

令和5年3月31日

令和4年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	太陽光パネルを分解したい	
研究課題名	太陽光パネルのリサイクルについての研究	
研究代表者 (学生)	学籍番号	B24N008
	氏 名	石井 陽明
指導教員	学 科	知能メカトロニクス学科
	氏 名	小宮山崇夫

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

太陽光パネルのリサイクルについての研究

システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

1年 石井 陽明

1年 荒田 悠斗

指導教員 システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

助教 小宮山 崇夫

1 太陽光パネルの構造

分解する前に太陽光パネルの構造を調べた。図1に示すように、アルミフレーム、ガラス、封止材、太陽電池セル、バックシートに分けられ、重量比でみると全体の65%をガラスが占めており、太陽電池セルはわずか3.4%であることが分かった。



図1 太陽光パネルの構造と重量比⁽¹⁾

2 太陽光パネルは環境にいいか (製造、運用、廃棄)

2-1 温室効果ガス(CO2)で比較

図2より、太陽光発電のCO2排出量は化石燃料火力発電のわずか数%とわかる。その排出量の多くが製造時に利用するエネルギーなので、そのエネルギー自体が低排出になれば排出量はさらに減少すると予想される。

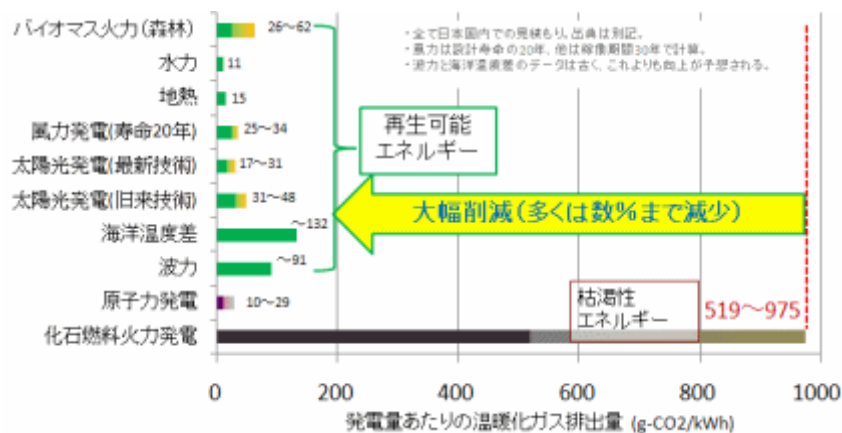


図2 発電量当たりのCO2排出量⁽²⁾

2-2 エネルギーペイバックタイム(EPT)とエネルギー収支比(EPR)

現在使われている太陽電池モジュールのEPTは2010年時点で1~3年と一昔前のモジュールの半分になっており、今後の技術開発によってさらに短くなると予想される。EPRは、12~21倍(寿命20年でも8~14倍)と見積もられており、こちらも今後の技術開発によって30倍にまでなると予想

される。このように、EPR と EPT で見ても太陽光発電はサステナブルなエネルギー源として十分実用的な性能を有している。

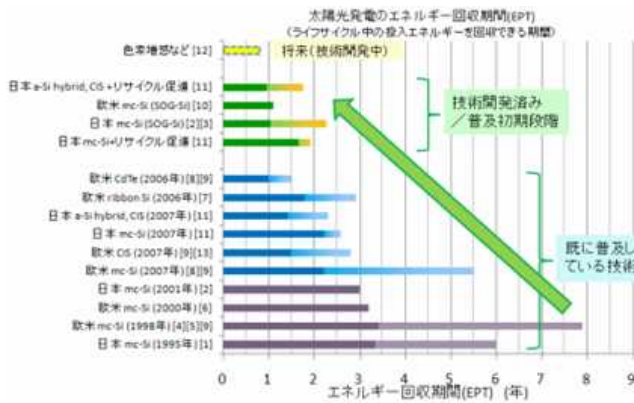


図 3 EPT の推移状況⁽³⁾

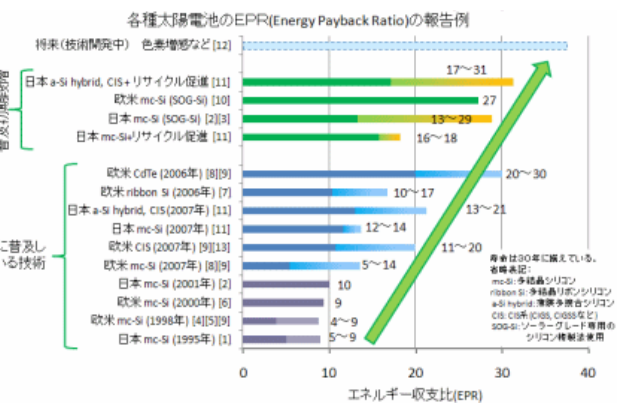


図 4 EPR の推移状況⁽³⁾

2-3 太陽電池パネルに含まれる有害物質

環境省から出されている報告書(4)によると、含有量試験の結果から、製造年代の古い製品ほど結晶系のモジュールを中心に電極等ですず鉛共晶はんだが使用されており鉛が含有される。また、鉛の濃度は多結晶の製品ほど高い傾向にある。化合物系のモジュールにおいては、セレンやカドミウムが含有されているものが存在する。

