令和5年度 建設廃棄物及び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

【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(3.(2))】

報告書

令和 6 年 3 月

環境省

(調查受託者:株式会社野村総合研究所)

既.	要(サマ	ァリー)	4
Sı	ımmar	y	6
1.	はし	ごめに	9
1	.1. 🗷	x調査の背景・目的	g
1	.2. \neq	×調査の実施内容及び調査手法	g
	1.2.1.	太陽光発電設備のリサイクル等に係る基礎調査	g
	1.2.2.	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	10
	1.2.3.	「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)」の改訂に向けた検討	10
	1.2.4.	風力発電設備の廃棄・リサイクルに関する調査・検討	10
2.	太阳	場光発電設備のリサイクル等に係る基礎調査	11
2	2.1. オ	□ 「陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査」	11
	2.1.1.	アンケート調査対象の概要及び回答状況	11
	2.1.2.	太陽電池モジュールの排出・廃棄の実態	12
	2.1.3.	リサイクルに関する実態調査	16
	2.1.4.	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	17
	2.1.5.	最終処分に係る実態調査	22
2	2.2. オ	x陽電池モジュールの国内リサイクルの課題および普及促進に関する検討	25
	2.2.1.	太陽電池モジュールにおけるリサイクルの課題	25
	2.2.2.	太陽電池モジュールにおけるガラスのリサイクルの実態	28
	2.2.3.	太陽電池モジュールにおける銀のリサイクルの実態	32
	2.2.4.	太陽電池モジュールにおけるプラスチックのリサイクルの実態	33
	2.2.5.	太陽電池モジュールにおけるシリコンのリサイクルの実態	34
2	2.3. カ	x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	35
	2.3.1.	太陽電池モジュールの国内リユースの実態	35
	2.3.2.	太陽電池モジュールの国内リユースの課題および普及促進に関する検討	36
3.	太阳	場電池モジュールの排出量に関する将来推計の見直し	37
3	5.1. 拮	出量推計に関する考え方	37
	3.1.1.	排出量推計の基本方針	37
	3.1.2.	排出量推計に使用する導入量推計	41
	3.1.3.	故障要因の推計への反映	42
	3.1.4.	発電事業者の FIT 期間満了時における排出行動および推計への反映	44
	3.1.5.	発電事業者の損益分岐に関する考え方および推計への反映	44
3	5.2. 持	『出量推計の結果	45
	3.2.1.	全国における排出量	45
	3.2.2.	地域別の排出量	46
	323	本推計の留音点	47

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)」の改訂に向け
た検討	48	

4.1.	「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)」の認知度	48
4.2.	「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 追記項目案	49
5. 厘	🗓力発電設備の廃棄・リサイクルに関する調査・検討	51
5.1.	風力発電設備の基礎情報	51
5.1.1	. 風力発電設備の構造	51
5.1.2	2. 風力発電設備の素材構成	51
5.2.	風力発電設備の排出量推計	52
5.2.1	I. 排出量推計の目的	52
5.2.2	2. 排出量推計に活用する導入量推計	53
5.2.3	3. 排出確率に関する仮定	54
5.2.4	1. 排出量推計結果	54
5.3.	風力発電設備の解体・撤去の実態	55
5.3.1	I. 解体・撤去の流れ	55
5.3.2	2. 解体・撤去に関する課題	56
5.4.	風力発電設備の素材ごとのリサイクルに関する課題	57
5.4.1	I. 風力発電設備における GFRP のリサイクルに関する課題	57
5.4.2	2. 風力発電設備における GFRP のリサイクルに関する事例	57
5.4.3	3. 風力発電設備における CFRP のリサイクルに関する実態と課題	60
5.4.4	4. 風力発電設備におけるネオジムのリサイクルに関する実態と課題	60
6. 作	寸録	62
6.1.1	I. 太陽電池モジュールの処理・リユース・リサイクル対応状況に関するアンケート調査票	62
6.1.2	2. 太陽電池モジュールの埋立処分等の対応状況に関するアンケート調査票	71
6.1.3	3. 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	75

概要(サマリー)

令和5年度 建設廃棄物及び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

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、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」が令和4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ュース・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。また、太陽光パネルをはじめとする再生可能エネルギー発電設備のリサイクル・適正処理に関する対応の強化に向け、制度的対応も含めた具体的な方策について検討することを目的として、環境省、経産省共同事務局の有識者検討会である「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」を令和5年4月に立ち上げ、検討を開始したところである。したがって、本業務では、使用済再生可能エネルギー発電設備のリユースおよびリサイクルを促進すべく、実態の把握及びさらなる適正処理に向けた調査を行った。また、安定的な処理体制を将来にわたって形成・維持するべく、将来的な排出量の推計も併せて行った。

1. 太陽光発電設備のリサイクル等に係る基礎調査の調査結果

本章においては、アンケート調査を通じて、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うとともに、事業者に対するヒアリング等を通じ、太陽電池モジュールの各素材におけるリサイクル上の課題や、太陽電池モジュールのリサイクル事業全体に関する課題を横断的に調査・整理した。

排出実態調査では、2022 年度の排出量が 2309.1t となり、うち 70.9%がリサイクル(熱回収含む)19.1%がリュースされていることが分かった。また、リサイクル上の課題については、銀の含有量減少やガラスの低い資源価値のために太陽光パネル自体の有価性が低下傾向にあること、また、リサイクルにおいてパネル製造メーカーやガラスの組成情報が分からないがためにリサイクルが難しいケースがあることが分かった。

リユースについては、現状その多くが海外に流出しており、需要の掘り起こしの他、検査基準の統一といった活動が求められていることが分かった。

最終処分処理においては有害物質懸念のため受け入れ拒否されることが多いという実態が分かった。

2. 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

将来にわたって安定的に太陽電池モジュールの処理を進めるためにも、排出量を精緻に推計することは重要である。一方で、既存推計には、非 FIT の排出行動に関する精緻な排出要因分析がなされていないなどの限界もある上、既存推計の公表後に一般社団法人太陽光発電協会から新たな導入量推計も公表されており、その更新を反映する余地がある。本章では、環境省「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」で整理した排出要因に沿って、定量的に排出量を推計した。その結果として、2030年に約 11.3 万 t、2040年に 26.1 万 t~35.4 万 t、2050年に 27.9 万 t~36.9 万 t ほど排出されると推計された。

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)」の改訂に向けた検討

本章では、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に関する認知度とガイドライン改訂に向けた項目案を検討した。具体的には前年度調査にて挙げられた論点に加え、実態調査の中で事業者の要望やコメントを把握し、それらを整理して新たな論点を提示した。また、環境省が発行する太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドラインに対して、追加・更新の可能性のある23の項目を提示した。

4. 風力発電設備の廃棄・リサイクルに関する調査・検討

本章では、風力発電設備の将来的な排出量推計を簡易的に実施するとともに、基礎的な情報に加えて、解体に伴う課題や素材ごとのリサイクルに伴う課題について整理した。また、特にリサイクル上の課題が大きい GFRP については、海外における先進的な事例を調査することで、今後の GFRP のリサイクルに関する課題解決の方向性について検討した

結果として、風力発電の排出量は 2060 年以降に活発化することが分かった。素材別のリサイクルについては、GFRP はセメントのクリンカとしてリサイクルされることが一般的だが、新たなソリューションが海外を中心に実証・事業化され始めていること、2060 年に向けては CFRP を活用した風車も多く、リサイクルソリューションの確立が求められることが分かった。

Summary

Summary of Investigations and Studies Concerning the Promotion of Recycling of Construction Waste and Used Renewable Energy Power Generation Facilities in FY 2023-24

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. Over the past decade, the number of solar installations has increased significantly, which has led to growing concerns among local communities. These concerns mainly revolve around safety, emergency response, environmental and landscape impacts, and future disposal of used Solar Power Generation Facilities. With used solar panels already disposed of due to natural disasters or malfunctions, their waste volume is expected to increase rapidly.

To address the concerns of these communities, the relevant ministries and agencies held a meeting in April 2022 to discuss the appropriate introduction and management of renewable energy generation equipment. Recommendations were made in October of the same year. The recommendations include providing institutional support to encourage and streamline the safe transfer and recycling of used solar panels after project completion. In addition, to systematically address the expected peak in the generation of used solar photovoltaic modules in the second half of the 2030s, it may be necessary to explore the use of mandatory recycling schemes. One of the actions to be considered and implemented is to examine the institutional response, highlighting the importance of understanding the actual situation and conducting detailed studies on the reuse and recycling of used solar panels, among other measures. Furthermore, in April 2023, the Ministry of the Environment and the Ministry of Economy, Trade and Industry jointly established an expert panel known as the "Study Group on the Disposal and Recycling of Renewable Energy Power Generation Facilities." The study group aims to discuss specific measures, including institutional responses, to enhance recycling and proper disposal practices for Renewable Energy Power Generation Facilities, such as solar panels. In addition, a survey was conducted to assess the current situation and facilitate the proper treatment of used renewable energy generation equipment, promoting its reuse and recycling. Additionally, future emissions were estimated to establish and sustain a stable treatment system in the long term.

1. Fact-Finding Study on the Recycling of Solar Power Generation Facilities

Questionnaire surveys were used to investigate actual emissions, regional processing capacity, acceptance status at final disposal sites, and the creation of material flows. In addition, interviews with business operators were conducted to identify and categorize the challenges associated with

recycling the different materials used in solar photovoltaic modules, as well as overall issues related to the recycling of these modules on a broader scale.

An emissions study showed that total emissions for fiscal year 2022 were 2309.1 tonnes, with 70.9% recycled (including heat recovery) and 19.1% reused. Regarding the challenges in recycling, it was found that the value of Solar panels themselves is decreasing due to the decrease in silver content and the low resource value of glass. In addition, there are cases where it is difficult to recycle due to a lack of information on panel manufacturers and the glass composition of the recycling process. In terms of reuse, the study showed that a significant proportion of PV panels are currently shipped overseas, which highlights the need for activities to stimulate demand and unify inspection standards.

In addition, it was found that many items are often rejected at the final disposal stage due to concerns about the presence of hazardous substances.

2. Review of Future Emission Estimates from Solar Photovoltaic Modules

Ensuring accurate emission estimates is essential for the future stability of solar photovoltaic module processing. On the other hand, the existing estimates have limitations, such as the lack of detailed emission factor analysis for non-FIT emission behavior. In addition, since the publication of these estimates, new installed capacity estimates have been released by the Photovoltaic Energy Association of Japan, providing an opportunity to incorporate updates into these estimates. The emissions were estimated quantitatively based on the emission factors organized in the survey work related to the Promotion of Recycling of Used Solar Photovoltaic Modules in 2022 conducted by the Ministry of Environment. As a result, emissions were estimated to be around 113,000 tonnes in 2030, 261,000 to 354,000 tonnes in 2040, and 279,000 to 369,000 tonnes in 2050.

3. Considerations for the Revision of the "Guidelines for the Promotion of the Recycling of Solar Photovoltaic Equipment (Second Edition)"

The awareness of guidelines for promoting the recycling of solar Power Generation Facilities and the proposed items for revising these guidelines were examined. In addition to the issues raised in the previous year's survey, the requests and comments of the operators were collected and organized during the field survey, resulting in the presentation of new challenges. In addition, 23 potential items for supplementing or updating the guidelines issued by the Ministry of the Environment for promoting the recycling of solar power equipment were presented.

4. Research and Study on the Disposal and Recycling of Wind Power Generation Facilities.

Future emission estimates for Wind Power Generation Facilities are conducted in a simplified manner. In addition to basic information, the dismantling and recycling challenges for different materials are organized. Furthermore, for Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), which presents

significant recycling challenges, the approach to addressing future recycling challenges for GFRP has been examined by investigating advanced cases overseas.

As a result, it was found that emissions from wind power generation will increase significantly after 2060. Regarding material-specific recycling, glass fiber reinforced polymer (GFRP) is commonly recycled as cement clinker, but new solutions are beginning to be demonstrated and commercialized, primarily overseas. Additionally, it was observed that many wind turbines utilizing Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) are expected by 2060, highlighting the need for established recycling solutions.

1. はじめに

1.1. 本調査の背景・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として、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いる。既に災害や故障等によって、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」が令和4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。また、太陽光パネルをはじめとする再生可能エネルギー発電設備のリサイクル・適正処理に関する対応の強化に向け、制度的対応も含めた具体的な方策について検討することを目的として、環境省、経産省共同事務局の有識者検討会である「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」を令和5年4月に立ち上げ、検討を開始したところである。したがって、本業務では、使用済再生可能エネルギー発電設備のリユースおよびリサイクルを促進すべく、実態の把握及びさらなる適正処理に向けた調査を行った。

1.2. 本調査の実施内容及び調査手法

1.2.1. 太陽光発電設備のリサイクル等に係る基礎調査

再生可能エネルギー発電分野の世界的な拡大に足並みを合わせるように、2012 年頃の FIT 制度導入などをきっかけとして、我が国においても太陽電池モジュールの導入量は増加してきた。 FIT 制度導入から 20 年以上が経過すると、過去導入された太陽電池モジュールの排出量についても拡大することが見込まれる。 一方、太陽電池モジュールの処理可能な業者についても、排出量の増加に合わせて事業者数自体が増えてきているものの、事業運営上の課題や制度上の課題、素材ごとのリサイクルに関する技術的な課題など、様々な課題に直面する中で、スムーズなリサイクルが実施されていないのが現状である。

そのため、本調査においては、アンケート調査を通じて、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うとともに、事業者に対するヒアリング等を通じ、太陽 電池モジュールの各素材におけるリサイクル上の課題や、太陽電池モジュールのリサイクル事業全体に関する 課題を横断的に調査・整理した。

1.2.2. 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

太陽電池モジュールは FIT 制度が導入された 2012 年頃から急激に導入されており、今後その排出量は加速度的に増加すると懸念される。加えて、太陽電池モジュールの将来排出量については、平成 26 年度の環境省による「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」や平成 31 年の国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)による「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」といった既存の推計により、排出量の推計結果が公開されている。

一方で、既存推計には、非FITの排出行動に関する精緻な排出要因分析がなされていないなどの限界もある上、既存推計の公表後に一般社団法人太陽光発電協会から新たな導入量推計も公表されており、その更新を反映する余地がある。

将来にわたって安定的に太陽電池モジュールの処理を進めるためにも、排出量を精緻に推計することは重要である。そのため、本調査では環境省「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」で整理した排出要因に沿って、定量的に排出量を推計した。

1.2.3. 「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)」の改訂に向けた検討

本章では、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に関する認知度とガイドライン改訂に向けた項目案を検討した。具体的には前年度調査にて挙げられた論点に加え、1.2.1 にて実施した実態調査の中で事業者の要望やコメントを把握し、それらを整理して新たな論点を提示した。また、環境省が発行する太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドラインに対して、追加・更新の可能性のある 23 の項目を提示した。

1.2.4. 風力発電設備の廃棄・リサイクルに関する調査・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、太陽電池モジュールのみならず、風力発電設備の導入量も右肩上がりで伸長している。一方で、風力発電設備に関しては、環境省においてこれまで将来の排出量推計等は実施されていない。

加えて、現状、国内において風力発電設備の廃棄事例は多くないが、素材の大半がリサイクル可能であることや、ブレードに使用されているガラス繊維強化プラスチック(以下、「GFRP」という。)など一部素材については、リサイクル上の課題があることが明らかになっている。

そのため、風力発電設備の将来的な排出量推計を簡易的に実施するとともに、基礎的な情報に加えて、解体に伴う課題や素材ごとのリサイクルに伴う課題について整理する。また、特にリサイクル上の課題が大きいGFRP については、海外における先進的な事例を調査することで、今後のGFRPのリサイクルに関する課題解決の方向性について検討する。

