平成２６年度

環境研究総合推進費補助金 次世代事業

総合技術開発報告書

廃液晶ガラス・廃自動車ガラス等の高度再資源化システムに関する研究

(3J123003)

平成２７年３月

株式会社イースクエア

ガラス再資源化協議会

補助事業名　　環境研究総合推進費補助金次世代事業（平成２４年度～平成２６年度）

所管　　環境省

総事業費　　221,271,351 円（平成２４年度～平成２６年度の総計）

国庫補助額　　109,261,286 円（平成２４年度～平成２６年度の総計）

研究課題名　　廃液晶ガラス・廃自動車ガラス等の高度再資源化システムに関する研究(3J123003)

研究事業期間　　平成 24 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日

代表研究者名　　柳田　啓之（株式会社イースクエア）

目次

総合技術開発報告書概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4

本文
１、　事業の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
（１）　サプライチェーンによる企業の協働作業の仕組み作り
（２）　サプライチェーンの組織と役割

２、　開発した技術の詳細・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
（１）　使用済み自動車から自動車ガラスの取り外し技術
（２）　使用済み自動車から自動車ガラスを回収することによる経済性評価
（３）　廃ガラスの効率的な収集・運搬等の技術
（４）　廃ガラスの選別・分離技術
（５）　網入りガラスと自動車ガラスの分離・洗浄等の技術
（６）　自動車用合わせガラスから中間膜とガラスカレットの完全分離技術
（７）　廃太陽光パネルの破砕選別による、リサイクルスキムの構築
（８）　使用済携帯電話、パソコン、モニタなどのガラスリサイクル技術
（９）　廃ガラスのセラミック原料化等の技術
（１０）原料化された廃ガラスを使った新建材の商品開発
（１１）使用済み太陽電池パネルの適正処理に関する研究開発
（１２）ガラス再資源化システムの設計・評価技術

３、　実施施設の設置場所等・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・106
3.1　自動車ガラスの取り外し施設（会宝産業、啓愛社）
3.2　自動車ガラスを回収することによる経済性評価施設（ヤマコー）
3.3　廃ガラスの効率的な収集・運搬等（浜田）
3.4　廃ガラスの選別・分離施設（リサイクルテック・ジャパン）
3.5　網入りガラスと自動車ガラスの分離・洗浄等の施設（ホンジョー）
3.6　ガラスから中間膜とガラスカレットの完全分離施設（啓愛社）
3.7　廃太陽光パネルの破砕選別施設（ハリタ金属、東芝環境ソリューション）
3.8　携帯、パソコンのリサイクル施設（ムーバブルトレードネットワーク）
3.9　廃ガラスのセラミック原料化等の施設（丸美陶料）
3.10 廃ガラスを使った新建材の商品開発施設（クリスタルクレイ）

3.11 ガラス再資源化システムの設計・評価施設（GRCJ,イースクエア）

４、　開発した技術がもたらす効果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・107
（１）　廃棄自動車ガラスのリサイクルの効果と課題
（２）　廃棄太陽光パネルガラスのリサイクルの効果と課題

５、　まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・108
（１）　まとめの概要
（２）　液晶ガラスのリサイクル
（３）　自動車ガラスのリサイクル
（４）－１　太陽光ガラスのリサイクル
（４）－２　建築ガラスのリサイクル
（５）　ガラスリサイクルの全体最適

６、　事業概要図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・112

７、　英文概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・113

８、　研究発表、論文発表、学会発表、その他・・・・・・・・・・・・・114

９、　知的財産権の取得・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・114

１０、特許　実用新案登録　その他・・・・・・・・・・・・・・・・・・・114

環境研究総合推進費補助金　次世代事業　総合技術開発報告書概要

研究課題名：廃液晶ガラス・廃自動車ガラス等の高度再資源化システムに関する研究

研究番号：３Ｊ１２３００３

総事業費：　227,207,000 円（平成２４年度～平成２６年度の総計）

国庫補助額：　107,611,000 円（平成２４年度～平成２６年度の総計）

研究課題名：　廃液晶ガラス・廃自動車ガラス等の高度再資源化システムに関する研究(3J123003)

研究事業期間：　平成 24 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日

代表研究者名：　柳田　啓之（株式会社イースクエア）

１、事業の目的

家電リサイクル法に係る廃液晶ガラス、自動車リサイクル法に係る廃自動車ガラス、まだ法制化されていない廃太陽光パネルガラスは現在ほとんどが埋め立て処分されている。これらの板ガラスは主として建築物（住宅の窓や太陽光パネルなど）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に埋め立て産廃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、板ガラスの製造では原料の融解や保温に膨大な燃焼エネルギーを必要としているのが現状である。ガラスカレットは一度ガラス化された粉砕カレットのため再度使用した場合バージン原料に比較して７０%のエネルギーでガラス製造が可能となる。以上から廃棄品から回収されるカレットをガラスとしてリサイクルができれば、原料の削減（天然資源の削減）や省エネルギー、最終処分量の削減の環境負荷の削減効果が見込まれている。

これら廃ガラス等の高度リサイクルに関する技術開発を、運搬、解体、分離、分別、原料化、製品化を担う異業種の企業が協働して行い、これまで廃棄されていた使用済みガラスを再生利用できるサプライチェーンを構築し循環型環境社会の形成につなげる。

２、開発した技術の詳細

（１）　使用済み自動車から自動車ガラスの取り外しの研究開発

会宝産業（株)、ヤマコー（株)、(株）啓愛社の３社が廃自動車ガラスからのガラスの回収方法を様々な方法により開発を実施した。　WS ガラスの解体には接着剤の熱剥離による分離とカッターによる切断分離を実証した結果、目標時間の１分以内を達成するには切断分離が最適であるという結論に至った。　WS ガラスの７０％の回収と１分以内の解体が達成できる見通しがたった。
切断時のガラス粉塵の回収方法と切断工具の長寿命化についても検討を行った。

（２）　使用済み自動車から自動車ガラスを回収することによる経済性評価の調査研究

ヤマコー（株）が解体工程でガラスを回収することの事業性の評価を実施した。　解体工程でガラスを回収し、ガラスの無いエコプレスを試作して電炉メーカーに評価を依頼した。
期待する効果としては２点である。ガラスが無い事によるスラグの減少と鉄比率が向上する事による使用電力量の削減。
今後、メリットが経済的に成立する場合には事業として継続、普及を図るためにガラスの解体作業の効率化の検討を進める。

（３）　廃ガラスの効率的な収集・運搬等の研究開発

サプライチェーンでの取り扱い実績は３年間全体で約７０００トンであった。
ELV（廃自動車）から解体された WS のトラック運搬・保管用にコンテナを試作し運搬・保管・作業性の確認テストをサプライチェーンの２拠点間で実施した。
テスト結果としてトラックの運搬効率が最大となるコンテナの仕様がまとまった。
結果を反映し縦型積載の量産型のコンテナの試作と量産をサプライチェーン企業向けに製作する場合の課題が明確化できた。
自動車の WS ガラスを切断解体する場合には縦型コンテナよりも平型コンテナが有効性において優れているという結論に至った。
産業分野別に GMV（廃自動車ガラス)、GML（廃液晶ガラス)、GMPV（廃太陽光パネルガラス)、GMA（廃建築ガラス）の収集体制と集荷が整備されてきており各拠点を日本地図にプロットすることにより最適ロジスティクスシステムの基盤整備が進んだ。

（４）　廃ガラスの選別・分離等の研究開発

リサイクルテック・ジャパン（株）が合わせガラスの破砕装置により遊技機

のガラスとプラスチックの分離を実施してガラスの本格的なリサイクルを開始した。
自動車合わせガラスと太陽光パネルガラスの分離技術の開発研究に着手を計画したが、自動車用合わせガラスのリサイクルについては中部地区のパーツ交換会社（JAGU：日本自動車ガラス販売施工事業協同組合）と需給関係を調査を重ねた結果、経済計算で収益が見込めない状況と判断して検討のみのFS段階までとなった。
太陽光パネルガラスについては、アルミフレームの枠の機械化、太陽光パネルガラスの分離方法について機械導入を図り圧縮破砕方式を用いて分離テストを試験した。

（５）　網入りガラスと自動車ガラスの分離・洗浄等の研究開発
（株）ホンジョーが廃自動車ガラスからのガラスと他の有価物の分離方法を研究開発した。合わせガラスから中間膜を剥離する場合の破砕機の隙間調整（最適クリアランス）が極めて重要である事が分かった。廃自動車のBLには銀がプリントされており薬品によるガラスからの分離は可能であるが、ガラスが割れていると表面積が増加し薬品の使用量が増加するので安全性と経済性から別途方法を検討することになった。その他建築用の網入りガラスから網の分離は破砕後に磁選機で網を除去できる事が実証できたのでガラスの粒度が５ミリ以上をキープして網のみを分離することが可能なハンマー型破砕装置を導入し分離の可能性を検証した。

（６）　自動車用合わせガラスから中間膜とガラスカレットの完全分離技術の研究開発
　廃自動車のWSは合わせガラスであるためガラスと中間膜の完全分離技術が必要になる。 １次破砕された合わせガラスにはまだ３０％程度のガラスが中間膜に付着しており完全分離するために湿式による剥離液の開発を（株）啓愛社が実施した。
剥離液は水酸化カリウム水溶液で液温を変化させて実験した。
３５℃に加温した場合は常温に比べて圧倒的に剥離が促進できることが分かった。温度依存性が高い剥離液であるので使用中の蒸発や持ち出しなどで補給も必要になるが劣化性はない。
よって、簡易的な剥離装置を使用することにより最適な剥離条件を決めることができた。
自動車合わせガラスの一次破砕機、量産化するための剥離装置の開発につなげて行くための基本条件を見つけることができた。

（７）廃太陽光パネルの破砕選別による、リサイクルスキームの構築

ボールミル、回転炉、シュレッダープラントを有するハリタ金属（株）が太陽光パネルリサイクルの分離研究を実施した。

評価として、ボールミルは EVA 膜の柔軟性とガラスと EVA 膜の強固な接着により分離が不可能であった。　回転炉は投入量と燃焼時間の関係から処理量が増産できず経済性で実証が困難であった。　シュレッダーによる分離が最も回収分離の可能性が高いことが分かった。

シュレッダーの破砕後は破砕品が混載している。このため選別方式が重要課題となるが、粒度選別のみでは素材単位の選別ができず比重選別方式が最も有効と考えられたので機械を導入してジグ式選別試験を実施した。

ガラスの分級については、鉄分混入による着色や水分の乾燥方法など解決すべき課題が発見された。

（８）使用済携帯電話、パソコン、モニタなどのガラスリサイクル方法の研究開発

使用済の携帯電話やパソコンを回収して解体することにより部品をできるだけ破壊しないような解体を行うことで部品の分別が可能になる。

（株）ムーバブルトレードネットワークスが本研究を実施した。

液晶デイスプレイとしてのガラスを再資源化する可能性を研究するがまずは有価物としての価値の高い HDD の基盤を傷つけないように解体することに取り組んだ。　今後液晶を含めて価値の高い部品の国内リサイクルを推進していく。

（９）廃ガラスのセラミック原料化等の研究開発

GML、GMV の廃ガラスを３０％～６０％配合したガラス再資源化原料の開発が丸美陶料（株）により試験レベルから商品化レベルに移行した。　この原料を使用したタイル建材は低温焼成が可能でかつ軽量化できるため環境負荷の低減が可能である。

通常のタイル原料と混ざると溶融温度の違いから発泡性の弊害が発生するため専用設備を増設してラインの分割化を実現した。

建材以外には低温焼成食器原料としてセントクレイプラス（顆粒状）の原料開発を進めて陶芸家の原材料や一般工業製品にも評価をいただき普及を図る。

（１０）　原料化された廃ガラスを使った新建材の研究開発

丸美陶料（株）で GML、GME（廃ブラウン菅ガラス）を３０％から５０％含んだガラス再生原料と粘土を調合してクリスタルクレイ（株）にて新しい建材用

タイルの原料を生成できた。
試験金型によってタイル形状に成形し電気炉で焼成したあとタイルの物性について品質評価を行った。　結果が良好なため中量実証試験を繰り返し行い軽量化タイルに求められるかさ比重、吸水率、強度などの JIS で求められる基本値が一般的な磁器タイルと比較して良好であることが実証された。
面形状、及び加飾意匠性などの外観面でも良好な結果が得たので事業化を踏まえて施釉搬送装置を導入し量産化を開始することができた。

（１１）ガラス再資源化システムの設計・評価、環境配慮セラミックスの研究開発

ELVからガラスを解体時に取り外すことによりCO2削減にプラス効果があることを明示できたので広島資源循環プロジェクトとも協力しながら環境負荷軽減と経済効果の両立を目指し活動を継続した。マテリアルピンチ解析は東京大学の醍醐准教授に委託し研究が進み、混入する不純物と生産物における不純物濃度の制約、ならびに発生量と需要量の物質収支を考慮した上でリサイクル量が最大となる組み合わせ（全体最適解）を導きだした。
環境配慮型の製品開発としては、茨城県工業試験センターの協力で食器用粘土の試作と建築レリーフ、食器の意匠性及びそれに付随するデザイン性の高い形状や釉薬の開発を実施した。

３、開発した技術がもたらす効果

家電リサイクル法に係る廃液晶ガラス、自動車リサイクル法に係る廃自動車ガラス等に関する運搬技術、分離技術、中間処理技術、原料加工技術、ガラス再資源化製品製造技術を開発し、これらを統合化したガラス再資源化の循環型モデルシステムを構築する。上流（廃ガラス収集）から下流（ガラス再資源化商品の開発・製造）を通し、商業ベースで成り立つ効率的なサプライチェーンのモデルが確立できることで、成果が本共同開発者に留まらず他地域や他社へ波及することを目指す。これにより、これまで資源として活用されず、埋め立て処分されていた使用済みガラス製品のリサイクルを促進するとともに、製品の CO2 排出量を抑制し、循環型社会・低炭素社会の構築に寄与する。

４、環境政策への貢献

日本では、液晶用で年間約３万トン、自動車用で年間約１２万トンの廃ガラスが排出されていると推計され、うちリサイクルされるのはごくわずかに過ぎない。日本のテレビ市場は、ブラウン管タイプから液晶を中心とするフラット

タイプに完全移行した。既に普及しているパソコン用と併せて小物家電製品からの液晶ガラスのリサイクルの確立と用途開発が急務となっている。
　また、２００５年に施行された自動車リサイクル法では、２０１５年に車両の重量比で９５％をリサイクルすることが目標とされているが、現在のリサイクル率はマテリアルリサイクルでみれば８５％程度である。　リサイクル率９５％を達成するためには現在はほとんどがシュレッダーダスト（ASR）として燃焼処理されている自動車ガラスの再資源化が非常に有効である。
ガラス再資源化により、車両全体のリサイクル率を約３％向上させ、ASR の中から車１台当たり約３２kg 削減する効果がある。
　さらに、法律の施行が今後予想される太陽光パネルからの廃ガラスリサイクルやレアメタルのリサイクルに注目が集まっているため太陽光パネルからのガラスリサイクルも近い将来に重要なテーマになると予想されるためガラスの分離技術とガラスの再資源化も重要である。
　震災関連事業として福島県を中心に原発事故に起因する放射性物質の影響抑制が急務となっているため、近年回収量が急増しているブラウン管ガラスを活用して放射線を遮蔽する機能セラミックスの研究開発も実施し評価した。

５、開発した技術の事業化の可能性
　初年度の７社・組織から最終年度は１４社・組織に範囲を広げて研究開発に取り組んだ。大学、研究機関との連携も一層深めた。
廃棄自動車ガラスを取り外すことによる環境メリットがあることは実証が進んできているが、自動車ガラスの回収方法、回収ガラスの運搬方法、リサイクル方法と解体業者の事業性について未確定な部分について課題を明確化することで事業者の利潤が担保できる事業化につなげていく活動が進んだ。
自動車工業会にも活動の報告を実施した。(H26/5/28)
共同研究先の東京大学と廃ガラスの発生量と需要量を考慮の上、発生品の化学組成と不純物の混入量、発生地と需要地の位置を考慮して全体最適や個別最適等の評価システムの構築を実施し事業化の可能性を研究した。
サプライチェーンを通した環境負荷の削減効果やコストメリットを訴求することで、事業化の最大の課題である経済性においても可能性が広がっておりガラスカレットを使用した環境配慮型の新商品も製造販売の目処がたってきた。

本文

１、　事業の目的

（１）サプライチェーンによる企業の協働作業の仕組み作り

家電リサイクル法に係る廃液晶ガラス、自動車リサイクル法に係る廃自動車ガラスは現在ほとんどが埋め立て処分されている。また近年普及の目覚ましい太陽光パネルのリサイクル技術はまだ確立されていない。本研究開発によって、これまで廃棄されていた使用済ガラス、またガラスに付随するレアメタル等の再生利用の道を拓くことができると考えている。　また、放射線遮蔽機能のセラミックスの開発もブラウン管ガラスリサイクルの一環として行うことで、原子力発電所の事故の影響軽減にも貢献出来ると考えている。これらの廃ガラスの高度リサイクルに関する技術開発を、運搬、解体、分離、分別、原料化、製品化を担う異業種の企業が協働して行い、これまで廃棄されていた使用済みガラスを再生利用できるサプライチェーンを構築する。

ガラスの組成に適合したセラミック製品に再資源化する研究開発を行う。ガラスを再生利用した製品は従来のセラミック製品より低温度焼成で製品化でき、環境配慮型製品としても優れた性能を持つことが検証されている。その環境性能を活かしつつ、現在行われているタイル、レンガ等の建築材料への活用に加えて透水保水機能性セラミックス、低温度焼成食器、ファインセラミックスへの応用を可能にして新機能商品の製造、販売まで確立し循環型環境社会の形成に寄与する。

廃ガラスの運搬、解体、分離、分別、原料化、製品化を担う異業種の企業が協働し、廃棄されていた使用済みガラスを高度リサイクルする技術開発およびサプライチェーンの構築を行う本プロジェクトはGReAT(Glass Recycling Advanced Technology)プロジェクトと命名している。

GRCJのマーケティング部会で調査したガラスリサイクルの現状を表１に示す。

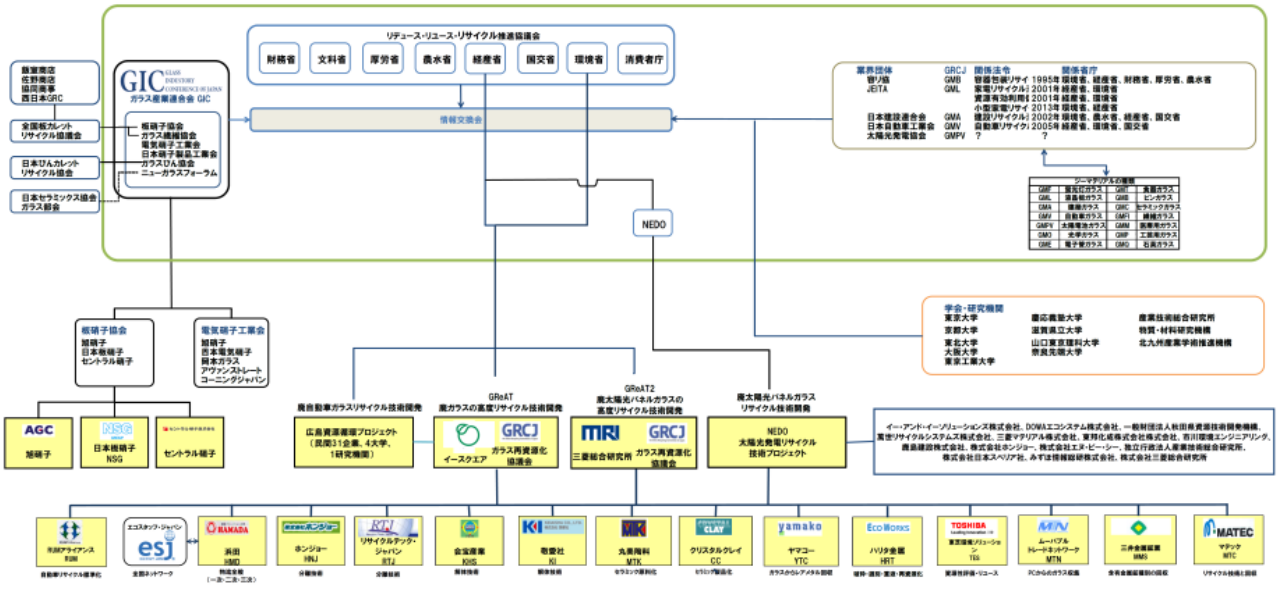
プロジェクトの相互関連性を表２に示す。

表１　国内の自動車と電気機器用ガラスのリサイクルの現状

	ガラスの用途	ガラス産業連合会 GIC	製品関係団体	関連法	施行年		2012年 日本市場 販売	市場収集	ガラスリサイクル推定量	リサイクル推定%	備考
GMV	自動車ガラス	板硝子協会	自工会	自動車リサイクル法	2005年	台数(千台)	5,369	3,405	102	3%	解体時にガラスは取り外しは実施していない、ASRに引き取りされて廃棄物。自工会、JARC資料参考。
						ガラス量(ﾄﾝ)	171,808	108,960	3,269	3%	
GML	液晶板ガラス（TV,PC,携帯電話、モニター）	電気硝子工業会	JEITA	家電リサイクル法、資源有効利用促進法、小型家電リサイクル法	2001年	台数(千台)	45,268	7,506	841	11%	内訳 販売 収集 TV 6,453 491 PC等 12,712 409 携・スマ 26,103 6,606 単位：千台
						ガラス量(ﾄﾝ)	23,410	1,366	316	23%	
GME	電子管ガラス（TV,モニター）	電気硝子工業会	JEITA	家電リサイクル法、資源有効利用促進法	2001年	台数(千台)	0	2,282	2,282	100%	パネルはリサイクル化で構成比60%、ファンネル部分は鉛含有率約25%のため水平リサイクルが困難
						ガラス量(ﾄﾝ)	0	55,712	33,427	60%	
GMPV	太陽光発電パネル	電気硝子工業会／板硝子	JPEA	－	－	KW	2,843,218	54,031	5,403	10%	リサイクル制度が確立していなので収集の統計資料は未整備。15年前に販売されたPVが全て排出されたと仮定した。
						ガラス量(ﾄﾝ)	166,044	3,028	303	10%	
					計	ガラス量(ﾄﾝ)	361,262	169,066	37,315	22%	

製品別ガラス量の仮定：　*
自動車：32kg/台
液晶とカバーガラス：　TV32":1.47kg/台、ノートPC15":0.69kg/台、モニター21":0.96kg/台、携帯電話3.5"：0.15kg/台
電子管：TV32":24kg/台、モニター 21":16kg/台。CRTの重量比率:ファンネル40%、パネル60%。
PV：カバーガラス14.6kg/250W

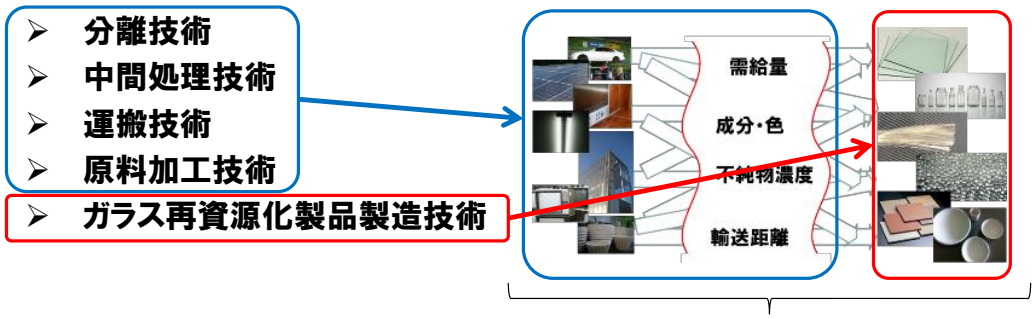
表２：プロジェクトの相互関連性



（２）サプライチェーンの組織と役割

サプライチェーン構築の全体モデルを下記の通り設定した

① 廃ガラスに関する以下の技術を開発し、これらを統合化したガラス再資源化の循環型モデルシステムを構築する



② 上流（廃ガラス収集）から下流（ガラス再資源化商品の開発・製造）を通し、商業ベースで成り立つ効率的なサプライチェーンのモデルを構築する

使用済みガラス製品のリサイクルを促進するとともに、ガラスの循環システム全体でのCO_2排出量を抑制し、循環型社会・低炭素社会の構築に寄与する。

対象とする廃棄物ガラスの種類は、下記の通り多種にわたり研究開発の対象に織り込んだ。主要ガラスの特性を表３に示す。

（１）廃液晶ガラス（GML）：家電リサイクル法関連

（２）廃自動車ガラス（GMV）：自動車リサイクル法関連

（３）廃ブラウン管ガラス（GME）：家電リサイクル法関連

（４）廃太陽光パネルガラス（GMPV）：

（５）廃建築ガラス（GMA）：建設リサイクル法関連

（６）廃蛍光灯ガラス（GMF）：建設リサイクル法関連

（７）廃食器ガラス（GMT）：

表３：各種ガラスの用途と特性

	GML	GMA/GMV	GMPV	GMFI	GMB	GME	
	液晶	建設・自動車	太陽電池	繊維ガラス	びん	ブラウン管	
						パネル	ファンネル
ガラス種類	アルミノホウケイ酸	ソーダ石灰	ソーダ石灰/アルミノ珪酸	ソーダ石灰	ソーダ石灰	バリウム・ストロンチウム	鉛
特徴	科学的耐久性	光透過性	光透過性	光透過性	色調管理	X-線吸収性	より高いX-線吸収性
軟化点℃	～850	720～740	720～850	720～740	720～740	690～715	655～675
比重	2.36～2.77	2.48～2.6	2.36～2.77	2.48～2.6	2.48～2.6	2.48～2.6	3.4～4.28
色調	クリア	GMA：クリーン、クリア GMV：クリーン、ギャラクシー	クリア	クリア 混色	クリア、ブラウン、ブルー、グリーン、他多種多様	クリア	

