

平成24年度環境省委託業務

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委託業務 報告書

2013 年 3 月 25 日

 株式会社三菱総合研究所

環境・エネルギー研究本部

はじめに

再生可能エネルギーの導入拡大は、温室効果ガスの排出削減、エネルギーセキュリティ、新規産業・雇用創出、震災復興等の観点から注目されており、平成 24 年 7 月から開始した再生可能エネルギーの全量買取制度により、今後大幅な導入拡大が見込まれている。

太陽光発電や風力発電については、導入初期段階（国庫補助等の支援制度が開始された 1990 年中頃）の発電設備が使用済みとなって排出され始めているが、現時点では処理システムは確立されていない。しかしながら、その排出量は過去の普及カーブに沿って加速度的に増加することが見込まれるため、CO₂ 排出量の削減につながる再生可能エネルギーの大量導入を支えるためには、使用済再生可能エネルギー設備の適正な処理方法・体制について検討を進める必要がある。

また、再生可能エネルギーは、一般的に発電等のエネルギー生産時には温室効果ガスを排出しないが、設備の製造・廃棄段階等においては排出する。このため、一旦使用済みとなった設備や部品のリユース・リサイクルを行うことは、エネルギー生産時だけではなく設備製造段階の CO₂ 排出量の削減にも寄与する。さらに、貴金属・レアメタル・レアアースの回収による資源の有効利用や鉛・カドミウムテルル（Cd-Te）等の有害物質の適正処理にも資する。

このため、本業務では、使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・処分に関する調査を行い、将来の社会システムの構築に向けて必要な知見を得ることを目的とした。

目次

調査概要

Executive Summary

1. 使用済再生可能エネルギー設備の処理に関する動向調査.....	1
1.1 我が国における再生可能エネルギー設備のフローに関する調査.....	1
1.2 海外における再生可能エネルギー設備のフローに関する調査	40
2. 再生可能エネルギー設備の特性把握.....	70
2.1 温室効果ガス排出量及び排出削減効果の整理・把握	70
2.2 装置や部品に使用されている材料の整理・把握	126
3. 再生可能エネルギー設備に関する技術動向調査	151
3.1 太陽光発電.....	151
3.2 風力発電	164
3.3 その他の発電方式.....	167
4. 将来の社会システムの構築に向けた基礎的な検討.....	168
4.1 将来の排出見込量の推計.....	168
4.2 住宅用太陽光発電に関する意識調査.....	193

参考資料

- ・ 太陽光発電設備の素材構成
- ・ 風力発電設備の素材構成

調査概要

本業務では、使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・処分にに関する各種調査を行い、将来の社会システムの構築に向けて必要な知見を得ることを目的として実施した。調査結果の概要は以下のとおりである。

1. 使用済再生可能エネルギー設備の処理に関する動向調査

1. 1 我が国における再生可能エネルギー設備のフローに関する調査

本節では、我が国の現時点における、調査対象設備（太陽光発電設備、太陽熱利用設備、風力発電設備、中小水力発電設備、地熱発電設備）の導入量、排出見込量、リユース・リサイクル状況、解体・処分状況を整理し、最終的にフローの概略を把握した。

太陽光発電設備については、排出台数自体がまだ少ない状況ではあるが、現在排出されているものは、メーカーの工場排出物、修理・交換によりメーカーが引き取った製品、研究期間終了により排出された研究用の製品等が中心であると考えられる。これらはメーカーが引き取り、産業廃棄物として委託処理されているものが多いと考えられる。委託先ではアルミの回収や非鉄製錬プロセスによる非鉄金属等の回収が行われているケースがある。加えて、国等の支援の下、メーカー等によりガラスやシリコンの回収に向けた研究等が実施されている。また、量的には少ないが「排出→撤去→製品リユース」というフローが確認される。

太陽熱利用設備については、排出台数はそれほど多くない状況ではあるが、毎年一定程度排出されており、金属等の有価物を回収したのち、産業廃棄物として処理されている。金属等リサイクル可能な素材の割合や量は比較的多く、機器単位で見れば一定量がリサイクルされている。なお、未使用のまま退蔵されている製品が一定数存在するとの報告もある。

風力発電設備については、現時点では設備のメンテナンス・機器交換等に伴う排出が主であり、使用済み設備の排出は少ないと推察される。メンテナンス事業者・解体事業者等により解体されたのち、金属等はスクラップとしてリサイクルされる。ブレード等を使用されている FRP については、産業廃棄物処理業者により現地で解体されたのち、加熱処理もしくは破碎・埋立処理される。

中小水力発電設備及び地熱発電設備については、現時点では設備のメンテナンス・オーバーホール等に伴う排出が主であり、使用済み設備の排出は少ないと推察される。いずれも金属系のものはスクラップとして売却され、樹脂系のもの等は産業廃棄物として処理されているものと考えられる。

1. 2 海外における再生可能エネルギー設備のフローに関する調査

本節では、海外における、太陽光発電設備、太陽熱利用設備、風力発電設備の導入量、リユース・リサイクル状況を整理した。

太陽光発電設備については、2000 年以降導入量が急拡大しており、今後使用済太陽電池モジュールの廃棄量が拡大することが予想されている。欧州では、高い環境意識と WEEE 指令¹への対応の必要性等から、世界に先駆けて太陽光発電モジュールのリサイクル・適正処理に係る取組が進められており、PV CYCLE や CERES といった企業コンソーシアムが形

¹ 廃電気電子機器に関する欧州議会及び理事会指令。欧州市場で販売される電気・電子機器廃棄物を対象に、生産者（producers）に対する自社製品の回収・リサイクル、およびそのためのコスト負担責任を規定。

成されている。これらの組織においては、各国に多数設置された回収ポイントにおいて、エンドユーザーにより撤去・運搬された太陽電池モジュールを回収し、パートナー企業であるリサイクル事業者に引き渡し、リサイクルを実施している。両組織において類似したスキームを用いているものの、太陽電池モジュールの回収・運搬・リサイクルに係るコスト負担スキームが違っており、適切なリサイクルスキーム構築に係る思想の違いが見受けられる。メーカーの取組みとしては、米国 First Solar 社が先進事例として挙げられる。同社は全ての同社製品を対象とした独自のリサイクルプログラムを運用しており、主にガラスと半導体部分のリサイクルを進めている。同社は PV CYCLE に加盟しており、太陽電池モジュールのリサイクル関連団体との連携を深めている。なお、欧米ともに、現状ではリサイクルに係る取組が主であり、リユースについての具体的動向は確認されなかった。

太陽熱利用設備については、中国や欧州市場を中心に導入量が拡大しており、将来的な廃棄量の増加が予想される。現状ではリユース・リサイクルに係る目立った取り組みは確認されないものの、廃棄量の増加に伴いリサイクル等に係る検討が将来的に成されるものと予想される。

風力発電設備についても、他の再生可能エネルギーと同様に、世界的に導入量が拡大しており、リユース・リサイクルが今後の検討課題になると考えられる。風力発電設備については、特に欧州においてリユースの事例があり、農家を中心に導入初期に設置された小型の風力発電設備の中古利用ニーズが存在する。リサイクルについては、風力発電を構成する主要部材のうち、リサイクルや廃棄処分の難しいガラス繊維強化プラスチック（FRP）が用いられているブレードに関する検討が多く成されており、ブレード廃棄量の将来予測も報告されているが、一定量の廃棄量が見込まれない場合、リサイクル事業の成立は困難とする見方が多い。また、ガラス強化繊維プラスチックの粉碎時に多くのエネルギーを消費するなど、リサイクル技術改善の必要性が指摘されている。

2. 再生可能エネルギー設備の特性把握

2. 1 温室効果ガス排出量及び排出削減効果の整理・把握

本節では、再生可能エネルギー設備に関し、ライフサイクル全体での温室効果ガスの排出量及び化石燃料と比較した排出削減効果について、文献調査等により既往の知見を整理した。

1) 再生可能エネルギー設備導入による効果の評価

再生可能エネルギーが火力発電に比べて CO₂ 排出量が小さくなること、太陽光発電システムのエネルギー・CO₂ ペイバックタイムはそれぞれ 1.4～3.4 年、2.1～4.2 年であり、いずれも想定する使用年数よりも短い値となること等の報告が見られた。

2) 再生可能エネルギー設備の種類間の比較評価

太陽光発電システムのうち、シリコン系と CIS 系のライフサイクル CO₂ 排出量の比較評価を実施している報告が複数見られた（結果は文献によってばらつきが見られた）。

また、風力発電システムについては、洋上プラントと陸上プラントを比較し陸上プラントの方が地球温暖化への寄与度が低いとする報が見られた。

3) 再生可能エネルギー設備のリサイクル等による効果の評価

太陽光発電システムに関して、リサイクルの実施状況によるライフサイクル CO₂ 排出量の比較評価を実施した報告が複数見られた。いずれの報告においても、リサイクルがより促進されることにより CO₂ 排出量は大幅に削減されるとの結果が示されている。

2. 2 装置や部品に使用されている材料の整理・把握

本節では、再生可能エネルギー設備の基本的な構成を示した上で、それぞれの装置や部品に使用されている材料を明らかにするとともに、レアメタル・レアアース等の有用物質及び鉛等の有害物質の含有状況（種類、含有量）を調査した。

太陽光発電設備については、パネルに使用されるガラス、フレームに使用されるアルミニウム、架台に使用される鉄などが主要な素材である。希少性の観点からは、電極材料の銀やCIGS系に使用されるはインジウムやガリウム等がある。有害性の観点からは、鉛に加え、薄膜系（CIGS系、Cd-Te系）ではカドミウム、セレン、テルルの含有に注意が必要である。

太陽熱利用設備については、集熱器に使用されるステンレス・ガラス・発泡スチロール、貯湯槽に使用されるポリエチレン・発泡スチロール・ステンレスが主要な素材であり、希少性の観点から特に注目すべき物質の含有はない。

風力発電設備については、羽根（ブレード）に使用されるガラス繊維強化プラスチック、ナセルや鉄塔等に使用される鉄などが主要な素材である。永久磁石にはネオジム、ジスプロシウムがあるが、永久磁石を使用する風車のシェアは累積で全体の10%程度である。

中小水力発電設備については、水車周りに使用される鉄・ステンレスが主要な素材であり、採算性向上の観点から、ネオジム磁石等の高機能材料は基本的に使用されていない。

地熱発電設備については、設備の大部分は鉄が主要な素材であり、希少性の観点から特に注目すべき物質の含有はない。

なお、いずれの設備も電気機器等の接合部等にははんだが使用されており、鉛が含有される可能性がある。

3. 再生可能エネルギー設備に関する技術動向調査

本節では、再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する技術動向について文献調査等に基づき整理した。

リサイクル関連技術、特にモジュールのリサイクルに関する技術開発が進められており、国内外で結晶Siやガラスの回収技術の研究が行われていること、リサイクル関連の技術は、既に実用化している技術も複数存在することが確認された。

一方でリユース関連、適正処分関連の技術についての研究・開発は、現時点ではあまり多く行われていないが、今後検討が必要であると指摘されている項目が複数確認された。

4. 将来の社会システムの構築に向けた基礎的な検討

本節では、再生可能エネルギー設備について、今後の導入量、使用年数、排出方法等を考慮して、将来の排出見込量の推計を行った。

推計対象年次を2015年から2030年までとし、設備の新規導入量データに基づき排出見込量を推計した。排出見込量については、①製品寿命が終了したものの排出、②修理・交換等されたものの排出、の2つの排出形態が存在する。①については設備寿命に基づく推計、②については修理等の頻度に基づく推計を実施し、設備の特性に合わせて必要に応じて双方の推計を行い合算した。

太陽光発電設備（住宅・非住宅・メガソーラ）の排出見込量を下図に示す（設備寿命は太陽電池モジュール20年、パワーコンディショナ10年と設定）。2015年以降年々排出見込み量は増加傾向にあり、2015年付近では約7万t/年～9万t/年であるが、2030年では約25万t/年～70万t/年となった。また、内訳を見ると住宅用と非住宅・メガソーラーの

排出の割合は4：6程度であった。

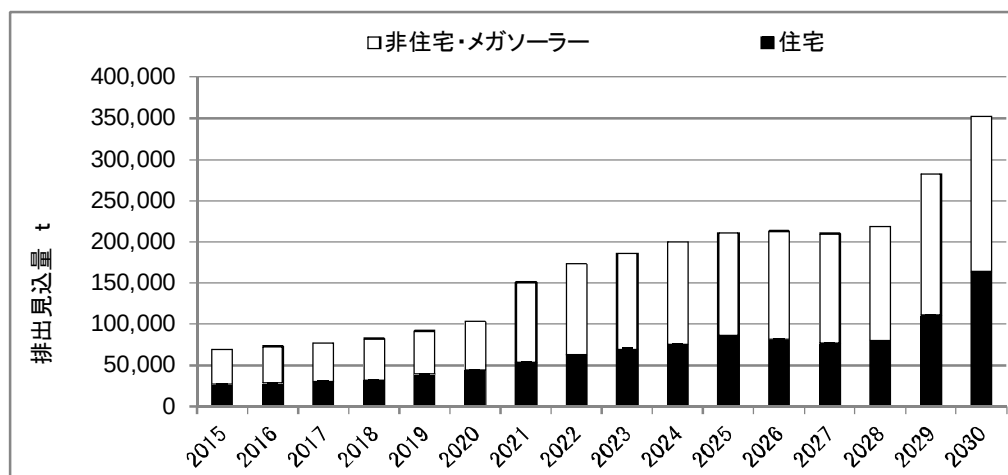


図 太陽光発電設備（住宅・非住宅・メガソーラー）の排出見込量（2015年～2030年）
（設備寿命：太陽電池モジュール20年、パワーコンディショナ10年）

Fundamental study on the reuse and recycling of end-of-life renewable energy equipment (FY2012)
Executive Summary

In this study, we conducted a basic survey on the reuse and recycling of and disposal systems for end-of-life renewable energy equipment, in order to obtain findings necessary for the future establishment of appropriate social systems for such equipment. The outline of the results of the survey is as follows.

1. Survey on trends in processing end-of-life renewable energy equipment

1.1 Survey on the flow of renewable energy equipment in Japan

In this chapter, we have set out information on the cumulative / annual installed capacity, the expected volume of waste, and the current situation in terms of reuse and recycling and in terms of dismantlement and disposal for the renewable energy equipment surveyed, specifically photovoltaic systems, solar heating systems, wind power systems, small hydropower systems, and geothermal power systems in Japan. We also determined an outline of the flow of the equipment surveyed based on the information collected.

So far, few photovoltaic systems have been discarded as waste, and it is thought that the majority of those discarded are factory waste, products that manufacturers have collected through repair and exchange, or end-of-life equipment from research and development processes.

It is also thought that most of these products are obtained by the manufacturer and treated commercially as industrial waste. Commercial treatment of such waste results variously in the recovery of aluminum and of nonferrous metals through nonferrous smelting processes.

Additionally, research focused on the recovery of glass and silicon from such waste has been implemented by manufacturers and other stakeholders under the support of the Japanese government.

Moreover, a flow culminating in product reuse has been confirmed, although the volumes involved remain low at present.

With regard to solar heating systems, a consistent albeit rather low volume of waste material is discharged annually. After valuable resources such as metals are collected, systems are processed as industrial waste.

The ratio and volume of recyclable materials, such as metals, are comparatively large for solar heating systems, and when considered in the context of single units of equipment, it is evident that a constant volume is being recycled.

In addition, there are reports indicating that a certain number of products are being stored unused.

For wind power systems, it is assumed that the majority of waste material is generated as a result of equipment maintenance and exchange, and that as yet the volume of

end-of-life equipment being disposed of remains low.

After systems are dismantled by maintainers and dismantlers, metal and other recoverable materials are recycled as scrap.

The FRP used in the blades and other parts will be dismantled locally by industrial waste treatment businesses, then subject to heat treatment, crushed, or sent to landfill.

For small hydropower systems and geothermal power systems, it is estimated that at present the main outflow of waste is generated by equipment maintenance and overhaul, while the volume of waste generated from end-of-life equipment remains low. It is thought that, in the case of both system types, metals are sold off as scrap, and plastics are treated as industrial waste.

1.2 Survey on the flow of renewable energy equipment in foreign countries

In this chapter, we have set out the deployment volume and current situation in terms of the reuse and of photovoltaic systems, solar heating systems, and wind power systems in foreign countries.

With regard to photovoltaic systems, the cumulative / annual installed capacity expanded rapidly after 2000, and the amount of end-of-life modules is expected to expand in the future.

In Europe, in response to the requirement to respond to the WEEE Directive and as a result of strong environmental awareness, initiatives have been carried out with regard to the recycling and proper processing of photovoltaic modules, ahead of the rest of the world, and organizations such as CERES and PV CYCLE, both consortia of companies, have been formed.

In the schemes overseen by these organizations, solar cell modules that have been removed from the point of installation and transported by the end user are collected in a number of collection points set up in each country. These modules are then handed over to recycling operators, who are partner enterprises of the organizations, and are recycled.

Although the schemes adopted by both organizations are similar, there are differences in the cost payment systems for the collection, transportation, and recycling of solar cell modules. Such discrepancy is the result of differences in the conceptual approach to the construction of an appropriate recycling scheme.

As an example of efforts by a manufacturer, First Solar Inc. in the United States can be cited as an advanced case.

This company operates an original recycling program intended for all company products, and is mostly advancing the recycling of the glass and semiconductor parts found in those products.

This company is also a member of PV CYCLE, and is deepening cooperation with related organizations involved in the recycling of photovoltaic modules.

It should be noted that, in both Europe and the United States, the principle focus is on recycling efforts, and the details of current trends in reuse have not been fully confirmed.

With regard to solar heating systems, deployment volumes are expanding in Chinese and European markets, and consequently it is expected that in the future there will be an increase in the amount of end-of-life equipment.

Although no notable efforts geared toward reuse and recycling have been confirmed at present, it is expected that greater consideration will be given to disposal and recycling in the future as increases in waste volume are seen.

The cumulative / annual installed capacity of wind power systems is expanding worldwide, along with that of other types of renewable energy. As such, it appears that reuse and recycling represents a significant future challenge.

For wind power systems, there are a number of notable examples of reuse in Europe, and the need exists for the second use of small wind power systems that were set up at the initial stage of deployment, often on land owned by farming households.

Looking at recycling, and specifically the recycling of the main components of wind power systems, a large number of studies have been conducted on the recycling of blades made of fiberglass-reinforced plastic (FRP), which is difficult to recycle or dispose of, including forecasts on waste volume from such blades. Many of these reports consider that the establishment of viable recycling businesses will be difficult without the guarantee of a steady volume of waste.

Moreover, these reports also point to the need for improvements in recycling technology, since, for example, FRP grinding currently requires significant energy consumption.

2. Survey on the characteristics of renewable energy equipment

2.1 Survey on GHG emissions and the effect of emission reduction of renewable energy equipment

In this chapter, we have set out existing research findings, from a review of the literature, on the impact of emission reductions through deployment of renewable energy equipment, as compared to fossil fuels and greenhouse gas emissions, over the entire life cycle.

1) Evaluation of impact through renewable energy equipment deployment

Reports were identified indicating that the level of CO₂ emissions from renewable energy is lower than those resulting from thermal power generation, and that the CO₂ energy payback time of photovoltaic systems is estimated at 1.4 years to 3.4 years and 2.1 to 4.2 years, respectively, both representing values shorter than the assumed years of use.

2) Evaluation of comparison between renewable energy equipment types

Among solar power systems, there are multiple reports on the results of comparative evaluations of the life cycle CO₂ emissions of silicon-based and CIS modules. However,

discrepancy was seen in the results reported by the various studies.

In addition, for wind power generation equipment, there were reports that the contribution to global warming of onshore plants is low compared to that of plants offshore.

3) Evaluation of the impact of renewable energy equipment recycling

With regard to photovoltaic systems, there are multiple reports on the comparative evaluation of life cycle CO₂ emissions as calculated under the assumption that recycling systems have been implemented.

In each report, results indicated that the level of CO₂ emissions fell significantly as a consequence of the increased promotion of recycling efforts.

2.2 Survey on the materials used for renewable energy equipment

In this chapter, we clarified the materials used for the various devices and parts included in the different types of renewable energy equipment, having indicated the basic composition of each equipment type. We also investigated the volume of useful materials, such as rare metals and rare earths, contained in each type of equipment, as well as hazardous substances such as lead.

The main materials of photovoltaic systems are glass, which is used for the panel, aluminum, which is used for the frame, and iron, which is used for the counter. Scarcity of resources prompts the use of indium and gallium for CIGS modules, and in the silver used as electrode material.

In terms of hazardous properties, it is necessary to note, in addition to lead, the inclusion of cadmium, selenium, and tellurium in thin film systems (CIGS modules and Cd-Te modules).

For solar heating systems, the main materials are stainless steel, glass, and polystyrene foam, which are used for in the heat collector, and polyethylene foam and stainless steel, which are used for the hot water storage tank. Such systems do not contain materials particularly deserving of attention in the context of resource scarcity.

As for wind power systems, the main materials are FRP, which is used for blades, and iron and stainless steel, which are used for nacelles and steel towers. Those wind turbines currently using a permanent magnet, i.e. neodymium or dysprosium, comprise approximately 10% of all turbines in operation globally.

The main materials used in small hydropower systems are the iron and stainless steel used around the turbine. High performance materials, such as neodymium magnets, are not generally used for economic reasons.

For geothermal power systems, iron is the main material in the majority of equipment.

These systems do not contain material particularly deserving of attention in the context of resource scarcity.

It should be noted that solder will have been used in the joints of electrical equipment in all of the systems outlined above, which may contain lead.

3. Survey on technological trends in renewable energy equipment

In this chapter, we have set out current technological trends related to the reuse, recycling, and proper treatment of renewable energy equipment. Information has been compiled from a literature review.

It is clear that recycling-related technology, especially technology focused on module recycling, is being developed and advanced, and we were able to confirm that widespread research is being conducted both within and outside of Japan on collection management techniques for crystal Si and glass is researched inside and outside the country. We also established that there are a number of recycling-related technologies that have already been put to practical use.

On the other hand, at present no research and development is being conducted at the present time on related technology for reuse and proper treatment. We have, however, identified multiple areas for which it has been pointed out that further study is required.

4. Basic survey on the establishment of appropriate future social systems

In this chapter, we have estimated the volume of waste likely to be generated from end-of-life renewable energy equipment, taking into account future projections for the cumulative / annual installed capacity, equipment life, and the means through which waste is generated.

The estimation period was set from 2015 to 2030, and we have estimated the volume of waste generated based on the deployment volume of new equipment.

The estimated volume of generated waste from end-of-life equipment assumes two types of waste, which are, 1) equipment for which the product-life cycle has been completed, and 2) waste resulting from product repair or replacement.

Estimates were calculated based on assumed equipment life for 1), and based on the frequency of repairs for 2). We conducted estimates using both methods as required in consideration of the characteristics of the each type of equipment, and combined the results.

The following graph shows the estimated waste discharge volume from photovoltaic equipment (residential and non-residential).

As indicated below, the estimated waste discharge volume from photovoltaic equipment is expected to increase each year from 2015 onwards. The volume, calculated to be in the vicinity of 70 to 90 thousand t/year in 2015, will rise to 250 to 700 thousand t/year by 2030. In addition, looking at the breakdown, the ratio of waste discharge from

residential applications was calculated at approximately 40 %.

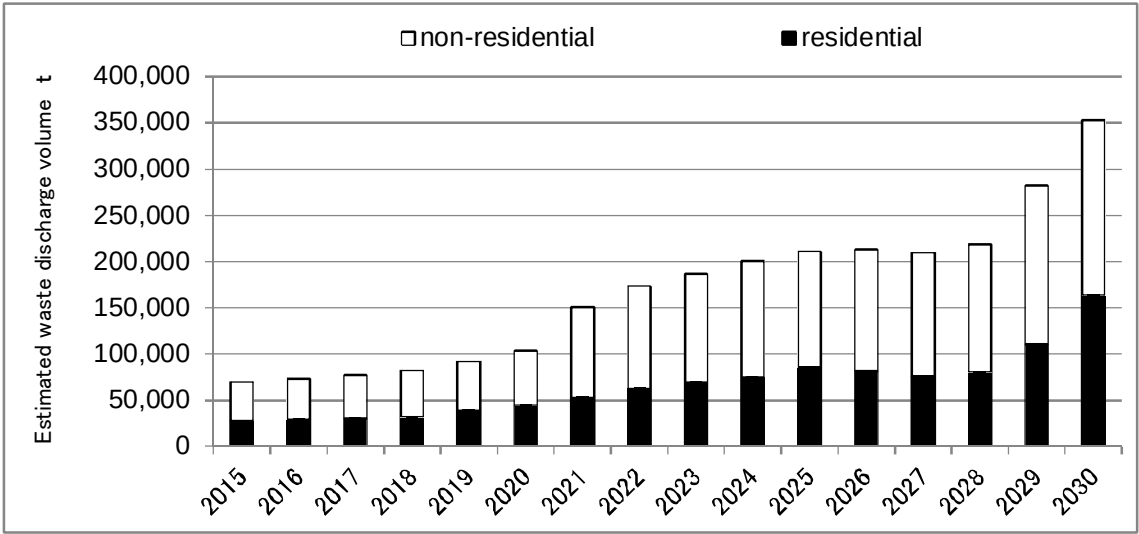


Fig. Estimated waste discharge volume of photovoltaic equipment from 2015 to 2030
(residential and non-residential)
(Equipment life was set at 20 years for solar cell modules, and 10 years for power
conditioners.)

1. 使用済再生可能エネルギー設備の処理に関する動向調査

1.1 我が国における再生可能エネルギー設備のフローに関する調査

我が国の現時点における、調査対象設備（太陽光発電設備、太陽熱利用設備、風力発電設備、中小水力発電設備、地熱発電設備）の導入量、排出見込量、リユース・リサイクル状況、解体・処分状況を整理し、最終的にフローの概略を把握した。

(1) 太陽光発電設備

1) 設備の概要

太陽光発電設備の概略は以下のとおりであり、太陽電池モジュール（パネル）とモジュールを支えるアレイ（架台）、発電した電気を直流から交流に変換するパワーコンディショナ等により構成される。

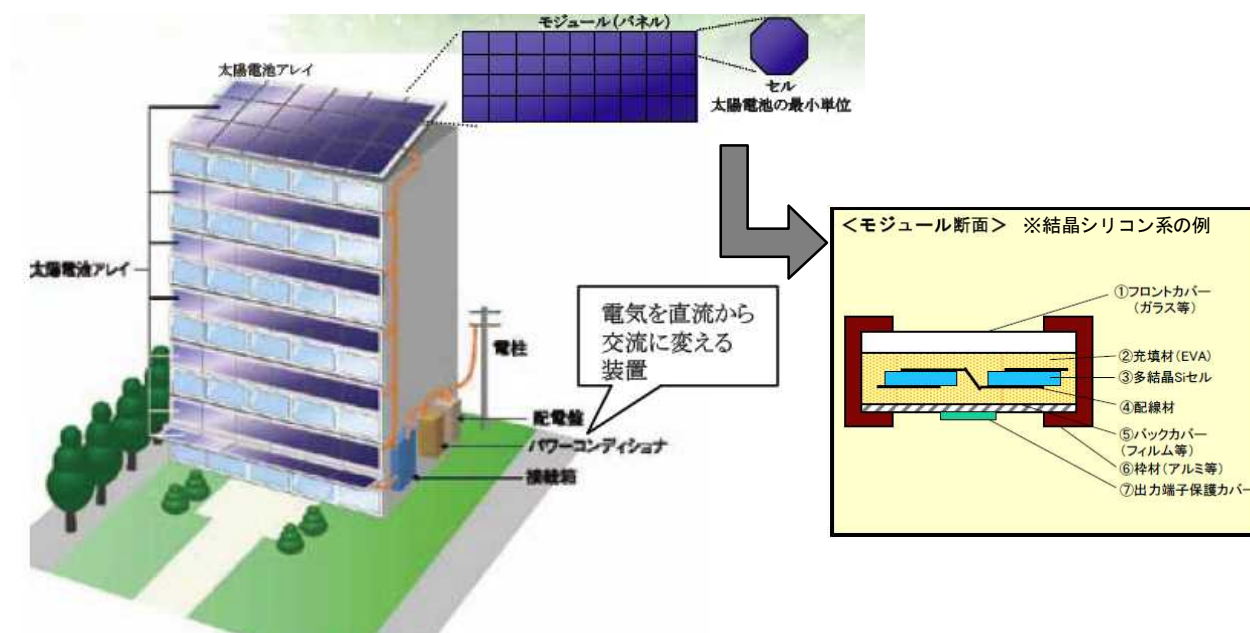


図 1-1 太陽光発電設備の概略

出典：シャープ(株)「太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等の研究開発 ①結晶シリコン太陽電池モジュール発表資料（NEDO）」、NEDO「太陽光発電フィールドテスト事業 設置事例集 III」より作成

太陽電池モジュールについては、研究開発段階のものを含めて多くの種類があるが、実用化されているものとしては「シリコン系（結晶系、薄膜系）」「化合物系（CIGS 系、Cd-Te 系）」に大別することができる。

2) 設備導入量

IEA の報告による太陽光発電設備の導入量は以下のとおり。日本国内の 2011 年の独立型・住宅用は 5.5MW、独立型・非住宅用は 97.7MW、系統連系・分散配置²は 4,741.5MW、系統連系・集

² 電力事業者の電力系統に連系しており、発電電力はシステムの設置者に供給、または直接電力系統に電力を供給するために設置される。この太陽光発電システムは、電力量計のある設置者の敷地内、公共用や商業用の建物、自動車道路の防音壁などの建築構造物に設置、あるいは組み込まれている。

中配置³は 69.2MW であり、累積発電量は 4,913.9MW となっている。

2004 年以降、年間導入量の伸びは鈍化していたが、2009 年には前年の設置容量 255MW を大幅に上回る 483MW の太陽光発電設備が導入され、以降も高い水準で増加している。

表 1-1 日本における太陽光発電設備の導入量（2011 年時点）

	独立型		系統連系	
	住宅用	非住宅用	分散配置	集中配置
導入量累計 (MW)	5.5	97.7	4,741.5	69.2

出典：“Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011”
(IEA-PVPS)

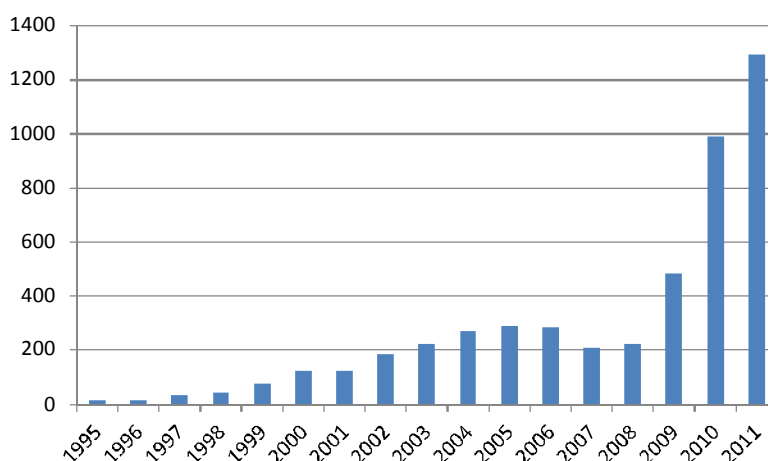


図 1-2 日本における太陽光発電設備の導入量推移（単位：MW）

出典：“Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011”
(IEA-PVPS)

太陽光発電技術は、現在シリコン系（結晶系、薄膜系）、化合物系（GIGS 系、Cd-Te 系、集光型）、有機系（色素増感、有機薄膜）が開発されており、日本で導入されている太陽光発電のほとんどがシリコン系太陽電池である。米国や欧州では、カドミウム、テルルを使用した Cd-Te 系の太陽電池が普及しているが、日本での導入事例は確認されていない。

3) 排出見込量

太陽光発電設備の排出見込量（2015 年～2030 年）の推計結果を下図に示す（推計の詳細は 4 章を参照）。排出見込量は 2015 年で約 7～9 万 t/年、2030 年で約 25～70 万 t/年と推計される。内訳を見ると、住宅用と非住宅・メガソーラーの排出の割合は 4：6 程度となっている。

