平成 28 年度環境省委託事業

平成２８年度低炭素型３Ｒ技術・システム実証事業

使用済太陽電池モジュールの新たなリサイクル、リユースシステムの構築実証事業

報告書

平成 29 年 3 月 1 日

リサイクルテック・ジャパン株式会社

目 次

図 目 次

表 目 次

単 位 ・ 略 称 の 一 覧

本報告書では、以下のとおり単位および略称の統一を図る。

単位

本報告書での表記	正式名称･意味など
残存出力率（%）	使用済太陽電池モジュールの実出力（Pmax）／使用済太陽電池モジュールの新品時での公称出力（Pmax）

略称

本報告書での表記	正式名称･意味など
パネルガラス	太陽電池モジュールのパネルに使用されているガラス
パネル	太陽電池モジュールからアルミフレームを外したもの。ガラスとセルシートがまだ接着した状態
PCS	Power Conditioning System
RTJ	リサイクルテック・ジャパン株式会社
NPC	株式会社エヌ･ピー･シー
GRCJ	ガラス再資源化協議会
アルミ	アルミニウム

要旨

本事業では、ガラス再資源化協議会（GRCJ）協力の下、昨年度のリユース、リサイクルそれぞれの事業課題であったコストの問題（リユースにおいては、運搬にかかるコストおよびモジュールの品質を検証するための外観チェックと性能診断コストの削減、リサイクルにおいては、圧縮破砕処理にかかるコストの削減課題）を解決するため、太陽電池モジュールのリユース・リサイクル一体型モデルの実用化のための検証を行った。

具体的には、本事業では、リユース・リサイクル一体型モデルを想定し、事業課題の検証を行った。この事業モデルとは、同一の施設でリユース化とリサイクル化を行うものである。排出現場にて発生した太陽電池モジュールについて、現場にてひび割れの有無について簡易チェックし、ひび割れなしをリユースの可能性あり、ひび割れのあるものをリユースの可能性なしと仕分ける。仕分けされたモジュールを施設に搬入し、それぞれリユースのための外観チェックと性能診断、リサイクルのための処理を行う。

実証実験の結果、リユースについては、運搬デモによりモジュールの性能に悪影響を与えず、かつ簡便な梱包手法を選定したことで資材コストを 1/10 に圧縮できた。また、一体型モデルにより運搬回数も半分に抑えられた。リユースの品質確認作業にかかるコストである外観チェックコスト、性能診断コストについても、排出現場でひび割れの有無のみを確認する簡易外観チェックを行い、リユースの可能性のあるものだけを受け入れることで作業効率を向上させた。これにより、資材コストを含む運搬コスト、処理施設での詳細な外観チェックコスト、性能診断コストの合計（＝リユース作業コスト）が約 4,500 円/枚となり、目標としていたリユース作業コスト 4,000～5,000 円/枚に近づけることができた。

リサイクルにおける圧縮破砕コストのコストダウンについては、事前に処理するモジュールのサイズや厚み、種類などの性状を揃え、作業を効率化させることにより、施設での仕分け作業コスト、アルミフレーム外しの作業コスト、圧縮破砕コストを約 30 円/kg 削減することができ、目標としていた処理コスト 100 円/kg 程度を達成した。

ガラスカレットのセラミックタイル化について、一次焼成だけでなく二次焼成も可能であるか検討を行ったところ、原料調合、二次焼成ともに問題なく再製品化された。物性試験結果も、壁材、床材ともに定められた基準値をクリアした。セラミックタイル化について、本検討により、処理方法が明確化された。今後、低炭素処理として実施するには、窯の焼成温度を下げて焼成できるよう、1 ロット分の焼成量（壁材であれば約 60t、床材であれば約 10t）が必要となる。したがって、大量販路の確定が必要となる。まだセラミックタイル化の販路が確定していないことから、既にリサイクルの取引実績があり、取引量の制限がなく、ガラスカレットの売却価格も同等のグラスウール化を、圧縮破砕処理によるガラスカレットの現時点の主な用途とすることとした。

圧縮破砕はモジュールのガラスがひび割れていたり、歪みがあっても問題なく処理することができる。また、結晶系や薄膜モジュールの合わせガラスタイプのものでも処理することができ、処理の対応幅が広い点が特徴である。圧縮破砕処理により生成されたガラスカレットはセラミックタイル原料やグラスウール原料として 1～2 円/kg との買取評価であった。一方、板ガラス原料とするにはアルミフレーム由来のアルミ粉など、禁忌金属くずの混入が

あること、圧縮破砕機のガラスに接触する機材の素材が禁忌金属を使用していることから、受け入れは難しいとの評価であった。

一方、ホットナイフや切削方式によって生成されたガラスプレートは、板ガラス化の可能性ありと評価されたが、モジュールにひび割れがないことなどの条件があり、搬入されたすべての廃棄モジュールに対応できないことがわかった。また、板ガラス原料の買取価格も切削は 5～8 円/kg、ホットナイフは EVA 樹脂などの有機物の残存が多かったことから 1～3 円/kg 程度であり、一方で処理コストがホットナイフで約 130 円/kg、切削で約 135 円/kg であることを考慮すると、現状では目標単価を超えるため、経済性は厳しいと考えられる。ホットナイフ処理と切削処理は、有機物の除去にかかる処理コストの削減が実現すれば、板ガラス化実現の可能性が見えてくると思われる。

本事業ではメインで想定している圧縮破砕処理について CO2 削減効果を算定した結果、セラミックタイル化で 313.5CO2-kg/t、グラスウール化で 395.5CO2-kg/t の削減効果が得られた。特にセラミックタイル化では、圧縮破砕の処理工程を改善したことにより、昨年度よりも削減量が 3.8CO2-kg/t 増加した。リユースにおける CO2 排出量削減効果についても試算を行った結果、太陽電池モジュール 1 枚あたりのリユースによる CO2 排出量削減効果は、109 CO2-kg/枚と算出された。

本実証事業の結果を踏まえた事業性の評価では、現状において最も経済性のよい圧縮破砕処理を行い、生成したガラスカレットは既にリサイクル実績のあるグラスウール化を想定した。リサイクルはすべて圧縮破砕処理するとしてリユース・リサイクル一体型モデルの収支試算を行った場合、年間 8 万枚（1,200t/年）処理で 7.3 百万円の収益が見込まれた。試算にあたり、太陽電池モジュールの構成比は、昨年度の使用済太陽電池モジュールも構成比と同等と仮定し、リユースの可能性ありを 16.7%、リユースの可能性なし（リサイクル処理）を 83.3%とした。性能診断等によりリユース可能品としたものについては、発電効率別に品質を 4 つに分類し、それぞれ販売単価を設定した。この試算の結果、主な収益は圧縮破砕による処理費であり、次いでリユースモジュールの販売収益、アルミフレームの売却益であった。主な支出は圧縮破砕による作業コストであり、次いでリユースの外観チェックと性能診断コストであった。アルミフレームありの前提で収支を試算したが、今後ノンフレームモジュールが主流になるとアルミ売却の収益が見込めなくなる。加えてリユースモジュールの単価の下落等、今後はより採算が厳しくなることが予想されることに留意が必要である。

リユース・リサイクル一体型モデルの事業化を進めるにあたり、圧縮破砕設備は既に当社に導入済みである。新たに導入するのは、リユースの性能診断に必要な機械設備および保管に必要な付帯設備である。事業化の課題として、リユースについては、性能診断後、有価価値の程度が最終決定されることから、未判断時のモジュールを一括調達する場合、買取価格が事業性上適切であるかどうかの検証が挙げられる。今後は、リユースモジュールのニーズについても詳細に市場調査を行い、使用済太陽電池モジュールの調達価格の設定、および品質ランク別のリユースモジュールの販売価格の設定について再検討を行い、事業性の再試算や新たな工場の選定等を行い、3 年後に事業化を図ることを想定している。

Summary

In order to resolve the business issues with last fiscal year's reuse and recycling costs (for reuse, the aim was to reduce transportation costs and the costs for appearance checks and performance evaluations to verify the quality of the modules, and for recycling, the aim was to reduce compression and crushing costs), we assessed the effects of putting the integrated reuse and recycle model for solar cell modules into practical use for our business, with the cooperation of the Glass Recycling Committee of Japan (GRCJ).

To be specific, we simulated an integrated reuse and recycle model and assessed its effect on our business objectives. The business model is to perform reuse and recycling at the same facility. Regarding the used solar cell module, first check the presence or absence of cracks at the site of disposal, for modules without cracks, there is a possibility of reuse, modules with cracks are classified as having no possibility of reuse. The separated modules are transported to the facility and those with potential for reuse go through appearance checks and performance evaluations, while those with no potential for reuse are processed for recycling.

As a result of the completing the assessment experiments for reuse, it was deemed that there were no adverse effects on the quality of the modules through the transportation demonstration, and material costs were reduced to 1/10th of the previous costs through the selection of simple packaging methods. Also, the number of transportations necessary was reduced by half through the integrated model. Through the simple check for cracks at the discharge site, only modules with the potential for reuse are brought in, improving efficiency and reducing the costs of appearance checks and performance evaluations, which are part of the quality control processes for reuse. As a result, the sum of material costs, transportation costs, costs for detailed appearance checks at the processing facility, and performance evaluation costs (=total costs for reuse) became roughly 4,500 yen per sheet, approaching the target costs of 4,000 – 5,000 yen per sheet for reuse.

Regarding the compression and crushing costs for recycling, by improving the efficiency of the procedures by grouping modules with similar sizes, thickness, types, and characteristics together beforehand, the costs for sorting at the facility, removing the aluminum frames, and compressing and crushing were reduced by roughly 30 yen per kg, realizing the goal of 100 yen per kg for processing costs.

Regarding the creation of ceramic tiles from glass cullet, after assessing the possibility of secondary firing in addition to primary firing, the process of recycling was completed without any issues for both material preparation and secondary firing. For physical property testing, standard values were met for both wall materials and floor materials. Through this assessment, the processing methods for creating ceramic tiles were made clear. For the future, when executing low - carbon processing, one lot worth of firing material (roughly 60 t for wall materials and roughly 10 t for floor materials) is necessary to enable firing at a lower oven temperature. Therefore, it is necessary to secure large - scale markets. Because markets have not been secured for ceramic tiles, we decided to designate glass wool, which has a similar sales value as glass cullet, as the main output for compressed and crushed glass cullet for now, as we already have trading experience for this type of recycling, and trading amounts are not limited.

Even if the glass has cracks or distortion, the compression and crushing method can process modules without any problems. In addition, the compression crushing process can be processed even with a laminated glass type (a part of a crystal system or a silicon type thin film module), which is characterized by a wide range of correspondence. The glass cullet produced through compression and crushing processes have a sale value of 1 ‑ 2 yen / kg as material for ceramic tiles and glass wool. On the other hand, use as material for sheet glass was assessed to be difficult, as the cullet contains prohibited metal scraps, such as aluminum powder from the aluminum frames, and the materials used in the portions of the compression and crushing machine that touch the glass contain prohibited metals.

On the other hand, the glass plate generated by the hot knife or cutting method was evaluated as possibility of recycling to the plate glass, but there are conditions such as no crack in the module, so it can not deal with all carried discard modules. In addition, the processing cost was about 450 yen / kg for the hot knife method, about 135 yen / kg for the cutting method, the selling price of the plate glass material was 5 - 8 yen / kg for the cutting method, per kg by the hot knife method it was 1 - 3 yen / kg. In addition, the purchase price of the plate glass raw material was 1 to 3 yen / kg for the hot knife and 5 to 8 yen / kg for the cutting. The hot knife was low in purchase evaluation because there was much residual organic matter such as EVA resin. On the other hand, the processing cost was about 130 yen / kg for the hot knife and about 135 yen / kg for the cutting. Currently both of them exceeded the target unit price of 100 / kg, so reduction of processing cost was required. If they realize reduction of processing cost for removal of organic matter for hot knife processing and cutting processing, the possibility of realizing recycling into plate glass will appear.

After assessing the effect of CO2 reduction for the compression and crushing procedures, which are assumed to be the main procedures for our business, the reduction values were calculated to be 313.5 CO2 ‑ kg/t for creating ceramic tiles and 393.5 CO2 ‑ kg/t for glass wool. For creating ceramic tiles, through the improvement of the compression and crushing procedures, the reduction amount was increased by 3.8 CO2 ‑ kg/t from last fiscal year. After also assessing the reduction of CO2 emissions for reuse, the reduction amount was calculated to be 109 CO2 ‑ kg/sheet for each solar cell module.

Evaluating the feasibility of our business based on the results of our assessments, we assumed the use of compression and crushing processes, which currently have the best economic efficiency, and the creation of glass wool, for which we already have recycling experience, from the glass cullet created for our calculations. Assuming that compression and crushing will be the only processes used for recycling, the income and expenditure estimate for the integrated reuse and recycle model forecasts a profit of 7.3 million yen when processing 80,000 modules per year (1,200 t per year). This estimate assumes that the composition ratio of solar cell modules is similar to the composition ratio of used solar cell modules from the last fiscal year, and that the modules with potential for reuse make up 16.7%, while the modules without potential for reuse (for recycle processing) make up 83.3%. For the modules that were considered to be reusable after performance evaluations and other checks, we created 4 quality lassifications based on power generation efficiency. In this estimate, the main source of profit was the processing fees for compression and crushing, followed by sales of reused modules and returns of aluminum frames. The main cost was the cost of compression and crushing, followed by the appearance check and performance evaluation for reuse. The income and expenditure estimate assumes the existence of aluminum frames, but as non - frame modules become mainstream in the future, income from aluminum can no longer be expected. In addition, it is necessary to consider that profitability is expected to become more difficult in the future, as the prices of reused modules decrease.

Upon advancing the business of the integrated reuse and recycle model, the compression and crushing facilities have already been implemented in our company. The facilities that must be newly implemented are the machine facilities necessary for the performance evaluations for reuse and the auxiliary facilities necessary for storage. For reuse, an issue that will come up when proceeding with the business is the need to verify whether the buy price is appropriate for the business when modules that have yet to be inspected are delivered in batch, since the available value is only determined after the performance evaluations. Going forward, we must also perform detailed market research on the demands for reused modules, set delivery prices for used solar cell modules, and reassess the sale prices set for each quality rank of reused modules. We are expecting to be able to aim to start the business after 3 years, once profitability has been reforecast and new factories have been selected.

1.　背景

1.1　太陽電池モジュール

我が国では、2015 年 7 月に「長期エネルギー需給見通し」が策定され、2030 年度のエネルギー需給構造の見通しを示している。2030 年度の総発電電力量における再生可能エネルギーの比率の目標は 22～24%と設定され、太陽光発電は 7.0%程度までの電源構成比率を上昇することを目指している。

一方、2012 年 7 月から開始した固定価格買取制度（FIT）により、太陽光発電の導入が急増し、10 年経過後の 2022 年頃から住宅用の設備廃棄が、20 年経過後の 2032 年頃から非住宅用の設備廃棄が急増すると考えられている

本節では、我が国の現時点における太陽光電池モジュールの性質、生産量・出荷量の動向、排出予測、リサイクル・処理状況を整理し把握した。

1.1.1　構造

太陽電池モジュールの主要構成材は、フロントカバー（ガラス）、フレーム（アルミ）、プラスチック（EVA 等）がある。代表的な太陽電池モジュールの構造と素材構成を示す。

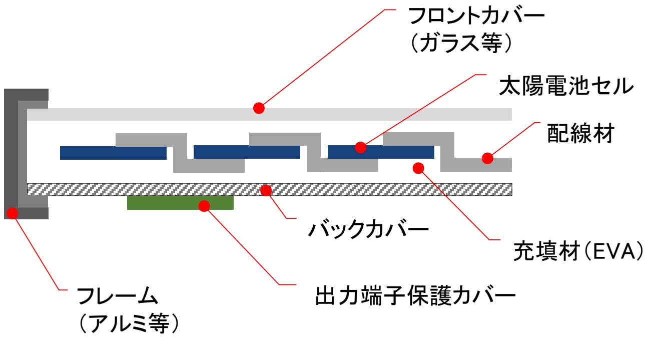


図 1.1-1　太陽電池モジュールの断面図（結晶シリコン系）

表 1.1-1　太陽光発電設備の素材構成

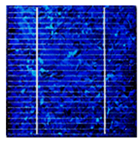
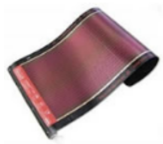
項目	kg/枚	構成比（%）
シリコン	1.10	7.6%
板ガラス	8.63	59.2%
アルミニウム	2.31	15.8%
銅	0.10	0.7%
充填材	1.73	11.8%
PET	0.66	4.5%
PPE	0.06	0.4%
合計	14.59	100.0%

出所）株式会社三菱総合研究所「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」

1.1.2　太陽電池モジュールの種類

太陽電池モジュールは多くの種類があるが、市場に最も出回っているものとしては、多結晶と単結晶のシリコン系太陽電池モジュールである。表 1.1-2 にその種類を示す。

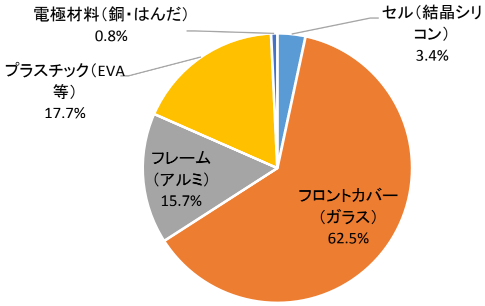
表 1.1-2　太陽電池モジュールの種類

種類			特徴	モジュール変換効率[%]	セル外観
シリコン系	結晶系	単結晶	シリコンの原子が規則正しく配列した構造で、変換効率の高い太陽電池を作ることができる。製品の歴史が長く、豊富な実績を持っている。	15～17	
		多結晶	単結晶シリコンが多数集まってできている太陽電池。単結晶に比べて、変換効率は低いが安価に製造ができる。	13～15	
		ヘテロ接合	結晶系基板にアモルファスシリコン層を形成した高効率な太陽電池。変換効率が高く、特に住宅などの限られたスペースへの設置に優れる。	16～19	
	薄膜系	アモルファス	シリコン原子が不規則に集まった太陽電池。薄くても発電できる（結晶系の約 1/1000）。また、ガラスやフィルム基板上に製造が可能。波長感度は短波長側にある。	6～7	
		多接合	異なる波長感度特性を持つ二つ以上の発電層を重ね合わせたもの。このため、単接合により発電効率が向上している。アモルファスと微結晶（薄膜多結晶）を組み合わせたタンデム構造が主流。トリプル構造もある。	8～10	
化合物系	CIS/CIGS系		銅（Cu）、インジウム（In）、セレン（Se）の 3 つの元素を主成分とした太陽電池。CIGS は、ガリウム（Ga）を加えている。従来型のシリコン結晶系太陽電池とは全く異なる構造である。	11～12	
	その他		異なる元素を組み合わせた構造の太陽電池。GaAs、CdTe などがある。		

参考）一般社団法人太陽光発電協会（編集）「太陽光発電システムの設計と施工」

1.1.3　素材構成比

太陽電池モジュールの重量構成比を図 1.1-2 に示す。太陽電池モジュールにおいて、ガラスが占める重量比は約 60%である。したがって、太陽電池モジュールのリサイクル率向上のためにはガラスのリサイクル促進が重要である。



出典：NEDO(2009)「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」

図 1.1-2　太陽電池モジュールの重量構成比

1.2　太陽光発電の生産量、出荷量の動向

1.2.1　日本における太陽光発電設備の導入量

太陽光発電設備の新規導入量の推移を表 1.2-1 に示す。2012 年度に FIT が導入され、導入量は飛躍的に増加し、2015 年度には 10,000,000kW を超えると想定されている。

表 1.2-1　太陽光発電設備の新規導入量（住宅用・非住宅用・メガソーラー）

年度	新規導入量 kW	年度	新規導入量 kW	年度	新規導入量 kW
1981	358	1996	20,205	2011	1,404,149
1982	743	1997	33,230	2012	3,809,451
1983	1,689	1998	43,306	2013	8,545,732
1984	2,441	1999	81,078	2014	9,216,325
1985	3,332	2000	116,659	2015	10,061,264
1986	4,456	2001	124,370	2016	12,355,111
1987	4,290	2002	186,175	2017	14,721,806
1988	4,040	2003	224,986	2018	16,953,380
1989	4,901	2004	274,189	2019	18,655,113
1990	5,827	2005	305,068	2020	20,138,789
1991	8,022	2006	268,175		
1992	7,738	2007	209,856		
1993	6,737	2008	236,787		
1994	7,723	2009	623,127		
1995	11,498	2010	1,062,914		

出所）1981～2014 年度までは JPEA データを使用、2015 年度以降は回帰直線（FORCAST 関数）で将来の新規導入数を予測した。

1.3　排出量予測

1.3.1　排出量予測

太陽光発電設備の排出見込量（素材構成内訳）（2015 年～2030 年）を図 1.3-1 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ー10 年としている。

排出量は 2015 年時点で 69,941t と見込まれている。今後の見込みとして、2020 年度までは緩やかに上昇するが、FIT で導入量が増加した設備が廃棄を迎える 2021 年や 2029 年に増加率が急上昇し、2030 年には 352,733t となり、2015 年の 5 倍程度まで増加すると考えられている。

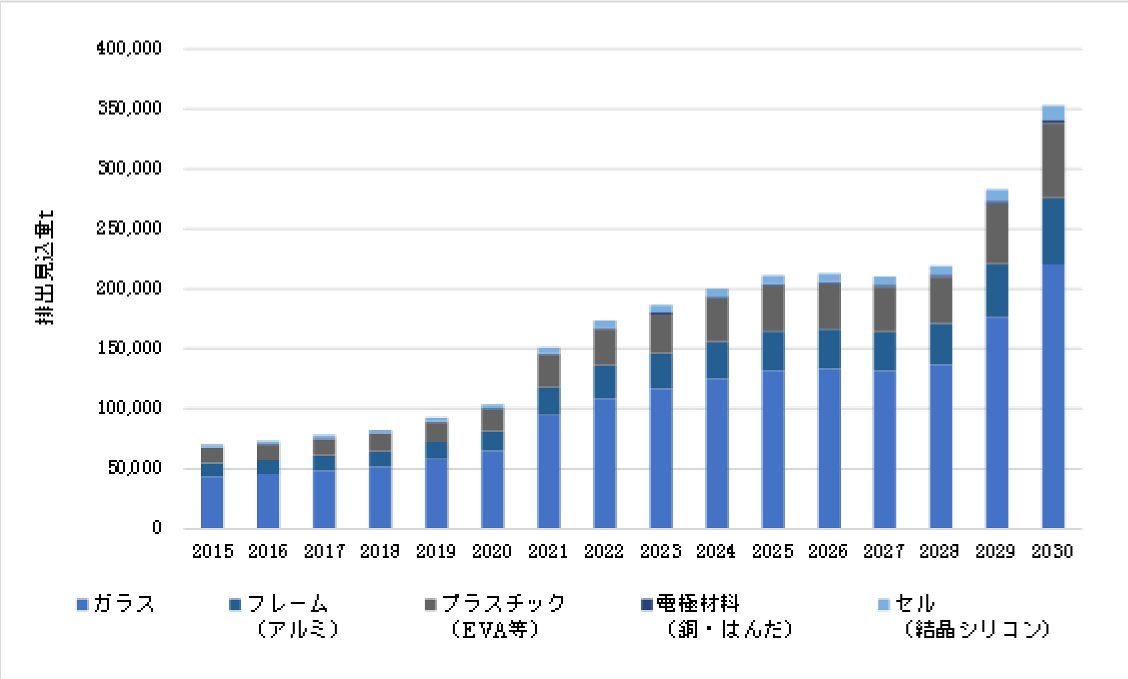


図 1.3-1　太陽光発電設備の排出見込量（素材構成内訳）（2015 年～2030 年）

参照）環境省「平成 24 年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査委託業務報告書（株式会社三菱総合研究所実施）」の見込量から、重量構成比率を用いて各素材の見込量を算出した。

1.3.2　現状のリサイクル・処理方法

使用済太陽電池モジュールの排出後フローに関し、現状のリサイクル・処理方法は、①埋立、②破砕・選別の 2 パターンが考えられる。環境省の報告書（環境省「平成 24 年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査委託業務報告書（株式会社三菱総合研究所実施）」）によると、現状では太陽光発電設備メーカーから中間処理業者・金属スクラップ業者へ引き渡され、破砕・選別のちに非鉄精錬業者にて金属回収されるフローが最も多いとされている（従来システム②）。

