

令和6年度環境省委託事業

令和6年度使用済再生可能エネルギー発電設備の
リサイクル等の推進に係る調査・検討業務

—報告書—

2025年3月

NRI 株式会社野村総合研究所

報告書 目次

概要(サマリー)	7
Summary	10
第1章. はじめに	13
1.1. 本調査・検討業務の背景・目的.....	13
1.2. 本調査・検討業務の概要	13
1.2.1. 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査.....	13
1.2.2. 太陽電池モジュールの国内リユースの普及促進に関する調査・検討.....	14
1.2.3. 太陽電池モジュールの国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討	14
1.2.4. その他使用済再生可能エネルギー発電設備の適正処理・リサイクル等の推進に係る調査.....	15
第2章. 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査	16
2.1. アンケート調査の概要	16
2.1.1. 排出実態調査(解体・撤去業者向けアンケート調査)の概要、ならびに回答状況.....	17
2.1.2. 処理実態調査(中間処理業者向けアンケート調査)の概要、ならびに回答状況.....	18
2.1.3. 埋立実態調査(最終処分業者向けアンケート調査)の概要、ならびに回答状況.....	19
2.2. 解体・撤去に関する実態調査結果	20
2.2.1. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去実績	20
2.2.2. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事件数と撤去事由	21
2.2.3. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事の実態.....	23
2.2.4. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事における情報連携.....	26
2.2.5. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事に関する今後の受託方針	27

2.3. リサイクル等に関する実態調査結果	29
2.3.1. 要因別排出量	29
2.3.2. 排出要因別マテリアルフロー	31
2.3.3. 素材別マテリアルフロー	32
2.3.4. 太陽電池モジュールの処理施設・手法	33
2.3.5. 太陽電池モジュールのリサイクルにおける課題	34
2.4. 最終処分に関する実態調査結果	37
2.4.1. 使用済太陽電池モジュールの埋立処分の実施状況	37
2.4.2. 各プレイヤーに求める事項	40
2.4.3. 使用済太陽電池モジュールの埋立処分における懸念事項	41
第3章. 太陽電池モジュールの国内リユースの普及促進に関する調査・検討	42
3.1. 国内リユースの実態	42
3.1.1. 事業者数、及び診断方法	42
3.1.2. リユース可否判断に関する具体的な性能・機能要素	44
3.2. リユース品流通の促進に関する課題整理	45
3.2.1. リユース品の販売・流通経路	45
3.2.2. リユース促進に向けた課題	46
3.3. 不適正リユース防止に向けた方策の検討	47
3.3.1. 正常作動性を証明する診断項目・評価基準の整備、条件化	47

第4章. 太陽電池モジュールの国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討	49
4.1. 太陽電池モジュール処理技術の整理	49
4.1.1. 高度リサイクルの定義	49
4.1.2. 高度リサイクルが可能な技術、処理設備	50
4.1.3. 高度リサイクルが可能な太陽電池モジュールの条件	51
4.2. ガラスリサイクルの実態、及び課題	53
4.2.1. 太陽電池モジュール由来ガラスの取引実態	53
4.2.2. 太陽電池モジュール由来ガラスのリサイクル課題	54
4.3. シリコンリサイクルの実態、及び課題	58
4.3.1. シリコンリサイクルの技術開発動向	58
4.3.2. 太陽電池モジュール由来シリコンの性質等	59
4.3.3. 再生資源としての活用可能性、及びリサイクル課題	60
4.4. プラスチックリサイクルの実態、及び課題	61
4.4.1. 太陽電池モジュール由来プラスチックのリサイクル実態	61
4.4.2. 再生資源としての活用可能性、及びリサイクル課題	62
4.5. 大量排出期を見据えた中間処理業者の事業計画	62
4.5.1. 大量排出期を見据えた中間処理業者の事業計画	62
第5章. 太陽光発電設備リサイクル制度小委員会の開催	64
5.1. 小委員会の設置	64
5.2. 小委員会の委員構成	64
5.2.1. 太陽光発電設備リサイクル制度小委員会の委員構成	64
5.2.2. 太陽光発電設備リサイクルワーキンググループの委員構成	65
5.3. 審議経過と審議結果	66

第6章 その他使用済再生可能エネルギー発電設備の

適正処理・リサイクル等の推進に関する調査 67

6.1. 風力発電設備	67
6.1.1. 構成素材ごとのリサイクル実態	67
6.1.2. 繊維強化プラスチックのリサイクル動向	69
6.1.3. ネオジム磁石のリサイクル動向	71
6.1.4. FRP 船のリサイクル実態	72
6.2. 中小水力発電設備	75
6.2.1. 発電方式の概要	75
6.2.2. 設備構成部品・耐用年数	77
6.2.3. 解体・撤去から適正処理までのフロー	79
6.2.4. リサイクル等の推進に向けた課題	79
6.3. 地熱発電設備	80
6.3.1. 発電方式の概要	80
6.3.2. 設備構成部品・耐用年数	81
6.3.3. 解体・撤去から適正処理までのフロー	83
6.3.4. リサイクル等の推進に向けた課題	84
6.4. バイオマス発電設備	85
6.4.1. 発電方式の概要	85
6.4.2. 設備構成部品・耐用年数	87
6.4.3. 解体・撤去から適正処理までのフロー	88
6.4.4. リサイクル等の推進に向けた課題	88

第7章. 付録	90
7.1. 排出実態調査(解体・撤去業者向けアンケート調査) 調査票	90
7.2. 処理実態調査(中間処理業者向けアンケート調査) 調査票	90
7.3. 埋立実態調査(最終処分業者向けアンケート調査) 調査票	100

概要(サマリー)

令和6年度使用済再生可能エネルギー発電設備のリサイクル等の推進に係る調査・検討

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。令和7年2月に閣議決定された「第7次エネルギー基本計画」においても、2050 年カーボンニュートラルの実現に向け、太陽光発電等の再生可能エネルギーを最大限導入して主力電源化するべく、政府として多角的な取組を引き続き進めていくことが示されたところである。

使用済太陽電池モジュールは、既に災害や故障等によって一部で排出されていることが確認できており、2030 年代後半以降に、その排出量は顕著に増加すると見込まれている。そうした中、令和6年9月には、環境省と資源エネルギー庁が共同事務局となり「中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ 合同会議」が設置された。合同会議では、太陽光発電設備のリサイクル制度及び使用済太陽光発電設備の再利用の推進のあり方について審議が行われ、「太陽光発電設備のリサイクル制度のあり方について」が整理・公表された。

本業務では、義務的リサイクル制度も含めた新たな仕組みの構築に向けた議論・検討が深められるように、使用済再生可能エネルギー発電設備のリユース・リサイクルに関する実態把握に加えて、リサイクル等の推進に向けた課題・対応策の整理を行った。

1. 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査

本章では、以下3つのアンケート調査を実施し、太陽電池モジュールのリユース・リサイクル実態や課題把握とあわせて、マテリアルフローの作成を行った。

- ・ 太陽電池モジュールの解体・撤去業者に対する、排出実態調査、
- ・ 中間処理業者に対する、処理実態調査、
- ・ 最終処分業者に対する、埋立実態調査

排出実態調査では、有効回答数 80 事業者のうち 45% に相当する 36 事業者が直近2ヵ年において太陽電池モジュールの解体・撤去に係る相談を受けたことがあり、うち 11 事業者は実際に解体・撤去を行ったことが分かった。解体・撤去工事を実施したことのある 11 事業者のうち、3事業者が中間処理業者や最終処分業者から太陽電池モジュールの状態や有害物質への懸念により受入を拒否されたことがあると回答している。また、80 事業者のうち、26 事業者は「今後太陽電池モジュールの解体・撤去に係る依頼があったとしても受託しない」と回答しており、その理由を自由記述で確認したところ、業務領域の違いや実績・人員の不足等の様々な背景が確認できた。

処理実態調査では、太陽電池モジュールの排出量(令和5年度)は 3,020.7tであり、令和4年度(2,215.6t)から増加していることが明らかとなった。令和5年度の排出要因は、不良品によるものが約4割、災害等によるものが約2割を占めていた。そして回収量のうち、リユースが約1割、中間処理が約9割(リサイクルを実施したものは約6割)となっている。また都道府県別の処理可能量をとりまとめたところ、処理方式として、「アルミとカレットガラスとその他で分離」、「アルミと板ガラスとその他で分離」を高度リサイクルとして定義した場合、高度リサイクルが可能な事業者は1都1府24 県に所在することが分かった。

埋立実態調査では、最終処分業者の半数が、使用済太陽電池モジュールの受入について相談を受けたことがあり、一部事業者では実際に受入を行ったことが分かった。なお「相談されたことはあるが、受入を拒否した」と回答した事業者は、含有物質が分からぬことや有害物質の溶出に対する懸念が理由としてあげられていた。

2. 太陽電池モジュールの国内リユースの普及促進に向けた調査・検討

リユースの普及促進に向けた実態把握として、リユースされた太陽電池モジュールの販売経路について調査したところ、複数のパターンがあることが判明した。海外リユースの場合は複数の事業者(商社等)を経由する傾向にあり、どれだけの事業者が関与しているのか、またリユース品がどのように使用されているか捕捉することが難しいことが分かった。

またリユース事業者の意見等からリユース品流通促進に関する課題整理を試みるとともに、不適正リユースの防止に向けた対応策について検討した。

3. 太陽電池モジュールの国内リサイクルの普及促進に向けた調査・検討

太陽電池モジュール由来ガラスは、処理技術によって回収される形状が異なる。ガラス砂や路盤材へのリサイクルが多い状況だが、一部ではフロート板ガラスや原料カレット(ガラス端材)へのリサイクルに関する実証試験も行われている。現状の技術では、価値の高い板ガラスへリサイクルすることが難しいため、ガラスの有価性を高めることができず、太陽電池モジュール全体のリサイクルの経済性を制限している実態が明らかとなった。

また太陽電池モジュールのバックシート・太陽電池セルに使用されているシリコン及びプラスチックに関するリサイクル動向についても調査を試みた。シリコンリサイクルはフランスの ROSI 社が事業化しているが、日本ではまだ事業化に至っていない。その理由として、現在の技術ではリサイクルに要するコストが高く経済合理性が成り立たないこと、また太陽電池モジュールが恒常的に排出されていない状況下、受入見通しが読めないことがあげられる。なおプラスチクリサイクルに関しては、プラスチック単体でリサイクルしている事例はなく、バックシートと一体になった状態で精錬業者による処理が行われることが一般的である。プラスチックの有価性が低いため、追加コストをかけてプラスチックのみを分離・回収するメリットがないためであると考えられる。

4. 太陽光発電設備のリサイクル制度小委員会の開催

太陽光発電設備のリサイクル制度及び使用済太陽光発電設備の再利用の推進のあり方について検討・審議することを目的に、環境省と資源エネルギー庁が共同事務局となり、「中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ 合同会議」が設置され、令和6年度に9回開催された。

5. その他使用済再生可能エネルギー発電設備の適正処理・リサイクル等の推進に関する調査

本章では、太陽光発電設備以外の再生可能エネルギー発電設備（風力発電、中小水力発電、地熱発電、バイオマス発電）における適正処理・リサイクル等に向けた実態把握を試みた。

風力発電設備の風車ブレードに使用されている繊維強化プラスチックの再資源化に向けて、令和6年度からリサイクル事業を開始した事業者がいることが分かった。またネオジム磁石についても、国内で100%資源循環したというプレスリリースが出ており、風力発電設備の適正処理・リサイクルに関する取組が進んでいることが明らかとなった。

中小水力発電は、一般的に出力30,000kW未満の水力発電を指す。主要な設備としては、水車・発電機・水圧鉄管等があげられるが、いずれも数十年～100年超の期間にわたり利用されることが多く、実際に100年以上稼働している発電所も国内に複数存在していた。なお廃棄物のうち、金属製部品や廃油は売却され、それ以外は埋立処分や焼却処分されることが多いことが分かった。

地熱発電設備のうち蒸気設備は、ステンレス鋼製の部品が多く、地下に埋まった井戸の耐用年数は20年程度であり、それ以外の部品は50年程度であった。タービンや発電機等の発電設備は、20年～30年程度で交換される部品が主である。廃棄物のうち、金属は業者に売却され再資源化されるケースが多いことが分かった。

バイオマス発電設備のうち、タービン・発電機は火力発電等と共通しており、その耐用年数は20年～30年程度と分かった。バイオマス発電固有の廃棄物である燃焼灰は、肥料・土壤改良剤・路盤材等として再利用される種類と、成分の関係で埋立処分される種類に分かれることが明らかとなった。

Summary

FY 2024 Survey and Examination on the Promotion of Recycling and Related Initiatives for Used Renewable Energy Generation Facilities

As the renewable energy generation sector continues to expand globally, Japan has also introduced it to promote the formation of a low-carbon society and expand domestic energy resources. Since introducing the Feed-in tariff (FIT) system in July 2012, the deployment of renewable energy, particularly solar power, has grown significantly. The "Seventh Strategic Energy Plan," approved by the Cabinet in February 2025, emphasizes the continued introduction of renewable energy sources, including solar power, as a primary energy source to achieve carbon neutrality by 2050, with the government advancing multifaceted initiatives.

It has already been confirmed that used solar photovoltaic (PV) modules are being discarded in some areas due to disasters and failures, and it is expected that the amount of waste will remarkably increase in the late 2030s onwards. In this context, in September 2024, the Ministry of the Environment and the Agency for Natural Resources and Energy jointly established the joint meeting, which focuses on the recycling system for solar power generation equipment and the promotion of reuse for used solar PV equipment. The joint meeting deliberated the recycling system for solar power equipment and the methods for promoting the reuse of used solar PV equipment, and published the "Framework for the Recycling System for Solar Power Generation Facilities."

This project involves facilitating discussions and considerations toward the establishment of new systems, including mandatory recycling, as well as gathering data on the reuse and recycling of used renewable energy generation facilities, and organizing the challenges and countermeasures for promoting recycling initiatives.

1. Survey on the Discharge and Disposal Practices of Solar PV Modules

In this section, three surveys were conducted to assess the current state of solar PV module reuse and recycling practices, identify associated challenges, and create material flow data. The surveys were as follows:

- Survey on the disposal practices of solar PV modules from demolishing and dismantling firms,
- Survey on the treatment practices of intermediate processing firms,
- Survey on the disposal practices of final disposal firms

The disposal practice survey revealed that 36 out of 80 responding businesses (45%) had received inquiries regarding the demolishing or dismantling of solar PV modules in the last two years. Of these, 11 firms reported performing demolishing or dismantling work. Among the 11 firms that had conducted demolishing projects, 3 reported that they had been refused by intermediate processing or final disposal companies due to concerns about

the condition of the modules or hazardous substances. Additionally, 26 firms (32%) of the 80 respondents indicated that they would refuse to undertake future demolishing or dismantling work. The reasons provided included differences in business scope, lack of experience, and insufficient personnel.

According to the treatment practice survey, the total volume of solar PV module waste in FY 2023 was 3,020.7 tons, marking an increase from 2,215.6 tons in FY 2022. The causes of waste in FY 2023 were approximately 40% due to defective products and about 20% due to disasters. Of the collected waste, approximately 10% was reused, and about 90% was processed in intermediate stages, with about 60% of that undergoing recycling. A summary of the processing capacity by prefecture revealed that businesses capable of advanced recycling (separating aluminum, cullet glass, and other materials, or aluminum, plate glass, and others) were located in 26 prefectures.

In the disposal practice survey, half of the final disposal firms reported having received inquiries regarding the acceptance of used solar PV modules, and some firms had accepted them. However, firms who responded that "they had been consulted but refused acceptance" cited concerns about the unknown materials contained in the modules and the potential leaching of hazardous substances as the main reasons for refusal.

2. Survey and Examination on the Promotion of Domestic Reuse of Solar PV Modules

To clarify the actual situation in order to promote the widespread adoption of reuse, a survey was conducted on the sales channels of reused solar PV modules. The results revealed multiple patterns of distribution. In the case of overseas reuse, it was found that the modules tend to pass through several intermediaries (such as trading companies), making it difficult to track how many companies are involved and how the reused modules are ultimately being utilized.

Additionally, based on feedback from reuse/recycling firms, an attempt was made to identify the challenges related to the promotion of reused product circulation, and measures were considered to prevent improper reuse practices.

3. Survey and Examination on the Promotion of Domestic Recycling of Solar PV Modules

The glass derived from solar PV modules varies in form depending on the processing technology used. While recycling into materials such as glass, sand, and roadbed material is common, some experimental trials have been conducted on recycling into float glass and cullet (glass waste). However, current technologies face difficulties in recycling high-value plate glass, limiting the ability to enhance the economic value of the glass. This, in turn, restricts the overall economic viability of recycling solar PV modules.

A survey was also conducted on trends in recycling silicon and plastics used in the backsheets and cells of solar PV modules. While silicon recycling has been commercialized by the French company ROSI, it has not yet reached commercialization in Japan. The main reasons cited for this include the high costs associated with recycling technologies, which render them economically unfeasible, and the unpredictable outlook for the consistent supply

of used solar PV modules. Regarding plastic recycling, there are no cases of plastic being recycled independently; typically, the backsheets are processed by smelters while remaining intact with the plastics. This is due to the low economic value of plastics, making the separation and recovery of plastics not worthwhile, as it would incur additional costs.

4. Meetings of the Solar Power Generation Recycling System Subcommittee

To discuss and deliberate on the recycling system for solar power generation equipment and the promotion of the reuse of used solar PV modules, the Ministry of the Environment and the Agency for Natural Resources and Energy jointly established the joint meeting. This meeting was convened nine times in FY 2024.

5. Survey on the Promotion of Proper Disposal and Recycling of Other Used Renewable Energy Generation Facilities

This section attempts to assess the current state of proper disposal and recycling for renewable energy generation facilities other than solar power (including wind power, small and medium hydropower, geothermal power, and biomass power).

Regarding the recycling of wind turbine blades made from fiber-reinforced plastics, it was found that some companies began recycling business in FY 2024. Additionally, press releases confirmed that neodymium magnets used in wind turbines have been fully recycled domestically, highlighting progress in efforts to improve the proper disposal and recycling of wind power equipment.

It was clarified that small and medium hydropower typically refers to hydropower plants with an output of less than 30,000 kW. Major equipment, such as water wheels, generators, and pressure pipes, has been commonly used for several decades to over 100 years, with several plants still operating domestically beyond 100 years. Among the waste generated, metal components and waste oil are typically sold, while other materials are often disposed of through landfill or incineration.

In geothermal power generation, steam equipment predominantly consists of stainless-steel components. Wells buried underground have a service life of approximately 20 years, while other parts last around 50 years. Turbines and generators are typically replaced every 20 to 30 years. Many of the metals from waste materials are sold to vendors for recycling.

In biomass power generation, turbines and generators are similar to those used in thermal power generation, with a service life of about 20 to 30 years. A specific waste of biomass power generation, combustion ash, was found to be either utilized as fertilizer, soil conditioner, or roadbed material, or, in some cases, disposed of in landfills, depending on its chemical composition.

第1章. はじめに

1.1. 本調査・検討業務の背景・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。令和7年2月に閣議決定された「第7次エネルギー基本計画」においても、2050年カーボンニュートラルの実現に向け、太陽光発電等の再生可能エネルギーを最大限導入して主力電源化するべく、政府として多角的な取組を引き続き進めていくことが示されたところである。

使用済太陽電池モジュールは、既に災害や故障等によって一部で排出されていることが確認できており、2030年代後半以降に、その排出量は顕著に増加すると見込まれている。こうした中、令和6年9月には、環境省と資源エネルギー庁が共同事務局となり「中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ 合同会議」が設置された。合同会議では、太陽光発電設備のリサイクル制度及び使用済太陽光発電設備の再利用の推進のあり方について審議が行われ、「太陽光発電設備のリサイクル制度のあり方について」が整理・公表された。

本業務では、義務的リサイクル制度も含めた新たな仕組みの構築に向けた議論・検討が深められるように、使用済再生可能エネルギー発電設備のリユース・リサイクルに関する実態把握に加えて、リサイクル等の推進に向けた課題・対応策の整理を行った。

1.2. 本調査・検討業務の概要

1.2.1. 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査

使用済太陽電池モジュールのリユース量、リサイクル量、最終処分量について、初期不良・災害故障品等の排出要因も踏まえ、経年的な変化を含め調査を行うべく太陽電池モジュールの解体・撤去業者に対する排出実態調査、中間処理業者に対する処理実態調査、最終処分業者に対する埋立実態調査の3つのアンケート調査を行った。

排出実態調査では、解体・撤去業者に対して太陽電池モジュールの解体・撤去実績、設置場所、工事の依頼元、取り外し事由、搬出先とその選定方法、受入拒否の経験、電気遮断工事の実績、荷姿、提供された情報、解体方法等の指定、今後の受託予定、ガイドラインの知名度について調査を行った。

処理実態調査では、中間処理業者に対して太陽電池モジュールの中間処理実績、導入している設備と処理方法、排出要因、排出場所、搬入元と搬出先、制度化への要望と意見について調査を行った。またリユース事

業も手掛けている事業者に対しては、リユース事業の業務範囲、搬入元とリユース品の搬出先、診断方法、リユース不可モジュールの取扱い、不具合対応、リユース事業の課題について追加的に調査を行った。

埋立実態調査では、最終処分場の埋立容量と埋立量、太陽電池モジュールの最終処分実績、最終処分の依頼元、受入拒否の理由、受入開始に向けた要件・要望、懸念事項について調査を行った。

そしてこれらの調査結果をふまえ、リサイクル実態や課題の把握に向けて使用済太陽電池モジュールの排出要因別、素材別マテリアルフローを作成した。

1.2.2. 太陽電池モジュールの国内リユースの普及促進に関する調査・検討

リユースの普及促進に向けて、リユース事業者が実施している診断方法ならびに具体的な性能や機能等の要素を調査した。更にユーザーの手元に届くまでの販売経路についても、ヒアリング等からパターン整理を試みた。

またリユース事業者の意見等に基づき、リユース品流通促進に関する課題整理を試みるとともに、不適正リユースの防止に向けた対応策を検討した。

1.2.3. 太陽電池モジュールの国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討

実用化されている太陽電池モジュールの処理技術を整理するために、太陽電池モジュールの高度選別が可能な処理方法を定義した。

高度リサイクルには複数の処理設備/処理技術が含まれているため、ガラスをバックシートから分離する方法に基づいてそれらの処理技術を分類し、処理設備のメーカー・開発者や処理技術の特徴を整理した。そして高度リサイクルに分類される処理方法について、それぞれが処理可能な太陽電池モジュールの条件と処理能力を調査し、比較を行った。

太陽電池モジュール由来ガラスについては、有償・逆有償取引の実態を処理実態調査の結果から分析し、逆有償となっている場合の要因についても整理した。加えて太陽電池モジュール由来ガラスのリサイクルに関する課題について、需要や品質基準、有価性の観点から中間処理業者にヒアリングした内容をとりまとめた。

最後に、中間処理業者へのヒアリングによって明らかになった大量排出期を見据えた事業計画について、受入・処理能力の拡大と、受入量の拡大という観点から整理し、求められる対応策を検討した。

1.2.4. その他使用済再生可能エネルギー発電設備の適正処理・リサイクル等の推進に係る調査

「再生可能エネルギー発電設備の廃棄・リサイクルのあり方に関する検討会 中間取りまとめ(2024年1月)」では、太陽光発電設備だけでなく、その他再生可能エネルギー発電設備についても廃棄・リサイクルに関する実態把握ならびに課題整理が必要であると言及された。

風力発電設備は、太陽光発電設備と比べて事例はまだ多くないが、一部で排出・廃棄されている。令和5年度調査に引き続き、風車ブレード等の構成部品のリサイクル及び適正処理の実態について調査するとともに、リサイクルが難しい繊維強化プラスチック(GFRP、CFRP)の課題整理を実施した。また、ガラス繊維強化プラスチック(Glass Fiber Reinforced Plastic; GFRP)が使用されているFRP船のリサイクルも調査対象として、風力発電設備由来GFRPのリサイクル・適正処理に向けた情報整理を試みた。

更に今年度調査では、中小水力発電設備・地熱発電設備・バイオマス発電設備についても調査を実施した。各発電設備の構成部品・耐用年数の調査に加えて、解体・撤去から最終処分までの処理フロー整理、また各部品のリサイクル及び適正処理の促進に向けた課題整理を試みた。

第2章. 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査

太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査として、太陽電池モジュールの解体・撤去業者に対する排出実態調査、中間処理業者に対する処理実態調査、最終処分業者に対する埋立実態調査の3つのアンケート調査を実施した。

加えてこれらの調査結果をふまえ、リサイクル実態や課題の把握に向けて使用済太陽電池モジュールの排出要因別、素材別マテリアルフローを作成した。

2.1. アンケート調査の概要

使用済太陽電池モジュールは、ある1種類の事業者によって全て処理されるわけではない。そのため、排出・廃棄実態については、太陽電池モジュールが排出されてから解体・撤去工事が行われ、その後に中間処理が行われたうえで、最後に最終処分が行われるという流れに沿って適切な主体を対象に調査を行い、適切に情報を把握していくことが必要である。

