

リサイクル「自動車用ガラスの リサイクル技術と課題」

*旭硝子株式会社 加工硝子事業本部技術開発部 主幹技師

**硝子・建材事業本部技術開発部 主席技師

奥村 和彦*・工藤 透**

Technical Problem & Preliminary LCA Considerations for Glass Recycle of End Life of Vehicle

Kazuhiko Okumura*, Tooru Kudo**

*Fabricated Glass General Division, ASAHI GLASS CO., LTD.

**Technology & Development Division, Flat Glass & Construction Materials General Division, ASAHI GLASS CO., LTD.

1. はじめに

第9回「地球環境問題と人類の存続に関するアンケート」結果(旭硝子財団調査)によると、人類存続の危機に対する認識を示す環境危機時計は20:46を示している¹⁾。これまで4年間入っていた「極めて不安」な時間帯から「かなり不安」な時間帯へと移り危機意識は緩和されているが、人類存続の危機に対する認識は相変わらず高いということだろう。一方で、その危機意識を持っていながら、ライフスタイルを変更する上で最も困難と感じられる項目は、「自動車の利用を控える」こととされており、今後もモータリゼーションの恩恵に与るライフスタイルが続くと考えられる。また、同調査では環境税の導入に対する意識も調査しており、全地域で多数がその導入に賛成であり、課税対象として最も多いのは、「化石燃料」で、次いで「産業廃棄物・有害廃棄物」となってい

る。

自動車用ガラスは、その製造段階において多量の化石燃料を消費し、使用後においては廃車解体時にシュレッダーダストとして廃棄されているのが現状である。こうした状況を打開するために、各自動車メーカーや板ガラスメーカーは、廃棄自動車用ガラスのリサイクルに向けて取り組みを行ってきている。

例えば、日本自動車工業会では、リサイクルのための数値目標と「自主行動計画」をまとめ、シュレッダーダストを大幅に削減することが優先課題であるとの認識に立ち、1996年から4年計画で「使用済み自動車の分解技術研究」と「シュレッダーダスト処理のための実用規模プラントによる実証技術研究」及び「関係業界との材料リサイクル対応技術開発」等の取り組みを実施し、その成果を広く公開している²⁾。また、板硝子協会においても、以下に述べるように、リサイクルに向けて具体的な取り組みを実施している。

本稿においては、廃棄自動車からのガラス屑を板ガラス原料のカレットとしてリサイクルす

〒230-0045 横浜市鶴見区末広町1-1

TEL 045-503-7160

FAX 045-503-5327

E-mail: tooru-kudo@om.agc.co.jp

ることが、その商品の Life Cycle での環境負荷を低減するという前提に立ち、それを実現するための技術的課題や社会的課題をまとめ、今後の取り組みについて、概要を報告したいと考える。

2. カレットリサイクルは環境負荷を低減するか？

(1) 自動車用ガラス製造と廃棄の現状

リサイクルへの取り組みを説明する前に、そもそも廃ガラスリサイクルが環境負荷を低減するかについて考察してみる。自動車用板ガラスはソーダ石灰ガラスで、安定な無機化合物であり、地球表層部の元素の成分を示すクラーク数の構成によく一致している。すなわち、最終廃棄物として埋め立て処分するものとして最適な物質であるといえる³⁾。また、容器ガラスと異なり、製品サイクルが長く車種毎に形状も異なる自動車用板ガラスは、そのリユースは非現実的であるので、カレットとしてマテリアルリサイクルを考えざるをえない。

LCA をする上で考慮しなければならない幾つかの環境側面が有るが、ここでは Inventory の項目として、カレット回収と板ガラス原料リサイクルを行った場合のエネルギー使用量及び排出炭酸ガスについて考察した。

