

平成 28 年度環境省委託事業

平成 28 年度低炭素型 3 R 技術・システム実証事業

使用済自動車由来 PP 部品の  
効率的な再生材生産プロセスの検証

報告書

平成 29 年 3 月 1 日

いその株式会社

## 本事業の概要

### 1 事業目的

自動車には、多数のポリプロピレン（PP）を使用した部品が使用されており、マテリアルリサイクルによって資源の有効活用や ASR 削減を達成できる可能性がある。しかし、既存の自動車リサイクルスキームでは、PP 部品の自動車からの取外しや異物除去等の作業負担、運搬コスト等から、マテリアルリサイクルを目的とした回収が実施されている例は少なく、大半は ASR として排出され、熱量としてエネルギーリサイクルされている。

こうした中、いその株式会社では平成 27 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業「動静脈の連携による自動車樹脂部品リサイクルスキームの構築」において、破砕業者を集荷拠点とした回収スキームを構築し、解体済自動車と PP 部品の混載により大幅な運搬コストの削減が達成できることを示した。

一方で、回収後の破砕前処理、破砕・洗浄処理、再生樹脂の製造ではいくつかの課題を残している。実際に、昨年度使用済自動車由来のバンパーを原料とした試作品では、市況の低下したバージン材と比べて、価格競争力に劣る価格であることが分かった。

そのため、本事業では再生材をバージン材よりも価格競争力の高い材料とすることを目指して、再生材製造における各プロセスの最適化を目指した実証を行った。

### 2 事業概要

本事業では、PP 部品の再生材プロセスを「PP 部品取外し工程」、「PP 部品運搬工程」、「破砕・洗浄工程」、「再生樹脂製造工程」の 4 つのプロセスに分けて検証を行った。

PP 部品取外し工程では、作業工数の低減を目指して PP 部品の回収に特化した回収マニュアルを作成したほか、昨年度に特に異物除去や作業工数の負担が課題となったバンパーに着目し、小異物（クリップやビス等）除去工程と補修パテ除去工程の省略可能性を検討した。また、破砕後の選別機による選別も視野に入れ、バンパーに含まれる異物の分析および有効な選別方法についても検討した。

PP 部品運搬工程では、破砕設備の導入が困難な中小事業者向けに、減容によって運搬コストを低減する移動式破砕機の有効性を検討した。

破砕・洗浄工程では、異物除去工程の簡素化を目指して、小異物の混入に耐え得る新型粉砕機の有効性を検討した。また、新たな破砕ラインでの処理速度の向上による処理単価の低減も試算した。

再生樹脂製造工程では、物性向上と低コスト化を目指して、回収 PP 材との混合材に多様なリサイクル材を用いた新規 PP グレードの製造を行った。昨年度と異なり新規グレードも多用途向けで試作したほか、自動車メーカー 4 社による製品評価も行った。

### 3 各プロセスでのコスト削減効果

本事業で達成した工程別のコスト削減効果および要因を図表 1 に示す。なお、再生樹脂製造工程の加工費は、昨年度と同様に「アンダーカバー向けグレード」を製造した際の費用である。

PP 部品取外し工程では、小異物除去工程が省略されたことにより、コスト削減が達成できた。PP 部品運搬工程では、移動式破砕機の有効性を示したが、昨年度に示した解体済自動車輸送便活用の効果が大きいことから、昨年度からのコスト削減効果は考慮しなかった。破砕・洗浄工程では、パテ除去工程省略による前処理費用の低減とともに、処理速度向上による人件費削減および電力料金等の効率化が達成でき、コスト削減が達成できた。再生樹脂製造工程では、再生樹脂製造工程の見直しおよび回収バンパー材の使用比率向上によって、劇的なコスト削減が達成できた。

図表 1 昨年度事業と本年度事業のコスト比較

工程	昨年度事業 コスト	本年度事業 コスト	要因
PP 部品取外し工程	23.8 円/kg <sup>*1</sup>	15.1 円/kg	小異物除去工程の省略
PP 部品運搬工程	0 円/kg	0 円/kg	昨年度示した「ついで便」活用を想定
破砕・洗浄工程 <sup>*2</sup>	41.8 円/kg	33.6 円/kg	パテ除去工程削減 <sup>*3</sup> 、 破砕速度向上、電力の効率化
再生樹脂製造工程 <sup>*4</sup>	194 円/kg	約 80 円/kg	再生樹脂製造工程の見直し、 バンパー材使用比率向上、等

\*1: 昨年度のフローを、本年度に再計算（1次解体を昨年度と同様にフォークリフトで25秒と仮定）

\*2: 設備の減価償却費を含まない価格で比較

\*3: PP 部品回収時の作業だが、昨年度は破砕前に実施したため、破砕・粉砕費から控除

\*4: 再生材の価格はバンパー材使用比率により変動するため、4工程の合計値が価格になるわけではない。

### 4 再生材グレードの物性評価

回収したバンパー材や内装材を用いて、本事業では 4 種類 6 パターンの試作品を製造した。いそので設定した目標物性を目指して設計を行ったが、当初予定していたバージン材を使用せず、リサイクル材のみで目標物性を達成することに成功した。

製造した新規グレードを自動車メーカー4社に評価依頼したところ、すべてのグレードで検討可能との評価であった。昨年度製造したアンダーカバー向けグレードについても、低コスト化を達成しながらも検討可能との評価であった（図表 2 参照）ため、今後各自動車メーカーと物性調整を進めることで、製品化に繋げられる可能性が示された。

図表 2 アンダーカバー向けグレード「3R-D」の自動車メーカーの評価

【推奨用途】アンダーカバー、ステップガード

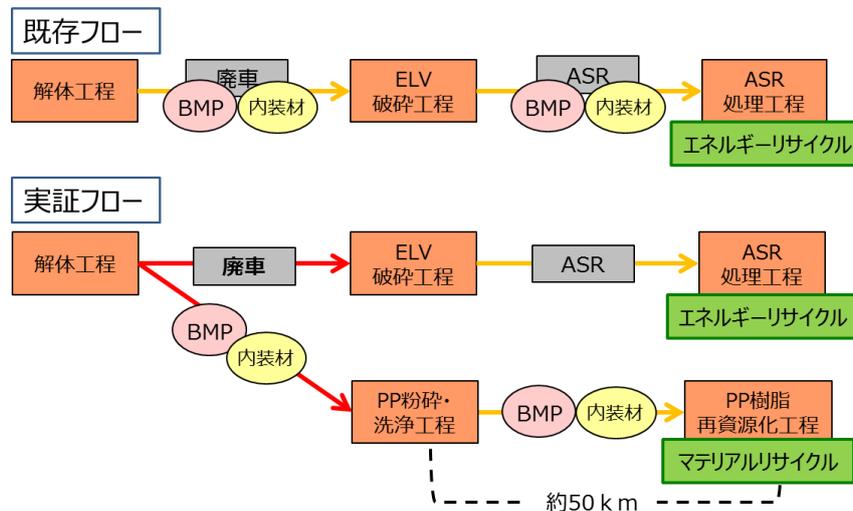
【基本グレード】PP+エラストマー+T20%

3R-D	評価項目											検討可否	
	メルトフローレート	シャルピー衝撃強さ	引張降伏強さ	引張破壊ひずみ	曲げ強さ	曲げ弾性率	ロックウェル硬さ	荷重たわみ温度	比重	製品外観	コスト		
A社	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	要検討	○	可
B社	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	可
C社	◎	△	△	-	×	◎	×	×	×	-	-	-	可
D社	△	○	○	-	○	◎	○	◎	○	○	○	○	可

## 5 CO<sub>2</sub>削減効果

CO<sub>2</sub>削減効果については、図表 3 に示すように ASR としてエネルギーリサイクルされる既存フローと比較することで検証した。

自動車メーカーからのアンケートを基に再生材需要量を 74,000t と推計し、潜在的な CO<sub>2</sub>削減効果を算出したところ、**222,133t**の CO<sub>2</sub>削減効果が見込まれることが分かった。また、本数値は ELV 由来のリサイクル材のみを対象としているが、今回試作したグレードには他のリサイクル材も多数使用しているため、さらなる CO<sub>2</sub>削減効果も見込まれる。



図表 3 ELV 由来 PP 部品の既存/実証フローの比較

① 天然資源（バージン材）の消費抑制効果

$$74,000t \times 1.483tCO_2/PPt = \mathbf{109,742tCO_2}$$

② ASR のガス化溶解量減少による CO<sub>2</sub>削減量

$$74,000t \times 2.393tCO_2/PPt = \mathbf{177,082tCO_2}$$

③ 新たに発生した輸送に伴う CO<sub>2</sub>排出量

$$74,000t \times (5km/t / 3.09km/l \times 0.00258tCO_2/PPt) = \mathbf{311tCO_2}$$

④ マテリアルリサイクル時に発生するエネルギー消費

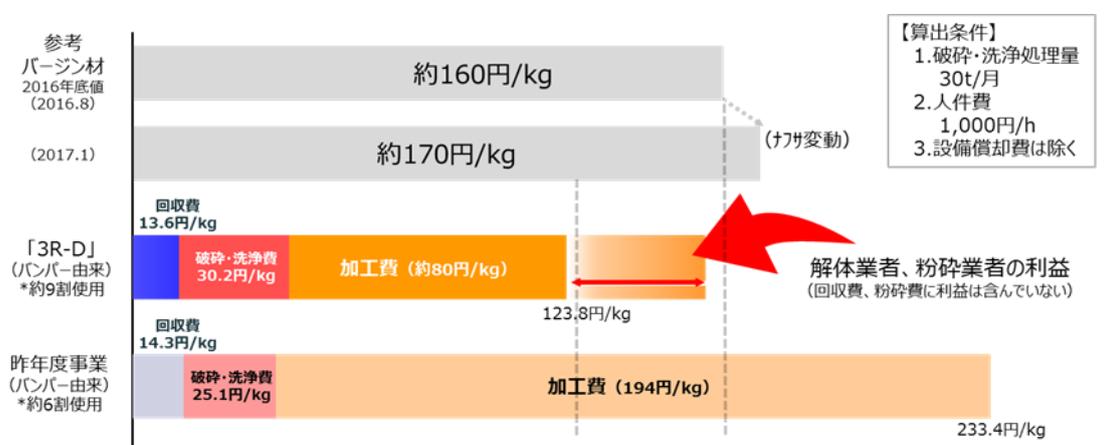
$$74,000t \times (0.148tCO_2/PPt + 0.722tCO_2/PPt) = \mathbf{64,380tCO_2}$$

$$\mathbf{本事業の環境改善効果 = (109,742 + 177,082) - 311 - 64,380 = 222,133tCO_2}$$

## 6 事業実現可能性

アンダーカバー向け材料を試作した際の本年度試作品（「3R-D」グレード）と、バージン材および昨年度試作品とのコスト比較を図表4に示す。なお、バージン材は直近の価格と、市況が著しく低下した2016年の底値も併記している。

回収費、破碎・洗浄費、再生材加工費を積み上げた自動車アンダーカバー向け再生材のコストは、123.8円/kgとバージン材に対して価格競争力を持つ価格であることが分かった。回収費、破碎・洗浄費には実施事業者の利益が含まれていないが、利益を考慮してもバージン材より安価で製造できる可能性があり、今後の事業化可能性が示された。



図表4 バージン材および昨年度事業試作品とのコスト比較(アンダーカバー向け材料)

## 7 本事業の成果と課題

本事業では工程ごとの最適化を図ったが、各工程での低コスト化によって、市況によって低下したバージン材と比較しても、価格競争力を持つ材料が製造可能なことが示された。そうした中で、今後の課題としては以下が挙げられる。

PP 部品取外し工程では、二次解体工程省略の可能性を示したが、今後は通常の運用の中で後工程に長期的にも異常を与えないかを確認する必要がある。PP 部品運搬工程では、移動式破碎機の有効性を示したが、今後は移動式破碎機の運用主体や、回収ネットワークの構築が課題となる。破碎・洗浄工程では、日本シーム製のハイス鋼を用いた粉碎ラインによって、小異物除去が不要となる可能性を示したが、こちらも今後の運用を通じて後工程への長期的な影響を確認する必要がある。最後に再生樹脂製造工程では、大幅な低コスト化と、ELV に留まらない再生材を用いたグレードの有効性を示した。今後は各自動車メーカーとの物性調整によって、製品化に向けて検討を進めることが重要となる。

## **Overview of this project**

### **1. Objective of the project**

A lot of parts containing polypropylene (PP) are used for automobiles and there is the possibility of using resources effectively and reducing automobile shredder residue (ASR) by material recycling. The existing automobile recycling scheme, however, has few examples where PP parts are collected from vehicles for recycling because it takes a lot of effort, time, and cost to remove PP parts, remove foreign objects from them, and transport the resultant materials. A majority of PP parts are discharged as ASR and recycled as calorific energy.

Against this background, Isono Co., Ltd. created a collection scheme using crushing businesses as collection bases in the “low-carbon 3R technology/system demonstration project” in 2015, which was the “Creation of an automobile resin part recycling scheme through cooperation between arteries and vessels”, demonstrating that transportation costs can be substantially reduced by using scrapped automobiles and PP parts together.

However, processing before crushing, processing of crushing and cleaning, and production of recycled resin after collection have a lot of problems that are yet to be solved. Actually, the price of a prototype using bumpers from automobiles finished with last year has been found to be inferior in terms of price competitiveness to virgin materials for which market conditions were declining.

In this project, therefore, the demonstration is aimed at optimizing each process of recycled material production in a bid to produce materials with higher price competitiveness than virgin materials.

### **2. Outline of the project**

This project divided the recycled material process of PP parts into four processes for verification: “PP parts removal process”, “PP parts transportation process”, “crushing and cleaning process”, and “recycled resin production process”.

For the PP parts removal process, a collection manual specializing in collection of PP parts was prepared aiming at cutting back on the number of man-hours. In addition, focusing on bumpers that were found last year to have load problems upon removal of foreign objects and man-hours, the possibility of omitting a small foreign object (such as clips and screws) removal process and repairing putty removal process was considered. Bringing selection with a selector after crushing into view, effective methods of analyzing and selecting foreign objects contained in bumpers were also studied.

For the PP parts transportation process, the effectiveness of a mobile crusher was considered so that the transportation cost could be reduced through volume reduction for small- and medium-sized businesses that had difficulties introducing crushing equipment.

The effectiveness of a new crusher that can withstand mixing of small foreign objects was studied for the crushing and cleaning process with an eye to simplifying the foreign object removal process. In addition, the reduction on the unit price of processing by improving the processing speed on the crushing

line was also calculated.

For the recycled resin production process, a new PP grade using various recycled materials for an admixture with recycled PP materials was produced, aiming at improving the physical property and lowering the cost. Unlike last year, the new grade was experimentally produced for various modes of usage and was also evaluated by four automobile manufacturers.

### 3. Cost reduction effect of each process

Figure 1 shows the cost reduction effects achieved in the respective processes of this project and other factors. The processing cost of the recycled resin production process was the cost of producing “grade for undercover”, like the year before.

In the PP parts removal process, cost reduction could be achieved by omission of the small foreign object removal process. The effectiveness of a mobile crusher was demonstrated by the PP parts transportation process. Because the effect of using a service for transporting scrapped automobiles, which was indicated last year, was large, however, the cost reduction effect from the year earlier was not considered. In the crushing and cleaning process, the preprocessing cost could be reduced by omission of the putty removal process, and the labor cost and electric charge could be brought down by improving the processing speed, lowering the total cost. In the recycled resin production process, a dramatic cost reduction could be achieved by reviewing the recycle resin production process and improving the usage ratio of collected bumper materials.

Figure 1 Project cost comparison between last year and this year

Process	Cost of last year's project	Cost of this year's project	Factor
PP parts removal process	23.8 yen/kg*1	15.1 yen/kg	Omission of small foreign object removal process
PP parts transportation process	0 yen/kg	0 yen/kg	“Incidental delivery service” proposed last year assumed to be used
Crushing & cleaning process*2	41.8 yen/kg	33.6 yen/kg	Putty removal process reduction*3, crushing speed improvement, efficient use of electric power
Recycled resin production process*4	194 yen/kg	About 80 yen/kg	Review of recycled resin production process, improvement of usage ratio of bumper materials, etc.

\*1: The flow of last year was recalculated this year (It was assumed that a forklift would be used for primary dismantling which would take 25 seconds, in the same way as last year.)

\*2: Comparison excluding the depreciation of the equipment

\*3: The cost of this process, which is performed when PP parts are gathered, was deducted from the crushing/demolishing cost last year because it was carried out before crushing.

\*4: The price of recycled materials is not the total of the values of the four processes because it fluctuates depending on the bumper material usage ratio.

#### 4. Evaluation of physical property of recycled material grade

In this project, four types and six patterns of prototypes were produced using collected bumpers and interior materials. Designing was performed aiming at the target physical property set by Isono. The target physical property was successfully achieved by recycled materials only, without the virgin materials that were originally planned to be used.

Four automobile manufacturers, which were requested to evaluate the produced new grades, responded that a study could be conducted with all the grades. The grade for undercover produced last year was also evaluated, and a study could be conducted while lowering the cost (see Figure 2). Therefore, the possibility was indicated that products could be made with these grades by promoting physical property adjustment with the automobile manufacturers in the future.

Figure 2 Evaluation by automobile manufacturer of grade for undercover “3R-D”

3R-D	[Recommended usage] Undercover, step guard [Basic grade] PP + Elastomer + 20% talc											Possibility of examination
	Item of evaluation											
	Melt flow rate	Charpy impact strength	Tensile yield strength	Tensile elongation at break	Bending strength	Bend elastic modulus	Rockwell hardness	Heat distortion temperature	Specific weight	Product appearance	Cost	
Company A	△	○	○	○	○	○	○	○	○	Examination required	○	Possible
Company B	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	Possible
Company C	◎	△	△	—	×	◎	×	×	×	—	—	Possible
Company D	△	○	○	—	○	◎	○	◎	○	○	○	Possible

#### 5. CO2 reduction effect

The effect of CO2 reduction was verified by comparing an existing flow of energy recycling as ASR (Automobile Shredder Residue) as shown in Figure 3.

Demand for recycled materials was estimated at 74,000t based on questionnaires sent to automobile manufacturers and the potential CO2 reduction effect was calculated. As a result, it was found that a CO2 reduction effect of **222,133t** could be expected. This value applies only to recycled materials derived from ELV. Because the grades experimentally produced this time use many other recycled materials, a higher CO2 reduction effect may be expected.

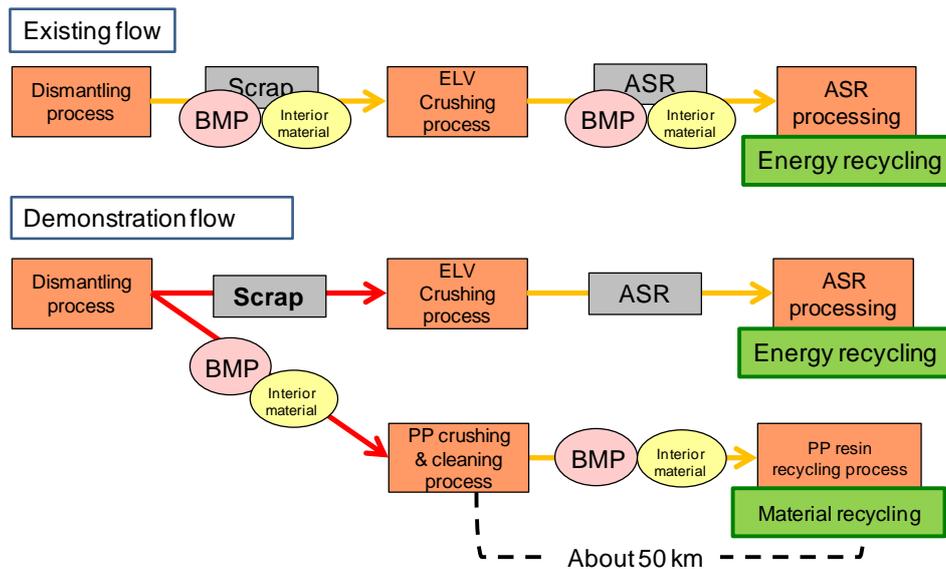


Figure 3 Comparison of existing and substantiated flows of PP parts derived from ELV

(1) Effect of suppression of consumption of natural resources (virgin materials)

$$74,000t \times 1.483tCO_2/PPt = \underline{109,742tCO_2}$$

(2) Reduction of CO<sub>2</sub> by decrease in ASR through gasification or dissolution

$$74,000t \times 2.393tCO_2/PPt = \underline{177,082tCO_2}$$

(3) CO<sub>2</sub> emissions caused by new transportation

$$74,000t \times (5km/t/3.09km/l \times 0.00258tCO_2/PPt) = \underline{311tCO_2}$$

(4) Energy consumed by material recycling

$$74,000t \times (0.148tCO_2/PPt + 0.722tCO_2/PPt) = \underline{64,380tCO_2}$$

$$\underline{\text{Environment improvement effect of this project}} = (109,742+177,082) - 311 - 64,380 = \underline{222,133tCO_2}$$

## 6. Feasibility of the project

Figure 4 compares the costs of this year's project when materials for undercover were experimentally produced ("3R-D" grade") and the costs of virgin materials and the prototypes of last year. Note that the recent prices of virgin materials, as well as their lowest price in 2016 when the market conditions substantially deteriorated, are shown.

It has been found that the cost of the recycled materials for automobile undercovers for which collection cost, crushing & cleaning cost, and recycled material processing cost are included can compete with virgin materials, at 123.8 yen/kg. The profits of operators are not included in the collection cost and crushing & cleaning cost. However, the cost of the recycled materials is lower than virgin materials even when profits are taken into account, demonstrating the feasibility of the project.

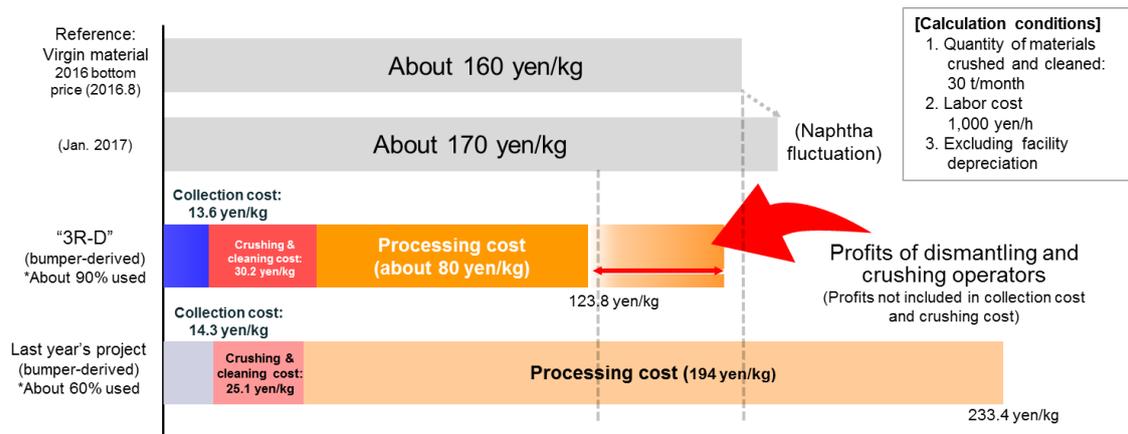


Figure 4 Comparison of cost between virgin materials and prototypes produced by a project from last year (materials for undercovers)

## 7. Results and problems of this project

In this project, an attempt was made to optimize processes. As a result of cost reductions in each process, it was demonstrated that materials that can compete in price with virgin materials whose price had fallen because of market conditions could be produced. As problems yet to be solved, the following can be cited:

The PP parts removal process indicated the possibility of being able to omit the secondary dismantling process. However, it should be ascertained that that will not affect the post-process over a long time during ordinary operation. The PP parts transportation process showed the effectiveness of a mobile crusher, but the problem is who will operate the mobile crusher and how to create a collection network. The crushing and cleaning process indicated the possibility that a crushing line using high-speed steel manufactured by Nippon-Seam could eliminate the need for removal of small foreign objects and the long-term effect on the post-process of this should also be ascertained. Finally, the recycled resin production process demonstrated the effectiveness of grades using recycled materials including ELV. In the future, it will be important to conduct a study toward making products through physical property adjustments with automobile manufacturers.