この観点から、本調査では目的に応じて排出実態調査、処理実態調査、埋立実態調査の3つのアンケート調査を実施した。各アンケート調査の目的は以下のとおりである。

表1 各アンケート調査の目的

アンケート調査	目的
排出実態調査	<ul style="list-style-type: none">・ 使用済太陽電池モジュールに関する解体・撤去実績の把握・ 解体・撤去工事に関する依頼元、及び事由の把握・ 撤去後モジュールに関する収集・運搬方法の把握・ 適正処理に必要な情報に関する連携実態の把握
処理実態調査	<ul style="list-style-type: none">・ マテリアルフローやステークホルダー等の実態把握（過年度調査からの変化を洗い出し）・ リユース、リサイクルの課題及び懸念事項等の把握
埋立実態調査	<ul style="list-style-type: none">・ 太陽電池モジュール受入状況の把握・ 最終処分依頼元の把握・ モジュール受入に係る懸念事項の特定・整理

出所) NRI 作成

2.1.1. 排出実態調査(解体・撤去業者向けアンケート調査)の概要、ならびに回答状況

令和5年度調査同様、今年度調査においても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 社の解体・撤去業者へ調査票(Web アンケート調査 URL)を送付した。また、アンケート調査を補完する形で、発電所の開発を手掛ける事業者への架電調査を行った。

なお、令和5年度調査においては、プレ調査により使用済太陽電池モジュールの解体・撤去実績がある事業者を絞り込んだうえで本調査を実施しているが、今年度はプレ調査と本調査を一本化し、アンケート冒頭に解体・撤去実績の有無を確認した。

表2 排出実態調査の概要

項目	詳細		
対象	全解工連に所属している全国の解体・撤去業者		
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、所属する解体・撤去業者に Web アンケート調査 URL を送付。		
回答数		送付件数	有効回答数※3
	令和5年度	18※1	11
	令和6年度	不明※2	80

※1 プレ調査で解体・撤去実績を確認したうえで送付した事業者の数を表す。

※2 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 Web アンケート調査 URL が送付されているため、正確な送付件数は把握できない。

※3 Web アンケート調査への回答入力が確認され、実績や依頼元、運搬方法等の回答が確認できた事業者の数を指す。

出所) NRI 作成

2.1.2. 処理実態調査(中間処理業者向けアンケート調査)の概要、ならびに回答状況

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、アンケート調査内容は令和5年度調査票を参考としつつも、実施目的を再整理し、回答負荷を引き下げるために一部項目の修正を行った。

今年度のアンケート調査を実施するにあたり、令和5年度調査先である89社に加えて、一般社団法人太陽光発電協会(以下、「JPEA」という。)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」に新たに掲載された事業者、そしてデスクトップ調査において使用済太陽電池モジュールの中間処理、買取、販売事業を実施していることが確認された事業者をリストアップし、架電により調査への協力を依頼した。そして協力への理解が得られた事業者に対し、メールでExcelの調査票を送付する形でアンケート調査を実施した。

今年度の調査概要は以下に示すとおりであり、アンケート調査項目は別途提示の調査票に基づいて行ったところ、回答率は45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3 処理実態調査の概要

項目	詳細		
対象	<ul style="list-style-type: none"> 令和5年度調査対象である事業者 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」に掲載されている事業者 HP等の公開情報で、太陽電池モジュールの中間処理、買取、販売事業を実施していることが確認された事業者 		
実施方法	架電により調査協力への理解が得られた事業者にアンケート調査票を送付。		
回答数		送付件数	有効回答数*
	令和5年度	89	41
	令和6年度	102	45
	令和5年度対象	67	37
	JPEA リスト追加	3	2
	デスクトップ調査	32	6

* 中間処理やリユースの実績を回答した事業者の数を指す。

出所) NRI 作成

2.1.3. 埋立実態調査(最終処分業者向けアンケート調査)の概要、ならびに回答状況

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。今年度のアンケート調査対象とした事業者は、令和5年度調査で実施した、最終処分場を有する 44 社のうち今年度もアンケート調査への協力を承諾いただいた 35 社である。

また、継続実施している調査であることを踏まえ、アンケート調査内容は令和5年度調査票を参考としつつも、実施目的を再整理し、回答負荷を引き下げるために、一部項目の修正を行った。

表4 埋立実態調査の概要

項目	詳細		
対象	令和5年度調査対象である、管理型最終処分場を保有している事業者		
実施方法	架電により調査協力への理解が得られた事業者に Web アンケート調査 URL を送付。		
回答数		送付件数	有効回答数*
	令和5年度	44	28
	令和6年度	35	32

* Web アンケート調査への回答入力が確認され、受入実績や今後の方針等の回答が確認できた事業者の数を指す。

出所) NRI 作成

2.2. 解体・撤去に関する実態調査結果

2.2.1. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去実績

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2ヵ年（令和4、5年度）における使用済太陽電池モジュールの解体・撤去有無は図1に示すとおりである。太陽電池モジュールの解体・撤去に係る相談を受けたことがある事業者は、回答事業者の約 45%となった。また、実際に解体・撤去を手掛けた事業者は約 14%であった。

直近2ヵ年の相談/解体・撤去実績 (n=80)

単位：社

- 太陽電池モジュール（または太陽電池モジュールを含む建築物）を解体・撤去した経験・実績がある
- 相談を受けたことがあるが、解体・撤去実績はない。
- 相談を受けたことがなく、解体・撤去実績もない。

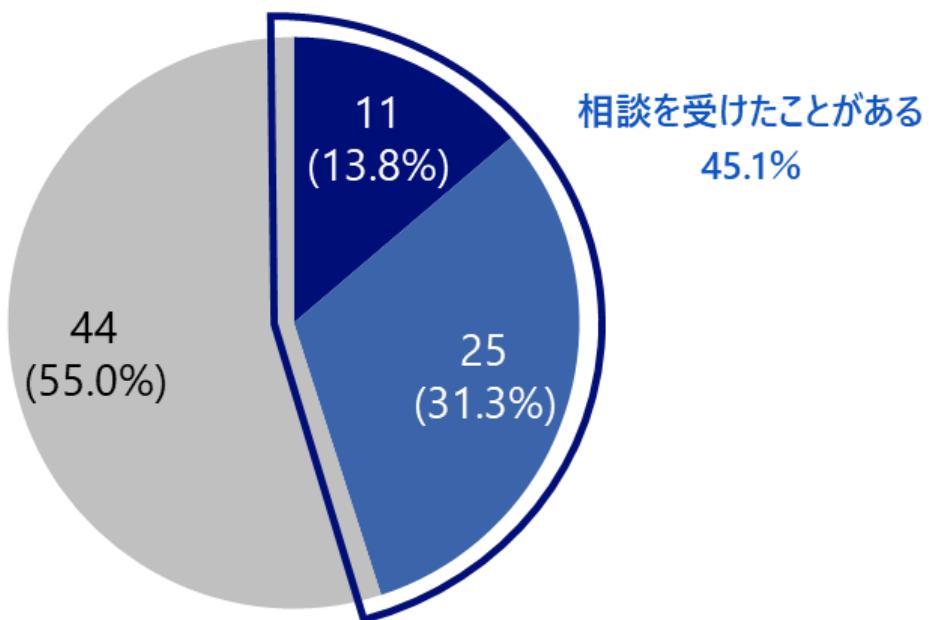


図 1 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去実績

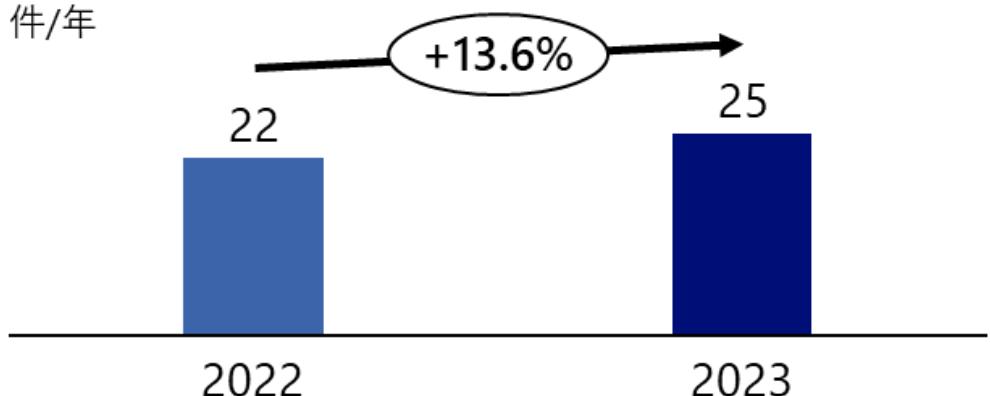
出所) NRI 作成

2.2.2. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事件数と撤去事由

直近2ヵ年(令和4、5年度)に解体・撤去実績がある事業者 11 社に対して、手掛けた工事件数を調査した。事業者全体では令和4年度から5年度にかけて3件、約 14% 工事件数が増加していることが分かった。
1事業者あたりの年間工事件数は数件に留まるが、年間 10 件もの工事を担った事業者も存在していた。

解体・撤去工事の件数 (複数回答、n=11)

単位：件/年



単位：件/年

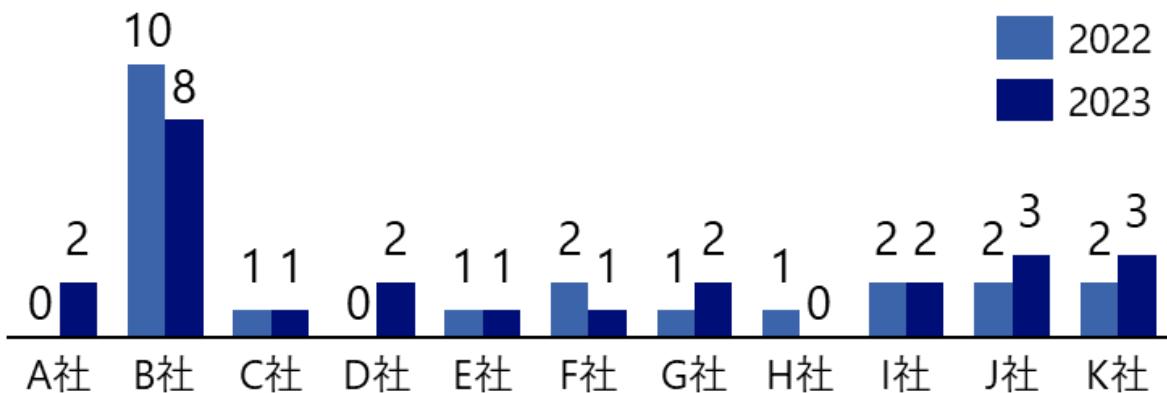


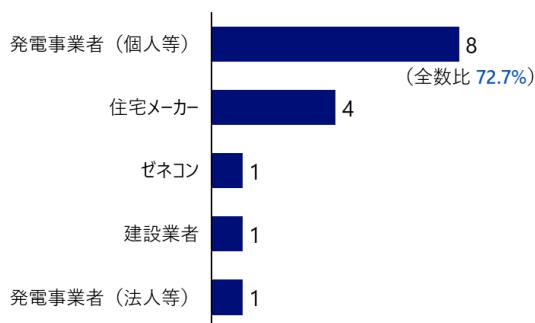
図 2 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事件数

出所) NRI 作成

事業者が手掛けた解体・撤去工事において、工事の依頼元を確認したところ、11 事業者のうち8事業者が住宅等で発電する個人等の発電事業者、4事業者が住宅メーカーと回答があり、解体・撤去業者が取り扱う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と推察された。

解体・撤去工事の依頼元（複数選択、n=11）

単位：社



取り外し事由（複数選択、n=11）

単位：社

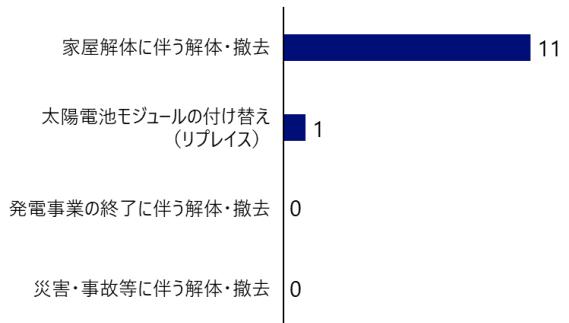


図3 使用済太陽電池モジュール解体・撤去工事の依頼元と取り外し事由

出所) NRI 作成

そして、事業者が手掛けた解体・撤去工事において、太陽電池モジュールの設置場所についても確認したところ、11 事業者のうち全事業者が建物の屋根に設置されていたと回答し、うち1事業者は災害廃棄物として取り除かれていたと回答していた。なお、メガソーラー等の大規模発電所において解体・撤去工事を行った事業者はいなかった。

太陽電池モジュールの設置場所（複数選択、n=11）

単位：社

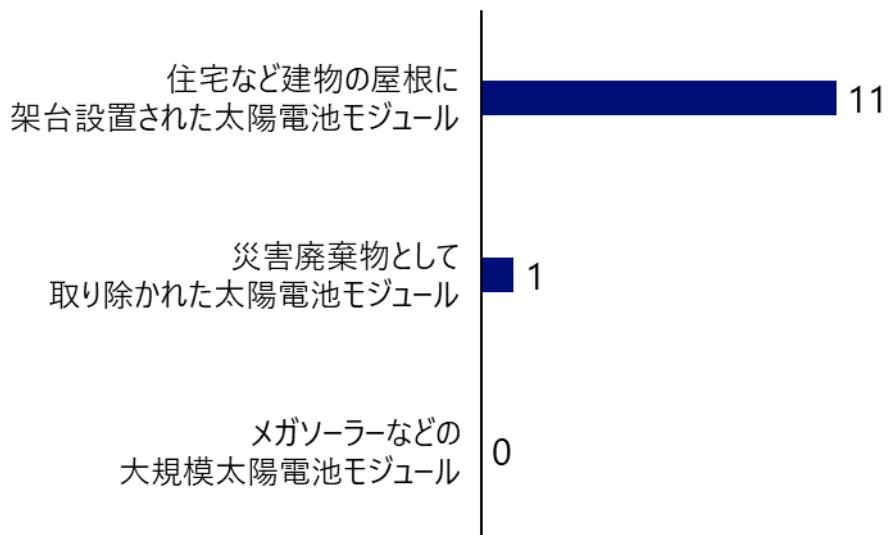


図4 解体・撤去した使用済太陽電池モジュールの設置場所

出所) NRI 作成

2.2.3. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事の実態

解体・撤去工事を実施したことのある事業者に対し、解体・撤去した太陽電池モジュールの処理先をどのように決定しているのかを確認したところ、11 事業者のうち9事業者が「解体・撤去業者から依頼元に提案の上、決定している」と回答していた。ある事業者からは、「処理先の選択肢は限定的であり、その都度決定するまでもない」という回答も得られている。

そして9事業者に対して提案する処理先はどのように選定しているのかを確認したところ、「関係性がある事業者を選定する」、もしくは「現場付近で、太陽電池モジュールの処理を行っている事業者を選定している」と回答した事業者が半数ずつ確認された。中間処理業者目線では、回収量を増やすためには「いかに発電事業者や解体・撤去業者と関係性を構築できているか」、「排出現場が近くに存在しているか」が重要だと考えられる。

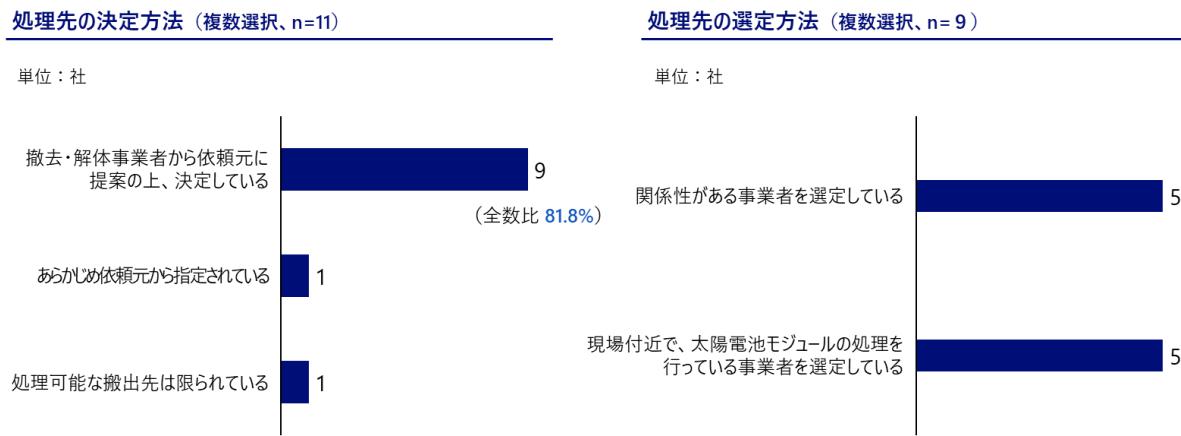


図 5 処理先の決定方法と選定方法

出所) NRI 作成

また、解体・撤去工事を実施したことのある事業者に対し、電気系統の遮断工事に関する実施状況を確認したところ、11 事業者のうち9事業者が「電気工事士法資格保有者である他社に依頼して実施した」と回答しており、4事業者がすでに実施されていた等と回答していた。自社で電気系統の遮断工事を実施したと回答した事業者がいないことから、遮断工事は解体・撤去業者の作業よりも前に行われるケースが多いと推察される。

さらに撤去した太陽電池モジュールを収集・運搬する際の荷姿を確認したところ、11 事業者のうち8事業者がアルミフレームつきの状態でそのまま収集・運搬している状況であると回答していた。また、1事業者のみ「他撤去物と混載」と回答しており、その廃棄物が太陽電池モジュールであると認識されずに処理されている懸念がある。

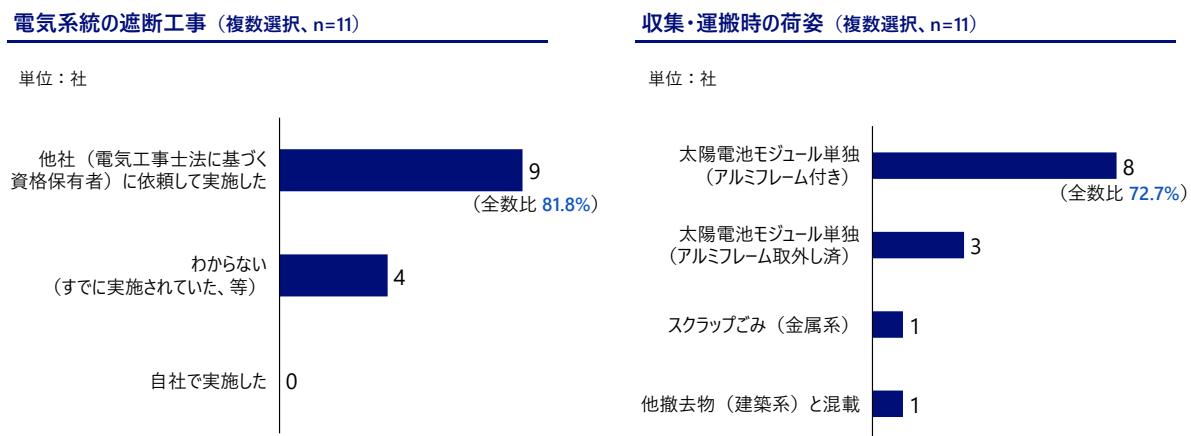


図 6 電気系統遮断工事の実施方法と収集・運搬時の荷姿

出所) NRI 作成

加えて、中間処理業者等による解体方法の指定有無についても確認したところ、11事業者のうち6事業者が解体方法を指定されなかったと回答していた。その一方で、中間処理業者やリユース事業者から指定された解体方法について確認したところ、ガラスが破損しないように注意すること等が指定されていた。

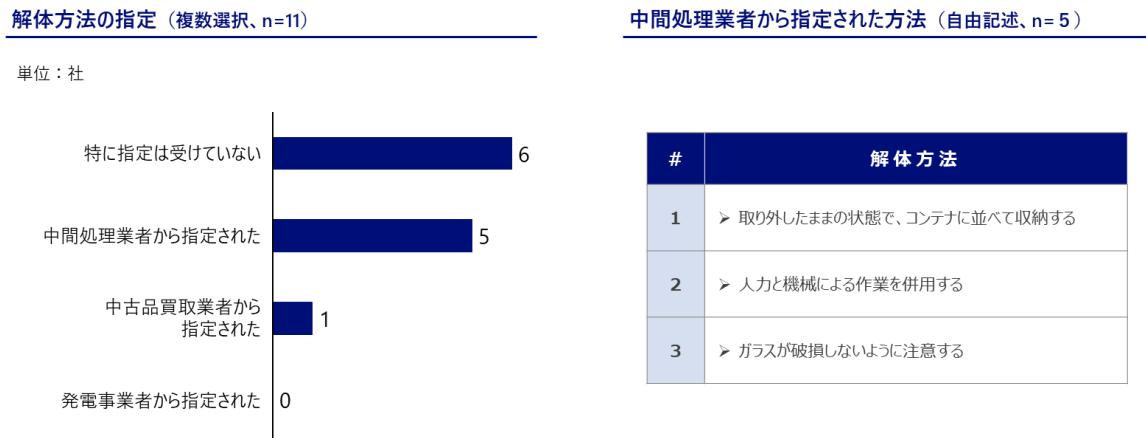


図 7 解体方法の指定有無と指定された方法

出所) NRI 作成

さらに解体・撤去工事を実施したことのある 11 事業者のうち、3事業者が中間処理業者や最終処分業者から受入を拒否されたことがあると回答している。

受入を拒否された理由としては、太陽電池モジュールの状態や有害物質への懸念が中心となっていた。

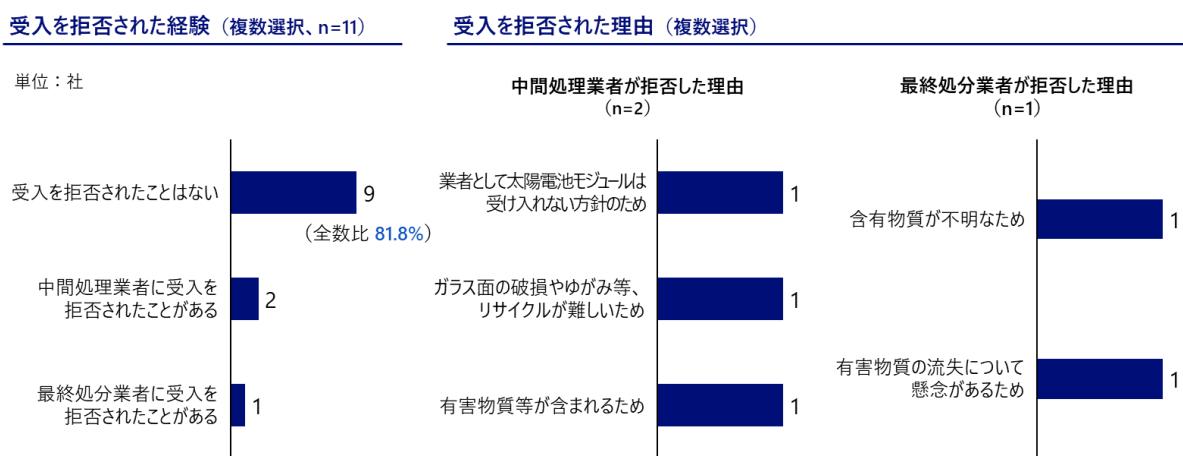


図 8 受入拒否の経験とその理由

出所) NRI 作成

2.2.4. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事における情報連携

解体・撤去工事を行う際に連携される情報の状況を確認したところ、解体・撤去業者が自ら要求した結果として情報を提供されているのは5事業者と全体の約半数であり、要求せずとも設備所有者等から情報を提供されているのが2事業者と全体の約2割以下となった。提供される情報は、製品情報(型番、メーカー、等)や廃棄物データシート(Waste Data Sheet; WDS)であり、安全データシート(Safety Data Sheet; SDS)や含有物質に関する溶出試験結果等の分析結果が情報提供されているケースは見られなかった。