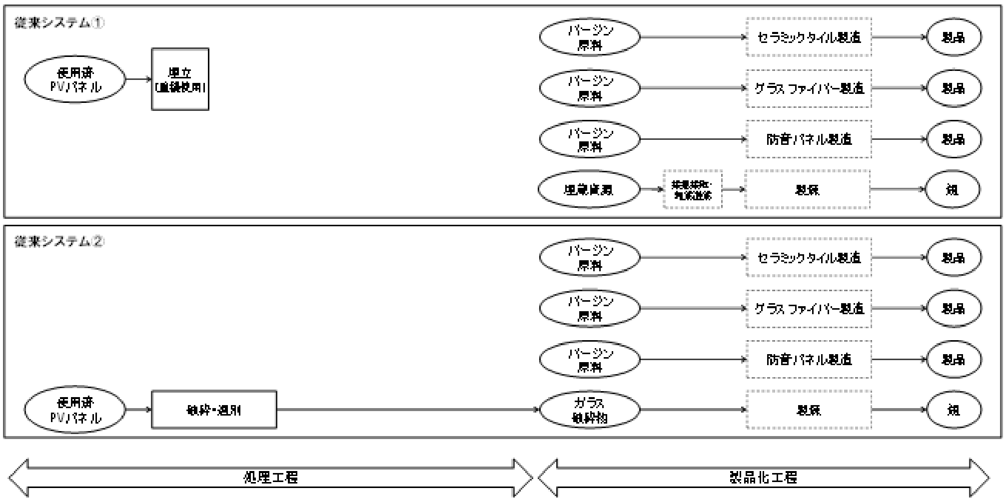


図 1.3-2　現状のリサイクル・処理方法

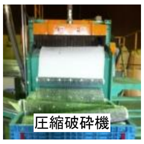
2. 実証事業の概要

2.1　目的

使用済太陽電池モジュールのリユース、リサイクルにつき、昨年度の実証事業にて技術検証は行ったものの、実用化に向けたコスト圧縮の課題が残された。そこで、本年度は、事業の実用化に向けたコスト圧縮の検証を目的に実証事業を行った。

昨年度

使用済PVパネルの設置写真（12枚セット）



圧縮破砕機

セラミックタイル

【リユース】
・使用済モジュール500枚の性能診断
→残存出力率（現出力／公称出力）80%以上は117枚あり
・残存出力率80%以上のモジュール8枚、12枚にて発電実験
→発電はされた。付帯した蓄電池の容量が大きすぎたなど、付帯設備のスペックに課題が残った。
【課題】
・回収コストを下げるため、リユース可能なモジュールを予め選定してから回収する手法の検討が必要（現地確認）
・運搬中の破損のないよう運搬手法の検討が必要
・リユース用モジュールの品質管理手法の検討が必要

【リサイクル】
・モジュール1枚1枚を処理する圧縮破砕と、まとめて処理するシュレッダー破砕により、ガラスとセルシートを選別回収
→セラミックタイル原料としてのガラス品質；圧縮破砕〇、シュレッダー破砕△（要選別改善）、
セルシートの銀濃度；圧縮破砕〇、シュレッダー破砕◎。
【課題】
・ガラスリサイクルのための処理コストがかなり嵩むため、コスト圧縮が必須

環境負荷低減効果
・ガラスリサイクルとCO2削減効果試算
→焼成温度低減によるCO2削減効果あり

今年度

【リユース】
・現地でのモジュール状況確認作業の検討
・梱包パターン別の運搬デモ
・使用済＋未使用（納品したが、発電現場より返却されたもの）モジュール延べ500枚の性能診断
・リユース事業の要点整理
【目的】
・低コストでのリユース用モジュールの回収方法
・リユース事業スキームの要件整理　他

【リサイクル】
・ガラスカレットリサイクルを前提とした、圧縮破砕処理コストの削減方法の検討
・圧縮破砕によるガラスカレット、ホットナイフによるガラスプレート、剥離によるガラスプイレートの品質比較によるガラスの水平リサイクルの検証
・リサイクルカレットを使用したセラミックタイルの再リサイクルの手法検討（2次タイル焼成）
・外国産モジュールのガラス成分分析
【目的】
・使用済モジュールのリサイクル処理のコスト削減
・モジュールの性状別に、適したリサイクル手法の検討

環境負荷低減効果
・ガラスリサイクルとCO2削減効果試算

事業性検討
リユース･リサイクル一体型のスキーム構築

図 2.1-1　昨年度の課題と今年度の検討事項

2.2　実施体制（全体）

本事業の実施体制図を図 2.2-1 に示す。本事業の実証試験は、リユースとリサイクルから成っている。両者で使用した使用済太陽電池モジュールは、ガラス再資源化協議会（以下、GRCJ）が調達した。

リユースでは、運搬コストの圧縮手法の検討と性能診断の作業コストの圧縮検討を行った。リサイクルでは、圧縮破砕の処理コストの圧縮検討を行った。また、生成物の品質比較を行うため、処理後に生成されるガラスに板ガラス化の可能性のあるホットナイフカット処理のプラントテストも行い、生成されたガラスプレートの品質評価をガラスメーカーに依頼した。

この他、圧縮破砕処理にて生成されたガラスカレットについて、昨年度はセラミックタイル化を検討し、製品化できた。そこで、焼成されたタイルの成形ミス等の生産ロス品も再び原料化し、再度タイルに焼成可能なのかを追加確認するため、昨年度同様、丸美陶料、立風製陶、クリスタルクレイにて製品化の検証と条件整理を行った。

また、剥離したセルシートについて、三井金属鉱業にて銀評価を実施した。

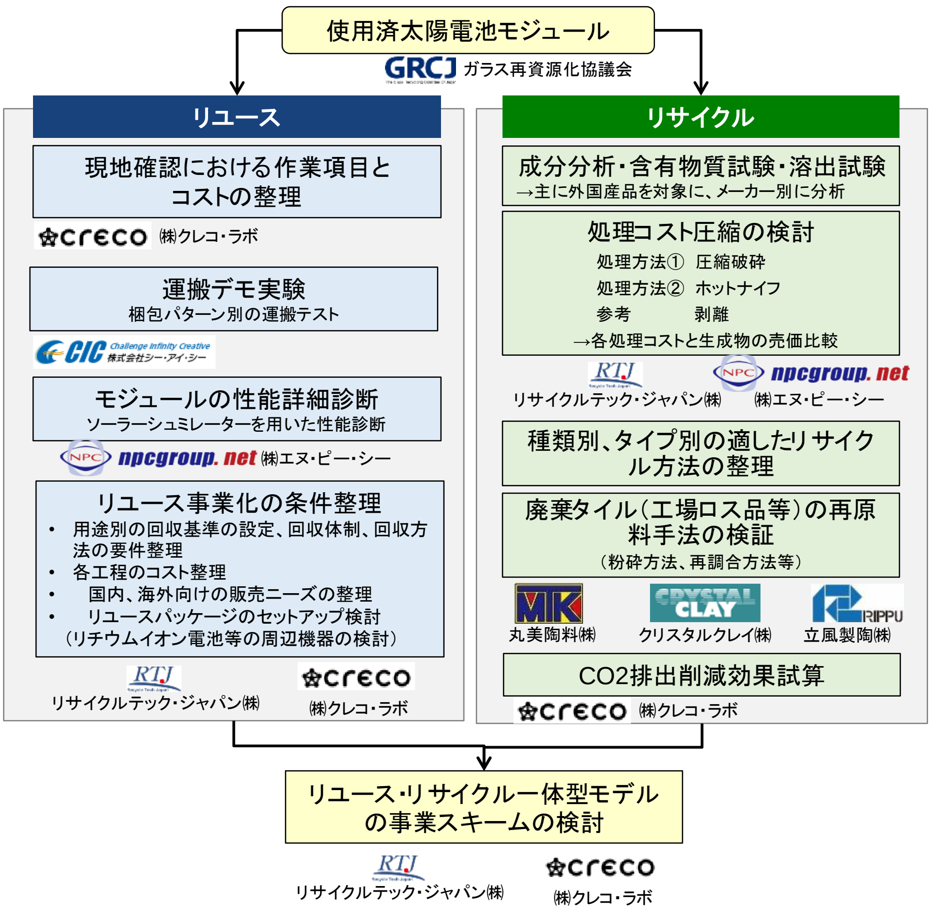


図 2.2-1　実施体制図

3.　実証事業の実施および結果

本実証事業の目的は、太陽電池モジュールのリユース・リサイクル一体型モデルの実用化のためのコスト圧縮である。一体型モデルを下記に示す。

リユースとリサイクルにて、それぞれ現状のままではコストがかさむ見立てであったことから、それぞれに目標コストを定め、解決するための実証試験を行った。

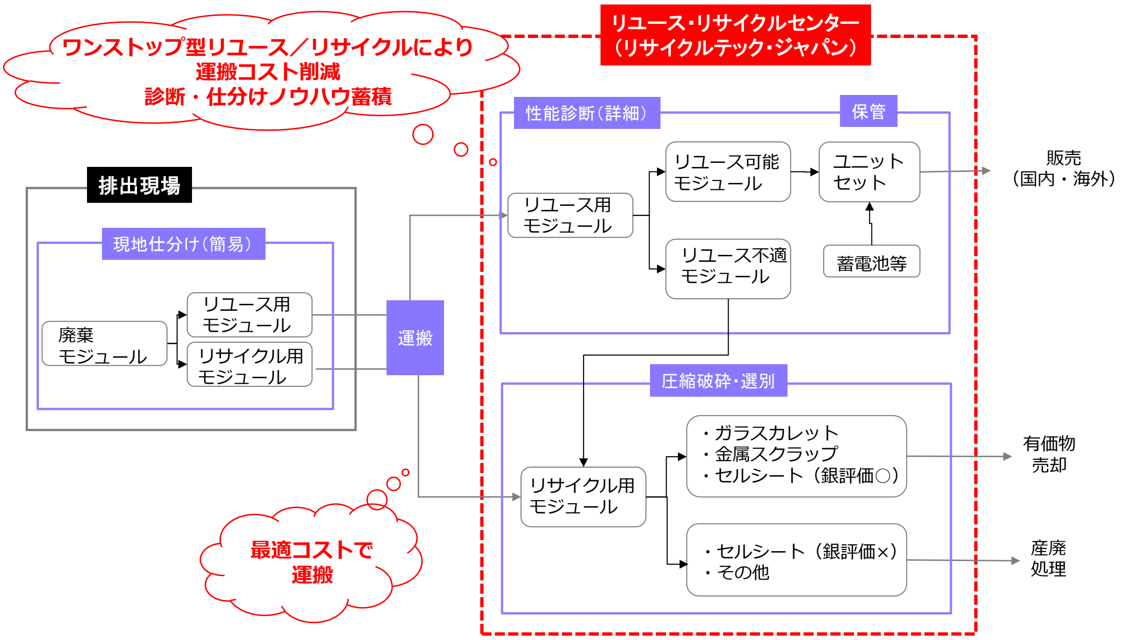


図 2.2-1　太陽電池モジュールのリユース・リサイクル一体型モデル（イメージ）

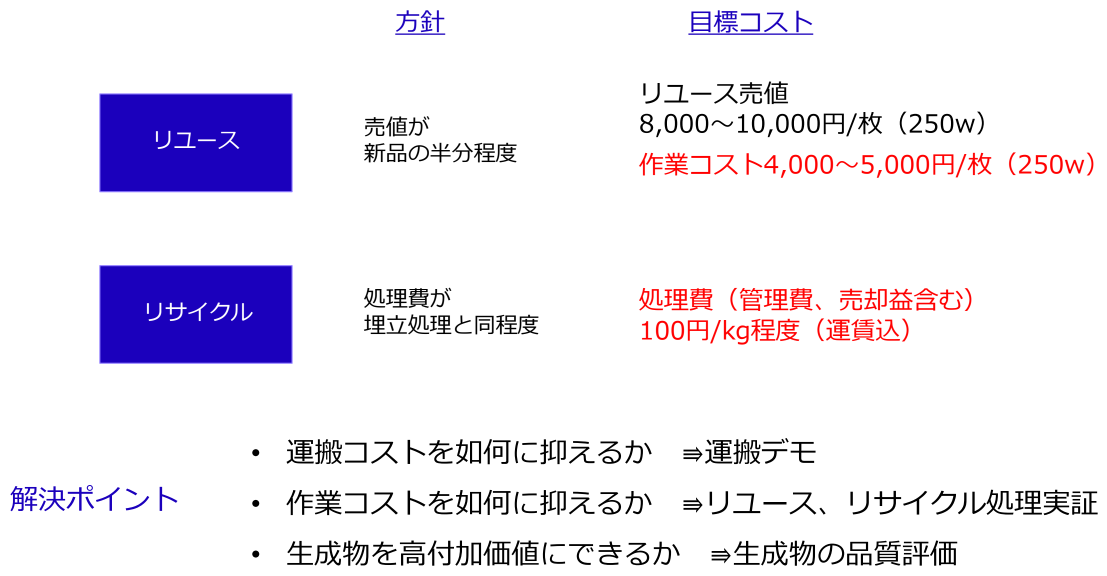


図 2.2-2　太陽電池モジュールのリユース・リサイクルにおける実用化のコスト課題設定

3.1　リユース

リユースの実施体制と検討の流れを下記に示す。

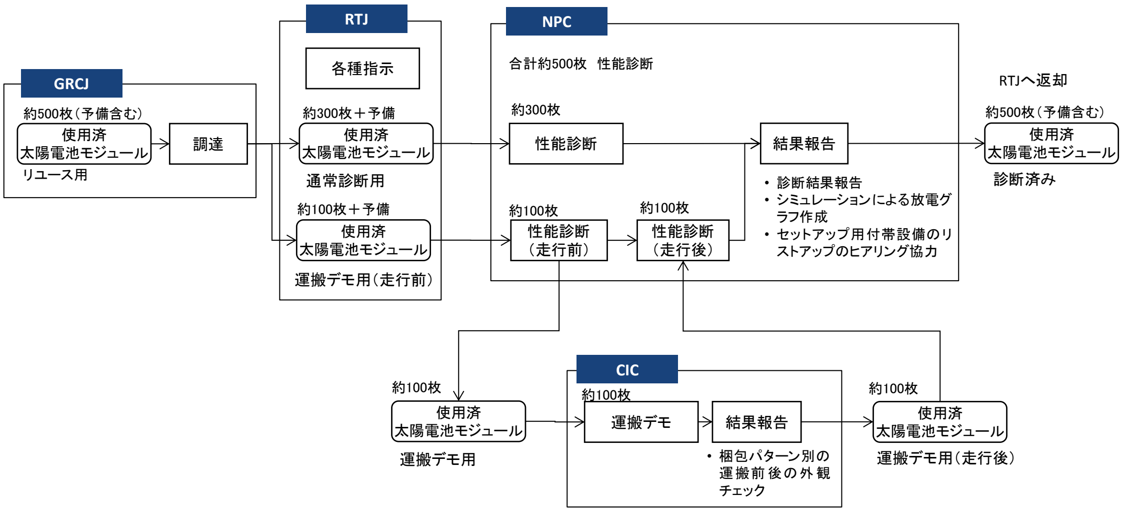


図 3.1-1　太陽電池モジュールのリユースコスト検証の流れ

3.1.1　運搬デモによる運搬方法とコストの検討

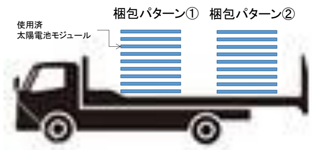
(1) 運搬デモ

太陽電池モジュールの運搬方法について、リユース用として要求される既存手法では梱包費用だけで 500 円/枚のコストがかかっていた。そこで、モジュールの破損が生じないという最低条件をクリアする安価な梱包方法を検討するため、運搬デモを行った。運搬デモの概要、作業状況について下記に示す。

日時	2016.09.12～2016.09.15
場所	NPC松山工場、および周辺道路
実施内容	梱包7パターン別の走行テスト
確認事項	前後での形状目視と性能テスト
実施者	CIC（梱包、積載、運搬、外観確認） NPC（性能診断、外観確認）
走行経路	未舗装道路 約2.5km、一般舗装道 約18.5km 計21km で走行
使用車両	4t平ボディ
使用モジュール	外国産モジュール（中国メーカー）　約100枚 不備ありとして倉庫に返品された未使用品
梱包パターン ※梱包は、現場で回収して直ちに積載する事を考慮し設定	①梱包なし ②PPバンド固定（2箇所固定） ③エアクッション（モジュール間に一つずつ挟む） ④ダンボール（同上） ⑤PPバンド＋エアクッション（②と③の組み合わせ） ⑥PPバンド＋ダンボール（②と④の組み合わせ） ⑦ラップフィルム固定
前提条件	共通対応：(1)木製パレット使用、(2)フォークリフトにて荷揚げ荷降ろし、(3)パレットごと荷台にラッシングベルト固定、(4)雨除けカバーかけ。 12枚1パレットとし、荷台に2パターンずつ積載。 ※⑦のみ1パレット24枚で実施。

未舗装道路

ラッシングベルト固定



車両荷台に2パターンの梱包のパレットを同時積載

図 3.1-2　太陽電池モジュールの運搬デモの実施概要

図 3.1-3　太陽電池モジュールの運搬デモの作業状況（梱包テスト）

図 3.1-4　太陽電池モジュールの運搬デモの作業状況（積載状況）

図 3.1-5　太陽電池モジュールの運搬デモの作業状況（走行路の状況）

(2) 梱包コストの圧縮

運搬デモにて、7 パターンの梱包方法を試したところ、いずれもモジュールの破損や運搬後の性能ダウンは確認されなかった（表 3.1-1 参照）。ただし、モジュールの重ねズレ等のリスクを考慮し、安定固定かつ低価格なラップフィルム梱包（4 重巻）が有望ではないかと判断した（表 3.1-1 参照）。これにより、梱包コストが 50 円/枚にコストダウンされた。

一体型モデルによる運搬スキームを図 3.1-6 に示す。リユースとリサイクルを同一処理にて行うことにより、搬入先を同一にすることで運搬回数や走行距離の少なくした。さらに梱包手法を新品運搬相当の厳重梱包費用 500 円/枚から、リユース品として必要最低限の条件を抑える簡易梱包に見直すことで 50 円/枚にコスト削減がなされた。

表 3.1-1 運搬デモの梱包手法別の結果

	梱包パターン	走行結果			所感	評価
		荷崩れの程度	外観の変化	性能診断の結果		
①	梱包なし	進行方向に3段目が約60mm移動が見られた。	異常はなかった。	絶縁テスト結果の大きな前後変化なし。 IVテスト結果値の大きな前後変化なし。 EL検査結果の大きな前後変化なし。	フレーム枠10mmを超えるズレは、ガラス破損につながる可能性が大きい。 別の診断用モジュールでも44枚/300枚の破損があったことから、リスクが大きく不採用。	×
②	PPバンド固定	移動はなかった。	異常はなかった。	絶縁テスト結果の大きな前後変化なし。 IVテスト結果値の大きな前後変化なし。 EL検査結果の大きな前後変化なし。	今回のテスト結果では異常は見られなかったが、PPバンド固定は、如何にモジュールに対し垂直に結束できるか、作業員のスキルが要求される。少しでもずれると運搬中にバンドがずれ、緩みが発生し、ズレや破損につながる。担当する運搬会社次第であり、リスクが残る。	△
③	エアクッション	移動はなかった。	異常はなかった。	絶縁テスト結果の大きな前後変化なし。 IVテスト結果値の大きな前後変化なし。 EL検査結果の大きな前後変化なし。	一枚一枚間に挟むため、梱包材の分量が必要となる。また、作業時間も要する。コスト的に見合うか、検証が必要だが、所感としては厳しい印象。	△
④	ダンボール	移動はなかった。	異常はなかった。	絶縁テスト結果の大きな前後変化なし。 IVテスト結果値の大きな前後変化なし。 EL検査結果の大きな前後変化なし。	一枚一枚間に挟むため、梱包材の分量が必要となる。また、作業時間も要する。コスト的に見合うか、検証が必要だが、所感としては厳しい印象。 ダンボールがモジュールの重みで潰れると隙間が生じ、運搬中のズレや破損につながるリスクも考えられる。	△
⑤	PPバンド＋エアクッション	移動はなかった。	異常はなかった。	絶縁テスト結果の大きな前後変化なし。 IVテスト結果値の大きな前後変化なし。 EL検査結果の大きな前後変化なし。	②と③の所感で述べた通り、PPバンドの結束固定スキルの課題と、エアクッション材の調達コスト、作業コストの課題あり。	△
⑥	PPバンド＋ダンボール	移動はなかった。	異常はなかった。	絶縁テスト結果の大きな前後変化なし。 IVテスト結果値の大きな前後変化なし。 EL検査結果の大きな前後変化なし。	②と④の所感で述べた通り、PPバンドの結束固定スキルの課題と作業コスト、ダンボール圧縮による隙間発生リスクの課題あり。	△
⑦	ラップフィルム固定	2段および6段目に約2～3mmの移動が見られた。	異常はなかった。	絶縁テスト結果の大きな前後変化なし。 IVテスト結果値の大きな前後変化なし。 EL検査結果の大きな前後変化なし。	実験では2重巻きで2,3mm程度のズレが生じた。4重巻きにすればしっかり固定されるのではないかと思われる。 ラップフィルムは現場に持ち込むことが容易であり、作業時間も短い。モジュールが隙間なくぴったり固定されることが肝要と思われたことから、4重巻きが有望と思われる。	○ （4重巻とすること）

①では、大きなズレが発生。ズレが大きいと破損リスクが高い。

⑦では、僅かなズレが発生。二重巻きではなく四重巻きで改善される見込み。

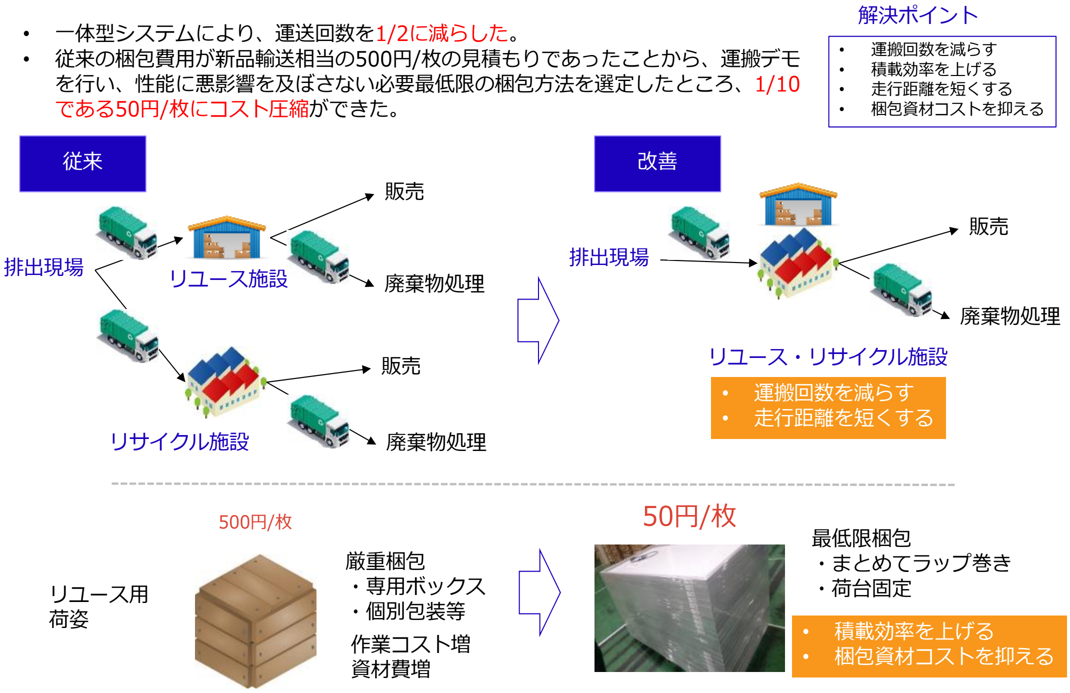


図 3.1-6　運搬方法の見直しによるコスト削減結果のまとめ

3.1.2　太陽電池モジュールの性能診断コストの検証

(1) 太陽電池モジュールの性能診断

太陽電池モジュールの性能診断のコスト圧縮を検討するため、300 枚強のモジュールの診断を行った。実際に使用したのはメーカー倉庫に返却されてきた不備あり在庫（ほぼ未使用）である。不備があり返却されたモジュールだが、ほとんどが未使用品であることからリユースの可能性が高いものであり、本実験の趣旨である排出時にリユースの可能性ありと判断されたモジュールのみを診断するという前提条件に合致するとして、実験サンプルに使用した。これらの未使用の不備あり在庫を用いて、リユースの可能性のあるモジュールのみを診断する場合、診断コストがどの程度まで圧縮可能なのかを検証した。

なお、事前仕分けがなされずに、リユースの可能性のありなしまで施設で判断する場合での診断コストは、13,280 円/枚と見積もられている。この単価では事業性が非常に厳しいことから、目標コスト 4,000～5,000 円/枚として検討を行った。

表 3.1-2　太陽電池モジュールの性能診断の概要

日時	2016.09（約1ヶ月）
場所	NPC松山工場
検査対象	メーカー工場から回収した不備あり在庫（ユーザーから不備ありのため未使用のまま返却されたもの） 合計348枚 ※ただし、検品の結果、使用済みと思われるモジュールが含まれていた。
実施内容	外観チェック 絶縁テスト（モジュールの耐用年数の指標） IVテスト（発電効率の確認） EL検査（モジュール全体の発電機能の確認）

(2) 太陽電池モジュールの性能診断

外観チェックの内容は表 3.1-3 のとおりである。外観診断の結果、36 枚に不備が確認された（表 3.1-4 参照）。最も多い不備は表面ガラスの破損であった。

表 3.1-3　太陽電池モジュールの外観チェック事項および確認仕様内容

	チェック箇所	チェック内容／備考
外観チェック	ガラス	破損の有無
	フレーム	変形の有無
	バックシート	破損の有無
	ジャンクションボックス	ボックスが付いているか否か カバーがついているか 破損の有無
	配線	配線があるか 被覆はあるか コネクターがあるか 変形していないか
	その他	コネクターの変形、サビ等
仕様	製造年数	ラベルがあれば判断可能だが、ラベルがない場合もあり
	メーカー名	
	モジュールの種類	CdTe等、有害物質含有に関する情報は必須
	設置年数（使用年数）	
	使用環境	沿岸部だったか等（使用後、倉庫保管されている場合もあり要注意）

