12.7 [12.2~13.0]	35	500	23	16	6.8
3	230	200	12.2 [11.3~13.0]	49	500	23	17	9.5
4			11.2 [10.6~11.6]	45	500	23	18	8.8
5	200	140	12.3 [11.9~12.7]	33	500	23	13	6.3
6			11.5 [11.3~13.0]	36	500	23	19	7.0
7			12.3 [11.3~13.0]	43	520	23	17	8.5
8			12.6 [10.9~13.2]	48	510	23	12	9.4
9			13.0 [12.5~13.7]	45	500	23	16	8.9
10			12.6 [12.3~12.8]	49	510	23	10	9.6
11	230	140	10.1 [9.2~11.0]	42	490	23	14	8.1
12			10.8 [10.2~11.6]	35	490	23	14	6.6

上に②試料の再ペレタイズ条件ならびに各々のアイゾット衝撃強さと引張試験での物性値を示す。表からペレタイズ条件を選択することで入手したオリジナル試料(org)から物性値が向上することが分かる。特にスクリー温度より樹脂溜まり部の温度を低く設定した条件でその効果が顕著であることが分かる。また青字は押し出し機の条件がほぼ同じものであり、この条件を選択することで、物性のさらなる向上が見込める可能性がある。以下は org と条件 10 との実測の応力-歪み曲線を示したものである。



以下は、再ペレタイズ前後での分子量ならびに分子量分布、及び結晶化・融解挙動を比較したものである。双方からもほとんど変化がないことが示されており、再ペレタイズでの化学劣化などが発生していないことが分かる。

分子量分布（抜粋）



Ex.	押出条件		分子量 /10 ⁴			分散度 Mw/Mn	高分子量端 /10 ⁴	ピークトップ /10 ⁴
	スクリー 温度 /℃	樹脂溜 温度 /℃	数平均	重量平均	Z平均			
	org	未押出		2.07	11.0	36.8	5.30	297
9	200	140	1.69	10.9	38.5	6.45	452	5.8
10			1.75	10.6	36.1	6.05	554	6.0

以下に③試料の再ペレタイズ条件ならびに各々のアイゾット衝撃強さと引張試験での物性値を示す。アイゾット衝撃強さはもともとバンパー成分が含まれていたためか、高めの値で安定しており、顕著な変化は見られない。一方伸び特性はやはりスクリー温度に比べて樹脂溜まり部の温度を低く設定し、またスクリーの条件を②と同等にした条件で向上していることが分かる。

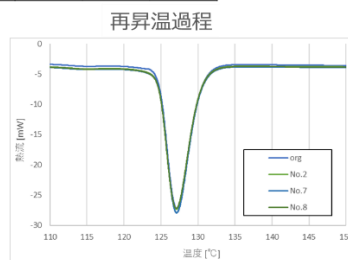
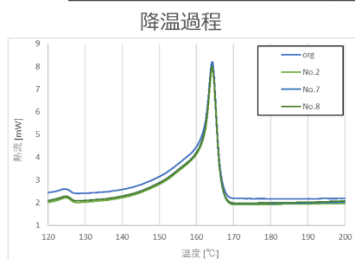
Ex.	押出条件		衝撃強度 ノッチ付きIzd /kJ/m ²	引張特性				
	スクリュー 温度 /°C	樹脂溜 温度 /°C		破断伸び /%	ヤング率 /MPa	降伏応力 /MPa	破断応力 /MPa	破断エネルギー /MJ/m ³
org	未押出		23.8 (22.8~24.6)	46	520	19	13	7.8
1	200	200	23.1	50	460	19	15	8.1
2			24.9	72	470	19	12	11.7
3	200	140	23.1	50	470	18	15	8.0
4			23.5	50	470	19	16	8.2
5			22.2	48	460	18	15	7.7
6			24.3	58	470	19	12	9.4
7			24.8	55	470	18	9	8.9
8			23.4	67	470	18	10	10.9

