

板ガラスのリサイクルの現状と課題

Current situation & subjects for Flat Glass Recycling

～GIC主催第6回ガラス技術シンポジウム(2010/12/16)報告内容ベース～

板硝子協会

工藤 透

旭硝子株式会社 ガラスカンパニー
日本・アジア事業本部 CSR室主幹

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

1

Contents

1. 国内の板ガラスリサイクルの現状
2. 板ガラスリサイクルの技術的課題
3. カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか?
4. 板ガラスリサイクルに向けた活動

1. 国内の板ガラスリサイクルの現状

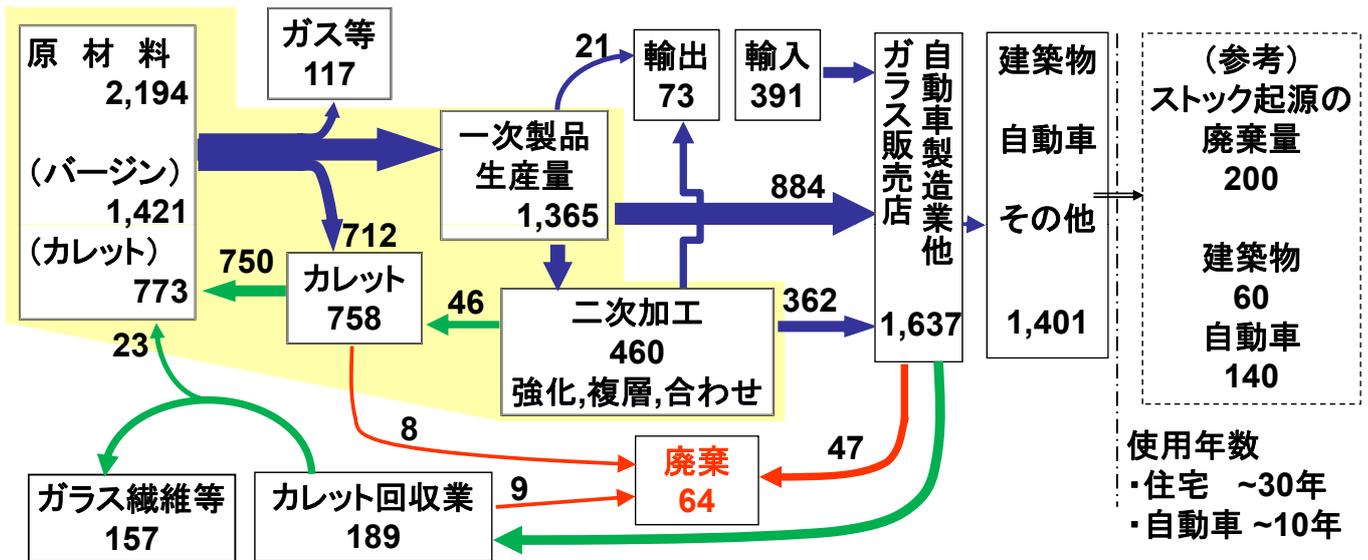


図2. 2004年 板ガラスカレットの回収・廃棄状況(板硝子協会概算) 単位:千ton
 * 1: 工場内のカレット再利用率は99% (黄色は板ガラスメーカー内を示す)。
 * 2: 流通段階における一次製品からのカレット発生率は20%(推定)
 * 3: 上記からのカレット回収率は80%(推定)

1. 国内の板ガラスリサイクルの現状

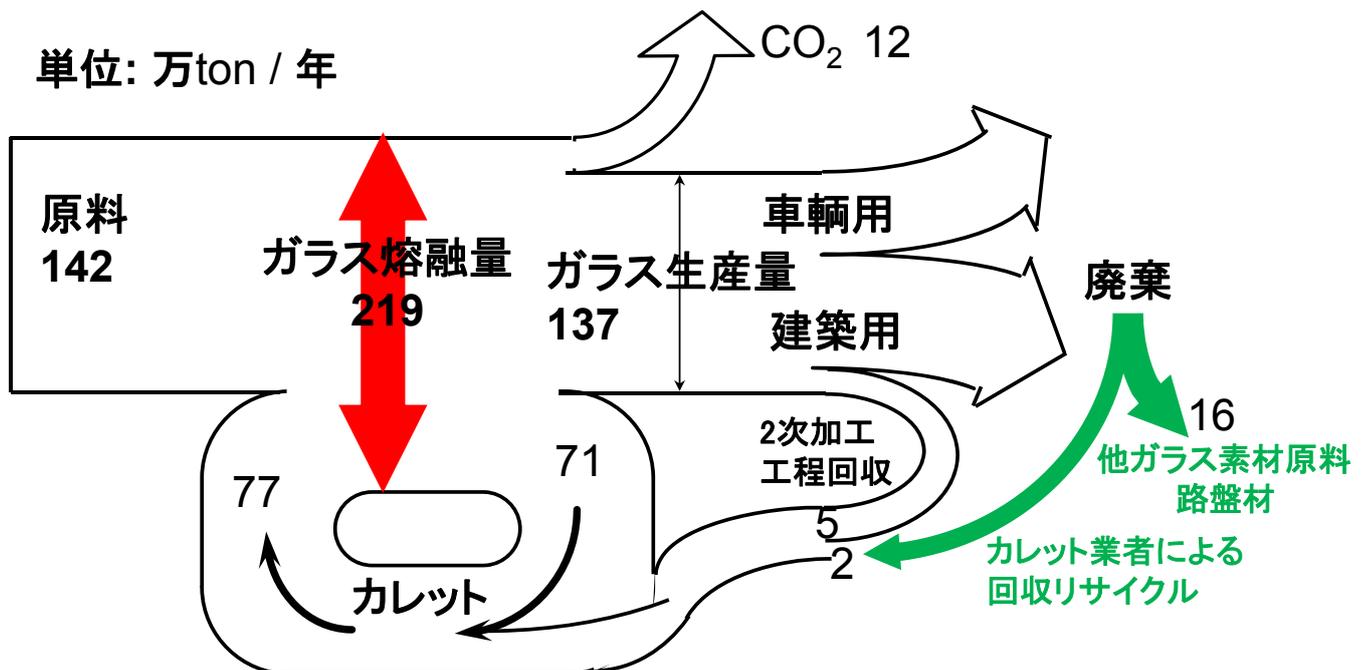
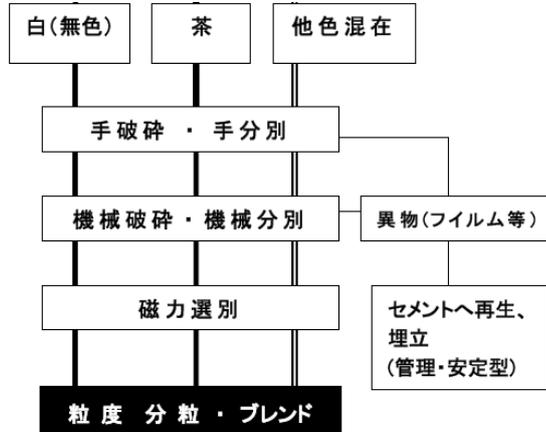


