

経済産業省委託

平成21年度資源循環推進調査委託費
(3Rシステム化可能性調査事業)

合わせガラスのリサイクルに関する調査研究
調査報告書

平成22年2月

財団法人製造科学技術センター

まえがき

全国板カレットリサイクル協議会からの報告によれば板ガラスメーカー各社からのガラスカレット需要が旺盛な状況である。その事由として、カレット使用により板ガラス溶融炉の温度を下げられ、原料調達コスト削減、燃料調達コスト削減、環境負荷低減が図れる点が挙げられる。

ガラスのリサイクルにおいては、その種類や不純物の混入程度に応じて、水平リサイクルとして同じガラスに再生したり、グラスウールとして断熱材に再生したりしている。グラスウールはワンウェイであり、一度グラスウールになったものは不純物の含有率が高いなど効率が悪いこともあってグラスウールに再生していない。

この中で、ガラスの間に中間膜をはさんだ合わせガラスにおいてはリサイクルが殆どされていない。工程内不良品・市中回収品を問わず、再生方法の中でも効率が良いとされている粗破碎によってガラスと中間膜を分離しているケースもあるが、中間膜が混入しているガラスはグラスウールの材料にしかならず、中間膜もガラスが付着しているため、サーマル原料として使用するか埋立処分されているのが実情である。特に、廃棄自動車の解体においては、ガラス取り外しの手間・費用が賄えないことから、ほんの一部を除き、解体業者でシュレッダーダストとして埋立処分されており、カレットを経てのガラス再生は殆ど行われていない。

一方、剥離液によって分離する湿式法を用いれば、合わせガラスからガラスと中間膜を混じりなく分離できることが実証できている⁽¹⁾。但し、あくまで実証実験段階であり、事業として成立するためには、剥離装置の特性を向上させることが必要である。

合わせガラスのリサイクルシステム確立のためには、回収システム（社会システム）も重要であるが、まず、本調査研究の結果によって剥離装置の高度化が実現し、合わせガラスの回収の促進につながれば幸いである。

今回の調査研究において、数々のアドバイスをいただいた合わせガラスリサイクル調査委員会の皆様、ご指導をいただいた経済産業省製造産業局の皆様をはじめとして、ご協力をいただいた多くの皆様に篤く御礼を申し上げます。

財団法人 製造科学技術センター

目次

1. 調査研究の目的	1
2. 調査研究の実施体制	3
3. 調査研究の内容	5
3.1 実施方法	5
3.1.1 剥離液の調査及び評価	5
3.1.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ	7
3.1.3 小型バレルによる剥離テスト（剥離の条件出し）	8
3.1.4 大型剥離装置による剥離テスト	8
3.1.5 物理的外力を剥離工程で加える効果	9
3.1.6 回収カレット、中間膜の品質評価	10
3.2 結果	11
3.2.1 剥離液の調査及び評価	11
3.2.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ	12
3.2.3 小型バレルによる剥離テスト（剥離の条件出し）	14
3.2.4 大型剥離装置による剥離テスト	19
3.2.5 物理的外力を剥離工程で加える効果	29
3.2.6 回収カレット、中間膜の品質評価	29
3.3 考察	31
3.3.1 剥離液の調査及び評価	31
3.3.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ	32
3.3.3 小型バレルによる剥離テスト（剥離の条件出し）	33
3.3.4 大型剥離装置による剥離テスト	33
3.3.5 物理的外力を剥離工程で加える効果	35
3.3.6 回収カレット、中間膜の品質評価	36
3.4 現地調査報告	37
3.4.1 旭硝子(株)愛知工場	37
3.4.2 (有)飯室商店 富貴工場	38
4. 調査研究の総括	39
5. 今後の課題と展開及び期待成果	41
5.1 今後の課題と展開	41
5.2 期待成果	42
参考文献	44
付録	45

1. 調査研究の目的

我が国では、使用済み自動車年間約 400 万台廃棄される。これらから金属等がリサイクルされているが、使用済み合わせガラスは約 5 万トン発生し、シュレッダーにかけられている。シュレッダーダストは、含まれるプラスチック類が熱回収された後ガラス類はスラグとして残り、大部分が埋め立てられている。建設廃棄物としての使用済み合わせガラスも大部分が埋め立てられている。合わせガラスは飛散防止の目的から前述した自動車のフロントガラスに全面的に採用されているが、建材としても安全面、防犯面から合わせガラスの採用が進んでおり、今後建設廃棄物としても合わせガラスの排出量の増加が見込まれる。このような状況の中で、原料としての再生利用だけでなく、埋め立て処分場逼迫の点からもリサイクルが望まれている。

ガラス製造工場で発生する不良品や製造／運搬中に破損したガラスは、原料としてガラス溶融炉に戻されるが、中間膜の入った合わせガラスになっているものではガラス溶融炉において中間膜が不純物になるため、これの完全分離が必要である。現実には合わせガラスから効率よく中間膜とガラス片が分離できないため、板ガラス製造の原料としての利用は未だ事業ベースにはのっていない。

使用済み合わせガラスが効率よく中間膜とガラスに分離できれば、ガラス原料としてリサイクルできるうえ、中間膜についても再生利用が可能となる。

当財団では、平成 19 年度～平成 20 年度 NEDO 技術開発機構のエネルギー使用合理化技術戦略的開発（F S 事業）「ガラスリサイクルシステムの事前調査」を実施して、使用済み合わせガラスを特殊溶液に液浸させて破砕するとガラスと中間膜の分離が比較的容易になることを報告した⁽¹⁾。この調査の中では、今後の課題として、①リサイクル処理装置の高度化と②回収システム（社会システム）の構築をあげている。今回の 3R システム化可能性調査事業は、①の処理装置の高度化に相当するものであり、本調査研究では、合わせガラスの効率的・実用的なリサイクルシステムの構築に向け、合わせガラスにおけるガラスと中間膜の最適な分離手法について調査研究を実施した。

今回の調査研究では、分離が比較的容易である湿式法を効率的・実用的な手法として確立するために必要となる、湿式法で用いられる剥離溶液の分離特性（溶液の種類、濃度、温度との関係）及び剥離装置に要求される機械特性（事前破砕の粒度、剥離効果を高めるための合わせガラスへの力の加え方等）を、実験を中心に調査把握することを目的としている。（装置の構成と処理の流れは図 1.1 参照）

調査研究の実施にあたっては、合わせガラスのリサイクルシステムとして実用的なものを目指すため、剥離プロセスの経済性と剥離後のガラスカレット・中間膜の品質（再生利用に供し得ること）の両立を狙っている。

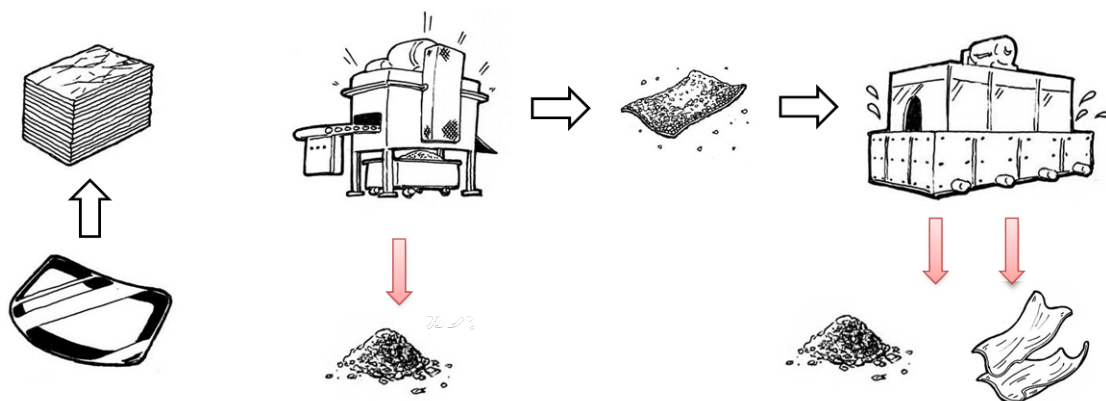
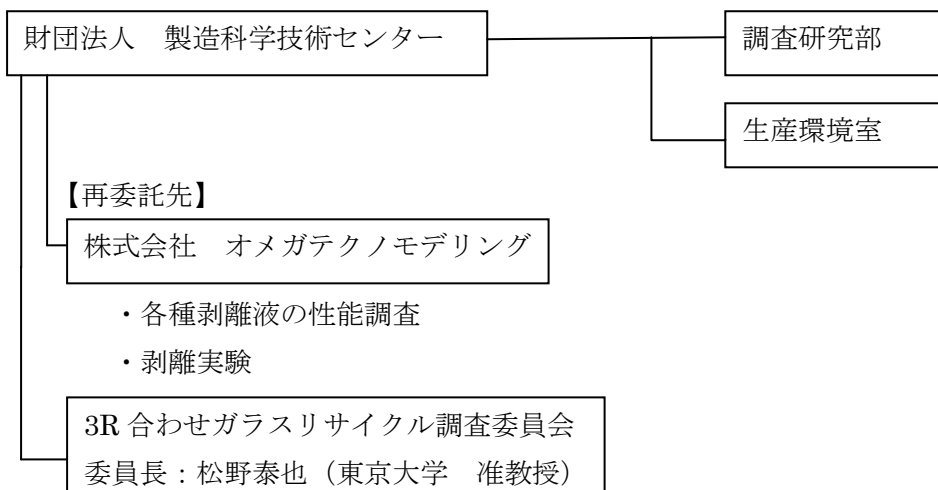


図 1.1 合わせガラス剥離装置構成と処理フロー

2. 調査研究の実施体制

製造科学技術センターが調査検討を担当し、合わせガラスのガラスと中間膜を剥離する具体的な実験等については、(株)オメガテクノモデリングに再委託した。また、学識経験者、ガラス業界、建築業界、リサイクル業界等 9 名から構成される委員会を設置し、指導助言を受けた。

【委託先】



3R 合わせガラスリサイクル調査委員会 委員名簿

委員長

松野 泰也 東京大学 工学系研究科 マテリアル工学専攻 准教授

委員

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専攻 教授

野村 昇 独立行政法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
素材エネルギー研究グループ 主任研究員

鈴木 道哉 清水建設株式会社 技術研究所 地球環境技術センター
建築設備システムグループ グループ長

遠山 清文 積水化学工業株式会社 滋賀水口工場 中間膜製造部 ヘッド

鶴岡 正顕 株式会社 ツルオカ 代表取締役

守川 勝 板硝子協会 調査役（異動により原様に交代）

原 潤一 板硝子協会 調査役（異動により守川様から交代）

佐藤 正紀 社団法人 日本建材・住宅設備産業協会 建材事業部 部長

飯室 眞次 全国板カレットリサイクル協議会 理事

オブザーバ

宿利 恭一	株式会社	オメガテクノモデリング	取締役
國領 一人	株式会社	ガラステクノシナジー	代表取締役
田結荘 宣治	有限会社	飯室商店 総務グループ	マネージャー
信末 直人	経済産業省	製造産業局 産業機械課	技官

事務局

笹尾 照夫	財団法人	製造科学技術センター	調査研究部	部長
原島 忠雄	財団法人	製造科学技術センター	生産環境室	室長
高橋 慎治	財団法人	製造科学技術センター	生産環境室	主席研究員
間野 隆久	財団法人	製造科学技術センター	調査研究部	部長代理
町田 泰亮	財団法人	製造科学技術センター	調査研究部	

3. 調査研究の内容

3.1 実施方法

3.1.1 剥離液の調査及び評価

(1)剥離液の選定

入手可能な合わせガラス剥離液を調査し、剥離特性/性能を評価して液を選定する。

(2)代替剥離液候補の評価

剥離液として1種類しか対象が無かったため、剥離メカニズムに合い剥離に使える可能性のあるものとして、フッ化水素酸と市販の洗剤等7種類をテストする。

表 3.1.1 合わせガラス剥離液としての評価候補薬品

薬品名	主たる成分	25℃におけるpH
フッ化水素酸 HF	HF	
市販洗浄剤 …… A	KOH キレート剤・界面活性剤	10wt% 水溶液 pH 11.8
市販洗浄剤 …… B	界面活性剤・アルキルアルコキシド 安定化剤	10wt% 水溶液 pH 7.6
市販洗浄剤 …… C	電解アルカリ水 100%	原液 pH 11.5
市販洗浄剤 …… D	界面活性化剤 直鎖アルキルベンゼン剤 安定剤・水軟化剤・可溶化剤	10wt% 水溶液 pH 11.6
市販洗浄剤 …… E	炭酸塩・過炭酸塩・有機キレート 界面活性化剤 ポリオキシエチレン アルキルエーテル	1wt% 水溶液 pH 10.4
市販洗浄剤 …… F	アニオン界面活性剤 炭化水素系溶剤・水	10wt% 水溶液 pH 5.1
選定した剥離液 OMB-100	メタケイ酸塩・界面活性剤 IPA・水酸化カリウム	5wt% 水溶液 pH 11.5

テスト方法

- I 約 100mm×100mm の合わせガラス試験片をクラッシャーにかけてガラスを細かく破碎する。
- II 小型の回転ドラム（パンチングメタル製）中に上記ガラスを入れて、各候補液中で一定時間回転しながらガラスを PVB 中間膜から剥離させる。
- III 一定時間後ガラスを取り出して、下記算式でガラスの残留率を求める。

$$\frac{\text{IIIで取り出したガラスの重量} - \text{中間膜重量}}{\text{Iで破碎したガラスの重量} - \text{中間膜重量}}$$

この結果と、OMB-100 で同条件のテストを行った結果を比較して、代替品として使用可能かを検討する。

①予備選別テスト

市販洗剤 A～F 6種類と HF（フッ化水素酸）を評価する。

A～FはC（電解アルカリ水）を除き wt%で 1%・5%・10%水溶液に調整する。

1ℓのビーカーに夫々の液を入れ（～800cc）50℃にキープし、100mm×100mmのガラス破碎済の合わせガラス（厚み ～4.9mm）を投入

30分後に合わせガラスを取り出し、ガラスの残留率を計測する。

$$\text{ガラスの残留率} = \frac{\text{30分後 取出した合わせガラス重量} - \text{中間膜重量}}{\text{液投入前の合わせガラス重量} - \text{中間膜重量}} \times 100\%$$

