

平成19年度～平成20年度 成果報告書

エネルギー使用合理化技術戦略的開発  
エネルギー使用合理化技術戦略的開発（FS事業）  
ガラスリサイクルシステムの事前調査報告書

平成20年8月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

（委託先）財団法人 製造科学技術センター

## まえがき

廃ガラスは、くず鉄、故紙とともに昔からリサイクルされている代表的品目である。しかし、市中から回収した廃板ガラスは、異物の除去や種類ごとの分別に手間がかかることから、板ガラスの製造に使われることはほとんどなかった。

一方、従来からガラスの製造においては、原料を融解し、金属液面上で冷却固化するという手法をとっており、原材料からガラスを生成するまで、原料の融解や保温等に膨大なエネルギーを必要とし、数々の省エネルギー努力にもかかわらず、最近の原油価格高騰によるコストアップに見舞われている。

廃棄されるガラスを回収して、不要なものを取り除き、純粋なガラス素材としてのカレット（廃板ガラスや空びんなどのガラスを砕き、ガラス原料用に再生処理したもの）にしてガラス原料と一緒に融解することで、珪砂や炭酸塩などのガラス原料だけを投入するときと比べてかなりの割合でガラス製造時のエネルギー消費を削減できることがわかっている。

今回の事前調査では、使用済みの建築物や自動車から廃板ガラスを回収して、ガラス製造炉に投入してエネルギー使用を削減することの実現性や環境負荷削減効果の調査検討を行った。その結果、廃板ガラスの処理に湿式法を用いることにより、合わせガラスの中間膜などの異物の除去が可能であること、ガラス種別の自動判定には、カラービットコードが有効であること、市中から廃板ガラスを回収するには、板ガラスの販売拠点であるカッティングセンターを回収拠点として活用し、製品配送の戻り便で、板ガラス製造拠点に運搬すれば、回収のための特別のエネルギーを使用することなく回収できることが推察された。また、ガラス製造に廃板ガラスを用いることで、炭酸塩を含むガラス原料の使用量が減り、ガラス製造における二酸化炭素の発生が、エネルギーの削減に相当する分以上に削減されるというメリットも享受できる。

このように、本事前調査で述べた板ガラスリサイクルシステムが実現すれば、大きな省エネルギー、環境負荷削減効果が得られることが判明したが、そのためには、今後、湿式法設備の高度化や廃板ガラス回収システムの構築が必要であり、関係者が一致協力して実現にあたる必要がある。

今回の事前調査において、数々のアドバイスをいただいた板ガラスリサイクルシステム調査委員会の委員の皆様をはじめとして、使用済みの建築物、自動車の解体処理に関係する方々など多くの皆様にご協力をいただきました。ここに篤く御礼を申し上げます。

2008年8月

財団法人 製造科学技術センター

## 概 要

今回の事前調査では、使用済みの建築物や自動車から廃板ガラスを回収して、ガラス製造炉に投入してエネルギー使用を削減することの実現性や環境負荷削減効果の調査検討を行った。その結果、以下のようなことが明瞭になった。

- ・使用済み建築物や自動車の解体の実態のヒアリングによれば、現在行われている解体処理の中で廃板ガラスを回収することはそれほど難しくない。
- ・板ガラスにカラービットコードによるIDを付与すれば、回収された廃板ガラスの種類や含有成分を判別する際に有効である。
- ・湿式法を用いることにより、フロントガラス、リアガラスから、ガラスカレット、銀、中間膜などが黒セラミックスなどの異物と分別されて再利用のための資源として回収できる。
- ・廃板ガラスを発生現場から板ガラスの製造工場まで長距離運搬することによるエネルギー消費が板ガラスリサイクルの課題であったが、販売拠点のカッティングセンターを廃板ガラスの回収拠点として、販売用の製品を運搬するトラックの帰り便として廃板ガラスをガラス工場に運搬することにより、新たなエネルギーの消費がなくガラスのリサイクルが実現できる。

このような調査検討の結果から、廃板ガラスのリサイクルが板ガラス製造におけるエネルギー使用削減や二酸化炭素発生抑制に有効であることが判明した。

しかし湿式法の設備はまだ実験段階のものであり、今後の効率化や環境対応を進めるために、自動化や廃液処理の循環化、クローズド化などが必要であり、また廃板ガラスの回収システムの構築と安定的な運用も必要である。さらに、これらの実現のためには、技術開発や規制との整合などが必要であり、今後、広範囲にわたる関係者の協調と努力が望まれる。

## 目 次

### 本編

1. 事前調査の目的	1
2. 事前調査の実施体制	2
3. 事前調査の内容	4
3. 1 使用済み建築物、自動車からの板ガラスの回収	4
3. 1. 1 使用済み建築物からの板ガラスの回収	4
3. 1. 2 使用済み自動車からの板ガラスの回収	9
3. 2 板ガラス製品の管理方法	12
3. 3 合わせガラスカレットの不純物の分離除去	21
3. 4 廃板ガラスカレットの収集運搬の検討	30
3. 5 ガラス製造炉への廃ガラスカレット投入	33
3. 6 ガラスリサイクルシステムによる原油使用量と 二酸化炭素排出量の削減効果	33
4. 今後の課題および展開	36
4. 1 リサイクルのための設備の高度化	36
4. 2 廃板ガラスの回収ビジネスモデルの提案	37
4. 3 ガラスリサイクルシステムによる省エネルギーの実現	38
4. 4 事前調査のまとめ	42
参考文献	44

## 1. 事前調査の目的

板ガラスは、建築物や自動車の窓ガラスとして用いられているが、廃棄時には分別されず、埋め立て処分されることが多く、ほとんどリサイクルされていない。例えば、自動車の窓ガラスを取り上げてみると、高品質な自動車ガラスであっても、使用済み自動車となると、現在の自動車リサイクル法の中で回収対象になっているエアバックやフロンとは異なり、一式として自動車シュレッダーダスト（ASR）中に含まれ、金属等がリサイクル用に取り分けられた後は、一部が路盤材として活用されているが、大部分は埋立て処分されている。また、建築用に使われたガラスも解体業者が解体する際に他の部材と一緒にになり、混合廃棄物として埋め立てられることが多い。

一方、板ガラスの製造では、従来から、原料を融解し、金属液面上で冷却固化するという手法をとっており、原材料からガラスを生成するまで、原料の融解や保温等に膨大なエネルギーを必要とし、省エネルギー努力にもかかわらず、最近の原油価格高騰によるコストアップに見舞われている。

廃棄されるガラスを回収して、不要なものを取り除き、純粋なガラス素材としてのカレット（廃板ガラスや空びんなどのガラスを砕き、ガラス原料用に再生処理したもの）にしてガラス原料と一緒に融解することで、バージン材だけを投入するときに比べてかなりの割合でガラス製造時のエネルギー消費を押さえることができることが証明されている。

我が国として循環型社会を目指すための各種法令の整備が進められ、板ガラスのリサイクルに向けての活動も見られるようになってきた。最近になって、廃ガラスの回収や分別等そのものに係わる、製品の製造、使用という順方向の工程とは逆の工程（リサイクルチェーン）に係わる調査検討が行われるようになってきた。例えば、財団法人機械システム振興協会の平成17年度調査研究事業では、「自動車リサイクルに係わる最適解体システム等に関する調査研究」で、自動車ガラスのリサイクル現状と問題点に触れている<sup>(1)</sup>。また、平成18年度には「板ガラスのリサイクルシステムに関する調査研究」<sup>(2)</sup>が取り上げられている。ただし、これらの調査研究では、現状の解体、分別、輸送等からのエネルギー消費量や必要工数を算定するのにとどまり、回収、分別、収集を最適な方法で実施するシステムを提案するまでに至っていない。

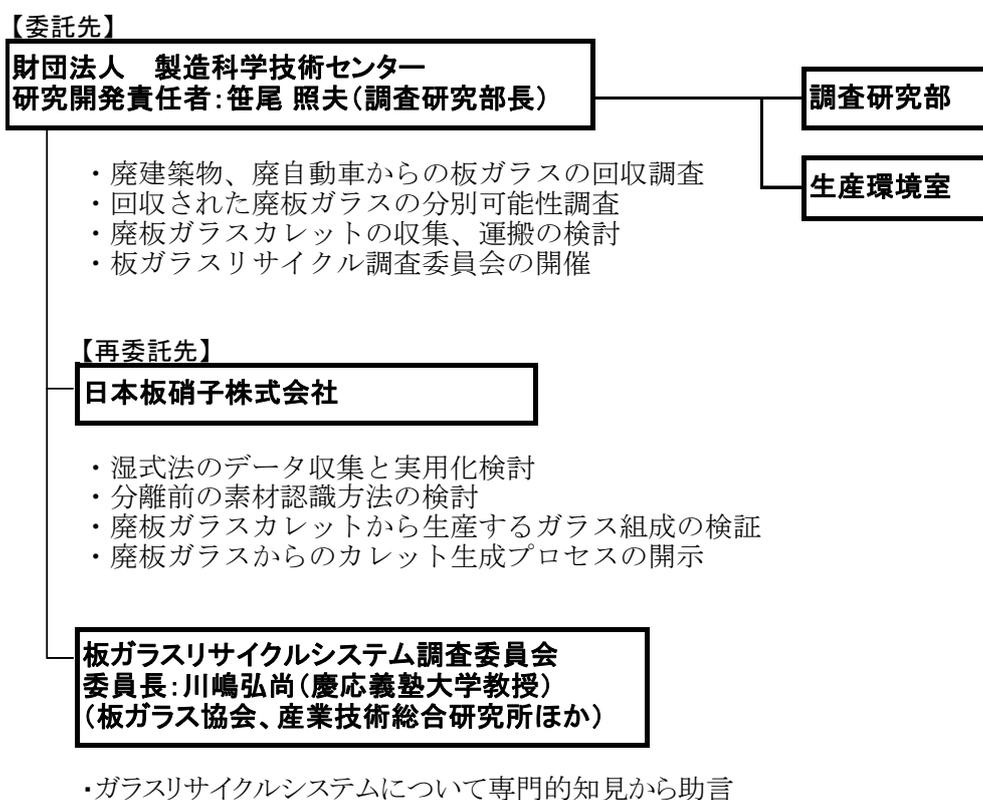
板ガラスの循環システムを構築し、適切に運用することは、ガラス製造時のエネルギーを削減（すなわち二酸化炭素発生量を削減）することになり、京都議定書の批准国である我が国にとって、二酸化炭素削減目標達成への有効な手段の一つになると思われる。また、使用済み自動車、建築廃材から回収した資源を有効利用することによる、廃棄物削減、埋め立て処分場逼迫への対応策にもなることで、その環境負荷の低減効果はさらに大きくなることが予測できる。

今回の事前調査では、回収されたガラスをカレットとしてガラス製造において原料とし

て利用することにより大幅な省エネルギーを達成するための基礎データを実証的に収集、確認することを目的としている。また、このようなガラスリサイクルシステムの構築を実現するための課題を明らかにし、それを克服するためのビジネスモデルを提案することを目的としている。

## 2. 事前調査の実施体制

今回の事前調査のうち、使用済み建築物、自動車からの板ガラスの回収、分別の調査、分析（3. 1, 3. 2）、廃板ガラスカレットの収集、運搬の検討（3. 4）、ガラスリサイクルシステムの構築による原油と二酸化炭素の排出削減効果（3. 6）については、主に（財）製造科学技術センターが、また、合わせガラスカレットの不純物（黒セラミック、銀線、中間膜等）の分離、除去（3. 3）とガラス製造炉へ廃板ガラスカレットを投入した場合の効果（3. 5）については、主に再委託先の日本板硝子（株）が担当した。また、関係事業者や学識経験者から成る板ガラスリサイクルシステム調査委員会（委員長：川嶋弘尚 慶應義塾大学教授）を設け、専門的見地からの助言を頂いた。さらにビジネスモデル（4. 2）については全体で検討した。



板ガラスリサイクルシステム調査委員会 委員名簿

委員長

川嶋 弘尚 慶應義塾大学大学院 理工学部 管理工学科 教授

委員

中村慎一郎 早稲田大学 政治経済学術院 教授 (計量経済学)

松野 泰也 東京大学大学院 工学系研究科 マテリアル工学専攻 准教授

野村 昇 独立行政法人 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター エネルギー評価研究チーム 主任研究員

原 潤一 板硝子協会 調査役

鈴木 道哉 清水建設(株) 技術研究所 建築設備システムグループ グループ長

鶴岡 正顯 (株)ツルオカ 代表取締役社長

オブザーバ

国領 一人 日本板硝子(株) フラットガラス事業部門 A u t o 事業本部 テクニカルセンター 主席技師

猪子 兼行 日本板硝子(株) 舞鶴事業所 A u t o 事業本部 舞鶴製造部 技術課 特命担当 主幹技師

吉田 正明 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 省エネルギー技術開発部 研究開発グループ 主査

加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

事務局

笹尾 照夫 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 部長

高橋 慎治 (財) 製造科学技術センター 生産環境室 主席研究員

間野 隆久 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 課長

### 3. 事前調査の内容

#### 3. 1 使用済み建築物、自動車からの板ガラスの回収

##### 3. 1. 1 使用済み建築物からの板ガラスの回収

建築物解体業者、建築業者、カレット作成業者などからのヒアリング、見学などを通じて、使用済み建築物からの板ガラスの回収の現状を調査した結果を記す。

使用済みの建築物の解体工事に関しては、「建設リサイクル法」で、解体工事（80m<sup>2</sup>以上）や規模の大きいリニューアル工事（1億円以上）などに対して、特定建設資材（コンクリート材、木材、アスファルトなど）の分別解体・再資源化が義務づけられており、さらに、その他副産物のリサイクル促進、有害物質による環境影響の防止が定められている。この中で有害物質については工法自体についての規制もあるが、ガラスの解体に関しては、特別な規制はない。ただしその後の作業の安全性などから、ガラス類は建物の解体に先行して工作物や内装物として撤去されることが多い<sup>(3)</sup>。