サプライチェーンの組織体連携図は下記の通りとし、各会社が担当した研究が相互にサプライチェーンで連携した型である。

（１）GMV 等の事業組織（サプライチェーン）

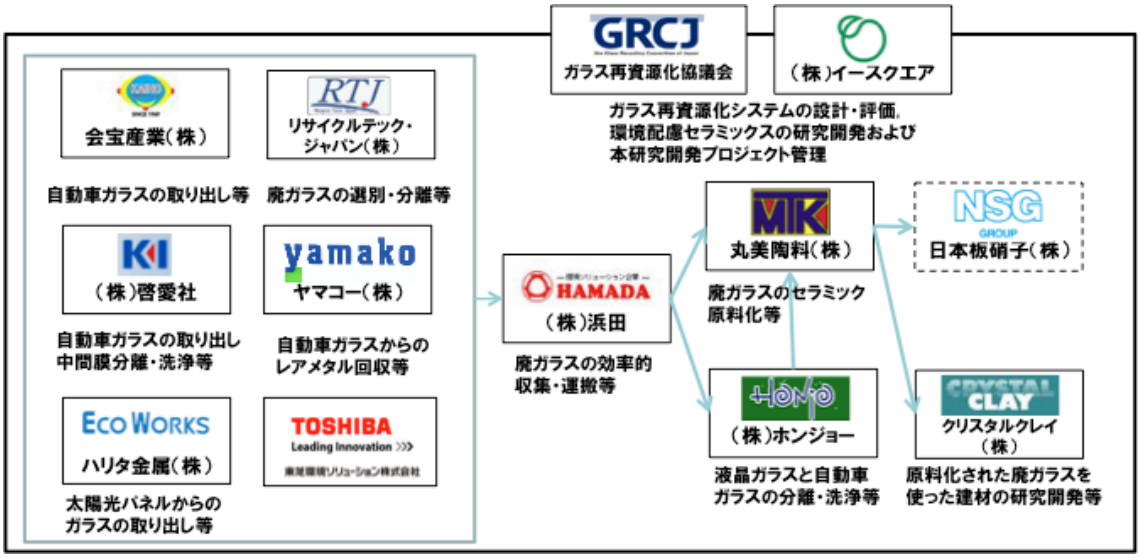


図１：各種廃ガラスのリサイクル担当と流れ

（２）PV 事業組織（サプライチェーン）

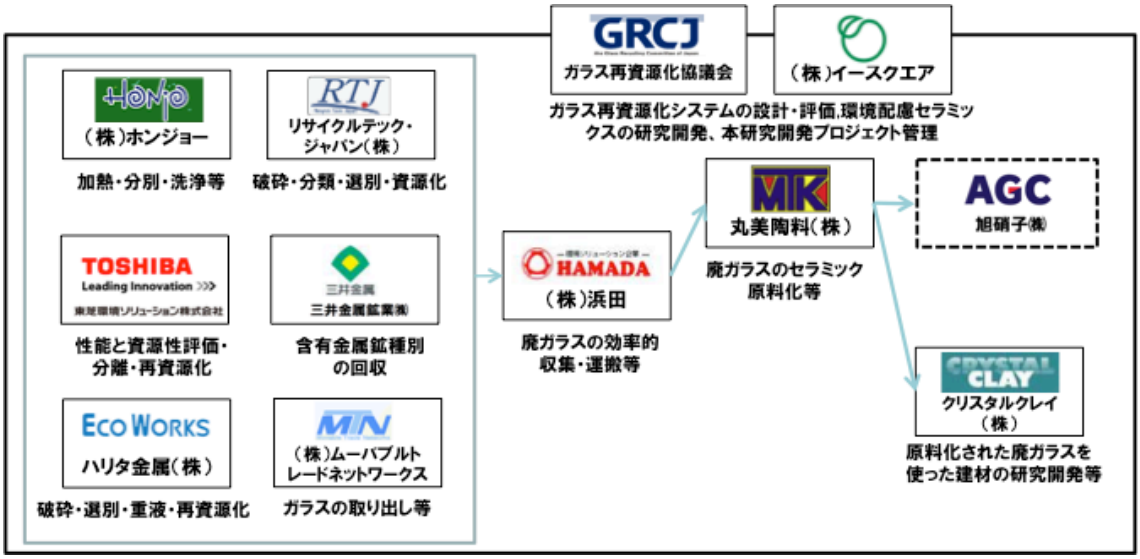


図２：PV 廃ガラスのリサイクル担当と流れ

（３）研究者名簿

会社名	区分	名前	役職
（株）イースクエア	研究代表者	柳田　啓之	コンサルティンググループマネジャー
	経理担当者	荒井　悦子	オフィスマネージャー
ガラス再資源化協議会	研究代表者	加藤　聡	代表幹事
	研究者	猪子　兼行	技術部会GM
	研究者	須永　竹英	マーケティング部会GM
	経理担当者	横山　紫穂	総務部門
会宝産業（株）	研究代表者	山口　敦史	アライアンス部部長
	経理担当者	近藤勝枝	経理部長
クリスタルクレイ（株）	研究代表者	北山　勝也	取締役社長
	研究者	豊永　雅仁	営業課長
	経理担当者	市之瀬　修次	総務部部長
（株）浜田	研究代表者	丸木　啓	取締役　営業部長
	研究者	荒川　美咲	営業部
	経理担当者	竹田　直子	総務部　主任
（株）ホンジョー	研究代表者	本城　新吾	取締役　業務部長
	経理担当者	番場　洋子	経理担当
丸美陶料（株）	研究代表者	小川　英世	常務取締役
	経理担当者	小川　兼護	取締役
リサイクルテック・ジャパン（株）	研究代表者	山口　玲奈	執行役員　社長付
	研究者	深谷　崇	研究部　主任
	経理担当者	小山　昭美	経理課長
（株）啓愛社	研究代表者	田村 聡	管理部 管理課 課長
	経理担当者	岩井 俊明	経理担当
（株）ムーバブルトレードネットワークス	研究代表者	鈴木　俊正	専務取締役
	研究者	阿部　　均	社長室長
	経理担当者	寺田　　純	経理担当者
ヤマコー（株）	研究代表者	岡本　裕臣	リサイクル営業部　部長
	研究者	三好　有次	リサイクル製造部　主任
	経理担当者	岡本　裕臣	リサイクル営業部　部長
ハリタ金属（株）	研究代表者	寺崎 英樹	環境事業部部長
	研究者	中川 吉広	製造部門担当
	経理担当者	大峯 静佳	常務取締役
東芝環境ソリューション（株）	研究代表者	武田 信治	営業統括部 部長
	研究者	瀬川 昇	経営企画部 参事
	経理担当者	高橋 信行	経理担当

（２）開発した技術の詳細

（１）　使用済み自動車から自動車ガラスの取り外しの研究開発

（１）-A：会宝産業株式会社（KHS）の研究

① 背景

日本全国のELV（廃棄自動車ガラス）の処理台数は平成２５年度から２７年度は約年間３５０万台であり年間約１２万トンのELVガラスのボリュームである。会宝産業からこのうち年間約３８０トン相当のガラスが発生している。しかしながら、リユース目的で約３％相当の１０トンは取り外しするが、残りの３７０トン分は車体（鉄くず）に含まれる形でシュレッダー会社に売却し、シュレッダー会社で産廃処理されるのが実態である。

② 目的・目標

ELVからWSガラスを解体工程で取り外すことによりシュレッダー工程でのミックスメタルの品位を向上させるとともに、ガラスの産廃から再資源化原料への転換を図る。社内の活動原価計算の結果から１分以内（約４０円のコスト）での解体処理時間であれば経済的価値ありと判断されるため、取り外し作業の目標値は１分とした。

ELVからBLガラスを解体する場合、ガラスが強化ガラスであることからガラスの耐圧以上の力を外部から与えて容易に破砕は可能であるがガラス表面の熱線に銀が使用されているため除去できなければガラスの水平リサイクルができない。剥離液による湿式法で銀の剥離は可能であるが溶液が強酸であったりして管理が難しいので溶液は使用しない乾式の熱線剥離方法を追求する。

自動車ガラスを社内のKRAシステム（自動車解体管理システム）に組み込むためのシステム変更を実施しオンラインでのシステム構築を行う。 自動車リサイクルの一気通貫システムであるＫＲＡシステムに、自動車ガラス回収の要素（部品重量マスタにガラス重量（車輌型式別）を追加）を盛り込む事で、回収量や回収率、環境負荷への試算を実施する。

③ 実績

③-１、WSガラスの解体方法

１分以内という短時間でのWS（ウィンドシールド）ガラスの解体には初年度にガラスをほぼ全量解体するために車体とガラスの接着剤の剥離を目指した。接着剤の種類の多様化や車体の形状が複雑化していることから技術的に可能であるが経済的には困難と判断し２年目からはガラスを切断する方式に変更して

取り組むことにした。
回転式のガラス切断工具は安全面でリスクが高く実用的でないと判断したため、振動工具（エアチゼル）を使用した方式で実証試験を行い回収時間は目標の１分以内を確立できた。
この場合のガラスの回収率は、ガラス全体のほぼ７０％であり残りの３０％はガラス周辺のガラス面に黒色セラミックがプリントしてある場所であり板ガラスメーカーにカレットとして再生が難しいことから回収は断念した。
切断時は粉塵が飛散するためエアチゼルと粉塵の集塵が必要になり吸込み形状と吸引能力を実験しバキューム吸引、吸い込み口の形状などの最適化実験を繰り返し実施し集塵対策を確立できた。

③−１−１、**熱線式回収ツール**

初年度日本ジェットオン社が販売しているインダクター（熱源発生装置）※下記参照　を使用して、熱融解による接着剤の剥離実験を行った。

ガラス回収実験結果（回収工数）として、フロントガラス（GMV-WS）：１５～１８分/枚、リアガラス（GMV-BL）：２０～２５分/枚という結果となった。
目標としていた工数と比較して大幅に時間を要す結果が出た事に対し、フロントガラスに使用されている接着剤が熱硬化樹脂系であったことで熱を加えて溶けなかったことも判明した。
リアガラスは強化ガラスであるが割らずに回収する為に熱源の出力を最大化せずに実施したことも時間のかかる要因として考えられる。
ガラスの接着に使用されているウレタン系の樹脂材料がフロントガラスとリアガラスで異なる結果になり熱での融解回収は有効でないとの判断に至った。

その為、２年目からは切断手法へ方針転換を行った。

図１：リアガラスの回収実験風景

③−１−２、**回収時のガラス飛散回収ツール**

次年度に切断時のバキューム回収設備は車輌上で破砕したガラスを効率的に回収するもので、粉塵・破砕くずが飛散しないような設計を目指し、市販の業務用強力クリーナーを改良して使用する事に決定した。使用本体はスイデン製小型バキューム（１００Ｖ・最大静圧２０．７ｋＰａ・風量３．４㎥/min）とし、ガラス切断機に取り付ける形で開発を行った。

図２：汎用バキューム

図３：バキュームホースの取付

図４：吸い込み口形状

図５：切断後のガラス飛散状況

実験の結果、飛散したガラスの回収量は約７０％であった。
バキュームの強さと吸い込み口の形状を今後の課題として取り組む事が明確となり、最終年度の活動に上記の改良を行っていくことにした。

③−１−３、**ガラス切断機**

平成２５年から切断方法はチゼル式とし、ベースはＧＲＥＡＴＴＯＯＬ製のエアチゼルを採用し改良を行った。切断時、最初に穴を空ける必要が有る為、初期穴を空けるツールが重要になる。
初期穴を空けるツール（平たい部分をポンチの要領でハンマーで叩く）

図：６　最初に穴開けするツール

チゼルでの回収は実験段階でガラス飛散の課題が残るものの、概ね 1 分以内でのフロントガラス回収が行える事が判明した。

図７：バキューム取り付けの加工とチゼル先端の加工

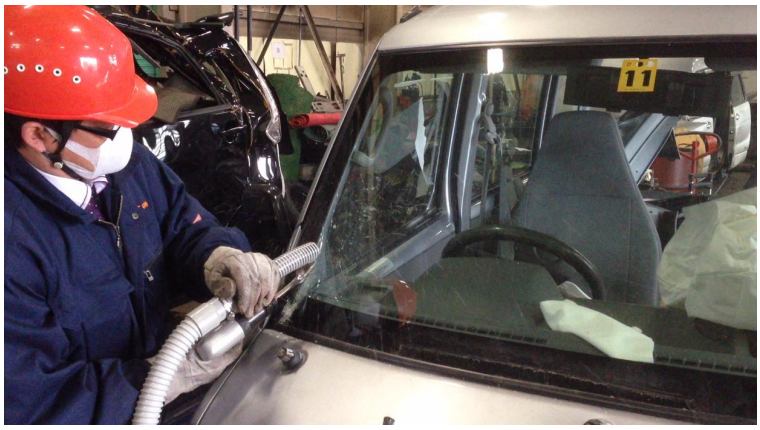


図８：チゼルでのガラス切断

図９：切断後車輌とガラス　　図１０：切断部分拡大

③−１−４、今後の解体方法

チゼル式以外にもスクリュー式での開発を展開する為、ドイツ・フランスで使用されている製品を入手し実験比較と情報収集を始め国産と比較検討する。

③−２、BL ガラスからの銀の回収方法

BL ガラスの熱線回収方法として乾式を採用し既存のミキサー式撹拌機で撹拌時間との関係を実験し剥離回収した泥状の物質の銀の含有濃度を蛍光 X 線試験機で実測し評価した。

③−２−１、詳細資料

熱線の回収は安全に行える事を前提とし、薬剤等は使用せずに乾式での摩擦によ
る熱線剥離実験を行った。
使用した機材はマゼラー産業機械製　ＲＷ２５０式　５．５KWミキサー（セメント撹拌用）。
破砕して回収したリアガラスを撹拌機に投入し、撹拌時間と剥離具合を検証した。検証では撹拌時間を、１０分、３０分、６０分、１２０分、１８０分、２４０分に設定。６０分以上では全て剥離が確認された為、対比は１０分、３０分、６０分で行う事にした。検証の結果、撹拌時間を３０～６０分で設定すればほぼ熱線の回収が出来る事が判明した。回収された泥濘状の銀含有物質を乾燥させた後、蛍光Ｘ線分析装置によって含有量を調査し月間の解体台数から成果物の量を算出した。

図１１：破砕回収した GMV-BL

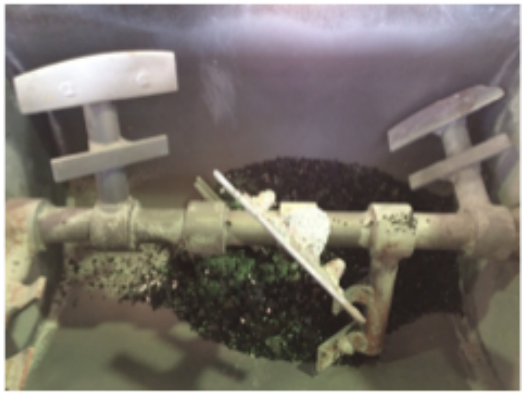


図１２：マゼラー産業機械製　ミキサー

図１３：銀剥離の検証結果

蛍光Ｘ線分析装置により車輌 20 台分の剥離した熱線の銀含有量をＸ線分析計で測
定した。

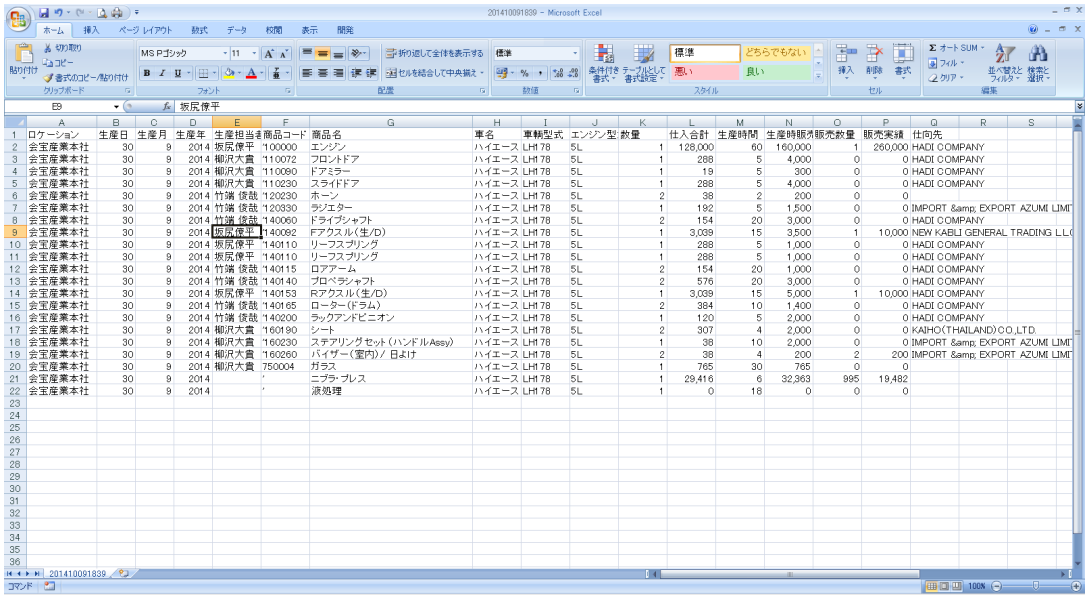
表１：熱線剥離試験結果

	剥離前	剥離後	
1 回目	1.71%	0.92%	
2 回目	1.65%	0.86%	
3 回目	1.63%	0.82%	

今回の剥離実験では銀の含有量が剥離前と剥離後で約半数に減少した。
要因としては、
①攪拌時に一緒に削れたガラスが混入した。
②攪拌機自体の鉄壁がガラスにより削られ鉄分が混入したことなどが挙げられる。（②は実際に攪拌後の回収物に鉄分を検出したため明確である。）
　今後は量産を考慮しながら熱線剥離を調査予定である。

③−３、KRA オンラインシステムに回収ガラスを追加
　自動車ガラスに対応した KRA システムの精度向上対策を実施した。
これにより追跡が可能になり回収の部品のデータ化が可能となる。

③−３−１、詳細資料
　ＫＲＡシステムの改良を行い、回収される部品の項目にガラスを追加した。



ロケーション	生産日	生産月	生産年	生産担当者	商品コード	商品名	車名	車輌型式	エンジン型	数量	仕入合計	生産時間	生産時販売	販売数量	販売実績	仕向先
会宝産業本社	30	9	2014	坂尻俊平	'100000	エンジン	ハイエース	LH178	5L	1	128,000	60	160,000	1	260,000	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	柳沢大貴	'110072	フロントドア	ハイエース	LH178	5L	1	288	5	4,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	柳沢大貴	'110080	ドアミラー	ハイエース	LH178	5L	1	19	5	300	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	柳沢大貴	'110230	スライドドア	ハイエース	LH178	5L	1	288	5	4,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	竹端 俊哉	'120230	ホーン	ハイエース	LH178	5L	2	38	2	200	0	0	
会宝産業本社	30	9	2014	竹端 俊哉	'120330	ラジエター	ハイエース	LH178	5L	1	192	5	1,500	0	0	IMPORT & EXPORT AZUMI LIMI
会宝産業本社	30	9	2014	竹端 俊哉	'140060	ドライブシャフト	ハイエース	LH178	5L	2	154	20	3,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	坂尻俊平	'140092	Fアクスル(生/D)	ハイエース	LH178	5L	1	3,039	15	3,500	1	10,000	NEW KABLI GENERAL TRADING L.L.(
会宝産業本社	30	9	2014	坂尻俊平	'140110	リーフスプリング	ハイエース	LH178	5L	1	288	5	1,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	坂尻俊平	'140110	リーフスプリング	ハイエース	LH178	5L	1	288	5	1,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	竹端 俊哉	'140115	ロアアーム	ハイエース	LH178	5L	2	154	20	1,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	竹端 俊哉	'140140	プロペラシャフト	ハイエース	LH178	5L	2	576	20	3,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	坂尻俊平	'140153	Rアクスル(生/D)	ハイエース	LH178	5L	1	3,039	15	5,000	1	10,000	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	竹端 俊哉	'140165	ローター(ドラム)	ハイエース	LH178	5L	2	384	10	1,400	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	竹端 俊哉	'140200	ラックアンドピニオン	ハイエース	LH178	5L	1	120	5	2,000	0	0	HADI COMPANY
会宝産業本社	30	9	2014	柳沢大貴	'160190	シート	ハイエース	LH178	5L	2	307	4	2,000	0	0	KAIHO(THAILAND)CO.,LTD.
会宝産業本社	30	9	2014	柳沢大貴	'160230	ステアリングセット(ハンドルAssy)	ハイエース	LH178	5L	1	38	10	2,000	0	0	IMPORT & EXPORT AZUMI LIMI
会宝産業本社	30	9	2014	柳沢大貴	'160260	バイザー(室内)／日よけ	ハイエース	LH178	5L	2	38	4	200	2	200	IMPORT & EXPORT AZUMI LIMI
会宝産業本社	30	9	2014	柳沢大貴	'750004	ガラス	ハイエース	LH178	5L	1	765	30	765	0	0	
会宝産業本社	30	9	2014		'	ニプラ・ブレス	ハイエース	LH178	5L	1	29,416	6	32,363	995	19,482	
会宝産業本社	30	9	2014		'	液処理	ハイエース	LH178	5L	1	0	18	0	0	0	

図１４：画面イメージ

（１）-B：株式会社啓愛社（KEI）の研究
①　背景
　ELV の WS ガラスに使用されている合わせガラスの中間膜とガラスカレットの完全分離を自動車解体業者の立場にたって取り組む。
中間膜、ガラスカレットともに水平リサイクルが世界的に始まっていないので WS ガラスからそれぞれの完全分離を達成して水平リサイクルの推進を目指して平成２５年９月から研究を行った。

②　目的・目標

ELV の WS ガラスの切り出し除去に有効な機械工具を実証し選定する。
中間膜の剥離に有効な剥離液を開発し最適使用条件まで実証する。

③　実績

③−１、切り出し除去

ELV の WS ガラスを切り出し除去する工具を選定し、１台当たりに必要な作業時間を実測した。　エアーソーと丸鋸に絞り込みを行い１００枚の比較テストを様々な ELV で実施したところ丸鋸は平均 4.5 分程度必要であったが、エアーソーは１分あれば殆どの車種が解体できた。
切り出し工数を時間あたり６，０００円として作業時間差３．５分をコスト換算すると１枚あたり３５０円の差が生じる。
丸鋸は、切断中の切粉の飛散が多く集塵機の使用が不可欠であることもランニングとイニシャルの両面でのコストアップにもつながる。　作業上も丸鋸本体からホースの取り回しも作業性の悪化につながり集塵機のメンテナンスも工数に大きな影響を与える要因になることが判明した。　１０枚の切り出しで集塵機の清掃に約１時間要した。
以上より切り出し作業においてはエアーソーを使用した場合が安全性、作業性、経済性において優れているという結果が得られた。

③−１−１、切り出し作業用工具

（a）エアーソータイプ

図１：ガラス切断専用刃物

図２：専用刃物拡大図

(b)　丸鋸タイプ

図３：丸鋸と集塵機

図４：集塵機本体

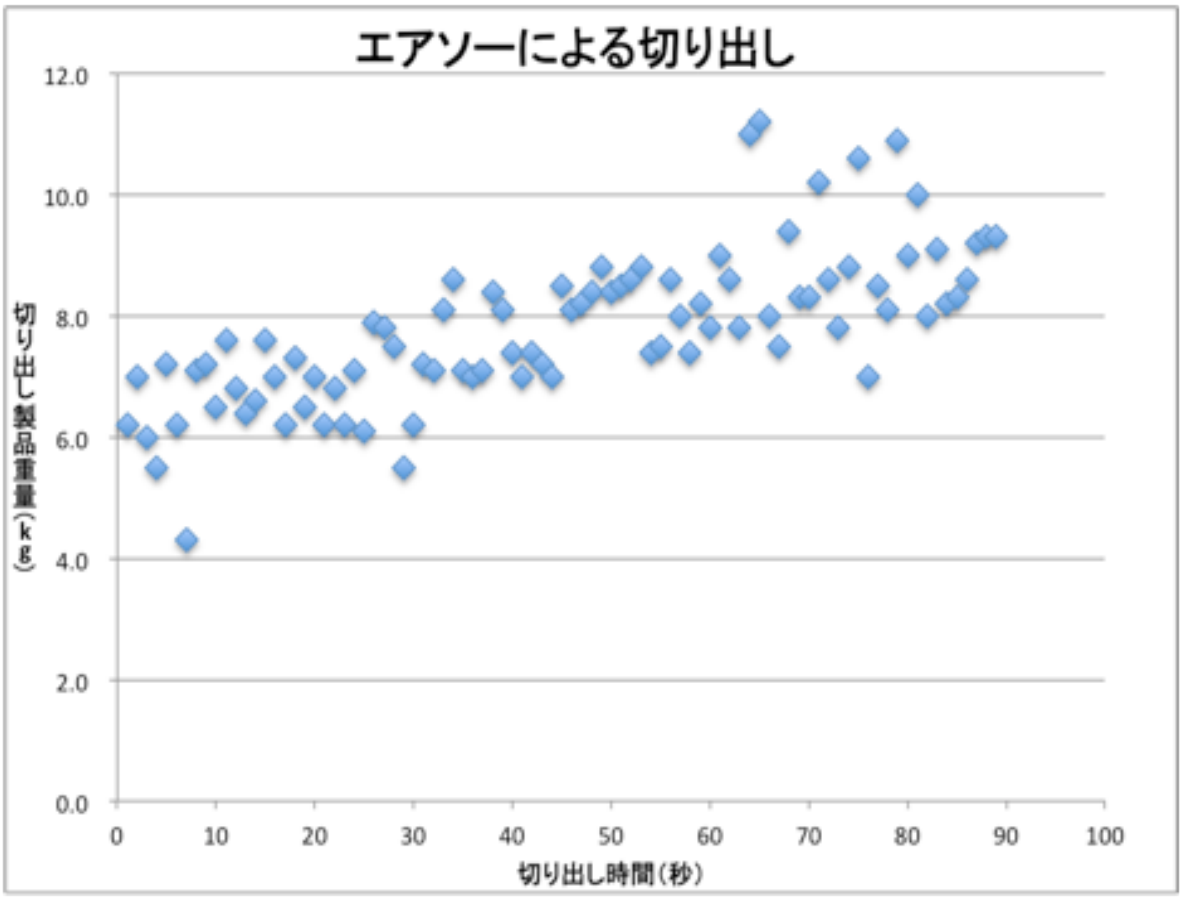


図５：エアーソー使用による各種ガラスの切り出し時間の実測

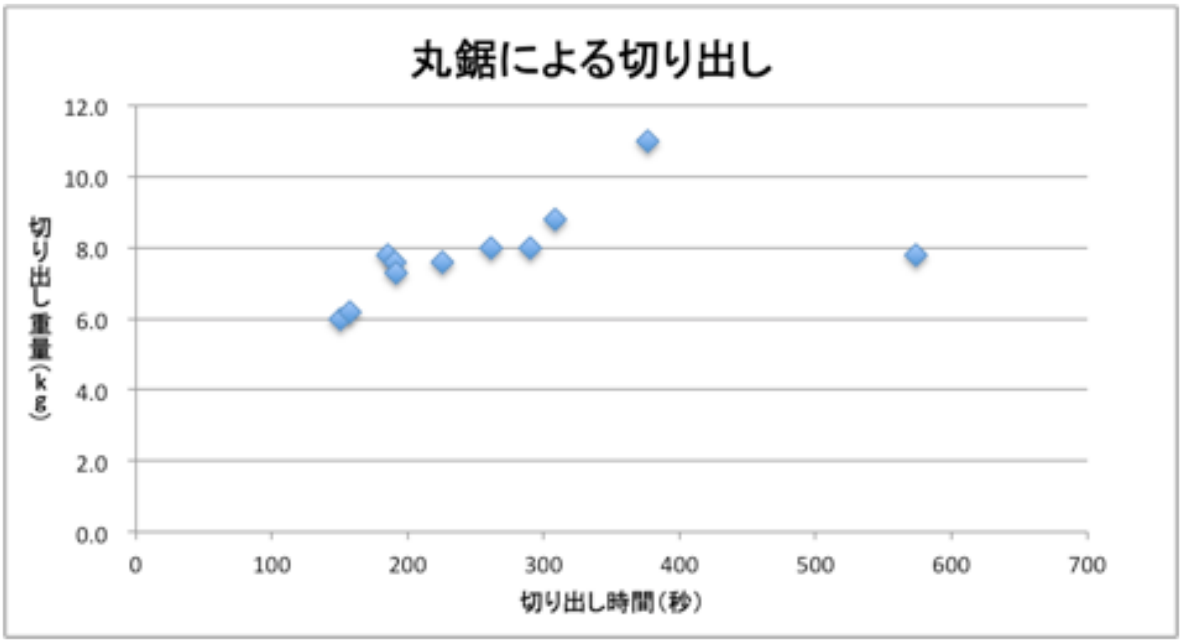


図６：丸鋸使用による各種ガラスの切り出し時間の実測

（２）　使用済み自動車から自動車ガラスを回収することによる経済性評価の調査研究

ヤマコー株式会社（YMK）の研究開発

① 背景

自動車解体業者が事前にガラスを回収することが後工程（破砕業者、全部利用者、再資源化業者、非鉄精錬業者）で環境メリットが高いことは実証済である。

しかしながら、自動車ガラスの回収方法や回収したガラスの運搬物流やリサイクル方法や解体業者の事業性については十分な評価まで至っていないため明確化することが求められた。

事業面のメリットが解体業者に反映するためには、ガラスを解体した後のプレス品の価値が上がることが必要である。

② 目的・目標

解体業者で事前にガラスを回収することの事業性の立証確認と課題の明確化

③ 実績

４３台分（約２０トン）のELVから事前に部位ごとのガラスを回収して専用のコンテナを使用してカレット業者に運搬しガラスの品質評価を行い有価でのガラスカレットの取引について評価検証した。

ガラスの無い自動車プレス（エコプレス）を電炉メーカーに運搬し、ガラス無しによる電炉スラグの減少効果、鉄比率が工場する事による新電力量の削減効果を評価、購入価値に反映出来るのか検証を実施した。

表１の通り、１台あたりの自動車のプレス重量は、通常時で４６９kg、ガラスとバンパーの取り外し時で４４２kgである。

鉄分比率としては、通常プレスでは６５％、取り外し時では６９％となる。この場合のASRの引き取り価格はどちらの場合も１０，３６４円であることから鉄単価としては、２２．１円が２３．５円となりkgあたり約１．４円の価値しかアップしないことになった。

現状から鉄単価が桁違いにアップして解体業者がガラス解体にかかる時間の約２６分（１０４０円程度）のコストを回収するには、エコプレスの引き取り価格が１１、４０４円以上に上がらなければ経済的に成立しない。この場合のkg単価は２５．８円となる。つまり通常プレスの約１７％アップの鉄単価アップが求められる。

上記では、取り外したガラスの価値をゼロとして計算したので、ガラスなどの

有価価値が物流経費以上見込めたら実施する意義はあるといえる。

1.平均重量

A	B	C	D	E	
プレス重量(kg)	Fガラス重量(kg)	リアサイド重量(kg)	樹脂重量(kg)		
			バンパー	内装	
442.07kg	9.0kg	11.0kg	4.62kg	2.28kg	468.97kg