³ 集中型発電所として機能する。このシステムによる発電電力は特定の顧客向けではなく、大容量発電のために地上に設置されることが多い。

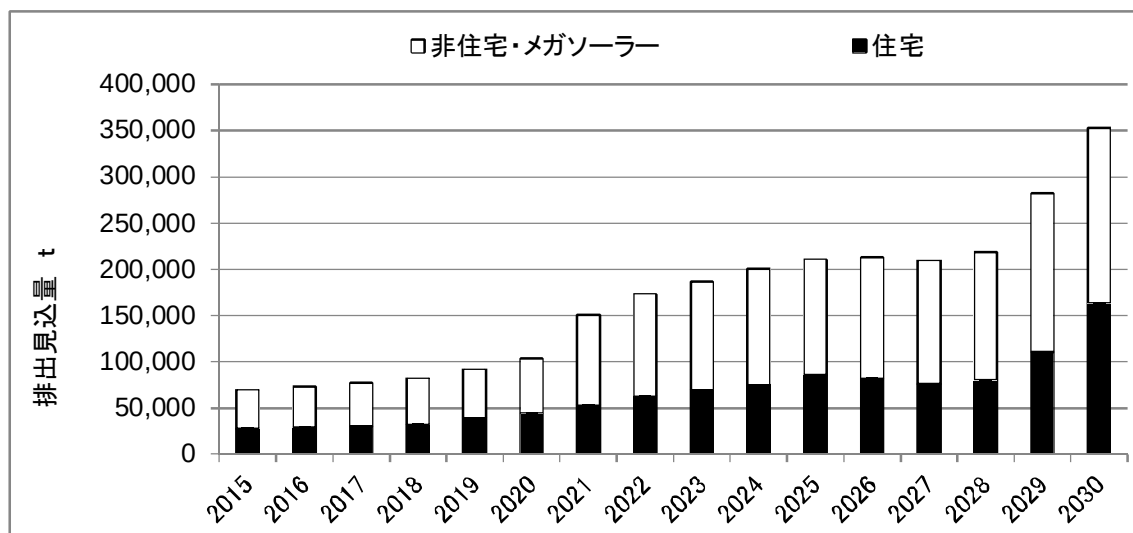


図 1-3 太陽光発電設備の排出見込量 (2015 年～2030 年：詳細は 4 章参照)
(設備寿命：太陽電池モジュール 20 年、パワーコンディショナ 10 年)

4) 設備の流通・設置等の状況

文献情報・ヒアリング情報に基づき、住宅用太陽光発電設備の流通フローを整理した。流通に関する主要なプレイヤーと流通フローを以下に示す。流通ルートは多岐に亘るが、太陽光発電設備の販売を主たる業としている販売店ルートと、設備の施工が主たる事業であるが販売も行う施工店ルートが主要なルートと考えられる。また、ハウスメーカーが新築住宅に発電設備を搭載して販売するケースもある。

ハウスメーカーが販売するケースを除き、太陽光発電設備の施工を行う施工店（施工事業者）がユーザーとの間に介在しており、ユーザーとの接点を最も有していると考えられる。

表 1-2 住宅用太陽光発電設備の流通に関する主なプレイヤー

プレイヤー	概要
太陽電池メーカー	太陽光発電パネル(モジュール)やパワーコンディショナ等を製造している会社。
メーカー販社	太陽電池メーカーの太陽光発電システムを販売するための会社。
販売店	太陽光発電設備の販売を行う会社。施工業務は提携している施工業者等へ依頼して実施。販売店には、訪問販売会社や工務店、家電量販店、太陽電池メーカーの販売代理店（石油系販売店/サービスステーション店も含む）などが含まれる。
施工業者	太陽光発電設備の施工を行う会社。自ら太陽光発電設備の販売を行っている会社も多いが、提携している工務店・販売店等からの引き合い業務を中心に行っている会社もある。多様な業種が存在し、電気工事店や太陽光発電システムを中心的に扱っている業者、太陽電池メーカーの特約店（フランチャイズ店）や施工代理店、工務店、屋根工事店などが含まれる。
建材・電材商社	太陽光発電設備をメーカー販社より仕入れ、それを販売店、施工業者等に卸し売る会社。自ら個人ユーザーに営業活動を行っている会社もある。
屋根メーカー	太陽電池を仕入れ、屋根材の一部として加工し販売する会社。
ハウスメーカー	主に新築住宅に太陽光発電システムを搭載して販売する会社。

出典：各種ヒアリング調査に基づき三菱総合研究所作成

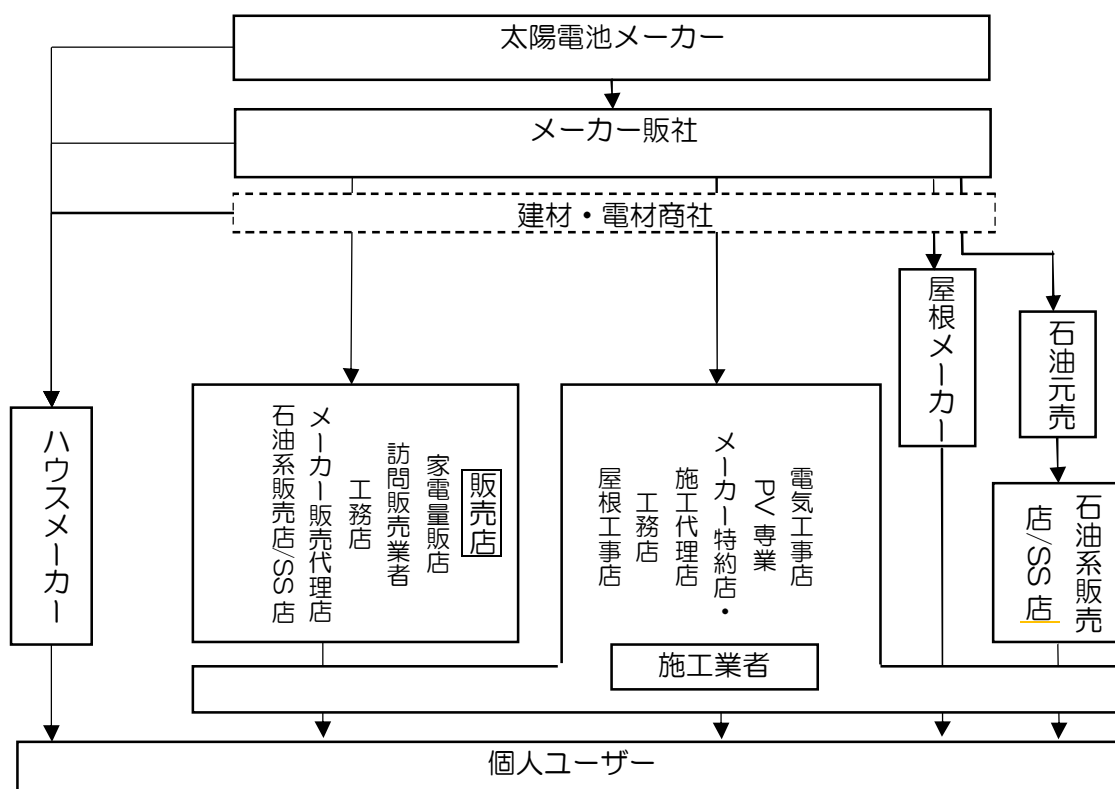


図 1-4 住宅用太陽光発電設備の流通フロー

出典：各種ヒアリング調査に基づき三菱総合研究所作成

5) 排出、撤去、解体、廃棄物処理の状況

太陽光発電設備の排出については、「製品寿命・ユーザー都合による排出」と「不具合・故障等による交換に伴う排出」に大別される。

「製品寿命・ユーザー都合による排出」については、設備の本格導入からまだ年数が経過していないことから、排出されるものはまだ少ないという状況と考えられる。施工業者（施工店）へのヒアリングによれば、使用済みとなった太陽光発電設備の排出事例はこれまでのところほとんどないということであったが、建物解体に先立ち、施工事業者が撤去を行うというケースが見られた。

- 設備の導入が進んだのは 2002～2003 年頃からであり、使用済みとなった機器が出てくるのはまだ少し先ではないか。〔施工業者ヒアリング〕
- 建物を解体する前に太陽光パネルを取り外したことがある（取り外しがされていないと解体業者が業務に着手できないため）。取り外しには2～3人を要した。費用は5～10万円程度の請求を行ったと記憶している。〔施工業者ヒアリング〕

一方、「不具合・故障等による交換に伴う排出」について、件数は多くないものの、施工業者へのヒアリング調査において、いくつかの事例が見られた。施工業者が自ら販売を行っている場合、設備の不具合に気付いたユーザーの多くは施工業者に連絡をする。連絡を受けた施工業者では、メーカーに状況を伝えた上で、メーカーの指示の下で対応がなされる（メーカー系列のメンテナンス会社が現場を確認し、自ら修理・交換するケースもあれば、施工業者が交換等を行うケースもある）。パワコンについては、モジュール（パネル）よりも修理・交換等の頻度が高いことが窺える。

- これまで平成7年から累計で約 3,000 件の施工実績があるが、そのうち製品の不具合によりパネル交換したケースは2件のみである。パワコンについては 20 件弱程度である。〔施

工業者ヒアリング]

- ユーザーが不具合を感じた場合は、施工業者にまず連絡がある。施工業者からメーカーに不具合の内容を伝えた上で、メーカーの指示を仰ぐことになる。メーカーは施工業者からの報告内容を踏まえて対応を判断する（必要に応じてメーカーが現場に出向き判断することもある）。メーカーの指示に基づき施工事業者が交換等の対応を行う（メーカーが自ら対応することもある）。パーツ交換とするか、全交換とするかはメーカー判断となる。〔施工業者ヒアリング〕
- 事例としては機器不良よりも施工不良の場合が多いのではないかと。〔施工業者ヒアリング〕

なお、メーカーの保証内容についてはメーカーによって異なるが、パネルの保証期間は10～20年、パワコンについては10年というのが標準的であった（メーカーカタログ調査、施工業者ヒアリング調査に基づく）。販売・施工事業者の中には、メーカー保証に加えて、定期点検・メンテナンス等のサービスを実施している事業者がいくつか見られた。点検は発電状況の確認、外観のチェックが主であるが、パネルの洗浄等がオプションで行われているケースもあった。

メガソーラー事業者の場合は、本格的な事業参加がはじまったところであり、使用済設備の廃棄等の事例は見あたらなかった。設備の廃棄等に関しては、事業計画時にパネルの廃棄費用を織り込んでおく程度がほとんどと考えられる。メンテナンスについては、専門の事業者に委託しているという例があった。

- 事業計画上、撤去費用（跡地の整備費用も含む）はイニシャルコストの5%程度として積算している。また、現時点では使用済となった後の、撤去・処分の詳細については検討していない。〔メガソーラー事業者ヒアリング〕
- メンテナンス業者（施工事業者）とフルメンテナンス契約を締結している。契約でメンテナンスの内容・頻度等は定めておらず、設備がスタンバイ状態にあることを保証するという内容となっている。実際はメンテナンス業者の考えるプランに従ってメンテナンスが実施されることになる。〔メガソーラー事業者ヒアリング〕

なお、現時点において、使用済み太陽光発電設備が自治体で処理・処分される例は非常に少ない模様である⁴。

6) 回収、リユース・リサイクルの状況

日本国内での使用済み又は廃棄された太陽光発電設備のリサイクルに関しては、当面発生量は少量であり、今後モジュール構造や使用される素材の変化も予想されることから、現段階ではリサイクルルートは確立していない。メーカーの製造不良品等の工場排出物やメーカーが修理・交換により引き取った機器については、メーカーが産業廃棄物として処理を行っている。多くは非鉄製錬事業者に引き渡され、破碎等の前処理が行われたのち、非鉄回収プロセスで銀などの金属回収が行われている。中には、太陽電池モジュールの工場排出物からガラス to ガラス、アルミ to アルミのリサイクルを行っているケースも見られる⁵。

一方、リユースについては、長野県を拠点とするネクストエネルギー・アンド・リソースやエコテック等、国内の民間企業数社が実施している。従来は研究・実験用、自治体、テーマパークの立て替え等からの排出・引取が中心であったが、近年は住宅用の引き合いも増えてきている。た

⁴ （株）三菱総合研究所「住宅用太陽光発電システムの普及促進に係る委託調査」（平成23年2月）

⁵ 太陽光発電協会（JPEA）ヒアリングより

だし、新品への補助金制度の整備や新品パネルの価格低下が進んでいることから、中古パネル事業のコスト採算性は厳しい状況にある。

a. 経済産業省におけるリユース・リサイクルに関する検討⁶

経済産業省において、2009 年度には太陽電池メーカー、住宅メーカー及び政府の取り組むべき課題として「使用済み太陽電池モジュールのリユース・リサイクル」の検討が、2010 年には「太陽光発電システムのリユース・リサイクルに関する調査」として、引き続き検討が行われた。

2009 年度の「使用済み太陽電池モジュールのリユース・リサイクル」の検討では、太陽光発電システムの基礎的情報の把握後、国内外でのリユース・リサイクルの取組事例の調査や、関連製品での取組状況の調査が実施され、以下のような提言が纏められた。

- リユースに関しては、現在の販売形態ではリユース事業者が安定的に中古製品を確保する事は難しく、継続的に中古製品が発生する販売形態の模索や、リユース品の製品安全性・品質の判断基準を策定し、安全性・品質の確保をする事の重要性や、製品のトレーサビリティの確保など、適正な中古品流通ルートを構築する必要がある。
- リサイクルに関しては、現時点ではリサイクルスキームの導入を検討する材料が不十分で、太陽光発電システムの製品構成、製品特性等に合致したリサイクルスキームのあり方を、今後継続して検討していく必要がある。

また、2010 年度の「太陽光発電システムのリユース・リサイクルに関する調査」では、中古太陽光発電システムの性能表示等の在り方に関する検討や新たな種類の太陽電池の適正処理・リサイクル等のあり方の検討がなされた。中古太陽電池モジュール流通に係る調査結果を踏まえ、中古太陽電池モジュールの性能表示に係るガイドラインが作成された。

さらに、今後有害性が懸念される物質を含有する太陽電池が日本市場に導入され、普及する可能性があることから、有害懸念物質含有太陽電池について、使用時や廃棄時に人の健康や環境に対する影響を及ぼさないよう、有害懸念物質含有太陽電池について想定されるリスクの整理、研究機関等による国内外リスク検証状況を調査した上で、有害物質含有リスクに配慮した太陽電池の適正処理等ガイドラインとして取りまとめが行われた。

b. JPEA（太陽光発電協会）における検討⁷⁸⁹

太陽光パネルメーカーの業界団体である太陽光発電協会（JPEA）では、これまでリサイクル部会の従来技術部会の中で、リユース・リサイクル WG としてリユース・リサイクルについて検討が行われてきた。2010 年からは、特別部会として「使用済み太陽電池モジュールの現行でのリサイクル状況に関する調査」や「建築物解体業界に対する使用済み太陽電池モジュールの発生状況や取扱等に関する調査」、「PV 各社に対する廃棄モジュール処理方法の確認」、「非鉄製錬業界に対する廃棄太陽電池モジュール由来の廃棄物の処理実態調査」等、新たな活動を開始している。

現時点では、将来的に低コストで高価値な適正処理に向けた各種準備・検討作業を進めていくという目的の下、国内外の動向把握等を中心に検討が行われている。

⁶ （株）三菱総合研究所「住宅用太陽光発電システムの普及促進に係る委託調査」（平成 23 年 2 月）

⁷ 太陽光発電協会（JPEA）「使用済み太陽電池モジュールの国内外でのリサイクル動向と JPEA リサイクル部会での検討内容」、2011 年 2 月

⁸ JPEA ヒアリング

⁹ 太陽光発電協会（JPEA）「欧州における PV リサイクルの取組状況と日本の対応について」

c. 秋田県での検討¹⁰¹¹

秋田県では、太陽光発電システムのリサイクルに関する検討として、平成 21 年には「シリコン等リサイクル事業化調査」の中で、使用済太陽光発電システムのリユース・リサイクル、シリコンリサイクルについて検討を実施した。また、平成 23 年度からは東北経済産業局の平成 23 年度地域新成長産業創出促進事業費補助金を受けて、(財) 秋田県資源技術開発機構などと共同で、「東日本 PV (太陽光発電システム) リサイクルネットワーク構築事業」を実施している。

平成 23 年度事業ではインベントリー調査 (製造年次別のパネル素材構成の把握と資源価値の推定)、政策・業界動向の把握、事業性調査等を実施し、平成 24 年度事業では、前年度の成果をもとにインベントリー調査に加えて、リサイクル処理方法に関する試験研究として、分解・解体や、シリコンリサイクルの検討、ガラスリサイクル、リユースシステムの構築についての検討や先進事例の調査等を行っている。

秋田県では、非鉄製錬業を核とした資源リサイクルコンビナートを活用しながら、技術的検討を進めることにより、リサイクルネットワーク構築に貢献し、北九州と連携することによって日本全国をカバーするという将来像を描いて取り組んでいる。

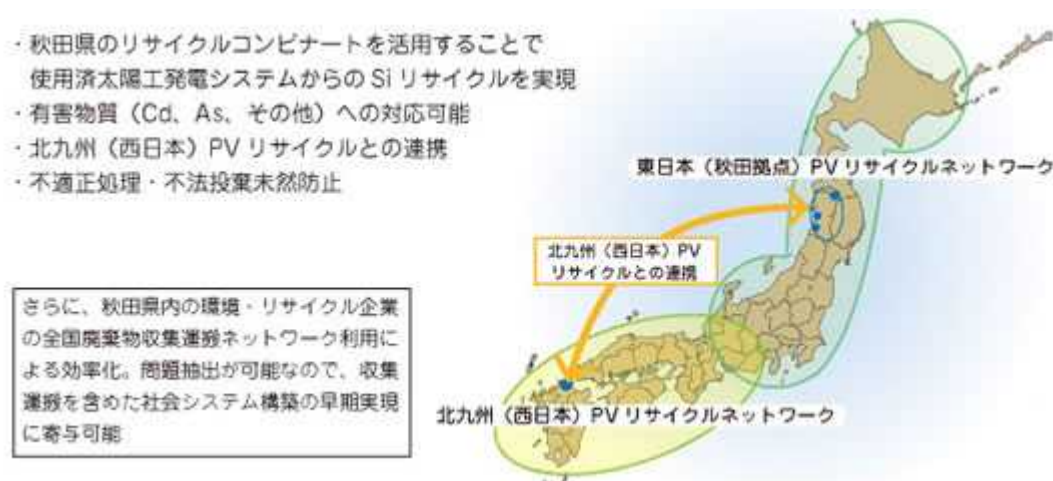


図 1-5 ネットワーク構築後の想定される将来像

出典：DOWA エコジャーナル (http://www.dowa-ecoj.jp/sonomichi/solor_recycle/01.html)

具体的なリユース・リサイクルフローについても検討についても、下図のような検討を行っており、リサイクル拠点は全て秋田県内の立地となっている。

¹⁰ DOWA エコジャーナル (http://www.dowa-ecoj.jp/sonomichi/solor_recycle/01.html)

¹¹ 秋田県 東日本 PV リサイクルネットワーク構築検討委員会 白鳥寿一「秋田県における太陽電池パネルリサイクルシステムへの取り組み」、東北地域環境ビジネスセミナー (2013 年 2 月 20 日)

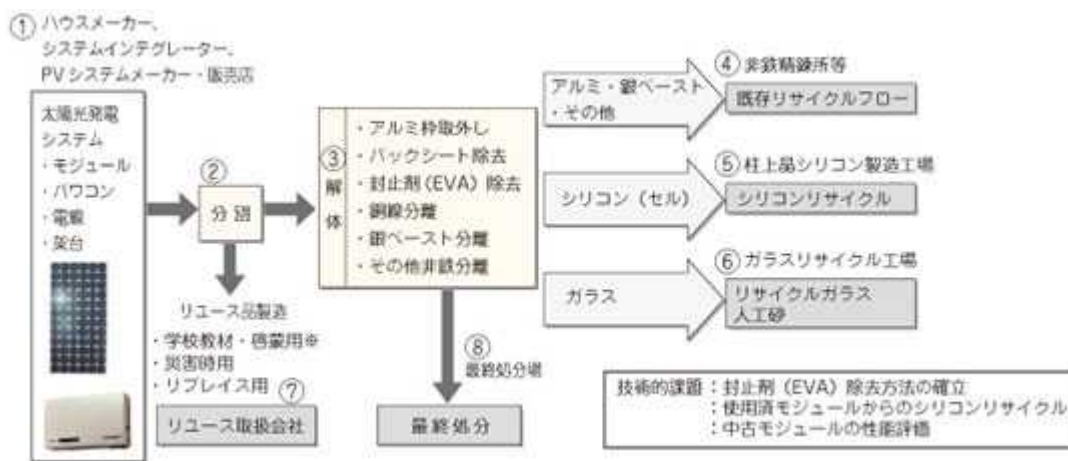


図 1-6 県内での太陽光発電システムの処理（案）

出典：DOWAエコジャーナル (http://www.dowa-eco.jp/sonomichi/solor_recycle/01.html)

太陽電池パネルのインベントリー調査結果は以下のとおりであり、高価なアルミやシリコンは製造年が新しくなるにつれ減少し、その分ガラスの割合が増える傾向にあるとしている。また、インベントリー調査に基づく資源価値については、パネル（シリコン系）1枚当たりでアルミニウム 240 円、銀 1,200 円程度と見積もっている。これに対して、解体コストは1枚当たり 450 円程度と見積もられており、これに収集コストが加わることとなる。

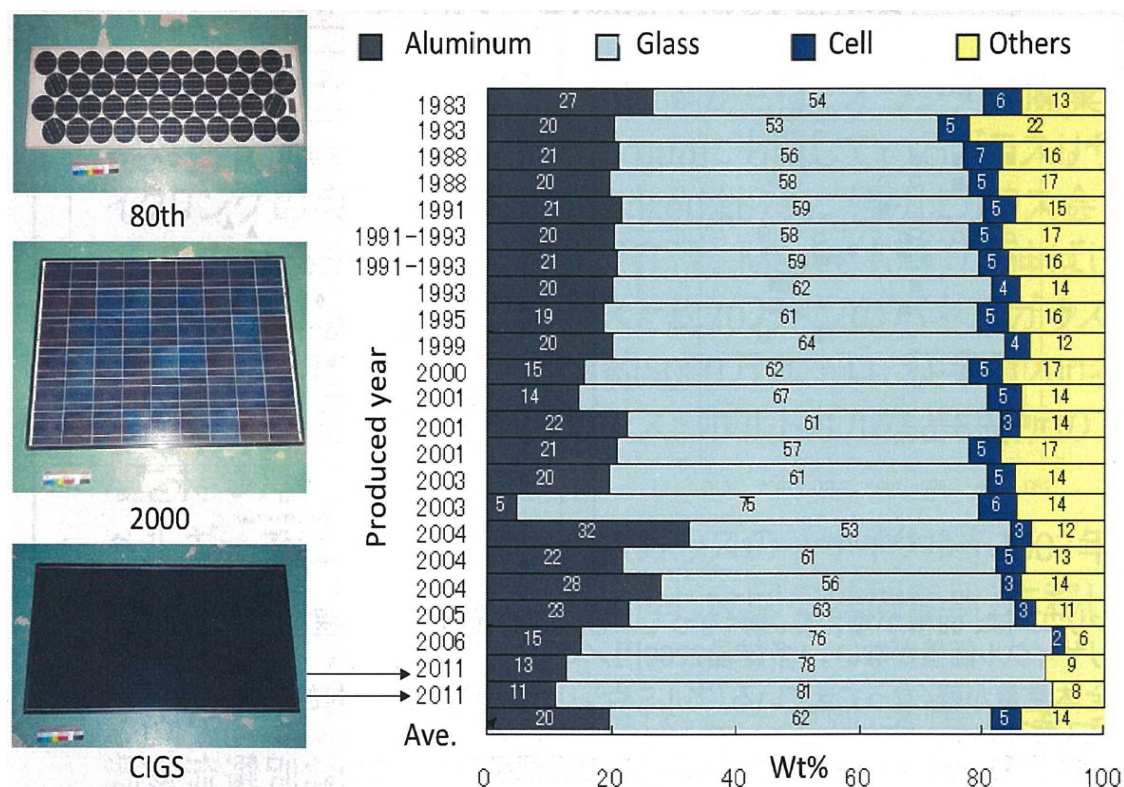


図 1-7 太陽電池パネルのインベントリー調査結果

出典：秋田県 東日本 PV リサイクルネットワーク構築検討委員会 白鳥寿一「秋田県における太陽電池パネルリサイクルシステムへの取り組み」、東北地域環境ビジネスセミナー（2013年2月20日）

d. NEDO の技術開発プロジェクト（北九州）¹²¹³

NEDO において、2010 年度より 5 年計画で「次世代高性能技術開発プロジェクト」が実施されている。このプロジェクトの中の「共通基盤技術分野」として、「PV システムの広域リサイクル手法に関する研究開発」が実施されている（平成 22～24 年度）。①1980 年代以降設置の太陽光発電（PV）システム寿命が順次到来すること、②今後の急速な普及や各社増産に伴う製造工程での不良品等廃棄物が急増すること、③CIS 系や薄膜シリコン系等の多品種・新製品に対応可能なリサイクル処理システムの構築が必要であることを背景として、リサイクル処理手法と合わせて、回収方法、リサイクル料金設定等を含めた「社会システム構築」を図ることを目的としたものである（中核機関：財団法人北九州産業学術推進機構、連携機関：北九州市、昭和シェル石油（株）、（株）新菱、みずほ情報総研（株）、北九州市立大学）。



図 1-8 PV システムの広域リサイクル手法に関する研究開発プロジェクト実施体制

出典：財団法人北九州産業学術推進機構（NEDO 事業）「広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発（平成 22～24 年度）」

「PV システムの広域リサイクル手法に関する研究開発」（平成 22～24 年度）における構想として、第 1 フェーズ（平成 22 年 7 月～平成 27 年 3 月）では、太陽光発電システムのリサイクルにおける低コスト化、共通処理化等を目的とした汎用リサイクル処理技術を確認するとともに、回収方法やリサイクル義務化、費用負担方法等の新たな社会システムの構築を検討する予定である。また、第 2 フェーズ（平成 27 年 4 月～平成 32 年 3 月）では実証実験を行い、平成 32 年以降から「日本版 PV CYCLE」を立ち上げ、リサイクルシステムの実運用を開始する予定である。

¹² みずほ情報総研「太陽電池モジュールのリサイクル・リユースの動向」

¹³ 財団法人北九州産業学術推進機構（NEDO 事業）「広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発（平成 22～24 年度）」



図 1-9 PV システム・リサイクル処理センターの機能

出典：財団法人北九州産業学術推進機構（NEDO 事業）「広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発（平成 22～24 年度）」

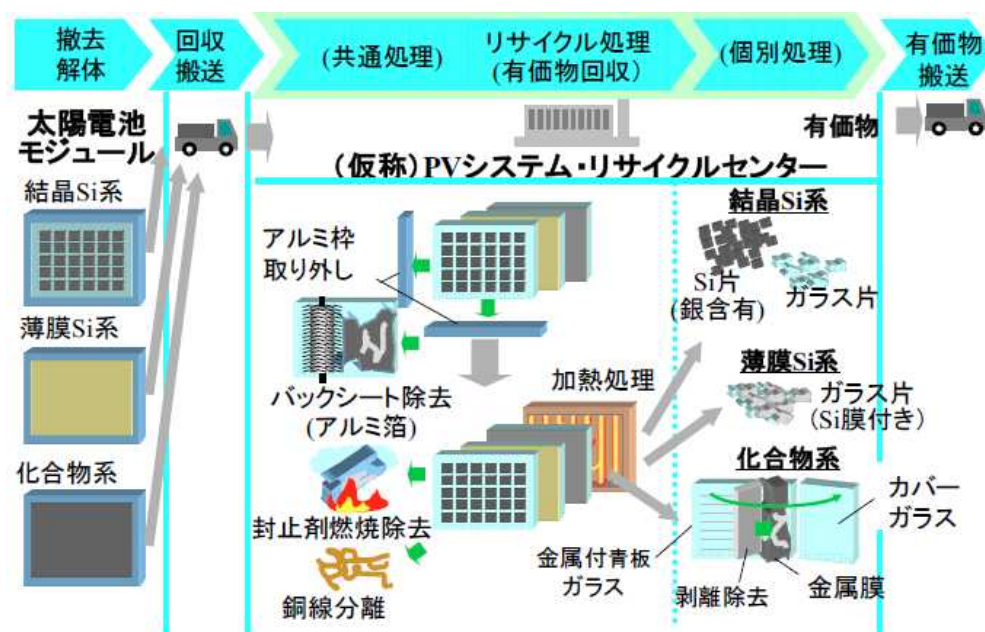


図 1-10 PV システム・リサイクル処理センターにおける処理工程（案）

出典：財団法人北九州産業学術推進機構（NEDO 事業）「広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発（平成 22～24 年度）」

7) フローの概略整理

太陽光発電設備のリユース・リサイクルフローの実態を次図に示す。実線で示したものが現時点の使用済み製品フローであり、破線で示したものが現時点では顕在化していない使用済み製品フローである。

使用済み太陽光発電設備の排出台数自体がまだ少ない状況ではあるが、現在排出されているものは、メーカーの工場排出物、修理・交換によりメーカーが引き取った製品、研究期間終了により排出された研究用の製品等が中心であると考えられる。これらはメーカーが引き取り、産業廃

棄物として製錬事業者等に委託処理されているものが多いと考えられる。なお、使用済み太陽光発電システムが自治体で処理・処分される例は非常に少ないと考えられる。

製錬事業者等では、アルミの回収や非鉄製錬プロセスによる非鉄金属等の回収が行われている。加えて、国等の支援の下、メーカー等によりガラスやシリコンの回収に向けた研究等が実施されている。

