

2020 年度～2021 年度成果報告書

太陽光発電主力電源化推進技術開発

(動向調査等)

太陽電池モジュールの適正処理に関わる調査

2022 年 2 月

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

(委託先) 一般社団法人太陽光発電協会

みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

太陽光発電主力電源化推進技術開発

(動向調査等)

太陽電池モジュールの適正処理に関わる調査

一般社団法人太陽光発電協会、みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

2022年2月 141頁

(調査目的)

本調査では、太陽電池モジュールの適正処理プロセスにおけるモジュール回収の現状等について、国内の実態を調査するとともに、海外における回収システムをはじめとするリサイクル動向を IEA PVPS Task12 (PV Sustainability) への参加等を通じて調査することにより、太陽電池モジュールの適正処理を実証できる企画を提案することを目的とする。

目 次

I. まえがき	1
II. 検討委員会委員名簿	3
III. 成果の概要	3
1. 和文概要	3
2. 英文概要	7
IV. 本 論	11
第1章 国内における太陽電池モジュールの適正処理に関する調査	11
1.1 アンケート調査の対象と実施方法	11
1.2 発電事業者・所有者向けアンケート調査結果	13
1.2.1 大規模発電事業者向けアンケート調査結果	13
1.2.2 中小規模発電事業者向けアンケート調査結果	17
1.3 撤去・解体事業者向けアンケート調査結果	22
1.3.1 EPC/O&M 事業者および建設事業者向けアンケート調査結果	22
1.3.2 住宅メーカー向けアンケート調査結果	26
1.4 収集運搬事業者向けアンケート調査結果	31
1.5 中間処理事業者向けアンケート調査結果	37
1.6 太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた課題	44
<第1章 参考文献>	46
第2章 海外における太陽電池モジュールの適正処理に関する調査	47
2.1 欧州における動向	47
2.1.1 欧州における使用済み太陽電池モジュール発生量	47
2.1.2 ドイツにおける動向	48
2.1.3 フランスにおける動向	51
2.1.4 その他の国々における動向	54
2.1.5 PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュール回収量	57
2.1.6 WEEE 指令下における適正処理推進の強化にむけた議論	58
2.2 米国における動向	71
2.2.1 州における法制化等の動向	71
2.2.2 企業・団体等による取り組み	72
2.3 韓国、中国およびオーストラリアにおける動向	77
2.3.1 韓国における動向	77
2.3.2 中国における動向	80
2.3.3 オーストラリアにおける動向	82

2.4 標準化等に関する国際的な動向	86
2.4.1 BIPV モジュールのリサイクルに関する技術仕様	86
2.4.2 その他の関連動向	87
<第2章 参考文献>	89
第3章 太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた検討	93
3.1 使用済み太陽電池モジュールの収集運搬の効率化に関する提案事例	93
3.1.1 「太陽光パネルの収集・リユースおよび非鉄金属の回収に係る技術実証」	94
3.1.2 「太陽電池モジュールスマート回収支援システム」	96
3.2 収集運搬モデルの想定	100
3.3 リサイクルモデルの検討	102
3.3.1 リサイクルモデルの物流の検討	102
3.3.2 リサイクルモデルの実装に必要な許認可等	109
3.3.3 リサイクルモデルの輸送コストの試算	115
3.4 リユースモデルの検討	122
3.4.1 リユースモデルの物流の検討	122
3.4.2 リユースモデルの実装に必要な許認可等	125
3.5 使用済み太陽電池モジュールの収集、運搬の効率化への課題	138
3.5.1 モデルとしての検討課題	138
3.5.2 モデルを実証するにあたって検討等の必要が生じる可能性のある事項	139
<第3章 参考文献>	140
V. あとがき	141

I. まえがき

2018年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画では、「2030年に向けた基本的な方針と政策対応」として、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取組は、「他の電源と比較して競争力ある水準までのコスト低減と固定価格買取制度（FIT）からの自立化を図り、日本のエネルギー供給の一翼を担う長期安定的な主力電源として持続可能なものとなるよう、円滑な大量導入に向けた取組を引き続き積極的に推進していく」ことが必要とされている。

太陽光発電の導入量を拡大し主力電源化していくためには、太陽光発電システムに関する技術や市場の動向および普及に関わる国内外などの最新データを常に把握し、それらを的確に技術開発へフィードバックしていくことが求められる。最新データを把握するためには、国際エネルギー機関（IEA）の太陽光発電システム研究協力実施協定（PVPS）等の国際プログラムに参画し、情報交換を行うことも有効であり、得られた情報や議論した結果については、国内の省庁を含めて、広く研究開発者、発電事業者等に展開していくことが求められる。

また、今後大量に廃棄される太陽電池モジュールのリサイクルを円滑に行うためには、使用後の適正処理プロセスにおける太陽電池モジュール回収等の現状を把握し、適正処理の効率化、そのために必要となる課題の解決に向けた方向性などを明らかにする必要がある。

本調査では、太陽電池モジュールの適正処理プロセスにおけるモジュール回収の現状等について、国内の実態を調査するとともに、海外における回収システムをはじめとするリサイクル動向を IEA PVPS Task12（PV Sustainability）への参加等を通じて調査することにより、太陽電池モジュールの適正処理を実証できる企画を提案することを目的とする。

使用済み太陽電池モジュールの排出、収集運搬および中間処理等に関する現状を把握するため、国内の発電事業者・所有者、撤去・解体事業者、収集運搬事業者、および中間処理事業者向けのアンケート調査を実施するとともに、海外主要国における太陽電池モジュールの使用後処理に関する情報を収集した。また、国内における使用済み太陽電池モジュールの回収、運搬の効率化等に関する提案事例の調査を行った。これらの結果を踏まえ、使用済み太陽電池モジュールの効率的な収集運搬方法の検討を行い、複数のモデルを抽出した。そして、それらのモデルにおける廃棄物処理法上必要となる許認可等を整理し、モデルを実装・運用するために解決すべき課題、実フィールドにおける実証に向けた課題の検討を行った。

調査の実施に際しては、有識者による「太陽電池モジュールの適正処理に関する検討委員会」を設置し、調査の進め方や方向性についてご助言をいただくとともに、実証すべき企画の提案に向けた議論を実施した。

Ⅱ. 太陽電池モジュールの適正処理に関する検討委員会委員名簿

<太陽電池モジュールの適正処理に関する検討委員会委員名簿：2022年2月時点（順不同）>

	氏名	所属・役職
委員長	村上 進亮	東京大学 大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 准教授
委員	森内 荘太	ソーラーフロンティア(株) 経営企画部
	大隅 彰久	(株)エクソル SI事業本部工事部施工管理課
	北 俊宏	juwi 自然電力株式会社 プロジェクトマネジメント部
	塩 将一	積水化学工業(株) 住宅カンパニー 広報・渉外部 技術渉外G
	出野 政雄	公益社団法人全国解体工事業団体連合会 専務理事
	前田 陽一	一般社団法人全国建設業協会 環境専門委員
	磯邊館 和宏	日本通運(株) 資源循環営業部
	松尾 直樹	リサイクルテック・ジャパン(株) 執行役員 統括管理部
	寺崎 英樹	ハリタ金属(株) リサイクル事業本部 取締役本部長
	小野 広弥	ネクストエネルギー・アンド・リソース(株) 事業推進室
	原口 靖史	埼玉県産業廃棄物指導課 主幹
鈴木 章文	福島県商工労働部 産業創出課 課長	

Ⅲ. 成果の概要

1. 和文概要

1.1 調査の目的

本調査では、太陽電池モジュールの適正処理プロセスにおけるモジュール回収の現状等について、国内の実態を調査するとともに、海外における回収システムをはじめとするリサイクル動向を調査し、太陽電池モジュールの適正処理を実証できる企画を提案することを目的とする。

使用済み太陽電池モジュールの排出、収集運搬および中間処理等に関する現状を把握するため、国内の発電事業者・所有者、撤去・解体事業者、収集運搬事業者、および中間処理事業者向けのアンケート調査を実施するとともに、海外主要国における太陽電池モジュールの使用後処理に関する情報を収集した。これらの結果を踏まえ、使用済み太陽電池モジュールの効率的な収集運搬方法の検討を行い、複数のモデルを抽出し、モデルを実装・運用するために解決すべき課題、実フィールドにおける実証に向けた課題の検討を行った。

1.2 調査成果

(1) 国内における太陽電池モジュールの適正処理に関する調査

国内における使用済み太陽電池モジュールの排出、収集運搬、中間処理等に関する現状を把握するため、発電事業者・所有者、撤去・解体事業者、収集運搬事業者、および中間処理事業者向けのアンケート調査を実施した。

使用済み太陽電池モジュールの適正処理としてリサイクルを主流としていくための重要な点として、発電事業者・所有者や撤去・解体事業者がコスト低減を重視しているのに対し、収集運搬事業者や中間処理事業者は義務化を比較的重視するという違いが見られた。発電事業者・所有者は自らが負担する使用後処理費用の低減を望むものであり、依頼・委託を受けて対応する撤去・解体事業者にとっても所有者に示す費用を抑制したいという意向によるものと考えられる。一方、収集運搬事業者や中間処理事業者においては、既存の事業範囲の中で対応するものであり、リサイクルを推進する制度が整備されることによって、太陽電池モジュールについても適正な費用で適正なリサイクル処理を行うことができるということと考えられる。

発電事業者・所有者や撤去・解体事業者が処理を依頼するタイミングは、保管場所の確保が困難な場合には保管コストの削減のために都度依頼、保管場所がある程度確保できる場合には収集運搬コスト削減のためにまとめてから依頼となっている。また、収集運搬事業者が挙げるコスト低減に向けた必要施策として、量が集まってからの収集運搬や保管場所の確保が挙げられ、保管場所の確保と収集運搬コストの低減が課題と感じている事業者が多いと言える。中間処理事業者が指摘するコスト低減に向けた必要施策としては、受入量の安定化、受入先の確保、価格や条件の適正化などが挙げられ、効率的かつ安定的な搬入に依存するところが大きいと考えられる。

このほか、太陽電池モジュール適正処理の円滑化を図るためには、発電事業者・所有者や撤去・解体事業者には、処理事業者の処理能力や費用等に関する情報の提供、収集運搬事業者および中間処理事業者には、収集運搬効率化に向けたスキームの構築や各種手続きの簡素化、リサイクルに向けた支援策などが有効と考えられる。

(2) 海外における太陽電池モジュールの適正処理に関する調査

IEA PVPS Task12 (PV Sustainability) への参加等を通じ、欧州をはじめとする海外主要国における太陽電池モジュールの使用後処理に関する情報を収集した。

欧州では、WEEE 指令のもと、使用済み太陽電池モジュールの回収、回収廃棄物からの資源回収・リサイクル率等の達成義務が課せられており、欧州連合の統計局 (Eurostat) が公表している統計値によれば、12ヶ国における使用済み太陽電池モジュールの回収量、処理量などが示されており、2018年の回収量は12ヶ国合計で13,951トンであった。しかしながら、太陽電池モジュールに限らず、市場で発生しているはずの廃棄物の回収が十分ではないという課題などが指摘されており、適正処理推進に向けた取り組み強化に関する議論が行われている。

ドイツでは、2019年には2018年を大きく上回る13,400トンの使用済み太陽電池モジュールが回収されている。主に公共機関の *stiftung elektro-altgeräte register* が担っているが、モジュールメーカーや PV CYCLE などによる回収も行われている。回収されたモジュールの処理を行っている企業として、ガラスリサイクル事業者である Reiling、太陽電池メーカーでもある First Solar などがある。ドイツにおいても、現在の回収・処理システムは適正処理が行われていることを保証できていないとの指摘があり、太陽電池モジュールの Circularity の強化に向けた議論が行われている。

フランスでは、Soren (旧 PV CYCLE France) が使用済み太陽電池モジュールの回収、リサイクルを手配しており、2020年には約4,100トンの太陽電池モジュールが回収された。中長期的な使用済み太陽電池モジュールの発生量の増加に備え、太陽電池モジュール処理拠点の整備が進められている。

また、2010年より欧州における太陽電池モジュール回収・リサイクルスキームを構築、運営している PV CYCLE では、2019年に約10,000トン、2020年には約8,000トンの使用済み太陽電池モジュールを回収している。

米国では、一部の州において、使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルを求める法案などが成立している。ワシントン州では太陽光発電を供給・販売する事業者に対し、使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルを求める法案が成立し、2022年1月1日より強制力を持つ。カリフォルニア州では、使用済み太陽電池モジュールが *Universal waste* に指定され、2021年1月1日より効力を有することとなった。このほか、ニューヨーク州、ノースカロライナ州、ニュージャージー州、オレゴン州、イリノイ州、ハワイ州、アリゾナ州、ミネソタ州などにおいても使用済み太陽電池モジュールのリサイクルや適正処理に関する議論が実施されている。

韓国では、太陽電池モジュールが EPR 対象製品に加えられることとなり、使用済み太陽電池モジュールの回収の仕組みやリサイクル処理技術が確立されることを前提とし、2023年1月より効力を有する。また、太陽電池モジュールリサイクルセンターの設立に向けたプロジェクトが実施された。2021年12月に処理能力3,600トン/年のリサイクル工場が竣工され、今後、試験運転を経て、実用運転を開始することが予定されている。このほかにも様々な技術開発プロジェクトが実施されている。

中国では、太陽電池モジュールの使用後処理に関する特別な法規制等はないが、2020年1月に太陽光発電の製造から使用後処理に至るライフサイクルを全て「Green」とすることを目指す「PV Committee of China Green Supply Chain Alliance」が設立され、2022年には「China PV Recycling Center」と称される Alliance が設立された。また、2019年より技術開発プロジェクトが開始されており、リサイクル技術の開発のみならず、リサイクルが容易なモジュール構造や環境に優しいモジュール

ル構成材料の選択、必要となる標準化や政策提言までを目指している。

オーストラリアにおいても、現時点において太陽電池モジュールの使用後処理に関する特別な法規制等はなく、リサイクルに向けた課題として、適切な仕組みが構築されていないこと、必要な情報が普及していないことなどが挙げられている。使用済み太陽電池モジュール発生量も現時点では少ないが、太陽電池モジュールのリサイクルを手掛けようとする事業者が複数出現してきており、また、オーストラリア再生可能エネルギー機関主導による研究開発プロジェクトも開始されている。

(3) 太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた検討

使用済み太陽電池モジュールのリサイクル等による適正処理を円滑に実施するためには、リサイクル技術そのものの高度化や効率化に加え、撤去された太陽電池モジュールを効率的に回収し、リサイクル処理を行う中間処理場に運搬する必要がある。現在、普及している太陽光発電設備を導入件数で見ると、住宅用をはじめとする小規模設備が圧倒的に多く、それらは広く分散している。そこで、太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた検討として、少量かつ分散して発生する使用済み太陽電池モジュールの効率的な収集運搬方法（モデル）の検討を行った。

現状、使用済み太陽電池モジュールは発生場所から処理施設に直接運ばれることがほとんどと考えられる。高圧や特別高圧（特高）に分類されるような規模の大きい太陽光発電設備を撤去する場合、まとまった量の太陽電池モジュールが使用済みとなって排出されることから、大型のトラックで、かつ、高い積載率で収集運搬できるため、現状の流れが効率的と考えられる。

一方、低圧に分類される住宅用や規模の小さい発電所から数十枚から百枚程度の太陽電池モジュールを撤去する場合、小型や中型のトラックを使用せざるを得ず、積載率も低く、収集運搬の効率が悪いことが想定される。そして、このように設置されている太陽光発電設備の件数は2021年9月末時点で住宅が約290万件、低圧が約64万件で、高圧の約3.4万件、特高の約800件と比べて、非常に多い。また、一か所あたりの枚数は少ないものの、同時期に複数の場所から使用済み太陽電池モジュールが発生する可能性も、大規模な太陽光発電設備と比較して大きいと考えられる。したがって、少量であっても複数の場所から発生する使用済み太陽電池モジュールを集約して運ぶことにより、効率的な収集運搬を実現できる可能性が高くなる。

使用済み太陽電池モジュールの収集運搬モデルを検討するにあたり、太陽光発電設備の規模と、使用済み太陽電池モジュールの発生事由に応じた1回あたりの排出枚数を想定した。そして、その結果にもとづき、収集運搬モデルの検討対象を、定期点検時の使用済み太陽電池モジュールの排出（偶発的故障対応）と、事業用の低圧発電設備および住宅用発電設備の撤去時の排出（撤去対応）とした。

集積と巡回回収を組み合わせることにより既存の輸送方法よりも効率化が図れる、との報告事例を参考に、収集運搬モデルは、集積と巡回回収の組み合わせとした。そして、まず、使用済み太陽電池モジュールのリサイクルを想定した物流モデルを検討し、偶発的故障対応の1モデルと撤去対応の4モデルを提案し、それらの輸送コストを試算した。輸送コストの試算は、運賃のみを考慮した限定的なものであるが、程度の強弱はあるものの、巡回回収のモデルを用いることにより、既存の輸送形態と比較して、輸送コストの低減効果が期待できることが示唆された。次に、これらのモデルを実装する上で必要な廃棄物処理法上の許可等をステークホルダーごとに整理した。さらに、撤去対応の4モデルについては、使用済み太陽電池モジュールのリユースも想定し

た選別過程を追加したモデルを提案するとともに、その選別に必要な廃棄物処理法上の許認可等を整理した。

これらの検討を通じ、使用済み太陽電池モジュールの収集、運搬の効率化に向けた課題として、以下が挙げられた。

- ・ モデルを成立させるために必要な情報の流れと、それを担保する仕組みの検討
- ・ 県境を跨ぐ広域移動に関わる検討
- ・ モデルを運用するためのコストの検討

また、使用済み太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けて、本調査で検討・提案した収集運搬モデルを含め、適正処理の円滑化に資すると考えられる収集運搬モデルを実フィールドで実証し、妥当性の検証、実現・構築に向けた課題を明確にすることも必要と考えられる。そして、モデルの実証に際して検討が必要と考えられる事項として、以下が挙げられた。

- ・ 実証をおこなう上で十分なモジュールを確保するための積替え保管、事業場外保管の上限への対応
- ・ 集積場所における使用済み太陽電池モジュール保管可能量の確保等
- ・ 廃棄物処理法上の許認可や解釈に関する所轄する都道府県等への確認と調整

2. 英文概要 (Summary)

2.1 Objective

Objective of this investigation is to contribute to proposing models to demonstrate proper end-of-life (EOL) management of PV modules. To achieve the objective, investigation of current status of EOL management of PV modules in Japan and trends in PV module recycling in overseas was carried out.

In order to understand current status of EOL management of PV modules, questionnaire surveys to PV owners, contractors, logistics operators and intermediate processors in Japan were carried out. As well, various information on EOL management of PV modules in selected overseas countries was surveyed. Based on the results, how to improve efficiency of taking back and logistics of EOL PV modules was discussed, some possible models for improvement were drawn, and issues to be solved for implementing and operating such models were considered. As well, issues for demonstrating models in the current field were extracted.

2.2 Outline of Results

(1) Current status of end-of-life management of PV modules in Japan

In order to understand current status of decommissioning, collection and transportation, and intermediate processing of EOL PV modules in Japan, questionnaire surveys to PV owners, contractors for decommissioning, logistics operators and intermediate processors were carried out.

As important issues for promoting PV module recycling as a proper treatment, it was found that PV owners and contractors stress cost reduction for treatment, while logistics operators and intermediate processors stress consolidation of the legal systems. It is supposed that owners would like to save spending for treatment and that contractors would like to give their customers a lower price for treatment. On the other hand, for logistics operators and intermediate processors, PV module recycling will be covered by their existing business without significant barriers when they have capability and equipment available for proper treatment of PV modules. Then, from their viewpoints, policies and institutions for promoting PV module recycling will be effective to realise proper treatment of PV modules with proper cost.

The PV owners and contractors for decommissioning will ask logistics operators and intermediate processors to treat PV module wastes in each case when difficult to secure a space for storage, while they'll ask it in a bundle when a space for storage is available. Also, the logistics operators pointed out that securing place for storage and transporting in a bundle will be effective to reduce the cost. It was found that securing space for storage and reducing cost for transportation would be issues for proper treatment of PV modules. Further, intermediate processors pointed out that stabilizing and securing amount of treatment, and optimizing price and conditions would be necessary to reduce the total cost, which would be depending upon effective and suitable collection and transportation.

For facilitating proper treatment of end-of-life PV modules, it was clarified that it would be effective for PV owners and contractors to provide information on treatment ability and cost of intermediate processors. As well, it was clarified that developing schemes for effective collection and transportation, simplifying various procedures and supporting activities for promoting recycling would be effective for logistics operators and intermediate processors.

(2) Current status of end-of-life management of PV module in overseas

Through participating in IEA PVPS Task12: PV sustainability and relevant international conferences, information on proper treatment of EOL PV modules in Europe and other countries was surveyed.

In Europe, to take back EOL PV modules and to recover and recycle (or reuse) materials contained in EOL PV modules are obliged. According to the statistics by Eurostat, in 2018, the amount of EOL PV modules taken back was 13,951 tons in total of twelve countries. Recently, it has been pointed out in Europe that the amount of WEEE taken back including PV module and other WEEE is less than anticipated amount of WEEE actually occurred in the market. Issues for strengthening actions for promoting proper EOL management of WEEE are discussed further.

In Germany, the amount of EOL PV modules taken back in 2019 was 13,400 tons. Collections of EOL PV modules were carried out by stiftung elektro-altgeräte register and other organizations such as PV CYCLE. The PV modules collected are recycled by companies such as the Reiling Unternehmensgruppe and First Solar. As well in Germany, issues for strengthening circularity of PV modules are discussed, in order to secure proper management of EOL PV modules.

In France, Soren (former PV CYCLE France) is in charge of taking back and recycling PV modules, and the amount of EOL PV modules taken back in 2020 was about 4,100 tons. Preparing for increasing amount of EOL PV modules in the future, developing facilities for PV module recycling is implemented.

PV CYCLE, operating taking back and recycling scheme in Europe since 2010, collected about 10,000 tons of EOL PV modules in 2019 and about 8,000 tons in 2020 across Europe.

In the US, there exists no federal regulations specifically designed to regulate management of EOL PV. On the other hand, there has been a growth in regulations specific to EOL PV across various states in the US. Washington state has introduced a regulation for take back requirements for PV manufacturers. Beginning 2021, California has implemented regulations to classify EOL PV modules as universal waste. As well, policy mechanisms for PV waste management are being actively considered in New York, North Carolina, New Jersey, Oregon, Illinois, Hawaii, Arizona and Minnesota.

In Korea, EOL PV modules will be included in the list of items affected by extended producer responsibility (EPR) regulations. The EPR regulations will be enforced in the PV industry from 2023 after the collection infrastructure for PV module waste and the development of recycling technologies is established by 2022. Under the project aiming to establish 'PV Recycling Center in Korea', a facility having ability of 3,600 ton/year was constructed in 2021. The facility will start operation after testing. Also, preparing for increasing amount of EOL PV modules in the future, various R&D projects for PV module recycling are implemented.

In China, a special committee named "PV Committee of China Green Supply Chain Alliance" was established in 2020, and an alliance named "China PV Recycling Center" was established in 2021. These platforms will provide communication with recycling industry. A national R&D project for crystalline PV module recycling has started since 2019. The project focuses on not only technologies for recycling current PV modules but also new technologies for environmental protection treatment of new materials and new structure modules, and standards and policy suggestions.

In Australia, there is no specific regulation for EOL management of PV modules, although it is currently under assessment and discussions. Issues for promoting PV recycling are identified as no proper scheme and

information. However, although the amount of PV module wastes is still small, several Australian companies and start-ups are devoting to PV module recycling. As well, some national level funding projects for developing innovative solutions to enable sustainable and cost-effective management of end-of-life PV modules by Australian Renewable Energy Agency are implemented.

(3) Consideration of facilitating proper treatment of end-of-life PV modules

In order to realize a proper treatment of EOL PV modules, like recycling, in an effective way, it is necessary to smoothly collect PV modules decommissioned and to transport them to intermediate processors for recycling, in addition to advanced and effective technologies for recycling. Looking at the number of PV systems installed in the market, most of them are small scale PV systems commencing with residential PV systems and widely dispersed. In this investigation, possible models for effectively taking back and transporting EOL PV modules appeared dispersedly in small batches were considered.

Currently, it seems that most of EOL PV modules are directly transported from decommissioning sites to intermediate processors.

In case of decommissioning large-scale PV plants classified as high voltage and extra high voltage, a large amount of PV modules will be decommissioned at once. Then, a current flow, e.g. direct transportation from decommissioning sites to intermediate processors, will be an effective way, because such PV modules can be transported by heavy duty trucks with a high loading ratio.

On the other hand, in case of small-scale PV systems like residential PV systems classified as low voltage, the amount of PV modules decommissioned will be small. Small or medium trucks will be used, the loading rate will be low, and then taking-back and transportation of their EOL PV modules will be inefficient. As of September 2021, the number of PV systems installed is occupied by low voltage PV systems (residential - approx. 2,900 thousand, other small scale (low voltage) - approx. 640 thousand). However, it seems that opportunities of decommissioning small scale PV systems at multiple sites around the same time will be larger than large scale PV systems. Therefore, in order to effectively take-back and transport PV modules decommissioned at small scale PV systems, gathering PV modules decommissioned at multiple site and then, transporting to intermediate processors will be an efficient way even if the amount of PV modules collected at one site is small.

For considering models for taking back and transporting EOL PV modules, a scale of PV systems and reasons of appearance of EOL PV modules were assumed. Based on such assumptions, a model for incidental dismantlement was set for PV modules detected at periodic inspections. As well, models for prescribed decommissioning were set for PV modules decommissioned at the residential and low voltage PV systems.

A combination of storage and milk run, e.g. route collection, was supposed as models for taking back and transportation, by referring an existing study showing that such combination would be more effective than current way. One model for incidental dismantlement and four models for prescribed decommissioning were proposed for recycling of EOL PV modules. For these models, logistics (routes for taking back and transporting EOL PV modules) were considered, and expected cost for each model was estimated. Although the cost estimated was under the limited conditions, it was revealed that a combination of storage and milk run would be able to realize lower cost than existing logistics. Also, permissions required at 'Waste Management and Public Cleansing Act' for realizing these models in the actual field for each relevant

stakeholder were confirmed. Further, regarding the four models for prescribed decommissioning of EOL PV modules, options for extracting PV modules which would be available for reuse were considered and proposed with required permissions.

Based on the considerations above, issues for realizing effective taking back and transportation of EOL PV modules were identified as below:

- Consideration of information flow for operating the models and rules for executing the flow
- Consideration of large area transportation crossing prefectural border
- Consideration of cost for operating the models

Toward facilitating proper treatment of end-of-life PV modules, it is necessary to demonstrate taking back and transportation models proposed in the actual field for validating the applicability and clarifying issues to be solved. For this action, following points will be important.

- Limitation regarding storage for reshipment and storage outside the workplace
- Securing adequate amount of EOL PV modules for demonstration
- Permissions at the Waste Management and Public Cleansing Act and interpretation of relevant issues

IV. 本 論

第 1 章 国内における太陽電池モジュールの適正処理に関する調査

今後大量に廃棄される太陽電池モジュールのリサイクルを円滑に行うためには、使用後の適正処理プロセスにおける太陽電池モジュール回収等の現状を把握し、適正処理の効率化、そのために必要となる課題の解決に向けた方向性などを明らかにする必要がある。

太陽電池モジュールの廃棄・排出事由として、住宅の建替え、工事中/運転中の破損、災害、事業終了等による全数廃棄等などが挙げられるが、これらの排出事由や排出量、排出時における法的制約等は、収集運搬の効率やコスト、手続き等に影響すると考えられる。

収集運搬の低コスト化は、使用後処理全体のコストを低減するために非常に重要であるが、収集運搬コストは、使用済み太陽電池モジュールの排出量や法的制約・手続き等に左右されると考えられる。また、使用済み太陽電池モジュールの中間処理は、その方法によっては一定量を定常的に処理することが必要となる場合があるほか、処理前の保管が制約となる可能性もある。

ここでは、使用済み太陽電池モジュールの排出、収集運搬および中間処理等に関する現状を把握するため、発電事業者・所有者、撤去・解体事業者、収集運搬事業者、および中間処理事業者向けのアンケート調査を実施し、太陽電池モジュール適正処理円滑化のための課題を抽出した。

1.1 アンケート調査の対象と実施方法

太陽電池モジュールの使用後処理の現状は、使用済み太陽電池モジュールの発生から処理に至る流れに沿って把握しておく必要がある。その流れは、太陽光発電事業者（太陽電池モジュール所有者）による意思決定、それに基づく撤去工事、撤去されたモジュールの中間処理場への収集運搬、そして、中間処理となる。中間処理後には分離・回収された部材のリサイクル、あるいはリサイクル困難な部材や混合物の最終処分が施される。

ここでは、使用済み太陽電池モジュールが撤去されるまでを「排出」、その後の中間処理までを「収集運搬等」と大別し、その実態を把握するためのアンケート調査を実施した。

排出実態の調査対象は「発電事業者・所有者」ならびに「撤去・解体事業者」とし、収集運搬等の実態の調査対象は「収集運搬事業者」と「中間処理事業者」とした。そして、これらの事業者に対し、図 1.1-1 に示す観点による調査項目を検討し、調査票を作成した。

発電事業者・所有者	撤去・解体事業者
<ul style="list-style-type: none">*事業者の特性等① 排出・処理の実態② 処理方法選択の主体③ リサイクルへの認識の程度④ 処理事業者選択の過程（リサイクル業者選択の容易さ）⑤ 処理費用の処理方法選択への影響⑥ 課題	<ul style="list-style-type: none">*事業者の特性等① 排出・処理の実態② 処理方法選択の主体③ リサイクルへの認識の程度④ 処理事業者選択の過程（リサイクル業者選択の容易さ）⑤ 処理費用の処理方法選択への影響⑥ 課題
収集運搬事業者	中間処理事業者
<ul style="list-style-type: none">*事業者の特性等① 収集運搬の実態（費用構成要因等を含む）② 手続きの実態③ 費用低減の工夫④ 課題	<ul style="list-style-type: none">*事業者の特性等① 受入・処理の実態（処理量・手続きなど）② 処理後の実態（再資源化物価値など）③ 含有物資情報④ 費用低減の工夫⑤ 課題

図 1.1-1 太陽電池モジュールの使用後処理に関するアンケート調査の対象と観点

アンケート調査の実施に際して想定した、対象事業者と調査先の選定方法を表 1.1-1 に示す。排出実態の調査対象は太陽光発電の規模や用途、商習慣などにより多岐にわたることから、発電事業者・所有者は「大規模発電事業者」と「中小規模発電事業者」、撤去者・解体事業者は「EPC/O&M 事業者」、「建設事業者」および「住宅メーカー」に対して調査を実施した。

表 1.1-1 太陽電池モジュールの使用後処理に関するアンケート調査の対象事業者と選定方法

調査対象事業者		選定方法
発電事業者・所有者	大規模発電事業者	大手太陽光発電事業者の中から太陽光発電協会（JPEA）が選定、協力依頼
	中小規模発電事業者	FIT の事業者情報のリストから抽出（50kW 未満発電所 10 件以上保有事業者）
撤去・解体事業者	EPC/O&M 事業者	太陽光発電事業者や O&M に係わる団体に協力依頼
	建設事業者	建設や解体工事に係わる事業者の団体に協力依頼
	住宅メーカー	住宅メーカーの団体に協力依頼
収集運搬事業者		使用済み太陽電池モジュールの収集運搬事業者の中から JPEA が選定、協力依頼
中間処理事業者		使用済み太陽電池モジュールの中間処理事業者の中から JPEA が選定、協力依頼

表 1.1-2 にアンケート調査の実施方法を示す。中小規模発電事業者は、対象事業者が非常に多いことから、太陽光発電協会 Web サイトより調査票をダウンロードしていただく方法とした。また、EPC/O&M 事業者については、調査票送付先の取得が困難であることから、関係機関より周知していただき、同様に太陽光発電協会 Web サイトより調査票をダウンロードしていただくこととした。

表 1.1-2 太陽電池モジュールの使用後処理に関するアンケート調査の実施方法

対象事業者		実施方法	実施時期	回答数
発電事業者・所有者	大規模発電事業者	調査票送付	2020 年 11 月～2021 年 1 月	11 事業者
	中小規模発電事業者	Web 利用	2021 年 1 月～2021 年 2 月	29 事業者
撤去・解体事業者	EPC/O&M 事業者	Web 利用	2021 年 1 月～2021 年 2 月	25 事業者
	建設事業者	Web 利用	2021 年 4 月～2021 年 5 月	
	住宅メーカー	調査票送付	2020 年 12 月～2021 年 1 月	5 事業者
収集運搬事業者		調査票送付	2020 年 12 月～2021 年 1 月	18 事業者
中間処理事業者		調査票送付	2020 年 11 月～2021 年 1 月	21 事業者

1.2 発電事業者・所有者向けアンケート調査結果

1.2.1 大規模発電事業者向けアンケート調査結果

ここでは、大規模発電事業者向けに実施したアンケート調査結果を示す。

実施したアンケート調査の概要を表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1 大規模発電事業者向けアンケート調査の概要

調査対象	太陽光発電協会の発電事業者連絡会メンバー企業などに協力依頼
調査実施時期	2020年11月～2021年1月
調査方法	調査票送付・回収
調査票回収数	11
調査票の構成	Q1 所有・運転中の太陽光発電所に関する質問 Q2～Q4 太陽電池モジュールの排出実績に関する質問 Q5～Q13 排出した太陽電池モジュールの処理に関する質問 Q14～Q19 撤去・排出時等の業者選定、タイミング等に関する質問 Q20～Q21 将来の処理に関する質問 最後に 自由回答

表 1.2-2 に大規模発電事業者向けアンケート調査結果の要点を示す。

表 1.2-2 大規模発電事業者向けアンケート調査結果の要点

<p>○太陽電池モジュールの排出実績について</p> <ul style="list-style-type: none">・回答 11 事業者中、10 事業者が使用済み太陽電池モジュールの排出経験がある。・排出事例の回答は 18 事例で、100 枚未満：12 事例、100～1,000 枚未満：5 事例、1,000 枚以上：1 事例であり、自然災害（落雷、台風等）によるものが 15 事例であった。・1 事例はガラスをリサイクルしているが（リユースもあり）、他事例では処理内容が不明。 <p>○撤去・排出時等の業者選定、タイミング等について</p> <ul style="list-style-type: none">・解体・撤去事業者を選定する際の優先順位は、概ね、「コスト＝品質＞納期＞その他」であった。・撤去事由が生じた場合の解体・撤去事業者への依頼のタイミングは、「都度の処理依頼」が 2 事業者で、保管場所がない、発電ロス対策（交換という前提）が理由であった。「ある程度量がまとまってから依頼」という回答は 6 事業者で、コスト削減、保険との関係などが理由である。・「中間処理事業者の受入能力を考慮してスケジュールを考える」との回答も 2 事業者あった。・処理業者の受入可能量、対応エリア、実績、概算費用などの情報が欲しい。 <p>○将来の太陽電池モジュール処理について</p> <ul style="list-style-type: none">・リサイクルが主流となるための優先順位は、概ね「リサイクル処理が安くなること」＞「リサイクルの義務化」＝「リサイクル処理できる事業者が増えること」＞「その他」である。・FIT 制度の買取期間終了後も発電を継続する意向について、半数以上の事業者が、その時点の情勢で判断、不明、という回答で、買取期間終了時に撤去予定は 1 事業者であった。

(1) 太陽電池モジュールの排出実績

太陽電池モジュールを排出したことがあるのは回答 11 事業者のうち、10 事業者であった。

Q. 使用済み太陽電池モジュールを排出(リユース・リサイクル・廃棄等)したことがありますか。

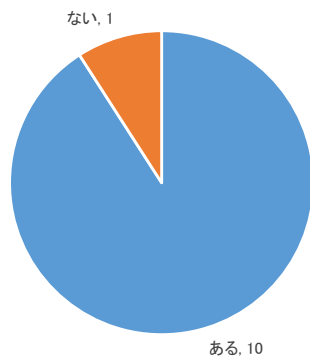


図 1.2-1 太陽電池モジュールの排出実績の有無

排出事例の回答は 18 事例よせられ、排出モジュール枚数は、100 枚未満 12 件、100～1,000 枚未満 5 件、1,000 枚以上 1 件となっており、1,000 枚以上の 1 件のみ、リユースやモジュールガラスのリサイクルを実施していた。

排出事由としては、割れ・破損（鳥害）3 件、自然災害 15 件（うち、落雷：3、台風：2）となっており、自然災害事由が多かった。

表 1.2-3 排出モジュールの状況

モジュール排出枚数	回答数	リユース	モジュールガラスの処理方法	処理費用構成(%)			保険利用
				撤去	運搬	中間処理・埋立処分	
100枚未満	12	なし	不明 (回答なし:2)	15～20	80～85		あり:2、なし:3
100～1,000枚未満	5	なし	不明 (回答なし:1)	87～90	10～13		あり:4
1,000枚以上	1	有り	リサイクル	70	10	20	あり:1

(2) 撤去・排出時等の業者選定、タイミング等

解体・撤去事業者を選定する際の優先順位については、コスト>品質>納期の順となった。

Q. 解体・撤去事業者を選定する際の優先順位について、優先するものから順に1~4の番号をご記入ください。

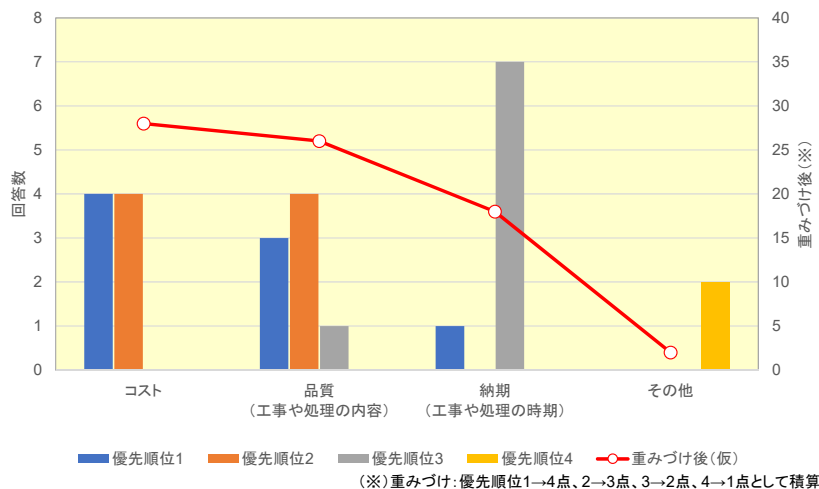


図 1.2-2 解体・撤去事業者を選定する際の優先順位

撤去業者への依頼のタイミングは、都度処理依頼をするところが2事業者、ある程度まとめてから依頼するところが6事業者である。都度依頼の理由は、保管場所の問題と発電ロス対策が挙げられており、まとめてから依頼する理由は、コスト削減のためとなっている。

撤去に際し、2事業者は中間処理事業者の受入能力を考慮しており、理由は適正処理のためなどの回答がある。一方、6事業者は考慮しないと回答しており、理由としては、早急な対応を前提としているため、工事業者に調整を委託しているため、といった回答があった。

Q. 太陽電池モジュールの撤去事由が生じた場合の解体・撤去事業者への依頼のタイミングについて、該当する方に○をつけてください(排出経験の有無は問いません)。また、その理由もご回答ください。

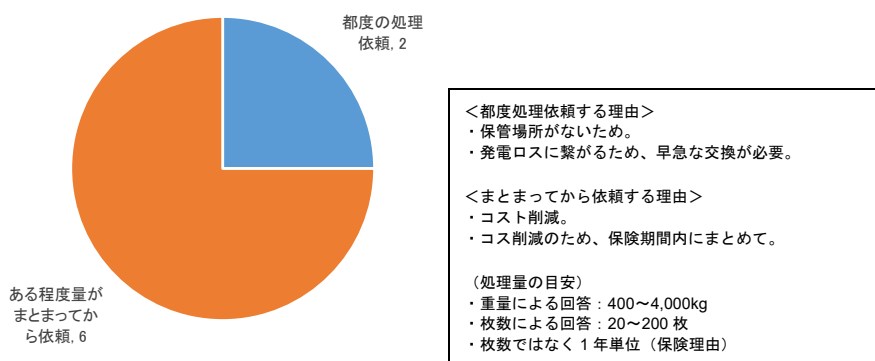


図 1.2-3 解体・撤去事業者への依頼のタイミング

Q. 太陽電池モジュールを撤去する際、中間処理事業者の受入能力を考慮して撤去スケジュールを考えますか。該当する方に○をつけてください。また、その理由もご回答ください。

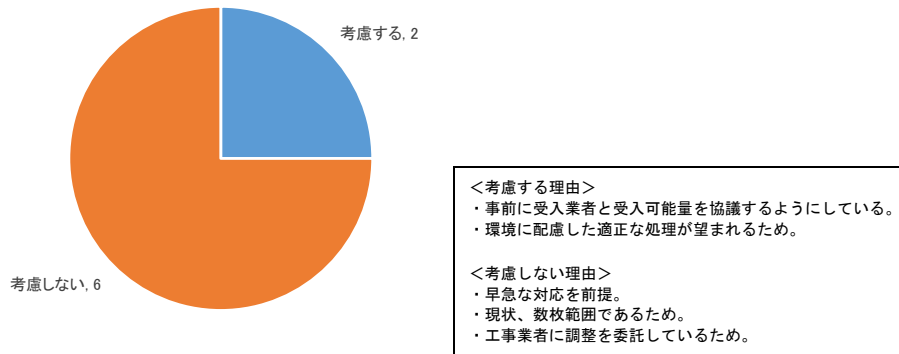


図 1.2-4 中間処理事業者の受入能力考慮の有無

また、中間処理事業者や埋立処分事業者を見つける際に必要な情報として、処理業者の受入可能量や対応エリア、実績、概算費用などが挙げられた。

表 1.2-4 中間処理事業者・埋立処分業者を見つける際に欲しい参考資料

Q. 中間処理事業者・埋立処分業者を見つける際に参考資料としてどんなものがあればよいと思いますか。自由にご記入ください。

- ・処分業者の受入可能量が問い合わせ前に事前に分かればよい。
- ・各都道府県、市町村の廃棄物ガイドラインのようなものがあれば良い。
- ・対応エリア、実績、概算費用等。

(3) 将来の処理

2030年代半ば以降にリサイクルが主流となるために重要なことの優先順位としては、リサイクル処理が安くなること>撤去事業者が増えること>リサイクル義務化という順番となっている。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの大量排出が予想される2030年代半ば以降において、リサイクルが主流となるために何が重要だと考えますか。重要と考えるものから順に1~4の番号をご記入ください。

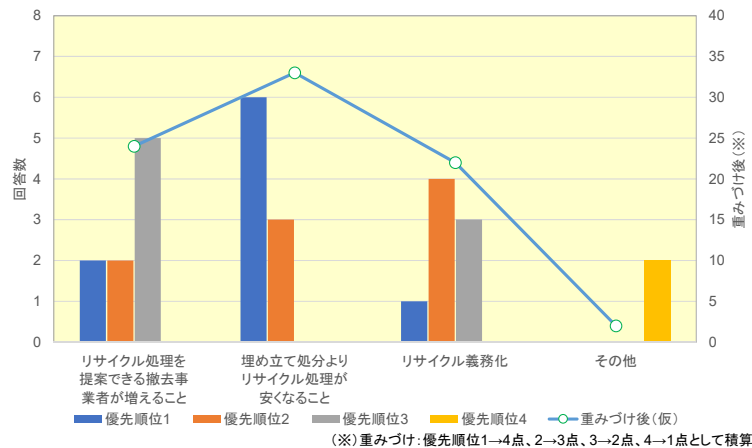


図 1.2-5 リサイクルが主流となるために重要なことの優先順位

使用済み太陽電池モジュールの排出時期については、買取期間終了時、終了後約3年後、終了後約10年後が各1事業者、その他が6事業者となっており、その他の内容としては、撤去時や時勢により検討、発電性能低下や不具合発生時、といった回答があった。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの排出時期はいつ頃(買取期間終了後も発電を継続する場合には、何年後)を考えていますか。該当するものに○を付けてください。

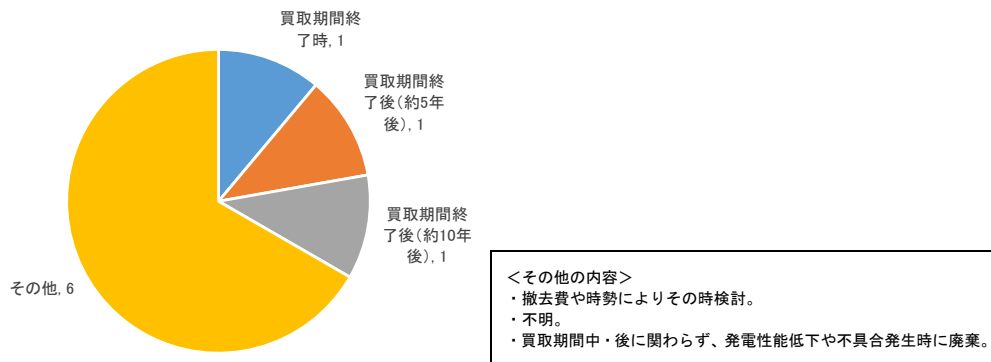


図 1.2-6 太陽電池モジュールの排出時期

1.2.2 中小規模発電事業者向けアンケート調査結果

ここでは、中小規模発電事業者向けに実施したアンケート調査結果を示す。実施したアンケート調査の概要を表 1.2-5 に示す。

表 1.2-5 中小規模発電事業者向けアンケート調査の概要

調査対象	FITの事業者情報のリストから抽出(50kW未満発電所10件以上保有事業者)	
調査実施時期	2021年1月～2021年2月	
調査方法	Web利用	
調査票回収数	29	
調査票の構成	Q1	所有・運転中の太陽光発電所に関する質問
	Q2～Q4	太陽電池モジュールの排出実績に関する質問
	Q5～Q13	排出した太陽電池モジュールの処理に関する質問
	Q14～Q19	撤去・排出時等の業者選定、タイミング等に関する質問
	Q20～Q21	将来の処理に関する質問
	最後に	自由回答

表 1.2-6 に中小規模発電事業者向けアンケート調査結果の要点を示す。

表 1.2-6 中小規模発電事業者向けアンケート調査結果の要点

<p>○太陽電池モジュールの排出実績について</p> <ul style="list-style-type: none">・回答 29 事業者中、使用済み太陽電池モジュールを排出したことがあるのは 2 事業者で、いずれも、石の落下などによる破損モジュールの交換である。・1 事業者は費用面からガラス等をリサイクルしておらず、他の 1 事業者は処理内容が不明。 <p>○撤去・排出時等の業者選定、タイミング等について</p> <ul style="list-style-type: none">・解体・撤去工事業者を選定する際の優先順位は、「コスト>品質>納期>その他」となり、「その他」としては、業者の実績や信頼性という回答が多い。・撤去事由が生じた場合の撤去業者への依頼のタイミングは、「都度の処理依頼」が 29 事業者中 22 事業者で、保管場所確保が困難、保管コスト削減などが主な理由であった。「ある程度量がまとまってから依頼」という回答が 7 事業者で、工程効率化などが理由である。・29 事業者中 21 事業者が「中間処理事業者の受入能力を考慮してスケジュールを考える」と回答しており、相談しながら進めるなど、確実に処理されることが重要と考えている。・適正処理可能な事業者の一覧、実績、概算費用、処理工程などの情報が必要である。 <p>○将来の太陽電池モジュール処理について</p> <ul style="list-style-type: none">・リサイクルが主流となるための優先順位は、概ね「リサイクル処理が安くなること」＝「リサイクル処理できる事業者が増えること」>「リサイクルの義務化」>「その他」である。・FIT 制度の買取期間終了後も発電を継続する意向の事業者が半数以上であった。その時点の情勢で判断、という回答も多く、買取期間終了時に撤去予定は 3 事業者であった。