表 3.1-4　太陽電池モジュールの外観チェック結果

不具合原因	枚数	備考
表面ガラス破損	22 (61%)	フレーム変形(3 枚)含む
コネクタ変形	8 (22%)	
J-Box 破損	3 (8%)	通電による熱溶解が原因と推測。未使用品ではなく使用済品と思われる。
バックシート傷	2 (6%)	
ケーブル切断	1 (3%)	
計	36 (100%)	

(3) 太陽電池モジュールの性能診断結果

診断結果を以下に示す。ほぼ未使用品であったことから、新品に遜色ない結果が見られたが、絶縁テストで断線 44 枚が発見されるなど、すべてが使用可能なものではなかった。また、EL 検査でも出力低下等で品質に注意ありと判断されるものが 128 枚見受けられた。

外観チェックにおいても、ジャンクションボックスのプラスチック筐体に溶けが発見されるなど、通電されなければ生じない故障があったことから、返却時に使用済品が混ざったのではないかと思われる。

なお、作業としては概ね円滑に進んだ。外観チェックは経験のある作業員による確認作業であれば 1 枚 10 分前後であった。EL 検査も写真撮影後、人の目で暗部やクラックを確認する作業だが、これも 1 枚数分で可能であった。

【絶縁テスト結果】
348枚のうち、診断不可44枚を除くといずれも新品モジュールでのJIS基準値をクリアした。
数字の程度により、今後の耐久年数の目安となる。
数値が大きいほうが耐用年数が長いことが期待される。

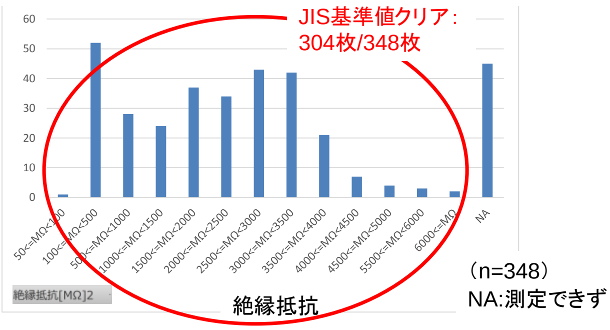
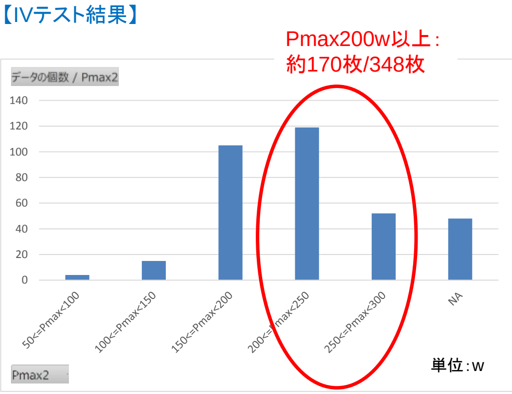


図 3.1-7　性能診断結果（絶縁抵抗）

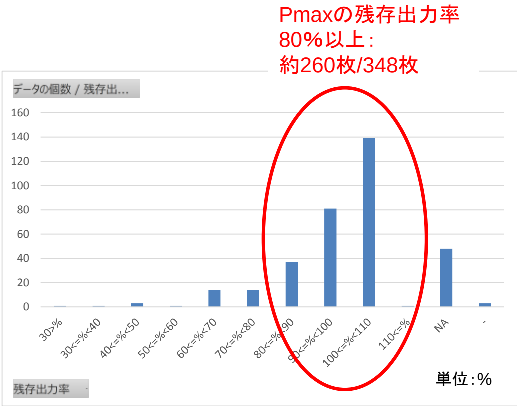
備考）絶縁抵抗 JIS C 8990 の 10.3（絶縁試験）に基づく。
10.3.5 要求事項絶縁試験の要求事項
・絶縁破壊がない、または 10.3.4 c) において表面にトラッキングが生じない。
・面積が 0.1m2 未満のモジュールの場合、絶縁抵抗は 400 MΩ 以上でなければならない。
・面積が 0.1m2 以上のモジュールの場合、測定した絶縁抵抗とモジュール面積との積は、40MΩ･m2 以上でなければならない。
引用：http://kikakurui.com/c8/C8990-2009-01.html

- IVテストの結果、発電の出力値であるPmaxは、200w以上のものが約170枚/348枚あった。
- Pmaxの残存出力率（現出力値／初期公称値）が80%以上のものは、約260枚/348枚あった。
  （昨年度は117枚/500枚）
- ユーザーの購入基準となるPmax値に200w以上が多く、残存出力率も80%以上を示すモジュールが高い割合が確認され、発電現場の検品により倉庫に返却された未使用品は、リユース用途のターゲットとして有望であると考えられた。

【IVテスト結果】



Pmax
太陽電池セル・モジュールの電流電圧特性曲線上で電流と電圧との積が最大になる点での出力。



Pmaxの残存出力率
（現出力値／初期公称値）

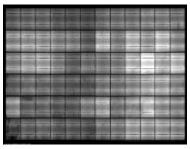
（n=348）　NA:測定できず、-:ラベルなしにより不明

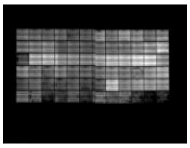
図 3.1-8　性能診断結果（IV テスト/Pmax）

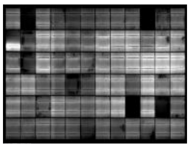
- EL検査の結果、問題有り（リユース販売には不適）と思われるモジュールが、348枚のうち、128枚見つかった。220枚ほどが販売可能と思われる。
- 問題有りの診断結果としては、暗部やクラックありなど複数の状態の組み合わせにより、出力低下、または今後早い段階での出力低下のリスクが考えられた。

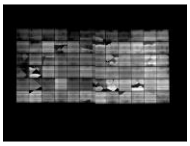
【EL検査結果】

		該当枚数	%
問題有り、要注意モジュール		128	36.8%
	出力低下	70	20.1%
	出力低下注意	15	4.3%
	クラック	72	20.7%
	暗部	41	11.8%
診断枚数		348	100.0%


問題なし


暗部有り、出力低下


暗部あり、クラックあり


暗部有り、クラック有り、出力低下

絶縁テスト
↓
IVテスト･EL検査
↓
約220枚/348枚がリユース販売可能品と推測

図 3.1-9　性能診断結果（EL テスト）

(4) 太陽電池モジュールの性能診断のコスト圧縮検討結果

実証試験の結果、性能診断コストについては、排出時にリユースの可能性を簡易チェックし、可能性ありのもののみを診断するのであれば、診断作業コストは 4,060 円/枚に圧縮が可能と見込まれ、リユースコスト全体でも概ね目標コストに近づけることができた。

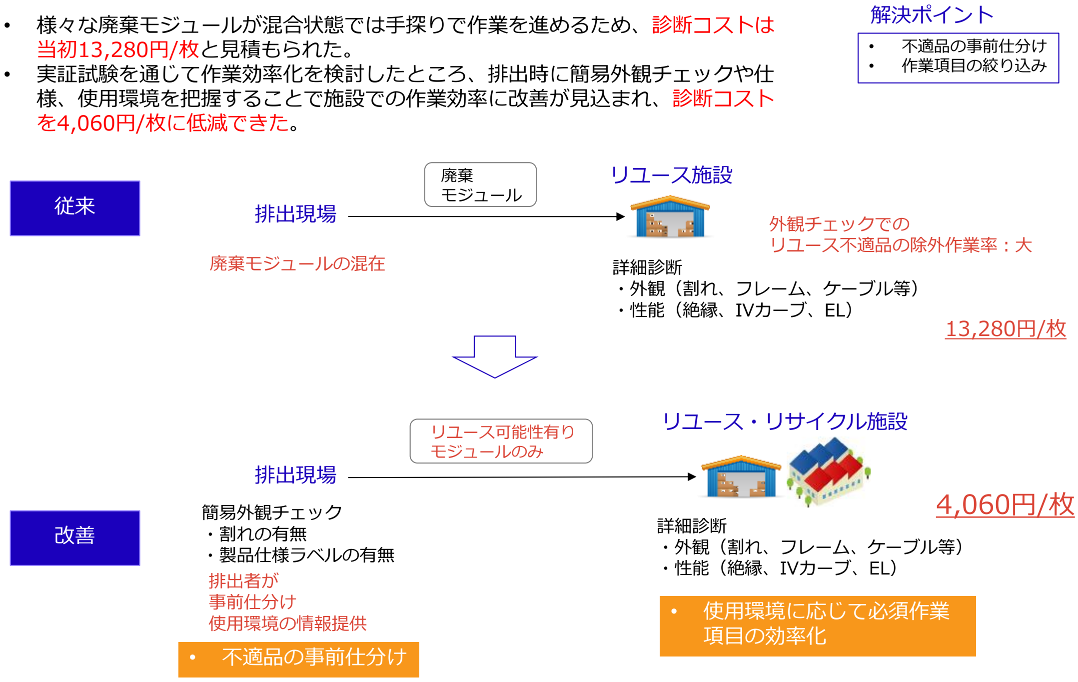


図 3.1-10 性能診断の実施条件見直し等によるコスト削減

表 3.1-5 太陽電池モジュールのリユースのための性能診断コスト圧縮検討結果

工程	単価		前提条件等
運搬コスト	260～417円/枚		静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台 24枚/パレット×6～8パレット　梱包費50円/枚
外観チェックコスト	1,260円/枚	4,060円/枚	NPC見積もりより （200枚以上のロット検査の場合）
性能診断コスト	2,800円/枚		
リユース作業コスト計	4,320～4,477円/枚		目標コスト4,000～5,000円/枚に対し、上限の範囲に収めることができた。

3.1.3　使用済太陽電池モジュールのリユース条件の整理

1）リユースの用途基準

リユースモジュールのニーズ別の要求レベルを以下のとおり整理した。要求レベルにおいてメンテナンスは自社負担とするなど、リユース品への付帯オプションニーズがあまり高くないユーザーが有望であると考えられる。

表 3.1-6　リユースモジュールのニーズ別の要求レベル整理

		リユース品のニーズ	要求レベル	事業可能性
国内	メガソーラー	スーパーメガソーラー：なし（ファイナンスに影響） メガソーラー　　　　：あり	発電効率が高い（0.8以上） 新品と同様の品質・安全検査、メンテナンス等のアフターケアが必要	△
	事業所屋根置き	あり 新品モジュールの代替として やや性能・耐久性は劣るが安価品として購入検討対象	発電効率が高い（0.8以上） 新品と同様の品質・安全検査、メンテナンスは自社	○
	個人住居屋根置き（富裕層）	なし	－	－
	個人住居屋根置き（一般層）	あり 新品モジュールの代替として やや性能・耐久性は劣るが安価品として購入検討対象	発電効率が高い（0.8以上） 新品と同様の品質・安全検査、メンテナンス等のアフターケアが必要	△
海外 東・東南アジア、アフリカ等	メガソーラー	スーパーメガソーラー：なし（ファイナンスに影響） メガソーラー　　　　：あり	発電効率が高い（0.8以上） 新品と同様の品質・安全検査、メンテナンス等のアフターケアが必要	△
	事業所屋根置き	あり 新品モジュールの代替として やや性能・耐久性は劣るが安価品として購入検討対象	発電効率がやや高い（0.7以上） 新品と同様の品質・安全検査、メンテナンスは自社	○
	個人住居屋根置き（富裕層）	なし （新品がステータス）	－	－
	個人住居屋根置き（一般層）	あり 新品モジュールの代替として やや性能・耐久性は劣るが安価品を購入検討対象	発電効率がやや高い（0.7以上） 販売＋ユーザーフォロー（メンテナンス・廃棄等指導）	○
	無電化地域	あり 新品モジュールの代替として 性能・耐久性は劣るが安価品を購入検討対象	発電効率はやや低めから（0.5以上） 販売＋ユーザーフォロー（メンテナンス・廃棄等指導）	◎

2）リユース事業化の条件整理

リユースの事業化の条件として作業コストと販売管理コストの低減が必須である。このため、引取前の事前情報の把握や診断作業等の作業標準化が重要となる。

引取対象として、運搬コストを抑え、品質の安定したモジュールを効率的に回収するため、戸建てを個別に回る小口回収ではなく、メガソーラー等の大型発電所での一部取替による排出、または中規模での全面取替等、一箇所から 4t トラックを満載にして運搬する規模のまとまった排出物件を対象としている（図 3.1-11 参照）。

図 3.1-11、図 3.1-12 に示すとおり、撤去時に表面ガラスやフレームに破損が生じないよう配慮すること、排出する太陽電池モジュールの製品仕様情報や発電に使用していた周辺環境の情報が提示されることが、リユースの可能性のあるモジュールを低コストで回収するための前提条件として挙げられる。

リユースの可能性ありと判断された使用済モジュールは、性能診断結果に基づき発電効率別に A から D の 4 つにランク分けする（図 3.1-12 参照）。ユーザーに性能診断結果や元製品の仕様情報、前の使用環境などの情報提示を行い、ニーズに応じて選択する形を想定している。販路は、リユース品のニーズが高く、付帯オプションのニーズは低めのユーザー層が

有望ターゲットと考えられる。なお、廃棄方法等のユーザーフォローを行うことを想定している。

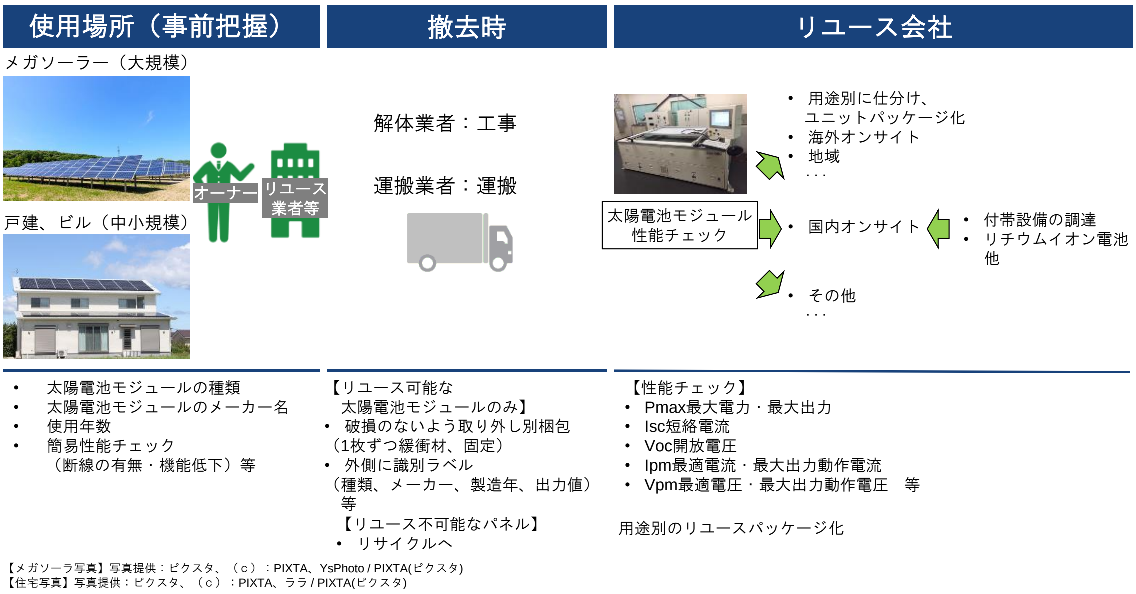


図 3.1-11　リユースの受入条件

◆ リユース事業化の条件整理

- リユースの事業化の条件として作業コストと販売管理コストの低減が必須である。このため、引取前の事前情報の把握や診断作業等の作業標準化が重要となる。
- 販路は、リユース品のニーズが高く、付帯オプションのニーズは低めのユーザー層が有望ターゲットと考えられる。
- 廃棄方法等ユーザーフォローを行う。

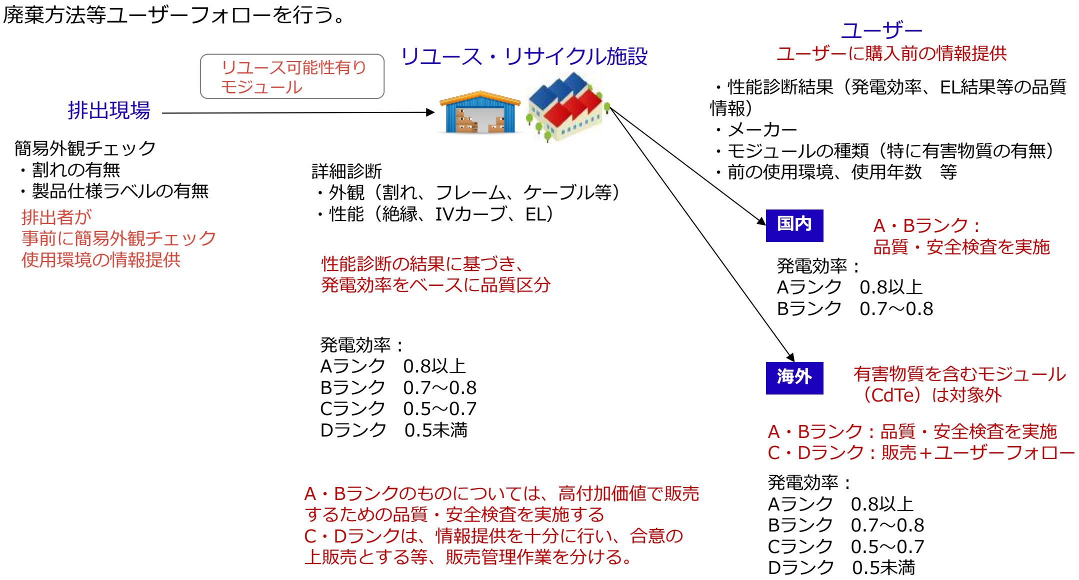


図 3.1-12　リユースの事業化のための条件整理

3.2　リサイクル

リサイクルの実施検討の流れを下記に示す。

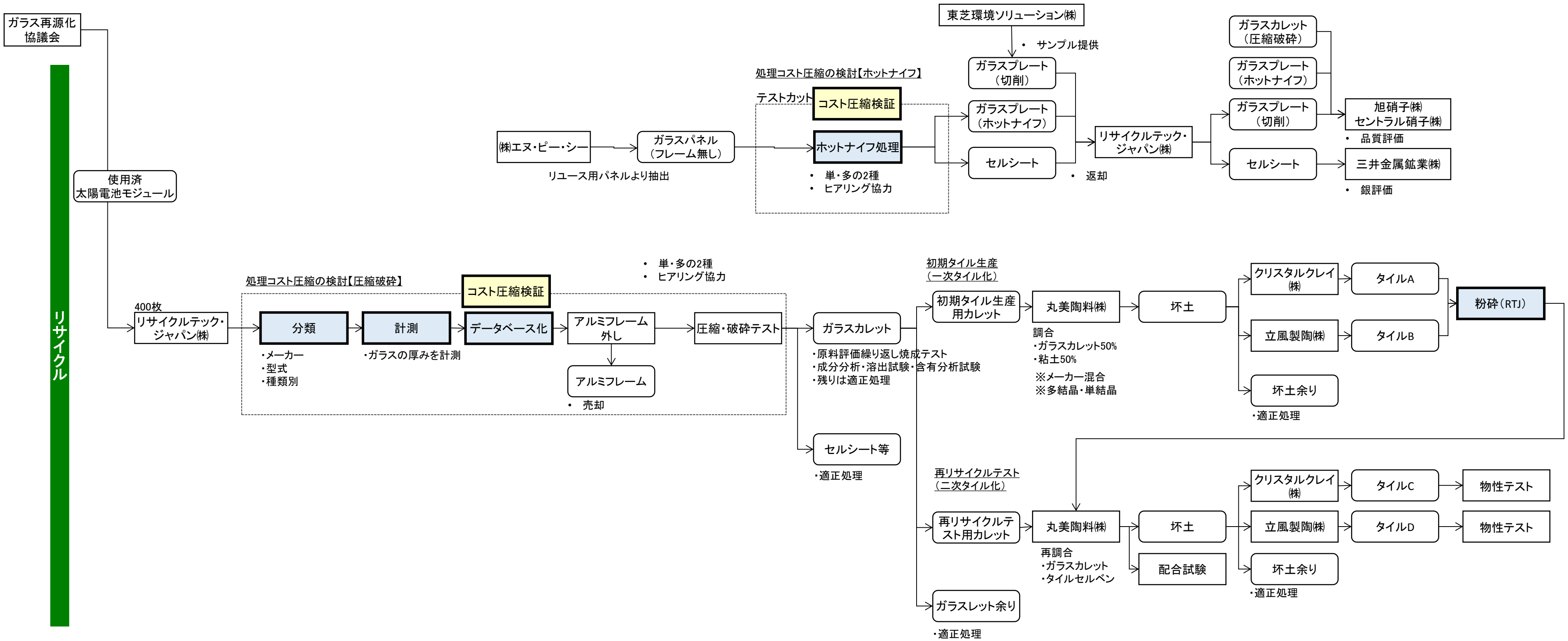


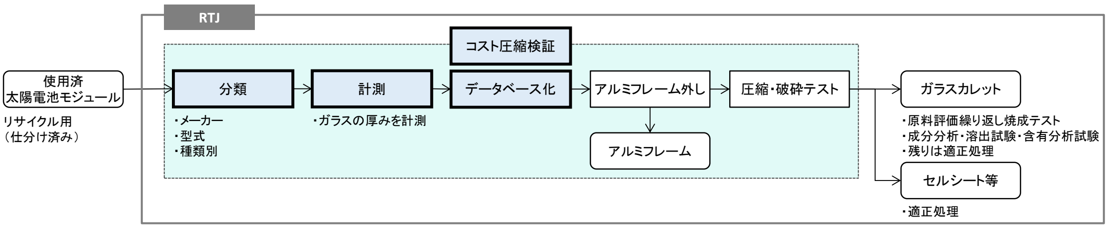
図 3.2-1　リサイクルシステムの実施内容

3.2.1　圧縮破砕処理でのコスト削減検討

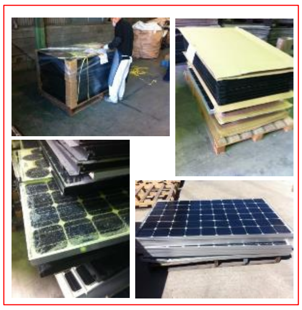
当社の処理方法である圧縮破砕について、生成するガラスカレットをグラスウール化、セラミックタイル化を可能とする処理におけるコストの圧縮検討を行った。なお、使用したモジュールは、外国産モジュールの単結晶、多結晶である。

事前仕分けの工夫により作業効率を向上させた他、圧縮破砕のモジュールの通し方、回転速度を工夫することにより、全体の処理コスト（作業コスト+管理コスト）を約 30 円/kg 圧縮させることができた（図 3.2-2、図 3.2-3 参照）。

事前仕分けによる作業効率化により処理コストを低減し、アルミフレームやガラスカレットの売却益を考慮すると、100 円/kg 程度という目標コストを達成する結果が得られた（表 3.2-1 参照）。



仕分け分類作業



	Before		After	
分類 仕分け	• メーカー、型番、サイズ、パレット単位がばらばらの状態	8円/kg	• サイズ、メーカーを統一 • 作業しやすい高さとしてパレット単位（15枚）で統一	0円/kg (▲8円/kg)
アルミフレーム外し	• 処理枚数　50枚/1ｈ　人員3名	30円/kg	• 処理枚数　55～60枚/1ｈ　人員3名	24円/kg (▲6円/kg)
圧縮 破砕	• ロール幅　クリアランス（隙間）　1ミリ • ロール回転速度　上ロール34HZ、　下ロール　30HZ • 投入量　5枚/1分	75円/kg	• ロール幅　クリアランス（隙間）　1ミリ • ロール回転速度　上ロール44HZ、下ロール　40HZ • 投入量　6枚/1分	60円/kg (▲15円/kg)
ふるい 選別	• 篩網目サイズ　1.2ミリ	15円/kg	• 篩網目サイズ　1.2ミリ	15円/kg (-)
コスト計 (管理コストを含む)		128円/kg		99円/kg (▲29円/kg)

