

PVモジュールのリサイクル

鰻田 洋章 (M1)

1. はじめに

太陽光発電システムは、太陽電池のコストの大幅な低下に伴い実用化段階に近づきつつある。それは必然的に太陽電池モジュールの大量普及を可能にする可能性があり、その結果、廃棄物問題が生じる。太陽電池モジュールは複合材料であり、その耐用年数は一般的に20年から30年と言われているが、その原因として、充填材のEVA（エチレン酢酸ビニル）の黄ばみや、熱応力による導線破断などが考えられるが、太陽電池セルそのものの性能劣化が原因ではない。セルは製造工程において、エネルギー消費が膨大であるため、太陽電池を回収することによる資源の有効利用という考えも出てくる。

最も普及している結晶系シリコン太陽電池モジュールの一般的な構造を図1に示す。これは、スーパーストレート方式といわれるもので、結晶系太陽電池セルを、EVAを用いてラミネート封入している。このラミネートが強固であるため、リサイクルが困難なものとなっている。しかし、EVAを除去できる方法があれば、先に述べた廃棄物問題などが解決する。

そこで本研究では、有機溶媒を用いてEVAを除去し、セルを無傷で回収する方法を実験的に検討してみた。

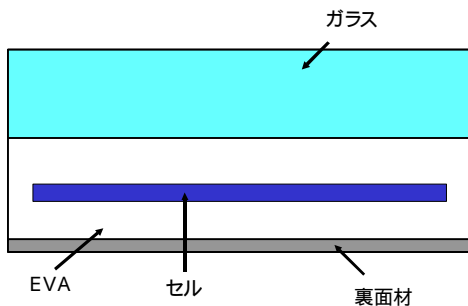


図1 太陽電池モジュールの断面図

2. 実験

2.1 溶媒の選定

本研究では、有機溶媒を用いて、EVAの除去を検討している。その理由として、セルの最終工程である電極取付け工程が200程度であり、EVAの熱処理によるセルの封入工程が150程度であるので、常温から200領域でのEVA除去プロセスが望ましいからである。

今回使用した溶媒を表1に示す。溶媒の選定

方法として、まず、重合前のEVAを用いて実験を行い、実験結果からある程度選別した後、重合後のEVAを使って、溶媒の選定をおこなった。

表1 有機溶媒の選定結果

	重合前	重合後	備考
エタノール	x	x	重合前EVA膨潤なし
メタノール	x		重合前EVA膨潤なし
メチルイソブチルケトン			
メチルエチルケトン			
アセトン		x	
トルエン			重合後EVA膨潤度大
トリクロロエチレン			重合後EVA若干破断
エチレンジオキシラン	x		重合前EVA膨潤なし
テトヒドロフラン			重合後EVA膨潤度大
石油ベンジン			
ラッカーシンナー			
グリセリン	x		重合前EVA膨潤なし
マシン油	x		重合前EVA膨潤なし
灯油			
軽油		x	
ガソリン			
過酸化水素水	x		重合前EVA膨潤なし
効果あり 効果小 x 効果なし 実験せず			

まず重合前のEVAを使った実験で、エタノールなど6種類が候補から消えた（エタノールは比較のため重合後の実験も使用）。その後、重合後のEVAを使った実験において、どれも溶解はしなかったが、最も効果的なのがトリクロロエチレンであった。そこでトリクロロエチレンを用いて、セルの回収実験を行った。

2.2 トリクロロエチレン法

実験は試作したワンセルモジュールを用いて行った。構造は、図1のような結晶系シリコンスーパーストレート方式を擬似している。その理由として、先にも述べたが一般的であること、結晶系シリコン太陽電池モジュールの場合、コストやエネルギーの削減効果がライフサイクル分析によってあげられているからである。セルに及ぼす影響を調べるために、実際の多結晶シリコンセルを使用、裏面材として、手軽さなどからアルミ箔を使用した。