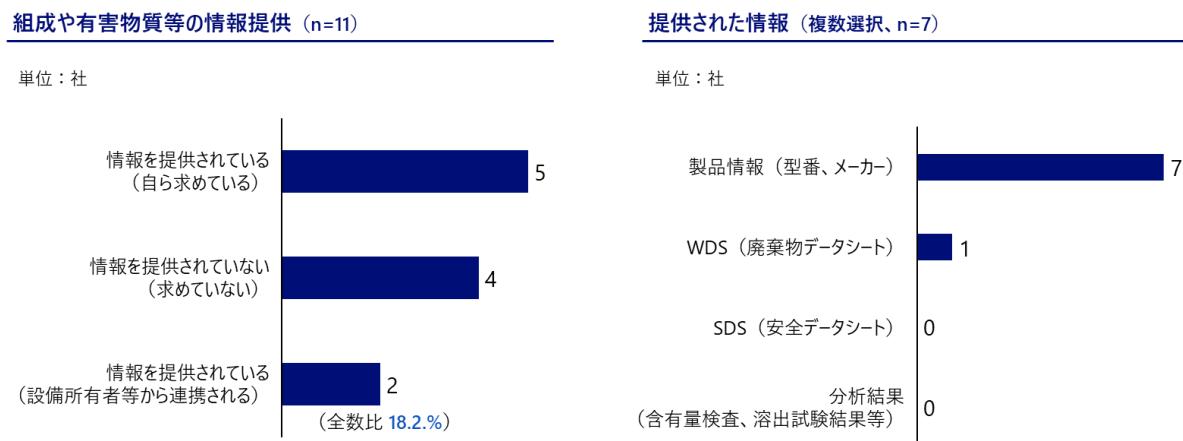


図 9 情報提供の有無と提供される情報

出所) NRI 作成

2.2.5. 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事に関する今後の受託方針

使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事に関する今後の受託方針を確認したところ、「依頼があった場合は受託する」と回答した事業者は 54 事業者と全体の約 70%となっていた。

一方で、全体の約 30%に該当する 26 事業者は「依頼があったとしても受託しない」と回答していた。

今後の受託方針 (n=80)

単位：社

■ 受託予定
■ 受託不可

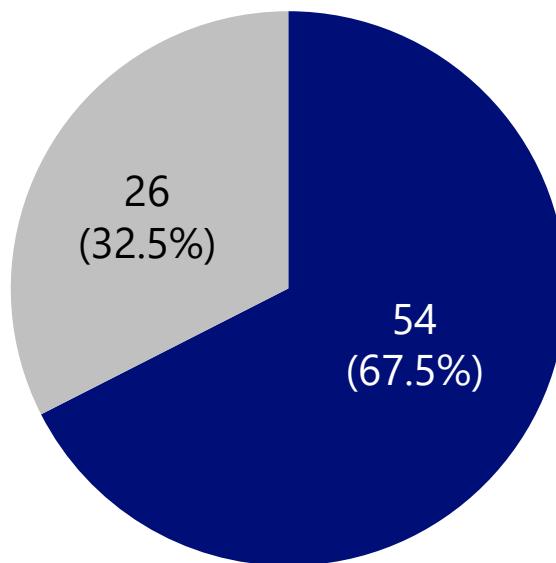


図 10 今後の受託方針

出所) NRI 作成

また、「依頼があったとしても受託しない」と回答した 26 事業者に対してその理由を自由記述で確認したところ、業務領域の違いや実績・人員の不足等の様々な背景が確認できた。

表5 使用済太陽電池モジュールの解体・撤去工事を受託しない理由

分類	#	理由
業務領域の違い	1	他の案件に注力するため
	2	グループ会社にて対応するため
ニーズの不透明さ	3	必要性を感じていないため
実績不足	4	実績・経験がなく、対応可能か不安なため
人員不足	5	資格保有者がいないため
	6	作業者が不足しているため
情報等の不足	7	解体マニュアルがないため
	8	撤去、運搬、処分に関するノウハウが不足しているため
	9	メーカーからの情報提供や協力が得られないため
処理先の不透明さ	10	処理先が少なく、取り外した後の搬出先が不透明であるため
	11	処理先、運搬ルートが確保できていないため
最終処分先の不透明さ	12	搬出していた最終処分場の残余容量がなくなり、受け入れてもらえないため
有害物質への懸念	13	有害物質等を含有している可能性があるため

出所) NRI 作成

2.3. リサイクル等に関する実態調査結果

2.3.1. 要因別排出量

各事業者によるアンケート回答に基づく、令和4、5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、以下に示すとおりである。なお今年度調査の「令和4年度排出量」と、令和5年度報告書における「令和4年度排出量」が異なる事由は、調査年度によって回答者が異なること、また一部回答者が令和4年度における回収量(回答結果)を今年度調査で修正したこと等に起因する。

表6 太陽電池モジュールの排出要因別回収量推移(リユース・リサイクル全体)

排出要因	単位	排出量	
		令和4年度	令和5年度
① 新古品	千枚	8.0	25.2
	t	159.9	508.0
② 故障、 廃棄品	1. 不良品	千枚	32.0
		t	622.7
	2. 災害等に よるもの	千枚	42.0
		t	839.9
	3. 目的を終了 したもの	千枚	9.9
		t	187.8
	4. その他、不明	千枚	20.3
		t	405.3
合計 (①+②)	千枚	112.2	155.8
	t	2,215.6	3,020.7

出所) NRI 作成

表7 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	排出量	
		令和4年度	令和5年度
① 新古品	千枚	0.0	0.8
	t	0.0	20.8
② 故障、 廃棄品	1. 不良品	千枚	4.3
		t	79.9
	2. 災害等に よるもの	千枚	15.6
		t	312.7
	3. 目的を終了 したもの	千枚	0.3
		t	6.7
	4. その他、不明	千枚	16.1
		t	321.2
合計 (①+②)		千枚	36.3
		t	720.5
			14.2
			288.1

出所) NRI 作成

表8 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)

排出要因	単位	排出量	
		令和4年度	令和5年度
① 新古品	千枚	8.0	24.4
	t	159.9	487.2
② 故障、 廃棄品	1. 不良品	千枚	27.7
		t	542.8
	2. 災害等に よるもの	千枚	26.4
		t	527.2
	3. 目的を終了 したもの	千枚	9.6
		t	181.1
	4. その他、不明	千枚	4.2
		t	84.1
合計 (①+②)		千枚	75.9
		t	1,495.1
			141.6
			2,732.6

出所) NRI 作成

2.3.2. 排出要因別マテリアルフロー

今年度のアンケート調査結果を踏まえて、令和5年度の排出要因別マテリアルフローを作成した。令和5年度の排出要因は、不良品が 37.3%、災害等によるものが 18.5%を占めていた。回収量のうち、リユースされた太陽電池モジュールが 9.5%、中間処理された太陽電池モジュールは 90.5% (リサイクルされたものは 62.2%) となっている。

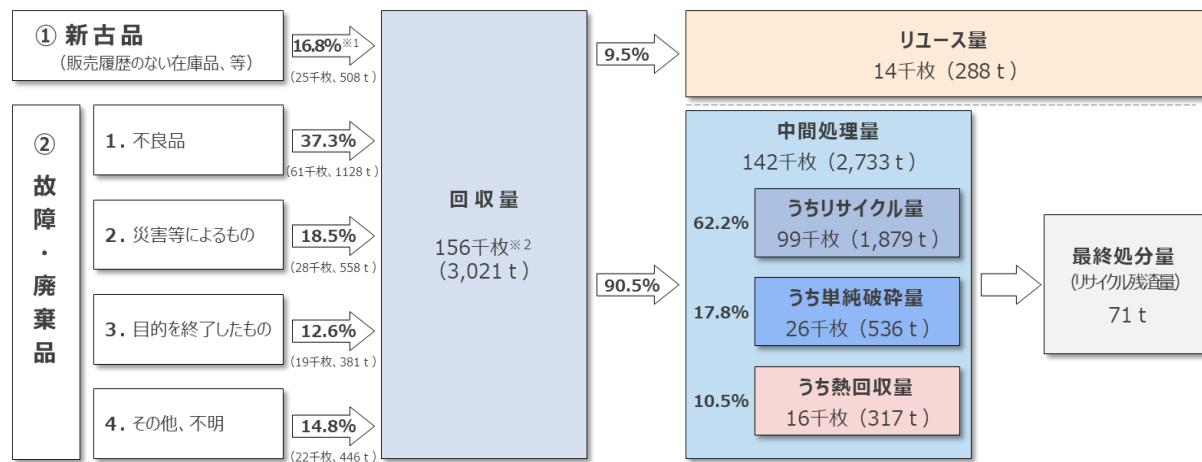


図 11 排出要因別マテリアルフロー

出所) NRI 作成

2.3.3. 素材別マテリアルフロー

今年度のアンケート調査結果を踏まえて、令和5年度の素材別マテリアルフローを作成した。搬入元としては、法人等の発電事業者が 20.2%と最も多く、搬入されたモジュールのうち約9割が中間処理に回っていた。なおガラスのリサイクル出口としては、ガラス砂が 10.9%と最も多かった。

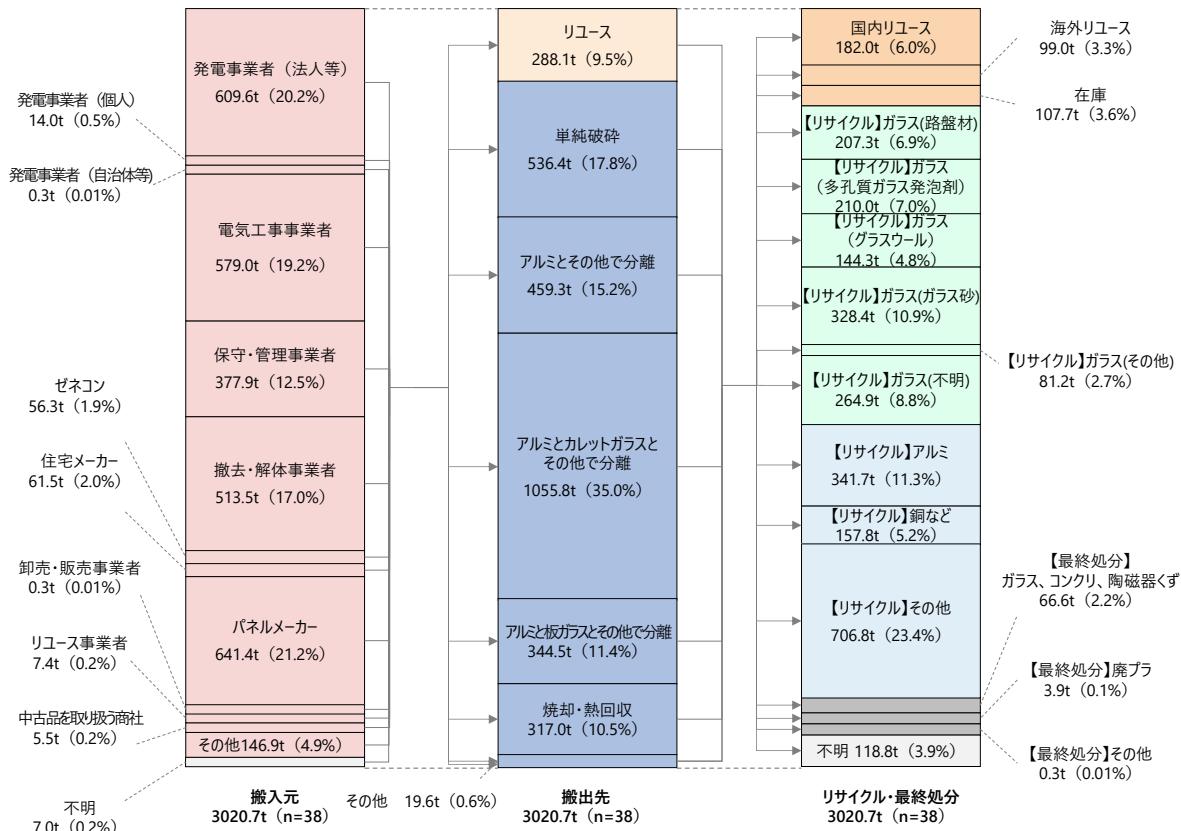


図 12 素材別マテリアルフロー

出所) NRI 作成

2.3.4. 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、施設の所在と処理方法・技術、1日で処理可能な太陽電池モジュールの量を確認した。

処理方式として、「アルミとカレットガラスとその他で分離」、「アルミと板ガラスとその他で分離」を高度リサイクルとして定義した場合、高度リサイクルが可能な事業者が所在する都道府県は青字で示す1都1府 24 県である。

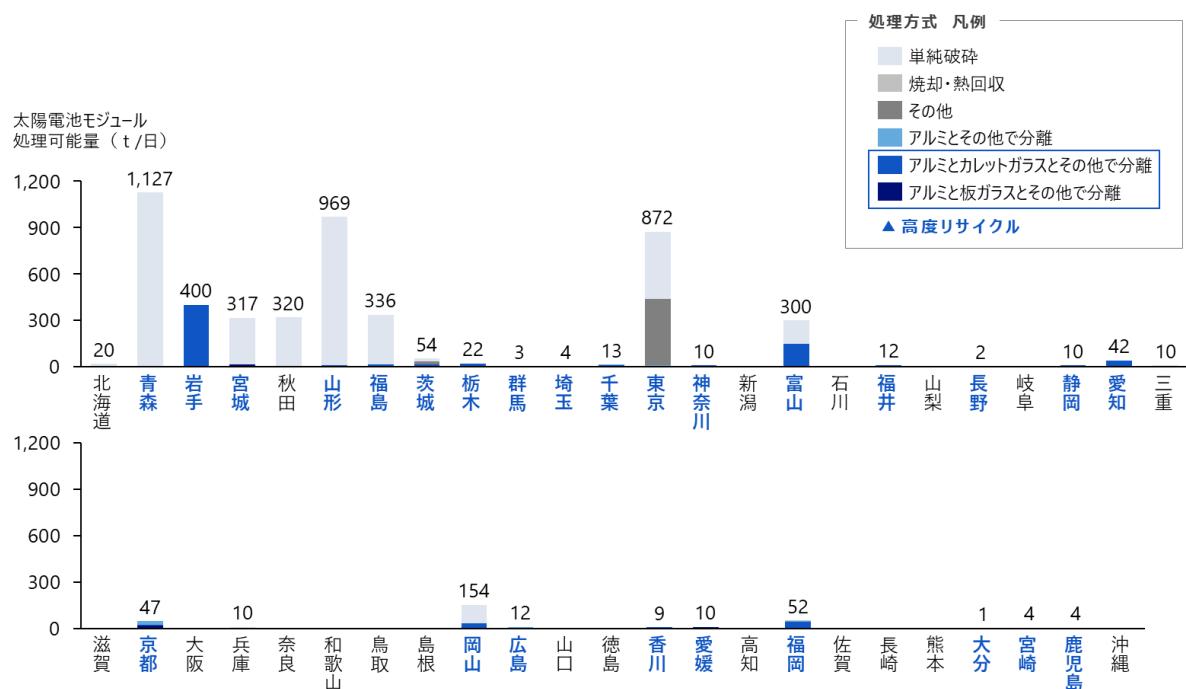


図 13 都道府県別の処理可能量

出所) NRI 作成

東北や関東の日当たり処理可能量は、約 1,000~3,500t/日であるのに対して、その他地域では約 100t/日である等、処理可能量の地域偏在性が見える結果となった。

ただし、上記の処理可能量は回答のあった事業者だけを対象としているため、各地域における処理可能量の実態を過小評価している数字である可能性には、十分留意する必要がある。

2.3.5. 太陽電池モジュールのリサイクルにおける課題

処理実態調査において、自由回答の形式で太陽電池モジュールのリサイクル推進に向けた課題を調査した。今年度調査では「金銭面(費用面)」、「制度面」、「情報面」に分類して事業者の意見を聞き取った。

まず、太陽電池モジュールのリサイクルに関する金銭的な課題を自由回答で調査したところ、以下の回答を得た。

表9 太陽電池モジュールのリサイクルに係る金銭面(費用面)の課題(自由回答)

観点	意見
初期投資の規模	<ul style="list-style-type: none"> 専用設備の導入に係るイニシャルコストが高い。 太陽電池モジュール専用の処理設備における減価償却費が事業の利益を圧迫している。 処理施設の受入可能量を増やすためには、建屋改修が必要になる。
排出者の支払意思・能力	<ul style="list-style-type: none"> リサイクル費用としては適正価格を設定していると考えているが、排出者からは使用済太陽電池モジュールを買い取ってほしいと問合せを受けることがある。 特に個人の発電事業者の場合、太陽電池モジュールを処理するための費用を支払う余裕がない。 排出者が負担する廃棄費用は積立金だけでは賄えないため、安価な埋立処分が選択されたり、不法投棄されたりする可能性がある。 太陽電池モジュールを所有しているオーナー・管理者には、再資源化に対して費用を支払う意識がない。
単純破碎との価格競争	<ul style="list-style-type: none"> 再資源化は費用がかさむ一方で、破碎して埋立処分する方が簡単で費用も安く抑えられるため、単純破碎に流れてしまっている。 物価高の影響もあり、設備費用、ランニングコスト等、かなり必要になってきているため、再資源化の費用がさらに高くなっている。 単純破碎の処理費用は再資源化の費用に比べて安価であるため、価格競争に陥った場合、費用回収の面で不安がある。
搬出先の確保	<ul style="list-style-type: none"> 搬出先が確保できておらず、太陽電池モジュール専用の処理設備を導入するには至っていない。 太陽電池モジュール由来のガラスは不純物の混入が多く、受入を拒む事業者が多い。
再資源化価値の向上	<ul style="list-style-type: none"> 中間処理後のガラスの搬出先が限られているため、輸送費を考慮すると赤字の取引となってしまう。 ガラス、バックシートは逆有償取引となっており、処理委託費も高額である。 太陽電池モジュール由来のガラスを利用することに対してインセンティブを付与しなければ、販売価格が上がらない。

出所) NRI 作成

太陽電池モジュールのリサイクルについては、単純破碎と比較したときの処分費用の高さが金銭面の大きな課題となっていることがわかる。

素材ごとの有価性・リサイクルの課題については次章以降で詳述するが、結論として太陽電池モジュールの大半を占めるガラスの再資源化価値は十分でない。その上、高額な専用設備のランニングコストや太陽電池モジュールの各種素材への分別に係るコスト等が重くのしかかり、中間処理業者の経済性が合わない状況になっている。

次に制度面について、事業者からあがつた主な課題・意見は、以下のとおりである。

表10 太陽電池モジュールのリサイクルに係る制度面の課題(自由回答)

観点	意見
リサイクルの定義	<ul style="list-style-type: none">国として推奨もしくは義務化していくリサイクルとはどのような処理方法を指すのかが不明である。国として推奨する処理方法のガイドラインを制定する必要がある。
リサイクルの促進	<ul style="list-style-type: none">リサイクルを促す仕組みがなく、埋立処分が横行している。リサイクルを義務付ける仕組みがなく、排出された太陽電池モジュールを不正に買い取る事業者が存在している。処理方法について法律で規定されていないため、単純な価格競争で単純破碎と埋立処分が積極的に選択されている。リサイクルと単純破碎の価格差を埋めるために、再資源化費用を負担する事業者に補助金を出す等の取組が必要である。
越県収集の枠組み	<ul style="list-style-type: none">県外で排出された太陽電池モジュールの処理について問合せがあるが、自治体との事前協議を行うと、手続きが思うように進まないことが多い。複数の都道府県から太陽電池モジュールを回収してくる事業者に対して、建設業や不動産業のような単一許可の必要性を検討してほしい。効率的かつ低成本で広域収集できるシステムがない。広域認定制度も運搬や処理において許可業者と同等のレベル、管理体制を求められるため、処理契約を締結して廃棄物として運搬・処理する方が効率的である。
保管基準の緩和	<ul style="list-style-type: none">大規模発電所から排出された太陽電池モジュールを処理する際には、一度に大量に運び込まれるため、処理能力が追いつかず、処理期限や保管基準を守ることができない。
再資源化価値の向上	<ul style="list-style-type: none">太陽電池モジュール由来のガラスにおける再資源化価値を向上させるような技術開発に期待している。動脈産業において、太陽電池モジュール由来のガラスを原料として使用することにインセンティブを付与するべきではないか。

出所) NRI 作成

最も多くあげられた制度面の課題は、リサイクルを促進する制度に関する内容であった。太陽電池モジュールのリサイクルは回収した素材の有価性が低いため経済性が成り立ちにくく、発電事業者から見た際にも産業廃棄物として埋立処分する方が処理費用を抑えられるという状況になっている。

それ以外には、県外排出に係る制度の煩雑さ、リサイクルに含まれる処理方法未定義といった問題があげられている。

最後に、情報面についての課題を調査した結果、以下の回答を得た。

表11 太陽電池モジュールのリサイクルに係る情報面の課題(自由回答)

観点	意見
含有物質の情報	<ul style="list-style-type: none">海外製の太陽電池モジュールに関しては、含有物質情報の問合せが難しい。太陽電池モジュール全般の製品情報・含有物質情報が不足している。ガラスのリサイクルにおいては、含有成分の情報が重要となる。含有物質情報については、各メーカーのHPをたどることでしか確認することができない。
処理方法の情報	<ul style="list-style-type: none">リサイクルの方法をわかりやすく解説したものを設置施工、管理業者等に配布してほしい。一般消費者に対して、適切な処理方法等の情報が伝わっていない。
情報共有の仕組	<ul style="list-style-type: none">各業界団体が協力して情報を共有し合う仕組みを構築してほしい。製品情報、特に海外生産終了製品の組成・含有物質情報が一括で管理されている機関があれば利用したい。太陽電池モジュールの製品情報に関するデータベースの整備が必要である。

出所) NRI 作成

情報面の課題においては、太陽電池モジュールの含有物質の状況が明らかにされないことが多いことが最も重要な課題であることが示唆された。JPEA が公開している「使用済太陽電池モジュールの適正処理に資する情報提供のガイドライン」では、含有物質の情報公開が推奨されており、FIT 制度においても含有物質の情報が登録されている。こうした中でも中間処理業者には十分な情報が行き届いていないため、既存制度の周知が不足しており、また公表されている情報がわかりづらいといった状況が伺える。こうした場合に備え、一元的に情報を管理するデータベースの構築が求められる。なお、中間処理業者が必要としている情報の粒度について追加的に調査を行ったところ、「廃棄物データシートを提出してもらう」、もしくは「JPEA が指定している鉛、カドミウム、ヒ素、セレンの4物質の含有量について開示してもらう」ことが望ましいとの回答を得ている。

2.4. 最終処分に関する実態調査結果

2.4.1. 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受入について「相談を受けたことがあり、実際に受け入れた」と回答したのは4事業者であり、「相談されたことはあるが、受入を拒否した」と回答したのは12事業者であった。これらを合計すると、使用済太陽電池モジュールの受入について相談を受けたことがある事業者は16事業者で全体の50%に相当することが確認された。

これまでの受入実績 (n=32)

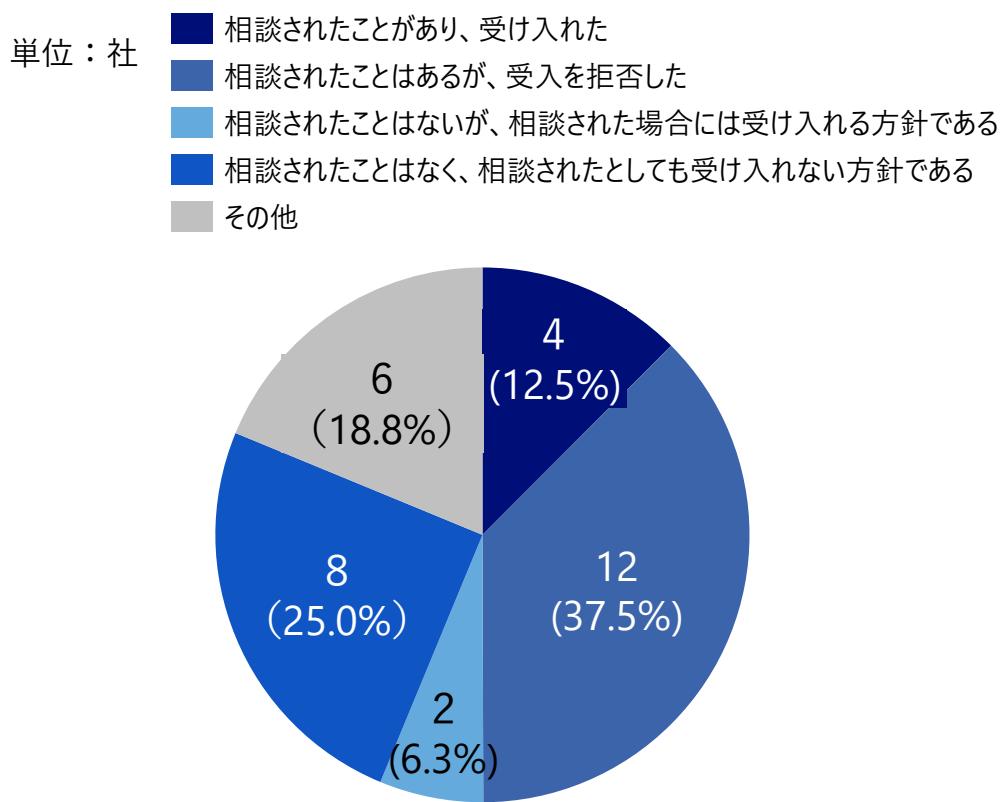


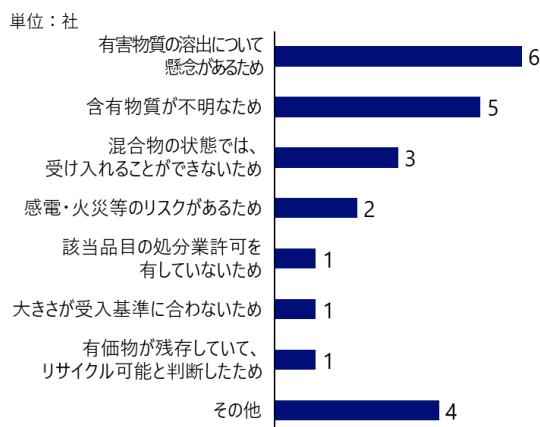
図14 使用済太陽電池モジュールの受入実績

出所) NRI 作成

使用済太陽電池モジュールの受入について「相談されたことはあるが、受入を拒否した」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、「有害物質の溶出について懸念があるため」、「含有物質が不明なため」といった回答が多く、その他には「適正処理に課題が残るため」、「残余容量が少ないため」等の回答が得られた。