まず、原料と製品の状況であるが、通産省

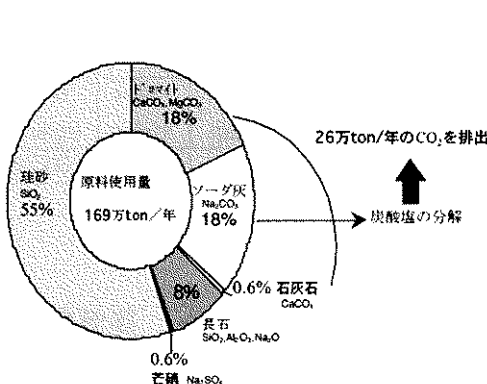


Fig. 1 板ガラス製造使用原料構成例④)

「窯業・建材統計」によると国内板ガラス製品の年間生産量は1991~2000年の平均で約140万tonである。市中の板ガラス製品からのカレット回収リサイクル量がほとんど無視できる現状の国内においては、原料のガラス化率を83%とすると、169万tonのVirgin原料(合成ソーダ灰や高炉スラグも使用されているが、大半は珪砂やドロマイト等の天然鉱石である。)が使用されていることになる。しかもその1/3以上が炭酸塩であるため、ガラス化する過程で炭酸ガスを排出する。板ガラス1tonを製造するときに原料の分解で放出する炭酸ガスは、CO₂換算で186kg/ton-glassとなる。

日本自動車工業会のデータ⁵⁾によると推定廃車台数は年間約400万台なので、自動車一台当たりの板ガラスの使用重量を32kg程度とすると、年間13万tonのガラスが国内で廃棄されている可能性がある。その廃棄のされ方も、Fig. 2に示されるような構成のシュレッターダストに混入する形で廃棄されている。

すなわち、ガラスは最終廃棄物として埋め立て処分するものとして最適な物質であると前述したが、実態はガラス以外の種々の物質と混合されて廃棄されており、その廃棄による環境負荷は大きいといえる。社会問題化した瀬戸内海の豊島での産廃大量投棄は耳に新しいが、主はこのシュレッターダストであるとされている。

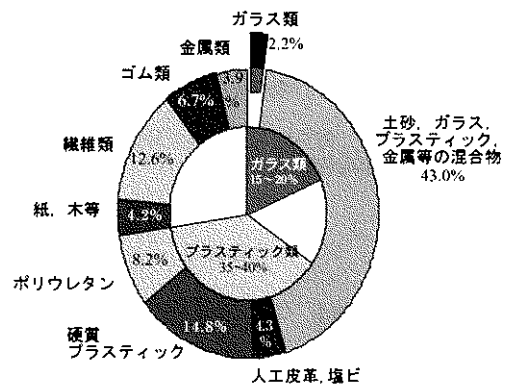


Fig. 2 シュレッターダストの重量構成例⑥¹)

(2) 板ガラス製造工程におけるカレット使用量の影響

Fig. 1 に示した原料構成における原料粉体のガラス化の化学反応に必要なエネルギーを、Kröger の式⁷⁾を参考にして求めると約 713 MJ/ton-glass である。これを重油換算すると 17.4 l/ton-glass であり、これによる炭酸ガス排出量は CO₂ 換算で 51.0 kg/ton-glass となる。一方で(1)で述べたように、原料粉体中の炭酸塩の分解で放出される炭酸ガスは、186 kg/ton-glass であるので、板ガラス製造工程において、1 ton のガラス分の原料粉体をカレット 1 ton に置き換えれば、237 kg/ton-glass が削減されることとなる。実際には、板ガラス製造においては、槽窯温度保持のために多大なエネルギーを必要とするため、カレット使用比率を変えた場合のガラス 1 ton 製造するための工程内排出炭酸ガスは、下図のようになる。

板ガラス製造における現在のカレット使用は、工程内循環カレット等が主で原料の約 40% を占めている。ところで、COP 3 の京都議定書では、日本の地球温暖化ガスの削減目標は