## 目次

1	事業の目的と事業体制・事業内容	1
1-1	事業の目的	1
1-2	実施体制	2
1-3	本事業における検討内容	3
1-4	事業スケジュール	5
2	PP 部品取外し工程の検討	6
2-1	既存の研究・実証成果	6
2-2	回収マニュアルの作成	10
2-3	二次解体における作業工程の省略	11
2-3-1	バンパー二次解体作業の再検討	11
2-3-2	作業工程省略により期待される工数削減効果	15
2-3-3	小異物除去工程省略の可能性	17
2-3-4	パテ除去工程省略の可能性	19
2-4	最適な選別方法の検討	22
2-4-1	バンパーに含まれる異物の分析	22
2-4-2	バンパーに対する最適な選別方法の検討	24
2-4-3	静電分離試験の結果	25
3	PP 部品運搬工程の検討	29
3-1	既存の研究・実証成果	29
3-2	移動式破砕機の実証試験	31
3-3	移動式破砕機の試験結果	32
3-4	移動式破砕機の経済性の試算	33
3-4-1	移動式破砕機試算の前提	33
3-4-2	移動式破砕機の利用モデル	34
3-4-3	移動式破砕機の試算	35
3-5	移動式破砕機破砕機の課題	37
3-5-1	設備の課題	37
3-5-2	運用の課題	39
3-6	PP 部品運搬工程のまとめ	39
4	破碎・洗浄工程の検討	40
4-1	本事業で検討した粉碎ライン	40
4-2	異物混入試験	41
4-3	ハイス鋼採用によるコストへの影響	45

4-4	破砕速度向上による事業性への影響	46
4-5	破砕・洗浄工程のまとめ	47
5	再生樹脂製造工程の検討	48
5-1	本事業で製造した試作品	48
5-2	本事業で製造した試作品の物性とコスト	50
5-3	本事業で製造した試作品の評価	51
5-4	さらなる低コスト化に向けた施策	53
5-5	再生樹脂製造工程のまとめ	54
6	環境負荷低減効果の検証	55
6-1	CO2 排出削減効果の評価	55
6-1-1	評価対象物の機能単位と評価対象	55
6-1-2	評価範囲と比較対象（ベースライン）	56
6-1-3	評価方法と排出原単位	57
6-1-4	評価結果	60
6-2	循環型社会への貢献効果	62
6-2-1	評価範囲と比較対象	62
6-2-2	評価方法と評価結果	62
7	事業の実現可能性評価	63
7-1	技術的観点からの評価	63
7-2	経済的観点からの評価方法	64
7-2-1	解体業者からの買取コスト	64
7-2-2	PP 部品破砕・洗浄処理コスト	65
7-2-3	再生材の製造コスト	66
7-2-4	昨年度事業およびバージン材との価格比較	66
8	まとめ	68
	<添付資料>	69

# 1 事業の目的と事業体制・事業内容

## 1-1 事業の目的

自動車には、フロントバンパーやリアバンパーといった外装部品、各種トリム、コンソール、インストルメントパネル（以下、「インパネ」）等の内装部品にポリプロピレン（PP）が使用されており、マテリアルリサイクルによって資源の有効活用や ASR の削減を達成できる可能性がある。

しかし、既存の自動車リサイクルスキームでは、こうした PP が使用された部品（以下、「PP 部品」）の自動車からの取外しや異物除去等の作業負担、運搬コスト等から、マテリアルリサイクルを目的とした回収・販売が実施されている例は少なく、大半は ASR として排出され、熱量として燃焼時にエネルギーリサイクルされている。

こうした中、いその株式会社では平成 27 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業「動静脈の連携による自動車樹脂部品リサイクルスキームの構築」（以下、「平成 27 年度いその事業」）において、破砕業者を集荷拠点とした回収スキームを構築し、解体済自動車と PP 部品の混載により大幅な運搬コストの削減を達成できることを示した。

一方で、回収後の破砕前処理、破砕・洗浄処理、再生樹脂の製造ではいくつかの課題を残している。実際に、図 1-1 に示すように、昨年度に使用済自動車（ELV: End of Life Vehicle）由来のバンパーを原料として試作した自動車用アンダーカバー向けグレードでは、市況の低下したバージン材と比べて、47.1 円/kg～59.1 円/kg ほど価格競争力に劣る結果であることが分かった。

再生材がバージン材以上に高コストであれば、その普及が望みにくく、PP 部品のリサイクルの促進が妨げられる可能性が高い。そのため、本事業では、再生材をバージン材よりも価格競争力の高い材料とすることを目指して、再生材製造における各プロセスの最適化を行い、PP マテリアル促進に向けた事業性の向上を目指した。



図 1-1 平成 27 年度事業におけるバージン材と再生材グレードのコスト比較

出所：平成 27 年度いその事業報告書

## 1-2 実施体制

本事業では、コンパウンドメーカーであるいその株式会社（以下、「いその」）を実施事業主体とし、解体業者、破砕機・選別機メーカー等が連携することで、表 1-1、図 1-1 に示す実施体制を構築した。

表 1-1 本事業の実施体制

会社名	役割
いその株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業実施主体</li> <li>PP 再生材の製造および品質管理</li> </ul>
ウエノテックス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>破砕・洗浄工程における粗破砕方法の検討</li> <li>移動式破砕機の試験実施と評価</li> </ul>
株式会社エコアール	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済自動車からの PP 部品を回収方法の検討</li> <li>破砕機メーカーと連携した PP 部品の破砕・粉砕業務の検討</li> </ul>
エコメビウス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証事業における監督業務、指導、助言等</li> </ul>
株式会社河村自動車工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>山梨県カーリサイクル協同組合での PP 部品の回収</li> <li>PP 破砕・粉砕業務の検討</li> <li>破砕機メーカーと連携した移動式破砕機の検討</li> </ul>
協和産業株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>回収した樹脂破砕材からの異素材の選別業務</li> <li>最適な選別フローの検討</li> </ul>
日本シーム株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>破砕・洗浄工程における粉砕・洗浄方法の検討</li> <li>異物混入に耐える粉砕設備の検討</li> </ul>
本田技研工業株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証事業におけるアドバイザー業務</li> </ul>
株式会社矢野経済研究所	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証事業の統括および取りまとめ業務</li> <li>報告書等の作成</li> </ul>

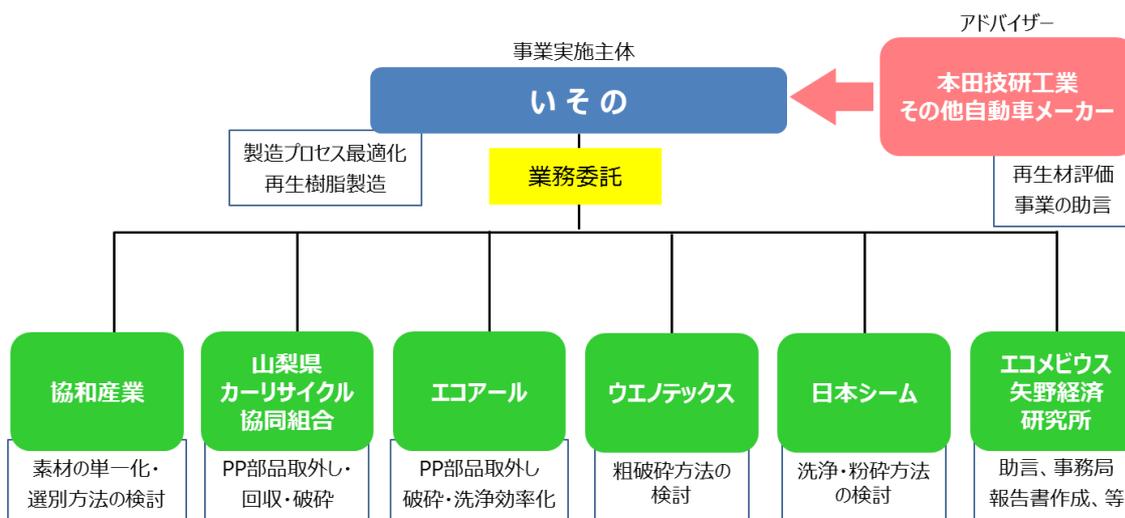


図 1-2 本事業の実施体制図

### 1-3 本事業における検討内容

本事業では、自動車からの PP 部品取外しから再生材の製造・用途検討まで、工程ごとに検証項目を設定し、各工程の最適な処理方法および課題解決の施策を検討した。検証を実施する工程としては、①PP 部品取外し工程、②PP 部品運搬工程、③破碎・洗浄工程、④再生樹脂製造工程の 4 つに分類した。

各工程の検証項目は表 1-2 および以下の通りである。

表 1-2 本事業の検証工程と各工程における検証項目

工程	検証・実施項目
PP 部品取外し工程	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 解体業者の視点を加味した回収マニュアルの作成</li><li>・ PP 部品（バンパー）取外し工程簡素化の検討</li><li>・ バンパーに付着する異物分析と最適な選別工程の検討</li></ul>
PP 部品運搬工程	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 移動式破碎機の有効性の検討</li></ul>
破碎・洗浄工程	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 異物混入に耐える粉碎設備の検討</li><li>・ 新規粉碎ラインの処理速度向上に伴う事業性の検討</li></ul>
再生樹脂製造工程	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 低コストで物性の高い新規 PP グレードの開発</li><li>・ 自動車メーカーによる再生材グレードの評価</li></ul>

#### ① PP 部品取外し工程

PP部品の車両からの取外しや異物除去には大きな工数が発生しており、コンパウンドメーカーであるいそのの知見だけでは最適な解体プロセスの設計が困難である。そこで複数の解体業者の協力を得て、PP部品の回収に特化した回収マニュアルを作成し、解体作業の最適化を目指した。

また、本事業では昨年度に特に異物除去や作業工数の負担が課題となったバンパーに着目し、異物除去工程の工数削減を目指して、図1-3に示す小異物（小さな金属等）の除去工程と補修パテ除去工程の省略可能性を検討した。

さらに、異物除去は破碎前の手選別だけではなく、破碎後の選別機による選別も視野に入れ、バンパーに含まれる異物の分析および有効な選別方法についても検討した。



図 1-3 バンパーに付着している金属の例

## **② PP部品運搬工程**

平成27年度いその事業では、解体済自動車輸送便（「ついで便」）を活用することで輸送の効率化を達成したが、本事業では解体組合を基盤とした回収スキームを構築し、全国展開に向けた新たな選択肢を提示することを目的とする。そこで、本事業ではトラックに破碎設備を搭載した、移動式破碎機の有効性を検討した。

## **③ 破碎・洗浄工程**

破碎前処理での異物除去工程簡素化を目指して、バンパーに付着するクリップやビス等、5mm以下程度の金属（図1-3参照）が付着したまま破碎機への投入を試み、破碎ライン内の磁力選別によって破碎後の金属回収を行うラインの有効性を検討した。

また、新たな破碎ラインでは処理速度の向上も目的としており、昨年度と比較して処理速度向上によって得られるコスト低減効果を試算した。

## **④ 再生樹脂製造工程**

平成27年度いその事業で課題となった物性向上と低コスト化を目標に、回収PP材と混合する材料に多様なリサイクル材を用いることで、これまでにないPPグレードの開発を目指した。具体的には「家電リサイクルにおいて家電メーカーが使用不可のPP材」、「コンテナやパレット由来PP材」、「ASRから抽出したPP材」、「容器リサイクルで得られたPP材」を、回収PP材と混合することで、低コスト化とリサイクル材の新たな用途開拓を目指したPPグレードを製造した。これらのリサイクル材は、従来では用途が限られた材料であり、ELV由来の回収材の利用促進とともにこれらのリサイクル材の需要開拓が図れれば、自動車に留まらないPP材のリサイクル促進に繋がると考える。

なお、新規グレードの使用用途としては、平成27年度の自動車向け「アンダーカバー」向けに留まらず、「トランクボード」や「ツールボックス」向け等の複数グレードを試作し、複数の自動車メーカーによる品質・コスト評価を実施した。



## 2 PP 部品取外し工程の検討

### 2-1 既存の研究・実証成果

PP 部品の回収に関する実証事業はこれまでも行われており、本事業と同様に PP 部品の取外し工数が、マテリアルリサイクル促進を妨げる要因として問題視されてきた。PP 部品取外しに関する作業負荷は、解体業者から成形材もしくは破砕材として購入する際の原材料価格の高騰、作業負荷を嫌う解体業者が増加することによる回収量の低減といった、PP 部品のマテリアルリサイクルの根幹を揺るがす事態に繋がるためである。

こうした観点から、既存事業では現状把握を目的として、取外し時間の計測等が行われている。内装部品については計測対象が多岐にわたるため計測事例が少ないが、バンパー取外し時間の計測を実施した主な事業としては、本事業の前身にあたる平成 27 年度いその事業のほか、環境省「平成 26 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業」の一環として行われた日本 ELV リサイクル機構（以下、「JAERA」）「自動車又は自動車部品に含有されるレアメタル等有用金属、ガラス、プラスチックの事前選別、高度選別等によるリサイクルの促進」（以下、「平成 26 年度 JAERA 事業」）、環境省「平成 27 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業」の一環として行われた、三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング（以下、「MURC」）「自動車リサイクルの全体最適化を念頭においた解体プロセスの高度化実証事業」（以下、「平成 27 年度 MURC 事業」）が挙げられる。

以下に各報告書で記録された作業負荷（取外し時間）を紹介する。なお、本事業では車両からの PP 部品取外しを一次解体、PP 部品からの異物除去を二次解体として記載する。

#### ■ 平成 26 年度 JAERA 事業

表 2-1 に本事業で計測されたバンパー（リア・フロント双方）と内装品（ドア内張り、ダッシュボード）の計測結果を示す。バンパーで 218 秒～543 秒、内装品で 314 秒～495 秒という結果としている。

表 2-1 平成 26 年度 JAERA 事業の計測結果

車種	部品	作業時間（秒）			PP重量 (kg)
		一次解体	二次解体	合計	
ニッサン	バンパー	90	128	218	4.6
マーチ	内装材	255	240	495	5.5
マツダ	バンパー	40	503	543	7.4
ホンダ	内装材	280	180	460	5.7
スズキ	バンパー	30	270	300	5.2
アルト	内装材	194	120	314	3.6
トヨタ	バンパー	45	240	285	8.2
プログレ	内装材	-	-	-	-

出所：平成 26 年度 JAERA 事業

\* トヨタプログレはドア内張りが PP ではなかったため、回収はなし

## ■ 平成 27 年度いその事業

表 2-2 に本事業で計測されたバンパーの計測時間を示す。本事業では車格の異なるホンダの 4 車種について計測を行っており、すべてバンパーであるもののリアとフロントで分けて計測している。結果としてバンパー1本あたり 125 秒～318 秒、1 台当たりになると 485 秒～493 秒であった。

表 2-2 平成 27 年度いその事業の計測結果

車種	部品	作業時間 (秒)			PP重量 (kg)
		一次解体	二次解体	合計	
ホンダ フィット	Rバンパー	25	150	175	3.5
	Fバンパー	25	293	318	3.9
ホンダ モビリオスパイク	Rバンパー	27	273	300	4
	Fバンパー	25	160	185	3.9
ホンダ セイバー	Rバンパー	25	100	125	4.95
	Fバンパー	25	-	-	-
ホンダ オデッセイ	Rバンパー	25	-	-	-
	Fバンパー	25	-	-	-

出所：平成 26 年度 JAERA 事業

\* R バンパー：リアバンパー、F バンパー：フロントバンパー

\* オデッセイは異物除去が困難と判断し、一次解体までしか計測していない

## ■ 平成 27 年度 MURC 事業

表 2-3 に本事業で計測されたバンパーの計測時間を示す。本事業では 10 車種 42 台での計測記録が確認できる。フロントバンパーのみであるが、1 本あたり 125 秒～965 秒での回収が可能とされている。

表 2-3 平成 27 年度 MURC 事業の計測結果

車種	部品	作業時間 (秒)			車種	部品	作業時間 (秒)			
		一次解体	二次解体	合計			一次解体	二次解体	合計	
クラウン	Fバンパー	77	181	258	キューブ	Fバンパー	132	170	302	
	Fバンパー	180	165	345		Fバンパー	110	119	229	
	Fバンパー	195	310	505		Fバンパー	117	51	168	
	Fバンパー	78	247	325		Fバンパー	335	116	451	
オデッセイ	Fバンパー	29	162	191	Fバンパー	Fバンパー	54	240	294	
	Fバンパー	208	533	741		デミオ	Fバンパー	80	45	125
	Fバンパー	292	233	525		Fバンパー	140	41	181	
	Fバンパー	321	644	965		Fバンパー	305	45	350	
フィット	Fバンパー	52	465	517	Fバンパー	192	75	267		
	Fバンパー	52	365	417	Fバンパー	75	103	178		
	Fバンパー	70	207	277	マーチ	Fバンパー	221	177	398	
	Fバンパー	192	151	343		Fバンパー	178	156	334	
Fバンパー	158	281	439	Fバンパー		101	116	217		
Fバンパー	69	760	829	Fバンパー		256	207	463		
ヴェッツ	Fバンパー	167	58	225	Fバンパー	Fバンパー	688	120	808	
	Fバンパー	130	155	285		ムーブ	Fバンパー	83	112	195
	Fバンパー	111	213	324		Fバンパー	88	46	134	
ステップワゴン	Fバンパー	347	54	401	Fバンパー	119	193	312		
	Fバンパー	201	190	391	Fバンパー	188	226	414		
	Fバンパー	169	161	330	ワゴンR	Fバンパー	15	126	141	
					Fバンパー	54	134	188		
					Fバンパー	144	299	443		
					Fバンパー	46	183	229		

出所：平成 27 年度 MURC 事業

\* F バンパー：フロントバンパー

## ■ 既存事業の結果整理

これらの実証結果を集計し、バンパー1本あたりの取外し作業時間を分布させたのが図2-1である。なお、車両1台当たり（リアとフロントの合計）で計測した平成26年度JAERA事業については、計測時間を半分にする事で1本当たりの時間を導出している。

計測時間については、各事業で計測方法が統一されていないこと、二次解体の工程が異なる（パテ確認作業の有無等）こと等が考えられるため目安としての提示とするが、二次解体を含めて350秒以下で74%以上のバンパーが回収可能としている。一方、最も時間を要したケースでは965秒の事例もあり、車種やモデル等で大きな差があることも分かる。

人件費を1,000円/hと仮定して、作業コストを算出したのが図2-2である。その結果、最も短時間で回収できた場合でも作業コストは28.1円/本である。バンパーは概ね3kg/本程度であるが、現状の市場では15~30円/kg（45円~90円/本）程度で取引されることが多い。そのため、取引条件が良ければ350秒以下の74%のケースで採算に合うが、取引条件が悪ければ150秒以下の16%程度のバンパーしか回収されないことになる。さらに、図2-2では単純な作業コストしか見ていないため、解体業者の収益分を上乗せすると、現時点の回収工数ではバンパーは回収しない方が良いと判断される可能性が高い。

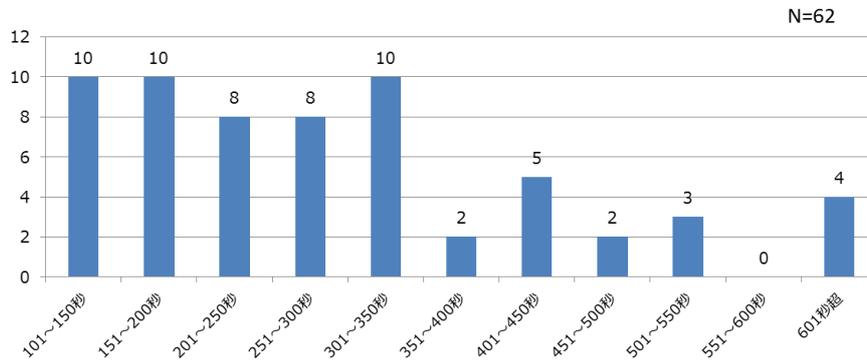


図 2-1 過去事業で検証されたバンパー1本当たりの取外し時間の分布

出所：平成26年度JAERA事業、平成27年度いその事業、平成27年度MURC事業

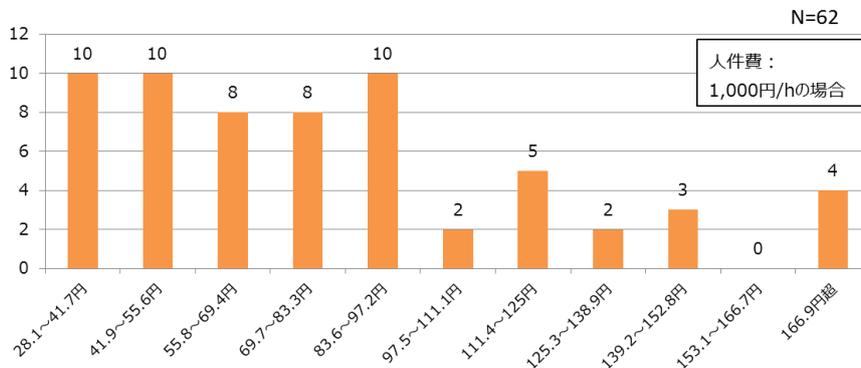


図 2-2 過去で検証されたバンパー取外し時間のコスト分布（人件費：1,000円/時の場合）

出所：平成26年度JAERA事業、平成27年度いその事業、平成27年度MURC事業より算出

PP 部品の原材料コスト低減および回収量増加のためには、解体業者の負荷低減に繋がる取外し工程の効率化が求められるが、PP 部品回収時間短縮のためには、主に 2 つのアプローチが考えられる。

一つは解体作業の標準化や作業員の習熟によって、PP 部品の回収に要する作業時間を短縮することである。作業員の習熟については経験を重ねることで効率を高めるしか方法はないが、解体作業の標準化については PP 部品の回収マニュアル等を作成することで、効率的な方法の考案および展開が可能となる。実際に平成 26 年度 JAERA 事業では「解体事業所向け作業マニュアル」を作成し、バンパーと内装材の回収方法および結束方法等についてまとめている。また、平成 27 年度いその事業でも、対象となる PP の素材表示や見分け方、破砕材の梱包方法等を記載した「解体マニュアル」を作成している。

双方ともに報告書では詳細が確認できないが、平成 26 年度 JAERA 事業のマニュアルでは、解体業者の視点に立って作成が進められたとみられ、回収対象となる PP 部品が記載されておらず、コンパウンド工程で課題となるポリエチレン (PE) やグラスファイバー等が回収品に混入する可能性がある。一方で、平成 27 年度いその事業のマニュアルは、コンパウンドメーカーであるいそのが作成したマニュアルであることから、対象および対象外の素材については細かく明記しているものの、具体的な解体方法や解体時のポイント等の記載に乏しく、解体業者側の視点が欠けたものであったと考えられる。

二つ目のアプローチは、解体工程自体を簡素化することである。車両からの取外しを行う一次解体では、解体作業の標準化等以外に時間短縮の方法が考えにくい、二次解体ではいくつかの作業工程に削減の可能性がある。

例えばグラインダー等で表面を削って確認されるバンパーの補修パテについては、混入量が少くないため確認作業を省略できる可能性がある。同様にバンパーに関して、ライトや大きな金属類は後の破砕工程で破砕機の故障や刃の摩耗に繋がるため除去の必要があるが、除去に時間を要す細かい異物であれば、そのまま破砕機に投入し、破砕後の選別によって除去できる可能性がある。こうした作業工程の省略に関する実証は、平成 27 年度いその事業でパテ混入の影響が試験されたものの、その結果は十分ではなく、既存事業でも成果が見当たらない。

以上のことから、本事業では解体業者・コンパウンドメーカー双方の視点に立った回収マニュアルの作成、および二次解体における作業工程の省略を目指した実証事業を実施した。

## 2-2 回収マニュアルの作成

本事業では、山梨県カーリサイクル協同組合の協力を得て、約 3.0t の PP 部品回収事業を実施した。PP 部品への異物混入については、破砕機への影響が大きいと、破砕機所有業者は非常に細かく確認を行う傾向にあるが、破砕機を持たず PP 部品の販売のみを行う事業者では、異物混入の許容範囲が分からず、異物除去が不十分となる可能性がある。

そこで、破砕機所有業者である河村自動車工業がマニュアルの作成と各事業者への説明を実施することで、十分に異物除去が行われた PP 部品の回収を目指した。また、本マニュアルをベースとして、各事業者やコンパウンドメーカーであるいそのを初めとした本事業への参画事業者からの意見を取り入れ、回収マニュアルの最終化を図った。

これまでの回収マニュアルは実証事業のためのマニュアルとなり、詳細な内容が公開されていないことから、本事業で作成したマニュアルについては参考資料として本報告書に添付した（図 2-3、P.69 参照）。基礎的な内容も含まれるが、本資料を広く公開・展開することで各事業者の回収部品に沿った資料のカスタマイズや、PP 部品の回収を始める解体業者や関連事業者の事業に資する資料となること期待する。



図 2-3 回収マニュアルのイメージ

## 2-3 二次解体における作業工程の省略

### 2-3-1 バンパー二次解体作業の再検討

PP 部品の二次解体（異物除去）に関しては、コンパウンドメーカー側では、可能な限り異物除去を行うことが品質の向上に繋がるため、解体業者側には最大限事前に異物除去することが求められる。

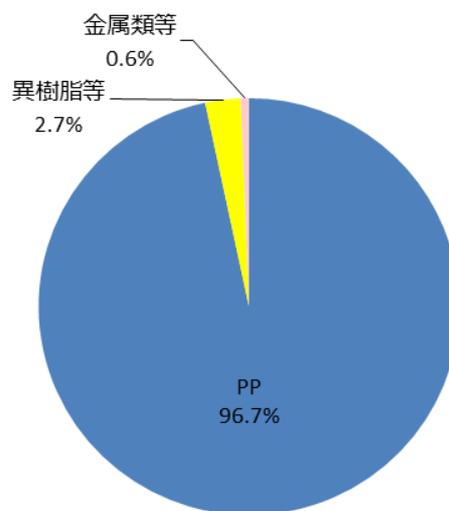
一方で、ELV 由来の PP 部品は、品質を高めてもそのまま使用することが困難な場合が多く、コンパウンドによって物性調整を行うことで再生材として活用される。そのため、過度の異物除去により作業負荷が増大するのであれば、解体業者、コンパウンドメーカーの双方が納得する品質を目指した二次解体工程の簡素化が重要となる。こうした中、本事業では昨年度課題になったバンパーの二次解体工程に着目して作業工程の省略を検討した。

詳細は後述するが、本事業ではバンパーの二次解体工程や選別工程の検討にあたり、バンパーに含まれる異物の分析を行った。エコアールで回収したバンパー50本（約150kg）をサンプルとし、異物除去後のPP破砕材と除去した異物の種類および重量を計測したところ、表2-4に示す結果が得られた。

黄色で色づけたのが押出工程で課題となる異物であり、ABSやゴム等のPP以外の異樹脂が中心である。また、赤で色づけたのが粉砕工程・押出工程の双方で課題となる異物である。粉砕工程では金属類が粉砕機の刃の欠け等の原因となるほか、押出工程でも設備故障の原因等になる。そのため、これらの異物を二次解体工程でどこまで除去するかが検討課題となる。