溶出試験の結果より、結晶系のモジュールの一部において鉛が燃えがら等についての基準値(0.3mg/L)を上回る結果となった。同様に、化合物系モジュールの一部においてセレンが燃えがら等についての基準値(0.3mg/L)を上回る結果となった。また、化合物系のモジュールの一部においてカドミウムが基準値を上回る結果となった。なお、試料調製方法、分析機関により結果にばらつきが生じる可能性がある。⁽⁵⁾ しかし、RoHS 指令により近年はんだの鉛フリー化が進み新規に製造されているパネルには鉛は含まれていない。

単位: mg/kg

種類	製造年	部位	鉛	カドミウム	セレン	すず
結晶シリコン系 (単結晶)	～1999	電極	110,000	—	—	69,000
		EVA・結晶・バックシート	1,900	3	<1	1,900
	2010～2013	電極	170	—	—	18,000
		EVA・結晶・バックシート	290	<1	<1	3,700
結晶シリコン系 (多結晶)	2001～2005	電極	140,000	—	—	250,000
		EVA・結晶・バックシート	7,600	—	<1	14,000
	2017～	電極	68,000	<1	<1	18,000
		EVA・結晶・バックシート	29	<1	<1	30
薄膜シリコン系	2008～2013	電極	70	—	—	320,000
		EVA・結晶・バックシート	15	<1	2	680
化合物系	2007～2013	電極	4,100	—	—	160,000
		EVA・結晶・バックシート	26	390	370	450

図 5 含有量試験結果(文献(5)から抜粋)

単位: mg/L

種類	製造年	鉛	カドミウム	セレン
結晶シリコン系(多結晶)	2012	0.35	<0.01	<0.01
化合物系(CIS系)	2007	<0.01	<0.01	1.07
化合物系(CIS系)	2013	<0.01	<0.01	0.98
化合物系(CdTe系)	2013	<0.01	0.12	<0.01

図 6 溶質試験結果(文献(5)から抜粋)

2-4 太陽光パネルにおけるリサイクル

フレームとジャンクションボックスは取り外しが容易なためそれぞれアルミニウムと銅にマテリアルリサイクルされる。太陽電池セルは溶解され、銀などを抽出してマテリアルリサイクルされる。ガラスは板ガラスとして分離できるか割れガラスになるかでリサイクル後の用途が分かれる。板ガラスは塊が大きいので不純物が少なくリサイクルの用途が多い。割れガラスのほうは不純物が多く、用途が減る。太陽電池セルとガラスは封止材（主にエチレン酢酸ビニル共重合樹脂(EVA)）が付着したままだと不純物が多くなり、リサイクル可能な用途が減る。封止材を熱分解する場合は燃焼熱をサーマルリサイクルできる。⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾

3 太陽光パネルの分解方法

3-1 既存の分解方法

アルミフレームとジャンクションボックスは機械的に取り外される。太陽光パネルの分解ではガラスの分離が難しい部分で、様々な方法が提案されて、3つの方法に大別できる。化学的処理法は封止材(EVA など)やバックシートが樹脂であることから、工業用途で一般に使用されている剥離剤や強酸などの溶液中に浸漬させ、化学的に分類・除去する方法である。熱処理法は、熱分解炉等で太陽光パネルを加熱することで樹脂をガス化・燃焼させるなどしガラスを剥離する方法である。機械的剥離法は、物理的な外力（切削，衝撃，せん断，圧力など）を加えることでガラスまたはバックシート・太陽電池セルを除去・分離する方法である。⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ 具体例を4つ示す。熱分解+高度選別処理は樹脂を太陽光パネルごと加熱分解し、ガラス、太陽電池セル、配線等を識別して資源回収する方法。ホットナイフ法はガラスと太陽電池セルの間に約300度に熱したナイフを入れて樹脂を化学変化や軟化をさせながら分離する方法である。ロール式破碎機方式はガラスの表面、またはバックシート・太陽電池セルを凹凸がついたロールで削り取り、削り取ったものを必要に応じて選別して資源回収する方法で、ブラスト方式はガラスにガラス粒等のブラスト材を吹き付けてガラスを剥離する方法である。⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