2. 太陽光発電設備のリサイクル等に係る基礎調査

2.1. 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査

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4年度調査票を参考としつつも、再整理した実施目的および回答負荷引下げを目的として、一部項目の修正を行った。

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 4 年度調査先である前年度 75 社のうち 73 社および、新規 16 社を追加した計 89 社を対象に行った。

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 57 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1 アンケート調査対象の概要

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	 ○中間処理を行っている事業者(72 社) ・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」 :35 社 ・JPEA 発行リスト外の、調査対象事業者:37 社 ○中間処理及び最終処分を行っている事業者(17 社) 			
回答者数	 ○中間処理を行っている事業者 50 社/72 社(69.4%)から回答あり うち、回答辞退が14社のため、有効回答36社 ○中間処理及び最終処分を行っている事業者 7社/17社(41.2%)から回答あり うち、回答辞退が2社のため、有効回答5社 			

2.1.2. 太陽電池モジュールの排出・廃棄の実態

2.1.2.1. 要因別排出量

各事業者によるアンケート回答に基づく、2020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~表4に示すとおりである。なお、令和4年度調査から回答者が増減していること、又、令和4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4年度調査結果と比べて、2021年度の数量 に一部変更が生じている。

表2 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・リユース全体)

排出要因		単位**	排出量		
			2021 年度	2022 年度	
① 新古品		千枚	0.8	2.1	
① 利白吅		t	15.6	41.6	
	1 不白日	千枚	28.6	32.6	
	1. 不良品	t	577.1	643.9	
	2. 災害等に	千枚	44.0	33.6	
② 故障、	よるもの	t	827.1	671.0	
廃棄品	3. 目的を終了	千枚	4.5	17.4	
	したもの	t	87.3	379.3	
	1 7 0 th TH	千枚	29.4	29.3	
	4. その他、不明	t	581.5	573.2	
本計 (① + /	<u></u>	千枚	107.3	115.0	
	合計 (①+②)		2,088.6	2,309.1	

表3 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		
			2021 年度	2022 年度	
① 新古品) #r+-		0.8	2.1	
① 利白吅		t	15.6	41.6	
	1. 不良品	千枚	19.5	24.5	
	1. 个及吅	t	396.1	490.9	
	2. 災害等に	千枚	39.2	30.0	
② 故障、	よるもの	t	732.7	598.6	
廃棄品	3. 目的を終了	千枚	1.9	13.6	
	したもの	t	36.4	259.3	
	4. その他、不明	千枚	29.4	13.0	
	4. ての他、小明	t	581.5	247.2	
本計 (① + (<u></u>	千枚	90.9	83.2	
合計 (①+②)		t	1,762.3	1,637.5	

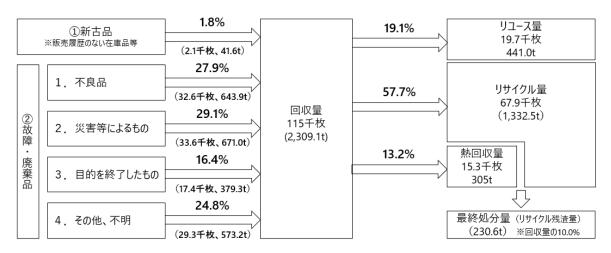
出所)NRI 作成

表4 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		
			2021 年度	2022 年度	
① 华十日		千枚	0.0	0.0	
① 新古品		t	0.0	0.0	
	1 不白日	千枚	0.0	0.0	
	1. 不良品	t	0.0	0.0	
	2. 災害等に	千枚	0.0	0.5	
② 故障、	よるもの	t	0.0	9.0	
廃棄品	3. 目的を終了	千枚	1.0	3.2	
	したもの	t	20.0	110.8	
	4 7 0 lb 7 nd	千枚	0.0	16.1	
	4. その他、不明	t	0.0	321.2	
△ ≢L (① + /	<u>a</u>)	千枚	1.0	19.7	
合計 (①+(4)	t	20.0	441.0	

2.1.2.2. 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。昨年度のマテリアルフローと比較すると、リユース量の割合が10.7 ポイント増えている。これは、災害等による排出が9.2 ポイント増えたことが主要な要因であると考えられる。



- ※ 割合(%)は、重量(t)に基づき算出。
- ※ 重量のみの回答である場合、1枚あたり20kgとして換算した。

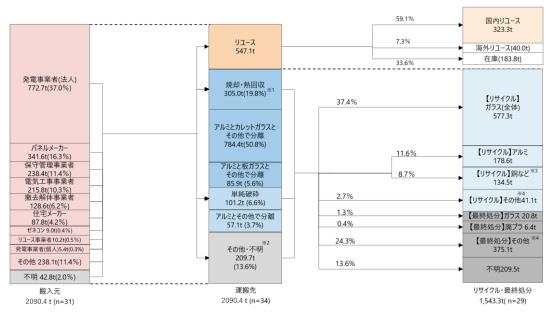
出所)NRI 作成

図1 太陽電池モジュールのマテリアルフロー

なお、排出要因「4. その他、不明」としては、施工不良や施設閉鎖に伴う排出等があげられた。

2.1.2.3. 素材別のマテリアルフロー

令和4年度調査同様に、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。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。



- ※1 リユースを除く各運搬先において記載した割合は、リサイクル・最終処分の合計値を母数とした値となっている
- ※2 運搬先のその他には「シュレッダーによる破砕後の金属のみ回収」が含まれる。
- ※3「銅など」について、事業者によってはパックシートやジャンクションポックスも含む重量となっている
- ※4 リサイクルのその他には「バックシート、銀や廃プラの回収」が含まれ、最終処分のその他には「焼却後の残渣埋立」等が含まれる
- 注:図中に記載した割合の値は小数点第二位以下を四捨五入しているため、合計の割合が100.0%とならない場合がある

図2 今年度の素材別マテリアルフロー

2.1.3. リサイクルに関する実態調査

2.1.3.1. 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 (34 社)は一致しない。また、北海道は回答のあった事業者が存在しなかったことから処理施設が0となっている。

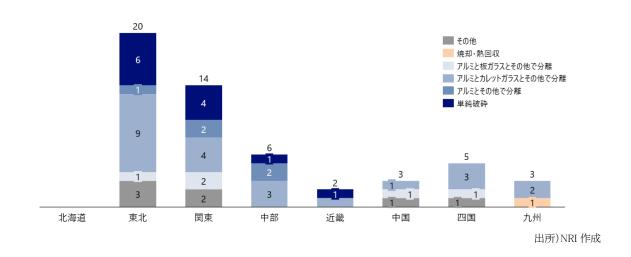


図3 太陽電池モジュールの中間処理施設分布

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。この結果は、令和4年度調査と齟齬のない結果となっている。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、東北や関東では単純破砕やアルミ・カレットガラスとその他で分離するといった処理方法が一般的である一方、中国・四国・九州では単純破砕が少ないなど、処理方法は地域によって差があることが確認された。

なお、北海道は回答のあった事業者が存在しなかったことから処理施設が0となっている。また、東北の処理 施設はある1事業者の回答した処理施設数が多いことにより底上げされている。このようなサンプルによる影響 が比較的大きく出てしまっている調査であることに留意が必要である。

その上で、上記の処理施設に1日当たりの処理可能量を確認し、地域ごとに合計したものが以下である。 表5 地域別の太陽電池モジュールの中間処理可能量(1日当たり)

単位:t/日	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	合計
単純破砕	_	3,021	1,196	355	10	-	-	-	4,582
アルミとその他 で分離	_	-	20	131	-	-	-	-	152
アルミと カレットガラスと その他で分離	-	439	26	33	5	3	218	6	731
アルミと 板ガラスと その他で分離	_	13	20	_	I	5	10	I	48
焼却•熱回収	_	ı	_	_	ı	ı	ı	100	100
その他		-	902		-	120	100	-	1,122
合計値	_	3,474	2,164	520	15	128	328	106	6,735

出所)NRI 作成。小数点以下、四捨五入。

東北や関東では、2,000~3,500t の処理可能量(1日当たり)があるのに対し、中部地方では約520t、四国地方で約328t、その他では100t 程度と地域によって大きく処理可能量(1日当たり)に差があることが分かる。ただ、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、現在の全国の受け入れ可能量の実態をかなり過小に評価している数字である可能性がある点には、留意が必要である。

2.1.4. 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

2.1.4.1. アンケート調査の概要および回答状況

令和4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(2020~2022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に関する依頼元や作業実態等の把握を試みた。

プレ調査、及び本調査の概要は、表6表7に示すとおりである。

表6 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(82 社) うち、直近3か年(2020~2022 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。		

出所)NRI 作成

表7 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(2020~2022 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(2020~2022 年度)に撤去・撤去実績がある事業者(18 社)
回答者数	○撤去・解体に係る今年度調査の有効回答は11社として結果を整理。

出所)NRI 作成

また、継続実施している調査であることを踏まえ、アンケート内容は令和4年度調査票を参考としつつも、再整理した実施目的および回答負荷引下げを目的として、一部項目の修正を行った。

2.1.4.2. 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 (2020~2022 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4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、回答事業者の約46%となった。また、実際に撤去を手掛けた事業者は約22%であった。

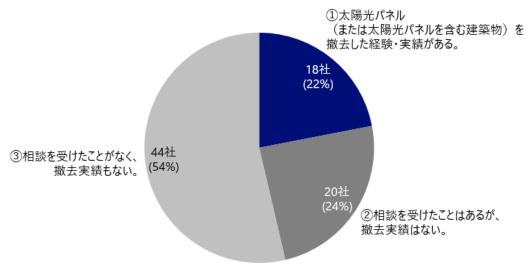


図4 使用済太陽電池モジュールの撤去・解体実績

出所)NRI 作成

2.1.4.3. 使用済太陽電池モジュールの撤去工事件数と撤去事由(本調査)

依頼元や撤去事由等の把握を試みるために、直近3か年(2020~2022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(11社)が、手掛けた工事件数の推移は図5に示すとおりであり、減少傾向にあることが伺える。

これには、令和4年度の調査にて2019年から2020年で工事件数を大幅に伸ばしていた回答者が2022年に工事件数を減らしたこと、令和4年度調査で未回答であった事業者の回答にて2020年から2022年にかけて工事件数が減少していたことなど、令和4年度調査とのサンプル差異の影響がある。

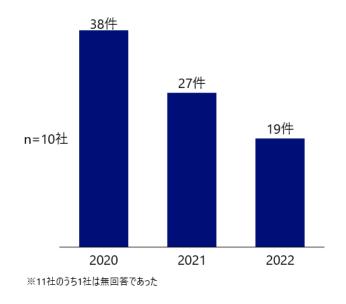


図5 使用済太陽電池モジュールの撤去工事件数

出所)NRI 作成

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依頼元を確認したところ、11 事業者のうち 6 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、撤去・解体工事事業者

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ものと推察された。 上記以外の要因としては、災害要因の排出や在庫処分、法人による発電事業終了に伴う撤去といったケースが 見られた。

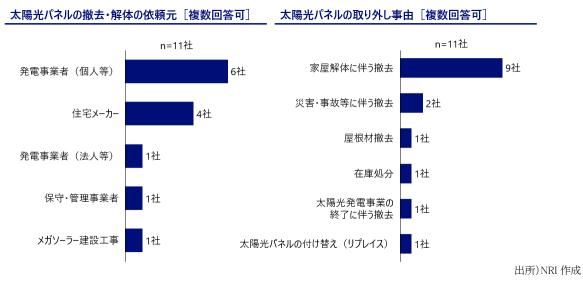


図6 使用済太陽電池モジュールの撤去の依頼元と撤去事由

2.1.4.4. 使用済太陽電池モジュールの撤去工事の実態(本調査)

撤去工事を実施したことのある事業者に対し、撤去した太陽光パネルを収集・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、一社のみ、他撤去物の混載しているケースも存在していた。

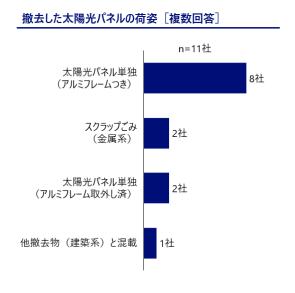


図7 撤去した太陽光パネルを収集・運搬する際の荷姿

また、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 8 事業者が事前に電気系統の遮断工事を行ったと回答していた。原則として、電気系統の遮断工事は事前に行われているものと推察される。

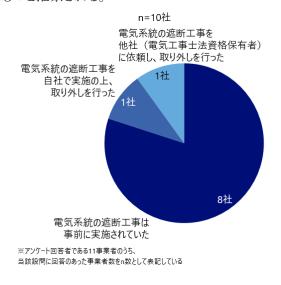


図8 電気系統の遮断工事実施有無

出所)NRI 作成

加えて、中間処理事業者等からの解体方法の指定有無についても確認したところ、11 事業者中 5 事業者が 解体方法を指定されなかったと回答していた。一方、中間処理事業者やリユース事業者から指定された解体方 法について自由回答で確認したところ、カバーガラスの破損を防ぐ形で撤去することが求められていた。

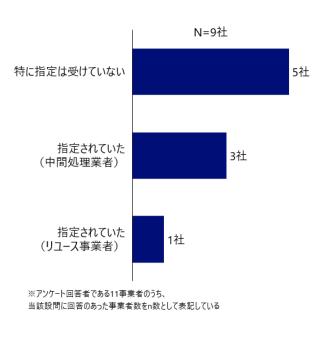


図9 解体方法の指定の有無と依頼元

2.1.4.5. 使用済太陽電池モジュールの撤去工事における情報連携(本調査)

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、情報連携をされている事業者は5社と全体の半分となった。この時提供される情報は、製品情報(型番・メーカー等)やSDS(安全データシート)であり、WDSや含有物質に関する溶出試験結果等の分析結果が情報共有されているケースは見られなかった。

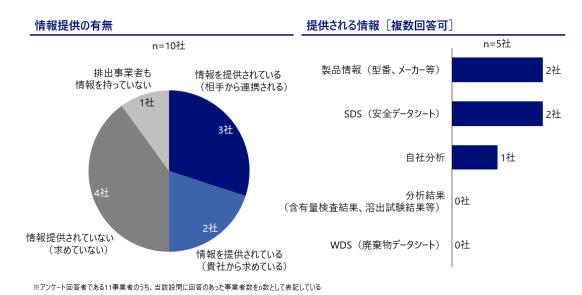


図10 情報提供の有無と提供される場合の提供情報

出所)NRI 作成

2.1.5. 最終処分に係る実態調査

2.1.5.1. アンケート調査の対象概要及び回答状況

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対象とした事業者は、令和4年度調査で実施した、最終処分場を有する44社である。

表8 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	実施方法 対象各社に対し、アンケート調査票の送付					
	令和4年度調査対象である、最終処分場を有しており、					
対 象	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 28 社/44 社(63.6%)						

出所)NRI 作成

また、継続実施している調査であることを踏まえ、アンケート内容は令和4年度調査票を参考としつつも、再整理した実施目的および回答負荷引下げを目的として、一部項目の修正を行った。

2.1.5.2. 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令和 4 年度調査より 12 ポイント増加して、66%となった。しかし、そのうち 8 割程度にあたる 14 社が受入拒否をしている状況であった。

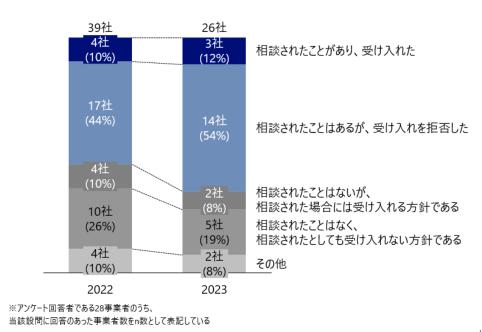


図11 太陽電池モジュールの受入状況

出所)NRI 作成

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、有害物質が溶出するリスクへの懸念が 71%と大半を占 めた。また、50%を占める含有物質が不明という回答も同様の懸念であると考えられ、溶出試験等に関する管理 コストの高騰を懸念した結果、受け入れ拒否が起こっていることが分かった。