図 2004年 板ガラス生産のマテリアルバランス(板硝子協会調査・概算)

Cf. カレット業者によるカレットリサイクル



"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

5

Contents

1. 国内の板ガラスリサイクルの現状
2. 板ガラスリサイクルの技術的課題
3. カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか?
4. 板ガラスリサイクルに向けた活動

"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

6

建築用ガラスの回収カレットの特性

- 着色ガラスの比率が少なく、カレット価値は高い。
- 異物混入問題があり、選別が必要である。

(ガラスの特性;ガラス化してからの精製が困難)

- 他のごみ(金属屑、木屑紙屑等有機化合物、砂利煉瓦等)の混入のリスク
- サッシ枠, シーラント, スペーサー等の建廃特有の付着物
- TVのブラウン管, 食器等の異組成ガラスの混入

→カレット業者による選別 & 品質保証

- 各ガラス製品毎のスペックに応じた割り振り
(板硝子協会はこの機能をカレット業者に期待している)

回収ガラスカレット受入品質規格 ~板硝子協会~

1. ガラス以外の不純物の許容量

種類	異物	サイズと許容濃度	
有機化合物	フィルム、紙、ゴム、木片等	10 mm未満 20 ppm未満	10 mm以上 無いこと
砂利、セラミクス、セメント等		0.5 mm未満 1000 ppm未満	0.5 mm以上 無いこと
鉄片	ステンレスを除く	1 mm未満 10 ppm未満	1 mm以上 無いこと
非鉄金属類	アルミ、ステンレス等	無いこと	

2. 混入させてはいけないガラス

- 白色ガラス、熱線吸収ガラス、網入りガラス、型板ガラスは相互に混じりあってはならない。
- 合わせガラス、印刷したガラスは混入不可
- 建築用ガラス以外のガラス (ビン、ミラー、ディスプレイ、内装用ガラス, 耐熱ガラス、食器ガラス等) は混入不可

回収ガラスカレット受入品質規格 ~海外板ガラス~

Specification for Float Glass Cullet (Foreign Materials)

Unit:g/ton

	UK	GERMANY	JAPAN
Ferrous Metals	Particles >0.5g ; None <0.5g ; max.:2g	Magnetic & other Metals <5g	>1mm ; None <1mm ; <10g
None-Ferrous Metals (eg;Al,Ti,Pb,Cu,...)	Particles >0.1g ; None <0.1g ; max.;0.5g	Al & tinfoil <5g	None
Inorganic Substances Difficult to Melt (eg;Chromite,Ceramics, Silicon,Carbon,Corundum)	Particle >0.3mm None	>10mm ; None <10mm ; <20g	>0.5mm ; None <0.5mm ; <10g
Organic Substances (eg;Wood,Plastics,...)	Particles >2g ; None <2g ; max.;50g	Wood >20mm ; None <20mm ; <15g Paper ; <15g Plastic etc. ; <15g	>10mm ; None <10mm ; <20g

Note; Germany:max. quantity of cast and tinted glass:5%

"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

9

カレット利用の技術課題 ~異組成の影響~

ガラスの代表的な組成

1. ソーダ石灰ガラス;
ガラスウール、
ビンガラス、
建築の窓用板ガラス、
自動車の窓用板ガラス
2. 硼珪酸ガラス;
理化学機器等ガラス
3. 無アルカリ硼珪酸ガラス;
液晶画面用ガラス
4. 結晶化ガラス;
防耐火ガラス、レンジトップ
5. 鉛ガラス;
ブラウン管用ガラス、
クリスタルガラス

組成の違い = 物性の違い

異なる組成のガラスが混入すると

1. 光学特性の違い
色ムラの原因
色、透過率の規格外れの原因
2. 比重の違い、温度特性の違い
= 屈折率の違い
混じり合うと屈折率分布が生じ
透過像が歪む
3. 溶融酸素濃度の違い
溶融ガラスが接触すると、気泡発生
↓
製品品質に大きな影響を及ぼす。

"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

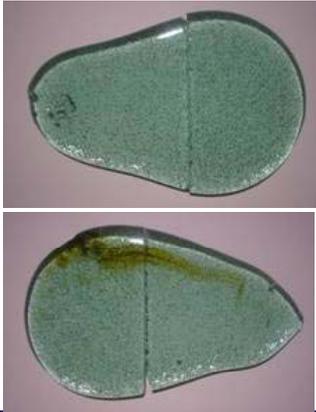
10

カレット利用の技術課題 ～異物の影響～

板ガラス＝酸素過飽和過冷却液体

→還元性成分の混入が、問題を起こすことが多い。

- 有機化合物(紙、プラスチックフィルム、シール材等)の影響
- 金属異物
- 砂利、セラミックス等の異物



1. ガラスが局所的に還元されることによる欠点
 - 還元硫黄によるアンバー色(ビール瓶の色)ムラ発生
 - 酸素濃度の違うガラスの接触による泡欠点の発生
 - AlによるSiO₂の還元→金属シリコン粒欠点発生
2. 異物自体の欠点
3. 熱膨張率の異なる異物が存在することによる欠点
 - 製造工程の徐冷段階、製品で割れトラブル発生

"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

11

カレット利用の技術課題 ～クラーク数～

技術的に異物混入に厳しい板ガラスの製造 = リサイクル困難

一方で、

板ガラス; 安定な無機化合物、重金属free、

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。

⇒埋め戻し材として最適な物質といえる。

⇒リサイクルや廃棄の為に運搬したり、埋め戻し用の砂利を採掘・運搬するより埋め戻した方が環境負荷は低いか？



リサイクルしないと、資源が有効利用されない

•埋立処理場、原料採掘場の環境

合わせガラスなどの異素材複合製品の増加

⇒LCAを考慮したリサイクルへの取り組みが必要

表. クラーク数と板ガラス元素構成例

順位	元素	クラーク数	板ガラス
1	O	49.5	34.4
2	Si	25.8	45.9
3	Al	7.6	1.0
4	Fe	4.7	0.1
5	Ca	3.4	5.7
6	Na	2.6	9.6
7	K	2.4	0.8
8	Mg	1.9	2.4
8位までの合計		97.9	99.9