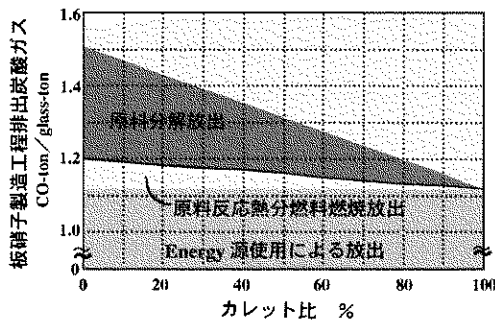


Fig. 3 カレット使用による板硝子製造工程排出炭酸ガス削減効果

6%である。例えば板硝子製造工程排出炭酸ガスを現状から6%削減するためには、62%までカレット比を上げればよいこととなる。これは、廃車や建設廃材から年間 47 万 ton のカレットが回収されて水平リサイクルが可能となれば達成できるレベルである。

(3) カレット回収工程における環境負荷

上記に記載した環境負荷は、あくまでも板硝子製造工程内の環境負荷の試算である。LCA を行うためには、カレットリサイクルに伴う環境負荷、すなわち廃車解体—ガラス取り出し&分別、洗浄工程やカレット搬送による環境負荷を考慮する必要がある。

自動車からガラスを取り出す工程については、既に社団法人日本自動車工業会において詳細に検討されている。その内容は、Internet 上で公開されている²⁾。それら及びそれ以外の工程の環境負荷に関しては、現状で不明な部分は多い。

しかしながら、例えば、搬送に伴う環境負荷の試算は可能である。自動車解体業者団体リスト等にある日本全国の廃車解体工場 39 ヶ所から、自動車用板硝子製造拠点までの平均距離を 400 km 程度とすれば、燃費 3.5 km/l のディーゼル 10 ton トラックに積載率 60% での搬送を仮定すると、排ガス排出量は以下ようになる。

カレット 1 ton 当たりは 400/6 = 66.5 km 走行分の環境負荷に相当する。従って Table. 1 によ

Table. 1 陸上輸送による大気汚染環境負荷⁸⁾

	燃費 km/l	CO ₂ kg/km	SOx kg/km	NOx kg/km
10tトラック	3.5	0.742	0.00091	0.00229

Table. 2 廃車カレットリサイクルに伴う環境負荷の増減例

原料採掘	原料搬送	板ガラス製造	製品使用	廃車解体	カレット搬送	カレット処理	廃棄物処理
↘	↘	↘	→	↗	↗	↗	↘

ると、例えば炭酸ガスであれば、CO₂換算で49 kg/glass-tonの排出量であり、上記(2)で述べたカレット1 ton 使用当たり削減可能な炭酸ガスの1/5程度である。カレットが回収リサイクルされなければ、相当分の原料の採掘、運搬量が増加（板ガラスの原料は海外から調達される場合もある。）し、さらにはカレットの廃棄処分場までの運搬による環境負荷も発生するので、実際にはカレットリサイクル進展に伴い搬送による環境負荷は低減するものと考えている。

廃車カレットを板ガラス原料としてリサイクルするためには、後述するような品質確保が非常に重要となる。従って、回収工程においてカレットの選別、分別の工程が必ず必要となる。例えば、自動車のフロントガラスに使用されている安全ガラスは、2枚のガラスの間に有機化合物であるポリビニルブチラル(PVB)をサンドウィッチした構造になっているが、この有機化合物を除去する工程が発生する。この中間膜除去プラントでこの除去処理を行うために、おおよそ60 kWh/tonの電力を消費すると言われている。この電力発生に伴う炭酸ガスは、CO₂換算で23 kg/glass-tonの排出量であり、上記(2)で述べたカレット1 ton 使用当たり削減可能な炭酸ガスの1/10以下である。

以上のように、まだすべての工程の環境負荷を算定したわけではないが、どうやら廃車カレットの板ガラス原料へのリサイクルは、環境負荷を低減することに貢献しそうである。

3. 自動車用ガラスリサイクルの技術的課題

この項では、廃車カレットを使用することにより発生すると予測される自動車用の板ガラス製品品質への影響についてまとめたいと思う。

(1) 自動車用ガラス特有の不純物の製品品質への影響

自動車用の窓ガラスには、以下のようなガラス製造や製品品質に大きく影響すると考えられる材料が使用されている。

① セラミックプリント（黒セラ、Black enamel）

自動車を運転する方は、フロントガラスやリヤガラスの室内側外周囲に黒く着色されたドットパターンが存在していることに気付くはずである。これは無機化合物顔料を含む鉛が主成分のセラミックプリントである。板ガラスを曲げたり強化したりする加熱工程で、同時に焼き付けを行っているもので、容易に剥離できるものではない。外周にあるので、それほど多量に塗布されているようには見えないが、実は全ガラス面積の15%程度がこのセラミックプリントに覆われている。