撤去後は、一時保管場所にて中間処理され、サッシ類からはずされてガラスは分別回収される。このうち一部は、パテなどの異物が混入していないことの確認の後、カレット化されて、板ガラスやグラスウールなどにリサイクルされる。残りの大部分は、最終的に、ほとんどが混合廃棄物として安定型処分場に運ばれる。

木造家屋の解体の手順の代表的な例を図3. 1に示す。<sup>(4)</sup>

木造家屋解体手順	
<b>1. 現場打合わせ</b> 現場打ち合わせでは対象建築物等及びその周辺の状況、作業場所の状況、搬出経路の状況、残存物品の有無、付着物の有無を確認します。 工事の内容の確認と工期等お客様の話を伺った後、見積書を作成しお客様に提出します。 そのときに工事期間と工事の仕方(工法)についての説明と再資源化についてご説明申し上げます。	
<b>2. 契約</b> 契約後、工事着手7日前までに、分別解体等の計画書について、都道府県知事又は建設リサイクル法施工令で定められた市区町村長に届け出ます	
<b>3. 近隣挨拶</b> 実際に解体工事が始まれば近隣の方々には迷惑をお掛けすることになります。近隣の方にご挨拶しておきましょう。 (お客様ご自身で行われても構いませんし、お忙しいようでしたら、手前どもの方で代行して行います)	
<b>4. 引込配管、配線の撤去の手配</b> ガス・電気・電話線・メーターの撤去を行います。水道は散水用に残し、近隣の方々に粉じん等被害が出ない様最大限努めます。尚、電気・電話は2〜3日あれば止められますが、ガスに関しては少々お時間がかかりますので1週間程度前から準備されるのが良いかと思えます。	
<b>5. 足場養生の組立</b> 解体工事は、高所での作業に伴うため、シートや防音シートを掛け、騒音やホコリを防ぐための足場養生の組立を行います。	
<b>6. 工作物等の撤去</b> 建物から手作業で撤去できるものを撤去します。(瓦を手作業にて取り外し、サッシ、建具、畳も同様の手作業にて撤去します。)	
<b>7. 建物本体の解体</b> 壁、屋根、梁、柱などが残った上屋を水を抛き粉じんの飛散を防止しながら慎重に解体し、リサイクル法に基づき、分別収集(鉄・木・プラスチック・ガラス類等)しトラックに積み込み、処分場へ持っていき処分します。建物の解体が終わると最後に建物の基礎を全て掘り起こします	
<b>8. 整地</b> 地中既存物が残っていないか確認し敷地を整地します。 お客様に立ち会ってもらい、工事が無事完了しているか確認してもらい、再資源化等が完了した旨をお客様へ書面で報告し、滅失(取壊)証明書(※)を発行し完了となります。	

図3. 1 木造家屋解体手順

使用済みの建築物から回収した廃ガラスの処理の代表的なフローを図3. 2に示す。(3)

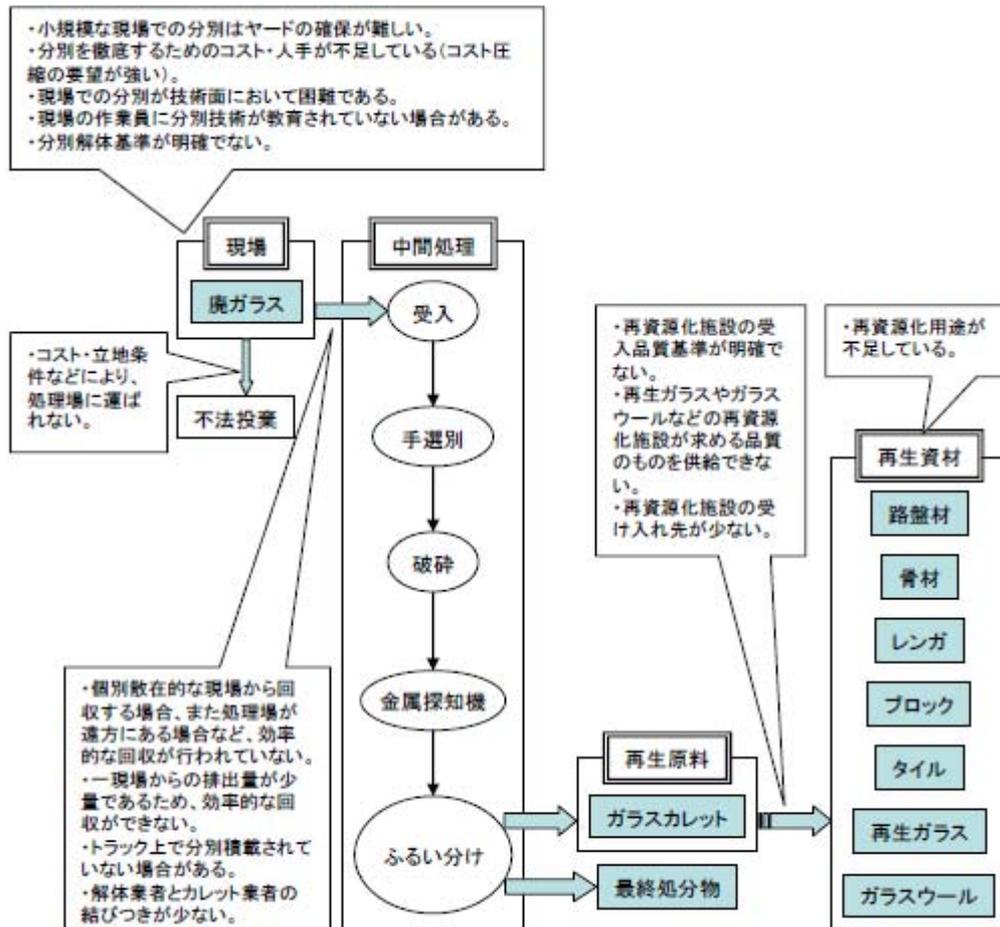


図3. 2 廃ガラスの代表的なフローと再資源化

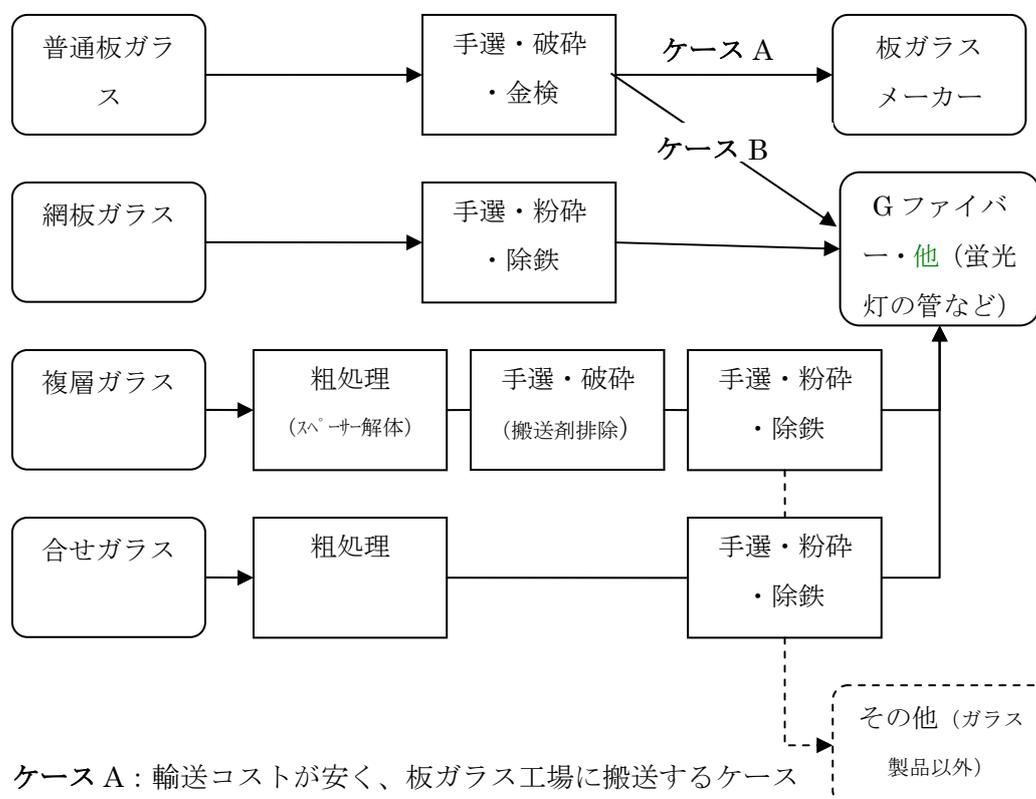
廃板ガラスを原料カレットとして、再び板ガラスの生産に使えるようにするには、混入している金属や、がれきなどの異物を取り除くために、人間や機械による選別が必要である。以下は、廃ガラスから板ガラス製造用のカレットを生成しているカレット製造業者からのヒアリングをまとめたものである。現状では、どのような廃ガラスでも、板ガラス製造用のカレットになるわけではなく、廃板ガラスの種類によってどのようにリサイクルされているかが決まっている。網板ガラス、複層ガラス、合わせガラスなどは、金属の網やスペーサ、中間膜などが異物として混入することが多く、これの除去が難しく、板ガラス製造用カレットにはしていない。板ガラス製造用カレットとするための廃ガラスの受け入れとして以下の条件を挙げている。

- ① 鉄、アルミ、銅、その他の金属の混入はしない。

- ② 電球、蛍光管、試験管等の混入はしない。
- ③ 石、砂利、ブロック、タイル等の混入はしない。
- ④ 陶磁器、食器などの混入はしない。
- ⑤ 木くず、プラスチック類などの混入はしない。
- ⑥ 鉄さびの混入はしない。

廃板ガラスの種類とリサイクルされて使われる製品の関係を図 3. 3 に示す。

また、ガラス工場までの輸送距離の大きいものは、輸送コストの負担が大きく、カレットの販売価格も高くないために、板ガラス以外の用途へのリサイクルに振り向けている。



ケース A : 輸送コストが安く、板ガラス工場に搬送するケース

ケース B : 輸送コストが高く、板ガラス工場への納入困難なケース

(主に北海道、東北地方で回収された廃ガラス)

図 3. 3 カレット生成工場の概要フロー

このカレット生成工場における概要フロー図の一番上に相当する処理フローである、実際の板ガラス製造用のカレット生成においては、回収されたガラスを板ガラス製造用のカレットとするために人手や機械による選別を1次選別から5次選別まで5回も行うケースもあるという。この細かい処理のフローを図 3. 4 に示す。

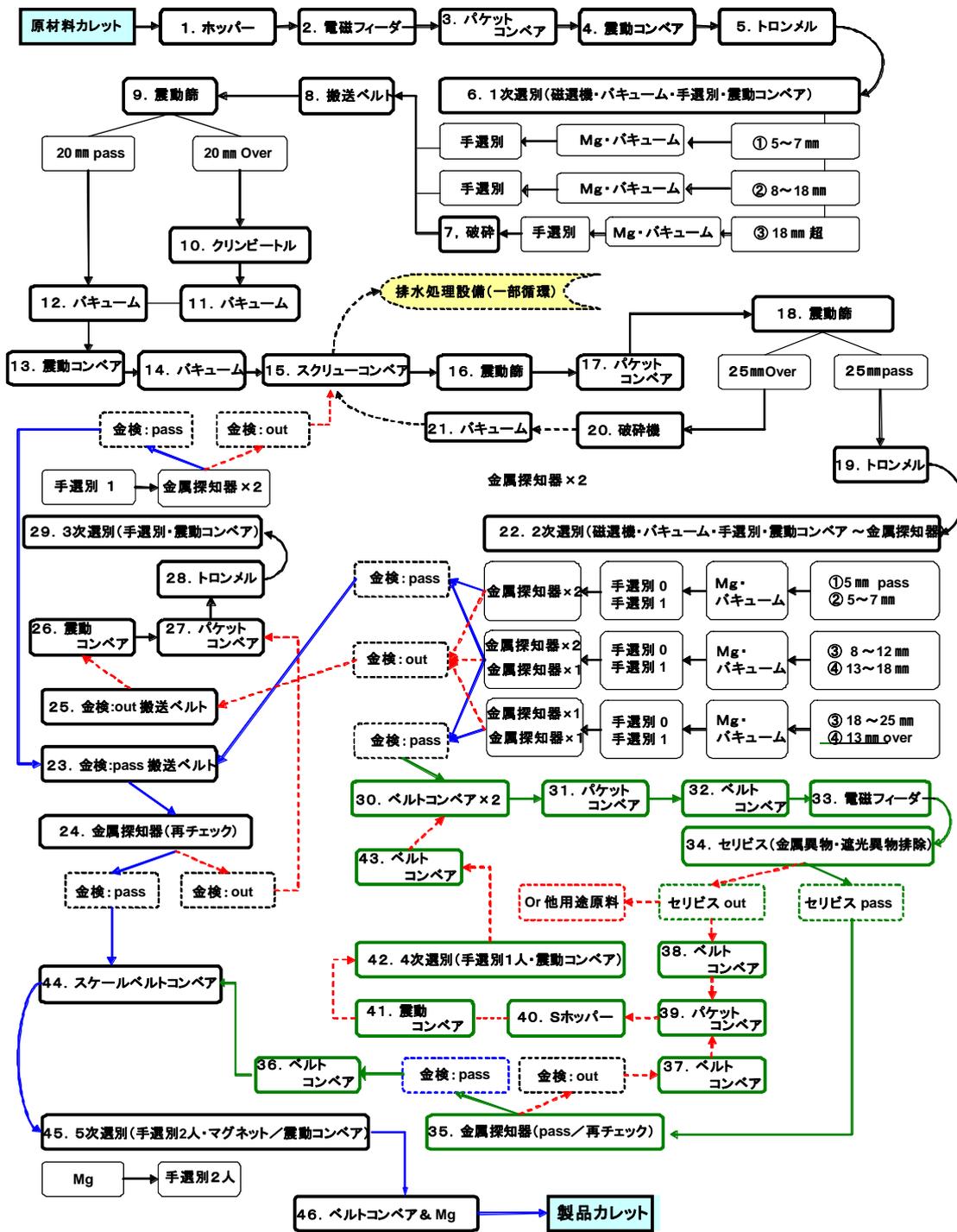


図 3. 4 板ガラスカレット生成過程 (詳細図)

