

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)

報告書

平成28年2月29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）を含有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。

また、使用済自動車由来の PP 部品は、多様なメーカーや自動車の PP 部品が混在することで、PP への塗膜有無や配合材料等の違いが生じる。マテリアルリサイクルの事業化には、こうした物性の異なる材料を適切に配合することで、十分な物性を確保し、安定的なリサイクル材の供給を達成する必要がある。

こうした中、本事業では PP 部品のマテリアルリサイクルを目指し、PP 部品の取外し方法、輸送の効率化、破碎処理の効率化、多様な PP 回収材からの再生材の製造方法といった各プロセスでの検証を実施した。

2 事業概要

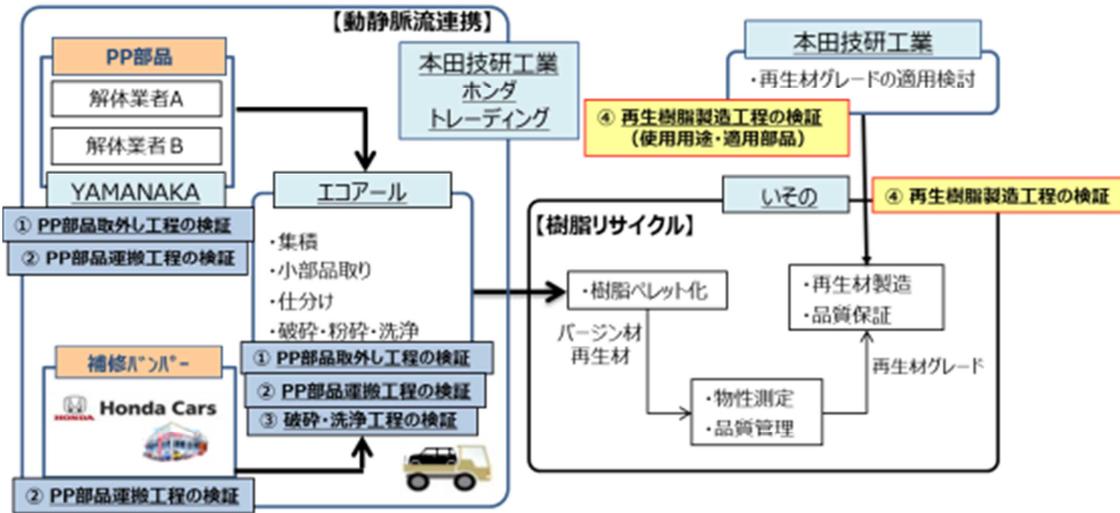
本事業では、自動車リサイクルに携わる解体業者、破碎業者、自動車メーカーと、コンパウンドメーカーであるいその株式会社が連携し、PP 部品リサイクルフローの効率化と、自動車部品向け PP 再生材グレードの製造を目指した。

まず、解体業者である株式会社エコアールが PP 部品取外し方法の検討を実施した。また、PP 部品の運搬については、破碎業者である株式会社 YAMANAKA が、解体業者からの解体済自動車引取り時の「ついで便」を利用して PP 部品を混載する回収スキームを実証した。さらに、新車販売店でバンパー補修時に発生する補修交換済バンパーについても、エコアールが新車販売店および、補修交換済バンパーが集積する部品販売店の近隣への使用済自動車引取り時に「ついで便」を利用することで、バンパー輸送の専用便を用いない回収スキームを実証した。

回収した PP 部品は破碎機を所有するエコアールに集積され、破碎機での処理効率化や処理における課題を検討した。その後、破碎した PP 材はいその納品され、本田技研工業株式会社と連携して自動車アンダーカバー向けの要求物性を満たす、PP 再生材グレードの製造を目指した。

これら本事業の流れと各社の役割については、図表 1 に記載する。

図表 1. 本事業の流れと各社の役割



3 PP 部品回収実績

本事業における PP 部品の回収実績は図表 2 の通りである。

YAMANAKA の 3 工場の協力を得て解体業者 22 社、本田技研工業およびホンダトレーディングの協力を得て新車販売店 5 店舗、部品販売店 4 拠点から回収を実施した。

回収総量は約 38.5t (使用済自動車由来 PP 部品 : 33.6t、補修交換済バンパー : 4.9t) で、ほとんど PP 部品の専用便を用いることなく破砕拠点であるエコアールまでの輸送を実施した。そのため、破砕拠点までの輸送コストを実質的にゼロにしたといえる。

本事業での回収実績

【回収期間】 2015 年 10 月 1 日～2016 年 1 月 6 日 (1 月回収分は 12 月実績に記入)

【回収主体】 株式会社 YAMANAKA、株式会社エコアール

【回収実績】 合計 38.5t (使用済自動車由来 PP 部品 : 33.6t、補修交換済バンパー : 4.9t)

図表 2. 本事業全体での PP 部品回収実績 (単位 : kg)

協力業者	協力業者数	10月	11月	12月	合計
解体業者	22社	10,740	11,170	11,650	33,560
新車販売店	5店舗	0	0	12	12
部品販売店	4拠点	828	2,151	1,895	4,874
総計		11,568	13,321	13,557	38,446

4 再生材の物性評価

回収した PP 破砕材を用いて、いそので自動車向けアンダーカバー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、リファレンスとして①物性が安定しやすいホンダ製バンパーのみからの再生材、②特定の材料を選ばない本事業で回収したバンパー全体（その他バンパー）といそので配合した調整材をコンパウンドした再生材の二種類を試作し、それぞれのバンパーにおいて目標物性を達成することに成功した。

しかし、本試作品に対してホンダでも物性評価を行ったところ、二つの再生材のいずれにおいても未達成の項目があり、現状の試作品では製品として使用することは難しいことが分かった。いそので製造した試作品のホンダ基準値に対する物性評価を図表 3 に示す。

また、いその再生材の加工費も、調整材を用いずホンダ製バンパー単一で製造した試作品①が 105 円/kg 程度であるのに対し、調整材を用いた試作品②は 194 円/kg とバージン材と比べて高く、さらなる物性向上とコスト低減が必要なことが分かった。

図表 3. いそので製造した試作品のホンダ基準値に対する物性評価

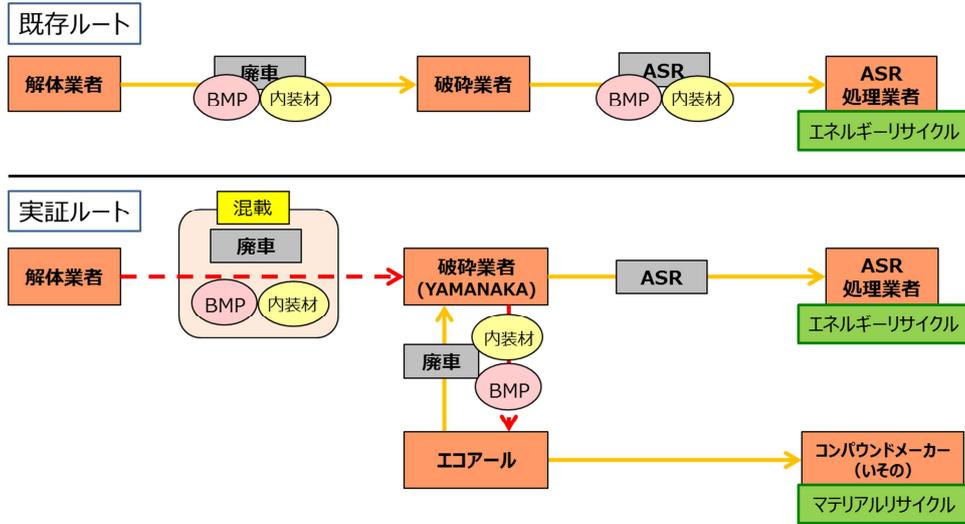
試験項目	試験条件	単位	試験方法	Honda製 BMP単一	その他BMP+ 調整材
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ASTM D 1238	○	○
アイゾット衝撃	23℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	○	○
	-30℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	○	要検討
引張降伏強度	50mm/min	MPa	ASTM D 638	要検討	要検討
引張破断伸度	50mm/min	%	ASTM D 638	要検討	○
曲げ強度	30mm/min	MPa	ASTM D 790	○	要検討
曲げ弾性率	31mm/min	MPa	ASTM D 790	○	○
ロックウェル硬度	Rスケール		ASTM D 785	○	○
熱変形温度	45N/cm ²	℃	ASTM D 648	要検討	要検討
比重	水中置換法		ASTM D 792	○	○

5 CO₂削減効果

CO₂削減効果については、使用済自動車由来 PP 部品では、既存の ASR としてエネルギーリサイクルされるフローと、既にマテリアルリサイクルが実施されている補修交換済バンパーでは既存の回収フローと比較することで、検証した（図表 4、図表 5）。

その結果、本事業全体で **109.4t** の CO₂削減効果が得られた。本事業で回収した使用済自動車由来の PP 部品のマテリアルリサイクルによる CO₂削減効果は **109.3t**、補修交換済バンパーの回収による削減効果は **114kg** である。

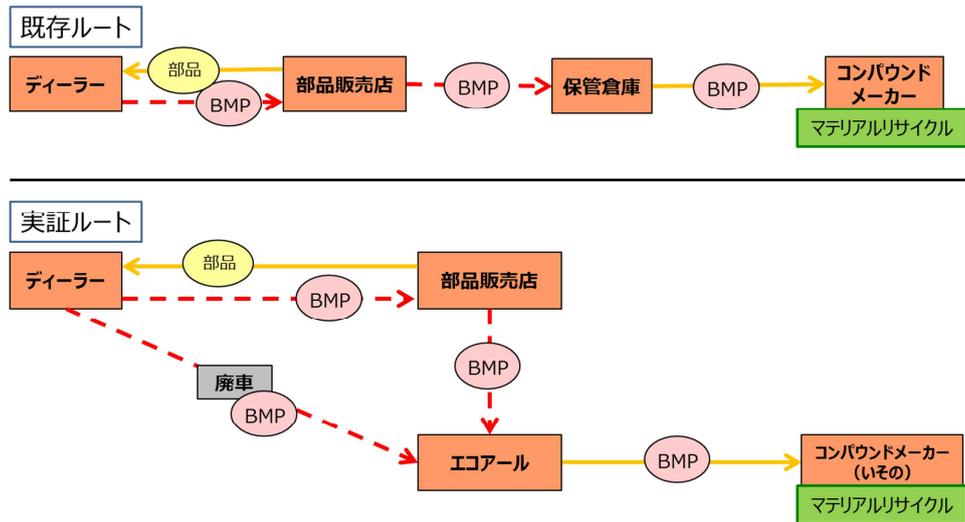
図表 4. 使用済自動車由来 PP 部品の既存/実証フローの比較



*赤の点線が「ついで便」活用ルート

- ①マテリアルリサイクルによるバージン材の代替効果
 $33.6t \times \text{破碎歩留まり} (0.904) \times \text{再生材製造歩留まり} (0.99) \times 1.483tCO_2/PPt = \mathbf{44.6tCO_2}$
 - ②エネルギーリサイクル時に発生する CO₂ 削減効果
 $33.6t \times 2.55 t CO_2/PP-t = \mathbf{85.7 tCO_2}$
 - ③新たな輸送により発生した CO₂ 排出量
 $-872km / \text{燃費} (3.09) \times \text{軽油燃費係数} (2.58) = \mathbf{-728kg CO_2 (-0.73tCO_2)}$
 - ④マテリアルリサイクルによって生じる電力消費量
 $\text{破碎・洗浄} (526kWh/t) \times 33.6t + \text{再生材製造} (577kWh/t) \times 30.1t = 35041.3kWh$
 $35041.3kWh \times 0.000579tCO_2/kWh = \mathbf{20.3tCO_2}$
- ①～④合計：44.6+85.7-0.73-20.3 = **109.3t CO₂**

図表 5. 補修交換済バンパーの既存/実証フローの比較



*赤の点線が「ついで便」活用ルート

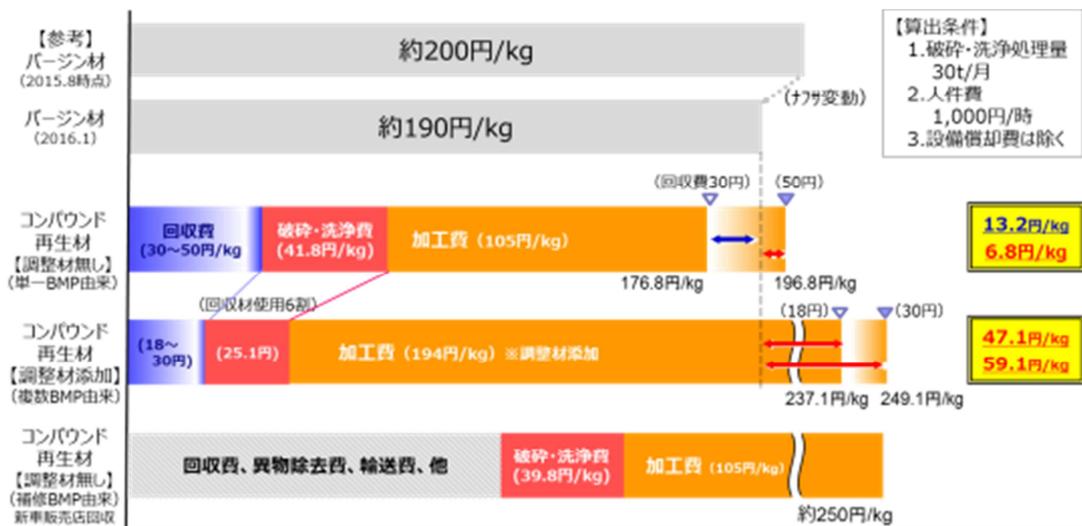
- ①輸送効率化により達成した CO₂ 削減効果
 $136km / \text{燃費} (3.09) \times \text{軽油燃費係数} (2.58) = \mathbf{-114kg CO_2 (0.11tCO_2)}$

本事業で達成した CO₂ 削減効果 = 109.3t + 114kg (0.1t) = **109.4t**

6 事業実現可能性

本事業で製造した試作品とバージン材のコスト比較を図表 6 に示す。回収費、破碎・洗浄費、再生材加工費を積み上げたときの自動車アンダーカバー向け再生材の材料費は、多様なバンパー破碎材を用いた調整材添加コンパウンド材で、237.1 円/kg～249.1 円/kg であった。バージン材は市況によって価格が異なるものの、現在の想定バージン材価格約 190 円/kg に対して 47.1 円/kg～59.1 円/kg 高く、事業化の際には加工費を中心としたさらなる低コスト化が必要となる。

図表 6. 本事業におけるバンパー材のアンダーカバー向けマテリアルリサイクルコスト



7 本事業の成果と課題

本事業では、PP 部品の輸送効率化を達成し、輸送コストの大幅な削減を達成した。その一方で、バンパー由来の再生材の自動車向け部品としてのリサイクルには、さらなるコスト低下が必要であることが分かった。

このコスト低減のためには、まずバージン材価格を上回る再生材加工費の低下が不可欠となる。加工費の低下には調整材比率の低下、調整材のオフグレード品等の代替品への置き換え、加工工程の簡素化等が挙げられる。

また、それ以外では本事業を通じて破碎・洗浄費の処理コスト低下には、破碎前処理の簡素化・効率化、破碎処理速度の向上が必要なことが確認できた。加工費や破碎・洗浄費の低コスト化が実現すれば、解体業者からの買取価格向上にも繋がるとみられ、今後もさらなる検証が求められる。

Overview of this project

1. Objective of the project

Many parts containing polypropylene (PP) are used for automobiles and there is a 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, eliminate foreign objects from them, and transport the resultant materials. A majority of PP parts are discharged as ASR and recycled as calorific energy.

PP parts derived from scrapped automobiles differ in whether PP is coated and compounded materials because the PP parts of automobiles of many manufacturers are mixed. For industrialization of material recycling, it is necessary to secure sufficient physical properties by appropriately compounding materials of different physical properties and achieve a stable supply of recycled materials.

Against this background, this project verified processes such as how to remove PP parts, enhance efficiency of transportation and crushing processing, and produce recycled materials from a variety of PP materials collected, aiming at recycling PP parts.

2. Outline of the project

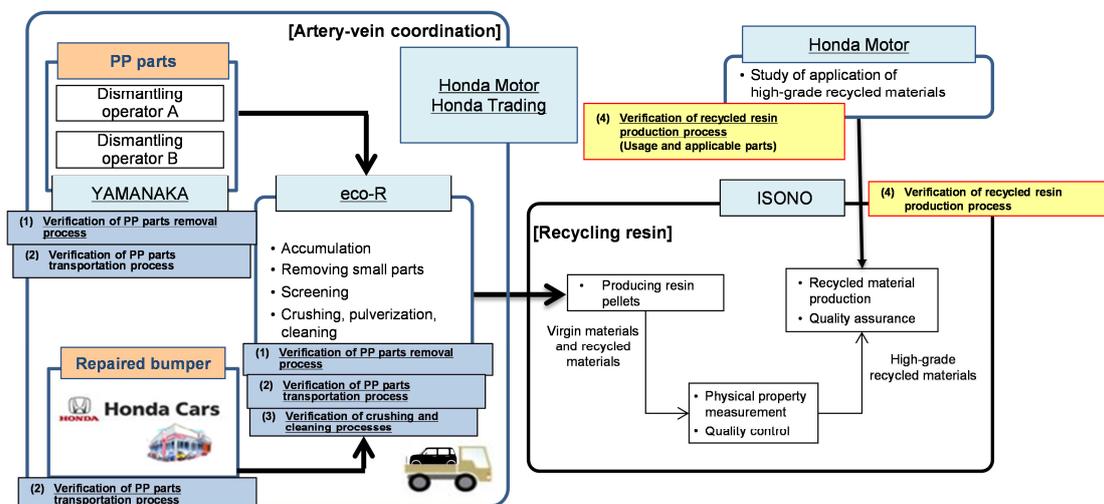
In this project, the aim was to enhance the efficiency of recycling PP parts and produce high-grade PP recycled materials for automobile parts in cooperation with a dismantling operator engaged in recycling automobiles, a crushing operator, an automobile manufacturer, and compound manufacturer ISONO Co.

First, dismantling operator eco-R Co., Ltd. considered how best to remove PP parts. Regarding transportation of PP parts, the crushing operator YAMANAKA Co., Ltd. substantiated a collection scheme of mixed loading of PP parts by using an “incidental delivery service” that is used to receive dismantled automobiles from a dismantling operator. A collection scheme of using the “incidental delivery service”, instead of an exclusive delivery service, for transporting repaired and replaced bumpers that are generated at shops selling new cars when bumpers are repaired was demonstrated by eco-R when collecting scrapped automobiles nearby new car selling shops or parts selling shops where repaired and replaced bumpers are gathered.

The PP parts were collected by eco-R, which possesses a crusher and enhances the processing by the crusher, and processing issues were studied. After that, the crushed PP materials were delivered to ISONO and production of high-grade PP recycled materials that would satisfy the physical properties required for an automobile undercover was aimed for in cooperation with Honda Motor Co., Ltd.

The flow of this project and the role of each company are shown in Figure 1.

Figure 1. Flow of this project and roles of respective companies



3. Result of collecting PP parts

Figure 2 shows the result of collecting PP parts in this project.

PP parts were collected from 22 dismantling operators with the cooperation of YAMANAKA, and from five new car selling shops and four parts selling shops with the cooperation of Honda Motor and Honda Trading Corporation.

The total weight of the collected parts was about 38.5 t (33.6 t of PP parts derived from scrapped cars and 4.9 t of repaired and replaced bumpers). Most of these parts were transported to the crushing site of eco-R without using an exclusive delivery service of PP parts. It can therefore be said that the transportation cost to the crushing site was practically zero.

Result of collection in this project

[Collection period] October 1, 2015 through January 6, 2016 (Parts collected in January were combined with those in December.)

[Collected by] YAMANAKA Co., Ltd. and eco-R Co., Ltd.

[Result of collection] Total 38.5 t (33.6 t of PP parts derived from scrapped cars and 4.9 t of repaired and replaced bumpers)

Figure 2. Result of collecting PP parts in this project (unit: kg)

Cooperating company	Number of cooperating companies	October	November	December	Total
Dismantling operator	22	10,740	11,170	11,650	33,560
New car selling shop	5	0	0	12	12
Parts selling shop	4	828	2,151	1,895	4,874
Total		11,568	13,321	13,557	38,446

4. Evaluation of physical properties of recycled materials

ISONO produced prototypes of automobile undercovers by using the collected and crushed PP materials. Aiming at the target physical properties set by ISONO, two types of recycled materials were experimentally produced from (1) Honda's bumpers whose physical properties are easy to stabilize and (2) all bumpers (other than Honda's) gathered in this project without specific materials selected and compounded with adjusting members blended by ISONO, and each bumper successfully achieved the target physical properties.

However, it was found as a result of evaluation by Honda of the physical properties that both the prototypes had points that had not been achieved, and that they are difficult to be used as products as it is. Evaluation of the physical properties of the prototypes produced by ISONO with regard to Honda's reference value is shown in Figure 3.

The processing cost of the recycled materials made from Honda's bumpers without using the adjusting member (1) was about 105 yen/kg, while that of the prototype using the adjusting member (2) was 194 yen/kg, which was higher than the virgin materials. It was also learned that the latter requires further improvement in physical properties and a cutback in cost.

Figure 3. Physical property evaluation of prototypes produced by ISONO with respect to Honda's reference value

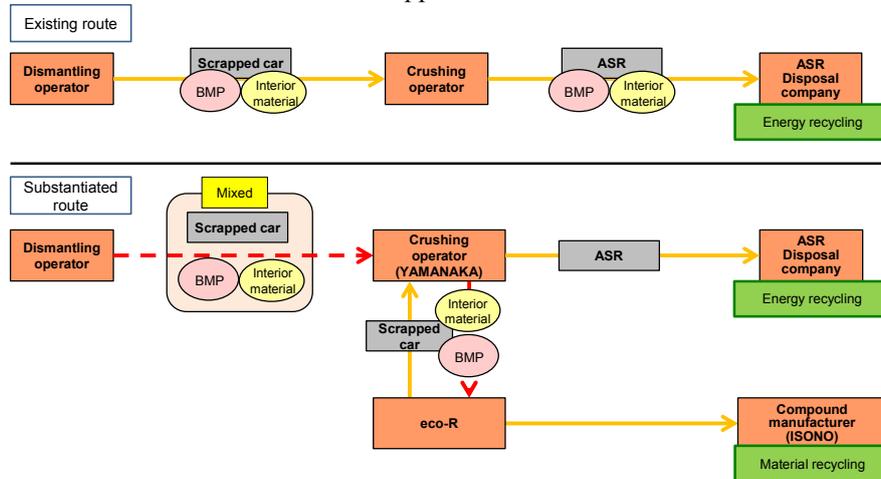
Test item	Test condition	Unit	Test method	Honda bumper only	Other bumpers + adjusting member
Melt flow rate	230°C, 21N	g/10min	ASTM D 1238	○	○
Izod impact	23°C, with notch	J/m	ASTM D 256	○	○
	-30°C, with notch	J/m	ASTM D 256	○	Examination required
Tensile yield strength	50 mm/min	MPa	ASTM D 638	Examination required	Examination required
Tensile elongation at break	50 mm/min	%	ASTM D 638	Examination required	○
Bending strength	30 mm/min	MPa	ASTM D 790	○	Examination required
Bending elastic modulus	31 mm/min	MPa	ASTM D 790	○	○
Rockwell hardness	R scale		ASTM D 785	○	○
Heat distortion temperature	45 N/cm ²	°C	ASTM D 648	Examination required	Examination required
Specific weight	Collecting gas over water		ASTM D 792	○	○

5. CO2 reduction effect

The effect of reducing carbon dioxide (CO₂) was verified by comparing an existing flow of energy recycling PP parts derived from scrapped automobiles as ASR with an existing flow of collecting repaired and replaced bumpers whose materials had already been recycled (Figures 4 and 5).

As a result, the effect of cutting back CO₂ by **109.4 t** was obtained. The effect of decreasing CO₂ of recycling the materials of PP parts derived from automobiles and collected in this project was **109.3 t** and the reduction effect by gathering repaired and replaced bumpers was **114 kg**.

Figure 4. Comparison of existing and substantiated flows of PP parts derived from scrapped automobiles



*The red dotted line is a route using the “incidental delivery service”.

(1) Effect of substituting for virgin materials by material recycling

$$33.6 \text{ t} \times \text{Crushing yield (0.904)} \times \text{Recycled material production yield (0.99)} \times 1.483 \text{ t CO}_2/\text{PPt} = \underline{\underline{44.6 \text{ t CO}_2}}$$

(2) Effect of reducing CO2 generated during energy recycling

$$33.6 \text{ t} \times 2.55 \text{ t CO}_2/\text{PP-t} = \underline{\underline{85.7 \text{ t CO}_2}}$$

(3) CO2 reduction effect achieved by enhancing transportation efficiency

$$-872 \text{ km/fuel (3.09)} \times \text{Light oil fuel coefficient (2.58)} = \underline{\underline{-728 \text{ kg CO}_2 (-0.73 \text{ t CO}_2)}}$$

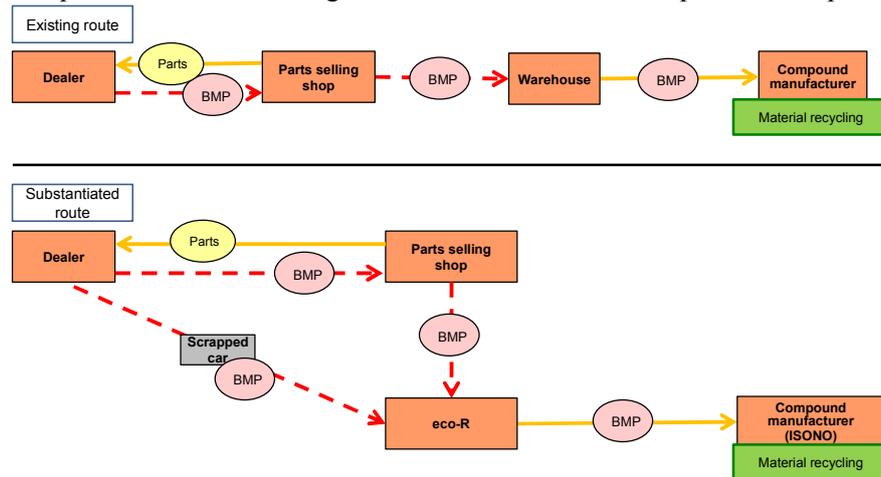
(4) Power consumed by material recycling

$$\text{Crushing and cleaning (526 kWh/t)} \times 33.6 \text{ t} + \text{Recycled material production (577 kWh/t)} \times 30.1 \text{ t} = 35,041.3 \text{ kWh}$$

$$35,041.3 \text{ kWh} \times 0.000579 \text{ t CO}_2/\text{kWh} = \underline{\underline{20.3 \text{ t CO}_2}}$$

Total of (1) to (4): $44.6 + 85.7 - 0.73 - 20.3 = \underline{\underline{109.3 \text{ t CO}_2}}$

Figure 5. Comparison between existing and substantiated flows for repaired and replaced bumpers



*The red dotted line is a route using the “incidental delivery service”.

(1) CO2 reduction effect achieved by enhancing transportation efficiency

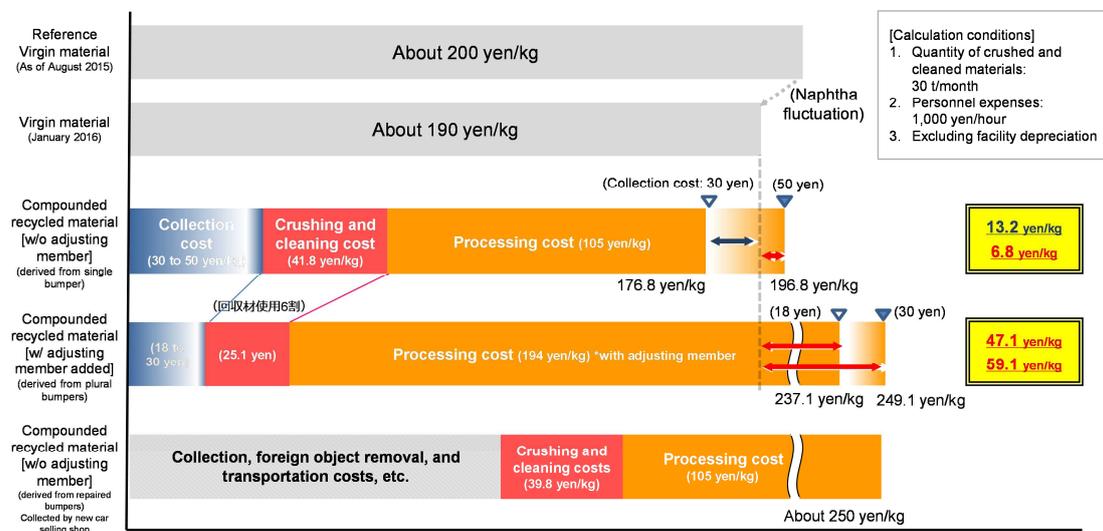
$$136 \text{ km/fuel (3.09)} \times \text{Light oil fuel coefficient (2.58)} = \underline{\underline{-114 \text{ kg CO}_2 (0.11 \text{ t CO}_2)}}$$

CO2 reduction effect achieved in this project = $109.3 \text{ t} + 114 \text{ kg (0.1t)} = \underline{\underline{109.4 \text{ t}}}$

6. Feasibility of the project

Figure 6 compares the costs of the prototypes produced in this project and virgin materials. The cost of recycled materials for automobile undercovers adding up the costs for collecting, crushing, and cleaning PP parts and processing recycled materials was 237.1 yen/kg to 249.1 yen/kg in the case of compounded materials using various crushed bumper materials and with adjusting members added. The price of virgin material varies depending on the state of the market but is 47.1 yen/kg to 59.1 yen/kg higher than the currently estimated price of 190 yen/kg. Therefore, the costs, especially the processing cost, need to be lowered when the project is industrialized.

