

太陽光パネルのリサイクル化技術開発

－ 簡便に板ガラスと太陽電池セルを分離する技術開発 －

嶋田一裕* 宗本隆志*

今後、太陽光パネルの大量廃棄が予想されており、太陽光パネルのリサイクル化技術が求められている。そこで、太陽光パネルをリサイクルするうえでの障害となる充填材の除去を簡単に行う技術の開発を目的とし、太陽光パネルの構成材料である板ガラスと太陽電池セルの分離技術の開発を行った。板ガラスは、ホットカッターで処理した後に板ガラス表面に残った充填材を電動ブラシで処理することで容易に分離できた。分離した板ガラスは透過率が高く、有害元素も含まないソーダ石灰ガラスであった。太陽電池セルは、リモネンに浸した後に膨潤した充填材をホットカッターで除去することで、容易に分離できた。分離した太陽電池セルは分離前と同等の発電性能を示した。

キーワード：太陽光パネル，板ガラス，太陽電池セル，リモネン

Development of Recycling Technology for Solar Panels

- Development of Easily Separate Method of Flat Glass and Solar Cells -

Kazuhiro SHIMADA and Takashi MUNEMOTO

In the future, mass disposal of solar panels is expected, and recycling technology for solar panels is required. For the purpose of developing a technology that can easily remove the fillers that hinder the recycling of solar panels, we separated the flat glass and solar cells, which are the constituent materials of the solar panels. The flat glass could be easily separated by performing an electric brush treatment on the filler remaining on the surface of the flat glass after being treated with a hot cutter. The separated flat glass was soda-lime glass with high transmittance and no harmful elements. The solar cells could be done easily by removing the swollen filler after immersion in limonene with a hot cutter. The separated solar cells showed the same generation performance as before separation.

Keywords : solar panels, flat glass, solar cells, limonene

1. 緒 言

2009年より始まった固定価格買取制度(英語表記でのFeed-in Tariffを略してFITと呼ばれることもあり、太陽光発電など再生可能エネルギーで発電した電気を電力会社が一定期間中は同じ価格で買い取る制度)のため、国内太陽光パネルの設置は爆発的に増えている¹⁾。特に事業者が設置する太陽光パネルが急増しており、各地においてメガソーラーと言われる大規模太陽光発電所が開所されている。北陸においても全国9位となる大規模発電所が宝達志水町と高岡市にまたがり開所されている。このような中で太陽光パネルは、今後順次終了するFITや太陽光パネルの寿命もあり、2020年頃から徐々に廃棄が増えていき、2039年頃には爆発的に

大量廃棄されると予想されている²⁾。その規模は最大の年で80万トンであり、日本の産業廃棄物の6%を占めるほどである。

太陽光パネルは、太陽電池セル、板ガラス、充填材(EVA：エチレン・酢酸ビニル共重合樹脂)の主要部材から構成されている(図1)。環境省では、2016年に太陽光パネルの大量廃棄時代に備えて「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン」を制定している。ただし、分別する手法に関してまでは定められていない。これは、水や紫外線に対して高耐性であることから太陽光パネルの充填材で使用されているEVA³⁾が接着材の役割を果たして強固に接着しているため、板ガラスや太陽電池セルだけを取り出すことは容易ではないからである。これまで充填材除去で検討されている、熱処理方法においては、爆発防止と充填材

*化学食品部

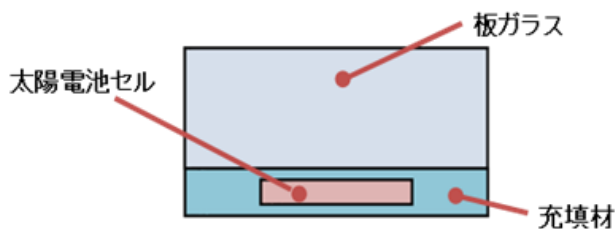


図1 太陽光パネルの断面模式図

炭化を防ぐための酸素濃度調整が煩雑である⁴⁾。また、酸分解処理では長時間(100時間~50時間)要し、安全性に欠ける課題もある⁵⁾。

そこで本研究では、太陽光パネルから充填材を除去し板ガラスや太陽電池セルを容易に分離する方法について検討した。

2. 実験

2.1 板ガラスの分離

太陽光パネルで使用される板ガラスは、厚さ約 3 mm であり、太陽光パネルの大部分の面積と重量を占めている部材である。

本研究の試験サンプルとしては、石川県工業試験場のシリコン系太陽光パネル(1300×800mm)を 10×10mm 程度に切り出して用いた。なお、石川県工業試験場の太陽光パネルは、平成 9 年に設置したものでシャープ(株)製である。

太陽光パネルの板ガラスには強化ガラスが用いられているため、切り出し時に細かく割れてしまい易く、実際の処理時には太陽光パネル単位での処理が必要である。

板ガラスの分離にあたり、100°C程度の加熱において充填材は柔軟になるため、加熱後に板ガラスを切り取る方法について検討した。そこで、先端温度が360°Cになるカッター(ホットカッター)を使用し、板ガラスと充填材の境界面を切断した。