"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

12

Contents

1. 国内の板ガラスリサイクルの現状
2. 板ガラスリサイクルの技術的課題
3. カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？
4. 板ガラスリサイクルに向けた活動

カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？

- 原料をカレットと置き換えると、

減少する環境負荷

- 原料採掘工程
- 原料精製工程
- 原料搬送工程

増加する環境負荷

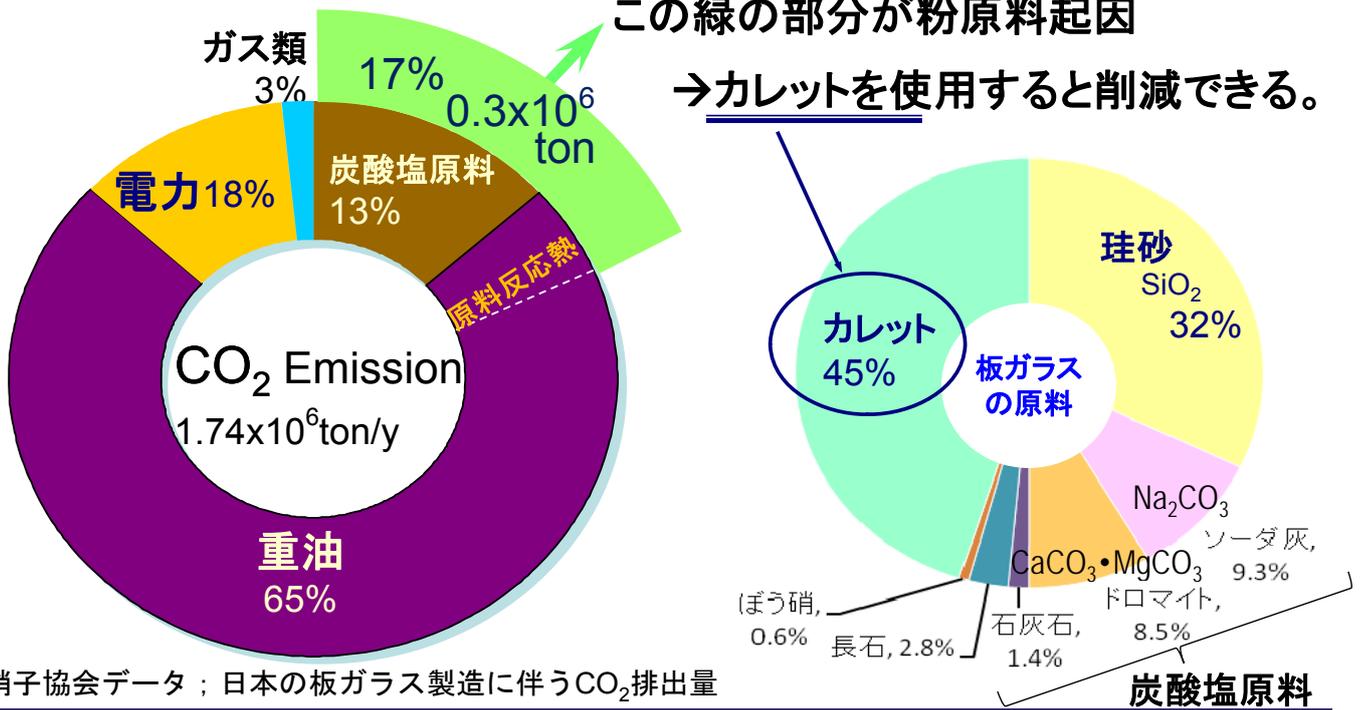
- カレット回収工程
- カレット分別工程
- カレット搬送工程

- ガラス溶解工程

- 廃棄物処理工程

カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？

ガラス溶解工程

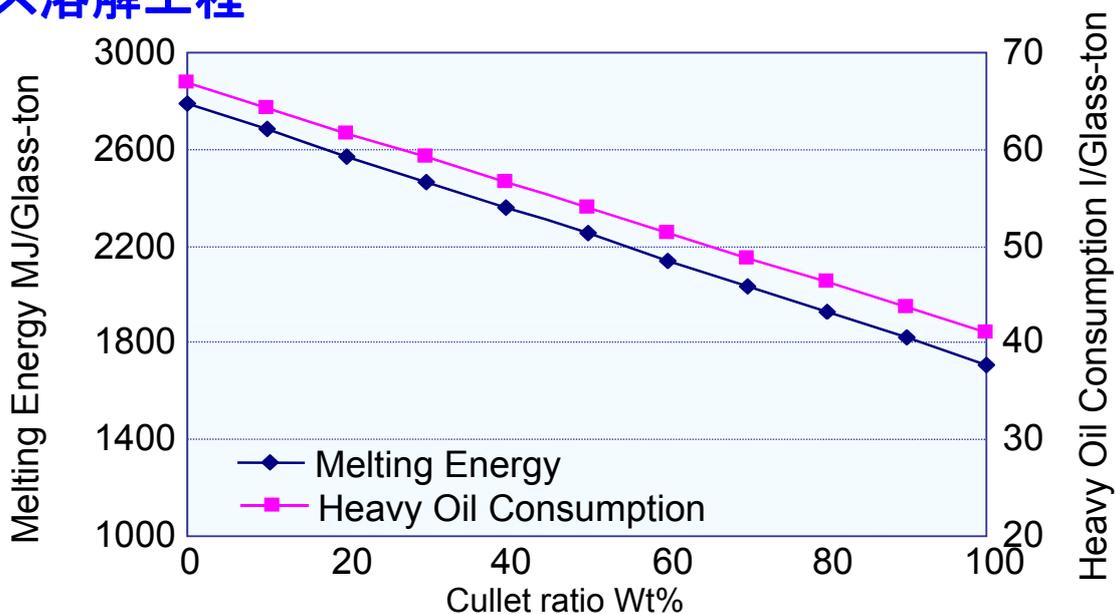


"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？

ガラス溶解工程



Cullet ratio & Melting Energy
-C. Kröger et al., Glastech. Ber., 26, 202 (1953)-

"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？

原料採掘・搬送工程の環境負荷

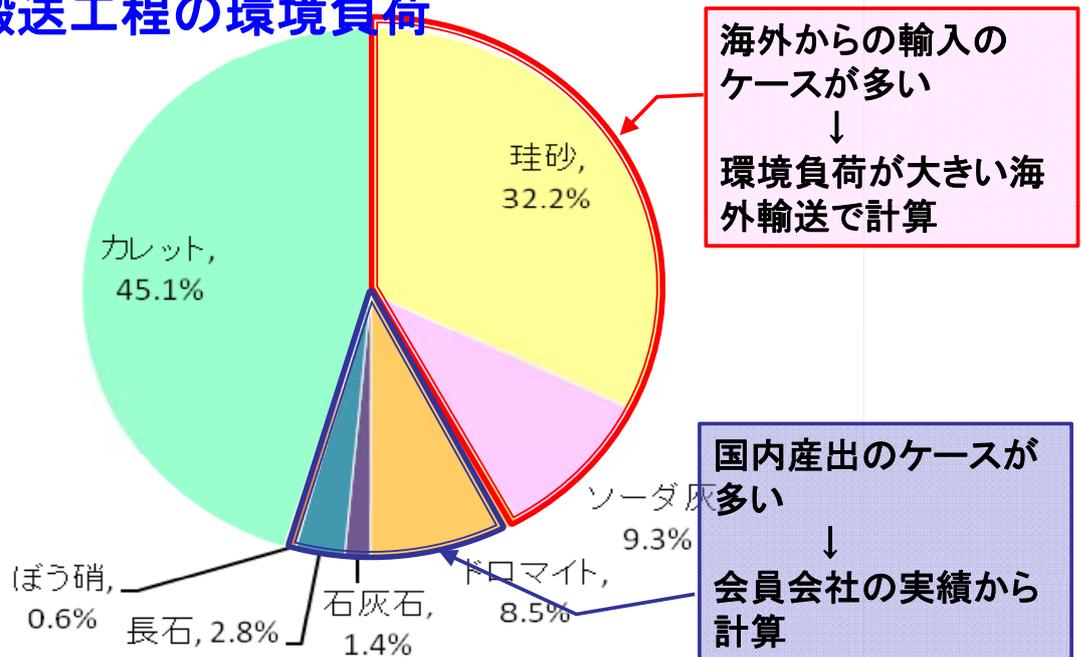


図 板硝子協会3社のガラス原料使用構成2007年度実績

カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？

表. 主な原料の採掘・精製のインベントリデータ

	使用量 ***/ton				
	原鉱 ton	電力 kWh	軽油 ℓ	重油 ℓ	天然ガス kg
珪砂	1.6	17.5	1.3		
ソーダ灰	1.8	142.5			123.3
苦灰石	1.0	11.6	0.4	2.7	

Cf. 精製工程
 珪砂: 粉碎・分級・洗浄
 ソーダ灰: 溶解・ろ過・再結晶
 苦灰石: 粉碎・分級・洗浄