また、量的には少ないが「排出→撤去→製品リユース」というフローが確認される。なお、部品リユースについては現状国内では確認されていない。

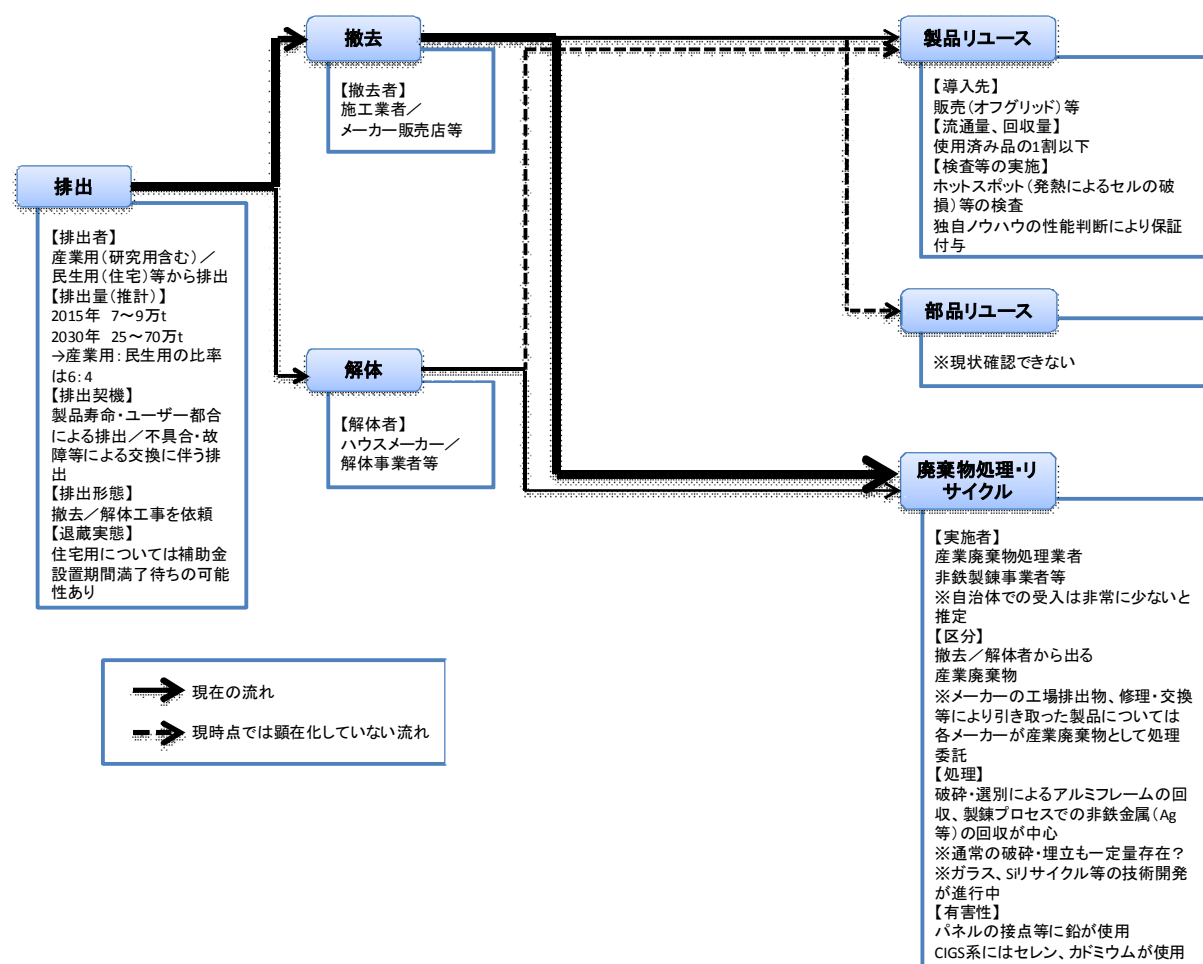


図 1-11 太陽光発電設備のリユース・リサイクルフローの実態

(2) 太陽熱利用設備

1) 設備の概要

現在市販されている太陽熱利用機器は、ソーラーシステムと太陽熱温水器に大きく分けられ、太陽熱を集める集熱器は、平板形、真空ガラス管形などがある。ソーラーシステムは集熱器とお湯を貯める部分がそれぞれ機器として完全に分離しているが、太陽熱温水器はこの集熱器とお湯を貯める部分が一体となった機器である。平板形集熱器は高効率の割には比較的安価であるため、ソーラーシステムの主流を占めている。

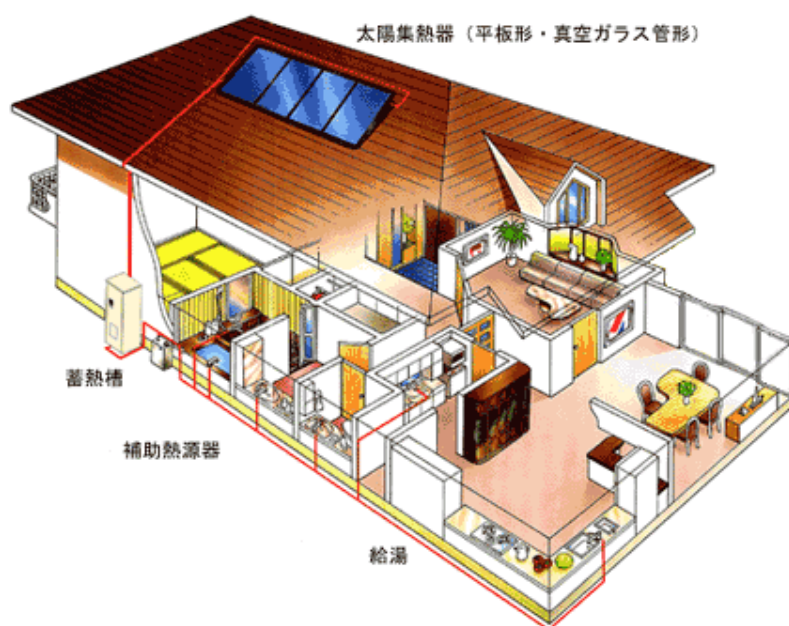


図 1-12 ソーラーシステム（水式）の構造

出典：ソーラーシステム振興協会ウェブサイト

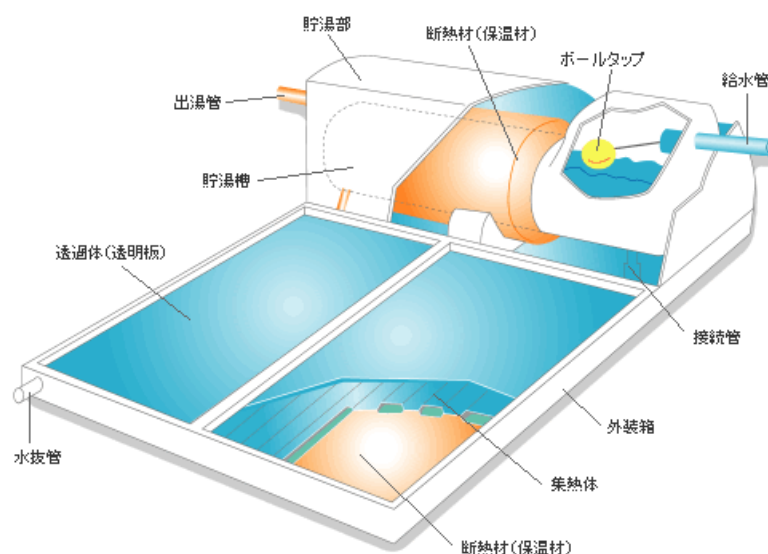


図 1-13 太陽熱温水器の構造（自然循環型）

出典：ソーラーシステム振興協会ウェブサイト

2) 設備導入量

ソーラーシステム振興協会データベースによる太陽熱利用設備の導入量は以下のとおりである。太陽熱温水器及びソーラーシステムを設置している個人住宅は、1980年から始まった国の助成制度であるソーラーシステム普及促進融資制度の実施以降、急速に普及し、ピーク時にはそれぞれ年間 80 万 3,000 台（1980 年）、6 万 4,000 台（1983 年）であった。しかし、年々減少傾向にあり、2010 年はそれぞれ年間 3 万 8,000 台、5,700 台となっている。なお、2010 年までの太陽熱温水器とソーラーシステムの累計出荷台数はそれぞれ 676 万台、65 万台である。

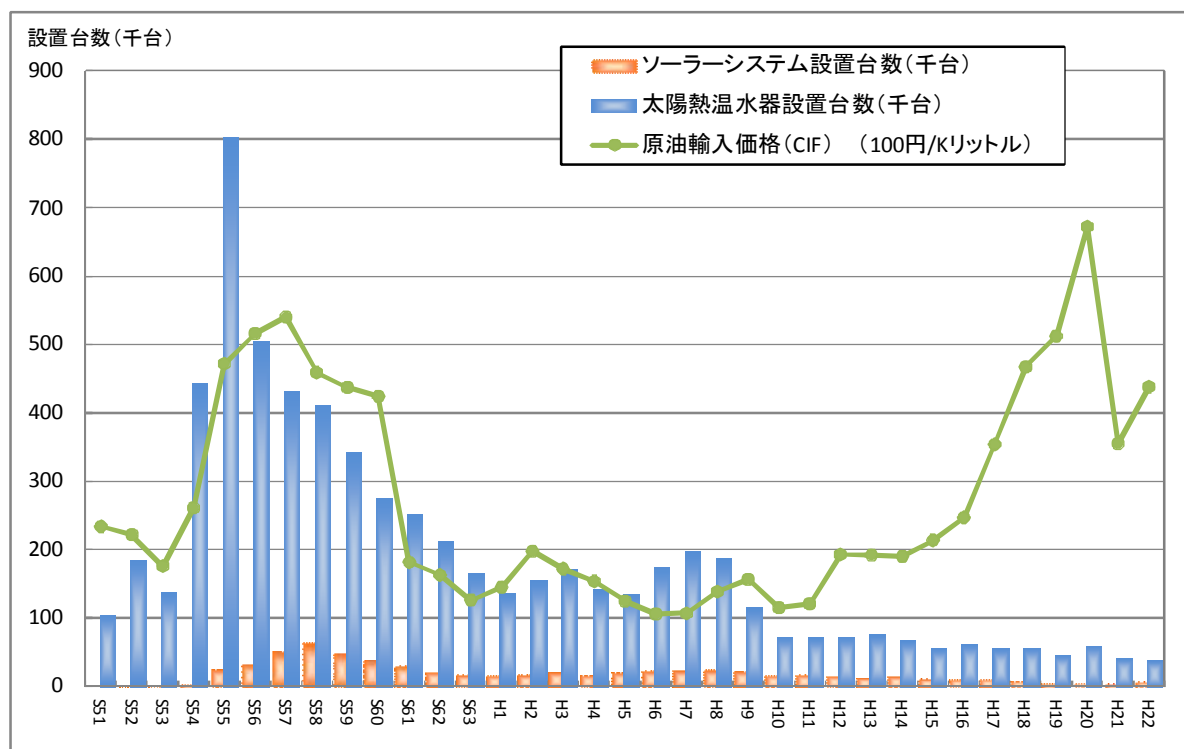


図 1-14 太陽熱利用設備の導入量（平成 22 年末時点）

出典：ソーラーシステム振興協会データベース (<http://www.ssda.or.jp/energy/result.html>)

3) 排出見込量

太陽熱利用機器の排出見込量（2015 年～2030 年）を下図に示す（推計の詳細は 4 章を参照）。排出見込量は 2015 年で約 0.8～2.6 万 t、2030 年で約 5 千 t と推計される。

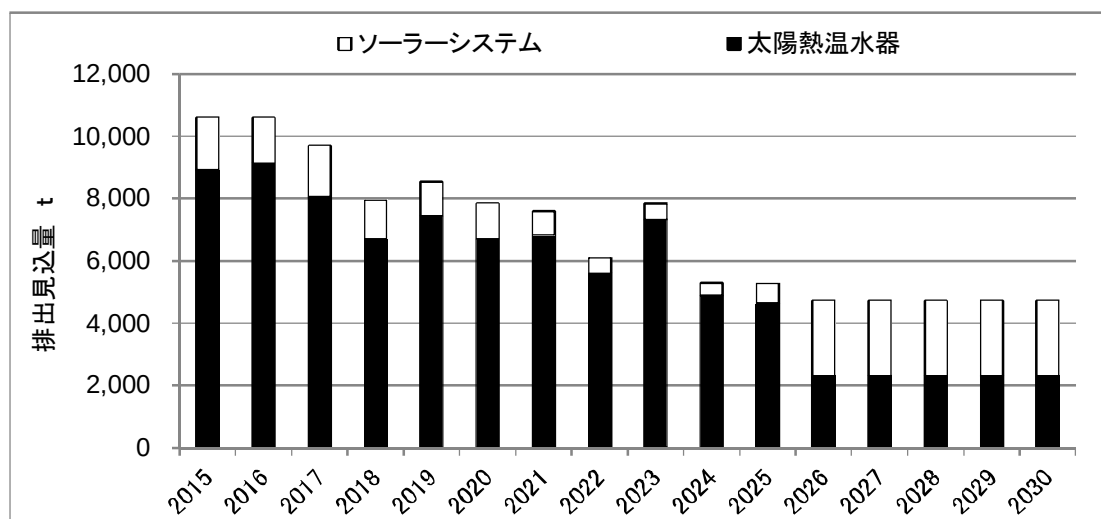


図 1-15 太陽熱利用機器の排出見込量（設備寿命 15 年）（2015 年～2030 年：詳細は 4 章参照）

4) 設備の流通・設置等の状況

文献情報（社団法人ソーラーシステム振興協会「一般家庭における太陽熱利用機器の利用実態調査報告書」、平成 17 年 3 月）に基づき以下の情報を整理した。

- ・太陽熱利用機器の買い換え経験
- ・現在使用している太陽熱利用機器の使用期間
- ・保守点検状況
- ・太陽熱利用機器の今後の買い換え意向

<太陽熱利用機器の買い換え経験>

買い換え経験については、「買い換えたことはない（現在使っているものが最初に設置したものである）」が 79.1%と多く、「買い換えたことがある」は 20.9%であった。平成 13 年と平成 16 年の調査を比べると、平成 16 年の調査では他の年の調査に比べて「買い換えたことはない」という利用者が非常に多く、調査対象者の構成として、築年数の短い住居の利用者が多いことがその背景にあると考えられる。

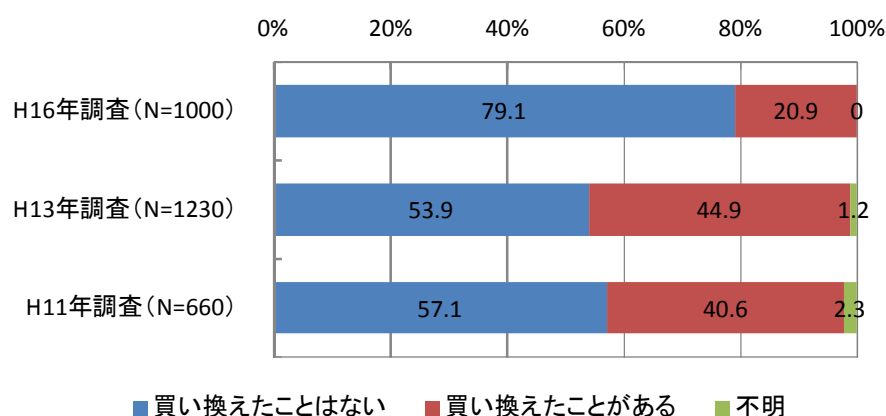


図 1-16 太陽熱利用機器の買い換え経験の有無

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「一般家庭における太陽熱利用機器の利用実態調査報告書」、平成 17 年 3 月

<現在使用している太陽熱利用機器の使用期間>

現在使用している太陽熱利用機器の使用期間は、「6～10 年」が 28.8%で最も多く、次いで「11

～15年」(18.8%)、「3～5年」(18.2%)とつづき、使用年数が11年以上と長期間使用している割合は39.1%となっている。

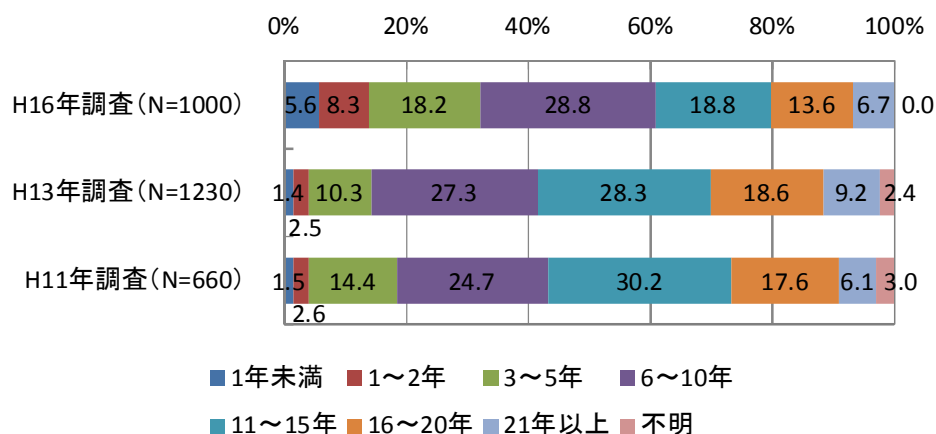


図 1-17 現在使用している太陽熱利用機器の使用期間

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「一般家庭における太陽熱利用機器の利用実態調査報告書」、平成 17 年 3 月

<保守点検の状況>

保守点検は、「現在はしていないが、今後するつもりである」が 40.1%で最も多く、これに「定期的に保守点検をしている」(21.9%)を加えると、62.0%の人が今後保守点検を行う可能性がある。一方、「全くしたことはなく、今後もするつもりはない」は 38.0%を占める。

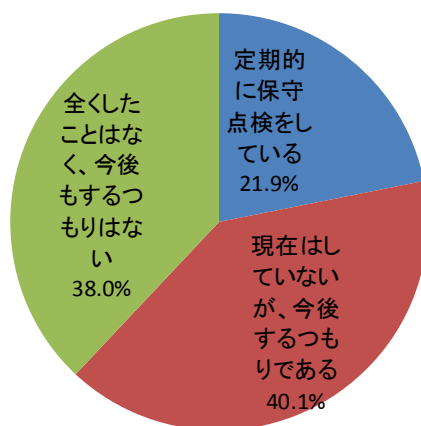


図 1-18 保守点検の状況（平成 16 年調査（N=1,000））

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「一般家庭における太陽熱利用機器の利用実態調査報告書」、平成 17 年 3 月

<太陽熱利用機器の今後の買い換え意向>

今後の買い換え意向は、「条件等が合えば買い換えたい」が 50.0%で最も多く、これに「買い換えたい」(15.8%)を加えた、買い換え意向のある人は 65.8%を占める。一方、「買い換えるつもりはない」は 17.8%、「わからない」は 16.4%であった。

ただし、上記アンケート調査が実施された平成 16 年以降、買取制度の導入や補助金による太陽光発電の優遇が進んできていることから、太陽熱利用機器から太陽光発電設備への乗り換

えがある程度進んできている（今後も進む）可能性が高いと考えられる。

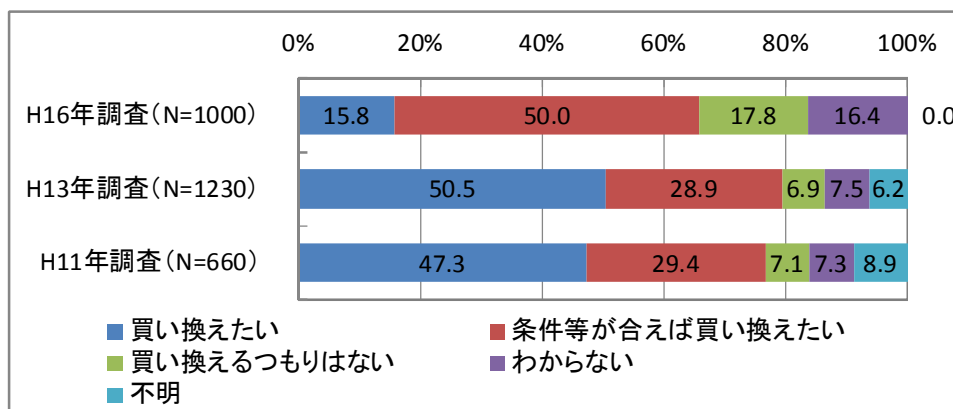


図 1-19 太陽熱利用機器の今後の買い換え意向

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「一般家庭における太陽熱利用機器の利用実態調査報告書」、平成 17 年 3 月

5) 排出、撤去、解体、廃棄物処理の状況

< 撤去等の状況 >

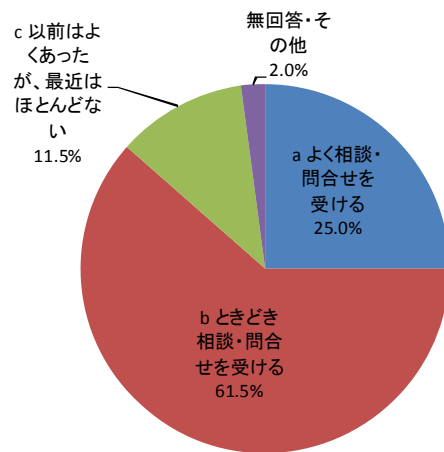
使用済みの太陽熱温水器の撤去は、ソーラーシステム・太陽熱温水器の専門業者が請け負っている場合が多く、まずは屋根の上で解体され、その後集熱器を本体から取り外し屋根から降ろす。その後貯水タンクを取り外し屋根から降ろして撤去作業は終了となる。

社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」では、ソーラーシステム・太陽熱温水器の取扱事業者を対象に、下記項目についてアンケート調査を実施している¹⁴。

- ・撤去に関するお客様からの問い合わせ状況
- ・撤去工事の過去 1 年間の受注状況
- ・年間の撤去工事受注件数
- ・撤去工事受注件数の推移
- ・撤去にあたってのお施主様の動機
- ・撤去工事の受注先
- ・廃棄物としての処理方法
- ・廃棄物処理の委託費用
- ・廃棄物処理の委託先の選定方法
- ・産業廃棄物管理票（マニフェスト）の発行
- ・製品の取扱い状況

上記報告書によると、撤去に関する問い合わせ状況について、「ときどき相談・問い合わせを受ける」「よく問い合わせを受ける」があわせて 90%弱となっており、相当数の問い合わせがあることが窺える。過去 1 年間の撤去工事の受注状況についても、90%弱の事業者が「受注があった」と回答している。

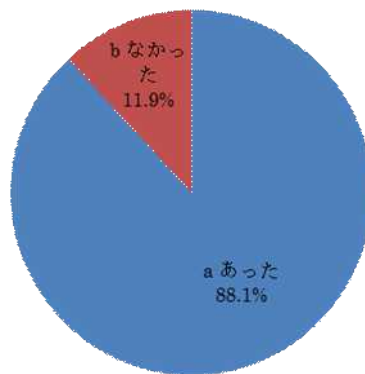
¹⁴ アンケート調査は平成 16 年 10 月に実施、発送数 500（「ソーラーシステム取扱事業者等」登録制度の登録会社 195 社を含む）回答数 248 で回答率は約 50%であった。



n=244

図 1-20 撤去に関する問い合わせ状況

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」

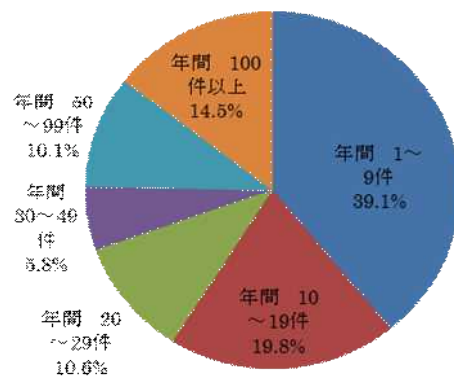


n=244

図 1-21 過去1年の撤去工事の受注状況

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」

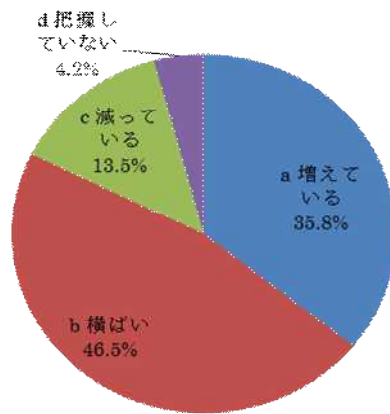
撤去工事の件数についても年間100件以上という事業者が約15%存在しており、また、撤去工事受注件数については、「増えている」が35.8%、「横ばい」が56.5%となっており、撤去工事の需要は比較的堅調に推移していると考えられる。



n=207

図 1-22 撤去工事の年間受注件数

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」

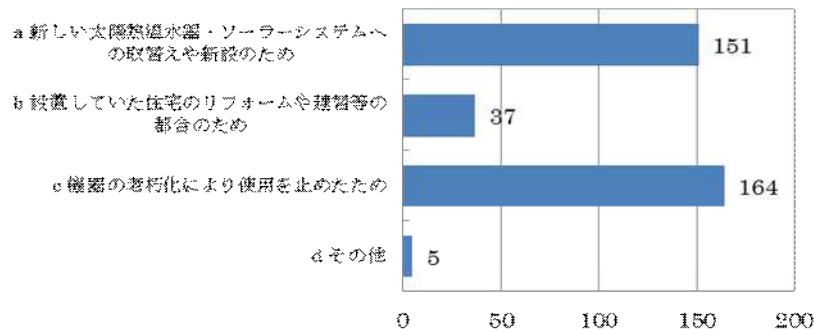


n=215

図 1-23 撤去工事受注件数の推移

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」

ユーザーが撤去を希望する際の理由としては、機器の老朽化による使用中止、新しい機器への取り替えという回答が多い。

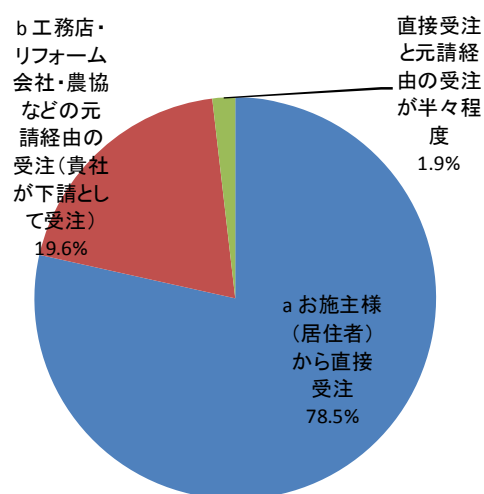


n=214

図 1-24 撤去の理由

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」

また、撤去工事の受注先については、施主である居住者から直接受注するケースが大部分を占めている。



n=214

図 1-25 撤去工事の受注先

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」

太陽熱温水器メーカー（販売・施工も自ら実施）へのヒアリングによれば、撤去するケースは、①新築や改築、使わなくなったことによる撤去など新しいものを購入せずに撤去のみを行う場合と、②元々使っていたユーザーが新しい機器を購入する際に入れ替える場合があり、全体の撤去件数に占める割合は②の方が多いと推察される。

- 撤去するケースは、①新築や改築、使わなくなったことによる撤去など新しいものを購入せずに撤去のみを行う場合と、②元々使っていた方が新しい機器を購入する際に入れ替える場合の2つがある。全体の撤去件数のうち、①は1割程度であり、残りは②の入れ替えのケースに該当すると思われる。〔太陽熱温水器メーカーヒアリング〕
- 撤去の際は、屋根に登ってパネルを取り外したのち、配管、タンク等を撤去する。2～3名程度で半日あれば撤去可能である。撤去・処分費用は顧客に請求している。規模によって金額は変わるが10万円未満というところ。撤去部分の費用が過半を占める。〔太陽熱温水器メーカーヒアリング〕

<メンテナンス等の状況>

太陽熱温水器メーカー（販売・施工も自ら実施）へのヒアリングによれば、販売事業者の中にはユーザーに対して定期点検サービスを提供している事業者があること、点検の内容は不凍液のpH測定、パネルの外観やタンクの確認、配管の漏れがないかの確認、ポンプ・電気系統周りのチェック等が行われていることが確認された。加えて、不凍液を使用するタイプの機器については、不凍液の交換が5年に1度程度行われている（ユーザーの意向により実施されないケースもあり）。

- 太陽熱温水器はユーザーに5年保証を付けて販売している。6年目以降は保守点検契約（有料）となり、希望者は毎年更新していく（加入率は8～9割程度）。保守点検契約者には毎年1回定期点検に行く。保守契約の期間内は修理は無償となる。〔太陽熱温水器メーカーヒアリング〕
- 点検の内容は不凍液のpH測定、パネルの外観やタンクの確認、配管の漏れがないかの確認、ポンプ・電気系統周りのチェック等である。〔太陽熱温水器メーカーヒアリング〕
- 定期点検を行っていれば修理の依頼はあまり来ない。修理の内容は、配管の老朽化や錆による交換や不凍液の交換など。不凍液の交換は5年に一度の交換（有料）を推奨しているが、やらない人もいる。不凍液は経年変化により酸性が強くなり、配管の腐食等の原因となることがある。〔太陽熱温水器メーカーヒアリング〕

<退蔵実態>

太陽熱温水器メーカー（販売・施工も自ら実施）へのヒアリングによれば、山間部などで、誰も住まなくなった空き家などに残っているケースは時々見かけるものの、使用していないがそのまま屋根に載せているというケースはあまり多くないと認識しているとのことであった。

一方、川崎市が太陽熱利用機器の使用状況についてアンケート調査を実施した結果（234世帯から回答）によれば、使用していないと回答した世帯が19%あったとの報告があり、使用されていない太陽熱温水器が退蔵されている実態が一定程度存在することが推測される¹⁵。

¹⁵ 井田淳「川崎市における太陽熱利用促進策」、太陽エネルギー、Vol.38、No.5

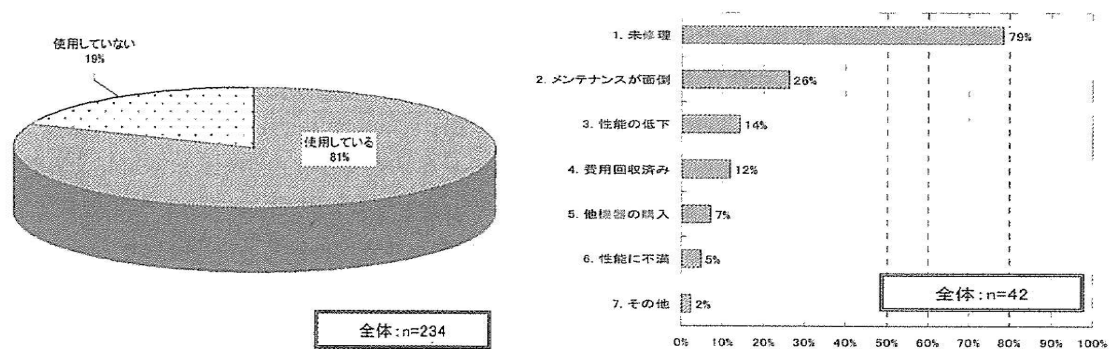


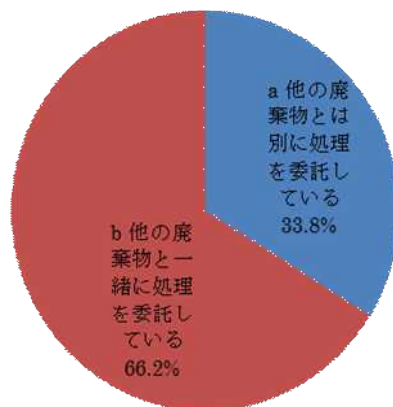
図 1-26 太陽熱利用機器の使用状況（左）と使用停止の理由（右）

出典：井田淳「川崎市における太陽熱利用促進策」、太陽エネルギー、Vol.38、No.5

6) 引取、リユース・リサイクルの状況

社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」に添付されている「ソーラーシステム・太陽熱温水器の撤去・産業廃棄物処理に関する手引き」によると、撤去されたソーラーシステム・太陽熱温水器、配管、架台等は、「産業廃棄物」であるため、「廃棄物処理法」に基づき処理を行うこととしている。撤去後は自社が管理する一時置場などに運び、リサイクル可能な金属くず、廃棄物（金属ごみ、廃プラスチック、ガラスくず等）、危険物などに分別後、適正に処理することとしている。

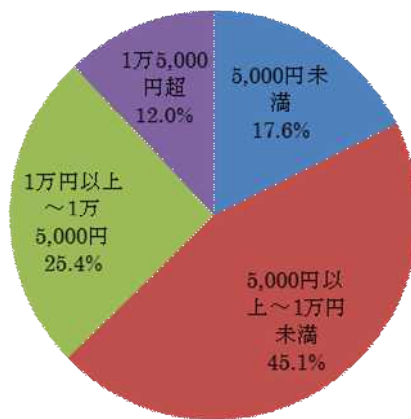
前述のアンケートによると、撤去後は、他の廃棄物と一緒に処理委託されている場合が多いものの、他の廃棄物とは別に処理されているケースもみられた。また、施工事業者が廃棄物処理委託費用として支払う金額は1セット当たり 5,000～10,000 円が中心であった。



n=213

図 1-27 廃棄物としての処理方法

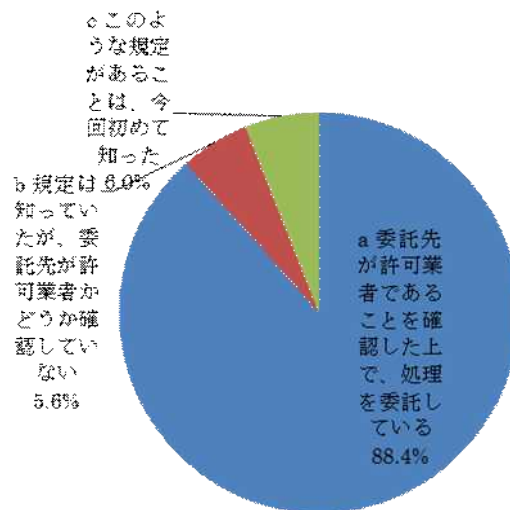
出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」



n=142

図 1-28 1セットあたりの処理委託費用

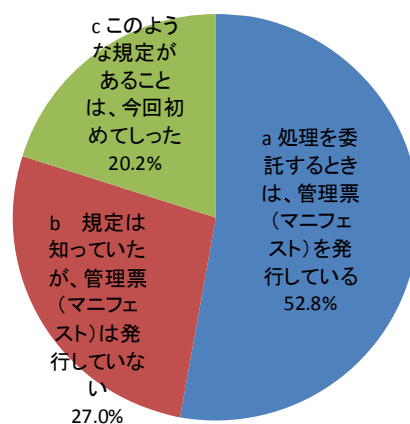
出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」



n=233

図 1-29 廃棄物処理の委託先の選定方法について

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」



n=233

図 1-30 「産業廃棄物管理票（マニフェスト）」の発行について

出典：社団法人ソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム等の撤去・産業廃棄物処理に関する実態調査報告書」

