

令和4年度環境省委託事業

令和4年度使用済太陽電池モジュールの
リサイクル等の推進に係る調査業務

—報告書—

2023年3月

NRI 株式会社 野村総合研究所

目次

概要（サマリー）

Summary

第1章 業務概要	1
1.1 業務の目的.....	1
1.2 業務の概要.....	1
第2章 太陽電池モジュールの排出実態調査等	3
2.1 太陽電池モジュールの排出実態調査.....	3
2.2 10kW 未満の太陽電池モジュールを含む撤去・解体に係る実態調査.....	21
2.3 絶縁不良に係る事故等発生事案・災害発生における排出事例の調査.....	28
2.4 リユース診断の状況調査.....	45
2.5 リユース品の海外輸出状況の把握.....	52
2.6 リサイクルに関する新規動向調査.....	54
2.7 最終処分状況調査.....	60
第3章 国内リユースの普及促進に関する調査・検討	72
3.1 国内リユース品に関する調査.....	72
3.2 リユース品に求められる条件調査.....	77
3.3 設置リユース品の不具合等の実態調査.....	80
3.4 リユース普及促進に関する課題に対する解決策（案）の検証.....	81
第4章 海外におけるリユースの実態調査	84
4.1 東南アジアにおける不適正利用・処理に係る実態調査.....	84
4.2 リユース推進の実態についてのヒアリング.....	87

第5章 国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討	102
5.1 再生製品の技術的特徴及び普及促進における課題の整理.....	102
5.2 リサイクル手法の評価.....	111
5.3 2050年カーボンニュートラルの実現がリサイクルに与える影響調査.....	133
5.4 「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）」 英訳版の作成.....	138
第6章 太陽光発電設備のリサイクルを含む適正処理の推進に向けた ロードマップのフォローアップ	139
6.1 リユース・リサイクル等の推進に係る論点整理.....	139
6.2 制度的対応を見据えた関連動向調査.....	145
6.3 平成26年度ロードマップのフォローアップ.....	152
第7章 太陽電池モジュールの排出量に関する将来推計の見直し 及び「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）」 の改訂に係る検討	163
7.1 排出量に関する将来推計の見直し.....	163
7.2 各種ガイドラインの改訂に係る検討.....	168
第8章 太陽電池モジュールのリユース・リサイクル促進に向けた 実証要素の方針検討	172

概要（サマリー）

令和4年度使用済太陽電池モジュールのリサイクル等の推進に係る調査業務

再生可能エネルギー発電分野が世界的に拡大を続ける中、わが国においても低炭素社会の形成や国産エネルギー資源の拡大等を目的に導入され、特に2012年7月のFIT制度導入以降は太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入が拡大してきた。この10年間で大量導入されてきた太陽電池モジュールのうち、既に一部は災害や故障等によって廃棄されはじめており、今後その排出量は加速度的に増加すると想定される。

2022年に開催された再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会において、「2030年代後半に想定される使用済太陽光パネル発生量のピークに合わせて計画的に対応できるよう、事業廃止後の使用済太陽光パネルの安全な引渡し・リサイクルを促進・円滑化するための制度的支援や必要に応じて義務的リサイクル制度の活用についての検討」が、制度的な対応を検討して措置するアクションの1つとして提言される等、使用済太陽電池モジュールのリユース・リサイクル等に向けて、実態把握と詳細な検討が求められている。

本業務では、リユース・リサイクルといった資源循環の考え方に沿いつつ、将来にわたって安定的に使用済太陽電池モジュールを処理するため、排出実態やリサイクルに関する新規動向の把握を進めつつ、国内リユース・リサイクルの普及促進に関する調査・検討を行った。

1. 太陽電池モジュールの排出実態調査等

太陽電池モジュールの基礎的動向を把握することを目的として、排出実態調査、地域ごとの処理能力に関する調査、最終処分場の受入状況調査、マテリアルフローの作成を行った。

表-1 太陽電池モジュールの排出要因別回収量推移(リユース・リサイクル・熱回収)

排出要因		単位*	合計値			
			2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
① 新古品	千枚		47.4	42.5	1.2	3.5
	t		941.1	833.8	24.0	70.6
② 故障、 廃棄品	1. 不良品	千枚	21.0	22.3	47.7	36.1
		t	419.2	433.8	955.5	728.2
	2. 災害等に よるもの	千枚	226.9	238.8	276.0	22.5
		t	4,529.5	4,746.9	5,593.1	450.0
	3. 目的を終了 したもの	千枚	55.3	62.0	9.7	12.2
		t	1,090.2	1,195.8	191.1	242.0
	4. その他、不明	千枚	34.1	9.3	9.2	38.5
		t	682.6	185.0	180.1	765.7
合計 (①+②)		千枚	384.7	374.8	343.4	112.9
		t	7,662.5	7,395.4	6,943.8	2,256.5

※ アンケート調査への回答が枚数又は重量のみであった場合には、太陽電池モジュール1枚当たり20kgを換算係数として、枚数や重量を推計した。

2. 国内リユースの普及促進に関する調査・検討

令和2年度調査で整理されたリユース普及拡大方策に基づき、リユース太陽電池モジュールの活用事例や経済的合理性を目的とした「リユース品導入事例集」を作成した。またリユースを導入している事業者へのヒアリングを通じて、リユース品に求められる条件を整理した。

3. 海外におけるリユースの実態調査

台湾、タイ、インドのリユース促進に係る現状把握、また使用済太陽電池モジュールの排出・処理実態について、調査会社を通じてヒアリング調査を実施した。

4. 国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討

太陽電池モジュールの処理技術及び再生製品の技術的特徴や市場ニーズ等を調査し、国内リサイクルの普及促進に関する課題を整理した。また「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）」について、日本語を解さない関係者への周知、海外の関係者への情報発信を目的に、英訳版を作成した。

5. リサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップのフォローアップ

使用済太陽電池モジュールのリユース・リサイクル等の推進に向けて、ステークホルダー間で議論や方針検討を進めなければならない論点を整理した。また平成26年度にとりまとめられたリサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップについて、実態や最新動向を踏まえたフォローアップ、及び検討課題の見直しを行った。

6. その他

使用済太陽電池モジュール排出量推計の見直しに向けた要素・要因の整理や、「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）」及び「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」改訂に向けた方向性の検討を実施した。

以上

Summary

Study Concerning the Promotion of Recycling, etc. of Spent Solar Cell Modules in FY 2022

While the renewable energy power generation sector continues to expand globally, its introduction in Japan has been aimed at creating a low-carbon society and expanding domestic energy resources. In particular, since the introduction of the feed-in tariff system in July 2012, the introduction of solar power generation systems has expanded. Of the solar cell modules that have been introduced in large numbers over the last ten years, some have already been disposed of before the end of their lifecycle due to natural disasters, breakdowns, etc., and their emissions are expected to increase at an accelerated pace in the future.

At the 2022 Study Group on the Introduction and Management of Renewable Energy Generation Facilities, “a system to promote and facilitate the safe handover and recycling of spent solar panels after business discontinuation, and the use of a mandatory recycling system if necessary, in order to systematically respond to the peak in used solar panel generation expected in the late 2030s” has been proposed as one of the actions to consider and take measures for institutional responses, etc. Therefore, it is necessary to understand the actual situation and conduct detailed studies on the reuse and recycling of spent solar cell modules.

The present work examines matters relating to the dissemination and promotion of domestic reuse and recycling, including the development of reuse criteria, a fact-finding study on disposal, etc. and other relevant subjects, with a view to processing spent solar cell modules in a stable manner for many years from the viewpoint of the effective utilization of resources, avoidance of a heavy burden on final disposal sites and appropriate treatment of harmful substances.

1. Fact-Finding Study on the Disposal of Solar Cell Modules and Other Activities

A study on the situation of disposal, study on the disposal capacity by locality, study on the situation of acceptance at final disposal sites and preparation of a material flow diagram were conducted for the purpose of understanding the basic trends concerning solar cell modules.

Table-1 Annual Volume of Recycled Solar Cell Modules by Cause of Disposal
(Reuse, Recycling and Waste Heat Recovery Total)

Cause of Disposal		Unit*	Total			
			FY 2018	FY 2019	FY 2020	FY 2021
1. New Old Stock		'000	47.4	42.5	1.2	3.5
		t	941.1	833.8	24.0	70.6
2. Breakdown / Waste	-1 Defective Product	'000	21.0	22.3	47.7	36.1
		t	419.2	433.8	955.5	728.2
	-2 Damaged by Disaster, etc.	'000	226.9	238.8	276.0	22.5
		t	4,529.5	4,746.9	5,593.1	450.0
	-3 Completion of the Purpose	'000	55.3	62.0	9.7	12.2
		t	1,090.2	1,195.8	191.1	242.0
	-4 Other / Unknown	'000	34.1	9.3	9.2	38.5
		t	682.6	185.0	180.1	765.7
Total (1 + 2)		'000	384.7	374.8	343.4	112.9
		t	7,662.5	7,395.4	6,943.8	2,265.5

* When the reply only stated a number of sheets or weight, one solar cell module was considered to be 20 kg in weight.

2. Study and Survey Related to the Dissemination and Promotion of Domestic Reuse in Japan

Based on the measures for promoting the dissemination and increase of reuse that were organized in the FY 2020 study, the current situation and state of response were studied for the purpose of utilizing reuse solar modules and examining their economic rationality. In addition, through interviews with businesses that have introduced reuse, the conditions required for reuse products were organized.

3. Fact-Finding Study on Reuse Overseas

An interview survey was conducted through a research firm on to understand the current situation of reuse promotion, as well as the actual situation of disposal and processing of spent solar cell modules in Taiwan, Thailand and India.

4. Study and Survey Related to the Dissemination and Promotion of Recycling in Japan

A study was conducted on issues such as the technical characteristics of recycled products, processing technology of solar cell modules, market needs, etc., and organized the issues related to the promotion of domestic recycling. In addition, an English translation of the "Guidelines for the Promotion of Recycling, etc. of PV Power Generation Systems" was prepared for the purpose of disseminating information to those who do not understand Japanese and to overseas parties concerned.

5. Follow-Up of the Roadmap Towards the Promotion of Proper Disposal, Including Recycling

Issues that require discussion among stakeholders and policies to promote the reuse and recycling of used solar cell modules, were organized. In addition, follow-up work was conducted in relation to the roadmap for the promotion of proper disposal including recycling that was compiled in 2014, based on the actual situation and the latest trends, and issues for consideration were reviewed.

6. Other

Other activities include organizing the pending issues and relevant items for estimation of the future emission volume of spent solar cell modules, examining the preferable direction for revision of the "Guidelines for Promotion of Recycling of Photovoltaic Power Generation Equipment (2nd Edition)" and "Guidelines for Promoting Appropriate Reuse of Photovoltaic Panels".

第1章 業務概要

1.1 業務の目的

再生可能エネルギー発電分野が世界的に拡大を続ける中、わが国においても低炭素社会の形成や国産エネルギー資源の拡大等を目的に導入され、特に2012年7月のFIT制度導入以降は太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入が拡大してきた。この10年間で太陽光発電設備等が設置・運用されてきた中、安全面や防災面、景観や環境への影響、また将来の廃棄等に対する地域の懸念が高まってきている状況となっている。既に災害や故障等によって、導入された使用済太陽電池モジュールは一部で廃棄されはじめており、今後その排出量は加速度的に増加すると想定される。

そうした地域の懸念解消に向けて、関係省庁による「再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会」が2022年4月に開催され、同年10月には提言がとりまとめられた。提言では「2030年代後半に想定される使用済太陽光パネル発生量のピークに合わせて計画的に対応できるよう、事業廃止後の使用済太陽光パネルの安全な引渡し・リサイクルを促進・円滑化するための制度的支援や必要に応じて義務的リサイクル制度の活用についての検討」が、制度的な対応を検討して措置するアクションの1つとして掲げられており、使用済太陽電池モジュールのリユース・リサイクル等に向けて、実態把握と詳細な検討が求められているところである。

本業務では、リユース・リサイクルといった資源循環の考え方に沿いつつ、将来にわたって安定的に使用済太陽電池モジュールを処理するため、実態把握と更なる適正処理の推進に向けた検討を行った。まず使用済太陽電池モジュールの排出量、またリユース・リサイクル量といった定量データの把握と併せて、処理工程における詳細やステークホルダーが抱える懸念事項等の定性情報、また最新動向の確認を進めた。それら実態に基づき、リユース・リサイクル等の推進を見据えた検討を行い、それぞれ整理した結果を本報告書でとりまとめる。

1.2 業務の概要

本業務の全体概要は、表1.2-1に示すとおりである。

表 1.2-1 業務の全体概要

区 分	実施内容
1. 太陽電池モジュールの排出実態調査	太陽電池モジュールの基礎的動向を把握するため、排出実態や処理実態等を定量的に調査し、マテリアルフローの作成を行った。またリユース診断に係る状況調査ほか、海外輸出状況について事業者ヒアリング等を実施した。その他、リサイクル係る新規動向や絶縁不良に係る事故発生事案等について、文献調査・デスクトップ調査を実施し、その結果を整理した。
2. 国内リユースの普及促進に関する調査・検討	リユースに係るアンケート、及びヒアリング調査から、国内リユース・海外リユース別に求められる条件の把握を試みた。また更なる普及拡大に向け、認知度向上を目的にリユース品導入事例集を作成した。
3. 海外におけるリユースの実態調査	台湾、タイ、インドの公的機関や事業者ヒアリングを実施し、各国における太陽電池モジュールの導入、及び処理状況、またリユースに係る動向把握を試みた。
4. 国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討	太陽電池モジュール由来ガラスについて、再生製品の技術的特徴、及び普及促進に向けた課題整理等を行った。また海外関係者への情報発信を目的に「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）」の英訳を実施した。
5. 太陽光発電設備のリサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップのフォローアップ	今年度調査で明らかになった実態や動向、並びに「再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会」提言を踏まえ、リユース・リサイクル等の推進に係る論点整理を行った。また、リサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップのフォローアップも実施した。
6. 太陽電池モジュールの排出量に関する将来推計の見直し及びガイドラインの改訂に係る検討	排出量推計の見直しに向けて、将来的な導入量設定に係る論点、及び排出要因とその推計方針の整理を試みた。また環境省が発行する各種ガイドラインに対して、改訂に向けた方向性の検討を行った。
7. 太陽電池モジュールのリユース・リサイクル促進に向けた実証要素の方針検討	リユース促進を見据えた発電ポテンシャルの可視化に資する可能性探索、及び少量排出期における対応として他製品処理技術を活用する可能性探索を、方針検討した。

第2章 太陽電池モジュールの排出実態調査等

2.1 太陽電池モジュールの排出実態調査

排出された使用済太陽電池モジュールのうち、リユース・リサイクル量、及び適正処理フロー実態（技術を含む）を把握するため、太陽電池モジュールの受入を行う中間処理業者やリユース事業者を中心に、アンケート調査を実施した。

継続実施している調査であることを踏まえ、アンケート内容は令和3年度調査票を参考としつつも、実施目的を改めて整理した上で、一部項目の修正を行った（表2.1-1）。

表 2.1-1 廃棄実態調査に関する今年度実施方針

実施目的		今年度項目	令和3年度調査からの変更点・意図	設問
①	マテリアルフロー（処理～リユース・リサイクル・埋立）の把握	取扱量（直近4年・排出要因×リユース・リサイクル別）	—（変更なし）	2
		リサイクル品の搬入元・搬入量	—（変更なし）	3
		リサイクル品の搬出先・搬出量（最終処分行き含む）	✓ アルミ・ガラス（利用用途別）等の選択肢を設け、素材別マテリアルフロー作成に反映。	3
		リユース品の搬入元・搬入量	—（変更なし）	5
		リユース品の搬出先・搬出量	—（変更なし）	5
②	処理に至る前提・背景の把握	処理対応エリア・キャパシティ（処理施設別）	✓ 処理施設別に把握することで、地域偏在性や処理施設毎の能力の違いを把握。	1
③	処理手法や精度（分別度合い）の把握	処理方法（処理施設別）	✓ 処理施設別に把握することで、地域偏在性を確認。 ✓ また実態を踏まえて、単純処理を「単純破碎」、 「アルミとその他で分離」として定義変更	1
		リユース不可品の扱い	—（変更なし）	5
		売却後の不具合状況	—（変更なし）	5
④	適正処分に必要な諸情報取得状況の把握	リユース品の検査状況（引受前・引受後）	—（変更なし）	1
⑤	今後のリユース・リサイクルの課題・懸念等	リサイクルにおける課題	✓ 課題を「費用面」、「制度面」、「情報面」、「その他」別にカテゴライズして回答イメージを整理	4
		リユース市場拡大における課題	—（変更なし）	5
		国内・海外でのリユースニーズ差異	✓ やや質の劣るリユース品が輸入されている可能性を深掘。	5

2.1.1 アンケート調査対象の概要及び回答状況

今年度のアンケートは、令和3年度調査先である58社に新規17社追加した計75社を対象に行った。

今年度の調査概要は表2.1-2に示すとおりであり、アンケート項目は別途提示の調査票に基づいて行ったところ、回答辞退連絡含め50社から回答を得た。なお、一部設問について未回答の事業者も存在したため、設問ごとに回答数は異なる。

表 2.1-2 太陽電池モジュールの受入状況アンケートの概要

項目	詳細
実施方法	対象各社に対し、アンケート調査票の送付。
対象	<ul style="list-style-type: none"> ○中間処理を行っている事業者（57社） <ul style="list-style-type: none"> ・JPEA 発行リスト「適正処理(リサイクル)の可能な産業廃棄物中間処理業者」 ：33社 ・JPEA 発行リスト外の、令和3年度調査対象事業者 ：13社 ・その他の事業者 ：11社 ○中間処理及び最終処分を行っている事業者（18社） <ul style="list-style-type: none"> ・令和3年度のアンケート対象 ：18社（うち1社はJPEA 発行リストに掲載あり）
回答者数	<ul style="list-style-type: none"> ○中間処理を行っている事業者 34社/57社（59.6%）　うち、回答辞退が1社 ○中間処理及び最終処分を行っている事業者 16社/18社（88.9%）　うち、回答辞退が8社

※ JPEA とは、一般社団法人太陽光発電協会を指す。

2.1.2 アンケート集計結果

(1) 要因別排出量

各事業者によるアンケート回答に基づく、2018年度以降における太陽電池モジュールのリユース・リサイクル量推移は表 2.1-3～表 2.1-5 に示すとおりである。なお、令和3年度調査から回答者が増えたこと、又、令和3年度調査で回答した内容を更新した事業者が現れたことから、令和3年度調査結果と比べて、2018～2020年度の数量に一部変更が生じている。

表 2.1-3 太陽電池モジュールの排出要因別回収量推移（リユース）

排出要因		単位*	合計値			
			2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
① 新古品		千枚	47.4	42.1	0.4	2.7
		t	941.1	826.5	8.0	54.5
② 故障、 廃棄品	1. 不良品	千枚	0.0	0.0	0.0	0.0
		t	0.1	0.1	0.1	0.1
	2. 災害等によるもの	千枚	188.6	151.5	227.9	4.1
		t	3,768.8	3,002.8	4,555.7	82.7
	3. 目的を終了したもの	千枚	44.8	45.2	0.6	2.6
		t	881.1	859.0	11.0	52.6
	4. その他、不明	千枚	0.1	0.1	2.5	0.0
		t	2.0	2.8	46.1	0.0
合計（①+②）		千枚	280.9	239.0	231.3	9.5
		t	5,593.1	4,691.2	4,620.9	189.7

表 2.1-4 太陽電池モジュールの排出要因別回収量推移（リサイクル・熱回収）

排出要因		単位*	合計値			
			2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
① 新古品		千枚	0.0	0.4	0.8	0.8
		t	0.0	7.3	16.0	16.2
② 故障、 廃棄品	1. 不良品	千枚	21.0	22.3	47.4	36.1
		t	419.1	433.7	955.4	728.2
	2. 災害等によるもの	千枚	38.4	87.3	48.1	18.4
		t	760.7	1,744.1	1,037.5	367.3
	3. 目的を終了したもの	千枚	10.5	16.8	9.1	9.6
		t	209.0	336.8	180.1	189.4
	4. その他、不明	千枚	34.0	9.1	6.7	38.5
		t	680.6	182.2	134.0	765.7
合計（①+②）		千枚	103.9	135.9	112.1	103.4
		t	2,069.4	2,704.2	2,322.9	2,066.8

表 2.1-5 太陽電池モジュールの排出要因別回収量推移
(リユース・リサイクル・熱回収)

排出要因		単位*	合計値			
			2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
① 新古品		千枚	47.4	42.5	1.2	3.5
		t	941.1	833.8	24.0	70.6
② 故障、 廃棄品	1. 不良品	千枚	21.0	22.3	47.7	36.1
		t	419.2	433.8	955.5	728.2
	2. 災害等によるもの	千枚	226.9	238.8	276.0	22.5
		t	4,529.5	4,746.9	5,593.1	450.0
	3. 目的を終了したもの	千枚	55.3	62.0	9.7	12.2
		t	1,090.2	1,195.8	191.1	242.0
	4. その他、不明	千枚	34.1	9.3	9.2	38.5
		t	682.6	185.0	180.1	765.7
合計 (①+②)		千枚	384.7	374.8	343.4	112.9
		t	7,662.5	7,395.4	6,943.8	2,256.5

※ アンケート調査への回答が枚数又は重量のみであった場合には、太陽電池モジュール1枚当たり20kgを換算係数として、枚数や重量を推計した。

2021年度は、過年度と比較してリユース量が大きく減少したことが目立つ結果となった。過年度調査で回答が得られたリユース事業者のうち、今年度は回答が得られなかった事業者の存在も一因と考えられるが、リユース市場をめぐる直近の動向について、リユース事業者へのヒアリングを別途行ったところ、以下の要因が明らかとなった。

表 2.1-6 リユース量の変動要因

リユース量の変動要因 仮説（聞き取り内容含む）	
災害由来品の減少	<ul style="list-style-type: none"> 過去にリユースされている使用済太陽電池モジュールについて、その一定量は災害要因での排出由来であった。しかしながら、2021年度は、災害由来の発生が過年度に比較して少なくなっている。 また災害由来として発生している太陽電池モジュールの中でも、2021年度は雪害由来が比較的多く、リユースに適さない破損状態のモジュールが多く排出されていた。
小規模リユース事業者の台頭	<ul style="list-style-type: none"> 本調査ではJPEA発行リスト記載事業者を中心に、比較的大規模な事業者を調査対象としていたが、リユース候補となる使用済太陽電池モジュールの買付に当たっては、小規模（個人含む）のリユース事業者が購入を検討する事例もあることが確認された。 結果として、購入価格等を背景に、本調査で対象としているリユース事業者の購入量が減り、調査内で捕捉しきれっていない使用済太陽電池モジュールのリユースが発生している可能性が考えられる。

(2) 太陽電池モジュールの受入・処理に係る状況

1) 太陽電池モジュールの処理施設・手法

太陽電池モジュールの中間処理が可能な施設を対象に、施設の所在（立地地域）と処理方法・技術を確認した。なお、未回答の事業者や、複数施設を有する事業者が存在することから、処理施設数とアンケート回答数は一致しない。

本調査の結果として、東北地方に立地する施設が最も多く、次点が関東地方であることが分かった。太陽電池モジュールを処理できる施設は全国に存在しているが、処理可能量や処理方法は、地域によって差があることが確認された。

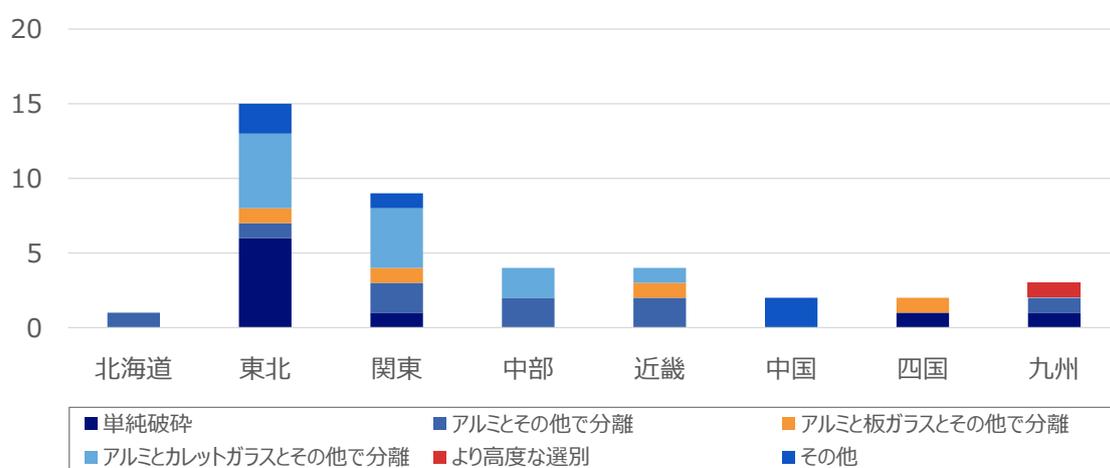
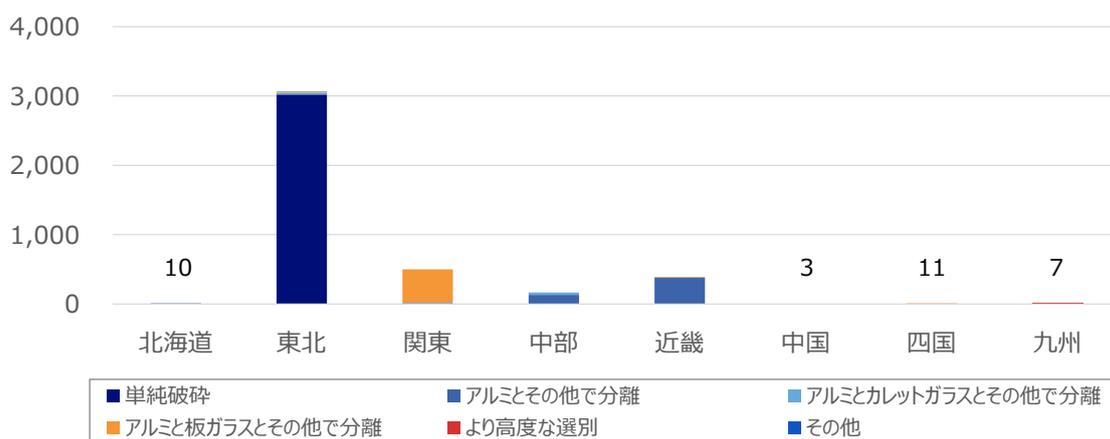


図 2.1-1 太陽電池モジュール処理施設の地域別・方法別内訳 (施設数、N=40)



※ 施設を有する事業者のうち、一部、未回答の事業者が存在していた。

図 2.1-2 太陽電池モジュール処理施設の地域別・方法別内訳 (処理可能量 t/日、N=40)

2) ガイドラインの認知状況

回答事業者の 70%強が、「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）」の存在を認知しており、太陽電池モジュールの処理に当たり参照していることが分かった。

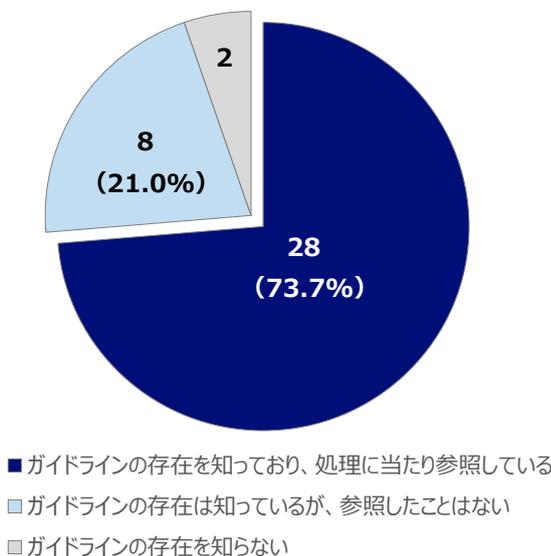


図 2.1-3 「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン（第二版）」
認知状況（社、N=38）

2018 年度以降にリユース実績が確認された事業者を対象に、「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」の認知状況を確認したところ、全ての事業者がガイドラインの存在を認知していた。

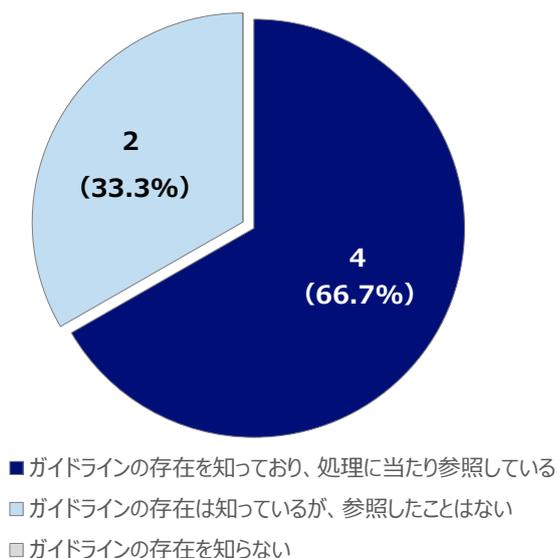


図 2.1-4 リユース実績のある事業者のガイドライン認知状況（社、N=6）

3) 太陽電池モジュールのリサイクルに係る課題

太陽電池モジュールのリサイクル推進に向けた課題は、従来、自由回答形式で聞き取りを行ってきたが、今年度調査では「金銭面（費用面）」、「制度面」、「情報面」、「その他」に分類して事業者の意見を聞き取った。

事業者から寄せられた主な課題・意見は、以下のとおりである。

表 2.1-7 中間処理業者から寄せられたリサイクル推進に向けた課題・意見（自由回答）

観 点	意 見
金銭面 (費用面)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 剥離・分別を行う高度選別処理コストは、単純破碎や埋立処分と比較して割高のため、処理委託者の視点では、高度リサイクルを依頼するインセンティブが少ない。 ・ 現状では太陽電池モジュールの受入量が少ないため、高度選別処理設備の稼働率が低く、設備投資分の回収が難しい。 ・ 太陽電池モジュール由来ガラス等、リサイクル製品の販路が少なく、販売価格も低いため、リサイクル事業の収益化が難しい。
制度面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在、太陽電池モジュールのリサイクルに係る制度は「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）」のみであり、高度選別処理を推進するための拘束力に欠ける。 ・ 例えば、法制度化や、認定事業者制度等の整備は一案ではないか。 ・ 排出量がまだ少ない状況下、都道府県を跨ぐ場合の処理委託契約の手続きを迅速化・簡素化することを希望したい。 ・ リユース可能な状態の使用済太陽電池モジュールの引き合いがあった場合も、マニフェストが発行されているとリユースを行うことが難しい。
情報面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海外メーカーや、倒産しているメーカー製の太陽電池モジュールでは、含有物質等を含む製品情報の取得が困難なケースがある。そのため、処理に当たって必要となる情報取得に苦勞する。 ・ 排出事業者に対して、太陽電池モジュールのリユース・リサイクルがそもそも可能であることや、積極的に推進すべき点を、一層訴求すべきではないかと考える。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池モジュールの性状（変形、破損等）によっては、自社施設へ導入している処理設備で高度選別処理することが難しいケースがある。 ・ 近年、回収やリサイクルに係る企業間連携の取組が各所で見られつつあるため、実効性のある仕組みづくりにつなげていく必要があるだろう。

4) 太陽電池モジュールのリユースに係る実態

使用済太陽電池モジュールのリユースにあたっては、引き受ける前に製品情報の確認、外観検査、簡易な出力検査を行う事業者が多いことが分かった。

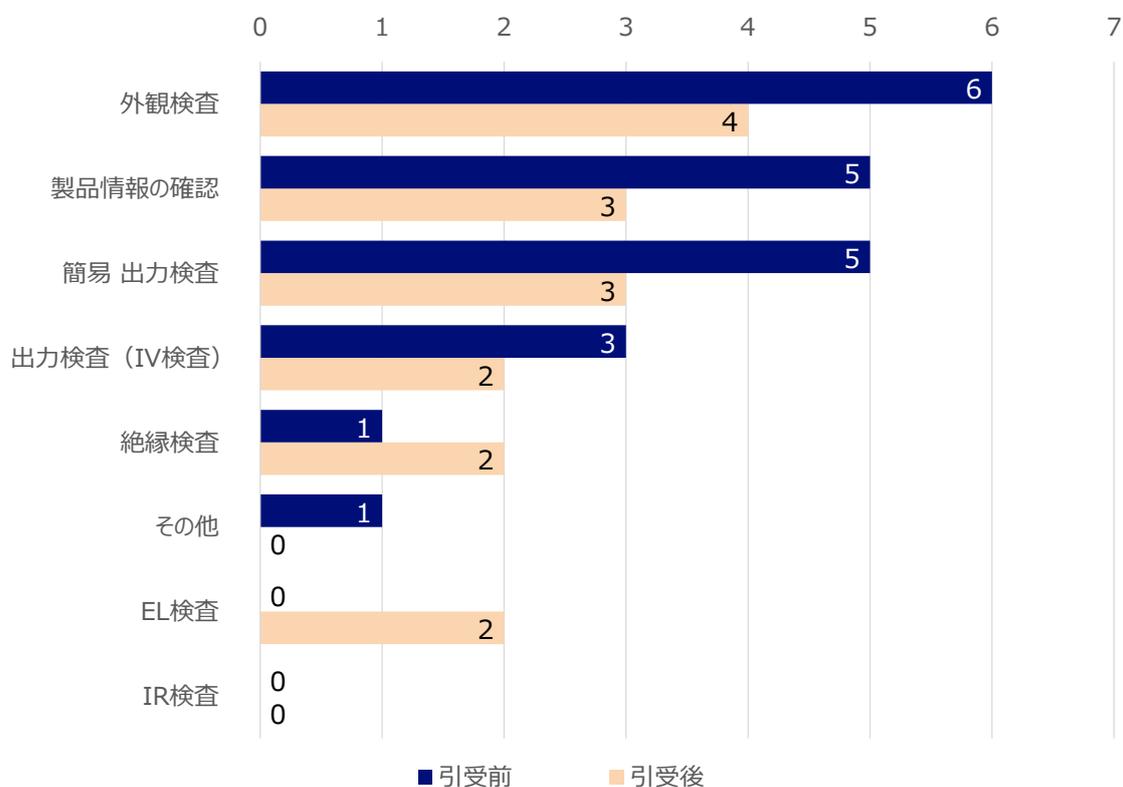


図 2.1-5 リユース品の検査方法（社、複数回答）

なおリユースが難しい太陽電池モジュールを受け入れた場合の対応方法を確認したところ、事業者の多くは「リサイクルする（処理委託ないし自社施設にて処理する）」と回答している。また、リユース品の売却後に不具合が判明した場合には、交換や引き取り、返金対応を行うケースと、特段の対応を行わないケースが回答された。前者はリユース品設置までに不具合が生じた場合の対応であり、後者はリユース品運用後の不具合に対する意見と推察されることから、不具合発生タイミングで対応有無や方法が異なるものと考えられる。

将来的なリユース市場拡大に係る課題に対しては、認知度向上や制度整備といった「リユース品自体の流通量を増やす施策」を求める意見や、リユース品の品質を担保するために、品質基準等をルールメイクすべきといった意見も聞かれた。

表 2.1-8 リユース市場拡大に向けた課題（自由回答）

リユース市場拡大に向けた課題	
●	性能診断がされていない等、不十分なリユース品が流通しているのが現状である。取扱基準の設定や、検査内容のエビデンス管理が必要ではないか。
●	発電事業者のリユース認知度が低く、結果としてリユース市場が拡大されていない。
●	廃棄物として搬入された使用済太陽電池モジュールの中でも、リユース可能と判断できるものが多い。そのため、リユース販売可能な制度整備が必要ではないか。

なお、海外へのリユース品輸出についても聞き取りを行ったところ、海外では日本で使用された製品のリユース品への需要が高いとの声が聞かれた。

2.1.3 マテリアルフローの作成

(1) 年度別の太陽電池モジュールマテリアルフロー

今年度のアンケート調査結果を踏まえて、排出要因別・リユース／リサイクル別のマテリアルフローを更新した。なお、今年度よりマテリアルフロー作成に当たって、下記2点の変更を行っている。

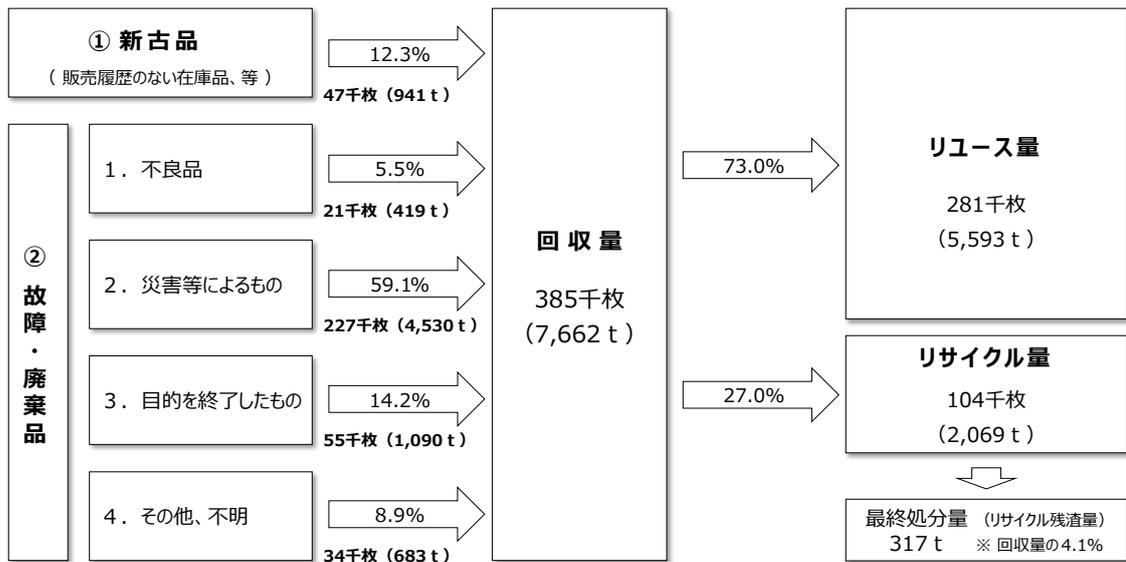
① 中間処理後の残渣の実数把握

過年度調査では、中間処理後に発生する残渣が、事業者別の残渣の発生割合から推計されていた。一方、今年度調査は、処理残渣も実値で聞き取りを行ったため、マテリアルフローの作成に当たっては、その集計方法が令和3年度調査から変化している。

なお過年度の残渣発生量に変更せず、今年度調査で回答があった残渣発生量を積み上げる形で整理する方針とした。

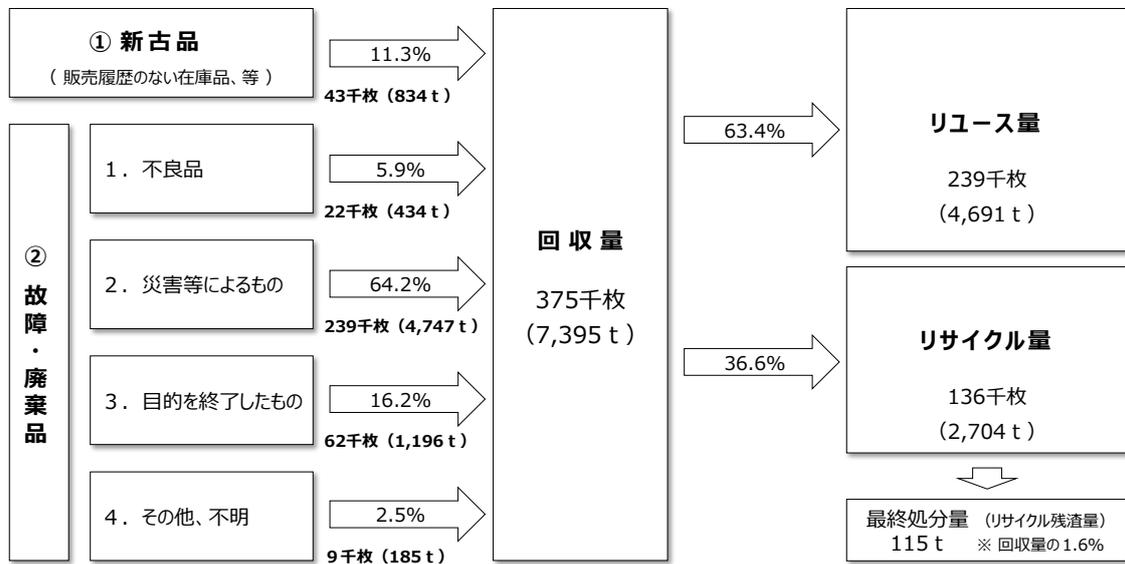
② リサイクルと熱回収の峻別

今年度のアンケート調査、及びヒアリングを通じて、中間処理施設に受け入れられた後、焼却処理して熱回収される太陽電池モジュールが一定量存在することが明らかになった。そのため、今年度調査分については、リサイクルと区別する形で表記する。



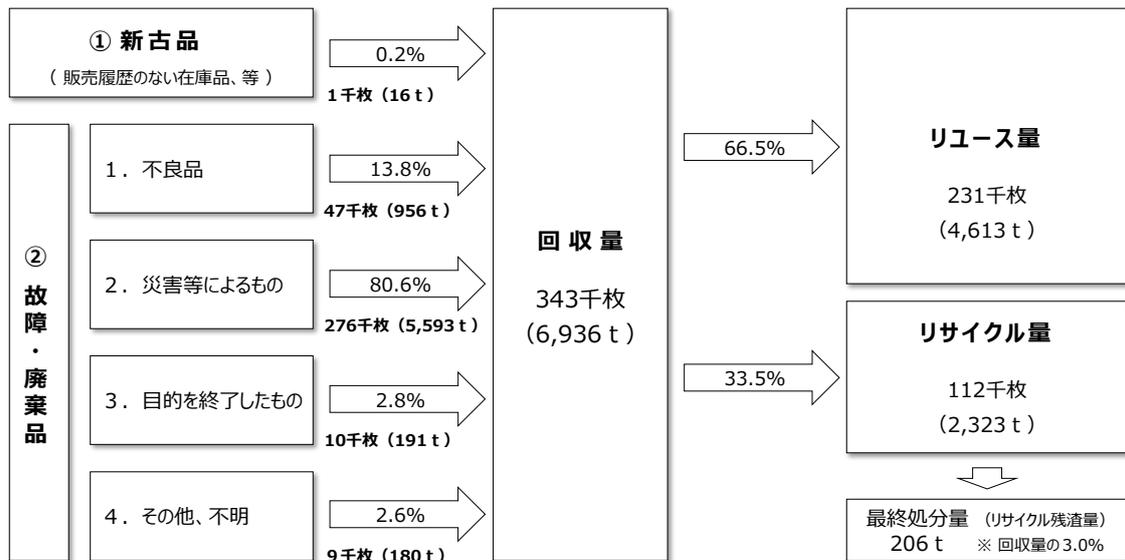
※ 割合 (%) は、重量 (t) に基づき算出。

図 2.1-6 2018 年度マテリアルフロー



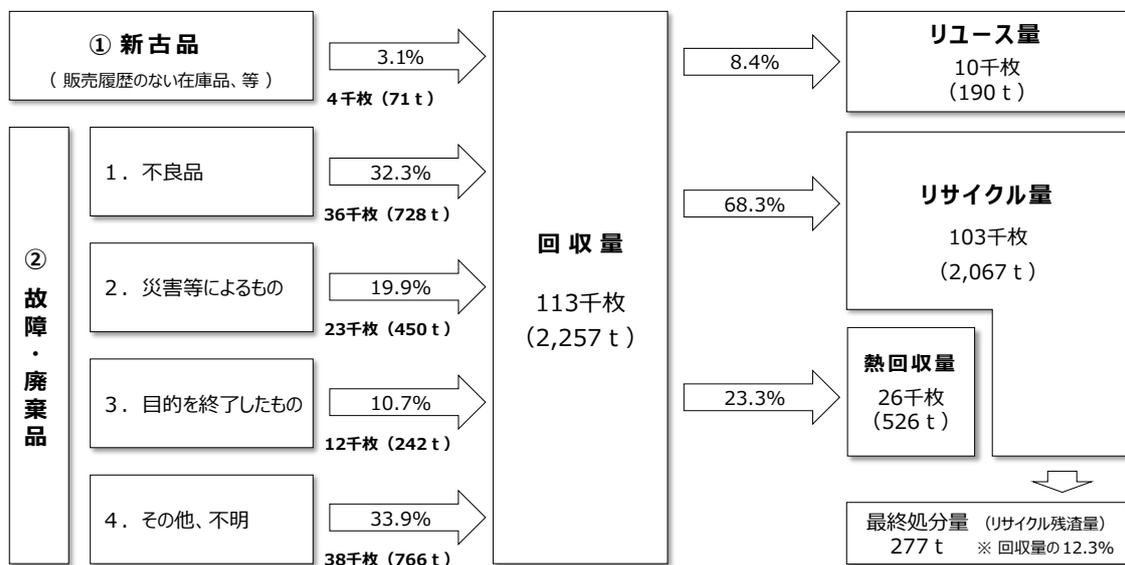
※ 割合 (%) は、重量 (t) に基づき算出。

図 2.1-7 2019 年度マテリアルフロー



※ 割合 (%) は、重量 (t) に基づき算出。

図 2.1-8 2020 年度マテリアルフロー



※ 割合 (%) は、重量 (t) に基づき算出。

※ 焼却処理を行ったと回答された回収量について「熱回収」として集計。

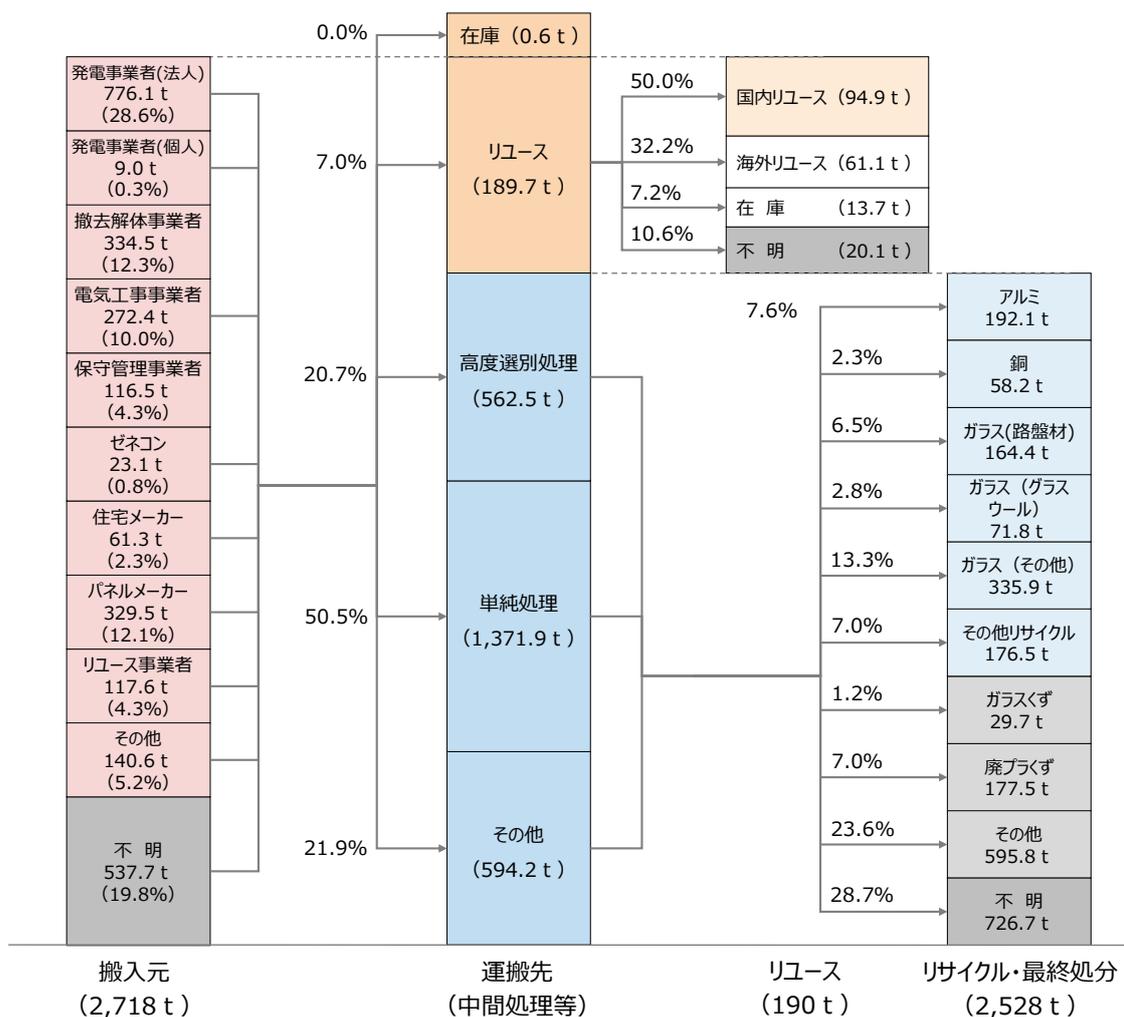
図 2.1-9 2021 年度マテリアルフロー

なお、排出要因「4. その他、不明」としては、メンテナンス交換等があげられた。

(2) 2021 年度における素材別のマテリアルフロー

今年度調査では、中間処理された太陽電池モジュールについて、搬出先及び処理後の性状を精緻化して聞き取った。特に太陽電池モジュール重量の大半を占めるガラスでは、中間処理技術によって性状（板状ガラス、カレット状ガラス、粒状ガラス、等等）が異なり、搬出後のガラスリサイクルに大きな影響を与えるものと考えられる。