2.取外し前の鉄分比率 → 一般的なASR量 30%で試算

	F	G	H	I		
通常プレス	取外し前プレス重量(kg)	鉄重量(kg)	ダスト重量(kg)	鉄分比率		
	(A+(B+C+D+E))	(F*65%)	(F*35%)	(G/F)		
	468.97kg	304.83kg	164.14kg	65%	@22.10/kg	¥ 10,364
	468.97kg					

3.取外し後の鉄分比率

	F″	G″	H″	I″		
樹脂・ガラス取外しプレス	取外し後プレス重量(kg)	鉄重量(kg)	ダスト重量(kg)	鉄分比率		
	(A)	(G)	(H-(B+C+D+E))	(G/F)		
	442.07kg	304.83kg	137.23kg	69%	@23.45/kg	¥ 10,364
	442.07kg					
				値差	@1.35/kg	

表１：鉄分比率とガラスの有無によるプレス品の比較

④ ガラス解体

図１： 左図：WS のガラス切断後、 右図：BL のガラスを割った後

図２：取り外し後のガラスの運搬保管用コンテナ

（３）　廃ガラスの効率的な収集・運搬等の研究開発

株式会社浜田(HMD)の研究開発

① 背景

ELV（廃棄自動車ガラス）をはじめ市場より発生する各種ガラスを効率よく収集運搬するために最適なコンテナを研究開発することが必要である。
特に自動車ガラスのリサイクルにはWS(ウィンドシールド)、BL(バックライト)、FD（フロントドア)、RD（リアドア）など全ての部位が任意の曲率をもった曲面形状であるため運搬保管用として専用のコンテナが必要になる。
各産業分野別にガラスの収集ができなければガラスが種類分けできず組成の異なるガラスが混載されるリスクが高まりリサイクルを促進することができない。

② 目的・目標

解体済みのWSを対象として取り扱いが容易でトラックの運搬効率が最大となるコンテナを設計製作する。
各産業分野別に廃ガラスを収集運搬する。

③ 実績

③−１−１、コンテナの開発

フォークリフトによる荷扱い、ガラスの出し入れの作業性、保管時の安全性に考慮して、最適なコンテナを量産化するために２年間にわたりコンテナの試作を実施してGReATサプライチェーンの会宝産業（株)、(株）ホンジョー、ヤマコー（株）による実ガラスを使用した運搬、保管、作業性の確認テストを繰り返し実施して最終的な使用決定まで実施した。

＜平成24年度＞

自動車ガラスを縦に立てられるように、コンテナを設計した。10 トンウイング車を運搬用トラックとして、2段高さで2列、5行の積載を可能としている。

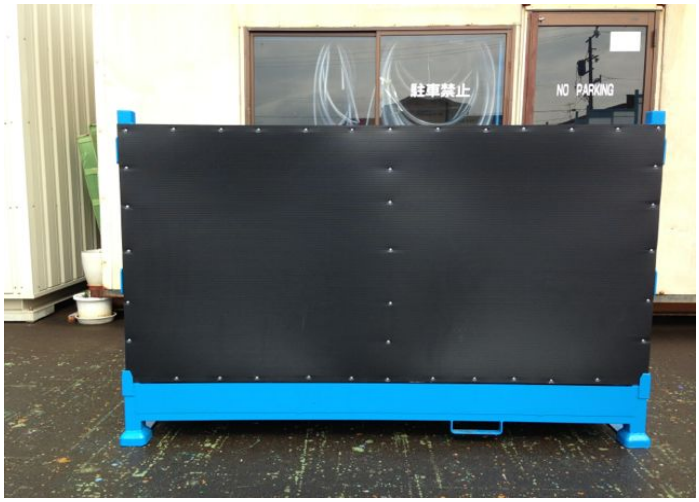


図 1. 試作コンテナ（前）

図 2. 試作コンテナ（横①）

図 3. 試作コンテナ（横②）

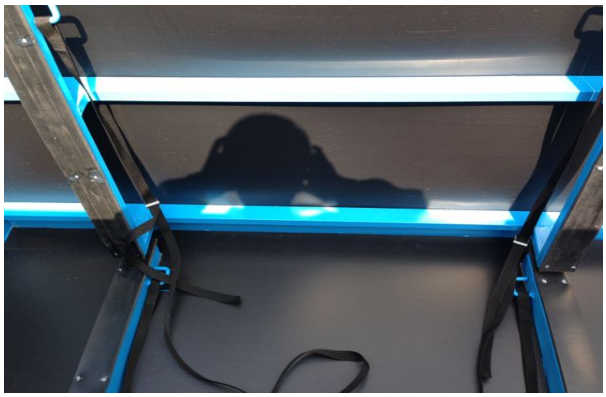


図4. 試作コンテナ（中）

＜平成25年度＞

自動車ガラスを縦に立てられるように、コンテナを設計した。10 トンウイング車を運搬用トラックとして、2 段高さで2列、4行の積載を可能としている。

図5. トラック内コンテナ

図6. ガラス積載状況

平成24年度、平成25年度と縦置きコンテナの設計を4回、試作を2回実施して各種確認実験を行った。
結果として、ガラス積載枚数や積込作業の作業性など実施した結果、平置きコンテナの方が運搬効率及び作業効率が向上するという結論に至った。
＜平成26年度＞
自動車ガラスを平置きできるように、コンテナの最終設計を行った。
しかし、WS ガラスの解体が進むまで汎用性が低いことから、試作・製作には至っていない。
表1：コンテナの仕様

項目	対象	GM 折りたたみ縦置式	GMV折りたたみ平置式
コンテナ芯間寸法	W（巾）	1870mm	1870mm
	D（奥）	890mm	1006mm
	H（高さ）	1225mm	1000mm
コンテナ外形寸法	W（巾）	1964mm	1964mm
	D（奥）	984mm	1100mm
	H（高さ）	1225mm	1000mm
コンテナ折り畳み	H（高さ）	550mm	518mm
ガラス積載許容枚数		50枚	60枚
コンテナ自体重量		約110kg	約130kg
コンテナ最大総重量		約785kg	約940kg
トラック荷台積み荷コンテナ数	1段	8PL	8PL
	2段	16PL	16PL
トラック荷台空荷コンテナ数		32PL	32PL
コンテナ空保管時の許容高さ		12段	12段
専用台車の使用		可能	別途

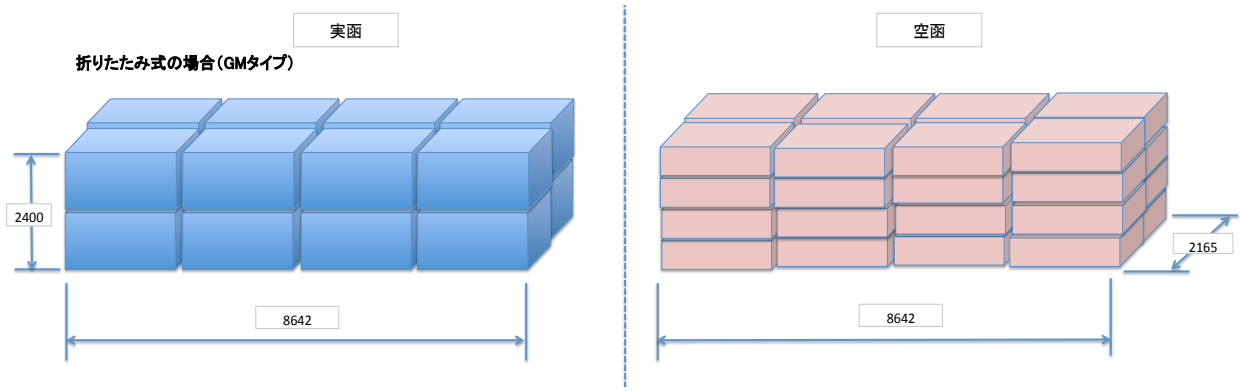


図7：トラックの最大積み函数（左図：ガラスあり、右図：空の場合）

③−１−２、収集運搬実績

表１．ガラス取り扱い実績（単位：kg）

	GMV	GML	GMPV	GMA	GMO
平成 24 年度	800	137, 700	42, 360	132, 580	0
平成 25 年度	2, 310	484, 159	98, 660	929, 730	0
平成 26 年度（2 月時点）	0	112, 149	93, 040	718, 180	23, 743
RUM ｱﾗｲｱﾝｽ	3, 745, 600	0	0	0	0
GReAT2	0	0	466, 643	0	0
合計	3, 748, 710	734, 008	700, 703	1, 780, 490	23, 743
総合計	6, 987, 654				

（株）浜田が本活動で実施した実績をグラフとマップで示す

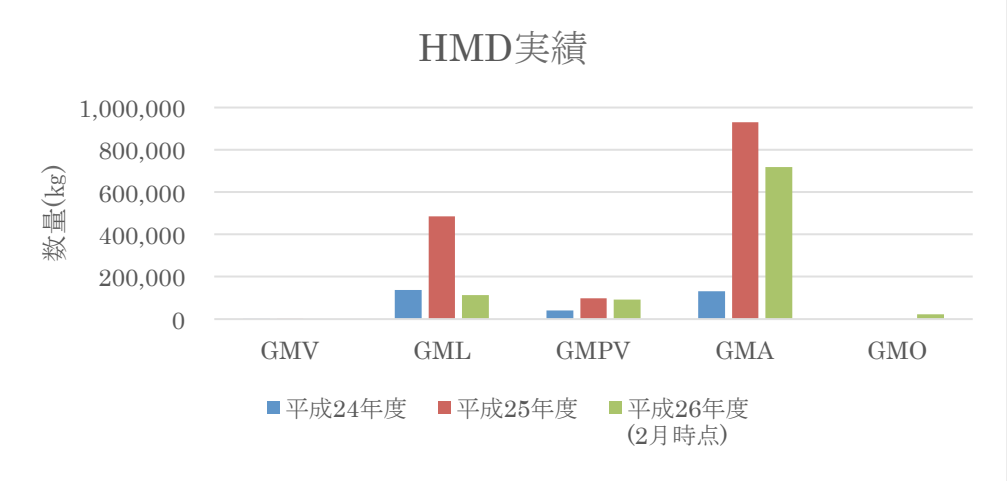
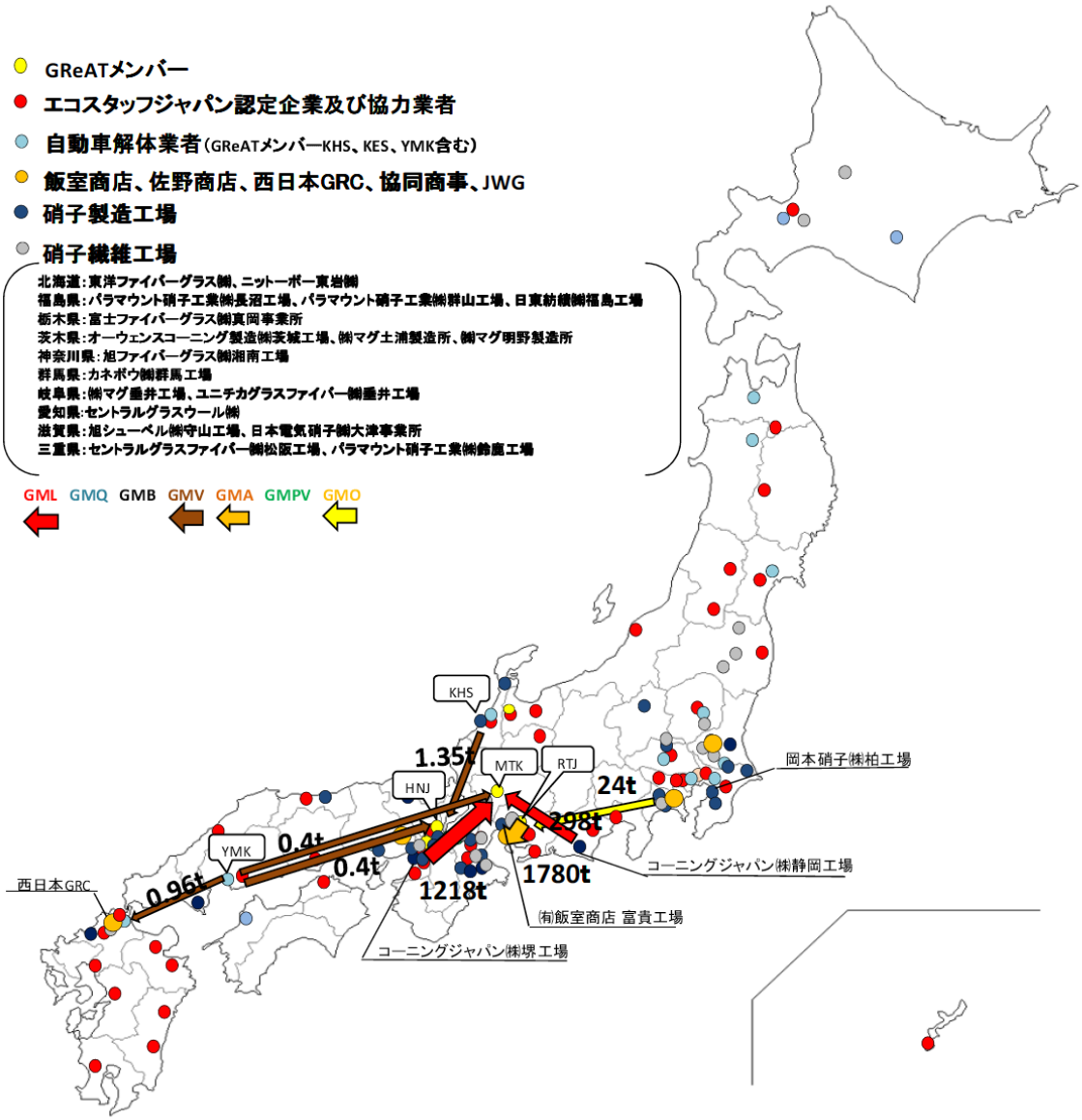


図８：ガラス収集運搬の実績

拠点マップ（収集運搬）



■移動距離について

排出事業場	持込み先	移動距離
コーニングジャパン㈱堺工場	MTK	242km
コーニングジャパン㈱静岡工場	MTK	157km
RTJ	㈲飯室商店富貴工場	38.4km
岡本硝子㈱柏工場	RTJ	385km
KHS	HNJ	272km
YMK	HNJ	356km
YMK	㈱西日本GRC	221km

図９：収集運搬ルート

GReAT 活動拠点図

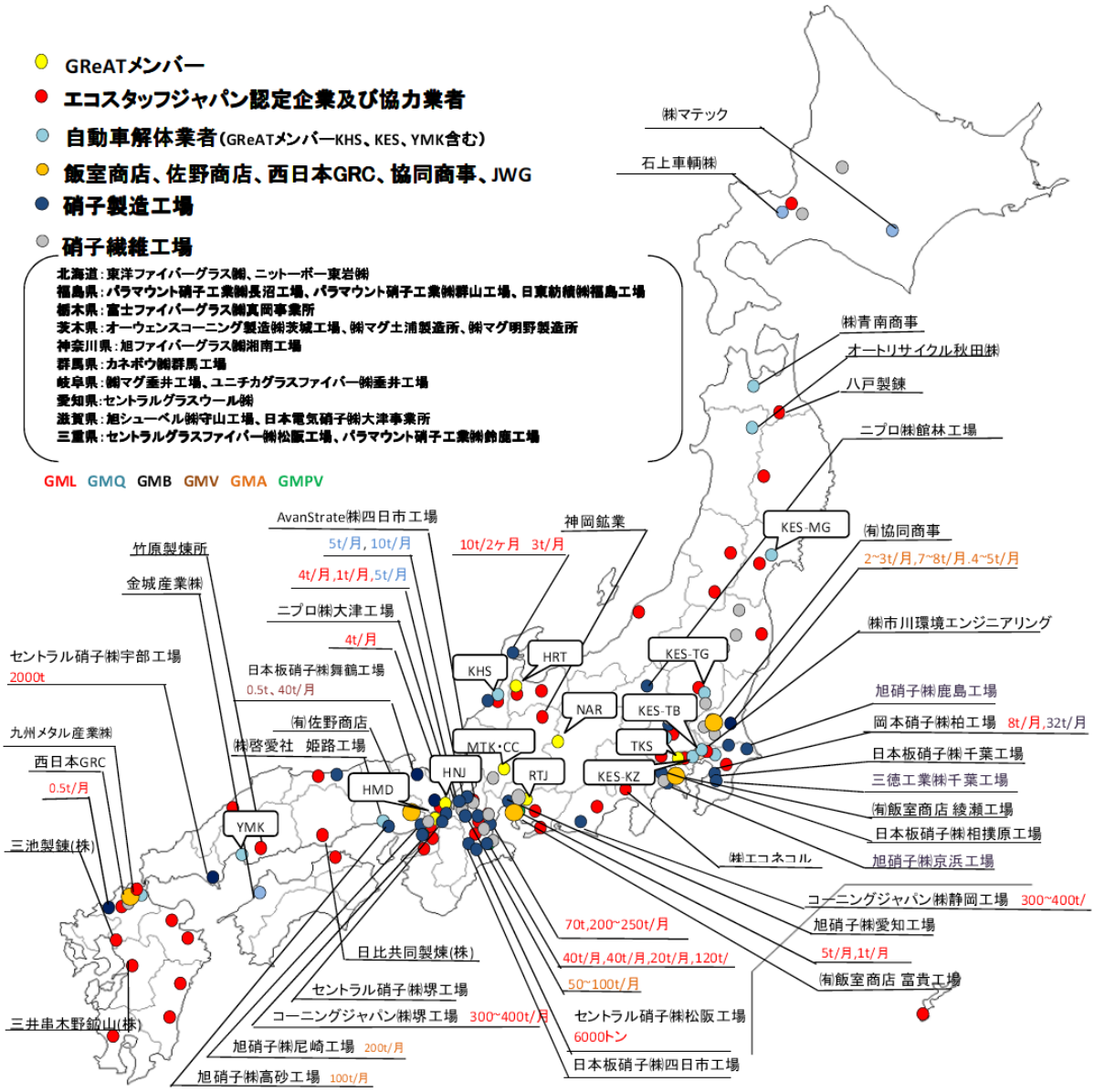


図１０：国内拠点マップ（廃ガラス拠点と回収拠点）

（４）　廃ガラスの選別・分離等の研究開発

リサイクルテック・ジャパン株式会社(RTJ)の研究開発

①　背景

　廃棄される遊戯機器は年間約１５０万台あり、年間約４５００トンの産廃ガラスが発生している。

液晶ガラスや太陽光パネルにはプラスチックや銀などの非鉄金属が付着しておりまだ適正な処理方法が定まっていない。

ELV の WS が日本自動車ガラス販売施工事業協同組合(JAGU)中部３県から１０、０００枚／月発生しており現状は有価で廃棄物処理に廻っている。

② 目的・目標

　日本全体の遊戯機器の約２６％がリサイクルテック･ジャパンの取り扱いシェアである。

このシェアに相当する年間約１２００トンのガラスの再資源化を行う。

液晶や太陽光パネルの再資源化を目指し年間約３６００トンの再資源化を行う。

WS のリサイクルは経済合理性があるか試算を行って可能であれば設備導入を行いリサイクルを推進する。

③ 実績

③−１、遊技機ガラス

　初年度にドニコ製合わせガラス破砕機を検討し、遊技機ガラスの厚みが 10 ミリ以上あったためロールのクリアランス幅の上限を８㎜から１５㎜に改良した装置を導入。また導入当初は破砕機のガラスカレットの受け口が台車になっており、作業効率が悪かったが、ベルトコンベアを排出口に設置することによりプラスチック製外フレームの除去がコンベア上で一人の作業者で可能になり、作業効率がよくなった。

図１：コンベア導入前の破砕機

図２：コンベア導入後

図３：破砕機による外フレームの分離

図４：破砕機による破砕後のガラスカレット

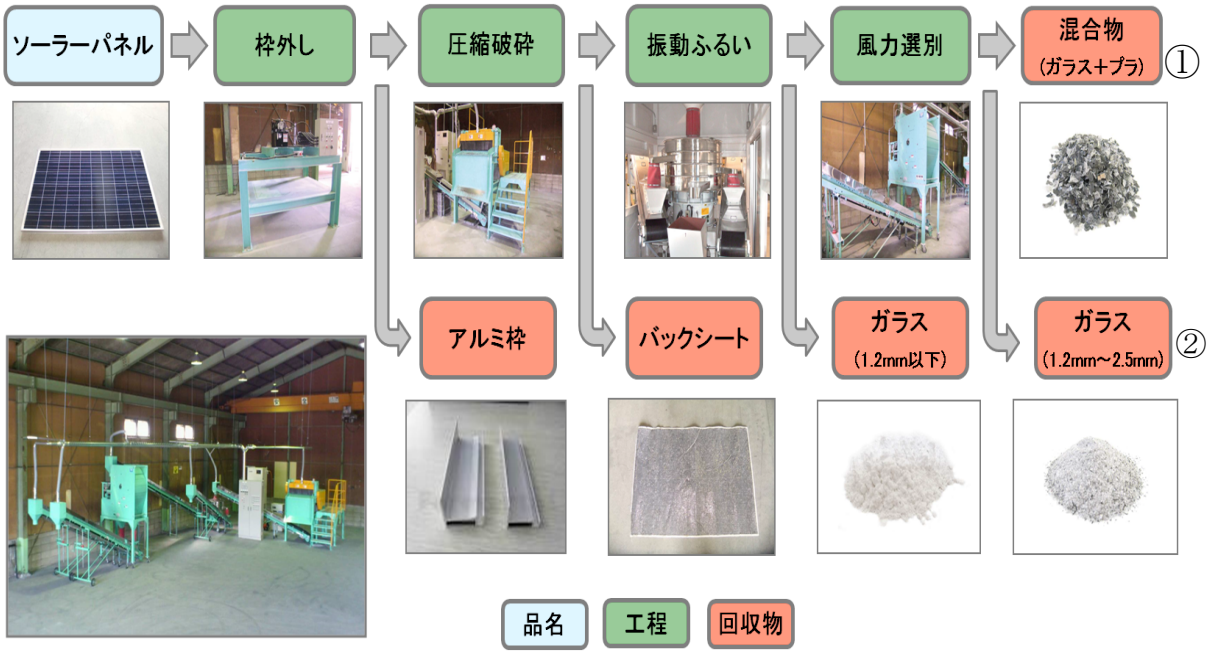
③−２、太陽光パネルガラス

ガラスとセル（バックシートや非鉄金属）を分離するために遊技機用ガラスの剥離機を使用してテストを行ったが分離できなかった。弊社にある裁断破砕機だと処理能力が低すぎるため、ロール破砕機のメーカーで設備導入を図り実験を行った。

また、太陽光パネルにはアルミフレームが付いている為、油圧式アルミフレーム外し機も導入しガラス分離を行った。

実験した工程は、下記のフロー図の流れの通り枠外しの後ロール破砕、振動篩、風力選別で実施した。

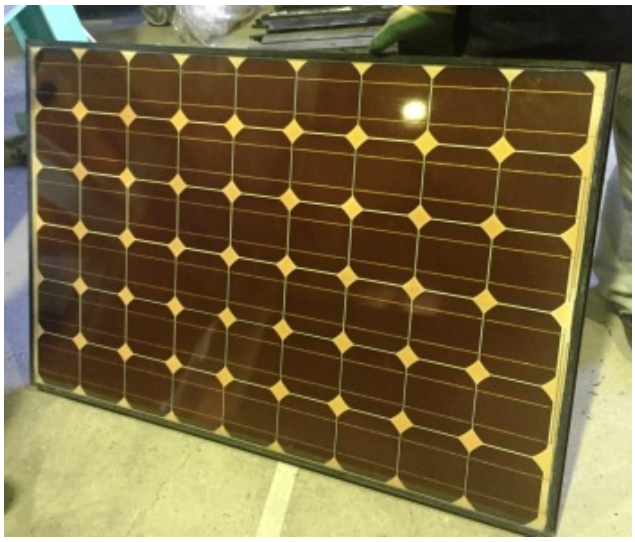
表１：工程フロー図



アルミ外枠外し工程
エアシリンダーで外に引っ張る方式を実験するが、アルミ枠とパネルが強固に接着されており容易に外れないため油圧シリンダーで内から外に押し出し方式に変更し製作した。

図５：エアシリンダーの引っ張り実験

図６：実機は油圧押し出し式



シャープ製結晶系（1320*1000）
図７：実験に用いた太陽光パネル

③−３、自動車の WS ガラス
WS のリサイクル設備は、経済性を考慮した場合中間膜の売却単価に左右されるため現在の再生中間膜の販売ルートが確立できていない状況において本格設備の導入は時期早々と判断し設計までで中断して設備導入は見送った。

④ 実験結果

④−１、太陽光パネルアルミ枠外し作業
アルミ枠が製造会社によりビスのみ、接着剤のみ、ビス+接着剤など色々な種類があり、今回のテスト品の場合は機械作業で取外時間が手作業と比較して約 1/3 の１枚当たり平均約７分になった。

④−２、圧縮式ロール破砕

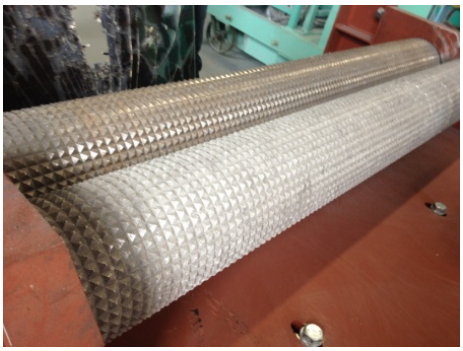


図８：ロール形状

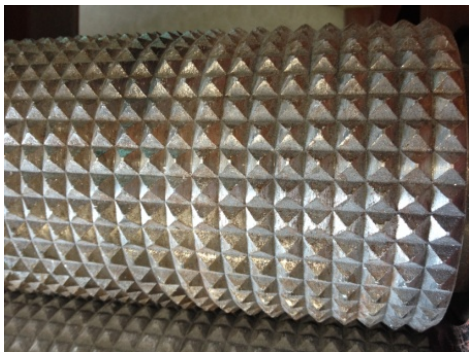


図９：ロール部拡大

圧縮破砕分離機の回転刃ロール形状を突起状にすることによりガラスとバックシートを破砕分別できるようにした。
回転ロールのすきま調整（０ミリ～１０ミリ）は可能。
破砕後の分級状況は、図１１、図１２の通り風力選別後異物ありには多くの BS やプラ類の混入が認められる。風力選別後異物小にも異物の点在が認められる。

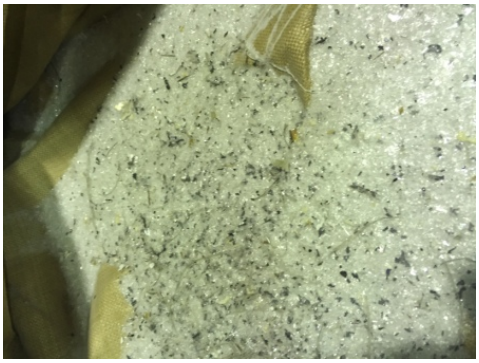


図１１：風力選別後異物あり

図１２：風力選別後異物小

図１３：ロール破砕後の太陽光パネル　図１４：破砕されたガラスカレット

⑤ 目標に対する達成度

⑤−１、廃棄遊技機の外枠プラスチック付ガラス

破砕機と付属のコンベアの設置により処理量が表３の通り圧倒的に増大できた。付属コンベア導入前の処理量は２５０ｋｇ/時間だったが、コンベア導入後５５０ｋｇ/時間に処理量が飛躍的に向上できた。

表３：年間処理量の推移

	種類	2012 年度	2013 年度	2014 年度予測	
遊技機廃ガラス	GMA	190,617	1,519,742	1,500,000	(kg)
廃遊技機台数		517,073	638,404	600,000	（台）
太陽光廃ガラス	GMPV	0	470,000	108,050	(kg)
廃パネル台数		0	23,500	5,402	（台）

プラスチックのガラス付着率が手作業（手割り）の状態よりも減少した。
プラスチック付ガラスの平均重量　３．０８ｋｇ
プラスチックのみの平均重量　０．２６ｋｇ
ガラスのみの平均重量　２．８２ｋｇ
破砕機の導入前（手割の状態）はプラスチック重量が平均０．４７ｋｇであることから０．２１ｋｇガラス付着の状況であった。
破砕機使用後でのプラスチック重量は０．３６ｋｇであることから０．１０ｋｇガラス付着の状況に減少できた。

破砕機によって１３０％（プラスチック重量比）ガラスの付着が少なくなっており、プラスチックを業者さんに有価で売却可能となった。

遊技機ガラスを設備導入する前は全数を廃棄処分して、もし再資源化を行えなければ１０円（仮）/ｋｇの処分費用が発生し約３４００万円の費用がかかっていた。設備導入し再資源化することにより１４５０万円の売上が発生した。よって間接経費を考慮しない場合において過去と比較して約４８５０万円の利益に貢献している。

