

太陽光パネル用ガラスをセラミックスやタイルへリサイクルする技術的可能性
Technical feasibility of recycling PV panel glass to ceramics and tiles

加藤聡

So Kato

ガラス再資源化協会

The Glass Recycling Committee of Japan

醍醐市朗

Ichiro Daigo

東京大学先端科学技術研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

1. はじめに

近年、日本に限らず世界中で大量の太陽光発電パネルが設置されてきている。これらのパネルは、しばらくすると寿命を迎え、大量の廃棄物として発生する。それらの最終処分を避けるためにはリサイクルする必要がある。太陽光発電パネルの総重量の約 7 割を占める板ガラスは、異物なく回収することが困難である一方、カレットを利用するに際して不純物に対する許容度が非常に低い[1, 2]。そのため、廃ガラスのリサイクルは、路盤材としてのリサイクルを除けばほとんど行われていない[3]。

今後、大量に発生するであろう廃パネル由来の板ガラスのリサイクル先として、不純物に対する耐性が比較的高いセラミックスやタイルが考えられる[1, 4-6]。そこで、廃パネルから回収された廃板ガラスを、異なる分離技術を用いてセラミックスやタイルとしてリサイクルできる可能性を検討した。

2 試験用廃太陽光発電パネルの準備

様々な種類の様々な製造年が混在した 3,335 枚、約 51 トンの廃パネルを 2018 年度に回収した。廃パネルの輸送において、様々な寸法のパネルが混在することが、非効率な積載率の原因となっていることがわかった。また、パネルの枠を取り外した状態で輸送すると、より高い積載率で輸送できる可能性があることもわかった。

回収した廃パネルは、シュレッダー、ふるい分け、磁気分離、渦電流分離など、既存のプロセスを用いて処理した。ガラスは、封止材として使用される EVA (エチレン酢酸ビニル) が付着した状態で、他の素材も混合した状態で回収された。その混合物から、EVA と金属分を分離し、高品位なガラスカレットを回収するために、さらに解砕、分離した。解砕は、電気パルスとインテンシブミキサーの 2 つを、分離は、ふるい分級と湿式分離テーブルの 2 つを用い、これらの技術の 4 つの組み合わせごとに、分離率が高くなる条件を検討した。それぞれの分離技術における分離率を変化させ、表 1 のような 8 種類のガラスカレットを準備した。参考として、分解・分離前の試料も準備した。

表 1：異なる条件で作成した 9 種類のガラスカレット試料

#	解砕	分離	分離率
0	—	—	—
1	電気パルス	ふるい分級	高
2	電気パルス	ふるい分級	低
3	電気パルス	湿式分離テーブル	高
4	電気パルス	湿式分離テーブル	低
5	インテンシブミキサー	ふるい分級	高
6	インテンシブミキサー	ふるい分級	低
7	インテンシブミキサー	湿式分離テーブル	高
8	インテンシブミキサー	湿式分離テーブル	低

3 セラミックス原料試験

不純物を含むガラスカレットのリサイクル先の一つとして、セラミックスを検討した。ガラスカレットからセラミックスを作るために、カレット 50%、粘土 50%の試料を作製し、数種類の温度で溶融試験を実施した。溶融試験の結果、図 1 に示すように、回収したガラスカレットは 600°C以下では溶融せず、900°C以上で溶融し、1000°C以上で完全に溶融した。溶融試験の結果に基づき、950°C、1000°C、1050°Cにおいて作製したセラミック試料の外観を図 2 に示す。カレットと粘土からセラミックスを生産する適切な温度は 1000°Cであることが示された。電気パルス法とふるい分級法で得られたカレットは、他の分離法に比べて不純物の含有量が多く、試料が黒く着色した。また、カレットの大きさの違いは試料の特性に影響を与えなかった。セラミックスへのリサイクルは、その可能性は示されたものの、製造条件をさらに検討する必要があることがわかった。

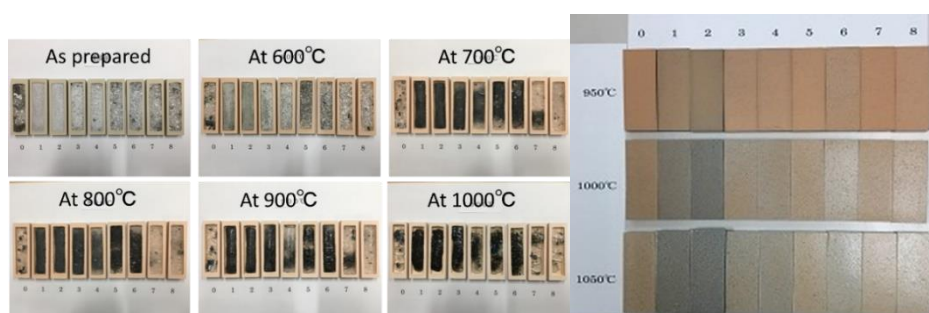


図 1：9 種類の回収材の温度を変えた溶融試験結果（数字は表 1 の試料に対応）

図 2：950°C、1000°C、1050°Cで作られたセラミック試料の外観

4 タイル原料テスト

次に、不純物を含むガラスカレット（表 1 の試料 0）からタイルの作製を検討した。カレット中の不純物をピッキングし、それぞれ 2%程度の金属類とゴム・プラスチック類が混合していたことがわかった。また、カレットを溶かしただけでは、不純物による発色が見られた。タイルを生産するためには、不純物を取り除き、1mm 以下に粉砕する前処理が必要であることがわかった。