Figure 6. Cost of recycling bumper materials to produce undercovers in this project



7. Results and problems of this project

This project enhanced the efficiency of transporting PP parts, substantially cutting back on the transportation cost. In the meantime, however, it was found that the costs had to be lowered further to recycle PP parts derived from automobile bumpers as parts for automobiles.

To cut back on the cost, decreasing the recycled material processing cost more than the virgin material price will be indispensable. To lower the processing cost, reducing the ratio of the adjusting members, using off-grade adjusting members, and simplifying the processing will be needed.

Through this project, it could be confirmed that simplifying the processing preceding crushing, enhancing the efficiency of that processing, and increasing the crushing processing speed would be necessary. If the processing cost and crushing and cleaning costs can be brought down, the price for purchasing materials from dismantling operators is expected to fall. Further verification will be needed in the future.

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.....	4
2	PP 部品取外し工程の検討.....	5
2-1	本事業における回収対象品目.....	5
2-2	解体業者におけるバンパー取外しの作業負荷.....	7
2-3	解体業者との取引条件の設定と協力状況.....	9
3	PP 部品運搬工程の検討.....	11
3-1	解体業者からの使用済自動車由来 PP 部品の回収ルート構築.....	11
3-1-1	本事業における実証ルート.....	11
3-1-2	解体業者からの PP 部品の積載・運搬方法の検討.....	12
3-1-3	使用済自動車由来の PP 部品回収実績.....	14
3-1-4	解体業者へのアンケート調査.....	15
3-1-5	本事業における課題.....	20
3-2	新車販売店／部品販売店からの補修交換済バンパーの回収ルート.....	21
3-2-1	本事業における実証ルート.....	21
3-2-2	新車販売店からのバンパーの積載・運搬方法の検討.....	24
3-2-3	新車販売店からの補修交換済バンパー回収実績.....	25
3-2-4	本事業における課題.....	27
3-3	本事業における回収スキームのまとめ.....	29
3-3-1	回収スキームの全体像.....	29
3-3-2	回収スキーム全体での回収実績.....	30
3-3-3	輸送効率化によるコスト削減.....	31
4	破砕・洗浄工程の検討.....	33
4-1	集荷拠点での破砕前処理.....	33
4-1-1	破砕前処理方法.....	33
4-1-2	破砕前処理における課題.....	34
4-2	集荷拠点での破砕・洗浄工程.....	38
4-2-1	破砕・洗浄工程.....	38
4-2-2	PP 部品破砕・洗浄処理実績.....	39
4-2-3	破砕・洗浄工程における課題.....	40

5	再生樹脂製造工程の検討	42
5-1	本事業で製造した破砕材の評価と引取可否の検討	42
5-1-1	本事業の再生材製造フローと引取条件	42
5-1-2	受入サイズを超える破砕材の評価	44
5-1-3	比重選別時の PP 沈殿材の評価	47
5-1-4	パテ混入材の評価	52
5-2	自動車部品向け要求性能とその実現	54
5-2-1	自動車アンダーカバー向け再生材試作品の製造	54
5-2-2	再生材試作品の適用可能性の検討	56
5-2-3	製造した試作品のコストバランスについて	57
6	環境負荷低減効果の検証	60
6-1	CO ₂ 削減効果の検証方法と使用原単位	60
6-2	使用済自動車由来の PP 部品回収により達成した CO ₂ 削減効果	61
6-2-1	既存ルートと実証ルートの比較	61
6-2-2	マテリアルリサイクルによるバージン材の代替効果	62
6-2-3	エネルギーリサイクル時に発生する CO ₂ 削減効果	62
6-2-4	新たな輸送により発生した CO ₂ 排出量	63
6-2-5	マテリアルリサイクルによって生じる電力消費量	65
6-2-6	使用済自動車由来の PP 部品回収から得られる CO ₂ 削減効果	66
6-3	補修交換済バンパー回収から得られる CO ₂ 削減効果	67
6-3-1	既存ルートと実証ルートの比較	67
6-3-2	輸送効率化により達成した CO ₂ 削減効果	68
6-4	本事業全体での CO ₂ 削減効果	70
6-5	本事業が全国拡大した場合の CO ₂ 削減効果	72
7	事業実現可能性の検証	73
7-1	関連事業者での発生コスト	73
7-1-1	解体業者からの PP 部品買取コスト	73
7-1-2	集荷拠点における PP 部品破碎・洗浄処理コスト	74
7-1-3	コンパウンドメーカーによる再生材の製造コスト	77
7-2	バージン材とのコスト比較	78
8	まとめ	79

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、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、PP含有部品（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。

また、一部の自動車メーカーでは、コンパウンドメーカーと連携することで、新車販売店や板金店で修理交換時に発生する補修交換済バンパーを回収し、製品に再利用するマテリアルリサイクルを実施している。しかし、バンパーはその形状から運搬性が悪く、高額な輸送コストが発生するため、輸送コストの圧縮が課題となっている。

上記の課題を踏まえ、本事業では輸送コスト低減および大量回収による処理コスト低減を目指し、解体業者から発生する使用済自動車由来のPP部品の回収と、新車販売店から発生する補修交換済バンパーを効率的に輸送・集積する、物流の動脈と静脈を連結させたPP部品の回収スキームの有効性を検証する。

また、使用済自動車由来のPP部品のマテリアルリサイクルには、多様なメーカーや自動車の製造年度、外装部品や内装部品といったPP部品が混在することで、PPへの塗膜有無や配合材料の違い等が生じる。マテリアルリサイクルの事業化には、こうした物性の異なる材料を適切に配合することで、十分な物性を確保し、安定的なリサイクル材の供給を達成する必要がある。

本事業では上記課題の解決も目指し、回収したPP材のロバスト性やコンパウンド技術を検証するとともに、再生樹脂の品質管理および自動車部品への再生材の用途検討を行う。

以上のことから、本事業ではPP部品大量回収を目指したPP部品の取外し方法、動静脈の連携による輸送の効率化、PP部品の大量回収による破碎処理の効率化、多様なPP回収材のコンパウンド方法や使用用途という各プロセスでの検証を行い、自動車に用いられるPPのマテリアルリサイクル促進を目指す。そして、PP部品のマテリアルリサイクル促進による、CO₂削減効果を検証することで、低炭素型社会の実現に資する事業とすることを目的とする。

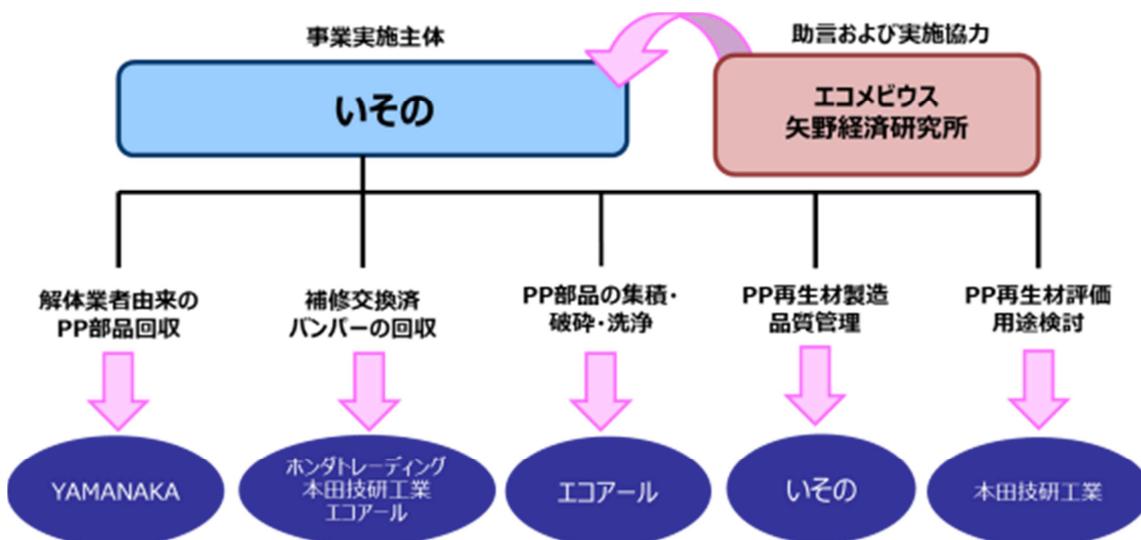
1-2 実施体制

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、破碎業者、自動車メーカー等が連携することで、図表 1-1、図表 1-2 に示す実施体制を構築した。

図表 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"> ・ 事業実施主体 ・ PP 再生材の製造および品質管理
株式会社 YAMANAKA	<ul style="list-style-type: none"> ・ 解体業者からの PP 部品の回収・一次保管
株式会社エコアル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補修交換済バンパーの回収 ・ 回収した PP 部品の集積、選別、破碎、洗浄
本田技研工業株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補修交換済バンパーの回収ルート構築 ・ PP 再生材の評価および用途検討
株式会社ホンダトレーディング	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補修交換済バンパーの回収ルート構築 ・ 回収スキーム全体の検討
エコメビウス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ スキーム構築および事業への助言
株式会社矢野経済研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事務局業務および事業への助言

図表 1-2. 本事業の実施体制図



また、本事業では 7 社と多数の事業者が参画しており、各事業者の役割分担も異なることから、全事業を 5 つのワーキンググループ (WG) に分けて事業の円滑な推進を図った。各 WG にて関連事業者が連携して事業を推進するほか、定期的に全事業者が集まる全体会議を開催することで、事業の進捗状況の共有や事業の過程で発生した課題の解決に臨んできた。各 WG の中心企業と担当領域を図表 1-3 に示す。

また、本事業は 2015 年 8 月から 2016 年 2 月を事業期間としている。2015 年 8 月から 9 月にかけて、実証スキームの構築や関連事業者への協力要請を行い、事業期間の約 3 か月にあたる 2015 年 10 月から 2015 年 12 月 (一部は 2016 年 1 月初旬) まで、実際に PP 部品の回収を実施した。主な事業スケジュールについては、図表 1-4 に示す。

図表 1-3. ワーキンググループの中心企業と担当領域

WG	中心企業	担当領域
1 次輸送 WG (解体業者由来)	YAMANAKA	解体業者由来の PP 部品回収
1 次輸送 WG (新車販売店由来)	本田技研工業 ホンダトレーディング	補修交換済バンパーの回収
2 次輸送 WG	エコメビウス	エコアールからいそのへの破碎材輸送
前処理方法最適化 WG	エコアール	PP 部品の取外し、前処理
製品化 WG	いその	再生コンパウンド材の製造

図表 1-4. 主な事業スケジュール

実施内容	実施内容詳細	8月		9月				10月				11月				12月				1月			
		W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4		
全体会議	事業者全社での合同会議	●				●	●	●			●					●	●			●	●		
回収準備	小部品外方法の確認					●	●	●															
	解体マニュアルの作成			●	●	●	●	●															
	現在の商流の整理	●	●	●	●																		
	回収ルートの検討 (解体業者由来)	●	●	●	●	●	●	●	●														
	回収ルートの検討 (ディーラー由来)	●	●	●	●	●	●	●	●														
	買取条件の設定					●	●	●	●														
	分別条件の設定					●	●	●	●														
	積載方法の確認					●	●	●	●														
	対象選定・回収依頼 (解体業者由来)					●	●	●	●														
	対象選定・回収依頼 (ディーラー由来)					●	●	●	●	●	●	●	●										
回収期間	解体業者からの回収									●	●	●	●	●	●	●	●						
	ディーラー／部品販売店からの回収									●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	エコアールへのPP材搬入・検証									●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
	いそのへのPP破碎材搬入・検証													●	●	●	●	●	●	●	●		
	いそのとホンダとのコンパウンド実証													●	●	●	●	●	●	●	●		
実証事業の整理	実証事業の結果確認																	●	●	●	●		
	CO2排出量削減効果の確認																	●	●	●	●		
	事業化可能性の検証																	●	●	●	●		

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。本事業で対象とした主な工程および、工程ごとの検討項目について図表 1-5 に示す。

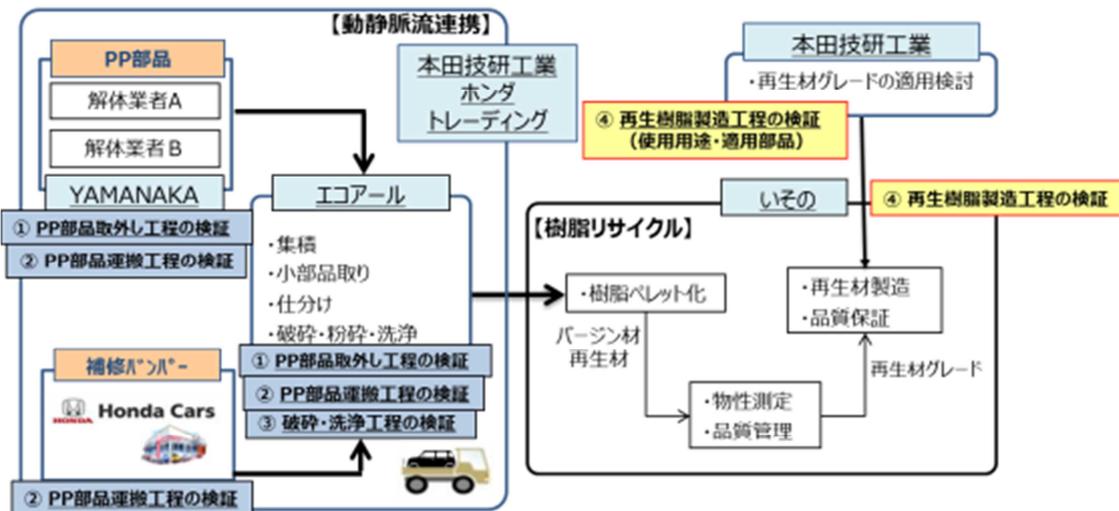
検証を実施する工程としては、①PP 部品取外し工程、②PP 部品運搬工程、③破碎・洗浄工程、④再生樹脂製造工程の四つに分類した。また、それぞれの工程と参画各社の担当領域を図示したのが図表 1-6 である。

次頁からはこの検証項目に従って、本事業で確認した検証結果を工程ごとにまとめる。

図表 1-5. 本事業で対象とした工程および検討項目

工程	検証項目（課題点）
PP 部品取外し工程	<ul style="list-style-type: none"> 解体業者での PP 部品の取外し、選別方法 解体業者での小部品・異物の取外し、除去方法 解体業者との取引条件
PP 部品運搬工程	<ul style="list-style-type: none"> 解体業者と新車販売店／部品販売店との効率的な回収ネットワーク PP 部品の運搬方法 設定した取引条件での回収量
破碎・洗浄工程	<ul style="list-style-type: none"> 集積拠点における PP 部品分別の作業性 集積拠点における異物除去の作業性 効率的な破碎・洗浄方法
再生樹脂製造工程	<ul style="list-style-type: none"> 製造した破碎材の特性および破碎材のロバスト性 自動車部品向け要求性能とその実現 再生材の安定的な供給および品質保証方法 再生材グレードの性能を踏まえたコストおよび生産性

図表 1-6. 各検討工程と各社の役割



2 PP 部品取外し工程の検討

2-1 本事業における回収対象品目

PP 部品取外し工程では、PP 部品取外し・異物除去の作業負担の明確化および解体業者に展開する解体マニュアルの作成を目指した。まず、従来からいそが実施している自動車由来の PP 部品の回収方法等を参考に、本実証事業で回収対象とする PP 部品品目を設定した。図表 2-1 に示すように、対象とした主な部品は外装部品でフロントバンパー、リアバンパー、内装部品でピラートリム、クォータートリム、サイドステップ、インパネ、コンソール、ドアパネルである。なお、これら以外でも特に内装部品では、PP と判断が付くものについては引取り時に回収対象とした部品もある。

また、これらの部品のなかでも、PP の配合原料によっては回収対象外とした部品がある。例えばグラスファイバー（GF）等の混合があるものについては、再生材製造時の加工性が悪く、マテリアルリサイクル用途での利用が困難となる。国産車には自動車メーカーの取り組みによって、図表 2-2 に示すような素材表示が PP 部品に刻印されており、この刻印を参照することで PP に用いられた配合材料が参照可能である。そのため、素材表示によって回収対象とする部品を指定したほか、車台については刻印表示が確認できる国産車のみを対象とした。なお、今回対象および対象外とした PP 素材表示一覧を図表 2-3 に示す。

図表 2-1. 本事業で回収対象とした PP 部品

外装部品		内装部品	
フロントバンパー		各種ピラートリム	インストルメントパネル
リアバンパー		クォータートリム	コンソール
		サイドステップ	ドアパネル

*対象車台は国産車のみ

図表 2-2. PP の素材表示例

>PP<	>PP<	>PP+E/P-TD20<
		

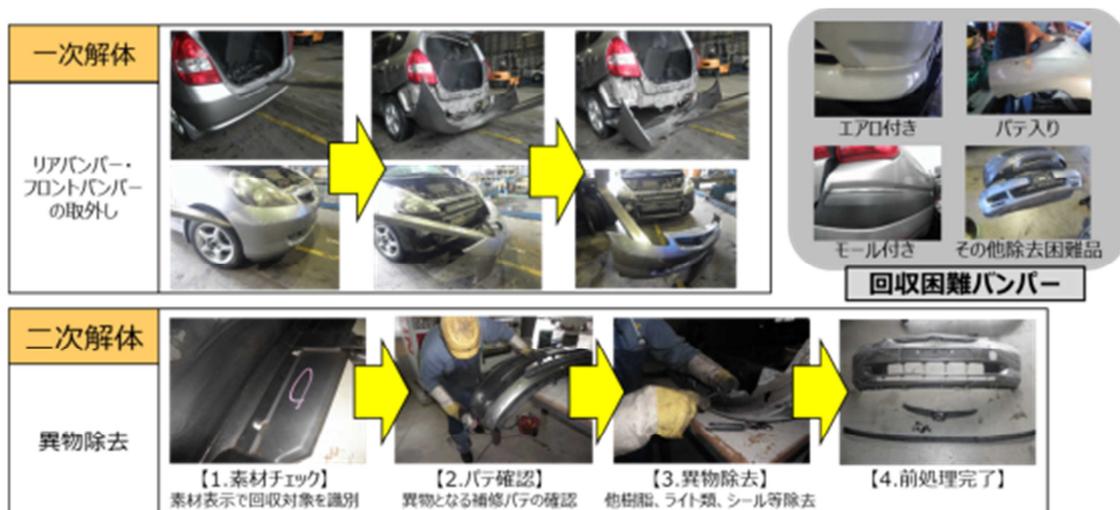
図表 2-3. 本事業で回収対象および対象外とした素材表示

PP素材表示	
回収対象部品	回収対象外部品
>PP<	>PE<
>PP/PE<	>PE-HD<
>PP+E/P<	>PP-GF20<
>PP-TD10<	>PP-TD20+GF10<
>PP-TD15<	>PP+E/P-GF40<
>PP-TD20<	>PP-GF10+TD10<
>PP-TD40<	>PP-GM20~<
>PP+E/P-TD10<	
>PP+E/P-TD15<	
>PP+E/P-TD20<	
>PP+E/P-TD25<	

2-2 解体業者におけるバンパー取外しの作業負荷

解体業者における PP 部品取外しの作業工数を検証するため、株式会社エコアール(以下、「エコアール」)で異物除去の作業負荷が内装材に比べて大きいバンパーの取外しシミュレーションを実施した。エコアールでは、図表 2-4 に示す手順で、自動車からのバンパー取外しを一次解体、取外したバンパーからの小部品・異物除去を二次解体と位置付けて検討を行った。その結果、バンパーの取外しにはフォークリフトの利用が有効であること、二次解体時には異物除去以外にも素材表示のチェックや再生材製造時に混入不可となる補修パテの確認に多くの時間を要すこと等、様々な知見が得られた。また、エアロ付きやモール付き等のバンパーは異物除去が困難であるほか、車種によって固定の仕方が異なり、異物除去が困難な車種が存在することも確認できた。実際に今回車格の異なる四車種で取外し時間の計測を行ったが、うち二車種で異物除去が困難なバンパーがあった。

図表 2-4. エコアールでのバンパー取外し工程



一次解体および二次解体に要する時間および取外したバンパーの重量を図表 2-5 に示す。

車台からバンパーを取外す一次解体は、車格、リアとフロントの差異に関わらずフォークリフトを用いれば 25 秒～27 秒で実施可能なことが確認できた。一方、二次解体では車種やバンパーによってばらつきがあった。この理由としてはウエスを用いて素材表示を確認する際に、車種によって表示が見つげづらい場合があること、ライトやクリップ等の PP 以外の異物について取外しの作業性に差異があることが挙げられる。一方、表面上では見分けがつかない補修パテについては、表面をグラインダーで削ることで確認を試みたが、作業自体に車種ごとの差は少ないため、概ねどの車種でも 50 秒前後の時間に収まっている。

これらの結果として、それぞれのバンパーの取外し時間は、一次・二次解体を合わせて 150 秒～343 秒と大きくバラつきがあることが分かった。

また、取外しバンパーの重量についても、車種やバンパーによって 4kg～6kg と幅がある。さらに、PP 以外の異物重量についても 0.05kg～2.0kg と個体差が大きいため、結果として最終的に得られる PP 重量としても 3.5kg～4.95kg と幅が生じている。

解体業者でのバンパー取外しおよび異物除去の工数が確認できたため、バンパー取外しに要するコストについても検討した。作業コストは人件費によって大きく異なるが、図表 2-6 に三パターンの人件費を想定し、1kg の PP 選別に要するコストを算出した。

今回計測した平均値では、人件費 1,000 円/h の場合で 15.5 円/kg、3,000 円/h の場合で 46.5 円/kg である。使用済自動車由来のバンパーは通常 10 円～30 円/kg 程度で取引されているとみられ、バンパー取外し工程の効率化等によって作業工数の削減が見込めるものの、解体業者側の利益を考慮するとさらなる買取価格の向上が必要と考えられる。

図表 2-5. バンパー取外しに要する時間・取外し重量

作業工程		使用工具/ BP種類	フィット (2004)		モビロスバイク (2004)		セイバー (2001)		オデッセイ (2001)	
			Rear	Front	Rear	Front	Rear	Front	Rear	Front
一次解体	BP取外し	フォークリフト	25 秒	25 秒	27 秒	25 秒	25 秒	25 秒	25 秒	25 秒
二次解体	1.素材チェック	ウエス	12 秒	30 秒	20 秒	8 秒	20 秒	— 秒	— 秒	— 秒
	2.パテ確認	グラインダー	50 秒	50 秒	45 秒	62 秒	45 秒	— 秒	— 秒	— 秒
	3.異物除去	グラインダー・ ドライバー	88 秒	213 秒	208 秒	90 秒	35 秒	— 秒	— 秒	— 秒
	二次解体合計			150 秒	293 秒	273 秒	160 秒	100 秒	— 秒	— 秒
一次・二次解体合計			175 秒	318 秒	300 秒	185 秒	125 秒	— 秒	— 秒	— 秒
重量	取外しBP		4.0 kg	5.0 kg	6.0 kg	4.0 kg	5.0 kg	5.0 kg	6.0 kg	6.0 kg
	取外し異物		0.5 kg	1.1 kg	2.0 kg	0.1 kg	0.05 kg	— kg	— kg	— kg
	最終重量		3.5 kg	3.9 kg	4.0 kg	3.9 kg	4.95 kg	— kg	— kg	— kg
一時間あたりの回収量			72.1 kg	44.1 kg	48.0 kg	76.1 kg	142.6 kg	— kg	— kg	— kg

*車格の異なる 4 車種で検討し、自動車ごとの作業性の差異を検討

図表 2-6. バンパー取外しに要するコスト

人件費	フィット (2004)		モビロスバイク (2004)		セイバー (2001)		平均
	Rear	Front	Rear	Front	Rear	Front	
	一時間あたりの回収量						
	72.1 kg	44.1 kg	48.0 kg	76.1 kg	142.6 kg	—	
1,000円/h	13.9 円/kg	22.7 円/kg	20.8 円/kg	13.1 円/kg	7.0 円/kg	—	15.5 円/kg
2,000円/h	27.7 円/kg	45.4 円/kg	41.7 円/kg	26.3 円/kg	14.0 円/kg	—	31.0 円/kg
3,000円/h	41.6 円/kg	68.0 円/kg	62.5 円/kg	39.4 円/kg	21.0 円/kg	—	46.5 円/kg

*厚生労働省「平成 26 年賃金構造基本統計調査」では、「R88 廃棄物処理業」の時間単価は約 1,821 円/h

2-3 解体業者との取引条件の設定と協力状況

エコアールでの実地シミュレーションの結果を参考に、回収対象の PP 部品品目や各部品の取外し方法等を記載した解体マニュアルを完成させ、株式会社 YAMANAKA（以下、「YAMANAKA」）から協力を得られる解体業者に展開した。

取引条件については、まず先述のように異物除去等については多くの工数が発生することが確認できたため、数トン～数十トンの PP 部品が集まる集荷拠点で除去作業を行うことは困難と判断した。よって、取引価格を上記で算出したコスト、および事業化した際に市場価格からかけ離れすぎないことを念頭に、異物除去を行ったバンパーを 30 円/kg と設定した。また、内装部品についてはバンパーと異なり塗膜がないため、物性が安定しやすく加工性も高い。そのため、通常バンパーに対して 20 円/kg 程度高値で取引されており、本事業でもバンパーの価格設定に伴い 50 円/kg とした。

なお、先述のように今回の回収事業では回収を依頼する解体業者側で小部品や異物除去まで行うことを想定していたが、この場合には作業量が増加することから解体業者の協力を得にくいことが交渉段階で判明した。よって、異物非除去のバンパーについても、20 円/kg に価格を低減して受け入れることとした。以上の取引条件について、図表 2-7 に整理する。

図表 2-7. 本事業の PP 部品買取価格

PP部品	買取価格
PP内装部品	50円/kg
バンパー（異物除去）	30円/kg
バンパー（異物非除去）	20円/kg

本事業への解体業者の協力状況については、図表 2-8 に示す。

今回 YAMANAKA の川崎工場、栃木工場、仙台工場という 3 つの拠点の協力を得て、合計で 38 社の解体業者に PP 部品回収の協力依頼を実施した。協力業者は回収開始から徐々に増え、回収開始当初は 18 社の協力を留まったが、最終的には川崎工場で 12 社、栃木工場で 5 社、仙台工場で 5 社の合計 22 社の協力を得ることができた。仙台工場では協力を打診した解体業者のすべて、川崎工場では 9 割以上の解体業者から協力を得られたことから、PP 部品販売による新たな収入源の確保に対して、解体業者の関心も高いことが確認できた。

なお、栃木工場は 20 社の打診をする中で 5 社の協力を留まったが、これは PP 部品の購入を行っている既存業者が存在しており、3 か月間だけ本事業に協力することが難しかった