太陽熱温水器メーカー（販売・施工も自ら実施）へのヒアリングによれば、撤去した太陽熱温水器は自社トラックで自社工場まで輸送し、鉄、銅、アルミ、ステンレス、真鍮などの金属系のものは素材別に解体した上で、近隣のスクラップ業者に持ち込んで、資源として有価売却しているとのことであった。その他、保温材に用いる発泡スチロールやガラス、コンクリートくず等については、製品製造やメンテナンス等で出てくる廃棄物と併せて、産業廃棄物として処分業者に委託しているとのことであった。また、パネルに用いるガラスのうち状態のよいものは洗浄した上で再度製品に用いるケースもあるとのことであった。

家電 4 製品、パソコン、自動車等の分野においては、「家電リサイクル法」や「資源有効利用促進法」等の「廃棄物処理法」とは別の個別リサイクル法によりメーカーを中心としたリサイクルが推進されているが、ソーラーシステム・太陽熱温水器は年間排出量がこれらと比較すると非常に少なく、廃棄物に占めるリサイクル可能な素材の割合や量も少ない。また、個別リサイクル法がない限り、メーカーが廃棄物の処理に関与する場合、「廃棄物処理法」に基づく許可を全国各地で取得するか、環境大臣から広域認定を受ける必要がある。

7) フローの概略整理

太陽熱利用設備のリユース・リサイクルフローの実態を次図に示す。実線で示したものが現時点の使用済み製品フローであり、破線で示したものが現時点では顕在化していない使用済み製品のフローである。

使用済み太陽熱利用設備の排出台数はそれほど多くない状況ではあるが、毎年一定程度排出されており、金属等の有価物を回収したのち、産業廃棄物として処理されている。金属等リサイクル可能な素材の割合や量は比較的多く、機器単位で見れば一定量がリサイクルされている。

なお、未使用のまま退蔵されている製品が一定数存在するとの報告もある。

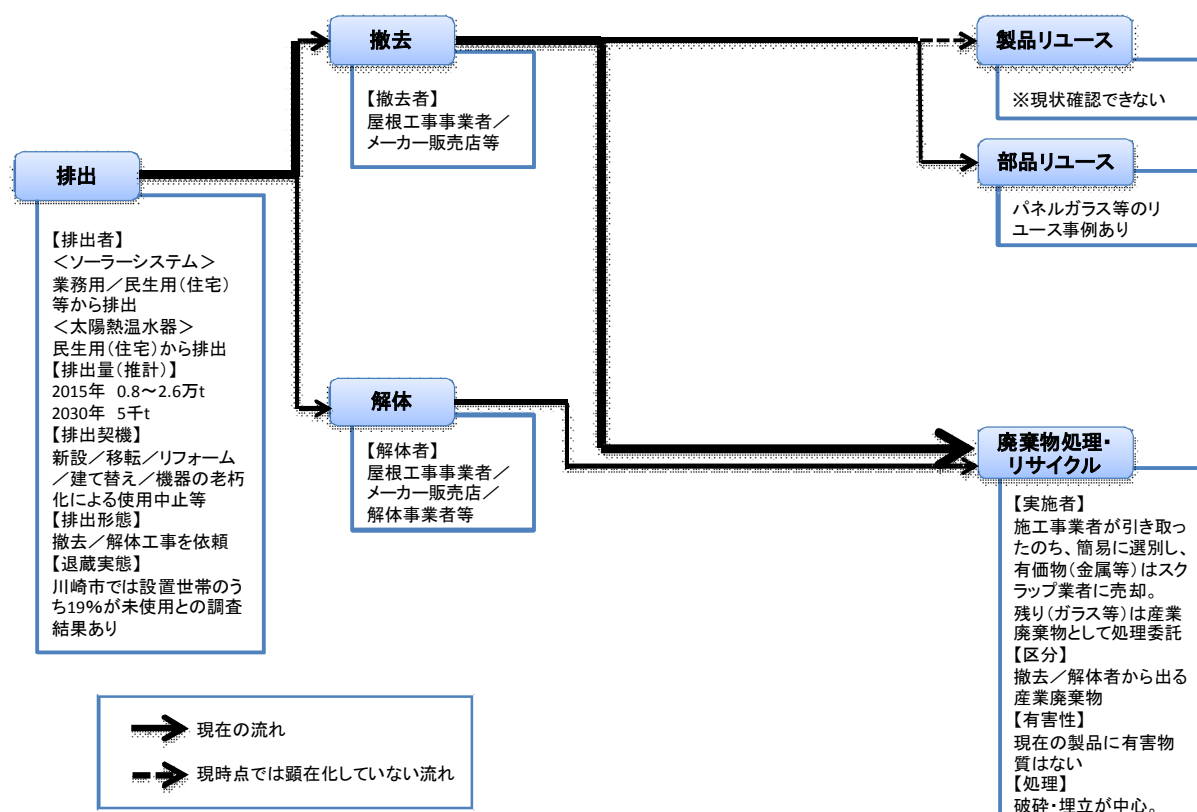


図 1-31 太陽熱利用設備のリユース・リサイクルフローの実態

(3) 風力発電設備

1) 設備の概略

中大型機で一般的なプロペラ式風力発電システムの構成は以下のとおりであり、発電機や増速機を格納したナセル、いわゆる羽根に相当するブレード、タワー、電力変換・制御装置等により構成されている。

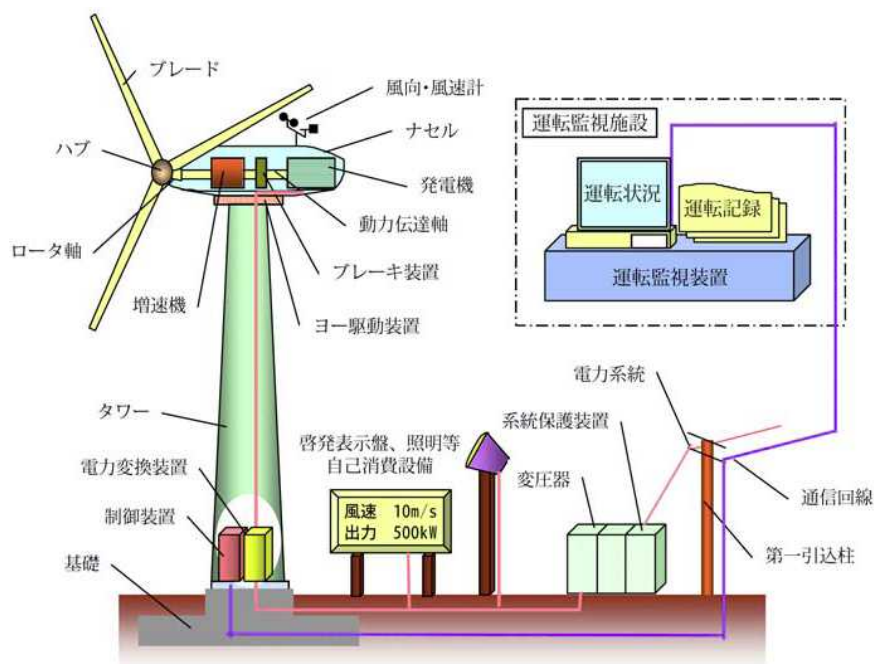


図 1-32 プロペラ式風力発電システムの構成例

出典：NEDO「風力発電導入ガイドブック」（2008 年 2 月改訂第 9 版）

表 1-3 風力発電システムの構成

ロータ系	ブレード	回転羽根、翼
	ロータ軸	ブレードの回転軸
	ハブ	ブレードの付け根をロータ軸に連結する部分
伝達系	動力伝達軸	ロータの回転を発電機に伝達する
	増速機	ロータの回転数を発電機に必要な回転数に増速する歯車（ギア）装置（増速機のない直結ドライブもある）
電気系	発電機	回転エネルギーを電気エネルギーに変換する
	電力変換装置	直流、交流を変換する装置（インバータ、コンバータ）
	変圧器	系統からの電気、系統への電気の電圧を変換する装置
	系統連系保護装置	風力発電システムの異常、系統事故時等に設備を系統から切り離し、系統側の損傷を防ぐ保護装置
運転・制御系	出力制御	風車出力を制御するピッチ制御あるいはストール制御
	ヨー制御	ロータの向きを風向に追従させる
	ブレーキ装置	台風時、点検時等にロータを停止させる
	風向・風速計	出力制御、ヨー制御に使用されナセル上に設置される
	運転監視装置	風車の運転/停止・監視・記録を行う
支持・構造系	ナセル	伝達軸、増速機、発電機等を収納する部分
	タワー	ロータ、ナセルを支える部分
	基礎	タワーを支える基礎部分

出典：NEDO「風力発電導入ガイドブック」（2008 年 2 月改訂第 9 版）

2) 設備導入量

日本における風力発電は 1990 年代後半から急速に導入が進み、1999 年から 2009 年までの 10 年間で累積導入量は 20 倍以上に増加し、2011 年度で総設置基数は 1,870 基、累積容量 2,555MW に達している。しかしながら、近年増加率は伸び悩んでおり、2007～2010 年は 10% 台、2010～2011 年は 5% で推移している。国内における海外機・国産機別導入割合（基数）は、1991 年までは国産機の導入割合が 100% であったが、徐々に減少し、2002 年には 13% まで落ち込んだ。近年はわずかながら回復傾向にあり、2011 年は 24% となっている。

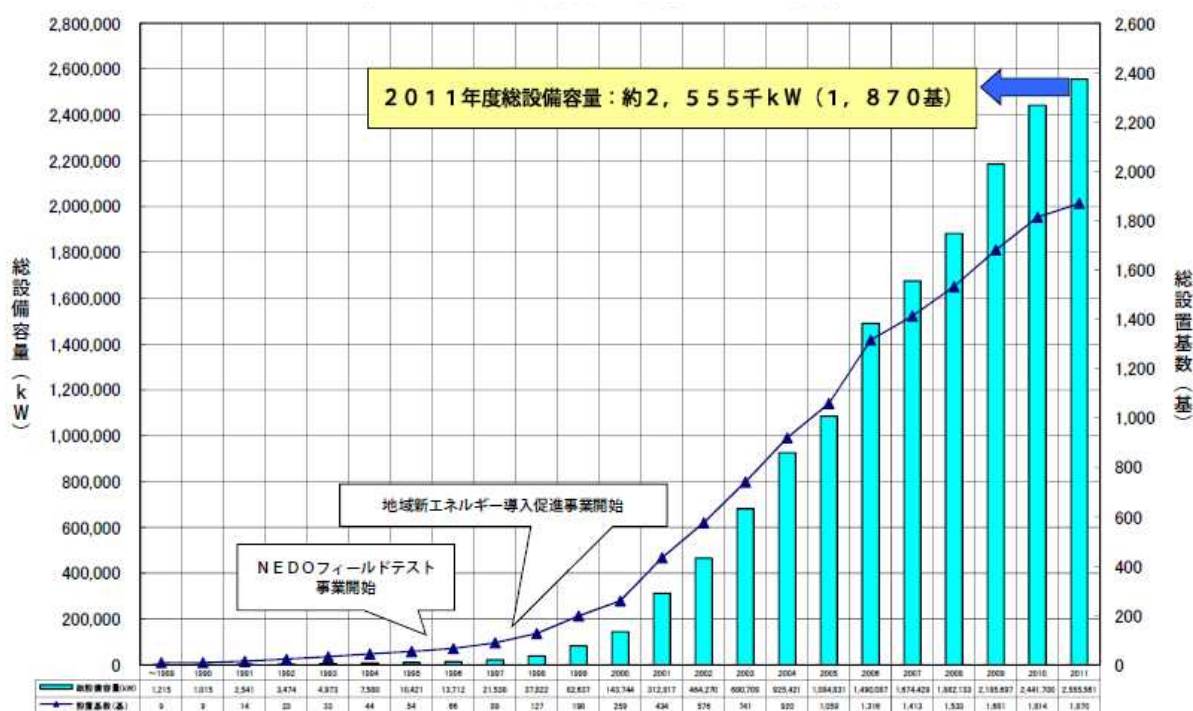


図 1-33 日本における風力発電設備の導入量推移（2012 年 4 月末時点）

出典：NEDO データベース（<http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/index.html>）

小形風力発電設備（ロータの受風面積が 200m² 未満）については 2003 年頃から導入が活発化しており、まだ本格導入から 10 年程度である。

風力発電設備の設計寿命は一般的には 15～20 年と言われている（ブレードやギヤボックスの寿命であり、タワーについてはより長寿命である）が、風の条件が良い地域では、10 年ぐらいで建て直しを行う場合もある。2000 年以降廃棄が出始めているものの、量的にはまだ少ない。また、リプレース（風力発電所内で風車をより大型・高出力のものへ置き換えること）により排出されるケースもある。例えば、1980 年代後半に米国カリフォルニアに導入された風車 3,000～4,000 基（数百 kW クラス）については、その 8 割が既に建て直しされており、事業採算性の高い 2～3MW クラスの風車へリプレースされている。

3) 排出見込量

風力発電設備の排出見込量（2015 年～2030 年）を下図に示す（推計の詳細は 4 章を参照）。排出見込量は 2015 年で約 3 万 t、2030 年で約 20～140 万 t と推計される。

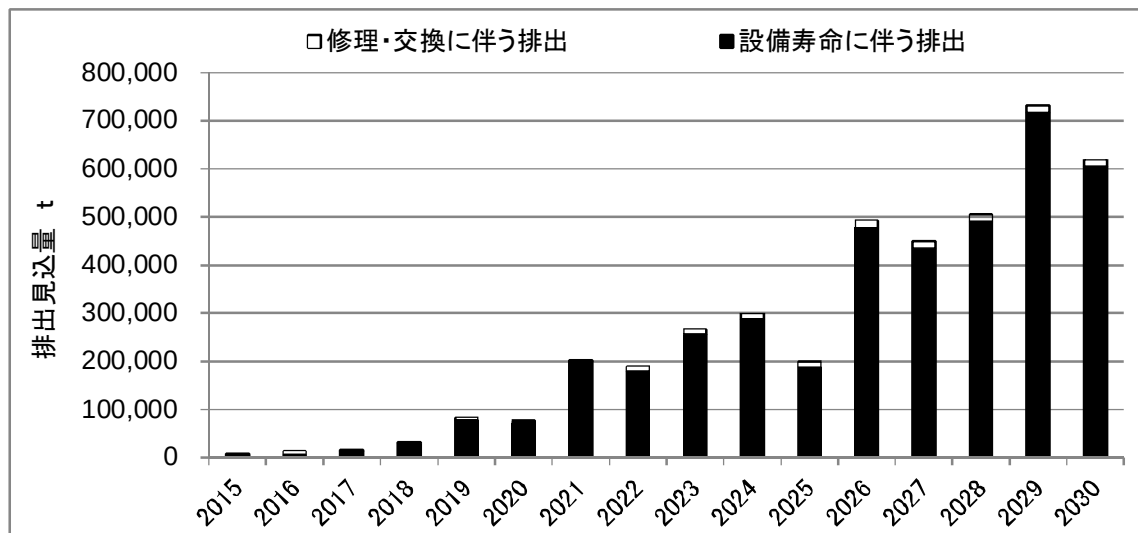


図 1-34 風力発電設備の排出見込量（2015 年～2030 年：詳細は 4 章参照）（設備寿命 20 年）

4) 設備の流通・設置等の状況

風力発電設備のメンテナンスは、以下の 3 パターンが存在する。

- 日常的なメンテナンスとして半年に 1 回の頻度でボルト類の締めまし、油脂補給を実施。メンテナンスには 2～3 日／回を要する。
- 5～10 年毎に大規模なメンテナンスが行われる。増速機検査や電子部品類等の大きな機器の交換を行う。
- その他天災等によって破損した場合に修理を行う。

メンテナンスはメーカーが行う場合と独立系のメンテナンス業者が行う場合がある。日本では基本的にメーカーが保証期間内のメンテナンスを行い、その後は大手のディベロッパーであれば、メーカーの研修を受けて自社スタッフがメンテナンスを行っている。

大規模な風力発電所であればメンテナンスの採算性を確保できる。海外の大規模な発電所では、常駐メンテが一般的となっている。日本では 1 つの風力発電所の規模が小さいものがほとんどであるため、常駐メンテにより採算を取るのには難しい状況にある。

風力発電関連事業者へのヒアリングによれば、メンテナンスを実施する箇所・頻度等は以下のとおりであった。

- 潤滑油は 3 年に 1 回程度交換する。
- 制御、電源周りのボード類の交換のタイミングは 6～10 年である（中に入っている電解コンデンサの寿命がおおよそ 7 年程度であり、それに依存する）。風車が寿命を迎えるまでの間におおよそ 2～3 回交換する。
- ブレードのメンテナンスとしては、清掃やバランスが崩れた場合の振動解析を行う。ブレードのウェイトバランスが崩れているときにはウェイトによる補正を行う。
- 落雷等によりブレードに亀裂が入ることがある。亀裂の入る箇所によって修理に求められる専門技術の水準が異なるが、通常契約しているメンテナンス業者や専門の修理業者が修理を行う。なお、ブレードの亀裂の程度がひどく断裂してしまった場合には交換することになる。
- タワーのフランジ部分に用いるボルトには高張力鋼が使用されている。もしいくつかに不具合があると全数（150 本余）を交換することになる。
- 増速機故障時には、新しい増速機へ交換する場合もあれば、メーカーから再生品を購入し

て交換し、故障品はメーカーが引き取って修理のうえ再生品として販売されるケースもある。現在導入している風車の数%は再生品の増速機を使用している。

- 発電機（珪素鋼板と銅が主たる素材）や電動機が壊れることはほとんどない。

小形風力発電設備の場合、流通経路としては、メーカーがユーザーに直販する場合と、販売会社を経由して販売する場合に大別される。いずれの場合も設置業務を担う事業者（電気工事事業者等が多い）が存在しており、その事業者がメンテナンスも担っている。また、廃棄の際にも設置事業者からメーカーに依頼があって引き取るケースが多い。

5) 排出、撤去、解体、廃棄物処理の状況

風力発電設備の解体は、大型のクレーン等を必要とするものの、設置時ほど精密な作業は必要とされないため、安全性さえ確保されていれば通常の解体事業者において対応可能と考えられる。風力発電関連事業者へのヒアリングによれば、解体時には上から下へ順番に部品を分割して外しいき、ブレードやタワー等は現地で切断等したのちに輸送するとのことであった。

小形風力発電設備の場合、現時点での排出量は少量であるが、使用済みとなったものは設置業者からメーカーが引き取るケースが多く、例えば発電機の部分はメーカーが産業廃棄物として処理事業者に引き渡している（特別な事業者に引き渡しているわけではなく、通常発生する産業廃棄物の処理先として各メーカーが契約している事業者に引き渡している）。

日本における風力発電設備 撤去・休止実績は次表のとおりである。2012 年 3 月末までに 99 基の風車が撤去されている。なお、風力発電関連事業者へのヒアリングによれば、国内には使われなくなったまま放置されている風車もいくつか存在するとのことであった。

表 1-4 日本における風力発電設備 撤去・休止実績 (2012年3月末時点)

NO	稼働年	稼働年	設置者	設置場所	設置場所	定格出力 (kW)	台数	総出力 (kW)	メーカー	用途	原簿出力 (kW)	累積 台数
1	1985年	1980年	三菱重工業(株)	鳥取県	倉橋町	40.0	1	40.0	三菱重工業	試験研究	40.0	1
2	1985年	1983年	NEDO/東京電力(株)	東京都	三宅島	100.0	1	100.0	IHI	試験研究	140.0	2
3	1989年	1989年	東京電力(株)	東京都	三宅島	150.0	1	150.0	H&I	試験研究	290.0	3
4	1990年	1992年	九州電力(株)	佐賀県	沖ノ島新島	300.0	1	300.0	三菱重工業	試験研究	390.0	4
5	1991年	1988年	東北電力(株)	青森県	陸奥町	16.5	1	16.5	ヤマハ発動機	試験研究	606.5	5
6	1991年	1990年	ヤマハ発動機(沖崎電力(株))	沖縄県	浦添市	100.0	1	100.0	ヤマハ発動機	試験研究	706.5	6
7	1991年	1987年	産業省工務院機械技術研究所	茨城県	つくば市	15.0	1	15.0	ヤマハ発動機	試験研究	721.5	7
8	1999年	1996年10月	NEDO/東北電力(株)	青森県	黒川町	500.0	1	500.0	三菱重工業	試験研究	1,221.5	8
9	1999年3月	1996年10月	NEDO/電力中央研究所	北海道	大空町	600.0	1	600.0	Vestas	試験研究	1,230.0	9
10	2000年より休止	1992年5月	北海道新報社	北海道	釧路市	16.5	5	82.5	ヤマハ発動機	中学校への電力供給	1,320.5	14
11	2001年	1990年	NEDO/関西電力(株)	兵庫県	神戸市(六甲アイランド)	16.5	2	33.0	ヤマハ発動機	試験研究	1,353.5	16
12	2001年	1993年	北海道電力(株)	北海道	泊村	250.0	1	250.0	RIVA CAL ZONI	試験研究	1,603.5	17
13	2001年3月	1985年	三菱重工業	長崎県	香椎町	250.0	1	250.0	三菱重工業	試験研究	1,853.5	18
14	2001年より休止	1992年3月	鳥取県立倉吉市	鳥取県	倉吉市	16.5	2	33.0	ヤマハ発動機	試験研究	1,886.5	20
15	2002年3月	1994年3月	北海道電力(株)	北海道	増井町	16.5	1	16.5	ヤマハ発動機	試験研究	1,903.0	21
16	2002年3月	1993年6月	東京電力(株)	千葉県	富津市	300.0	1	300.0	IHI	試験研究	2,203.0	22
17	2002年9月	1995年10月	ヤマハ発動機	愛知県	津島市	16.5	1	16.5	ヤマハ発動機	試験研究	2,219.5	23
18	2002年9月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	浦添市	150.0	1	150.0	IHI-NORDEX	試験研究	2,369.5	24
19	2002年9月	1998年9月	NEDO/沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市(宮古島)	250.0	1	250.0	三菱重工業	試験研究	2,619.5	25
20	2002年9月	1998年9月	NEDO/沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市(宮古島)	250.0	1	250.0	三菱重工業	試験研究	2,869.5	26
21	2003年9月	1994年3月	東北電力(株)原子力PRセンター	宮城県	気仙沼市	16.5	1	16.5	ヤマハ発動機	試験研究	2,886.0	27
22	2003年9月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市	250.0	1	250.0	IHI-NORDEX	試験研究	3,136.0	28
23	2003年9月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市	280.0	1	280.0	日立-Enerscon	試験研究	3,416.0	29
24	2003年9月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市	300.0	1	300.0	Fuhrlander	試験研究	3,716.0	30
25	2003年9月より休止	2001年8月	沖崎総合事務局 宮古島農水庁事業所	沖縄県	宮古島市(宮古島)	600.0	1	600.0	Vestas	農水用電源及び発電事業	4,316.0	31
26	2004年5月	1995年12月	NEDO/沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市(宮古島)	400.0	3	1,200.0	NEG-Mison	試験研究	5,516.0	34
27	2004年5月	1998年6月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市(宮古島)	600.0	1	600.0	Vestas	試験研究	6,116.0	35
28	2004年5月	1998年6月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市(宮古島)	500.0	1	500.0	日立-Enerscon	試験研究	6,616.0	36
29	2004年9月	1996年5月	中国電力(株)	山口県	日置町	107.5	1	107.5	Kenetech	試験研究	6,723.5	37
30	2004年9月	1996年5月	中国電力(株)	山口県	日置町	300.0	1	300.0	三菱重工業	試験研究	7,023.5	38
31	2005年2月	1999年2月	佐々木重雄(山)株	秋田県	八戸町	490.0	1	490.0	DeWind	発電事業	7,513.5	39
32	2005年3月	2000年3月	松島風力(株)	鳥取県	外間町	600.0	1	600.0	三菱重工業	自家用	8,113.5	40
33	2005年3月	2001年6月	(株)伊東カントリークラブ	静岡県	伊東市	640.0	1	640.0	日立造船	ゴルフ場管理施設発電事業	8,753.5	41
34	2005年10月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	浦添市	80.0	1	80.0	Lagerwey	試験研究	8,833.5	42
35	2005年10月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	浦添市	170.0	1	170.0	WindWorld	試験研究	9,003.5	43
36	2005年3月	1995年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	三宅島市	130.0	1	130.0	Fuhrlander	試験研究	9,133.5	44
37	2006年4月	1991年2月	瀬戸町	愛媛県	瀬戸町	100.0	1	100.0	三菱重工業	漁業事業用電源	9,233.5	45
38	2006年6月	1997年3月	(株)佐渡自然エネルギー研究所	新潟県	佐和田市	225.0	1	225.0	NEG-Mison	試験研究	9,458.5	46
39	2007年7月	1993年3月	石川県	松江市	100.0	1	100.0	NEG-Mison	浜田公園内施設用電源	9,558.5	47	
40	2008年7月	1995年3月	電源開発	福岡県	北九州市	15.0	1	15.0	陸奥精工	試験研究	9,573.5	48
41	2008年6月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市	500.0	1	500.0	Jacobs	試験研究	10,073.5	49
42	2008年6月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市	250.0	1	250.0	Lagerwey	試験研究	10,323.5	50
43	2008年6月	1998年9月	沖崎電力(株)	沖縄県	宮古島市	500.0	1	500.0	三菱重工業	試験研究	10,823.5	51
44	2008年10月	1997年3月	(株)日立エンタープライズシステム	茨城県	日立市	225.0	1	225.0	Vestas	試験研究	11,048.5	52
45	2007年4月より休止	2000年3月	NEDO/宮崎県農林庁	宮崎県	南郷町	250.0	1	250.0	IHI-NORDEX	発電事業	11,298.5	53
46	2007年6月	2003年2月	大新産業開発	大分県	大分市	49.0	1	49.0	西島製作所	ゴルフ場管理施設発電事業	11,338.5	54
47	2007年6月	2003年7月	株式会社フジランド	鳥取県	倉吉市	150.0	2	300.0	WIND WORLD	美術館用電源・発電	11,488.5	56
48	2008年4月	2001年4月	NEDO/徳島県企業局	徳島県	佐田町	280.0	1	280.0	日立-Enerscon	自家用	11,918.5	57
49	2008年3月	1990年3月	三菱重工業	長崎県	香椎町	250.0	1	250.0	三菱重工業	試験研究	12,168.5	58
50	2008年3月より休止	2000年5月	沖崎風南大東村	沖縄県	南大東村	250.0	1	250.0	Fuhrlander	発電事業	12,418.5	59
51	2008年3月	1992年3月	宮崎県	宮崎県	宮崎市	50.0	1	50.0	三菱重工業	試験研究	12,468.5	60
52	2008年4月	1992年3月	東北電力(株)	青森県	三枝村(竜飛崎)	1,375.0	5	6,875.0	三菱重工業	試験研究	13,843.5	65
53	2008年4月	1998年9月	東北電力(株)	青森県	三枝村(竜飛崎)	300.0	5	1,500.0	三菱重工業	試験研究	15,343.5	70
54	2008年4月	2000年3月	東北電力(株)	青森県	三枝村(竜飛崎)	500.0	1	500.0	日立-Enerscon	試験研究	15,843.5	71
55	2008年4月	2000年5月	沖崎風南大東村	沖縄県	南大東村	250.0	1	250.0	Fuhrlander	発電事業	(H19年度概算済み)	
56	2008年4月	1999年4月	北海道電力(株)	北海道	浦幌町	1,000.0	1	1,000.0	三菱重工業	非常用電源	16,843.5	72
57	2008年6月	1997年6月	中興電力(株)風力事業部	北海道	紋別市(旧浜町)	16.5	1	16.5	三菱重工業	自家用	16,860.0	73
58	2008年10月	2001年3月	沖崎電力(株)	沖縄県	渡名喜島	250.0	1	250.0	三菱重工業	試験研究	17,110.0	74
59	2008年12月	1999年12月	大井建設(株)	茨城県	土浦市	225.0	1	225.0	Vestas	自家用	17,335.0	75
60	2009年3月	1999年7月	沖崎電力(株)	沖縄県	竹富町(波瀬間島)	280.0	1	280.0	日立-Enerscon	n/a(注)システム試験研究	17,615.0	76
61	2009年3月	1997年6月	NEDO/東海産業開発組合	静岡県	平塚市	490.0	1	490.0	三菱重工業	試験研究	18,105.0	77
62	2009年4月	1998年4月	北海道電力(株)	北海道	紋別市	490.0	1	490.0	三菱重工業	試験研究	18,595.0	78
63	2009年6月	2001年4月	NEDO/北海道企業局	北海道	小樽市	500.0	1	500.0	日立-Enerscon	試験研究	19,095.0	79
64	2009年8月	2000年12月	大和(リール)株	石川県	北沢町	600.0	1	600.0	IHI-Nordec	発電事業	19,695.0	80
65	2009年8月	2001年2月	大和(リール)株	石川県	北沢町	600.0	1	600.0	IHI-Nordec	発電事業	20,295.0	81
66	2010年7月	1993年7月	北海道電力(株)	北海道	泊村	300.0	1	300.0	IHI	試験研究	20,595.0	82
67	2010年7月	1993年7月	北海道電力(株)	北海道	泊村	2,750.0	2	5,500.0	三菱重工業	試験研究	21,145.0	84
68	2011年3月	1999年7月	三菱重工業	東京都	多摩川町	280.0	1	280.0	日立-Enerscon	試験研究	21,425.0	85
69	2011年4月	2003年1月	パナソニック・パナソニック	青森県	下北郡(八戸市)	1,500.0	1	1,500.0	NEG-Mison	発電事業	22,925.0	86
70	2011年10月	2004年10月	東洋風力(株)風力事業部	北海道	久遠郡(久遠町)	800.0	2	1,600.0	三菱重工業	発電事業	24,125.0	88
71	2011年12月	2002年9月	NEDO/富士重工業(株)	沖縄県	伊波町	100.0	1	100.0	三菱重工業	試験研究	24,225.0	89
72	2011年12月	2002年9月	NEDO/富士重工業(株)	沖縄県	伊波町	250.0	1	250.0	三菱重工業	試験研究	24,475.0	90
73	2011年12月	2002年9月	NEDO/富士重工業(株)	沖縄県	伊波町	500.0	1	500.0	TACE	発電事業	25,975.0	91
74	2011年10月	2001年10月	NEDO/関西電力(株)	北海道	札幌市	800.0	1	800.0	DeWind	発電事業	26,775.0	92
75	2011年11月	2006年1月	(株)大井建設(株)風力事業部	茨城県	土浦市	1,800.0	1	1,800.0	富士重工業	発電事業	27,575.0	93
76	2011年6月	2006年5月	富士重工業	東京都	伊豆市	1,100.0	1	1,100.0	イー・アンド・イー	試験研究	27,675.0	94
77	2012年3月	1999年2月	三菱重工業(旧・東芝)	東京都	三宅島市	250.0	1	250.0	Lagerwey	発電事業	30,655.0	96
78	2011年4月	2001年4月	佐賀県(旧・佐賀市)	長崎県	佐賀市	999.0	1	999.0	三菱重工業	発電事業	31,655.0	98

出典：NEDO (http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/pdf/04_tekkyo_ichiran.pdf)

