

公益財団法人 自動車リサイクル高度化財団

関係者外秘

自動車リサイクルの高度化等に資する調査・研究・実証等に係る助成事業

地理条件及び選好・忌避成分に 注目した自動車ガラス再資源化実証 報告資料

令和2(2020)年8月6日

代表事業者:三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)

本事業のポイント – 本事業の目標と成果

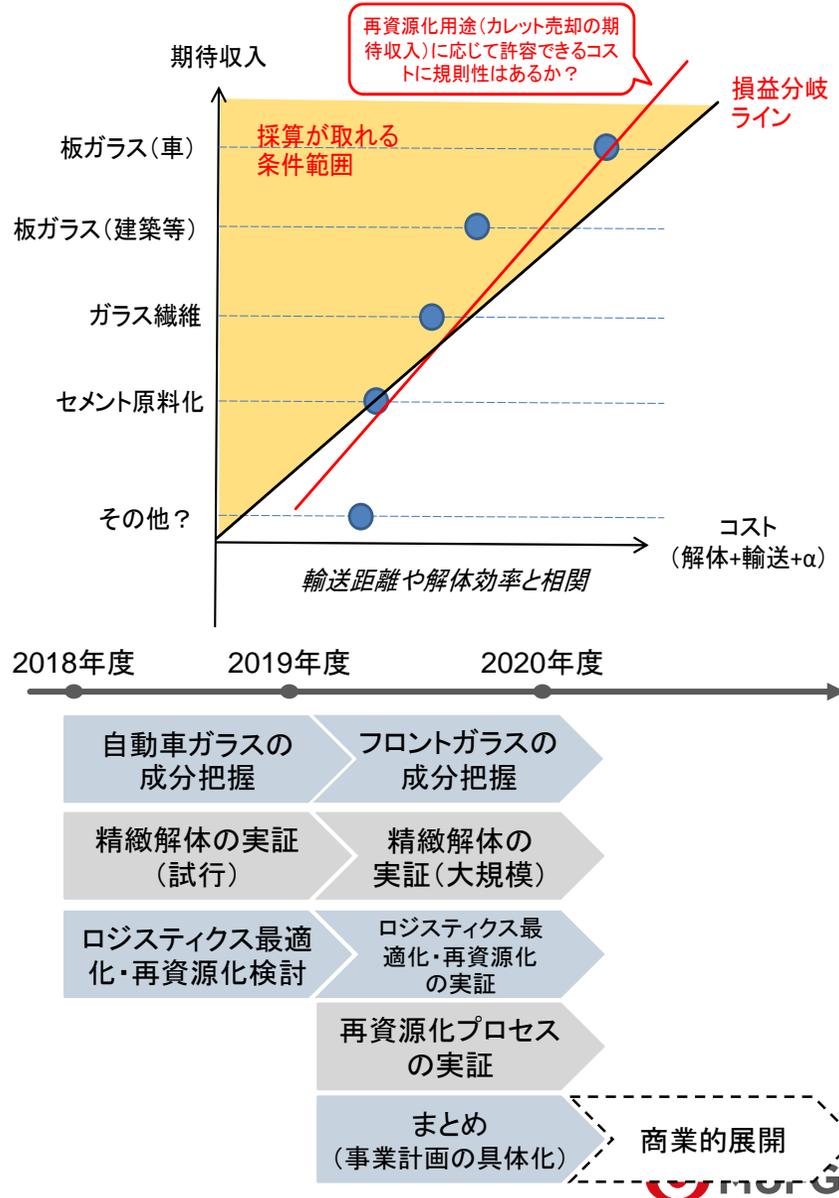
目標	<ul style="list-style-type: none">■ 品質や採算性の観点で再資源化が困難と考えられている自動車ガラスのリサイクル実現➡ ASR削減とそれに伴うリサイクル料金(ユーザー負担)低減の実現
背景・課題 (既往研究)	<ul style="list-style-type: none">■ 過去事業では効率的な精緻解体により、解体～再資源化における採算性向上が期待できることを確認■ 一方、自動車ガラスを付加価値の高いガラス製品へと再資源化する取り組みは未実証➡ さらなる採算性の向上と高付加価値ガラス製品への再資源化実証が目標達成に向けた課題
本事業の アプローチ (新規性)	<p>従来:各プロセスのプレイヤーが個別に効率化を検討(個別最適化:ELV解体・再資源化などであれば)</p> <p>再資源化を考慮した ベストプラクティスの検討</p> <p>廃車ガラとの合積みによる一次輸送費の削減</p> <p>取引条件の見直しの検討 (ダスト引き改定)</p> <p>解体段階による異物除去による処理の効率化</p> <p>成分分析に基づく多様な試料による再資源化実証</p> <p>全プロセス束ねた共同体として最適化</p> <p>本事業:各プロセス単体では困難だったコスト削減を取引条件の見直しなども含む関連事業者間の連携による全体最適化によって解決を検討(上図のフロー全体で最適化)</p>
成果	<ul style="list-style-type: none">■ 自動車ガラスを利用したグラスウール製造には、技術的課題が無いことを確認■ 全プロセス束ねた共同体として解体を改良し、再資源化までの輸送コストも考慮することで採算性は向上➡ 自動車ガラスのリサイクル実現条件を示し、さらなるASR削減を実現する可能性を示唆■ 今後は解体業者の採算性向上を目指し、事業者間連携の拡大やガラス回収のインセンティブ検討が必要

1. はじめに

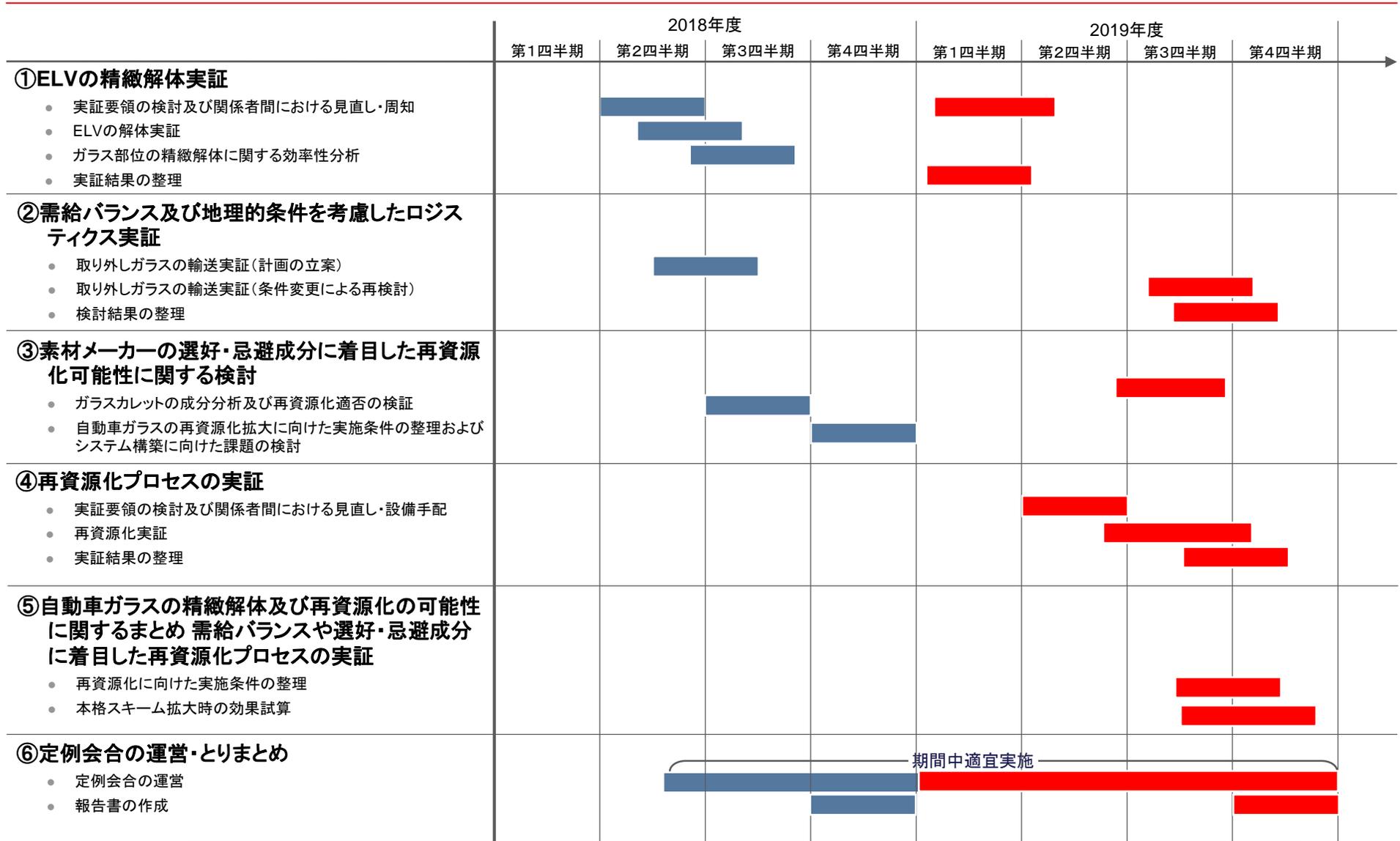
- 環境省「自動車リサイクルに係る3Rの推進・質の向上に向けた検討会」では、現在のASR 基準重量の算定方法ではプラスチックやガラスといった金属以外の資源のリサイクルによるASR 発生抑制効果が考慮されていない旨が指摘されている。
- 過去の自動車リサイクル関連の各種実証では(平成26・27年度環境省低炭素型3R技術・システム実証事業)、これまでスラグ(自り法第31条プロセス)やASR(自り法28条プロセス)となっていたガラスやプラスチックに注目し、事前に効率的な精緻解体で分離することで、後工程の再資源化プロセスのコスト低減効果期待することができることを確認した。
- 一定条件を満たせば、全体として経済合理的に再資源化できる可能性を示した。