表４：経済性評価

	2012 年度	2013 年度	2014 年度	合計
① 発生量	190,617	1,519,742	1,500,000	3,210,359
再処分費（仮）@-10 円/kg	-3,812,340	-15,197,420	-15,000,000	**-34,009,760**
② 発生量	190,617	1,519,742	1,500,000	3,210,359
カレット売上 @4 円/kg	857,777	6,838,839	6,750,000	**14,446,616**

⑤-２、太陽光パネルガラス

結晶系の太陽光パネルガラスとして京セラ製品、東芝製品の圧縮ロールによるガラスの剥離を実験した結果、同じ機械に１回目、２回目、３回目と投入することでガラスの剥離が２６％～４１％程度であることがわかった。

薄膜系の太陽光パネルガラスは１回目の投入でほぼ９０％の重量のガラスが破砕できることが分かった。

よって、投入する際に、パネルが大きい（重い）と作業員のハンドリングが悪く作業効率も落ちる。

ガラスが売却できるようにある程度セル屑側にガラスを残した状態で剥離試験を行ったが、パネルの種類により剥離率が約 20%～90%と全く異なる。

シリコン系多結晶・単結晶パネルはガラスの剥離率が低いので今後剥離率が向上するように設備改良と条件設定が必要である。

表５：京セラ　多結晶パネルによるガラスの剥離率

9,847kg

破砕１回目	分別重量	割合
1.2～2.5	615	6%
2.5～５	548	6%
風力選別	6	0%
セル屑	8,425	86%

8,425kg

破砕２回目	分別重量	割合
1.2～2.5	559	6%
2.5～５	488	5%
風力選別	3	0%
セル屑	7349	75%

7,349kg

破砕３回目	分別重量	割合
1.2～2.5	647	7%
2.5～５	464	5%
風力選別	1	0%
セル屑	6216	63%

集塵		0%
合計	**9,594**	**97%**
ロス	253kg	3%

集塵		0%
合計	**8399**	**85%**
ロス	26kg	0%

集塵		0%	ガラス剥離率
合計	**7328**	**74%**	**26%**
ロス	21kg	0%	

表６：東芝製　多結晶パネルによるガラスの剥離率

9,951kg

破砕１回目	**分別重量**	**割合**
1.2～2.5	1,240	12%
2.5～５	1,330	13%
風力選別	48	0%
セル屑	7,228	73%
集塵		0%
合計	**9,846**	**99%**
ロス	105kg	1%

7,228kg

破砕２回目	**分別重量**	**割合**
1.2～2.5	620	6%
2.5～５	620	6%
風力選別	12	0%
セル屑	5966	60%
集塵		0%
合計	**7128**	**72%**
ロス	100kg	1%

5,966kg

破砕３回目	**分別重量**	**割合**	
1.2～2.5	389	4%	
2.5～５	353	4%	
風力選別	5	0%	
セル屑	5173	52%	
集塵		0%	ガラス剥離率
合計	**5920**	**59%**	**41%**
ロス	46kg	1%	

表７：シャープ製　薄膜系パネルによるガラスの剥離率

151,062kg

破砕１回目	**分別重量**	**割合**
1.2～2.5	48,339	32%
2.5～５	84,594	56%
風力選別	755	0%
バックシート	15,106	10%
集塵	1,510	1%
合計	**150,304**	**99%**
ロス	758kg	1%

15,106kg

破砕２回目	**分別重量**	**割合**
1.2～2.5	1510	1%
2.5～５	1510	1%
風力選別	75	0%
バックシート	10272	7%
集塵	1510	1%
合計	**14877**	**10%**
ロス	229kg	2%

10,272kg

破砕３回目	**分別重量**	**割合**	
1.2～2.5	1027	1%	
2.5～５	1027	1%	
風力選別	51	0%	
バックシート	6163	4%	
集塵	1027	1%	ガラス剥離率
合計	**9295**	**6%**	**94%**
ロス	977kg	10%	

（５）　網入りガラスと自動車ガラスの分離・洗浄等の研究開発

株式会社ホンジョー(HNJ)の研究開発
① 背景
　ELV（使用済み自動車）の WS（ウィンドシールド）の合わせガラスと GMA の合わせガラスには PVB（ポリビニールブチラール）中間膜が付着しており完全分離が難しいため、長年産業廃棄物として埋め立て処分されている。
ELV の BL（バックライト）の熱線にはガラス表面に銀がプリントされているが、完全分離が難しいため産業廃棄物として埋め立て処分されている。
建材用網入りガラスの網とガラスの完全分離技術が確立されていない。

① 目的・目標
　ELV の WS（ウィンドシールド）や GMA の合わせガラスを一次破砕装置で破砕した後で、剥離液を使用した湿式法によりガラスと中間膜を完全分離する。
剥離液の最適温度や濃度を実証試験により確立する。
ELV の BL からの銀の回収には、薬品による湿式法を導入し分離後のカレットの活用やリサイクルも可能にする。
建材網入りガラスについてハンマー型破砕機を使用してガラスとワイヤーの完全分離方法を確立する。

② 実績
② －１-1、自動車用合わせガラス（GMV-WS）の破砕
　合わせガラス専用破砕機（FDS650 型破砕機）＜図 1＞により、自動車用合わせガラスをガラスと中間膜に分離することにより双方を再資源化する方法を検証した。
可能な限り中間膜を傷つけず、またガラスカレットの粒度を細かくなり過ぎない二軸ロールの最適クリアランスを検証した。　７㎜ の合わせガラスに対し、２．０～２．５㎜（室温２３～２５℃）のクリアランスが最適である（図２）。ただし、作業環境（主に気温）によって中間膜の固さが変化するので、作業環境を安定させる必要がある。
破砕は標準の１．２m／分の２倍の速度でも良い結果が得られるた。再生中間膜の基準を満たすためには重要な工程であるので、更なる効率化と最適化を検証する必要がある。スピードを早くすることができたので剥離工程の効率化が進むことにつながる。

図１：FDS650 型破砕機

図２：破砕後ガラスカレット

③－１－２、自動車用合わせガラス（GMV-WS）の中間膜剥離

破砕後にガラスが付着した中間膜を、専用バレル＜図３＞を用いた湿式法により、付着したガラスカレットと PVB 中間膜に完全に分離し回収する方法を検証した。結果として洗浄剥離液の最適温度は４０℃～５０℃である。最適な条件は検証できたが、最適な洗浄液を検証する必要がある。

図 3：中間膜専用バレル

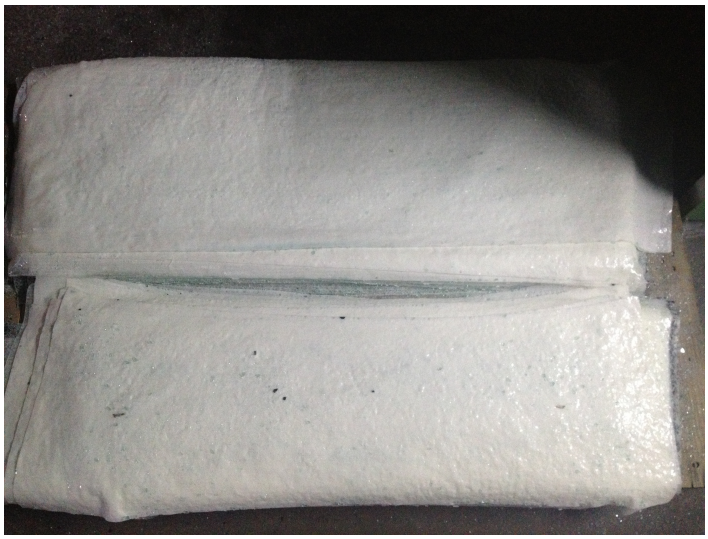


図 4：洗浄前中間膜

図 5：洗浄後中間膜

図 6：乾燥後中間膜（折りたたんだ状態）

③−２−１、自動車用強化ガラス（GMV-BL）の熱線回収

破砕されたGMV-BLから、湿式法により熱線部分の銀を回収する方法を検証した。ビーカー実験により薬品、その濃度および温度の組み合わせ条件を検証した結果、フッ化水素酸による剥離が最も効率がよかった。濃度は１%前後、薬品温度は約４０℃が最適であった。

図７は熱線剥離の写真で表１はガラスと銀の分離結果である。

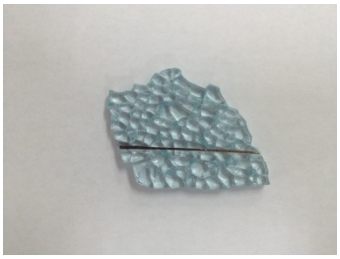
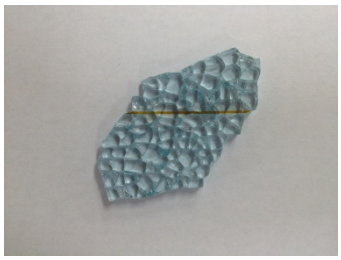
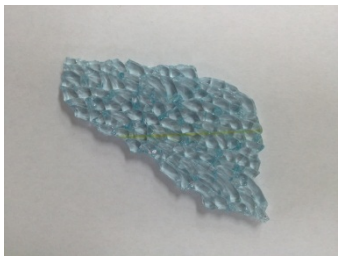
熱線剥離処理まえ	熱線剥離処理あと	
		

図７：GMV-BLの湿式処理による熱線剥離

表１：GMV-BLの湿式剥離による実験結果

	粒度選別	風力選別	
名称	GMV-BL（※1）	GMV-BL	AGV（※2）
画像			
重量	5.16kg	0.027kg（27.45g）	0.009kg（8.88g）
重量比（w%）	99.2%	0.05%	0.02%
銀純度			7.1%（0.63g）※3
価格	¥32(¥6/kg)	¥0.16(¥6/kg)	¥63(¥7,029/kg) （2013/1/24相場）

※1 GMV-BL：Glass Material from Vehicle Back Light

※2 AGV：Ag（銀）from Vehicle

※3 三井金属鉱業(株)分析データによる

図８：熱線の銀

③−３−１、液晶パネルガラス（GML）のリサイクル

液晶パネルからの偏光板剥離と湿式洗浄によるガラス洗浄とレアメタルの回収を研究した。電気炉にてある温度で約３～５分程度加熱すると接着剤が軟化し偏光板が剥がれやすくなる。偏光板を剥がした後フッ化水素酸で洗浄し剥離した固体を回収した。液晶ガラス洗浄後固体からのインジウムの存在が確認できたが、回収量が極めて少ないため処理コストと比較して効率的な回収方法ではないと判断した。湿式以外の方法を検証する必要がある。

③−４−１、建築用網入りガラス（GMA-W）のリサイクル

ハンマー型破砕機による網入りガラスからの網（ワイヤー）とガラスの分離方法を検証した。手破砕により網入りガラスをある程度粗破砕後、 ハンマー型破砕機に投入し、ガラスとワイヤーの分離実験を行った。ハンマー型破砕機で比較的分離可能であるが、網が少し残るガラスがある。ある程度の粒度（２ミリ以上）を残しながら、網を分離できないとグラスウールの原材料としての受入基準を満たさないので、粒度を保ちながら分離することが課題である。５㎜以上のガラスには網が残存している率が高いため、篩をかけて５㎜以上のガラスを再破砕する。５㎜以下のガラスカレットは磁選機により、網単体及び網付きガラスカレットを分離し再度破砕する。ハンマー型破砕機で破砕し、ある程度の粒度にすることができる（図９）。　これをふるいにかけて、５㎜以上のガラスカレット（図１０）は再破砕し、５㎜下のガラスカレット（図１１）は磁選することによって、比較的大きな粒度のガラスカレットを回収することができた（図１３）。ガラスと網を多く分離することができた。１㎜のふるいで選別しても、　網単体がふるい下に混入する（図１４）。

ある程度の粒度を残しながら、網を分離できないとグラスウールの原材料としての受入基準を満たさないので、磁選機による網とガラスの分離精度を上げる必要がある。また１㎜下でも網単体が混入するため、５㎜下のガラスカレットを磁選し、できるだけ大きな粒度でガラスカレトの回収をすることが課題である。

図９：ハンマー型破砕機外観

図１０：　破砕後網入りガラスカレット

図１１：ふるい後 5mm 上網ガラスカレット

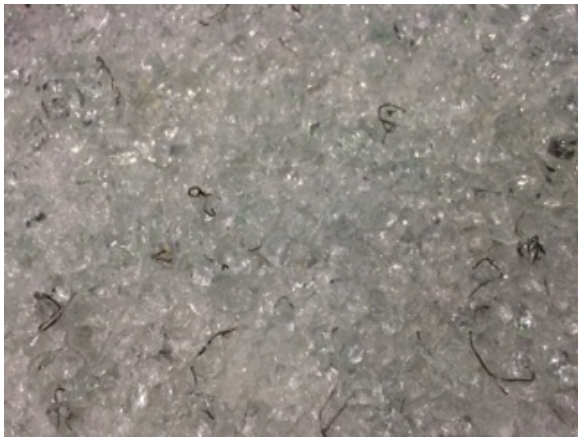


図１２：　ふるい後 5mm 下網ガラスカレット

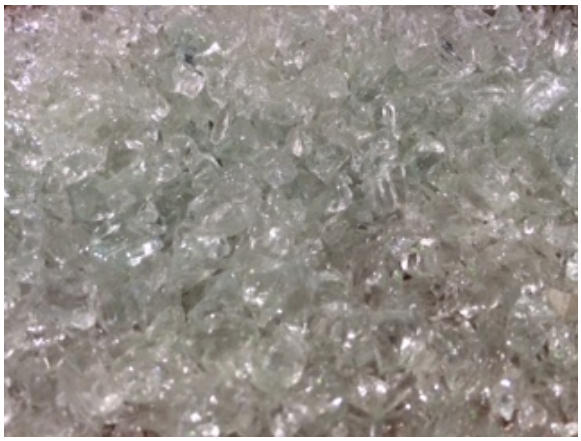


図１３：磁選によりワイヤーを除去後の 5mm 下ガラスカレット

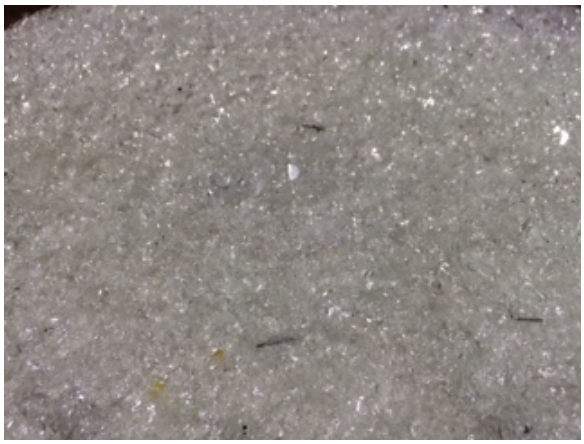


図１４：ふるい後 1mm 下ガラスカレット

（６）　自動車用合わせガラスから中間膜とガラスカレットの完全分離技術の研究開発

（６）-A：株式会社啓愛社（KEI）の研究

①　背景

ELV の WS ガラスに使用されている合わせガラスの中間膜とガラスカレットの完全分離を自動車解体業者の立場にたって取り組む。

中間膜、ガラスカレットともに水平リサイクルが世界的に始まっていないので WS ガラスからそれぞれの完全分離を達成して水平リサイクルの推進を目指して平成２５年９月から研究を行った。

②　目的・目標

中間膜の剝離に有効な剥離液を開発し最適使用条件まで実証する。

③-１、剥離液の開発

ガラスと付着した中間膜を完全分離するための剥離液の開発に取り組んだ。開発した中間膜剥離液による剥離効率に関する実証試験を行った。

開発予算	概要
剥離液開発費	合わせガラスのガラスと中間膜の剥離液
実証用剥離液	実証検証用(加温・共擦りによる剥離促進)の購入
実証用剥離装置	上記共擦りの検証用実験設備

剥離液の成分と特徴は以下の通りである。

主成分：官報公示整理番号 化審法 ： (1)-369 相当
水酸化カリウム水溶液
pH ：pH＞１１
物質 ：強アルカリ性
安全性：通常の取扱条件において安定である。（ゴム手の使用）
比重 ：１．４９（２０℃）

剥離液の液温の変化による剥離速度の実証を行った。
剥離液を一定の温度に加温・保温する事で、剥離促進の確認が出来た。
比較結果は以下の通りとなった。

表１：液温常温(未加温)

時間 (H)		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
1	評価	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
	水温	5.5	5.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	評価	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	水温	5.5	5.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
3	評価	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	水温	7.5	7.5	7	6.5	6.5	6.5	7.3	7.8	7.6	7.5	7.5	7.4
4	評価	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	水温	7.5	7.5	7	6.5	6.5	6.5	7.3	7.2	7.3	7.4	7.5	7.4

表２：液温(加温 25℃～35℃)

時間(H)		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
5	評価	0	1	1	1	2	2	3	3	4	5
	水温	26	28.7	29.5	31.8	35.1	33.4	33.1	32.5	31.5	31.5

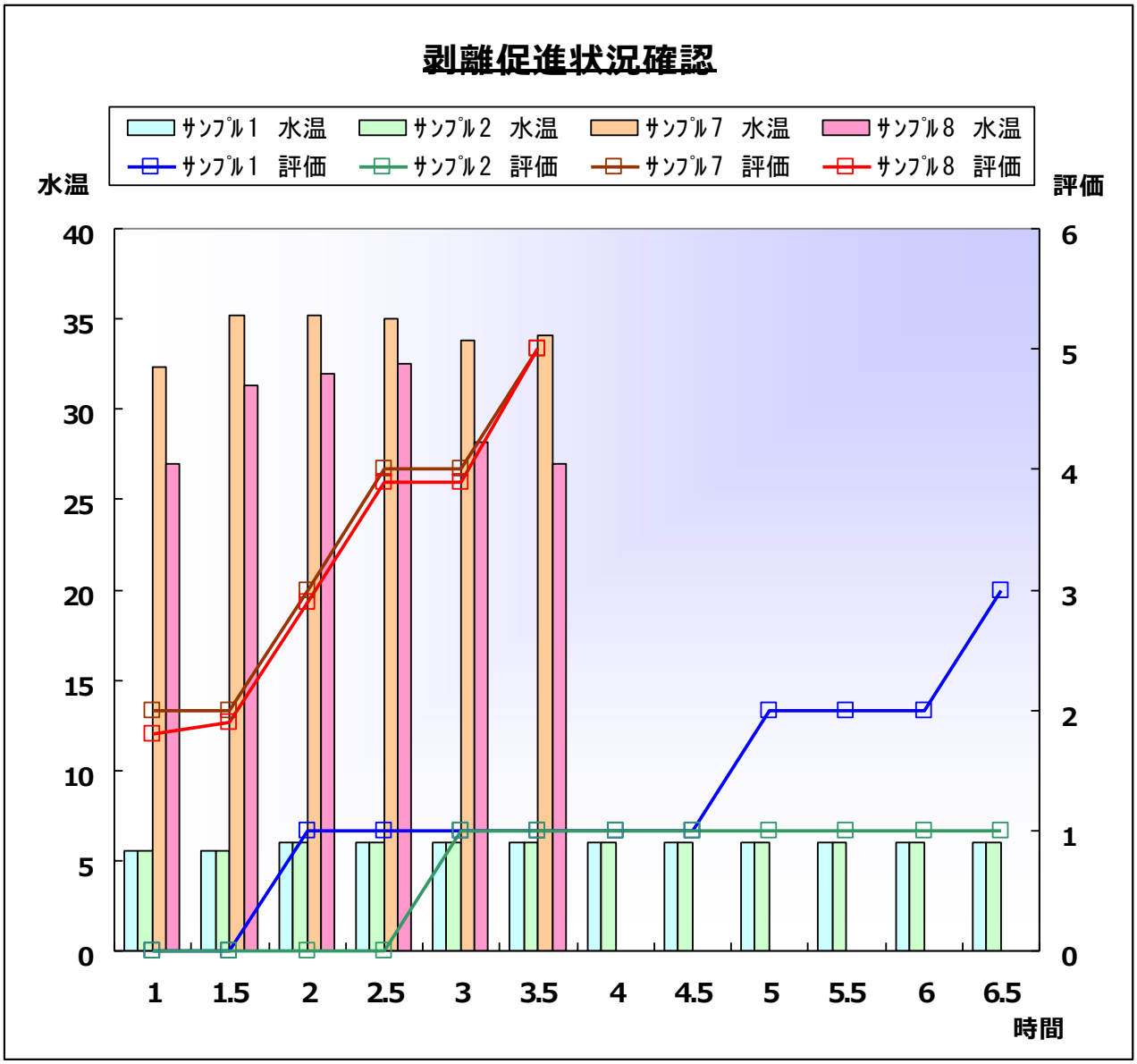


図７：剥離時間と液温の関係

サンプル１、２については当該液を常温（外気温）のまま使用した、１～２時間半ほどで剥離は進行するが６時間まで大きな変化は見られない。その後２４時間以内には剥離完了を確認した。
サンプル７、８では当該液を加温(設定値２５℃～３５℃)して使用した、1 時間経過時で常温と比較しても剥離状態に大きく違いが確認出来た。その後 3 時間半で剥離完了した。

結果として、剥離状況については、当該液を加温する事で剥離時間を短縮する事が実証できた。

更に、上記内容からガラス同士の共擦りを発生させる事で更なる促進が得られる可能性を見出した。
剥離効果を促進させる事、共擦り効果の検証を目的とした為、簡易的な剥離機を試作して、上記可能性の検証を実施した。
構造は、装置下部に剥離液の槽を設置しドラム缶を横にして、1/3 程が剥離液に浸かる様に設置し、ドラム缶が回転する事で剥離促進と、複数枚投入する事でガラス同士の共擦り効果を狙った。
実証中にドラム缶内部でガラス同士が絡まり作業性が著しく落ちたので、ドラム缶内に絡まり防止と共擦り促進の為の、突起物を追加した。

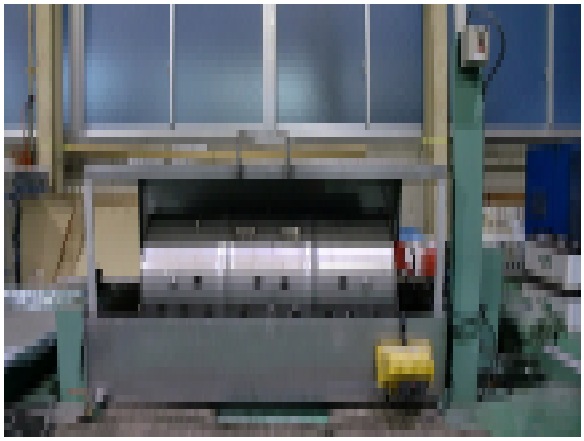


図８：簡易剥離機

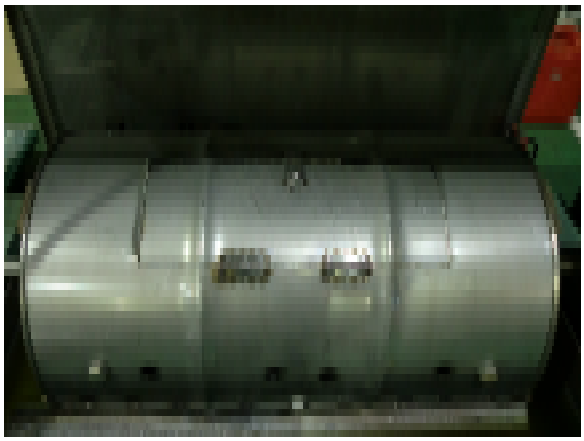


図９：剥離槽

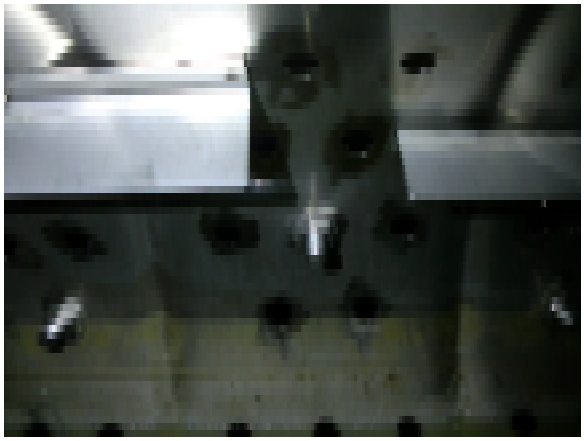


図１０：絡まり防止対策（突起）

剥離液温度 40℃（±5℃）

時間（分）		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	8	8.5	9	9.5	10	投入枚数
1	評価	0	0	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
2	評価	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5						10
3	評価	0	0	1	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	15
4	評価	0	0	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	20

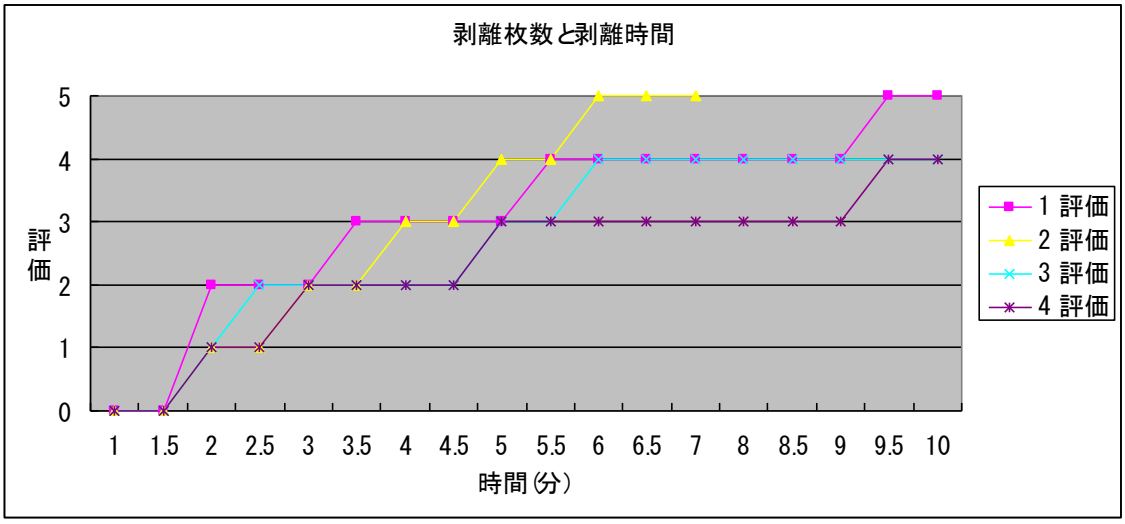


図１１：剥離時間による剥離状況変化

本試作機では液量を１００Ｌとし、剥離時間を１０分と設定したが、以上の結果より枚数を多くして共擦り効果を促進させる事にも上限があり等試作機（ドラム缶２００Ｌ）では、１０枚程度の投入量が最適だった。
更に効率(処理枚数)を上げるのであれば、剥離機全体の容量を上げれば１稼動当たりの処理枚数の増加は見込めると考えられる。

また、剥離液槽に溜まった、ガラスカレットの取出しがしやすい様に、ドラム缶に剥離槽底部からかきだし用にヘラを設置(写真下)した。ヘラを設置する事で剥離槽に落下したガラスカレットを剥離槽の前部に掻き集めてガラスカレットを回収し易くした。

図１２：ヘラ部分

表３：剥離液の濃度による、剥離状態の確認

	時間（分）	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	濃度(%)
1	**評価**	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
2	**評価**	0	0	0	1	2	2	2	3	3	4	5		10
3	**評価**	0	0	0	1	2	2	2	2	3	5			15
4	**評価**	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5			20

投入枚数は１枚

剥離液の濃度の状態を変える事による、剥離促進は濃度を上げることで若干の促進は見られた。

剥離液の濃度による、剥離状態の確認

	時間（分）	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	濃度(%)
1	評価	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
2	評価	0	0	0	1	2	2	2	3	3	4	5		10
3	評価	0	0	0	1	2	2	2	2	3	5			15
4	評価	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5			20