6) 引取、リユース・リサイクル状況

風力発電設備のうち、タワーや発電機、増速機、シャフト及び補助設備の電動機類はリユース・リサイクルが可能である。一方、ガラス繊維強化プラスチック（FRP）製であるナセルやブレードは現状において産業廃棄物として処分するしかない状況にある。なお、FRPについては、有機溶媒を使用して溶かす等、処理技術はあるが、適用されているケースは少ない。

以下、風力発電機メーカー、風力発電関連事業者へのヒアリングに基づく使用済設備（修理・交換により不要となったものを含む）の処理・リサイクルの状況について整理する。

- 交換したブレード（FRP 製、1 枚 3.5 トン）は産廃として処理委託する。産廃業者は運搬しやすく現地で切断してから輸送し、粉碎処理している（現地で粉碎するケースもあり）。1 本当たりの処分単価は 40 万円程度。〔風力発電関連事業者ヒアリング〕
- 増速機、電子部品類は 10 年に 1 度取り換えるのが一般的である。軸受は 20 年間使用される。取り換え後にリユースするか廃棄するかはケースバイケースであり、部品を少し取り換えるだけで済む状態であれば修理して使用することもある。〔風力発電機メーカーヒアリング〕
- 風車 1 基当たりに使用される潤滑油は 300L 程度であり、3 年に 1 回程度排出される。なお、一部再生処理されて他の機械用の再生潤滑油として利用されるケースもあるようである。

〔風力発電関連事業者ヒアリング〕

- タワーの主たる素材は鉄であるが、現地での解体作業や輸送等に要する費用が大きいため、逆有償で処理委託する形となったことがある。〔風力発電関連事業者ヒアリング〕
- タワーのフランジ部分に用いるボルト（高張力鋼）を交換したものは有価で売却している。〔風力発電関連事業者ヒアリング〕
- ギャボックス（鉄が主たる素材）については、有価で売れる可能性がある。〔風力発電関連事業者ヒアリング〕

小型風力発電装置の場合、本体（大型風力のナセルに相当する部分）や支柱は鉄やステンレスが主たる材料であり、通常金属系の産業廃棄物ルートで問題なく処理できるが、プロペラの部分にはグラスファイバー等が採用されており、その処理が課題とされている。業界では、海外におけるリサイクルの状況も見ながら指導方針を検討する予定である。また、バッテリーについては、現状ほとんどが鉛バッテリーであり、電池メーカーの構築しているリサイクルルート（産業用のバッテリーのリサイクルルート）に引き渡している。今後はリチウムイオン電池に置き換わっていく見通しであり、その処理・リサイクルが課題となると見込まれる。

なお、NEDOの次世代風力技術研究開発委員会の小形風力部門では、小形風力導入手引き書の改訂を検討中である。現在協会ウェブサイト公開している第1版は導入・メンテナンスの手順を整理したものであるが、検討中の改訂版では廃棄の手順等についても盛り込む予定である。また、設置業者への講習会を開催することにより指導・教育を推進することも検討中である。

また、株式会社エヌ・イー・アイ・シー・ジャパンでは、GFW及びNEICドイツ店を活用した中古風車の販売（Repowering事業）を実施している。また、株式会社北拓では、ある事業者が日本の建築基準法改正に伴い建築できなくなった欧州の中古風車を海外に輸出販売した実績がある。

7) フローの概略整理

風力発電設備のリユース・リサイクルフローの実態を次図に示す。実線で示したものが現時点の使用済み製品フローであり、破線で示したものが現時点では顕在化していない使用済み製品のフローである。

風力発電設備の場合、現時点では設備のメンテナンス・機器交換等に伴う排出が主であり、使用済み設備の排出は少ないと推察される。メンテナンス事業者・解体事業者等により解体されたのち、金属等はスクラップとしてリサイクルされる。ブレード等に使用されているFRPについては、加熱処理もしくは破碎・埋立処理される。

小型風力発電装置の場合、排出台数はまだ少ない状況ではあるが、設置事業者（電気工事事業者等）からメーカーが引き取る場合が多く、本体や支柱部分は産業廃棄物として処理されている。

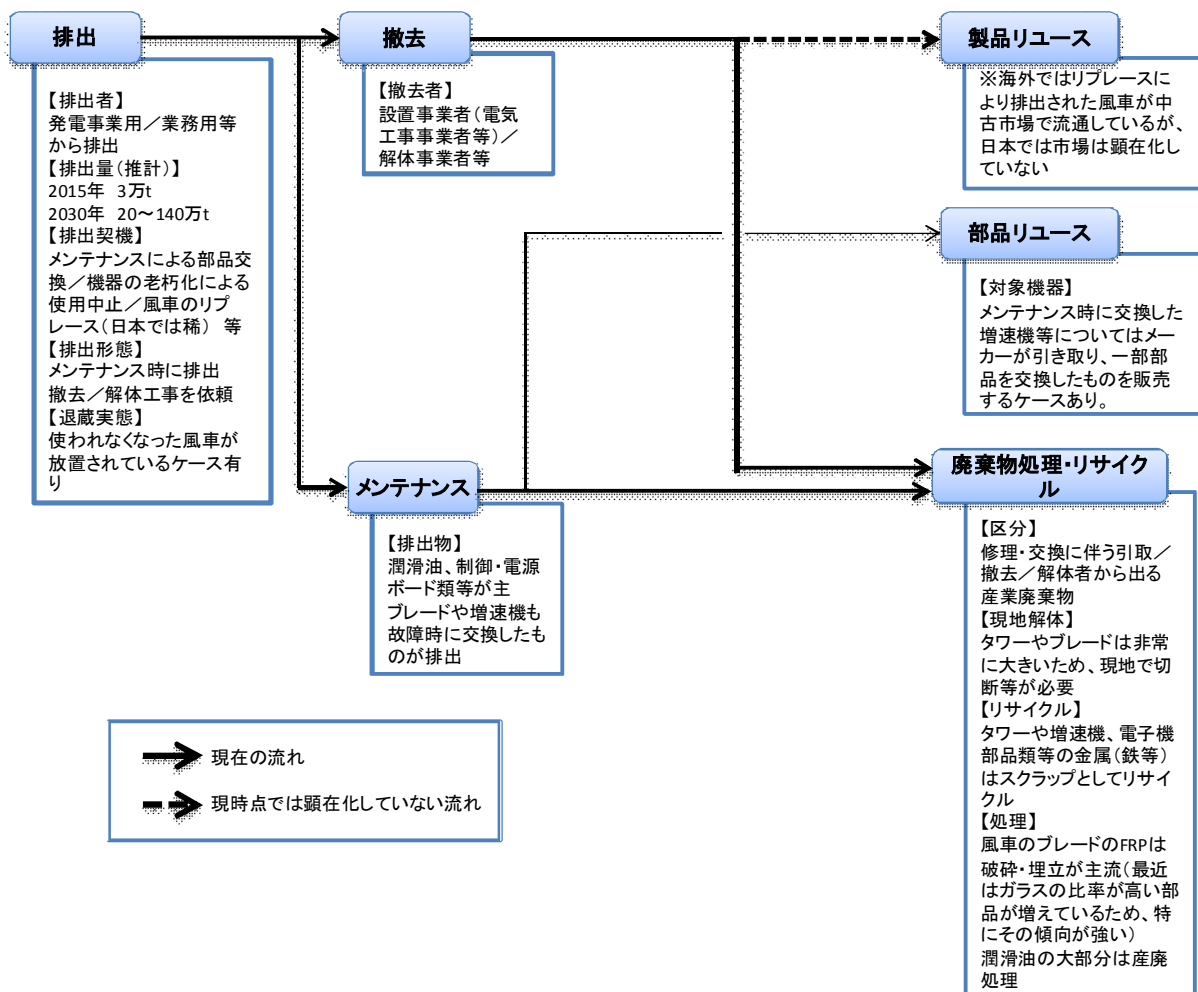


図 1-35 風力発電設備のリユース・リサイクルフローの実態

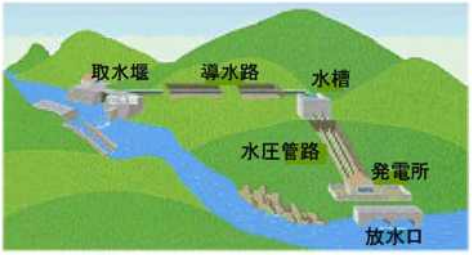
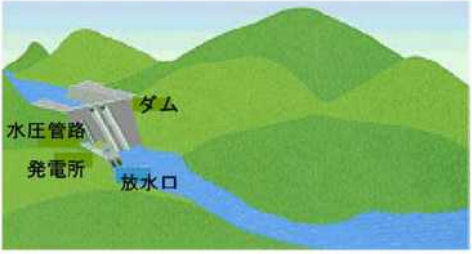
(4) 中小水力発電設備

1) 設備の概略

中小水力発電は、水の力を利用して発電する水力発電の中でも中小規模のもので、一般的に水を貯めることなくそのまま利用する方式が多い。水力発電は水の利用面に着目して分類すると、流れ込み式、調整池式、貯水池式および揚水式の4種類の方式に分類される。また、落差を得る構造面に着目した分類として、水路式、ダム式、ダム水路式の3種類の方式がある。

表 1-5 水力発電方式の種類

分類方法	方式	概要	概略図
水の利用面からの分類	流れ込み式	河川を流れる水を貯めることなく、そのまま発電に使用する。水量変化により発電量が変動する。	
	調整池式	夜間や週末の電力消費の少ない時に池に貯水し、消費量の増加に合わせて水量を調整しながら発電する方式。	
	貯水池式	水量が豊富で電力の消費量が比較的少ない春や秋に大きな池に貯水し、電力消費の多い夏期や冬期に使用する年間運用の発電方式。	
	揚水式	昼間のピーク時には上池に貯められた水を下池に落として発電し、下池に貯まった水は電力消費の少ない夜間に上池に汲み揚げられる。	

構造面より分類	水路式	川の上流に低い堰を設けて水を取り入れ、水路により落差が得られる地点まで導水し発電する方式。この方式は、流れ込み式と組合わされることが一般的。	
	ダム式	高いダムを築いて河川をせき止め水量を確保し、落差を利用して発電する方式。貯水池式および調整池式と組合わされることが一般的。	
	ダム水路式	ダム式と水路式を組合わせたもので、ダムに貯えた水を大きな落差を得られる地点まで水路で導いて発電する方式。貯水池式、調整池式および揚水式と組合わされることが一般的。	

出典：「マイクロ水力発電導入ガイドブック」（2003, NEDO）および資源エネルギー庁ホームページ
<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/device/class/index.html>

上記に示した発電方式のうち、水路式で出力 1,000kW 以下の水力発電が「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）」により新エネルギーとして位置づけられており、RPS 法の対象となっているが、中小水力発電としての明確な規模の定義は無い。一方、「マイクロ水力発電導入ガイドブック」（NEDO）においては、次表に示すような分類が提示されている。

本報告書では、RPS 法対象である出力 1,000kW 以下のものを主たる調査対象と想定して情報を整理した。

表 1-6 水力発電の規模による分類

分類	規模
大水力 (large hydropower)	100,000kW 程度以上
中水力 (medium hydropower)	10,000kW 程度 ～ 100,000kW 程度
小水力 (small hydropower)	1,000kW 程度 ～ 10,000kW 程度
ミニ水力 (mini hydropower)	100kW 程度 ～ 1,000kW 程度
マイクロ水力 (micro hydropower)	100kW 程度以下

出典：「マイクロ水力発電導入ガイドブック」（NEDO）

2) 設備導入量

中小水力発電は技術的には既に実用段階にあり、資源エネルギー庁の出力別包蔵水力調査によれば、出力区分が 10,000kW 未満の既開発の合計は 3,515MW、1,344 地点となっている（一般水力全体の値であり、流れ込み式の他に、調整池式と貯水池式も含まれている）。

RPS 法に基づく認定を受けた水力発電設備の導入量は以下のとおりであり、1,000kW 未満の小水力については、RPS の認定設備として 2009 年 11 月末時点で 202MW の水力発電設備が報告されている。最も古い設備は 1897 年に運転開始しており、1920 年代に急激に出力が増えたが、その後は増加の度合いが緩やかになっている。

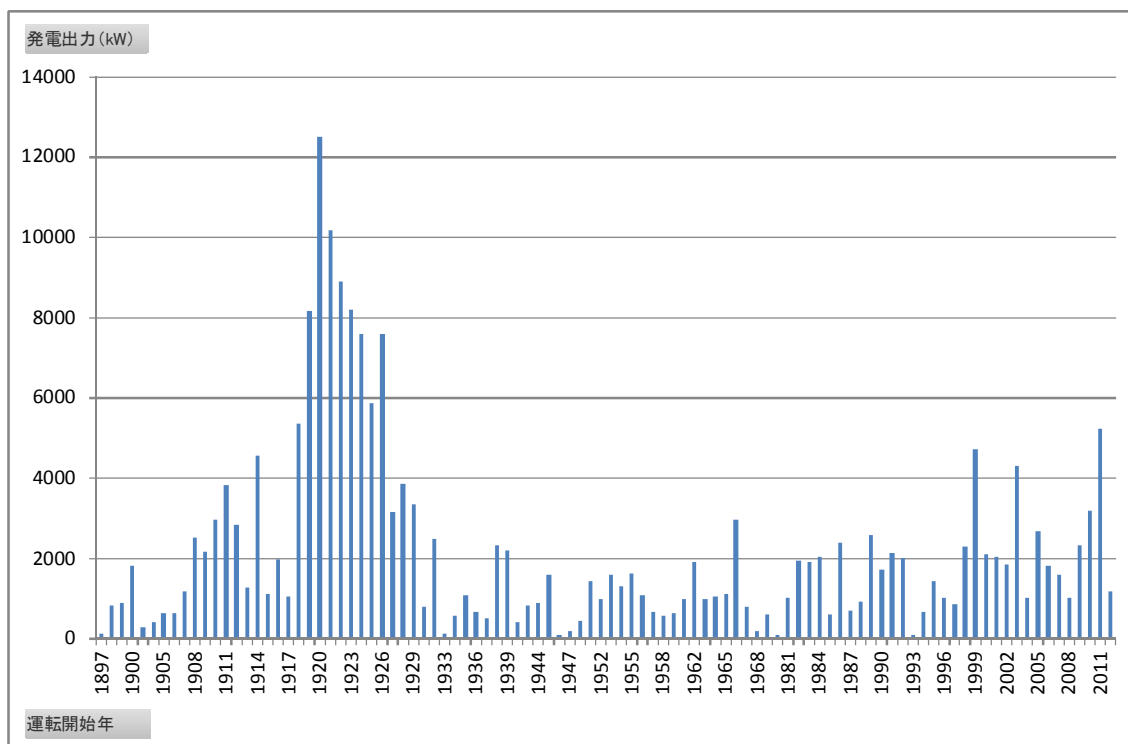
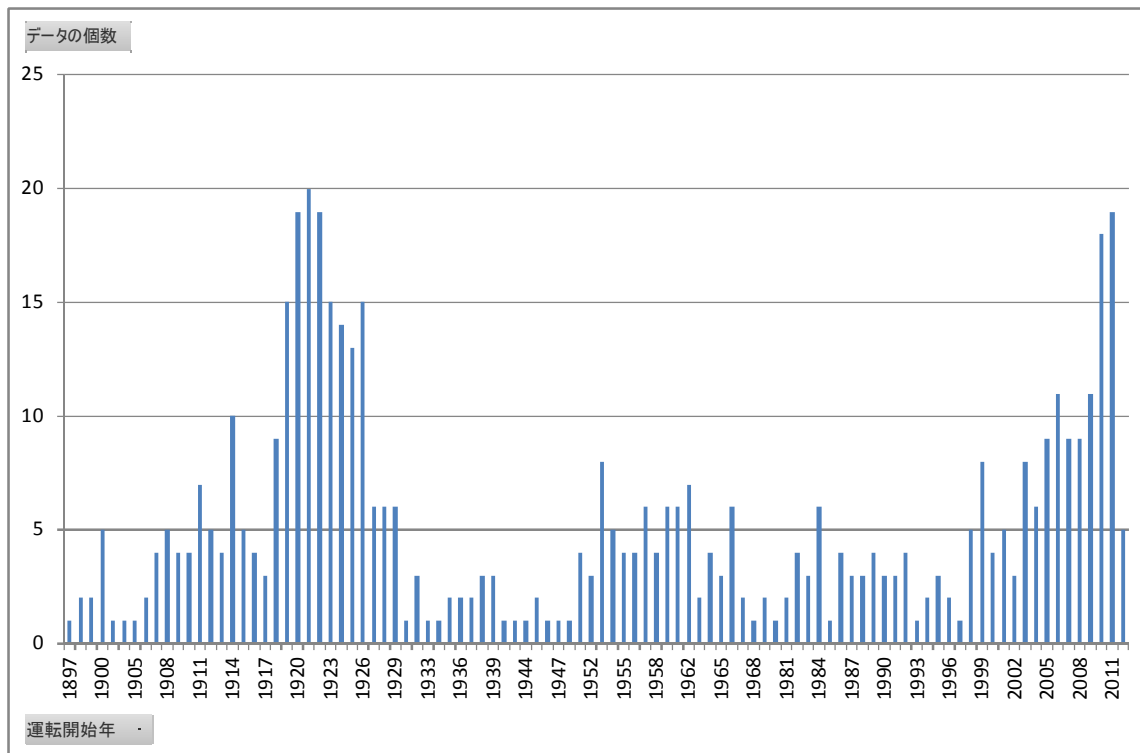


図 水力発電設備の導入量（上段：件数、下段：発電出力）

出典：RPS 法ホームページ (<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/joholink-dl.html>)

3) 排出見込量

中小水力発電設備の排出見込量（2015 年～2030 年）を下图に示す（推計の詳細は 4 章を参照）。排出見込量は 2015 年で数百～5 千 t、2030 年で約 7 千～1.6 万 t と推計される。なお、中小水力発電設備については、設備寿命を超えて使用される例や使用されなくなった後も解体・撤去されない例も確認されており、排出見込量推計値の不確実性が高い点には留意が必要である。

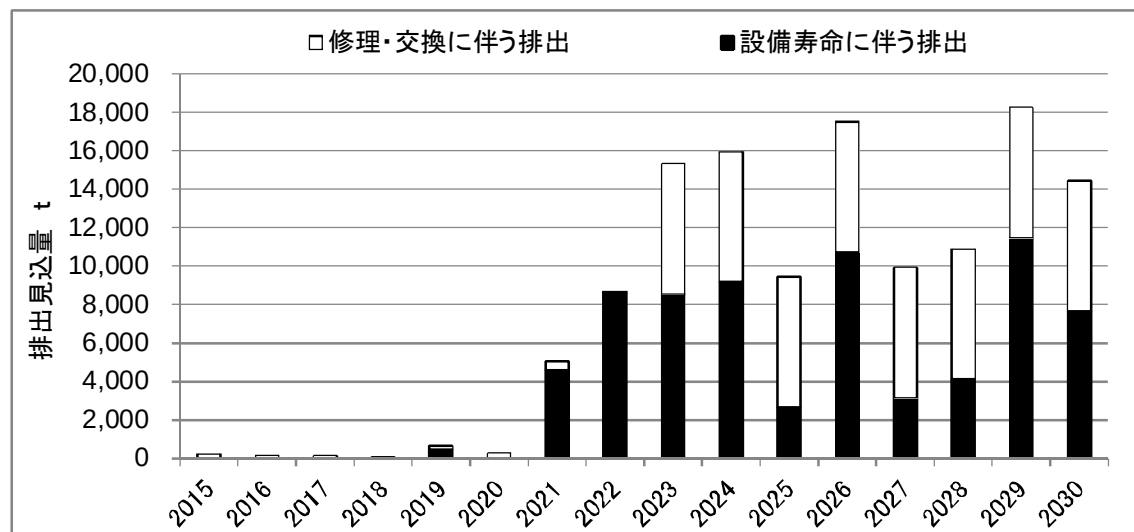


図 1-36 中小水力発電設備の排出見込量（2015 年～2030 年：詳細は 4 章参照）（設備寿命 40 年）

4) 設備の流通・設置等の状況

水力発電事業者へのヒアリング調査によれば、メンテナンスは、2 週間から月 1 回程度で行われる状況確認、1 年に 1 回の定期点検、何年かに 1 度行われるオーバーホールがある。

- メンテナンスについては、電気事業法の保安規定に基づき行うのが原則となる。規定上は各機器の使用年数が定められているが、自主保安の考え方も取り入れられており、自らより長く使えると判断した場合は使用期間を延長することが可能となっている。
- 基本的には発電状況を常時遠隔で監視・モニタリングできるシステムを導入しており、現場には 2 週間に 1 回程度、施設の状況確認（外観の確認等の簡易なもの）に行っている。
- 取水口に溜まるごみについては、除塵機により自動で除去されるシステムを導入済みである。古い施設については除塵機を付けていないものが多く、人力で取り除く必要がある。落ち葉の多い秋などはかなりの頻度で取り除く必要がある。
- 1 年に 1 回は定期点検を実施している。定期点検では、水車の中を開けて機器の摩耗等の状況を確認する。水車に加えて、水量の調整弁など、水と接する部分は摩耗する可能性があるため、状況を確認する。また、水車の方式によってはゴム製のベルトやパッキンなどの消耗品を使用している場合があり、これらは必要に応じて交換している。
- 定期点検に加えて、水車のオーバーホール（交換）を何年かに一度行っている。河川の状況（土砂がどれだけ混じっているか）によって、オーバーホールの頻度は変わってくる。比較的土砂が多いところでは 5 年程度、きれいなところでは 10 年に一度くらいの頻度で実施する。
- オーバーホールには数千万円の費用がかかる。摩耗の程度は設備の部品毎に異なるが、施設を休止させる時間をなるべく短くし、コストを抑えるために、複数の部品をまとめて（あるいは機器をまるごと）交換することが多い。
- 鉄製の圧力管は 30～40 年程度は使える。FRP 製のものもおそらく 15 年程度は使えると想定される。

5) 排出、撤去、解体、廃棄物処理の状況

水力発電設備は、水車、発電機、制御盤等の電気設備、建屋、取水口、水槽、導水路等により構成され、水車周りの素材構成は鉄・ステンレスが中心である（一部方式については、ゴム製のベルトやパッキン、グリースが使用）。

現在、中小規模の水力発電所で使用済みとなり、解体される事例が存在するが、発電方式の特性上、山間部に設置されていることが多く、解体工事は一般的な建物の解体よりも労力、コストを要する。このため、取水口などの土木設備を中心に、そのまま放置されるような事例も存在する。なお、昨今、東日本大震災に端を発したエネルギーセキュリティへの関心の高まりなどを受け、放置されていた発電所を再度使用する例や移設して別の場所で使用する例も見られる。

6) 引取、リユース・リサイクルの状況

定期点検やオーバーホール等の際に交換済みとなった設備等について、金属製のものは金属スクラップとして有価売却されている。ゴム製のベルト等については産業廃棄物として産廃処理業者に処理委託されている。

7) フローの概略整理

中小水力発電設備のリユース・リサイクルフローの実態を次図に示す。実線で示したものが現時点の使用済み製品フローであり、破線で示したものが現時点では顕在化していない使用済み製品のフローである。

現時点では設備のメンテナンス・オーバーホール等に伴う排出が主であり、使用済み設備の排出は少ないと推察される。

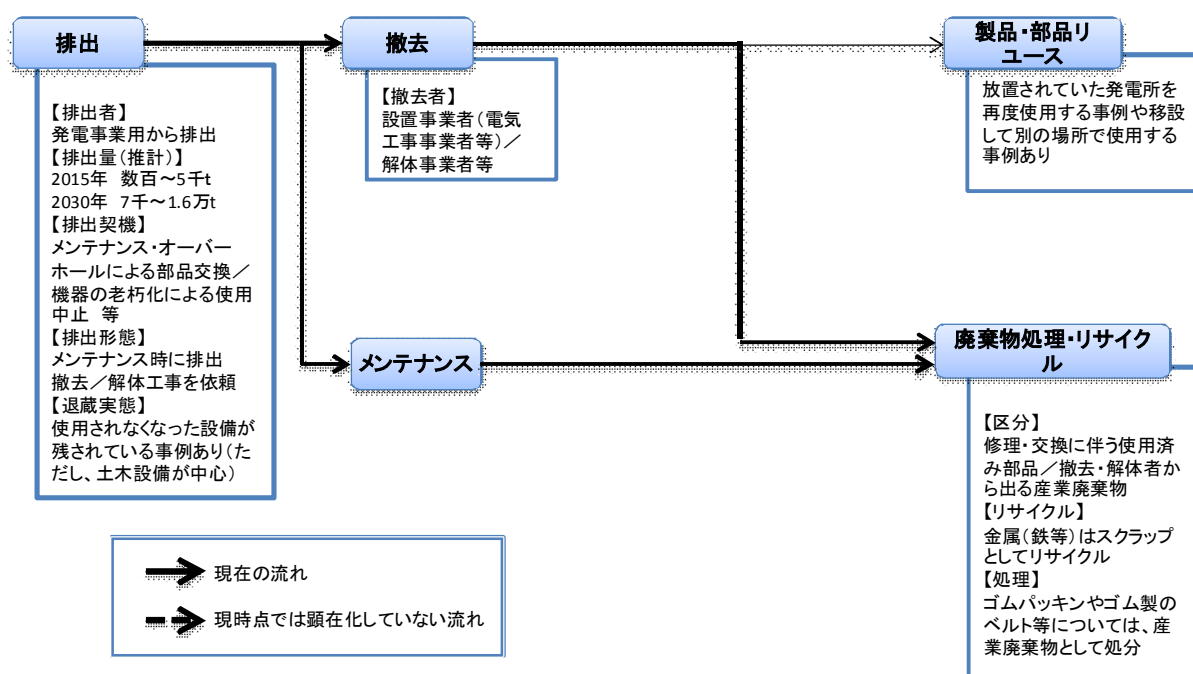


図 1-37 中小水力発電設備のリユース・リサイクルフローの実態

(5) 地熱発電設備

1) 設備の概略

地熱発電とは、地下に存在する熱エネルギーを利用して発電を行うことである。地中深くの熱資源に向けて生産井と呼ばれる井戸を掘削し、地上に上がってくる蒸気によってタービンを回し、電気を生産するしくみである（日本の事業用地熱発電所の生産井の深さは350m～3,250m）。

地熱発電は天候に左右されることなく安定した電力供給が可能であり、設備利用率は70%程度となっている。実用化されている地熱発電の方式には、広く用いられているフラッシュ方式と、比較的最近実用化されたバイナリー方式がある。また、実験段階にあるものとして、高温岩体発電方式（HDR：hot dry rock）があり、これに加え地熱資源を活用する一連の技術も包含して地熱井涵養技術（EGS：Enhanced Geothermal Systems）とも表現される。

表 1-7 地熱発電方式の種類

発電方式	概要	導入状況
フラッシュ方式 (蒸気発電方式)	地熱貯留層から約 200～350℃ ¹⁶ の蒸気と熱水を取り出し、気水分離器で分離した後、その蒸気でタービンを回し発電する方式。	広く実用化
シングルフラッシュ発電方式	気水分離器で分離された熱水は、還元井と呼ばれる井戸を通して再び地下に戻る。	
ダブルフラッシュ方式	分離した熱水をフラッシャー（低圧気水分離器）に導き再度熱水と蒸気に分離して、蒸気は一次蒸気と一緒にタービンに送り、熱水は還元井へと送る。	
ドライスチーム方式	坑口から蒸気のみが噴出する生産井のため気水分離器が必要ないためにそのままタービンを回す。	
バイナリー方式	一般的に 80～150℃ ¹⁷ の中高温熱水や蒸気を熱源として低沸点の媒体を加熱し、蒸発させてタービンを回し発電する方式。媒体には、ペンタン（沸点 36.07℃）やアンモニア（沸点-33.34℃）等の沸点 100℃以下の液体が用いられる。	比較的最近実用化
高温岩体発電	高温ではあるが水分に乏しく十分な熱水・蒸気が得られないような高温岩体を地熱発電へ活用する方式で、人工的に岩盤に割れ目（フラクチャ）を作って、2本の坑井の一方から水を注入し、もう一方から高温蒸気を取り出して発電を行う。	実験段階
EGS	高温岩体発電を発展させたもの。人工的な水圧刺激を利用して地熱資源を活用するための一連の技術（既存の地熱貯留層の性能改善から高温岩体発電まで）であり、通常、地下深いところにある高温の地層で岩石を断裂させる技術を指す。	

出典：「地熱開発の現状」（2008, NEDO）等に基づき三菱総合研究所作成

¹⁶ 「地熱発電に関する研究会 中間報告（概要紙）」（2009, 総合資源エネルギー調査会第35回新エネルギー部会資料 6-1）

¹⁷ 「地熱発電に関する研究会 中間報告」（2009, 地熱発電に関する研究会）

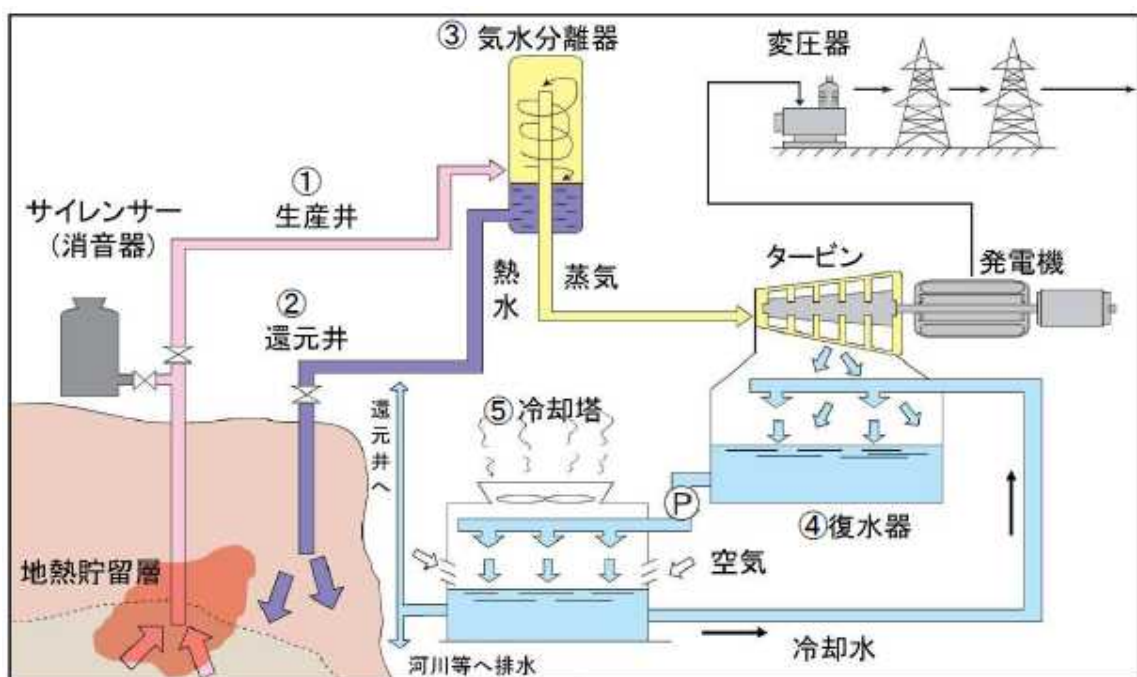


図 1-38 一般的な蒸気発電方式の概要

出典：地熱発電事業に係る自然環境影響検討会（第1回）資料2（2011年6月28日：環境省）（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「地熱開発の現状」2008.11 を一部加筆修正）

2) 設備導入量

社団法人火力原子力発電技術協会の「地熱発電の現状と動向（2009年版）」に基づく地熱発電設備の導入推移は以下のとおりである。2012年の再生可能エネルギー固定価格買い取り制度（FIT）の導入により、地熱発電の電力買取価格が、1万5000キロワット以上でキロワット時当たり27.30円、1万5000キロワット未満で42円と決定したことに加え、国立公園内での地熱発電所の設置を限定してきた規制を見直し、一定の条件を満たせば開発を認めるといった規制緩和が図られた結果、現在いくつかの小規模地熱発電の事業化が検討されている。