表 2-4 バンパーに含まれる異物

品名	重量	構成比
異物除去品	148.00 kg	93.3%
PPパーツ大	4.45 kg	2.8%
PPパーツ小	0.85 kg	0.5%
ABS	3.45 kg	2.2%
ビニールテープ	0.05 kg	0.0%
紙		
スポンジテープ		
ゴム・その他	0.80 kg	0.5%
金属クリップ	0.15 kg	0.1%
ビス・ナット	0.25 kg	0.2%
クリップ・ナット付	0.10 kg	0.1%
樹脂クリップ		
金具類	0.20 kg	0.1%
ライト類	0.30 kg	0.2%
合計	158.60 kg	100.0%



出所：協和産業株式会社計測

図 2-4 にバンパーの従来の二次解体工程と本事業で検討する工程の比較を示す。既存フローでは、表 2-4 に示した黄色および赤色の異物を除去するため、精緻な小異物および異樹脂の除去が求められるほか、表 2-4 には示されていないが、押出工程でスクリーン詰まりの原因となる補修パテの確認作業も必要であった。

こうした中、新規フローでは、粉碎・洗浄工程を改良することで小さな金属の粉碎を許容できるようにするほか、パテの確認作業の可否を改めて検討することで、両工程の省略を検討した。なお、異樹脂については、ABS はグリルやエンブレムが主のため大異物除去として概ね除去可能であるほか、シールや紙等が付着しているバンパーも多くない。そのため、ABS 以外のシールや紙については、大異物除去工程に含むものとして考えている。

表 2-5 に各工程の概要、次頁の図 2-5、表 2-6 に PP 部品素材表示の例、図 2-6～図 2-9 に PP 部品に付着している異物の例、図 2-10 にパテ除去工程を示す。

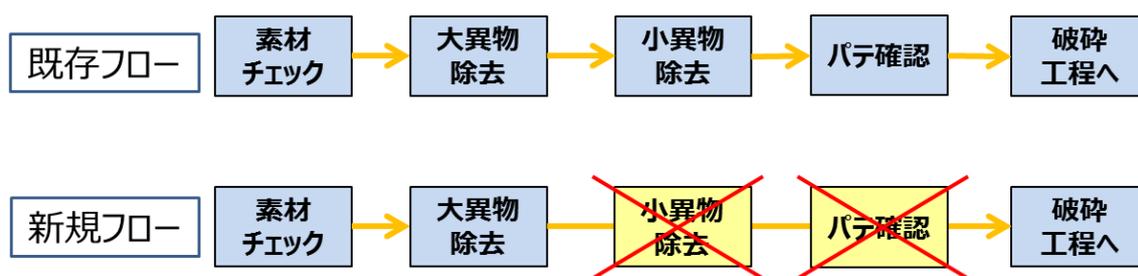


図 2-4 バンパー回収における従来の二次解体工程と本事業で検討する工程

表 2-5 二次解体工程の概要

工程	使用器具	概要
素材確認	ウエス	ウエスで砂や汚れを拭き取ることで、ISO によって PP 部品に必ず記載されている素材表示（図 2-5、表 2-6 参照）を確認する。これにより「GF」や「CF」等の記載がある対象外品は除外する。
大異物除去	グラインダー ドライバー	大きい異物と小さい異物の間に明確な定義はないが、本事業では破碎機の故障や品質低下に繋がるランプ、グリル、エンブレム、モール、スポイラー、クリップ・ビス以外の大きめの金属を大異物と考え、クリップやビス、小さめの金具類は小異物として考える。なお、本事業ではテープや紙も大異物除去工程で除去する（図 2-6～図 2-9 参照）。
小異物除去		
パテ確認	グラインダー	PP 部品（バンパー）の表面をグラインダーで削ることで塗膜を剥がし、塗膜下にある補修パテの有無を確認する（図 2-10 参照）。補修パテが使用されている場合には塗膜下が白くなっているため、こうしたバンパーは除外する（図 2-10 参照）。



図 2-5 PP 部品に刻印されている PP 素材表示

出所：株式会社矢野経済研究所撮影

表 2-6 PP 素材表示例

回収対象		回収対象外	
表示記号	基本組成	表示記号	基本組成
<b>【①単一素材の表記例】</b>			
>PP<	ポリプロピレン	>PP-E<	発泡PP
		>PE<	ポリエチレン
		>TPO<	オレフィン系樹脂
<b>【②異なる樹脂との混合系表記】</b>			
>PP+E/P<	PPとエチレンプロピレン共重合体の混合樹脂		
>PP+PE<	PPとPEの混合樹脂		
>PP+●●<	PPとその他の樹脂の混合樹脂		
<b>【③フィラー強化系の表記例】</b>			
>PP-TD○○<	粉末タルク添加PP	>PP-MD○○<	粉末鉱物添加PP
		>PP-GF○○<	ガラス繊維強化PP
		>PP-CF○○<	炭素繊維強化PP

出所：自動車メーカーおよびその株式会社へのヒアリングから株式会社矢野経済研究所作成

\* 主に PE 製部品と MD、GF、CF をフィラーに用いた素材が回収対象外となる。



図 2-6 バンパーに用いられる大きい異物（ランプ、グリル、エンブレム、補強材等）

出所：株式会社河村自動車工業撮影



図 2-7 バンパーに用いられるシール、テープ、紙、ゴム等（大異物除去工程で除去）  
出所：株式会社河村自動車工業、協和産業株式会社撮影



図 2-8 バンパーに用いられる小さい異物（金具、クリップ類）  
出所：株式会社河村自動車工業撮影



図 2-9 内装部品に用いられる異物（クッション材、各種金具）  
出所：株式会社河村自動車工業撮影



図 2-10 パテ除去作業工程（左）と確認後のバンパー（中）、パテ使用品（右）  
出所：株式会社矢野経済研究所撮影

### 2-3-2 作業工程省略により期待される工数削減効果

本事業では、昨年度事業で課題となったバンパー、特に異物の多いフロントバンパーに注目し、エコアールで実施した 27 車両のフロントバンパー回収の時間を測定することで工数削減効果を検証した。

結果として、ニブラを用いた一次解体は 7 秒程度で完了する一方で、二次解体には平均 232.3 秒もの時間を要することが分かった。なお、パテ除去工程については、実施した車両と実施していない車両があるため単純な合算はできないが、パテの確認を行えばこれに約 50 秒もの時間が追加されることになる。

各工程別の平均時間を算出すると、大異物除去（素材確認含む）は 156.4 秒、小異物除去は 76.0 秒、パテ除去には 50.1 秒の時間がかかることが分かった。各フローの処理時間を示したのが図 2-11 である。

この計測時間を基に時給 1,000 円/h と仮定して、コスト試算したのが表 2-7 である。

既存フローではパテ除去を含めて総計で 289.5 秒、26.8 円/kg 発生していたコストが、2 工程の省略によって 15.1 円/kg まで削減できることが分かった。

なお、各車両の詳細な時間測定結果については、表 2-8 に示す。

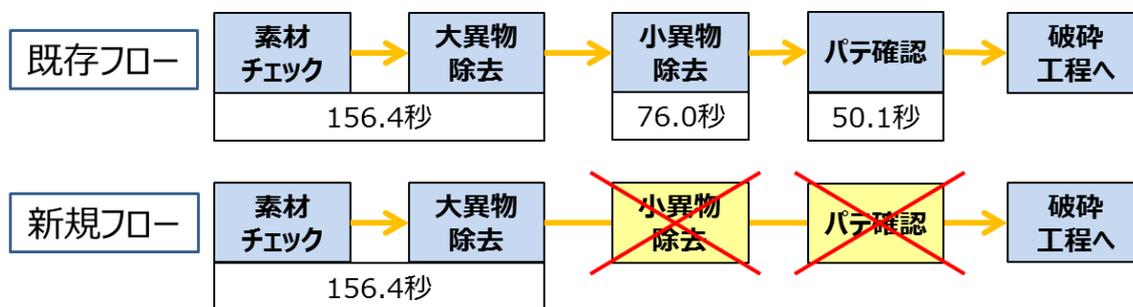


図 2-11 従来のバンパー二次解体工程と本事業で作業工程を省略した工程の時間差

出所：株式会社矢野経済研究所作成

表 2-7 工数削減によるコスト削減効果（人件費：1,000 円/h、バンパー3kg/本の場合）

		一次解体 (ニブラ)	二次解体				総計	kg単価 (3kg/本)
			大異物	小異物	パテ	合計		
既存フロー	時間 (秒)	7	156.4	76.0	50.1	282.5	289.5	-
	コスト (円)	1.9	43.4	21.1	13.9	78.5	80.4	<b>26.8 円/kg</b>
新規フロー	時間 (秒)	7	156.4	-	-	156.4	163.4	-
	コスト (円)	1.9	43.4	-	-	43.4	45.4	<b>15.1 円/kg</b>

出所：株式会社矢野経済研究所作成

表 2-8 フロントバンパー回収時間の測定結果（単位：秒）

No.	メーカー名	車種名	一次解体 (ニブラ)	二次解体				
				大異物	小異物	パテ	合計 (パテ除く)	合計
1	Toyota	Vitz	-	100	141	0	241	241
2		Crown	4	60	114	0	174	174
3		Crown	4	0	0	80	0	80
4	Honda	Fit	7	310	44	0	354	354
5		Fit	8	202	53	46	255	301
6		Odyssey	-	575	0	0	575	575
7		Odyssey	8	273	105	60	378	438
8		Odyssey	3	313	90	43	403	446
9		Odyssey	7	143	94	55	237	292
10		StepWGN	4	123	83	78	206	284
11		StepWGN	6	268	79	60	347	407
12		StepWGN	7	208	197	76	405	481
13	Nissan	March	4	33	260	0	293	293
14		March	2	45	160	40	205	245
15		March	5	17	70	35	87	122
16		March	12	146	22	30	168	198
17		Cube	19	46	72	42	118	160
18		Cube	4	10	80	47	90	137
19	Mazda	Demio	4	72	96	0	168	168
20		Demio	11	99	31	39	130	169
21	Suzuki	Wagon R	10	84	32	0	116	116
22		Wagon R	-	190	10	0	200	200
23		Wagon R	-	295	25	0	320	320
24		Wagon R	13	196	95	33	291	324
25	Daihatsu	Move	5	205	0	0	205	205
26		Move	6	95	50	37	145	182
27		Move	-	114	48	50	162	212
-	平均時間		7.0	156.4	76.0	50.1	232.3	263.9

\*シールや紙の除去時間は大異物除去工程に含む  
出所：株式会社エコアールの作業を基に株式会社矢野経済研究所計測

### 2-3-3 小異物除去工程省略の可能性

図 2-11 で示したように小異物除去工程が省略できれば、解体業者側での作業時間を 76.0 秒短縮できる可能性がある。これを検討するため、日本シームが金属粉砕にも耐えうる粉砕・洗浄ラインをエコアールに設置することで、小異物混入状態での粉砕試験を行った。

異物混入による最大の課題は、混入した金属によって破砕機および粉砕機の刃が欠けることである。樹脂破砕機ではメンテナンスコストの低さ等から一般的に超硬刃物が回転刃および固定刃に用いられており、超硬刃物は金属の混入によって簡単に欠ける欠点がある。これが PP リサイクルにおいて異物除去を徹底しなければいけない理由であり、異物除去の作業コストを増大させてきた原因でもあった。

そこで、本事業では超硬刃物に比べて柔軟性のある高速度鋼（ハイス鋼）を用いた粉砕機を開発した。本粉砕機の有効性を検討するため、エコアールに設置した粉砕機に約 2.5t の小異物付きバンパーを投入することで、超硬刃物とハイス鋼、ダイス鋼による刃の欠けおよび摩耗について確認した。試験結果の詳細は後述するが、結果として図 2-12、図 2-13 に示すように、回転刃、固定刃ともに超硬刃物では欠けが確認されたものの、ハイス鋼、ダイス鋼では異常はなかった。摩耗確認には、より長期的な稼働による確認が必要と考えられるが、新型粉砕機の一定の有効性が示された。



図 2-12 回転刃に設置した刃物（左：超硬、中：ハイス鋼、右：ダイス鋼）

出所：日本シーム株式会社撮影

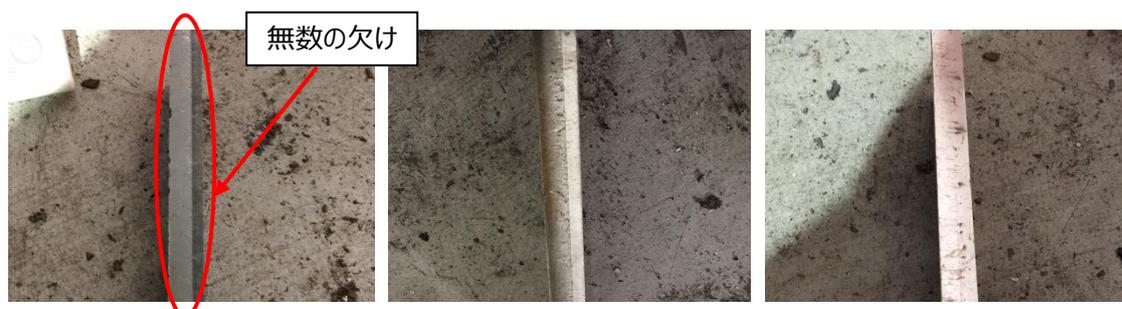


図 2-13 固定刃に設置した刃物（左：超硬、中：ハイス鋼、右：ダイス鋼）

出所：日本シーム株式会社撮影

また、粉碎側での課題が解決されたとしても、破碎材に金属が混入していれば工程省略は不可能となる。そのため、上記試験で用いた破碎材に関して、いそのでの品質評価を実施した。

10kgのサンプルに対して磁石による金属確認および攪拌を行った後、押出機で熔融確認を行った試験結果を表 2-9 に示す。結果としては、磁石による金属確認でも金属は確認されなかったほか、熔融時にも異常は確認できなかった。そのため、破碎後の選別ラインにおいて、金属はほとんど除去されていたものと考えられる。また、加工後のスクリーンには塗装片や小さな金属片が確認されたものの、約 25 分間の加工時間において異物によるスクリーン詰まり等も発生しなかった。以上のことから、いそのでは本サンプルの受入は可能との判断が得られた。

量産に際にしてはより多量のサンプルを用いた再試験が必要とも考えられるが、今回検討を行うフローであれば、エコアールの粉碎・選別ラインを用いた本試験の範囲内では、製造する破碎物の納品においても大きな問題はないと確認された。

表 2-9 小異物付バンパー破碎材の品質評価結果

材料	素材外観確認	ストランド外観	スクリーン付着物	使用可否
エコアール 小異物付 破碎材	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視ではバンパー塗装片は未確認</li> <li>金属の混入は未確認</li> <li>その他についても異常なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加工時にバンパー塗装片が細くなり、ストランド表面に突起物として確認</li> <li>感触として、ざらざら感がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加工中に異物による詰まりはなし</li> </ul> 【付着物】 塗装片、パテ少量、小さな金属片	○

出所：いその株式会社



図 2-14 破碎材外観と熔融処理後のスクリーン

## 2-3-4 パテ除去工程省略の可能性

図 2-11 に示したように、小異物除去工程に加えてパテ除去工程も省略できれば、解体業者側での作業時間を 50.1 秒短縮できる可能性がある。これを検討するため、いそのでパテ混入によって発生する追加コストを検討した。

パテ混入による最大の課題は、押出工程において押出機のスクリーン詰まりの原因となり、再生材の生産性を悪化させることである。詰まりが発生したスクリーンは、洗浄による再利用も可能であるが、採算に合わないため一般的に廃棄される。従って、スクリーン詰まりが発生すればスクリーンのコストが上乘せされることになる。

また、スクリーン詰まりが発生すると押出機内の清掃が必要となり、押出機停止による機会損失だけでなく、清掃による作業コストも発生する。

以上のスクリーン詰まりによって発生するコストを試算したのが表 2-10 である。

コンパウンドメーカー側では以下のようにスクリーン詰まりはコスト高に直結するため、補修パテの影響次第では買取価格への反映も考慮する必要がある。一方で、補修パテの確認には図 2-11 に示すように 50.1 秒を要し、人件費 1,000 円/h の場合にはバンパー 1 本当たり 13.9 円が必要となる。バンパー 1 本を 3kg と考えれば約 4.6 円/kg のコストが掛かるため、4.6 円/kg を超えない範囲のコスト増加である 20 分毎のスクリーン交換であるならば、解体業者からすると補修パテの確認はしない方がよいという判断がされ得る。

表 2-10 スクリーン交換に要するコスト

	交換頻度	交換回数	スクリーン費用	スクリーン単価	作業性評価	人件費 (2,000円/h)	コスト増加効果
標準加工条件	60分毎	30 回	9,000 円	0.9 円/kg	-	-	-
異物混入	30分毎	60 回	18,000 円	1.9 円/kg	通常作業で対応可	-	+1.0 円/kg
	20分毎	90 回	27,000 円	2.8 円/kg	通常作業で対応可	-	+1.9 円/kg
	10分毎	180 回	54,000 円	5.6 円/kg	要1名増員	8.0 円/kg	+12.7 円/kg
	5分毎	360 回	108,000 円	11.3 円/kg	要1名増員	8.0 円/kg	+18.4 円/kg

出所：いその株式会社推計

\* スクリーン単価：300 円/set、ロットサイズ：10t/lot、加工時間：30 時間/lot (0.33t/h) の場合

\* スクリーン交換に付随して電気、水等の使用料が増加するが、その分は考慮していない。

そこで、パテ除去を行ったバンパーに、別途補修パテを固めた試験材を混入し、重量比で0%、0.5%、1.0%、2.5%の4つのパテ混入率の異なるサンプルを準備した。このサンプルの押出試験を行うことで、スクリーン詰まりの発生する頻度を確認した。混入試験の結果を表2-11に示す。

試験結果としては、0.5%のパテ混入率であっても、6分/回のスクリーン詰まりが発生するため、パテ混入品の受入は困難であることが分かった。

表 2-11 パテ混入バンパーの押出工程における品質評価結果

パテ混合率 (重量%)	押出加工状況	ストランド外観	スクリーン付着物
0%	・ 問題なし	・ 異常なし	・ 特になし
0.5%	・ 連続生産可能 ・ 但し、生産終了時にスクリーン詰りが発生	・ わずかにザラ付きが発生	・ 約6分経過後にスクリーン詰り ・ 押出機側に多量のパテが付着
1.0%	・ 連続生産不可能 ・ スクリーン詰りが早期に発生	・ わずかにザラ付きが発生	・ 約4分経過後にスクリーン詰り ・ 押出機側に多量のパテが付着
2.5%	・ 連続生産不可能 ・ スクリーン詰りが非常に早い	・ はっきりと異物が表面に現れ、 ザラ付き感が非常に大きくなった	・ 約2分経過後にスクリーン詰り ・ 押出機側に多量のパテが付着

出所：いその株式会社

一方で、いそのやバンパー材を準備したエコアールの経験上では、バンパー破砕材に0.5%ものパテが使用されている可能性は極めて低いという。また、スクリーン詰まりにはバンパーに付着した塗膜等も影響するほか、パテの使用量（使用面積、厚さ）はバンパーによって異なることから、破砕材に混入するパテの平均重量を測定することは困難である。

そこで、実際のパテ未除去破砕材サンプル20kgをエコアールで準備し、いそのでの押出試験を実施した。なお、サンプル数増加を企図して、納品日の異なる2つのサンプルで2回の試験を実施した。この試験結果を表2-12に示す。

表 2-12 エコアールのパテ未除去破砕材における品質評価

	1回目	2回目
素材外観	・ バンパー塗装片以外の異常はなし ・ 磁石を当てると、砂鉄・塗装片の粉が付着	・ バンパー塗装片以外の異常はなし ・ 磁石を当てると、砂鉄・塗装片の粉が付着
ストランド外観	・ 加工時にバンパー塗装片が細くなりストランドの表面に突起物を確認 ・ 感触として、ざらざら感がある。	・ 加工時にバンパー塗装片が細くなりストランドの表面に突起物を確認 ・ 感触として、ざらざら感がある。
主なスクリーン付着物	・ 加工から20kg生産終了まで2度目詰まり ・ スクリーンを外すと、押出機側に多量のパテ付着 【付着物】塗装物、パテ	・ 加工から20kg生産終了まで1度目詰まり ・ スクリーンを外すと、押出機側に多量のパテ付着 【付着物】塗装物、パテ
目詰まりまでの時間	14分31秒	30分04秒

出所：いその株式会社

結果としては、1 回目のサンプルではスクリーン詰まりまで 14 分 31 秒と基準以下の結果となったが、2 回目の試験では 30 分 04 秒と基準以上の結果となった。また、両サンプルでスクリーン付着物にパテが確認されたことから、パテ除去品と同等との品質とは言いにくい結果であった。

一方で、いそのではスクリーン詰まりの頻度が高い材料は、コンパウンド配合によってスクリーン詰まりが発生しないよう調整している。そのため、今回のサンプルであれば、いずれの場合でもこれまでのパテ除去品と同等の価格で受入可能と判断された。但し、パテについては粉碎・洗浄ラインで除去されるものもあるため、あくまでエコアールの粉碎・洗浄ラインでは省略可能との判断である。そのため、パテ除去工程については、PP 部品破砕業者とコンパウンドメーカー間での検討によって、省略可能性があると言える。

## 2-4 最適な選別方法の検討

PP 部品の異物除去については、最低限の異物除去のみを手作業で行い、粉碎後に機械選別によって効率化を図る手段もある。そこで、本事業ではバンパーの異物混入状態での粉碎を想定し、その場合に最も効果的となる選別方法を検討した。

### 2-4-1 バンパーに含まれる異物の分析

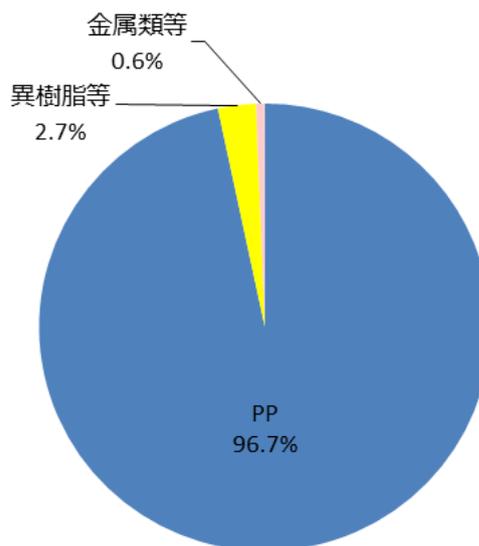
最適な選別方法の検討のためには、まずバンパーに付着している異物の種類を明確にし、選別工程で除去すべき異物の種類を明確にする必要がある。

そこで、本事業では先述のようにエコアールで回収したバンパー50本（約150kg）をサンプルとし、異物除去後のPP破砕材と除去した異物の種類および重量を計測した。結果として、異物が除去されたバンパーが約93.3%、パーツとして取り外されるものの素材としてはPPであるものが3.3%であり、バンパーに含まれるPPは96.7%に達することが分かった。表2-13に各品目の混入比率を再掲するとともに、表2-14に各品目の混入形状を示す。

また、先述のように黄色が押出工程で課題となる異物、赤色が粉碎工程・押出工程の双方で課題となる異物であるため、先述の手作業での選別とは異なり、これらの選別に有効な選別技術を検討した。

表 2-13 【再掲】バンパーに含まれる異物

品名	重量	構成比
異物除去品	148.00 kg	93.3%
PPパーツ大	4.45 kg	2.8%
PPパーツ小	0.85 kg	0.5%
ABS	3.45 kg	2.2%
ビニールテープ	0.05 kg	0.0%
紙		
スポンジテープ		
ゴム・その他	0.80 kg	0.5%
金属クリップ	0.15 kg	0.1%
ビス・ナット	0.25 kg	0.2%
クリップ・ナット付	0.10 kg	0.1%
樹脂クリップ		
金具類	0.20 kg	0.1%
ライト類	0.30 kg	0.2%
合計	158.60 kg	100.0%



出所：協和産業株式会社計測

表 2-14 バンパーに含まれる異物の写真

PPパーツ大①	PPパーツ大②	PPパーツ小
		
ABS	ビニールテープ、紙、スポンジテープ	ゴム、その他
		
金クリップ	ビス・ナット類	クリップ、ナット付き樹脂クリップ
		
ライト類	金具類	
		

出所：協和産業株式会社撮影

## 2-4-2 バンパーに対する最適な選別方法の検討

バンパーに含有される異物を明確化した結果、選別方法として有効なのは比重を用いた比重分離および振動分離と仮定し、2つの分離技術を用いた選別方法を検討した。また、バンパーに用いられるコンパウンド PP には、通常の水を利用した比重分離（比重 1.00）では、リサイクル可能であるにも関わらず沈んで分離されてしまう PP があるため、比重分離に用いる液体には、比重 1.00 の水と比重 1.04 の比重液を用いた。

選別試験は、PP と異物をそれぞれ粉砕後に表 2-12 に示した比率で混合・攪拌し、サンプルを準備した。なお、金属については一部に粉砕機では粉砕困難なものがあつたことから、エコアールで PP 部品粉砕時に選別された粉砕金属で代用している。

選別方法としては、比重の異なる 2 種の比重分離に加えて、各比重分離に振動分離をさらに行つたもの、振動分離のみを行つたものの合計 5 つ選別方法で検討を行つた。なお、選別後にいそので各材料の押出試験（品質確認）を実施したため、リファレンスとして選別を行っていないもの、異物を混合していないものの 7 つのサンプルを用意した。

以上のサンプルの選別試験投入量と歩留まりについて表 2-15 に示す。

表 2-15 各選別試験の投入量と歩留まり

No.	選別方法	投入量	出来高	歩留まり
1	比重分離 (1.00)	40.0 kg	32.5 kg	81.3%
2	比重分離 (1.04)	40.0 kg	38.7 kg	96.8%
3	比重分離 (1.00) + 振動分離	15.0 kg	12.3 kg	82.0%
4	比重分離 (1.04) + 振動分離	15.0 kg	12.0 kg	80.0%
5	振動分離	15.0 kg	13.2 kg	88.0%
6	選別なし	10.0 kg	10.0 kg	—
7	異物混入なし	10.0 kg	10.0 kg	—