②小型バレルテスト

予備選別テストで成績の良いものに対して下記テストを実施する。

100mm×100mmの破碎済の合わせガラス 4枚を小型バレルに投入する。

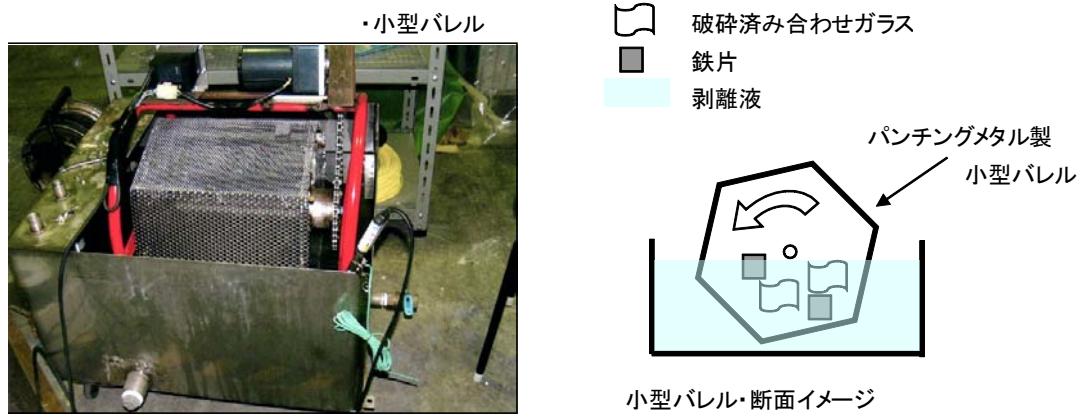
液温を 40℃に保ち、15rpm の速度で回転させる。

バレルには、厚さ 4mm 30mm×30mmの鉄片を総計 10kg 入れてガラスに衝撃を与える。

ガラス投入、回転開始後 5・10・15・20・30 分でガラスを取出し、重量を測定する。

それぞれ N=5 のテストを行い、平均ガラス残留率を求める。

ガラス残留率の結果が十分でない場合は、液温を 50℃、55℃に上げて同じテストを実施する。



六角形の対角の長さ：40cm、長さ：60cm

図 3.1.1 小型バレル

3.1.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ

破碎装置でガラスの破碎を行うクラッシャーの形状および、ガラスの破碎の粒度と剥離のし易さの評価を実施する。

(1)クラッシャーロールの形状評価

ガラスの破碎を行うクラッシャーに使用する上下一対のクラッシャーロールの形状を図 3.1.2、図 3.1.3 に示す。

ロールの形状、上下ロールの間隔によりガラスを砕く大きさが決まる。

下記 2 種類のロールで破碎と剥離を行い、優劣を評価する。

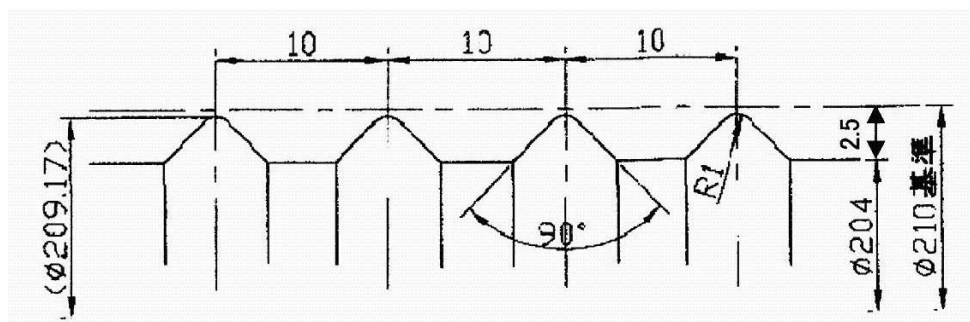


図 3.1.2 クラッシャーロール A

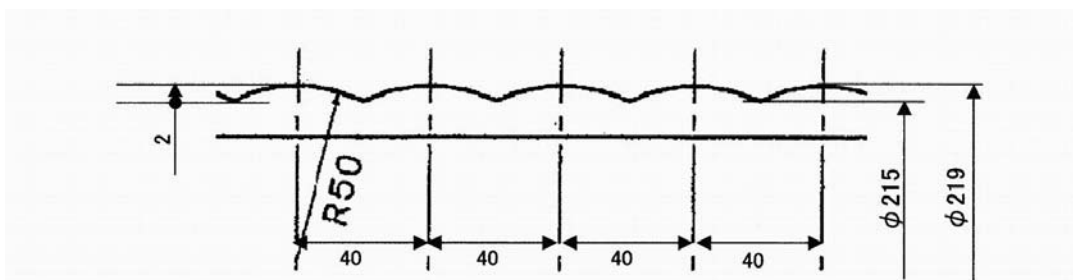


図 3.1.3 クラッシャーロール B

(2)選定したクラッシャーロールでの破碎評価

(1)の評価によって優れていると判定されたクラッシャーロールを使用して破碎粒度と剥離後のガラス残留率の詳細評価を実施する。破碎においては、クラッシャーロールに1回通したものと半ピッチずらして2回通したものを比較する。

合わせガラスサイズ 350mm×500mm (自動車フロントガラスより切り出し)
上下ロールの間隔は、上下ロールの平坦面を ガラスの上下面に合せる。

2回目の破碎は、破碎ピッチが1回目の間に来るように調整する。

- ①この場合のクラッシャーで落ちるカレットと剥離液中で落ちたカレットの粒度分布を調べる。
- ②また、1回目で膜から脱落したガラスの量と2回目で脱落したガラスの量を“脱落率”として求める。

3.1.3 小型バレルによる剥離テスト (剥離の条件出し)

大型装置での剥離テストに先立ち、剥離液の濃度と温度に関する剥離傾向を把握するため、小型バレルで下記3つの要因の組合せで、膜上に残るガラス量をガラス残留率(重量%)として求める。

- ・ OMB-100 の水溶液の濃度 (低濃度側も広く評価)
0.05、0.10、1.0、5.0、10.0%
- ・ 剥離液の温度 (これまでの評価で実用的と考えられる範囲に設定)
40℃ 45℃ 50℃ 55℃
- ・ 剥離装置で処理する時間 (処理能力の観点から30分以内の処理を想定)
1、3、5、7、10、12、15、18、20分

3.1.4 大型剥離装置による剥離テスト

大型装置において量産時のコスト(液の使用量、濃度、処理時間、使用電力等)を想定して量産に適する条件を求めるため、大型剥離装置での評価を実施する。

(1)温度・濃度特性

小型バレルでの実験結果を参考に決定した下記評価パラメータで実施する。

テスト条件	液濃度	: 2vol% 5vol%	の2水準
	液温度	: 30℃ 40℃ 50℃	の3水準
	処理時間	: 所定枚数のガラスをバレル内に投入完了後、 15分、30分の2水準	計12水準で各水準 N=2
使用ガラス	飯室商店より提供された工程不良品 (フロントガラスを3枚にカットして使用) サイズは 40~50cm×60~80cm クラッシャー処理によるガラスの脱落率は ~50~60%		

合否判定基準 剥離工程最終段の回収膜水洗後、目視及び指触により膜に1ヶでもガラスカレットの残留が認められるものは不合格とした。
(非常に厳しい検査だが、短時間の検査の為、この基準を使用)

(2)消費電力

大型剥離装置での剥離テストを実施する際に、各装置の消費電力を測定する。

- ・1 バッチ (このテスト時は 50 枚のガラス) の破碎開始～分別機から最後の間膜が排出完了までの それぞれの装置の実運転時間と消費電力量
- ・剥離槽内の液を 1 バッチ処理する間、所定温度にキープする電力量
- ・剥離槽内に充填されている 2600ℓ の剥離液を所定温度まで昇温する電力量
(夜間はヒーターを切っている為、翌朝の操業開始までに 液温を所定温度まで昇温する必要がある)

3.1.5 物理的外力を剥離工程で加える効果

バレル槽に於いて、剥離液に浸漬されながら 回転バレル (パンチングメタル製) の内面との摩擦で剥離するだけでなく、バレル内で合わせガラスに物理的な外力、衝撃力を与えて ガラス片の剥離を促進するテストを行う。

(1)鉄片 (チップ) による剥離促進テスト

衝撃力 外力を加える為に 50mm×50mm×3mm t の鉄片 (チップ) をバレルに投入する。投入量は 15kg、28kg、35kg とする

液濃度 5%

液温度 50℃

バレル回転数 8.5RPM

チップサイズ 50×50×3t

(2)ボルトによる剥離促進テスト

投入したガラス同士が相互に回転するバレル内で摩擦し合い、ボルトにより持ち上げられ、落下する事で ガラスの剥離が進むことを期待してテストを行う。

ボルトの配置は図 3.1.4 ※1 と※2 の2種類で実施する。

※1 ではボルトを 22 本とし、チップを 25Kg に減らす。ガラスの投入量は 15 枚とする。

※2 ではチップの投入を止める。ボルトを減らし、ガラス相互の摩擦を増やすため投入量を 100 枚とする。

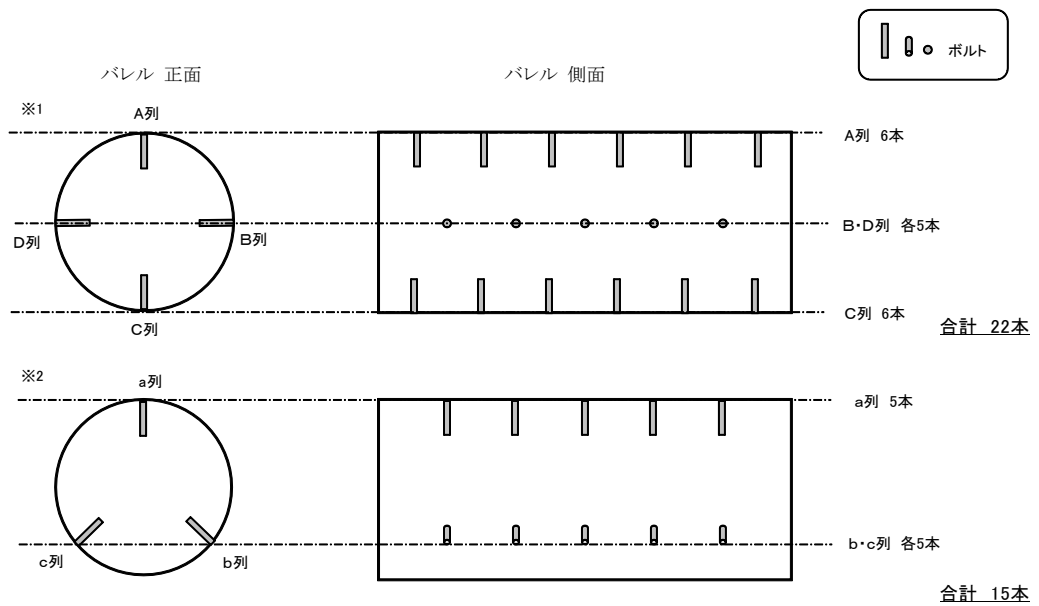


図 3.1.4 バレル内ボルト配置図

3.1.6 回収カレット、中間膜の品質評価

剥離テストで得られたカレットと中間膜が再利用可能なものであることを確認するため、ガラスはガラスカレット取扱業者にて、中間膜は中間膜メーカーにて評価を実施する。

3.2 結果

3.2.1 剥離液の調査及び評価

(1)剥離液の選定

調査の結果、合わせガラスを分離するものとして、オメガテクノモデリング社の OMB-100、テクノクリーン社の“シトラスオイル”、(株)ツルオカと宇都宮大との共同開発による“揮発性アルコール”が上がった。

この内、テクノクリーン社の“シトラスオイル”と(株)ツルオカと宇都宮大との共同開発による“揮発性アルコール”は、PVB 中間膜を溶解してガラスと分離するものであり、膜として回収するという目標と合致しないことが判明した。

(2)代替剥離液候補の評価

①予備選別テスト

結果を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 30 分後のガラス残留率(%)

	1%	5%	10%	原液	0.1%
H F					2
A	48	14	9		
B	50	17	11		
C				96	
D	97	92	89		
E	95	91	88		
F	98	96	93		
OMB-100	6.5	0.5	0		

②小型バレルでのテスト

液温 40℃でのテスト結果を表 3.2.2 に示す。

表 3.2.2 液温 40℃でのガラス残留率

処理時間	平均ガラス残留率 (%)		
	A (10%)	B (10%)	OMB (10%)
5 分	35.1	50.7	30.6
1 0 分	13.0	23.8	5.2
1 5 分	4.6	10.3	0.8
2 0 分	2.3	3.5	0.1
3 0 分	1.1	2.8	0.0

液温を 50℃、55℃に高めて実験を行った結果を表 3.2.3 に示す。

表 3.2.3 液温 50℃・55℃でのガラス残留率

処理時間	平均ガラス残留率 (%)					
	A (10%液)		B (10%液)		OMB (10%液)	
	50℃	55℃	50℃	55℃	50℃	55℃
5分	20.00	15.20	32.10	22.20	1.40	1.30
10分	8.50	6.10	14.00	8.80	0.10	0.05
15分	3.00	2.10	6.50	4.20	0.00	0.00
20分	1.10	0.80	2.10	1.30		
30分	0.50	0.30	1.30	0.50		

40℃の液温に比較して、50℃、55℃共に剥離能力は上がっているが、膜の周辺部にガラスが残留した。

3.2.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ

(1)クラッシャーロールの形状評価

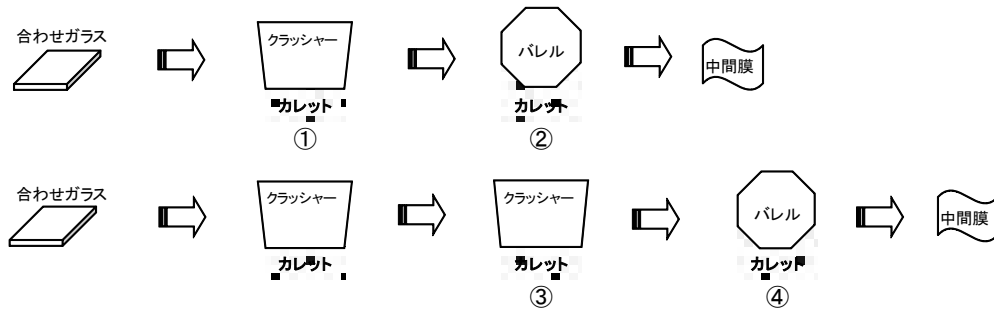
クラッシャーロール A では、ガラスが細かく破碎され、剥離処理においても剥離液が良く浸透した。クラッシャーロール B では、ガラスは碎かれるが 10～15mm×5～10mm と大きく、剥離処理しても 50～60% (wt) のガラスが残留した。