また、今後受け入れを拒否する理由としても、有害物質の溶出に対する懸念が最も多い結果となった。

受入を拒否した経験（複数選択、n=12）



今後受入を拒否する理由（複数選択、n=8）

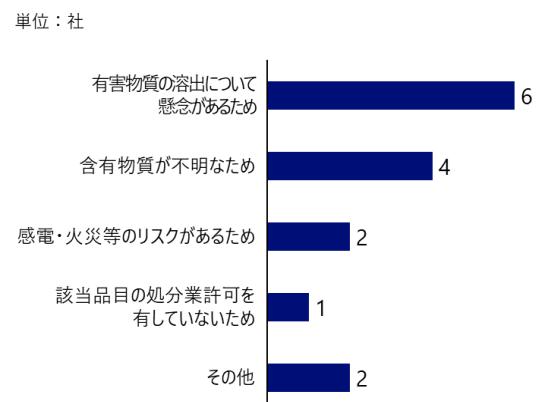


図 15 使用済太陽電池モジュールの受入を拒否した・今後拒否する理由

出所) NRI 作成

なお、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」と回答した事業者において、処理の依頼・相談元は、解体・撤去業者が最も多く、次いで中間処理業者であった。

最終処分の依頼・相談元（複数選択、n=16）

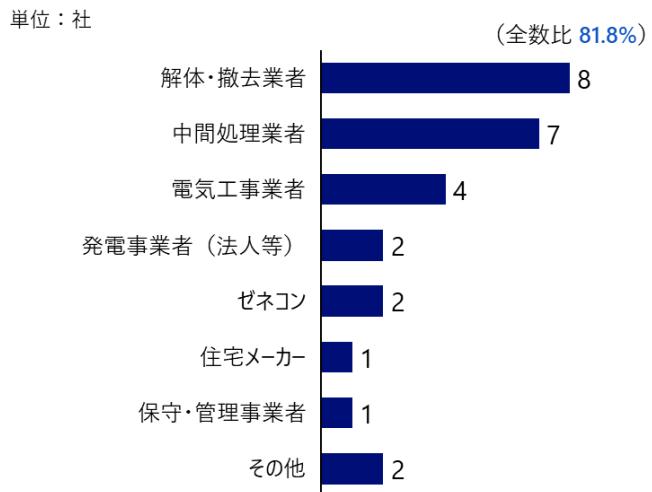


図 16 最終処分の依頼・相談元

出所) NRI 作成

2.4.2. 各プレイヤーに求める事項

使用済太陽電池モジュールの受入を検討するにあたり、国・政府、モジュールメーカー、排出事業者、中間処理業者といったそれぞれのプレイヤーに対して求める事項について自由記述で確認した。

なお、回答内容は原文のまま記載しているため、一部既に対応がなされている事項や詳細な内容が不明瞭な事項が含まれている点に留意が必要である。

表12 最終処分業者が各プレイヤーに求める事項

対象	#	求める事項
国・政府	1	生産国によって使用材料が異なる中で、各製品に対する安全性の確認と処理方針の明文化を行うこと
	2	マニフェストに太陽電池モジュールの項目を追加すること
	3	適正処理を確立し、引取を実施すること
	4	処理に係るマニュアル等の全国的に統一された指針を整備すること
モジュールメーカー	5	有害物質の溶出がない等、環境に負荷がかからない製品を開発すること
	6	MSDS 及び原材料・含有物質を明記すること
	7	使用済太陽電池モジュールをメーカーが自ら回収し、再資源化する体制を構築すること
排出事業者	8	メーカーごとに製品を仕分け、処分場に搬出すること
	9	有害物質等の情報を共有すること
	10	可能な限りリサイクルに取り組んだ上で、最終処分を検討すること
中間処理業者	11	メーカーごとに選別した上で、リサイクルの検討を徹底すること
	12	概ね5cm程度に破碎すること
	13	含まれる有害物質、実施した中間処理の方法に関する情報を提供すること

出所) NRI 作成

2.4.3. 使用済太陽電池モジュールの埋立処分における懸念事項

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、アンケート調査に回答があった32事業者のうち26事業者が回答している。また、2番目に多かった回答は、「含有物質や溶出試験結果等を確認するための手間が増すこと」であった。

受入・埋立処分における懸念事項（複数選択、n=32）

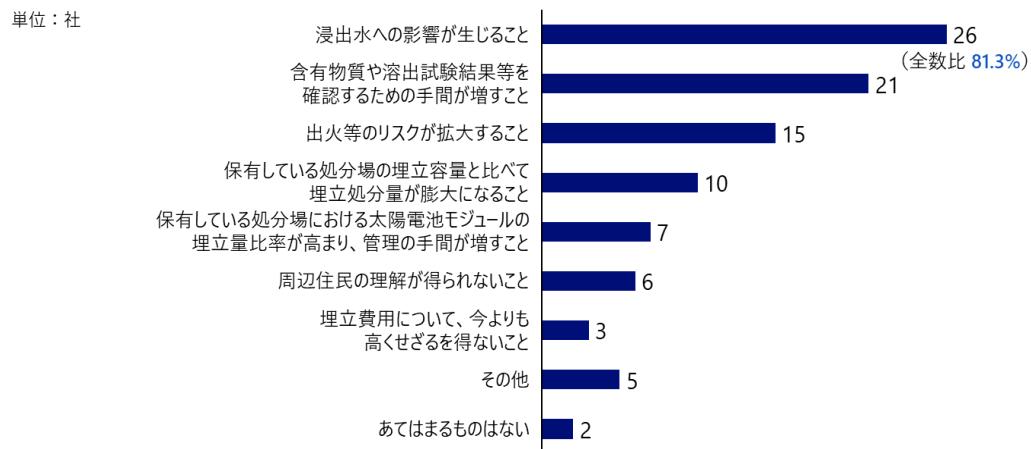


図 17 太陽電池モジュールの受入に係る懸念事項

出所) NRI 作成

第3章. 太陽電池モジュールの国内リユースの普及促進に関する調査・検討

太陽電池モジュールの国内リユースの普及促進に関する調査・検討を行うため、デスクトップ調査や処理実態調査(中間処理業者向けアンケート調査)に加えて、リユース事業を手掛ける事業者へのヒアリングも実施した。

3.1. 国内リユースの実態

3.1.1. 事業者数、及び診断方法

使用済太陽電池モジュールの排出量が増加する中、リユース事業への関わり方も多様化していることが今年度調査で分かった。処理実態調査でリユースに関する事業領域・業務範囲を尋ねたところ、受付・相談対応から検査、販売まで一気通貫で手掛ける事業者もいる一方で、使用済太陽電池モジュールの製品情報・運用実績の聞き取りのみ実施して協力関係にあるリユース事業者を紹介する事業者や、検査のみを手掛ける事業者も存在していた。

リユース事業 一気通貫型	受付 相談	検査実施		リユース品販売		輸送
		現地	施設内	ユーザー直売	商社等向け	
事業者 A	○	○	○	○	○	○
事業者 B	△	△	△	△	△	△
事業者 C	○	△	○	○	△	○
事業者 D	○	○	○	○	○	
事業者 E	△		△	△	△	
事業者 F	△		△	△	△	△
事業者 G	○	○	○		○	○
事業者 H	○	△		△	△	○
事業者 I	○	○		○	○	○
事業者 J	○				○	
事業者 K	○					
事業者 L	○					
検査、販売対応	事業者 M			△	△	
	事業者 N			△	△	
検査・診断のみ	事業者 O			○		

※ 図内「○」は事業者が必ず実施すると回答した業務を示し、「△」は購入者との契約内容等によっては手掛けない業務領域を示す。

図 18 リユースに関する事業領域・業務範囲

出所) NRI 作成

使用済太陽電池モジュールのリユースにあたっては、現地に赴いて外観検査を実施する事業者が多いことが分かった。また約半数のリユース事業者は、ハンディタイプの検査ツール等を用いて簡易な出力検査を行っていることが分かった。製品情報や外観検査、簡易な出力検査等の結果から、リユース品として引き受けるかどうか判断しているものと推察される。

現地検査（引き受け前n= 7、引き受け後n= 5）



施設内検査（引き受け前n= 5、引き受け後n=10）

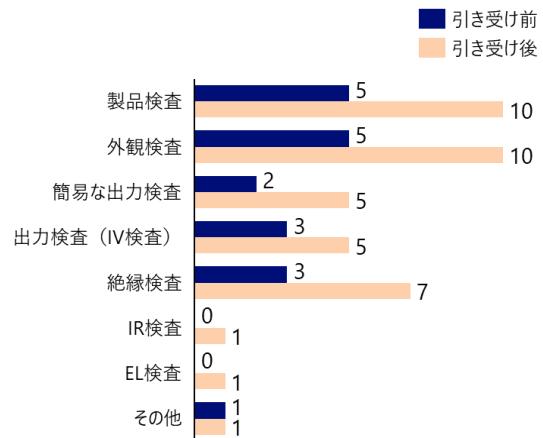


図 19 リユース実施検査

出所) NRI 作成

なお引き受けた後にリユースが難しいと判断した場合の取扱いを確認したところ、事業者の多くは「リサイクル・適正処理する（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、リユース品売却後に不具合が判明した場合の対応も、事業者によって様々である。引き渡しや納品までに不具合が発生した場合、無償交換や返金するケースもあれば、販売後の保証等は一切しないケースも見受けられた。これは売買契約の所有権移転のタイミングによるものと推察され、例えば購入者が自らの責任でリユース品を輸送・設置する契約では、輸送時における不具合・破損にはリユース事業者は関与しない整理になっているためと考えられる。設置・運用開始後の不具合に対する対応も様々であり、リユース事業者帰責の不具合が確認された場合には是正対応すると回答した事業者も存在した。また瑕疵保証を付けて販売したリユース品で不具合が発生した場合、返品受付・再検査を実施し、検査で不具合認定された際には同等の太陽電池モジュールを納品すると回答した事業者も存在した。

3.1.2. リユース可否判断に関する具体的な性能・機能要素

使用済太陽電池モジュールのリユース可否判断について、細かな条件は事業者によって異なる傾向にあるが、運用実績と正常作動性は一部事業者で共通している項目であることが分かった。

運用実績としては、10年以内を基準として設定しているリユース事業者が多い。この閾値は劣化率の観点から設定されており、メーカーと種類を問わず、太陽電池モジュールは10年経過後から劣化が進行する傾向にあるようである。ただし、運用年数は不問としているリユース事業者も存在している等、各事業者によって戦略は異なる。例えば、運用中の発電施設で数枚が故障・破損した場合、同一メーカー・同一型式の使用済太陽電池モジュールを求める発電事業者がいるため、そのニーズに応えるために10年以上運用された太陽電池モジュールをリユース品として取り扱っている事業者も存在した。また国産メーカーを中心に、生産終了品ニーズも一部であるようである。

正常作動性は「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」に沿った5つの測定項目（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）だが、その診断方法としてリユースチェックを使用している事業者が非常に多かった。運用実績や外観検査等で問題ないと判断した後、現地検査または搬入した太陽電池モジュールに対してリユースチェックによる○×自動判定を行い、正常作動性が確認できたものをリユース品として取り扱っているようである。リユースチェックを使用している事業者が手掛けるリユース品に具体性能や品質基準はなく、あくまで再利用できるかどうかのみ判定されている状態だが、詳細に診断されたリユース品と比べて価格が抑えられるため、需要は大きいようである。なお運用実績の閾値と同様に実施している診断項目・検査内容もリユース事業者の戦略によって様々であり、購入者側のニーズに沿って診断項目を追加するサービスを提供しているリユース事業者もいれば、必須診断項目と独自基準を設けることで、製品保証を付けたリユース品を販売している事業者も存在している。

例えば、リユース・リサイクル事業を手掛ける浜田と大手商社の丸紅が2023年に設立したリクシアは、リユース品に3年間の瑕疵保証を付けて販売している。保険会社と提携することで実現した瑕疵保証はもちろん、リユース品の品質基準も独自に定められているものであり、それらがリクシアの事業戦略である。ネクストエナジー・アンド・リソースは、独自の太陽電池モジュール検査基準「REBORN®」を構築してA～Cランクの性能評価を行い、Aランクのリユース品には出力保証を付けて販売している。この検査基準には、ネクストエナジー・アンド・リソースが手掛けた14万枚を超える太陽電池モジュール検査データが活かされており、こちらも独自の戦略となっている。

3.2. リユース品流通の促進に関する課題整理

3.2.1. リユース品の販売・流通経路

今年度調査で確認できた、国内リユースの販売・流通経路パターンを以下に示す。3.1.2.で記載した通り、リユース可否判断に資する検査内容や診断項目は様々だが、いずれもリユース事業者が実施している。一方でリユース品販売では幾つかの商流が存在しており、リユース事業者が自ら購入者（発電事業者）に直売するパターンや、リユース事業者が商社等に一次販売するパターン（発電事業者への二次販売は商社が手掛けるパターン）、更にはリユース可否判断のみを手掛け販売等は商社や販売代理店等に一任しているパターンがあった。なお輸送はケースバイケースであり、売買契約等に応じて手掛ける主体が変わる。



図 20 国内リユースのサービスフロー別ステークホルダー

出所) NRI 作成

図 20 では輸送されるリユース品の搬出元（輸送地点）は表現していないが、その理由は、リユース事業者の事業方針に応じて「モノ」の流れ（どこからどこへ輸送されるか）が異なるためである。現地検査のみでリユース可否判断する場合は、使用済太陽電池モジュールの排出場所（発電所、倉庫、等）から購入者が指定する納品先へ直送される一方で、製品保証や独自の品質基準等の付加価値を付けたリユース品を販売する事業者は、一度自社の検査施設や倉庫に搬入して詳細検査や診断を実施している。後者は検査コストに加えて、二段階の

輸送コストが発生するためリユース品価格が高くなるが、検査等によって品質や性能が高いことが確認できたリユース品のみを販売する戦略等のもとで、各社各様にリユース事業が行われている。

海外リユースの場合は、更にステークホルダーが増え、その販売・流通経路パターンはより複雑化する。海外リユースも手掛ける事業者にヒアリングしたところ、リユース品を実際に使用する発電事業者の手元に届くまでに、複数の商社等を経由するケースが多いことが分かった。不適正リユースを防止する観点から、一次販売先である商社が保有する売却ルート・チャネルは確認して取引を行う等、流通経路を捕捉しているリユース事業者は多い。しかしながら、二次販売先がどこにリユース品を売却しているのか、また発電事業者が利用開始するまでに何社の商社等を経由しているかすべてを捕捉することは困難を極める。海外に渡ったリユース品の販売方法として、オンライン販売のほか、オークション形式で販売される場合もあると話す国内リユース事業者もいた。なお海外リユースにおいては、輸出前ならびに輸出段階においてリユース品がどのように取り扱われているか、申請されているか実態把握する必要がある。複数のリユース事業者から不適正輸出に対する懸念の声があがっている中、特定有害廃棄物等の輸出入等の規制に関する法律(平成4年法律第108号)の取組強化で防止できるのかを確認・検証する必要があるだろう。

3.2.2. リユース促進に向けた課題

リユース事業者に対してアンケート調査及びヒアリングを実施した結果、リユース促進に向けた課題が指摘された。

表13 リユース促進に向けた課題

市場・商流の未確立 (国内流通の少なさ)	<ul style="list-style-type: none">太陽電池モジュールリユースは、事業者による個別の取組となっており、リユース市場や商流が確立されていないように感じる。リユース品として、その多くが海外輸出されているように感じている。使用済太陽電池モジュールを大量に買い取って、輸出しているような事業者はアンケート調査に回答しないため、実態把握することも難しいだろう。
リユース品利用 インセンティブの不足	<ul style="list-style-type: none">リユース品を利用することによるインセンティブ設計がない。またリユース品で発電した電力に対するインセンティブ設計もない。
価格優位性の低下	<ul style="list-style-type: none">新品モジュールの価格が下がり続けている中、リユース品の価格優位性が小さくなっている。最近では、在庫保管や輸送に要するコストが上昇したことで、以前と比べてリユース品価格を上げざるを得なくなり、更に価格優位性が低下している。

製品保証のなさ、 メーカー保証失効懸念	<ul style="list-style-type: none"> 日本では、価格が高くても保証が付いている新品モジュールが選択される傾向にあるため、リユース品が選ばれない。一方で、保証を付けるためには詳細な検査が必要になるため、リユース品の価格優位性が損なわれる。 発電所等でリユース品が混在する場合、既存設置モジュールのメーカー保証が打ち切られる懸念から、リユース品を選択しない事業者もいる。
検査項目や評価基準 の未整備	<ul style="list-style-type: none"> リユース品に関する評価基準が定められていないため、詳細な検査・診断価値が低い。市場拡大に向けては、評価基準の確立が必要ではないか。

出所) NRI 作成

3.3. 不適正リユース防止に向けた方策の検討

3.3.1. 正常作動性を証明する診断項目・評価基準の整備、条件化

不適正リユースとは、再利用できない使用済太陽電池モジュールがリユース品として流通することである。リユース促進及び市場活性化を見据えると、再利用できること、つまり正常作動性を証明できる「必要最低限の診断項目・評価基準」を整備し、リユース品販売における条件とすることが不適正リユース防止に向けた1つの方法であると考えられる。診断項目・評価基準の整備は、国内リユースはもちろん、不適正な海外リユースを防止する観点でも重要である。

リユース事業者にヒアリングを行ったところ、複数の事業者から、海外に輸出されるリユース品の中に再利用できない太陽電池モジュールが含まれかねない可能性を問題視しているとの声があがった。海外ユーザーの多くは、使用歴やロット数(枚数)等の情報から購入判断を行っており、安価に仕入れるために性能検査を求める傾向にある。顧客側の要望ではあるが、簡易検査すら行われていない場合、リユース品として取り扱われた使用済太陽電池モジュールは再利用できない可能性がある。こうした廃棄物に相当するモジュールの海外輸出はバーゼル条約に抵触しかねないことから、必要最低限のリユース診断項目・評価基準を整備することは望ましい。

診断項目・評価基準を整備する際のポイントは、正常作動性を証明する必要最低限の項目に絞ること、また簡易検査できることだろう。新品モジュールの価格も下がっている中、無暗に診断項目や基準を設けてしまうと、リユース品の価格優位性が損なわれかねない。あくまで必要最低限の診断項目または方法のみを整備し、性能検査や品質基準等の要否はリユース事業者の競争領域とすることが、最も適当であると考える。

同じ適格性をもって診断する方法として、正常作動性を判定するツールの活用等が考えられる。既に多くのリユース事業者で採用されているツールは、「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」に沿った5つの測定項目(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)を瞬時に測定し、リユース可否が○×で自動判定されるものである。ハンディタイプで持ち運び可能であり、太陽電池モジュー

ルの設置場所や保管場所で簡易検査できることから、検査施設等への輸送費も抑制することができる。リユース事業者によって実施している検査や設けている基準は様々だが、施設へ運び込んで専用設備で行われる検査項目は、リユース促進ガイドラインで示される項目を満たしているケースがほとんどである。そのため、正常作動性に資する診断をリユース品販売にあたっての条件にすることは、現行事業者のリユース事業を阻害するものではないと推察される。

なお上述の通り、性能検査や品質基準すべてを画一的に整備することは避けて、リユース事業者がそれぞれ要否を判断するといった整理が適当であると考える。顧客ニーズに沿って検査項目を都度決めている事業者が存在するように、検査項目が増えれば、それだけの検査コストがリユース品価格に転嫁される。不適正リユース防止の観点から正常作動性の証明を条件化することは重要だが、リユース品の性能や品質等まで訴求するか、また製品保証を付けるかどうかは、リユース事業者の競争領域に位置づくものだろう。

第4章. 太陽電池モジュールの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国内リサイクルの普及促進に関する調査・検討を行うため、デスクトップ調査や処理実態調査(中間処理業者向けアンケート調査)に加えて、太陽電池モジュールの中間処理・リサイクルを手掛ける事業者(31社)へのヒアリングを実施した。

4.1. 太陽電池モジュール処理技術の整理

4.1.1. 高度リサイクルの定義

使用済太陽電池モジュールの中間処理は、アルミフレームが付いたままの状態、もしくはアルミフレームのみを取り外した状態で破碎処理を行う単純破碎と、太陽電池モジュールに特化した処理技術のいずれかによって行われる。

太陽電池モジュールに特化した処理技術の多くは、物理的処理等によってアルミフレームとカバーガラス、そして太陽電池セルを含むバックシートに分離するものである。

シリコン系太陽電池モジュールの重量比で全体の15.7%を占めるアルミフレームは、アルミのリサイクルスキーにおいて取引され、再資源化される。

重量比で全体の62.5%を占めるガラスは、分離したガラスの状態や大きさ、EVA樹脂等の含有の有無に応じて、路盤材や発泡ガラス等の用途で再資源化される。

重量比で全体の21.9%を占めるバックシートは、金属やプラスチックが含まれているため、精錬業者によって銀や銅を抽出され、プラスチックやシリコンは熱回収される。

単純破碎による処理では、アルミ以外のガラスやその他の素材は分離回収されないことが一般的であるため、実用化されている太陽電池モジュールに特化した処理技術の特徴をふまえ、ここでは太陽電池モジュールの高度リサイクルを、「アルミ・ガラス・その他に選別する方法」として定義する。なお、太陽電池モジュールに特化していない破碎処理においても、ガラスを分離回収している場合があり、こうしたケースも同様に、高度リサイクルに分類する。

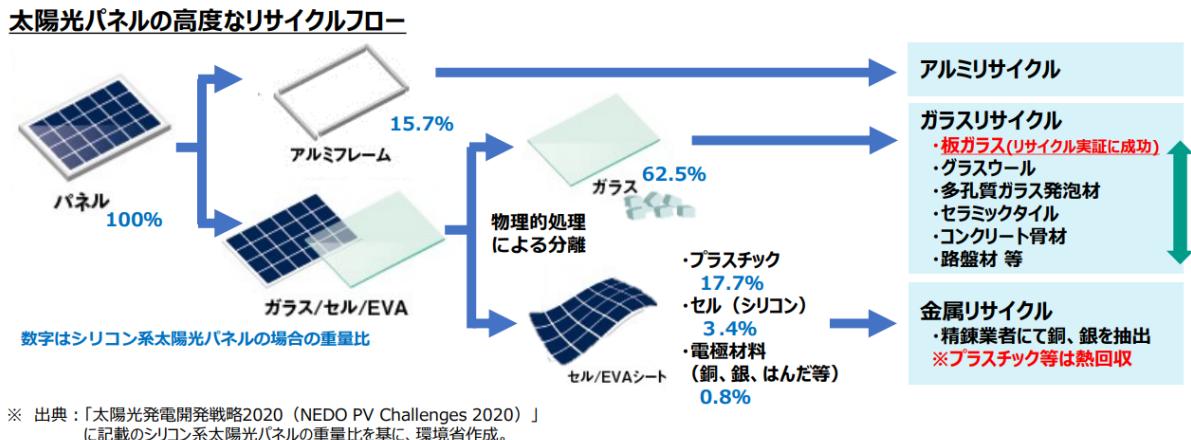


図 21 太陽電池モジュールの高度なリサイクルフロー

出所) 中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・
産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備
リサイクルワーキンググループ 合同会議(第8回)

4.1.2. 高度リサイクルが可能な技術、処理設備

太陽電池モジュールをアルミ・ガラス・その他に選別する高度リサイクルが可能な処理技術としては、カバーガラスをバックシートから分離する際の方法に基づき①切断・②熱処理・③ガラス破碎の3つに大別される。

3種類の高度リサイクルは、それぞれ主要な処理設備が存在しており、①切断と②熱処理においては板状でカバーガラスを回収することができる。③ガラス破碎は、ガラスを破碎する方法によってさらに細分化され、いずれも粒状でガラスを回収することができる。