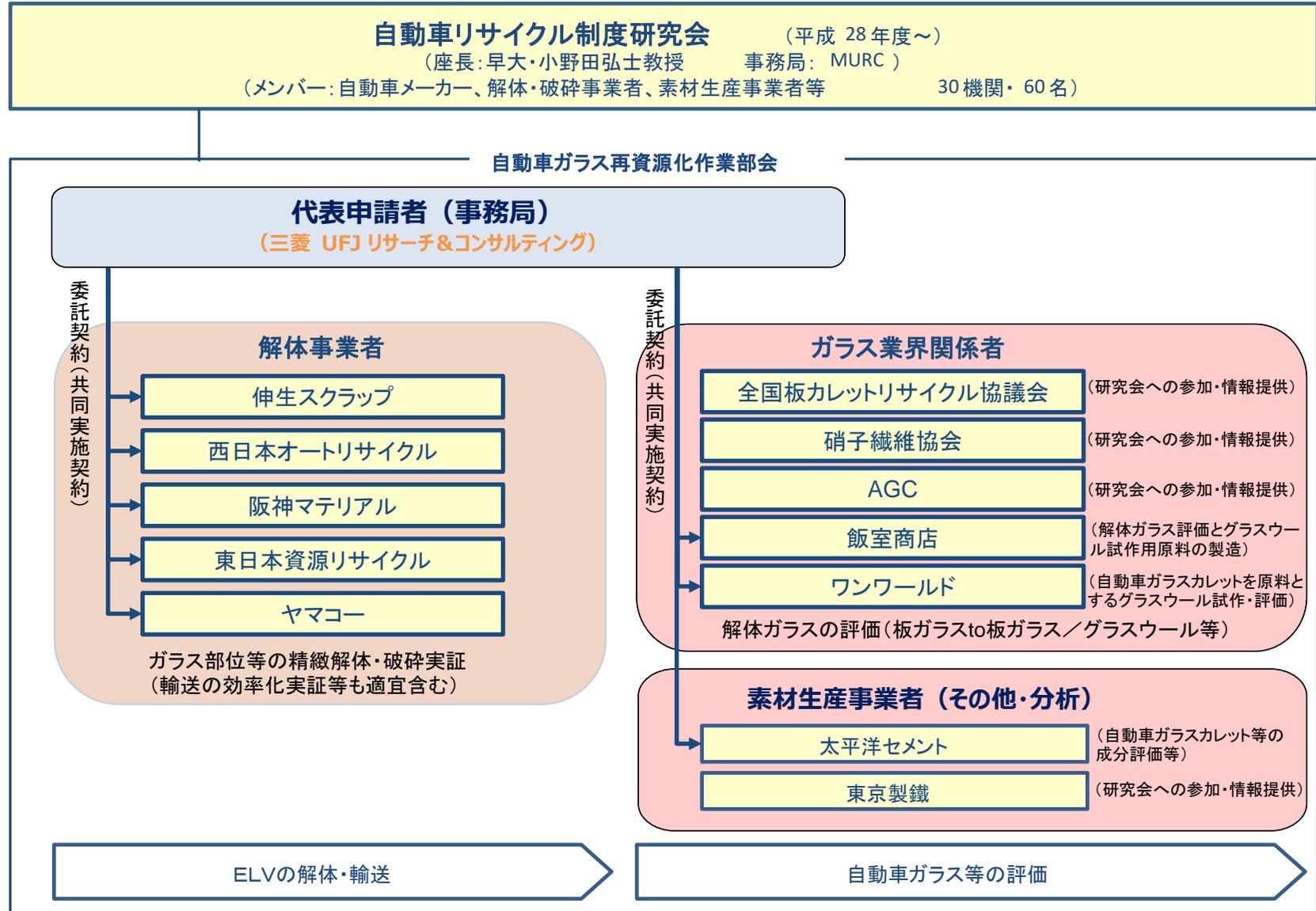
- どのような条件下であれば、自動車ガラス再資源化が経済的に成立するか明らかにし、今後それをガラス業界と解体事業者等が協力して実行に移すことで、我が国におけるASRの発生抑制に貢献する。
- 初年度となる2018年度は主に自動車ガラスの特性把握、精緻解体実証の試行したほか、2019年度は自動車から回収したガラスのグラスウールとしての再資源化を実証した。



2. 事業実施結果 (1)事業スケジュール



2. 事業実施結果 (2)本事業の実施体制



2. 事業実施結果 (3) 結果概要

当初目標

■ ELVの精緻解体実証

■ 需給バランス及び地理的特性を考慮したロジスティクス実証

■ 素材メーカーの選好・忌避成分に着目した再資源化に関する検討

■ 再資源化プロセスの実証

結果

■ 自動車ガラスは解体方法により作業時間に大きな差が生じるため、ベストプラクティスの導入によって**大幅に効率化が可能**

■ 特にフロントガラスは解体方法による作業時間の差が大きく、ガラス回収に特化した専用工具の活用も有効

■ 廃車ガラと回収ガラスとの合積みを検討し、輸送コストは大幅に削減。**利益が得られる範囲内で回収可能なガラスは最大約8.4万t**と推計

■ 一方、解体業者の回収インセンティブとなるほどの採算性向上にはダスト引き率の改定が不可欠。コンソーシアム(共同体)等取組みが必要

■ 自動車ガラスはいずれの部位もソーダ石灰ガラスであり、**各種微量成分には差異があるものの、カレットメーカーで問題なく原料化が可能**と確認(フロントガラスの中間膜除去は今後の課題)

■ まずは原料成分上の制約が小さいグラスウール向けで再資源化実証

■ フロントガラスを除く5部位をガラスカレットに加工し、グラスウール化した結果、**最も微量成分の多いリアガラス100%であっても製品化可能**

■ 実操業ベースでグラスウール化(繊維化)した結果、通常原料と同等のグラスウールを問題なく生産でき、**JIS規格にも適合**することを確認

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

自動車ガラスの解体時間

- フロントガラスを除く5部位について全30台の車両解体について時間分析を実施。サイドリアガラスは小さい部位の取り外しも含む場合もあり、サイドフロントガラスより解体作業時間がかかっている。リアガラスは事業者によって解体方法が異なり、差がみられる。
- 全10台の車両解体について時間分析を実施したフロントガラスは、他のガラスに比べて作業時間が掛かっている。これは手解体(糸のこ・熱線等)と機械解体(カッター等)の作業時間の差が大きく、**ベストプラクティスの導入による短縮化の余地**も多い。

時間分析方法

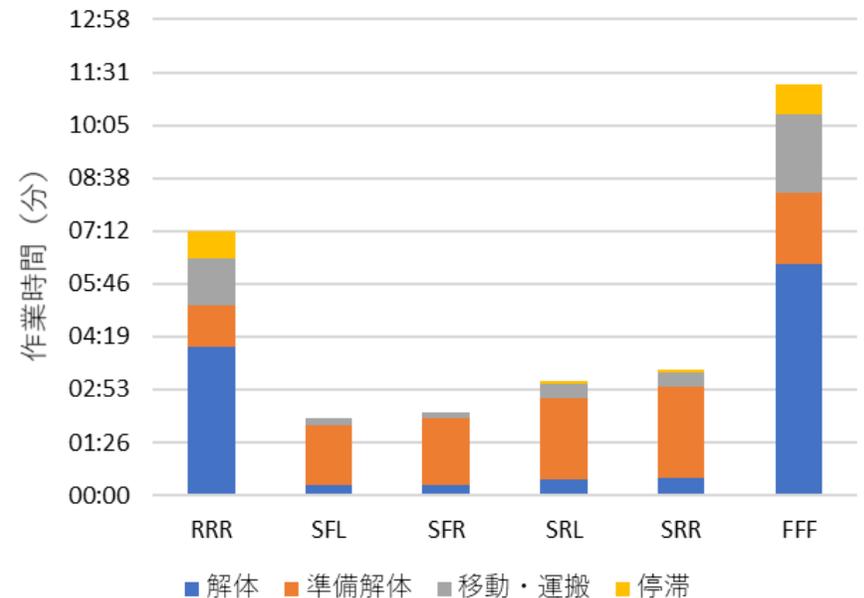
各部位ごとの解体作業の動画撮影

動画を見ながら解体作業を以下4つに分類

- **解体**
対象部品の解体(対象部品に触れていることを基準とする)
- **準備解体**
周辺部品の解体
※周辺部品=対象部品の取り外しのために、事前に取り外す必要のある部品
- **移動・運搬**
工具や部品を取りに行ったり運搬する作業
- **停滞**
機械の作動待ち時間や他の作業員の作業待ち時間等

4つの作業分類について作業時間を集計

ガラス部位別平均解体作業時間(分)



RRR: リアガラス、SFL: サイドフロントガラス(助手席側)
SFR: サイドフロントガラス(運転席側)、SRL: サイドリアガラス(助手席側)
SRR: サイドリアガラス(運転席側)、FFF: フロントガラス

※2019年度に実施したFFFはサンプルとした車両及びサンプル数が異なる

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

自動車ガラスの解体作業(リアガラス)

- リアガラスの解体は作業時間の差が大きい。専用の機械設備があるような場合、ガラスを回収しやすいように車体を動かすことで作業時間が短く効率的である。機械設備がない場合でも、回収や破碎の際に布などを用いることで効率よく作業することが可能である。

効率の良い解体方法<リアガラス>

専用の機械設備がある場合

<西日本オートリサイクルの例>

ガラスを回収しやすいように専用の機械を用いて車体を横にし、リアガラスを砕いて回収している。



専用の機械設備がない場合

<ヤマコーの例>

車内にシートをひき、ガラス砕いた回収している。また、砕くときには外側から布をかぶせ、車外に飛び散らないようにしながら砕いている。



2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

自動車ガラスの解体作業(サイドガラス)

- サイドフロントガラスの作業時間は、解体方法よりも自動車のドアトリムの構造に依存している。簡単に解体できる設計のドアトリムの場合には、作業時間の短縮化が可能である。
- また、サイドリアガラスは自動車のドアの種類により作業時間が大きく異なる。スライド式のドアはドアを外してからの作業となる場合が多く、時間を要している。