さらに結晶化ならびに融解挙動を評価した結果を示す。これも再ペライズ処理でほとんど変化していないことが分かる。

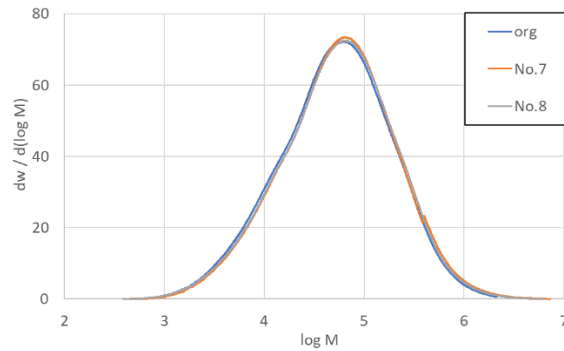
押出サンプル解析 (DSC)

③ (中品質, 外装系) 圧力制御型樹脂溜つき押出品

Ex.	押出条件		降温過程		再昇温過程		
	スクリュー 温度 /°C	樹脂溜 温度 /°C	結晶化温度 /°C	発熱量 /J/g	融点 /°C	吸熱量 /J/g	結晶化度 /%
org	未押出		127.1	-59.3	164.3	52.4	25.3
2	200	200	127.1	-60.4	164.3	56.0	27.1
7	200	140	127.1	-60.3	164.2	56.3	27.2
8			127.1	-60.5	164.2	56.2	27.1



分子量分布（抜粋）



Ex.	押出条件		分子量 /10 ⁴			分散度 Mw/Mn	高分子量端 /10 ⁴	ピークトップ /10 ⁴
	スクリー	樹脂溜	数平均	重量平均	Z平均			
	温度 /℃	温度 /℃						
org	未押出		2.01	11.1	39.5	5.24	353	4.9
7	200	140	2.27	12.5	59.0	5.50	914	6.4
8			2.17	11.9	48.0	5.50	636	6.1

以下に①試料の再ペレタイズ条件ならびに各々のアイゾット衝撃強さと引張試験での物性値を示す。アイゾット衝撃強さに関しては、③と同様、高めで安定である。一方伸び特性は、この場合もスクリー温度に比べて樹脂溜まり部の温度を低く設定し、また条件を②と同じように設定することで向上させることが可能であることが示されている。

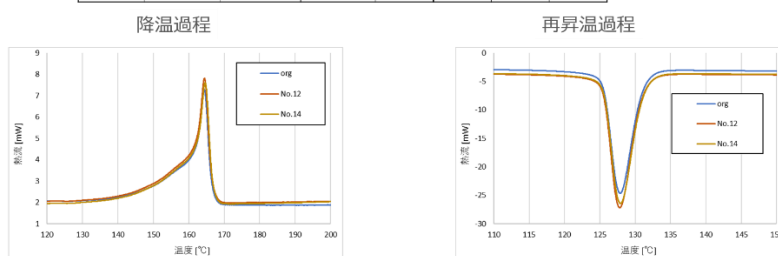
Ex.	押出条件		衝撃強度	引張特性				
	スクリー 温度 /℃	樹脂溜 温度 /℃	ノッチ付きIzd /kJ/m ²	破断伸び /%	ヤング率 /MPa	降伏応力 /MPa	破断応力 /MPa	破断エネルギー /MJ/m ³
org	未押し出し		21.4	38	480	18	13	6.1
9	200	200	21.6	39	500	18	10	6.3
10			21.1	41	490	18	15	6.6
11	200	140	22.0	41	500	18	12	6.6
12			20.3	50	490	18	13	8.0
13			20.3	37	490	18	16	6.0
14			20.5	53	500	18	12	8.6