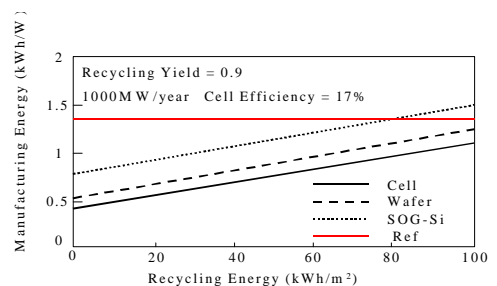


図2 ライフサイクル分析（エネルギー）

実験は、アルミ箔の裏にガラス板をあて、ダブルクリップで側面をはさんだもので行った。ガラス板は、膨潤を抑制してセルの破損を防ぐためである。

温度による膨潤度の違い、ならびに機械的圧力の違いから、常温でガラス板1枚、80℃加熱でガラス板1枚、80℃加熱でガラス板2枚の3通りで実験を行った。

実験結果を表2に、この実験のEVA除去メカニズムを図3に示す。このトリクロロエチレン法は、加熱によってEVAの流動性を高め、適度な加圧によってEVAを側面に押し流し、トリクロロエチレンとEVAの比重差によってEVAを引きちぎったと推測できた。ガラス板2枚の場合、機械的加圧が大きすぎるため、その力でセルを破損したと思われる。また、常温の場合、EVAの流動性が加熱に比べて小さいため、側面にEVAを押し流す作用が小さいので、結局上下方向の力だけが加わり最終的に破損したと思われる。

表2 トリクロロエチレン法の結果

条件	結果
常温 ガラス 1枚	1週間ほどでセルが破損
加熱 ガラス 1枚	セルを破損することなくEVAを除去
加熱 ガラス 2枚	セルが破損する
加熱はオイルバスにて80℃まで加熱	

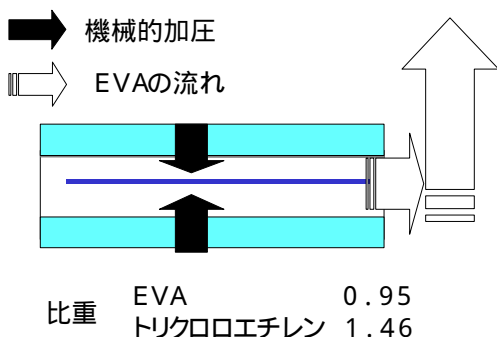


図3 トリクロロエチレン法メカニズム

2.3 o-ジクロロベンゼン法

トリクロロエチレン法によって、比較的低温処理で、セルにダメージを与えない方法が確立できた。しかし、トリクロロエチレンは発癌性物質で知られているので、環境面であまり使用が好ましくない。そこで、環境面でより望ましい溶媒として、o-ジクロロベンゼンを用いる方法について検討を行った。

実験は、2サンプルを用いて行った。サンプル1はトリクロロエチレン法を参考に、裏面にガラス板をあて、機械的加圧を加えたもの、サンプル2はモジュールである。実験条件として、温度は120℃、期間は1週間行った。その結果

を図4に示す。

o-ジクロロベンゼン法は、トリクロロエチレン法と全く逆の結果が出た。これは、o-ジクロロベンゼンはトリクロロエチレンより溶解度が大きく、膨潤が小さいため、機械的加圧が余計な圧力となってセルを破損したと思われる。

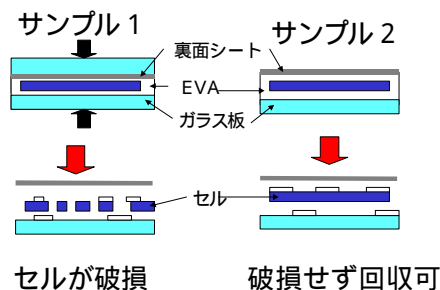


図4 o-ジクロロベンゼン法結果

3. 回収後の太陽電池特性

回収したセルを、大同ほくさんの石川氏の協力を得て、太陽電池特性の測定をしてもらった。その結果を表3に示す。

表3 太陽電池特性

	単結晶		多結晶	
	回収前	回収後	回収前	回収後
Voc(V)	0.613	0.597	0.606	0.603
Isc(A)	3.63	3.55	3.1	3.11
Pmax(W)	1.69	1.47	1.39	1.37
FF	0.758	0.694	0.741	0.733
Rs(Ω)	0.017	0.03	0.018	0.018
Cell Eff. (%)	16.1	14	13.9	13.7

特に多結晶シリコンにおいて、性能劣化がほとんどなかった。

4. おわりに

o-ジクロロベンゼンを加熱状態で作用させることにより、セルを破損することなく回収することに成功した。溶媒による太陽電池特性への影響も、多結晶シリコンセルではほとんどなかった。リサイクル手法として期待できると思われる。

今後の課題として、溶媒として環境面、経済性を考えて、o-ジクロロベンゼンにかわる溶媒の可能性を検討する必要がある。また、温度条件などを変えて、実用性があるか調べる必要もまたある。

発表文献

- 「PVモジュールリサイクルの実験的検討(2)」平成10年度太陽エネルギー学会
- 「PVモジュールリサイクルにおけるo-ジクロロベンゼン法の検討」平成11年電気学会全国大会