効率の良い解体方法<サイドリアガラス>

通常のドア(平均作業時間: 2分19秒)

ドアトリムの構造が簡易の自動車は解体に係る作業時間が短く、取り外すパーツが多い場合などは作業時間が長くなっており、自動車の設計の簡易化により作業時間を短縮可能である。

スライド式のドア(平均作業時間: 5分10秒)

複数人での解体は作業時間が人数分となるので、見かけ上作業にかかる時間が長くなってしまふ。作業員1人での解体が最も効率的であり、その中でもスライドドアを完全に外すのではなく車内から作業を行う方法が最も作業時間が短い。

ドアを完全に外した解体



例:
トヨタ・ノア
作業時間約21分

ドアを完全には外さずに解体



例:
ダイハツ・ハイゼット
作業時間約2分半

▼スライドドアでも以下のような形式の窓ガラスは簡単に取り外せる



2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

自動車ガラスの解体作業(フロントガラス)

- フロントガラスの作業時間は手解体(糸のこ・熱線等)と機械解体(カッター等)により作業時間の差が大きく、専用のガラスカッターを用いた場合には車両のサイズに係らず2分弱~4分程度での解体が可能である。
- 一方で、糸のこ等での作業には事前解体にも多くの時間を要するほか、2名の作業員が必要になることから非効率的となる。

効率の良い解体方法と効率の悪い解体方法<フロントガラス>

専用ガラスカッターによる解体

作業員1名で容易に解体可能。(2分弱~4分程度)
通常の電動カッター(丸のこ)でも同様の作業手順で回収が可能であったが、刃の摩耗性を高めた専用カッターを用いている業者もいた。



糸のこによる解体*

作業員2名での解体が必要。(8分~47分程度**)
糸のこを通すためにフロントガラス周辺の部品を多数取り除かなければならないケースもあり、車両によっては作業時間が長くなる。



* 本事業の比較のために手解体を実施(通常解体フローではない)

** 作業員2名の場合には、各人の作業時間を合算

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

自動車ガラスの解体ベストプラクティス

- 最も短い時間で行われた解体(ベストプラクティス)の作業時間と平均の解体作業時間を比較すると大きく異なっている。
- ベストプラクティスを導入した場合にはフロントガラスの解体時間は大きく短縮化されるが、それでも最も解体時間を要する部位となっている。自動車全体ではフロントガラスを含めれば約6分、フロントガラスを除けば4分程度での解体が実現できる。

部位別自動車ガラスの平均解体作業時間及び最も短い解体作業時間(ベストプラクティス)

部位	解体作業時間					合計	ベストプラクティス だけの合計		
		解体	準備解体	移動・運搬	停滞		FFFあり	FFFなし	
RRR	平均	04:02	01:08	01:16	00:44	07:10	5:55 (355s)	— 4:07 (247s)	
	ベストプラクティス	00:22	00:00	01:05	00:00	01:27			
SFL	平均	00:15	01:40	00:10	00:00	02:05			
	ベストプラクティス	00:02	00:30	00:02	00:00	00:34			
SFR	平均	00:16	01:50	00:09	00:00	02:15			
	ベストプラクティス	00:02	00:39	00:02	00:00	00:43			
SRL	平均	00:25	02:13	00:24	00:03	03:06			
	ベストプラクティス	00:19	00:00	00:09	00:09	00:37			
SRR	平均	00:28	02:30	00:24	00:05	03:26			
	ベストプラクティス	00:05	00:38	00:03	00:00	00:46			
FFF	平均	06:18	01:56	02:09	00:05	11:11			—
	ベストプラクティス	00:53	00:00	00:55	00:00	01:48			

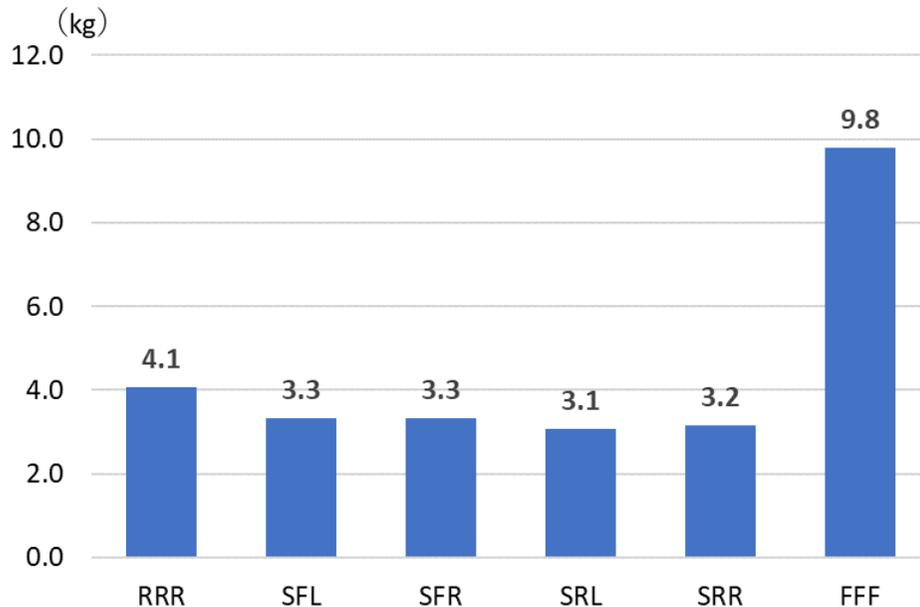
2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

解体に要するコスト

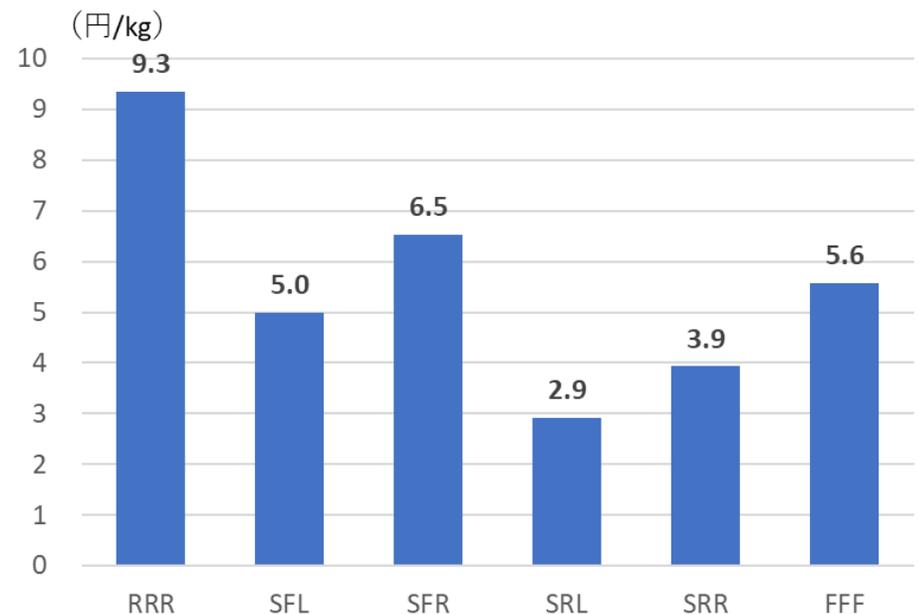
- 部位ごとの作業時間から解体に要する重量当たりのコストを導出する。部位ごとの平均重量を比較すると、フロントガラスは解体作業時間を最も要する一方で、サイドガラスの3倍程度の重量があることが分かる。
- その結果、重量当たりのコストを導出すると、フロントガラスは一部のサイドガラスやリアガラスよりも解体費用は低くなる。

自動車ガラスの平均重量(kg)



RRR:リアガラス、SFL:サイドフロントガラス(助手席側)
SFR:サイドフロントガラス(運転席側)、SRL:サイドリアガラス(助手席側)
SRR:サイドリアガラス(運転席側)、FFF:フロントガラス

自動車ガラス解体費用(円/kg) ※各部位ともにベストプラクティスの場合



RRR:リアガラス、SFL:サイドフロントガラス(助手席側)
SFR:サイドフロントガラス(運転席側)、SRL:サイドリアガラス(助手席側)
SRR:サイドリアガラス(運転席側)、FFF:フロントガラス

※2019年度に実施したFFFはサンプルとした車両及びサンプル数が異なる

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

ベストプラクティスの分類と効果

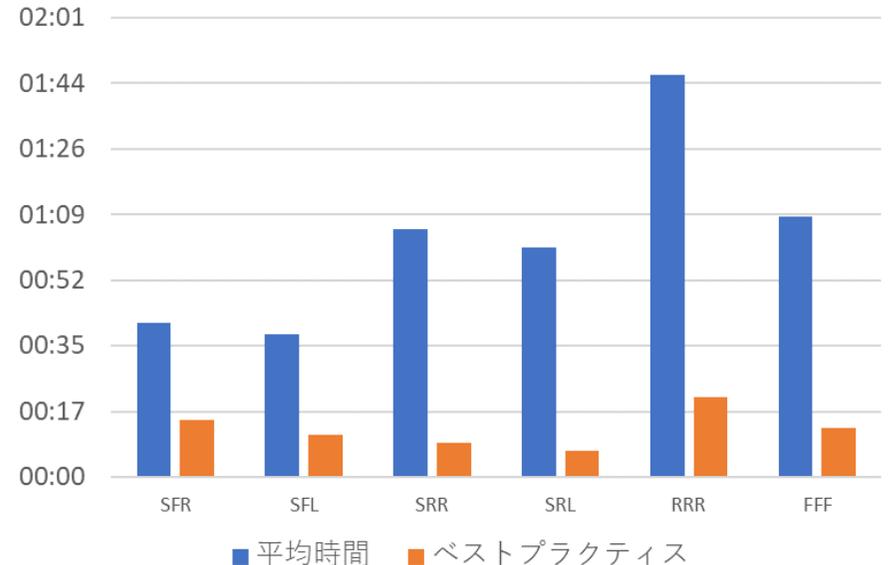
- リアガラスは専用設備で車両を横転させ、割って回収する方法が効率的であった。但し、解体ラインへの大幅な投資が見込まれるため、それ以外だと、車室内に回収シートを入れて、外から中へガラスを割って回収する方法が最も効率的だった。
- サイドガラスは**ドアを解体して回収する方法が効率的**だが、作業員の手際による差も大きい。解体業者からは、割って回収する方法に比べて歩留まりが良く、破片の回収・清掃時間を削減できるとの意見が多かった。**割らずに回収した方が異物混入リスクも少ない**。
- フロントガラスは耐摩耗性を高めた**特注のグラスカッターをエアーチゼルに装着した解体方法が効率的**であった。電動カッター(丸のこ)でも糸のこに比べれば大幅に効率的だが、エアーチゼルと比較して取り回しが悪いせいか、最大で45秒程度遅いほか、継続的な使用では刃の摩耗性も課題になると考えられる。