表14 太陽電池モジュール処理技術の分類*

処理方法 区分	処理設備/処理技術	メーカー・開発	処理技術の特徴
①切断	ホットナイフ処理	株式会社 エヌ・ピー・シー	<ul style="list-style-type: none"> 約 300°Cに加熱したナイフで EVA を溶融し、ガラスを割らずに、その他の部材と分離する。
②熱処理	熱分解処理方式	株式会社新菱	<ul style="list-style-type: none"> 窒素雰囲気の分解炉で EVA を熱分解し、発生したEVA 分解ガスを、大気雰囲気の燃焼炉で LPG バーナーによって焼却する、2段階処理を行う。
③ガラス破碎	プラスト工法	未来創造 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 粒状の投射材料を圧縮エアー、またはモーター駆動によってカバーガラス表面に噴きつけ、カバーガラスを剥離する。
	ガラスわけーるIII型	廃ガラスリサイクル事業協同組合	<ul style="list-style-type: none"> ローラーで大きなガラス片を剥離して、プラスで、細かいガラスや導線、太陽電池セル等をそぎ落とす。 剥がしたガラス等は、ベルトコンベヤーで運び、ホッパーで一時的に保管する。
	ReSola	近畿工業 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ロール型圧縮破碎に数回通して、ガラスを除去する。
	PV リサイクルハンマー	株式会社 チヨダマシナリ一	<ul style="list-style-type: none"> 回転リサイクルハンマー打撃工法により、加熱したパネルをハンマーで打撃することでガラスを破碎する。

* 処理技術は審議会資料において整理された一例である。

出所) 中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・
産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備
リサイクルワーキンググループ 合同会議(第1回)

4.1.3. 高度リサイクルが可能な太陽電池モジュールの条件

太陽電池モジュールを高度リサイクルするにあたり、①切断・②熱処理・③ガラス破碎の処理方法においては、それぞれ処理することができる太陽電池モジュールの条件が定められている。

処理可能かどうかが分かれるものとして、災害等によってガラス面が破損または変形している太陽電池モジュール、最大長2m 以上の大型太陽電池モジュール、住宅用等の屋根で使用される建材一体型太陽電池モジュール、両面ガラス太陽電池モジュールがあげられる。これらの処理可否について、処理設備/処理技術ごとに整理した。

なお、いずれもシリコン系太陽電池モジュールについての処理可否であり、実際に導入している中間処理業者へのヒアリングをもとに判断しているため、各設備のメーカー・開発者が推奨するものとは異なる可能性がある点に留意が必要である。

表15 処理方法別の処理条件と処理能力

処理方法 区分	処理設備/処理技術	処理可否				日当たり 処理能力
		破損	大型	屋根一体型	両面	
①切断	ホットナイフ処理	×	×	—	×	約 10.8t/日
②熱処理	熱分解処理方式	×	×	—	×	約 16.2t/日
③ガラス破碎	プラスト工法	○	○	○	○	約 2.4t/日
	ガラスわけ一るIII型	○	×	○	×	約 9.6t/日
	ReSola	○	○	○	—	約 4.8t/日
	PVリサイクルハンマー	○	×	○	×	約 4.8t/日

※ 処理可否は、「○：処理可能、×：処理不可、—：不明」のいずれかで判定する。

出所) NRI 作成

ホットナイフ処理や熱分解処理方式は、高い処理能力を誇り、板状でガラスを回収することができる特に高度な処理技術である一方で、処理可能なカバーガラスの状態やサイズにやや厳しい条件がある。

ガラス破碎によりガラスを回収する4つの処理設備/処理技術においては、カバーガラスの状態やサイズに関してより柔軟に対応することができる点が特徴的である。一方で、一部手動の作業やガラス破碎後の選別・回収が必要であることから処理能力としてはホットナイフ処理や熱分解処理方式に比べて低くなっている。

新品で販売されている太陽電池モジュールの大型化、両面ガラス太陽電池モジュールが台頭する中で、中間処理業者としては複数の処理方式を組み合わせる等、より幅広い太陽電池モジュールを受け入れて処理することができる体制の構築が必要になると思われる。

4.2. ガラスリサイクルの実態、及び課題

太陽電池モジュールの国内リサイクルを普及・促進していくためには、4.1.1.で述べた通り、重量比で全体の62.5%を占めるガラスについて、なるべくコストをかけず高品位な状態で回収し、付加価値が高いガラス製品へと再資源化することが重要である。

4.2.1. 太陽電池モジュール由来ガラスの取引実態

処理実態調査の中で、分離された太陽電池モジュール由来のガラスについて、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約 60%となつた。令和5年度調査においては令和4年度の実績が約 62%であったため、おおよそ取引の傾向に変化はない。

ガラス搬出の有償/逆有償取引の実態

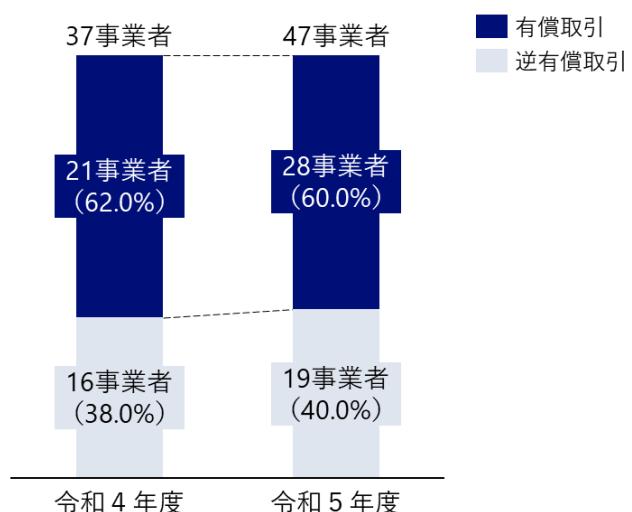


図 22 太陽電池モジュールのガラスに係る有償/逆有償取引の実態

出所) NRI 作成

また、ガラスが逆有償となっている要因について調査を実施すると、以下のような回答が得られた。有償取引を増加させるためには、搬出先となるガラスメーカーとの距離が重要であると示唆された。

表16 ガラスが逆有償取引となる要因

回答内容	<ul style="list-style-type: none">搬出先までの運搬費用を自社で負担する場合は、逆有償となる。有償取引ではあるが、自社で負担した運搬費用がガラスの販売価格を上回ることがある。ガラスの粒径に応じて、逆有償取引になるケースがある。CIS 系太陽電池モジュール由来のガラスは、逆有償取引になっている。
------	--

出所) NRI 作成

4.2.2. 太陽電池モジュール由来ガラスのリサイクル課題

太陽電池モジュール由来のガラスは、処理方法によって板状、粒状のいずれかの状態で回収される。①切断と②熱処理によって板状で回収されたガラスは高品位であり、③ガラス破碎によって粒状で回収されたガラスは選別工程によって粒度が一定程度揃っている状態で搬出先を出し分けることができる。

表17 太陽電池モジュール処理技術ごとの処理後ガラスの状態と特徴

処理方法 区分	処理設備/処理技術	処理後のガラス	
		状態	特徴
①切断	ホットナイフ処理	板状	<ul style="list-style-type: none"> ガラス側のEVA残膜厚は0.1mm以下
②熱処理	熱分解処理方式		<ul style="list-style-type: none"> ガラス品位99.999%
③ガラス破碎	ブラスト工法	粒状	<ul style="list-style-type: none"> 剥離したカバーガラスとブラスト材は、ふるい装置で分別され回収
	ガラスわけ一るIII型		<ul style="list-style-type: none"> 一体化した分別工程で、風力選別、色選別、金属検知器を経て、各種素材に分別し、ガラス剥離システムにより異物を除去
	ReSola		<ul style="list-style-type: none"> ガラスの85%～90%を回収
	PVリサイクルハンマ		<ul style="list-style-type: none"> 1回の処理でほぼ完全にガラスを分離可能

出所) 中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・

産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備
リサイクルワーキンググループ 合同会議(第1回)

板状で回収したガラスについては、粒状のものと同様に発泡剤やグラスウール向けに再資源化することも可能だが、高品位であることから一部ではフロート板ガラスや原料カレットへのリサイクルに関する実証試験に成功しており、製品として出荷できていることが確認されている。

表18 太陽電池モジュール由来ガラスにおける二次リサイクル、再製品化に関する動向

実証試験	試験の概要
フロート板ガラスへのリサイクル	<ul style="list-style-type: none"> 株式会社トクヤマの低温熱分解技術を用いて精製・供給された約5tの太陽電池モジュール由来ガラスを原料として、フロート板ガラスへのリサイクルに成功している。 太陽電池モジュールのカバーガラスには透過率を高める成分が含まれることから、フロート板ガラスへのリサイクルは困難とされてきたが、本試験の成功を受けて生産量の多いフロート板ガラスが、モジュール由来ガラスの受け皿になることが期待される。
原料カレット(ガラス端材)へのリサイクル	<ul style="list-style-type: none"> 株式会社新菱の太陽光パネルリサイクル商業生産ラインの加熱処理技術によって回収された約 24tのモジュール由来ガラスを原料として、原料カレットへのリサイクルに成功した。 本試験を通じて、太陽電池モジュールのカバーガラスが、特殊な加熱処理によって板ガラスに再利用可能な原料カレットとなることが確認できている。

出所) 中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・
産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備
リサイクルワーキンググループ 合同会議(第1回)

なお、フロート板ガラスへのリサイクルを研究開発している AGC 株式会社は、溶融した原料を板状に成形するロールアウト方式による板ガラスへのリサイクル実証試験に成功しており、製品として出荷できることが確認されている。この取組により、将来的に太陽電池モジュール由来のガラスにおける再資源化価値を大いに向上させる可能性がある。

現状太陽電池モジュール由来のガラスにおける主な再資源化用途となっている路盤材やグラスウールについて、中間処理業者へのヒアリングにおいて課題を調査した。調査した課題について需要、品質基準、有価性の観点から整理する。

表19 太陽電池モジュール由来ガラスのリサイクルにおける課題・見通し

項目	課題・見通し
需要	<ul style="list-style-type: none"> ガラス瓶の消費量が減少している等、ガラス原料全体が減少しているため、太陽電池モジュール由来のガラスも積極的に受入が進んでいる。 路盤材は広く土木工事に使用することができるため、その原料となるガラスの需要も多い。 土木や建設工事で使用する砂の供給量が不足しており、代替品としてガラス砂が注目されている。太陽電池モジュール由来ガラスもガラス砂として活用することができるため、将来的に需要が拡大していく可能性はある。
品質基準	<ul style="list-style-type: none"> 路盤材やグラスウールメーカーの視点からすると、受け入れているガラス原料全体に占める太陽電池モジュール由来ガラスの割合はごくわずかであるため、含有物質の基準はあまり厳しくない。一方で、太陽電池モジュール由来ガラスの割合が増加した場合には、これまで同様の基準で受け入れてもらえるとは限らない。 ヒ素やアンチモンの含有量について細かく確認している路盤材やグラスウールメーカーもいるため、分離回収したガラスに対して検査を実施してから搬出する必要がある。
有価性	<ul style="list-style-type: none"> 有償取引の場合でも、取引価格は数円/kg程度であり、有価性は低い。 地域によっては、ガラス関連の企業が存在せず遠方までガラスを運搬する必要がある。この場合は受け取るガラスの販売価格よりも支払う運搬費用が上回ることで結果的に逆有償取引になってしまう可能性がある。

出所) NRI 作成

ガラスの有価性は、太陽電池モジュール由来の再生資源の有価性に直結する。一方で、現状の技術では、より価値の高い板ガラスへリサイクルすることが難しいため、ガラスの有価性を高めることができず、太陽電池モジュール全体のリサイクルの経済性を制限している実態が明らかとなった。

こうした課題をふまえ、太陽電池モジュール由来ガラスのリサイクルを促進するためには、積極的に需要を創出し、品質基準を統一したうえで、再資源化拠点を整備し高付加価値なリサイクル方法を実現することが求められる。

表20 太陽電池モジュール由来ガラスのリサイクル促進に向けた対応策

項目	対応策
需要	<ul style="list-style-type: none"> 公共工事における積極的な使用の奨励、学校や公共施設における防犯用ガラス敷材の活用等によって太陽電池モジュール由来ガラスの需要を創出する。 大量排出期においても太陽電池モジュール由来ガラスを大量に受け入れることができる拠点を整備する。
品質基準	<ul style="list-style-type: none"> 太陽電池モジュール由来ガラスを再資源化する際の品質基準を全国で一律に定める。 太陽電池モジュール由来ガラスを分離回収した際には、含有物質試験の実施を義務付ける。
有価性	<ul style="list-style-type: none"> 地域ごとに太陽電池モジュール由来ガラスの回収・再資源化拠点を整備し、運搬費用を平準化することで有償取引を促す。 フロート板ガラス、原料カレット等に代表される、高付加価値のリサイクル方法に関する研究・開発、及び実用化を支援する。

出所) NRI 作成

4.3. シリコンリサイクルの実態、及び課題

4.3.1. シリコンリサイクルの技術開発動向

太陽電池モジュールに含まれる有価金属のうち、最も価値が高い資源は銀である。現在、使用済太陽電池モジュールの中間処理を手掛ける事業者は、銀が含有されるバックシート・太陽電池セルを精錬業者に売却しており、銀精錬が行われている。しかしながら、太陽電池モジュールの銀含有量は著しく減少していることが分かつており、IRENA「End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels」で報告されているほか、令和5年度調査では中間処理業者から「古い型式の太陽電池モジュールでは 10,000 ppm を超える銀が得られたが、直近 10 年以内に製造されたモジュールから得られる銀は約 3,000 ppm まで減っている。」との意見もあった。将来的に排出される太陽電池モジュールから回収できる銀が更に減少することが予想される中、太陽電池セルに使用されているシリコンのリサイクルに注目が集まっている。

モジュールからシリコンを抽出する技術自体は確立されており、NEDO による「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」において、その分解処理ならびに高純度化に関する研究開発が進められていた。しかしながら、現在、使用済太陽電池モジュール由来のシリコンリサイクルを手掛ける事業者は存在しない。その理由は大きく 2つであり、1つ目はシリコンリサイクルに要するコストが非常に高いため事業として成立しない点、2つ目は現在排出されているモジュールは銀含有量がまだ多いため、シリコン抽出より銀精錬が優先される点である。

その一方、海外では一部事業者においてシリコンリサイクルが事業化されている。フランスのスタートアップである ROSI 社は、2023 年9月から太陽電池モジュール由来シリコンを素材として販売している。同社は、シリコンインゴッド切断くずのリサイクル処理プロセス、またトリクロロシラン調製用シリコン顆粒の製造方法に関する特許を取得しており、熱分解や機械的選別、また塩化水素処理等による化学分解を経て、高純度のシリコン抽出を可能にしている。なお ROSI 社はフランスで構築されている使用済太陽電池モジュールのリサイクルスキームにおける再資源化業者である。つまり高度リサイクルされた太陽電池セルシートが ROSI 社に安定供給される仕組みが成り立っており、それが事業成立している大きな要因の1つであると推察される。太陽電池モジュールのリサイクルビジネスの推進・拡大に向けて、伊藤忠商事が ROSI 社と資本業務提携契約を締結しているほか、AGC の欧州子会社である AGC Glass Europe も ROSI 社と戦略的パートナーシップ契約を締結している。

ドイツでは事業化にこそ至っていないが、シリコンリサイクルの技術開発が進められている。ドイツで太陽電池モジュールのガラスリサイクル(熱処理によるガラス再資源化)を手掛けている Reiling 社と Fraunhofer 研究所は、2022 年2月に、使用済太陽電池モジュール由来シリコンをリサイクルして PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) 型の太陽電池セル(変換効率 19.7%)を作製したと発表した。Reiling 社によるシリコンリサイクルは、IEA PVPS が 2024 年3月に公表した「Status of PV Module Take-Back and Recycling in Germany 2024」でも触れられているが、その技術成熟度はまだ低いと評価されており、現在の技術ではシリコン等の有価物すべてを経済的にリサイクルできないと報告されている。

4.3.2. 太陽電池モジュール由来シリコンの性質等

太陽電池モジュールに使用されるシリコンはソーラーグレードシリコン(Solar-grade silicon; SOG-Si)と呼ばれ、その純度は6N(99.9999%)以上である。一方で、DX・デジタル化の潮流で、その需要が拡大する半導体等に使用されるシリコン(Semiconductor-grade silicon; SEG-Si)の純度は、11N(99.99999999%)以上であり、素材として求められるスペックは異なっている(表 21)。要求純度が低い SOG-Si は、SEG-Gi と比べて低コストで製造することが可能であり、それが太陽光発電設備の普及にもたらした効果は大きい。また製造時におけるエネルギー消費量が抑えられ、環境負荷が小さいことも SOG-Si の特徴である。

表21 各種グレードのシリコンスペック

	ソーラーグレード(SOG-Si)	半導体グレード(SEG-Gi)
純度	> 99.9999% (6N)	> 99.99999999% (11N)
B	< 0.5ppma (p型)、 < 0.001ppma (n型)	< 0.00002ppma
P、As	< 0.05ppma (p型)、 0.0001ppma (n型)	As : < 0.00001ppma、 P : < 0.00001ppma
Fe、Al、Ti、等	< 0.1ppma	Fe : < 0.00001ppma、 Al : < 0.00001ppma Ti : < 0.0005ppma
C	10ppma	< 0.2ppma
O	20ppma	< 0.1ppma

※ ppma ; parts per million atomic(原子数での百万分率)、

ppmw ; parts per million weight(重量での百万分率)

出所) 産業技術総合研究所 HP より NRI 作成

シリコンの主原料は、鉱山から採取できる珪石や珪砂である。珪石等を電気炉で融解・還元することで、純度90%台の金属シリコン(metal-grade Si; mg-Si)が製造される。太陽電池モジュールに使用される SOG-Si を製造する方法は多様であり、mg-Si から直接製造する冶金法やガス化させた後に析出させるシーメンス法、化学的手法と位置付けられる流動床法・チューブ炉法・亜鉛還元法等が存在する(図 23)。更に高純度が要求される SEG-Si はシーメンス法の後、フローティングゾーン法等のゾーンメルティングやチョクラルスキー法等の単結晶成長法による析出工程を経て、単結晶シリコンインゴットとして製造される。

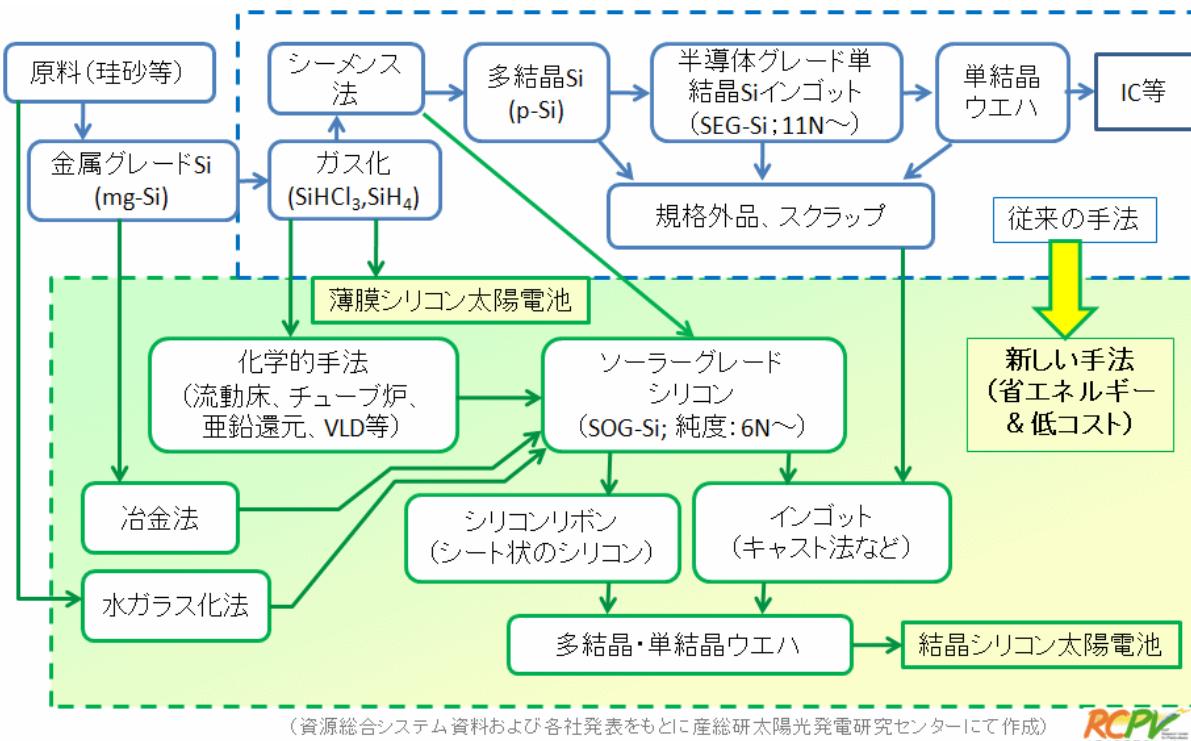


図 23 シリコンの製造工程

出所) 産業技術総合研究所 HP

4.3.3. 再生資源としての活用可能性、及びリサイクル課題

半導体を中心にシリコン需要が高まる中、太陽電池モジュール由来シリコンに資源価値はあると考えられるが、その再資源化・利活用は容易ではない。現在の技術ではシリコン抽出に要するコストが高く経済合理性が成り立たないこと、またリサイクル対象となる太陽電池セルの供給見通しが読めないことが課題として考えられる。シリコンリサイクルの技術開発を進めることに加えて、使用済太陽電池モジュールから高度リサイクルされた太陽電池セルが、再資源化業者に供給されるスキームが求められるだろう。

そうした中、半導体用の多結晶シリコン等で世界トップクラスのシェアを誇るトクヤマは、太陽電池モジュールの分離・マテリアルリサイクル技術開発を進めている。NEDO 共同研究事業として、2020 年から低温熱分解リサイクル技術の開発に取り組み、使用済太陽電池モジュールからガラス・太陽電池セル・リボンを分離することに成功している。2024 年 12 月 27 日に実施された「2024 年度 NEDO 再生可能エネルギー部成果報告会」によると、熱分解後の太陽電池セル(シリコン)のマテリアルリサイクル実証も進めているようであり、日本初となる太陽電池モジュール由来シリコンリサイクルの事業化が期待される。

4.4. プラスチックリサイクルの実態、及び課題

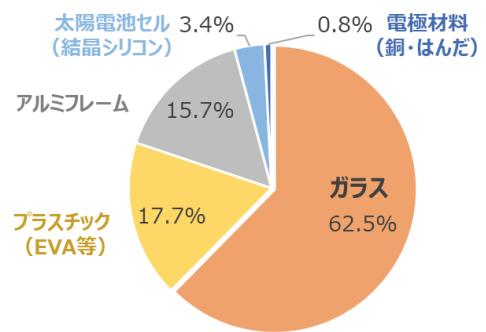
4.4.1. 太陽電池モジュール由来プラスチックのリサイクル実態

太陽電池モジュールは、ガラス・太陽電池セル・バックシートを封止材(EVA)で接合する複層構造となっている。そのうち、主にプラスチックが使用されているのはEVA樹脂およびバックシートであり、重量比で太陽電池モジュール全体の17.7%を占める等、素材構成比としてはガラスに次いで2番目に大きい。

太陽電池モジュールの構造（有害・資源性物質）



シリコン系太陽電池モジュールの重量構成



※ 上記の重量構成には、ジャンクションボックスを含まない点に留意が必要。

※EVAとは、EVA樹脂（エチレン酢酸ビニル樹脂）の略

図24 太陽電池モジュールの構造と重量構成

出所) 中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・
産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備
リサイクルワーキンググループ 合同会議(第1回)

一方で、現状、太陽電池モジュールのプラスチックはリサイクルされずに除去・排出されることが多い。EVA樹脂を含むバックシートは中間処理によってアルミフレーム、ガラスと分離・回収され、精錬業者に引き渡されることが一般的である。

バックシートは、金属やプラスチックが含まれているため、精錬業者によって銀や銅を抽出され、プラスチックやシリコンは熱回収されることになるため、プラスチック単体で分離・回収するというリサイクルは実施されていない。

4.4.2. 再生資源としての活用可能性、及びリサイクル課題

太陽電池モジュール由来プラスチックを単体で分離・回収するリサイクルが実施されていないのは、有価性の低さが原因だと考えられる。

太陽電池セルとバックシート、太陽電池セルとガラスを強固に接着する目的で使用されるプラスチック(EVA)は、分離することが難しくコストも高い。プラスチックの有価性が低い以上、追加コストを要してプラスチック単体を分離・回収するメリットがないため、これまでモジュール由来プラスチックが再資源化された事例はないと推察される。

4.5. 大量排出期を見据えた中間処理業者の事業計画

4.5.1. 大量排出期を見据えた中間処理業者の事業計画

中間処理業者が大量排出期をどのように捉え、どのような事業計画を描いているのか、ヒアリングで調査した。調査結果を受入・処理能力の拡大と、受入・処理量の増加の観点から整理する。

表22 大量排出期を見据えた中間処理業者の事業計画

項目	詳細
受入・処理能力の拡大	<ul style="list-style-type: none">大量排出期においては、現状の建屋では保管場所に限界があるため、施設そのものの拡充を検討している。現状の処理能力では大量排出期に対応することはできない。実際に受入量の増加が確認できた場合には、導入済の処理設備に加えて他の機器を新たに導入しようと考えている。新たに処理設備を導入する場合は、導入済みの機器と同じ方式がよいと考えている。処理に関するノウハウも蓄積されており、効率的に処理能力を拡大することができるからである。新たに処理設備の導入を検討しているが、具体的にどの設備を導入するかは、設備メーカーによる最新設備の開発動向も注視しながら慎重に判断したい。処理設備の追加導入は必要だが、太陽電池モジュールの中間処理事業はすでに全社の利益を圧迫しており、新たな設備投資ができるような状況ではない。追加的な設備導入については、リサイクル制度で求められる要件が明らかになった段階で判断したい。