図 3.2-2　破砕・選別工程での技術比較

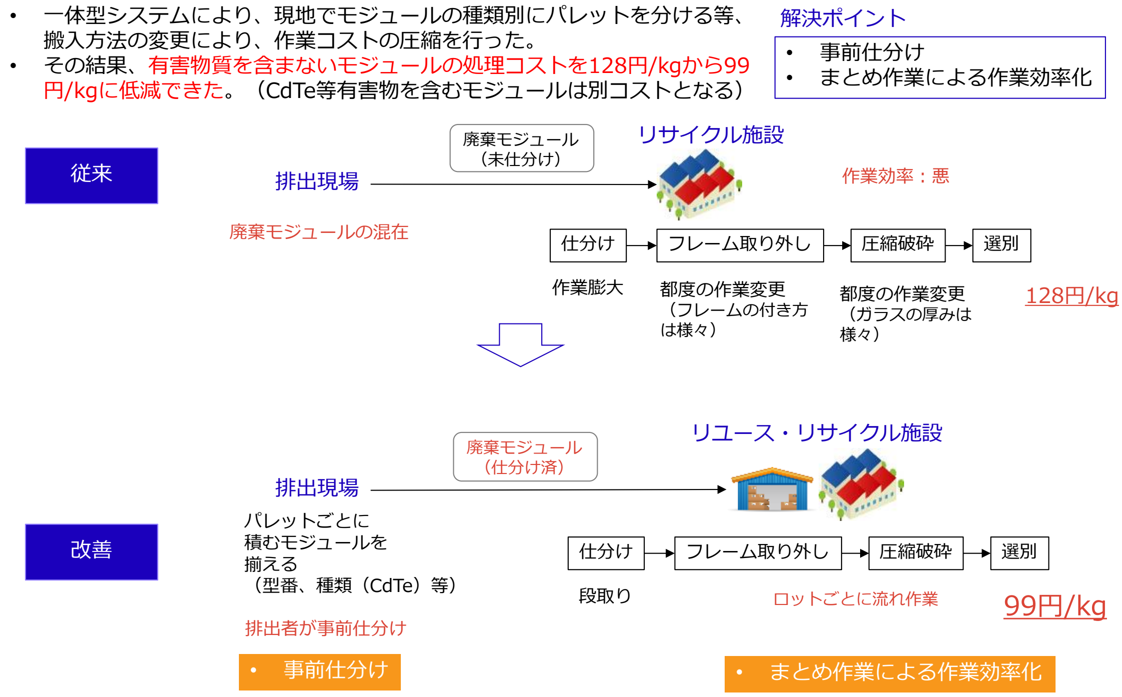


図 3.2-3　圧縮破砕の実施条件見直し等によるコスト削減

表 3.2-1　太陽電池モジュールのリサイクルのための圧縮破砕コスト圧縮検討結果

工程	単価（管理コスト含む）		前提条件
運搬コスト		13～21円/kg	静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台 24枚/パレット×6～8パレット　　梱包費50円/枚
仕分けコスト	0円/kg	99円/kg	排出時に仕分け済みの前提
フレーム取り外しコスト	24円/kg		
圧縮破砕コスト	60円/kg		
選別コスト	15円/kg		
その他		△21円/kg	アルミフレーム、ガラス売却益込、最終処分費はなしと仮定
リサイクルコスト計		91～99円/kg	100円/kg程度の目標達成

備考）「その他」にて生成したアルミ、ガラスカレットの売却益を考慮している。

3.2.2　ホットナイフカット処理の検討

ホットナイフカットによる太陽電池モジュールの処理テストをプラントメーカーである株式会社エヌ・ピー・シーに依頼し、行った。

プラントメーカーより、モジュールにヒビの入ったものは処理不可であるとの回答があった。ヒビのないモジュールをテストカットし、ガラスメーカーに板ガラス原料化としての品質評価を依頼した。

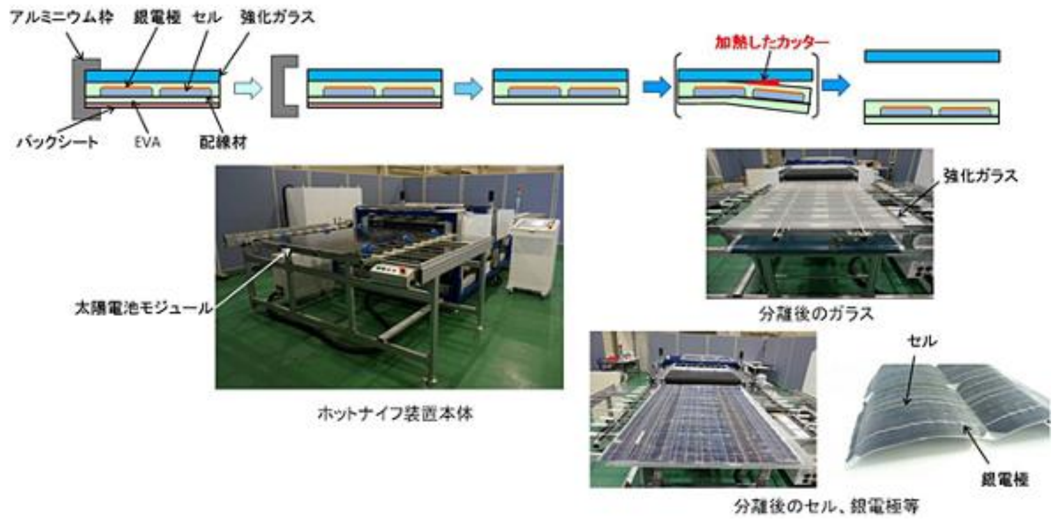


図 3.2-4　ホットナイフによるガラスとセル等の分離プロセス

出所）NEDO ニュースリリース「太陽光発電の大量導入社会を支えるプロジェクトで新たにテーマを採択」（2015 年 9 月 16 日）http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100454.html

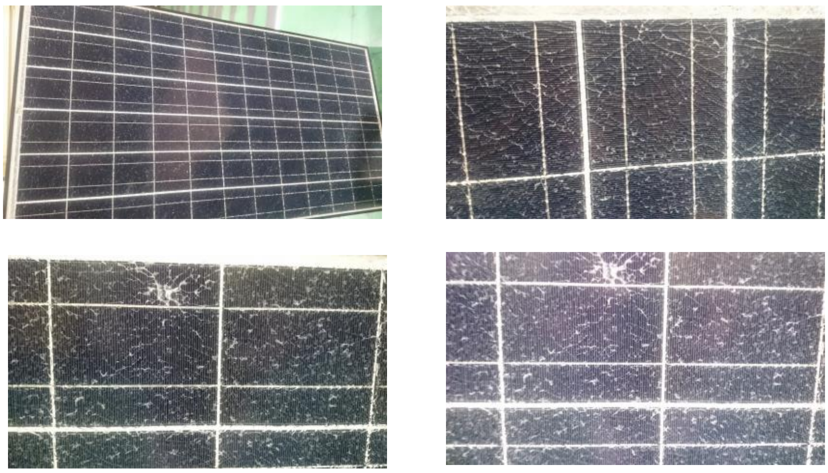
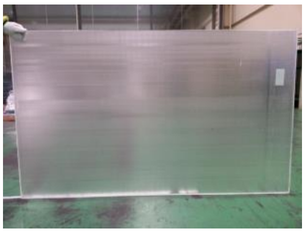
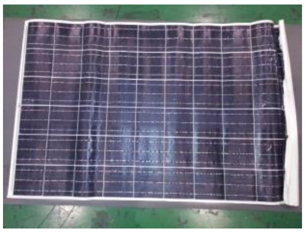


図 3.2-5　ホットナイフにて処理不可能なモジュールの表面ガラス破損



カット後のガラスプレート



カット後のセルシート

アルミフレーム
（手作業）

金属成分の混入リスクが
非常に少なく、板ガラス原
料として評価可能とのこと

図 3.2-6　ホットナイフ処理による生成物

3.2.3　切削型処理の検討

東芝環境ソリューション株式会社より、太陽電池モジュールの切削処理により生成されたガラスプレートを入手し、ホットナイフ処理によるガラスプレートと合わせて、板ガラス化の原料評価を行った。切削処理のフローを図 3.2-7 に示す。分離プロセスが切削に該当する。なお、同社のもう一つの処理工程である破砕プロセスは、ひび割れありなどのモジュールを処理する工程であり、ここで生成されるガラスは板ガラス化を想定していない。

切削の処理技術は既に事業化されていることから、本事業内では切削処理の検証は行わず、既に処理されたガラスプレートを入手するのみとした。

なお、入手したガラスプレートは、ホットナイフよりも有機物の残存が少なかった。一方で、ガラスの厚みはガラス以外が完全に除去されているため他より薄くなっており、立てようとするとガラスの重みで板が撓んだ。

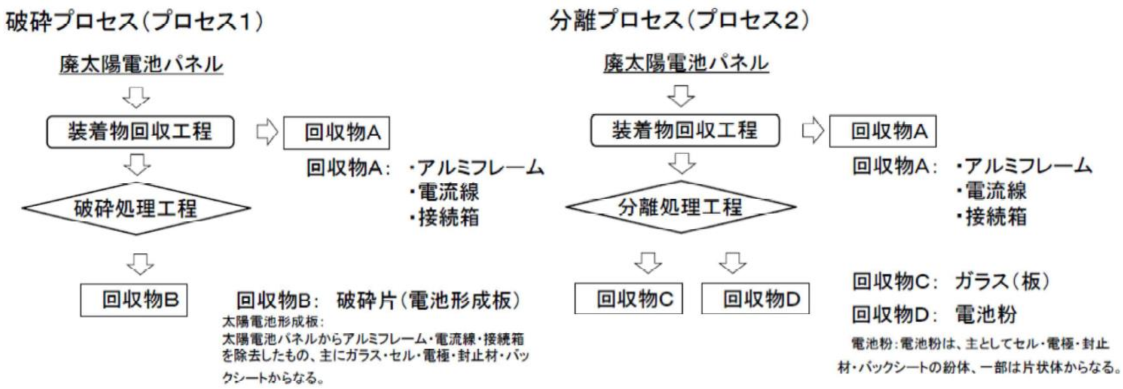


図 3.2-7　切削によるガラスとセル等の分離プロセス（分離プロセス(プロセス 2)が該当）
出所）「太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書」平成 26 年度 使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する検討会

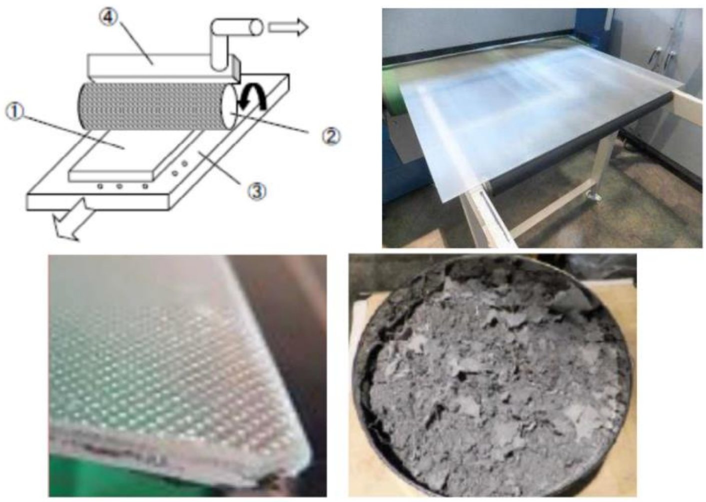


図 3.2-8　切削の分離プロセス(プロセス 2)の分離機器の概略と生成物
出所）「太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書」平成 26 年度 使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する検討会

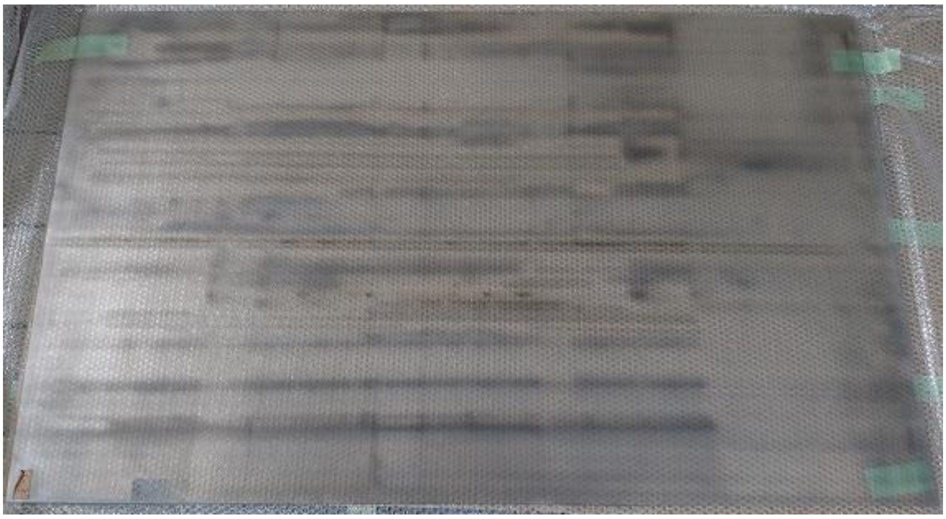


図 3.2-9　切削処理によるガラスプレート（本事業にて取り寄せたサンプル）
備考）黒い部分は切削分離機器であるローラー痕である。

3.2.4　リサイクルタイルの再タイル化検討

太陽電池モジュール由来のガラスカレットから焼成されたセラミックタイルの再タイル化検討の流れを下記に示す。

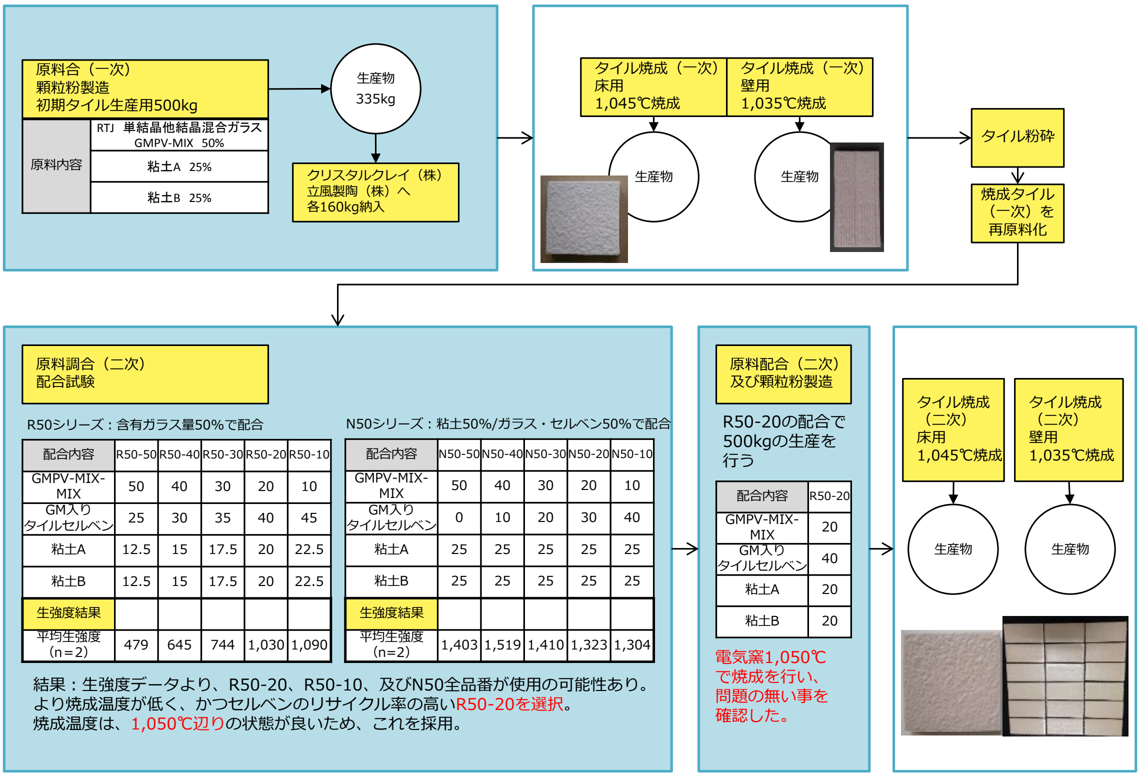


図 3.2-10　セラミック製造の体制

1）セラミックタイル原料の調合

平成 27 年度低炭素型３Ｒ技術・システム実証事業「使用済太陽光パネルユニットの新たなリサイクル、リユースシステムの構築実証事業」（以下、「昨年度事業」とする）にて製造した太陽電池モジュール由来のガラス（以下、GMPV とする）を配合したセラミックタイルが廃棄物になった場合に、再びセラミックタイルにリサイクルできるかどうかの実証実験を行った。この 500kg は昨年度事業にて実証した配合と同じ GMPV50%、粘土 50%とした。タイル原料の調合は丸美陶料株式会社にて行った。

以降、一度目のセラミックタイル化を一次タイル化、一度セラミックタイルにリサイクルされたものを再度セラミックタイル化する工程を二次タイル化と呼称する。

a.　一次タイル原料の調合

二次タイル化の検証を行うにあたり、まず一次タイル化を行った。リサイクルテック・ジャパン（RTJ）より単結晶他結晶混合ガラス、1.2mm 下を 176kg、2.5-1.2mm 下を 328kg、計 504kg を受け入れた。これらを均一に混合し今回使用する GMPV-MIX とした。

品番：C-50
配合内容：RTJ 単結晶他結晶混合ガラス GMPV-MIX 50%
　　　　　粘土 A 25%、粘土 B 25%

			
ポールミルでの原料粉砕	スラリー調整	スプレードライヤーで乾燥	調合されたタイル原料

図 3.2-11　一次タイル原料の製造

b.　二次タイル原料の調合

一次原料にてタイル化した GMPV50%入りタイルが廃棄された場合、再びタイルとしてリサイクルできるかについて、原料調合の配合試験を行った。

リサイクル原料　・GMPV-MIX(廃太陽光パネルガラス)
　　　　　　　　・GMPV 入りタイルセルベン（GMPV50%入り廃タイル粉砕品）

上記 GMPV-MIX と GM 入りタイルセルベンおよび通常のタイル原料に使用されている原料のうち、今回は粘土のみを使用し、試験室のポットミルで表 3.2-2 のように配合を行った。

表 3.2-2　二次タイル用原料の配合内容（%）

	R50-50	R50-40	R50-30	R50-20	R50-10
GMPV-MIX-MIX	50	40	30	20	10
GMPV 入りタイルセルベン	25	30	35	40	45
粘土 A	12.5	15	17.5	20	22.5
粘土 B	12.5	15	17.5	20	22.5
	N50-50	N50-40	N50-30	N50-20	N50-10
GMPV-MIX-MIX	50	40	30	20	10
GMPV 入りタイルセルベン	0	10	20	30	40
粘土 A	25	25	25	25	25
粘土 B	25	25	25	25	25

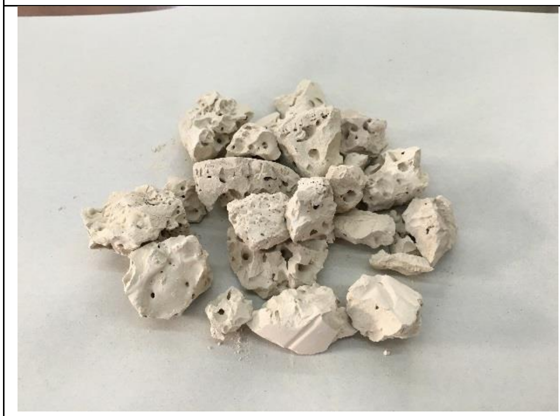
表 3.2-2 の配合に基づき、各々1kg と水等をポットミルに入れ粉砕、出来上がったスラリーを乾燥粉砕し粉末 20 種類を作成した。R50 シリーズは含有ガラス量を 50%となるように配合、N50 シリーズは粘性を確保するため粘土を 50%で統一し、ガラスとセルベンの割合を 50%のうちで変化させた配合とした。

ポットミル

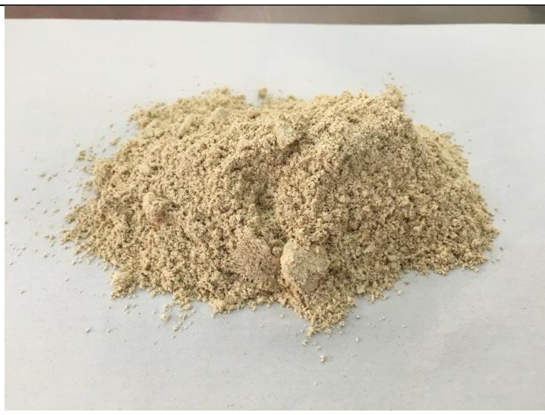
配合原料

ポットミルにて粉砕

スラリー化



スラリー乾燥品



乾燥品の粉砕体

図 3.2-12　二次タイル原料の製造

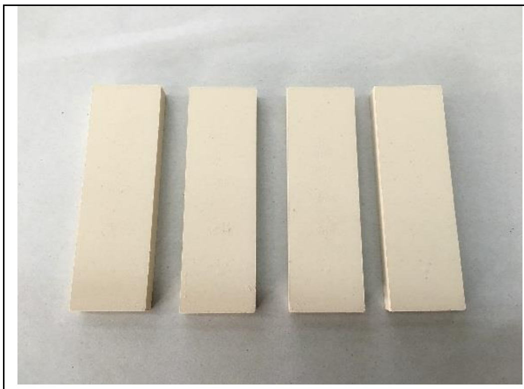
c.　二次タイル原料の成形テスト

生成した粉末 20 種類のうち、10 種類の粉末をプレスにて成形し、生強度や吸水率、収縮率の試験を行った。

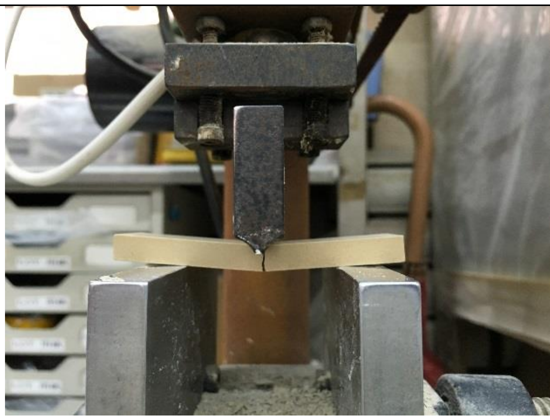
ア）生強度試験

成形体の生強度は、移送時やハンドリング時の壊れやすさに影響するものである。経験値よりこの数値は 1,000 以上あれば、モザイクタイルの成形に問題はないと判断した。

測定の結果、R50 シリーズは、20、10 のみ、N50 シリーズはすべてクリアした。



成形体 焼成前（サイズ 80㎜×25㎜）



生強度測定

図 3.2-13　生強度測定

表 3.2-3　生強度結果 (g)

	R50-50	R50-40	R50-30	R50-20	R50-10
平均生強度(n=2)	479	645	744	1,030	1,090
判定				○	○
	N50-50	N50-40	N50-30	N50-20	N50-10
平均生強度(n=2)	1,403	1,519	1,410	1,323	1,304
判定	○	○	○	○	○

イ）焼成温度別の吸水率と縮小率

次に成形体を電気窯で焼成した。設定温度は 1,000℃、1,025℃、1,050℃、1,075℃、1,100℃、1,150℃の 6 水準を 2 種類（R50 シリーズ、N50 シリーズ）、計 12 回の焼成を行った。

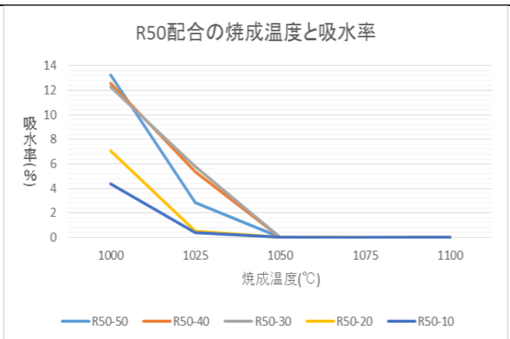
R50 シリーズはガラスの含有量が一定であるので配合が違っても焼成温度域が近似していた。N50 シリーズはセルベンが多いほど焼成温度域が高くなってきていた。

なお、R50-10 の 1,150℃焼成および N50 シリーズ全品番の 1,150℃焼成は、成形品がすべて棚板に溶着してしまい、その後の試験は不可能であった。

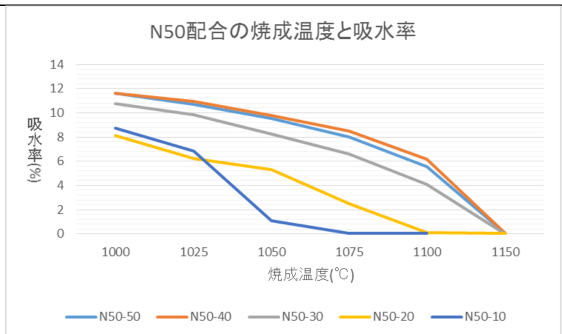
図 3.2-14　電気窯焼成

表 3.2-4　各配合の焼成温度別の吸水率（%）

焼成温度（℃）	R50-50	R50-40	R50-30	R50-20	R50-10
1,000	13.24	12.60	12.29	7.07	4.40
1,025	2.82	5.37	5.78	0.52	0.41
1,050	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
1,075	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00
1,100	0.04	0.00	0.00	0.04	0.04
1,150	-	-	-	-	-
焼成温度（℃）	N50-50	N50-40	N50-30	N50-20	N50-10
1,000	11.65	11.61	10.77	8.12	8.76
1,025	10.73	10.96	9.85	6.22	6.86
1,050	9.56	9.78	8.23	5.29	1.07
1,075	7.98	8.47	6.61	2.49	0.04
1,100	5.58	6.15	4.12	0.08	0.04
1,150	0.04	0.04	0.00	0.04	-