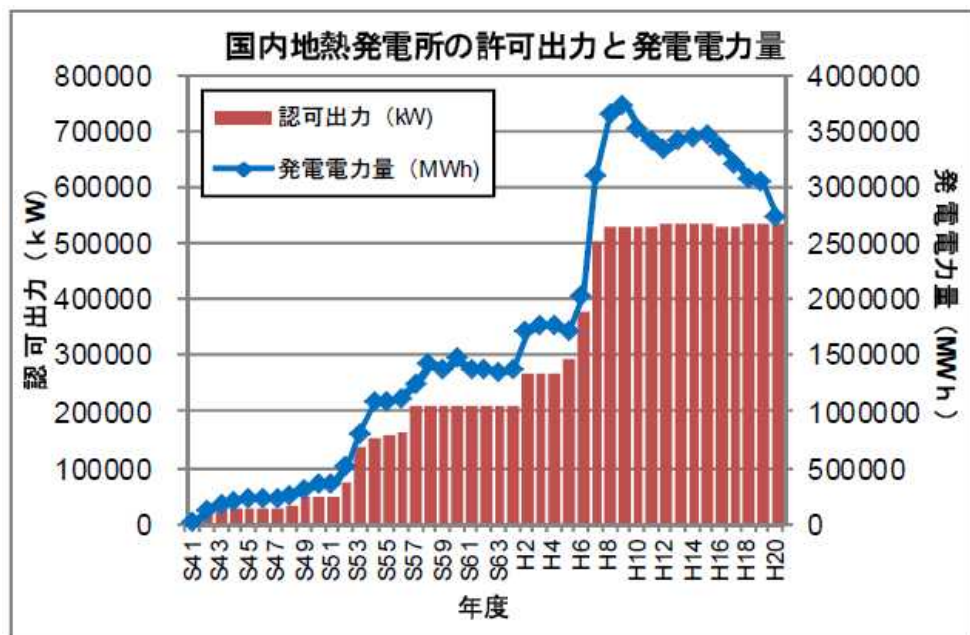


図 1-39 地熱発電の認可出力と発電電力量の推移

出典：社団法人火力原子力発電技術協会の「地熱発電の現状と動向（2009年版）」

表 1-8 地熱発電所一覧

発電所名	所在地	発電部門 蒸気供給部門	認可出力	方式	運転開始	自然公園 との関係
森	北海道森町	北海道電力(株)	50,000kW	DF	昭和 57.11	—
すみかわ 澄川	秋田県鹿角町	東北電力(株) 三菱マテリアル(株)	50,000kW	SF	平成 7.3	坑口は公園外だが十和田八幡平国立公園の地下部へ傾斜掘削
松川	岩手県松尾村	東北水力地熱(株)	23,500kW	DS	昭和 41.10	十和田八幡平国立公園内
かっこんだ 葛根田	岩手県雫石町	東北電力(株) 東北水力地熱(株)	50,000kW 30,000kW	SF SF	昭和 53.5 平成 8.3	十和田八幡平国立公園内
うま たい 上の岱	秋田県湯沢市	東北電力(株) 東北水力地熱(株)	28,800kW	SF	平成 6.3	栗駒国定公園内
おにこうべ 鬼首	宮城県鳴子町	電源開発(株)	15,000kW	SF	昭和 50.3	栗駒国定公園内
やないづ 柳津西山	福島県柳津町	東北電力(株) 奥会津地熱(株)	65,000kW	SF	平成 7.5	只見柳津県立自然公園内
八丈島	東京都八丈島	東京電力(株)	3,300kW	DF	平成 11.3	富士箱根伊豆国立公園内
おおたけ 大岳	大分県九重町	九州電力(株)	12,500kW	SF	昭和 42.8	阿蘇くじゅう国立公園内
はっちょうばる 八丁原	大分県九重町	九州電力(株)	55,000kW 55,000kW 2,000 kW	DF DF B	昭和 52.6 平成 2.6 平成 18.4	阿蘇くじゅう国立公園内
たきがみ 滝上	大分県九重町	九州電力(株) 出光大分地熱(株)	27,500kW	SF	平成 8.11	—
おおぎり 大霧	鹿児島県霧島市	九州電力(株) 日鉄鹿児島地熱(株)	30,000kW	SF	平成 8.3	霧島屋久国立公園内
やまがわ 山川	鹿児島県指宿市	九州電力(株)	30,000kW	SF	平成 7.3	—
事業用 計 13 発電所			527,600kW	—		
大沼	秋田県鹿角市	三菱マテリアル(株)	9,500kW	SF	昭和 49.6	十和田八幡平国立公園内
杉乃井 ホテル	大分県別府市	(株)杉乃井ホテル	1,900kW	SF	平成 18.4	—
九重観光 ホテル	大分県九重町	(合)九重観光ホテル	990kW	SF	平成 10.4	阿蘇くじゅう国立公園内
たけ 岳の湯	熊本県小国町	廣瀬商事(株)	50kW (休止中)	SF	平成 3.10	—
霧島国際 ホテル	鹿児島県牧園町	富士電機システムズ(株) 大和紡観光(株)	100kW	B	平成 18.8	霧島屋久国立公園内
自家用 計 5 発電所			12,660kW	—		
合計 18 発電所			540,260kW	—		

※発電方式 DS…ドライスチーム、SF…シングルフラッシュ、DF…ダブルフラッシュ、B…バイナリー

出典：地熱発電事業に係る自然環境影響検討会（第1回）資料2（2011年6月28日：環境省）

3) 排出見込量

地熱発電設備の排出見込量（2015年～2030年）を下図に示す（推計の詳細は4章を参照）。推計結果は非連続な分布を示しており、廃棄量は最も多い年で約2.5万tと推計される。なお、地熱発電設備については、海外では、設備寿命を超えて使用される例も確認されているため、推計結果の不確実性には留意が必要である。

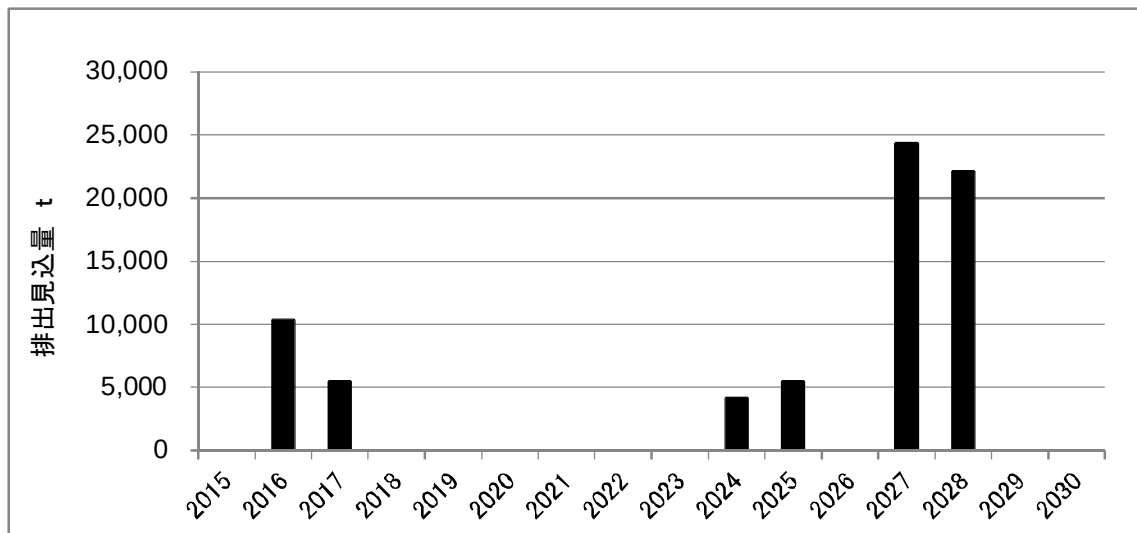


図 地熱発電設備の排出見込量（2015 年～2030 年：詳細は 4 章参照）（設備寿命 50 年）

4) 設備の流通・設置等の状況

地熱発電設備としては、50 年以上使用できるという実績があり、国内の地熱発電設備は当分の間使用可能である。一定のメンテナンスを行うことで、発電設備の耐用年数は長くなる。また、発電設備よりも、地熱資源が減衰する時期の方が早い可能性もある。

5) 排出、撤去、解体、廃棄物処理の状況

日本の地熱発電所のほとんどがシングルフラッシュ発電方式であり、素材構成は鉄が中心となる。その他、ケーブルのビニル等もある。

現在、使用済となった地熱発電所は存在しないが、特別な部品や素材等が使用されているわけではないため、一般的な解体工事が行われる。

国内において、設備の老朽化に伴い、更新工事（新設備を導入）を行った事例がある。（いずれも、自家使用）

- 鹿児島県霧島国際ホテル（発電事業者：大和紡観光）：富士電機社製の発電設備（100kW）を、2006 年に導入、平成 23 年に更新している。
- 大分県杉乃井ホテル（発電事業者：杉乃井ホテル）：蒸気設備の置き換え工事を実施。
- 大分県九重観光ホテル（発電事業者：九重観光ホテル）

6) 引取、リユース・リサイクル状況

発電設備は長期に亘って使用できる設備であり、海外では、設備を移設して使用（＝リユース）した事例が複数ある。

日本では移設の事例はないが、技術的には可能と考えられる。設備を解体して、移設先に運搬し、再度建設ということになるが、採算性については不明である。

使用済みとなった設備については、鉄等の金属はスクラップとして売却され、産業廃棄物となるものについては、産廃処理業者に委託処理されることになるかと推測される。

7) フローの概略整理

地熱発電設備のリユース・リサイクルフローの実態を次図に示す。実線で示したものが現時点

の使用済み製品フローであり、破線で示したものが現時点では顕在化していない使用済み製品のフローである。

現時点では設備のメンテナンス・オーバーホール等に伴う排出が主であり、使用済み設備の排出はほとんどない。

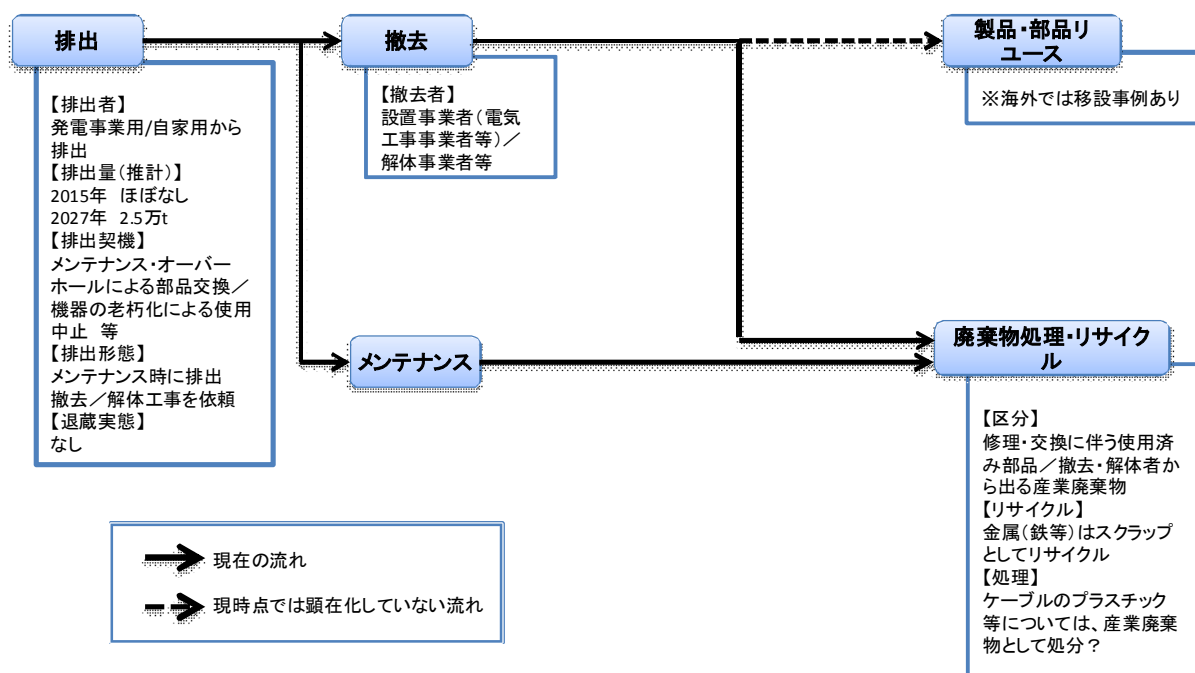


図 1-40 地熱発電設備のリユース・リサイクルフローの実態

1.2 海外における再生可能エネルギー設備のフローに関する調査

海外における、太陽光発電設備、太陽熱利用設備、風力発電設備の導入量、リユース・リサイクル状況を整理した。

1.2.1 太陽光発電設備

(1) 設備導入量

IEA の報告による IEA 加盟国の太陽光発電設備の導入量は以下のとおり。2011 年の独立型（住宅用・非住宅用）は 1,190MW、系統連系（分散配置・集中配置）は 62,421MW であり、累積発電容量は 63,611MW となっている。太陽光発電設備については、2000 年以降導入量が急拡大しており、今後使用済太陽電池モジュールの廃棄量が拡大することが予想されている。

表 1-9 太陽光発電設備の導入量（2011 年時点）

Country	Cumulative off-grid PV capacity* (MW)		Cumulative grid-connected PV capacity (MW)		Cumulative installed PV power (MW)	Cumulative installed per capita (W/Capita)	PV power installed during 2011 (MW)	Grid-connected PV power installed during 2011 (MW)
	domestic	non-domestic	distributed	centralized				
AUS	101,8	62	1236,8	7,4	1407,9	62,1	837	761
AUT	4,5		182,7		187,2	22,1	91,7	91
BEL					2000	182,6	963	963
CAN	23,3	37,7	131,6	366,1	558,7	16,0	277,6	276,7
CHE	4,4		204,1	2,6	211,1	26,5	100,2	100
CHN	81,8	36,3	774	2391,9	3300	2,4	2500	2485
DEU			24820		24820	303,2	7500	7500
DNK	0,3	0,5	15,9	0	16,7	3,0	9,7	9,5
ESP					4260	92,0	345	345
FRA	20,4		2289	513	2831,4	43,3	1634,1	1634
GBR					976	15,7	899	899
ISR	3,5	0,3	186	0	189,7	24,1	119,6	119,4
ITA		10	4208,7	8584,2	12802,9	210,5	9304,6	9303,6
JPN	5,5	97,7	4741,5	69,2	4913,9	38,5	1295,8	1291,3
KOR	1	5	177,3	629	812,3	16,7	156,7	156,7
MEX	27,4		7,7	2	37,1	0,3	6,5	4,5
MYS	11		2,5		13,5	0,3	0,9	0,9
NLD	5,4		126		131,4	7,9	43	43
NOR					9	1,8	< 1	< 1
PRT	3,2		140,4		143,6	13,6	12,8	12,7
SWE	5,7	0,8	8,87	0,4	15,8	1,7	4,3	3,6
TUR					7	0,1	1	1
USA			2828	1137	3966	12,6	1867	1867
Estimated totals for all IEA PVPS countries (MW)	1190		62421		63611		27970	27869

Notes:
 *Some off-grid capacity, installed since the 1970's, has been de-commissioned in various countries but is difficult to quantify.
 The characteristics of some national markets, particularly the relative effectiveness of grid connection procedures, can cause disparities between capacity physically installed and capacity recorded as operational.
 ISO country codes are outlined in Table 13.

出典： “Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011”
 (IEA-PVPS)

表 1-10 太陽光発電設備の導入量推移

Country	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
AUS	2,0	3,0	3,0	3,8	2,8	3,9	4,4	5,5	6,5	6,7	8,3	9,7	12,2	22,0	79,1	383,3	837
BEL	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	421	963
CHN	~	~	~	~	~	3	4,5	18,5	10	10	8	10	20	40	160	500	2500
DEU	2	3	7	5	9	44	110	110	139	670	951	843	1271	1950	3794	7406	7500
ESP	~	~	~	~	~	~	2	3	5	11	25	99	557	2758	60	392	345
FRA	0,5	1,5	1,7	1,5	1,5	2,2	2,6	3,3	3,9	5,2	7,0	10,9	31,3	104,5	155,5	719	1634,1
GBR	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	4,4	7,1	40,1	899
ITA	1,7	0,2	0,7	1,0	0,8	0,5	1,0	2,0	4,0	4,7	6,8	12,5	70,2	338,1	723,0	2320,9	9304,6
JPN	12,1	16,3	31,7	42,1	75,2	121,6	122,6	184,0	222,8	272,4	289,9	286,6	210,4	225,3	483,0	991,0	1295,8
USA	9,0	9,7	11,7	11,9	17,2	21,5	29,0	44,4	63,0	100,8	103,0	145,0	206,5	338,0	447,5	918,0	1867

出典：“Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011”
(IEA-PVPS)

世界の太陽光発電市場は、ドイツやスペインにおけるフィードインタリフ（FIT）制度¹⁸やシステムコストの低減により、2000 年以降急激に成長した。しかしながら、2008 年末の金融危機の影響や、FIT 制度における買取価格の引き下げ等を受け、ドイツ、スペインの導入量は大きく減少している。近年では、イタリアや英国、中国において、FIT 制度やその他導入支援策を背景に、導入量が増加している。我が国についても、2012 年 7 月に固定価格買取制度が開始されたことから、今後導入量の拡大が見込まれる。

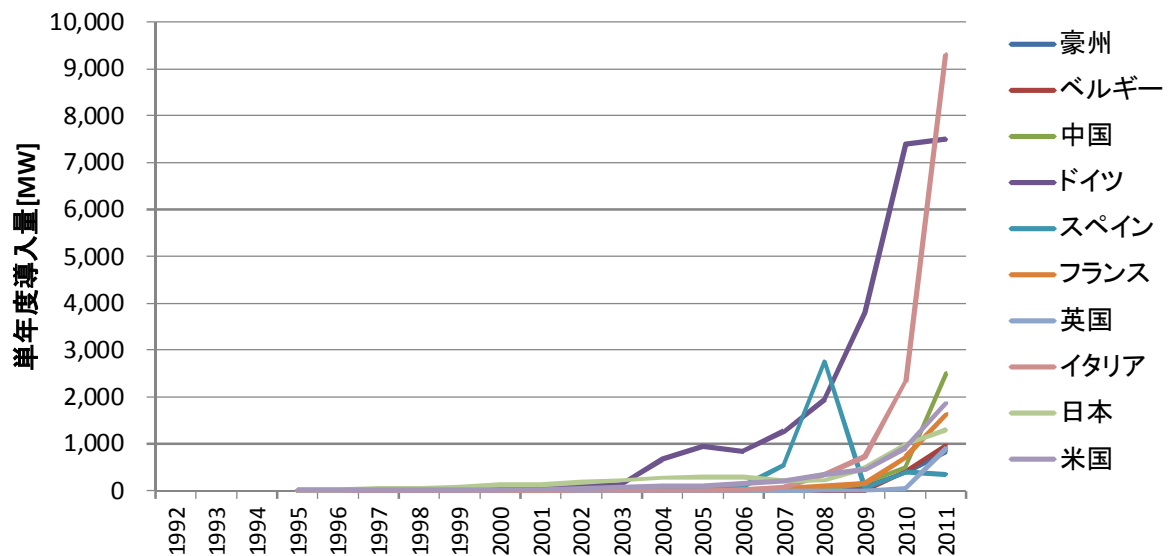


図 1-41 国別太陽光発電設備の導入量推移

出典：“Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2011”
(IEA-PVPS) を基にグラフ作成

¹⁸ 固定電力買取制度（Feed-in tariff：FIT）。エネルギーの買取り価格（tariff）を法律で定める方式の助成制度で、導入した時期によって一定期間の価格が固定される制度。

(2) リユース・リサイクル・処理処分の状況

太陽光発電システムの導入拡大が著しい欧州では、高い環境意識や、WEEE 指令（廃電気電子機器に関する欧州議会及び理事会指令）¹⁹対応の必要性等を背景に、太陽電池モジュールのリサイクル・適正処理に係る欧州大の取り組みが実施されており、PV CYCLE や CERES 等、太陽電池メーカーやリサイクル事業者、各種関連機関から構成される企業コンソーシアムが形成されている。また欧州域外の代表例としては米国の First Solar によるものが挙げられ、自社製品の回収・リサイクルに係る独自の取り組みを進めている。

なお欧米では、現状では太陽電池モジュールのリサイクルに係る取り組みが中心となっており、リユースに係る具体的な取り組みは、ニーズに応じて今後検討が成されるものと考えられる。

ここでは欧州の WEEE 指令の概要と、欧州の PV-CYCLE、CERES、および米国の First Solar のリサイクルに係る取り組み動向を整理した。

1) WEEE 指令の概要と太陽電池モジュールに係る規定

WEEE 指令（廃電気電子機器に関する欧州議会及び理事会指令）は、欧州市場で販売される電気・電子機器廃棄物を対象に、生産者（producers）に対する自社製品の回収・リサイクル、およびそのためのコスト負担責任を規定するもので、2003 年 2 月に発効した。発効当初、太陽電池モジュールは同指令の対象外であったが、2012 年の改正時に太陽電池モジュールを対象機器に含めることが決定され、加盟各国は 2014 年第一四半期までに、同指令に基づいて国内法を整備することが求められている。

同指令では、太陽電池モジュールの回収・リサイクルに係る目標が設定されており、2018 年までに、欧州市場で生産・販売された太陽電池モジュールの廃棄量のうち 85%のリカバリー率²⁰、および 80%のリサイクル率を達成することが求められている（図 1-42）。しかしながら、予想される太陽電池モジュールの製品寿命は 20～30 年と幅があることから、今後数年間の太陽電池モジュールの回収可能量等は明確になっていない。

同指令は、欧州市場にて生産・販売される全ての太陽電池モジュールが対象となることから、我が国企業を含め、グローバル展開する全ての太陽電池メーカーのリユース・リサイクル戦略に大きく影響を与えている。欧州では、同指令への対応の必要性を背景の一つとして、CERES や PV-CYCLE 等の企業コンソーシアムが設立されている。また、メーカ独自の取り組みとしては、欧州市場に多くの製品を出荷・販売している米国の First Solar 社が、独自のリサイクルスキームを構築するとともに、PV-CYCLE に加盟し、欧州市場における取り組みを推進している。

なお、WEEE 指令の目標値から読み取れる通り、欧州では太陽電池モジュールのリサイクルに重点を置いており、事項に紹介する CERES や PV-CYCLE、First Solar における活動は、リサイクルに係るものが中心となっている。現状では、リユースに係る具体的な取り組みは限定的であり、今後ニーズに応じて検討が成されるものと考えられる。

¹⁹ Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment

²⁰ 再利用（reuse）、リサイクル（recycle）、エネルギー回収（Energy Recover）の総合

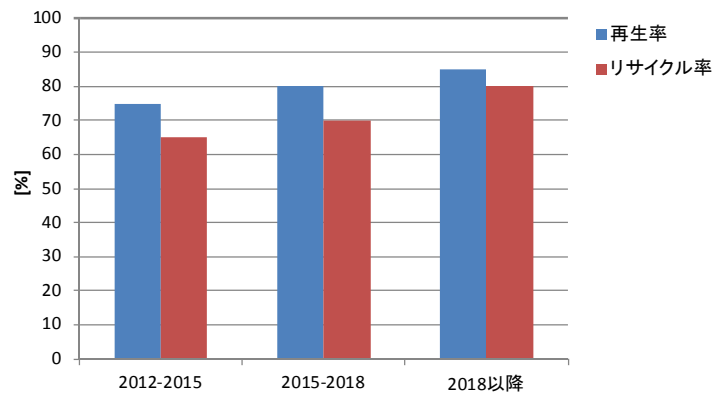


図 1-42 WEEE 指令における太陽電池モジュールの再生率・リサイクル率の達成目標

2) PV CYCLE の取組

a. 組織概要

PV CYCLE は PV モジュールの回収・リサイクルスキームの構築を目的とした世界初の産業団体で、2003 年の WEEE 指令発効を受けて、将来的に太陽電池モジュールが同指令の対象機器に含まれる可能性を見据え、EPIA（欧州太陽光発電産業協会）や BSW（ドイツ太陽光発電産業協会）、大手太陽電池モジュールメーカーにより、2007 年に設立された。2010 年に加盟メンバーの承認により活動を開始している²¹。

表 1-11 PV CYCLE の組織概要

組織形態	非営利組織（NPO）
設立年	2007 年
所在地	ベルギー ブリュッセル
組織・スタッフ構成	《役員会》 - President (Sanyo Component Europe) - Vice President (Sunpower) - Treasurer (Isofoton) - Director (REC) - Director (Schott Solar) - Director (Train Solar) - Director (EPIA) - Managing Director 《スタッフ》 - Finance & Administrations Manager - PR & Communications Manager - Operations & Treatment Manager - Administrations & Operations Coordinator - Management Assistant - Country Manager Italy
主要業務	欧州域内（EU 加盟国および EFTA 加盟国）で廃棄される太陽電池モジュールのリサイクルシステム（回収・輸送・リサイクル）の運営
メンバー企業・	欧州域内に太陽電池モジュールを供給する太陽電池メーカー、輸入業者およ

²¹ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

機関	び関連企業・機関。2012年11月時点で、Full member（PV CYCLE のサービスを利用する契約企業）は225社、Associated member（その他関連機関）は27社。 ≪ Full member ≫ ✓ メーカー ✓ 輸入業者、小売業者、卸売業者 ✓ ディベロッパー ✓ システムインテグレーター ✓ 電気設備業者等 ≪ Associated member ≫ ✓ 研究開発機関 ✓ 産業団体等
活動原資	メンバー企業の年会費のみ

出典：PV CYCLE Annual Report 2011

PV-CYCLE の主要業務は、メンバー企業の廃棄太陽電池モジュールのリサイクルシステム（回収・輸送・リサイクルの一連の流れ）の運営で、メンバー企業と関連業界（回収、輸送、リサイクルに係る事業者）とのネットワークを活用したシステム運用が図られている（詳細は後述）。PV CYCLE によると、同組織が運用するリサイクルシステムは、WEEE 指令等の欧州基準に準じたものとなっている。また、多くの関連ステークホルダーと連携することにより、コスト効率の高い太陽電池モジュールのリサイクルサービスが提供可能としている²²。なお、PV CYCLE はリサイクルに係る取組みのみ実施されており、現状ではリユースに係る取組は行われていない²³。

PV CYCLE には、欧州市場に太陽電池モジュールを供給する太陽電池メーカー、輸入業者および関連機関等がメンバーとして参画しており、日本からは、シャープ(株)、京セラ(株)、三洋電機(株)の3社が参加している。2013年2月時点の加盟メンバー数は、Full member（PV CYCLE のサービスを利用する契約企業）307社、Associated member（その他関連機関）25社で（図 1-43）、欧州市場における太陽光発電関連企業・機関の約90%をカバーしている²⁴。なお、太陽電池モジュールの製造事業者、輸入業者、販売業者であれば、どの企業でも PV CYCLE の Full member として加盟することが可能である²⁵。

また、PV CYCLE の活動費用（リサイクルシステムおよび機関運営に係る費用）はメンバー企業の年会費のみで賄われている。メンバーの年会費は、Associated member の1,000ユーロから、Full member の25,000ユーロまで幅があり、PV CYCLE との契約内容により異なっている²⁶。

²² PV CYCLE Annual Report 2011

²³ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

²⁴ PV CYCLE Status Report (Dec. 2012)

²⁵ PV CYCLE メンバー一覧はこちらを参照のこと。（<http://www.pvcycle.org/about/affiliates/our-full-members/>）

²⁶ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

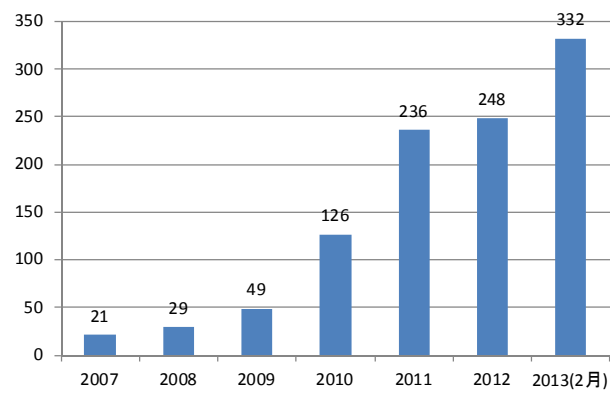


図 1-43 PV CYCLE の加盟メンバー数の経年変化

出典：PV CYCLE Status Report (Dec. 2012), PV CYCLE Status Report (Feb. 2013)より作成

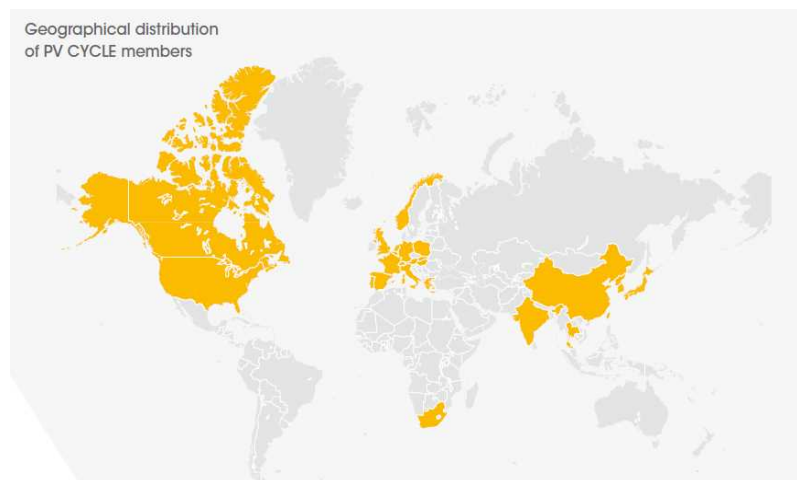


図 1-44 PV CYCLE の加盟メンバーの地理分布

出典：PV CYCLE Annal Report 2011

b. リサイクルの状況

先述のとおり、PV CYCLE ではリサイクルに係る取組みのみ実施されており、現状ではリユースに係る取組は行われていない²⁷。以下、PV CYCLE のリサイクルシステムの概要を整理した。

ア) 収集される太陽電池モジュール

PV CYCLE のリサイクルシステムは、欧州域内（EU 加盟国および EFTA 加盟国）で廃棄される太陽電池モジュールのみを対象としており、パワーコンディショナー等の周辺機器は取り扱っていない。PV CYCLE ではシリコン系太陽電池と非シリコン系太陽電池（CdTe 系、CIS 系、CIGS 系）の両方を扱っており、現在リサイクルされているものの約 8 割がシリコン系太陽電池モジュールである（図 1-45）。

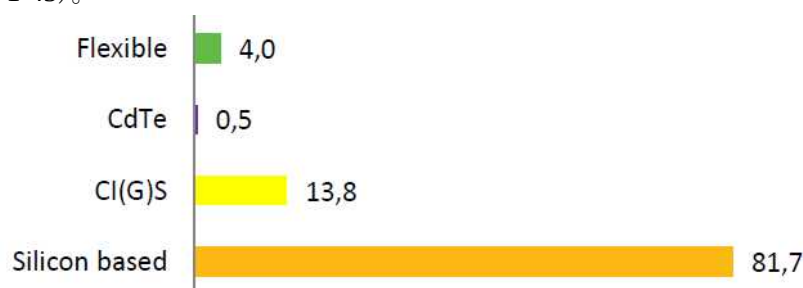


図 1-45 PV CYCLE における太陽電池モジュールの種類別内訳

出典：PV CYCLE Status Report (Feb. 2012)

太陽電池モジュールは、住宅用と事業用の両方があるが、現状 PV CYCLE に持ち込まれている太陽電池モジュールのほとんどは事業用である²⁸。また、工場でのロットアウト、輸送・設置時の破損、故障等により発生するものが大部分であり、全体の 95%程度を占めている²⁹。

PV CYCLE によると、太陽電池モジュールの技術的寿命は 35 年であり、太陽光発電の導入が本格化したのは 1990 年代以降であるため、現在までにリサイクルされている太陽電池モジュールは、輸送時や設置時に損傷したもの、あるいは消費者からのクレームにより取り外されたものがほとんどとなっている。ただし、PV CYCLE では、今後 10～15 年間で、技術的寿命を迎えた太陽電池モジュールの廃棄量が増加すると見込んでいる³⁰。

