

システム技術開発調査研究
18-R-16

板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究

報 告 書

一 要 旨 一

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

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://keirin.jp>



序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムの調査研究等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長 政策研究院 リサーチフェロー 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を実施しております。

この「板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が 財団法人製造科学技術センター に委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成19年3月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

東京では、2006年の最高気温を観測してから、現在まで降雪がない。これまでに最も遅い初雪の記録は2月10日であるが、この冬、この記録を更新した。

地球温暖化が懸念されて久しく、日本でも京都議定書に沿って温室効果ガスの削減目標を定めている。当面の目標としては、2008年から2012年の5年間で、基準年の6%削減としており、様々な対策が提案されている。しかし、温室効果ガスの削減目標はこれで終わるのではなく、地球の温暖化を防ぐためには、その後も削減活動を続けて行かなければならないことは明らかである。

これまで、日本の製造業はエネルギーの使用を抑えて付加価値の高い製品を作ってきた。しかし、このままでは、日本に課せられた温室効果ガスの削減目標を達成することは難しい状況である。製造業として、一般市民との連携も強めて相互が協力することにより目標達成に向けて努力を続けていかなければならない。

インバース・マニュファクチャリングフォーラムでは、持続可能社会での製造業のあり方を追求している。持続可能社会に至る道筋の検討の中で、工業製品のライフサイクル全体で環境負荷を最小にしていくことの必要性が認識され、そのための一つの手段としてリユースやリサイクルの推進が論ぜられた。

板ガラスも現在大量に使われている工業製品のうちの一つであるが、現状では、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。一方、ガラス製造では、手法が多少変わってきたにしろ、原材料からガラスを生成するまで、原料の溶解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、原油価格高騰化によるコストアップに見舞われている。回収されたガラスは、純粋なガラス素材に戻し、カレット化することで、バージン材投入に比べてエネルギー消費を押さえることが可能であるとも言われている。

そこで、ガラスリサイクルシステム構築に向け、メーカ、ユーザ、回収業者等が参集し、循環型社会実現に向けての現状認識と今後のあり方等を考えるためにワークショップを2006年9月6日に開催した。このワークショップには多くの関係者が参集し、熱心な討論があった。ワークショップとして、結論や提言などのとりまとめは無かったが、板ガラスのリサイクルは環境負荷削減に有効であると思われ、推進すべきであるが、その有効性の程度と必要な費用をきちんと算定して進めるべきであるということが参加者の大勢であった。これを受けて、今回、板ガラスリサイクルシステムのLCA (Life Cycle Assessment)、LCC (Life Cycle Costing) を実施することになった。

LCA、やLCCは、製品のライフサイクルシナリオによって得られる値が大きく変わってくる。また、新たな処理作業等の導入を考えると、不確かなデータを使って計算せざるを得ないという場面に遭遇することもある。リサイクルのシナリオを決めるにあたっては、計算根拠となるデータの信頼性から、建築物の解体処理や、自動車窓ガラスの処理の現状に沿ったシナリオとした。とくに自動車窓ガラスのリサイクルに関しては、日本自動車工業会や板ガラス協会から提案のあったリサイクルシナリオでの計算を行った。具体的には、リサイクルの対象をフロントガラスとして、スモークのあるものが混ざっているサイドガラスや熱線、アンテナ線の貼ってあるリヤガラスは対象外(分別作業が困難)とし、また、

実証実験でデータ収集実績のある切り取り方法や分別方法を採用することにした。

計算結果については、このようなリサイクルシナリオにおいては、LCAとして、二酸化炭素の排出量の削減につながらず、LCCでも、処理コスト分の上昇になっている。

我が国では、環境負荷の削減、資源制約への対応のために国を挙げて循環型社会の形成に取り組んでおり、廃棄物発生抑制（リデュース）、部品等の再利用（リユース）、使用済み製品等の原材料としての再利用（リユース）が推進されつつあり、3Rと呼ばれている。2001年には循環型社会形成推進基本法が施行され、循環型社会の形成のための枠組みが定められ、個別製品についても、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、食品リサイクル法、建設リサイクル法、自動車リサイクル法が相次いで公布、施行された。また、2001年に施行された資源有効利用促進法においては製造、設計段階における3Rの推進、自主的リサイクル等についての規定がある。

3Rでの優先順位もリデュース リユース リサイクルと定められている。リサイクルするにしても、もとの資源に戻して使用するという水平リサイクルが基本であろう。最近では、家電製品のプラスチックが同じ家電製品に使われる例も見受けられるようになってきた。板ガラスのリサイクルも板ガラスとして再利用されることが基本であると思われ、その実現に向けて長期的な視野に立って取り組んでいく必要がある。

今回のリサイクルシナリオでは、廃ガラスの収集、運搬、分別等にかかる二酸化炭素発生量が、リサイクルによる板ガラス製造時の二酸化炭素発生削減量を上回ることが判明した。今後の課題として、板ガラスを使用可能なリサイクル材料として回収するシステムの効率化を図る工夫が必要である。システム上の工夫や技術開発の集積により、コスト増の少ない、環境負荷削減量の多いシステムでなければ、二酸化炭素発生量削減に寄与するという目的を達成できない。また、このようなシステムの効率的な運用には、現行の規制の緩和なども必要となろう。今回のリサイクルシナリオのLCA,LCCを通じて明らかになった課題への対応により、板ガラスリサイクルを通じて循環型社会に至るための効率的な道筋をつけて行かなければならない。

平成19年3月

財団法人 製造科学技術センター

板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究
要旨

序

はじめに

1	調査研究の目的	1
2	調査研究の実施体制	3
3	調査研究の成果の要約	6
3. 1	ガラスリサイクルシステムのシナリオ	6
3. 2	板ガラスリサイクルシステムのインパクト算定	1 1
3. 3	板ガラスリサイクルシステムの主な技術課題	1 6
3. 4	板ガラスリサイクルについての欧州動向調査	5 6
4	調査研究の成果	5 7
5	調査研究の今後の課題および展開今後の課題	5 8

1 調査研究の目的

ガラス瓶はリターナブルな容器として再利用され、寿命が来ればカレットとして再び瓶の原料としてリサイクルされている。一方、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、自動車シュレッターダスト（ASR）中に含まれ、金属等と圧縮処理されたり、路面材として活用されているものを除き、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、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。

自動車ガラスの場合は危険回避のため強靱性が求められ、合わせガラスになっている場合が多く、さらに、ヒーター等の熱線に間に挟み込みフィルムで接着されているものが使われている。建築用のガラスについても、最近需要の増えた、防犯ガラス、断熱ガラスにおいて合わせガラスの構造のものが増えてきている。これら複雑な構造で、ガラスにとっての不純物を含むことは、ガラス原料に戻すときの阻害要因になっており、現在、これら合わせガラスなどの分離・分別技術の開発が各方面で行われるようになってきた。

また、板ガラスを回収リサイクルし、循環させるためのルールや体制がないため、再利用資源として活用される場が少ないのも事実で、有効活用のための仕組み作りも必要とされている。

本調査研究では、社会に有用な板ガラスリサイクルシステムを構築することによる環境負荷低減の効果を算定し、構築の際に克服すべき課題の調査研究を行ない、循環型社会の構築を促進することを目的にしている。

本調査研究では、リサイクルシステム実現に向けた技術課題とその対応策を単に調査研究するだけにとどまらず、システム構築によるインパクトの大きさを算定することに特色がある。

板ガラスの循環システムはトータルシステムであり、関係者も多岐にわたっている。既存の販売業者や回収処理業者への影響や、回収拠点の設定等まで考えた検討を行い、各種アセスメントを実施することが必要である。

再利用可能な資源に戻すことを一般にリサイクルと言うが、使用済みのガラスが路盤材に用いられるなどのように、多くの場合はリサイクルを行うことにより資源の品位が低下

して、最初に使っていたときより、品位の下がった使われ方をすることが多い。本リサイクルシステムは、板ガラスを同じ板ガラスに戻すという水平リサイクルシステムを狙っていることも特色の一つである。

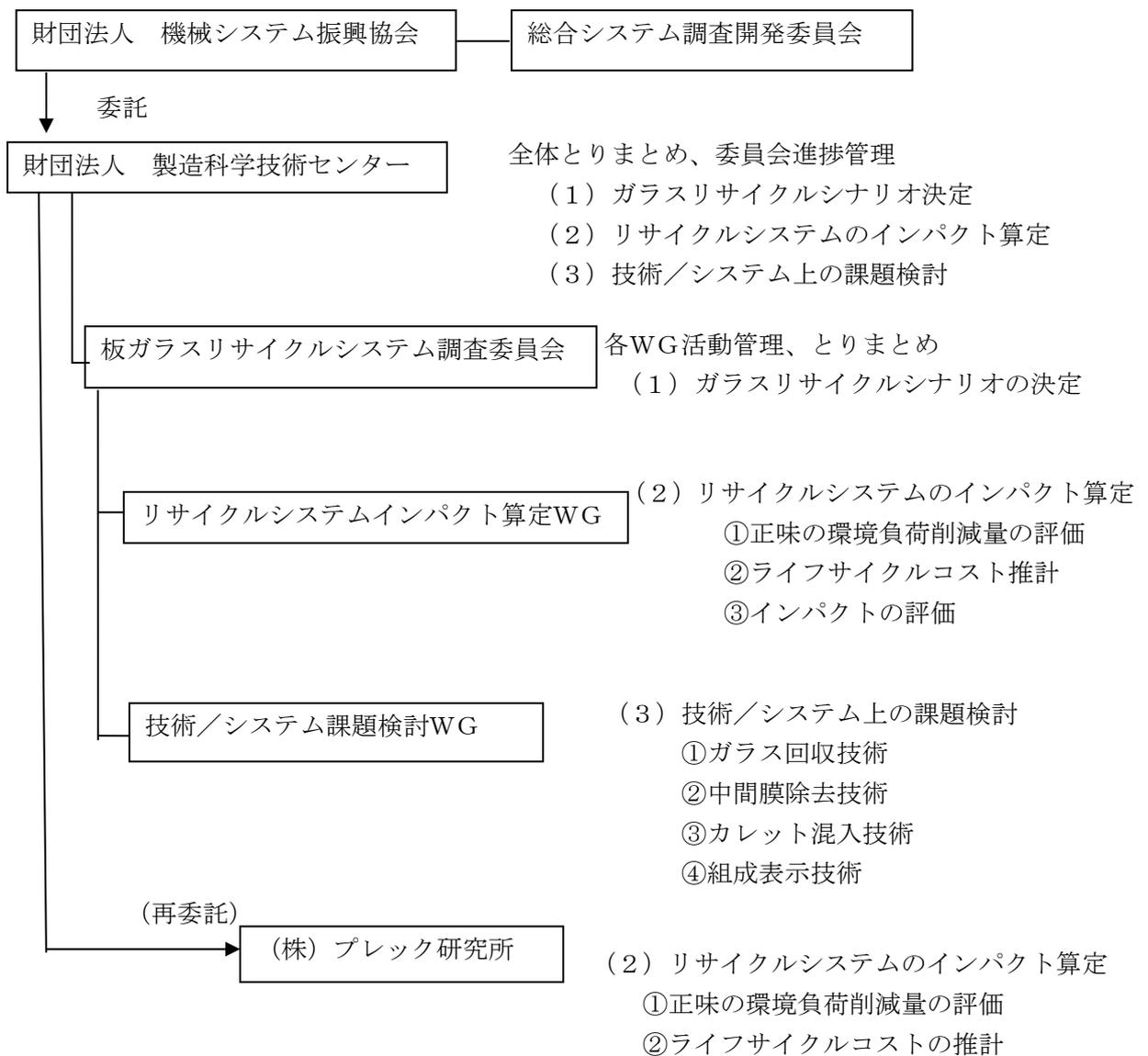
ガラスというリサイクルの優等生のように思われているが、実際、ガラス瓶を除いてリサイクルが進められているものは少ない。また、自動車、PC等製品ごとのリサイクルが法令に従って進められているが、本テーマは、板ガラスという、建築物（窓ガラス）、自動車（フロント、サイドやリヤガラス）と言ういろいろな製品に共通する部品に着目したリサイクルシステム構築に関する調査研究である。

ガラス瓶のリサイクルシステムは確立されているが、板ガラスについてはガラスが無害と言うことで、従来から廃ガラスは埋め立てられており、むしろ有害物質を封じ込めるのに使われたりしている。

国内外で、合わせガラスの剥離技術や、有色ガラスの脱色技術などについて、ガラスリサイクルのための個別技術として、2，3の提案と実験が進められていたりするが、板ガラスのトータルリサイクルシステムが構築されているまでには至っていない。

2 実施体制

(財) 製造科学技術センター内に、学識経験者、研究所、業界関係者からなる「板ガラスリサイクルシステム調査委員会」、「リサイクルシステムインパクト算定WG」、「技術／システム課題検討WG」を設け、討議・指導を得て、具体的作業をすすめることにより、成果をまとめて報告書を作成した。なお、環境負荷量、ライフサイクルコストの計算については、(株) プレック研究所に再委託した。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	政策研究院 リサーチフェロー	藤 正 巖
委 員	埼玉大学 地域共同研究センター 教授	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 副研究部門長	金 丸 正 剛
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

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 慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学研究専攻 教授

委員

村上周三 慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 教授

中村 慎一郎 早稲田大学政治経済学院教授

安井至 国連大学副学長

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 助教授

野村昇 産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメントセンター
主任研究員

加藤忠利 社団法人日本自動車工業会リサイクル廃棄物部会委員
(トヨタ自動車(株) CSR環境部リサイクル企画室長)

原潤一 板硝子協会調査役

深井日出男 清水建設(株) 技術研究所インキュベーションセンター主任研究員

吉岡稔弘 (株)A I 総研代表取締役

リサイクルシステムインパクト算定 WG

主査

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 助教授

委員

野村昇 産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメントセンター
主任研究員

加藤忠利 社団法人日本自動車工業会リサイクル廃棄物部会委員
(トヨタ自動車(株) CSR環境部リサイクル企画室長)

原潤一 板硝子協会調査役

技術／システム課題検討 WG

主査

川嶋弘尚 慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学研究専攻 教授

委員

永田 敦 社団法人 日本自動車工業会 リサイクル廃棄物部会リサイクル部
品検討 WG 委員 (日産自動車(株) リサイクル推進室 主管)

原潤一 板硝子協会調査役

深井日出男 清水建設(株) 技術研究所インキュベーションセンター主任研究員

吉岡稔弘 (株)A I 総研代表取締役

後上昌夫 大日本印刷(株) 電子デバイス事業部 RFID デバイス開発部 部長

3 調査研究の成果の要約

3-1. ガラスリサイクルシステムのシナリオ

3-1. 1 シナリオケース

検討対象とするシナリオケースを表1. 1. 1のように設定する。建築用板ガラスと自動車板ガラスの各々について、現状ケースとカレット化を行い、ガラス原料としてリサイクルを行った場合の新規ケースとのLCA及びLCCの比較を行う。

表1. 1. 1 板ガラスのリサイクルに関するシナリオケース

◎：現状ケース ●：リサイクル新規ケース

	リサイクルなし	水平・リサイクル	カスケード・リサイクル
自動車用板ガラス		●分別解体・カレット化・ガラス製造シナリオ	◎ASR化・熱回収・スラグ利用シナリオ
建築用板ガラス	◎埋立	●カレット化・ガラス製造シナリオ	

【補足説明】

- ・ ガラス工場は、建築用あるいは自動車用の各々専用の工場となっている。自動車から回収したカレットは、自動車用板ガラスの工場で使用するものとして、建築用板ガラスの製造工場で使用したり、建築あるいは自動車から回収したカレットを混ぜて利用することが想定しない。
- ・ 自動車用板ガラスの現状は、ASR化の後に埋立をされている場合、ASR化・熱回収を行ったのちスラグを埋立している場合等があるが、実際には熱回収後に発生したスラグを路盤材に利用している場合が約半分程度あるとされる。この検討では、スラグを路盤材に利用する場合を現状ケースとする。
- ・ また、ASR後に素材選別を行い、ガラスの再資源化を行うことも考えられるが、ASR中のガラスの粒度は小さく、不純物との分離は困難であると考えられる。なお、鉄鋼原料としての電炉に投入する場合もある。
- ・ 自動車用板ガラスは、部位（フロントとサイド、リア）で異なる構造となっている。サイドガラスやリアガラスについては、熱線の含有、回収時の不純物の問題等から、フロントガラス以上にリサイクルが困難な面がある。このため、本検討では自動車板ガラスのうち、フロントガラスのリサイクルを検討するものとする。

3-1.2 リサイクル率の設定

新規にリサイクルを行う場合のリサイクル率は、次のような考え方から設定する。

【自動車用ガラス】

- 自動車用板ガラスの回収量は、フロントガラスのみをリサイクルの対象とするとして、1台あたり4.5kgとなる。サイドガラスとリヤガラスをあわせた重量は32.5kgであるが、このうちフロントガラスは12.5kgである。解体時には、フロントガラスの真ん中を切り取るとして、その歩留まりは6割とされ、回収されるガラスは7.5kgとなる。さらに、切り取られたガラスは中間膜との分別工程を経て、カレットとなる。分別工程での歩留まりを考えると、カレットとして利用可能な量は4.5kgとなる。
- これに年間廃車台数を乗じて計算されるガラス回収量と板ガラスの生産量の比率は、1.92%となる（表1.1.2参照）。

表1.2.1 自動車用板ガラスのリサイクル率

ガラス部品重量	A	32.5	kg/台	自動車工業会資料
フロントガラスカレット利用可能量	B	4.5	kg/台	
廃車台数	C	2,833,613	台/年	
廃ガラス量	D=B×C	12,709	t/年	
ガラス生産量	E	28,390,000	換算箱	板硝子協会資料
	E'	527,486	m ³	・換算箱の単位を換算
ガラス比重	F	2.5	t/m ³	
ガラス生産量(重量)	G=E'×F	1,318,716	t/年	
自動車分ガラス生産量(重量)	H=G×0.5	659,358	t/年	・自動車分を半分と設定
リサイクル可能率	I=D/H×100	1.92	%	