(2)選定したクラッシャーロールでの破碎評価

表 3.2.4 にカレットの粒度分布を示す。

表 3.2.4 カレットの粒度分布

メッシュ	フルイ	①			②			③			④		
		クラッシャーのカレット			バレルより回収品			クラッシャーのカレット			バレルより回収品		
		クラッシャー1回目			クラッシャー1回目			クラッシャー2回通しの2回目のカレット			クラッシャー2回通し		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4000	～4000	8.4	9.5	7.1	22.1	28.6	24.1	8.4	6.4	7.3	25.9	29.9	19.4
3360	4000～360	6.0	5.6	4.0	10.6	8.4	10.3	4.9	4.2	3.9	13.9	12.1	10.5
2380	3360～2380	11.6	11.9	11.9	19.3	19.9	17.3	13.2	14.1	12.0	25.4	26.5	23.6
1190	2380～1190	27.9	30.1	29.5	27.7	24.8	26.5	28.6	27.5	27.9	27.1	24.8	34.6
125	1190～125	40.9	38.6	41.9	17.9	16.6	19.3	41.1	44.1	45.4	6.9	5.9	11.1
0	125～	5.2	4.3	5.6	2.4	1.7	2.5	3.8	3.7	3.5	0.8	0.8	0.8
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



クラッシャー破碎によるガラス脱落量を表 3.2.5 に示す。

表 3.2.5 クラッシャー破碎によるガラス脱落量

	破碎前 総重量	1回破碎後 総重量	2回破碎後 総重量	中間膜 重量	ガラスのみの重量						
					破碎前	1回破碎後	脱落量	脱落率	2回破碎後	脱落量	脱落率
1	1836	1528	1158	127	1709	1401	308	18.0	1031	678	39.7
2	1844	1566	1182	127	1717	1439	278	16.2	1055	662	38.6
3	1868	1576	1166	127	1741	1449	292	16.8	1039	702	40.3
4	1844	1562	1224	127	1717	1435	282	16.4	1097	620	36.1
5	1844	1548	1168	127	1717	1421	296	17.2	1041	676	39.4
6	1842	1518	1262	127	1715	1391	324	18.9	1135	580	33.8
7	1848	1482	1214	127	1721	1355	366	21.3	1087	634	36.8
8	1840	1480	1222	127	1713	1353	360	21.0	1095	618	36.1
9	1840	1490	1224	127	1713	1363	350	20.4	1097	616	36.0
10	1836	1498	1240	127	1709	1371	338	19.8	1113	596	34.9
11	1858	1462	1224	127	1731	1335	396	22.9	1097	634	36.6
12	1838	1484	1216	127	1711	1357	354	20.7	1089	622	36.4

平均値

19.1

平均値

37.1

小型バレルで剥離後のガラス残留率を表 3.2.6 に示す。

表 3.2.6 小型バレルで剥離後のガラス残留率 (%)

処理時間	1回破碎	2回破碎
5分	44.0	31.0
10分	11.5	6.1
15分	2.5	1.1
20分	1.2	0.4
30分	0.8	0.0

3.2.3 小型バレルによる剥離テスト（剥離の条件出し）

結果の一覧表を表 3.2.7 に、結果のグラフを図 3.2.1 から図 3.2.9 に示す。

表 3.2.7 小型バレル剥離実験での平均ガラス残留率（重量%）

液温	OMB濃度	処 理 時 間								
		1分	3分	5分	7分	10分	12分	15分	18分	20分
55℃	0.05%	64.50	14.40	2.84	1.09	0.38	0.19	0.07		0.00
	0.10%	36.80	3.23	0.40	0.03	0.03	0.01	0.00		
	1.00%	62.45	14.20	1.70	0.40	0.00				
	5.00%	56.13	11.33	1.83	0.70	0.40	0.17	0.03		0.00
	10.00%	49.30	5.25	1.30	0.50	0.05	0.00			
50℃	0.05%	69.47	23.50	6.09	1.90	0.73	0.26	0.10		0.00
	0.10%	49.63	7.47	1.80	0.97	0.37	0.30	0.08		0.00
	1.00%	65.73	24.93	6.37	2.00	1.07	0.43	0.30		0.13
	5.00%	70.47	29.10	8.37	2.20	0.70	0.30	0.17		0.00
	10.00%	57.93	10.93	1.37	0.37	0.07	0.00			
45℃	0.05%	80.00	53.40	30.10	16.30	6.79	4.44	2.54	1.81	1.36
	0.10%					12.80		3.10		1.20
	1.00%	68.00	31.57	12.13	4.33	1.33	0.83	0.57	0.23	0.17
	5.00%	74.33	38.70	15.67	5.40	1.63	1.00	0.57	0.27	0.10
	10.00%	66.23	22.27	6.03	1.90	0.73	0.43	0.20	0.17	0.07
40℃	0.05%			59.07		27.87		11.83		5.67
	0.10%					35.40		16.07		6.43
	1.00%					19.03		5.60		1.66
	5.00%			44.00		11.50			2.53	1.07
	10.00%			30.63		5.27		0.87		0.23

- ・ 1回に125mm×125mmの破碎した合わせガラス4枚を小型バレルに投入
- ・ 1水準 n=3 （テスト枚数12枚）

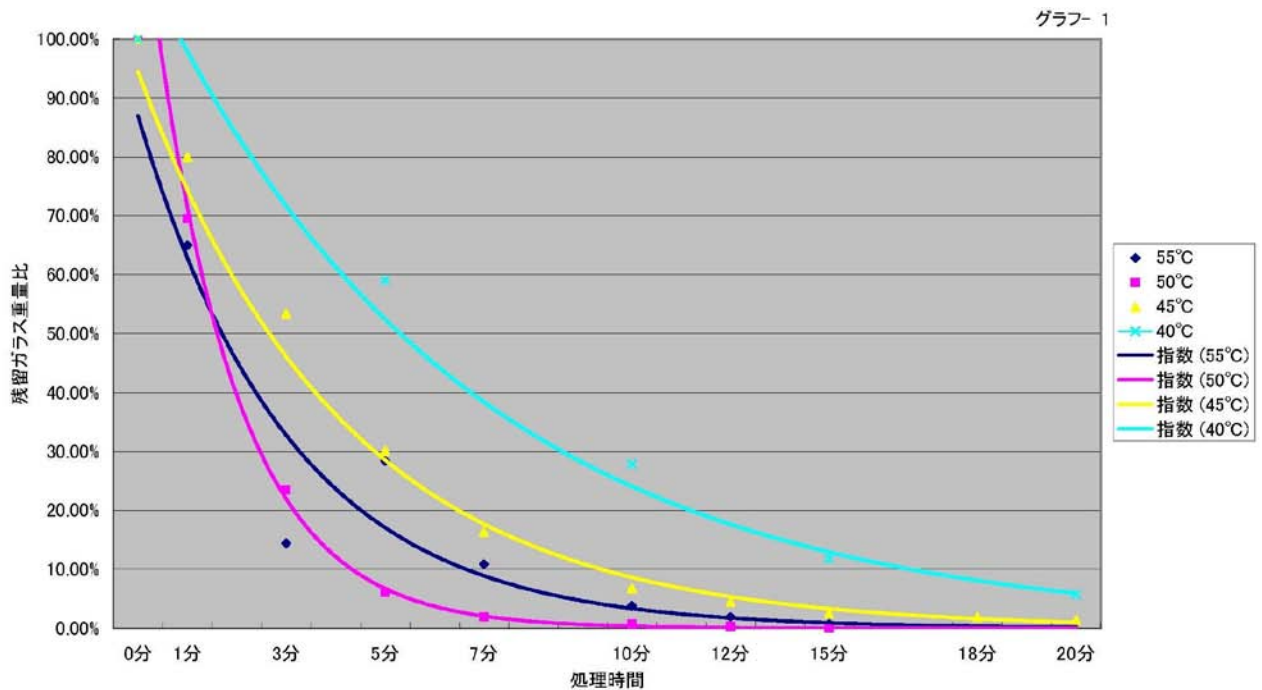


図 3.2.1 ガラス残留率グラフ（0.05%）

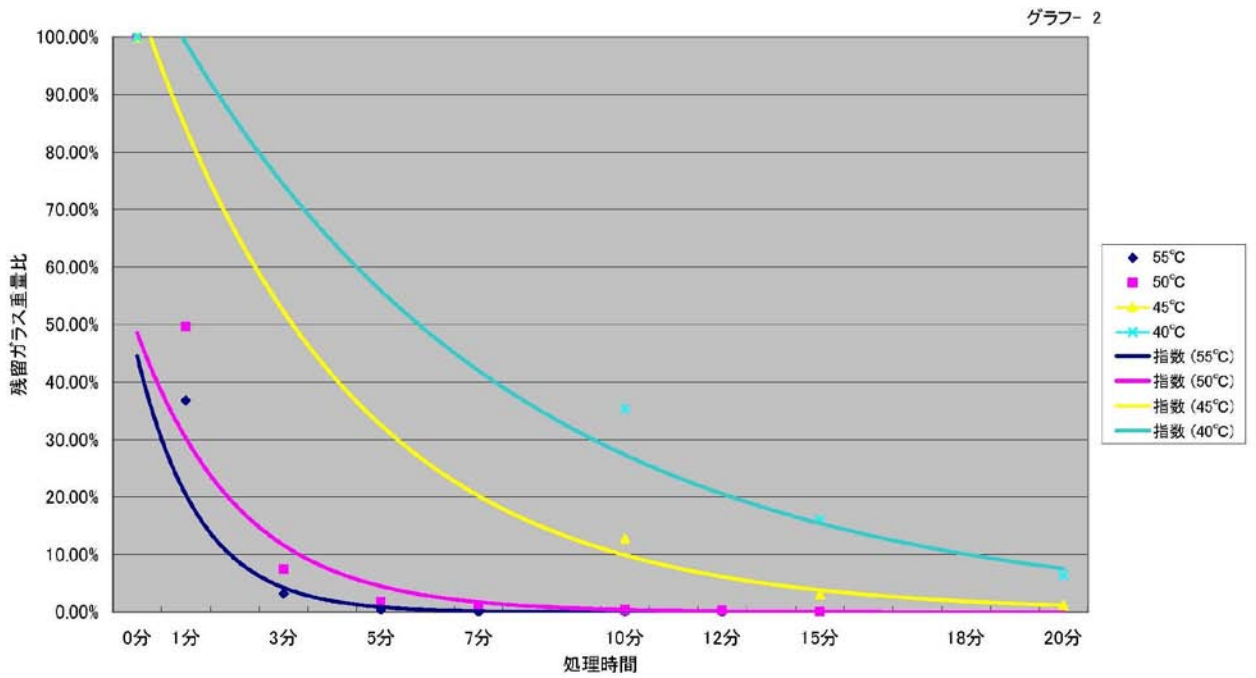


図 3.2.2 ガラス残留率グラフ (0.10%)

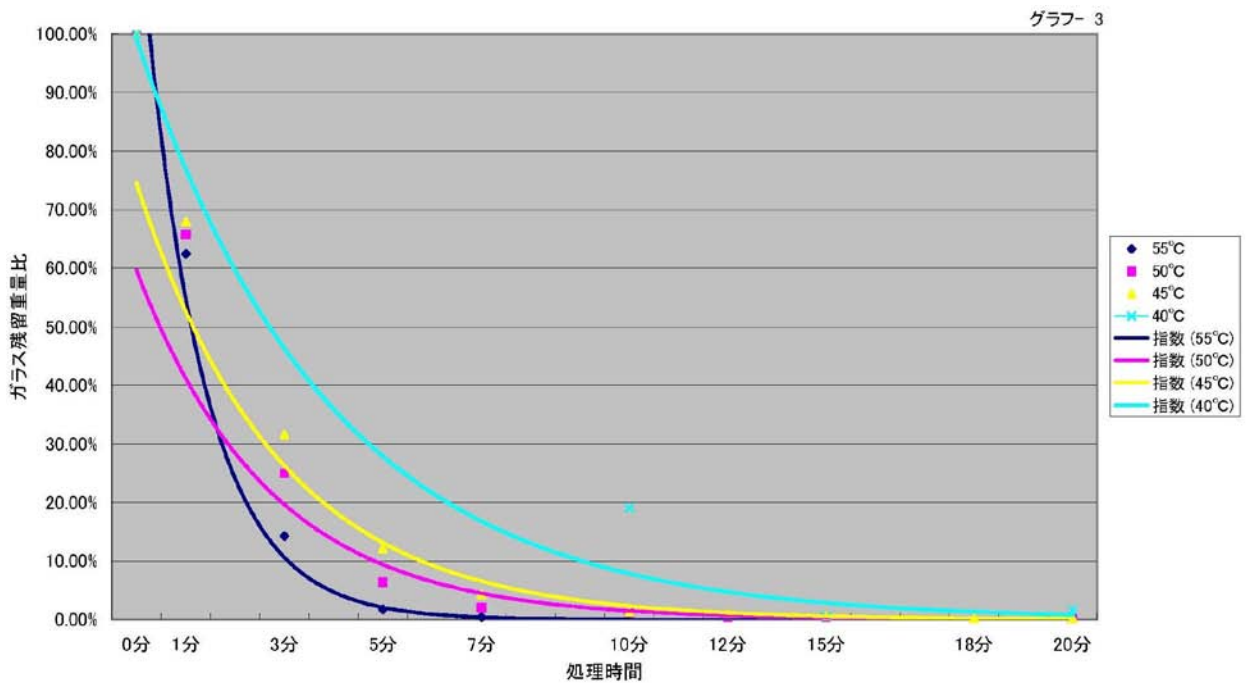


図 3.2.3 ガラス残留率グラフ (1.0%)

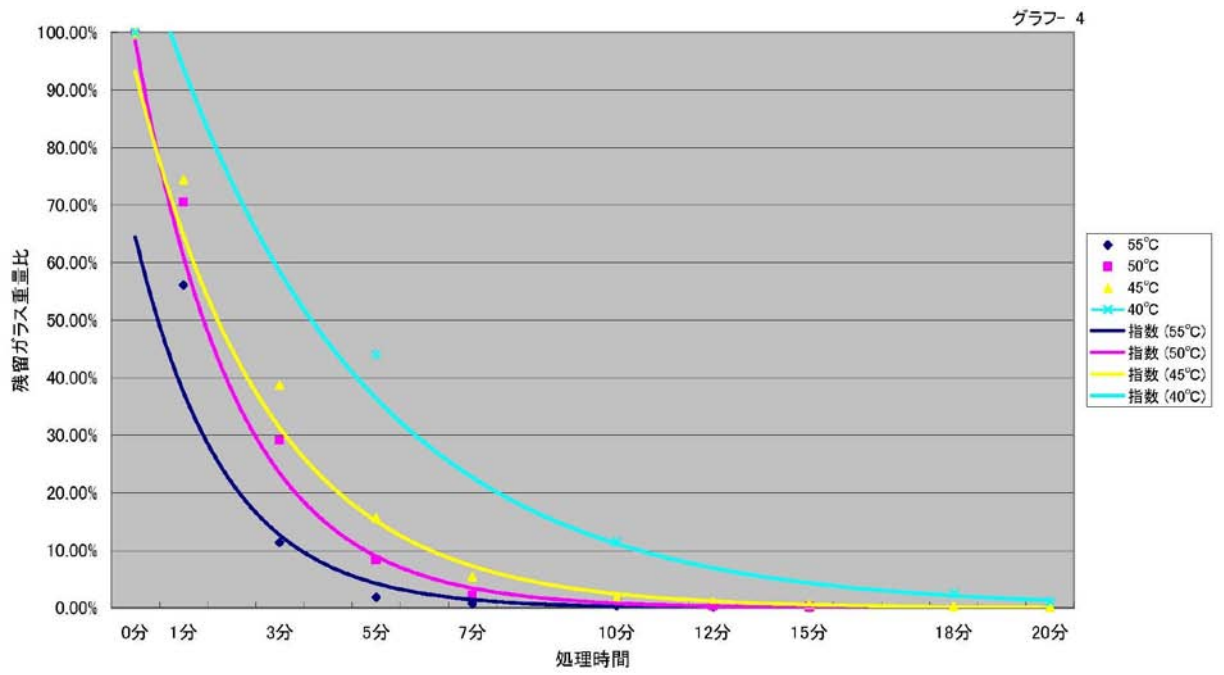


図 3.2.4 ガラス残留率グラフ (5.0%)