(1) 太陽電池モジュールの排出実績

太陽電池モジュールを排出したことがあるのは回答 29 事業者中 2 事業者であり、排出事由としては、石の落下および破損ということであった。

Q. 使用済み太陽電池モジュールを排出(リユース・リサイクル・廃棄等)したことがありますか。

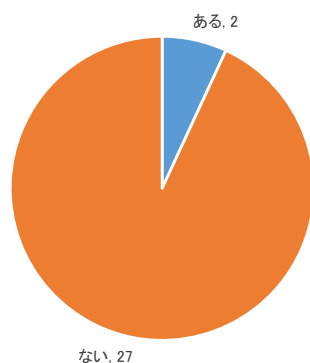


図 1.2-7 太陽電池モジュールの排出実績の有無

(2) 撤去・排出時等の業者選定、タイミング等

解体・撤去事業者を選定する際の優先順位については、コスト>品質>納期の順となっており、「その他」としては、業者の実績や信頼性という回答があった。

Q. 解体・撤去事業者を選定する際の優先順位について、優先するものから順に1~4の番号をご記入ください。

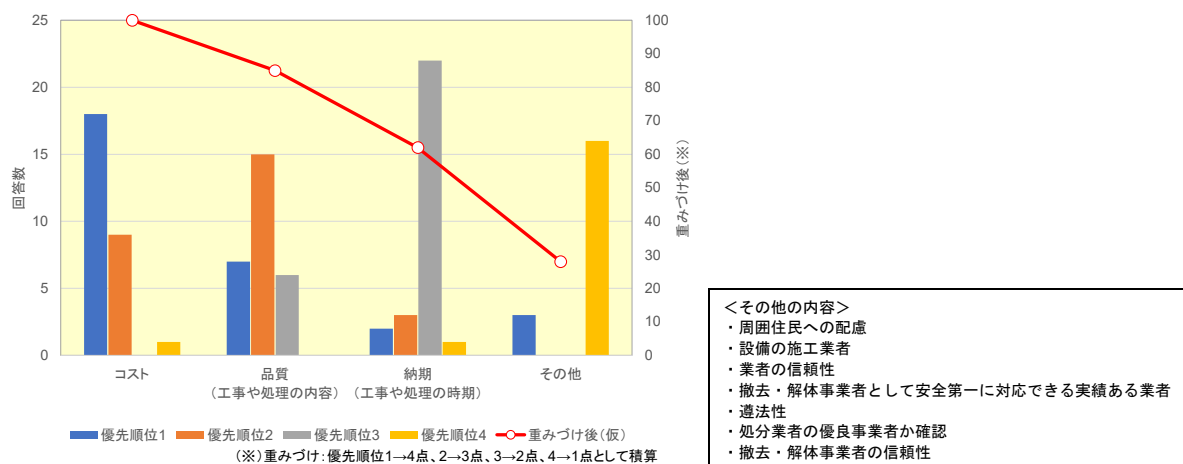


図 1.2-8 解体・撤去事業者を選定する際の優先順位

解体・撤去事業者への依頼のタイミングについて、都度処理依頼をするところは22事業者、ある程度まとめてから依頼するところが7事業者であった。都度依頼の理由としては、量や所在地、保管場所やコストの問題などが、まとめてから依頼する理由は、コスト削減、工程効率化などが挙げられている。

Q. 太陽電池モジュールの撤去事由が生じた場合の解体・撤去事業者への依頼のタイミングについて、該当する方に○をつけてください(排出経験の有無は問いません)。また、その理由もご回答ください。

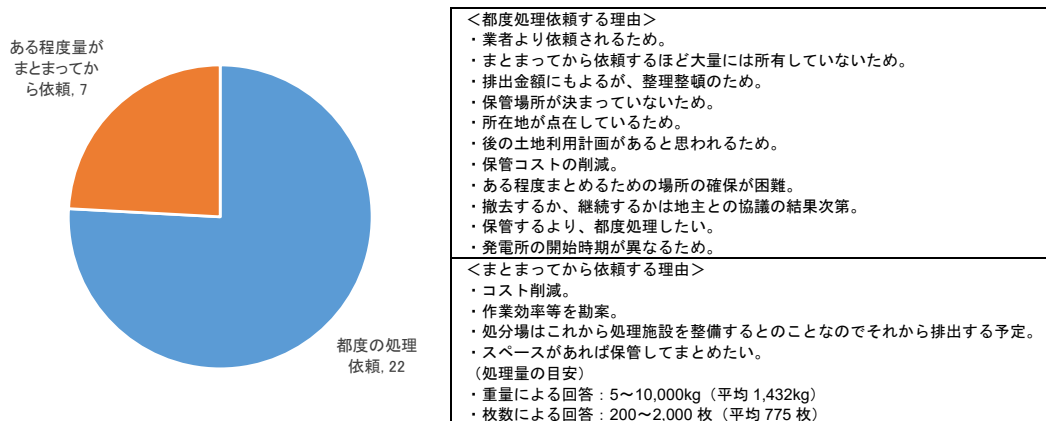
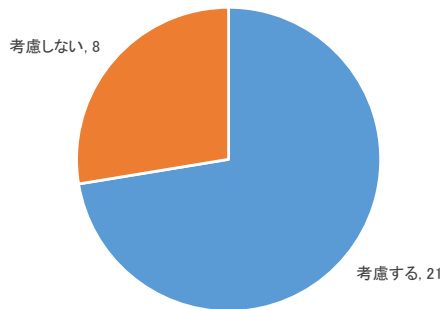


図 1.2-9 解体・撤去事業者への依頼のタイミング

撤去に際し、中間処理事業者の受入能力を考慮するという回答は21事業者で、理由としては、受入側の問題や確実な処理のため、といった回答があった。一方、考慮しないとの回答は8事業者あり、理由としては、発生量の少なさへの回答が挙げられている。

Q. 太陽電池モジュールを撤去する際、中間処理事業者の受入能力を考慮して撤去スケジュールを考えますか。該当する方に○をつけてください。また、その理由もご回答ください。



<考慮する理由>

- ・受入能力の限界があると受け入れてもらえないため。
- ・中間処理事業者と相談、調整のうえ行うため。
- ・売電終了時期は事前に把握しているため。
- ・大規模発電所からの一斉排出の場合、一度に受け入れが可能なのか考慮したい。
- ・太陽光発電所の保守点検業者と相談し進める。
- ・経費を多くかけずスムーズに処理できる仕組みが大事と考える。
- ・処理作業が滞りなく完了する必要があると考えるため。
- ・規則に基づいて、確実に処理してほしいため。
- ・最新の再処理技術等を勘案し、総合的に判断するため。
- ・処理が追い付かず、価格が高騰してきていると聞いたことがあるため。

<考慮しない理由>

- ・リサイクル出来ればよいため。
- ・今のところ、頻繁に発生していないため。
- ・発電所の規模が小さいため。

図 1.2-10 中間処理事業者の受入能力考慮の有無

また、中間処理事業者や埋立処分業者を見つける際に必要な情報として、適正処理が可能な事業者の一覧や事業者の実績、概算費用、処理工程などが挙げられた。

表 1.2-7 中間処理事業者・埋立処分業者を見つける際に欲しい参考情報

Q. 中間処理事業者・埋立処分業者を見つける際に参考資料としてどんなものがあればよいと思いますか。自由にご記入ください。

- ・設置業者からの紹介。
- ・適正処理が可能な中間処理事業者一覧表があれば問題ない。
- ・おおよその価格表、排出の工程管理表
- ・中間処理事業者や埋立処分業者の実績（作業内容、価格、実績等）が詳しくわかる資料。
- ・県内の事業者が数多くあるとありがたい。
- ・撤去などの工事を担当する業者に対しては各地方自治体や建設協会を通して適正処理に関する通達をすれば良いのではないか。その中で処分業者等のリストを添付推奨したらどうか。
- ・埋立処分よりリサイクルができるようになり、その資料があるといい。
- ・定期的に、情報が得られるようになれば有難い。
- ・手続代行業者や保守点検者からのアドバイスがあれば有難い。
- ・国が処理機関を認定する。
- ・地域別に処分業者が分かるようになっていと助かる。
- ・埋立処分は環境に悪影響があるのでは。埋立処分業者を紹介するのは如何なものか。
- ・該当する発電所に近い業者情報、処分にかかる一般的な費用（業界標準的なもの）。
- ・パネルメーカーに、パネル保証書とともに中間処理事業者等のシステムを案内するチラシ等をつけて欲しい。

(3) 将来の処理

2030年代半ば以降にリサイクルが主流となるために重要なことの優先順位としては、リサイクル処理が安くなること>リサイクル処理を提案できる撤去事業者が増えること>リサイクル義務化という順であった。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの大量排出が予想される2030年代半ば以降において、リサイクルが主流となるために何が重要だと考えますか。重要と考えるものから順に1~4の番号をご記入ください。

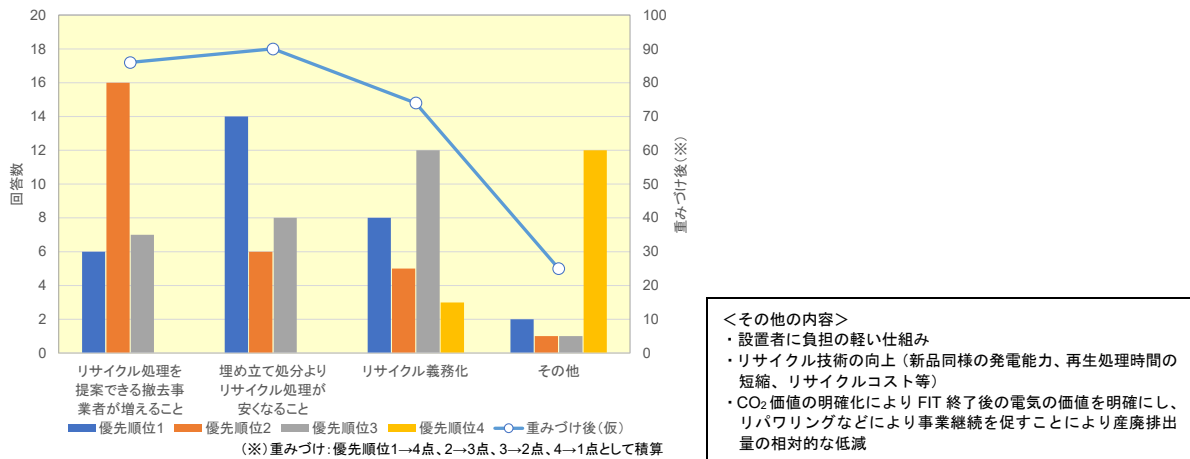


図 1.2-11 リサイクルが主流となるために重要なことの優先順位

使用済み太陽電池モジュールの排出時期については、買取期間終了後も発電を継続する意向の事業者が半数以上であり、その他として、壊れた時や情勢による、といった回答があった。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの排出時期はいつ頃(買取期間終了後も発電を継続する場合には、何年後)を考えていますか。該当するものに○を付けてください。

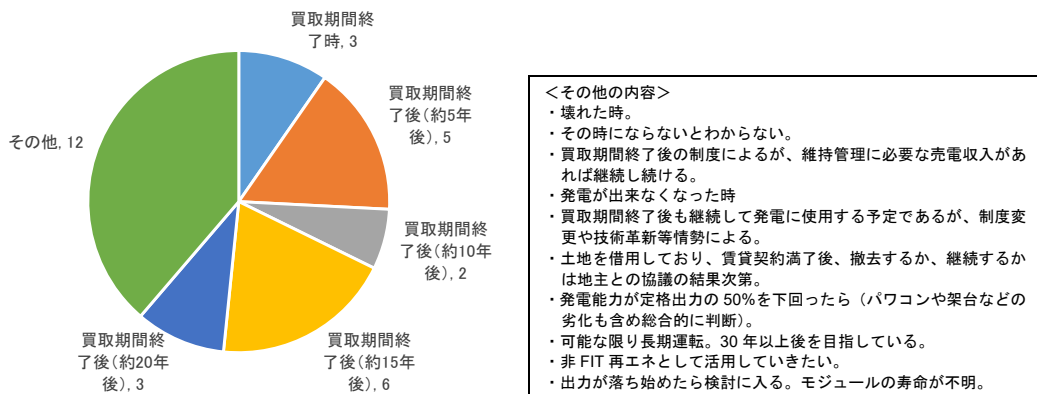


図 1.2-12 太陽電池モジュールの排出時期

1.3 撤去・解体事業者向けアンケート調査結果

1.3.1 EPC/O&M 事業者および建設事業者向けアンケート調査結果

ここでは、EPC/O&M 事業者および建設事業者向けに実施したアンケート調査結果を示す。
実施したアンケート調査の概要を表 1.3-1 に示す。

表 1.3-1 EPC/O&M 事業者および建設事業者向けアンケート調査の概要

調査対象	太陽光発電事業者や O&M、建設・解体工事に係わる団体に協力依頼	
調査実施時期	2021 年 1 月～2021 年 2 月	
調査方法	Web 利用	
調査票回収数	25	
調査票の構成	Q1～Q3	太陽電池モジュールの排出実績に関する質問
	Q4～Q12	排出した太陽電池モジュールの処理に関する質問
	Q13～Q20	中間処理事業者等の選択・依頼に関する質問
	Q21～Q22	将来の処理に関する質問
	最後に	自由回答

表 1.3-2 に EPC/O&M 事業者および建設事業者向けアンケート調査結果の要点を示す。

表 1.3-2 EPC/O&M 事業者および建設事業者向けアンケート調査結果の要点

<p>○太陽電池モジュールの排出実績について</p> <ul style="list-style-type: none">・ 回答 25 事業者中、使用済み太陽電池モジュールを撤去・排出したことがあるのは 4 事業者であった。・ 撤去事例として 8 件の回答があり、リサイクル：4 件、リユース・リサイクルおよび埋立（混在）：1 件、埋立：3 件であった。埋立とした理由はリサイクル費用の方が高いということであった。 <p>○中間処理事業者等の選択・依頼について</p> <ul style="list-style-type: none">・ 中間処理事業者を選定する際の優先順位は、概ね、「コスト＞品質＝納期＞その他」となり、「その他」として、業者の信頼性、現場からの距離が近い、などが挙げられた。・ 撤去・排出が生じた場合、中間処理事業者への運搬のタイミングは、「都度の処理依頼」が回答 21 事業者中 16 事業者で、保管場所がない・確保が難しい、が主な理由であった。「ある程度量がまとまってから依頼」という回答（5 件）は、運搬コストの削減が主な理由である。・ 「中間処理事業者の受入能力を考慮してスケジュールを考える」と回答が 13 件で、適正処理の確保、撤去後保管の回避などが主な理由である。「受入能力を考慮しない」という回答（8 件）においても、中間処理事業者との相談、などのコメントはあった。・ 収集運搬事業者や中間処理事業者は、「自分で探す」という回答が大半であった。・ 中間処理事業者の処理方法、受入能力、費用などの情報が欲しい、という意見のほか、発注者が指定すべき、情報を一元管理すべき、などの意見もあった。 <p>○将来の太陽電池モジュール処理について</p> <ul style="list-style-type: none">・ リサイクルが主流となるための優先順位は、概ねリサイクル処理できる事業者が増えること＝リサイクル処理が安くなること＞リサイクルの義務化＞その他である。

(1) 太陽電池モジュールの排出実績

回答 25 事業者中、太陽電池モジュールを撤去、排出した事例があるのは 4 事業者であった。撤去事例として 8 件の回答があり、リサイクル 4 件、リユース・リサイクルおよび埋立（混在）1 件、埋立 3 件であった。埋立とした理由はリサイクル費用の方が高いことが挙げられている。

Q. 使用済み太陽電池モジュールを撤去し、排出した事例がありますか

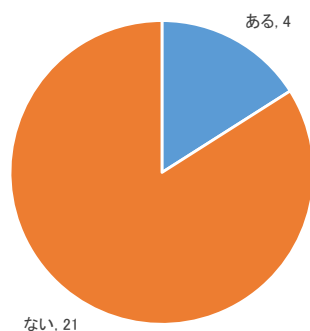


図 1.3-1 太陽電池モジュールの撤去・排出事例の有無

表 1.3-3 排出事例の内訳とガラスの処理方法

Q. 過去 3 年間の太陽電池モジュールの排出について、可能な範囲で、事例ごとの太陽電池モジュール排出時の設置場所、内訳、排出後の処理方法についてご回答ください。

発生地	A	B	C
件数	3	1	4
リユースあり	-	-	1
ガラス処理方法	リサイクル	リサイクル	埋立(3)、 埋立およびリサイクル(1)

(2) 中間処理事業者等の選択・依頼

中間処理事業者を選定する際の優先順位については、コスト>品質>納期の順となっている。

Q. 中間処理事業者を選定する際の優先順位について、優先するものから順に 1~4 の番号をご記入ください。

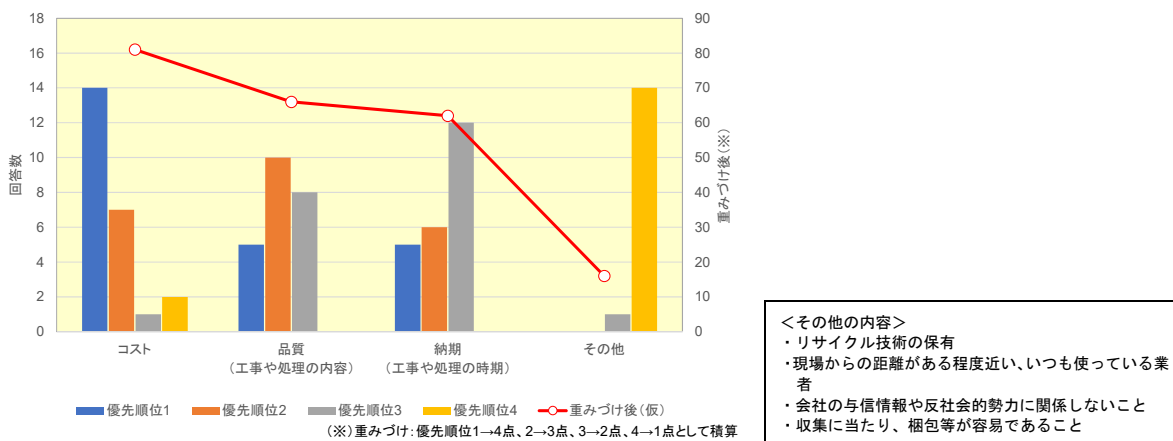


図 1.3-2 中間処理事業者を選定する際の優先順位

中間処理事業者への依頼のタイミングについて、都度処理依頼をすることが 16 事業者、ある程度まとめてから依頼することが 5 事業者であった。都度依頼の理由としては、保管場所の問題が最も多く、その他に件数が少ないといった回答が見られた。まとめてから依頼する理由は、全て運搬コストに反映されるためとなっている。

Q. 太陽電池モジュールの排出が生じた場合の中間処理事業者への運搬のタイミングについて、該当する方に○をつけてください(排出経験の有無は問いません)。また、その理由もご回答ください。

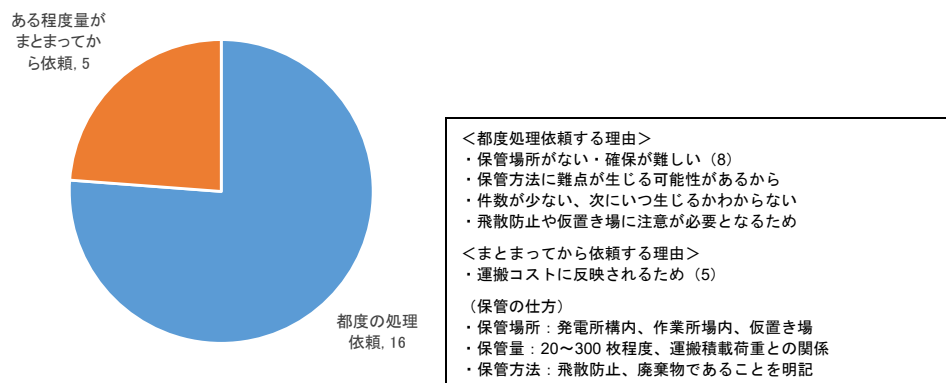


図 1.3-3 中間処理事業者への運搬のタイミング

撤去に際し、13 事業者は受入側の問題や工程への影響などから中間処理事業者の受入能力を考慮しており、8 事業者は、受入能力や量の少なさなどから考慮しないとの回答であった。

Q. 太陽電池モジュールを撤去する際、中間処理事業者の受入能力を考慮して撤去スケジュールを考えますか。該当する方に○をつけてください。また、その理由もご回答ください。

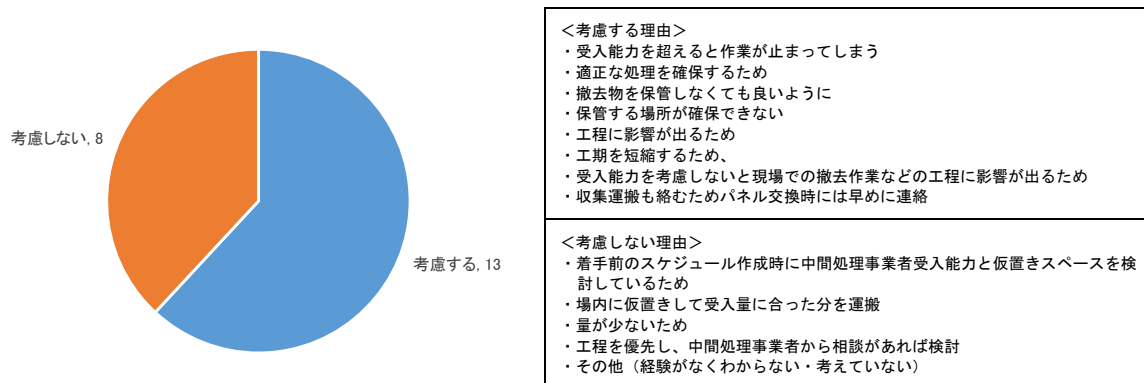


図 1.3-4 中間処理事業者の受入能力考慮の有無

収集運搬事業者の選択については、自社で探した・探すのが最も多く 15 事業者、次いで中間処理事業者が運搬が 6 事業者、中間処理事業者の紹介が 3 事業者となっている。

中間処理事業者や処理業者の選択に関しても、自分で探した・探すのが最も多く、次いで太陽光発電協会 (JPEA) のリストを見た・見る、第三者の紹介・依頼となっている。

Q. 収集運搬事業者はどのように選択しましたか、あるいは選択しますか。

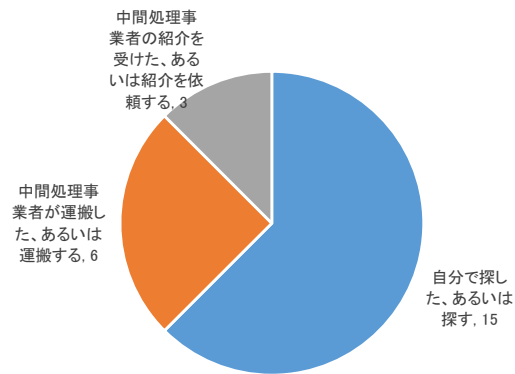


図 1.3-5 収集運搬事業者の選択方法

Q. 中間処理事業者あるいは処理業者はどのように選択しましたか、あるいは選択しますか。

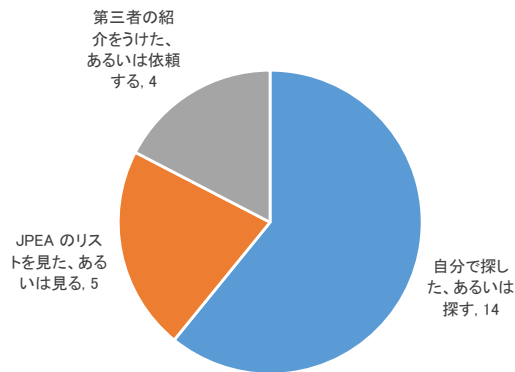


図 1.3-6 中間処理事業者・処理業者の選択方法

また、中間処理事業者等を見つける際に必要な情報として、処理方法や受入能力、費用などが挙げられた。また、発注者が指定すべき、情報を一元管理すべき、などの意見もあった。

表 1.3-4 中間処理事業者・埋立処分業者を見つける際に欲しい参考情報

Q. 排出事業者が中間処理事業者・埋立処分業者を見つける際に参考資料としてどんなものがあればよいと思いますか。自由にご記入ください。

- ・できれば、中間処理事業者・埋立処分業者達が組合を作り、そこで一元管理をしてもらいたい。どこの地域で、どの業者が、どこまで対応できるかの情報を一覧にしていると助かる。
- ・処分方法、受入可能量、概算コスト。
- ・地方の限られた処理業者の中で、業者を見つけるための資料は必要がないように思われる。
- ・発注者側がある程度指定すべき。
- ・今後情報を得たうえで検討。
- ・処理業者の会社 HP など、許可品目だけでなく具体的に処理できる産廃や品名の説明および処理フローのページがあれば判断しやすい。

(3) 将来の処理

2030年代半ば以降にリサイクルが主流となるために重要なことの優先順位としては、リサイクル処理が安くなること>リサイクル処理を提案できる撤去事業者が増えること>リサイクル義務化という順番となっている。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの大量排出が予想される2030年代半ば以降において、リサイクルが主流となるために何が重要だと考えますか。重要と考えるものから順に1～4の番号をご記入ください。

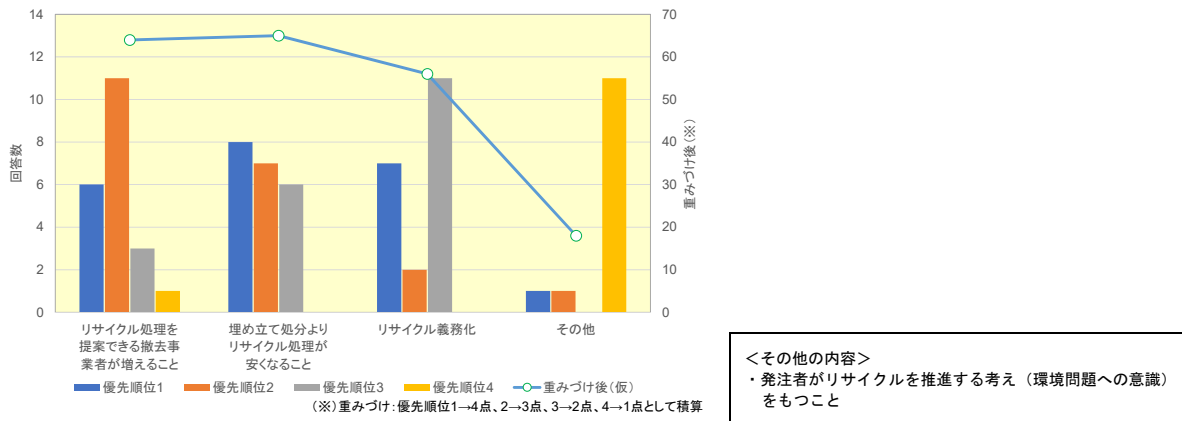


図 1.3-7 リサイクルが主流となるために重要なことの優先順位

1.3.2 住宅メーカー向けアンケート調査結果

ここでは、住宅メーカー向けに実施したアンケート調査結果を示す。
実施したアンケート調査の概要を表 1.3-5 に示す。

表 1.3-5 住宅メーカー向けアンケート調査の概要

調査対象	住宅メーカーの団体に協力依頼	
調査実施時期	2020年12月～2021年1月	
調査方法	調査票送付	
調査票回収数	5	
調査票の構成	Q1～Q3	太陽電池モジュールの排出実績に関する質問
	Q4～Q12	排出した太陽電池モジュールの処理に関する質問
	Q13～Q20	中間処理事業者等の選択・依頼に関する質問
	Q21～Q22	将来の処理に関する質問
	最後に	自由回答

表 1.3-6 に住宅メーカー向けアンケート調査結果の要点を示す。

表 1.3-6 住宅メーカー向けアンケート調査結果の要点

<p>○太陽電池モジュールの排出実績について</p> <ul style="list-style-type: none">・ 回答 5 事業者中、使用済み太陽電池モジュールを撤去・排出したことがあるのは 1 事業者であった。リサイクル先が見つからず、埋立処分とし、「管理型処分場」への埋立を指示したとのこと。 <p>○中間処理事業者等の選択・依頼について</p> <ul style="list-style-type: none">・ 中間処理事業者を選定する際の優先順位は、概ね、「コスト>品質>納期>その他」であった。・ 撤去・排出が生じた場合、中間処理事業者への運搬のタイミングは、「都度の処理依頼」という回答が 4 事業者で、保管場所がない・確保が難しい、が主な理由であった。「ある程度量がまとまってから依頼」という回答（1 件）は、運搬コストの削減が理由である。・ 「中間処理事業者の受入能力を考慮してスケジュールを考える」と回答が 3 事業者、「受入能力を考慮しない」という回答が 2 事業者で、後者について、現場優先、少量のため、というコメントがあった。・ 運搬事業者は「自分で探す」という回答が多かったが、中間処理事業者は「第三者に紹介を依頼」という回答が多い。 <p>○将来の太陽電池モジュール処理について</p> <ul style="list-style-type: none">・ リサイクルが主流となるための優先順位は、概ねリサイクル処理できる事業者が増えること = リサイクル処理が安くなること > リサイクルの義務化 > その他 である。
--

(1) 太陽電池モジュールの排出実績

回答 5 事業者中、太陽電池モジュールを撤去、排出した事例のある事業者は 1 事業者のみであった。実際の処理については、リサイクル先が見つからず、埋立処分とし、「管理型処分場」への埋立を指示したとのことであった。

Q. 使用済み太陽電池モジュールを撤去し、排出した事例がありますか。

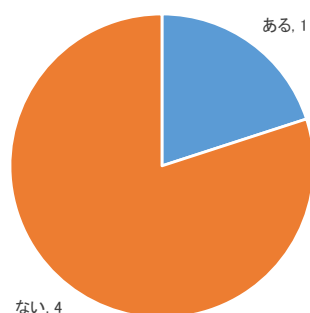


図 1.3-8 太陽電池モジュールの撤去・排出事例の有無

(2) 中間処理事業者等の選択・依頼に関する質問

中間処理事業者を選定する際の優先順位については、コスト>品質>納期の順となっている。

表 1.3-7 中間処理事業者を選定する際の優先順位

Q. 中間処理事業者を選定する際の優先順位について、優先するものから順に1~4の番号をご記入ください。

	A社	B社	C社	D社	E社
コスト	2	1	1	○	1
品質(処理の内容)	1	2	2	○	2
納期(処理の時期)	3	3	3		3
その他		4			4

中間処理事業者への依頼のタイミングについて、都度処理依頼をするところが4事業者、ある程度まとめてから依頼するところが1事業者であった。都度依頼の理由としては、定期的ではないこと、保管場所がないことなど、まとめてから依頼する理由は、少量では運搬費用が高くなるためとの回答であった。

Q. 太陽電池モジュールの排出が生じた場合の中間処理事業者への運搬のタイミングについて、該当する方に○をつけてください(排出経験の有無は問いません)。また、その理由もご回答ください。

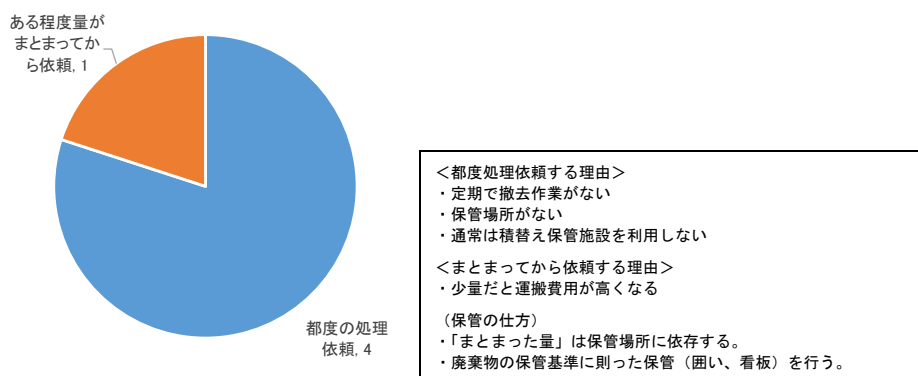


図 1.3-9 中間処理事業者への運搬のタイミング

撤去に際し、2 事業者は工程管理や受入能力の関係で中間処理事業者の受入能力を考慮しており、考慮しないと回答した 3 事業者は、その理由として現場優先のスケジュールであることや小規模で影響しないことなどを挙げている。

Q. 太陽電池モジュールを撤去する際、中間処理事業者の受入能力を考慮して撤去スケジュールを考えますか。該当する方に○をつけてください。また、その理由もご回答ください。

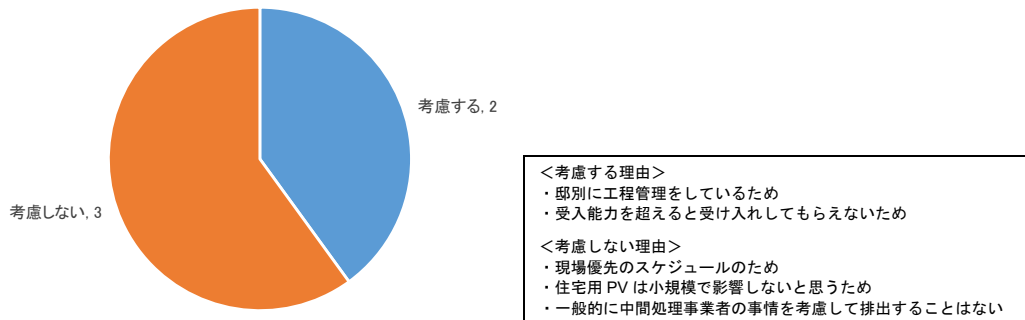


図 1.3-10 中間処理事業者の受入能力考慮の有無

収集運搬事業者の選択については、自社で探した・探す>中間処理事業者が運搬>第三者の紹介・依頼の順となっている。

一方、中間処理事業者や処理業者の選択については、第三者の紹介・依頼、太陽光発電協会 (JPEA) のリストを見た・見る、自分で探した・探すの順であった。

Q. 収集運搬事業者はどのように選択しましたか、あるいは選択しますか。

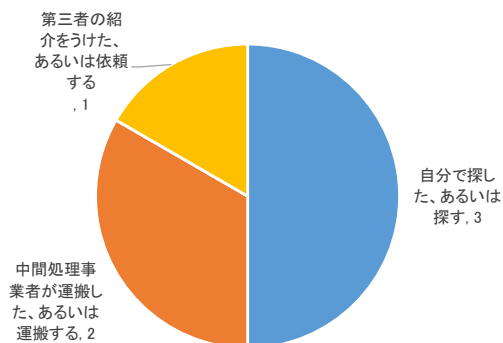


図 1.3-11 収集運搬事業者の選択方法

Q. 中間処理事業者あるいは処理業者はどのように選択しましたか、あるいは選択しますか。

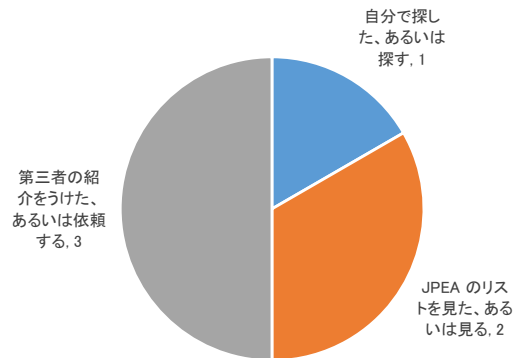


図 1.3-12 中間処理事業者・処理業者の選択方法

(3) 将来の処理

2030 年代半ば以降にリサイクルが主流となるために重要なことの優先順位としては、各社それぞれであるが、2 事業者がリサイクル処理が安くなること > リサイクル処理を提案できる撤去事業者が増えること > リサイクル義務化という順であった。

表 1.3-8 リサイクルが主流となるために重要なことの優先順位

Q. 使用済み太陽電池モジュールの大量排出が予想される 2030 年代半ば以降において、リサイクルが主流となるために何が重要だと考えますか。重要と考えるものから順に 1~4 の番号をご記入ください。

	A社	B社	C社	D社	E社
リサイクル処理をできる中間処理事業者が増えること	2	2	2	1	2
コストダウンにより、埋め立て処分よりリサイクル処理が安くなること	1	3	1	2	3
リサイクルの義務化	3	1	3	3	4
その他		4			1 (太陽電池メーカーの広域認定取得、法の制定)

1.4 収集運搬事業者向けアンケート調査結果

ここでは、収集運搬事業者向けに実施したアンケート調査結果を示す。
実施したアンケート調査の概要を表 1.4-1 に示す。

表 1.4-1 収集運搬事業者向けアンケート調査の概要

調査対象	使用済み太陽電池モジュールの収集運搬事業者の中から選定、協力依頼	
調査実施時期	2020年12月～2021年1月	
調査方法	調査票送付・回収	
調査票回収数	18	
調査票の構成	Q1～Q5	使用済み太陽電池モジュールの収集運搬実績に関する質問
	Q6～Q13	収集運搬の方法や範囲、太陽電池モジュールの保管等に関する質問
	Q14～Q19	収集運搬の費用・手続き等に関する質問
	Q20～Q21	収集運搬コストの削減に関する質問
	Q22～Q25	将来の収集運搬に関する質問
	最後に	自由回答

表 1.4-2 に収集運搬事業者向けアンケート調査結果の要点を示す。

表 1.4-2 収集運搬事業者向けアンケート調査結果の要点

<p>○使用済み太陽電池モジュールの収集運搬実績について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・保有車両や条件面、有害物質情報などの理由により、断ったことがある事業者がある。 ・2019年度におけるモジュール収集運搬量は約95トン、発電事業用が多い（回答10事業者）。 ・梱包・積載方法は、パレットに積み上げ固定（こちらが多い）、あるいはバラ積み。 <p>○太陽電池モジュール収集運搬の方法や範囲について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用する車両の積載可能量別比率に大きな偏りはないが、2t車や4t車がやや多い。 ・小型車両（2t車、4t車等）を使用する理由として、量が少ない、現場に大型車が入らない、という回答が多い。 ・収集運搬したモジュールの50%以上（平均）が都道府県の境を越えたもの（2019年度）。 → 他県からの収集運搬手続きの簡素化を指摘する意見あり。 ・運搬距離（車庫→排出場所→中間処理事業者→車庫）の平均は約130km/回（回答8事業者）。 ・運搬距離が50km以内の案件の比率は30%未満（2019年度：回答8事業者）。 <p>○太陽電池モジュール収集運搬の費用について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モジュール収集運搬費用は、他の産業廃棄物（ガラス、コンクリート等）と同程度という回答が大半であるが、積込の手間や車両の制限（小型車量しか現場に入れない）などによりモジュールの方が高くなる、逆に、単一品目で積込の手間がかからない、という回答もあり。 ・費用を低減させるためには、量に応じた車両の手配、量が集まってからの収集運搬、処理拠点数の増加（距離の短縮）、一時保管場所や積替保管場所の確保、排出事業者と連携した物流・保管スキームの構築などが必要

(1) 使用済み太陽電池モジュールの収集運搬実績

回答 18 事業者中、収集運搬を行ったことのある事業者は 12 事業者であった。また、断ったことがあるという回答は 6 件あった。

Q. 使用済み太陽電池モジュールを収集運搬したことはありますか。

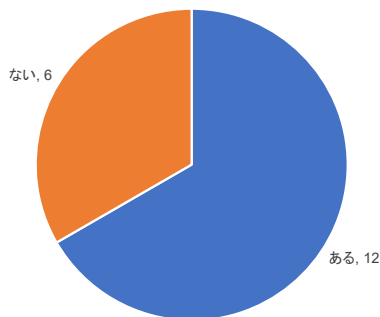


図 1.4-1 太陽電池モジュールの収集運搬実績の有無

Q. 太陽光発電モジュールの収集運搬を断ったことがありますか。

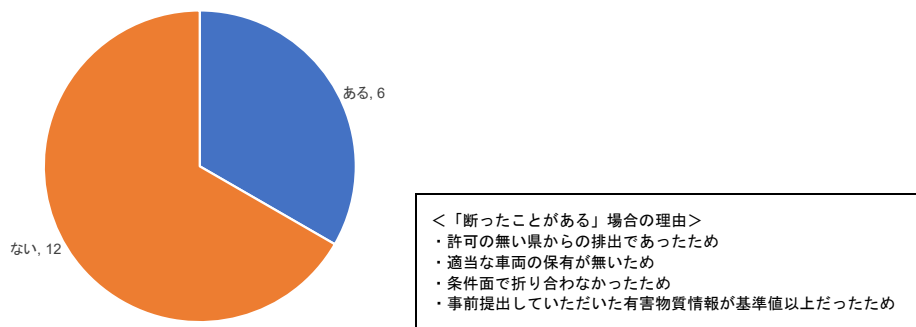


図 1.4-2 太陽電池モジュールの収集運搬を断った経験の有無

2017～2019 年度の太陽電池モジュールの収集運搬実績は、それぞれ 73.6 トン（2017 年度：回答 9 事業者）、55.1 トン（2018 年度：回答 9 事業者）、94.4 トン（2019 年度：回答 10 事業者）であった。

表 1.4-3 産業廃棄物および使用済み太陽電池モジュールの収集運搬量

Q. 2017～2019 年度の産業廃棄物および使用済み太陽電池モジュールの収集運搬量（重量および件数）についてご回答ください。

	回答数	産業廃棄物全体				太陽電池モジュール					
		収集運搬量(t)	収集運搬件数	1件当たりの処理量 (t/件)		住宅用		非住宅建物用		発電事業用	
				最小	最大	重量(t)	件	重量(t)	件	重量(t)	件
2017年度	9	196,706	66,067	0.01	61	1.9	2	0.6	1	71.1	13
2018年度	9	223,277	72,089	0.01	63	5.9	13	6.1	5	43.1	13
2019年度	10	203,186	65,318	0.01	57	5.7	8	20.8	16	67.5	31

(2) 収集運搬の方法や範囲、太陽電池モジュールの保管等

収集運搬に使用する車両の積載可能量別比率に大きな偏りはないが、2～4t 車がやや多い。また、小型車両（2t 車、4t 車等）を使用する場合、量が少ない、現場に大型車が入らない、ということが主な理由として挙げられている。

Q. 太陽電池モジュール収集時に使用した車両について、積載可能量別の使用比率をご回答ください。

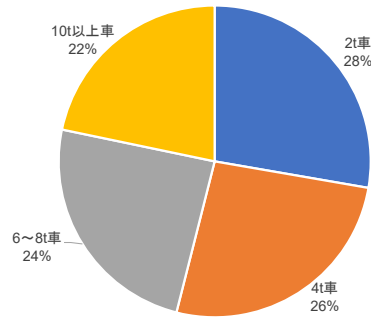


図 1.4-3 車両の積載可能量別の使用比率

Q. 2t 車、4t 車等、比較的小型の収集運搬車を使用した理由はなんですか。該当するものに○（複数回答可）をつけてください。

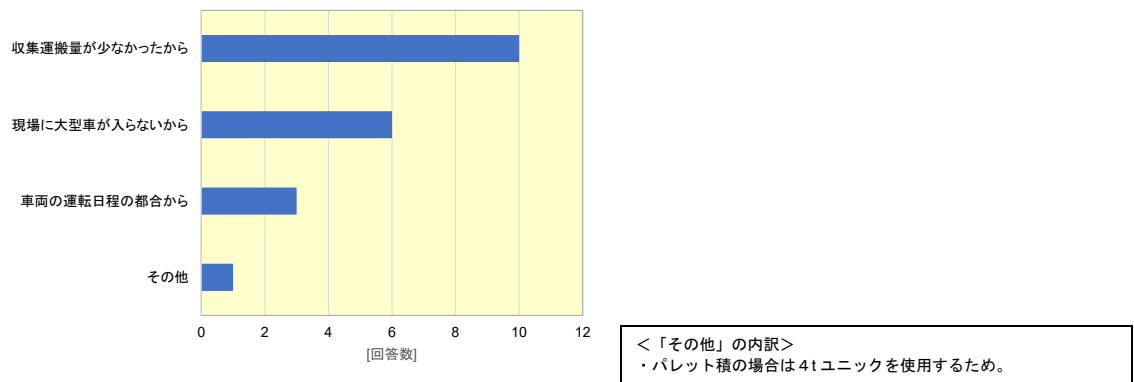


図 1.4-4 小型の収集運搬車を使用した理由

収集範囲について、同一都道府県内よりも近隣他府県が多く、都道府県境を越える運搬の比率が増加傾向にあり、2019年度はその比率が50%を上回っている。

Q. 太陽電池モジュールの収集範囲(エリア)について、該当するものに○をつけてください。

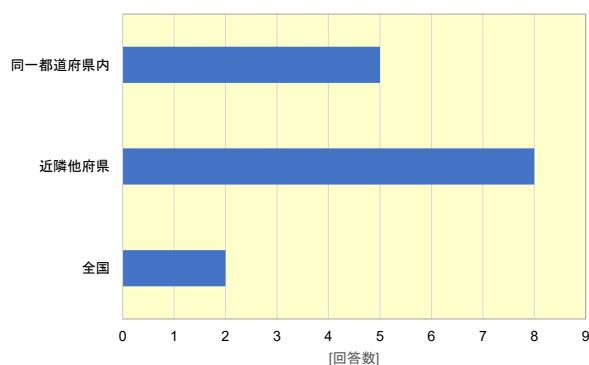


図 1.4-5 太陽電池モジュールの収集範囲

収集した使用済み太陽電池モジュールの運搬に伴う走行距離（車庫→排出場所→中間処理事業者→車庫）は、平均 130km/回となった。また、排出場所から中間処理事業者への運搬距離が 50km 以内という案件の比率は 3 分の 1 程度であった。

表 1.4-4 太陽電池モジュールの 1 回当たりの運搬距離

Q. 太陽電池モジュールの運搬距離(車庫から排出場所、排出場所から中間処理事業者、中間処理事業者から車庫までを含む)について、1 回当たりの距離をご回答ください。

回答数	最短	最長	平均
最短・平均: 8 最長: 9	4 km/回	354 km/回	130 km/回

表 1.4-5 運搬距離 50km 以内の案件の発生割合

Q. 排出場所からの運搬距離が 50km 以内の案件がどの程度発生しましたか。2017～2019 年度の件数および重量の全体に占めるおおよその比率をご回答ください。

	回答数	件数比率			重量比率		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
2017年度	7	0%	100%	26%	0%	100%	33%
2018年度	6	0%	100%	60%	0%	100%	68%
2019年度	8	0%	100%	24%	0%	100%	29%

(3) 収集運搬の費用・手続き等

使用済み太陽電池モジュールの収集運搬費用は、運搬距離・重量という点からは他の廃棄物と変わらないとみられるが、積込の手間などにより、相対的に高くなっている可能性がある。

Q. 太陽電池モジュールの収集運搬費用は、一般的なガラス・コンクリート・陶磁器くずと比較して高いですか、安いですか。該当する方に○をつけてください。また、その理由をご回答ください。

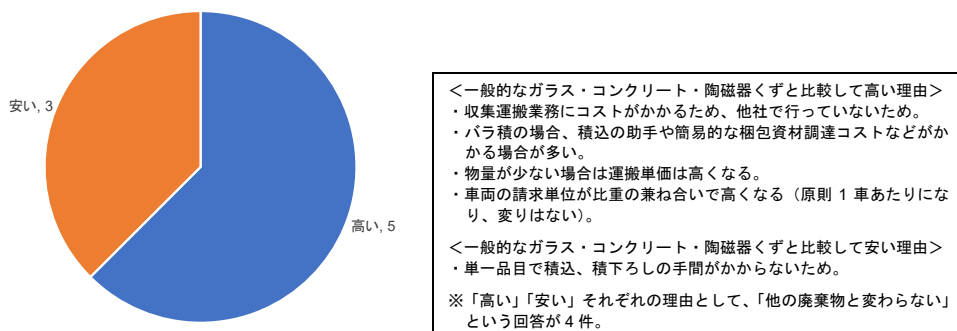


図 1.4-6 収集運搬費用の他の廃棄物との比較

(4) 収集運搬コストの削減

コスト削減の工夫として最も多い回答は、量に応じた車両の手配、次いで、現場における積込時間の縮減となっている。今後、収集運搬コスト削減のためには、量が集まってからの収集運搬（輸送効率の観点）が必要という回答が最も多く、リサイクル業者が増えること（輸送距離や処理業者の観点）、一時保管場所の確保、収集箱等の標準化、都道府県を越える際の手続きの簡素化と続いている。