出所：協和産業株式会社

結果として、比重 1.04 の比重分離が歩留まり 96.8%で最も高く、サンプルへの PP 混入率 96.7%とも最も近似した値となつた。そのため、当サンプルが押出工程を問題なく通過できれば、最も効率が高い選別方法となる。

一方で、歩留まりが最も高いということは、異物が除去し切れていない可能性もある。実際に図 2-15 に示す通り、協和産業の試算では、比重 1.04 の場合には約 14%の ABS が選別されないで通過するとされており、サンプルに混合した ABS 2.2%のうち、14%にあたる約 0.3%の ABS が選別後のサンプルに含有されている可能性がある。そのため、選別後のサンプルの有用性を検討するため、比重 1.04 で比重分離を行つた No.2 のサンプルについては、協和産業で静電分離による ABS と PP の分離を試み、ABS 混入率の明確化を図つた。また、各サンプルについて、次工程でいそのでの押出試験を実施した。

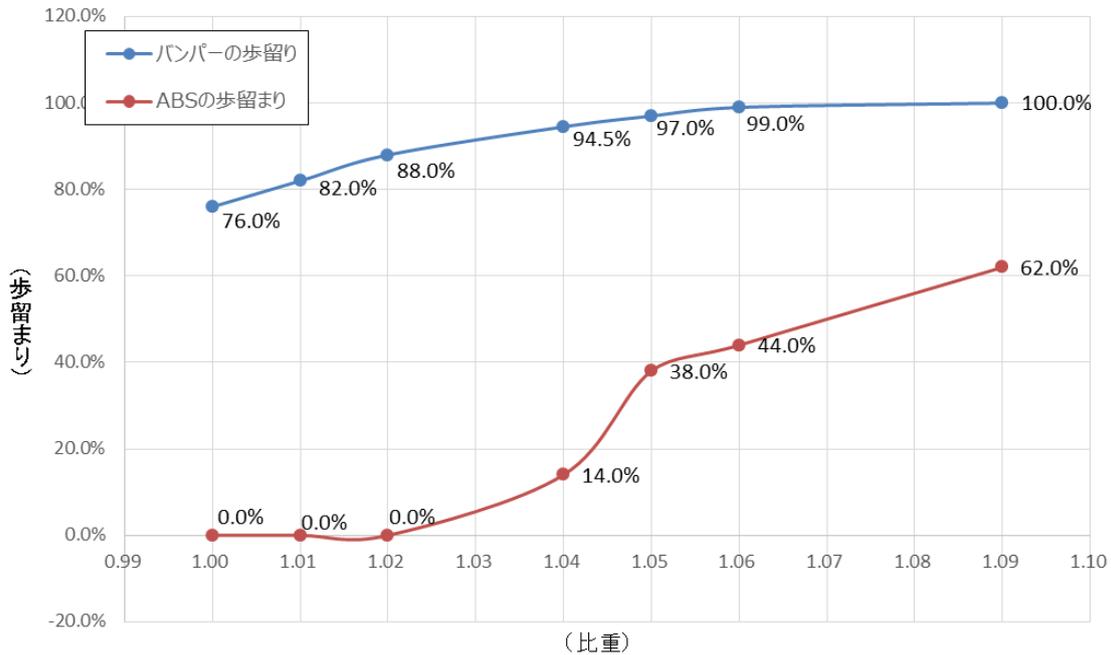


図 2-15 比重と、バンパー材・ABS の歩留まりの関係（協和産業での試験結果）

出所：協和産業株式会社

### 2-4-3 静電分離試験の結果

まず比重 1.04 で比重分離を行った No.2 のサンプルについて、協和産業で静電分離を行い、ABS の混入率を確認した。静電分離は選別対象物への「+」と「-」の帯電を利用した分離であるため、主に対象物を 2 種類に選別する際に用いられる。そのため、多様な異物が混入するバンパー材の一次選別には向かないが、比重選別等を経た後に、ABS と PP 等の 2 種類の異物を選別する際には有効と考えられる。この静電分離の試験結果を図 2-16 に示す。

4kg の No.2 サンプルについて静電分離を試みたところ、選別口からは 3.66kg が排出された（残量の 0.34kg は分離機内に滞留）。結果としては、ABS が分離されるはずの「+」に帯電した樹脂は 0.46kg、帯電が見られなかった樹脂は 3.2kg（図 2-15 の真ん中、右側はともに非帯電品のため 2.26kg+0.94kg）であった。図 2-14 に示した試験結果から、3.66kg に含まれる ABS は 0.011kg 程度の微量となると推計されるが、ABS 混入率が少ないために、PP 同志の摩擦帯電によって、多数の PP も「+」に帯電してしまったことが想定される。

実際に「+」帯電品を目視確認したところ、バンパーの塗装が確認できる PP 樹脂がほとんどであり、ABS を確認することは困難であった。なお、比重分離で浮いたとみられる少量のスポンジやテープは「+」帯電品として選別されていた。

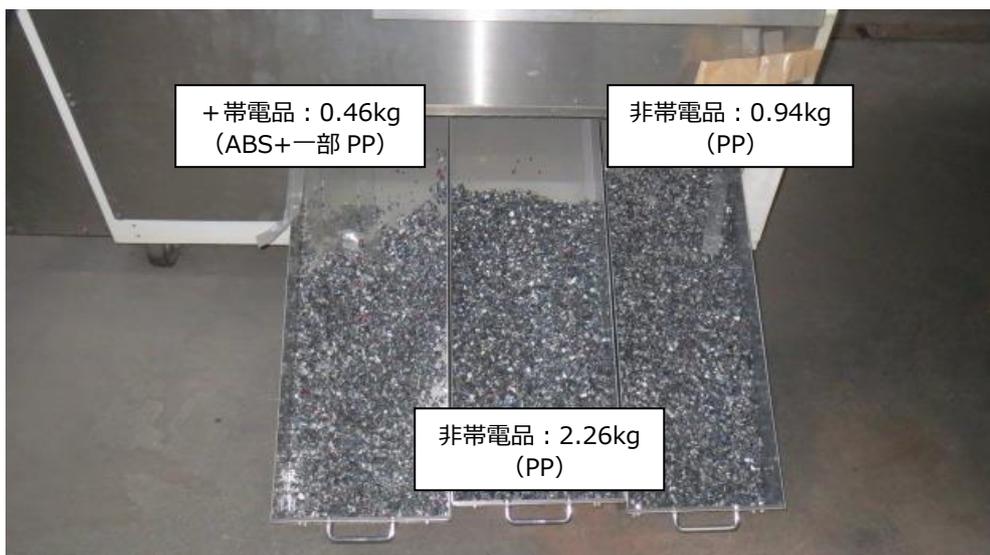


図 2-16 No.2 サンプルの静電分離試験結果

出所：協和産業株式会社

#### 2-4-4 いそそのでの品質評価試験結果

協和産業での選別サンプル品について受入可否を確認するため、いそそのでの押出工程における品質評価を行った。

各サンプルの押出機の投入量、スクリーン交換頻度を表 2-16 に示す。結果として、「No.5 振動分離」のみのサンプル、「No.6 選別工程なし」のサンプルでは 10kg の加工時間中にスクリーン詰まりが発生したが、残りのサンプルではスクリーン詰まりは発生しなかった。

また、押出加工状況やストランド外観に関する評価結果を表 2-17 に示す。No.5、No.6 ではスクリーン詰まりだけでなく、金属やメッキの混入も確認され、受入不可の評価となった。一方で、その他のサンプル品については、選別に一部の改善が必要であるものの、概ね受入検討可能との評価であった。

特に、No.1～No.4 ではほぼ同評価であったことから、選別工程数が少なく、歩留まりが高い「No.2 比重分離 (1.04)」のみが最も効率的であることが分かる。No.2 サンプルについては、静電分離で ABS の混入を特定できなかったが、押出工程では大きな課題とはならなかった。一方で、混入した ABS が成形時に割れ等の問題を引き起こす可能性もあるため、ABS の混入については引き続き検証が必要とも考えられる。

また、いそそのでの最終評価としては、原則的には同一樹脂以外の異樹脂が混ざらないことが高付加価値に繋がるとしており、今後は最適かつシンプルな選別工程を検討するとともに、再生樹脂の需要側も巻き込んだ最終的な品質の落としどころを探っていくことが必要としている。

表 2-16 協和産業選別品の押出試験結果

No.	選別方法	投入量	吐出時間 (0.45kg/分)	スクリーン 交換回数	スクリーン 交換時間
1	比重分離 (1.00)	10.0 kg	22.2分	0回	交換なし
2	比重分離 (1.04)	10.0 kg	22.2分	0回	交換なし
3	比重分離 (1.00) + 振動分離	10.0 kg	22.2分	0回	交換なし
4	比重分離 (1.04) + 振動分離	10.0 kg	22.2分	0回	交換なし
5	振動分離	10.0 kg	22.2分	1回	14分56秒
6	選別なし	10.0 kg	22.2分	1回	9分43秒
7	異物混入なし	10.0 kg	22.2分	0回	交換なし

出所：いその株式会社

表 2-17 各選別試験の投入量と歩留まり

No.	押出加工状況	ストランド外観	スクリーン付着物	評価
1	・ 塗装付バンパー、シールの混入確認 ・ 磁石への付着は未確認	・ 塗装付バンパー特有の凹凸有り	・ スクリーン交換なし 【付着物】塗装、パテ、シール	△
2	・ 塗装付バンパー、シールの混入確認 ・ 磁石への付着は未確認	・ 塗装付バンパー特有の凹凸有り	・ スクリーン交換なし 【付着物】塗装、パテ、シール	△
3	・ 塗装付バンパー、シールの混入確認 ・ 磁石に小さな金属の付着を確認	・ 塗装付バンパー特有の凹凸有り	・ スクリーン交換なし 【付着物】塗装、パテ、シール、金属	△
4	・ 塗装付バンパー、シールの混入確認 ・ 磁石に小さな金属の付着を確認	・ 塗装付バンパー特有の凹凸有り	・ スクリーン交換なし 【付着物】塗装、パテ、シール、金属片	△
5	・ 塗装付バンパー、シールの混入確認 ・ 磁石に小さな金属、メッキの付着を確認	・ 塗装付バンパー特有の凹凸有り	・ 加工開始後1度スクリーン交換 【付着物】塗装、パテ、シール、金属、メッキ	×
6	・ 塗装付バンパー、シールの混入確認 ・ 磁石に小さな金属、メッキの付着を確認	・ 塗装付バンパー特有の凹凸有り	・ 加工開始後1度スクリーン交換 【付着物】塗装、パテ、シール、金属、メッキ	×
7	・ 塗装付バンパーの混入確認 ・ 磁石への付着は未確認	・ 塗装付バンパー特有の凹凸有り	・ スクリーン交換なし 【付着物】塗装、パテ	○

【評価】○：選別良好、△：選別一部改善必要、×：選別不良

## 2-5 PP 部品取外し工程のまとめ

PP 部品取外し工程に関する多方面からの試験を行った結果、以下の成果および知見が得られた。

- ・ 解体業者、コンパウンドメーカー双方の意見を取り入れた回収マニュアルが完成した。
- ・ 小異物除去工程とパテ除去工程省略が達成できれば、バンパー回収コストは 26.8 円/kg から 15.1 円/kg まで低下することが分かった。
- ・ 新規粉砕設備で刃物に用いたハイス鋼は、本事業の試験の範囲では異物混入に耐えうるということが分かった（詳細は第 4 章で後述）。
- ・ また、エコアールの粉砕・選別ラインを用いた場合には、押出工程でも小異物付で破砕したバンパー破砕材は大きな問題とならないことが確認された。
- ・ パテ除去工程の省略については、定量的な判断はできなかったものの、本事業の試算および試験結果から、今回のサンプルについては、いそので省略可能との判断がなされた。パテ混入率は粉砕・洗浄ラインによっても前後する可能性があるため、PP 部品破砕事業者と、コンパウンドメーカー間での検討によって、省略できる可能性がある。
- ・ 協和産業での選別試験およびいそのでの品質評価の結果から、異物混入状態のバンパーに対する最も効率的な選別方法は、比重 1.04 の比重分離であることが分かった。
- ・ 但し、比重 1.04 の場合には ABS 混入の恐れがあり、静電分離試験によっても ABS の混入率は特定できなかった。そのため、今後は ABS による成形時への影響を含めた長期的な経過観測が必要と考えられる。

### 3 PP 部品運搬工程の検討

#### 3-1 既存の研究・実証成果

PP 部品のマテリアルリサイクルにおいて、取外し工程とともに問題視されてきたのが運搬工程である。バンパーや内装部品は成形品状態では非常に積載性が悪く、平成 27 年度いその事業で 10t トラックにバンパーのみを積載して輸送した結果、全 18 回の輸送の平均は僅か 1,120kg であり、積載率は 11.2%に留まることが示されている。粉碎状態では 10t の輸送が可能であることを考慮すると、成形品の積載率は非常に悪い。

こうした中、取外し工程と同様に運搬工程においてもこれまで過去の実証事業で検証が行われてきた。運搬工程の検証を実施した主な事業は、平成 26 年度 JAERA 事業と平成 27 年度いその事業が挙げられる。以下に各事業の実証内容を整理する。

#### ■ 平成 26 年度 JAERA 事業

本事業では、主に 3 つのルートを想定し、その事業性が検討された。なお、本事業では解体業者からプラスチック破砕業者までの輸送を一次輸送、プラスチック破砕業者から再生樹脂メーカーまでの輸送を二次輸送と定義している。

3 つのルートのうち、1 つ目が運送業者によって 4t 車で解体業者から PP 部品を破砕業者へ運搬する「単体集約型」である。この場合には PP 部品輸送の専用便を用いるため、4t トラックの輸送コストを 35,000 円とした場合、一次輸送コストとして 21.9 円/kg が必要としている。さらに、10t トラックでの二次輸送として 5.0 円/kg が上乗せされる。

2 つ目が地域内の解体業者に PP 部品を集約し、プラスチック破砕業者の自社便によって運搬する「一次集約型」であり、この場合にも集約した解体業者から破砕業者の輸送に 10.0 円/kg（自社便のため安価）のほか、地域内の解体業者に輸送するまでの輸送費が別途必要としている。

最後に破砕設備を有する解体業者に PP 部品を集約し、破砕後に再生メーカーへ輸送する「集約型」である。「集約型」においては破砕業者を介さないため一次輸送コストを要さないとしているが、集約先の解体業者までの輸送費が別途必要と考えられる。

#### ■ 平成 27 年度いその事業

本事業では、破砕業者が解体済自動車引取り時に解体業者から PP 部品を回収する「ついで便」を用いることで、PP 部品の専用便をゼロとし、PP 部品輸送のための追加コストを発生させない回収スキームを実現させた。

そのため、輸送費が発生するのは PP 部品の破砕を行う破砕業者もしくは大規模解体業者

から再生樹脂メーカーまでの輸送のみであり、平成 26 年度 JAERA 事業と同様に 10t 車で  
の輸送が 50,000 円/回と仮定すると、積載率は 100%での輸送が可能のため 5.0 円/kg のみ  
の輸送費で済むこととなる。

### ■ 既存事業の輸送コスト比較

上記 2 つの事業の輸送コストの比較を表 3-1 に示す。PP 部品の取外しを行う解体業者各  
社が個別に専用便を手配する「単体回収型」が経済性に劣るが、「一次集約型」は集約先と  
なる解体業者まで各社が成形品を運搬するコストが加味されていないため、この分を加味  
すると輸送コストは増加すると考えられる。

また、「集約型」と平成 27 年度いその事業は 5.0 円/kg と同等に見えるが、「集約型」に  
は各社からプラスチック破砕機を所有する解体業者までの輸送コストが加味されていない。  
仮に 4t 車の専用便手配が必要となれば、「一次集約型」とさほど変わらないコストが必要と  
なると考えられる。

こうした点で、平成 27 年度いその事業は、解体済自動車の買取りを行う破砕業者を基点  
とすることで、解体業者各社からの集約に要するコスト削減を実現した。そのため、輸送  
コストは合計で 5.0 円/kg に留まっており、非常に効率的な回収スキームの構築を達成して  
いる。

表 3-1 両事業の運搬コスト比較

	平成 26 年度 JAERA 事業			平成 27 年度 いその事業
	単体回収型	一次集約型	集約型	
集約先までの輸送	不要	必要	必要	不要
一次輸送	21.9 円/kg	10.0 円/kg	不要	不要
二次輸送	5.0 円/kg	5.0 円/kg	5.0 円/kg	5.0 円/kg
輸送費合計	26.9 円/kg	15.0 円/kg	5.0 円/kg	5.0 円/kg

出所：平成 26 年度 JAERA 事業、平成 27 年度いその事業

\* 輸送コストは 4t トラック 35,000 円/回、10t トラック 50,000 円/回、自社便（4t）16,000 円/回と想定

以上のことから、平成 27 年度いその事業のスキームを全国展開できれば、輸送コストの  
課題は解決可能と考えられる。一方で、同スキームは破砕業者に依存する回収スキームで  
あり、PP 部品の販売先が解体済自動車の出し先に限定される等の解体業者側の自由度が低  
減するという課題があった。また、日本全国で平成 27 年度いその事業と同様のスキームが  
構築できるかについても、破砕業者や解体業者の立地等からさらなる検討が必要であった。

### 3-2 移動式破砕機の実証試験

本事業では、全国展開可能な高効率の PP 部品運搬方法の新たな選択肢の提示を目的として、移動式破砕機の検討を実施した。移動式破砕機は、金属スクラップの分野では既に実用化されているほか、移動式プレス機を用いて解体済自動車をプレス後に輸送する方法も浸透している。これらと同様に、移動式のプラスチック破砕機を開発することで、積載率の低い成形品状態での輸送を無くし、輸送効率を高めることを目指した。移動式破砕機はウエノテックスが検証し、河村自動車工業での破砕試験を実施した。なお、トラックについては 10t 車では入庫、横付けが困難な解体業者が多いことから、4t 車の利用を前提とした。

#### 移動式破砕機試験概要

【試験日時】 2016 年 10 月 4 日

【破 碎 量】 10mm 以下品で約 375kg (バンパー約 125 本相当)

【破砕場所】 株式会社河村自動車工業

【破 碎 機】 ウエノテックス製「US-30-30-608」

【粉 碎 機】 ウエノテックス製「UF-mini-75」

【試験主体】 ウエノテックス株式会社

積載物	破砕機	粉碎機	制御盤
イメージ			
重量	1.8t	0.8t	0.3t
積載物	ベルトコンベア	ケーブル類等	合計
イメージ			
重量	0.3t	0.3t	3.5t

図 3-1 運搬物と各重量

### 3-3 移動式破砕機の試験結果

移動式破砕機の試験結果を表 3-2 のように整理した。粗破砕工程のみであれば比重は成形品状態の 5.5 倍程度に留まる一方で 1t/h 以上の処理が可能だが、粉砕工程を含めると約 225kg/h まで処理量が低下するものの、比重は約 18 倍まで向上することが分かった。また、設置・撤収時間に合計約 3 時間を要することがネックとなることが分かった。なお、試験によって得られた破砕材、粉砕材については、図 3-2、図 3-3 に示す。

表 3-2 移動式破砕機試験結果

	成形品	粗破砕工程	粉砕工程	備考
設置時間	約 2 時間			フォークリフトでの積み下ろしが必要
撤収時間	約 1 時間			フォークリフトでの積載が必要
処理能力	—	1,137kg/h	225kg/h	破砕～選別への移動時間は含まない
比重	0.02t/m <sup>3</sup>	0.11t/m <sup>3</sup>	0.36t/m <sup>3</sup>	
フレコン重量	30kg/袋	175kg/袋	375kg/袋	10t 車ではフレコン 24～36 袋積載可
振動 (Lveq)	—	38db	36db	
騒音 (Lveq)	—	81db	96db	

出所：ウエノテックス株式会社試験報告書等より株式会社矢野経済研究所作成



図 3-2 粗破砕工程と処理後の破砕材

出所：ウエノテックス株式会社、株式会社矢野経済研究所撮影



図 3-3 粉砕工程と処理後の破砕材

出所：ウエノテックス株式会社、株式会社矢野経済研究所撮影

### 3-4 移動式破碎機の経済性の試算

#### 3-4-1 移動式破碎機試算の前提

ELV 回収台数の多い大規模業者では自社で破碎機を導入している事例もある。そのため、移動式破碎機は、自社で破碎機を購入するほど PP 部品を大量に回収できない小～中規模業者が対象となる。そこで、PP 部品の回収で協力を得た山梨県カーリサイクル協同組合を例として、表 3-3 のように試算の前提条件を整理した。なお、PP 部品の回収は本事業での回収ではほとんどがバンパーであったが、前後バンパー（約 6kg）に加えて、内装部品も約 4kg 回収することを想定して 1 台あたり 10kg として換算した。また、1 回あたりの PP 破碎量は、解体業者へのヒアリング等から敷地面積の関係で保管限界とされた 500kg とした。4t トラックでの成形品状態での輸送の場合には、約 400kg の輸送が見込まれることから、妥当な数値と考えられる。輸送トラックは先述の通り小～中規模解体業者の場合は 10t トラックが横付けできないケースが多く、4t 車の使用を前提とする。

なお、1 回の稼働で複数の解体業者を巡回する場合においても、図 3-4 に示すように解体業者間の距離は短く、移動時間は大きな問題にならないものとして考えた。

表 3-3 移動式破碎機試算の前提

解体業者数	解体自動車台数	PP 回収見込み	PP 破碎量	輸送トラック
12 業者	1,000 台/月	10.0t/月	500kg/業者	4tトラック

\* 解体自動車台数は推計値

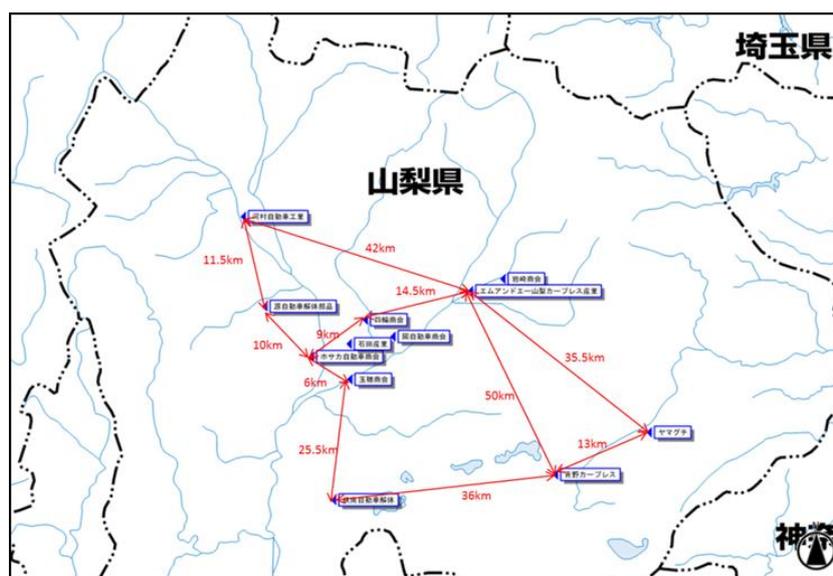


図 3-4 山梨県カーリサイクル協同組合加盟業者のマッピング

### 3-4-2 移動式破砕機の利用モデル

移動式破砕機の利用想定ケースとしては、以下が考えられる。

- ① 移動式破砕機で破砕し、破砕材を破砕機とともに運搬（破砕・運搬）
- ② 移動式破砕機で破砕し、破砕材は後日回収（破砕のみ）
- ③ 移動式破砕機で破砕・粉砕し、粉砕材を破砕機とともに運搬（粉砕・運搬）
- ④ 移動式破砕機で破砕・粉砕し、粉砕材は後日回収（粉砕のみ）

「①破砕・運搬」や「③粉砕・運搬」のように、破砕した PP 材はそのまま運搬するのが理想であるが、設備重量を考慮すると積載量が限られるため、移動式破砕機の利用目的は減容に留め、後から別便で輸送する方が効率的な可能性もある。

一方で、今回の実証事業やその後のヒアリングで判明した各項目の限界値（最大値）を表 3-4 に整理する。今回の実証事業で確認した前提を整理すると、1 日あたりの処理量は最大でも約 1t に限定される。この理由としては、設置・撤収時間や納品先までの移動時間を考慮すると、1 日の回収可能事業者数は今後の時間短縮を見込んでも 2 業者であり、敷地面積等の関係から 1 業者あたりで保管可能な PP 部品量は 500kg 程度であるためである。

そのため、稼働 1 回あたりの処理可能量を 1t と仮定すると、粉砕の場合には今後の設備軽量化が必要であるものの、「①破砕・運搬」、「③粉砕・運搬」のいずれの場合でも運搬可能とみられ、「②破砕のみ」や「④粉砕のみ」を行うメリットはない。

さらに、稼働 1 回あたり 1t の処理であれば、処理量の面でも粉砕まで対応可能である。破砕だけでは成形品と比べて資源価格は上がらず、輸送効率が向上するのみであるが、10mm 以下の粉砕まで実施すれば、輸送効率が破砕以上に向上するだけでなく、資源価格自体も 10 円/kg～20 円/kg 程度向上させることができる。そのため、粉砕まで実施する方が当然事業性の向上が見込まれ、積載量には課題を残すものの、「③粉砕・運搬」が移動式破砕機では最適なモデルとなると考えられる。

表 3-4 移動式破砕機の限界値

項目	限界値	詳細
回収事業者数	2 事業者	設置・撤収に 3 時間を要し、現状では 2 業者も困難
破砕量	5.5t	設置・撤収時間を除いた 5 時間での処理可能量
粉砕量	1.1t	設置・撤収時間を除いた 5 時間での処理可能量
1 業者での保管可能量	500kg	1t 程度までなら可能との意見もあり
積載量（粗破砕のみ）	1.3t	4t 車平ボディの場合（設備重量を除いた積載可能量）
積載量（破砕・粉砕）	0.5t	4t 車平ボディの場合（設備重量を除いた積載可能量）

