太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書

使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する検討会

目 次

0. 検討概要 2

1. 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する検討 7

1.1 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する調査と現状分析 7
1.1.1 使用済太陽光発電設備のフロー 7
1.1.2 リサイクル技術 11
1.1.3 リユース・環境配慮設計 19
1.1.4 資源価値・有害性 25
1.1.5 排出見込量と地域偏在性 30
1.1.6 リサイクルシステムの経済性 33
1.1.7 現行制度における取扱い 37
1.1.8 海外動向 40
1.2 現状分析を踏まえた今後の方向性 49
1.2.1 製品特性や排出実態を踏まえた対策メニューの検討 49
1.2.2 リサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップ 54

2. 太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する検討 58

2.1 太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する調査と現状分析 58
2.1.1 太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する調査 58
2.1.2 使用済太陽熱利用システムの取扱実態の把握 59
2.1.3 使用済太陽熱利用システムの撤去から処分までのフロー 61
2.2 現状分析を踏まえた今後の方向性 62
2.2.1 適正処分の担保 62
2.2.2 リサイクル 62
2.2.3 排出者責任・製造者責任 62

3. 風力発電設備の撤去・運搬・処理に関する検討 63

3.1 風力発電設備の撤去・運搬・処理に関する調査と現状分析 63
3.1.1 風力発電設備の概要 63
3.1.2 風車の導入・廃棄実績 64
3.1.3 風車のリユース市場の動向 65
3.1.4 風車の素材構成 66
3.1.5 風車の撤去・運搬・処理のコスト 67
3.1.6 風車のリユース・リサイクル・処分の実態 68
3.2 現状分析を踏まえた今後の方向性 69
3.2.1 リユース 69
3.2.2 リサイクル 70
3.2.3 適正処分の担保 70

0. 検討概要

(1) 検討の目的

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 年代中頃）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一方､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。

このため、有識者や関係事業者等で構成される検討会及びワーキンググループを開催し、使用済再生可能エネルギー設備の撤去、運搬、リユース・リサイクル及び適正処分までの一連の工程に関する試験、調査検討、モデル事業等を通じて、再生可能エネルギーの大量導入を支える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、将来の社会システムの構築に向けて必要な知見を得た。

(2) 検討内容

本検討会において実施した調査・検討内容は以下のとおりである。

平成26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・適正処分に関する検討会　実施内容

昨年度得られた知見

太陽光発電設備

①素材構成調査・含有量試験・溶出試験の実施
- 含有量試験より、有用物質として電極材料に銀が数万ppmオーダーで含有。結晶系のモジュールで総じて濃度が高い傾向。
- 製造年代別では、製造年次の古い製品は銀の濃度が総じて高く、製造年次の新しい製品は濃度のばらつきが大きい傾向。
- 溶出試験より、結晶系のモジュールの一部で鉛、化合物系のモジュールでセレン、カドミウムの溶出を確認。

②撤去から処分までのフローの現状把握
- 現状は太陽光発電設備メーカーから生産不良等として排出されるルートが主。
  - ⇒ 中間処理業者等に引き渡し、銀等の有用資源を回収（有価の場合あり）。
  - ⇒ 建物解体業者・施工業者からの排出は少ない。
  - ⇒ 従来の産業廃棄物処理の流れの中で処分。
- 将来的な排出量の増加による排出ルートの変化の検討が今後の課題。

③リサイクルに関する海外動向調査の実施
- 2012年8月に発効した改正欧州WEEE指令において太陽電池モジュールが対象製品に追加。
- WEEE指令改正を受けて、加盟各国における国内法化が進められているところ。
- PV CYCLEでは、WEEE指令の改正以前の2010年より、欧州域内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を運営。2012年からは、会費とは別に、回収・リサイクルサービスに対して支払う“Contribution Fee”の徴収を開始。

太陽熱利用システム

- 鉄等の単一素材で構成される部品が支配的で、一定の資源価値を有する。
- 有害性が懸念される物質の使用はあるが、汎用的な用途が主。
- 施工業者や建物解体業者からの排出が主。その他の排出物と同様に従来の金属リサイクル・産業廃棄物処理の流れの中で取り扱われているケースが多い。

風力発電設備

- 鉄や銅、アルミ、コンクリートが主たる構成材料。ブレードにはGFRPが、永久磁石式発電機を用いた風車にはネオジム、ジスプロシウムが使用。
- 主要構成材料には既存リサイクルルートが存在。リサイクル・適正処理の観点からはGFRP、永久磁石、油、重金属に注視。
- 中古風車や部品へのニーズはあるものの、機種が多様性に富み、市場を形成するに十分な流通量がないため、国内の中古市場は顕在化していない。

検討課題

①撤去・運搬・処理の実態を踏まえた更なる検討
- 製品特性、製品流通特性、社会システム、技術、経済性等の実態整理

②将来の排出見込量と地域偏在性の分析
- 将来の排出見込量、最終処分量を地域毎に推計

③モデル事業やシミュレーション等による費用対効果分析
- 複数のオプションによる費用対効果分析を実施

④リサイクル方法等を踏まえた環境配慮設計の必要性検討
- メーカーの取組状況の把握と必要性検討

- 撤去・運搬・処理に関するフローの更なる解明（退蔵品、フローの変化）

- 風車の廃棄に関する更なる事例の蓄積

本年度の実施内容

1. 資源価値・有害性評価

①試験方法・結果の妥当性検討
- 海外の試験方法等のレビュー
- 溶出寄与度の分析
- 処分方法を踏まえた、試験方法や分析結果の評価の妥当性検討

②含有量・溶出試験の実施
- 昨年度の試験結果を踏まえた試験計画策定
- 含有量・溶出試験の実施

2. 使用済太陽光発電設備のフロー調査

- ゼネコンへのアンケート調査
- リユース・輸出関連事業者等へのヒアリング調査
- フローの更新、将来のフロー変化の検討

3. 技術導入可能性調査

- リサイクル技術の開発動向の整理（ヒアリング調査）
- リサイクル技術の段階的な導入イメージの検討

4. 将来の排出見込量と地域偏在性の分析

- 住宅用・非住宅用別、都道府県別導入実績の整理
- 日本全体・都道府県別の排出見込量推計（複数ケース）
- 受入可能量の推定
- 地域毎の排出見込量と地域毎の受入可能量の比較

NEDO「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」（H26～30年度）との連携

環境配慮設計に関する検討

- メーカーの環境配慮設計への取組状況
- 環境配慮設計の対応可能性検討

太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する調査

①消費者における太陽熱利用システムの取扱実態調査
- 消費者向けアンケート調査（退蔵の実態、廃棄意向等）

②太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する調査
- 施工業者、中間処理業者・金属スクラップ業者、メーカー等へのヒアリング調査

風力発電設備の撤去・運搬・処理に関する調査

①リユース事例調査
- 発電事業者等へのアンケート・ヒアリング調査

②リサイクル・処分事例調査
- 発電事業者・自治体・リサイクル事業者等へのアンケート・ヒアリング調査

③廃棄・リサイクルコスト調査
- 発電事業者・自治体等へのアンケート・ヒアリング調査

5. 撤去・運搬・処理に関するモデル事業及び費用対効果分析等の実施

①モデル事業
- モジュールの運搬、リサイクル業者（3社）での処理の実施→コストデータ等の収集

②費用対効果分析
- モジュールの回収・処理に要する費用の試算（複数ケースについてシミュレーション）
- 直接的・間接的な便益情報の整理と費用対効果分析の実施

太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理の在り方検討

- 資源価値・含有有害物質・市場流通特性を踏まえた撤去・運搬・処理の在り方の検討

風力発電設備の撤去・運搬・処理に関する調査

- 風車導入を検討中の事業者が風力発電設備のリユース・リサイクル・廃棄に要する費用を見積もるための参考資料等の検討・作成

製品特性（資源価値・有害性）

製品の排出実態（排出量、フロー）

技術の現状・開発動向

回収・リサイクルの経済性

環境配慮設計の有用性

6. 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する制度面からの検討

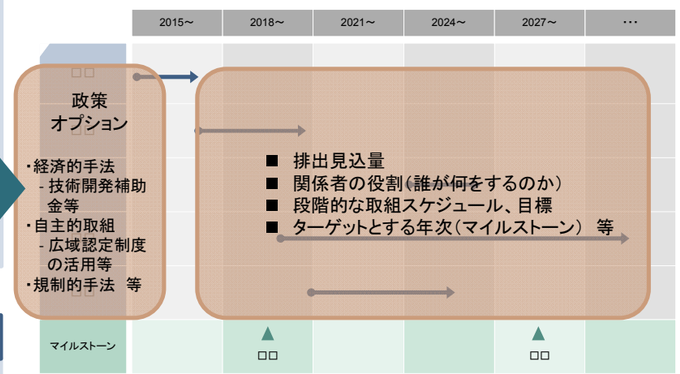
6．1　現行制度における課題の整理
- 我が国の制度面（廃棄物処理法、建設リサイクル法等）の課題抽出
- 欧州WEEE指令に基づく各国の対応状況等の把握（海外現地調査含む）

6．2　製品特性や排出実態等を踏まえたオプションの検討
- 費用負担・処理責任の観点から、リサイクルをはじめとする適正処理を担保するオプションの検討（製造者不在への対応を含む）
- 各オプションのメリット・デメリット等の整理

オプション検討の視点（例）

適正処分の担保	不法投棄防止、最終処分場での適正管理、適正処理困難物への対応　等
リサイクルの実施	事業性を踏まえた回収・リサイクル体制の構築、リサイクル技術の開発、リユース・二次利用の推進　等
製造者等の責任	費用負担・処理責任、環境配慮設計、製造者不在への対応　等

◎検討ロードマップ（イメージ）



7. リサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップの作成

- 今後のリサイクルを含む適正処理の推進に向けて、関係者間の役割、段階的な取組スケジュール、ターゲット年次等を整理した検討ロードマップの作成

(3) 検討体制と検討経過

本年度は、以下に示す検討会と検討会の下に 2 つのワーキンググループを設置して検討を実施した。

・平成２６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・適正処分に関する検討会
　－フロー・経済性検討ワーキンググループ
　－リサイクル特性検討ワーキンググループ

検討会及びワーキンググループの検討体制及び検討経過は以下のとおりである。

（○は座長）

＜検討会＞

○細田　衛士　　慶應義塾大学経済学部　教授
　大和田秀二　　早稲田大学創造理工学部　教授
　酒井　伸一　　京都大学環境科学センター　教授
　手塚　一郎　　清和大学法学部　専任講師
　長沢　伸也　　早稲田大学大学院商学研究科　教授
　中村　崇　　東北大学多元物質科学研究所　教授
　村上　進亮　　東京大学大学院工学系研究科　准教授
※オブザーバ：独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、一般社団法人太陽光発電協会、一般社団法人ソーラーシステム振興協会、ガラス再資源化協議会

＜フロー・経済性検討ワーキンググループ＞

○村上　進亮　　東京大学大学院工学系研究科　准教授
　飯塚　敦　　一般社団法人太陽光発電協会　適正処理・リサイクル研究会　リーダ
　井田　淳　　川崎市環境局地球環境推進室担当課長
　出野　政雄　　公益社団法人全国解体工事業連合会　専務理事
　芋生　誠　　鹿島建設株式会社　環境本部　専任役
　加藤　聡　　ガラス再資源化協議会　代表幹事
　鈴木　伸一　　一般社団法人太陽光発電協会　事務局長
　高取　美樹　　リサイクルテック・ジャパン株式会社　代表取締役社長
　田中　良　　株式会社 NTT ファシリティーズソーラープロジェクト本部部長／ゼネラルアドバイザー
　蜷川　太郎　　積水化学工業株式会社　住宅カンパニー　技術・ＣＳ部　設計・生産・施工部　安全・環境・コンプライアンスグループ　担当部長

＜リサイクル特性検討ワーキンググループ＞

○酒井　伸一　　京都大学環境科学センター教授
　梶原　夏子　　独立行政法人国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター主任研究員

加藤　聡　　ガラス再資源化協議会　代表幹事
豊口　敏之　　株式会社環境管理センター　執行役員
百武　康仁　　一般社団法人太陽光発電協会　適正処理・リサイクル研究会
藤崎　克己　　一般社団法人太陽光発電協会　適正処理・リサイクル研究会
　　サブリーダ

＜事務局＞　株式会社三菱総合研究所（以下「MRI」）

表 0-1　検討会の検討経過

	時期	検討内容
第 1 回	平成 26 年 8 月 20 日（水） 10：00～12：00	● 検討会の設置趣旨について ● 再生可能エネルギー設備の導入等の状況について ● 本年度調査の実施内容について ● 経済産業省・NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）調査について
第 2 回	平成 27 年 2 月 27 日（金） 10：00～12：30	● 第 1 回検討会での指摘事項と対応方針について ● フロー・経済性 WG、リサイクル特性 WG での検討結果報告 ● 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する制度面からの検討について ● 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理の在り方のオプション及びリサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップの検討について ● 太陽熱利用システム、風力発電設備等の調査結果について
第 3 回	平成 27 年 3 月 26 日（木） 10：00～12：30	● 第 2 回検討会での指摘事項と対応方針について ● 検討会報告書（案）について

表 0-2　フロー・経済性検討ワーキンググループの検討経過

	時期	検討内容
第 1 回	平成 26 年 9 月 9 日（火） 10：00～12：00	● フロー・経済性検討ワーキンググループの検討方針について ● 使用済太陽光発電設備のフロー調査等について ● 将来の排出見込量と地域偏在性の分析について ● 撤去・運搬・処理に関するモデル事業及び費用対効果分析等の実施について ● 太陽光発電設備のリユースに関する調査について
第 2 回	平成 26 年 11 月 5 日（水） 13：00～15：00	● 第 1 回ワーキンググループでの指摘事項と対応方針について ● 使用済太陽光発電設備のフロー調査等の進捗状況について ● 将来の排出見込量と地域偏在性の分析の進捗状況について ● 撤去・運搬・処理に関するモデル事業の進捗状況について ● 費用対効果分析等の進捗状況について

	時期	検討内容
		● 太陽光発電設備のリユースに関する調査の進捗状況について ● 環境配慮設計に関する取組状況について
第 3 回	平成 27 年 1 月 20 日（火） 10：00～12：30	● 第２回ワーキンググループでの指摘事項と対応方針について ● 使用済太陽光発電設備のフロー調査結果について ● 将来の排出見込量と地域偏在性の分析結果について ● 撤去・運搬・処理に関するモデル事業の実施結果について ● 費用対効果分析等の実施結果について ● 太陽光発電設備のリユースに関する調査の進捗状況について

表 0-3　リサイクル特性検討ワーキンググループの検討経過

	時期	検討内容
第 1 回	平成 26 年 9 月 30 日（火） 10：00～12：00	● リサイクル特性検討ワーキンググループの検討方針について ● 太陽光発電設備の資源価値･有害性評価に関する昨年度の検討結果について ● 太陽光発電設備の資源価値･有害性評価に関する調査実施方針について ● 試料調整方法に関する予備的検討結果について
第 2 回	平成 26 年 12 月 16 日（火） 10：00～12：00	● 第１回ワーキンググループでの指摘事項と対応方針について ● 標準的な試料調製方法（案）について ● 含有量・溶出試験の実施について ● 使用済太陽光発電設備のリサイクルに伴う環境影響の検討について
第 3 回	平成 27 年 2 月 4 日（水） 10：00～12：00	● 第２回ワーキンググループでの指摘事項と対応方針について ● 標準的な試料調製方法（案）について ● 含有量・溶出試験の結果について ● 使用済太陽光発電設備のリサイクルに伴う環境影響の検討について

1.　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する検討

1.1　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する調査と現状分析

1.1.1　使用済太陽光発電設備のフロー

(1) 使用済太陽光発電設備のリユース・リサイクル・適正処理に係るフロー

- 現状では 、(1)太陽光発電設備メーカールート、(2)建物解体業者ルート、(3)ゼネコン・建設事業者ルート、(4)施工業者ルート、(5)リユース業者ルートの 5 つのルートが考えられる。
- うち、現状では、(1)太陽光発電設備メーカーから排出されるルートが最も発生量が多いと推察される。太陽光発電設備メーカーでは、ある程度の量になるまで保管し、中間処理業者・金属スクラップ業者に引き渡している。引渡しは、太陽電池モジュール中の銀の含有量や銀の相場によって有償にも逆有償にもなる。
  - ✓　非住宅（メガソーラー）については、発電事業者、ゼネコン等の他にも、リース会社や保険会社も設備の排出に関与する可能性がある。
  - ✓　また、設備メーカーも、太陽電池モジュールメーカー以外に、変電設備メーカー等の多様なメーカーが関与する。
- 将来的には資源価格や排出量の増加等によりフローが変わりうる点等に留意が必要である。

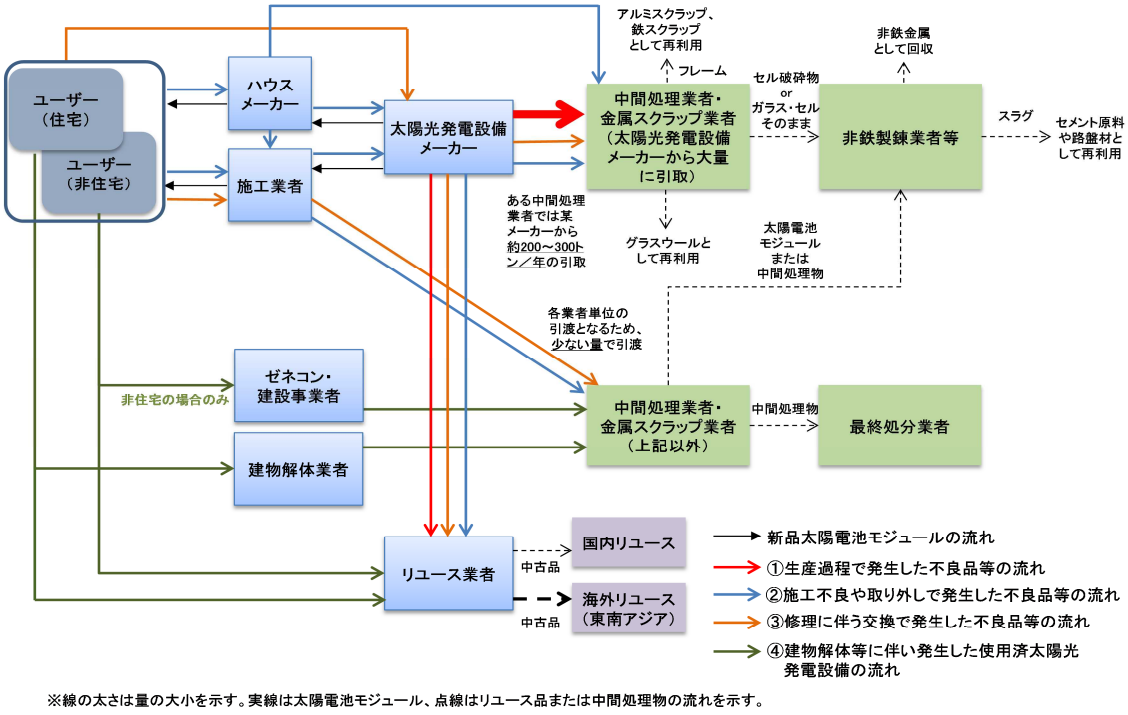


図 1-1　使用済太陽光発電設備のリユース・リサイクル・適正処理に係るフロー
出所）アンケート調査・各種ヒアリング調査等に基づき MRI 作成

(2) 建物解体業者ルート、施工業者ルート

- 建物解体業者から建物解体等に伴い排出されるルートでの排出は、アンケート調査結果から現状かなり少ないと推察される。多くは、建物解体前に撤去され、モジュールのまま、産業廃棄物の中間処理業者等に逆有償で引き渡されているほか、アルミフレームを取り外して金属スクラップ業者に売却する例などが見られる。
- 取り外した施工業者等から排出されるルートでの排出も、アンケート調査結果から現時点ではかなり少ないと推察される。施工業者等が排出するのは、施工不良、製品不良等の理由によりモジュールを取り外す場合で、取り外したモジュールは施行業者等がメーカーに引き渡し、産業廃棄物の中間処理業者等に逆有償で引き渡していると見られる。

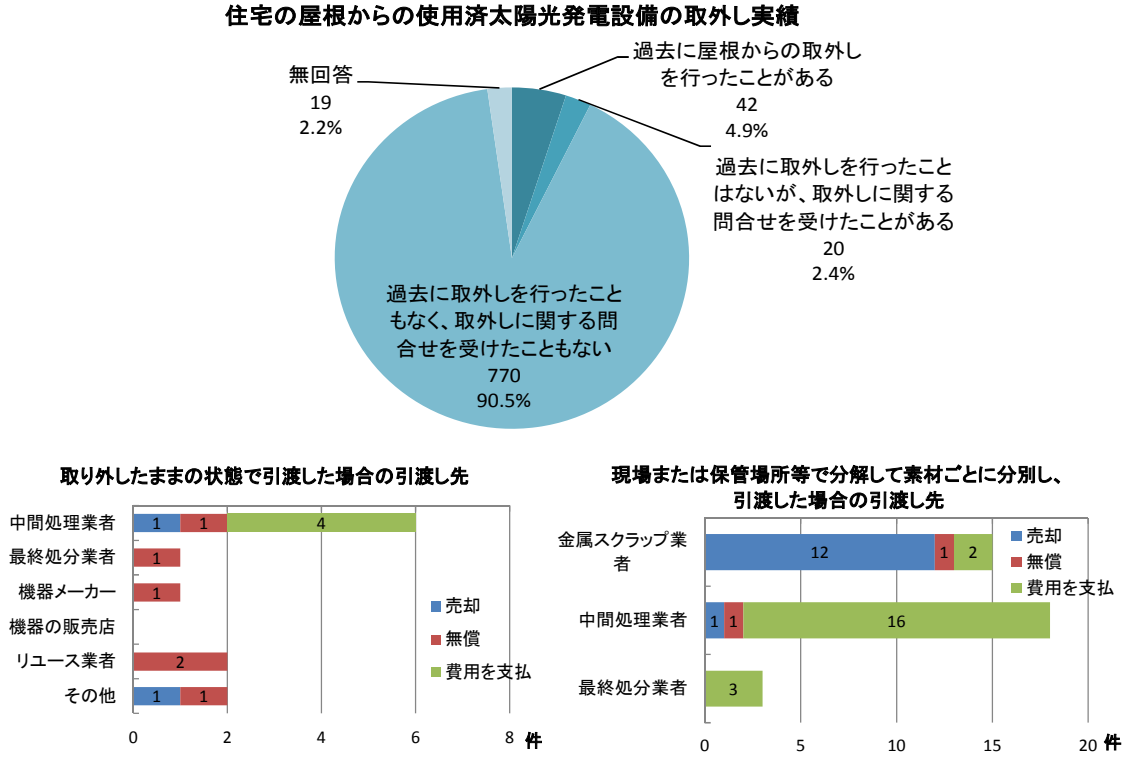


図 1-2　建物解体事業者へのアンケート調査結果

出所）アンケート調査に基づき MRI 作成

(3) ゼネコン・建設事業者ルート

- ゼネコンが設置しているメガソーラー等の大規模な太陽光発電システムの設置実績、及び撤去・廃棄の意向を確認するため、一般社団法人日本建設業連合会の法人会員に対しアンケートを実施した（回答 39 社）。
- メガソーラー等太陽光発電システムを設置したことのある事業者 26 社のうち、修理時に構成部品の交換・取外しを行ったことがある事業者は 10 社（38.5%）。交換・取外しを行った理由としては「故障したため」「自然災害（台風のため）」といった回答が複数見られた。故障した場合（3 件）は全て機器メーカーに無償で引き渡しており、自然災害による破損の場合（3 件）は全て、最終処分業者に処分費用を支払い引渡し

ている。

- メガソーラー等太陽光発電システムの発電事業者 13 社のうち、FIT による買取期間終了後の太陽光発電システムの発電事業予定について、「継続する予定がある」と回答した事業者が 61.5%存在した。
- 現在使用している太陽光発電システム（民間施設）の使用後の措置について、「わからない」と回答した事業者が 46.2%、「廃棄する予定である」と回答した事業者が 30.8%いる。[1]
- 太陽光発電システムの撤去理由について、民間施設に設置している場合 「FIT における買取期間が終了するため」と回答した事業者が 53%いた。
- 太陽光発電システムの建設・設置時に、将来の太陽光発電システムの廃棄費用を見込んでいると回答した企業は 76.9%(10 社)。見込んでいる廃棄費用は、建設費用の 5%と回答した事業者が 9 社、建設費用の 10%程度と回答した事業者が 1 社いた。

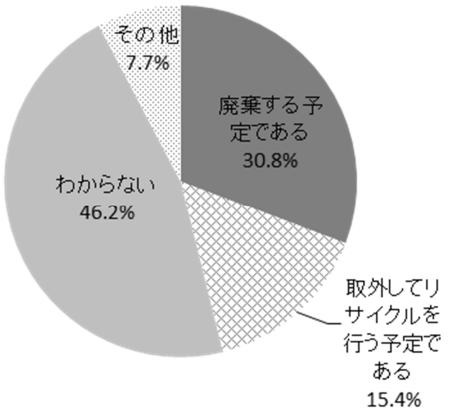


図 1-3　FIT における買取期間終了後の太陽光発電システムの発電事業予定（民間施設）

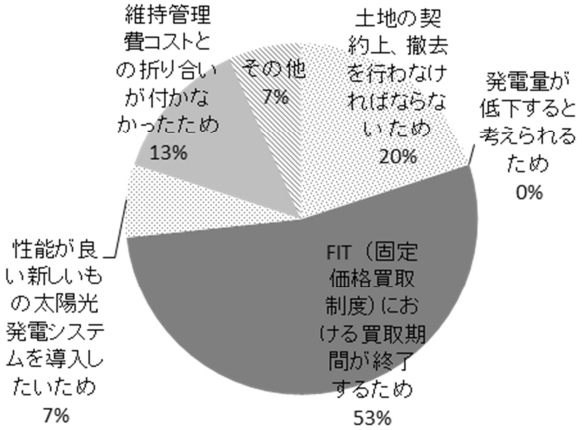


図 1-4　太陽光発電システムを撤去する理由（民間施設）

出所）アンケート調査に基づき MRI 作成

注）廃棄する予定と回答した事業者について、 WG 委員より 21 年目以降の買取について制度やルールが何も決まっていないので最悪の事態を想定して撤去すると言っているのではないか、 太陽電池は劣化の程度が少ないので 21 年目以降も十分運転継続が可能であるはずなので、電源確保の面からも廃棄量抑制(資源活用)の面からも、21 年目以降もこれを有効活用する方策を考えるべき、 との指摘があった。

