

廃棄太陽電池パネルからの省エネルギー銅配線回収・有害物質除去手法の開発

Development of copper wire recovery and harmful substance removal methods
from waste solar panels on energy saving manner

電子・機械技術部 機械・加工科 三瓶義之 渡邊孝康

廃棄太陽電池パネルから省エネルギーで銅配線を回収し、有害物質を除去する手法の開発に取り組んだ。超振動工具、加熱工具、レーザーでの加工について検討した結果、超振動工具による銅配線回収技術が最も適していた。銅配線回収後のパネルの破砕物は鉛の溶出量が検出限界値以下であり、有害物質が除去できていた。

Key words: 太陽電池パネル、リサイクル、有害物質除去、溶出試験

1. 緒言

再生可能エネルギーの普及により、太陽光発電パネルは急速に設備導入が進んでいる。それに伴い、設備寿命あるいは災害などで発生する廃棄太陽光発電パネルの量も増大しており、2036年には年間約17～28万[t]の量が排出されると推計されている¹⁾。そのため、廃棄される太陽電池パネルのリユース、リサイクル技術に加えて、リサイクル残渣からの有害物質の除去技術が求められている。現在、パネルに使用されている外部配線及びアルミフレームに関してはリサイクルが確立されているが、パネル内部にラミネートされている銅配線に関しては回収する手法は確立されていない。また、この銅配線は表面にはんだが塗布されており、鉛などの有害物質が含まれているため、その後の処理を行うにあたって、これらを除去することが望ましい。そこで、ラミネートされている銅配線を回収することで、資源金属の回収及びリサイクル残渣からの有害物質を除去する技術の開発に取り組んだ。機械加工及びレーザー加工でラミネート外部から銅配線の回収が可能か検証し、加工時間やコストの点から実現可能性について検討したので報告する。

2. 実験

2. 1. 銅配線回収手法の検討

2. 1. 1. 超振動工具を用いた回収

超振動工具を用いた機械加工で、銅配線を回収する手法について実験した。パネル内部は図1のようにガラスとバックシートの上にEVA樹脂（以下EVA）に包まれて銅配線及び発電セルが配置された構造をとっている。そこで、ガラスの反対側のバックシート側から、銅配線周囲のEVA及び太陽電池セルごと銅配線を回収する手法について検討した。作業に必要な労力及び時間を低減するため、刃先が超高速で振動する超振動工具を用いて除去実験をした。

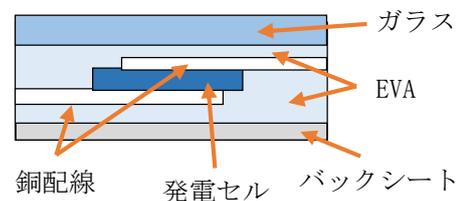


図1 太陽電池パネルの内部構造

パネルは単結晶シリコン型のセルをガラスとバックシートでラミネートした外形400[mm]角のものを用いた。工具には東京オートマック製の超振動工具ハンドワーカーHCT-30と振動ヘッド、幅9[mm]の半丸刃を組み合わせ、回収実験をした。回収前後のパネルを図2に、回収部及び回収された銅配線を図3に示す。



図2 配線回収前後のパネルの全体像
(上：銅配線回収前，下：銅配線回収後)



図3 銅配線回収部と回収された銅配線
(上：パネルの銅配線回収部, 下：回収された銅配線)

図3から、ガラスのラミネート内面側の凹凸部が露出しており、銅配線はガラスとEVA界面から剥離していることが分かる。また、回収された銅配線はEVAに包まれ、はんだが露出する箇所は銅配線端部のみであった。パネル1枚の銅配線回収に必要な時間はパネルの固定と銅配線部のマーキングに180[sec]程度、工具での回収に100[sec]程度であった。

廃棄される太陽電池パネルは、ガラスが割れた状況で持ち込まれることも想定される。超振動工具による回収作業はこのようなパネルにも適用できるかを確認するため、ガラスの割れたパネルに対しての回収実験をした。実験に用いた割れたパネルを図4に、回収作業後の拡大図を図5に示す。