ことが大きな理由である。また、既存の商流との関係から、栃木工場では協力業者から回収したすべてのバンパーが異物非除去品だったことも特徴といえる。

図表 2-8. 解体業者の協力状況

YAMANAKA拠点	打診	協力
仙台工場	5社	5社
栃木工場	20社	5社
川崎工場	13社	12社
合計	38社	22社

3 PP 部品運搬工程の検討

3-1 解体業者からの使用済自動車由来 PP 部品の回収ルート構築

3-1-1 本事業における実証ルート

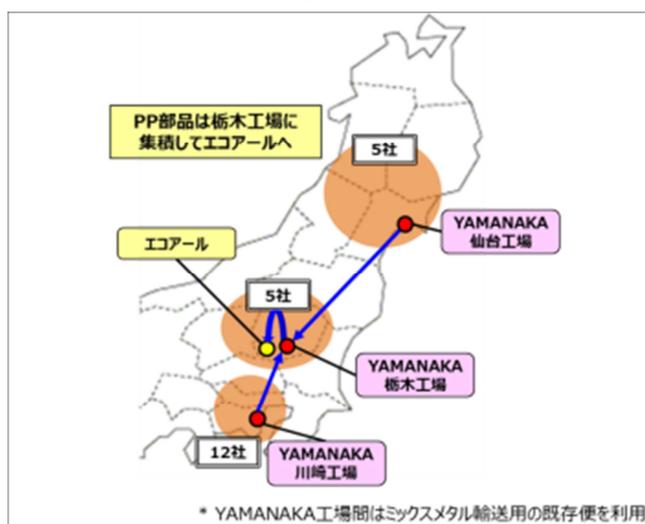
PP 部品運搬工程で重要となるのは輸送コスト圧縮を実現する回収ルートの構築である。

まず、解体業者から回収する使用済自動車由来の PP 部品については、破砕業者が解体済自動車を引き取る際の、「ついで便」を用いて PP 部品を混載するスキームを実証した。従来解体済自動車に付属したまま破砕業者に運ばれ、ASR としてエネルギーリサイクルされることが多かった PP 部品であるが、解体業者で事前に PP 部品の取外しを行い、解体済自動車と一緒に破砕業者が回収することで、余分な輸送費を使うことなく PP 部品の回収が可能になる。つまり、破砕業者が集荷拠点となることで、輸送コストを削減するスキームである。その後、集荷拠点でバンパーを破砕・洗浄し、積載性の悪い成形品状態での輸送をなくせば、コンパウンドメーカーへの輸送時には効率的な輸送が可能となる。

そのため、本スキームでは YAMANAKA に破砕機を設置することが理想的であるが、YAMANAKA が PP 用の破砕機を所有していないため、破砕機を所有するエコアールに回収したバンパーを輸送し、破砕・洗浄を行うこととした。なお、YAMANAKA 栃木工場とエコアール間には解体済自動車引取用の輸送便があり、これにバンパーを積載することで追加の輸送は発生しない。また、YAMANAKA の工場間でもミックスメタル等を運搬する社内便が存在していることから、追加輸送なしに川崎工場、仙台工場で回収した PP 部品を栃木工場に運搬し、エコアールに集約することが実現できた。

本事業で実施した使用済自動車由来の PP 部品回収イメージを図表 3-1 に示す。

図表 3-1. YAMANAKA の使用済自動車由来 PP 部品回収イメージ



3-1-2 解体業者からの PP 部品の積載・運搬方法の検討

本スキーム実現における課題の一つが、解体済自動車と PP 部品の混載・積載方法である。そのため、解体済自動車とバンパーの混載について、エコアールに YAMANAKA の手配した最大積載量約 35.5t（車重 17.5t を引くと 18t）のトレーラーを用いて、プレス塊とバンパーを積載する試験を行った。図表 3-2 に試験の様子を示す。

本試験では、バンパー積載用にトレーラー後方部にスペースを空けながら前方に集中してプレスガラ 24 個を積み、約 35t まで積載した（プレスガラは平均約 0.73t/個のため、さらなる積載は不可）。その後、後方部のスペースにバンパーを積載したところ、48 本を積んでも余裕があり、プレス台数分のバンパー積載が可能であることが確認できた（フロントとリアでバンパーは 2 本/台）。また、バンパー積載後の重量は、35.18t であったため積載重量としても問題ないことが分かり、バンパーを別途事前に取外して運搬しても、解体済自動車の発生台数分であれば積載・運搬が可能であることが確認できた。

図表 3-2. 積載方法の確認



また、実際の運用では、車台状態での PP 部品との混載が主であったが、その場合にも解体済自動車の隙間に PP 部品を上手く敷き詰めて混載することで、従来から自動車輸送台数を減らすことなく PP 部品の回収が達成できた。YAMANAKA が解体業者からの PP 部品運搬時に実施した輸送の様子を図表 3-3 に示す。荷姿や積載方法は回収先の解体業者によっても異なったが、PP バンドで結束して積載する場合やフレコン袋で積載する場合、解体済自動車の下に敷き詰めて押し潰して輸送する場合等、いずれの場合でも隙間を活用した積載によって、数十キロ単位での回収が可能であることが確認できた。バンパーが約 6kg/台、内装部品が最大でも 10kg/台程度と想定すると、50kg 程度の輸送ができれば、車台状態で

の輸送時にも 3~4 台分の PP 部品を回収可能である。以上のことから、実際の運用においても解体済自動車と PP 部品を混載することで、「ついで便」の活用が可能になったことが確認できた。

図表 3-3. 解体業者⇒YAMANAKA の輸送の様子



また、既存の社内便を活用した YAMANAKA 工場間での輸送の様子も図表 3-4 に示す。こちらにもミックスメタルの隙間や上部に積載することで、一度に数百キロの輸送を実施した。一部で過積載にならないようミックスメタルの積載を抑える部分があったものの、既存の社内便を活用することで効率的な輸送を達成したといえる。

さらに、YAMANAKA からエコアールへの輸送の様子についても図表 3-5 に示す。YAMANAKA からエコアールに向かう解体済自動車引取時は、往路が空便であるため、PP 部品を目一杯積載している。

図表 3-4. YAMANAKA 工場間での輸送の様子



図表 3-5. YAMANAKA⇒エコアールの輸送・搬入の様子



3-1-3 使用済自動車由来の PP 部品回収実績

本スキームを用いて、設定した回収期間における解体業者からの回収実績を図表 3-6 にまとめます。本事業では合計 22 社の解体業者から協力を得て、2015 年 10 月 1 日～2015 年 12 月 17 日までの間に PP 部品の回収を実施した。その結果、外装部品（バンパー）、内装部品合わせて 33.6t の PP 部品の回収を達成した。

工場別の内訳を概観すると、12 社の解体業者の協力が得られた川崎工場での回収量が最も多く、13.6t に達している。次に 5 社の協力が得られた栃木工場が 11.6t で続き、同様に 5 社の協力が得られた仙台工場が 8.4t という結果であった。

回収部品については、バンパーが 62.2%、内装部品が 37.8%とバンパーの方が多かったものの、各工場や回収時期でバンパーが多い場合と内装部品が多い場合に分かれる興味深い結果となった。解体業者へのヒアリングでは、自動車からの取外しが簡単で、後でまとめて異物除去を行うバンパーの方が回収しやすいという意見がある一方、異物除去がバンパーほど必要ないほか、マイナスイオンドライバー等で引っかけること取外しにも苦労しない内装部品の方が回収しやすいとの声もあり、解体業者によって対応が異なっていた。

また、先述のように回収期間の中で協力解体業者が増加する傾向にあったほか、月別の回収量を見ても回収量は後半になるほど増加している。12 月は駆け込みでの納品があったとはいえ 17 日間で 11.65t の回収を達成しており、最終日まで回収が実施できていれば 21t/月を超える回収が見込まれたと考えられる。事業化によって長期的な回収が実現できれば、回収量はさらに増加する可能性もある。

—解体業者からの使用済自動車由来 PP 部品回収実績—

【回収期間】 2015 年 10 月 1 日～2015 年 12 月 17 日

【回収主体】 株式会社 YAMANAKA

【回収実績】 合計 33.6t（バンパー：20.9t、内装部品：12.7t）

【協力解体業者】 合計 22 社（川崎工場：12 社、栃木工場：5 社、仙台工場：5 社）

図表 3-6. 解体業者からの使用済自動車由来 PP 部品回収実績の詳細

YAMANAKA 回収拠点	10月回収量 (kg)			11月回収量 (kg)			12月回収量 (kg)			合計回収量 (kg)		
	BMP	内装	合計	BMP	内装	合計	BMP	内装	合計	BMP	内装	合計
仙台工場	2,410	1,220	3,630	970	600	1,570	1,280	1,890	3,170	4,660	3,710	8,370
栃木工場	2,040	60	2,100	4,040	820	4,860	3,550	1,050	4,600	9,630	1,930	11,560
川崎工場	2,890	2,120	5,010	1,910	2,830	4,740	1,790	2,090	3,880	6,590	7,040	13,630
合計	7,340	3,400	10,740	6,920	4,250	11,170	6,620	5,030	11,650	20,880	12,680	33,560

*BMP：バンパー。以下の表でも同様。

*仙台工場の 10 月回収量には、9 月末に先行して納品された 600kg を含む。

3-1-4 解体業者へのアンケート調査

本事業では、回収期間を実施した解体業者の意見を聞くため、回収期間後に協力解体業者へのアンケート調査を実施した。調査の概要は以下の通りである。回収協力業者が 22 社であることから、アンケート回収数も 14 社と少数であるため、定性的な分析となるが、調査結果についても以下に示す。

アンケート調査の概要

【アンケート実施日】：2016 年 1 月 15 日～2016 年 1 月 29 日

【アンケート内容】：PP 部品回収の実施方法・意見

【アンケート対象業者数】：PP 部品回収協力業者 22 社

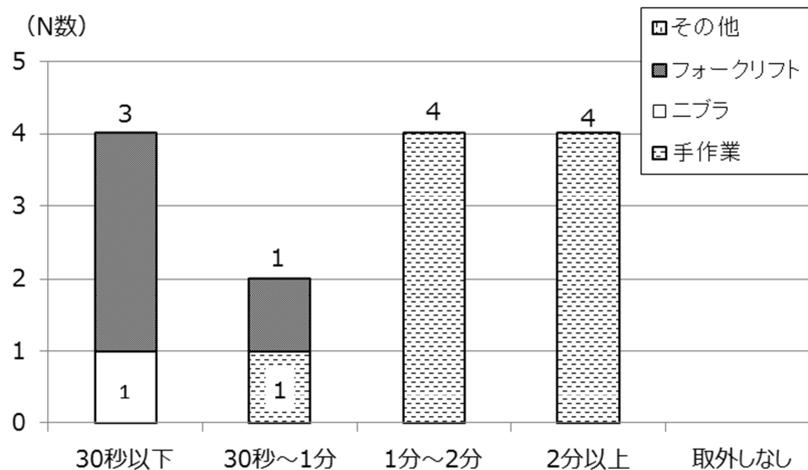
【アンケート回収数】：14 社

■ バンパーの回収方法および時間

図表 3-7 にアンケートの回答結果を示す。バンパーの回収方法については、手作業、ニブラもしくはフォークリフトという回答であった。回収方法と回収時間は直結しており、ニブラやフォークリフトを用いた業者で多くが 1 本あたり 30 秒以下で作業が可能とした一方、手作業での作業の場合には 2 分以上の時間を要するとした業者も多かった。

ニブラやフォークリフト等の重機使用時には、作業スペースおよび作業の準備時間を要するとも考えられるが、他作業での重機使用時にバンパーの回収が実施できれば、作業の効率化を達成できる可能性がある。

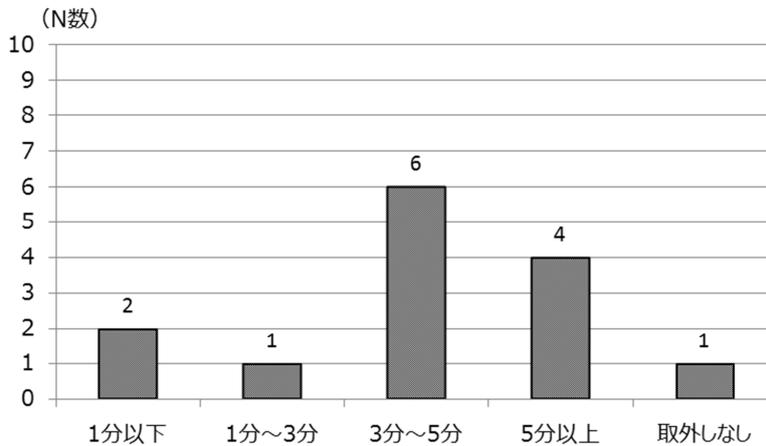
図表 3-7. バンパーの回収方法および時間



■ バンパーの異物除去時間

図表 3-8 にアンケートの回答結果を示す。バンパーの異物除去については、すべての業者が手作業で実施しているとの回答であった。作業時間は 3 分～5 分が 6 業者、5 分以上が 4 業者とエコアールでのシミュレーションと比べて多くの時間がかかっていることが分かった。解体業者の事業性向上のためには、作業の標準化や効率の高い除去方法、後工程での異物除去方法等を検討し、作業負荷の低減が必要と考えられる。

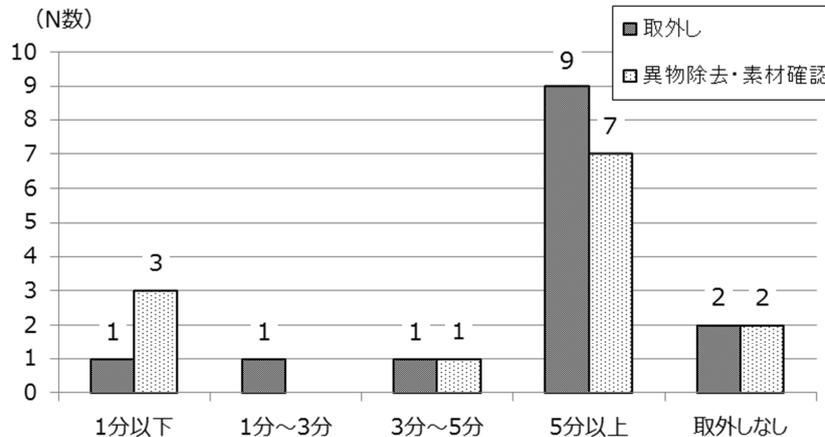
図表 3-8. バンパーの異物除去に要する時間（手作業）



■ 内装部品の取外し・異物除去時間

図表 3-9 にアンケートの回答結果を示す。内装部品については、取外し・異物除去ともにすべての業者が手作業で実施しているとの回答であった。内装部品の買取価格はバンパーに比べて高いものの、作業時間も 5 分以上との回答が多い。一方、1 分以下で取外しを実施した業者もあり、効率的な実施方法の標準化と共有によって作業性の改善が期待できる。

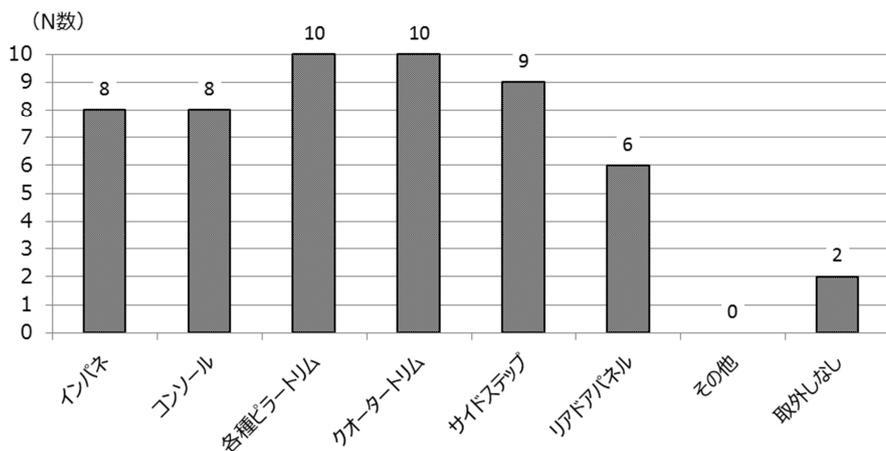
図表 3-9. 内装部品の取外し・異物除去に要する時間



■ 回収した内装部品品目

図表 3-10 にアンケートの回答結果を示す。本事業で回収した内装部品については、取外しやすい部品のみでの回収等も想定された。しかし、ピラートリムやクォータートリムの回収を実施した業者が多いものの、インパネ～リアドアパネルまで幅広く回収されたことが確認できた。部品によって大幅な作業性の差異はなく、下図の部品はすべて回収対象となり得ることが改めて確認できた。

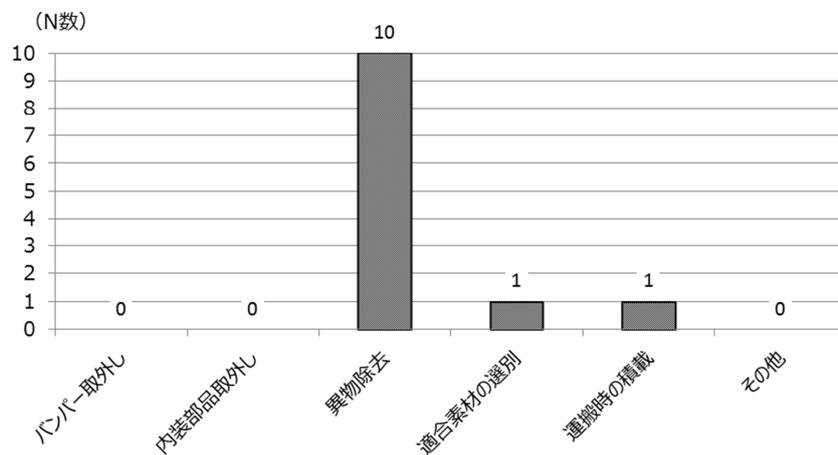
図表 3-10. 本事業で回収した内装部品



■ 本事業で最も負担が大きかった作業

図表 3-11 にアンケートの回答結果を示す。最も負担が大きかった作業は、多くの業者で 5 分以上を要するとされた PP 部品の異物除去との回答がほとんどであった。また、PP 素材表示が指定した表示以外にも多数あることから、適合素材の選別に時間を要するとの回答もあった。この点も対象素材を詳細に指定することで、今後改善していく必要がある。

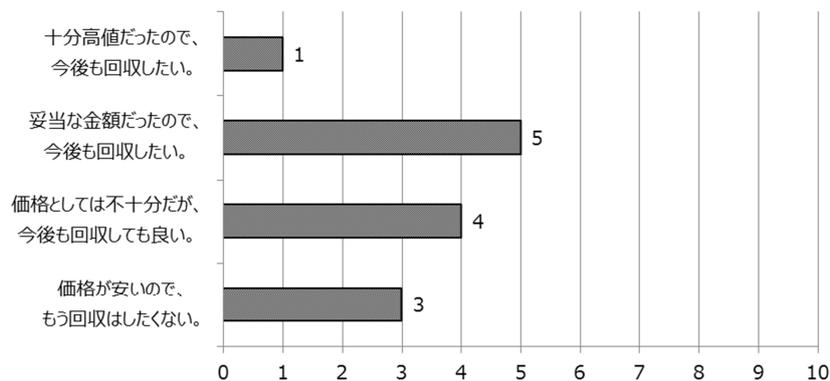
図表 3-11. 本事業で最も負担が大きかった作業



■ 本事業で設定した PP 部品買取価格について

図表 3-12 にアンケートの回答結果を示す。本事業で設定した取引条件に対して「十分高値」との意見は少数であるものの、14 業者中 11 業者から今後も回収継続可能という意見が得られ、事業化しても一定量の回収が見込めることが分かった。但し、買取価格は高めれば高いほど、協力業者も増えると予測されるため、後工程の処理費用等を低減し、買取価格の向上を目指すことが求められる。

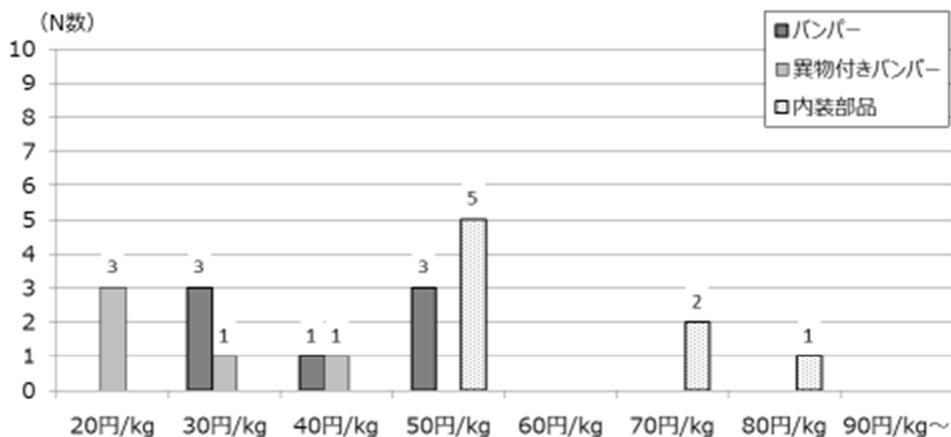
図表 3-12. 本事業の取引条件について



■ PP 部品の希望買取価格

図表 3-13 にアンケートの回答結果を示す。本事業より 20 円～30 円/kg 程度値上げして欲しいとの声がある一方で、本事業の買取価格で十分との意見もあった。この理由としては、本事業の協力が得られた解体業者はマテリアルリサイクルに積極的なこと、および通常の市場価格よりも設定価格が若干高かったことが考えられる。全国的に回収を拡大するのであれば、より高値での買取も必要となるだろう。

図表 3-13. PP 部品の希望買取価格



■ 本事業に対する意見

最後に、本事業を実施した意見や感想等を自由回答として得たが、その多くが異物除去の作業負担、素材表示記号、買取価格に関する意見であった。回答が得られた意見を図表 3-14 にまとめる。

買取価格については、後工程の経済性との兼ね合いになるが、異物除去および素材表示記号の指定については、作業の標準化や詳細な解体マニュアルの作成によって効率化が達成できる可能性もあり、今後の検討課題である。

図表 3-14. 本事業に対する意見

異物除去について	<ul style="list-style-type: none">・ 小部品の取外しが機械的に自動化できないか検討してほしい。・ 異物除去作業が面倒で内装は軽自動車のみ実施した。・ 異物除去が非常に大変。異物付きでも同価格程度なら回収可能・ 異物除去がなければ回収可能・ 価格は妥当だが、異物除去に時間がかかるため、状況によりできない場合が多い。
買取価格について	<ul style="list-style-type: none">・ 手間の割に売上が少ない。バンパー、内装ともに 20～30 円ほど値上げして欲しい。・ 時間があるときは今回の単価で問題ない。
素材表示について	<ul style="list-style-type: none">・ 素材表示記号が回収対象リストに無いものが多く、分かりづらいので対象外のものを今後は明記して欲しい。・ 素材表示が判別しにくく、判断に困った。統一性がない。・ 素材の一覧表があると回収しやすかった。
その他	<ul style="list-style-type: none">・ ヘッドライトやテールライト等も回収して欲しい。

3-1-5 本事業における課題

本回収スキームでは、解体済自動車やミックスメタルとの混載が効率よく進められ、大幅な輸送効率化が達成できた。「ついで便」の活用が思うように進まず、専用便を手配することも懸念されたが、回収期間内では専用便を1度も用いることなく、すべて混載での輸送が達成できた。今回の実証事業によって、一工場で達成できる回収量や保管スペース、「ついで便」の輸送頻度等も確認できたことから、輸送ルートを精査することで一層効率的なルート構築も可能と考えられる。そのため、課題としては以下の「回収量の増加」、「回収対象部品の詳細な指定と異物除去の徹底」が挙げられる。

■ 回収量の増加

回収量については、短期間の実証事業期間内で30t以上ものPP部品の回収を達成したことは大きな成果である。但し、回収量が多いほど、その後の処理フローでの効率化が見込まれるため、事業化時のさらなる回収量増加が期待される。

回収量の増加に向けては、協力業者の増加および一業者あたりの回収量の増加が挙げられる。一般に、自動車1台当たりバンパーが前後で6kg、回収可能なPP内装部品が10kg程度と搭載されていると考えられる。そのため、本事業で実証したYAMANAKAの3工場での使用済自動車引取台数を1万台/月と仮定すると、潜在的な回収可能量は160t/月となる。本事業では平均約13t/月程度の回収であったことから、回収や異物除去が困難なPP部品もあるものの、数値上はさらに月間150t/月程度の回収量の上乗せが可能とみられる。

回収量増加のためには、後工程での処理コスト低減や再生材の販売価格向上による買取価格の向上が重要となる。また、多様な事業者が参加することにより、取外し方法に関する知識が蓄積し、作業方法の標準化と共有が実施できれば、1台当たりから取外しができるPP部品の重量も増加できる可能性がある。

■ 回収対象部品の詳細な指定と異物除去の徹底

別の課題として回収対象PP部品のより詳細な指定と、異物除去の徹底が挙げられる。後述するが、本事業では回収対象外品や異物再確認に要する集荷拠点の作業負担が非常に大きくなっており、回収段階でこれらの分別が徹底されれば、後工程における作業負担が減り、PP部品の買取価格の向上にも繋がる。特に、素材表示の指定についてはアンケートでも作業効率の低下に繋がっているとの回答があり、今後の改善を要する。

一方で、こうした課題は事業化による長期的な回収が実現され、集荷拠点と解体業者間でのフィードバックが繰り返されれば、改善されていく可能性も高いと考えられる。

3-2 新車販売店／部品販売店からの補修交換済バンパーの回収ルート

3-2-1 本事業における実証ルート

破砕処理の効率化および安定的な再生材の供給には、回収量の確保が重要となる。

そのため、本事業では使用済自動車由来の PP 部品だけでなく、新車販売店（以下、「ディーラー」）でバンパーの修理交換時に発生する補修交換済バンパーの回収を実施した。この補修交換済バンパーの回収ルートと、使用済自動車由来の PP 部品の回収ルートを結びつけることで、バンパーの効率的な輸送と回収量確保を行うのが本事業の目的の一つである。

補修交換済バンパーの回収は、本田技研工業株式会社（以下、「ホンダ」）及び株式会社ホンダトレーディング（以下、「ホンダトレーディング」）が中心となり、使用済自動車の PP 部品回収ルートと統合を図るべくルート検討を進めた。

■ 補修交換済バンパー回収における課題と回収方法

本来は解体業者がディーラーからの使用済自動車引取り時にバンパーを一緒に引取るのが効率的ではあるが、本事業によってディーラー側に保管場所が少ないため頻繁な回収が必要なことが判明した。また、他人の所有物を有価で運搬するためには、貨物自動車運送事業法に基づく「一般貨物自動車運送業許可」の取得が必要になるが、一般にこの許可を解体業者は取得していない。そのため、破砕業者に代わってバンパーを回収することは、新たにディーラーとの売買が必要となり、解体業者の協力が得られにくいことも分かった。

そのため、今回の実証協力先であるホンダの協力の下、エコアールが既存の使用済自動車の仕入先として取引のあるホンダディーラー（H/Cars）から、バンパーを回収（購入）するルートを構築した。

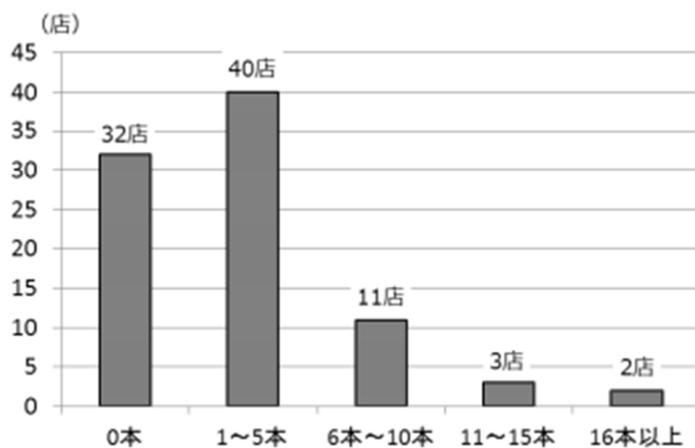
■ 協力ディーラーの選定

次に回収対象とする店舗の検討するため、エコアールで回収可能な北関東地域のホンダディーラー88店舗について、5月～7月のバンパー回収実績からバンパーの平均回収量を調査した。この平均回収量の分布が図表 3-15 である。

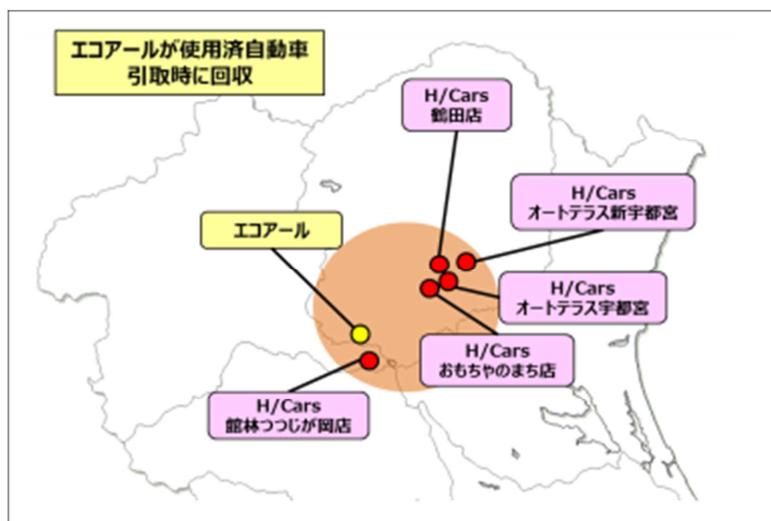
補修交換済バンパーの回収量は、ディーラーの規模や、協力板金店からの回収有無により大きく異なるが、図表 3-15 に示す通り 5 本以下の店舗が 72 店舗と全体の 82% を占めている。そのため、本事業では回収量の確保というより、全国的な規模拡大を見据えた試験的な回収と位置付けた。