## 廃ガラス回収についてカレット生成業から見た課題

以下に、廃板ガラスの回収、カレット生成に関する、カレット生成業者の生の声を記す。

### ① 回収コスト

板ガラスメーカー各社によるカッティングセンター（主に建築用のガラスを切断し、販売店に渡す拠点）およびグループ会社からの直接回収（素板を納品した復荷によりカレットを自社工場へ輸送）が展開され、回収業者が事業として成り立つボリュームはなくなってきている。回収業者の回収対象が小口化、分散化して回収効率が悪化している。また燃料費の高騰は、回収業者各社の回収コスト（カレット業者各社の納入輸送コストも）を圧迫しており、魅力のある事業ではなく後継者が育ちづらい状況にある。

### ② 高機能ガラスの再資源化

高機能ガラスの普及により、分別の細分化が必要とされているが、小さな回収先では多品種を分別保管するスペースがない。又、同ガラスは、通常のカレット処理よりも複雑な処理工程が必要である。工程の合理化・機械化には大きな設備投資が必要とされるが、脆弱な経営基盤のカレット業者としては非常に困難である。

### ③ カレット価格

ガラスメーカー各社（ガラスびんも含む）において、バッチ原料の価格が下がるとカレット価格の値下げを要請（現実的に実施）されるが、バッチ原料の価格が上がっても、カレットの価格は逆に値下げを要請される。納入価格の下落・処理コストの高騰は、自助努力だけでは吸収しきれず、回収カレットの価格（回収先渡しのカレット価格、回収・処理費）にも影響を及ぼす（地域によっては産廃処分したほうが、価格のメリットが生じる）。

### ④ カレットの品質規格

板ガラスメーカーで使用されるカレットは、回収からメーカー工場へ直送・使用されているものと（カレット業者の工程処理が不要）、カレット業者の工程処理を経て納入・使用されているものがある。回収されたカレットは、経験則で何かしらの異物が混入している（異物でなくても、板カレットに網板が混入している等）。現在はカレット起因によるトラブルは発生していないようであるが、カレット比率が高まると、カレット起因による品質的なトラブルが発生が懸念される、

### ⑤ 廃棄物処理および清掃に関する法律の適用に関して

ガラスびんの再資源化を目的とした回収・処理事業は、多くの県・政令市（以下：県）で、廃棄物および清掃に関する法律（以下：廃掃法）の第14条第1項・第4項ただし書きにおける、専ら再生利用の目的となる廃棄物（以下：専ら物、条件を満たせば業の許可が不要）として認知されている。しなしながら、板ガラス

の再資源化を目的とした回収・処理事業は、ガラスびんと同様に安定したカレット市場があるにもかかわらず、県によって見解が異なり、産廃収集運搬業・中間処分業の許可が必要とされることもある。また、まさに産廃として取引（排出先のニーズ）しなくてはならない取引もある。

⑥ その他

ガラスびんの場合、容器包装リサイクル法の入札制度（総コスト＝納入価格で安価な業者が落札）により、遠隔地のカレットも（市町村のガラスびん、事業系は異なる）も、カレット市場で循環するようになっている。ただし、製びんメーカーで必要とされるカレットを、ガラス製品以外の業者（骨材・舗装材・埋め戻し材等）が落札しているケースもあり、リサイクルされると言っても価値の少ないものに使われることも起こっている。

### 3. 1. 2 使用済み自動車からの板ガラスの回収

#### (1) 自動車の解体

自動車解体業者からのヒアリング、見学などを通じて、使用済み自動車からの板ガラスの回収の現状を調査した結果を記す。

自動車の窓ガラスとしてフロントガラス、リアガラス、ドアガラスがあるが、フロントガラス、リアガラスには、ガラス以外の物質が組み込まれている。(図3. 5)



図3. 5 自動車ガラスの構成

使用済み自動車の解体工程プロセスは、部品取り外し、液抜き、解体、プレス/シュレッダーの順（最初に液抜きをすることもある）に進行して、リサイクル材料として搬出される。それらの概要を表3. 1に示す。

表3. 1 自動車解体工程

プロセス	内容	作業主体
1. 部品取り外し	販売可能な部品の取り外し。 窓ガラスも販売の見込みがあれば手作業で取りはずす。	手作業
2. 液抜き	燃料、オイル、フロンなど規制物質（危険性、環境影響が大きい物質等）などの抜き取り	手作業/専用機械
3. 解体	部品、ユニットなどの引きはがし（分別を容易にするためなどのため） 窓ガラスもこの工程の最初に切り取られたり（フロントガラス）、粉碎されて（ドアガラス）分別回収されることもある。	手作業/機械（電動のこぎり、重機など）
4. プレス/シュレッダー	部品等はずされた筐体部分をシュレッダーで裁断またはプレス機で圧縮する	機械（プレス機/シュレッダー）

窓ガラスについては、ほとんどが残った筐体部分と一緒にシュレッダーにかけられ、鉄、非鉄金属が取り除かれて ASR (Automobile Shredder Residue) としてサーマルリサイクルされるが、ガラスは残渣として最終処分場に埋め立てられることが多い。ASR はリサイクル用にさらに残った金属、樹脂、ガラスなどに分別されることもある。(図 3. 6) また、プラスチック、ガラスを含んだままプレスされた筐体が製鉄用の電炉に投入されることもあり、その場合、ガラスはスラグとして排出される。

大部分の自動車の解体業者は、1～3の処理の後、残った筐体などをプレスしてシュレッダー業者に運搬することになる。3. 4で述べるように、自動車解体業者は、日本全国で約 3,000 社あるが、シュレッダー業者は約 150 社であり、解体業者からシュレッダー業者への運搬距離は数十 km に及ぶこともある。またシュレッダー業者から埋め立て処分場への運搬も必要である。

ただし、中古部品、保守部品として販売可能と思われる窓ガラスは、「1. 分品取り外し」の段階において、接着剤で筐体に貼り付けられている部分を手作業で分離して回収される。

また、解体の段階で、フロントガラス、リアガラスの中央部分が切り取られたり、サイドガラスが破砕されてリサイクルに回されることもある。

切り取ったフロントガラス、リアガラス、粉砕されたドアガラスやシュレッダーダストから取り出したガラス成分を使って、ガラスをリサイクルする場合の障害は、自動車の窓ガラスとして、フロントガラス、リアガラスの筐体接着用の黒色セラミックやリアガラスの曇り止め熱線、合わせガラスが使われているフロントガラスの中間膜などを含んでいることであり、これらを完全に除去することが難しく、ガラス製造用カレットの異物となってしまうことである。また、切り取りや粉砕などの工程で金属片が混入することもあり、シュレッダーダスト同様の分別工程が必要にもなる。

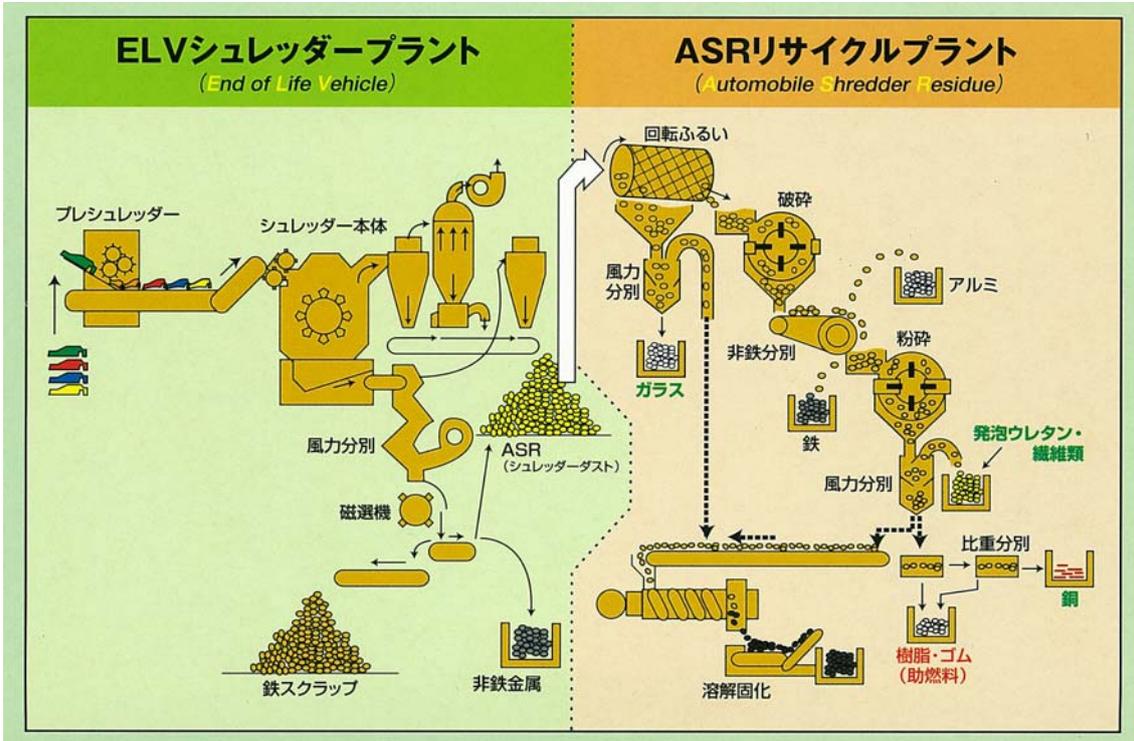


図 3. 6 使用済み自動車のシュレッダー処理<sup>(5)</sup>

### 3. 2 板ガラス製品の管理方法

窓ガラスは、板ガラスに様々な成分を混入させたり、付着させたりして、製品にできあがる。合わせガラスに含まれる中間膜も、ガラス溶融炉にとっての異物になる。ガラスのリサイクルのために廃板ガラスの不純物（異物）を除去する際に、廃板ガラスに含まれる成分の情報が不可欠である。

ここでは、ガラスリサイクルに必要な、製造管理、製品管理に関する技術について記す。

自動車用ガラスは、近年、多品種多様化してきており、同じ車種においてもグレードやオプション選択から取り付けられるガラスの機能(性能)が異なる。しかし、形状が全く同じであること(車種が異なっても一見ではなかなか判別がつかない)から、そのガラス品種を特定することが困難である。また、建築用ガラスにおいても防犯目的から合わせガラスの

採用や、保温目的、結露対策、デザイン性などを考慮した多機能化が進んでいる。しかし、これらの製品は一見して それら品種や寸法を判断することが難しい。

以下では、板ガラス製品のうちでもとくに多様な製品が使われている自動車ガラスに関する管理技術についての検討結果を述べる。

#### (1) 自動車用ガラスをリサイクルする上での課題

現在、なぜ自動車ガラスがリサイクルされていないのかを考えると以下のような課題が挙げられる。

##### ○リサイクル素材の品質が保証できない

リサイクルカレットとして、組成の異なる素材をガラス溶融炉に投入すると、品質保証ができない。そこで部材、組成等の認識が必要になる。

- ・ガラス組成の認識
- ・中間膜組成の認識
- ・コーティング材/アッセンブリ部材の認識

##### ○リサイクル工程によるコスト負荷が大きすぎる

品種認識のためのコスト負荷が大きい。(機械化、自動化が困難)

- ・回収品の無情報化による識別負荷
- ・自動化が難しく人件費が大きい
- ・新製品展開に対する柔軟性がない

##### ○回収・搬送・設備構築などインフラ問題が大きい

品種認識以前の課題も多い。

- ・解体、回収のための効率化された技術がなく、そのため人件費が大きくなる
- ・自動車用ガラスは物流効率が悪くコスト高(ワレ、曲率など)
- ・ガラス溶融炉(窯)が局在しており、設備の立地問題がある

#### (2) 自動車用ガラスの管理方法について

上記課題のうち、上の二つについては、ガラス製品本体に適切なIDが付与されていれば解決可能と思われる。工場内のリサイクルにおいては、品種管理などを比較的容易に実施することは可能であるが、複数メーカーの複数車種が市場投入された後の回収においては、その品種認識は非常に困難なものとなる。