ただし、アンケート調査の回答状況として、中間処理以降のリサイクル出口を把握していない事業者も一定程度存在した。



※ 各事業者の回答において、処理量・排出量が一致しないものは「不明」扱いとしている。

※ 原則回収量ではなく処理実績の値を基準に作成していること等から、図 2.1-9 のマテリアルフロー総量とは一致しない。

図 2.1-10 素材別マテリアルフロー (2021 年度)

剥離・分別された太陽電池モジュール由来ガラスについて、取引状況を確認したところ、有償取引を行っている事業者は40%程度にとどまった。

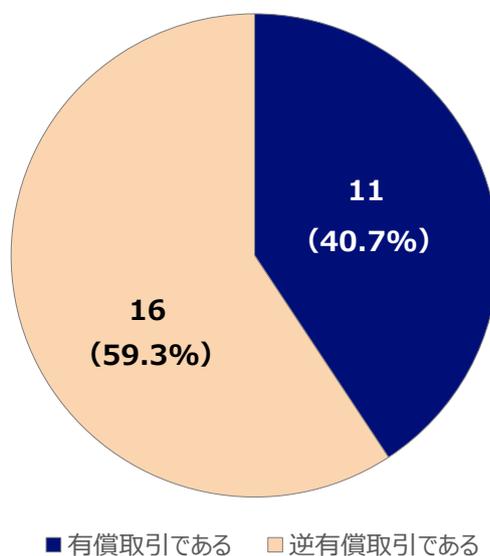


図 2.1-11 処理に伴い発生したガラスの搬出状況（社、N=27）

2.1.4 中間処理・リユース事業者へのヒアリング

(1) ヒアリング概要

アンケート調査結果を踏まえつつ、直近の太陽電池モジュールの排出状況や、処理技術やコスト等の深掘りを行う目的で、中間処理業者、及びリユース事業者に対して、ヒアリングを実施した。ヒアリングの観点は、表 2.1-9 に示すとおりである。

表 2.1-9 中間処理業者・リユース事業者へのヒアリング概要

観 点	ヒアリング内容
中間処理事業について	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒアリング先事業者のリサイクル技術（概要・工夫等） ・ 現在のリサイクル事業規模（設備稼働率・受入条件等） ・ 大量排出期に向けた対応（事業方針、課題等）
中間処理過程における関係事業者（ステークホルダー）について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主なりサイクル材の搬出先・条件 ・ 含有物質情報の取得・連携状況
中間処理事業に係るコスト実態について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 受入～処理過程におけるコスト構造 ・ 搬出過程におけるコスト構造 ・ 大量排出期がもたらすコスト構造への影響
リユース事業について （※リユース事業者のみ）	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒアリング先事業者のリユース事業概要 ・ リユース診断・検査（基準・コスト等） ・ 円滑なリユースに向けた工夫のあり方 ・ 海外リユースに係る動向（国内リユースとの差異）

ヒアリング実施にあたり、当該事業者のアンケート回答状況や、公開情報ベースで判明した処理技術の導入状況や予定等を整理して、事前提示した上で進めた。今年度調査では、7社の中間処理業者、リユース事業者にヒアリングを行った。

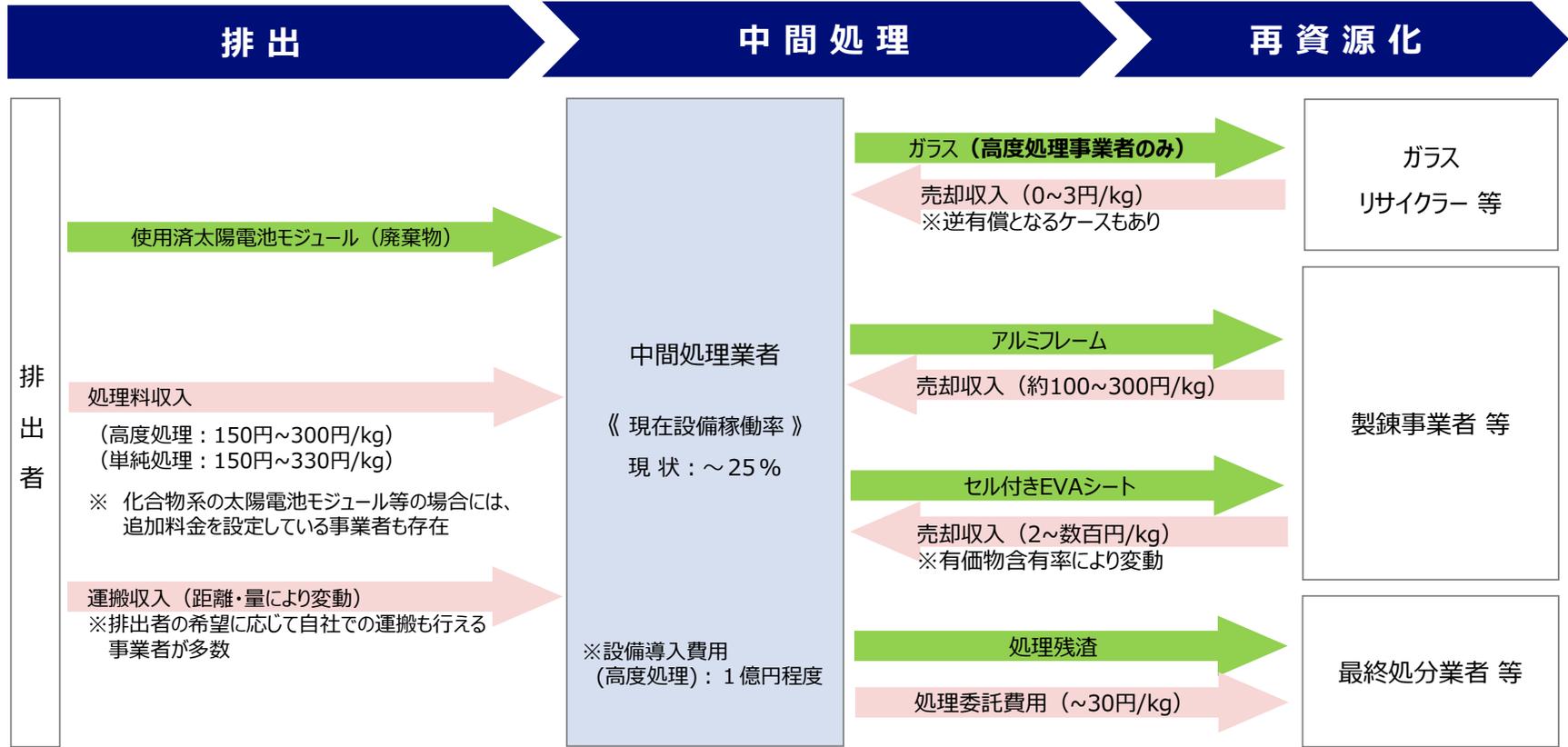
(2) ヒアリング結果

1) 太陽電池モジュールの処理・再資源化・リユースに係る技術動向

ヒアリング事業者が所有している高度処理技術については、令和3年度までに報告されたリサイクル手法のいずれかであった。また再資源化方法としては、剥離・分別したガラスを、建設資材や農業資材として活用している事業者が確認された（リサイクル技術の動向調査は、章2.3にて記載する）。

2) 太陽電池モジュールの処理（収集・運搬含む）に係るコスト

太陽電池モジュールの処理単価や収集・運搬に要するコスト等は、それぞれ条件によって大小するが、サプライチェーンを通貫した、おおよその処理コスト（収集・運搬コストを含む）は、図2.1-12のとおりである。太陽電池モジュール自体の処理コストは、モジュールの性状（シリコン系・化合物系、銀等の有価金属の含有率、等）によって変動することが分かった。



出所) 事業者ヒアリング結果に基づき作成

図 2.1-12 中間処理事業モデル、及び処理費用の流れ

3) 含有物質情報に関する取得状況

アンケート調査の自由回答にて問題提起が多かった「太陽電池モジュールの含有物質情報の取得」に関する実態は、ヒアリングで深掘りを試みた。

含有物質情報の確認頻度や手法は多様であったが、特ガラスの再資源化において有害物質が懸念となりうることから、含有物質情報の確認を求める意見が多く見られた。製品情報等から含有物質情報を特定する事業者や、自社検査している事業者等、対応は様々であった。

表 2.1-10 含有物質情報等に係るヒアリング結果

観 点	ヒアリング結果
受入時に 都度実施する検査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全データシート（SDS）を参照し、含有物質確認を自社で行う。確認できない場合には、排出者から太陽電池モジュール型番や画像を受領することもある。 ・ 可能な限りガラスの組成情報（アンチモン、ヒ素等の含有物質情報、等）を入手したが、難しい場合は、排出者から太陽電池モジュールの仕様書を受領した上で見積もりを行っている。製品情報（メーカー名、型番、等）が特定できない場合には含有物質情報の取得が困難なため、受入を断っている。 ・ 処理実績のないメーカー製の太陽電池モジュールが搬入された場合には、自社にて蛍光X線調査を行っている。分離した板ガラス1枚ずつ重金属の含有率を検査し、その成分値をQRデータとして太陽電池モジュールに紐づけている。また、剥離・分別したガラスを搬出する際には、同データをガラスメーカー等へ提出している。これは、自社が処理した太陽電池モジュールガラスの利用価値を高めていくための取組である。
受入時には 都度実施しない検査	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラスリサイクラーから、含有物質情報を抜き打ちで求められることがある。その際には、第三者機関からの検査結果を当社より伝えている。 ・ 排出事業者に対してモジュール組成や含有物質情報等に係る情報連携は特に求めている。中間処理後の搬出先（ガラスリサイクラー）が情報を求めているためである。 ・ 当社は独自に太陽電池モジュールの含有物質情報を蓄積しているため、排出事業者からの廃棄物データシート（WDS）の受領のみで十分であり、最近では組成情報が不明のケースは発生していない。

観 点	ヒアリング結果
含有物質への懸念	<ul style="list-style-type: none"> ・ 含有物質への配慮は、二次リサイクル側の都合であり、中間処理工程において悪影響を及ぼすためではない。特にアンチモンは作業に影響をきたすものでない上、アンチモン・ヒ素共に基準値を超えるケースは発生していない。 ・ ガラスメーカーからは、二次リサイクル製品の品質保証上、ヒ素等の含有物質は望ましくないとの声があがっている。直接人体に悪影響を与えるとは考えにくいですが、含有物質が生活者のイメージダウンにつながる可能性があるためである。 ・ 現状、アンチモンには基準値が設けられていないが、再資源化を行う上では留意しなければならないと考えている。 ・ 結晶系バックシートタイプであれば、留意すべきは鉛とアンチモン程度であり、受入に当たってのリスクは少ないことから、都度の含有物質検査は行っていない。

2.1.5 まとめ

過年度に比較した今年度調査結果の特徴や、次年度以降の調査設計に反映すべき事項を抽出・整理した。

表 2.1-11 今年度調査の整理

観 点	次年度以降の調査設計におけるポイント
中間処理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過年度と比較して、排出量に占める災害要因由来の割合が低く、「その他」の割合が高くなっていった。今後、メンテナンス交換等を中心に発電事業期間中における太陽電池モジュールの排出事例も多くなりうることを念頭に、現在の排出要因をより詳細に確認していくことが重要である。 ・ 含有物質情報の取得に手間を要する事業者が一定数存在することが確認された。ノウハウを独自で蓄積できている受入実績の多い事業者も見られるものの、依然として太陽電池モジュールの処理施設の稼働率が全体として低いことを踏まえ、業界内で技術や知見をどの程度共有するか等、競争／協調領域の整理も今後必要になると思われる。 ・ 回答事業者の7割程度が、「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）」の存在を認知していた。今後ガイドラインの更新・改訂等を行う際には、直近の適正処理に係る取組動向を含めた上で発信を強化することの検討も必要である。

観 点	次年度以降の調査設計におけるポイント
リユース	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過年度に比較し、アンケートにて確認されたリユース量が少なくなっていた。リユース量は自然災害等、イレギュラー要因に左右されることから、今後も年間での変動が発生することを踏まえつつ、本調査で捕捉しきれていないリユース事業者の存在も今後念頭に置く必要がある。 ・ 「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」は、本調査対象であった全リユース事業者に認知されており、ガイドラインにおいて記載された検査手法が実践されていることも確認できた。国内リユース市場の拡大に向けては、引き続きガイドライン等の認知度向上施策が重要になると考えられる。

2.2 10kW 未満の太陽電池モジュールを含む撤去・解体に係る実態調査

使用済太陽電池モジュールのリサイクル等の推進に当たっては、メガソーラー等の事業用太陽電池モジュールだけでなく、一般家庭に設置されている 10kW 未満の太陽電池モジュールの排出・処理実態を把握する必要がある。しかしながら、10kW 未満の太陽電池モジュール所有者（個人等）に直接コンタクトすることは難しいため、その排出状況を把握していると考えられる撤去・解体事業者を対象として、アンケート調査を実施する方針とした。

2.2.1 アンケート調査の対象概要及び回答状況

今年度調査では、公益社団法人全国解体工事業団体連合会（以下、「全解工連」という。）に協力いただき、全解工連会員の解体工事業協会や解体工事業協同組合を通じて、約 1,750 社の撤去・解体事業者へ web アンケート調査 URL を送付した。なおアンケート調査は 2 段階の設計として、まず「直近 3 か年（2019～2021 年度）における使用済太陽電池モジュールの撤去実績」をプレ調査として実施した。その後、プレ調査で「実績あり」と回答した撤去・解体事業者を対象に本調査を実施し、使用済太陽電池モジュールの撤去や運搬に係る留意点、依頼元や撤去事由等の把握を試みた。

プレ調査、及び本調査の概要は、表 2.2-1、表 2.2-2 に示すとおりである。

表 2.2-1 太陽電池モジュールの撤去・解体に係るアンケート（プレ調査）の概要

項目	詳細
実施方法	全解工連の会員である、全国の解体工事業協会や解体工事業協同組合を通じて、所属する撤去・解体事業者に web アンケート調査 URL を送付。
対象	○全国の解体工事業協会や解体工事業協同組合に所属する事業者（約 1,750 社）
回答者数	○撤去・解体事業者（122 社） うち、直近3か年（2019～2021 年度）において、使用済太陽電池モジュールの撤去・撤去実績がある事業者は 18 社であることを確認。

表 2.2-2 太陽電池モジュールの撤去・解体に係るアンケート（本調査）の概要

項目	詳細
実施方法	直近3か年（2019～2021 年度）において、使用済太陽電池モジュールの撤去・撤去実績がある事業者に web アンケート調査 URL を送付。
対象	○直近3か年（2019～2021 年度）に撤去・撤去実績がある事業者（18 社）
回答者数	○撤去・解体事業者（8 社）、中間処理業者（1 社） 撤去・解体に係る今年度調査の有効回答は 8 社として結果を整理。

2.2.2 アンケート集計結果

(1) 使用済太陽電池モジュールの撤去・解体実績（プレ調査）

全国の解体工事業協会や解体工事業協同組合を通じて実施した web アンケート回答に基づく、直近3か年（2019～2021 年度）における使用済太陽電池モジュールの撤去有無は、図 2.2-1 に示すとおりである。太陽電池モジュールの撤去・解体に係る相談を受けたことがある事業者は、回答事業者の 40%弱にとどまっており、現状では使用済太陽電池モジュールの排出自体が少ないことを示す結果となった。また実際に撤去を手掛けた事業者は、回答事業者の約 15%であった。

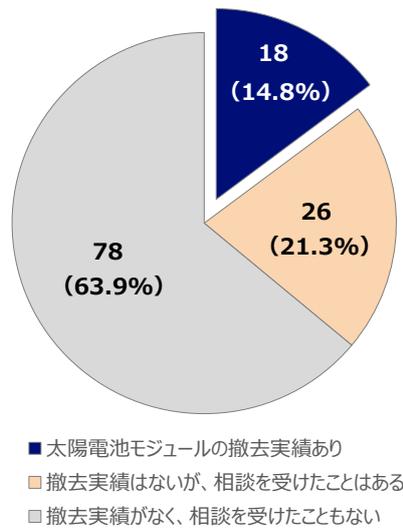


図 2.2-1 2019～2021 年度における撤去、及び相談に係る状況（社、N=122）

直近3か年（2019～2021年度）に使用済太陽電池モジュールを撤去した実績がある事業者（N=18）には、年度別の工事件数と撤去した太陽電池モジュール枚数を伺い、撤去工事1件当たりの規模感の把握を試みた。その結果は図2.2-2に示すとおりであり、前提として太陽電池モジュールの撤去工事は恒常的に発生していないことが伺える。また1年当たり撤去枚数では、20枚以下や50枚以下が大半を占めており、使用済太陽電池モジュールの排出量は依然として少ないことが伺える結果となった。

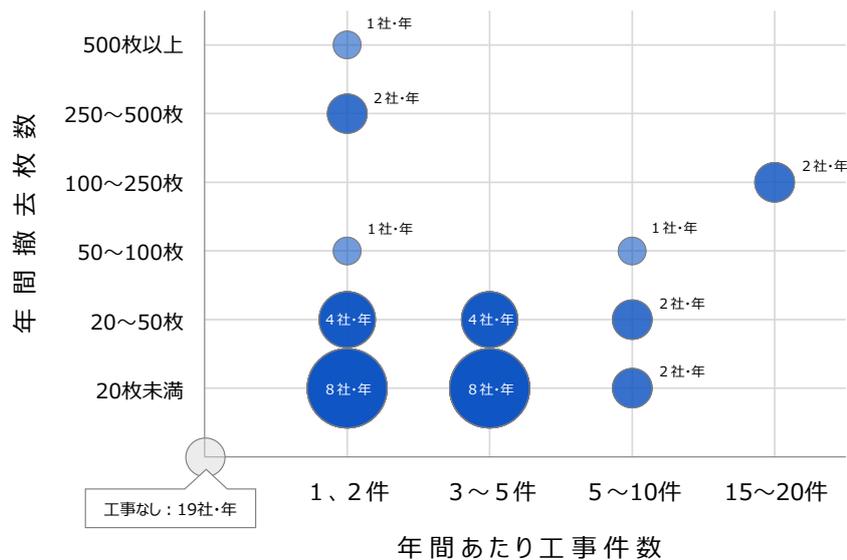
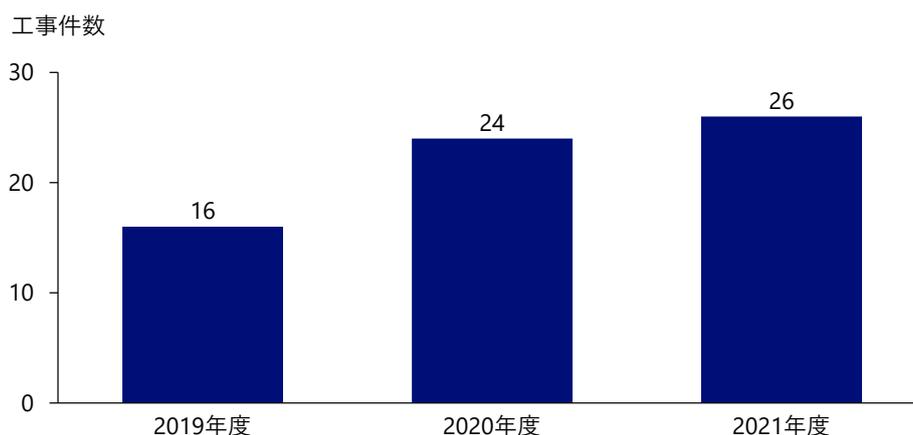


図 2.2-2 年間あたり太陽電池モジュール撤去工事の規模感（N=18×3か年）

(2) 使用済太陽電池モジュールの撤去・解体実績（本調査）

1) 使用済太陽電池モジュールの撤去工事

使用済太陽電池モジュールの撤去・運搬に係る留意点、依頼元や撤去事由等の把握を試みるために、直近3か年（2019～2021年度）に撤去実績がある事業者に対して、本調査を行った。回答が得られた撤去・解体事業者（8社）が、手掛けた工事件数の推移は図2.2-3に示すとおりであり、増加傾向にあることが伺える。



※ 1社が工事件数未回答であるため、回答は7事業者となる。

図 2.2-3 使用済太陽電池モジュール撤去工事件数の推移（件数、N=7）

事業者が手掛けた撤去工事において、太陽電池モジュールの設置場所を確認したところ、8事業者のうち7事業者が、住宅等の建物屋根に設置されたモジュールの撤去を手掛けたと回答していた。なお撤去工事の依頼元を確認すると、住宅メーカーが最も多くなっており、一般家庭が使用済太陽電池モジュールの撤去を考える際には住宅メーカーを介していることが多いと推察される。

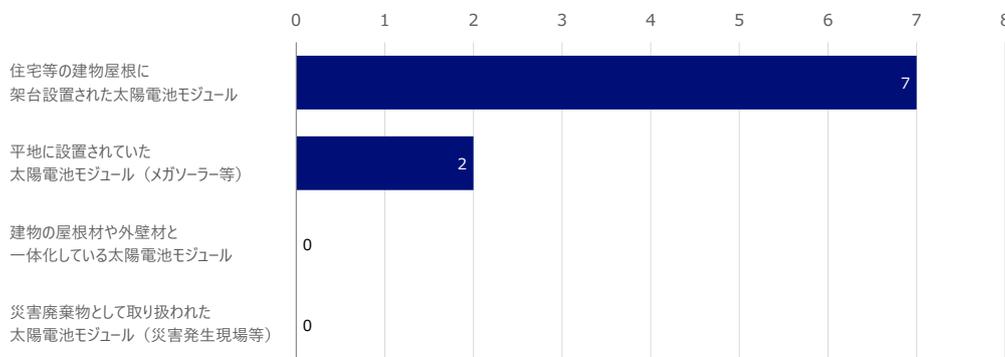


図 2.2-4 撤去した太陽電池モジュールの設置場所（N=8、複数回答）

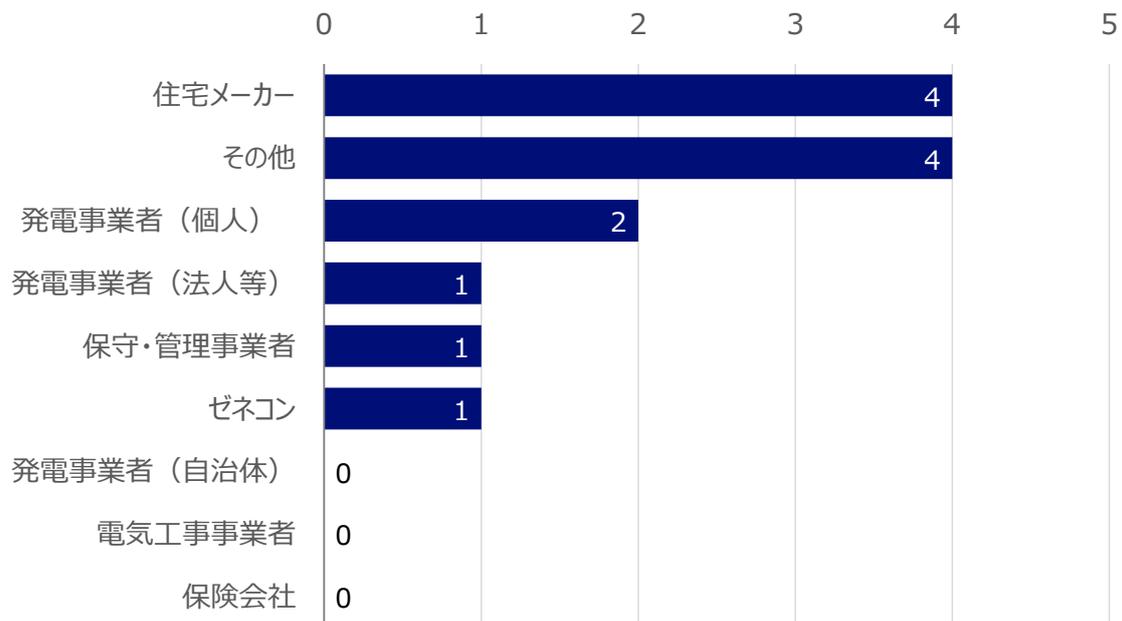


図 2.2-5 太陽電池モジュール撤去工事の依頼元 (N=8、複数回答)

なお、使用済太陽電池モジュールの撤去事由について、撤去・解体事業者を確認したところ、全ての事業者が「家屋解体に伴う撤去」と回答していた。1事業者のみ「太陽光発電事業の終了に伴う撤去」も回答していたが、10kW 未満の太陽電池モジュールの排出事由は、家屋解体が主要因になるものと推察される。

2) 使用済太陽電池モジュール撤去時における工夫等

使用済太陽電池モジュールの撤去・解体、また保管に当たり、ケガや感電等の事故防止に対する工夫を講じている事業者は約6割であった。具体的には「絶縁テープで配線・ケーブル先端を養生する」といった電気事故防止の対策や、「モジュールの受光面を遮光用シートで覆う」「モジュールの受光面を下にして保管する」といった発電事故防止への対策が多かった(表 2.2-3)。なお使用済太陽電池モジュールの撤去・解体に当たって、特別な安全対策は行っていない事業者も存在したが、その事由は撤去件数が少ないことに起因しているようであり、「将来的に工事件数が増えてきたら、配慮する予定である」との回答があった。

表 2.2-3 撤去・解体事業者が講じている事故防止策

場 面	事故防止策（工夫、等）
撤去 ・ 解体	<ul style="list-style-type: none"> ・ ゴム手袋や絶縁手袋、ゴム長靴を着用して作業する。 ・ 配線切断後、感電防止のために配線をビニールテープや絶縁テープで養生する。
保管	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池モジュールの受光面を下にする。または遮光用シートで覆う。 ・ 太陽電池モジュールのストレッチフィルムを梱包する。 ・ 他の廃棄物と混合しないように分別して保管する。
収集 ・ 運搬	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池モジュールを扱う際には、ゴム手袋を着用して感電を防止する。 ・ ガラス面の破損、又は飛散防止のためにシートで覆う。 ・ 破損防止のためにストレッチフィルムで梱包してパレットに積み上げる。

3) 使用済太陽電池モジュール撤去に係る課題・懸念事項

使用済太陽電池モジュールの撤去に係る課題・懸念事項についても、自由回答形式で聞き取りを行った。処理方法・体制の早期確立を求める声のほか、太陽電池モジュールに含まれる有害物質等への懸念といった声があがっている。

表 2.2-4 撤去・解体事業者が抱える懸念事項（自由回答）

観 点	意 見
処理方法 について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在では使用済太陽電池モジュールを処理できる中間処理業者が限定されている。大量排出期に備えて、受入先（処理先）を増やしてほしい。 ・ 太陽光発電設備の導入等は関連機関で推進されているが、その処理（リユース、リサイクル、適正処分）の推進はまだまだといった印象である。処理費用が高く、発注者の負担が大きくなることが課題である。中間処理で手間をかけずに分別・再資源化できる製品を開発してほしい。 ・ 不法投棄を防ぐためにも、使用済太陽電池モジュールの適正処理が行われるような、処理先の整備や現地確認が必要になる。
有害物質 への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池モジュールのメーカーや設置時期が不明な場合には、「有害物質が含まれている」という認識で撤去作業を行う必要がある。また、含有物質が分からないことに起因して、産業廃棄物処理業者から受入不能と言われてしまう事例を極力避けたい。 ・ 含まれる重金属等について、受入先（処理先）を確保する必要がある。 ・ 有害物質が含まれているため、撤去・解体、又、分別時における作業員への健康被害が懸念される。

観 点	意 見
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池モジュールの取外しには、電気資格者が必要だが、撤去・解体事業者には有資格者が殆どいないと推察する。本来であれば、外注する必要があるが、規則を知らずに撤去してしまうことで、感電等の事故が発生する可能性があるのではないかと。また、取外し後の保管についても注意が必要だ。 ・ 一般廃棄物に該当する場合の定義が不明瞭であるため、「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）」改訂時には明確にしていきたい。

4) 「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」認知度

使用済太陽電池モジュールの撤去実績がある事業者に加えて、撤去・解体に係る相談を受けたことがある事業者にも、「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）」の認知状況を伺った。その結果は図 2.2-6 に示すとおりであり、ガイドラインの存在を知らない事業者が 30%弱存在している結果となった。一般家庭からの太陽電池モジュール排出量がまだ少ないことが要因として考えられるが、引き続きガイドライン周知に係る取組を進めていく必要がある。

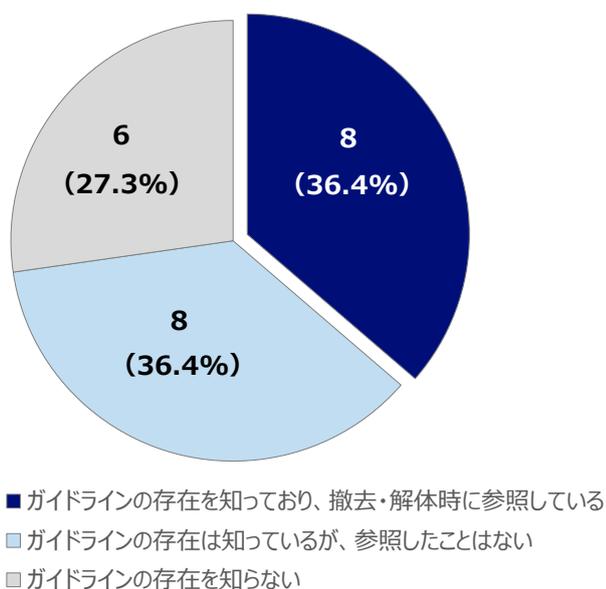


図 2.2-6 「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン（第二版）」
認知状況（社、N=22）

2.2.3 使用済太陽電池モジュールの撤去・解体まとめ

直近3か年（2019～2021年度）で使用済太陽電池モジュールの撤去・解体工事を手掛けた事業者は、回答事業者の14.8%にとどまった。また恒常的に撤去・解体工事が発生している訳ではないことも明らかになり、現状では、一般家庭から太陽電池モジュールが撤去される事例はまだ少ないことが伺える。ただし、撤去・解体実績がある事業者からは、その処理方法や体制の早期確立を求める声もあった。特に、リユースを想定した場合には、撤去・解体時にモジュールを破損させないことが求められるため、「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）」改訂に当たっては、撤去・解体事業者に求められる役割や要素を再整理するほか、業界団体等と連携して広く撤去・解体事業者へ周知することも検討する必要がある。

なお、今年度調査の結果から読み取ると、一般家庭から排出されるケースは、メガソーラー等の発電事業とは異なり、設置場所（屋根や家屋）の解体に併せたものが多いと考えられる。そのため、FIT満了や太陽電池モジュールの法定耐用年数等が必ずしも排出のトリガーになる訳ではなく、住宅や建物の建替タイミングに起因して排出される可能性があると考えられる。

2.3 絶縁不良に関係する事故等発生事案・災害発生における排出事例の調査

令和3年度調査に引き続き、太陽電池モジュールの排出に影響を与える、絶縁不良関連の事件事例や、災害時の排出事例を公開情報より確認した。

	絶縁不良事例調査		災害事例調査	
調査元 (出所)	電気保安統計	事故情報データベース	NITE詳細公表システム	新エネルギー発電設備事故 対応・構造強度WG資料
媒体	Web (文献)	Web (データベース)	Web (データベース)	Web (文献)
調査対象 期間	2012～2020年度	2019年以降 ※2018年までは 過年度調査にて集計済	指定なし ※2022年7月19日調査時には 2020年度以降が掲載	太陽電池モジュールに 関する公表分 ※2018、2019年度資料にて確認
対象件数	32件 (うち供給支障ありは1件)	5件 (のべ8件)	8件 (のべ9件)	17件
今年度 示唆	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 太陽電池発電所における電気事故件数については、大きな件数変動はなし（供給支障事例は2020年度でも報告されず）。 ✓ 太陽電池モジュールに関する事故は、事故要因が推定に留まる箇所も多いが、不適切な接続や、開梱・設置時のケーブル損傷が事故要因として挙げられている。 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 冬季の積雪による太陽電池モジュールの破損事例が確認されている。また台風災害では、大雨に伴う河川氾濫による浸水や、強風・土砂崩落による設備の破損・飛散が報告されている。 ✓ 災害品の撤去に手間を要する上、撤去物の速やかな処理も容易ではないと見込まれる。 	

図 2.3-1 絶縁不良事例、及び災害事例の調査方法

2.3.1 事故発生状況調査

経済産業省電気保安統計における「電気事故件数総括表」に基づき、以下2つの調査元から収集された事例数を確認した。

- 電気事業法第38条第3項各号に掲げる事業を営む者（一般送配電事業者・送電事業者・配電事業者・特定送配電事業者・その事業の用に供する発電用の電気工作物が主務省令で定める要件に該当する発電事業者）から提出された電気保安年報。
- 電気関係報告規則第3条（事故報告）第1項に基づき、自家用電気工作物を設置する者から提出された電気事故報告書を集計したもの。

調査の結果、2020年度では計2件報告されているが、いずれも供給支障を生じた事故は確認されていない。

また、消費者庁・独立行政法人国民生活センターが運営する「事故情報データベース」に登録された、製品・食品・サービス等の事故情報のうちから、キーワード「太陽光」、「絶縁」にて関連事例を調査したところ、令和3年度調査報告書には記載されていない、のべ8件の直近事例を確認した（うち3件については同一内容と思われる登録であったため、以下5件として集約した）。

表 2.3-1 経済産業省電気保安統計に基づく太陽電池モジュール関連事故件数

事故種類	電気火災			感電死傷			電気工作物の欠損等による死傷・物損			電気工作物の損壊						供給支障 (被害なし)			発電支障			電事法106条に基づくその他の事故報告			事故総件数					
	有	無	計	有	無	計	有	無	計	主要工作物			その他の工作物			有	無	計	有	無	計	有	無	計	有	無	計			
供給支障																														
2012年度														6	6					2	2								8	8
2013年度														1	1				1		1							1	1	2
2014年度														2	2					1	1								3	3
2015年度																				1	1								1	1
2016年度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
2017年度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
2018年度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
2019年度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
2020年度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
合計数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	20	20	0	0	0	1	4	5	0	0	0	0	0	0	1	31	32

表 2.3-2 絶縁に関連した太陽光発電システム等の事故報告状況（2019年以降、太陽電池モジュール・接続ケーブル）

発生年	発生場所	用途	名称	事故概要	事故原因
2020年	福岡県	—	接続ケーブル（太陽光発電システム用）	当該製品及び周辺を焼損する火災が発生した。	<p>住宅の屋根に設置した太陽電池モジュールとパワーコンディショナ間を接続していた当該製品7系統が引き込まれていた屋根裏内で焼損していた。当該製品は別のケーブルと中間接続するために樹脂製接続ボックス内で差込コネクタ7個を使用して接続されていたが、接続ボックスが焼失していた。当該製品は差込コネクタ部で被覆が焼失した状態で断線しており、素線の多くに火災熱による脆化及び折損が認められた。</p> <p>差込コネクタ7個のうち、6個は確認できず、うち1個は焼損が著しいことから異常の有無は確認できなかった。</p> <p>接続ボックス内には他に電気部品は内蔵されておらず、屋根裏内の他のケーブル等に出火の痕跡は認められなかった。</p> <p>当該製品とパワーコンディショナへの接続が不適切であったため、接続箇所において異常発熱し焼損したものと推定される。なお、施工方法については、住宅建築業者ごとに独自に方法を定めているため、施工要領書等は添付していないが、建築業者が作成した施工手順書には、「工具を用いて被覆をむき出す。むき出し長さが不適切な電線の接続は、接触不良、絶縁不良等発熱焼損の可能性がある。」旨、記載されている。</p>

発生年	発生場所	用途	名称	事故概要	事故原因
2019年	神奈川県	住宅	太陽電池モジュール（太陽光発電システム用） 接続ケーブル（太陽光発電システム用）	当該太陽電池モジュール（太陽光発電システム用）を焼損する火災が発生。	住宅の屋根に設置した瓦一体型の太陽電池モジュールから発煙し、屋根の野地板、太陽電池モジュール、当該製品等を焼損した。 当該製品は、ケーブル、接続コネクタ及び接続ボックスで構成され、並列接続した太陽電池モジュール2系統を直列接続し、屋内に引き込む製品である。 当該製品は、電源（太陽電池モジュール）側から約3mのケーブルの外装被覆、接続ボックス等が焼失し、ケーブルに断線が認められた。 接続ボックスと負荷側の接続コネクタ間のケーブルに認められた断線部は、両極の導線が溶着した状態であった。 残存したケーブルの外装被覆にぜい化は認められなかったが、複数箇所にて切れ込みのような損傷が認められた。 損傷箇所は、梱包時に束ねられたケーブル同士が重なる箇所であった。太陽電池モジュールに出火の痕跡は認められなかった。 当該製品を開梱及び設置した際、ケーブルの外装被覆を損傷させたため、使用に伴って絶縁性能が低下し、短絡が生じて出火したものと推定される。

表 2.3-3 絶縁に関連した太陽光発電システム等の事故報告状況（2019 年以降、パワーコンディショナ）

発生年	発生場所	用途	名称	事故概要	事故原因
2020 年	千葉県	—	パワーコンディショナ（太陽光発電システム用）	異臭がしたため確認すると、当該製品から発煙する火災が発生していた。	<p>当該製品は脱衣所の壁に設置されていたが、外観に焼損は認められなかった。メイン基板の直流昇圧回路の出力側に装着された電解コンデンサーに、防爆弁が作動して電解液が噴出した痕跡及び外装缶の膨張が認められた。</p> <p>制御基板上の直流昇圧回路の電圧制御用 IC の電圧読み込み値が、正常値の半分以下となっており、特性に異常が認められた。</p> <p>表示基板、制御基板、リアクター、電力変換モジュール、端子台及び内部配線に出火の痕跡は認められなかった。</p> <p>取扱説明書及び据付工事説明書には、「高温、多湿、ほこりの多い脱衣所等に設置しない。」旨、記載されている。</p> <p>当該製品は、直流昇圧回路出力側に装着された電解コンデンサーの電圧制御用 IC が故障したことで、電解コンデンサーに過電圧が加わり、電解コンデンサーが過熱し、内圧が上昇して防爆弁が作動し、高温の電解液が外部に噴出したため、電解液が基板に付着して絶縁性能が低下し、トラッキング現象が生じて出火したものと推定されるが、電圧制御用 IC が故障した原因が不明のため、製品起因か否かを含め、事故原因の特定には至らなかった。</p>

発生年	発生場所	用途	名称	事故概要	事故原因
2020年	埼玉県	—	パワーコンディショナ（太陽光発電システム用）	当該製品内部を焼損し、周辺を汚損する火災が発生した。	調査の結果、当該製品は、電源基板の入力電圧安定化回路用電解コンデンサーの端子部周辺で絶縁性能が低下して短絡し、異常発熱して焼損に至った可能性が考えられるが、当該部位の焼損は著しく、絶縁性能が低下した原因の特定には至らなかった。
2019年	福井県	—	パワーコンディショナ（太陽光発電システム用）	当該製品の内部部品から発煙する火災が発生した。	<p>当該製品の外観に焼損は認められなかった。</p> <p>当該製品内部の電解コンデンサーの防爆弁が作動し、その周辺には電解液が噴出した痕跡とみられる茶色の付着物が認められた。</p> <p>昇圧回路及びインバーター回路を制御する基板上のチップコンデンサー側面に、白い泡状の付着物が認められた。</p> <p>当該製品内部には上方から下方にかけて液体が垂れたような白い付着物が認められ、付着物の一部から、洗剤に含まれる成分が検出された。</p> <p>事故発生前に付近を清掃した等の情報はなく、当該製品内部に液体が浸入した経緯は不明であった。</p> <p>当該製品内部に洗剤を含む液体が浸入し、制御基板上のチップコンデンサーの端子間が絶縁低下したため、昇圧回路の電解コンデンサーに過電圧が加わり異常発熱して、内圧上昇により防爆弁が作動し、高温の電解液が噴出したものと考えられ、製品に起因しない事故と推定される。</p>

2.3.2 災害に伴う太陽電池モジュールの排出事例

独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）が運営する「NITE 詳細公表システム」では、電気事業法に基づく電気工作物に関する全国の事故情報について、2020年度以降の報告事例がデータベース化されている。このうち、太陽電池モジュールについて調査を行い、のべ9件の事例を抽出した（うち1件については同一内容と思われる登録であったため、以下8件として集約した）。