Q. 収集運搬コストを下げるために、どのような工夫をしていますか。該当するものに○（複数回答可）をつけてください。なお、太陽電池モジュールの排出経験は問いません。

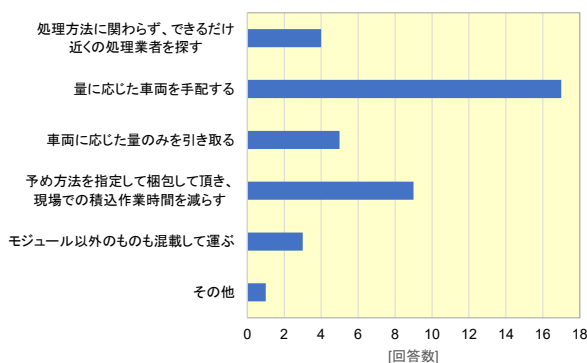


図 1.4-7 収集運搬コスト削減のための工夫

Q. 太陽電池モジュールの収集運搬コストを下げるために、今後望まれる項目として何が重要だと考えますか。重要と考えるものから順に1~6の番号をご記入ください。なお、太陽電池モジュールの排出経験は問いません。

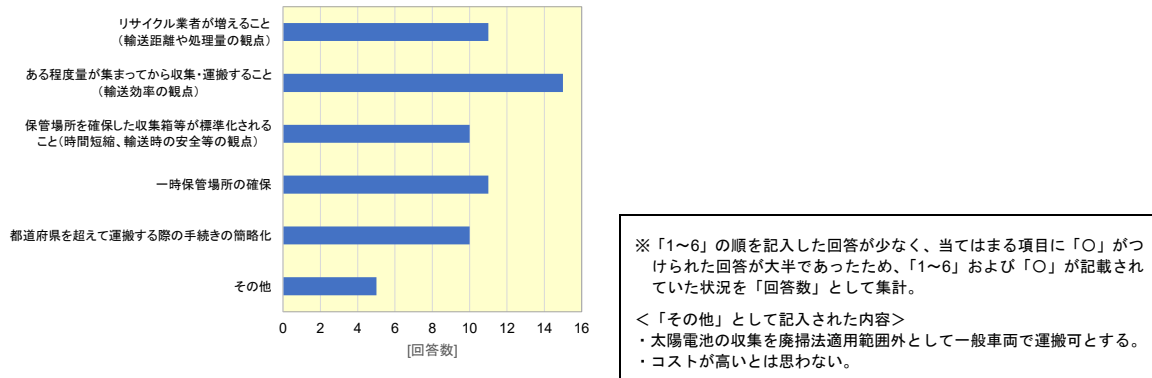


図 1.4-8 収集運搬コスト削減のために重要なこと

(5) 将来の収集運搬

将来、リサイクルが主流になるために重要なこととして、リサイクルの義務化が最も重要で、リサイクル可能な中間処理事業者が増えることやリサイクル処理が安価になることが続いている。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの大量排出が予想される2030年代半ば以降において、リサイクルが主流となるために何が重要だと考えますか。重要と考えるものから順に1~5の番号をご記入ください。

左軸「1~5」の順を記入した回答と当てはまる項目に「○」がつけられた回答が混在していたため、「1~5」および「○」が記載されていた状況を「回答数」として集計。右軸(折線)優先順位「1~5」が記されている回答(12件)について、優先順位1は5点、2は4点、3は3点、4は2点、5は1点とし、その点数を合計したものを。

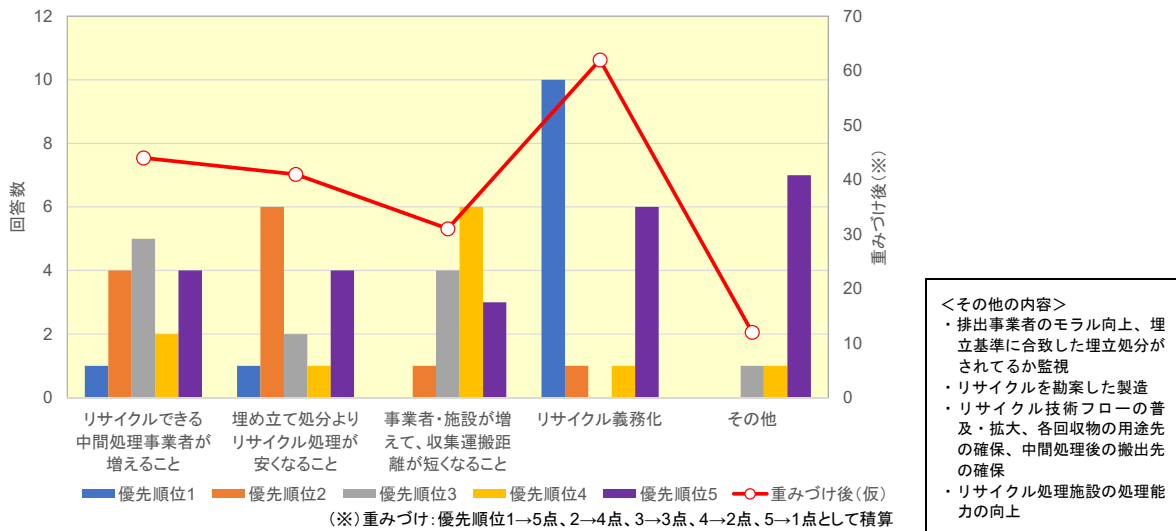


図 1.4-9 リサイクルが主流になるために重要なことの優先順位

1.5 中間処理事業者向けアンケート調査結果

ここでは、中間処理事業者向けに実施したアンケート調査結果を示す。
実施したアンケート調査の概要を表 1.5-1 に示す。

表 1.5-1 中間処理事業者向けアンケート調査の概要

調査対象	使用済み太陽電池モジュールの中間処理事業者の中から選定、協力依頼	
調査実施時期	2020年11月～2020年12月	
調査方法	調査票送付・回収	
調査票回収数	21	
調査票の構成	Q1～Q9	処理の許可および使用済み太陽電池モジュールの受け入れに関する質問
	Q9～Q14	使用済み太陽電池モジュールの受入実績等に関する質問
	Q15～Q21	太陽電池モジュール受け入れの手続き、保管に関する質問
	Q22～Q32	太陽電池モジュールの処理およびコストに関する質問
	Q33～Q35	処理上の課題に関する質問
	Q36～Q39	将来の処理に関する質問
	最後に	自由回答

表 1.5-2 に中間処理事業者向けアンケート調査結果の要点を示す。

表 1.5-2 中間処理事業者向けアンケート調査結果の要点

<p>○使用済み太陽電池モジュールの受け入れについて</p> <ul style="list-style-type: none"> 多くの事業者でモジュール受け入れに対する規定があり、約半数の事業者で受け入れを拒否したことがある。 <p>○使用済み太陽電池モジュールの受入実績について</p> <ul style="list-style-type: none"> 2019年度のモジュール処理量は約1,250トン、リサイクル重量は約1,070トン（回答19事業者）。 撤去工事事業者、電気工事事業者、保守管理事業者からの受け入れが多い。 受け入れたモジュールの45～50%が他の都道府県で発生したもの。 <p>○太陽電池モジュール受け入れの手続き、保管について</p> <ul style="list-style-type: none"> 受け入れたモジュールの運搬は、35～45%が自社で手配した事業者による。 他都道府県からの受け入れには事前協議が必要となることもあり、所要日数は地域により3～30日と幅がある。 受入後平均保管日数は12日程度であるが、「都度処理」という回答の事業者も多い。 受入後に保管可能な重量は平均で75トン程度（回答16事業者）。 <p>○太陽電池モジュールの処理について</p> <ul style="list-style-type: none"> 専用処理設備を有する事業者による処理能力は平均で1,200トン/年程度（回答11事業者）。 多くの事業者で含有物質情報が必要となったことがあり、ガラス・セル中の物質が多い。 <p>○将来の太陽電池モジュール処理について</p> <ul style="list-style-type: none"> リサイクルが主流となるための優先順位は、概ね「素材の再利用技術・市場形成等」>「リサイクルの義務化」＝「事業者あたりの処理量が増えること」>「新たな技術開発・政策・補助」＝「リサイクル処理が安くなること」>「その他」である

(1) 処理の許可および使用済み太陽電池モジュールの受け入れ

回答 21 事業者中、15 事業者が使用済み太陽電池モジュール受け入れに関する規定を用意しており、約半数の事業者で受け入れを拒否したことがある。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの受け入れに関する規定がありますか。該当する方に○を付けてください。また、「ある」場合は、作成している規定の種類もご回答ください。

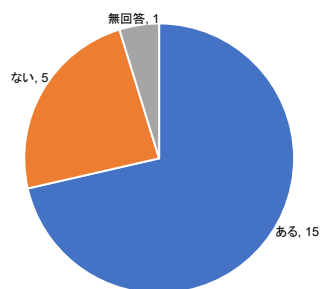


図 1.5-1 太陽電池モジュールの受入規定の有無

Q. 使用済み太陽電池モジュールの受け入れを拒否したことはありますか。該当する方に○を付けてください。また、「ある」場合は、その理由もご回答ください。

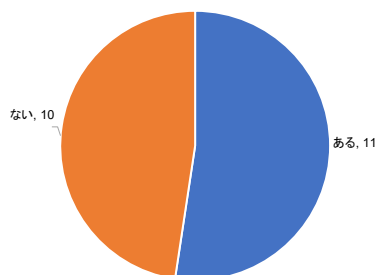


図 1.5-2 太陽電池モジュールの受入拒否の有無

(2) 使用済み太陽電池モジュールの受入実績等

産業廃棄物として受け入れた使用済み太陽電池モジュールは徐々に増加しており、2019 年度は回答 19 事業者の合計で 1,201 トンであった。ただし、受け入れたモジュールのうち、リサイクルされたモジュール重量は 1,031 トンとなっている。

表 1.5-3 太陽電池モジュールの処理量

Q. 産業廃棄物としての太陽電池モジュールの処理量について、2017～2019 年度の実績をご回答ください。また、処理方法を埋立処理とリサイクル処理に大別した場合、リサイクル処理した量もご回答ください。

		回答数	ゼロを除く回答数	処理量(回答数値)合計 [トン]	回答1社あたり平均処理量 [トン]	ゼロを除く回答1社あたり平均処理量 [トン]	1社あたり最大処理量 [トン]
2017年度	モジュール処理量(産業廃棄物)	19	10	672	35.3	67.2	354
	うち、リサイクル重量	19	10	653	34.4	65.3	354
2018年度	モジュール処理量(産業廃棄物)	19	15	1,167	61.4	77.8	407
	うち、リサイクル重量	19	15	765	40.3	51.0	198
2019年度	モジュール処理量(産業廃棄物)	19	18	1,201	63.2	66.7	257
	うち、リサイクル重量	19	18	1,031	54.3	57.3	134

使用済み太陽電池モジュールの受入先は、撤去工事業者や電気工事業者からが多く、保守事業者やその他と続いている。その他の受入先には、収集運搬事業者、倉庫・太陽電池メーカーなどが含まれており、前者は撤去されたモジュールの運搬業者、後者は処分在庫と考えられる。

また、受け入れた使用済み太陽電池モジュールの発生場所を見ると、40～45%が他の都道府県で発生したものとなっている。

Q. 使用済み太陽電池モジュールを、どこから受け入れましたか。また、それぞれの受入件数はどの程度ですか。(※災害廃棄物は除いて、ご回答ください。)

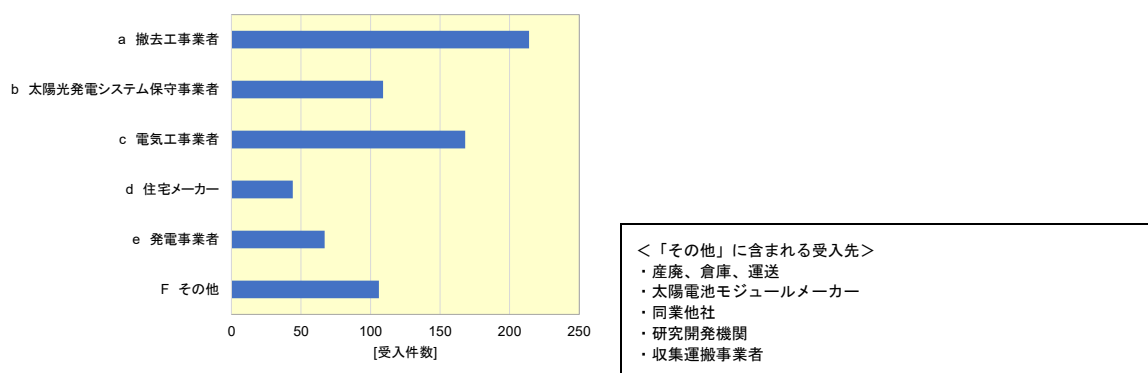


図 1.5-3 太陽電池モジュールの受入先

Q. 受け入れた太陽電池モジュールの発生場所について、同一都道府県内と同一都道府県外のそれぞれの比率（件数あるいは重量）をご回答ください。

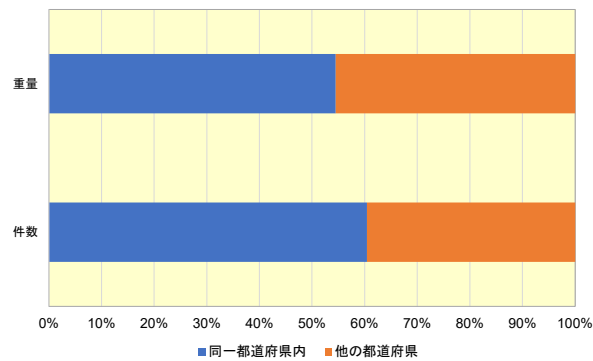


図 1.5-4 受け入れた太陽電池モジュールの発生場所

(3) 太陽電池モジュールの受け入れの手続き、保管

受け入れた使用済み太陽電池モジュールの運搬は、35～45%が自社で手配した事業者によるものである。

Q. 受け入れた太陽電池モジュールの収集運搬事業者を指定・手配したのは自社と他社のどちらですか。受入量全体に占める件数あるいは重量の比率も併せてご回答ください。

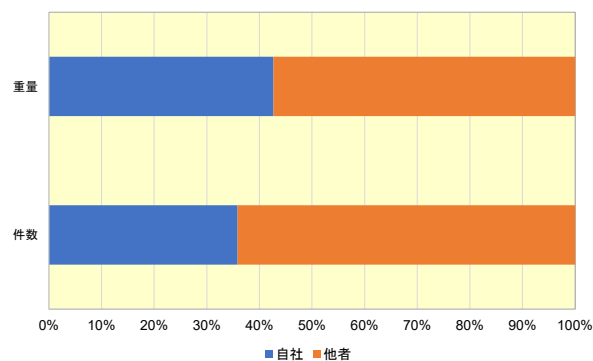


図 1.5-5 収集運搬事業者の指定・手配

使用済み太陽電池モジュールの都道府県境を越えた受け入れに際し、特別な手続きはなかったという回答と、事前協議が必要だったという回答が同程度であった。事前協議が必要な場合、日数が地域により様々であるが、対応が必要となった受入内容（受入量、排出元、太陽電池種類など）まで特定できないため、明確には判断できない。

Q. 同一都道府県を越えて太陽電池モジュールの受け入れを行う際、同一都道府県内の手続きとは別に、どのような手続きが必要となったでしょうか。該当するものに○(複数回答可)をつけてください。また、実施経験がある項目については、その具体的な内容をご回答ください。また、その手続きのためにどの程度の日数がかかるか、わかる範囲でご記入下さい。

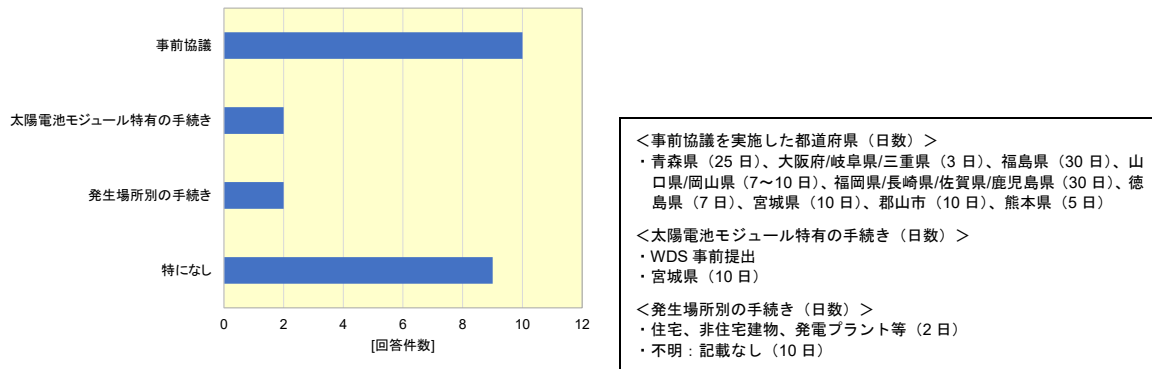


図 1.5-6 都道府県を越えた受け入れに必要な手続き

使用済み太陽電池モジュール受入後に保管可能な重量は、回答 16 事業者の平均で 75 トンであった。受入後の平均保管日数は 12 日程度であるが、受け入れから処理のタイミングを見ると「都度処理」という回答の事業者が多い。

表 1.5-4 太陽電池モジュールの保管可能量および期間

Q. 保管可能な使用済み太陽電池モジュールの量および平均的な保管期間をご回答ください。

		回答数	平均	最小	最大
保管可能な量	重量(トン)	16	75	10	420
	枚数(枚)	16	2,554	250	8,200
平均的な保管期間(日数)		18	11.4	0	30
(0日という回答を除いた場合)		17	12.1	2	30

Q. 太陽電池モジュールを受け入れ後、保管から処理のタイミングについて、該当するものに○をつけてください。「一定量溜まるまで保管する」を選択した場合は、その量もご回答ください。

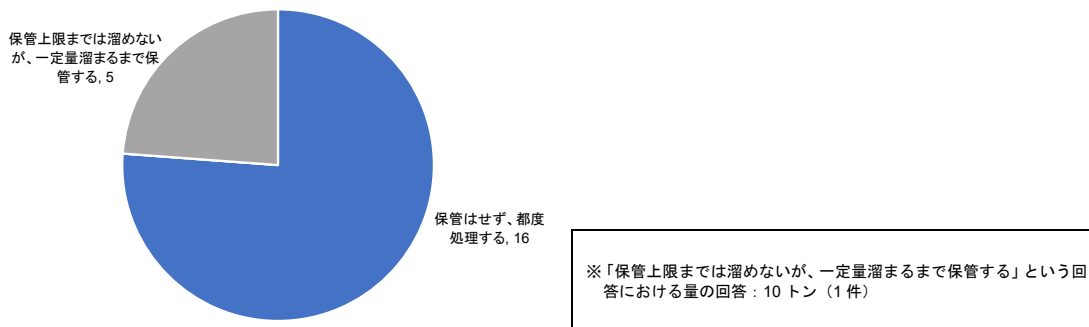


図 1.5-7 保管から処理に至るタイミング

(4) 太陽電池モジュールの受け入れの処理

太陽電池モジュール専用処理設備の処理能力は回答 11 事業者の平均で 1,200 トン/年、年間稼働率は 12%程度であった。

表 1.5-5 太陽電池モジュールの処理設備の処理能力および年間稼働率

Q. 太陽電池モジュール専用の処理設備の処理能力についてご回答ください。また、太陽電池モジュール専用の処理設備の年間稼働率をご回答ください。

			回答数	平均	最小	最大
専用設備処理能力	年間	トン/年	11	1,199	120	3,562
		枚/年	10	69,178	16,000	127,200
	1日あたり	トン/日	11	83	1.2	834
		枚/日	11	399	60	1,600
専用設備の年間稼働率			11	12%	0%	20%
(0%という回答を除いた場合)			10	13%	5%	20%

使用済み太陽電池モジュールの中間処理ならびに分離・分解後の素材について、含有有害物質の情報が必要となった、という回答は、回答 20 件中 14 件であった。その多くはセル等に含まれる有害物質、ガラスに含まれるヒ素やアンチモンに関するものであった。

Q. 中間処理または分離・分解した素材の販売や処理において、モジュール含有物質情報が必要となったことがありますか。

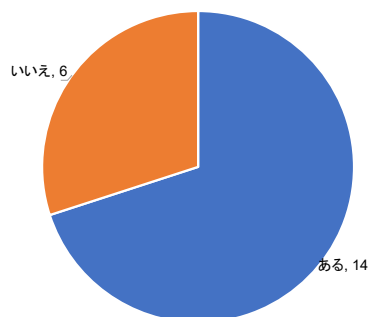


図 1.5-8 モジュール含有物質情報が必要になったことの有無

Q. モジュール含有物質情報が必要となったのは、どのような物質によるものですか。該当するものに○(複数回答可)をつけてください。

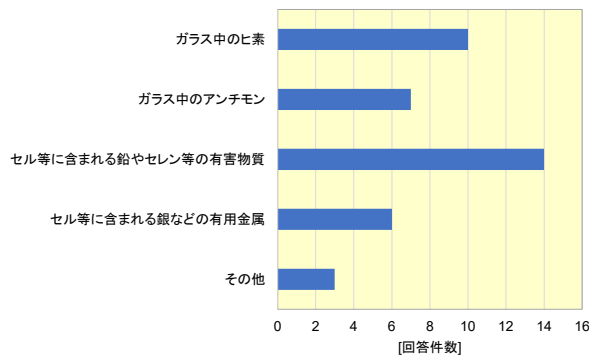


図 1.5-9 必要となったモジュール含有物質情報

(5) 将来の処理

将来、リサイクルが主流になるために重要なことは、素材の再利用技術・市場形成等という回答が最も多く、リサイクルの義務化、リサイクル事業者の処理量が増えることと続く。また、「最も重要」なこととしては、リサイクルの義務化が最も多く、リサイクル処理コストが埋立コストより安価になること、新たなリサイクル技術の開発やそれに対する支援、と続いている。

Q. 使用済み太陽電池モジュールの大量排出が予想される 2030 年代半ば以降において、リサイクルのコストダウンが進み、リサイクルが主流となるために何が重要だと考えますか。該当するものに○(複数回答可)をつけてください。また、特に重要と考えるものに◎をつけてください(3つまで)。

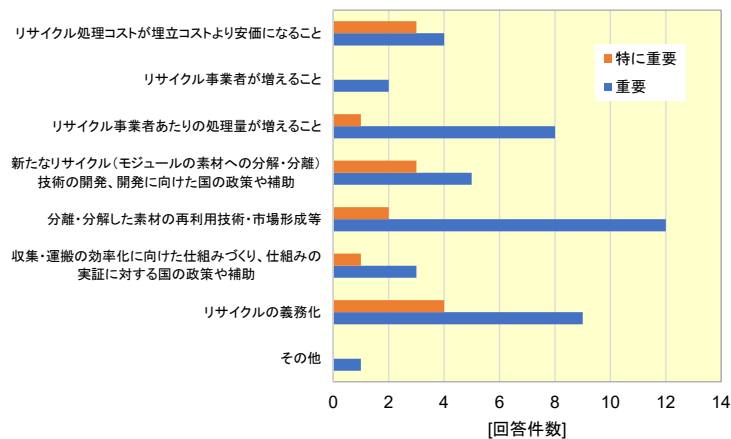


図 1.5-10 リサイクルが主流になるために重要なこと

1.6 太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた課題

以上のアンケート調査の結果に基づき、発電事業者・所有者、撤去・解体事業者、収集運搬事業者、中間処理事業者それぞれの観点による、太陽電池モジュール適正処理円滑化のための課題を抽出した結果を表 1.6-1 に示す。

リサイクル主流化に向けて重要な点については、発電事業者・所有者や撤去・解体事業者がコスト低減を重視しているのに対し、収集運搬事業者や中間処理事業者は義務化を比較的重視するという違いが見られた。これは、使用後処理費用を負担する発電事業者・所有者は自らが負担する費用の低減を望むものであり、所有者の依頼・委託を受けて対応する撤去・解体事業者にとっても所有者に示す費用を抑制したいという意向によるものと考えられる。一方、収集運搬事業者や中間処理事業者においては、太陽電池モジュールだから、という特別な配慮や意向が働くものではなく、既存の事業範囲の中で対応するものであり、リサイクルを推進する制度が整備されることによって、適正な費用で適正なリサイクル処理を行うことができるということと考えられる。

発電事業者・所有者や撤去・解体事業者による処理依頼のタイミングを見ると、保管場所確保の容易さにより、保管場所の確保が困難な場合には保管コストの削減のための都度依頼、保管場所がある程度確保できる場合には収集運搬コスト削減のためにまとめてから依頼となっている。また、収集運搬事業者が挙げるコスト低減に向けた必要施策として、量が集まってからの収集運搬や保管場所の確保が挙げられており、総じて保管場所の確保と収集運搬コストの低減が課題と感じている事業者が多いと言える。中間処理事業者が指摘するコスト低減に向けた必要施策は、受入量の安定化、受入先の確保、価格や条件の適正化などが挙げられており、効率的かつ安定的な収集運搬に依存するところが大きいと考えられる。

このほか、太陽電池モジュール適正処理の円滑化を図るためには、発電事業者・所有者や撤去・解体事業者には、処理事業者の処理能力や費用等に関する情報の提供、収集運搬事業者および中間処理事業者には、収集運搬効率化に向けたスキームの構築や各種手続きの簡素化、リサイクルに向けた支援策などが有効と考えられる。

表 1.6-1 太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた課題

	発電事業者・所有者	排出・解体事業者
リサイクル主流化に重要な点	コスト（埋立並）>事業者増=>義務化	コスト（埋立並）=事業者増>義務化
処理依頼のタイミミング	大規模事業者： 「ある程度量がまとまってから依頼」が多数 理由：コスト削減 中小規模事業者： 「都度の処理依頼」が多数 理由：保管場所確保が困難、保管コスト削減	「都度の処理依頼」が多数 理由：保管場所確保が困難 「ある程度量がまとまってから依頼」少数 理由：収集運搬コストの削減
要望（必要な情報）	処理事業者の一覧、受入可能量、対応エリア、実績、概算費用、処理工程などの情報	処理事業者の処理方法、受入能力、費用などの情報、情報の一元管理化

	収集運搬事業者	中間処理事業者
リサイクル主流化に重要な点	義務化>事業者増>コスト（埋立並）	材料利用技術>義務化>事業者あたりの処理量増
収集運搬の実態	使用車両：2t車や4t車 理由：量が少ない、現場に大型車が入らない 50%以上が都道府県境を越えたもの	—
コスト低減施策（量/収集運搬）	<ul style="list-style-type: none"> 量が集まってからの収集運搬 処理拠点数の増加（距離の短縮） 一時保管場所や積替保管場所の確保 排出事業者と連携した物流・保管スキームの構築 他県の収集運搬における手続きの簡素化 収集箱等の標準化 	<ul style="list-style-type: none"> 受入量の安定化（エリアごとに集約施設等） リサイクルへの補助・支援策 収集運搬効率化に向けた回収の仕組み、国の政策・補助 県外搬入手続きの簡素化
コスト低減施策（処理後材料の資源価値）	—	<ul style="list-style-type: none"> 受入先の確保（受入先確保の共同事業） 受入価格や品質条件の適正化 利用技術・市場形成への公的補助

<第 1 章 参考文献>

- 1) 一般社団法人太陽光発電協会：適正処理(リサイクル)の可能な産業廃棄物中間処理業者名一覧
(<http://www.jpca.gr.jp/pdf/t180827.pdf>)

第2章 海外における太陽電池モジュールの適正処理に関する調査

太陽電池モジュールの使用後処理に関し、欧州では WEEE 指令の改正により太陽電池モジュールリサイクルが義務化され、米国や中国、韓国などでも太陽電池モジュールリサイクルにむけた取り組みが開始されている。

ここでは、欧州をはじめとする海外主要国における太陽電池モジュールリサイクルに関する動向を示す。

2.1 欧州における動向

欧州では、電気・電子機器の使用後処理（市場で発生する廃棄物の回収率、回収した廃棄物からの資源回収率等）を規定する WEEE（Waste Electrical and Electronic Equipment）指令『廃電気・電子機器指令（2002/96/EC）』が 2012 年に改正され、太陽電池モジュールも同指令の対象に加えられた。この指令は、WEEE 処理の全てを規定するものではないが、EU 域内で電気・電子機器を販売・供給事業者（Producer：Manufacturer、Distributor、Reseller、Importer、Internet/Distance sales などが含まれる）に対し、市場からの廃棄物回収、回収廃棄物からの資源回収・リサイクル率等の達成義務を示すもので、太陽電池モジュールを含む分類に対して課せられる資源回収率やリサイクル・リユース率は段階的に引き上げられ、2018 年 8 月 15 以降は資源回収率：85%、リサイクル・リユース率：80%となっている。

ここでは、欧州主要国における使用済み太陽電池モジュールの適正処理に関する動向として、欧州における使用済み太陽電池モジュールの発生量、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、オランダおよびイギリスにおける概況、PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュールの回収状況、WEEE 指令を巡る近年の議論の動向を示す。

2.1.1 欧州における使用済み太陽電池モジュール発生量

欧州における WEEE の発生量や処理量は、各国からの報告に基づき、欧州連合の統計局 (Eurostat) により公表されている。図 2.1-1 に 2016～2018 年の使用済み太陽電池モジュールの回収量を、表 2.1-1 には 2018 年の使用済み太陽電池モジュールの回収量と処理量、リサイクル量などの内訳を示す。なお、2022 年 2 月時点において、Eurostat による公表データは 2018 年実績が最新である。

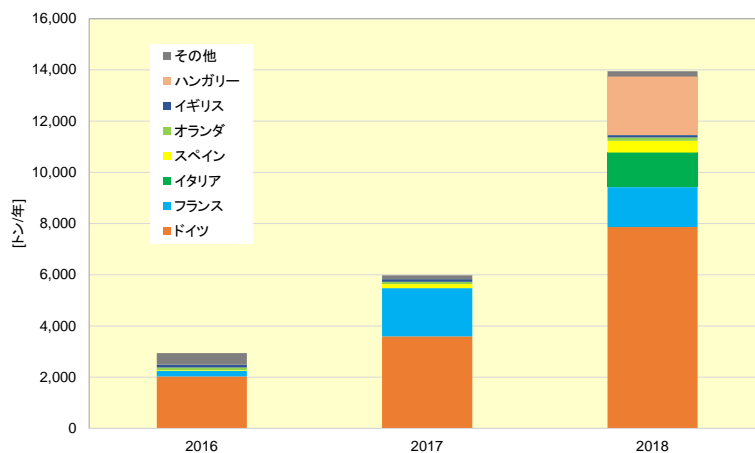


図 2.1-1 欧州の 2016～2018 年の使用済み太陽電池モジュール回収量（単位：トン/年）²⁾

表 2.1-1 欧州における 2018 年の使用済み太陽電池モジュール回収・処理状況（単位：トン/年）²⁾

	ドイツ	フランス	イタリア	スペイン	オランダ	イギリス	ハンガリー	報告のある 12ヶ国計 ^{※1}
a)モジュール回収量	7,865	1,555	1,350	462	131	87	2,289	13,951
b)モジュール処理量	7,865	1,555	1,598	276	17	87	2,218	13,799
c)資源回収量	7,708	1,513	1,408	249	17	87	1,890	12,894
d)リサイクル・リユース ^{※2} 量	6,896	1,399	1,361	240	15	80	1,890	11,902
e)うち、リユース ^{※2} 量	909	-	-	-	-	-	-	909
モジュール回収量に基づく 資源回収率：c)/b)	98.0 %	97.3 %	88.6 %	90.2 %	100 %	100 %	85.2 %	93.4 %
モジュール回収量に基づく リサイクル・リユース率:d)/b)	87.7 %	90.0 %	85.7 %	87.0 %	88.2 %	93.0 %	85.2 %	86.3 %

※1:ドイツ、フランス、イタリア、イギリス、ハンガリー、ベルギー、オランダ、チェコ、デンマーク、オーストリアおよびギリシャ

※2: Eurostat による「Preparation for reuse」を「リユース」と表記

2016年から2018年にかけて大きく増加している。2018年には12ヶ国における使用済み太陽電池モジュールの回収量、処理量、資源回収量およびリサイクル・リユース（Preparation for reuse）量が示されており、使用済みモジュールの回収量は12ヶ国合計で13,951トンであった。この量は、これら12ヶ国に2018年に導入された太陽電池モジュール重量²⁾の3.0%、2016～2018年に導入された太陽電池モジュール重量²⁾の平均値の3.7%に相当する。回収量を国別にみると、ドイツの回収量が最も多く7,865トン（全体の56%）、次いでハンガリー、フランス、イタリア、スペインと続いている。

表中のb)モジュール処理量を基準にすると、12ヶ国の合計値で見た資源回収率は93.4%、リサイクル・リユース率は86.3%に達し、いずれもWEEE指令による義務比率を上回っている。また、表に示した国々はいずれもWEEE指令による義務比率を上回っている。

一方、WEEE指令では、市場からの廃棄物回収量についても目標を定めており、太陽電池モジュールを含むカテゴリー4：Large equipment に対しては、2019年以降、市場への出荷量（重量）の過去3年間の平均値の65%、あるいは発生WEEE量の85%としている。しかしながら、太陽電池モジュールに限らず、これらの目標設定や実施状況管理などの改善の必要性が議論されている。このような議論の概略は2.1.6に記す。

2.1.2 ドイツにおける動向

(1) 使用済み太陽電池モジュールの発生状況

ドイツでは、WEEE指令のもと、電気・電子機器廃棄物の使用後処理は‘ElektroG’により定められており、太陽電池モジュールは2018年よりその対象となっている。太陽電池モジュールの製造・販売者は、Stiftung Elektro-Altgeräte Register（EAR）を通じ、国内で販売する太陽電池モジュールの登録が必要となる。

使用済み太陽電池モジュールについて、住宅から発生するモジュール（B2C）は無料で回収されるが、事業用等（B2B）では回収費用は発電事業者の負担となる。B2Cでの回収はコレクションポイントより、主に公共機関のStiftung Elektro-Altgeräte-Register（EAR）が担っているが、モジュールメーカーやPV Cycle Germany、Take E-Wayなどによる回収も並行して行われている。

使用済み太陽電池モジュールの回収は2016年より行われており、回収量は2017年以降、年々増加している。2019年には13.4千トンが回収され、2019年までに累積34.1千トンが回収・処理

されている（表 2.1-2）。回収量に占める割合は住宅用以外からのものが多い。一次処理が可能なプラント数も増加傾向にあり、一次処理を行っている代表的な企業として、結晶 Si 系太陽電池モジュールでは様々な廃棄物（ガラス、プラスチック等）の一次処理事業者でもある Reiling Unternehmensgruppe、CdTe 太陽電池モジュールでは同太陽電池メーカーでもある First Solar がある。回収後処理の内訳も公表されており、一部データが公開されていない 2019 年を除く 3 年間の平均ではリユース向け前処理による除去が約 8%、リサイクルされる材が約 80%、エネルギー回収が約 10%、埋め立てられる廃棄物が約 2%となっている。

なお、2016 年の回収量が 2017 年よりも多いのは、回収制度が開始された直後であり、それまでストックされていた使用済み太陽電池モジュールが回収され始めたことによると推測される。一方、前述の Eurostat による報告では、2016 年の回収量が 2 千トンを下回っているが、データ不一致の理由は明らかではない。

表 2.1-2 ドイツの使用済み太陽電池モジュール回収量と処理内訳（単位：千トン/年）^{3)より作成}

	一次処理 プラント数	回収量		処理の内訳			
		計	うち、住宅 用以外	リユース向 前処理	リサイクル	エネルギー 回収	埋立
2016	14	9.2	(n.d.)	0.4	7.4	1.1	0.2
2017	18	3.6	2.6	0.3	3.1	0.2	0.0
2018	20	7.9	5.6	0.9	6.0	0.8	0.2
2019	19	13.4	10.8	*	11.5	1.2	*
累積	-	34.1	19.0 (2016 年除く)	1.6	28.0	3.3	0.4

*値が有効数字未満または非公開

(2) Circularity の強化に向けた課題と取り組み

ドイツの NGO:Deutsche Umwelthilfe は、2021 年 5 月に太陽電池モジュールの循環性(Circularity)の強化に関する White paper⁴⁾を発表した。

使用済み太陽電池モジュールの取扱いについては EEG にて規定されているが、現在の回収・処理システムは、気候変動や資源消費に対する便益を最大化できるものとはなっておらず、適正処理が行われていることを保証できていない。回収されている量も想定よりも少なく、不適切な回収、中古品として不法な取引、輸出等が行われ、相当量が Eurostat には報告されていない可能性があり、現行の管理統計の信頼性が欠落している。環境への悪影響や使用可能な機器の廃棄、価値ある資源の損失を防ぐため、現状を改善するためのアクションを起こす必要があるとしている。

2.1.6(3)項にて、この White paper の概略を整理しているが、太陽電池モジュールの Circularity の強化のために取り組むべき課題と方策として、太陽電池モジュールの設計、市場販売、回収、補修・リユース、リサイクルの五つの観点から、表 2.1-3 に示す項目が挙げられている。また、太陽電池モジュールの Circularity の強化に向けて解決、解消すべき主要事項として表 2.1-4 に示す Key issues が提示されている。

表 2.1-3 White paper に示された太陽電池モジュールの循環性強化のための課題と方策 ⁴⁾より作成

太陽電池モジュールの設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ Eco design ・ 有害物質の使用削減
太陽電池モジュールの市場販売	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法令遵守の強化と市場監理 ・ オンライン市場による義務
太陽電池モジュールの回収	<p><B2C における課題></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 公的回収システムの改善 <p><B2B における課題></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Producer による回収システムの改善 ・ 2015 年 10 月 24 日以前に販売されたモジュール回収
太陽電池モジュールのリペア・リユース	<ul style="list-style-type: none"> ・ Preparation for reuse ・ 不法輸出の抑止と地球規模における Circularity
太陽電池モジュールのリサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ・ リサイクルにかかる要求事項の開発

表 2.1-4 太陽電池モジュールの循環性強化に向けて解決、解消すべき主要事項 ⁴⁾より作成

<p>【Key issue 1】 コストと手間の面で、現在の回収プロセスは太陽電池モジュール所有者によって魅力的ではなく、環境への悪影響も招くような不法な輸出を行う事業者につながっていく。</p> <p>【Key issue 2】 使用済み太陽電池モジュールの多くは利用可能な状態であるが、不十分な取り扱いによって処分され、リユースされていない。</p> <p>【Key issue 3】 太陽電池モジュールのリサイクルは困難である。また、優れた技術オプションを開発することも可能であるものの、現状、リサイクル後の価値ある資源のロスやダウンサイクルとなっている。</p>

また、後述するように (2.1.6 項)、太陽電池モジュールに限らず、ドイツおよび欧州全体において、WEEE の回収率が低いことが課題とされている。その状況を改善するため、ドイツでは、2022 年 1 月より ElectroG が改正された ⁵⁶⁾。改正により、例えば、以下のような点が強化されている。

- ・ 市場化する製品の登録時に製造・販売者のコンタクト先の詳細を登録
- ・ B2B 製品については 'take-back concept' も登録
- ・ 他の EU 諸国へのオンライン販売を扱う者は、販売国および販売先の代表機関を登録

'take-back concept' とは、使用後の回収オプション、および、それらオプションの利用方法を明示することなどが含まれ、そのような情報を登録することが求められる。2022 年以降に市場化される製品はその登録時、2021 年末までに市場化・登録された製品についても 2022 年 6 月末までに情報登録が必要となる。また、B2B 製品に対しても、これまで B2C 製品のみに適用されていた、'crossed-out wheeled bin' マークを付与することが義務付けられる。

これらのほか、電気・電子機器販売店における地域で発生する小型 WEEE の無償引き取り、オンラインによる販売製品配送時、買い替えの場合は旧製品の引き取りなども義務化される。

また、今回の改正により、従来の公的な WEEE 回収拠点に加え、WEEE の初期段階の処理を行う拠点での回収も可能となり、住宅等からの発生 WEEE を直接持ち込むことが可能となる。

2.1.3 フランスにおける動向

(1) 使用済み太陽電池モジュールの発生状況

フランスでは、WEEE 指令に基づく国内法：DÉCRET n 2014-928 のもと、太陽電池モジュールの使用後処理が定められている。そして、使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルは、エコロジー・持続可能開発・エネルギー省（ADEM: Agence de la transition écologique）に委託された唯一の機関として、非営利団体である Soren（旧 PV Cycle France：2021 年 7 月に Soren と改称）が、手配・運用を行っている。

① 2019 年の発生量

PV Cycle France（当時）の発表⁷⁾によると、2019 年にはフランス国内から 4,735 トンの太陽電池モジュールが回収された（図 2.1-2）。これは 2017 年の回収量の約 2 倍に相当する。

回収された結晶 Si 系太陽電池モジュールは 1,949 トンで、Veolia の子会社 Triade Electronique 社のリサイクル施設で処理された。Triade Electronique 社は、EU の CIP Eco-Innovation プロジェクトから助成を受けた研究開発プロジェクト PV-MO.RE.DE により開発されたコンテナ型処理装置を導入している。太陽電池モジュールはアルミフレームと裏面端子ボックス・ケーブルを除去した後、一定の寸法に裁断、その後、粉碎され、各種回収資源に分別される。モジュール 1 枚あたりの処理時間は 1～1.5 分程度、資源回収率は 95%程度である。

回収された太陽電池のうち、CdTe 太陽電池は 1,607 トンあり、これらはドイツに輸送され、リサイクルされており、First Solar が引き取ったものとみられる。残りのうち、978 トンが薄膜 Si 太陽電池で、その他は CIGS またはその他の太陽電池（フレキシブルタイプ）である。

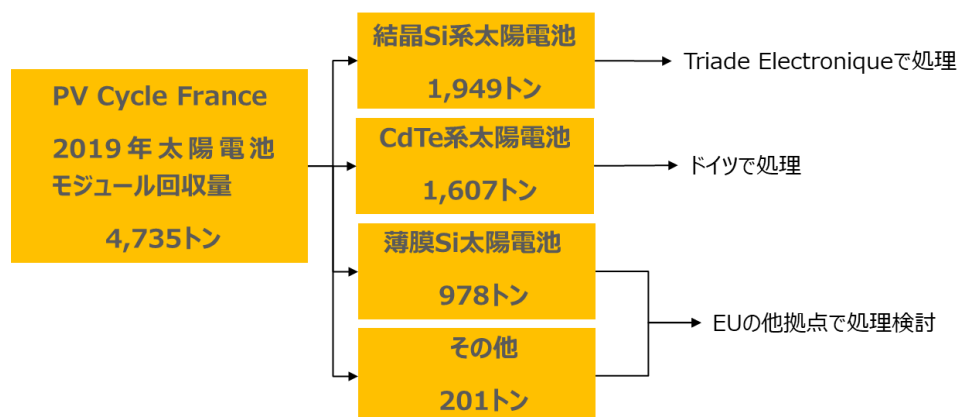


図 2.1-2 フランスにおける 2019 年の使用済み太陽電池モジュール回収量⁷⁾より作成

図 2.1-3 および表 2.1-5 には使用済み太陽電池モジュールの回収地域の区分および 2019 年における地域別回収量を示す。2019 年に回収された使用済み太陽電池のうち、ニューヴェル=アキテーヌ、オクシタニー、アルプ=コートダジュール州の各地域ですべての回収量の 81%を占めており、マルセイユを含むブーシュ・デュ・ローヌ県が 1,607 トンの主な収集地域であり、次いでオーデ県が 985 トンであった。回収量の 97%は所有者との相対取引が行われている。

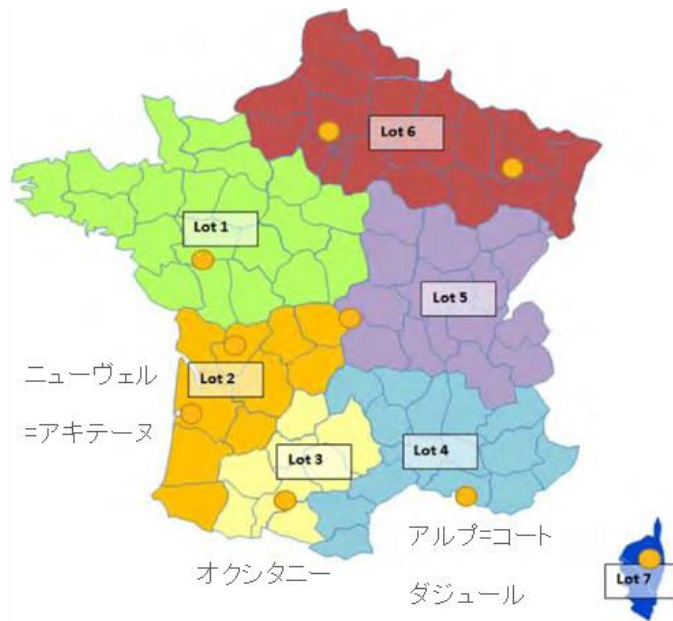


図 2.1-3 フランスの使用済み太陽電池モジュールの回収地域の区分⁷⁾

表 2.1-5 フランスにおける 2019 年の地域別使用済み太陽電池モジュール回収量⁷⁾

	Department	Tonnes collected		Department	Tonnes collected		Department	Tonnes collected
1	Ain	0.00	34	Hérault	24.74	68	Haut-Rhin	0.00
2	Aisne	1.36	35	Ille-et-Vilaine	8.20	69	Rhône	54.17
3	Allier	25.02	36	Indre	0.00	70	Haute-Saône	4.12
4	Alpes-de-Haute-Provence	4.72	37	Indre-et-Loire	0.00	71	Saône-et-Loire	2.62
5	Hautes-Alpes	2.16	38	Isère	16.54	72	Sarthe	8.10
6	Alpes-Maritimes	1.36	39	Jura	0.00	73	Savoie	2.52
7	Ardèche	1.72	40	Landes	188.01	74	Haute-Savoie	10.59
8	Ardennes	1.35	41	Loir-et-Cher	0.00	75	Paris	0.00
9	Ariège	0.00	42	Loire	1.12	76	Seine-Maritime	0.00
10	Aube	0.00	43	Haute-Loire	0.00	77	Seine-et-Marne	14.05
11	Aude	985.67	44	Loire-Atlantique	30.57	78	Yvelines	2.58
12	Aveyron	147.14	45	Loiret	1.50	79	Deux-Sèvres	3.45
13	Bouches-du-Rhône	1607.40	46	Lot	0.00	80	Somme	0.00
14	Calvados	6.77	47	Lot-et-Garonne	73.00	81	Tarn	51.57
15	Cantal	20.52	48	Lozère	0.00	82	Tarn-et-Garonne	3.38
16	Charente	4.26	49	Maine-et-Loire	26.03	83	Var	2.15
17	Charente-Maritime	1.08	50	Manche	0.00	84	Vaucluse	119.08
18	Cher	0.00	51	Marne	2.78	85	Vendée	13.01
19	Corrèze	0.00	52	Haute-Marne	8.66	86	Vienne	31.52
21	Côte-d'or	4.88	53	Mayenne	2.07	87	Haute-Vienne	11.90
22	Côtes-d'armor	4.68	54	Meurthe-et-Moselle	0.00	88	Vosges	0.00
23	Creuse	0.00	55	Meuse	0.00	89	Yonne	0.00
24	Dordogne	32.86	56	Morbihan	0.00	90	Territoire de Belfort	0.00
25	Doubs	1.56	57	Moselle	22.05	91	Essonne	0.71
26	Drôme	52.16	58	Nièvre	0.00	92	Hauts-de-Seine	0.00
27	Eure	21.00	59	Nord	61.54	93	Seine-Saint-Denis	0.00
28	Eure-et-Loir	17.06	60	Oise	0.00	94	Val-de-Marne	0.00
29	Finistère	0.71	61	Orne	0.00	95	Val-d'oise	6.00
2A	Corse-du-Sud	144.57	62	Pas-de-Calais	0.00	971	Guadeloupe	3.06
2B	Haute-Corse	0.00	63	Puy-de-Dôme	52.42	972	Martinique	7.16
30	Gard	18.04	64	Pyrénées-Atlantiques	8.77	973	Guyane	155.24
31	Haute-Garonne	51.83	65	Hautes-Pyrénées	0.00	974	La Réunion	15.64
32	Gers	0.00	66	Pyrénées-Orientales	10.79	976	Mayotte	11.82
33	Gironde	483.98	67	Bas-Rhin	36.36			

② 2020 年の発生量と今後の見通し

2020 年のフランス国内からの太陽電池モジュール回収量は約 4,100 トンであった⁸⁾。回収するモジュール枚数に応じて、40 枚以下を Small pick-up、40 枚超を Large pick-up としており、2020 年において、回収件数は同程度であったが、回収重量では Small pick-up が 10%、Large pick-up が 90% であった⁸⁾。

2020年の発生量は2019年より減少しており、コロナ禍の影響による撤去工事の延期が一つの要因とされているが、2021年に再び増加に転じるかどうかは不透明としている⁹⁾。