解体作業方法の分類

フロントガラス	<ul style="list-style-type: none"> ・電動カッターで回収 ・糸のこで回収 	<ul style="list-style-type: none"> ・専用グラスカッターで回収 	
サイドガラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ドアトリムを解体して回収 ・回収シートを敷いて割って回収 		
リアガラス	<ul style="list-style-type: none"> ・バックドアを取り外して回収シートの上で割って回収 ・車室内に回収シートを入れ、ガラスを割って回収 ・糸のこで回収 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両を横転させ、割って回収 	
	専用機具・設備なし	専用機具の利用	専用設備の利用

ガラス回収に関する専用機具・設備の利用有無

Kg当たりの平均作業時間とベストプラクティスの解体時間差



2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

ELVの精緻解体実証

【参考】各部位別のベストプラクティス

フロント
ガラス

専用の機具・
設備あり



サイド
ガラス

専用の機具・
設備なし



リア
ガラス

専用の機具・
設備あり



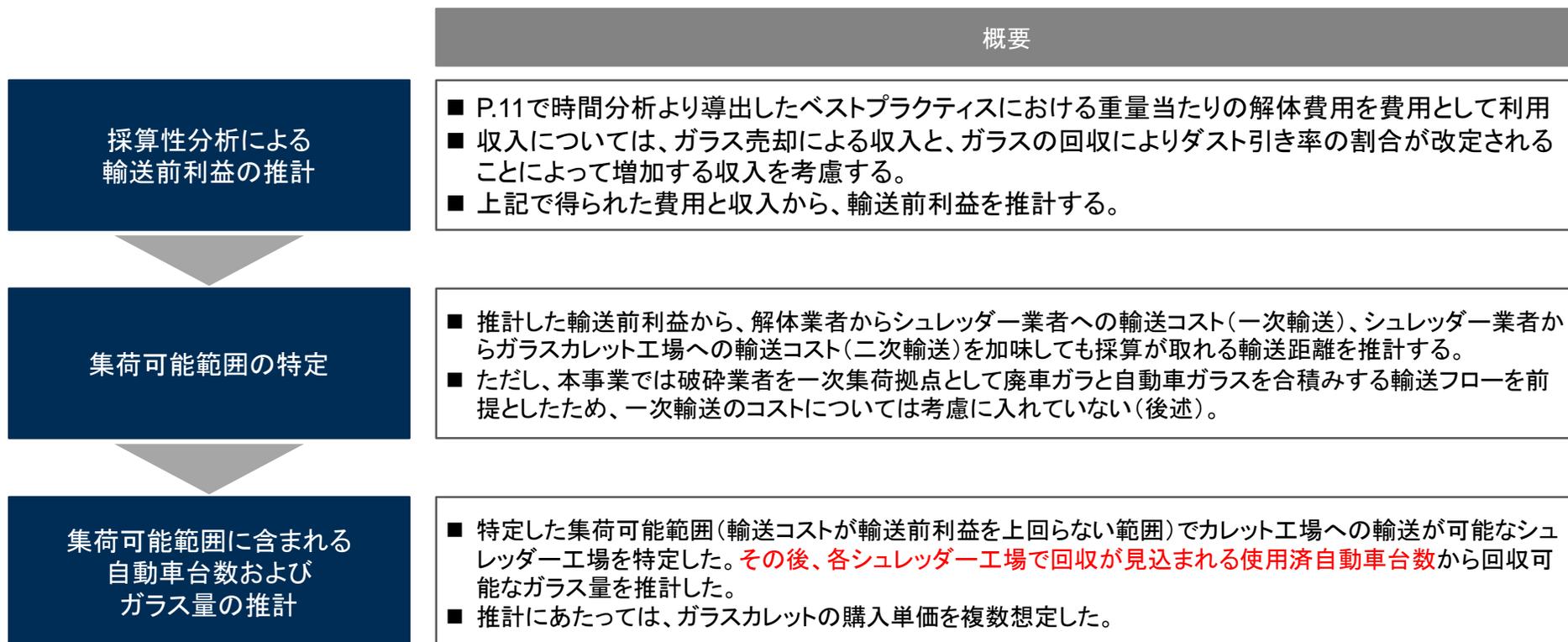
2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

需給バランス及び地理的特性を考慮したロジスティクス実証

調査分析フロー

- 本分析では、ガラス解体時間の集計により得られた採算性分析および解体費用の導出結果をもとにガラスカレット工場へ集積可能な地理的範囲を特定し、日本全国でリサイクル可能なガラス量を推計した。
- 具体的な調査分析フローを下図に示す。

集荷可能な使用済自動車台数およびガラス量の推計フロー



2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

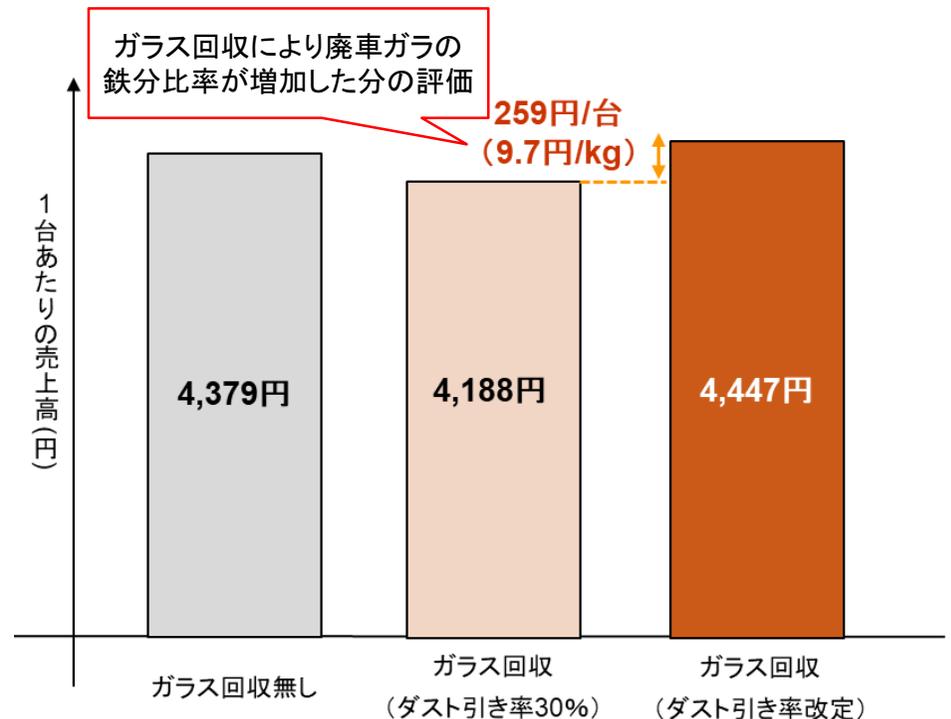
需給バランス及び地理的特性を考慮したロジスティクス実証

輸送前利益の推計(ガラス売却による収入)

- ガラス回収の費用はP.11で導出済のため、ガラス売却により得られる収入を検討する。関係者のヒアリングから**ガラス単価をフロントガラス以外で4円/kg、フロントガラスで0.1円/kgと仮定**し、P.11で導出した平均重量と掛け合わせて**68.8円/台**と推計した。
- もう一つの増収要素として、**ダスト引き率の改定**が挙げられる。一般に廃車ガラクは重量から土砂やガラス等の鉄以外のダスト分を差し引いた価格で取引される。これがダスト引きと呼ばれるが、この比率は慣例的に決定されるため、事前にガラスを回収してもダスト引き率が変わらない場合が多い。このダスト引き率が実態に即して変わる場合、廃車ガラクの実行買取単価は上昇することが見込まれる(下図参照)。

ガラス回収を行った場合のダスト引き効果の比較

	値	単位	算出式・出所
ガラス回収無しの場合	4,379	円/台	①×②×③
① 廃車ガラク価格(表示価格・トン当たり)	13,900	円/ton	文献1)
② 廃車ガラク重量	450	kg/台	文献2)
③ 鉄評価比率(ダスト引き慣例)	70.0%	—	関係者ヒアリング
ガラス回収(ダスト引き率30%)	4,188	円/台	①×(②-⑤)×③+⑥
① 廃車ガラク価格(表示価格・トン当たり)	13,900	円/ton	文献1)
② 廃車ガラク重量	450	kg/台	文献2)
③ 鉄評価比率(ダスト引き慣例)	70.0%	—	関係者ヒアリング
④ 鉄評価重量	315	kg/台	②×③
⑤ 新たに回収するガラス重量	26.7	kg/台	実証結果より
⑥ ガラスの販売価格	68.8	円/台	実証結果より
ガラス回収(ダスト引き率改定)	4,447	円/台	①×(②-⑤)×④+⑥
① 廃車ガラク価格(表示価格・トン当たり)	13,900	円/ton	文献1)
② 廃車ガラク重量	450	kg/台	文献2)
③ 鉄評価重量	315	kg/台	②×③
④ 新たに回収するガラス重量	26.7	kg/台	実証結果より
⑤ 鉄評価比率(ダスト引き改定)	74.4%	—	③÷(②-④)
⑥ ガラスの販売価格	68.8	円/台	実証結果より