2.2 太陽電池セルの分離

太陽電池セルは、厚さ 0.5mm程度で非常に薄く脆い部材である。そのため、機械的なホットカッターでの直接分離ではなく有機溶媒による充填材の除去について検討した。有機溶媒として、充填材である高分子を溶かしトリクロロエチレンのような発がん性物質ではなく、トルエンのような劇物ではないリモネンに着眼

した。リモネンは、柑橘類の果皮に多く含まれ、その香りを構成する物質のひとつであり、発泡プラスチックを溶解することで知られている⁶⁾。毒劇物ではない同様な溶媒としてエタノール、ヘキサンにおいても試験を行った。

3. 結果及び考察

3.1 板ガラスの分離

ホットカッターで切り取った板ガラス表面をエネルギー分散型X線分析装置(日本電子(株)・JSM-6510LA)で元素分析を行った結果を図 2 に示す。これより、まだ充填材の主成分である炭素成分(C)のピークが高く検出され、ガラスの主成分である珪素成分(Si)のピークを検出することができなかつた(ホットカッター処理)。このことは、十分に充填材が取り除けていないことを示す。そこで、切断表面をホットカッターでなぞり残留する充填材を除去したところ、ホットカッター表面に充填材が絡まり切れ味が低下し十分に除去することができなかつた。これらの結果より、電動ブラシで板ガラス表面に残留する充填材を削り取った。同様にエネルギー分散型X線分析装置で測定した結果、炭素成分のピークが小さくなり珪素成分のピークを検出することができた(電動ブラシ処理)。電動ブラシを用いる

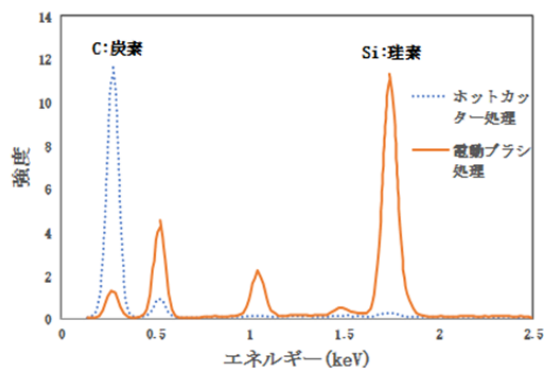


図2 元素分析結果

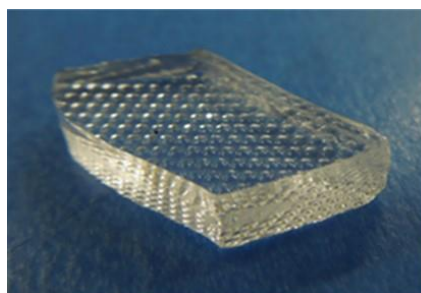


図3 分離した板ガラス

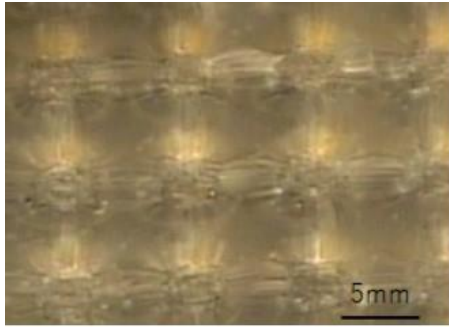


図4 分離した板ガラス表面

ことで残留した充填材が除去され、熱処理のような煩雑な処理はなく板ガラスを容易に分離できることが確認できた(図3)。

ホットカッターのみで容易に分離できなかった理由として、ガラス表面の構造が原因の一つにあげられる。充填材と接しているガラス表面には、太陽光の反射を軽減し、より多くの太陽光を透過し発電効率を上げるために、テクスチャ構造とよばれる凹凸構造が形成されている(図4)。この凹凸構造のため、充填材が取り除きにくくなったものと考えられる。

分離した板ガラスの状態を調べるため、透過率を紫外可視分光光度計(株)日立ハイテクノロジーズ・U-2810)で測定した。この測定において、テクスチャ構造は透過光を散乱するため、直進成分と散乱成分の両方を測定できる積分球を用いて測定した。その結果、スライドガラスと比較しても分離した板ガラスは高い透過率を示しており、これは不純物が少ないことも示唆している(図5)。