【建築用ガラス】

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*。建築用ガラスの生産量を自動車用ガラスと同程度（年間約66万トン）と設定すると、リサイクル率は約10%となる。本調査研究ではリサイクル率をこの値（10%）に設定する。

*宮本「板ガラスのリサイクル」第5回「建材情報交流会」（平成15年4月）

3-1.3 システム境界と比較方法

【自動車用ガラス】

自動車用板ガラスについては、分別解体・カレット化・ガラス製造シナリオケース（現状）と ASR 化・熱回収・スラグ利用シナリオケース（新規）について、図 1. 3. 1 のようにシステム境界を設定する。

現状：

ガラスは解体工程で、有価部品や金属類が回収された後のシュレッダーダストに含まれ、熱回収の後に熔融されたスラグ残渣となるが、これらの約半分は路盤材としてリサイクルされ、残りの約半分は埋め立てられている。

リサイクルシナリオ：

使用済み自動車から、チップソーで切り出されたフロントガラスの中央部は集約拠点に運ばれる。（各都府県 1 箇所、北海道 2 箇所に設定）集約拠点から、ガラス工場に運ばれ、不純物等の排除や板ガラスの製造に使えるもの（約 60%）を分別して、場内カレットとあわせてガラスの製造に使われる。

分別されたリサイクルされないガラス（約 40%）は埋め立て処分される。

サイドガラス、リヤガラス、回収残りのフロントガラス（周辺部）は、現状と同じくシュレッダーダストとして熱回収されて残渣が路盤材に使われる。

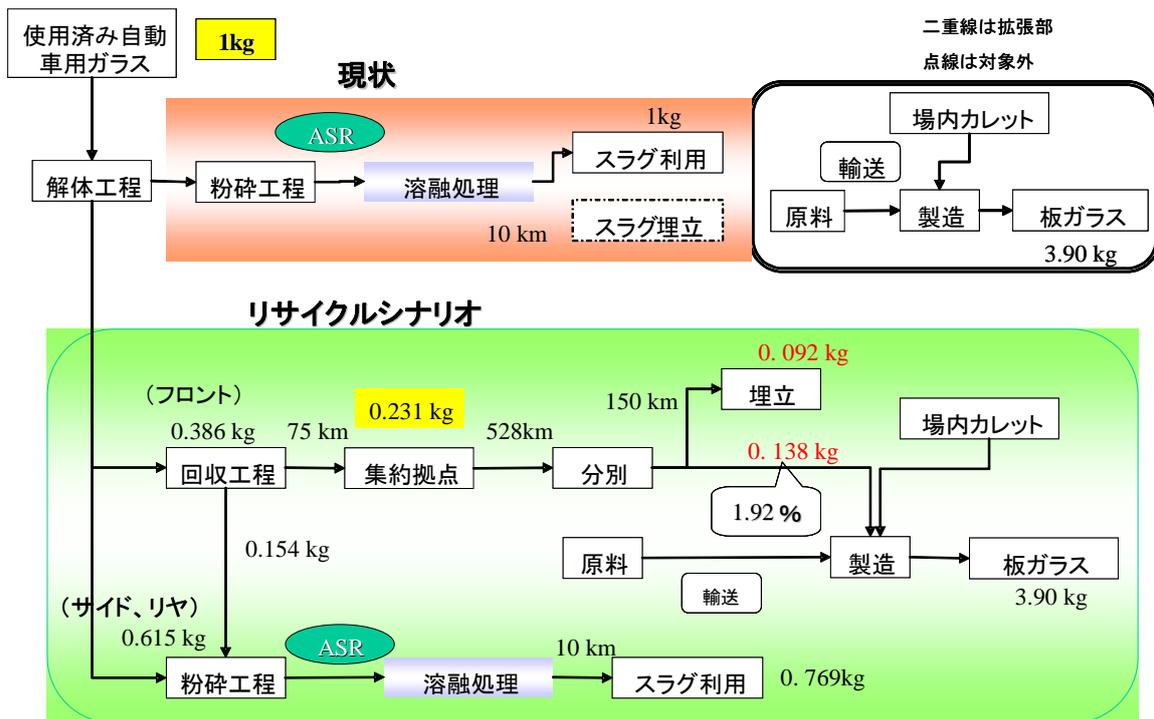


図1. 3. 1 自動車用板ガラスのシステム境界と比較方法

注1) 使用済み板ガラス1kgのその後の行く先を比較する。上段が現状ケースで、下段がリサイクルケースである。比較のため、現状ケースでは、リサイクルを行った場合に生産される板ガラス同量を、現状の方法で生産する場合を拡張部として設定する。

注2) 自動車用板ガラスの現状は、ASR化の後に埋立をされている場合、ASR化・熱回収を行ったのちスラグを埋立している場合等があるが、実際には熱回収後に発生したスラグを路盤材に利用している場合が約半分程度あるとされる。この検討では、スラグを路盤材に利用する場合を現状ケースとする。

注3) ASRの粉碎工程、エネルギー利用に関するLCAあるいはLCCについては、経済配分を行うため、板ガラスの配分はゼロとなる。

注4) 自動車用板ガラスの輸送距離には、ASR・熱回収・スラグ利用（現状）ケースでは、スラグの路盤材等の原料としてリサイクルしている業者への運搬距離を10kmとする。一方、カレット化・ガラス製造シナリオケースでは、各都道府県毎に原則1ヶ所に回収し（一次輸送）し、全国3ヶ所の自動車用板ガラスの工場に輸送（二次輸送）を行うものとして、設定する。これにより、一次輸送の距離は75kmとする。二次輸送の距離は、各都道府県と3ヶ所の工場の距離を経路検索により求め、都道府県別の廃車台数で重み付け平均値を求めた値を採用する（528km）。これらは、（社）日本自動車工業会から提供されたデータである。

【建築用ガラス】

建築用板ガラスについては、1. 1で設定した埋立ケース（現状）とカレット化・ガラス製造シナリオケース（新規）について、図1. 3. 2のようにシステム境界を設定し、両者の比較を行う。

現状：解体工程で、先行回収されたガラスサッシ等は中間処分場に運ばれて、サッシをはずされ、金属類、木くずと分別されて保管され、混合廃棄物として最終処分場に埋め立てられる。

リサイクルシナリオ：

中間処分場で分別されたリサイクル材として使用可能な廃ガラスは、集約拠点に運搬され、場内カレットとあわせて、ガラスの製造に使われる。

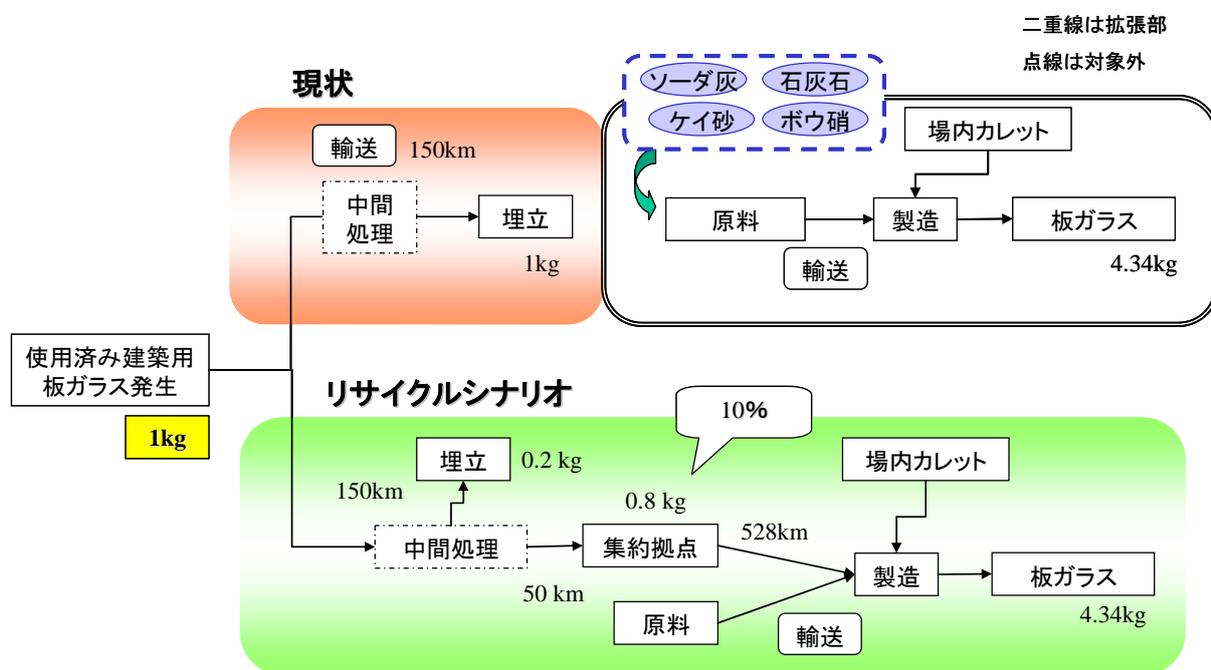


図1. 3. 2 建築用板ガラスのシステム境界と比較方法

注1) 使用済み板ガラス1kgのその後の行く先を比較する。上段が現状ケースで、下段がリサイクルケースである。比較のため、現状ケースでは、リサイクルを行った場合に生産される板ガラス同量を、現状の方法で生産する場合を拡張部として設定する。

注2) 現状ケースでは、使用済み板ガラスは、建築の解体現場で分別された後、中間処理業者に運ばれ、分別された状態で保管される。つまり、現状において、板ガラスの分別はなされており、リサイクルを行う場合には、それを集約拠点等まで輸送すればよい。

注3) 輸送距離については、自動車板ガラスの場合と同じと設定した（図1. 3. 1参照）。

3-2. 板ガラスリサイクルシステムのインパクト算定

3-2.1 LCA, LCC 算出の目的と実施項目

(1) LCA, LCC 算出の目的

板ガラスは、建築分野、自動車分野にとって、必要不可欠な素材であり、需要・供給量ともに多い。製造工程で発生するガラスカレットの再利用は既に行われているが、使用済みの板ガラス及び自動車ガラスの多くが最終処分にまわっている。

また、使用済み板ガラスのリサイクルができれば、資源の削減、省エネルギー、廃棄物削減など、環境負荷の側面から見てメリットがあるものと考えられる。一方、使用済み板ガラスは、分別や解体が困難であり、回収効率が悪いいため、リサイクルのためのコストが大きいと考えられる。

今回の算出では、板ガラスのリサイクルシステムを構築することによる、実現可能な環境負荷低減効果およびコストを算定し、使用済み板ガラス等のリサイクル費用対効果の明確化および構築の際に克服すべき課題の調査研究を行い、循環型社会の構築に資することを目的とする。

LCA : Life Cycle Assessment

製品等のライフサイクル全体を通じて、環境にどのような影響を与えたかを評価すること。

LCC: Life Cycle Cost(ing)

製品等のライフサイクル全体を通じて、発生する費用

(2) 対象製品

LCA 及び LCC の検討対象は、次の製品とする。

- ① 建築用板ガラス
- ② 自動車用板ガラス

【補足説明】

- ・板ガラスは、製造方法から、型板ガラスとフロートガラスがあるが、建築用であっても生産の多くがフロートガラスである。また、製造工程のインベントリーを製造方法別に区別して入手することが困難である。このため、本検討では板ガラス平均（≒フロートガラス）を対象とする。

(3) 評価項目

日本国内ガラス業界の平均的な LCA 及び LCC を求める。インパクト項目は次の通り。

LCA : 二酸化炭素排出量 (CO₂-kg/年)

LCC : 投入費用 (円/年)

(4) 前提条件

LCA 及び LCC を求める前提条件は、表 2. 1. 1 の通り。

表 2. 1. 1 板ガラスの LCA 及び LCC の前提条件

機能単位	使用済みガラス製品 1kg の廃棄処理及び再資源化
システム境界	使用済みガラス製品の発生から、輸送、廃棄物処理・再資源化、リサイクル製品の製造まで
対象範囲	インフラは除く ・例えば、再資源化のための施設整備による環境負荷が除く。
配分	基本的に経済価値で配分 ・質量配分で行うことも考えられるが、例えば、ASR の熱回収では、ガラスは熱量を持たないのに熱回収分を配分することは実態にそぐわない面がある。
対象期間	1 年

3-2.2 正味の環境負荷削減量

【自動車用ガラス】

自動車用板ガラスのリサイクルシステムの LCA 算定結果を表 2. 2. 1 に示す。自動車板ガラスのうちフロントガラスを回収し、市場回収によるカレットを 1.92% 増加させることにより、二酸化炭素排出量は、使用済板ガラス 1 kg 当たりでは、5.360—5.407 を計算して 0.047 kg-CO₂ だけ増加することになる。

表 2. 2. 1 自動車用板ガラスのリサイクルシステム LCA 算定結果
単位：kg-CO₂/年

	スラグ利用 シナリオ	再ガラス化 シナリオ
輸送(路盤材施設まで)	0.002	0.001
路盤材製造	0.001	0.001
回収工程	-	0.001
輸送(リサイクル:集約拠点まで)	-	0.008
輸送(リサイクル:ガラス工場まで)	-	0.024
輸送(リサイクル:埋立地まで)	-	0.033
分別工程	-	0.004
ガラス製造	5.129	5.113
輸送(バージン原料)	0.229	0.222
計	5.360	5.407

【建築用ガラス】

建築用板ガラスのリサイクルシステムの LCA 算定結果を表 2. 2. 2 に示す。

建築板ガラスを回収し、市場回収によるカレットを 10% 増加させることによる二酸化炭素排出削減量は、使用済板ガラス 1 kg 当たりでは、5.995-5.923 を計算して、0.072 kg-CO₂ である。

建築用の使用済板ガラスのうち発生量を生産量の 10% として (659,358 t/年 (表 1. 2. 1 参照)) とし、そのうち 10% である 65,936 t/年がリサイクルされるとする。その場合の二酸化炭素削減効果は、0.48 万 t-CO₂ となる。この値は、板ガラス製造業における生産段階での二酸化炭素排出量 135.2 万 t-CO₂(2004 年度：板硝子協会資料)の 0.35% 程度である。

表 2. 2. 2 建築用板ガラスのリサイクルシステム LCA 算定結果
単位：kg-CO₂/年

	埋立シナリオ	再ガラス化シナリオ
輸送(埋立地まで)	0.033	0.007
輸送(リサイクル:集約拠点まで)	-	0.027
輸送(リサイクル:ガラス工場まで)	-	0.084
ガラス製造	5.707	5.593
輸送(バージン材料)	0.255	0.212
計	5.995	5.923

3-2. 3 ライフサイクルコスト

【自動車用ガラス】

自動車用板ガラスの LCC 算定結果を表 2. 3. 1 に示す。

表 2. 3. 1 自動車用板ガラスのリサイクルシステム LCC 算定結果

	単価			活動量			単価×活動量		
	スラグ利用	再ガラス化	単位	スラグ利用	再ガラス化	単位	スラグ利用	再ガラス化	単位
輸送(路盤材施工施設まで)	32.500	32.500	円/tkm	0.010	0.008	tkm	0.325	0.250	円
回収工数(人件費)	-	47.300	円/kg	-	0.231	kg	-	10.926	円
回収工数(電力)	-	16.000	円/kwh	-	0.000	kwh	-	0.003	円
輸送(集約拠点まで)	-	32.500	円/tkm	-	0.012	tkm	-	0.375	円
保管(集約拠点)	-	27.300	円/kg	-	0.231	kg	-	6.306	円
輸送(ガラス工場まで)	-	32.500	円/tkm	-	0.122	tkm	-	3.964	円
分別(中間膜とカレット)	-	10.700	円/kg	-	0.231	kg	-	2.472	円
埋立(1mm以下カレット、中間膜他)	-	25.00	円/kg	-	0.092	kg	-	2.300	円
ガラス製造	25.400	24.613	円/kg	3.900	3.900	kg	99.060	95.989	円
輸送(バージン材料)	16.000	16.000	円/tkm	3.900	3.779	tkm	62.400	60.466	円
合計							161.785	183.051	円
							差額	21.27	円

【建築用ガラス】

建築用板ガラスのLCC算定結果を表2.3.2に示す。

表2.3.2 建築用板ガラスのリサイクルシステムLCC算定結果

	単価			活動量			単価×活動量		
	埋立 シナリオ	再ガラス化 シナリオ	単位	埋立 シナリオ	再ガラス化 シナリオ	単位	埋立 シナリオ	再ガラス化 シナリオ	単位
埋立処理	4.800	4.800	円/kg	1.000	0.200	kg	4.800	0.960	円
選別工程	-	47.300	円/kg	-	1.000	kg	-	47.300	円
輸送(埋立地まで)	32.500	32.500	円/tkm	0.150	0.030	tkm	4.875	0.975	円
輸送(リサイクル:集約拠点まで)	-	32.500	円/tkm	-	0.040	tkm	-	1.300	円
輸送(リサイクル:ガラス工場まで)	-	32.500	円/tkm	-	0.422	tkm	-	13.728	円
ガラス製造	25.400	21.200	円/kg	4.340	4.340	kg	110.236	92.008	円
輸送(バージン材料)	16.000	16.000	円/kg	4.340	3.628	kg	69.440	58.052	円
合計							189.351	214.323	円
							差額	24.972	円

3-2.4 事業者へのインパクト

【自動車用ガラス】

現状のシステムでは、ASRの直接の埋め立て、または熱回収後のスラグの埋め立てを行っている。新規のリサイクルシナリオでは、新たに解体工程にフロントガラスの切り取り回収工程が入る。また、その後の収集拠点への運搬と分別作業も必要になる。リヤガラスとサイドガラスおよび切り取られなかったフロントガラスは従来どおりの工程で処理される。従ってリサイクルシナリオによっても、従来工程の量的な変化は少ない。

このように、建築解体業者、自動車解体業者にとって、今回のリサイクルシナリオでは、従来から行われていた業務自体にはあまり変化がなく、リサイクルのための新たな作業が発生すると考えられる。