表. 主な原料の搬送のインベントリデータ

	距離 / km			使用量 ℓ/ton	
	トラック	鉄道	タンカー	軽油	重油
	珪砂	437		8640	11
ソーダ灰		2780	14400	0.63	35
苦灰石	147			8.9	



板ガラスの原料のうち、大半を占める珪砂とソーダ灰、苦灰石は、ガラスビンの原料とほぼ同じ
 ⇒原料の採掘・精製に係る環境負荷データは、産業環境管理協会発行の「LCA実務入門」の3. ガラスビンのLCIケーススタディにあるデータを引用

カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？

カレット使用で削減されるCO₂排出量

原料使用量削減: ガラス1ton相当の原料 = 1.21 ton

- 原料採掘/精製工程: CO₂排出量 = 0.086 ton
- 原料搬送工程: CO₂排出量 = 0.024 ton
- 原料溶解反応工程: CO₂排出量 = 0.051 ton
- 原料分解放出CO₂: 1.21*15.4% = 0.186 ton

0.347 ton/ton

⇒カレットの回収&搬送、選別精製プロセスにおけるCO₂排出量が、これより下回ればよい？

+α; 原鉱石採掘場の環境保全、最終処分量の削減等の環境負荷低減

カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？

カレット使用で増加するCO₂排出量(試算例)

1. カレット回収搬送工程

- ・10tonトラックで400km程度? 軽油(2.6CO₂ton/kl)で5km/l? 積載率 40%?
400km/(5km/l)/(10*0.4)=13 l/ton ⇒ CO₂排出量=0.035 ton/ton

→リサイクルカレット1tonの運搬工程排出CO₂=0.034 ton/ton

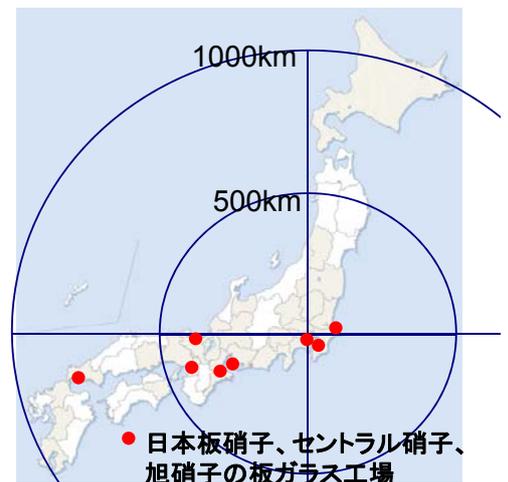
2. カレット選別工程

- ・ 電力消費量
 - ・ 製造設備使用電力 = 20.7 MWh/m
 - ・ 照明等使用電力 = 7.7 MWh/m
 - ・ リサイクルカレット量 = 400 ton/m

→リサイクルカレット1tonの選別工程
CO₂=0.024 ton/ton

合計すると、0.058 ton/ton

削減見込み量0.347の20%以下!



