

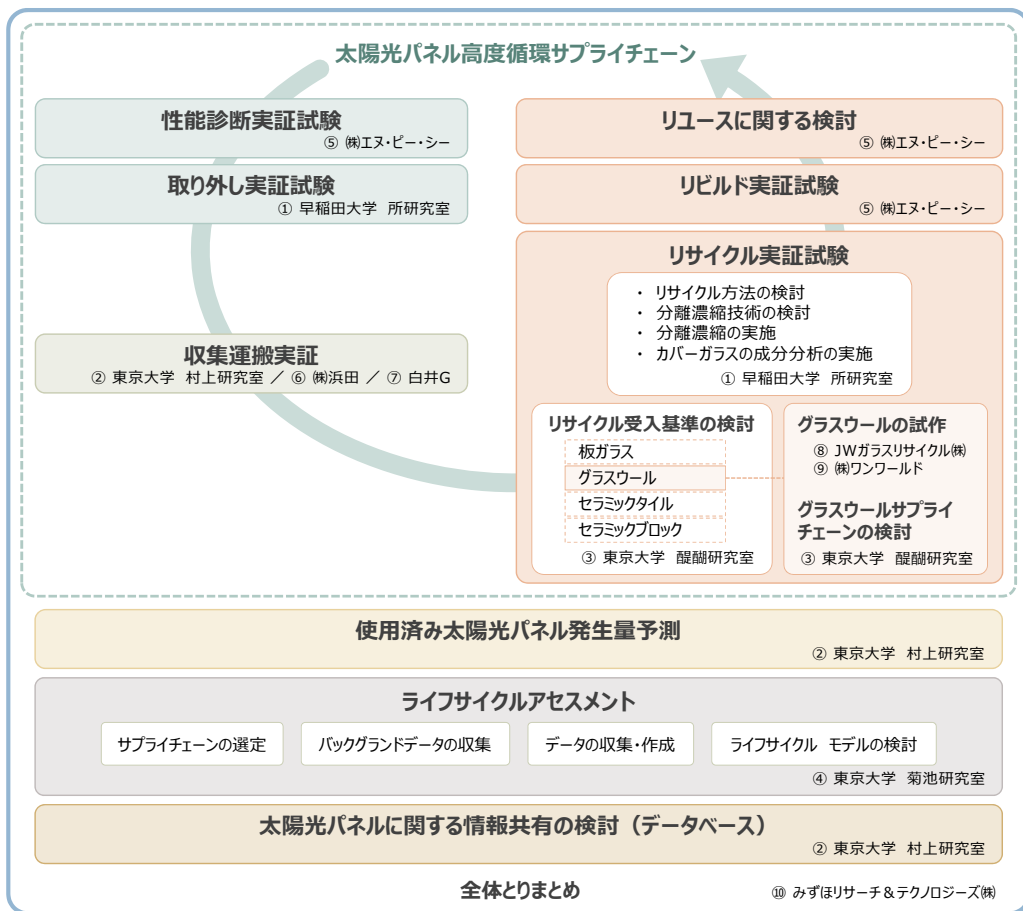
東京都事業「太陽光パネルの高度循環に向けた実証調査」

2019年度から2021年度にかけて、技術と社会システムの最適パッケージを追求し、太陽光パネルの高度循環の仕組みを構築することを目的として、産学協働による実証調査及び検討を実施しました。本資料は、この実証調査の内容をもとに作成しています。なお、参加主体及び検討概要は、以下のとおりです。

【参加主体】

- ① 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 地球・環境資源理工学専攻 所千晴研究室
- ② 東京大学大学院 工学系研究科 技術経営戦略学専攻 村上進亮研究室
- ③ 東京大学 先端科学技術研究センター 醍醐市朗研究室
- ④ 東京大学 未来ビジョン研究センター 菊池康紀研究室
- ⑤ 株式会社エヌ・ピー・シー
- ⑥ 株式会社浜田
- ⑦ 白井グループ株式会社
- ⑧ JWガラスリサイクル株式会社
- ⑨ 株式会社ワンワールド
- ⑩ みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

【検討概要】



使用済み太陽光パネルの高度循環に向けて

2012年の固定価格買取制度（FIT）の導入以降、全国の太陽光発電の設置数は加速度的に増加しています。太陽光パネル（PVパネル）の製品寿命は約25〜30年とされているため、設置からの時間経過に伴い、今後大量に廃棄されることが見込まれていますが、使用済み太陽光パネルの循環利用サプライチェーンは、まだ確立されていないのが現状です。