²⁷ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

²⁸ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

²⁹ 秋田県 東日本 PV リサイクルネットワーク構築検討委員会 白鳥寿一「秋田県における太陽電池パネルリサイクルシステムへの取り組み」、東北地域環境ビジネスセミナー（2013 年 2 月 20 日）

³⁰ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

イ) 収集方法

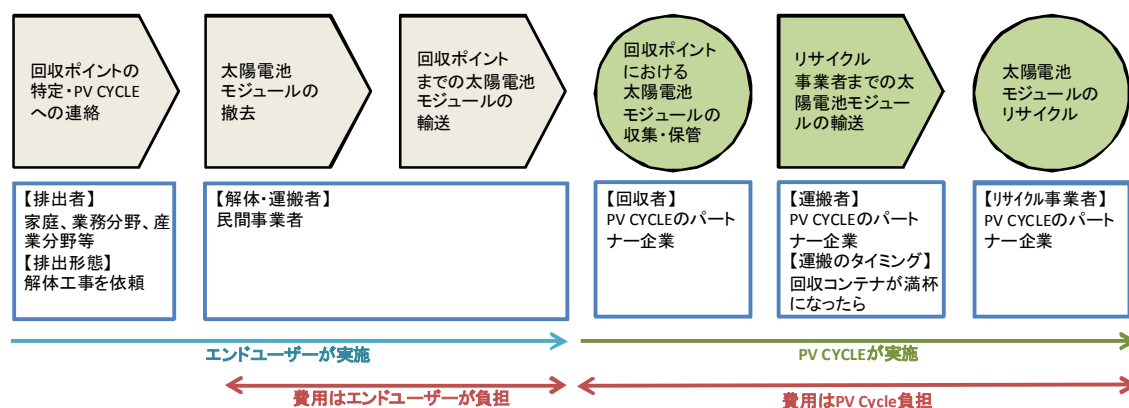
PV CYCLE のリサイクルシステムの流れを図 1-46 に示す。

PV CYCLE のリサイクルシステムは、以下のプロセスにより運用され、サービス内容は対象システムの規模により異なっている。

《PV CYCLE のリサイクルシステムのプロセス》

- ① エンドユーザーによる回収ポイントの特定・PV CYCLE への連絡
- ② エンドユーザーによる太陽電池モジュールの撤去
- ③ エンドユーザーによる回収ポイント（パートナー企業）までの太陽電池モジュールの輸送
- ④ PV CYCLE による回収ポイントにおける太陽電池モジュールの収集・保管
- ⑤ PV CYCLE によるリサイクル事業者（パートナー企業）の選定
- ⑥ PV CYCLE によるリサイクル事業者までの太陽電池モジュールの輸送

《モジュール枚数 40未満の場合》



《モジュール枚数 40以上の場合》

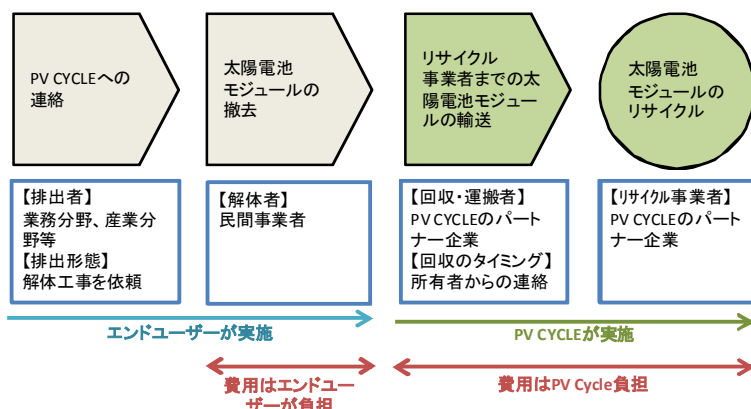


図 1-46 PV CYCLE のリサイクルシステムの概要

出典：PV CYCLE ホームページ、PV CYCLE へのヒアリング調査等をもとに作成

太陽電池モジュールの枚数が 40 枚未満（住宅用太陽光発電システム約 1 件分に相当）の場合は、①～③のプロセスはエンドユーザー自身が行い、④～⑥のプロセスは PV CYCLE が担当する。

エンドユーザーは、太陽電池モジュールの設置場所から最も近い回収ポイント（パートナー企業）を PV CYCLE のウェブ情報をもとに特定し、PV CYCLE に必要書類を提出した上で、太陽電池モジュールを撤去し、回収ポイントまで輸送する。太陽電池モジュールの撤去・運送に係る費用はエンドユーザーが負担する。PV CYCLE は回収ポイントに運び込まれた太陽電池モジュールを保管し、一定量を超えたとリサイクル事業者（PV CYCLE のパートナー企業）を選定し、リサイクル事業者のプラントまで太陽電池モジュールを輸送する。回収ポイントにおける太陽電池モジュールの収集・保管、リサイクルプラントまでの輸送、およびリサイクルにかかる費用³¹は PV CYCLE が負担する³²。

太陽電池モジュールの枚数が 40 枚以上の場合、①～②のプロセスはエンドユーザー自身が行い、⑤～⑥のプロセスは PV CYCLE が担当する。太陽電池モジュールの撤去場所から直接リサイクル事業者まで輸送するため、③～④のプロセスは省略される。エンドユーザーは、回収依頼に係る必要書類を PV CYCLE に提出した上で、太陽電池モジュールを撤去し、太陽電池モジュールの撤去に係る費用はエンドユーザーが負担する。PV CYCLE は、エンドユーザーからの連絡を受けてリサイクル事業者を選定し、太陽電池モジュールの撤去場所から、直接リサイクル事業者の元まで輸送する。太陽電池モジュールの輸送、リサイクルにかかる費用³³は PV CYCLE が負担する仕組みとなっている³⁴。

回収ポイントは、2012 年 12 月時点で 14 か国、272 箇所に達しており、回収ポイントの 3 分の 2 以上は、ドイツ、イタリア、フランスに位置している（表 1-12）。。

表 1-12 回収ポイントの国別内訳（2012 年 12 月時点）

国	回収ポイント数	国	回収ポイント数
ドイツ	90	オランダ	5
イタリア	77	オーストリア	2
フランス	41	チェコ	2
ベルギー	21	スロベニア	2
英国	12	スイス	2
スペイン	9	ポルトガル	2
ギリシャ	6	デンマーク	1

出典：PV CYCLE Status Report (Dec. 2012)

³¹ PV CYCLE が負担するリサイクル費用の内容や額等の詳細は非公開。

³² <http://www.pvcycle.org/frequently-asked-questions-faq/>

³³ PV CYCLE が負担するリサイクル費用の内容や額等の詳細は非公開。

³⁴ http://www.pvcycle.org/wp-content/uploads/PVCycle-LEAFLET_en_web.pdf

ウ) 処理方法

PV CYCLE は回収した太陽電池モジュールを処理する技術やプラントは所有しておらず、リサイクル処理は、リサイクル事業者（PV CYCLE のパートナー企業でドイツ、ベルギー、スペイン、イタリアの 10 企業。詳細は非公開）に任されている³⁵。

表 1-13 に太陽電池モジュールの一般的なリサイクル方法を示す。PV CYCLE では、BAT（Best Available Technology、技術的に最良の手段）を用いることを原則としており、太陽電池モジュールの種類に合わせて市場で利用可能な BAT が採用されている。

シリコン系太陽電池モジュールは、鉄、非鉄金属、ガラス、シリコン、プラスチックに分解され、他素材や製品にリサイクルされる。例えば、ガラスはガラス繊維や絶縁ガラス、シリコンの一部は新しい太陽電池モジュール、アルミニウムや銅などの金属は同じ素材として、新しい製品に再利用される³⁶。

表 1-13 太陽電池モジュールのリサイクル方法

種類	処理方法	アウトプット	リサイクル率	再利用方法
シリコン系太陽電池モジュール	① 準備段階（フレームと接合ボックス） ② 破碎 ③ 板ガラスリサイクルラインで加工	鉄、非鉄金属、ガラス、シリコンとプラスチック	80%～90%	金属、シリコンとプラスチックは新しい原材料になる。
非シリコン系太陽電池モジュール（CdTe、CI(G)S 系）	《分離プロセス》 ① 破碎 ② 溶化 ③ 分離 ④ マテリアル選別 《洗浄プロセス》 ① 洗浄 ② マテリアル選別 ③ ガラスと半導体リサイクルリング設備による加工	90%のガラスと 95%の半導体メテリアル（CdTe フィルター塊を含め）	95%	

出典：PV CYCLE HP(<http://www.pvcycle.org/>)

³⁵ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

³⁶ PV CYCLE へのヒアリング調査より。

c. リサイクル・処理実績

PV CYCLE による太陽電池モジュールの累積回収量は、2013 年 2 月時点で 5,541 トンに達しており、回収量は年々増加している（2010 年実績は 80 トン、2011 年実績は 1,429 トン）。

国別の内訳を見ると、ドイツの回収量が 3,063 トンと最も多く、全体の 55%を占めている。次いでイタリアが 1,005 トン（18%）、ポーランドが 584.5 トン（11%）、スペインが 393.4 トン（7%）の回収量となっている（図 1-47）。

PV CYCLE では、太陽電池モジュールの廃棄量は今後も増加すると見通している（表 1-11）。



図 1-47 PV Cycle における累積回収量 [トン]（2010 年 6 月～2013 年 2 月）

出典：PV CYCLE Status Report (Feb. 2012)

表 1-14 PV CYCLE による太陽電池モジュール廃棄量見通し

	廃棄量（PV CYCLE 試算）	市場見通し（EPIA 試算）
2013	2,300 トン	15.5GW
2014	2,800 トン	17.5 GW
2015	3,400 トン	19.5 GW

出典：PV CYCLE Annal Report 2011

d. 今後の課題

PV CYCLE の今後の課題としては、WEEE 指令への対応として今後整備される各国の国内法への対応が挙げられる。先述のとおり、WEEE 指令により、EU 加盟国は 2014 年の第一四半期までに太陽電池モジュールの回収・リサイクルに係る国内法を整備する必要があり、国内法の内容が国により大きく異なった場合には、PV CYCLE のリサイクルシステムの変更等を求められる可能性がある。

3) CERES の取組

a. 組織概要

CERES は、WEEE 指令等の法令を順守しつつ、太陽電池モジュールの効率的かつ持続可能な処理技術の構築を目的に、2011 年に設立された。PV CYCLE と同様に、将来的に WEEE 指令の対象機器に太陽電池モジュールが含まれる可能性を見据え、同指令に対応する組織および回収・リサイクルスキームの構築が求められたことが、CERES 設立の背景の一つとなっている³⁷。なお、現時点で CERES と PV CYCLE の両方に加盟している企業・団体はなく、両者は完全な別組織として活動している。

表 1-15 CERES の組織概要

組織形態	非営利組織（NPO）
設立年	2011 年
所在地	フランス パリ
組織・スタッフ構成	• Managing Director • Operations Manager • Management Assistant （2012 年 3 月現在、総スタッフ数 4 名）
主要業務	欧州域内（EU 加盟国および EFTA 加盟国）における使用済太陽電池モジュールおよび製造工場で発生するスクラップの回収・リサイクルシステムの運用
メンバー企業・機関	太陽電池産業に関連する全てのステークホルダーが対象。現在約 120 の企業・団体がメンバー（投票権あり）に登録。 ✓ メーカー ✓ 販売事業者 ✓ システムインテグレータ ✓ 自治体 ✓ エンドユーザー
パートナー企業・機関	• European Recycling Platform • PricewaterhouseCoopers • PV Recycling, llc • Le Syndicat des Energies Renouvelables • Transenergie • The China New Energy Limited
活動原資	メンバー企業の年会費のみ

出典：CERES ホームページ

CERES の主要業務は、欧州域内（EU 加盟国および EFTA 加盟国）における使用済および損傷を受けた太陽電池モジュールの回収・リサイクルである。将来的にはインド市場等、海外での活動展開も見据えている³⁸。

CERES によると、同組織は太陽電池産業の専門家（professional）のみで構成されており、異なる企業種間の利害衝突を避けることや、太陽電池産業が抱える課題を的確に把握することが、メ

³⁷ CERES へのヒアリング調査による。

³⁸ CERES へのヒアリング調査による。

ンバー構成に係る理念の根拠となっている。太陽電池モジュール・部材のリサイクルに係る課題を包括的に把握するため、メーカーや販売事業者、システムインテグレーターから自治体、エンドユーザーまで、太陽電池産業に係る全てのステークホルダーが CERES に参加することが可能となっている³⁹。

CERES のメンバー数は順調に増加しており、現在約 120 の企業・団体がメンバー（投票権あり）として登録されている。参加にあたっては、以下の 3 つのメンバー種類から選択可能となっている。

- ✓ Member：投票権を持ったメンバー（メーカー、輸入業者、販売業者等）
- ✓ Participant：投票権を持たないメンバー（メーカー、輸入業者、販売業者等）
- ✓ Associate：上記以外のメンバー（エンドユーザー、自治体）

CERES の活動費用は、メンバーの年会費により賄われている。メーカー、輸入業者、販売業者等（producer）の年会費については、企業規模別に 4 段階の価格（600 ユーロ～5,000 ユーロ）が設定されている。上記以外の業種のメンバー（non-producer）については、年会費は一律 500 ユーロに設定されている。メンバーの年会費による収入は全て CERES の運営費用に充てられている。

表 1-16 CERES の年会費（producer）

Membership categories

GROUP	DEFINITION	COST
A	Producer of over 100 MW per year	€ 5000
B	Producer of between 50 and 100 MW per year	€ 2000
C	Producer of less than 50 MW per year, distributor, installer, owner	€ 1000
D	Laboratories, research department	€ 600

CERES と PV CYCLE の年会費を比較すると、PV CYCLE は最大 25,000 ユーロであるのに対し、CERES は最大 5,000 ユーロと、価格に大きな差がある。これは組織とメンバー、およびパートナー企業であるリサイクル事業者のコスト負担スキームの違いが大きな要因の一つとなっている。

先述のとおり PV CYCLE では、使用済太陽電池モジュールの回収からリサイクルに係る費用⁴⁰を全て PV CYCLE メンバーの年会費で賄っており、結果としてメンバーのコスト負担が大きくなるスキームとなっている。一方 CERES では、使用済太陽電池モジュールの回収⁴¹およびリサイクルに係る費用を全て負担することに同意したリサイクル事業者のみを CERES のパートナー企業としており、結果として CERES の必要経費は主に組織運営に係るコストのみであることから、メンバーの年会費を少額に抑えることが可能となっている⁴²。

³⁹ CERES のメンバー一覧はこちらを参照のこと。

(<http://www.ceres-recycle.org/member-list/members>)

⁴⁰ PV CYCLE が負担するリサイクル費用の内容や額等の詳細は非公開。

⁴¹ モジュール枚数 50 以上の場合。詳細は後述。

⁴² CERES へのヒアリング調査による。

b. リサイクルの状況

CERES の活動はリサイクルに係る取組みが中心であり、現状ではリユースに係る取組は行われていない。以下、CERES のリサイクルシステムの概要を整理した。

エ) 収集される太陽電池モジュール

CERES のリサイクルシステムは太陽電池モジュールのみを対象としており、パワーコンディショナー等のその他周辺機器は取り扱っていない。

太陽電池モジュールは、住宅用と事業用の両方を取り扱っている。また、CERES では太陽電池モジュール工場で発生するスクラップ（端材、工程不良等）の回収も行っている。

オ) 収集方法

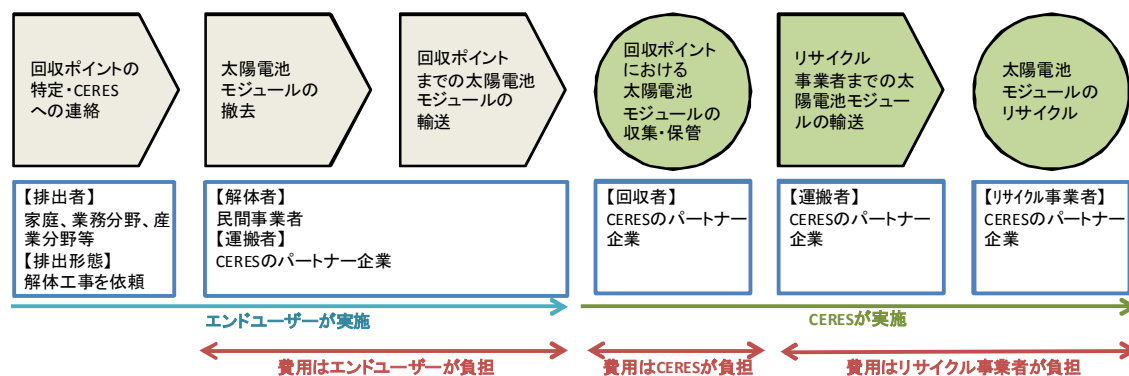
CERES のリサイクルシステムの流れを図 1-48 に示す。

CERES のリサイクルシステムは、以下のプロセスにより運用され、サービス内容は対象システムの規模により異なっている。

《CERES のリサイクルシステムのプロセス》

- ① エンドユーザーによる回収ポイントの特定・CERES への連絡
- ② エンドユーザーによる太陽電池モジュールの撤去
- ③ エンドユーザーによる回収ポイント（パートナー企業）までの太陽電池モジュールの輸送
- ④ CERES による回収ポイントにおける太陽電池モジュールの収集・保管
- ⑤ CERES によるリサイクル事業者（パートナー企業）の選定
- ⑥ リサイクル事業者による自社工場までの太陽電池モジュールの輸送

《モジュール枚数 50未満の場合》



《モジュール枚数 50以上の場合》

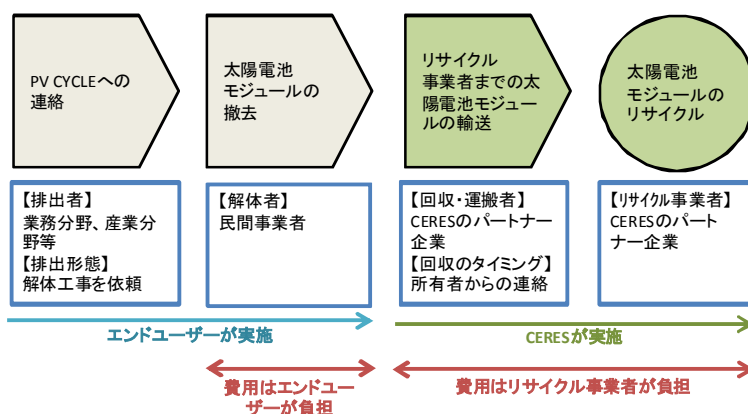


図 1-48 CERES のリサイクルシステムの概要

出典：CERES ホームページ、CERES へのヒアリング調査等をもとに作成

PV CYCLE と CERES のリサイクルシステムの違いの一つに、回収・リサイクルに係るコスト負担スキームが挙げられる。

太陽電池モジュールの枚数が 50 枚未満の場合、①～③のプロセスはエンドユーザー自身が行い、④～⑥のプロセスは CERES が担当する。エンドユーザーは、太陽電池モジュールの設置場所から最も近い回収ポイントを CERES のウェブ情報をもとに特定し、CERES に連絡をしてアポイントを取った上で、太陽電池モジュールを撤去し、回収ポイントまで輸送する。ここで、エンドユーザーは撤去および回収ポイントまでの輸送に係る費用を負担する。CERES は回収ポイントに輸送された太陽電池モジュールを保管、リサイクル事業者（CERES のパートナー企業）を選定し、連絡を受けたリサイクル事業者は、回収ポイントから自社工場まで太陽電池モジュールを輸送しリサイクルを行う。ここで、回収ポイントにおける太陽電池モジュールの保管・管理にかかる費用は CERES が負担するが、リサイクルプラントまでの輸送およびリサイクルにかかる費用はリサイクル事業者自身が負担する（PV CYCLE の場合は、輸送とリサイクル費用を含めて全て PV CYCLE が負担）。

太陽電池モジュールの枚数が 50 枚以上の場合、①～②のプロセスはエンドユーザー自身が行い、⑤～⑥のプロセスは CERES が担当する。太陽電池モジュールの撤去場所から直接リサイクル事業者の元まで輸送するため、③～④のプロセスは省略される。エンドユーザーは、CERES に連絡をしてアポイントを取った上で、太陽電池モジュールを撤去し、太陽電池モジュールの撤去に係る費用はエンドユーザーが負担する。CERES は、エンドユーザーからの連絡を受けてリサイクル事業者を選定し、連絡を受けたリサイクル事業者は、太陽電池モジュールの撤去場所から自社工場まで直接輸送を行う。この際、50 枚未満の場合と同様に、太陽電池モジュールの

輸送、リサイクルにかかる費用はリサイクル事業者自身が負担する（PV CYCLE の場合は、輸送およびリサイクルに係る費用は PV CYCLE が負担）仕組みとなっている。

先述のとおり、CERES では、使用済太陽電池モジュールの回収⁴³およびリサイクルに係る費用を全て負担することに同意したリサイクル事業者のみを CERES のパートナー企業としており、CERES の費用負担は、50 枚未満の場合の回収ポイントにおける太陽電池モジュールの保管・保管等に係る費用と、システム全体の管理費用が大部分であるため、メンバー企業の年会費を安価に抑えることが可能となっている⁴⁴。

CERES の回収ポイント（パートナー企業）を図 1-49 に示す。CERES の回収ポイントとなるパートナー企業は、廃棄物収集に係る国内および EU の各種許認可を取得しており、CERES の効率的な事業運営に貢献している。



図 1-49 CERES の回収ポイント

出典：CERES ホームページ



図 1-50 太陽電池モジュールのトラックへの積み込みの様子

出典：CERES ホームページ

⁴³ モジュール枚数 50 以上の場合。詳細は後述。

⁴⁴ CERES へのヒアリング調査より。

カ) 処理方法

CERES は回収した太陽電池モジュールを処理する技術やプラントは所有しておらず、リサイクル処理は、リサイクル事業者（CERES のパートナー企業、非公開）に任されている。

モジュールは、重量ベースで 85%、価値ベースで 70%以上再利用することが可能とされており、CERES によると、シリコンは新しい PV モジュールやマイクロプロセッサなどの新しい製品を製造するために、最大 5 回まで再利用可能とされている。また、アルミニウム、ガラス、希少金属（銀、銅等）も回収され、様々な製品や産業において再利用される。

CERES は太陽電池モジュールリサイクル業者であるフランスの Photocycle Industries とパートナーシップを結んでいる。現在同社は、グリーンケミストリーに基づく太陽電池モジュールリサイクルの新技术を開発しており、技術が確立した際には、リサイクルプラントの運用を CERES と共同して行う予定である。

c. リサイクル・処理実績

CERES は 2011 年に設立されたばかりであり、リサイクル・処理実績に関するデータは限られているが、2012 年 1 月～4 月の間に 500 トン以上の太陽電池モジュールを回収したと発表されている。

CERES では使用済太陽電池モジュールに加えて、製造工場で発生するスクラップの回収を行っており、CERES の回収量が増加している主要因となっている⁴⁵。

d. 今後の課題

CERES の今後の課題としては、重量ベース、価値ベース双方のリサイクル率の向上が挙げられている。CERES の現状のリサイクル率は公開されていないが、2016 年までに重量ベースのリサイクル率を 85%（WEEE 指令による 2018 年以降の目標値）から 95%に引き上げる目標を設定している。

また、PV CYCLE と同様に、WEEE 指令への対応として今後整備される各国の国内法への対応も重要課題の一つに挙げられる。WEEE 指令に対応した、各国の国内法の内容によっては、CERES のリサイクルシステムの変更が求められる可能性がある。

⁴⁵ CERES へのヒアリング調査より。

4) First Solar 社の取組

a. 組織概要

First Solar 社は、1999 年に設立された、米国に本社を置く太陽電池モジュール製造企業である。世界最大規模の PV パワープラントを建設した実績を持ち、生産からプロジェクト開発、エンジニアリング・調達・建設 (EPC)、ファイナンスと運営・維持管理と総合的に業務を展開している。生産は主に薄膜モジュールと Cd-Te モジュールが中心である。米国、ドイツ、マレーシアで製造工場が稼動しており、2012 年までの累計モジュール生産量は、6GW となっている。

b. リサイクルの状況

First Solar 社は、独自のリサイクルプログラムである “First Solar Panel Collection and Recycling Program” を運用しており、自社生産のモジュールを全て無料で回収・リサイクル（輸送料も含む）する体制を整えている。

同社の太陽電池は有害物質 (Cd) を含むことから、拡大生産者責任の観点から、ボランタリーな取組みとして、同社製の太陽電池モジュールリサイクルを推進している。また、欧州における RoHS 指令や WEEE 指令への対応も、同社がリサイクルプログラムを推進する動機の一つと考えられる。なお、同社は PV CYCLE に加盟しているが、現状では、欧州における同社製品は PV CYCLE ではなく、同社のリサイクルプログラムにおいて処理が行われている⁴⁶。

同社は、リサイクルプログラムを運用するためのファンドを用意しており、モジュールを販売する際に、将来の回収・リサイクル費用を予測し売上原価に加えることで、回収・リサイクルにかかる準備金として積み立てている。同社によると、2011 年までに同社が販売した製品の回収・リサイクル費用総額（将来的に必要となる回収・リサイクル費用の予測額）は 167.4 百万ドルに達している。

なお同社において、現状ではリユースに関する具体的取り組みは成されていない⁴⁷。

キ) 収集される太陽電池モジュール

First Solar 社のリサイクルプログラムは、同社が製造した全ての太陽電池モジュールを対象としている。First Solar 社によると、同社製太陽電池モジュールの寿命は 20～25 年で、業務用の太陽電池モジュールは住宅用の太陽電池モジュールよりも使用年数が短い傾向にある⁴⁸。

また、自社の製造工場で発生するスクラップのリサイクルを行っており、同社が有する米国、ドイツ、マレーシアの全ての製造工場に、リサイクル設備が備えられている。

⁴⁶ First Solar 社へのヒアリングより。

⁴⁷ First Solar 社 へのヒアリングより。

⁴⁸ First Solar 社 へのヒアリングより。

ク) 収集方法

First Solar 社のリサイクルプログラムの流れを図 1-51 に示す。

First Solar 社のリサイクルプログラムは、以下のプロセスにより運用されている。

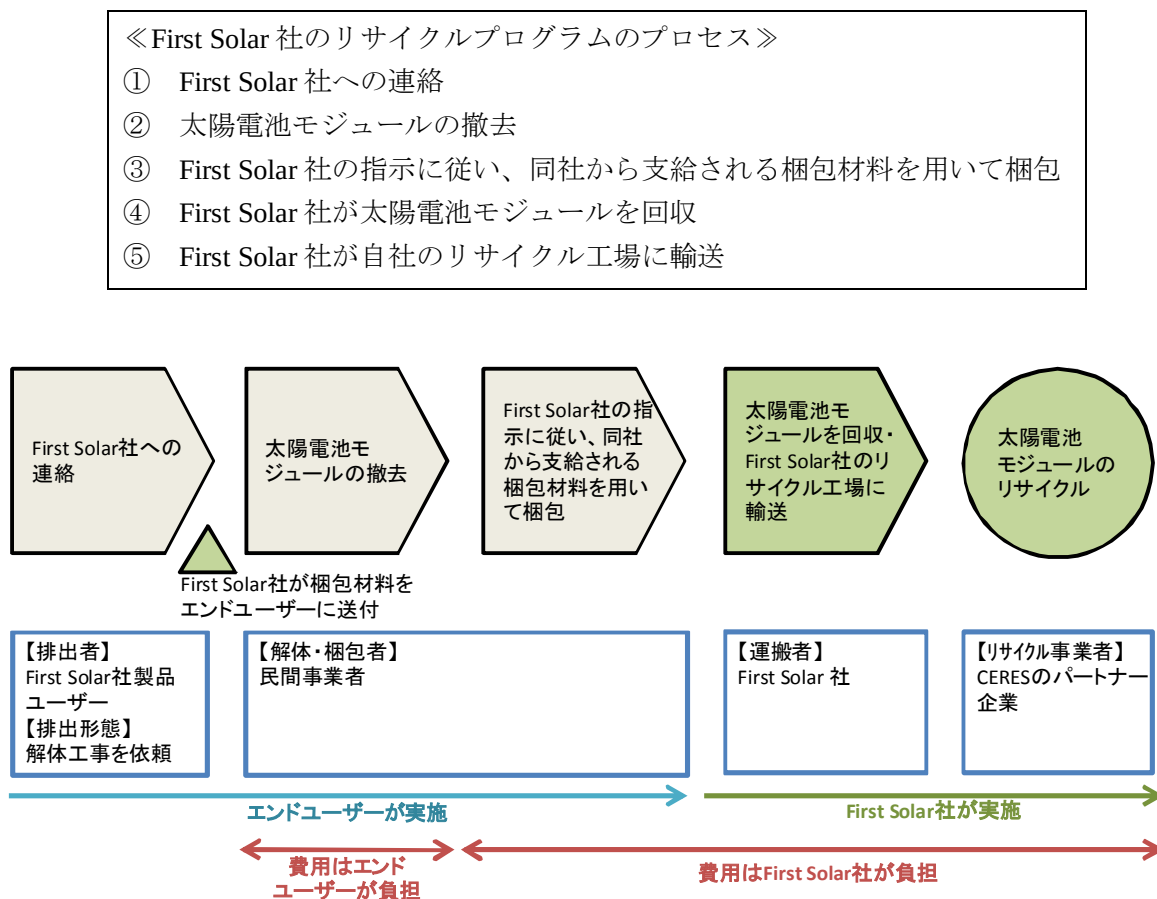


図 1-51 First Solar 社のリサイクルシステムの概要

出典：First Solar 社ホームページ、First Solar 社へのヒアリング調査等をもとに作成

①～③のプロセスはエンドユーザーが行い、④～⑤のプロセスはFirst Solar 社が実施する。

エンドユーザーはFirst Solar 社に連絡をした上で、太陽電池モジュールを撤去し、同社から支給される専用の梱包材料を用いて梱包を行う。その際、同社の指示に従って正しく梱包されていることが求められる。正しく梱包された太陽電池モジュールは、First Solar 社により回収され、同社のリサイクル工場に輸送される。

エンドユーザーは太陽電池モジュールの撤去に係る費用を負担し、梱包材料、回収、輸送、リサイクル処理に係る費用はFirst Solar 社が負担している。

ケ) 処理方法

図 1-53 に First Solar 社のリサイクルの概要を示す。エンドユーザーから回収された使用済み太陽電池モジュールは、大きくガラスと半導体部分 (CdTe) に分けられる。ガラスは新しいガラス製品として、半導体は新しい太陽電池モジュール材料として再利用される。

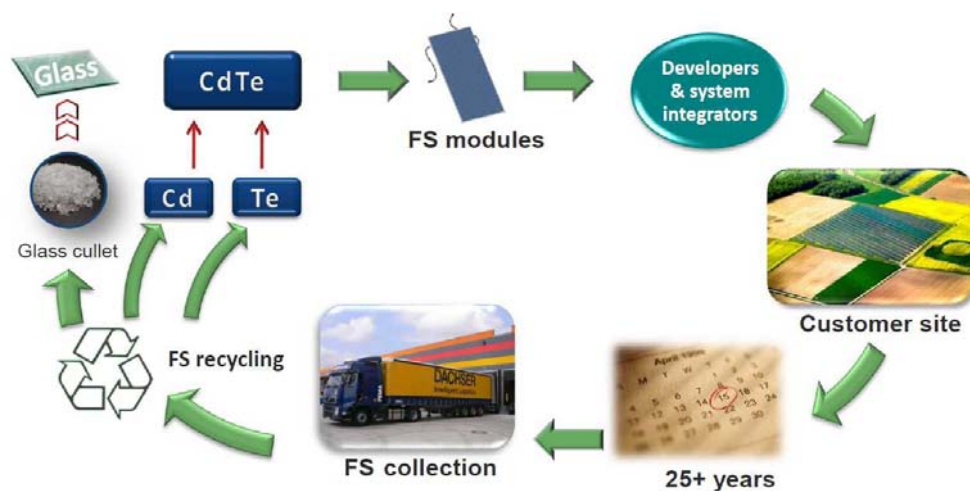


図 1-52 First Solar 社のリサイクルの概要

出典：First Solar 社資料

図 1-53 にリサイクルフローを示す。ガラスと半導体は以下のプロセスによりリサイクルされる。

《ガラスのリサイクルプロセス》

- (1) シュレッダー：モジュールを大きく破砕する
- (2) ハンマーミル：モジュールをより細かく破砕（4～5mm）する
- (3) 半導体フィルムの除去：破砕したモジュールをステンレス製のドラムで回転させ、酸抽出により Cd を含む半導体フィルムを除去する
- (4) ガラスと半導体の分離：Cd を含む化学溶液とガラスを固液分離する
- (5) ガラスとラミネート材料の分離：ガラスをラミネート材料を分離する
- (6) ガラス洗浄：ガラスをリンシングにより完全に洗浄し梱包する