今回収集した事例では、積雪による太陽電池モジュールの破損が報告されており、地震・洪水・土砂災害等に加え、雪害も排出要因になると確認された。

表 2.3-4 災害に伴う太陽電池モジュールの排出事例

発生年月	発生地域	事故概要	事故原因	再発防止策
2020年 12月	近畿	太陽電池発電所において、追尾型架台1基(56kW)で2か所、長手方向の全ての桁が折損し、架台の両端が地面と接触して2か所の折損部に位置する太陽電池モジュールや地面と接触した太陽電池モジュールが損傷した。	調査の結果、強風によって追尾型架台が退避モード(水平)になったところに積雪し、破損したと推定されるが、架台を設計した際、積雪荷重が適切に考慮されていなかった。	追尾型架台を撤去し、技術基準に適合する野立式架台に置き換える。
2021年 1月	東北	当該太陽電池発電所において、積雪の荷重により太陽電池モジュール及び架台が変形・損壊したため、破損事故になった。 (系統連系電圧:6,600V、発電所出力:1,500kW)	当該太陽電池発電所において、設計値(地上垂直最深積雪量76cm)を超える積雪(約90cm)による荷重が作用したこと及び一部除雪が間に合わなかったことから、太陽電池モジュール及び架台が変形・損壊したものと推定される。	冬季間は現地の積雪量を適時確認し、太陽電池モジュールの積雪(特に支持物前の地表積雪量並びに週間天気予報による降雪量)を考慮し除雪の要否判断及び除雪スケジュール検討する。除雪作業は当該発電所の地形や吹き溜まりが多くなると想定される範囲を優先的に実施するルートを検討し適切な除雪を図る。 除雪車両が入場し難い個所がある場合は斜面や側溝等の改良も検討する。

発生年月	発生地域	事故概要	事故原因	再発防止策
2021年 1月	東北	当該太陽電池発電所において、積雪により太陽電池モジュール及び架台が損壊したため、破損事故になった。(系統連系電圧：6,600V、発電所出力：1,990kW)	当該太陽電池発電所において、太陽電池モジュール及び架台上に積もった雪は滑り落ちようになっているが、大雪のため滑り落ちなくなり、太陽電池モジュール上に雪が堆積した結果、積雪の重みで支持物(架台)が変形、太陽電池モジュールが破損したものと推定される。	支持物のベース材(前)とベース材(後)間の中央部分に補強材を入れて、支持物を補強する。 大雪が予想される場合は、モジュール下部の地面に雪が溜まらないよう支持物の周囲を適宜除雪する。
2021年 1月	東北	当該太陽電池発電所の太陽電池モジュールが、年末年始の大雪による積雪荷重により変形・損傷したため、破損事故になった。(系統連系電圧：6,600V、発電所出力：1,980kW)	当該太陽電池発電所の太陽電池モジュールについては、地方自治体の建築基準法施行規則に基づき垂直積雪量(0.9m)で設計していたが、年末年始の大雪が10日間以上続き設計値以上の積雪荷重が加わり変形したことから破損に至ったものと推定される。なお、除雪で太陽電池モジュール前に落ちしろ(※)を確保していたが、真冬日の影響により太陽電池モジュール上の積雪が氷結し、滑り落ちなかったことも要因と考えられる。	年末年始の除雪業者の休業対応として、大型除雪機及び中型除雪機を各1台リースし常備することで、急な大雪に対応致します。 除雪期間(12月上旬～3月上旬)は、少なくとも3日間以内に除雪対応可能な体制を整備致します。 雪庇対策としてアレイ前端から最端から最下段モジュールの一部にかけて除雪を実施致します。

※ 落ちしろとは、雪の落ちるスペースを指すと推察される。

発生年月	発生地域	事故概要	事故原因	再発防止策
2021年 1月	北海道	当該太陽電池発電所の太陽電池モジュール及び架台が、積雪により変形及び損壊したため、破損事故となった。(系統連系電圧：6,600V)	当該太陽電池発電所の太陽電池モジュール及び架台が、記録的大雪とその後の低温気象によりモジュール下部に落雪した氷雪が堆積、更に降雪が続きモジュール上部まで達して積雪に覆われたことから、設計当初の想定数値以上の荷重がかかり、破損に至ったものと推定される。	作業人員による適時監視と管理体制を強化し、除雪に努めるものとする。
2021年 2月	東北	当該太陽電池発電所において、大雪の影響により除雪が追いつかず、積雪の重みで太陽電池モジュール及び架台が損壊したため、破損事故になった。(発電所出力：2,390kW)	当該太陽電池発電所では、地形的要因も重なり2021年12月中旬からの予想を上回る大雪(例年の3倍程度)が発生したため、除雪が追いつかない状況となり、設計荷重を超える積雪荷重によって、太陽電池モジュール及び架台が損壊に至ったものと推定される。	太陽電池モジュールの支持物であるフレームの本数を、現状の2本から中央部に1本追加することにより、強度を向上させる。

発生年月	発生地域	事故概要	事故原因	再発防止策
2021年 2月	北海道	当該太陽電池発電所で多量の降雪があり、太陽電池モジュール上への積雪となったため、点検を行ったところ、太陽電池モジュールの湾曲及び固定金具からの脱落を確認したことから、破損事故になった。(系統連系電圧：6,600V)	当該太陽電池発電所で多量の降雪があり、2020年12月に最深積雪量が50cm、12月中旬から翌年3月末にかけて100cmを超え、3月初旬には最大200cmに達する状態が続いた結果、太陽電池モジュールが雪で埋没し、雪の重さにより太陽電池モジュールが破損に至ったものと推定される。	今後は監視カメラで積雪の管理を適切に行い、除雪を実施することで再発防止対策とする。具体的には、監視カメラから確認できる位置に雪の高さを管理するためのポールを設置し、雪が除雪依頼点に到達した時点で除雪作業を依頼する。
2021年 3月	中部	当該太陽電池発電所の月次点検の際に、積雪の影響による太陽電池モジュール及び支持物の損壊が確認されたため、破損事故になった。(系統連系電圧：6,600V、発電所出力：50kW以上2,000kW未満)	降雪量が想定を超え、除雪頻度が少なかったため、太陽電池モジュール上に積雪が蓄積され、降雨も重なりさらなる荷重が加わり、一部架台が損壊し、太陽電池モジュールも破損したものと推定される。	今回のような過剰な降雪、又、それに続く降雨による荷重増加の状況を作らないよう、気象状況を注視し頻繁な除雪を実施する。

なお、こうした雪害状況を踏まえ、経済産業省産業保安グループ電力安全課より、令和3年12月1日付で、注意喚起「積雪による太陽電池発電設備の損壊事故防止について」が発出されており、以下4点があげられている。

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 積雪荷重を考慮した太陽電池発電設備の設計・施工について 2. 保安全管理の徹底について 3. 損壊してしまった時の対応 4. 産業保安監督部や経済産業省への連絡 |
|--|

経済産業省による産業構造審議会・電力小安全委員会及び新エネルギー発電設備事故対応・構造強度WGにおいて、再生可能エネルギー発電設備の事故事例情報（表2.3-5）が整理されており、直近の台風災害では、大雨に伴う河川氾濫による浸水や、強風・土砂崩落による設備の破損・飛散が報告されている。

また、対応状況について整理されている経済産業省電力安全課資料「今夏の太陽電池発電設備の事故の特徴について」（表2.3-6）からは、災害品の撤去に手間を要する上、撤去物の速やかな処理も容易でない実態を伺うことができた。

表 2.3-5 再生可能エネルギー発電設備の事故事例情報

発生年	災害	発生地域	事故概要※
2019年	浸水	群馬県 高崎市	河川氾濫により PCS、パネル、受変電設備が浸水。
2019年	浸水	群馬県 太田市	河川氾濫により PCS、パネル、受変電設備が浸水。
2019年	浸水	栃木県 那須烏山市	河川氾濫により PCS、受変電設備が浸水。
2019年	浸水	福島県 伊達市	河川氾濫により PCS、パネルが浸水。
2019年	浸水	福島県 国見町	河川氾濫によりパネル、受変電設備が浸水。

発生年	災害	発生地域	事故概要※
2019年	浸水	福島県 南相馬市	河川氾濫により PCS、パネル、受変電設備が浸水。
2019年	浸水	福島県 いわき市	河川氾濫により PCS が浸水。
2019年	浸水	宮城県 角田市	河川氾濫により接続箱が浸水。
2019年	浸水	宮城県 南三陸町	河川氾濫により PCS、パネル、受変電設備が浸水。
2019年	浸水	埼玉県 朝霞市	河川氾濫によりパネル、受変電設備が浸水。
2019年	土砂崩落	福島県 須賀川市	市道が崩落し土砂が発電所内に流入。パネル埋没。
2019年	強風	新潟県 新潟市	パネルが架台から脱落（郊外への飛散はなし）。
2019年	強風	千葉県 市原市	水上太陽電池の一部が風に流され破損、 また発火し焼損。

※ PCS とは、パワーコンディショナ（Power Conditioning System）を指す。

出典) 経済産業省による産業構造審議会・電力小安全委員会及び新エネルギー発電設備事故対応・
構造強度 WG「令和元年台風 19 号における太陽電池発電設備の被害状況一覧」

表 2.3-6 太陽電池発電設備の事故の特徴

発生年	災害	発生地域	事故概要	事故原因	現状と対策
2018年	土砂崩落	兵庫県	集中豪雨により発電所構内(発電所出力:750kW)で土砂崩れが発生し、太陽光パネル・パワーコンディショナが崩落。	<p>姫路における7月の平均降水量は167mmであるのに対して、崩落時の降水量は2日間で212mmであり、又、数日前から長時間にわたる降雨が継続していたため、大型ブロックの数十メートル上部の法面に雨水が流れ込み、すべり面が発生し、崩壊したものと考えられる。</p> <p>なお、施工前の現地測量及び調査において、湧水が確認される等、法面が極めて不安定な状態であったため、大型ブロックによる施工を決定。メーカーによる強度計算を行い、滑動及び転倒について問題がないことを確認している。湧水の影響を考慮し、排水施設を設置。また、表面水の流入防止のため天端部に張りコンクリートが施工されていた。</p>	<p>崩落後、パネルの飛散対策を行った。その後複数回の台風を経験したが二次災害は発生していない。</p> <p>パワコンとパネルの一部は土砂に埋まったままで撤去できていない状況。撤去できたものについては、発電所内の空きスペースに飛散しないよう処置し保管中。</p> <p>現在、複数の業者から復旧に関する意見を聞いているところ。これを踏まえ復旧プランを年末までに作成予定。</p>

発生年	災害	発生地域	事故概要	事故原因	現状と対策
2018年	強風	大阪府	屋上に設置されていた太陽光パネルが強風により損壊・飛散。ケーブルラック本体の倒壊及びラック蓋・支持金具の飛散により被害が拡大。近隣の建物に飛散し、建物を損傷。破損したパネルから発火（原因不明）。	台風 21 号による強風が設計上の最大風速を大幅に超過したことが原因と推定（設計上の最大風速 34m/s、地表面粗度区分Ⅲ）。	応急措置として構外に飛散したパネルの破片等を撤去した。また、パワコンを解列し、全面的に運転を停止中。構内の撤去作業の時期は調整中。パネル、支持物は、風圧対策を取った上で全面的な取換工事を行う。復旧工事は来年以降の見込み。
2018年	強風	大阪府	風圧による応力の影響でパネルが破損。また、構内外の砂利が飛散し、パネルのガラス面に衝突し、破損。	建設当時の技術基準に基づき、構造強度計算において地表面粗度区分Ⅲを適用しており、パネルの飛散は無かったが、当該発電所は海上人口島先端部の平坦な場所に設置されており、パネルの耐荷重仕様値を超える圧力が生じ、ガラス内部より全体が粉砕したと推定される。飛来物による破損については、強風により構外及び構内の保守作業用の通路に敷いた砂利が飛散し、パネルガラス面に衝突したことで、破損に至っている。	現在、絶縁抵抗測定の結果、異常がある回路は全て解列し、発電所の正常部分のみ稼働している。風圧による破損対策については、正圧に対する耐荷重性能を向上させたパネルに交換予定。砂利飛散の対策として、通路のアスファルト舗装や粉塵飛散防止剤の散布を検討。復旧については、現在、交換用のパネル発注を予定しており、工事は来年早々に実施する見込み。

発生年	災害	発生地域	事故概要	事故原因	現状と対策
2018年	強風	大阪府	<p>水上設置型太陽光パネルを係留するアンカーとフロートを接続するボルトが折損し、フロート全体が流され、パネルの一部が変形・破損した。</p> <p>太陽光パネルの飛散はなかったものの、フロート部分が風でおおられ、パネル 733 枚が反り返る被害が発生。</p>	<p>フロートとパネルの接続部やアンカーを含めた発電施設全体の強度は風速約 60m/s に耐える設計であったが、アンカーとフロートを接続するボルトがプラスチック製で中心部に空洞があり、風速 30～40m/s に耐える設計強度であった。</p> <p>台風 21 号に伴う大阪狭山市の最大瞬間風速は 38.1m/s であり、現場における最大瞬間風速は 40m/s を超えていた可能性があり、アンカーとフロートを接続するボルトの設計強度を超えた可能性がある。</p> <p>更に、暴風に伴い水流が発生したことも示唆され、複合的な原因により破損したと推定される。</p>	<p>現在、破損したパネルを電氣的に切り離し、破損していない部分で発電中。</p> <p>対策としては、フロートとアンカーを接続するボルトの空洞内に金属製の芯を入れ、風速 60m/s に耐えるよう強化する。</p> <p>今後、破損した部品の代替部品が届き次第、修繕を行って年内復旧予定。</p>

出典) 経済産業省電力安全課「今夏の太陽電池発電設備の事故の特徴について」

2.4 リユース診断の状況調査

使用済太陽電池モジュールのリユース診断の現状及び課題を把握するため、リユース品を販売する2事業者、リユース診断のみを手掛ける1事業者、又、リユース品を設置している1事業者にヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査の実施概要は、表 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 ヒアリング調査実施概要

No.	ヒアリング先	リユース事業領域	ヒアリング内容
1	リユース品 販売事業者 A	新古品・使用済品の国内仕入れ リユース診断 リユース品販売 (※入金時点で顧客に引き渡すため、 輸出は担っていない)	リユース事業概要 リユース診断・検査の フローと判断基準
2	リユース品 販売事業者 B	新古品・使用済品の国内仕入れ リユース診断 リユース品販売 (※海外の顧客に直接販売し、 輸出までを自社で実施)	リユース促進に向けた 工夫・課題 海外リユースに係る動向
3	リユース 診断事業者 C	使用済品の洗浄 リユース診断 (※依頼元はリユース品販売事業者)	
4	リユース品 導入事業者 D	リユース診断 (※リユース品販売事業者から リユース品受取後、自社で実施)	リユース診断内容 リユース判断基準

2.4.1 リユース診断事業と条件整理

リユース品の診断・検査の詳細についてヒアリング調査した結果から、リユース診断に係る基礎情報を表 2.4-2 に示す。新古品と中古品、並びに国内リユース品と海外リユース品で検査項目と検査の流れが異なる事業者は存在した。

なお、いずれの事業者も「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」の存在は認知しており、本ガイドラインに準拠したリユース診断を実施していた。

表 2.4-2 リユース診断に係る基礎情報

ヒアリング先	事業者A	事業者B	事業者C	事業者D
検査項目 (必須)	<ul style="list-style-type: none"> 製品情報 外観検査 	<p>【国内販売の場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> 製品情報 運用実績 外観検査 IV 測定 絶縁抵抗測定 <p>【海外輸出の場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> 運用実績 外観検査 簡易能力検査 	<ul style="list-style-type: none"> 製品情報 運用実績 外観検査 IV 測定 EL 検査 目視検査 絶縁抵抗測定 	<ul style="list-style-type: none"> 外観検査 IV 測定 絶縁抵抗測定 <p>(※受取品全数検査)</p>
検査項目 (購入者の要望 に応じて実施)	<ul style="list-style-type: none"> IV 測定 EL 検査 絶縁抵抗測定 	<ul style="list-style-type: none"> EL 検査 	—	—
検査場所	排出先で現場検査	<p>【国内販売の場合】</p> <p>排出先から引き上げ、自社工場で検査</p> <p>【海外輸出の場合】</p> <p>排出先で現場検査</p>	リユース事業者から運び込まれ、自社の診断施設で検査	自社

ヒアリング先	事業者A	事業者B	事業者C	事業者D
コスト	購入者任意の追加検査費用はリユース品価格に転嫁	—	診断設備を数百万程度で買い取ったため、1枚800円程度の価格設定で黒字	—
リユース可否判断基準	設置年が5年程度、8～10年以内のリユース品を中心に販売 (※10年以上古いリユース品は絶縁検査が難しい場合もあり、購入者の強い要望がない限り販売しない)	【国内販売の場合】 詳細な性能検査によって、品質のいいリユース品を販売 【海外輸出の場合】 現地の能力検査と過去の発電データから、リユース品として問題のないモジュールを引き上げる	診断結果をリユース事業者に連携し、リユース可否の判断も委任 (※リユース不可のモジュールの場合、引取り、リサイクル処理を実施)	2010年代前半のPID対策が実装されていないモジュールや、下記に示すような性能劣化が激しいメーカー・型式のモジュールは避ける ・ 局所的に発熱して高温になる不具合「ホットスポット」が多い ・ PIDが発生しやすい、等 (※耐圧性が高い国内メーカーは問題ないが、一部の海外メーカー製は懸念が残る)
品質評価	太陽電池モジュールの製造・開発経験に基づき、メーカー別にモジュールの品質をある程度推測可能	【国内販売の場合】 外観だけでなく残存能力の有無も把握するために、IV検査によって不良品を特定	提携先のリユース事業者が検査結果を踏まえて、リユース品にランクA～Dのグレードを設定し、ランクDの場合リユース不可と認定 (※ランクDのリユース品は検査数の1割未満程度)	リユース可否診断ツールが存在しなかったため、独自の品質評価基準でA～Dのランクを設定

2.4.2 適正なリユース診断促進における課題

ヒアリングを通じて、適正なリユース診断促進に向けた課題及び問題点が指摘された。

【排出段階】

- 産業廃棄物として一度マニフェストが付与された太陽電池モジュールが、状態良くリユース適性を秘めていたとしても、リユースできないことは制度的な課題ではないか。

【リユース診断段階】

- 未検査や簡易検査のみでは、リユース品の性能が担保できないことから、輸出される場合には廃棄物輸出になりかねないと危惧している。不正な海外輸出事業者を取り締まるためにも、太陽電池モジュールのリユースに係る基準を作るべきだと考える。
- リユース基準が統一されていないため、目視検査のみ実施した粗悪品の販売が行われているケースを目にしたことがある。

使用済太陽電池モジュールの排出段階の課題として、「産業廃棄物管理票（マニフェスト）が交付されたモジュールはリユース不可である」ことがあげられる。マニフェスト交付後のリユース利用は産業廃棄物の不適正事例に当たるため、現状リユース可否診断が行われずにマニフェスト交付されたことで、リユース適性を秘めた使用済太陽電池モジュールが中間処理されるケースが発生している。リユースできうるモジュールは新古品に限らず、外的損傷が少ない使用済太陽電池モジュールであっても性能次第ではリユース可能であるため、資源循環・再利用させるためには、マニフェスト交付前にリユース可否診断を実施する必要があるだろう。

リユース診断段階では、「リユース可否診断の基準がない」こと、「リユース品質評価が不透明である」ことが課題としてあげられた。現状、リユース可否診断の実施が事業者に一任されているため、外観検査等の簡易検査や未検査のまま中古品を再流通させる、不適正リユースに対して懸念の声がある。今年度調査でヒアリングを実施したリユース事業者はいずれも、性能が担保されていない粗悪品をリユース品として海外輸出を行う業者が存在する可能性に強い課題意識を持っていた。

その背景として、海外ユーザーは詳細な性能検査結果を求めず、使用歴やロット数（枚数）のみを重視する傾向にあると伺った。性能検査を不要としている理由は、検査コストを割愛することで、リユース品価格を抑えるためである。中古品の状態にもよるが、簡易検査もされないリユース品は不良品に整理される可能性もあり、安易な海外輸出は廃棄物輸出につながるため、バーゼル条約にも抵触しかねない。不適正リユースは違法行為の可能性だけでなく、国内の発電事業者におけるリユース品への信頼性も毀損するほか、排出事業者が不適正リユースの出所としての責任負担を忌避するため、リユース品供給の忌避意識も強めかねない。適正リユース品を市場に流通させるためには、最低限のリユース診断基準

を整備することも1つの方法だと考えられる。

ただし、リユース可否診断の実施に当たり、簡易的な診断だけでは、不良品を完全に排除することはできないと推察される。例えば、解放検査やインピーダンス測定で問題なければ故障は起こらないとされているが、同検査ではクラスター断線を見つけることはできないようである。また、長時間野外で放置されていた使用済太陽電池モジュールは、最低限の抜き取りの性能検査を実施しないと、発火の危険性があるとも伺った。そのため、リユース可否診断の項目に、適切な性能検査の実施義務化等、必須条件を設けることが考えられる。

その一方で、品質評価は引き続き課題として残る。仮にリユース可否診断が義務化されたとしても、品質基準が公に定まっていない状態では、発電事業者がリユース品を選択するかは未知数である。リユース設置業者 D では、自治体の補助金を用いてレンタルした測定装置を用いて、全モジュールに IV 測定と絶縁抵抗検査を実施し、A から D まで独自でランク付けを行っていた。独自ランクは、過去の検査実績から得られた経験値に基づくものだが、その評価手法が暗黙知であることを課題と認識していた。不適正リユースを防ぐと同時にリユース品の信頼性を回復するためには、リユース診断項目への明示に加えて、リユース品質評価に一律の基準を設けること等が必要かもしれない。

ただし、リユース診断の義務付けは、リユース品価格の向上につながることから、気を付けて検討する必要がある。適切なリユース診断が重要であることに変わりはないが、同時に検査コストを最小限に抑えることが重要と話している事業者がいた。新品と比べて、価格は優位性の1つであることから、あまりに多くの検査コストがリユース品価格に上乗せされることは望ましくない。リユース設置業者 D では、極力コストをかけずに良質なリユース品を導入するために、以下の工夫を実践していた。

- 排出前から状態や製品データを確認する
- 輸送後、太陽電池モジュールの洗浄と同時に外観検査を行う
- 予備品も含めて現地に搬入し、電流・電圧を常にモニタリングし、ホットスポットの有無を確認し、必要に応じ入れ替えを行う
- 多くの撤去・解体事業者と接点を有することで、排出情報を得る

なお、ヒアリング調査を通じて、検査手法に技術的な課題を感じている事業者は見かけられなかった。

2.4.3 適正なリユース診断を促進する手法検討

リユース診断の実施に当たり、リユース事業者から以下の要望が得られた。

- 工場検査する場合、情報連携以外で排出業者に求める要項はないが、現地検査の場合、ケーブルが接続された状態での引き取りが望ましい。IV 測定や EL 検査、また絶縁抵抗測定の内いずれの場合においても、撤去前の運用段階の方が検査実施しやすい。
- 外観写真等の連携だけではなく、発電事業者には発電性能検査が分かる資料の準備・連携をしてほしい。

章 2.4.2 で整理した、適正なリユース診断における課題と、リユース事業者からの要望を踏まえて、リユース診断促進の対応策を下記に示す。

(1) 排出後のリユース可否診断の徹底

リユース診断を促進するためには、排出直後のリユース可否診断を徹底することが重要だと考えられる。現状、使用済太陽電池モジュールはリユース可能な性能を保持していたとしても、乱雑な撤去・解体によって外的損傷を受ける場合がある。更に、産業廃棄物マニフェストが発行された場合には、その状態が良かったとしてもリユース品に回せないといった制度的課題もある。そのため、使用済太陽電池モジュール排出後の第一工程が、撤去・解体ではなくリユース可否診断となれば、リユース可能なモジュールがリユース市場に流れるため、状態の優れたリユース品確保につながると考えられる。

ただし、第三者によるリユース認定制度等を設けると、各種コストが増し、リユース品価格が上昇しかねない点には留意が必要である。そこで、コスト抑制のために、自動でリユース可否を判定するツールの活用等が考えられる。現在、業界で流通するリユース可否診断ツールは、開放電圧、短絡電流、インピーダンス、バイパスダイオード開放・短絡、絶縁抵抗の 5 つの測定項目を総合的に自動判断し、○×判定で、容易にリユース可否判断が可能となっている。これにより、外観検査は人力が伴うが、内部検査を自動化できる。

また、排出現場で診断する場合は、適切な性能検査の実施のために、発電事業者に対してケーブル接続状態でリユース可否診断を依頼するよう周知することも必要になると考えられる。メンテナンス時や排出前から状態や製品データを確認したり、発電事業者が発電性能検査に関する資料を連携したりすることで、検査コストの抑制にも寄与する。

(2) リユース可否診断の検査項目の指定

未検査や性能検査が不十分である、不適正リユース品を減らすためには、リユース可否診断の基準を明確にすることが重要だと考えられる。特に海外への不適正リユース事例を減らすためにも、国内リユース品と海外リユース品のリユース診断内容と可否基準は統一することが望ましいだろう。リユース基準を明確にするべく、リユース可否診断時や定期メン

メンテナンス時の検査項目に、IV 測定等の適切な性能検査を指定することが考えられる。現状、解放電圧の測定があれば問題ないと認識されており、定格出力 2,000kW 以上の超高圧モジュールを除く、定格出力 50kW 未満の低圧モジュールから、定格出力 50kW 以上 2,000kW 未満の高圧モジュールまでは IV 測定を実施していないケースが多い。しかしながら、IV 測定は検査コストがかかるものの、クラスター断線を発見できるため、不良品の特定ができる。

また、十分な発電能力情報の可視化に向けては、検査項目に適切な性能検査を盛り込むほか、発電性能検査が分かる資料の事前連携を、発電事業者側に促すことも重要ではないかと考える。

(3) リユース品質基準の整備

リユース診断基準を明確化するだけでなく、リユース品質基準を整備することも必要だろう。現状、リユース診断結果を踏まえて独自で A~D のランクを設定している事業者は複数存在したが、リユース品としての評価手法を、より形式知化していくことが求められる。先進的にリユースに取り組んでいる事業者や発電事業者等と連携し、共通のリユース品質基準を策定することにも、今後取り組んでいく必要があるかもしれない。独自設定している事業者へのヒアリング等から、その項目や基準を整理することが先ず求められる。

2.5 リユース品の海外輸出状況の把握

2.5.1 太陽光発電協会の出荷統計による輸出量の把握

現在、太陽電池モジュールのリユース品輸出状況を定量的に把握できるデータベースは存在しないと考えられる。財務省「貿易統計」より、太陽電池モジュールに該当する HS コード（8541.42「光電池（モジュール又はパネルにしていないもの）」、8541.43「光電池（モジュール又はパネルにしてあるもの）」を確認したが、情報は得られなかった。また令和3年度と同様に「品別国別表」でも検索を試みたが、そちらでも輸出量データは把握されていなかった。

統計番号 Statistical code		品名 Description	単位 Unit		他法令 Law
番号 H.S.code			I	II	
	100	-- 表示しないもの		IF	ET
	900	-- その他のもの		NO	ET
		-- 光電性半導体デバイス（光電池（モジュール又はパネルにしてあるかないかを問わない。）を含む。）及び発光ダイオード（LED）			
8541.41	000	-- 発光ダイオード（LED）		NO	ET
8541.42	000	-- 光電池（モジュール又はパネルにしないもの）		NO	
8541.43	000	-- 光電池（モジュール又はパネルにしてあるもの）		NO	ET

出典）財務省貿易統計「輸出統計品目表」

図 2.5-1 太陽電池モジュールに該当する HS コード

そこで、一般社団法人太陽光発電協会（以下、「JPEA」という。）が独自に集計した出荷統計を参照することにした。JPEA では、国内と海外の事業者調査協力を依頼し、日本における太陽電池の出荷量、及び日本企業における太陽電池の出荷量を調査している。2021年度の日本における太陽電池モジュールの海外輸出量は、モジュールの総出荷量のうち、国内生産され海外出荷された 210kW に相当する（図 2.5-2）。ただし、出荷量 210kW の属性は不明であり、リユース品ではなく新品である可能性も考えられる。

(kW)

	国内出荷			海外出荷			国内生産計	海外生産計	総出荷量
	国内生産	海外生産	国内出荷	国内生産	海外生産	海外出荷			
出荷量	139,315	1,006,203	1,145,518	210	4,805	5,015	139,525	1,011,008	1,150,533
前年同期比	66%	104%	97%	73%	31%	32%	66%	103%	96%

出典) 一般社団法人太陽光発電協会

図 2.5-2 日本における太陽電池モジュールの総出荷量 2021 年度第 4 四半期

2.5.2 リユース事業者へのヒアリングによる海外輸出量調査

リユース品の海外輸出実績を有するリユース事業者 2 社に対して、その輸出実態に関するヒアリングを実施した。その概要は、以下のとおりである。

(1) 海外への輸出量

リユース事業者 2 社の輸出量は、表 2.5-1 に示すとおりである。なお、事業者 B では海外取引を担当者が行っており、取引成立後には現場立会（海外ユーザーであっても排出場所等で現地立会）を行うため、リユース品の在庫を持たない特徴がある。

表 2.5-1 リユース事業者へのヒアリング結果（輸出量）

リユース事業者	搬入先：海外	搬入先：国内	在庫	令和 3 年度総搬入枚数
事業者 A	3,054 枚	393 枚	687 枚	4,134 枚
事業者 B	8 割程度 (約 2,400 枚)	2 割程度 (約 600 枚)	0 枚	3,170 枚

(2) 海外輸出実態

事業者 A は、かつて商社を通じて海外輸出していたが、現在は自社の海外営業課を通じて、現地購入者に直接売却していると伺った。2021 年までは HS コード 8541.40 「光電性半導体デバイス（光電池（モジュール又はパネルにしてあるかないかを問わない。）を含む。）及び発光ダイオード（LED）」を利用し「中古太陽光パネル」として通関していた。2022 年度以降に 8541.43 「光電池（モジュール又はパネルにしてあるもの）」のコードが追加されたため、後者を利用している場合もある。

事業者 B では 2021 年度における販売実績のうち、リユース品の搬出先の 8 割程度が海外であり、顧客は中国や中東の発電事業者や小規模な商社・輸入業者が大半を占めていた。国内の使用済太陽電池モジュールへの海外需要は、昨今の円安影響が生じる前から高まっていたようである。なお事業者 B では、売買契約を締結し、入金が確定した時点で顧客にリユース品を引き渡しているため、海外輸出管理は顧客が担うスキームとなっている。

なお、事業者 A、事業者 B とともに、海外輸出した後のリユース品の利用用途は把握していなかった。

2.6 リサイクルに関する新規動向調査

国内における使用済太陽電池モジュールのリサイクル等について、新規動向を把握するために、ここでは下記 3 つの取組について整理を行う

- PV CYCLE JAPAN が実施する地域収集モデル検討委員会「宮城実証事業」内容
- 廃棄モジュールの水平リサイクルを目指す「一般財団法人 PV リボーン協会」の取組
- 東京都の「太陽光パネルの高度循環に向けた実証事業」の実施内容

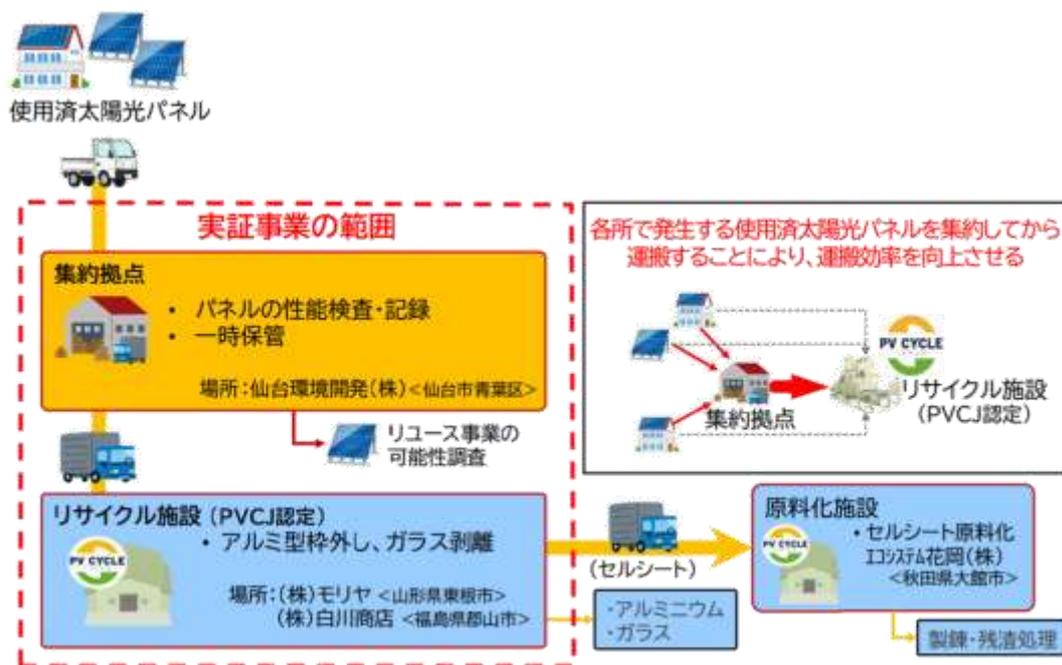
また、第 33 回廃棄物資源循環学会にて発表された、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、及びソーラーフロンティア株式会社による共同論文も取り上げる。

(1) 地域収集モデル検討委員会による宮城実証事業等 -PV CYCLE JAPAN の取組-

地域収集モデル検討委員会は、EU における使用済太陽電池モジュールの適正なリサイクル処理を推進する国際的非営利団体 PV CYCLE の日本パートナーである PV CYCLE JAPAN（以下、「PVCJ」という。）内の実行機関である。地域収集モデル検討委員会では、2022 年 11 月から宮城県内で廃棄される使用済太陽電池モジュールの集約拠点を設け、一時的に使用済太陽電池モジュールを保管した上でリサイクル施設に運搬する「宮城実証事業」を開始している。同実証事業では、集約拠点の設置による収集・運搬の効率化を目的としていた。

表 2.6-1 地域収集モデル検討委員会による宮城実証事業の概要

地域収集モデル 検討委員会 委員長	東北電力
実証事業の参加者	仙台環境開発株式会社（仙台市） 株式会社モリヤ（山形県東根市） 株式会社白河商店（福島県郡山市） エコシステム花岡株式会社（秋田県大館市）
実証事業の目的	各所で発生する使用済太陽電池モジュールを集約し、PVCJ 認定のリサイクル施設に運搬することで、収集・運搬効率を向上させる
実証事業の内容 (役割分担)	<ul style="list-style-type: none"> 仙台環境開発を使用済太陽電池モジュールの集約拠点とし、一時保管するとともに、モジュールの性能検査・記録してリユース事業の可能性調査を実施 持ち込まれたモジュールを集約して、リサイクル施設であるモリヤと白河商店へ運搬し、素材ごとに分解処理 ブラスト工法でガラスを剥離した後のセルとバックシートは、エコシステム花岡が原料化



出典) 東北電力株式会社 PVCJ 地域収集モデル検討委員会「宮城実証事業」

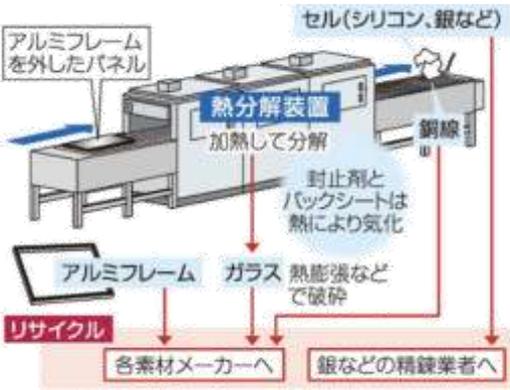
図 2.6-1 宮城実証事業の流れ (仮)

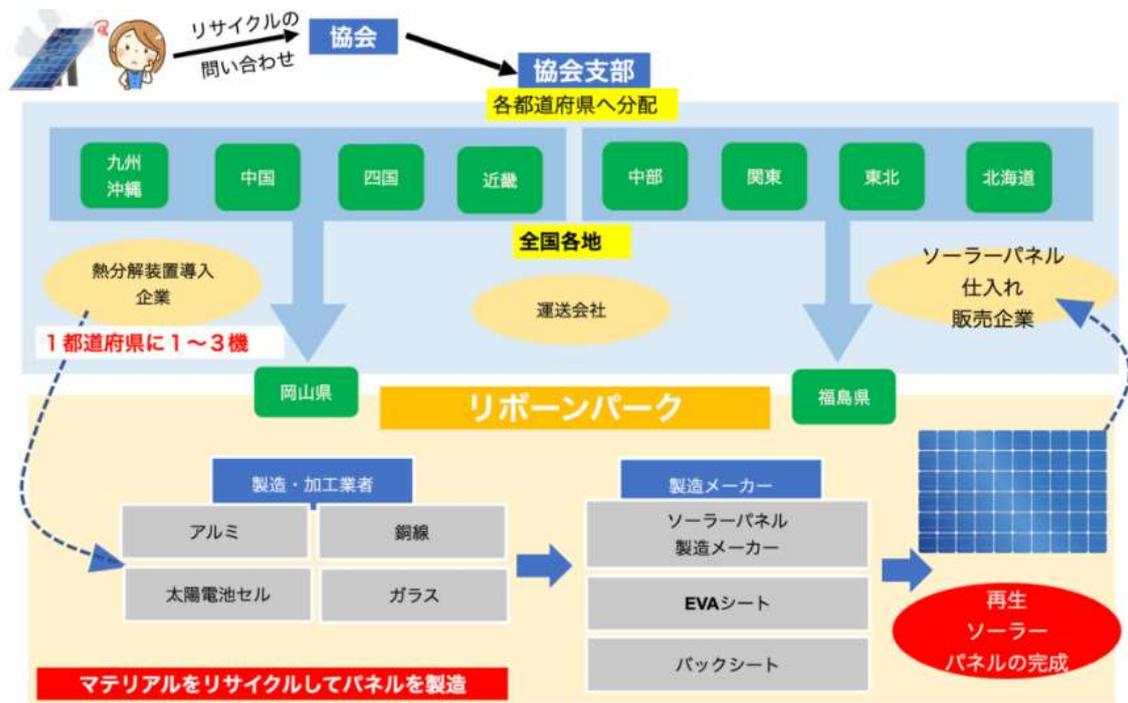
(2) 一般財団法人 PV リボーン協会 による取組

一般財団法人 PV リボーン協会は、廃棄太陽電池モジュールの水平リサイクルによるエネルギーの自給自足を目的として、2022年8月に太陽光発電システム開発・販売を手掛ける株式会社新見ソーラーカンパニーによって設立された。一般財団法人 PV リボーン協会では、新見ソーラーカンパニーが開発したモジュールのリサイクル技術を活用して、産廃処理業者や素材メーカー等と連携し、廃棄モジュールを素材に戻して新たなモジュールの原材料にするサプライチェーンの確立（図 2.6-2）を目指している。

新見ソーラーカンパニーが開発し、2021年に特許を取得したリサイクル技術の概要を表 2.6-2 に示す。

表 2.6-2 新見ソーラーカンパニーが開発したモジュール熱分解のリサイクル技術の概要

リサイクル技術名称	佐久本式ソーラーパネル熱分解装置
リサイクル技術内容	<p>廃棄太陽電池モジュールからアルミフレームを外した後、高温の水蒸気でモジュールを加熱し、モジュールの封止剤や樹脂シートを熱分解で気化させ、表面のガラス、太陽電池に使われている銀やシリコン、配線の銅等を高純度で回収する</p>  <p>出典) 一般財団法人 PV リボーン協会</p>



出典) 一般財団法人 PV リボン協会 ソーラーパネルリサイクルモデル

図 2.6-2 一般財団法人 PV リボン協会が目指すリサイクルモデル

一般財団法人 PV リボン協会では、佐久本式ソーラーパネル熱分解装置を用いて、廃棄太陽電池モジュールのガラスのアップリサイクルに取り組んでいる。従来に比べてガラスを高純度抽出できるため、2022年10月には廃棄太陽電池モジュールから分解抽出したガラスを使用し、ガラス工芸品を制作することに成功した。

今後は、回収した素材から太陽電池等を高効率で再生する技術を開発し、5年以内に太陽電池モジュールの水平リサイクルの実現を目指す予定である。更に、太陽光や風力等の発電装置と蓄電池を組み合わせた、循環型エネルギーシステムの研究も進めている。

(3) 東京都による実証等

東京都では、2018年から使用済太陽光発電設備の3R及び適正処理が促進されるように「東京都使用済太陽光発電設備リサイクル検討会」を設置しており、2022年6月まで効果的なリユース・リサイクル手法等の検討を実施していた(図2.6-3)。その後、検討会報告書に基づき、解体業者、収集・運搬業者、リサイクル業者等で構成する「東京都太陽光発電設備高度循環利用推進協議会」を設置し、協議会が中心となり、住宅用太陽光発電設備の高度循環利用推進に取り組んでいる。

東京都使用済太陽光発電設備リサイクル検討会報告書【概要版】	
<p>はじめに</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電は、2012年の固定価格買取制度等を契機に急速に設置が進捗 全国で8割を占める事業用は、既にリサイクル等に向け動き始めている。一方、都内で7割を占める住宅用は、リサイクル等への処理の流れは未整備 都は2018年に専門家で構成する検討会を設置。関係事業者へのヒアリング等により、実態把握に努めながら、今後の大量廃棄への対応を検討 本報告書では、都内で多くを占める住宅用の排出特性を踏まえ、適切に資源循環ができるよう、基本的な取組の方向性ととも、具体的な進め方まで取りまとめ 	<p>III 都内の排出特性を踏まえた取組の方向性</p> <p>①太陽電池モジュールの高度循環利用</p> <p>【リデュース】 (適切な維持管理) ・所有者による適切な維持管理をマニュアル等を作成により促進すべき (P/Aモデル等の活用) ・事業者が適切に維持管理を行うことでP/Aモデルやリユースモデルは有効 (環境配慮設計) ・修理や部品交換のほか、解体・分別が容易な設計をメーカー等に求めていくべき</p> <p>【リユース】 (取組の優先順位、性能診断) ・資源の有効活用の観点から、まずリユースを検討すべき ・リユースが可能な発電性能等の診断を行い、リユース困難な場合、リサイクルすべき (公共施設・工事等での活用促進) ・リユース品の利用拡大に向け、活用先の確保や、公共施設・工事等での活用を検討すべき ・国内での利用調整も行う民間のリユースプラットフォームの活用も有効</p> <p>【リサイクル】 (各工程が有機的に連携するルートの構築) ・メンテナンス、取外しから、リサイクルに至る、各工程が有機的に連携したルート構築すべき。また、情報を一元的に管理する情報基盤の構築・活用を検討すべき (リサイクルの方法・コストの周知) ・住宅用モジュールの所有者等が、廃棄時に適切に対応できるようリサイクルの方法・費用等を分かりやすく発信するほか、相談対応の体制を検討すべき (リサイクルへ誘導する方策の検討) ・インセンティブ付与等の活用も検討しながらリサイクルへ誘導すべき</p> <p>② 各主体の連携・役割 ・各主体の役割を明確にした上で、情報共有と連携を図るスキームの構築を検討すべき</p> <p>③ 資源活用の高制度化 ・活用用途の多様化とともに利用の拡大を関係団体等へ働きかけていくべき</p> <p>④ 国に対する提言・要望 ・事業用と比べ処理が不効率な住宅用モジュール等について、着実にリユース・リサイクルが進むよう、新たな仕組みの整備を図るに対して提言・要望すべき</p>
<p>I 太陽光発電設備の現状・課題</p> <p>(現状)</p> <p>①普及状況 都内は7割が住宅用(住宅用420千kW、事業用約188千kW)、全国では8割が事業用</p> <p>②モジュール処理の状況 (住宅用モジュール) ・現時点で住宅用の排出はまだ少なく、処理の流れは未整備 ・排出特性は、各戸からの排出量が小さく、排出場所や時期が散発的 (事業用モジュール) ・風水害等でまとめて排出され、再利用可能なものはリユースされている ・近年、首都圏でもリサイクル施設が稼働し事業用を中心に処理が始まっている (都内の排出量予測) 2030年代半ばに約2,000トン、2040年代半ばに約2,500トンが排出される見込み</p> <p>③大学提案実証事業 発電性能のスムーズな更新、効率的な収集運搬方法のシミュレーション等</p> <p>④国の動向 事業用(10kW以上)を対象に廃棄費用の積立制度を開始(2022年7月)</p> <p>(主な課題)</p> <p>①都内に多い住宅用モジュールに起因する課題 ・排出時のモジュール性能が把握されておらず、リユースとしての活用実績も少ない ・リサイクル施設への運搬が非効率、従来の破碎・埋立処理と比べ処理費用が割高</p> <p>②情報共有 多様な主体がある中、リユース・リサイクルに向けた役割分担・連携ができていない</p> <p>③資源の有効利用・高制度化 リサイクル処理後のガスの活用先が限られている</p>	
<p>II 基本的な考え方</p> <ul style="list-style-type: none"> 天然資源の消費抑制、環境負荷低減のため、サーキュラーエコノミーへ転換 排出が小口で散発的に発生するなどの都内の排出特性を踏まえた取組の推進 モジュールの取外し、収集運搬、リユース・リサイクルに至る各主体の連携 	<p>IV 具体的な進め方</p> <ul style="list-style-type: none"> 診断、養生、運搬等の共通ルール策定など、リユース・リサイクルルートの確立 リユース・リサイクルルートでの処理を円滑に実施するための、実態体制、各主体の連携スキームの構築

出典) 東京都 太陽光パネルの高度循環に向けた実証事業の概要、東京都使用済太陽光発電設備リサイクル検討会(第6回)、資料3、(2022)、p.3-22)

図 2.6-3 東京都使用済太陽光発電設備リサイクル検討会報告書(概要版)

また、東京都では2019年から2021年にかけて、早稲田大学や東京大学が中心となり、より高いレベルの資源循環利用に向け、リサイクル事業者等と連携しながら、先進的技術を活用した様々な実証事業を実施していた。