投入枚数は１枚

剥離液の濃度の状態を変える事による、剥離促進は濃度を上げることで若干の促進は見られた。

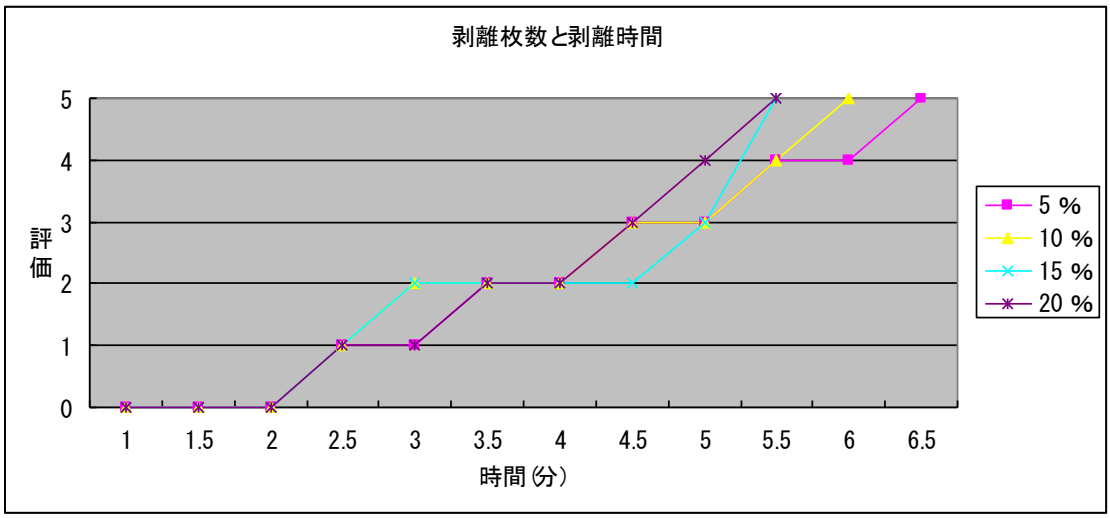


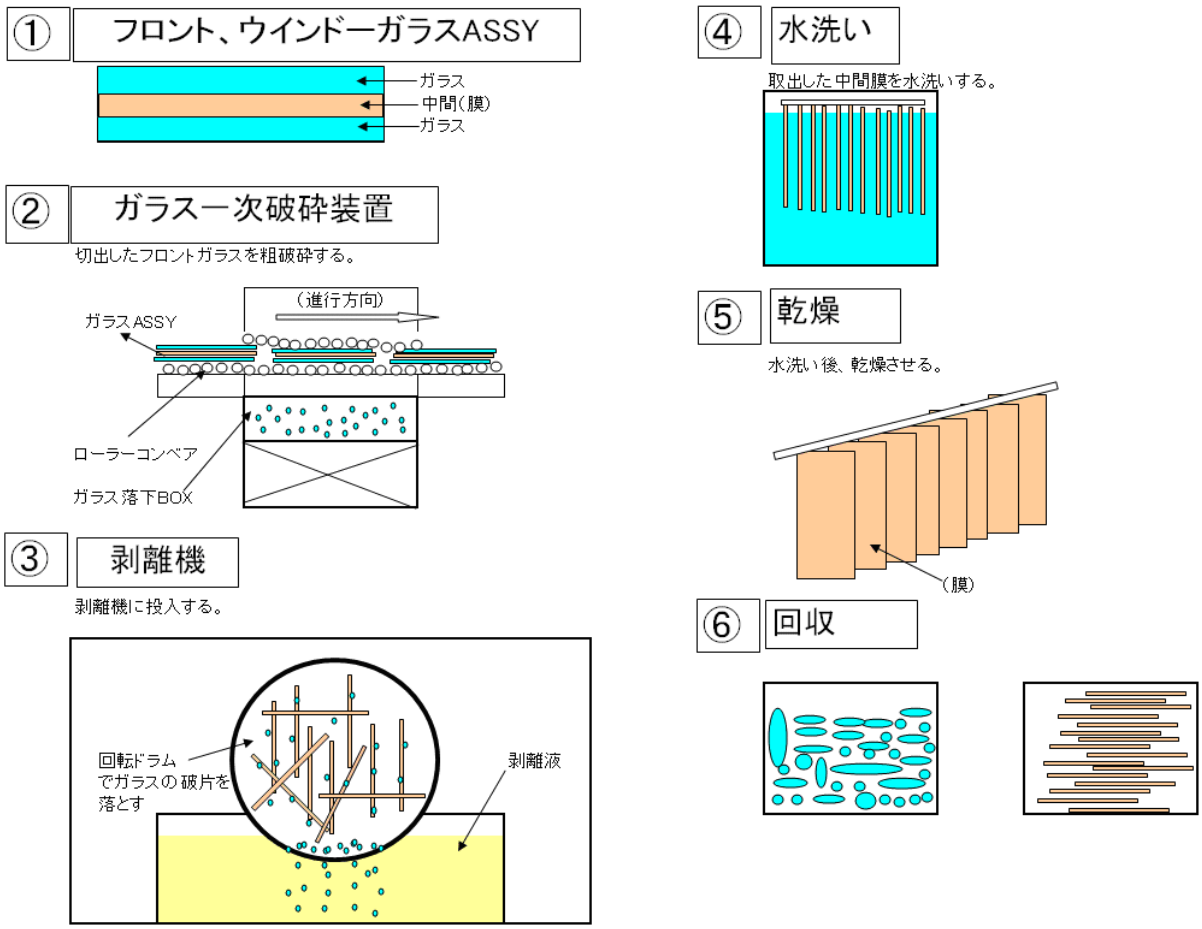
図１３：剥離液濃度と剥離時間の関係

表４：ガラスの採取量

車種/クラス	型式	①切出したガラス	②破砕時に発生したカレット量	③破砕終了後のガラス（中間膜含）	④合計重量（②+③）	差（④−①）	破砕工程後のカレット発生量（②/①×100）
軽自動車		8.20	3.80	3.60	7.40	−0.80	46.3%
小型車	K11	6.60	3.30	3.26	6.56	−0.04	50.0%
普通車	M12	10.20	4.50	5.20	9.70	−0.50	44.1%
ミニバン	C24	7.50	3.50	3.84	7.34	−0.16	46.7%
セダン	F31A	9.00	4.20	4.20	8.40	−0.60	46.7%
ミニバン	RA6	11.00	5.40	4.30	9.70	−1.30	49.1%
外車	M350	10.00	4.80	4.50	9.30	−0.70	48.0%

車種/クラス	型式	⑤剥離工程時からの発生したガラス	⑥剥離工程終了後の中間膜	⑦合計 ②+⑤+⑥	⑧ガラス取出し量 ⑦−⑥	差（⑦−①）
軽自動車		3.62	0.67	8.09	7.42	−0.11
小型車	K11	2.38	0.79	6.47	5.68	−0.13
普通車	M12	4.68	0.8	9.98	9.18	−0.22
ミニバン	C24	3.01	0.79	7.30	6.51	−0.20
セダン	F31A	3.98	0.81	8.99	8.18	−0.01
ミニバン	RA6	4.51	0.83	10.74	9.91	−0.26
外車	M350	3.81	0.83	9.44	8.61	−0.56

表５：作業フローイラスト



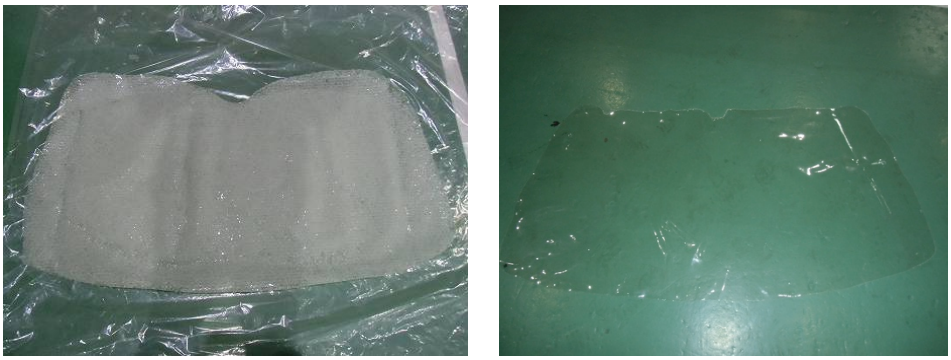


図１４：剥離状況

左図：合わせ WS の１次破砕直後、右図：剥離液でガラス剥離後の中間膜

（７）　廃太陽光パネルの破砕選別による、リサイクルスキムの構築

（７）―A、 ハリタ金属株式会社（HRK）の研究開発

① 背景

廃太陽光パネルからのガラス、希少金属、ベースメタルの分離回収は今後必要な分野である。

現有社内設備にて分離方法を確立するため基礎実験を実施して必要と判断した設備の追加導入を図り研究開発を行う。

② 目的・目標

太陽光パネルを分離回収するための各種実証試験を実施して最適な分離方法を確立する。

破砕・選別による素材の分離が可能なリサイクルスキムを確立する。

方式は、ミルによる粉砕、回転炉による燃焼、シュレッダーによる破砕を比較した。

③ 分離実験結果

アルミフレーム分離は手作業では時間がかかるので機械化が必要になる。

パネルの切断はカッターで容易であるが、切粉が大量に発生するので対策が必要になる。

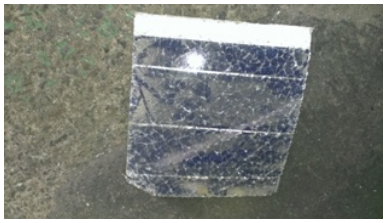


図１：ダイヤモンドカッターによる細分化

ボールミル設備による粉砕、分離テストを実施するがガラスカレットが少々分離できただけでほぼ投入状態と変化がなかった。

各種実証試験の結果からボールミル設備による分離回収は、EVA 膜の柔軟性とガラスと EVA 膜の強固な接着により不適と判断した。

表１：ボールミル破砕実験結果と重量バランス

・	重量〔kg〕
ボールミル投入重量	75.0
ガラス分離回収重量	2.5

図２：ボールミルによる粉砕分離

次に回転炉による可燃部材の EVA 膜、BS（バックシート）の燃焼方式は燃焼時間２時間で温度が３００℃で７トンが限界であり投入量と燃焼時間の関係から処理量が増産できず経済性で優位性が乏しい。

表 2：回転炉での焼成によるマテリアルバランス

	重　量〔kg〕	備考
溶解炉投入重量	75	
溶解炉焼成後重量	48	リフトで移送時ドロップあり。

表 3：篩選別によるマテリアルバランス

	重　量〔kg〕	備考
篩選別重量〔kg〕	12	
6mm オーバー	6.25	電極 0.25kg 含む

6mm アンダー	5.50	

図３：回転炉による焼却試験

図４：焼却後のスクリーン選別（粒度選別では素材単位の選別ができない）

最後にシュレッダープラントによる破砕実験を実施した結果、アルミ枠付きで一瞬で２０枚の太陽光パネルが破砕され、アルミが回収可能であることが判明できた。

図５：シュレッダープラントによる破砕

シュレッダーのみの粉砕では、セル屑、ガラス、電極等がシュレッダーダストに混在されたままとなり、緻密な選別が難しいので、専用の選別機を導入した。選別回収装置として、ジグ式湿式比重選別機を導入しガラスと EVA と非鉄金属の分級の可能性を実験した。

選別回収装置として、ジグ式湿式比重選別機を導入しガラスと EVA と非鉄金属

の分級の可能性を実験した。

図６：比重選別装置

表 4：太陽光パネル実験に用いた破砕・選別設備の比較

		ボールミル	回転炉	シュレッダー	ジグ式湿式比重選別機
分離状況	ガラス	×	△	△	○
	セル屑	×	△	△	○
	EVA	×	×（焼失）	△	×
	バックシート	×	×（焼失）	△	×
	電極	×	△	△	△
	アルミフレーム	―	―	○	―
メリット		密閉破砕のため、粉塵の飛散や目切れが少ない。	EVA やバックシートが焼失するため、リサイクルマテリアルで主要なガラス・セル屑・電極のみを回収できる。	・処理速度が速く、大量処理に向く（20t～/h）。 ・太陽光パネルの事前加工が一切不要。	・選別液が水だけ。 ・理論的には緻密な比重選別が可能。 ・大量処理可能。
デメリット		・30 cm四方に収まるように加工しなくてはいけない。 ・鉄球の破砕力がEVA とガラスの粘着力に勝てず、太陽光パネルのガラスマテリアルリサイクルには不向き。	・バックシートやEVA の焼失に時間がかかるため、経済効率が悪く大量処理には不向き。 ・素材選別は不可。別の選別装置で選別する必要性あり。	・異物混入が起こりやすい（ライナー等の内部磨耗より、鉄粉の混入リスクがある）。 ・粉塵が舞いやすく、目切れが大きい。 ・ガラス・セルはシュレッダーダストにまとめて回収されるため、分離には別の選別装置の併用が必要。	・長尺の金属線の混入に弱い。 ・緻密な比重選別をするには、投入前処理の粒度選別範囲を考慮する必要がある。 ・鉄粉の混入があると回収産物に錆が着色しやすい。 ・3 種類以上の素材を比重選別する場合、選別数に応じて本体の増設が必要。

（○：分離可能、△：混在、または品種毎に異なる、×：分離不能）

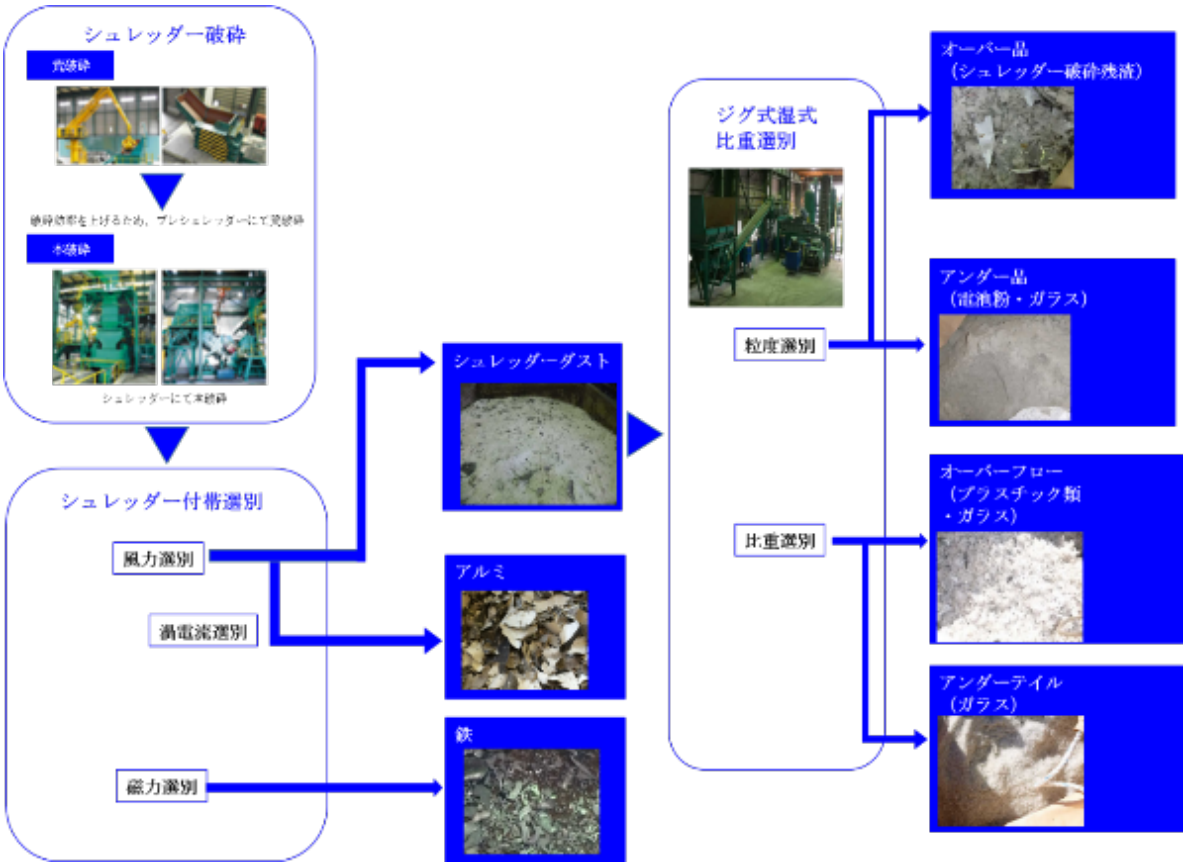


図７：太陽光パネルリサイクルにおける全体の工程フロー

比重選別による結果のマテリアルバランスシートを表５に示す。

表５：ジグ式湿式比重選別におけるマテリアルバランス　単位は全て kg。

投入重量	99,636	
オーバー品	25,384	25.5%
アンダー品	11,804	11.8%
オーバーフロー産物	8,041	8.1%
アンダーテイル産物	37,995	38.1%
未選別品	13,719	13.8%
目切れ	2,796	2.8%

（１）　品位について

ガラスは完全とは行かないまでもアンダーテイル産物としての濃縮は可能だった。選別する際に、選別時間と排出量を制御することで、オーバーフ

ロー産物にも粒度で分けて排出することが可能だった。

EVA・バックシートも完全とはいえないが、オーバーフローでの回収が可能だった。ただし、EVA・バックシートを分離することは選別機での選別数が限られているため、現時点では不可能だった。

セル屑は、分析の結果、セル由来のAgペーストが０．５mmアンダー品と８mmオーバー品へ分散・濃縮されていた。なお、セル由来のAgペーストはオーバーフロー・アンダーテイルへ回収されなかった。この結果、精錬業から足切りされ、有価売却ではなく逆有償になってしまう産物があることが判明した。

電極は太陽光パネルの品種によって単結晶・多結晶系 GMPV においては回収可能であったが、薄膜系・CIS 化合物系 GMPV では回収不可能であった。ただ、電極を回収した場合はジグ式湿式比重選別機における選別能力を低下することが解ってきた。その原因と詳細は後述する。

なお、シュレッダーにおいて破砕が出来なかったGMPVが８mmオーバー品にすべて集まっており、セル・ガラス・EVA・バックシート・電極の残渣が確認された。

太陽光パネルの種類によって、シュレッダー破砕残渣である８mmオーバー品の様相が違うため、ガラスの回収率やジグ式湿式比重選別機における選別のしやすさが変わってくることも解った。

表６：ジグ式湿式比重選別産物のAg含有量　単位はg/t。

メーカー・品種	8mm オーバー品	0.5mm アンダー品	オーバー フロー	アンダー テイル
SHP 薄膜（片面ガラス）	858	52	~0.01	~0.01
SHP 薄膜（両面ガラス）	184	267	~0.01	~0.01
SHP 単結晶	1,350	2,350	~0.01	~0.01
SHP 多結晶	2,620	2,780	~0.01	~0.01
SOF　CIS 化合物	187	56	~0.01	~0.01

（２）　ジグ選別のマテリアルバランスについて（表５の考察）

ガラスをアンダーテイルに狙って排出を試みたが、アンダーテイルの収率は平均４０％であった。どのサンプルにおいても、コンベアからのこぼれの他に、ガラスなどの細かい粒子が水と一緒に流出し、循環水タンクや回収ボックスへ投入量全体の約１０％が排出された。

特に、CIS化合物系GMPVにおいては、上記の傾向が顕著であり、未選

別品の７０％近くが回収ボックスに流れており、結果投入量全体の１７％のガラスが回収された。
　一部計量できなかったサンプルの未選別品もあるため、目切れは実質５％程度と見積もっている。

（３）　ジグ式湿式比重選別機における課題について

太陽光パネルのメーカーやセルの種類によって、ジグ式湿式比重選別における処理トラブルや選別のしやすさ・しにくさが異なることが解ってきた。

① 鉄系素材の混入問題

どの製品においても解決することができなかった。
原因は４つあると考える。
　１つ目が、シュレッダー磁選機で回収されずに混入した異物が、選別機の中に入り、選別機本体水槽内で長期滞留したことで錆びが付着したこと。
　２つ目は、シュレッダー破砕時、ガラスによってシュレッダー本体内のライナーとハンマーが磨耗し、鉄粉が混入した。
　３つ目は、選別機水槽が防錆塗料処理を施した鉄籠になっており、長期間および大量に処理・選別していくにつれ、鉄籠表面の塗料が削れ、そこから鉄が腐食したこと。鉄籠の底はパンチングメタルや折網が幾重にも重なっており、そこに目詰まりしたガラスはすべて錆びていたことも確認された（図９）。
　４つ目は、選別終了後に排出される製品において、十分に水切りがされておらず、製品内に含有している水分が混入した鉄粉に反応し、そこから鉄錆が発生したことである。

ジグ式湿式選別起因の２つの問題についての解決策は下記の通り、
・鉄籠の腐食問題…定期的な鉄籠交換、材質の変更（ステンレス製）
・水切り不足の問題…水切り用のスクリーンを定期的に交換・メンテナンスすることにより解消は可能と考えている。

シュレッダー起因の問題の解決策の問題については下記の通り。
・設備仕様の問題のため、ジグ式湿式選別機前に磁選機を追加して鉄粉を除去する。

②　電極の混入問題

電極（巾１mm×長さ~２００mm）の回収については、単結晶・多結晶系GMPV において選別槽最下層で沈殿して絡み合あうことで選別槽の排出口が詰りやすくなり、選別能力が低下する一因となってしまった（図９）。無理をしてジグ式湿式比重選別で回収すると、アンダーテイル（ガラス）に混入してしまうこともあり、選別機に入る前に電極の大部分を回収すべきと考える。

暫定的な対策としては、現在粒度選別で用いている網を折網から櫛状の網、もしくはパンチングメタルに変更して、長尺の電極が選別槽に入るのを抑制することで、選別における負担を軽減することを検討している。

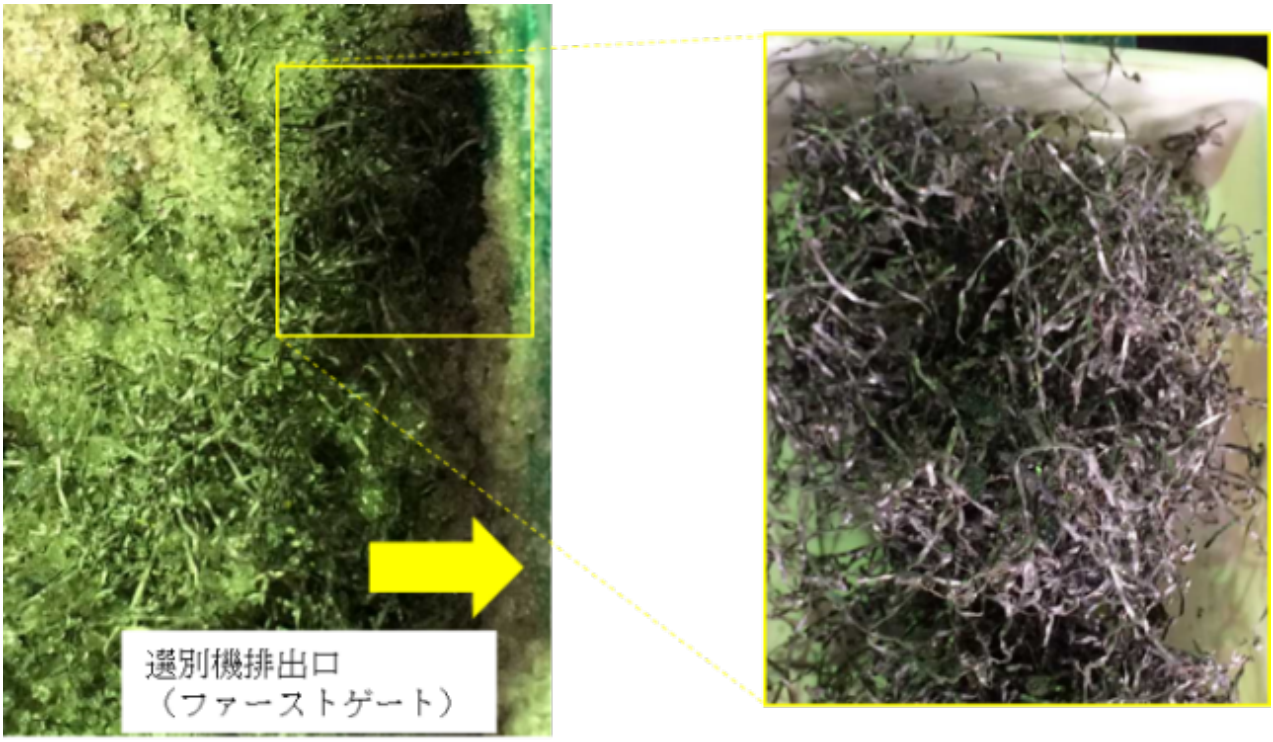


図８：サンプル C の GMPV ジグ式湿式比重選別における電極の詰り
上記は１０t 中４t 選別終了した時点で選別槽排出口近傍を掘ったときの写真。

今回のシュレッダー破砕・ジグ式湿式比重選別の２段階処理工程におけるマテリアルバランスを表７に示した。表７において、２段階工程トータルの目切れは約１０%という結果になったが、シュレッダー破砕における目切れの改善ができれば全体の目切れは解消できると考える。また、太陽光パネルに使用されているガラスが、パネル全体の８０%近い重量比であるのに対し、シュレッダー破砕とジグ式湿式比重選別機の選別の２段階処理工程におけ

るガラス（アンダーテイル品）の回収率が４０%弱とリサイクル率が低いように見えるが、０．５㎜ アンダー品や８㎜ オーバー品、オーバーフロー品を精錬副資材等で利用可能となれば、リサイクル率は約７０%へと上昇する。

今回のシュレッダー破砕・ジグ式湿式比重選別の２段階処理工程におけるマテリアルバランスを表７に示した。表７において、２段階工程トータルの目切れは約１０%という結果になったが、シュレッダー破砕における目切れの改善ができれば全体の目切れは解消できると考える。また、太陽光パネルに使用されているガラスが、パネル全体の８０%近い重量比であるのに対し、シュレッダー破砕とジグ式湿式比重選別機の選別の２段階処理工程におけるガラス（アンダーテイル品）の回収率が約４０%とリサイクル率が低いように見えるが、０．５㎜ アンダー品や８㎜ オーバー品、オーバーフロー品を精錬副資材等で利用可能となれば、リサイクル率は約７０%へと上昇する。

表７：**本活動で行った破砕選別における２段階工程のマテリアルバランス（シュレッダーダストの各項目がジグ式湿式比重選別によって得られた産物を表す）**

処理重量(kg)		111,847		
処理枚数		6,856		
		総重量 [kg]	マテリアル バランス	主要材料
シュレッダーダスト	8mm オーバー	25,384	22.7%	シュレッダー破砕残渣
	0.5mm アンダー	11,804	10.6%	セル屑・ガラス
	オーバーフロー	8,041	7.2%	EVA・バックシート
	アンダーテイル	37,995	34.0%	ガラス
	ジグ未選別品	13,719	12.3%	ガラス
	ジグ選別目切れ	2,796	2.5%	ガラス・セル屑
鉄		0	0	―
アルミ		3,941	3.5%	アルミフレーム・バックシート
シュレッダー目切れ		8,332	7.4%	

（７）-B、東芝環境ソリューション株式会社

①　背景

太陽電池モジュールの大量廃棄時代に向けて、使用済み太陽電池モジュールの適正処理を実施するプロセスを提案している。使用済み太陽電池モジュールは、性能の違いにより再利用（リユース）するものと、有価値性、有害性を把握したうえでの資源化（リサイクル）するものとに分類される。

②　目的・目標

使用済み太陽電池モジュールの適正処理の一環として、太陽電池モジュールの性能評価を実施することにより、再利用（リユース）の検討を進めている。太陽電池モジュールの性能評価を実施するソーラーシミュレータを導入し、測定値の信頼性（絶対性）、反復性、再現性の確認試験を実施する。

③　実績

日清紡メカトロニクス株式会社のPVS1222i-Lを東芝環境ソリューション（株）の入舟事業所に導入し確認試験を実施した。

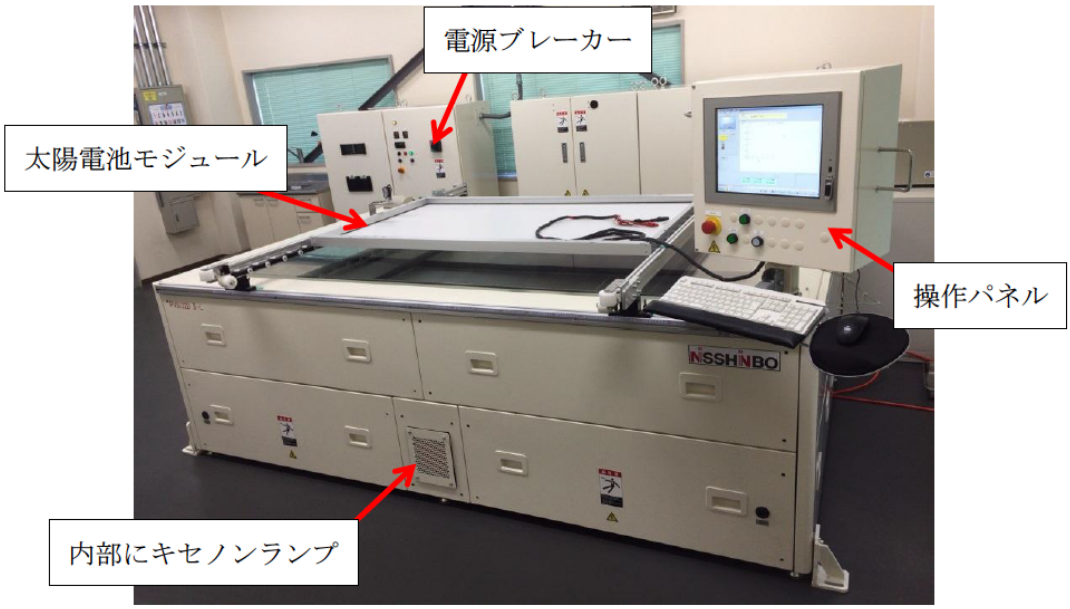


図１：ソーラシミュレータ本体

④－１、仕様

本装置は全天日射基準太陽電池モジュール測定装置（日清紡メカトロニクス株式会社製、型式：PVS1222iⅡ-L）である。詳細な仕様について以下に記述する。

また、装置の校正証明書を(7)資料に添付する。

・最大モジュール寸法

モジュール長さ	2200 mm
モジュール幅	1200 mm

・光源

ランプ	長アークパルス1.3 m キセノンランプ1本
ランプ寿命	約300000フラッシュ
ランプ電圧	2400 ~ 3000 V
・パルス幅	100 msec
スペクトル	IEC60904-9 Ed.2 スペクトル合致度等級A フィルタによりAM-1.5 IEC60904-9 Ed.2 の基準太陽光に対して±20 %以内(波長範囲400 ~ 1100 nm)
・測定照度	200 ~ 1100 W/m2
・照度変動率	±0.2 %以内(1000 W/m2)
・照度むら	±2.0 %以内