【建築用ガラス】

現状のシステムにおいても、板ガラスは中間処理場に分別保管された後、混合廃棄物として埋め立て処分されている。新規のリサイクルシナリオでは、集約拠点に回収運搬され、ガラス工場でカレットとしてリサイクルされることになる。リサイクルシナリオで新たに加わる作業は使用済みガラスの回収、運搬とガラス工場の受け入れであり、使用済みガラスの埋め立てという業務は不要になる。ただし中間処理から出る混合廃棄物の量は現状で約40万トン以上と言われており、ガラスがリサイクルされて6万トン分が減っても、残りの部分として30万トン以上は相変わらず埋め立てられることになる。

3-2. 5 今後の課題

本検討では、板硝子協会、日本自動車工業会から提供されたデータ、及び建築廃棄物の中間処理事業者へのヒアリング結果等をもとに、LCA 及び LCC の算定を行った。多くの前提条件と限られたデータをもとにした結果であり、今後検討すべき課題として、次のような点が残されている。

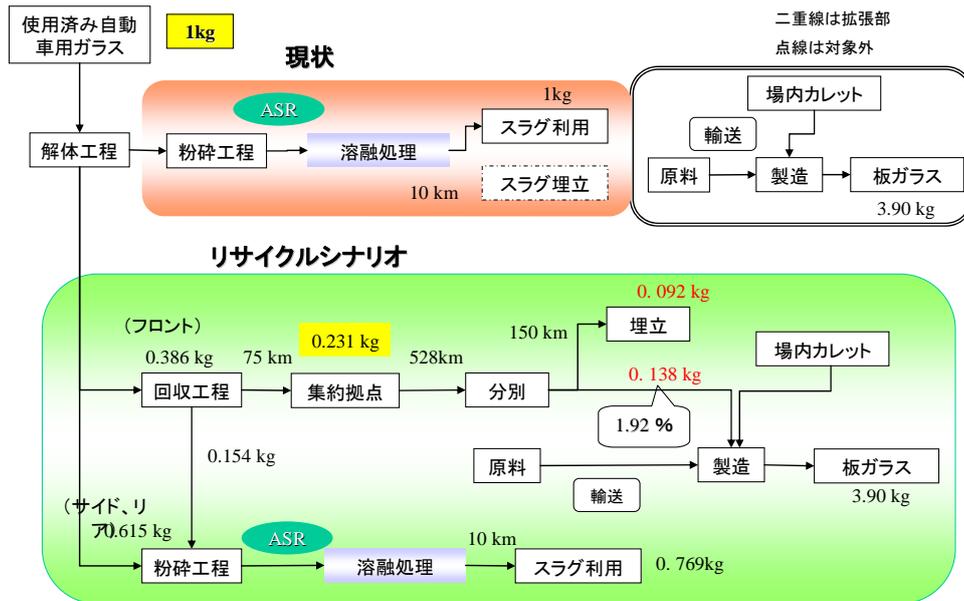
- ・本検討では、自動車用板ガラスについては、多くの積み上げデータを作成して、できるだけ精緻な試算になるように試みた。これは、自動車用板ガラスについて、既の実証事業が行われているために可能であった。建築用板ガラスについては、実証事業がなく、データを作成することが困難であった。建築用板ガラスの LCA および LCC については、さらに具体的な検討を行う余地がある。
- ・算定に用いたデータは、現在の状況で、現在のデータを用いて検討したものである。しかし、今後は、スラグの路盤材利用を行う場合の需要の継続性が懸念される。また、自動車設計において、ガラスのリサイクル容易性に配慮することも考えられる。輸出している自動車が多いなら、海外でのガラスリサイクルを検討することも考えられる。こうした前提条件の変化を考慮し、長期的な視点から検討を継続することが必要である。

3-3. 板ガラスリサイクルシステムの主な技術課題

3-3. 1 ガラスリサイクルシステムの概要

今回取り上げるガラスリサイクルシステムは LCA, LCC の計算に用いた以下のようなものを前提としている。(2. 6 システム境界と比較方法 参照)

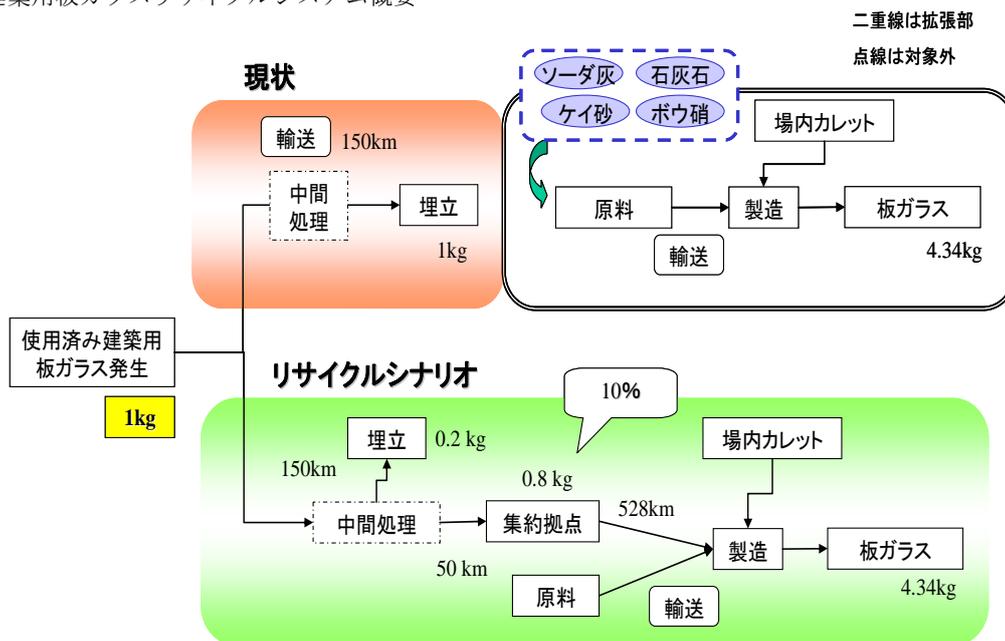
自動車用板ガラスリサイクルシステム概要



合わせガラス中間膜/ガラス分離技術に関しては

LCA, LCC で採用しなかった技術についても 3. 3. 2に記載

建築用板ガラスリサイクルシステム概要



3-3. 2 板ガラス回収技術

3-3. 2. 1 使用済み自動車からの板ガラス回収技術

自動車用板ガラスには大きく2種類のものがある。フロントガラスには衝突時の乗員の安全を確保するために、樹脂の中間膜をサンドイッチした「合せガラス」、その他の部位には「強化ガラス」が採用され、1台あたり約32kg使用している。

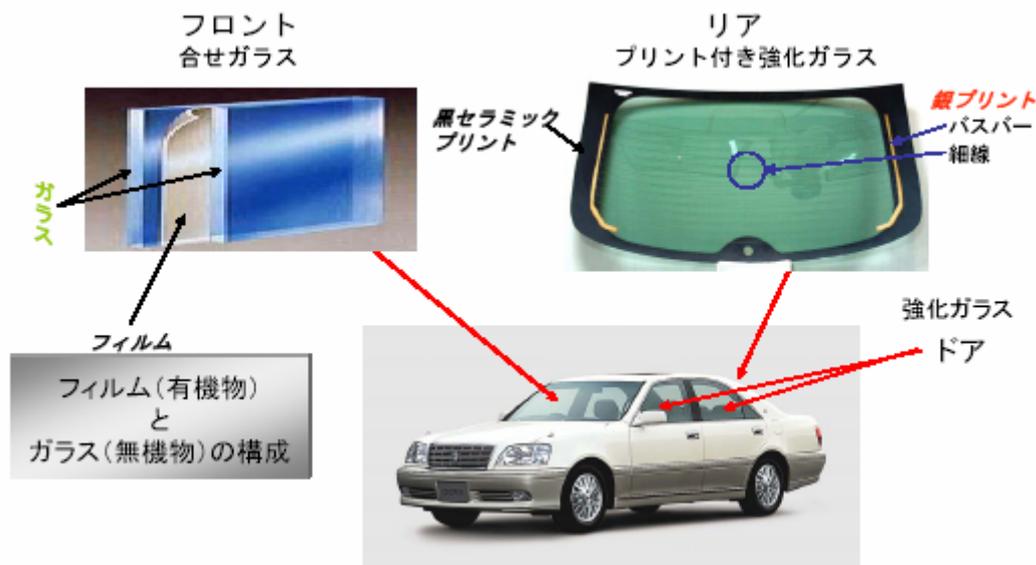


図3. 2. 1. 1 自動車用ガラスの構成（「Glass Recycling Systems Workshop 2006」より抜粋）

回収対象部品は、廃ガラス受入基準（図3.2.1.2.参照）に適合できる、フロントガラス（合わせガラス）のみとした。スモーク等の混ぜものがあるサイドガラスや、熱線、アンテナ線が貼ってあるリヤガラスは、受入基準を満たすための分別作業が困難であることから、対象外とした。

- ・ 国内板ガラス製造3社 共通（国内メーカー別回収は不要）
- ・ 不純物の混入について基準作成
- ・ 色の混色は可能（※条件あり）
- ・ 合せガラスは透明部だけのシート状であること（強化は破砕状態で2mmΦ～100mmΦの大きさ）

- ※【混ぜてはいけないガラス】
- ✓ 濃色ガラス（可視光線透過率70%未満）
 - ✓ 黒セラ、デフォグラー等のプリントが付いたガラス
 - ✓ 自動車窓ガラス用以外のガラス（ヘッドランプ、ピン等）
 - ✓ UVカットガラス

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	20g/トン以下
② 石、砂、セラックス、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（ステンレス等、ニッケルを含む特殊鋼を除く）	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	全て	無きこと	

図3. 2. 1. 2 廃ガラス受入基準（「Glass Recycling Systems Workshop 2006」より）

フロントガラス（合せガラス）の回収スキーム：

フロントガラスは自動車ボディに接着剤で固定されている。黒セラ及びバックミラー、車検シール等の異物となる部分を除いた中心部の約 60%が受入基準を適合できる部分であることから、電気丸ノコ+チップソー（刃）とチゼルにより切取る方法（図 3.2.1.3 参照）を採用した。

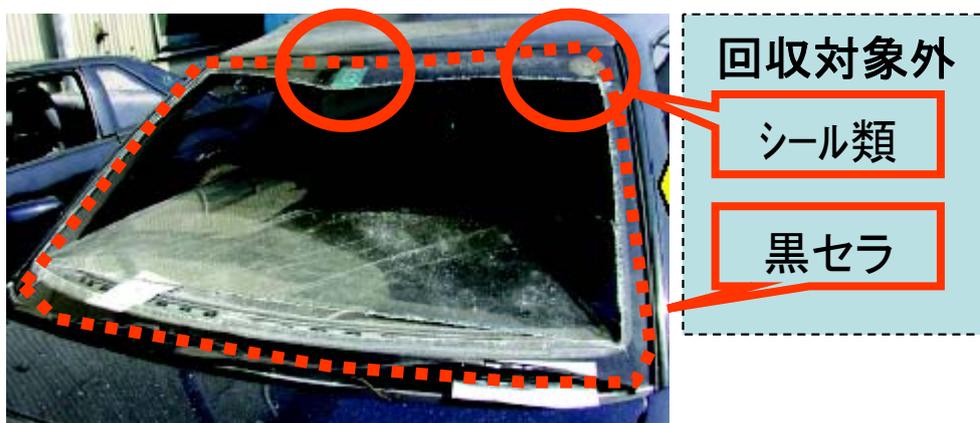


図 3. 2. 1. 3 フロントガラス回収部分

また、受入基準では異物扱いである「中間膜」は、輸送効率向上と異物の混入防止を図るため、付けたままの状態のパレット（1.1m×1.1m）に約 100 台分積み重ねた約 750kg 単位で、板ガラスメーカーに輸送する。（中間膜の除去は板ガラスメーカー工順）

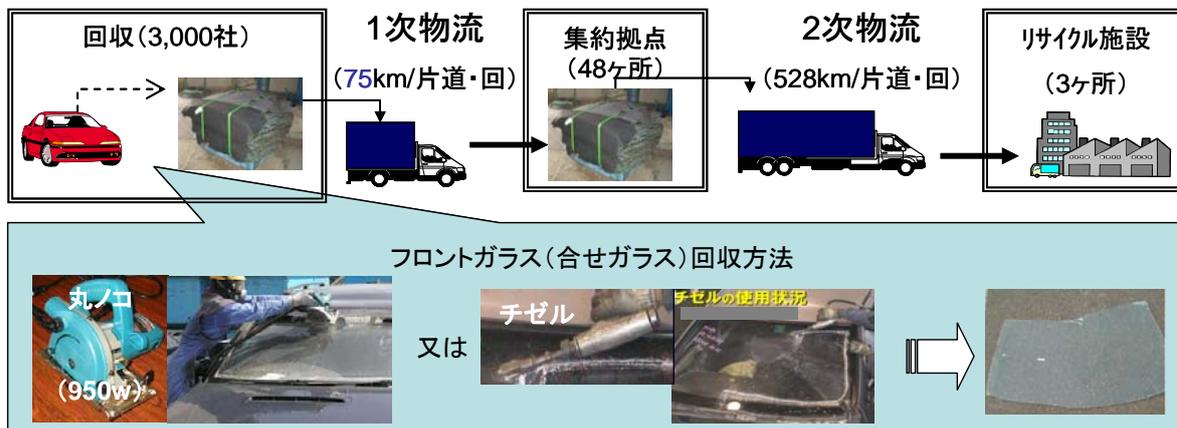


図 3. 2. 1. 4 廃板ガラス回収スキーム

上記スキーム（図 3. 2. 1. 4）を実施するうえでの課題を提示する。

課題 1. リサイクルできる部分の回収効率が低いこと

自動車のフロントガラスには、車検・点検等のシールが張付けられていること、フロントガラスにルームミラーを貼付けていること、デザインから黒セラ部分を拡大させてい

ること、効率的に回収するために使用する”丸ノコ”や”チゼル”を使用し手作業で切取ることから、実際に切取れる部分は小さくなる。(図3.2.1.4)

実証実験の結果、切取れたのは、フロントガラス約12.5kg/台のうち約60%に相当する7.5kg/台であった。

回収効率を向上させるには、切取る作業者に注意深く切取することを要求することになるが、人が行うことには限界があるので、フロントガラスに貼り付けるルームミラーや車検等のシールを他の部位に移す取組みが必要である。

課題2. 廃自動車用板ガラスのリサイクル率を向上させること

回収した約7.5kg/台の廃ガラスのリサイクル率は、約59.1%であった。(表3.2.1.1参照) 自動車に残っているフロントガラスの残りの部分、サイドガラス及びリヤガラスの合計約25kg/台は、破砕処理され、その際に発生するASR(自動車破砕残さ、平均176kg/台)に約17%含まれた状態で、自動車リサイクル法のもと、自動車メーカーが引取りリサイクルされている。(図3.2.1.5参照)

ASRの05年度リサイクル実績は、約49%で、熔融スラグ化し路盤材やセメント原料などとしてリサイクルした。(図3.2.1.6参照)

フロントガラスの一部を自動車用板ガラスにリサイクルすることでASRのリサイクル率は49.3%(試算値)で、0.3%の向上に寄与させることができる(表3.2.1.2参照)が、ASRリサイクル率は、自動車リサイクル法で2010年には50%以上、2015年には70%以上に向上させる必要があり、切取った廃板ガラスのリサイクル率を向上させるためには、カスケードリサイクルの検討が必要と考える。

表3.2.1.1 回収したガラスの分離処理試験結果

(「Glass Recycling Systems Workshop 2006」より抜粋)

回収物	目標値 %	回収量		備考
		ton	%	
3~10 mmカレット	30	12.9	23.9	槽窯に投入
1~3 mmカレット	30	19.1	35.4	槽窯に投入
0~1 mmカレット	30	14.1	26.3	 埋立処分
カレット小計	90	46.1	85.6	
粉塵(集塵ダスト)	1	3.0	5.5	 埋立処分
フィルム	8	4.3	7.9	
鉄粉	1	0.2	0.4	
フィルム屑		0.3	0.6	
合計	100	53.9	100.0	

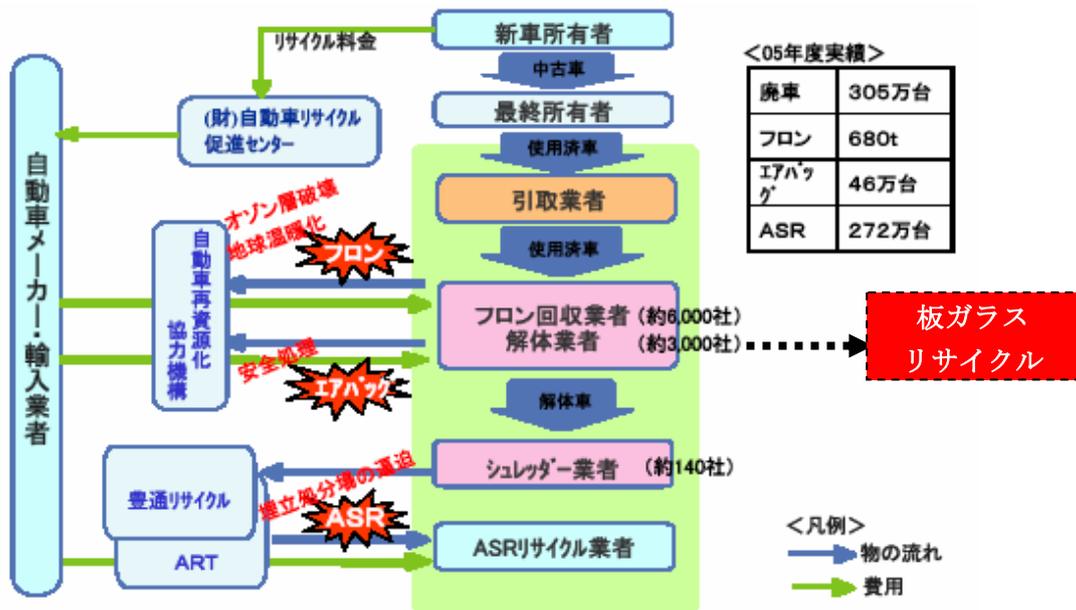


図3. 2. 1. 5 自動車リサイクル法での関係者の役割と05年度流通実績
 (「Glass Recycling Systems Workshop 2006」より抜粋)