《半導体材料のリサイクルプロセス》

※(1)～(4)まではガラスのリサイクルプロセスと同じ

- (5) 沈殿：化学溶液を沈殿層にいれ、金属成分を沈殿させる
- (6) 脱水：沈殿させた金属成分を濃縮タンクで濃縮させる。

上記により抽出された半導体材料は、他機関で Cd と Te に分解、再度 CdTe に合成され、新品の太陽電池モジュールに利用される。

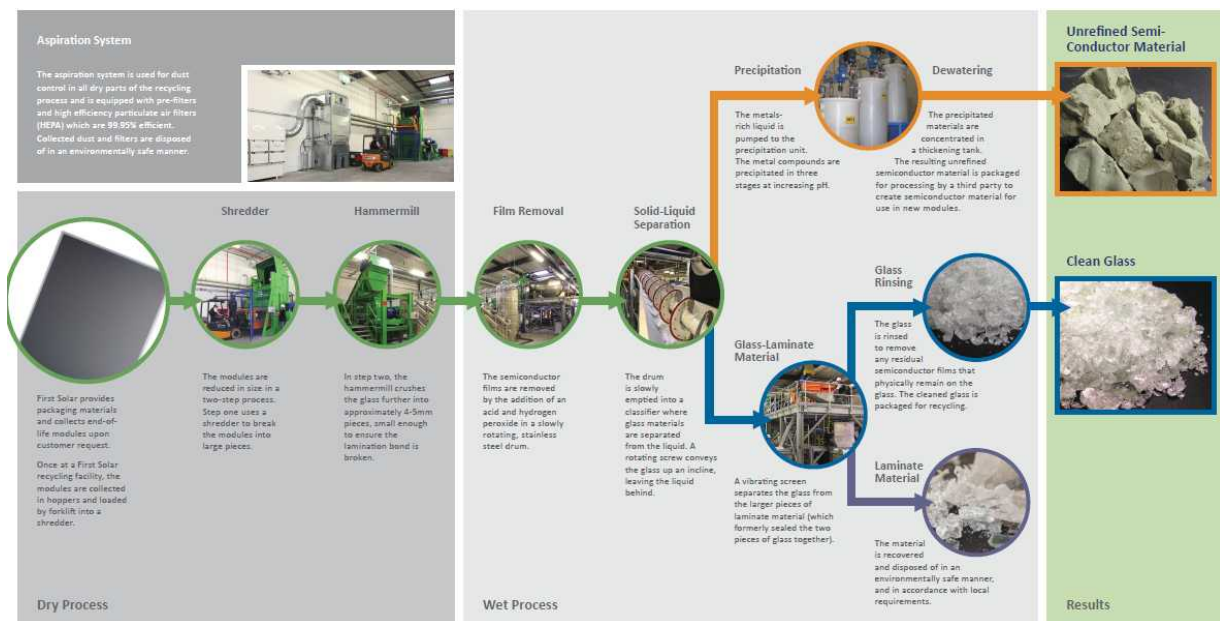


図 1-53 First Solar 社のリサイクルフロー

出典：First Solar 社資料

c. リサイクル・処理実績

First Solar 社のリサイクルプロセスにおけるリサイクル率は、ガラスが 90%、半導体材料が 95% で、全体としてモジュール重量の 90% (大半はガラス) がリサイクルされている。同社によると、同社の新製品においては、半導体材料の 95~98%がリサイクル可能となっている。

現在 First Solar 社は、米国、ドイツ、マレーシアに製造工場を有しており、これら全ての工場にリサイクル設備を備えている。米国工場においては、製造工程で発生するスクラップを含め、毎年約 1,600~1,800 トンがリサイクル処理されている。同社によると、リサイクル処理量は毎年 10~15%の成長率で増加している⁴⁹。

d. 今後の課題

First Solar 社の今後の課題としては、海外市場における各種規制への対応が挙げられている。現在米国では、太陽電池モジュールのリサイクルに係る連邦レベルの規制は存在しないが、欧州の WEEE 指令や、その他各国における拡大生産者責任の要求等に対応し、海外市場における販売事業への影響を抑える必要がある。

また、効率的なリサイクルシステムの構築に向けて、PV CYCLE 等、関連団体との連携を進める必要があるとしている⁵⁰。

⁴⁹ First Solar 社へのヒアリング調査より。

⁵⁰ First Solar 社へのヒアリング調査より。

5) その他のリサイクルに係る取組事例

a. Deutsche Solar AG 社の取組^{51,52}

Deutsche Solar AG 社（2002 年に Deutsche Solar GmbH から社名変更）は、結晶系シリコン太陽電池用の単結晶及び多結晶ウェハのメーカーであり、SolarWorld AG の 100%子会社である。2006 年には 220MW 程度のウェハ生産量が、2009 年時に 750MW、2011 年には 1GW まで増加し、現在は世界最大規模の単結晶及び多結晶ウェハのメーカーの一つとなっている。

同社は Solar Material というビジネス部門を 2001 年に設立し、2003 年から PV モジュールリサイクルのパイロットプラントを建設し、2006 年から外部の顧客に対してリサイクルサービスを提供している。回収対象は、シリコンを含む製品（シリコン PV モジュールを含む）であり、半導体や太陽電池パネルの製造部門や他の産業部門の副産物など、様々な起源のシリコン材料を回収、精製、リサイクルしている。

リサイクルに使用される大規模な機械の導入により、異なる材料を機械的、化学的、熱的处理による加工が可能となり、高レベルの柔軟性と製品の多様性を提供している。PV シリコンや半導体シリコンウェハ、シリコンセル、ソーラーパネルのリサイクルにあたっては、DIN ISO 9001 及び DIN ISO 14001 規格を満たしている。

Solar Material によるシリコンのリサイクル方法は以下のとおりである。

表 Deutsche Solar AG 社 Solar Material によるシリコンのリサイクル方法

phase	リサイクル方法
1	PV モジュールからアルミ枠等を取り外す。
2	600°C程度で数時間加熱し EVA を熱分解して、ガラス、PV セル(割れていることが多い)、バックシート等に分離する。
3	PV セルから手作業でインターコネクタ(PV セル間をつなぐ金属電極)等を外す。
4	3 回エッチングを行い、PV セルの表面電極・裏面電極、表面の反射防止膜、エミッタ層を取り去り、基板部分(Base)のみにする。
5	割れていない基板部分はそのままウェハとして再利用する。
6	割れているものについては粉砕する。
7	粉砕されたものを溶融し、多結晶用のインゴットとして固化させる。
8	多結晶用のインゴットから、太陽電池用ウェハ(厚さ 180~200 μ m)を切り出す。

b. Brookhaven National Laboratory (BNL) の取組^{53,54,55}

Brookhaven National Laboratory は、1947 年ニューヨーク州 Brookhaven Town に設立された、米

⁵¹ Deutsche Solar GmbH HP(<http://www.deutschesolar.de/>)

⁵² 経済産業省「住宅用太陽光発電システムの普及促進に係る調査（H22 年度）」

⁵³ Brookhaven National Laboratory HP(<http://www.bnl.gov/world/>)

⁵⁴ Photovoltaics Recycling Scoping Workshop(<http://www.bnl.gov/pv/prsWorkshop.asp>)

⁵⁵ Photovoltaic Environmental Research Assistance Center(<http://www.bnl.gov/pv/>)

国の国立研究所である。エネルギー省が出資しており、数多くのノーベル賞受賞者を輩出している。PV 環境研究支援センターは、PV コミュニティーに焦点を当てた環境健康安全に関する情報を提供するため、設立されたものである。

2009 年 11 月にフィラデルフィアで開催された「Photovoltaics Recycling Scoping Workshop」においては、各団体、企業から PV リサイクルに関して以下の発表がなされ、各国の PV モジュール廃棄予測（「PV モジュールの自主的回収スキームと産業リサイクル（SolarWorld）」や、PV リサイクルの課題としてリサイクルコストや材料の入手可能性、環境影響（「PV リサイクルと持続可能性（BNL）」）等について議論されている。

- ・ PV CYCLE の回収及びリサイクルシステムについて（PV CYCLE）
- ・ First Solar 社のモジュールの回収・リサイクルプログラムの概要（First Solar）
- ・ PV モジュールの自主的回収スキームと産業リサイクル（SolarWorld）
- ・ CdTePV 材から半導体材の湿式リサイクル（First Solar）
- ・ PV リサイクルと持続可能性（BNL）
- ・ PV リサイクルコストと収益の最適化モデル（BNL）
- ・ アメリカにおける PV リサイクル：既存モデルの調査（PV Recycling）

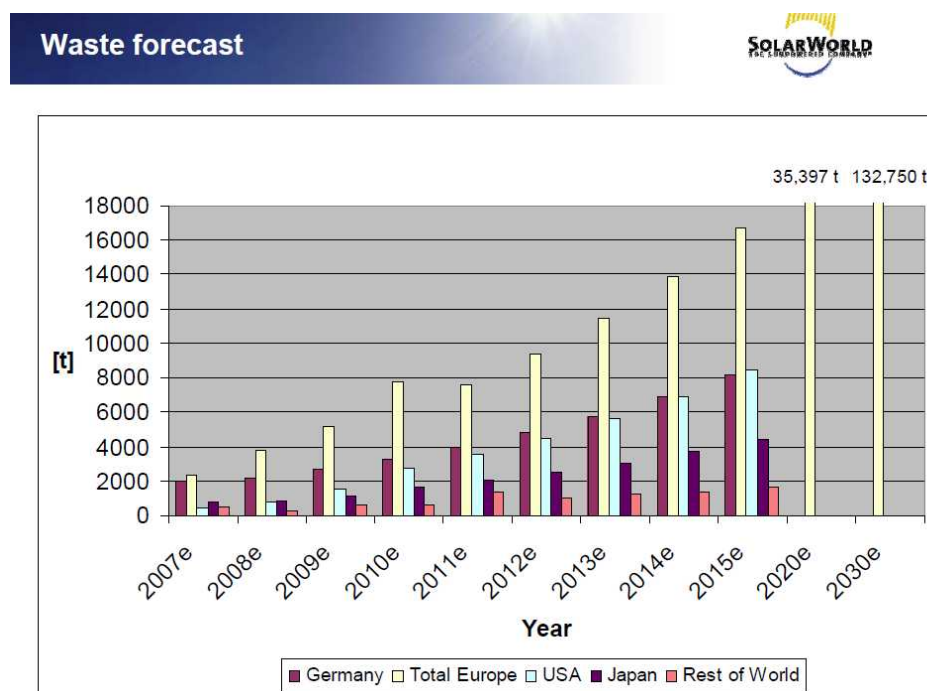


図 「PV モジュールの自主的回収スキームと産業リサイクル(SolarWorld)」における各国の PV モジュール廃棄予測

また BNL では、PV リサイクルに関して以下のような様々な研究が行われている。CdTe PV リサイクルコストモデルによると、CdTe PV モジュールの回収にかかるコストは約 3.92USD であるが、回収後の Te の価値は 36 セントとなっている。

- ・ PV リサイクリング基盤の費用最適化数学モデル
 - ロケーションの最適化
 - 収益の最大化
- ・ 潜在ハザードの概観：各 PV モジュールの成分、毒性分析

- ・ CdTe PV：現状と EHS リスク
 - 現状
 - 生産
 - 大規模生産
 - 利用
 - 廃棄
- ・ 薄膜フィルム PV 材の初期と二次供給源についての長期予測～PV リサイクルと持続可能性について

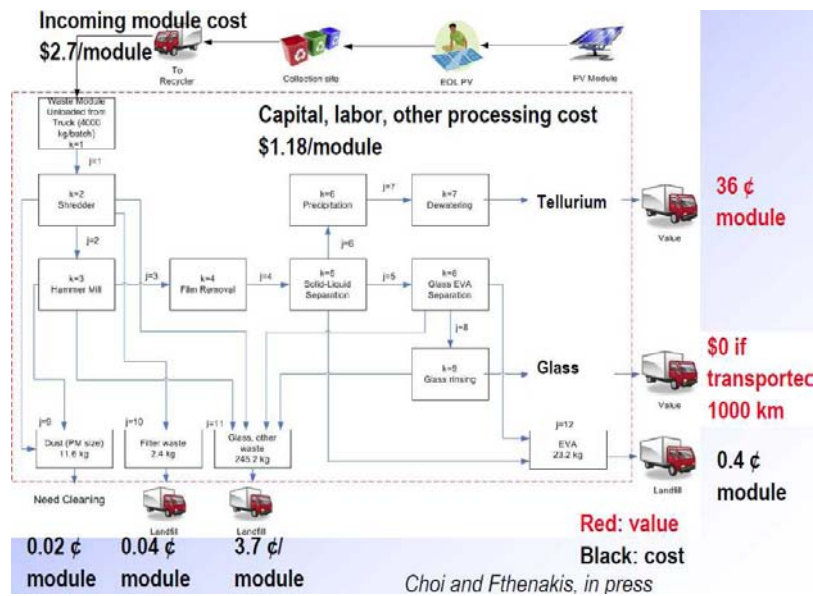


図 CdTe PV リサイクルコストモデル

c. RESOLVED の取組

RESOLVED (Recovery of Solar Valuable Materials, Enrichment and Decontamination) は 2004 年 10 月 1 日から 2007 年 9 月 30 日まで行われた、EU-programme LIFE-Environment のプロジェクトである。総予算は約 115 万ユーロで、パートナーの LIFE-Environment、BAM、First Solar GmbH、Deutsche Solar AG、Utrecht 大学、Miskolc 大学とともに、PV 薄膜モジュール (CdTe 及び CIS モジュール) の持続可能なリサイクルについて実証を行っている。

本プロジェクトでは、二種類のモジュール (壊れたモジュールとガラス部分無傷のモジュール) のリサイクルについて、以下の実証がされている。

種類	処理方法
下図右のサークル (壊れたモジュール)	壊れたモジュールを粉砕し、バッチミキサーで半導体からガラスを除去する。処理後に、ガラス、半導体、EVA フィルムの混合物をふるいにかけて洗浄する。フィルム分離後に、ガラスと EVA で構成された大型粒子はガラスリサイクルに回される。半導体とガラス粉末を含めた 150mm 以下の破片は、湿式処理にて分離される。
下図左のサークル (ガラス部分無傷のモジュール)	まずは加熱加工を行う。熱の影響により、モジュール合成物はフロントガラスとバックガラス (保護ガラス) に分離される。薄膜と半導体で被膜されているフロントガラスは、次の工程で除去され、バックガラスはそのままガラスリサイクルに回される。貴重な半導体層はサンドブラストによりガラスから分離されるが、いくつかの噴射剤は経済的・技術的に比較を行う予定である。密度や硬度、粒子サイズ、ガラス切断の質と量は、次の工程である湿式処理に大きな影響を与える。除去済みのガラスは、保護ガラスと一緒にリサ

	イクルされる。
半導体の濃縮(湿式処理)	前のプロセスで得られた、素材は、湿式処理にて分離される。湿式処理では分離された半導体を濃縮するが、微細なガラスくずなどの不純物が残っている。このため、別の湿式浮遊選鉱処理よりさらに純度を高める。 浮遊選鉱を最適化するため、添加剤を加えることにより、ガラスは沈殿し貴重な原料が泡に集まる。この方法で集められた貴重な原料は、新たなモジュールの生産に使用される。

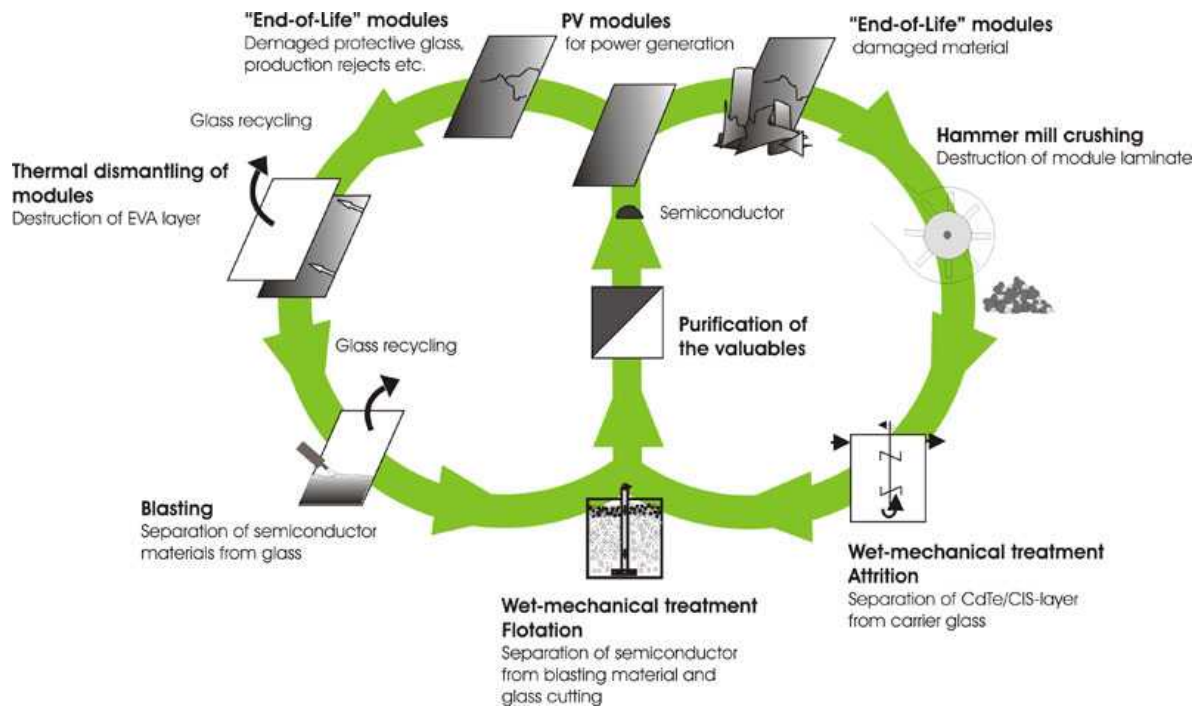


図 二種類のモジュールのリサイクルプロセス

RESOLVED プロジェクトの目標は、PV 薄膜モジュールから半導体素子を回収することであり、全ての工程で実現可能性が実証された。濃縮された貴重な原料は、湿式化学処理により精製可能であり、精製された金属カドミウム及びテルルは新しいモジュールの生産に十分使用できる品質であることが示された。今後は、摩擦後の洗浄工程の改善や浮遊選鉱処理の向上に関する研究開発が必要である。

1.2.2 太陽熱利用設備

(1) 設備導入量

図 1-54 に太陽熱利用設備の単年度導入容量の推移を示す。世界における太陽熱集熱器の導入量は年々成長を続けており、REN21「Renewables 2012 Global Status Report」によると、2011 年までの太陽熱利用システムの導入量は 232GWh（プール用の非ガラス管式システムを除く）に達している。国別にみると、中国が市場をけん引しており、2 位の欧州を大きく引き離している。2010 年の新規設備容量に占める中国の割合は 81%で、累積設備容量においても 64%と大きな割合を占めている⁵⁶。

現在導入されている太陽熱利用設備のほとんどは温水用に利用されているが、欧州では太陽熱暖房・冷房が普及し始めている。

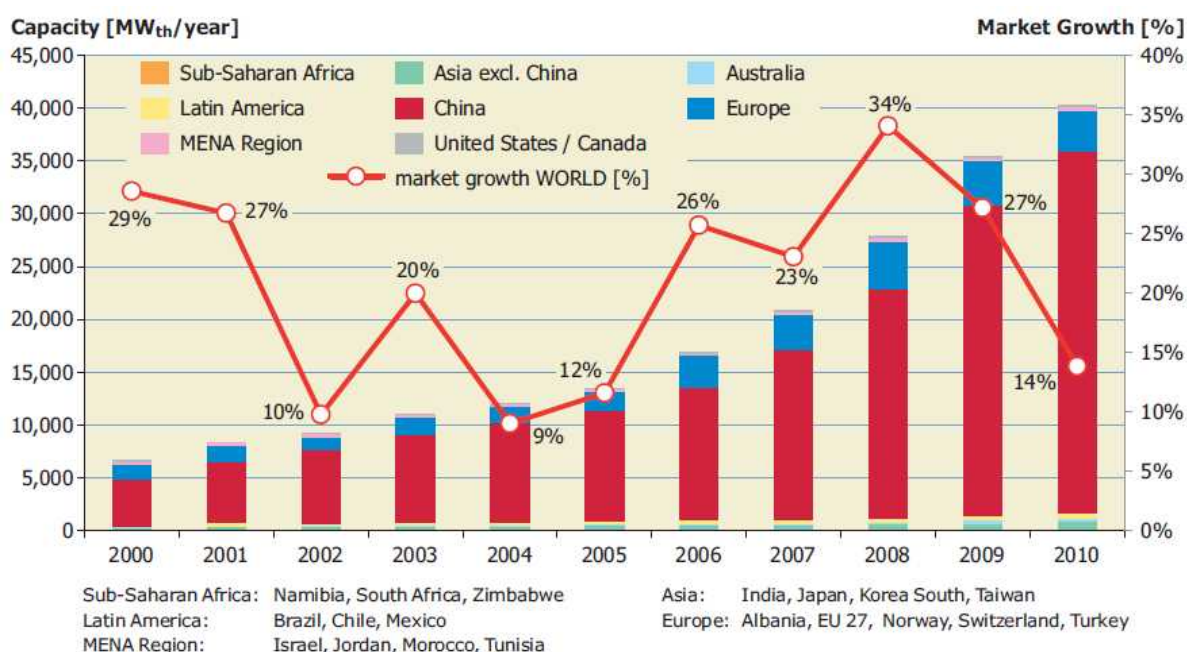


図 1-54 太陽熱利用設備の単年度導入容量の推移

出典：“Solar Heat Worldwide Markets and Contribution to the Energy Supply 2010”（2012, IEA）

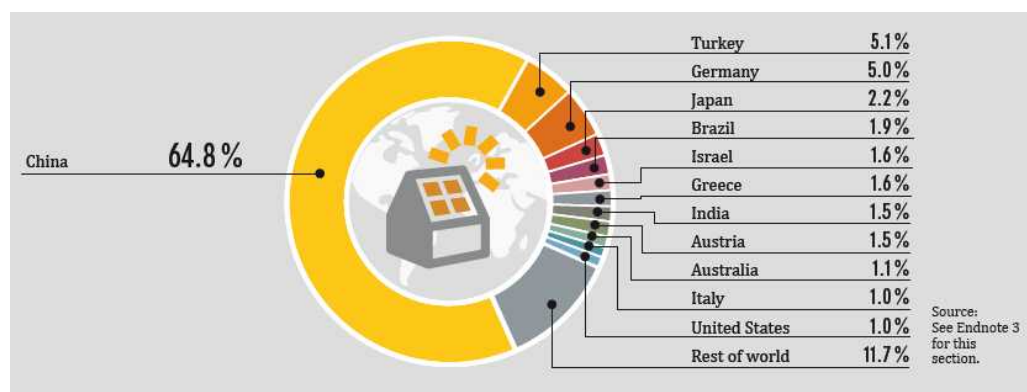


図 太陽熱利用設備の累積導入容量の国別内訳（2010 年時点）

出典：“Renewables 2012 Global Status Report”（2012, REN21）

⁵⁶“Renewables 2012 Global Status Report”（2012, REN21）

(2) リユース・リサイクル状況

海外の太陽熱利用設備のリユース・リサイクルに関する取組み動向については、公開資料より具体的な情報は得られていない。しかしながら、図 1-54 に示したとおり世界における導入量は年々拡大しており、将来的には太陽熱利用設備の廃棄量の増加に伴い、リユース・リサイクルに係る取組みが検討されることが予想される。

1.2.3 風力発電設備

(1) 設備導入量

世界の風力発電累積導入量の推移を図 1-55 に示す。過去 10 年間、堅調な伸びを見せており、GWEC（世界風力発電協会）の発表では、2011 年末までの累積導入量は 238GW に達している。

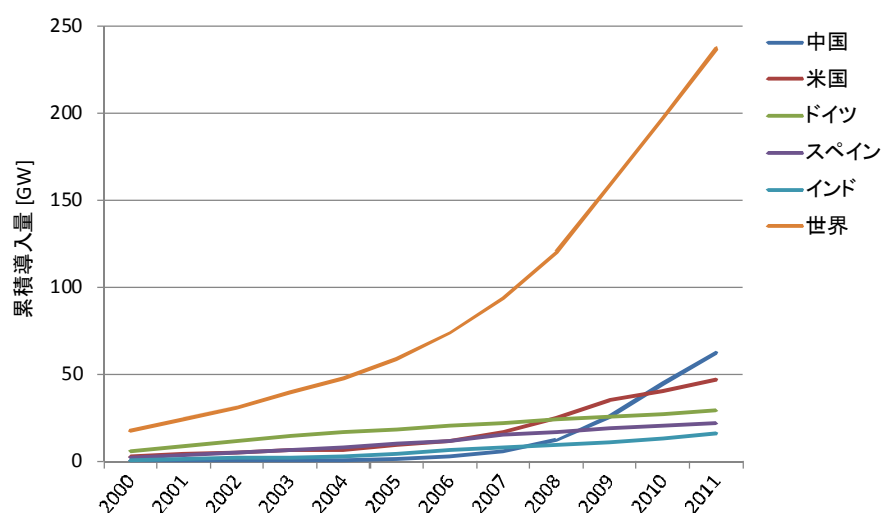


図 1-55 世界および主要国における風力発電累積導入量の推移

出典）“Global Wind Report 2011”（2012, GWEC）より作成

(2) リユース・リサイクル状況

1) リユースの状況

ヨーロッパでは、風力発電設備のリユース・リサイクルが行われている。その理由としては、十分な量の同じタイプの機種が確保できること、どこにどのような風力発電設備が設置されているかが分かっていること、新品・中古品のメンテナンス業者がいることが挙げられる。ヨーロッパでは、農家が風車を導入するケースが多いが、個人で 2MW クラスの風車に億単位の出資をすることは難しいため、中古の安い風車のニーズがあり、200～600kW クラスの小型の風力発電設備が中古市場に出回っている。主にデンマークやドイツに個人向けの中古品マーケットがある。

背景は異なるが、アメリカでも中古市場は成立している。アメリカの場合、数百 MW クラスのウィンドファームの建設が一般的であり、一つのサイトに何百台もの風車が設置されるため、メンテナンスのみで事業が成立する。この場合メーカーが風車の設置だけではなく、O&M も含めた長期契約を結び、メンテナンスを行っているケースが多い⁵⁷。

⁵⁷ 事業者へのヒアリング調査より。

2) リサイクルの状況

海外においては、風力発電を構成する主要部材のうち、リサイクルや廃棄処分の難しいガラス繊維強化プラスチック（FRP）が用いられているブレードに関する検討が多く成されている。

ドイツ風力エネルギー研究所（DEWI）の報告によると、世界における直近のブレード廃棄量は小さいが、2020 年以降廃棄量は増加し、2034 年までに最大で約 22.5 万トンのブレードが廃棄される（リサイクルの対象となる）と予測されている。

しかしながら、FRP のリサイクルについては、一定量の廃棄量が見込まれない場合、リサイクル事業の成立は困難とする見方が多い。デンマーク工科大学は、現時点の風力発電設備の廃棄量は少ないため、ファイナンス的観点からみるとリサイクルは難しく、商業上の実現可能性はないとしている。ECRC（European Composite Recycling Company）も同様の意見であり、廃棄量が毎週何百トンというレベルであれば回収処理してセメント製造等に利用できるが、年間何十トンという現状では難しいとしている。また NaREC（National Renewable Energy Centre（英国））は、ガラス強化繊維プラスチックの粉碎時に多くのエネルギーを消費する課題に触れ、リサイクル技術の改善が課題になるとしている⁵⁸。

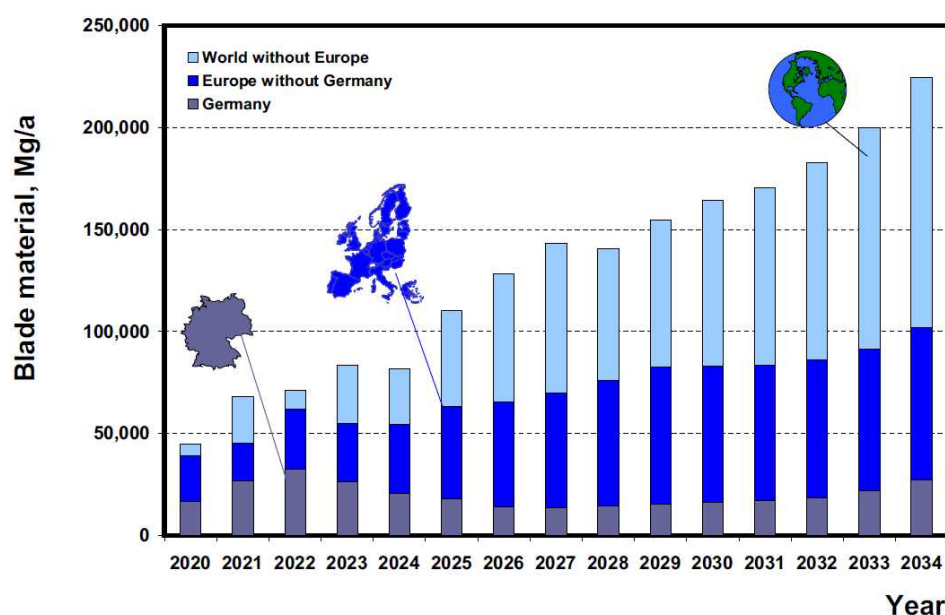


図 世界全体のブレード廃棄量の将来推計

出典）“Recycling of Wind Turbine Rotor Blades – Fact or Fiction?”（DEWI Magazine No.34, Feb.2009）

現時点の処理方法としては以下の 3 つが挙げられ、それぞれのメリット、デメリットが示されている。

表 1-17 ブレードの処理方法の特徴と課題

処理方法	メリット	デメリット	備考
埋め立て	- 工事が簡単である。 - コストが低い。	- 環境に影響がある。 - リサイクル可能な成分が無駄になる。	- 埋立量削減努力を行っている国においては、埋め立ては減少する。 - ドイツでは、GRP（ガラス繊維補強プラスチック）に含まれる合成樹脂等の成分が高いため

⁵⁸ Renewable Energy Focus “Recycling wind” (31th Jan 2009)

			(30%) ため、2005 年 6 月に GRP の埋め立て処理を禁止した。
焼却	・ CHP (combined heat and power) により、焼却で得た熱を発電や地域ヒーティングシステムに利用できる。	・ 60%程度が焼却後灰になるが、汚染物質を含む可能性がある。 ・ 焼却灰の成分により、埋め立てか、建築マテリアルリサイクルが行われるが、燃焼により有害可燃ガスの排出の恐れがある。	・ 焼却は、2009 年時点で最も一般的な処理方法となっている。
リサイクル	・ 資源の再利用が可能である	・ コストが高い。 ・ 現段階ではリサイクル手法が少ない。 ・ リサイクル率が低い (新しい FRP の製造に使用できるのは、回収された FRP の内 30%程度である。その他の部分は、接合産業の溶加材として使用される。なお、REACT プロジェクトでは FRP のリサイクルについて研究を行っている)。	・ リサイクルは、主に「マテリアルリサイクル(成分リサイクル)」、「製品リサイクル(古いタービンを新しい高効率のタービンに変更する等)」の 2 つである。

出典) Renewable Energy Focus “Recycling wind” (31th Jan 2009)