以下は結晶化ならびに融解挙動を評価した結果である。これも再ペレタイズ処理でほとんど変化していないことが分かる。

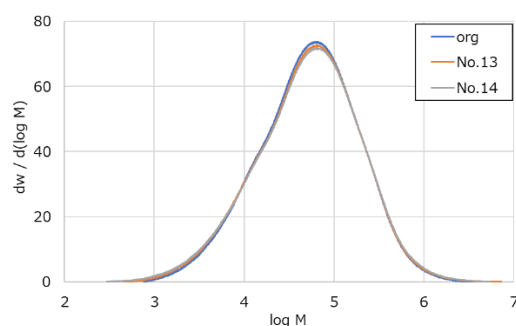
押出サンプル解析 (DSC)

① (高品質, 外装系) 圧力制御型樹脂溜つき押出品

Ex.	押出条件		降温過程		再昇温過程		
	スクリュー 温度 /°C	樹脂溜 温度 /°C	結晶化温度 /°C	発熱量 /J/g	融点 /°C	吸熱量 /J/g	結晶化度 /%
org	未押出		127.9	-55.1	164.4	52.4	25.3
12	200	140	127.8	-56.3	164.4	54.5	26.3
14			127.9	-57.2	164.6	55.3	26.7



分子量分布 (抜粋)



Ex.	押出条件		分子量 /10 ⁴			分散度 Mw/Mn	高分子量端 /10 ⁴	ピークトップ /10 ⁴
	スクリュー 温度 /°C	樹脂溜 温度 /°C	数平均	重量平均	Z平均			
org	未押出		2.20	10.8	36.5	4.89	376	6.0
13	200	140	2.03	11.2	45.3	5.51	734	6.4
14			1.89	11.5	47.5	6.07	554	6.4

以下に試料①～③において分子量を測定したのに関して MFR の比較した。

①～3までの分子量分布評価を行った試料のMFR比較

条件 230℃、荷重2.16kg、[g/10min]

②	押出条件		MFR
	スクルー 温度 /℃	樹脂溜 温度 /℃	
org	未押出		29/84
9	200	140	30.83
10			30.93

③	押出条件		MFR
	スクルー 温度 /℃	樹脂溜 温度 /℃	
org	未押出		22.11
7	200	140	22.28
8			22.75

①	押出条件		MFR
	スクルー 温度 /℃	樹脂溜 温度 /℃	
org	未押出		26.65
13	200	140	27.27
14			27.62

④試料は上述したように異物が極めて多く、物性値もかなり低い。この試料の再ペレタイズ・物性向上を図るためにはまず異物除去を行うことが必要であると考え、福岡大学においてマルチメッシュという手法で試みたが、30メッシュで5分で目詰まりを起こしたため、今回はこれ以上は検討を断念した。

④試料の評価結果

原料 (未押出)	衝撃強度	引張特性				
		ノッチ付きIzd /kJ/m ²	破断伸び /%	ヤング率 /MPa	降伏応力 /MPa	破断応力 /MPa
④ 内装系 低品質	9.7 (9.1~10.2)	21	420	17	14	3.0

④に関しては、複数のメッシュを組み合わせる異物除去を試みたが、30メッシュで5分運転が不可能であったため、今回はそれ以上の検討を断念した

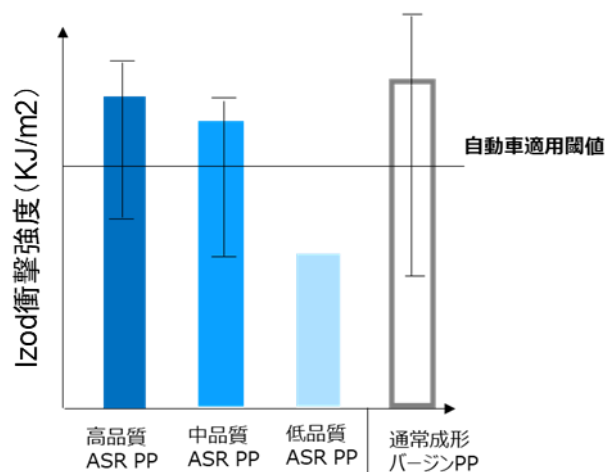
但し分子量分布的には他の試料と遜色がないために、選別の段階から異物除去に務め、再混練処理を行えば物性が向上する可能性は秘めていると思われる。この試料に関しては今後このような方針での高性能化の検討が必要と考えられる。