ASR 処理方法	ASR中の ガラス量(17%)	リサイクルされた ガラス量	リサイクル率	処理方法別 H17年度投入比率
全部利用	4,700t	4,445t	95%	12%
リサイクル施設投入	21,200t	14,567t	69%	55%
焼却・埋立て	12,962t	0t	0%	33%

現状ガラスリサイクル率 **49%**

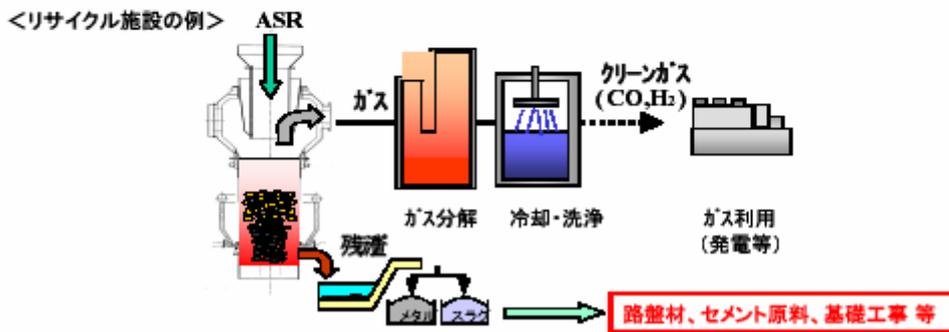


図3. 2. 1. 6 現状のガラスリサイクル方法とリサイクル率
 (「Glass Recycling Systems Workshop 2006」より抜粋)

表3. 2. 1. 2 板ガラスリサイクルの ASR リサイクル率への寄与 (試算値)

	ASRリサイクル	ASR+板ガラスリサイクル
使用済み自動車台数	3,000,000 台/年	3,000,000 台/年
ガラス回収対象台数		2,833,613 台/年
ASR	176.3 kg/台※	168.9 kg/台
	529,045 t/年・①	506,605 t/年・③
ASRリサイクル率	49%	49%
ASRリサイクル量	259,232 t/年・②	248,237 t/年
回収したガラス重量		7.5 kg/台
板ガラスリサイクル率		59%
板ガラスリサイクル量		4.4 kg/台
		12,526 t/年・④
ASRリサイクル率＝	$\frac{②}{①}$	$\frac{((③)+④)}{①}$
	$\frac{259,232 \text{ t/年}}{529,045 \text{ t/年}}$	$\frac{260,763 \text{ t/年}}{529,045 \text{ t/年}}$
＝	49.0%	49.3%

※産業構造審議会資料より

課題3. 解体業者 3,000 社からの回収方法を構築すること

使用済み自動車は、全国でおよそ 3,000 社 (図 3.2.1.5 参照) の解体業者により、05 年度で 300 万台解体された。本スキームを実施する際には、解体業者 1 社あたり平均 1,000 台/年の使用済み自動車から、フロントガラスのみを約 7.5t/年・社という少量の廃ガラスを回収・輸送することになる。よって、集約拠点を整備するなど効率的に輸送するしくみが必要となる。仮にサイドガラス、リヤガラスを「廃ガラス」「銀プリ付着廃ガラス」、「黒セラ付着廃ガラス」、「UV カット廃ガラス」に分別し回収するには、品質を維持管理するための仕組みや体制がさらに必要である。

3-3. 2. 2 使用済み建築物からのガラスの回収

建築物の解体工事に関して、「建設リサイクル法」で、解体工事（80m²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・再資源化を義務づけるとともに、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を定めている。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、建物の解体に先行して撤去されることが多く⁽¹⁾、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とになるが、最終的には、ほとんどが混合廃棄物として廃棄される。

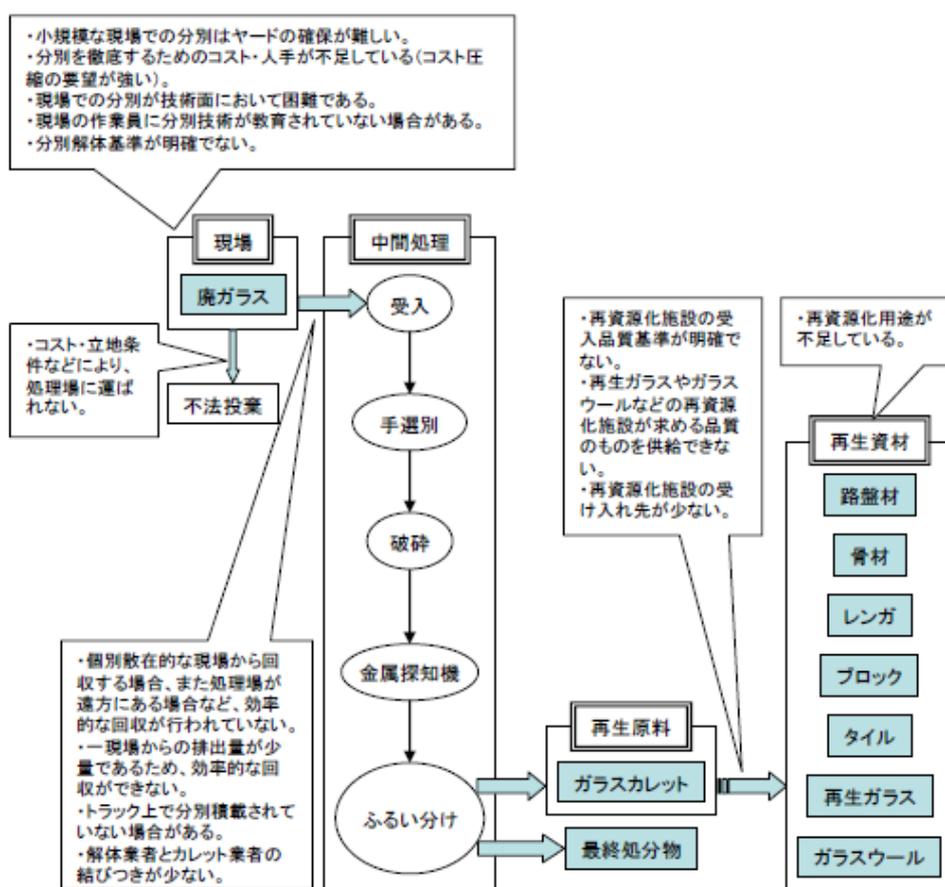


図3. 2. 2. 1. 廃ガラスの代表的な処理フローと再資源化

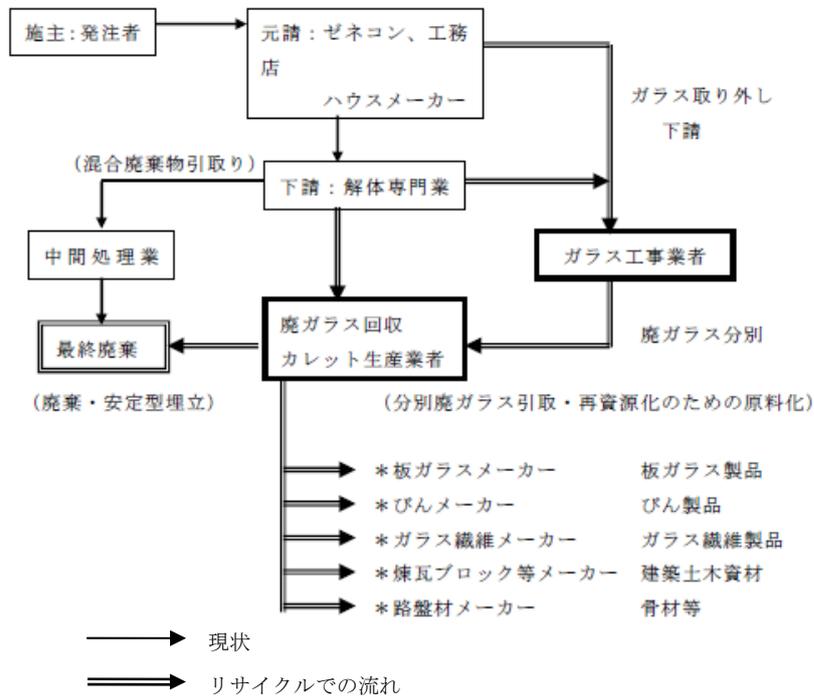


図3. 2. 2. 2. 解体建設物からの基本フロー⁽²⁾

分別回収されたガラスには、不純物等が混入しており、このままでは、ガラス溶融窯へ再投入できるガラスカレットとして受け入れられる基準（P）を満たしていないことが多い。板ガラス以外へのリサイクル技術は確立されており、代表的なフローを図3. 2. 2. 3に示す。実際には家庭から排出されるびんなどが、コンクリート製2次製品、壁材、アスファルト舗装道路用材料といった比較的低品質での適用が可能な用途へのリサイクルとなり、破碎技術、選別技術が用いられている。このフローでは、廃製品を川砂程度の粒度まで粉碎している。

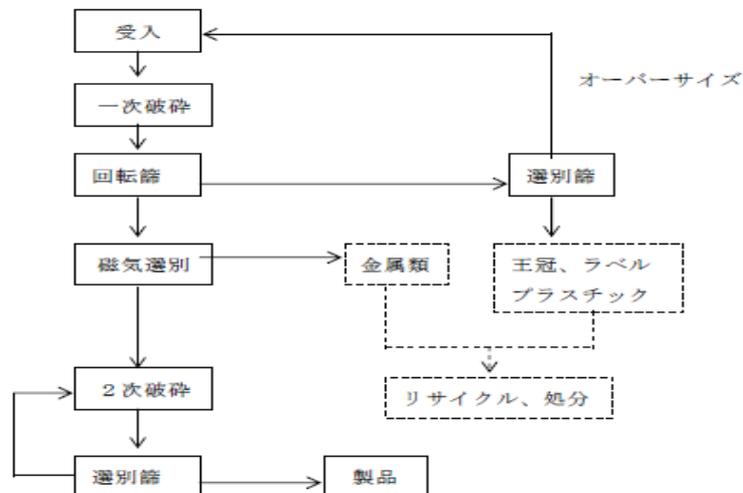


図3. 2. 2. 3. 廃ガラスリサイクルフロー⁽²⁾

建設、解体現場で発生する廃ガラスの回収については、効率的な回収を行うことが必要で、発生する廃ガラスの量とトラックの積載量をマッチングさせることが要求される。一つの現場で一台の積載量に満たない場合は、複数の現場を巡回して積載するとか、地域ごとに集積場所を設けて、廃ガラスが一定量貯まった段階で回収することが考えられる。

建築用板ガラスをリサイクルする上での課題としては、

- ①板ガラス用の原料カレットとしての受け入れ基準が厳しすぎる
- ②解体現場からの回収システムが構築されていない
- ③再資源化施設が少ない
- ④分別解体が制度化されていない

などが挙げられている。⁽³⁾

参考文献

- (1) 関五郎、大橋一正「わかる建築のゴミとリサイクル計画」オーム社 (H14)
- (2) 社団法人 日本建材・住宅設備協会「再資源化技術の向上と普及・用途開発推進のための調査研究」成果報告書 (平成16年度)
- (3) 社団法人 日本建材・住宅設備協会「建設廃棄物一元処理システム調査」報告書 (平成17年度)

3-3.3 板ガラス回収技術

3-3.3.1 試験プラントによる回収合せガラスの中間膜/ガラス分離技術

板硝子協会の取組みのひとつとして、旭硝子では NEDO の助成金によって合せガラスの中間膜とガラスを分離回収する設備を愛知工場に設置し試験を実施して来た。

(1) 自動車ガラスのリサイクルと中間膜/ガラス分離設備の設置まで

① ガラスリサイクルの概略フロー

図 3. 3. 1. 1 に示すように板ガラス（硝子素板）は自動車用のガラスに加工後、自動車に組付け使用され、廃車後の解体でボデーから取り除き分別回収される。分別回収されたガラスはここで紹介する分離・選別設備により回収されたガラスのみ、元の板ガラスにリサイクルすることが可能である。また分別回収後、ガラスファイバーや路盤補強材等のカスケードリサイクルとして活用されるケースも多い。

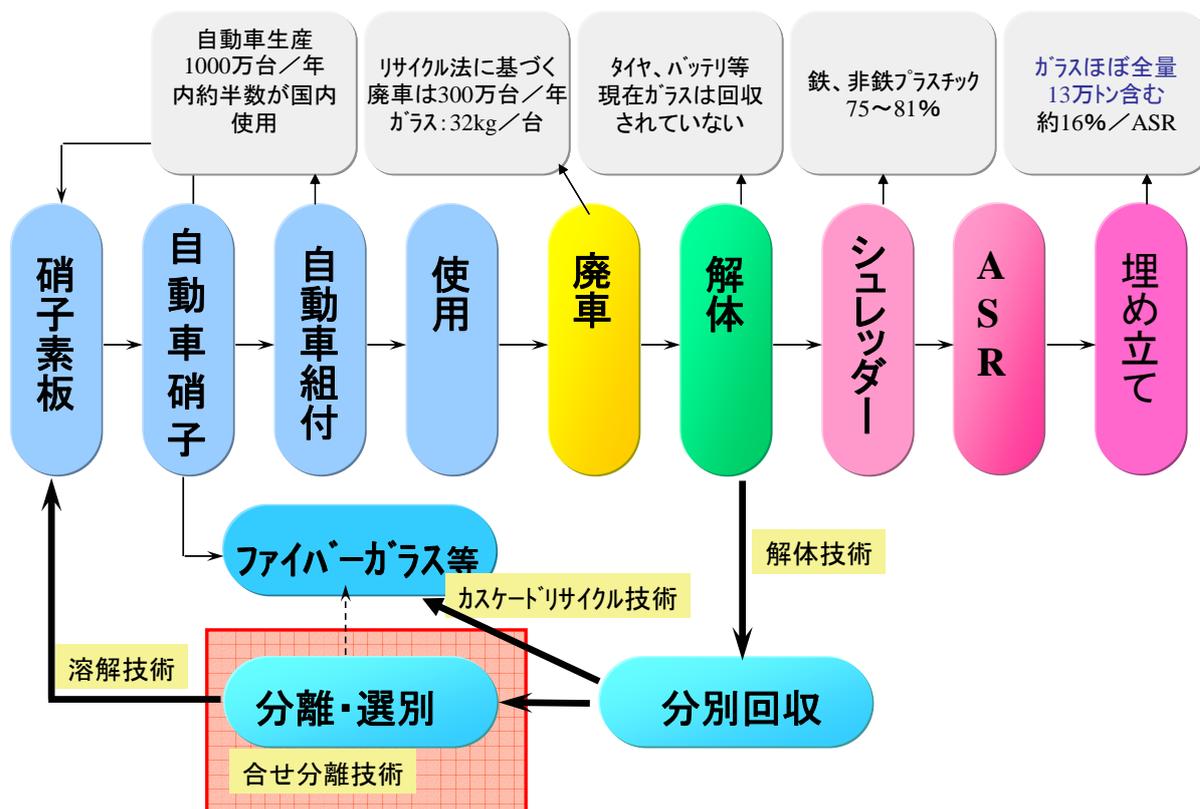


図 3. 3. 1. 1 ガラスリサイクル概略フロー

② リサイクル取組みの経緯

自動車ガラスリサイクルの取組みは 1998 年に自工会と板硝子協会の間でスタートしている。翌年には回収ドアガラスを 60 トン使用したリサイクルの試験が行われ、さらに 2000 年には合せガラスのリサイクル試験が実施されている。そしてこれらの予察試験を受け 2001 年に板硝子協会を代表して旭硝子（株）が、愛知工場に NEDO の助成を

利用して合せガラスの中間膜とガラスの分離設備を設置して、より実証的な試験を開始している。

表3. 3. 1. 1 ガラスリサイクル取組みの経緯

	国内法制化	お客様	板協活動	旭硝子 設備
		自工会殿		
1998年		自工会殿-板協で回収ガラスリサイクル試験開始	回収ガラス少量使用試験	
1999年			回収ドアガラス 60 ^ト 試験	
2000年	産構審での検討本格化 5月:技術検討 11月:法制化検討		回収合せガラス試験 6月:廃車回収ガラス受入基準設定	
2001年	産構審で法案化検討開始 3月:パブリックコメント 5月:ヒアリング 8月:パブリックコメント 9月:法案策定		2月:廃車回収ガラス受入基準改訂 11月:合せ回収試験(板ガラス各社60 ^ト)	2月 NEDO助成金申請 4月 認可 8月 合せ設備設置(ガラス/中間膜分離) 11月 合せ試験 12月 強化設備設置(プリント品分離)
2002年	7月:リサイクル法成立	自工会殿	3月:リサイクル実証試験を報告 =素板戻しは可能	7月 場内カレット使用 ⇒合せ設備連続試験
2003年	7月:詳細整備政省令公布			
2004年	7月:許可、登録開始(解体回収業者)	自動車メーカー殿(グループ)による個別の活動	板ガラスメーカーによる個別の活動	
2005年	1月:自動車リサイクル法施行			

③共通のガラス受入基準 (板硝子協会基準)

こうした試験の結果、元の板ガラス製造の窯に戻すためにガラスメーカーが受入れることが可能な回収ガラスの基準を定めている。これは現在、自動車用ガラスの主流であるグリーン色ガラスへのリサイクルを前提にしたもので、ガラス種類に関しては濃い色のガラスや溶解時に混ざると不均一に成りやすい特性を持つガラス、或いは自動車用の板ガラスと組成が大きく異なるものの混入を規制したものである。またいわゆる不純物として板ガラス製造に微量でも悪影響を与える有機物、土砂、金属類も合せて規制したものである。これらは現時点では混入した場合には、それらを分離排除することに多大な工数と費用が掛かったり、排除すること自体も困難なケースが多いため受入時点で排除されていることが必要条件となる。