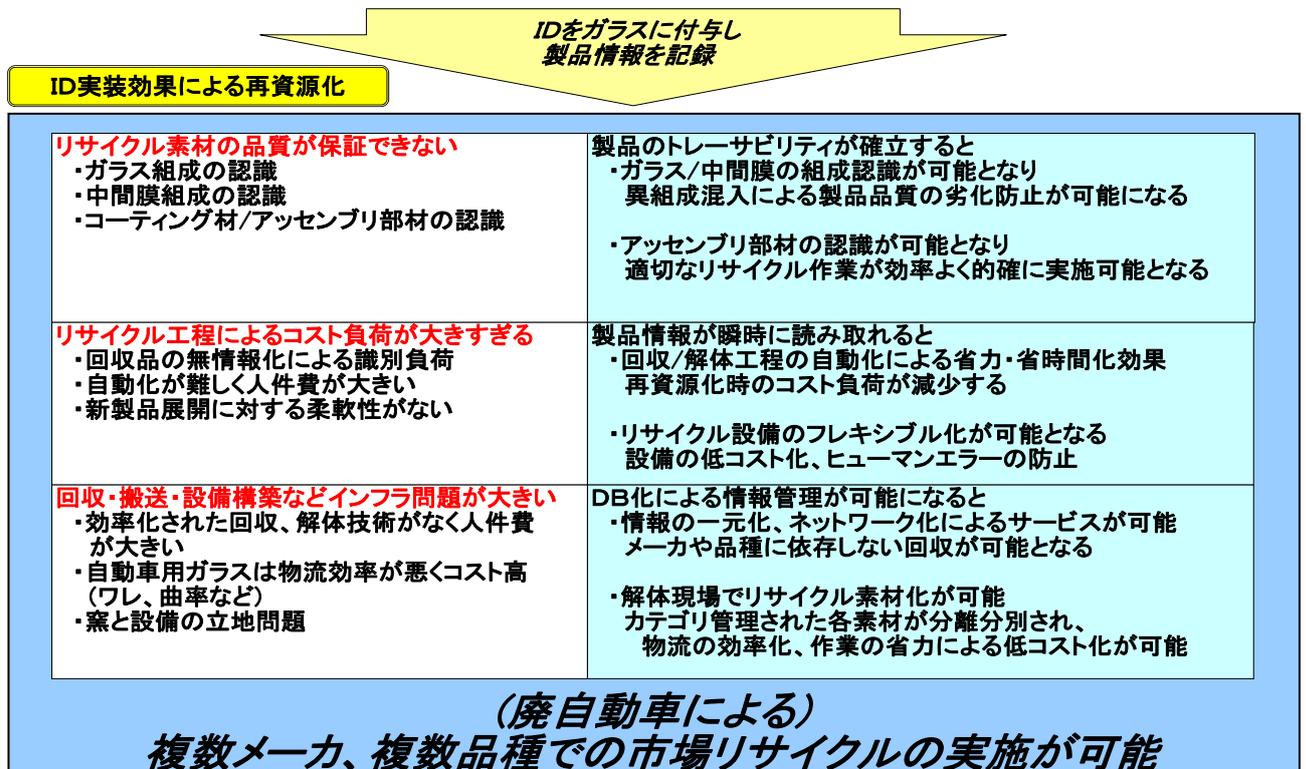


図3. 7 窓ガラス製品へのID付与による製品管理の効果

製品にIDを設けて管理するための技術は数多く提案されており、近年の代表的なものにはバーコード(QRコードを含む)を利用したシステムの構築が一般的となっている。ただし、このバーコードの読み取りは光学式によるものであり、その製品からIDを判断する際は、バーコードに光が照射できる環境が必要なため、ガラスのように1枚1枚が数ミリ以下の間隔で収納される場合はその読み取りが不可能となる。また、ガラス生産工程における熱・汚れを考慮し、更に読み出し距離から判断するとかなり大きな寸法のバーコードが必要となり、実用は難しい。

これらの問題を解決するものとして、ICタグを応用したガラス生産管理システムを実験検証した。この実験では、高温の熱処理工程後(曲げや強化処理)にICタグをガラスに貼り付けて製品を管理した。

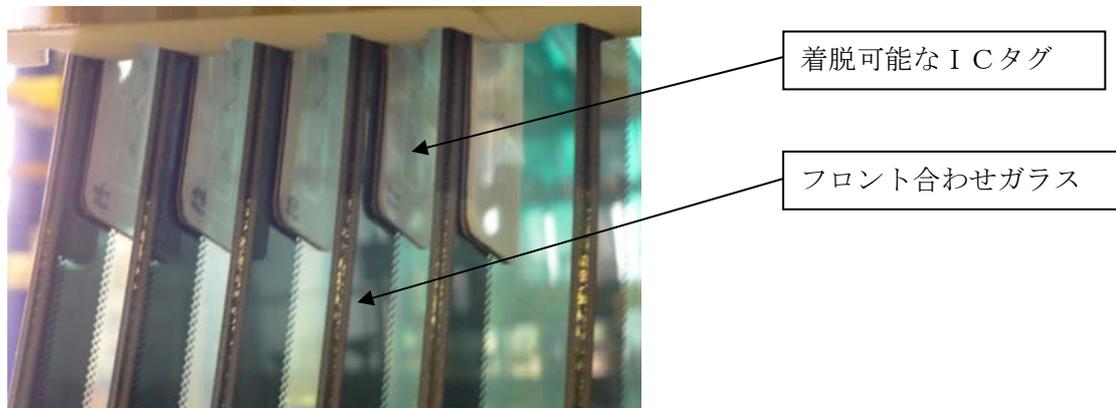


図 3. 8 収納された窓ガラスに付与された I C タグ

この結果、RFID を応用したシステムにおいては 以下の課題点が存在することを認識した。

- ・ロケーション管理が不可能(順位性などを含んだ位置認識)
- ・読み落としを管理できない(総数の認識が出来ない)
- ・薬品や水による洗浄工程(ブラッシングや研磨工程による損傷や外れなど)
- ・炉(600℃以上)等の高熱工程では IC チップは破壊されてしまう。  
(150℃程度のオートクレープ耐熱性でも課題は多い)
- ・RFID のリユース構造を持たない限り、タグ単価が非常に高価(100 円/枚以上)
- ・周辺装置が高価であり、使用環境にて電波特性が変化する。(読み出し距離が変化)

自動車用ガラスの生産工程は車種や品種により多様化するため、組成認識を確実とするためには生産の上流工程での I D 化が必要となる。当然ではあるが、材料が投入された溶解炉内に複数の品種が混在することはあり得ないためである。

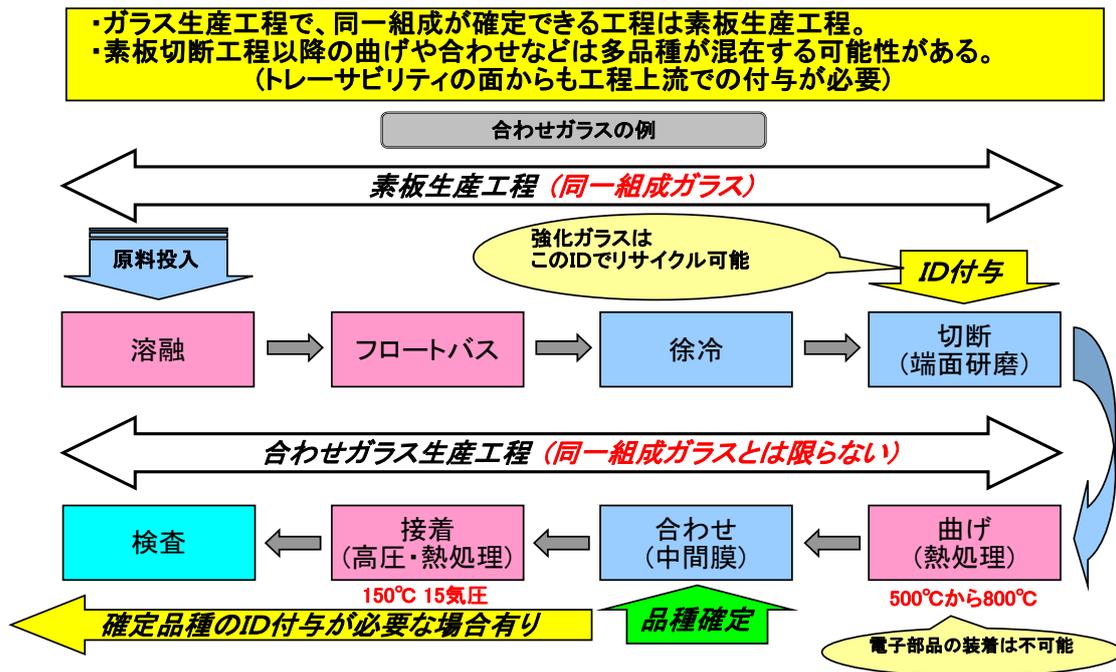


図3. 9 窓ガラスの生産工程とIDの付与

ID化のために必要な条件は適用する工程に依存することも大きいが実用性が高くより効果の大きいトレーサビリティを持たせるためには、ガラス生産の上流工程からの管理である方がよい。

(3) 自動車用ガラス生産工程上のID付与における課題について

現在の自動車用ガラス生産(量産)工程で、実際にIDを付与する課題については、耐環境性では、低温から高温域までの温度、および温度サイクルで使用可能であること、高圧域でも使用可能であることなどがあり、これらを以下にまとめた。

表3. 2 自動車窓ガラスへのID付与

IDの付与	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>タイミング</b> 強化ガラス: 切断研磨工程後 合わせガラス: 切断研磨工程後 + (必要時は合わせ工程以降)</li> <li>・<b>方法</b> ガラスへのID付与が自動化可能なこと。(曲面への付与が可能であること)</li> </ul>
IDの信頼性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動車用ガラス生産工程で、破壊や損傷、劣化などがなくID判定が可能なこと。</li> <li>・車両生産、市場運用で、破壊や損傷、劣化などがなくID判定が可能なこと。</li> <li>・車両解体にて、破損や損傷、劣化などがなくID判定が可能なこと。</li> </ul>
IDのコスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品への付与(自動化可能)コスト、ID自体のコストが安価であること。</li> <li>・高価で特殊な周辺装置が必要でないこと。</li> <li>・現行の設備が利用可能であれば更に良い。</li> </ul>
IDの具体的な性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲面/(鏡面の場合もあり)読み取りが可能であること。 また、若干の汚れでも読み取りが可能であること。</li> <li>・ガラス生産における要求性能 <b>耐熱性</b>: 600℃超、<b>耐水性</b>: 洗浄工程、<b>耐薬品性</b>: エタノール等の拭取り <b>耐圧性</b>: 15気圧、<b>耐震性</b>: フォークやトラック輸送 <b>その他</b></li> <li>・市場運用における要求性能 ライフサイクルとして20年は下記の性能維持が可能であること <b>耐候性</b>: 車両運用可能な地域(低温から高温までの温度サイクルを含む) <b>耐水性</b>: 水没、<b>耐薬品性</b>: アフターマーケットでのコーティング材、洗浄剤など <b>耐震性</b>: 走行によるもの <b>その他</b></li> <li>・解体における要求性能 車両からガラスを取り外す方法に依存するが、解体処置前にIDを読み取る構造であれば、上記の要求性能のみで問題はない</li> </ul>

付与されるIDは、生産工程に依存して劣化損傷しない事、市場における使用運用のライフサイクル(10年以上)に依存して劣化損傷しない事が大前提となる。この条件下においてもう一つの課題は、情報化技術の進歩である。十年以上も前に付与されたID技術の継承が可能かどうかである。つまり、ID本体の技術だけでなく、それを読み取るハードウェアやシステムに大きな課題を残すことになる。

・IDコア技術について

時間の経過や運用における劣化損傷の課題

・ I D 周辺技術について

読み取り装置やそれを含んだシステムが継承されるか

(4) 自動車用ガラスに付与する I D 技術の比較検討について

代表的な I D 技術と実際の自動車用ガラス生産工程上で課題となる項目での比較を下に記す。

表 3. 3 自動車窓ガラスへの I D 付与の課題と評価

	特に重要な生産工程条件
	特に評価できる
	評価できる
	評価に値しない

	バーコード(QR含む)	カラーコード	カラービットコード	RFID	
視認性	必要	必要	必要	不要	印刷時はパレット格納時の端面読み取りが必要
鏡面装着	不可	不可	可	可	カラービットコードも反射光に弱い
取り付け面形状	平面のみ	平面のみ	曲面可能	依存しない	曲面への付与は必須条件
一括読み取り	不可	不可	可	可	効率化のため可能なほうが良い
ロケーション管理	不可	不可	可	不可	効率化のため可能なほうが良い
形状規定(自由度)	あり	あり	なし	なし	カラービットコードは文字やデザイン表現が可能
読み取り方式	光学	画像	画像	電波	既存設備が利用できるほうが良い
読み取り距離	10cm程度	カメラ解像度に依存	カメラ解像度に依存	周波数に依存	長いほど良い
損傷・汚れ	弱い	弱い	色が判断できれば良い	強い	簡易的な拭取りで認識が可能であること
耐熱性(600°C超)	インクに依存	インクに依存	インクに依存	不可	曲げ工程以降であれば数百度の耐熱性で可
耐水性	インクに依存	インクに依存	インクに依存	不可	水没・ブラシ洗浄に耐え得る事
耐薬品性	インクに依存	インクに依存	インクに依存	不可	市場コーティング剤、洗浄剤、アルコール等
耐候性	インクに依存	インクに依存	インクに依存	不可	寒冷地、熱帯地での運用が可能なこと(ライフサイクル)
コスト	印刷費用(精度が必要)	印刷費用(精度が必要)	印刷費用(精度は必要なし)	高価(数十円以上)	RFIDは装着には高価すぎ、他サービス代用が必要

上記の評価項目は、 視認性、鏡面装着、取り付け面形状、一括読み取り、ロケーション

管理が運用操作性を示し、形状規程読み取り方式、読み取り距離が I D 使用の自由度を示し、損傷・汚れから以下は耐環境性を示し、最後にコスト評価となっている。この評価結果からすべての評価分野に関してカラービットコードが自動車用ガラスの I D 付与には適していると言える。ただし、耐環境性については他のバーコード、カラーコード同様にインクに依存する。ただし、カラービットコードは印字精度が読み取り精度に大きく影響することはなく、また損傷や汚れに強いため他のコードに比べても有利である。この表に記載はしていないが、自動車用ガラスの回収や生産時の製品管理において移動体を管理できるはカラービットコードだけである。R F I D も移動体を認識することは可能であるが、移動体であるがためにロケーションが管理できない R F I D では性能的に不十分であると言える。移動体とロケーション管理が可能であると、流れ作業において作業者が I D の読み取りを大きく意識する必要がなくスムーズ作業を進めることができる。