問題は、このセラミックプリントが付着したガラスが、板ガラス原料に混じった場合の影響である。セラミックプリントメーカーにより差は有るが、一般的に使用されているものの無機化合物顔料は、酸化クロムや酸化銅であることが多い。Table. 3に代表的なセラミックプリントの焼成後の成分を示す。

この表の成分の中で特にCr₂O₃やCuOが大量に板ガラス原料中に混入すると、緑や青に着色され製品の光学特性管理が困難になる。筆者の計算や実験結果によると、酸化クロムがガラス中に数十ppm混入すると、可視光透過率が1%程度も低下する。焼成後のセラミックプリントの重量を50~60g/m²程度とすると、一般的な乗用車の窓ガラス面積3.3m²強の約15%に付着しているセラミックプリントの総重量は25~30g程度である。すなわち、例えばTable. 3に示す組成のセラミックプリントが

Table. 3 代表的なセラミックプリントの焼成後の成分(Wt%)

PbO	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	CuO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Others
30~40	15~20	15~25	7~12	0~5	5~10	0~5

Others: Li₂O, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO₂, SnO₂, ZrO₂

使用されていた場合、全窓ガラスの重量 32 kg 中混入する酸化クロムの重量比率は 150~200 ppm 程度に及ぶことになる。すなわち、安全のために透視性が重視される自動車用ガラス製造では、セラミックプリントの付着したカレットを分別除去せずに廃車ガラスを板ガラス製品原料にリサイクルすることは不可能であるといえる。

ガラスカレット中から異物を除くために光学センサーと排除システムを連動させた装置が使用されることが有るが、セラミックプリントはガラス片の 1 面にしか付着しておらず、センサーを通過するときの角度によっては検出されない場合があり、非常にやっかいである。

従って、廃車回収カレットからセラミックプリントを分別除去するための技術開発は非常に重要である。

②防曇熱線（銀ペースト）

リヤガラスに曇り止めの加熱線が付着していることが多いが、その主成分は銀である。また、その加熱線と電源をつなぐ端子部分には、鉛や錫を主成分とするハンダが使われている。

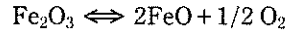
銀が大量にガラス溶解炉の中に混入した場合、炉底に沈降し炉材（主として電鍍レンガ）表面を覆う形となるため、その部分が異常に高温となり侵食が激しくなるとされている。すなわちガラス溶解炉の寿命が短くなると考えられる。

一方、銀は貴金属であるので、ガラスから分別回収されればそれなりの価値が発生すると考えられるので、廃車回収カレットからの銀の分別回収技術の開発が期待される。

③合わせガラスの中間膜（PVB）

中間膜は有機化合物なので、ガラス原料に混じって溶解炉の中に混入すると、酸素を消費して燃えてしまう。一見、燃えて炭酸ガスと水になってしまうのでガラス製造には何の影響も無さそうであるが、局所的に酸素を消費するため周囲は酸素不足となる。このことは、ガラスの酸化還元度すなわち、ガラス中の遷移金属イオ

ンや硫黄の価数に大きく影響する。酸素不足となると、例えば、鉄は下記の平衡がより還元側の右側に片寄り、青く強く着色する FeO の比率が増加する。



さらに混入量が増え還元度が増すと、ビールビンのような茶色の着色欠点が発生する。すなわち、製品の光学品質を維持するためには、PVB を分別除去し、その混入量を低下させる必要がある。これは、有機化合物一般に言えることであるので、PVB だけではなく着色フィルムや紙のシール等についても同じである。筆者の検討では、光学品質を維持するためには、カレットに混入する有機化合物を 100 ppm 程度に抑える必要がある。