出所：株式会社矢野経済研究所作成

### 3-4-3 移動式破碎機の試算

表 3-4 で示した前提を基に、10t/月回収時の「③粉碎・運搬」のモデルについて試算した結果を表 3-5 に示す。なお、算出条件については、表内に記載した。

結果として減価償却費を除けば約 314 万円の黒字となった。参考までに表 3-6 に移動式破碎機を用いずに成形品状態で輸送した場合の試算を示すが、こちらと比較すれば経済性は大幅に向上しており、輸送に係るコスト削減が達成できることが確認できる。

一方で、黒字幅が小さいことから、投資回収には約 8 年を要することとなるほか、輸送時の燃料費や高速料金等を考慮すると、黒字幅は減少することも見込まれる。

表 3-5 移動式破碎機で「粉碎・運搬」を行う場合の試算（1t/回、10t/月回収の場合）

	単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	算出条件	
出荷量	t		120	120	120	120	120	回収量10t/月×12ヶ月	
販売価格	千円		6,360	6,360	6,360	6,360	6,360	BMP:45円/kg、内装部品:65円/kg	
コスト	トラック稼働費（人件費含む）	千円	0	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880	24千円/日（3,000円/h×8h）×10×12
	物品費	千円	0	120	120	120	120	120	フレコン1円/kg
	修繕費	千円	0	220	220	220	220	220	UENOTEX試算（1千円/t）+100千円/年
	電力料	千円	0	0	0	0	0	0	現地の解体業者で調達
	減価償却費	千円	0	3,571	3,571	3,571	3,571	3,571	
	輸送コスト	千円	0	0	0	0	0	0	
	原材料費	千円	0	0	0	0	0	0	
	売上原価合計	千円	0	6,791	6,791	6,791	6,791	6,791	
kg当たりの単価	円	0	56.6	56.6	56.6	56.6	56.6		
kg当たりの単価（減価償却費除く）	円	0	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8		
投資金額（トラック価格を含む）	千円	25,000	0	0	0	0	0		
経済性	千円	0	-431	-431	-431	-431	-431		
経済性（減価償却費除く）	千円	0	3,140	3,140	3,140	3,140	3,140		

出所：株式会社矢野経済研究所推計

\* 輸送に伴う燃料費や高速料金等は考慮していない。

表 3-6 移動式破碎機を用いないケースの試算

	単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	算出条件	
出荷量	t		120	120	120	120	120	回収量10t/月×12ヶ月	
販売価格	千円		4,560	4,560	4,560	4,560	4,560	BMP:30円/kg、内装部品:50円/kg	
コスト	トラック稼働費（人件費含む）	千円	0	0	0	0	0	0	
	物品費	千円	0	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	フレコン10円/kg（100kg/袋）
	修繕費	千円	0	0	0	0	0	0	
	電力料	千円	0	0	0	0	0	0	
	減価償却費	千円	0	0	0	0	0	0	
	輸送コスト	千円	0	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	87.5千円/t（400kgにつき35,000円）
	原材料費	千円	0	0	0	0	0	0	
	売上原価合計	千円	0	11,700	11,700	11,700	11,700	11,700	
kg当たりの単価	円	0	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5		
kg当たりの単価（減価償却費除く）	円	0	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5		
投資金額	千円	0	0	0	0	0	0		
経済性	千円	0	-7,140	-7,140	-7,140	-7,140	-7,140		
経済性（減価償却費除く）	千円	0	-7,140	-7,140	-7,140	-7,140	-7,140		

出所：株式会社矢野経済研究所推計

\* 輸送に伴う燃料費や高速料金等は考慮していない。

そこで、稼働率向上によって事業性の改善が見込まれることから、移動式破砕機をフル稼働させた場合（月に 25 回稼働、25t 回収）の試算を表 3-7 に示す。結果として、約 800 万円/月の黒字が達成でき、約 3.1 年での投資回収が可能となった。

本試算では山梨県カーリサイクル協同組合からの回収のみを想定しているが、他にも回収エリアを拡大し、月 25t の回収量を達成できれば、事業化の可能性があると示された。

表 3-7 移動式破砕機で「粉碎・運搬」を行う場合の試算（1t/回、25t/月回収の場合）

	単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	算出条件
出荷量	t		300	300	300	300	300	回収量25t/月×12ヶ月
販売価格	千円		15,900	15,900	15,900	15,900	15,900	BMP:45円/kg, 内装部品:65円/kg
コスト	トラック稼働費（人件費含む）	千円	0	7,200	7,200	7,200	7,200	24千円/日（3,000円/h×8h）×25×12
	物品費	千円	0	300	300	300	300	フレコン1円/kg
	修繕費	千円	0	400	400	400	400	UENOTEX試算（1千円/t）+100千円
	電力料	千円	0	0	0	0	0	現地の解体業者で調達
	減価償却費	千円	0	3,571	3,571	3,571	3,571	
	輸送コスト	千円	0	0	0	0	0	
	原材料費	千円	0	0	0	0	0	
売上原価合計	千円	0	11,471	11,471	11,471	11,471	11,471	
kg当たりの単価	円	0	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	
kg当たりの単価（減価償却費除く）	円	0	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	
投資金額（トラック価格含む）	千円	25,000	0	0	0	0	0	
経済性	千円	0	4,429	4,429	4,429	4,429	4,429	
経済性（減価償却費除く）	千円	0	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	

出所：株式会社矢野経済研究所推計

\* 輸送に伴う燃料費や高速料金等は考慮していない。

### 3-5 移動式破碎機破碎機の課題

#### 3-5-1 設備の課題

移動式破碎機の一定の有効性が検討できたが、前提として1回あたり2事業者からの1tの粉碎・回収を前提としており、現在の設備では設置・撤収時間や積載量の面で課題が残る。今回の実証事業では、図3-5に示すようにウエノテックスで期間内に準備可能な既存製品を用いて検証したため、実証結果を踏まえて設備面での改良を検討した。



図 3-5 設備積載状態と設置状態の比較

出所：株式会社矢野経済研究所撮影

まず、粉碎品を積載するためには設備の軽量化が不可欠だが、ウエノテックスの試算では、以下のように0.9tの軽量化が可能と見込まれる。各機器別に概観すると、破碎機は同じ処理能力のまま移動式に特化した設計とすることで、数百kgの軽量化が可能となる。制御盤を最低限の設備のものにカスタマイズして破碎機一体型にしても、約1.7tと制御盤重量と合わせて400kgの軽量化が見込まれる。また、粉碎機の軽量化は困難であるが、ケーブル類も実証事業時にはかなり余裕を持って持参したため、最低限の長さのみとすれば、200kgの軽量化が見込まれる。コンベアに関しては、後述するレイアウト変更によって省略可能と考えた。

これによって設備重量は2.6tまで減量され、粉碎品は最大1.4tまで積載可能となる。

表 3-8 移動式破碎機積載物の軽量化の試算

	単位	破碎機	粉碎機	制御盤	コンベア	ケーブル類	合計
試験時重量	(t)	1.8	0.8	0.3	0.3	0.3	3.5
検討後重量	(t)	1.7	0.8	0	0	0.1	2.6
重量比較	(t)	-0.1	0	-0.3	-0.3	-0.2	-0.9

出所：ウエノテックス株式会社試算

次に設置・撤収時間については、図 3-5 に示したように本事業ではトラックからの積み下ろしおよび粉碎機と排出口（フレコン）のコンベアでの連結に多くの時間を要した。

そのため、図 3-6 に示すように粉碎機を荷台から下さず、荷台の高低差を利用してダクトにより粉碎機と連結するレイアウトが検討できる。粉碎機の積み下ろし、コンベアの設置が不要になることから、ウエノテックスではコンベア重量約 0.3kg が軽量化可能なほか、3 時間を要した設置・撤収時間も 1~1.5 時間程度短縮可能と試算している。

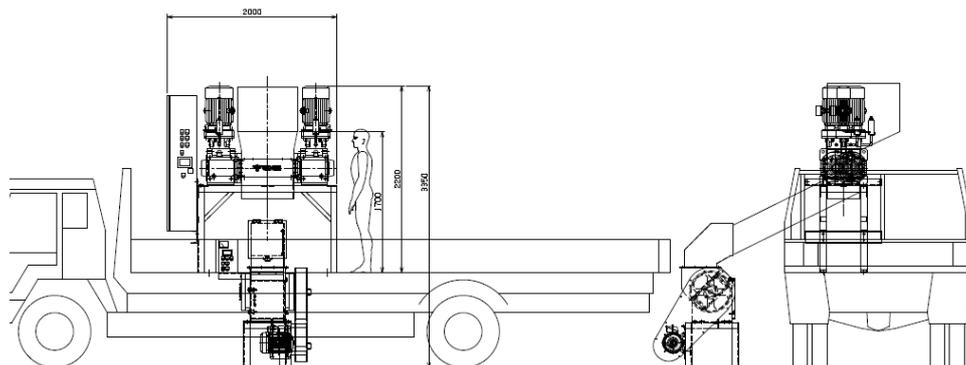


図 3-6 移動式破碎機の改良レイアウト案①

出所：ウエノテックス株式会社作成

一方で、図 3-6 のレイアウトでは粉碎機とフレコンが連結されていないため、ケース等を用いて手作業で破碎材をフレコンに移す作業が求められる。そこで、将来的には図 3-7 に示すように、低床トレーラーを利用して、粉碎機も荷台に設置したまま、荷台の高さを利用してフレコンに粉碎品を落とすレイアウトも検討できる。この場合には設置・撤収時間のさらなる短縮も見込まれるが、低床トレーラー用の専用荷台や、重量バランスを考慮した設備の配置等、トラック側の改良を含めた課題が残されており、コスト上昇も予測される。こうした点は今後実際の製品化が見えてからの開発課題と言える。

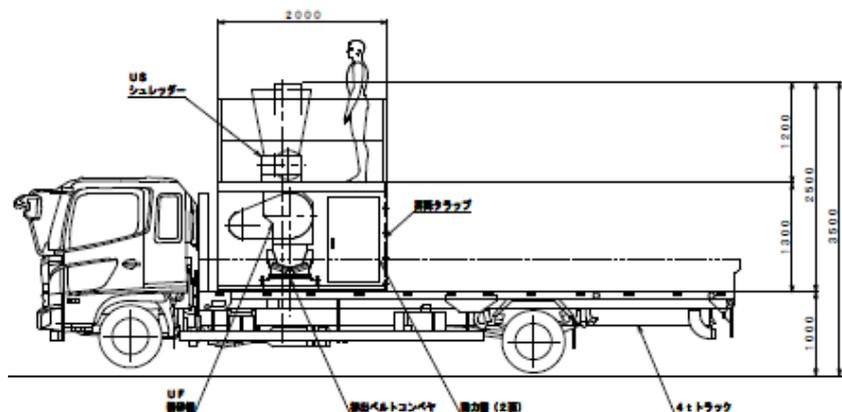


図 3-7 移動式破碎機の改良レイアウト案②

出所：ウエノテックス株式会社作成

### 3-5-2 運用の課題

設備面の課題とは別に運用面での課題もある。今回の試算では、投資回収期間の短縮には25t/月の回収が必要とした。そのため、1台の移動式破砕機に対して、約100台/月のELV回収実績がある事業者25社が必要となるため、複数地域での運用が必要と考えられる。

こうした場合には移動式破砕機のオペレーションが複雑化するため、移動式破砕機の所有者や運用者を含めたビジネスモデルの検討が今後は必要と考えられる。例えば、移動式破砕機を地域の解体組合で共同所有とする案が考えられるが、出資や保管者等に関して、関連事業者すべての同意を得るには相当の時間が必要となるだろう。

その他には、いそのようなPP部品回収業者であるコンパウンドメーカーが所有者となる場合が考えられる。但し、移動式破砕機の運用には物流面でのノウハウが必要になることや、管理面でのコストが上乘せされるといった課題もある。

一方で、事業性の検討が必要になるものの、移動式破砕機を稼働させることで、設備導入が困難な離島等でマテリアルリサイクル促進や、埋立処分場の延命に有効な方法となる可能性もある。こうしたビジネスモデルや有効な活用方法は、運用地域や実施事業者によっても大きく異なると考えられるため、今後は移動式破砕機の導入に向けた検討が新たに必要となるだろう。

### 3-6 PP部品運搬工程のまとめ

本事業でPP部品の運搬コスト低減を企図して実証事業を行った結果、以下の結果が得られた。今後は移動式破砕機としてのさらなる改良や、ビジネスモデルを含めた運用面での検証が必要と考えられる。

- ・ 移動式破砕機の稼働には、1回の稼働につき2事業者、1tの粉砕・回収が目安となる。
- ・ 10t/月回収時の試算では黒字化可能なものの投資回収に約8年が必要となる。  
一方で、25t/月回収まで回収量を拡大できれば投資回収期間は3.1年まで短縮する。
- ・ 2事業者、1tの回収達成には設備の軽量化や設置・回収時間の短縮に課題があるが、既存製品の使用に捉われない設備の改良によって対応は可能である。
- ・ 移動式破砕機に事業可能性があることは確認したが、25t/月の回収には複数地域に渡る小中規模解体業者の協力が必要とみられ、所有者やビジネスモデルを含めた運用面での課題解決が必要である。
- ・ 設備導入が難しい離島等で、定期的に移動式破砕機を稼働させることにより、マテリアルリサイクルの促進や、埋立処分場の延命が図れる可能性がある。

## 4 破碎・洗浄工程の検討

### 4-1 本事業で検討した粉碎ライン

本事業では、第2章で言及したように小さい異物混入状態での破碎・粉碎を実施するため、日本シームが開発した粉碎・洗浄ラインをエコアールに設置した。

また、平成27年度いその事業ではスクリーン幅の調整によって、破碎機単体による12mm以下での粉碎を実施したため、時間当たりの処理量が伸びず、重量あたりの破碎機の稼働費用や破碎機に投入に要する人件費が非常に大きくなるという課題があった。本事業で設置した粉碎・洗浄ラインによって、破碎と粉碎を別機で行うことにより、こうした課題も解決でき、事業性が向上することも予測される。

本事業で検討した粉碎・洗浄ラインを図4-1に示す。破碎機の後工程に粉碎機、洗浄・脱水機を配置し、混入した金属の捕捉用に脱水機の排出口に梯子型の簡易磁選機を設置した。また、先述のように最大の特徴は金属による刃の欠けを防ぐため、通常であれば超硬刃物を用いられる刃に、超硬刃物に比べて柔軟性のあるハイス鋼を使用したことである。

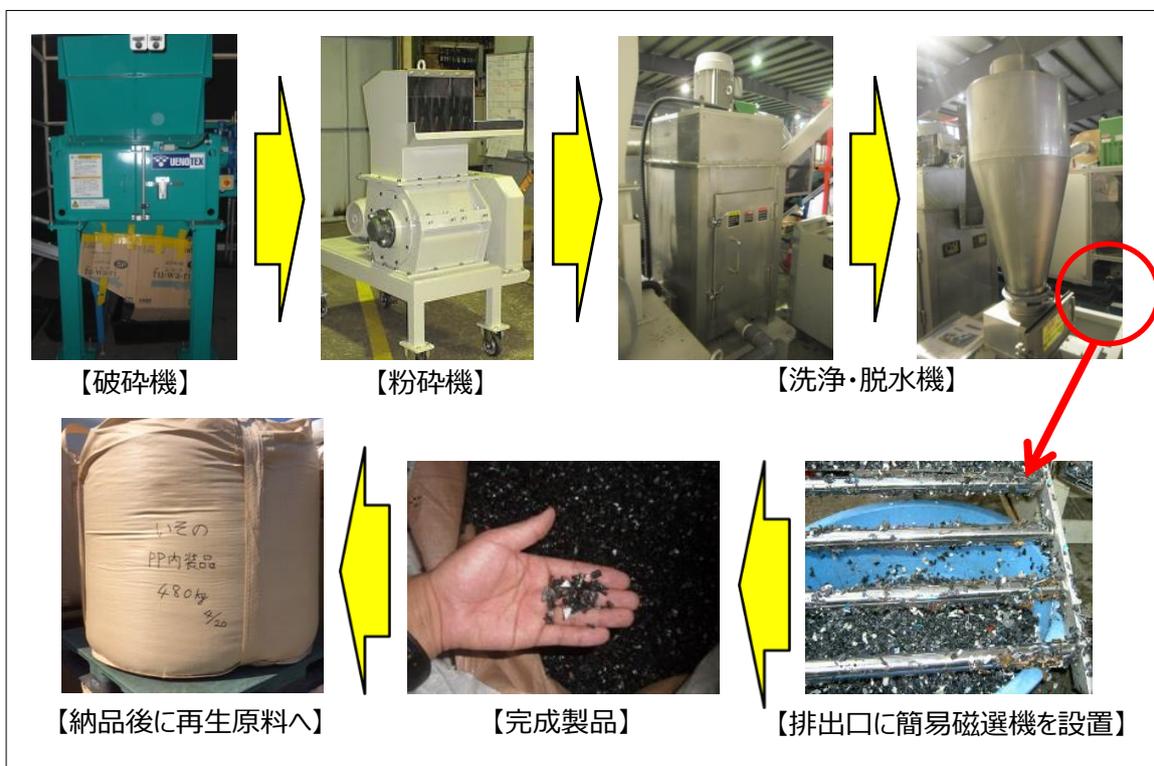


図 4-1 エコアールに設置した粉碎ライン

## 4-2 異物混入試験

粉砕ラインでの異物混入による影響を調べるため、約 2.5t の小異物（ビス・クリップ）付きバンパーを投入し、超硬刃物とハイス鋼、ダイス鋼による刃の欠け、摩耗を確認した。試験方法は、回転刃に使用される 6 枚の刃に各刃物を 2 枚ずつ装着し、固定刃 4 枚にもダイス鋼 2 枚、超硬 1 枚、ハイス鋼 1 枚を装着した。これに小異物付きバンパーを投入し、テスト前後の各刃物の状況を、重量計測と目視で確認した。試験概要は以下の通りである。

### 異物付きバンパー粉砕試験概要

【試験日時】 2016 年 12 月 22 日～2017 年 1 月 6 日のうち、5 日間稼働

【粉 碎 量】 小異物（ビス・クリップ）付きバンパー 2,435kg

【粉砕場所】 株式会社エコアール 第 1 工場内

【粗破碎機】 ウエノテックス製破碎機

主要動力：7.5kW、200V、装着刃物：回転刃 6 枚、固定刃 4 枚  
スクリーン径：エコアールでカスタマイズ

【粉 碎 機】 日本シーム製粉砕機「PFS-40」

主要動力：7.5kW、200V、装着刃物：回転刃 6 枚、固定刃 4 枚  
スクリーン径：φ 12mm

【粉砕刃物】 超硬刃物、ハイス鋼刃物、ダイス鋼刃物を回転刃と固定刃に装着

【試験主体】 株式会社エコアール、日本シーム株式会社



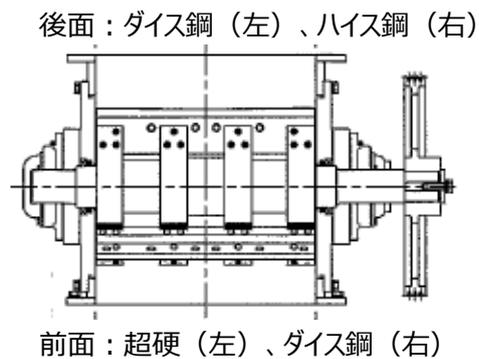
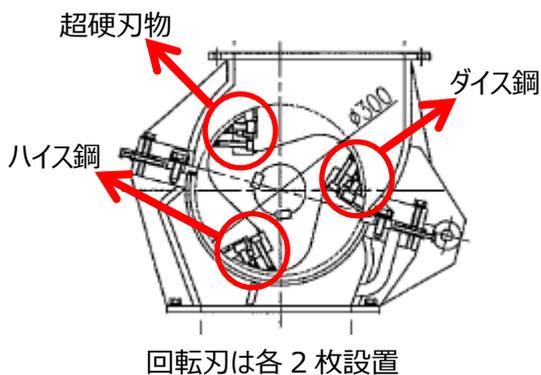
【粉砕機「PFS-40」】



【固定刃・回転刃（前面）】



【固定刃・回転刃（後面）】



試験後の重量計測結果を表 4-1、表 4-2 に示す。重量比較では回転刃の超硬刃物に若干の重量減がみられたものの、明確な差異は確認できなかった。

一方で、目視確認の様子を次頁の表 4-3、表 4-4 および図 4-2 に示す。目視確認の結果では、回転刃、固定刃ともに超硬刃物には明らかな欠けが確認できた。これはバンパーに付着した小異物に含まれる金属の影響と推測される。ハイス鋼、ダイス鋼では大きな異常は確認されなかったことから、両者の有効性が示された。

摩耗の確認には通常より長期間での確認が必要であることから、さらなる検討が必要と考えられるが、今回の試験によって 2.5t の「小異物付バンパー」の投入では、問題が確認できなかったことは証明された。

そのため、小異物除去の省略可否はリスクを伴う設備所有者の判断に委ねられる。但し、従来異物除去バンパーとして購入した場合でも、破砕機投入前には再度の詳細な確認を行っていたことを考えると、少なくとも確認漏れや小異物の見落とし等による混入は省略できるほか、こうした場合の設備故障に対するリスクも大幅に軽減することができる。

表 4-1 試験前後の重量比較（回転刃）

	試験前	試験後	重量差異
超硬刃物①	1305g	1304g	-1g
超硬刃物②	1304g	1304g	0g
ハイス鋼刃物①	1269g	1269g	0g
ハイス鋼刃物②	1270g	1270g	0g
ダイス鋼刃物①	1245g	1245g	0g
ダイス鋼刃物②	1245g	1245g	0g

出所：日本シーム株式会社

表 4-2 試験前後の重量比較（固定刃）

	試験前	試験後	重量差異
超硬刃物	1216g	1216g	0g
ハイス鋼刃物	1245g	1245g	0g
ダイス鋼刃物①	1211g	1211g	0g
ダイス鋼刃物②	1212g	1212g	0g

出所：日本シーム株式会社

表 4-3 試験前後の目視確認結果（回転刃）

刃物	試験前	試験後	状況
回転刃 超硬①			大きな欠けを確認
回転刃 超硬②			無数の欠けを確認
回転刃 ハイス鋼①			異常なし
回転刃 ハイス鋼②			異常なし
回転刃 ダイス鋼①			異常なし
回転刃 ダイス鋼②			異常なし

出所：日本シーム株式会社

表 4-4 試験前後の目視確認結果（固定刃）

刃物	試験前	試験後	状況
固定刃 超硬			無数の欠けを確認
固定刃 ハイス鋼			異常なし
固定刃 ダイス鋼①			異常なし
固定刃 ダイス鋼②			異常なし

出所：日本シーム株式会社



図 4-2 回転刃（右）と固定刃（左）試験後比較（左：超硬、中：ハイス鋼、右：ダイス鋼）

出所：日本シーム株式会社

#### 4-3 ハイスメタル採用によるコストへの影響

今回の試験では、金属混入に対するハイスメタルおよびダイス鋼の一定の有効性が示された。硬度が高い超硬刃物では、金属等の異物混入が刃の欠けに繋がるが、比較的柔らかいハイスメタルやダイス鋼の場合には、刃の欠けが起こりにくいことが要因である。参考までに各刃物の硬度を表 4-5 に示す。

表 4-5 本試験に用いた刃物の硬度比較（ロックウェル硬度 HRC）

超硬	ハイスメタル	ダイス鋼
HRC 66~67	HRC 58 前後	HRC 58 前後

出所：日本シーム株式会社（超硬の硬度は HRA 値を HRC 値に換算）

また、ハイスメタルとダイス鋼では硬度は同様であるものの、加工方法（焼き入れ等）の違いによって、ハイスメタルの方が摩耗しにくい特性がある。そのため、研磨に要する修繕費も安価で済むことから、今回の粉砕機にもハイスメタルの採用を決めた。一方で、従来の超硬からハイスメタルへの変更では、硬度の低い刃への変更となるため、修繕費が上昇する可能性もある。

そこで、刃物の修繕費として研磨費および刃の交換費について、ハイスメタルと超硬を比較したのが、図 4-3 である。一般に硬度が高い超硬の方が刃物自体の価格は高いが、硬度が高いため摩耗が少なく、修繕費は安価である。これが樹脂破砕機で超硬が主流の理由であり、実際に図 4-3 でも研磨費・交換費だけを比較すると超硬刃物に価格優位性がある。しかしながら、表 2-7 に示したように小異物除去工程は人件費 1,000 円/h の場合に約 21.1 円/本（7.03 円/kg）のコストが発生するため、ハイスメタルの採用によりこの工程が省略できれば、ハイスメタルの価格優位性の方が大幅に上回る。確認ミス等による刃の欠けも防止できることから、PP 部品の粉砕機にハイスメタルを採用するメリットは大きいと言える。

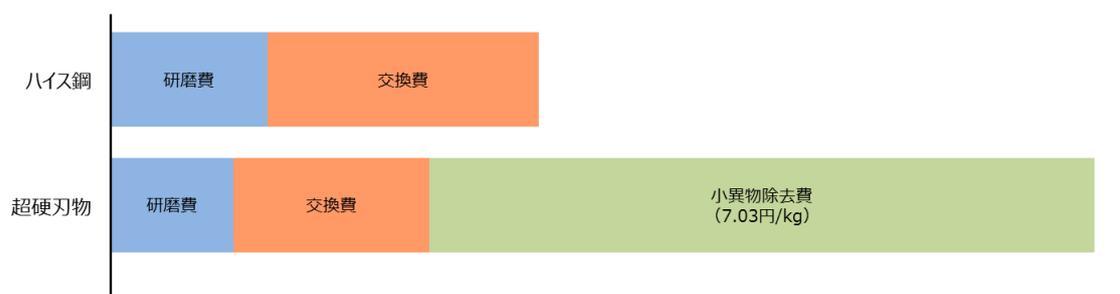


図 4-3 ハイスメタルと超硬の修繕費比較

出所：日本シーム株式会社、株式会社矢野経済研究所作成

#### 4-4 破砕速度向上による事業性への影響

平成 27 年度いその事業では、破砕工程で伸び悩む処理速度が、破砕機投入に要する人件費等の向上に繋がり、事業性を悪化させていたことが課題であった。今回粉砕機を新たに導入することで、破砕処理速度も大幅に向上し、事業性の改善が図られた。