上記の調査結果等から、本事業では協力が得られやすいホンダの直資販社で、かつ販売店でバンパーの発生実績がある 2 県 2 法人 5 店舗を選定し、協力を得た。なお、この 5 店舗の 2015 年 5 月～7 月における平均バンパー回収量は、5 店舗合計で 22 本/月であった。この 5 店舗およびエコアールとの位置関係について図表 3-16 に示す。

図表 3-15. 北関東地域 88 店舗のホンダディーラーの月間平均バンパー回収量
(2015 年 5 月～7 月の平均)



図表 3-16. エコアールの補修交換済バンパー回収イメージ



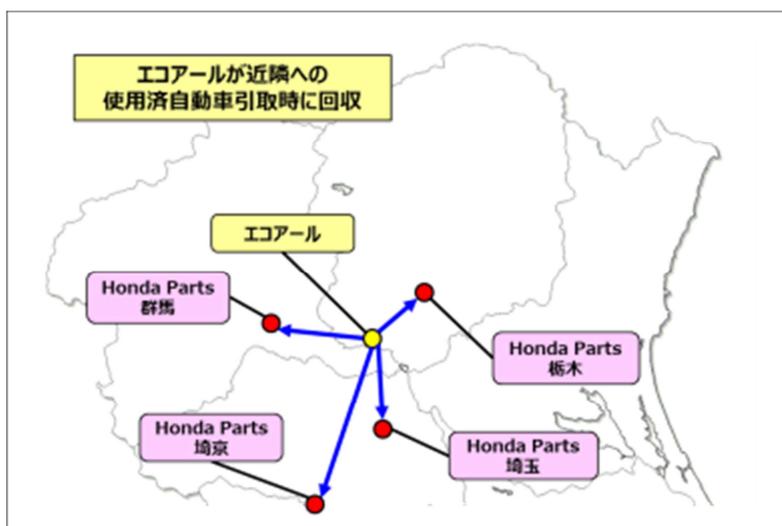
■ 部品販売店からの回収

一方、ホンダではバンパーのマテリアルリサイクルを既に実施しており、動脈物流を活用しディーラーから部品販売店（以下、「部販」）である **Honda Parts** を経由して、補修交換済バンパーを回収するネットワークを構築している。このネットワークでは、部販がディーラーへの部品納品時にバンパーを回収しているため、バンパー輸送のためだけの部販・ディーラー間での輸送費は発生しない。しかし、全国各地の部販からコンパウンドメーカーへは成形品状態で輸送されるため、高額な輸送コストが発生しており、この低減が課題となっている。

ディーラーとは異なり、部販には周辺ディーラーや協力板金店から回収したバンパーが集積しており、北関東地域からだけでも数百本/月程度の回収が見込める。本バンパーの回収を目的に、当初は YAMANAKA が解体済自動車の回収過程や、プレス塊を納入した帰りに部販に立ち寄り回収するルートを検討した。しかし、実状として帰り便においても空便で帰ることはなく、近隣とはいえ部販への立ち寄りを考えると、専用便を用いる方が効率的であることが分かった。また、YAMANAKA がプレス塊運搬時に使用する輸送便はトレーラーであるため、十分な敷地を有しない部販への横付けが困難であるほか、部販側に大型のフォークリフト等の設備もないためトレーラーへの積載も難しいことが判明した。

そこで、本事業ではエコアールが近隣へ使用済自動車回収に向かう際に、部販に立ち寄りバンパーを回収する方法で調整した。この際にはユニック車で使用済自動車との混載が可能になるため、部販への横付けや積載時の課題も解決できた。これにより、本事業では北関東地域の 4 部販（栃木、群馬、埼玉、埼玉）の協力を得て、エコアールによるバンパー回収を実施した。この 4 部販およびエコアールの位置関係について図表 3-17 に示す。

図表 3-17. 補修交換済バンパー回収における協力部品販売店の配置図



3-2-2 新車販売店からのバンパーの積載・運搬方法の検討

以上のようにホンダディーラーおよび部販の協力を得て、エコアールの「ついで便」を活用した回収ルートを構築したが、使用済自動車由来のPP部品と同様に、バンパーの輸送方法が大きな課題となる。

まずディーラーからの輸送については、ユニック車では荷台のアオリが低いため、バンパーを剥き出しの状態では積載することは落下の危険性が高い。一方で、別途回収カゴや専用の輸送用ケースを用いることは、一度に数本の輸送と考えられるため余剰スペースが過剰になるほか、協力ディーラーが増加した場合の管理が煩雑となることが予測される。そのため、本事業ではエコアールが回収する使用済自動車の車内にバンパーを詰め込む方法で実施した。自動車1台に詰め込めるバンパーは数本が限度と考えられるが、ディーラーでの発生量も微量であるために十分対応可能と考えられる。

また、部販からの回収については、エコアールで利用している専用の回収カゴを各部販に設置する方法で実施した。通常、部販では物流センターからの補修部品納品時に、部品運搬便を活用してバンパーを回収していた。頻繁に届く補修部品の運搬便で都度バンパーを輸送していたため、自社でバンパーを多量にストックする習慣がなく、別途バンパーを保管してエコアールの「ついで便」を待つためには、新たな回収カゴが必要であった。また、エコアールの回収カゴはユニック車での使用済自動車引取り時に自動車と混載できるサイズであり、今回の輸送に最適であった。今回利用した回収カゴおよび、回収カゴと使用済自動車の混載の様子を図表3-18に示す。

図表 3-18. 部品販売店からの回収イメージ



3-2-3 新車販売店からの補修交換済バンパー回収実績

■ 新車販売店からの直接回収実績

新車販売店由来の補修交換済バンパーについては、回収ルートの構築に時間を要したことから10月1日からの回収には間に合わず、最初の回収を実施したのが10月21日となった。また、ディーラーからの直接回収は、ディーラー1店舗あたりのバンパー発生量が月に数本と微量なこと、エコアールの使用済自動車引取のタイミングで必ずしも新車販売店にバンパーの保管がないことから、今回の実証事業ではほとんど回収ができなかった。本事業でディーラーから直接回収した回収実績を図表3-19に示す。

5店舗でディーラーからの協力を得て、回収ルートを構築したものの、実際にバンパーの回収が実施できたのは12月4日の1回のみで、本事業の回収期間と設定した12月末日までもバンパー3本の回収に留まった。ディーラーごとの回収実績についても、回収が実施できたのはオートテラス宇都宮の1店舗だけであった。その他の4店舗では回収の協力を得ていたものの、実際の回収は達成できていない。先述のように5店舗合計での平均バンパー回収量は22本/月であったため、回収可能量としては3か月で66本が見込まれたが、今後の事業化に課題を残した回収ルートとなった。

—新車販売店からの補修交換済バンパー回収実績—

【回収期間】 2015年10月21日～2015年12月31日

(但し、回収を実施できたのは12月4日の一回のみ)

【回収主体】 株式会社エコアール

【回収実績】 合計約12kg (3本)

【協力新車販売店】 合計5社 (下表参照)

図表 3-19. 新車販売店からの補修交換済バンパー回収実績の詳細

新車販売店 回収拠点	10月回収量		11月回収量		12月回収量		合計回収量	
	本数	KG	本数	KG	本数	KG	本数	KG
館林つつじが岡店	0	0	0	0	0	0	0	0
オートテラス宇都宮	0	0	0	0	3	12	3	12
オートテラス新宇都宮	0	0	0	0	0	0	0	0
鶴田店	0	0	0	0	0	0	0	0
おもちゃのまち店	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	0	3	12	3	12

■ 部品販売店からの回収実績

部販からの補修交換済バンパーの回収も、最初の回収を実施したのが10月21日となった。また、各部販での最終回収日が異なることから、最初の回収と最後の回収を回収期間とすると、実際の回収期間としては2015年10月21日～2016年1月6日となった。本事業では全国に存在するホンダの部販であるHonda Partsのうち、栃木、群馬、埼玉の4つの拠点から協力を得て、回収期間における回収量は合計4.9tであった。各拠点の回収実績の詳細については図表3-20に示す。

各拠点の規模も異なるほか、既存ルートと実証ルートの併用や全量実証ルートへの提供というように、拠点ごとに回収の度合いが異なったことから回収量に差異があるものの、各拠点ともに安定的な回収が達成できている。回収が軌道に乗った11月は単月2tを超える回収量に達しており、すべての拠点から全量供給が得られれば、月当たりの回収量は3tを超えるものと見込まれる。

拠点ごとの回収量を見てみると、全量供給が得られたHonda Parts 埼玉からは、合計2.2t(710本)ものバンパーを回収しており、ディーラーからの直接回収に比べて非常に効率的な回収が達成できたといえる。現時点ではディーラーから部販への輸送は既存の補修部品運搬用の輸送便を用いているため、追加輸送は発生していない。そのため、補修交換済バンパーの回収には、部販からの回収が有効なことが分かった。

一部品販売店からの補修交換済バンパー回収実績

【回収期間】2015年10月21日～2016年1月6日

【回収主体】株式会社エコアール

【回収実績】合計4.9t(1,576本)

【協力部品販売店】合計4社(栃木、群馬、埼玉)

図表 3-20. 部品販売店からの補修交換済バンパー回収実績の詳細

部品販売店 回収拠点	10月回収量		11月回収量		12月回収量		合計回収量	
	本数	KG	本数	KG	本数	KG	本数	KG
Honda Parts 栃木	86	250	163	491	201	630	450	1,371
Honda Parts 群馬	0	0	163	484	136	400	299	884
Honda Parts 埼玉	0	0	65	210	52	171	117	381
Honda Parts 埼玉	185	578	311	966	214	694	710	2,238
合計	271	828	702	2,151	603	1,895	1,576	4,874

*1月初旬の回収分は12月に加算

3-2-4 本事業における課題

■ 新車販売店からの直接回収における課題

使用済自動車引取時の解体業者による補修交換済バンパーの引取りは、既存の輸送便を活用した理想的な回収方法と考えられる。しかし、今回の実証事業によって、実際の運用には課題を残していることが確認できた。本事業で明確化した課題については、以下の二つが挙げられる。

最初の課題が輸送方法である。使用済自動車の車内に回収バンパーを詰め込むことを想定したが、既に車内には他の輸送物が詰め込まれていることが多く、バンパーの詰め込みが困難な場合もあった。また、エコアールが自社便で引取りを行う場合には問題にならないが、使用済自動車の引取りを他社に委託する場合、ディーラー保管のバンパーを車内に詰め込む作業まで輸送会社に依頼できないという事情もあった。

次に最も大きな課題が、ディーラーとの連携である。既に部販による既存の回収ルートがある中で、既存商流の変更が求められる本スキームへのディーラーの協力を得ることが困難であった。単価が安く月に数本程度しか発生しないバンパーの場合、買取価格の向上によっても協力を得ることは難しい。

また、本事業では協力ディーラーの過去の回収実績からすると、3か月で66本程度の回収が見込めるはずであった。しかし、実際にはエコアールの使用済自動車引取時にディーラー側にバンパーの在庫があるケースが少なく、この点でもディーラーとの連携が課題となった。既存商流では、部販の回収は敷地内に置かれたバンパーを補修部品納品時に都度持ち帰っており、バンパーの保管場所を確保する必要はなかったが、本事業では場所確保の負担が生じることも回収実績に影響した可能性がある。

以上のように、解体業者による新車販売店からの回収は、決定的な課題はないものの、ディーラー側に負担の少ない運用方法の検討が必要である。例えば現状補修交換済バンパーはマテリアルリサイクル用途で利用されているため、ディーラーで異物除去等を徹底している。買取価格の向上ではディーラーの協力は見込みにくいため、異物付きでも回収する等のディーラー負担を軽減するような施策を検討する必要がある。

■ 部品販売店からの回収における課題

部販からの解体業者によるバンパー回収は比較的課題も少なく、円滑な回収が進められた。回収期間中および回収期間後の各部販へのヒアリングでも明確な課題は確認できず、今後の事業化も検討できる。

しかし、その中でも課題として残ったのが、部販で回収対象のバンパーが溜まるタイミングと、エコアールで周辺に使用済自動車の引取りが発生するタイミングが必ずしも一致せず、オンタイムでの回収が困難なことであった。本事業ではエコアールが設置した回収カゴが一杯になる頃に、部販からエコアールに回収を依頼するという運用をしたが、その際に都合よく使用済自動車の引取り便が発生するわけではないため、回収の遅延もしくは、エコアールがバンパー輸送専用便を出さなければならないケースもあった。回収のタイミングが一致しない限りは、部販としても過度の在庫を避けるために既存のコンパウンドメーカーへの輸送ルートと併用せざるを得ないため、回収量の増加も見込みにくい。

一方で、図表 3-21 に示すように、専用便を出したのはエコアールが部販向けに行った全 18 回の輸送のうち、Honda Parts 埼玉向けの 3 回のみである。専用便の出し先が Honda Parts 埼玉に集中していることから、本実証事業で得た成果をもとに、より詳細な回収ルートおよび回収頻度の検討によって、解決可能とも考えられる。

図表 3-21. エコアールによる部販からの輸送と引取実績

No.	日付	搬入元	輸送方法	回収量	
				本数	KG
1	10月21日	Honda Parts 栃木	使用済自動車との混載	86	250
2	10月26日	Honda Parts 埼玉	バンパー回収専用便	102	317
3	10月30日	Honda Parts 埼玉	使用済自動車との混載	83	261
4	11月2日	Honda Parts 群馬	使用済自動車との混載	68	205
5	11月7日	Honda Parts 栃木	使用済自動車との混載	80	243
6	11月11日	Honda Parts 埼玉	使用済自動車との混載	65	210
7	11月16日	Honda Parts 群馬	使用済自動車との混載	100	322
8	11月17日	Honda Parts 群馬	使用済自動車との混載	95	279
9	11月25日	Honda Parts 栃木	使用済自動車との混載	83	248
10	11月27日	Honda Parts 埼玉	バンパー回収専用便	211	644
11	12月4日	Honda Parts 栃木	使用済自動車との混載	81	247
12	12月8日	Honda Parts 群馬	使用済自動車との混載	74	214
13	12月9日	Honda Parts 埼玉	使用済自動車との混載	109	340
14	12月19日	Honda Parts 栃木	使用済自動車との混載	74	233
15	12月24日	Honda Parts 埼玉	バンパー回収専用便	105	354
16	1月5日	Honda Parts 群馬	使用済自動車との混載	62	186
17	1月6日	Honda Parts 栃木	使用済自動車との混載	46	150
18	1月6日	Honda Parts 埼玉	使用済自動車との混載	52	171
合計				1,579	4,886

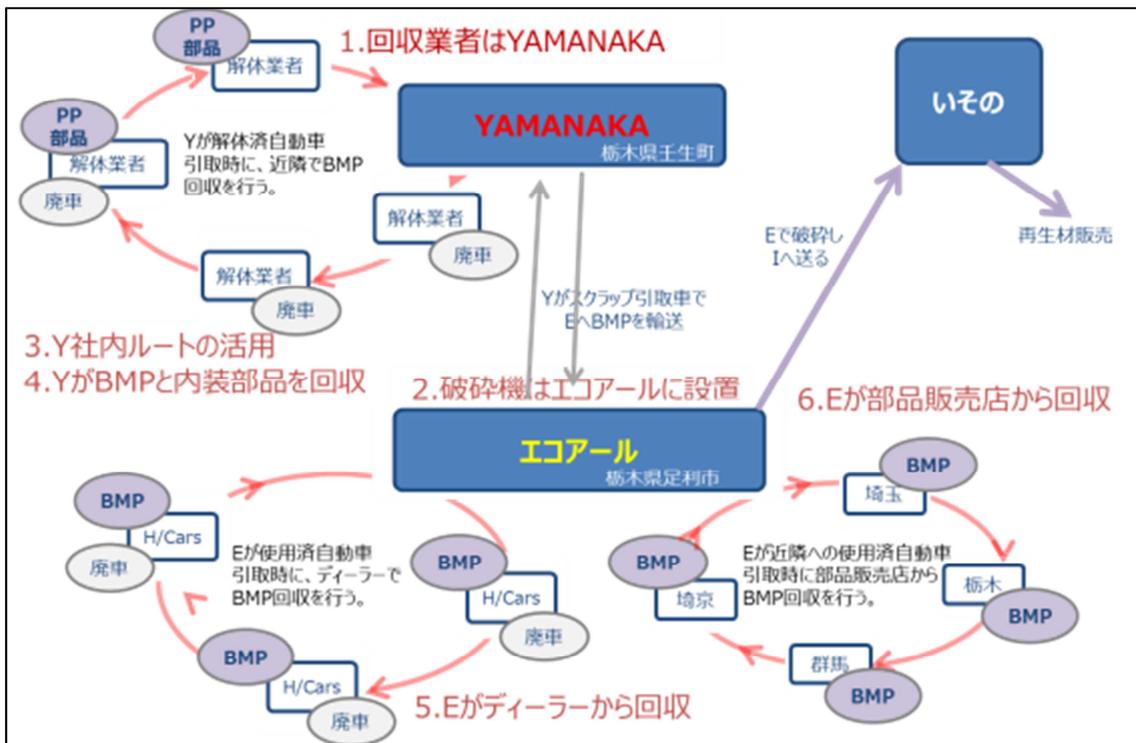
3-3 本事業における回収スキームのまとめ

3-3-1 回収スキームの全体像

本事業で構築・検証した PP 部品回収スキームの全体像について、図表 3-22 に改めて整理する。これまで述べてきたように、本事業では YAMANAKA による解体業者で取外された使用済自動車由来 PP 部品の回収、およびエコアールによるディーラーで発生した補修交換済バンパーの回収（ディーラーからの直接回収、部販からの回収）という回収ルートをつなぎ、エコアールに回収した PP 部品を集積するという回収スキームを構築した。

使用済自動車由来の PP 部品回収では、YAMANAKA の解体済自動車回収便に PP 部品を混載することで輸送効率化を図ったほか、補修交換済バンパーの回収においてもエコアールの使用済自動車引取り便を用いることで、ディーラー・エコアール間の輸送、部販・エコアール間の輸送を効率化した。また、本事業で発生した YAMANAKA の 3 工場間の輸送もミックスメタルを輸送する既存の社内便を用いたほか、YAMANAKA 栃木工場・エコアール間の輸送も解体済自動車の引取り便を用いることで、バンパーの回収を目的とした専用便をほとんど追加していないことが大きな特長である。

図表 3-22. 本事業全体での回収イメージ



*E：エコアール、Y：YAMANAKA、I：いその

3-3-2 回収スキーム全体での回収実績

本事業で構築した回収スキームにおける、全ルートでの合計回収量について図表 3-23 にまとめる。なお、YAMANAKA の回収分はバンパーと内装部品が混在しているため、重量のみを記載している。

本事業で回収した PP 部品の総量は、38.4t であった。最も多くの PP 部品が回収できた 12 月に限れば、PP 部品回収量は 13.6t/月に達している。先述のように 12 月 17 日で回収終了した YAMANAKA 回収分に関して、12 月末日まで実施していれば 21t/月を超える回収量に達した可能性もある。そのため、本スキームでは約 23t/月の回収達成が可能とも考えられる。

本事業は 2 ヶ月程度の短いルート構築期間と、3 か月に満たない回収期間しか設定できなかったが、協力解体業者や回収量は右肩上がりに上昇している。事業化によって長期的な回収が実現されればさらなる回収量の増加も見込めるほか、回収を進めながら各事業者間で密接なネットワークを構築し、取外しや輸送に関するノウハウを蓄積・共有していけば、各プロセスの一層の効率化も達成できると考えられる。

図表 3-23. 本事業全体での PP 部品回収実績

回収拠点		10月回収量		11月回収量		12月回収量		合計回収量	
		本数	KG	本数	KG	本数	KG	本数	KG
YAMA NAKA	仙台工場	—	3,630	—	1,570	—	3,170	—	8,370
	栃木工場	—	2,100	—	4,860	—	4,600	—	11,560
	川崎工場	—	5,010	—	4,740	—	3,880	—	13,630
	合計	—	10,740	—	11,170	—	11,650	—	33,560
新車 販売店	館林つづじが岡店	0	0	0	0	0	0	0	0
	オートテラス宇都宮	0	0	0	0	3	12	3	12
	オートテラス新宇都宮	0	0	0	0	0	0	0	0
	鶴田店	0	0	0	0	0	0	0	0
	おもちゃのまち店	0	0	0	0	0	0	0	0
	合計	0	0	0	0	3	12	3	12
部品 販売店	Honda Parts 栃木	86	250	163	491	201	630	450	1,371
	Honda Parts 群馬	0	0	163	484	136	400	299	884
	Honda Parts 埼玉	0	0	65	210	52	171	117	381
	Honda Parts 埼玉	185	578	311	966	214	694	710	2,238
	合計	271	828	702	2,151	603	1,895	1,576	4,874
総計		—	11,568	—	13,321	—	13,557	—	38,446

3-3-3 輸送効率化によるコスト削減

本回収スキームにおける CO₂削減効果については後述するが、「ついで便」を活用することで、PP 部品マテリアルリサイクルの課題であった輸送コストの大幅な削減が達成可能と考えられる。本実証では一部で PP 回収専用便を用いたものの、概ね「ついで便」を利用することで集荷拠点までの PP 部品の輸送を達成し、実質的に追加の輸送費がかからないスキームであることが確認できた。

■ 使用済自動車由来の PP 部品回収コストの削減

過去には、環境省「平成 26 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業」において、PP 部品回収に用いられる輸送コストが一つの課題であると報告されている。当該事業では、主に 3 つの回収ルートが検討された。一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」であり、この場合には PP 部品輸送の専用便を用いるため、21.9 円/kg の輸送コストが必要としている。二つ目が地域内の解体業者に PP 部品を集約し、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 (破砕業者自社便のため安価) 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。最後が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。

これに対して、本事業で実証したスキームでは、破砕業者の解体済自動車引取り便を用いることで追加の輸送コストをゼロにすることを実現し、大幅なコスト削減を達成した。本スキームと平成 26 年度事業の輸送コストの比較を図表 3-24 に示す。このように、輸送コストを大幅に削減する回収スキームが実現可能であることを示せたことは本事業の大きな成果である。

図表 3-24. 使用済自動車由来 PP 部品の輸送コストの比較

	平成26年度事業			本スキーム
	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：(一社)日本 ELV リサイクル機構「平成 26 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業」を基に作成

■ 補修交換済バンパー回収コストの削減

補修交換済バンパーについても、部販からコンパウンドメーカーへの輸送において、バンパーを輸送する専用便を用いているため、「ついで便」を用いることで大幅なコスト削減が期待できる。既存ルートと本スキームとの輸送コストの比較を図表 3-25 に示す。

現状では 10t 車での回収の場合、補修交換済バンパーは一度に約 690kg（バンパー230本）の輸送が可能である。そのため、10t 車の利用を 50,000 円とした場合、1kg あたりの輸送コストは約 72.5 円である。補修交換済バンパーの輸送には 4t 車も併用されているが、その場合の輸送可能重量は約 450kg（バンパー150本）であり、4t 車の利用を 35,000 円とした場合、1kg あたりの輸送コストは 77.8 円となる。

一方、本事業の回収では成形品状態での専用便の輸送はなくなり、破碎状態での輸送が発生するのみである。結果として、5 円/kg 程度での輸送が達成でき、70 円/kg 近くの輸送コスト削減が達成できる。

図表 3-25. 補修交換済バンパーの輸送コストの比較

	既存ルート		本スキーム
	4t車利用	10t車利用	
トラック利用費	35,000 円	50,000 円	50,000 円
可能積載量	450 kg	690 kg	10 t
1kgあたりの輸送費	77.8 円/kg	72.5 円/kg	5.0 円/kg

以上のように本事業で達成した輸送コスト削減の効果は大きく、マテリアルリサイクルフロー全体の経済性向上は、解体業者からの PP 部品回収量の増加や回収量の増加に伴う処理コストの低減等にも繋がると考えられる。

4 破砕・洗浄工程の検討

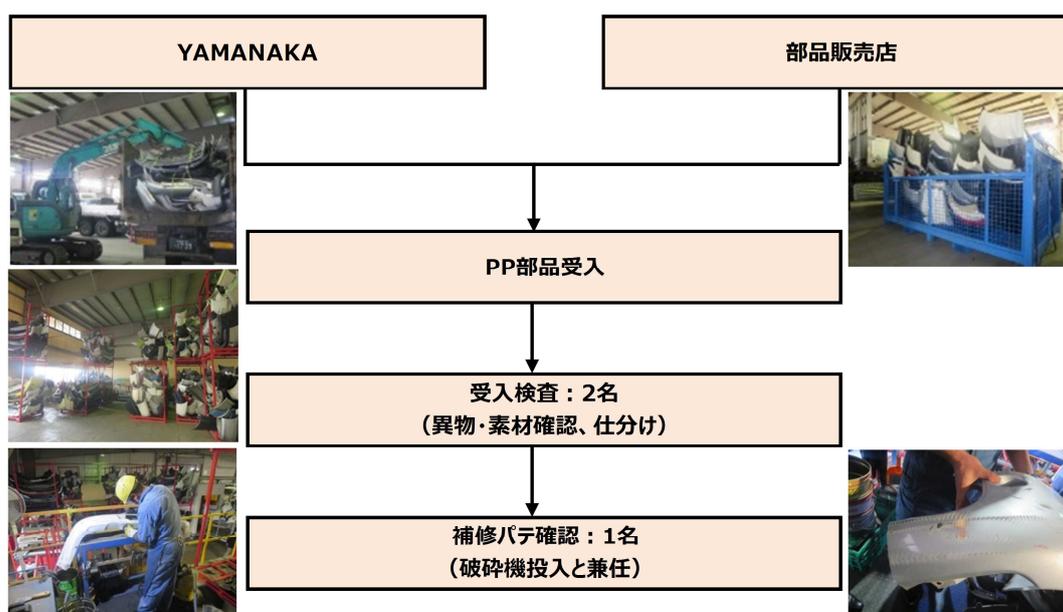
4-1 集荷拠点での破砕前処理

4-1-1 破砕前処理方法

PP 部品回収後の破砕・洗浄工程については、現状 PP 部品用の破砕機を所有しているエコアールで実施した。但し、エコアール納入以前に YAMANAKA でフレコン袋や PP バンドでまとめられた PP 部品を一度取り出し、異物や素材表示の再確認を行った。また、YAMANAKA 栃木工場では異物非除去品のバンパーについても回収したため、専任の人員を 1 名配置することで異物除去の対応も実施した。

エコアール納入後には、本数確認、異物・素材表示の再確認、仕分け（バンパーと内装部品の 2 種類）、補修パテの確認といった前処理を行い、破砕ラインへの投入を行っている。エコアールの人員配置としては、当初すべての前処理工程を 1 名で対応していたが、本数確認および仕分けで手一杯となり、ほとんど破砕機への投入が実施できない状況であった。そのため、その後は本数確認、異物・素材表示の再確認、仕分けを行うまでを受入検査として 2 名、補修パテの確認および破砕機への投入に 1 名と、合計 3 名に人員を拡充して対応した。3 名に拡充時のエコアールの破砕前処理工程を図表 4-1 に示す。

図表 4-1. エコアールでの破砕前処理工程



4-1-2 破砕前処理における課題

エコアールでの破砕処理を行うまでの過程で、主に下記三点の課題が明確化した。以下でその課題と今後の対応方法について検討する。

■ 成形品状態での積載率

最初の課題は、PP 部品の成形品状態での積載率の低さである。本課題は当初から認識されていたが、YAMANAKA 栃木工場からエコアールへの成形品状態での輸送を行う中で、改めて低い積載率が確認できた。本事業では解体済自動車の輸送便を活用したため、10tトラックによるPP部品の輸送を実施したが、図表4-2に示すように輸送量は毎回バンパー本数にして300~450本程度、重量にして1,000~1,300kg程度である。12月末日までに実施した18回のバンパー輸送の平均輸送量は1,120kg(358本)であり、破砕材の状態では積載率100%での輸送が可能なることを考えると、積載率は11.2%と非常に低効率である。