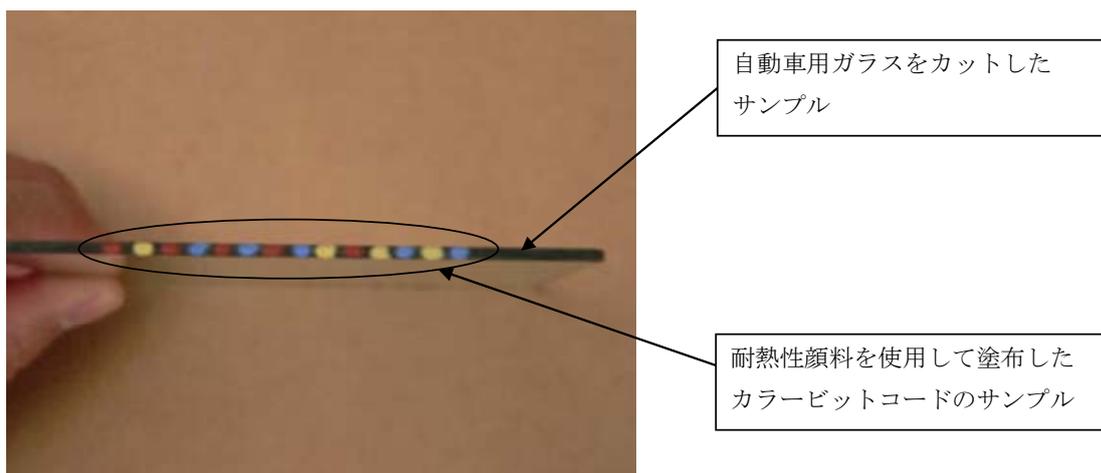


図 3. 10 板ガラスへのカラービットコード付与例

上記のカットガラスサンプルを 600℃以上で加熱し、加熱前と加熱後で同じようにコード認識ができたことを確認した。ただし、顔料は手塗りで、形状寸法等を特に規定せずに任意に塗布した。

カラービットコードに関する技術説明については本章では行わないが、規格化される技術ではなく、使用する側にて I D アプリケーションを構築できる今までは全く違ったコード化技術である。

(5) 自動車用ガラスのID化についての統合的考察

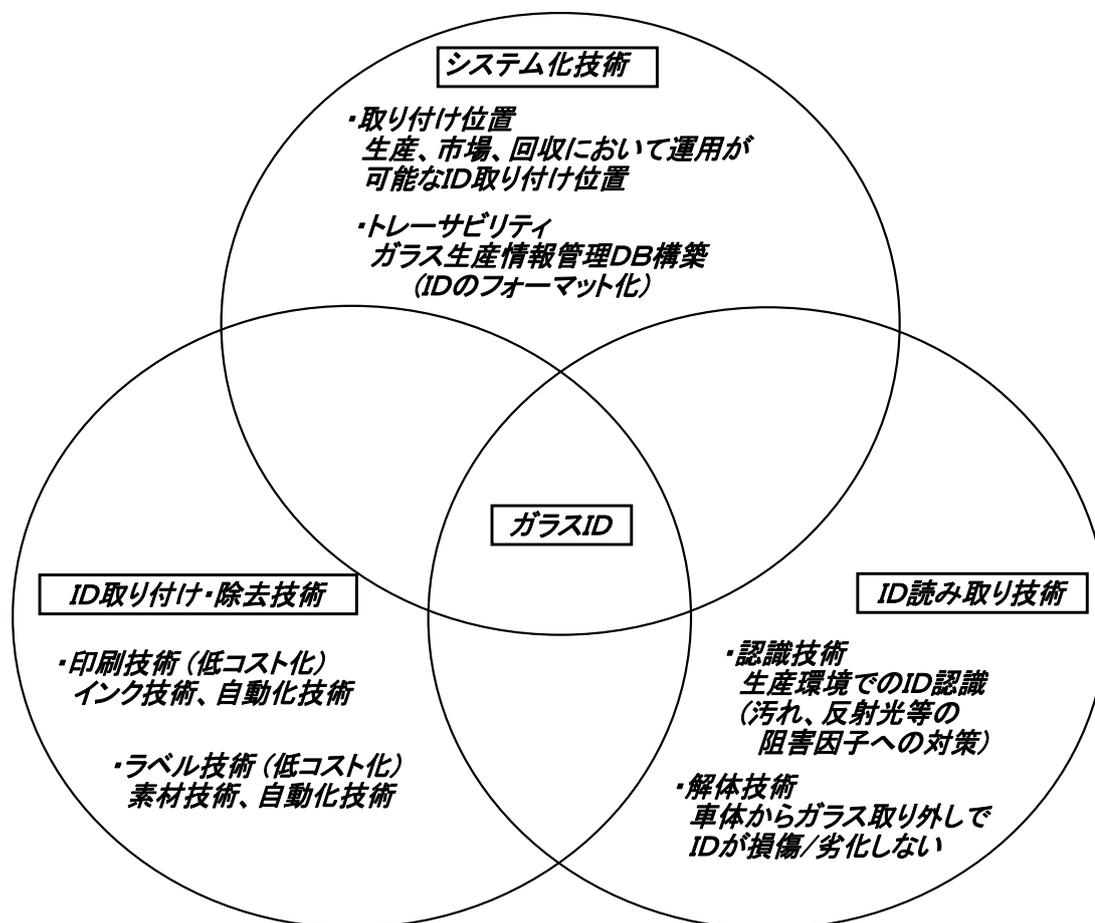


図3. 11 自動車用ガラスのID化

(4) においては、各IDの特性について検討したが、付与されたIDは最終的にはその除去も必要であり、またIDを管理するシステム構築においては現存する自動車リサイクルシステムへの組み込みも含めて課題は非常に大きい。上図に示す各技術の課題を解決して初めてリサイクルのID技術が確立することとなる。

### 3. 3 合わせガラスの不純物（異物）の分離除去

回収した廃板ガラスには、ガラスにプリントされた黒セラミックや熱線、合わせガラスの中間膜など、ガラス自体にとっての不純物（異物）が混ざっていることが多い。これらを除去する方法は、大きく二つに分けられる。回収したガラスを（乾いた状態で）機械的に剪断、破砕して異物除去する方法は、乾式法と呼ばれている。一方、ガラスにプリントされた黒セラミックや熱線、合わせガラスの中間膜などを液体に浸すことにより、素材に分解する技術は湿式法と呼ばれている。

#### （1）乾式法

旭硝子（株）が NEDO の助成を受けて実施した「合わせガラスリサイクル実用化技術開発」<sup>(6)</sup> では、合わせガラスと中間膜の分離設備を導入して、

- ・ 中間膜とガラスの分離技術
- ・ 不純物（金属、有機物）の除去技術
- ・ 溶解に影響のないカレット粒度
- ・ 実用化可能な処理コスト

などの実験を行った。この方法は、合わせガラスを機械的に剪断、破砕して10 mm 以下のカレットにし、不純物を取り除くもので、装置の概略と異物の選別ラインを図3. 12 に示す。得られたカレットを試験的にガラス製造炉に投入したところ、問題はなかったとの報告がある。<sup>(2)</sup> そこでは今後の課題の例示として、以下の事項があげられている。

- ・ 板硝子協会の受入基準に合致するガラスを安定的に廃車から分離回収できるか？
- ・ 上記に関連して、廃車からのガラス回収とその品質チェックの方法、それもできるだけ簡単にかつ精度あるものを生み出す必要がある。
- ・ 今回の設備でも実際に板ガラス製造に戻せるのは50～60%であり、工数、費用の割にはリサイクル率が低いとも言える。さらにこれを改善する方法が必要である。
- ・ 現在、国内では自動車用板ガラス製造場所（槽窯）は限られており、廃車から回収したガラスをそこまで輸送することに工数も費用も多く掛かる。一方、ガラスカレットは貴金属のような原料価値は無く、回収ガラスを売却しても費用回収は難しい。
- ・ 珪砂等の原材料の代わりにガラスカレットを使用すると二酸化炭素の発生を若干抑制する効果はあるが、回収や輸送、分離処理のエネルギーも考慮すると LCA 的には回収ガラスの使用はあまりメリットが無い。

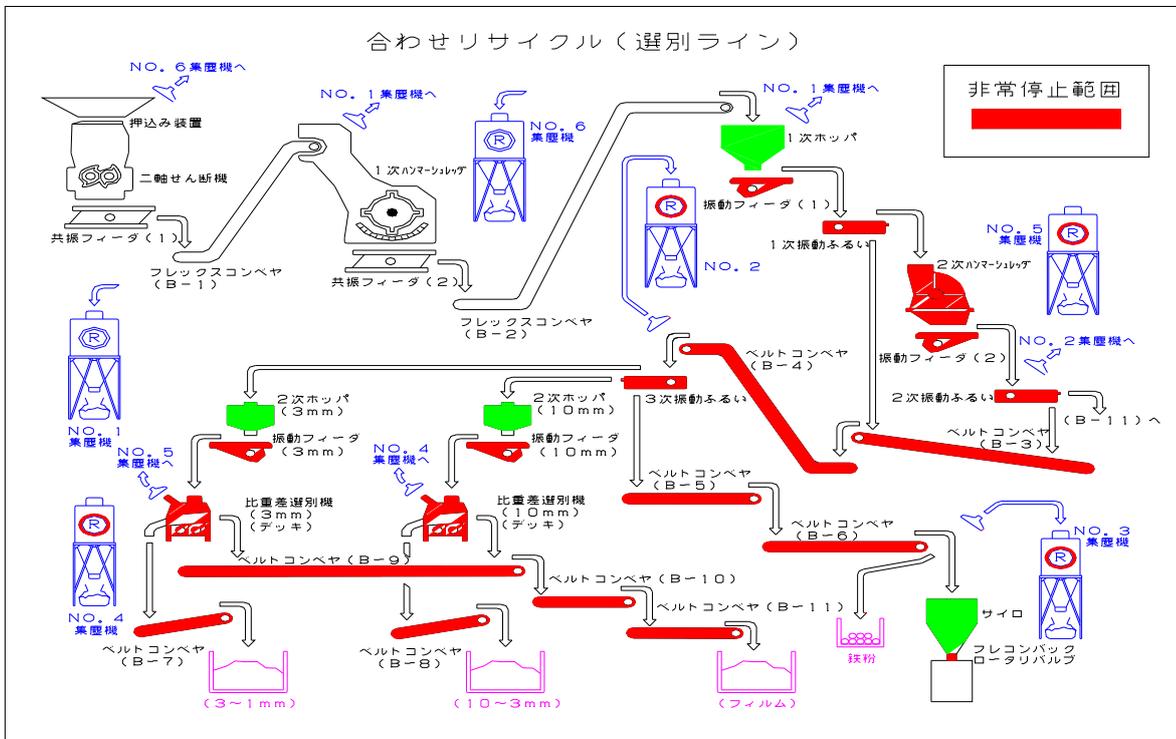
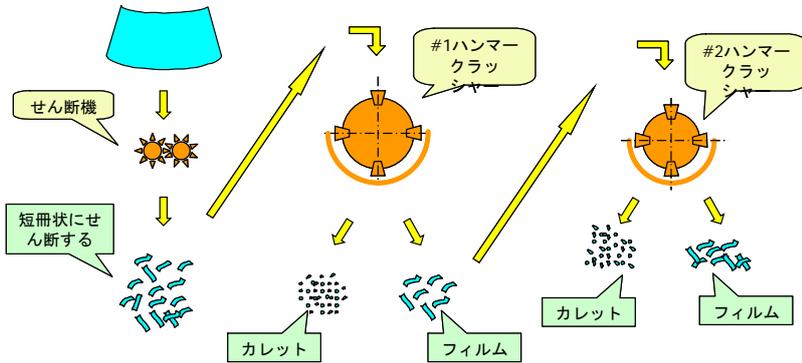


図3. 12 乾式法設備によるカレット生成ライン

合わせガラスと中間膜を分離する方法として、ガラスと中間膜の伸びの差を利用して機械的に分離する方法などの提案もある。(7)

(2) 湿式法

自動車ガラスのリサイクルに必要な基盤技術は大別して、ガラスを車体から取り外すための解体技術と、高度化、高機能化する自動車ガラス、中間膜などを組成や材料全般に渡

って分離、識別するための分別技術と単純な素材として原料化して製品を生み出す為の異物や不純物を除去するための分離技術が必要不可欠である。

自動車ガラスのリサイクルは、多方面で色々実施されてきているが、日本板硝子は 2005 年に湿式法を検討開始し 2007 年初頭より本格的に社内の不良品のリサイクルを量産化し現在に至っている。

湿式法の特徴は、従来の乾式法と比較してマテリアルリサイクルを実現できる技術であり、サーマルリサイクルと比較して成熟度は高くリサイクル率も圧倒的に優位な方式である。

これにより原料としてのリサイクル化が可能となり、ガラスについては分別回収しカレットとして窯戻しを実現し、中間膜は分別回収し中間膜に再生が可能となり、熱線は分別回収し銀として再資源化が可能になった。

黒セラミックスのプリント箇所のリサイクルについては、黒セラミックスとガラスを湿式法で完全分離することが可能になったので、窓ガラス全体がリサイクルできるようになり、リサイクルに使われる板ガラスの面積が全体へと拡大し、従来では切り残されていた周辺の黒セラミックス付ガラスを廃棄物処理することも不要になった。

日本板硝子では、マテリアルリサイクルの実現方法として、プリント剥離工程（湿式法）と合わせガラスのガラス部分を細かく砕く破砕工程と破砕工程で細かく割れたガラスと中間膜の接着力を開放して完全にガラスと中間膜に分離する中間膜分離工程（湿式法）の設備を完成した。さらに舞鶴事業所で、プリント剥離、破砕、中間膜剥離を直結することにより効率よくリサイクルできるレイアウトを実現し、この設備は、切断や洗浄など前工程を排除し原寸のまま処理できることが特徴であり、事業所内の廃ガラスの処理に定常的に稼働している。（図 3. 13）

開発要素技術としては、プリント剥離工程では熱線プリントおよび黒セラミックスのプリントをガラスから短時間で剥がすための分離液の開発や分離液の維持管理の開発や大気汚染、廃液基準など法律の遵守のための技術が必要になる。破砕工程では破砕による粉塵の除去、対策が求められる。中間膜分離工程では、破砕されたガラスから中間膜を短時間で剥がすための分離液の開発や分離液の維持管理、廃液処理技術、中間膜に不純物の付着や残留が認められないような乾燥、不純物除去技術が求められる。