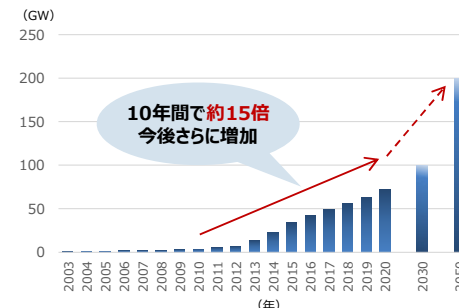
そこで、使用済み太陽光パネルを適正に処理し、高度循環を進めるため、東京都は「太陽光パネルの高度循環に向けた実証調査」（以下、「実証調査」という）を実施しました。

使用済み太陽光パネルの循環利用サプライチェーン

日本の太陽光発電の累積導入量は、10年前と比較して15倍以上に増加しました。2020年10月に、政府が2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言したことを受けて、今後も導入は促進されることが見込まれています。

一方、今後の太陽光発電設備の大量廃棄をめぐっては、最終処分場がひっ迫したり、事業用太陽光パネルが事業終了後もそのまま放置されたりすることが懸念されています。また、東京都の場合、太陽光発電設備の導入容量に占める住宅用の割合が7割と高く、少量が散発的に排出されることが予想されていることから、どのように処理したら良いか、効率的な処理方法を明確化する必要があります。

使用済み太陽光パネルについて、既に分離後のアルミフレームや金属、ガラスなどのリサイクルが一部で実施されていますが、循環経済（サーキュラーエコノミー）への転換に向けて、今後、より高度な物理的分離によるサプライチェーンの構築が求められます。



出典：IEA「Snapshot of Global PV Markets 2021」などより作成

図1 日本の太陽光発電累積導入量

【現状】 → 【今できること】 → 【今後期待される姿】

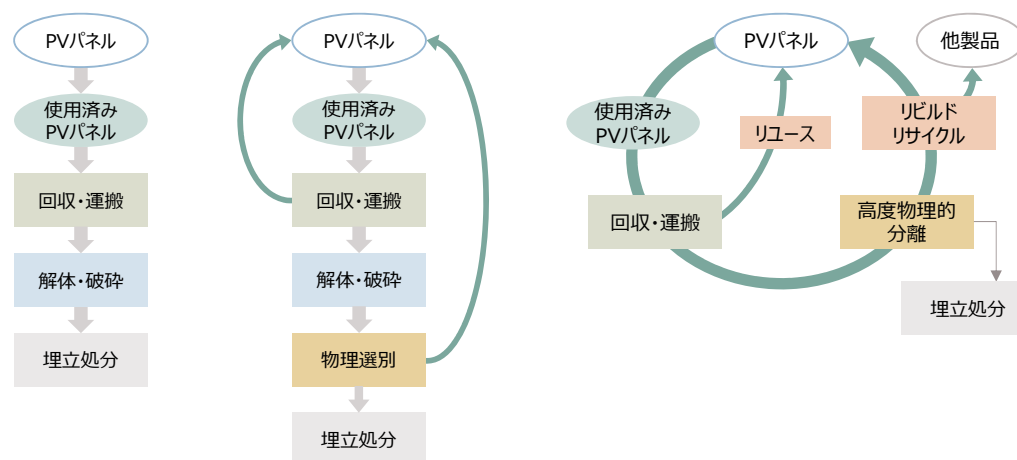


図2 使用済み太陽光パネル（PVパネル）のサプライチェーン

使用済み太陽光パネルの高度循環に向けて、すぐできること・今後できそうなこと

● **すぐできること**
 ※ さらなる検討の上で、今後できそうなこと

取り外し 性能診断

課題

- 取り外し実績が少ないため、撤去に関する知識や技能を保有している業者、適切に処理できる業者が限定的
- パネルをリユースするか、どのプロセスに運搬するかを把握するためには、性能診断や組成分析が有効だが、技術が未整理