図12 太陽電池モジュールの受入拒否事由

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」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13 太陽電池モジュールの最終処分依頼元

出所)NRI 作成

2.1.5.3. 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、アンケートに回答した 25 事業者のうち 20 社 (80%)が回答している。前述の受け入れ拒否の理由においても、有害物質の溶出が懸念されており、最終処分事業者における大きな懸念事項が含有物質や有害物質の確認が難しいもしくはその手間がかかることであると分かった。

受入・埋立処分において懸念している事項 [複数回答] n=25社 浸出水への影響が生じること 20社 (80%) 含有物質や溶出試験結果等、 17社 (68%) 確認のための手間が増すこと 出火等のリスクが増大すること 12社 (48%) PVの埋立量比率が高まり、 6社 (24%) 管理の手間が増すこと 保有処分場の埋立容量と比べて 6社 (24%) 埋立処分量が膨大になること その他(具体的に) 4社 (16%) 周辺住民の理解が得られないこと 3社 (12%) 埋立費用について、 3社 (12%) 今よりも高くせざるを得ないこと 特になし 1社 (4%) ※アンケート回答者である28事業者のうち、 当該設問に回答のあった事業者数をn数として表記している

図14 太陽電池モジュールの受入に係る懸念事項

2.2. 太陽電池モジュールの国内リサイクルの課題および普及促進に関する検討

2.2.1. 太陽電池モジュールにおけるリサイクルの課題

本検討では、2.1 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査の通りに実施したアンケートの中で、自由回答にて、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するところから検討を実施した。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。

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
埋立処分と	・ 直接破砕や埋立処分と比較されてしまうと価格面では勝負にならない。
の比較	・ 処理依頼枚数が少ないケースが多く、収集運搬費について割高に感じられる
	ことが多い。
	・環境面を考慮した処理法では処理委託費が高めになる。
	・ 中間処理を経ずに埋立処分される場合の処理受託費を安く設定されると、リ
	サイクルを志向した中間処理が相対的に高額となり、排出事業者に選択され
	なくなる。国や行政から、リサイクル処理を行う会社にも補助が必要。
	・ 専用設備を用いてリサイクル処理を行う場合、処理費用が高くなってしまう。
運送•処理	・ 実際の処理費用に加え、パネルの運搬に関して「パネル」として取り扱う為、
コスト	手間と時間と費用を要してしまう。
	・ 素材ごとに分別するのに手間がかかり、単純破砕処分と比較すると処分費用
	に格差が生じる。
	・ モジュールは資源価値が低く、運搬・処理にそれ以上のコストがかかる。
	・ 産廃になるので運搬費が高い。運送コストと売却益が合わず逆有償になって
	いる会社が有る。
	・ 専用装置を導入しているため減価償却費が負担となっている。
その他	・ 一定の金額で処理費用を排出事業者から頂いているが、処理会社が増えて
	きたこともあり、相見積もりが発生しており、処理費用の値段の下落が今後懸
	念される。
	・ 処理費の安定:業者間の競争による価格低下を懸念。

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、単純破砕・埋立処分と比較したときの処分価格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や少量含有する銀などの有価性は十分でない。その上、高額な専用設備の運用費や太陽 電池モジュールの各種素材への分別に係るコストなどが重くのしかかり、処分の依頼者が100%リサイクルを指定 しない場合には中間処理事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、事業者から挙がった主な課題・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)

	衣10 太陽电他でンユールのリッイクルにはる前及面の味趣(日田四台)	
観点	意見	
補助金•	・ リサイクル処分委託をおこなった排出事業者等に補助金等で補填すべき。	
周知活動	・ 必ずリサイクルするといった制度がなければ、混載廃棄物として処理される。	
	・ 太陽光パネルに対してのガイドラインしかなく、規制するものがないため、発	
	電事業者や建設会社は、コスト安の処理を選択しがち。	
	・ 太陽光パネル新設時には各種補助金制度等が存在しているが、撤去・処分	
	に関しては東京都では補助事業が開始されたが、全国的に補助事業を推進	
	する方向性が必要では。	
	・ 廃棄費用積立制度を知らない人が多い。制度は知っているが、FIT 期間内で	
	条件が合えば積立金の払い戻しが可能などは知らなかった等。	
	・ 未だに破砕後管理型埋立処分とする方が費用面で安いため、ガイドラインな	
	どにリサイクルを先に検討することなどを掲載することが必要。	
許可事業者	・ メガソーラーなど、一度に大量に排出された際に、運送業者(許可業者)が不	
不足	足。期限内に処理可能な量だけしか受け入れられない。パネルの大半が建	
	物等と一緒に解体されるのではないか。	
	・ 効率的かつ低コストで広域回収できるシステムが無い(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)。	
適正処理	・ 法令整備が進んでいないため、現行では重機などでガサッと積込み、処分場	
	でダンプアップし、シュレッダーをかけても「適正処理」として扱われている。	
	・ 処理フローなどにより、太陽光パネルに特化した処理業者の選定及び特定を	
	行政が行う必要がある。	
事前協議	・ 県外廃棄物の搬入に事前協議が必要となり、手続きに時間と労力を要する。	
	・ 廃棄困難の為、県外からの問い合わせがあるが事前協議の説明をすると難し	
	い顔をされる。事前協議が簡単だと良い。	

出所)NRI 作成

最も多く挙げられた制度面の課題が、リサイクルに関する補助制度についてであった。金銭面の課題でも述べた通り、太陽電池モジュールのリサイクルは事業として経済性が成り立たないにも関わらず、発電事業者から見た際にも産業廃棄物として廃棄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。発電事業者が自発的にリサイクルを選択するようになるためには、中間処理事業者のコストもしくは発電事業者の支払う処理費用のいずれかを補填するべきという意見が目立った。

それ以外には、広域認定制度等にて太陽電池モジュールのリサイクルを適正に運用・実施できる事業者の数が少なく、処理量が限られてしまうことや、県外排出に係る制度の煩雑さ、適正処理の未定義といった問題が挙げられている。

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	・特に海外メーカー・撤退メーカーにおいて、太陽光パネルの製品情報や含え	
情報開示	物質情報が不足している。	
	・排出事業者の認識不足が大きく、シリコン系のパネルなのか?化合物のパネ	
	ルなのかすら答えが出てくるまでに時間がかかってしまう。	
	・ 国内製造事業者においては、総じて太陽光パネル製品情報等の提供に問題	
	はないと思われるが、海外製品においては入手困難な部分がある、輸入業者	
	等にも製品情報の提供を促進するよう指示が必要と思われる。	
	・ガラス成分にはAsが含まれる場合があり、ガラスリサイクルの方法によっては微	
	量成分の情報が重要となる。	
	・パネル受入時において、製品情報(製造年、含有物質情報)の他、利用年数	
	(経緯)、製造ロット情報が欲しい。回収したガラスにおいて、リサイクル材として	
	のガラス品質条件に関する情報開示が欲しい。	
	・受入パネルの品番データの構築による、情報サイトが必要。	
	・必要な情報はパネルの含有物質だ。国内メーカーはよいが、海外メーカーだと	
	まだまだ情報が少ない。発電事業者に問い合わせても、製品情報を持ってい	
	るのは 1 割程度。9 割程度は持っていない、わからないと言う。 買ってから 10	
	年・20 年たっているので、担当者が変わっていることが多い。海外メーカーも 8	
	割方を占めているため、自社経験で型番ごとの分析・ノウハウで回している。	
	・ 必要な情報はパネルの型式。 基本的にメーカーの資料をダウンロードできれ	
	ば、サイズや重量が分かる。ない場合は裏面のステッカーの情報を事前に得て	
	いる。また、機材等の搬入可否のため、現地の状況も必要な情報だ。	
有害物質の	・アンチモンや銀など技術関連の情報が不足。結晶系でも銀を含まないパネル	
認識不足	が 2015 年あたりから多く見られる。アンチモンは環境省によると、第一種指定	
	化学物質であることから、アンチモンも鉛、ヒ素、カドミウム、セレンと同じである	
	認識がないに等しい状況。	
	・アンチモンは、電機工事会社や産廃業者などにご存じない方は多いかもしれ	
	ない。そもそも、リユース・リサイクルができるのかどうかを認知してもらえていな	
	いかもしれない。積極的に情報を取りにいかないと分からない情報になってい	
	る。一方で大手発電事業者や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(以下、「REASP」という。)様の会員等は知っていることが多い。	
	・発電事業者は認識していそうだが、解体事業者が認識はしていないだろう。発	
	電事業者から情報連携がされていないのだろう。	

その他・FIT 終了後、新電力として契約された発電所は、廃棄が発生するタイミングが わからない。地域ごとにどれくらいの量がいつ廃棄されるかといった情報を共有 すべき。

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。国産のパネルであれば含有物質の情報を取得できる環境が整ってきてい るものの、外国産のパネルや国産でも生産年が古いものは含有物質の情報を取得できないケースが多い。こう した場合は、中間処理事業者が蓄積してきたノウハウなどで対応しているのが現状であり、情報連携に関するス キームが確立することが求められている。

情報面の課題に対しては、2024年春以降の再エネ特措法の省令改正施行後、太陽光パネルに含まれる可能性のある有害物質(鉛・カドミウム・ヒ素・セレン)について、FITに登録する太陽光パネルの型式データベース登録時に含有状況の提出を可能とするなど、国としても対応が進んでいる。一方で、アンチモンなどのガラスの組成物質や有価物(銀など)の含有量や製造期間といった情報は登録の推奨に留まったこともあり、情報連携に関する課題がどのように変化するかについては継続調査を行った上で、対応策の検討が必要である。

2.2.2. 太陽電池モジュールにおけるガラスのリサイクルの実態

2.2.2.1. 太陽電池モジュールにおけるガラスの取引実態

2.1.1 の通りに実施したアンケートの中で、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約61.8%となった。令和4年度調査においては40.7% であったため、21.1 ポイントの増加となる。特に多孔質ガラス発泡剤・グラスウール候補の素材では、有償取引となる割合が75%と高かった。

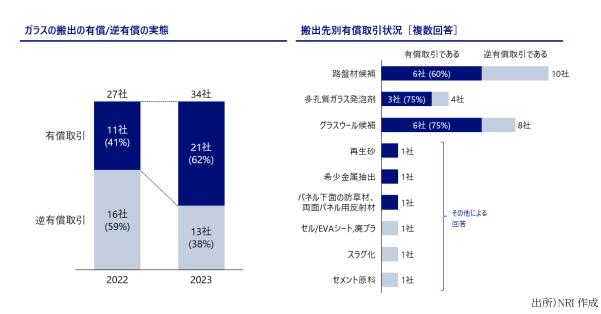


図15 太陽電池モジュールのガラスに係る有償/逆有償の実態

ガラスの有償取引をめぐる直近の動向について、中間処理事業者へのヒアリングを別途行ったところ、破砕技術の発展等により純度の高いガラスがリサイクル材に回るようになった結果、より様々な用途に使われるようになったのではないかとの要因仮説が挙げられた。

一方で、同ヒアリングの中で、有償取引が増加しているという肌感覚はないとの声も聞かれた。令和4年度調査と回答事業者が異なることによる影響が大きい可能性があることに留意が必要である。

また、逆有償となってしまう要因について調査を実施すると、以下のような回答結果が得られた。有償取引を 増加させるためには、ガラスの品質を十分に高めること、また引き取り手となるガラスメーカーとの距離が重要と なることが示唆された。

表12太陽電池モジュールのガラスにおける逆有償取引となる要因

回答内容

- ・ガラス剥離の際に発生するガラス粉、精製の際に発生するガラスと混じりがある物については逆有償となる
- ・ ガラス粒径・ガラスの大きさや含有物によって有償・逆有償が決まる
- ・ガラスカレットは有償売却を予定
- ・買取業者との距離が遠ければ逆有償取引になる可能性がある

2.2.2.2. 太陽電池モジュールにおけるガラスのリサイクルに関する課題

2.1.1 アンケート調査対象の概要及び回答状況の通りに実施したアンケートの中で、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中で、ガラスに関する課題について以下の回答を得た。

表13 太陽電池モジュールにおけるガラスのリサイクルに関する課題(自由回答)

項目	詳細
需要量の少なさ	・ガラスの需要が少なく、大量排出時には引取不可となり、処理費用に転嫁されることが想像 される
有価性の小ささ	・リサイクル材が価格面で価値付けされれば、自立したリサイクルが推進できる・回収物の高付加価値化・水平リサイクルには素材メーカーの協力が必要だが、現状はカスケードリサイクルしか存在せず、処理受託費を高くせざるを得ない

出所)NRI 作成

太陽電池モジュールの中で、60%以上を占める最大の素材であるガラスの有価性は、太陽電池モジュール自体のリサイクル材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と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られず、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。

上記の背景を踏まえ、ガラスの用途ごとのリサイクルに伴う品質・技術的課題と事業的課題を表 14 の通り整理した。

品質基準をクリアした多孔質ガラス発泡剤やグラスウールへのリサイクルは進んでいるものの、それだけでは 太陽光パネルの大量排出が行われるようになった際、その全てをリサイクルしきれない。一方で、板ガラスについては、有害重金属などの含有状況・トレーサビリティに関する品質基準が、外見的基準担保の観点から非常に高くなっており、現状の太陽光パネル由来のリサイクルガラスではそれを満たせないことが課題となっている。

表14 太陽電池モジュールにおけるガラスのリサイクル用途別の品質基準、課題

用途	表14 太陽電池センュールにおけるカプスのリザン 品質基準・技術的課題	事業的課題
板ガラス (フロート)	・ ヒ素・アンチモンといった物質は黒点となって 外見的な品質基準に抵触してしまうため、上記 物質が全く含まれないことが必要 ・ 一方で、上記を実現する技術は現状存在しな い ・ また、組成の基準のみならず、運搬時に付着 した物質などについても外見に影響を及ぼす ため、品質基準が存在する	・(技術的に不可能なため、現状存在しない)
型板ガラス	模様が入るガラスであるため、黒点等の外見的な品質基準は比較的緩いホットナイフ等により板ガラスを分離できた場合は、型板ガラスとして活用可能	性に懸念がある
多孔質 ガラス 発泡剤	 ・ 板ガラスに求めるほどの詳細な組成情報やトレーサビリティは必要ない ・ 搬入時のカレットサイズには多少の条件が存在する ・ アンチモンなど有害重金属の漏出が懸念されていたが、鳥取再資源化研究所においてアンチモンの無害化技術が開発¹され、その課題は今後解決に向かいうる 	型板ガラス同様、使用する場合には、安定的な原料の供給が必須だが、現状の排出
グラスウール	 グラスウールは原材料の8割以上がリサイクルガラスである2など元々リサイクルガラスを活用しやすい品質基準になっている 従来のグラスウールとPV由来のガラスを使用したグラスウールでアンチモンの溶出量は大きく差異がないという検証3もあり、品質基準としては大きな課題はない 	吸収しきれない。そのため、板ガラス業界でも活用できるような技術的ブレイクスルーが求められる

¹ 日本経済新聞「太陽光パネル再生 鳥取の企業、無害化技術で事業展開」2020 年

https://www.afgc.co.jp/company/csr/eco.html
 経済産業省「第3回 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 議事録」2022年

2.2.3. 太陽電池モジュールにおける銀のリサイクルの実態

2.1.1 の通りに実施したアンケート、および事業者に対するヒアリングの中で、銀のリサイクルに関する課題について、以下の回答を得た。

表15 太陽電池モジュールにおける銀のリサイクルに関する課題(自由回答)