しかしながら、中長期的には使用済み太陽電池モジュールの発生量は年々増加していくとし、2040年には約120千トンが発生すると見通している（図2.1-4）。

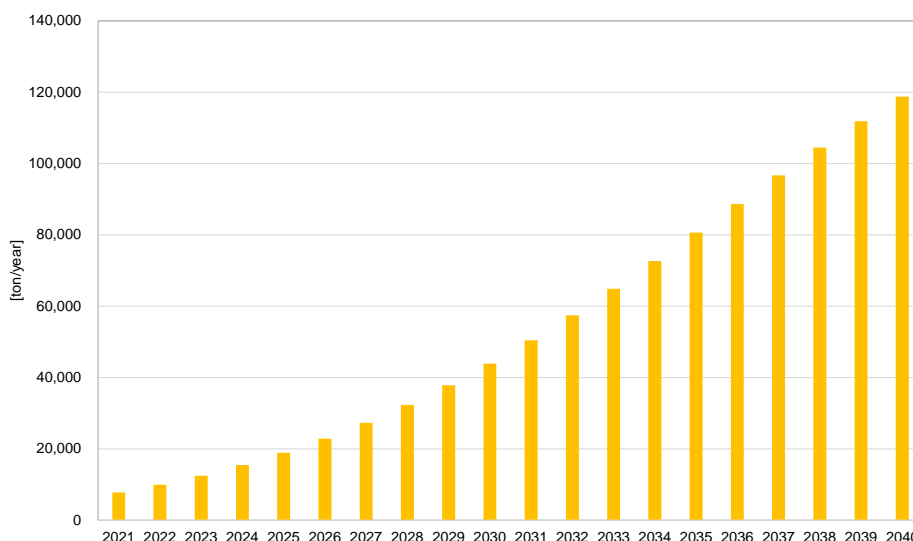


図 2.1-4 フランスにおける使用済み太陽電池モジュールの発生量見通し ⁸⁾より作成

(2) 処理費用

フランスでは、太陽電池モジュール購入時に、リサイクル費用の一部として、エコ参加費用：BARÈME DES ÉCO-PARTICIPATIONS（Visible Fee と呼ばれる）をあらかじめ負担する必要がある。負担すべき費用はモジュールの種類や重量、フレーム有無等の条件で細分化されている。

表 2.1-6 および表 2.1-7 に 2020 年における結晶 Si 系と薄膜系太陽電池のエコ参加費用を示す。アルミフレーム付き結晶 Si 系モジュールの重量を 20kg 弱、出力 200W 程度と仮定すると、このモジュールに対するエコ参加費用は 0.2~0.3 円/W 程度となる。

このほかに集光型、建材一体、フレキシブル型について、それぞれのエコ参加費用が設定されている。

表 2.1-6 フランスの結晶 Si 系太陽電池モジュールのエコ参加費用（2020 年 1 月～） ¹⁰⁾より作成

モジュール重量（1枚あたり）	アルミフレーム付きモジュール	フレームレスモジュール
1kg 未満	0.02 EUR/枚	0.03 EUR/枚
1kg から 10kg 未満	0.16 EUR/枚	0.28 EUR/枚
10kg から 20kg 未満	0.36 EUR/枚	0.63 EUR/枚
20kg から 30kg 未満	0.50 EUR/枚	0.87 EUR/枚
30kg から 40kg 未満	0.70 EUR/枚	1.22 EUR/枚
40kg から 50kg 未満	0.90 EUR/枚	1.57 EUR/枚
追加の 10kg ごと	0.20 EUR/枚	0.35 EUR/枚

表 2.1-7 フランスの薄膜系太陽電池モジュールのエコ参加費用（2020年1月～）¹⁰⁾より作成

モジュール重量（1枚あたり）	薄膜 Si	CdTe	Cl(G)S
1kg 未満	0.03 EUR/枚	0.05 EUR/枚	0.04 EUR/枚
1kg から 10kg 未満	0.22 EUR/枚	0.37 EUR/枚	0.35 EUR/枚
10kg から 20kg 未満	0.49 EUR/枚	0.70 EUR/枚	0.79 EUR/枚
20kg から 30kg 未満	0.69 EUR/枚	1.17 EUR/枚	1.10 EUR/枚
30kg から 40kg 未満	0.96 EUR/枚	1.63 EUR/枚	1.54 EUR/枚
40kg から 50kg 未満	1.23 EUR/枚	2.10 EUR/枚	1.98 EUR/枚
追加の 10kg ごと	0.27 EUR/枚	0.47 EUR/枚	0.44 EUR/枚

(3) リサイクル拠点の増加とリサイクルによる価値の向上

Soren（旧 PV Cycle France）では、使用済み太陽電池モジュールの発生量の増加に備え、また、結晶 Si 系以外の太陽電池モジュールのリサイクル処理も可能とすべく、新たな処理拠点を配置することとしている。2021年2月より、新たな拠点を設けるための入札が実施され、3拠点が整備されることとなった。このうちの1拠点にはホットナイフを用いる日本製の処理装置が導入される予定である¹¹⁾。

また、太陽電池モジュールから回収される資源のリサイクル価値が低いことについても言及している⁹⁾。現在、ヨーロッパでは回収されたガラスの大半が路盤材（Road underlayers）にしか使用されていないことから、その価値を高めることが重要と指摘している。また、アルミフレームとガラス以外の材料を可能な限り回収し、リサイクルすることを進めようとしている。例えば、銀や銅を高純度に回収することに加え、回収したシリコンを鉄の還元剤に使用することも提案している。

2.1.4 その他の国々における動向

(1) イタリア

イタリアでは、WEEE 指令に基づく国内法：Legislative Decree No. 49/2014のもと、太陽電池モジュールの使用後処理が定められている。

イタリアの固定価格買取制度 Conto Energia IV/V により発電した電力の定額買取を受けている事業者は、太陽電池モジュールのシリアル番号を国有の電力サービス管理会社（GSE: Gestore Servizi Energetici）に登録することが求められる。これに従わなかった場合、買取の中止等の措置が取られる。

使用済み太陽電池モジュールの取扱いは、10kW 未満のシステムで使用される場合は'Domestic WEEE'、10kW 以上のシステムでは'Professional WEEE'と区分されている。Domestic WEEE は、国内 4,000 箇所以上配備されている National Collection Center にて回収されることとなっており、設置または販売した者の管理・手配のもと、所有者あるいは撤去者がそこに運び込む。一方、Professional WEEE は、National Collective System を通じて、あるいは承認された Entity（収集・運搬事業者含む）によって回収され、リサイクル工場に運ばれる。ここで、National Collective System とは収集・運搬、リサイクル事業者からなるコンソーシアムである。また、イタリアで使用済み

太陽電池モジュールの回収を担っている主要な機関は、PV Cycle Italy や European Recycling Platform といった非営利団体である。

また、リサイクル積立金として、GSE が売電による収入から控除する仕組みが構築されており、Domestic モジュールは 1 枚あたり 12 EUR、Professional モジュールは 1 枚あたり 10 EUR となっている。そして、発電事業者（太陽電池モジュール所有者）が、適切に処理したことを示す所定の様式を提出することにより、発電事業者に払い戻される仕組みになっている。撤去した事業者は、Domestic モジュールについては持ち込んだ Collection Center を報告する。Professional モジュールの場合には、手配先（National Collective System、あるいは承認された Entity）を示す様式の外、太陽電池モジュールリサイクル事業者によって適切な処理が行われたことを証明する書類を提出する。これらの書類はいずれも処理後 60 日以内に提出することが求められる。

Eurostat²⁾によれば、2018 年にイタリアで回収された使用済み太陽電池モジュールは 1,350 トンで、うち、Professional が 1,339 トンとほとんどを占め、Domestic（住宅用）は 11 トンであった。

(2) スペイン

スペインでは、WEEE 指令に基づく国内法：Royal Decree 110/2015 のもと、太陽電池モジュールの使用後処理が定められている。

市場において、電気・電子機器を製造・販売する者は、取扱い製品を National Producer Registry of Electrical and Electronic Equipment（RII-AEE：Registro integrado industrial de aparatos eléctricos y electrónicos）に登録しなければならない。この登録は事業者自らが行うほか、Producer Responsibility Organization（SCRAP：Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor）を介して行うこともできる。スペインでは現在、10 の Producer Responsibility Organization がある（Reinicia、Ecotic、Ambilamp、Ecolec、Ecofímica、Ecolum、Ecoasimelec、ERP、Ecorae's、Sunreuse and Ecoeche）¹⁴⁾。

発生した廃棄物（WEEE）の回収は、Producer Responsibility Organization が構築している回収システムを利用することができる。使用済み太陽電池モジュールの回収は、例えば、Ecotic、Ecolec、Ecoasimelec、Ecorae's が手掛けている¹⁵⁾。

なお、スペインにおける使用済み太陽電池モジュールの回収量は、2018 年に 462 トン、2019 年は 260 トンであった¹⁴⁾。



図 2.1-5 スペインの ECOTIC 財団による廃電気・電子機器法による回収スキーム¹⁶⁾

(3) オランダ

オランダでは、2014年2月3日のインフラストラクチャおよび環境に関する国务長官の規則の第18条第3項にしたがい、廃電気電子機器について（廃棄物規制電気電子機器）、Nationaal (W) EEE Register（以下：NWR）への登録が義務づけられている。

図 2.1-6 に、使用済み太陽電池モジュールの回収量の推移を示す。太陽電池モジュールはカテゴリ 4ZP (Zonnepanelen) に該当し、2019 年は 124 トンが回収された。このうち、115 トンは回収システムにより回収されたもので、製品のプロデューサーによる回収は 6 トン、その他が 3 トンであった。太陽電池モジュールは寿命が長いことから、回収量については他の WEEE と比較して少なく、100 トン/年前後で推移している。ただし、回収後の処理については明らかではなく、Eurostat¹⁾によれば、2018 年の回収量 131 トンに対し、処理量は 17 トンにとどまっている。

なお、オランダにおける 2019 年の太陽電池モジュールの市場投入量は 190,476 トン（導入量は 2.57 GW）であり、同国の市場投入された電気電子機器全体の約 30%に達している。

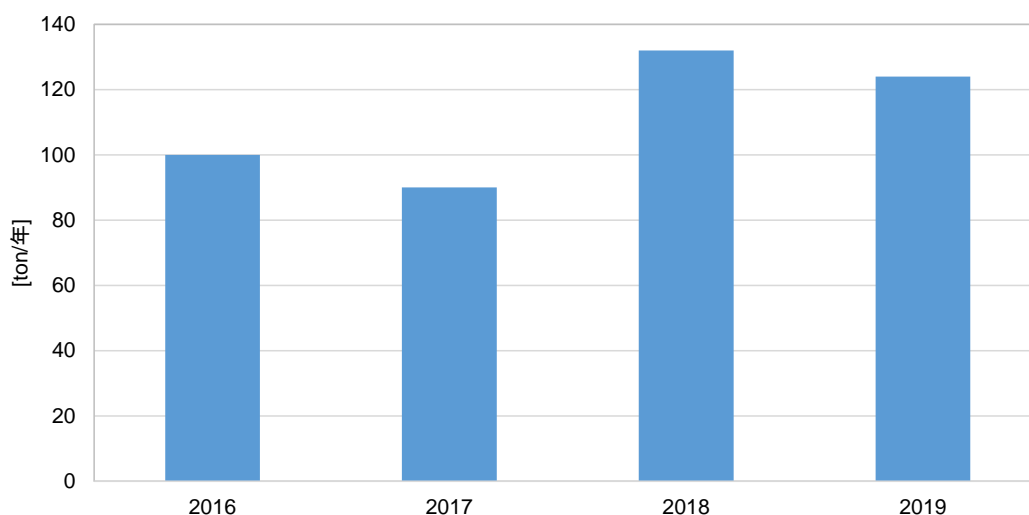


図 2.1-6 オランダの使用済み太陽電池モジュール回収量の推移 ¹⁷⁾より作成

(4) イギリス

イギリスでは、使用済み太陽電池モジュールは Household WEEE（住宅用電気電子機器廃棄物）扱いとなっている。Producer がリサイクルの義務を負うが、四つの行政区分（イングランド、スコットランド、ウェールズ、北アイルランド）毎に PCS (Producer Compliance Scheme) を構成し、環境局に登録し、太陽電池モジュール販売事業者らが回収などを協力して行う仕組みを採用している。また、PCS はお互いに他社の製品をリサイクルしたクレジットを取引することができる。

図 2.1-7 に、四半期別使用済み太陽電池モジュールの回収量を示す。2020 年に回収された使用済み太陽電池モジュールは 234 トン、2021 年 1～9 月の回収量は 180 トンであった。他の欧州諸国と比べて市場の拡大が遅れたため、使用済み太陽電池モジュールの回収量もドイツやフランスと比較して少なくなっている。

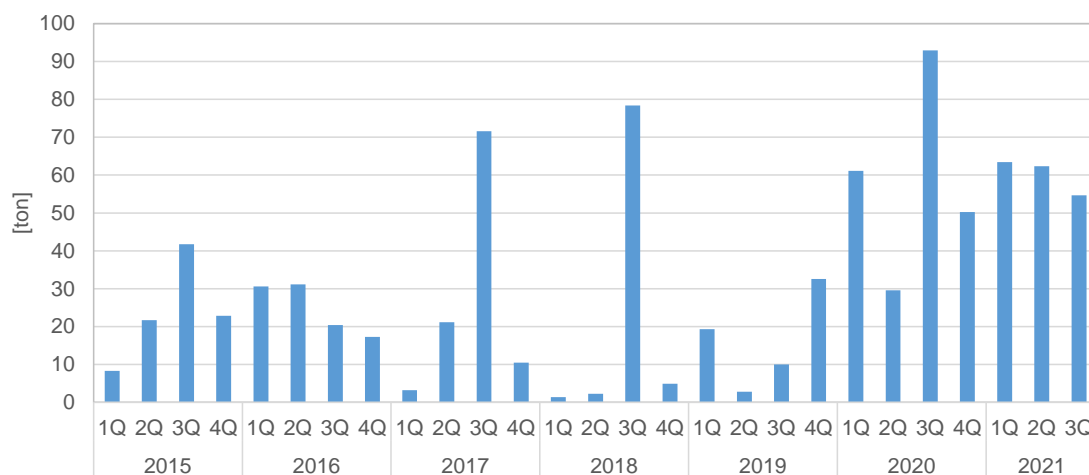


図 2.1-7 イギリスにおける使用済み太陽電池モジュールの回収量の推移 ¹⁸⁾より作成

2.1.5 PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュール回収量

PV CYCLE は、2007 年に設立された、欧州における太陽電池モジュール回収・リサイクルスキームを構築、運営している非営利機関で、本部拠点はベルギー：Brussels に位置している。

実際の回収・リサイクル処理は 2010 年 6 月から開始しており、その後しばらくは Brussels の本部拠点において全てを管理していたが、太陽電池モジュールが WEEE 指令の対象となり、その運用が各国法に基づいて実施されることに伴い、欧州内主要国への Country office の設立や各国機関との連携を推進している。

図 2.1-8 は PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュール回収量の推移 ²¹⁾を示す。2012 年以降、年間 2~3 千トン回収し、2017 年末までの累積回収量は約 16.4 千トンであったが、2018 年以降、回収量が大きく増加し、2020 年末までの累積回収量は 40 千トンを上回っている。2020 年の回収量は 7,983 トンで、イタリアからの回収が 54%、ドイツが 33%を占めている (図 2.1-9)。回収量を太陽電池種類別にみると、2019 年はシリコン系が約 80%、CdTe と CIS が約 10%ずつであったが ²²⁾、2020 年は 99.5%がシリコン系であった ²³⁾。

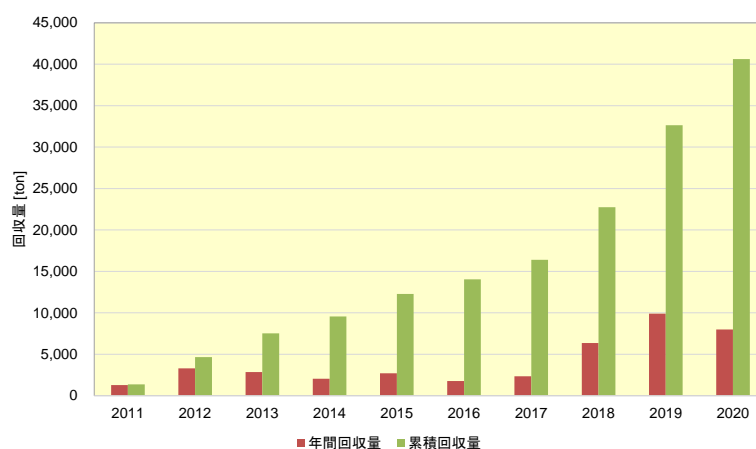


図 2.1-8 PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュール回収量の推移 ²¹⁾

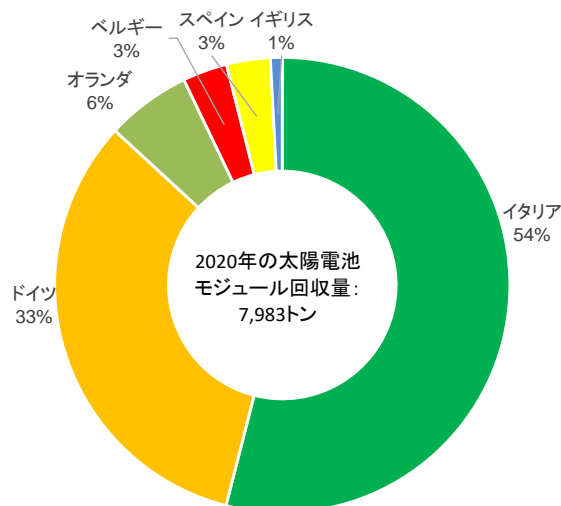


図 2.1-9 2020 年における使用済み太陽電池モジュール回収量（国別）²³⁾

PV CYCLE では、2018 年以降、太陽電池モジュールに加え、他の電気・電子機器、蓄電池等の廃棄物の回収も行っており、毎年 1.5 千トン程度を回収している。2018～2019 年は大半がドイツとイタリアで回収され²⁴⁾、2020 年は基本的にイタリアで回収されている²³⁾。

また、PV CYCLE は近年、欧州以外でも、各国における機関等との連携を行っており、米国では Recycle PV Solar と提携しており¹⁹⁾、2021 年 6 月には日本の一般財団法人秋田県資源技術開発機構との提携がなされ、同機構の中に PV Cycle Japan が発足した²⁰⁾。

2.1.6 WEEE 指令下における適正処理推進の強化にむけた議論

前述のように、欧州における使用済み太陽電池モジュールの適正処理（リサイクル・リユース等）は、WEEE 指令のもと、各国法に基づき推進されている。WEEE 指令発効以来、電気・電子機器廃棄物の適正処理が推進されてきたが、市場で発生しているはずの廃棄物の回収量（市場からの回収率）が十分ではないという課題が指摘されている。中でも、B2B による WEEE 回収に関する問題点が多く指摘されており²⁵⁾、例えば、IT 機器では WEEE 指令に基づく制度・仕組み以外による処理が非常に多いという報告もなされている²⁶⁾。

Circular Economy に向けた機運が高まる中、適正処理推進に向けた取り組み強化に関する議論は継続的に行われている。ここでは、近年公表された WEEE-Forum によるレポート、ならびにドイツの NGO による White paper の概略を示す。

(1) EU (WEEE-Forum) : WEEE 適正処理推進のための課題

WEEE-Forum (International Association of Electronic Waste Producer Responsibility Organisations) は、2002 年に設立され、WEEE の管理、適切な使用後処理に関するノウハウを展開するためのプラットフォームで、欧州各国における WEEE の適正処理に実態のレビューに基づき、2020 年 11 月にその強化に向けた取り組みを提唱するレポート：“An enhanced definition of EPR and the role of all actors”²⁷⁾を公表した。

同レポートは、WEEE 全体を対象としているが、太陽電池モジュールに特定した論点も一部示されている。以下のその要点を示す。

① 背景・現状認識²⁷⁾

WEEE 指令 (2012/19/EU)¹⁾ では、市場からの WEEE 回収量について、2019 年以降、市場への出荷量 (重量) の過去 3 年間の平均値の 65%、あるいは発生 WEEE 量の 85% という目標を設定している。これらの目標は、環境を保護し、Circular Economy を実現するための野心的なものである。そして、EU 諸国にはこの目標を達成することが課せられており、各国とも WEEE 指令を実施するために各国法を整備している。

Eurostat²⁾によれば、2005～2018 年の間に EU 諸国全体で 48 百万トンの WEEE が回収されたが、現状のままでは、多くに国において、2019 年からの目標を達成することが困難と考えられる。

回収・リサイクル等の責任を負う Producer や PRO (Producer responsibility organizations)、その他の関係者が目標達成のための投資を行い、経験をシェアしてきているが、多くの研究などが、現在の WEEE のフローには記録されない WEEE があることを指摘しており、全ての関係者が報告義務を履行しない限り、WEEE のフローを確実に把握することはできない、と結論付けている。また、同じく 2020 年に公表された UNTAR レポート²⁸⁾では、公式な回収を妨げている要因に言及するとともに、回収量目標に到達するためには、各国において、単に廃棄されている WEEE を適切に取り扱い、金属スクラップに混合されている WEEE や不法な輸出を縮減し、また、電気・電子機器の輸出について違法なものと同法なものを区別してモニターすること、業務用 WEEE を管理、報告することが必要としている。

② 回収率の向上と適正処理の推進に必要なアプローチ²⁷⁾

現在、WEEE のバリューチェーンには能力・権限と責任範囲の乖離がある。多くの国々では、Producer あるいは PRO だけを目標達成のために必要な関係者としているが、Producer や PRO は全ての WEEE や EU 域外の関係者にアクセスすることができるわけではない。WEEE 適正処理のための重要なポイントは、WEEE 回収に影響するすべての関係者が、アクセスできる範囲と WEEE の量にあわせて、責任を分担することである。このアプローチに沿っている国々は、回収量目標の達成を確約するには至っていないものの、相対的に良い回収率を達成している。

回収量の目標が現実的かどうかという評価については、これまでの実績の評価と市場における WEEE の変化を考慮する必要があるが、報告されなかったり、違法に取り扱われている WEEE のフローを改め、WEEE の管理記録や適切なリサイクルを推進するために新たな方策を用意する必要がある。そのためには、以下のアプローチが有効である。

- ・ All Actors Approach : 全ての関係者の関与・参画
 - WEEE のバリューチェーンに関わる全ての関係者による関与・参画が必要
- ・ WEEE Available for Collection concept : Producer/PRO の責任範囲 (EPR) の明確化
 - Producer/PRO が全ての WEEE にアクセスできるわけではなく、責任範囲を明確化するとともに、アクセスできない範囲は他の関係者で補完
- ・ Adoption of supporting measures : 適正処理推進のための方策 (③参照)
- ・ Revision of collection target calculation methods : 回収目標量の設定方法の改訂 (③参照)

③ 適正処理推進方策と回収目標量設定方法の改訂²⁷⁾

<適正処理推進方策のポイント>

WEEE の適正処理を推進するためには、回収率を高めることが必要であり、また、回収した

WEEE の処理の品質も高めていく必要がある。このことによって、資源有効利用を考慮した、環境と経済を両立するための取り組みが実施される。そのための方策として、表 2.1-8 に示すポイントが挙げられる（太陽電池モジュールに関する部分は④にて別記）。

表 2.1-8 WEEE Forum による WEEE 適正処理推進のためのポイント ²⁷⁾より作成

Establish a coordination body	<ul style="list-style-type: none"> 回収等の責任の履行をモニター・調整する調整機関の設立 国管轄機関や PRO、Producer、小売り、販売者、地方機関、リサイクル事業者、消費者、回収拠点事業者などを含む非営利機関
Improve collection network, with a focus on small WEEE	<ul style="list-style-type: none"> 回収拠点および回収ネットワークの増強と周知 追加費用は国や自治体、消費者が負担
Extend the role of retail and logistics in WEEE collection	<ul style="list-style-type: none"> 小売事業者による販売時の WEEE 回収義務、購入有無によらない WEEE 引き取り義務 輸送事業者の販売・搬送時の WEEE 回収（オンライン市場含む）
Count WEEE collected with scrap and ensure proper treatment	<ul style="list-style-type: none"> WEEE 処理は金属スクラップとなるまでで、その量は同廃棄物統計を参照しているが、その後、適正な処理が実施されていない可能性（違法な取引が実施されている等）が懸念 金属スクラップ処理事業者における WEEE 取扱いの標準化、報告が必要
Awareness and behaviour change	<ul style="list-style-type: none"> WEEE の廃棄・排出方法に関する消費者への周知 使用しなくなった機器が保有、蓄積され続けている状況のモニタリング
Involve customs	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物として管理されずに直接輸出される使用済み EEE（Used EEE）のモニタリングが必要であり、税関による実績の報告、検査の強化が必要 輸入業者に対する WEEE 取扱いの義務についても税関から周知
Design specific measures aimed at professional WEEE and PV panels	<ul style="list-style-type: none"> 業務用（Professional）WEEE の回収率が低い要因として、建物解体時等に分離されていないことが挙げられるが、そのような実態を調査し、回収率を高めるための方策が必要 太陽電池モジュールは他機器とは独立したカテゴリーとすることが求められるようになったが、未対応の国もあり、適切な対応が必要（④参照） 業務用 WEEE と太陽電池モジュールについて、根拠に基づく目標設定が必要
Promote circular economy and waste prevention	<ul style="list-style-type: none"> ビジネスモデルにおける廃棄やリユースの考慮 リユースに係るトレーサビリティの確保
Targeted law enforcement	<ul style="list-style-type: none"> WEEE の回収、リサイクルに係るルール遵守の強化 調整機関によるプラットフォームとしての機能の発揮
Monitor flows	<ul style="list-style-type: none"> 各国内における WEEE のフローの把握、管理 調整機関によるモニタリング

<回収目標量設定のポイント>

EUとして、回収量に係る目標設定の在り方を再考すべきである。市場投入量に基づくターゲット値を大きくすることは、WEEEの回収を推進する反面、長期使用（補修、リユース含む）を妨げる結果となりかねない。

各国において、市場投入量に基づくターゲットと、WEEE発生量に基づくターゲットをうまく組み合わせる必要がある。市場投入量に基づくことの妥当性は製品の寿命やビジネスサイクルを考慮すべきであり、例えば、太陽電池モジュールはWEEE発生量ベースとするべきである。

太陽電池モジュールに限らず、発生量ベースとする場合には、以下を考慮すべきである。

- ・ WEEE発生量は経済情勢（市況）に応じて変動する。市場投入量が下降するときは、数年後にWEEE発生量が減少する。
- ・ 市場投入量はWEEE発生量のベースとなり、製品使用期間とあわせて把握する必要がある。

④ 太陽電池モジュールに関する回収量目標の設定および回収量把握に関する課題²⁷⁾

使用済み太陽電池モジュールの回収量を市場投入量と対比すると、欧州全体で見ると2018年においては0.6kg/人で、回収量目標の4%程度にとどまっている。国により違いはあるが、高い国でもオランダで11%、マルタで10%となっている。市場投入量に対する太陽電池モジュール回収率が低い理由はその使用年数が15年以上と長いことにより、市場投入量をベースとした使用済み太陽電池モジュール回収量という目標は基本的に達成できない。したがって、太陽電池モジュールに関する市場からの回収量の目標は、使用済み太陽電池モジュールの発生量をベースとすべきである。

また、2012年のWEEE指令の改正では、太陽電池モジュールを「カテゴリー4: Large equipment」に位置付けることとしたが、太陽電池モジュールを独立したサブカテゴリーとすることや、太陽電池モジュールに関する目標を設定することは要求していない。したがって、多くの国では、太陽電池モジュールを含むカテゴリー（カテゴリー番号は各国が各国法にて規定）に対して、市場投入量に基づく回収量が目標となっている。このことは、太陽電池モジュールを含むカテゴリーの目標を達成するためには、太陽電池モジュールの回収が少ない分を、それ以外のWEEEの回収によって満たしていくことが必要となり、歪が生じている。

2019年のEU指令（2019/2193/EU²⁹⁾において、「カテゴリー4: Large equipment」を「4.a: Large equipment excluding photovoltaic panels」と「4.b: Photovoltaic panels」にすることを求めることとなったが、幾つかの国々ではまだ太陽電池モジュールを独立したカテゴリーとはしていない。このことは上述の「歪」のほか、報告されるデータから太陽電池モジュールのフローを把握することを不可能にしている。

なお、フランスでは、太陽電池モジュール専用のカテゴリーを用意する一方で、その回収量に対する目標は設定していないが、PVモジュール専門のPRO（Soren: 2.1.3項参照）があり、効果的に機能している。太陽光発電は、他の電気・電子機器と比較して普及の歴史が浅い若い産業であるが、ステークホルダーを巻き込んだ仕組みを構築しており、既に高い回収率を実現している。

(2) EU (WEEE-Forum) : 太陽電池モジュールの回収量目標と EPR に関する課題

WEEE-Forum は、2021 年 6 月には、太陽電池モジュールの回収量目標に関するレポート：“Issues associated to photovoltaic panels and compliance with EPR legislation”³⁰⁾を公表している。同レポートは、前述(1)のレポートを継承したもので、太陽電池モジュールの製品としての特性を踏まえた回収量目標の在り方等を改めて整理している。

同レポートで新たに示された内容について、要点を以下に示す。

① 背景・現状認識³⁰⁾

欧州では、毎年、非常に多くの太陽電池モジュールが市場に投入されており、ここ数年は急増している。その一方で、太陽電池モジュールは使用年数が長く、使用済み太陽電池モジュールの発生はまだ顕著には現れていない。また、WEEE 指令において、当初、太陽電池モジュールを特定するカテゴリーを提示しなかったこともあり、そのフローを把握することが困難となっている。

多くの国々では、回収量の目標を市場投入量に基づき設定しているが、太陽電池モジュールの場合には達成困難である。したがって、カテゴリー4 としての目標を達成するために、PRO が多大な苦勞を強いられている。

これらの課題を解決するためには、以下の取り組みが必要である。

- WEEE-Forum として、政策決定者に対して、太陽電池モジュールの回収量目標について、市場投入量に基づく設定を行わないことを求める。
- 関係機関は、太陽電池モジュールの現実的な回収量目標を設定するために、欧州内における太陽電池モジュールのフローを把握する研究を支援すべきである。
- その間は、処理需要に適正に応じるということを妥当な解決策として考えるべきである。そして、使用済み太陽電池モジュールの発生量が一定レベルに到達するまでは、市場投入量に基づく目標設定は回避すべきである。
- カテゴリー4 としての回収市場の歪を解消するため、EC は、太陽電池モジュールを独立したカテゴリーとする要求²⁹⁾への対応を強化すべきである。
- 各国においても、以上のことを、太陽電池モジュールの EPR に係る公平かつ現実的な指令遵守に必要な欧州全体の課題として、問題提起すべきである。

② 使用済み太陽電池モジュール発生量の考え方³⁰⁾

WEEE が用意しているツールを用いた分析によれば、太陽電池モジュールの平均的な使用年数は 22.5 年と推定されるが、このタイミング（断面）で使用済みとなるのは初期投入量の 5%程度となる（図 2.1-10）。実際の市場投入される製品への保証が 25 年であることを考慮すると、実際はもっと長くなる可能性が大きい。

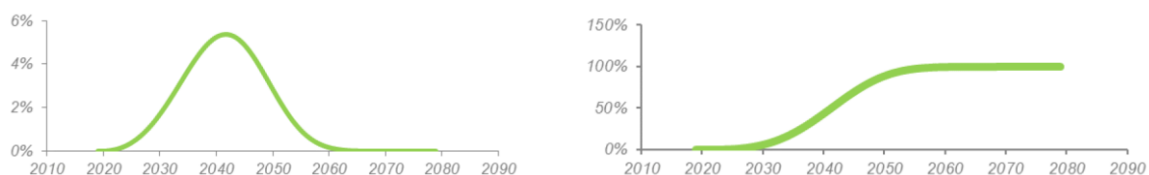


図 2.1-10 市場投入後の使用済みモジュール太陽電池モジュールの発生比率の推定例（左：投入後の各年発生量、右：投入後の累積発生量）³⁰⁾

太陽電池モジュールの使用期間は一般に住宅用と発電事業用で異なり、住宅用は投資回収や経済性に対する関心が相対的に少なく、長期間使用し続けることが多い。一方、発電事業用では、投資を回収し一定の収益を得た段階で、より高性能なモジュールへの交換、あるいは発電プラント自体の交換（リパワリング）へと移行していくため、住宅用と比較すると使用期間は短くなる。

また、発電設備としての太陽光発電システムの導入容量（kW、MW等）と、使用される太陽電池モジュールの投入量（モジュール出力と枚数から換算される定格出力）は一致しないことが一般的である。太陽電池モジュールとしての定格出力は、発電システムとしての出力の2倍以上であることが多く、今後、さらにその比率は大きくなる可能性もある。このことは市場投入量の把握に際して注意が必要な点であり、エネルギー市場（エネルギー需要や設備規模）の見通しとは大きく異なってくる。

図 2.1-11 は 2018 年における使用済み太陽電池モジュールの回収量について、2016～2018 年の年間市場投入量の平均値に対する比率を示したものである。過去 3 年間の市場投入量平均の 65% とされている WEEE 指令による目標値に対して大きく未達である。当面、太陽電池モジュールの市場投入量が増加すればするほど、回収量と目標値の乖離は大きくなっていく。

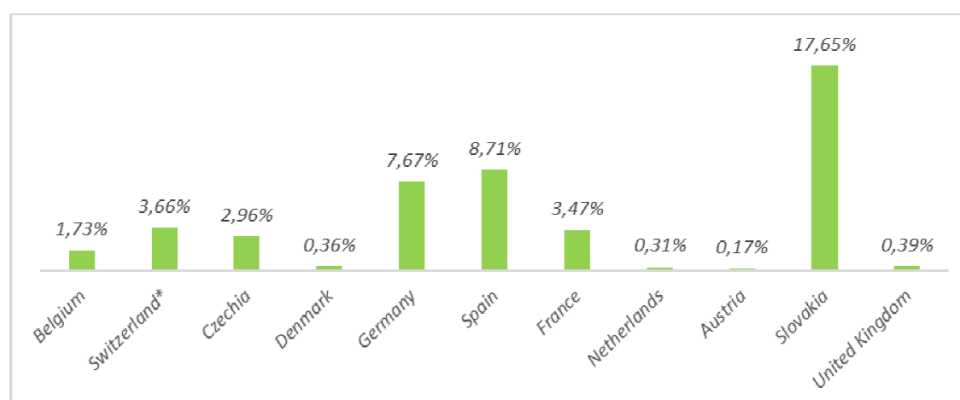


図 2.1-11 使用済み太陽電池モジュール回収量（2018 年）の市場投入量（2016-2018 年の年平均）に対する比率³⁰⁾

③ 使用済み太陽電池モジュールの管理に関する課題³⁰⁾

使用済み太陽電池モジュール発生量や回収量目標の他、適正処理のための管理に関する課題として、以下が挙げられる。

○ 廃棄物としての分類、処理と報告

太陽電池モジュールが有害廃棄物か否かという判断、太陽電池モジュール用の分類（カテゴリー4b）を用意しているか否かなど、各国の足並みがそろっておらず、まちまちである。このようなことに加え、太陽電池モジュール専用の処理拠点も少なく、太陽電池モジュールに対する適切な処理が行われていない懸念がある。

使用済み太陽電池モジュールの大量発生に備え、EU ならびに各国において、太陽電池モジュールの処理技術、処理拠点を整備していく必要がある。また、欧州内の適切な処理を推進、管理するため、使用済み太陽電池モジュールに対する廃棄物 Code が有効である。

太陽電池モジュールのフローや発生量（特に事業用プラント）を的確にモニタリングするため

の技術や仕組みを用意する必要がある。また、情報を収集し、蓄積・管理するデータベースが必要である。これらにより、効率的な情報収集と管理、報告が遂行される。

○ 適切な回収量目標の設定と回収実績報告

太陽電池モジュールの回収量目標として、市場投入量に基づくターゲットは適切ではなく、使用済み太陽電池モジュールの発生量ベースとするべきである。ただし、発生量ベースとする場合には、発生量が経済情勢（市況）に応じて変動すること、発生量が製品の使用期間に影響されることを考慮する必要がある。

回収量目標への達成度に関し、多くの国において太陽電池モジュールを独立したカテゴリーとはしていないことによる歪が生じており、太陽電池モジュールを取り扱う PRO は苦勞を強いられている。国によっては、目標が達成できない PRO に対してペナルティを課している場合もあり、早急に解決すべき問題である。各国において、太陽電池モジュールを独立したカテゴリーを用意することが必要である。

また、2019/2193/EU では、市場投入量ベースの回収量目標への達成度と併せて、市場における WEEE 発生量と、それに対する回収実績（回収率）を報告することを認めている。使用済み太陽電池モジュールについては、このアプローチを EU 全体で実施することを推奨すべきである。

また、当面の間は、回収量目標を設定しないというアプローチも考えられる。一定レベルの使用済み太陽電池モジュールが発生するようになるまでは、発生量を確実にかつ適切に処理していくことも方策の一つである。

○ 太陽電池モジュール使用後処理に係る EPR と資金調達

使用済み太陽電池モジュールを取り扱う PRO は、回収量目標の達成が困難な状況にあるが、WEEE 指令の要求や Producer の期待に応える独自の資金調達モデルを用意する必要がある。

PRO の多くは‘Pay-as-you-go’による資金調達モデルを採用している。将来に備えた積立・引当金の視点に立脚したモデルも考えられるが、15～20 年先の費用を見通すことは非常に複雑であり、また、Producer が初期段階で使用後処理費用の前払いを請求することを好まない可能性もある。一方、現在の Producer が市場から姿を消してしまう可能性もあり、回収量に基づく費用負担では、市場に投入された太陽電池モジュールの使用後処理に係る費用が負担されなくなってしまう。

PRO が採用している資金調達モデルとして、Producer から PRO への市場投入量に基づく前払い、回収時の支払い、ならびに発生段階における回収・処理依頼者からの支払いがある。市場投入量ベースの回収量目標の回避や、需要に応じたサービススキームは、これらの資金調達モデルをシンプルで安定したものにするができる。需要に応じたサービスは、発生する使用済み太陽電池モジュールの確実な回収が必然となるが、将来に向けた準備との両立は可能である。また、市場シェアに応じた責任分担は有効であり、Producer 間の公平な EPR 分配となる。ただし、カテゴリー4 全体で管理している PRO には資金調達モデルの変更を求めることになる。

PRO にとってのリスクは、将来に向けた市場投入量と回収量の不確実性であるが、これらのリスクは、規制に従わずに市場に存在する Free-rider によって助長される。また、太陽光発電からの電力を購入・販売する事業者は、発電しているモジュールの供給者（Producer）が WEEE 指令を遵守しているかを検証しておらず、また、系統連系に対する要求事項になっていない。

Historical waste などの処理責任者が不明・不在の太陽電池モジュールも含め、今後発生する使用

済み太陽電池モジュールを適正に処理するための資金の準備が必要である。前払いによって調達された資金は、その目的に沿って確実に使用されなければならない。

また、使用済み太陽電池モジュールからの資源回収やリサイクルを目標に沿って実施するためには、CENELEC の EN 50625 シリーズに沿った処理をスタンダードとするべきである。

(3) ドイツ：太陽光発電の循環性の強化

前述のように、2021 年 5 月、ドイツの NGO : Deutsche Umwelthilfe が太陽光発電の循環性 (Circularity) の強化に関する White paper : "Strengthening circularity in photovoltaics, Challenges and opportunities along the lifecycle"⁴⁾を公表している。この White paper では、太陽電池モジュールの設計、市場販売、回収、補修・リユース、リサイクルの五つの観点から、循環性の強化に向けて取り組むべき課題を示している。以下にその要点を示す。

① 背景・現状認識⁴⁾

ドイツでは、使用済み太陽電池モジュールの発生量は年々増加しており、2030 年には百万トンを上回る量が発生すると見通されている。

使用済み太陽電池モジュールの取扱いについては EEG にて規定されているが、現在の回収・処理システムは、気候変動や資源消費に対する便益を最大化できるものとはなっておらず、適正処理が行われていることを保証できていない。例えば、まだ使用可能なレベルの機能を有するモジュールが廃棄・破砕されていることがある。回収されている量も想定よりも少なく、海外に不法に輸出されているモジュールが多いという声もある。すなわち、現行の管理統計の信頼性が欠落している。環境への悪影響や使用可能な機器の廃棄、価値ある資源の損失を防ぐため、現状を改善するためのアクションを起こす必要がある。

② 循環性の強化に向けた課題⁴⁾

a) 太陽電池モジュールの設計

太陽電池モジュールは長期耐久性を維持するために強固な構造を有しているが、このことがリサイクル性を疎外している。価値ある資源が利用されているが、容易に回収することができない。また、有害物質を含んでおり、使用後における環境リスクを引き起こす懸念がある。

○ Eco design

- ・ 太陽電池モジュールのデザインは、補修やリサイクルへの対応に向けて改善すべきである。
- ・ 設計・デザインの変更は耐久性に影響し、破損・損傷を防ぐことが廃棄物になることを防いでおり、耐久性と補修、リサイクル性のバランスが必要である。
- ・ 太陽光発電システムおよび構成機器に関する規制 (Eco design や Energy label) が議論されている。Eco design は有害物質、耐久性、補修性、リサイクル性ならびに製品へのリサイクル材の使用を要求する方向であり、適切なインセンティブ、方向性を示すことができる。

○ 有害物質の使用削減

- ・ REACH 規制による制限によって、太陽電池モジュールで鉛使用を縮減する試みが続けられているが、電極ペースト材料の鉛代替物質の技術的な実用性が証明され、代替が進むことが

期待される。

- ・ その他の有害物質の使用を縮減していくための研究プロジェクトなどの推進、支援も必要である。

b) 太陽電池モジュールの市場販売

Producer として登録していない事業者が市場で設置している太陽電池モジュールがあると言われており、オンライン市場で販売されているモジュールなどにその疑いがある。このようなことは環境対策を進める上で問題であるほか、法に従っている Producer にとって不利益につながる。

○ 法令遵守の強化と市場監理

- ・ 担当機関によって、法の遵守を強化すべきであり、また、市場の監理が必要である。
- ・ 市場からの通報も有効ではあるが、担当機関による市場の監理が不可欠である。
- ・ Producer は新製品を販売する際、その製品を登録して番号を取得するが、製品販売時、登録している番号を製品に付与することを義務化すべきである。

○ オンライン市場による義務

- ・ オンライン市場においては、Producer が適正に登録しているかどうかをチェックするだけでは不十分であり、消費者が Producer にアクセスできない場合は、オンライン市場が Producer としての義務を履行しなければならない。

c) 使用済み太陽電池モジュールの回収

現時点で、使用済み太陽電池モジュールの回収プロセスは最適化されておらず、不透明性や複雑さがあり、また、高コストである。このことが結果として、リペアやリユースなどの適正な取り扱いを阻んでいる。不適切な回収とその後の処理は資源の浪費や有害物質の拡散につながり、環境への悪影響を導く。

回収システムが要因となって好まれざる廃棄処理につながる可能性があり、改善すべきであるが、解決策は B2C と B2B で異なってくる。

<B2C における課題>

典型的な住宅用システムでは、使用済み太陽電池モジュールは自治体が用意する拠点で回収される。回収およびその後の処理に必要なコストは自治体や Producer が部分的に負担している。

自治体によって回収システムの質が異なり、適切な回収システムを提供している自治体もあるが、多くの場合、ユーザーフレンドリーではなく、太陽電池モジュールの取扱いに関する知識が乏しく、回収を拒否されている場合もある。住宅用システムから撤去される太陽電池モジュールは 20~50 枚程度ということを知っている自治体もあれば、認識していない自治体もあり、この量を上回ることもある。自治体が用意する回収システムが機能しない場合、Producer による自主的な回収や付け替え (replacement) に伴う回収がない限り、太陽電池モジュール所有者は自ら処理方法、依頼先を探すことになり、結果として環境に配慮しない処理ルートとなることがある。

○ 公的回収システムの改善

- ・ 回収システムは全ての自治体で定義、標準化され、ユーザーフレンドリーであるべきである。
- ・ この対応には、回収拠点の増加、スタッフ・従業員の教育や訓練、回収システムに関する情報提供なども含まれ、このような取り組みは国全体で実施するよう規制するべきである。
- ・ 使用可能なモジュールの廃棄を防ぐためには、労働者への教育のほか、リユース可能な状態での運搬（固定方法）、回収コンテナの改善なども必要である。
- ・ ガイドラインに記される住宅用システムの PV モジュールは 30 枚「以上」と更新すべきであり、また、多くのモジュールを処理したいユーザーが問い合わせるための他のオプションも必要である。

<B2B における課題>

2015 年 10 月 24 日以降、Producer は使用済み太陽電池モジュールの回収、リサイクルについて適切な仕組みを提供しなければならない。太陽電池モジュールは使用年数が長く、Producer が存続していない可能性があるが、このことは他の製品でも同様である。太陽電池モジュールの回収、リサイクルコストは現在は高いが、太陽光発電部門も対応しなくてはならない。そうでなければ、法に従った優良な事業者が、法に従わない事業者対比で不利益を被ることとなる。

2015 年 10 月 24 日以前に導入された太陽電池モジュールに対する規制はない。使用済み太陽電池モジュールの回収、リサイクルに対する自主的、ボランタリーな（ドイツや欧州の CdTe 対応のような）EPR システムがなければ、所有者が全ての義務を負うこととなり、問題が生じ得る。購入、設置時に使用後処理費用が含まれていないことで、処理費がかからない、という意識を与えてしまっており、実際の処理システムに合致していない。その結果、所有者は低コストな処理方法を探し、不適切な処理を行う事業者への依頼につながっていく。古いモジュールほど環境へのリスクが高い可能性もある。このような太陽電池モジュールの処理が今後大きな問題となり得る。

○ Producer による回収システムの改善

- ・ Producer が確実に義務履行するためには、既存の回収システムのメンバーとなる、あるいは適切な回収システムを構築することを義務付ける必要がある。例えば、同一郵便番号内のエリア（あるいは、少なくとも郵便番号下二桁が同一のエリア）に一つの回収システム構築を基本とし、適用できない場合にはオンサイトで直接回収する。
- ・ 大規模な発電プラントからの回収については、事業者の倒産といった事態にも備え、財政的な補償を行う枠組みを用意しておく必要があり、また、発電プラントの Repowering が行われる際にも、規制当局は適切な回収と情報提供を強制しなければならない。

○ 2015 年 10 月 24 日以前に販売されたモジュールの回収

- ・ 'historical' と呼ばれるモジュールの所有者に責任を課すための調査を実施する必要がある。
- ・ 他の電気機器とは異なり、Federal Network Agency にて太陽光発電の場所と設置時期が把握できており、撤去する場合にも届出が必要であるため、所有者の特定は可能である。
- ・ モジュール所有者に適切は使用後処理を促すために、FIT 制度による買取期間終了が近づくタイミングならびに撤去の届け出が提出された際、撤去する際に課されている義務、適正な処理方法、不適切な処理が招く結果などを説明する情報を送付すべきである。

- ・ 撤去後には、実際に行った処理の情報を提供させるべきである。
- ・ 提供された情報をデータベース化し、トレーサビリティを維持することにより、所有者による義務履行を強化ことにつながる。

d) 使用済み太陽電池モジュールのリペアとリユース

2018年における回収量は7,865トンと報告されているが、この量は予想よりも小さい。その理由として、モジュール使用年数が予想よりも長い、回収がうまくできていない、多くのモジュールが不法に輸出されている、といったことが考えられる。

新しいモジュールはより高効率であり、まだ使用可能な古いモジュールと交換することで、経済性が高まる可能性が大きい。このことが、撤去後にリペア・リユースとなるモジュールが多いと考えられる理由であるが、実際には2018年において、Preparation for reuse となった回収モジュールは900トンであった。廃棄物という扱いがされずに中古品として販売され、回収量としては統計的に計上されていないモジュールが存在する可能性がある。

ドイツ市場において、中古品の価値はまだ非常に低く、大半が輸出されているという報告がある。不法輸出という申し立てもあり、憂慮すべきである。そのような場合の主な輸出先にはシリア、レバノン、北アフリカ、アフガニスタンなどが含まれる。これらの国々は廃棄物管理や産業が未成熟である。太陽電池モジュールを使用している間は環境面での便益もあるが、やがては、含有有害物質による悪影響のリスクも高まっていく。

○ Preparation for reuse

- ・ リユースモジュールは Carbon footprint の面で優れており、リユースの可能性は強化していくべきである。
- ・ 使用済みモジュールを適正に扱うための訓練や認証プロセスが用意されるべきであり、モジュールの種類や性能による適切な分類が、特定の機関、あるいは中間処理・リサイクル事業者などで行えるようにする必要がある。
- ・ 理想的には、全てのモジュールの検査を行い、性能不十分な物を除いて、ドイツ国内あるいは海外市場でリユースされるべきで、自治体や回収システム、Producer などがリユースに協力すべきである。ドイツ国内では例えば、安価なモジュールを求める大学や学校、NPO などがリユース先として有望である。
- ・ WEEE のもとで収集される全てのデータについて、データの検証を強化すべきである。