Contents

1. 国内の板ガラスリサイクルの現状
2. 板ガラスリサイクルの技術的課題
3. カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか？
4. 板ガラスリサイクルに向けた活動

板ガラスリサイクルに向けた活動

「メーカーとして、リサイクルにも配慮すべきである」

板硝子協会(日本板硝子社、セントラル硝子社、旭硝子社)にてリサイクルワーキンググループを2004年に設立し、活動開始。



板ガラスカレットのリサイクル

- ・回収・運搬・分別・品質保証;既存のカレット業者が実施

ガラスメーカーとしてやるべきことは何か？

- ・Scope; 合わせガラス、複層ガラスといった、異素材複合化でリサイクルが困難な製品のリサイクル技術、仕組みの構築



合わせガラスの水平リサイクル技術開発
回収の社会システム構築

板ガラスリサイクルに向けた活動

板硝子協会の合わせガラスリサイクル活動のポイント

[1] 廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）の特例

「広域認定制度」

製造、加工、販売等の事業を行う者が、自社製品の配送会社とともに認定を受けることにより収集運搬・処分とも処理業許可が不要

→板硝子協会加盟3社が連名で認定取得

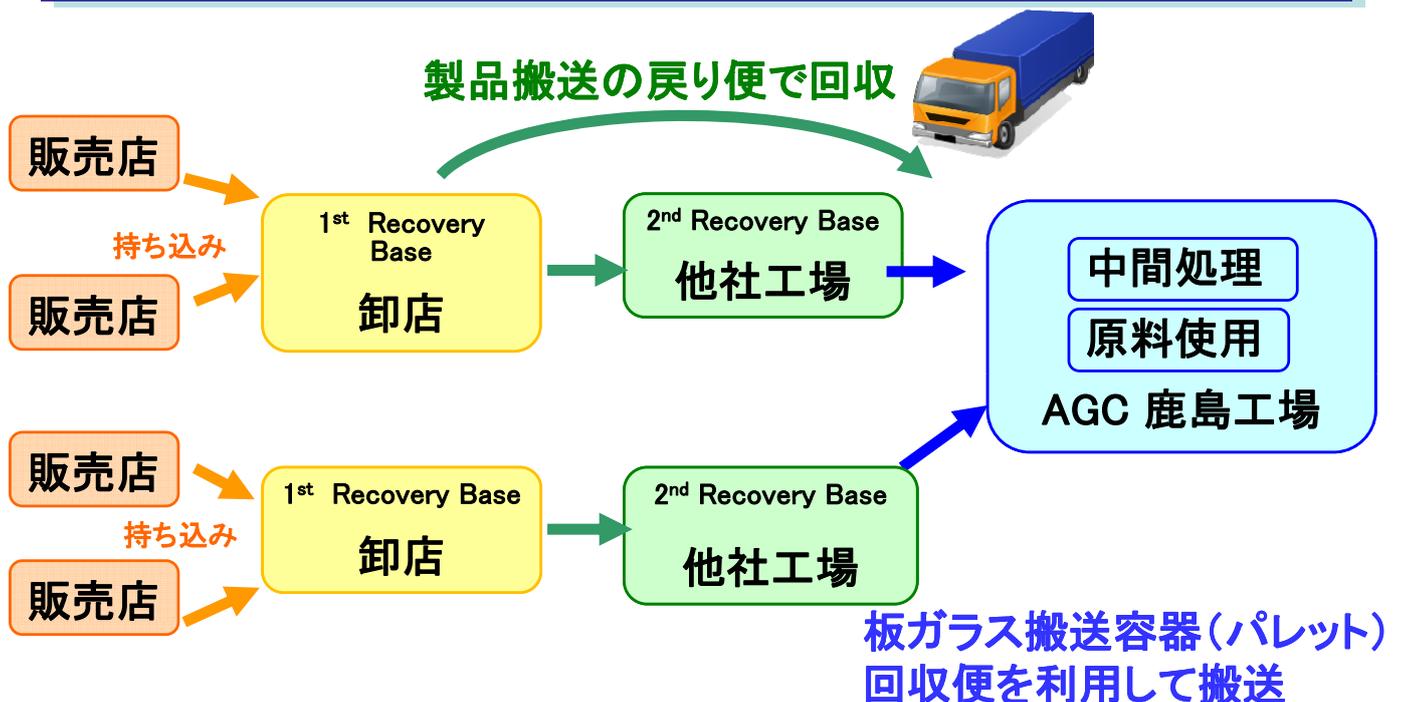
[2] 発生費用

システムの各段階で、販売店、卸店、ガラスメーカーそれぞれが応分の負担

[3] 料金の徴収方法

前払いで購入する証紙方式