1) 経済産業省「平成15年度環境問題対策調査等に関する委託事業報告書(自動車リサイクルに係る処理技術等の調査)」

2) 平成26年度低炭素型3R技術・システム実証事業「自動車リサイクルにおける素材生産制約物質の低減・資源利用効率の向上に資する解体・破砕プロセスの実証化事業」

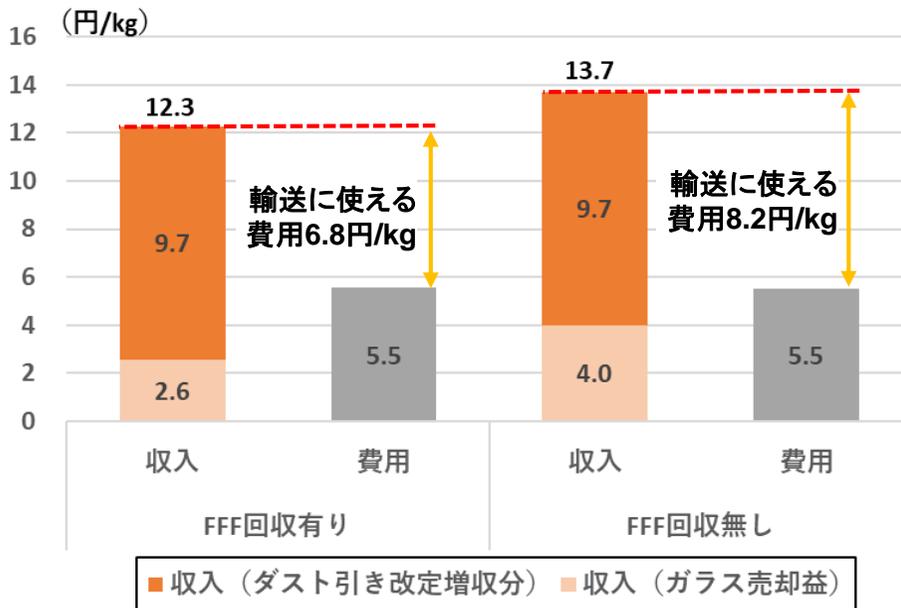
2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

需給バランス及び地理的特性を考慮したロジスティクス実証

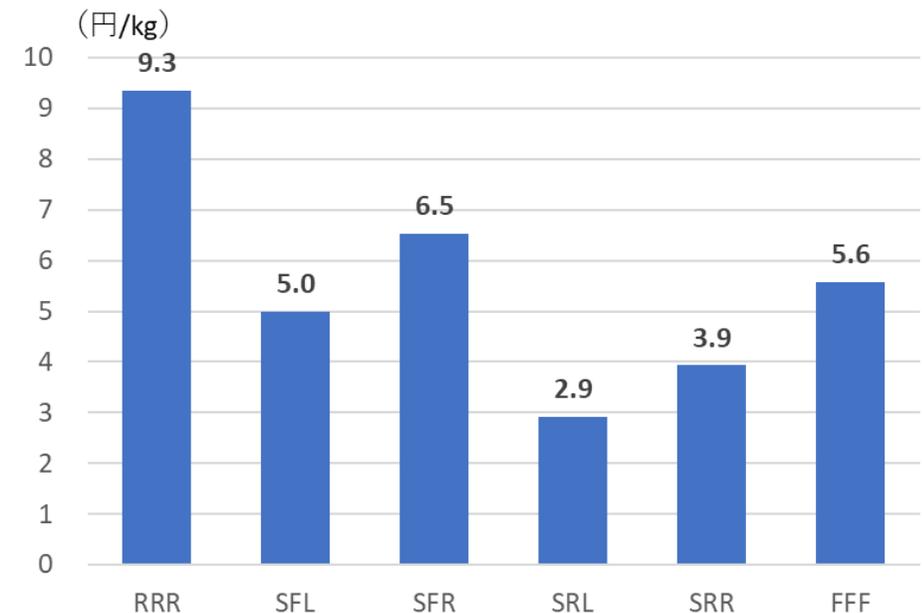
ガラス解体に係る輸送前利益の推計(収入と費用)

- P.11で導出した重量当たりの費用とP.15で導出した重量当たりの収入を整理し、ガラス解体に係る輸送前収益を推計した。なお、フロントガラスの単価が0.1円/kgと安いと安いため、フロントガラスを回収しない方がガラス売却益が高く、収益性は高くなる。
- この収入の範囲内(6.8円/kg～8.2円/kg)で輸送費が賄えれば、経済合理的にガラスの回収が可能と考えられる。

単位重量あたりの輸送前収益(FFF回収有/無)



【参考】単位重量当たりの自動車ガラス解体費用(P.11再掲)



RRR:リアガラス、SFL:サイドフロントガラス(助手席側)
 SFR:サイドフロントガラス(運転席側)、SRL:サイドリアガラス(助手席側)
 SRR:サイドリアガラス(運転席側)、FFF:フロントガラス

※2019年度に実施したFFFはサンプルとした車両及びサンプル数が異なる

単価の違いからFFF有の場合は収入が低くなるが、FFFの解体費用は5.6円/kgと調度平均費用と同等であることから、費用はFFFの解体有無によって差は出ない。

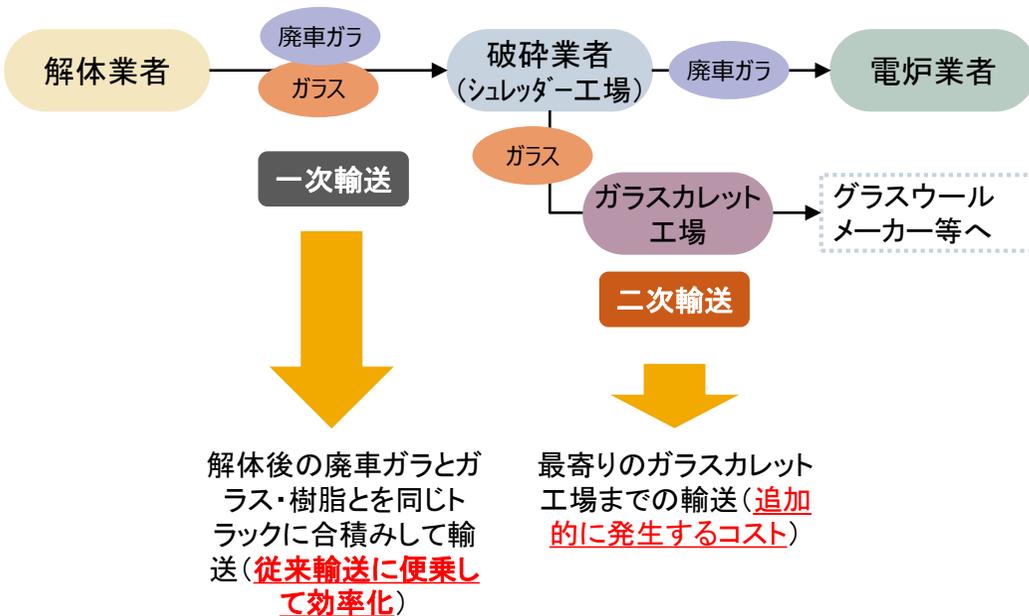
2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

需給バランス及び地理的特性を考慮したロジスティクス実証

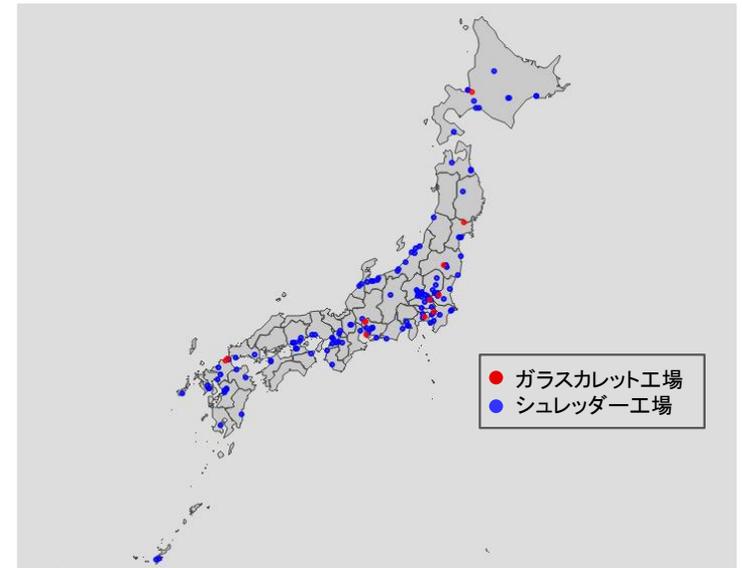
集荷可能範囲の特定(前提条件)

- ベストプラクティスの導入ケースを想定し、輸送費用が輸送前利益を上回らない集荷範囲を特定した。
- 本事業では解体業者でガラスを回収し、廃車ガラとの合積みにより破砕業者に輸送(一次輸送)、その後破砕業者からガラスカレット工場へ輸送(二次輸送)するルート进行を想定した。そのため、一次輸送については廃車ガラとの合積みにより費用が発生しないと想定している。
- なお、シュレッダー業者からの輸送については各拠点の分布に従って最も近いガラスカレット工場へ輸送されることを想定しているほか、輸送距離と輸送費用の対応については、公開情報および関係者へのヒアリングより、距離に応じた輸送単価の関数を作成して推計した。

想定した回収ルート(自り法28条ルート)