○ 不法輸出の抑止と地球規模における Circularity

- ・ 機能を維持した中古機器の輸出が許可されている場合であっても、届出なしに E-waste を輸出することは違法であるが、責任機関がこの点について及び腰であり、輸出製品がこのような要求を満たしているかどうかのチェックが十分ではない。
- ・ 必要に応じて機器の性能を証明し、示すことは輸出事業者の責務であり、そのような書類が整備され、税関でチェックされなければならない。
- ・ 太陽電池モジュールの性能検査は容易であり、輸出されるモジュールが安全であることを保証するための標準的な試験方法が準備され、義務付けなければならない。そして、輸出事業者はそのような試験を通過したことを示すエビデンスを用意する必要がある。

- ・ モジュールに付される ID 番号と分類によって、使用済みモジュールのトレーサビリティが維持されなければならない。
- ・ 輸出されたモジュールによる環境への悪影響を防止するため、国際協力等のフレームワークのもと、広域な回収・リサイクルの仕組みを構築する必要があり、ドイツは、グローバルな廃棄物移送についてリードするべきである。

e) 使用済み太陽電池モジュールのリサイクル

太陽電池モジュールに対する WEEE 指令による最低限の目標は資源回収率 85%、リサイクル率 80%である。しかしながら、ほとんどの処理工場で、ガラスと金属（アルミと銅）の回収によってこの目標は満たされており、ガラスは基本的にダウンサイクルである。さらなる材料抽出・回収のための技術は、少なくとも研究レベルでは存在するが、法規制等による高度な要求がなければ、そのような技術への投資は起こりえない。リサイクル事業者が将来のリサイクルすべきモジュールの発生量に見通しを立てることができ、かつ、リサイクルによる高い収入を見込めると判断した場合にのみ、革新的なリサイクル技術への投資が実を結ぶ。

○ リサイクルにかかる要求事項の開発

- ・ リサイクルの質を高め、また、全てのリサイクル事業者のレベルを高めるためには、リサイクル技術の可能性と推進を法規制において考慮すべきである。
- ・ ここには、有害物質の除去、シリコンのような価値ある資源の回収を、現実的かつ野心的なリサイクルのノルマとしてセットすべきである。
- ・ WEEE の Revision においては、シリコンなどの金属、価値のある、あるいは有害な物質に関するリサイクルの要件をセットする必要があり、将来のリサイクルの標準を定めるためには、CENELEC による EN50625 の内容が規制としての出発点となる。
- ・ 高純度なガラス回収を実現すべきであり、また、回収された材料をモジュールとして使用することも、Green Public Procurements の要件とすべきである。
- ・ 公的調達に対しては、リサイクル材料を使用している同程度の性能を有する製品が市場に存在していることが望ましい。
- ・ 長期的には、回収・リサイクルされた材料が新たなモジュールとなる、製品のクローズドループが創出されるべきである。

③ 循環性の強化に向けた方向性⁴⁾

太陽電池モジュールを Circular Economy の一部とすることが可能であり、ドイツは、使用済み太陽電池モジュールの回収、補修、リユースおよびリサイクルの先頭を切ることができる。このことは、エネルギー転換を強化し、気候変動を解決し、革新と投資、雇用創出の発展につながる。今、この機会を逃すと、太陽電池モジュールは問題の大きい廃棄物となってしまう可能性が大きく、魅力的でないだけでなく、不要となってしまう。

使用済み太陽電池モジュールのリサイクルの現状を改善するためには、リサイクル事業者が高度なリサイクルを追求するための動機、技術的な要件やリサイクル量の予見が必要である。そのためにも使用済み太陽電池モジュールの回収を確実に行う必要がある。補修やリユースのためには、適正な取り扱いと性能検査が必要となる。信頼できる適正な Producer が不利益を被らないた

めには、法に従わない‘Bad apple’は市場から取り除かなければならない。Producer、所有者、リサイクル事業者および公的機関すべてが公正に役割を果たさなければならない。

このような現状を打開、改善し、ドイツにおいて、太陽光発電の Circularity を強化するために解決、解消すべき主要事項とその対策は表 2.1-9 に示すように特定される。

表 2.1-9 太陽電池モジュールの循環性強化にむけた解決、解消すべき主要事項と対策⁴⁾より作成

【Key issue 1】

コストと手間の面で、現在の回収プロセスは太陽電池モジュール所有者によって魅力的ではなく、環境への悪影響も招くような不法な輸出を行う事業者につながっていく。

- ・ B2C モジュールのコレクションポイントを担う公的機関に対し、少なくとも 30 枚以上のモジュールを回収することを標準とするように義務付ける。
- ・ Producer に対し、回収システムに参加すること、あるいは十分なコレクションポイントをカバーする回収オプションを構築することを義務付ける。
- ・ 市場をモニターし、不法に市場で PV モジュールを取り扱うなど、義務から逃れようとする Producer にペナルティを与える。
- ・ PV システムを撤去しようとする所有者に対し、処理時の義務を周知する。
- ・ 違法な輸出を防止するためにも、標準的な性能試験、ID 番号による管理を徹底する。

【Key issue 2】

使用済み太陽電池モジュールの多くは利用可能な状態であるが、不十分な取り扱いによって処分され、リユースされていない。

- ・ 作業者の訓練、安全な回収コンテナの利用と搬送中の保護を義務化する。
- ・ 使用済みモジュールを取り扱う作業者に対する特別な訓練と認証プロセスを開発する。
- ・ モジュールの性能管理とタイプに応じた分類を実施する。
- ・ 回収プロセスにかかわる自治体、回収システム、Producer、Distributors とリユース事業者との協力を促す。

【Key issue 3】

太陽電池モジュールのリサイクルは困難である。また、優れた技術オプションを開発することも可能であるものの、現状、リサイクル後の価値ある資源のロスやダウンサイクルとなっている。

- ・ Eco design 規制などに基づき、将来のモジュールはリサイクルが容易となるべきである。
- ・ 回収量が増加することで、リサイクル事業者による投資が進む。
- ・ シリコンやガラスに対するリサイクルにかかる要件を定めることによって、優れた技術の利用に対する動機となる。

2.2 米国における動向

米国では、現時点において太陽電池モジュール使用後処理に対する国全体としての具体的な施策は講じられていないが、一部の州では、使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルを求める法案などが成立している。また、強制力を持つものではないが、業界団体である SEIA (Solar Energy Industries Association) によるリサイクルプログラム (National PV Recycling Program)、NSF International による 'Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules and Photovoltaic Inverters' の策定など、自主的な取り組みも実施されている。

ここでは、これらの概略を整理する。

2.2.1 州における法制化等の動向

(1) ワシントン州

米国北西部に位置するワシントン州では、再生可能エネルギー導入を促進するための制度（税額控除等）が改正され、再生可能エネルギー機器のリサイクルが要求されることとなった³¹⁾。

対象となるのは太陽電池モジュール、水ポンプシステムなどの独立型電源システム、電気自動車充電ステーション、太陽光発電を利用する照明等で、太陽電池モジュールについては「Solar Module Stewardship and Takeback Program (Stewardship Program)」が設立され、ワシントン州内で太陽光発電を供給・販売する事業者に対し、使用済みモジュールの回収・リサイクルを求めるものである³¹⁾。

2022年1月1日より強制力を持ち、使用済み製品の回収費用は太陽光発電を供給・販売する事業者が負担することになる³²⁾³³⁾。

(2) カリフォルニア州

カリフォルニア州は米国の中でも太陽光発電導入が非常に進んでおり、また、中長期的な廃棄物処理の観点から、太陽電池モジュールの使用後処理に関する議論も長く実施されてきている。

2014年に、使用済み太陽電池モジュールの回収およびリサイクルを義務付けるための法案が作成された。これは、太陽電池モジュールの販売・供給事業者に対して直接的な義務を課すものであったが、成立には至らなかった。

その後、2015年2月に廃棄物処理（有害廃棄物対策）という観点から、太陽電池モジュールの使用後処理に関する新たな法案³⁴⁾が作成された。この法案は、カリフォルニア州の有害廃棄物処理に関する州法 HWCL (Hazardous Waste Control Law) のもと、有害廃棄物に相当する太陽電池モジュールを使用後に未処理のまま廃棄することを禁じるとともに、Universal Waste として指定するものである。太陽電池モジュールが有害廃棄物に相当するか否かは、HWCL が定める試験 (California Waste Extraction Test) により判断されるが、Pb や Cd、Se などを含む太陽電池モジュールは基本的に有害廃棄物となる。Universal Waste は、有害廃棄物ではあるが、広く普及しており、他の有害廃棄物と比較して相対的にリスクは小さく、適切な使用後処理が施されることを前提とし、有害廃棄物としての厳粛な管理要求を軽減できるものとされている。例えば、通常、有害廃棄物は州を越えた移送を行うことが禁止されているが、Universal Waste についてはリサイクル等の適正処理のために州外に移送することが認められる。

この法案は、その後の審議を経て可決、2020年秋までに施行ルールが策定され、2021年1月1日より効力を有することとなった³²⁾³³⁾。

(3) ニューヨーク州

ニューヨーク州では、使用済み太陽電池モジュールおよび太陽熱利用パネルの回収・リサイクルを販売事業者に義務付ける法案の審議が行われている。この法案（Solar Panel Collection Act）では、製造メーカーあるいは産業界の資金により運営される Collection Program の設立を求めており、ユーザーは無償で回収サービスを受けることができるものとされる³³⁾。

(4) ノースカロライナ州

ノースカロライナ州においても、使用済み太陽電池モジュールの廃棄を禁じ、製造・販売事業者に回収・リサイクル（あるいはリユース）を義務付ける法案の審議が行われている³³⁾。また、カリフォルニア州と同様に、使用済み太陽電池モジュールを Universal Waste と位置付けるためのルール作りが提案されている³⁵⁾。

(5) その他の州

上記の他、ニュージャージー州では、使用済み太陽電池モジュールの使用後処理やリサイクルの方針を議論する場が設定されている³³⁾。オレゴン州、イリノイ州、ハワイ州、アリゾナ州、ミネソタ州においても使用済み太陽電池モジュールのリサイクルや適正処理に関する議論が実施されている³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾。

2.2.2 企業・団体等による取り組み

(1) SEIA : National PV Recycling Program

米国の業界団体である SEIA（Solar Energy Industries Association）は、2016年9月に National PV Recycling Program の開始を発表した³⁹⁾。将来の大量廃棄を見越した取り組みという位置づけになっており、最終目標として太陽光発電産業の埋立廃棄物ゼロを目指している。

同プログラムでは、太陽電池モジュールリサイクルの運営に必要なパートナー企業を選定することを目指しており、選定したパートナー企業と SEIA の間で Contract を締結し、共同での取り組むこととし、パートナー企業が以下を実施することを想定している。

- ・ 太陽電池モジュール向けの処理プロセスの開発（既存処理プロセスの改良等による適用）
- ・ SEIA メンバー（WG だけではなく全 SEIA メンバー）からの使用後処理要請に対してディスカウント価格で対応
- ・ SEIA への処理状況の報告

SEIA によれば、パートナー企業において、2019年頃までに4百万 lb（約180万トン）以上の太陽電池モジュールおよび関連機器を処理している⁴⁰⁾。また、2022年2月時点では、Cascade Eco Minerals、Echo Environmental Holdings、First Solar、Green Century Recycling、ERI（Electronic Recyclers International）および Zeep Technology がパートナー企業として選定されており⁴¹⁾、First Solar 以外は結晶 Si 系太陽電池モジュールが対象と見られる。

(2) 太陽電池モジュールリサイクル対応事業者の例

表 2.2-1 に、太陽電池モジュールのリサイクルに対応している事業者の例を示す。このうち、First Solar は CdTe 太陽電池モジュールを対象とし、自社太陽電池モジュール工場（オハイオ州）にリサイクル施設を導入している。他の事業者はいずれも結晶 Si 系太陽電池モジュールを対象と

している。Recycle PV Solar は、2018 年から使用済み太陽電池モジュールの回収を開始しているベンチャー企業で、単結晶および多結晶 Si 太陽電池モジュールを受け入れており、2019 年 9 月には PV CYLCE とのパートナーシップ契約を結んでいる¹⁹⁾。

表 2.2-1 太陽電池モジュールリサイクルを手掛ける米国事業者の例⁴²⁾

事業者	立地
Echo Environmental Holdings	Dallas, TX
Dynamic Lifecycle Innovations	Onalaska, WI
Recycle PV Solar, LLC	Sparks, NV
First Solar	Perrysburg, OH
We Recycle Solar, Inc.	Yuma, AZ; Mount Vernon, NY
FabTech Enterprises, Inc.	Gilbert, AZ; Savannah, GA
Cascade Eco Minerals, LLC	Phoenix, AZ; Waxahachie, TX; Natrona Heights, PA; Upper Sandusky, OH; Okmulgee, OK; Hardeeville, SC; Lawrenceburg, KY; Portland, OR
Zeep Technology LLC	South Hadley, MA; Somerset, KY; Temple, TX; Corona, CA; Batavia, IL

(3) NSF International: Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules and Photovoltaic Inverters

① 環境・持続性評価の基準

NEF International は、米国に本部を置く、1944 年に設立された第三者認証、製品認証およびプログラム認証など適合評価を行う非営利の組織で、ANSI（米国規格協会）、SCC（カナダ規格評議会）から試験、規格開発、認証プログラムについて認定を受けている機関である。NSF International において、NSF457: Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules に関する議論が実施され、2017 年 10 月に公表された⁴³⁾。その後、対象にインバータ（パワーコンディショナ）を追加した「NSF457: Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules and Photovoltaic Inverters」として、2019 年 7 月に改訂された⁴⁴⁾。

この Standard は、環境・持続性に配慮した製品を普及させるため、太陽電池モジュールおよびインバータのライフサイクルの様々な側面における情報の開示を求め、達成状況により Bronze/Silver/Gold といったランキングを行い、太陽電池モジュール製造者による環境・持続性に配慮した製品の設計・製造、消費者による環境・持続性に配慮した製品の選択（購入）を促すことを目的としている。

ランキングは各指標（Criteria）への達成状況に応じ、以下のように実施される。

- Bronze : Required criteria を全て満たす
- Silver : Required criteria を全て満たし、かつ、Optional criteria points 合計の 50%
- Gold : Required criteria を全て満たし、かつ、Optional criteria points 合計の 75%

表 2.2-2 に、太陽電池モジュールに関する、ランキングのための指標（Criteria）と Criteria の分

類 (Required criteria : 達成が必須なもの、Optional criteria : 加点の対象となるもの)、Optional criteria のポイントを示す。

太陽電池モジュールの使用後処理に関する Criteria は以下の三つである。

- Required criteria : 使用済み製品を回収するサービスを提供すること
- Optional criteria : 回収製品からの資源回収・リサイクル、リユースの実績を公開すること
 - ◇ 加点 : 達成している場合に 1
- Optional criteria : 回収製品からの資源回収率の達成度
 - ◇ 加点 : 達成度に応じて 1 あるいは 2
 - 加点 1 : ガラス 80%以上、半導体金属 30%以上、その他金属 80%以上
 - 加点 2 : ガラス 90%以上、半導体金属 60%以上、その他金属 90%以上

このほか、リサイクルを考慮した製品設計、リサイクル材の使用などの項目も挙げられている。

② EPEAT への援用

電気電子機器に対する米国の環境評価ツールとして EPEAT (Electronic Products Environmental Assessment Tools) がある。EPEAT は、環境に配慮した製品の市場開発・販売促進を目的に設立された環境評価システムで、米国では連邦官庁における調達要件として採用されている。対象製品はこれまで、コンピュータディスプレイやサーバー、モバイル機器など情報通信関連であったが、NSF457 を基準にする形で、太陽電池モジュールおよびインバータが対象製品と追加された。

2022 年 2 月時点において、太陽電池モジュールでは First Solar 製モジュール (Series 6 および Series 6 plus) のみが登録されている⁴⁵⁾。

表 2.2-2 Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules and Photovoltaic Inverters
 における太陽電池モジュールに関する Criteria⁴⁴⁾

Criteria and Section	R: Required O: Optional	Optional Points
Management of substances		
List and assessment of substances		
Required - List of declarable substances	R	
Required - List of declarable substances used in manufacturing	R	
Optional - Disclosure of declarable substances	O	1
Optional - Database of substances in product	O	2
Optional - Alternatives assessment	O	2
Optional - Making alternatives assessment publicly available	O	1
Reduction of substances of concern		
Required - Disclosure of substances on the European Union REACH Regulation Candidate List of Substances of Very High Concern	R	
Optional - Presence of substances on the European Union REACH Regulation Candidate List of Substances of Very High Concern	O	1
Optional - Bromine, chlorine, and fluorine content in electric cables	O	1
Optional - Bromine, chlorine, and fluorine content in plastic parts other than electric	O	1
Required - Avoidance or reduction of high global warming potential (GWP) gas emissions resulting from photovoltaic module manufacturing	R	
Preferable materials use		
Recycled content		
Required - Declaration of recycled content in product	R	
Optional - Recycled content in product	O	4
Life cycle assessment		
PV module life cycle assessment		
Required - Conducting life cycle assessment	R	
Optional - Public disclosure of LCA results	O	1
Optional - Public disclosure of LCI inventory data	O	2
Reduction in LCA impacts		
Optional - Environmental hot spot identification	O	1
Optional - Environmental leadership compared to industry average	O	2
Energy efficiency & water use		
Energy management system		
Optional - Energy management system for manufacturing facilities (corporate)	O	2
Optional - Certified energy management system (corporate)	O	2
Optional - Certified Energy Management Performance Improvement	O	2
Water use metrics		
Required - Water inventory	R	
Optional - Quality of wastewater discharges	O	1
Optional - Improved water use efficiency (corporate)	O	2

表 2.2-2 Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules and Photovoltaic Inverters
 における太陽電池モジュールに関する Criteria (続き) ⁴⁴⁾

Criteria and Section	R: Required O: Optional	Optional Points
End of life management & design for recycling		
End-of-life management		
Required - Product take-back service and processing requirements (corporate)	R	
Optional - Publicly available record of annual recycling and recovery achievement (corporate)	O	1
Optional - Material recovery targets (corporate)	O	2
Design for recycling		
Optional - Identification of materials for EOL management	O	1
Product packaging		
Eliminate substances of concern		
Required - Elimination of substances of concern in product packaging	R	
Required - Elimination of chlorine in processing packaging materials	R	
Recyclability of packaging		
Required - Enhancing recyclability of packaging materials	R	
Recycled content in packaging		
Optional - Recycled content paper-based packaging (optional)	O	1
Optional - Postconsumer recycled content plastic in packaging (optional)	O	1
Corporate responsibility		
Environmental, health and safety management systems		
Required - Environmental management system (EMS) certification (corporate)	R	
Required - Manufacturer conformance with occupational health and safety performance (corporate)	R	
Corporate reporting		
Required - Reporting on Key Performance Indicators (corporate)	R	
Optional - Reporting Additional Key Performance Indicators (corporate)	O	2
Optional - Reporting on screening of Tier 1 suppliers (corporate)	O	2
Corporate Social Performance		
Required - Commitment to Environmental and Social Responsibility (corporate)	R	
Optional - Auditing or certification to social responsibility performance standard (corporate)	O	2
Conflict mineral sourcing		
Required - Public disclosure of use of conflict minerals in products (corporate)	R	
Optional - Conflict mineral sourced only from validated conflict free smelters (corporate)	O	1
Optional - Participation in in-region conflict-free sourcing program (corporate)	O	1

2.3 韓国、中国およびオーストラリアにおける動向

欧米以外の国々として、ここでは、韓国、中国およびオーストラリアにおける使用済み太陽電池モジュールの適正処理に関する動向を示す。

2.3.1 韓国における動向

(1) 概況

韓国では、欧州の動き（改正 WEEE 指令）などにならない、2015 年に太陽電池モジュールリサイクル（適正処理）に取り組んでいく方針を決定し、2016 年より、それまでに実施されていた基礎研究に基づくリサイクル技術開発などに取り組んでいたが、2018 年 7 月の台風被害（Cheongdo-gun エリア）による太陽電池モジュール廃棄物の大量発生が契機となり、使用済み太陽電池モジュールの適正処理に対する政策が強化された。

2018 年 10 月、Ministry of Environment (ME) より、使用済み太陽電池モジュールを EPR (Extended Producer Responsibility) 規制の対象にする方向が提示された。その後、ME と太陽電池製造メーカー等の協議を経て、太陽電池モジュールを EPR 対象製品に加えることの合意に達し、2019 年 10 月に ME と Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE)、業界の代表としての業界団体 (KOPIA: Korea Photovoltaic Industry Association) の間で合意書の締結がなされた。この合意書は、太陽電池モジュールが 2023 年 1 月より EPR 対象製品となることを定めるもので、それまでに使用済み太陽電池モジュールの回収の仕組みやリサイクル処理技術が確立されることを前提としている。この合意を受けて「Enforcement rule of the act on resource circulation of electrical and electric equipment and vehicles」が 2019 年 12 月に改訂され、それまでは電気電子機器の中の一製品であった太陽電池モジュールが独立した製品（品目）として設定されることとなった。また、使用済み太陽電池モジュールのリサイクル・リユース比率を重量比 80%以上とすることも定められた。

(2) 使用済み太陽電池モジュールの発生状況

韓国では、廃棄物発生量は「Waste code act」による品目コード毎に管理することとなっており、Korea Environment Corporation (KEC) がその統計システムを管理している。

2016 年 7 月に「Code 514104 : 太陽電池セルおよび電子デバイスペースト廃棄物」が設定されていたが、太陽電池モジュールも属するという明確なコードではなく、太陽電池モジュールはガラス廃棄物か電気電子機器廃棄物のいずれかとして処理（管理）されていることが多かった。しかしながら、上述の台風被害（2018 年 7 月）を受け、太陽電池モジュール廃棄物も Code 514104 により管理することが厳格化された。この変更は 2018 年 10 月に統計システム⁴⁶⁾に反映され、その後、統計システムにより確認された太陽電池モジュール廃棄物の発生量は、2020 年末までに約 540 トンであった（2018 年：18 トン、2019 年：245 トン、2020 年：280 トン）。2021 年には 8 月までに 486 トンの太陽電池モジュールが廃棄された⁴⁷⁾。なお、これらの太陽電池モジュール廃棄物は基本的にモジュール工場で発生する不良品と見られている。

図 2.3-1 は、Korea Environment Institute が 2018 年に推定した、韓国における使用済み太陽電池モジュール発生量の見通しである。この推定は、各年の導入量と期待寿命によるもので、2030 年に 20,935 千トン、2040 年に 112,564 トンと見通されている。

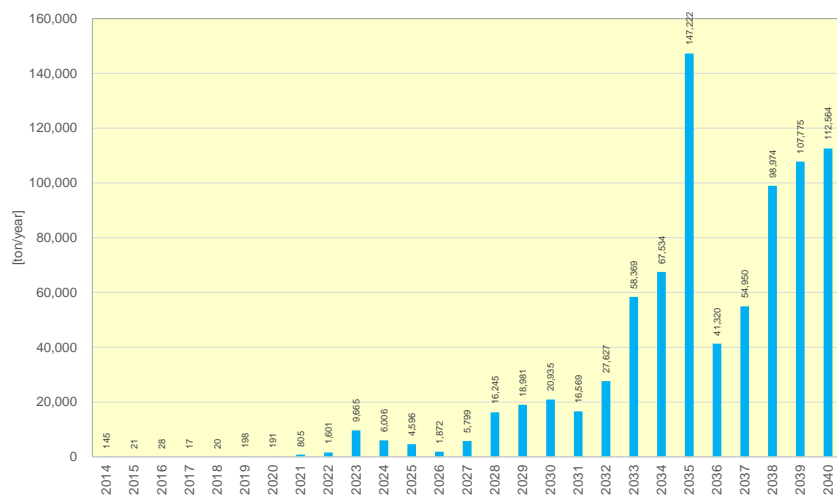


図 2.3-1 韓国の使用済み太陽電池モジュール発生量の見通し 48)より作成

(3) 太陽電池モジュールリサイクルへの取り組みと技術開発

① PV Recycling Center プロジェクト

韓国では、2016年より開始したリサイクルプロジェクトの一環として、太陽電池モジュールリサイクルセンターの設立に向けたプロジェクトが実施された。このプロジェクトは、韓国本土（朝鮮半島）に使用済み太陽電池モジュールを収集、処理する拠点（リサイクルセンター）を構築し、国内で発生する使用済み太陽電池モジュールの適正処理の推進を目的としている（国外で発生したモジュールの処理は受け入れない方針とされている）。

プロジェクト実施期間は2016～2021年で、結晶Si系および薄膜Si太陽電池モジュールの処理を想定し、処理能力3,600トン/年のリサイクル工場を設立するとともに、使用済み太陽電池モジュール回収・輸送システムの構築、太陽電池モジュールリサイクルセンターの具体的な運用および拡張計画を策定することとしている。実施体制は、Chungchongbuk-do 地方政府がリーダーとなり、Chungbuk Technopark、KIER (Korea Institute of Energy Research)、KTL (Korea Testing Laboratory)、KLRI (Korea Legislation Research Institute) などが参加した。

2021年12月、プロジェクト期間を経て、PV Recycling Center が竣工した。今後、試験運転を行い、2022年からの実用運転を開始することが予定されている 47)。

② 太陽電池モジュールリサイクルに対する処理能力

PV Recycling Center とは別に、現在1,000トン/年の処理能力を有する Yoonjin Tech が3,600トン/年への処理能力拡張を計画しており、Line Tech が2022年末までに処理能力2,500トン/年の処理工場を建設する予定である 48)。また、太陽光発電のEPC企業である Wonkwang S&T も使用済み太陽電池モジュール処理の許可を取得し、1,200トン/年の処理能力を有している 50)。

上述のPV Recycling Center とあわせて、約10,900トン/年の処理能力を有することとなる。

③ 太陽電池モジュールリサイクル技術開発

前述のように、韓国国内における使用済み太陽電池モジュールの発生量は中長期的に10万トン/年規模となることが見通されている。このような増加に対応すべく、表2.3-1に示すような技術開発プロジェクトが実施されている。

表 2.3-1 韓国で実施されている太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトの例 ⁵⁰⁾⁵¹⁾より作成

予算元	プロジェクト名（実施期間）	実施主体
Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE)	Establishment of photovoltaic (PV) recycling center (November 2016 – June 2021)	Chungbuk Technopark
Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE)	Remanufacturing of PV modules with material recovered from EoL PV modules (October 2018 – September 2021)	Korea Institute of Energy Research
Ministry of SMEs and Startups (MSS)	Development of equipment for the recovery of valuable metals by recycling EoL PV systems and application as construction materials (October 2019 – September 2021)	Hanjung Energy Newworks
Ministry of SMEs and Startups (MSS)	Localization of equipment to separate solar cells, protective sheets, and tempered glass from PV panels (November 2019 – November 2021)	Reset Company
Ministry of Environment (ME)	Development of technology for collecting, shattering, and recycling-recovery of valuable materials from EoL PV panels (May 2020 – December 2022)	Wonkwang S&T
Ministry of Environment (ME)	Development of 99.99% silicon carbide powder and mechanical seal/semiconductor tube parts using recovered silicon from solar panel waste (May 2020 – December 2022)	PLUS Manager
Ministry of Environment (ME)	Development of 4N silicon material technology by wet processing of solar cells recovered from solar panel waste (May 2020 – December 2022)	Dream Mining
Ministry of SMEs and Startups (MSS)	Development of eco-friendly, low-cost, and high-value recycling process for EoL PV modules using physical separation (October 2020 – October 2022)	Woowontech

2.3.2 中国における動向

(1) 概況

中国政府は近年、Green Manufacturing System として、製造拠点や製品のグリーン化を推進し、そのための標準化も進めようとしており、中国国内の太陽光発電産業による、リサイクルをはじめとする環境配慮への関心が高まっている。現時点において太陽電池モジュールの使用後処理に関する特別な法規制等はないが、既に導入されている、電気電子機器廃棄物に関する規制がモデルになるものと考えられている。

中国では、環境に配慮したサプライチェーンを構築するため、China Green Supply Chain Alliance が設立されている。そして、国内の太陽光発電を真に環境に優しい技術とするため、太陽光発電の製造から使用後処理に至るライフサイクルを全て「Green」とする PV Green Supply Chain を目指すプラットフォームとして「PV Committee of China Green Supply Chain Alliance (ECO PV)」が 2020 年 1 月に設立された。この ECO PV には太陽光発電のバリューチェーンを形成する様々な企業や機関が参画しており、太陽電池モジュールリサイクルの推進に貢献することも目的の一つとなっている。そして、このような流れに沿って、2022 年には「China PV Recycling Center」と称される（英訳される）Alliance が設立された。この Alliance は、中国国内における太陽光発電リサイクルを推進するため、以下のような活動を行うことを掲げている⁵²⁾。

- ・ リサイクル市場の分析
- ・ 標準的なリサイクルシステムの形成と標準化に向けた提案
- ・ GIS を活用した情報データベースの構築
- ・ リサイクル産業の育成に向けた専門組織の設立
- ・ 様々なリサイクル技術に対する実証の支援や技術経済分析
- ・ リサイクル推進に向けたロードマップの作成とビジネスモデルの提案
- ・ 情報発信、国際的な連携の推進

(2) 使用済み太陽電池モジュールの発生状況と技術開発

① 使用済み太陽電池モジュールの発生状況

使用済み太陽電池モジュールの発生量等に関する統計的なデータは整備されていないが、IEE-CAS によれば⁵³⁾、2020 年における太陽電池モジュール廃棄量は約 10 万トンであった。しかしながら、適切な処理技術がないために、リサイクルされずに蓄積されている。

② 太陽電池モジュールリサイクル技術開発

中国の太陽電池モジュールリサイクル技術開発は、第 12 次 5 カ年計画のもとで開始され、低温破碎による分解と燃焼による分解などが試行された。また、中国青海省の大規模太陽光発電事業者でもある SDIC Yellow River Hydropower Development では、2019 年に結晶 Si 系太陽電池モジュールをリサイクルするために技術研究プロジェクトを開始した。この他、表 2.3-2 に示すようなプロジェクトが中国国内で実施されてきている。

表 2.3-2 中国で実施されている太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトの例 ⁵³⁾⁵⁴⁾より作成

実施機関	プロジェクト	概 略
Zhuhai Xingye New Energy Technology Co., Ltd	太陽電池モジュールリサイクルの標準化に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ National Standard : General technical requirements for recycling of PV modules (GB/T 39753-2021) の策定 (2022 年 2 月見込) ・ ISO 21480 : Glass in building -- General technical requirements of building integrated PV modules recycling の策定への貢献
Jingke Energy Co., Ltd	低環境負荷リサイクル技術の基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高効率な熱分解による太陽電池モジュール分解プロセス ・ 太陽電池セル金属 (シリコン、銀、アルミ) の分離・回収技術
Yingli energy (China) Co., Ltd	太陽電池モジュールからのフレーム除去、ガラスや他の構成要素の物理的分離技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ フレームの除去技術 ・ 加熱、物理的な手法によりガラスと EVA を分離する技術
Beijing Jikedian Renewable Energy Technology Development Center Co., Ltd	太陽光発電のリサイクルおよび適正処理に関する調査研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国内におけるリサイクル市場の研究 ・ 海外におけるリサイクルの現状、技術動向の調査
Chinese Academy of Environmental Sciences	熱分解による EVA 除去技術・装置の研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱分解による太陽電池モジュール処理技術の確立 ・ EVA、TPT などのプラスチックに関する熱分解メカニズムの研究
China Institute of electronic technology standardization	太陽電池モジュールの回収およびリユースの標準化に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ T/CPIA 0002-2017 : General technical requirements for recycling of crystalline silicon PV modules

③ 技術開発プロジェクト「Complete sets of technologies and equipment for recovery and treatment of crystalline silicon PV modules」

太陽電池モジュールリサイクル技術の世界の動向なども参考にし、2019 年より、本格的な技術開発プロジェクト「Complete sets of technologies and equipment for recovery and treatment of crystalline silicon PV modules」が開始された。このプロジェクトは IEE CAS が幹事となり、中国国内の研究機関や太陽電池メーカーなどが参加している。また、リサイクル技術の開発のみならず、リサイクルが容易なモジュール構造や環境に優しいモジュール構成材料の選択、必要となる標準化や政策提言までを目指している。

太陽電池モジュールリサイクル技術としては、物理的に分解する方法と燃焼後に化学的に分解する方法が選択されている。前者は熱したナイフを用いてモジュールを切断し、ガラスとセルシートに分離、さらにセルシートを破碎・分別して金属、プラスチックを回収するもので、資源回収率は98%、処理時間はモジュール1枚あたり3分程度である。また、後者はアルミフレームと端子ボックス、バックシートを除去したモジュールを燃焼し、回収セルから化学処理によって金属を回収するもので、金属資源の回収率は97%である。これらの技術について、年間処理量10MW相当の実証ラインを建設し、技術的、経済的な評価が実施される。ここで、バックシートの除去は含有フッ素の燃焼に伴う有害性を回避するためであり、脱フッ素の必要性も課題として指摘されている。

標準化という観点からは、使用済み太陽電池モジュールのリユース可否の判断が挙げられている。2021年には、様々な信頼性試験や実証を行い、重要なパラメーターや技術的な指標を特定、改善し、使用済み太陽電池モジュールに対する判断指標の標準化を目指している。

また、PV Green Supply Chain という観点から、環境に配慮した太陽電池モジュールの設計もテーマの一つとなっている。

2.3.3 オーストラリアにおける動向⁵²⁾

(1) 概況

オーストラリアでは、電気・電子機器廃棄物の処理に関するスタンダードは存在するものの、現時点において、太陽電池モジュールは対象機器には含まれていない。ビクトリア州では全ての電気・電子機器の埋立処理を禁ずる規制があり、太陽電池モジュールも対象となっているが、他の州では太陽電池モジュールの使用後処理に関する法規制はない。

一方、EPR (Extended Producer Responsibility) という点で、製品の製造、使用から廃棄にいたるライフサイクルにおいて、環境への影響を低減するための責任分担の明確化や管理を行うことを目的としている Product Stewardship Act がある。2016年来、太陽光発電は対象製品候補としてリストアップされており、予備的検討⁵⁵⁾において、太陽電池モジュールを対象とすることは妥当という方向性が示された。ただし、その後の具体的な検討は進んでいないようである。

(2) 使用済み太陽電池モジュールの発生状況

現時点において、オーストラリアにおける使用済み太陽電池モジュールの発生量は少なく、発生した場合は、アルミフレームと端子ボックスを除去した後の埋立処理、あるいは貯蔵されているものと見られる。太陽光発電設置者では、使用済みとなったモジュールについて、製造メーカーに戻す、埋立処理に回す、リサイクルあるいは貯蔵が可能な事業者へ搬送する、などの対応が行われるが、リサイクルが進んでいない理由として、高い輸送コストと処理コストがある。使用後処理の選択肢として、リユースも挙げられるが、オーストラリアでは中古品取扱いに関する規制が厳しく、ほとんどの使用済み太陽電池モジュールはリユースには適していないとみられる⁵⁶⁾。

(3) 太陽電池モジュールリサイクルへの取り組み、技術開発と今後の見通し

① 太陽電池モジュールリサイクルを手掛ける事業者の例

近年、太陽電池モジュールのリサイクルを手掛けようとする事業者が複数出現してきている。表 2.3-3 にその例を示す。発生量が少ないこともあり、いずれの事業者もまだ本格的な稼働には至

っていないが、太陽電池モジュールリサイクルを今後の事業領域ととらえている。

表 2.3-3 太陽電池モジュールリサイクルを手掛けるオーストラリア事業者の例 ⁵⁶⁾⁻⁶¹⁾

事業者名	立地	概略
PV Industries	Sydney (New South Wales)	撤去、回収、リサイクルを手掛ける。アルミフレームと端子ボックスを除去した後、機械的処理によるモジュール分解を想定している。現在、フレーム・端子ボックス除去後のモジュールは、リサイクル技術 R&D に供されるか、貯蔵されている。
Ecoactive	Canterbury (Victoria)	回収、リサイクルを手掛ける。シュレッダー粉碎後に回収物を分別し、二次資源としてリサイクルしている。
Reclaim PV Recycling	Adelaide (South Australia)	撤去、回収、リサイクルを手掛ける。ここ数年、年間約 1 万枚のモジュールを回収し、また、国内回収拠点ネットワークの構築を試みている。熱分解によりプラスチックを除去し、ガラスと金属を分離・回収する技術を手掛けており、現在、年間処理量 70,000 枚程度のプラント建設を計画している。
Solar Recovery Corporation	Melbourne (Victoria)	国内に多くの回収拠点を有し、回収資源を再び太陽光発電産業に戻すことを目指している。処理技術は明らかではないが、自動処理装置の開発により回収率 95%以上を目指している。
Lotus Energy	Melbourne (Victoria)	二軸ローラーによるモジュール粉碎装置を有している。回収率はほぼ 100%としている。
Ojas Group (Elecsome)	Melbourne (Victoria)	オーストラリア政府の支援を受け、回収ガラスをセメント等の建設資材としてリサイクルすることを目指したプロジェクトを実施している。

② 太陽電池モジュールリサイクル研究開発

オーストラリア再生可能エネルギー機関（ARENA）主導で新たな研究開発プロジェクト：Addressing Solar PV End-of-Life Issues and Lowering Solar PV Cost が 2020 年より開始されており、太陽電池モジュールリサイクルに関する研究開発プロジェクトが 3 件採択されている ⁶²⁾。

- ・ Efficient, Low-Cost, Eco-Friendly Solar PV Recycling Technology⁶³⁾
 - University of New South Wales の Promo 研究室を中心に新たな太陽電池モジュールリサイクル技術開発プロジェクトである。
 - プロジェクト期間は 2020～2022 年で、中国の大手モジュールメーカーである Jinko Solar, Trina Solar のほか、Azure Mining Technology、GrapheneX、Visy Recycling Australia、Providences Assets、Central South University、DuPont、Research and Development Center China、Silicon Corporation（ENFI Group）が参加している。
 - プロジェクト総費用は 723 万 AUD で、ARENA からの助成額は 135 万 AUD である。

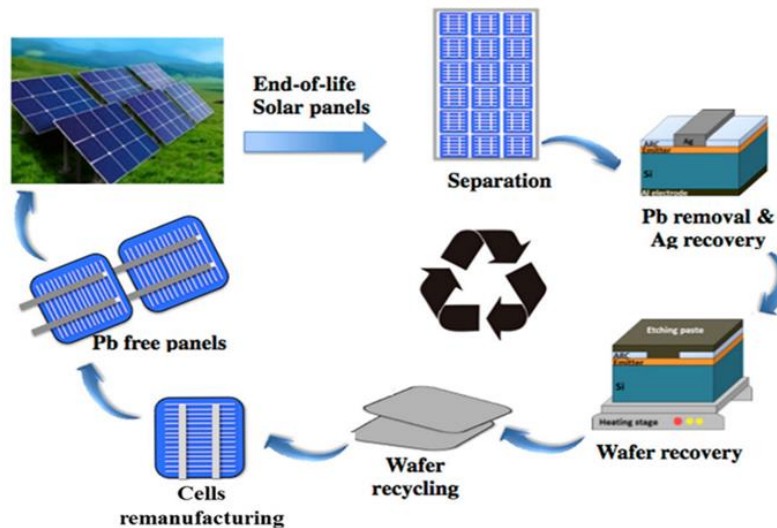


図 2.3-2 Efficient, Low-Cost, Eco-Friendly Solar PV Recycling Technology プロジェクトのコンセプト⁶⁴⁾

- Closed-Loop Recycling and Remanufacturing EoL Solar PV⁶⁵⁾
 - University of New South Wales が主幹事となり、中国の太陽電池モジュール製造大手 LONGi Green Energy Technology や Sino-American Silicon Products、PVTECH Global、Korean Institute of Energy Research が参加している。
 - 使用済み太陽電池モジュールを原料に新たな太陽電池モジュールを製造することを目指し、発電効率は 18%以上を目標としている。
 - プロジェクト総費用は 605 万 AUD で、ARENA からの助成は 156 万 AUD である。
- Electrically-Enhanced Recycling Process for EoL Si PV-Cells⁶⁶⁾
 - Swinburne University of Technology を主幹事としてオーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO)、Upala, Environstream Australia が参加している。
 - 使用済み結晶シリコン太陽電池セルに高電圧を印加することにより、半導体のドーブに用いられるホウ素やリンを除去し、水平リサイクルを実現することを目指している。
 - 総プロジェクト費用は 95.1 万 AUD で、ARENA による助成額は 40.4 万 AUD である。

③ 今後の見通し

オーストラリアにおける使用済み太陽電池モジュール発生量は現時点では少ないが、2020 年代半ば以降は年間 1 万枚以上の使用済み太陽電池モジュールが発生するとみられている。これまでに発生した使用済み太陽電池モジュールは長期使用後ではなく、物理的・電氣的な不良の発生や、降雹や悪天候などの自然災害によるものが大半である⁶⁷⁾。このようなことから、例えば、25 年以上の長期使用を経た使用済み太陽電池モジュールの発生は稀であり、10 数年で発生する可能性が高いという見方もある⁶⁸⁾。

太陽電池モジュールリサイクルに向けた課題として、適切な仕組みが構築されていないこと、必要な情報が普及していないことなどが挙げられる。また、リサイクル率が低いことは埋立処分量の増加につながり、リサイクル率を高くするためには高度な処理技術が必要となり、そのコストと回収資源価値のバランスが障壁である。この障壁を克服するためには、低コストな処理技術

と大量処理が必要となる。その一時的な解決策として、回収した使用済み太陽電池モジュールからアルミフレームと端子ボックス・ケーブルを除去したうえで、適切な量や技術が整った段階まで貯蔵・蓄積しておくことも提案されている。さらに、オーストラリアは国土が広大で、限られた処理拠点への輸送コストが高くなることも課題である。そのため、ある一定量が回収されるまで蓄積・貯蔵し、それを繰り返すことが最も経済的な方策と考えられている⁶⁷⁾。

オーストラリアには、2030年までに資源回収率80%という目標(National Waste Policy Action Plan)があるが、太陽電池モジュールについて、その目標達成への道のりは現時点では不透明である。回収システムの構築、高度な分解処理技術の実用化、回収資源の市場価値の向上など、克服すべき課題は多い。さらなる市場分析や技術開発などが必要となるが、中でも、回収ガラスの市場価値の向上とポテンシャルが重要とされている⁶⁹⁾。

2.4 標準化等に関する国際的な動向

使用済み太陽電池モジュールの適正処理は、各国や地域で実施されている制度的、法規制等による推進に加え、主に技術的な視点から、使用済み太陽電池モジュールの処理方法等に関する Standard の議論も行われている。

ここでは、ISO (International Organization for Standardization) により作成された、建物に設置された太陽電池モジュール (BIPV) のリサイクルに関する技術仕様 (TS : Technical Specification)、およびその他の関連動向の概略を示す。

2.4.1 BIPV モジュールのリサイクルに関する技術仕様 (ISO/TS21480) : Glass in building – General technical requirements of building integrated photovoltaic module recyclins⁷⁰⁾

ISO において、建物に設置された太陽電池モジュール (BIPV) のリサイクルに関する技術仕様 (TS : Technical Specification) が作成され、2021 年 8 月に公表された。

対象としている太陽電池モジュールは、結晶 Si、CIGS、CdTe、薄膜 Si、あるいはその他の太陽電池を使用し、単板ガラス、ラミネートガラス、あるいは複層ガラスによる構造を有するモジュールで、建物からの撤去 (Dismantlement)、撤去後の回収・搬送・保管 (Collection, transportation and storage)、分解 (Disassembly)、構成材料の取扱い (Treatment) と分解・分離した資源の回収 (Recovery) に関する技術的な仕様 (実施に際して留意すべき事項) を示している。

<撤去 (Dismantlement) >

通常の建物解体に係る技術仕様をベースとし、撤去工事実施に際しての配慮事項に加え、太陽電池モジュール特有の事項として、感電防止のための絶縁対策を施すことが記されている。また、ガラス等を破損することなく撤去すること、撤去後のフローを管理するための統計システムに情報を記録すること、などが記されている。

<撤去後の回収・搬送・保管 (Collection, transportation and storage) >

撤去後の回収・搬送・保管の全体に関わる事項、続いて、回収、搬送、保管それぞれについての技術仕様が表示されている。その概略を表 2.4-1 に示す。

<分解 (Disassembly) >

撤去、回収した太陽電池モジュールについて、分解処理前の保管、フレームの除去、モジュール粉砕、熱や化学品を用いたラミネート構造の分解について、作業環境に対する配慮事項や工程で発生する排水や排ガス、分解後の回収物の取扱いに対する基本的な事項が記されている。

<構成材料の取扱い (Treatment) >

太陽電池モジュールのラミネート構造の分解において、モジュールを構成するそれぞれの材料 (ガラス、充填材、セル、配線材料およびバックシート) について、分離・分別する工程で配慮すべき事項が表示されており、発生する排水や排ガスへの対策を講じることなども記されている。

<分解・分離した資源の回収 (Recovery) >

シリコンをはじめとする半導体やセル金属、ガラスおよびプラスチックについて、資源として

回収し、再利用（リサイクル）するための事項が記されている。半導体、セル金属については、目標とすべき回収率や金属純度にも言及している。

表 2.4-1 ISO/TS21480 におけるモジュール撤去後の回収・搬送・保管に関する概略 ⁷⁰⁾より作成

全体事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 漏電による損傷等を防止すること。 ・ 安全性が確保されていないモジュールは、作業者への損傷等を与えないよう、分類・注意して取り扱うこと。 ・ 重金属の漏出が懸念されるモジュールは、環境汚染等を回避するよう、分類・注意して取り扱うこと。 ・ モジュールをリサイクル処理等に影響を及ぼすような二次汚染（油、塩・アルカリなど）に晒さないこと。 ・ モジュールのサイズ、寸法などに応じて分類すること。
回 収	<ul style="list-style-type: none"> ・ モジュール廃棄物を他のゴミ、産業廃棄物と混合しないこと。 ・ 回収者は、モジュール廃棄物を適切に分解や処理が行える機関に搬送すること。 ・ 回収作業中にモジュールが破損したり、割れガラスなど損傷している材料が落下したりしないような対策をすること。
搬 送	<ul style="list-style-type: none"> ・ 搬送前に、統計的な情報管理システムに記録すること。 ・ 搬送途中に、廃棄モジュールを許可なく分解したり処理したりしないこと。 ・ 搬送中にモジュールが破損したり、割れガラスなど損傷している材料が落下したりしないような対策をすること。 ・ 搬送中にリサイクル処理等に影響を及ぼすような二次汚染（油、塩・アルカリなど）に晒さないこと。 ・ 搬送者は、リサイクル処理を行う機関に連絡し、リサイクル処理を行うために回避すべき事項を確認すること。
保 管	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保管場所は、国や地域の規制等によって求められている要件を満たしていること。 ・ モジュールの種類に応じて分類し、それがわかる印をわかりやすい場所に付すこと。 ・ 割れガラスなど損傷している材料が散在、散逸しないようにすること。 ・ 保管中に、二次汚染（油、塩・アルカリなど）に晒されないようにすること。 ・ リサイクル処理を行う機関に連絡し、リサイクル処理を行うために回避すべき事項を確認すること。

2.4.2 その他の関連動向

上記の他、ISO において、太陽電池モジュールのリサイクル・分解技術を対象とした詳細な議論を行うことが提案されている。

また、電気・電子に関する国際規格を標準化する団体である国際電気標準会議: IEC (International Electrotechnical Commission) において、太陽光発電システム・構成機器の性能評価や試験方法に関する議論を行っている TC82 では、太陽電池モジュールのリユースや Circularity に関する議論が開始されている ⁷¹⁾。

この議論は Belgian Electrotechnical Committee (ベルギー) 等の専門家により提案されたもので、

太陽光発電プラント等から撤去された利用可能なモジュールのリユースを推進するための指針や要件を技術的な見地から検討し、技術レポートとして取りまとめ、太陽電池モジュールの **Circularity** に貢献していくことを目的としている。2021年12月に各国専門家による議論が開始され、目下、2022年中の取りまとめが目途とされている。

<第2章 参考文献>

- 1) European Parliament and Council, Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), EU, Brussels. Available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=EN>.
- 2) Eurostat “Waste electrical and electronic equipment (WEEE) by waste management operations”; online data code: ENV_WASELEE, last update: 9/2/2021 07:00.
at https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/ENV_WASELEE. (アクセス日 : 2022年2月8日)
- 3) Statistisches Bundesamt: Waste electrical and electronic equipment received for primary treatment.
- 4) Deutsche Umwelthilfe, Strengthening circularity in photovoltaics, Challenges and opportunities along the lifecycle, 2021. Available at https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Kreislaufwirtschaft/210310_White_Paper_Strengthening_Circularity_in_Photovoltaics_ENG_FINAL.pdf.
- 5) <https://www.elektrogesetz.de/elektrog3-das-aendert-sich-seit-dem-1-januar-2022/> (アクセス日 : 2022年2月)
- 6) https://pvcycle.de/2022/01/21/on-january-1-2022-the-amendment-to-the-german-electrical-and-electronic-equipment-act-elektrog3-and-the-ordinance-on-requirements-for-the-treatment-of-waste-electrical-and-electronic-equipment-be/?lang=en&utm_source=sendinblue&utm_campaign=PV%20CYCLE%20Newsletter%20-%20Feb%202022&utm_medium=email (2022年2月)
- 7) PV Cycle France ASA: Rapport Annuel d’activité 2019., 2019
- 8) N. Defrenne: The Challenges of PV Waste Collection, INES ECO-PV Workshop, Photovoltaics: towards a sustainable industry, 11 March 2021.
- 9) <https://www.pv-magazine.fr/2021/02/25/recyclage-des-panneaux-pv-cycle-france-changera-de-nom-en-juin/>.
- 10) <https://www.soren.eco/bareme-eco-participations-contributions/>.
- 11) ㈱エヌ・ピー・シー ニュースリリース, 2021年7月8日. Available at <https://contents.xj-storage.jp/xcontents/62550/ae6175ca/67c0/4a50/825f/928818f50cb8/20210708161958211s.pdf> (アクセス日 : 2022年1月)
- 12) CEA Tech ウェブページ: <https://www.cea-tech.fr/cea-tech/english/Pages/2021/better-recycling-of-spent-solar-panels.aspx>.
- 13) C. Agraffeil: Technico-Environmental Study of an Innovative Recycling Process to Implement a Circular Economy across the PV Value Chain, 37th EU-PVSEC, September 2020.
- 14) The Ministry of Ecological Transitions and Demographic Challenge, Spain.
Available at <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/responsabilidad-ampliada/>.
- 15) The Ministry of Ecological Transitions and Demographic Challenge, Spain. Available at <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/>.
- 16) ECOTIC 財団ウェブサイト: <https://www.ecotic.es/es/246570/Reciclaje.htm> (アクセス日 : 2022年1月)

- 17) National (W)EEE Register: Rapportage 2019. Available at [https://www.nationaalweeregister.nl/assets/uploads/PDF/2020/Nationaal%20\(W\)EEE%20Register%20-%20rapportage%202019.pdf](https://www.nationaalweeregister.nl/assets/uploads/PDF/2020/Nationaal%20(W)EEE%20Register%20-%20rapportage%202019.pdf). (アクセス日 : 2022 年 1 月 17 日)
- 18) The UK Environment Agency: Waste electrical and electronic equipment (WEEE) in the UK. Available at <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee-in-the-uk>. (アクセス日 : 2022 年 1 月 17 日)
- 19) PV CYCLE News release, 16 September 2020. Available at <https://pvcycle.org/2019/09/16/pv-cycle-and-recycle-pv-solar-announce-integrated-partnership-for-recycling-in-usa/> (アクセス日 : 2022 年 1 月 17 日)
- 20) PV CYCLE News release, 1 July 2021. Available at <https://pvcycle.org/2021/07/01/joint-take-back-and-recycling-scheme-for-japanese-pv-market/> (アクセス日 : 2022 年 1 月 17 日)
- 21) PV CYCLE Annual Report 各年号
- 22) PV CYCLE Annual Report 2019, 2020.
- 23) PV CYCLE Annual Report 2020. Available at https://www.report.pvcycle.org/_files/ugd/0bf0dc_5f57c4010d184ef2a9f34613e6303c2b.pdf. (アクセス日 : 2022 年 1 月 17 日)
- 24) PV CYCLE ヒアリング (2021 年 1 月)
- 25) European Commission, DG Environment & Digital Europe: Joint workshop on “all WEEE flows”, How can we improve information as regards collection of waste electrical and electronic equipment (WEEE) through all routes?, Brussels, 14 February 2017.
- 26) Anthesis Group: B2B IT Studies in France and the UK, European Commission & Digital Europe Workshop on All WEEE Flows.
- 27) WEEE Forum: An enhanced definition of EPR and the role of all actors, November 2020.
- 28) C.P. Baldé, M. Wagner, G. Iattoni, et al.: In-depth Review of the WEEE Collection Rates and Targets in the EU-28, Norway, Switzerland and Iceland, United Nations University (UNU) / United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosting the SCYCLE Programme, Bonn, Germany, 2020.
- 29) COMMISSION IMPLEMENTING DECISION (EU) 2019/2193 of 17 December 2019 laying down rules for the calculation, verification and reporting of data and establishing data formats for the purposes of Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019D2193&from=DA>.
- 30) WEEE Forum: Issues associated to photovoltaic panels and compliance with EPR legislation, June 2021.
- 31) Final Bill Report ESSB 5939 (<http://lawfilesexxt.leg.wa.gov/biennium/2017-18/Pdf/Bill%20Reports/Senate/5939-S.E%20SBR%20FBR%2017%20E3.pdf>) (アクセス日 : 2021 年 3 月 23 日)
- 32) Washington State Legislature Wash. Rev. Code § 70A.510.010 - Photovoltaic Module Stewardship and Takeback Program. Available at <https://app.leg.wa.gov/RCW/default.aspx?cite=70A.510>.
- 33) J. Clyncke: PV recycling legislation around the world, INES ECO-PV Workshop, Photovoltaics: towards a sustainable industry, 10 March 2021.