(4) 使用済太陽光発電設備のフローに関する現状分析

1）主たる排出ルート（メーカーから排出されるルート）

- 現状では、メーカーから排出されるルートが最も多く、メーカーの手元で一定量がまとまるまで保管することで、効率的な運搬・処理が可能となっていると推察される。

[1] 廃棄する予定と回答した事業者について、WG 委員より「21 年目以降の買取について制度やルールが何も決まっていないので最悪の事態を想定して撤去すると言っているのではないか、太陽電池は劣化の程度が少ないので 21 年目以降も十分運転継続が可能であるはずなので、電源確保の面からも廃棄量抑制（資源活用）の面からも、21 年目以降もこれを有効活用する方策を考えるべき。」との指摘があった。

- 太陽電池モジュールの資源価値は現状、ほとんど銀のみで決定しているため、銀の資源価格が下落した場合や銀の含有が少ないモジュールの割合が高まった場合は、現状の処理を続けることが困難となる可能性がある。
- メーカーの手元で一定量がまとめることも踏まえ、メーカーが何らかの形で運搬・処理のスキームに入ることができれば効率的・効果的なシステムの構築が可能ではないか。ただし、このルートによる排出量は初期不良品が主体であり、将来においては使用済み製品の排出量や排出ルートが特定できないため、常に一定量でまとまるとは限らないことに留意する必要がある。

2）その他の排出ルート（建物解体業者や施工業者、建設工事業者等から排出されるルート）

- 住宅用については、施工不良や取り外し、修理交換により排出されるモジュールが、施工業者、ハウスメーカー等へ、建物解体時に排出されるモジュールが建物解体業者へ排出される。このような建物解体業者や施工業者から排出されるルートでは、メーカーが排出するルートと比較すると小規模分散の排出分布を有しており、量が少なく、業者単独で一定量をまとめて確保することが難しい。このため、太陽電池モジュールだけを取り出し、それに最適化された処理が行われるわけではなく、その他の排出物と同様に従来の産業廃棄物処理の流れの中で処分が行われている。
  - 従来の産業廃棄物処理の流れで処理が行われているため、適正処分の観点から問題が顕在化しているわけではないと考えられるが、資源の有効利用の観点からは不十分な取扱いとなっている（リサイクルできるものが最終処分されている）可能性が懸念される。
  - 将来的に一定量の太陽電池モジュールをまとめることができれば、効率的な運搬・処理が可能となり、上述したメーカーと同様の処理を行うことができる可能性がある。
  - ただし、現状の体制では効率的な運搬・処理は難しいため、何らかのシステム構築が必要となるのではないか。
- 非住宅用については、現時点では故障や自然災害等による修理・交換に伴う排出実態がある。発電事業者の立場にあるゼネコンにアンケート調査を実施した結果によれば、FIT の買取期間終了後のモジュール等の取扱いについてはわからないとする事業者が半数近く存在するなど、現時点では廃棄の見通しが十分立っていない状況が窺える。
  - 住宅用と同様に、従来の産業廃棄物処理の流れで処理が行われているものが多いと考えられるが、同一種類のモジュールが一定量まとまって排出するという特性であるため、適正処分の観点から問題が顕在化しているわけではないと考えられるが、資源の有効利用の観点からは不十分な取扱いとなっている（リサイクルできるものが最終処分されている）可能性が懸念される。
- 将来においては寿命到来（使用期間満了）による排出の増加に伴い，上記メーカールートの排出よりもこちらの排出量が圧倒的に多くなると考えられる。
- リユース目的で海外へ輸出されるものも一定量存在する。
- 太陽電池モジュール以外の架台やその他周辺機器（BOS : Balance of System）、基礎などについても従来の産業廃棄物の流れで処理されるものが多いと考えられるが、太陽

電池モジュールとは排出特性が異なる（製品寿命や撤去等の主体が異なる）可能性に留意する必要がある。

3）将来的な排出フローの変化

- 現状における太陽電池モジュールの排出はメーカーからの排出が中心であり、建物解体業者や施工業者からの排出量は相対的に少ない。しかしながら、将来的には全体的な排出量の増加や、建物解体業者や施工業者、建設工事業者等からの排出の相対的な増加等が想定され、現状の処理ルートがこのまま機能するかどうか判断ができない状況にある。また、FIT 制度等の政策動向やユーザーの意向にも排出フローは影響を受ける。
  - 将来的なシステム構築の可能性も視野に入れて、排出フロー毎の将来的な排出見込量の推計や、将来のフローの変化等も推定しながら、排出特性に関して継続的に検討を行う必要があるのではないか。
- ハウスメーカーを中心に販売を進めている屋根材一体型モジュールについて、現時点での排出実績はほとんどないが、将来的には導入量が増えていく可能性がある。
  - 屋根材一体型モジュールの排出特性やリサイクル技術の適用可能性等の観点から、今後の動向について注視していく必要があるのではないか。

1.1.2　リサイクル技術

(1) NEDO 太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト

- NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）では、太陽光発電設備のリサイクル社会の構築に向け、廃棄物の大量発生の回避を低コストに実現する技術として、使用済み太陽光発電システムのうち、分解処理が困難である太陽電池モジュールの低コスト分解処理技術を確立すること、撤去・回収・分別技術などについて課題と対策を検討することを目的とし、平成 26～30 年度の 5 ヶ年で研究開発・調査を実施している。

表 1-1　NEDO 太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト
（平成 26 年度研究開発テーマと採択先）

	研究開発テーマ	採択先
低コスト撤去・回収・選別技術調査	使用済み太陽光発電システムのリサイクル処理を安定的 に実施するための課題調査	イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社 DOWA エコシステム株式会社 一般財団法人 秋田県資源技術開発機構
	廃棄物として排出される太陽電池モジュールの効率的な 回収システム及び、分別に関する調査／検討	萬世リサイクルシステムズ株式会社
低コスト分解処理技術 FS	結晶シリコン太陽電池モジュールのリサイクル技術開発	三菱マテリアル株式会社
	ウェット法による結晶系太陽電池モジュールの高度 リサイクル実用化技術開発	東邦化成株式会社
	結晶シリコン太陽電池の低コスト分解処	株式会社市川環境エンジニアリング

	理技術の 調査／開発	鹿島建設株式会社 株式会社ホンジョー
	可溶化法を用いた使用済み太陽電池からの資源回収 技術の開発	株式会社エヌ・ピー・シー 独立行政法人産業技術総合研究所 株式会社日本スペリア社

出所）NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）ウェブサイト

(2) 使用済太陽電池モジュールの回収・リサイクルモデル事業における技術の概要

- 環境省事業で実施した使用済太陽電池モジュールの回収･リサイクルモデル事業で中間処理を実施する 3 事業者（リサイクルテック・ジャパン株式会社、ハリタ金属株式会社、東芝環境ソリューション株式会社）を対象に技術を整理した。

1) リサイクルテック・ジャパン株式会社

- まず、太陽電池モジュールからアルミフレームを取り外す。アルミフレームを外した太陽電池モジュールを破砕機に通してガラスを破砕･除去する。処理能力は 100t/月。一度の処理で 90%のガラスが除去されるが、この処理を複数回行い、セル・バックシートを剥離するのが特徴である。
- 剥離したセル･バックシートは非鉄精錬業者に販売。ガラスは篩、風力選別で 2.5-5mm と 1.5-2.5mm に区分。

図 1-5　アルミフレーム枠外し機

図 1-6　破砕機

図 1-7　破砕機投入後のモジュール　　図 1-8　ガラス産物の例

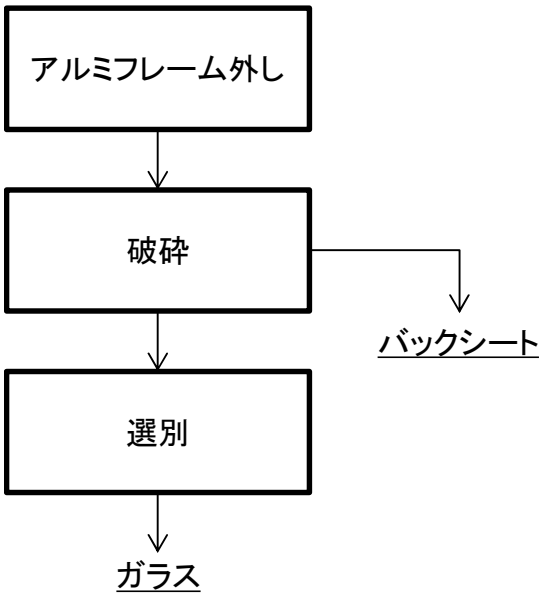


図 1-9　太陽電池モジュール処理ラインの簡易プロセスフロー

2）ハリタ金属株式会社

- 破砕プロセス：20t/h
  - 太陽電池モジュールは全設備屋内型シュレッダーにより破砕される。破砕能力は 20 t／h（太陽電池モジュールを 20kg／枚とすると、1,000 枚／h 破砕できる）であり、太陽電池モジュールの大量処理が可能である。
- 選別プロセス：5～10t/h
  - ふるいにより 8mm オーバー、0.5mm アンダーが取り除かれた後、物質相互の比重差を利用して選別する「湿式比重選別機（RETAC ジグ）」により上層・下層に分離する。

図 1-10　ローダーでシュレッダーに投入

図 1-11　シュレッダーで破砕した後

図 1-12　ふるいで残った 8mm～の屑

図 1-13　湿式比重選別機（RETAC ジグ）で選別

図 1-14 湿式比重選別機（RETAC ジグ）

図 1-15　選別されたガラス（黒の粒子は EVA）

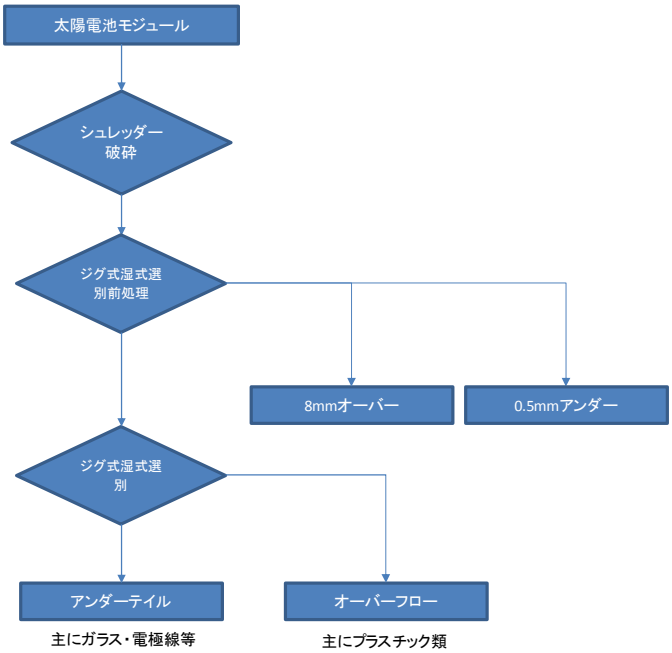


図 1-16　破砕・選別プロセス

※自動車等の他製品もすべて当該シュレッダーによる一律の方法で処理可能であり、鉄・アルミ、非鉄金属を始めとする多様な資源の分別に活用している。

3）東芝環境ソリューション株式会社

- 破砕プロセス（プロセス１）：処理容量 40t/月(モジュール 1 枚あたり 3 分程度)
  - アルミフレーム、電流線、接続箱は手作業の工程により回収物 A として回収する。
  - 太陽電池形成板は、破砕工程によって機械的に破砕されて破砕片となり、回収物 B として回収する。
- 分離プロセス（プロセス２）：処理容量 30t/月（モジュール 1 枚あたり 15 分程度）
  - アルミフレーム、電流線、接続箱は手作業の工程により回収物 A として回収する。
  - 太陽電池形成板は、分離工程によって機械的に分離され、ガラス基板は破砕されることなくガラス板の形状で回収物 C として回収される。
  - 太陽電池形成板を構成するガラス基板以外の太陽電池（シリコンウェハ）、電極、電線、封止材、バックシートは、紛体及び片状体の電池粉となり、回収物 D として回収する。

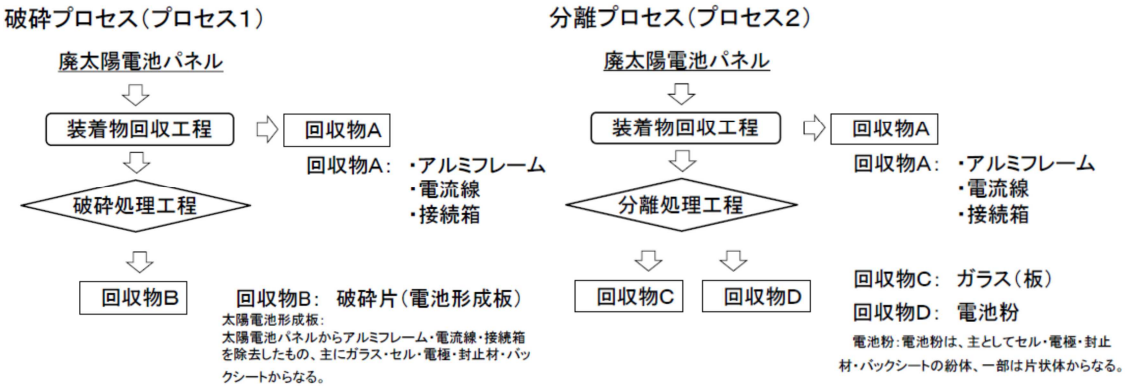


図 1-17　破砕プロセス（プロセス１）左・分離プロセス（プロセス２）右の概要

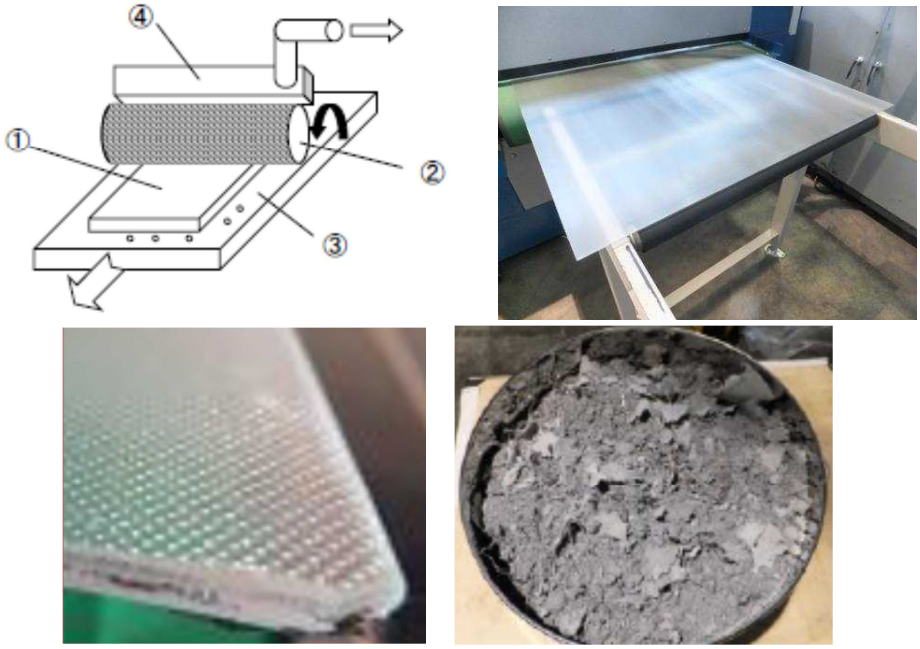


図 1-18　分離プロセス（プロセス２）の分離機器の概略とプロセスからの産物

(3) 太陽電池モジュールのリサイクルモデル事業の実施

- 異なる技術を保有する 3 事業者（リサイクルテック・ジャパン、ハリタ金属、東芝環境ソリューション）が使用済太陽電池モジュールの中間処理を実施し、中間処理プロセスのマテリアルバランス、中間処理コスト等のデータを収集した。全体で約 310 トンの処理を実施した。
- 事業者の中間処理工程から発生する電池粉等は三井金属鉱業に引渡し、有用物質等の含有量を分析するとともに、再資源化、金属回収・無害化処理を行う。また、中間処理後に発生するガラスカレットについては、ガラス再資源化協議会が中間処理後のガラスカレットの再資源化可能性の評価を行った。

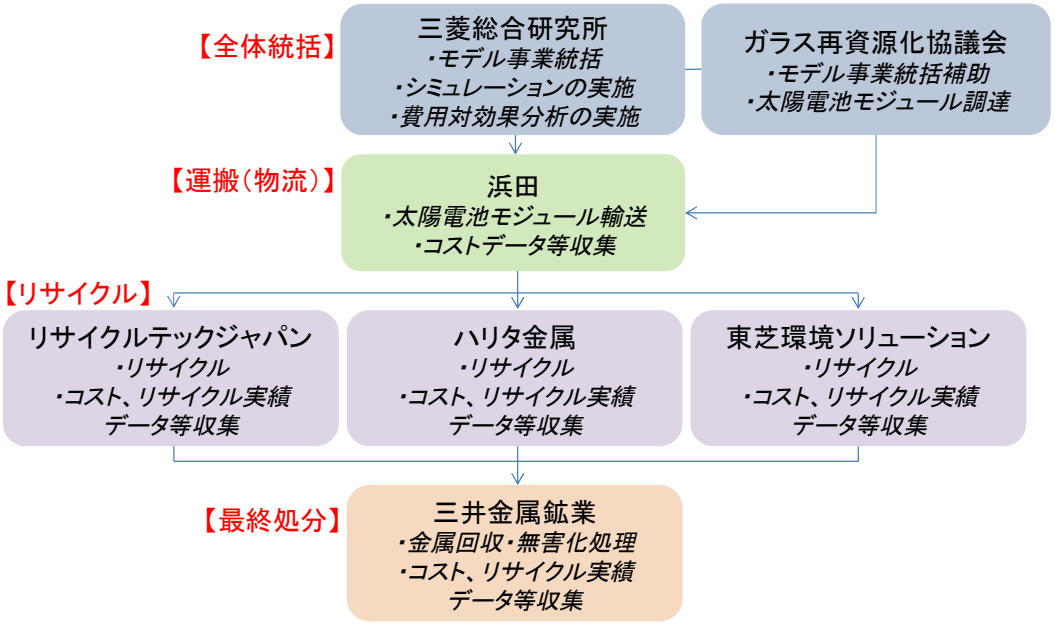


図 1-19　モデル事業等の実施体制

表 1-2　調達した太陽電池モジュール

種類	メーカー名	実数量 t	公称最大出力 W	モジュール変換効率%
単結晶	A 社（国内）	15.1	―	―
多結晶	A 社（国内）	13.8	130/150	13.5/13.0
多結晶	B 社（国内）	22.5	250	―
多結晶	C 社（海外）	21.9	245	―
単/多結晶混合	E 社（国内）	10.1	―	―
薄膜	A 社（国内）	191.5	―	―
化合物	D 社（国内）	36.1	160	13.0
合計		311.1	―	―

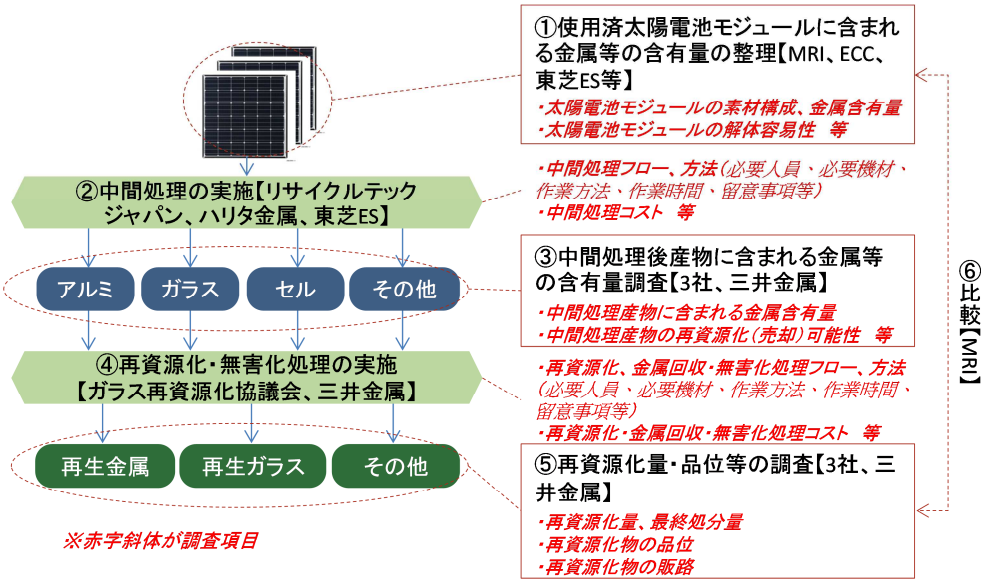


図 1-20　実施方法及びデータ収集項目

(4) モデル事業の中間処理実施 3 社のマテリアルバランス

- モデル事業では、モジュールの投入に対して、どの産物にどれだけの量が分配されるかをマテリアルバランスで把握した。マテリアルバランスの把握例を以下に示す。同じプロセスであっても、投入するモジュールの種類や運転条件によってマテリアルバランスは変化することが確認された。

1) リサイクルテック・ジャパン

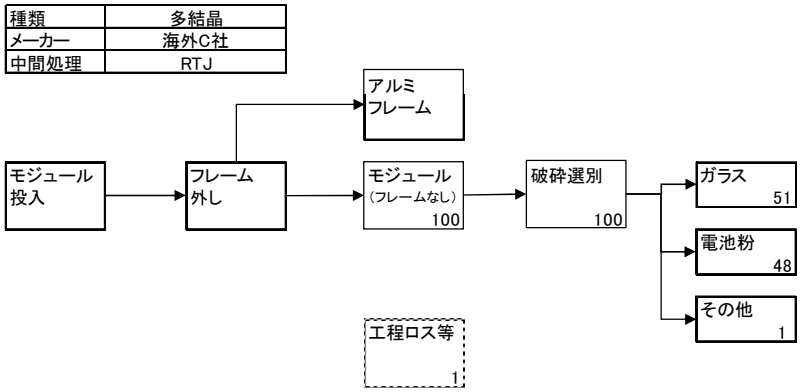


図 1-21　リサイクルテック・ジャパンのマテリアルバランスデータ（多結晶海外 C 社）

2）ハリタ金属

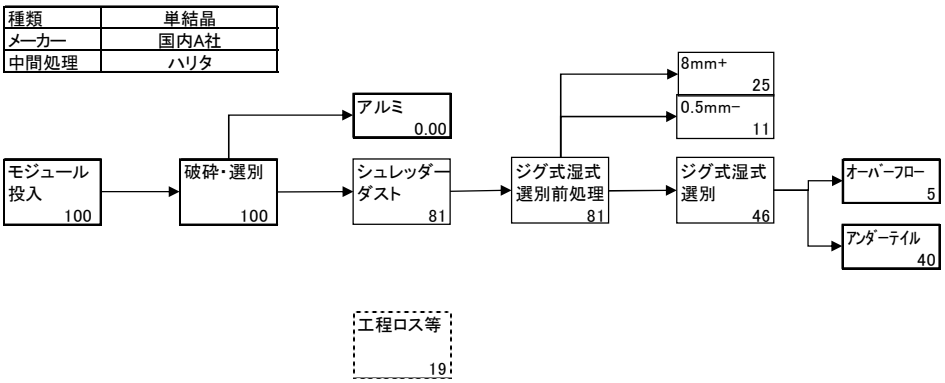


図 1-22　ハリタ金属のマテリアルバランスデータ（単結晶国内 A 社）

3）東芝環境ソリューション

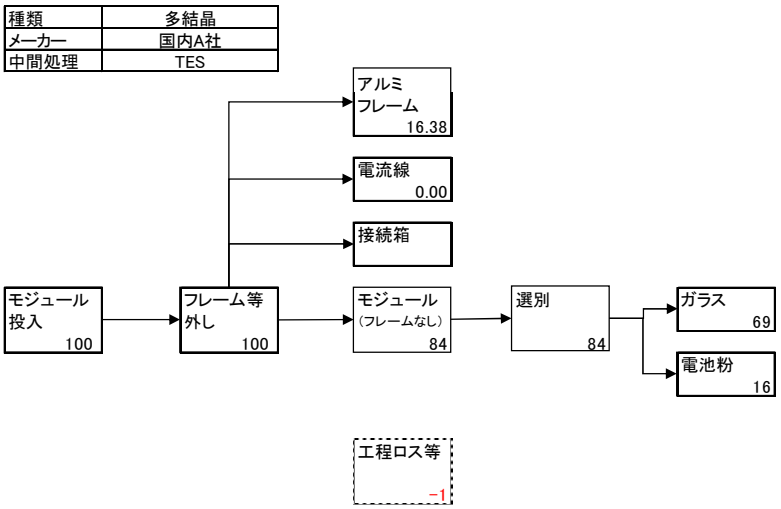


図 1-23　東芝環境ソリューションのマテリアルバランスデータ（多結晶国内 A 社）

(5) リサイクル技術に関する現状分析

- 太陽電池モジュールのリサイクルについては、NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）や環境省においてリサイクル技術開発支援やモデル事業が実施されている。NEDO は本年度から 5 ヶ年の事業を開始したところであり、スケールアップを図りながら引き続きリサイクル技術開発支援を継続する見込みである。また、太陽電池モジュールのリサイクルを考えた場合、撤去・運搬コストに課題があるため、リサイクル技術だけではなく、撤去・運搬技術についても NEDO において技術開発調査が行われている。
- 太陽電池モジュールのリサイクルの事業化を目指し、上記のスキームに参加する企業が複数存在する。リサイクルの方法は各社によって異なり、破砕の有無や選別技術（物理選別を主とする乾式処理と、水比重や薬剤を用いる湿式処理に大別される）に特徴があるが、現時点では技術の優劣は明確となっていない。