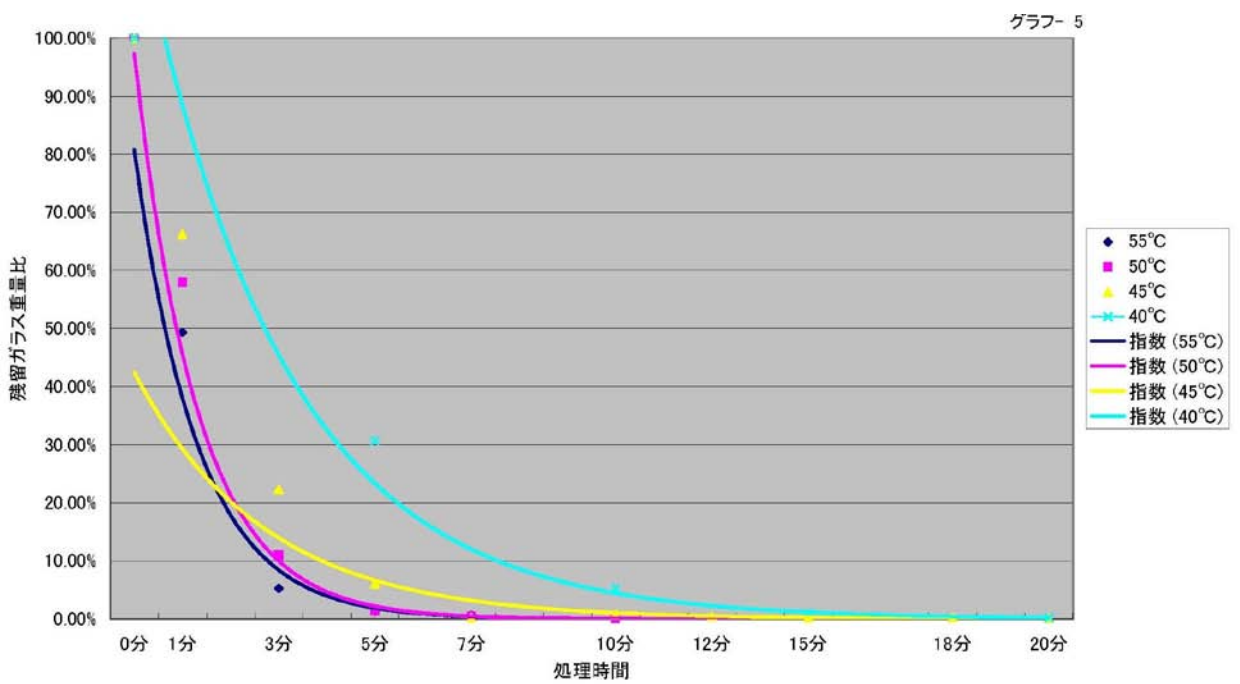


図 3.2.5 ガラス残留率グラフ (10.0%)

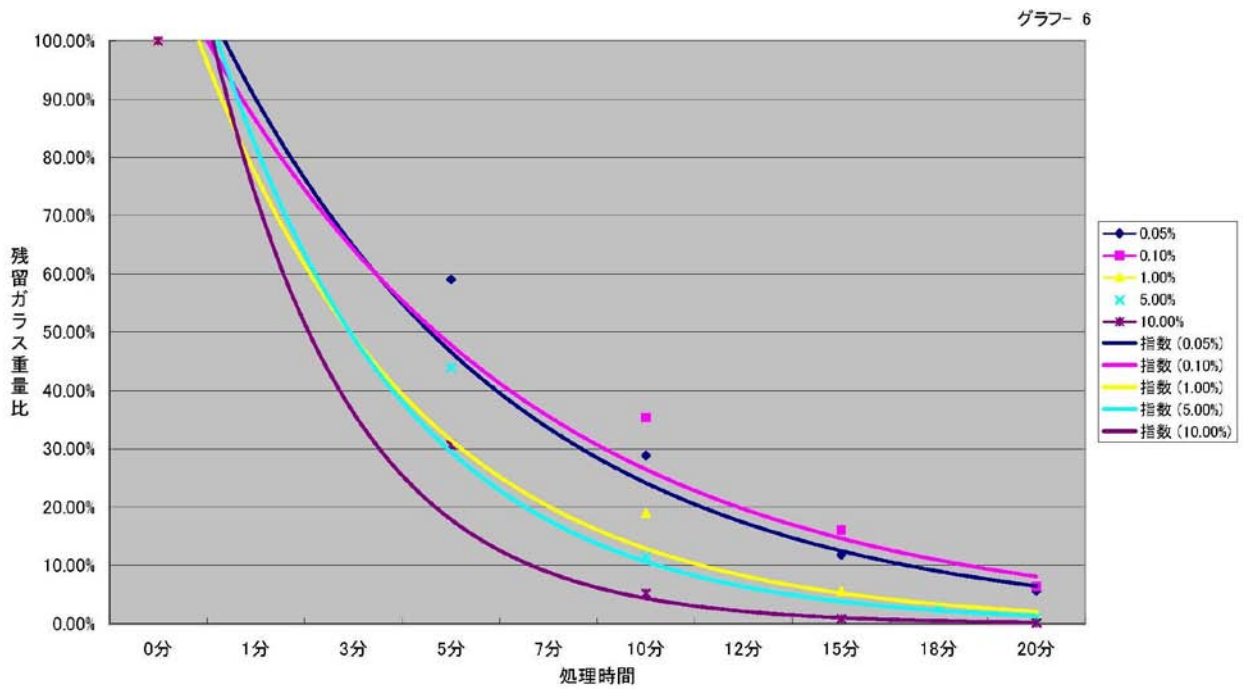


図 3.2.6 ガラス残留率グラフ (40°C)

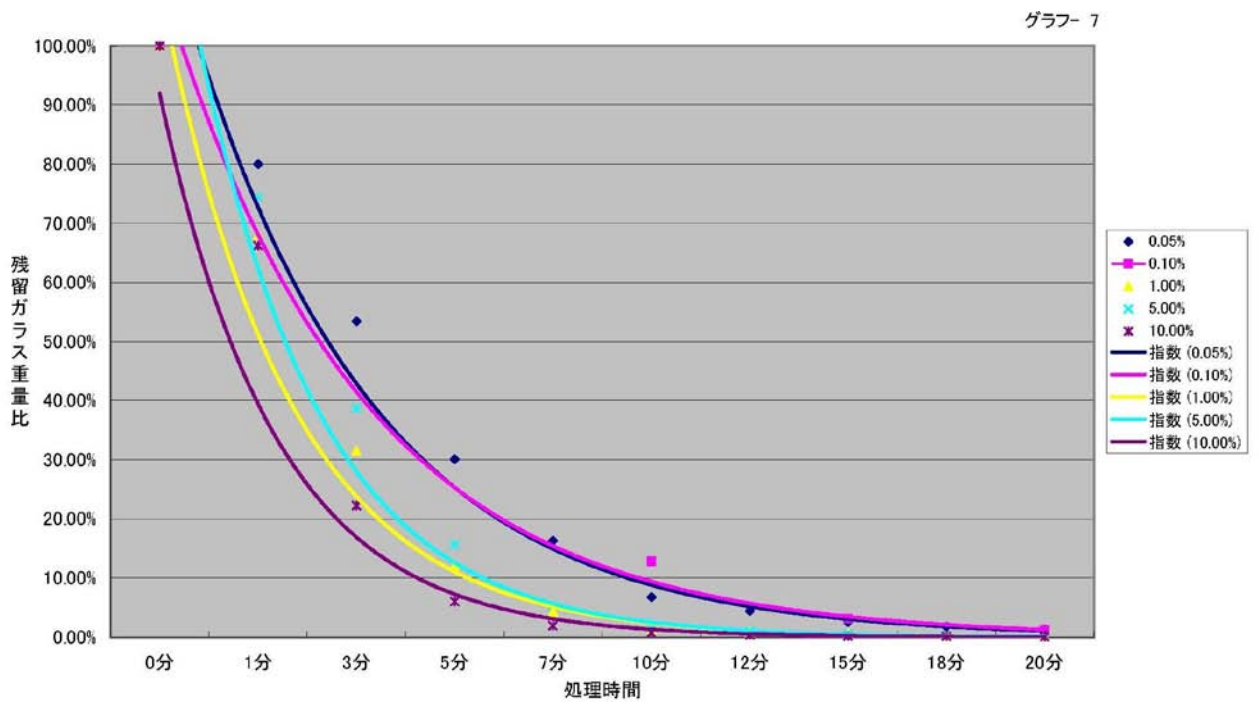


図 3.2.7 ガラス残留率グラフ (45°C)

グラフ 8

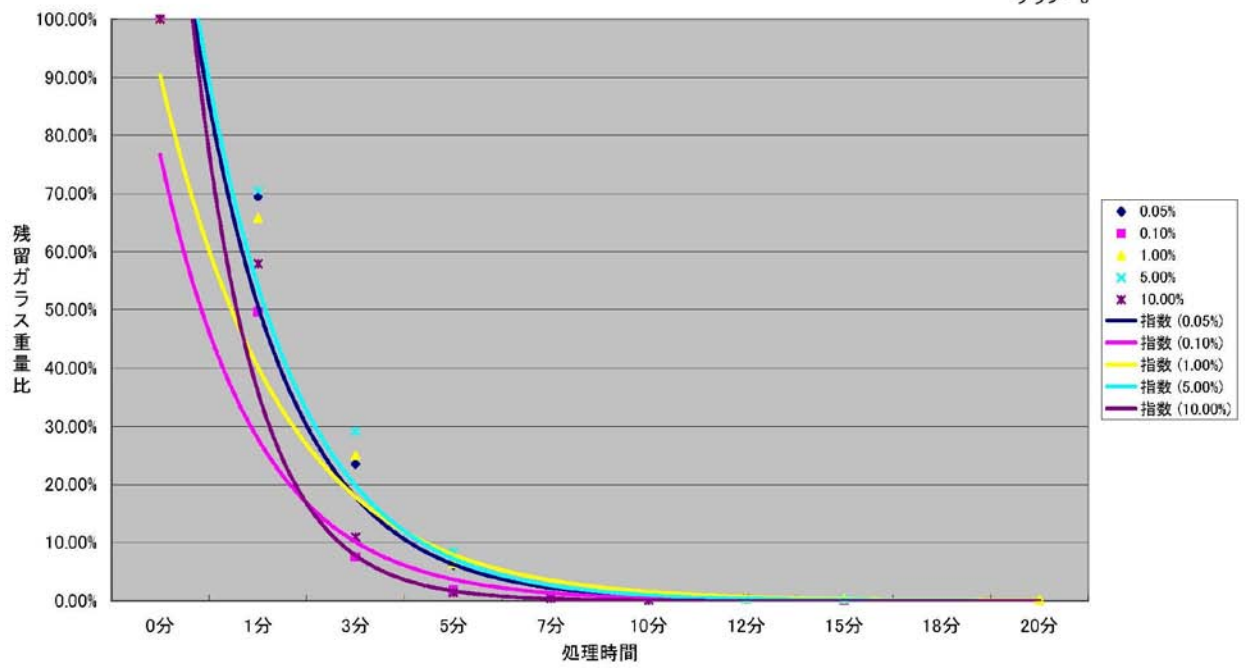


図 3.2.8 ガラス残留率グラフ (50°C)

グラフ 9

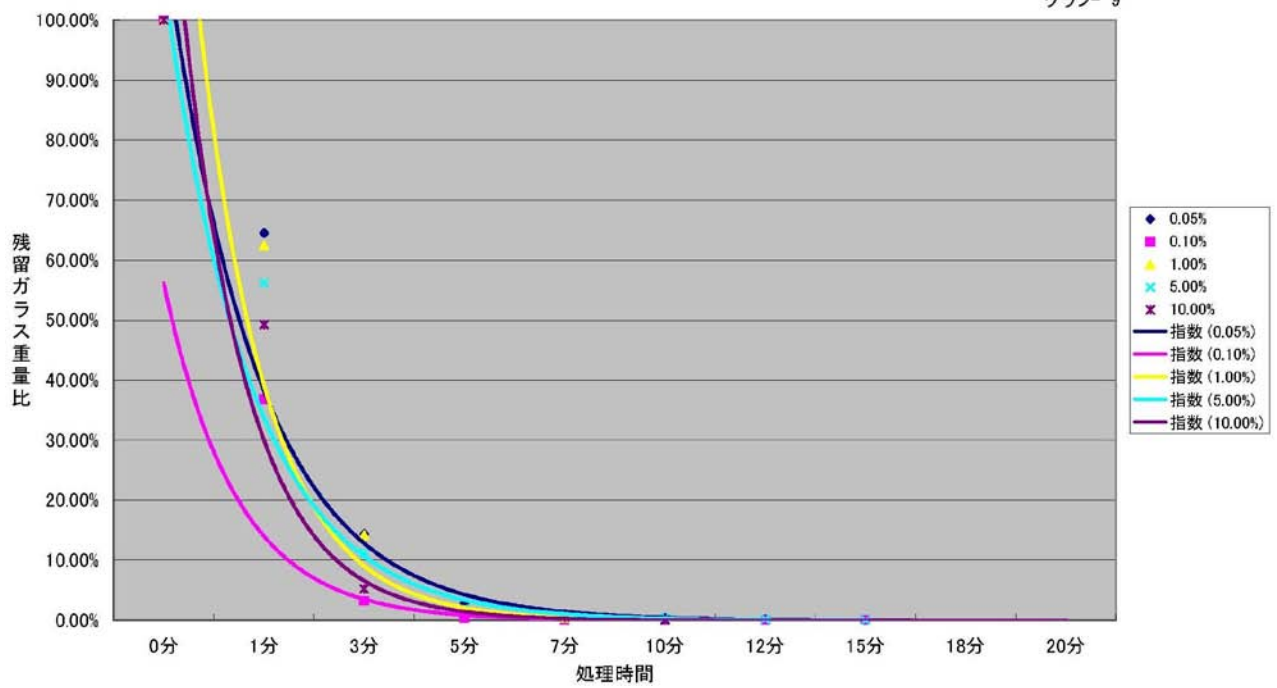


図 3.2.9 ガラス残留率グラフ (55°C)