項目	詳細
銀の含有量 減少	 リサイクル処理後のバックシートに関しては精錬業者に依頼しているが、年々銀の含有量が減っていると聞いている。将来的に量が集まったとしても精錬業者の処理コストがかかるので、有価性の維持は難しいのではないかと言われている 有価性は銀の含有量で評価されている。ある一定量を下回ると有価性のあるものとして判断されなくなる。バックシートそのままだと有価処理できなくなる可能性がある 現状、セルシートは有価物になっている。古いパネルだと 1 万 ppm を超えて銀が出る。一方、ここ 10 年以下のものの処理をすることもあるが、3000ppm 程度に落ちている。これより新しいものが出てきたときの事業性については不明だ。おそらく処理費用の値上げをしつつ、ガラスとセルシートを分別するなどの有価性を高める取り組みが必要だろう

出所)NRI 作成

実際に、令和5年度「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第5回資料」において示されたように、太陽光パネルに含有している有価金属のうち、特に価値の高い銀については、その含有量が減少傾向にあるとの意見がある。

また国際再生可能エネルギー機関(以下、「IRENA」という。)の調査レポート⁴においても、太陽電池モジュールにおけるワットあたり銀消費量が減少の一途であることが示されている。

こうした事態に対応するべく、事業者においては銀や銅、シリコンの抽出といった異なる有価物質の活用が検討されている。一方で、フランスで銀・銅・シリコンまで抽出した事例においては未だ逆有償となっているという意見や、バージンシリコンの方が安いという意見があり、今後の対応課題となっている。

 $^{^4}$ IRENA「End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels」 2016 年

2.2.4. 太陽電池モジュールにおけるプラスチックのリサイクルの実態

太陽電池モジュールは、太陽電池セルと、受光面のカバーガラスおよび背面のバックシートを、封止材 (EVA)で接合する仕組みとなっている。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、太陽電池モジュール全体の約 18%を占めており、素材構成比としてはガラスに次いで 2番目に大きい。

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。中間処理業者にてバックシートを分離した後、銀などの有価物の精錬業者に受け渡し、精錬業者が不純物としてプラスチックを除去するといった工程により、プラスチックが排出されている。

プラスチックがリサイクルされるケースでは、熱回収が一般的である。例えば、受光面のカバーガラスとバックシートを分離するために加熱分解した場合、加熱により気化した EVA 樹脂をそのまま排出する、もしくは熱エネルギーとして熱回収している。熱エネルギーとして活用する熱回収は国内においても一部企業により実証実験が進められており、今後一般化していくものと見られる。

ただ、上述した通り、プラスチックは排出もしくは熱回収に留まっており、水平リサイクルを実現することはできていない。その原因を調査するため、事業者に対してヒアリングをしたところ、リサイクルに値する有価性が担保できないことが主たる原因であることが明らかになった。

表16 太陽電池モジュールにおけるプラスチックのリサイクルに関する課題(自由回答)

項目	詳細
	・ そもそもプラスチックはリサイクル材としての質が低い。 有価性がある銀やガラスなど
有価性の	の選別・精錬処理の過程で熱回収するのが限界。
小ささ	・薬液処理によりプラスチックを選別することは技術的に可能だが、処理コストがかなり
	高価になるため、全く経済性が成り立たない。

出所)NRI 作成

プラスチック自体に有価性がなく、銀やガラスのリサイクルに伴う熱回収となっている現状は、言い換えれば、プラスチックのリサイクルが銀やガラスの有価性に依存していることを示している。2.2.3 太陽電池モジュールにおける銀のリサイクルの実態でも詳述したが、太陽電池モジュールに含まれる銀の含有量は減少の一途であり、太陽電池モジュール全体の有価性が小さくなっていることが課題となっている。そのため、銀の含有量が著しく減り、銀を抽出する工程を行わなくなった場合、プラスチックも同時に散逸・排出されると考えられる。各事業者においては、銀の含有量減少に対応するための対応策が検討・実証されているところであるが、新たな対応策が進められる際には、太陽電池モジュールのリサイクル過程にプラスチックの熱回収の余地が残るかどうか、注視する必要がある。

2.2.5. 太陽電池モジュールにおけるシリコンのリサイクルの実態

太陽光パネルはシリコン系・化合物系に大別されるが、特にシリコン系の太陽光パネルが国内外で多く普及している。これらの太陽光パネルの太陽電池セルにはシリコンが含まれているものの、その他にも EVA 樹脂や電極・配線・銀等が含まれており、シリコンのみを抽出することは容易でない。一方で、2.2.3 太陽電池モジュールにおける銀のリサイクルの実態でも述べた通り、有価性の高い銀が減少する中で、シリコンの有価性に着目する動きもあり、シリコンのリサイクルの重要性は高まっている。

シリコンを抽出する技術自体は既に複数の手法が確立されている。例えば、その内の一つである溶融電解法は、2019年に NEDO が実施した「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」の中で、一定の高純度化を実現・実証している5。また、フランスのスタートアップである ROSI 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およびトリクロロシラン調製用シリコン顆粒及び関連製造方法に特許を有しており、その工程では熱分解・機械的選別の上、塩化水素処理や塩素処理を通じた化学分解を行い、高純度のシリコン抽出を可能にしている6。

上記背景があるものの、現時点で国内においてシリコンの回収・リサイクルを事業化できている事業者は存在していない。それはひとえにシリコンの抽出に活用する溶媒液や必要な設備のコストが高く、事業性が成り立たないためである。実際に、2019年に NEDO が実施した「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」の実証では、人件費や設備費・材料費を合計した総支出が総収益をわずかに上回る形となっており、採算を取ることの難しさが明らかになっている。その上、総収益における銀の存在感は大きく、銀の含有量が少なくなった場合のリサイクルを通じた収益額は一定程度減少することが見込まれる。こうした事業環境の悪化を踏まえても、採算を取ることが可能なシリコンのリサイクル手法が開発されることが期待されている。

そんな中、実際に事業化に進んだ事例は海外で現れ始めている。前述した ROSI 社は、高純度シリコン抽出 ソリューションを通じて 2023 年 9 月より抽出後のシリコンを素材として販売開始している。工場の増設も進めて おり、将来的には年間 1 万トンの太陽光パネルを処理可能になることを目指し、事業拡大を進めているフェーズ にある。こうした先進的ソリューションを持つ同社と、2022 年 11 月伊藤忠商事株式会社が業務資本提携を結ん でおり、国内外で太陽光パネルリサイクルビジネスの共同開発・事業展開を進めていくとしている。

また、日本国内においても、シリコンリサイクル事業化の検証は進められている。自社でシリコン製品の生産も行っているトクヤマは、低温熱分解による樹脂と板ガラスの分離に加え、セルに含まれるシリコンの抽出を目指している。現状は板ガラスの分離の他、樹脂の熱回収なども含めると95%以上のリサイクルを実現しているものの、シリコンは現状リサイクルできていない。ただ、2025年を目途に自社製品の原料としてリサイクルシリコンを使用する展望を描いている。。

⁵ NEDO「「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」2019 年

⁶ Google 特許「JP2021508311A」「WO2019239067A1」

⁷ 伊藤忠商事「太陽光パネルリサイクル事業を展開する ROSI 社との資本業務提携について」2022 年

⁸トクヤマ「太陽光パネル低温熱分解リサイクル技術」2023年

2.3. 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

2.3.1. 太陽電池モジュールの国内リユースの実態

2.3.1.1. 太陽電池モジュールの国内リユースの概要

令和4年度調査において確認された通り、現状リユース品の8割~9割は海外に搬出されている。今年度の調査においても、複数のリユース事業者に状況をヒアリングしたところ、昨年度の状況と相違ないことが確認された。リユース品の大半が海外に輸出されている状況であるため、国内において太陽光パネルのリユース市場はほぼ立ち上がっていないのが現状である。

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

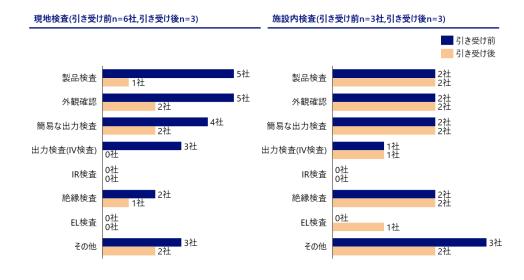
図16 太陽電池モジュールのリユース動向

出所) 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」

2.3.1.2. 太陽電池モジュールの国内リユースに係る検査の実態

2.1.1 にて記載したアンケートの中で使用済太陽電池モジュールのリユースに係る検査の実態について確認した。また、使用済太陽電池モジュールのリユースにあたっては、引き受ける前に現地にて製品情報の確認、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。引き受けた後の検査実態も引き受け前と大きく変わらないことが分かった。

一方で、施設内検査をする場合、製品情報の確認、外観検査、簡易な出力検査といった簡易的な検査に加 えて、絶縁検査といった精密な検査も行っていることが分かった。



出所)NRI 作成

図17 太陽電池モジュールの国内リユースに係る検査の実態

この調査結果を踏まえ、国内のリユース事業者に対し、現地検査等にて簡易的な検査を行う理由について、 ヒアリングを実施した。その結果、リユース事業の経済性が高くない中で、検査費用をどれだけ抑えられるかが 事業者の至上命題となっている実態が明らかになった。ヒアリングの中で、施設内検査は、何らかの理由ですぐ に運ばなくてはいけないケースや搬出先が未定ながら買い取りを迫られたケースなど、やむを得ない場合にの み実施すると答えた事業者も存在した。

現地検査は物流費の削減や運搬時の破損のリスクを抑えられることがメリットであるが、一方で現地の環境によって検査機器の持ち込みに制限があり、検査の質が左右されることがデメリットである。リユース品の品質を担保するためには、リユース市場の事業環境が厳しいことを鑑みた上で、必要な検査が十分に実施されるような体制の整備が検討課題であると考えられる。

2.3.2. 太陽電池モジュールの国内リユースの課題および普及促進に関する検討

2.3.1.1 でも確認した通り、現状のリユース品は大半が海外への輸出となっており、国内においてリユースの市場はほぼ立ち上がっていない。一方で、海外に輸出されるリユース品の中には、検査等が適切になされないまま不適切な状態で輸出されているものがある可能性があり、複数の業界関係者によって問題視されている。法制度の整備のみならず、リユース品が国内で循環される市場環境を構築することが、リユースの拡大に向けて重要なテーマとなっている。そのための課題について、複数の事業者にヒアリングをしたところ、需要の喚起・事業性の支援・市場慣行の標準化・情報連携の促進それぞれで対応策が求められるとの結果が得られた。

表17 リユース市場拡大に向けた課題

3.11 ノー / 川加川人に同じたMA		
項目	課題と求められる施策	
需要喚起	そもそも市場が立ち上がっておらず、リユース品を認知していない発電事業者も少なくない。その上、リユース品には出力劣化しているという性能上の特徴があり、適切な用途が限られる。こうした特性を踏まえ、「短期利用」のシーンにリユースパネルが適切で	
	あることを大々的に PR するといった施策が求められる。	
た支援	パネルメーカーの在庫状況等により新品パネルの価格が低下する中で、リユースの事業性は厳しい。その上、リユース事業は検査や納品のオペレーションが難しく、参入も用意ではない。こうした事情を踏まえ、リユース事業者に対する補助制度等の運用は有効である。	
市場慣習の標準化 (検査基準の統一)	リユースの事業性がない中では売り手はコストを下げた検査を行いたいと考える。 一方、故障有無を判断するために精密検査することはほぼ必須。そのため、双方にメリットのある形で、品質・検査基準の標準化することが必要である。	
情報連携の促進	現状、リユース診断を受けずに廃棄物として処理されているパネルも多く、中にはリユース品として使用可能なパネルもあると見られている。こうしたパネルの散逸を防ぐため、情報連携プラットフォーム等を使い、パネルのリユース診断をより一般的なものにする	

3. 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

3.1. 排出量推計に関する考え方

3.1.1. 排出量推計の基本方針

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(以下、過年度推計)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推計」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(以下、「NEDO推計」という。)が公開されている。

前述の環境省の過年度推計では、太陽光パネルが寿命到来(寿命20年、25年、30年と仮定)に伴い一律 排出されるという簡易的な推計ロジックを採用した試算であったため、異なる仮定・ロジックを活用した排出量推 計が必要である。

また、NEDO 推計はその目的上、FIT 期間満了後の排出行動に焦点を当てて排出量のピークを推計しているため、今後導入量の拡大が予測される非 FIT の排出行動については簡易的な仮定を置いた推計となっている。

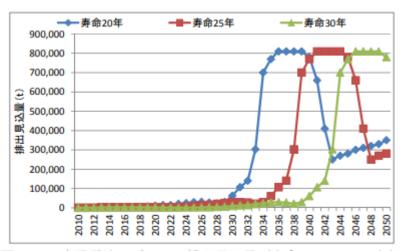
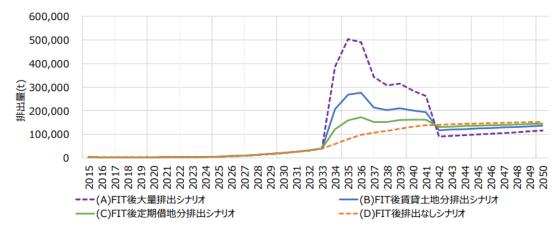


図 1-31 太陽電池モジュール排出見込量(寿命 20、25、30年)

出所)環境省「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」平成 26 年 図18 環境省による過年度推計



図Ⅲ-2-④-(2)-8 シナリオ別の排出量推計結果

表Ⅲ-2-④-(2)-6 排出量推計結果の産業廃棄物最終処分量との比較

	,	
年度	排出見込量	2015 年度の産業廃棄物の
十段	(B)、(C)	最終処分量に占める割合
2020	約 0.3 万トン	0.03%
2025	約 0.6 万トン	0.06%
2030	約2.2トン	0.2%
2036	約 17~28 万トン	1.7~2.7%

出所)NEDO「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推計」平成 31 年

図19 NEDO による排出量推計

こうした背景から、今回の排出量推計においては、特に以下の点を目的として、排出量の推計を行った。

- 排出量が最大化したケースを想定し、今後の施策検討の材料とする。 推計に際しては、多様な仮定(変数、確率分布、シナリオ等)の設定が必要となるが、その 設定において排出量がより大きくなるような仮定を採用した。
 - こうした仮定により算出された推計結果を用いて、排出量が最大化した際のピークを特定の上、そのピークに計画的に対応するための準備・施策検討に本推計を活用することを目的とする。
- 非 FIT の排出量にもフォーカスを置いた排出量推計を実施する。
 - NEDO 推計では FIT 期間満了時の排出行動に焦点を当てたシナリオ設定がなされていた。一方で、JPEA による予測によれば、2050 年に向けて太陽光発電の導入量が増大するとした場合、導入量の多くを占めるのは非 FIT のパネルである。非 FIT のパネルの排出行動に関する調査は行われていないが、その排出行動について仮定を置いて推計に取り込むことで、非 FIT に焦点を当てた排出量推計を行うことを目的とする。

なお、本推計においては災害による廃棄等、予測の蓋然性が極めて低い事象による廃棄については、予測の対象外とした。あくまで、定常的に排出される排出量の予測であることに留意が必要である。

その上で、排出量推計に取り込む排出要因の検討を行った。

令和4年度報告書において、太陽電池モジュールの排出に影響する要因について、物理的・経済的要因、 制度的要因の2観点から排出量推計更新時に組み込む優先度を検討している。

その結果によれば、①物理的要因としての故障 ②経済的要因としての損益分岐点 ③制度的要因としての FIT 期間満了の 3 要因を、本調査における排出量推計の要因として組み込む方針とした。

排出量に化	系る要素・論点	区分	推計優先度	点 意 留
	施 工 不 良 ※設置から1年以内	共 通	0	✓ 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。
物理的	故 障 ※設置から1年以上	共通	0	✓ 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。
初理的 要 因	屋根補修	住宅	Δ	✓ 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	0	✓ 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	0	 ✓ 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とも早々に排出(リパワリング含む)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)を有識者と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したものに近いと思われる。
	別 工 事 の つ い で	住宅	Δ	✓ 多くは物理的要因「屋根補修」に含まれると認識。