2-3 自動車材料としての適用可能性について

2-1,2-2 のデータと弊社と福岡大学とのこれまでの検証データを基に ASR 回収プラスチックの自動車適用可能性を検討し評価を行った。福岡大学の技術により、中品質 ASR を自動車適用並みの物性にアップグレードできる事が示された。

バージン PP との比較を行った結果、自動車に総合的に適用可能性があると判断した。こ

れまでの検討から高・中品質である ASR まで物性が回復することが分かった。高品質 ASR と中品質 ASR に関しては、十分な自動車用途に適用可能な物性が発現した。しかし、低品質 ASR についてはタルクなどの異物が多く物性が出来なかった。

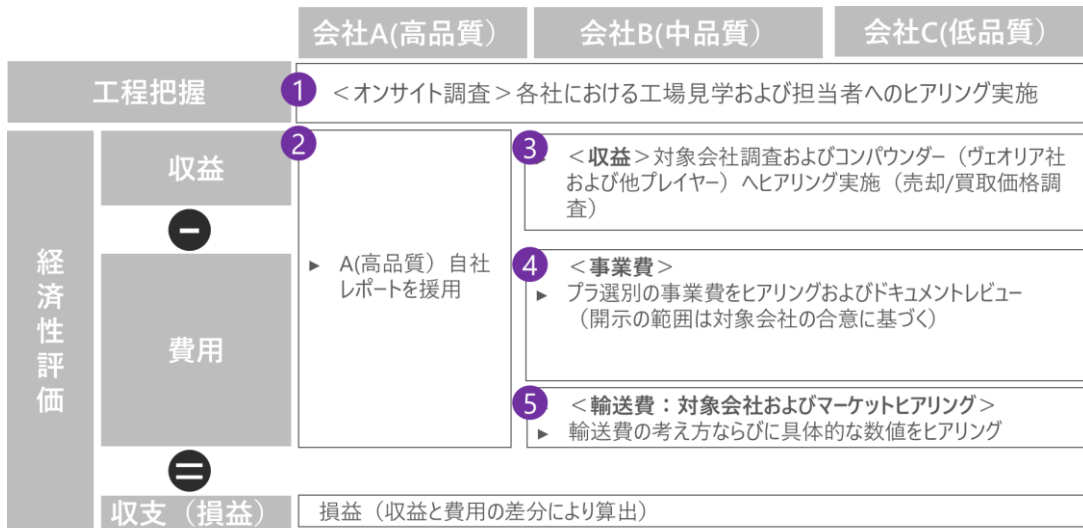


自動車用の材料としては DOOR TRIM, PLATE KICK, DRAFTER AIR などに使用可能であると判断した。本技術優位性によってコンパウンダーの ASR リサイクル品市場参入機会の増減については次章で検討する。

第三章 経済性評価

3-1 現状分析

オンサイトにおける視察、ミーティング、ヒアリングおよび資料のレビューならびに、その他マーケットプレイヤーに対するインタビューを行い、工程把握および経済性評価を実施。経済性の評価は1kgあたりの収支（損益）により実施。以下に概念図を示す。



3-1-1 A(高品質) 廃車由来プラ選別事業収支分析

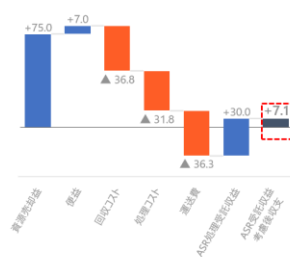
ASR 処理受託収益を考慮した A(高品質) の収支は 1kg あたり 4.1 円（バンパー由来）～7.1 円（内装 PP 由来）と試算された。以下は、収益構造として ASR 処理受託収益が無ければ赤字である事を示している。