全国のシュレッダー工場とガラスカレット工場の分布



出所:各社へのヒアリング等より作成

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

需給バランス及び地理的特性を考慮したロジスティクス実証

国内における集荷可能量の推計

- P.17の前提に沿って、フロントガラスの回収有無とガラスカレットの購入単価の変動も想定して4パターンでの試算を行った結果、最も採算性が高いケースでは、**沖縄県を除くすべてのシュレッダー工場からガラスの回収が可能**という結果になった。
- その後、ポロノイ分割(各点に最も近いエリアに基づいて平面を領域分割する手法)を用いて、回収可能な自動車台数とガラス量を試算(各点から一番近いシュレッダー工場で自動車破碎されるという想定)した。その結果、**4.3万~8.4万tのガラスが回収可能**と試算された。

フロントガラスを回収する場合



フロントガラスを回収しない場合(フロントガラス以外の部位の回収に限定)



注) 赤: カレット工場、黄: 輸送範囲内のシュレッダー工場、紫: 輸送範囲外のシュレッダー工場

	回収自動車台数	回収ガラス量
1.0円/kg	254.3万台/年	6.8万t/年
4.0円/kg	313.3万台/年	8.4万t/年

	回収自動車台数	回収ガラス量
1.0円/kg	254.3万台/年	4.3万t/年
4.0円/kg	334.9万台/年	5.7万t/年

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

素材メーカーの選好・忌避成分に着目した再資源化可能性に関する検討

ガラス再資源化時の忌避物質

- 下記以外に自動車特有の課題として、ガラス周囲に黒く着色されたセラミックプリント(黒セラ)があり、光学特性管理を困難にする酸化クロムや酸化銅が使用されている場合が多い。また、リアガラスの防曇熱線には銀が使われており、端子部分にはハンダが使用される。

カレット用途	カレット受け入れ時の忌避物質	
板ガラス	鉄(Fe)	大量混入の場合、光学特性に影響
	銅(Cu)、銀(Ag)	光学特性に影響 (フロート成型の溶融錫バス内の強還元雰囲気下でガラス表層に着色する)
	亜鉛(Zn) アンチモン(Sb)	光学特性に影響 (フロート成型の溶融錫バス内の強還元雰囲気下でガラス表層を白濁する)
	アルミニウム(Al)	酸化アルミニウムはガラスの原料としても使用されるが、金属アルミニウムは忌避物質。 酸化ケイ素を金属ケイ素に還元し、金属ケイ素の熱膨張率の違いから板ガラスが割れる。
	ニッケル(Ni)	大量混入の場合、光学特性に影響 硫化ニッケルの結晶は強化ガラスの自然破損の原因にもなる可能性がある。
	有機物(ゴムなどの樹脂)	大量混入の場合、光学特性や色ムラに影響
ガラスウール	結晶化ガラス、陶磁器類 非鉄金属、磁性体、有機物	溶け残った異物が繊維化装置の穴(1mm弱)を塞いでしまいトラブルを引き起こす場合があるため、 溶け残る可能性のある原料は受け入れが難しい
	温度～粘性特性がガラスウールと 大きく異なるガラス(硼珪酸ガラス等)	製造工程及び品質に影響
	ヒ素(As)	製品に含まれると販売時の顧客からの評価に影響が出るため利用は避けたい
共通	銀・銅などの貴金属類が金属としてある程度の大きさで混入すると金属液滴として沈降し、メタルドリルと呼ばれるガラス溶解槽窯の炉材を侵食する現象が発生する場合がある。炉材のれんがに穴をあけ窯の寿命を著しく短くする可能性がある	

(出所) 工藤透「1. 板ガラスのリサイクル」(2008) (<http://www.agc.com/innovation/library/pdf/58-02.pdf>)、醍醐市朗「GReATプロジェクト平成27年度活動報告～ガラス再資源化システムの設計・評価と大転換～」(ガラス再資源化協議会・第13回 エコプレミアムクラブ シンポジウム「大転換・Transformation」) (2016)

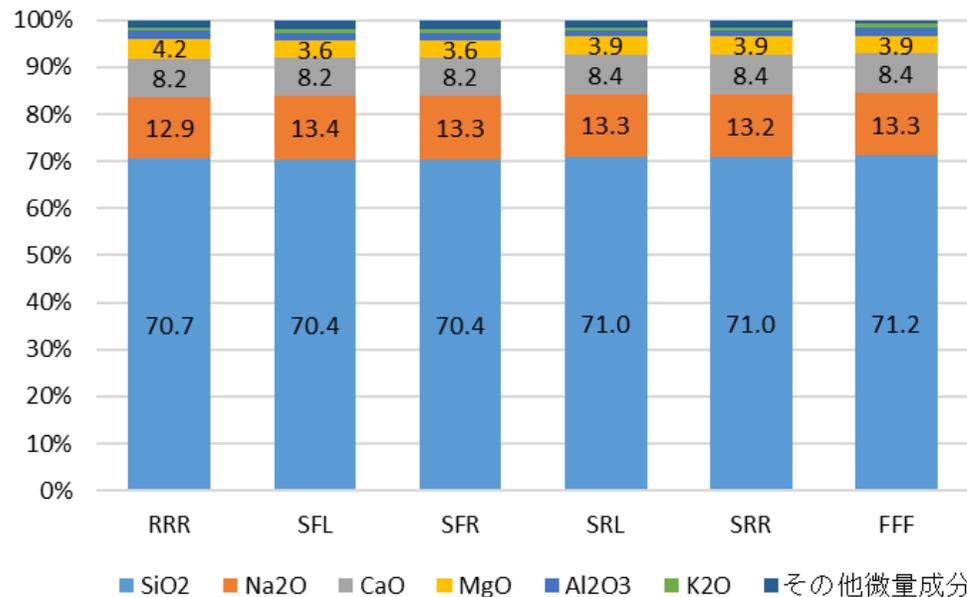
2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

素材メーカーの選好・忌避成分に着目した再資源化可能性に関する検討

自動車ガラスの成分分析結果

- 板ガラスの主成分はSiO₂、Na₂O、CaO、MgO、Al₂O₃であり、自動車ガラスも一般的な板ガラスと同様の構成となっている。いずれのガラスもソーダ石灰ガラスである。
- 微量成分においては、はんだ由来と考えられるPbやSnがリアガラスで確認されたほか、いずれのガラスでも板ガラスの忌避物質となるFe、Cu、Zn、Niが確認された(次頁参照)。なお、フロントガラスにFが検出されたが、混入原因が見当たらず解体工程等での混入と推測される。
- 本成分分析結果を踏まえて、本事業ではまずは成分制約の少なく、部位に係らず検討可能なグラスウール化の実証を行うこととした。

部位別のガラス成分平均値(主成分) ※微量成分は次頁参照



RRR :リアガラス
SFR :サイドフロントガラス(運転席側)
SRR :サイドリアガラス(運転席側)
SFL :サイドフロントガラス(助手席側)
SRL :サイドリアガラス(助手席側)
FFF :フロントガラス

【参考】板ガラス協会のガラスカレット受入品質規格

異物	サイズと許容濃度	
有機化合物 (フィルム、紙、ゴム、木片等)	10mm未満 10mm以上	20ppm未満 無いこと
砂利、セラミクス、セメント等	0.5mm未満 0.5mm以上	1000ppm未満 無いこと
鉄片(ステンレス除く)	1mm未満 1mm以上	10ppm未満 無いこと
非鉄金属類 (アルミ、ステンレス等)	無いこと	
ガラス	白色ガラス、熱線吸収ガラス、網入りガラス、 型板ガラスは相互に混じりあってはならない。 合わせガラス、印刷したガラスは混入不可 用途以外のガラスは混入不可 (建築用であれば建築用以外不可)	

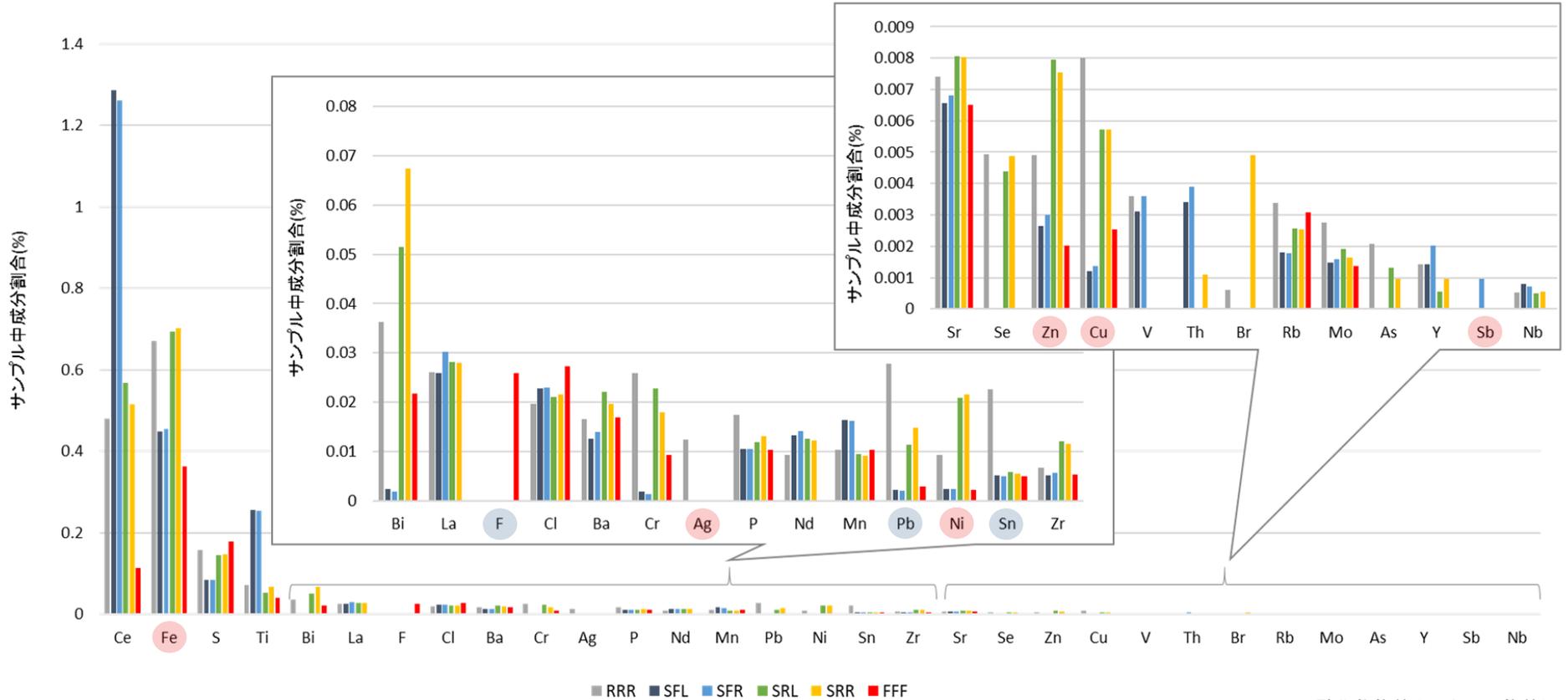
出所) 工藤透「板ガラスのリサイクルの現状と課題」(2012)