当初からこの積載率の低さを認識していた本事業では、PP部品が成形品の状態で大量に輸送されるのはYAMANAKA 栃木工場・エコアール間のみであり、使用済自動車引取り時の「ついで便」を用いていることから問題とはなっていない。さらに、本回収スキームの理想形であるバンパー集積拠点での破砕・洗浄が実施できれば、成形品状態での大量輸送は発生しないことが予測される。しかし、他地域での事業化の際には今回のように成形品での大量輸送が発生しないとも言いきれず、マテリアルリサイクルの課題となる可能性がある。そうした意味で、本事業で多様なバンパーが混合した際の積載率を改めて確認できたことは一つの成果といえる。

図表 4-2. 10tトラックでのバンパー成形品搬入実績

No.	日付	搬入元	回収量		No.	日付	搬入元	回収量	
			本数	KG				本数	KG
1	10月22日	YAMANAKA栃木工場	228	814	10	11月25日	YAMANAKA栃木工場	360	1,107
2	10月23日	YAMANAKA栃木工場	318	1,043	11	11月27日	YAMANAKA栃木工場	399	1,231
3	10月27日	YAMANAKA栃木工場	351	1,143	12	12月2日	YAMANAKA栃木工場	373	1,148
4	10月30日	YAMANAKA栃木工場	339	1,072	13	12月4日	YAMANAKA栃木工場	416	1,239
5	11月4日	YAMANAKA栃木工場	318	1,056	14	12月7日	YAMANAKA栃木工場	387	1,122
6	11月6日	YAMANAKA栃木工場	320	1,045	15	12月10日	YAMANAKA栃木工場	352	1,091
7	11月11日	YAMANAKA栃木工場	390	1,243	16	12月15日	YAMANAKA栃木工場	413	1,299
8	11月16日	YAMANAKA栃木工場	329	1,018	17	12月18日	YAMANAKA栃木工場	400	1,197
9	11月18日	YAMANAKA栃木工場	321	1,025	18	12月22日	YAMANAKA栃木工場	438	1,269
合計								6,452	20,162
全18回の平均								358	1,120

■ YAMANAKA における異物除去・素材確認

次の課題が、YAMANAKA による異物付きバンパーの異物除去および素材の再確認に、想定以上の工数を要したことである。これらの作業に対する 1t 当たりの処理時間、1 時間当たりの処理量、作業コストを図表 4-3 にまとめる。

異物非除去品として回収したバンパーの処理は YAMANAKA で実施したが、異物除去の処理速度は 1 時間あたり 15~20 本程度の処理に留まった。作業時間には納入バンパーの積み下ろしや開梱等も含まれるため、1 本あたりの処理時間に換算すると 180 秒~240 秒/本となり、エコアールの実地シミュレーションで計測した平均値の 126.8 秒/本より多く工数が発生している。1 時間あたりの処理量を 17.5 本と仮定し、バンパー1 本の重量を 3kg とすると、一時間当たりの処理量は約 52.5kg/h、1t 当たりの処理時間は 19 時間である。パートタイム従業員等による対応で人件費単価を 1,000 円/h と想定しても、異物除去に要するコストは 19.0 円/kg となり、異物非除去バンパーの 10 円/kg の価格低減では割に合わない。

また、YAMANAKA での素材表示の再確認には、同様に納入 PP 部品の開梱および作業後の再梱包等も発生するため、50kg の納入品の再確認を実施するのに 90 分ほどかかった。そのため、一時間あたりの処理量では約 30kg/h に留まった。

図表 4-3. YAMANAKA での異物除去・素材確認に要する時間と作業コスト

実施項目	1t 当たりの 処理時間	1時間当たりの 処理量	作業コスト (人件費1,000円/h)
異物除去 (積み下ろし、開梱等含む)	19 時間	52.5 kg	19.0 円/kg
素材表示の再確認 (積み下ろし、開梱等含む)	30 時間	33.3 kg	30.0 円/kg

■ エコアールにおける破砕前処理

最も大きな課題が、破砕を行うエコアールの前処理工数である。エコアールでの前処理では、当初 1 名での対応を想定していたものの、3 名に拡充して対応した。特に、バンパーの受入検査は 2 人の作業員でも当初は 1t/日 (合計 12 時間) 程度しか進まず、1 時間あたりに換算すると 83kg/h であった。最も課題となるのは素材表示の確認で、汚れで刻印が見つけられず、刻印を探す作業に多くの時間を要した。実際にすべてホンダ製である補修交換済バンパーについては、汚れが少なく刻印表示の位置にも規則性があるため、1t 当たり 5~7 時間程度での作業が可能であった。

また、他にも補修パテの確認および破碎機への投入に 1 名の人員を配置しており、破碎機の処理量に連動した工数が発生する。結果としてエコアールの作業負担が非常に大きくなり、当初はエコアールでの自社回収分のバンパーをさらに回収量に上乘せすることも可能と考えられたが、本作業の工数がボトルネックとなり実現できていない。

その一方で、内装部品の受入検査については、異物や素材表示も見つけやすく、現在は専任の人員を付けることなく破碎機投入時の確認で対応している。今後処理量の増加に伴い、確認が追いつかなくなれば専任の人員も必要となる可能性はあるが、バンパーに比べて 1t 当たり 2~3 時間程度と大幅に作業時間は少ない。

しかし、解体業者での取外し・異物除去工程に加え、集荷拠点でもこれだけの作業工数が発生することは、PP 部品の取引価格に反映される可能性が大きく、改善を要する。そのため、各工程で作業の簡素化を図るとともに、今後の作業工数削減の可能性を検証した。

① PP 部品の仕分け

まず、本数確認後の仕分けについて、当初は事業化後に自動車メーカーごとのリサイクル率を導出することを念頭に、PP 部品のメーカー別仕分けを実施した。エコアールでの作業負担が過大になることを懸念し、バンパーをホンダと他メーカーの 2 種類に分けることに留めたが、それでも作業負担が大きいことが判明した。そのため、11 月以降はメーカー別の仕分けをなくし、バンパーと内装部品の仕分けに留めた。しかし、実際には素材表示や本数確認がより大きな作業負担となっており、前処理の作業工数は 1t あたり 12 時間から 11 時間へと 1 時間程度短縮されたのみであった。

エコアールでの前処理に要した時間および、1 時間当たりの処理量、仕分け簡素化による効果を図表 4-4 に整理した。

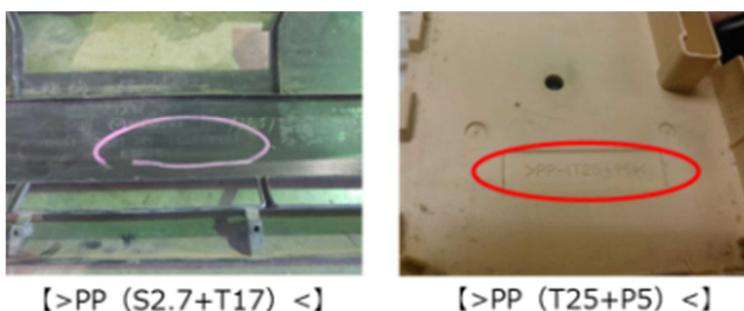
図表 4-4. エコアールでの受入検査に要する時間

実施項目	対象物	実施体制	1t 当たりの 処理時間	1時間当たり の処理量	備考	
受入検査	使用済自動車 由来バンパー	破碎機投入と兼任	1 名	15 時間	67 kg	素材表示の確認に工数大
		専任2名へ人員拡充	2 名	12 時間	83 kg	
		専任2名で分別軽減	2 名	11 時間	91 kg	
	補修交換済 バンパー	専任	2 名	5~7 時間	167 kg	素材表示に規則性があるため、効率化
	内装部品	破碎機投入と兼任	1 名	2~3 時間	400 kg	破碎機投入時に対応可能

② 対象外品の選別

素材表示の対象外品については、解体業者からの購入段階で既に除去されているはずだが、エコアール搬入時にも混在しているケースがあり、その選別に時間を要した。また、混入している対象外品は、図表 4-5 に示すように回収対象とも対象外とも指定していない素材表示品が多い。YAMANAKA での回収時にも素材表示の確認を行っているが、これらは明確な対象外品ではなかったため、事前に排除が出来なかった可能性がある。そのため、対象品の素材表示指定を再考し、作業の標準化が図れれば、このプロセスは省略できる可能性もある。

図表 4-5. 本事業では判断が付かない PP 素材表示例



③ 捕集パテの除去

補修パテの確認の様子を図表 4-6 に示す。補修パテは外見からでは判断がつかず、解体業者側で事前除去を依頼することが難しいため、エコアールで表面をグラインダーで削り、補修パテ使用品の判別を行った。作業員の成熟等により効率化が達成できる可能性があるものの、この作業負担は大きい。この課題を解決するために、本事業ではいそのでエコアールから販売する破砕材へのパテの許容混入率を検討し、パテの除去工程を不要にできる可能性を検討した。補修パテの許容混入率に関する分析結果については、再生材の引取条件を検証する 5-1 で後述する。

図表 4-6. 補修パテ確認の様子



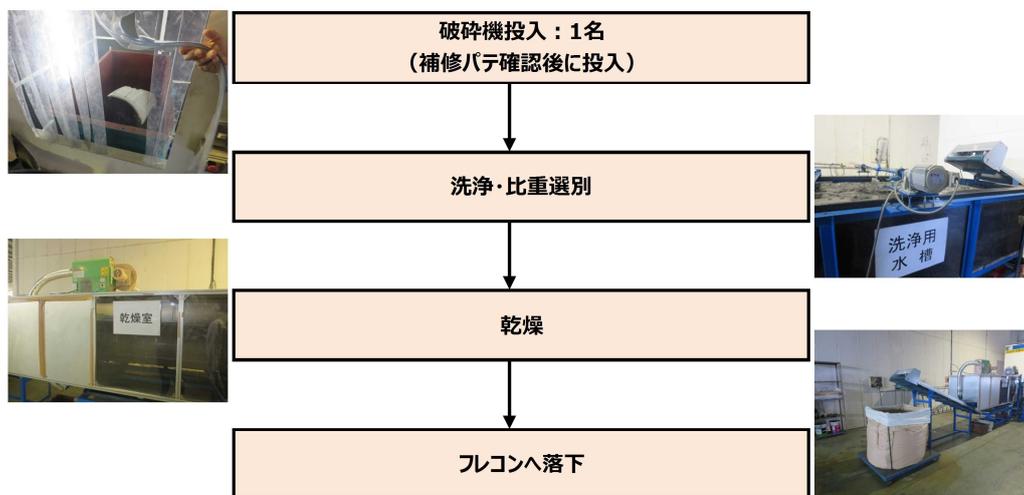
4-2 集荷拠点での破碎・洗浄工程

4-2-1 破碎・洗浄工程

エコアールで前処理を施された PP 部品は、その後破碎ラインに投入される。エコアールでの破碎・洗浄工程を図表 4-7 に示す。今回使用した破碎ラインは、破碎機以外はエコアール自社製であり、装置 2 階部分から PP 部品が破碎機に投入され、破碎後に水槽へ移動する。水槽では洗浄と、水による比重選別が行われ、金属等の異物を沈殿させる。洗浄された破碎材は乾燥室に送られ、その後フレコン袋へと落ちるラインである。破碎ライン全景と製造した破碎材は図表 4-8 の通りである。

なお、今回使用した破碎機では 20mm のスクリーンを使用しており、本スクリーンを使用した場合の処理能力は 180kg/h (1.26t/日) である。但し、後述するように、いそのの受入基準に比して破碎材のサイズが大きかったことから、1 月以降は 13mm のスクリーンに変更して処理を実施した。これに伴い、処理速度は低下している。

図表 4-7. エコアールでの破碎・洗浄工程



図表 4-8. 本事業で使用した破碎ライン全景と製造した破碎材



4-2-2 PP 部品破砕・洗浄処理実績

PP 部品の破砕・洗浄工程については、本実証事業によって前処理を含めて多くの課題が顕在化した。その都度エコアールやいそのを中心に対処策を検討し、処理を進めてきた。12 月末時点では回収したすべての PP 部品の破砕・洗浄が完了したわけではないが、12 月までのエコアールによる処理実績を図表 4-9 に示す。

PP 部品の納入が始まったのは 10 月 22 日以降であるが、設備調整や試験も含めて 10 月 14 日からエコアールでは自社回収したバンパーの破砕を開始した。そのため、10 月 14 日～12 月 22 日までの処理量となるが、その処理量は 12t に留まっており、依然として未破砕の在庫が大量に残っている状況である。当初は約 25t/月の処理量が可能と見込んでいたが、後述するように破砕機の能力が思うように伸びず、処理量が低迷している。しかし、作業員が破砕機の特性を理解し、作業自体にも慣れてきたことや、破砕機の設備調整によって処理速度は徐々に向上しており、今後さらなる改善が見込まれる。

一方、歩留まりについては、比重選別時に水槽に沈殿する水槽沈殿物が発生しており、90.4%であった。後述するように沈殿物に混入した PP 破砕材の活用方法も検証しており、さらなる歩留まり向上も見込まれる。また、事業化によって関連事業者間で異物除去に対する知識が蓄積・共有されれば、沈殿する異物の減少が予測され、歩留まりが向上する可能性も高い。

－エコアールの PP 部品破砕処理実績－

【処理期間】 2015 年 10 月 22 日～2015 年 12 月 22 日

【破砕主体】 株式会社エコアール

【破砕 PP 部品】 バンパー、内装部品

【処理実績】 合計 12.0t

図表 4-9. エコアールによる PP 部品の破砕処理実績

項目	10月	11月	12月	合計
	KG	KG	KG	KG
破砕処理量	1,437	4,873	5,659	11,969
水槽沈殿量	0	777	370	1,147
出荷可能量	1,437	4,096	5,289	10,822
歩留まり	100.0%	84.1%	93.5%	90.4%

*水槽沈殿量は水槽内の水交換時に計量するため、10 月は計量未実施。

4-2-3 破砕・洗淨工程における課題

破砕・洗淨工程においても、「破砕・洗淨処理時間」、「PP の破砕サイズ」、「比重選別時の有用材の沈殿」という三つの課題が判明した。

■ 破砕・洗淨処理時間

最初の課題は、破砕・洗淨処理に想定以上の時間を要したことである。この原因としては、作業人員が不足していたこと、破砕機が材料を吸い込む力が不足しており、上から次の材料を押し付けるように圧力を加えないと、破砕スピードが上がらないことであった。

事業開始当初は破砕機への投入人員が受入検査と兼務だったためほとんど破砕機への投入ができず、1t の処理を行うのに 15 日程度要した。しかし、受入検査に別途 2 名の人員を補充し、1 名が補修パテの確認および破砕機への投入に専念したところ、1t の処理に対して 8 日程度まで処理速度は向上した。但し、設備調整や投入方法等を検討しながら実施しており、破砕機が常に稼働している状況ではなかった。

その後、作業員が破砕機の特性を理解し投入方法等を調整したほか、破砕機のプッシャー調整等を実施したところ、処理速度は約 70kg/h (480kg/日) まで劇的に向上した。しかし、破砕機の処理能力である 180kg/h (1.26t/日) には及ばず、現在でも破砕を実施しながら設備調整等を行っており、さらなる処理速度の向上を目指している。

一方で、後述するように、20mm スクリーンでは破砕材のサイズに課題があり、1 月以降はスクリーンを 13mm に変更して処理している。結果として破砕機の吸い込みが再度悪化し、180kg/日程度 (約 26kg/h) まで処理速度は低下した。今後は本事業で得られた成果を基に、破砕ラインの工程変更や、粉碎工程の追加を含めてさらなる検討が必要となる。破砕対応人員および破砕処理速度の推移については図表 4-10 にまとめる。

図表 4-10. 破砕対応人員および破砕処理速度の推移

実施項目	実施体制	1t 当たりの 処理時間	1 時間当たりの 処理量	備考
パテ確認 ・ 破砕機投入	開始当初：1名	15 日	約 10 kg	受入検査と兼務でほとんど破砕機への投入は出来ず
	人員拡充：1名	8 日	約 20 kg	1名が破砕機投入に専念
	設備調整：1名	3 日	約 70 kg	設備調整および作業者の成熟が大きく貢献
	設備変更：1名	5.5 日	約 25 kg	スクリーン変更で処理速度低下

■ PP 部品の破砕サイズ

二つ目の課題が PP の破砕サイズである。先述のように 20mm のスクリーンを用いて破砕を実施したが、実際の破砕材は 30mm～50mm 程度になっており、いそのでのコンパウンド製造時に通常より処理に時間がかかる等の問題が生じている。これにより、1 月以降は使用するスクリーンのサイズを 20mm から 13mm に変更して処理を実施している。

破砕サイズによって生じるコンパウンド工程での具体的な課題については後述する。

■ 比重選別時の有用材の沈殿

三つ目の課題は、比重選別工程において、有用な PP 材の一部に沈殿がみられたことである。12 月末日までに破砕処理を行った 11,969kg のうち、沈殿した金属分および PP 破砕材は 1,137kg と 9.5% に達しており、歩留まり向上のためにも早急な対策が求められる。

沈殿した PP 破砕材の検証については、再生材の補修パテの許容混入率、PP 部品の破砕サイズにおける課題とともに、再生材の引取条件を検証した 5-1 で後述する。

5 再生樹脂製造工程の検討

5-1 本事業で製造した破砕材の評価と引取可否の検討

5-1-1 本事業の再生材製造フローと引取条件

本事業で製造した破砕材から、再生材の製造に至るまでのいそのでの製造工程を図表 5-1 に示す。エコアールからの破砕材受入後は、いそので攪拌機による均一混合を行い、混合品の物性測定を行う。その後、ラボ機での試験を重ねることでコンパウンドの配合検討を実施し、押出加工機によってペレットを作成する。

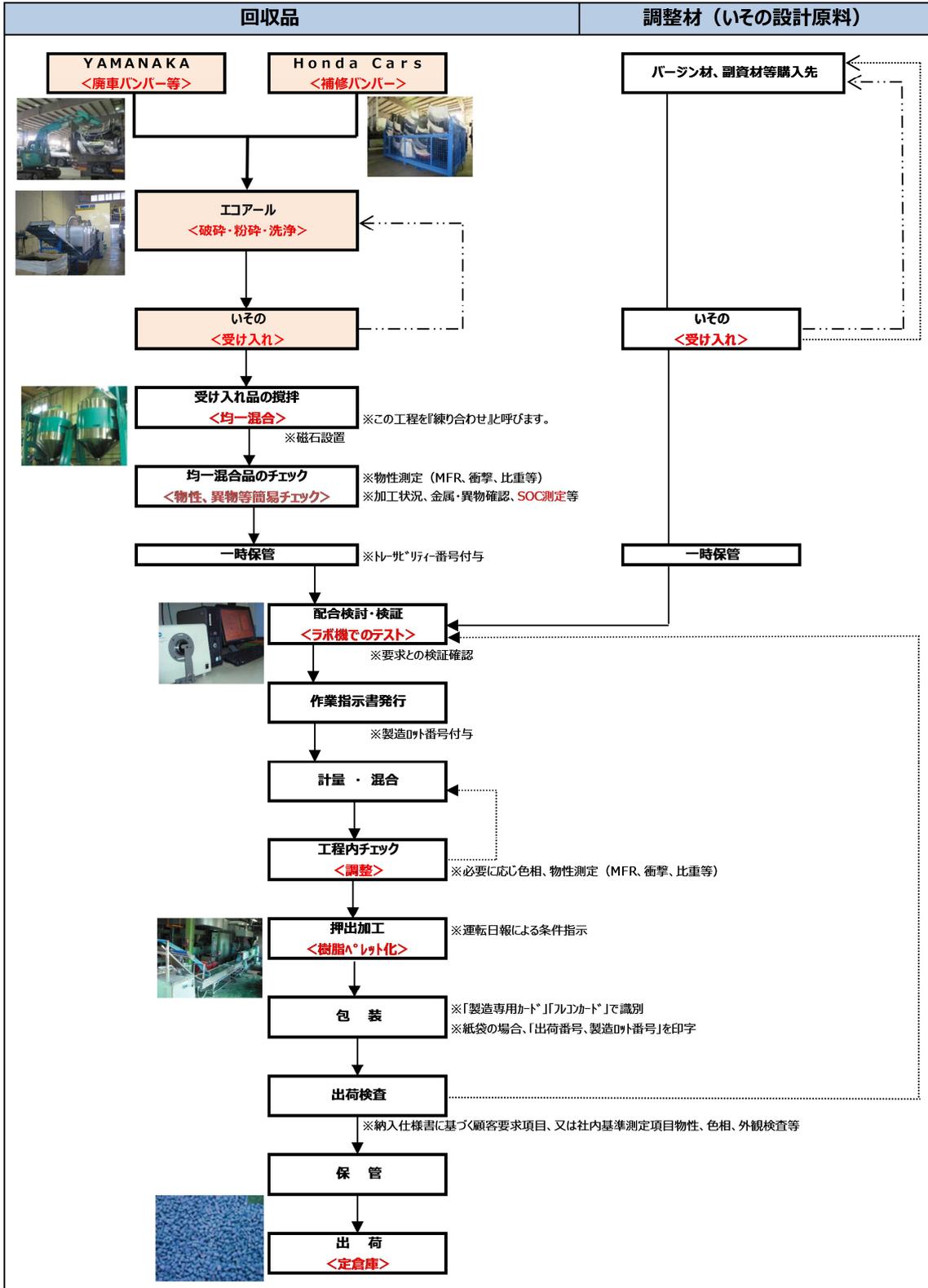
まず本事業で課題となるのは、製造した破砕材の確認である。図表 5-1 に示したように、受入条件を満たさなければ破砕材は返品される。そのため、エコアールで製造した PP 破砕材の有用性を検証するため、いそので品質確認を行った。引取条件として主な確認項目となるのは、破砕材のサイズおよび、異物の混入有無である。

まず破砕材のサイズについては、いそのでは通常 15mm 前後の破砕材を再生材原料として受け入れている。これに対して、本事業で製造した破砕材は先述のように 30～50mm に達しており、引取条件を満たしていない。成形品や既定サイズを超える破砕材については、いそので再度粉碎・洗浄等を行い、再生材原料として使用しているが、この場合には別途加工賃が発生してしまい破砕材価格の下落に繋がるため、スクリーンの変更等の対策が求められる。

一方、異物の混入については、攪拌機内に金属探知用の磁石が設置されており、金属の混入が確認されれば引取不可として搬入元への返品を行っている。金属等の混入があると、その後の押出加工工程で機械の詰まりや不具合の原因となるためである。また、攪拌器では確認ができない補修パテ等の異物については、コンパウンド時のメッシュの詰まり等によって混入が発覚するため、発覚時に返品や価格低減等によって対応を行っている。本事業で製造した破砕材については、金属が確認されることもなく、通常の入品と同様にペレット化することができた。そのため、異物の混入については受入基準をクリアしているといえる。

したがって、本事業で製造した破砕材を通常仕入品と同様に扱うには、破砕サイズの変更を実施する必要がある。但し、これらの引取条件については、いそのでも厳密に数値的な基準を設けているわけではない。そのため、まずは製造した PP 材の破砕材によって生じる課題を確認するとともに、異物の混入が見込まれる比重選別時の沈殿材、パテ混入品についても、歩留まり向上と破砕時の作業簡素化を目指して、使用可否の検討を実施した。

図表 5-1. 本事業での再生材製造フロー



- ▶ : 業務・情報の流れ
-▶ : フィードバック(FB)の流れ
- ...▶ : 返品の流れ

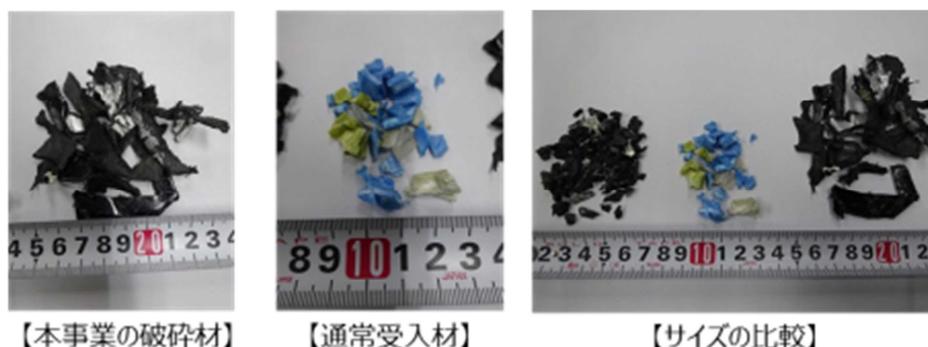
5-1-2 受入サイズを超える破砕材の評価

■ エコアールからの破砕材サイズ

先述の通りエコアールから納品された破砕材を確認したところ、そのサイズは 30mm～50mm ほどであり、縦長に破砕されているものが目立った。当初エコアールでは 20mm のスクリーンを使用していたため、破砕サイズは 20mm 以下に収まるはずであったが、破砕時に切断面が潰れることで変形し、スクリーンを通過してしまったためと考えられる。

図表 5-2 に示すように、いそので通常引取を行っている破砕材と比べると、外観からも大きいことが確認できる。

図表 5-2. 本事業で製造した破砕材といそのでの通常受入品



■ 破砕材サイズによる製造工程への影響

いそのの製造工程でこの破砕材のペレット化を試みたところ、まず原料タンク投入時に、通常フレコンから原料が自然落下するところ、破砕形状が大きいいためフレコン出口付近で破砕材が上部の流出を妨げるブリッジ現象が発生し、排出が困難なことが分かった。図表 5-3 にフレコンから排出時のブリッジ現象の様子を示す。そのため、排出のためにフレコン下部を大きく切り出す必要があった。

さらに、図表 5-4 に示すように原料タンクから破砕材を吸引する際もブリッジ現象が発生し、作業員が原料を崩しながら作業を行う必要があった。また、吸上げタンクで通常使用している二段タイプの格子では目詰まりが発生し、格子一段で磁石を変更して作業する必要も生じた。

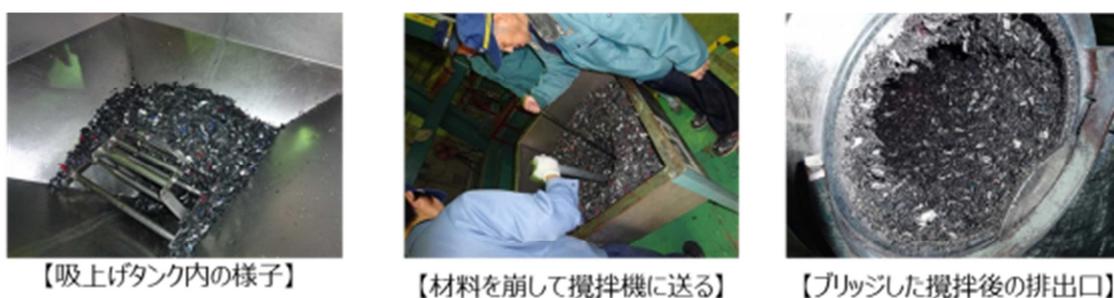
結果として、通常よりも大幅に作業時間が増加するほか、作業員の増員も必要であった。図表 5-5 に本事業での受入品と通常受入品の作業性を比較した。通常の作業時間と比較して、原料ホッパーへの投入時に約 4 倍、攪拌機への吸引時に約 3 倍の作業時間がかかっており、

作業性に多大な影響を与えることが確認できた。ブリッジ現象が発生する要素としては、「原料の柔らかさ」、「比重選別時の水分残留」、「自重によるブロッキング」等も考慮する必要があるが、本事業における破砕サイズではやはり受入が難しいと判断された。

図表 5-3. フレコンからの排出時のブリッジ現象の様子



図表 5-4. 原料タンクから吸上げ時のブリッジ現象の様子



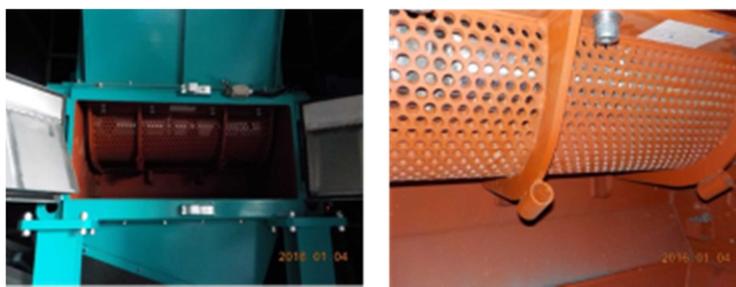
図表 5-5. 攪拌時の作業性の比較

検討品	本事業の破砕材	通常受入品
粉砕サイズ	30mm前後	15mm程度
攪拌数量	2310kg	2310kg
投入時間	115分	29分
排出時間	60分	23分
作業員数	3名	2名
備考	粉砕水濡れあり	粉砕水濡れなし

攪拌工程以降では、原料タンク内でのブリッジ現象発生による押出機への原料供給不良等も想定されたが、通常運転と変わらず安定的な生産が実現できた。この要因としては、攪拌機で均一混合されたことにより、自重によるブロッキング等が軽減され、ブリッジ現象が緩和したためと考えられる。