A(高品質) ASR受託収益考慮後収支

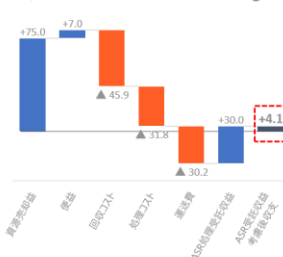
+4.1~7.1
円/kg

単位：円/kg	ASR前 バンパー	ASR前 内装PP
調整前収支		
収益	82.0	82.0
資源売却益	75.0	75.0
便益 ¹⁾	7.0	7.0
費用（積上げ）	68.6	77.7
回収コスト	36.8	45.9
処理コスト	31.8	31.8
運送費考慮前収支	13.4	4.3
運送費	36.3	30.2
運搬費考慮後収支	(22.9)	(25.9)
ASR処理受託収益	30.0	30.0
ASR受託収益考慮後収支	7.1	4.1
潜在的調整		
資源高影響	18.4	18.4
人件費	(1.6)	(1.9)
合計	16.8	16.5

A(高品質) バンパー 収支（円/kg）



A(高品質) 内装PP 収支（円/kg）



3-1-2 B(中品質) 廃車由来プラ破碎選別事業収支分析

B(中品質) の調整後収支は▲101.2~18.9 円/kg と試算された。結論として、調整の考え方は以下である。収益構造として ASR 処理受託収益が無ければ赤字である事を示している。

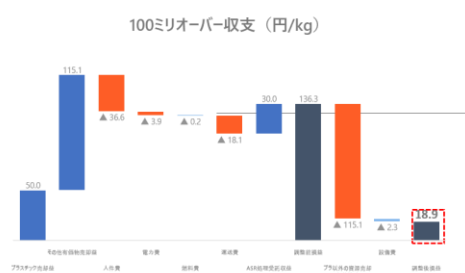
プラ以外の資源売却収益控除 (▲115.1 円~▲150.0 円) : B(中品質) は収益の計算においてプラ以外の資源売却収益を織込む一方、費用ではプラスチックのみの費用を集計していたため、プラ以外の資源売却収益を除外調整した。

設備費 (▲2.3 円) : B(中品質) は設備費用 (年額) を 117,000 円と回答しているもの、これを収支計算に織り込んでいないため、これを織込んだ (益金の減額調整)

3 4 5 B(中品質) 廃車由来プラ破碎選別事業収支分析

B(中品質) 調整後収支
▲101.2~+18.9
円/kg

単位: 円/kg	ASR100ミリ オーバー	ASR水選別 50オーバー
調整前収支		
収益	165.1	200.0
プラスチック売却益	50.0	50.0
其他有価物売却益	115.1	150.0
費用	40.6	160.7
人件費	36.6	150.7
電力費	3.9	8.6
燃料費	0.2	1.5
運送費考慮前収支	124.4	39.2
運送費	18.1	18.1
運送費考慮後収支	106.3	21.1
ASR処理受託収益	30.0	30.0
調整前収支	136.3	51.1
調整	(117.4)	(152.3)
プラ以外の資源売却収益控除	(115.1)	(150.0)
設備費	(2.3)	(2.3)
調整後収支	18.9	(101.2)



3-1-3 C(低品質) 廃車由来プラ破碎選別事業収支分析

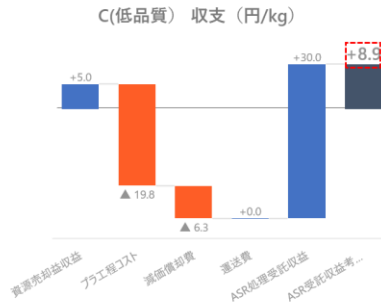
ASR 処理受託収益を考慮した C(低品質) の収支は 8.9 円/kg である。試算の結果 ASR 処理受託収益無しには赤字になる。