受入れの前提

- ・国内板ガラスメーカー3社共通 (3社混ざっても構わない)
- ・合せガラスは透明部だけのシート状
- ・強化ガラスは破碎状態で2mmΦ～100mmΦの大きさ
- ・不純物については表3. 1. 1. 2参照

混ぜてはいけないガラス

- ・濃色ガラス（可視光線透過率70%未満）
- ・黒セラ、デフォッガー等のプリントが付いたガラス
- ・自動車窓ガラス用以外のガラス（ヘッドランプ、ビン等）
- ・UVカットガラス

表3. 3. 1. 2 不純物の許容条件

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	

④合わせガラスリサイクル実用化技術開発（NEDO 助成）

合せガラスの中間膜とガラスを分離回収し、そのガラス分を元のフロート板ガラス原料にリサイクルする実用化技術の開発のために、NEDO 助成により 2001 年に旭硝子愛知工場にその試験設備を設置した。これにより、

- ・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
- ・溶解に影響無いカレット粒度
- ・実用化可能な処理コスト 等の試験を実施し知見を得ることができた。

(2) 合せガラス中間膜・ガラス分離試験設備について

①設備の概要

狙いとする分離回収ガラスの品質と処理能力については、板硝子協会の受入基準を参考にし次のようにした。

カレットの品質目標（不純物の混入）

- ・有機物（フィルム） 20 ppm 以下
- ・金属 10 ppm 以下

（アルミ、ニッケル混入無き事）

- ・黒セラ混入不可

ガラスの処理量

- ・200 トン/月（昼勤稼働） $(2.0\text{ton/hr} \times 8\text{hr} \times 0.9 \times 0.7 \times 20\text{days} = 200\text{ton/M})$



図 3. 3. 1. 3 回収合せガラス



図 3. 3. 1. 4 1枚の回収ガラス



図 3. 3. 1. 5 設備へのガラスの投入



図3. 3. 1. 6 分別回収ガラス (1～3 mm)



図3. 3. 1. 7 分別回収ガラス (3～6 mm)



図3. 3. 1. 8 分別回収中間膜屑

(3) 試験の結果と課題

①試験結果

自工会から提供された回収合せガラスを使用して、本設備で分別回収試験を実施した結果を示す。カレット（ガラス）はトータルで約85%回収し目標の90%に近いが、この内実際にガラス槽窯に投入し板ガラスに戻せたのは60%弱である。せん断による分離の場合、1mm未満の微細なカレット（ガラス屑）が発生し、このような粉末状ガラスは溶解特性が悪く板ガラスには戻せない。（表3.3.1.3）

ガラスカレットの品質は板硝子協会基準と照合すると、混入金属では基準10ppmに対して3.1ppm、混入フィルムでは基準20ppmに対して34ppmとなった。ただ総量が多くないこともあり試験的に槽窯に戻したが問題は無かった。（表3.3.1.4）

設備能力については、目標処理量を達成している。ハンマー耐久性については明確な目標値はないが治工具交換の頻度から実用的には大きな問題はないと思われる。（表3.3.1.5）

表3.3.1.3 合せガラス分離処理試験結果

回収物	目標値 (%)	回収量		備考
		トン	(%)	
3～10mmカレット	30	12.9	23.9	ガラス槽窯に投入
1～3mmカレット	30	19.1	35.4	同上
0～1mmカレット	30	14.1	26.3	
カレット小計	90	46.1	85.6	
粉塵（集塵ダスト）	1	3.0	5.5	
中間膜フィルム	8	4.3	7.9	
鉄粉	1	0.2	0.4	
中間膜フィルム屑		0.3	0.6	
合計	100	53.9	100.0	

回収ガラス：自工会からの提供 53.9トン

分離処理：約3週間

ガラス槽窯への投入：2日間

表3.3.1.4 分離カレットの品質

カレット粒度	処理	混入金属	混入フィルム	カレット単体比率
3～10mm	フィルム除去	0.0ppm	0.0ppm	27.9%
1～3mm	フィルム除去	0.4ppm	82ppm	41.4%
0～1mm	金属除去	9.7ppm	0.0ppm	30.7%
カレットトータル品質		3.1ppm	34ppm	

表 3. 3. 1. 5 設備処理能力実績

	目標値	実績値	備考
破砕装置単体能力	2.0トン/h以上	2.0トン/h以上	
ハンマー耐久性 (磨耗量/処理量)	明確な数値はなし	15/60, 000, 000	治工具交換 1回/3ヶ月

②その後の試験実績

その後、廃車から回収されたガラス及び場内で発生した合せガラスのカレットを使用し
て試験を継続して実施した。結果は省略するが、前述の試験結果とほぼ同じである。

表 3. 3. 1. 6 試験実績 (処理量)

	処理量 (トン)	備考
2002	533	工場内カレットを多量に使用し試験
2003	2,075	同上
2004	2,066	同上
2005	122	場内カレット一部使用
合計	4,796	

③ 今後の課題

これまでの試験で、「技術的には廃車から回収した合せガラスを板ガラス製造の槽窯に戻すことは可能」であることを確認できたが、試験ではなく現実にこのリサイクルを実施するとなるとまだ多くの課題がある。数例を簡略に説明すると、

- ・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。
前述したように不純物や、基準に抵触する異種ガラスが混入すると、その排除に工数と費用がかかる或いは排除自体が困難なケースがある。これまでは自工会やカーメーカーの指導、監督で限られた解体業者のみからのガラスを処理しているが、その範囲が拡大した場合、基準を守れるかその担保は曖昧である。
- ・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。
- ・ケイ砂等の原材料の代わりにガラスカレットを使用するとCO₂の発生を若干抑制する効果はあるが、ガラス槽窯の場合大部分はその高温（1400～1500℃）を維持するエネルギーであり、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。

今後こうした諸条件を勘案しながら、一方でリサイクル推進のために検討、試験を継続して一歩ずつ進めてゆくことが当面の課題であり、対応である。

3-3. 3. 2 自動車用ガラスのリサイクル技術検討（湿式法）

自動車用ガラスのリサイクルに必要な技術を大別して下記に示す。

なお、効率化、低コスト化技術は共通の課題として認識する必要がある。

①取り外し/分解技術

ガラスを車体から取り外す作業。車体側からガラスを完全に分離する技術

②材料・素材の分別技術

高機能化する自動車用ガラスにおいて、構成部材を使用されている材料毎に、容易に分別する技術

- ・ ガラス、中間膜とも、組成、材料を分別する技術
(メーカ、品番などの情報の取得方法: 技術)

③単純素材に分解する技術

リユース・リサイクルを実現するために、製品を素材に分解する技術

- ・ ケミカルリサイクルも含んだ、異物除去、分離技術

上記②の技術については、製品の素材を検査によって判定する方法も有るが、実用的ではない。実用的に容易な方法としては、製品に素材の種類を書き込む方法があるが、情報管理技術に属する部分が多く(製品への組み込み技術についてはガラス分野の専門性が必要)、本章においての説明は行わない。

(1) 取り外し/分解技術

自動車リサイクル法の施行により、各自動車メーカーが使用済み自動車の解体簡易化によるコスト削減を模索している。この状況でのガラスメーカーとしても、解体の簡易化を実現に向けた開発に取り組むことが必要と考えられる。

以下に、この要求に対する活動状況を具体的な事例により説明する。

① 車からガラスを取り外す方法

自動車のフロントとリヤガラスは、車体とガラスを接着剤(ウレタン)により結合させている。このガラスを車から取り外す方法としては、カッターで、ガラスを切断する方法が知られているが、別の方法として、接着剤(ウレタン)を軟化させることによる取り外し方も考えられる。以下に、その方法についての検討結果を報告する。

接着剤の加熱方法としては、熱線加熱または電磁誘導加熱などが考えられるが、装置の低コスト化より、ガラスのウレタン接着部に熱線を設けて、その効果を確認した。

次ページの 図 3. 3. 2. 1 に、試験に使用した熱線の状態を示す。また、図 3. 3. 2. 2 に、この熱線による接着剤の温度を示す。

接着剤は、200度で、接着力がなくなりガラスは車から容易に取り外せる状態となる。

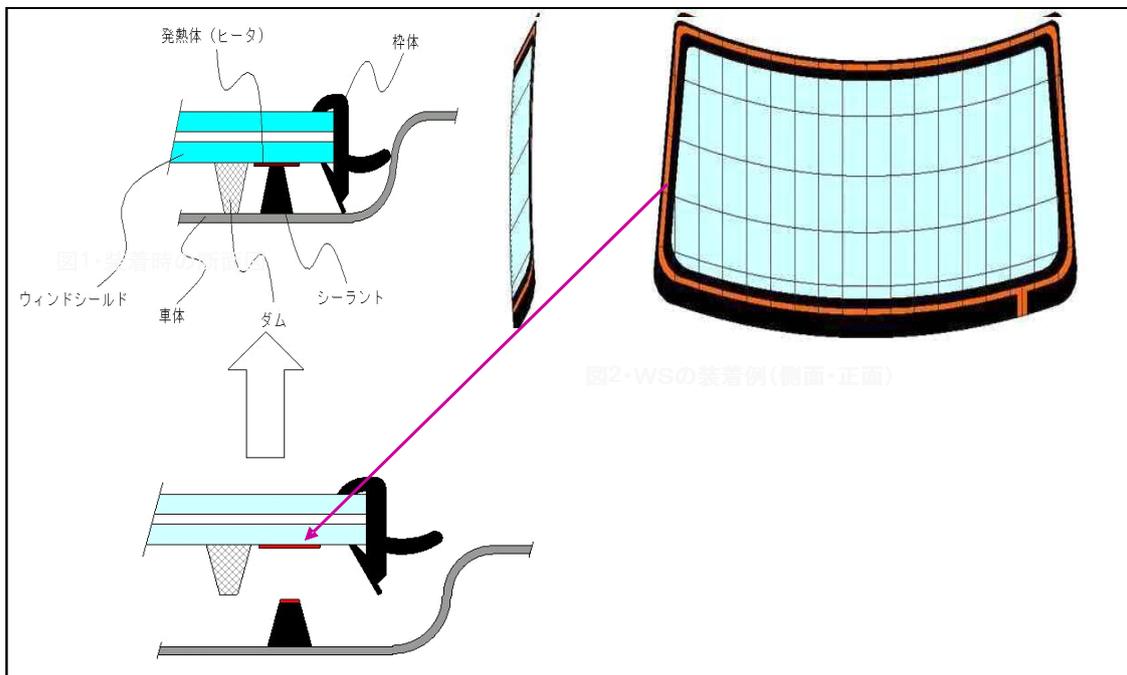


図3. 3. 2. 1 デアイサー機能の応用

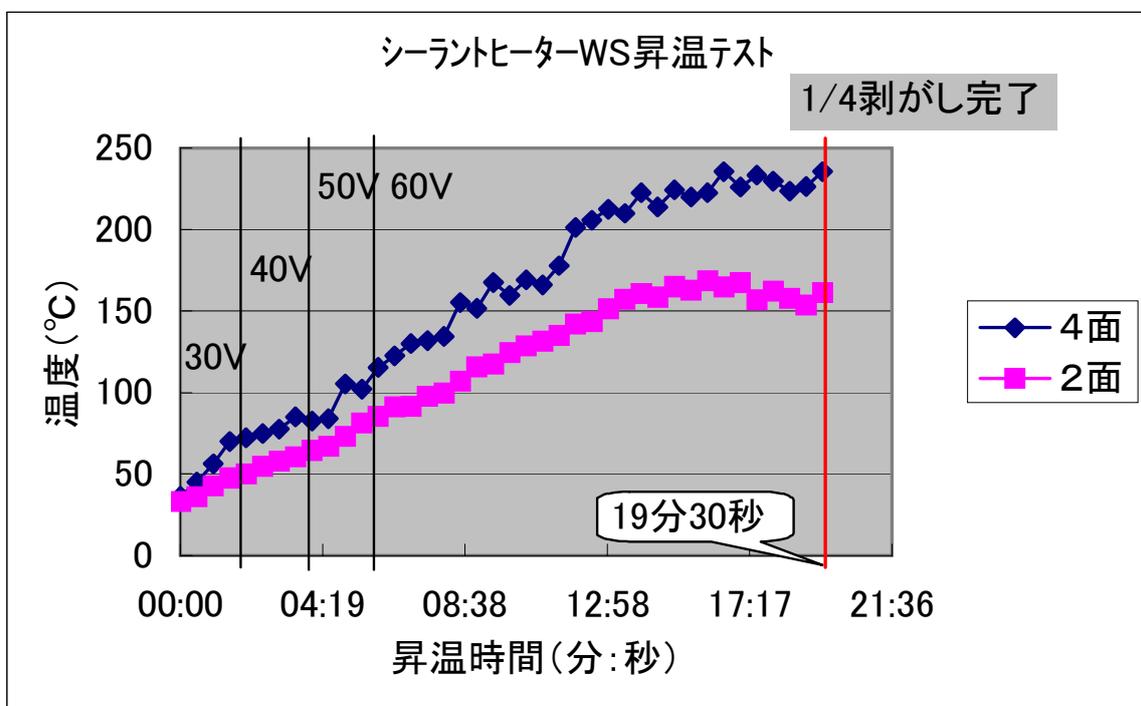


図3. 3. 2. 2 シーラントヒーターWS昇温テスト

(2) 単純素材に分解する技術

自動車用ガラスのマテリアルリサイクルを実現する技術を検討する。この実現には車体から取り外された自動車用ガラスの各構成部材をリサイクル(リユース)可能な単純素材に分離分解する必要がある。

例えば、自動車用ガラスのリサイクル(リユース)を目的とした単純素材への分離結果としては、

- ガラス ⇒ 分別回収+カレットとして窯戻し
- 中間膜 ⇒ 分別回収+PVBとして売却
- 熱線 ⇒ 分別回収+ Agとして売却
- 黒セラ ⇒ 分別回収

となり、ガラス、中間膜、熱線(銀)のマテリアルリサイクルが可能となる。黒セラのみがリサイクル・リユースについて、現状は困難な素材として廃棄する必要がある。

① マテリアルリサイクルの実現方法

湿式方式について説明する。本技術は、ガラスに印刷された銀やガラスに挟み込まれたPVBを、特定の液中に浸漬することにより、素材に分解する技術である。その装置の概要を図に示す。

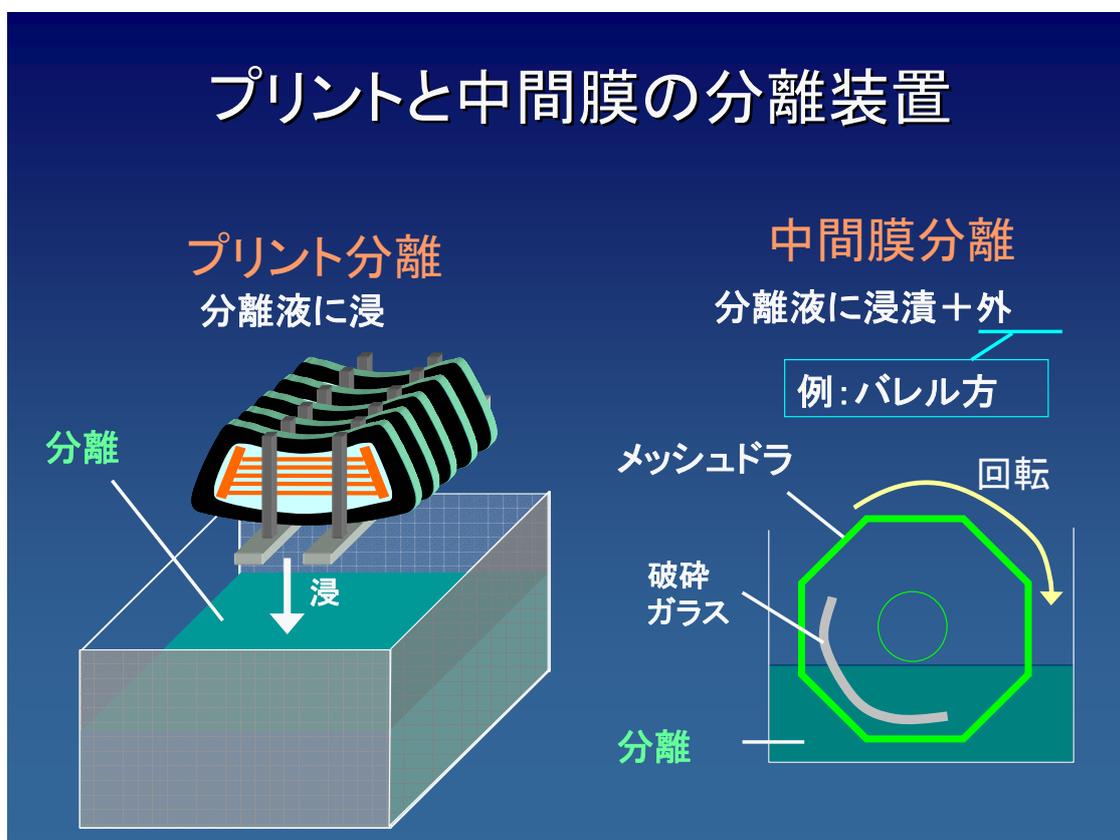


図3. 3. 2. 3 プリントと中間膜の分離装置

基本的には、プリントと中間膜は、図3. 3. 2. 3に示す分離装置”で、分離液に浸ける事で素材に分離することを実現している。

分離工程の流れは、プリント分離により黒セラと熱線をガラスから剥がした後に、合わせガラスの場合は、中間膜で接着されている二枚のガラスを破碎(装置による)して、バレル方式により中間膜とガラスを分離する手順となる。

プリント分離工程は、自動車用ガラスにプリントされた熱線を分離する工程。

本工程にて黒セラの分離も行う。黒セラと銀は、分離にかかる時間が異なるため分離可能。

- ・ 破碎工程は 合わせガラスのガラス部を細かく砕く工程で、次の中間膜と分離することによりカレットとして使用可能となる。
- ・ 中間膜分離工程は、破碎工程で細かく割れたガラスと中間膜との接着を開放してガラスと中間膜に分離する工程である。