④その他の混入物

上記以外に、自動車用窓ガラスに付着して回収される可能性があるものは、例えば車検シールのようにアルミ箔を伴うものも考えられる。アルミ箔やアルミ缶のような金属アルミニウムは、板ガラスだけではなくほとんどのガラス製造業にとって、忌避物質とされている。その理由は、熔融ガラスに対し非常に強い還元剤として働くため、ガラスの主成分である酸化珪素を還元してシリコンの粒状欠点を頻発させることになる⁹⁾からである。

また、あらゆる工程から混入することが考えられるステンレスも、忌避物質のひとつである。ステンレスの種類にはニッケルやクロムを含有するものが多く、それがガラス原料に混入すると硫化ニッケル粒欠点¹⁰⁾やクロマイト¹¹⁾と呼ばれる酸化クロムを主とする難ガラス溶解性の粒欠点を発生させることが多いからである。

このような金属不純物は、金属探知機である程度除去できるが、リサイクルにおいては混入をできるだけ避けるのが望ましいと考える。

(2) 母組成差による製品品質への影響

板ガラスの主成分は、多い順に、SiO₂、Na₂O、CaO、MgO、Al₂O₃ であり、おおむね類似した構成となっている。しかしながら、天然原

料を使用するため、その組成、特に CaO/MgO 比や混入する K₂O 濃度等は板ガラスメーカーによって微妙に異なっている。特徴的なのは Al₂O₃ の含有量であり、気候風土によって耐候性を考慮した組成となる傾向が有り、0.2~2.0 Wt% と大きく異なっている。日本の板ガラス組成は欧米に比べて高温多湿の気候を反映し 1.5~2.0 Wt% と最も高いが、それほどばらついているわけではない。

いずれにしろ現状では、その板ガラス製造においては自社組成カレットを使用することが多い。廃車からのカレットは、主に国内の板ガラスメーカーの製品が混合された状態（しかもその混合比率が変動しながら）で回収されてくると想定され、そのメーカー別の分別は技術的には可能でも非現実的と考える。

一方で、組成が異なることによる製造工程や製品品質への影響については以下のように考えられる。自動車の窓ガラスには、外側の景色が正確に見えることが要求される。すなわち、ガラスの透視歪みを小さくすることが、安全上要求される。透視歪みが小さいガラスは屈折率が均質であることを意味するが、異なった組成のガラスどうしは熔融状態にあっても混じり合い難いという特性を持つため異組成のカレットが大量に混じったりすると、屈折率に分布が生じ透視歪みが悪化する場合がある。

したがって若干組成の異なるメーカーのガラスが混合されている状態でも、リサイクル可能とするための均質化の技術開発が必要である。

(3) 紫外線カットガラスの分別リサイクルの意味

自動車ガラスの種類で、ここ数年急激に需要を増大した紫外線カット機能を持つ紫外線吸収ガラスがある。この種類のガラスはその機能を得る為に、酸化セリウムや酸化チタンを 1% 程度も含有していることが特徴的である。特に希土類である酸化セリウムは世界的にその供給が限られている為、資源として非常に貴重であるといえる。また、酸化セリウムは重元素でもあ

るため、その使用によりガラスの比重を大きくする作用がある。例えば、一般的に紫外線吸収ガラスは 3.5 mm の厚さで紫外線を 90% 以上吸収する為に、酸化セリウムを 1.5 Wt% 近く含有しているが、これにより密度は 1% 近くも増加する。

すなわち、紫外線カットガラスを他の着色ガラスと分別して回収することは、以下の 2 つの理由から必要であると考えられる。

- ① 自動車用ガラスの透視歪み品質を阻害しないため。
- ② 貴重な資源である酸化セリウムを有効にリサイクルするため。

現在紫外線カットガラスには、その分別リサイクルが簡易に推進することを狙って、UV cut のマーキングが行なわれている。

4. 自動車用ガラスリサイクルへの取り組み

2. で述べたように、どうやら廃車からガラスを取り出してリサイクルすることは、廃棄物が減少するという点以外にも、ライフサイクルでの排出炭酸ガス削減にも寄与しそうであり、環境負荷を低減しそうである。また、3. に述べたような技術的課題も明確になりつつある。以下にカレットリサイクルの取り組みの実施例を紹介する。