(4) NEDO の研究等

NEDO とソーラーフロンティア株式会社による共同研究が、2022 年 9 月に開催された第 33 回廃棄物資源循環学会において発表された。研究概要、及び結果について、表 2.6-3、表 2.6-4 に整理する。

表 2.6-3 廃太陽光パネルを骨材としたコンクリートの環境安全性評価

文献名	廃太陽光パネルを骨材としたコンクリートの環境安全性評価
作成年日	令和 4 年 9 月
著 者	土手裕（宮崎大学）、関戸知雄（宮崎大学）、 原田秀樹（ソーラーフロンティア株式会社）
研究内容	【研究概要】 <ul style="list-style-type: none">・ 廃太陽光パネルから分離されたカバーガラス及び資源回収残渣の混合物をコンクリート用骨材として利用した場合の環境安全性評価と資源回収方法の違いによる資源回収残渣の環境安全性評価を目的として、骨材及び利用模擬試料の溶出試験・含有量試験を実施 【研究結果】 <ul style="list-style-type: none">・ 廃太陽光パネル骨材が含有量基準・溶出量基準を満足したことにより、骨材を用いて作成された利用模擬試料も両方の基準を満足した。・ 廃太陽光パネルをコンクリート用骨材として用いた場合、骨材、利用模擬試料どちらで評価しても環境安全上再利用が可能であると言えた。

表 2.6-4 結晶シリコン型太陽電池モジュールのマテリアルリサイクルに関する研究

文献名	結晶シリコン型太陽電池のマテリアルリサイクルに関する研究
作成年日	令和 4 年 9 月
著 者	原田秀樹、酒井紀行、松山普一、飯島正広、 白間英樹（ソーラーフロンティア株式会社）
研究内容	【研究概要】 <ul style="list-style-type: none">・ ガラスに対するマテリアルリサイクルの研究を実施 【研究結果】 <ul style="list-style-type: none">・ ガラスを割らずに太陽電池モジュールから回収するガラス分離方式「パネルセパレータ」を開発した。・ ガラスの組成を分析、及びその組成に応じた用途を検討した。リユースに対しては施設園芸用への応用、水平リサイクルに関してはガラスカレット化を介してグラスファイバー用途を検討し、要求品質を満たすことを確認した。

以上が、本調査で確認できたリサイクルに関する新たな取組であった。なお、中間処理業者として、株式会社新菱が加熱燃焼方式の高度リサイクル技術を開発している。その処理方法は、アルミ枠を外した太陽電池モジュールを高温炉に投入することで、封止材の樹脂を熱分解し、ガラスやシリコンセル、銅線に分けるものである。なお熱分解された樹脂は炉の熱源に使い、熱エネルギーとして回収される。更に、ガラス面が破損している太陽電池モジュールは、樹脂の分解後に振動ふるいや風力選別を使って選別する技術を、早稲田大学と共同開発していた。本リサイクル工場は、2023年度に本格稼働を開始すると発表されている。

2.7 最終処分状況調査

使用済太陽電池モジュールの埋立処分実態を把握するため、最終処分業者を対象に、アンケート調査を実施した。継続実施している調査であることを踏まえ、アンケート内容は令和3年度調査票を参考としつつも、目的を改めて整理した上で、一部項目の修正を行った（表2.7-1）。

表 2.7-1 今年度調査の実施目的と調査項目の変更方針

実施目的		今年度項目	令和3年度調査からの変更点・意図	設問
①	マテリアルフロー（排出～埋立）の把握	太陽電池モジュール由来廃棄物の埋立に関する相談事例の有無	✓ 相談時の対応方針を軸に、後段の質問対象を選定。	1
		太陽電池モジュール由来廃棄物の埋立に関する相談元	✓ 主な相談元を把握しつつ、排出現場から最終処分場への直送事例が発生していないかを確認。	1
		受入量（直近4年）	—（変更なし）	1
②	埋立に至る前提・背景の把握	埋立容量・残余容量・埋立量	✓ 昨年度調査にて容量不足懸念の回答があったため、定量的に把握する方針に変更。	1
		受入時の荷姿	—（変更なし）	1
③	埋立手法や精度（分別度合い）の把握	搬入状況（分別有無）	—（変更なし）	1
		受入時の検査有無	—（変更なし）	1
		埋立工程（破碎・分別有無）	✓ 有価物回収の有無に加え、他の産業廃棄物等と埋立エリアを区分けしているか併せて確認。	1
		追加対策実施の有無	—（変更なし）	2
④	適正処分に必要となる諸情報取得状況の把握	情報取得状況	—（変更なし）	1
		ガイドラインの認知・把握状況	—（変更なし）	2
		太陽電池モジュール由来かどうかの把握有無、及び確認方法	✓ 把握有無、及び確認方法（目視、WDS、口頭による伝達、等）を併せて確認。	2
⑤	今後の太陽電池モジュール由来廃棄物の対応余地、懸念等の把握	受入・埋立に伴う懸念事項	—（変更なし）	2

2.7.1 アンケート調査対象の概要及び回答状況

今年度のアンケート対象とした事業者は、令和3年度調査で実施した、最終処分場を有する44社である（表2.7-2）。

表 2.7-2 太陽電池モジュールの受入状況アンケートの概要

項目	詳細
実施方法	対象各社に対し、アンケート調査票の送付。
対象	令和3年度調査対象である、最終処分場を有しており、各地域の処分場容量の大きい割合を占めていると考えられる44社
回答者数	40社/44社（90.9%） ※回答辞退が1件存在

2.7.2 アンケート集計結果

(1) 使用済太陽電池モジュールの埋立処分の実施状況

使用済太陽電池モジュールの相談を受けたことがある最終処分業者は約半数だが、受入実績のある事業者は全体の10%程度にとどまる。

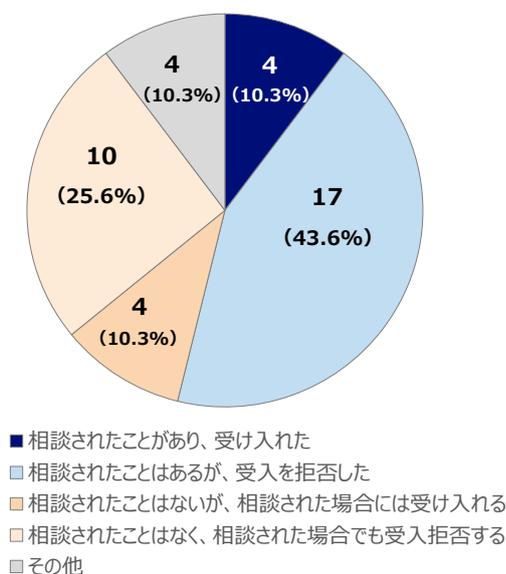


図 2.7-1 使用済太陽電池モジュールの埋立処分に係る相談有無と対応（社、N=39）

使用済太陽電池モジュールの埋立処分を行うことのできる（「相談されたことがあり、受け入れた」、又は「相談されたことはないが、相談された場合には受け入れる方針である」いずれかを回答した事業者）最終処分業者について、地域別に残余容量を集計した。

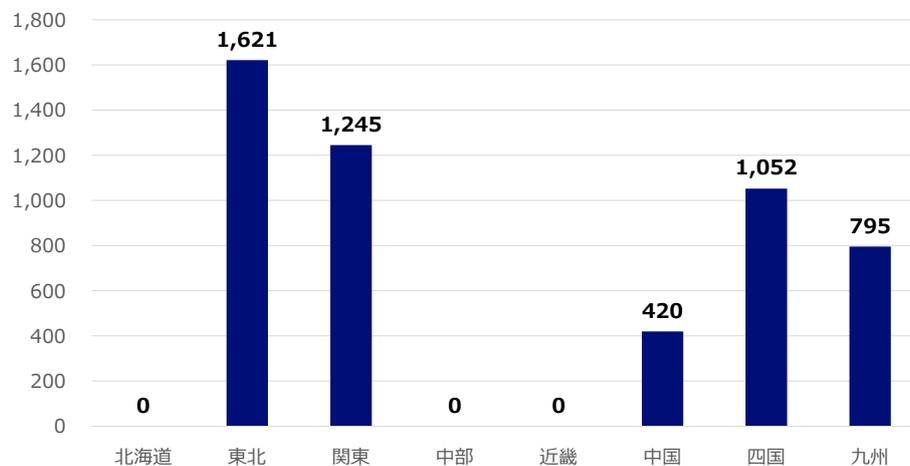


図 2.7-2 地域別残余容量 (m³、N=8)

太陽電池モジュールの埋立処分について、「相談されたことがあり、受け入れた」または「相談されたことはあるが、受け入れを拒否した」いずれかの事業者における相談元は、撤去・解体事業者が最も多く、次いで中間処理業者であった。

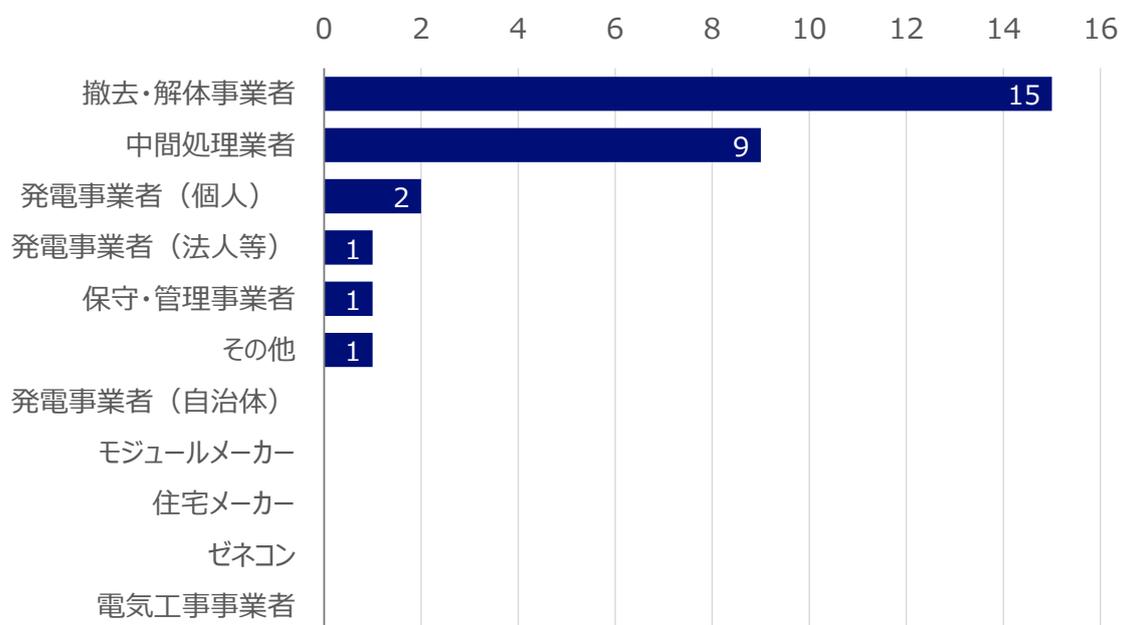


図 2.7-3 使用済太陽電池モジュールの埋立処分相談者 (N=21、複数回答)

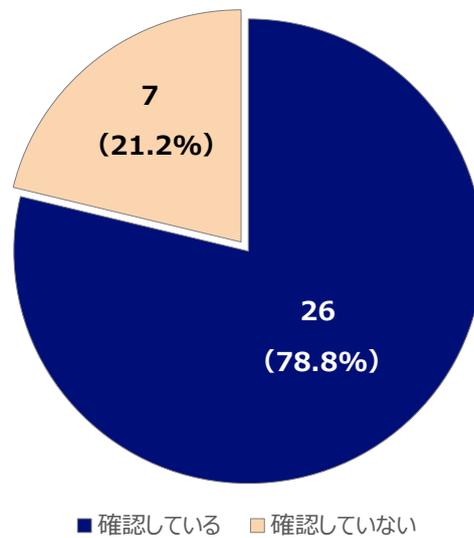
使用済太陽電池モジュールの埋立処分について「相談されたことがあり、受け入れた」事業者4社のうち、受入量・埋立処分量を把握しており回答可能な事業者は2社であった。近年では、2019年度の埋立量が特に多くなっていた。2019年度は災害起因の影響が大きく、最終処分場の周辺地域で発生した災害に伴う受入依頼が多かった旨を聞き取りで確認している。

使用済太陽電池モジュールの埋立処分について「相談されたことはあるが、受け入れを拒否した」と回答した事業者について、受入を拒否した理由を確認したところ、感電・火災への心配、有害物質が溶出するリスクへの懸念等、最終処分場への悪影響が主にあげられた。

表 2.7-3 太陽電池モジュールの受入を拒否した理由（自由回答）

観 点	意 見
受入リスク	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製品情報や含有物質情報が不明な場合がある。 ・ 使用済太陽電池モジュールの埋立による感電・火災、又、有害物質溶出等の危険性が懸念されるため。 ・ 最終処分場の容量逼迫が懸念されるため。
受入体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用済太陽電池モジュールの受入に係る条件が整備されていないため。 ・ 受入基準はあるものの、太陽電池モジュールの性状が基準を満たさない場合があるため。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ リサイクル可能と判断されたため。

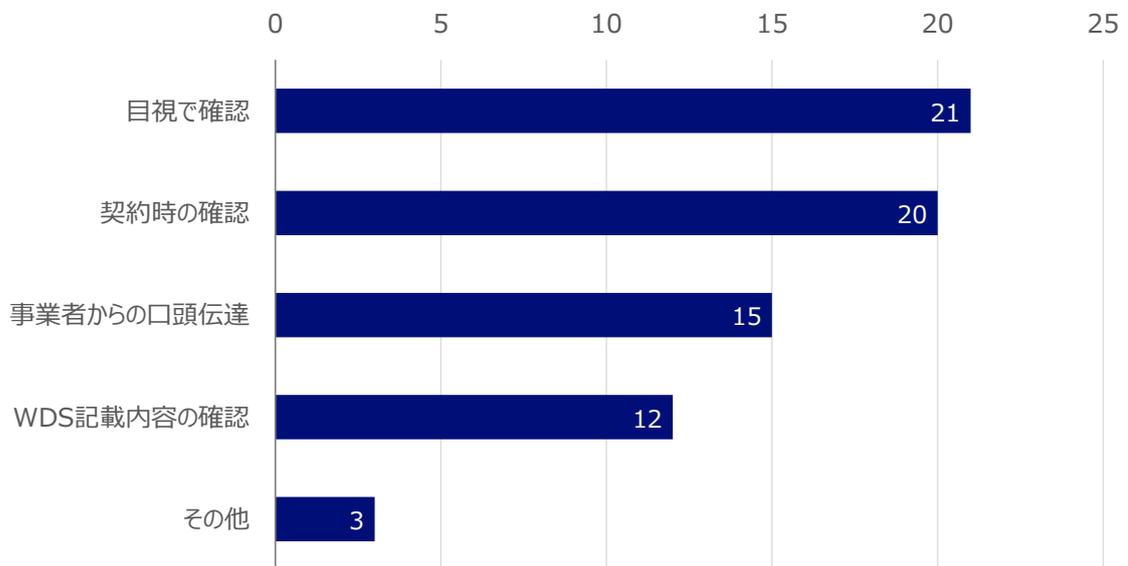
なお、埋立処分の際、使用済太陽電池モジュール由来の廃棄物の混入有無は、回答事業者の約8割が「確認している」と回答していた。確認方法としては「目視で確認」、「契約時の確認」が多かった。



■ 確認している □ 確認していない

※ 6事業者が未回答であった。

図 2.7-4 混合物受入に際した、使用済太陽電池モジュール由来の確認有無（社、N=33）



※ 前問にて「使用済太陽電池モジュール由来のものが含まれるか確認している」と回答した事業者を対象としている。

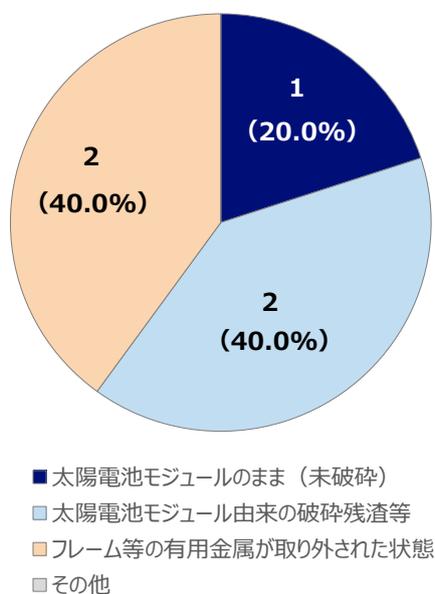
図 2.7-5 使用済太陽電池モジュール由来の確認方法（N=26、複数回答）

(2) 埋立処分に係る実態

使用済太陽電池モジュールの埋立処分について「相談されたことがあり、受け入れた」と回答した事業者を対象に、想定される受入・埋立フローを確認した。

1) 受入・搬入荷姿

受入時の荷姿形状は「モジュール形状のまま」、「モジュール由来の破碎残渣」、「有用金属（アルミ枠）が取り外された状態」のいずれも回答があった。その一方で、他の産業廃棄物との混載はされておらず、回答事業者の全てが「使用済太陽電池モジュール単独で搬入される」状況であった。



※1事業者のみ複数回答している。

図 2.7-6 受入時の荷姿（社、N=4）

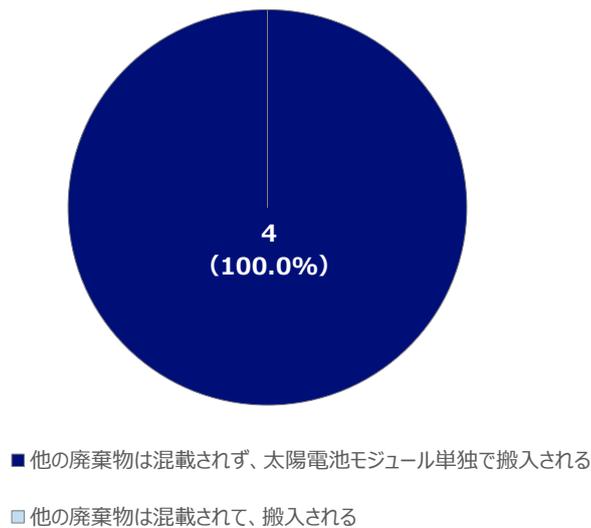


図 2.7-7 搬入状況（社、N=4）

2) 受入時に求める情報・取得媒体

使用済太陽電池モジュールの埋立処分について、「相談されたことがあり、受け入れた」または「相談されたことはないが、相談された場合には受け入れる方針である」と回答した事業者を対象に、受入時に求める情報を確認した。

対象事業者の全てが「含有物質の溶出値」と回答しており、その取得方法は分析結果が最も多く、続いて WDS（廃棄物データシート）、SDS（安全データシート）となっている。

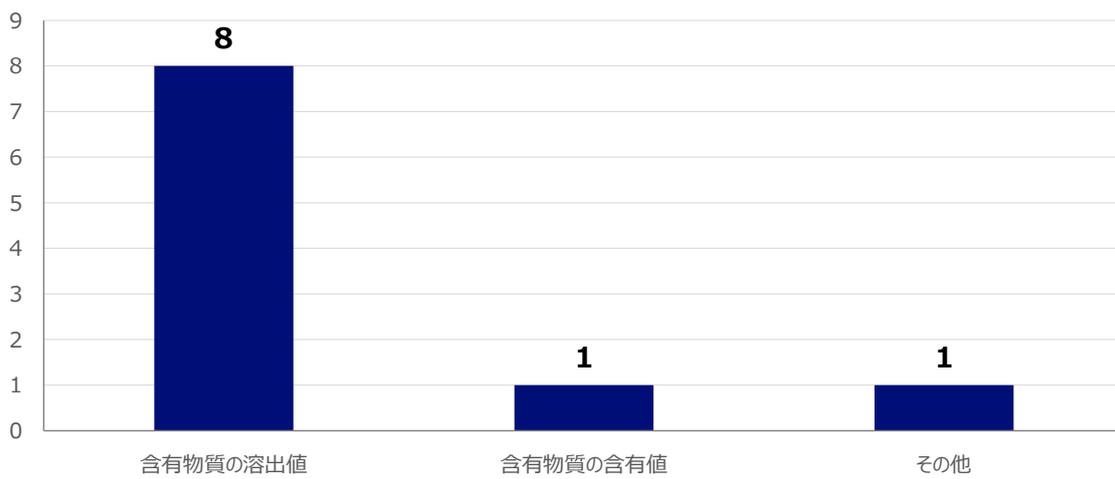


図 2.7-8 太陽電池モジュール受入時に求める情報（社、N=8、複数回答）

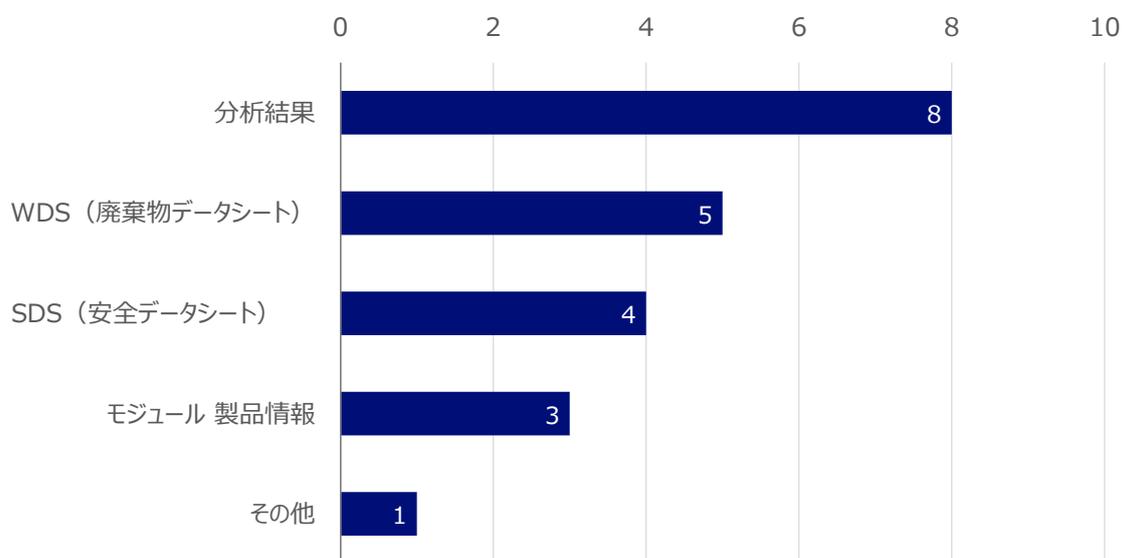


図 2.7-9 受入時の情報取得媒体 (N=8、複数回答)

事業者ごとの具体的な受入条件としては、受入物の性状（サイズ、等）、溶出状況等が主にあげられていた。

3) 検査・埋立状況

使用済太陽電池モジュールの埋立処分を「相談されたことがあり、受け入れた」事業者において、その検査・分析の実施状況は、表 2.7-4 に示すとおりであった。なお、追加的に実施している対策としては、展開検査等があげられている。

表 2.7-4 太陽電池モジュール受入時の検査・分析の実施有無（社、N=4）

選 択 肢	回答数
「検査済のものを受け入れている」	2
「検査を実施している」	1
「検査は実施していない」	1

埋立方法では、「受入時の状態のまま、他の産業廃棄物と混合して埋立処分をする」が最も多く、最終処分業者による、受入後の太陽電池モジュールの破碎は確認されなかった（表 2.7-5）。

表 2.7-5 太陽電池モジュールの処理・埋立方法

選 択 肢	回答数
破碎のみを行い、他の産業廃棄物とは分けて埋立処分をする	0
破碎のみを行い、他の産業廃棄物と混合して埋立処分をする	0
破碎し、有価物を回収後、他の産業廃棄物とは分けて埋立処分をする	0
破碎し、有価物を回収後、他の産業廃棄物と混合して埋立処分をする	0
受入時の状態のまま、他の産業廃棄物とは分けて埋立処分をする	1
受入時の状態のまま、他の産業廃棄物と混合して埋立処分をする	3
その他	0

4) 太陽電池モジュールの埋立処分に係る懸念・追加実施事項

懸念事項としては、「浸出水への影響が生じること」が最も多く、アンケートに回答した 39 事業者のうち 32 社（82.1%）が回答している。なお、太陽電池モジュールの埋立に際して、追加的に実施している対策としては、覆土の実施等があげられた。

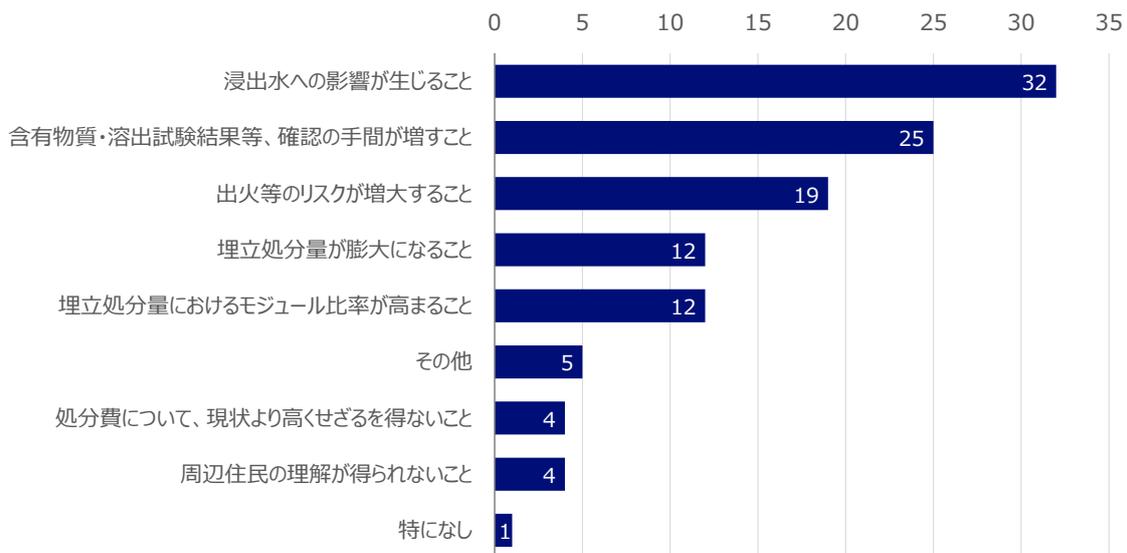
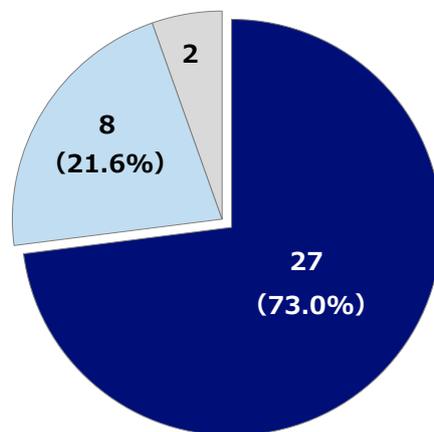


図 2.7-10 太陽電池モジュールの受入・埋立処分における懸念事項 (N=39、複数回答)

5) ガイドラインの認知状況

回答事業者の約7割が、「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)」を確認しており、管理型最終処分場への埋立が必要と認識している。



- ガイドラインを確認しており、管理型最終処分場への埋め立てが必要と認識している
- ガイドラインの存在は知っているが、管理型最終処分場に埋立が必要とは認識していない
- ガイドラインの存在を知らない

※ 2事業者が未回答である。

図 2.7-11 「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)」
認知状況(社、N=37)

2.7.3 最終処分業者へのヒアリング

アンケート調査で、直近の受入実績が比較的多い最終処分業者（1事業者）を対象にヒアリングを実施した。ヒアリングの観点は、以下のとおりである（表 2.7-6）。

表 2.7-6 最終処分業者へのヒアリング概要

観 点	ヒアリング内容
太陽電池モジュール (又は破砕物) の受入 ・埋立処分について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事前依頼・相談時の対応フロー ・ 受入時の荷姿・形状 ・ 受入に当たり、取得する（=連携・提示を求める）情報の有無、及び事由 ・ 受入～埋立処分までの保管方法（場所） ・ 太陽電池モジュールの埋立処分に伴う、追加的な対応・管理の有無 ・ 太陽電池モジュール受入・埋立処分に関する懸念（出火リスク、浸出水への影響、等）や問題が生じた事例
太陽電池モジュール 受入に伴う検査について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実施している各種検査と事由 ・ 検査不要、又は検査項目減少とする可能性 ・ 検査結果に基づき、受入（埋立）拒否したことの有無 ・ 各種検査のコストイメージ
大量排出期における 課題認識、今後の見通し	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池モジュール大量排出に伴う、懸念事項 ・ 太陽電池モジュール由来 破砕物の受入に係るスタンス（方針）見直しの可能性 ・ 太陽電池モジュール由来 破砕物 処分単価の見通し

表 2.7-6 の観点を踏まえながら、使用済太陽電池モジュールを実際に受け入れる際の対応フローを確認したところ、以下の示唆を得られた。

- 直近では、使用済太陽電池モジュールの埋立処分依頼が多くないため、埋立処分量が増加傾向にある印象は薄い。ただし、家屋の建替等に伴って撤去された使用済太陽電池モジュールの受入相談事例は散見される。
- 災害等によりイレギュラーかつ大量に発生する使用済太陽電池モジュールは、中間処理業者から依頼されることが多い。一方で、定常的かつ少量排出されるモジュールは、撤去・解体事業者から依頼される傾向がある（受入事例ベース）。
- 独自の受入基準や受入単価は定めていない。
- 受入前には事前に排出場所で立会を行った上、サンプル分析を行うことで、受入物の性状把握を行っている。また WDS を受領し、製品組成等も確認している。
- 現時点では、使用済太陽電池モジュールの埋立による火災や浸出水への影響といったトラブルは見聞きしていない。

2.7.4 まとめ

過年度に比較した今年度調査結果の特徴と、次年度以降の調査設計に反映すべき事項を抽出・整理した。

表 2.7-7 今年度調査の整理

観 点	次年度以降の調査設計におけるポイント
最終処分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「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）」は、全体の7割程度が適切な認知・理解をしていた一方で、太陽電池モジュール由来の廃棄物を受け入れた実績のある事業者は少数であった。今後ガイドラインの更新・改訂等を行う際には、使用済太陽電池モジュール由来の廃棄物を受け入れた事例等を紹介することで、適切な最終処分のイメージアップを図ることも重要と考える。 ・ 使用済太陽電池モジュール由来の廃棄物の受入相談元として、撤去・解体事業者もあげられる等、中間処理業者を経由しない事例（排出場所から最終処分場まで直接搬入される事例）も発生していることが分かった。そのため、撤去・解体事業者に対しても、引き続きリユース・リサイクルの周知が求められる。 ・ 使用済太陽電池モジュール由来廃棄物の埋立は、一般的な混合物埋立と比較したリスクが必ずしも明確ではない。引き続き事例調査を通じて、受入時の留意事項等が存在するかを深掘りしていくことが重要と考える。

第3章 国内リユースの普及促進に関する調査・検討

3.1 国内リユース品に関する調査

国内に設置されている太陽電池モジュールのリユース品について、導入・使用実態及び課題を把握するために、導入背景やリユース品に求めている品質・条件、導入後の運用実績等についてヒアリング調査を実施した。調査対象は、表 3.1-1 に示すとおりである。

表 3.1-1 ヒアリング調査対象概要

No.	実施日	事業者（実施先）	詳細
1	2023年 2月13日	トゥモロズウェイ 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 太陽電池モジュールの設計・施工が祖業 リユース品販売事業者から購入したリユース太陽電池モジュールを、2016年7月より稼働開始した「上の原発所」（長野県駒ヶ根市）で使用 発電はFIT制度を利用した売電目的
2	2023年 2月14日	サンテレホン 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 事業領域は、太陽電池モジュールやバッテリー等の物販 親会社の工場に屋根置きでリユース太陽光電池モジュールの導入を提案し、2022年6月29日より稼働を開始（発電は自家消費目的） パワーコンディショナは新品だが、モジュール及び蓄電池はリユース品
3	2023年 2月15日	一般社団法人 離島エネルギー 研究所	<ul style="list-style-type: none"> 五島市民電力の運営委託先 「五島版 RE100」の取組の一環として、「神の島センタービル」にリユース太陽電池モジュールを屋根置きで導入 オンサイト PPA スキームを用いた自家消費を行っているが、実証的に系統接続も実施

本ヒアリングの調査概要を、表 3.1-2 に示す。

表 3.1-2 ヒアリング調査実施概要

観 点	ヒアリング内容
一般情報	発電規模、モジュールの発電能力、発電目的、 運用している太陽電池モジュールにおけるリユース品の割合
リユース品導入経緯	リユース品の導入状況、導入経緯、導入の決め手、 導入後の運用実績
リユース品の確認項目	リユース品の検査項目、判断項目
リユース市場の拡大に 向けたご意見・ご要望	太陽電池モジュールのリユースの普及促進する上で 考えられる経済的・技術的・制度的課題、政府や自治体 に求める対応

令和2年度調査（リユース普及拡大に向けた方策案の整理）において、リユース品の設置事例が周知されていない現状への方策案として、「リユース品を使用している事業者の事例紹介や表彰」が掲げられていた。その方策案に則り、リユース品の認知度向上を目的として、リユース品導入事業者へのヒアリング調査に基づく「リユース品導入事例集」を作成した（図 3.1-1～図 3.1-3）。

事例 1

リユース太陽光パネルでFIT売電

トゥモローズウェイ株式会社

上の原発電所

所在地	長野県 駒ヶ根市
運用開始	2016年7月～



事業者名	株式会社トゥモローズウェイ	発電目的	FIT売電
設備容量	61kW	年間発電量	約91,000kWh/年
設置枚数	234枚 (全量リユースパネル)	方位、角度	南向き、25度

※ 当該情報は、いずれも2023年2月時点情報に基づく。

設置したリユース太陽光パネル情報 (同一型式)

枚数	234枚	出力	260W	メーカー	ハンファQセルス	状態	使用済品
----	------	----	------	------	----------	----	------

リユース太陽光パネルのココが気になる...

リユース導入事業者さん 一問一答

メーカー保証はついてませんが、心配はありませんでしたか？

全量リユース太陽光パネルの発電所は初めてでしたが、これまで施設の一部に導入した経験等がありました。その実績から、保証がなくても問題ないと自社で判断しました。

リユース太陽光パネルの“一番の魅力”は、どことお考えですか？

やはり価格面でしょうか。購入時は、新品と比べて半額程度でした。

リユース太陽光パネルでも、FIT認定を受けることが可能ですか？

はい！パネルの型式を登録すれば、問題なく受けられます。

1. リユース太陽光パネルを知ったキッカケ、導入の経緯

- 社長の前職が、太陽光発電設備の販売・施工を手掛ける企業であり、その当時からリユース太陽光パネルの存在を知っていた。
- まだまだ使える太陽光パネルが、ごみとして捨てられることは“もったいない”と考えている。高い診断技術を有するリユース事業者が販売するものは、品質面でも安心感があるため、そつた事業者からリユース太陽光パネルを購入しようと考えた。

2. 選ぶときのポイント (考え方)

- 厳密な選定基準は、設けていない。
- ただし、発電性能（出力が期待できるか）、必要枚数を購入できるかを条件としていた。

項目	ポイント、こだわり
メーカー情報	こだわりは特でない（国内メーカーでも、海外メーカーでも構わない）。
製造年月	製造年月にも、特に基準は設けていない。 一方で、10年間以上運用されたパネルは発電性能が下がるため避けている。
検査有無	排出理由や運用期間で、検査をしてもらうかどうかを判断している。 検査済の方が安心だが、検査工場への運搬費や検査費用が、製品価格に 乗るため、問題ないと判断した場合は、排出場所から自社へ直送してもらう。
発電性能	新品状態と比べて、出力性能が約90%は残存しているもの。
排出理由	リパリングによる付替で排出されたパネルは、劣化が小さいため望ましい。

3. 導入の決め手

- 再利用できるものはないという『環境への意識』、また新品と比べた際の『安さ』からリユース太陽光パネルを探していた時、同一型式で必要枚数分が見つかったので、上の原発電所への導入を決断した。

4. 導入後の感想、リユース太陽光パネルについて

- 導入してから6年半が経過しているが、出力低下や設置後の故障など、リユース太陽光パネルだからといった不具合はなく、品質面では新品と遜色ないと感じている。
- 今後も自社で太陽光パネルが必要になった際は、積極的にリユース太陽光パネルを活用したいと考えている。また、太陽光発電設備の導入を考えているお客様から相談を受ける際には、選択肢の1つとしてリユース太陽光パネルも提案することもある。

図 3.1-1 トゥモローズウェイ株式会社 リユース品導入事例

事例 2

5種類の異なるリユース太陽光パネルで大規模発電

サンテレホン株式会社

日東工業掛川工場		所在地	静岡県 掛川市
		運用開始	2022年6月～
			
事業者名	日東工業株式会社	発電目的	自家消費（実証事業）
設備容量	326kW	年間発電量	425,826kWh/年（見込）
設置枚数	1,115枚（全量リユースパネル）	方位、角度	東向き、0度（屋根並行）

※ 当該情報は、いずれも2023年2月時点情報に基づく。

設置したリユース太陽光パネル情報（5型式）							
枚数	560枚	出力	275W	メーカー	シંગソラー	状態	使用済み
枚数	252枚	出力	305W	メーカー	東芝	状態	使用済み
枚数	247枚	出力	315W	メーカー	インソーラー	状態	使用済み
枚数	46枚	出力	320W	メーカー	シંગソラー	状態	新古品
枚数	10枚	出力	315W	メーカー	シંગソラー	状態	新古品

リユース太陽光パネルのココが気になる・・・

リユース導入事業者さん 一問一答



同一型式のリユース太陽光パネルを入手するのは難しいですよね？



そうですね。同一型式の必要枚数が、直ぐに手に入るとは限りません。ただし、**DC/DCコンバータ**を活用すれば、異なる出力のパネルを組み合わせで発電できるので、**同一型式で揃える必要はありません。**

1. リユース太陽光パネルを知ったキッカケ、導入の経緯

- 太陽光発電設備の展示会で、リユース事業者と会話したことが、はじまりだったと思う。
- 新品と比べて、価格面で安い（＝イニシャルコストを抑えることができる）ことに加えて、環境負荷の低減にも結び付くことから、リユース太陽光パネルへの関心が高まった。

2. 選ぶときのポイント（考え方）

- 太陽光パネルそのもの以上に、“どのリユース事業者から購入するか”を気にしている。
- 近年、リユース事業者が増加している中、以下2つのポイントから取引先を選んでいる。
 - 取り扱ってるリユース太陽光パネルが信頼できるか（品質面等で安心感があるか）
 - 環境保全に係る意識を共有できる相手か

項目	ポイント、こだわり
メーカー情報	こだわりは特になし（国内メーカーでも、海外メーカーでも構わない）。
製造年月	当時の品質を考慮して、10年以上前に製造された太陽光パネルは避けている。ただし、現在製造されているパネルは品質も高まっているため、“10年以上”といった基準は今後変わると考えている。
検査有無	災害由来で排出されたパネルは、発電性能検査・絶縁抵抗測定を実施する。
発電性能	新品状態と比べて極端に出力が低いものは使用しない。導入にあたっては、過積載が前提となるため、発電性能だけを基準とはしていない。

3. 導入の決め手

- 日東工業株式会社（親会社）の掛川工場で、リユースバッテリーを活用した実証事業計画が立ち上がった際に、リユース太陽光パネルの採用を企画して、承認されたため。グループ全体で地球環境の保全を考えており、リユース利活用は重要であると考えている。

4. 導入後の感想、リユース太陽光パネルについて

- お客様にも、リユース太陽光パネルを訴求していきたいと考えている。現在では、自社の電気設備機器卸売事業のサービスラインナップの1つに用意しており、提案を行っている。
- 新品と比べた『安さ』のみ注目されがちだが、ライフサイクルでのCO₂削減に貢献できること、そして中長期的には企業のブランド価値向上にも役立ちうることもポイントである。「CO₂排出削減」や「廃棄物の発生抑制」を考える企業には、ぜひ活用して欲しい。
- 太陽光発電にあたり、過積載することを前提とした場合、新品と比べた際の「発電性能の低下」はあまり大きなポイントでないということに理解・納得してもらうことも重要だろう。

図 3.1-2 サンテレホン株式会社 リユース品導入事例

事例 3

太陽光パネルの地域内資源循環（排出⇒再利用）を実現

一般社団法人
離島エネルギー研究所

神ノ島センタービル

所在地	長崎県 長崎市
運用開始	2022年4月～



事業者名	五島市民電力株式会社、 離島エネルギー研究所	発電目的	自家消費（オンサイトPPA）
設備容量	49kW（DC）	年間発電量	42,193kWh/年（見込）
設置枚数	272枚（全量リユースパネル）	方位・角度	南・北向き、5度

※ 当該情報は、いずれも2023年2月時点情報に基づく。

設置したリユース太陽光パネル情報（同一型式）

枚数	272枚	出力	180W	メーカー	シャープ	状態	使用済み
----	------	----	------	------	------	----	------

リユース太陽光パネルのココが気になる・・・

リユース導入事業者さん 一問一答

リユース太陽光パネルは、どのような事業者におすすめされますか？

大手PPA事業者さんが対象外とするような、**築20～30年を超える比較的大規模な建築物**への設置に適していると考えています。その中でも、自家消費を行いたいが、自らは投資できないような場合、**リユース太陽光パネルの価格優位性がいきると**思います。

なるほど。投資回収の観点では、どのような効果が得られますか？

発電規模などにも依りますが、**新品導入と比べて半分程度の期間で、投資回収が可能になるケースもある**と思います。やはりパネル価格が安いことが大きいですが、過積載が前提となるため、新品では不要な金具が必要になる等、一部**追加コストの発生**を忘れてはなりません。

1. 導入の経緯

- 五島列島での太陽光発電が進む中、使用済太陽光パネルの廃棄問題が挙がっており、地域内資源循環を実現したいという思いを抱えていた。そこで、リユース太陽光パネルに関する知見を収集すると共に、その導入や事業性検証を地域一体となって進めたことで、現在リユース太陽光パネル100%でオンサイトPPAを実現している。
- なお神ノ島センタービルへの設置前に、五島市補助金を活用した技術実証を重ねており、独自のリユース診断ノウハウを蓄積できたことが大きい。

2. 選ぶときのポイント（考え方）

- 自主的にリユース太陽光パネルの検査を行ってきた経験から、独自の品質評価を行い、上位に評価されたリユース太陽光パネルのみを導入している。
- 取り外される前に確認できる情報も多いことから、撤去・解体事業者等と連携して、使用済太陽光パネルの排出情報を事前に入手して、確認することもある。

項目	ポイント、こだわり
メーカー情報	性能が落ちやすい、ホットスポット等の不具合が発生しやすい等、各種リスクが高いと考えられるメーカー製品は避けている。
製造年月	PID劣化についての知見が少なく、その対策が十分講じられていなかった、2010年台前半までに製造された太陽光パネルには留意している。
検査有無	神ノ島センタービルに設置したパネルは、IV測定と絶縁抵抗測定を全て実施した。検査するとコストがかさむことから、なるべく追加検査・診断で最低限で済むように、撤去前の太陽光パネル等を確認するようにしている。
発電性能	独自にA～Dの品質評価（非公開）を行い、AまたはBランクのみ購入する。

3. 導入の決め手、重要となる要素

- PPAモデルでリユース太陽光パネルの導入を目指す際には、パネル情報やリスクについて、屋根オーナーと議論を重ねて、十分に理解を得ることが最も重要であると考えている。

4. 導入後の感想、リユース太陽光パネルについて

- 不具合が発生していないだけでなく、当初計画以上の発電実績が得られている。
- 五島列島内において、使用済太陽光パネル排出時の窓口となることで、その取り外しや輸送の質向上も求めていき、地域内における太陽光パネル廃棄量を減らしていきたい。

リユース事業者名	株式会社エヌ・ピー・シー
本社所在地	東京都台東区

図 3.1-3 一般社団法人離島エネルギー研究所 リユース品導入事例

3.2 リユース品に求められる条件調査

3.2.1 国内リユース品に求められる条件調査

国内リユースの普及促進に向けて、使用後年数や経済性等リユース品に求められる品質基準や条件、及びリユース品特有の懸念に対する対応策について整理した。

(1) リユース品に求められる条件

リユース品導入事業者はいずれもリユース判断に必須で確認する事項はなく、一律の判断基準を設けていないことが分かった。各事業者が指摘した確認項目、及びその詳細を、表 3.2-1 に示す。なお、検査手法や検査結果に基づくリユース可否判断・品質判定は、章 2.4 で説明している。

表 3.2-1 リユース品導入の際に確認するポイント

項目	詳細
製造年月	<ul style="list-style-type: none">・ 発電量の目減りが気になるため、稼働から 10 年以上経過したリユース品は避ける。(B 社)・ リユース品を調達していた 2022 年時点では、10 年以上前(2012 年頃)のモジュールを品質上の問題から避けていた。ただし一概に製造から 10 年経過したモジュールがリユース不可というわけではない。例えば、現在製造されているモジュールは高品質であるため、2030 年時点でも十分リユース可能と思われる。(C 社)
性能検査	<ul style="list-style-type: none">・ EL 検査等を通じ、当初出力性能の 90%程度が残存していることを 1 つの基準としていた。(B 社)
リユース事業者 (取引事業者)	<ul style="list-style-type: none">・ 長い付き合いを見据え、中古品を扱う事業者として信頼できるか否かで購入判断する。検査技術があることは大前提として、価格面を重視して中古販売や海外輸出を行うリユース事業者とは、環境保全に係る意識を共有できないと考え、取引を避けている。(C 社)
型式・メーカー	<ul style="list-style-type: none">・ 一部海外メーカー製の太陽電池モジュールでは、その性能が劇的に落ちやすく、ホットスポットが多い、又、PID 現象が発生しやすい型式が存在する。そうした情報は、海外誌でメーカー名を伏せずに情報発信されているため、海外情報等も注視して判断を行っている。(A 社)・ 廃棄の際には適切な手順を踏んで中間処理業者に処理委託する必要性に変わりはないため、特段、リユース太陽電池モジュールの製品メーカーに関するこだわりはない。(B 社)
ロット数(枚数)	<ul style="list-style-type: none">・ リユース品導入に当たり、同一型式の太陽電池モジュールを必要枚数確保できるかが重要である。(B 社)