処理速度は、摩耗試験時の 2,425kg について処理時間は 5 日間合計で約 23.5 時間であった。そのため、時間当たりの処理量は 103.2kg/h である。一方、平成 27 年度事業では 70kg/h に留まっており、処理速度は約 1.5 倍に向上している。処理速度が向上した結果、人件費の圧縮だけでなく時間当たりの電力量等も削減されることになる。

また、昨年度は破砕機投入前に実施していたパテ確認作業も省略されることから、前処理（確認作業）に要する人件費も大幅に削減されることが見込まれる。

これらを整理して、平成 27 年度事業と本年度事業の事業性試算を表 4-6、表 4-7 に示す。なお、前提条件は昨年度と条件を揃えるために 30t/月（バンパー18.7t、内装部品 11.3t）回収の場合とした。

表 4-6 平成 27 年度事業の破砕処理コスト（30t/月回収の場合）

生産量		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	算出条件	
出荷量				324	324	324	324	324	回収量360t/年×歩留まり90%	
コスト	人件費	BMP前処理	千円	0	2,468	2,468	2,468	2,468	2,468	11,000円/t（時給1,000円の場合）
		内装部品前処理	千円	0	339	339	339	339	339	2,500円/t（時給1,000円の場合）
		破砕機投入	千円	0	5,143	5,143	5,143	5,143	5,143	14,286円/t（70kg/hの場合）
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg	
	修繕費	千円	0	610	610	610	610	610	エコアル試算（610千円/年）	
	電力料	千円	0	3,029	3,029	3,029	3,029	3,029	エコアル試算（8,414円/t）	
	水道料金	千円	0	12	12	12	12	12	比重選別用水槽	
	減価償却費	千円	0	1,786	1,786	1,786	1,786	1,786	減価償却期間7年	
	輸送コスト	千円	0	1,620	1,620	1,620	1,620	1,620	集荷拠点⇒コンバウンドメーカー 5円/kg	
売上原価合計		千円	0	15,331	15,331	15,331	15,331	15,331		
kg当たりの単価		円	0	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3		
kg当たりの単価（減価償却費除く）		円	0	41.8	41.8	41.8	41.8	41.8		
投資金額		千円	12,500	0	0	0	0	0		

出所：平成 27 年度いその事業

表 4-7 本年度事業の粉砕処理コスト（30t/月回収の場合）

生産量		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	算出条件	
出荷量				324	324	324	324	324	回収量360t/年×歩留まり90%	
コスト	人件費	BMP前処理	千円	0	1,436	1,436	1,436	1,436	1,436	6,400円/t（時給1,000円の場合）
		内装部品前処理	千円	0	339	339	339	339	339	2,500円/t（時給1,000円の場合）
		破砕機投入	千円	0	3,488	3,488	3,488	3,488	3,488	9,690円/t（103.2kg/hの場合）
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg	
	修繕費	千円	0	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226	エコアル試算	
	電力料	千円	0	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	エコアル試算（4,037円/t）	
	水道料金	千円	0	0	0	0	0	0	洗浄機用循環水（井戸水利用）	
	減価償却費	千円	0	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	減価償却期間7年	
	輸送コスト	千円	0	1,620	1,620	1,620	1,620	1,620	集荷拠点⇒コンバウンドメーカー 5円/kg	
売上原価合計		千円	0	13,744	13,744	13,744	13,744	13,744		
kg当たりの単価		円	0	42.4	42.4	42.4	42.4	42.4		
kg当たりの単価（減価償却費除く）		円	0	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6		
投資金額		千円	20,000	0	0	0	0	0		

出所：株式会社矢野経済研究所作成

結果として、平成 27 年度事業と比較して kg 当たりの処理単価は、設備の減価償却費を含んだ場合には 4.9 円/kg (47.3 円/kg⇒42.4 円/kg)、減価償却費を除いた場合には 8.2 円/kg (41.8 円/kg⇒33.6 円/kg) 低減することが分かった。減価償却費を除いた場合では、処理単価は昨年度比で 15%以上の大幅な低コスト化が見込める。今後も破砕機の改良によって処理速度は向上が見込めるため、さらなる処理単価の低下も期待できる。

#### 4-5 破砕・洗浄工程のまとめ

本事業でエコアールに新たな粉砕・洗浄設備を導入し、小異物混入による摩耗試験および処理速度向上による事業性試算を行った結果、以下の成果・知見が得られた。今後は長期間の小異物混入による影響確認や、破砕ライン改良によるさらなる処理速度の向上が期待される。

- ・ 超硬、ハイス鋼、ダイス鋼を装着した粉砕機に小異物付バンパー約 2.5t を投入した結果、重量測定では明確な差は得られなかったものの、目視確認では超硬刃物に欠けが確認できた。ハイス鋼、ダイス鋼では異常はみられなかった。
- ・ 約 2.5t の小異物付バンパーの投入であれば、ハイス鋼、ダイス鋼を刃物に用いた粉砕機では影響がないことが分かった。
- ・ 一方、摩耗試験には長期の観察が必要となることから、小異物除去工程の省略可否は、設備所有者に現時点では委ねられる。但し、その場合にも確認ミス等による異物混入時の設備故障リスクは大幅に軽減するほか、投入前の確認作業も省略可能である。
- ・ 従来の超硬刃物と今回採用したハイス鋼の修繕費について比較した結果、異物除去費を考慮すると、ハイス鋼を採用した方が大幅に低コスト化が図れることが分かった。
- ・ また、粉砕機の導入によって処理速度は 70kg/h から 103.2kg/h と約 1.5 倍に向上した。
- ・ 処理速度向上およびパテ除去工程削減の影響から、粉砕・洗浄工程における kg 当たりの処理単価は 41.8 円/kg から 33.6 円/kg まで低減した（設備の減価償却費除く場合）。

## 5 再生樹脂製造工程の検討

### 5-1 本事業で製造した試作品

本事業では、平成27年度事業で課題となった物性向上と低コスト化を目標に、回収PP材と混合する調整材に多様な材料を用いることで、新たなPPグレードを開発した。設計した新規グレードの物性を表5-1に、写真を図5-1、図5-2に示す。

本事業ではELV由来のPP部品として回収された原料を、50%以上用いることを基準として設計した。新規グレードは3R-A～3R-Dまでの4種類であり、3R-A～3R-Cは内装部品由来の原料を使用している。また、3R-Bおよび3R-Cについては、内装部品由来の原料だけでなく、バンパー由来の原料を用いた混合比でも設計している（3R-B②および3R-C②）。一方、3R-Dは昨年度も試作したバンパー由来の原料を用いたアンダーカバー向けのグレードである。そのため、設計したグレードは4種類6パターンである。

本事業で設計したグレードの特徴は、低コスト化を企図して、通常であれば用途が限定される「家電リサイクルにおいて家電メーカーが使用不可のPP材」、「コンテナやパレット由来PP材」、「ASRから抽出したPP材」を、回収したPP材と混合することで、使用した点である。また、当初は物性調整にバージン材を使用する予定であったが、配合検討の結果、PPバージン材は一切用いないリサイクル材100%のグレード設計を達成した。

なお、新規グレードの用途としては、昨年度も試作した自動車向け「アンダーカバー」のほか、本年度は「バッテリートレイ」や「シートバック」、「ツールボックス」等の多様な用途を想定してグレードを設計している。

表 5-1 本事業で設計した PP 再生材グレード一覧

試験項目	試験条件	単位	試験方法	ELV回収内装材使用グレード									ELV回収バンパー材使用グレード			
				PP+タルク10%以下品			PP+タルク約15%品			PP+タルク約20%品			3R-D			
				3R-A		3R-B		3R-B①	3R-B②	3R-C		3R-C①	3R-C②	目標値	検証結果	
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ISO 1133	応相談	—	応相談	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	KJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1	4.5以上	○	3.0以上	○	○	○	2.5以上	○	○	○	○	16以上	○
引張降伏強さ	速度50mm/min	MPa	ISO 527-1	19以上	○	20以上	○	○	○	20以上	○	○	○	○	15以上	○
引張破壊ひずみ	速度50mm/min	%	ISO 527-1	報告	—	報告	—	—	—	報告	—	—	—	—	報告	—
曲げ強さ	速度2mm/min	MPa	ISO 178	25以上	○	27以上	○	○	○	28以上	○	○	○	○	22以上	○
曲げ弾性率	速度2mm/min	MPa	ISO 178	900以上	○	1300以上	○	○	○	1500以上	○	○	○	○	1300以上	○
ロックウェル硬さ	Rスケール		ISO 2039-2	75以上	○	75以上	○	○	○	75以上	○	○	○	○	45以上	○
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1	80以上	○	85以上	○	○	○	90以上	○	○	○	○	90以上	○
比重	水中置換法		ISO 1183	0.90~0.95	○	0.94~1.02	○	○	○	0.99~1.07	○	○	○	○	1.01~1.07	○
推奨用途:				エアクリナーノズル バッテリートレイ、等			シートバック フェンダーライナー、等			ツールボックス ラジエーターサポートカバー、等			アンダーカバー ステップガード、等			
配合比:				コンパウンド材料 配合比		コンパウンド材料 配合比		配合比		コンパウンド材料 配合比		配合比		コンパウンド材料 配合比		
●使用済自動車由来PP部品として回収された原料を50%以上使用することを基準として、各法令で回収されている【家電リサイクル材】等も用いた設計コンセプトとして試作。 <コナテ系・ASR由来も含む>				ELV内装材	◎	ELV内装材	◎	◎	◎	ELV内装材	◎	◎	◎	◎	◎	◎
				ELV内装材	×	ELV内装材	×	△	△	ELV内装材	×	△	△	△	△	△
				容器材	×	容器材	×	×	×	容器材	×	×	×	×	容器材	×
				コナテ系材料	○	コナテ系材料	△	△	△	コナテ系材料	△	△	△	△	コナテ系材料	×
				家リ材	○	家リ材	△	△	△	家リ材	×	×	×	×	家リ材	×
				ASR材	×	ASR材	△	△	△	ASR材	○	○	○	○	ASR材	×
				調整材 (外等)	×	調整材 (外等)	△	△	△	調整材 (外等)	○	○	○	○	調整材 (外等)	○

◎：配合比50%以上、○：配合比10%~50%未満、△：配合比10%未満、×：不使用

出所：いその株式会社作成



図 5-1 本事業で設計した PP 再生材グレード

出所：株式会社矢野経済研究所撮影

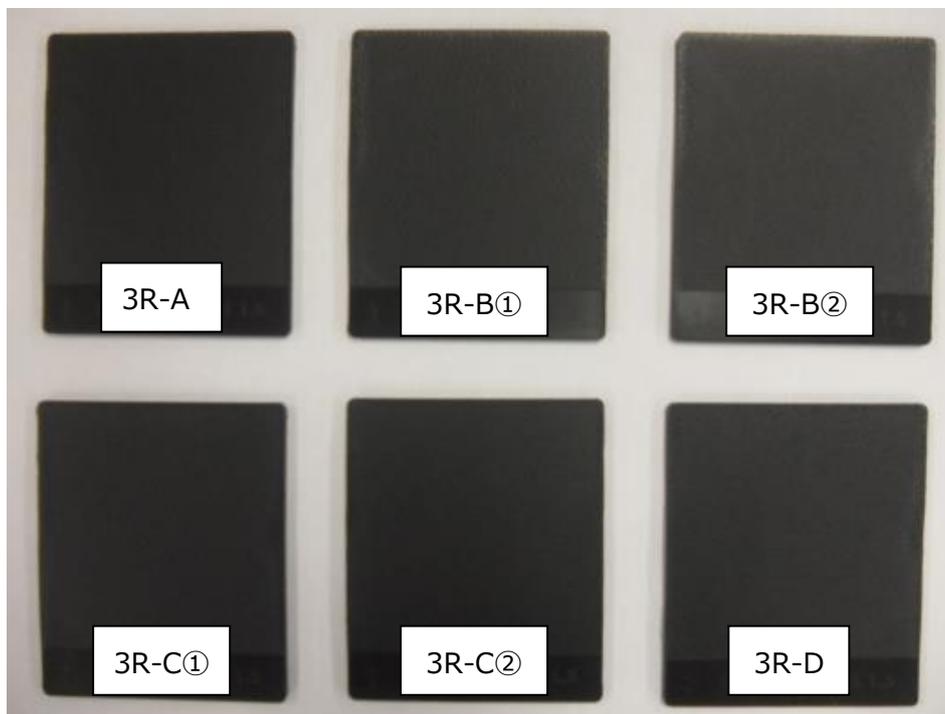


図 5-2 本事業で設計した PP 再生材グレード（シボ付き）

出所：株式会社矢野経済研究所撮影

## 5-2 本事業で製造した試作品の物性とコスト

平成 27 年度事業では、再生材グレード製造時のコストが、リサイクル材採用に向けた大きな課題となった。そこで、本事業で製造した再生材グレードには、主に以下の 2 つの低コスト化に向けた試みを行った。

### ① 再生材製造工程の省略

平成 27 年度いその事業では、自動車メーカーの要求物性に応える高品質な PP グレード製造のため、押出工程を 2 度経ることで十分な混練を行い、物性向上を試みた。但し、通常と異なるこうした製造工程は大きなコスト高に繋がっていたため、従来の製造工程で十分な物性を確保できるように工程、設計等の見直しを行った。結果として、押出工程が半減することで、数十円/kg 程度の低コスト化が可能となった。

### ② リサイクル材使用比率の向上

平成 27 年度いその事業では、十分な物性確保のためにバージン材等を多量に用いることで、物性強化を図っていた。例えば、平成 27 年度に試作したアンダーカバー向けグレードでは約 6 割の回収バンパー材の使用に留まったが、本事業では同等のグレードである「3R・D」グレードの製造に回収バンパー材を約 9 割使用しており、リサイクル材の使用比率を大幅に高めた。結果として、例えばバンパー向けバージン材価格が 200 円/kg とすると、バージン材使用量を 3 割減少することで、約 60 円/kg の低コスト化が可能となる（但し、その 3 割分に代替するリサイクル原料のコストは発生）。

さらに、他グレードにおいても、本事業で設計したグレードは PP バージン材を一切使用せず、100%リサイクル材を使用したグレードの製造を行った（タルク等の調整材は除く）。これによって原材料費の大幅な削減が可能になった。

これらの結果、昨年度試作したアンダーカバー向け再生材グレードの加工費は 194 円/kg であったが、同等品である本年度設計した「3R・D」グレードの加工費は約 80 円/kg と、半分以下にまで低減させることに成功した。他のグレードでも同様の試みを行っていることから、従来と比べて大幅な低コスト化を達成している。

一方で、いその測定値では当初設定した目標物性を達成しているものの、これらの低コスト化に向けた施策によって、物性が犠牲になっている可能性は否定できない。そこで、本事業では自動車メーカー 4 社に対して、今回設計した新規再生材グレードの物性およびコスト評価を実施した。自動車メーカーでは、各メーカーによって物性の基準値が異なることが推測されるため、今回設計したグレードがそのまま採用可能である可能性は低い。しかし、物性調整によって検討可能であるならば、PP 再生材グレードの大幅な低コスト化が達成できる可能性がある。

### 5-3 本事業で製造した試作品の評価

本事業で試作した4種類6パターンの新規グレードについて、自動車メーカー4社での採用検討可否に関する評価を依頼した。表5-3～表5-8に各グレードに対する各社の評価結果を示す。

物性評価の結果、各グレードともに概ね高評価であったといえる。エアクリーナーやバッテリートレイへの活用を意図して製造した「3R-A」は、コストに課題が残るものの、全社で検討可能との評価であった。

また、シートバック等への活用を企図して製造した「3R-B」は、バンパー材を用いた「3R-B②」と合わせて3社で検討可能との評価であった。但し、C社においても「△」の評価であったことから、物性調整等によって今後検討の机上に挙げられる可能性もある。

ツールボックスやラジエーターサポートカバーへの活用を企図して製造した「3R-C」も、「3R-C②」を含めて概ね「3R-B」と同等の評価である。自動車メーカーへのアンケートでは、用途を分けず「3R-B」と「3R-C」を同じ用途として評価しているメーカーも多かった。

最後に昨年度試作品と同等のアンダーカバー向け等を企図して製造した「3R-D」については、C社では物性の部分に「×」評価もあるものの、全社で検討可能という評価となった。

自動車メーカーでは各社によって要求物性値が異なることから、量産グレードですべてのメーカーから高評価を得るのは困難であるが、本事業で試作したグレードをベースとして、今後各自動車メーカーと物性調整を進めることで、製品化に繋がられる可能性もある。

表 5-2 「3R-A」グレードの評価

【推奨用途】エアクリーナー、バッテリートレイ 【基本グレード】PP+タルク0～10%

3R-A	評価項目											検討可否
	メルトフローレート	シャルピー衝撃強さ	引張降伏強さ	引張破壊ひずみ	曲げ強さ	曲げ弾性率	ロックウェル硬さ	荷重たわみ温度	比重	製品外観	コスト	
A社	△	○	○	○	○	○	○	○	△	○	×	可
B社	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	可
C社	◎	○	◎	-	◎	◎	◎	○	◎	-	-	可
D社	○	◎	○	-	○	◎	○	◎	△	○	○	可

\* 「◎」製品基準を十分に満たしている、「○」製品基準を概ね満たしている、「△」改善が必要  
「×」製品基準を満たせず改善も難しい、以下評価基準については同様

表 5-3 「3R-B①」グレードの評価

【推奨用途】シートバック、フェンダーライナー 【基本グレード】PP+タルク15%

3R-B①	評価項目											検討可否
	メルトフローレート	シャルピー衝撃強さ	引張降伏強さ	引張破壊ひずみ	曲げ強さ	曲げ弾性率	ロックウェル硬さ	荷重たわみ温度	比重	製品外観	コスト	
A社	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	可
B社	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	可
C社	◎	△	△	-	◎	◎	◎	◎	○	-	-	△
D社	○	◎	○	-	○	◎	○	◎	○	○	○	可

表 5-4 「3R-B②」グレードの評価

【推奨用途】シートバック、フェンダーライナー 【基本グレード】PP+タルク15%（塗膜バンパー使用）

3R-B②	評価項目											検討可否	
	マルチフローレート	シャルピー衝撃強さ	引張降伏強さ	引張破壊ひずみ	曲げ強さ	曲げ弾性率	ロックウェル硬さ	荷重たわみ温度	比重	製品外観	コスト		
A社	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	要検討	×	可
B社	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	可
C社	◎	△	△	-	◎	◎	◎	◎	◎	○	-	-	△
D社	○	◎	○	-	○	◎	○	◎	○	○	○	○	可

表 5-5 「3R-C①」グレードの評価

【推奨用途】ツールボックス、ラジエーターサポートカバー 【基本グレード】PP+タルク20%

3R-C①	評価項目											検討可否	
	マルチフローレート	シャルピー衝撃強さ	引張降伏強さ	引張破壊ひずみ	曲げ強さ	曲げ弾性率	ロックウェル硬さ	荷重たわみ温度	比重	製品外観	コスト		
A社	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	可
B社	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	可
C社	◎	×	◎	-	◎	◎	◎	○	△	-	-	-	△
D社	○	◎	○	-	○	◎	○	◎	○	○	○	○	可

表 5-6 「3R-C②」グレードの評価

【推奨用途】ツールボックス、ラジエーターサポートカバー 【基本グレード】PP+タルク20%（塗膜バンパー使用）

3R-C②	評価項目											検討可否	
	マルチフローレート	シャルピー衝撃強さ	引張降伏強さ	引張破壊ひずみ	曲げ強さ	曲げ弾性率	ロックウェル硬さ	荷重たわみ温度	比重	製品外観	コスト		
A社	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	可
B社	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	可
C社	◎	×	△	-	◎	◎	◎	○	△	-	-	-	△
D社	○	◎	○	-	○	◎	○	◎	○	○	○	○	可

表 5-7 「3R-D」グレードの評価

【推奨用途】アンダーカバー、ステップガード 【基本グレード】PP+エラストマー+タルク20%

3R-D	評価項目											検討可否	
	マルチフローレート	シャルピー衝撃強さ	引張降伏強さ	引張破壊ひずみ	曲げ強さ	曲げ弾性率	ロックウェル硬さ	荷重たわみ温度	比重	製品外観	コスト		
A社	△	○	○	○	○	○	○	○	○	要検討	○	○	可
B社	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	可
C社	◎	△	△	-	×	◎	×	×	×	-	-	-	可
D社	△	○	○	-	○	◎	○	◎	○	○	○	○	可

#### 5-4 さらなる低コスト化に向けた施策

いそのでは、物性を維持したままでのさらなる低コスト化を企図して、「容器リサイクルに用いられるPP材」を用いたグレード試作を行った。試作したのはシートバックやフェンダーライナー等での利用を想定した「3R-B」グレードであり、内装材のみを用いた「3R-B①」およびバンパー材を加えた「3R-B②」、そして容器リサイクル材を加えた「3R-B③」のそれぞれの物性および配合比を表5-8に示す。

結果として、配合比10%以上の容器リサイクル材を用いて、いそのが設定した目標値を達成することに成功した。また、内装材のみを使用した「3R-B①」に比べて、バンパー材も使用した「3R-B②」は約1.5%の低コスト化を達成しているが、容器リサイクル材も用いた「3R-B③」では、「3R-B①」と比べて約5%もの低コスト化に成功した。

「容器リサイクル材」の使用には、外観や臭い等の物性以外の影響も考慮する必要があるため、その使用には需要側である自動車メーカーとの協議が必要と考えられる。一方で、PPグレードの低コスト化とともに、他の利用価値が低いリサイクル材を高付加価値グレードに配合した本設計は、今後のリサイクル材の普及において非常に意義深いものとする。

表 5-8 3 パターンの「3R-B」グレードの比較

試験項目	試験条件	単位	試験方法	PP+タルク約15%品			
				3R-B	3R-B①	3R-B②	3R-B③
				目標値 (いその設定)	検証 結果	検証 結果	検証 結果
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ISO 1133	応相談	—	—	—
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	KJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1	3.0以上	○	○	○
引張降伏強さ	速度50mm/min	MPa	ISO 527-1	20以上	○	○	○
引張破壊ひずみ	速度50mm/min	%	ISO 527-1	報告	—	—	—
曲げ強さ	速度2mm/min	MPa	ISO 178	27以上	○	○	○
曲げ弾性率	速度2mm/min	MPa	ISO 178	1300以上	○	○	○
ロックウェル硬さ	Rスケール		ISO 2039-2	75以上	○	○	○
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1	85以上	○	○	○
比重	水中置換法		ISO 1183	0.94~1.02	○	○	○
推奨用途:	シートバック、フェンダーライナー、等						
コスト (3R-Bを基準とした際の値) :	—						
配合比:	コンパウンド材料 配合比 配合比 配合比						
●使用済自動車由来PP部品として回収された原料を50%以上使用することを基準として、各法令で回収されている【容器リサイクル材】、【家電リサイクル材】等も用いた設計コンセプトとして試作。 <コンテナ系・ASR由来も含む>	ELV内装材 ◎ ◎ ◎						
	ELVバンパー材 × △ △						
	容器材 × × ○						
	コンテナ系材料 △ △ △						
※ 印の配合内での【調整材】については、使用原料での設計において上記規格を満たすことが出来ない場合にタルク・D.M・新材等を使用。よって、調整材については生産毎に変動する。	家材 △ △ △						
	ASR材 △ △ △						
	調整材 (外等) △ △ △						

◎ : 配合比50%以上、○ : 配合比10%~50%未満、△ : 配合比10%未満、× : 不使用

出所 : いその株式会社作成

## 5-5 再生樹脂製造工程のまとめ

本事業で新規 PP グレードを設計し、自動車メーカー4社に物性評価を依頼した結果、以下の成果・知見が得られた。今後は各自動車メーカーとの物性調整による製品化や、さらなる低コストグレードの開発が期待される。

- ・ 本事業では想定使用用途の異なる PP グレード 4 種類 6 パターンを試作した。当初はバージン材の使用予定であったが、結果としてすべてのパターンで PP バージン材を用いないリサイクル材 100%での製造を達成した（タルク等の調整材は除く）。
- ・ 今回試作したグレードは、昨年度と比較して製造工程の見直しおよびリサイクル材使用比率の向上により大幅な低コスト化を果たした。一例として昨年度加工費が約 194 円/kg と見込まれたアンダーカバー向け材料では、本年度の加工費は約 80 円/kg と試算された。
- ・ 試作したグレードについて、自動車メーカー4社へ評価を依頼したところ、概ね良好な評価結果が得られた。すべてのパターンで今後採用を検討可能との意見が多かった。
- ・ さらなる低コスト化を企図して、容器リサイクル材を用いたパターンも試作した。結果として、内装材のみを用いたパターンに対して約 5%の低コスト化が可能なが分かった。

## 6 環境負荷低減効果の検証

### 6-1 CO2 排出削減効果の評価

#### 6-1-1 評価対象物の機能単位と評価対象

本事業で製造した PP 再生材グレードの潜在的需要量を PP 部品のマテリアルリサイクル可能量と想定し、この需要量に対してマテリアルリサイクルにより削減が期待できる CO2 削減効果を掛け合わせることで、本事業における環境改善効果を評価する。

そのため、環境削減効果としては、評価対象物を PP に設定し、PP 1t をマテリアルリサイクルした場合の CO2 削減量や新たな CO2 排出量を算出し、これらに対して自動車向け再生 PP 材グレードの需要量を掛け合わせることで算出する。