実証調査で実施したこと

- 取り外し実証：3件
- 性能診断に有効な測定項目、機器、測定方法を検討

【取り外し実証の概要】

	藤沢市S様邸	鎌倉市H様邸	横浜市K様邸
パネル設置枚数	25枚	24枚	24枚
作業人数	4名	3名	3名
パネル搬出経路	屋根→ベランダ→屋内→敷地内仮置き場→搬出トラック(翌日)	屋根→簡易昇降機→仮置き→搬出トラック	屋根→簡易昇降機→仮置き→搬出トラック
作業時間	4.75時間	3.17時間	2.75時間



● 性能診断により、リユース可能な性能を維持しているパネルか、リサイクルすべきパネルかの特定が可能

※ 取り外し現場で精緻な性能診断やカバーガラスの組成分析ができると、運搬先(再利用先)の選定に有効

性能診断を行うためには、安全性の確保及び発電性能の確認が重要です。性能診断の測定項目と、使用する機器例、測定方法は下表のとおりです。

なお、発熱箇所の特定測定の一案を示していますが、課題も多いため、さらなる検討が必要です。

要求事項	測定項目	機器例	測定方法(手順)
安全性	絶縁抵抗測定	DC Fault Tester	①安全に配慮し、電気回路の電源をoff ②接続箱もしくはパワーコンディショナに計測器のプロブを当てて計測
	回路断線(抵抗値)測定 開放電圧測定		
発電性能	I-V特性曲線測定	多機能高速I-V計測システム	①安全に配慮し、電気回路の電源をoff ②接続箱もしくはパワーコンディショナに計測器のプロブを当てて計測(複数回路同時測定)
安全性	発熱箇所特定測定	ドローン+赤外線カメラ	・パワーコンディショナ運転中、ドローンに搭載した赤外線カメラにて上空から動画を撮影し、発熱箇所を観測



ハンディXRFを用いたガラスのオンサイト分析

リユース リビルト リサイクル

課題

- 使用済み太陽光パネルをリユースするための安全基準が未確立
- 太陽光パネルのリビルド技術が確立しておらず、リビルドに関わる環境負荷等も未評価
- ガラスの再利用先は様々あるが、リサイクル受入基準が不明確

実証調査で実施したこと

- リユース判定基準を検討
- リビルトパネルを作製し、性能に問題がないことを実証
- 使用済みのガラスカレットからグラスウールを試作

● 安全性・性能が確認されたパネルはリユース可能

リユース製品として使用するには、安全性の確保と十分な発電性能の確認が必要です。リユース可能な太陽光パネルの判断基準としては、下記のような点があげられます。

試験項目	判定基準
絶縁不良(直流地絡)測定	電路使用電圧300V以下 対地電圧150V以下: 0.1MΩ以上 150V以上: 0.2MΩ以上
開放電圧測定	電路使用電圧300V以上: 0.4MΩ以上
パネル抵抗値測定	ストリング毎に測定した電圧の平均値よりも各ストリングの測定電圧がパネル1枚の1/3(1クラス相当)を下回らないこと
I-V特性曲線測定	I-V特性曲線形状に異常が無いこと
外観検査	太陽光パネル構成部材の損傷、焼け焦げ、膨らみ、剥離、極端な変色等が無いこと

● 粉砕せずに分離したカバーガラスを使用して、性能上問題がないリビルトパネルを作製可能

実証試験においてリビルトパネルを作製し、性能試験を実施したところ、性能に問題がないことが確認されました。

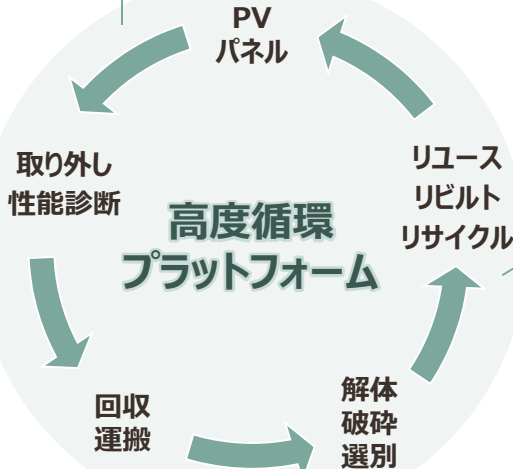
	バックシート仕様		ダブルガラス仕様	
	分離後ガラス	ケミカル研磨ガラス	新品カバーガラス	分離後ガラス
耐電圧試験	3μA	3μA	3μA	3μA
絶縁抵抗試験	99.9MΩ>	99.9MΩ>	37MΩ	37MΩ