・測定レンジ

測定許容誤差0.2 級(フルスケールの±0.2 %)相当

電圧レンジ（測定用）	電流レンジ（測定用）
0 -2 V	0 -0.2 A
0 -50 V	0 -2 A
0 -200 V	0 -10 A
0 -300 V	0 -20 A

・本体の寸法・重量（各盤、PCラック）

	本体	制御盤	高電圧盤
本体長さ	2860 mm	1500 mm	2300 mm
本体奥行	1860 mm	600 mm	600 mm
本体高さ	1612 mm	1450 mm	1450 mm

重量	1050 kg	360 kg	740 kg

④−２、 ユーティリティ

項目	仕様
・本体電源	三相AC 200 V ±10 %, 50 / 60 Hz, 50A
・圧縮空気	0.4 Mpa, 210NL/min 以上（ドライエアー）

④−３、設置環境

項目	仕様
・使用周囲温度	15 ~ 35 ℃
・保存周囲温度	-15 ~ 60 ℃
・使用周囲湿度	30 ~ 60 %RH（結露なきこと）
・保存周囲湿度	10 ~ 90 %RH（結露なきこと）
・腐食性ガス	腐食性ガスのないこと
・室内クリーン度	クリーンルーム非対応

④−４、 光学系

項目	仕様
・光源	キセノンランプ1本高電圧トリガワイヤー付 平均寿命300000 フラッシュ
・光パルス幅	約100 msec
・スペクトル	AM-1.5G の基準太陽光に対して ±20 %以内
・照度変動率	STI：±0.2 %以内、LTI：±0.2 %以内
・照度むら	±2.0 %以内

④−５、測定系

項目	仕様
・モジュール温度	非接触温度計測定精度：±1℃

・電圧測定レンジ　　0 ~ 2 V、0 ~ 50 V、0 ~ 200 V、0 ~ 300 V
確度はフルスケールの±0.2 %

・電流測定レンジ　　0 ~ 0.2 A、0 ~ 2 A、0 ~ 10 A、0 ~ 20 A
確度はフルスケールの±0.2 %

・繰り返し測定誤差　　10回繰り返し測定にてPmax, Isc, Vocともに±0.25 %以内

・測定時間・休止時間　　測定時間：10秒休止時間（インターバル）：30秒

⑤　校正

本装置における測定データは、光量x W/m^{2}と温度y ℃の測定条件における、発電量z Wとして表示される。そのため測定対象を正しく評価するために、性能バラツキが許容できる単セルからモジュールを製作し、光量・温度など測定環境が認証されている条件でモジュールの測定を実施した。この測定結果（測定値）に基づき、本装置を校正することで本装置による測定値の信頼性（絶対性）を保証する。この様に認定機関によって測定値が保証されているモジュールを“基準モジュール”と呼んでいる。

装置の校正・確認作業についての手順を以下に記述する。

⑤−１、日清紡メカトロニクス株式会社にて単一セルモジュール、及び基準モジュールを作製する。

⑤−２、TÜVRheinland Japan株式会社にて単一セルを基に基準モジュールの性能を測定頂き、基準モジュールの値付けを実施する。

⑤−３、本装置にて基準モジュールを測定しTÜV Rheinland Japan株式会社の測定値を基に装置を校正する。

表1. 決定された基準モジュールの値

Isc	8.4318 A
Voc	36.775 V
Pmax	236.767 W
Ipm	8.0256 A
Vpm	29.502 V

表１に示す基準モジュールの各測定値はTUV Rheinland Japan株式会社によって測定された基準モジュールに基づき、再度測定（値付け）した基準モジュールの値を示している。

（６）確認試験結果

①　Ｉ－Ｖ特性評価結果

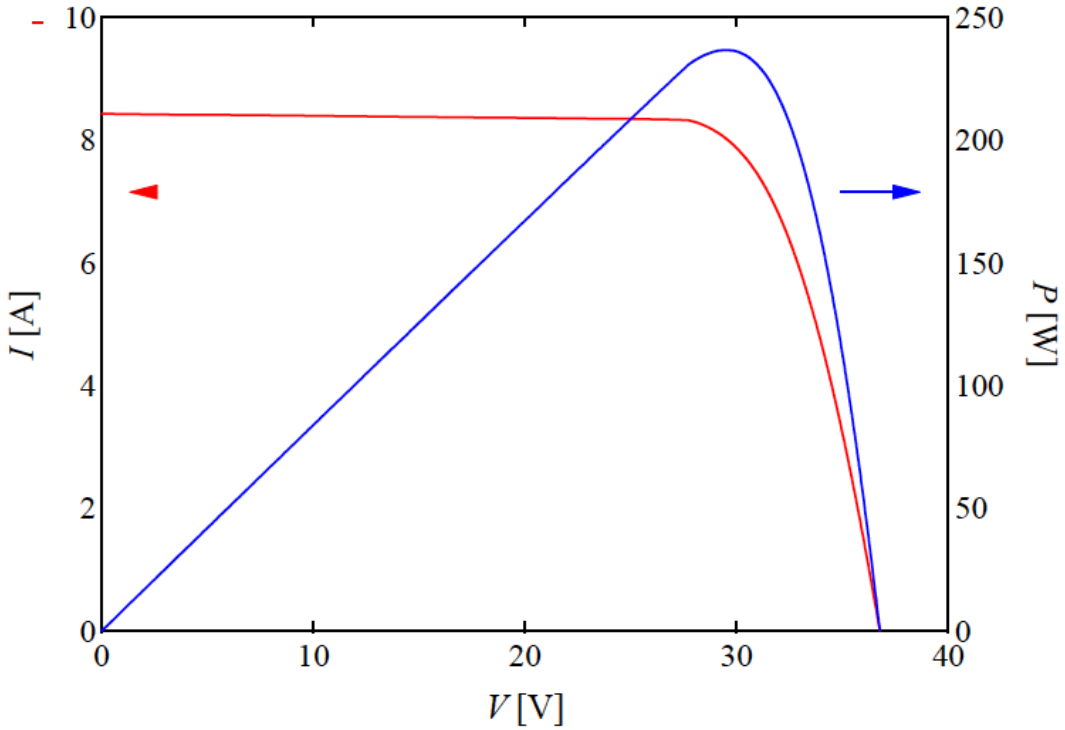


図２：モジュールのI-V特性

本装置によるモジュールの一般的なI-V特性（１０００W，２５℃±１℃）を図２に示す。測定されたI，V値より算出したP-V曲線も同時に示す。本装置による測定点は、約５０００点程度であり、I-V特性は連続曲線として得られる。（本装置の特長）

この時、$V=0$ の I を短絡電流 I_{sc}、$I=0$ の V を解放電圧 V_{oc}、$I \times V$ の最大値を最大出力 P_{max}、P_{max} の電流を最大出力電流 I_{pm}、電圧を最大出力電圧 V_{pm} と呼ぶ。

② 反復性測定結果

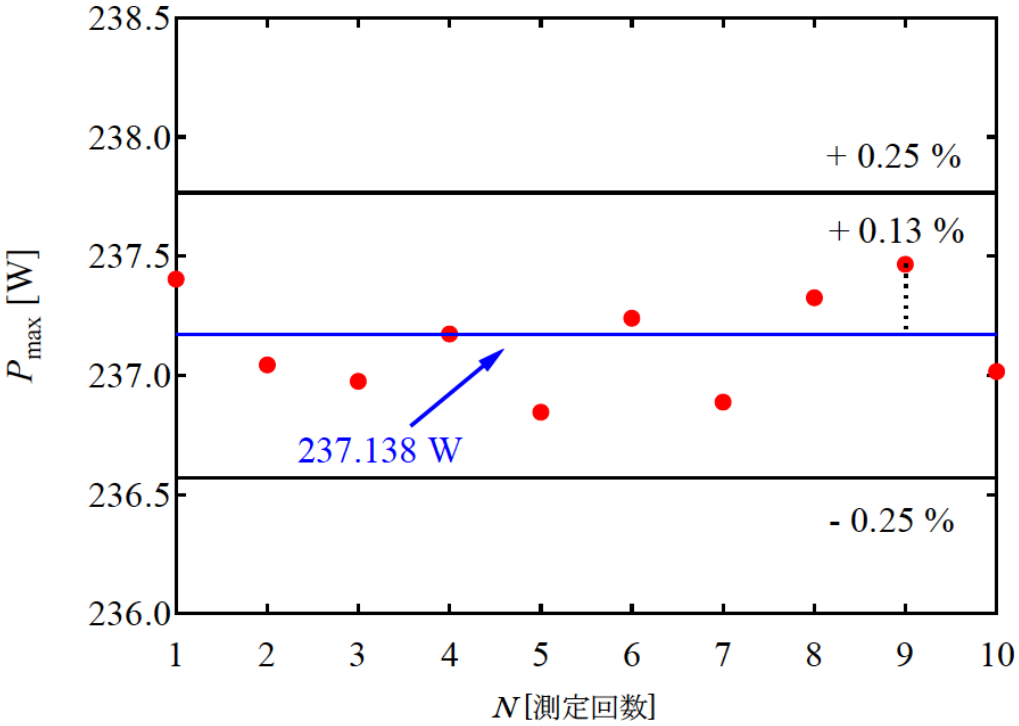


図３：１０回繰り返し測定結果

本装置による、測定データの反復性を確認するため、基準モジュールを用いて繰返し測定を実施した。その結果を図３に示す。測定は、照度１０００ W/m2、２５℃±１ ℃の条件において、それぞれ３０秒間隔で１０回実施し、平均値、及び誤差を求めた。平均値は、237.138Wであり、最大誤差は０．１３ %であった。この値は、基準値（±０．２５ %以内）を満足している。

③ 再現性測定結果

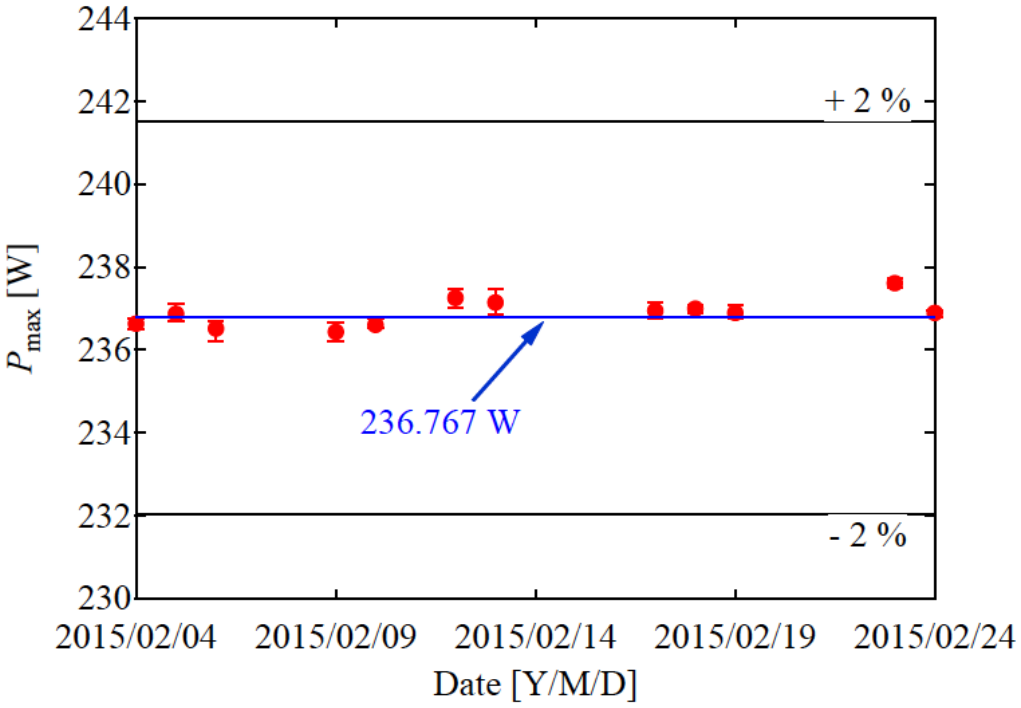


図４：照度１０００W/m2　２５℃繰り返し測定結果

本装置による、測定データ再現性を確認するため、基準モジュールを用いて繰返測定を実施した。測定は照度１０００ W/m2、２５℃±１℃の条件において、異なる測定日において再現性測定を１２回（異なる１２日間）実施した。測定結果を図4に示す。測定は、反復性試験と同様にそれぞれ３０秒間隔で１０回ずつ実施し、測定値の平均値をその測定日の値とした。基準値から最も離れた値（２月２３日の最大値237.727 W）における誤差は、０．２０２％である。この値は、本装置の基準値（±２％以内）を満足する。

同様に照度を８００ W/m2、及び２００ W/m2に設定した条件での測定結果をそれぞれ図５、図６に示す。同時に測定点の平均値も示す。繰返し測定における最大誤差はそれぞれ８００ W/m2で０．１４２％、２００ W/m2で０．１７５％と小さく、本装置が異なった照度条件下による測定においても基準値（±２ ％以内）を満足する測定精度を有していることが分かる。

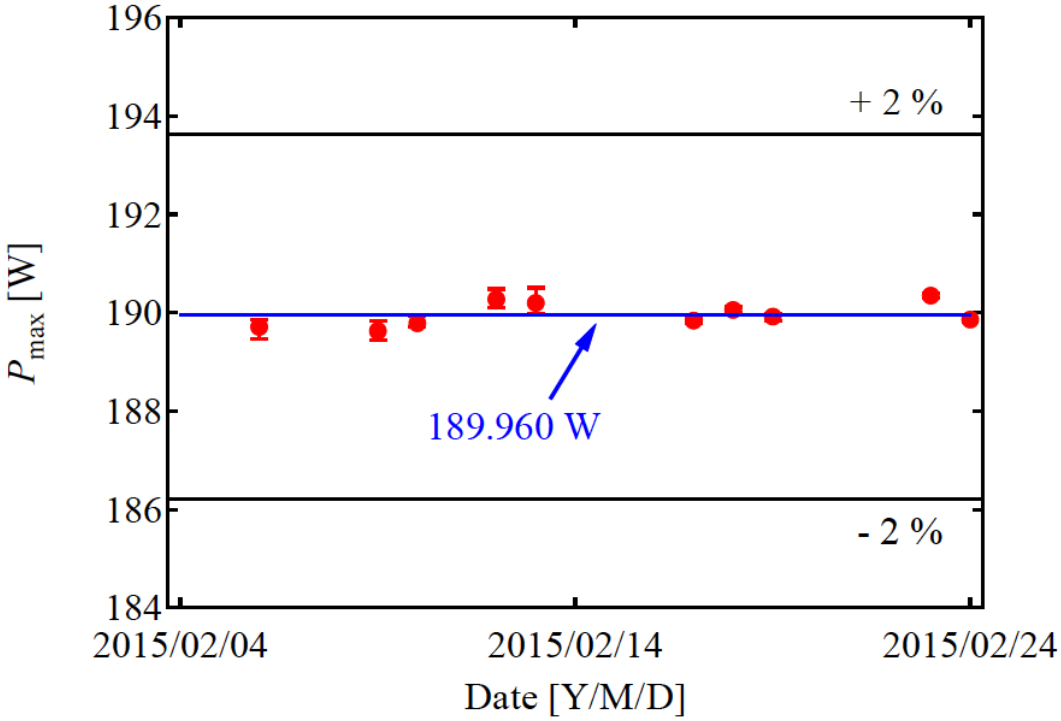


図５：照度８００W/m2　２５℃繰り返し測定結果

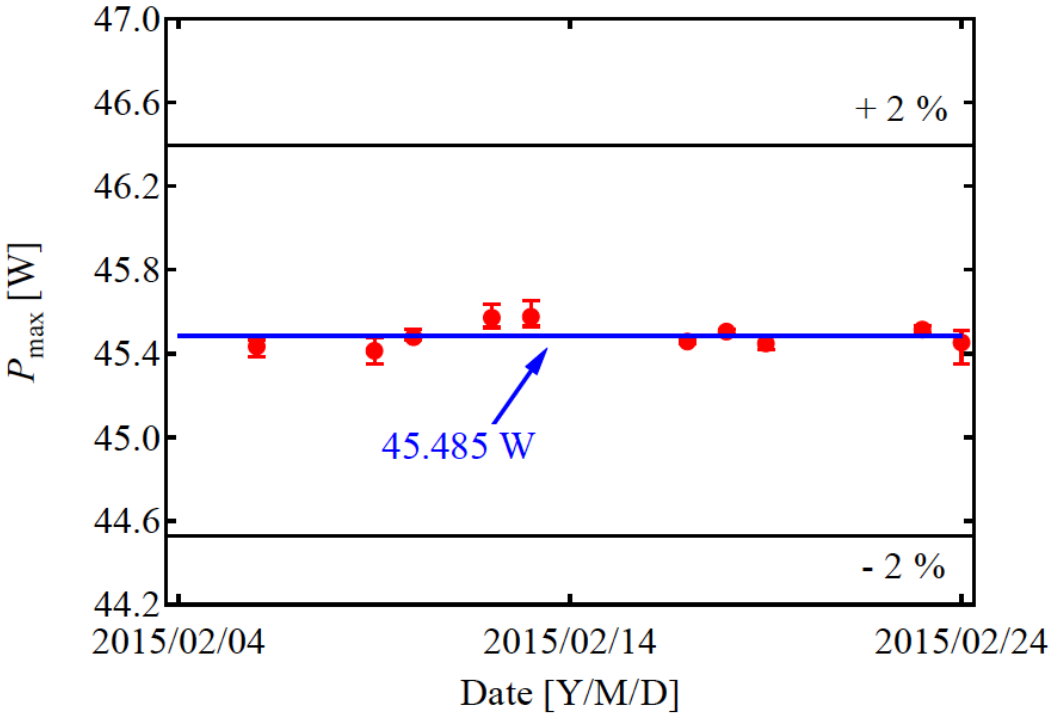


図６：照度２００W/m2　２５℃繰り返し測定結果

（７）　まとめ

測定環境（光量・温度など）がISO/IEC17025:2005に適合している認証機関（TÜV Rheinland Japan株式会社）においてモジュール（基準モジュール）の評価を実施した。この測定結果（測定値）に基づき、本装置の校正を行った。これにより、本装置による測定値の信頼性（絶対性）が保証できた。

基準モジュールを用いて、３０秒間隔で連続１０回繰返し測定を実施した。最大誤差は０．１３１％であり、基準値（±０．２５％以内）を確認できた。さらに、３０秒間隔で連続１０回繰返し測定を１２回（異なる１２日間）実施し、最大誤差は０．２０２％であった。この値は、基準値（±２％以内）であることが示している。これにより、本装置による測定値の反復性、再現性が確認できた。

（８）　使用済携帯電話、パソコン、モニタなどのガラスリサイクル方法の研究開発

株式会社ムーバブルトレードネットワークス（MTN）の研究開発

① 背景

パソコンを回収して解体することにより、部品をできるだけ破壊しないような解体を行う事で、部品の分別が可能となる。
液晶デイスプレイとしてのガラスを再資源化する可能性を研究する。

② 目的・目標

GML のガラスを分別回収することにより再資源化に向けた回収・運搬の仕組みを確立する。

③ 実績

パソコンの HDD は有価物としての価値が高いので基盤を傷つけないような破壊により有価の販売価格が倍近くまで価値をあげることができた。
しかしながら廃棄ガラスのリサイクルには量が集まらず回収に目処が立たず途

中で活動を中断せざるを得なかった。

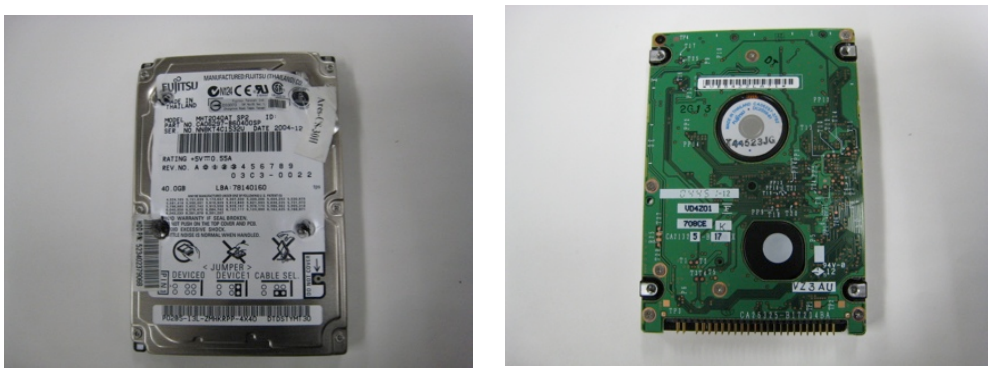


図１：２．５インチサイズの HDD

図２：３．５インチサイズの HDD

（９）　廃ガラスのセラミック原料化等の研究開発

丸美陶料株式会社（MTK）の研究開発

① 背景

　廃ガラスをタイルなどの建材品や食器の原料に添加すると製品製造時の歩留まりや物性への悪影響があるため、１%未満に抑えて使用していた。
特にソーダガラスを入れると従来タイルの焼成温度（１２５０℃）では形状の不安定さが増すことが分かっていた。

② 目的・目標

　廃ガラスを３０%～６０%配合設計し安定した原料を製造する。
これで製造されたタイルは細かな気泡を持ち、通常タイルの比重 2.2-2.4 に対し 1.3-1.4 と小さく軽量化でき、かつ断熱性に優れるため運搬から施工までのコスト削減を含め取り扱いが容易となり機能も付加される。
クリスタルクレイ社と共同で原料の成形・焼成を繰り返し配合の決定と製品化

を目指す。期間内の品質確認と製品化を目指す。

　低温焼成食器用原料としてセントクレイプラスを開発する。
廃ガラス材料を利用したリサイクル粘土の顆粒粉を作成し、これを各産地の工業用食器原料及び陶芸土に混練することで低温焼成を可能とする。
さらに配合割合に応じて焼成温度を変化させることもできる。
また顆粒にすることで生産の配合時に粉じんも少なく、計量も容易となる。
基礎試験を社内で行い、出来上がった顆粒粉を各社各人へサンプル出荷し、工業用及び陶芸用としてのハンドリングの評価を得る。

上記の２つの開発により年間１２，０００トンの廃ガラスの使用を可能にする。

③ 実績
③−１、低温焼成軽量タイル材料の開発
　初年度は丸美陶料株式会社がタイル原料としての開発を行いクリスタルクレイ（株）がタイルの製品化及び評価を行った。GML,GMV,GME と手持ちの粘土や長石との組み合わせの試験を行った（配合比は非公開）。具体的には GML と GMV・GME を組み合わせで３０～６０%の配合率範囲で最適化を図り、また環境負荷低減のために焼成を１１００℃程度で行い軽量かつタイル建材として寸法精度、吸水率、曲げ強度、凍害試験等 JIS 規格を満たす製品が出来る様試験室におけるポットミル少量試験、成形焼成試験を繰り返した。
　また 1 つの配合について数種類の温度で電気炉焼成を行い比重、色、形状、曲げ強度の物性を評価した。それに伴い曲げ強度測定器を購入した。
各ガラスの受け入れに対応できるよう既存のストックヤードに屋根を設置した。

㈱島津製作所オートグラフ AGX-5kNX

図１：曲げ強度測定器

図２：原料受け入れヤード（屋根付き）

原料の製造の工程に関しては基本的には従来と同じ設備（ボールミル、スプレードライヤー）にて製造できる。ただし GML が扁平である為にボールミルへの投入時にカサが増える事、また従来原料よりやや固い為粉砕効率が落ちた。また生産時に発生する原料の廃棄物は従来であればそのままリサイクルが可能であるが、この製品は発泡・低温という特性上容易にリサイクルはしにくい。平成 25 年度は、前年度の各種配合の内、吸水率その他タイルとしての物性に長けていた配合に絞りタイル化中量試験及び量産試験を繰り返した。クリスタルクレイと共同で原料の配合見直し、原料の含水率、プレスの設定、焼成温度等

変化させ適切な設定を行うと共に白色だけでなく着色した素地も使用し展開を行った。

またこの原料は通常タイル原料より１５０℃程度低温で焼成される為、通常原料と混入することでお互いに害を与える事となってしまう。製品タンクや汚水を完全に区別することが必要となるため社内の製品タンクの移設改良を行った。

図３：製品タンクの移設

平成２６年度はクリスタルクレイ社と共に原料試験を続けてきたが、タイルの性能・品質（寸法、吸水、耐久性、耐摩耗性、耐薬品性、凍害、比重等）のうち一部の物性ににについて時々不安があった。何度も再現試験をし検証した（組成、粒度、成形条件、焼成条件を変え岐阜県セラミック試験場の協力も得て分析、結晶、SEM による目視等で確認）が決定的な原因が分からず、急遽配合変更を行った。

具体的には吸水率の規格を緩和し不具合の発生しにくい配合の試験を行っている。

またセントクレイプラスと同様の液晶ガラスを使用していた為同液晶ガラスの供給に不安が残る。代替え液晶ガラスを使用しても問題は無いか、配合ばらつきがあっても製品品質の範囲内に収まるかの確認試験を実施している。

現在までの達成状況は、９５％まで達成できておりほぼ製品化の目途が出来た。不足の５％について、GML の種類が変わると再度初めからの試験が必要となる。つまり原料の配合～焼成温度の変化が必要な為、容易な GM の切り替えが出来ないため廃ガラスの材料については常に排出、受け入れ状況を確認し、他の

廃ガラス材の配合試験もしておかなくてはならない。

③−２、セントクレイプラスの開発

初年度は岐阜県多治見市の山善陶料所より食器用の粘土原料を分けて頂き、丸美陶料株式会社にて GML,GMV を添加、配合試験を行った。これを茨城県窯業指導所へ送付し製造のしやすさ、釉薬との相性、製品化後の物性評価を実施した。

食器は機械及び陶芸家の手によって作られる。これはわれわれだけでは判断が難しい為、茨城県工業技術センター窯業指導所より関係企業、陶芸家の方々に評価して頂いた。アンケートの評価結果をみると「ろくろでひきにくい、粘性がない。吸水率も高く出ており磁器質ではなくせっき質となっている。」と目的に達しない評価であった。

H25 年度から低温焼成用食器原料を製造しセントクレイと命名していたが、日本国内では食器工場であっても地域ごとに特有の原料配合がある事、陶芸家の方々はなおさら固有の土を使用することから全てに対応することは厳しいという判断を行い、原料その物を製造するのではなく添加材としての開発に切り替える事とした。セントクレイプラスと命名。

この添加材を各工場、各陶芸家の方々が自由な割合で配合することで焼成温度を自由に変化させられることを目指した。またこの添加材を顆粒状とすることで粘土粉末と比較して粉じんも少なく、流動性も良い事から計量も容易であるという長所もある。年度末には試験室での配合試験を終え、５００kg の顆粒粉を作成し、この割合と焼成温度の関係を変化させデータを作成した (K-1750CC) 参照

図４：セントクレイプラス K-1750CC

平成 26 年は昨年度試験室内で作成した試作品番 K-1750CC のセントクレイプ

ラスを各食器素地に何%で配合すると何度で焼成できるか、というデータを作成した。このデータとセントクレイプラスのサンプルを各社へ送った。
㈱向山窯 増渕社長さま、㈱TOTA 林社長さま、藤原陶房藤原先生へ送付し感想を頂いた。
アイトー矢下様からは食器素地を京陶窯業さまから頂き丸美陶料にてセントクレイプラスを配合するよう指示を頂いた。
丸美陶料にて食器素地に２５%の K-1750CC を混練後、岐阜県土岐市の陶磁器試験場の土練機をお借りして抜き出し、京陶窯業さまへお届けし試作して頂いた。