なお、本事業では ELV からの PP 部品回収から PP 再生材グレードの製造までの効率化を目的としているため、評価対象は PP 部品の回収、輸送、粉砕・洗浄、再生材製造とする。なお、回収拠点から粉砕・洗浄拠点までの輸送に関しては本事業で移動式破砕機の有効性を検証したものの、平成 27 年度いその事業において解体済自動車輸送時の「ついで便」を用いた効率化を達成しているほか、本事業で実証を行ったエコアールでは輸送拠点と粉砕・洗浄拠点が同一であるため考慮しない。

### 6-1-2 評価範囲と比較対象（ベースライン）

環境削減効果の評価範囲となるのは、先述のとおり PP 部品の回収から PP 再生材の製造までである。また、大半がエネルギーリサイクルされ、PP 部品のマテリアルリサイクルがされていない状況をベースラインとして設定する。一方で、本事業では解体業者でバンパーや内装部品が取り外され、再生樹脂製造業者に売却される。

ベースラインとなる PP 部品の既存フローと、PP 部品がマテリアルリサイクルされる実証フローの比較は図 6-1 の通りである。

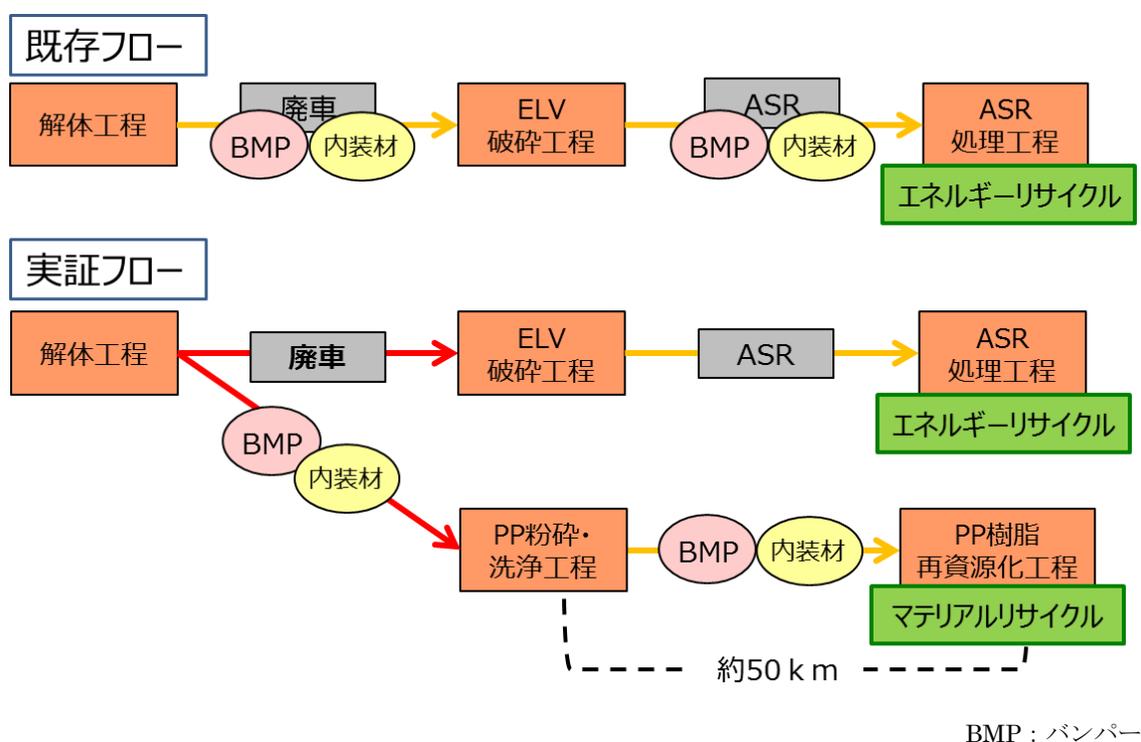


図 6-1 環境改善効果算出におけるベースライン

- \*実証フローにおける解体工程～PP 粉砕・洗浄工程への輸送は、同一事業所での回収・破碎、または平成 27 年度事業で実証済みの「ついで便」活用を想定して、考慮しない
- \*実証フローにおける PP 粉砕・洗浄工程から PP 樹脂再資源化工程への輸送距離は、参画企業のエコアールからいその協力工場までの輸送を想定

### 6-1-3 評価方法と排出原単位

本稿ではPP部品のエネルギーリサイクルからマテリアルリサイクルによって考慮すべき環境への効果を以下の4つと考え、それぞれCO<sub>2</sub>の排出原単位を掛け合わせることでCO<sub>2</sub>削減量を算出する。

CO<sub>2</sub>削減効果の導出に必要な「PP材の製造」、「廃棄物の輸送」、「電力消費量」のCO<sub>2</sub>排出原単位には表6-1の数値を用いる。なお、②ASRのガス化溶解量減少によるCO<sub>2</sub>排出量の算出に用いるCO<sub>2</sub>原単位については後述する。

- ① 天然資源（バージン材）の消費抑制によるCO<sub>2</sub>削減量  
【算出式】再生PP材需要量×PP製造に要するCO<sub>2</sub>原単位
  - ② ASRのガス化溶解量減少によるCO<sub>2</sub>削減量  
【算出式】再生PP材需要量×ASRガス化溶解に要するCO<sub>2</sub>量
  - ③ 新たに発生した輸送に伴うCO<sub>2</sub>排出量（燃費法による算出）  
【算出式】追加輸送距離÷燃費×軽油燃費係数
  - ④ マテリアルリサイクル時に発生するエネルギー消費量  
【算出式】（粉砕に要するCO<sub>2</sub>量+再生材製造に要するCO<sub>2</sub>量）×再生PP材需要量
- 本事業の環境改善効果 = (①+②) - ③-④**

表 6-1 本事業で使用するCO<sub>2</sub>排出原単位

項目	原単位	単位	備考
PP材の製造	1.483	tCO <sub>2</sub> /t	プラスチック類の製造
廃棄物輸送	2.58	kgCO <sub>2</sub> /L	軽油のCO <sub>2</sub> 排出係数
電力利用	0.000587	tCO <sub>2</sub> /kwh	代替値

出所：環境省「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」（廃棄物輸送、電力利用）  
 一般社団法人プラスチック循環利用協会  
 「石油化学製品のLCIデータ調査報告書（2009年3月）」（PP材の製造）

## ■ ASR のガス化溶融に要する CO2 量の算出

ASR 1t のガス化溶融に要するエネルギー消費原単位については、シャフト式ガス化溶融炉の実績値等を用いて LCA 試算を行った既存文献より、表 6-2 の数値を用いる。表 6-2 に従うと、ASR 1t のガス化溶融量減少によって削減される CO2 量は、**約 2.39tCO** と算出される。

表 6-2 ASR のガス化溶融に要する CO2 量

プロセス	データ項目	原単位	単位	計算式、説明
焼却・溶融	ASR1tあたりのASR焼却溶融におけるCO2排出量	1.24	tCO2/t	ASR焼却・溶融
	ASR1tあたりのコークス利用におけるCO2排出量	0.529	tCO2/t	コークス
	ASR1tあたりの石灰石利用におけるCO2排出量	0.033	tCO2/t	石灰石
	ASR1tあたりのLPG・軽油利用におけるCO2排出量	0.0221	tCO2/t	LPG・軽油
	ASR1tあたりのコークス製造におけるCO2排出量	0.0775	tCO2/t	コークス製造
	ASR1tあたりの石灰石製造におけるCO2排出量	0.000163	tCO2/t	石灰石製造
売電	ASR1tあたりの売電におけるCO2排出量	0.491	tCO2/t	売電
合計		2.393	tCO2/t	

出所：酒井伸一、他「自動車破碎残渣（ASR）の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント」（2012年9月）

## ■ 新たに発生した輸送に伴う CO2 排出量

輸送トラックの燃費は、経済産業省告示第 66 号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」に基づき、最大積載量が 8,000kg 以上 10,000kg 未満の営業用トラック（軽油）の走行燃費表を基準に、本事業で用いたトラックの燃費を「3.09km/L」と設定した。また、PP 破碎材は 10t トラックで 10t の輸送が可能のほか、図 6-1 に示した実証フローの追加輸送距離は 50km であることから、1t あたりの新たに発生する輸送距離は 5km となる。そのため、新たに発生した輸送に伴う CO2 排出量は、**約 4.2kgCO2/PPt** ( $5\text{km/L} \div 3.09\text{km/L} \times 2.58\text{kgCO}_2/\text{L}$ ) と算出される。

## ■ 粉砕に要する CO2 量の算出

粉砕に要する CO2 量および再生材製造に要する CO2 排出量については、今回エコアールに設置した粉砕ラインの実績値に基づいて算出する。

第 4 章で言及したように、刃物の欠けおよび摩耗確認試験時の粉砕ラインの処理速度は、2,425kg の処理に 23.5 時間を要したため、**103.2kg/h** であった。表 6-3 に示すように、粉砕ラインに設置された各設備の出力の合計は 37.2kW であり、これに力率 0.7 を掛け合わせた実際の消費電力は **26.04kW** と算出される。103.2kg の処理に対して 26.04kWh の電力消費が見込まれることから、t 当たりの電力消費量は **252.3kWh/PPt** (26.04kWh ÷ 103.2kg/h × 1,000) と導出される。

表 6-1 に示したように、電力利用の CO2 排出原単位は 0.000587tCO<sub>2</sub>/kWh であることから、t 当たりの排出 CO2 量は、**148.1kgCO<sub>2</sub>/PPt** (0.587kgCO<sub>2</sub>/kWh × 252.3kWh/PPt) と算出される。

表 6-3 エコアール粉砕ラインに設置された設備の消費電力

	破碎機	粉砕機 脱水・洗浄機	コンベア類等	合計
各設備の消費電力	23.50kW	13.40kW	0.30kW	37.20kW
各設備の消費電力 (力率 0.7)	16.45kW	9.38kW	0.21kW	26.04kW

出所：株式会社エコアール、日本シーム株式会社

## ■ 再生樹脂製造に要する CO2 量の算出

再生樹脂製造工程の CO2 排出量については、いそので試算した自社設備の CO2 排出量に基づいて算出する。

いそのでは、表 6-4 に示すように PP1t の製造に 1229.8kWh の電力利用が必要としている。表 6-1 に示したように、電力利用の CO2 排出原単位は 0.000587tCO<sub>2</sub>/kWh であることから、t 当たりの排出 CO2 量は、**721.9kgCO<sub>2</sub>/PPt** (0.587kgCO<sub>2</sub>/kWh × 1229.8kWh/PPt) と算出される。

表 6-4 いそのコンパウンド工程での消費電力

	攪拌工程	溶融工程	合計
各工程での消費電力	147.80kWh/PPt	1,082.00kWh/PPt	1,229.80kWh/PPt

出所：いその株式会社

#### 6-1-4 評価結果

前項で記載した算出式および原単位に基づいて本事業の評価結果を測定する。

#### ■ 回収 PP 材の需要量

評価結果の算出には、今回試作した回収 PP 材の需要量が必要である。今回評価を依頼した自動車メーカーの PP 再生材グレードの年間需要量を表 6-5 に示す。汎用性の高い 3R-B および 3R-C の需要量が高い結果となり、4 社の全グレード合計の需要は 35,015t となった。また、2015 年の国内自動車生産台数に占める 4 社の生産台数の合計は 34.6% を占めるため、日本国内全メーカーの需要量を拡大推計すると、PP 再生材グレードの需要量は 101,199t に及ぶ。

このうち、3R-A～3R-D の各グレードの回収材配合比率に基づいて ELV 由来の回収 PP 材の需要量を算出すると、約 74,000t となる。そのため、この 74,000t が CO2 削減効果算出に用いる需要量となる。

但し、今回いそので製造した再生材グレードは、PP は 100% リサイクル材を使用しており、約 27,000t (101,199 - 74,000 = 27,199t) の他のリサイクル材も使用される。本事業では ELV 由来の回収 PP 材のみを CO2 削減効果の評価対象とするが、他のリサイクル材使用による環境負荷低減効果も見込まれる。

表 6-5 自動車メーカーの PP 再生材グレードの需要量

	推奨用途	年間需要量 合計	4社の 自動車生産比率	年間国内 需要量
3R-A	エアクリナー バッテリートレイ	5,565 t	34.6%	16,084
3R-B	シートバック フェンダーライナー	22,950 t		66,329
3R-C	ツールボックス ラジエーターサポートカバー			
3R-D	アンダーカバー ステップガード	6,500 t		18,786
合計	—	35,015 t		101,199

出所：自動車メーカーへのアンケートから作成

## ■ 本事業における CO2 削減量の算出

以上をもとに、各数値を算出した結果は以下の通りである。

① 天然資源（バージン材）の消費抑制

$$74,000t \times 1.483tCO_2/PPt = 109,742tCO_2$$

② ASR のガス化溶解量減少による CO2 削減量

$$74,000t \times 2.393tCO_2/PPt = 177,082tCO_2$$

③ 新たに発生した輸送に伴う CO2 排出量

$$74,000t \times 4.2kgCO_2/PPt = 311tCO_2$$

④ マテリアルリサイクル時に発生するエネルギー消費

$$74,000t \times (148.1kgCO_2/PPt + 721.9kgCO_2/PPt) = 64,380tCO_2$$

$$\text{本事業の環境改善効果} = (109,742 + 177,082) - 311 - 64,380 = 222,133tCO_2$$

本事業では潜在的な需要に対して PP 再生材で応えることが可能になれば、約 222,133t もの CO2 を削減できる可能性があることが分かる。また、①～④を参照すると、PP1t あたりの CO2 削減効果は 3001.8kgCO2 (1,483kg + 2,393kg - 4.2kg - 148.1kg - 721.9kg) と算出される。そのため、第 3 章で用いた仮定と同様に、自動車 1 台から回収が期待できる PP 量を 10kg (前後バンパー：6kg、内装材：4kg) とすると、ELV 1 台あたりの CO2 排出削減量は約 30kg と算出される。

また、今回試作した新規グレードには ELV 由来以外のリサイクル材を使用しているが、上記では ELV 由来のリサイクル材の環境負荷低減効果のみを考慮しているため、CO2 削減効果はさらに大きくなることも推測される。

## 6-2 循環型社会への貢献効果

### 6-2-1 評価範囲と比較対象

本事業によって、PP 部品の再生材生産プロセスの効率化が達成されれば、ASR の削減が見込まれ、自動車リサイクル料金に含まれる ASR 処理費用の低減に繋がる。そのため、評価対象物を ASR に設定し、ASR を 1kg 削減した場合のリサイクル料金の削減額を算出することで、循環型社会への貢献効果を算出する。

評価範囲は CO2 削減と同様に PP 部品のマテリアルリサイクルプロセス全体となる。但し、ASR 削減に直結するのは、ELV から PP 部品が取り外された行為のみである。

比較対象（ベースライン）は、PP 部品が通常 ASR として排出される現状とする。処理フロー等の概要は図 6-1 に示した通りである。

### 6-2-2 評価方法と評価結果

経済産業省<sup>1</sup>によれば、リサイクル料金で充当される ASR 処理費用は 1 台あたり約 6,700 円であり、ELV 1 台から発生する ASR は平成 26 年度実績で 185kg/台とされる。一方で、ELV からは 10kg/台程度の PP 部品の回収が見込めるため、1 台あたり 10kg の PP 部品回収が実施されれば、約 360 円の ASR 処理料金が削減できる計算となる。

2015 年度の ELV の引取台数が 320.6 万台であることから、全体では約 11.5 億円の ASR 処理費用低減にも繋がる。また、自動車全体では 160kg 程度の樹脂材料が使用されており、うち半分が PP で占められているとされる。そのため、仮にすべての PP のマテリアルリサイクルが達成されれば、ユーザー負担は約 2,880 円低減可能となる。

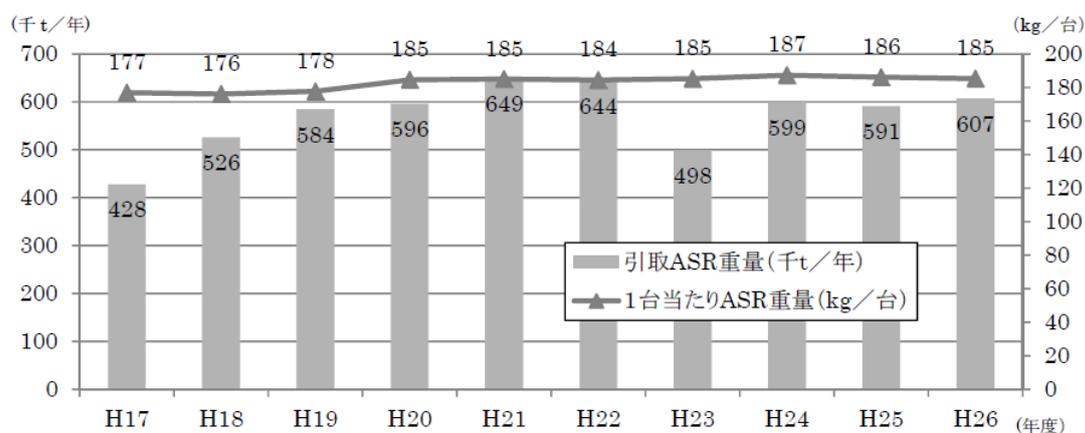


図 6-2 ASR 発生量（自動車製造業者等による引取り実績）

出所：環境省、経済産業省

<sup>1</sup> 経済産業省「自動車リサイクル制度の執行状況と高度化・効率化に向けた取組」

## 7 事業の実現可能性評価

### 7-1 技術的観点からの評価

PP 部品のマテリアルリサイクルフロー自体に関しては、技術的に課題となる部分は少ない。一部の自動車メーカーでは現状でも既に行われており、既存のインフラによっても対応可能である。そうした中、PP 部品のマテリアルリサイクルが進まない要因はコストである。コスト削減のための本事業で検証を行った技術としては、運送費削減のための移動式破砕機の検討および、PP 部品回収費用（異物除去費用）削減のための PP 異物混入状態での破砕機への投入検討が挙げられる。

まず、移動式破砕機の検証については、第 3 章で言及したように、移動式にカスタマイズした設備開発を実施すれば、技術的には採算性に合う破砕方法となり得ることを示した。今後はより製品化を意識した開発が求められるが、そのためには運用面での課題解決が優先となると考えられる。

また、異物混入状態での破砕機への影響に関しては、日本シーム製のハイス鋼を使用した粉砕機に約 2.5t の小異物（ビス・クリップ等）付きバンパーを投入することで、刃物への影響がないことを確認した。刃物の摩耗については長期的な観察が必要ともされるが、異物混入に対して一定の有効性が示されたと言える。



図 7-1 【再掲】回転刃に設置した刃物（左：超硬、中：ハイス鋼、右：ダイス鋼）

出所：日本シーム株式会社撮影



図 7-2 【再掲】固定刃に設置した刃物（左：超硬、中：ハイス鋼、右：ダイス鋼）

出所：日本シーム株式会社撮影

## 7-2 経済的観点からの評価方法

本事業は平成 27 年度いその事業で示した図 7-3 のバージン材とのコスト差を埋めるべく、再生材生産プロセス全体での最適化を目指した。

そのため、本稿でも平成 27 年度事業と同様に、各プロセス（回収、輸送、破碎・洗浄、再生樹脂製造）ごとの発生コストを積み上げていくことで、バージン材とのコスト比較を行う。なお、平成 27 年度事業で輸送コストは事実上「ゼロ」にすることを達成した（粉碎拠点からコンパウンドメーカーへの輸送コストは破碎・洗浄費に含む）。また、本事業ではエコアールでの回収および破碎・洗浄を実施しており、回収および破碎・洗浄が同一拠点であることから輸送費が発生していない。

以上のことから、平成 27 年度との比較をする意味でも回収拠点から粉碎・洗浄拠点までの輸送費は考慮していない（移動式破碎機の経済性や課題は第 3 章参照）。



図 7-3 平成 27 年度事業のバージン材とのコスト比較（アンダーカバー向け材料）

出所：平成 27 年度いその事業報告書

### 7-2-1 解体業者からの買取コスト

平成 27 年度いその事業では内装部品 50 円/kg、バンパー 30 円/kg で解体業者からの買取を行った。一方で、バンパー取外しに要する作業コストは、表 2-7 に示したように 26.8 円/kg と算出された。但し、昨年度の回収条件では 1 次解体に約 25 秒を要するフォークリフト等での取外しが行われた（本事業ではニブラ利用）ほか、パテ除去は破碎拠点で行っていたことから、本事業で計測した時間と合わせて算出し直すと **23.8 円/kg** となる。そのため、30 円/kg での成形品状態での買取であれば、一定の利益も見込めることが分かった。

さらに、本事業で検討した小異物除去工程の省略が果たせれば、表 2-7 に示したように作業コストは **15.1 円/kg** まで低減できる。ここまで作業コストが低減できれば、30 円/kg での回収はより一層促進される可能性がある。なお、解体業者の利益については取引条件等によっても異なると考えられるため、昨年度は 30 円/kg～50 円/kg での幅を持たせた数値を用いたが、本事業では利益を考慮せずにコストのみを比較することとする。

## 7-2-2 PP 部品破碎・洗浄処理コスト

破碎・粉碎・洗浄に要するコストは、第4章で算出した通りである。処理速度が昨年度の70kg/hから103.2kg/hと約1.5倍に向上した結果、人件費や電力料金等が大幅に圧縮された。また、昨年度破碎機投入前に実施したパテ除去工程が省略可能と見込まれることから、前処理に要する人件費も大幅に削減された。

結果として、昨年度と同条件の前提であれば、表7-1、表7-2に示すように設備の減価償却費を含んだ場合には4.9円/kg（47.3円/kg⇒42.4円/kg）、減価償却費を除いた場合には8.2円/kg（41.8円/kg⇒33.6円/kg）まで低減することが分かった。

表 7-1 【再掲】平成27年度事業の破碎処理コスト（30t/月回収の場合）

生産量		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	算出条件	
出荷量				324	324	324	324	324	回収量360t/年×歩留まり90%	
コスト	人件費	BMP前処理	千円	0	2,468	2,468	2,468	2,468	2,468	11,000円/t（時給1,000円の場合）
		内装部品前処理	千円	0	339	339	339	339	339	2,500円/t（時給1,000円の場合）
		破碎機投入	千円	0	5,143	5,143	5,143	5,143	5,143	14,286円/t（70kg/hの場合）
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg	
	修繕費	千円	0	610	610	610	610	610	エコアル試算（610千円/年）	
	電力料	千円	0	3,029	3,029	3,029	3,029	3,029	エコアル試算（8,414円/t）	
	水道料金	千円	0	12	12	12	12	12	比重選別用水槽	
	減価償却費	千円	0	1,786	1,786	1,786	1,786	1,786	減価償却期間7年	
	輸送コスト	千円	0	1,620	1,620	1,620	1,620	1,620	集荷拠点⇒コンパウンドメーカー 5円/kg	
	売上原価合計	千円	0	15,331	15,331	15,331	15,331	15,331		
kg当たりの単価		円	0	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3		
kg当たりの単価（減価償却費除く）		円	0	41.8	41.8	41.8	41.8	41.8		
投資金額		千円	12,500	0	0	0	0	0		

出所：平成27年度いその事業

表 7-2 【再掲】本年度事業の粉碎処理コスト（30t/月回収の場合）

生産量		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	算出条件	
出荷量				324	324	324	324	324	回収量360t/年×歩留まり90%	
コスト	人件費	BMP前処理	千円	0	1,436	1,436	1,436	1,436	1,436	6,400円/t（時給1,000円の場合）
		内装部品前処理	千円	0	339	339	339	339	339	2,500円/t（時給1,000円の場合）
		破碎機投入	千円	0	3,488	3,488	3,488	3,488	3,488	9,690円/t（103.2kg/hの場合）
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg	
	修繕費	千円	0	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226	エコアル試算	
	電力料	千円	0	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	エコアル試算（4,037円/t）	
	水道料金	千円	0	0	0	0	0	0	洗浄機用循環水（井戸水利用）	
	減価償却費	千円	0	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	減価償却期間7年	
	輸送コスト	千円	0	1,620	1,620	1,620	1,620	1,620	集荷拠点⇒コンパウンドメーカー 5円/kg	
	売上原価合計	千円	0	13,744	13,744	13,744	13,744	13,744		
kg当たりの単価		円	0	42.4	42.4	42.4	42.4	42.4		
kg当たりの単価（減価償却費除く）		円	0	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6		
投資金額		千円	20,000	0	0	0	0	0		

出所：株式会社矢野経済研究所作成

### 7-2-3 再生材の製造コスト

再生材の製造コストについては、いそので製造した試作品の加工費として考える。昨年度事業は厳しい物性要求を満たすためにバージン材の使用や、コンパウンド工程でも練り工程を繰り返し行う等によって加工費が嵩み、約 194 円/kg の加工費と試算された。しかし、本年度はコンパウンド工程の省略やバンパー材使用比率の向上（6 割から 9 割）、そして PP バージン材を一切使用しないコンパウンド設計等によって大幅な低コスト化を達成した。その加工費は、今後の物性調整等によって変動するものの、約 80 円/kg と半分以下にまで低減したと考えられる。

平成 27 年度と同等の再生材グレードとしては、表 5-8 に示した「3R-D」グレードが該当するが、各自動車メーカーからも概ね高評価もしくは物性調整によって検討可能との評価を得ており、今後のリサイクル材の普及にあたって、大きな可能性を見出す結果となった。

### 7-2-4 昨年度事業およびバージン材との価格比較

以上の各工程で達成した効率化・低コスト化について、平成 27 年度いその事業と比較して整理したのが表 7-3 である。なお、以下は昨年度との比較のため、バンパーを回収し、アンダーカバー向けグレード（本年度事業で試作した「3R-D」グレード）を生産する場合のコストである。