排出量に	排出量に係る要素・論点		推計優先度	留意点
	FIT 期間満了	住宅 非住宅	0	✓ 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期間を仮設定した上で、重複に留意した推計が必要となる。
	メーカー 指 定 寿 命	共 通	Δ	✓「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	Δ	✓「FIT期間満了」に含む要因として扱う
制度的	借 地·屋 根 貸 期 間 満 了	共通	Δ	✓「FIT期間満了」に含む要因として扱う
要因	買替営業	共 通	Δ	✓ 「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	×	✓ 「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	×	✓ 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	×	✓ 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

出所)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」 図20 令和4年度報告書で整理した排出量推計に組み込むべき排出要因 また、排出量推計に組み込む排出要因を定量的に捉える手法については、以下の通りとした。なお、次章以降で詳述する。

表18 排出量推計に組み込んだ排出要因

項目	排出要因	本推計における取り扱い
物理的•	故障要因	・ 複数の公開情報をベースに仮定した経過年毎の故障要因に
経済的要因		よる排出確率に沿って排出されると仮定した
		・ 故障要因の排出については、住宅・非住宅ともに同様とした
	損益分岐	・ 経過年ごとの劣化率に対し、正規分布を用いた排出判断値
		に達した際に排出されるという仮定の上で、排出判断値を 2
		つのシナリオに分けて推計を行った
制度的要因	FIT 期間満了	・ 複数の公開情報および有識者に対するヒアリングから、FIT
		期間満了時には、個人もしくは事業者の 15%が排出行動を行
		うと仮定し、推計を行った

出所)NRI 作成

最後に排出量推計の算出式は、以下の通りとした。

導入年毎に経過年毎の排出量を算出した上で、推計対象となる 2002 年から 2050 年の排出量を合算する形で推計を行っている。経過年毎の排出量は、まず、故障により一定量が排出された上で、残る導入量に対し損益分岐要因および FIT 期間満了要因による排出確率を乗じた排出量が排出されるという計算式である。

2024年	2024年								
	住 宅(2024年導入量:A ^{※1})					非 住 宅(2024年導入量: B ^{※1})			
	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	α_0		M ₀	$AM_0 + \alpha_0 (A-AM_0)$ = $A(M_0 + \alpha_0 - M_0\alpha_0)$	βο		M_0	$BM_0 + (B-BM_0) \beta_0$ = $B(M_0 + \beta_0 - M_0\beta_0)$	
1年目	α_1		M ₁	$A(M_1 + \alpha_1 - M_1\alpha_1)$	β ₁		M_1	$B(M_1+\beta_1-M_1\beta_1)$	
•	:		:	:	•		•	÷	
FIT 満了年 (f年目)	α_{f}	a _f ^{**2}	M _f	$\begin{array}{c} AM_f + (A - AM_f) \ \alpha_f \\ + (A - AM_f) \ a_f \end{array}$	β_{f}	b _f ^{**2}	M_{f}	$BM_f+(B-BM_f) \beta_f+$ $(B-BM_f) b_f$	
f+1年目	α_{f+1}		M_{f+1}	$A(M_{f+1} + \alpha_{f+1} - M_{f+1} \alpha_{f+1})$	β _{f+1}		M_{f+1}	$B(M_{f+1}+\beta_{f+1}-M_{f+1}b_{f+1})$	
:	÷		:	:	i:		:	÷	

- ※1 推計を行う際には累計排出量が導入量を上回らないような処理を行う
- ※2 非FITの場合、係数a_fとb_fは0とした

出所)NRI 作成

図21 令和4年度報告書で整理した排出量推計に組み込むべき排出要因

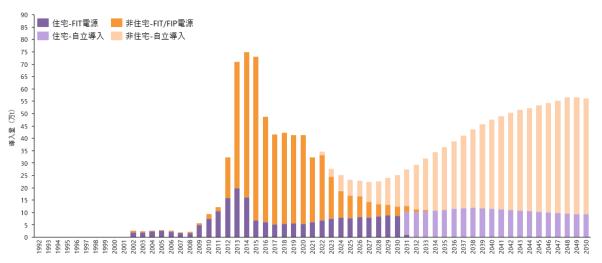
3.1.2. 排出量推計に使用する導入量推計

本推計においては、出力ベースでの導入量実績および導入量推計を元となるデータとした上で、導入年毎に異なる出力重量比率を乗じて導入重量に変換したトンベースでの導入量を活用した。

2011 年以前のデータは資源エネルギー庁「エネルギー白書」(2023)のデータを活用しており、2012 年以降の 導入量実績および導入量推計となるデータは太陽光発電協会が作成した「JPEA PV OUTLOOK 2050」(2020 年公表版)における「最大導入ケース AC300GW」から、リプレースを除いた量を出所としている。

結果として、FIT 制度が導入された 2013 年から 2015 年頃をピークに 2027 年頃まで導入量が減少、その後徐々に導入量が増加に転じ 2050 年に 2016 年水準を超える程度の導入がなされるという予測となっている。

また、出力重量比率については、NEDO 推計と同様のものを使用した。すなわち IRENA の「End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels(2016)」の調査レポートにおける導入年次ごとの出力重量比の実績値および理論値をプロットし、指数近似による回帰式を算出した。



出所)資源エネルギー庁「エネルギー白書」(2023)・JPEA「JPEA PV OUTLOOK 2050」(2020)等より NRI 作成 図22 太陽光発電の導入量推計

「JPEA PV OUTLOOK 2050」における導入量推計データについては、以下点に留意する必要がある。

- 2050年の300GW 導入からバックキャストした上で、外部環境の分析および JPEA 会員企業による意見を踏まえて、予測がなされている
- 次世代太陽電池モジュール等は、直接の導入量として考慮するのではなく、稼働率の計算等に溶け 込ませる形で整理されている

また、導入量推計の蓋然性を検証するため、上記の導入量推計データについて発電事業者に対して所感を ヒアリングしたところ、現実の事業環境に照らすと導入量推計の値が過大ではないかとの意見があった。発電事 業者の所感は、最大導入量のケースを採用していることが主たる原因であり、本推計は排出が最大化するケースの排出量推計を目的とすることから、意欲的な最大導入ケースを活用することが最適であると判断した。

ただ、発電事業者からは FIT の終了に伴う買い取り価格の低下や太陽光発電の適地が減少していることから、導入量は横ばいで推移するのではないかという意見も見られた一方で、カーボンニュートラルに代表される

社会的要請の変化やそれに伴う外部環境の変化に伴い、本導入量推計の通りに推移する可能性があるとの意見も見られた。現時点において、すべての定性要因を定量化することには限界があるため、我が国のエネルギー政策の動向など、外部環境の変化に伴い、必要に応じて排出量推計を更新する必要があると思われる。

3.1.3. 故障要因の推計への反映

故障要因の排出については、複数の公開情報をベースに経過年毎の故障要因による排出確率を仮定した。 まず、平成24年度「使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査」において、太陽光発 電設備のある時点における経過年数毎の修理・交換率が調査されている。なお、有識者へのヒアリングによれ ば、太陽光パネルが修理・交換される場合新品へとリプレースされることが大半であるという。そのため、修理・交 換されたものが全量排出されると仮定した。

	太陽電池	パワーコン	ディショナ		
	(N=77 J	(N=166 a	より推計)		
経過年数	修理・交換率	経過年数	修理・交換率	経過年数	修理・交換率
1	17.1%	11	1.7%	1	28.9%
2	0.0%	12	2.0%	2	3.2%
3	0.6%	13	1.4%	3	1.8%
4	0.9%	14	2.3%	4	1.4%
5	0.3%	15	2.2%	5	1.7%
6	0.8%	16	1.0%	6	3.4%
7	0.8%	17	0.8%	7	2.7%
8	0.5%	18	1.9%	8	2.9%
9	1.1%	19	1.9%	9	3.4%
10	0.9%	20	1.9%	10	4.2%

出典:アンケート調査より設定(経過年数19年以降はサンプル数が少ないため経過年数18年と同率とした。)

出所)環境省「平成24年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査」 図23 経過年毎の故障による排出確率 一方で、上記の調査は経過年数1年目の修理・交換率が非常に高くなっている。下記の故障率に関する公開情報・調査から、1年目の修理・交換率を除外するべきと判断した。

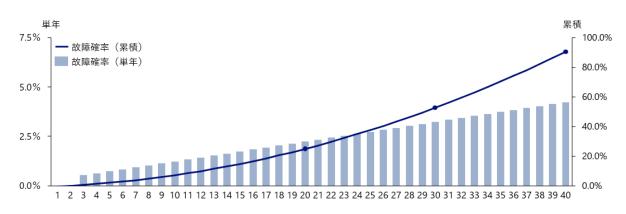
表19 経過年毎の故障に関する公開情報

年度	情報ソース	内容
2011	産業技術総合研究所	・ 「太陽光発電システムの運用・保守に関する問題への
		取り組み」によれば、2011 年時点で 7 年使用した
		5,645 枚の PV のうち、195 枚が故障した。 (7 年間で
		3.4%が故障)
2017	日経クロステック	・ 日経クロステックが実施したアンケートにおいて、住宅
		用 PV の使用者のうち、「通常の使用で故障経験あり」
		と回答した割合は10%であった
2022	メガソーラービジネス	・ 日経 BP 総合研究所クリーンテックラボ 加藤氏が執筆
		した記事「両面ガラスの 6 年半、信頼性を上げつつも
		30 枚に割れ、笠間市の太陽光発電所」によれば、
		2022 年現在、6 年半で約 3,000 枚のうち 30 枚が故障
		している

出所)各種公開情報より NRI 作成

その上で、太陽光発電設備のある時点における経過年数毎の修理・交換率の2年目から20年目のデータを散布図上にプロットした上で近似式を算出し、20年目以降においても経過年毎の故障率を算出した。

本推計における故障要因の排出は、前述の通りに算出した経過年毎の故障率に沿って排出されると仮定した。なお、本推計で仮定した故障率は7年目で約3.7%、10年目で約7.1%が故障する想定となっており、上述の産業技術総合研究所や日経クロステックの調査による故障率と大きな差異はないと言える。



出所)環境省「平成24年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査」 図24 経過年毎の故障要因による排出確率

3.1.4. 発電事業者の FIT 期間満了時における排出行動および推計への反映

2023 年現在でも FIT 期間を満了した PV が一定量存在するが、FIT 期間満了のタイミングで行われた排出量に関する正確なデータは見つかっていない。

一方で、住宅・非住宅それぞれについて、FIT 満了に関する運転継続意向調査が実施されている。

下記の調査を参考にした上で、住宅および非住宅における FIT 満了時の排出確率は 15%であると仮定し、 推計を行った。

年度	情報ソース	内容
2023	REASP	・ 「第4回 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」に提示した資料によれ
		ば、REASP 会員企業の 75%が FIT 終了後に運転を継
		続する意向であり、未定を除いた 10%が廃止・撤去・他
		社売却の意向を持っている
2023	東京都環境局	· 「令和元年度 太陽光発電設備3R推進に係る基礎調
		査の概要」において、東京都民向けアンケートでは、
		住宅 PV の FIT 終了後における所有者意図による排
		出確率は5%~20%であった
		・ 有識者へのヒアリングによれば、FIT 切れで即排出さ
		れているというデータは存在せず、FIT 切れによる排
		出確率は20%よりは小さい値であるとの意見であった

表20 FIT 期間満了時の排出確率に関する公開情報

出所)各種公開情報より NRI 作成

3.1.5. 発電事業者の損益分岐に関する考え方および推計への反映

損益分岐要因の排出については、出力低下が進む中で、一定の排出判断値を上回った際に排出される形でモデル化を行った。排出判断値は正規分布で設定したある一定の値とする。これは、NEDO 推計における内的要因の排出と近い概念となっている。

一方で、排出判断値については、複数の発電事業者にヒアリングを行った結果、現時点では排出判断値といった形の定量的な排出基準が明確に定まっていないこと、30年以上使用したPVが現状存在しないが故に事業者の中にも損益分岐による排出経験が蓄積されていないことが確認された。そのため、排出判断値について、複数のシナリオを作成の上、排出量を推計した。

シナリオ①では、NEDO 推計同様、非住宅・住宅ともに排出判断値の平均値(μ)を 0.8(出力劣化率が 2 割 を超えると排出される)と仮定した。これは、導入から約 40 年経過した頃に排出量がピークとなる排出確率である。

一方、有識者へのヒアリングにてより早く排出がなされる可能性が示唆されたため、シナリオ②では、住宅の排出判断値の平均値はシナリオ①同様とし、非住宅の排出判断値の平均値を 0.85(出力劣化率が 1.5 割を超えると排出される)と仮定した。これは、導入から約 30 年経過した頃に排出量がピークとなる排出確率である。

なお、排出量判断値の正規分布の標準偏差については、有識者および発電事業者にヒアリングを行った結果、ピークに排出が集中するとの意見が多く見られたため、0.01 としている。



出所)NRI 作成

図25 損益分岐要因の排出確率に関するシナリオ

3.2. 排出量推計の結果

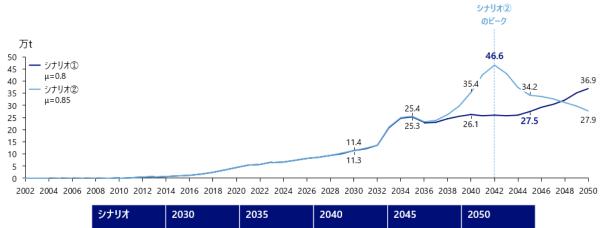
3.2.1. 全国における排出量

2 つのシナリオそれぞれに従って、排出量を推計した結果は図 26 の通りである。

シナリオ①では、2030年に11.3万トン、2040年に26.1万トン、2050年に36.9万トンのPVが排出されると推計された。排出量のピークは、シナリオ①においては存在せず、右側上がりに伸びていくものと推計された。

一方で、シナリオ②においては、2042年に排出量のピークが到来すると推計された。この時の排出量は 46.6 万 t である。シナリオ②に排出量のピークが到来する理由は、導入量が最大であった 2015 年頃に導入された PV の排出が一巡するのが 2042 年であるためである。

また、シナリオ②では、2030年に11.4万トン、2040年に35.4万トン、2050年に27.9万トンのPVが排出されると推計された。ピーク後は比較的排出量が落ち着く予測となっている。



シナリオ	2030	2035	2040	2045	2050
シナリオ①	11.3万t	25.3万t	26.1万t	27.5万t	36.9万t
シナリオ②	11.4万t	25.4万t	35.4万t	34.2万t	27.9万t

出所)NRI 作成

図26 排出量推計結果

なお、NEDO 推計値と比較すると、シナリオ②のピークは6年ほど遅れており、排出量が底上げされている。 この差異は、故障要因による排出量の底上げおよびFIT要因の排出を上回る損益分岐要因の排出から生まれている。

3.2.2. 地域別の排出量

資源エネルギー庁のWEBサイトにて、2023年の都道府県別FIT 導入量が公開されている。この地域構成が今後も一定と仮定した上で、シナリオ①の排出量推計結果を地域別に按分すると、2050年時点において、関東地方では9.4万トン程度、中部地方で8.8万トン程度、近畿で4.3万トン程度の排出が見込まれる。