- いずれの技術も結晶系モジュールに比較的含有されている銀を濃縮し、非鉄製錬に売却して金属回収を行うことを目指している。
- 一方、重量比で太陽電池モジュールの 7～8 割程度を占めるガラスについては、非鉄製錬プロセスにおいてスラグに分配されるため、大量の受入は困難である。よって、ガラスの選別技術や用途開発がリサイクルを促進する上で重要である
- リサイクルコストについては、NEDO 事業の平成 26 年度の目標値として分解処理コスト 5 円/W（年間 200MW 処理時）が掲げられており、各事業者において低コスト化に向けた技術開発が進められているところである。
  - 現状、様々な技術が存在するが、低コストなリサイクル技術の開発が引き続き必要である。
  - 現在開発中の技術には、同一種類の太陽電池モジュールの連続処理を得意とするものや、雑多な太陽電池モジュールの大量処理を得意とするものなど様々な特徴を有する。技術開発にあたっては、排出特性（モジュールの種類、量、破損の状況等）を踏まえ、各技術の特徴を活かしていくことが重要ではないか。
  - 要素技術開発だけではなく費用対効果（資源効率・環境影響）も考えながら、リサイクル技術を適用した社会システムの実証も必要ではないか。
  - また、撤去・運搬・処理に関わる事業者の事業性の視点も併せ持つことが必要ではないか。
  - 太陽電池モジュールの撤去・運搬を低コストに行うための撤去・運搬に関する技術開発調査も引き続き必要ではないか。

1.1.3　リユース・環境配慮設計

(1) リユースビジネスの現状

- 現在、太陽電池モジュールの国内リユースをビジネスとして行う事業者は 1 社のみの状況である。
  - 中古太陽電池モジュールの販売先は多くなく、リサイクルの実証試験や性能評価、自然劣化等の研究用途が主要な販売先となっている。それ以外には非常に少量であるが、一般家庭向けにオフグリッドソーラーとして販売されているものがある。
  - 調達先としては、メーカーの型落ち品（いわゆる「新古品」）が多く、複数のメーカーから引き合いがある状況である。また、平成 26 年 2 月の大雪で架台が崩れ、太陽電池モジュールを総取り替えした際に不要となった太陽電池モジュール（太陽電池モジュール自体に支障はないが、保険対象であることから総取り替えしたもの）についても引き合いがあった。
- 現在、太陽電池モジュールの海外リユースを一定規模のビジネスとして行う事業者は 2 社程度存在している。
  - 最近 2 年間の間に太陽電池モジュール 80,000 枚を回収しており、そのうち半数程度は平成 26 年 2 月の大雪の際に使用不能となり、排出されたものである。残りは初期不良や施工不良等である。
  - 太陽電池モジュールの引取元は、メーカー、工事業者、保険会社、リース・レンタル会社等である。全て購入する形で引き取り、割れていて明らかにリユースで

きないものは国内でリサイクルし、割れていないものについては、全て中国に輸出した上で、系列工場で検査を実施している。検査した太陽電池モジュールはリユース品として中国から輸出される。輸出先は、バングラディシュ、ミャンマー、ドバイ、マレーシア等である。輸出先では系統連系するわけではなく、独立電源として使用されることが多い。

- 現在、海外でもリユースをビジネスとして扱う例が徐々に出現している状況にある。欧州の数社の状況を確認した結果は以下のとおりである。
  - 発電システム・プラントの転売はしばしば発生しているが、モジュールを撤去するわけではなく、いわゆる機器のリユースには相当しない。撤去されたモジュールの再販はあるかもしれないが、少量に留まっている。
  - 長期使用品ではないが、損傷を受けたモジュールを含むアレイやシステムを撤去、交換するような事例が少しずつ増え始めており、リユース品として流通し始めている。インターネットによる中古モジュールの販売を行っている企業も存在している。
  - 市場はまだ非常に小さいが、リユースを手掛けている企業がドイツに複数存在している。
  - 顧客、あるいはPVシステム所有者から、損傷を受けたモジュールを含むアレイやシステムの撤去の依頼を受けることがある。損傷を受けたモジュールはリサイクルに回すが（他社に依頼）、損傷を受けていないモジュールはリユースが可能な状態であることが多く、中古品として販売される。販売量は少ないが、数年で大きく成長する可能性はある。
- また、中古太陽電池モジュールのメンテナンス等に必要なコストは表 1-3 の通りである。

表 1-3　中古太陽電池モジュールのメンテナンス等に必要なコスト（調達以降の流れ）

項目	内容	費用	
		イニシャル	ランニング
①太陽電池モジュール洗浄	検査前に太陽電池モジュールの洗浄を実施	－	太陽電池モジュール1 枚あたり 5～10 分程度
②絶縁検査	ドライ検査と湿潤検査がある。湿潤検査では水中に入れて漏電の危険性がないかを確認する。	検査機器：数万円	太陽電池モジュール1 枚あたり 1 分程度
③出力検査	IV カーブにより出力特性を確認	検査機器：1,000 万円程度	太陽電池モジュール1 枚あたり 1 分程度
④EL カメラ検査	赤外線を使って測定し、太陽電池モジュール中の異物やバイパスダイオードのショートがないか等をチェック	分析機器：100～200 万円程度	太陽電池モジュール1 枚あたり 1 分程度
⑤バイパスダイオード検査	バイパスダイオードが切れていないかを確認	分析機器：数万円	太陽電池モジュール1 枚あたり 1 分程度
⑥外観検査	外観のこげ、キズ等を確	－	太陽電池モジュール

項目	内容	費用	
		イニシャル	ランニング
	認		1 枚あたり 1 分程度

(2) リユースビジネスモデル（案）の仮説

- リユースビジネスの現状を踏まえ、いくつかのリユースビジネスモデルを仮説的に設定し、その事業性について分析した。

1) 国内リユース

- 現状では売り先がないため、リユースビジネスは成立していない。また、メンテナンスのための機材のイニシャルコストが高いため、一定量の需要と供給が見込めない限り機材への設備投資は難しく新規参入のハードルは高い。
- 一方、調達元を考えた場合、現状でも一定量は発生しており、一箇所では数が少ないものの効率的に集めることができれば数量の確保は可能である。今後は販路の拡大が必要である。中古品の性能に関して何らかの保証をつけ、かつ、需要に合った価格で提供することができれば販路が拡大する可能性がある。

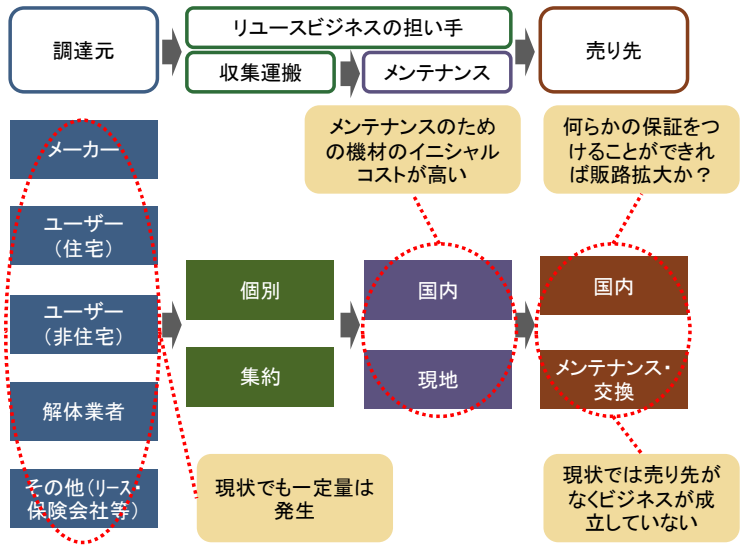


図 1-24　国内リユースのビジネスモデルイメージと現状の課題等

2) 海外リユース

- 個人向けに流通している例は認められ、輸出先では系統連携するわけではなく、独立電源として使用されることが多い。
- メンテナンスを海外で実施することで、メンテナンスコストの低減も可能となる。
- 中古家電店等に出荷し、そこから一般世帯に販売される場合もある。
- ただし、いつまでも東南アジアの需要が続くことはなく、東南アジアも徐々に中古品から新品へのニーズが高まることが予想される。
- なお、リユースに適さない設備がリユースを名目に輸出され、処分されることが起

こらないよう、環境省が 2012 年に「使用済み電気・電子機器の輸出時における中古品判断基準」を策定している。太陽光発電設備は明示的に対象とされていないものの、輸出時には本判断基準に基づき確認を行うことが望ましいと考えられる。

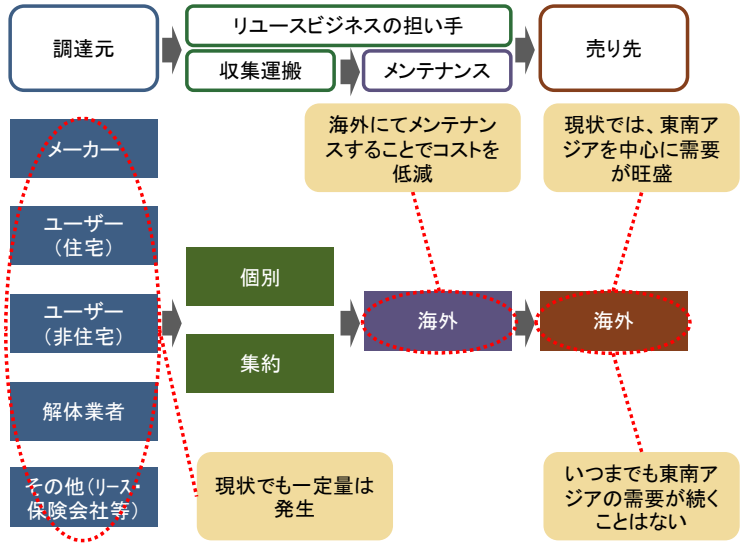


図 1-25　海外リユースのビジネスモデルイメージと現状の課題等

3）メンテナンス向けリユース

- 太陽光発電の急速な導入量の拡大により、今後メンテナンスの頻度は高まる見込み。メンテナンス時の交換の際にリユース品のニーズがあれば、メンテナンス向けリユースビジネスモデルの成立が考えられる。
- リユース品のニーズの有無の確認に加え、部品によってはメーカー・型番等の管理が必要と考えられる。太陽光発電の急速な導入量の拡大により、今後メンテナンスの頻度は高まる見込みである。

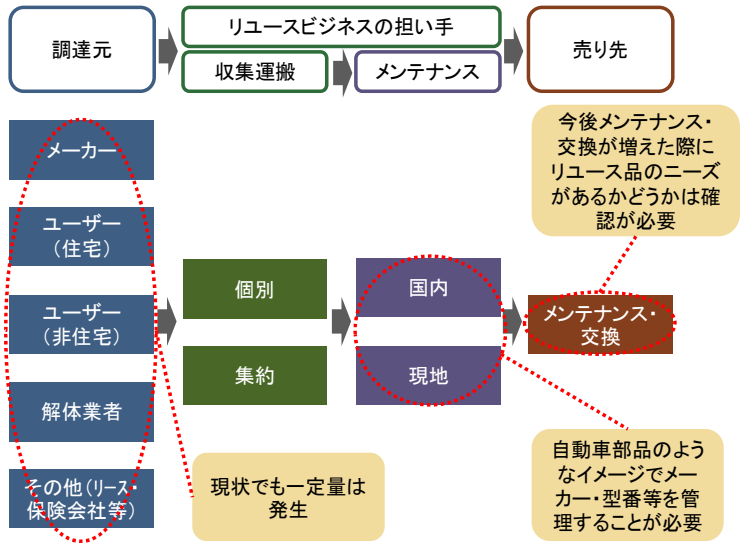


図 1-26　メンテナンス向けリユースのビジネスモデルイメージと現状の課題等

(3) 太陽光発電設備メーカーにおける環境配慮設計への取組状況

- 太陽光発電設備メーカーにおける環境配慮設計への取組状況は下表の通りである。国内メーカーでは特に長寿命化を重視して環境配慮設計へ取り組んでいるところであり、その他、特定化学物質の含有量低減や分解・解体の容易さ等の取組も実施されている。

表 1-4　太陽光発電設備メーカーにおける環境配慮設計への取組状況

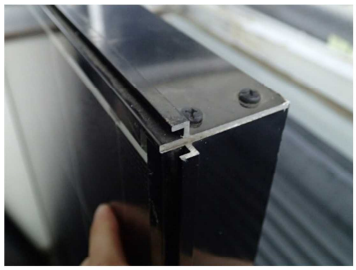
項目		事例
廃棄に関する配慮	長寿命化(注1)	・(各社とも共通)長期信頼性を重視した長寿命設計による排出機会の極小化
	分解・解体の容易さ	・パネルとフレームの分解可能化、端子箱の取り外し可能化 ・NEDOリサイクルプロジェクト(薄膜系モジュール分解技術)への参画
	特定化学物質の含有量低減(注2)	・社内に「環境配慮設計基準」を設け、特定化学物質の含有量についてその低減と法令の遵守を図る ・RoHS規制対象化を見据えた適合化に向けての社内取組み ・鉛フリーのはんだやガラスの使用
	その他	・廃棄モジュールは中間処理業者を介して分別され、リサイクルを推進(ガラスは土木資材、緑化資材等の原料へ、金属は回収再利用、フィルム材は燃料として再利用)
省資源への配慮		・フレームレス化、薄型ガラス使用等の部材重量削減によるモジュールの軽量化、梱包材料の変更による梱包材使用量の削減、リユース可能なコーナー樹脂による集合梱包 ・(結晶系)面積当たりの発電量向上を図った設計により、省資源、省設置スペース ・(薄膜系)薄膜採用によるシリコン使用量減
製造時の環境への配慮	特定化学物質使用量の低減	・工場排水は、環境省基準より厳しい基準にて水質管理を実施 ・「環境管理基準」に従い定期的に環境測定を実施 ・除去装置により特定化学物質を削減 (環境試験機等で使用しているフロンは装置廃棄時に100%回収) ・製造時に使用している一部の薬品は工場内で再生利用
	その他	・工場から排出される廃棄物は、分別、再資源化を徹底し、ゼロエミッション(最終埋立処分量を廃棄物発生量の0.5%未満にすること)に向けた活動を推進し、目標達成継続中 ・全工場での環境負荷を限りなくゼロにすべく、生産活動におけるあらゆる環境負荷の削減計画を策定し、進捗管理改善を実施中 ・自社工場に設置したメガソーラーにより電力を供給
その他環境への配慮		・ISO14001認証取得、法令順守、環境負荷低減活動を推進 ・社内だけでなく、上流/下流の取引先を含めたサプライチェーン全体での 環境負荷低減に取組中 ・調達資材及び製品の物流効率化(積載率向上)(モジュール・パワコンに共通)

(注 1)NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の太陽光発電ロードマップ(PV2030+)(2009 年 6 月)や太陽光発電開発戦略(PV Challenges)(2014 年 9 月)では、発電コスト低減の方策の一つ として、モジュールやシステムの長寿命化が挙げられており、この方向に沿った研究開発が進められている。(目標寿命：モジュール 40 年, パワコン 30 年)

(注 2)パワコンにおいても、電気電子部品の基板実装を鉛フリーはんだで行っている。欧州 RoHS 指令で定められている禁止物質は閾値以下になるよう管理している。

(4) モジュールの解体性に関する状況

- 溶出試験を実施するために調達した太陽電池モジュールについて、その解体性を確認したところ、フレームを固定するネジについては、汎用工具で取り外し可能な＋型ネジのもの、ネジは無く金具で固定されたものが多く見られたが、中には特殊ネジを使用したものやフレームのないものも存在した。また、フレームとガラス・セル等は、樹脂で接着されているものが多かった。ガラスとセルの分離について、手作業では分離不可の製品がいくつか見られた。



+型ねじの例

特殊なねじの例

ねじがなく、フレーム内の金具等で固定されている例

図 1-27　モジュールの解体性に関する状況

(5) リユース・環境配慮設計に関する現状分析

1) リユース

- 現状では国内リユースはほとんど実施されていない。一方で、海外リユースの事例が存在する。
- 国内リユースを活性化するためには、効率的な回収や販路拡大が課題であり、特に、製品の保証制度や市場性のある価格設定ができるかがポイントとなる。一方、現状存在する海外リユースについては、いつまで海外需要が存在するかどうかの見極めが必要である。また、メンテナンス向けのリユースなど多様なリユース形態を想定しておくことが重要と考えられる。
  - リユースについては、排出時期を遅らせるための方策としての有効性が認められるため、国内リユース、海外リユース、メンテナンス向けリユース等実現に向けた市場整備が必要ではないか。
  - 例えば、国内販路拡大のための保証制度の検討や海外向け販路の開拓、メンテナンス向けリユースの成立要件の検討等が考えられるのではないか。

2) 環境配慮設計

- 太陽電池モジュールの国内メーカーにおいては、特にモジュールの長寿命化を重視して環境配慮設計へ取り組んでいる。その他、特定化学物質の含有量低減や分解・解体容易性向上等の取組も実施されている。
- 解体にあたってはアルミフレームの取り外しの容易さがリサイクルコスト低減の観点から一つのポイントとなると考えられる。モジュールの解体性を調査した結果によれば、ネジは無く金具で固定されたものや特殊ネジを使用したものが存在するなど解体容易性に関して製品間のばらつきが見られた。
  - 太陽電池モジュールの環境配慮設計については、①排出時期を遅らせるための方策、②リサイクルを容易にするための方策としての有効性が期待される。
  - このため、長寿命化設計や解体容易性に関するガイドラインを策定・共有するとともに、環境配慮設計への取組状況をフォローしていくことが重要ではないか。
  - また、今後は、より多様な種類・形態、多様なメーカーの製品の国内市場導入が進展することが想定されるため、更に取組を拡大していくことが必要ではないか。

1.1.4　資源価値・有害性

(1) 素材構成

- 太陽光発電設備の素材構成として、現在最も広く普及している「多結晶シリコンモジュール」の構成例を示す。モジュールの初期重量に関しては、ガラスの 210kg が最も多く、全体重量の 36%を占める。次いで EVA 等の 59kg（10%）、アルミの 53kg（9%）が比重として多く見られる。また、結晶シリコンは 11kg（2%）含まれている。
- その他周辺機器（BOS：Balance of System）部分では、アレイ架台に使用されている鉄が最も多く、211kg（36%）使用されている。最近では、重量の削減や施工性の向上を目的として、アルミを用いた架台の開発・販売が進んでいる。

表 1-5　多結晶シリコンモジュール（出力 4kW）の素材構成例

					重量 [kg/system]	全体重量に対する比率
システム全体				[kg]	578.94	100%
	モジュール		総重量	[kg]	335.74	58%
		セル	結晶シリコン	[kg]	11.29	2%
		フロントカバー	ガラス	[kg]	210.00	36%
		フレーム	アルミ	[kg]	52.61	9%
		プラスチック	EVA等	[kg]	59.32	10%
		電極材料	銅・はんだ	[kg]	2.52	0%
	BOS	パワコン・接続箱	総重量	[kg]	16.41	3%
			鉄	[kg]	8.42	1%
			銅	[kg]	1.43	0%
			アルミ	[kg]	3.34	1%
			その他	[kg]	3.22	1%
		アレイ架台	総重量	[kg]	210.52	36%
			鉄	[kg]	210.52	36%
			コンクリート	[kg]	–	–
		配線材料	総重量	[kg]	16.28	3%
			銅	[kg]	8.53	1%
			プラスチック	[kg]	7.74	1%

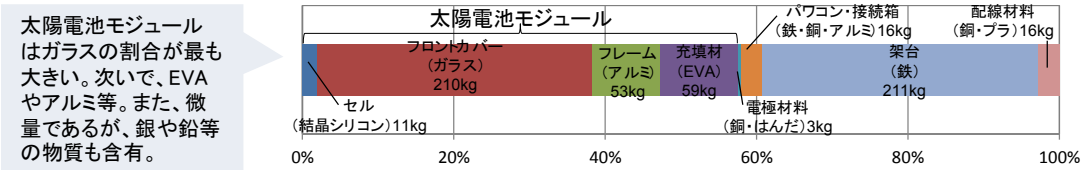


図 1-28　多結晶シリコンモジュール（出力 4kW）の素材構成例

出所）NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発　太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」(2009 年 3 月)

(2) 含有量試験結果

- 有用物質としては、電極材料に銀が数万 ppm オーダーで含有されている。結晶系のモジュールで総じて濃度が高く、薄膜系、化合物系のモジュールでは相対的に濃度が低い傾向にある。また、製造年次の古い製品は銀の濃度が総じて高く、製造年次の新しい製品は濃度のばらつきが大きい傾向が確認される。
- 有害性の観点からは、結晶系のモジュールを中心として電極等にははんだが使用されており、鉛が含有される。また、化合物系のモジュールにおいては、セレンやカドミ

ウムが含有されるものが存在する。

表 1-6　太陽電池モジュールの含有量試験結果

上:最大値　下:最小値　　含有量単位:mg/kg

種類		製造年	部位	Pb 鉛	Cd カドミウム	As ひ素	Se セレン	T-Hg 水銀	Cr^{6+} 六価クロム	Be ベリリウム	Sb アンチモン	Te テルル	Cu 銅	Zn 亜鉛	Sn すず	Mo モリブデン	In インジウム	Ga ガリウム	Ag 銀	N数
単結晶	国内	～1999	フロントカバーガラス	20	—	<1	—	—	—	—	5	—	—	—	—	11	—	—	—	3
				5	—	<1	—	—	—	—	3	—	—	—	—	9	—	—	—	
			電極	110000	—	—	—	—	—	—	—	—	740000	—	69000	—	—	—	30000	6
				85000	—	—	—	—	—	—	—	—	550000	—	490	—	—	—	18000	
			ＥＶＡ・結晶・バックシート	1900	3	<1	<1	<1	<0.5	<1	69	<1	4500	220	1900	4	1	17	6200	3
				1800	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	20	<1	320	51	1700	3	<1	15	4300	
		2000～2009	フロントカバーガラス	310	—	1	—	—	—	—	2100	—	—	—	—	2	—	—	—	6
				<1	—	<1	—	—	—	—	1600	—	—	—	—	<1	—	—	—	
			電極	1100	—	—	—	—	—	—	—	—	730000	—	150000	—	—	—	25000	6
				44	—	—	—	—	—	—	—	—	670000	—	950	—	—	—	4900	
			ガラス・ＥＶＡ・結晶・バックシート	110	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	12	<1	13	13	180	8	68	7	3200	3
				32	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	8	<1	11	13	58	7	58	6	3200	
			ＥＶＡ・結晶・バックシート	270	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	10	<1	460	40	1100	3	3	7	5300	3
				220	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	6	<1	71	11	270	2	2	3	3100	
		2010～	フロントカバーガラス	120	—	4	—	—	—	—	2200	—	—	—	—	<1	—	—	—	9
				16	—	<1	—	—	—	—	1200	—	—	—	—	<1	—	—	—	
			電極	170	—	—	—	—	—	—	—	—	950000	—	18000	—	—	—	23000	9
				5	—	—	—	—	—	—	—	—	780000	—	3	—	—	—	280	
			ＥＶＡ・結晶・バックシート	290	<1	25	<1	<1	<0.5	<1	96	26	160000	170	3700	7	400	6	9400	9
				1	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	9	<1	49	12	26	2	<1	<1	150	
	海外	2008～2013	フロントカバーガラス	10	—	<1	—	—	—	—	780	—	—	—	—	<1	—	—	—	3
				5	—	<1	—	—	—	—	510	—	—	—	—	<1	—	—	—	
			電極	58000	—	—	—	—	—	—	—	—	880000	—	97000	—	—	—	22000	9
				9	—	—	—	—	—	—	—	—	760000	—	9800	—	—	—	84	
			ガラス・ＥＶＡ・結晶・バックシート	66	<1	3	<1	<1	<0.5	<1	2200	2	140	100	87	3	<1	1	470	6
				27	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	1200	<1	21	16	28	1	<1	1	280	
			ＥＶＡ・結晶・バックシート	10	<1	1	<1	<1	<0.5	<1	52	<1	110000	26	19000	2	<1	<1	120	3
				7	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	36	<1	94000	13	16000	2	<1	<1	59	
多結晶	国内	2001～2005	フロントカバーガラス	360	—	<1	—	—	—	—	2000	—	—	—	—	17	—	—	—	12
				<1	—	<1	—	—	—	—	2	—	—	—	—	<1	—	—	—	
			電極	140000	—	—	—	—	—	—	—	—	830000	—	250000	—	—	—	32000	12
				390	—	—	—	—	—	—	—	—	410000	—	460	—	—	—	4700	
			ＥＶＡ・結晶・バックシート	7600	6	14	<1	<1	<0.5	<1	57	7	5600	940	14000	5	1	7	12000	12
				100	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	5	<1	40	14	41	2	<1	3	290	
	国内	2012～	フロントカバーガラス	8	—	3	—	—	—	—	2000	—	—	—	—	<1	—	—	—	6
				<1	—	2	—	—	—	—	1700	—	—	—	—	<1	—	—	—	
			電極	64000	—	—	—	—	—	—	—	—	83000	—	89000	—	—	—	12000	6
				5500	—	—	—	—	—	—	—	—	70000	—	2900	—	—	—	1800	
			ＥＶＡ・結晶・バックシート	990	<1	14	<1	<1	<0.5	<1	35	7	890	940	290	5	1	4	2600	6
				100	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	5	<1	40	97	41	2	<1	3	290	
	海外	2012～	フロントカバーガラス	30	—	6	—	—	—	—	1700	—	—	—	—	<1	—	—	—	6
				1	—	<1	—	—	—	—	450	—	—	—	—	<1	—	—	—	
			電極	59000	—	—	—	—	—	—	—	—	850000	—	85000	—	—	—	19000	6
				1400	—	—	—	—	—	—	—	—	750000	—	3700	—	—	—	3900	
			ＥＶＡ・結晶・バックシート	1400	<1	19	<1	<1	<0.5	<1	100	100	2900	210	1500	5	3	5	2100	6
				100	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	15	3	160	58	280	2	<1	3	160	
			ガラス・ＥＶＡ・結晶・バックシート	630	<1	10	<1	<1	<0.5	<1	570	16	200	51	1100	3	<1	3	3300	6
				41	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	81	2	13	20	10	2	<1	1	250	
Ｓｉ薄膜	国内	2008～2013	電極	70	—	—	—	—	—	—	—	—	690000	—	320000	—	—	—	10000	6
				52	—	—	—	—	—	—	—	—	620000	—	1000	—	—	—	8500	
			ガラス・ＥＶＡ・結晶・バックシート	15	<1	<1	2	<1	<0.5	<1	2	<1	4200	680	680	6	<1	2	180	9
				1	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	<1	<1	12	21	240	3	<1	1	47	
化合物	国内・海外	2007～2013	電極	4100	—	—	—	—	—	—	—	—	840000	—	160000	—	—	—	5800	9
				8	—	—	—	—	—	—	—	—	570000	—	26	—	—	—	12	
			ガラス・ＥＶＡ・結晶・バックシート	26	390	2	370	<1	<0.5	<1	1600	470	4500	500	450	180	300	53	11	9
				2	5	1	150	<1	<0.5	<1	<1	<1	18	10	15	8	<1	<1	<1	