しかしながら、攪拌工程での作業性低下の影響は大きく、エコアールで使用する破砕機のスクリーンを20mmから13mmに変更することとした。図表5-6に変更した破砕機のスクリーンを、図表5-7にスクリーン変更後の破砕材と変更前の破砕材を示す。スクリーン変更後の材料では、コンパウンド時の目立ったブリッジ現象も発生しておらず、破砕サイズの課題は解決されたと言える。一方で、図表4-10に示したように、スクリーンの変更は破砕速度の低下を招いており、破砕設備の調整等による破砕処理速度の向上が課題である。

図表 5-6. 変更した破砕機のスクリーン



図表 5-7. 各破砕材の比較



5-1-3 比重選別時の PP 沈殿材の評価

本事業で製造した通常の破砕材（比重選別で浮いたもの）は、いそのの評価でも異物混入は確認できなかった。一方で、破砕材の歩留まり向上のためには、異物混入が見込まれる比重選別時の沈殿材についても、品質評価を行う必要がある。なお、PP 沈殿の原因としては何らかの原因で PP の比重が水の比重である 1.00 を超えたことによるものと推測できる。PP はバージン材の比重でも 0.90～0.91 程度であるため、微妙な成分の変化によって比重が 1.00 を上回ってしまった可能性も高い。この要因としては、①塗膜やフィラー充填による比重の向上、②バンパー以外の樹脂（ABS、PA 等）の混入、③バンパー特有のパテ等の付着の三つが主に考えられる。

■ いそによる沈殿材の再選別（攪拌機内の磁石利用）

PP 沈殿材の評価を行うため、いそでは通常工程と同様に攪拌機での均一混合を行った。しかし、攪拌機に設置した金属検知用の磁石に多数の金属片が付着し、そのままでは押出機の不具合を引き起こす可能性があるため、押出加工できない状況であった。

そこで、まずこの攪拌機に繰り返し投入することで磁石に金属を付着させ、金属の除去を試みた。但し、設置磁石は金属除去用ではなく混入確認用であるため、今回は同作業を 3 回繰り返すことで可能な限り金属片を除去できるよう努めた。

その結果、検証に用いた 304kg に対して、クリップ等の大きな金属片が 100g、砂鉄や微粒粉等の小さな金属片が 123g と、合計で 223g の金属が確認できた。そのため、沈殿材に含まれる金属量は 0.0007% であった。本試験で確認できた金属の混入量をまとめたのが図表 5-8 である。

また、沈殿材に混入していた金属を図表 5-9 に示す。確認できた金属としては、ネジ付きや針金、金属を含む樹脂製クリップ、鉄片、ネジ、ナンバープレートを固定するクリップ類であった。金属の含有量は微量であるものの、クリップ等の大きい金属は押出機の不具合等を招く可能性があり、含有比に関わらず事前に除去する必要がある。

図表 5-8. 攪拌機に設置された磁石で確認できた金属混入量（単位：g）

	攪拌 1 回目	攪拌 2 回目	攪拌 3 回目	合計
大きい金属混入量 (クリップなど)	55	30	15	100
小さい金属混入量 (砂鉄、微粒粉等)	66	31	26	123

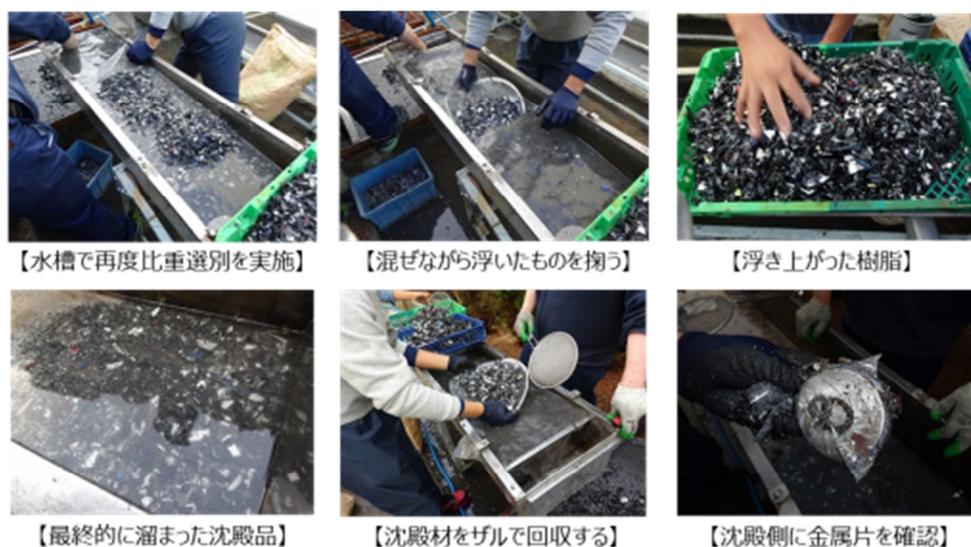
図表 5-9. 攪拌機に設置された磁石で確認できた金属の種類



■ いそのによる沈殿材の再選別（水槽による比重選別）

PP 沈殿の理由としては金属片以外でも異樹脂の混入等も考えられる。そのため、磁石による選別とは別に、磁石を取外した攪拌機にかけることで含有する異物を分散させた後、いそので再度の水による比重選別を実施した。図表 5-10 に示すように、水槽内を混ぜながら浮いたものを掬い、浮遊物と沈殿物に分割した。その後、沈殿物は篩にかけることで大小の異物の分別を行い、目視で異物を確認した。目視では金属や異樹脂、パテ等の確認は困難であったが、最終的に残った沈殿物に磁石を近づけると金属片の混入が確認できた。

図表 5-10. いそのでの沈殿品評価



■ いそによる沈殿材の押出加工と評価

いそによる再度の比重選別で選別された浮遊物は、異物が十分除去されているものとみなし、ラボ機を用いてペレット化を実施した。しかし、結果としては図表 5-11 に示すように比重選別によって発見できなかった異物が押出機先端のスクリーンに付着しており、スクリーンの目詰まりが加工工程での課題となった。なお、この付着物は主にナイロン樹脂、塗装片、金属片、その他不明のグレー系の異物等であった。これらはエコアール側で確認し切れなかったパテ等の異物が、比重選別時に沈殿していたものと考えられる。

以上のことから、エコアールで発生した PP 沈殿材は、金属以外にも異樹脂が多数混入しており、押出機等に影響を与える金属分を除去したとしても、通常のエコアールの破砕材と同等に使用することは困難なことが分かった。しかし、こうした沈殿物は大きめの金属さえ除去できれば、押出機等への影響を防ぐことができるため、調整材との混合によってメッシュの目詰まりさえ解決すれば、グレードの低い製造物等への材料として利用を検討することは可能である。

図表 5-11. 異物が付着したスクリーン



■ YAMANAKA による金属選別材の評価

以上の知見を踏まえ、今後エコアールで設置した破砕ラインの変更等を行うことも考慮し、YAMANAKA が有する金属センサーを用いて、金属物の選別試験および選別材料のペレット化試験を実施した。

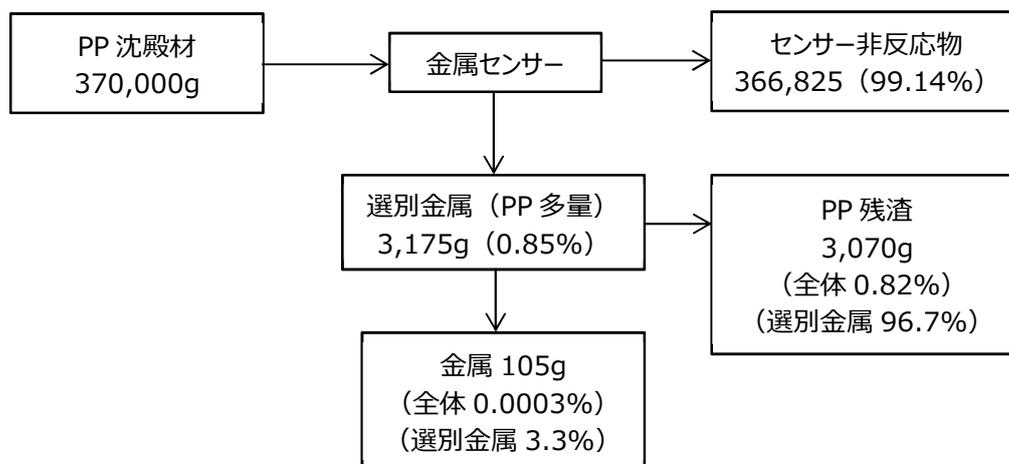
まず、YAMANAKA に納品された沈殿材は、図表 5-12 に示すように金属センサーに投入すると、全体量 370kg のうち金属反応物 3,175g (0.86%) と、非反応物 366,825g (99.14%) に二分された。但し、金属反応物として選別された異物には、多数の PP が付着した状態であった。これは、金属センサーがエアセパレーターであるため、金属と一緒に非反応物の PP についても選別されてしまったためと考えられる。そのため、さらにハンドマグネットによって鉄分を回収してみると、エコアールでの比重選別時に沈殿したと思われる鉄分

105g が確認できた。YAMANAKA での 370kg の金属確認試験の結果、確認できたのはこの 105g のみであり、全体における重量比は 0.0003%であった。以上の金属選別量の流れを図表 5-13 に示す。重量比ではいそのでの確認時より少ないが、図表 5-14 に示すように確認できた異物はいそのでの検証結果と同様にバンパーにナンバープレートを固定するクリップやビスが大半で、回収したバンパーに付着していたものと考えられる。

図表 5-12. 沈殿材の使用した金属センサー



図表 5-13. PP 沈殿材の金属選別量



図表 5-14. 金属反応物と確認できた異物



金属センサーによって大きい異物の除去は達成できたと考えられるため、本材料を再度いそので品質評価を実施した。しかし、YAMANAKA での破碎材はエコアールでの比重選別後の状態から引き続き水分を多量に含んだままであり、水分によって破碎材が密着することでブリッジ状態が悪化し、攪拌機への投入すら困難な状態であった。そのため、押出工程においても熔融時に多量の水分が水蒸気となり、歩留まり低下等の加工不具合が発生した。

■ PP 沈殿材の評価

以上の検証結果から、PP 沈殿材はいそのでの製造工程に入る前に、新たに磁力選別および乾燥工程を追加する必要がある、その場合にもエコアールで製造した通常の破碎材と同等の使用が困難であることが分かった。

グレードの低い再生材としてカスケードリサイクルは可能とみられるが、工程を追加する場合の設備投資や作業工数を考慮すると、現状の破碎ラインで沈殿材を活用することは実質的に困難とみられる。そのため、歩留まり向上には破碎ラインの変更等を含めた再検討が必要と考えられる。

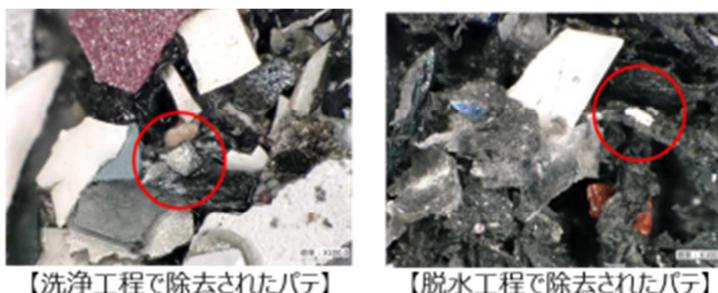
5-1-4 パテ混入材の評価

本事業で回収したバンパーの中には、異物である補修パテが使用されたバンパーが混在しており、エコアールでグラインダーを用いて表面を削ることで、その選別を行った。パテはメッシュ詰まりや再生材外観への悪影響等を引き起こすため、事前の選別が求められるが、破碎時の補修パテ確認工程の簡素化を目指し、いそので補修パテの選別および混入時の影響に関する評価を行った。

■ いそによるパテ混入材の押出加工

まず、パテ混入品をいその協力会社の洗浄・脱水機を用いて、パテの除去が可能かを確認した。しかし、図表 5-15 に示すように洗浄工程および脱水工程のそれぞれでパテの一部は除去できたものの、洗浄・脱水工程で使用されるメッシュはφ2mm 前後と小さく、破碎し切れなかった大きめのパテは完全に除去することは出来なかった。

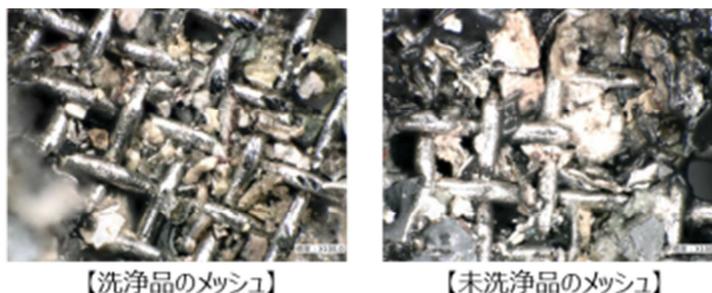
図表 5-15. 洗浄・脱水工程で除去されたパテ



その後、この洗浄・脱水工程を経たパテ混入材と、未洗浄のパテ混入材についてそれぞれ押出機での加工を試みたが、図表 5-16 に示すようにそれぞれ 5 分～8 分でメッシュ詰まりが発生した。通常押出加工において許容できるメッシュ交換頻度は 30 分/回程度であり、頻繁なメッシュ詰まりは作業性に大きな影響を与えるため受入が難しいことが確認できた。また、洗浄品は未洗浄品に比べて加工性が高かったものの、両材料ともにストランド（ペレット加工する前の紐状の状態）に異物に起因するザラ付きも確認された。

以上の結果を整理したパテ混入品の評価結果を図表 5-17 に示す。

図表 5-16. パテによって生じたメッシュ詰まり



図表 5-17. パテ混入品の評価

	洗浄品	未洗浄品
メッシュ詰まり（時間）	5～8分 = ×	5～8分 = ×
ストランド状態	×	×

■ パテ除去工程の省略可能性

本試験ではパテの混入はメッシュ詰まりを引き起こすため困難と評価されたが、本試験で用いたバンパーはすべてパテが混入しているものであり、通常の仕入品と比べて非常にパテの混入率が高い材料であった。

実際には、エコアールで仕分けられたパテの混入バンパーは仕入量に対して 10%未満であり、パテ使用バンパーの混入が 10%と考えると、メッシュ詰まりは 50 分～80 分程度にまで延長されることが予測される。その場合、メッシュの許容交換頻度である 30 分/回の水準を乗り越えられるため、エコアールでの補修パテの確認作業は省略できる可能性がある。

また、エコアールの破碎ラインでは破碎後の比重選別も実施しているため、比重の重いパテは水の比重選別で沈殿する。よって、パテの確認作業を省略したとしてもある程度のパテは選別できると考えられ、確認作業省略時のパテ混入率はかなり低くなることが予測される。

当然パテの混入は再生材の品質にも影響を与えることが予測されるため、さらなる検証が必要となるが、作業工数が大きいパテの許容混入率省略の可能性を確認できたことは大きな成果である。

5-2 自動車部品向け要求性能とその実現

5-2-1 自動車アンダーカバー向け再生材試作品の製造

本事業ではいそとホンダを中心に協議を進め、自動車部品への適用可能性を検討した。その結果、バンパー由来の再生材による自動車用アンダーカバー向け材料としての物性確保と製造を目指した。その主な理由として、加工性が高く多様な製品に活用できる内装部品に対して、塗膜等が付着したバンパーは再生材の用途が限られること、再生材製造後に塗膜による色むら等が発生することから、外観が露出する部品への適用が困難なこと等が挙げられる。しかし、アンダーカバーはエンジンを支える等の重要な役割を負うことから、耐久性および耐熱性の観点から十分な物性確保が求められる。現状では補修交換済バンパーのように物性が明確な単一材料からのリサイクルは実施されているが、多様なバンパーが混在する市場回収バンパーからのリサイクルには、物性確保の点で課題がある。

本事業ではいそのでアンダーカバー向け材料として目標とする物性を定め、リファレンスとして①物性が安定しやすいホンダ製バンパーのみからの再生材、②特定の材料を選ばない本事業で回収したバンパー全体（その他バンパー）といそので配合した調整材をコンパウンドした再生材の二種類を試作した。その結果、当初は要求物性の確保に苦慮したものの、図表 5-18 に示すようにそれぞれのバンパーにおいて目標物性を達成することに成功した。なお、それぞれの試作品製造時の運転条件を図表 5-19、図表 5-20 に示す。

図表 5-18. いそので製造した試作品の設定目標に対する物性評価

試験項目	試験条件	単位	試験方法	Honda製 BMP単一	その他BMP+ 調整材
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ASTM D 1238	○	○
アイゾット衝撃	23℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	○	○
	-30℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	○	○
引張降伏強度	50mm/min	MPa	ASTM D 638	○	○
引張破断伸度	50mm/min	%	ASTM D 638	○	○
曲げ強度	30mm/min	MPa	ASTM D 790	○	○
曲げ弾性率	31mm/min	MPa	ASTM D 790	○	○
ロックウェル硬度	Rスケール		ASTM D 785	○	○
熱変形温度	45N/cm ²	℃	ASTM D 648	○	○
比重	水中置換法		ASTM D 792	○	○

メルトフローレート：流動性の大きさ

アイゾット衝撃強度：単位断面積あたりの曲げ応力と応力方向に生じるひずみの比

引張降伏強度：荷重-伸び曲線上で、荷重の増加なしに伸びの増加が認められる引張応力

引張破断伸度：引張破壊強さに対応する伸び

曲げ強度：破壊にいたるまでの曲げ応力

曲げ弾性率：単位断面積あたりの曲げ応力と応力方向に生じるひずみの比

ロックウェル硬度：試験材の硬度

熱変形温度：荷重をかけた状態で、ひずみが一定以上になる温度

図表 5-19. ホンダ製バンパーのみからの再生材製造時の運転条件

	スクリーン	運転条件 (°C)																回転数 (rpm)		フィード	モーター電流(A)		樹脂温度 (°C)	真空 (Mpa)	スクリーン交換回数
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	F1	F2	B左	B右	接続部	C7	C8	D1	D2	1	2	1		2				
		設定	-	240	240	240	230	230	230	230	230	240	240	240	210	210	210	210	300		500	999			
10:00	100	241	240	240	229	223	229	232	232	242	237	240	239	210	210	241	300	549	999	180	70	231	-0.10	4回	
11:00	100	249	238	240	230	230	230	230	230	240	240	240	243	210	210	243	299	547	999	200	70	238	-0.10	(1回/30分)	
12:00	60	254	240	242	230	229	230	230	229	240	240	240	239	210	210	234	299	547	999	180	80	222	-0.10	0回	
13:00	60	242	241	240	230	231	230	230	230	240	240	240	244	210	210	238	299	549	999	160	70	227	-0.10	(0回/130分)	

図表 5-20. その他バンパーと調整材からの再生材製造時の運転条件

	スクリーン	運転条件 (°C)																回転数 (rpm)		フィード	モーター電流(A)		樹脂温度 (°C)	真空 (Mpa)	スクリーン交換回数
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	F1	F2	B左	B右	接続部	C7	C8	D1	D2	1	2	1		2				
		設定	-	240	240	240	230	230	230	230	230	240	240	240	210	210	210	210	300		500	999			
9:30	100	239	246	241	230	231	230	230	230	240	240	240	225	210	191	215	301	540	999	180	70	241	-0.10	7回 (1回/20分)	
10:30	100	230	238	240	230	230	230	231	231	240	240	240	243	210	190	241	301	540	999	180	70	244	-0.10		
11:30	100	219	238	239	230	230	230	231	231	240	240	240	244	210	190	245	300	537	999	200	70	243	-0.10		
12:00	60	237	239	240	240	230	230	230	230	240	240	240	240	210	190	237	300	538	999	170	80	238	-0.10	1回 (1回/160分)	
13:00	60	240	240	240	230	230	230	230	230	240	240	240	249	210	190	237	300	538	999	180	70	239	-0.10		
14:00	60	241	241	240	230	230	230	230	230	240	240	240	250	210	190	240	299	536	999	190	70	244	-0.10		
15:00	60	240	240	240	230	229	230	231	230	240	240	240	248	210	190	237	301	539	999	160	70	237	-0.10		

樹脂コンパウンドはその性質上、バージン材を含む調整材の比率を高めれば物性の確保は容易になる。その一方で、例えばバージン材 9 割に対してバンパー材 1 割のコンパウンドであれば、コストが高くなるほかバンパー材の需要開拓にも結びつきづらい。本事業で製造した試作品ではこの点もクリアしており、その他バンパー材の配合比率は 6 割程度で目標物性を達成している（ホンダ製バンパーのみからの試作品は調整材非添加のため、バンパー材が 100%）。2015 年の新車販売台数が約 505 万台¹であるため、自動車 1 台あたりのアンダーカバー重量を 2.5kg と仮定すると、すべての自動車に本材料が使用された場合、再生材の需要は約 7,580t に達する。

また、バンパー材の比率が高すぎると PP 破砕材の回収量が変動した際に安定的な供給が困難になるリスクが生じるが、4 割の調整材を用いているため、その分材料不足等への柔軟性も担保することができ、回収バンパーのみから製造した再生材に比べて、安定した供給を実現することができる。

¹ 一般社団法人「日本自動車販売協会連合会」、一般社団法人「全国軽自動車協会連合会」

5-2-2 再生材試作品の適用可能性の検討

今回いそので目標物性を達成した試作品に対して、ホンダでも物性評価を行いアンダーカバーとしての適用可能性を検討した。その結果、図表 5-21 に示すようにホンダの物性基準では、今回試作した二つの試作品のいずれにおいても未達成の項目があり、現状では製品として使用することは難しいことが分かった。この理由は、いそので設定した目標物性に対してホンダの要求物性が厳しかったことにあり、今後は調整材の再検討や、ペレット化の製造工程等を見直すことで、いそそのには更なる物性向上が求められる。

図表 5-21. いそので製造した試作品のホンダ基準値に対する物性評価

試験項目	試験条件	単位	試験方法	Honda製 BMP単一	その他BMP+ 調整材
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ASTM D 1238	○	○
アイゾット衝撃	23℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	○	○
	-30℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	○	要検討
引張降伏強度	50mm/min	MPa	ASTM D 638	要検討	要検討
引張破断伸度	50mm/min	%	ASTM D 638	要検討	○
曲げ強度	30mm/min	MPa	ASTM D 790	○	要検討
曲げ弾性率	31mm/min	MPa	ASTM D 790	○	○
ロックウェル硬度	Rスケール		ASTM D 785	○	○
熱変形温度	45N/cm ²	℃	ASTM D 648	要検討	要検討
比重	水中置換法		ASTM D 792	○	○

また、今回製造した試作品では物性だけでなく、実際に加工をした場合の加工性の評価も実施している。図表 5-22 に示すようにホンダの協力工場で実際に本試作品を用いてアンダーカバーの成形トライを実施した結果、メルトフローレートが高く、一部で加工時に糸を引く等の課題が見られたものの、いずれの試作品においても成形性の評価は高く、成形後の収縮等を確認する寸法評価についても問題なしとの結果が得られた。

図表 5-22. ホンダで実施した再生材の成形試作品



5-2-3 製造した試作品のコストバランスについて

その他バンパー材を用いて製造した試作品は、一定の物性を達成したものの、約4割の調整材を使用することで、バンパー材のみから製造した試作品に比べて加工費が増加にしている。実際に、本事業で試作した再生材の想定される加工費は、調整材を用いずホンダ製バンパー単一で製造した試作品①が約105円/kgであるのに対し、調整材を用いた試作品②は約194円/kgである。現在のPPバージン材価格が約190円/kgとされるため、バージン材に対する価格競争力がなく、現状のコストでは普及は難しいと考えられる。

また、試作品のコストには加工費だけでなく、バンパーの回収費用、破碎・洗浄費用も必要となる。そのため、バージン材に対し価格競争力のある再生材グレードを実現するためには、物性面とは別に大幅なコスト削減に向けた努力が必要となる。今後のコスト削減のための施策としては主に以下の3つが考えられる。

■ 製造工程の簡素化

コスト削減のための施策としては、まず製造工程の簡素化が挙げられる。今回製造した試作品では、物性確保を優先して、バンパーに付着した塗膜分散が見込まれる二軸押出機を使用した。しかし、混入した異物等による機械破損リスクを低減するため、二軸押出機にバンパーを投入する前に、単軸押出機で一度ペレット加工を行う必要があった。

一方で、単軸押出機と二軸押出機の物性差を検証したところ、二軸押出機を使用した方が若干物性は高くなるものの、塗膜分散による物性への影響は限定的であることが判明した。図表5-23にホンダ製バンパー単一の試作品①の、各押出加工の物性差を示す。

調整材の分散不良等による物性への影響については、さらなる検証が必要であるが、単軸一回加工にすることで約10~20%のコストダウンが見込める。

図表 5-23. 単軸加工と二軸加工の物性差

試験項目	試験条件	単位	試験方法	アンダーカバー材 想定物性値	Honda製単一BMP	
					単軸	二軸
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ASTM D 1238	30±5	95.6%	—
アイソット衝撃	23℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	250以上	100.6%	—
	-30℃、ノッチ付	J/m	ASTM D 256	40以上	108.4%	—
引張降伏強度	50mm/min	MPa	ASTM D 638	15以上	101.2%	—
引張破断伸度	50mm/min	%	ASTM D 638	70以上	83.1%	—
曲げ強度	30mm/min	MPa	ASTM D 790	22以上	100.4%	—
曲げ弾性率	31mm/min	MPa	ASTM D 790	1200以上	100.7%	—
ロックウェル硬度	Rスケール		ASTM D 785	40以上	93.6%	—
熱変形温度	45N/cm ²	℃	ASTM D 648	90以上	98.1%	—
比重	水中置換法		ASTM D 792	1.05以下	102.1%	—

■ 代替材の活用

また、一般にバージン材が用いられることの多い調整材を、別の代替材に置き換えることで材料費の低減も見込める。図表 5-24、図表 5-25 にその他バンパーと調整材を用いた試作品②をベースとして、代替材として検討可能な A~D の材料に置き換えた場合の、試作品に対する物性およびコストのシミュレーション結果を示す。

例えば代替材 D を用いた場合ではアイゾット衝撃・低温衝撃で大きく数値を落とすものの、コストは試作品の約 65% で製造可能である。また、代替材 A では、ほとんど試作品と同等の物性を示す一方で、コストは試作品の 79% で抑えられる。

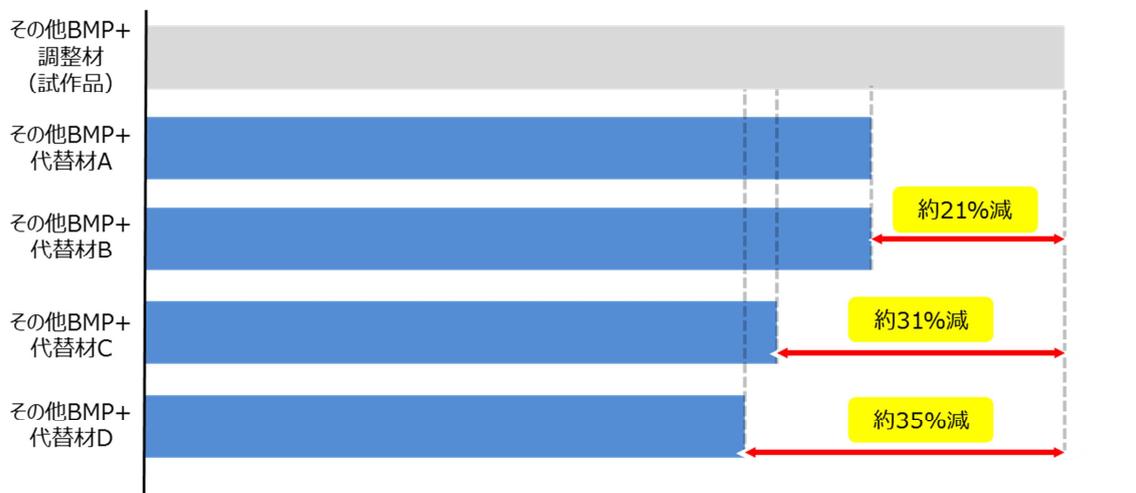
各代替材は安定的な供給可否や、安定した価格での調達可否など、それぞれ課題を抱えるものの、調整材に用いる材料を再検討することでこうしたコストダウンも見込める。

図表 5-24. 各代替材を使用した場合の物性・コスト変化

試験項目	その他BMP+ 調整材	その他BMP+ 代替材A	その他BMP+ 代替材B	その他BMP+ 代替材C	その他BMP+ 代替材D
アイゾット衝撃	—	92%	82%	61%	39%
低温衝撃	—	104%	71%	56%	38%
引張降伏強度	—	100%	110%	117%	123%
引張破断伸度	—	99%	69%	75%	78%
曲げ強度	—	97%	101%	105%	105%
曲げ弾性率	—	103%	116%	116%	82%
熱変形温度	—	112%	115%	113%	103%
価格	—	79%	79%	69%	65%