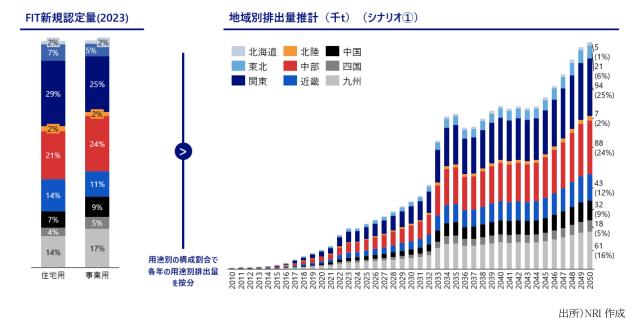


図27 地域別排出量推計結果

3.2.3. 本推計の留意点

本推計においては、導入量推計および排出量推計について、下記の点に留意が必要である。

導入量推計については、本推計で活用した JPEA による導入量推計が 2050 年 CO2 排出量 80%削減を前提とした推計であったものの、2023 年 11 月に 2050 年ネットゼロ達成を前提とした形で更新されており、このような導入量推計の更新に伴って、排出量推計自体の値を更新する余地がある点に留意が必要である。

排出量推計については、前述した通り、複数の仮定を用いて推計を行っている。PV の導入が進んだ 2014 年 ~2016 年頃から 10 年ほどしか経過していないため、導入から 20 年~30 年経過した PV の絶対量が少なく、排出量に関する情報が不足しているためである。また、冒頭に記載した通り、災害由来の排出量は予測の対象外としている。

加えて、排出量推計のピークについては、特に本推計で仮定した正規分布の標準偏差によって大きく影響を受ける。実際の排出行動をプロットした結果、標準偏差が 0.01 より大きくなった場合は、ピークの排出量が小さくなる可能性がある。

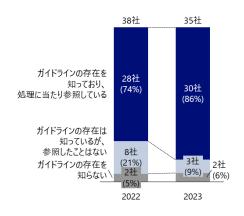
その他にも様々な変動要因が推計結果に影響するため、推計結果の不確実性は高い。そのため、事業性の評価等に使用する場合は上記に留意が必要である。

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)」の改訂に向けた検討

4.1. 「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)」の認知度

2.1 太陽電池モジュールの排出・廃棄実態調査にて実施した、中間処理事業者、撤去・解体業者、最終処分事業者に向けた調査にて、環境省が作成しているガイドラインについて、認知度の調査を行った。

まず、中間処理事業者における認知度を調査したところ、「ガイドラインの存在を知っており、処理に当たり参照している」事業者の割合は令和4年度調査から12ポイント増えた86%となり、「ガイドラインの存在を知っているが、参照したことはない」事業者も含めると認知度は95%となった。アンケートに回答いただいた事業者に限定した調査結果では、ガイドラインの存在・認知度は高いと言える。



出所)NRI 作成

図28 中間処理事業者における認知度

また、最終処分事業者においてもガイドラインを認知し、埋立処分の必要性を認識している事業者が全体の73%となっている。こちらも活用有無を問わないガイドラインの認知度は96%となり、高い値となっている。

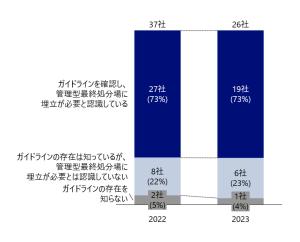


図29 最終処分事業者における認知度

出所)NRI 作成

4.2. 「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)」の改訂に向けた追記項目案

「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、6年が経過している状況である。そのため、今後の改訂の可能性を見据えた上で、前年度に提案された項目に加え、事業者アンケートからの意見などを踏まえ、以下のように追記・更新の可能性があるポイントをまとめた。

表21 「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

節	タイトル		検討事項(案)
点几	_	•	環境省「太陽電池モジュールの適切なリユース促進ガ
川又			イドライン」公表に伴い、記載をリサイクルに特化
的几	_	•	該当 URL の更新、また出典資料のうち、更新がある資
川又	_		料については要修正
般	_	•	環境省実証事業等、各種取組の最新情報を追加
1-1	本ガイドラインの	•	ガイドラインが公表時から現在までの動向を踏まえ内
	目的・位置づけ		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)
1-2	本ガイドラインの	•	リユースガイドラインとの関係性も含め、改訂内容を踏
	使い方		まえ見直し
1-4	太陽電池モジュールの	•	最新技術・市況動向を踏まえ、太陽電池モジュールの
	種類•構造		大型化や発電効率向上等の情報を追記
1-5	太陽光発電設備の	•	売電契約形態(FIT/FIP/相対)や電気の使用形態(自
	設置の種類と特徴		家消費/蓄電)といった最近の動向の追加を検討
1-6	太陽電池モジュールの	•	今年度調査を踏まえた内容の更新
	排出見込量		地域ごとの排出量見込みついて追記
	(「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
2-1	太陽光発電設備の利用	•	関連条例を制定している自治体に対する必要届出の
	若しくは発電事業を		追記
	停止/終了した場合		
	の対応		
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
	般 般 和 1-1 1-2 1-4 1-5 1-6	般	般 - ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・

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	•	民間企業等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
3	3-3	リサイクル		廃棄費用積立制度に関する情報を記載(FIT 期間内
				かつ条件が合えば払い戻し可能など)
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		保険事業者による太陽電池モジュールのリユース・リサ
		使用済太陽光発電		イクル推進の取組を紹介
		設備の取扱い」全体)		
6	6-1	太陽光発電設備の	•	導入量のデータを更新
		導入量		
6	6-3	リユース作業の	•	リユースガイドラインへの移行を検討
		参考事例		
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		欧州・欧米・東南アジアにおける太陽電池モジュールリ
		リサイクル・埋立処分		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

出所)NRI 作成

5. 風力発電設備の廃棄・リサイクルに関する調査・検討

5.1. 風力発電設備の基礎情報

5.1.1. 風力発電設備の構造

風力発電設備の廃棄・リサイクルに関する実態を明らかにするため、基礎情報として風力発電設備の構成部 材について確認する。

風力発電設備は、陸上風力発電と洋上風力発電設備の二種類が存在するが、基礎部分を除く構成部材に 大きく差異はない。コスモエコパワー株式会社によれば、風力発電設備はブレード・ハブ・ナセル・タワーという 四種類の部材から構成されている。ブレードが受けた風はハブによって回転する力へと変換され、ナセル内の 増速機によりその回転速度を高速化したものを、ナセル内の発電機に伝わる。そこで発電された電力はタワー 内の電力ケーブルを通じて、送電するという仕組みになっている。

また、風力発電設備には、水平軸風車と垂直軸風車があるが、本調査においては、水平軸風車、特にプロペラ式風車を主眼に排出に関する検討を進める。

デンマークの大手風車メーカーOrsted 社によると、風車のリサイクル率は85%~95%程度であるとされている。
⁹ これだけ高い数値になる理由は、ナセルやタワー等に含まれる鉄やアルミ、合金などに関しては、スムーズなリサイクルを実施することができるためである。一方で、リサイクルに課題を抱えているのは、ブレードに含まれるガラス繊維強化プラスチック(GFRP)や炭素繊維強化プラスチック(以下、「CFRP」という。)などである。こうしたガラス・炭素複合材料は風車以外に航空機や自動車等にも使用されているものの、他業界も含めてリサイクルに課題を抱えている。また、一部の風車モーターに使用されている永久磁石に含まれるネオジムについても、リサイクルに課題を抱えている。ガラス・炭素複合材料やネオジムに関するリサイクル課題については、最終章にて詳述する。

5.1.2. 風力発電設備の素材構成

風力発電設備の素材構成について、陸上大型風力発電機・陸上中小型風力発電機¹⁰・洋上風力発電機の 三種類に分け、代表的な風車メーカーである VESTAS 社における代表的な機種の素材構成について確認した。

陸上大型風力発電機では86~88%ほどを鉄鋼素材が占めており、6%をガラス・炭素複合材料、4~5%をポリマーであり、残りの素材は1%以下の割合となっている。一方、陸上中小型風力発電機では、鉄鋼素材の割合が大型よりも2ポイント程度低く、代わりにガラス・炭素複合材料の割合が増えていることが分かる。

また、洋上風力発電機では、規模の近い陸上大型風力発電機よりもポリマーおよびガラス・複合材料が多いことが分かった。

⁹ Orsted「オーステッド、風力タービン・ブレードをリサイクル化」2021 年 6 月 16 日

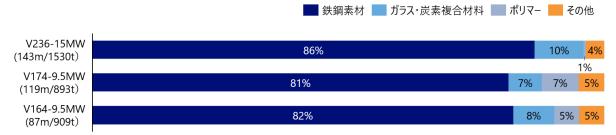
^{10 &}quot;小型風車"を"小形風車"と表記することも多いが、本調査では大型と比較するため、中小型と表記する



出所) VESTAS 社「Material Use in VESTAS Turbines」2023 より NRI 作成図30陸上大型風力発電機の素材構成



出所) VESTAS 社「Material Use in VESTAS Turbines」2023より NRI 作成 図31 陸上中小型風力発電機の素材構成



出所)VESTAS 社「Material Use in VESTAS Turbines」2023 より NRI 作成 図32 洋上風力発電機の素材構成

5.2. 風力発電設備の排出量推計

5.2.1. 排出量推計の目的

国内においては、これまで目立った風力発電設備の排出量推計の公表が行われていない。その上、これまで国内で導入された風力発電設備の数は多くない上、排出された事例も少ないために、風力発電設備排出に至るメカニズムに関する定量的データ・定性的調査も少ない。一方で、風力発電設備のリサイクル課題を検討する上で、排出量をある程度見通すことは欠かせない。

そのため、今回の排出量推計においては、特に以下点を目的として、排出量の推計を行った。

● 簡易的な推計ロジックとした上で、排出量が拡大する時期を特定する 精緻に排出量を推計するための風力発電設備排出に至るメカニズムに関する定量的データ・定性的調査が少ないことも鑑み、シンプルに経過年毎の排出確率を仮定した上で、 推計を実施する。その上で、予測期間を 2070 年までとした長期間予測により、排出量が拡大し始める時期を特定し、リサイクル上の課題の重要度が高まり、対応策が求められる時期 を把握することを目的とする

● 排出量が最大化したケースを想定する

推計に際しては、導入量推計の設定が必要となるが、その設定において排出量がより大き くなるような仮定を採用した。

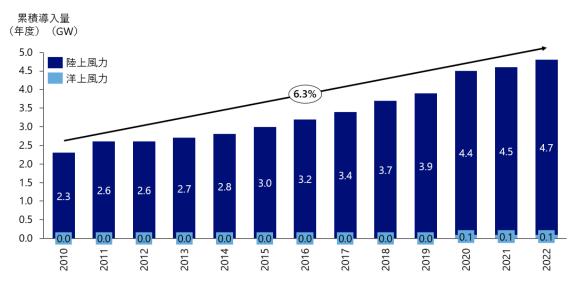
こうした仮定により算出された推計結果を用いて、排出量が最大化した際のピークを特定の上、そのピークに耐えうるだけの処理可能量の準備・政策検討に本推計を活用することを目的とする。

なお、本推計においては災害による廃棄等、予測の蓋然性が極めて低い事象による廃棄については、予測の対象外とした。あくまで、定常的に排出される排出量の予測であることに留意が必要である。

また、簡易的な推計であるため、事業性の評価等に使用することは推奨されない点についても、留意が必要である。

5.2.2. 排出量推計に活用する導入量推計

日本風力発電協会(以下、「JWPA」という。)によると、2022 年 12 月末時点での導入量実績は約 4.7GW である。2010 年から年平均成長率 6.3%で導入量が増えてきた。



出所)JWPA「日本の風力発電導入量(2022年12月末時点)」よりNRI作成 図33 日本の風力発電導入量推移

その上で、JWPA は 2050 年において 80%を再生可能エネルギーで賄うという前提において、必要となる風力 発電量についても試算を行っている。この前提は、資源エネルギー庁が第六次エネルギー基本計画で提示し た再生可能エネルギーの割合目標である 50%~60%を上回る値であるものの、国際エネルギー機関(IEA) にお ける CO2排出量ネットゼロシナリオにおいて全世界における再生可能エネルギーの割合が 88%になっている点 を踏まえて設定されている。本推計では、排出量が最大化するケースの排出量推計を目的とすることから、 JWPA の意欲的な導入量推計を活用することが最適であると判断した。

JWPA によると、2050 年時点における電力需要の8割を再生可能エネルギーとするために風力発電は電力需要の約33%を占める必要があり、計140GWの風力発電の導入が必要になると試算している。内訳としては、陸上風力発電が40GW、着床式洋上風力発電が40GW、浮体式洋上風力発電が60GWである。また、その途中段階として、2030 年時点では、陸上風力発電17.9GW、洋上風力発電5.7GWの計23.6GWの導入が必要であると試算している。

本推計では、上記の目標が達成されるとの仮定の上で、2022年~2030年、2030年~2050年は一定の年平均成長率で導入力が増加すると仮定し、導入量推計を行った。

5.2.3. 排出確率に関する仮定

一般的に風力発電の排出要因は、①故障・寿命等による排出 ②災害等突発的な排出 ③事業者都合による排出 に整理できる。その内、②は予測が難しいため排除し、①および③による排出確率を想定する。

①について、風力発電設備は部品の入れ替えによる故障対応が可能であること、風力発電事業者によると基本的に故障しないものという考え方で導入しているということから、突発的な故障による排出は多くないと仮定した。また、風車の寿命については、日本風力エネルギー学会誌に掲載された JIST 社の「Wind EUROPE 情報紹介」でも言われているように、一般的には現在約 20~25 年である¹¹。 例えば、東京大学石原らによる研究において、疲労寿命が 21 年であることが示されている¹²。一方で、DNV Energy Systems 社によれば、風力発電所事業者は既に風力発電設備の長期運用を想定し、それに応じた財務モデルの変更を始めており、30 年以上の寿命設定は成熟した風力発電市場においては当たり前のことになっているとの見解も示されている¹³。

また、③事業者都合による排出については、風力発電事業者に対するヒアリングの結果、20年~30年は運用するとの意見が得られた。一方で、実際に排出を行った経験を持つ風力発電事業者は少なく、あくまで目安としての値であることに留意が必要である。

上記を踏まえ、風車の排出年に関する十分なデータが存在しない現状においては、複数のシナリオで排出量を推計することが妥当と判断した。一方で、5.2.1 でも述べた通り、実際の排出確率の推計は簡易的に実施することとした。

具体的には、標準偏差1の正規分布を想定し、排出のピークが20年頃に来るシナリオ①と、30年頃に来るシナリオ②の二つのシナリオにて排出量を推計する。

5.2.4. 排出量推計結果

2 つのシナリオそれぞれに従って、排出量を推計した結果は以下の通りである。

シナリオ①では、2030年に2万トン、2040年に4万トン、2050年に37万トンの風力発電設備が排出されると推計された。2042年までは陸上風力発電設備の排出がほとんどだが、その後徐々に洋上風力発電設備の排出が増え、2050年時点では全体の45%ほどを占めると推計された。

¹¹ 日本風力エネルギー学会「風力エネルギー45 巻 1 号 WindEUROPE 情報紹介 | JIST 社執筆

¹² 石原孟 山崎慈生 平田達也 長砂龍次「太鼓山風力発電所の風車タワー疲労破断の原因解明について」

¹³ Wind Energy Network Magazine 「風力発電所の平均寿命の延長:経年数は数字にすぎない」DNV Energy Systems 社執

一方で、シナリオ②においては 2037 年までほぼ排出量が存在せず、2040 年に 2 万トン、2050 年に 4 万トン の風力発電設備が排出されると推計された。こちらのシナリオでは、洋上風力発電設備の排出は 2050 年まではほぼ存在せず、ほとんどが陸上風力発電設備による排出となると推計された。

さらに、2070年までの値を確認すると、シナリオ①において180万t、シナリオ②で52万tとなっている。特にシナリオ①では2051年頃から、シナリオ②では2061年頃から洋上風力由来の排出量が過半数を占めるようになっている。この排出量推計によって、大量排出によりリサイクル上の課題の重要度が高まるのは2060年以降であると捉えることができる。