図５：土練機で抜き出し

図６：京陶窯業様試作品

図７：ベースがセントクレイ、ガラス部分が蛍光灯ガラスリサイクル

今後の課題として各人言われるのが可塑性（粘性）不足。ただ単純に粘性を上げると焼成温度も上がってしまいセントクレイプラスの“低温焼成”の意義が薄れてしまうので配合で解決を探ることが肝要。
また、２年以上使用してきた液晶廃ガラスの入手が困難になり、代替え品の模索中である。
最近は液晶ガラスであっても若干のソーダ分等を含み、食器にはアルカリ反応（釉薬面にソーダの赤色の反応が出てしまう）が起こってしまう為材料の入荷が課題である。
回収して原料化の実績は、２０１２年が１３８トン、２０１３年が４２６トンであったが、２０１４年は５８トンとなり回収量に大きなばらつきが発生することも安定供給にとって大きなリスクと言える。
焼成温度の低減というテーマに対して１２５０℃以上であった物に対し１２００℃までは低減が確認された。しかし１１５０℃を目標としていたことや陶芸家や工場でのハンドリングの面で可塑性不足が課題となっている。

収縮率の関係を半磁器素材と磁器素材で実験した時のグラフを示す。

収縮率(%)結果

温度(℃)	A-0	A-1	A-2	A-3
1050	8.22	9.33	10.31	10.55
1100	13.32	12.96	12.71	12.09
1150	14.26	13.75	13.16	12.54
1200	14.55	13.92	13.28	12.71
1250	15.27	14.21	13.53	12.78

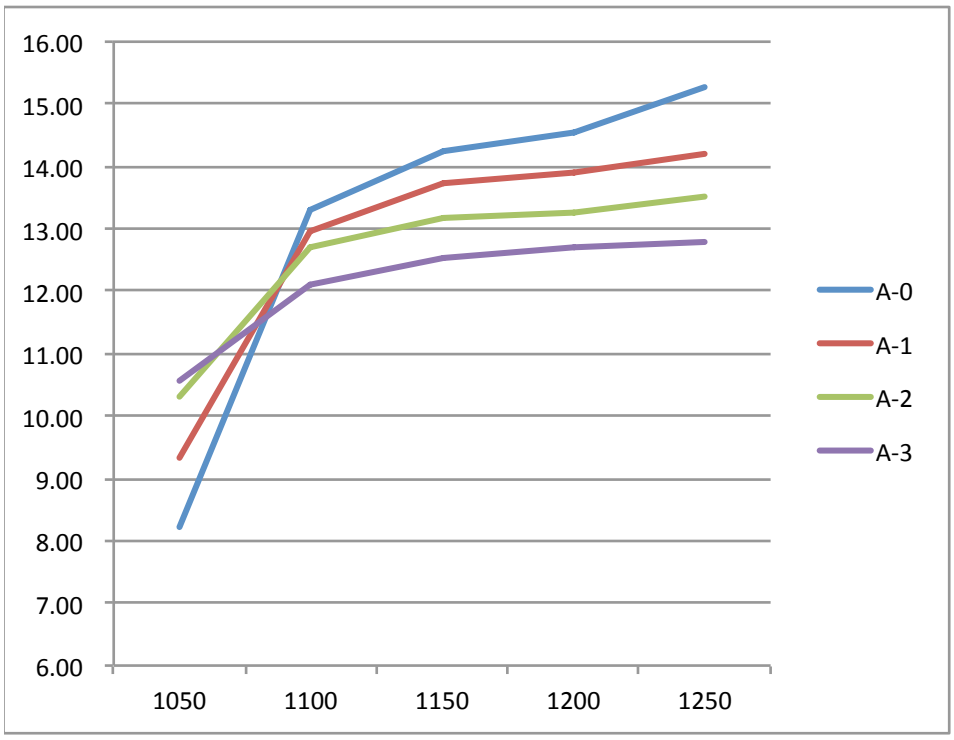


図７：半磁器素地の配合比による収縮率の差

収縮率(%)結果

温度(℃)	B-0	B-1	B-2	B-3
1100	3.56	4.50	5.36	5.99
1150	5.88	7.73	8.43	8.72
1175	7.41	8.72	9.19	9.02
1200	8.48	9.33	9.31	8.66
1250	9.68	8.86	7.55	5.51

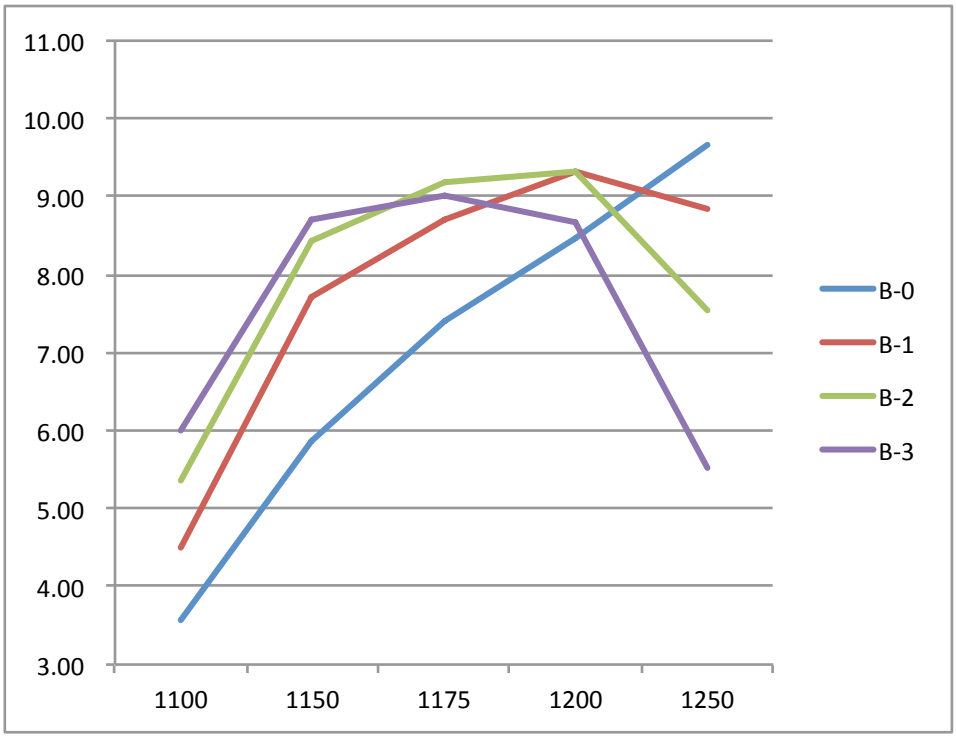


図８：磁器素地の配合比による収縮率の差

今回の実験を通して GML（廃液晶ガラス）と GMV（廃自動車ガラス）の組成による優位性が明確化された。

従来のタイル原料は物を形作る“粘土”とこれを溶融しガラス化する為の“長石”で成り立っているが、この長石の融点は産地によっても異なるが一般的に１１００～１２００℃である。低温で焼成する為にタイル原料自体の軟化点、

融点を下げれば下げるほど効果はでる。焼成温度だけで判断すると軟化点の低いGMV（７２０～７４０℃）を添加していけばよいのだが組み合わされる粘土は非常に耐火度の高い物質である為、両極端の耐火度の配合は焼成温度等条件に対して不安定な原料となってしまう。そこで長石と GMV の間を埋める耐火度のGML（８５０℃）を加える事でより安定な焼成幅を持つ原料を作成する事が出来た。

表１：ソーダ石灰系とアルミノホウケイ酸系ガラスの一般的な組成

成分値	原料	ソーダ石灰ガラス		アルミノホウケイ酸ガラス	
		NaO-CaO-SiO2		RO-Al2O3-B2O3-SiO2	
		フロートガラス	びんガラス	長繊維用Eガラス	液晶テレビ用ガラス
SiO2	珪砂	72.60	72.50	55.00	57.00
Na2O	ソーダ灰	12.70	13.30		
CaO	石灰、消石灰	7.90	11.20	21.00	4.00
MgO	酸化マグネシウム	3.80	0.10	1.00	1.50
Al2O3	アルミナ	1.80	1.80	14.00	16.00
Fe2O3	酸化鉄	0.10	0.03		
K2O	酸化カリ	0.80	0.80		
SO3	酸化硫黄	0.20	0.20		
PbO	酸化鉛				
Sb2O3	三酸化アンチモン				
B2O3	ホウ酸			8.00	12.00
SrO	過酸化ストロンチューム			0.20	3.50
BaO	酸化バリウム			0.40	6.00
LIO	酸化リチウム				

（１０）原料化された廃ガラスを使った新建材の研究開発

クリスタルクレイ株式会社(CC)の商品開発

① 背景

GML、GME、GMV の廃ガラス原料を使用した高品質なセラミック建材は、ガラスの廃棄物削減効果以外に低温焼成ができるため製品製造にかかる CO2 の削減にも貢献できる。特に GML、GME は廃ガラスの出口商品が未商品化の分野であり新商品に対する期待が高い。

② 目的・目標

年間２，４００トンの廃ガラス（GML、GME、GMV）を重量比で３０%から５０%使用した住宅用軽量セラミックタイルを商品化する。

③ 実績

GML、GME を３０%から５０%使用し粘土などと組み合わせてタイル原料を調合した。ここまでは丸美陶料（株）が担当した。
試験金型に装着した乾式のプレス機でタイルの形状に成形し電気炉で焼成後タイル製品の物性と機能評価を実施した。
軽量タイルの製造工程図を図１に示す。
試作品の素材サンプルを５０ミリ金型で原料と電気炉の焼成温度を変更してタイルの形状サンプルを試作した。
焼成温度とかさ比重、辺寸法の結果を図２に示す。

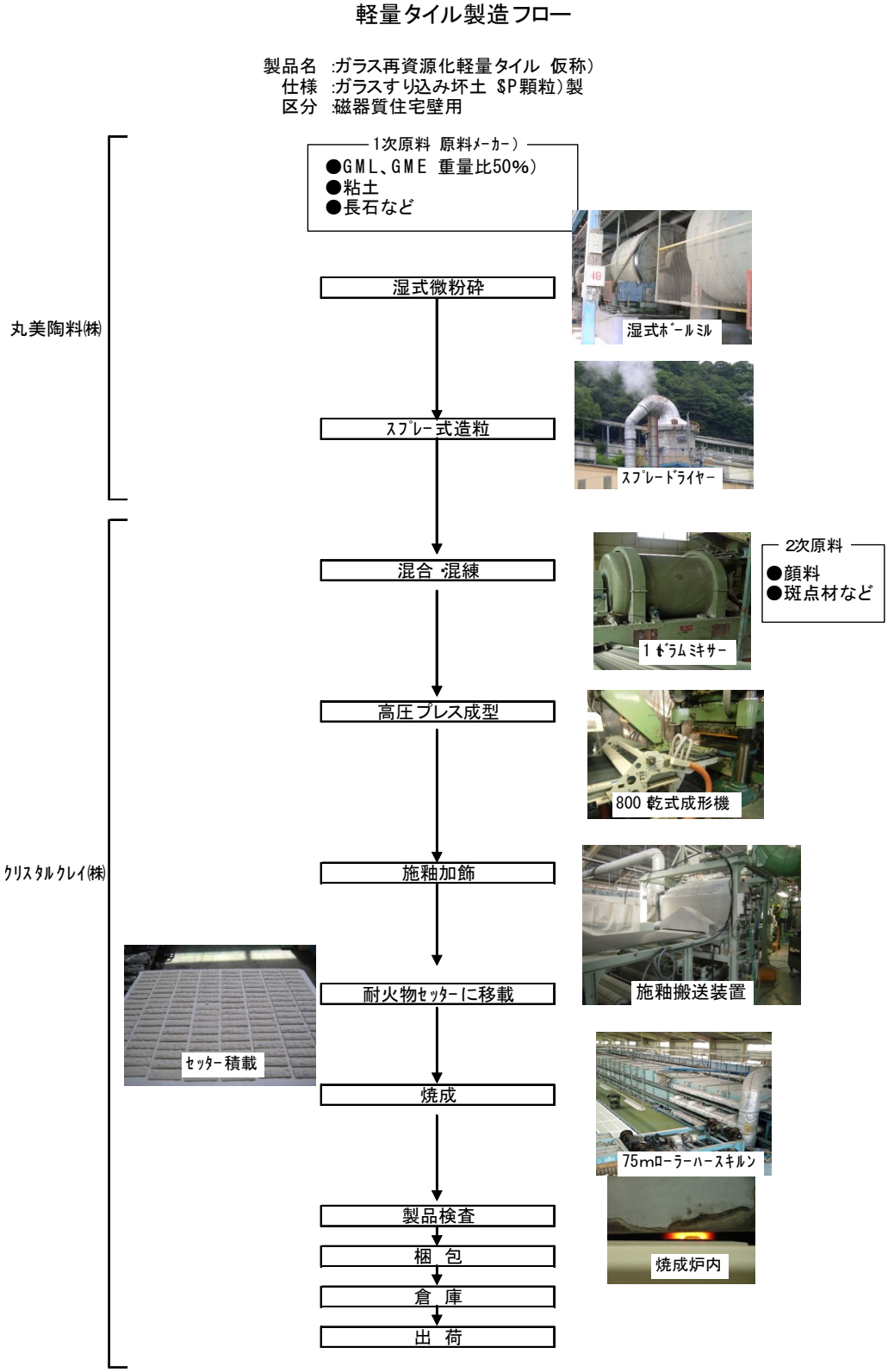


図１：軽量タイルの製造工程図

50 ㎜角試作タイルサンプル

No	項目	1000℃	1010℃	1020℃	1030℃	1040℃
MX1	かさ比重	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4
	辺寸法mm	48	49	50	50	52
MX2	かさ比重	1.9	1.6	1.4	1.2	1.0
	辺寸法mm	48	50	51	53	55
MX4	かさ比重	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9
	辺寸法mm	51	51	52	54	55
MX5	かさ比重	1.6	1.5	1.3	1.0	0.8
	辺寸法mm	51	52	53	55	57

図２：焼成温度によるかさ比重と辺寸法の関係

焼成温度が高くなると辺寸法が大きくなり、かさ比重が小さくなる。
試作品の物性を確認するため、SEM 観察、細孔径分布、 X 線回析を行った。

２５年度になって、生産実機を使用した中量実証試験を繰り返した。

表１：試験仕様

項目	仕様	内訳
目的	量産想定	中量実機
原料	GML、GME 使用 SP はい土	0.5～10ｔ（試験毎製作）
成形	800ｔ高圧成形機	自動連続運転　10～50 ㎡
施釉	手動および自動施釉装置	一部連続運転
焼成	75m ローラーハースキルン	1,100℃焼成
評価	外観、品質、物性	自社及び外部研究機関

試験項目としては、

１）　原料別の焼成昇温速度、最高温度と吸水率、かさ比重の関係

２）　焼成最高温度保持時間と吸水率、かさ比重の関係

３）　成形圧力・焼成最高温度とかさ比重、吸水率、曲げ破壊荷重、辺寸法・形状の関係を実験した。

試験原料としては、丸美陶料㈱製顆粒はい土(A,B,C.D)を用いた。

表２：品質目標

品質項目	目標値
辺寸法：長辺・短辺寸法	CP 値 1.0 以上
形状：短辺ばち・長辺ばち・長辺そり	CP 値 1.0 以上
曲げ破壊荷重	1000N 以上
吸水率	3%以内
嵩比重	1.4～1.3

自動成形機は図３の８００トン高圧プレスで実験した。

図３：８００ｔ乾式高圧成形機

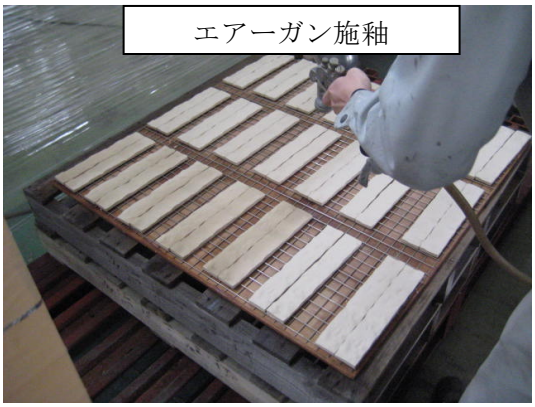
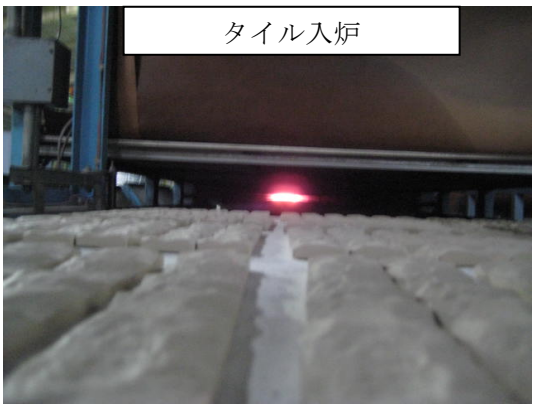


図４：ローラー及びスプレー釉薬加飾



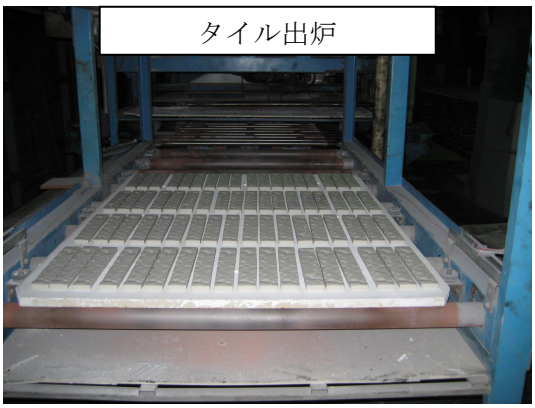


図５：７５ｍローラーハースキルンによる焼成

図６：試験タイルの寸法確認

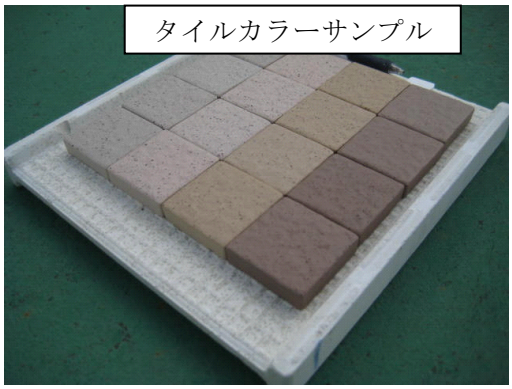
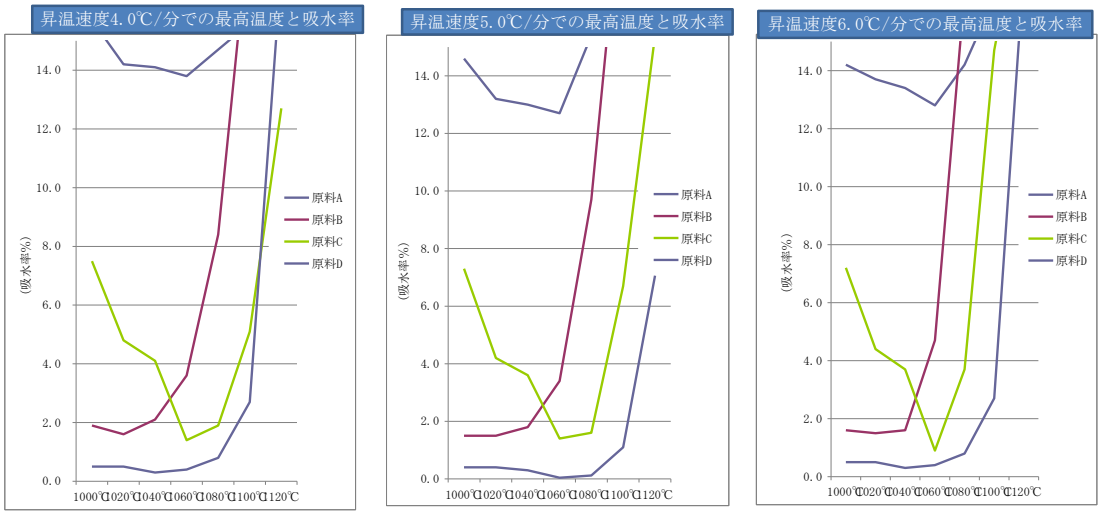


図７：タイルのサンプル

実験の結果、軽量タイルに求められる基本的品質であるかさ比重、吸水率、強度などが一般的な磁器質タイルと比較して良好であることが実証できた。
面形状、及び加飾意匠性などの外観面でも良好な結果が得られた。

原料別の焼成昇温速度、最高温度と吸水率、かさ比重の関係

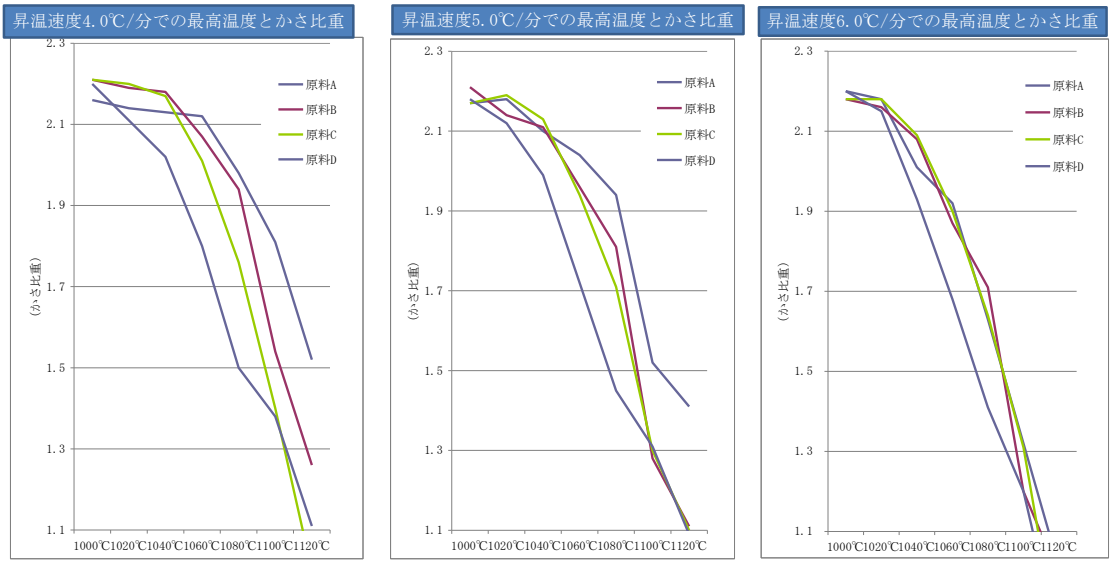
焼成昇温速度４．０～６．０℃/分、最高温度と吸水率の関係



原料毎に、ある温度域以降に吸水率は高くなる

図８：原料別の焼成昇温速度と吸水率の関係

焼成昇温速度４．０～６．０℃/分、最高温度と　かさ比重の関係

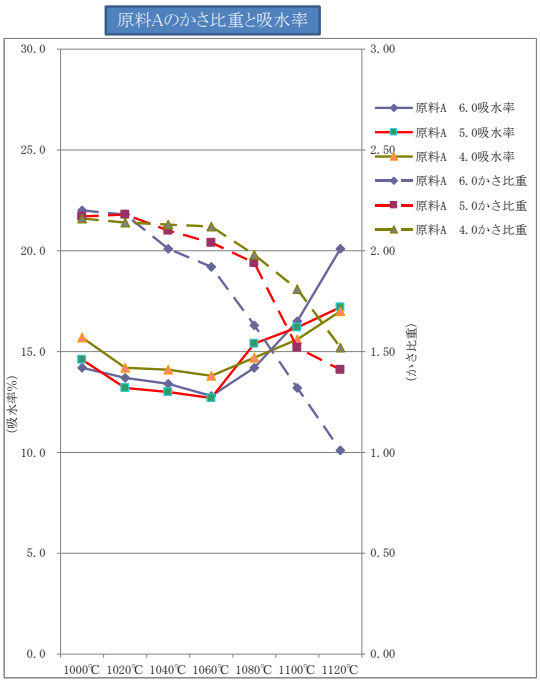


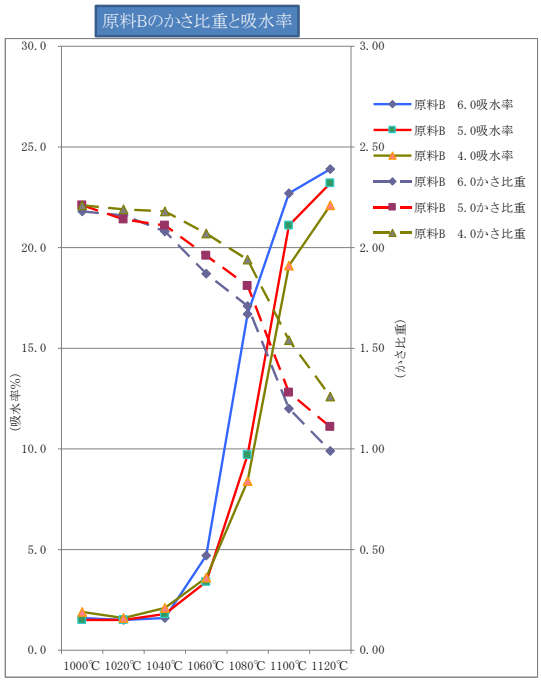
吸水率　・　原料D　は1060～1080℃域の間で1%以下を維持し、のちに反転して吸水率は上昇を始める
・　反して原料B・Cは最高温度の上昇にともない吸水率は低下し1%を下回った時点から直ちに反転して吸水率は高くなる
・　原料Aは吸水率が12%以下にならなかった
・　焼成昇温速度と吸水率について顕著な関係性は見られなかった

かさ比重・　原料Dは原料A　・B・Cに比べ直線的にかさ比重が減少しており、原料Aは他3種に比べ最高温度にたいしてかさ比重の挙動が安定している結果となった
・　焼成昇温速度とかさ比重について顕著な関係性は見られなかった

図９：焼成昇温速度４～６℃／分の最高温度とかさ比重の関係

原料毎に焼成昇温速度･最高温度と吸水率、かさ比重の関係をグラフ化する

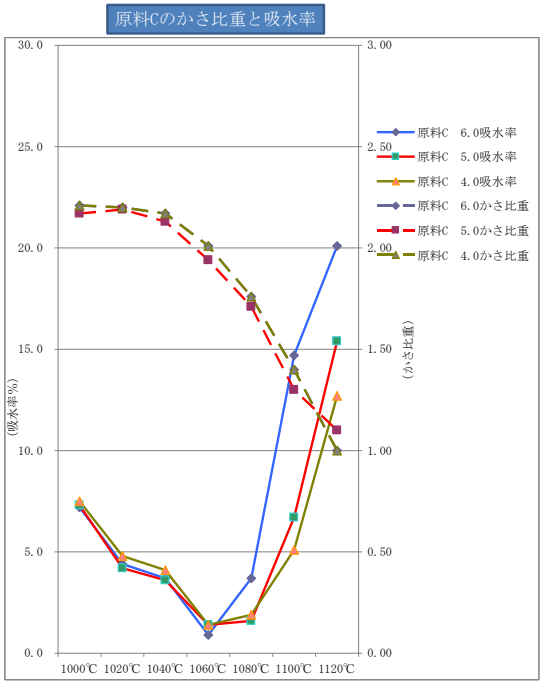


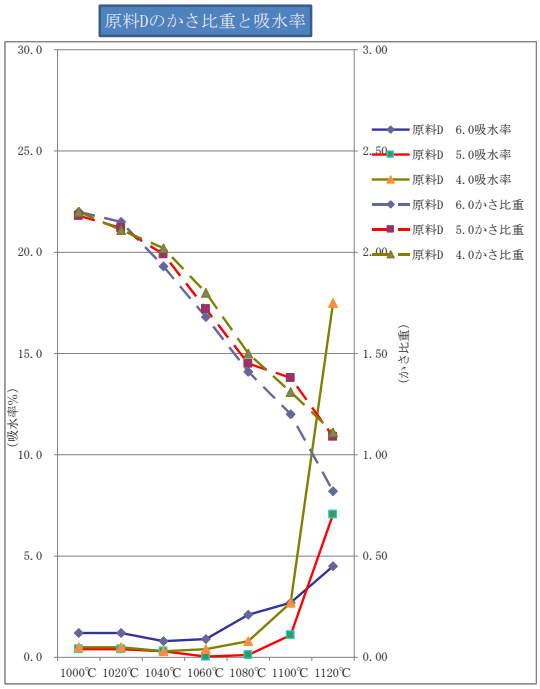


原料A　かさ比重1.5前後でも吸水率は15.0%を超え目標値に到達しない

原料B　かさ比重1.3前後でも吸水率は20.0%を超え目標値に到達しない

図１０：吸水率とかさ比重の関係



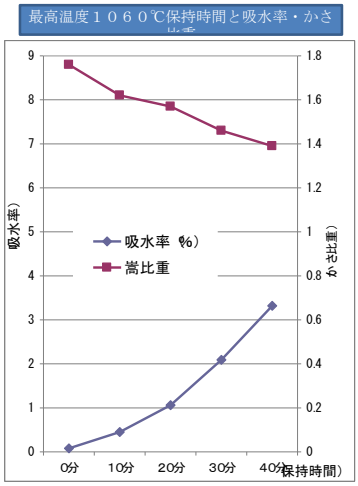


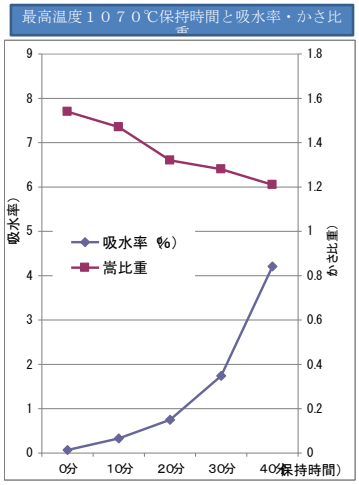
原料C　かさ比重1.3前後で吸水率は5.0%を超え目標値に到達しない

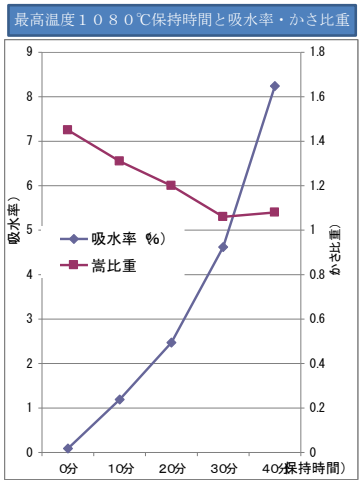
原料D　かさ比重1.3前後で吸水率は3%以下であった
また、焼成昇温速度5.0℃/分の条件では、1.0%以下であった