1～100mg/kg　100～1000mg/kg　1000～10000mg/kg　10000mg/kg～

(3) 部位別の溶出への寄与

- 平成 25 年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル促進調査委託業務において溶出が確認されたサンプル(結晶系モジュールのうち鉛の溶出が確認されたもの、化合物系モジュールのうちセレンの溶出が確認されたもの）を対象に、部位別の溶出試験結果を実施し、溶出に対する寄与が大きい部位を特定した。
- 結晶系モジュールにおける鉛の溶出については電極の寄与分が非常に大きいことが確認された。化合物系モジュールの場合は、CIS/CIGS 化合物を含むモジュール部分からのセレンの溶出が確認された。
- 結晶系モジュールについて、電極を取り外すことなく処分（破砕後に埋立）される可能性に配慮すれば、電極を含まない形で試料調製を行うことで、鉛の溶出可能性を過少に評価する懸念がある。このため、試料の代表性を確保する観点から、電極を含む箇所をサンプリングすることが必要である。

表 1-7　モジュールの部位別溶出試験結果

種類		メーカー	製造年	分析項目	モジュール全体	フレーム	フロントカバーガラス	電極	EVA	Si結晶	バックシート	端子ボックス	その他
多結晶	国内	G社	2012以降	重量(kg)	－	2.8900	12.3400	0.1400	分離不可	2.2400	0.1300	0.3400	0.0800
				構成比	－	15.9%	68.0%	0.8%	－	12.3%	0.7%	1.9%	0.4%
				ｐＨ	6.5～6.6	－	9.2	10.1	－	7.8	7.7	7.6	－
				ＥＣ（mS/m）	－	－	2.3	8.7	－	1.3	3.6	1.8	－
				Ｐｂ(mg/L)	0.30～0.42	－	＜0.01	500	－	＜0.01	＜0.01	＜0.01	－
多結晶	海外	Ｉ社	2012	重量(kg)	－	2.4500	11.9700	0.1400	分離不可	2.2500	0.1300	0.3400	0.6500
				構成比	－	13.7%	66.8%	0.8%	－	12.5%	0.7%	1.9%	3.6%
				ｐＨ	6.6～6.6	－	9.3	10.3	－	7.4	8.2	7.5	－
				ＥＣ（mS/m）	－	－	2.6	9.3	－	1.5	3.1	1.2	－
				Ｐｂ(mg/L)	0.29～0.44	－	＜0.01	570	－	＜0.01	＜0.01	＜0.01	－
多結晶	海外	Ｋ社	2013	重量(kg)	－	3.4600	12.4700	0.1600	分離不可	2.1400	0.3500	0.3300	0.1400
				構成比	－	18.2%	65.5%	0.8%	－	11.2%	1.8%	1.7%	0.7%
				ｐＨ	6.5～6.7	－	9.6	9.9	－	7.4	8.1	7.5	－
				ＥＣ（mS/m）	－	－	3.4	8.1	－	1.0	2.7	1.4	－
				Ｐｂ(mg/L)	0.20～0.90	－	＜0.01	470	－	＜0.01	＜0.01	0.01	－

種類		メーカー		モジュール全体	フレーム	フロントカバーガラス	電極	EVA	CIS/CIGS化合物	基板ガラス	バックシート・その他
CIS	国内	D社				分離不可		分離不可		分離不可	
			ｐＨ	9.8	－	－	9.1	－	9.9	－	7.6
			EC(mS/m)	2.1	－	－	6.1	－	1.9	－	2.7
			Se(mg/L)	0.04	－	－	<0.01	－	0.06	－	<0.01

(4) 溶出試験のための標準的な試料調製方法（案）の提案

- 部位別の溶出寄与度の分析結果並びに想定されるモジュールの処分方法(埋立処分される場合のモジュールの破砕の程度や行き先での浸出水管理方法等）を参考に、使用済みモジュールの環境影響を評価するための溶出試験方法について検討した。

＜溶出試験のための試料調製方法検討における留意点＞

✓　機械破砕による試料調製は一定の範囲での粒度調整が困難なので手作業での破砕を前提とする。

✓　対象製品の性質・構造にあわせた試料採取部位の選定が必要。

✓　粒径は原則、0.5～5mm とする。ただし 0.5mm 未満の破砕物の素材等が明らかに 0.5～5mm のものと異なる場合は、これらも混合して試験試料とする。

- 上記留意点を踏まえ、検討会として、以下の案１、案２の２つの方法を提案する。溶出試験用試料については、同方法に基づき調製することが望ましい。

《案1》
①フレーム・端子ボックス等の取外し
※端子ボックス等の付属部品は試験対象に含むかどうかは要検討
②モジュールを代表する部位を選んで裁断（20cm×20cm程度）
※部位ごとに性状が異なる場合は複数個所採取して混合
③樹脂等が含まれてそのままの状態で破砕が困難な場合は液体窒素で凍結処理
④ハンマー等を用いて手作業で丁寧に破砕。必要に応じて破砕作業中に再度液体窒素処理を行う。
⑤破砕不能な部位（バックシート、金属電極等）が含まれる場合は過度な破砕作業はせずにハサミ等によって0.5～5mmに裁断する。
⑥0.5～5mmに調製した破砕物を溶出試験用試料とする。
⑦溶出試験用試料を用いて環境庁告示13号に準じて溶出試験を実施する。

《案2》
①フレーム・端子ボックス等の取外し
※端子ボックス等の付属部品は試験対象に含むかどうかは要検討
②部材ごとに解体・重量構成比測定
③部位ごとに破砕
④樹脂等が含まれていてそのままの状態で破砕が困難な場合は液体窒素で凍結処理
⑤ハンマー等を用いて手作業で丁寧に破砕。必要に応じて破砕作業中に再度液体窒素処理を行う。
⑥破砕不能な部位（バックシート、金属電極等）が含まれる場合は過度な破砕作業はせずにハサミ等によって0.5～5mmに裁断する。
⑦0.5～5mmに調製した部位ごとの破砕物を重量構成比で混合し、溶出試験用試料とする。
⑧溶出試験用試料を用いて環境庁告示13号に準じて溶出試験を実施する。

(5) 溶出試験結果

- 結晶系モジュールの一部で鉛が特別管理産業廃棄物の判定基準を超過しているものが確認された。製品に使用されている金属電極に由来するものと推測されるのでその取扱いについては注意が必要である。
- 一部モジュールからは、産業廃棄物の溶出基準値のある物質として鉛、セレン、カドミウムの溶出が、また、溶出基準値のない物質ではアンチモン、テルルの溶出が確認されている。

表 1-8　太陽電池モジュールに関する溶出試験結果

		環境省H25									メーカー提供				環境省H26				
サンプル分析対象	種類	単結晶				多結晶			Si薄膜	化合物	化合物		化合物	化合物	多結晶			Si薄膜	化合物
	製造年	～1999	2000～2009	2010～	2008～2013	2001～2005	2012～	2012～	2008～2013	2007～2013	2013	2013	不明	不明	2001～2003	不明	不明	不明	2012～
	メーカー	国内	国内	国内	海外	国内	国内	海外	国内	国内・海外	国内	国内	海外	海外	国内	国内	海外	国内	国内
	対象部位	全体	全体	全体	全体	全体	全体	全体	全体	全体	モジュールの一部		モジュールの一部		モジュールの一部				
	サンプル数	6	6	9	9	12	6	15	9	9	9	9	不明	不明	3	2	3	1	2
試験の目的		埋立処分時の環境負荷の把握									埋立処分時の環境負荷の把握		酸性物質による溶出促進影響把握		埋立処分時の環境負荷の把握				
試料調製方法	破砕方法	手で50mm程度に裁断・破砕後、カッティングミルで粗粉砕									カッティングミルで粉砕	ハンマー及びはさみを用いて粉砕			ハンマー等を用いて手作業で丁寧に破砕。必要に応じて破砕作業中に液体窒素処理。				
	サンプルの粒径	5mm以下									5mm以下	0.5-5mm	10mm	4mm	0.5-5mm				
	pH条件	純水(pH5.8～6.3)を溶媒に									純水(pH5.8～6.3)を溶媒に		2.8-4.93	9.6以下	純水(pH5.8～6.3)を溶媒に				
定量分析法		環境庁告示13号に準拠									環境庁告示13号に準拠		TCLP1311	EN12457	環境庁告示13号に準拠				
試験結果 mg/L	Pb	0.1-0.13	<0.01	<0.01-0.01	<0.01-0.15	<0.01-0.08	0.01-0.42	<0.01-0.90	<0.01	<0.01	—	—	—	—	<0.01-0.51	<0.01-0.01	<0.01-0.08	0.02	<0.01-0.01
	Cd	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01-0.13	—	—	0.22	0.0016-0.0040	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	As	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Se	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01-1.1※	0.02-0.11	<0.005-0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01-0.04
	Hg	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	—	—	—	—	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	Cr6+	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Be	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Sb	<0.01	0.04-0.09	<0.01-0.12	0.04-0.09	<0.01-0.19	<0.01-0.07	<0.01-0.07	<0.01	<0.01-0.06	—	—	—	—	<0.01	0.03-0.04	<0.01-0.01	<0.01	<0.01
	Te	<0.01	<0.01	<0.01-0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01-0.03	<0.01	<0.01-1.70	—	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	pH	10.5-10.7	10.0-10.3	6.5-10.6	6.1-10.5	10.0-10.9	6.5-9.7	6.5-10.7	9.2-10.4	10.0-10.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

※環境省 H25 の試験結果については、試料調製方法、分析機関により結果にばらつきが生じる可能性があり、製品の評価にあたっては注意が必要。追加分析試験の結果（化合物系モジュールのセレンの溶出試験）、同一製品を同一の調製方法で分析した場合であっても、0.02～1.1mg/L と分析機関によってばらつきのある結果が得られている。

(6) リサイクルに伴う環境影響、資源性の検討

- 中間処理工程において、鉛は電池粉等の金属回収を目的とした産物に分配される傾向が見られた。ただし、各社における中間処理プロセスは開発途上のものであり、産物への分配にもばらつきが見られる点に留意が必要である。
- モデル事業では、電池粉等の金属回収目的の産物については、鉛製錬を中心とした非鉄製錬プロセスへ投入し、有害性の懸念のある元素については非鉄製錬プロセスで回収・適正処理されている。
  - ✓ 鉛は溶鉱炉→鉛電解工程を経て電気鉛として回収されている。
  - ✓ セレンは溶融キルンで産出されるメタルから銅を回収するプロセス（銅製錬プロセス）で生成する脱銅スライムから、セレニウム工程で回収されている。
- 有価性の高い銀については、電池粉等の金属回収目的産物への濃縮を各プロセスで試みている。産物の銀濃度は結晶系モジュールで約 600～8,000g/t と投入物・プロセスによってばらつきが見られる（非鉄製錬の評価額としては、逆有償～340 円/kg）。
- ガラスについては、投入物・プロセスによって、その収率にばらつきが見られる。例えばリサイクルテック・ジャパンの試験結果では、ガラスの収率は 50～90%程度と

なっている。

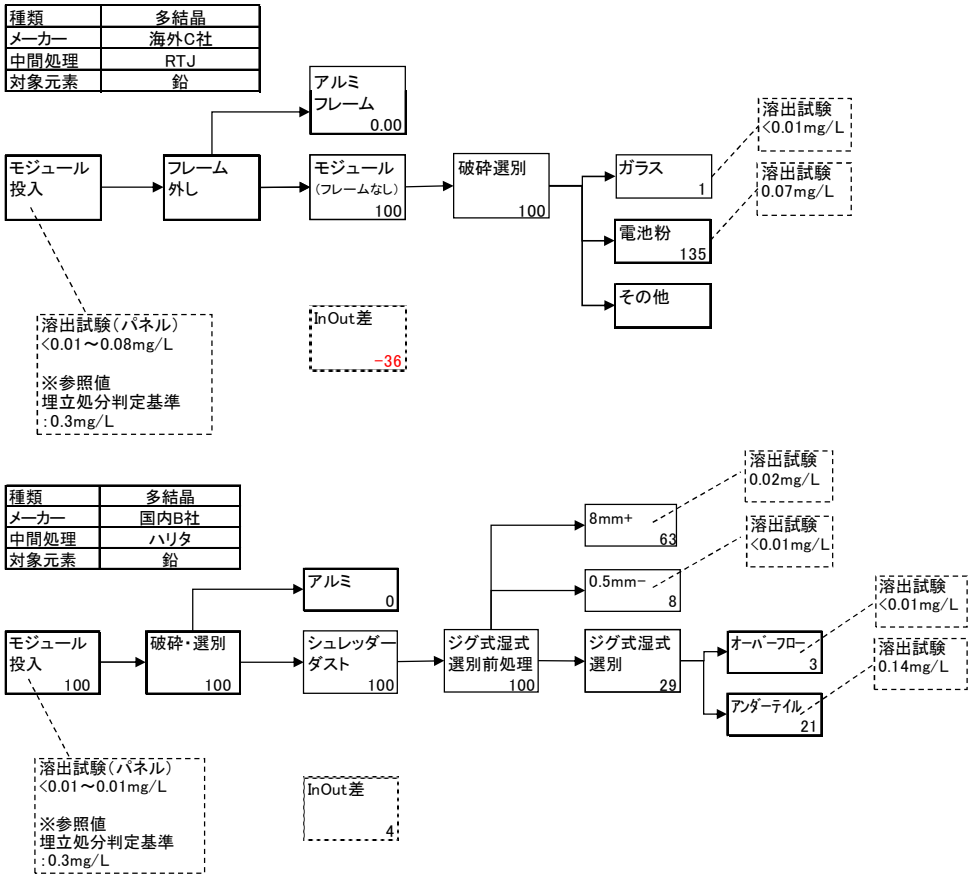


図 1-29　モデル事業における鉛のマテリアルバランス

(7) 資源価値・有害性に関する現状分析

1) 資源有用性の観点

- 太陽電池モジュールに含まれる有用物質には銀が挙げられるが、その含有量はモジュール種別やメーカー別、年代別に一定のばらつきを有することが示唆された。銀の含有量により、大まかな太陽電池モジュールの価値を判断できることから、含有量試験を実施し、モジュールの価値判断のためのデータを整備することは、リサイクル技術やリサイクルの事業性検討の観点から有効と考えられる。また、銀以外の物質の資源価値にも留意が必要である。
  - ➢ 有価性の高い銀については、電池粉等の金属回収目的産物への濃縮を各プロセスで試みているが、産物の銀濃度は投入物・プロセスによってばらつきが見られるのが現状である。今後はリサイクル技術開発を通じて、銀の濃縮を進め、リサイクルの採算性を向上させていくことが重要と考えられる。

2) 有害性の観点

- 太陽電池モジュールの溶出試験結果では、結晶系のモジュールの一部で鉛の溶出量が、

化合物系のモジュールの一部でセレンの溶出量が相対的に高い値を示した。その他、カドミウム、アンチモン、テルルについても溶出が確認された。太陽電池モジュール及びその破砕物の埋立に際して適用される基準は現状ないが、埋立処分場に対して一定の溶出負荷を与える可能性を有する点については留意が必要と考えられる。

- 太陽電池モジュールの溶出試験については公定法がないことから、本調査では既存の試験方法を準用した方法を採用している。特に、試験結果は試料調製方法によって大きく変わる可能性が示唆されたことから、本事業を通じて標準的な分析方法を提示したところである。
  - 今後は、分析試料の代表性の担保に留意しながら、より多様な種類・形態・メーカーの製品の国内市場導入が想定されることにも鑑み、上記の標準的な分析方法に基づき、更に対象機器や対象物質を拡大した溶出試験結果をもって、太陽電池モジュールの有害性について評価を行うことが必要である。
  - また、有害性の観点から懸念のある物質については、リサイクルプロセスの中で管理を行うことが必要である。
  - 資源性・有害性の観点から太陽電池モジュールの仕様や含有量・溶出量等に関するデータベースを構築し、関係者間で参照可能としておくことが有用ではないか。

1.1.5　排出見込量と地域偏在性

(1) 太陽電池モジュールの排出見込量

- 過去の太陽光発電設備の導入実績（全国計・都道府県別）を用途別（住宅用・非住宅用）に集計し、将来の排出見込量は、寿命到来による排出（20, 25, 30 年）と、修理を含む交換に伴う排出（毎年の国内出荷量の 0.3%）とみなし、過去の導入実績データと導入量の将来予測データを併せて、推計を行った。
- 住宅・非住宅につき、全国計・都道府県別に推計した。全国計（寿命 25 年）の排出見込量は、2020 年約 3 千トン、2030 年約 3 万トンとなる。寿命によって、排出時期は大きく異なる。
- その後、推計した排出見込量を踏まえ、太陽光発電設備の地域毎の受入可能量の推計を実施した。2020 年において、「太陽電池モジュールを仮に全て埋め立てたと想定した場合の埋立量」を、「平成 24 年度の産業廃棄物の最終処分量」と比較すると前者は後者の 0.02%に相当し、比率としては小さい。しかし、同様に 2039 年において比較すると同 6%に相当し、比率の増大が見込まれる。

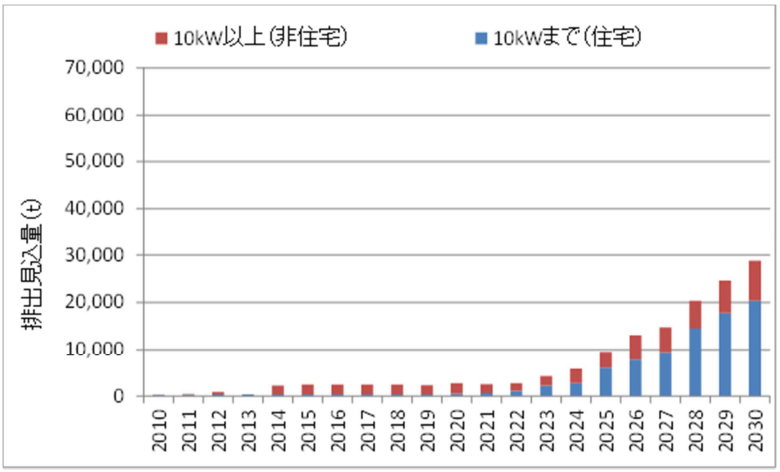


図 1-30　太陽電池モジュール排出見込量（寿命 25 年）

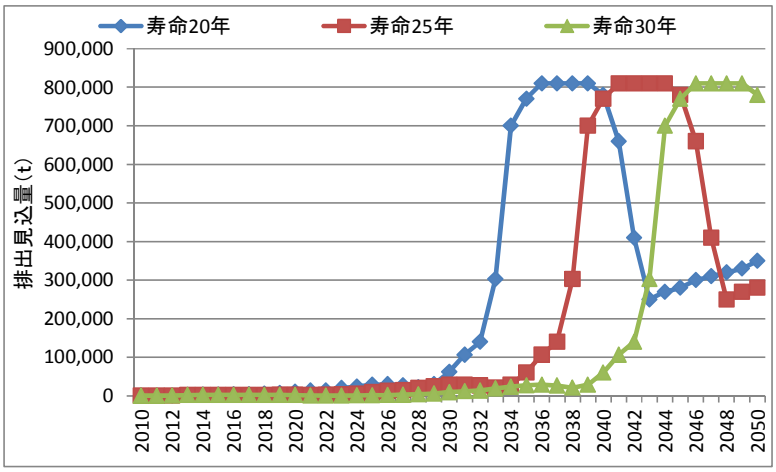


図 1-31　太陽電池モジュール排出見込量（寿命 20、25、30 年）

表 1-9　排出太陽電池モジュールを仮に全量埋め立てたと仮定した場合の平成 24 年度の産業廃棄物の最終処分量に占める太陽電池モジュールの割合

	2020	2025	2030	2035	2039
排出見込量（寿命 25 年）（t）	2,808	9,580	28,788	61,000	775,085
平成 24 年度の最終処分量に占める割合（%）	0.02	0.07	0.2	0.5	6

※平成 24 年度の最終処分量：環境省　産業廃棄物の排出・処理状況について

(2) 地域偏在性の分析

- 排出見込量が全量埋め立てられると仮定し、地域毎の産業廃棄物の処分場（管理型処分場・安定型処分場）の残余容量との比較を実施した。
- 管理型処分場については、関東地域や九州地域の残余容量に占める割合が相対的に高い結果となった。また、残余容量に占める割合は地域間で最大 10 倍程度の開きがあり、地域間で一定のばらつき・偏在性を有する可能性が示唆された。

表 1-10　排出太陽電池モジュールを全量埋め立てたと仮定した場合の平成 23 年度の産業廃棄物の処分場の残余容量に占める太陽電池モジュールの割合（%）

＜管理型処分場＞

	2020	2025	2030	2035	2039
北海道	0.0024	0.0069	0.016	0.044	0.49
東北	0.0006	0.0017	0.006	0.015	0.17
関東	0.0055	0.0193	0.056	0.148	1.42
中部	0.0024	0.0082	0.026	0.051	0.59
近畿	0.0026	0.0098	0.028	0.051	0.65
中国	0.0018	0.0070	0.020	0.041	0.58
四国	0.0020	0.0103	0.020	0.045	0.65
九州	0.0029	0.0079	0.029	0.051	0.97
合計	0.0024	0.0082	0.025	0.052	0.66

＜安定型処分場＞

	2020	2025	2030	2035	2039
北海道	0.0030	0.0088	0.021	0.057	0.63
東北	0.0031	0.0086	0.032	0.077	0.87
関東	0.0107	0.037	0.11	0.29	2.8
中部	0.0086	0.030	0.094	0.19	2.2
近畿	0.0075	0.028	0.080	0.15	1.8
中国	0.0019	0.0072	0.021	0.042	0.60
四国	0.0022	0.011	0.021	0.048	0.71
九州	0.0023	0.0061	0.023	0.040	0.75
合計	0.0041	0.014	0.042	0.089	1.1

※各地域の構成都道府県：（北海道）北海道、（東北）青森県/岩手県/秋田県/宮城県/山形県/福島県、（関東）茨城県/栃木県/群馬県/埼玉県/千葉県/東京都/神奈川県、（中部）新潟県/富山県/石川県/福井県/山梨県/長野県/岐阜県/静岡県/愛知県、（近畿）三重県/滋賀県/京都府/大阪府/兵庫県/奈良県/和歌山県、（中国）鳥取県/島根県/岡山県/広島県/山口県、（四国）徳島県/香川県/愛媛県/高知県、（九州）福岡県/佐賀県/長崎県/熊本県/大分県/宮崎県/鹿児島県/沖縄県

(3) 排出見込量と地域偏在性に関する現状分析

1）排出見込量

- 太陽電池モジュールの寿命を 25 年とした場合の排出見込量（全国）は、2020 年で約 3 千トン、2030 年で約 3 万トンと推計された。太陽電池モジュールの寿命の設定によって、排出見込量は大きく異なることとなるが、太陽電池モジュールの多くは、導入時点からの経過年数が（設計寿命に比して）浅く、使用済製品の排出メカニズムや寿命データの蓄積が十分になされていない状況にある。
- 埋立量に対する比率は、2020 年で 0.02%程度であり小さいが、2039 年には同 6%に相当するなど、全量を埋立処分した場合、処分場への負荷が相当量となることが見込まれる。埋立処分場の負荷削減のためには、リサイクルに加えて、排出時期を遅らせる

ための長寿命化やリユースなどを推進していくことが必要である。

- 太陽電池モジュールの排出メカニズムに関する情報収集が十分ではなく、製品寿命も不確実性が高いため、引き続きデータを収集していき、状況が変化すれば適時対応を見直していくことが必要ではないか。
- 排出見込量の不確実性が高いことから、今後の方向性を検討するにあたっては、排出見込量や排出ピーク時期等について、ワーストケースを想定した検討も必要ではないか。
- 寿命の設定等の条件により排出見込量は異なるが、例えば、地震や台風、大雪等の災害時に故障品が短期間に大量排出される可能性についても留意が必要である。

2）地域偏在性

- 地域別に埋立処分場の容量と排出見込量を比較した結果より、一定の地域偏在性が存在することが示唆された。特に関東や九州において埋立処分容量に占める排出見込量埋立の割合が高い。このため、太陽電池モジュールの排出見込量や受入可能量については、地域別に把握・分析しておく必要がある。
  - 今後、リサイクルのインフラを整備する場合には、地域偏在性に配慮し、静脈物流やリサイクル施設等の拠点を配置していく必要があるのではないか。
  - 地域偏在性の分布は、家電や自動車等とは異なる（人口密集地域で大量に排出されるわけではない）点についても留意が必要である。

1.1.6　リサイクルシステムの経済性

(1) リサイクルシステムの経済性評価

- モデル事業等により収集したデータに基づき太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析を実施した。様々なケースを想定して費用対効果分析を行うことにより、太陽光発電設備の適正な処理方法・体制について検討を進めることが可能となる。
- 検討のポイントは、効率的な静脈物流の構築（現行の枠内では自区内処理が原則）、回収量の確保、有用資源の回収可能性とし、これらを意識しながら以下の 5 ケースを設定し分析を行った。なお、2030 年頃の状況を想定して試算を実施することとした。
- 費用対効果分析にあたっては、関係者の利潤（売却益－費用）と最終処分場の延命を評価対象とした。