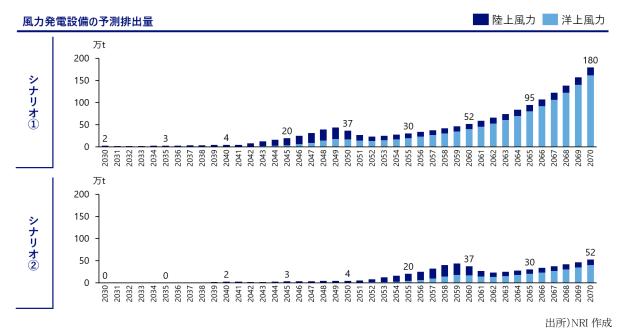


図34 日本の風力発電設備排出量推移

また、5.1.2 で述べた通り、リサイクルに課題のあるガラス・炭素複合材料は風車一基あたり 6%~10%を占めることが分かっている。 仮にガラス・炭素複合材料の割合が 10%であると仮定すれば、2050 年においても約 0.4 万トン〜約 3.7 万トン、2070 年において約 5.2 万〜約 18 万トン排出されると推計した。

5.3. 風力発電設備の解体・撤去の実態

5.3.1. 解体・撤去の流れ

風力発電設備の解体は、基本的に設置工程の逆順となり、約2か月程度の工期で実施される。

まず、重機搬入・組立後、ローター(ハブおよびブレード)・ナセル・タワー(3 段階に分けて下架)の順で下架 される。ナセル内に格納されている部品については、下架完了後、部品別に解体し、それぞれリサイクルルート に回ることが一般的である。

ブレードについては、下架完了後、重機によりトラックに積載可能なサイズまで裁断して保管することが多い。 一般的には 30m 程度まで裁断されることが多く、それ以上小さく裁断することは工期延長に繋がるため、避けら れている。また、ブレード裁断の際、ウレタンの飛散を防ぐため、ウレタン部分の除去および水分の噴霧といった 飛散防止策が取られている。

なお、上述の解体手順は一般的な陸上風力発電設備に関する解体手順であり、ブレードとローターが一体となっているものや、増速機とローターが一体となっているものなど、機種による解体手順の差異がある点に留意が必要である。

5.3.2. 解体・撤去に関する課題

風力発電設備の解体撤去に関する課題を明らかにするため、解体・撤去を行う事業者に対してヒアリング調査を実施した。その結果、ブレード解体・運搬の高額なコストゆえに、事業主からの要望がない限り、リサイクル可能な処理場へと運搬することが難しいことが明らかになった。

前章で見た通り、風力発電設備の大量排出が行われるのは 2050 年以降である。一方、現時点でも処理場の キャパシティは十分ではなく、受け入れ可能な処理場に運搬するために高額な運送費用を強いられているのが 実態である。

風力発電設備を十分受け入れ可能な処理場の育成・拡大はもちろん、事業主側起点で風力発電設備のリサイクルを推進していくような仕組みづくりが求められている。

表22 風車の解体・撤去に関する課題

項目	課題
マ	リサイクルをする上で、ブレードは細かく破砕することが必須とは承知している。ただ、ブレードを現場で細かく裁断すると工期が伸びてしまう。特に大型クレーンのレンタル料は膨大な費用となるため、工期を伸ばすことはコスト的に難しい。
	廃棄ブレードは安価な資源価値しかなく、運搬費を負担すると赤字商売や実質逆有償となるケースがある。一方で、事業主がリサイクルに対する取り組みを強化すれば、解体の見積段階からリサイクル前提の見積条件が提示される。
処理場の有無・距離	近場の処理場に大量の風車を受け入れられる処理場がない場合、運搬費用をかけて 遠くの処理場へ運搬する必要がある。場合によってはトレーラーをフェリーに載せて、本 州や北海道など別の県へ運搬する必要もある。こうした運送費用がコスト上大きな負担 になっている。

出所)省エネルギー庁「第四回回再エネ発電設備の廃棄・リサイクルのあり方に関する検討会」における宏幸㈱および阪和興業の発表資料および解体事業者に対するヒアリングより NRI 作成

5.4. 風力発電設備の素材ごとのリサイクルに関する課題

5.4.1. 風力発電設備における GFRP のリサイクルに関する課題

現状使用されている風力発電設備において、もっともリサイクルに関する課題が大きい素材が GFRP である。 GFRP は風力発電設備のほか、自動車や船舶などにも使用されているものの、どの製品用途においてもリサイクルが難しいことが課題となっている。

その原因は、有機材料である樹脂と無機材料であるガラス繊維の完全な分離が技術的に難しいことが挙げられる。「第4回 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」にて日本小型風力発電協会が発表した資料によれば、焼却炉にて熱分解をする場合、融解したガラス繊維が炉内で冷却・固化した際に、焼却炉の壁の材料との熱膨張係数の差分により、焼却炉の耐久性・寿命を大きく損ねる可能性がある。

その上、GFRP は破砕しにくく、人的被害を及ぼす危険性もあるという課題も存在する。破砕した GFRP の粉塵が人体の皮膚に付着すると一週間以上かゆみを引き起こしてしまうため、破砕の際に保護具や集塵機能が必須となる。一方、こうした集塵機能を持ち、GFRP を細かく破砕するだけの機能を持った破砕機は高価であり、導入できている処理場が多くないことも課題である。

技術的にリサイクルが難しいことに加え、GFRPのリサイクルを阻害する事業上の課題は、経済性である。現 状最も一般的なリサイクル方法である、クリンカとしての利用においても、GFRPの引き取りは逆有償となることが 多い。その上、GFRPは産業廃棄物の中でも比較的安価に廃棄することが可能である。リサイクルが高コストで あり、廃棄費用が低コストであることから、事業者として廃棄を選択しやすい環境が残存している。

最後に、GFRP のリサイクルを進める際、GFRP が産業廃棄物扱いであるために、県外持ち出しが困難であることもリサイクルを阻害する事業上の課題となっている。前述の通り GFRP を処理できる処理場は限られており、県外移動を伴わなければリサイクルできないケースも少なくない。県外排出の規制が、GFRP のリサイクルを進める際のオペレーションを困難にしている可能性がある。

5.4.2. 風力発電設備における GFRP のリサイクルに関する事例

GFRP のリサイクルは日本国内だけでなく、海外においても課題となっており、欧米を中心に先進的なリサイクルソリューションの開発・実証・商業化が進んでいる。本章では、GFRP のリサイクルに関する国内外の事例を紹介する。

5.4.1 でも述べた通り、現状、GFRP のリサイクルにおいて最も一般的な手法は、セメントの原燃料として使用することである。

国内においては、当該手法により太平洋セメント社が GFRP のリサイクルを実施している。風力発電設備から 解体されたブレードは中間処理場にて、金属部分を除去された後、手のひらサイズになるまで破砕され、木材と ガラス繊維に分離される。その後、中間処理場からガラス繊維は太平洋セメント社の工場へと運搬される。

こうして受け入れた GFRP は、クリンカの焼成工程に投入され、1,450 度のキルンの中で熱エネルギーとして 処理される。太平洋セメントにおいては、風車ブレードの他、自動車や船舶等から排出された廃プラスチックも同 様の手法でリサイクルを実施している。

欧米においても、同様のリサイクル手法が実施されている。Veolia North America 社はブレードを小石サイズに破砕後、セメント窯に投入できるよう加工した後、セメント製造工程でリサイクルするソリューションを提供している。この手法を評価した風力メーカー大手 GE Renewable Energy 社は、Veolia North America 社と米国でリサイ

クルプログラムの複数年契約を締結している¹⁴。また、GE Renewable Energy 社は同様の技術を持つドイツの neowa 社とも欧州における GFRP のリサイクルにて連携しており、セメント原燃化の手法を持つパートナーと世界 各地でリサイクルを進めている。

マテリアルリサイクルとしてはセメント原燃化が一般的であるものの、その他にも様々な用途に使用する実証 実験が行われている。

スウェーデンの大手電力会社 VATTENFALL 社は、オランダの風力発電所の解体に伴い、リサイクルのパイ ロットプロジェクトを複数進行している。 ノルウェーの Gjenkraft 社が風車ブレードに含まれる GFRP の繊維化を 請け負い、ブレードからガラス繊維や炭素繊維を回収した上で、回収した繊維をスキーやスノーボードなど、ガラ ス繊維や炭素繊維を含む製品の製造に再利用するほか、農業用ソーラーパネルの建設材料に使用できる新し いデュロプラスチックの製造に再利用している。VATTENFALL 社としては、本技術について、2025 年の完全商 用化・2030 年における 100%リサイクル達成を目指しプロジェクトを進めると明らかにしている15。

また、米 Global Fiberglass Solutions では、GFRP を粉砕後、圧力をかけることで、建材に用いられるペレット やファイバーボードに使用できるリサイクル繊維を回収している。テキサス州にある工場では毎年 6,000 枚~ 7,000 枚のブレードを処理でき、ブレードの 99%をリサイクルすることが可能だという16。

建材領域では、その他に中国の風力タービンメーカ Goldwind は、モンゴルの風力発電所から廃棄された風 カタービンの固形廃棄物を 3D プリントの材料に転用することに成功した。 原材料や粉砕粒子径の調整の結 果、上記の素材は機械的特性、耐久性、作業性能において従来の建設用コンクリートと同等の性能を有してお り、花壇などの建設に使用されている。

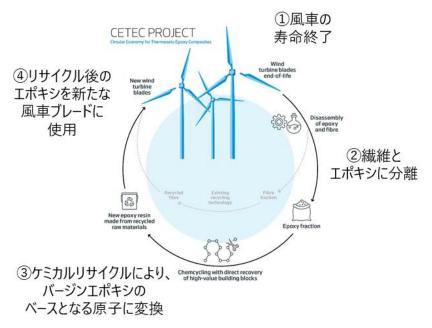
一方で、近年はケミカルリサイクルにおいても技術的に確立したソリューションの商業化が進み始めている。代 表的なソリューションは、2023 年 2 月に発表された CETEC による風車ブレードリサイクルソリューションである。 CETEC プロジェクトは、2021 年 5 月にオーフス大学・デンマーク工科大学、風車メーカー大手 Vestas 社、エポ キシ樹脂メーカー大手 Olin 社により立ち上げられ、風力産業全体での循環型経済の構築を目指した産官学プ ロジェクトである。CETEC が発表した本ソリューションでは、排出された風車ブレードに含まれる GFRP を繊維と エポキシに分離後、ケミカルリサイクルによりバージンエポキシのベースとなる原子を生成、その原子を活用した エポキシを新たなブレードに活用するという循環を実現している。VESTAS 社のプレスリリース¹⁷によれば、Stena Recycling 社と Olin 社の支援を受け、新たに設立されたバリューチェーンを通じて、Vestas は今後、本ソリュー ションを商業的なソリューションにスケールアップすることに注力すると述べられており、今後の展開に注目が集 まる。

16 c&en「How can companies recycle wind turbine blades?」2022 年

¹⁴ GE「Concrete Benefits: Recycling Old Wind Turbine Blades Could Help Cement Industry Cut CO2 Emissions」2020 年

¹⁵ VATTENFALL 「Old Dutch wind turbine blades becomes new skis」 2022 年

¹⁷ VESTAS 社「Vestas unveils circularity solution to end landfill for turbine blades」2023 年



出所) VESTAS 社「Vestas unveils circularity solution to end landfill for turbine blades」より NRI 作成 図35 CETEC が発表したケミカルリサイクルソリューションの概要

また、その他にも米国エネルギー省の資金提供を受けた Carbon Rivers 社は、細断されたブレードからグラスファイバーを回収し、リサイクルする技術を商業化している。彼らのソリューションでは、廃ガラス繊維を無酸素下で300° C 以上に加熱する熱分解を介して、樹脂を分解し、バージン素材と同等レベルの品質を持つ繊維を回収、その後、その繊維を活用して熱可塑性ペレットまたは布地を生産している。同じく米国の REGEN Fiber 社は、独自のリサイクルプロセスによって、チョップドガラス繊維・FRP・繊維強化ポリマー等を生産し始めている。生産されたポリマーはコンクリートやモルタルといった建設材料の他、BMC や複合材料にも使用されており、毎年約1,000 基の風車を処理する処理能力を準備し始めている。

上記のように GFRP のリサイクルに関する取り組みが国内外で進められている一方、全く異なる切り口で GFRP のリサイクル課題に取り組むアプローチも存在する。それは、GFRP を使用せず、リサイクル可能な素材により風車ブレードを開発するという、リサイカブルブレードの製造である。

最も有名な取り組みとしては、GE の子会社である風車メーカーLM Wind Power 社や素材メーカーArkema 社、フランスの研究センターIRT (Technological Research Institute) ジュール・ヴェルヌなどによる、ZEBRA (Zero wastE Blade ReseArch)が挙げられる。熱可塑性材をベースにした 100%リサイクル可能な風車ブレードの設計・製造を進めるプロジェクトで、2022 年 3 月に試作品となる 100%リサイクル可能で世界最大級の 62 メートルの熱可塑性ブレードを製造している。その他には、アメリカ化学会やミシガン大学により発表されたリサイクル後に食用のグミへとリサイクルできる新たな複合樹脂など、リサイカブルブレードに活用できる樹脂の研究開発も進んでいる状況である。

上記のような実証だけでなく、Simens Gamasa Renewable Energy 社らによるリサイクル可能な「Recyclable Blade」が、ドイツのカスカジ洋上風力発電所に数基導入済されるなど実用化に至る事例も出てきている。とはいえ、リサイカブルブレードの導入基数は全世界的にまだ少なく、今後の普及が期待される。

5.4.3. 風力発電設備における CFRP のリサイクルに関する実態と課題

CFRP は GFRP を上回る高比強度・高比剛性を誇る素材である。一般的に、30m を超える風車ブレードでは、従来の素材である GFRP では強度が足りないため、洋上風力発電の開発・普及に伴う風車の最大長の拡大に伴って、近年風車ブレードにおいても活用されるになった素材である。

一方で、CFRP は GFRP 以上にリサイクルの難しい素材である。矢野経済研究所による「リサイクル炭素繊維世界市場に関する調査」では、全世界における CFRP リサイクル量は CFRP 廃棄物全体の約 7%程度に留まるとされている。

CFRP のリサイクルの難しさは、その強度にある。リサイクル事業者に対するヒアリングによると、CFRP は強度が高く、焼却処理を行っても燃え残って短絡を引き起こし、設備を破壊してしまう可能性があるとされる。実際、早稲田大学加茂らによる研究でも、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、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されている。

その上、GFRP 同様に、バージン素材同等の品質を担保することが技術的に難しいことが挙げられる。実際、CFRP のリサイクル手法として最も一般的な熱分解法は、加熱による炭素繊維の劣化が生じることがデメリットである。自動車や航空機といった人命保護の観点で安全性が極めて重要な用途も多く、メーカーとしてもリサイクル後の炭素繊維を活用することに及び腰となっていることが多い。

一方、CFRP のリサイクル手法として化学分解法の研究も進んでいる。アルコール類や超臨界流体等の反応 媒体を利用した分解方法で、熱分解法に比べて炭素繊維の劣化が少ないことがメリットとして挙げられている。 2020 年頃から開発が進展し、企業による実証実験も進み始めたものの、反応媒体や関連機器が高額であること が導入の障壁とされている上、化学分解法を使用できない種類の CFRPも存在するなど、普及に至るまでの課 題は多い。

現状は、GFRP の排出量は年数十万トンほど存在するが、CFRP はまだ数万トン程度の排出量に留まっており、リサイクルに関する課題が大きく取り沙汰されていない状況である。リサイクル事業者としても、GFRP のリサイクルの課題認識の方が広がっており、CFRP の実証を進められている事業者の数は少ない。一方で、5.2.2 でも見た通り、洋上風力発電が風力発電の大半を占めるようになると、GFRP ではなく、CFRP のリサイクルが大きな課題となることは疑いようがない。来る CFRP 大量排出時代に向け、今後の研究開発動向を注視することが必要である。