排出由来に関して、B社は事前に販売者から説明を受けており、リユース太陽電池モジュールの排出由来がリパワリングの場合、損傷や劣化が少ない傾向にあるためリユース品として好ましいと回答した。また、同社は排出要因含め問題ないと判断した場合、検査を経ずに現場から直送で購入した実績もあった。

表 3.2-1 の項目に関して、各事業者で項目の優先順位に違いがみられた。B社はリユース品購入の際に、必要な枚数の同一型式のリユース品を確保できるか、又それらに十分な出力を期待できるかを重要視していた。一方で、同一種類・型式でのリユース品の入手を前提としていないA社やC社では、リユース事業者や製品メーカーへの信頼性や検査コストの削減を重視していた。

(2) リユース品特有の懸念に対する対応

リユース品導入に当たり、新品と比較して製品保証がない点や、発電性能が低下する点、また同一型式の太陽電池モジュールの確保が難しい点が懸念としてあがりやすい。同一型式の使用済太陽電池モジュールが、1,000枚以上のボリュームで同時排出される事例は少なく、通常は100～500枚程度の排出が多い。また、モジュール自体の排出時期が見通せないため、同一型式で必要枚数を入手することは困難を極める。このような懸念に対しては、各事業者とも経験に基づく対応策を講じていた。

リユース品に製品保証が付かない点に関して、B社では過去に他の発電所にリユース品を一部導入した経験から、製品保証がなくても問題ないと判断していた。他の2事業者も特段懸念していなかった。

リユース品の発電性能の劣化について、C社では、パワーコンディショナよりも120%～150%の太陽電池モジュールを設置する過積載が一般的であると認識していたため、モジュール1枚当たりの出力に大きな影響はないと判断した。また、工場での自家消費を前提とした場合、早朝から最大出力で発電すると、工場での需要量を超過する恐れがある。そのため、リユース品であることによる発電性能の劣化を特段懸念しておらず、更に、過積載について顧客からの理解が得られれば、リユース品導入に納得が得られやすいと認識していた。A社では、新古品や自社で使用した太陽電池モジュールを用いて試験的に発電事業を実施したり、海外動向等を含めて知見を蓄えたりすることで、中古のリユース品でも十分に発電できると判断していた。

異なる種類・型式のリユース品に対応して発電運用できる場合には、同一型式のリユース太陽電池モジュールで必要枚数を確保する必要がなくなる。C社では、設置場所の設置可能枚数を試算し、リユース品の必要枚数の入手を試みましたが、工事の着工スケジュール上、同一種類で全量を賄うことは難しかった。そこで、技術的に発電に問題ないと判断し、実証実験の意義も兼ねて、複数種類のリユース品を導入していた。発電にあたっては、DC/DCコン

バータを取り付ける等、簡易的な施工を行っていた。

しかしながら、いずれのリユース品導入事業者も下記のとおり、太陽電池モジュールの新規参入事業者にとって、リユース品の使用は金銭的かつ心理的障壁が高いと認識していた。

- 当社では自治体の補助事業の対象となったため事業を開始できたが、当初から補助金なしでは事業化は難しい印象である。補助金はリスク回避の側面もある。(A社)
- リユース品の導入は、太陽電池モジュールへの理解度が高い事業者が主であり、一般的な事業者・生活者にとっての購入ハードルは高いのではないか。リユース品の品そろえや価格を比較できる Web サイト等もあるが、まだ敷居が高い印象である。(B社)
- 新品しか購入したことのない企業にとって、発電保証や品質保証がないリユース品の購入はハードルが高い。仮に保証を外部が付与した場合、保証分のコスト増が受け入れられるかは疑問である。(C社)

以上のヒアリング調査から、国内リユースの普及促進のためには、有識者による顧客への積極的なリユース品導入支援や環境保全意識の訴求が望ましく、それには政府や自治体による後押しが必要だ。政府や自治体が行う方策案として、リユース品を用いた事業に対する補助金支給や、公共調達に係るリユース品導入事業者への優遇措置等、事業者に対する明示的な金銭的メリット付与が考えられる。加えて、環境省の「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」を活用しながら、リユース品の導入事例や、導入しないことによる機会損失を訴えていくことも重要だ。また、ガイドラインにて自社の環境保全への貢献等、長期的な企業ブランドに対しても好影響があることを伝えていくことも一案だ。

3.2.2 海外リユース品に求められる条件調査

海外リユース品を販売する事業者ヒアリング調査を通じて、海外におけるリユース品に対する需要は、ロット数(枚数)等のボリュームが重要視されており、性能面で求める条件や基準はないと推察された。実際の海外購入者のリユース品の買取条件として、結晶系モジュールであること、出力が最低 250kW 以上担保されていること、又、同一型式でコンテナ 1 つの容量を満たせる枚数(1 コンテナ 650~900 枚程度)があることが分かった。

また、リユース診断・検査の内容については、東南アジアで事業者ヒアリングを実施し、各国におけるリユース品の条件を整理した。タイでは、PPA(電力販売契約)による屋根置き太陽光発電設備の設置・普及が進んでいるため、PPA の許可が重要であり、その許可はモジュールの品質に依存しているようであった。そのため、ヒアリング先のタイのリユース事業者では、エネルギー規制委員会(ERC)の基準に準拠して発電効率を確認しており、問題があれば入れ替えていた。具体的には、モジュールの総合効率の基準を 85% に設定し、経年劣化する電流と電圧を確認していた。また産業制御システム SCADA によるモジュー

ル監視や、発電量を最大化するオプティマイザによる破損具合の確認を通じて、不具合や性能低下が発見された場合には交換を行っていた。なお交換基準は IEC 規格に準拠しており、品質や発電ポテンシャルに応じて A～C にランク付けした結果で行っていた。こうしたタイにおける業況から、太陽光発電を目的としたリユース品導入を検討する場合には、一定の性能基準が求められるのではないかと考えられる。

インドでヒアリングした現地の太陽電池モジュールメーカーは、性能検査として PID 耐性テストと耐候性試験を実施していた。PID 耐性テストでは、湿度 85%・温度 85 度の条件下で、どの程度モジュール出力が低下するかを検証することで、潜在的な劣化可能性を判断していた。耐候性試験では、太陽光により製品劣化を引き起こされるか確認していた。タイ同様、インドにおいてもリユース品を導入する場合には、一定の性能基準を超える必要があると推察される。

3.3 設置リユース品の不具合等の実態調査

リユース事業 2 社とリユース診断事業 1 社にリユース品の不具合についてヒアリング調査した結果を以下に示す。

表 3.3-1 リユース品の不具合状況

ヒアリング先	リユース品の不具合発生
リユース品 販売事業者	購入者から、不具合（発電性能の劣化等）が発生したとの連絡が届いたことはない。ただし、国内販売リユース品において、顧客手配のリユース品運搬時に破損はあった。
リユース 診断事業者	リユース品の受渡し（診断実施）後、リユース事業者から不具合等に関する連絡は特に届いていない。
リユース品 販売事業者	今のところ、不具合等はない。

また、リユース品導入事業者 3 社を対象としたヒアリング調査では、設置後に初期不良の発覚や、発電性能の急激な劣化等リユース特有の不具合が発生したという事例は確認できなかった。

ヒアリング調査を実施したリユース事業者では、性能を担保するために独自のリユース診断基準を設けており、基準を満たさないリユース品の販売を認めていなかったため、不具合が見られなかったと考えられる。

ただし、仮に販売したリユース品で不具合が発生した場合の対応は、下記のように事業者によって異なる。

- 基本的に保証が付かないことを理解した上でリユース品を購入いただいているため、無償交換や返金等の対応は行っていない。
- 初期不良品や不具合が発生したリユース品に対して、廃棄を引受けている。
- 全国にリユース品を販売しているため、不具合が生じたリユース品の廃棄や買取といったアフターフォローは明言しておらず、個別に相談いただいている。

海外リユースに当たっては、リユース販売事業者が国内商社や現地ユーザー等の顧客に対して、日本国内でリユース品を引き渡しているケースが明らかになった。輸出に係る手続き以降、リユース販売事業者ではなく購入者が手掛けていることから、海外におけるリユース太陽電池モジュールの活用方法、及び不具合等の補足は困難であると考えられる。

3.4 リユース普及促進に関する課題に対する解決策（案）の検証

令和2年度調査ではリユース普及拡大に向けた方策案が整理され、令和3年度調査では表3.4-1に示す各方策案の現状と対応状況が整理された。

表 3.4-1 各施策モデルの現状と対応状況

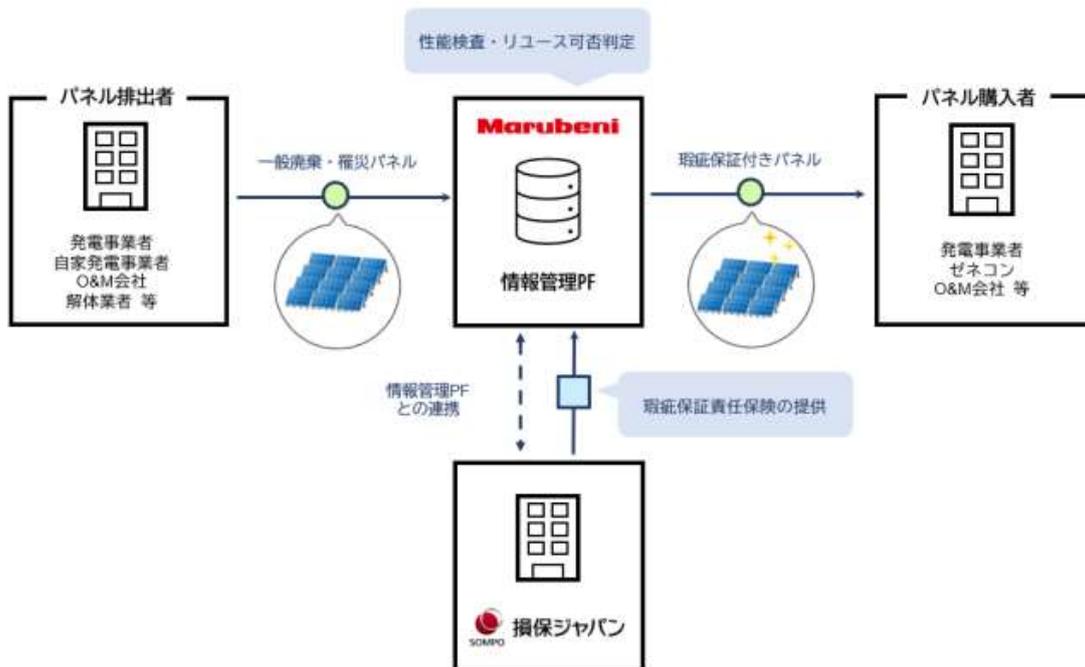
No.	方策案	現 状	新・対応状況
1	リユース市場の創設	リユースの需要はあるが、供給量及び供給時期のマッチングが難しい。	資源循環に関する情報プラットフォーム実証事業（以下、「環境省実証事業」という。）において一部実証中である。
2	グリーン購入法品目追加	太陽光発電システムという品目はあるが、リユースに関する記述はない。	—
3	リユース品を使用している事業者の事例紹介や表彰	リユース品の設置事例があまり知られていない。	—
4	発電事業者へリユースと適正リサイクルに関する冊子を配布	リユース品の活用可能性、適正処理の必要性があまり知られていない。	環境省 HP にガイドライン及び啓発資料を掲載している。

No.	方 策 案	現 状	新・対応状況
5	廃棄時のリユース検討や 処理先のリサイクル率確認 の努力義務化	リユース品の活用可能性、適 正処理の必要性があまり知ら れていない。	—
6	廃棄制約付き太陽光発電 保険の開発	経済合理性で処理方法が決ま る傾向にある。	民間主導で関連する保険商品 が開発。
7	リユース事業者による 保証を付与	事業者ごとに異なる。	一部事業者において保証が付 与されている。
8	リユース品の取引価格の 見える化	オークションサイト等一部で 価格表示あり。問合せによっ て価格が判明する場合が多	—
9	助成等	リユースに限定した助成はな い。	—

今年度調査ではリユース事業者と、リユース事業者からリユース品を買い取った発電事業者へのヒアリングを実施し、No. 3「リユース品を使用している事業者の事例紹介や表彰」、No. 7「リユース事業者による保証を付与」、及びNo. 9「助成等」の現状と対応策を更新した（表 3.4-2）。

表 3.4-2 リユース需要に関する現状と対応状況

No.	方 策 案	令和3年度対応状況	令和4年度対応状況
3	リユース品を使用している 事業者の事例紹介や表彰	—	今年度調査で実施。
7	リユース事業者による 保証を付与	一部事業者において 保証が付与されてい る。	環境省実証事業を通じて、瑕疵保証 責任保険を付保する仕組み作りが進 められており、複数のリユース事業 者が参画（図 4.4-1）。
9	助成等	リユースに限定した 助成はない。	五島市「再生可能エネルギー分野先 端技術開発支援事業」として、五島市 の再生可能エネルギー事業者が行う 先端技術を活用した事業に最大 750 万を補助。



出典) 損害保険ジャパン株式会社

図 3.4-1 令和3年度資源循環に関する情報プラットフォーム実証事業における瑕疵保証責任保険スキーム

今年度のリユース設置者へのヒアリング調査から、リユース普及促進に関する新たな課題も得られた。各課題への対応の方向性（案）は、表 3.4-3 に示す。

表 3.4-3 令和4年度追加リユース拡大方策（案）

方向性（案）	現 状
リユース品を活用した実証事業への補助金	環境省でのオンサイト PPA への既存の補助金対象は、17 年間継続できないことを理由に、リユース品の導入が部分的にも認められていない。
リユースルートの確立	産業廃棄物として一度マニフェストが付与された太陽電池モジュールは、状態がよくともリユースができない。
リユース診断基準の策定	リユース可否判断が各事業者に一任され、一律の判断基準や品質評価基準が存在しない。海外への不適正リユースや、国内リユース品の信頼性毀損につながっている。

第4章 海外におけるリユースの実態調査

4.1 東南アジアにおける不適正利用・処理に係る実態調査

4.1.1 東南アジアにおけるリユース（促進）の現状

ASEAN 主要国におけるリユース・処理、リユース推進の実態について、現地コンサルタントによる調査、文献調査及びヒアリング調査を実施した。台湾、タイ、インドにおけるリユース促進の現状や課題を概括した結果を、表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 リユース促進に係る各地域・国の現状や課題

地域・国	リユース促進に係る現状や課題
台湾	<ul style="list-style-type: none"> 台湾では新品の太陽電池モジュール導入が盛んである。また台湾国内での導入後いずれも数年以内であるため、現状、リユース市場は創出されていない。しかし、今後、リユース市場は拡大すると予想されている。 台湾当局では、太陽電池モジュールの導入に当たって金銭的インセンティブを付与する政策を実施しているが、現在、リユースを促進する取組はなされていない。 日本を含む海外からのリユース品の輸入は現在行っていないが、将来的に台湾国内で太陽光発電の需要が伸びる場合には、リユース品輸入を行う可能性もある
タイ	<ul style="list-style-type: none"> 約 15 年前から太陽電池モジュール導入が始まったため、現状、再利用の仕組みや方法はまだ確立されていない。 タイ政府は太陽電池モジュールの導入を推奨しているが、補助金や優遇措置等はなく、リユース促進に関する取組や政策も実施されていない。政府としてリユース品への言及がなく、導入は新製品を奨励していることから、国内事業者がリユース品が認知されていない可能性もある。10～15 年後の排出期になれば、リユースに対する関心も高まると期待される。 約 15 年前のタイでは太陽電池モジュールの価格が非常に高額だったが、モジュールの普及に伴い、設置コストも低下した。そのため、新品とリユース品の価格差が小さく、リユース品を導入する金銭的メリットが薄いため、タイでリユース品の導入はハードルが高いと考えられる。 タイ国内の発電・送電は、事実上 1 社が独占しているが、リユース市場は自由市場であるべきだと考えられている。今後 10～15 年後にモジュールをリユースする場合は、競争市場になっていると予想される。 新品需要が高い現在において、海外からリユース品を輸入する事業メリットは薄いと考えられる。しかしながら、将来的にリユース品を輸入する可能性がない訳ではない。

地域・国	リユース促進に係る現状や課題
インド	<ul style="list-style-type: none"> ・ インド国内において、使用済太陽電池モジュールのリユースは行われていない。リユース品は性能が落ちる上、良い状態で排出される割合が小さいと考えられている。また新品と比べて発電効率が下がることから、コストメリットも薄まると考えられている。近年、太陽電池モジュールの技術進歩が非常に速いこともあり、リユース品は好まれない傾向にある。 ・ リサイクル処理を通じて、太陽電池モジュール由来の有価物が高値で売却できるため、排出事業者からはリユースよりリサイクルの方が選択される傾向にある。 ・ インド政府は使用済太陽電池モジュールの適正処理について、リユースではなくリサイクルを中心に考えていると推察される。そのような背景もあり、排出時のリユース診断等は実施されていないと考えられる。 ・ またリユースに当たっては、発電性能の劣化のほか、撤去・取外し後の保管場所も課題と捉えられている。

4.1.2 東南アジアにおける不適正リユースを含む不適正処理実態

太陽電池モジュールの不適正リユースに係る現状や課題を以下に説明する。各国共に過去10年で太陽電池モジュールを本格導入しており、現在は使用段階にある。そのため、寿命を迎えたモジュールの排出はなく、排出モジュールは初期不良品及び故障品が大半を占めると推察される。

台湾は太陽電池モジュールが推進されて日が浅く、リユース太陽電池モジュールも流通していない。現時点で大量排出に直面していないため、政府は使用済モジュールの処分を緊急の課題と認識しておらず、使用済モジュールのリユースに係る政策や規制等に特段注力していないと推察される。ただし、政府は不法投棄を防ぐために、太陽電池モジュールごとのシリアル番号登録制度を導入しており、モジュール排出後の実態を把握可能であると伺った。一度太陽電池モジュールにシリアル番号を紐づければ、不法投棄されたモジュールの保有元が簡単に判明するという。そのため、処罰制度の詳細は不明だが、不適正リユースや不法投棄等の不適正処理は発生しにくいと考えられる。

一方で、タイでは廃棄処分やリユース・リサイクルに係る政策は存在せず、リユース及びリサイクルの方法も検討されていないと伺った。そのため、排出・廃棄された太陽電池モジュールの処理方針に対して国の法的基準はなく、事業者や保有者次第でとなっている。現状、事業者が自治体に使用済モジュールを引き渡し、焼却・埋立処分されており、国内でリサイクル処理はなされていない。また、放置や不法投棄等の不適正処理されている可能性も指摘された。

インドに太陽電池モジュールの廃棄に係る政策はなく、リユースの仕組みづくりも実施されていなかった。また、モジュールの廃棄方法について政府が把握する手段はないと推察された。不法投棄事例はないと伺ったが、一部の民間事業者からのヒアリング調査で、グジャラート州やラジャスタン州等で百枚単位のモジュールがプラスチックと共に廃棄されている地域があることが分かった。

4.1.3 日本から輸出されるリユース品利用の実態

本ヒアリング調査では、日本からのリユースモジュールの輸入は確認できなかった。

台湾では現在、使用されているモジュールは全て寿命内にあるため、リユース品が流通しておらず、使用済モジュールの輸入も実施されていないと推察された。また、中古のモジュールに関する政府の公式統計等も存在しなかった。使用済モジュールの取引量推計があるとしても、その数は非常に限定的であると考えられる。ただし、再生エネルギー需要が今後とも高まるため、将来海外からリユースモジュールを輸入する可能性はあると考えられる。

タイでは、15年前までモジュール価格が高騰しており、中古モジュールが普及していたことがヒアリング調査で判明した。しかし、脱炭素社会の実現に向けて、世界規模でクリーンエネルギーの利用が奨励されるようになったことで、新品モジュールの価格が低下し、現在は新品の設置コストとリユース品の設置コストに大差がなくなったという。また、政府も使用済モジュールの再利用に言及しておらず、新品導入を促進しているようだ。そのため、現時点でリユース品の流通は非常に難しく、リユース品の海外輸入もないと考えられる。今後約10年後に使用済モジュールの大量排出期に直面すれば、政府や企業がリユースに関心を持つと期待される。その際、リユース市場が発展すれば、リユース品を海外輸入する可能性はある。ただし、新品と比べて商品寿命が短いリユース品の故障・不良は個人帰責と捉えられているため、政府が金銭的援助する予定はないと考えられる。

インドではリユース品の海外輸入は確認できなかった。その背景として、リユース以上にリサイクルのメリットが大きい点があげられる。使用済太陽電池モジュールの一部を加工し再利用する事業者は存在するようだが、現時点でリユース太陽電池モジュールの取扱はなく、今後もリユース品の流通量は少ないと予想されている。更に、リユース品が海外製品である場合、国内製品の保護に注力しているインド政府方針に反することからも、インドにおいてリユース品の輸入事業を成功させることは非常に難しいと考えられる。インド政府は、国内産業の活性化を目的に、国内の太陽発電事業の育成に本腰を入れている状況にある。そのような政府方針から、輸入する太陽光発電設備等に高関税を課しているほか、国内に工場を建設する企業に数億ドルの補助金を支給すると表明していることが、ヒアリング調査から分かった。

以上が各国におけるリユース品の海外輸入の実態である。ただし、本調査では政府組織を中心にヒアリング調査を実施したが、太陽電池モジュールの輸入をどこまで把握している

か、使用済太陽電池モジュールを輸入する際の仕様や検査がどのように確認されているかまで調査できていない。次年度以降の調査では調査項目に明記することが望ましい。

4.2 リユース推進の実態についてのヒアリング

ASEAN 主要国における使用済太陽電池モジュールについて、リユース促進実態や不適正処理実態を把握するために、関連事業者等にヒアリング調査を実施した。調査対象は、台湾、タイ、インドの3か国において、太陽電池モジュールの廃棄に関わる現地の中央省庁等の公的機関、業界団体、発電事業者、民間企業等から5事業者を選出した。

今年度の調査対象と選定方法は、表 4.2-1 に示すとおりである。

表 4.2-1 ヒアリング調査対象と選定方法

項目	詳細
調査対象国	台湾、タイ、インド
調査対象者 カテゴリー	<p>【台湾】 Taiwan Power Company（台湾電力）：発電公社</p> <p>【タイ】 防衛産業エネルギーセンター 防衛エネルギー部：中央省庁 Gunkul Engineering：民間企業</p> <p>【インド】 Solar Energy Corporation of India：発電公社 Vikram Solar：民間企業</p>
選定方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記の（１）の方法で計 25 事業者程度選定。 ・ （２）～（３）にて、最終的に 5 事業者に選定。 <p>（１）．デスクトップ調査より、各国で太陽電池モジュールの廃棄や太陽光発電事業に大きく関わりがあると考えられる公的機関、業界団体、発電事業者、民間企業を選定。</p> <p>（２）．下記 2 視点より、対象者の優先順位を設定。</p> <p>【①太陽光発電に資する業界団体について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓リユースに係る業界団体より、太陽光発電（太陽電池モジュール）の導入から処理まで一貫して担っている業界団体をメインターゲットとする。 <p>【②事業者について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓太陽電池モジュールのリユース事業者を最優先として、ヒットしない場合は発電事業者を対象とする。 <p>（３）．候補対象者に直接アプローチ（対象者数は各国 2 社程度を想定）。</p>

なお、中央省庁含む公的機関に対しては、太陽電池モジュールのリユース実態、処理実態、導入政策・目標について、主にヒアリング調査した。業界団体や事業者等に対しては、リユース事業者概要、リユース診断概要、輸入した海外リユース品の活用実態について、主に調査した。以下は、それらの計5事業者の結果となっている。

4.2.1 台湾へのヒアリング結果

台湾における使用済太陽電池モジュールのリユース実態について調査するために、Taiwan Power Company の Christy Chiang 氏にヒアリング調査を実施した。ヒアリング対象者の概要は、表 4.2-2 に示すとおりである。

表 4.2-2 ヒアリング調査対象の概要

項目	詳細
対象者	Christy Chiang 氏
役職	代表取締役社長
所属	Taiwan Power Company (台湾電力) (台湾経済省管轄)
分類	発電公社
会社詳細	台湾で唯一、法的権限を持つ公営電力会社である。 電気料金に関する多くの情報と各家庭の電気料金を保有している。

(1) Taiwan Power Company (台湾電力)

ヒアリング成果の詳細を表 4.2-3 に示す。

表 4.2-3 台湾における使用済太陽電池モジュールの処理実態及び輸出入実態

観 点		ヒアリング結果
太陽光発電 導入状況	太陽光発電の導入状況、 及び予測	台湾では過去5年でグリーンエネルギーを推進しており、2025年には台湾の再生可能エネルギーのうち、太陽光発電（太陽光エネルギー）が約20%を占める規模になる見通しである。
	導入促進に向けた取組	政府によって、太陽光発電に対する金銭的インセンティブを付与する法律が新たに制定された。詳細はFIT制度に近いものであり、民間企業が太陽電池モジュールで発電した電気を、台湾の電力会社に高価格で売電できる仕組みとなっている。
廃棄実態	太陽電池モジュール 廃棄実態	太陽電池モジュールの本格導入が始まって以降、まだ時間が経過していない。そのため、台湾国内で運用されているモジュールは、いずれも製品寿命（法定耐用年数）以内となっている。ただし、故障等によって排出される使用済太陽電池モジュールは一部で存在しているようである。上記のため、現状の排出量は少ないと考えられ、2023年末までの廃棄物は約10,000トンになる。しかしながら、2035年には毎年10万トン以上が排出されるとも予想されているため、今後10年間で使用済太陽電池モジュールの廃棄が大きな問題になると推察される。
	モジュール廃棄に係る 規制・規則（政策等）	現状、使用済太陽電池モジュールの排出量が少ないことから、台湾当局は、モジュールの廃棄処分を緊急の課題と認識していないと考える。しかし、廃棄に係る規制・規則は存在している。発電事業者は太陽電池モジュールを当局に登録する必要があり、当局からシリアル番号を付与されている。そのため、モジュールを廃棄する際には、その排出先を政府側も把握することが可能となっている。 また3年前に台湾の行政院環境保護署が、太陽電池モジュール廃棄物を廃棄物処理規制の対象の1つに追加した。ただし、それは特別管理廃棄物ではなく、一般廃棄物の枠組みである。

観 点		ヒアリング結果
廃棄実態	廃棄に係る基準	現時点で法律上、規定された処理基準は存在しない。
	適正廃棄に係る取組	台湾当局によって、3年前から産業用太陽電池モジュールの廃棄に係る仕組みは導入された。太陽電池モジュールを廃棄したい事業者は、当局に申請書を提出することで、適正処理の政府基準を満たした廃棄物処理会社によってモジュールを回収される仕組みである。 ただし、事業者はリサイクルのために、出力当たり 1,000 台湾ドルを支払う必要があるため、事業者側のコスト負担が増加する点が課題とされている。
処理実態	使用済太陽電池モジュール 処理実態	故障等に起因する使用済太陽電池モジュールは一部で排出されている。 しかしながら、製品寿命はまだ迎えていないため、その処理数量は少ないと考えられる。
	リユース・リサイクル実態	導入直後のフェーズであるため、現時点でリユース品の太陽電池モジュールを使用している事業者はいないと考えられる。そのため、リユースに関する政府の公式統計等も存在しない。
	リユース・リサイクル促進 に向けた取組	大学等で、太陽電池モジュールのリサイクル技術の開発を奨励する政策が存在する。
	リユース・リサイクルに係る 課題・今後の政府方針	台湾当局は太陽電池モジュールの適正処理を支援しており、将来的には当局主体でリサイクル技術の開発やリユース促進への取組を実施したいと考える。リユースとリサイクルどちらを優先して促進させるかは、リユース品の品質と規模に依拠するため、不明である。
	リユース診断実態	台湾当局では独自のリユース診断基準の制定を予定していないと考えられる。 グリーンエネルギーに関して、台湾は国際基準に従っていることから、リユース品に対して一律の品質基準を設計する国があれば、その基準に倣う可能性が非常に高いと推察される
不適正処理	不適正処理に関する実態	台湾当局は不法投棄を防ぐためにシリアル番号の登録制度を導入しており、当局でモジュールの廃棄を把握できている。現時点で排出事例は少ないと考えられるが、仮に違法放棄があった場合でも、違法廃棄者（所有していた事業者）を簡単に割り出すことが可能である。

観 点		ヒアリング結果
太陽電池 モジュール 輸入実態	太陽電池モジュール 輸入実態	台湾国内でも太陽電池モジュールが製造されているが、他の先進国からも輸入していると推察される。なおリユース品に関して、現在輸入等を行われていない。
	輸入量の将来予測	現在リユース品の輸入実績はないが、将来的に輸入する可能性はあると考える。 エネルギー分野において、太陽光発電と風力発電が重要になってくるため、リユース品を含めて太陽電池モジュールの需要は伸びると予想される。

※ ヒアリング調査に基づき整理している。

4.2.2 タイへのヒアリング結果

タイにおける使用済太陽電池モジュールのリユース実態について調査するために、国防省エネルギー省の Chalermflux Komvilai 氏と、タイに本拠を置く製造業および貿易会社 GUNKUL Engineering (GUNKUL) の Bancha Yathip 氏にヒアリング調査を実施した。ヒアリング対象者の概要は、表 4.2-4～表 4.2-5 に示すとおりである。

表 4.2-4 ヒアリング調査対象の概要

項目	詳細
対象者	Chalermflux Komvilai 氏
役職	オペレーションオフィサー
所属	防衛産業エネルギーセンター 防衛エネルギー部 (防衛省管轄)
所属 (英語表記)	Defence Energy Department of Defence Industry and Energy Centre governed by the Ministry of defense
分類	政府機関
対象者詳細	防衛産業エネルギーセンター 防衛エネルギー部において、 再生可能エネルギー部門課長を務めている。

表 4.2-5 ヒアリング調査対象の概要

項目	詳細
対象者	Banacha Yathip 氏
役職	アシスタントプロジェクトディレクター
所属	Gunkul Engineering
分類	民間企業
対象者詳細	再生可能エネルギー分野で約 30 年の経験をもつ。

(1) 防衛産業エネルギーセンター 防衛エネルギー部

ヒアリング成果の詳細を表 4.2-6 に示す。

(2) Gunkul Engineering

Gunkul Engineering では、自国で発電事業者から一定年月に達した使用済太陽電池モジュールを引き取り、バッテリーストレージと組み合わせて再販売している。なお、再設置した一部の太陽電池モジュールについては、新品と比較した際の発電性能の分析等にも使用されていた。また、太陽電池モジュールが不法投棄されることを問題視しており、リユースできるモジュールは建設現場の足場や山間部地域への寄付等を行っていた。なお、同社ではリユース太陽電池モジュールの海外輸入等は手掛けていなかった。

表 4.2-6 タイにおける使用済太陽電池モジュールの処理実態及び輸出入実態

観 点		ヒアリング結果
太陽光発電 導入状況	太陽光発電の導入状況、 及び予測	過去 10 年間で再生可能エネルギー、特に太陽光発電は 30%以上増加した。 なお、現在タイの総発電容量は約 4 万 MW であり、その 60%がガスと石油、15%が石炭、 10%が再生可能エネルギー（太陽光発電、風力発電、バイオマス発電）となっている。
	導入促進に向けた取組	タイでは、2021 年に開催された国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議（COP26）で、2050 年 に「カーボンニュートラル」の達成を目指すという新たな目標を掲げている。仮に 2050 年までに 目標が達成できなかった場合には、EU 諸国や米国へ輸出する際に炭素税の支払が必要となる。 そのため、省庁や政府機関、また企業で、太陽光発電を含む再生可能エネルギーの利用を推進して いるが、普及促進に係る具体的な補助金や優遇措置はない。なお補助金はないが、余剰電力をタイ 王国発電電力公社（以下、「EGAT」という。）に売電することはできる。そのほか、政府では、 民間にモジュールの設置を依頼するほか、夜間の電力消費を推奨する等の取組を行っている。
廃棄実態	太陽電池モジュール 廃棄実態	太陽電池モジュールの導入は 15 年ほど前になるため、製品寿命（法定耐用年数）の観点からは、 ほとんど排出されておらず、廃棄量は全体の 10%～15%程度に収まっていると考えられる。 しかし、今後 10 年間でその廃棄量は 50 万 t まで増加する見込みである。
	モジュール廃棄に係る 規制・規則（政策等）	現状、廃棄に係る政策はない。導入されている太陽電池モジュールがまだ製品寿命を迎えていない ため、使用済太陽電池モジュールの処理問題に直面していないからだと考えられる。
	適正廃棄に係る取組	使用済太陽電池モジュールは EGAT に売却することができる。また、エネルギー省に設置されて いる国防再生可能エネルギー学習センターでは、再生可能エネルギーを 100%利用可能な経済体 制の実現を目指した研究実施を目標としている。
	廃棄に係る基準	使用済モジュールの処理に係る、法的基準は存在しない。

観 点		ヒアリング結果
処理実態	使用済太陽電池モジュール 処理実態	太陽電池モジュールの適正処理方法は定まっておらず、現状リサイクル施設も存在しない。 そのため、自治体が廃棄物として回収し、焼却・埋立処分したり、海外輸出したりしている。 使用済太陽電池モジュールの埋立処分について、現状、廃棄物量が少ないため、悪影響は小さいと考えられるが、将来的に環境汚染問題を引き起こすリスクがあると考えている。 日本を含む海外への廃棄物輸出は、タイに廃電気・電子機器類を処理できる工場がないことが背景にある。タイと日本は特に強いつながりがあるため、使用済太陽電池モジュールを含む廃電気・電子機器類の輸出先は日本ではないかと推察する、
	リユース・リサイクル実態	上述のとおり、タイにおける使用済太陽電池モジュールの処理方法が確立されていないため、リユース及びリサイクル手法も定まっていない。 現状、タイの大半の国民が太陽電池モジュールのリユース事業を把握しておらず、使用済太陽電池モジュールが再利用できることを認知されていない状況である。また、価格面において、新品のモジュールとリユース品の価格差がないことから、リユース品の普及は難しいとも推察する。
	リユース・リサイクル促進 に向けた取組	2019年に産業労働局長が東部経済回廊のチャチュンサオ県に、リサイクル施設を設立すると主張したが、2022年現在も特に進捗はなく、予算承認を待つ検討段階にあるようである。本件は、次の新政府が誕生するまで待ち、新政府の承認を得る必要がある。 またリユースに関して、政府は新品の太陽電池モジュール導入を推奨しているところであり、リユース品普及促進に係る言及はされていない状況である。そのため、現時点でリユースに対する補助金等は存在しないが、使用済太陽電池モジュールに残存能力があれば、モジュールをEGATに売却できる仕組みは存在する。
	リユース・リサイクルに係る 今後の政府方針	リユースに係る政府方針は示されていない。また、リサイクルに関しても取組が実施されている訳ではな。排出量が少ない現状、その適正処理は緊急の課題ではないが、大量廃棄の課題に直面した時に、政府はモジュールの導入促進より適正処理・再利用に関心を示すと考えられる。

観 点		ヒアリング結果
太陽電池 モジュール 輸入実態	リユース品の輸入実態	<p>現在、タイでは太陽電池モジュールを自国生産していないため、日本や中国、米国等から輸入している。国内生産が非常に難しい要因としては、モジュール製造工場の立ち上げや技術確立に、政府からの援助を得られないことがあげられる。</p> <p>タイは中国と貿易上特別な契約を結んでおり、中国からの輸入物は関税がかからないことから、太陽電池モジュールの輸入元は中国が多いと考えられる。実際、新たに屋根設置されるモジュールの多くは中国からの輸入品となっているようである。</p> <p>なお、現時点でリユース品を海外から輸入している可能性は低いと考える。新品需要が高く、またリユース事業投資の成功見込みが低いことが背景にある。</p>
	輸入量の将来予測	<p>将来的に、太陽電池モジュール輸入量は増加すると予想される。防衛省では3万 MW の太陽光発電所の設置を計画しており、現在は建設段階にある。今後2～3年後に計画が実施される予定であるため、輸入に頼っているタイでは、そのタイミングで輸入量が増加するだろう。</p> <p>なおリユース品の海外輸入に関しては不明だが、5～10年後であれば、輸入している可能性は特に否定できない。</p>

※ ヒアリング調査に基づき整理している。

4.2.3 インドへのヒアリング結果

インドにおける使用済太陽電池モジュールのリユース実態について調査するために、インドの太陽光発電公社 Solar Energy Corporation of India (SECI) の Bharath Reddy Yellasiri 氏と、インドの太陽電池モジュールメーカー Vikram Solar 社の Anuj Agrawal 氏にヒアリング調査を実施した。ヒアリング対象者の概要は、表 4.2-7～表 4.2-8 に示すとおりである。

表 4.2-7 ヒアリング調査対象の概要

項目	詳細
対象者	Bharath Reddy Yellasiri 氏
役職	ゼネラルマネージャー
所属	Solar Energy Corporation of India (新再生可能エネルギー省管轄)
分類	発電公社
会社詳細	太陽光発電を促進するために非営利企業として設立された。 インド政府の新再生可能エネルギー省が管轄している。

表 4.2-8 ヒアリング調査対象の概要

項目	詳細
対象者	Anuj Agrawal 氏
役職	経営戦略・事業計画部門 シニアマネージャー
所属	Vikram Solar 社
分類	民間企業
会社詳細	インドで5番目に大きい太陽光発電会社であり、太陽光発電モジュールの製造、調達、建設、及び保守運用を行っている。

(1) Solar Energy Corporation of India

インドにおける使用済太陽電池モジュールのリユース含めた処理実態に関するヒアリング成果を、表 4.2-9 に示す。

(2) Vikram Solar 社

インドで太陽電池モジュールの製造から処理・再利用を実施する事業者にはヒアリング調査を実施し、国内リユース・リサイクル事業について整理した。そもそも、モジュールの排出由来は主に、製造時の故障、輸送時の破損、災害時の破損の3つであった。まず、製造時に故障した場合、部品を取り出して組み立て直す再製造は工数と費用が掛かるため、他国で再利用されていた。海外で再利用されるケースは以下の2パターンあった。

- ① セルの破損部分を取り除き、小さな規格品として販売する。顧客としては、電動リキシャメーカーや太陽光ランタンメーカー等の小国の第三者販売者や小規模なベンダーがあげられる。
- ② アフリカ等に低効率の太陽電池モジュールとして販売し、再利用する。なお販売される低効率モジュールの規格は多岐に渡る。事業スキームとしては、アフリカの現地の委託先に破損したモジュールを一括で輸出し、現地法人が現地販売を行う。

その他、輸送時に破損した場合や災害時に破損した場合は、焼却事業者に引き渡して有価物を回収するか、破損部分を取り除いて上記同様に海外で再利用されていた。なお、いずれの排出要因においても、高度リサイクル処理は行われていなかった。インドで使用されるモジュールは製品寿命を迎えていないことから、インド国内でリサイクル処理を実施している事業者はいないと考えられる。

なお、Vikram Solar 社ではリユース品の輸入は行っておらず、使用済モジュールの再利用及び販売のみを実施していた。

表 4.2-9 インドにおける使用済太陽電池モジュールの処理実態及び輸出入実態

観 点		ヒアリング結果
太陽光発電 導入状況	太陽光発電の導入状況、 及び予測	2010年に掲げられた、太陽電池・太陽光発電業界の発展に向けた長期計画「ジャワハルルール・ネルー・国家太陽光ミッション」以降、太陽電池モジュールの導入が加速した。大規模な太陽電池モジュール導入では25年間の電力購入契約を結んでいるため、一度発電所を設置すれば25年間継続することになる。その一方で、小規模な屋根置き発電設備では、10～15年以上の使用を想定されている。いずれの発電所においても、期限前に設備解体されることはない。
太陽電池 モジュール 廃棄実態	太陽電池モジュール 廃棄実態	太陽電池モジュールに係る廃棄物は、2021年時点で累積285,000t程度に及ぶ。その排出由来は、初期不良や輸送や設置時における破損であり、製品寿命（法定耐用年数）を迎えて排出されたモジュールはない。今後モジュールが寿命を迎える2030年以降に、大量排出の問題が生じると予想される。なお、インド国立太陽エネルギー連盟（NSEFI）の報告書によると、2030年までに34,600トン以上の太陽電池モジュール廃棄物が発生する可能性がある。
	モジュール廃棄に係る 規制・規則（政策等）	太陽電池モジュールは、電子廃棄物管理規則で定義されている。ただし、太陽光発電市場が成熟していないため、製造方法に関する規制はあるものの、廃棄に関する詳細規則は現状存在しない。また、現状では事業者が規制・規則を遵守しているかどうかを、政府が確認する手段はなく、代理店が廃棄方法や時期を契約書に記載するに程度にとどまっている。
	適正廃棄に係る取組	廃棄物の不法投棄を抑制するための措置や政策はないが、民間企業単位では、顧客に引き渡す際に太陽電池モジュールへシリアル番号を発行・登録し、追加保証等の特典を付与するキャンペーンを実施している。

観 点		ヒアリング結果
処理実態	使用済太陽電池モジュール 処理実態	使用済太陽電池モジュールが排出される場合には、リサイクル事業者を呼び、モジュール一式を一度にまとめて廃棄する。リサイクルに処理コストは発生するが、そのリサイクルによって抽出・生成された有価物を売却することで、新品の最大 20～30%程度の価値を回収できるようである。
	リユース・リサイクル実態	リサイクルの収益性が高くメリットが大きいため、リユースではなくリサイクルに回っている。 【リサイクル】 以前は商業的にリサイクルを実施していなかったが、直近3年程でガラスリサイクルだけでなく、太陽電池モジュールの細かな構成部品についても、再資源化する取組が進められている。 【リユース】 リユース品を利活用する仕組みがなく、リユース診断も実施されていない。 発電所は大規模で、土地を含めて全てリースで借りているため、排出後にモジュールのリユース可否を1枚ずつ確認することは現実的に不可能である都推察される。また、電子機器業界におけるリユース率は低く、テレビやコンピュータ等でもリユース利活用の割合は、非常に限定的である。昨今では技術進歩が非常に高いことから、尚更リユース品が好まれない傾向にある。
	リユース・リサイクルに係る 課題	太陽電池モジュールは発電性能・効率が重要であるため、リユース品の利用は難しい。 新品モジュールはリユース品と比較して発電容量や出力が大きいため、発電効率が高く、必要な発電所面積も小さくて済む。コストの観点からも、発電効率が低いモジュールは必要枚数が少なくなるため、商業的メリットが高い。 その他、リユースする場合には、使用済モジュールを取り外した後の置場も問題になるだろう。
	リユース・リサイクルに係る 今後の政府方針	使用済太陽電池モジュールの出口は、リユースではなくリサイクル中心となる。インド国内で使用されるモジュールの大半が結晶シリコン系であるため、90～95%までリサイクル可能である。 上述のとおり、リユース品は発電性能・効率が新品比で劣ることから、商業的メリットも薄いと捉えられており、発電所の解体後はリサイクルに流れると考えられる。

観 点		ヒアリング結果
不適正処理	不適正処理に関する実態	インド政府が把握している不法投棄の事例はない。 しかしながら、グジャラート州やラジャスタン州等において、100枚に及ぶ太陽電池モジュールがプラスチックくずと共に廃棄されている場所が、複数存在している状況である。
太陽電池 モジュール 輸入実態	リユース品の輸入実態	インドでは太陽電池モジュールのリユース品を使用していないことから、リユース品の輸入もないと考える。ただし、モジュール製造工程で損害が発生したものを、海外にリユース品として輸出している事例はあった。

※ ヒアリング調査、及びデスクトップ調査に基づき整理している。

第5章 国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討

5.1 再生製品の技術的特徴及び普及促進における課題の整理

5.1.1 太陽電池モジュール由来リサイクル製品の利用拡大等に向けた調査

使用済太陽電池モジュールの適正処理に向けた、リサイクルの現状及び課題を把握するため、リサイクル技術や処理ガラスを中心とした再生製品の特徴について、中間処理業者にヒアリング調査を実施した。また、リサイクルの普及促進に向けては、モジュール由来のガラスの再資源化が重要であることを踏まえ、リサイクル技術の開発動向や取組に係る課題についてガラス再生製品製造業者にヒアリング調査を実施した。