- 34) SB-489 Public resources: photovoltaic modules
(http://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201520160SB489)
- 35) Department of Environmental Quality, N. C. Final Report on the Activities Conducted to Establish a Regulatory Program for the Management and Decommissioning of Renewable Energy Equipment. Available at https://files.nc.gov/ncdeq/documents/files/DEQ_H329%20FINAL%20REPORT_2021-01-01.PDF (2021).
- 36) Curtis, T. L.; Garvin, H.; Buchanan, H.; Smith, L. A Circular Economy for Solar Photovoltaic System Materials: Policy Considerations and Case Studies; NREL/TP-6A20-74550; National Renewable Energy Laboratory: 2021.
- 37) Curtis, T. L.; Heath, G.; Buchanan, H.; Shaw, S.; Kaldunski, B. Solar Photovoltaic Recycling: A Survey of U.S. Policies and Initiatives; NREL/TP-6A20-74124. Golden, CO; National Renewable Energy Laboratory: 2021.
- 38) CSA Group, Photovoltaic (PV) Recycling, Reusing, and Decommissioning - Current Landscape and Opportunities for standardization. 2020.
- 39) SEIA PV Recycling Working Group : National PV Recycling Program, Solar Power International 2016, Las Vegas, NV, 14 September 2016
- 40) Solar Energy Industries Association: “End-of-Life Management for Solar Photovoltaics: Recycling”, January 2020. Available at <https://www.seia.org/sites/default/files/2020-11/SEIA-Recycling-Program-Factsheet-January%202020%20final.pdf>. (アクセス日 : 2021 年 12 月)
- 41) SEIA website (<https://www.seia.org/initiatives/seia-national-pv-recycling-program>) (アクセス日 : 2022 年 2 月 8 日)
- 42) Solarrecycle.org, Vendors at a glance. Available at https://5c97398d-8e70-4dc9-934c-1f0bf4539dbe.filesusr.com/ugd/30ffda_41e42e43c9cd483b940003ef04f51e26.pdf.
- 43) NSF International Standard/American National Standard: NSF/ANSI 457-2017 Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules, Oct. 2017
- 44) NSF International Standard/American National Standard: NSF/ANSI 457-2017 Sustainability Leadership Standard for Photovoltaic Modules and Photovoltaic Inverters, Jul 2019
- 45) EPEAT ウェブページ : <https://www.epeat.net/> (アクセス日 : 2022 年 2 月 8 日)
- 46) Korea Environment Corporation
- 47) <http://www.segye.com/newsView/20211221512345?OutUrl=naver> (アクセス日 : 2022 年 1 月 21 日)
- 48) Management status and improvement plans of waste solar panels, Korea Environment Institute, 2018
- 49) <https://www.pv-magazine.com/2020/10/08/south-korea-to-introduce-new-rules-for-pv-recycling/>
- 50) Korea Institute of Energy Research ヒアリング (2021 年 11 月)
- 51) National Science & Technology Information Service
- 52) IEA PVPS Task12 専門家会議資料, 2021 年 11 月
- 53) Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Science ヒアリング (2021 年 11 月)
- 54) IEE-CAS: Research Report on the status quo of crystalline silicon photovoltaic module recycling at home and abroad, 2020.
- 55) Equilibrium: “PV Systems Stewardship Options Assessment Second Phase Stage Eight – Final Report”, vol. 3031, no. March, 2019.

- 56) “PV Industries”. Available at <https://www.pvindustries.com.au/>.
- 57) “Eoactiv”. Available at <https://www.ecoactiv.com.au/solar-panel-recycling/>.
- 58) “Reclaim PV Recycling”. Available at <https://www.reclaimpv.com/>.
- 59) S. Vorrath: “‘First of its kind’ solar panel upcycling plant on cards after federal grant win”, 2020.
- 60) “Solar Recovery Corporation”. Available at <https://www.srcorp.com.au/>.
- 61) Andrea Steffen: “Australia’s First Solar Panel Recycling Facility Is Now Operational”, Intelligent Living, 2021. Available at <https://www.intelligentliving.co/australias-first-solar-panel-recycling-facility/>
- 62) ARENA プレスリリース: <https://arena.gov.au/news/research-boost-for-solar-panel-efficiency-and-cost-reduction/> (アクセス日: 2022年1月21日)
- 63) ARENA ウェブページ: <https://arena.gov.au/projects/efficient-low-cost-eco-friendly-solar-pv-recycling-technology/> (アクセス日: 2022年1月21日)
- 64) UNSW Promolab ウェブページ: <https://www.promo.unsw.edu.au/recycling-technology> (アクセス日: 2022年1月21日)
- 65) ARENA ウェブページ: <https://arena.gov.au/projects/closed-loop-recycling-and-remanufacturing-eol-solar-pv/> (アクセス日: 2022年1月21日)
- 66) ARENA ウェブページ: <https://arena.gov.au/projects/electrically-enhanced-recycling-process-for-eol-si-pv-cells/> (アクセス日: 2022年1月21日)
- 67) D. Mathur, R. Gregory, and T. Simmons: “End-of-Life Management of Solar PV Panels”, 2020.
- 68) PV Industries, “How long do solar panels last”, 2021.
Available at <https://www.pvindustries.com.au/faq/how-long-do-solar-panels-last/>. (アクセス日: 2022年1月21日)
- 69) R. Wakefield-rann, N. Florin, N. Harford, D. Wigley, and T. Pollock: “Scoping study for photovoltaic panel and battery system reuse and recycling fund”, 2020.
- 70) International Organization for Standardization: Glass in buildin – General technical requirements of building integrated photovoltaic module recyclins, Reference number ISO/TS 21480: 2021.
- 71) F. Rummens: “Approaches to Facilitate Responsible PV Module Re-Use”, 2021 NIST/UL Workshop on Photovoltaic Materials Durability, December 7-9, 2021.

第3章 太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた検討

使用済み太陽電池モジュールのリサイクル等による適正処理を円滑に実施するためには、リサイクル技術そのものの高度化や効率化に加え、撤去された太陽電池モジュールを効率的に回収し、リサイクル処理を行う中間処理場に運搬する必要がある。現在、普及している太陽光発電設備を導入件数で見ると、住宅用をはじめとする小規模設備が圧倒的に多く、それらは広く分散している。

ここでは、太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けた検討として、少量かつ分散して発生する使用済み太陽電池モジュールの効率的な収集運搬方法（モデル）の検討を行った。

3.1 使用済み太陽電池モジュールの収集運搬の効率化に関する提案事例

現状、使用済み太陽電池モジュールは発生場所から処理施設に直接運ばれることがほとんどと考えられ、その流れは図3.1-1のように示すことができる。撤去・解体事業者および保守管理事業者などの作業者が故障や発電終了にともない使用済みとなった太陽電池モジュールを取り外し、これを収集運搬事業者に委託して中間処理事業場に輸送して処分している。

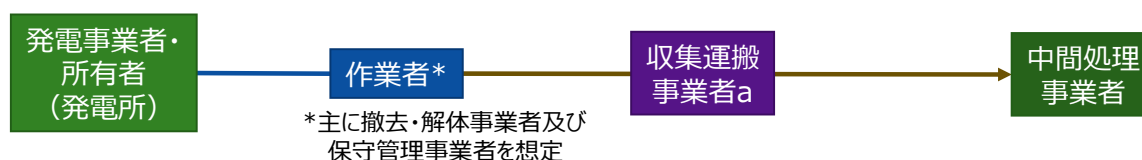


図 3.1-1 既存の使用済み太陽電池モジュールの輸送形態

また、太陽光発電設備は、その規模や電圧レベルにより、例えば、低圧、高圧、特別高圧（特高）に分類することができる。高圧や特高に分類されるような規模の大きい太陽光発電設備を撤去する場合、まとまった量の太陽電池モジュールが排出されるため、大型のトラックで、かつ、高い積載率で収集運搬できることから、現状の流れが効率的と考えられる。

一方、低圧に分類される住宅用や規模の小さい発電所から数十枚から百枚程度の太陽電池モジュールを撤去する場合、小型や中型のトラックを使用せざるを得ず、積載率も低く、収集運搬の効率が悪いことが想定される。そして、このように設置されている太陽光発電設備の件数は2021年9月末時点で住宅が約290万件、低圧が約64万件となっており、高圧の約3.4万件、特高の約800件^りと比べて、非常に多い。また、一か所あたりの枚数は少ないものの同時期に複数の場所から使用済み太陽電池モジュールが発生する可能性も大きいと考えられる。

したがって、少量であっても複数の場所から発生する使用済み太陽電池モジュールを集約して運ぶことにより、効率的な収集運搬を実現できる可能性が高くなる。このような考え方のもとで、使用済み太陽電池モジュールを集約して収集運搬を効率化する取り組みも幾つか行われており、例えば、以下のような事例がある。

- ・ 「太陽光パネルの収集・リユースおよび非鉄金属の回収に係る技術実証」（環境省実証事業、イー・アンド・イーソリューションズ(株)）
- ・ 「太陽電池モジュールスマート回収支援システム」（(公財)福岡県リサイクル総合研究事業化センター）

3.1.1 「太陽光パネルの収集・リユースおよび非鉄金属の回収に係る技術実証」(環境省実証事業)

(1) 概略

本事例は、環境省による「令和2年度脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装化に向けた実証事業」の1テーマとして採択されたもので、

「太陽光パネル中のセル/EVAシートの価値(銀・銅の有価性、ガラス・プラスチック等の忌避性)の簡易評価方法、及び商業スケールの非鉄金属濃縮プロセスの技術について実証するとともに、可能な限り最終処分場に依存しない太陽光パネル処理ルート構築に係る試験を行う。」

ものである²⁾。

実施体制は、イー・アンド・イーソリューションズ(株)が主体となり、ネクストエナジー・アンド・リソース(株)、DOWAエコシステム(株)および(一財)秋田県資源技術開発機構も参画し、2020～2021年度(令和2～3年度)の2ヵ年事業として実施されることとなっており、実フィールドにおける実証は埼玉県協力のもとで実施される³⁾。

本実証事業の目的として大きく以下の二つが掲げられている³⁾。

- ・ 樹脂を適切な方法で処理し、非鉄金属回収するまでのプロセスを実証し、ガラス剥離後の費用を「単価」レベルに落とし込む。
- ・ 小規模であっても量を集め、アルミ・ガラス剥離後の個別処理に関して一定の工場に定量供給すれば、定額で処理が可能となることを証明する。

二つ目の目的(後者)は、使用済み太陽電池モジュールの回収、運搬の効率化を目指すものであり、実証事業のポイントとして以下が示されている³⁾。

- 収集からアルミ・ガラスの分離、処理その後を通じて、最終処分を最小化できる収集・処理ルートをネットワーク化する。
- 集約ポイントでは化合物系のパネルも選別し、適正処理に回すことができるようにする。
- 集約ポイントでは再利用(リユース)の可否に関する初期チェックも可能となるようにし、二次市場の構築にもトライする。
- 小規模を含め多くの種類のパネルを集め、処理費の評価を確立できるデータを取得する。
- 輸送効率に関する考察、トレーサビリティの考え方の検討を行う。

(2) 実証試験の概要

実施される実証試験は以下の三つに大別される³⁾。

- (ア)小規模収集システム
- (イ)リユース
- (ウ)処理費の可視化

① 小規模収集システム

住宅用太陽光発電の導入量が多い埼玉県(全国第2位)を実フィールドとし、以下の実証試験を実施する(図3.1-2)。

- ・ 回収ボックスを設置する複数の小規模ステーションを配置し、使用済み太陽電池モジュールを収集する(発生サイトからの持ち込み)。

- ・ 各ステーションで収集された使用済み太陽電池モジュールをハブ（大型の収集ポイント）に搬送する。
- ・ ハブでは、リユース可否の簡易検査や太陽電池種類（化合物系）や激しい破損などの分別を行う。その後、リサイクルすべきモジュールからアルミフレームを除去し、ガラス剥離を行う工場に出荷する。
- ・ これらの流れを実証することにより、回収や運搬の効率に関する知見を集積するとともに、効率化を図るための課題（法律上の課題も含む）を抽出する。



図 3.1-2 実証試験（①小規模収集システム）のイメージ³⁾

小規模ステーションに設置される回収ボックスは、欧州で使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルを運営する PV CYCLE が使用しているもの（モジュールはボックス内に平置き）、四方が格子状の柵からなるもの（縦方向に格納）など複数の機材を用いることが想定されている。また、アルミフレーム除去後のモジュールのハブからの搬送先となる、ガラス剥離を行う工場も埼玉県内の事業者が想定されている。

② リユース

回収された使用済み太陽電池モジュールについて、リユース可否の判断を行うとともに、リユースが可能なモジュールの再利用を促進するため検討を行う。

上述の小規模収集システムにおいて、ハブに収集されたモジュールに対し、簡易な計測装置による判定を行い、良品と判断されたモジュールは、さらに品質検査工場に送られ、リユース可否の判断がなされる。そして、リユースが可能と判断された太陽電池モジュールは、本実証試験では、埼玉県内の公共施設などで利用することが想定されている。

なお、使用済み太陽電池モジュールのリユースを促進していくためのポイントの一つとして、リユース可否の判断を行うタイミングがある。リサイクル等を目的として受け入れた産業廃棄物はそのまま製品として再販することはできない。本実証試験においては、実証試験であるが故、ハブに収集されたモジュールの簡易検査が可能となっているが、使用済み太陽電池モジュールの実処理フローへの適用可能性については、別途の議論が必要になる。

③ 処理費の可視化

処理費の可視化に向けた実証試験自体は、上述の①②とは別に実施される（埼玉県を実フィールドとするものではない）。

ここでの試験は、ガラス剥離後の残存物（セル、EVA 等からなるシート）から、高品位な非鉄金属を高収率で回収し、その価値を明確化できるようにすることを目的としており、以下の流れにより実施される。

- ・ 10 種類の違ったメーカー・型番の太陽電池モジュールを調達する。
- ・ 合計 600 枚を確保し、3つの異なるガラス剥離により、セル、EVA 等からなるシートを原料化プロセスに供する。
- ・ 本来、産物評価を行わなければ決まらない非鉄金属原料（Cu、Ag）の価値についてパターンにより固定化する。
- ・ その後のデータ公表を考慮した分析などを行う。

使用済み太陽電池モジュールのリサイクルに際し、分離・回収したアルミフレームやガラスの価値は重量あたりの価額で評価されるが、ガラス剥離後の残存物（セル、EVA 等からなるシート）は有価金属の含有量（重量比）に応じて逐次評価されることとなり、明確な価値が定まらない。この状況を脱し、処理後の分離・回収物の価値を可能な限り明確にしておくことで、リサイクルの経済性を高めていくことにつなげていくことが狙いである。

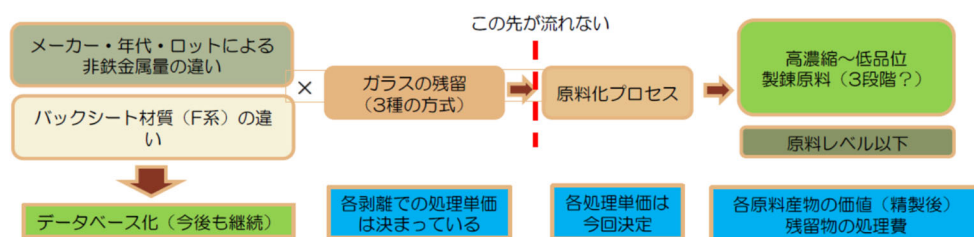


図 3.1-3 実証試験（③処理費の可視化）のイメージ³⁾

なお、ここでの試験に用いられるガラス剥離技術には、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」にて紹介されている、太陽電池モジュール専用の処理設備が用いられる予定である。

3.1.2 「太陽電池モジュールスマート回収支援システム」

(1) 概略

本事例は、公益財団法人福岡県リサイクル総合研究事業化センターを事務局として、福岡県で設立された「福岡県太陽光発電（PV）保守・リサイクル推進協議会」（以下、PV 協議会）が提案している「PV デジタルプラットフォーム（PVPF）」を構成するシステムである。

この PV 協議会は、太陽光発電設備の保守と廃棄モジュールのリサイクルを推進することを目的としている。そして、PVPF は推進活動を支援するツールで、リサイクルツールと保守ルールから構成され、リサイクルツール（＝スマート回収支援システム）は、一時保管された廃棄モジュールのスマート回収機能、大量廃棄情報収集&処理連携機能（災害／廃棄等）からなる（図 3.1-4）。

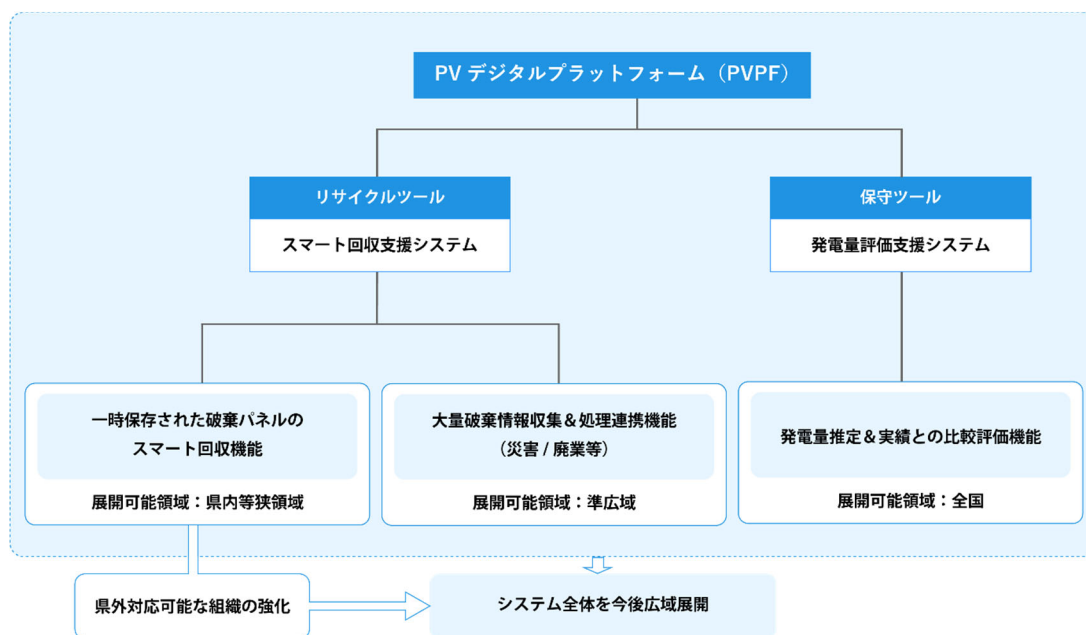


図 3.1-4 PV デジタルプラットフォーム (PVPF) の構成⁴⁾

PVPF の特徴の一つは、太陽光発電の保守とリサイクルを組み合わせていることであり、保守の過程（保守ツールによる監視、評価）で発見された不具合モジュールが一定量蓄積された後に、効率的に回収してリサイクルを行うというものである。すなわち、一定期間運転（発電）後の太陽光発電設備・発電所から、一定量がまとまって撤去、排出される使用済み太陽電池モジュールではなく、運転期間中に散発的に発生する不具合品（＝使用済み）を主たる対象としていることである。

今後、災害廃棄物なども含めた、いわゆる使用済み太陽電池モジュールも広く対象に含まれるとみられるが、第一歩として、保守の過程で発生する不具合モジュールを対象とした「スマート回収支援システム」の開発を目指している。

(2) 太陽電池モジュールスマート回収支援システム

図 3.1-5 はスマート回収支援システムによる回収スキームのイメージを示したものである。

太陽光発電設備の保守を通じて発見され、メンテナンス事業者に保管されている太陽電池モジュールの情報は、PV 協議会が構築するクラウドシステム（スマート回収支援システム）に蓄積されていく。一定量が蓄積されると、契約運搬事業者により効率的なルート（複数のメンテナンス事業者を巡るなど）によって蓄積されたモジュールが回収され（スマート回収）、リサイクル処理事業者に運搬される。また、電子マニフェストサーバに接続され、このシステムを介した処理によってマニフェストも発行される。

当面は、保守の過程で発生する不具合モジュールが対象となるが、災害による被害、発電事業の終了やリパワリングに伴う廃棄情報が発電事業者から提供されることも視野に入れている。ただし、大量に廃棄される場合には、収集運搬やリサイクル工場への持ち込みは発電事業者による直接交渉になるものと見られる。なお、このシステムは事業者による保守が行われることを前提としていることから、発電事業用あるいは非住宅用が主たる対象と思われ、現時点では、住宅用が対象となる可能性は低いと思われる（ただし、住宅用を除外するものではない）。

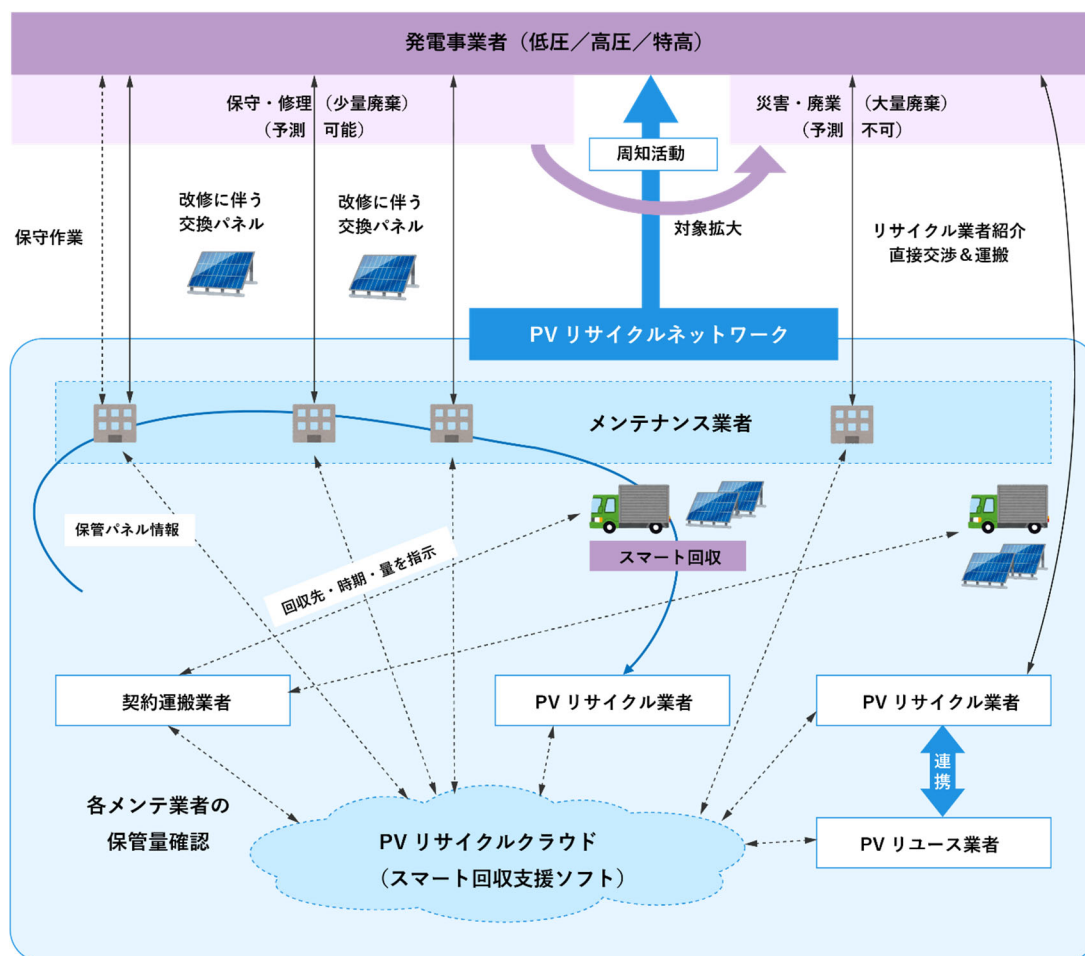


図 3.1-5 スマート回収スキームのイメージ⁴⁾

表 3.1-1 はスマート回収支援システムが有する機能（開発中含む）を整理したものである。

スマート回収スキーム（あるいはPVPF）への参加事業者は、付与されるログインIDとパスワードにより、構築されるスマート回収システムにアクセスすることができる。そして、事業者の属性（排出業者、収運業者など）により、必要な機能を利用することが可能となる。

表 3.1-1 スマート回収支援システムの機能概要 ⁴⁾より作成

<p>基本システム (スマート回収システム)</p>	<p>1) 管理者のシステム把握機能 2) 排出事業者の廃棄モジュール情報入力機能 3) 収運業者の保管モジュール把握・回収日決定機能 4) リサイクル業者の廃棄モジュール量把握・処理日入力機能</p>
<p>サブシステム</p>	<p>5) 収運最適ルート検索機能 6) 収運車両追跡機能 7) 不定期で発生する大量廃棄情報登録機能 8) データ編集・履歴機能 9) セキュリティ対策 10) 電子マニフェストサーバへの接続機能 (EDI 接続)</p>

(3) スマート回収システム実証試験

スマート回収支援システムにより行われる実際の回収を模擬するため、実フィールドにおける実証試験が実施されている。

福岡県の北部（北東部）と南部（南西部）のリサイクル工場を回収した太陽電池モジュールの運搬先とし、「スマート回収東ルート」、「スマート回数西ルート」による実証試験である。いずれのルートも、太陽電池モジュールが蓄積されている 5～6 か所を経由して、「スマート回収東ルート」は㈱リサイクルテック（福岡県北九州市）、「スマート回数西ルート」は柴田産業㈱大牟田エコリサイクルセンター（福岡県大牟田市）に回収したモジュールが運搬される。

運搬に用いる車両は 4t 平積み車で、トラックへの積み込みもフォークリフト有り、フォークリフト無しの場合で試験される。フォークリフト有りの場合には、手積みしたモジュールを PP バンドでパレットに固縛し、そのパレットをフォークリフトでトラック荷台に積み込む。フォークリフト無しの場合には、トラック荷台にパレットを積み、その上のモジュールを一枚ずつ手積みし、荷台上でパレットとモジュールをラッシングバンドで固縛する。これらの試験により、積み込みに要する手間や効率が確認される。

3.2 収集運搬モデルの想定

使用済み太陽電池モジュールの収集運搬モデルを検討するにあたり、太陽光発電設備の規模別に1回あたりの使用済み太陽電池モジュールの排出枚数を表3.2-1のように想定した。

表 3.2-1 太陽光発電設備規模別の使用済み太陽電池モジュールの排出枚数（想定）

発電所種類	出力区分	発電所数 (2021年9月末時点) ¹⁾	モジュール数	使用済みモジュール発生事由別の1回あたり排出枚数 (想定)			
				設置工事時 (施工不良等)	定期点検時 (偶発的故障)	発電終了時	災害時
事業用	特高	約800件	数万枚～	数枚～ (数十枚)	数枚～ (数十枚)	数万枚～	不定
	高压	約3.4万件	数百枚～ 数万枚	数枚～ (数十枚)	数枚～ (数十枚)	数百枚～ 数万枚	不定
	低压	約64万件	数十枚～ 数百枚	数枚～ (数十枚)	数枚～ (数十枚)	数十枚～ 数百枚	数枚～ (数百枚)
住宅用	—	約290万件	数十枚	数枚～	数枚～	数枚～ 数十枚	数枚～ (数十枚)

太陽光発電設備の規模は、まず発電所の種類を事業用と住宅用に大別し、次に事業用を出力区分で特高、高压、低压の3つに区分した。

1回あたりの排出枚数は、使用済み太陽電池モジュールの発生事由別に想定することとし、以下の発生事由を想定した。

- ・ 太陽電池モジュールの設置工事時における初期不良や施工不良等によるもの
- ・ 定期点検時に見つかった偶発的故障によるもの
- ・ 発電を終了し、太陽光発電設備を撤去するもの
- ・ 台風などの自然災害によるもの

これらのうち、設置工事時（施工不良等）の場合は、設置事業者（EPC）による廃棄やメーカーへの返品などの対応ルートが既に確立していると考えられるため、本検討の対象外とした。また、本検討では定期的に発生するもののみを対象とすることとし、災害に伴う発生も対象外とした。

定期点検時における太陽電池モジュールの排出枚数は、発電設備の規模に関わらず数枚から数十枚程度と想定され、現状では効率的な収集運搬は難しいと考えられるため、本検討の対象とした。

発電終了時については、1回あたりの排出枚数が数十枚から最大でも数百枚程度と想定される事業用の低压と住宅用を本検討の対象とした。一方、排出枚数を数百枚から数万枚あるいはそれ以上と想定される事業用の高压と特高は、排出枚数が多く、発電設備の所有者と撤去・解体事業者、中間処理事業者等が相対で契約することが想定されることから、本検討の対象外とした。

以上をまとめると、本検討の対象は図3.2-1の赤線で囲んだ範囲となる。なお、実際に太陽電池モジュールを取り外す事業者は、この図に赤字吹き出しで示したとおりである。

発電所種類	出力区分	発電所数 (2021年9月末時点) ¹⁾	モジュール数	使用済みモジュール発生事由別の1回あたり排出枚数 (想定)			
				設置工事時 (施工不良等)	定期点検時 (偶発的故障)	発電終了時	災害時
事業用	特高	約800件	数万枚～	数枚～ (数十枚)	数枚～ (数十枚)	数万枚～	不定
	高圧	約3.4万件	数百枚～ 数万枚	数枚～ (数十枚)	数枚～ (数十枚)	数百枚～ 数万枚	不定
	低圧	約64万件	数十枚～ 数百枚	数枚～ (数十枚)	数枚～ (数十枚)	数十枚～ 数百枚	数枚～ (数百枚)
住宅用	—	約290万件	数十枚	数枚～	数枚～	数枚～ 数十枚	数枚～ (数十枚)

O&M事業者

排出量が多くパネル所有者と撤去事業者、中間処理事業者等が相対で契約することが想定されるので対象外

本調査では定常的に発生するパネルを対象とするので対象外

設置事業者（EPC）による廃棄またはメーカーへの返品など

修理事業者

撤去・解体事業者

図 3.2-1 太陽光発電設備あたりの排出量区分と本検討で取り扱う範囲

撤去した太陽電池モジュールについては、まだ使用できるものについてはリユースし、そうでないものについてもリサイクルすることが望ましい。その際、リサイクルする場合は排出場所から中間処理場に効率的に収集運搬することを考えれば良いが、リユースはそれに加えて、収集運搬のどの段階でリユースできるものを選別するかという要素が加わる。そこで、まず初めにリサイクルのみを実施する収集運搬モデル（リサイクルモデル）を検討し、次に、リサイクルモデルにリユースする太陽電池モジュールの選別を追加する形でリユースとリサイクルの両方を実施するモデル（リユースモデル）を検討することとした。

3.3 リサイクルモデルの検討

使用済みとなった太陽電池モジュールは基本的に廃棄物として扱われる。そのため、リサイクルモデルの検討にあたっては、効率的な物流に加え、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法）等の各種法令にしたがわなければならない。特に、業として廃棄物を扱う場合は廃棄物処理法等に基づく許認可が必要になる。しかし、必要な許認可等は、廃棄物を扱う主体や行為によって異なる。そこで、リサイクルモデルの検討は、まず、物流の効率化を検討し、その次にリサイクルモデルを実装するために必要な許認可等を整理した。

3.3.1 リサイクルモデルの物流の検討

本検討で対象とした、定期点検時の偶発的故障による排出と小規模な発電設備の発電終了時の撤去による排出では、少量の使用済み太陽電池モジュールが分散して排出するため、図 3.1-1 に示した既存の輸送形態では収集運搬が非効率とならざるを得ない。このように少量が分散して排出されるものは、集積場所に集積したり巡回回収することで、既存の輸送方法よりも効率化が図れるとの報告がある⁴⁾。そこで、物流モデルはこれらを組み合わせて構成することとし、偶発的故障対応と撤去対応に分けて検討した。検討したモデルの概要を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 検討したモデルの概要

モデル名	想定モデル	モデル内の物流
偶発的 故障対応	<ul style="list-style-type: none"> ・取り外したモジュールを作業者が自家輸送できる数枚から数十枚の偶発的故障への対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者（主に保守管理事業者を想定）が、モジュールを撤去後に、発電所から作業者拠点に自家輸送 ・収集運搬事業者が作業者拠点より巡回回収して中間処理事業者に引き渡す
撤去対応 ①	<ul style="list-style-type: none"> ・1ヶ所あたり数枚から数十枚程度のモジュールが発生する住宅からの撤去やりプレイス ・取り外したモジュールを作業者が自家輸送することで輸送を効率化 ・複数の住宅から発生するモジュールを集積し、中型以上の車両で中間処理場へ輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者（主に撤去・解体事業者を想定）が撤去したモジュールを作業者が自家輸送で集積場所に輸送 ・集積場所に保管されているモジュールを収集運搬事業者が巡回回収
撤去対応 ②	<ul style="list-style-type: none"> ・1ヶ所あたり数十枚から数百枚程度のモジュールが発生する低圧発電所からの撤去やりプレイス ・発電所から集積場所へは中型車で輸送 ・複数の発電所から発生するモジュールを集積して大型車で中間処理場へ輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者（主に撤去・解体事業者を想定）が撤去したモジュールを収集運搬事業者が集積場所に輸送 ・集積場所に保管されているモジュールを収集運搬事業者が巡回回収
撤去対応 ③	<ul style="list-style-type: none"> ・1ヶ所あたり数十枚から数百枚程度のモジュールが発生する低圧発電所からの撤去やりプレイス ・複数の発電所から発生するモジュールを中型車で巡回回収で集積場所に輸送 ・集積から中間処理場へは大型車で輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者（主に撤去・解体事業者を想定）が撤去したモジュールを発電所内に保管 ・発電所内に保管されているモジュールを収集運搬事業者が巡回回収で集積場所に輸送 ・集積場所に保管されているモジュールを収集運搬事業者が巡回回収
撤去対応 ④	<ul style="list-style-type: none"> ・1ヶ所あたり数十枚から数百枚程度のモジュールが発生する低圧発電所からの撤去やりプレイス ・複数の発電所から発生するモジュールを中型以上の車両で巡回回収して中間処理場へ輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者（主に撤去・解体事業者を想定）が撤去したモジュールを発電所内に保管 ・発電所内に保管されているモジュールを収集運搬事業者が巡回回収し、中間処理場に輸送

(1) 偶発的故障対応の物流

太陽電池モジュールの偶発的な故障に対応するのは主に保守管理事業者などであることが想定される。これらの事業者は太陽光発電設備の保守や修理を担っていることから、故障した太陽電

池モジュールが見られた場合に交換することが考えられ、1回に交換する太陽電池モジュールの枚数は数枚から数十枚であると想定される。交換作業を行う事業者（作業員）自らが交換用の太陽電池モジュールを輸送できるトラックを保有していると想定され、故障し、使用済みとなった太陽電池モジュールは、帰り便で作業員の営業所などの拠点に持ち帰ることができる。

また、これらの作業員は日々、異なる太陽光発電設備の保守や修理を行っているため、作業員の拠点には、使用済み太陽電池モジュールが徐々に集積される。したがって、使用済み太陽電池モジュールが集積された作業員の拠点を収集運搬事業者が巡回して回収し、中間処理場に輸送することで物流の効率化が可能と考えられる。以上を図示すると図 3.3-1 のようになる。なお、この物流モデルは 3.1.2 項で紹介した「太陽電池モジュールスマート回収支援システム」の物流と同様のモデルとなっている。

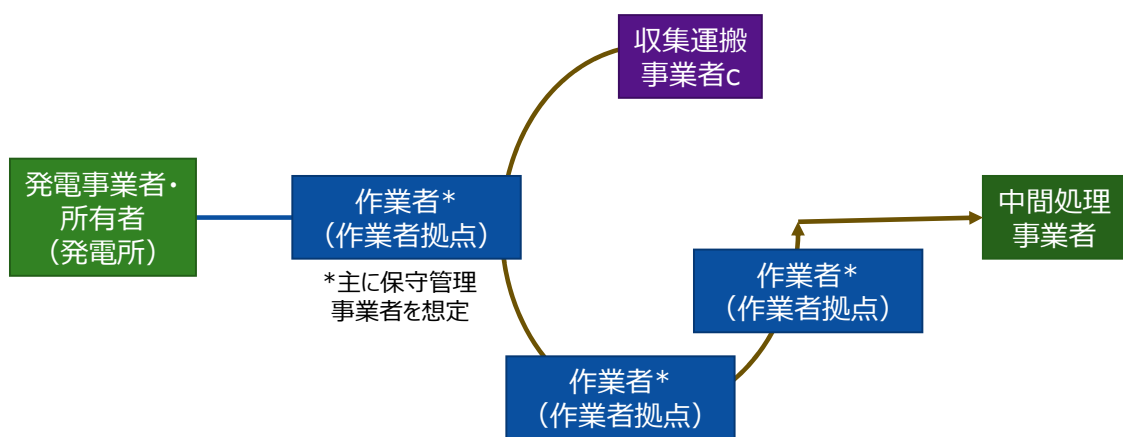


図 3.3-1 リサイクルモデルの物流（偶発的故障対応）

(2) 撤去対応①の物流

住宅に設置された太陽光発電設備の撤去を想定した物流をモデル化した。住宅に設置されている太陽電池モジュールは住宅 1 件あたり 20～30 枚程度と想定される。散発的に排出されるこのような太陽電池モジュールを集積し、さらにそれを中型あるいは大型のトラックで巡回して回収し、中間処理場に輸送することで、物流の効率化を図ることが可能と考えられる。

太陽電池モジュールの撤去工事を施工する撤去事業者など（作業員）は、小型トラックやワンボックスカーを保有しており、これらの車両でも 20～30 枚程度の太陽電池モジュールは積載可能である。また、集積場所が施工場所から数十 km の範囲内か、施工場所から作業員の拠点の間に立地していれば、作業員の帰り便で集積場所まで自家輸送できると想定できる。これを図示すると図 3.3-2 のようになる。なお、1ヶ所の集積場所に十分な積載率となる量の使用済み太陽電池モジュールが集まった場合は、集積場所から中間処理事業者に直接輸送することも想定される。また、図中では集積場所を設置する事業者（事業者 b）と、収集運搬事業者（事業者 c）が異なる事業者であることを想定しているが、同じ事業者であっても問題はない。なお、この物流モデルは 3.1.1 項で紹介した「太陽光パネルの収集・リユースおよび非鉄金属の回収に係る技術実証」の物流と同様のモデルとなっている。

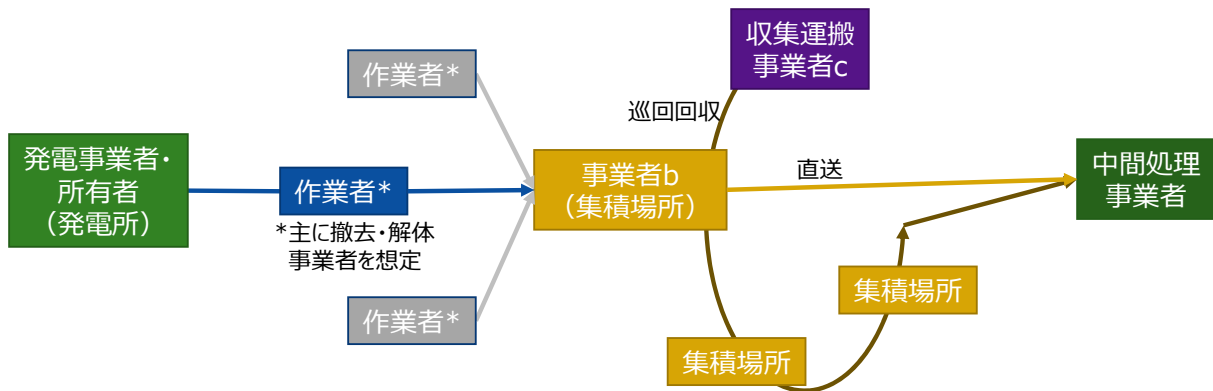


図 3.3-2 リサイクルモデルの物流（撤去対応①）

(3) 撤去対応②の物流

低圧の発電所が発電を終了し、設置されている数百枚の太陽電池モジュールを撤去することを想定し、その物流をモデル化した。散発的に排出される数百枚の太陽電池モジュールを集積し、さらにそれを大型トラックで巡回して回収し、中間処理場に輸送することで物流の効率化を図ることが可能と考えられる。

太陽電池モジュール数百枚を運搬するためには中型以上のトラックが必要と考えられる。一方、撤去工事を施工する事業者がそのようなトラックを保有しているとは限らず、その場合には、太陽電池モジュールの運搬を収集運搬事業者に委託することになる。以上を図示すると図 3.3-3 のようになる。なお、1ヶ所の集積場所に十分な積載率となる量の使用済み太陽電池モジュールが集まった場合は、集積場所から中間処理事業者に直接輸送することも想定され、また、図中では発電所から集積場所までの運搬を担う収集運搬事業者（事業者 a）と集積場所を設置する事業者（事業者 b）、巡回回収を担う収集運搬事業者（事業者 c）がそれぞれ異なる事業者であることを想定しているが、これらの一部あるいは全てが同じ事業者であっても問題はない。

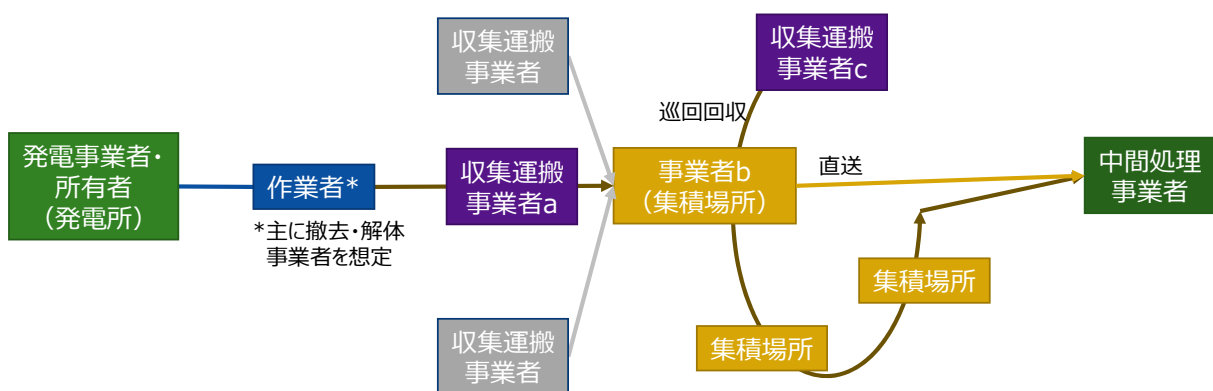


図 3.3-3 リサイクルモデルの物流（撤去対応②）

(4) 撤去対応③の物流

低圧の発電所が発電を終了し、設置されている数百枚の太陽電池モジュールを撤去するが、撤去したものは一時的に発電所敷地内に保管可能であり、集積場所も利用可能なことを想定した物流をモデル化した。

全くの同時期に近隣の複数の発電所が発電を終了することは極めて稀と考えられる。しかし、小規模の発電所は数が多く、ある程度の期間内に近隣の複数の発電所が発電を終了することも考えられる。その場合、撤去した太陽電池モジュールを発電所内に一時的に保管し、それらを巡回して回収する。さらに、それらを集積場所に集積することで、中間処理場に運搬する際に大型トラックを使用してもある程度の積載率が確保でき、効率的な収集運搬が可能になると考えられる。これらを図示すると図 3.3-4 のようになる。なお、1ヶ所の集積場所に十分な積載率となる量の使用済み太陽電池モジュールが集まった場合は、集積場所から中間処理事業者に直接輸送することも想定される。また、図中では発電所からの巡回回収を担う収集運搬事業者（事業者 a）と集積場所を設置する事業者（事業者 b）、集積場所からの巡回回収を担う収集運搬事業者（事業者 c）がそれぞれ異なる事業者であることを想定しているが、これらの一部あるいは全てが同じ事業者であっても問題はない。