(1) 合わせガラスの中間膜除去設備開発

板ガラスメーカーをはじめとして多くの企業で、回収された合わせガラスからカレットをリサイクルすることを目的とした中間膜除去技術が開発されている。現状ではほぼその技術的目処、すなわちその設備から得られたカレットが自動車用板ガラス生産の原料として使用できるレベルに到達するという目処が得られたと考えている。

(2) 強化ガラスカレット大量回収 & 実案投入テスト結果

社団法人日本自動車工業会と板硝子協会の取

Table. 4 廃車から回収したフロントドアガラス 60 ton の Lot ごとの成分分析結果

Lot No.	分析値 Wt%										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₂	Fe ₂ O ₃	CoO	Se
平均	71.77	1.76	8.39	3.87	13.0	0.79	0.04	0.18	0.246	0.0009	0.0002
Max	71.8	1.77	8.42	3.88	13.0	0.82	0.04	0.19	0.255	0.0010	0.0003
Min	71.7	1.75	8.34	3.85	12.9	0.78	0.04	0.18	0.239	0.0006	0.0002
n=1	71.8	1.76	8.35	3.87	12.9	0.80	0.04	0.19	0.245	0.0009	0.0003
n=2	71.8	1.76	8.34	3.87	12.9	0.79	0.04	0.18	0.240	0.0010	0.0002
n=3	71.8	1.77	8.39	3.86	12.9	0.79	0.04	0.18	0.246	0.0009	0.0002
n=4	71.8	1.75	8.41	3.85	12.9	0.79	0.04	0.18	0.253	0.0008	0.0002
n=5	71.7	1.77	8.42	3.88	13.0	0.82	0.04	0.18	0.239	0.0009	0.0002
n=6	71.7	1.75	8.38	3.88	13.0	0.81	0.04	0.19	0.241	0.0009	0.0002
n=7	71.8	1.76	8.39	3.88	13.0	0.80	0.04	0.19	0.242	0.0006	0.0002
n=8	71.8	1.75	8.40	3.87	12.9	0.78	0.04	0.18	0.255	0.0009	0.0002
n=9	71.8	1.75	8.38	3.87	13.0	0.78	0.04	0.18	0.247	0.0009	0.0002
n=10	71.7	1.75	8.41	3.87	13.0	0.78	0.04	0.18	0.247	0.0009	0.0002

り組みで、1999年度に実際に廃車解体工場からフロントドアのガラスカレット（紫外線カットガラスを除く）を回収し、リサイクルのテストを行っている。日本自動車工業会の指定した廃車解体工場から、愛知県にある板ガラス製造工場に60 tonを回収し、カレット品質の調査、実際のガラス溶解窯での原料使用テストを実施した。このテスト結果からは、ガラス以外の異物混入がないように管理された状態で回収されたカレットであれば、製品品質に影響を与えること無く十分使用可能であることが判明している。実際、回収されたカレットを数 ton のロット単位で分析したところ、ほぼ国内3社の板ガラスメーカーの生産比率に応じた混合比率の組成を示し、バラツキも予測していたほど大きくはなかった。逆にいえば、回収—解体段階でのシャッフル機能が重要であるといえる。

5. リサイクルへの展望

冒頭で述べたように、現在廃車のガラスはシュレッターダストの一部として廃棄されている。シュレッターダストそのものを利用してリサイクル商品を開発している企業も多い。確かに3.で述べたように、現在の自動車用ガラス

にはセラミックプリントが付着している部分などの、板ガラス原料のカレットとしては使用できない部分もあり、水平リサイクル以外のリサイクルの方途も開発する必要はある。しかしながら、一般的には家庭ゴミ同様に、可能な限り分別回収することが有効なりサイクルにつながる。容器リサイクル法の施行により、ガラスカレット全体の供給量は過剰な状態にあり、ダウンリサイクル商品市場を新たに構築することも重要であるが、もとの板ガラス製品に戻すことを優先的に指向すべきと考える。