ヒアリング調査の実施概要は、表 5.1-1 に示すとおりである。なおヒアリング成果は、本項以降の調査内容において反映した。

表 5.1-1 ヒアリング調査実施概要

No.	実施日	対象区分	ヒアリング内容
1	2022年10月18日	中間処理業者	・ 事業概要について
2	2022年10月24日	中間処理業者	・ 事業実態と今後の方針について
3	2022年10月28日	中間処理業者	・ 処理技術について ・ 処理フローについて
4	2022年11月4日	中間処理業者	・ ガラスリサイクルに向けた
5	2022年11月17日	中間処理業者	受入要件について
6	2022年11月24日	中間処理業者	・ 含有物質情報の取得について
7	2022年11月25日	中間処理業者	・ 中間処理における課題について
8	2023年3月7日	再生製品製造者	・ 事業概要について ・ 再生製品の特徴について ・ 再生製品の販路開拓について ・ 再生製品の需要先について ・ モジュール由来製品の普及促進に向けたご意見

5.1.2 太陽電池モジュールの処理技術の整理

太陽電池モジュールに特化して、アルミフレームの取り外し後にガラスくずの剥離・分別が可能な高度選別処理技術を6事業者が導入していた。残りの1事業者は、太陽電池モジュールに特化した破碎施設で単純破碎後に濃縮製錬を行っていた。ヒアリング対象の事業者で導入されていた高度選別処理技術は、表5.1-2に示すとおりである。

表 5.1-2 太陽電池モジュールの処理に特化した処理技術の導入状況

No.	処理技術名	開発者等	導入実績（台）※
1	ホットナイフ分離法	(株) エヌ・ピー・シー	2
2	高度リサイクルプラント処理 (EVA 熱分解処理と高度選別処理)	(株) 新菱	1 (稼働前段階)
3	ガラスわけーるⅢ型	(株) 環境保全サービス	2
4	Resola	近畿工業 (株)	1
計			6

※ 導入実績は、今年度のヒアリング調査で確認できた設置済台数を指す（2023年1月時点）。

表5.1-2に示す高度選別処理技術は、それぞれガラスの剥離・分別手法に違いがあるため、中間処理後のガラス状態が異なる。なお高度リサイクルプラント処理とは、EVA熱分解処理にてアルミフレームと板ガラスを回収し、高度選別ラインにてガラスくず、セル、銅線を選別する中間処理技術であった。それ以外の技術は、いずれもアルミ枠が外された太陽電池モジュールに対する、ガラスの高度選別処理技術である。

一部の中間処理業者では、上記の技術に加えて、処理ガラスを更に高度選別するシステムを導入していた。具体的には、高度選別処理後にガラス精製装置で3段階の選別（風力選別、色選別、金属選別）を施し、樹脂混入及び微粉ガラス、異物混入ガラス、銅線混入ガラス、良品ガラスといった4つの純度の異なるガラスを回収していた。

太陽電池モジュールに特化した高度選別処理技術の特徴及び処理後ガラスの状態は、表5.1-3に示すとおりである。

表 5.1-3 高度選別処理技術の特徴及びガラスの処理状況

技術名/製品名	処理技術の特徴	モジュールの受入要件	処理後のガラス
ホットナイフ分離法	約 300℃に加熱したナイフで EVA 層を熔融処理し、ガラス面を割ることなく、その他部材と分離することができる。処理能力は約 60 秒/枚。	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス面の破損やモジュールの歪み (60mm 程度)には対応可能である(ただし、古い設備では、ガラス面が破損したモジュールは受入不可)。 ・ 結晶系の太陽電池モジュールには対応できるが、化合物系には対応できない。 ・ サイズが極端に大きい、または小さい太陽電池モジュール等、装置に投入できないモジュールは処理できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 分離された板状ガラスはガラスメーカー等に売却され、安価材やガラス砂等にリサイクルされる。 ・ 基本的に処理残渣は発生しないが、ガラス面が破損したモジュールの場合には、ガラス残渣が発生する場合がある。 ・ ガラスとその他を完全に切り離すため、ガラスへの鉛付着(残渣)はほとんどない。
高度リサイクルプラント処理 (EVA 熱分解処理と高度選別処理)	EVA 熱分解処理でアルミフレームとガラスを回収し、高度選別ラインにてガラスくず、セル、銅線を選別する(モジュール受入時のガラス状態に応じて、板ガラス若しくはカレットガラスを回収する)。	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス面が破損した太陽電池モジュールであっても対応可能である。化合物系の太陽電池モジュールは対象外となる。(なお、ヒアリングを実施した導入事業者が、化合物系を受け入れた場合には、破砕ルートで中間処理を実施する様子) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 処理後のガラス状態(板ガラス、カレットガラス)を問わず、グラスウールメーカーへ売却している。 ・ ただし、グラスウール側の需要が頭打ちしていることから、将来的には板ガラスメーカーへの搬出も視野に入れる予定とのこと。

技術名/製品名	処理技術の特徴	モジュールの受入要件	処理後のガラス
ガラスわけーるⅢ型	ツメ付ローラーで大きなガラス片を剥離し、ブラシで、微細ガラスや導線、発電セル等をそぎ落とす。剥離されたガラスくず等は、ベルトコンベヤーで運び、ホッパーで一時的に保管する。 処理能力は約 75 秒/枚。	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス面が破損した太陽電池モジュールは対応可能だが、撤去・解体時に重機等で大きく破損したもの（穴が空いているような太陽電池モジュール）は受入不可となる。 ・ シリコン系の太陽電池モジュールであれば、問題なく処理することが可能。 ・ また両面ガラスの太陽電池モジュールも処理可能となっている（両面ガラスを剥離するため、装置に2度投入する模様）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 5mm 以下のガラス砂へリサイクルを実施。モジュール由来ガラスを粉碎・カレット化して、粒度別（0～1.2mm、1.2～2.5mm、2.5～5mm、5mm）に選別。製品に合わせて粒度、色の割合を調整することができる。 ・ ただし、モジュール由来ガラス単体でガラス砂を製品化することはできないため、瓶ガラスや容器ガラスと混ぜて、再生製品化している。
Resola	アルミフレームを除去後、ローラー破砕機（ロール型圧縮破砕）に数回通しガラスを除去する。 剥離・分別後のガラスになるべく不純物が混在しないような処理を実施している。 処理能力は約 120 秒/枚。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然災害由来で排出されたもの等、歪みがある使用済太陽電池モジュールであっても処理可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ モジュール由来ガラスは、多孔質ガラス発泡材へのリサイクルを実施。 ・ リサイクル時に抑制剤を投入することでガラスに含まれる有害物質等を無害化することが可能となっている。

5.1.3 再生製品の技術的特徴と課題の整理

高度選別処理技術を導入していた6事業者における中間処理後の生成物は、アルミフレーム、ガラス、セル・EVAシートを含むその他に大別される。6事業者はいずれも、アルミフレームはアルミリサイクルするために、アルミ買取業者やアルミ精錬事業者等に売却していた。ここでは、使用済太陽電池モジュールのリサイクル促進を図るために、モジュール重量の大半を占めるガラスに着目して、ガラス再生製品の技術的特徴と課題について整理する方針とした。

今年度調査では、ガラス再生製品のうち、複数のヒアリング調査で確認されたガラス砂と多孔質ガラス発泡材に絞って、その技術的特徴と課題の整理を行った。なお、処理残渣ガラスくずは廃棄物処理されること、又、セル・EVAシート付ガラスは精錬事業者に引き渡されることから、課題整理は行っていない。

表 5.1-4 ガラス再生製品の技術的特徴と課題

項目	ガラス砂	多孔質ガラス発泡材
再生製品の特徴	剥離したガラスを特殊な粉砕方法を用いることでカレット化し、粒度別（0～1.2mm、1.2～2.5mm、2.5～5mm、5mm）に選別。製品に合わせて粒度、色の割合を調整することができる。川砂の粒径と同等の丸みに加工されている。26項目の溶出基準をクリアしている。天然材より粒度・色調整が容易。	廃ガラスを粉砕、焼成、発泡させて製造する。以下に示す用途等に応じて、加工・調整ができることが特徴。 ①軽量段差修正材（軽量土嚢）、②防草材、③フッ素排水処理（フッ素の吸着・回収、再資源化）、④リン排水処理（リン酸吸着剤、再資源化）、⑤微生物脱臭（悪臭生物分解）、⑥水質浄化（微生物分解）、⑦土地改良（保水性・通気性向上）
市場動向	平成27年度の下水道法改正によって、雨水貯留浸透施設の設置が進められており、水害防止の観点から今後も需要が継続すると推察される。例えば茨城県では、リサイクル建設資材率先利用手順書を作成しており、ガラス砂について、条件が合致する場合は積極的に使用することが記載されている。今後、その他自治体においても同様の動きが広がった場合には、更に需要量が高まると考えられる。	従来、軽量盛土材として使用されてきたEPS（発泡スチロール）にマイクロプラスチック問題や原油高による価格高騰があり、多孔質ガラス発泡材への代替が進んでいる。
競合製品	道路用けい砂、等	用途によって異なる（⑤脱臭であれば、活性炭等）
市場規模	道路用けい砂出荷量： 2021年：8,269t、2020年：9,078t、2019年：8,298t （2021年 経済産業省生産動態統計年報 資源・窯業・建材統計編）	EPS 土木工法施工実績： 軽量盛土材出荷量：280,000m ³ （2010年 発泡スチロール土木工法開発機構（EPS 開発機構））

項目	ガラス砂	多孔質ガラス発泡材
リサイクル出口の可能性、強み	<p>砂不足に伴う砂価格の高騰により、土木資材としての需要が高まっている。特に大規模道路工事や電柱の地中化工事等、1回あたりの需要量が多いことを踏まえると、原料確保の観点から大量排出期を迎える太陽電池モジュール由来ガラスは親和性があるとも考えられる。</p> <p>また純度が低いガラスくずであっても、ガラス砂へ再資源化できることから、中間処理技術で剥離・分別されたガラスくずに多少の不純物が混入している場合でも、リサイクル可能である。</p>	<p>機能性が高く、微生物分解を活用した水質浄化効果や、養豚場等における悪臭分解効果があるほか、土地改良や防草材としても利用できる等、用途の幅が広い。また海外では土壌改良として製品需要もある等、再生製品の販売先が国内市場に限らない強みもあると考えられる。</p> <p>また太陽電池モジュール由来ガラスの無害化リサイクルに関して国際特許が取得されている技術も存在しており、懸念されることも少なくない品質安定性や安全性が担保されている再生製品も存在する。</p>
課題	<p>ガラス砂の粒度によっては、太陽電池モジュール由来ガラス単体で再資源化できないため、容器ガラスや瓶ガラス等、他廃ガラスと混ぜる必要がある。</p> <p>現在の排出量では、ガラス砂へリサイクルできる事業者、及び施設に限られるため、収集・運搬費等を考慮すると必ずしも使用済太陽電池モジュールが流れてこない。</p>	<p>機能性が高いことから再生製品としての価格も高いが、再資源化コストも比較的高い傾向にある。また用途が幅広いために競合製品が多いほか、ガラス瓶等の廃ガラスからも再資源化できるため、現状の排出量では太陽電池モジュール由来ガラスの強みは小さい。</p> <p>脱臭剤や水質浄化剤として利用する場合、一度投入すれば効果が継続するため、定期的な交換需要はなく、利用先が狭まる可能性がある。</p> <p>現在の排出量では、多孔質ガラス発泡材へリサイクルできる事業者、及び施設に限られるため、収集・運搬費等を考慮すると必ずしも使用済太陽電池モジュールが流れてこない。</p>

5.1.4 国内リサイクルの普及促進に関する課題の整理

現状、太陽電池モジュール由来ガラスはガラス砂や多孔質ガラス発泡材ほか、セラミックタイル等へリサイクルされ、幅広い用途で再利用されていることが分かった。しかしながら、排出されている太陽電池モジュールのうち、ガラス再生製品へリサイクルされている数量は一部に過ぎず、十分にリサイクルが進んでいる訳ではない。更なるリサイクルの普及促進に向けて、回収及び中間処理から再生製品製造まで、一体的なリサイクル整備が重要となる。今年度調査で見えてきたガラスリサイクル普及促進に向けた課題を、段階別に整理する。

(1) 中間処理段階

現状、使用済太陽電池モジュールの排出量がまだ少なく、高度選別処理技術を有する施設も一部に限られる。排出者目線に立つと、中間処理コストに収集・運搬コストが上乗せされるため、破碎・焼却と比べて処理コストが高くなっている状況である。そのため、結果的に高度選別処理が選択されず、破碎・焼却、また埋立処分に流れる使用済太陽電池モジュールが一定数存在することが課題だろう。また高度選別処理技術を有する中間処理業者の目線では、設備稼働率が上がらないため、「使用済太陽電池モジュールの中間処理業」単体では黒字化しない状況が続いている。

今後、使用済太陽電池モジュールのリサイクル価値を創出すると共に、排出者への情報周知が必要になると考えられる。また適正処理（リサイクル）の定義が広く、高度選別処理と破碎・焼却がまとめて適正処理と呼称されているため、高度選別処理を推進するのであれば、差別化して情報発信することが望ましいと考える。

(2) 再生製品製造段階

太陽電池モジュール由来ガラスを原料として、幾つかのガラス再生製品にリサイクルされている事例はあるが、その要求水準や判断方法・検査方法はまだ確立していない。製品メーカー等は太陽電池モジュールに含有される有害物質等への懸念が強いため、太陽電池モジュール由来ガラスの受け皿を増やすためにも、再生製品ごとの基準整備や情報連携が必要になるだろう。なお含有物質の観点では、今後、海外メーカー製の太陽電池モジュール排出量が増えることを考慮する必要がある。海外メーカー製の場合には、その含有物質情報を容易に取得できないケースも推察されるため、ガラスリサイクルの観点で障壁になりうると考えられる。

またガラス再生製品を製造するに当たり、必ずしも太陽電池モジュール由来ガラスが必要という訳ではない。他製品由来ガラス（容器ガラス、瓶ガラス、等）もリサイクル原料となるため、それらと比較した際のメリット・デメリットを、時間軸（現在、大量排出期）で整理し、取組を進めるべき内容の優先順位をつけることが必要になると考えられる。

(3) その他（大量排出期における課題）

大量排出期における課題・懸念は、使用済太陽電池モジュールの滞留と考えられる。中間処理施設の受入キャパシティや保管場所の確保、又、排出されたモジュールを滞りなく収集・運搬できるか、地域やエリア単位で検討・シミュレーションすることが必要になる可能性がある。

5.1.5 製品メーカーへのアプローチ方法調査

(1) 品質・安全性に係る情報連携、発信

中間処理業者へのヒアリング実施、又、意見交換する中で、製品メーカー及びその先にいるユーザーが、太陽電池モジュール由来ガラスを忌避している事例もあることが明らかになった。適切な廃棄物処理のみならず、リサイクルにおいても含有物質情報等の連携が重要となるため、太陽電池モジュールメーカーの情報提供を徹底すると同時に、適切な連携方法を検討する必要がある。現在、国産メーカーは太陽電池モジュールの含有物質等の情報公開を行っているケースも増えている一方、外国産メーカーでは情報公開・発信が不足しているケースもあり、情報整備のあり方検討も必要になるだろう。

また製品メーカー側が、ガラス再生製品別の要求水準に抵触するために太陽電池モジュール由来ガラスを原料として採用できないのか、アンチモンやヒ素等の含有物質に対する忌避意識から採用しないのかを調査・整理する必要があると考える。

(2) 大量排出期を見据えたガラス原料ポテンシャル

将来的に使用済太陽電池モジュールが大量排出されることは避けられない未来であり、全国的に大量のガラスくずが発生する見通しとなっている。高度選別処理技術によって剥離・分別されるガラスの性状・品質は異なるが、現状と比較して、原料となりうる板ガラス・ガラスカレットが増える点、またボリュームメリットで価格が抑えられる点は共通すると考えられる。前提として、回収・リサイクルシステムの構築と社会実装が必要になるが、大量排出期を想定したポテンシャルやメリットに目を向けて、製品メーカー等と議論を進めることが重要である。

5.2 リサイクル手法の評価

5.2.1 リサイクル手法の経済合理性評価

中間処理業者等を対象に実施した太陽電池モジュールのリサイクル費用に関する調査の結果を表 5.2-1 に示す。太陽電池モジュールの種別、状態によってリサイクル処理費用やリサイクルの出口が異なることが分かった。

(1) 太陽電池モジュールの処理費用の調査

通常のシリコン系太陽電池モジュールの処理費用の相場は 3,000 円であった。設備の初期費用や稼働率を考慮すると、妥当な処理費用と考えられる。ガラス面が破損している太陽電池モジュールを処理する場合は、剥離・選別後のガラスくずに不純物が混じる可能性が高いため、最終処分委託費、又は二次処理委託費が通常処理費用に上乘せされる場合が多い。化合物系太陽電池モジュールの場合、セルに含まれる有価売却可能な銀の含有量が減るため、更に処理費用が上乘せとなる。また、ガラスの精製装置を保有している事業者では、リサイクルガラスを有価売却できていたが、高度選別施設のみ事業者は廃棄物として最終処分業者に処理委託をしていた。

一般的に、高度選別処理はリサイクル費用が積み増しされるため、割高になりやすい。そのため、安価な破碎事業者に処分委託され、単純破碎・埋立処分されるケースが多く、高度選別処理量は限定的と考えられる。事業者からは下記の認識が示された。

- 最近ではモジュールをスクラップ企業に奪われ、受入量が少なくなっている。
- リサイクルは価格が埋立処分の 2 倍以上となるため、単純処理を選ぶ排出事業者は必ず現れてしまうだろう。実際、当社に来るリサイクル処理の問合せのうち、処理価格を伝えると連絡が途絶える排出事業者が 2 割程度存在している。

(2) 太陽電池モジュールの素材売却費の調査

素材売却費について、表 5.2-1 に示すとおり、アルミフレームは 1 kg 当たり 100～200 円、EVA シートは 1 kg 当たり 1～数百円、ガラスは 1 kg 当たり 1～3 円であった。現状、多くの中間処理業者が剥離・分別したガラスくずに有価売却していたが、近隣地域にガラスくずを受け入れるリサイクル事業者やガラスメーカーが存在しないために収集・運搬コストがかさみ、逆有償取引となっているケースも存在した。セル・EVA・バックシートについて、過去に銀の含有率が高い場合は 1 kg 当たり約 200 円で売却した実績があったが、最近では太陽電池モジュールの銀の含有量が低下しているため、単価も減少傾向にあることがヒアリング調査から分かった。セル当たり銀含有量の低下は、ドイツ機械工業連盟 (VDMA) の International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) でも言及されており、今後開発される太陽電池モジュールでは更に減少する見通しとなっている (図 5.2-1)。

表 5.2-1 シリコン系太陽電池モジュールのリサイクル費用に関する調査結果

受入モジュール	処理費/枚	中間処理後の生成物	リサイクル出口	素材売却費/kg	備考
シリコン系 × ガラス破損なし	3,000 円	アルミフレーム	アルミ	100～300 円	買取先メーカーによって売却費が異なる。 アルミフレームがない場合、処理費に素材売却益分を転嫁。
		セル・EVA・バックシート	銀・銅	2～数百円	有価金属の含有率で売却費が変動する。
		板ガラス・ガラスくず・割れガラス	ガラス	1～3 円 ※8 円/kg で処理 委託した事業者有 ※処理残渣ガラスは 廃棄物として処理委託	最高値は 2～3 円/kg の安価材であった。 一部事業者では、ガラスリサイクル事業者 に処理委託費を支払って、ガラス砂へと再資源化していた。なお処理残渣が発生する事業者では、30 円/kg で最終処分業者に処理委託していた。

受入モジュール	処理費/枚	中間処理後の生成物	リサイクル出口	素材売却費/kg	備考
シリコン系 × ガラス破損あり	3,000～3,600 円	アルミフレーム	アルミ	100～300 円	買取先メーカーによって売却費が異なる。 アルミフレームがない場合、処理費に 素材売却益分を転嫁。
		セル・EVA・ バックシート	銀・銅	2～10 円	有価金属の含有率で売却費が変動する。 一部の事業者では、破損ガラスと一体化 した状態で売却していた。
		ガラスくず・ 割れガラス	ガラス	1～2 円 ※8 円/kg で処理 委託した事業者有	—

受入モジュール	処理費/枚	中間処理後の生成物	リサイクル出口	素材売却費/kg	備考
化合物系	3,000～6,600 円 ※両面ガラスの場合、6,600 円	アルミフレーム	アルミ	100～300 円	買取先メーカーによって売却費が異なる。アルミフレームがない場合、処理費に素材売却益分を転嫁。
		セル・EVA・バックシート	銀・銅	2～10 円	有価金属を含まない場合には、処理費に素材売却益を転嫁。
		ガラスくず	ガラス	約2 円	一部事業者では、選別処理の過程で発生したガラスくず（リサイクル困難物）を、最終処分業者に 1,000 円/枚で処理委託していた。



※ セル1枚当たり、156.75mm × 156.75mm²として計算。

出典) International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2018 Results

図 5.2-1 セル1枚当たり銀含有量の推移

更にセル自体の排出量も少ないため、輸送費を考慮すると逆有償取引のリスクが残る。一部の事業者では、EVAシートとセルを剥離せずに売却する等の工夫を行っていた。これは、現状EVAシートとセルを分別して、それぞれ売却する以上に、分別に要するコストが大きいことに起因する。また剥離・分別しないことで、処理物の表面積が小さくなるために載積コストが下がるほか、廃プラスチック処理が不要になるといった副次的な効果もある。

以上のコスト構造を確認すると、現状では、高度選別処理は採算性が低いことが分かる。処理物ごとに整理しても、アルミ売却費は採算性が高い一方で、セル・EVA・バックシートは有価金属の含有率に依存しており、ガラスくず売却費は低いといった状況である。排出量が少ないため、中間処理業者の設備稼働率も低い状態が続いており、太陽電池モジュールリサイクル事業単体では黒字化できていない事業者も見かけられた。今年度調査のヒアリングで確認できた範囲では、一般的な施設稼働率が約10.0%程度であり、最も低い稼働率は0.32%にとどまっていた。更に、剥離・分別後のガラスくずに不純物が混じりやすい破損モジュールや、有価金属の含有率が低いシリコン系モジュールでは、処理費用に処理委託費を転嫁しないと採算が取れないことも明らかとなった。太陽電池モジュールのリサイクル採算性を改善するためには、設備稼働率の向上、及び有価性の高い再生製品へのリサイクルが求められる。

5.2.2 再生製品の有価性に関する調査

リサイクル手法の採算性を高めるためには、中間処理後の生成物の有価性を高める必要がある。そこで、高度処理後の各素材や再生製品の需要について調査する。

(1) アルミの有価性

アルミ単価は、一般的な価格水準として1 kg 当たり 100～200 円である。しかしながら、アルミの需要減や、アルミ合金の添加剤に使用するマグネシウムの供給源によって、将来的に売却費が低下することも考えられる。アルミは自動車用途を中心に需要増が見込まれているが、半導体や部品の供給不足による減産影響も無視できない。また、添加剤に使用するマグネシウム調達が難しくなった場合には、生産が滞る可能性もある。ただし、一時的な価格変動はありながらも、中長期的には電気自動車用途のアルミ需要増が想定されることから、引き続き市場は拡大していくものと推察される。

(2) セル・EVA・バックシートの有価性

セル・EVA・バックシートは通常、セルに含まれる銀の有価性で売却益を生むが、図 5.2-1 でも示したとおり、銀の含有率は今後低下すると予想されている。銀の含有率が低下した場合には、その再資源化先として、リサイクル安全性の高いセメント材が考えられる。現状、バックシートの排出量が少ないことから、リサイクルにおける輸送コストの負荷が大きいことが課題視されている。セメント材は、銀と比較すると有価性は大きく減少してしまうが、安定的にリサイクルできるため、太陽電池モジュールの完全リサイクルを実現できる候補となっている。

またシリコン系太陽電池モジュールのセルに含まれるシリコンは、工業用生成物やリチウムイオン電池の材料源として需要がある。更にシリコンを主原料とする事業者からの引合いも存在するとヒアリングで伺った。ただし、シリコンと銀の分離に技術的課題があり、シリコンの活用を前提とする場合には、その販路開拓と並行して技術開発を推進する必要がある。

(3) ガラスの再生製品の有価性

ガラスは太陽電池モジュール重量の大半を占める。使用済太陽電池モジュール排出量の増加は、モジュール由来ガラスくずの増加を示すため、有価性の高いガラス再生製品の開発、及びリサイクルの普及・拡大が重要となる。中間処理業者へのヒアリング調査等から、ガラス再生製品の有価性について整理した結果を、以下に説明する。

需要面では、ガラス砂への再利用が期待できる。空き瓶等の廃ガラスを破碎施設で碎いて

粒状にしたガラス砂は、砂不足に伴う砂価格の高騰により、土木資材としての需要が高まっている。特にサンドマット工法では、その材料にガラス砂が不可欠であり、家1件で200t程度の需要がある。現状、需要に供給が追いついておらず、今後も大規模道路工事や電線の地中化工事等で、ガラス砂の需要は継続すると予想される。またガラス砂は土木資材だけでなく、防草舗装や骨材、機能性舗装材等、使用用途が多岐にわたるため、今後の利用価値も高い。また、原料となるガラスくずに多少の不純物が混入している場合でも、再資源化できるため、純度の低いガラスくずでも再利用できる可能性がある。ただし、中間処理業者等へのヒアリング調査では、製造時にアンチモンの無害化措置を施していないため、今後太陽電池モジュール由来のガラス製品として普及拡大した場合、製品イメージ上、不当な評価を受ける可能性を懸念する声もあった。

需要と安全性、価格の観点から見ると、多孔質発泡ガラスは有望な再生製品である。機能性が高く、微生物分解を活用した農業用水や河川・鉱山での水質浄化効果や、養豚場での悪臭分解効果があるほか、土地改良や防草材としても利用できる。国内では脱臭効果や水質浄化、海外では土壌改良の需要が高い。現在、鳥取再資源研究所が太陽電池モジュール由来ガラスを無害化して発泡ガラス「ポーラス α 」に再資源化する技術を取得している。ポーラス α を土木資材として活用する場合、ガラス砂等の一般的な土木資材の相場と比べて、機能性が高い分、高値で取引できるという利点もある。

ただし、多孔質発泡ガラスは販路開拓が課題とされている。脱臭剤や水質浄化剤として多孔質発泡ガラスを利用する場合、投入時点から効果が継続するため、交換の必要がなく、結果として需要が限定的になりやすい。また、使途の幅が広い分、競合製品が多い側面もある。

グラスファイバーへのリサイクルは、5G回線の普及に伴うケーブル需要の低下等で、利用価値が低くなるのではないかとの声がヒアリング調査で聞かれた。グラスファイバーにリサイクルする場合、原料は純度の高いガラスに限定されることから、高度選別処理技術とセットで検討する必要がある。前提として、グラスウールは瓶ガラスやガラスメーカーの供給で十分であるほか、市場規模も1年当たり30万tと頭打ちであるため、太陽電池モジュール由来ガラスのリサイクル出口としてはあまり期待できない。セラミックタイルは利用用途が公共事業に限定されるほか、需要に波がある。現状、施工が早くコストも安価な高機能アスファルトに需要を奪われている。

大量排出期を迎えるにあたり、資源循環の観点から、太陽電池モジュール由来ガラスの再資源化に向けた検討は、継続して進めなければならない。更なる技術開発の支援はもちろん、なるべく早期にモジュール由来ガラスの受け皿を整備する必要があるため、再生製品ごとにリサイクル事業者や製品メーカー、また業界団体等と連携することが求められるだろう。足下の排出実態に限らず、排出量増加に伴う変化・影響等を加味した上で、モジュール由来ガラスの可能性や課題整理、また販路拡大に向けた取組等を検討することが必要になると考えられる。

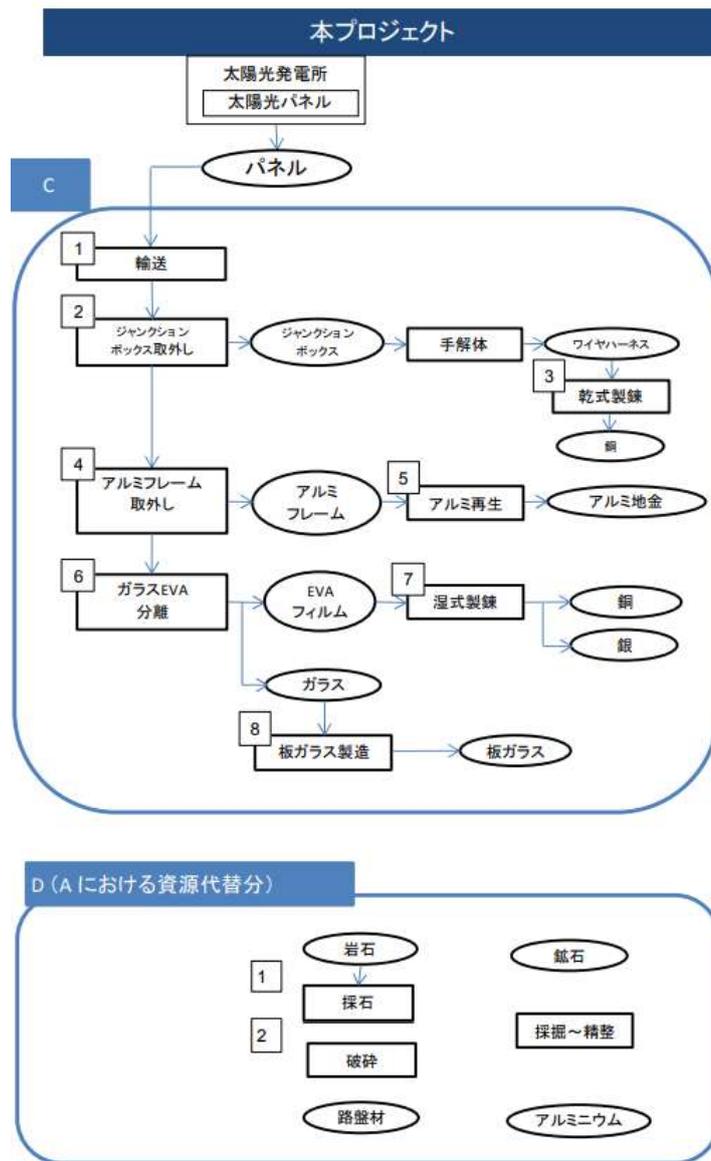
5.2.3 リサイクルによる環境負荷低減効果評価事例の調査

太陽電池モジュールの高度選別処理による CO2 排出量削減効果の評価した事例について、表 5.2-2～表 5.2-3 に整理した。

表 5.2-2 CO2 排出量削減効果評価事例 1

文献名	「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」 ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発
作成年月 (実証実施日)	2019年11月 (2015～2018年度)
著者 (実施事業者)	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 (株式会社浜田、株式会社エヌ・ピー・シー)
評価概要 ・ 方法	<p>【評価概要】</p> <p>破碎・埋立処分とホットナイフ分離法による高度選別処理の CO2 削減効果を算出</p> <p>【評価対象プロセス】</p> <p>ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発し、破碎・埋立処分フローとホットナイフ分離法による処理フローを比較した。</p>

評価概要
方法



CO2 排出量
削減効果

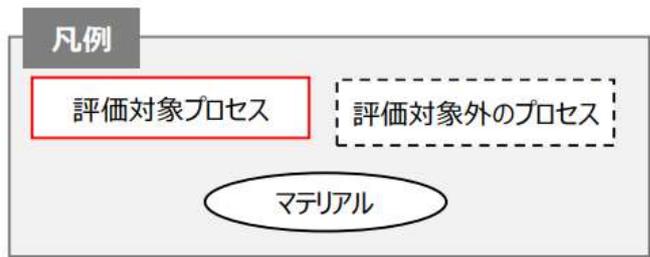
ホットナイフ法は CO2 削減に効果のある手法であることがわかった。
アルミ、ガラス、EVA/セル層を破碎しないで回収できることから、破碎後の選別が不要となり、二次破碎機及び選別機が不要となった。

カテゴリ	項目	排出量 (CO ₂ e-kg/t)
A	現状(ベースライン)の排出量	524
B	本プロジェクト時の代替分	515
C	本プロジェクトの排出量	443
D	現状(ベースライン)の代替分	6
	CO2 削減効果(A+B)-(C+D)	589

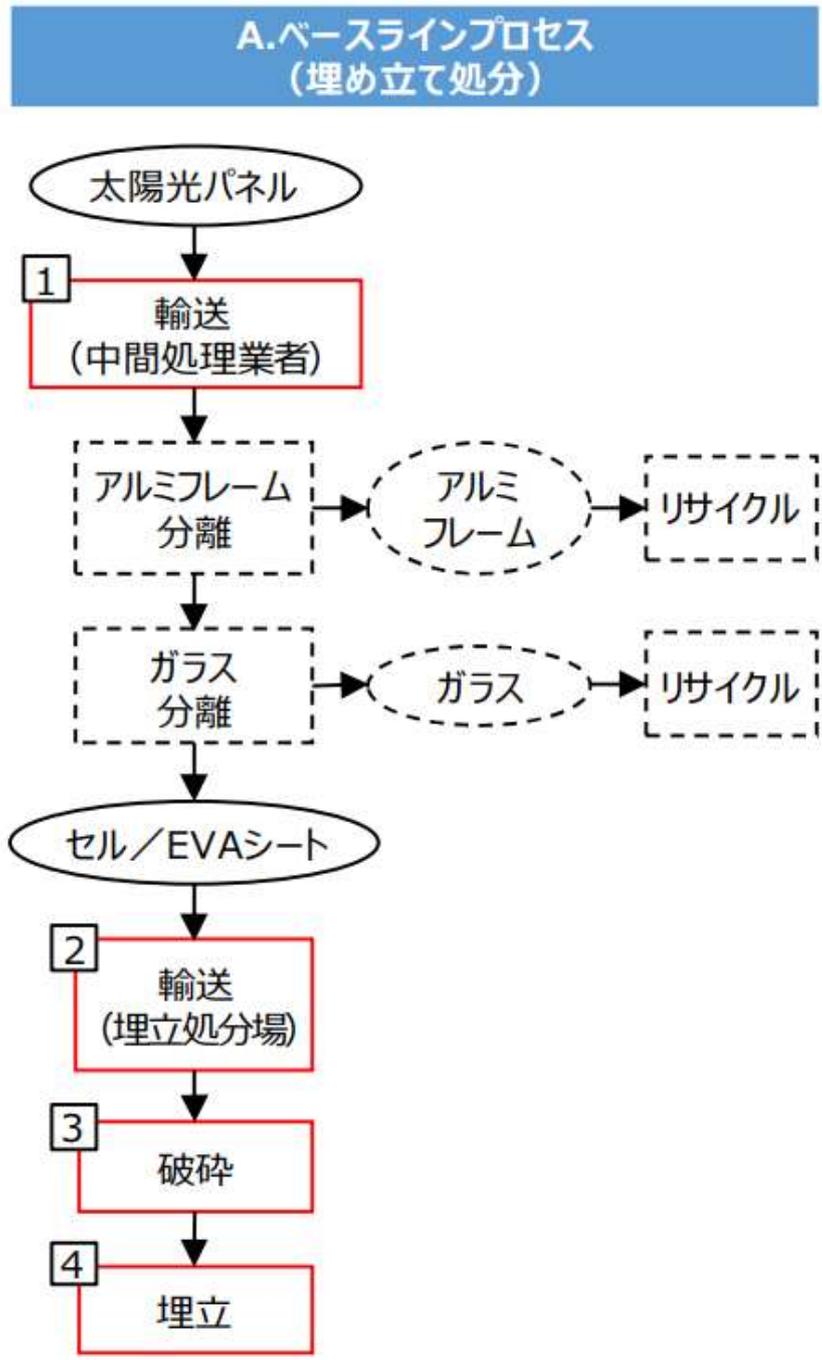
表 5.2-3 CO2 排出量削減効果評価事例 2

文献名	令和3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（太陽電池モジュールの収集・リユース及び非鉄金属の回収に係る技術実証）委託業務
作成年月	令和4年3月
著者	イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社
評価概要 ・ 方法	<p>【評価概要】</p> <p>銀・銅の循環利用と収集ルート構築による CO2 排出量の削減効果の評価</p> <p>【評価対象と方法】</p> <p>機能単位は「太陽電池モジュール 1 t 当たりの処理」とし、システムバウンダリーは事業実施前（工程 A・B）と事業実施後（工程 C）に区別し、CO2 削減効果は、工程 A 及び工程 B における CO2 排出量から工程 C における CO2 排出量を差し引いて算出した。なお、セル・EVA シートについて工程 A では破碎・埋立処分し、工程 C では濃縮製錬処理している。</p>

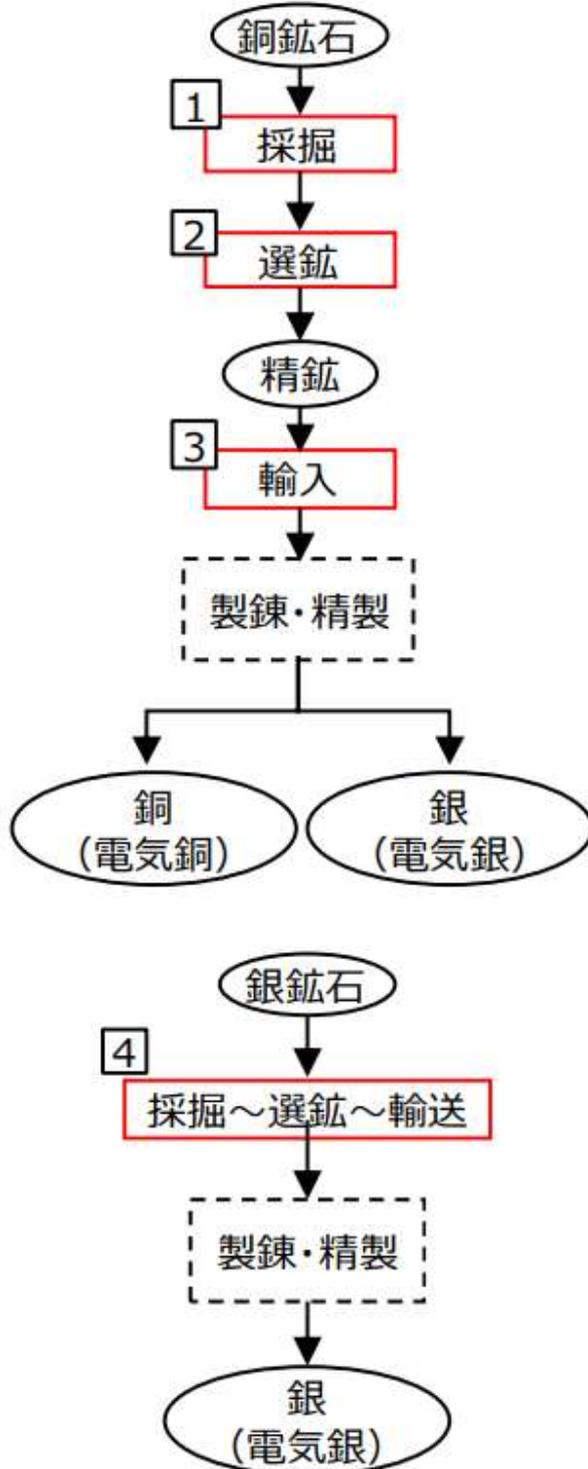
評価概要
方法



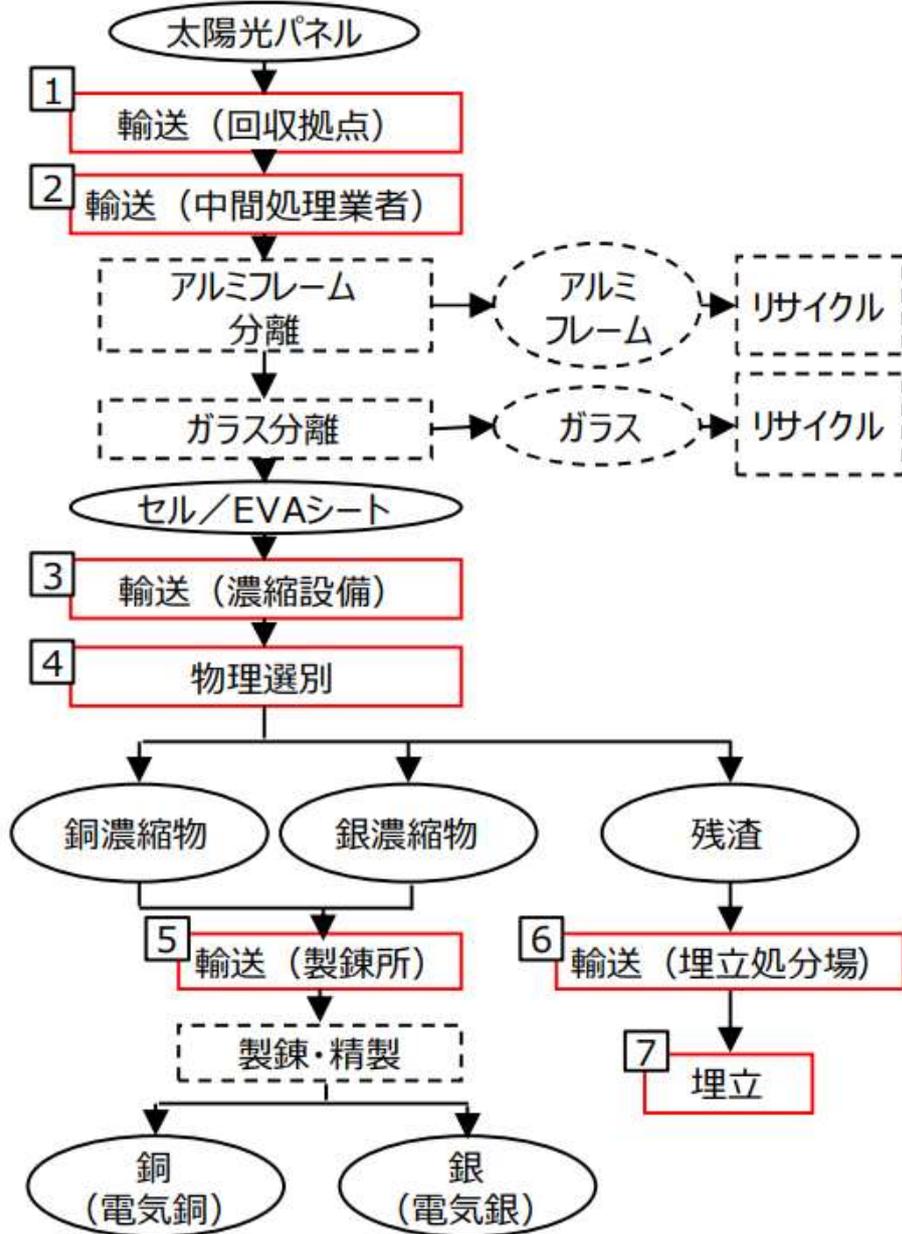
【工程 A | 事業実施前（現状）】



B. 本事業による資源代替分 (銅・銀)



C. 本事業で導入するプロセス (金属濃縮物の回収)



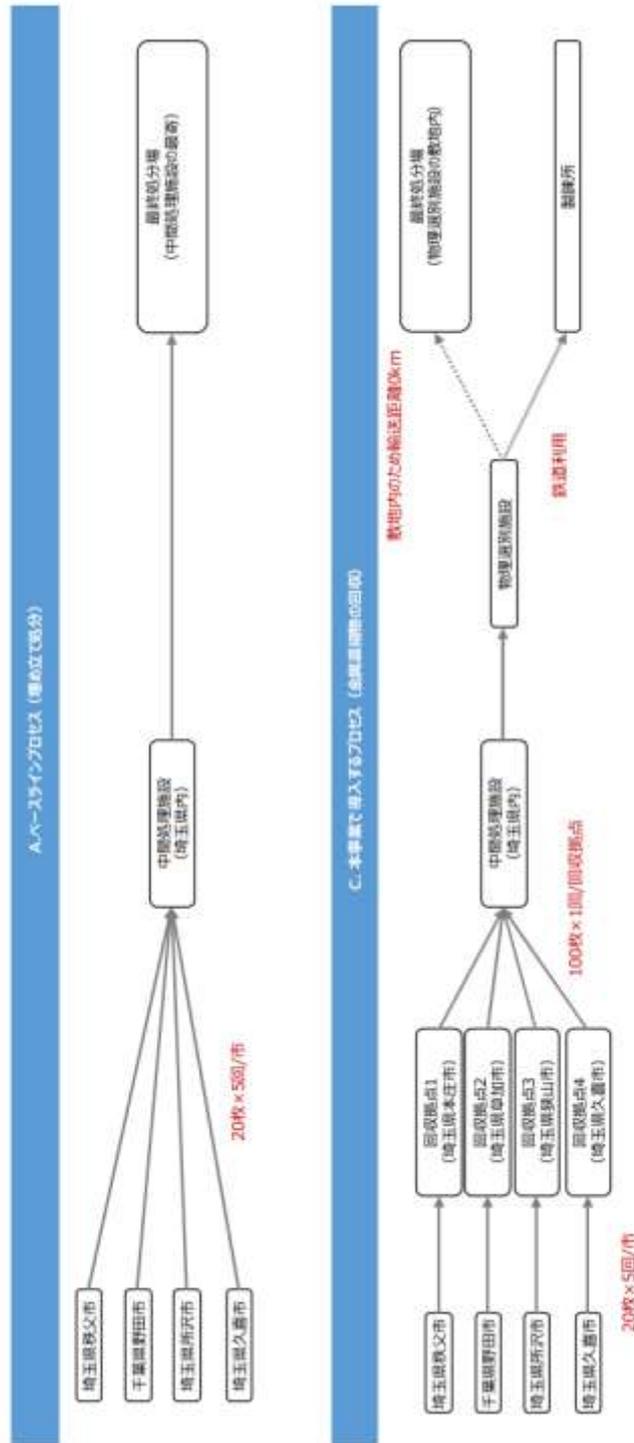
(出所) E&ES

評価概要

方法

【輸送プロセスの評価】

排出者から中間処理施設に直接搬入する工程 A と、太陽電池モジュールの回収拠点4か所に集約し運搬する工程 C を比較することで、収集・運搬の効率化による CO2 排出量削減効果を評価した。