3.2.4 大型剥離装置による剥離テスト

(1) 温度・濃度特性

液濃度 2%での結果を表 3.2.8 に、液濃度 5%での結果を表 3.2.9 に、総括したグラフを図 3.2.10 に示す。

表 3.2.8 液濃度 2%での剥離結果

液温	投入数 枚	取出し時間 分	検査結果		
			良品(枚)	不良(枚)	歩留(%)
30°C	50	15	0	50	0
	50	30	0	50	0
40°C	50	15	0	50	0
	50	15	2	48	4
	50	30	12	38	24
	50	30	25	25	50
50°C	50	15	10	40	25
	50	15	25	25	50
	50	30	27	23	54
	50	30	39	11	78

表 3.2.9 液濃度 5%での剥離結果

液温	投入数 枚	取出し時間 分	検査結果		
			良品(枚)	不良(枚)	歩留(%)
30°C	50	15	0	50	0
	50	30	0	50	0
40°C	50	15	7	43	14
	50	15	18	32	36
	50	30	23	27	46
	50	30	14	36	28
50°C	50	15	42	8	84
	50	15	37	13	74
	50	30	42	8	84
	50	30	45	5	90

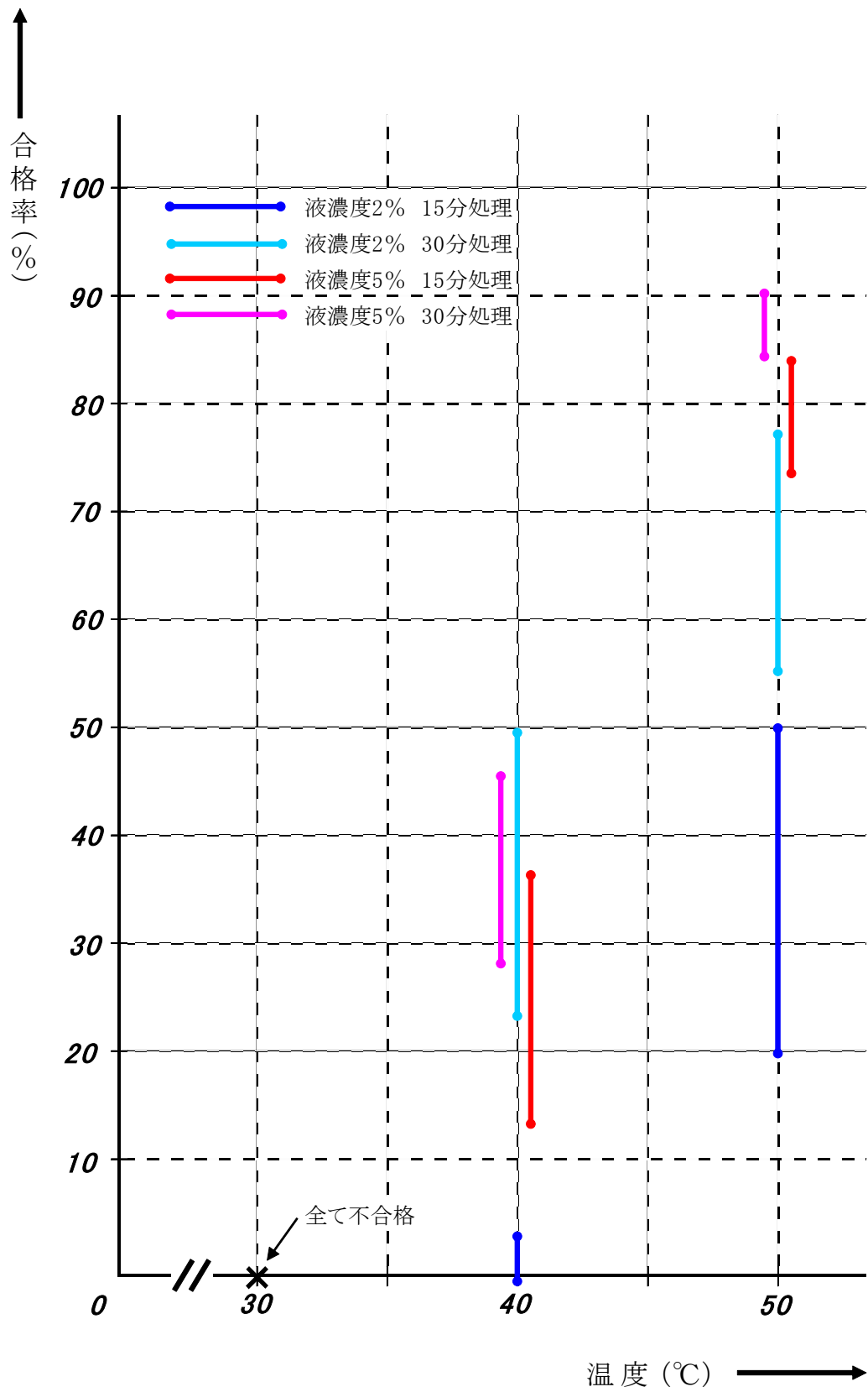


図 3.2.10 大型剥離装置による剥離テスト結果

剥離後の中間膜のサンプル例の写真を以下に示す。(考察は 3.3.4 を参照)

(不合格サンプル : No.1-No.12、合格サンプル : No.13-No.14)

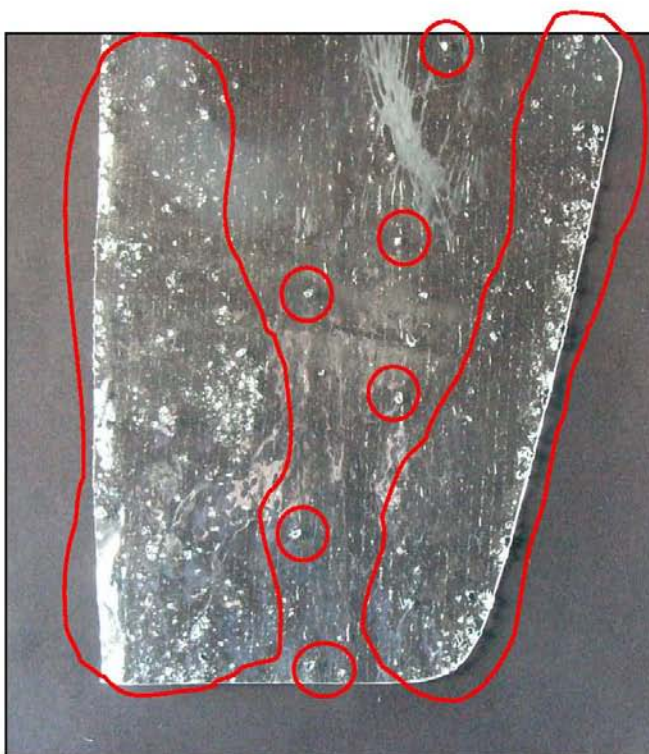
剥離後の中間膜不合格サンプル例写真 (No.1-No.12)