図１１：吸水率とかさ比重の関係

焼成最高温度保持時間と吸水率、かさ比重の関係







最高温度：　最高温度が高くなるに従い　かさ比重は低くなり、吸水率は高くなった
かさ比重：　焼成最高温度保持時間に比例しかさ比重は低くなった
吸水率：　焼成最高温度保持時間に反比例し吸水率は高くなった
焼成最高温度保持時間の0～20分の間では吸水率が1.0%以下であった
そして更に、焼成最高温度保持時間が長くなると吸水率は高くなった

図１２：焼成最高温度保持時間と吸水率、かさ比重の関係

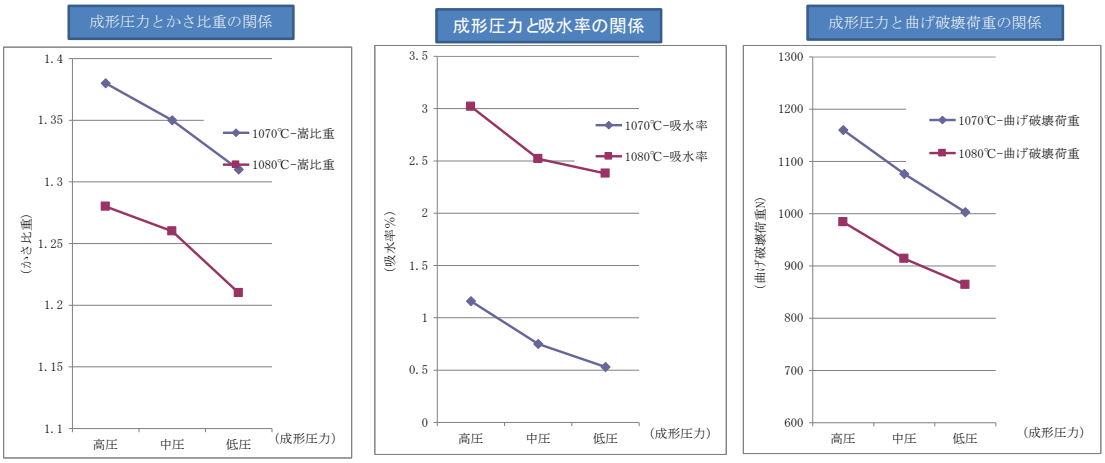


図１３：成形面圧とかさ比重、吸水率、曲げ破壊の関係

成形圧力に関わらず１０７０℃の焼成によりかさ比重は目標値の１．４～１．３を達成した。
試験条件に関わらず吸水率は３％以内の目標値を達成した。高圧成形、１０７０℃の焼成では２％以下であった。
高圧成形。１０７０℃の焼成で破壊荷重は目標値の１０００N 以上を達成した。

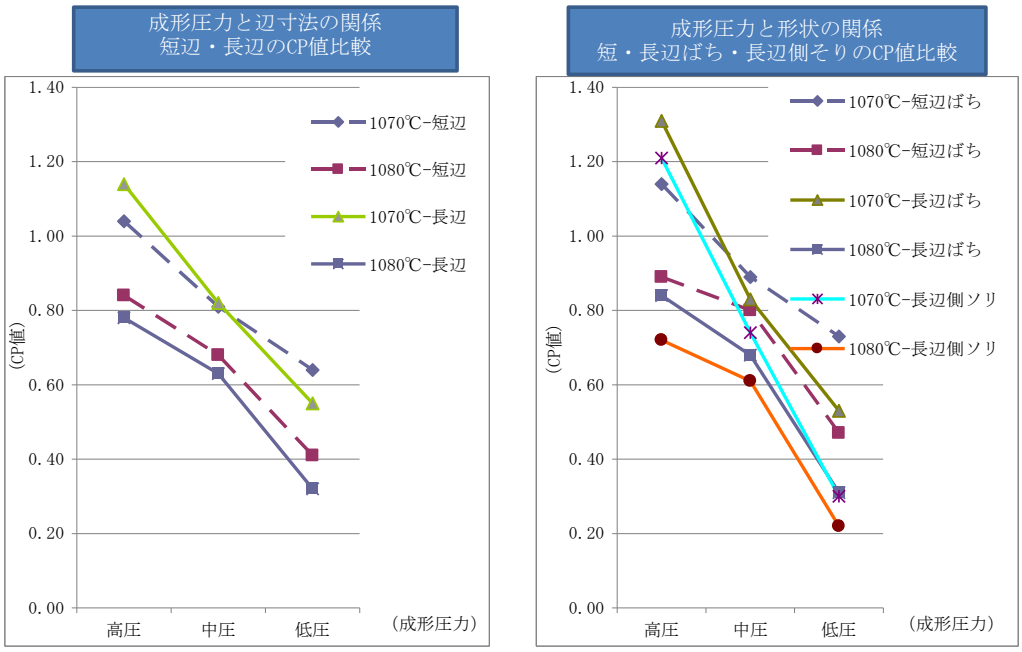
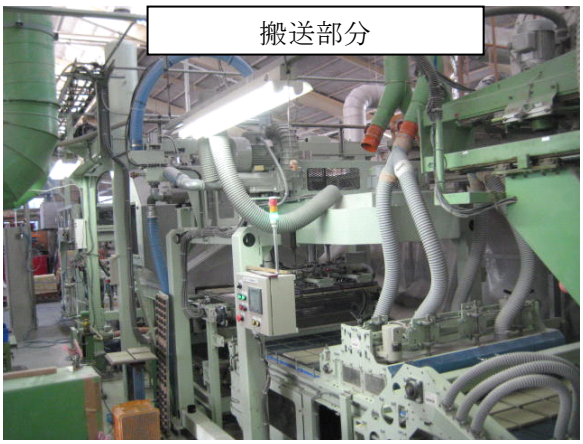


図１４：成形面圧と CP 値の関係

短辺に比べて長辺は圧力との関係性が認められ高圧成形、１０７０℃の焼成により目標値を達成した。
同一の焼成温度焼成では高圧成形から中圧成形・低圧成形と CP 値は高くなる。
短辺ばちに比べ長辺ばち・長辺側ソリは圧力との関係性が認められ、高圧成形で１０７０℃により目標値を達成した。

上記の基礎試験結果より品質規格はクリアできたので事業化のための釉薬塗装、搬送装置を設置し本格的な量産段階に入ることができた。



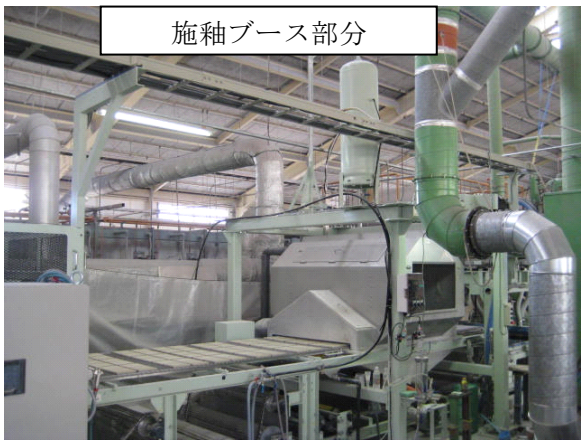


図１５：釉薬塗装装置

（１１）ガラス再資源化システムの設計・評価、環境配慮セラミックスの究開発

ガラス再資源化協議会(GRCJ)および株式会社イースクエアの研究開発

① 背景

廃ガラスの再生利用に向けてGMVをモデルにしたLCAおよびMFCA(Material Flow Cost Accounting)の実証評価が求められている。

廃ガラスリサイクルの課題は、廃ガラスに混在する不純物濃度とリサイクル先の製品における不純物の許容濃度のミスマッチが存在している事が原因であり、開発の方向性は不純物の混在しない廃ガラスの提供か不純物の許容濃度の高い新たな用途開発に進むかといえる。

環境配慮型セラミックスの新商品群の研究と実用化が社会から求められている。

② 目的・目標

東京大学と委託契約することにより日本におけるガラスリサイクルシステムを鳥瞰的に把握して全体最適や個別最適等の評価システムの構築をする。

量と品質の両面を考慮したマテリアルピンチ解析の手法により発生量と需要量について物質収支を考慮しながらリサイクル量が最大となる組み合わせを導き出す。

ガラス再生タイルの技術を食器に応用する。

東京工業大学と委託契約することにより分別回収した廃ガラスや廃タイルなどのセラミック系リサイクル原料の水熱養生における建材への利用の可能性についての研究を実施する。

放射線遮蔽セラミックによる放射線による人体への悪影響を抑制する製品を研究開発した。

③ 実績

マテリアルピンチ解析は東京大学の醍醐先生に委託して研究が進み、混入する不純物と生産物における不純物濃度の制約、ならびに発生量と需要量の物質収支を考慮した上でリサイクル量が最大となる組み合わせ（全体最適解）を鳥瞰的に把握し、全体最適や個別最適等の評価システムの構築を行った。

環境配慮型の製品開発としては、茨城県工業試験センターの協力で食器用粘土の試作と建築レリーフ、食器の意匠性及びそれに付随するデザイン性の高い形状や釉薬の開発を実施した。

放射線遮蔽セラミックのサンプルをブラウン管鉛ガラスを使用して試作サンプル試験を実施した。

試作ﾀｲﾙ(200x200x25mm)側面

図１　GME（ブラウン管鉛ガラス）試作タイル

遮蔽能試験(1ﾌﾞﾛｯｸ)

図２　GME（ブラウン管鉛ガラス）タイル放射性遮蔽能力試験サンプル

（３）実証施設の設置場所等

（３－１）会宝産業株式会社(KHS)

石川県金沢市東蚊爪町１－２２－１　IREC（国際教育センター内）

敷地面積（約２００m^2）

（３－２）株式会社浜田(HMD)

大阪府高槻市芥川町２－２４－５

（３－３）リサイクルテック・ジャパン株式会社(RTJ)

名古屋市港区神宮寺１丁目 204 番地

敷地面積（約２００m^2）

（３－４）株式会社ホンジョー(HNJ)

京都府城陽市平川浜道裏４８－４

敷地面積（約２００m^2）

（３－５）丸美陶料株式会社（MTK）

岐阜県土岐市妻木町字西山 3247-278

敷地面積（約１９００m^2）

（３－６）クリスタルクレイ株式会社(CC)

岐阜県瑞浪市日吉町 7573-7 クリスタルクレイ㈱日吉工場第１工場

敷地面積：（約３０００㎡）

（３－７）ヤマコー株式会社(YMK)

広島市安芸区矢野新町１－１－３

敷地面積（約４００m^2）

（３－８）株式会社啓愛社(KEI)

神奈川県横浜市金沢区福浦 1-14-6

敷地面積（約３６m^2）

（３－９）ハリタ金属株式会社(HRK)

（９－１）ボールミル破砕機、アルミ溶解炉

富山県高岡市福岡町荒屋敷552-1　ハリタ金属㈱　第二工場

敷地面積（約９２００㎡）

（９－２）シュレッダー、ジグ式湿式比重選別機

富山県射水市新堀34-11　ハリタ金属㈱　射水リサイクルセンター

敷地面積（約６８００㎡）

（３－１０）株式会社ムーバブルトレードネットワークス(MTN)

東京都台東区台東４－２９－８

（３－１１）東芝環境ソリューション株式会社

横浜市鶴見区寛政町　20-１東芝環境ソリューション（株）

入舟事業所

敷地面積（約４０㎡）

（３−１２）ガラス再資源化協議会(GRCJ)および株式会社イースクエア(ES)

東京都港区六本木４−１１−４　六本木ビル

東京都港区西新橋３−２３−１２　第二山内ビル

（４）開発した技術がもたらす効果

（４−１）廃棄される自動車ガラスは、シュレッダーダストの約１２％を占めているので、２０１５年のシュレッダーダストリサイクル率７０％（自動車リサイクル率９５％）の達成を考えた場合、リサイクルシステムの導入は非常に効果的であると考えられる。　しかしながら、シュレーダーダスト中に含まれる自動車ガラスは、最終的にスラグとして処理されることが多く、スラグの有効活用先は路盤材など限定的であり、リサイクルルートが確立されているとは言い難い。　リサイクルルートの確立のためには今回のようなサプライチェーンの組織を有効的に活用すればコストを下げて実施も可能と考えられる。技術の確立が進んだので自動車ガラスのリサイクルを推進するための課題は経済性にあるといっても過言ではない。

自動車ガラスの有価売却（ガラスのみでなく中間膜や銀など）の価値を上げて、回収する解体事業者の収益源を確保しなければ運営が困難となる。　リサイクルシステムを運営するには出口の戦略はもちろん大事であるが、自動車リサイクル法上の解体業者へのインセンティブや自動車メーカーからの支援体制が必要不可欠と考えられる。

回収ガラスの品目別の重量の把握、自動車ガラス解体の工数、解体したガラスの運搬コスト、分離分別処理コスト、ガラス再資源化コスト、新商品化のコストダウンなどの詳細は今回の実験においては把握できない点があったが実現性に向けて方向性は固まったと考えられる。

自動車リサイクル法の中でガラス解体を義務化することが、ガラスのリサイクルにとって最も早道と考えられる。

（４−２）廃棄される太陽光パネルガラスは、将来を見据えてリサイクルの技術開発についていろいろな方式で試行が始まったところである。　結晶系の太陽電池パネルは、ガラス、非鉄金属、樹脂に大別できる。　その重量割合はガラスが７０〜８０％を占めておりバックシートや EVA 等の樹脂類が１５〜２５％を占め残りが銀や銅の非鉄金属となっている。　この中で有価性を有するものはガラスと非鉄金属であるので、回収した有価物はガラス業界と金属等の精錬業界に依存することになる。よって、太陽電池パネルを処理する場合、ガラス

カレット、ガラスと銀等を含むセル屑、バックシートなどが処理品に混在するので選別・分級方法が重要になる。
選別・分級方法は今後の技術開発により有効性が評価されるものと思われる。
精錬会社による銀等の有価物の回収が理想であるが、価値として有価性を把握するには、太陽電池パネルに一定以上の非鉄金属（銀等）の含有が無ければ経済的にはリサイクルを前向きに実施する体制が整備できない。
パネルによって製造会社、年代も異なるためリサイクルを促進するためには有価金属の開示が重要と考えられるので正しいデータベースの構築も大切になる。

（５）まとめ

（５−１）　まとめの概要

廃ガラスの運搬、解体、分離、分別、原料化、製品化を担う異業種の企業が協働し液晶ガラス、自動車ガラス、その他のガラスを高度リサイクルするための技術開発についてサプライチェーン体制を確立しながら進めた。
液晶ガラスは、リサイクル先でタイルの原料として使用することにより軽量化が可能で従来の物理的基準を満足する新商品の開発ができた。　自動車ガラスはマテリアルリサイクルの推進には、シュレッダーによる破砕の前にガラスを自動車のボディから回収することが最も効果的であり、この回収時間の短縮化や解体ガラスの処理を実施する会社への運搬物流と分離分別の技術開発に目処が立った。サプライチェーン体制により個々の技術開発と企業間の相互の互換性においてシステムの確立ができた。解体会社に対する費用面のインセンティブが確立できれば、リサイクルは前進するものと確信する。　太陽光パネルは回収時にリサイクルするかリユースするかの判断基準を確立してリユースできないパネルをリサイクルするための基本技術を調査、実験した。太陽光パネルリサイクルの経済性評価はもう少し廃棄処理量が増加して有価物の価格が明確化された時に現実化できると思われる。建築ガラスは最近普及しているペアガラスや遊戯台に使用されるペアガラスのリサイクルが進んだ、特に遊戯台ガラスは過去にガラスとプラスチックの分離解体が困難なため処理ができてなかったが、今回技術開発により完全分離が可能になりガラスがリサイクルされて処理会社の利益貢献にもつながった。このように成分や用途や不純物濃度の異なるガラスについてリサイクルシステムを鳥瞰的に把握して全体最適や個別最適等の評価システムの構築も行った。
ガラス再資源化技術開発は CO2 排出量削減、低炭素化社会構築に貢献できる社会基盤となる可能性を示すことができた。

（５−２）　　液晶ガラスのリサイクル

液晶ガラスは組成的にアルミノホウケイ酸系ガラスで製造するため一般的な窓ガラスや瓶ガラスで使用するソーダライム系ガラスとは異種類のガラスである。このため液晶ガラス製造会社が社内で循環リサイクルできないものは、今まで出口側に用途がなく廃棄物処理にまわっていた。　このたび出口側でタイル原料として使用することにより軽量化が可能で従来の物理的基準を満足できる新商品が開発できたことは、本プロジェクトの大きな成果である。
新商品の拡販に需要先からの評判も高まることが期待されるので、今後の用途先として未開拓の分野に参入できる可能性も高い。

（５−３）　　自動車ガラスのリサイクル

自動車リサイクル法でリサイクル対象になっているのは、ASR とエアッバグ、フロンのみであって、解体業者は一般的にコストに見合わない商品までは必要以上に回収せずにシュレッダー業者に渡している。シュレッダー業者からは重量単価で売り上げに計上されるため単価が ASR の素材の品位に差別化されてない現状ではガラスを解体することは逆に売り上げを下げることになってしまう。
しかし、一部のリサイクル解体会社ではマテリアルリサイクルを推進するために法律上は ASR として扱われているガラスやプラスチックを解体工程で回収している。しかしながらこの取り組みはリサイクル素材の需要に高まりがありながらコストが見合わずに全国的に広がっていない。　マテリアルリサイクルの推進には、シュレッダーによる破砕前に回収することが最も効果的であることは周知の事実である。
そこで、全国的な広がりを推進するには、解体、回収、運搬、分離分別、資源化、商品化する会社をサプライチェーンで結びコストミニマムの最適解を求めることが重要である。
本プロジェクトにより、サプライチェーンにより個々の技術開発と企業間の相互の互換性においてシステムの確立ができた。
特に解体技術、中間膜分離技術、ガラスの運搬物流コンテナなどが確立されてサプライチェーンの企業内でコンセンサスが得られたことは大きな進歩である。
また、板ガラス各社もバージン原料や燃料などについて輸入品が主体であり最近の円安もあって製造原価を圧迫しておりカレット比を上げて製造する方向に向かっている。よって、ガラスが部位単位で確実に解体が進めば水平リサイクルは可能との判断をしている。またグラスファイバー業界では需要が建築、自動車にも及びガラスカレットが不足しているのが実情である。
これまでの結果で ELV のガラスリサイクルの障害をとりまとめてみるとガラスの需要は高まっているが、ガラスカレットの市場価格が低い（オープン価格で

はないが一般的に板ガラスカレットが１０円／kg、グラスファイバーが７円／kg が相場）ため回収や運搬の費用が持ち出しになって解体されてない。
取り外したら廃車のガラ重量が減少し取り外しインセンティブが無いと外しの工数含めて２重の持ち出しになってしまい利益がマイナスになる。
解体会社へのインセンティブが確立できれば、リサイクルはすぐにでも進むものと確信する。

（５−４）　その他のガラスリサイクル

（５−４−１）　太陽光ガラスリサイクル

廃棄される太陽電池パネルは２０１５年度現在においてまだ１０００トンほどでありわずかであるが、２０２０年頃から加速度的に増加が見込まれている。廃棄の理由としては、製造時の不良品、運搬設置時の破損品、設置後のガラス破損や断線、パーツ交換品、中古品、長期使用後の寿命品等がある。　現時点では、太陽電池パネルがリサイクル法に位置付けされてないため性能が劣化していても有価物として再利用されたり、ノウハウの流出を抑えるために製造会社自身で処理されたり、荒破砕されて一般廃棄物に混在して最終処分されたりしているのが現状と考えられている。
廃棄される太陽電池パネルの中にはまだ使用可能な状態のものも多く、品質試験を正しく行って再度リユース品として流通できる場合もある。よって、現状の回収される太陽電池パネルをリサイクルするかリユースするかの判断基準を確立してリユースできないパネルをリサイクルするための基本技術を調査、実験した。経産省の NEDO とも情報の交換をしながら技術開発を実施した。経済性の評価はもう少し廃棄処理量が増加して有価物の価格が明確化された時に現実化できるものと思われる。

（５−４−２）　建築ガラスのリサイクル

ビル用、家庭用ガラスとして最近普及しているペアガラスや遊戯台に使用されるペアガラスのガラスリサイクルを進めた。特に遊戯台ガラスは市場の回収ルートが明確化されており大手のリサイクル・テックジャパンが遊技機の全部リサイクルを確立した。破砕されたガラスはグラスファイバーの原料としてリサイクルが実現しており社内の利益にも貢献ができるようになった。ビルガラスは面積的にも重量的にも大きく処理は自動車に比べて容易なため回収ルートが確立できれば一気に進む可能性が高い。

（５−５）ガラスリサイクルの CO2 削減効果と全体最適

ガラス再資源化軽量タイルの製造時に焼成温度が下がることによる CO2 の削減効果を表１の通りとりまとめた。

表１：燃料削減がもたらす CO2 の削減効果

比較計算

焼成炉	焼成物	焼成温度℃	生産量㎡/日	燃料LPG使用量kg/日	㎡当りLPG使用量kg	※LPG1kg燃焼におけるCO2排出量kg	CO2排出量kg/日	㎡当りCO2排出量kg
RHK＃2	既存磁器質ﾀｲﾙ	1,250	300	1,800	6.0	3	5,400	18
	ｶﾞﾗｽ再資源化軽量ﾀｲﾙ	1,100	400	1,600	4.0	3	4,800	12
	低減温度	150 ℃		LPG削減量	2.0 kg		CO2削減量	6
	低減割合	12%		削減割合	33%		削減割合	33%

ガラス再資源化軽量タイルのCO2削減量

	㎡当りタイル重量kg	原料中ガラス比率%	㎡当り原料中ガラスkg	㎡当りCO2削減量kg	ガラス1kg使用した場合CO2排出削減量kg
ガラス再資源化軽量タイル	14	50%	7	6	0.86

東京大学と委託契約することにより日本におけるガラスリサイクルシステムを鳥瞰的に把握して全体最適や個別最適等の評価システムの構築を実施した。外部委託先の報告書として東京大学大学院工学系研究科　醍醐市朗准教授によるガラス再資源化システムの設計・評価をとりまとめていただいた。

報告書の詳細は、別資料にとりまとめた。

（６）事業概要図

ガラスリサイクルを進める上での変動要因の関係を図１に全体最適のアプローチを図２にまとめた。

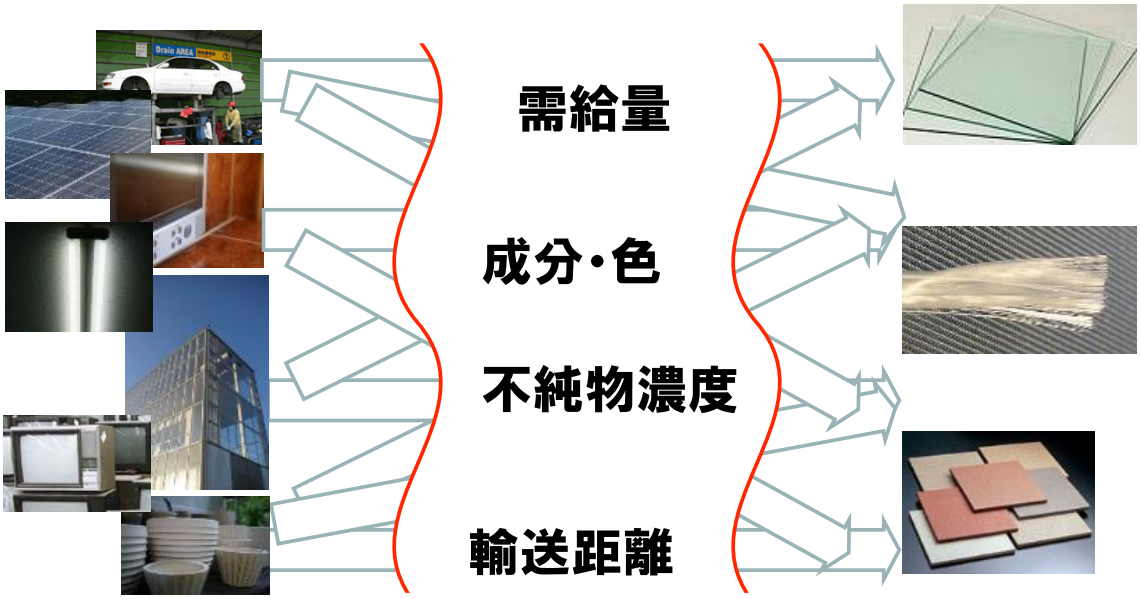


図１：GReAT プロジェクトの目指す全体最適

図２：ガラスリサイクルの各種成果と全体最適のアプローチのまとめ

７、英文概要

Project summary

This project was done in collaboration with various companies which are responsible for transportation, dismantling, separation, segregation, raw materials manufacturing and product development. We conducted R&D activities on advanced recycling of glasses of end of life vehicle (ELV), liquid crystal and others.

Using recycled liquid crystal glasses as raw materials we succeeded in the development of a new tile product which is very light in weight and comparable with conventional virgin material in physical criteria.

For the ELV glass recycling, it is more efficient to take out classes before putting the ELV into a shredder rather than doing it after the shredder. We developed ways to shorten the time of glass recovery, an efficient way of transportation of recovered glasses and separation and segregation of the glasses.
By building a supply chain among the member companies of this project, we established an efficient and compatible system within the supply chain in addition to the individual R&D activities. If ELV recyclers get enough incentives the recycling of ELV glasses will prevail.

For solar panels, we established criteria to judge whether the used solar panel should be reused or recycled and researched on the basic technique to recycle the solar panel. We concluded that the economic evaluation of recycling of solar panels should be done later since we should know the prices of valuable substances out of recycled solar panels after more solar panels become disposed in the market.

We developed recycling technique for double glasses. The glasses of entertainment machines had not been recycled much because the separation of glasses and plastics were difficult in the past, however owing to the development activities of this project, the complete separation became possible and this lead to a new revenue for recyclers.

We also developed an evaluation system of total optimization and specific optimization of recycling of above-mentioned various glasses with different compositions and concentration of impurities.

This project proved that the glass recycling could significantly contribute to the waste and CO2 reduction.

８、　研究発表、論文発表、学会発表

（１）ガラス再資源化システムの設計・評価

東京大学大学院工学系研究科

醍醐 市朗

（２）セラミック系リサイクル原料の水熱養生における利用技術

東京工業大学大学院工学研究科

坂井研究室

（３）自動車ガラス（廃ガラス）の回収リサイクルシステム構築の研究

中央大学

中央大学理工学研究所

９、　知的財産権の取得

なし

１０、特許　実用新案登録　その他

なし