板ガラスリサイクルに向けた活動



板ガラスメーカーからの製品直送便のある卸店から、帰り便で回収する。

板ガラスリサイクルに向けた活動

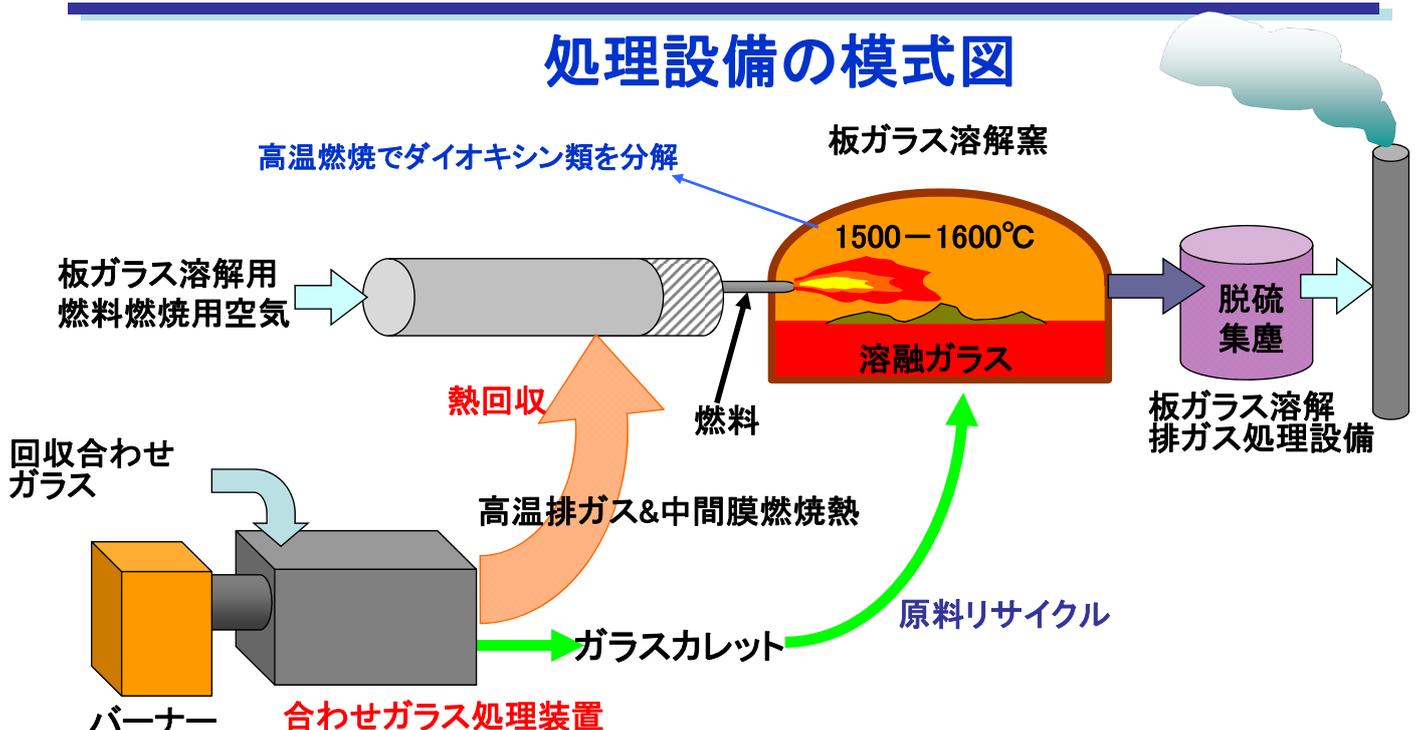
処理設備 --- 技術開発のポイント

- i. 短時間で中間膜を除去し、板ガラス原料として使えること
900°C程度の高温ガスフローの中で処理することで、ガラスが軟化する前に短時間で中間膜を分解可能
- ii. 本リサイクル活動によるCO₂排出量削減を目指す
処理に使用した熱、中間膜燃焼により発生した熱を回収
- iii. ダイオキシン等を排出しない設備であること
排ガスを板ガラス製造窯で再燃焼することで達成

※2004年12月から、板硝子協会加盟3社(日本板硝子社、セントラル硝子社、旭硝子社)間にて共同開発契約を結び、技術開発を実施

板ガラスリサイクルに向けた活動

処理設備の模式図



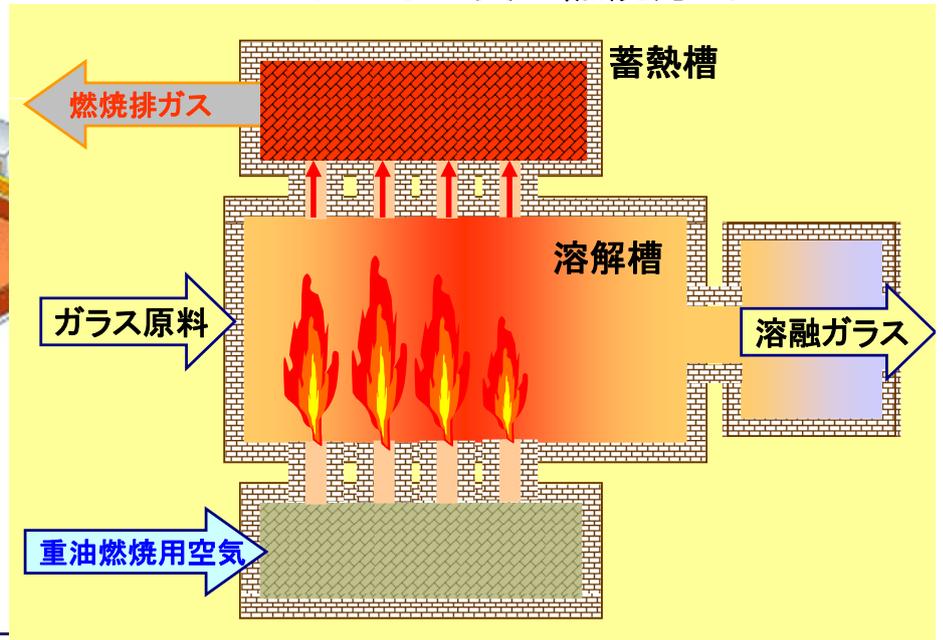
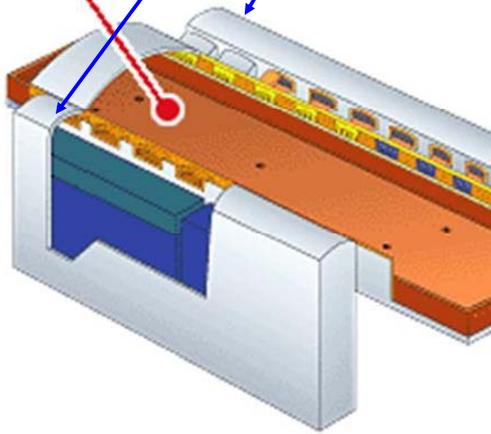
Cf. ガラス生産設備～溶融炉～

溶解槽

左右の蓄熱槽

シーメンス(蓄熱式加熱方法)炉

左右からの交互燃焼方式



"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

27

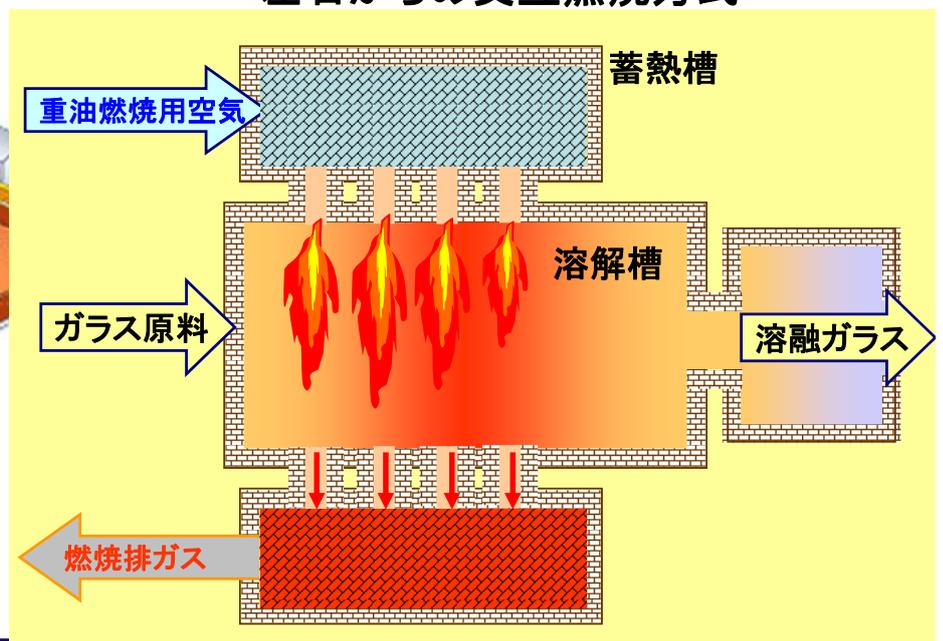
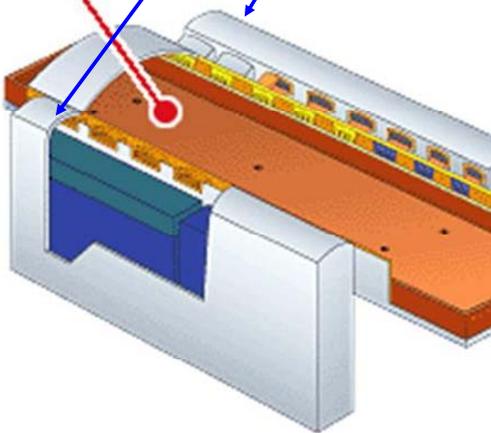
Cf. ガラス生産設備～溶融炉～