# 湿 式 法

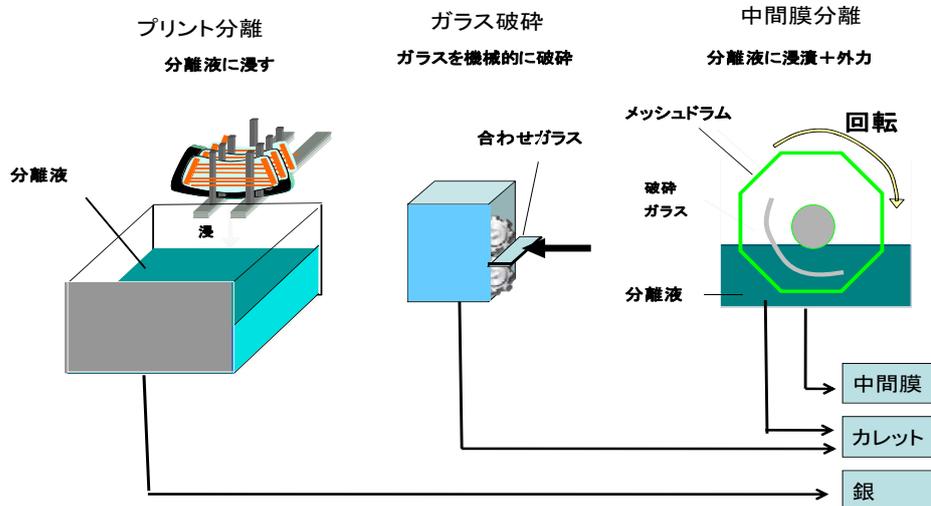


図 3. 1 3 湿式法概念図

## ①黒セラミックプリント

黒セラミックプリントは自動車ガラスに意匠性とガラスをボディーへ接着するウレタンシーラントを紫外線から保護する目的で施されている。黒セラミックプリントは、低融点ガラス粉末、黒色顔料粉末、樹脂、溶剤などから成り、平らなガラスにスクリーン印刷によって印刷する。印刷したガラスを加熱炉でガラスが成形可能な温度まで加熱する時にインク中の低融点ガラス粉末が溶けて黒色顔料粉末を包み込んで焼きつけている。

表 3. 4 に黒セラミックプリントの組成例を示す。

表 3. 4 黒セラミックプリントの組成例

	名称	組成	含有率(%)
A	ほう珪酸ガラス粉末	$\text{SiO}_2\text{-ZnO-B}_2\text{O}_3$	65~70
	黒色無機顔料	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-CuO-MnO}$	10~15
B	ほう珪酸ガラス粉末	$\text{SiO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$	65~70
	黒色無機顔料	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-CuO-MnO}$	15~20

この黒セラミックプリントの除去するアプローチとして、酸によるウエットエッチングを実施した。

合わせガラスを低濃度の酸溶液で浸漬処理した結果を図 3. 1 4 に示す。



浸漬前

浸漬後

図3. 14 黒セラミックプリントの除去（酸溶液の浸漬時間：約 30 分）

図3. 14のように合わせガラスを低濃度の酸溶液で浸漬処理することで、ガラスから黒セラミックプリントを完全に剥離できることができた。表3. 5に浸漬処理した液を組成分析した結果を示す。

表3. 5 浸漬処理した液の組成分析結果

含有成分	含有量 (mg/L)	
	酸溶液 -新液	酸溶液 -浸漬処理液
B	—	414mg/L
Cr	—	13mg/L
Mn	—	13mg/L
Fe	—	300mg/L
Cu	—	72mg/L
Zn	—	1.7g/L
Pb	—	280mg/L
Bi	—	6.4g/L
Ag	—	116mg/L
Si	—	18.3g/L
酸成分	○	71g/L

＜浸漬処理液条件＞  
 ・ガラス処理枚数：16,288 枚  
 ・ガラス重量：162,494 kg  
 ・酸溶液使用量：969.7 L

 黒セラミックプリントの成分

※Ag は熱線プリントの成分

浸漬処理した液から黒セラミックプリントの含有成分が検出され、この結果からも酸溶液で浸漬処理することで、ガラスから黒セラミックプリントを完全に剥離できたことが確認できた。

## ②熱線プリント(銀プリント)

自動車ガラス（リアガラス）には曇り除去用の熱線が導電性セラミックプリントで形成されている。この熱線プリントは低融点ガラス粉末と銀粉末から成り、黒色セラミック同様に低融点ガラス粉末により銀粉末が焼きつけられている。



図3. 15 剥離した熱線プリント（酸溶液の浸漬時間 30 分）

熱線プリントも黒セラミックプリントと同様、低濃度の酸溶液に浸漬することでガラスから完全に剥離できることが分かった。酸溶液で浸漬処理して除去した熱線プリントを図3. 15に示す。熱線プリントは短冊形状に容易に剥がれるため、熱線プリントの回収が可能である。また、黒セラミックプリントと熱線プリントの剥離時間が大きく違わないため、同じバッチ処理で黒セラミックプリントと熱線プリントが剥離できることも確認できた。

剥離した熱線プリントは銀含有スクラップとして回収後、銀製錬メーカーで精製処理を行い、銀加工品として再利用を進めている。表3. 6に銀精製データを示す。

表3. 6 銀精製データ

剥離量(kg)	析出量(kg)	回収率(%)
16.0	15.5	97.0

\* 処理枚数:約 7,000 枚、回収期間:約 5ヶ月

最近の原材料高騰の影響を受けて、銀も市場価格が高騰を続けている。現在、上記アプローチにより、熱線プリントを銀としてリサイクルするシステムが出来ており、今後も積極的に進めていきたい。

### ③中間膜

自動車ガラスのフロントガラスは2枚のガラスで樹脂膜を挟み込んだ合わせガラスになっており、樹脂膜とガラスが強固に密着しているため、その分離が容易ではない。合わせガラスの中間膜をそのままの形状、サイズで回収する方法を検討した結果、以下のアプローチで回収できることが分かった。

○合わせガラスの黒セラミックプリント・熱線プリントを酸溶液で浸漬処理して除去する（リアガラスと同様）。

○上で処理した合わせガラスを破砕装置で細かく粉砕する。（図3. 16）

ここでは、合わせガラスは破砕、引き伸ばされて、ガラスと中間膜とが分離される。<sup>(9)</sup>



破砕装置



破砕した中間膜

図3. 16 破砕工程

○上の処理の後、残ったカレット付き中間膜を分離液が入った回転体式ドラムで処理する（図3. 17）



中間膜剥離処理



再生中間膜

図3. 17 中間膜剥離工程

上記方法により、中間膜とカレットを完全に分離することができた。得られた中間膜（以後、再生中間膜とする）の特性を評価した結果を表 3. 7 に示す。

表 3. 7 再生中間膜の性能評価

サンプル	厚み(mm)	T(%)	a*	b*	Yi	H(%)
再生中間膜	0.75(+/-0.05)	89.6	-1.7	1.2	0.65	0.6
新品中間膜	0.76	89.2	-1.7	0.8	0.2	0.4

T(%) : 可視光線透過率、a\*, b\* : クロマティクネス指数(色相と彩度)、Yi : 黄色度、H(%) : ヘイズ率

再生中間膜の特性は新品の中間膜と同様であり、特性上は問題ないことが確認できた。また、再生中間膜をある一定の比率で混ぜて実機でのシート押出テストを実施した結果、シートの製造過程で特に不具合はなく、製造したシートの特性も出荷品質を満足することが確認できた。

回収した再生中間膜は海外メーカーに売却しており、すでに中間膜として再利用されている。海外の中間膜メーカーは、再生中間膜に対する需要が非常にあり、今後もうまく連携して進めていくことがお互いに求められている。

#### ④ガラスカレット

従来、不純物や組成の異なる異種のガラスの混入は、板ガラス製造上著しい品質トラブルを発生させるため板硝子協会では 2000 年に定めた旭硝子、日本板硝子、セントラル硝子の 3 社で合意した表 3. 8 の不純物受け入れ基準を満たすものであれば日本国内の板ガラスメーカーのカレットであればカレットリサイクルの実施が可能であるといえる。

表 3. 8 (板硝子協会の統一見解)

### 不純物の許容条件 (板ガラス協会受け入れ基準)

不純物の種類	大きさ	許容量	備考
①合わせガラスの中間膜、フィルム、紙、ステッカー、 ゴム、プラスチック、糊、木片等の有機物、有機化合物 (但し、金属が蒸着、ラミネートされているものを除く)	10mm 以上	無いこと	
	10mm 未満	20ppm 以 下	20 g / トン 以下
②石、砂、セラミックス、セメント、等	0.5mm 以 上	無いこと	
	0.5mm 未 満	10ppm 以 下	10g/ トン 以下
③鉄くず	1mm 以上	無いこと	
	1mm 未満	10ppm 以 下	10g/ トン 以下
④アルミニウム、非鉄金属、ニッケル化合物	すべて	無いこと	

不純物の混入レベルが許容されるレベルであることを確認したカレットを実際のガラス溶  
製造炉に投入しガラス品質に影響を与えるかどうか確認するテストを行った結果は、カレ  
ット投入による泡品質の悪化やリームなど溶解不良は全く現れなかった。(3. 5 ガラス  
製造炉への廃ガラスカレットの投入 の項参照) よって、分別が確実に実施できれば、カ  
レットを板ガラス製造炉に投入可能といえる。

分離分別が確実に実施不可能な場合、カレットの板ガラス製造炉への投入はハイリスク要  
因となるので水平リサイクルをせずにガラスファイバーやタイルや路盤材などのカスケー  
ドリサイクルに転換することになる。

### 3. 4 廃ガラスカレットの収集、運搬の検討

廃板ガラスは、建築廃棄物、使用済み自動車等から発生する。また、廃板ガラスを板ガラスに水平リサイクルすることを考えると、廃板ガラスは板ガラスの製造工場へ戻されてリサイクルされる。

建築廃棄物や使用済み自動車は、日本全国で発生するが、一般的に大都市圏で多く発生する。

一方、板ガラスは、液体金属の水平面上で徐冷して作るフロート法で製造されており、日本国内では、関東、東海、近畿、山口などの8工場に限られている。このため、廃板ガラスの発生現場から、ガラス工場までの運搬は無視できないエネルギー消費を伴い、コストも発生する。

自動車ガラスについて、全国の自動車解体業者(3000社)が廃自動車から廃板ガラスを回収して、都道府県に1ヶ所(北海道は2ヶ所)の設置した1次回収拠点に集積し(1次物流)、これを板ガラス工場に運搬すること(2次物流)を想定して、物流の負荷を計算した結果がある。これによると、1次物流が75Km、2次物流が528Kmとなった。(2次物流は各都道府県庁、釧路市役所から関東、東海、近畿の自動車ガラス生産工場までの距離に各都道府県ごとの保有乗用車の数を重み付けした平均値)

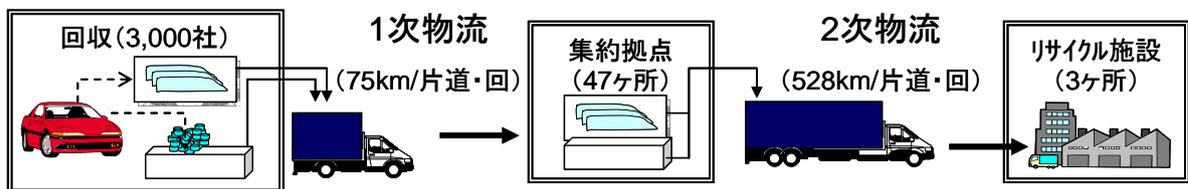


図3. 18 廃板ガラスの収集

リサイクルのために新たにこれだけの運搬が発生するとすれば、1次物流に5t車(燃費:軽油3.79Km/l)、2次物流に15t車(燃費:軽油2.62Km/l)を使うとするとして、廃ガラス1tを解体業者からガラス工場まで運搬するのに必要な軽油の量は、約17.4l(重油換算でも約16.5l)となる。(燃費については、経済産業省告示第六十六号「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」平成18年3月29日による)

ここで、現状の処理を考えると、自動車解体業者は廃車ガラと呼ばれる筐体部分をシュレッダー/プレス業者のところに運搬し、さらにそこで処理されたASRは最終処分場に

運搬されて埋め立てられる。これらを合計するとかなりの距離の運搬になる。

自動車の解体業者の住所を地図上にプロットすると図3. 19のようになり、全国に分布していることが分かる<sup>(8)</sup>。

一方、シュレッダー業者は、日本全国で、150社程度あり、そのうち所在のはっきりした139社を地図上にプロットすると図3. 20のようになる<sup>(8)</sup>。これによると、東海道から山陽、北九州のベルト地帯と信越地帯に多く分布しているが、それでも北海道、南九州などにも存在し、全国的に分布していることが分かる。つまり、ごく一部の地方を除けば、現在実施している解体業者からシュレッダー業者への運搬は、廃ガラスを各都道府県1ヶ所の集積地点に運搬するのと大きな相違はない。