(出所) E&ES

CO2 排出量
削減効果

【1. 濃縮製錬処理による削減効果】

セル・EVAシートを破碎・埋立処分する工程 A と濃縮製錬処理する工程 C を比較すると、工程 C の CO2 排出量は増加すると評価されたものの、工程 C は天然資源の採掘の抑制が期待され、結果として天然資源の採掘の抑制により CO2 排出量 (工程 B 分) が削減された。この削減分を含めると、工程 C の CO2 排出量が削減された。CO2 排出量削減効果は、太陽電池モジュール 1 t 当たり 0.073 t-CO2/t-太陽電池モジュールであり、太陽電池モジュールの年間排出量を 1,200 t と想定した場合、87 t-CO2/年と評価された。

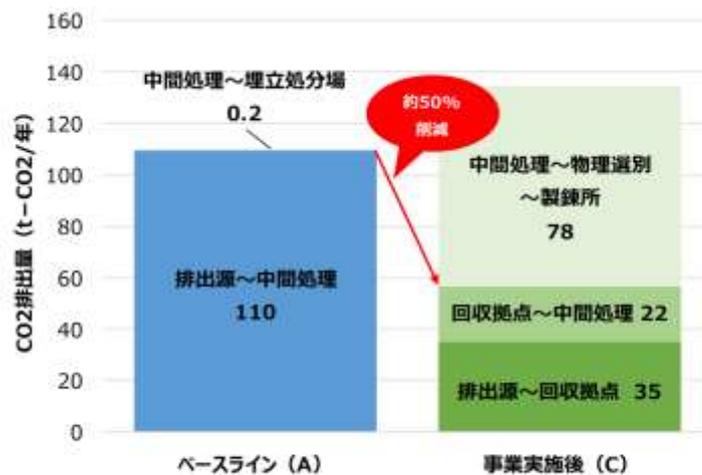
工程		CO2 排出量 (t-CO2/t-太陽光パネル)	CO2 年間排出量 ¹⁾ (t-CO2/年)
事業実施前	A	1 輸送(中間処理施設)	0.091
		2 輸送(埋立処分場)	0.0001
		3 破碎	0.005
		4 埋立	0.002
	B	1 銅の採掘～破碎処理	0.002
		2 銅精鉱の生産	0.027
		3 銅精鉱の輸入	0.028
		4 銀精鉱の採掘～輸送	0.053
事業実施後	C	1 輸送(回収拠点)	0.029
		2 輸送(中間処理施設)	0.018
		3 輸送(金属濃縮施設)	0.055
		4 物理選別	0.022
		5 輸送(製錬所)	0.010
		6 輸送(埋立処分場) ²⁾	0.000
		7 埋立	0.001
CO2 削減効果(A+B-C)		0.073	87

1) 年間 1,200 トンの太陽光パネルの処理を想定。
2) 物理選別施設と同じ事業所内の最終処分場で処分を行うとし、輸送は発生しない。
(出所)E&ES

CO2 排出量
削減効果

【2. 輸送プロセスによる削減効果】

工程 A と工程 C の輸送パートを比較し、運搬効率向上による CO2 削減効果を検証した。回収拠点を設けた場合、太陽電池モジュールの中間処理施設までの輸送で生じる CO2 排出量は約半減した。



(注)物理選別後の残渣は、同敷地内の埋立処分場で処理されると想定し、残渣の最終処分場までの輸送による CO2 排出量はなしと推計
(出所)E&ES

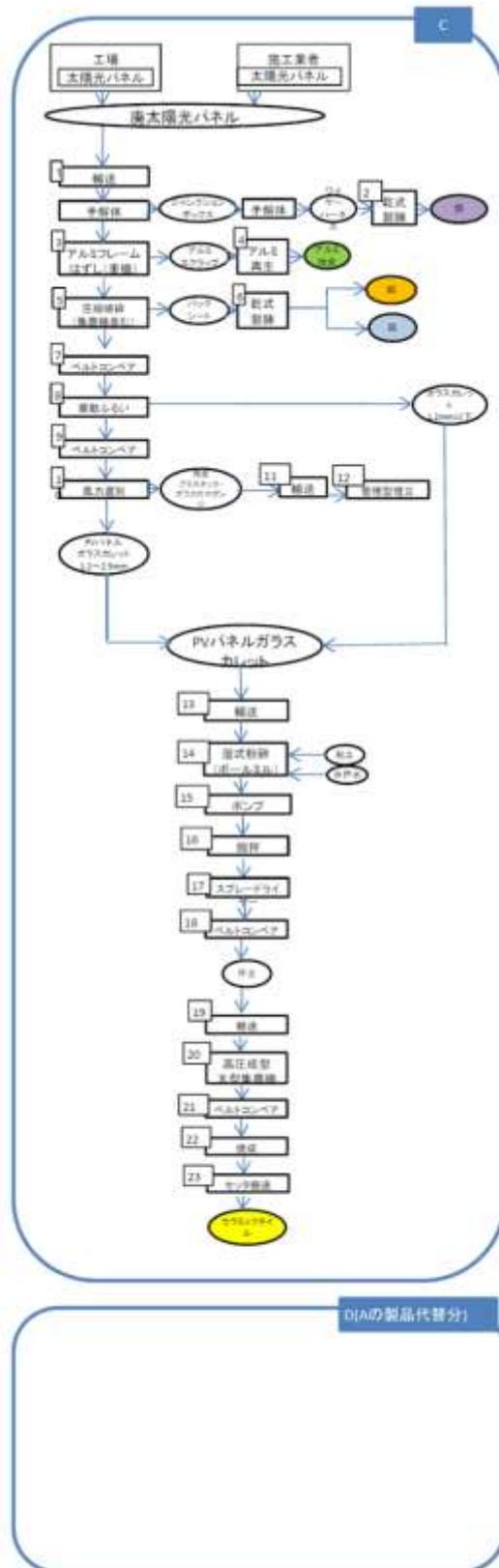
中間処理業者によって実施する高度選別処理手法は異なるが、いずれの手法も単純破碎・埋立処分と比較して高い CO2 排出量削減効果があった。次にガラスの再生製品別に CO2 排出量の評価を行った事例を表 5.2-4～表 5.2-5 に整理した。

表 5.2-4 CO2 排出量削減効果評価事例 3

文献名	平成 28 年度低炭素型 3 R 技術・システム実証事業 使用済太陽電池モジュールの新たなリサイクル、リユースシステムの構築実証事業
作成年月	平成 29 年 3 月 1 日
著者	リサイクルテック・ジャパン株式会社
評価概要 ・ 方法	<p>【評価概要】</p> <p>使用済太陽電池モジュールの圧縮破碎処理を行い生成したガラスカレットをセラミックタイル化とガラスウール化した際の環境負荷低減効果を検証</p> <p>【評価手法】</p> <p>ベースラインプロセスは、使用済太陽電池モジュールからアルミフレームを取り外し、残りを乾式製錬により、銅、銀を回収し、製錬スラグ化すると設定した。ベースラインの CO2 排出量を算出し、セラミックタイル化とガラスウール化する圧縮破碎処理工程と比較した。</p>

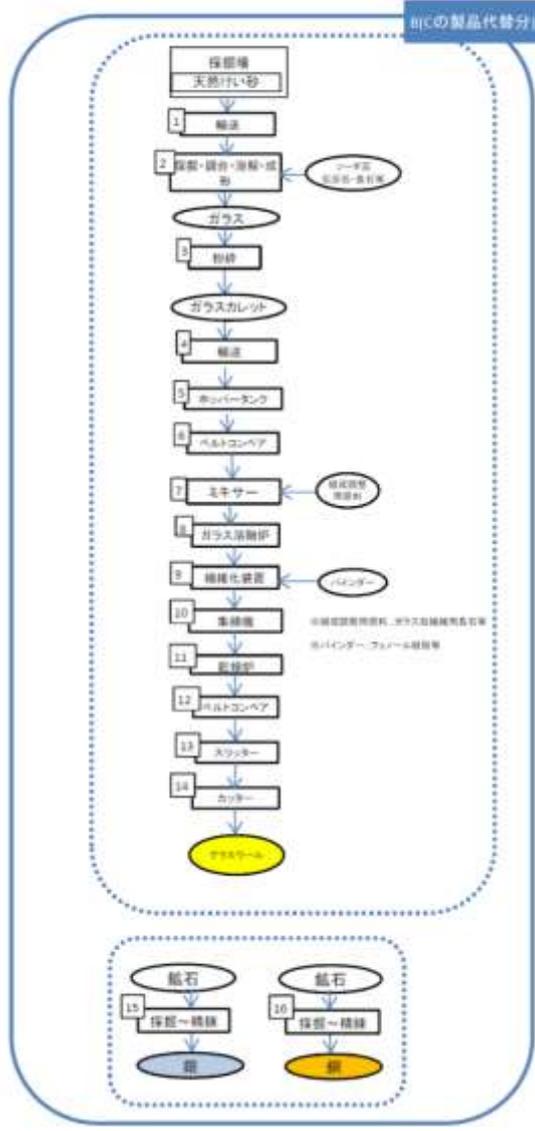
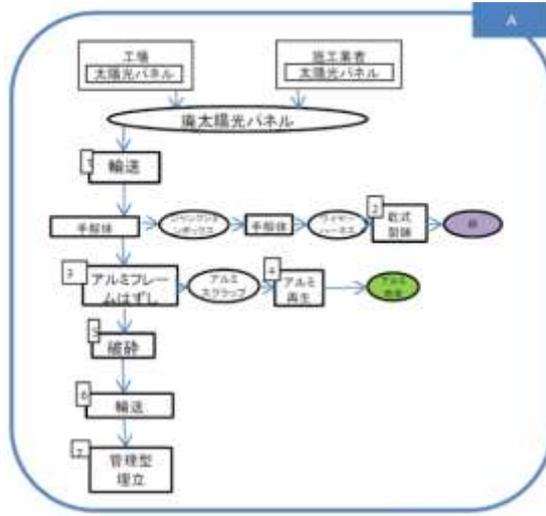
評価概要
方法

【工程 C、D | セラミックタイル化の評価対象：事業実施後】



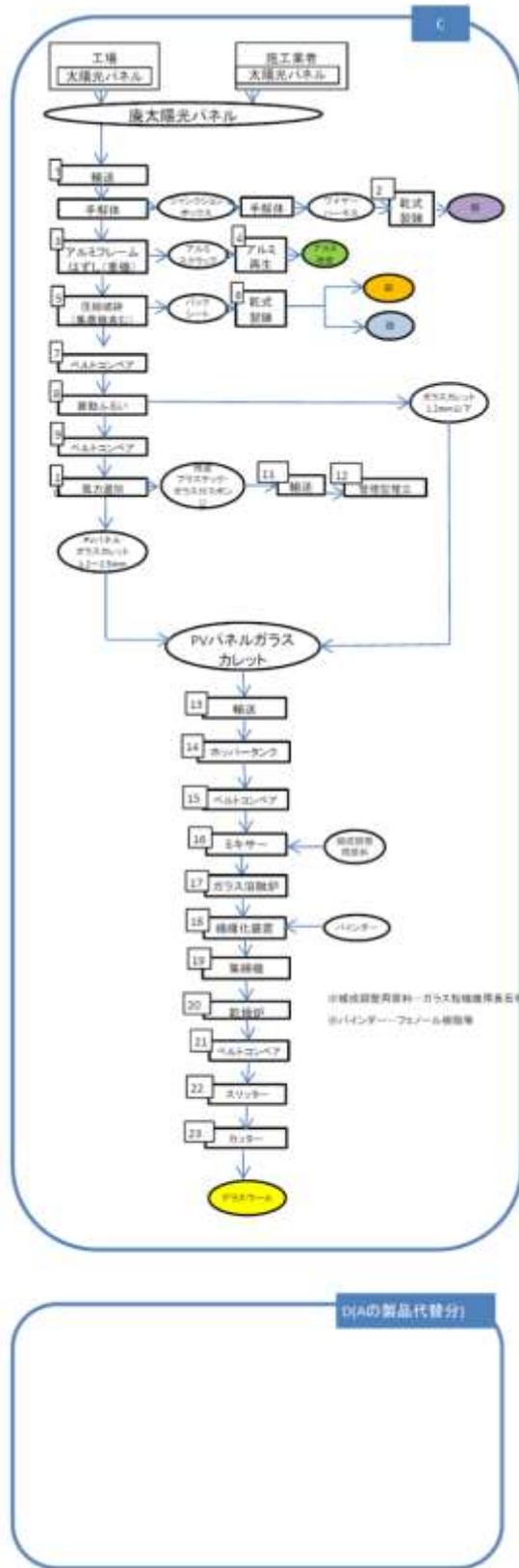
評価概要
方法

【ガラスウール化の評価対象：事業実施前（現状）】



評価概要
方法

【ガラスウール化の評価対象：事業実施後】



CO2 排出量
削減効果

セラミックタイル化について、CO2 排出量削減効果を算出したところ、その削減効果は 313.5CO₂-kg/ t であった。ガラスカレット処理であるガラスウール化については、395.5CO₂-kg/ t の削減効果があった。

【セラミックタイル化による CO2 排出量削減効果】

カテゴリ	項目	排出量 (CO ₂ e-kg/t)
A	ベースライン(現状)の排出量	113
B	事業実施時の代替分	1,063
C	事業実施時の排出量	862
D	ベースライン(現状)の代替分	0
	CO2削減効果(A+B)-(C+D)	313.5

【ガラスウール化による CO2 排出量削減効果】

カテゴリ	項目	排出量 (CO ₂ e-kg/t)
A	ベースライン(現状)の排出量	113
B	事業実施時の代替分	1,023
C	事業実施時の排出量	741
D	ベースライン(現状)の代替分	0
	CO2削減効果(A+B)-(C+D)	396

表 5.2-5 CO2 排出量削減効果評価事例 4

<p>文献名</p>	<p>平成 28 年度低炭素型 3 R 技術・システム実証事業 太陽電池リサイクルにおけるガラス再生と高効率解体工程の実証</p>																																						
<p>作成年月</p>	<p>平成 29 年 3 月</p>																																						
<p>著者</p>	<p>パナソニック株式会社</p>																																						
<p>評価概要 ・ 方法</p>	<p>【評価概要】 精錬処理をメインとする従来工程と、粗破碎→パルス破碎→選別回収する本事業実証工程を比較し、路盤材製造と発泡ガラス製造において CO2 削減効果を算出</p> <p>【評価対象の処理工程概要】 アルミフレーム・端子 BOX を含めない太陽電池モジュール 1 kg 当たりで CO2 排出量を算出した。現状と本事業で工程フローと評価範囲を以下のとおり設定した。</p>																																						
<p>CO2 排出量 削減効果</p>	<p>CO2 削減量は、0.572kg-CO2/kg-太陽電池モジュールだった。これは精錬をメインとする従来方法と比較して 60%強の削減という結果であり、大幅な削減が期待できる結果となった。いずれの処理工程においても路盤材より発泡ガラスの方が高い CO2 削減効果があった。路盤材製造は天然石の採石分 CO2 排出が多いが、発泡ガラス製造は破碎の CO2 排出分の CO2 排出削減が可能であった。</p> <p style="text-align: right;">単位: kg-CO2/kg-太陽電池パネル</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2"></th> <th>A:解体工程の省エネ化</th> <th>B:封止樹脂の資源化</th> <th colspan="2">C:ガラス再生量の拡大</th> <th rowspan="2">合計</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>路盤材製造</th> <th>発泡ガラス製造</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">CO2排出量</td> <td>現状</td> <td>0.500</td> <td>0.141</td> <td>0.004</td> <td>0.160</td> <td>0.805</td> </tr> <tr> <td>本事業</td> <td>0.066</td> <td>0</td> <td>0.011</td> <td>0.156</td> <td>0.233</td> </tr> <tr> <td>CO2削減量</td> <td></td> <td>0.434</td> <td>0.141</td> <td>-0.007</td> <td>0.004</td> <td>0.572</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">-0.003</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			A:解体工程の省エネ化	B:封止樹脂の資源化	C:ガラス再生量の拡大		合計			路盤材製造	発泡ガラス製造	CO2排出量	現状	0.500	0.141	0.004	0.160	0.805	本事業	0.066	0	0.011	0.156	0.233	CO2削減量		0.434	0.141	-0.007	0.004	0.572					-0.003		
				A:解体工程の省エネ化	B:封止樹脂の資源化	C:ガラス再生量の拡大			合計																														
				路盤材製造	発泡ガラス製造																																		
CO2排出量	現状	0.500	0.141	0.004	0.160	0.805																																	
	本事業	0.066	0	0.011	0.156	0.233																																	
CO2削減量		0.434	0.141	-0.007	0.004	0.572																																	
				-0.003																																			

5.2.4 リサイクル手法の評価

太陽電池モジュールのリサイクル手法について、リサイクル処理の経済性や高度処理後のガラスを利用した再生製品の需要、CO₂ 排出量削減効果等の観点から評価を行った。高度選別処理は、排出事業者にとって単純破碎処理に比べて処理費用が高い。また、リサイクル事業者にとっては処理量が少なくリサイクル製品の有価性も低いため、採算性が低い。しかし、資源循環性と CO₂ 排出量削減の効果は非常に高いため、高度選別処理の推進が求められる。

今後は、高度選別処理の採算性を確保するために、高品位リサイクルへの移行を検討していく必要がある。太陽電池モジュールの大部分を占めるガラスのリサイクル出口に着目すると、多孔質ガラス発泡材及びガラス砂は需要拡大傾向にあり機能性も高いことから、有効な再生利用先であることが分かった。更に、発泡ガラスは CO₂ 削減効果が他のガラス再生製品より高い。現状、製造コストが高い分、取引価格が高いことが製品普及の課題である。今後は中間処理業者、リサイクル事業者、製品メーカーとの間で横連携しながら販路拡大に向けた取組が求められる。

5.3 2050年カーボンニュートラルの実現がリサイクルに与える影響調査

5.3.1 太陽光発電設備の導入量変化の調査

2020年10月、政府が2050年までに温室効果ガスの排出量を全体としてゼロとする「カーボンニュートラル」を宣言したことにより、非化石由来のエネルギー源として、太陽光発電の導入についても一層の注力がなされることとなった。

こうした太陽光発電の促進・制限といった仕組みは、太陽電池モジュールの導入量や導入ペースに直結し、将来的には排出量や排出ペースにも影響を与えると想定される。

そこで、第7章「太陽電池モジュールの排出量に関する将来推計の見直し及び「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）」の改訂に係る検討」の前提情報の整理も目的に、現在公表されている政府・地方公共団体の太陽光発電の導入目標や、導入を制限する動きについて、以下のとおり整理を行った。

まず、第6次エネルギー基本計画（令和3年10月閣議決定）では、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた道筋の1つとして、2030年太陽光発電設備容量を104～118GW（電源構成比36～38%）と設定している。

	2011年度	2020年度		2030年ミックス	
再エネの 電源構成比 発電電力量・億kWh 設備容量・GW	10.4% (1,131億kWh)	19.8% (1,983億kWh)		36-38% (3,360-3,530億kWh)	
太陽光	0.4%	7.9%		14-16%程度	
		61.6GW	791億kWh	104~118GW	1,290~1,460億kWh
風力	0.4%	0.9%		5%程度	
		4.5GW	90億kWh	23.6GW	510億kWh
水力	7.8%	7.8%		11%程度	
		50GW	784億kWh	50.7GW	980億kWh
地熱	0.2%	0.3%		1%程度	
		0.6GW	30億kWh	1.5GW	110億kWh
バイオマス	1.5%	2.9%		5%程度	
		5.0GW	288億kWh	8.0GW	470億kWh

出典) 資源エネルギー庁「再生可能エネルギーの長期電源化及び地域共生に向けて」

図 5.3-1 再生可能エネルギー電源構成比率の目標値 (2030年ミックス)



出典) 資源エネルギー庁「2030年におけるエネルギー需給の見通し 関連資料」

図 5.3-2 太陽光発電の導入量イメージ (政策対応強化ケース)

第6次エネルギー基本計画を踏まえて、各省庁では、今後の太陽電池モジュールの導入拡大につながりうる目標や取組施策を掲げている。

表 5.3-1 国内における政府主導での太陽電池モジュール導入促進施策

導入先	検討・取組状況	関係省庁
空 港	<ul style="list-style-type: none"> 「空港分野におけるCO2削減に関する検討会」において「空港における太陽光パネル設置検討WG」を設置した。WG内での議論を通じて、「空港脱炭素化事業推進のためのマニュアル(案)」を作成し、空港建築施設・用地等への太陽光発電設備の導入に際した検討事項を整理している。 	国土交通省
鉄道・軌道施設	<ul style="list-style-type: none"> 「鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会」中間とりまとめにおいて、鉄道アセットを活用した再生エネルギー生産方法として、太陽光発電も検討に含めている。 	国土交通省
農 地	<ul style="list-style-type: none"> 「みどりの食料システム戦略」における「資材・エネルギー調達における脱輸入・脱炭素化・環境負荷軽減の推進」の1つとして、営農型太陽光発電を地産地消型エネルギーマネジメントシステムの1つと位置付けている。 	農林水産省
住 宅	<ul style="list-style-type: none"> 省エネと創エネを組み合わせることでエネルギー消費量を一定基準以上削減したZEH(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)への導入費用補助を実施している 	経済産業省 国土交通省 環境省
事 業 所	<ul style="list-style-type: none"> 税制・住宅ローン優遇の対象となる低炭素建築物の認定条件として、太陽光発電等の再エネ設備の設置を要件化した。 	国土交通省
公共建築物	<ul style="list-style-type: none"> 「工場・事業場における先導的な脱炭素化取組支援事業」(SHIFT)を通じ、太陽光発電設備を含む高効率・再エネ設備の更新を支援している。 	環境省

また、地方公共団体主導で、表 5.3-2 のような、「建築物への太陽光発電設備設置義務化」の動きも見られつつある。こうした取組の拡大により、発電ポテンシャルの観点では、10kW未満の太陽電池モジュールの導入が一層促進される可能性が高いと推察される。

表 5.3-2 地方公共団体による太陽電池モジュール導入促進施策

自治体	制度名	概要
京都府	京都府再生可能エネルギーの導入等の促進に関する条例	延床面積 2,000m ² 以上の建築物（特定建築物）又は延床面積 300m ² 以上 2,000m ² 未満の建築物（準特定建築物）の新築・増築に際して、建築主に再生可能エネルギー設備の設置を義務付け。
京都府 京都市	京都市地球温暖化対策条例	
福島県 大熊町	大熊町ゼロカーボンの推進による復興まちづくり条例	非住宅部分の床面積合計が 300m ² 以上の建築物について、再生可能エネルギー利用設備の設置を義務付け。
群馬県	二千五十年に向けた「ぐんま 5つのゼロ宣言」実現条例	建築面積が 150m ² 未満等の場合を除き、再生可能エネルギー設備の導入を義務付け。
東京都	都民の健康と安全を確保する環境に関する条例	延床面積 2,000m ² 以上の建築物：新築等を行う建築主を対象に、太陽光発電等再エネ設備の設置を義務付け。 延床面積 2,000m ² 未満の新築建物：年間都内供給延床面積が合計 2 万 m ² 以上のハウスメーカー等の事業者又は申請を行い知事から承認を受けた事業者（特定供給事業者）を対象に、太陽光発電等再エネ設備の設置を義務付け。
神奈川県 川崎市	(2023 年 1 月時点で検討中)	延床面積 2,000m ² 以上の建築物を新増築する建築主と、延床面積 2,000m ² 未満の新築建築物を年間に一定程度供給する特定建築事業者への再エネ発電設備導入義務を検討中。

5.3.2 2050年カーボンニュートラルが太陽電池モジュールのリサイクルに与える影響

前項で抽出した各種取組動向により、全体として太陽電池モジュールの導入量、及び導入ペースは今後全国的に増加すると推察される。その際、導入量が数年後の排出に影響を与えることはもちろん、太陽電池モジュールのリユース、又高度選別処理についても、省エネ・省CO₂の観点から、今まで以上に注目が集まる可能性がある。

表 5.3-3 2050年カーボンニュートラルに伴う太陽電池モジュール排出量への影響

影 響	背景として想定される事象
リユース品の増加	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安定的に高い出力を維持するため、積極的なリパワリング(故障・不具合のない太陽電池モジュールについても、より高出力な最新型式に取り替える)が進むことで、リユース可能な状態の太陽電池モジュールが多く排出されうる。 ・ 住宅等、中小規模の建築物への太陽電池モジュールの導入が義務化された地域を中心に、安価な太陽電池モジュールを小ロットで取得するニーズが高まりうる。 ・ 新品と比較した、ライフサイクルでのCO₂排出削減の観点から、特に企業・公共団体等でリユース品選好が強まる可能性がある。
高度選別処理技術の拡大	<ul style="list-style-type: none"> ・ ライフサイクルでのCO₂排出削減の観点から、埋立や単純破碎が忌避され、資源の有効活用を可能とする高度処理リサイクルが排出者から望まれる可能性がある。 ・ ガラス分野等の素材メーカーにおいて、リサイクル材の使用意向が高まり、太陽電池モジュール由来のガラスの使用ニーズが高まりうる。
リサイクル手法のデファクトスタンダード化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高度リサイクル手法ごとに、処理費用に対するCO₂排出削減量の分析が進み、最も経済的にCO₂排出削減を実現できる処理技術の導入が各地で進む可能性がある。

5.4 「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）」 英訳版の作成

5.4.1 英訳版ガイドラインの作成

平成30年（2018年）12月27日に改訂・公表された「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）」について、日本語を解さない関係者への周知、海外の関係者への情報発信を目的に、英訳版を作成した。

英訳版ガイドラインは、日本語版と同様の構成としている。また英訳表現は、令和3年度調査で英訳された「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」と平仄を合わせた。

5.4.2 英訳版ガイドライン

作成した英訳版「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）」は、参考資料にて添付のとおりである。

第6章 太陽光発電設備のリサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップのフォローアップ

6.1 リユース・リサイクル等の推進に係る論点整理

2022年に開催された再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会において、「2030年代後半に想定される使用済太陽光パネル発生量のピークに合わせて計画的に対応できるよう、事業廃止後の使用済太陽光パネルの安全な引渡し・リサイクルを促進・円滑化するための制度的支援や必要に応じて義務的リサイクル制度の活用についての検討」が、制度的な対応を検討して措置するアクションの1つとして提言された。使用済太陽電池モジュールは、既に一部で排出されているが、十分にリユース・リサイクルが行われている状況とは言えない。大量排出期に備えては、リユース・リサイクル等を更に推進していく必要があることから、ステークホルダー間で議論や方針検討を進めなければならない論点の整理を試みた。

6.1.1 再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会

再生可能エネルギー発電分野が世界的に拡大を続ける中、わが国においても低炭素社会の形成や国産エネルギー資源の拡大等を目的に導入され、特に2012年7月のFIT制度導入以降は太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入が拡大してきた。この10年間で太陽光発電設備等が設置・運用されてきた中、安全面や防災面、景観や環境への影響、また将来の廃棄等に対する地域の懸念が高まってきている状況となっている。

そうした懸念の解消に向けて、関係省庁による「再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会」が2022年4月に開催され、同年10月には提言がとりまとめられた。提言では、再生可能エネルギー発電設備の導入から廃棄までの事業実施段階に応じた課題、及び課題解消に向けて必要となる制度的対応や運用のあり方等の方向性が整理されている。廃止・廃棄段階における整理は、図6.1-1に示すとおりである。

再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会 提言概要	
③廃止・廃棄段階の主な対応	
課題 > 調査期間満了を迎えた住宅用太陽光パネルについて、廃棄方法等に関する懸念や廃棄に必要な情報の不足。 > 中長期では、大量に発生する太陽光パネルが適切に処理されるのかに関する懸念。	
速やかに対応 > 本年7月から廃棄等費用の外部積立を開始。リユース・リサイクル等のガイドラインや廃棄物処理法等の関連する法律・制度等に基づき適切に対応。事業者による放置等があった場合には、廃棄等積立金を活用可能。 > 廃棄ルールや廃棄物処理業者等の必要な情報を現場に周知。 > パネルの含有物質等の情報発信や成分分析等の実施のあり方検討。	法改正を含め制度的対応を検討 > 事業廃止から使用済太陽光パネルの撤去・処理までの関係法令・制度間の連携強化を検討。 > 2030年代半ば以降の使用済太陽光パネルの大量廃棄を見据え、計画的に対応できるよう、リサイクルを促進・円滑化するための支援策や制度的対応も含む検討。

出典) 再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会 提言概要より抜粋

図 6.1-1 使用済太陽電池モジュールの廃止・廃棄段階における課題、及び対応の方向性

提言の「(2) リサイクル・適正処理に関する対応の強化」では、現在排出されている使用済太陽電池モジュールの多くが、リユース可能なものであること、また銀等の有用金属を含むことから、リユース・リサイクルといった資源循環の考え方に沿った対応が重要であると記載されている。また事業廃止と廃棄物該当性の判断との間にギャップがあるという指摘から、事業廃止から撤去、リサイクルの制度的措置について速やかに検討を開始することが求められていることを踏まえて、論点整理は事業実施段階に分けて行った。

6.1.2 事業実施段階別の論点整理

(1) 事業廃止・引渡し段階

資源循環の考え方に基づくと、運転停止した使用済太陽電池モジュールは速やかに排出されることが重要であると考えられる。電気事業法や再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法では、いずれも廃止届の提出が定められており、設備廃棄予定日や撤去後の写真添付が求められている。こうした廃止措置に係る手続きを、発電事業者が速やかに進めることが望ましい地域の懸念として聞こえている放置・不法投棄の回避、また 2050 年カーボンニュートラルを見据えた発電ポテンシャルの低下を防ぐためにも、速やかな廃止措置を担保する方法を検討する必要があるだろう。

実 態 ・ 課 題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 運転停止※1しているにもかかわらず、既存法※2に基づく「廃止届」が速やかな提出、及び廃棄物として排出されない可能性がある。 <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">※1：運転停止とは、既存法に基づく発電事業の終了ほか、自家消費型太陽光発電の運用終了も含む「目的終了状態」を指す。 ※2：電気事業法 第27条の25（事業の休止及び廃止並びに法人の解散） 再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法 第11条（事業の廃止の届出）</p>
懸 念 事 項	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 懸念されている、使用済太陽電池モジュールの放置・不法投棄に、繋がりがかねない。 ✓ 仮に太陽電池モジュールが放置された場合には、「発電ポテンシャルの低下」や「景観悪化」、また「火災や災害時のリスク増大」等、副次的な弊害も危惧される。

図 6.1-2 発電事業者による安全な廃止措置のあり方

廃止届の提出後、使用済太陽電池モジュールの撤去・解体が必要となるが、撤去・解体事業者や中間処理業者が必要とする製品情報（含有物質情報、等）が準備されていない場合、モジュール排出が停滞しかねない。そのため、使用済太陽電池モジュールの適正処理においては、適正処理において必要となる製品情報等を、予め発電事業者が認識、また準備することが望ましいと考えられる（有害物質情報等に関しては、後段（3）リユース・リサイクル段階で、開示のあり方を整理）。

ただし、中間処理業者やリユース事業者、また最終処分業者、製品メーカー別に求める製品情報は必ずしも共通しているとは限らない。そのため、次年度以降の調査を通じて、ステークホルダー別に必要とする情報、及び必要事由を整理することが望ましい。

実 態 ・ 課 題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 排出事業者（発電事業者等）は、使用済太陽電池モジュール排出にあたり、処理委託先（リユース事業者、中間処理・最終処分業者）へ連携すべき情報 / 連携することが望ましい製品情報等を認識できていない。 ⇒ 処理委託先から情報提供を求められてから、情報収集を行っている状況。 ✓ 撤去・解体事業者は、有害物質（重金属等）に対する健康被害への心配や、処理委託先が見つからない可能性が高い等の理由で、太陽電池モジュール撤去を引き受けないケースもありうる。
懸 念 事 項	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 廃止・廃棄の意思決定後、使用済太陽電池モジュールの適正処理が円滑に進まない。 (処理委託先が決まった後から、要連携情報の整理を開始する、等)

図 6.1-3 事業廃止後の速やかな解体・撤去事業者への引渡し方法

また排出段階の課題として「リユース適性を秘めた使用済太陽電池モジュールが産業廃棄物として排出され、中間処理されるケースが発生している」ことが、今年度調査のヒアリングで明らかとなった。新古品に限らず、外的損傷が少ない使用済太陽電池モジュールであっても、その性能次第ではリユース可能であるため、資源循環・再利用させるためには、産業廃棄物として排出される前にリユース可否診断を実施する必要があるだろう。

実 態 ・ 課 題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ リユース利活用できそうな使用済太陽電池モジュールが、リユース診断等されなかった結果、中間処理や最終処分へと流れてしまっている（排出事業者のリユース認知度が低い可能性）。 ✓ 産業廃棄物マニフェストが交付されてしまうと、使用済太陽電池モジュールはリユース不可となる。
懸 念 事 項	<ul style="list-style-type: none"> ✓ リユースできる使用済太陽電池モジュールが、中間処理や最終処分へ流れてしまっている。 ✓ 使用済太陽電池モジュールのリユース事例が積みあがらず、リユース市場が活性化しない。

図 6.1-4 リユース診断の推奨

(2) 撤去・解体段階

前述のとおり、事業廃止後の使用済太陽電池モジュールは、速やかに発電事業者から撤去・解体事業者へと引き渡されることが重要である。ただし、現在の排出量では、まだ撤去・解体の相談を受けたことがない事業者も多いと推察されるため、引き続き「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）」等を通じて、安全また適切に撤去・解体工事が行われるような情報発信が必要である。わが国の撤去・解体事業者数が多いことを踏まえると、将来的なガイドライン改訂や情報発信等は、関連する業界団体等と連携して進めることが望ましいと考えられる。

撤去・解体工事を経て、使用済太陽電池モジュールには産業廃棄物管理票（マニフェスト）が発行され、適正処理に向けた廃棄物の受渡しが行われる。排出されたモジュールのリサイクル方法は、どの中間処理業者へ処理委託されるかに依存するため、高度なリサイクルが可能な設備の導入促進に係る取組が必要である。

実態・課題	<ul style="list-style-type: none">✓ 排出量が少ない状況下、太陽電池モジュールの排出（撤去・解体）経験を有する撤去・解体事業者はまだ少ないことから、適切な撤去・解体方法が十分に認知されていない可能性がある。✓ 撤去・解体事業者が、望ましい処理方法（リユース、高度選別処理）を十分に理解していない。
懸念事項	<ul style="list-style-type: none">✓ 撤去・解体時において、作業員の安全管理が徹底されているかといった懸念ほか、リユース不可、又は高度選別処理が困難に繋がる外的損傷がモジュールに与えられかねない。✓ 他の産業廃棄物等と同様に、付き合いのある中間処理事業者や、近隣エリア内の中間処理事業者が選択される場合、必ずしも高度選別処理ルートに乗るとは限らない（＝処理先の候補にならない）。

図 6.1-5 撤去・解体事業者に対する情報周知（適正処理のあり方）

(3) リユース・リサイクル段階

速やかに対応すべきアクションとして「太陽電池モジュールの含有物質等の情報発信」が提言されているとおり、含有物質情報の正確な把握、及び情報連携は喫緊の課題である。資源エネルギー庁で開催された「再生可能エネルギー長期電源化・地域共生ワーキンググループ」の中間とりまとめでは、太陽電池モジュールの含有物質等の情報提供のあり方が、表 6.1-1 のとおり、方針整理されているところである。

表 6.1-1 再生可能エネルギー長期電源化・地域共生ワーキンググループ中間とりまとめ

太陽光パネルの含有物質等の情報提供のあり方	
<p>今後、増加することが想定される太陽光パネルの廃棄処理に際しては、太陽光パネルの含有物質等の情報を正確に把握し、適切な処理を行っていくことが求められる。</p> <p>認定事業者に対しては、現行制度下においても、廃棄等を行う場面において含有物質等の情報を廃棄物処理業者に対して提供すること等が認定基準として求められており、解体等積立金の取戻しを行う上でも廃棄物処理業者に対して含有物質等の情報提供を行ったこと等が前提となる廃棄処理の委託契約書等の資料の提出が求められている。</p> <p>この趣旨を徹底させて適正なりサイクル・処理を実施するため、認定基準として含有物質等の情報提供を求めて、認定申請の際に記載する設備情報に含有物質等の情報を含める。こうした情報が不足している場合は認定を受けることができない。</p> <p>具体的な報告方法（時期・内容・対象）については、こうした点を考慮しつつ、環境省と連携し、引き続き検討していくべきである。</p> <p>また、型番が同じパネルについて、重複した情報提供による、無駄なコストの発生・処分業者の負担を抑制のため、情報提供を受けた項目をデータベース化し、処理事業者等を含めて情報共有を可能にするなど、その活用のあり方についても引き続き検討していくべきである。その際、適切な情報の共有・発信に努めるべきである。</p>	

出典) 再生可能エネルギー長期電源化・地域共生ワーキンググループ 中間とりまとめ

わが国に上市されている太陽電池モジュールの含有物質情報等の整理、及び連携方法の検討に当たっては、関係者間と連携して進める必要がある。なお情報整理に際しては、海外メーカーや倒産しているメーカー製の太陽電池モジュール等、含有物質に係る情報提供をメーカー側から得られないケースへの対応方針も考慮しなければならないだろう。

実態・課題		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 太陽電池モジュールに係る各種情報（含有物質情報等）取得について、都度メーカー側に問い合わせる必要があり、中間処理・最終処分業者が情報取得に手間を要している。
懸念事項	短期的	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 含有物質情報の把握を行う、優良中間処理・最終処分事業者の受入コスト（手間）が高まる。 ✓ 含有物質情報が不明（＝有害物質の受入リスク）であることを理由に、受入を拒まれる使用済太陽電池モジュールが発生した場合、同モジュールは不適正処理ルートへ流れる可能性がある。
	中長期的	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大量排出期には、様々な型式の太陽電池モジュールが多発的に排出されることが想定されるため、情報把握に要するコスト（手間）が要因となって、排出～受入・処理が停滞する可能性がある。

図 6.1-6 太陽電池モジュールに含まれる有害物質情報等の開示のあり方

リユース・リサイクルの促進に向けては、引き続き、使用済太陽電池モジュールの排出実態や事業環境を注視しつつも、排出事業者がリユース、また高度選別処理を選択するような施策検討が必要となる。太陽電池モジュールの適正処理に係る各種ガイドラインの改訂・公表、また情報発信や、リサイクルシステムの構築に向けた設備導入補助等、従来の取組を継続しながらも、あるべき姿に向けて、制度的対応を含めた検討を進める必要がある。

実態・課題		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 排出事業者のリユース認知度が低く、中間処理と比べて、排出時にリユースへ回るケースが少ない。 ✓ 太陽電池モジュールのリユースにあたり、品質を担保するための“診断”を実施するかどうかは、リユース事業者判断（その先にいるリユース購入者の意向次第）となっている。 ✓ 高度選別処理の単価が相対的に高いことから、処理委託先として単純破碎（処理単価が低い中間処理業者）、また最終処分が選択されかねない。
懸念事項	短期的	✓ リユース適性を秘めた使用済太陽電池モジュールや、高度選別処理できるモジュールが、 単純破碎ルート（最終処分ルート）へ流れている可能性がある。
	中長期的	✓ 大量排出期に備えて、先行投資していたリユース事業や高度選別の中間処理事業が思うように伸びず、 単純破碎ルート（最終処分ルート）へ流れる使用済太陽電池モジュールが多くなる。

図 6.1-7 リユース・リサイクルを促す施策、及び制度的対応等の検討

表 6.1-2 再生可能エネルギー長期電源化・地域共生ワーキンググループ中間とりまとめ

リサイクル・適正処理に関する対応の強化に向けた検討
<p>検討会において、制度的な対応として、「2030年代後半に想定される使用済太陽光パネル発生量のピークに合わせて計画的に対応できるよう、事業廃止後の使用済太陽光パネルの安全な引渡し・リサイクルを促進・円滑化するための制度的支援や必要に応じて義務的リサイクル制度の活用」の検討が、提言として盛り込まれている。</p> <p>現在排出されている使用済みの太陽光パネルの多くが、リユース可能なものであること、銀などの有用金属を含むことから、リユース・リサイクルといった資源循環の考え方に沿った対応が重要となっている。</p> <p>こうした対応の促進・円滑化に向けて、リサイクル等の制度的支援や必要に応じて義務的リサイクル制度の活用について、環境省とも連携して実態を把握すると共に、引き続き検討していくべきである。</p> <p>なお、リユース・リサイクルの促進にあたっては、実際に適正に処理を行うことができる主体の創出・育成を行うことも重要である。</p>

出典) 再生可能エネルギー長期電源化・地域共生ワーキンググループ 中間とりまとめ

6.2 制度的対応を見据えた関連動向調査

太陽電池モジュールの廃止・廃棄段階における課題に対して、制度的な対応を検討するべく、海外における廃棄の仕組みづくりや優良事業者の処理技術、また次世代型太陽電池モジュールに関する調査を実施した。

6.2.1 海外における太陽電池モジュール処理実態

海外における太陽電池モジュール廃棄の仕組みづくりや法制度を把握するために、各国の処理実態の概観を、表 6.2-1 に整理した。IEA PVSP（国際エネルギー機関の太陽光発電システムプログラム）による「Status of PV Module Recycling in Selected IEA PVPS Task12 Countries 2022」によると、欧州や米国、豪州の一部の州で太陽電池モジュールに特化した規制が施行されていた。

表 6.2-1 海外における太陽電池モジュールの処理実態

国名	リユース・リサイクルの仕組み	排出量	処理実態（現状）
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> EU で採択された EOL 規制を国内法に適用しており、WEEE 指令で規定された EPR を課している 引取りからリユース・リサイクルまでプロバイダーによって一元化されている 	7,865 t (2018 年)	<ul style="list-style-type: none"> 回収量 7,708 t のうち、6,898 t がリサイクルされ、909 t がリユースされている。 PV CYCLE や take-e-way GmbH 等のサービスプロバイダーによって処理を一元化
フランス	<ul style="list-style-type: none"> EU で採択された EOL 規制を国内法に適用しており、WEEE 指令で規定された EPR を課している メーカーや輸入業者等は、電気・電子機器の新製品に一律で Visible Fee を課されている。 	4,905 t (2019 年)	<ul style="list-style-type: none"> Soren が太陽電池モジュールの廃棄物処理を一元管理している Soren が使用済太陽電池モジュールについて信頼性の高いデータを管理している
イタリア	<ul style="list-style-type: none"> EU で採択された EOL 規制を国内法に適用しており、WEEE 指令よりも高い最低回収率を設定 GSE によって、国の回収センター又は許認可を受けた処理業者で処理することが定められている 	1,350 t (2018 年)	<ul style="list-style-type: none"> 発電事業者は原則、GSE の規則に従わなければならない ただし GSE 規則ではリサイクルは義務付けられておらず、太陽電池モジュール専用のリサイクル施設はない

国名	リユース・リサイクルの仕組み	排出量	処理実態（現状）
韓国	<ul style="list-style-type: none"> 2023年にEPR規制が施行予定 使用済太陽電池モジュールの回収とリサイクルに関する負担金の新設された 	1,000 t 以下/年	<ul style="list-style-type: none"> リサイクル義務がないため、多くが埋立処分されている
中国	<ul style="list-style-type: none"> リサイクルに関する政策や規制はなく、検討段階 	不明 (2035年に400万t超)	<ul style="list-style-type: none"> リサイクル処理に関する研究開発が進む リサイクルの経済効果が低いため、大規模リサイクルには時間がかかる見通し
豪州	<ul style="list-style-type: none"> 国家規則がなく、EOL管理は初期段階である 唯一、ビクトリア州で電子廃棄物の埋立が禁止されている 	不明 (2020年半ばに1万t)	<ul style="list-style-type: none"> 多くは埋立処分されている 輸送コストが高いためリサイクルやリユースが進んでいない
米国	<ul style="list-style-type: none"> 国全体としての連邦規制はないが、州ごとに太陽電池モジュール由来廃棄物に関する規制が進んでいる 	不明	<ul style="list-style-type: none"> 結晶シリコン系や薄膜系で幾つかのリサイクル事業者が存在する First Solar社は米国で150 t/日のリサイクル能力を保有

(1) 欧州各国における状況

欧州では、太陽電池モジュールに特化したEOL規制を採用している。2012年からWEEE (Waste Electrical Electronic Equipment) 指令によって、太陽電池モジュールのリサイクルが義務化された背景がある。

ドイツでは、2005年施行の「電気・電子機器廃棄法 (ElektroG)」適用対象を、太陽電池モジュールに拡大したことで、改正WEEE指令に対応した国内法を整備した。WEEE国内法化に伴い、拡大生産者責任（以下、「EPR」という。）が適用されたメーカーは、リサイクルに係る費用負担、販売量や回収量の情報提供、消費者へのリサイクル関連情報の提供が義務付けされたが、太陽電池モジュールの種類によってその要件が異なる。例えばBtoCの場合、自治体の廃棄物収集場で無償回収され、メーカーや小売業者は債務履行保証を確認する必要がある。その一方でBtoBの場合は、直接引取り及び回収が必要であるものの、債務履行保証はない。廃棄処理体制としては、PV CYCLEやtake-e-way GmbH等のサービスプロバイダーが使用済太陽電池モジュールの引取りからリサイクル、リユースまでを組織化している。例えば、結晶シリコン系太陽電池モジュールのリサイクルは、Reiling Unternehmensgruppe等のガラスリサイクル会社によって行われている。カドミウム系の