＜ケース分けの項目＞

排出見込量	①10,000 t（寿命 30 年と考えた場合の 2030 年頃の排出見込み量を想定して設定） ②50,000 t（寿命 25 年と考えた場合の 2030 年頃の排出見込み量を想定して設定　※推計結果は約 30,000t であるが安全側を考慮し過大に設定） ③100,000 t （寿命 20 年と考えた場合の 2030 年頃の排出見込み量を想定して設定　※推計結果は約 60,000t であるが安全側を考慮し過大に設定）

回収⇒中間処理	①近隣の産廃業者に持ち込み、破砕後、埋立処分 ②一次集積所（SY）に持ち込み、まとまってから専用の中間処理施設へ。専用の中間処理施設では有用金属・ガラスのリサイクルを実施（回収システム及び技術開発をイメージ）

表 1-11　試算対象としたケース

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
排出見込量	10,000 t	100,000 t	10,000 t	50,000 t	100,000 t
回収⇒ 中間処理	埋立	埋立	SY・技術開発	SY・技術開発	SY・技術開発

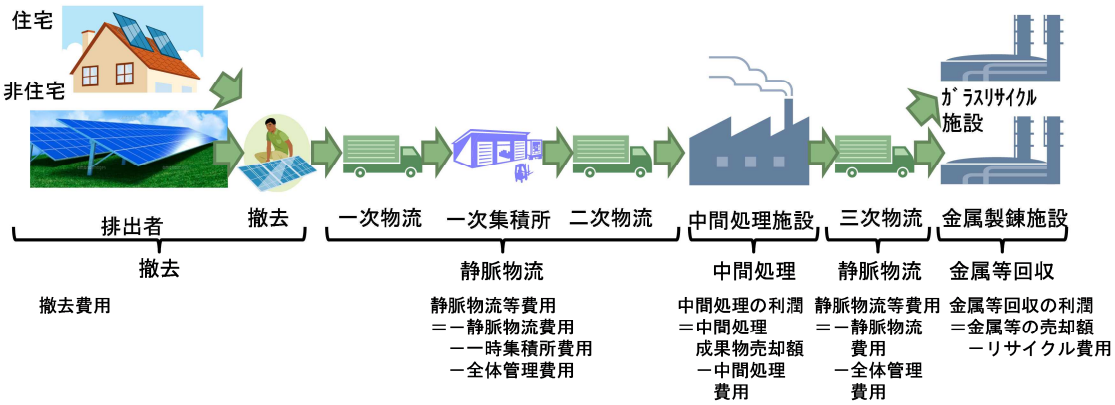


図 1-32　関係者の利潤の算定範囲

- 検討を単純化するために試算対象範囲に含める品目は太陽電池モジュールのみとした（パワコンや架台等は含めないこととした）。
- 撤去費用は、屋根置きでは平成 25 年度に実施した建物解体業者向け及び施工業者向けアンケートから設定した。また、平置きではシステム価格（40 万円/kW と仮定）の 5%程度と想定した（なお、非住宅用についての撤去費用は、システム価格の 5%が FIT 買取価格算定の際に考慮されている）。
  - 具体的には、屋根置き：3.75 万円/kW（15 万円/件）、平置き：2 万円/kW と設定。
  - ただし、屋根材一体型等の多様なモジュール形態が存在することや、設置する規模・立地等によって撤去費用は大きく変動する可能性がある点には留意が必要である。
- 費用対効果分析結果は次表の通り、関係者の利潤について段階別の採算性評価を行うとともに、最終処分場の延命効果を整理した。
- 撤去費用を除く運搬・処理に関しても全てのケースで費用が便益を上回る形となった。また、同一の排出見込量を処理するケースでは、リサイクルする方が、費用対効果が大きい結果となった。
- また、アルミフレームの取り外し費用・売却収入を除いた費用対効果分析結果も併せて示す。アルミは有価で取引されるため、これを除くとアルミフレームを含むケースよりも採算性は低くなる。

表 1-12　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析結果

			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
排出見込量(t)			10,000	100,000	10,000	50,000	100,000
回収⇒中間処理			埋立	埋立	リサイクル	リサイクル	リサイクル
便益(百万円)	段階別収益		103	1,032	675	3,373	6,747
		撤去	0	0	0	0	0
		一次物流～保管	0	0	0	0	0
		二次物流	0	0	0	0	0
		中間処理	103	1,032	529	2,646	5,292
		三次物流	0	0	0	0	0
		金属等回収	0	0	145	727	1,455
		管理・運営	0	0	0	0	0
費用(百万円)	段階別費用		3,532	35,320	4,000	19,580	39,055
		撤去	3,225	32,250	3,225	16,125	32,250
		一次物流～保管	100	1,000	100	500	1,000
		二次物流	67	670	67	335	670
		中間処理	140	1,400	309	1,545	3,090
		三次物流	－	－	56	280	560
		金属等回収	－	－	138	689	1,379
		管理・運営	－	－	105	105	105
B-C			-3,429	-34,288	-3,325	-16,207	-32,308
		撤去	-3,225	-32,250	-3,225	-16,125	-32,250
		一次物流～保管	-100	-1,000	-100	-500	-1,000
		二次物流	-67	-670	-67	-335	-670
		中間処理	-37	-368	220	1,101	2,201
		三次物流	－	－	-56	-280	-560
		金属等回収	－	－	8	38	76
		管理・運営	－	－	-105	-105	-105
B/C			0.029	0.029	0.169	0.172	0.173
		撤去	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		一次物流～保管	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		二次物流	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		中間処理	0.74	0.74	1.71	1.71	1.71
		三次物流	－	－	0.00	0.00	0.00
		金属等回収	－	－	1.06	1.06	1.06
		管理・運営	－	－	0.00	0.00	0.00
最終処分場の延命効果(m3)			1,896	18,959	12,250	61,252	122,504

注)量が多くなる場合のコスト単価低減は織り込んでない（以下同様）。

表 1-13　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析結果
（撤去を除く）

			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
排出見込量(t)			10,000	100,000	10,000	50,000	100,000
回収⇒中間処理			埋立	埋立	リサイクル	リサイクル	リサイクル
便益(百万円)	段階別収益		103	1,032	675	3,373	6,747
		撤去	0	0	0	0	0
		一次物流～保管	0	0	0	0	0
		二次物流	0	0	0	0	0
		中間処理	103	1,032	529	2,646	5,292
		三次物流	0	0	0	0	0
		金属等回収	0	0	145	727	1,455
		管理・運営	0	0	0	0	0
費用(百万円)	段階別費用		307	3,070	775	3,455	6,805
		一次物流～保管	100	1,000	100	500	1,000
		二次物流	67	670	67	335	670
		中間処理	140	1,400	309	1,545	3,090
		三次物流	－	－	56	280	560
		金属等回収	－	－	138	689	1,379
		管理・運営	－	－	105	105	105
B-C		合計	-204	-2,038	-100	-82	-58
		一次物流～保管	-100	-1,000	-100	-500	-1,000
		二次物流	-67	-670	-67	-335	-670
		中間処理	-37	-368	220	1,101	2,201
		三次物流	－	－	-56	-280	-560
		金属等回収	－	－	8	38	76
		管理・運営	－	－	-105	-105	-105
B/C		合計	0.336	0.336	0.870	0.976	0.991
		一次物流～保管	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		二次物流	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		中間処理	0.74	0.74	1.71	1.71	1.71
		三次物流	－	－	0.00	0.00	0.00
		金属等回収	－	－	1.06	1.06	1.06
		管理・運営	－	－	0.00	0.00	0.00
最終処分場の延命効果(m3)			0	0	12,250	61,252	122,504

表 1-14　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析結果
（アルミフレームの取り外し費用・売却収入除く）

			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
排出見込量(t)			10,000	100,000	10,000	50,000	100,000
回収⇒中間処理			埋立	埋立	リサイクル	リサイクル	リサイクル
便益(百万円)	段階別収益		0	0	571	2,857	5,715
		撤去	0	0	0	0	0
		一次物流～保管	0	0	0	0	0
		二次物流	0	0	0	0	0
		中間処理	0	0	426	2,130	4,260
		三次物流	0	0	0	0	0
		金属等回収	0	0	145	727	1,455
		管理・運営	0	0	0	0	0
費用(百万円)	段階別費用		3,462	34,620	3,930	19,230	38,355
		撤去	3,225	32,250	3,225	16,125	32,250
		一次物流～保管	100	1,000	100	500	1,000
		二次物流	67	670	67	335	670
		中間処理	70	700	239	1,195	2,390
		三次物流	－	－	56	280	560
		金属等回収	－	－	138	689	1,379
		管理・運営	－	－	105	105	105
B-C			-3,462	-34,620	-3,359	-16,372	-32,640
		撤去	-3,225	-32,250	-3,225	-16,125	-32,250
		一次物流～保管	-100	-1,000	-100	-500	-1,000
		二次物流	-67	-670	-67	-335	-670
		中間処理	-70	-700	187	935	1,870
		三次物流	－	－	-56	-280	-560
		金属等回収	－	－	8	38	76
		管理・運営	－	－	-105	-105	-105
B/C			0.000	0.000	0.145	0.149	0.149
		撤去	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		一次物流～保管	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		二次物流	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		中間処理	0.00	0.00	1.78	1.78	1.78
		三次物流	－	－	0.00	0.00	0.00
		金属等回収	－	－	1.06	1.06	1.06
		管理・運営	－	－	0.00	0.00	0.00
最終処分場の延命効果(m3)			1,896	18,959	12,250	61,252	122,504

表 1-15　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析結果
（アルミフレームの取り外し費用・売却収入除く：撤去を除く）

			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
排出見込量(t)			10,000	100,000	10,000	50,000	100,000
回収⇒中間処理			埋立	埋立	リサイクル	リサイクル	リサイクル
便益(百万円)	段階別収益		0	0	571	2,857	5,715
		撤去	0	0	0	0	0
		一次物流～保管	0	0	0	0	0
		二次物流	0	0	0	0	0
		中間処理	0	0	426	2,130	4,260
		三次物流	0	0	0	0	0
		金属等回収	0	0	145	727	1,455
		管理・運営	0	0	0	0	0
費用(百万円)	段階別費用		237	2,370	705	3,105	6,105
		一次物流～保管	100	1,000	100	500	1,000
		二次物流	67	670	67	335	670
		中間処理	70	700	239	1,195	2,390
		三次物流	－	－	56	280	560
		金属等回収	－	－	138	689	1,379
		管理・運営	－	－	105	105	105
B-C		合計	-237	-2,370	-134	-247	-390
		一次物流～保管	-100	-1,000	-100	-500	-1,000
		二次物流	-67	-670	-67	-335	-670
		中間処理	-70	-700	187	935	1,870
		三次物流	－	－	-56	-280	-560
		金属等回収	－	－	8	38	76
		管理・運営	－	－	-105	-105	-105
B/C		合計	0.000	0.000	0.810	0.920	0.936
		一次物流～保管	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		二次物流	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		中間処理	0.00	0.00	1.78	1.78	1.78
		三次物流	－	－	0.00	0.00	0.00
		金属等回収	－	－	1.06	1.06	1.06
		管理・運営	－	－	0.00	0.00	0.00
最終処分場の延命効果(m3)			0	0	12,250	61,252	122,504

(2) リサイクルシステムの経済性に関する現状分析

- 費用便益分析の結果、撤去費用を除く運搬・処理に関しても全てのケースで費用が便益を上回る形となった。ケース別に経済性を分析すると、埋立よりもリサイクルするケースの方が、費用便益比が大きく、リサイクルの有効性を確認することができた。
- また、アルミフレームの取り外し費用・売却収入を除くとリサイクルの採算性は更に悪化することが確認できた。この結果より、有価性の高いアルミフレームだけを取り外して転売する撤去事業者や収集運搬業者が現れた場合には、アルミフレームを取り外したモジュールを引き取るリサイクル事業の採算性はより低くなることが懸念される。
  - 撤去費用を除いたとしても、リサイクルシステムの経済性は高くない。資源価格の変動やリサイクルの採算性に大きく影響する銀の含有量が減少傾向にあることを鑑みれば、安定的なリサイクルの受け皿を確保するためには、リサイクルシステムの構築・運営には何らかの政策的措置が必要ではないか。
  - 現状は、埋立とリサイクルの費用便益分析しか実施できていないため、リユース等のその他のオプションを考慮した場合の経済性評価も必要ではないか。その他、以下の点にも考慮する必要がある。
    - 特にメガソーラーなどの規模の大きい発電事業では、有価性の高い銅線や架台等を多く使用する。今回の試算では、これらの有価性や撤去費用が当該試算では反映されていないこと。
    - FIT 制度ではプロジェクトコストの 5%程度を撤去費用として見込んでいるが、資本費から撤去費用を負担し、さらにどの程度の余剰があるのか等については今回の試算対象となっていないこと。
    - 屋根材一体型等の多様なモジュール形態が存在することや、設置する規模・立地等によって撤去費用は大きく変動する可能性があること。
  - 排出量や排出時期の見通しが変化した場合や、リサイクルの技術開発が進展した場合、また、リサイクルシステムがより具体的に想定できる場合など、社会情勢の変化を踏まえた経済性の再評価が必要ではないか。なお、経済性の再評価を行うためにも、経済性の評価に必要となるデータを継続的に収集することが必要ではないか。

1.1.7 現行制度における取扱い

(1) 廃棄物処理法における使用済太陽電池モジュールの取扱い

- 日本では、使用済太陽光モジュールの適正処理・リサイクルに関する法律として、廃棄物の処理及び清掃に関する法律と建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律が挙げられる。
- 使用済太陽光モジュールは、不良品・ロス品の発生状況や取外し主体によって、一般廃棄物か産業廃棄物かのどちらかに分類される。ただし、下記の整理は現在の取扱実態について聞き取った結果を取りまとめたものであり、実際の太陽光発電設備の取扱いについては、自治体等に確認を行い、廃棄物処理法を順守して進めることが重要で

ある。

表 1-16　廃棄物処理法における使用済太陽光モジュールの取扱い

取扱者	発生状況	取扱実態
太陽光発電設備メーカー	生産工程で発生する不良品・ロス品	発生した時点で、太陽光発電設備メーカーの産業廃棄物となる。
	施工時又は施工後に製品不良等でメーカーに返送される不良品	返送された時点で、太陽光発電設備メーカーの産業廃棄物となる（ユーザー・施工業者からメーカーに返送される過程ではまだ廃棄物ではない）。
（建物の）解体業者（解体工事が数次の請負によって行われる場合にあっては、元請業者）	住宅及びメガソーラー等の非住宅用設備解体時に取り外した使用済品	建物解体時に解体業者の産業廃棄物となる。
太陽光発電設備施工業者	施工時又は施工後に製品不良等でメーカーに返送する不良品	返送された時点で、太陽光発電設備メーカーの産業廃棄物となる（ユーザー・施工業者からメーカーに返送される過程ではまだ廃棄物ではない）
	施工不良等で発生する不良品や修理交換品を施工業者が処分する場合	施工業者が取り外した時点で、施工業者の産業廃棄物となる。
	新製品への交換に伴う設備撤去	
	新製品への交換を伴わない設備撤去時の取外し	
住宅用太陽光発電設備ユーザー	ユーザーが自ら取外し	一般廃棄物となる。

(2) 建設リサイクル法における使用済太陽電池モジュールの取扱い

- 建設リサイクル法は、特定の建築資材について、再生資源としての十分な利用及び廃棄物の減量等を通じて、資源の有効な利用の確保及び廃棄物の適正な処理を図り、生活環境の保全等に寄与することを目的としている。 同法では、床面積の合計が 80m2 以上の建築物の解体工事や、500m2 以上の建築物の新築・増築工事等の一定規模以上の建設工事を対象とし、建築物その他の工作物に使用されている建設資材に係る分別解体等及び建設資材廃棄物の再資源化等を義務付けている。
- 80m2 以上の住宅や建築物を解体する場合、分別解体を行い、木材、コンクリート等の特定建設資材を再資源化する必要があるが、太陽電池モジュールについては同法で定める特定建設資材に該当しないことから、他の住宅設備と同様に取り扱われることとなる。
- 地上設置された非住宅用の太陽光発電設備（工作物に該当）についても、その撤去は解体工事に該当し、上記と同様の取扱いとなる。
- そのため、建設資材以外の廃棄物については、建設リサイクル法において、特段の義務は設けられていないが、建設リサイクル法の基本方針においては、再資源化等が可

能なものについてはできる限り分別解体等を実施すること、分別解体過程において有害物質等の発生抑制を行うこと、大気中への拡散又は飛散を防止するよう努めることが求められている。

- 建築物を解体する際に発生する板ガラスは、異物の混入が避けられないため、最終的にほとんどが混合廃棄物として処分されている。

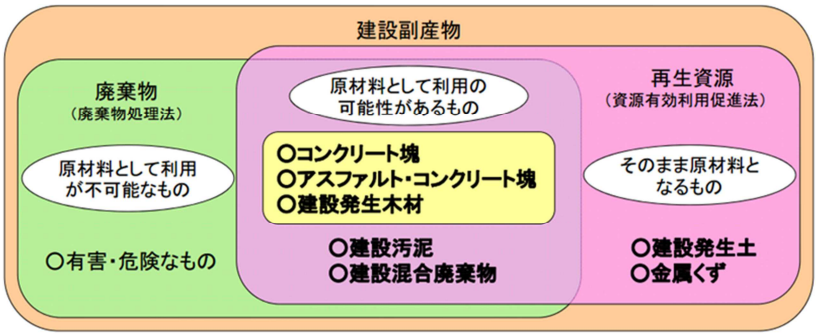


図 1-33　建設副産物の範囲

出所）国土交通省ウェブサイト

(3) 現行制度における取扱いに関する現状分析

1）廃棄物処理法

- 使用済の太陽電池モジュールについては、住宅用のモジュールを使用者自らが取り外すケースを除き、基本的には産業廃棄物に該当する。産業廃棄物については、廃棄物処理法に基づく排出者責任のもとで適正処分が義務づけられる。この場合の排出者には太陽光発電設備メーカーや施工業者、建物解体事業者等が該当するが、排出ルートに応じて変わる。
  - 産業廃棄物の適正処分は廃棄物処理法上で義務づけられるが、リサイクルの経済性は高くないことから、リサイクル可能なものがリサイクルされない可能性がある。このため、リサイクル促進の観点からは不十分と言えるのではないか。
- なお、住宅用についてユーザーが自ら取り外した場合は一般廃棄物に該当する点にも留意が必要である。
- また、災害廃棄物対策の観点から、廃棄物処理法及び災害対策基本法の改正案が閣議決定され、国会に提出されている。本改正に基づき、大規模災害時の関係者の役割分担や地域間連携等が盛り込まれた「大規模災害発生時における災害廃棄物対策行動指針」が策定される予定である。仮に、災害時に太陽電池モジュール故障品が排出される場合についても同指針に基づき取り扱われることとなる。

2）建設リサイクル法

- 太陽電池モジュールについては、屋根設置・地上設置によらず、建設資材として解体工事の対象となるが、建設リサイクル法で分別解体と再資源化が義務づけられる特定建設資材には該当しない。
- 解体工事の費用については、発注者が負担するのが原則となるが、その費用負担が適切になされるかについて留意する必要がある。

1.1.8　海外動向

(1) 欧州 WEEE 指令の改正

- 欧州 WEEE 指令では太陽電池モジュールは「科学・技術の進歩に適応し、今後追加する可能性がある品目」と位置付けられていたが、2011 年 12 月に欧州 WEEE 指令の改正案に対する合意がなされ、太陽電池モジュールが対象製品に追加された。太陽電池モジュールの対象カテゴリーは以下のとおりである。
  - 2012 年 8 月 13 日～2018 年 8 月 14 日：カテゴリー4「民生用機器及び太陽電池モジュール」
  - 2018 年 8 月 15 日以降：カテゴリー4「大型機器（いずれかの外形寸法が 50cm 超）」
- 欧州委員会は、一般に太陽光発電設備の設置や撤去にあたっては、その他周辺機器（BOS：Balance of System）を含めた設備全体が一括して取り扱われるものと解釈しており、“PV panel”には BOS が含まれるものと認識されている。太陽光発電設備以外にも使用される汎用的な機器（パワコン等）については、太陽光発電設備に付随する機器ではなくカテゴリー4 に包含されるものと考えられる（実際に BOS を扱うカテゴリーは加盟各国の国内法で規定）。

表 1-17　改正欧州 WEEE 指令における回収率目標

時期	回収率目標
2016 年～2018 年	過去 3 年間（2013～2015 年）に上市された EEE の平均販売重量の 45%
2019 年～	過去 3 年間（2016～2018 年）に上市された EEE の平均重量の 65%、あるいは廃棄物発生重量の 85%

出所）Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment (recast WEEE)

- また、太陽電池モジュールが含まれるカテゴリー4 に設定されているリカバリー率、リサイクル率は、以下のとおり設定されている。

表 1-18　改正欧州 WEEE 指令におけるリカバリー・リサイクル率目標（カテゴリー4）

時期	リカバリー率	リサイクル率
2012 年 8 月 13 日～2015 年 8 月 14 日（カテゴリー4）	75%	65%
2015 年 8 月 15 日～2018 年 8 月 14 日（カテゴリー4）	80%	70%
2018 年 8 月 15 日以降（カテゴリー4）	85%	80%

出所）Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment (recast WEEE)

- なお、太陽電池モジュールは欧州 RoHS 指令の対象とはされていない。

(2) 改正欧州 WEEE 指令における太陽光発電設備の追加に係る議論

- EC と EPIA（欧州太陽光発電協会）等の機関が双方向に議論し、調整が進められたが、その過程で、EC が主導して太陽電池モジュールの追加に係る影響評価（Impact Assessment）が実施されている。

- 太陽電池モジュールの追加による費用対効果（環境影響及び経済効果）について分析した結果、欧州 WEEE 指令への追加により、不適切な処理・廃棄により発生する環境影響を低減し、結果として経済的利益が生まれる、という結論が出された。
- EC が作成したレポート（欧州 WEEE 指令の対象品目への太陽電池モジュールの追加に係る影響の概要）では、4 つの政策オプションシナリオを設定し、欧州 WEEE 指令の対象品目に太陽電池モジュールが追加されることによる費用対効果について分析が行われた。具体的には、2050 年までの太陽電池モジュールの回収・リサイクルに係る費用対効果を分析している。

表 1-19　4 つの政策オプション

Baseline A（no policy action）	政策的措置が講じられず、不適切な廃棄ケースが含まれるシナリオ（全量埋立のケース）
Baseline B（Photovoltaic panels are outside the scope of the WEEE Directive）	太陽電池モジュールを欧州 WEEE 指令の対象品目とせず、現在のボランタリーな回収・リサイクルの取組みが実施されるシナリオ
Policy Option A（policy action）	住宅用太陽電池モジュールのみ欧州 WEEE 指令の対象品目に加えるシナリオ
Policy Option B（inclusion of photovoltaic panels in the scope of the WEEE Directive）	全ての太陽電池モジュールを欧州 WEEE 指令の対象品目に加えるシナリオ

※便益として、資源の売却益に加えて、鉛やカドミウムの溶出に伴う環境影響の回避分を考慮。

- 太陽電池モジュールを欧州 WEEE 指令に追加することにより、不適正処理・廃棄により発生する環境影響を低減し、大きな経済的利益を得られるという結論が出されている。
- 不適切に処理・廃棄される太陽電池モジュールの量を制限することにより、カドミウム溶出等による環境への悪影響を避けられることに加え、従来の有価資源やレアメタル等の回収による、潜在的な希少資源の喪失防止に寄与することが主な理由となっている。

表 1-20　影響評価の分析結果

2050 (annually)	Baseline Scenario A *"Worst Case"*	Baseline Scenario B *"Voluntary Action"*	Policy Option A *"Residential PV in WEEE"*	Policy Option B *"All PV in WEEE"*
Quantities				
Amount of PV waste generated (in million tonnes)	9,16	9,16	9,16	9,16
Amount of PV modules collected, properly treated and sent to recycling (in million tonnes)	0,00	2,18	7,00	7,79
Amount of PV waste improperly disposed of (in million tonnes)	9,16	6,98	2,16	1,37
Environmental benefits of policy action				
Soil and air pollution (in tonnes)				
Lead leaching from c-Si PV modules	316-2181	221-1527	72-495	47-327
Cadmium leaching from CdTe PV modules	40-228	28-159	9-52	6-34
Soil and air pollution (average external cost, in billion Euros)				
Lead leaching from c-Si PV modules	-1,47	-1,03	-0,33	-0,22
Cadmium leaching from CdTe PV modules	-0,01	-0,004	-0,001	-0,001
Total external cost *(in billion Euros)*	-1,47	-1,03	-0,33	-0,22
Gain of resources (recycling input, in million tonnes)				
Glass in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	1,82	6,00	6,68
Aluminium in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	0,13	0,34	0,38
Rare metals in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	0,02	0,07	0,08
Gain of resources (recycling output, in million tonnes)				
Glass in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	1,73	5,70	6,35
Aluminium in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	0,00	0,34	0,38
Rare metals in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	0,00	0,022	0,025
Gain of resources (recycling output, in billion Euros)				
Glass in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	0,03	0,29	0,32
Aluminium in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	0,00	0,41	0,45
Rare metals in c-Si PV modules and Thin film* modules	0,00	0,00	14,96	16,65
Total gain of resources *(in billion Euros)*	0,00	0,03	15,66	17,42
Economic cost of policy action				
Costs				
Logistics cost (in billion Euros)	0,00	-0,33	-1,05	-1,17
Proper treatment and recycling cost (in billion Euros)	0,00	-0,05	-0,83	-0,92
Total costs *(in billion Euros)*	0,00	-0,38	-1,88	-2,09
Social impacts				
Impact on employment (number of jobs created)				
Job creation	0	400	13 000	20 000
Net benefits				
Net benefits stand-alone (in billion Euros)	-1,47	-1,39	13,44	15,11
Net benefits vs. Baseline A (in billion Euros)	N/A	0,09	14,91	16,58
Net benefits vs. Baseline B (in billion Euros)	N/A	N/A	14,83	16,49