表 7-3 昨年度事業と本年度事業のコスト比較

工程	昨年度事業 コスト	本年度事業 コスト	要因
PP 部品取外し工程	23.8 円/kg <sup>*1</sup>	15.1 円/kg	小異物除去工程の省略
PP 部品運搬工程	0 円/kg	0 円/kg	昨年度示した「ついで便」活用を想定
破碎・洗浄工程 <sup>*2</sup>	41.8 円/kg	33.6 円/kg	パテ除去工程削減 <sup>*3</sup> 、 破碎速度向上、電力の効率化
再生樹脂製造工程 <sup>*4</sup>	194 円/kg	約 80 円/kg	再生樹脂製造工程の見直し、 バンパー材使用比率向上、等

\*1: 昨年度のフローを、本年度に再計算（1 次解体を昨年度と同様にフォークリフトで 25 秒と仮定）

\*2: 設備の減価償却費を含まない価格で比較

\*3: PP 部品回収時の作業だが、昨年度は破碎前に実施したため、破碎・粉碎費から控除

\*4: 再生材の価格はバンパー材使用比率により変動するため、4 工程の合計値が価格になるわけではない。

さらに、バージン材および昨年度に試作した再生材グレードと、本年度に試作した「3R-D」グレードの価格を比較したのが図 7-4 である。

バージン材の価格は市況の影響を受け下落を続けていたが、本事業ではその下落幅を上回る低コスト化を達成した。アンダーカバー向け再生材グレード「3R-D」の場合には、現在のバージン価格と比較して 46.2 円/kg の価格優位性があるほか、市況が大幅に低下した昨年の底値と比較しても価格競争力を持つ。本試算には回収費、粉碎・洗浄費には各事業者の利益を含んでいないが、各事業者の利益を考慮したとしても十分にバージン材に対して価格競争力のあるグレードとなったといえる。

この要因としては、各工程での低コスト化に加えて、再生材製造工程でのバンパー材使用比率向上および再生樹脂製造工程での低コスト化が大きく寄与したとみられる。今後は容器リサイクルに用いられる材料等の活用も進めば、さらなる低コスト化が達成できる可能性もある。

今後は各メーカーに合わせた物性のカスタマイズによって、提案グレードを調整していく必要があるが、近い将来での量産化に向けて大きな可能性を秘めた事業となったと言えるだろう。

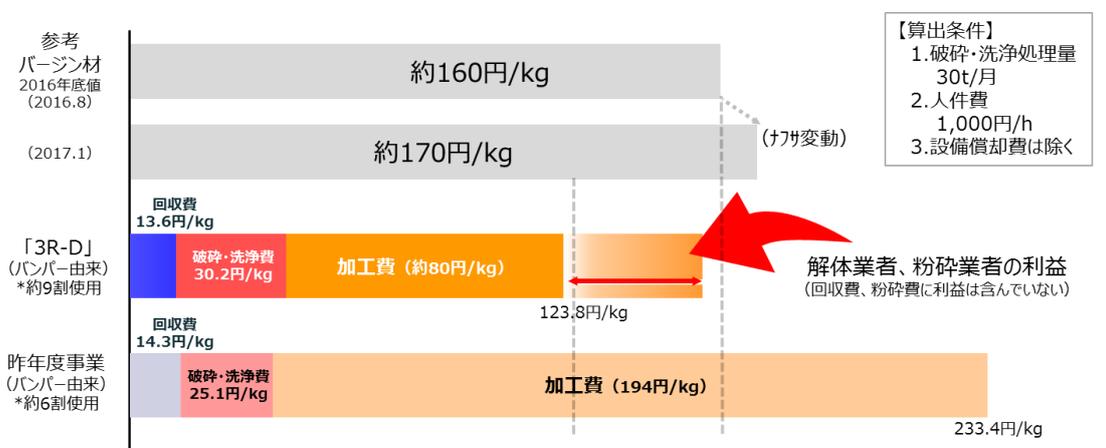


図 7-4 バージン材および昨年度事業試作品とのコスト比較 (アンダーカバー向け材料)

出所：株式会社矢野経済研究所推計

## 8 まとめ

本事業で得られた成果と課題、今後の課題解決方法について表 8-1 に再度整理する。

本事業では工程ごとの最適化を図ったが、PP 部品取外し工程では回収マニュアルの作成を行ったほか、二次解体工程の省略可能性を示した。また、最適な選別方法についても比重 1.04 の比重分離の有効性が分かった。今後は工程省略による後工程への影響が、長期的にも発生しないかを確認する必要があるが、本フローを用いた運用を開始予定であり、今後の経過観察により影響有無を確認する予定である。

PP 部品運搬工程については、移動式破砕機の有効性を示した。移動式破砕機に特化した製品開発によって採算に合う事業が可能なることを示したが、今後は移動式破砕機の運用主体や、回収ネットワークの構築が課題となる。そのため、移動式破砕機の可能性を周知し、その需要を確認していくことが重要と考える。

破砕・洗浄工程では、日本シーム製のハイス鋼を用いた粉碎ラインによって、小異物除去が不要となる可能性を示した。先述のように後工程への長期的な影響を確認する必要があるが、こちらも今後の運用を通じて検証を続ける。

最後に再生樹脂製造工程では大幅な低コスト化と、ELV に留まらない再生材を用いたグレードの有効性を示した。今後は既に一部では進行中であるが、各自動車メーカーとの物性調整によって、製品化に向けて検討を進めることが重要となる。

表 8-1 本事業で得られた成果と課題

工程	本事業の成果	今後の課題	課題解決に向けた手順
PP部品 取外し工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>回収マニュアルの作成</li> <li>二次解体工程省略の可能性を確認</li> <li>有効な選別方法の明確化</li> </ul>	①工程省略による長期的な後工程への影響	①本フローの運用を開始することで確認
PP部品 運搬工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>移動式破砕機の有効性の検証</li> <li>コスト削減効果を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①回収ネットワークやビジネスモデルの検討</li> <li>②カスタマイズした移動式破砕機の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①本報告書を含めて認知・提案を実施</li> <li>②ビジネスモデル明確化後に検討</li> </ul>
破砕・洗浄 工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハイス鋼が小異物に耐えうることを確認</li> <li>新設備の処理速度向上効果を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①長期間使用でも異常がないか確認</li> <li>②設備の最適化によるさらなる処理速度向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①本フローの運用を開始することで確認</li> <li>②破砕機噛み込み速度を最適化中</li> </ul>
再生樹脂 製造工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>3R-Dグレードで大幅な低コスト化達成</li> <li>他用途も量産可能性のある製品を開発</li> <li>バージン材を用いないグレード設計を達成</li> <li>低価値PP材の用途先を開拓</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①自動車メーカーごとの物性のカスタマイズ</li> <li>②容器リサイクル材による再生材の低コスト化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①自動車メーカーと協議（一部は進行中）</li> <li>②他グレードと合わせて自動車メーカーに提案</li> </ul>
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP再生材グレードの低コスト化を達成</li> <li>CO2削減可能性は約22.2万t</li> <li>ELV以外の再生材需要開拓を達成</li> <li>再生材グレードの大幅な用途拡大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①本フローの長期運用による影響有無を確認</li> <li>②移動式破砕機の実用化</li> <li>③再生材グレードの実用化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①本フローの運用を開始することで確認</li> <li>②移動式破砕機の認知を広め、需要確認</li> <li>③自動車メーカーと協議中</li> </ul>

<添付資料>

ELV 由来 PP 部品回収マニュアル

環境省  
「平成28年度低炭素型3R技術・システム実証事業」  
使用済自動車由来PP部品の効率的な再生材生産プロセスの検証

## ELV由来PP部品回収マニュアル

ELV由来PP部品回収マニュアル	
<b>1. 回収対象となるPP部品</b>	
1-1. 回収対象となる主なPP部品	4
1-2. PP部品の判別方法	5
<b>2. バンパーの回収方法</b>	
2-1. 自動車からのバンパー取外し方法	7
2-2. バンパーの異物除去	10
2-3. パテ使用品の除去	11
2-4. バンパーの回収フロー	12
<b>3. 内装部品の回収方法</b>	
3-1. 自動車からの内装部品取外し方法	14
3-2. 内装部品の異物除去	16
3-3. 内装部品の回収フロー	17
<b>4. PP部品の梱包・輸送方法</b>	
4-1. PP部品の梱包・輸送方法	19
4-2. PP部品の輸送効率化に向けた施策	20
<b>5. PP部品の破砕方法</b>	
4-1. PP部品の破砕・粉砕	22
4-2. PP部品破砕材の処理フロー	23

# 1. 回収対象となるPP部品

## 1-1. 回収対象となる主なPP部品

- 回収対象となるPP部品は、大別して**外装部品（バンパー）**と**内装部品**
- 内装部品の方が後工程でのリサイクル性が高いため、一般にバンパーに比べて高値で取引される
- 内装部品については、下記以外にもインパネや樹脂カバー類等、**PPと判別が付けば買取可能**

外装部品		内装部品				
フロントバンパー	リアバンパー	各種ピラートリム	ドアパネル	リアカバー／トランクカバー	コンソール	サイドステップ
						

### 対象外部品

内装部品は、メーカー・年式・車種を問わずPP樹脂が使われているが、**木目調パネル**（ABS+塗装転写）・**クッション表皮**（PVCレザー）・**クロムメッキ**などが使用されているものは対象外となる。また、一部バンパー等で用いられる**グラスファイバー（GF）混合品**やPE、エンブレム等に用いられる**ABS**、エアダクト等のカスタムパーツで用いられる**炭素繊維**等の異樹脂の製品も対象外。



-4-

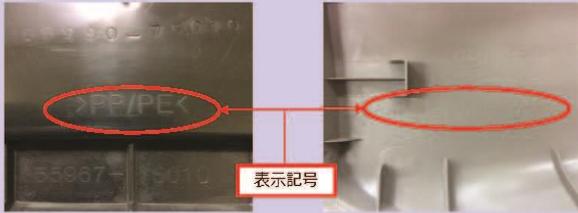
## 1-2. PP製品の判別方法

部品にPPが用いられているかどうかは、**表示記号によって簡単に判別可能**。プラスチック製品の識別と表示は、ISOにより**必ず表示**されている。また、PPは衝撃吸収性があるため、叩いた時の音・感触等によって、熟練すれば表示記号無しでも判別可能。

### PP製品の判別

PP樹脂は必ず「>PP<」で始まり、基本的に引取り可能  
但し、**PE**や、**GF**（グラスファイバー）混入品は引取り不可（右表参照）

下記は一例であり、表示の仕方は多数ある。但し、PE/GF等の表示がなければ引取り可能。また、「>PP/PE<」はPEの表示があっても引取り可能。



表示記号

回収対象かどうかの判断が付いたら、以下の受取基準に従い**異物除去**  
つまり、異樹脂や金属類を取り除いて**PP樹脂のみ**とする

回収対象		回収対象外	
表示記号	基本組成	表示記号	基本組成
【①単一素材の表示例】		【①単一素材の表示例】	
>PP<	ポリプロピレン	>PP-E<	発泡PP
		>PE<	ポリエチレン
		>TPO<	オレフィン系樹脂
【②異なる樹脂との混合系表示例】		【②異なる樹脂との混合系表示例】	
>PP+E/P<	PPとEPRの混合樹脂		
>PP+PE<	PPとPEの混合樹脂		
>PP+●●●<	PPとその他樹脂の混合樹脂		
【③フィラー強化系の表示例】		【③フィラー強化系の表示例】	
>PP-TD○○<	粉末タリク添加PP	>PP+MD○○<	粉末鉱物添加PP
		>PP+GFO○<	ガラス繊維強化PP
		>PP+CFDO○<	炭素繊維強化PP

\* EPR:エチレンプロピレン共重合体

### PP樹脂の受取基準

- ① **PP単一に分別** : 他の樹脂と混ざりが無くPP樹脂のみに分別
- ② **外装・内装部品に分別** : 内装部品と外装部品は品質が異なるため、分けて回収
- ③ **異物・小部品の除去** : 金属類や樹脂クリップ等を完全に除去

-5-

## 2. バンパーの回収方法

## 2-1. 自動車からのバンパー取外し方法

- バンパーの取外しには①フォークリフト、②ニブラ、③手作業の3通りの取外し方が考えられる。
- 各方法とも特色があるため、やりやすい方法や、車台によって適切な方法を選択するのが良い。

### フォークリフトによる取外し

フォークリフトの先をバンパーと車台の隙間に引っかけ、フォークリフトで引っ張ることで外す。  
2015年度の環境省実証事業では解体業者14業者がPP部品回収事業に参加したが、  
14業者中4業者がこの方法を取り、うち3業者が**30秒以下で作業可能**としている。

取外部位	作業イメージ	作業時間 目安
リア バンパー		約25秒/本
フロント バンパー		約25秒/本

※ フォークリフトでの運搬用途以外の使用は、安全確保の面から必ず管轄自治体に確認のこと。

-7-

## 2-1. 自動車からのバンパー取外し方法

### ニブラによる取外し

ニブラでバンパーを掴んで、引っ張ることで外す。  
2015年度の実証事業では14業者中1業者がこの方法を取り、**30秒以下で作業可能**としている。  
最も効率的だが、回収作業時に液漏れが発生するため、**部品取り前に液抜を行う解体工程の場合に有効**。  
また、他の方法に比べて作業スペースが必要なため、**十分な作業スペースを有する場合に有効**。  
なお、バンパーが千切れると回収時に素材表示の確認が出来ないことから、**千切らないように注意**。

取外部位	作業イメージ	作業時間 目安
リア バンパー		約10秒/本
リア バンパー		

-8-

## 2-1. 自動車からのバンパー取外し方法

### 手作業による取外し

固定されているネジやビスを取り外した上で、手作業で外す。  
 2015年度の実証事業では14業者中9業者がこの方法を取り、**30秒～2分超での作業可能**としている。  
 最も時間を要す方法だが、**重機および広い作業スペースを要しないことが利点**。  
 また、一部のネジやビスでしっかりと固定されたバンパーでは、重機での作業が困難な場合もある。

取外部位	作業イメージ	作業時間目安
リアバンパー	 <p>ライト脇、中央、バンパー下部等のネジ・クリップを外す。 固定箇所が多い場合には、重機よりも手作業が効率的。</p>	約30秒～2分超/本
		

-9-

## 2-2. バンパーの異物除去

- バンパーにはクリップやビスといった金属類、異樹脂といった**多数の異物が付着**している。
- PPとしてバンパーを販売するには、これらを手作業で除去し、**PP単一化を図る必要がある**。
- 異素材が多い**輸入車や高級車**、異物除去が困難なバンパーについては**販売を諦めた方がよい場合もある**。

### 付着している異物

 ランプ類	 モール・エンブレム	 ステッカー類	 グリル	 スポイラー類	 取り付け金具
 ナンバープレートの金具	 アルミクリップ	 フォグラмп補強材	<b>バンパーへの付着例</b>  <b>異物</b> <b>パテ付きは原則NG (OKの場合もある)</b> 異物除去作業の様子		
 ナンバープレートのクリップ	 アンダーカバーの金具	 樹脂クリップ			

※ 対象外バンパーの除去、異物除去を経て、PP単一化を図ることで初めてバンパーの販売が可能

-10-

## 2-3. パテの使用品の除去

- 使用済自動車由来のバンパーには補修用途でパテが塗られているケースがある。
- 2015年度の実証事業では、**約9.0%**のバンパーが受入NG品であった（PP素材が異なるためにNGとなった分を含む）。
- パテはその後の後工程によっては、除去不要のケースもある（後工程の業者と要確認）。
- 一方で、パテを除去することでPP部品の価値向上も可能である。
- 現在確認しているパテの確認・除去方法については、**グラインダーで削る**方法がある。

パテ確認作業イメージ			作業時間目安
 <p>① グラインダーで表面の塗装を削る</p>	 <p>② 確認漏れが無いよう全体を削る</p>	 <p>③ パテ使用品は塗膜下 が白いため除外する</p>	約30秒～ 4分/本

### パテを除去しなければいけない理由

パテは異樹脂（異物）のため、多量に混入すると再生樹脂の押出加工時に、**メッシュ詰まり等の原因**（右図）となる。そのため、受入NGや価値低下に繋がるため、除去の必要がある。但し、後工程である洗浄・選別工程等によっては、**受入可能なケースもあるため、再生樹脂業者と要確認。**



【洗浄工程で除去されたパテ】



【パテを原因とするメッシュ詰まり】

-11-

## 2-4. バンパーの回収フロー



-12-

## 3. 内装部品の回収方法

### 3-1. 自動車からの内装部品取外し方法

- 内装部品の取外しには①手作業、②ニブラの2通りの取外し方が考えられる。
- インパネ等の大きな部品はニブラの方が効率的だが、内装部品の場合、ニブラによる取外しでは干切らずに取ることが困難であり、手作業での取外しを推奨する。

#### 手作業による取外し

2015年の実証事業では回収14業者の**すべての業者**が手作業で回収している。  
作業時間は内装部品の回収部位・点数によっても異なるが、**1分以下～5分以上**と業者によって多様である。

取外部位	作業イメージ	作業時間 目安
リアドア カバー		約10秒
リアサイド パネル	 <p>シートベルトや付属部品、ステップカバー等が引っかかっている場合は先に外す</p>	約20秒

※ トランク周りは外しやすく大きいPP部品が多い

-14-

### 3-1. 自動車からの内装部品取外し方法

#### 内装部品取外し時の留意事項

内装部品は車種や部位によって**組み付け方やクッション材の有無が非常に多様**。  
 異物や異素材（フィルム等）が非常に外しにくい場合も多く、特に**クッション材の使用率が高いドアパネル**は注意！  
 一方で、取外し自体はマイナスドライバー等で引っかけるだけで簡単に外れるものも多い。  
 特に、**トランク周りやステップカバー**は取り外しやすく、異物も少ないのでおすすめ。  
 また、エアバッグを一括作動している場合には、配線引き出し時に**コンソール**が取れる場合も多い。

部位	トランク周り/ ステップカバー	コンソール	ドアパネル	ピラートリム (フロント/サイド)
イメージ				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>取外しがしやすい</li> <li>異物が少ない</li> <li>重量がある</li> <li>回収しやすくおすすめ</li> <li>吸音・消音材が付着している除去困難なものも有り</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エアバッグ作動時に外れることが多く、外す手間が省け効率的</li> <li>異物も少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>異物が多い</li> <li>複数の部品が組み合わさっている場合も多く注意</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>異物が少ない</li> <li>シートベルトを外す必要がある場合がある</li> <li>車種によっては取外しづらい場合がある</li> </ul>

※ 内装部品は部位・車種によって大きく手間が異なる。簡単に外せる部品のみ取外しが効率的

-15-

### 3-2. 内装部品の異物除去

- バンパーと同様に内装部品にも接着剤やクリップといった**多数の異物が付着**している。
- PPとして販売するには、これらを手作業で除去し、**PP単一化を図る必要がある**。
- 広範にわたって接着剤やスポンジが付着しているものは、**回収時に省いた方がよい**場合もある。

#### 付着している異物

 布・スポンジ・クッション類	 ドア内貼り	 内貼り等のクリップ類	 スイッチ類
 センターピラー裏等の取付金具	 固定用金具	<b>その他の注意事項</b>  接着剤が取れないものは省く  見えにくい・取れにくい異物もあるので注意！	
 ネジ・ナット	 金属クリップ		
 ドアパネルの異物			

※ 対象外内装部品の除去、異物除去を経て、PP単一化を図ることで内装部品の販売が可能

-16-

### 3-3. 内装部品の回収フロー



## 4. PP部品の梱包・輸送方法

## 4-1. PP部品の梱包・輸送方法

- PP部品は成形品状態だと非常にかさばるため、減容を意図した保管／輸送方法が必要となる。

### PP部品の梱包・輸送

バンパーの場合には、同じサイズ形状のものをPPバンドで固定することに減容化が図れる。  
一方で、梱包の手間を考えると、減容は期待できないものの輸送しやすいカゴやケースに保管していく方法もある。  
また、内装部品の場合にも同種の部品が多い場合は結束が有効だが、多様な部品の回収を行う場合には、フレコン袋やカゴ、ケースでの保管・輸送をせざるをえないケースが多い。

保管・輸送方法	イメージ	作業時間目安
PPバンドでの固定		約180秒 (1束4本)
カゴやケースの利用		—

-19-

## 4-2. PP部品の輸送効率化に向けた施策

- 保管時にはカゴやケースでも大きな問題とならないが、輸送時には成形品状態だと多額の輸送費がかかる。
- 2015年度の実証事業では、成形品のトラックへの積載率は約11%であり、4tトラックで440kg程度しか積載できない。
- バンパーが30円/kgと仮定すると、**バンパー440kgでは13,200円**の価値である。  
一方で、**4tトラックの手配には3万～4万円程度必要**となるため、輸送費だけで赤字になる。
- 自社便を用いて輸送する方法もあるが、この輸送費を何とか圧縮しなければならない。
- 平成27年度環境省事業では、**破砕業者の廃車ガラ引取便を用いることで、輸送コストをゼロにするモデル**を示した。  
(下図の混載例の写真参照)
- **樹脂破砕機を有する破砕業者であれば、こうした連携が達成できる可能性も高い。**
- 近年では移動式破砕機等の検証も行われる等、輸送コストの削減に向けた試みが続けられている。

### 破砕業者による廃車ガラ引取り便への混載例

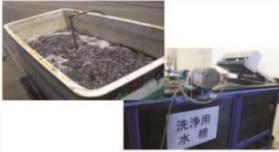


-20-

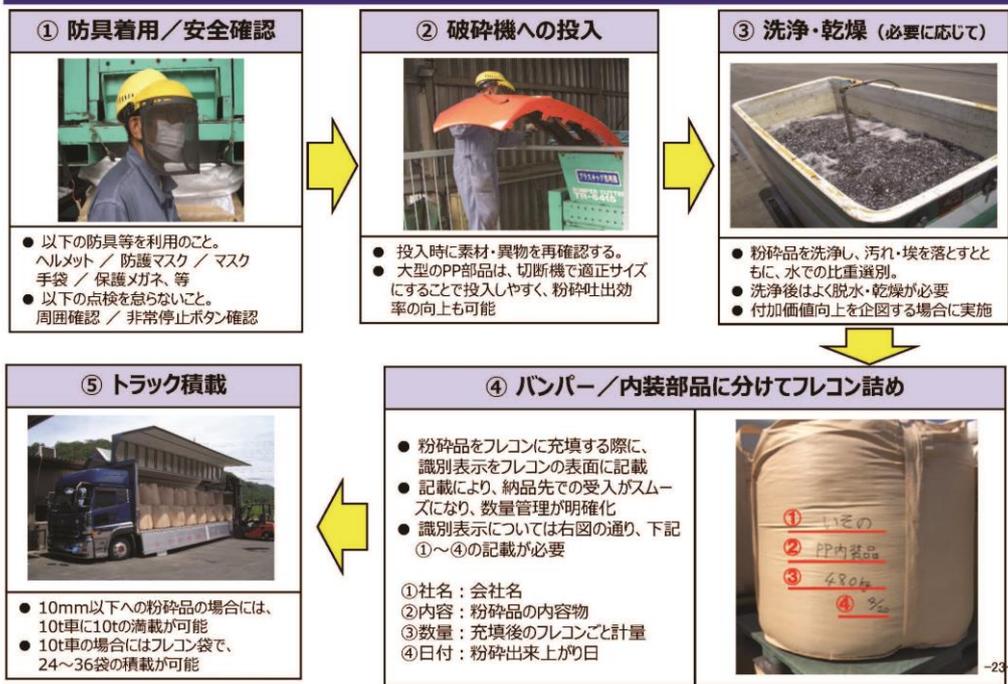
## 5. PP製品の破砕方法

### 5-1. PP製品の破砕・粉砕

- PP製品は破砕すれば保管・運搬時の大幅な減容を図れるため、**PP製品の集積が図れば破砕することが効率的**
- また、破砕だけでなく、10mm以下程度まで粉砕すれば、PP製品は素材価格に加えて**20円/kg**程度価値が向上する
- 粉砕後に水槽等での洗浄・乾燥工程を経れば、さらに**素材価値が向上する**場合もある。

工程	設備イメージ	処理後イメージ	概要
粗破砕			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ フレコンでは約<b>175kg/袋</b>であるため、10t車では<b>4.2t~6.3t</b>積載可能。</li> <li>・ 処理能力によって価格が大きく異なるため、自社の破砕量を踏まえて、要検討。</li> <li>・ 破砕時の騒音は設備付近で<b>80db</b>程度。30m程離れば大きく気にはならないレベル。</li> </ul>
粉砕	  【破砕・粉砕一体型】 【粉砕機（別体）】		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 資源価値向上のためには、<b>10mm以下</b>の粉砕が必要となる場合が多い。</li> <li>・ フレコンでは約<b>375kg/袋</b>であるため、10t車では<b>10t</b>積載が可能。</li> <li>・ 一体型の方が小型だが、メンテナンスに課題があり、今はほぼ生産されていない。一方、別体型では破砕機と連結するラインの設計が必要。</li> <li>・ 粉砕時の騒音は設備付近で<b>95db</b>程度。30m程離れば<b>7db</b>程度まで低減する。</li> </ul>
洗浄	  【水槽を用いた洗浄・比重選別】 【日本シーム製の洗浄・粉砕機（左）と脱水・乾燥機（右）】		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処理量が多い場合には、水槽を用いた方法が比重選別も兼ねられ効果的。バブ等によって<b>水流を作ること</b>で正比重が得やすくなり、品質向上に繋がる。</li> <li>・ 洗浄後はヒーター等を用いた乾燥工程が必要。天日干しでも可だが、乾くまでに<b>数日間</b>を要する。（多少の湿気はOK）</li> <li>・ 処理量が多い場合は<b>洗浄・粉砕機</b>が効果的であり、一定の異物除去も可能。脱水・乾燥機と組み合わせれば、効率的な粉砕材生産が可能。</li> </ul>

## 5-2. PP部品破砕材の処理フロー



-23-