次に、板ガラスの組成分析を蛍光X線分析装置(株)リ

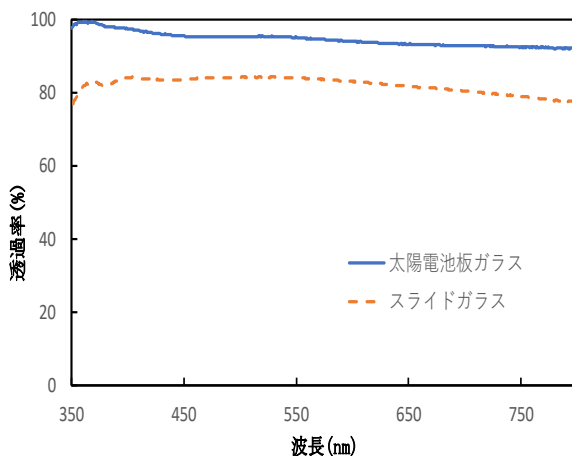


図5 紫外可視分光光度計分析結果

表1 板ガラスの組成

成分	wt%
SiO ₂	70
Na ₂ O	14
CaO	11
Al ₂ O ₃	3

ガク・ZSX Primus)を用いて行った。その結果、板ガラスの組成はけい酸(SiO₂:70-74wt%),ソーダ灰(Na₂O:12-16wt%),石灰(CaO:10-13wt%)を主成分としたソーダ石灰ガラスの組成と類似していた(表1)。ソーダ石灰ガラスは窓ガラス、びん、多くの食器類などに広く利用されており、太陽光パネルで使用される板ガラスは幅広く再利用可能である。また、ガラスリサイクルにおいて有害成分(セレン:Se, ヒ素:As, 鉛:Pb)の有無がリサイクル可能かどうかの目安となるため、分離した板ガラスを蛍光X線分析装置で元素分析した。その結果、今回の試験サンプルからはそれぞれの成分ピークは確認されず、有害成分の検出は無かった。上記の結果より、分離した板ガラスのリサイクル化が十分可能であることが示された。

3. 2 太陽電池セルの分離

リモネン溶媒中にセルを浸漬させると、1時間程度で充填材は膨潤したが溶解・除去には至らなかった。これは、リモネンと充填材の分子構造の類似性が低いからである。膨潤した充填材は、容易に除去することが可能であったので、リモネン溶液に試験サンプルを浸し、膨張した充填材をカッターで取り除くことで太



図6 分離した太陽電池セル

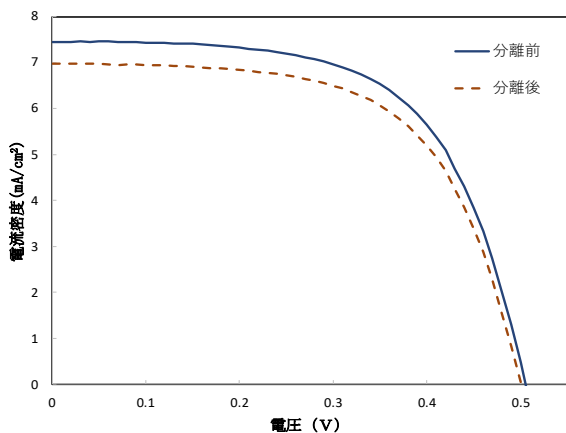


図7 太陽電池セルの電流－電圧測定

表2 太陽電池セルの性能値

	分離前	分離後
短絡電流(mA/cm ²)	7.48	6.98
開放電圧(V)	0.51	0.51
曲線因子	0.61	0.61
発電効率(%)	2.32	2.12

陽電池セルを容易に分離でき(図6)、従来の酸分解処理より大幅に時間短縮できた。エタノール、ヘキサンについても同様の試験を行ったが膨潤は見受けられなかった。これより、発がん性や毒劇物ではない有機溶媒の中でも、リモネンが有効であることが確認された。

分離した太陽電池セルの分離後の性能を確認するため、分離前後で電流-電圧測定を疑似太陽光下(1SUN : 1000W/m²)で測定した。その結果、分離前後において開放電圧・短絡電流・曲線因子・発電効率ともに同等の値を示しており、分離作業における性能劣化はほとんどみられない(図7、表2)。

なお、太陽光パネルを切り出して試験サンプルを製作しているため、太陽電池セルに損傷・電極剥がれが生じ、発電効率等の性能については太陽光パネル(発電効率：約12%)よりも試験サンプルが劣化したものと考えられる。よって、板ガラス同様、太陽電池セルにおいても実際の分離時には太陽光パネル単位での分離が必要である。

4. 結 言

石川県工業試験場の太陽光パネルを試験サンプルとして、板ガラスと太陽電池セルの簡易的な除去技術について取り組み、小スケールの試験サンプルではあるが、以下のような成果が得られた。

- (1) 板ガラスは、ホットカッターと電動ブラシを組み合わることで容易に分離することが可能となった。
- (2) 太陽電池セルは有機溶媒であるリモネンで充填材を膨潤させた後に、充填材をカッターで取り除くことで容易に分離することが可能となった。

今後は県内企業に向けて技術普及を継続し、県内企業のリサイクル化技術開発を促進していきたい。

参考文献

- 1) 経済産業省「平成29年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2018)
- 2) 環境省「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン(第一版)」
- 3) 斎藤光高, 小坂勇次郎. エチレン-酢酸ビニル共重合樹脂. 日本ゴム協会誌, 1970, no. 43, p. 192-197.
- 4) ㈱新菱. 太陽電池素子構成材料の回収方法. 特開 2014-108375. 2014-06-12.
- 5) 川鉄テクノリサーチ㈱. 太陽電池モジュールからのシリコンウエーハおよび強化ガラスの回収方法. 特開 2004-42033. 2004-02-12.
- 6) 野口勉. d-リモネンを用いた発砲スチロールリサイクル技術. 高分子. 1999, no. 48, p. 791.