○ 不良原因となる
カレットの残留箇所

No. 1

OMB濃度 2%
液温 30°C
処理時間 15分



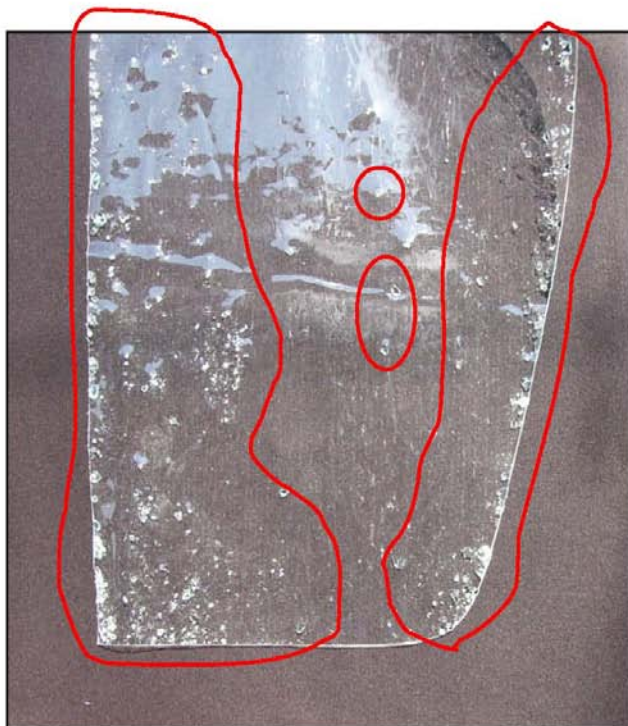
No. 2

OMB濃度 2%
液温 30°C
処理時間 30分



No. 3

OMB濃度 2%
液温 40°C
処理時間 15分



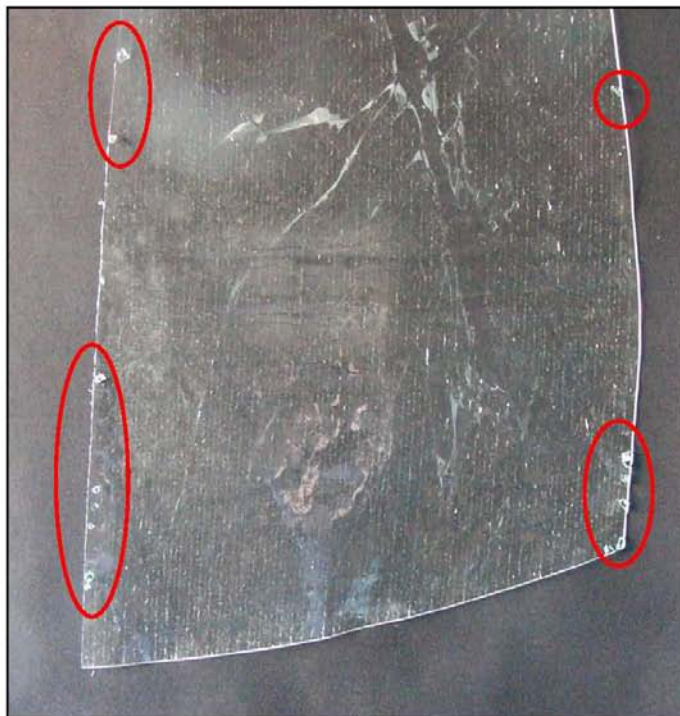
No. 4

OMB濃度 2%
液温 40°C
処理時間 30分



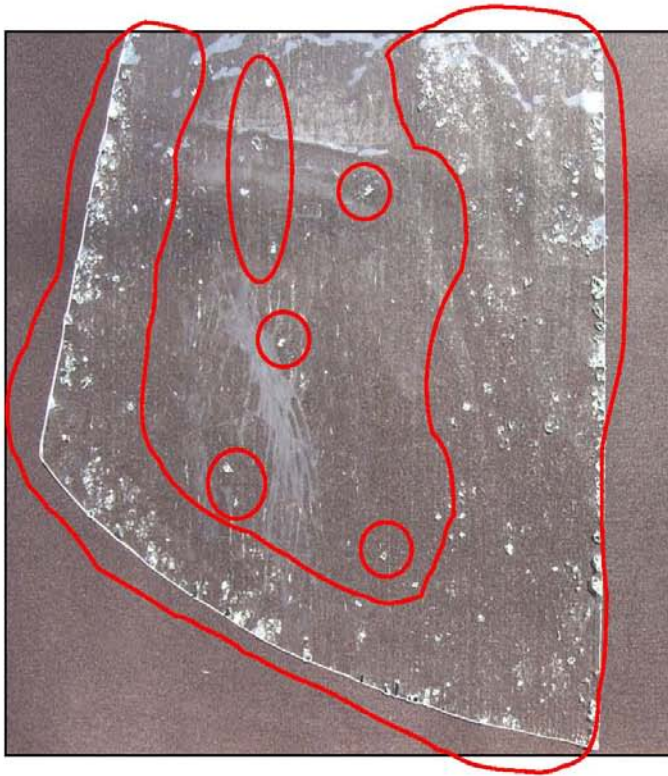
No. 5

OMB濃度 2%
液温 50°C
処理時間 15分



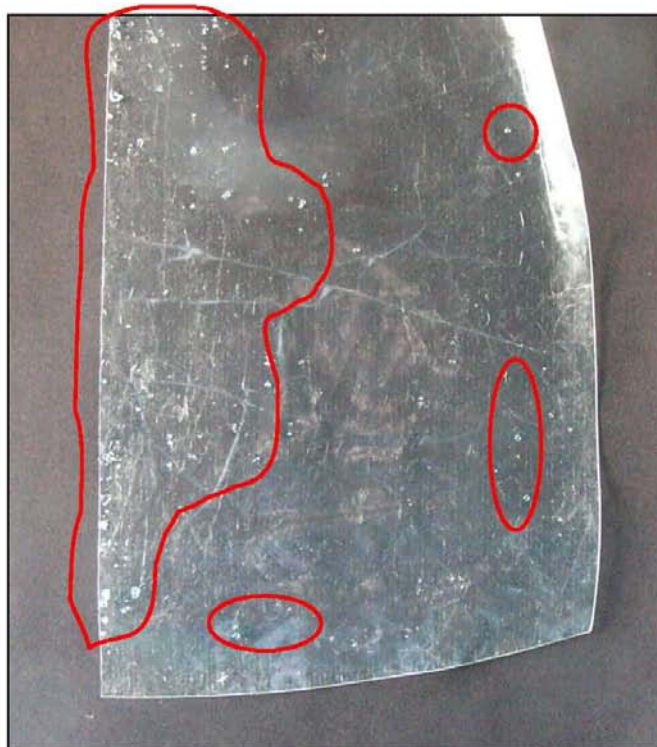
No. 6

OMB濃度 2%
液温 50°C
処理時間 30分



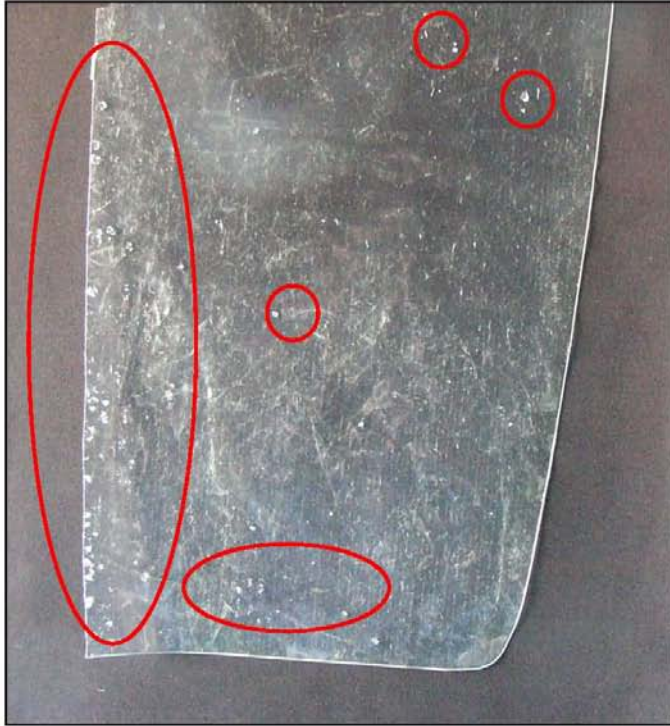
No. 7

OMB濃度 5%
液温 30°C
処理時間 15分



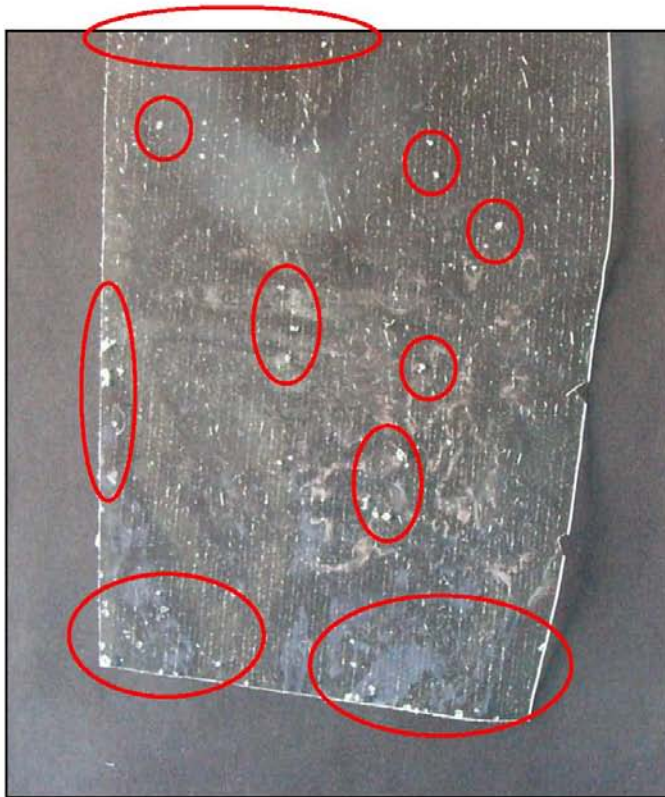
No. 8

OMB濃度 5%
液温 30°C
処理時間 30分



No. 9

OMB濃度 5%
液温 40°C
処理時間 15分



No. 10

OMB濃度 5%
液温 40°C
処理時間 30分



No. 11

OMB濃度 5%
液温 50°C
処理時間 15分



No. 12

OMB濃度 5%
液温 50°C
処理時間 30分

剥離後の中間膜合格サンプル例写真 (No.13, No.14)



No. 13
合格-1



No. 14
合格-2

(2)消費電力

測定した消費電力の結果を表 3.2.10 から表 3.2.13 に示す。

表 3.2.10 1 バッチ操業電力量 (ヒーター除く) (操業時間 : 40 分)

	名 称	稼働時間(分)	電力量(kWh)
①	破砕装置	10	0.06
		10	0.62
	繋ぎコンベア	10	0.08
②	バレル	40	0.58
	ポンプ	40	1.34
	水中(水平)コンベア	40	0.28
	傾斜コンベア	40	0.23
③	中間膜取出しコンベア	15	0.05
	中間膜搬送コンベア	15	0.31
	分別機	15	2.12
①+②+③合計電力量(ヒーター除く)			5.67

表 3.2.11 温度維持用ヒーター電力量

ヒーター 電力量 (温度維持)	設定液温度	操業時間	電力量(kWh)
	30℃	40分	7.76
	40℃	40分	11.64
	50℃	40分	17.46

表 3.2.12 1 バッチ操業総電力量

総電力量	設定液温度	操業時間	電力量(kWh)
	30℃	40分	13.44
	40℃	40分	17.32
	50℃	40分	23.14

表 3.2.13 ヒーターによる昇温時の電力量

設定液温度	到達時間	アワーメーター	備考	電力量(kWh)
30℃	84分	1.4 h	※)ヒーターは、8本使用	54.32
40℃	138分	2.3 h	※)ヒーターは、8本使用	89.24
50℃	204分	3.4 h	※)ヒーターは、8本使用	131.91

3.2.5 物理的外力を剥離工程で加える効果

テスト結果の全体表を表 3.2.14 に示す。

表 3.2.14 物理的外力テスト結果

月/日	処理時間 分	チップ量 kg	ガラスサイズ cm×cm	ガラス総重量 kg	投入数 枚	膜重量 kg	ガラス残留率 %	N数
1/18	5	14.8	35×50	9.635	6	0.887	1.18	4
1/18	10	14.8	35×50	9.334	6	0.840	0.61	4
1/18	10	28.5	35×50	9.060	6	0.788	0.07	3
1/18	10	28.5	35×50	13.873	9	1.167	0.09	3
1/18	10	35.0	35×50	21.556	15	1.604	0.11	1
1/19	15	35.0	35×50	22.472	15	1.966	0.00	1
1/19	5	35.0	35×50	15.858	15	1.955	0.19	3
1/19	7	35.0	35×50	18.044	15	1.904	0.11	3
1/19	10	35.0	35×50	16.769	15	2.079	0.07	3
バレル内に巻付き防止の為 4列 22本の L=100mm のボルト取り付け ※1								
1/20	5	25.0	35×50	18.605	15	2.106	0.28	1
1/20	10	25.0	35×50	15.886	15	2.008	0.08	1
1/20	12	25.0	35×50	18.127	15	2.084	0.04	1
1/20	15	25.0	35×50	18.257	15	2.108	0.03	1
チップの投入は中止。 ガラス投入量増 ボルト 3列 15本に減 ※2								
1/21	15	0.0	35×50		50	7.016	0.03	1
1/21	30	0.0	35×50		100	15.025	0.008	1
1/21	30	0.0	35×50		100	16.120	0.005	1

3.2.6 回収カレット、中間膜の品質評価

良好と思われる結果が得られた実験評価での回収カレットと中間膜を業者に評価依頼した。

ガラスカレット取扱業者の一つであり、全国板カレットリサイクル協議会会員でもある有限会社 飯室商店で粒径の分布と異物混入についての評価を実施し、粒径の大きい物は板ガラス再生原料用カレットとして、細かいものについてはガラスビーズ製造用カレットとして受入可能であるという評価を得た。

【3R合わせガラスリサイクル調査委員会】 テストカレットの品質評価結果

(株)オメガテクノモデリングより提供された2種類のカレット(クラッシャーで発生したカレット、及び 湿式剥離装置のパレルで剥離、回収されたカレット) それぞれ 1Kg を 200グラムずつの ロットにわけて それぞれ3ロットを選び 分級ふるい にかけて分級を行った。

以下の表の上段は そのメッシュに入った カレットの重量 (グラム) 下段は その百分率(%)である。

	分級範囲 (ミクロン)	メッシュ (ミクロン)	クラッシャーからのカレット				パレルから回収したカレット			
			1回目	2回目	3回目	平均値	1回目	2回目	3回目	平均値
①	4000<	4000	17	15.8	14.4	15.8	48	58.4	43.4	50
			8.5%	7.9%	7.2%	7.9%	24.0%	29.3%	21.7%	25.1%
②	4000~ 3360	3360	10.8	9.8	7.8	9.4	24.4	20.4	20.8	21.8
			5.4%	4.9%	3.9%	4.7%	12.2%	10.2%	10.4%	10.9%
③	3360~ 2380	2380	24.8	26	23.8	24.8	44.6	46.4	40.8	44
			12.4%	13.0%	11.9%	12.4%	22.3%	23.2%	20.4%	22.0%
④	2380~ 1190	1190	56.4	57.6	57.4	57	54.8	49.6	61	55.2
			28.2%	28.8%	28.8%	28.6%	27.4%	24.8%	30.6%	27.7%
⑤	1190~ 125	125	82	82.6	87	83.8	24.8	22.4	30.4	25.8
			41.0%	41.3%	43.6%	42.0%	12.4%	11.2%	15.2%	12.9%
⑥	125>	0	9	8	9	8.6	3.2	2.4	3.2	2.8
			4.5%	4.0%	4.5%	4.3%	1.6%	1.2%	1.6%	1.4%
		Total :g	200	199.8	199.4	199.4	199.8	199.6	199.6	199.6

結果、ガラス以外の不純物が全く無く、上記表中①~③2380~4000~ミクロンの粒度については板ガラス原料として、④~⑥0~2380ミクロンの粒度分についてはガラスビーズ原料として適している事が判明した。従って、ガラス原料として全量が再生可能である。

2010年2月4日
(有)飯室商店

図 3.2.11 ガラスカレット品質評価結果報告書

また、中間膜については、XXXXXXXXXX 回収膜の再生技術を検討するに当たり、使用の可能性が十分に高いものであるとの評価を中間膜メーカーのXXXXXXXXXX社XXXXXXXXXXから得た。

※黒塗り部分は守秘義務のため一般公開不可

3.3 考察

3.3.1 剥離液の調査及び評価

(1)剥離液の選定

膜として回収するという目標と合致する剥離液として OMB-100 を選定した。

OMB-100 はオメガテクノモデリング社が合わせガラスの剥離用として開発したものであり、剥離メカニズムは、次の様になっている（図 3.3.1 参照）。

剥離液により、ガラスと中間膜の界面の結合を切断する。

剥離液中の Sodium Phosphate 及び Sodium Metasilicate がガラスと中間膜の間に浸透し、両者の界面をわずかにエッチングすることにより、ガラスと中間膜は接着力を失い剥離する。

この作用を短時間で進行させる為に、合わせガラスは剥離液に入れる前に細かく破碎する。

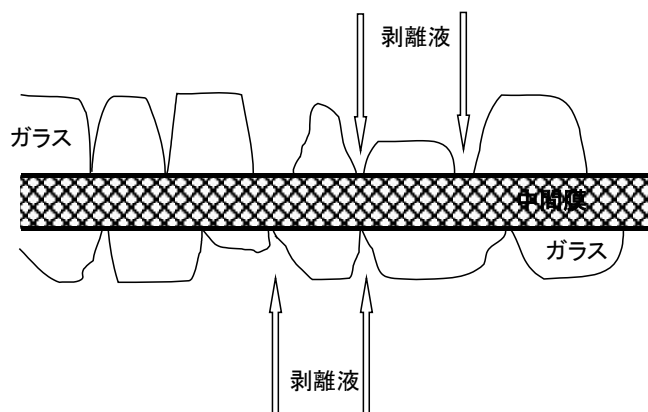


図 3.3.1 剥離メカニズム

破碎されていると、剥離液がガラスの割れ目から界面に浸透し、短時間に剥離する。

更に、これにガラスを引き剥がすような外力が加えられると剥離が加速される。

(2)代替剥離液候補の評価

①予備選別テスト

予備選別テストの結果から、小型バレルでのテストに投入すべき比較的成绩の良いものとして、A、B の 10%水溶液を選択した。

②小型バレルでのテスト

剥離テストの結果、A・B 両液共 40℃・10%濃度で 30 分間処理しても、膜面にガラス片が処理する前のガラス片重量と比較し 1~2%が残留している（以後 ガラス残留率という）。OMB-100 10%では、ガラスの残留は 0 であった。

海外の PVB 中間膜メーカーのリサイクル膜の受入基準としては、“膜に付着しているカレットは、中間膜重量の 0.01%以下”となっており、A・B 両液共残留ガラスが多すぎる。

液温度を 50℃・55℃迄高めて再テストした結果はガラス残留率で見ると 0.3～1.3%残留しており、まだ合格基準とは隔たりがある。

これらの代替品候補が OMB-100 と同等に使えるか否かのテストは、剥離性能の持続性（寿命）、回収する PVB 膜への影響の有無なども併せて調べる必要があるが、本調査の主目的ではなく、長時間のテストを要するので評価は打ち切った。

3.3.2 ガラスの破碎の粒度と剥離のしやすさ

(1)クラッシャーロールの形状評価

クラッシャーロール B では破碎したガラスが微細になりすぎないというメリットはあるものの、剥離処理後のガラス残留量が大きいいため、クラッシャーロール A を標準ロールとして採用した。

(2)選定したクラッシャーロールでの破碎評価

クラッシャーロール A を用いて 1 回破碎したものは、クラッシャーで ~20%のガラスが脱落し、ガラスの破碎片のサイズは半数以上が 1.2mm~5mm 程度となっている。

2 回破碎（2 回目はクラッシャーロールの刃を半ピッチずらしている）では、~40%のガラスがクラッシャーで脱落、破片サイズの分布は 1 回目と同様である。

この 2 種類の破碎をした合わせガラスを小型バレルで剥離し、ガラスの残留率を求めた結果、表 3.2.6 の通り 2 回破碎したもののほうがガラス片が早く剥離し、残留率も同一時間処理で比較すると 1 回破碎の 1/2~1/3 と少なかった。

効率良くガラスを中間膜から剥離する為には、OMB の剥離のメカニズムからも剥離液がガラスと中間膜の接着面に早く入り込み、剥離を進行させる距離が短い方が有利なのは明白である。即ち出来るだけ細かく破碎し、クラッシャーでガラスを中間膜より離脱させるのが良いことになる。

但し、あまり細かいガラス片は、ガラス溶融窯に入れると発泡したりバーナーで飛ばされ炉壁に付着し傷めると云われている。

今回の調査で 1 回破碎品・2 回破碎品のクラッシャー処理したカレットと、剥離装置からの回収カレットを（有）飯室商店（ガラス原料商）に評価を依頼した結果、

2380 μ m 以上の粒度のもの……板ガラス原料として

0~2380 μ m の細かいもの……ガラスビーズ原料として

全量 再生使用可能との結果が報告された。

従って A 型のクラッシャーロールを上下 2 対で使用し、クラッシャーでガラスの約 40~60%を脱落させるのが、後の剥離工程の効率を上げるのに適当と思われる。

3.3.3 小型バレルによる剥離テスト（剥離の条件出し）

テストの結果から、

- (1) 剥離に最も効いているのは液温度である。特に液温 50℃～55℃ の場合は温度が支配的で、液濃度による差は非常に小さい。
- (2) 40℃・45℃の液温では、濃度の差が明確に出て濃度が高い程剥離能力は高いといえる。
- (3) 液濃度が低い場合、50℃～55℃の液温で剥離作業を行えば十分高い剥離能力を持っている。