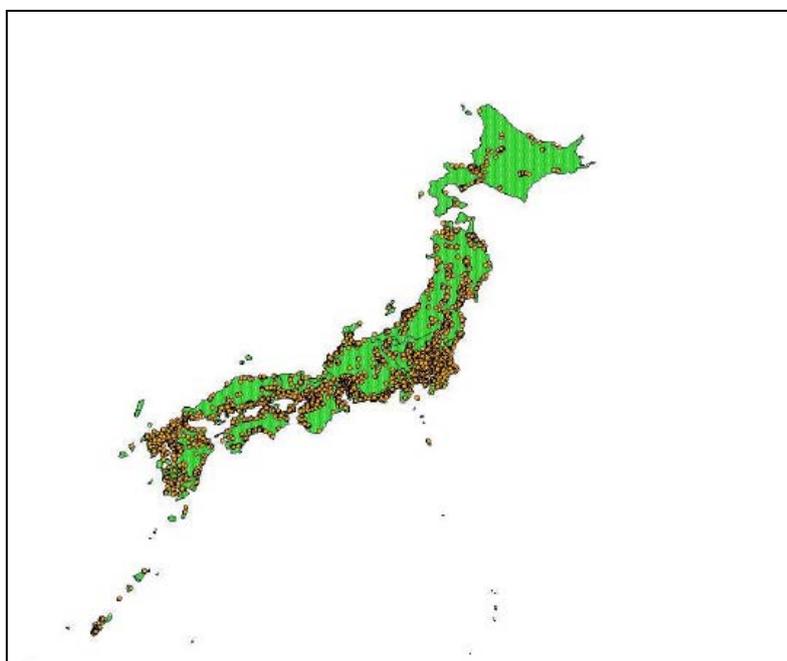


図3. 19 自動車解体業者の分布

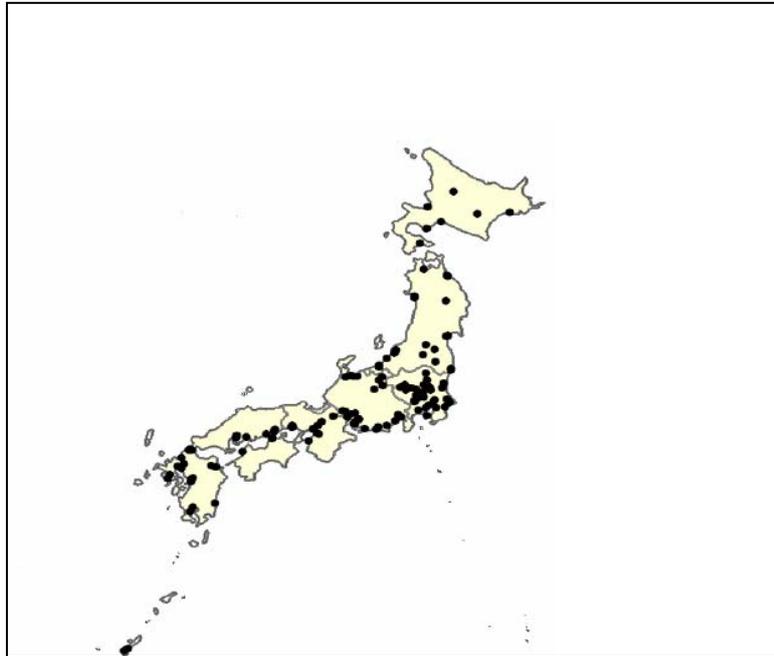


図3. 20 シュレッダー業者分布

### 3. 5 ガラス製造炉への廃ガラスカレットの投入

廃ガラスカレットを使つてのガラスリサイクルにより、省資源、省エネルギー、二酸化炭素発生抑制が実現することが予想されるが、実際に廃ガラスカレットをガラス製造炉に投入して算出したガラスの品質をチェックした。

単位体積中の泡の個数が品質基準として使われる。これによると、市中から回収した廃ガラスカレット（受け入れ基準内）を投入した場合も図3. 21に示すように、通常の原材料を投入した場合の品質に差は見られなかった。

これにより、不純物（異物）についての受け入れ基準を満たす廃ガラスカレットならば、板ガラス製造に使うことが可能であることが確認された。

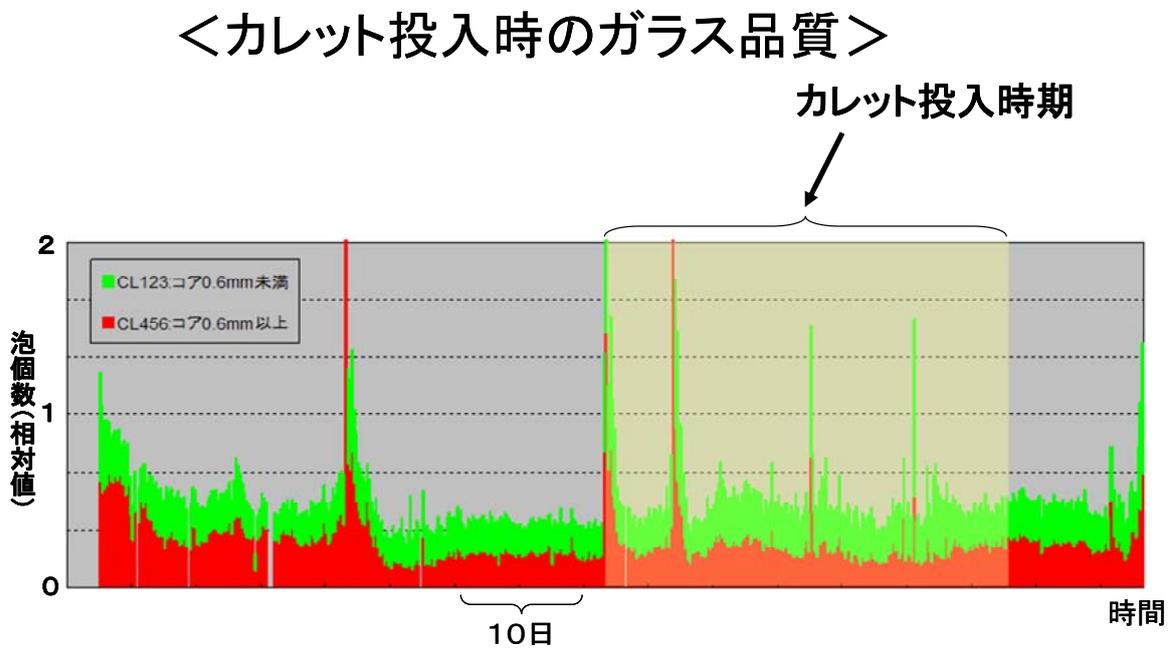


図 3. 21 市中回収カレット投入時のガラス品質

### 3. 6 ガラスリサイクルシステムの原油と二酸化炭素の排出量削減効果

ガラス原料が板ガラスになるためには、相転移してガラス化する必要がある。ガラスカレットはすでにガラス化しており、相転移のためのエネルギーは不要である。ガラス製造

炉へガラスカレットを投入することは、珪砂等のガラス原料を投入する場合と比較して、この相転移に必要なエネルギーが不要になる。

ガラス製造においては、ガラス原料が溶解、相転移してガラス化するためのエネルギーの他に、均一に混ざり合うようにしたり、平面を形成させるために金属液面上で徐冷させるときの保温などに多大なエネルギーを必要としている。

ガラス原料粉体のガラス化反応に必要なエネルギー $E_g$ は重油換算で、

$$E_g = 713 \text{ MJ} / \text{t} \cdot \text{glass} = 17.4 \text{ L} / \text{t} \cdot \text{glass}$$

原油に換算すると、

$$E_g = 19 / \text{t} \cdot \text{glass}$$

となる。<sup>(9)</sup>

これに回収できるガラスの量を掛ければ、ガラスのリサイクルによる省エネルギーの量が算定できる。国内で廃車になる自動車は、現在年間約400万台であり、装着されている窓ガラスの総量は、13万t（平均32kg/1台）とされている<sup>(9)</sup>。一方、建築用ガラスの場合は、廃板ガラスの統計量は無いが、昭和40年代に建てられた小振りなビルを想定すると、建物の規模、開口率等から年間約7万トンと予想されている<sup>(10)</sup>。

回収できるガラスの量は、回収システムがどの程度整っているかに依存しているが、現在の廃ガラスの総量としては、年間約20万tと推定して、これが全部回収されるとすれば、

$$19 \text{ L} / \text{t} \cdot \text{glass} \times 20 \text{ 万 t} \cdot \text{glass} = 3800 \text{ kL}$$

一方、現在国内で生産されている板ガラスの総量は、このところずっと年間約100万tであり、やがて排出される廃板ガラスの量も、毎年この値程度になるものと思われる。これが全部回収されるとすれば、

$$19 \text{ L} / \text{t} \cdot \text{glass} \times 100 \text{ 万 t} \cdot \text{glass} = 19000 \text{ kL}$$

実際には、回収率は10%程度と考えられるので、回収システムが整備される2015年頃には、廃ガラス20tのカレット利用に対する省エネルギー量も全部回収の省エネルギーの10%になるから

$$3800 \text{ kL} \times 10\% = 380 \text{ kL}$$

となる。廃板ガラスの量は、過去の板ガラス生産量の増加に伴い増えてくると考えられ、2030年頃には、廃板ガラス排出量100万tの10%が回収されるとして

$$19\text{L}/\text{t}\cdot\text{glass}\times 10\text{万t}\cdot\text{glass}=1900\text{kL}$$

と推算される。

また、これに伴う、二酸化炭素排出量の削減値を計算すると、原油1L削減に相等する二酸化炭素排出削減量は、 $2.6\text{kgCO}_2$ であるから、2015年頃には、原油380kLに相当する988000kg(98.8万t)の二酸化炭素排出量が削減される。2030年頃には、原油1900kLに相当する4940000kg(494万t)の二酸化炭素排出量が削減されると推算できる。

一方、現在のガラスがソーダガラスと呼ばれていることから分かるように、板ガラスの原料には、重量で1/3以上の炭酸塩が含まれている。これがガラス化する過程で分解して二酸化炭素を排出する。板ガラスを1t製造するときに原料の分解で放出する二酸化炭素は、 $186\text{kg}/\text{t}\cdot\text{glass}$ となる<sup>(8)</sup>。ガラス原料の代わりに廃ガラスカレットを使うことにより、この分の二酸化炭素の排出がなくなる。2015年には、20万tの廃ガラスのうち10%が回収されるとして、年間

$$186\text{kg}/\text{t}\cdot\text{glass}\times 2\text{万t}\cdot\text{glass}=372\text{万kg}=3720\text{t}$$

の二酸化炭素の排出が削減される。

同様に、2030年には、廃板ガラス排出量100万tの10%として、10万tのガラスがリサイクルされるので、原料分解の二酸化炭素排出として、

$$186\text{kg}/\text{t}\cdot\text{glass}\times 10\text{万t}\cdot\text{glass}=1860\text{万kg}=18600\text{t}$$

が削減される。

ガラス化の反応熱に起因するものと、原料の炭酸塩分解に由来するものの両者合わせた二酸化炭素の発生削減量は、

$$2015\text{年には、}988\text{t}+3720\text{t}=4708\text{t}$$

$$2030\text{年には、}4940\text{t}+18600\text{t}=23540\text{t}$$

になると推算できる。

#### 4. 今後の課題および展開

以上の調査により、廃板ガラスのリサイクルに関して、不純物の除去に湿式法が有効であり、省エネルギーと二酸化炭素の排出削減が可能であることが判明した。ただし、湿式法の設備は、現状では、人間によるオペレーションによるバッチ処理が行われている。また、廃板ガラスの回収システムが未整備であり、現在の状況での回収では、回収のためのコスト、エネルギー消費が、リサイクルシステムの運用上の障害になることが予想される。ここでは、これら課題の解決法を提案する。

##### 4. 1 リサイクルのための設備の高度化

湿式法は、廃板ガラス中のプリントされた黒色セラミックス、銀線、中間膜などの異物を除去し、銀や中間膜、ガラスカレットをリサイクルして活用するのに有効な方法であることが判明した。ただし、装置の自動化による稼働の効率化と廃液処理等を含めた環境対応での改良の余地は大きい。

以下、湿式法の3つの装置につき、自動化、環境対策を中心に、今後改良すべき点を述べる。

###### (1) プリント剥離

現状では、低濃度の酸溶液によるエッチングによって、黒色セラミックス、銀線の剥離を実現しているが、人によるオペレーションが必要である。これをクレーン走行による自動セット、取り外しにすることにより、稼働に必要なオペレータの負荷の軽減を実現できる。また、現在のバッチ装置では、人間が溶液管理にも当たっており、定期的に溶液の補充と廃液の排出を行う必要がある。これをクロードシステムにすることにより、溶液の自動補充、廃液の濾過循環等による自動溶液管理を組み込むことにより、廃液処理の軽減ができる。

###### (2) ガラス破碎

この装置も自動化することによる効率化が考えられる。中間膜についてのガラスが破碎されてカレットになり収集されるが、ガラス破片のついた中間膜自体はロールに押し出されて装置の外部に排出される。これを自動的に集積して、一定数が貯まったところで、次段の装置であるバレルに自動的にフィードすれば、現在人がやっている作業が不要になり、連続運転として装置の可動が効率化できる。また、無人化運転によって、作業員がガラス粉の粉塵にさらされることもなくなる。

###### (3) 中間膜剥離

ガラスの破片がついた中間膜を数枚まとめてフィードし、ガラスをそぎ落とした中間膜を水洗いして取り出し、乾燥場まで搬送することを自動化することで、作業を効率化する

ことができる。また分離液や水洗いの溶液管理、廃液処理の自動化も環境面や効率化の点で有効である。

#### 4. 2 廃板ガラスの回収ビジネスモデルの提案

廃板ガラスを回収し、ガラス工場へ運搬するためのエネルギー、コストが無視できないことを述べた。ここでは、新たなエネルギー、コストの発生を極力抑えた新しい回収のためのビジネスモデルの提案を行う。

廃板ガラスの発生場所は、使用済みの建物の解体現場や中間処理施設、自動車の解体工場やシュレッダー設置場所であったりする。また、これらの場所で発生する廃板ガラスを使用する場所は、板ガラスの水平リサイクルを考えると、板ガラス工場になる。3. 2で述べたように廃板ガラスの発生場所と使用場所が離れているために、これらの間の運搬にはかなりのエネルギーを要する。

両者の間を直接運搬するのか、中間の集積点を設けるか、また、中間集積点にどのような機能を与えるかなど、板ガラスのリサイクルシステムを構築する上での検討課題も多い。また板ガラスのリサイクルシステム構築には、製品ライフサイクル全体の管理が欠かせないが、そこには、多くの利害関係者が存在し、一方にメリットのあることが、他社にはデメリットであることもある。今回は、従来のシステムと変わることによるインパクトを小さく抑えて、環境負荷の削減量は大きくすることを考えることにする。

##### ・中間集積拠点の設置

ここでの検討項目としては、廃板ガラスの発生場所と廃板ガラスのリサイクル工場の間で中間集積拠点を設けるかどうか、どれをどこに設けるか、そこにはどのような機能を与えるのかということになる。

中間集積拠点を設けるかという点では、廃板ガラスの発生地点から、偏在しているガラス工場へ直接運搬するのは、運搬距離が長く積載効率を良くしないと、(とくに自動車ガラスの場合は)効率が悪い。使用済み自動車についての、広域回収の領域分割について最適な組み合わせについて研究もある<sup>(8)</sup>が、あらたに自由に中間集積拠点を設置することは、用地買収等設置費用や許認可の問題も含めて現実的ではない。