溶解槽

左右の蓄熱槽

シーメンス(蓄熱式加熱方法)炉

左右からの交互燃焼方式



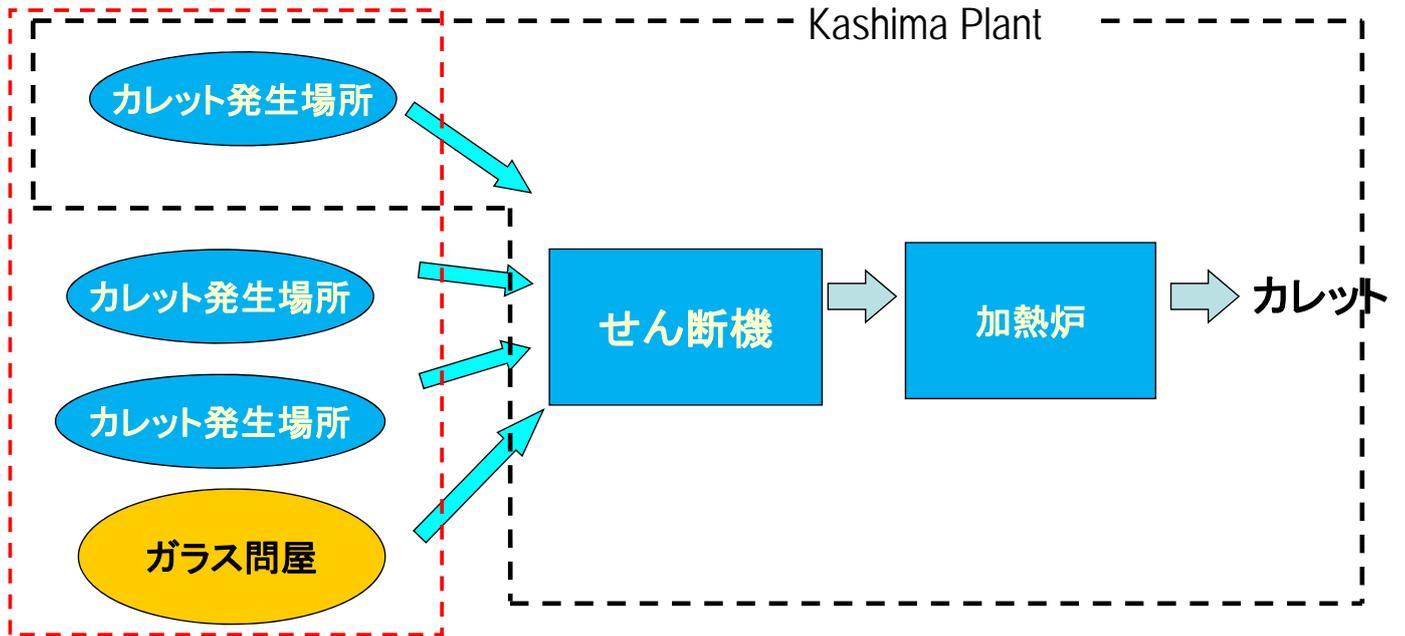
"Look Beyond"
AGC

© Copyright 2012 Asahi Glass Co., Ltd. All Rights Reserved.