5.4.4. 風力発電設備におけるネオジムのリサイクルに関する実態と課題

5.1.1 でも述べた通り、風力発電設備には高速回転によって発電する発電機が取り付けられている。一般的には、回転界磁型の同期発電機もしくは誘導発電機であるが、このうち前者で使用する電磁石を永久磁石に変更することで、増速機を使わずとも高速かつ騒音も抑えた発電が可能になる。こうして、永久磁石を活用した風車が使用されるようになった。Rabe らの研究によると、永久磁石の中には平均して 28.5%ほどのネオジムが含まれており、重量換算すると一機当たり 1~2t ほどのネオジムが含まれている。

JRC の発表したレポート¹⁸では、2018 年時点で欧州のほぼ全ての洋上風力タービンが永久磁石を含むタービンを使用しており、永久磁石を含む風力タービンは全世界の 76%を占めるとの研究結果が紹介されている。

一方で、国内においてネオジム自体のリサイクルはうまく進んでいない。三菱 UFJ リサーチ&コンサルティングの調査¹⁹によると、有効にリサイクルされているネオジムは約 53%に留まり、残りは選別されずに排出・散逸していると見られている。回収されたネオジム磁石から、リサイクル素材となるネオジムを回収するリサイクル技術が既に開発されていることから、ネオジムにおいては処理プロセスに事業上の課題があることが分かる。

具体的には、ネオジムは回収プロセスにおいて高価なコストがかかるため、経済性を担保することができていないことが要因となっている。ネオジムのリサイクル技術が開発されたのはネオジムの単価が高かった時期であるが、その後ネオジム自体の需要減少による価格低下によって、当該時期に開発されたリサイクル技術の経済性が担保できなくなったためだと考えられる。

一方で、ネオジムのリサイクルを進めている事業者も現れはじめている。北海道に位置するクロダリサイクルでは、風車のローターを分断後、永久磁石を回収し、燃焼による脱磁後、精錬業者に回すことで、リサイクルを行っている。今後、ネオジムの精錬を行う事業者がどれだけ現れるか不明であるものの、風車由来のネオジムが選別されずに排出されることがないよう、状況を注視することが必要である。

¹⁸ JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT「the_role_of_rare_earth_elements_in_wind_energy_and_electric_mobility」 2020 年

¹⁹ 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング「令和3年度 鉱物資源リサイクルフロー・ストック調査 調査結果の概要」2021年

6. 付録

6.1.1. 太陽電池モジュールの処理・リユース・リサイクル対応状況に関するアンケート調査票

太陽電池モジュールの処理・リユース・リサイクル対応状況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	電話番号	

貴社における太陽電池モジュールのリサイクル・リユースの内容について、 以下の質問にご回答ください。

なお、貴社の取り組みに関連しない質問については空欄のままで構いません。 ※個人情報(担当者名、メールアドレスなど、個人の特定につながるもの)は記 入しないでください。

問1~問2 処理内容・処理能力に関する質問

問3~問4 太陽電池モジュールのリサイクルに関する質問 問5 太陽電池モジュールのリユースに関する質問

問6~問7 ガイドラインに関する質問

【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。

#	立地都道府県・	収集エリア(地方区分)	処	理方法
1	都道府県		Г	単純破砕(アルミ取外し後に単純破砕のみをする場合も含む)
			Γ	アルミとその他で分離
			Γ	アルミとカレットガラスとその他で分離
	許可発行自治体		Γ	アルミと板ガラスとその他で分離
			Γ	焼却、熱回収
			Γ	その他
2	都道府県		Γ	単純破砕(アルミ取外し後に単純破砕のみをする場合も含む)
			Γ	アルミとその他で分離
			Г	アルミとカレットガラスとその他で分離
	許可発行自治体		Г	アルミと板ガラスとその他で分離
				焼却、熱回収
				その他
3	都道府県			単純破砕(アルミ取外し後に単純破砕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
	許可発行自治体		L	アルミと板ガラスとその他で分離
				焼却、熱回収
			L	その他
4	都道府県		L	単純破砕(アルミ取外し後に単純破砕のみをする場合も含む)
			L	アルミとその他で分離
			L	アルミとカレットガラスとその他で分離
	許可発行自治体		L	アルミと板ガラスとその他で分離
			L	焼却、熱回収
			L	その他
5	都道府県		L	単純破砕(アルミ取外し後に単純破砕のみをする場合も含む)
			L	アルミとその他で分離
			L	アルミとカレットガラスとその他で分離
	許可発行自治体		L	アルミと板ガラスとその他で分離
			L	焼却、熱回収
				その他

※P.2でご記入の施設と行を一致させてご記入ください。

- 41	(R2でこ記人の施設と行を一致させてこ記人ください。 処理方法の詳細 受入可能量 処理可能量 処理実績				
#	処理方法の詳細	安人可能重	処理可能重	処理夫績	
1		t/日(P	t/∃(PV)	t/ 年 (PV)	
2		t/日(P	t/日(PV)	t/ 年 (PV)	
3		t/日(P		t/ 年 (PV)	
4		t/日(P	/) t/∃(PV)	t/ 年 (PV)	
5		t/日(P	/) t/日(PV)	t/ 年 (PV)	

問2 直近数年間の貴社における太陽電池モジュールの取扱数量をご記入ください。

※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 3 年度アンケート調査で回答いただいた事業者様につきましては、令和3年度までの実績値に変更がない場合、令和4年度の数値のみご回答ください。

集計期間:2021(令和3)年度(2021年4月~2022年3月)

8 I 997 III	1・2021(市和3/年後(2021年	77 -2022-43/7/		
			回収量	
	項目	口顺是人件	回収量のうち	回収量のうち
		回収量全体	リユース量	処理量
	①新古品	枚	枚	枚
	○利口 吅	kg	kg	kg
	- 1 不良品	枚	枚	枚
(2)		kg	kg	kg
故障	- 2 災害等によるもの	枚	枚	枚
bilit		kg	kg	kg
廃	- 3 目的を終了したもの	枚	枚	枚
棄		kg	kg	kg
品	- 4 その他(具体的に)	枚	枚	枚
		kg	kg	kg

集計期間:2022(令和4)年度(2022年4月~2023年3月)

			回収量	
	項目	回収量全体	回収量のうち	回収量のうち
		四权重主体	リユース量	処理量
	①新古品	枚	枚	枚
	⊕ /#/1 □ III	kg	kg	kg
	- 1 不良品	枚	枚	枚
2		kg	kg	kg
故障	- 2 災害等によるもの	枚	枚	枚
bite		kg	kg	kg
廃	- 3 目的を終了したもの	枚	枚	枚
棄		kg	kg	kg
品	- 4 その他(具体的に)	枚	枚	枚
		kg	kg	kg

【太陽電池モジュールのリサイクルに関する質問】

問3 リサイクル品の搬入元・搬出先に関してご記入ください。

※貴社が運営する施設の合算値をご記入ください。

2022(令和4)年度(2022年4月~2023年3月)の実績を基にご回答ください。

搬入元	発電事業者 (法人等)	kg
放入ル ※詳細未把握の場合、概算値でも構いま	2010/21/21	
※評価本信仰の場合、保算値でも得いまし せん。		kg
2700	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
	リユース事業者	kg
	その他(具体的に)	kg
搬出先		搬出量
	アルミ	kg
	銅など	kg
IJ	ガラス	kg
#	うち「リサイクル用途:路盤材候補」	kg
1	うち「リサイクル用途:多孔質ガラス発泡剤」	kg
7	うち「リサイクル用途:グラスウール候補」	kg
بار	うち「リサイクル用途:その他」(具体的に)	N.S.
, ,	プライブグイブル 一起・その間 (具体的に)	kg
	その他リサイクル (具体的に)	^g
	その他リテイクル (具体的に)	
	117 AM.	kg
	形態	搬出量
終	ガラス	kg
処	廃プラ	kg
分	その他(具体的に)	

・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4 リサイクルにおける課題をご記入ください。
【金銭面(費用面)】
【制度面】
【情報面】
(例) 太陽光パネルの製品情報や含有物質情報が不足している、等
【その他】
[TOTE]

【太陽電池モジュールのリユースに関する質問】

問5 自社にてリユース品引き受け実績のある事業者様のみお答えください。

リユース品の搬入元・搬出先、検査方法等に関してご記入ください。

2022(令和4)年度(2022年4月~2023年3月)の実績を基にご回答ください。

搬入元		合計值	搬出先	
発電事業者(法人等)	枚 →	<u> </u>	→国内	枚
発電事業者(個人)	枚 →	-	→海外	枚
発電事業者(自治体)	枚 →	-	→ 令和5年4月時点の在庫	枚
撤去・解体事業者	枚 →			_
電気工事事業者	枚 →			
保守・管理事業者	枚 →			
ゼネコン	枚 →			
住宅メーカー	枚 →			
パネルメーカー	枚 →			
その他(具体的に)				
	枚 →			
令和4年4月時点の在庫	枚 →	천	女	

検査方法

【引受け前】リユース品として引き受けるか否かを判断するために実施する検査

INCOMI / MICO CHECK OF THE PROPERTY OF THE			
【現地検査の場合】		製品検査(製造年・設置年・撤去	年・型式・メーカー等の確認)
リユース品の引受けにあ		外観検査(目視による割れ、バッ	クシート破れ等の確認)
たって実施する検査の		簡易な出力検査(直近数か月分の	D発電実績データ等の受領・確認、
中、現地で実施する検査		または簡易なテスター等による枝	(査)
※当てはまるもの すべて に		出力検査(IV検査)	絶縁検査
○をご記入ください		IR検査	EL検査
		その他(具体的に)	
【施設内検査の場合】		製品検査(製造年・設置年・撤去	年・型式・メーカー等の確認)
リユース品の引受けにあ		外観検査(目視による割れ、バッ	クシート破れ等の確認)
たって実施する検査の		簡易な出力検査(直近数か月分の	D発電実績データ等の受領・確認、
中、施設に持ち込んで実		または簡易なテスター等による枝	(査)
施する検査		出力検査(IV検査)	絶縁検査
※当てはまるもの すべて に		IR検査	EL検査
○をご記入ください		その他(具体的に)	

【引受け後】引受け後、リユース品の販売にあたって実施する検査 【現地検査の場合】 製品検査(製造年・設置年・撤去年・型式・メーカー等の確認)

記入ください

「元に民国の物口」	表印[X]直(表记十·故世十·版	五十一3	E式・メーカー寺の堆取)
	外観検査(目視による割れ、バ	ックシー	- ト破れ等の確認)
リユース品の引受け後、	簡易な出力検査(直近数か月分	の発電	実績データ等の受領・確認、
リュース面の引受り後、 販売にあたって現地で実	または簡易なテスター等による	検査)	_
旅売にあたって売売で失 施する検査	出力検査(IV検査)		絶縁検査
167 VIX.	IR検査		EL検査
	その他(具体的に)		
【施設内検査の場合】	製品検査(製造年・設置年・撒	去年・5	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)
3150.14% U.S. 3150	簡易な出力検査(直近数か月分	の発電	実績データ等の受領・確認、
引受け後、リユース品の 販売にあたって実施する	または簡易なテスター等による	検査)	
放売にめたって 検査	出力検査(IV検査)		絶縁検査
W.H.	IR検査		EL検査
	その他(具体的に)		
11 - 7 T - 1000 1 4			
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			
SALES CHOSE CO.			
売却後の不具合事例等の			
発生状況、及び発生した			
場合の取扱について、ご			

【ガイドラインに関する質問】

問 6 環境省が平成30年に公開した「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) 」をご存じですか。当てはまるもの一つに○をご記入ください。

ガイドラインの存在を知っており、処理に当たり参照している
ガイドラインの存在は知っているが、参照したことはない
ガイドラインの存在を知らない

問7 環境省が令和3年に公開した「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」をご存じですか。当てはまるもの一つに○をご記入ください。

ガイドラインの存在を知っており、処理に当たり参照している
ガイドラインの存在は知っているが、参照したことはない
ガイドラインの存在を知らない

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。

太陽電池モジュールの埋立処分等の対応状況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			
御所属	役職	<u> </u>	
お名前			
メールアドレス	電話	番号	

第1 太陽電池モジュール受入状況について

第1問1 【皆様にお尋ねします】

埋立容量、残余容量、埋立量について、お聞かせください。

埋立容量約	m³
残余容量 約	m³
埋立量約	m³

第1問2 【皆様にお尋ねします】

太陽電池モジュールの埋立処分について、これまでに相談されたことはありますか。 当てはまるもの**一つ**に○をご記入ください。

	ア	相談されたことがあり、多	きけ入れた
	1	相談されたことはあるが、	受入を拒否した
Г	ゥ	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
	ェ	相談されたことはなく、村	目談されたとしても受け入れない方針である
	オ	その他(具体的に)	

第1問3【問2「ア相談されたことがあり、受け入れた」「イ相談されたことはあるが、 受け入れを拒否した」を回答した方にお尋ねします】

太陽電池モジュールの埋立処分について、相談があった相手をお聞かせください。

当てはまるもの**すべて**に○をご記入ください

ア	発電事業者(法人等)	
1	発電事業者(個人)	
ゥ	発電事業者(自治体)	
エ	撤去・解体事業者	
オ	電気工事事業者	
カ	保守・管理事業者	
丰	ゼネコン	
ク	住宅メーカー	
ケ	パネルメーカー	
□	中間処理事業者	
サ	その他	

第1問4【問2「ア相談されたことがあり、受け入れた」を回答した方にお尋ねします】

太陽電池モジュールの受入・処理実績についてお聞かせください。

当てはまるもの**一つ**に○をご記入ください。

(可能であれば、過去4年分の受入量・処理量をお聞かせください。)

ア 量は把握していない/回答不可である	
イ 量は以下の通りである	
	単位として、当てはま
	るもの一つに○をご記
受入量	入ください。
2019年度 約	キロ 枚
2020年度 約	キロ 枚
2021年度 約	キロ 枚
2022年度 約	キロ 枚

第1問5【問2「イ相談されたことはあるが、受け入れを拒否した」と回答した方に お尋ねします】

受入を拒否した理由をお聞かせください。

当てはまるものすべてに○をご記入ください

ア	含有物質が不明なため
1	有害物質の溶出について懸念があるため
ゥ	感電・火災等のリスクがあるため
ェ	混合物の状態では受け入れられないため
オ	該当品目の産業廃棄処分業許可を有していないため
カ	大きさが受入基準に合わないため
+	有価物が残存していて、リサイクル可能と判断したため
ケ	その他(具体的に)

第1問6【皆様にお尋ねします】

太陽電池モジュールの受入・埋立処分において懸念している事項を教えてください。

当てはまるもの**すべて**に○をご記入ください。

ア	浸出水への影響が生じること
1	出火等のリスクが増大すること
ゥ	保有処分場の埋立容量と比べて埋立処分量が膨大になること
I	含有物質や溶出試験結果等、確認のための手間が増すこと
オ	保有処分場内での太陽電池モジュールの埋立量比率が高まり、管理の手間が増すこと
カ	埋立費用について、今よりも高くせざるを得ないこと
丰	周辺住民の理解が得られないこと
ク	その他(具体的に)
_	
•	
•	

第2 太陽電池モジュールの最終処分について

第2問1【皆様にお尋ねします】

環境省が平成30年に公開した「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)」では、太陽光発電設備の埋立処分時には「管理型最終処分場」に埋め立てること が必要と記載されております。

この指針について、現時点での認知・認識状況をお聞かせください。

当てはまるもの**一つ**に○をご記入ください。

- ア ガイドラインを確認し、管理型最終処分場に埋立が必要と認識している
- イ 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
- ウ ガイドラインの存在を知らない

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。

6.1.3. 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 Web アンケートで実施のため、非公開