出所）“Study on Phovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive”
Bio Intelligence Service 2011

(3) 太陽電池モジュールメーカーによる自主的回収スキームの動向

1) PV CYCLE の概要

- PV CYCLE は太陽電池モジュールの回収・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ある。欧州 WEEE 指令に太陽電池モジュールが追加される可能性を見据え、関連団体・企業により 2007 年に設立された。
- PV CYCLE が太陽電池モジュールの回収を 2010 年に開始してから、2014 年までに回収した総量は 10,431 トンである。概ね 2,500 トン/年だとすると、各年に 25 トントラック 100 台分。上記の内、回収ポイントから（概ね住宅から）回収された量は全体の約 10%。2013 年時点で、EU で導入された太陽電池モジュールは累計 800 万トンである。最も早い排出は、2030 年頃であると予測される（PV CYCLE ヒアリングより）。回収量は、EU 内でドイツが最も多い。現在、回収されている太陽電池モジュールのほとんどは、初期不良・破損品である。
- 2013 年に太陽電池モジュールを回収した国は、18 か国である。各年の回収量は、2012 年の 3,762 トンが最も多く、その後は 2014 年で 2,099 トンと下降気味である。

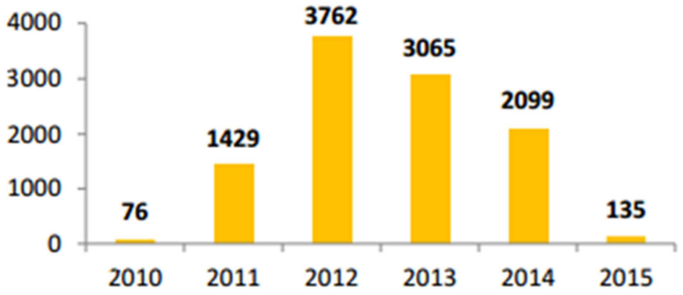


図 1-34　各年の回収量（2015 年 1 月時点）

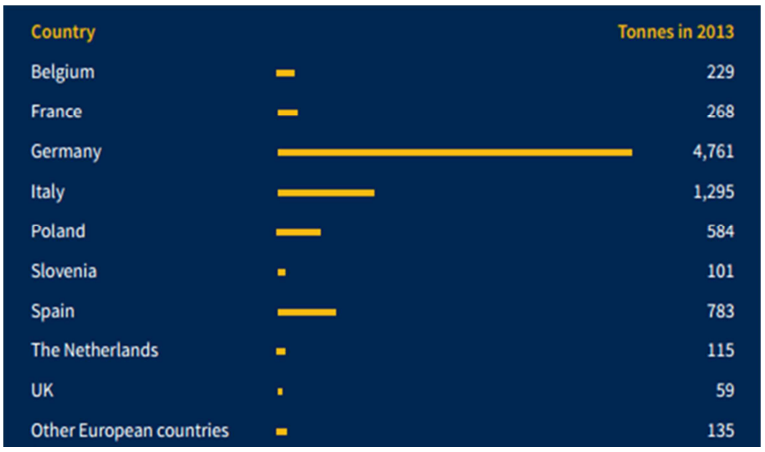


図 1-35　2013 年の国別回収量（累積）

出所）PV CYCLE Status Report(Jan. 2015) , PV CYCLE ホームページ

2) PV CYCLE の回収ポイント

- PV CYCLE の回収ポイントは、計 347 ポイントである（2014 年 11 月時点）。しかし、この中で実際に活動しているのは、約 35 箇所である。回収ポイントの約 7 割は、ド

イツ、イタリア、フランスに位置している。

- 殆どの場合、回収ポイントは、太陽電池モジュールの施工業者が運営している。
- 施工業者が大量に太陽電池モジュールを回収する場合、PV CYCLE の回収ポイントに輸送しなくても良いよう、自身が回収ポイントになることが可能である。
- ドイツでは、WEEE の回収は自治体が行っており、現在約 400 の回収ポイントが自治体により運営されている。今後国内法化された際に、PV の回収も自治体経由で行うのかについてはまだ議論を行っている段階である。
- PV CYCLE では、太陽電池モジュールが 40 枚以上の場合、PV CYCLE が回収を行っているが、40 枚以下の場合は利用者が回収ポイントへ持ち込むことになる。
  - ✓ PV CYCLE へのヒアリングによれば、40 枚を分岐点としている大きな理由は、回収用のコンテナ（木製パレット）に 40 枚以上は入らないためである。40 枚以下であれば、手動による荷卸しも可能となる。なお、採算性の観点からは､回収ポイントにおいて 160 枚ぐらいまで集約されるのが望ましいとされている。

出所）PV CYCLE ホームページ

図 1-36　国別の回収ポイント数（2013 年）

表 1-21　国別の回収ポイント数（2013 年）

国	回収ポイント数	国	回収ポイント数
ドイツ	108	ギリシャ	8
イタリア	79	オーストリア	5
フランス	42	スイス	4
ベルギー	30	デンマーク	4
オランダ	16	ポルトガル	3
イギリス	11	スロベニア	3
スペイン	9	チェコ共和国	2

出所）PV CYCLE ホームページ

3）PV CYCLE のリサイクルスキームの概要

- 太陽電池モジュールの枚数が 40 未満（住宅用太陽光発電システム約 1 件分に相当）の場合には、回収ポイントへの輸送まではエンドユーザーが、それ以降のプロセスは

PV CYCLE が実施。

- 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 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、一定量を超えた時点でリサイクル事業者を選定し、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 は PV CYCLE が負担する。

≪モジュール枚数 40未満の場合≫

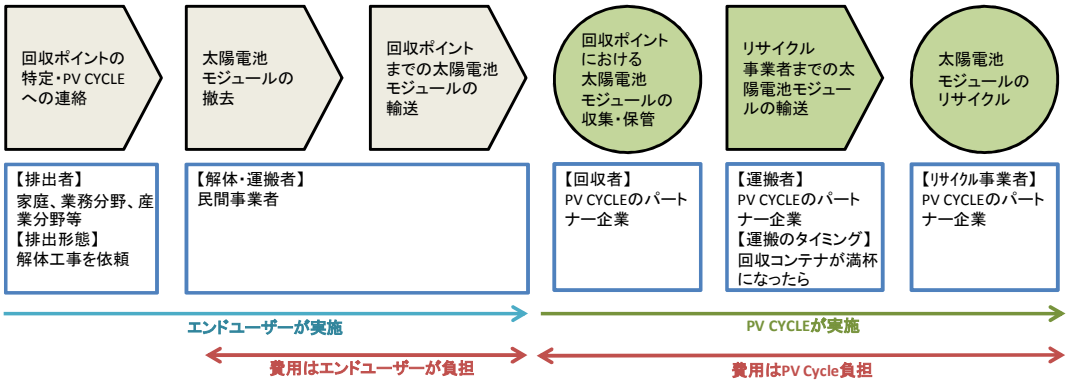


図 1-37　PV CYCLE のリサイクルスキーム（モジュール枚数 40 未満）

出所）PV CYCLE ホームページ, PV CYCLE へのヒアリング調査

- 太陽電池モジュールの枚数が 40 以上の場合には、太陽電池モジュールの撤去まではエンドユーザーが、リサイクル事業者までの太陽電池モジュールの輸送以降のプロセスは PV CYCLE が実施する（回収ポイントまでの輸送及び保管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する。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リサイクル事業者の元まで直接輸送する。太陽電池モジュールの輸送、リサイクルにかかる費用 は PV CYCLE が負担する。

≪モジュール枚数　40以上の場合≫

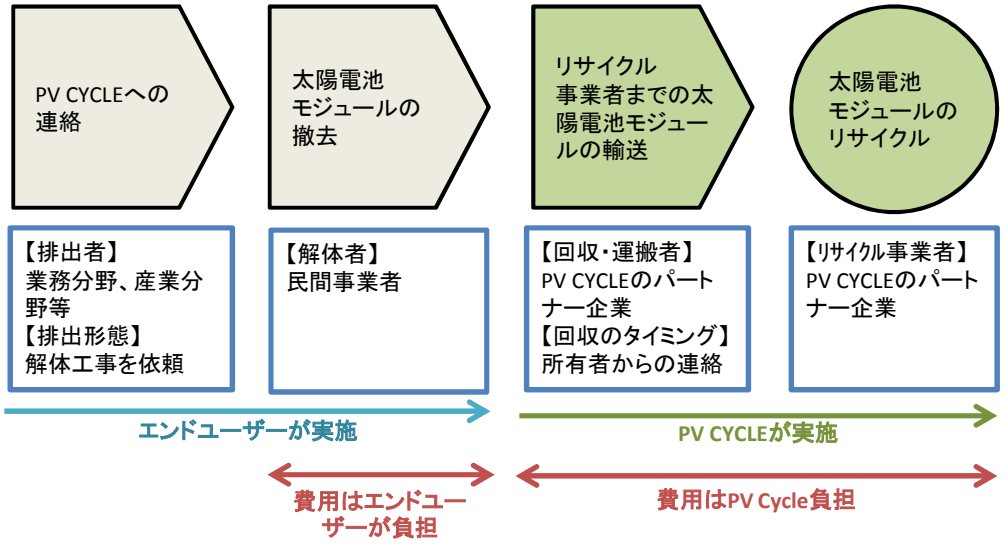


図 1-38　PV CYCLE のリサイクルスキーム（モジュール枚数 40 以上）

出所）PV CYCLE ホームページ, PV CYCLE へのヒアリング調査

4）PV CYCLE の運営費用

- PV CYCLE では、会員企業（製造業者等）から、Contribution fee を徴収し、太陽光発電設備の回収から処理までを担っている。

  各製造業者の Contribution Fee

  ＝回収・処理コスト×各製造業者の前年販売シェア％

  ×各国の太陽光発電設備の廃棄量（予測値）

  - Contribution fee の算出にあたっては、各国の太陽光発電設備の回収・処理にかかるコストと、各製造業者の前年シェア（重量比率）と、各国の太陽光発電設備の廃棄量（予測値）をかけあわせる。
  - 廃棄量の予測値は、過去の導入量に対して、経過年数ごとの廃棄率（PV CYCLE が算出）をかけて算定する。
  - 解体にかかる費用は、太陽光発電設備のユーザーが負担するものとしており、含まれていない。改正 WEEE 指令でも解体は製造業者の責任に含まれていない。
  - 太陽電池モジュールの処理施設がない国では、他国に輸送し処理を行うため、輸送費が高くなる。国によって、回収・輸送・処理費用が異なるため、製造業者の Contribution Fee は国によって異なる。複数国にまたがって太陽電池モジュールを販売している製造業者は、それぞれの国で PV CYCLE と契約する仕組みとしており、PV CYCLE からの請求書や取引口座も国ごとに分かれている。
  - 現時点で廃棄量は非常に少ないため、処理費用の Contribution Fee への影響は意外と小さく、製造業者の販売シェアの方が大きく影響する。
- なお、PV CYCLE では、Contribution Fee を支払うか、自社で回収・リサイクルコストを徴収・運用するかのいずれかを選択可能となっている。例えば、First Solar 社は PV CYCLE のメンバーだが、他のメンバーとは異なる独自の回収・リサイクルシステムを運用している。First Solar 社は、同社の CdTe 系モジュールについて、販売価

格に回収・リサイクルコストを上乗せして専用口座に積み立てており、万一 First Solar 社が倒産しても、回収・リサイクルを継続できる資金体制を整えている。なお、2011 年までは前払い方式（製品購入時に支払い）でリサイクルコストを回収していたが、2012 年より、消費者の経済的メリットを考慮し、前払い方式と後払い方式（製品廃棄時に支払い）のいずれかを選択することが可能となるよう、リサイクルプログラムが改定されている。

- ➢ First Solar 社のように自社で回収・リサイクルコストを徴収・運用している場合、PV CYCLE に Contribution Fee を支払う必要はない（First Solar 社は会費（membership fee）のみを支払っている）。ただし、現在はメンバーの多くが Contribution Fee の支払いを選択していると考えられる。

- PV CYCLE の Contribution Fee（“pay as you go”方式）に対し、太陽電池モジュールメーカーが欧州市場から撤退した場合、あるいは倒産した場合に、孤児製品（Orphan Products）の廃棄コストをどのように担保するのかを、欧州委員会は懸念し、改正 WEEE 指令では、メーカーが製品販売時にギャランティ（Recycle insurance または Blocked bank account）を提供することにより、倒産時の金銭的補償を行うこととされた。一方、歴史的 WEEE については、現存する全てのメーカーが金銭的負担を行うこととなっている。
  - ➢ PV CYCLE へのヒアリング調査によると、倒産したメーカーが製造した太陽電池モジュールの回収・処理コストについては、スキームに加盟している他の企業（倒産していない企業）が負担することとなっている。加盟各国において制度が導入されている段階であり、今後各国制度との整合が図られるものと考えられる。
- 改正 WEEE 指令の施行により各国の PV リサイクル制度は変遷途上にあるが、各国の制度、特に歴史的 PV 分のリサイクル費用を何年間かけて徴収するかが費用に大きく影響を及ぼす。
  - ➢ 歴史的 PV（Historical PV）の回収・処理コストに対する考え方は、国によって異なる。PV CYCLE では、基本的には事業破綻をしても 1 年間団体運営ができる費用を留保しているが、国によっては、歴史的 PV のリサイクル費用を 5 年以内に確保し、留保するという無理な要求をしてくるケースもあり、その場合 Contribution Fee は膨大な金額になってしまうので行政側と交渉をする。

(4) 海外動向に関する現状分析

1）WEEE 指令への品目追加

- 太陽光発電設備の導入が我が国に先行して進んだ欧州では、改正 WEEE 指令（同指令に基づく各国法）に基づき、メーカーによる太陽電池モジュールの回収・リサイクルが制度上義務づけられたところである。
- 追加にあたっては、リサイクルによる環境影響評価を実施し、有害物質による環境影響を踏まえると、リサイクルを実施することが費用対効果としてプラスとの判断がなされている。
- なお、WEEE 指令では欧州市場に上市される海外メーカー品についても制度対象となるため、欧州市場に出荷している輸入業者も対応が求められる。

- 現在、加盟国における法制度化・運営スキーム構築が進められているところであり、具体的にどのようなスキームが構築・運営されていくのかについて、引き続き注視していくことが重要と考えられる。
- 欧州では制度化の過程で環境影響評価や費用対効果分析に基づき政策オプションの評価が行われている。欧州と同様に導入量が急増している我が国においても同様の検討に基づく制度化の検討が必要ではないか。

2）メーカーの自主的回収・リサイクルスキーム

- 改正 WEEE 指令導入以前より、メーカーが中心となり構成された PV CYCLE が自主的なリサイクルスキームを構築している。現在、改正 WEEE 指令に基づくリサイクルへ対応するため、準備を進めているところである。
  - 我が国でもメーカーが自主的なリサイクルスキーム構築に関与することが必要ではないか。

3）欧州各国におけるリサイクルシステム構築の動向

- これまで自主的な取組としてリサイクルシステムを構築・運用していた PV CYCLE が改正 WEEE 指令に基づくリサイクルシステムの有望な受け皿の一つとなることが想定される。
  - 各国法でどのようなシステム設計がなされるのかを引き続きフォローすることは、我が国の対応を検討する際の参考になるのではないか。

1.2　現状分析を踏まえた今後の方向性

1.2.1　製品特性や排出実態を踏まえた対策メニューの検討

(1) 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理のあるべき姿

- 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理のあるべき姿について、物質的側面、経済的側面から整理した。
  - ➢ 物質的側面からは、「最終処分負荷と有害物質負荷の削減」「不法投棄の極小化」「リサイクルの推進」「長期使用やリユースによる排出の先延ばし（FIT 制度との連携）」の 4 点が実現されることが望ましいと考えられる。
  - ➢ 経済的側面からは、「撤去・運搬・処理コストの適切な負担」「経済的・効率的なリユース・リサイクルビジネスの展開」の 2 点が実現されることが望ましいと考えられる。

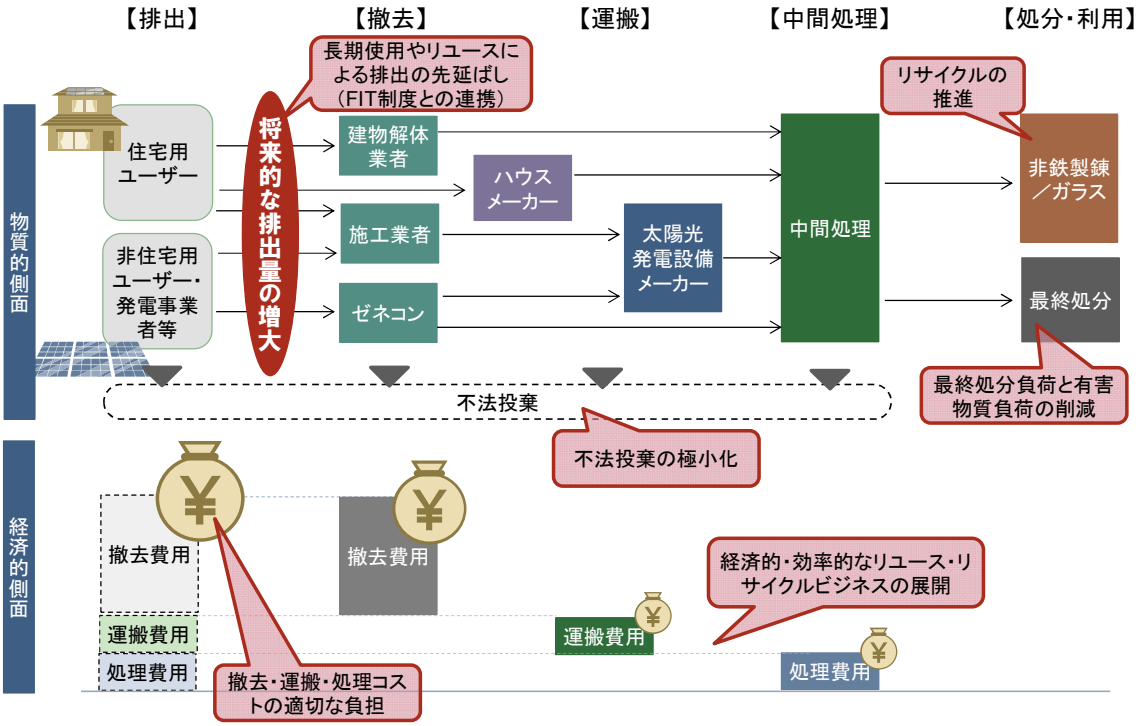


図 1-39　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理のあるべき姿

(2) 現状分析を踏まえた課題の整理

- 次に、あるべき姿に示した 6 つのポイントに基づき、現状分析を踏まえた課題を整理した。整理にあたっては、住宅用、非住宅用（主にビル・工場設置）、非住宅用（主にメガソーラー、地上設置）といった太陽光発電設備の設置形態別の区分と、課題が顕在化する時期に留意した。

1）最終処分負荷と有害物質負荷の削減

- 住宅用については、FIT 買取期間終了（2022 年以降）が排出の契機となる可能性がある（排出見込量推計によれば、2025 年で数万トン規模）。一方、非住宅用（主にビル・工場設置）、非住宅用（主にメガソーラー、地上設置）については、FIT 買取期間が最短でも 2032 年まで続くため、買取期間終了に伴う排出の到来時期は早くともそれ以降と見込まれる。ただし、太陽電池モジュールは FIT により導入が促進されたため、FIT 買取期間終了後の取扱いなど排出メカニズムが不明であり、製品寿命も不確実性が高い点には留意が必要である。また、例えば、地震や台風、大雪等の災害時に故障品が短期間に大量排出される可能性についても留意が必要である。
- 将来的に、仮に大量の排出があり、リサイクル等が実施されない場合には、相当量が最終処分されることとなり、最終処分場の逼迫が懸念される。
  - 地域別に埋立処分場の容量と排出見込量を比較した結果より、一定の地域偏在性が存在することが示唆された。地域偏在性の分布は、（人口密集地域で大量に排出される）家電や自動車等と異なる点についても留意が必要である。
- 太陽電池モジュールを対象に実施した溶出試験では大部分は埋立基準値以下であるが鉛等の検出が確認されている。将来的な排出量の増加も鑑みれば、最終処分場への重金属負荷削減の観点からもリサイクルが望ましい。

2）不法投棄の極小化

- 排出量については、1)に示したとおり、今後増加が見込まれる。大部分は産業廃棄物としての排出が見込まれ、この場合、排出者責任に基づく適正処分の義務が排出事業者（施工業者、建物解体業者、建設工事業者、メーカー等）に発生する。
- リサイクルの経済性は高くないため、将来的に排出量が増加（数万トン規模）した場合に、費用が適切に転嫁されなければ、施工業者や解体業者等により不法投棄される懸念がある。また、例えば、地震や台風、大雪等の災害時に故障品が短期間に大量排出される可能性についても留意が必要である。
- 住宅用については、撤去は施工業者等の専門技術を有した事業者が担うのが一般的であり、住宅用ユーザーが自ら撤去するケースは少ないと想定される。
  - 量は少ないが一般廃棄物としての排出可能性にも留意が必要。

3）リサイクルの推進

- 重量比で 7～8 割を占めるガラスのリサイクルが課題である。少量であれば非鉄製錬プロセスで受入可能（銀の回収が主目的）であるが、大量排出となった場合にはガラス、有機物の受入に制限あるため、事前の選別が必要となる。また、将来的にはモジュールにおける銀の含有量が減少傾向を辿ると見込まれる点についても留意が必要である。
- NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の技術開発プロジェクトが進行中（平成 26-30 年度）であり、低コスト分解処理技術、低コスト撤去・分別・回収技術開発調査に取り組んでいるところである。その他にも複数のリサイクル事業者が技術開発に取組中である。

- 太陽光発電設備メーカーにおいて化学物質削減、易解体設計等の環境配慮設計に取組中であるが、長期使用に耐えるために解体が容易でないモジュールも排出されている。
- 非住宅用（主にメガソーラー、地上設置）については、同一種類のモジュールが大量に排出されるため、回収・リサイクルの経済性を高める余地が大きい。

4）長期使用やリユースによる排出の先延ばし

- 太陽光発電設備メーカーにおいて太陽光発電設備の長寿命化設計に取組中である。
- リユースについて、現状は海外への輸出によるリユース事例が見られる程度である。ただし、今後の事業環境の変化により、新たな事業形態が出てくる可能性はある。
  - ➢ リユースに適さない設備がリユースを名目に輸出され、処分されることが起こらないよう、環境省が 2012 年に「使用済み電気・電子機器の輸出時における中古品判断基準」を策定している。太陽光発電設備は明示的に対象とされていないものの、海外リユース目的での輸出時には本判断基準に基づき確認を行うことが望ましいと考えられる。
- 非住宅用（主にメガソーラー、地上設置）については、1 箇所に大量のモジュールが導入されるため、総導入コスト（その他周辺機器（BOS）の費用や工事費用を含む）に占めるモジュール費用の割合が高い。相対的に中古モジュールの価格メリットを享受しやすいと考えられる。ただし、耐用年数の短い中古モジュールを受け入れるユーザーがいるかどうかに左右される。
- 撤去に費用がかかることから、使用されないまま放置（退蔵）されるモジュールが発生する可能性についても留意が必要である。

5）撤去・運搬・処理コストの適切な負担

- 産業廃棄物となった場合、一義的な費用負担・処理責任は排出事業者（施工業者、建物解体業者、メーカー等）にある。多くの場合、費用についてはユーザーに転嫁される。仮に適切に転嫁されない場合は、廃棄物処理の過程で不法投棄等の違法行為が行われる懸念があるので、ユーザーによる費用の適切な負担が重要である。
  - ➢ 非住宅用（主にメガソーラー、地上設置）の場合は、発電事業者、ゼネコン・建設事業者、メーカー、保険会社、リース会社等の多くの関係主体が存在することに留意が必要である。
- 費用便益分析から、特に撤去費用の占める割合が高い結果となったことから、この費用についてはユーザー（施主）の負担が必要と考えられる。
  - ➢ 欧州の制度や自主的スキームでも、撤去費用はユーザー負担となっている。
- メーカーが処理・リサイクルする場合は、将来におけるメーカー倒産等によるメーカー不存在時の処理・リサイクルの実施者が問題となる。欧州の WEEE 制度ではメーカーが製品販売時にギャランティ（Recycle insurance または Blocked bank account）を提供することにより、倒産時の金銭的補償を行うことでこれに対処している。
  - ➢ 特に、非住宅用（主にメガソーラー、地上設置）において、安価な海外メーカー品の導入が進んでいる点に留意が必要である。

6）経済的・効率的なリユース・リサイクルビジネスの展開

- 費用便益分析結果より、埋立よりもリサイクルするケースの方が、費用便益比が大きく、リサイクルの有効性を確認することができた。一方、今回検討したいずれの試算ケースでも費用が便益を上回ったことから、太陽電池モジュールのリサイクルの事業性は高くないと推察される。
- 費用便益分析結果では、撤去費用の占める割合が高く、この部分については施工・撤去や建物解体段階におけるユーザー（施主）による適正なコスト負担が必要と考えられる。
- 撤去費用を除いたとしても、リサイクルシステムの経済性は高くない（費用が便益を上回る）。しかしながら、回収・リサイクル費用については、リサイクル技術の低コスト化や効率的な回収システムの構築により低減できる可能性がある。また、メガソーラーなど、同一種類のモジュールが大量に排出されるケースでは、経済性を高められる余地が大きいと考えられる。一方、将来的にはモジュールにおける銀の含有量が低下傾向を辿ると見込まれる点についても留意が必要である。
  - ➢ リサイクルシステムの経済性・効率性を高める上では、家電や自動車などの他製品のリサイクルシステム・施設の活用可能性や、リユースと併せたシステム構築についても考慮する必要がある。