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

素材メーカーの選好・忌避成分に着目した再資源化可能性に関する検討

自動車ガラスの成分分析結果

各部位平均成分の比較(微量成分)



※酸化物換算 (FeはFe₂O₃換算)。

- 板ガラス向け原料の忌避物質となりうる成分
- 部位別の分析で有意な差が確認できた成分

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

再資源化プロセスの実証

ガラスカレットの製造

- 解体事業者で回収した自動車ガラス(200台分:約2,000kg)を基に、ガラスカレットを製造した(異物除去、粒度調整等)。
- サイドガラスにプラスチックや金属部品が付着していることが懸念されたが、今回の回収品ではサイドガラスを割らずに回収しているケースが大半であり、目立った異物は確認できなかった。一方で、リアガラスに2個ある熱線の端子が混入している場合があった。異物が多くなると除去に要するコストや生産量にも影響を与えるため、**異物混入のない作業工程が必要**と考えられる。
- 溶融炉の投入に先立ってグラスウールメーカーでサンプルの簡易評価を行ったところ、**着色の目立つリアガラスが最も成功可能性が低い**原料として評価された。
- この簡易評価結果等を踏まえ、混合比率を変えた5検体(1,000kg分)を準備し、試験溶融および繊維化試験を実施した。リアガラスが100%のEが最も成功可能性の低いサンプルとなる(Dサンプルは実操業試験のサンプル不足分に充当したため未実施)。

部位別のガラス成分平均値(主成分)



【到着した自動車ガラス】



【混入していた異物】
(リアガラスの熱線の端子)

試験溶融を行う5検体

	各200kg(上段:サンプル構成比、下段:重量)				
	A	B	C	D	E
サイドフロント (SFL/SFR)	100% (200kg)		50% (100kg)		
サイドリア (SRL/SRR)		100% (200kg)	50% (100kg)	50% (100kg)	
リア (RRR)				50% (100kg)	100% (200kg)

RRR :リアガラス
SFR :サイドフロントガラス(運転席側)
SRR :サイドリアガラス(運転席側)
SFL :サイドフロントガラス(助手席側)
SRL :サイドリアガラス(助手席側)
FFF :フロントガラス

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

再資源化プロセスの実証

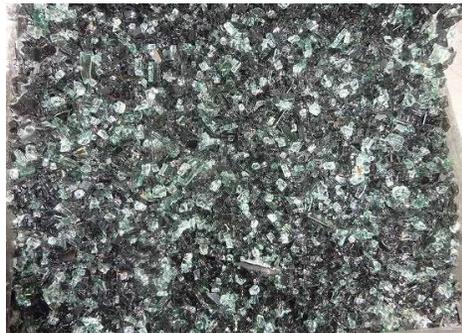
試験溶融の結果

- 試験溶融の結果、ガラスウール製造時のフィラメント(溶融硝子を滴下した際の流体)でも発泡せず、流れに乱れもなかったことから、最も**繊維化の成功可能性が低いと考えられたEサンプルを含めて、いずれの原料でも問題なく繊維化することが確認**できた。
- 通常のソーダ石灰ガラス原料と比較して自動車由来のガラスは黒ずんで見えるが、繊維化および利用には全く問題がなく、ガラスウールメーカーでは、RoHS規制等に抵触するような重金属等が含まれていない限り、**原料として利用可能と判断**された。

試験サンプルの原料と繊維化後



試験原料(Cサンプル)

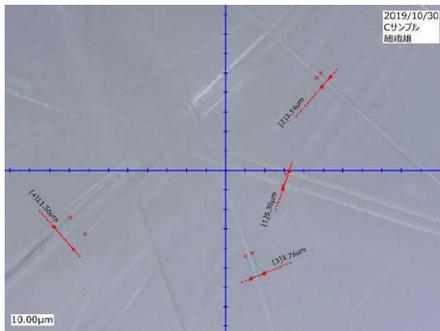


試験原料(Eサンプル)

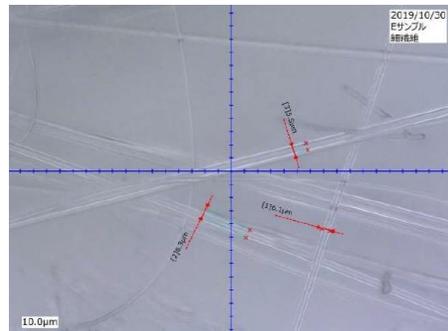
溶融後のサンプルと繊維化後の比較



溶融後のサンプル比較(左:通常のガラス、中:Eサンプル、右:Cサンプル)



繊維化後(Cサンプル)



繊維化後(Eサンプル)



繊維化後の比較(左:通常ガラス、右:Eサンプル)

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

再資源化プロセスの実証

実操業試験の結果

- 実操業試験実施企業で製造している製品のひとつである建築断熱材の16K製品(密度:16kg/m³)を製造した。実操業試験でも製造工程で大きな問題はなく、**通常の板ガラス由来のグラスウール製品と比較しても外観や性能は遜色ない製品**が得られた。
- 断熱材の日本産業規格の一つである「JIS A 9521 建築用断熱材」への適合評価を行うため、品質性能試験を実施した。その結果、規格値である0.045W/(m・K)を下回っており、**基準を満たす十分な断熱性能**であることが確認できた。
- 完成製品の成分分析も実施したところ、板ガラス製品に比べて黒セラや着色剤等の由来とみられる鉛、セレンが有意に多い。但し、REACH規制やRoHS規制では全く問題ない含有量であり、グラスウールメーカーからも販売に問題がないレベルと判断された。
- 自動車用の場合は用途によって異なるものの、高い遮音性も求められるため、建築用よりも高密度(90kg/m³など)の製品が用いられる場合が多い。しかし、自動車用においても原料や繊維化工程には大きな差が無いことから、**今回の原料を用いて自動車向けのグラスウール製品を製造することは可能**と考えられる。

試験サンプルの原料と繊維化後



試験原料



完成製品の比較
(左:自動車ガラス、右:板ガラス)

JIS適合試験結果

	寸法 (mm)	厚さ (mm)	密度 (kg/m ³)	試験体 平均温度	温度差 (K)	試験体を 通過する 熱流密度 (W/m ²)	熱伝導率 [W/(m・K)]
自動車ガラス 製品	905×440	100	16.6	23℃	20.3	8.57	0.042
板ガラス 製品	920×440	100	16.4	23℃	20.3	8.63	0.043

出所) 一般財団法人建材試験センター

*密度は外皮材を含んだ値。

↓
JIS A9521
をクリア

2. 事業実施結果 (4) 事業実施効果/得られた知見等

再資源化プロセスの実証

材料規格化の検討

- ELV由来のガラス原料から問題なくグラスウールが製造できることが確認し、JIS規格も満たすことが示されたため、**グラスウール化においては技術的な課題は無い**ことが確認できた。ELV由来のガラスを100%利用してグラスウールを試作した事例は確認できず、大きな成果。
- さらに、試験溶融ではあるが、最もグラスウール化が困難と考えられるリアガラス100%でもグラスウールの製造には大きな問題が無いことを確認しており、サイドガラスやリアガラス等の部位やその比率に関わらず、ガラスへの再資源化が可能であることを示している。
- 一方で、解体したガラス原料には異物の混入が見られた。日本容器包装リサイクル協会では、ガラスびんの再商品化製品原料に関する受入品質規格を公表(下表)しており、グラスウールについても良質な原料を安定的に調達するためにも、**受入基準を明確化**する必要がある。
- 将来的にはこの受入基準を明確にし、規格を上回る製品のカレットの買取を保証していくことや、こうした受入基準をベストプラクティスとなる解体方法と結びつけることで、異物混入のない推奨される解体方法等を普及していくことが求められる。

異物の区分		ガラスびん向け原料 (ppm以下)	グラスウール向け原料 (ppm以下)	解体業者に要求される事項
金属類	鉄	1.0	左記と同程度	端子等を取り除く必要がある
	アルミニウム(リング・ラベル)	0.2		
	その他(銅・鉛・真ちゅう等)	1.5		
陶磁器	陶器・磁器	15	含まないこと	—
石類	クロマイト等の鉱石類	0	含まないこと	床面に落ちたものの回収等、石類を混入させないような解体方法を採用する必要がある
	難熔耐火物	0		
	その他(コンクリート・砂礫・赤煉瓦等)	30		
異質ガラス	結晶化ガラス	0	含まないこと	—
	その他(クリスタルガラス、光学ガラス等)	1,000		
有機物	プラスチック・木片等	50	左記と同程度	基準以下までプラスチックを予め除去する必要がある
	プラスチックコートガラスびん	500	—	

出所) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会資料に追記(ガラスびん向け原料の規格は協会資料、グラスウール向け原料及び解体業者に要求される事項は追記)