R50 配合



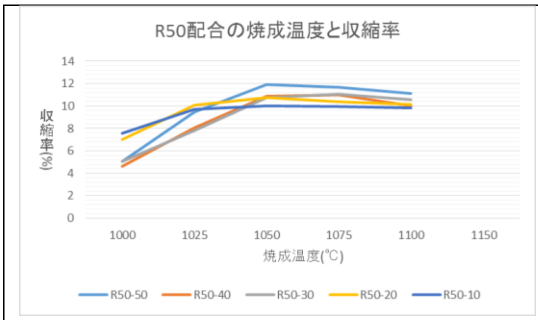
N50 配合

図 3.2-15　各配合の焼成温度別の吸水率（%）

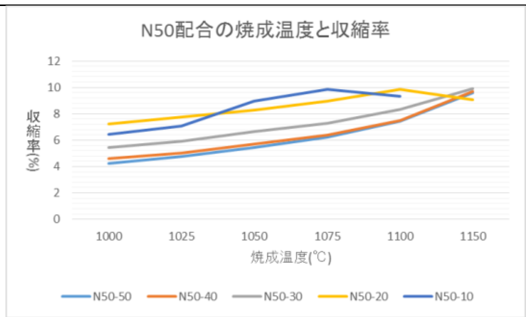
表 3.2-5　各配合の焼成温度別の収縮率（%）

焼成温度（℃）	R50-50	R50-40	R50-30	R50-20	R50-10
1,000	5.05	4.63	5.05	7.00	7.54
1,025	9.44	8.07	7.80	10.07	9.69
1,050	11.91	10.86	10.74	10.74	9.99
1,075	11.69	11.02	11.06	10.38	9.95
1,100	11.15	10.02	10.57	10.16	9.85
1,150	-	-	-	-	-

焼成温度（℃）	N50-50	N50-40	N50-30	N50-20	N50-10
1,000	4.23	4.58	5.47	7.23	6.44
1,025	4.77	5.05	5.94	7.78	7.06
1,050	5.44	5.70	6.67	8.28	8.98
1,075	6.25	6.38	7.28	8.95	9.86
1,100	7.44	7.51	8.31	9.85	9.33
1,150	9.57	9.69	9.91	9.09	-



R50 配合



N50 配合

図 3.2-16　各配合の焼成温度別の収縮率（%）

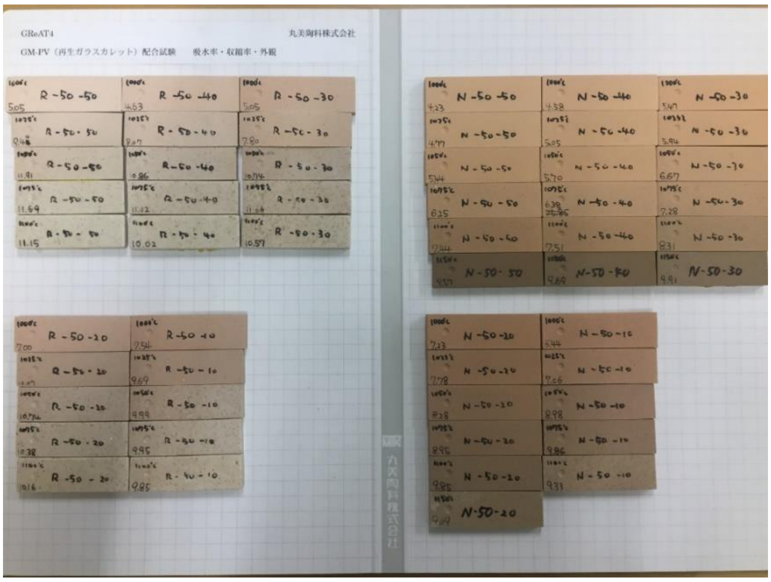


図 3.2-17　R50 シリーズ、N50 シリーズ配合焼成品

ウ）まとめ

試験の結果、生強度データより R50-20、R50-10、および N50 全品番が使用の可能性が見られた。ただし、N50 シリーズは吸水率が下がるまでの焼成温度が 1,075℃～1,150℃と高くなる傾向にあったので、より焼成温度が低く、かつセルベンのリサイクル率の高い R50-20 を選択した。焼成温度も昨年度事業と同等の 1,050℃周辺にて一番焼成状態がよかったことから、この温度を選択した。

試験の結果、より GMPV のリサイクル率の高い R50-20 の配合にて 500kg の二次タイル原料（坏土）の生産を行った。

配合内容　「　R50-20　」

リサイクルガラス 50%含有タイルセルベン	20%
RTJ 単結晶他結晶混合ガラス GMPV-MIX	40%
粘土 A	20%
粘土 B	20%

図 3.2-18　R50-20 を配合した二次タイル原料（坏土）

出来上がった顆粒粉を電気窯 1,050℃で焼成を行い、問題のないこと（吸水率のないこと、配合試験と大きな差異のないこと）が確認された。

2）セラミックタイル焼成

a.　二次タイルの焼成

二次タイル原料の坏土により、二次タイルの焼成を行った。壁材の焼成を立風製陶株式会社、床材の焼成をクリスタルクレイ株式会社にて行った。

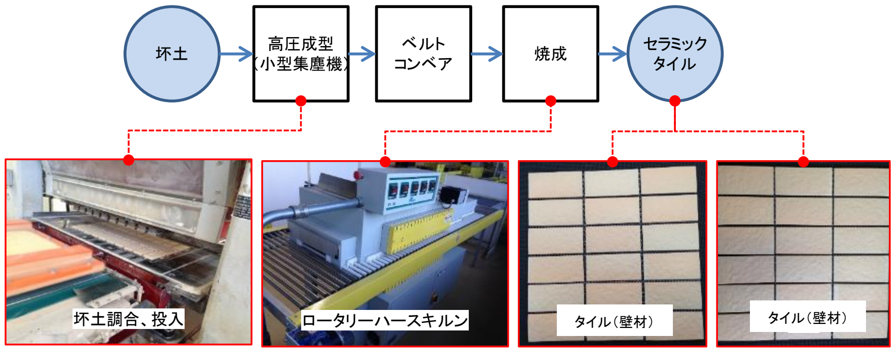


図 3.2-19　二次タイル（壁材）の焼成フロー（焼成温度：1,035℃）

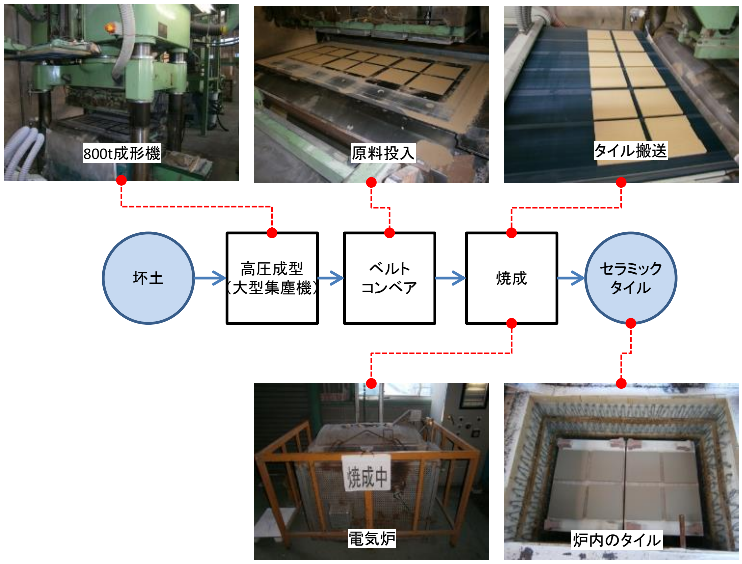


図 3.2-20　二次タイル（床材）の焼成フロー（焼成温度：1,045℃）

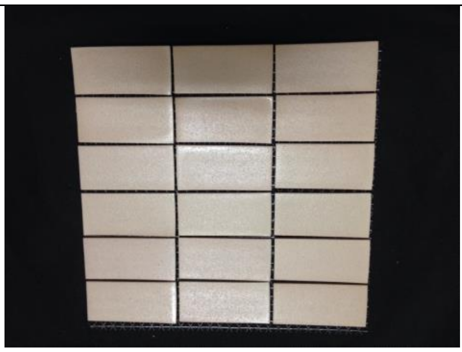
	
壁材	床材

図 3.2-21　二次タイル焼成品

a.　二次タイルの焼成結果

焼成した二次タイルについて、壁材、床材にそれぞれ求められる項目について物性試験を行ったところ、壁材については問題のないことが確認された。

床材についてもすべて基準をクリアし、床材としても問題はないと判断された。ただし、吸水率については辛うじて基準値内に収まる結果であった。これは焼成温度を上げると滑り性に問題が生じ、滑りやすくなるため、温度を抑えたためである。床材であることから、滑り性の基準をクリアすることを優先したためである。

No.	吸水率	曲げ破壊荷重
1	0.2%	635.1N
2	0.1%	682.7N
3	0.2%	613.5N
4	0.5%	701.2N
5	0.7%	718.2N
6	0.4%	620.4N
7	0.2%	654.9N
8	0.3%	602.8N
9	0.5%	647.6N
10	0.3%	629.1N
平均	0.3%	650.6N

いずれも問題なかった。

吸水率と曲げ破壊荷重

No.	長辺	短辺	厚み
1	94.24mm	44.13mm	5.97mm
2	94.28mm	44.15mm	5.98mm
3	94.31mm	44.19mm	5.92mm
4	94.21mm	44.11mm	5.93mm
5	94.25mm	44.14mm	5.91mm
6	94.21mm	44.15mm	5.94mm
7	94.29mm	44.20mm	5.93mm
8	94.28mm	44.17mm	5.97mm
9	94.26mm	44.13mm	5.95mm
10	94.22mm	44.17mm	5.92mm
平均	94.26mm	44.15mm	5.94mm

いずれも問題なかった。

寸法測定

図 3.2-22　二次タイル（壁材）の物性試験結果

品名　R50-20（リサイクルセルベン 20%　GMPV-MIX 40%　粘土A・B 40%）
試験項目　寸法測定
試験方法　JIS A1509-2
試験数　n=15
試験設備　ノギス（最小目盛　0.01㎜）
製作寸法　139×139×16㎜
焼成温度　1045℃（中型電気炉使用）

※参考基準：JIS A5209 製作寸法±2.0㎜

測定結果　単位㎜

資料NO	長さA	長さB	長さC	長さD	厚みA	厚さB
1	139.01	139.08	138.59	138.42	16.28	16.41
2	140.86	140.41	140.71	140.85	16.56	16.32
3	138.71	138.51	139.21	139.23	16.50	16.78
4	139.29	139.00	139.45	139.97	16.39	16.15
5	140.40	140.04	140.33	140.64	16.36	16.32
6	139.40	139.59	140.04	140.08	16.01	16.30
7	138.95	138.24	138.55	138.50	16.11	16.29
8	138.68	138.97	138.87	138.76	16.45	16.32
9	138.25	138.55	138.45	138.68	16.22	16.10
10	138.66	138.28	139.12	139.09	16.11	16.23
11	138.25	138.51	138.42	138.25	16.21	16.33
12	138.21	138.47	138.10	138.66	16.32	16.25
13	138.65	138.88	138.54	138.45	16.21	16.36
14	138.14	138.10	138.25	138.30	16.26	16.11
15	138.21	138.36	138.15	138.25	16.10	16.00
平均	138.91	138.87	138.99	139.08	16.27	16.28
MAX	140.86	140.41	140.71	140.85	16.56	16.78
MIN	138.14	138.10	138.10	138.25	16.01	16.00

【評価】
全て基準値内に収まっていた。成型圧力及び原料の投入方法により範囲を縮める事も可能。

寸法測定

品名　R50-20（リサイクルセルベン 20%　GMPV-MIX 40%　粘土A・B 40%）
試験項目　反り測定
試験方法　JIS A1509-2
試験数　n=各15
試験設備　ノギス（最小目盛　0.01㎜）
製作寸法　139×139×16㎜
焼成温度　1045℃（中型電気炉使用）

※参考基準：JIS A5209　±1.2㎜

資料NO	面反り	辺反り	側反り
1	0.25	−0.25	−0.12
2	0.36	0.65	−0.22
3	−0.22	−0.39	0.11
4	0.65	0.31	0.21
5	0.33	0.29	0.19
6	0.41	−0.41	−0.17
7	−0.11	0.37	0.2
8	0.43	0.19	−0.11
9	−0.32	−0.15	0.19
10	−0.45	−0.32	−0.28
11	−0.29	0.25	0.15
12	0.18	0.18	0.18
13	0.29	0.22	0.15
14	0.4	−0.35	0.21
15	0.38	−0.22	0.24

【評価】
全て規格内である

反り測定

品名　R50-20（リサイクルセルベン 20%　GMPV-MIX 40%　粘土A・B 40%）
試験項目　滑り性試験
試験方法　ASTM E 303
試験数　n=5
試験設備　英国振り子試験機
製作寸法　139×139×16㎜
焼成温度　1045℃（中型電気炉使用）

※参考基準：当事者間の協定（40BPN以上）

試験結果（湿潤状態）BPN

資料NO	1回目	2回目	3回目	平均
1	40	41	41	41
2	41	41	42	41
3	41	42	40	41
4	40	41	41	41
5	42	41	41	41

【評価】
規格内ではあるが、焼成温度が高くなると滑りやすくなり注意が必要

滑り性試験

品名　R50-20（リサイクルセルベン 20%　GMPV-MIX 40%　粘土A・B 40%）
試験項目　曲げ破壊荷重
試験方法　JIS A 1509-4
試験数　n=各5
試験設備　曲げ試験機
試験条件　スパン幅　132㎜
製作寸法　139×139×16㎜
焼成温度　1045℃（中型電気炉使用）

※参考基準：JIS A5209 曲げ破壊荷重　1080（N）以上

資料NO	曲げ破壊荷重（N）
1	4178
2	4680
3	4325
4	4439
5	4511

【評価】
十分な強度である

曲げ破壊荷重試験

品名　R50-20（リサイクルセルベン 20%　GMPV-MIX 40%　粘土A・B 40%）
試験項目　吸水率測定
試験方法　煮沸法
試験数　n=各5
試験条件　煮沸2時間後、水中で12時間以上静置する
製作寸法　139×139×16㎜
焼成温度　1045℃（中型電気炉使用）

※参考基準：JIS A5209 吸水率3.0%以下　Ⅰ類

資料NO	乾燥時の質量	吸水時の質量	吸水率（%）
1	633	650	2.7%
2	606	622	2.6%
3	612	629	2.8%
4	629	647	2.9%
5	624	642	2.9%

【評価】
基準内には収まった。より吸水率を向上させるには焼成温度を上げる必要があるが、
滑り抵抗が悪化するため温度を上げることができなかった。

吸水率測定

品名　R50-20（リサイクルセルベン 20%　GMPV-MIX 40%　粘土A・B 40%）
試験方法　目視

【評価】
原料の含水率が高く乾燥不足での焼成では小さなキレが発生したが、
十分な乾燥により改善された。
成型後の生強度があるため、ハンドリングによるキレ、カケは
見受けられなかった。
原料に混入した異物等は見受けられない。

外観検査

図 3.2-23　二次タイル（床材）の物性試験結果

3.2.5　処理技術別に生成されたガラスの板ガラス原料としての品質評価

リサイクルテック・ジャパンにて生成したガラスカレットの他、ホットナイフおよび切削により生成されたガラスプレートについて、ガラスメーカー2 社（旭硝子株式会社、セントラル硝子株式会社）にて品質評価を受けた。評価結果を表 3.2-6、表 3.2-7 に示す。どちらのメーカーにおいても、圧縮破砕によるガラスカレットは、圧縮破砕機にステンレス系の金属素材が使用されていないこと、金属混入が絶対にないこと等の厳しい条件があり、現実問題として対応が難しいと判断された。

ホットナイフによるガラスプレートは、EVA 樹脂の残り分が多いために買取価格が低い評価となった他、受入量の制限が設けられた。一方で、切削によるガラスプレートは有機物の残存も少なく、高い品質評価が得られた。

プレート状よりもカレット状のほうが買取価格は高くなるとのことであった。ただし、カレット状に破砕する工程の管理が重要であり、破砕工程はガラス専用であること、異物混入がないことなど、カレット問屋と同等の品質管理が求められる。通常、カレット問屋に売却する場合は 1～2 円/kg である。専用の破砕工程を新設する場合のコストを考慮すると、メーカーへの売却利益は、カレット問屋に売却することと同程度となる可能性がある。

表 3.2-6　生成ガラスの品質評価（A 社）

処理方法	生成物	ガラスメーカーA 社による品質評価・買取額評価	
圧縮破砕	ガラスカレット	現物を確認したところ、異物除去レベルは昨年度より大幅に向上した。ただし、一部に EVA やセルシートと思われる異物あり。この有機物を確認する必要がある。今後は、この選別品質が安定させられるかどうかである。 最も重要なのは、ガラスに接触する圧縮破砕機の部材の素材が何かである。機材の素材がステンレス系の場合、板ガラス原料としては受け入れ困難。	0～2 円/kg
ホットナイフ	ガラスプレート	処理プロセスを確認したところ、機材の素材については大きな問題はない。真鍮めっきの濃度やモリブデン、タングステンが入った超硬刃については、大きな破片が入らなければ問題ない。 現物を確認したところ、EVA の残りが厚い。致命的な不純物の量ではないが､EVA 残りが多いと有機物の濃度が高いので、無償引取のレベルになる。 残った有機物を焼却除去すれば、2,3 円/kg での買取の可能性あり。 有機物が高い場合は、他のガラスと混ぜ合わせながら投入することになり、買取値が下がる。また、工場によっては受け入れできないところもある。 プレートのままの搬入の場合、工場にて破砕する必要があるため、この社内処理コストを引く必要がある。	0～2 円/kg
切削	ガラスプレート	処理プロセスを確認したところ、分離プロセスは板ガラスを粉砕しない処理プロセスなので、洗浄等で切削粉が除去されれば、板ガラス原料として使用可能。 破砕プロセスはセルの粉末が混ざる可能性があることから、板ガラス原料としては難しいと思われる。 ただし、バックシートに懸念が残る。一部のモジュールのバックシートは、アルミ箔をフッ素樹脂フィルムで挟んだ 3 層構造のため、破砕されたアルミ箔が混入する可能性があり、これは板ガラス原料として受入不可である。 PET 樹脂をフッ素樹脂フィルムで挟んだ構造のバックシートであれば受け入れの可能性あり。セルの粉末の混入	約 5 円/kg

処理方法	生成物	ガラスメーカーA 社による品質評価・買取額評価	
		はごく少量なら問題なし。 現物を確認したところ、異物レベルは問題なし。縁の残りやゴムのローラー痕程度であれば問題なし。有機物の残りが見受けられたが、コントロール範囲内である。 プレートをガラス専用ラインで破砕し、カレット状にできればなおよい。 プレートのままの搬入の場合、工場にて破砕する必要があるため、この社内処理コストを引く必要がある。	

表 3.2-7　生成ガラスの品質評価（B 社）

処理方法	生成物	ガラスメーカーB 社による品質評価・買取額評価	
圧縮破砕	ガラスカレット	金属がなければ有価買取が可能。 条件：粉砕されていると検査が手間（不可能）なので金属、耐火物異物が絶対ないことを示す必要がある。 →現実問題として、対応が困難。	0～3 円/kg
ホットナイフ	ガラスプレート	EVA 膜が多い（厚い）ため、割っても EVA 膜が付着しており、バラバラにならない。 プレートのままでは、カレットホッパーに入らない。 高さ 1m から落として手のひらサイズに割れれば投入可能になる。 現状では破砕工程を入れなければならないため、買取価格は下がる。 上記の問題から、50～100t/年間程度に受入量が制限される。	2～3 円/kg
切削	ガラスプレート	分離プロセスで処理されたガラスは異物が少なく、品質状態がよい。 割ってみて簡単に粉々になるため、ハンドリングがしやすい。	約 8 円/kg

3.2.6　セルシートの銀品質評価業務

リサイクルテック・ジャパンにて生成されたセルシートについて、三井金属鉱業株式会社にて含有分析を行い、銀に対する品質評価を行った。銀評価の結果、今年度の中国産太陽電池モジュール（単結晶、多結晶混合）は、有価物とはならず、産業廃棄物との評価結果となった。

表 3.2-8　セルシートの品質評価

処理会社	評価対象品		銀の含有品位（平均）(g/t)	対象鉱量 (Ag) (t)	回収金属量 (Ag) (kg)	有価物評価
RTJ	セルシート	単結晶・多結晶（混合）【中国メーカー】	1,260	3,640	4,128	×
		（参考）H27 事業調査結果 単結晶・多結晶（混合）【日本メーカー】	2,525	5.195	10.494	○

備考）有価物評価は銀の販売額評価から前処理、有害物質処理を差し引いたものである。
銀の評価額は、当時の LONDON 価格基準に基づく。

3.2.7　使用済太陽電池モジュールのリサイクル条件の整理

各処理方法による処理コストと生成されるガラスの用途および売値を図 3.2-24 に示す。圧縮破砕では、生成したガラスカレットについて用途ごとの売値に違いは生じなかった。セラミックタイル化はまだリサイクル販路が確定していないことから、既に販路が確定し、取引実績があり、受入量の制限もなく市場に流通しているグラスウール化を主なリサイクル用途とした。セラミックタイル化は販路が確定した後に行う流れになると考えられる。

板ガラス化については、圧縮破砕では品質条件をクリアすることが難しく、ホットナイフと切削に可能性が見られた。ホットナイフは有機物の残存が多かったために買取評価は低かったが、切削では有機物の残存が少なく高い評価が得られた。なお、ホットナイフについては、本事業では検証できなかったが、現在、有機物の残存量を減らすための技術開発を行っているとのことである。

板ガラス化の可能性があったが、ホットナイフと切削は処理コストが圧縮破砕よりも高く、目標であった処理コスト 100 円/kg を上回った。

	処理方法	処理コスト	用途	売値
従来用途	圧縮破砕 （カレット）	約100円/kg	グラスウール原料	1～2円/kg
検討用途	圧縮破砕 （カレット）	約100円/kg	セラミックタイル原料	1～2円/kg
	ホットナイフ （プレート） 破損パネルNG	約130円/kg	板ガラス原料	1～3円/kg
	（参考） 切削方式 （プレート） 破損パネルNG	（参考） 約135円/kg （実験見積もりとして）	板ガラス原料	5～8円/kg

用途	受入条件
グラスウール原料	異物混入　3v%程度
セラミックタイル原料	異物混入　1v%以内
板ガラス原料	異物混入　Al、Ni等NG、その他厳しい基準あり

※ガラスへの異物を抑えると
セルシートへの異物が増し、
銀評価が下がることにも留意

図 3.2-24　処理方法別のコストおよび生成物の用途と売値

備考）各処理技術の処理コストは本実証試験上の数値であり、実際の廃棄モジュールの処理コストは、性状等を確認の上、個別見積もりとなる。

処理方法によって、処理可能なモジュールの条件が異なった。モジュールの性状別に処理可能な技術を図 3.2-25 に示す。圧縮破砕はどんな状態のモジュールでも処理が可能である。一方で、ホットナイフや切削の場合は、ひび割れ不可、合わせガラスタイプのモジュールは不可などの条件が付加された。リユースの可能性のない使用済太陽電池モジュールはひび割れていることが多いことから、これらの処理をホットナイフや切削ではできないこととなる。東芝環境ソリューションでは、ひび割れありのモジュールに対しては、図 3.2-7 の破砕プロセスにて処理をしているとのことであった。ただし、同社の破砕プロセスは板ガラス化リサイクルを想定しておらず、生成されたガラスは板ガラス化されず、産業廃棄物として処理されるとのことである。

圧縮破砕はどんな状態のモジュールでも処理が可能なことから、太陽電池モジュールの処理への対応力が高く、また処理コストも 3 つの処理技術の中では低いことから、経済的にも合理的であると判断した。

	圧縮破砕	ホットナイフ 切削方式
モジュールの種類	単結晶 多結晶 シリコン系薄膜 化合物系薄膜（CdTe等有害物質含*）	単結晶** 多結晶** シリコン系薄膜** 化合物系薄膜（CdTe等有害物質含*）
有害物質	*有り・無しの分類必須	*有り・無しの分類必須
パネルの状態	問わない	ひび割れ不可 **合わせガラス不可