本方式にて開発した要素技術を下記に示す。

表3. 3. 2. 1 開発した要素技術

分別工程	開発した要素技術
プリント分離工程	熱線プリントをガラスから剥がすための分離液の開発
	分離液の管理技術 <ul style="list-style-type: none"> ・ 成分維持(保存を含む) ・ 剥離の液循環方式
中間膜分離工程	破碎ガラスを中間膜から剥がすための分離液の開発
	分離液の管理技術 <ul style="list-style-type: none"> ・ 成分維持(保存を含む) ・ 剥離の液循環方式
	分離装置(図 図3. 3. 2. 3参照) <ul style="list-style-type: none"> ・ バレル方式



図 3. 3. 2. 4 (写真)プリント分離処理前のガラス

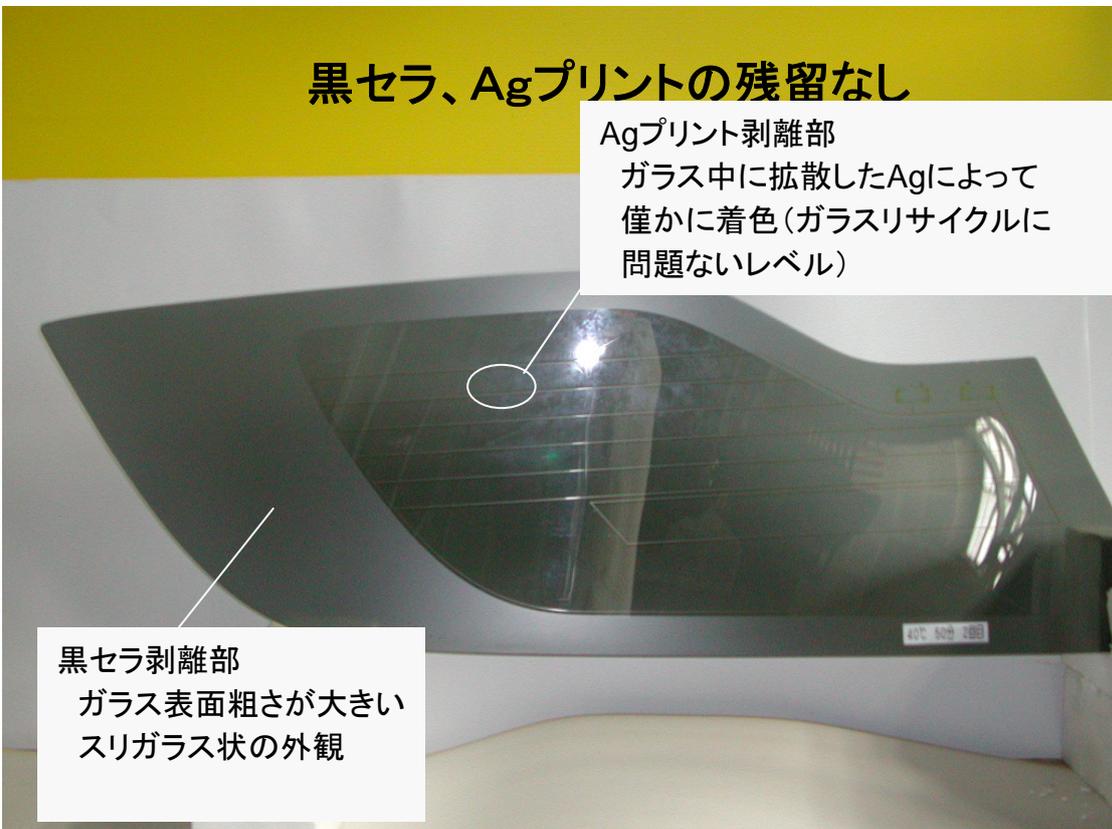


図 3. 2. 2. 5 (写真)プリント分離処理後のガラス(外観)



図 3. 3. 2. 6 (写真)バレル装置で分別回収した PVB 中間膜の外観

本方式によるマテリアルリサイクル効果(特徴)を以下に示す。
(有価物として価値を高めるためのポイント)

表 3. 3. 2. 2 湿式の特徴

素材	形態	特徴
ガラス	・カレット ガラス原料として再資源化	・黒セラの残留なし ・ Ag 残留は再資源化として許容範囲
中間膜	・ポリビニールブチラール (PVB) 再資源化および再利用	・回収容易な形状(シート状) ウインドシールド一枚分をそのまま回収が可能 ・良質な PVB ガラスの残留なし
熱線	・銀(Ag) 再資源化	・回収容易な形状 短冊形状

(3) 今後の課題

①実機による採算性の確認

原理確認と評価を目的としたモデルシステムの構築により、湿式によるマテリアルリサイクルの可能性確認を行う事ができたが、3. 3. 2でも示したように、効率化、低コスト化のための技術を考案し、実機レベルでの採算性の評価が必要。

②材料・素材の分別技術

単純素材への分離(再利用、再使用可能な素材)が可能となっても、その素材を分別して使用するための素材の種類による分別方法(技術)を確立させる必要がある。マテリアルリサイクルでは、組成の異なるガラスや中間膜を混ぜ合わせると、再資源として使用する場合の価値が、大幅に低減するためである。ガラスや中間膜は一見してその組成を判断することは難しい。

さらに、生産時に各製品に何らかの方法で書き込まれた素材情報が車の市場使用完了(ライフサイクル終了時まで)まで維持され、車両からの取り外し後も、正確に判断できる方法(技術)の確立が必要である。

これらの技術においては、ガラス生産工程や生産技術・方法に依存する部分があり、他分野との技術融合をもって解決していく必要がある。

3-3. 4 廃ガラスカレットの混入率

廃ガラスをカレットとして、ガラス原料に混ぜてガラスの製造に使うことは古くから行われており、とくにガラス容器の製造においては、ケイ砂等の原料よりカレット占める割合のほうが多くなっている。板ガラスの製造においてもガラスカレットは日常的に使用されているが、カレットの最大混入率は70%程度とも言われている。*

今回のリサイクルシナリオでは、通常ガラス製造が、39%のガラスカレット混入とし、リサイクルシナリオでは、回収されるガラスの量が限られているため、自動車用の場合には、39%が1.9%増加して、40.9%になり、建築用ガラスの場合は、39%から10%増加して、49%になる。この程度のカレット混入率では、ガラス製造において問題は発生しない。リサイクルで問題になるリスクとしては、カレットの混入率ではなく、リサイクル用カレットに含まれる金属などの不純物のほうが大きい。

*廃家電リサイクルの問題点(安井至)

3-3. 4 リサイクルに有用な情報技術

3-3. 4. 1 RFIDの利用可能性

(1) RFIDとは

RFID（無線による固体識別と認証）とは、その機能を表す専門用語であり、このRFID機能を持った製品として、ICタグと非接触ICカードがある。これらは、同種の技術に基づいた製品を用途で分類したものと言う事ができる。すなわち、人が持つ用途の製品を、ICカード、物に着く用途がICタグとする。

両製品の製品上の差異は、ICカードがセキュリティ機能に重点をおいた設計であるのに対して、ICタグはその通信機能に重点がおかれている。

§ 用語の定義

RFID: 機能 **Radio Frequency Identification**

ICタグ: 製品 **モノにつくもの**

非接触ICカード: 製品 **人が持つもの**

図3. 4. 1. 1用語の定義

RFID機能を持った製品の中で、物について物品管理や追跡を行うものをICタグという。バーコードと基本的な概念は同じであるが、バーコードにはない様々な特徴を持っている。

バーコードと比較した場合、ICタグの特徴は以下の通りである。

- ・単品の管理識別が可能

ICタグは、そのメモリの中に、ユニークID（世界で唯一ひとつの番号コード）を持つ。そのユニークIDを利用することで、個品毎の識別が可能である。

このように、バーコードが、本来、属性を管理する製品なのに対して、ICタグは個品を識別するための製品である。

- ・追記書き換えが可能

ICタグは、EEPROMやFeRAMなどの追記書き換え可能な半導体メモリを搭載している。その機能を用いて、1Kbit-10Kbit程度のデータを格納することができる。

- 多数のICタグを同時に読み取ることが可能（マルチリード機能）
これは、バーコードにはない機能で、現在実用化されているICタグでも1秒間に100個の読み取り速度が可能であり、1秒間に1000個読める製品も開発されている。
- 再表面になくとも非接触で読み書きが可能
バーコードが光を利用して識別するのに対して、ICタグは、電波を利用するので、電波を通すものであれば、その機能を妨げることがない。ダンボール箱に入った物を、蓋をあけずに出荷検品するような用途には、大きな優位性を持っている。

§ RFIDとは

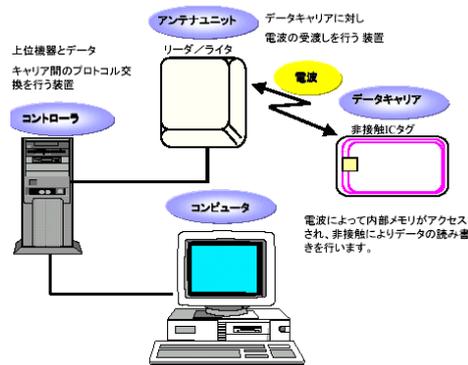


無線で認証を行う機能メディアをRFIDと総称します
Radio Frequency Identification
物について物品管理や追跡を行うものが**ICタグ**です

バーコードと比較して...

- ・ユニークIDにより、単品管理が容易
- ・追記・書き換えが可能
- ・多数個を同時に読み取り可能
- ・最表面になくとも読み書きが可能

などの利点があります



RFIDの中で、特に人が持つものが「非接触ICカード」と言われており、高い認証セキュリティ機能を有しています

図3. 4. 1. 2 RFIDの特徴

また、その基本的なシステム構成は、リーダーライターとネットワークに接続可能なパソコンから構成される。パソコンに、ICタグのデータターを、ネットワークを通じて受け渡しを行うソフトウェアをインストールすると、無線通信で、ICタグから読み取られたIDコードを鍵として、ネット上の様々なデータターベースから必要な情報を照合することができる。

ここで、注意しなければならないことは、ICタグ自体は、単純な識別の機能しか有しておらず、サービス提供などの運用上の機能は、上位のネットワークを経由して提供されると言うことである。このネットワークでの使用を前提として機能するという点が、ICタグシステムの特徴である。

(2) ICタグの製品形態

図3.4.1.3と図3.4.1.4にICタグの一般的な製品形態を示す。

本来、物流ラベルとしての運用を前提として開発されたICタグは、薄いフィルム状のアンテナに半導体を装着したインレットというコンポーネント（電子部品）を、用途に応じて様々な付帯加工を施すことでICタグとなる。当然、ICタグは物に着いて初めて機能を発揮する製品なので、取り付ける物に合わせて、様々な寸法、形態を持つ。これは、カードという定型品であるICカードと異なる特徴である。

§ 一般的なICタグ製品

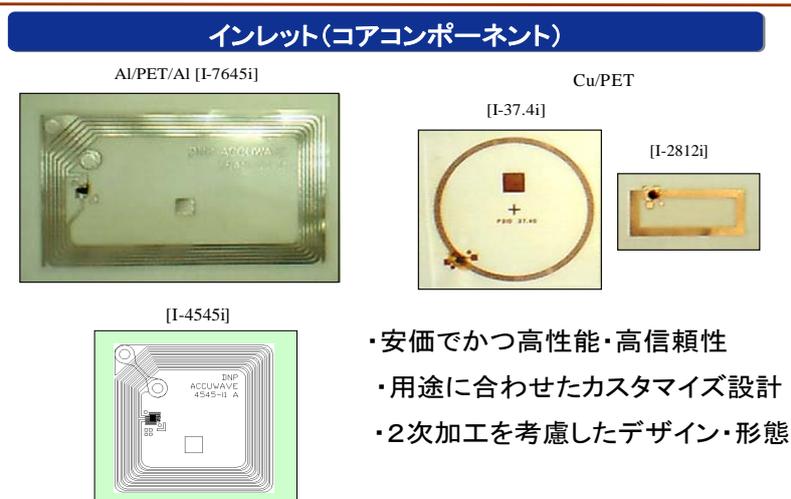
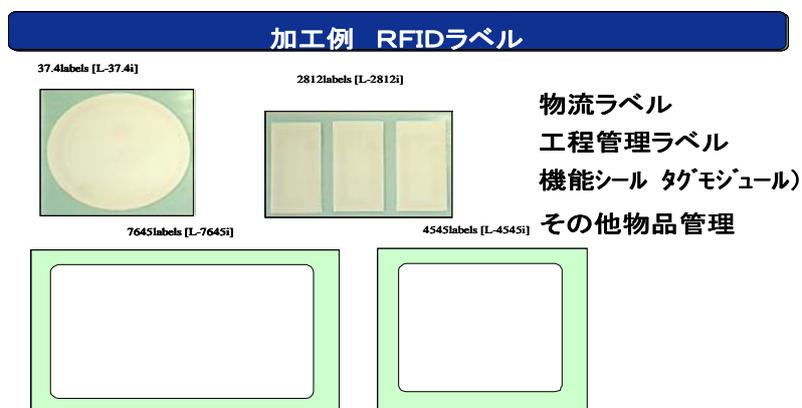


図3.4.1.3 製品形態 (インレット)

図3.4.1.4に、ICタグの最も一般的な形態であるラベル（シール）形態を示した。前述したインレットを粘着ラベル間に挟みこんだ形態であり、物に添付して電子的なIDを付加して、ネットワークを通じてやり取りを行う。

ICタグこそ、ユビキタス社会のねじ、釘であり、ネットワークというバーチャルな世界と、リアルな「物」をつなぐテクノロジーなのである。



サーマル、リボン、インクジェット等の印字適正があります

図3.4.1.4 製品形態 (ラベル)

(3) ガラスリサイクルへの利用可能性

このように本来、ダンボール箱などに添付するラベルを前提として開発された I C タグをガラスリサイクルへ利用するためには様々な課題が生じる。

リサイクルを実現するためには、まず対象物を識別しなければならない。それぞれの履歴が不明では再利用することが困難である。このような識別技術として、他にバーコード、2次元バーコードが存在するが、元々属性管理技術として開発されたバーコードは、個品識別するためには、それぞれに異なるパターンのバーコードを添付しなければならず、煩雑である。

また、光学読み取りのバーコードは、最表面になければならず、汚れなどの環境変化に読み取り率が影響されるため、耐久性が必要な運用には不向きである。

I C タグの場合は、電波でデータの読み書きを行うので、有利であるが、万能ではない。

現時点では、ガラスリサイクル用途に向けて開発された I C タグはない。どんな形態、性能を持った I C タグが適するか、どの部分に、どのように取り付ければよいか、運用を通して検証していくことがこれからの課題である。

表 3. 4. 1. 1 に I C タグ製品として、実用化のための課題を示した。現状の物流ラベルを前提として開発された I C タグでは、生産時の耐久性や、取り付け後の耐環境性の点で実用に耐えうるのは困難であると思われる。

表 3. 4. 1. 1 実用化のための課題 (R F I D 製品)

<p style="text-align: center;">実用化のための課題</p> <p>ICタグの実装方法の検討</p> <ul style="list-style-type: none">○実装方法、生産性、信頼性○生産時の耐熱、耐圧○実装後の経年変化、劣化○回収時作業に対する耐久性
--

ひとつの製品仮説として、最近実用化が開始された埋め込み用の I C タグを図 3. 4. 1. 5 に示した。

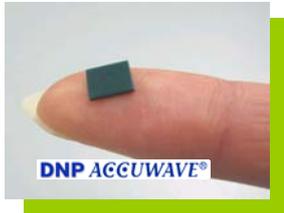
これは、エレクトロニクスの高密度配線版とパッケージ技術を I C タグに応用することで、5 mm 角で厚み 0. 76 mm の小型パッケージの中に多層アンテナを搭載し、これだけで I C タグとしての機能を発揮するものである。

小さいだけでなく、民生電子部品としての製品信頼性を有しており、市販されている I C タグの中では、最高レベルの耐久性と製品信頼性を保証している。

§ 超小型高耐久性ICタグ

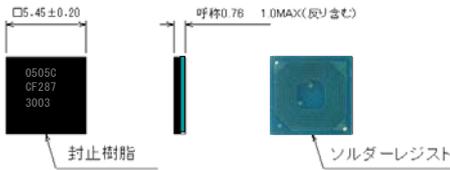
世界最小クラスの超小型と、長期信頼性をあわせ持ったICタグです。

- 2次加工適性もあり、埋め込み、組み込み用タグとしても最適です。



IC Chip	PHILIPS FI-CODE SLJ
RFインターフェイス	ISO 15693 / ISO 18000-3mode1準拠
動作周波数	13.56MHz
電池	不要(パッシブ方式)
メモリー容量	1024bit EEPROM User area 112byte (28block×4byte)
メモリーデータ保持年数	10年間@+55℃以下(使用環境により変化します)
データ書換え回数	10万回@+55℃以下(使用環境により変化します)
複数同時読み取り	30個/秒アンチコリジョン(タイムスロット方式)
セキュリティ	書き換え不可能な64bitユニークID ユーザメモリのブロック単位Writeプロテクト機能
動作温度	-20℃～+80℃ ただし氷結・結露なきこと
保存温度	-25℃～+85℃ ただし氷結・結露なきこと
加工適性	上限加工温度160℃×数分
通信距離(参考値)	約20mm タカヤ製TR3 C201+A301
外観(サイズ)	5.45×5.45×(0.76) mm
重量	約0.067g

■ 外形寸法 (mm)



超小型タグの信頼性	
温度サイクル試験 Thermal cycling test -40℃⇄125℃	1,000 [cycle]
高温高湿試験 High-temperature/humidity test 85℃, 85%RH	1,000 [h]
高温保存試験 High temperature storage test 125℃	1,000 [h]
低温保存試験 Low temperature storage test -40℃	1,000 [h]