28

板ガラスリサイクルに向けた活動

～ Flow ～



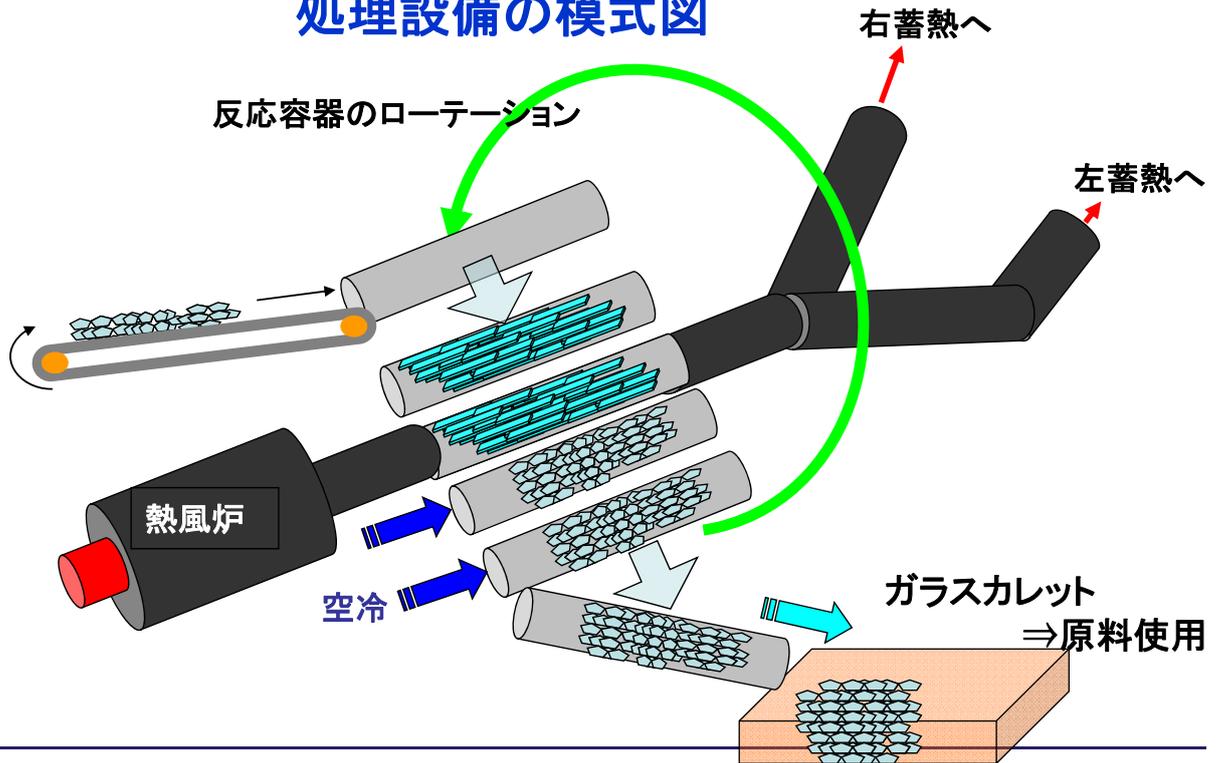
板ガラスリサイクルに向けた活動

～ Flow ～



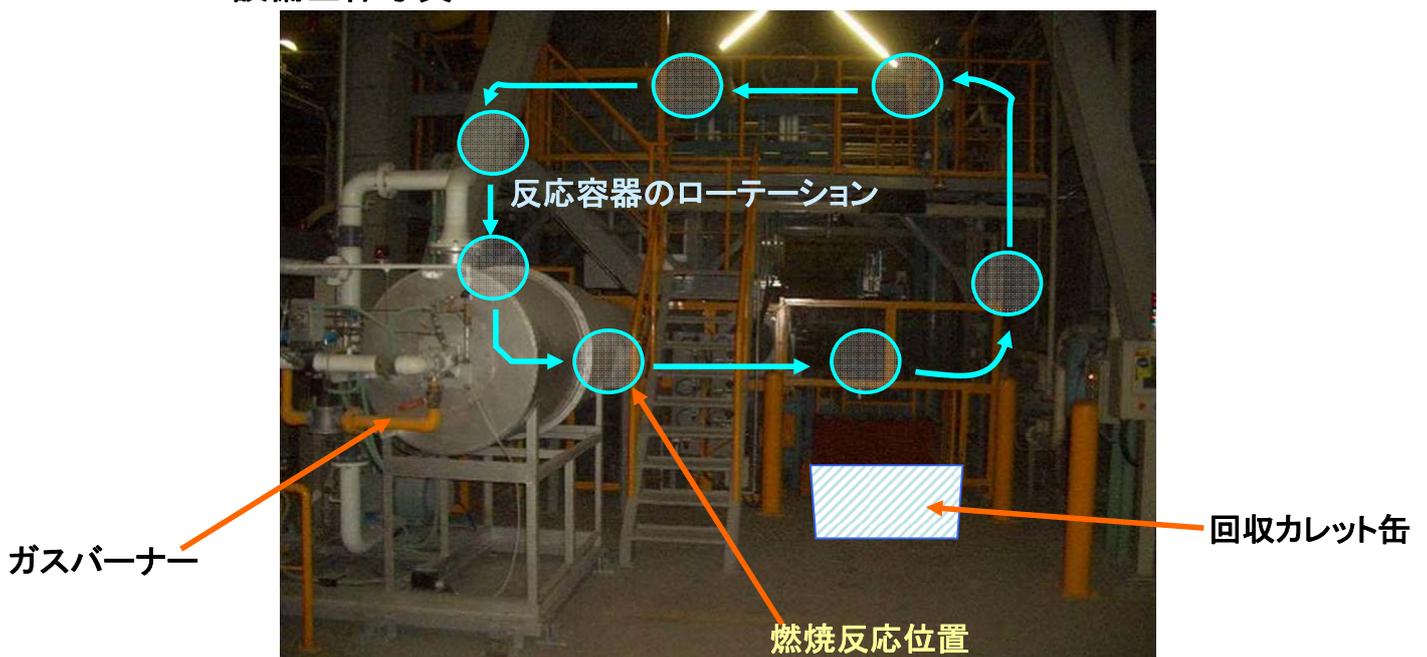
板ガラスリサイクルに向けた活動

処理設備の模式図



板ガラスリサイクルに向けた活動

設備全体写真



板ガラスリサイクルに向けた活動

リサイクル処理のc-LCA

CO ₂ 排出量増加分		CO ₂ 排出量削減分	
LPG燃焼	1.5 CO ₂ -ton/day	LPG燃焼熱回収	25.1 GJ/day
中間膜燃焼分解	0.66 CO ₂ -ton/day	中間膜分解熱回収	8.8 GJ/day
		ガラス溶解用燃料の燃焼用空気に混入することで熱回収し、ガラス溶解用重油使用量を削減 2.7 CO ₂ -ton/day	
設備電力消費	1.3 CO ₂ -ton/day	原料削減効果分	2.4 CO ₂ -ton/day
カレット回収運搬	0.19 CO ₂ -ton/day		
増加分合計	3.7 CO ₂ -ton/day	削減分合計	5.1 CO ₂ -ton/day

→ 熱回収効率次第だが、理論上はCO₂削減効果あり。

まとめ

1. 国内の板ガラスリサイクルの現状

⇒板ガラス製品の使用後のガラス原料への回収リサイクルは少ない

国内では、カレット業者が、ガラスのリサイクルに向けた回収・選別・品質保証の機能を果たしてきた。

2. 板ガラスリサイクルの技術的課題

⇒ガラスの特性;ガラス化してからの精製が困難

製品品質を保つために、異組成ガラスや、異物の除去が必須であり、水平リサイクルのハードルとなっている。

3. カレットをリサイクルするとCO₂排出を削減できるか?

⇒c-LCA評価を行うと、CO₂排出削減に寄与すると推定される。

4. 板ガラスリサイクルに向けた活動

⇒板硝子協会3社は、メーカーとして製品のリサイクルに向けた技術開発、社会システム構築に取り組んできた。

c-LCAに配慮し、新しいリサイクル設備を開発、設置し、広域認定制度を利用して流通工程からの建築用合わせガラスを回収し、リサイクルを開始した。

まとめ

板硝子協会では、

板ガラスのリサイクル行為の環境負荷をLCA評価し、
自らの製品のリサイクルに向けた技術課題を解決するリサイクル
プロセス等の開発に着手した。

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、廃棄物の有効利用は、日本の産業戦
略の一つと捉えることもできる。

御清聴ありがとうございました。