(3) 目指すべき方向性

- (2) で整理した課題を踏まえ、あるべき姿の実現のために目指すべき方向性を以下のとおり整理した。

① 最終処分負荷削減・不法投棄の未然防止対策の観点からリサイクルの受け皿（セーフティネット）を整備していく。リサイクルの経済性が高くないこと並びに埋立処分時に重金属等の溶出の懸念があることから、環境配慮設計等を通じて関連メーカーがリサイクルに関して一定の役割を果たすことが望ましい。 ② その上で、リサイクルの受け皿に使用済太陽電池モジュールを流すためのフローの適正化を図る（そのためには、適正な費用負担、撤去・運搬の適切性担保が必要）。 ③ 国は関連事業者（関連メーカー、産廃処理・リサイクル業者等）による自主的な回収・適正処理・リサイクルシステムが円滑に運用されるよう必要な制度的措置を検討する。 ④ リサイクルシステムの構築・運営に関する社会的コスト削減のために技術開発や環境配慮設計を推進する。その際、欧州 WEEE 指令におけるリサイクルシステムや技術と協調させる等、国際的な取組との整合にも配慮することが望ましい。 ⑤ 加えて、モジュールの発生時期を遅らせるための方策として、FIT 期間終了後の発電事業継続の可能性（機器の長寿命化やリユースを含む）も併せて検討する。

(4) 対策メニューの検討

- 目指すべき方向性を踏まえ、太陽光発電設備の撤去・運搬・処理のあるべき姿を実現するための課題と対策メニュー案との関係を整理した。
- 対策メニューとしては、以下の 6 点を挙げた。これらの詳細については、次節におけるロードマップの中で整理した。
  - 回収・適正処理・リサイクルシステムの強化・構築
  - 技術開発支援
  - 環境配慮設計の推進
  - 撤去・運搬・処理に関するガイドライン作成
  - 住宅用ユーザー・発電事業者等への周知
  - FIT 期間終了後の発電事業継続に向けた検討（リユース含む）

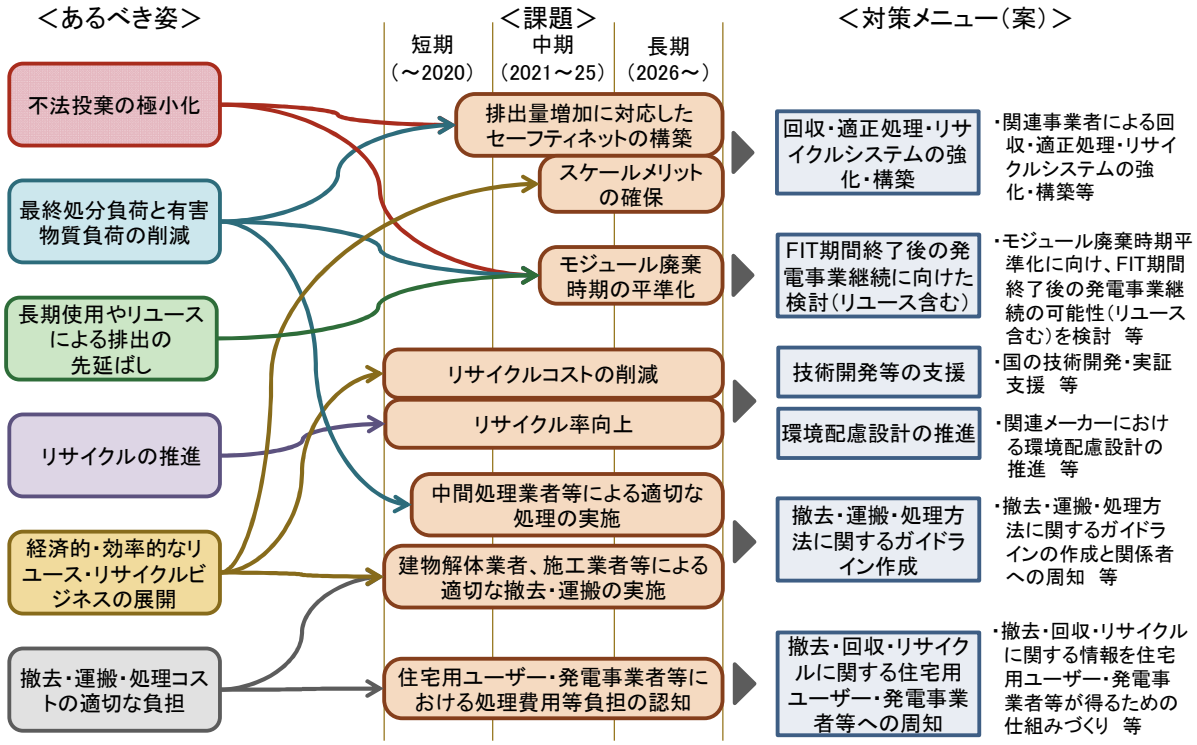


図 1-40　太陽光発電設備の撤去・運搬・処理のあるべき姿を実現するための課題と対策メニューとの関係

1.2.2　リサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップ

- リサイクルを含む適正処理の推進に向けた対策メニューと段階的な取組スケジュール等を整理した検討ロードマップは図 1-41 に示すとおりである。また、各対策メニューについて、関係者間の役割や取りうるオプション、検討課題等について表 1-22 に整理する。
- 取組の進捗状況について本検討会の場で定期的（原則 1～2 年毎）にフォローアップし、政策が有効に機能していないようであれば適宜必要な見直しを行う。
- また、フォローアップに際しては、適宜、排出見込量やリサイクル技術の動向、海外の政策動向等について、最新動向をフォローアップし、検討の参考とする。

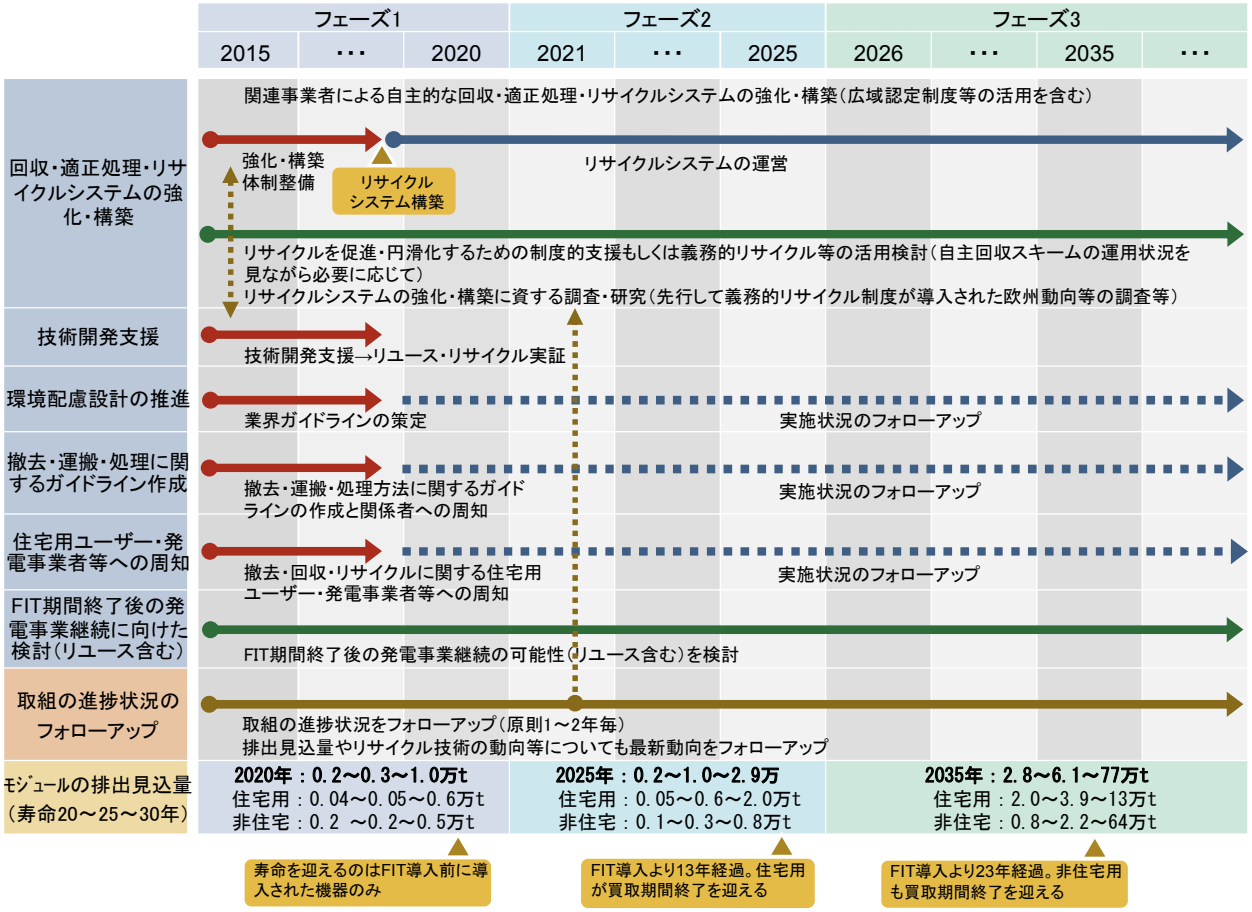


図 1-41　使用済太陽光発電設備のリサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップ

表 1-22　ロードマップに示した対策メニューとオプションの詳細

対策メニュー	検討主体	検討時期	オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題
回収・適正処理・リサイクルシステムの強化・構築	関連メーカー 産廃処理・リサイクル業者 国 研究機関	FY2015～	廃掃法広域認定制度の活用	関連メーカー 産廃処理･リサイクル業者	システム構築の準備期間として3 年程度を想定	■ 廃掃法の広域認定制度に基づき各関連メーカーもしくは業界団体が回収～再資源化までのリサイクルシステムを構築。 ■ 回収ポイントまでは施工業者等が運搬（費用は住宅用ユーザー・発電事業者等が負担）。	■ 自主的なスキームであるため、排出量の段階的な増加にも柔軟な対応が可能。 ■ 関連メーカー個社で実施する場合は、メーカー不存在（倒産等）への対応が必要。関連メーカーがリサイクルに関与することで環境配慮設計へのインセンティブも働く。 ■ 資源有効利用促進法（指定再資源化製品）へ位置づけることもあり得る。
			リサイクルを促進・円滑化するための義務的リサイクルの実施	関連メーカー 施工業者 建物解体業者等	自主的なリサイクルシステムの運用状況も見ながら継続的に検討	■ 例えば、住宅用ユーザー・発電事業者等が施工業者等に撤去・引取を依頼（撤去・引取費用を負担）。施工業者等が SY に持ち込み。関連メーカーは SY～再資源化までのリサイクルシステムを構築。	■ 費用が適切に転嫁されない場合は、施工業者等が適正処理費用の負担忌避による不法投棄の可能性が存在。関連メーカーが市場から撤退した場合、あるいは倒産した場合に、撤退・倒産した関連メーカーが製造した製品（Orphan Products）の廃棄費用をどのように担保するのか検討が必要。
			リサイクルシステムの強化・構築に資する調査・研究	国 研究機関等	海外制度の動向等も見ながら継続的に検討	■ リサイクルシステムの強化･構築に資するよう継続的に調査・研究を実施。	■ 主な検討課題としては、先行して義務的リサイクル制度が導入された欧州動向等の調査や、排出量・フロー把握、環境影響評価、経済性評価などが想定。
技術開発支援	国	FY2014～	技術開発支援	産廃処理･リサイクル業者 国	5 年程度	■ リサイクル技術開発（処理技術、利用技術）への財政支援	■ NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）にて技術開発プロジェクト遂行中（FY2014-2018）。 ■ 撤去、回収費用が大きいことから、社会システムの検討と連動した検討が必要（開発目標の見直し等）。

対策メニュー	検討主体	検討時期	オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題
							■ リサイクル方法について国際整合性にも配慮が必要。
			リユース・リサイクル実証	関連メーカー 産廃処理・リサイクル業者 国	5 年程度	■ リユース・リサイクルの実証事業の実施	■ リサイクル技術開発の次のステップとしての位置づけ。社会システムの実証も含む。 ■ 欧州におけるリサイクルシステムや技術と協調させる等、国際的な取組との整合にも配慮することが望ましい。 ■ リユースとリサイクルを併せて事業化する形態も想定（リユース品規格の策定などのリユース市場環境整備のための検討も含む）。
			設備導入補助	産廃処理・リサイクル業者 国	排出量の増加状況を見ながら随時	■ リサイクル設備導入への財政支援	■ 設備導入の規模については要検討。
環境配慮設計の推進	関連メーカー 国	FY2015～	環境配慮設計ガイドラインの策定とフォローアップの実施	関連メーカー	検討期間として 3 年程度を想定	■ 関連メーカーにおける環境配慮設計の推進	■ 業界ガイドラインの策定と実施状況のフォローアップ等。
撤去・運搬・処理に関するガイドライン作成	国	FY2015～	撤去・運搬・処理に関するガイドライン作成	施工業者 建物解体業者 建設工事業者 産廃処理・リサイクル業者 国	検討期間として 3 年程度を想定	■ 撤去・運搬・処理方法に関するガイドラインの作成と関係者への周知	■ 推奨される撤去・運搬・処理方法を関係者に広く周知。施工業者の資格制度・認定制度との連携も一案。 ■ リサイクルシステムの構築状況や技術開発状況を踏まえてリバイズ。
撤去・回収・リサイクルに関する住宅用ユーザ	国	FY2015～	撤去・回収・リサイクルに関する住宅用ユーザー・発電事	施工業者 建物解体業者 建設工事業者	周知方法の検討期間として 3 年程度を想定	■ 撤去・回収・リサイクルに関する情報を住宅用ユーザー・発電事業者等が得るための仕組み	■ 住宅用ユーザー・発電事業者等との接点となりうる施工業者や小売店、関連メーカー等を通じた撤去・回

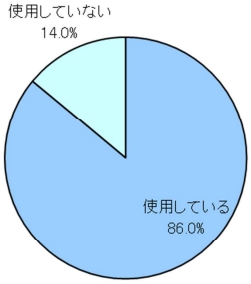
対策メニュー	検討主体	検討時期	オプション	関係主体	検討期間	実施内容例	検討課題
ー・発電事業者等への周知			業者等への周知	国		づくり	収・リサイクルに関する情報提供。 ■ 固定価格買取制度と連携しながら周知することも検討。
FIT 期間終了後の発電事業継続に向けた検討（リユース含む）	国	FY2018～	FIT 期間終了後の発電事業継続に向けた検討（リユース含む）	国	検討期間として 5 年程度を想定	■ モジュール廃棄時期の先延ばしのため、FIT 期間終了後の発電事業継続の可能性（リユース含む）を検討。	■ モジュールは FIT 期間終了後も発電可能との見解あり。 ■ 有望なリユースビジネスモデルがあれば推進。

2. 太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する検討

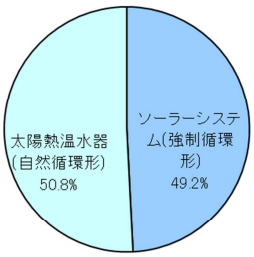
2.1 太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する調査と現状分析

2.1.1 太陽熱利用システムの撤去・運搬・処理に関する調査

- インターネットによる消費者向けアンケートを実施した。アンケートでは、太陽熱利用機器の説明を行い、太陽光発電機器と違う旨を記載し、回答者の誤解がないよう工夫した。
- 太陽熱利用機器を保有している人（4,947 人）のうち、太陽熱利用機器を使用している人は 86%、使用していない人は 14%であったことから、太陽熱利用機器の退蔵率は 14%という結果が得られた[2]。その結果に対して、太陽熱利用機器メーカーより、農村地域や空き家における太陽熱利用機器の退蔵数が多く、アンケート調査結果の退蔵率よりも実際の退蔵率は高いのではないかとの指摘があった[3]。
- 太陽熱利用機器の使用者（2,189 人）のうち、太陽熱温水器とソーラーシステムの使用者はほぼ同数であった。
- 太陽熱利用機器の使用者（2,189 人）のうち、現在使用している太陽熱利用機器の措置について「未定」と回答した人は 37%、次いで、「取外した後、処理業者に処理をお願いする」33.2%、「そのまま設置しておく」23.3%である。



太陽熱利用機器の利用状況
（n＝4,947）

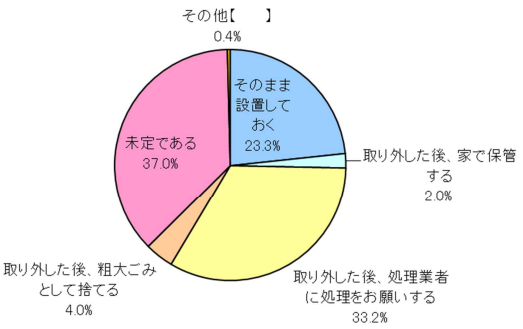


使用している太陽熱利用機器の種類
（n＝2,189）

---

[2] 本アンケート調査は、プレ調査・本調査の２段階方式で実施。プレ調査における太陽熱利用機器保有者は 4,947 人で、退蔵率は 14%であった。本調査における太陽熱利用機器保有者は 2,473 人で、退蔵率は 12%であった。回答数の多いプレ調査の結果を採用し、太陽熱利用機器の退蔵率を 14%とした。

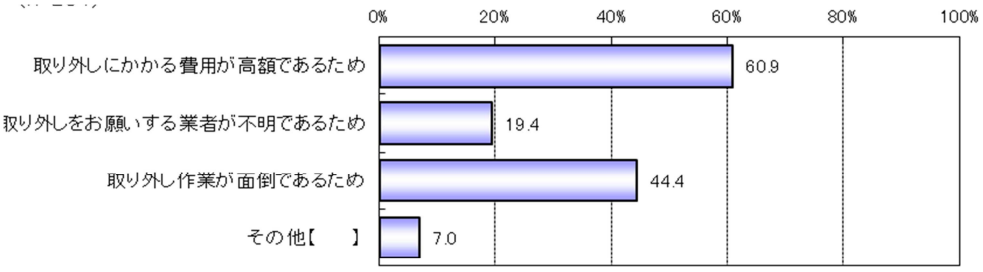
[3] 空き家における退蔵率は今回のアンケートでは把握できない。また、本アンケート回答者に占める農村地域に居住している方の割合が、実際の農村地域に居住している方の割合と比較して低い可能性もあるため、実際の退蔵率が今回のアンケート結果よりも高い可能性があると考えられる。



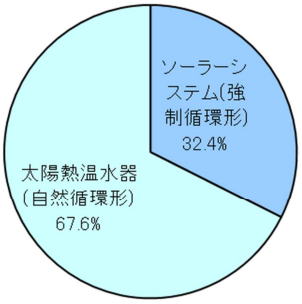
想定される太陽熱利用機器使用後の措置
（n=2,189）

図 2-1　太陽熱利用機器に関するアンケート調査結果

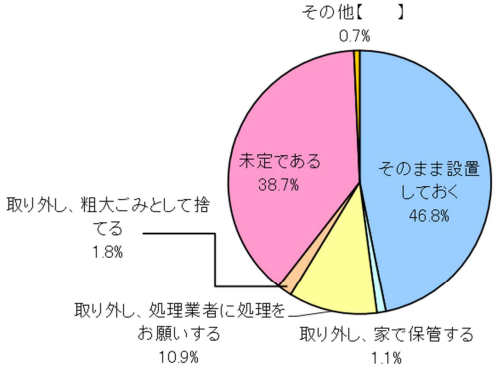
- 太陽熱利用機器の退蔵者が有する機器の種類について尋ねたところ、太陽熱温水器が約 7 割を占めた。
- 太陽熱利用機器の退蔵者が、太陽熱利用機器の取外しを行わない理由について、「費用が高額であるため」との回答が約 6 割、「取外し作業が面倒であるため」との回答が約 4 割であった。
- 太陽熱利用機器の退蔵者に、今後の予定を尋ねたところ、退蔵している太陽熱利用機器を今後「そのまま放置しておく」と回答した人が約 5 割、「未定である」と回答した人が約 4 割であった。



太陽熱利用機器の取外しを行わない理由（n＝284）



退蔵している太陽熱利用機器の種類
（n＝284）



想定される退蔵している太陽熱利用機器への今後の措置（n＝284）

図 2-2　太陽熱利用機器に関するアンケート調査結果

2.1.2　使用済太陽熱利用システムの取扱実態の把握

- 使用済太陽熱利用システムの撤去から処分までのフロー及びフロー上の関係者における使用済太陽熱利用システムの取扱実態を把握することを目的として、ヒアリング

調査等を実施した。

- ヒアリング等を実施した関係者は、太陽熱利用システムの施工業者、産業廃棄物処理業者、太陽熱利用システムメーカーである。

表 2-1　使用済太陽熱利用システムの取扱実態

項目	本調査で得られたファクト
● 太陽熱利用システムの設置について	● 太陽熱利用システムの設置件数は、最近10年以上減少傾向にある。
● 太陽熱利用システムの特性	● 太陽熱利用システムの設置を前提に家を建てている人は少なくいため、太陽熱利用システムは、ワイヤーで屋根に止めていることが多い。製品重量が200kg以上はあるため、屋根・家屋に負荷はかかっていると考えられ、古くなるといずれ落ちてしまう懸念もある。 ● 使用済み太陽熱利用システムを住宅の屋根に載せたままにすると、屋根が傷むと考えられる。太陽熱利用システムはタンクに水が入った状態で安全なように設置されていることから、使用していなくてもタンクに水を入れておく必要がある。タンクに水を入れておかないと、強風にあおられて危険であり、落下しなくとも、強風によってタンクがずれることがある。強制循環形で屋根の上にタンクがなくパネルのみが屋根に載っている場合でも落下の可能性はある。
● 取り外し理由	● 家の建て替え・改装、システムの老朽化、買い換え、災害時の危機管理、美観等
● 撤去後の太陽熱利用システムについて	● 不凍液は廃油と一緒に廃油の処理業者に処理を委託している。 ● 使用済みの太陽熱利用システムをⅠ.施工業者が解体する場合と、Ⅱ.そのままの形で処理を委託する場合がある。 ● Ⅰの場合、撤去した温水器は社屋で解体し、部品・素材毎に廃棄物処理業者やスクラップ業者に引き渡している。ガラス（破砕してカレット化）や断熱材（発泡スチロール）、FRPは逆有償で引き渡している。金属系のものは売却できるが市況によって価格は上下する。
● 太陽熱利用システムの処理・リサイクルについて（使用済み太陽熱利用システム引き取っている廃棄物処理業者の例）	● ガス機器の金属リサイクルが主な事業であり、その一環として、施工業者が取り外した太陽熱利用システムの引取りがある。施工業者が取り外した機器は、取り外したままの状態で分解などはされていない。 ● 自社では、太陽熱利用システムのガラス部分を箱の中で破砕して、ガラスを取り除く。プラと鉄部分は、重機で細かくした後、手選別にて、プラと鉄部分を回収する。鉄は自社にてプレス機で圧縮している。 ● 自社で素材別に分解した後の鉄は、鉄問屋に売却。プラスチック・ガラスは、費用を支払い、処理委託している。プラスチックは、高炉にてケミカルリサイクルを行っている。ガラスはキルン型焼却炉で燃料として利用されている。

- 使用済太陽熱利用システムの取り外し事例を示す。
- 取り外す温水器はタンク容量 200L の自然循環形であり、水漏れ等があったため新品と交換することになった。約 18 年間使用されたものであった。
- 取り外しの際は２名で作業を実施する。取り外しに要する時間は 1 時間程度である。撤去から取付までを含めた時間は 2 名で 1.5～2 時間程度である。平屋だと 1 時間程度となる。

手順	内容
手順①	● 屋根にはしごを掛けて1名が屋根上へ移動する。屋根とはしごとの接点にはクッション材を挟むことで屋根が傷まないように工夫している。
手順②	● 地上にいる作業員が水を供給する元栓を閉めてからタンクに貯まった水を抜く。
手順③	● 水が抜けた後に屋根上の作業員がホースやワイヤーを切断する。地上にいる作業員も屋根上へ移動する。
手順④	● パネルを取り外す。200Lの容量のものであれば集熱パネル2枚（各15kg程度）とタンク部分（30kg程度）に分けて撤去作業を実施する。

手順①の様子

手順③の様子

手順④の様子

取り外した機器のタンク部分
（施工業者が保管しているもの）

図 2-3　使用済太陽熱利用システムの取り外し事例

2.1.3　使用済太陽熱利用システムの撤去から処分までのフロー

- 調査結果を踏まえ作成した、使用済太陽熱利用システムの撤去から処分までのフローを下図に示す。これらのルートは、アンケート調査やヒアリング調査から推定した流れであり、この他にもフローが存在する可能性がある点に留意が必要である。