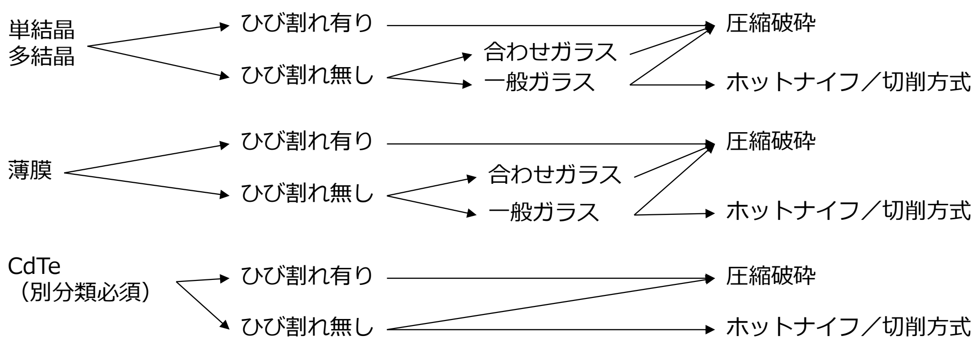


図 3.2-25 処理方法別の対応可能モジュールとモジュールの条件別の処理方法

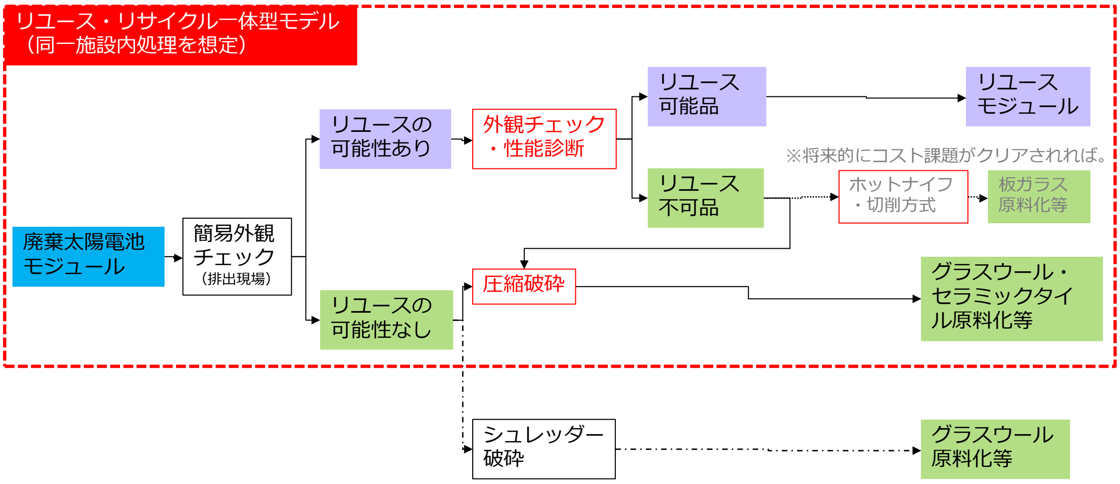
表 3.2-9 リサイクル処理技術の比較検討結果

処理方法	処理不可品	ガラス生成物	処理コスト （資源売却益を含む）	ガラス売却額	評価
圧縮破砕	なし	ガラスカレット	約 100 円/kg	1～2 円/kg	○
ホットナイフ	ひび割れありモジュール 複層型等のガラスが薄いモジュール	ガラスプレート	約 450 円/kg	1～3 円/kg	△ 処理コスト削減課題あり ガラスプレートの品質改善課題あり
切削方式	ひび割れありモジュール	ガラスプレート	約 135 円/kg	5～8 円/kg	△ 処理コスト削減課題あり

3.2.8　使用済太陽電池モジュールのリユース・リサイクル一体型モデルの全国システム構築の検討

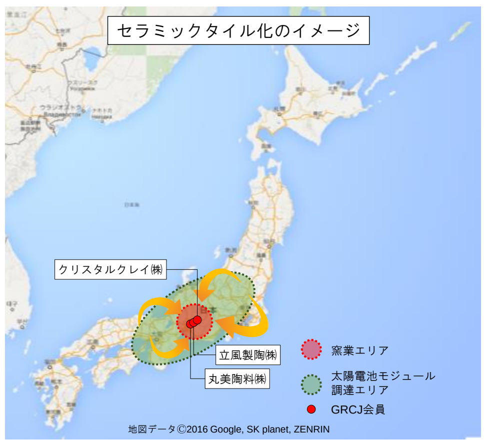
リユース・リサイクル一体型モデルについて、現時点で対応が可能と想定されるのは、既に設備を保有している PV テクノサイクルと東芝環境ソリューション、リサイクルテック・ジャパン（合同会社アールツーソリューション）である。これらはいずれも GRCJ ネットワーク会員であり、連携が可能である。

太陽光発電に適する太平洋側エリア（排出量が多いと見込まれる地域）への対応は、GRCJ ネットワークでカバーされると見込んでいる。



※シュレッダー破砕は、リユース対応施設が近隣にない場合や大量廃棄時の対応と想定。

図 3.2-26　リユース・リサイクル一体型モデルの処理フローイメージ



※グラスウール化は、既にガラスカレット問屋によるリサイクルネットワークが有り、全国カバーされている。

図 3.2-27　リユース・リサイクル一体型モデルの全国体制図

4. 環境負荷低減効果の検証

4.1 本処理工程およびベースラインプロセスにおける CO2 発生量のバウンダリの設定と削減効果の算出

本実証事業では、自社で消費もしくは排出された商品の処理工程をバウンダリとして設定し、CO2 排出量を算出した。

本事業のリサイクルプロセス（本処理工程）における処理プロセスは、大きく処理プロセスと製品化プロセスに分類される。処理プロセスでは、使用済太陽電池モジュールのセルとシートを分離する圧縮破砕、篩い等の選別によるガラスカレットの生成までを指す。製品化プロセスは、処理プロセスで生成したガラスカレットからセラミックタイルやグラスウールの製作までを指す。

また、各製品の現状の製品化プロセスをベースラインプロセスとして、同様にバウンダリを設定し、CO2 排出量を算出して本処理工程と比較することで、本事業の環境負荷低減効果を検証した。ベースラインプロセスは、使用済太陽電池モジュールからアルミフレームを取り外し、残りを乾式製錬により、銅、銀を回収し、製錬スラグ化すると設定した。

なお、CO2 排出量算定にあたり、処理する使用済太陽電池モジュールは多結晶とし、RTJ の処理施設にて破砕・選別を行ったと仮定して試算した。

4.1.1　セラミックタイル化

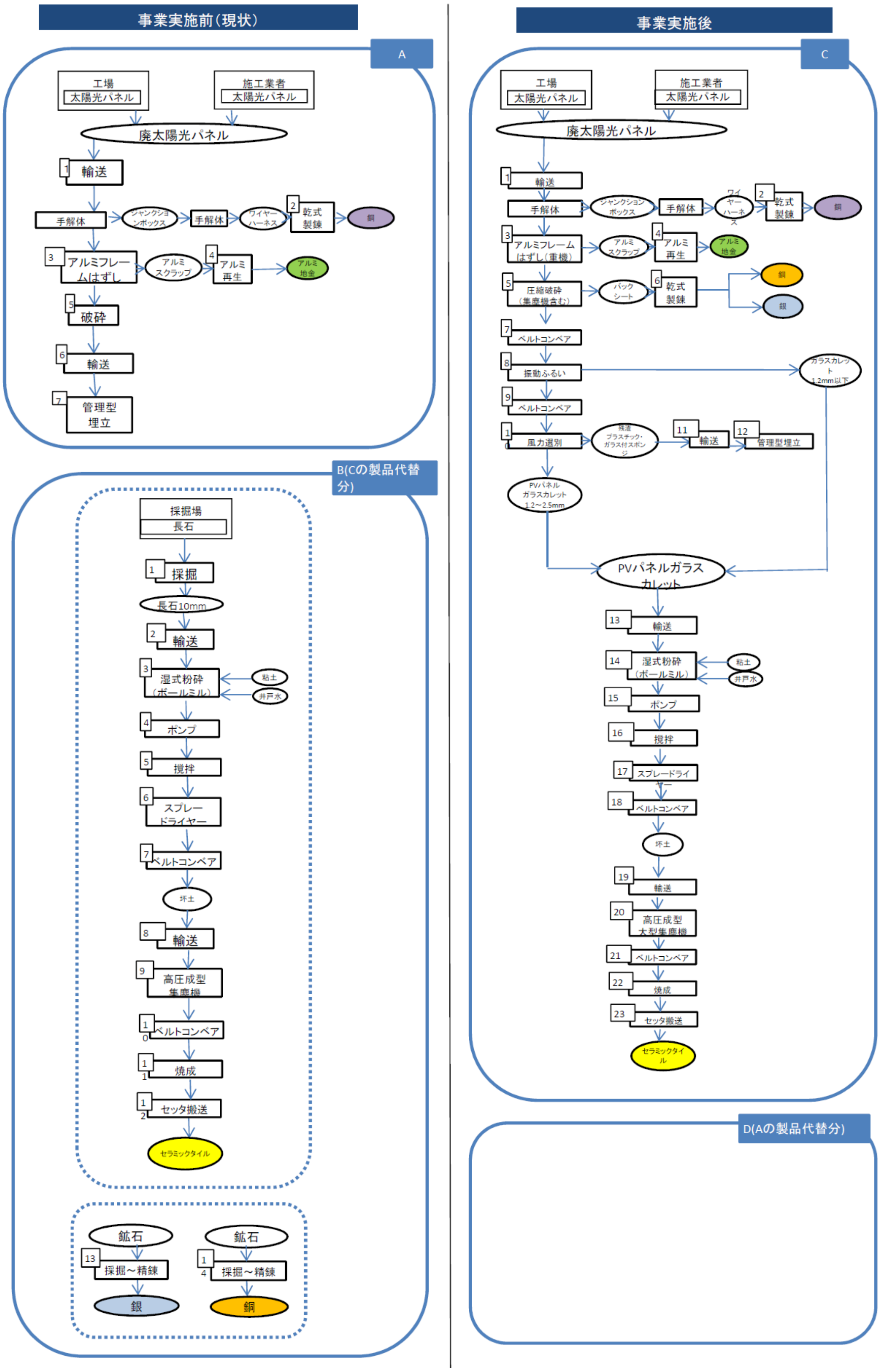


図 4.1-1　セラミックタイル製品化におけるバウンダリ

表 4.1-1　セラミックタイル製品化における 1t あたりの CO_2 削減量

カテゴリ	項目	排出量 （CO_2e-kg/t）
A	ベースライン（現状）の排出量	113
B	事業実施時の代替分	1,063
C	事業実施時の排出量	862
D	ベースライン（現状）の代替分	0
	CO2削減効果（A+B）−（C+D）	**313.5**

表 4.1-2　セラミックタイル製品化のインベントリデータ①

①ベースライン（現状）

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量 (CO2e-kg/t)
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	
A	1	輸送	A001	PVパネル1tあたりの輸送量	100.00	tkm	A002	1tkmあたりのCO2排出量	0.06	kg-CO2/tkm	5.850
	2	乾式製錬	A003	PVパネル1tあたりの銅含有量（d）	4.80	kg/PVパネルt	A004	銅1tあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg	4.563
	3	アルミフレームはずし	A005	PVパネル1tあたりの電気使用量	6.25	kwh/PVパネル	A006	1kWhあたりのCO2排出量	0.59	kg-CO2/kwh	3.667
	4	アルミ再生	A007	PVパネル1tあたりのアルミニウムスクラップ含有量(b)	162.50	kg/PVパネルt	A008	アルミスクラップ1kgあたりの溶融時CO2排出量（c ）	0.29	kg-CO2/kg	47.125
	5	破砕	A009	PVパネル1tあたりの処理量（a）	818.75	kg/PVパネルt	A010	処理物1kgを破砕する際のCO2排出量	0.0215	kg-CO2/kg	17.589
	6	輸送	A011	PVパネル1tあたりの輸送量	50	tkm	A012	1tkmあたりのCO2排出量	0.0638625	kg-CO2/tkm	3.193125
	7	埋立	A013	PVパネル1t当たりの処理量	818.75	kg/PVパネルt	A014	埋立時の1kg当たりのCO2排出量	0.0379	kg-CO2/kg	31.030625
	合計										**113.02**

表 4.1-3　セラミックタイル製品化のインベントリデータ②

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	(CO_2e-kg/t)
	1	長石採掘～選鉱・製錬	B001	カレットの代替用長石量	375.00	kg	B002	長石採取1kgあたりのCO2排出量	0.0011	kg-CO2/tkm	0.40875
	2	輸送	B003	セラミックタイル675kg製造tあたりの輸送量	50.00	tkm	B004	1tkmあたりのCO2排出量	0.029	kg-CO2/tkm	1.46
	3	湿式粉砕(ボールミル)	B005	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	4.38	kwh	B006	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	2.57
	4	ポンプ	B007	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	0.77	kwh	B008	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.45
	5	攪拌	B009	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	0.58	kwh	B010	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.34
	6	スプレードライヤー	B011	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	14.11	kwh	B012	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	8.28
			B013	セラミックタイル675kg製造あたりのA重油使用量	56.25	L	B014	A重油1L使用あたりのCO2排出量	2.710	kg-CO2/L	152.44
	7	ベルトコンベア	B015	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	1.52	kwh	B016	1kWhあたりのCO2排出量	0.373	kg-CO2/kwh	0.57
	8	輸送	B017	セラミックタイル675kg製造あたりの輸送量	50.00	tkm	B018	1tkmあたりのCO2排出量	0.057	kg-CO2/tkm	2.84
	9	高圧成型(集塵機ふくむ)	B019	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	34.20	kwh	B020	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	20.08
	10	ベルトコンベア	B021	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	8.18	kwh	B022	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	4.80
	11	焼成	B023	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	48.54	kwh	B024	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	28.49
			B025	セラミックタイル675kg製造あたりの都市ガス使用量	336.52	L	B026	都市ガス1L使用あたりのCO2排出量	2.230	kg-CO2/L	750.45
	12	セッタ搬送	B027	セラミックタイル675kg製造あたりの電気使用量	2.74	kwh	B028	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	1.61
	13	採掘～精錬	B029	PVパネル1tあたりの銀含有量a)	1.33	kg/PVパネルt	B030	銀1kg生産時のCO2排出量b)	26.8	kg-CO2/kg	35.64
	14	採掘～精錬	B031	PVパネル1tあたりの銅含有量a)	14.21875	kg/PVパネルt	B032	銅1kg生産時のCO2排出量b)	3.67	kg-CO2/kg	52.18
	合計										**1,063**

表 4.1-4　セラミックタイル製品化のインベントリデータ③

②事業実施後

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量（CO_2e-kg/t）
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	
C	1	輸送	C001	PVパネル1tあたりの輸送量	100.00	tkm	C002	1tkmあたりのCO2排出量	0.0585	kg-CO2/tkm	5.85
	2	乾式製錬	C003	PVパネル1tあたりワイヤーハーネスのの銅含有量	4.804	kg/PVパネルt	C004	銅1tあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg	4.56
	3	アルミフレームはずし	C005	PVパネル1tあたりの電気使用量	5.21	kwh/PVパネルt	C006	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	3.06
	4	アルミ再生	C007	PVパネル1tあたりのアルミニウムスクラップ含有量	162.50	kg/PVパネルt	C008	アルミスクラップ1kgあたりの溶融時CO2排出量（c　）	0.29	kg-CO2/kg	47.13
	5	圧縮破砕機（集塵機含む）	C009	PVパネル1tあたりの電気使用量	26.71	kWh/PVパネルt	C010	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	15.68
	6	乾式製錬	C011	PVパネル1tあたりの銅含有量（a）	14.22	kg/PVパネルt	C012	銅1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg	13.51
			C013	PVパネル1tあたりの銀含有量（b）	1.330	kg/PVパネルt	C014	銀1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	14.8	kg-CO2/kg	19.68
	7	ベルトコンベア	C015	PVパネル1tあたりの電気使用量	0.62	kwh/PVパネルt	C016	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.37
	8	振動ふるい	C017	PVパネル1tあたりの電気使用量	2.05	kwh/PVパネル	C018	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	1.20
	9	ベルトコンベア	C019	PVパネル1tあたりの電気使用量	0.62	kwh/PVパネルt	C020	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.37
	10	風力選別	C021	PVパネル1tあたりの電気使用量	1.02	kwh/PVパネル	C022	PVパネル1tあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.60
	11	輸送	C023	PVパネル1tあたりの輸送量	50.00	tkm	C024	1tkmあたりのCO2排出量	0.0004875	kg-CO2/tkm	0.02
	12	管理型埋立	C025	PVパネル1t当たりの残渣搬出量	6.25	kg/PVパネルt	C026	埋立時の1kg当たりのCO2排出量	0.0379	kg-CO2/kg	0.24
	13	輸送	C027	PVパネル1tあたりの輸送量	50	tkm	C028	1tkmあたりのCO2排出量	0.029	kg-CO2/tkm	1.46
	14	湿式粉砕（ボールミル）	C029	PVパネル1tあたりの電気使用量	2.10	kwh/PVパネル	C030	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	1.23
	15	ポンプ	C031	PVパネル1tあたりの電気使用量	1.04	kwh/PVパネル	C032	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.61
	16	撹拌	C033	PVパネル1tあたりの電気使用量	0.38	kwh/PVパネル	C034	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.22
	17	スプレードライヤー	C035	PVパネル1tあたりの電気使用量	25.38	kwh/PVパネル	C036	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	14.90
			C037	PVパネル1tあたりのA重油使用量	61.88	L/PVパネルt	C038	A重油1L使用あたりのCO2排出量	2.710	kg-CO2/L	167.68
	18	ベルトコンベア	C039	PVパネル1tあたりの電気使用量	9.57	kwh/PVパネル	C040	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	5.62
	19	輸送	C041	PVパネル1tあたりの輸送量	50	tkm	C042	1tkmあたりのCO2排出量	0.057	kg-CO2/tkm	2.84
	20	高圧成型（集塵機ふくむ）	C043	PVパネル1tあたりの電気使用量	34.20	kwh/PVパネル	C044	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	20.08
	21	ベルトコンベア	C045	PVパネル1tあたりの電気使用量	8.18	kwh/PVパネル	C046	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	4.80
	22	焼成	C047	PVパネル1tあたりの電気使用量	48.54	kwh/PVパネル	C048	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	28.49
			C049	PVパネル1tあたりの都市ガス使用量	224.35	L/PVパネルt	C050	都市ガス1L使用あたりのCO2排出量	2.230	kg-CO2/L	500.30
	23	セッタ搬送	C051	PVパネル1tあたりの電気使用量	2.74	kwh/PVパネル	C052	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	1.61
	合計										**862**

表 4.1-5　インベントリデータ収集における参考文献一覧（セラミックタイル化）

カテゴリ	プロセス	出典
A	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレーム外し	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査
	破砕	産業環境管理協会　「平成 13 年度 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書」中間処理のインベントリ
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属（金、銀、白金）のインベントリ分析－CO2 排出に注目して－」成田、田原、他 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」よりアルミスクラップ溶融の値で代替（アルミ溶融炉温度：約 1100℃、ガラス融点：1000℃前後）
	ジョークラッシャー	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定
B	長石採取～選鉱・製錬	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	乾式粉砕	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定
	ポンプ	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	攪拌	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	スプレードライヤー	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 」
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	高圧成型（集塵機含む）	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より）
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	焼成	・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用） ・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 」

カテゴリ	プロセス	出典
		ガラス再資源化協会（素材をガラスカレットに置き換えることで燃料使用量を 33%削減可能）
	セッタ搬送	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 」
C	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレーム外し	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査
	圧縮破砕(集塵機含む)	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属（金、銀、白金）のインベントリ分析－CO2 排出に注目して－」成田、田原、他
	湿式粉砕（ボールミル）	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	振動篩い	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	風力選別	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	管理型埋立	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	輸送	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	湿式粉砕（ボールミル）	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替

カテゴリ	プロセス	出典
		値を利用） ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属（金、銀、白金）のインベントリ分析－CO2 排出に注目して－」成田、田原、他 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査」よりアルミスクラップ溶融の値で代替（アルミ溶融炉温度：約 1100℃、ガラス融点：1000℃前後）
	ポンプ	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	攪拌	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	スプレードライヤー	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 」
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	高圧成型（集塵機含む）	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より）
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	焼成	・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用） ・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 」 ガラス再資源化協会（素材をガラスカレットに置き換えることで燃料使用量を 33%削減可能）
	セッタ搬送	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果 ・環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 」
D	砕石	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	破砕	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 28 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）

4.1.2 グラスウール化

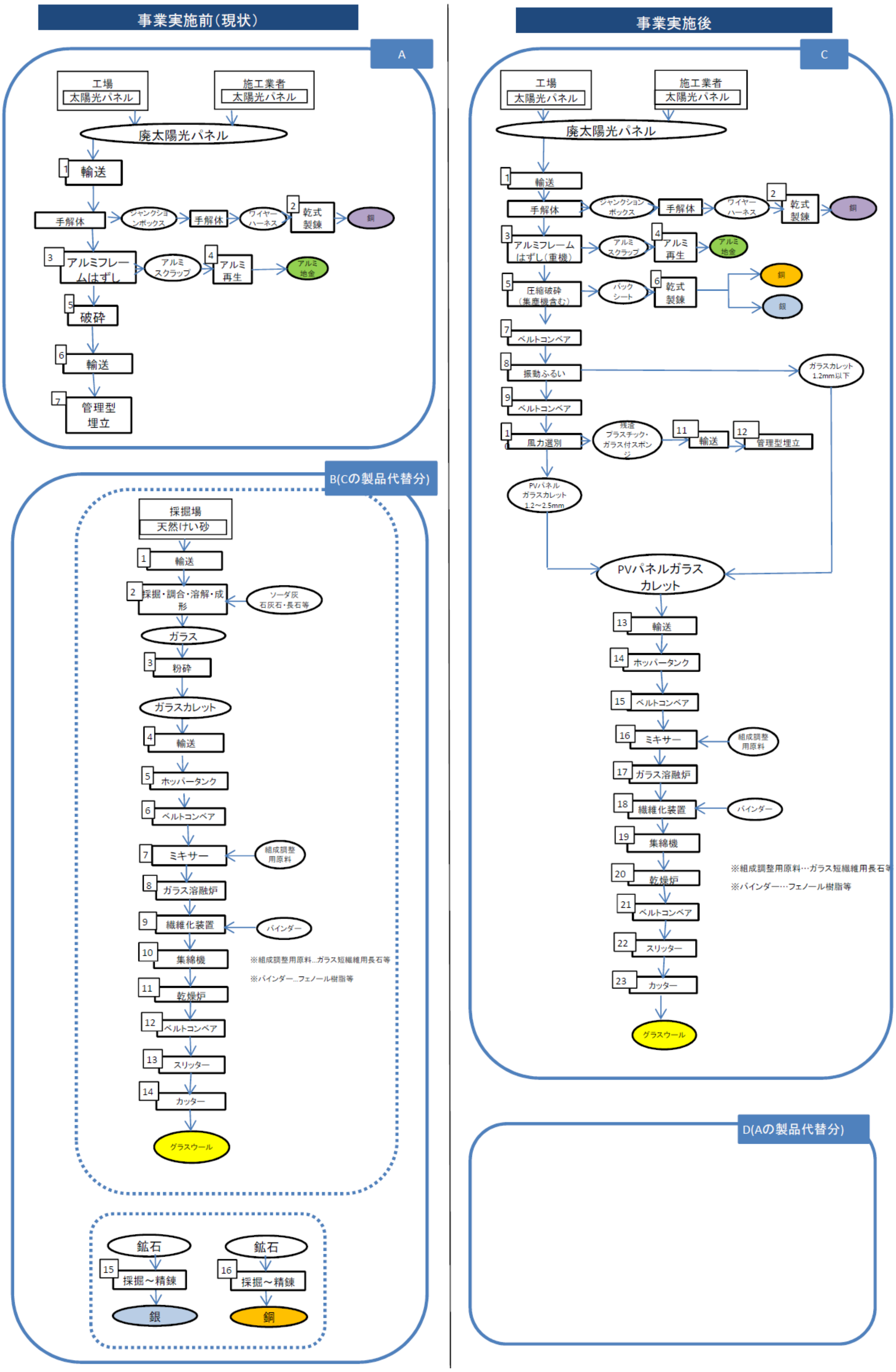


図 4.1-2 グラスウール化におけるバウンダリ

表 4.1-6　グラスウール化における 1t あたりの CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量（CO_2e-kg/t）
A	ベースライン（現状）の排出量	113
B	事業実施時の代替分	1,023
C	事業実施時の排出量	741
D	ベースライン（現状）の代替分	0
	CO2削減効果（A+B）−（C+D）	**396**

表 4.1-7　グラスウール化のインベントリデータ①

①ベースライン（現状）

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量 (CO_2e-kg/t)
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	
A	1	輸送	A001	PVパネル1tあたりの輸送量	100.00	tkm	A002	1tkmあたりのCO2排出量	0.06	kg-CO2/tkm	5.850
	2	乾式製錬	A003	PVパネル1tあたりの銅含有量（d）	4.80	kg/PVパネルt	A004	銅1tあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg	4.563
	3	アルミフレームはずし	A005	PVパネル1tあたりの電気使用量	6.25	kwh/PVパネル	A006	1kWhあたりのCO2排出量	0.59	kg-CO2/kwh	3.667
	4	アルミ再生	A007	PVパネル1tあたりのアルミニウムスクラップ含有量(b)	162.50	kg/PVパネルt	A008	アルミスクラップ1kgあたりの溶融時CO2排出量（c　）	0.29	kg-CO2/kg	47.125
	5	破砕	A009	PVパネル1tあたりの処理量（a）	818.75	kg/PVパネルt	A010	処理物1kgを破砕する際のCO2排出量	0.0215	kg-CO2/kg	17.589
	6	輸送	A011	PVパネル1tあたりの輸送量	50	tkm	A012	1tkmあたりのCO2排出量	0.0638625	kg-CO2/tkm	3.193125
	7	埋立	A013	PVパネル1t当たりの処理量	818.75	kg/PVパネルt	A014	埋立時の1kg当たりのCO2排出量	0.0379	kg-CO2/kg	31.030625
	合計										**113.02**

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量 (CO_2e-kg/t)
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	
B	1～14	ガラス屑、けい砂等採取～調合・溶解・繊維化	B002	PVパネス1tあたりのグラスウール製造量(c)	441.2	kg	B003	グラスウール（ガラス短繊維）1kgあたりのCO2排出量	2.12	kg-CO2/kg	935.3
	15	採掘～精錬	B004	PVパネル1tあたりの銀含有量a)	1.33	kg/PVパネルt	B005	銀1kg生産時のCO2排出量b)	26.8	kg-CO2/kg	35.64
	16	採掘～精錬	B006	PVパネル1tあたりの銅含有量a)	14.21875	kg/PVパネルt	B007	銅1kg生産時のCO2排出量b)	3.67	kg-CO2/kg	52.18
	合計										**1,023**