前処理されたカレットを用いて、磁器タイルとして、カレット 60%、タイル粉 20%、バインダー 20%を配合、透水性タイルとして、カレット 13%、シャモット 74%、バインダー 13%を配合し、タイルを作製した。図 3 に外観を示したそれらのテストピースは製品として十分な性能を有していた。回収されたカレットは、陶磁器やタイルとしてリサイクルできると結論づけられた。さらに、磁器タイルの作製時に、通常操業では 1350°Cで焼成される場所、原料の 60%がカレットであるため、焼成温度が 1000°Cと低くなった。カレットを使用することは CO₂ 削減に寄与することがわかった。タイルへのリサイクルは、さらなる不純物の除去や粉砕が必要であり、経済性の面で実施が困難である。これらを経済的に可能な方法でリサイクルするためには、さらなる技術開発が望まれる。



図 3：太陽光発電パネルから回収し前処理したガラスカレット（GMPV: Glass Material recovered from Photovoltaic）を使った磁器タイル（左）と透水性タイル（右）の外観

5 まとめ

本稿で紹介したセラミックスやタイルの他にも、ガラス骨材混入コンクリートブロックへの経済的なリサイクル技術も研究開発されている。これは、板ガラスという水平リサイクルが困難な素材に対して、その成分系を考慮すれば、他の窯業原料としてリサイクルする可能性が大きいと言える[1]。日本でのリサイクル促進可能量ならびに、それによる温室効果ガス削減可能量を図 4 に示す[7]。廃板ガラスは、水平リサイクルにこだわらず、他種のガラス製品や窯業製品へのリサイクルも考慮した、経済合理的で、製品品質が確保された、GHG 削減効果も有するガラスと酸化物系セラミックスを統合したリサイクルシステムの構築が望まれる。

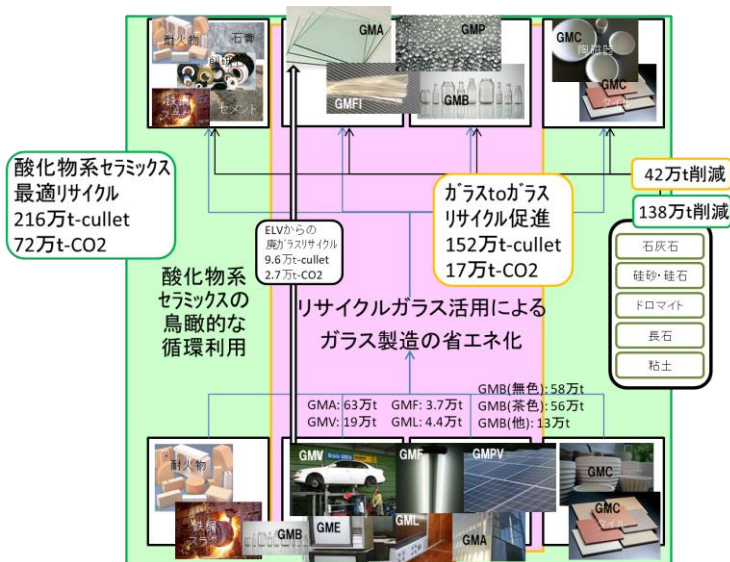


図 4：日本における廃ガラスのリサイクル促進可能量ならびに GHG 排出削減可能量

- [1] I. Daigo et al., Resour Conserv Recycl, **133**: 375 (2018).
- [2] ガラス再資源化協議会, 環境研究総合推進費 (3-1708) 平成29年度報告書「PV・液晶等積層型難処理パネルの合理的リサイクル技術の開発」(2018)
- [3] W.F. Santos et al., Constr Build Mater **146**: 502 (2017).

- [4] F. Matteucci, M. Dondi, G. Guarini, *Ceram Inter*, **28**: 873 (2002).
- [5] A. Tucci, E. Rambaldi, L. Esposito, *Adv Appl Ceram*, **105**: 40 (2006).
- [6] K.C.P. Faria and J.N.F. Holanda, *Therm Anal Calorim* **123**: 1119 (2016).
- [7] ガラス再資源化協議会, 環境研究総合推進費 (3-1708) 令和元年度報告書「PV・液晶等積層型難処理パネルの合理的リサイクル技術の開発」(2020)