ここでは、板ガラスのカッティングセンター(主に建築用のガラスを切断して、販売店等へ渡す)と呼ばれる販売拠点を中間集積地点とすることを提案する。廃板ガラスは、ここに運ばれ(中間)集積される。一方、ここには、ガラス工場から販売用のガラスが運ばれており、製品納入の帰り車に廃板ガラスを積み込んで、ガラス工場に運搬すれば、基本的には、ガラス回収のための新たなに必要なエネルギー、コストの発生は無い。

ここで、中間集積拠点の機能であるが、当面はガラスリサイクル工場への運搬のための集

積地という役割だけにしておくが、湿式法の設備を置くことによる、廃板ガラスの異物除去、カレット化もここで行えば、合わせガラスの中間膜は、ここから直接中間膜メーカーに運搬されることで、一旦ガラス工場に運んでから中間膜メーカーに運搬するより運搬が効率的になることが考えられる。

自動車解体工場でのガラスの取り出しでは、黒セラミックプリントの部分を除いた廃板ガラスを使うことを考えているときには、中央部分だけを道具を使って取り出すことが考えられていたが、エッチングによる黒セラミックプリントの剥離プロセスを通すとなれば、敢えてすみを切って、中央部分だけ取り出す必要はなく窓ガラス全体を利用することができ、リサイクルに使うカレットの量も増え、再生できる中間膜も大きくとれるようになる。このとき、部品としての自動車窓ガラスを取り出すときのように、人の手でガラス全体を外すことにすれば、人間の行動は、LCA（Life Cycle Assessment）的には、環境負荷の増減に関係ないとされており、道具を使うときに必要な電力等の消費も発生しない。

この回収システムの運営主体についてはここでは言及しないが、板ガラスという物質の取り扱いに経験のある、板ガラスメーカ、廃棄物処理業者、ガラスカレット生成業者、自動車解体業者、建築物解体業者等、現在のガラスリサイクルに関係している事業者が実施することが自然と思われる。

#### 4. 3 ガラスリサイクルシステム構築による省エネルギーの実現

廃板ガラスのカレットをガラス製造炉に投入し板ガラス製造の際のガラス化に必要なエネルギーを削減できることは、3. 6で述べている。板ガラスがリサイクルされるようになると廃板ガラスの埋め立て処分も不要になる。一方、板ガラスのリサイクルシステムの運用には、ガラスの回収や運搬、合わせガラスの中間膜剥離など多くのプロセスが必要である。エネルギー的にも従来に比べて削減になるプロセスもあれば、新たにエネルギーの投入が必要なプロセスも必要になることもある。

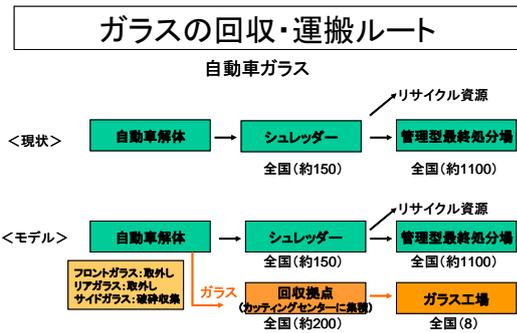
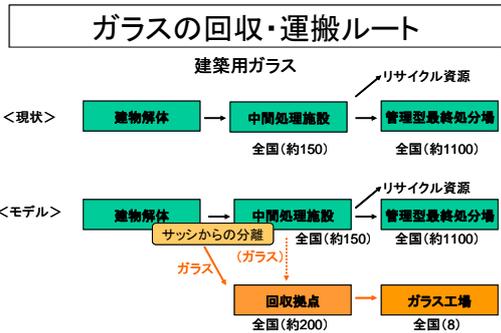


図4. 1 板ガラスの回収・運搬ルート

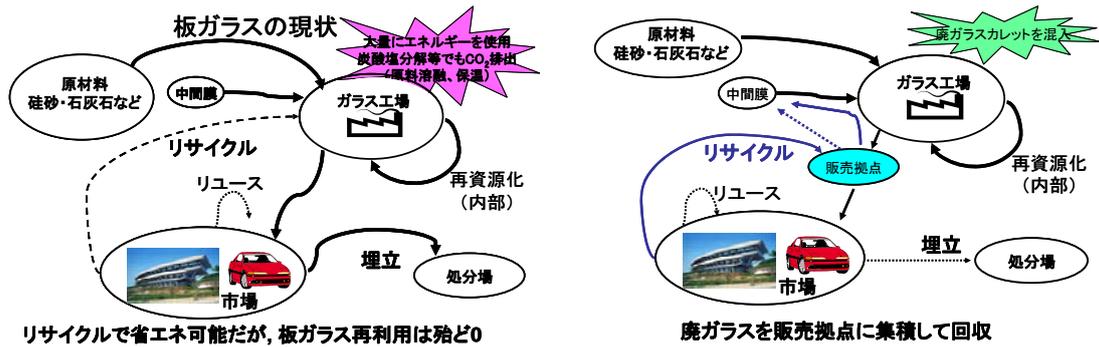


図4. 2 廃板ガラス回収のビジネスモデル

廃板ガラスの処理について、従来の埋め立て処理のプロセスと湿式法を中心にした新たな回収リサイクル提案とをエネルギーの使用量や環境負荷の点から定性的に比較してみる。

表 4. 1 使用済み建築物の廃板ガラスの処理（現状）

プロセス	エネルギー使用等
①使用済み建物の解体	人手によるガラスの取り出しなので、基本的にはエネルギー消費はない。
②解体現場から中間処理施設までの運搬 （1次物流）	中間処理施設の数に限られており、解体現場から処理施設までの運搬エネルギー（ガラス重量分）を消費
③中間処理施設での処理	ガラスに関しては、処理はなく、分別のみなので特段の消費エネルギーはない
④中間処理施設から最終処分場までの運搬 （2次物流）	最終処分場までの運搬エネルギー（ガラス重量分）を消費
⑤最終処分場での処理	埋め立て処理であり、ガラスに関して特別のエネルギー消費はない

表 4. 2 使用済み自動車の廃板ガラスの処理

プロセス	エネルギー使用等
①使用済み自動車の解体	人手によるガラスの取り出しなので、基本的にはエネルギー消費はない。
②解体工場からシュレッダー施設までの運搬 （1次物流）	シュレッダー処理施設の数に限られており、解体工場からシュレッダー施設までの運搬エネルギー（ガラス重量分）を消費
③シュレッダー施設での処理	シュレッダーの消費電力等、ガラス処理に相当する電力量は大きくはない
④シュレッダー施設から最終処分場までの運搬 （2次物流）	最終処分場までの運搬エネルギー（ガラス重量分）を消費
⑤最終処分場での処理	埋め立て処理であり、ガラスに関して特別のエネルギー消費はない

表 4. 3 新しいビジネスモデルによる廃板ガラスの処理

プロセス	エネルギー使用等
①使用済み建物の解体 使用済み自動車の解体	人手によるガラスの取り出しなので、基本的にはエネルギー消費はない。
②解体現場、解体工場から回収拠点までの運搬 (1次物流)	回収拠点は、板ガラスのカッティングセンターに設置するが、解体現場や解体工場から回収拠点までの運搬エネルギー(ガラス重量分)を消費
③回収拠点での処理	当初は廃板ガラスの集積のみなので特別な消費エネルギーはない
④回収拠点からガラスリサイクル工場までの運搬 (2次物流)	板ガラス工場までの運搬エネルギー(ガラス重量分)を消費
⑤リサイクル工場での処理	湿式法(中間膜剥離など)の処理に要するエネルギーを消費

従来の処理と提案ビジネスモデルとの間で、消費エネルギーとして違うのは、①1次物流、②2次物流、と③湿式法(中間膜剥離など)の消費エネルギーである。

1次物流のエネルギー消費に関しては、現状の処理プロセスと提案のプロセスとの間で大きな差異はみられない。現在、建物が解体されたときに発生する廃板ガラスは、中間処理施設に運ばれる。中間処理施設の数は全国で約150ヶ所である。一方ガラスのカッティングセンターも全国で約200ヶ所あり、両者の分布に相関はないと思われるが、廃板ガラスを新たにカッティングセンターに運搬するとしても、現状の中間処理施設に運搬するのと、距離の上では大きな違いがないので、エネルギー消費でも大きな相違はないと思われる。

一方、使用済み自動車の廃板ガラスは、現行では解体業者から、部品等を取りはずした筐体の一部として、シュレッダー業者に運ばれ、その後最終処分場に運ばれる。シュレッダー業者も、全国で約150社あり、板ガラスのカッティングセンターの設置数と大差がない。つまり、現行のシュレッダー業者への運搬と新たにカッティングセンターへ運搬するのとでは、使用するエネルギーやコストに大差がないと思われる。

また、2次物流に関しては、板ガラスのカッティングセンター(主に建築用のガラスを切断して、販売店等へ渡す)と呼ばれる販売拠点を中間集積地点としており、廃板ガラスは、ここに運ばれ(中間)集積される。ここには、板ガラス工場から販売用のガラスが運ばれているので、製品納入の帰り車に廃板ガラスを積み込んで、板ガラス工場に運搬すれ

ば、基本的には、ガラス回収のための新たに必要なエネルギーの発生は無い。

次に、湿式法の稼働のためのエネルギーであるが、これは基本的に破碎装置や中間膜剥離装置のローラ駆動のための電力である。ここで、各装置の定格電力が6 Kwh程度であり、消費電力の実績値は、1 tの合わせガラスの処理に12 Kwh程度であった。この値は、発熱量で換算すると軽油1.1リットルに相当し、運搬のところで使う5 tトラックの燃費が約4km/1Lであるので、1 tの重さのガラスを約20 km運搬するのと同程度のエネルギー使用量ということができる。ガラスの運搬では、現状と新しいビジネスモデルとの運搬距離をラフに比較しており、比較の都合上、1次物流でのこの程度の運搬距離の相違を無視しており、湿式法でのこのエネルギー消費についても取り上げない。

このように、板ガラスのカッティングセンターを回収拠点として、製品搬送の帰り便を使って廃板ガラスを板ガラス工場へ運搬することにより、回収運搬に特段のエネルギー使用のない形で廃板ガラスのリサイクルが実現できる見込みがついた。廃板ガラスのプリント剥離や中間膜分離などの処理についても、大きなエネルギー消費がないことから、板ガラスのリサイクルにより、3.6で述べたような、原料のガラス化エネルギーが削減できる。

#### 4.4 事前調査のまとめ

今回の事前調査では、以下のようなことが明瞭になった。

- ・使用済み建築物や自動車の解体の実態をヒアリングし、現在行われている解体処理の中で廃板ガラスを回収することはそれほど難しくない。
- ・板ガラスにカラービットコードによるIDを付与すれば、回収された廃板ガラスの種類や含有成分を判別する際に有効である。
- ・フロントガラス、リアガラスの黒セラミックス、リアガラスの銀線、フロントガラスに採用されている合わせガラスの中間膜などが、湿式法を用いることによりガラスカレットと銀、中間膜などが、分別されて再利用のための資源として回収できる。
- ・廃板ガラスを発生現場から板ガラスの製造工場まで長距離運搬することによるエネルギー消費が板ガラスリサイクルの課題であったが、販売拠点のカッティングセンターを廃板ガラスの回収拠点として、販売用の製品を運搬するトラックの帰り便として廃板ガラスをガラス工場に運搬することにより、新たなエネルギーの消費がなくガラスのリサイクルが実現できる。

このような調査検討の結果から、廃板ガラスのリサイクルが板ガラス製造におけるエネルギー使用削減や二酸化炭素発生抑制に有効であることが明確になった。

廃板ガラスのリサイクルは、板ガラス製造におけるガラス化エネルギーの削減だけでなく、さらに廃板ガラスカレット使用によるガラス製造における二酸化炭素発生抑制（3.6参照）や、中間膜のリサイクル、析出した銀の利用などのメリットもあり、ガラス製造における環境負荷削減には大いに有効であることが判明した。しかし、湿式法の設備はまだ実験段階のものであり、今後の効率化や環境対応を進めるために、自動化や廃液処理の循環化、クローズド化が必要であり、また、現実に効率良く板ガラスのリサイクルを運用して行くには、しっかりした回収、運搬システムの構築が必要である。これには、多くの利害、権利、規制など調整すべき事項も多く、関係者の今後の多大な協調、協力が不可欠であろう。

## 参考文献

- (1) 自動車リサイクルに係わる最適解体システム等に関する調査研究報告書  
平成17年3月 財団法人機械システム振興協会（委託先：財団法人 金属系材料  
研究開発センター）
- (2) 板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究報告書 平成19年3月  
財団法人機械システム振興協会（委託先：財団法人 製造科学技術センター）
- (3) 建設廃棄物一元処理システム調査報告書（平成17年度） 社団法人 日本建材・  
住宅設備協会
- (4) 東北黒沢建設工業株式会社 ホームページより作成：  
<http://kurosawa-kaitai.com/index.htm>
- (5) 豊田メタル株式会社 ASRリサイクル部パンフレット
- (6) 平成12年度循環型社会構築促進技術実用化開発費助成事業：廃自動車ガラスのリ  
サイクル技術開発（平成14年4月）旭硝子株式会社
- (7) 「自動車合わせガラスのリサイクル用技術開発」、中小企業庁、関東経済産業局、千  
葉県産業技術研究所，平成17年3月
- (8) 岩本雄二：使用済み自動車リサイクルにおける広域収集に関する研究、(財)日産  
科学振興財団 2004年度研究助成成果報告書
- (9) 奥村和彦、工藤透：リサイクル「自動車用ガラスのリサイクル技術と課題」  
NEW GLASS vol.16,No2 (2001) pp38-45
- (10) 宮本武司：「板ガラスのリサイクル」第5回建材情報交流会、社団法人日本建築材  
料協会（平成15年4月）