表 4.1-8　グラスウール化のインベントリデータ②

②事業実施後

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量（CO_2e-kg/t）
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	
C	1	輸送	C001	PVパネル1tあたりの輸送量	100.00	tkm	C002	1tkmあたりのCO2排出量	0.0585	kg-CO2/tkm	5.85
	2	乾式製錬	C003	PVパネル1tあたりワイヤーハーネスの銅含有量(c	4.804	kg/PVパネルt	C004	銅1tあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg	4.56
	3	アルミフレームはずし	C005	PVパネル1tあたりの電気使用量	5.21	kwh/PVパネルt	C006	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	3.06
	4	アルミ再生	C007	PVパネル1tあたりのアルミニウムスクラップ含有量	162.50	kg/PVパネルt	C008	アルミスクラップ1kgあたりの溶融時CO2排出量(c)	0.29	kg-CO2/kg	47.13
	5	圧縮破砕機（集塵機含む）	C009	PVパネル1tあたりの電気使用量	26.71	kWh/PVパネルt	C010	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	15.68
	6	乾式製錬	C011	PVパネル1tあたりの銅含有量(a)	14.22	kg/PVパネルt	C012	銅1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	0.95	kg-CO2/kg	13.51
			C013	PVパネル1tあたりの銀含有量(b)	1.330	kg/PVパネルt	C014	銀1kgあたりの乾式製錬に関わるCO2排出量	14.8	kg-CO2/kg	19.68
	7	ベルトコンベア	C015	PVパネル1tあたりの電気使用量	0.62	kwh/PVパネルt	C016	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.37
	8	振動ふるい	C017	PVパネル1tあたりの電気使用量	2.05	kwh/PVパネル	C018	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	1.20
	9	ベルトコンベア	C019	PVパネル1tあたりの電気使用量	0.62	kwh/PVパネルt	C020	1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.37
	10	風力選別	C021	PVパネル1tあたりの電気使用量	1.02	kwh/PVパネル	C022	PVパネル1tあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.60
	11	輸送	C023	PVパネル1tあたりの輸送量	50.00	tkm	C024	1tkmあたりのCO2排出量	0.0004875	kg-CO2/tkm	0.02
	12	管理型埋立	C025	PVパネル1t当たりの残渣搬出量	6.25	kg/PVパネルt	C026	埋立時の1kg当たりのCO2排出量	0.0379	kg-CO2/kg	0.24
	13	輸送	C027	PVパネル1tあたりの輸送量	50	tkm	C028	1tkmあたりのCO2排出量	0.029	kg-CO2/tkm	1.46
	14～23	調合・溶解・繊維化	C029	PVパネス1tあたりのグラスウール製造量(c)	441	kg	C030	グラスウール（ガラス短繊維）1kgあたりのCO2排出量	2.120	kg-CO2/kg	935.29
	14～23	除外分（ガラス屑、けい砂等採取）	C031	PVパネル1tあたりのカレット量(a)	375	kg	C032	ガラス板1kgあたりのCO2排出量	0.822	kg-CO2/kg	308.40
	合計										**741**

表 4.1-9　インベントリデータ収集における参考文献一覧（グラスウール化）

カテゴリ	プロセス	出典
A	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレーム外し	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 29 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査
	破砕	産業環境管理協会　「平成 13 年度 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書」中間処理のインベントリ
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	管理型埋立	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
B	ガラスくず、けい砂等採取～調合・溶解・繊維化	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・硝子繊維協会　WEB サイ（http://www.glass-fiber.net/glasswool_short_safety.html）よりグラスウール原料のカレット割合を参考
	採掘～精錬	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	採掘～精錬	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
C	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	乾式製錬	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替
	アルミフレーム外し	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 29 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	アルミ再生	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・日本アルミニウム協会「スクラップ溶解のインベントリ調査
	圧縮破砕（集塵機含む）	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・経済産業省中国経済産業局「廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査」（使用済自動車から発生するワイヤーハーネスの平均重量より仮定） ・環境省「平成 29 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	乾式製錬	・日本鉱業協会「非鉄製錬業の役割と LCA の取り組み」※銅の乾式製錬の製錬プロセスにおける原単位で代替 ・日本 LCA 学会研究発表講演要旨集「貴金属（金、銀、白金）のインベントリ分析－CO2 排出に注目して－」成田、田原、他
	湿式粉砕（ボールミル）	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	ベルトコン	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果

カテゴリ	プロセス	出典
	ベア	・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	振動篩い	・クリスタルクレイ株式会社、ヒアリング結果（カレット使用率 50%より） ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・環境省「平成 29 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」（代替値を利用）
	ベルトコンベア	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	風力選別	・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果 ・JIS C 4210:2010 「一般用低圧三相かご形誘導電動機」を参考に仮定 ・丸美陶料株式会社、ヒアリング結果
	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」）
	管理型埋立	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	輸送	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・リサイクルテック・ジャパン株式会社、ヒアリング結果
	調合・溶解・繊維化	・産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01（国内データ）」（以下、「CFP4.01」） ・硝子繊維協会　WEB サイ（http://www.glass-fiber.net/glasswool_short_safety.html）よりグラスウール原料のカレット割合を参考

4.2　リサイクル用途別の CO2 排出量削減効果の比較まとめ

セラミックタイル化について、CO2 排出量削減効果を算出したところ、圧縮破砕処理工程の見直しにより処理能力が向上したことから、削減効果は 313.5CO2-kg/t であり、昨年度よりも削減量が 3.8CO2-kg/t 増加した。

通常のガラスカレット処理であるグラスウール化について新規に算出したところ、395.5CO2-kg/t の削減効果があり、当事業で主な用途として想定しているガラスリサイクルにはいずれも CO2 削減効果が見込まれた。

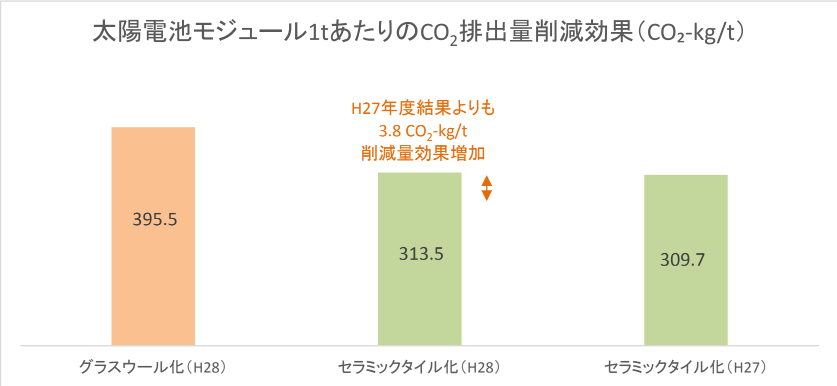


図 4.2-1　太陽電池モジュール 1t あたりの CO2 排出量削減効果

4.3　リユースによる CO2 排出量削減効果

リユースにおける CO2 排出量削減効果についても試算を行った。発電量の試算および前提条件を下記に示す。

試算の結果、太陽電池モジュール 1 枚あたりのリユースによる CO2 排出量削減効果は、109 CO2-kg/枚と算出された。

太陽電池モジュールによる年間予測発電量(kWh/年)

＝斜面日射量(kWh/m2・day)×出力(kW)÷ 標準日射強度(kW/m2)×（1－温度上昇による損失率）×（1－PCS による損失率）×（1－その他損失率）

<前提条件>

タイプ：多結晶

公称最高出力：200W/モジュール

損失率（共通）：15%

面積：1.24m2/モジュール

重量：15kg/モジュール

リユースモジュールの耐久年数：5 年

計算期間：初年度

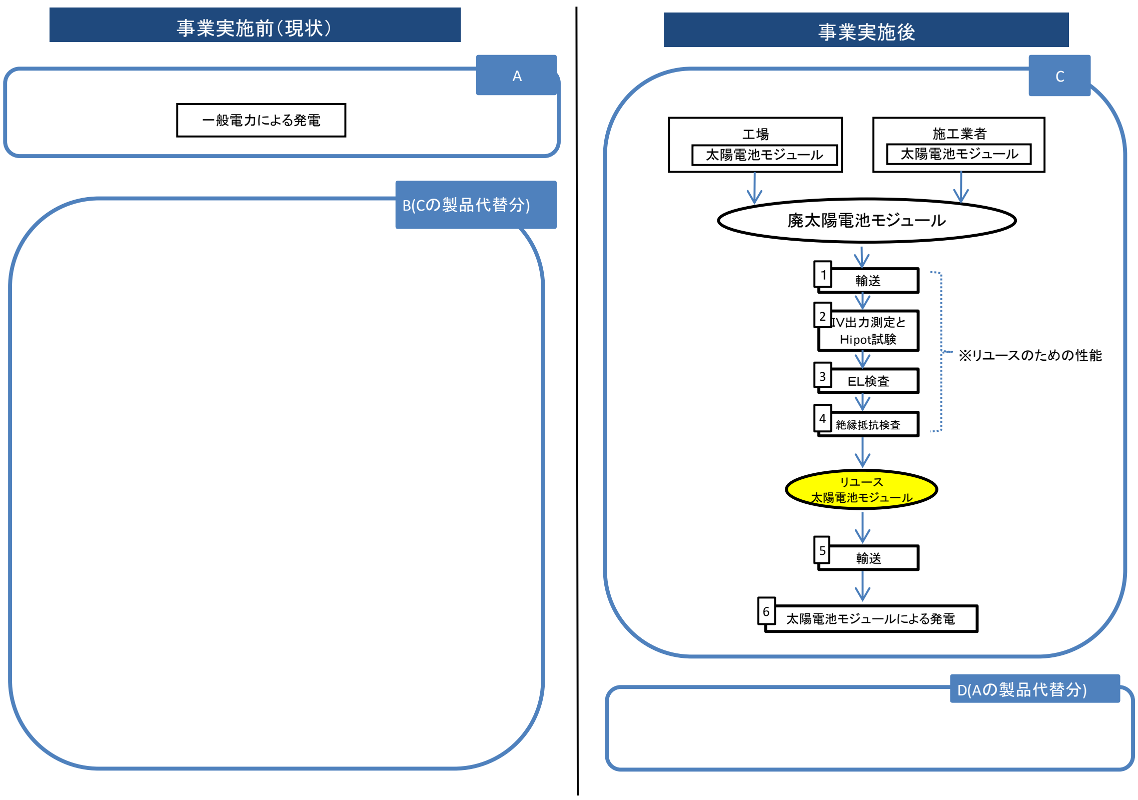


図 4.3-1　太陽電池モジュールのリユースにおけるバウンダリ

表 4.3-1 太陽電池モジュールのリユースにおける 1 枚あたりの CO2 削減量

カテゴリ	項目	排出量 (CO_2e-kg/枚)
A	ベースライン(現状)の排出量	110.066
B	事業実施時の代替分	0.000
C	事業実施時の排出量	0.976
D	ベースライン(現状)の代替分	0.000
	CO2削減効果(A+B)-(C+D)	**109.1**

表 4.3-2 太陽電池モジュールのリユースのインベントリデータ

①ベースライン(現状)

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量 (CO_2e-kg/枚)
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	
A	1	一般電力による発電	A001	一般電力による発電量	187.51	kWh/枚	A002	一般発電による1kWhあたりのCO	0.587	kg-CO2/kwh	110.066
	合計										**110.066**

②事業実施後(リユース)

カテゴリ	NO	プロセス	活動量				排出原単位				排出量 (CO_2e-kg/枚)
			参照番号	項目名	数値	単位	参照番号	原単位名	数値	単位	
C	1	輸送	C001	太陽電池モジュール1枚あたりの輸送量	100.00	枚km	C002	1枚kmあたりのCO2排出量	0.001	kg-CO2/枚km	0.0878
	2	IV出力測定とHipot試験	C003	太陽電池モジュール1枚あたりの電気使用量	0.0506	kwh/枚	C004	一般発電による1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.0297
	3	EL検査	C005	太陽電池モジュール1枚あたりの電気使用量	0.2083	kwh/枚	C006	一般発電による1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.1223
	4	絶縁抵抗検査	C007	太陽電池モジュール1枚あたりの電気使用量	1.1042	kwh/枚	C008	一般発電による1kWhあたりのCO2排出量	0.587	kg-CO2/kwh	0.6481
	5	輸送	C009	太陽電池モジュール1枚あたりの輸送量	100.00	枚km	C010	1枚kmあたりのCO2排出量	0.001	kg-CO2/枚km	0.0878
	6	リユースモジュールによる発電	C011	リユースモジュールによる年間予測発電量	187.51	kWh/枚	C012	太陽電池モジュールによる1kWhあたりのCO2排出量	0	kg-CO2/枚km	0.0000
	合計										**0.976**

表 4.3-3 インベントリデータ収集における参考文献一覧(リユース)

カテゴリ	プロセス	出典
A	一般電力による発電	・環境省「平成 29 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
C	輸送	産業環境管理協会「カーボンフットプリント制度試行事業 CO2 換算量共通原単位データベース ver. 4.01 (国内データ)」(以下、「CFP4.01」)
	IV 出力測定と Hipot 試験、EL 検査、絶縁抵抗検査	・株式会社エヌ・ピー・シー、ヒアリング結果 ・環境省「平成 29 年度提出用、電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等」(代替値を利用)
	太陽電池モジュールによる発電	・全国日射量平年値データマップ: MONSOLA05(801) ・太陽光発電協会 表示ガイドライン(平成 28 年度)

5. 事業性の検証

リユース・リサイクル一体型モデルによる事業性の検証において、リユース不可品の処理を圧縮破砕とホットナイフ、切削の 3 パターンにて試算した。

処理コストと生成したガラスの売却益の収支から、圧縮破砕が最も経済的であったことから、リサイクル処理はリユースの可能性なし、リユース不可品を含めすべて圧縮処理するパターンが現実的であると考えられる。

さらに今後の事業性検証パターンとして、圧縮破砕では板ガラス原料としてリサイクルが困難だったことから、板ガラス化を実現するためにリユース不可品（ひび割れなし）をホットナイフ処理、または切削処理し、リユースの可能性なし（ひび割れあり）を圧縮破砕処理する組み合わせのパターンについても事業性の検証を行った。

年間処理量は、圧縮破砕の処理能力が 4t/日であることから、8h/日、300 日/年稼働として、年間最大処理量 1,200t/年（8 万枚/年）とした。

5.1 リサイクル処理：すべて圧縮破砕処理によるパターン

リユース・リサイクル一体型モデルのうち、リサイクルはすべて圧縮破砕処理するパターンの事業性について収支試算を行った。

試算の結果、7.3 百万円の収益が見込まれた。収益の柱は圧縮破砕による処理費であり、次いでリユースモジュールの販売収益、アルミフレームの売却益であった。主要な支出も同様に圧縮破砕による作業コストであり、次いでリユースの外観チェックと性能診断コストであった。本試算はアルミフレームありの前提で収支を試算している。今後、リユースモジュールの単価の下落やノンフレームモジュールが販売されることにより、この収支は厳しくなることが予想される。

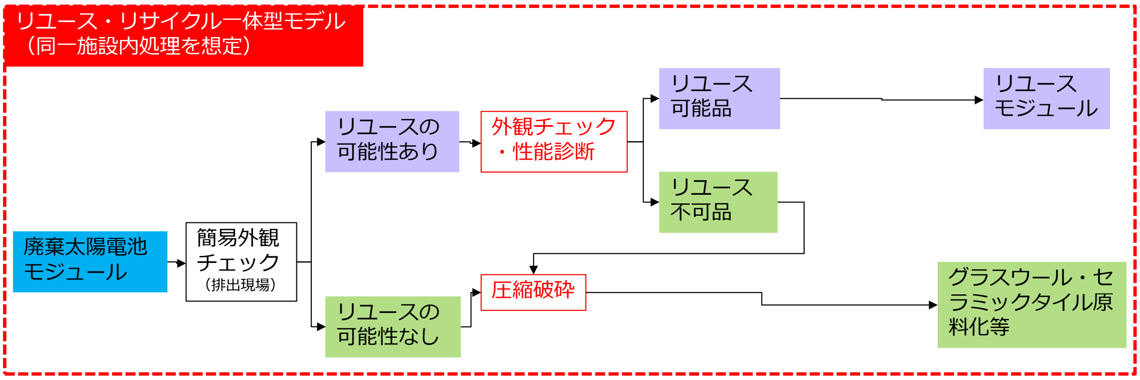


図 5.1-1 リユース・リサイクル一体型モデルにおける処理フロー（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕のみ）

備考）簡易外観チェックとは、モジュールのガラス破損の有無やフレームの歪みの有無を目視判断することを指す。

表 5.1-1　収支試算（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕のみ）

廃棄枚数	80,000	枚
リユース可能性あり	13,333	枚
リユース可能性なし	66,667	枚

年間処理量1,200t/年

収入	リユース	リユース売却益（運賃別）	Aランク	31	百万円
			Bランク	3	百万円
			Cランク	3	百万円
			Dランク	14	百万円
	リサイクル	処理費売上（圧縮破砕）（運賃込）		120	百万円
		グラスウール・セラミックタイル化原料売却益（運賃込）		1	百万円
		アルミ売却益（運賃込）		28	百万円
	小計			200	百万円
支出	リユース	買取コスト		11	百万円
		引取輸送コスト		6	百万円
		外観チェック・診断コスト		54	百万円
		その他管理コスト		16	百万円
	リサイクル	圧縮破砕処理コスト（運賃込）		93	百万円
		セルシート処理費（運賃込）		13	百万円
	小計			192	百万円
収支				7.3	百万円

表 5.1-2 算出根拠（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕のみ）

使用済みモジュールの用途内訳（H27年度事業結果より）

	枚数	構成比
リサイクル用	2,500	83.3%
リユース用	500	16.7%
合計	3,000	100.0%

リユースコスト

	単価	単位	備考
運搬コスト	417	円/枚	静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台 24枚/パレット×6～8パレット
外観チェックコスト	1,260	円/枚	NPC見積もり
性能診断コスト	2,800		
計	4,477	円/枚	

リユースモジュール調達単価、販売単価

	構成比 （H27使用済みモジュール結果より）	単価	
調達コスト	100.0%	800	円/枚
販売単価　A（200W<）	23.0%	10,000	円/枚
販売単価　B（175W<）	2.9%	8,000	円/枚
販売単価　C（125W<）	5.2%	5,000	円/枚
販売単価　D（125W>）	25.3%	4,000	円/枚
リユース不適品（断線、元仕様不明等）	43.6%	→リサイクル処理（圧縮破砕）へ	

リサイクルコスト検証（RTJ圧縮破砕）

	単価	単位	備考
運搬コスト	21	円/kg	静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台　24枚/パレット×6～8パレット
仕分けコスト	0	円/kg	RTJにて見直し後のコスト ※管理コストを含む。資源売却益は含まず。
フレーム取り外しコスト	24		
圧縮破砕コスト	60		
選別コスト	15		
計	120	円/kg	

構成比

太陽電池モジュール全体	15	kg/枚
ガラス	60%	
アルミフレーム	20%	
セルシート	20%	

生成物の売却単価・処理単価（運賃込）

グラスウール・セラミックタイル原料　売却単価（運賃込）	1	円/kg
アルミ　売却単価（運賃込）	130	円/kg
セルシート処理費（運賃込）	60	円/kg

5.2　リサイクル処理：圧縮破砕処理とホットナイフの組み合わせパターン

次に今後の事業性検証パターンとして、リユース不可品（ひび割れなし）をホットナイフ処理、リユースの可能性なし（ひび割れあり）を圧縮破砕処理する組み合わせのパターンについても事業性の検証を行った。これは生成ガラスの板ガラス化を実現させるパターンとしての事業性検証である。

試算の結果、1.7 百万円/年の収益が見込まれた。収益が低くなった理由は、ガラスの売却益の向上を上回るホットナイフ処理コストがかかったためである。

ホットナイフ処理にかかるコストを考慮し、リユースの可能性のあるモジュールの調達コストを下げることによって圧縮破砕ですべてを処理した場合と同程度の収益を上げようとした場合、調達コストを 800 円/枚から 400 円/枚に下げることで 7.1 百万円/年の収益となった。しかし、事業の競争力が乏しくなる上に、モジュールの買取コストが 5 百万円に対し、運搬コストが 6 百万円かかることになり、リユース用途でも有価物ではなく産業廃棄物となってしまうことから、ホットナイフ処理コストの削減が必要である。

さらに、今後リユースモジュールの単価の下落やノンフレームモジュールが販売されることにより、この収支は厳しくなることが予想されること、板ガラス原料の買取価格が大きく向上する見込みはないことから、切削処理コストの削減が期待される。

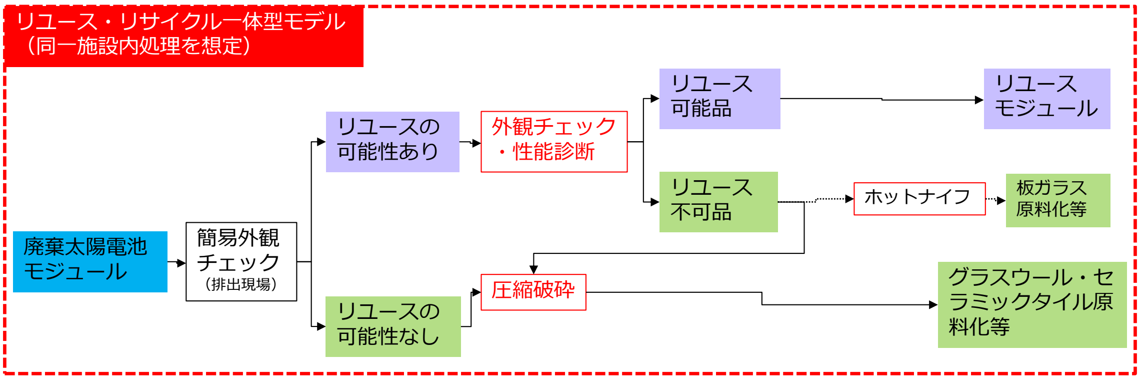


図 5.2-1　リユース・リサイクル一体型モデルにおける処理フロー（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕とホットナイフの組み合わせ）

備考）簡易外観チェックとは、モジュールのガラス破損の有無やフレームの歪みの有無を目視判断することを指す。

表 5.2-1　収支試算（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕とホットナイフの組み合わせ）

年間処理量1,200t/年

廃棄枚数	80,000	枚
リユース 可能性あり	13,333	枚
リユース 可能性なし	66,667	枚

収入	リユース	リユース売却益 （運賃別）	Aランク	31	百万円
			Bランク	3	百万円
			Cランク	3	百万円
			Dランク	14	百万円
	リサイクル	処理費売上（圧縮破砕）（運賃込）		120	百万円
		板ガラス原料売却益（運賃込）		0.1	百万円
		グラスウール・セラミックタイル化原料売却益（運賃込）		1	百万円
		アルミ売却益（運賃込）		28	百万円
	小計			200	百万円
支出	リユース	買取コスト		11	百万円
		引取輸送コスト		6	百万円
		外観チェック・診断コスト		54	百万円
		その他管理コスト		16	百万円
	リサイクル	圧縮破砕処理コスト（運賃込）		87	百万円
		ホットナイフ処理コスト		11	百万円
		セルシート処理費（運賃込）		13	百万円
	小計			198	百万円
収支				1.7	百万円

表 5.2-2　算出根拠（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕とホットナイフの組み合わせ）

使用済みモジュールの用途内訳（H27年度事業結果より）

	枚数	構成比
リサイクル用	2,500	83.3%
リユース用	500	16.7%
合計	3,000	100.0%

リユースコスト

	単価	単位	備考
運搬コスト	417	円/枚	静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台 24枚/パレット×6～8パレット
外観チェックコスト	1,260	円/枚	NPC見積もり
性能診断コスト	2,800		
計	4,477	円/枚	

リユースモジュール調達単価、販売単価

	構成比 （H27使用済みモジュール結果より）	単価	
調達コスト	100.0%	800	円/枚
販売単価　A（200W<）	23.0%	10,000	円/枚
販売単価　B（175W<）	2.9%	8,000	円/枚
販売単価　C（125W<）	5.2%	5,000	円/枚
販売単価　D（125W>）	25.3%	4,000	円/枚
リユース不適品（断線、元仕様不明等）	43.6%	→リサイクル処理（ホットナイフ）へ	

リサイクルコスト検証（RTJ圧縮破砕）

	単価	単位	備考
運搬コスト	21	円/kg	静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台　24枚/パレット×6～8パレット
仕分けコスト	0	円/kg	RTJにて見直し後のコスト ※管理コストを含む。資源売却益は含まず。
フレーム取り外しコスト	24		
圧縮破砕コスト	60		
選別コスト	15		
計	120	円/kg	

その他リサイクルコスト

ホットナイフ	130	円/kg

構成比

太陽電池モジュール全体	15	kg/枚
ガラス	60%	
アルミフレーム	20%	
セルシート	20%	

生成物の売却単価・処理単価（運賃込）

板ガラス原料　売却単価（運賃込）	2	円/kg
グラスウール・セラミックタイル原料　売却単価（運賃込）	1	円/kg
アルミ　売却単価（運賃込）	130	円/kg
セルシート処理費（運賃込）	60	円/kg