*物性はシミュレーションによって算出した数値

図表 5-25. 各代替材を使用した場合のコスト変化



■ 調整材比率の変更

さらに、本事業で製造した調整材を用いた試作品②は、先述の通り回収したバンパー材を約 60%使用して多様なバンパーからの一定の物性を達成したこと、調整材を用いることで量産時の供給不足に対するリスクを低減した点において優位性がある。

その一方で、バンパー材の使用比率が 60%に留まっていることが、加工費増に繋がっているとも考えられる。図表 5-26 に、バンパー材の使用比率を増減させた場合の、物性およびコストに関するシミュレーション結果を示す。バンパー材使用比率 60%をベースとしたときの、変動幅を示しているが、バンパー材比率を 80%に高めた場合には、引張破断伸度以外は 10%程度の物性低下に留まるものの、加工費は 76.0%にまで低減する。

バンパー材の比率を高めることは、材料供給の安定性とトレードオフの関係となるほか、物性の確保も難しくなるため、さらなる検討が必要ではあるが、要求される物性およびコストに合わせて調整材の比率を再検討することも可能である。

図表 5-26. 再生材の使用比率応じたコスト変化

試験項目	再生材の使用比率					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
アイゾット衝撃	130.8%	121.1%	110.5%	—	92.1%	86.6%
低温衝撃	116.1%	108.4%	104.5%	—	95.5%	93.7%
引張降伏強度	122.7%	116.6%	110.4%	—	107.4%	106.1%
引張破断伸度	230.3%	197.4%	131.6%	—	88.8%	77.6%
曲げ強度	116.9%	112.9%	104.8%	—	99.2%	98.4%
曲げ弾性率	129.5%	119.9%	106.2%	—	99.3%	98.2%
熱変形温度	121.0%	118.0%	114.0%	—	110.0%	109.0%
加工費	168.6%	152.0%	126.3%	—	76.0%	48.6%

以上のように、試作品の加工費については、製造工程、調整材に用いる材料、バンパー材の使用比率を調整することで、大幅な下落が見込める。本事業では物性確保を第一に考えて試作品を製造したため、加工費が高い材料となってしまったが、今後要求される物性およびコストに応じて、製造方法を再検討することにより、バージン材に対して価格優位性のある材料の製造を目指すことが求められる。

6 環境負荷低減効果の検証

6-1 CO₂削減効果の検証方法と使用原単位

CO₂削減効果については、現状大半が ASR としてエネルギーリサイクルされる使用済自動車由来 PP 部品と、既にマテリアルリサイクルが実施されている補修交換済バンパーでは、その削減効果に大きな違いがある。算出方法についても違いが生じるため、以下ではそれぞれの CO₂削減効果に関して、既存の回収ルートと本事業の実証ルートと比較することで検証する。

なお、CO₂削減効果の導出に必要な「PP 材の製造」、「PP 材の燃焼」、「廃棄物の輸送」および「電力消費量」の CO₂排出原単位の設定には、PP 材の燃焼については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）」を、それ以外については環境省「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」の数値を基に図表 6-1 のように設定した。

図表 6-1. 本事業で使用する CO₂ 排出原単位

項目	原単位	単位	備考
PP材の製造	1.483	tCO ₂ /t	プラスチック類の製造
PP材の燃焼	2.55	tCO ₂ /t	産業系プラスチック類の焼却
廃棄物の輸送* (大型貨物)	2.58	kgCO ₂ /L	軽油のCO ₂ 排出係数
	燃費法で算出：CO ₂ 排出量＝輸送距離/燃費×2.58		
電力利用	0.000579	tCO ₂ /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」
(一社)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）」

6-2 使用済自動車由来の PP 部品回収により達成した CO₂削減効果

6-2-1 既存ルートと実証ルートの比較

既存の処理ルートと比較した、使用済自動車由来の PP 部品の CO₂削減効果算出のため、図表 6-2 に既存ルートと本事業の実証ルートを示す。

既存ルートでは PP 部品は使用済自動車とともに破砕業者に引き渡され、ASR 処理業者によって ASR としてエネルギーリサイクルされる。

一方、実証ルートでは、破砕業者である YAMANAKA によって PP 部品が回収され、エコアルで破砕・洗浄される。その後、コンパウンドメーカーであるいそのによってマテリアルリサイクルされる。

そのため、実証ルートによって得られる CO₂削減効果の算出には、以下の A~D を考慮する必要がある。以下ではそれぞれの CO₂削減および排出量を導出する。

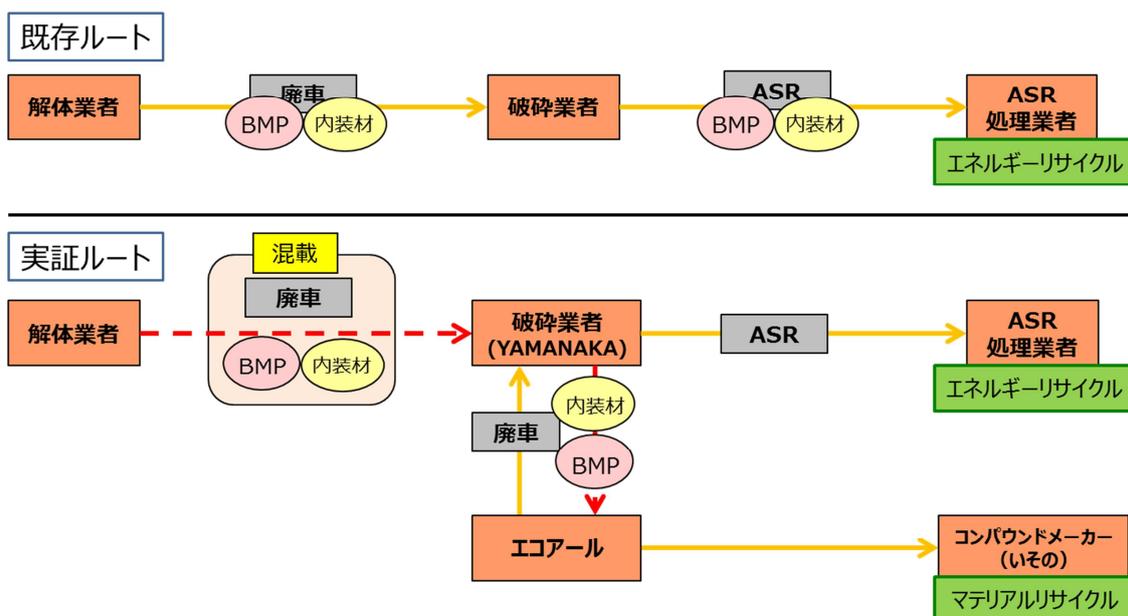
A：マテリアルリサイクルによるバージン材の代替効果

B：エネルギーリサイクル時に発生する CO₂削減効果

C：新たな輸送により発生した CO₂排出量

D：マテリアルリサイクルによって生じる電力消費量

図表 6-2. 既存ルートと実証ルートの比較（使用済自動車由来 PP 部品）



6-2-2 マテリアルリサイクルによるバージン材の代替効果

実証ルートでは従来熱量としてエネルギーリサイクルされていた PP 部品 33.6t の回収を達成し、マテリアルリサイクルを可能にした。これにより再生 PP 材の製造が可能となり、これまでバージン材を用いていた PP 原料の代替が達成できる。

破碎段階での歩留まりについては、図表 4-9 に示した本事業の実績を用いて 90.4%と仮定する。また、再生材製造時にはほとんどロス品は発生しないため、歩留まりは 99%程度と仮定する。

図表 6-1 で示した PP 材の製造に伴う CO₂ 排出量は 1.483 tCO₂/PPt であることから、本事業で回収した PP 材由来の再生材製造によって、約 44.6t の CO₂ が削減可能と考えられる。

$$\text{A : マテリアルリサイクルによるバージン材の代替効果} = \\ 33.6\text{t} \times 90.4\% \times 99\% \times 1.483 \text{ tCO}_2/\text{PP-t} = \text{約 } 44.6\text{tCO}_2$$

6-2-3 エネルギーリサイクル時に発生する CO₂ 削減効果

PP のエネルギーリサイクル時には燃焼によって CO₂ が発生しており、マテリアルリサイクルによってこの CO₂ の発生が抑制できる。本事業では 33.6t の PP 部品が回収できたため、この分の燃焼量が削減されたと考えることができる。また、図表 6-1 で示したように、産業系プラスチック類の焼却には、2.55 tCO₂/t の CO₂ の発生量が見込まれる。そのため、本事業による PP 部品の回収によって、約 85.7t の CO₂ 削減が可能と考えられる。

$$\text{B : エネルギーリサイクル時に発生する CO}_2 \text{ 削減効果} = \\ 33.6\text{t} \times 2.55 \text{ tCO}_2/\text{t} = \text{約 } 85.7\text{tCO}_2$$

6-2-4 新たな輸送により発生した CO₂ 排出量

実証ルートで新たに発生した輸送による CO₂ 排出量を導出するため、エコアールおよび YAMANAKA の事例を参考に、既存ルートと実証ルートの輸送距離を算出した図を図表 6-3 に示す。

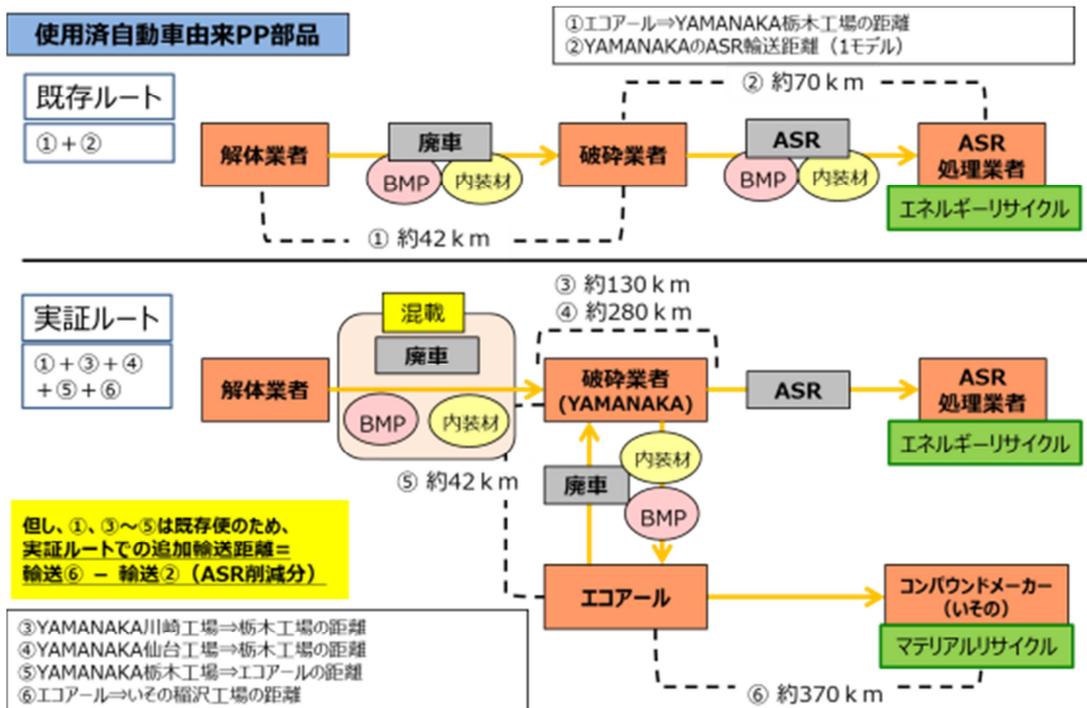
既存ルートでは、解体業者から破砕業者への輸送①、破砕業者から ASR 処理業者への輸送②が発生する。この①、②を合計した距離が既存ルートで発生する輸送である。

一方、実証ルートでは、解体済自動車との混載を行う輸送①のほかに、YAMANAKA 工場間での輸送③と輸送④が発生する。さらに、YAMANAKA 栃木工場からエコアールの距離である輸送⑤も追加されるほか、PP 破砕材を運搬するため、エコアールからいそのへの輸送⑥も必要となる。

しかし、今回の実証ルートで鍵となるのは、「ついで便」の活用による輸送の効率化である。図表 6-3 に示したように、YAMANAKA が解体済自動車引取り時に混載を行った輸送①、YAMANAKA 工場間でミックスメタルとの混載を行った輸送③④、エコアールへの解体済自動車引取り便を利用した輸送⑤については追加輸送が発生していない。

そのため、実証ルートで追加輸送が発生するのはエコアールからいそのへの輸送⑥のみである。また、PP 部品は通常であれば ASR として排出されるため、回収した PP 部品の量だけ ASR が削減できることが見込まれる。そのため、輸送⑥が発生する代わりに、今回の回収量分だけ ASR を運搬する輸送②の輸送距離が削減できたと考えることができる。

図表 6-3. 既存ルートと実証ルートの輸送距離の比較（使用済自動車由来 PP 部品）



この「ついで便」の活用を考慮し算出した、既存ルートと実証ルートの輸送距離の差を図表 6-4 に示す。

輸送②については、本事業で解体業者から回収した PP 部品の総重量が 33.6t であるため、その分の ASR が削減できたと考えられる。ASR の輸送は 10t トラックに積載率 100%での輸送が可能と考え輸送回数を 3.4 回、これに輸送②の距離 70km を掛け合わせることで削減距離を 238km と算出した。

一方、⑥の輸送距離については、まず実証期間中の輸送量が、本事業で解体業者からの回収した PP 部品 33.6t に破砕材の歩留まり 90.4%を掛け合わせた 30.4t となる。また、PP 破砕材に関しては 10t トラックに積載率 100%での輸送が可能となるため、輸送回数は 3.0 回とする。輸送⑥の距離は 370km としたため、3.0 回に 370km を掛け合わせた 1,110km が本事業によって追加で発生した距離である。

よって、輸送追加距離 1,110km から削減距離 238km を引くと、本事業全体ではマテリアルリサイクルによって新たに 872km の輸送が追加されたことになる。

図表 6-4. 実証ルートの追加輸送距離

		1回あたりの輸送距離	1回あたりの輸送可能量	実証期間中の輸送量	実証期間中の輸送回数	合計距離
実証ルートの輸送削減距離	②破砕業者⇒ASR処理施設	70 km	10 t	33.6 t	3.4 回	238 km
	⑥エコアール⇒いその	370 km	10 t	30.4 t*	3 回	1,110 km
	輸送削減距離					-872 km

*破砕材重量は歩留まり 90.4%で換算

*復路の使用用途は不明のため片道のみ換算

一方、輸送距離追加による CO₂ 排出量は、図表 6-1 に示した燃費法で導出できる。

算出には輸送に用いたトラックの燃費が必要になるが、実証ルートで用いられた輸送は、ASR の輸送②、エコアールからいそのへの輸送⑥のいずれも 10t トラックを用いた輸送である。そこで、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 8,000 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」と仮定する。その結果、本事業でこの場合の輸送距離増加および削減による CO₂ 削減効果は以下のように導出され、CO₂ 削減量は 728kgCO₂ となった。

$$C : \text{新たな輸送により発生した CO}_2 \text{ 排出量} = 872\text{km} \div 3.09\text{km/L} \times 2.58 = \underline{\text{約 } 728\text{kgCO}_2 \text{ (0.73t CO}_2\text{)}}$$

6-2-5 マテリアルリサイクルによって生じる電力消費量

PPのマテリアルリサイクルでは、回収したPP部品の破碎・洗浄工程および、再生材の製造時に既存ルートでは使用しない電力消費が発生するため、それぞれの電力使用量からCO₂排出量を導出し、CO₂削減量から差し引く必要がある。

■ 破碎・洗浄時の電力消費量

エコアールの破碎ラインでの電力使用量を図表6-5に示す。破碎機の電力消費が23.5kWhと最も大きく、破碎ライン全体での電力使用量は36.81kWhであった。12月まではスクリーン変更前であるため、時間当たりの処理量を70kg/hとすると、従来マテリアルリサイクルされていなかった回収PP材33.6tの処理を実施するには、480時間の稼働が必要となる。よって、本事業で回収したPP材の破碎に17,669kWhが必要になる。

そのため、1t当たりの電力消費量としては約526kWhが必要ということになる。

<p>D-1：破碎洗浄時の電力消費量 = $33.6t \div 70kg/h \times 36.81kWh = \underline{\underline{\text{約 } 17,669kWh}}$</p>
--

図表 6-5. エコアール破碎ラインの電力使用量

設備	使用電力	設備	使用電力
破碎機	23.50 kWh	チェーンコンベア	0.22 kWh
投入コンベア	0.09 kWh	乾燥機モーター	0.36 kWh
水車	0.12 kWh	搬出コンベア	0.09 kWh
水流羽①	0.11 kWh	ブローファン	3.60 kWh
水流羽②	0.11 kWh	熱風機	8.25 kWh
スクリーンコンベア	0.36 kWh		
合計			36.81 kWh

■ 再生材製造時の電力消費量

再生材製造時の電力消費は、攪拌機と押出機で発生する。本事業の試作品製造に用いた製造工程では、単軸・二軸という二つの押出機を使用したため、図表6-6に示したように1tの再生材製造に対して577kWhの電力消費が必要となる。

一方、本事業で製造が見込まれる再生材に使用されるバンパー材は、回収した 33.6t に先述の破碎・洗浄工程での歩留まり（90.4%）、再生材製造工程での歩留まり（99%）を乗じた量となる。そのため、再生材製造には、約 17,351kWh の電力が必要になる。

$$\text{D-2 : 再生材製造時の電力消費量} = 33.6\text{t} \times 90.4\% \times 99\% \times 577\text{kWh} = \underline{\text{約 } 17,351\text{kWh}}$$

図表 6-6. いそのの再生材製造時の電力使用量

設備	使用電力 (1tあたり)
攪拌機	27 kWh
押出機	550 kWh
合計	577 kWh

以上より本事業で新たに発生する電力消費量が算出できた。これに図表 6-1 で示した電力利用の原単位を掛け合わせると、マテリアルリサイクルによって生じる電力消費量から発生する CO₂排出量は、約 20,3tCO₂となる。

$$\text{D : マテリアルリサイクルによって生じる CO}_2\text{排出量} = (17,669\text{kWh} + 17,351\text{kWh}) \times 0.000579 = \underline{\text{約 } 20,3\text{tCO}_2}$$

6-2-6 使用済自動車由来の PP 部品回収から得られる CO₂削減効果

これまで算出した A~D の数値を合計すると、使用済自動車由来の PP 部品回収から得られる CO₂削減効果は、約 109.3tCO₂と導出された。

$$\text{使用済自動車由来の PP 部品回収から得られる CO}_2\text{削減効果} = \text{A : } 44.6\text{tCO}_2 + \text{B : } 85.7\text{tCO}_2 - \text{C : } 0.73\text{tCO}_2 - \text{D : } 20.3\text{tCO}_2 = \underline{\text{約 } 109.3\text{tCO}_2}$$

6-3 補修交換済バンパー回収から得られる CO₂ 削減効果

6-3-1 既存ルートと実証ルートの比較

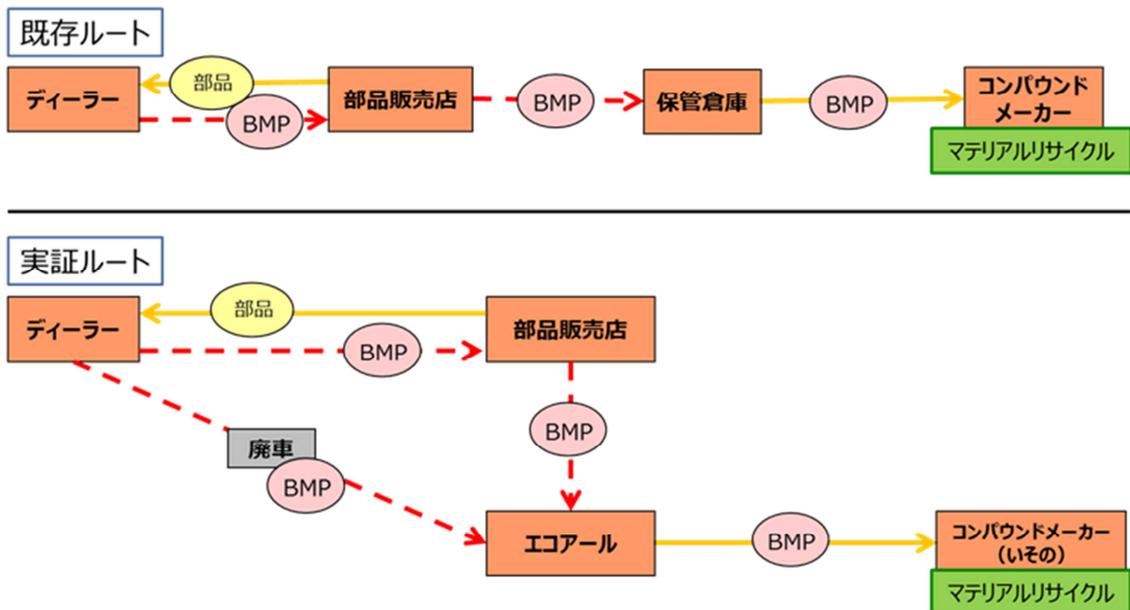
補修交換済バンパーの CO₂ 削減効果算出のため、図表 6-7 に既存ルートと本事業の実証ルートを示す。

既存ルートでは、補修交換済バンパーは部販によってディーラーから回収され、その後コンパウンドメーカーへ輸送されることで材料リサイクルされるルートである。部販からコンパウンドメーカーへの輸送は、補修部品の輸送便が各部販を巡回することで保管倉庫へ運び、そこから別便でコンパウンドメーカーへと輸送され、材料リサイクルされる。

一方、実証ルートでは、ディーラーからの直接回収の場合、ディーラーからエコアールに輸送される。また、部販からの回収では部販からエコアールへ輸送される。いずれの場合も、その後はエコアールからいそへ輸送され、材料リサイクルされる。

そのため、既存ルートでも材料リサイクルが実施されている補修交換済バンパーでは、材料リサイクルに伴う CO₂ 排出量の増減は発生せず、CO₂ 削減効果が得られるのは「ついで便」の活用による輸送の効率化のみである。

図表 6-7. 既存ルートと実証ルートの比較（補修交換済バンパー）



6-3-2 輸送効率化により達成した CO₂ 削減効果

本事業で達成した輸送効率化による CO₂ 削減量を導出するため、各拠点からの平均距離等を基に、既存ルートと実証ルートの輸送距離を算出した図を、図表 6-8 に示す。

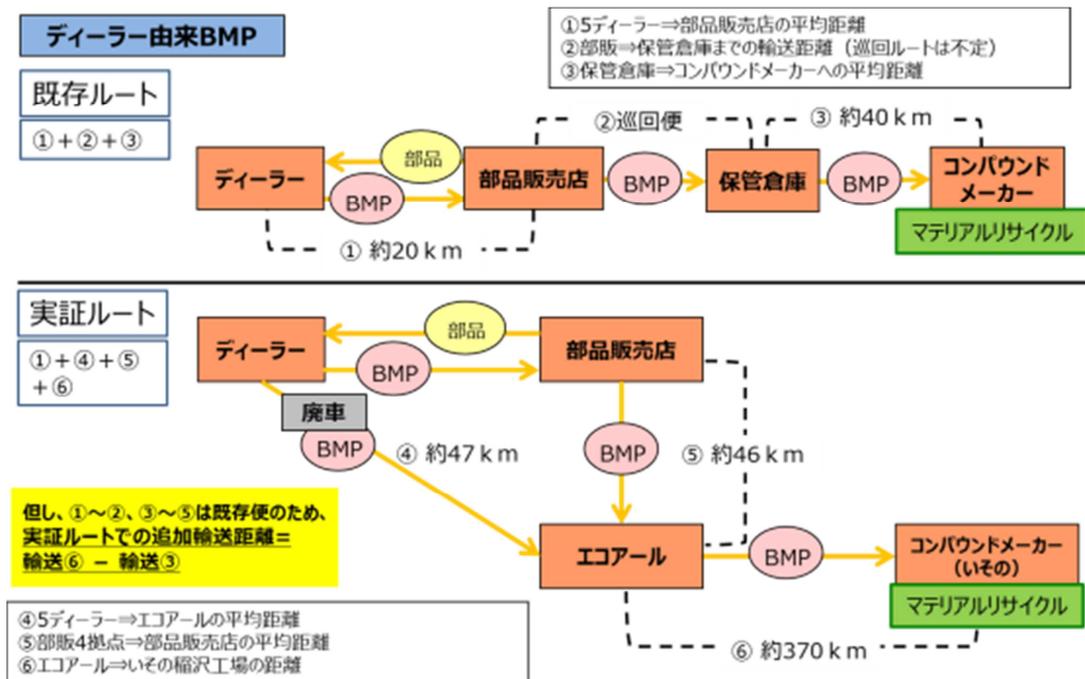
既存ルートは、ディーラーから部販への輸送①、部販から保管倉庫までの輸送②、倉庫からコンパウンドメーカーへの輸送③が発生する。なお、各部販拠点の巡回ルートは日によってルートが変動するほか、多数の部販を巡回しているため輸送距離は算出していない。

一方、実証ルートではこの既存ルートに代わって、ディーラーからの直接回収の場合、ディーラーからエコアールへの輸送④が発生する。また、部販からの回収では輸送①のほかに、部販からエコアールへの輸送⑤が必要となる。本輸送についても各拠点の平均距離をもとに算出している。また、使用済自動車由来の PP 部品と同様に、PP 破砕材を運搬するため、エコアールからいそのへの輸送⑥も必要となる。

しかし、本事業では「ついで便」の活用による輸送の効率化を達成している。輸送①および輸送②については、既存ルートでも補修部品納品時の「ついで便」を利用しているが、輸送③については、既存ルートでは専用便を用いている。

一方、実証ルートでは使用済自動車引取り時の「ついで便」を活用していることから、専用便での輸送は発生していない。そのため、実証ルートで追加輸送が発生するのはエコアールからいそのへの輸送⑥のみである。また、この輸送⑥が発生する代わりに、これまで専用便を用いていた保管倉庫からコンパウンドメーカーへの輸送③が不要となる。

図表 6-8. 既存ルートと実証ルートの輸送距離の比較（補修交換済バンパー）



本事業によって削減および追加された輸送距離の計算について、図表 6-9 に示す。

輸送③については、4tトラックもしくは10tトラックでの輸送を行っており、過去の実績では10tトラック1台につき、バンパー約230本（約690kg相当）を輸送している（4tトラックでは約150本）。そのため、実証期間中に削減できたと考えられる輸送距離は、補修交換済バンパーの回収量4.9tを10tトラック1回あたりの輸送量で除した輸送回数7.1回に、輸送③の距離を掛け合わせた284kmとなる。

一方、⑥の輸送距離については、まず実証期間中の輸送量が、本事業で回収した補修交換済バンパー4.9tに破砕材の歩留まり90.4%を掛け合わせた4.4tとなる。また、PP破砕材に関しては10tトラックに積載率100%での輸送が可能となるため、輸送回数は0.4回となる。輸送⑥の距離は370kmとしたため、0.4回に370kmを掛け合わせた148kmが本事業によって追加で発生した距離である。

よって、削減距離284kmから追加距離148kmを除くと、本事業全体では136km削減できたことになる。

図表 6-9. 実証ルートでの輸送削減距離

		1回あたりの輸送距離	1回あたりの輸送可能量	実証期間中の輸送量	実証期間中の輸送回数	合計距離
実証ルートの輸送削減距離	③倉庫⇒コンパウンドメーカー	40 km	0.69 t	4.9 t	7.1 回	284 km
	⑥エコアール⇒いその	370 km	10 t	4.4 t*	0.4 回	148 km
	輸送削減距離 (⑥-③)					136 km

*破砕材重量は歩留まり90.4%で換算。

*ディーラーからの直接回収については、既存ルートも「ついで便」を活用しているため考慮しない。

一方、輸送距離削減によるCO₂削減量は、図表 6-1 に示した燃費法で導出できる。

実証ルートで用いられた輸送は、倉庫からコンパウンドメーカーへの輸送②、エコアールからいそのへの輸送⑥のいずれも10tトラックを用いた輸送である（輸送②では4tトラックを併用）。そこで、使用済自動車由来のPP部品の場合と同様に、本事業で用いたトラックの燃費を「3.09km/L」と仮定する。その結果、本事業での輸送距離削減によるCO₂削減効果は以下のように導出され、CO₂削減量は113.6kgCO₂となった。

輸送効率化により達成したCO ₂ 削減量 = $136\text{km} \div 3.09\text{km/L} \times 2.58 = \underline{\text{約 } 113.6\text{kgCO}_2 \text{ (0.11t CO}_2\text{)}}$