3-2 実際に太陽光パネルを分解する

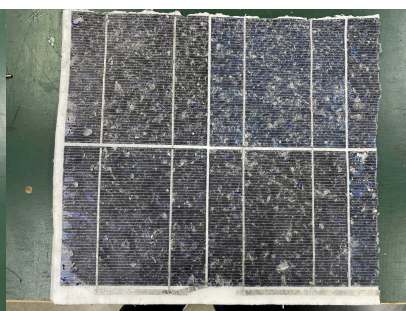


図7 分解前の太陽光パネル

図8 作成した道具

図9 分解したパネル

分解した図7の太陽光パネル(以下パネル)は、京セラ株式会社が2000年1月に製造し20年屋外にて使用されたものである。パネルの出力は145W、総重量は13.8kgで、内訳はガラス約8.9kg、アルミフレーム約2.2kg、セルシート約2.6kg、ジャンクションボックス約0.2kgであった。

私たちは、パネル1枚すべてを分解するのは人力では困難だと考えパネル1枚を8個に割ってそのうちの数枚を別々の方法で分解することにした。

まず、ドライヤーなどで熱などを加えずマイナスドライバーやへらを使用してガラスとセルシートに分解した。しかし、ガラスとセルシート同士をEVAが強力に接着しているため、一部しか分解・分離することができなかった。

次に、図8の道具を作成し、刃の部分パネルにあて上から足で踏むことでガラス部分を砕くことによって分解を試みた。しかし、人力では力が足りないことや、刃の間隔が広いことも

あって、ガラス部分に穴をあけることしかできず、ほとんどガラスを砕くことができなかった。

最後に、ホットプレートを使用し、パネルのガラス部分にあて EVA に熱分解温度以下である 250℃に加熱することで、ガラスとセルシートの間にある EVA を溶かしこれらを分解した。加熱しただけでは分解することはできなかったが、マイナスドライバーやへらを使用することで、すべて分解することができた。図 9 がガラスを完全に除去した後の EVA が付着しているセルシートの写真である。

この研究を通して、私たちは以下の結論に至った。

20 年使用したパネルでさえある程度の熱や力を加えない限り、分解が困難を極めたので太陽光パネルを屋根上等の環境下で使用しても石が飛んでくるなどのアクシデントがない限り壊れることはないと考えられる。また、EPT や EPR, CO2 排出量、廃棄による環境負荷において風力発電などの再生可能エネルギーと比べても太陽光発電はエネルギー源として十分実用的な性能を有している。

謝辞

研究を進めるにあたり、中古太陽光パネルを提供いただきました秋田県資源技術開発機構の松田光明氏に感謝いたします。

参考文献

- (1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. “太陽光発電開発戦略 2020” 2020 年 12 月. <https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>
- (2) 産業技術総合研究所, “再生可能エネルギー源の性能”. (最終更新:2008 年 11 月 6 日) https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about_pv/e_source/PV-energypayback.html
- (3) 産業技術総合研究所, “太陽光パネルのエネルギー収支”. (最終更新:2010 年 2 月 12) https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about_pv/e_source/RE-energypayback.html
- (4) 環境省, “太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書”. (2015 年 6 月 23 日) <https://www.env.go.jp/content/900523828.pdf#page=26>
- (5) 環境省, “太陽光発電設備のリサイクル等の促進に向けたガイドライン(第二版)”. (2018 年 12 月 27 日) <https://www.env.go.jp/content/900533586.pdf#page=92>
- (6) 一般社団法人 太陽光発電協会. 太陽電池パネルの適正処理・リサイクルについて. 2022 年 11 月. https://www.jppea.gr.jp/wp-content/uploads/sympo39_s3_doc0_r1.pdf,
- (7) NPC incorporated. 廃棄処分の太陽光パネルの自動解体装置・ライン. <https://www.npcgroup.net/solarpower/reuse-recycle/dismantling>,
- (8) PV リサイクル.com - note. 太陽光パネルのリサイクル技術①. 2022 年 12 月. https://note.com/pvrecycle_com/n/n904163344e66,
- (9) PV リサイクル.com - note. 太陽光パネルのリサイクル技術②. 2022 年 12 月. https://note.com/pvrecycle_com/n/n603610073d35,
- (10) 加藤伸一. “太陽光パネルの銀や銅もほぼ 100%回収、ガラスの「水平リサイクル」も視野に”. メガソーラービジネス. 2022 年 11 月 28 日. <https://project.nikkeibp.co.jp/ms/atcl/19/feature/00007/00071/?ST=msb&P=2>,
- (11) 経済産業省. 株式会社新菱「太陽光パネル リサイクル」. 2022 年 5 月 12 日. https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/saisei_kano_energy/pdf/003_06_00.pdf