一方で、ガラスの製造や製品品質に大きな悪影響を及ぼす、配線等金属類やプラスチック、布、革等の有機化合物が混入されているシュレッターダストから、ガラス原料となりうるカレットを取り出すことは、現状では非常に困難である。日本自動車工業会において詳細に検討され²⁾、一部の自動車リサイクルセンター¹²⁾ではその解体工程の一部としてガラス取り外しを組み込んでいるように、廃車の解体段階で取り外すことができれば、わざわざシュレッターダストのような混合物にしてからの商品化を考えなくとも、ガラスの原料として再利用可能である。

原料と燃料を輸入して加工製品を輸出することで成り立っている日本の産業構造を考えれ

ば、廃棄物の有効利用、究極的にはゼロエミッションを目指すことは、日本の産業戦略の一つと捉えることもできる。

④経済団体連合会主導のもと各産業団体ベースで、環境保全にむけた自主的かつ積極的な取り組みである経団連環境自主行動計画¹³⁾が策定され、板硝子協会においても排出炭酸ガスや廃棄物の削減目標や対策¹⁴⁾が立てられ、例えば板ガラス製造に伴う排出炭酸ガスは、2000年で1990年比11.3%削減している¹⁵⁾。旭硝子の例を挙げると自社環境方針¹⁶⁾に基づき、2000年度において、例えば板ガラス製造部門の産業廃棄物では1995年度比95%削減、排出炭酸ガスでは1990年度比20%削減を達成している。これと同様に、自社製品の使用後廃棄時のカレットリサイクルについても環境戦略の一つとして重要視している。本稿で取り上げた廃棄自動車カレットについても、究極的には100%リサイクル可能な状態を作り出すことを目標とし、以下の3つの取り組みを行っている。

- (1) 自動車メーカーや各産業団体と協力しつつ、廃車カレット受け入れ体制、ルートの構築
- (2) 現在回収されるカレットを板ガラス原料としてリサイクルするための問題点を解決するための技術開発、すなわちセラミックプリント付着カレットの分離除去や合わせガラスの中間膜分離除去技術の開発
- (3) 板ガラス原料としてリサイクル可能な原料構成のセラミックプリント等やりサイクルし易い自動車用ガラスの組成や構造の開発などの、環境考慮型設計

自動車用ガラスのLife Cycleでの環境負荷を低減することを目標として、そのひとつの方

法でありながら重要な方法でもあると考えられるカレットリサイクルを実現するために、その社会的費用負担の明確化、ルールの構築、述べてきたような技術課題の検討、開発を、関係各社、業界において進めているところである。

参考文献

- 1) <http://www.af-info.or.jp/JPN/related/examine/enquete2000/result1.html>
- 2) http://www.jama.or.jp/05_eco/index.html
- 3) 「ガラス工学ハンドブック」編集山根正之ら、朝倉書店、p 10~11, p 652~655.
- 4) 同上、p 298, 表 1.8 から算出.
- 5) http://www.jama.or.jp/05_eco/5_3/5_3t1.html
- 6) 自動車技術, vol. 45, No. 6, 1991.
- 7) C. Kr ger, *Glastech. Ber.*, 26 (7), 202~214 (1953).
- 8) 「LCA 実務入門」LCA 実務入門編集委員会編集、④産業環境管理協会、p 92.
- 9) 「ガラスの事典」作花澄夫編集、朝倉書店、p 322~325.
- 10) D. Stachel et al., Proc. 5th ESG Conference, A4: 2~14 (1999).
- 11) 小野拓郎、福井忠典、旭硝子研究報告, vol. 22, No. 1, 61~98 (1972).
- 12) <http://www2.kid.ne.jp/inpaku/html/eco/ecotown/story01/eco01a.html>
- 13) <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/pol133/outline.html>
- 14) <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/pol216/ap/15.html>
- 15) <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/pol216/table.html>
- 16) 「旭硝子環境報告書 2000」, <http://www.agc.co.jp/corporate/eco/2000.pdf>