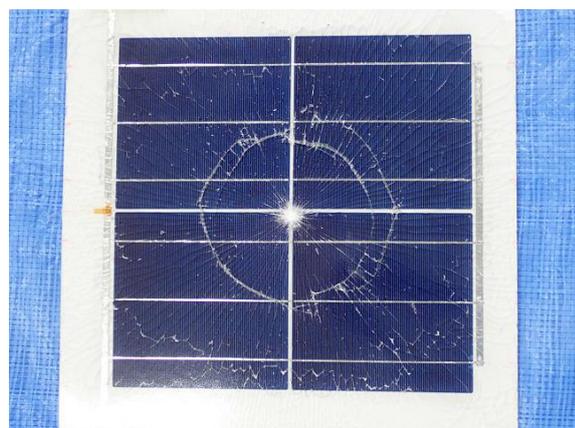


図4 ガラスが割れた破損パネルの外観

超振動工具を用いることでガラスが割れたパネルも、健全なパネル同様に銅配線を回収することができた。



図5 ガラスの割れた破損パネルからの銅配線回収部

2. 1. 2. 加熱工具による銅配線回収

刃先を加熱した工具でバックシート及びEVAを必要な部位のみ軟化させて切断し、内部の銅配線を回収する手法について実験をした。加熱工具にはヒータ消費電力40[W]の白光株式会社製ホットナイフNo.515を用いて回収実験をした。その結果、使用した加熱工具ではバックシート及びEVAを軟化させることができず、EVAの切断及び銅配線の回収を行うことはできなかった。十分に軟化させ容易に加工を行うには数百[W]以上のヒータ消費電力が必要であり、かつ発電セルの破砕に耐える刃先が必要と考えられる。

2. 1. 3. レーザー加工による銅配線回収

ガラス面からレーザーを照射し、ガラス内面とEVAとの界面で剥離加工することで、銅配線を回収する手法について検討した。まず、レーザーの種類による加工の可否を判断するため、炭酸ガスレーザー及びファイバレーザーを用いた加工機で加工実験をした。

実験は東成エレクトロビーム株式会社に委託し、加工試料には外形200[mm]の銅配線のみをラミネートしたパネルを用いた。レーザーは銅配線のラミネートされている部分のみガラス面側から照射した。レーザー加工の条件は表1の通り。

表1 レーザー加工条件

加工装置	炭酸ガスレーザー	ファイバレーザー
発振形式	連続波	パルス
波長	10.6 (μm)	1064 (nm)
投入電力	30 (W)	69 (W)
スキャン速度	250 (mm/sec)	2760 (mm/sec)

炭酸ガスレーザーでの加工結果を図6に、ファイバレーザーでの加工結果を図7に示す。炭酸ガスレーザーでは入射側のガラス表面が加工されたことで割れが発生し、加工を継続することができなかった。ガラスとEVAの界面は剥離しておらず、ガラスから銅配線を回収することはできなかった。ファイバレーザー加工では、ガラスとEVAの界面を炭化させて剥離できた。

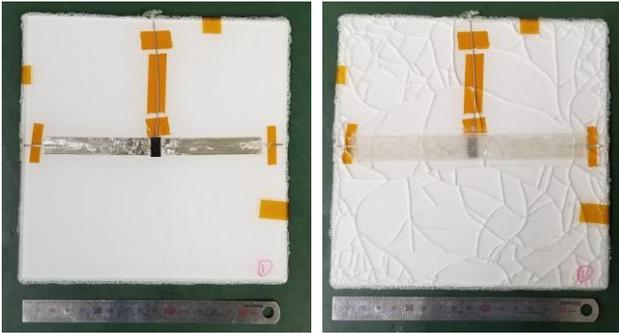


図6 炭酸ガスレーザーでの加工結果
(左：加工前、右：加工後)

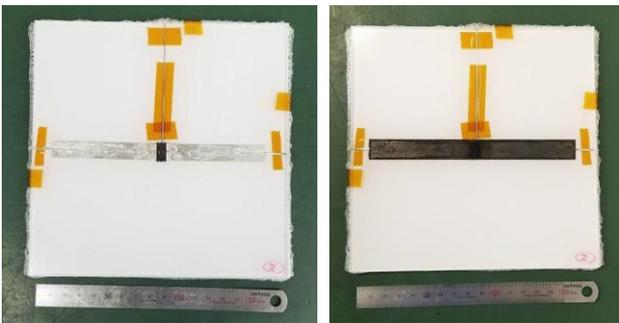


図7 ファイバレーザーでの加工結果
(左：加工前、右：加工後)

剥離加工を行うことができたファイバレーザー加工について、外形 400[mm]のパネルを試料として加工実験をした。レーザー照射条件は変えずに、照射範囲をパネル内の銅配線部として加工した。加工に要した照射時間は1枚当たり 320[sec]であった。加工の結果について図8に示す。

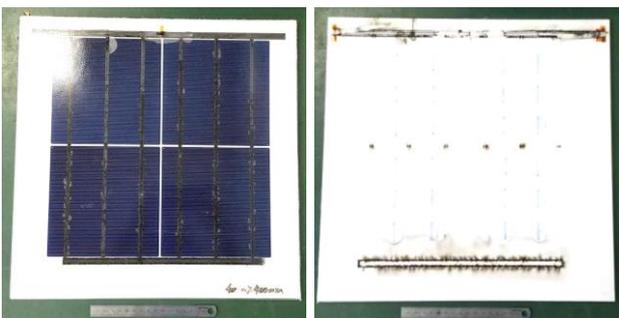


図8 ファイバレーザーでのパネル加工結果
(左：パネル表面、右：パネル裏面)