との結論が得られた。

使用する液の量も多い大型装置において量産時のコスト（液の使用量、濃度、処理時間、使用電力等）を想定して量産に適する条件を求めるための大型剥離装置での剥離テストを実施するにあたり、小型バレルでのテスト結果を参考に大型剥離装置での評価パラメータを下記のとおり決定した。

(1)温度条件

小型バレルでの結果では 50℃と 55℃では大きな差がないため、エネルギーをより消費する 55℃は対象から外した。逆に、低温側での剥離能力を確認するため 30℃を設定し、その中間の 40℃を加えた。

(2)液濃度

コストに大きく影響するため、剥離結果が 5%と大差が無い 10%は除外した。低濃度側の 0.05%、0.1%は短期間では良い結果が出るがすぐに剥離能力が低下することが分かったので、量産用の条件としては省き、2%と 5%の 2 水準でテストすることとした。

(3)処理時間

小型バレルでのテスト結果では、温度/濃度の組み合わせにより、15 分で剥離するものと 20 分たっても剥離しきれずにかなり残るものがある。大型装置での実験では、15 分と 30 分で見れば量産条件の検討がつくと考えた。また、量産の処理能力の観点からは処理時間は 30 分以内が望まれるという点も考慮した。

3.3.4 大型剥離装置による剥離テスト

(1)温度・濃度特性

結果に対する考察は以下のとおり。

①液の温度の影響は非常に大きい

液温 30℃では 2%・5% 双方共 30 分間処理しても合格するものは得られず、不合格になったものも膜上に相当多くのガラス残留がある。（不良サンプル例 写真 No. 1・2・7・8）

40℃の液では合格するものも 50%程度あるが、バラツキも多く不合格の膜上の残

留ガラス片の数もまだ多い。(不良サンプル例 写真 No. 3・4・9・10)

50℃になると合格率も高くなり、特に液濃度 5%の場合は、不合格のものも 1~2ヶが残留する程度である。(不良サンプル例 写真 No. 5・6・11・12)

②液の濃度について

温度が上がる程 2%より 5%の剥離能力が大きくなっている。

50℃以上では小型バレルのテストで液濃度の効果は小さいと出ていたが、大型バレルで大きなサイズを多数投入して処理すると、ガラス相互間の摩擦による物理的外力も加わる為か、濃度による効果も相当認められる。

(2)消費電力

剥離槽には 5 k w (3 相) の定格電力のヒーター8 本が装備されている。前日の作業終了と共にヒーターは切り、翌日の作業開始時に所定温度になるようにタイマーでヒーターON とするようになっている。

昇温がスタートした時の槽内の液温度は 14.1℃

30℃ 迄 昇温するのに要する時間は 84 分で 消費電力量は 54.3 kwh

40℃ 迄 昇温するのに要する時間は 138 分で 消費電力量は 89.2 kwh

50℃ 迄 昇温するのに要する時間は 204 分で 消費電力量は 132.0 kwh

又 所定温度に達して作業を開始し、1 バッチの処理が完了する迄約 40 分を要するが、この間剥離槽内の液温度を所定温度に保つのに要する温度維持電力量 (1 バッチ処理の 40 分間) は、以下の様になった。

30℃ 40 分間 7.8kwh

40℃ 40 分間 11.6kwh

50℃ 40 分間 17.5kwh

これにヒーターを除いた 1 バッチ操業電力量を加えると下記になる。

30℃ 40 分間 13.4kwh

40℃ 40 分間 17.3kwh

50℃ 40 分間 23.1kwh

この値より、50℃時の昇温時電力量を除いたフロントガラス 1 枚あたりの処理電力量は 0.46kWh となる。

これらのデータは、年間で最も寒い時期の 1/12~15 (気温は 3~7℃) に測定されたもので、春~秋の時期の消費電力はずっと少ないと思われる。

省エネルギーの為に剥離槽の槽壁はグラスウールで保温、上部構造の壁面も保温されている。また、実際の操業では週末の金曜日の操業終了時は全ヒーターを切り、翌月曜日の早朝にタイマーでヒーターON とするが、月~金曜日は作業終了後は 1~2 本 (気温による) のヒーターをつけて保温している。この保温の電力の方が昇温に必要な電力より相当少なくなっている。

上記の結果より、総合的に見て次の条件が量産用として妥当と思われる。

液濃度	5%
液温度	50℃

3.3.5 物理的外力を剥離工程で加える効果

(1)バレルに投入するチップの量(定量)を 14.8k g～28.5k g～35k g と増加させると、同一処理時間内で膜上に残留するガラス量（ガラス残留率）は減少していく傾向がある。

しかし、処理を終えて膜をバレルから取出す際に膜は絞った雑巾状になっており、チップがその中に包み込まれてしまう。

(2)バレル中で膜が絞られる、或は膜同志が絡み合ってしまう事を防止する為にバレルのパンチングメタルの穴を利用して、バレル内面に～100mm の長さのボルトを図 3.1.4 の※1 のように取付けて、膜をボルトに引っ掛けて持上げ、その後液中へ落下するようにした。

その結果が表 3.2.14 の 1/20 のテスト結果であり、膜同志の絡み、絞りは少なくなり、チップを 25kg に減らしたが、ガラス残留率は非常に小さくなった。しかし膜に包み込まれるチップは依然存在し、このまま後工程で中間膜に残留するガラス片を除去するための分別機に入ると 装置がチップにより損傷される懸念がある。

(3)分別機の損傷を避ける為、チップの投入を中止して投入する合わせガラスの量を増やし、投入したガラス同志が相互に回転するバレル内で摩擦し合い、ボルトにより持上げられ落下する事でガラスの剥離が進むことを期待してテストを行なった。

ボルトの配置を図 3.1.4 の※2 の様に変更し、ガラス投入量を 1/19 テストの 15 枚から 50～100 枚に増加したテストを 1/20 に実施した。

この結果は非常に有効であり、100 枚投入して 30 分処理すると、ガラス残留率の目標である 0.01%以下の 0.008%、0.005%という結果が得られた。

(4)以上の結果、効率よく剥離を進行させる為には、チップなどを投入するよりもガラス同志が回転するバレル中で摩擦し合い、更にボルトで持上げられ落下するという運動の方が好ましいという結論が得られた。ボルトで持上げ、落下させることで膜が絞られたり、膜同志が絡み合うことも防止できる効果もある。

バレル内に投入するガラス量の最適値、ボルトの最適な配置などは今後の課題である。

3.3.6 回収カレット、中間膜の品質評価

飯室商店での評価の結果、粒径が 2380 μm 以上のものが板ガラス用原料に適するのみならず、0 ～2380 μm の粒度のものは ガラスビーズ原料に適し、従って全量がガラス原料として再生可能であるとの結果が得られた。このことは、リサイクル先は板ガラスだけではなく、カレットの粒径やニーズに応じてリサイクル先を柔軟に選定できることを意味し、意義が大きい。

また、中間膜については、本調査研究のテストで得られた回収中間膜を某中間膜メーカーに評価依頼し、膜原料として再生使用できる可能性が高いという評価が得られた。回収膜を再生使用するための詳細スペックについての評価項目は項目自体が **Trade Secret** であり、少なくとも当面の間は開示される可能性が低い。中間膜再利用の事業化を進めるにあたっては、中間膜メーカーとの密なやりとりが必要である。

3.4 現地調査報告

3.4.1 旭硝子(株)愛知工場

日 時： 2009年12月16日(水)

場 所： 旭硝子(株)愛知工場 愛知県知多郡武豊町字旭1番地

内容：

- ・愛知工場では板ガラスと、その板ガラスを加工した自動車用ガラス(合わせガラス、強化ガラス)を製造している。
- ・板ガラス製造工程(溶解槽→清澄槽→フロートバス→徐冷→切断→検査)と合わせガラスの製造工程(切断→プリント→曲炉→洗滌→予備圧着→本圧着→検査→包装)を見学した。
- ・質疑は以下のとおり
 - Q：自動車用ガラスをリサイクルする場合、カレットの種類を選別は重要か。
 - A：重要である。色々混じっているとコントロールしにくい。工場内発生カレットは素性が分かっているが、外から購入するものは素性が分からないケースが多いため、色で成分を推定したりする。
 - Q：現在は工場内のリサイクルが中心か。
 - A：Yes. 技術的には市中品も可能であるが、品質の問題と選別等のコストがかかる。
 - Q：使用済みガラスカレットを投入したことによる製品不良はあるか。
 - A：これまでの実証試験ではない。恐れがあるものは使わない。炉の性質上、一度トラブルがあると回復に長時間がかかるので、慎重に対応する傾向にある。
 - Q：自動車用ガラスにリサイクルするためには、どの程度の選別ができれば良いか。車種や年式まで必要か。
 - A：基本的にはガラスの色(=品種)が分かれば良い。それと砂、石、金属、樹脂等々の不純物が混入していないこと。これらの選別基準は板硝子協会ですとまとめたものがある。
 - C：強化ガラスは破砕した状態で回収されることが多いので色々なものが混入しやすい。合わせガラスはまだ良い。自動車メーカーとガラスメーカーが共同でマークを見ると色が分かるような取り組みもしたが、ガラスメーカーによってマークの付け方(アルファベット+数字の意味付け)が違うという課題がある。

3.4.2 (有)飯室商店 富貴工場

日 時： 2009年12月16日(水)

場 所： (有)飯室商店 富貴工場 愛知県知多郡武豊町富貴中田1-27

内容：

- ・富貴工場では、使用済みガラスを約60種類に分類した受入基準により受け入れ、板ガラス、瓶、ガラスビーズ、グラスウール等の各生産工場へ原材料として売却・出荷しており、旭硝子(株)愛知工場との扱い高だけでも年数万トン単位を取引・製造している。
- ・手選別を中心とした各種ガラスの選別工程、破碎・粒度分粒等のガラス原料製造工程と何万トンもの種々ガラス原料ヤード、合わせガラス剥離の量産化実験プラントを見学した。また、種々ガラスの分類表(受入基準)、ガラス種類毎のフロー(工程)表などを基にガラス再生の概要説明が飯室商店からあった。
- ・合わせガラス剥離の量産化実験プラントは、事業上の事情により、質よりも処理量を優先した連続投入連続排出装置としている。実験途中のため剥離装置から排出後の選別と乾燥は手作業となっている。
- ・現状、合わせガラス剥離後のガラスカレットは需要の多いグラスウールの材料とガラスビーズの原料としている。中間膜は台湾、中国の商社が建材用に購入している。
- ・合わせガラス剥離後のガラスカレットを板ガラスに水平リサイクルしようとした場合、100%の水平リサイクルは難しいが、ガラスメーカーでの受入可能量の制約の他、破碎処理で出るガラスカレットの様々な粒度や黒色セラミックの影響等に基づき、粒度の小さいものはガラスビーズ原料へ、黒色セラミックが付着したカレットはグラスウール原料としての供給が可能となっており、トータルでは出口入口のバランスがとれてきている。いきなり100%のリサイクルを狙うのではなく、この中で水平リサイクル率を上げていく取り組み方が現実的であり、効果も大きい。この旨、飯室商店から説明があった。

4. 調査研究の総括

(1) 今回のテストの結果、自動車用 合わせガラスをガラスと PVB 中間膜に剥離し、それぞれをガラス原料、ガラスビーズ原料、PVB 中間膜原料に再生使用出来る可能性が大きいことが判明した。

(2) ガラスと PVB 中間膜を剥離する手順は次の様になる。

- i 自動車用 合わせガラスを適当なサイズに切断する。
(切断することが必須ではなく、切断せずに投入出来るサイズの装置であれば切断不要)
- ii ガラスクラッシャー・刃のついた上下一対のロール 2 段でガラスを破碎し、ガラスの約 40~60%をこの工程で脱落させる。
- iii OMB5%水溶液を 50°Cに保った槽内で回転するパンチングメタル製のドラム（ドラム内面にガラス/膜を引っかけるボルト付き）中に、合わせガラスを多量に投入し、15~30 分間処理する。
- iv バレル槽で処理後 PVB 中間膜は分別機へ送られ、残留するガラス片は除去される。
- v 分別機より排出された PVB 中間膜は水洗、乾燥する。

(3) OMB-100 の液の寿命について

OMB-100 の液の寿命は、量産設備として使用している H 社での実績が唯一のデータであるが、大体次の様になる。

- ・使用している OMB の濃度を 5%にキープ
- ・処理によりバレル槽内の液量は減少する。
(カレット・膜による持ち出し、及び蒸発)
- ・減少量はガラス 1000kg 処理当たり約 20ℓ
(減量分は作業終了時 5%液で補充)
- ・減少分を補充することを続けていき~3 ヶ月で剥離時間が長くなる為、槽内の液を全交換する。
- ・ガラスの処理を 30~50t/月 連続して行って~3 ヶ月の寿命というのが実績からの値である。

処理するガラスは工程内不良品では非常にきれいだが、使用済み自動車からの回収品、走行中破損などで取換えられたものの回収品は、汚れもひどい場合が多い。汚れの程度によっては、液の汚れ、寿命に影響すると思われるが、今後量産を進める中で確認する必要がある。

又、濃度と寿命も当然関係すると思われるが、濃度：寿命の相関関係はまだ明確になっていない。今後の課題である。

(4) 回収中間膜の評価

某中間膜メーカーに、本調査のテストで得られた回収中間膜を評価依頼し、膜原料として再生使用出来る可能性が高いという評価が得られた。

回収膜を膜原料として再生使用する為の詳細スペックは、少なくとも当面は **Open** にされる可能性は低い。

最終的には、中間膜メーカーと回収業者との間の規格で決まることになる。

(5) 回収カレットの評価

本調査のテストで発生したカレット（ガラス片）を飯室商店に評価を依頼し資料を分級した結果、次の様な評価がなされた。

- ・ 2380 μm ~4000 μm ~のものは板ガラス原料に適する
- ・ 0 ~2380 μm の粒度のものは ガラスビーズ原料に適する
- ・ 従って全量がガラス原料として再生可能である

以上の如く **OMB** 液を用いた湿式法による合わせガラスのリサイクル技術は、**PVB** 中間膜もガラスも回収し、水平リサイクル出来る可能性が極めて高いことが示された。