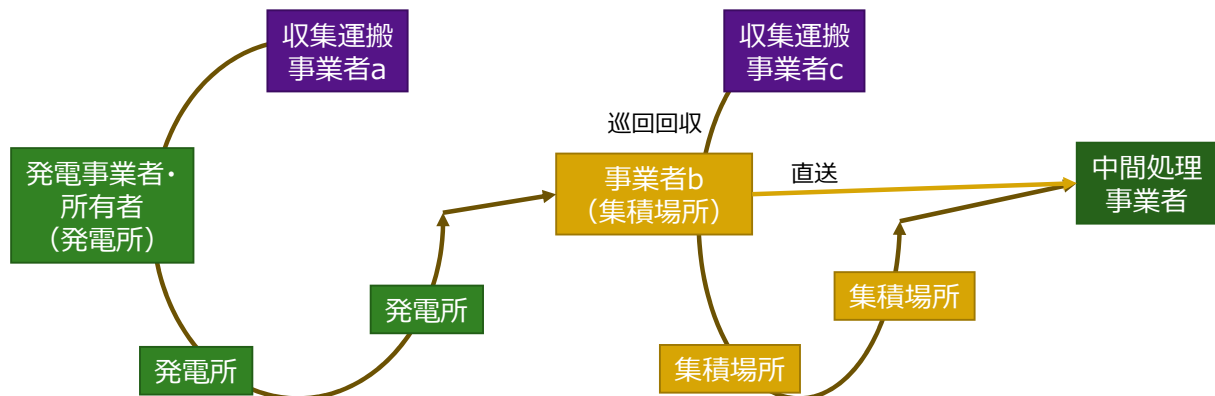


図 3.3-4 リサイクルモデルの物流（撤去対応③）

(5) 撤去対応④の物流

低圧の発電所が発電を終了し、設置されている数百枚の太陽電池モジュールを撤去し、一時的に発電所敷地内に保管可能であることを想定した物流をモデル化した。

全くの同時期に近隣の複数の発電所が発電を終了することは極めて稀と考えられる。しかし、小規模の発電所の数は多く、ある程度の期間内に近隣の複数の発電所が発電を終了することも考えられる。その場合、撤去した太陽電池モジュールを発電所内に一時的に保管し、それらを巡回して回収し、中間処理場に運搬することで収集運搬の効率化が図れると考えられる。これらを図示すると図 3.3-5 のようになる。

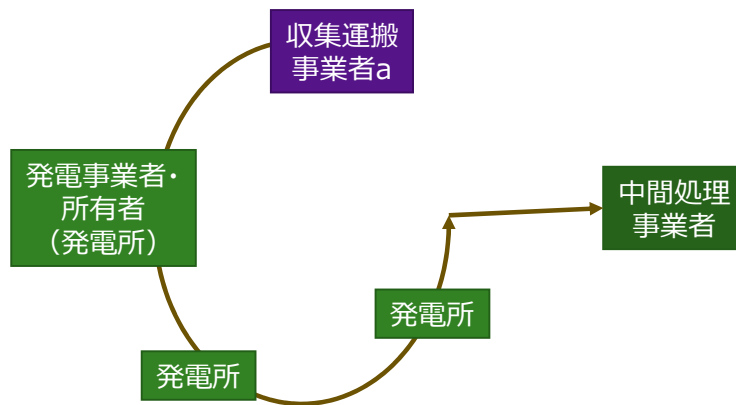


図 3.3-5 リサイクルモデルの物流（撤去対応④）

(6) 物流の観点からみたリサイクルモデルの適用可能性

以上に基づき、物流の観点でモデル化したリサイクルモデルの適用可能性を、発電所の種類・規模と使用済みモジュールの発生事由から整理すると表 3.3-2 のようになる。

表 3.3-2 物流の観点からみたリサイクルモデルの適用可能性の整理

発電所種類	出力区分	モジュール数	リサイクルモデル						
			定期点検時 (偶発的故障)		発電終了時				
			既存の輸 送形態	偶発的故 障対応①	既存の輸 送形態	撤去対応 ①	撤去対応 ②	撤去対応 ③	撤去対応 ④
事業用	特高	数万枚～	○	◎	◎	△	△	△	△
	高圧	数百枚 ～数万枚	○	◎	◎	△	△	○	○
	低圧	数十枚 ～数百枚	○	◎	○	○	◎	◎	◎
住宅用	—	数十枚	○	◎	○	◎	○	○	○

保守管理事業者などによる定期点検時などに交換され、偶発的に発生した、使用済み太陽電池モジュールも、現在は、収集運搬事業者が発電所から中間処理場まで直送する既存の輸送形態（図 3.1-1）で運搬されている可能性がある。しかし、1 回あたりの排出枚数は数枚から数十枚程度と想定されるため、集約したものを巡回回収する偶発的故障対応モデル（図 3.3-1）の方が積載率の面で効率的と考えられる。

次に、発電終了時の撤去対応について、特高や高圧のように規模の大きい発電所からはまとまった量の使用済み太陽電池モジュールが排出された場合、既存の輸送形態（図 3.1-1）によって、大型トラックで積載率が高い状態で効率的に輸送できる。低圧や住宅などの規模の小さい発電所においても、少なくとも数十枚の使用済み太陽電池モジュールが排出され、小型トラックによる対応は可能である。

撤去対応①（図 3.3-2）は、撤去工事を行う施工事業者等が、発電所から集積場所の間を自家輸送で使用済み太陽電池モジュール輸送するモデルで、住宅のように排出枚数が数十枚の場合に適しており、規模が小さい低圧の発電所にも適用は可能である。一方、高圧や特高の発電所の場合、排出枚数が多く、施工事業者が自家輸送することは現実的ではない。

撤去対応②（図 3.3-3）は、撤去工事を行う施工事業者が自家輸送するには排出枚数が多く、かつ、大型トラックでは積載率が低く輸送が非効率にならざるを得ない数百枚程度の場合などにおいて、中小型トラックによる輸送を発電所から集積場所までにとどめることができる。そのため、排出枚数が数百枚程度と想定される低圧発電所に適用するのが効率的である。一方、高圧や特高の発電所の場合は、排出枚数が多く、大型のトラックで積載率が高い状態で効率的に輸送できるため、集積や巡回回収による効率化が図りづらい。

撤去対応③（図 3.3-4）は、巡回回収による輸送の効率化が見込める住宅や低圧発電所に適用可能性がある。特に、発電所から巡回回収したものをいったん集積し、さらにそれらを巡回回収するため、大型トラックの輸送による効率化の効果が大きい長距離輸送を伴う場合はより効果的と考えられる。巡回回収が可能な地域内で同時に複数の場所から使用済み太陽電池モジュールが排出されることは極めて稀であることから、撤去した太陽電池モジュールを一定期間、発生場所で保管することが前提になるが、発電所であれば撤去した敷地内に保管することが可能と考えられる。一方、住宅の場合、保管の余地は限られていると思われる。発電所を巡回するトラックを大型のものにすることで、高圧の発電所からも回収できる可能性があるかもしれないが、輸送効率化の余地は小さいと思われる。特高の発電所の場合、排出枚数が多く、大型のトラックで積載率が高い状態で効率的に輸送できるため、集積や巡回回収による効率化は図りづらい。

撤去対応④（図 3.3-5）も、巡回回収による輸送の効率化が見込める住宅や低圧発電所に適用可能性がある。同様に、巡回回収が可能な地域内で同時に複数の場所から使用済み太陽電池モジュールが排出されることは極めて稀であることから、撤去した太陽電池モジュールを一定期間内その場所で保管することが前提になる。発電所であれば撤去した敷地内に保管することが可能と考えられるが、住宅の場合、保管の余地は限られていると思われる。発電所を巡回するトラックを大型のものにすることで、高圧の発電所からも回収できる可能性があるかもしれないが、輸送効率化の余地は小さいと思われる。特高の発電所の場合、排出枚数が多く大型のトラックで積載率が高い状態で効率的に輸送できるため、集積や巡回回収による効率化は図りづらい。

以上に基づき、撤去対応モデルの適用可能性の概略を表 3.3-3 に示す。

表 3.3-3 撤去対応モデルの適用可能性の概略

モデル名	種類	モデル内の物流
撤去対応 ①	住宅	・ 排出枚数が高々数十枚で自家輸送可能である
	低圧	・ 排出枚数が少なければ自家輸送可能である
	高圧	・ 排出枚数が多く、施工事業者が自家輸送するのは現実的ではない
	特高	・ 排出枚数が多く、施工事業者が自家輸送するのは現実的ではない
撤去対応 ②	住宅	・ 集積場所までの積載効率は低い、集積や巡回回収による効率化は見込める
	低圧	・ 排出枚数が数百枚程度と想定され、集積や巡回回収による効率化が見込める
	高圧	・ 排出枚数が多く集積や巡回回収による効率化が図りづらい
	特高	・ 排出枚数が多く集積や巡回回収による効率化が図りづらい
撤去対応 ③	住宅	・ 撤去した太陽電池モジュールの保管場所が確保できれば、集積や巡回回収による効率化が見込める
	低圧	・ 撤去した太陽電池モジュールの保管場所が確保可能で、集積や巡回回収による効率化が見込める
	高圧	・ 排出枚数によっては集積や巡回回収による効率化が見込める可能性がある
	特高	・ 排出枚数が多く集積や巡回回収による効率化が図りづらい
撤去対応 ④	住宅	・ 撤去した太陽電池モジュールの保管場所が確保できれば、集積や巡回回収による効率化が見込める
	低圧	・ 撤去した太陽電池モジュールの保管場所が確保可能で、集積や巡回回収による効率化が見込める
	高圧	・ 排出枚数によっては巡回回収による効率化が見込める可能性がある
	特高	・ 排出枚数が多く巡回回収による効率化が図りづらい

3.3.2 リサイクルモデルの実装に必要な許認可等

太陽電池モジュールも他の製品と同様に、使用済みとなった段階で廃棄物として扱わなければならないが、廃棄物処理法では廃棄物の種類や排出形態により、一般廃棄物と産業廃棄物に大別している。太陽電池モジュールの場合、住宅に設置されたものを所有者（居住者等）自らが排出する場合は一般廃棄物としてその処理を自治体に委ねることになる。しかしながら、そのような場合は非常に少ないと考えられ、本検討では、一般廃棄物として扱われる太陽電池モジュールは対象外とし、産業廃棄物として扱われるものを対象とした。

廃棄物処理法では、事業者は「自らその産業廃棄物（特別管理産業廃棄物を除く）の運搬又は処分を行う場合には、政令で定める産業廃棄物の収集、運搬及び処分に関する基準に従わなければ

ばならない」(法第 12 条)と定められている。その具体的な基準は、まず、排出場所から廃棄物が運搬されるまでの間は生活環境の保全上支障のないように廃棄物を保管しなければならないなどの保管基準(法第 12 条 2)が適用される。次に、廃棄物を運搬する際は、廃棄物が飛散しないようにするなどの収集運搬基準(施行令第 6 条 1)が適用され、中間処理する場合は中間処理の基準(施行令第 6 条 2)が適用される。また、排出者が廃棄物の運搬または処分を他の事業者へ委託する場合は、委託基準(施行令第 6 条の 2)が適用される。

さらに、委託する先の事業者は、運搬や処分を業として行うことになるため、当該業を行う区域を管轄する都道府県知事の許可を得ている必要がある。先に示したリサイクルモデルにおいては、まず、使用済み太陽電池モジュールを運搬する事業者は「産業廃棄物収集運搬業(積替え保管を含まない)」の許可を得ていなければならない。次に、集積場所への集積が廃棄物処理法上の積替えに該当するため、集積場所を設置する事業者は「産業廃棄物収集運搬業(積替え保管を含む)」の許可が、中間処理を行う事業者は「産業廃棄物処分業(中間処理業)」の許可がそれぞれ必要になる。

これらを踏まえ、各リサイクルモデルを実装するうえで必要となる許可と従うべき基準を整理した結果を以下に示す。

(1) 偶発的故障対応

偶発的故障対応モデルの物流に排出事業者と排出場所を記したものを図 3.3-6 に示す。太陽電池モジュールを廃棄物として排出する事業者は図中の「作業員」となる。保守管理事業者などが故障した太陽電池モジュールの交換等を請け負っていることが想定され、そのような事業者が作業員に相当する。また、排出場所は太陽電池モジュールを取り外した発電所になる。

このモデルを実装するために必要な各主体の許認可等は表 3.3-4 のとおりである。保守管理事業者などの作業員が発電所で取り外した太陽電池モジュールを営業所などの作業員拠点に自家輸送する際には収集運搬基準が適用される。また、持ち帰った物の保管は事業場外の保管に該当するため、処理基準が適用される⁷⁾。そして、太陽電池モジュールのリサイクル(処分)を委託する際には委託基準が適用される。なお、保守管理事業者などの作業員が点検のために自己の営業所に持ち帰って保管する場合は、保管基準の対象になり、上限量は適用されない⁷⁾。

作業員拠点を巡回して使用済み太陽電池モジュールを回収する収集運搬事業者は、産業廃棄物収集運搬業(積替え保管を含まない)の許可が必要となり、巡回回収中は収集運搬基準が適用される。リサイクルを行う中間処理事業者は、産業廃棄物処分業(中間処理)の許可が必要となり、処分基準(中間処理)が適用される。

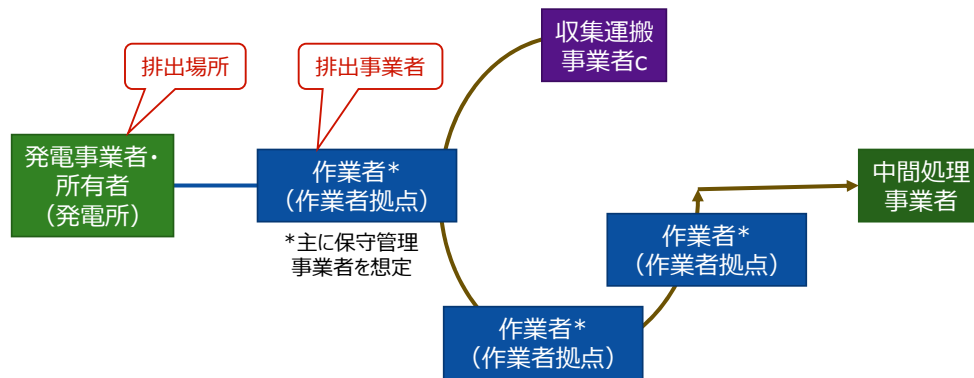


図 3.3-6 廃棄物の排出事業者と排出場所（偶発的故障対応）

表 3.3-4 物流モデルを実装するために必要な各主体の許認可等（偶発的故障対応）

主体	必要な廃棄物処理法上の許認可	適用される廃棄物処理基準
発電事業者・所有者	(なし)	(なし)
作業者*	(なし)	処理基準、収集運搬基準、委託基準
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準（中間処理）

*主に保守管理事業者を想定

(2) 撤去対応①

撤去対応①のモデルの物流に排出事業者と排出場所を記したものを図 3.3-7 に示す。発電事業者・所有者が太陽電池モジュールの撤去とリサイクル（処分）を委託することになるが、使用済み太陽電池モジュールは撤去を行う事業者の事業活動によって生じた廃棄物となることから、太陽電池モジュールを廃棄物として排出する事業者は図中の「作業者」となる。主に撤去・解体事業者が作業者として想定され、排出事業者となる。また、排出場所は発電所となる。

このモデルを実装するために必要な各主体の許認可等は表 3.3-5 のとおりである。太陽電池モジュールは発電所で撤去した時点で廃棄物になるが、そこから集積場所までは排出事業者である作業者が自家輸送するため、この輸送について許認可等は不要である。しかし、この輸送についても収集運搬基準が適用される。また、作業者は集積場所以降の処分を委託することになるため、委託基準が適用される。

集積場所での集積は廃棄物処理法上の積替え保管にあたるため、これを設置する事業者は廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）の許可を取得している必要があり、集積場所には収集運搬基準が適用される。

集積場所を巡回して使用済み太陽電池モジュールを回収する収集運搬事業者は、産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）の許可が必要となり、巡回回収中は収集運搬基準が適用される。リサイクルを行う中間処理事業者は、産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要となり、処分基準（中間処理）が適用される。

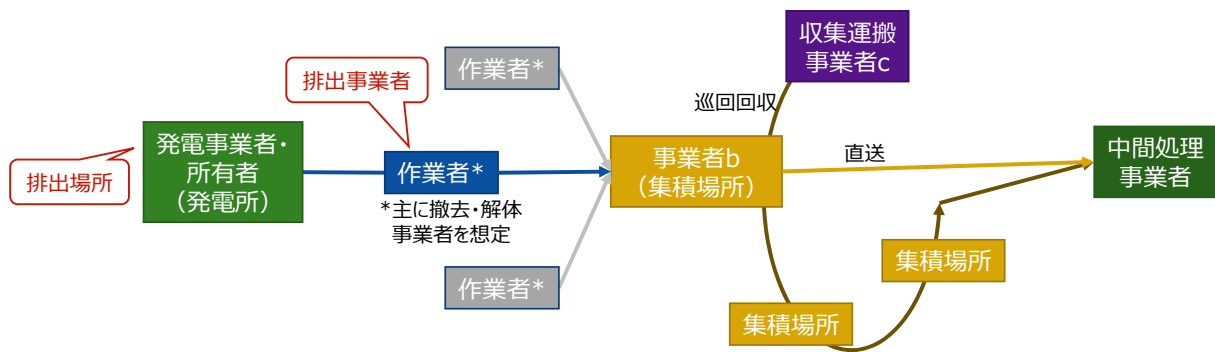


図 3.3-7 廃棄物の排出事業者と排出場所（撤去対応①）

表 3.3-5 物流モデルを実装するために必要な各主体の許認可等（撤去対応①）

主体	必要な廃棄物処理法上の許認可	適用される廃棄物処理基準
発電事業者・所有者	(なし)	
作業者*	(なし)	収集運搬基準、委託基準
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)

* 主に撤去・解体事業者を想定

(3) 撤去対応②

撤去対応②のモデルの物流に排出事業者と排出場所を記したものを図 3.3-8 に示す。発電事業者・所有者が太陽電池モジュールの撤去とリサイクル（処分）を委託することになるが、使用済み太陽電池モジュールは撤去を行う事業者の事業活動によって生じた廃棄物となることから、太陽電池モジュールを廃棄物として排出する事業者は図中の「作業者」となる。主に撤去・解体事業者が作業者として想定され、排出事業者となる。また、排出場所は発電所となる。

このモデルを実装するために必要な各主体の許認可等は表 3.3-6 のとおりである。作業者は、発電所で太陽電池モジュールを撤去した後、そこからの運搬と処分を委託することから、作業者には委託基準が適用される。発電所から集積場所に運搬する事業者（事業者 a）は廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）が必要であり、収集運搬基準が適用される。

集積場所での集積は廃棄物処理法上の積替え保管にあたるため、これを設置する事業者は廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）の許可を取得している必要があり、集積場所には収集運搬基準が適用される。

集積場所を巡回して使用済み太陽電池モジュールを回収する収集運搬事業者は、産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）の許可が必要となり、巡回回収中は収集運搬基準が適用される。最後に、リサイクルを行う中間処理事業者は、産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要となり、処分基準（中間処理）が適用される。

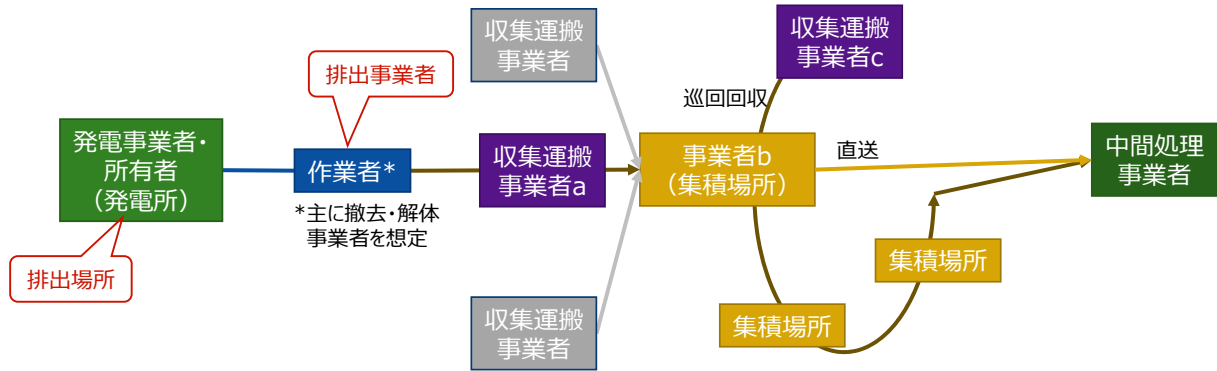


図 3.3-8 廃棄物の排出事業者と排出場所（撤去対応②）

表 3.3-6 物流モデルを実装するために必要な各主体の許認可等（撤去対応②）

主体	必要な廃棄物処理法上の許認可	適用される廃棄物処理基準
発電事業者・所有者	(なし)	(なし)
作業員	(なし)	委託基準
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)

* 主に撤去・解体事業者を想定

(4) 撤去対応③

撤去対応③のモデルの物流に排出事業者と排出場所を記したものを図 3.3-9 に示す。発電事業者・所有者が自ら太陽電池モジュールを取り外す、あるいは取り外しのみを外部の事業者へ委託する場合、取り外した太陽電池モジュールは発電事業者・所有者の自らの事業に伴って排出される廃棄物となる。したがって、排出事業者は発電事業者・所有者となり、排出場所は発電所になる。

このモデルを実装するために必要な各主体の許認可等は表 3.3-7 のとおりである。発電事業者・所有者は、収集運搬事業者が使用済み太陽電池モジュールを回収するまでの間、これを保管することになるため、保管基準が適用される。さらに、その運搬やリサイクル（処分）を他の事業者へ委託するため、委託基準が適用される。

発電所を巡回して使用済み太陽電池モジュールを回収して集積場所に運搬する事業者（事業者 a）は廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）が必要であり、収集運搬基準が適用される。

集積場所での集積は廃棄物処理法上の積替え保管にあたるため、これを設置する事業者（事業者 b）は廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）の許可を取得している必要があり、集積場所には

収集運搬基準が適用される。

集積場所を巡回して使用済み太陽電池モジュールを回収する収集運搬事業者（事業者 c）は、産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）の許可が必要となり、巡回回収中は収集運搬基準が適用される。リサイクルを行う中間処理事業者は、産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要となり、処分基準（中間処理）が適用される。

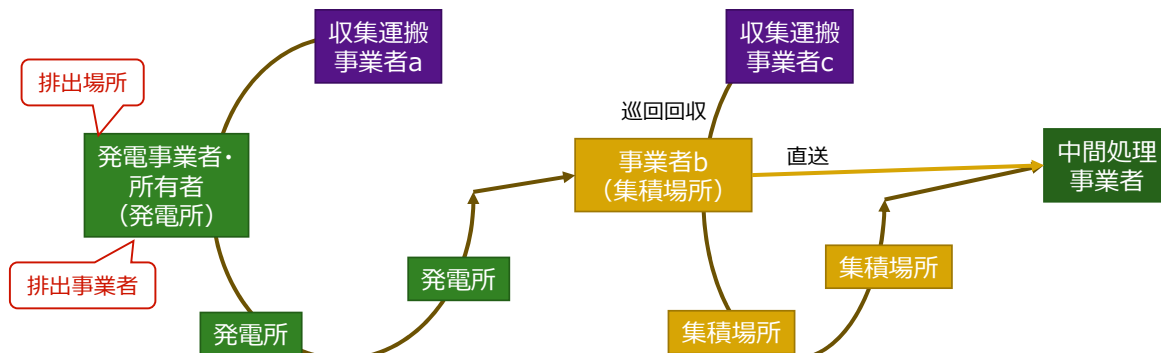


図 3.3-9 廃棄物の排出事業者と排出場所（撤去対応③）

表 3.3-7 物流モデルを実装するために必要な各主体の許認可等（撤去対応③）

主体	必要な廃棄物処理法上の許認可	適用される廃棄物処理基準
発電事業者・所有者	(なし)	保管基準、委託基準
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準（中間処理）

(5) 撤去対応④

撤去対応④のモデルの物流に排出事業者と排出場所を記したものを図 3.3-10 に示す。発電事業者・所有者が自ら太陽電池モジュールを取り外す、あるいは取り外しのみを外部の事業者へ委託する場合、取り外した太陽電池モジュールは発電事業者・所有者の自らの事業に伴って排出される廃棄物となる。したがって、排出事業者は発電事業者・所有者となり、排出場所は発電所になる。

このモデルを実装するために必要な各主体の許認可等は表 3.3-8 のとおりである。発電事業者・所有者は、収集運搬事業者が使用済み太陽電池モジュールを回収するまでの間、これを保管することになるため、保管基準が適用される。さらに、その運搬やリサイクル（処分）を他の事業者へ委託するため、委託基準が適用される。

発電所を巡回して使用済み太陽電池モジュールを回収して中間処理場に運搬する事業者（事業

者 a) は廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）が必要であり、リサイクルを行う中間処理事業者は、産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要となり、処分基準（中間処理）が適用される。

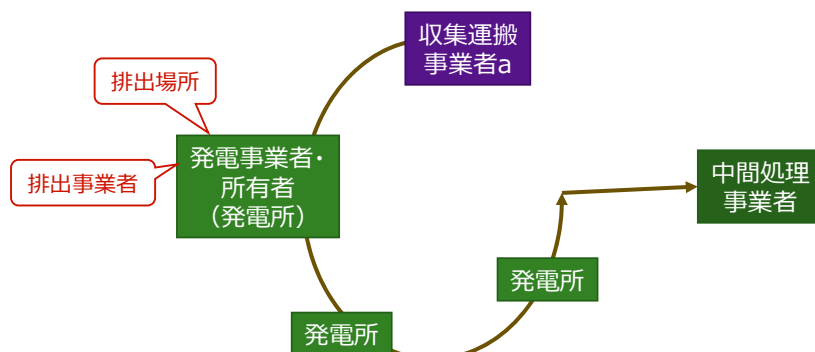


図 3.3-10 廃棄物の排出事業者と排出場所（撤去対応④）

表 3.3-8 物流モデルを実装するために必要な各主体の許認可等（撤去対応④）

主体	必要な廃棄物処理法上の許認可	適用される廃棄物処理基準
発電事業者・所有者	(なし)	保管基準、委託基準
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準（中間処理）

3.3.3 リサイクルモデルの輸送コストの試算

以上のリサイクルモデルについて、使用済みとなった太陽電池モジュール 600 枚を中間処理場に運搬する場合を想定し、輸送コストを試算した。試算における輸送コストは、国土交通省が告示した「改正貨物自動車運送事業法に基づく標準的な運賃について（告示：令和 2 年 4 月 24 日）」の関東運輸局管内における距離制運賃表¹⁴⁾を使用し、輸送距離は次のとおりとした。

- ・ 排出場所から集積場所までの輸送距離 : 20 km
- ・ 集積場所等の巡回回収地点間の輸送距離 : 40 km
- ・ 最終荷積み地点から中間処理場までの輸送距離 : 160 km

また、比較対象として試算した従来の輸送形態における排出場所から中間処理場の輸送距離を 160km とした。

各モデルの試算条件と試算結果を以下に示す。なお、ここでの試算では、以下の費用等は考慮していないことに留意する必要がある。

【留意事項：考慮していない要素】

- ・ 荷物の積卸に関わる費用
- ・ 集積場所の運用費用
- ・ 廃棄物の保管量上限

(1) 偶発的故障対応に関する試算条件

偶発的故障対応モデルの試算条件は以下のように想定した。

- ・ 発電所から持ち帰った太陽電池モジュールが 200 枚溜まった作業員拠点 3 ヶ所を積載重量 20t のトラックで巡回し、中間処理場に 600 枚のモジュールを輸送する。
- ・ 作業員拠点間の距離は 40km、最後に荷積みした作業員拠点から中間処理場までの距離は 160km とする。
- ・ 発電所から作業員拠点間は自家輸送のため、運賃は発生しない。

これらをまとめると図 3.3-11 になる。また、この物流モデルに対応する既存の輸送形態の試算条件は、200 枚の使用済み太陽電池モジュールを作業員拠点から 160km の距離にある中間処理場に積載重量 10t のトラックで 3 回輸送するものとした（図 3.3-12）。

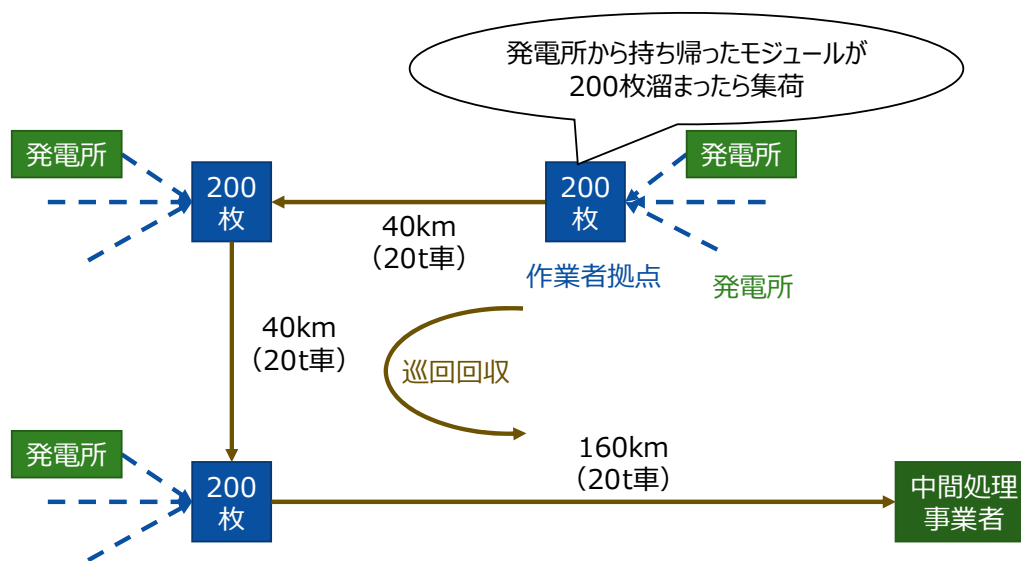


図 3.3-11 偶発的故障対応モデルの輸送コスト試算条件



図 3.3-12 偶発的故障対応モデルに対応する既存の輸送形態の輸送コスト試算条件

(2) 撤去対応①に関する試算条件

撤去対応①の試算条件は以下のように想定した。

- ・ 1 ヶ所あたり 25 枚の使用済み太陽電池モジュールが発生する住宅等 8 ヶ所から集積場所に集積する。
- ・ 太陽電池モジュールが 200 枚溜まった作業員拠点 3 ヶ所を積載重量 20t のトラックで巡回し、中間処理場に 600 枚のモジュールを輸送する。
- ・ 集積場所間の距離は 40km、最後に荷積みした作業員拠点から中間処理場までの距離は 160km とする。

- ・ 住宅等から集積場所の間は自家輸送のため、運賃は発生しない。

これらをまとめると図 3.3-13 のようになる。また、この物流モデルに対応する既存の輸送形態の試算条件は、25 枚の使用済み太陽電池モジュールを発電所あるいは住宅から 160km の距離にある中間処理場に積載重量 2t のトラックで 24 回輸送するものとした (図 3.3-14)。

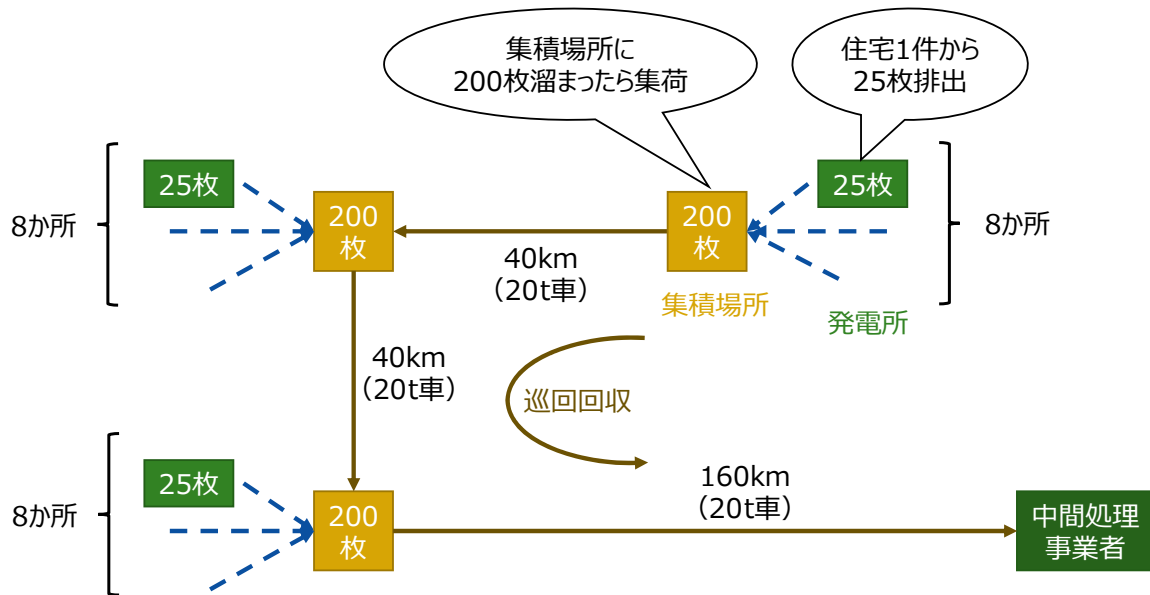


図 3.3-13 撤去対応①モデルの輸送コスト試算条件

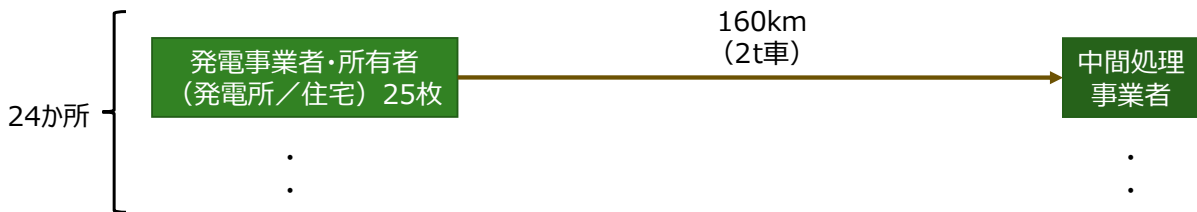


図 3.3-14 撤去対応①モデルに対応する既存の輸送形態の輸送コスト試算条件

(3) 撤去対応②に関する試算条件

撤去対応②の試算条件は以下のように想定した。

- ・ 1ヶ所あたり 100 枚の使用済み太陽電池モジュールが発生する発電所 2ヶ所から積載重量 4t のトラックで集積場所に集積する。
- ・ 太陽電池モジュールが 200 枚溜まった作業拠点 3ヶ所を積載重量 20t のトラックで巡回し、中間処理場に 600 枚のモジュールを輸送する。
- ・ 発電所から集積場所の間の距離は 20km、集積場所間の距離は 40km、最後に荷積みした集積場所から中間処理場までの距離は 160km とする。

これらをまとめると図 3.3-15 のようになる。また、この物流モデルに対応する既存の輸送形態の試算条件は、100 枚の使用済み太陽電池モジュールを発電所から 160km の距離にある中間処理場に積載重量 4t のトラックで 6 回輸送するものとした (図 3.3-16)。

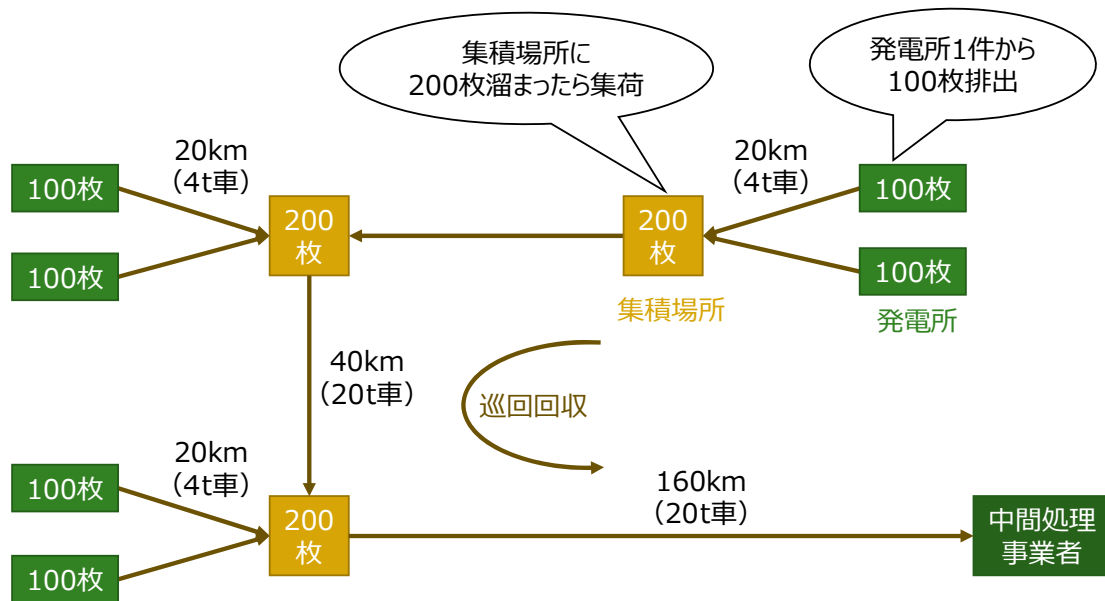


図 3.3-15 撤去対応②モデルの輸送コスト試算条件



図 3.3-16 撤去対応②モデルに対応する既存の輸送形態の輸送コスト試算条件

(4) 撤去対応③に関する試算条件

撤去対応③の試算条件は以下のように想定した。

- ・ 1ヶ所あたり 100 枚の使用済み太陽電池モジュールが発生する発電所 2ヶ所を積載重量 10t のトラックで巡回して集積場所に集積する。
- ・ 太陽電池モジュールが 200 枚溜まった作業拠点 3ヶ所を積載重量 20t のトラックで巡回し、中間処理場に 600 枚のモジュールを輸送する。
- ・ 発電所間と発電所と集積場所の間の距離は 20km、集積場所間の距離は 40km、最後に荷積みした集積場所から中間処理場までの距離は 160km とする。

これらをまとめると図 3.3-17 のようになる。また、この物流モデルに対応する既存の輸送形態の試算条件は、100 枚の使用済み太陽電池モジュールを発電所から 160km の距離にある中間処理場に積載重量 4t のトラックで 6 回輸送するものとした (図 3.3-18)。

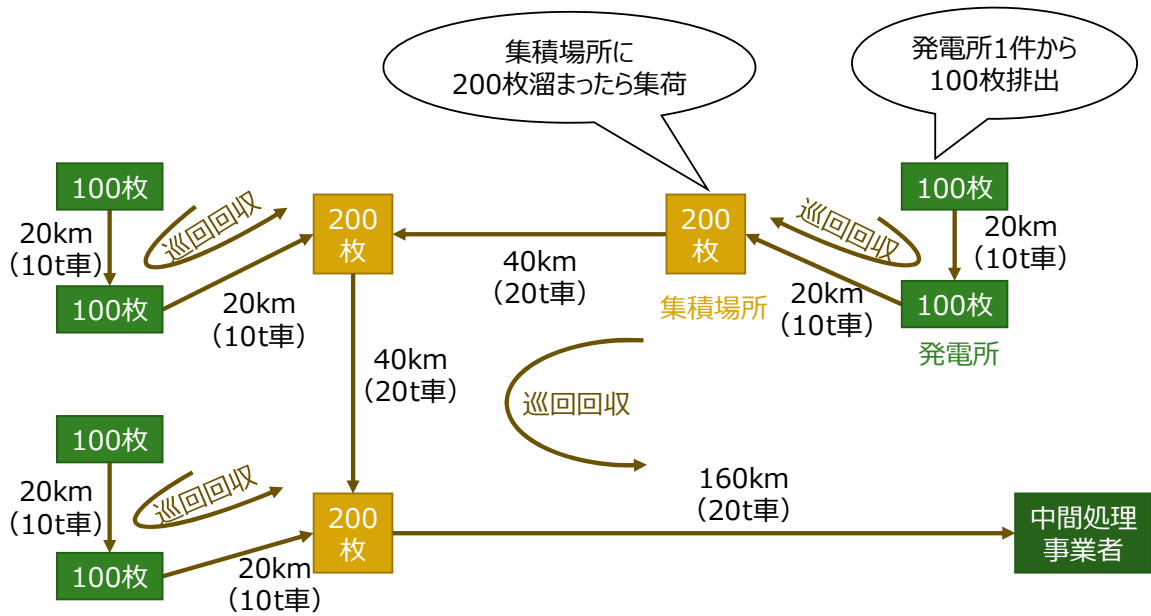


図 3.3-17 撤去対応③モデルの輸送コスト試算条件



図 3.3-18 撤去対応③モデルに対応する既存の輸送形態の輸送コスト試算条件

(5) 撤去対応④に関する試算条件

撤去対応④の試算条件は以下のように想定した。

- ・ 1ヶ所あたり 200枚の使用済み太陽電池モジュールが発生する発電所3ヶ所を積載重量20tのトラックで巡回し、中間処理場に600枚のモジュールを輸送する。
- ・ 発電所間の距離は40km、最後に荷積みした発電所から中間処理場までの距離は160kmとする。

これらをまとめると図 3.3-19 のようになる。また、この物流モデルに対応する既存の輸送形態の試算条件は、200枚の使用済み太陽電池モジュールを発電所から160kmの距離にある中間処理場に積載重量10tのトラックで3回輸送するものとした(図 3.3-20)。

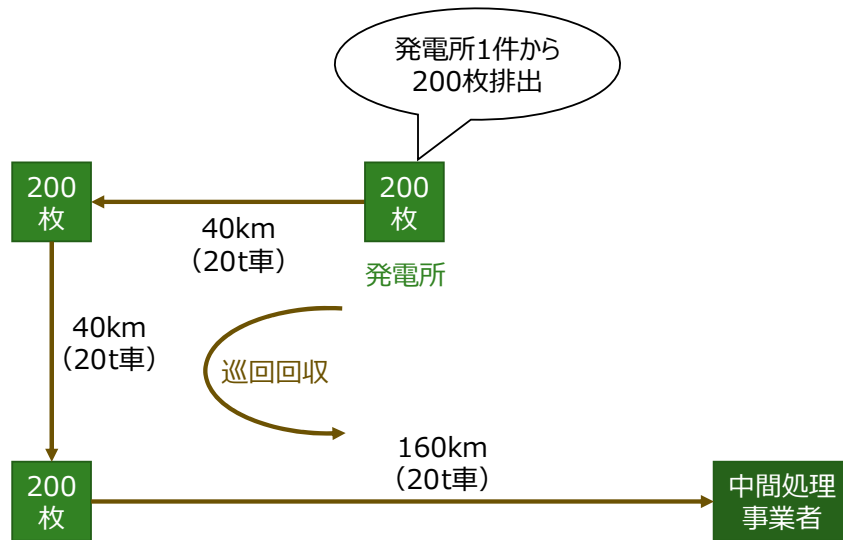


図 3.3-19 撤去対応④モデルの輸送コスト試算条件



図 3.3-20 撤去対応④モデルに対応する既存の輸送形態の輸送コスト試算条件

(6) 試算結果

以上の条件のもとで試算した各モデルとそれに対応した既存の輸送形態における結果を図 3.3-21 に示す。

太陽電池モジュール 1 枚あたりの運賃は、偶発的故障対応モデルが約 180 円/枚、既存の輸送形態の場合は約 320 円/枚となった。同様に撤去対応①モデルが約 180 円/枚で既存の輸送形態の場合は約 1,700 円/枚、撤去対応②モデルが約 380 円/枚で既存の輸送形態の場合は約 500 円/枚、撤去対応③モデルが約 340 円/枚で既存の輸送形態は約 500 円/枚、撤去対応④モデルが約 180 円/枚で既存の輸送形態の場合は約 320 円/枚となった。

このように、程度の強弱はあるものの、巡回収集モデルを用いることにより、従来型の一対一の収集輸送と比較して、コスト低減効果が期待できることが示された。しかしながら、前述のように、今回の試算では、コストを考えるうえで必要な要素の一部（荷物の積卸、集積場所の運用、廃棄物の保管量上限など）を考慮していない。今後、これらの要素も考慮し、実際のケースに当てはめた試算、検討が必要である。

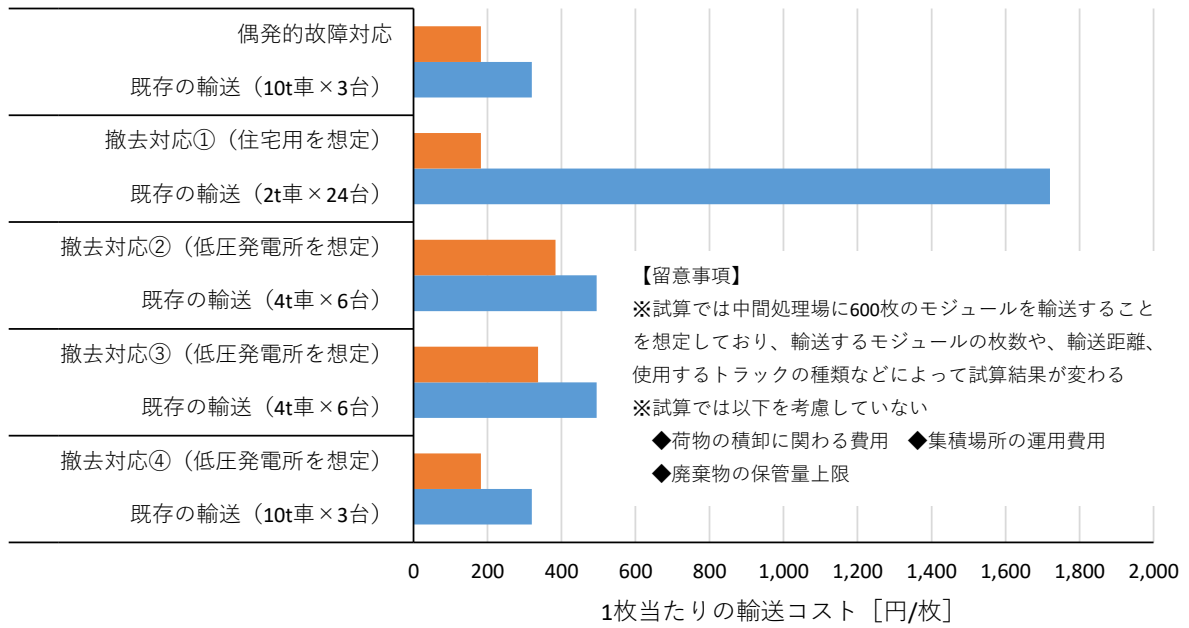


図 3.3-21 輸送コストの試算結果

3.4 リユースモデルの検討

リサイクルモデルに対し、使用済みとなった太陽電池モジュールの中からリユース可能なものを選別するプロセスを追加することにより、リユースモデルとして検討した。リサイクルモデルと同様、まず物流を検討した後、それを実装するために必要な許認可等を整理した。なお、リサイクルモデルのうち「偶発的故障対応」モデルは、故障して使用できなくなった太陽電池モジュールを対象としているため、リユースモデルの検討では対象外とした。

3.4.1 リユースモデルの物流の検討

それぞれのリサイクルモデルにおいてリユース可能なもの（以下、リユース品）の選別作業が可能な場面は、A 発電所での撤去時、B 集積場所での集積時、C 中間処理場での処理前である。

(1) 撤去対応①の物流

この物流モデルでは、まず、撤去事業者等の作業者が撤去した太陽電池モジュールを作業者が発電所から集積場所まで自家輸送する。次に、収集運搬事業者が集積場所を巡回して集積したものを回収し、中間処理場に運搬する。

リユース品の選別が想定される工程は図 3.4-1 に示すとおり、まず発電所で作業者が太陽電池モジュールを取り外した段階（A パターン）である。作業者が取り外した太陽電池モジュールの中からその場でリユース品を選別してリユース事業者へ引き渡すことが考えられる。次は、集積場所に集積した段階で、集積場所を設置している事業者がリユース品を選別（B パターン）し、リユース事業者へ引き渡すことが考えられる。最後が中間処理場で処理する前に中間処理事業者がリユース品を選別（C パターン）し、リユース事業者へ引き渡すことが想定される。これらをまとめると表 3.4-1 のとおりである。