注)超小型タグインレット(フレーン状態)での評価です。
あくまで弊社環境下での評価データであり、製品を保証するものではありません。

図3. 4. 1. 5 超小型高耐久性ICタグ

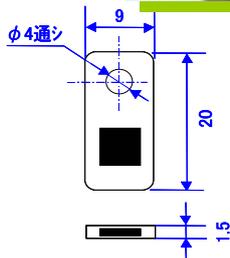
この超小型ICタグは、様々な製品形態に加工可能であり、例えば、弾性樹脂で再度パッケージすることで、更に耐衝撃性や、耐圧性を向上させることも可能である。

柔軟、高耐久樹脂(エラストマー)で超小型タグをモールド加工。



対象ICタグ	ACCUWAVE IM-0505-SLI
保存温度	-25～85℃ ただし氷結・結露なきこと
保管条件	直射日光を避け、常温常温で保管すること
粘着層素材	熱可塑性エラストマー
外観(サイズ)	9×20×1.5mm
重量	約12g

■ 外形寸法



■ 特長

- 柔軟性があり、取り付け対象物を傷めません。高級感のあるスケルトン(透明)です。
- 取り付け穴により対象物へ容易に、強固に取り付けられます。
- 耐熱、耐水、耐薬品性に優れたプラスチック(熱可塑性エラストマー樹脂)で全面モールド。

図3. 4. 1. 6 超小型高耐久性ICタグ加工例

ガラスリサイクルでのICタグの利用を考えた場合、単にガラスに添付するようなラベル形態ではなく、中に埋め込むような信頼性のある実装方法が望ましいと思われる。

この超小型ICタグは、製造中の電子基板に添付して、その工程管理や、バイオ系の試験管に取り付けてデータの識別や格納に使用されるなど、そのサイズと耐久性を生かした用途での運用が始まっている。

(4) R F I Dを用いたリサイクルシステムの運用例

図3. 4. 1. 7 R F I Dを用いたリサイクルシステム事例を示す。

製品が格納されたボックスが各店舗間を循環され、回収基地までくると、回収されて、洗浄を受けた上で再利用されるシステムである。ここでは、I Cタグをボックスに添付することで、ボックスの所在と、利用履歴を追跡することができる。このシステムを実用化することで、ボックスの紛失防止と、その製品寿命の把握が可能になり、きめ細かな管理による無駄の撲滅によるコストダウンが達成された。

§ リサイクルシステム事例

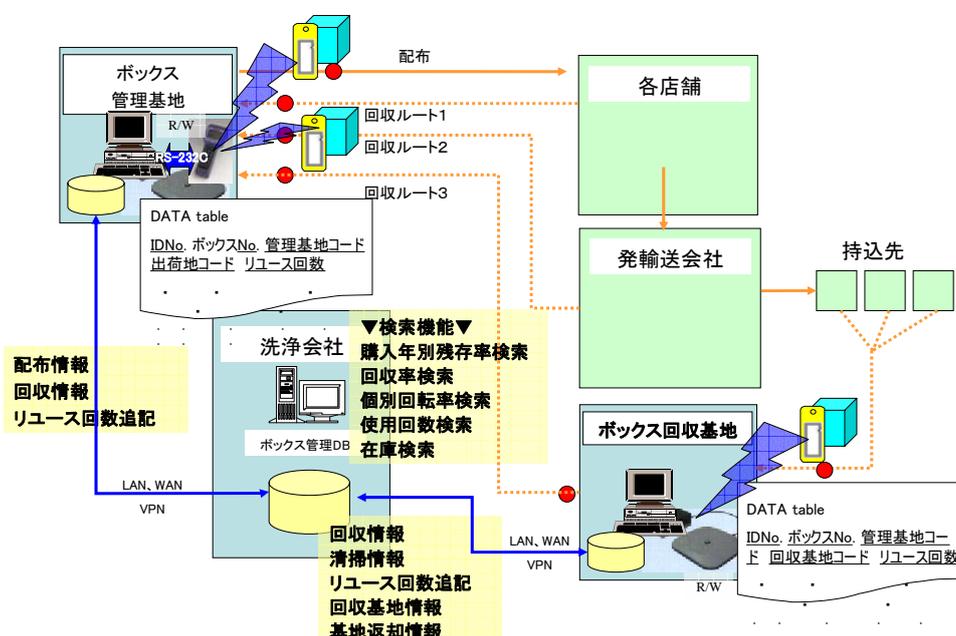


図3. 4. 1. 7 R F I Dを用いたリサイクルシステム事例

このように、対象物を識別し、きめ細かな管理と追跡が必要な用途には、I CタグなどのR F I D技術が有用である。特に、ガラスリサイクルのようなハードな環境で機能を発揮しなければならない場合は、現状のバーコード技術では限界があるものと思われる。

運用方法とプロセスが決定された上で、実運用を通して、最適なI Cタグを決定するとともに、その取り付け位置と取り付け方法を検証することが次の課題である。

コスト面からは、I Cタグと、その上位システムと機能の分担を図ることが重要であり、通信距離や耐久性などの現状のI Cタグの性能の限界を運用で工夫できれば、実用化の可能性は大きいと考える。

3-3. 4. 2. トレーサビリティコード体系

(1) AUTO-ID 技術の概要

はじめにガラスリサイクルに応用可能な個体識別技術について説明する。一般にバーコード、2次元シンボル、RFID等を総称してデータキャリアと呼ぶ。これらのデータキャリアを物品等の“もの”に付与し、個体識別を自動的に行う技術をAUTO-ID技術と称している。これらのデータキャリアの関連を図 3. 4. 2. 1 に示す。

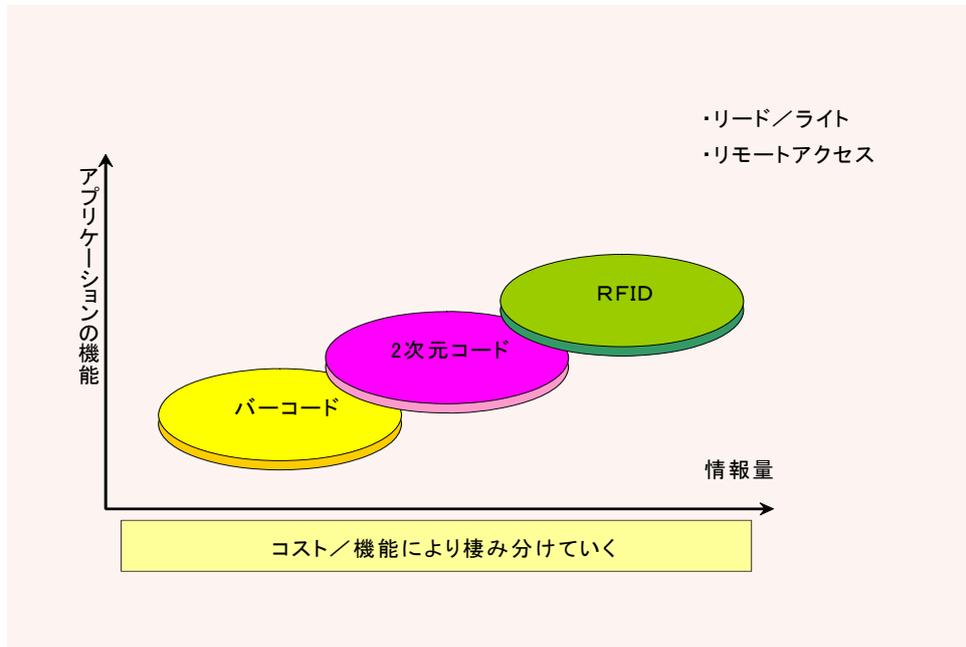


図 3. 4. 2. 1 各種データキャリアの関連図

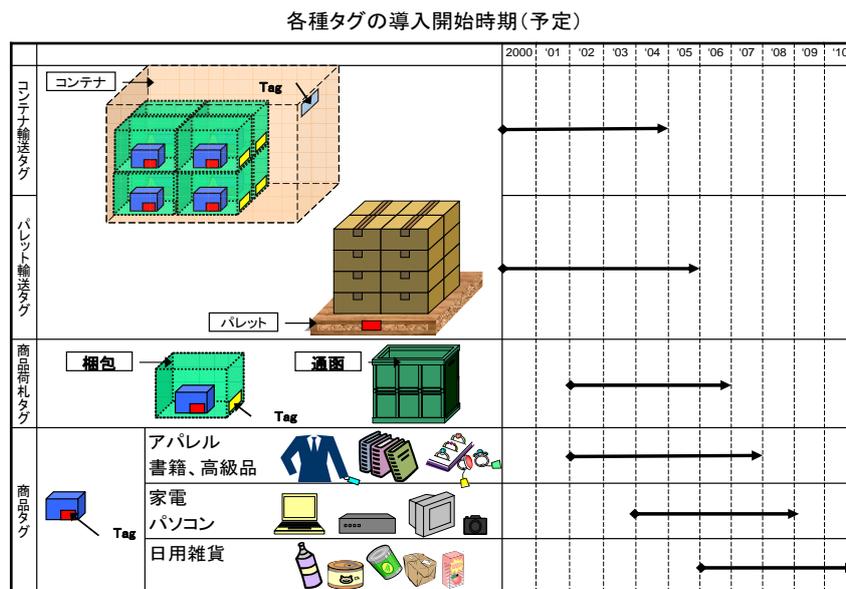


図 3. 4. 2. 2 RFIDの導開始時期(予測)

図3.4.2.2にはRFIDの導入時期の予定を示す。コンテナやパレット用途が先行し、個品が後になっている。これは、個品タグがタグの装着条件の決定が困難なことや、タグのコストが個品の価格との関連で無視出来ないことも要因である。現状は多くの企業がバーコードや2次元シンボルを既に使用しているところが多く、RFIDとの使い分けが課題である。

RFタグの利用分野と商品分野

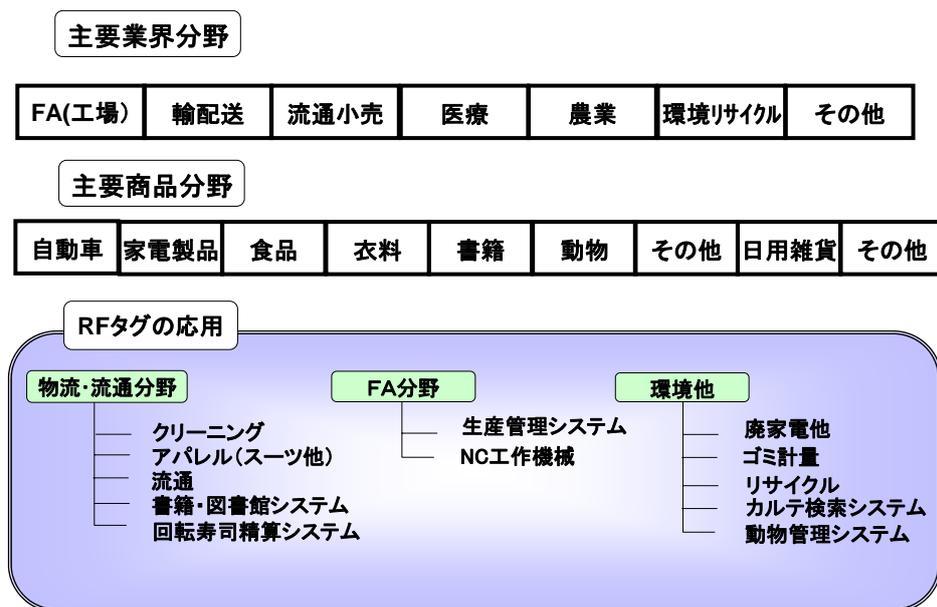


図3.4.2.3 RFIDの利用分野

RFIDの利用分野を上図に示す。リサイクル分野は家電やゴミ等のリサイクルが検討中である。

データキャリアの普及率(推定モデル)

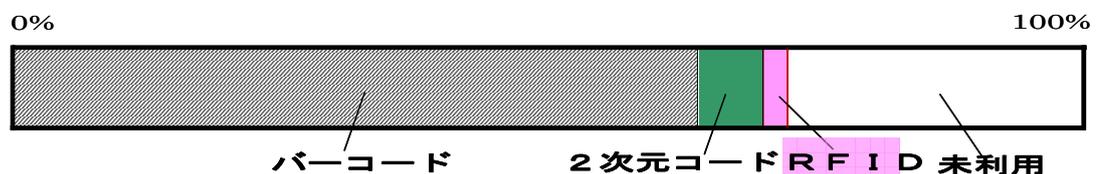


図3.4.2.4 データキャリアの普及率(推定モデル)

図3.4.2.4にデータキャリアの普及率(推定モデル)を示す。RFIDは標準化の目処が付き、応用規格の標準化が進められている。バーコード、2次元シンボル、RFIDは選択的に使われるようになると思われる。

図3. 4. 2. 6に SC31 と関連業界の関連を示す。大きく分けると流通分野と産業分野に分かれる。流通分野は業界団体としてGS1の傘下のEPC globalがある。EPC globalは2003年9月に設立され、標準タグ C1Gen2 タグを開発しISO化が行われた。

データキャリア標準化の経緯

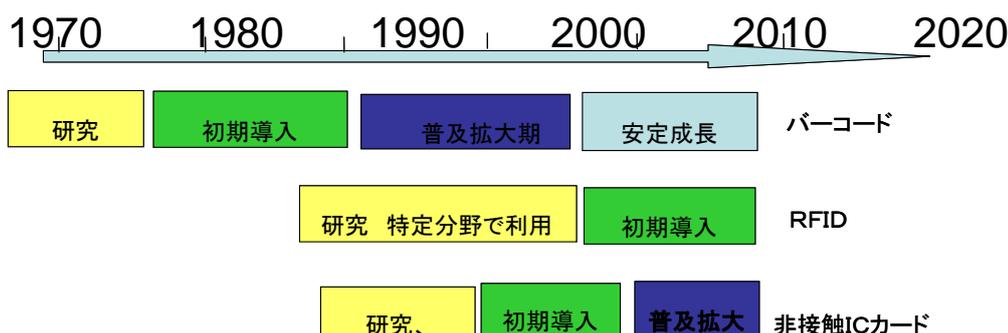


図3. 4. 2. 7 データキャリアの標準化の経緯

図3. 4. 2. 7 にデータキャリアの標準化の経緯を示す。非接触ICカードのISO規格化は1994年に開始され、2000年には基本規格ISO 14443がIS発行されている。RFIDのISO規格化は1998年に開始され、2004年に基本規格、エアインターフェイスISO/IEC 18000シリーズがIS発行されている。

RFID関連ISOの構成

■ RFIDに関連する国際標準は、以下のように3階層(3種類)に分類して考えられる。

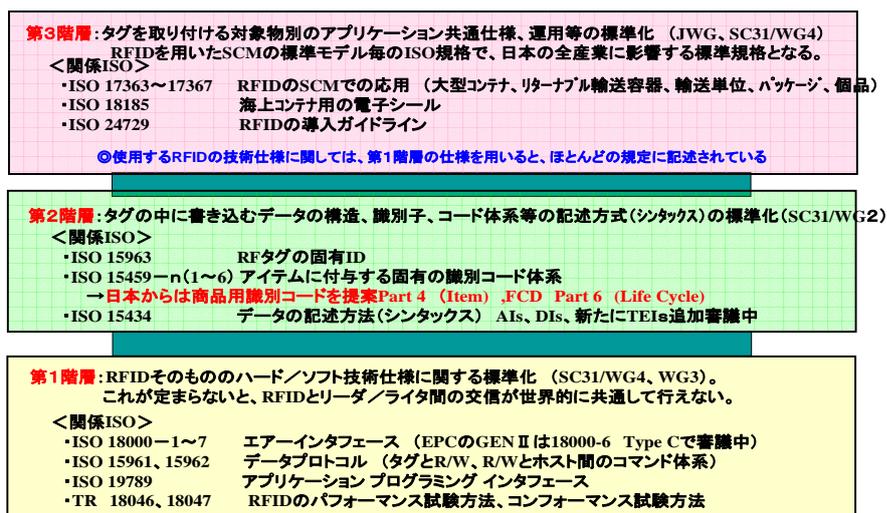


図3. 4. 2. 8 RFID関連ISOの構成

図3. 4. 2. 8にRFIDに関するISO規格の構成を示す。3つの階層からなっている。

第一階層はRFIDタグやリーダーライタなどのハードウェアに関する規格である。第二階層はタグに書き込むコード体系である。第3階層はSCMにおける応用規格である。

図3.4.2.9はSCM階層における、部品、個品から大型コンテナ用途までのISO規格を示す。

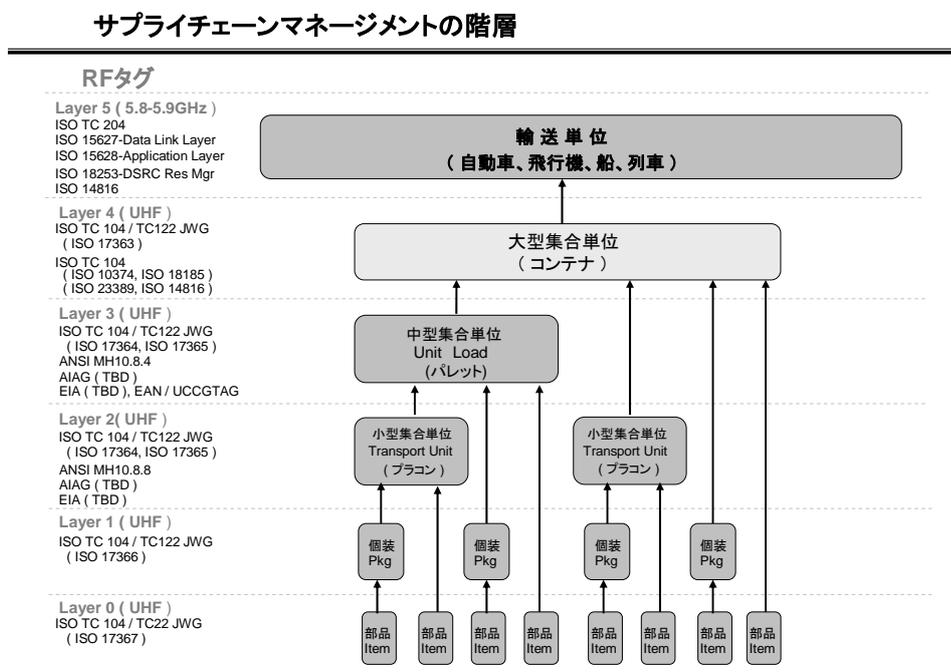


図3.4.2.9 サプライチェーン階層とRFIDの応用規格

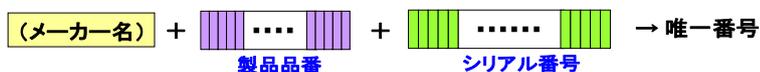
(3) RFIDに関するコード体系

識別コードの必要性に関する説明

- ◆自動認識においては、RFIDが取り付けられたitem(物品)を一意に識別できるコード(番号のようなもの)が非常に重要なデータとなる。

たとえば、車にはナンバープレートがついて、車1台ごとに識別可能である。
多くの家電製品も、製品品番とシリアル番号により、各社では1個ごとの製品を識別できる。

ex. <家電製品の場合>



- ◆ISO/IEC 15459は、各種の場合に唯一に識別するための識別コードの体系を規定している。
- ◆日本から、市場で販売されている各種の商品を唯一に識別するための識別コードの構造を提案し、15459-4としてSC31/WG2において審議が行われている。