今後は装置の大型化、自動化による低コスト化、液寿命の確認などが課題となる。

5. 今後の課題と展開及び期待成果

5.1 今後の課題と展開

本調査研究では、剥離装置の特性及びその前段の破碎装置の特性を求めた。その中で、下記が今後の課題として残っている。

- ・剥離液の濃度と寿命との相関関係及び投入する合わせガラスの汚れと剥離液の寿命との関係（半年以上の期間での連続的な剥離実験が必要となる）
- ・剥離装置の機械特性としてのバレル内に投入される最適ガラス量とボルトの最適配置（装置を試作しての評価が必要となる）

中間膜の再利用にあたっては、中間膜の原料としてリサイクルする場合でも例えば自動車用と建築用とでは求められる品質が異なる。特に自動車用など再生中間膜に高い品質を求めるほど剥離した中間膜を得るためのコストも高くなる。再利用先を見極め、コストと品質のバランスがとれた解を中間膜メーカーと共に見いだしていくことが必要である。

また、今回の調査研究対象ではないが、装置関連では下記の課題が残っている。

- ・自動車用合わせガラスの場合、ボディとガラス外周部との接着剤保護のために黒色セラミック塗装されており、この部分の事前取りと剥離機投入を自動化するなどの対策が必要。
- ・中間膜（PVB膜）の種類が遮音、断熱、紫外線遮断などを目的として増えてきており、色の付いた物も数種類あることから剥離処理工程において自動識別投入できる対策が必要。
- ・防犯対策などでガラスにプラスチックを PVB で貼り合わせた合わせガラス、複層ガラスでの合わせガラスと強化ガラスの組み合わせなどがあり、PVB膜同様剥離処理工程において自動識別投入できる対策が必要。
- ・剥離装置においては、剥離液に粉状のガラスが混入するという課題があり、装置の稼働部分の摩耗の原因になっている。剥離機内の液循環システムの改良などによって効率良く分離できれば剥離液の寿命を延ばす効果も期待できる。

今回の調査研究及び委員各位他との意見交換によって、合わせガラスをガラスと中間膜にリサイクルする基本技術ができていること、剥離後のガラスカレットに対しては板ガラスへの水平リサイクル以外に、同様に純度・透明度が求められるガラスビーズへのリサイクル用途があり、全てを総合して 100%のリサイクルが可能なこと、かつ量的なニーズも十分にあることが確認され、100%リサイクルへの道が拓けていることが明確になった（図 5.1.1）。



図 5.1.1 本調査研究での実験評価結果

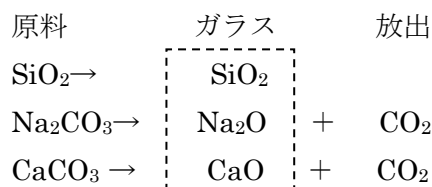
平成 18 年 6 月に、ガラスリサイクルシステム構築に向けてメーカー、ユーザ、回収業者等が循環型社会実現に向けての現状認識と今後のあり方等を考えるために開催した Glass Recycling Systems Workshop2006 において、今回の調査研究の対象とした湿式法剥離技術が紹介されて以来、種々の取り組みを重ねてきたが、現在、ガラスカレット業界、解体/回収業界、ガラスカレットを原料とするガラスビーズ・グラスウール等の業界、中間膜業界がこの技術を認識して次の展開を計画できるようになってきている。まだ、社会的な回収システム構築のシミュレーションまでは至っていないが、残った課題への不断の取り組みを続け、関係者が協調してまとまった量の確保に向けたリサイクルシステムを構築していくことが重要である。

5.2 期待成果

合わせガラスのリサイクルによって以下の効果が期待される。

- ・埋立処分される産業廃棄物（ガラス・PVB）の削減、特に使用済み自動車のシュレッダーダストの削減
- ・ガラス製造における原料の節約（使用済みガラスを原料に使用）とエネルギー節減（バージン材に必要なガラス化エネルギーが不要となる）
- ・原油と二酸化炭素排出量削減

ガラス原料には CaCO_3 、 Na_2CO_3 のように炭酸塩を含むが、ガラス製造の際に炭酸塩から CO_2 が発生して、残りの成分がガラスになる。使用済みガラスは $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ の成分系であり、これがそのまま板ガラスになる。



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

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

であり、原油に換算すると

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

となる⁽²⁾。

原油 1L 削減に対応して、二酸化炭素排出量は 2.6kg CO_2 削減される。

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おり、ガラス化する過程で分解して排出される二酸化炭素は、板ガラス 1t の製造あたり $186 \text{ kg/t} \cdot \text{glass}$ となる⁽³⁾。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抑制される。

・ 中間膜製造における原料の節約

中間膜再利用では、既に高分子の膜になっているものを再利用するので高分子の製造工程は不要になる。つまり、中間膜の原料である PVB 作成プロセスの一部が不要となることが期待される (図 5.2.1)。

PVB : $-(\text{C}_7\text{O}_2\text{H}_{12})\text{-CH}_2\text{-}$ は酢酸ビニル : $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ から作ったポリビニルアルコール : $(\text{-CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{-})_n$ にブチルアルデヒド : $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$ を反応させて生成する。

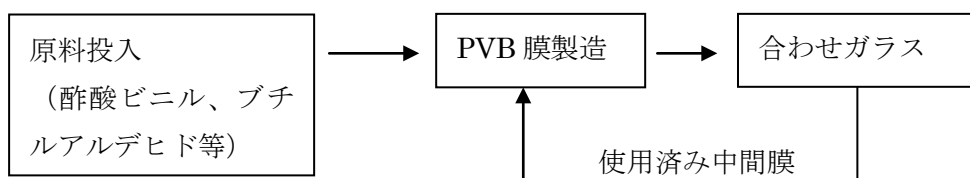
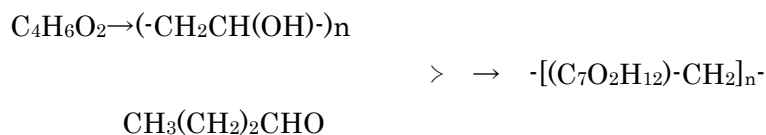


図 5.2.1 中間膜製造概略プロセスと中間膜の再利用

中間膜の再利用による二酸化炭素の発生削減量については文献調査等からはデータを得ることができず、中間膜メーカーの協力を得て検討を進めることが必要である。

参考文献

- (1) 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）
- (2) 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, No.2 (2001) pp38-45
- (3) 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
- (4) 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）
- (5) 南智幸、小坂田篤共著：工業用プラスチックフィルム 加工技術研究会
- (6) 広田民郎著：自動車リサイクル最前線 グランプリ出版
- (7) 竹内啓介監修：自動車リサイクル 東洋経済
- (8) 関五郎、大橋一正編著：建築のゴミとリサイクル計画 オーム社出版局
- (9) 田中信壽編著：リサイクル・適性処分のための廃棄物工学の基礎知識 技報堂出版
- (10) 有限会社 飯室商店 パンフレット ガラス原料処理分類表、ガラス類リサイクルフロー

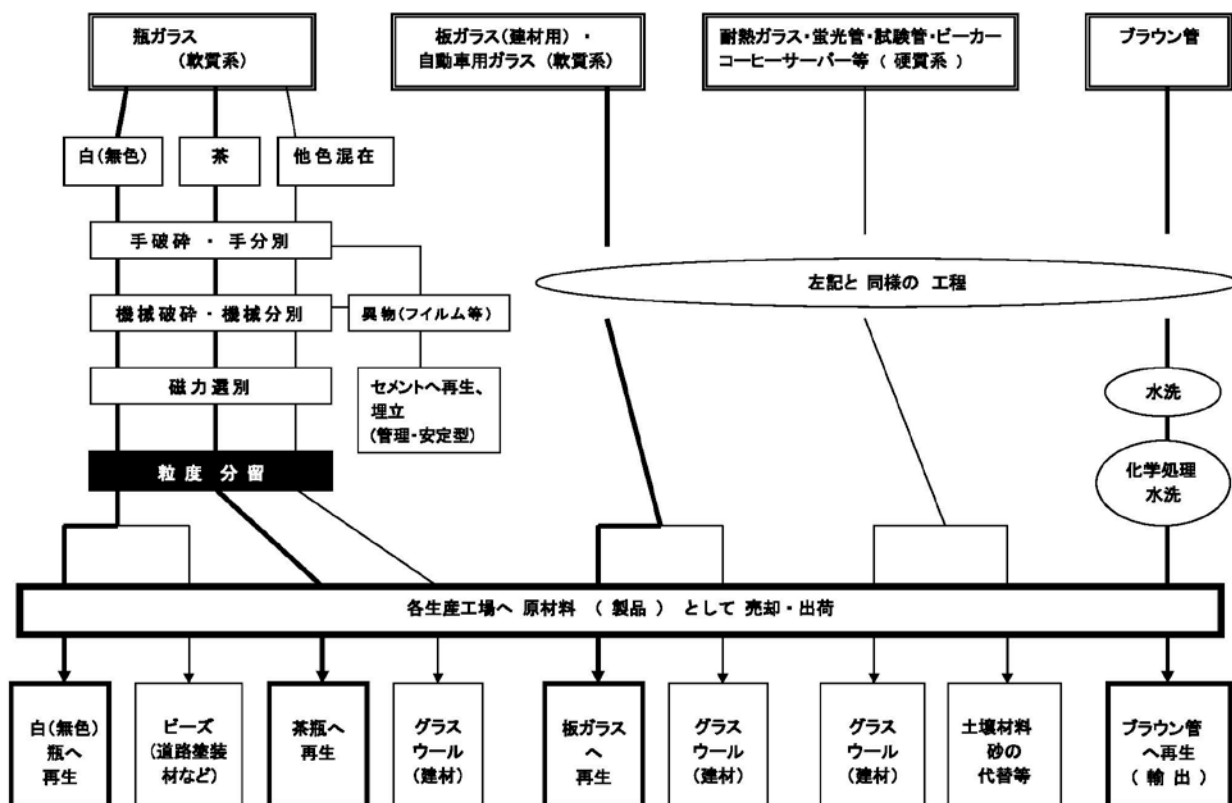
付録

(1)ガラス類リサイクルフロー： 有限会社 飯室商店資料

(2)ガラス原料 処理分類表： 有限会社 飯室商店資料

ガラス類 リサイクルフロー

2008年5月 (有)飯室商店



ガラス原料 処理 分類表

(街飯室商店)

No	品名	単位	印刷: 2006/4/26 10:38
1	ガラス瓶 白 買取 (無色美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
2	ガラス瓶 白 (無色)	kg	※飲料系ガラス瓶全般: 硬質、陶磁器を除く
3	ガラス瓶 茶 (茶色)	kg	
4	ガラス瓶 白 (表面印刷)	kg	例: 牛乳ビン等ガラス表面印刷品
5	ガラス瓶 込み (白・茶を除く)	kg	
6	ガラス瓶 総込み (白を除く)	kg	
7	ガラス瓶 混合色 (各色混合)	kg	
8	ガラス瓶 キャップ付 <加算額>	kg	1~7番にキャップ付の場合の加算額
9	ガラス瓶 白プライマー	kg	瓶白のプライマー等付着品: キャップ付不可
10	ガラス瓶 混合色プライマー	kg	瓶混合のプライマー等付着品: キャップ付不可
11	板ガラス 買取 (建材用美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
12	板ガラス (建材用)	kg	パテなど窓枠留め材料付着品は料金加算
13	色板ガラス (建材用)	kg	
14	網板ガラス	kg	
15	ペア硝子 (復層)	kg	建材用などガラス2枚のセット物
16	鏡板ガラス	kg	
17	枠付ミラー	個	バックミラー等自動車用限定。その他ご相談下さい。
18	表面貼付けガラス <加算額>	kg	ステッカー、カムテープなど貼付けの加算額
19	複写機板ガラス	kg	紙サイズ等の硝子表面印刷品、樹脂類貼付け品含
20	強化ガラス	kg	
21	強化ガラス 選別	kg	例: 電話ボックス、オーディオラック等のヒンジ付ガラス扉
22	フロント硝子 (自動車安全硝子のガラスのみ)	kg	車検シール付可
23	フロント硝子 選別 (付属品付)	kg	例: ゴム枠・金属枠・アンテナ線・金具付など
24	サイド・リア硝子 (ガラスのみ)	kg	
25	サイド・リア硝子 金具付 (付属品埋め込み付)	kg	
26	サイド・リア硝子 選別	kg	例: ゴム枠・アンテナ線・熱線・金具付など
27	ブラウン管 P・F分割品 買取	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
28	ブラウン管 A品	kg	B品から 金属シール、紙、シヤトウマスクを除いた物
29	ブラウン管 B品	kg	C品から防爆バンド、テープ糊合接着剤を除いた物
30	ブラウン管 C品 白黒	kg	白黒管から電子銃端子部とプラスチックを除いた物
31	ブラウン管 C品 カラー	kg	カラー管から電子銃端子部とプラスチックを除いた物
32	ブラウン管 D <加算額>	kg	表面部分に合せガラス、フィルム付の場合の加算額
33	ナマリ細管 買取 (美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
34	ナマリ細管 端子付	kg	
35	蛍光灯 硝子くず 買取 (硝子カレットのみ美品)	買取	サンプル検査など条件があります。ご相談下さい。
36	蛍光灯 硝子くず (硝子カレットのみ)	kg	
37	蛍光灯 硝子くず (プラスチックか口金込み)	kg	
38	蛍光灯 硝子くず (電球型のみ)	kg	
39	蛍光灯・電球型 硝子くず (プラスチックか口金込み)	kg	
40	蛍光灯・電球 硝子くず (総込み)	kg	
41	欠番		
42	欠番		
43	欠番		
44	欠番		
45	欠番		
46	裸電球	個	
47	水銀灯	本	
48	豆球・グローランプ	個	
49	他照明灯	本	例: ハロゲン、アイランプ
50	シールドビーム類	kg	例: 自動車用ヘッドライト
51	欠番		
52	液晶用板ガラス	kg	
53	液晶用板ガラス 端子付	kg	
54	液晶用板ガラス 枠付	kg	
55	プラズマ用ガラス	kg	
56	プラズマ用ガラス 枠付	kg	
57	石英ガラス 透明 (SiO ₂ 99.9%以上)	kg	
58	石英ガラス 透明以外	kg	
59	石英ガラス SiO ₂ 99.9%以下	kg	
60	硬質系耐熱ガラス	kg	レンズ類(鉛含有分除く)含む
61	陶磁器	kg	
62	ガラス種々混合物	kg	新規受入対象外、混入などによる価格適用用
63	別途選別費用 <加算額>	kg	状態によって段階的に加算する額
64	内容物確認費用 ドラム缶 <加算額>	本	No.41~43蛍光灯を除く
65	内容物確認費用 鉄缶(スキット) <加算額>	本	
66	フレコン処理費用	枚	