受入量の拡大	<ul style="list-style-type: none"> 大量排出期に向けて、すでに都道府県内のメガソーラーを管理している事業者と接触している。 受入量の増加に向けて営業活動を強化していきたいが、誰が営業先として適切なのかわからない。発電事業者、保守・管理業者、解体・撤去業者等、様々な事業者が関与しているため、誰に対して営業をしかけることが効果的なのかが見えづらい。
--------	--

出所) NRI 作成

多くの事業者が大量排出期を事業機会と捉え、処理設備の追加導入等を検討していることが伺える。一方で、実際に設備投資を行うためには、受入量の推移や処理設備の開発動向、リサイクル制度の要件等をふまえた慎重な判断が必要であると考えている事業者が多い。

全国的な処理能力の拡大に向けて、国として早期に方向性を示すことが求められる。

第5章. 太陽光発電設備リサイクル制度小委員会の開催

5.1. 小委員会の設置

太陽光発電設備のリサイクル制度及び使用済太陽光発電設備の再利用の推進のあり方について検討・審議することを目的に、環境省と資源エネルギー庁が共同事務局となり、「中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ 合同会議(以下、「合同会議」という。)」が設置され、令和6年度に9回開催された。

5.2. 小委員会の委員構成

合同会議における委員・オブザーバーは、「太陽光発電設備リサイクル制度小委員会」及び「太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ」それぞれで委嘱された。

5.2.1. 太陽光発電設備リサイクル制度小委員会の委員構成

中央環境審議会循環型社会部会「太陽光発電設備リサイクル制度小委員会」の委員・オブザーバーを、以下に示す(敬称略、委員 五十音順)。

○委員長

高村 ゆかり 東京大学未来ビジョン研究センター 教授

○委員

青木 裕佳子	公益社団法人 日本消費生活アドバイザー・コンサルタント・相談員協会 環境委員会 副委員長
一ノ瀬 大輔	立教大学経済学部 准教授
大塚 直	早稲田大学法学部 教授
酒井 伸一	公益財団法人 京都高度技術研究所 副所長
中川 直美	全国知事会 (山梨県環境・エネルギー部技監)
村上 進亮	東京大学大学院工学系研究科 教授
室石 泰弘	公益社団法人 全国産業資源循環連合会 専務理事
吉田 綾	国立研究開発法人 国立環境研究所 主任研究員

○オブザーバー

一般社団法人 太陽光パネルリユース・リサイクル協会

公益社団法人 全国解体工事業団体連合会

5.2.2. 太陽光発電設備リサイクルワーキンググループの委員構成

産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会「太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ」の委員・オブザーバーを、以下に示す(敬称略、委員 五十音順)。

○座長

大和田 秀二 早稲田大学 名誉教授

○委員

飯田 誠	東京大学先端科学技術研究センター 特任准教授
池田 三知子	一般社団法人 日本経済団体連合会 環境エネルギー本部長
大関 崇	国立研究開発法人産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター太陽光システムチーム 研究チーム長
桑原 聰子	外苑法律事務所パートナー弁護士
神山 智美	富山大学学術研究部社会科学系 教授
所 千晴	早稲田大学理工学院 教授／東京大学大学院工学系研究科 教授
圓尾 雅則	SMBC 日興証券株式会社 マネージング・ディレクター
山本 雅資	神奈川大学経済学部経済学科 教授

○オブザーバー

一般社団法人 再生可能エネルギー長期安定電源推進協会

一般社団法人 太陽光発電協会

送配電網協議会

5.3. 審議経過と審議結果

審議経過は、以下のとおりである。

表23 合同会議における審議経過

回数	開催日時	議題
第1回	令和6年9月13日（金） 15:00～17:00	(1) 太陽光発電設備の廃棄・リサイクルをめぐる状況 及び論点について (2) その他
第2回	令和6年10月1日（火） 17:30～19:30	(1) 太陽光発電設備の廃棄・リサイクル制度の論点について (2) その他
第3回	令和6年10月15日（火） 16:00～18:00	(1) 太陽光発電設備の廃棄・リサイクル制度の論点について (2) その他
第4回	令和6年10月28日（月） 13:00～15:00	(1) 関係者ヒアリング (2) その他
第5回	令和6年10月29日（火） 15:00～17:00	(1) 関係者ヒアリング (2) その他
第6回	令和6年11月21日（木） 16:00～18:00	(1) 太陽光発電設備の廃棄・リサイクル制度の論点について (2) その他
第7回	令和6年12月4日（水） 17:00～19:00	(1) 太陽光発電設備の廃棄・リサイクル制度構築に向けた論点整理 (2) その他
第8回	令和6年12月16日（月） 17:30～19:30	(1) 太陽光発電設備のリサイクル制度のあり方について (2) その他
第9回	令和7年3月21日（金） 15:00～17:00	(1) 太陽光発電設備のリサイクル制度のあり方について (2) その他

また、年末には、合同会議における審議経過を踏まえた「太陽光発電設備のリサイクル制度のあり方について(案)」が整理・公表され、令和6年12月18日（水）から令和7年1月16日（木）の期間でパブリックコメントが実施された。

令和7年3月21日（金）に開催された第9回合同会議において、パブリックコメント等を踏まえた修正について審議が行われ、令和7年3月28日（金）に中央環境審議会会長から環境大臣に「太陽光発電設備のリサイクル制度のあり方について」として意見具申がされた。

第6章. その他使用済再生可能エネルギー発電設備の適正処理・リサイクル等の推進に関する調査

6.1. 風力発電設備

6.1.1. 構成素材ごとのリサイクル実態

令和5年度調査で整理した通り、風力発電設備は80%強が鉄鋼素材から構成されており、次いでポリマー、ガラス・炭素複合材料等となっている。主にナセル・タワーに使用されている鉄鋼素材は資源価値が高いため、解体・撤去された後、有価で売却されてリサイクルされている。その一方で、風車ブレードやナセルカバーに使用されている複合材料のガラス繊維強化プラスチック(以下、「GFRP」という。)や炭素繊維強化プラスチック(以下、「CFRP」という。)はリサイクルが難しく、一部でセメント原燃化されているが、その多くは埋立処分されているのが実態である。

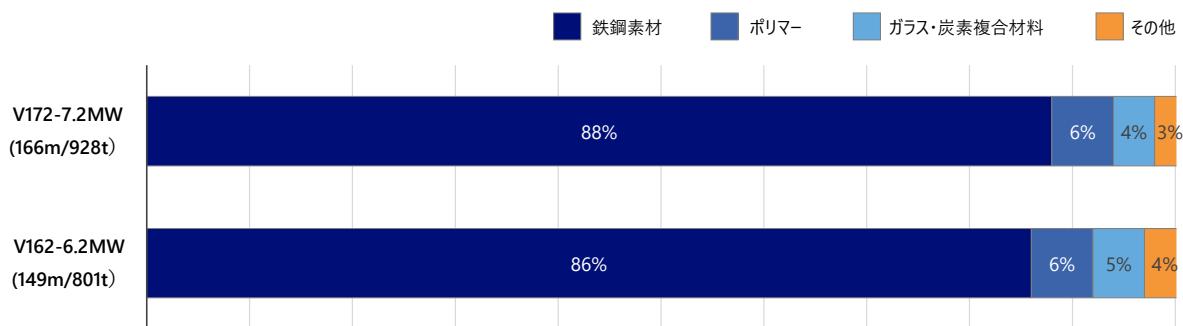


図25 陸上大型風力発電設備の素材構成

出所) VESTAS 社「Material Use in VESTAS Turbines」より NRI 作成

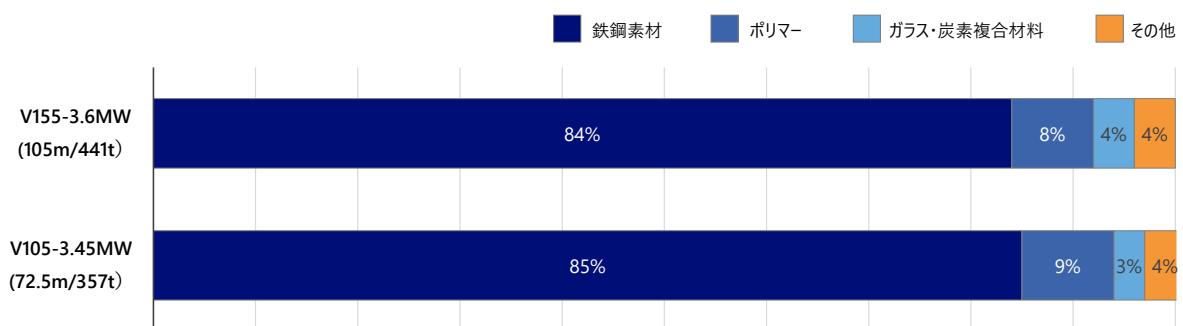


図26 陸上中小型風力発電設備の素材構成

出所) VESTAS 社「Material Use in VESTAS Turbines」より NRI 作成

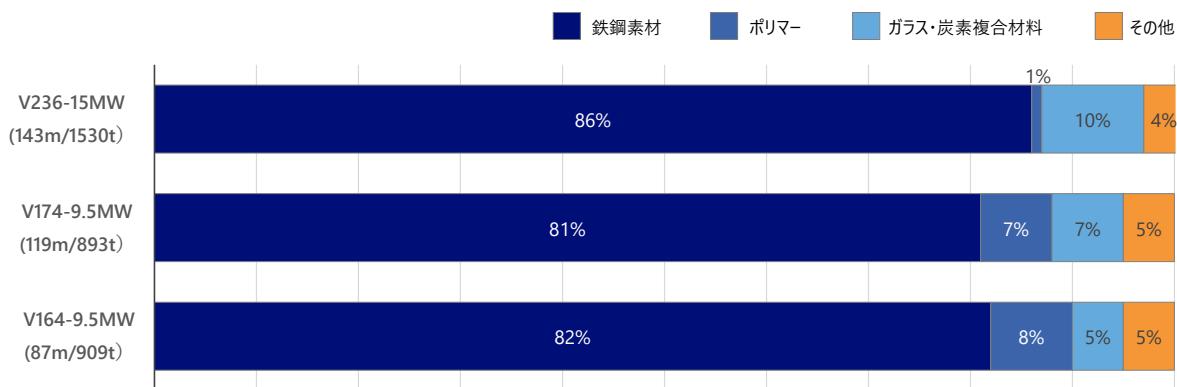


図 27 洋上風力発電設備の素材構成

出所) VESTAS 社「Material Use in VESTAS Turbines」より NRI 作成



図 28 風力発電設備の処理実態

出所) NRI 作成

6.1.2. 繊維強化プラスチックのリサイクル動向

風力発電設備に使用されている構成素材のうち、埋立処分に回ることが多く、最もリサイクルが進んでいない素材が GFRP・CFRP である。その理由は、有機材料である樹脂と無機材料である繊維の完全分離が技術的に難しいこと、また処理コストをかけて分離する樹脂や繊維の資源価値が小さいことにある。

様々な製品で使用されている GFRP は、FRP 船リサイクルを契機としてリサイクルに関する取組が進められてきた。ガラス繊維を分離してマテリアルリサイクルする価値が小さいことから、サーマルリサイクルも検討されたが、焼却炉で融解したガラス繊維が炉内で冷却・固化してしまうと、焼却炉自体の耐久性・寿命を損ねる可能性があるため課題視されていた。そうした背景もあり、現在ではセメント原燃化または埋立処分されることが一般的である。セメント原燃化とはセメントキルンへ FRP を投入する処理方法であり、GFRP 内の樹脂を燃料に、ガラス繊維をセメント原料として使用する方法だ。なお風車ブレード由来 GFRP に関しては、風車ブレードの切断等にも課題も存在する。GFRP は切断すると細かな繊維が飛散し、痒み等の人的被害を起こしかねないため、その切断時には保護具の装着や集塵機能を備えた処理設備の使用が必要となる。

CFRP は GFRP を上回る強度・剛性を持つ素材である。洋上風力発電設備等で使用される 30m 超の大型風車ブレード等で使用されるようになった。そのリサイクルは GFRP 以上に難しく、全世界におけるリサイクル率は約 7% に留まるといった調査もある素材である。炭素繊維が使われていることで強度が高く、焼却処理でも燃え残りが発生して短絡を引き起こし、設備不良に繋がる可能性が指摘されている。早稲田大学による研究でも、CFRP を燃焼炉で処理した際には、すべての施設でスラグ内あるいはダスト内に CFRP 由来の未燃炭素繊維が残留することが確認されており、振動ふるいの詰まりやクリンカの生成等の問題が発生したと報告されていた。その一方で炭素繊維には価値があり、劣化させることなく炭素繊維を回収・再利用するための技術開発は進められている。アルコール類や超臨界流体等の反応媒体を利用した化学的分解によって炭素繊維を回収する実証実験も進められているが、反応媒体や関連機器が高額であること、また組成によっては回収できない CFRP が存在する等の理由から、普及には至っていない。

国内では一部の事業者が風車ブレードのリサイクルに取り組んでいる。2024 年 3 月 13 日には、アチハ株式会社と株式会社イボキンが「国内初 風力発電機ブレードの 100%リサイクルによる環境問題解決の取り組み」とのプレスリリースを出している。その内容は、GFRP 製の風車ブレードを切断した後、まずセメント製造設備で熱源利用(サーマルリサイクル)し、その焼却残渣はセメントクリンカ原料としてマテリアルリサイクルしたというものであった。



図 29 風車ブレード処理

出所) アチハ株式会社 HP

また宏幸株式会社は、2024年8月1日に風車 FRP ブレードリサイクル事業を展開するといったプレスリリースを出している。同社は、環境省の「令和4年度脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」に採択され、「FRP(繊維強化樹脂)を原料とする風車ブレードリサイクル実証事業」に取り組んでいた企業である。実証事業を通じて、世界初の「風車 FRP ブレード高度リサイクル技術」を開発ならびに特許申請し、事業化に踏み切った。

まず風力発電設備の解体・撤去現場において、宏幸株式会社が開発した特殊切断機を取り付けた重機で風車ブレードを切断し、80cm カットの FRP 等をフレコンバッグに詰め込んだ後、リサイクル施設に持ち込む。リサイクル施設では、4段階の破碎装置(粗破碎、細破碎、粉碎、微粉碎)に投入され、風車ブレード由来 FRP 等は数十 μm 単位のパウダー状に粉碎研磨される。その後、配電線由来のポリ塩化ビニル (polyvinyl chloride; PVC) と混練成形して、FRP 合成樹脂建材へと再生品化する技術を宏幸株式会社は開発した。同技術の最大の特徴は、樹脂と繊維を分離せずにリサイクルするところにあり、宏幸株式会社は「ユーティリティ性・低コスト性・再商品化物の代替性能が注目の技術」と紹介している。



図 30 風車 FRP リサイクルプロセス

出所) 宏幸株式会社 HP

風車ブレード由来のFRP 合成樹脂建材である「エコ・マット」は、太陽光発電設備に敷設するマットとして既に1,000枚程度が社会実装済のようである。より厚みを持たせた鋼板敷板代替品も再生品であり、必要な強度や難燃性といった特徴を有しながらも、従来の建設現場で使用される鋼板敷板と比べて重量が8分の1程度である。強度はそのままで軽量化が図られていることから、建設資材輸送コストの低減に寄与することが期待されている。

6.1.3. ネオジム磁石のリサイクル動向

ネオジム磁石は、風力発電設備の基幹部品である発電機に使用されている。発電効率の向上を目的として使用されるようになったネオジム磁石は、風力発電設備の大型化や洋上風力発電の導入が推進される中、今後も重要な部品と位置付けられている。自動車や産業機器等にも使用されており、アメリカ合衆国エネルギー省(United States Department of Energy; DOE)レポートによると、2030年のネオジム磁石の需要量増加見込みは、2020年の2倍以上になると予測されている。

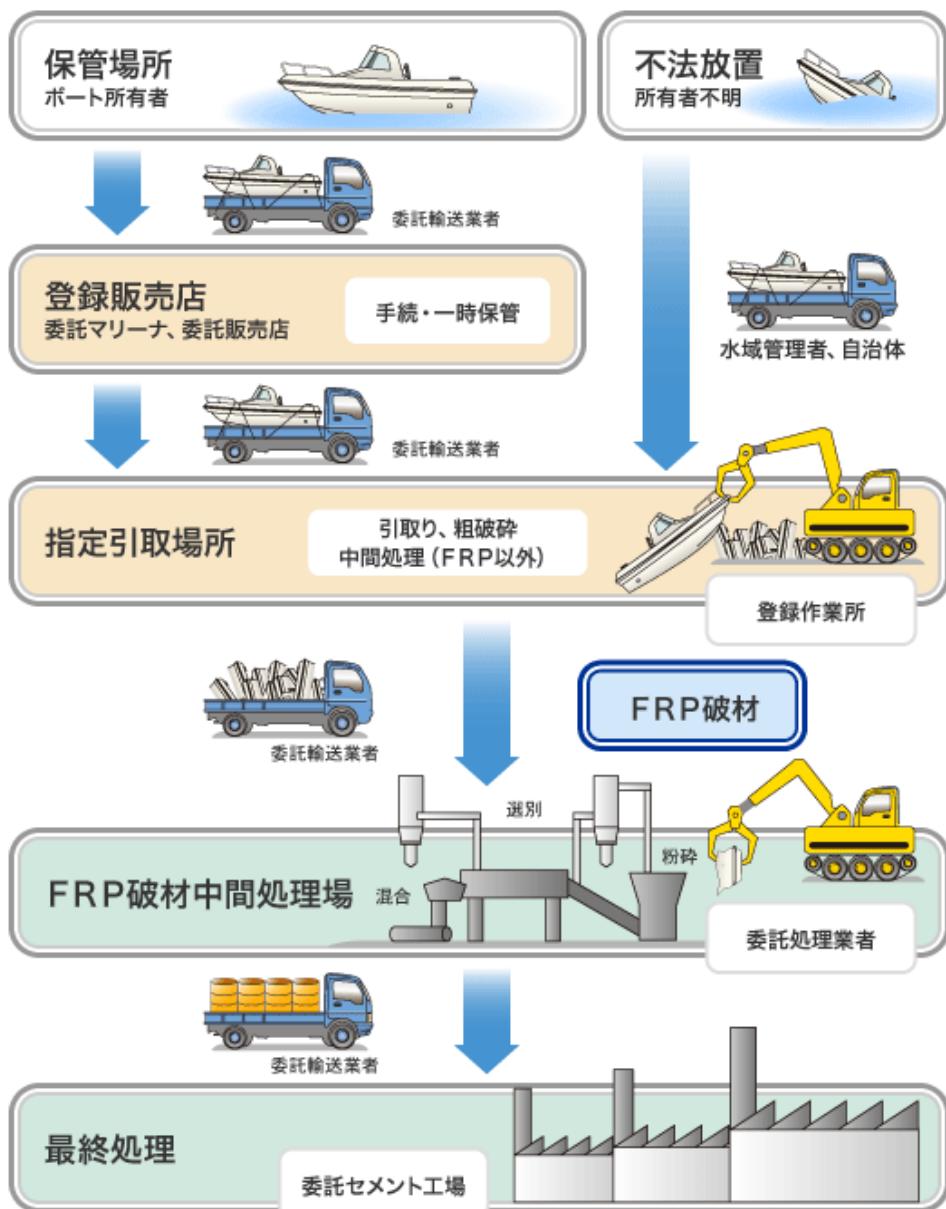
ネオジム磁石のリサイクルに関して、現状、製造工程や加工工程で発生する加工屑・端材等はリサイクルされているが、使用済製品や廃棄物等に使用されているネオジム磁石のリサイクルは進んでいない。その理由として、モーター等からネオジム磁石を回収するコストや、組成が不明瞭な磁石をネオジムやジスプロシウム、テルビウム等の元素別に分離・精製するコストが大きく、現行技術では経済性が成り立たないことが要因としてあげられる。

こうした中、風力発電設備のネオジム磁石リサイクルに関する取組は進められており、2025年3月6日には、アチハ株式会社と株式会社イボキンが「風車解体でレアアース(希土類)を含むネオジム磁石を取り出し、国内100%資源循環」とのプレスリリースを出している。その内容は、風力発電設備からダイレクトドライブ式発電機のネオジム磁石を安全に取り出し、解体現場及びイボキン龍野工場で脱磁処理を行った後、国内の大手非鉄商社を通して国内需要家に再生資源として販売したといったものだ。風力発電設備からネオジム磁石を脱磁・選別する技術を実証した意義は大きいため、今後の技術開発予定やリサイクル事業展開、また事業化を見据えた際の課題整理等に引き続き注目したい。

6.1.4. FRP 船のリサイクル実態

軽量で強靭な性質を有するFRPは、浴槽等の住宅機器や建設資材、また船舶や航空機に至るまで、幅広い分野・製品で使用されている。本調査では、製品に使用されるFRP量が一定程度あり、また風力発電設備と同じく潮風等の影響を受けるFRP船を対象に、リサイクル・適正処理の実態把握を行った。

既にFRP船ではリサイクルシステムが運用されており、その構築は2007年まで遡る。当時、放置船が多かつた事実を踏まえて、適正処理が難しいFRP船の不法投棄等を防止すること、また所有者による廃船処理をスムーズにすること等を目的に、一般社団法人日本マリン事業協会ならびに主要製造事業者によってリサイクルシステムは構築された。FRP船の処理にあたり、所有者は、同システムを利用するか個別に中間処理業者へ処理委託するかを選択することが可能である。現在、同システムでは年間2,000隻が適正処理されているようである。



出所) 一般社団法人日本マリン事業協会 HP

所有者は、一般社団法人日本マリン事業協会が定める引取条件(前清掃)を満たした廃 FRP 船を、登録販売店または指定引取場所に運搬する。登録販売店に搬入された廃 FRP 船は、委託輸送業者によって指定引取場所へ陸上輸送されることで、1都1道 27 県に設置された計 35 カ所の指定引取場所へ廃 FRP 船が集約される仕組みだ。指定引取場所において廃 FRP 船は粗破碎され、FRP・木材・金属・混合物に分別され、FRP と木材は中間処理場へ、金属は金属資源化工場へ、混合物は最終処分場へそれぞれ搬出される。

全国で認定されている5つの FRP 破材中間処理場に搬入された FRP と木材は粉碎・選別され、セメント原料に混合される。FRP を含むセメント原料は委託セメント工場へ逆有償で引き渡されており、原燃化することで FRP

のサーマルリサイクルを実現している。一般社団法人日本マリン事業協会によると、令和5年度のリサイクル率は約62%であった。残る約38%は固着ボルトが集中している部材・混合物であり、廃プラスチック類として埋立処分したようである。指定引取場所に集約することで、各地域で廃FRPのスケールメリットが生まれるシステムが構築されているが、技術及び経済性の観点からマテリアルリサイクルできない状況が明らかとなった。その点では、6.1.2で触れた宏幸株式会社のFRPリサイクル事業・技術とFRP船リサイクルシステムで確立されている全国規模のネットワークが連携することで、今後FRP船のマテリアルリサイクルも期待できるかもしれない。

6.2. 中小水力発電設備

6.2.1. 発電方式の概要

仕様書に記載されている調査対象は「中小水力発電」であるが、発電方式の概要(特に発電の原理や用いられる機構)については、その規模が「中小」であるかどうかに依らず、水力発電全般で共通している内容が多い。そのため、本項では一般的な水力発電全般に関する概要について述べる。

まず、水力発電の発電原理だが、高所に貯めている水をより低いところに落とすことで、その際のエネルギーを利用して水車を廻し、さらにその水車に接続されている発電機を回転させることにより電気を生み出している。いずれの水力発電もこの原理自体は変わらないが、発電の運用方式や、構造物の様式については以下のようにいくつかの類型が存在する。