また、収益 (5.0 円/kg) につき、C(低品質) の取引先である商社引取価格であり輸送費も商社が負担するため、当該負担も織り込み済みの数値である。プラ工程コストにつき、内容は「電気代・水道代・人件費・修繕費」であるが、減価償却費につき、「粉碎・湿式選別工程設備」に係る費用である。

8.9

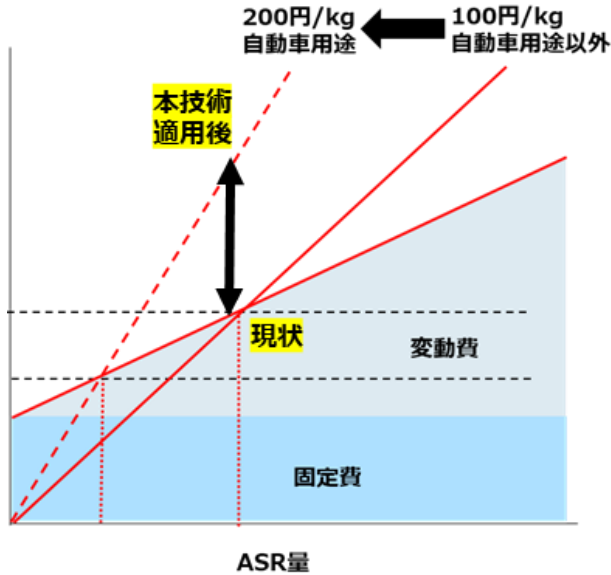
円/kg

単位：円/kg	ASR由来 機械選別
調整前収支	
収益（資源売却収益）	5.0
費用（積上げ）	26.1
プラ工程コスト	19.8
減価償却費	6.3
運送費考慮前収支	(21.1)
運送費	-
運搬費考慮後収支	(21.1)
ASR処理受託収益	30.0
ASR受託収益考慮後収支	8.9



3-2 本技術適用後の ASR リサイクルの自動車部品適用機会の拡大について

市場調査によるとコンパウンダーの自動車適用以外の販売価格は 100 円/kg であるが、自動車向けにおいては 200 円/kg で販売可能である事が分かった。その結果を以下の損益分岐点に示す。自動車適用の販売機会が増えたことにより、損益分岐点が下がる。今後、福岡大学の技術であるアップグレード ASR リサイクルに関する更なる展望が期待される。



Kicking Plate



Drafter Air

第四章 総括

今回の検討から、異物の多いもの以外の ASR はリサイクルプロセスの最適化を行うことで物性を大きく向上できるポテンシャルを保有していることが明らかとなった。特にスクリーニング温度と比較して樹脂溜まりの温度を低く設定した条件を選択することで、降伏応力を減じることなくアイゾット衝撃強さならびに伸び特性・靱性を向上させることが可能である。

今後は今回入手した試料作成時の一次再ペレタイズプロセスから、このような条件設定ができるよう、装置改良などを検討することが重要と考えられる。使用価値の増大が可能である場合、コンパウンダーはより高単価でペレットの販売が可能となることにより収益性の向上が見込まれるものである。原料である破碎プラスチック（ASR 由来プラスチック含む）の需要が増すことにより、間接的に当該破碎プラスチックの選別事業者の販売価格増加（収益性の向上）が見込まれる可能性があると考えられる。

当該技術および討議に基づく実際の販売価格向上（コンパウンダーの販売価格向上）および収益性の改善については、実際の販売先との価格交渉、当該技術を工場に実装するにあたっての設備投資費用、電力等追加費用等を含む製造コスト全般を調査した上での検討が望まれる。