加工の結果、ガラス表面側から銅配線周囲のガラスとEVAの界面を剥離加工することができた。しかし、銅配線とセルが重なっている部分に関してはセルを切断して銅配線を剥離させることができず、レーザー加工のみで銅配線を回収することができなかった。

2. 1. 4. 銅配線回収手法間の比較

機械加工、熱加工、レーザー加工の3手法について、実現可能性について検討するため設備費用、消費電力、加工に要した時間、銅配線回収の容易さについて比較した。その結果を表2に示す。

表2 銅配線加工手法間の比較

	超振動工具	加熱工具	レーザー加工
設備費用	安価 (十数万円)	安価 (十数万円)	高価 (数百万円以上)
消費電力	小 (数十W)	大 (数百W)	小 (数十W)
加工時間	短い (数分)	長い (数十分)	短い (数分)
配線回収	容易	困難	後工程必要

銅配線回収及びリサイクル残渣からの有害物質回収技術を社会実装するためには、これらの要因をすべて満たしていることが望ましい。また、寸法や破損状態などが様々に異なる廃棄太陽電池パネルに柔軟に対応できることも求められる。これらの要求項目に対応可能な技術としては超振動工具を用いた銅配線回収技術が最も有望であると考えられる。

2. 2. 大型パネルへの銅配線回収技術の適用

超振動工具を用いた銅配線回収技術について、市販パネルへの適用とその際の回収速度について検証した。一般にフルサイズと呼ばれる 200[W]クラスのパネルでは治具や装置の開発が進んでいるため、既存で治具類が整備されていない 100[W]クラスのパネルを対象として治具を開発した。治具はガラスの割れや、変形があっても安定して回収作業ができるよう、突き当てとトグルで固定する構造とした。また、銅配線回収時に工具を添わせるガイドを設けることで、簡易かつ高速に銅配線を除去できるようにした。作製したパネル固定治具を図9に示す。



図9 作製したパネル固定治具

この治具を用いてパネルからの銅配線回収作業をした。その結果、パネルを確実に固定することができ、パネル中央部の長い銅配線でもずれなく回収することができた。パネルの大型化に伴い、銅配線回収の際の工具移動距離は長くなるが、安定した固定とガイドの効果で工具の移動速度は向上し、1パスの回収に10[sec]程度、パネル1枚あたり300[sec]程度で銅配線を回収できた。

2. 3. 銅配線回収による無害化の検証

資源物を回収した後の残渣については何らかの手法で処分する必要がある、その際には鉛などの有害物質が付着していないことが望ましい。そこで銅配線を回収した残渣にはんだ由来の鉛成分が残留していないか分析した。廃太陽電池パネル全体の破砕物及びガラス部の破砕物、銅配線を回収した後のパネル全体の破砕物について「産業廃棄物の検定方法に係る分析マニュアル」に従って溶出処理を行い、ICP発光分析法で鉛の溶出量を測定した。分析の結果を表3に示す。

表3 パネルからの鉛溶出量の分析結果

試料	鉛溶出量(mg/l)
廃太陽電池パネル破砕物	0.0820
廃太陽電池ガラス破砕物	0.0288
銅配線回収後のパネル破砕物	検出限界値以下

分析の結果、銅配線回収前の廃太陽電池パネルの破砕物及びガラスの破砕物からは鉛の溶出がみられた。銅配線回収後の破砕物では鉛の溶出値は検出限界値以下であった。このことから、破砕後にガラスを分別する手法ではパネルに含まれている鉛の除去は十分でないことが分かった。また、銅配線回収後はパネル内の有害物質除去に有効であった。

3. 結言

廃太陽電池中にラミネートされている銅配線を回収する技術として超振動工具、加熱工具、レーザー加工について実験を行い、資源金属の回収及びリサイクル残渣から有害物質を除去する技術の開発に取り組んだ。その結果は以下の通り。

- ・超振動工具による加工では迅速に銅配線を回収することができる。
- ・加熱工具による加工では、ヒータ電力が数十[W]では回収することができないため、より大きな電力を投入する必要がある。
- ・レーザーによる加工では、それのみでは銅配線を脱離回収することができず、後工程で回収を行う必要が

ある。

- ・超振動工具を用いた除去技術は設備投資、必要電力、回収速度及び破損パネルへの適正の点で他の手法よりも適している。
- ・超振動工具を用いた回収技術について作業用の治具を作製し、安定して銅配線回収ができた。
- ・銅配線回収前の廃太陽電池パネルの破砕物及びガラス破砕物からは溶出試験で鉛が検出された。
- ・銅配線回収後のパネルでは鉛の溶出量は検出限界値以下であり、有害物質が除去されていた。

今後この技術を社会実装するためには、治具及び自動化について廃棄太陽電池パネルの処理を行う企業の現場の実態に合わせた装置の開発を進める必要がある。

参考文献

- 1) 研究評価委員会. “「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」(事後評価)分科会”. 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. 2019年12月5日. (更新2020年1月9日)