特定の太陽電池モジュールのリサイクルラインはフランクフルトの **First Solar** 社によって運営されている。

フランスでは改正 **WEEE** 指令を国内法に移項している。フランスのメーカー等は、政府認可を受けた適正処理の事業者（エコ・オーガニズム）への加入が求められているが、使用済太陽電池モジュールに係るエコ・オーガニズムは **PV CYCLE** フランスのみである。そのため、**PV CYCLE** フランスは使用済太陽電池モジュールについて信頼性の高いデータを管理できている。また、メーカーや輸入業者等は、電気・電子機器の新製品に一律で **Visible Fee** を課されている。廃棄処理体制としては、非営利エコ団体 **Soren**（**PV CYCLE** フランスから名称変更）が太陽電池モジュールの廃棄物処理を独占している。**Soren** はフランスで唯一、太陽電池モジュールの廃棄物処理のための **PRO**（**Producer Responsibility Organization**）として大臣に承認されている。現状、**Soren** が回収とリサイクルの両方を民間の入札手続きによって管理することで、太陽電池モジュール廃棄物管理の一元化を実現している。

イタリアでは、太陽電池モジュールを電気・電子機器のカテゴリーに適用し、改正 **WEEE** 指令で規定された **EPR** を課している。廃棄処理体制としては、イタリアの国営のエネルギーサービス管理会社である **GSE**（**Gestore dei Servizi Energetici** 化合物 pA）が家庭用と業務用の使用済太陽電池モジュールそれぞれの処分方法を定めている。使用済太陽電池モジュールは、**10kW** を境に国の回収センター又は許認可を受けた処理事業者で処理する必要がある。また、**FIT** 制度による太陽光発電設備は、**GSE** の規則に従い、シリアルナンバー付きの状態でのモジュールの交換や廃棄の際に **GSE** に通知する必要がある。ただし、**GSE** 規則ではリサイクルは義務付けられておらず、現在、イタリアには太陽電池モジュール専用のリサイクル工場が存在しない。

（2）アジア各国における状況

韓国では **2022** 年に太陽電池モジュール廃棄物の回収インフラとリサイクル技術の開発が確立された後、**2023** 年に太陽光発電業界で **EPR** 規制が施行される予定だ。**2022** 年 **12** 月には、使用済太陽電池モジュールの回収とリサイクル等の義務を履行しない場合、負担金が賦課されることが議決された。現状、発電所から大量の太陽光発電廃棄物が発生しているが、リサイクルを義務付けられていないため、モジュールの大半がアルミフレームを手作業で切り離した後に埋立処分されているという情報もみられた。

中国では、使用済太陽電池モジュールのリサイクル及び **EOL** 管理に関する政策や規制はなく、現在策定段階である。太陽電池モジュールリサイクルの経済効果は低いため、中国で太陽電池モジュール廃棄物の大規模リサイクルを達成するには時間を要すると予想される。

(3) オーストラリアにおける状況

オーストラリアでは、大半の州で太陽電池モジュールの廃棄に関する義務的な規制がない。また、国家環境保護法の下では有害廃棄物に明示的に分類されていないため、太陽電池モジュールの廃棄に関する国全体の義務付けもない。電子廃棄物の収集、保管、輸送、処理に関するオーストラリア規格 AS/NZS 5377 に太陽電池モジュールが含まれていないため、使用済太陽電池モジュールの輸送や取扱いに関する報告義務もない。ただし、ビクトリア州で唯一、2019年12月1日から太陽電池モジュール・インバーター・バッテリーを含む全ての電子廃棄物の埋立を禁止する法律が制定されている。

廃棄実態として、オーストラリアにおける使用済太陽電池モジュールの多くはリサイクルされずに埋立処分されている。埋立が禁止されたビクトリア州でのみ、地元企業が太陽電池モジュールの循環型経済を実現するために多大な努力を払っている。ビクトリア州政府は2022年9月に廃棄物削減のための革新的ソリューションへの投資を目的に1,000万ドルの太陽光廃棄物チャレンジ（\$10 million Solar Waste Challenge）を開始している。

使用済太陽電池モジュールのリサイクル処理体制が進まない背景として、オーストラリアの国土が広大で人口が少ないこと、燃料費が高いこと、輸送距離が長いこと等に起因して、結果的に輸送コストが非常に高くなることがあげられる。そのため、規模の経済が達成されるまでは、限定的な解体を伴う、回収と備蓄が最良の方法と考えられている。

(4) アメリカにおける状況

太陽電池モジュール廃棄物の処理に対応するため、各州で太陽電池モジュール廃棄物に特化した規制が強化されてきている。ただし、国家規模の連邦規制は存在せず、州単位の規制にとどまる。

例えば、ワシントン州は2021年から太陽電池モジュール所有者に追加費用を掛けずにモジュールメーカーに引取りを求める規制を導入した。カルフォルニア州では、規制遵守と廃棄物処理のコストを削減し、国内の太陽電池モジュールリサイクル産業を活性化させるために、使用済太陽電池モジュールを有害廃棄物として分類する規制を実施している。ノースカロライナ州環境品質局（Department of Environmental Quality）は、使用済太陽電池モジュールを有害廃棄物と定義するためのルール作りを推奨している。ミネソタ州とイリノイ州では、関係者によるワーキンググループを立ち上げ、太陽電池モジュールのリサイクル政策を評価している。太陽電池モジュール廃棄物管理に関する政策方針はイリノイ、ハワイ、アリゾナ、ノースカロライナ、ニュージャージーで積極的に検討されている。

アメリカには複数のリサイクル事業者が存在しており、例えば太陽エネルギー産業協会（SEIA）では登録業者からのリサイクルサービスを集約し、リサイクルサービスを提供するプログラムを運営している。ただし、シリコン系太陽電池のリサイクルコストや技術の限界も指摘されており、統合されたシリコン系太陽電池モジュールのリサイクルシステムは現時点では存在していない。

(5) まとめ

太陽電池モジュールの処理における課題として、リサイクル処理が高コストかつ低収益であることが世界で共通している。その原因としては、回収される太陽電池モジュール由来ガラスの再資源化が価値の低い製品に限られていること、稼働率が低いため1台当たりの処理コストが高いこと、収集・運搬コストが高いこと等がある。今後は、太陽電池モジュールに特化した EOL 規制やリサイクルへの研究開発投資が行われることで、将来需要に対応して高付加価値、かつ低コストのリサイクルが加速すると期待されている。

6.2.2 海外のリサイクル優良事業者の処理技術

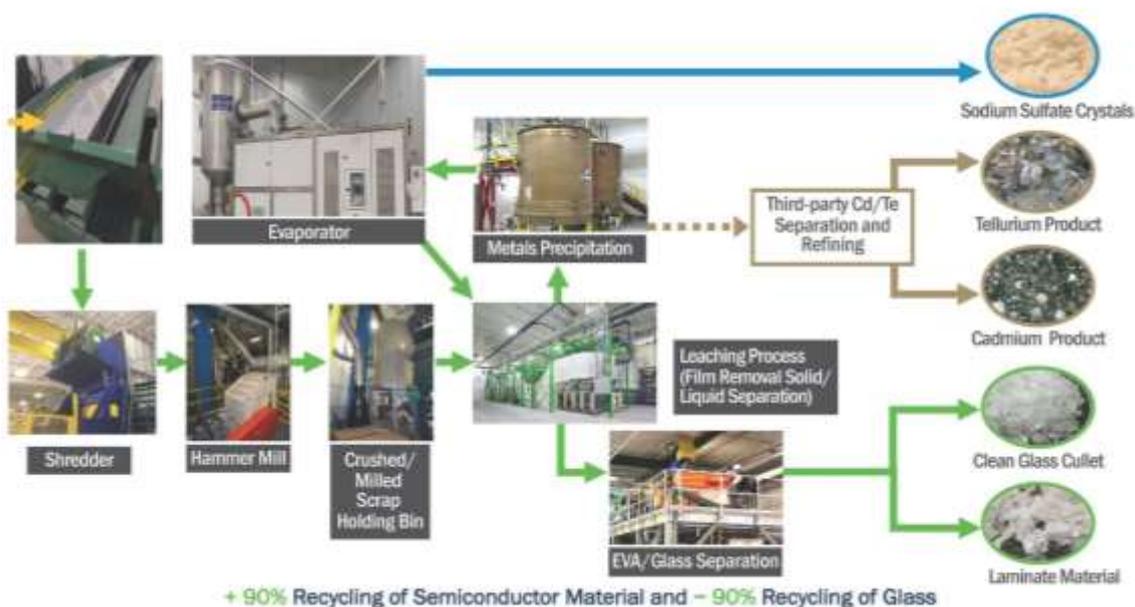
世界最大の太陽電池モジュールリサイクル業者である First Solar 社は、薄膜カドミウムテルル型化合物系太陽電池モジュールについて、米国で 150 t/日のリサイクル能力を保有している。図 6.2-1 に示すように、米国以外にもマレーシアとベトナムのモジュール工場内、ドイツにあるモジュール工場跡地にリサイクル施設を備えている。



出典) SUSTAINABILITY REPORT 2022 (First Solar)

図 6.2-1 First Solar 社のリサイクル施設

また、First Solar では図 6.2-2 に示す高付加価値リサイクルプロセスにより、現時点でガラス等のバルク材やカドミウムテルル半導体等の特殊材料の双方でリサイクル率 90%を達成している。具体的には、セルの材料であるカドミウムテルルを精錬して、カドミウムとテルルに選別することで、再製造可能な材料に戻して再利用している。リサイクルしたガラスは他社に販売してガラス瓶製造等に再利用されている。



出典) SUSTAINABILITY REPORT 2022 (First Solar)

図 6.2-2 First Solar 社のリサイクルプロセス

フランスの Veolia は Soren 等と提携して、フランス南部にヨーロッパ初の太陽電池モジュールのリサイクルプラントを稼働させている。結晶シリコン系太陽電池モジュールを対象に、材料の 95%を解体、分類、処理及びリサイクルが可能となっている。アルミフレームを取り外してから、運搬用のカセットに乗せると、自動で分別処理ラインに搬入され、ガラス、セル、金属、その他に分離され、リサイクルされる仕組みだ。

6.2.3 次世代型太陽電池 | ペロブスカイト太陽電池

ここでは、太陽電池モジュールのリサイクル技術・体制の検討に当たり、次世代太陽電池も考慮するべく、ペロブスカイト太陽電池の処理について整理した。

ペロブスカイト太陽電池は、材料・構造のバリエーションが多岐にわたっており、質量や重量を一概に決めることはできない。重量はいずれも何の基盤に塗布するかによって決まるが、ペロブスカイト層自体の厚さは 500nm である。ポリマーフィルム基板上作製のペロブスカイト太陽電池ミニモジュール等のフィルム型太陽電池モジュール質量は結晶シリコン太陽電池モジュールの 1/10 程度になる。

現在の研究開発において耐久性は課題であると認識されており、工業化・商品化に向けてもう一段の努力が必要とされている。そのため、現時点でリサイクル方法はまだ確立されていない。2022 年 6 月に欧州最大の応用研究機関であるフラウンホーファー研究機関が発表した「Remanufacturing Perovskite Solar Cells and Modules」では、ペロブスカイト型太陽電池の再製造プロセスの開発に成功していた。本論文によると、モジュール構造（層）を分離させたのち、ガラス基板とセル層を再利用して、ペロブスカイト層や電極、封止材、エッジシールを交換することで、再製造が可能となる。ただし、ペロブスカイト太陽電池のリサイクルは試験段階であるほか、ペロブスカイトに含まれる鉛の基準は、欧州の RoHS（特定有害物質使用制限）指令や日本の土壤汚染対策法に抵触する恐れがあるため、実用化とそれに伴う処理には課題が残る。

6.3 平成26年度ロードマップのフォローアップ

平成26年度に公表された「使用済太陽光発電設備のリサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップ」に対して、今年度調査で明らかになった実態や最新動向を踏まえてフォローアップを実施した。



出典) 太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書(環境省)

図 6.3-1 使用済太陽光発電設備のリサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップ

6.3.1 ロードマップのフォローアップ

フォローアップ結果は、表 6.3-1~表 6.3-6 に示すとおりである。

表 6.3-1 フォローアップ評価の結果 1（回収・適正処理・リサイクルシステムの強化・構築）

対策メニュー	回収・適正処理・リサイクルシステムの強化・構築
検討主体	関連メーカー、産廃処理・リサイクル業者、国、研究機関

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
廃掃法広域認定制度の活用	関連メーカー 産廃処理・ リサイクル業者	システム構築の 準備期間として 3年程度を想定	<ul style="list-style-type: none"> ■ 廃掃法の広域認定制度に基づき各関連メーカー若しくは業界団体が回収～再資源化までのリサイクルシステムを構築。 ■ 回収ポイントまでは施工業者等が運搬（費用は住宅ユーザー・発電事業者等が負担）。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自主的なスキームであるため、排出量の段階的な増加にも柔軟な対応が可能。 ■ 関連メーカー個社で実施する場合は、メーカー不存在（倒産等）への対応が必要。関連メーカーがリサイクルに関与することで環境配慮設計へのインセンティブも働く。 ■ 資源有効利用促進法（指定再資源化製品）へ位置づけることもあり得る。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 広域認定制度は、製造業者（関連メーカー等）が認定を受けて広域的に回収し、リサイクル等の適正処理を行う仕組みである。 ■ 現在、一部の事業者等ではスキーム構築を進める動きもあるが、並行して、広域認定制度の活用が進むよう制の見直しも視野に入れて検討が進められている。

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
リサイクルを促進・円滑化するための義務的リサイクルの実施	関連メーカー 施工業者 建物解体業者等	自主的なリサイクルシステムの運用状況も見ながら継続的に検討	<ul style="list-style-type: none"> ■ 例えば、住宅用ユーザー・発電事業者等が施工業者等に撤去・引取を依頼（撤去・引取費用を負担）。施工業者等が SY に持ち込み。関連メーカーは SY～再資源化までのリサイクルシステムを構築。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 費用が適切に転嫁されない場合は、施工業者等が適正処理費用の負担忌避による不法投棄の可能性が存在。関連メーカーが市場から撤退した場合、あるいは倒産した場合に、撤退・倒産した関連メーカーが製造した製品（Orphan Products）の廃棄費用をどのように担保するのか検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 排出量がまだ少ない現在、リサイクルできる事業者も限定的であるため、埋立処分と比べて、リサイクルコストが高くなる（収集・運搬費がかさむほか、リサイクル事業者の設備稼働率が低いことも要因）。そのため、リサイクル促進・円滑化に向けた検討、取組が今後も求められる。 ■ コスト面を含み、リサイクルシステムが構築されていないことから、一部では、放置・不法投棄を不安視する声もあがっている。
リサイクルシステムの強化・構築に資する調査・研究	国 研究機関等	海外制度の動向等も見ながら継続的に検討	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクルシステムの強化・構築に資するよう継続的に調査・研究を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主な検討課題としては、先行して義務的リサイクル制度が導入された欧州動向等の調査や、排出量・フロー把握、環境影響評価、経済性評価等が想定。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本調査では、欧州や米国等諸外国における太陽電池モジュールの処理実態についてデスクトップ調査を実施した。 ■ 諸外国における関連法制度の動向、及び処理実態は、継続して調査する必要があると考えられる。

表 6.3-2 フォローアップ評価の結果 2 (技術開発支援)

対策メニュー	技術開発支援
検討主体	国

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
技術開発支援	産廃処理・ リサイクル業者 国	5年程度	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクル技術開発 (処理技術、利用技術) への財政支援。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ NEDO にて技術開発プロジェクト遂行中 (FY2014-2018)。 ■ 撤去、回収費用が大きいことから、社会システムの検討と連動した検討が必要 (開発目標の見直し等)。 ■ リサイクル方法について国際整合性にも配慮が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高度ガラス分離 (選別) や金属製錬、またモジュール由来ガラスのリサイクル (二次製品化) 等、各社がそれぞれ技術開発を進めている状況である。 ■ 排出に関して、全国的かつ恒常的には、まだ排出されないことから、事業者間で連携しているケースも確認された。 ■ 大量排出期に備えて、リサイクル技術の社会実装が求められる中、コスト観点も含めた検討が、関係主体間で必要となっている。 ■ なお、リサイクル方法の国際整合性は、現時点では取組が確認できていない。

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
リユース・ リサイクル実証	関連メーカー 産廃処理・ リサイクル業者 国	5年程度	<ul style="list-style-type: none"> ■ リユース・リサイクルの実証事業の実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクル技術開発の次のステップとしての位置づけ。社会システムの実証も含む。 ■ 欧州におけるリサイクルシステムや技術と協調させる等、国際的取組との整合に配慮することが望ましい。 ■ リユースとリサイクルを併せて事業化する形態も想定（リユース品規格の策定等のリユース市場環境整備のための検討も含む）。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 環境省の令和3年度脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装に向けた実証事業のうち、太陽電池モジュールに係る実証事業は下記のとおりであった。 ① 太陽光パネルの収集・リユース及び非鉄金属の回収に係る技術実証 ② 太陽光パネルの高度選別技術開発とリサイクル・システム構築による早期事業化
設備導入補助	産廃処理・ リサイクル業者 国	排出量の増加状況を見ながら随時	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクル設備導入への財政支援。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 設備導入の規模については要検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 環境省の「脱炭素社会構築のための資源循環高度化設備導入促進事業」の中で、「省 CO2 型の再エネ関連製品等リサイクル高度化設備への補助」を設定し、前身の補助事業も含め、平成30年度から計8件を採択。 ■ 今後も設備補助によって、全国の産廃処理・リサイクル業者にリサイクル設備が設置された場合、エリア別リサイクルシステム構築に寄与すると考えられる。

表 6.3-3 フォローアップ評価の結果3（環境配慮設計の推進）

対策メニュー	環境配慮設計の推進
検討主体	関連メーカー、国

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
環境配慮設計 ガイドラインの 策定とフォロー アップの実施	関連メーカー	検討期間として 3年程度を想定	<ul style="list-style-type: none"> ■ 関連メーカーにおける環境配慮設計の推進。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 業界ガイドラインの策定と実施状況のフォローアップ等。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2016年10月に、太陽光発電協会が「太陽電池モジュールの環境配慮設計アセスメントガイドライン（第1版）」を策定・公表している。業界団体が公表するガイドラインであることから、その認知度は高いと考えられる。 ■ フォローアップの観点ではわが国で上市されている太陽電池モジュールが当該ガイドラインに準拠しているかを、国内メーカー、及び海外メーカー製品を輸入及びOEM調達している関係主体に確認することも必要と考えられる。

表 6.3-4 フォローアップ評価の結果4（撤去・運搬・処理に関するガイドライン作成）

対策メニュー	撤去・運搬・処理に関するガイドライン作成
検討主体	国

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
撤去・運搬・ 処理に関する ガイドライン作成	施工業者 建物解体業者 建設工事業者 産廃処理・ リサイクル業者 国	検討期間として 3年程度を想定	<ul style="list-style-type: none"> ■ 撤去・運搬・処理方法に関するガイドラインの作成と関係者への周知。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 推奨される撤去・運搬・処理方法を関係者に広く周知。施工業者の資格制度・認定制度との連携も一案。 ■ リサイクルシステムの構築状況や技術開発状況を踏まえてリバイズ。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2018年12月に、環境省が「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）」を公表している。 ■ 撤去から処理に係る各種ガイドラインの周知は継続実施するとともに、最新動向を反映する等、環境省ガイドラインの更新・アップデートが求められていると考えられる。 ■ なお撤去・解体に携わる関係主体数（事業者数）は非常に多いことから、関連業界団体と共に周知方法を検討する必要がある。

表 6.3-5 フォローアップ評価の結果5（撤去・回収・リサイクルに関する住宅用ユーザー・発電事業者等への周知）

対策メニュー	撤去・回収・リサイクルに関する住宅用ユーザー・発電事業者等への周知
検討主体	国

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
撤去・回収・リサイクルに関する住宅用ユーザー・発電事業者等への周知	施工業者 建物解体業者 建設工事業者 国	周知方法の検討期間として3年程度を想定	<ul style="list-style-type: none"> ■ 撤去・回収・リサイクルに関する情報を住宅用ユーザー・発電事業者等が得るための仕組みづくり。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 住宅用ユーザー・発電事業者等との接点となりうる施工業者や小売店、関連メーカー等を通じた撤去・回収・リサイクルに関する情報提供。 ■ 固定価格買取制度と連携しながら周知することも検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 資源エネルギー庁が策定する事業計画策定ガイドラインでは、撤去及び処分（リサイクル、リユース、廃棄）時の発電事業者遵守事項等が記載されている。 ■ 運用後の放置・不法投棄を不安視する声もあがっていることから、運用から処理までの流れを、適切に周知することが求められる。 ■ 情報周知に当たっては、住宅用ユーザー・小規模発電事業者等へリーチする情報周知のあり方、また認知度等の実態把握方法も検討する必要があると考えられる。

表 6.3-6 フォローアップ評価の結果6 (FIT 期間終了後の発電事業継続に向けた検討)

対策メニュー	FIT 期間終了後の発電事業継続に向けた検討 (リユース含む)
検討主体	国

オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題	フォローアップ
FIT 期間終了後の 発電事業継続に 向けた検討 (リユース含む)	国	検討期間として 5年程度を想定	<ul style="list-style-type: none"> ■ モジュール廃棄時期の先延ばしのため、FIT 期間終了後の発電事業継続の可能性 (リユース含む) を検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ モジュールは FIT 期間終了後も発電可能との見解あり。 ■ 有望なリユースビジネスモデルがあれば推進。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2021年5月に、環境省が「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」を策定・公表している。 ■ また「使用済太陽光パネルの適正管理情報プラットフォームの運用・事業面の検証」も実施されており、リユース市場の活性化を見据えた情報の一元化・可視化が進められている。 ■ 本調査では、リユース太陽電池モジュールを設置・運用している事業者へのヒアリングを通じて、その活用方法等を事例集として整理した。

6.3.2 検討課題の見直し、及び次年度に向けた取組

今年度調査で実施したフォローアップに基づく検討課題の見直し、及び次年度以降に必要となる取組を、対策メニュー別に整理する。

(1) 回収・適正処理・リサイクルシステムの強化・構築

廃掃法広域認定制度の活用は、引き続き業界の動向や意見に応じて、対応を進めることが求められる。検討に当たっては、倒産等のメーカー不existenceケースや事業譲渡ケース等、太陽電池モジュールメーカーの業況を考慮することが必要になると考えられるため、わが国に上市されたモジュールの基礎情報（メーカー、枚数、等）把握から取り組むことも必要になるだろう。義務的リサイクルの実施については、引き続き排出実態の全容把握が求められると考えられる。大量排出期を控える中、放置・不法投棄を不安視する声があがっていることから、運用を終えて排出段階にある太陽電池モジュールを把握できる方法、仕組み作りが必要になることも考えられる。また排出される際に、リユース・リサイクル・適正処分が有効に選択されるような仕組みや施策等の検討も必要になるだろう。リサイクルシステムの強化・構築に資する調査・研究としては、アジアや欧州等の継続調査を進めることが重要であり、わが国に適用できうる事例把握、及び制度面の障壁等を整理することが望ましいと考えられる。

(2) 技術開発支援

技術開発支援については、基礎技術開発の段階から社会実装の段階へと移行していると考えられる。そのため、今後は技術的なハード面の課題から、地域で使用済太陽電池モジュールが循環するような仕組みづくりや市場形成を促す等、ソフト面での支援・課題解決が重要になるだろう。既に使用済太陽電池モジュールの排出が始まっている一方で、全国的かつ恒常的な排出ではない状況であるため、事業者間連携を促すことも求められる。少量排出期においては、回収（収集・運搬）に要するコストがリサイクル推進に当たってのボトルネックになりうるため、回収・適正処理・リサイクルシステムの構築と併せて検討を進める必要があるだろう。

なおリサイクル方法の国際整合性に関する取組は現状不明であるため、その必要性を改めて精査するとともに、必要に応じて、調査実施及び結果の出口整理が求められる。

(3) 環境配慮設計

環境配慮設計ガイドラインの策定とフォローアップの実施については、今後も業界団体がガイドラインを更新した場合には適宜フォローアップすることが求められる。既に多くの太陽電池モジュールが上市・運用されている状況であるため、それらが当該ガイドラインに準拠しているかどうか、国内メーカー、及び海外メーカー製品を輸入及びOEM調達している関係主体に確認することも必要になると考えられる。

(4) 撤去・運搬・処理に関するガイドライン作成

撤去・運搬・処理に関するガイドライン作成については、環境変化に対してガイドラインの改訂を図るとともに、有効性を確認した上で事業者の資格制度・認定制度との連携が課題となる。またガイドラインは関係事業者に広く認知されることが重要であるため、特に使用済太陽電池モジュールの排出に関わる撤去・解体事業者に対しては、関連業界団体と共に周知方法を検討する必要もあると考えられる。

(5) 撤去・回収・リサイクルに関する住宅用ユーザー・発電事業者等への周知

撤去・回収・リサイクルに関する住宅用ユーザー・発電事業者等への周知については、住宅用ユーザー・発電事業者と接点がある、ハウスメーカーや小売店、又、施工事業者（EPC事業者）に対する情報提供が課題になる。現状、住宅用ユーザー・発電事業者等がリサイクルに係る情報をどれだけ理解しているかが不明であり、周知・提供すべき情報の優先劣後も整理できないことから、認知度等の実態把握方法を検討することが求められる。

(6) FIT 期間終了後の発電事業継続に向けた検討（リユース含む）

FIT 期間終了後の発電事業継続に向けた検討については、なるべく長期にわたり製品を使用してもらえようセカンダリー市場の活性化を図ることが考えられる。そのためには、有望なリユースビジネスモデルを発掘・横展開する必要があるため、引き続きリユース事業者等と情報連携することが求められるだろう。また「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」ほか、本調査で作成したリユース品導入事例集等の周知活動も重要な要素であると考えられる。

第7章 太陽電池モジュールの排出量に関する将来推計の見直し及び「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)」の改訂に係る検討

7.1 排出量に関する将来推計の見直し

7.1.1 排出量推計の見直しの方向性

太陽電池モジュールの将来排出量については、環境省では平成26年度に「使用済再生可能エネルギー設備のリサイクル等促進実証調査委託業務」にて、2010～2050年を対象とした推計がなされている。また NEDO では、「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／太陽光発電リサイクル動向調査／太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測」の報告書が平成31年に公開され、2015年～2050年を対象とした推計が公開されている。

その他、学術論文等でも太陽電池モジュールの排出量推計に係る整理・検討が見られる中で、今後排出量推計の更新を行う際には、特に以下のような論点を整理することで、排出量推計の目的・意義について事前に改めて整理を行うことが必要である。

- 環境省推計と他機関の推計との共通化、棲み分け
推計に際しては、多様な仮定（シナリオ、換算係数、等）の設定が必要となるが、設定に係る考え方は、必要に応じて、関係者間で連携して検討することも望ましいと考える。また、過去に実施された推計をより精緻化する場合には、精緻化に必要な情報を、どの粒度であれば取得可能か、どのように取得するかといった方策も念頭に置く必要がある。
- 排出量推計更新のスケジュール
今後の排出量推計の更新に当たっては、日本政府が2020年10月に宣言した、2050年までの温室効果ガス排出量を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」の影響も加味し、太陽電池モジュールの導入量、及び排出量を検討する必要がある。

そこで今年度は、令和3年度調査で整理された「排出量推計見直しに向けた検討結果」も踏まえつつ、将来排出量推計を構成する導入量・排出量それぞれについて、更新意義・目的の明確化と、更新観点・手法の整理を行うことを、フォローアップの主眼とした。

7.1.2 排出量推計に向けた導入量推計レビュー

排出量推計の前提となる、将来的な導入量については、NEDO 推計と一本化を図ることも視野に入れつつ、当該バックデータ「PV OUTLOOK 2050」を作成した JPEA との意見交換を2回実施した。

表 7.1-1 太陽光発電協会（JPEA）との意見交換概要

実施回数	意見交換内容
第1回	・ 排出量推計のフォローアップに係る認識共有
第2回	・ PV OUTLOOK 2050 における将来導入量の考え方について ・ 将来導入量を踏まえた、排出量推計に係る各種仮定について

JPEA との意見交換等を踏まえ、将来的な導入量に最新動向を反映するため、必要な要素の洗い出し、及び検証イメージの整理を試みた（表 7.1-2）。

表 7.1-2 太陽電池モジュール導入量設定に係る論点

導入量に係る論点		推計への影響と検証イメージ
基本方針	2050年CNを踏まえた導入見通しの更新	PV OUTLOOK 2050 は、パリ協定「CO2 排出量 80% 削減」が前提のため、導入量はより増加しうる ⇒ 第6次エネルギー基本計画で掲げられた、2030年ミックス（導入目標値）等を反映させることを想定
	換算係数の決定 【導入量(交流)⇔(直流)】	導入場所別に設定する積載率によって導入量が異なる ⇒ 太陽電池モジュールメーカー等へのヒアリングを通じて、積載率の精緻化余地があるか確認。
	重量換算係数の決定 【導入量⇔排出量(重量)】	最終アウトプット（排出見通し）が重量換算になるため換算係数を決定する必要有。 ⇒ NEDO 推計で用いられた換算係数の活用を検討
オプション	住宅/非住宅別メッシュの要否	排出元を区別した推計方針を検討していく ⇒ FIT 導入実績等から、住宅/非住宅別の比率を適用する等を想定。
	エリア別（都道府県等）メッシュの要否	排出地域を区別した推計方針を検討していく ⇒ REPOS データ等で公開されている、導入ポテンシャルに基づき、エリア別の導入見通しを反映。

次年度以降に排出量推計を更新する際には、ベースとなる導入量について、住宅・非住宅、エリア別等、既存の排出量推計よりも、更に粒度の細かい推計余地を検討する必要がある。また、前提データは直近の政策動向・技術動向によって変動しうるものであることから、適宜、有識者等へのヒアリング等も行いながら、適切な仮定を設定する必要がある。

7.1.3 排出要因の整理

排出要因については、令和3年度報告書にて記載された排出要因について、排出量推計更新時に組み込むべき重要度・優先度を改めて検討した。

(1) 物理的・経済的要因

排出要因の中でも、太陽電池モジュール自体の故障に伴う排出といった「物理的要因」や、発電継続に伴う損益分岐上の判断での排出といった「経済的要因」は、推計の上で大きな影響を与えると考えられる。令和3年度調査であげられた要因について、改めて検討を行ったところ、特に「施工不良」、「故障」、「損益分岐点」は、推計時に優先的に考慮する必要があると判断された。

排出量に係る要素・論点		区分	推計優先度	留意点
物理的要因	施工不良 ※設置から1年以内	共通	◎	✓ 施工不良率については設置やO&Mを担う事業者へのヒアリングを通じて設定予定。
	故障 ※設置から1年以上	共通	◎	✓ 故障率については、内的要因（モジュール不具合）と、外的要因（災害等）それぞれの故障率の和として想定。 ✓ 内的要因による故障率は、メーカーへのヒアリングから設定予定。 ✓ 外的要因による故障率は、過年度実績に基づき最低限発生しうる量を設定する。
	屋根補修	住宅	△	✓ 屋根補修と同時にPV撤去がなされるケースは多いものの、屋根補修サイクルはあくまできっかけであり、背景には故障や損益分岐といった別要因が存在すると想定。 ✓ 屋根補修に伴う排出率について可能な範囲でヒアリングを行い、別個推計要因として組み込む必要があれば検討を行う。
	家屋建替 (空き家含)	住宅	○	✓ 住宅/非住宅ではなく、10kW未満/以上にて導入量が設定された場合は、推計に当たっては一部非住宅を含む可能性あり。 ✓ 排出量推計を複数年で行う場合は、導入ストックから、前年での建替による既排出量を控除しておく必要がある。
経済的要因	損益分岐点	共通	◎	✓ 特に非住宅（事業用）については、損益分岐点を経過したPVパネルは故障等がなくても早々に排出（リパリング含む）される可能性がある。 ✓ 損益分岐の仮説（売電価格と維持管理費用・設置場所代の関係性等）を有識者ヒアリングにて設定した上で、損益分岐に伴う排出率を設定予定。 ✓ なお、損益分岐点到達に伴う排出率は、故障による排出率の分布を前倒したものに近いと思われる。
	別工事について	住宅	△	✓ 多くは物理的要因「屋根補修」に含まれると認識。

図 7.1-1 太陽電池モジュールの排出に影響する物理的・経済的要因

(2) 制度的要因

物理的・経済的要因のほかに、太陽電池モジュールの導入促進に係る各種施策が、導入量だけでなく、排出のきっかけとして影響することも考えられる。令和3年度調査であげられた要因について、改めて検討を行い、特に FIT 期間の満了が、発電事業者の排出意向に影響を与えうる点が特に注目に値すると判断された。

排出量に係る要素・論点		区分	推計優先度	留意点
制度的 要因	FIT 期間満了	住宅	◎	<ul style="list-style-type: none"> ✓ FIT満了年に、単年で全量排出される前提の場合は、過去のNEDO推計から大きな変更はない ✓ FIT満了年から複数年かけて全量排出される前提の場合は、FIT終了を要因とした排出器官を仮設定した上で、重複に留意した推計が必要となる。
		非住宅		
	メーカー 指定寿命	共通	△	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「物理的要因」における「故障」に含む要因として扱う
	リース契約 解消・満了	共通	△	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「FIT期間満了」に含む要因として扱う
	借地・屋根貸 期間満了	共通	△	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「FIT期間満了」に含む要因として扱う
	買替営業	共通	△	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「経済的要因」における「損益分岐点」に含む要因として扱う
	不良品 リコール	共通	×	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「物理的要因」における「故障」に含む要因として扱う ✓ リコール率は極めて低いと思われるが、事例が得られれば必要に応じて精査
	放置設備 撤去	共通	×	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 現行の推計では、太陽電池モジュールの放置による排出時期の遅れは考慮していない ✓ 排出ペース後倒しを加味する必要がある場合、実態把握を踏まえた何らかの決めが必要
住宅オーナー 引越し	住宅	×	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 件数が少ないと思われるが、排出量の大宗を占める可能性があれば再度精査 	

図 7.1-2 太陽電池モジュールの排出に影響する制度的要因

7.1.4 将来推計の見直し

排出量の推計に当たって優先的に考慮すべき上述の内容を踏まえ、推計に際した算定イメージ案を作成した。

物理的・経済的要因及び制度的要因を踏まえた推計方法として、「20XX 年 単年導入量」が、いつ、どのような理由で排出されるかに注目し、各年の排出量の和をとる形での推計方針を整理したのが図 7.1-3 である。

FIT 満了年までは損益分岐点到達（経済的要因）、満了年以降は FIT 切れ（制度的要因）の影響を受けると想定し、両要因の影響を受けない分は、故障による排出率（導入初年度は初期不良率）を毎年乗じていく方針である。

2024年		2025年	・・・	20XX年				
	住宅 (2024年導入量: A)				非住宅 (2024年導入量: B)			
	損益分岐 (%)	FIT切れ (%)	故障 (%)	住宅導入PVの当該年排出量	損益分岐 (%)	FIT切れ (%)	故障 (%)	非住宅導入PVの当該年排出量
0年目	a_0	—	M_0	$Aa_0 + (A - Aa_0)M_0 = A(a_0 + M_0 - a_0M_0)$	β_0	—	M_0	$B\beta_0 + (B - B\beta_0)M_0 = B(\beta_0 + M_0 - \beta_0M_0)$
1年目	a_1	—	M_1	$A(a_1 + M_1 - a_1M_1)$	β_1	—	M_1	$B(\beta_1 + M_1 - \beta_1M_1)$
⋮	⋮	—	⋮	⋮	⋮	—	⋮	⋮
FIT満了年 (F年目)	—	a_f	M_f	$A(a_f + M_f - a_fM_f)$	—	b_f	M_f	$B(b_f + M_f - b_fM_f)$
F+1年目	—	a_{f+1}	M_{f+1}	$A(a_{f+1} + M_{f+1} - a_{f+1}M_{f+1})$	—	b_{f+1}	M_{f+1}	$B(b_{f+1} + M_{f+1} - b_{f+1}M_{f+1})$
⋮	—	⋮	⋮	⋮	—	⋮	⋮	⋮

図 7.1-3 排出量推計の見直しイメージ

なお、特に重要度の高い排出要因としてあげた3点の精緻化に向けては、次年度以降に必要データや要素を整理・検討する必要がある（表 7.1-3）。

表 7.1-3 排出量推計の精緻化に向けた方針

項目	排出要因	次年度以降の検討方針
物理的・経済的要因	施工不良・故障率	<ul style="list-style-type: none"> 施工不良や故障の背景・要因について把握した上で、推計に組み込む必要がある。 特に故障については、内的要因（太陽電池モジュール自体の不具合による）と、外的要因（災害に伴う破損等）を区別した上で、適宜過去の排出実績を参照する必要がある。
	損益分岐点	<ul style="list-style-type: none"> 一般的には、売電収益と発電効率（低下度合）の関係性によって定義されるものの、撤去コストや、リパワリング推進状況の影響も受ける。 また、特に損益分岐点は、非住宅かつ大規模な発電所ほどシビアな判断がなされる可能性が高いため、発電所別に仮定が異なる可能性がある。
制度的要因	FIT 期間満了	<ul style="list-style-type: none"> FIT 期間満了後も、引き続き発電される太陽電池モジュールが一定量存在すると思われることから、太陽電池モジュール自体の耐用年数も考慮に入れた上での推計が必要となる。

7.2 各種ガイドラインの改訂に係る検討

2023年3月時点において、太陽電池モジュールの適正処理に関する考え方は、「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）」及び「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」で整理・公開されているところである。既に一部で排出が始まっている実態、また適正処理に係る各種取組が推進されている現状を踏まえ、両ガイドラインの改訂余地について検討を実施した。

7.2.1 「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）」の改訂に向けた検討事項

「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）」は2018年12月に改訂・公表されており、5年が経過している状況である。第三版への改訂を見据えて、更新が必要となるポイントを、表7.2-1に示す。

なお、リサイクルガイドライン改訂に係る観点としては、下記2点が大きいと考えられる。

<p>① 「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）」 公開後に開発・整備の進んだ各種技術・制度動向の更新</p> <p>⇒ 特に高度リサイクルの技術や、国内での実証事業は、直近でも各事業者・地域で新たな取組が見られるところである。取組動向を幅広く紹介することで、他地域での横展開や、さらなる事業者間の協業を促進していくことが期待される。</p>
<p>② 「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」公開に伴う、 適正リユースに係る記載方針の整理</p> <p>⇒ 「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）」公開時においては、太陽電池モジュールの適正リユースに関する指針がなかったため、リユースに関する考え方への言及が一部なされていた。リユース・リサイクルは適正処理の推進において密接に関係するものの、両ガイドライン間での内容重複は混同を与えうる可能性もあることから、記載を共通化する箇所と、いずれかに統合する箇所を整理する必要がある。</p>

表 7.2-1 「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）」
の改訂に向けた検討事項

章	節	タイトル	検討事項（案）
全	般	—	環境省「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」公表に伴い、記載をリサイクルに特化
全	般	—	該当 URL の更新、また出典資料のうち、更新がある資料については要修正
全	般	—	環境省実証事業等、各種取組の最新情報を追加
1	1-1	本ガイドラインの目的・位置づけ	ガイドラインが公表時から現在までの動向を踏まえ内容を見直し（太陽電池モジュール導入状況や廃棄費用積立、自治体におけるモジュール廃棄に関連した条例制定、技術開発動向等）
1	1-2	本ガイドラインの使い方	リユースガイドラインとの関係性も含め、改訂内容を踏まえ見直し
1	1-4	太陽電池モジュールの種類・構造	最新技術・市況動向を踏まえ、太陽電池モジュールの大型化や発電効率向上等の情報を追記
1	1-5	太陽光発電設備の設置の種類と特徴	売電契約形態（FIT/FIP/相対）や電気の使用形態（自家消費/蓄電）といった最近の動向の追加を検討
1	1-6	太陽電池モジュールの排出見込量	NEDO 推計結果の紹介を検討・推計結果を更新
1		（「総論」全体）	廃棄実態調査結果に基づく廃棄量や廃棄要因、仕向先に関する情報提示
2	2-1	太陽光発電設備の利用若しくは発電事業を停止/終了した場合の対応	関連条例を制定している自治体に対する必要届出の追記
2	2-4	解体・撤去工事の発注	FIT 認定事業の場合における廃棄積立金の取戻しの手続きについて追記
3	3-1	収集・運搬	民間企業の広域認定制度の取得に関する紹介
3	3-2	リサイクル	環境省実証「資源循環に関する情報プラットフォーム実証事業」の紹介
3	3-2	リサイクル	民間企業や NEDO の技術開発動向を紹介
3	3-2	リサイクル	太陽電池モジュール由来ガラスを利用したリサイクル製品や要求基準の紹介

章	節	タイトル	検討事項（案）
4		（「リユース」全体）	リユースガイドラインの公表を踏まえ、章自体の位置づけを要検討
5		（「災害時における使用済太陽光発電設備の取扱い」全体）	保険事業者による太陽電池モジュールのリユース・リサイクル推進の取組を紹介
6	6-1	太陽光発電設備の導入量	導入量のデータを更新
6	6-3	リユース作業の参考事例	リユースガイドラインへの移行を検討
6	6-5	リユースに向けて実施する検査等のコスト感	
6	6-6	欧州におけるリサイクル・埋立処分	欧州・欧米・東南アジアにおける太陽電池モジュールリサイクル・リユースに関する最新動向を紹介
6		（「参考資料」全体）	毎年の廃棄実態調査結果の概要を掲載

7.2.2 「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」の改訂に向けた検討事項

「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」は2021年5月に公表された資料であることから、直近で大幅な更新は要さない見通しである。しかしながら、リユースビジネスや技術開発は、日々進歩しているため、令和3年度調査結果や本業務で調査・整理した内容を反映させることで、リユースに関心を有する各事業者へ幅広い情報を提供することができると考えられる。

リサイクルガイドラインと同様に、更新が必要となるポイントを、表7.2-2に整理した。

表 7.2-2 「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン」の改訂に向けた検討事項

章	節	タイトル	更新が必要なポイント・検討事項（案）
1	1.1	ガイドライン策定の経緯と目的	環境省「令和3年度資源循環に関する情報プラットフォーム実証事業」において、ブロックチェーン技術を活用した使用済太陽電池モジュールのトレーサビリティ管理を行う技術開発が進んでいることも加筆の余地がある。
1	1.2	用語集	引き受け前の検査手法として「IR（赤外線）測定」を行う事例もみられるため、加筆の余地がある。
3	3.3	正常作動性の観点に関する条件	引き受け前の検査手法として「IR（赤外線）測定」を行う事例もみられるため、その手順や実例（写真等）の加筆の余地がある。
別紙		太陽電池モジュールの適正なリユース促進ガイドラインチェックシート（案）	今年度調査では、発電開始後に行われている定期メンテナンス結果の情報共有が、リユース診断に有用である旨が明らかになったため、製品情報に付随する形で加筆の余地がある。
その他			本事業にて作成したリユース品導入事例集において、特に経済性や導入に係る工夫への言及がなされているため、適宜参照することも考えられる。

第8章 太陽電池モジュールのリユース・リサイクル促進に向けた実証要素の方針検討

(1) リユース促進に向けた発電ポテンシャルの可視化

FIT 満了を控える中、メガソーラーを中心に発電賦存量が大きい土地では、リパワリングを目的とした発電設備の更新が進む可能性があり、そうした場合、運用期間が短い使用済太陽電池モジュールが排出される可能性が考えられる。その一方で、2050年カーボンニュートラルを見据えると、これまで選択されなかった土地においても太陽光発電の導入が必要になりうると考えられ、収益性を担保するためにはリユース品導入がオプションの1つとして検討されるだろう。

2050年カーボンニュートラルの実現、またリユース促進・円滑化の両観点で、使用済太陽電池モジュールが排出された際に、リユース活用余地を可視化することの重要性は高いと考えられる。例えば、REPOS（再生可能エネルギー情報提供システム）と診断情報、リユースバリューチェーン上の経済性に関する情報等を組み合わせることで、リユース経済性のシミュレーションに資する仕組みが構築できないか可能性を探索することが、今後必要になるかもしれない。



図 8.1-1 リユース経済シミュレーション（案）

(2) 他製品処理技術の活用検討（少量排出期における対応）

使用済太陽電池モジュールの高度選別処理においては、技術開発が進められているところであり、いずれも他製品工程と異なる専用、又は準専用設備が必要となっている。モジュール排出量が少ない現在では、専用、又は準専用設備が導入されている地域・施設は限定的であるため、収集・運搬コストを含む処理コストが高くなり、結果的に単純破碎や埋立処分が選択されてしまうケースが発生している。

高度選別処理技術が全国的に導入され、エリア別にリサイクルシステムが構築されるまでの措置として、他製品処理技術・工程を活用したプロセス及びリサイクル技術の組合せ可能性を探索することも一案である。ただし、太陽電池モジュール処理に当たっては、含有物質情報等から忌避意識を持たれる側面もあるため、含有物質情報等の情報連携・発信を優先的に進めることが重要だと推察される。