3. 現状の課題と想定される解決方法

ELVの精緻解体実証

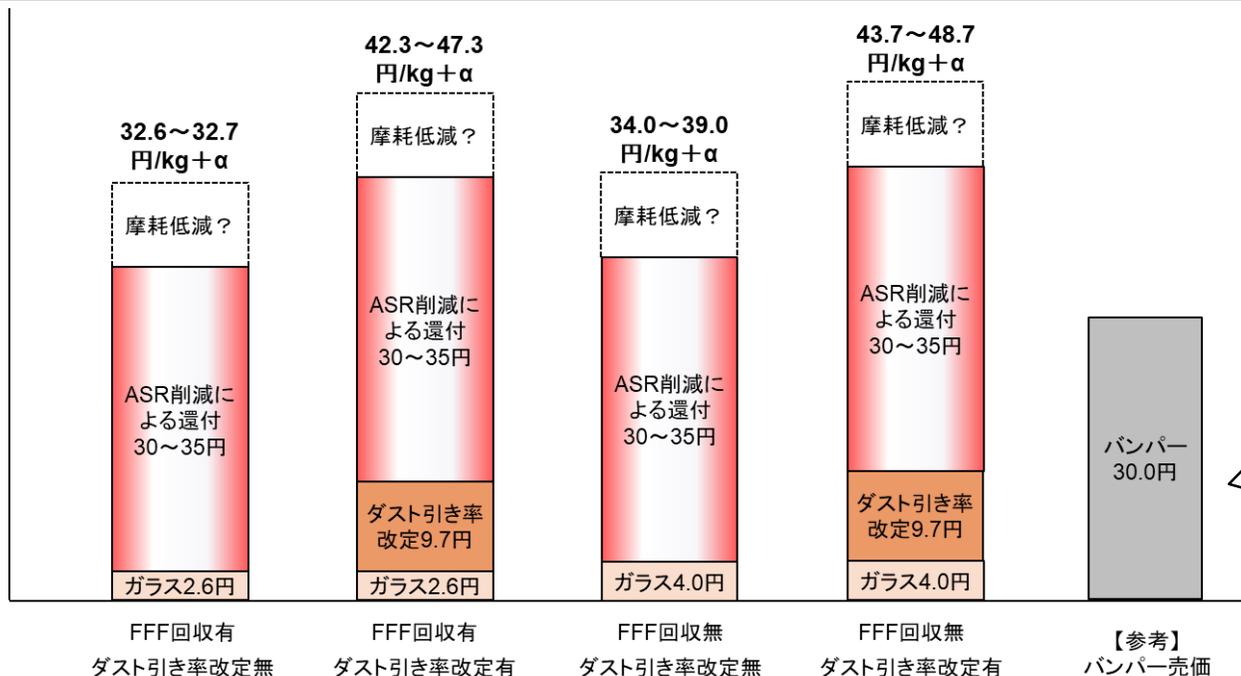
今後の課題

- ベストプラクティスを導入しても低い採算性の向上
- 収益性改善の余地が乏しい

想定される解決方法

- ダスト引き改定の実現(後述)
- **解体部位別の収益性試算**(サイドガラスの回収時間にはドアトリムの解体等も含まれており、他の資源も合わせて回収できる可能性)
- **ガラスを取り外すことの付加価値の正当な評価**(①資源価値、②ASR削減(ASR処理費用削減)、③破砕機の刃の摩耗低減効果)

ガラス回収による収入への付加価値上乘せイメージ



一部の解体事業者で回収が始められているバンパーの資源としての売価は高くても約30円/kgとされており、**ガラスの付加価値の正当な評価が受けられればバンパーを上回る対価が得られる可能性**。Aバンパーと異なりガラスは輸送性が高い(割って輸送が可能)ことや、金具などの細かい異物除去が不要であることを考えると、同程度の販売価格であれば解体事業者によって**バンパーよりも回収しやすい部品となる可能性も**。

3. 現状の課題と想定される解決方法

需給バランス及び地理的特性を考慮したロジスティクス実証

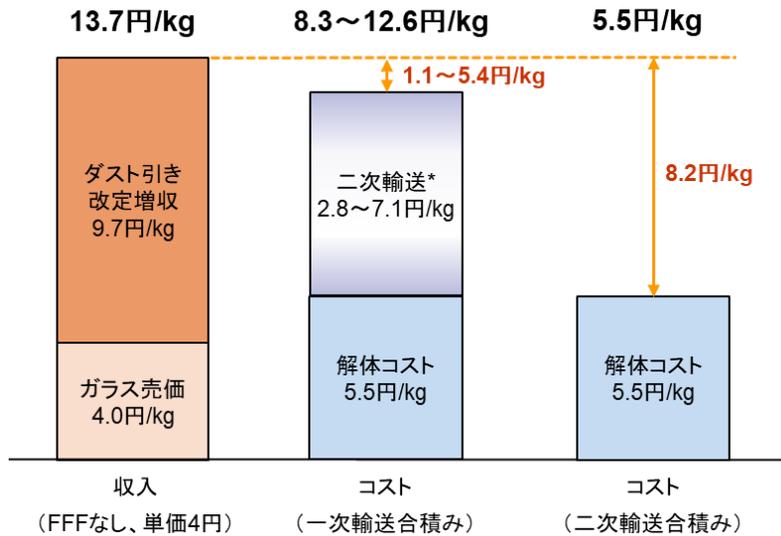
今後の課題

- 合積み等の活用によるさらなる輸送費の効率化
- ダスト引きの改定を実現するコンソーシアムの実現

想定される解決方法

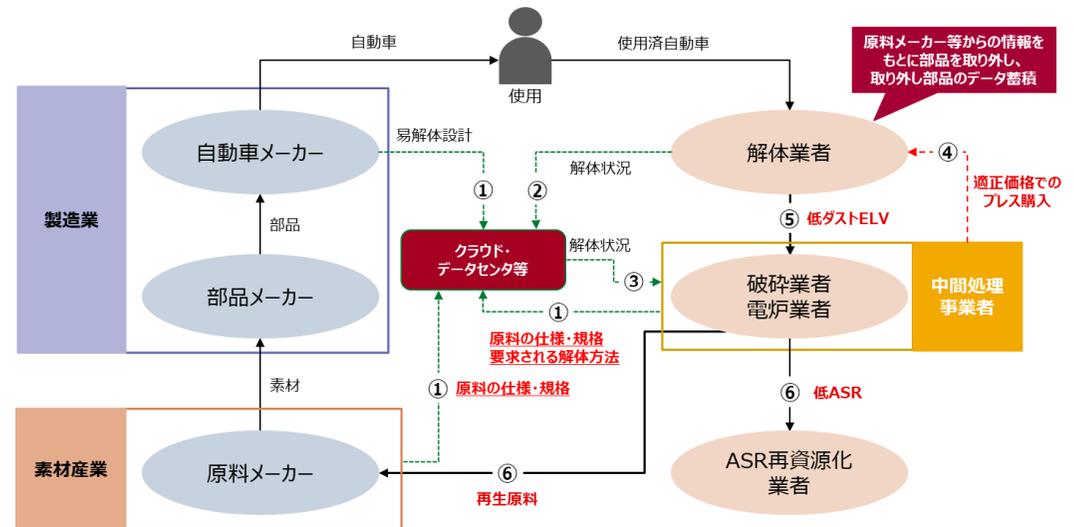
- 家電リサイクルルートとの合積み等による輸送費(二次輸送)の効率化
- 解体事業者の事前回収部品等が後工程で確認できるシステムを含む、複数事業者間のコンソーシアムの構築

二次輸送の効率化を実現した際の収益性試算



輸送前収益の6.8円~8.2円/kg(P.16)のうち、本来は一部を輸送コストとして捻出する必要があるが、合積みによりそのコストが削減できる可能性

複数事業者間のコンソーシアムによる情報連携イメージ



*P.18の試算で想定された二次輸送費の範囲

3. 現状の課題と想定される解決方法

再資源化プロセスの実証

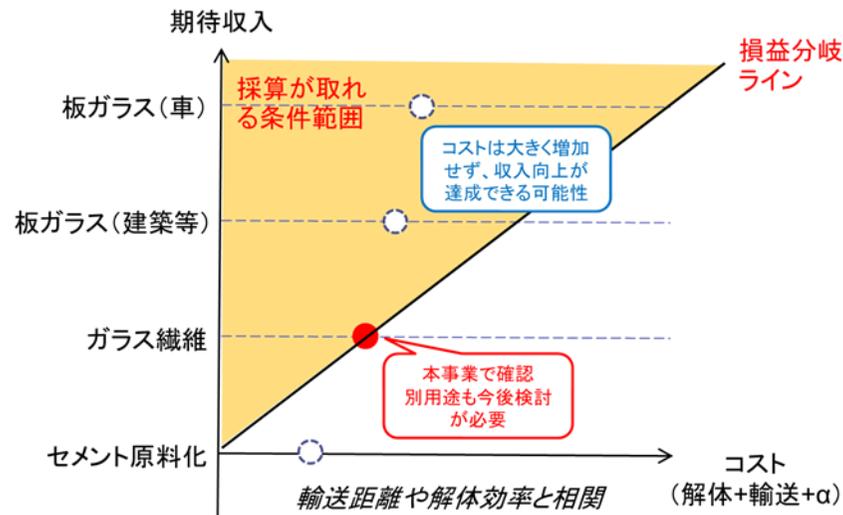
今後の課題

- グラスウールへの再資源化では特段課題はなし
- 付加価値向上に向けて板ガラス用途での検討

想定される解決方法

- 比較的着色の少ないフロントサイドガラスのみを原料とした建築用板ガラス用途での再資源化検討(新品製造工程途中品では一部メーカーで実績あり)
- 着色ガラスの多いリアサイドガラスの自動車向け着色板ガラスとしての活用可能性の検討

ガラス回収による付加価値向上のイメージ



自動車ガラスの部位別付加価値向上の可能性

	再資源化用途
フロントガラス (FFF)	グラスウール (エンジンルームや車室等の断熱材や吸音材用途を含む)
サイドフロントガラス (SF)	グラスウール 板ガラス建築用(解体時に他部位と別に保管・梱包)
サイドリアガラス (SR)	グラスウール (自動車向け着色ガラスとしても検討できる可能性)
リアガラス (RRR)	グラスウール