運用方式:流れ込み式 / 調整池式 / 貯水池式 / 揚水式

構造物の様式:水路式 / ダム式 / ダム水路式

構造物の様式ごとに、イメージを以下に示している。

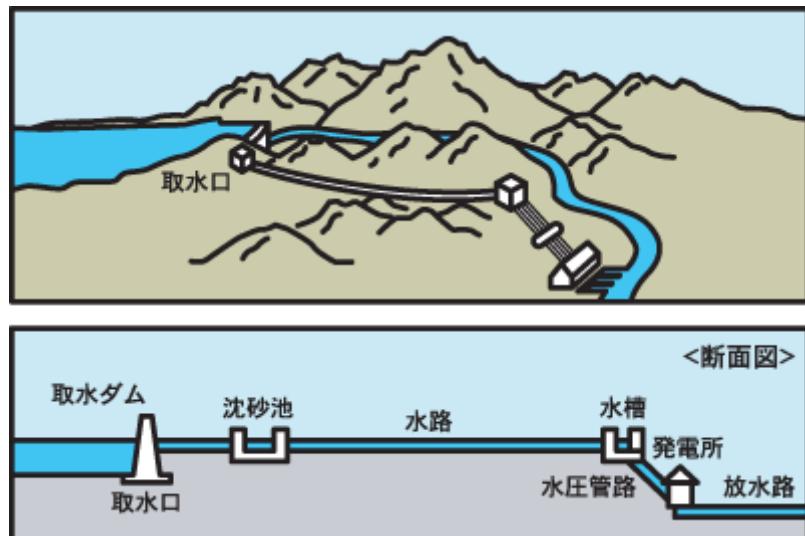


図 32 水力発電(水路式)の構造

出所) 中部電力株式会社 HP

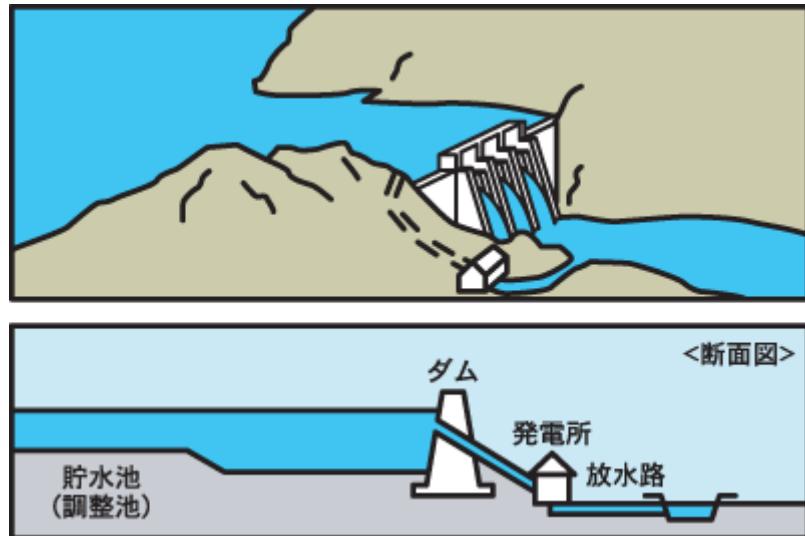


図 33 水力発電(ダム式)の構造

出所) 中部電力株式会社 HP

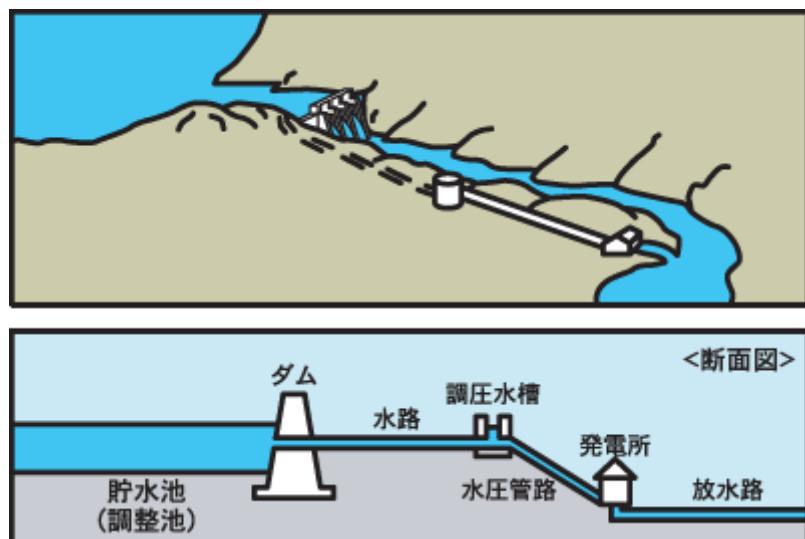


図 34 水力発電(ダム水路式)の構造

出所) 中部電力株式会社 HP

また、流れてくる水の勢いを受けて回転する水車部分についても、構造によっていくつかの型が存在する。代表的なものとしては、横軸フランシス水車、横軸プロペラ水車、ポンプ逆転水車、水中式発電機一体型水車、クロスフロー水車、ペルトン水車等があげられる。これらの水車は大きく「横軸(水車の回転の軸の向きが水平になっているもの)」と「縦軸(横軸の逆で、水車の軸の向きが地面と垂直になっているもの)」に分けることができる。横軸の水車は比較的小型の発電設備に、縦軸のものは大型の発電に用いられることが多いが、これは、横軸水車は水車全体の重量がかかる軸を点で支えることになるが、縦軸水車は面で支えることができるため、重量の大きい大型の発電設備には縦軸の方が適しているという理由からである。

水力発電の発電規模について、「中小水力発電」として明確な定義はなされていない。ただし、一般的には出力 30,000kW 未満の発電が「中小水力発電」として呼称されることが多く、同 30,000kW 以上の「一般水力発電」と区別される。なお、発電所出力の算出式は以下の通りである。総合効率とは、水車効率と発電機効率の積のことであり、0.8～0.9 程度の値となることが多い。

$$\text{発電所出力(kW)} = 9.8 \times \text{使用水量(m}^3/\text{s}) \times \text{有効落差(m)} \times \text{総合効率}$$

日本における現在の水力発電状況として、2030 年エネルギー・ミックス目標における中小水力発電の発電容量は約 1,040 万 kW に設定されているが、2022 年 3 月末での中小水力発電の導入量は約 990 万 kW であり、おおむね目標に近い水準になっているといえる。

6.2.2. 設備構成部品・耐用年数

中小水力発電を構成する代表的な設備・部品としては、「水車」、「発電機」、「水圧鉄管」等があげられる。

まず水車の主要な構成部品は、水の力を受けて回転する部分であるランナ、水の流量を適切に調整する機能を果たすガイドベーン、カタツムリのような形状で全体を覆っているケーシングといったものがあげられる。これらはいずれも定期的なメンテナンスを伴いながら数十年単位で利用される。また、パッキン等の消耗品は、設備稼働状況・摩耗状況次第ではあるが、数年単位で交換される。素材としては、鉄・銅・コンクリートのいずれかあるいはそれらの組み合わせであることが多い。

発電機を構成する主要な部品には、固定子巻線、固定子鉄心、回転子巻線等があるが、これらもいずれも数十年単位で利用され続けることが多い。また、素材は鉄や銅を中心とした金属製であり、これは先述した種類を問わず共通している。

水車発電機の構造

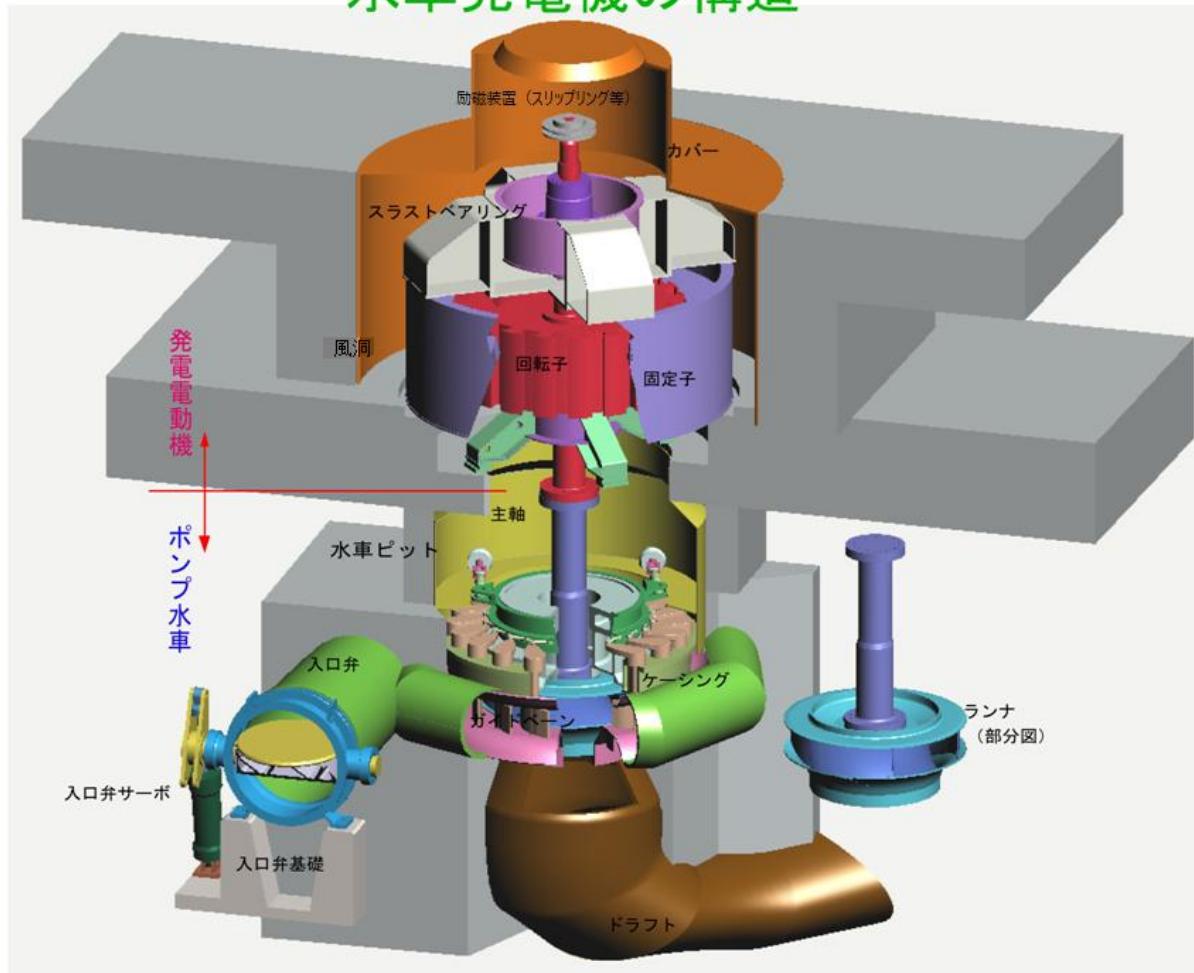


図 35 水車発電機の構造イメージ図

出所) 神奈川県 HP

水車を回すための水を運ぶ水圧鉄管も、保護のためのメンテナンスや塗装等を 10 年～12 年程度ごとに行いながら、長期にわたって利用するものである。場合によっては 100 年以上利用しているケースもある。

耐用年数は、それぞれの設備によっても細かく変わるために一概に述べることは難しいが、およそ機械類は 20 年程度、コンクリート製の設備類は 50 年程度に設定されている。いずれも、メンテナンスや交換を繰り返しながら、発電設備全体としては 100 年単位で利用される。メンテナンスの頻度として、オーバーホールと呼ばれる大規模な点検・部品交換作業は 10 年～15 年に一度程度、設備全体の刷新・交換作業は、施設にも依るが 40 年～60 年に一度程度の頻度で行われるケースが多い。

いずれの設備も、事前に想定した一定の流量で最も発電効率が高くなるように設計されており、その想定流量を著しく下回る状態での稼働が続くと、発電効率の低下のみならず、設備自体の摩耗・損傷も通常より早くなり、結果的に設備・部品交換の回数増加につながることがある。

6.2.3. 解体・撤去から適正処理までのフロー

中小水力発電の設備は、例えば太陽光発電等の他の発電形態と異なり、数十年～100年単位で利用することが想定されている。そのため、設備の寿命を理由として解体・撤去が行われた事例自体がほとんど存在していない。6.2.2.で述べたように、ひとつひとつの部品の耐用年数が基本的に数十年程度と長く、またそれらを適宜メンテナンス・交換しながら設備全体を長期間運用する形となっており。実際、戦前に作られた発電設備がいまも現役として稼働している事例も多い。例えば、京都府の蹴上発電所(関西電力管轄)は1891年に運転開始され、130年以上経過した現在でも発電を続けている。

6.2.4. リサイクル等の推進に向けた課題

6.2.3.の通り、水力発電設備全体の除却はほとんど行われていないというのが実態であるが、オーバーホールやリプレースの際に発生する部品単位での廃棄物は存在する。

まず、有価物として発電事業者から専門の業者に売却されるものとして、金属製の部品があげられる。潤滑油等の廃油についても同様に売却される。

また、コンクリートは、単に埋立処分されるケースと、再資源化されるケースが存在する。再利用されるかどうかは発電事業者の判断に依る部分であるが、例えばヒアリングを行ったうちのひとつの発電事業者は、廃棄の際に再生処理を行って再利用をしてもらえる処分事業者を積極的に選定しているとのことであった。また、このコンクリートの処分に際して、発注者側(発電事業者)としてコストはあまり変わらないようであり、発電事業者の環境意識に依って処分方法が変わってくると考えられる。

地下水由来の汚泥や、梱包用の木材等は、リサイクルすることが難しいため、埋立処分や焼却処分をしているケースが大半である。

6.3. 地熱発電設備

6.3.1. 発電方式の概要

地熱発電の発電原理は、地下1,000m～3,000m付近にある地熱貯留層に溜まった地熱流体(マグマによって熱せられ、高いエネルギーを得た高温・高圧の熱水、蒸気、等)を取り出し、そこから分離した蒸気でタービンを回すというものである。

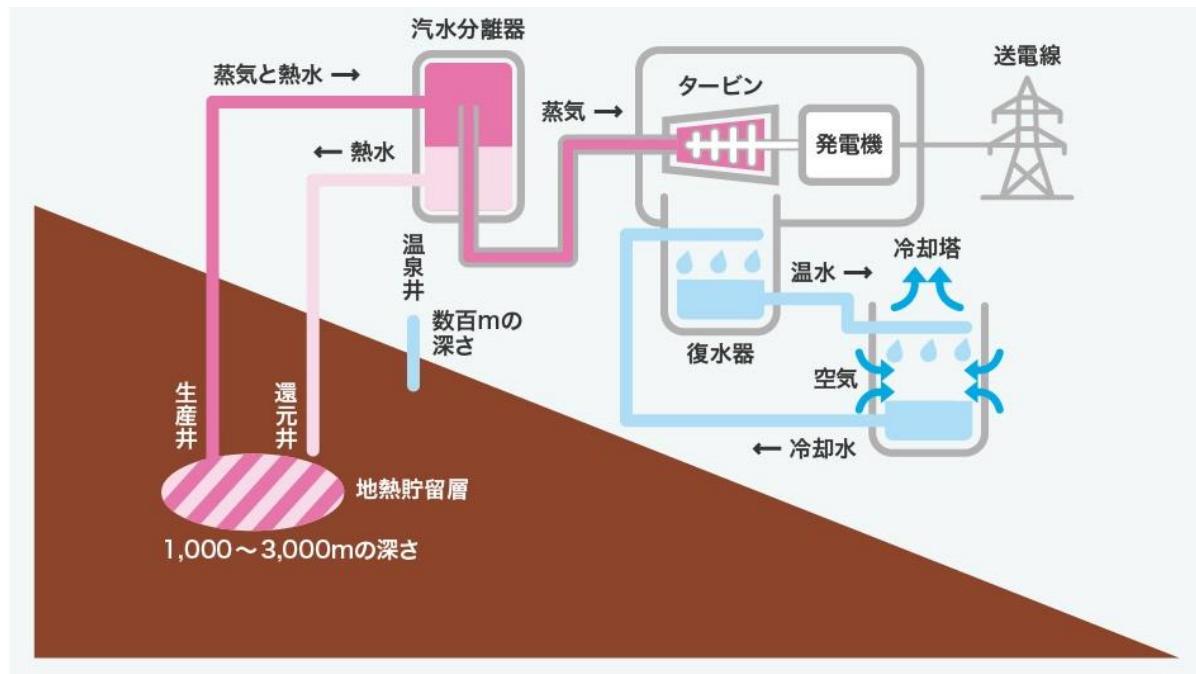


図 36 地熱発電の仕組みイメージ図

出所) 中部電力 HP

図 36 内左下にある地熱貯留層から、生産井と呼ばれるパイプを用いて地熱流体を地上に汲み上げる。熱水と蒸気が混じった状態ではタービンを回せず発電できないため、汽水分離器(気水分離器と表記されることもある)で蒸気と熱水に分離させた上で、そのうちの蒸気のみを用いてタービンを回転させ、発電を行う仕組みとなっている。なお、蒸気と分離されたあとの熱水は、還元井と呼ばれるパイプを伝って、もともと存在していた地熱貯留層まで戻される。

発電方式は大きく、蒸気発電(シングルフラッシュ発電、ダブルフラッシュ発電)とバイナリー発電に分類されるが、蒸気でタービンを回すという構造は変わらないため、例えばリサイクル可能な部品やそれぞれのリサイクル状況に関して大きな違いはない。

現在、日本において実用化されている地熱発電は、2,000kW～50,000kW 程度の規模がメインであり、特に15,000kW 未満の発電容量がスタンダードとなっている。

2023 年度3月末時点で、国内には 26 カ所の地熱発電所(出力 1,000kW 以上)が存在しており、温泉発電等の出力 1,000kW 未満の発電所も含めると、約 70 カ所にのぼる。発電総容量は約 49.9 万 kW であり、このうち約 49.0 万 kW を、出力 1,000kW 以上の発電所が占めている。

地熱発電を行うために必要不可欠な地熱貯留層は、キャップロックと呼ばれる難透水性の岩盤層の下部に存在していることが多い。キャップロックや地熱貯留層はどこにでも存在しているわけではなく、日本では北海道や東北、九州において地熱資源が豊富に存在するとされている。実際、国内の地熱発電所もそれらの地域に偏在している。

6.3.2. 設備構成部品・耐用年数

以下に、ある地熱発電所の設備一覧を示す。

表24 地熱発電設備一覧(蒸気設備)

設備名称	素材	耐用年数
生産井	ステンレス鋼	19年 (坑口圧力低下、スケール付着、腐食・摩耗状況等による)
還元井	ステンレス鋼	17年 (坑口圧力低下、スケール付着、腐食・摩耗状況等による)
気水分離器	ステンレス鋼	50年 (腐食・摩耗状況等による)
サイレンサー	ステンレス鋼	50年 (腐食・摩耗状況等による)
フラッシュタンク	ステンレス鋼	50年 (腐食・摩耗状況等による)
二相流体輸送管	ステンレス鋼	50年 (腐食・摩耗状況等による)
蒸気輸送管	ステンレス鋼	50年 (腐食・摩耗状況等による)

出所) NRI 作成

表25 地熱発電設備一覧(発電設備)

設備名称	素材	耐用年数
タービン棟	鉄骨コンクリート、鉄筋、鋼材、骨材、セメント、ガラス、保温材、プラスチック	永年
制御棟	鉄骨コンクリート、鉄筋、鋼材、骨材、セメント、ガラス、保温材、プラスチック	永年
タービン	タービンブレード：高温耐性のあるニッケル基超合金 またはチタン合金 ローター：鉄鋼またはニッケル合金 ステーター：ステンレス鋼または鉄鋼 シャフト：高強度の合金鋼 ベアリング：スチールまたはセラミック シール：ゴム、カーボン、または特殊な合金 ハウジング：アルミニウム、鋳鉄、またはステンレス鋼	20年～30年
復水器	ステンレスクラッド鋼板、ステンレス鋼	50年
冷却塔	ステンレス鋼板、ステンレス鋼	50年
発電機	ローター：鉄鋼または特殊な磁性材料 ステーター：鉄鋼と銅線 エンドベル：アルミニウムまたは鋳鉄 ベアリング：スチールまたはセラミック 冷却ファン：プラスチックまたはアルミニウム ブラシ：カーボンまたはグラファイト	20年～30年
主変圧器	コア：鉄鋼またはアモルファス金属 巻線：銅またはアルミニウム 絶縁体：紙、プラスチック、エポキシ樹脂、または特殊な絶縁材料 タンク：鉄鋼またはアルミニウム 冷却装置：変圧器油（油冷式）、ファンやヒートシンク（空冷式） タップチェンジャー：銅、銀、または他の高導電性材料	20年～30年

出所) NRI 作成

表 24 に示した蒸気設備は地熱発電固有の設備である一方、表 25 に示した発電設備は、一般的な火力発電設備とほぼ同様のものとなっている。電気事業法上も、火力発電・地熱発電・バイオマス発電は特段区別されていない。

蒸気設備は、表 24 の通り、基本的に 50 年程度にわたり利用されることが多い。

生産井・還元井は、蒸気を汲み上げたり地下に戻したりする地点に穴を掘り、そこにケーシングパイプと呼ばれる鋼材をつなげ入れていくことで設置される。これらはステンレス鋼製であるため腐食による頻繁な交換は必要ないが、スケールの析出による影響で出力が落ちることはあり得る。その際は、近くに新しい井戸を掘ることで対応し、古い井戸は廃孔することになる。

発電設備のうち、タービンはおおむね 25 年～30 年程度で強度が落ちるため交換されることが多い。交換の他にも、定期的なスケール除去の作業も必要であるが、その期間は稼働状況や蒸気の質によって大きく異なる。

復水器や冷却塔はステンレス鋼製であり、基本的には 50 年程度利用されることが多い。

発電機も、タービンと同様 20 年～30 年程度で交換されることが多い。絶縁の状態をもとに余寿命を定期的に診断し、その結果を踏まえて更新計画が立てられている。

変圧器は、絶縁に異常がある場合アセチレンやメタン等のガスが出てくるため、その状態を常に確認することで異常を特定している。異常が発生した場合に交換が行われ、その頻度は 20 年～30 年に一度程度である。

6.3.3. 解体・撤去から適正処理までのフロー

国内における地熱発電所の設備廃止事例としては、2019 年 3 月の八丈島地熱発電所（東京電力パワーグリッド管轄）、2022 年 10 月の葛根田地熱発電所 1 号機（東北電力管轄）の事例があげられる。また、設備全体のリプレース事例も複数存在している。このうち、リプレースを実施した発電事業者にヒアリングを行ったため、その際に得られた情報を以下に記載する。

解体時に排出された各廃棄物のうち、金属くずは有価物として業者に売却した。金属の内訳としては、鉄くずがメインであり、次いでアルミニウムが多かった。有価物として引き取ってもらうためには、金属ごとに分別して、またトラックに積載できる大きさに適宜細分化をする必要があった。

排出量ベースでは、コンクリートがらが圧倒的に多かった。これはセメントの原料等に有効利用しているケースが多いが、中間処理事業者によっては単に埋立処分されるケースもある。

木くずもバイオマス発電の燃料等に活用しているケースがあるが、利用できなかったものは埋立処分となっている。

また、発電所の廃止やリプレースの際には廃孔を行うこととなる。廃孔とは、源泉に接続されている生産井・還元井を埋め戻し、地熱流体や温泉の湧出地を原状に回復する行為のことを指す。廃孔の手順であるが、生産井・還元井のパイプを地表から 1m 程度のあたりで切断し、その内部に砂礫等を投入する。切断した部分はコンクリート等を打設することで固め、土砂で埋め戻すという工法で行われることが一般的である。

6.3.4. リサイクル等の推進に向けた課題

ヒアリングを行ったうちのひとつの発電事業者の現状として、不用品は、できる限り分別した上で有価物として処理されていることが多い。その際、有価物として処理が行えるように、スケール除去・分別・運搬可能な形状への細分化等の作業を適宜行った上で排出しているとのことであった。また、廃棄物が少量の場合には、その売却益と輸送コストを総合的に勘案し、極力集積して搬出を行うようしている。

課題について、ヒアリングでは大きく3点ほどあげられていた。まず、分別に係る人件費等のコストや輸送費コストの上昇による、不用品処理費用の上昇が1点目である。2点目は、産業廃棄物を積極的に再資源化している処理事業者を安定的に確保することである。3点目は、リプレース等に伴い発生する産業廃棄物が、その発生状況により種類(性状)が安定しないため、再資源化が可能な状態に分別を行うことが困難であることである。

6.4. バイオマス発電設備

6.4.1. 発電方式の概要

バイオマス発電は、「直接燃焼方式」、「熱分解ガス化方式」、「生物化学的ガス化方式」等、いくつかの方式に分類することができる。

それぞれの発電方式の原理だが、直接燃焼方式の発電所は、一般的な火力発電所と同じように燃焼炉・タービン・発電機といった部品から構成される。木材や可燃ごみ、廃油といったバイオマス資源をボイラーで燃焼させることでエネルギーを生み出し、それをもとに発生させた水蒸気で蒸気タービンを回して発電を行う。