6-4 本事業全体での CO₂削減効果

これまで算出した使用済自動車由来の PP 部品 (33.6t) および補修交換済バンパー (4.9t) の回収による CO₂削減効果をまとめると、約 109.4tCO₂となる。

CO₂削減量としては、「マテリアルリサイクルによるバージン材の代替効果」および「エネルギーリサイクル時に発生する CO₂削減効果」の削減効果が大きく、一方で輸送の効率化による貢献は少ない。そのため、本事業で達成した輸送効率化は CO₂削減というより、輸送コストの削減と、それによる PP 部品回収量やマテリアルリサイクル量の増加に大きく貢献するものと考えられる。

本事業で達成した CO₂削減効果 = 109.3t + 0.11t = **約 109.4tCO₂**

■ 事業化時の CO₂削減効果

今回の実証ルートにおいては、3 か月の実証事業であったことから、エコアール（栃木県足利市）からいその稲沢工場（愛知県稲沢市）まで PP 破砕材を輸送した。しかし、事業化時には関東のいその協力工場での再生材を製造することも可能であり、その際には約 370km であった輸送距離が約 50km まで短縮される。図表 6-10、6-11 に使用済自動車由来の PP 部品および補修交換済バンパーの事業化を想定したルート（事業化ルート）輸送距離を示す。

使用済自動車由来の PP 部品では、実証ルートで 872km の追加であった輸送距離が、事業化ルートでは 88km 削減可能となり、両ルートの輸送距離の差は 960km に及ぶ。

また、補修交換済バンパーでは、136km に留まった輸送削減距離が 264km まで拡大することとなり、両ルートの輸送距離の差は 128km である。

以上のことから、合計で 1,088km の距離が削減できることとなり、CO₂削減量はさらに 0.91t 上乗せされることとなる。そのため、本事業を事業化した際には 110.3t となる。

事業化ルートにより上乗せ可能な CO₂削減量 =
1,088km ÷ 3.09km/L × 2.58 = **約 908.4kgCO₂ (0.91t CO₂)**

事業化ルートで達成可能な CO₂削減効果 = 109.4t + 0.91t = **約 110.3tCO₂**

図表 6-10. 使用済自動車由来 PP 部品の回収における実証ルートと事業化ルート

		1回あたりの 輸送距離	1回あたりの 輸送可能量	実証期間中 の輸送量	実証期間中 の輸送回数	合計距離
実証ルートの 輸送削減距離	②破砕業者⇒ASR処理施設	70 km	10 t	33.6 t	3.4 回	238 km
	⑥エコアル⇒いその	370 km	10 t	30.4 t*	3 回	1,110 km
	輸送削減距離					-872 km
事業化ルートの 輸送削減距離	②破砕業者⇒ASR処理施設	70 km	10 t	33.6 t	3.4 回	238 km
	⑥エコアル⇒いその	<u>50</u> km	10 t	30.4 t*	3 回	150 km
	輸送削減距離					88 km

*破砕材重量は歩留まり 90.4%で換算。

図表 6-11. 補修交換済バンパー回収における実証ルートと事業化ルート

		1回あたりの 輸送距離	1回あたりの 輸送可能量	実証期間中 の輸送量	実証期間中 の輸送回数	合計距離
実証ルートの 輸送削減距離	③倉庫⇒コンパウンドメーカー	40 km	0.69 t	4.9 t	7.1 回	284 km
	⑥エコアル⇒いその	370 km	10 t	4.4 t*	0.4 回	148 km
	輸送削減距離 (⑥-③)					136 km
事業化ルートの 輸送削減距離	③倉庫⇒コンパウンドメーカー	40 km	0.69 t	4.9 t	7.1 回	284 km
	⑥エコアル⇒いその	<u>50</u> km	10 t	4.4 t*	0.4 回	20 km
	輸送削減距離 (⑥-③)					264 km

6-5 本事業が全国拡大した場合の CO₂ 削減効果

最後に本事業が全国拡大した場合の CO₂ 削減効果について検討する。まず、使用済自動車発生台数について、自動車リサイクル促進センターによれば、2014 年度の使用済自動車の引取報告件数が 333 万台である。自動車 1 台から回収可能な PP 部品はバンパー前後で 6kg、PP 部品 10kg 程度と見込まれるため、潜在的な回収可能量は 53,280t にも及ぶ。このうち半分だけでも回収が達成可能と考え、PP 部品の回収量を 26,640t/年と仮定する。

一方、補修交換済バンパーについては、今回ホンダの 4 拠点からの回収を実施したが、Honda Parts は全国に 63 拠点存在している。本事業で回収を実施した 4 拠点すべてから全量回収を実施したわけではないが、毎月 2t あたりの回収が可能と考えると年間の回収量は 24t に及ぶ。そのため、単純に計算すると、全国の部販からの回収が実現できれば、年間で約 378t もの補修交換済バンパーが回収可能となる（一拠点 6t/年）。

以上をもとに、本スキームが全国拡大した場合の PP 部品回収量を 27,018t/年（使用済自動車由来 PP 部品：26,640t、補修交換済バンパー：378t）と仮定して CO₂ 削減量を算出すると、図表 6-12 のように 87,056t/年と推計される。使用済自動車由来 PP 部品のマテリアルリサイクルによる削減効果が大きい一方、補修交換済バンパーについては輸送距離の大幅な削減が見込まれるため、輸送における 1t 当たりの削減効果が大きい。

使用済自動車由来の PP 部品と補修交換済バンパーで削減効果の算出が異なるため、単純に全体の回収量から 1t 当たりの CO₂ 削減効果を導出することは出来ないが、全国拡大時には莫大な削減効果が得られることが分かる。

図表 6-12. 本事業が全国拡大した場合の CO₂ 削減量の見込み

		対象量	原単位	CO ₂ 増加 (削減) 量
全国拡大 した場合	バージン材の代替効果	23,842 t ^{*1}	1.483 tCO ₂ /t	35,358 t
	エネルギーリサイクル時のCO ₂ 発生量	26,640 t	2.55 tCO ₂ /t	67,932 t
	輸送によるCO ₂ 削減量 (使用済自動車由来PP部品)	66,605 km ^{*2}	2.58 kgCO ₂ /L	55.6 t
	輸送によるCO ₂ 削減量 (補修交換済バンパー)	20,202 km ^{*3}	2.58 kgCO ₂ /L	16.9 t
	破碎・洗浄工程の電力消費量	14,211 GWh ^{*4}	0.000579 tCO ₂ /kWh	-8,228 t
	コンパウンド工程の電力消費量	13,952 GWh ^{*5}	0.000579 tCO ₂ /kWh	-8,078 t
	合計	-	-	87,056 t

*1 26,640t × 90.4% × 99% = 23,842t

*2 破碎材 (26,640t × 90.4%) 輸送による追加距離 120,415km と ASR 減による削減距離 186,480km の差

*3 「ついで便」による削減距離 21,912km と、破碎材 (370t × 90.4%) の輸送距離 1,710km の差

*4 t 当たりの電力消費量 (526kWh/t) × 回収量 (26,640t + 378t)

*5 再生材製造量 ((26,640t + 378t) × 90.4% × 99%) × 577kWh/t

7 事業実現可能性の検証

7-1 関連事業者での発生コスト

本事業における回収および製造の実証において、自動車から発生する PP 部品の一定量の回収、輸送効率化、そしてコストと物性のバランスにおいて課題は残るものの自動車部品の向けの一定の要求物性を満たした PP 再生材の製造が可能であることが確認できた。そのため、事業実現に向けて課題となるのは、マテリアルリサイクル促進に向けて各事業者が本スキームを確立するための経済性である。つまり、本スキームを実施することで、各事業者にどの程度利益が生まれ、事業化へのインセンティブになるかが課題となる。

以下では、本スキームによって検証した各フローおよび各事業者（解体業者、集荷拠点、コンパウンドメーカー）の経済性を再度確認するとともに、各工程でのコストを算出する。その後、これらのコストを積み上げることで、本事業で製造した再生材グレードの製造に必要な総コストを導出し、バージン材とのコスト比較を行うことで、本スキームの事業実現可能性を検証する。

7-1-1 解体業者からの PP 部品買取コスト

本事業では、エコアールでの取外しシミュレーションおよび市場価格をもとに図表 7-1 のように取引条件を設定した。この取引条件において、解体業者の一定の協力が得られたことから、今回の買取価格に設定すれば解体業者側でも協力可能であることが確認できた。実証後に行ったアンケート調査においても、この価格であれば協力可能との意見が約 80% を占めており、解体業者にとって厳しい引取条件ではなかったことが分かった。

一方で、昨年度の環境省「平成 26 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業」における日本 ELV リサイクル機構の報告書では、解体業者の分別・収集コストを 57.3 円/kg と算出しており、解体業者の収益性向上および回収量の増加を目指す上でも、さらなる買取価格の向上を検討する必要もある。

図表 7-1. 本事業で設定した PP 部品買取価格（再掲）

PP部品	買取価格
PP内装部品	50円/kg
バンパー（異物除去）	30円/kg
バンパー（異物非除去）	20円/kg

7-1-2 集荷拠点における PP 部品破碎・洗浄処理コスト

本事業で検討した破碎・洗浄工程における作業工数を基に、集荷拠点における処理コストを算出した。図表 7-2 が一定の条件下における集荷拠点の処理コストである。

まず、回収量を事業化による増加分を見込んで 30t と仮定した。なお、本事業の回収 PP 部品の内訳は、全体回収量 38.4t のうち、使用済自動車由来バンパー：20.9t (54.3%)、補修交換済バンパー：4.9t (12.7%)、内装部品：12.7t (33.0%) であった。そのため、この構成比に従い、下表でも同比率と想定して算出している。

この場合、まずコストとして計上されるのが、人件費である。本事業では YAMANAKA とエコアールの双方で素材表示の再確認等を実施したが、事業化の際には集荷拠点であるエコアールで実施した作業のみが必要となると考えられる。そのため、異物除去品の場合で 1t 当たり使用済自動車由来バンパーで 91kg/h、補修交換済バンパーで 167kg/h、内装部品で 400kg/h の工数が必要となる (図表 4-4 参照)。さらに破碎機投入には補修パテの確認と合わせて 1 名の配置が必要になる。この人員の作業工数は破碎機の処理速度に依存するが、本事業では処理速度をスクリーン変更以前の処理量 70kg/h と仮定した。これらの作業はパートタイム従業員でも十分対応可能と考えられるため、時給を 1,000 円と仮定すると、前処理に年間約 786.6 万円の人件費を要することとなる。人件費の他に物品費、修繕費、電力料、水道料金が発生するが、これらは本事業での実績、推定をもとに算出した。

また、輸送コストは、本来集荷拠点への輸送コストが追加されるが、本スキームではすべて「ついで便」を利用しているため、この輸送コストは発生しない。そのため、PP 破碎材の輸送費のみを計上しており、本スキームで最も圧縮されたコストといえる。本事業ではエコアールからいその関東協力工場への運搬を想定し、5 円/kg と仮定した。

最後に破碎ラインは、今後の設備調整やラインの変更の検討を要するが、設置設備の価格等から 1,250 万円と仮定した。但し、本費用は設置する破碎ラインによっても異なる。

図表 7-2 に示したように、以上の条件における 1kg 当たりの処理単価は、減価償却費を含めた場合で 47.1 円、減価償却費を除いた場合で 41.5 円であった。

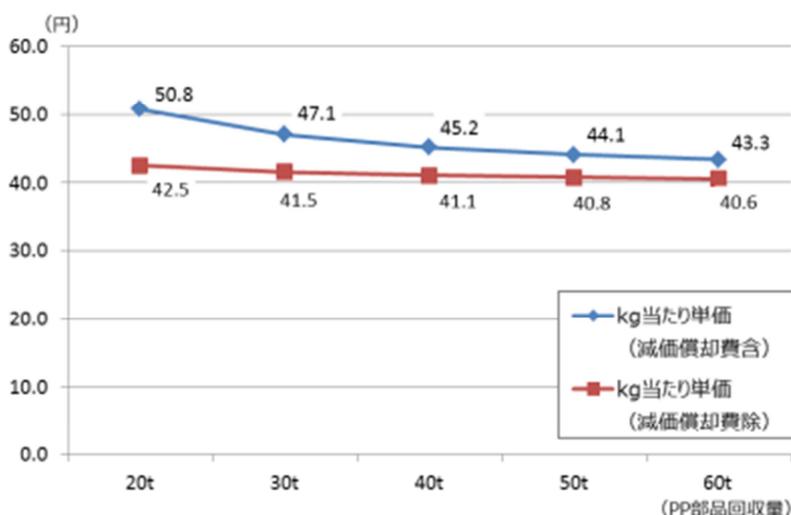
図表 7-2. 本事業で検証した処理コスト

		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	算出条件
出荷量				324	324	324	324	324	324	324	回収量30t/月×12ヶ月×歩留まり90%
コスト	人件費	廃車BMP前処理	千円	0	2,152	2,152	2,152	2,152	2,152	2,152	11,000円/t (時給1,000円の場合)
		補修BMP前処理	千円	0	274	274	274	274	274	274	6,000円/t (時給1,000円の場合)
		内装部品前処理	千円	0	297	297	297	297	297	297	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	5,143	14,286円/t (70kg/hの場合)
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg	
	修繕費	千円	0	610	610	610	610	610	610	エコアール試算 (610千円/年)	
	電力料	千円	0	3,029	3,029	3,029	3,029	3,029	3,029	3,029	エコアール試算 (8,414円/t)
	水道料金	千円	0	12	12	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	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	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	15,246	15,246	15,246	15,246	15,246	15,246	15,246	
kg当たりの単価		円	0	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1	
kg当たりの単価 (減価償却費除く)		円	0	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	
投資金額		千円	-12,500	0	0	0	0	0	0	0	

一方、回収量が増加すれば処理効率化が達成され、1kgあたりの処理コストが低減することが予測される。そこで、回収量の変化に伴う処理コストの推移を図表 7-3 に示す。処理コストは回収量の増加に伴い低下していくが、30t/月回収時と 60t/月回収時の単価差は僅か 0.9 円/kg であり、回収量増加によるコスト削減効果は小さい。この理由として、多大な前処理工数や不十分な処理速度によって、1kg 当たりの処理に要する人件費や電力料が非常に高くなっていることが挙げられる。

そこで、処理速度が倍の 140kg/h まで向上し、作業員の慣れや成熟によって作業工数が 20%改善した場合の事業性についても図表 7-4 に合わせて算出した。なお、今回使用した破砕機の公称能力は 180kg/h であるため、設備調整次第では達成も可能と考えられる。その結果、処理コストは劇的に低下し、30t/月の回収の場合には、1kg 当たりの処理コストは減価償却費を含めた場合で 32.8 円、減価償却費を除いた場合で 27.3 円であった。

図表 7-3. 本事業の取引価格における回収量の変化に伴う経済性の推移



図表 7-4. 作業性および処理速度の改善を想定した処理コスト

生産量		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	算出条件
出荷量				324	324	324	324	324	324	324	回収量30t/月×12ヶ月×歩留まり90%
コスト	人件費	廃車BMP前処理	千円	0	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	8,800円/t (時給1,000円の場合)
		補修BMP前処理	千円	0	219	219	219	219	219	219	4,800円/t (時給1,000円の場合)
		内装部品前処理	千円	0	238	238	238	238	238	238	2,000円/t (時給1,000円の場合)
		破砕機投入	千円	0	2,571	2,571	2,571	2,571	2,571	2,571	7,143円/t (140kg/hの場合)
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg	
	修繕費	千円	0	610	610	610	610	610	610	エコアル試算 (610千円/年)	
	電力料	千円	0	1,515	1,515	1,515	1,515	1,515	1,515	1,515	エコアル試算 (4,208円/t)
	水道料金	千円	0	12	12	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	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	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	10,616	10,616	10,616	10,616	10,616	10,616	10,616	
kg当たりの単価		円	0	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	
kg当たりの単価 (減価償却費除く)		円	0	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	
投資金額		千円	-12,500	0	0	0	0	0	0	0	

■ 使用済自動車由来の PP 部品の処理コスト

既に本事業での処理コストは 41.5 円/kg (減価償却費含まず) であり、前処理作業工数の削減および処理速度の向上が処理コスト低減に大きく影響する点を確認した。

しかし、厳密には使用済自動車由来の PP 部品と補修交換済バンパーでは買取価格が異なる。また、補修交換済バンパーはディーラーでの回収時に綺麗に異物が除去されているほか、すべてホンダ製であることから素材表示にも規則性があるため、前処理作業コスト等が大幅に削減される等、それぞれの回収部品によって処理コストは異なる。

図表 7-5 に使用済自動車由来の PP 部品のみを 30t/月回収した場合の処理コストを示す。前処理コストが相対的に安い補修交換済バンパーが含まれていないことから、1kg あたりの処理コストは減価償却費を含めた場合で 47.3 円、減価償却費を除いた場合で 41.8 円と、41.5 円/kg より増加している。

図表 7-5. 本事業で検証した処理コスト (使用済自動車由来 PP 部品のみ)

生産量		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	算出条件
出荷量				324	324	324	324	324	324	324	回収量360t/年×歩留まり90% (廃車のみ)
コスト	人件費	廃車BMP前処理	千円	0	2,468	2,468	2,468	2,468	2,468	2,468	11,000円/t (時給1,000円の場合)
		補修BMP前処理	千円	0	0	0	0	0	0	0	6,000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	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	5,143	14,286円/t (70kg/hの場合)
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg	
	修繕費	千円	0	610	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	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	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	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	1,620	1,620	1,620
売上原価合計		千円	0	15,331	15,331	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	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	41.8	41.8	
投資金額		千円	-12,500	0	0	0	0	0	0	0	

■ 補修交換済バンパーの処理コスト

一方、補修交換済バンパーについても、30t/月回収した場合の処理コストを図表 7-6 に示す。補修交換済バンパーの回収量は本事業の回収量も 4.9t に留まっており、30t/月の回収とは大きな差があるが、本事業全体での処理コストや、使用済自動車由来の PP 部品のみの処理コストと比較するためにも便宜的に回収量を統一して算出した。

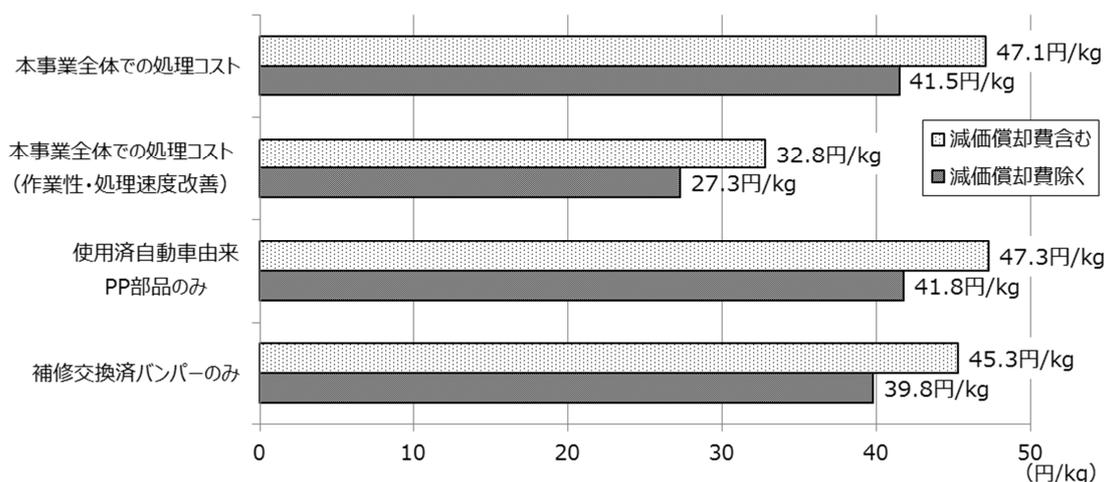
その結果、前処理作業工数が相対的に少ないことから、1kg あたりの処理コストは減価償却費を含めた場合で 45.3 円、減価償却費を除いた場合で 39.8 円と、使用済自動車由来 PP 部品と比べて 2 円/kg 程度の差があることが分かった。

図表 7-7 に算出した処理コストについて比較する。

図表 7-6. 本事業で検証した処理コスト（補修交換済バンパーのみ）

生産量		単位	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	算出条件	
出荷量				324	324	324	324	324	324	324	回収量360t/年×歩留まり90%（部販のみ）	
コスト	人件費	廃車BMP前処理	千円	0	0	0	0	0	0	0	0	11,000円/t（時給1,000円の場合）
		補修BMP前処理	千円	0	2,160	2,160	2,160	2,160	2,160	2,160	2,160	6,000円/t（時給1,000円の場合）
		内装部品前処理	千円	0	0	0	0	0	0	0	0	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	5,143	5,143	14,286円/t（70kg/hの場合）
	物品費	千円	0	324	324	324	324	324	324	324	324	フレコン1円/kg
	修繕費	千円	0	610	610	610	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	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	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	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	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	14,684	14,684	14,684	14,684	14,684	14,684	14,684	14,684		
kg当たりの単価	円	0	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3		
kg当たりの単価（減価償却費除く）	円	0	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8		
投資金額	千円	-12,500	0	0	0	0	0	0	0	0		

図表 7-7. 算出した処理コストの比較



7-1-3 コンパウンドメーカーによる再生材の製造コスト

再生材の製造コストについては、既に第6章で述べたように調整材を用いない場合で105円/kg、調整材とコンパウンドする場合で194円/kgである。先述したように「製造工程の簡素化」、「代替材の活用」、「調整材比率の変更」によって今後の低コスト化が期待されるが、物性面での確保は課題を残しており、5-2-3で算出したコストもあくまでシミュレーション結果である。そのため、現時点のコストとしては、今回試作品を製造した際のコストと想定する。

7-2 バージン材とのコスト比較

これまで算出してきたコストを積み上げることで、バージン材との価格比較を行う。

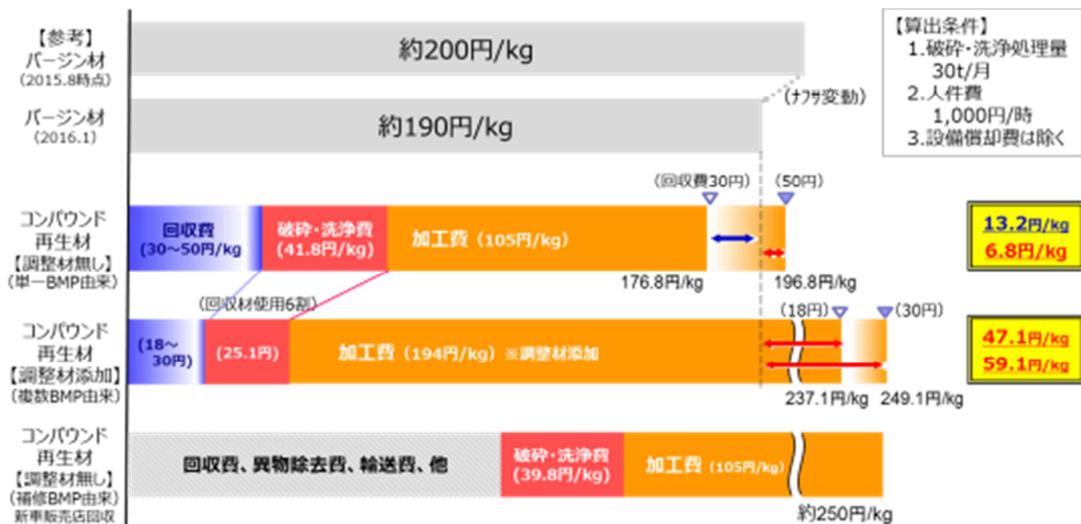
まず、バージン材のコストは本事業の開始時点である 2015 年 8 月時には 200 円～250 円/kg 程度と想定されたが、ナフサの価格変動によって 2016 年 1 月時点では約 190 円/kg 程度まで低下している。このようにバージン材の価格は市況によって変動するため、時期によっては再生材との価格差も異なることが予測される。

図表 7-8 に、本事業で製造した二つの試作品のコストの積み上げと、バージン材の価格の比較を示す。解体業者からの買取価格である回収費が 30 円/kg (バンパー)、集荷拠点での破碎・洗浄費が使用済自動車由来 PP 部品で 41.8 円/kg となった。これに、再生材試作品の加工費を加えると、調整材を添加しない単一バンパーからのアンダーカバー向け再生材で 176.8 円/kg、調整材を添加し複数バンパーから製造した再生材で 237.1 円/kg となった (調整材を添加する場合は回収材の使用量は 6 割であるため、費用も 6 割となる)。なお、回収費についてはさらなる買取価格向上を目指して 50 円/kg 程度まで幅を持たせて考えると、それぞれ 176.8 円/kg～196.8 円/kg、237.1 円/kg～249.1 円/kg が再生材の価格となる。

一方、部販から回収した補修交換済バンパーは、ホンダの回収ネットワーク内で別途回収費、異物除去費、輸送費等が発生している。これらに本事業で算出した破碎・洗浄費 39.8 円/kg と、再生材の加工費を加えると、約 250 円/kg のコストとなると考えられる。

これらを比較すると、一部を除きバージン材に対する価格優位性はなく、破碎・洗浄費や加工費のさらなる価格低減が求められる。また、回収費・破碎・洗浄費はコストのみを計上しており、YAMANAKA やエコアールでの手数料を考慮に入れていない。そのため、現在の価格差以上の価格低減を実施しない限り、事業化を達成するのは困難と考えられる。そのため、各工程で概観してきた価格低減の努力を一層進める必要があるだろう。

図表 7-8. 本事業におけるバンパー材のアンダーカバー向けマテリアルリサイクルコスト



8 まとめ

本事業で得られた成果と課題について再度図表 8-1 に整理する。

本事業では主に工程ごとに検討項目の確認と課題の明確化を図ったが、まず PP 部品取外し工程では作業工数等の確認を達成した一方で、作業の効率化には作業のマニュアル化や作業員の習熟が必要なことが分かった。

また、PP 部品運搬工程では「ついで便」を用いた輸送効率化、輸送コストの大幅な削減を達成した一方で、ディーラーからの直接回収ルートの活用に課題を残した。

破砕・洗浄工程では、前処理・破砕に要する作業工数を確認できたものの、膨大な作業工数と破砕処理速度の向上が、事業性向上のための課題であった。

再生樹脂製造工程では要求物性を概ね達成したものの、調整材添加によるコスト高が課題となった。

全体のまとめとしては、「ついで便」を用いた輸送効率化を達成したほか、バージン材同等の再生材製造スキームを明らかにしたことは大きな成果と考える。また、本事業が実現すれば大幅な CO₂ 削減も見込まれることを明らかにした。その一方で、バージン材に対して価格競争力のある材料製造には至らず、処理速度向上等が課題となった破砕・洗浄費や、再生材の加工費を中心に各工程での効率化と低コスト化が求められる。

図表 8-1. 本事業で得られた成果と課題

リサイクル工程	本事業の成果	今後の課題
PP部品取外し工程	<ul style="list-style-type: none"> 取外しに関わる作業工数を計測 取外し工程のモデル例を確認 作業工数の増加要因を確認 	<ul style="list-style-type: none"> 作業のマニュアル化および習熟による工数削減 (異物除去工程等の標準化、対象外品の選定)
PP部品運搬工程	<ul style="list-style-type: none"> 「ついで便」を用いた輸送効率化を達成 使用済自動車由来・ディーラー由来のPP部品を統合 輸送コストの大幅な削減を達成 	<ul style="list-style-type: none"> 回収量および協力業者の増加 「ついで便」使用ルートの再精査（専用便の廃止） ディーラーからの直接回収ルートの再検討
破砕・洗浄工程	<ul style="list-style-type: none"> 前処理、破砕に要する作業工数を確認 PP部品破砕時の課題を確認 再生材に利用可能な破砕材の製造を達成 	<ul style="list-style-type: none"> 前処理の簡素化と大幅な工数削減 設備仕様検討による破砕処理速度の向上 歩留まりの高い破砕・洗浄・選別ラインの再検討
再生樹脂製造工程	<ul style="list-style-type: none"> 市場回収破砕品の受入基準を確認 (破砕サイズ、PP沈殿材、パテの許容混入率、等) 市場回収バンパーからの安定した物性を達成 使用済自動車由来のバンパーの物性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> 物性未達成内容の検討 調整材使用再生材グレードのコスト低減 品質保証方法の明確化
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> 「ついで便」を用いた輸送効率化を達成 事業内で109.4tのCO₂量削減を達成 全国拡大時には約87,000tまで拡大見込み バージン材同等の再生材製造スキームを明確化 	<ul style="list-style-type: none"> PP部品買取価格の検討 前処理簡素化、処理速度向上による破砕・洗浄コスト低減 バージン材に対する価格競争力の増加