<商品識別用コードの構造に関する標準規格(案)>



識別子を挿入して使用することも可能

図3.4.2.10 識別コードの基本構成

図3.4.2.10は個品の識別コードの構成を示す図である。日本提案の商品識別コ

ード ISO/IEC15459 シリーズの構成を下段に示してある。発番機関コード、企業コード、品目コード、シリアル番号から構成されている。

このコード体系のポイントは発番機関コードを頭につけてグローバルに登録管理して、コードが重複しない仕組みとしている点である。

(4) RFID のタグとリーダライタに関する規格

図3. 4. 2. 1 1 にハードウェアの基本構成を示す。タグ、リーダライタのアンテナ、リーダライタ本体、ホストコンピュータの4つの階層から構成されている。

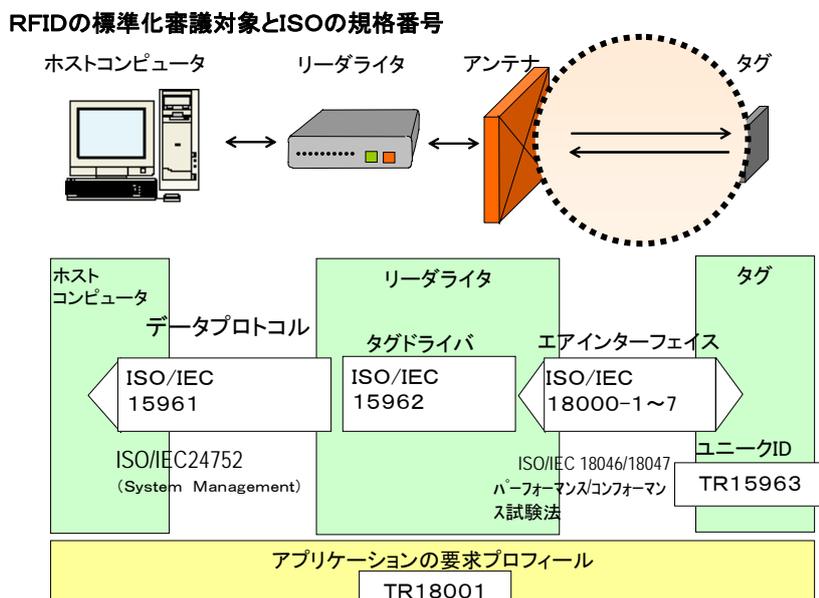


図3. 4. 2. 1 1 RFID のタグとリーダライタに関する ISO 規格

表3. 4. 2. 1 RFIDのタグとリーダーに関する ISO 規格のリスト

ISO規格発行済み LIST

分野規格番号	発行日
<エアインタフェース>	
IS 18000-1 (一般パラメータ)	2004. 09.15
IS 18000-2 (135kHz未満)	2004. 09.15
IS 18000-3 (13.56MHz)	2004. 09.15
IS 18000-4 (2.45GHz)	2004. 08.15
IS 18000-6 (860-960MHz)	2004. 08.15
IS 18000-7 (433MHz)	2004. 08.15
TR 24710 (Elementary Tag)	2005. 10. 27
<データプロトコル>	
IS 15961 (コマンド/レスポンス)	2004.10.15
IS 15962 (ロジックメモリ)	2004.10.15
<固有ID>	
IS 15963 (タグ固有ID)	2004. 09. 01
<アプリケーション>	
TR 18001 (ARP)	2004.10.15
<用語>	
IS 19762-1 (用語;一般)	2005. 03.15
IS 19762-2 (用語;ORD)	2005. 03.15
IS 19762-3 (用語;RFID)	2005. 03.15
<パフォーマンス/コンFORMANCE>	
TR 18046 (パフォーマンス)	2005. 02.04
TR 18047-2 (135kHz未満)	
TR 18047-3 (13.56MHz)	2004. 09. .01
TR 18047-4 (2.45GHz)	2004. 11. 23
TR 18047-6 (860-960MHz)	
TR 18047-7 (433MHz)	2005.10. 27

表3. 4. 2. 1に RFID のタグとリーダーライタに関する規格のリストを示す。内容はエアインタフェース規格 ISO/IEC 18000 シリーズ、データプロトコル企画 ISO/IEC 15961,15962、固有 ID コード ISO/IEC 15963、パフォーマンス規格 ISO/IEC 18046, 18047 他から構成されている。

(5) ISO規格によるコードの書き込み方法

ISO規格によるコードの書き込みにはISO/IEC15961と15962のデータプロトコル規格を用いる。以下に其の概要を記述する。ISO/IEC15961はホストから見たリーダーライタに対するプロトコルコマンド体系を規定した規格である。リーダーライタとタグに影響されないように抽象化されたコマンド体系をとっている。また書き込む情報は全てオブジェクト ID=OID を付けてエンコード、デコードする方式である。15962はタグドライバーに対する I/F コマンドでありデータ圧縮、データフォーマット、ロジカルメモリマッピング機能などを行う。

RFID System The Generic Model

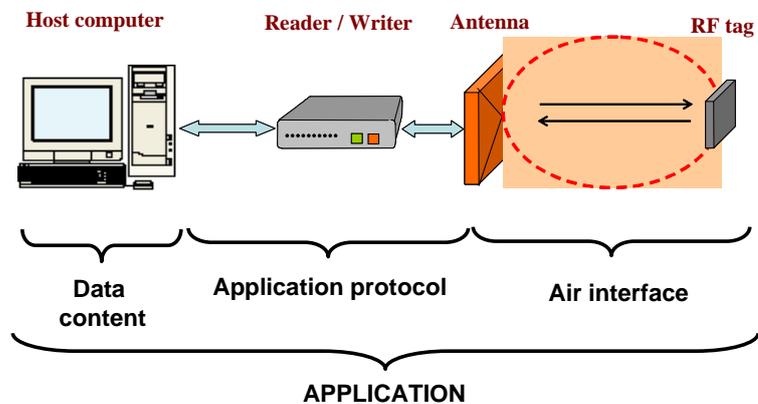


図 3. 4. 2. 1 2 ISO/IEC 15961、1 5 9 6 2 の 概要 - 1

RFID Data Protocol Positioning ISO/IEC 15961 & 15962

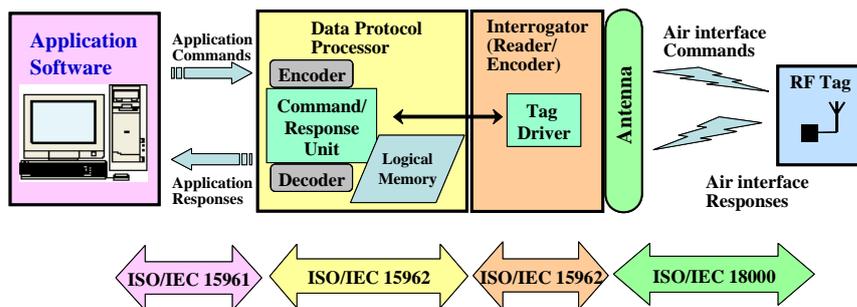


図 3. 4. 2. 1 3 ISO/IEC 15961、1 5 9 6 2 の 概要 - 2

(6) EPC global C1Gen2 タグへのコードの書き込み方法

図 3. 4. 2. 1 4 に C1Gen2 タグのメモリ構成 (ハードウェア) を示す。メモリエリアは Bank 0 0 ~ Bank 1 1 までの 4 つの Ban から構成されている。

図3. 4. 2. 15には C1Gen2 のメモリ構成と PC Bit の仕様を示す。PC Bit は Bank01 の EPC コードの 10h- 1Fh に割り当てられている。Bit 17h = 0/1 = EPC/ISO のモードの切り替え Bit として使われている。

Bit 17h が 0 の場合は EPC の SGTIN や GRAI、GLN などが割り当てられている。また Bit 17h = 1 の場合は ISO モードの ISO 15961 方式に従い書き込まれる。この場合 AFI=Application Family Identifier によりタグの用途分野別の識別（振り分け）を行なっている。

3-4. 板ガラスリサイクルについての欧州動向調査

目的

EUでは、自動車全体のリサイクル率の目標値を95%以上(2015年)としており、日本同様の高いリサイクル率の目標値を設定している。そのための方策として、関係者はガラスのリサイクルも当然視野に入れている。イギリスのPilkington社(フロート板ガラスの製図を案出した会社)の訪問とブラッセルでベルギー/オランダの廃棄物処理業者(Maltha)と面談により、ガラスリサイクルの現状をヒアリングし、今後の展望について討論する。

出張先 Pilkington社(イギリス マンチェスター) 2月19日

Maltha社(ベルギー ブラッセル) 2月21日

期間 平成19(2007)年2月18日~2月23日

出張者 高橋慎治 (財)製造科学技術センター 主席研究員

調査結果概要

- ・ ヨーロッパでは、ガラス容器の需要が高く、容器軽量化などの改良も進んでいる。現在の廃ガラスカレットの最大の活用先はガラス容器の製造である。
- ・ 次のガラスカレット需要はグラスファイバーを使った断熱材として利用である。日本でもガラス容器のカレットを使って断熱材用のグラスファイバーの生産は行われている。
- ・ EU指令のリサイクル率目標は、リサイクル率増加分をマテリアルリサイクルで実現する必要があり、95%という目標値達成のためには、自動車の窓ガラスも視野に入れてリサイクルを考えなくてはならない状況にある。
- ・ 使用済み自動車の処理は、製造物責任という立場から自動車製造会社(輸入業者も含む)の責任とされており、ガラス会社自体には直接の責任がない形になっているが、ガラス会社としてもカレット回収、利用のための対応準備を進めている。
- ・ 英国内にELV(使用済み自動車)の回収拠点が設定(2007年1月1日)され、ユーザは使用済みここに自動車を持ち込めば、プロデューサー(製造業者、輸入業者)が無料で引き取る。自動車の窓ガラスは分離されてリサイクルされることが望ましいが、現在は、金属をリサイクル、残りは熱回収している。
- ・ 英国政府がスポンサーになったガラスリサイクルのためのプロジェクトがある。(WRAP:リサイクルガラスの用途開発、50の新しい提案を発表。市民を巻き込んだ活動をしている。)容器では、30%軽量化を達成している。現在、廃ガラスのリサイクルでは、容器にするか、断熱材用のグラスファイバーにしている。

4. 調査研究の成果

板ガラスのリサイクルシステムとして、自動車用板ガラスはフロントガラスを切断して回収、選別して板ガラスにリサイクルするケースにつき、LCA、LCCの計算を実施した。また、建築用板ガラスについても、板ガラスにリサイクルする場合のLCA、LCCの計算を実施した。この結果、トータルなリサイクルシステムにおいて、各プロセスでの二酸化炭素の発生や抑制の量が判明した。また各プロセスにおけるコストの発生量も判明した。

LCA、やLCCは、製品のライフサイクルシナリオによって得られる値が大きく変わってくる。また、新たな処理作業等の導入を考えると、不確かなデータを使って計算せざるを得ないという場面に遭遇することもある。リサイクルのシナリオを決めるにあたっては、計算根拠となるデータの信頼性から、建築物の解体処理や、自動車窓ガラスの処理の現状に沿ったシナリオとした。とくに自動車窓ガラスのリサイクルに関しては、日本自動車工業会や板ガラス協会から提案のあったリサイクルシナリオでの計算を行った。具体的には、リサイクルの対象をフロントガラスとして、スモークのあるものが混ざっているサイドガラスや熱線、アンテナ線の貼ってあるリヤガラスは対象外（分別作業が困難）とし、また、実証実験でデータ収集実績のある切り取り方法や分別方法を採用することにした。

計算結果については、このようなリサイクルシナリオにおいては、LCAとして、二酸化炭素の排出量の削減につながらず、LCCでも、処理コスト分の上昇になっている。

今回のような、収集運搬後に、リサイクル可能かどうかの選別をする自動車ガラスのリサイクルシナリオでは、廃ガラスの収集、運搬、分別等にかかる二酸化炭素発生量が、リサイクルによる板ガラス製造時の二酸化炭素発生削減量を上回ることが判明した。

今後の課題として、板ガラスを使用可能なリサイクル材料として回収するシステムの効率化を図る工夫が必要である。システム上の工夫や技術開発の集積により、コスト増の少ない、環境負荷削減量の多いシステムでなければ、二酸化炭素発生量削減に寄与するという目的を達成できない。また、このようなシステムの効率的な運用には、現行の規制の緩和なども必要となろう。今回のリサイクルシナリオのLCA、LCCを通じて明らかになった課題への対応により、板ガラスリサイクルを通じて循環型社会に至るための効率的な道筋をつけて行かなければならない。

5 調査研究の今後の課題および展開

本調査研究では、報告書のそれぞれの部分に課題を記したが、全体のサマリとして板ガラスリサイクルシステムの構築に関する課題を整理してここに記載する。

(1) リサイクル率の向上

現在、自動車用ガラスは大きく分けて、フロント、リヤ、サイドの3種類がある。特にリヤ、サイドについては、アンテナ線、熱線、黒セラ、UVカット等の様々な仕様が混在しており、これらはガラスリサイクル工程において、微量に混入しても板ガラスの品質に大きく影響する。従ってガラスリサイクルを安定的に継続するためには、徹底したガラス回収の分別が不可欠であるが、現状では十分な品質を確保するための回収システムがない、また分別技術等の課題が多いことから、今回は、フロントガラスのみを対象とした。

LCAの結果は、ガラス生産量に比べて、使用済車から発生するガラスの量が少ない状況では、収集・運搬・分別に係るCO₂発生量が増加する結果になった。しかし、板ガラス製造工程だけを考えるとガラスリサイクルが二酸化炭素の削減の効果があることが算出されており、今後回収を促進するためには、回収ガラスの品質確保、コスト低減等の課題解決と併せ、大量発生時の収集・運搬・分別に係るCO₂発生量の算定によるLCAを再度行う必要がある。

(2) リサイクル用ガラスカレットの品質とそれに伴うリスク

回収されたガラスカレットには、プラスチックや金属くずなどの不純物が混入しており、これが高品質な板ガラス生産の障害になることがある。とくにアルミニウム系金属や非鉄金属、ニッケル化合物などがガラス溶解炉に付着すると重大な品質問題を引き起こす可能性があり、リサイクルカレットの受け入れに関しても厳しい基準を設けている。ガラスの製造工程は連続したプロセスのため、一度不純物等の混入による品質問題を起こすとその影響を除去するまでに、多くの時間を要し多量の不良品の発生を見ることになるため、ガラスの水平リサイクルにあたって、このようなリスクの回避策も考慮しておかなければならない。

さらに、このような品質問題とリスクへの対応としては、ガラスカレットから微量の不純物を安価に除去する技術の開発と、ガラス製造におけるリスク軽減技術の開発が望まれる。

(3) リサイクルコストの低減

板ガラスに限らず、リサイクル実施によるコストアップが、リサイクルの障害になっている。個々のコスト削減も積み上げていけば大きな額になるが、効率的な回収システムの構築なども大きな効果を生み出す可能性がある。欧州のガラス製造メーカーでは、板ガラスの回収ルートや廃ガラスの荷姿などについても検討を始めている。

(4) 法令、規制等の弾力的運用

ガラスリサイクルは、現状では逆有償の取り扱いとなるため、廃棄物処理法が適用される。廃棄物処理法では、ガラスリサイクルの各工程について、収集・運搬・積み替え保管、中間処理等の業許可の取得等が必要である。これらの認可取得にあたっては、長い年月を要し、また周辺住民の同意等、大変ハードルが高く、実質的に認可取得が困難な自治体もある。

このような状況を踏まえ、収集拠点の整備等にあたっては、廃棄物処理法の弾力的な運用が必要となろう。

(5) 情報システムの整備

ガラスリサイクルの工程は、回収・収集・運搬・分別・再資源化と大変多くの工程からなり、多岐にわたる事業者が関係する、大変大きな仕組みが必要となる。(例えば実際の回収にあたると思われる自動車解体事業者は約 3,000 事業者(解体事業者の届出 6,400 から想定)。これらの仕組みを安定的に動かすためには、物・お金・情報の流れをコントロールする情報システムの構築が必要不可欠であり、ガラスリサイクルシステムの整備にあたっては、情報システムの検討及びシステム構築のコスト算定及びコスト負担の議論も必要と考える。

板ガラスリサイクルシステムの構築と効率的な運用のためには、これらの課題を克服していく必要がある。

— 禁無断転載 —

システム技術開発調査研究 18-R-16

板ガラスリサイクルシステムに関する調査研究報告書
(要旨)

平成19年3月

作成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目4番28号
TEL 03(3454)1311

委託先 財団法人 製造科学技術センター
東京都港区虎ノ門一丁目11番15号
SVAX TT ビル
TEL 03(5472)2561