● カバーガラスから、既存の製品と同等のグラスウールを作製可能

グラスウールの作製は可能ですが、異物が混入しないような事前の処理が必須となります。

異物の区分	許容値	解体業者に要求される事項	
金属類	鉄	1.0 ppm以下	端子を取り除く必要
	アルミニウム	0.2 ppm以下	
	その他(銅素材、鉛など)	1.5 ppm以下	
陶磁器	陶器・磁器	含まないこと	-
石類	クロマイト等の鉱石類・難溶性耐火物・コンクリート・がれき類など	含まないこと	床面に落ちがモノの回収時、石類を混入させない
	異質ガラス	結晶化ガラス・クリスタルガラス・光学ガラスなど	含まないこと
有機物	プラスチック・木片など	50 ppm以下	基準以下までプラスチックをあらかじめ除去



回収 運搬

課題

- 使用済み太陽光パネルを破損させず、かつ効率的に収集運搬する方法が不明確
- 地域別の発生量などに基いた収集運搬方法と拠点配置の検討が必要

実証調査で実施したこと

- 取り外したパネルの収集運搬実証
- 効率的な収集運搬のシミュレーション検討

● 収集運搬に際しては、パネルの角を揃えた梱包、発電防止措置、飛散防止措置を施すことが望ましい

パネルの角を合わせ、アルミフレームの上に積載。横ずれ防止のためにPPバンド及びストレッチフィルムで梱包



適切な梱包

受光面に光が当たらないように、最上段に積み重ねるパネルの受光面を裏向きにする



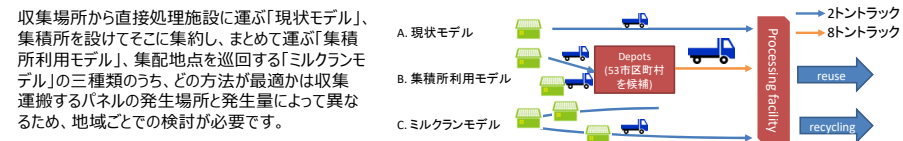
発電防止措置

パワーコンディショナなど固縛できないものを積載する場合は、シートで覆うなどして飛散を防ぐ



飛散防止措置

※ シミュレーションによると、年間6000件を超える場合は「集積所利用モデル」が有効。1日に2件ずつ回収できれば、「ミルクランモデル」の費用は4割弱削減可能(実証結果)



解体 破碎 選別

課題

- 使用済み太陽光パネルの高度分離技術が未確立
- カバーガラスとセルシートに分離し、セルシートから銀・銅・樹脂を回収する技術が必要

実証調査で実施したこと

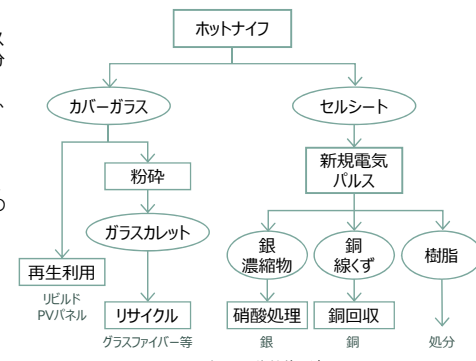
- ホットナイフ利用による分離・選別を実施
- 新規電気パルス法による処理を検証

● カバーガラスとセルシートに分離することで、効率的なリサイクルが可能

実証調査では、ホットナイフ分離法と新規電気パルス法を組み合わせ検証しました。

ホットナイフ分離法とは、約300℃に加熱したナイフでEVAを溶融し、ガラスを割らずに、その他の部材ときれいに分離する技術、新規電気パルス法とは、放電経路を精緻に制御することにより、高選択的・高効率に部品・素材の分離が可能となる技術です。

これらの高度分離技術を併用することにより、ガラスと金属のリサイクル範囲の拡大が可能になります。



※ 新規電気パルス法を使用することで、分離精度を高められる(実証結果)

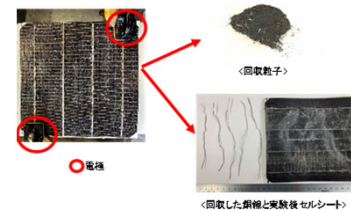


図 新規電気パルス処理の結果

図 ホットナイフ分離後の流れ