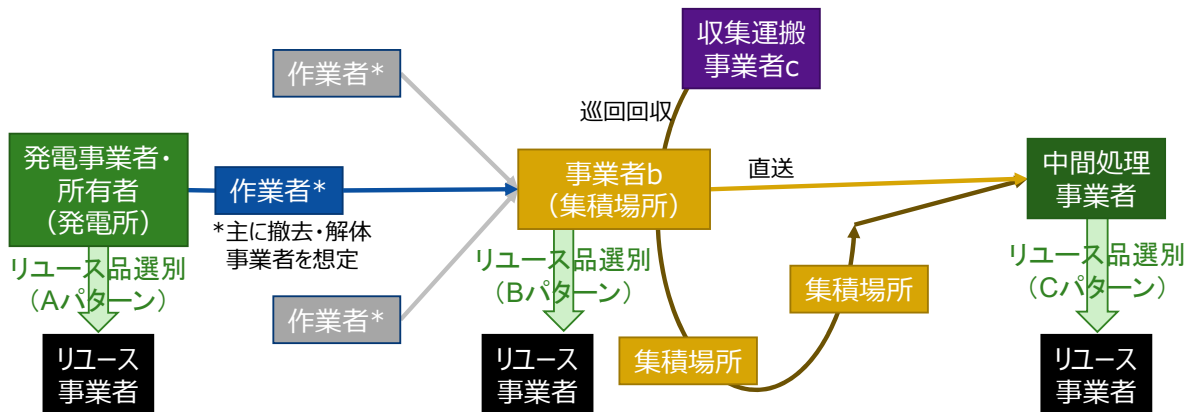


図 3.4-1 リユースモデルの物流（撤去対応①）

表 3.4-1 リユースモデル（撤去対応①）のリユースパターンの整理

リユースパターン	リユース品の選別場所	リユース品の選別者	排出場所	排出事業者
A	発電所	作業員	発電所	作業員*
B	集積場所	事業者 b	発電所	作業員*
C	中間処理場	中間処理事業者	発電所	作業員*

* 主に撤去・解体事業者を想定

(2) 撤去対応②の物流

この物流モデルでは、まず、撤去事業者等の作業員が太陽電池モジュールを撤去し、その委託を受けた事業者が発電所から集積場所まで輸送する。次に、収集運搬事業者が集積場所を巡回して集積したものを回収し、中間処理場に運搬する。

リユース品の選別が想定される工程は図 3.4-2 に示すとおり、まず発電所で作業員が太陽電池モジュールを取り外した段階（A パターン）である。作業員が取り外した太陽電池モジュールの中からその場でリユース品を選別してリユース事業者へ引き渡すことが考えられる。次は、集積場所に集積した段階で、集積場所を設置している事業者がリユース品を選別（B パターン）し、リユース事業者へ引き渡すことが考えられる。最後に中間処理場で処理する前に中間処理事業者がリユース品を選別（C パターン）し、リユース事業者へ引き渡すことが想定される。これらをまとめると表 3.4-2 のとおりである。

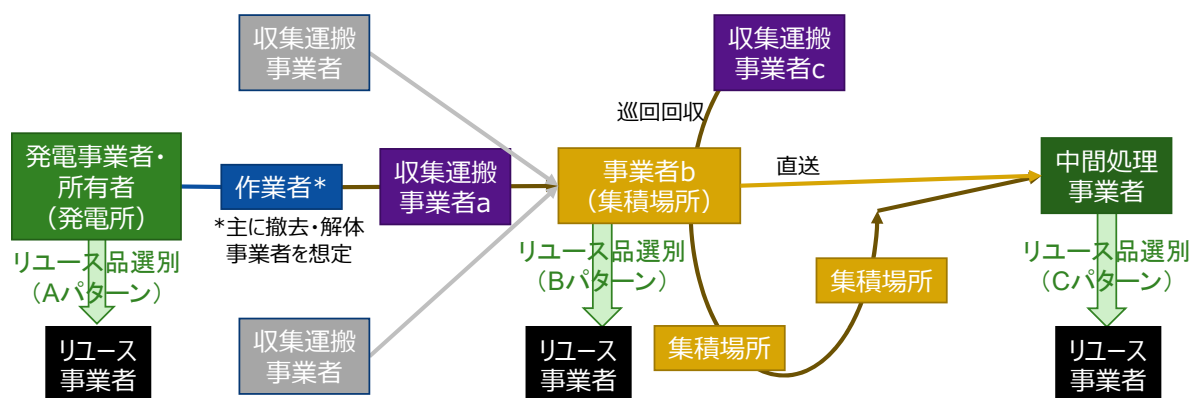


図 3.4-2 リユースモデルの物流（撤去対応②）

表 3.4-2 リユースモデル（撤去対応②）のリユースパターンの整理

リユースパターン	リユース品の選別場所	リユース品の選別者	排出場所	排出事業者
A	発電所	作業員	発電所	作業員*
B	集積場所	事業者 b	発電所	作業員*
C	中間処理場	中間処理事業者	発電所	作業員*

* 主に撤去・解体事業者を想定

(3) 撤去対応③の物流

この物流モデルでは、発電事業者・所有者が自ら太陽電池モジュールを取り外し、あるいは取り外しのみを外部の事業者へ委託して発電所で保管していたものを、発電事業者・所有者の委託を受けた収集運搬事業者が発電所を巡回回収して集積場所に運搬する。さらに、収集運搬事業者が集積場所を巡回して集積したものを回収し、中間処理場に運搬する。

リユース品の選別が想定される工程は図 3.4-3 に示すとおり、まず発電所で作業員が太陽電池モジュールを取り外した段階（A パターン）である。作業員が取り外した太陽電池モジュールの中からその場でリユース品を選別してリユース事業者へ引き渡すことが考えられる。次は、集積場所に集積した段階で、集積場所を設置している事業者がリユース品を選別（B パターン）し、リユース事業者へ引き渡すことが考えられる。最後に中間処理場で処理する前に中間処理事業者がリユース品を選別（C パターン）し、リユース事業者へ引き渡すことが想定される。これらをまとめると表 3.4-3 のとおりである。

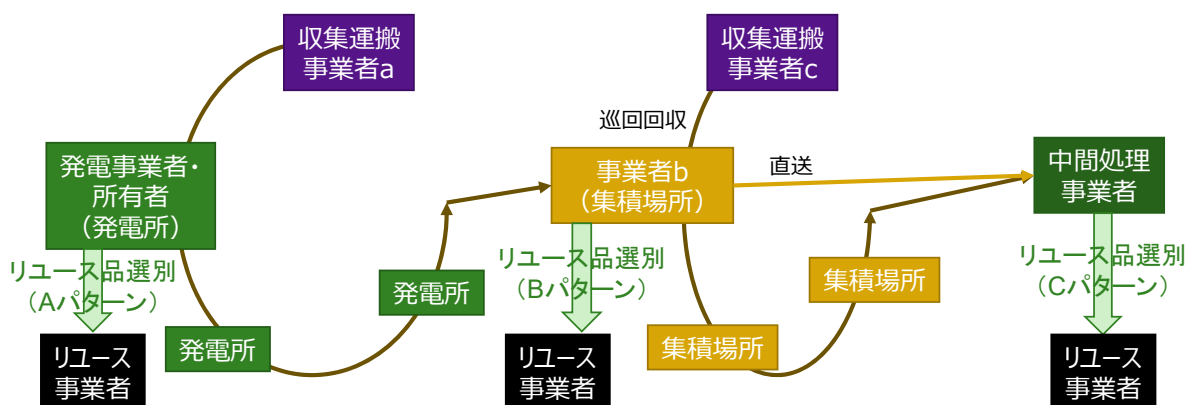


図 3.4-3 リユースモデルの物流（撤去対応③）

表 3.4-3 リユースモデル（撤去対応③）のリユースパターンの整理

リユースパターン	リユース品の選別場所	リユース品の選別者	排出場所	排出事業者
A	発電所	発電事業者・所有者	発電所	発電事業者・所有者
B	集積場所	事業者 b	発電所	発電事業者・所有者
C	中間処理場	中間処理事業者	発電所	発電事業者・所有者

(4) 撤去対応④の物流

この物流モデルでは、発電事業者・所有者が自ら太陽電池モジュールを取り外す、あるいは取り外しのみを外部の事業者へ委託して発電所で保管していたものを、発電事業者・所有者の委託を受けた収集運搬事業者が発電所を巡回回収して中間処理場に運搬する。

リユース品の選別が想定される工程は図 3.4-4 に示すとおり、まず発電所で作業員が太陽電池モ

ジュールを取り外した段階（A パターン）である。作業者が取り外した太陽電池モジュールの中からその場でリユース品を選別してリユース事業者に引き渡すことが考えられる。また、中間処理場で処理する前に中間処理事業者がリユース品を選別（C パターン）し、リユース事業者に引き渡すことが想定される。これらをまとめると表 3.4-4 のとおりである。

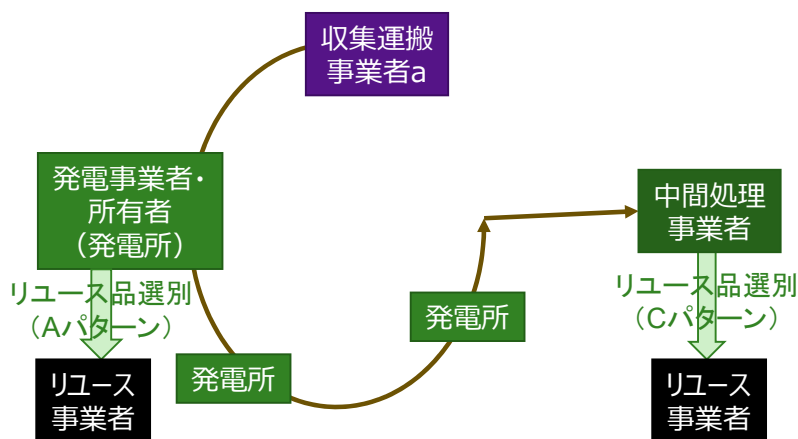


図 3.4-4 リユースモデルの物流（撤去対応④）

表 3.4-4 リユースモデル（撤去対応④）のリユースパターンの整理

リユースパターン	リユース品の選別場所	リユース品の選別者	排出場所	排出事業者
A	発電所	発電事業者・所有者	発電所	発電事業者・所有者
C	中間処理場	中間処理事業者	発電所	発電事業者・所有者

3.4.2 リユースモデルの実装に必要な許認可等

リユースモデルの物流は、リサイクルモデルの物流にリユース品を選別する工程を追加したものである。したがって、リサイクルモデルと共通の部分については実装に必要な許認可等はリサイクルモデルと同様となる。ここでは、リユース品を選別するために追加した工程によって必要となる許認可等について整理する。

(1) 撤去対応①

< 発電所での選別（リユースパターン A） >

このリユースモデルは図 3.4-1 に示した物流において、撤去・解体事業者等の作業者が発電所で太陽電池モジュールを取り外した段階（A パターン）でリユース品を選別してリユース事業者に引き渡すもので、図 3.4-5 に示すとおりである。

作業者が取り外した太陽電池モジュールをリユース品とリユースできないものに選別した段階で、後者が廃棄物として扱われる。選別を実施する際の廃棄物処理法上の許認可等は必要ない。ただし、リユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-5 のようになる。

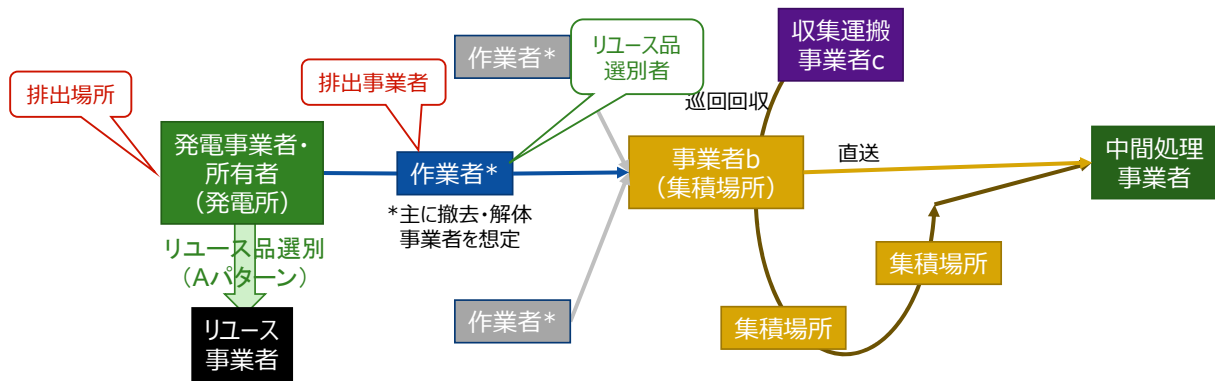


図 3.4-5 リユースモデル（撤去対応①（リユースパターン A））

表 3.4-5 リユースモデル（撤去対応①（リユースパターン A））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者 (発電所)	(なし)	(なし)	(なし)
作業者*	(なし)	委託基準	—
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	—
リユース事業者	—	—	古物商

* 主に撤去・解体事業者を想定

<集積場所での選別（リユースパターン B）>

このリユースモデルは図 3.4-1 に示した物流において、作業者が使用済み太陽電池モジュールを自家輸送して集積場所に集積した後、集積場所を設置している収集運搬事業者がリユース品を選別する（B パターン）もので、図 3.4-6 に示すとおりである。

集積場所に運び込まれる太陽電池モジュールは既に廃棄物として扱われており、ここでのリユース品選別は廃棄物処理法に沿って実施されなければならない。廃棄物処理法上は積替え保管における有価物拾集に該当すると考えられるため、当該収集運搬事業者は産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）の許可が必要である。また、リユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-6 のようになる。

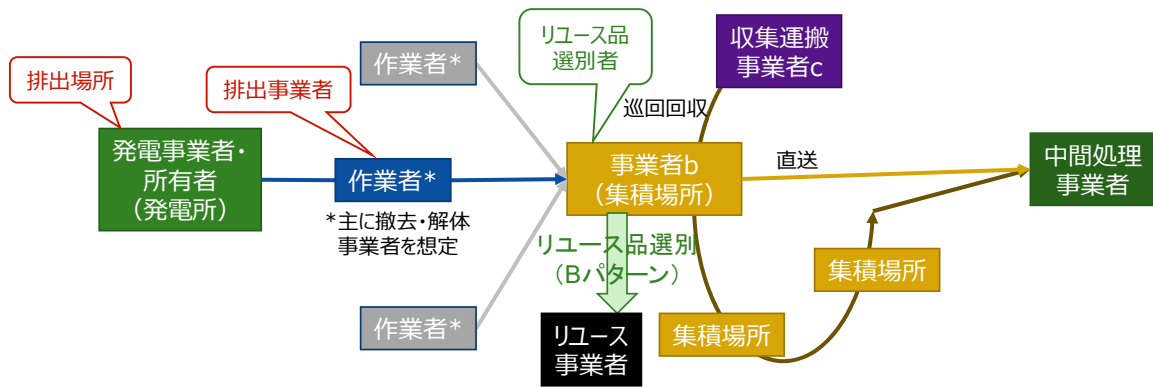


図 3.4-6 リユースモデル（撤去対応①（リユースパターン B））

表 3.4-6 リユースモデル（撤去対応①（リユースパターン B））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者 (発電所)	(なし)	(なし)	(なし)
作業員*	(なし)	委託基準	—
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	—
リユース事業者	—	—	古物商

*主に撤去・解体事業者を想定

<中間処理場での選別（リユースパターン C）>

このリユースモデルは図 3.4-1 に示した物流において、収集運搬事業者が集積場所の太陽電池モジュールを巡回回収して中間処理場に輸送した後、中間処理事業者がリユース品を選別する（C パターン）もので、図 3.4-7 に示すとおりである。

リユース品の選別は中間処理の一部として実施されるものと考えられる。そのため、ここでリユース品を選別するためには産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要である。また、選別したリユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-7 のようになる。

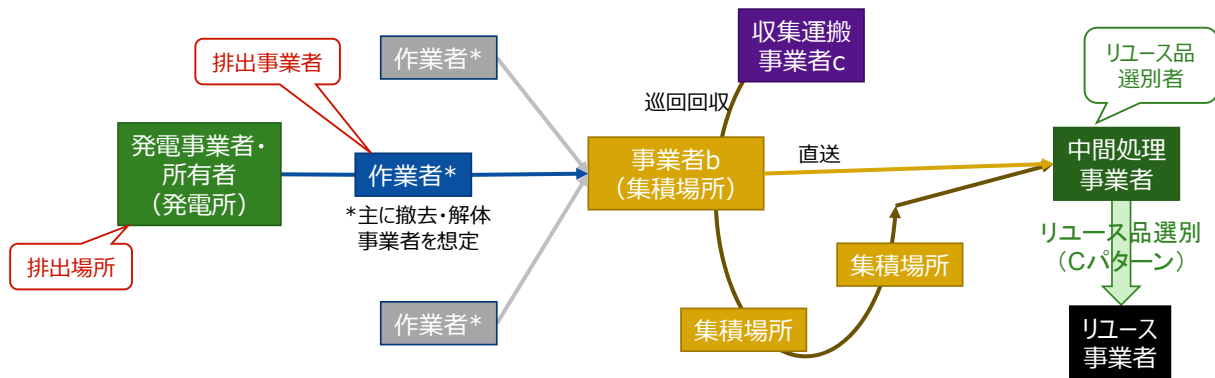


図 3.4-7 リユースモデル（撤去対応①（リユースパターン C））

表 3.4-7 リユースモデル（撤去対応①（リユースパターン C））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者 (発電所)	(なし)	保管基準	—
作業者*	(なし)	委託基準	—
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	産業廃棄物処分業 (中間処理業)
リユース事業者	—	—	古物商

*主に撤去・解体事業者を想定

(2) 撤去対応②

<発電所での選別（リユースパターン A）>

このリユースモデルは図 3.4-2 に示した物流において、撤去・解体事業者等の作業者が発電所で太陽電池モジュールを取り外した段階（A パターン）でリユース品を選別してリユース事業者に引き渡すもので、図 3.4-8 に示すとおりである。

作業者が取り外した太陽電池モジュールをリユース品とリユースできないものに選別した段階で、後者が廃棄物として扱われる。選別を実施する際の廃棄物処理法上の許認可等は必要ない。ただし、リユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-8 のようになる。

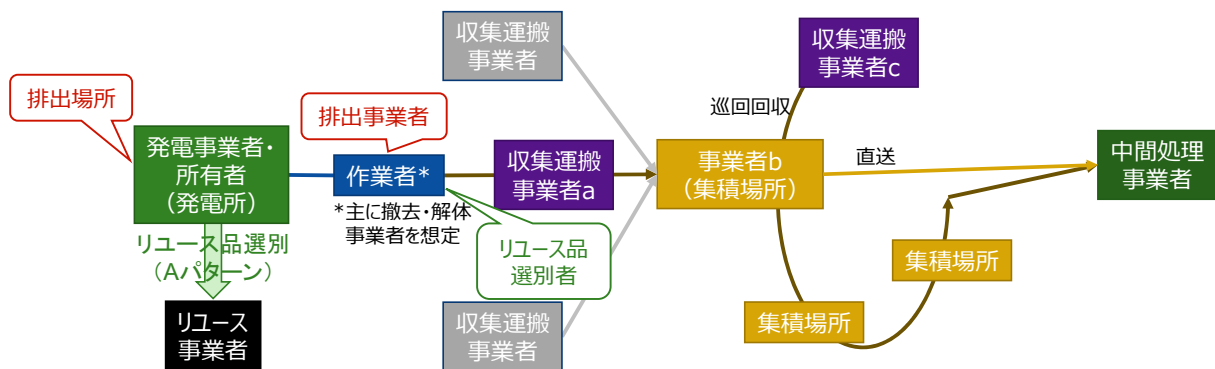


図 3.4-8 リユースモデル（撤去対応②（リユースパターン A））

表 3.4-8 リユースモデル（撤去対応②（リユースパターン A））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者（発電所）	（なし）	（なし）	（なし）
作業者*	（なし）	委託基準	—
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）	収集運搬基準	—
事業者 b（集積場所）	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業（中間処理業）	処分基準（中間処理）	—
リユース事業者	—	—	古物商

* 主に撤去・解体事業者を想定

<集積場所での選別（リユースパターン B）>

このリユースモデルは図 3.4-2 に示した物流において、作業者が収集運搬事業者に委託して使用済み太陽電池モジュールを集積場所に運搬し、集積場所を設置している収集運搬事業者がリユース品を選別する（B パターン）もので、図 3.4-9 に示すとおりである。

集積場所に運び込まれる太陽電池モジュールは既に廃棄物として扱われており、ここでのリユース品選別は廃棄物処理法に沿って実施されなければならない。廃棄物処理法上は積替え保管における有価物拾集に該当すると考えられるため、当該収集運搬事業者は産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）の許可が必要である。また、リユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-9 のようになる。

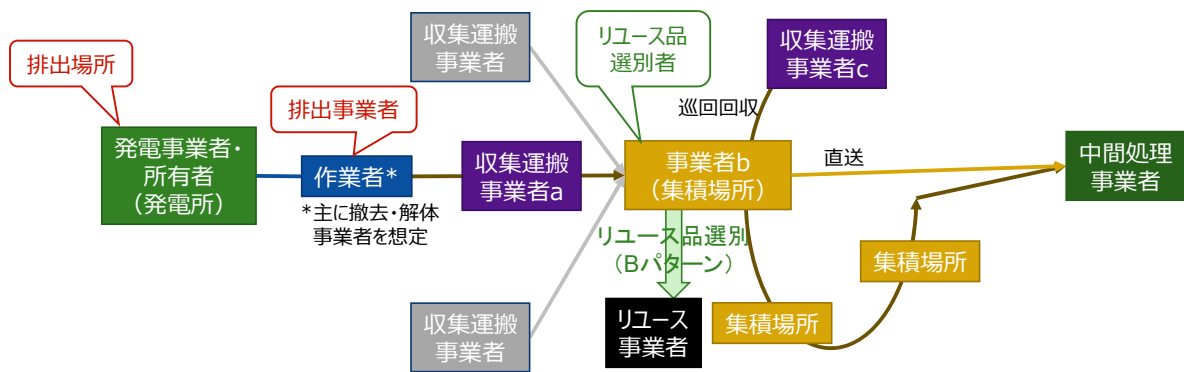


図 3.4-9 リユースモデル（撤去対応②（リユースパターンB））

表 3.4-9 リユースモデル（撤去対応②（リユースパターンB））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者（発電所）	（なし）	保管基準	—
作業者*	（なし）	委託基準	—
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）	収集運搬基準	—
事業者 b（集積場所）	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）	収集運搬基準	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業（中間処理業）	処分基準（中間処理）	—
リユース事業者	—	—	古物商

* 主に撤去・解体事業者を想定

< 中間処理場での選別（リユースパターン C） >

このリユースモデルは図 3.4-2 に示した物流において、収集運搬事業者が集積場所の太陽電池モジュールを巡回回収して中間処理場に輸送した後、中間処理事業者がリユース品を選別する（C パターン）もので、図 3.4-10 に示すとおりである。

リユース品の選別は中間処理の一部として実施されるものと考えられる。そのため、ここでリユース品を選別するためには産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要である。また、選別したリユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-10 のようになる。

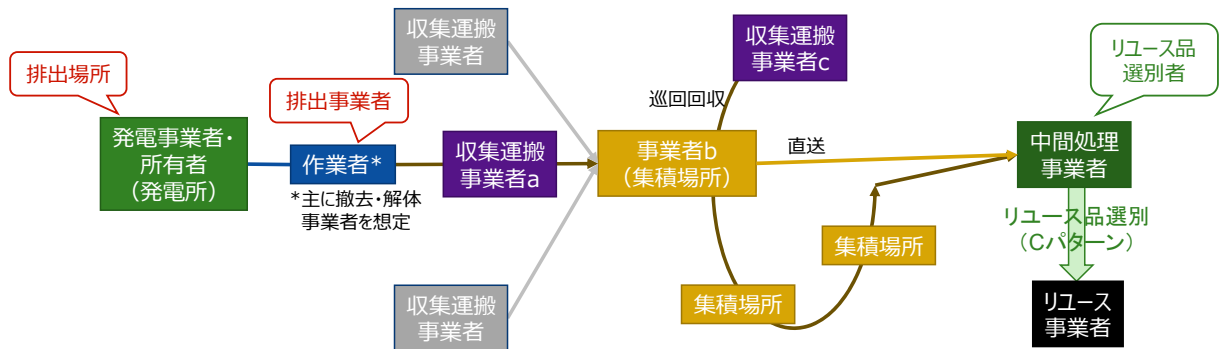


図 3.4-10 リユースモデル（撤去対応②）（リユースパターン C）

表 3.4-10 リユースモデル（撤去対応②）（リユースパターン C）の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者 (発電所)	(なし)	保管基準	—
作業者*	(なし)	委託基準	—
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	産業廃棄物処分業 (中間処理業)
リユース事業者	—	—	古物商

* 主に撤去・解体事業者を想定

(3) 撤去対応③

<発電所での選別（リユースパターン A）>

このリユースモデルは図 3.4-3 に示した物流において、発電事業者・所有者が自ら、あるいは外部の事業者へ委託して太陽電池モジュールを取り外した段階（A パターン）で、発電事業者・所有者がリユース品を選別してリユース事業者へ引き渡すもので、図 3.4-11 に示すとおりである。

発電事業者・所有者、あるいは委託を受けた事業者が、取り外した太陽電池モジュールをリユース品とリユースできないものに選別した段階で、後者が廃棄物として扱われる。選別を実施する際の廃棄物処理法上の許認可等は必要ない。ただし、リユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-11 のようになる。

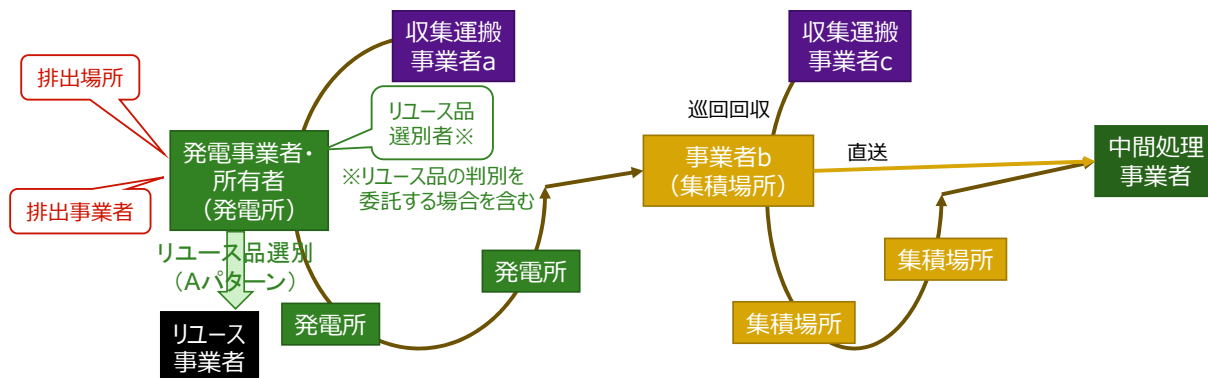


図 3.4-11 リユースモデル（撤去対応③（リユースパターン A））

表 3.4-11 リユースモデル（撤去対応③（リユースパターン A））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者* (発電所)	(なし)	保管基準、委託基準	(なし)
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	—
リユース事業者	—	—	古物商

* リユース品の判別を委託する場合を含む

<集積場所での選別（リユースパターン B）>

このリユースモデルは図 3.4-3 に示した物流において、収集運搬事業者が発電所に保管されている使用済み太陽電池モジュールを巡回回収して集積場所に運搬し、集積場所を設置している収集運搬事業者がリユース品を選別する（B パターン）もので、図 3.4-12 に示すとおりである。

集積場所に運び込まれる太陽電池モジュールは既に廃棄物として扱われており、ここでのリユース品選別は廃棄物処理法に沿って実施されなければならない。廃棄物処理法上は積替え保管における有価物拾集に該当すると考えられるため、当該収集運搬事業者は産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）の許可が必要である。また、リユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-12 のようになる。

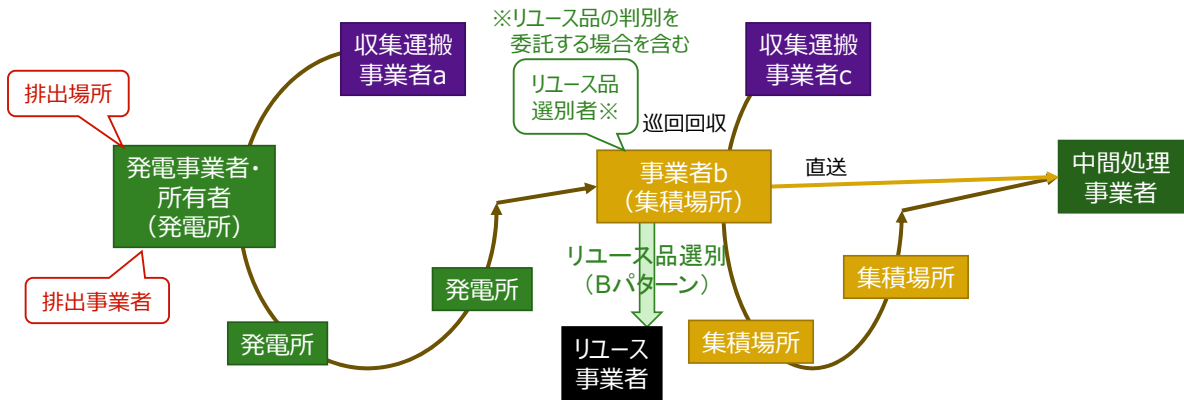


図 3.4-12 リユースモデル（撤去対応③（リユースパターン B））

表 3.4-12 リユースモデル（撤去対応③（リユースパターン B））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者* (発電所)	(なし)	保管基準、委託基準	(なし)
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	—
リユース事業者	—	—	古物商

* リユース品の判別を委託する場合を含む

< 中間処理場での選別（リユースパターン C） >

このリユースモデルは図 3.4-3 に示した物流において、収集運搬事業者が集積場所の太陽電池モジュールを巡回回収して中間処理場に輸送した後、中間処理事業者がリユース品を選別する（C パターン）もので図 3.4-13 に示すとおりである。

リユース品の選別は中間処理の一部として実施されるものと考えられる。そのため、ここでリユース品を選別するためには産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要である。また、選別したリユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-13 のようになる。

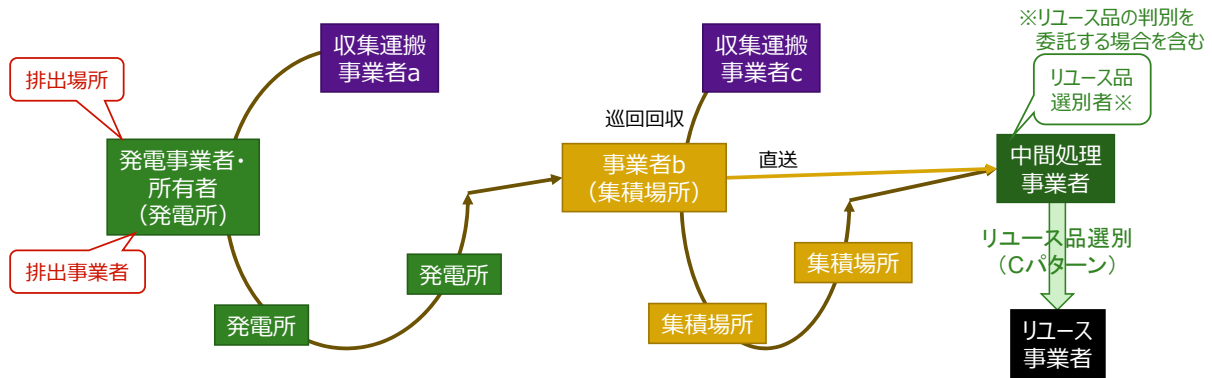


図 3.4-13 リユースモデル（撤去対応③（リユースパターン C））

表 3.4-13 リユースモデル（撤去対応③（リユースパターン C））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者* (発電所)	(なし)	保管基準、委託基準	—
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
事業者 b (集積場所)	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含む)	収集運搬基準	—
収集運搬事業者 c	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	産業廃棄物処分業 (中間処理業)
リユース事業者	—	—	古物商

* リユース品の判別を委託する場合を含む

(4) 撤去対応④

<発電所での選別（リユースパターン A）>

このリユースモデルは図 3.4-4 に示した物流において、発電事業者・所有者が自ら、あるいは外部の事業者へ委託して太陽電池モジュールを取り外した段階（A パターン）で、発電事業者・所有者がリユース品を選別してリユース事業者へ引き渡すもので、図 3.4-14 に示すとおりである。

発電事業者・所有者、あるいは委託を受けた事業者が、取り外した太陽電池モジュールをリユース品とリユースできないものを選別した段階で、後者が廃棄物として扱われる。選別を実施するにあたっての廃棄物処理法上の許認可等は必要ない。ただし、リユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-14 のようになる。

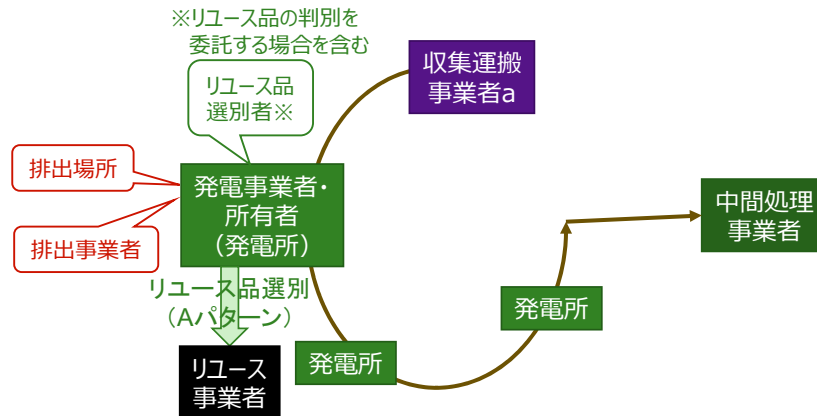


図 3.4-14 リユースモデル（撤去対応④（リユースパターン A））

表 3.4-14 リユースモデル（撤去対応④（リユースパターン A））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者* (発電所)	(なし)	保管基準、委託基準	(なし)
回収運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業 (積替え保管を含まない)	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業 (中間処理業)	処分基準 (中間処理)	—
リユース事業者	—	—	古物商

* リユース品の判別を委託する場合を含む

< 中間処理場での選別（リユースパターン C） >

このリユースモデルは図 3.4-4 に示した物流において、回収運搬事業者が発電所に保管されていた使用済み太陽電池モジュールを巡回回収して中間処理場に輸送した後、中間処理事業者がリユース品を選別する（C パターン）もので、図 3.4-15 に示すとおりである。

リユース品の選別は中間処理の一部として実施されるものと考えられる。そのため、ここでリユース品を選別するためには産業廃棄物処分業（中間処理）の許可が必要である。また、選別したリユース品を引き渡すリユース事業者は古物商の許可が必要である。これらをまとめると表 3.4-15 のようになる。

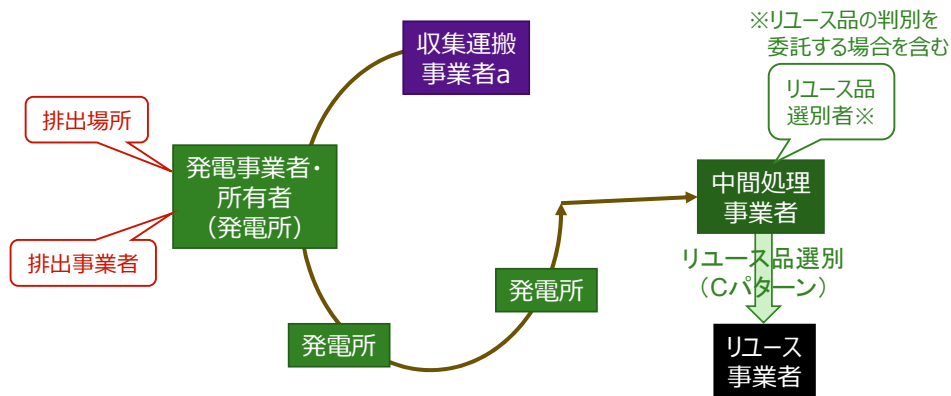


図 3.4-15 リユースモデル（撤去対応④（リユースパターン C））

表 3.4-15 リユースモデル（撤去対応④（リユースパターン C））の実装に必要な許認可等

主体	廃掃法に基づき必要な許認可等	適用される廃棄物処理基準	リユース品選別等に必要な許認可等
発電事業者・所有者*（発電所）	（なし）	保管基準、委託基準	—
収集運搬事業者 a	産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含まない）	収集運搬基準	—
中間処理事業者	産業廃棄物処分業（中間処理業）	処分基準（中間処理）	産業廃棄物処分業（中間処理業）
リユース事業者	—	—	古物商

* リユース品の判別を委託する場合を含む

(5) リユースに関わる許認可等についての留意事項等

以上のリユースモデルにおいて、使用済み太陽電池モジュールからリユース品の選別を実装するために適用される廃棄物処理法上の概念として、「有価物拾集」と「中間処理」がある。

「有価物拾集」は、積替え保管の場所有価物を拾集することで、これを実施する事業者は、「産業廃棄物収集運搬業（積替え保管を含む）」の許可を有する収集運搬事業者でなければならない⁸⁾。なお、排出場所から処理施設に直接運搬する場合、すなわち、積替え保管の場所を経由しない場合には適用されない。

また、有価物を拾集した際には、マニフェストで拾集した有価物量を報告する必要がある⁹⁾。廃棄物処理の委託契約においては、有価物の拾集をする旨を記載することの廃棄物処理法上の義務はない⁸⁾が、委託元事業者とのトラブル防止の観点からは委託契約書に有価物の拾集を認める旨を定めておくことが望ましい。

事業者へのヒアリングによると、「有価物の拾集を認める品目や場所などの判断が都道府県によって異なる可能性がある」とのことであったことから、使用済み太陽電池モジュールからリユース品を拾集する場合は、事前に所轄の都道府県に相談することが望ましい。

次に、「中間処理」においても、「選別は破碎に伴うもの」として、あえて破碎機の設置を指導

する都道府県等がある¹⁰⁾。また、事業者へのヒアリングにおいても「リユース品の選別のための検査を中間処理の一部として認めるか否かが都道府県等によって判断が分かれている」とのことである。したがって、「中間処理」におけるリユース品の選別についても事前に所轄の都道府県に相談することが望ましい。

以下、参考情報になるが、規制改革会議の「規制改革推進のための第2次答申」では「中間処理前における廃棄物の選別」に関し、環境省は「処理業者が収集運搬、処理の段階で選別した有価物については処理業者の意思で売却することが可能」としている一方で、「廃棄物処理業者がかかる処理が現行法で可能であると認識しておらず躊躇する事例もあるため、適正かつ効率的な廃棄物処理及び再生利用を促す観点から、可能であることを周知すべきである」としている¹¹⁾。

【参考】規制改革推進のための第2次答申（平成19年12月25日）より抜粋

① 廃棄物・リサイクル分野

ア 中間処理前における廃棄物の選別【平成20年度措置】

廃棄物処理法においては、廃棄物の選別を行う行為は廃棄物の処理に当たることから、廃棄物処理業許可を取得した上で行う必要がある。その際、排出事業者とあらかじめ委託契約において合意していれば、処理業者が収集運搬、処理の段階で選別した有価物については処理業者の意思で売却することが可能であり、無価物については、排出事業者が性状ごとに指定した最適な処理業者で処理することが可能である。

しかしながら現状では、廃棄物処理業者がかかる処理が現行法で可能であると認識しておらず躊躇する事例もあるため、適正かつ効率的な廃棄物処理及び再生利用を促す観点から、可能であることを周知すべきである。

3.5 使用済み太陽電池モジュールの収集、運搬の効率化への課題

本章では、使用済み太陽電池モジュールの排出、収集・運搬、中間処理等の現状を踏まえ、適正処理の効率化、円滑化に向けた収集運搬モデルを検討した。

使用済み太陽電池モジュール適正処理の円滑化に向けては、それに資すると考えられる収集運搬モデルを実フィールドで実証し、妥当性の検証、実現・構築に向けた課題を明確にすることも必要と考えられる。

ここでは、以上の結果に基づき、使用済み太陽電池モジュールの収集、運搬の効率化に向けた課題を整理する。

3.5.1 モデルとしての検討課題

本章で検討した収集運搬モデルを実装・運用するために解決、検討すべき課題等を以下に示す。

(1) モデルを成立させるために必要な情報の流れ、また、それを担保する仕組みの検討

モデルを成立させるために必要な情報として、太陽電池モジュールの種類や含まれる物質の情報が考えられる。実際に太陽電池モジュールを受け入れている中間処理事業者においても、処理設備において、モジュール種類（シリコン系、化合物系）によっては処理できずに受け入れられない場合がある。また、中間処理事業者によっては太陽電池モジュールに含まれる物質の種類や量による受け入れ基準を設けているところもある。したがって、これらの情報をどのようにして取得し、発電事業者・所有者から中間処理事業者まで引き継いでいくかは今後の検討課題である。また、使用済み太陽電池モジュールをリユースする場合は、その安全性や発電性能の情報を取得して提供していく必要があり、その手法も課題として残っている。

また、仕組みの面ではマニフェストと委託契約が課題となる。モデルを成立させるために複数の事業者が関わる可能性がある。そのような状態でもマニフェストを効率的、かつ正確に処理しなければならず、そのための仕組みを検討する必要がある。また、委託契約も複数の事業者と締結する必要がありその内容や締結手順の検討も課題である。

(2) 県境を跨いだ広域移動に関わる検討

使用済み太陽電池モジュールのリサイクルを促進するためには、そのリサイクルが可能な中間処理事業者に委託することが望ましい。しかし、太陽光発電協会が公表しているリサイクル可能な中間処理事業者は現在 27 社¹³⁾である。太陽電池モジュールのリサイクルを実施している、ここに掲載されていない中間処理事業者も存在するがその数は多くないと推測される。したがって、現状において太陽電池モジュールをリサイクルするためには県境を跨いだ、いわゆる広域移動が避けられない。また、県境を跨ぐことによって輸送距離が短く効率的な事例が出てくると思われる。しかし、現状では、広域移動に関わる手続きに要する労力は大きく、太陽電池モジュールのリサイクルを促進するためには、県境を跨いだ広域移動を効率的に実現するための検討が必要である。

(3) モデルを運用するためのコストの検討

モデルを運用するためのコストのうち、トラック輸送に関わるコストは国土交通省が告示している標準的な運賃¹⁴⁾などを参考に試算可能である。しかし、モデルの運用にあたっては、複数の

事業者が関わる可能性がある。その場合、マニフェストも複数必要となり事務手続きが増えることが想定され、また、集積場所を設置する必要もあることから、それらに関わるコストを検討する必要がある。特に、集積場所には固定費が発生するため、取扱量や頻度についての損益分岐点を確認する必要がある。

3.5.2 モデルを実証するにあたって検討等の必要が生じる可能性のある事項

本章で検討した収集運搬モデルは、使用済み太陽電池モジュールが定常的に大量に発生し、使用后処理に関連する多くの事業者が参画できる状況を想定したもので、現状との差異・乖離等に起因する制約が生じる可能性がある。これらを把握し、その解決策を検討するためには、実フィールドにおいて実証を行うことが必須である。

その一助となるべく、収集運搬モデルを実証するにあたって検討等の必要が生じる可能性のある事項を以下に示す。

(1) 積替え保管、事業場外保管の上限

排出事業者による保管（建設廃棄物の事業場外保管）や、集積場所での保管（収集運搬事業者による積替え保管）の場合、保管の上限が「1日あたりの平均的な搬出量の7日分」となる。一方で、使用済み太陽電池モジュールの発生が散発的な現状においては、この上限の量がモデルを実証する上で十分ではない可能性がある。その場合、実証をおこなうためには十分な量の使用済み太陽電池モジュールを保管するための検討が必要になる。

(2) 集積場所における使用済み太陽電池モジュール保管可能量の確保等

集積場所における集積は廃棄物処理法上の積替え保管となり、太陽電池モジュールを保管できる期間が限られる。その限られた期間内に、輸送効率を実証できる使用済み太陽電池モジュールの保管量を確保する方策を検討する必要がある。

また、実証する段階で積替え保管の許可を取得している収集運搬事業者の参画が必要になるため、そのような事業者を含む体制づくりが必要である。

(3) 所轄する都道府県等への確認と調整

実証においても廃棄物処理法等を遵守する必要があるが、都道府県等によって業の許可や基準に関する見解が異なる場合があり、事前の確認や調整をすることが望ましい。また、今後の適正処理・リサイクルの促進のために関連事業者の活性化を促すための地域間の基準の整合や情報共有などがなされることが望ましい。

<第3章 参考文献>

- 1) 資源エネルギー庁: 「固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト」(アクセス日:2022年2月1日)
- 2) 環境省: 「令和2年度脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装化に向けた実証事業」の公募結果について (<https://www.env.go.jp/press/108149.html>)
- 3) 公益財団法人福岡県リサイクル総合研究事業化センター: 一般社団法人太陽光発電協会適正処理・リサイクル研究会 2020年度第5回会合資料(2020年11月17日)
- 4) 公益財団法人福岡県リサイクル総合研究事業化センター: PV デジタルプラットフォームホームページ(2022年2月24日)
- 5) 村上進亮: 廃太陽光発電システムの発生量推計及びフロー解析, 廃棄物資源循環学会企画セミナー太陽光発電システムの廃棄・リサイクル・リユースの動向
- 6) 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(第二版)(平成30年)
- 7) 埼玉県: 私信(2022年2月24日)
- 8) 一般社団法人東京都産業廃棄物協会: マニフェストFAQ
- 9) 公益財団法人日本産業廃棄物処理振興センターホームページ(アクセス日:2022年1月21日)
- 10) 公益財団法人全国産業廃棄物連合会: 廃棄物の処理及び清掃に関する法律等の見直しに関する意見
- 11) 規制改革会議: 規制改革推進のための第2次答申(平成19年12月25日)
- 12) 国土交通省: 業種区分、建設工事の内容、例示、区分の考え方(H29.11.10改正)
- 13) 一般社団法人太陽光発電協会: 太陽電池モジュールの適正処理(リサイクル)が可能な産業廃棄物中間処理業者名一覧(2022年2月時点)
- 14) 国土交通省: 改正貨物自動車運送事業法に基づく標準的な運賃について

V. あとがき

本調査は、太陽電池モジュールの適正処理を実証できる企画を提案することを目的とし、国内における使用済み太陽電池モジュールの排出、収集運搬および中間処理等に関する現状を把握するとともに、海外主要国における太陽電池モジュールの使用後処理に関する情報を収集し、それらに基づき、使用済み太陽電池モジュールの効率的な収集運搬に向けた複数のモデルを抽出し、実装・運用するために解決すべき課題、実フィールドにおける実証に向けた課題の検討を行った。

先行する欧州では、WEEE 指令のもと、使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルが進められているが、市場で発生しているはずの廃棄物の回収が十分ではないという課題などが指摘されており、適正処理推進に向けた取り組み強化に関する議論が行われている。米国では、一部の州において、使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルを求める法案などが成立し、太陽電池モジュールの適正処理への取り組みが徐々に進み始めており、韓国では、太陽電池モジュールが EPR 対象製品に加えられることとなり、2023 年 1 月より効力を有することとなる。中国やオーストラリアでは、現時点では具体的な法整備等はなされていないが、将来に向けた技術開発や仕組みづくりのための議論が実施されている。

わが国においても、NEDO による技術開発が実施されているほか、リサイクルをはじめとする使用後の適正処理に対する政策的な位置づけ等に関する議論が継続的に実施されており、2022 年 7 月には、改正再エネ特措法による、太陽光発電の廃棄等費用積み立て制度の運用が開始される。

2050 年カーボンニュートラルの実現に向け、太陽光発電導入が飛躍的に進展していくことが期待される中、太陽光発電の健全な普及拡大には使用後の適正処理の手段や仕組みを確保することは不可欠である。そして、優れた処理技術を活用し、社会システムとして運用していくためには、使用済み太陽電池モジュールの効率的な収集運搬が重要である。収集運搬システムを構築するためには数量、地域（空間）、頻度（時間）など様々な要因を考慮する必要があり、普遍的な解を導くことは困難ではあるが、本調査の成果が、円滑な太陽電池モジュール適正処理に向けた今後の取組の一助となると幸いである。

最後に、本調査を実施するにあたり、多大なご指導・ご支援をいただいた国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽電池モジュールの適正処理に関する検討委員会委員をはじめとする関係各位に対し、ここに深く謝意を表す次第である。

本報告書の内容を公表する際はあらかじめ、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部の許可を受けてください。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番
ミューザ川崎セントラルタワー15階
TEL 044-520-5277 (新エネルギー部)

契約管理番号：20000822-0

契約管理番号：20000824-0