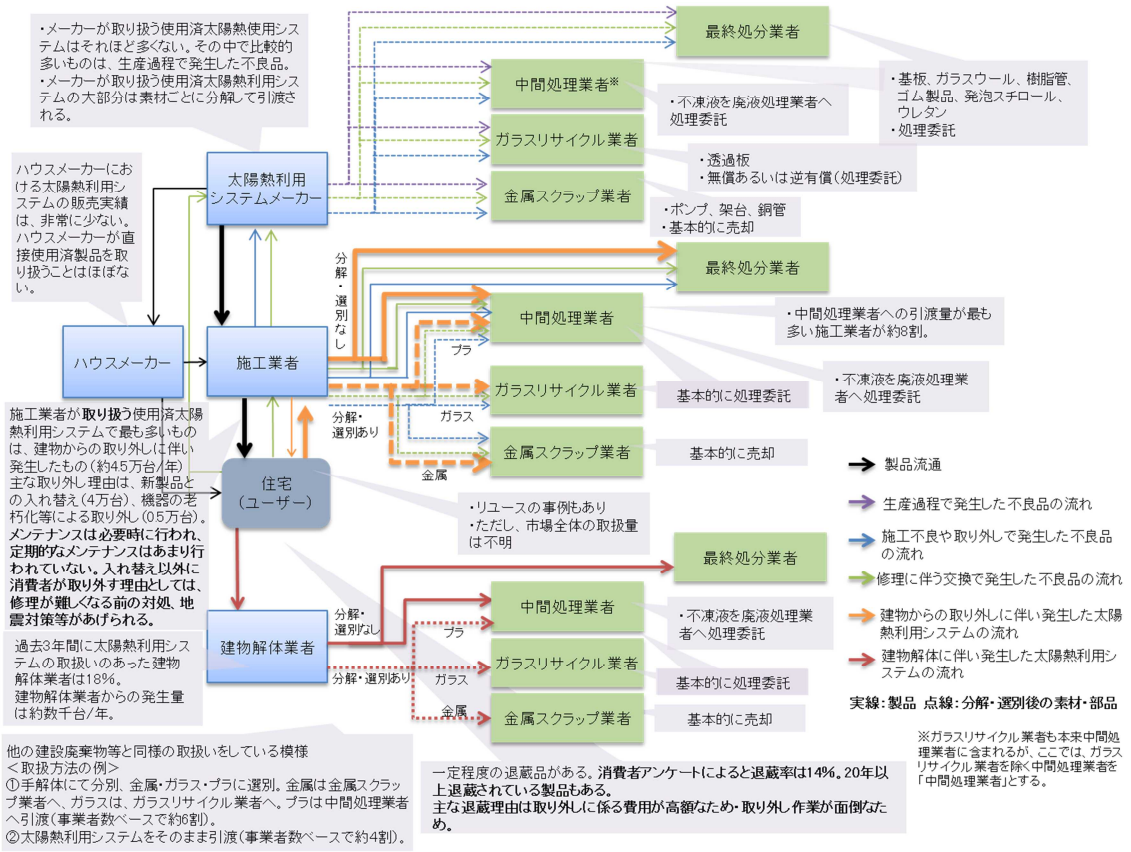


図 2-4　使用済太陽熱利用システムの撤去から処分までのフロー

2.2　現状分析を踏まえた今後の方向性

2.2.1　適正処分の担保

- 不法投棄防止の観点からは、大部分は産業廃棄物としての排出が見込まれ、この場合、排出者責任に基づく適正処分の義務が排出事業者に発生する。量は少ないが一般廃棄物としての排出可能性にも留意が必要である。
- 最終処分場での適正管理の観点からは、廃棄物処理法に基づく適正処分が担保されていれば、特別な配慮等は必要ないと考えられる。
- 製品の排出特性の観点からは、製品の退蔵率が 14%であり、一定程度の製品は退蔵されている。
- 以上を踏まえ、課題及び今後の方向性として以下が考えられる。
  - 顕在化している問題はないが、必要に応じて、太陽光発電システムとともに検討を継続していく。
  - 排出が長期にわたって続くことが想定されるため、引き続き、モニタリングを行っていく。

2.2.2　リサイクル

- リサイクルの観点からは、ポンプ・架台・銅管等の金属がリサイクルされていることが確認され、特段問題はないと考えられる。

2.2.3　排出者責任・製造者責任

- 費用負担・処理責任の観点からは、産業廃棄物となった場合、一義的な費用負担・処理責任は排出事業者（施工業者、建物解体業者等）にあり。多くの場合、費用についてはユーザーに転嫁されている。費用負担したくないユーザーにおいては、製品が退蔵されている。
- 製造者不在への対応の観点からは、太陽熱利用システムから撤退したメーカーでは、自社 HP にて他メーカー紹介の案内を行うとともに、一般社団法人ソーラーシステム振興協会においても、問い合わせがあった場合には、メーカーの紹介を行っている。
- 以上を踏まえ、課題及び今後の方向性として以下が考えられる。
  - 排出が長期にわたって続くことが想定されるため、引き続き、モニタリングを行っていく。
  - 顕在化している問題はないが、必要に応じて、太陽光発電システムとともに検討を継続していく。

3. 風力発電設備の撤去・運搬・処理に関する検討

3.1 風力発電設備の撤去・運搬・処理に関する調査と現状分析

3.1.1 風力発電設備の概要

中大型機で一般的な水平軸三枚翼式プロペラ式風力発電設備（以下、風車）の構成要素を表

3-1 風車の主要な構成要素と概要

構成要素		概要
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

出所）NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）「再生可能エネルギー技術白書」（2013）

- 表 3-1 に示す。発電機や増速機を格納したナセル、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。

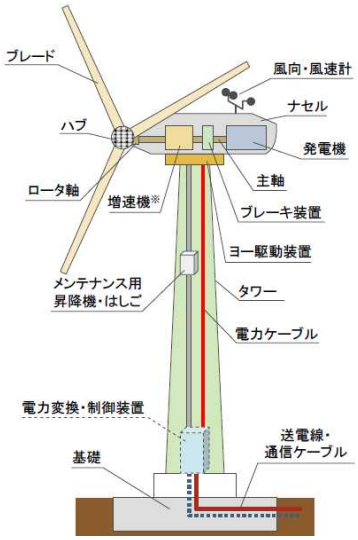


図 3-1 風車の主要な構成要素

出所）NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）「再生可能エネルギー技術白書」（2013）

表 3-1　風車の主要な構成要素と概要

構成要素		概要
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

出所）NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）「再生可能エネルギー技術白書」（2013）

3.1.2　風車の導入・廃棄実績

- 日本における風車の導入量推移を図 3-2 に示す。1990 年代後半から風車の導入が進み、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、2013 年度には総設置基数は 1,934 基、累積容量は 2,707MW に達している。固定価格買取制度の開始により、さらなる導入量の増加が見込まれている。
- 風車の設計寿命は一般的には 15～20 年と言われているが、増速機など複雑な機構を持つ部品は故障しやすく、事業期間中に 2～3 回の修理が必要となる可能性がある。
- 日本における風車の廃棄量推移を図 3-3 に示す。また近年になり、普及初期に設置された中小型風車を中心に撤去事例が増加している。撤去の実績は 1980 年代から既に見られるが、これらは実証試験用であり、5 年経たずに撤去しているものが中心である。その後 1992～1998 年には撤去事例が確認されていないが、2000 年代以降にかけて基数・総容量ともに増加傾向にある。

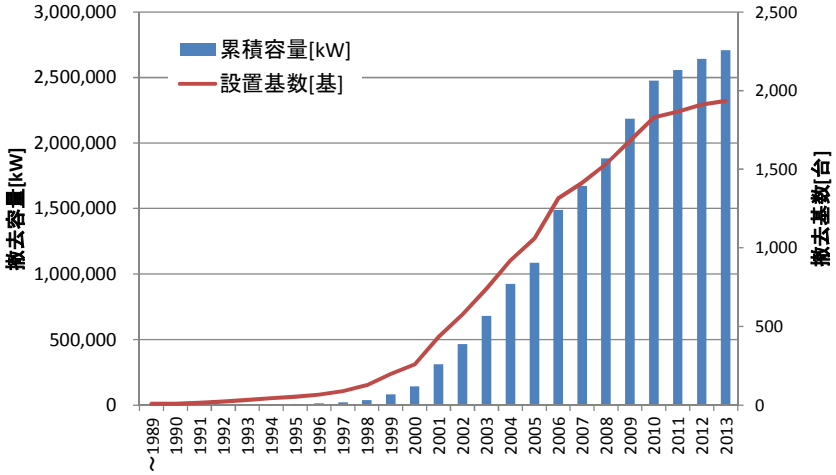


図 3-2　日本における風車の導入量推移

出所）NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）データベース
（http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/reference.html）

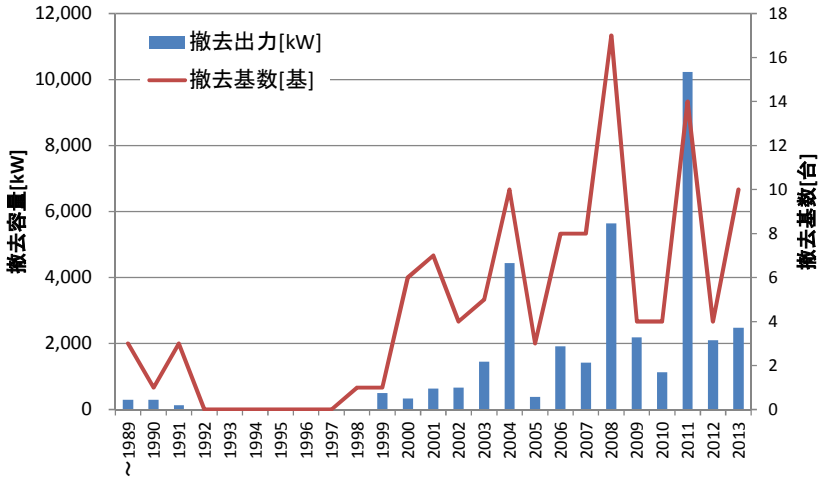


図 3-3　日本における風車の廃棄量推移

出所）NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）データベース
（http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/reference.html）

3.1.3　風車のリユース市場の動向

- 欧州や米国では風車のリユース市場が形成されており、風車単位、部品単位でリユース品が取引きされている。風車の急激な大型化に伴い、寿命前の中小型風車（数百kW）が大型風車（2～3MW）に一斉にリプレースされた際に、大量の中古風車が発生し、中古市場が形成された。
- 欧州や米国の風力発電プラントは発電所全体の規模が大きく、プラントあたりの基数が多い（数十～数百基）ことから、同じ地域に同一機種が大量に存在しており、互換性のある部品が一定地域に一定数量で回るなど、中古部品市場が成立しやすい条件が整っている。
- 日本においては、故障しやすく高価な増速機等の大型部品を中心に国内事業者にリユース品のニーズはあるものの、市場を形成するに十分な量の中古風車および中古部品

が存在しないため、現在はリユース品の流通に係る事業は確認されていない。

表 3-2　風車の主要構成要素と中古品利用のニーズ

リユース形態	概要	市場ニーズ
風車単位	何らかの理由で、設計寿命前・故障前に使用済となった風車を、他の場所に移設し、風車ごと再利用する	・ 高価な新品風車購入のための資金調達が困難なため、あるいは高価な新品風車では採算が合わないため、安価な中古風車を購入したい ・ 広大な土地があり、高価な新品風車よりも、安い中古風車を多く設置した方が事業採算性がよい
部品単位	何らかの理由で、設計寿命前・故障前に使用済となった付加価値の高い部品（増速機、発電機等）を、他の風車で再利用する	・ 事業期間数年を残して部品が故障した場合、高額な新品の増速機や発電機では採算が合わないため、安価な中古部品を購入したい ・ 調達期間が数か月かかる場合、その間の発電停止による事業収益への影響が大きいため、すぐに調達できる中古部品を購入したい ・ 同じ型式の部品が製造中止になっているため、中古部品を購入したい
部材単位	何らかの理由で使用済となった部品を構成する、軸受、ボルト、歯車等の部材を、他の風車で再利用する	・ 新品を購入するよりも、他の故障部品内の部材を再利用して安価に修理したい

3.1.4　風車の素材構成

- 代表的な 2MW クラスの風車（Gamesa[4]製 2MW 機、増速機付き）の主要素材の割合を図 3-4 に示す。風車全体としては基礎に使用されるコンクリートが重量の 8 割を占めている。基礎を除いた風車本体の主な素材は鉄（約 88%）や銅（約 3%）、アルミニウム（約 0.4%）といった金属や、ガラス繊維強化プラスチック（以下、GFRP とする）（約 8%）であり、約 9 割が金属で構成されている。
- 鉄や銅、アルミニウムといった金属、コンクリートや GFRP は既存のリサイクル・処理ルートが確立しており、風車の撤去時には、産業廃棄物処理業者・リサイクル業者等への委託により、一般的なリサイクル・処理が行われていると考えられる。
- 代表的な風車のナセルの主要素材の割合を図 3-5 に示す。ナセル内部品の約 90%は鉄で構成されており、残りは銅、アルミニウム、GFRP、潤滑油等で構成されている。
- またギアレス式（増速機を用いないタイプ）の風車では、永久磁石式同期発電機が使用されている場合がある。永久磁石には、レアメタル（ネオジム、ジスプロシウム）が含有されており、ギアレス／永久磁石式同期発電機を用いている 2MW の風車では、1.5～2 トンの永久磁石を使用し、うち約 30%がネオジム、約 4%がジスプロシウムで構成されている[5]。

---

[4] スペインを代表する風力発電機メーカー。増速機付き・誘導発電機式の風車を販売。

[5] 第 6 回産総研レアメタルシンポジウム「風力発電における永久磁石利用の動向」（2011 年 10 月 24 日/三菱重工業（株）発表資料）

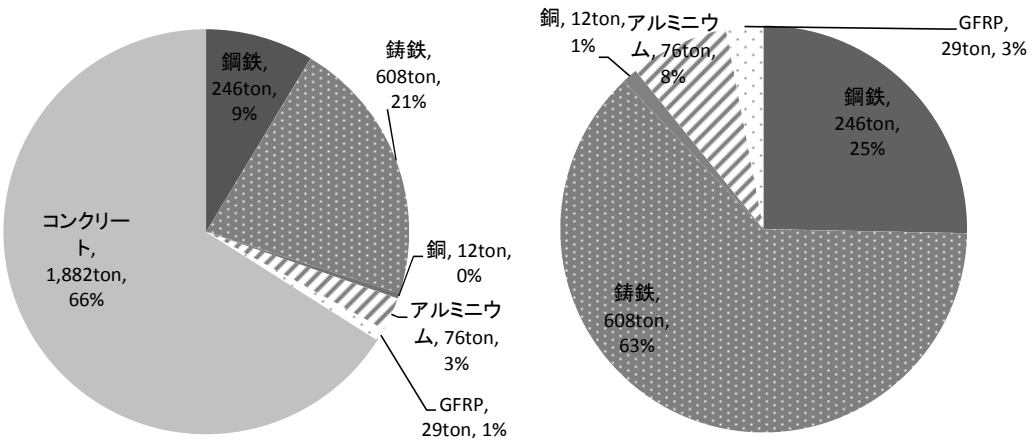


図 3-4　風車の主要素材の割合（単位：t）
（左：基礎を含んだ設備全体における割合、右：コンクリート以外の素材における割合）

出所）“LCA of ENERCON Wind Energy Converter E-82 E2”（ENERCON）

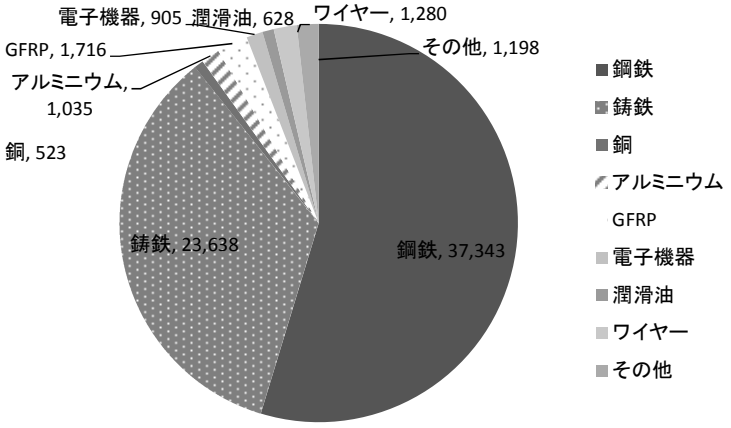


図 3-5　ナセルの主要な素材の割合（単位：kg）

出所）“LIFE CYCLE ASSESSMENT OF 1KWh　GENERATED BY A GAMESA ONSHORE WINDFARM G90 2.O Mw”　(2013, Gamesa)

3.1.5　風車の撤去・運搬・処理のコスト

- 風車の撤去・運搬・処理に係るコスト（以下、廃棄コスト）の事例を表 3-3 に示す。風車の廃棄コストは、事業者へのヒアリングにより、1MW 前後の風車一機あたり 1,000 万円/機程度（1.6 万円/kW 程度）との情報を得ている。
- また、発電事業者等に対するアンケート調査（詳細は 3.1.6 で後述）では、廃棄コスト（処理委託費用・素材売却収入含む）について 19 件のデータが得られた（図 3-6）。しかしながら、発電規模、立地、用途（実証試験用か商用か）、運営主体（自治体か民間か）によって相当の幅を持つ（0.8～28.8 万円/kW）ことが示唆されたため、標準的なコストの把握にあたっては、更なるデータの蓄積が望まれる。
- 同アンケート調査において、素材売却収入については 8 件のデータが得られ、平均値

は 0.6 万円/kW であった。現状では素材の売却収入によるコスト回収は難しいと考えられる。

- 処理委託費用については 9 件のデータが得られ、平均値は 0.2 万円/kW であった。

表 3-3　風車の廃棄コスト事例（750kW 風車 4 基）

費目	主要コスト事例	備考
クレーンのレンタル費用	3,300 万円程度	大型クレーンのレンタルコストのほか、大型クレーンを組み立てるためのクレーンや、クレーンの運搬に係るコストなど。ここでは、具体的に、500t クラスのクレーン 1 台、および、50t クラスのクレーン 2 台を想定。
解体費用	800 万円程度	解体に係る一般管理費・人件費等。
クレーン養生（鉄板敷設等）費用	200 万円程度	クレーン設置養生や作業道路補修、砂利施設工などに係るコスト。
専用治具レンタル費用	300 万円程度	クレーンで風力設備の部品を釣る際に要する専門器具。
基礎の撤去、埋設ケーブル解体費用	200 万円程度	基礎に関しては、表面の 30cm 程度を取り除き、埋め戻すケースが多い。
合計	4,800 万円程度（16,000 円/kW 程度）	

出所）事業者提供資料

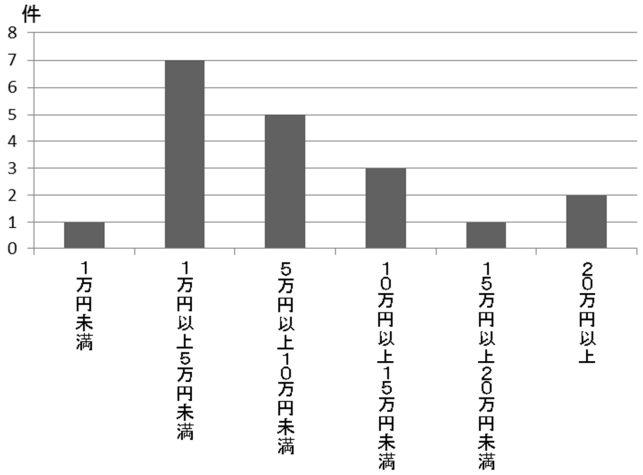


図 3-6　風車の廃棄コスト[万円/kW]の分布

出所）事業者へのアンケート調査

3.1.6　風車のリユース・リサイクル・処分の実態

- 風車のリユース・リサイクル・処分について、発電事業者等に対するアンケート調査およびヒアリング調査により情報収集を行った。発送数 121 件のうち、83 件（69%）から回答を得られた。
- 風車のリユース（風車単位、部品単位）については、現状ではリユース品を使用したことのある事業者の割合は小さいものの（17 件、21%）、特に調達にコスト・時間のかかる大型部品（増速機や発電機等）の利用実績・利用意向が確認された（図 3-7）。またヒアリング調査により、大手事業者を中心に、自社内で発生した故障品を修理し、他の風車で再利用する形態が多いことが確認された。

- 風車のリサイクル・処分については、21 件の廃棄事例が確認された。風車の撤去・解体から処理まで、土木・建築業者や電気工事業者等に一括で委託される事例が多い（図 3-8）。また、ヒアリング調査により、解体後の処理については、解体現場で金属スクラップ業者および廃棄物処理業者に引き渡されている事例が多く確認された。排出主体は発電事業者であり、廃棄物処理法およびマニフェスト制度の元で適正に処理が行われているものと想定される。
- 有用資源としては、永久磁石式発電機に含まれるネオジム、ジスプロシウム等のレアメタルが挙げられる。今回のアンケートでは 3 件の永久磁石式発電機の廃棄事例があり（図 3-9）、金属スクラップ業者に引き渡されたことが確認されたが、磁石としてリサイクルされた実績については確認できなかった。

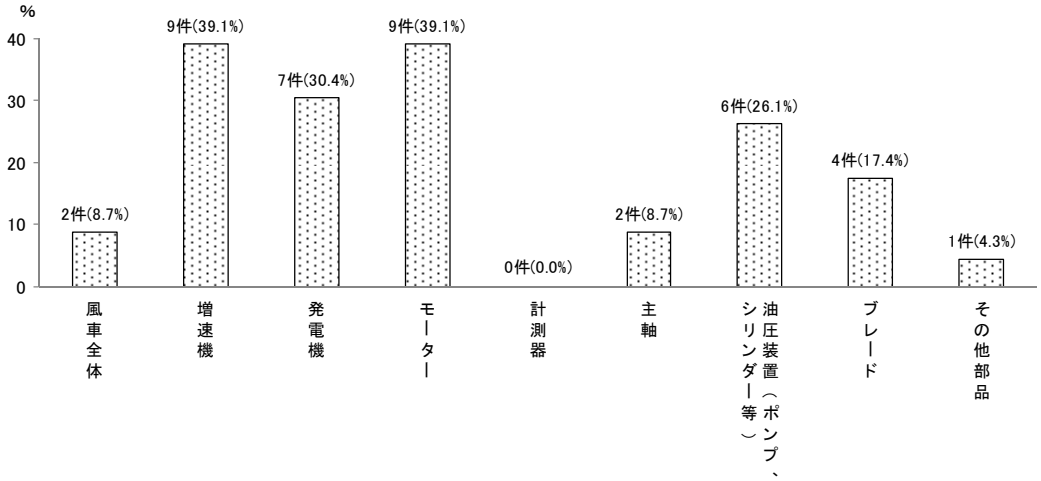


図 3-7　利用した、または利用を検討したことのあるリユース品の種類

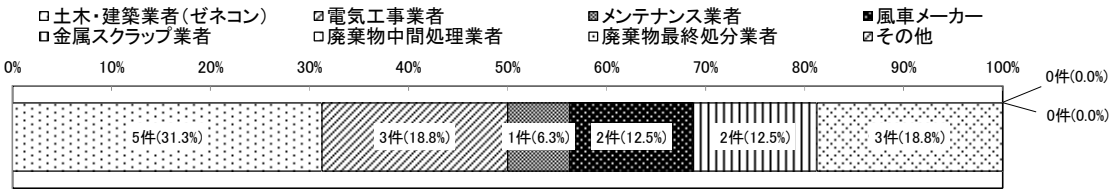


図 3-8　撤去した風車の引渡し先

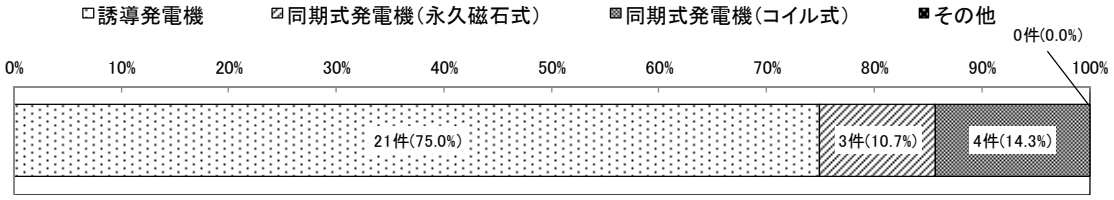


図 3-9　廃棄した発電機の種類

3.2　現状分析を踏まえた今後の方向性

3.2.1　リユース

- 現状では、国内市場が小さく、多種多様な機種が導入されている（すなわち多種多様な部品が使用されている）ことから、互換性のある部品が一定地域に一定数量で回る

状況になく、リユース市場は形成されていない。

- 一方で、アンケート調査結果ではリユース品の利用実績が一定数存在している。自社内で発生した故障部品を修理し、他の風車で再利用するなど、経済合理性に基づき、部品のリユースが行われている。
- また、リユース品の利用意向も一定数存在する。理由は、リユース品のコスト面の魅力、調達期間の短さが挙げられる。一方で品質面、製品保証面を不安視する意見が挙げられている。
- 以上を踏まえ、課題及び今後の方向性として以下が考えられる。
  - 今後の風力発電市場の動向や、リユース市場の拡大可能性を踏まえて、必要支援施策等（事業者への情報提供等）についてフォローアップしていく必要がある。

3.2.2　リサイクル

- リサイクルの観点からは、風車（基礎を除く）の 9 割は金属で構成されており、これらの素材は既存のリサイクルルートが確立している。また、ブレード等に使用されている GFRP は一定量排出されるため、海外においてリサイクル技術の研究が進められている。
- 特にレアメタルのリサイクルの観点からは、永久磁石式の同期発電機が注目される。現状では、増速機付きの誘導発電機を用いた風車が主流であり、永久磁石式の同期式発電機の市場シェアは小さいが、一定量の永久磁石が使用されている。なお、今回確認された 3 件の永久磁石式発電機の廃棄事例では金属スクラップ業者に引き渡されたことが確認されたが、磁石としてリサイクルされた実績については確認できなかった。
- 以上を踏まえ、課題及び今後の方向性として以下が考えられる。
  - 顕在化している問題はないが、GFRP のリサイクルについて、フォローアップしていく必要がある。
  - 今後の技術開発動向、永久磁石式発電機の普及動向を踏まえて、レアメタルのリサイクル可能性についてフォローアップを行う必要がある。

3.2.3　適正処分の担保

- 不法投棄防止の観点からは、大部分は産業廃棄物としての排出が見込まれ、この場合、排出者責任に基づく適正処分の義務が排出事業者に発生する。
- 最終処分場の適正管理の観点からは、廃棄物処理法に基づく適正処分が担保されていれば、特別な配慮等は必要ないと考えられる。
- 廃棄コストの観点からは、固定価格買取制度では、設置コストの 5%（1.5 万円/kW）が廃棄コストとして見込まれている。一方、本調査で得られた廃棄コストは発電規模、立地、用途（実証試験用か商用か）、運営主体（自治体か民間か）によって相当の幅を持つことが示唆された。
- 以上を踏まえ、課題及び今後の方向性として以下が考えられる。
  - 不法投棄防止については、顕在化している課題はないが、社会情勢の変化を踏まえつつ、必要に応じて検討を行う。

- 廃棄コストについては、事例が少ないため、今後事例の収集を積み重ねていくことが必要である。
- 将来的な適正処分を担保するためには、事業計画段階で適正な廃棄コストを見込むことが重要であり、本調査で得られた結果について、事業者への情報提供等を継続的に進めていくとともに、今後の排出状況やリサイクル技術の進展を踏まえて適切に廃棄が行われているかどうか、フォローアップを行う必要がある。

以上