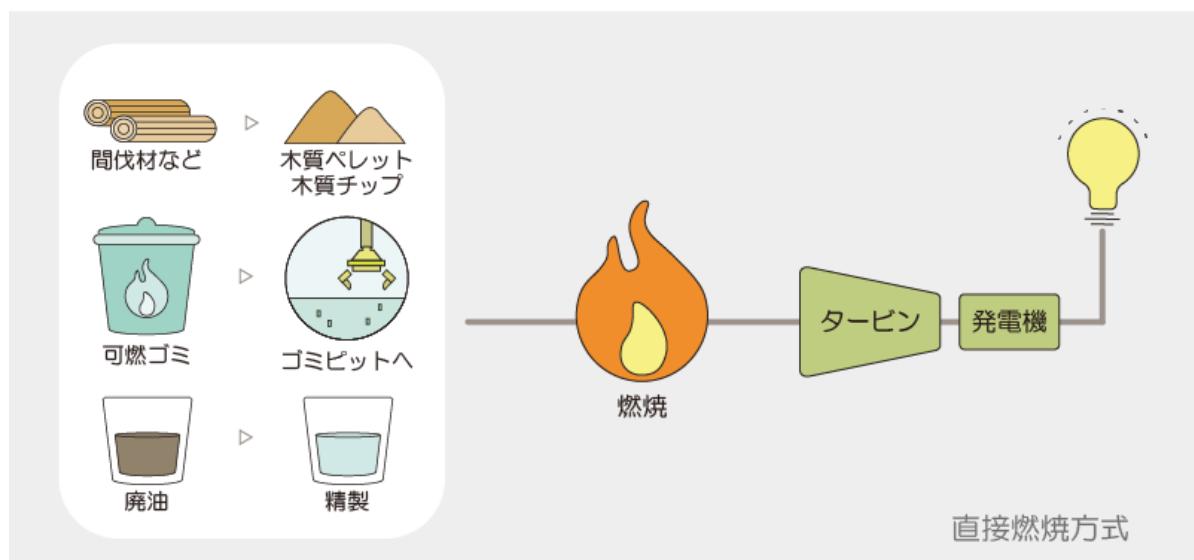


図 37 バイオマス発電(直接燃焼方式)の仕組みイメージ図

出所) 三井物産株式会社 HP

熱分解ガス化方式では、直接燃焼方式の燃焼炉・タービンの代わりにガス化炉・ガスエンジンが用いられる。この方式は、バイオマス資源を高温で熱処理することによりガス化させ、ガスエンジンによる発電を行うものである。

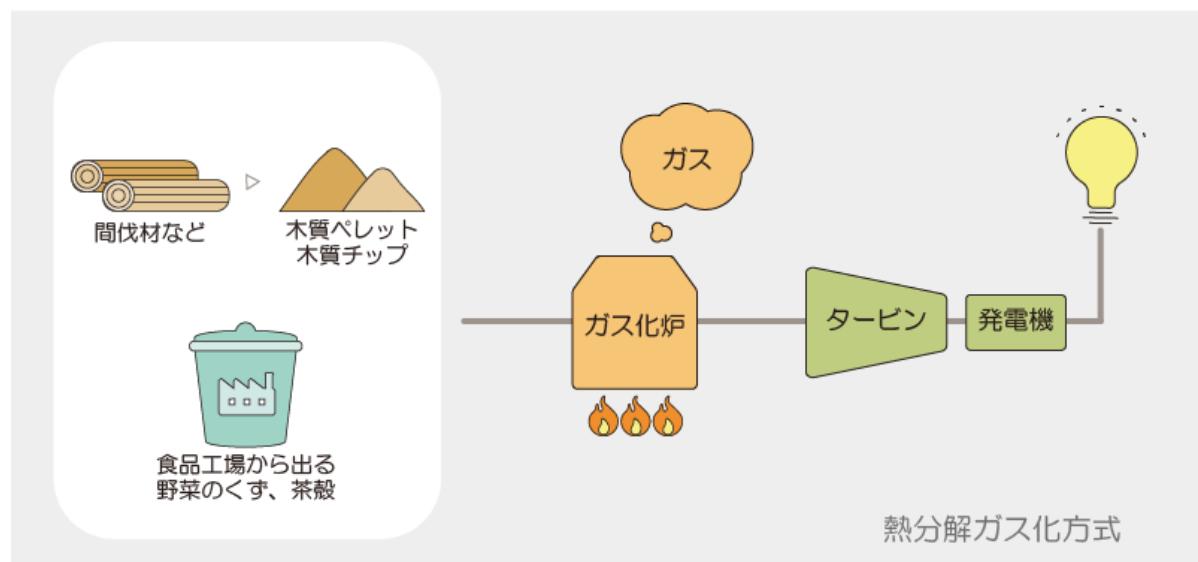


図 38 バイオマス発電(熱分解ガス化方式)の仕組みイメージ図

出所) 三井物産株式会社 HP

生物化学的ガス化方式は、生ごみや家畜糞尿、下水汚泥といったバイオマス資源を発酵させてガス化(メタンガス)させ、ガスエンジンにより発電を行う方式である。メタン発酵を行う発酵槽、ガスホルダー、ガスエンジンといった設備が用いられる。

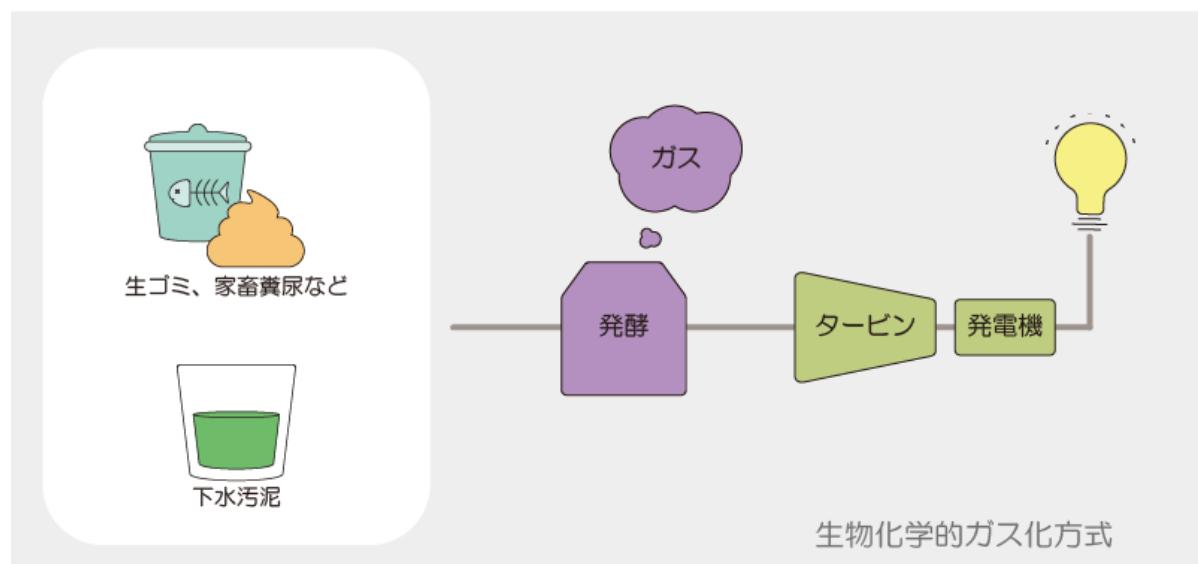


図 39 バイオマス発電(生物化学的ガス化方式)の仕組みイメージ図

出所) 三井物産株式会社 HP

上記のいずれの方式であっても、バイオマス資源を投入材として燃焼あるいはガス化を行い、そこから得られるエネルギーを利用してタービンを廻して発電を行うという原理は共通しており、これがバイオマス発電の概要である。

バイオマス発電の規模は、小型のもので数十 kW 程度、大型のものだと数万 kW 程度と、幅広い。小型の発電所は基本的にバイオマス専焼、大型の場合は一部混焼(石炭等の他燃料とともに燃焼させる方式)の発電所も存在する。

発電規模と発電方式の関係であるが、発電容量 2,000kW 程度までは熱分解ガス化方式が多く、5,000kW～7,000kW 程度の中規模のものは直接燃焼方式がメインとなっている。これは、ガス化方式による発電は燃焼温度が高いため、直接燃焼方式より小さな規模であっても一定の発電効率を確保できることに由来する。

2025 年9月には、愛知県田原市で 112,000kW のバイオマス専焼発電所が完成予定となっており、これは完成すれば国内最大規模のものとなる。

日本におけるバイオマス発電所は現在数百～1,000 カ所程度稼働していると考えられ、発電導入量は2023 年3月末で約 431 万 kW となっている。

6.4.2. 設備構成部品・耐用年数

以下に、直接燃焼方式における具体的な部品構成を記載する。

表26 バイオマス発電(直接燃焼方式)の設備構成

装置・設備名	構成部品名
ボイラー	ボイラー本体、過熱器、節炭器、空気予熱器、ストップロワ、燃焼装置(トラベリングストーカ+摺動ストーカ)
通風設備	押込ファン、誘因ファン、ダクト
排ガス処理設備	集塵機(電気集塵機、機械式集塵機)、灰加湿装置
灰出し装置	アッシュコンベア、リドリングコンベア
給排水設備	濾過装置、純水装置、復水タンク、脱気器、脱気器給水ポンプ、ボイラー給水ポンプ、廃水中和設備
燃料供給設備	燃料受入れサイロ、排出スクリューコンベア、燃料供給コンベア、燃料分配コンベア、燃料リターンコンベア
蒸気タービン発電設備	蒸気タービン、真空復水器、発電機、制御盤
冷却水設備	冷却塔、冷却水ポンプ、冷却水加圧ポンプ、冷却水薬注装置
その他	配管付属設備、電気計装設備、制御装置、受変電設備

出所) NRI 作成

各設備・部品は、大半が鉄やステンレス鋼等の金属製であり、パッキン等のプラスチック製の消耗品も部分的に用いられている。

耐用年数について、ボイラー本体はメンテナンスや部品の交換を適切に行えば、30年程度は稼働することが期待できる。タービンや発電機は、運転状況によっても異なるが20年程度の耐用年数と考えられる。

また、設備全体についての法定耐用年数自体は15年に設定されている。実態としては、法定耐用年数よりも長く稼働する発電所が多いと想定されるが、2003年頃から運転開始した発電所が国内では最も古く、設備全体の除却までの期間は正確にはまだ不明である。

6.4.3. 解体・撤去から適正処理までのフロー

直近数年間で、設備の耐用年数都合ではなく、経営破綻により運転停止された発電所はいくつか存在するが、いずれのケースでも経営主体を変えて運転が再開されており、最終的に設備自体が解体・撤去された事例は存在しない。

国内のバイオマス発電所の数が本格的に増え始めたのは2015年頃からであり、前項で述べた部品の耐用年数等も踏まえると、2035年頃から徐々に設備の廃止・除却事例も出てくるのではないかと考えられる。

6.4.4. リサイクル等の推進に向けた課題

まず、金属製部品については、有価物として発電事業者から専門の業者に売却される。廃油についても同様に、売却により処分されるケースが多い。

プラスチック等の消耗品類は、産業廃棄物として埋立処分される。

バイオマス発電特有の廃棄物としては、燃焼灰があげられる。燃焼灰は、燃焼炉内の燃え殻として炉から直接排出されるボトムアッシュ(主灰)と、排ガス中に含まれる煤塵の一種であるフライアッシュ(飛灰)に分類される。

ボトムアッシュは、肥料、土壤改良剤、路盤材として利用されているケースが多い。ヒアリングを行った発電事業者のひとつは、燃焼・発電で排出するボトムアッシュの加工・製品化までをすべて自社で実施しているとのことであった。

一方でフライアッシュについては、リサイクルされずに埋立処分されるケースの方が現状では多い。フライアッシュ中に含まれる重金属類(六価クロム、セレン、フッ素、ホウ素、等)が土壤環境基準値を超過してしまうことがあり、そのまま再利用することが難しいというのが主な理由だ。ただし、フライアッシュの無害化・再利用については研究もなされており、発電事業者によっては、無害化処理からリサイクルまでのフローが整備されているケースも存在している。

また、フライアッシュは排出量も少ないため、ひとつの発電事業者から排出される分だけでは出荷できない、あるいは市場にリーチできないという点もリサイクルが進んでいない要因となっている。

熱分解ガス化方式による発電に限っては、チャー(バイオ炭)と呼ばれる炭化物が燃焼の副産物として発生する。単に埋立処分をされることも多いが、チャーを農地施用することにより炭素蓄積効果があるとされており、複数の事業体で事業化に向けた研究が進められている段階である。

第7章. 付録

7.1. 排出実態調査(解体・撤去業者向けアンケート調査) 調査票

Web アンケート調査で実施したため、非公開

7.2. 処理実態調査(中間処理業者向けアンケート調査) 調査票

太陽電池モジュールのリユース・リサイクル 対応状況（処理実態等）に関するアンケート調査

ご担当者様のご連絡先をご記入ください。

貴会社名			
部署名		役職（自由記述）	
メールアドレス (自由記述)			
電話番号 (自由記述)			

貴社における「太陽電池モジュール（太陽光パネル）のリサイクル事業や
リユース事業」の状況について、以下の質問にご回答ください。

なお、貴社の事業や取組に関連しない質問は空欄で構いません。

問1、問2 処理内容・処理能力に関する質問

問3、問4、問5 太陽電池モジュールのリサイクルに関する質問

問6、問7 太陽電池モジュールのリユースに関する質問

【処理内容・処理能力に関する質問】

問1 貴社の太陽電池モジュールの処理施設情報についてご記入ください。

※複数処理施設がある場合は、処理施設ごとにご記入ください。

#	処理施設情報	処理方法
1	施設名称	単純破碎(アルミ取外し後に単純破碎のみをする場合も含む) アルミとその他で分離 アルミとカレットガラスとその他で分離 アルミと板ガラスとその他で分離 焼却、熱回収 その他
	所在している都道府県・市区町村	
2	施設名称	単純破碎(アルミ取外し後に単純破碎のみをする場合も含む) アルミとその他で分離 アルミとカレットガラスとその他で分離 アルミと板ガラスとその他で分離 焼却、熱回収 その他
	所在している都道府県・市区町村	
3	施設名称	単純破碎(アルミ取外し後に単純破碎のみをする場合も含む) アルミとその他で分離 アルミとカレットガラスとその他で分離 アルミと板ガラスとその他で分離 焼却、熱回収 その他
	所在している都道府県・市区町村	
4	施設名称	単純破碎(アルミ取外し後に単純破碎のみをする場合も含む) アルミとその他で分離 アルミとカレットガラスとその他で分離 アルミと板ガラスとその他で分離 焼却、熱回収 その他
	所在している都道府県・市区町村	
5	施設名称	単純破碎(アルミ取外し後に単純破碎のみをする場合も含む) アルミとその他で分離 アルミとカレットガラスとその他で分離 アルミと板ガラスとその他で分離 焼却、熱回収 その他
	所在している都道府県・市区町村	

※ 調査票p.2 で記入いただいた施設と行を一致させてご記入ください。

#	処理方法の詳細	令和5年度処理実績	日当たり受入可能量	日当たり処理可能量
1	導入している機器		最大 t/日(PV)	最大 t/日(PV)
	導入している技術			
2	導入している機器		最大 t/日(PV)	最大 t/日(PV)
	導入している技術			
3	導入している機器		最大 t/日(PV)	最大 t/日(PV)
	導入している技術			
4	導入している機器		最大 t/日(PV)	最大 t/日(PV)
	導入している技術			
5	導入している機器		最大 t/日(PV)	最大 t/日(PV)
	導入している技術			

問2 直近2ヵ年において、貴社が受け入れた太陽電池モジュールをお知らせください。

※ 把握されている範囲でご記入下さい。"枚"、"kg" はいずれかの記載で構いません。

"枚"は、約200W/枚（1モジュール）を想定しています。

※下請事業者を通じて回収している場合には、当該回収量をご記入ください。

※令和4年度調査で回答いただいた事業者様につきましては、

令和4年度実績値に変更がない場合、集計期間②（令和5年度）のみご回答ください。

集計期間①：2022年度 / 令和4年度（2022年4月～2023年3月）

項目		回収量				
		回収量全体		回収量のうち リユース量		回収量のうち 処理量
① 新古品		枚 kg		枚 kg		枚 kg
② 故障・ 廃棄品	- 1.不良品 / 故障品	枚 kg		枚 kg		枚 kg
	- 2.災害等によるもの	枚 kg		枚 kg		枚 kg
	- 3.目的を終了したもの	枚 kg		枚 kg		枚 kg
	- 4.その他（具体的に）	枚 kg		枚 kg		枚 kg

集計期間②：2023年度 / 令和5年度（2023年4月～2024年3月）

項目		回収量				
		回収量全体		回収量のうち リユース量		回収量のうち 処理量
① 新古品		枚 kg		枚 kg		枚 kg
② 故障・ 廃棄品	- 1.不良品 / 故障品	枚 kg		枚 kg		枚 kg
	- 2.災害等によるもの	枚 kg		枚 kg		枚 kg
	- 3.目的を終了したもの	枚 kg		枚 kg		枚 kg
	- 4.その他（具体的に）	枚 kg		枚 kg		枚 kg

【太陽電池モジュールのリサイクルに関する質問】

問3 貴社がリサイクルしたモジュールの排出場所について、都道府県別の割合分布をお知らせください。

※ 貴社が運営されている施設の "合算値"でご回答ください。

※ 対象期間は、2023年度 / 令和5年度（2023年4月～2024年3月）としてご回答ください。

※ 割合の合計値が100%になるようにご回答ください。

割合が大きい（=排出量の多い）**上位5地域**をご回答いただき、残りは「その他」としてまとめてください。

※ 合計が100%になるよう「その他」は自動計算されます。

順位	都道府県	排出割合		
1位		約		%
2位		約		%
3位		約		%
4位		約		%
5位		約		%
その他	その他または不明	約	100.00	%
合計	自動計算		100	%

問4 リサイクルしたモジュールの搬入元、及びリサイクル出口（搬出先）をお知らせください。

※ 貴社が運営されている施設の "合算値" でご回答ください。

※ 対象期間は、2023年度 / 令和5年度（2023年4月～2024年3月）としてご回答ください。

モジュール搬入元		搬出量
※ 詳細把握されていない場合は、 概算値でも構いません。	発電事業者（法人等）	kg
	発電事業者（個人）	kg
	発電事業者（自治体等）	kg
	電気工事事業者	kg
	保守・管理事業者	kg
	撤去・解体事業者	kg
	ゼネコン	kg
	住宅メーカー	kg
	パネルメーカー	kg
	卸売事業者・販売事業者（輸入事業者を含）	kg
	リユース事業者	kg
	中古品を取扱う商社	kg
	その他(具体的に)	kg
搬出先		搬出量
リサイクル	形態	
	アルミ	kg
	銅など	kg
	ガラス	kg
	うち「リサイクル用途：路盤材候補」	kg
	うち「リサイクル用途：多孔質ガラス発泡剤」	kg
	うち「リサイクル用途：グラスウール候補」	kg
	うち「リサイクル用途：ガラス砂候補」	kg
	うち「リサイクル用途：その他」（具体的に）	kg
	その他リサイクル（具体的に）	kg
最終処分	形態	
	金属くず	kg
	ガラスくず、コンクリートくず及び陶磁器くず	kg
	廃プラスチック類	kg
	その他（具体的に）	kg

・ガラスの搬出（リサイクル等）について、当てはまるもの全てに○をご記入ください。

ガラスのリサイクル等は、有償取引となっている。
ガラスのリサイクル等は、逆有償取引となっている。

有償取引・逆有償取引の両ケースが生じる場合は、その要因をご記入ください。

問5 リサイクルにあたり、貴社が感じている課題をお知らせください。

【金銭面（費用面）】

(例) リサイクルや情報管理等に必要な費用が不足している、等

【制度面】

(例) 適正リサイクルを促す仕組みが不足している、等

【情報面】

(例) 太陽電池モジュールの製品情報や組成情報、含有物質情報が不足している、等

【その他】

【太陽電池モジュールのリユースに関する質問】

問6 リユース（中古品売買）において、貴社が手掛けられる事業領域をお知らせください。
また2023年度の取扱い実績、また実施している検査等に関してもお知らせください。

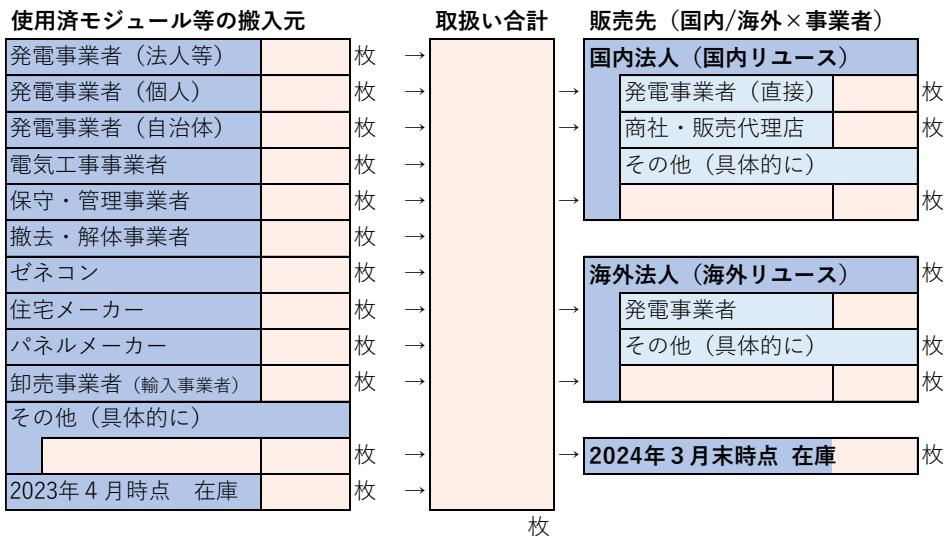
貴社の事業領域（担っている業務範囲）について、当てはまるもの全てにご回答ください。

事業領域	業務・役割イメージ
リユース受付・相談	- 太陽電池モジュールのリユース・買取に係る窓口対応
現地検査・診断	- 発電施設や保管倉庫に赴いて行う性能検査や診断
施設内での検査	- 自社施設に持ち込んで実施する性能検査等
発電事業者への販売	- 発電事業者に対する直接販売
商社・代理店への販売	- 商社や代理店への販売（エンドユーザー等は不明）
リユース品の輸送	- 自社で輸送等まで実施（輸送時の破損等は自社帰責）
その他 業務1 (具体的に)	
その他 業務2 (具体的に)	

※ 選択肢 "○" は「貴社が必ず手掛けられている業務・役割」を示します。

※ 選択肢 "△" は「購入者との契約によって手掛けない場合がある業務・役割」を示します。

2023年度 / 令和5年度（2023年4月～2024年3月）の取扱い実績をご記入ください。



【引受け前】使用済モジュール等を引き受ける前に、実施している検査等を教えてください。

モジュール引受け前に、リユース品販売に備え現地確認している内容	製品検査（製造年・設置年・撤去年・型式・メーカー等の確認）	
	外観検査（目視による割れ、バックシート破れ等の確認、等）	
	簡易な出力検査（直近の発電実績データ等の受領・確認、または簡易なテスター等による検査、等）	
	出力検査（IV検査）	絶縁検査
	IR検査	EL検査
	その他（具体的に）	
モジュール引受け前に、リユース品販売に備え検査している内容	製品検査（製造年・設置年・撤去年・型式・メーカー等の確認）	
	外観検査（目視による割れ、バックシート破れ等の確認、等）	
	簡易な出力検査（直近の発電実績データ等の受領・確認、または簡易なテスター等による検査、等）	
	出力検査（IV検査）	絶縁検査
	IR検査	EL検査
	その他（具体的に）	
モジュールの確認も、検査もしていない	未実施（その理由について	
	※ 検査は他社に任せている等	

【引受け後】使用済モジュール等を引き受けた後に、実施している検査等を教えてください。

モジュール引受け後、リユース品販売に向け現地確認している内容	製品検査（製造年・設置年・撤去年・型式・メーカー等の確認）	
	外観検査（目視による割れ、バックシート破れ等の確認、等）	
	簡易な出力検査（直近の発電実績データ等の受領・確認、または簡易なテスター等による検査、等）	
	出力検査（IV検査）	絶縁検査
	IR検査	EL検査
	その他（具体的に）	
モジュール引受け後、リユース品販売に向け検査している内容	製品検査（製造年・設置年・撤去年・型式・メーカー等の確認）	
	外観検査（目視による割れ、バックシート破れ等の確認、等）	
	簡易な出力検査（直近の発電実績データ等の受領・確認、または簡易なテスター等による検査、等）	
	出力検査（IV検査）	絶縁検査
	IR検査	EL検査
	その他（具体的に）	
モジュールの確認も、検査もしていない	未実施（その理由について	
	※ 検査は他社に任せている等	

・貴社が引き受けたモジュールの取扱いについて、お知らせください。

リユース不可と判明したモ ジュールの扱いに ついて、ご記入ください	
---	--

・リユース品を販売後の不具合事例等について、当てはまるものを1つ回答してください。

発生時に連絡いただくようとしているが、これまで発生したことはない。	
発生時に連絡いただくようとしており、過去に発生・対応したことがある。	
販売後の不具合等は、いずれも購入者側で対応いただく契約となっている。	
その他（具体的に）	

・不具合が発生した場合、貴社の対応または取扱いについて、お知らせください。

設置・運用開始までに、 不具合が発生した場合の 対応、お取扱い	
運用開始後●●年以内に、 不具合が発生した場合の 対応、お取扱い	

問7 リユースにあたり、貴社が感じている業況や課題をお知らせください。

【国内リユース / 海外リユース（引受先）によるニーズの違い】

--

【リユース市場拡大に向けた課題感】

--

アンケートは以上です。ご協力いただき、誠にありがとうございました。

7.3. 埋立実態調査(最終処分業者向けアンケート調査) 調査票

Web アンケート調査で実施したため、非公開