5.3　リサイクル処理：圧縮破砕処理と切削の組み合わせパターン

二つ目の今後の事業性検証パターンとして、リユース不可品（ひび割れなし）を切削処理、リユースの可能性なし（ひび割れあり）を圧縮破砕処理する組み合わせのパターンについても事業性の検証を行った。これも生成ガラスの板ガラス化を実現させるパターンとしての事業性検証である。

試算の結果、1.5 百万円/年の収益が見込まれた。収益が低くなった理由は、ガラスの売却益の向上を上回る切削処理コストがかかったためである。

切削処理にかかるコストを考慮し、リユースの可能性のあるモジュールの調達コストを下げることによって圧縮破砕ですべてを処理した場合と同程度の収益を上げようとした場合、調達コストを 800 円/枚から 350 円/枚に下げることで 7.5 百万円/年の収益となった。しかし、事業の競争力が乏しくなる上に、モジュールの買取コストが 5 百万円に対し、運搬コストが 6 百万円かかることになり、リユース用途でも有価物ではなく産業廃棄物となってしまうことから、切削処理コストの削減が必要である。

さらに、今後リユースモジュールの単価の下落やノンフレームモジュールが販売されることにより、この収支は厳しくなることが予想されること、板ガラス原料の買取価格が大きく向上する見込みはないことから、切削処理コストの削減が期待される。

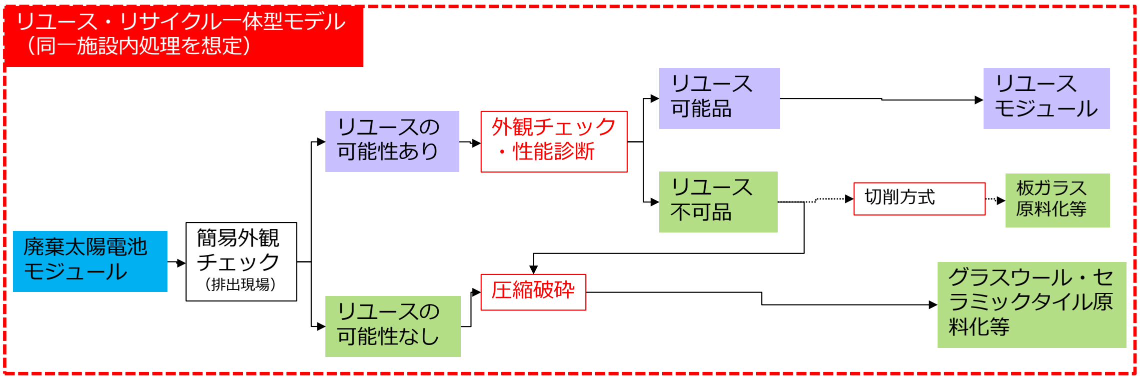


図 5.3-1　リユース・リサイクル一体型モデルにおける処理フロー（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕と切削の組み合わせ）

備考）簡易外観チェックとは、モジュールのガラス破損の有無やフレームの歪みの有無を目視判断することを指す。

表 5.3-1　収支試算（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕と切削の組み合わせ）

廃棄枚数	80,000	枚
リユース可能性あり	13,333	枚
リユース可能性なし	66,667	枚

年間処理量1,200t/年

収入	リユース	リユース売却益（運賃別）	Aランク	31	百万円
			Bランク	3	百万円
			Cランク	3	百万円
			Dランク	14	百万円
	リサイクル	処理費売上（圧縮破砕）（運賃込）		120	百万円
		板ガラス原料売却益（運賃込）		0.3	百万円
		グラスウール・セラミックタイル化原料売却益（運賃込）		1	百万円
		アルミ売却益（運賃込）		28	百万円
	小計			200	百万円
支出	リユース	買取コスト		11	百万円
		引取輸送コスト		6	百万円
		外観チェック・診断コスト		54	百万円
		その他管理コスト		16	百万円
	リサイクル	圧縮破砕処理コスト（運賃込）		87	百万円
		切削処理コスト		12	百万円
		セルシート処理費（運賃込）		13	百万円
	小計			198	百万円
収支				1.5	百万円

表 5.3-2 算出根拠（パターン：リサイクル処理は圧縮破砕と切削の組み合わせ）

使用済みモジュールの用途内訳（H27年度事業結果より）

	枚数	構成比
リサイクル用	2,500	83.3%
リユース用	500	16.7%
合計	3,000	100.0%

リユースコスト

	単価	単位	備考
運搬コスト	417	円/枚	静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台 24枚/パレット×6～8パレット
外観チェックコスト	1,260	円/枚	NPC見積もり
性能診断コスト	2,800		
計	4,477	円/枚	

リユースモジュール調達単価、販売単価

	構成比 （H27使用済みモジュール結果より）	単価	
調達コスト	100.0%	800	円/枚
販売単価　A（200W<）	23.0%	10,000	円/枚
販売単価　B（175W<）	2.9%	8,000	円/枚
販売単価　C（125W<）	5.2%	5,000	円/枚
販売単価　D（125W>）	25.3%	4,000	円/枚
リユース不適品（断線、元仕様不明等）	43.6%	→リサイクル処理（切削）へ	

リサイクルコスト検証（RTJ圧縮破砕）

	単価	単位	備考
運搬コスト	21	円/kg	静岡県菊川市→愛知県名古屋市、4トン平ボディ車5～6万円/台　24枚/パレット×6～8パレット
仕分けコスト	0	円/kg	RTJにて見直し後のコスト ※管理コストを含む。資源売却益は含まず。
フレーム取り外しコスト	24		
圧縮破砕コスト	60		
選別コスト	15		
計	120	円/kg	

その他リサイクルコスト

切削方式	135	円/kg

構成比

太陽電池モジュール全体	15	kg/枚
ガラス	60%	
アルミフレーム	20%	
セルシート	20%	

生成物の売却単価・処理単価（運賃込）

板ガラス原料　売却単価（運賃込）	5	円/kg
グラスウール・セラミックタイル原料　売却単価（運賃込）	1	円/kg
アルミ　売却単価（運賃込）	130	円/kg
セルシート処理費（運賃込）	60	円/kg

5.4　既存の処理コスト実績との比較検証

リユース・リサイクル一体型モデル（リサイクルはすべて圧縮破砕処理のパターン）について、既存の処理コスト実績に対し競争力の有無を検証した。既存の処理コスト実績を表 5.4-1 に示す。既存の処理コスト実績データは協力会社より提供を受けた。データによって前提条件が異なったことから、条件を揃え補正した。

それぞれの廃棄規模に対するリユース・リサイクル一体型モデルでの処理コストおよびコスト差分を表 5.4-2 に示す。5 件のうち 2 件はコストアップとなったが、3 件はコストダウンとなり、ある程度の競争力があることが示された。なお、処理コストに対し、運賃が含まれる場合は距離によってコストが異なる。このため、正確な距離を把握し、運賃を見積もった場合は、さらにコストダウンを提案できる可能性もある。

表 5.4-1　使用済太陽電池モジュールの処理コスト実績（例）

No.	廃棄枚数(枚)	処理コスト(円)	備考	処理コスト(円)(補正)
1	100	108,000	モジュール処理のみ、運賃含む	108,000
2	50	106,000	モジュール処理のみ、運賃含む	106,000
3	100	480,000	モジュール以外含む、運賃含む	384000
4	100	650,000	モジュール以外含む、運賃含まず	580000
5	80	160,000	モジュールのみ、運賃含まず	220,000

出所）協力会社よりデータ提供。

備考）処理コストの補正について、モジュール以外を含む場合は一律 80%に換算、運賃を含まない場合は一律運賃 6 万円を加算した。

表 5.4-2　リユース・リサイクル一体型モデル（リサイクルはすべて圧縮処理）による使用済太陽電池モジュールの処理コストとの比較

No.	リユース可能性あり		リユース可能性なし(リサイクル)		運賃(共通)(円)	処理コスト計(円)	差分(円)
	引取枚数(枚)	買取費用(円)	引取枚数(枚)	処理費用(円)			
1	16	12,800	84	106,344	60,000	153,544	−45,544
2	8	6,400	42	53,172	60,000	106,772	−772
3	16	12,800	84	106,344	60,000	153,544	230,456
4	16	12,800	84	106,344	60,000	153,544	426,456
5	13	10,400	67	84,822	60,000	134,422	85,578

備考）リユース可能性のあり：なし（リサイクル）の構成比は 16.7%：83.3%とした。

リユース可能性ありのモジュール買取単価は 800 円/枚、リサイクル処理の単価（運賃抜き、生成物の売却込み、セルシートの処理コスト込み）は 84 円/kg とした。

生成物の売却単価はガラスカレット 1 円/kg、アルミ 130 円/kg、セルシートの処理コストは 60 円/kg とした。

モジュールの重量は 15kg/枚とし、構成比はガラス：アルミフレーム：セルシート=60%：20%：20%とした。

運賃は、合計廃棄枚数の規模が小さいことから、リユース用とリサイクル用を一緒に 1 台の車両に積載することとした。

差分は、表 5.4-1 の処理コスト（補正）から表 5.4-2 の処理コスト計を引いた額を示す。

5.5　事業終了後の検討項目・スケジュール等

リサイクル処理はすべて圧縮破砕処理することを前提として、リユース・リサイクル一体型モデルの事業化のスケジュールを表 5.5-1 に示す。圧縮破砕設備は既に当社に導入済みであり､新たに導入するのはリユースの性能診断に必要な機械設備および保管に必要な付帯設備である。

リユースモジュールのニーズについても詳細に市場調査を行い､使用済太陽電池モジュールの調達価格の設定､および品質ランク別のリユースモジュールの販売価格の設定について再検討を行い、事業性を再度試算し、新たな工場の選定等を行い、事業化を図ることを想定している。

表 5.5-1　事業化のスケジュール

事業化スケジュール	2017年	2018年	2019年
機械設備検討(リユース)			
市場調査			
コスト検証、試算			
リユース用　工場選定			
設備導入(リユース)			
事業化			

6. 総括

6.1　リユース・リサイクル一体型モデルの実用化のためのコスト検証結果　まとめ

実証実験の結果、リユースについては、運搬デモによりモジュールの性能に悪影響を与えず、かつ簡便な梱包手法を選定したことで資材コストを 1/10 に圧縮できた。また、一体型モデルにより運搬回数も半分に抑えられた。リユースの品質確認作業にかかるコストである外観チェックコストと性能診断コストについても、排出現場でひび割れの有無のみを確認する簡易外観チェックを行い、リユースの可能性のあるものだけを受け入れることで作業効率を向上させた。これにより、資材コストを含む運搬コスト、処理施設での詳細な外観チェックコスト、性能診断コストの合計が約 4,500 円/枚となり、目標としていたリユース作業コスト 4,000～5,000 円/枚に近づけることができた。

リサイクルにおける圧縮破砕コストのコストダウンについては、事前に処理するモジュールのサイズや厚み、種類などの性状を揃え、作業を効率化させることにより、施設での仕分け作業コスト、アルミフレーム外しの作業コスト、圧縮破砕コストを約 30 円/kg 削減することができ、生成物の売却益も考慮すると、目標としていた処理コスト 100 円/kg 程度を達成することができた。

圧縮破砕によって生成されたガラスカレットのセラミックタイル化について、一次焼成だけでなく二次焼成も可能かの検討を行ったところ、原料調合、二次焼成ともに問題なく再製品化された。

圧縮破砕はどんな状態のモジュールでも対応でき、ひび割れたモジュールの処理も可能である。生成されたガラスカレットはでセラミックタイル原料やグラスウール原料としてリサイクルが可能であった。売却単価は 1～2 円/kg との評価であった。一方、板ガラス原料とするにはアルミフレーム由来のアルミ粉など、禁忌金属くずの混入があること、圧縮破砕機のガラスに接触する機材の素材が禁忌金属を使用していることから、受け入れは難しいとの評価であった。

ホットナイフや切削方式によって生成されたガラスプレートは、板ガラス化の可能性ありと評価されたが、モジュールにひび割れがないこと、合わせガラスタイプは処理困難などの条件があり、搬入されたすべての廃棄モジュールに対応できないことがわかった。また、板ガラス原料の買取価格はホットナイフが 1～3 円/kg、切削が 5～8 円/kg あり、処理コストはホットナイフが約 130 円/kg、切削が約 135 円/kg であり、目標としていたリサイクル処理コストを上回ったため、現状では経済性は厳しいと考えられる。

したがって、現状において最も経済性のよい圧縮破砕処理を行い、生成したガラスカレットは既にリサイクル実績のあるグラスウール化を行う形を想定した。全国展開するには複数の処理方法を組み合わせることが必要になると思われる。

本事業ではメインで想定している圧縮破砕処理について CO2 削減効果を算定した結果、セラミックタイル化で 313.5CO2-kg/t、グラスウール化で 395.5CO2-kg/t の削減効果が得られた。特にセラミックタイル化では、圧縮破砕の処理工程を改善したことにより、昨年度よりも削減量が 3.8CO2-kg/t 増加した。リユースにおける CO2 排出量削減効果についても

試算を行った結果、太陽電池モジュール 1 枚あたりのリユースによる CO_2 排出量削減効果は、109 CO_2-kg/枚と算出された。

リサイクルはすべて圧縮破砕処理するとしてリユース・リサイクル一体型モデルの収支試算を行った結果、年間 8 万枚処理（1,200t/年）で 7.3 百万円の収益が見込まれた。収益の柱は圧縮破砕による処理費であり、次いでリユースモジュールの販売収益、アルミフレームの売却益であった。主要な支出も同様に圧縮破砕による作業コストであり、次いでリユースの外観チェックと性能診断コストであった。アルミフレームありの前提で収支を試算したが、今後ノンフレームモジュールが主流になるとアルミ売却の収益が見込めなくなる。リユースモジュールの単価の下落等、今後はより採算が厳しくなることが予想される。

リユース・リサイクル一体型モデルの事業化を進めるにあたり、圧縮破砕設備は既に当社に導入済みである。新たに導入するのは、リユースの性能診断に必要な機械設備および保管に必要な付帯設備である。今後は、リユースモジュールのニーズについても詳細に市場調査を行い、使用済太陽電池モジュールの調達価格の設定、および品質ランク別のリユースモジュールの販売価格の設定について再検討を行い、事業性を再度試算し、新たな工場の選定等を行い、事業化を図ることを想定している。

6.2 事業実現における今後の課題

リユースについては、性能診断後、有価価値の程度が最終決定される。このため、未判断時のモジュールを一括調達する場合、いくらで買い取るのが事業性上適切かの検証が必要である。

圧縮破砕処理によるガラスカレットのグラスウール化は、既に確立され、取引がなされている。一方、ガラスの水平リサイクルについては、手法の目処は立ったが、ひび割れがないことなど条件が多い上、ガラス原料の買取額が高くても 5 円/kg 前後であり、一方で処理コストがホットナイフで約 130 円/kg、切削が約 135 円/kg と高めであったことから、経済性に課題が残った。ホットナイフ処理は EVA など有機物の残存が多いために買取価格は、ガラスカレットのグラスウール化と変わらない程度に留まった。なお、ホットナイフについては、現在、有機物を除去する技術を開発しているとのことである。ホットナイフ処理、切削処理の処理コストの削減が実現すれば、板ガラス化実現の可能性が見えてくると思われる。

セラミックタイル化については、処理方法が明確化された。今後、低炭素処理として実施するには、窯の焼成温度を下げて焼成できるよう、1 ロット分の焼成量、壁材であれば約 60t、床材であれば約 10t が必要となる。したがって、大量販路の確定が必要となる。
リユース・リサイクル一体型モデルとして、リサイクル処理はすべて圧縮破砕で行うスキームであれば、事業性ありとの検証結果であった。圧縮破砕設備は既に導入済であり、コスト圧縮も達成したことから、今後はリユース事業の実用化に向けて、リユース化に必要な設備の検証、調達コストや販売ニーズなどの詳細な市場調査を行い、事業化を進めるための検討を行う必要がある。

添付資料

①太陽電池モジュール（中国産）ガラスの溶出試験分析結果

使用済太陽電池モジュールのガラス成分分析試験

環境省告示13号溶出量分析結果

単位：mg/ℓ

種類	n数	Pb 鉛	Cd カドミウム	As 砒素	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	参考値 pH
単結晶	1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	0.006	<0.01	6.9
	2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	0.008	<0.01	6.7
	3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	0.008	<0.01	6.8
多結晶	1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	0.007	<0.01	6.9
	2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	0.009	<0.01	7.0
	3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	0.007	<0.01	7.1
CadTel	1	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	<0.005	0.13	6.5
	2	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	<0.005	0.15	6.6
	3	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.01	<0.1	<0.005	0.16	6.8
定量下限		0.01	0.01	0.01	0.01	0.0005	0.01	0.1	0.005	0.01	－

②太陽電池モジュール（中国産）ガラスの定性分析結果（単結晶）

成　分	結　果	成　分	結　果
銀 (Ag)	－	モリブデン (Mo)	－
アルミニウム (Al)	+	ナトリウム (Na)	+++
砒素 (As)	－	ニッケル (Ni)	－
ほう素 (B)	－	リン (P)	－
ビスマス (Bi)	－	鉛 (Pb)	－
カルシウム (Ca)	++	硫黄 (S)	±
カドミウム (Cd)	－	アンチモン (Sb)	+
コバルト (Co)	－	セレン (Se)	－
クロム (Cr)	－	ケイ素 (Si)	+++
銅 (Cu)	－	スズ (Sn)	－
鉄 (Fe)	±	テルル (Te)	－
ガリウム (Ga)	－	チタン (Ti)	－
ゲルマニウム (Ge)	－	タリウム (Tl)	－
インジウム (In)	－	亜鉛 (Zn)	－
カリウム (K)	±		
マグネシウム (Mg)	++		
マンガン (Mn)	－		

備　考

分析方法：　ＩＣＰ定性分析

【判定基準】

(+++)：数十%以上を含有する元素

(++)　：数%を含有する元素

(＋)　：0.X%を含有する元素

(±)：0.0X%を含有するかもしれない元素

(－)：含有していないと思われる元素（0.01%以下）

③太陽電池モジュール（中国産）ガラスの定性分析結果（多結晶）

成　分		結　果	成　分		結　果
銀	(Ag)	―	モリブデン	(Mo)	―
アルミニウム	(Al)	+	ナトリウム	(Na)	+++
砒素	(As)	―	ニッケル	(Ni)	―
ほう素	(B)	―	リン	(P)	―
ビスマス	(Bi)	―	鉛	(Pb)	―
カルシウム	(Ca)	++	硫黄	(S)	±
カドミウム	(Cd)	―	アンチモン	(Sb)	+
コバルト	(Co)	―	セレン	(Se)	―
クロム	(Cr)	―	ケイ素	(Si)	+++
銅	(Cu)	―	スズ	(Sn)	―
鉄	(Fe)	±	テルル	(Te)	―
ガリウム	(Ga)	―	チタン	(Ti)	―
ゲルマニウム	(Ge)	―	タリウム	(Tl)	―
インジウム	(In)	―	亜鉛	(Zn)	―
カリウム	(K)	±			
マグネシウム	(Mg)	++			
マンガン	(Mn)	―			

備　考
分析方法：ＩＣＰ定性分析

【判定基準】
(+++)：数十%以上を含有する元素
(++)：数%を含有する元素
(＋)：0.X%を含有する元素
(±)：0.0X%を含有するかもしれない元素
(―)：含有していないと思われる元素（0.01%以下）

④太陽電池モジュール（中国産）ガラスの定性分析結果（CdTe）

成　分		結　果	成　分		結　果
銀	(Ag)	－	モリブデン	(Mo)	－
アルミニウム	(Al)	+	ナトリウム	(Na)	+++
砒素	(As)	－	ニッケル	(Ni)	－
ほう素	(B)	－	リン	(P)	－
ビスマス	(Bi)	－	鉛	(Pb)	－
カルシウム	(Ca)	++	硫黄	(S)	±
カドミウム	(Cd)	±	アンチモン	(Sb)	－
コバルト	(Co)	－	セレン	(Se)	－
クロム	(Cr)	－	ケイ素	(Si)	+++
銅	(Cu)	－	スズ	(Sn)	－
鉄	(Fe)	±	テルル	(Te)	±
ガリウム	(Ga)	－	チタン	(Ti)	±
ゲルマニウム	(Ge)	－	タリウム	(Tl)	－
インジウム	(In)	－	亜鉛	(Zn)	－
カリウム	(K)	±			
マグネシウム	(Mg)	++			
マンガン	(Mn)	－			

備　考
分析方法：ＩＣＰ定性分析

【判定基準】
(+++)：数十%以上を含有する元素
(++)　：数%を含有する元素
(+)　：0.X%を含有する元素
(±)：0.0X%を含有するかもしれない元素
(－)：含有していないと思われる元素（0.01%以下）

⑤太陽電池モジュール（中国産）ガラスの定量分析結果（単結晶）

項　目		分析結果	単位	分析方法
二酸化ケイ素	(SiO_2)	71.7	%	JIS R 3105
酸化アルミニウム	(Al_2O_3)	1.08	%	JIS R 3105
酸化ナトリウム	(Na_2O)	14.3	%	JIS R 3105
酸化マグネシウム	(MgO)	3.66	%	JIS R 3105 準拠
酸化カリウム	(K_2O)	0.02	%	JIS R 3105
酸化スズ	(SnO)	0.01　未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化カルシウム	(CaO)	8.30	%	JIS R 3105 準拠
酸化鉄	(Fe_2O_3)	0.03	%	JIS R 3105
酸化ジルコニウム	(ZrO_2)	0.01　未満	%	JIS R 3105
酸化硫黄	(SO_3)	0.01　未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化ストロンチウム	(SrO)	0.01　未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化チタン	(TiO_2)	0.01　未満	%	JIS R 3105
酸化ホウ素	(B_2O_3)	0.01　未満	%	JIS R 3105
		以下余白		

備　考

⑥太陽電池モジュール（中国産）ガラスの定量分析結果（多結晶）

項　目		分　析　結　果	単位	分　析　方　法
二酸化ケイ素	(SiO_2)	71.4	%	JIS R 3105
酸化アルミニウム	(Al_2O_3)	1.08	%	JIS R 3105
酸化ナトリウム	(Na_2O)	14.3	%	JIS R 3105
酸化マグネシウム	(MgO)	3.72	%	JIS R 3105 準拠
酸化カリウム	(K_2O)	0.02	%	JIS R 3105
酸化スズ	(SnO)	0.01 未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化カルシウム	(CaO)	8.32	%	JIS R 3105 準拠
酸化鉄	(Fe_2O_3)	0.04	%	JIS R 3105
酸化ジルコニウム	(ZrO_2)	0.01 未満	%	JIS R 3105
酸化硫黄	(SO_3)	0.01 未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化ストロンチウム	(SrO)	0.01 未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化チタン	(TiO_2)	0.01 未満	%	JIS R 3105
酸化ホウ素	(B_2O_3)	0.01 未満	%	JIS R 3105
		以下余白		
備　考				

⑦太陽電池モジュール（中国産）ガラスの定量分析結果（CdTe）

項　目		分　析　結　果	単位	分　析　方　法
二酸化ケイ素	(SiO_2)	72.5	%	JIS R 3105
酸化アルミニウム	(Al_2O_3)	0.26	%	JIS R 3105
酸化ナトリウム	(Na_2O)	14.1	%	JIS R 3105
酸化マグネシウム	(MgO)	4.25	%	JIS R 3105 準拠
酸化カリウム	(K_2O)	0.06	%	JIS R 3105
酸化スズ	(SnO)	0.01 未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化カルシウム	(CaO)	8.60	%	JIS R 3105 準拠
酸化鉄	(Fe_2O_3)	0.07	%	JIS R 3105
酸化ジルコニウム	(ZrO_2)	0.01 未満	%	JIS R 3105
酸化硫黄	(SO_3)	0.01 未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化ストロンチウム	(SrO)	0.01 未満	%	JIS R 3105 準拠
酸化チタン	(TiO_2)	0.02	%	JIS R 3105
酸化ホウ素	(B_2O_3)	0.01 未満	%	JIS R 3105
		以下余白		
備　考				

⑧太陽電池モジュールの廃棄にかかる処理実績データ（協力会社C社より提供）

No.	災害分類	備考	規模（モジュール）［枚］	立地条件	事故枚数［枚］	処理コスト［円］	備考	地域
1	水害	土砂災害	3,000	傾斜地	60	不明	-	西日本
2	水害	-	200	平地	100	108,000	モジュールのみ、運搬費含む	西日本
3	雪害	-	400	平地	50	106,000	モジュールのみ、運搬費含む	東日本
4	雪害	-	200	平地	100	480,000	モジュール以外含む、運搬費含む	東日本
5	雪害	-	200	平地	100	650,000	モジュール以外含む、運搬費含まず	東日本
6	台風	風災	6,200	平地	80	160,000	モジュールのみ、運搬費含まず	西日本
7	台風	風災	800	平地	50	不明	-	西日本
8	台風	風災	3,400	平地	80	不明	-	西日本

平成２８年度低炭素型３R 技術・システム実証事業

使用済太陽電池モジュールの新たなリサイクル、リユース
システムの構築実証事業　報告書
平成 29 年 3 月 1 日

リサイクルテック・ジャパン株式会社