

# 「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」

## 事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	--------------------------------------

## －目次－

概 要	iii
プロジェクト用語集	v
I. 事業の位置づけ・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-1
1.1 NEDOが関与することの意義	I-1
1.2 実施の効果	I-1
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-1
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II-1
1.1 研究開発の目的	II-1
1.2 研究開発の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-1
2.1 研究開発の内容	II-1
2.2 研究開発の実施体制	II-10
2.3 研究開発の運営管理	II-16
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	II-16
3. 情勢変化への対応	II-16
4. 評価に関する事項	II-16
III. 研究開発成果と実用化の見通し	
1. 分野別、課題に対する主要な成果	III-1
2. 個別テーマの成果と実用化見通し	III-9
3. 成果発表の件数	III-112

(添付資料)

添付資料1：プロジェクト基本計画

添付資料2：事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

添付資料3：特許・外部発表リスト

概要

最終更新日 平成 28 年 10 月 5 日

プログラム (又は施策) 名							
プロジェクト名	太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト	プロジェクト番号	P14020				
担当推進部/PMまたは担当者	PM：新エネルギー部/山田宏之主任研究員(平成 28 年 9 月現在) 担当者：山本厚行主査(平成 26 年 3 月～平成 26 年 4 月) 穂積潤一主査(平成 26 年 5 月～平成 28 年 4 月) 南悌二主査(平成 28 年 5 月～)						
0. 事業の概要	太陽光発電システムのリサイクル社会の構築に向け、廃棄物の大量発生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とともに、撤去・回収・分別技術などについて課題と対策を検討する。						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>太陽光発電の健全な普及拡大のためには、使用済みの太陽光発電システムを適正に処理する対策や手段を検討しておく必要がある。一方、公共性が極めて高いことや、市場が苛烈な競争状態にあることから、コスト増につながるリサイクルシステムの民間主導による自律的な構築は非常に困難である。そのため、国主導による使用済み太陽光発電システムの適正処理に関する検討や技術開発などの取り組みが必須であることから、NEDOが主導して支援することは意義がある。</p> <p>太陽光発電システムのリサイクル処理において、太陽電池モジュールの分解処理に関する従来技術としては、ガラスリサイクルを目的とした技術が一部存在するものの、低品位のガラス回収に留まり処理コストが高いものになる等の課題があった。</p> <p>また、リサイクルに係る費用負担の低減には、撤去や回収など分解処理以外における低コスト化も有効であると思われるが、その有効性や課題、効果は明確になっていないため、低コスト化技術の有効性や実現可能性、課題や目標コストを明確化する必要がある。</p> <p>以上より、太陽光発電システムのリサイクル社会の構築に向け、廃棄物の大量発生回避を低コストに実現する技術として、太陽電池モジュールの低コスト分解処理技術の確立と、撤去・回収・分別技術などについて課題と対策の明確化を目指す、本プロジェクトの目的は妥当と考えられる。</p> <p>近年の導入普及の拡大や、国会附帯決議への対応など、リサイクル社会の構築は強く求められている。リサイクル社会の早期実現のためには、廃棄物の大量発生回避を低コストに実現する技術の早期確立が必須であるが、極めて公共性が高いことなどから、民間主導では早期確立は望めない。従って、NEDOが本プロジェクトにより、リサイクル処理技術の早期確立を支援することが必要であると考えられる。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	使用済み太陽光発電システムの適正処分に関する技術の確立を図るために、リサイクル処理技術や、撤去・回収・分別・リユース関連技術など、大量かつ様々な種類の使用済み太陽電池モジュールのリサイクルコストの低コスト化につながる技術を開発し、リサイクルコストの低減効果を実証する。 最終目標として、分解処理コスト 5 円/W (年間 2 0 0 MW 処理時) を設定。 個別研究開発項目毎の最終目標および中間目標は、開発項目毎の内容や目的に合わせて判断し設定した。(詳細目標は、「2.1.4 研究開発内容」を参照)						
事業の計画内容	主な実施事項	H26F	H27F	H28F	H29F	H30F	
	低コスト撤去・回収・分別技術調査	←→					
	低コスト分解処理技術 F S (開発)	←→					
	低コスト分解処理技術実証		←→				
	太陽光発電リサイクル動向調査	←→					
開発予算 (単位：億円)	会計・勘定	H26F	H27F	H28F	H29F	H30F	総額
	特別会計(需給)	2.1	1.7	2.3	-	-	6.1

契約種類：委託、共同研究(2/3)	総予算額	2.1	1.7	2.3	-	-	6.1
	(委託)	2.1	0.2	0.2	-	-	2.5
	(共同研究)：負担率 2/3	0	1.5	2.1	-	-	3.6
開発体制	経済産業省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課					
	プロジェクトリーダー	設置せず。					
	委託先	『Ⅱ．研究開発マネジメントについて』の図Ⅱ-2-1 (PⅡ-12) ～Ⅱ-2-4 (PⅡ-15) (実施体制) 参照					
情勢変化への対応	<p>【平成 27 年度】</p> <p>・平成 26 年度 FS での結果を踏まえて、実用化に向けた実証を行うために、「低コスト分解処理技術実証」について公募を行った。</p> <p>【平成 28 年度】</p> <p>・社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要な要素として、「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」について公募を行った。</p>						
評価に関する事項	事前評価	平成 25 年度実施 (担当部：新エネルギー部)					
	中間評価	平成 28 年度実施					
	事後評価	平成 31 年度実施予定					
Ⅲ．研究開発成果について	<p>【平成 26～28 年度】</p> <p>(最終目標及び成果)</p> <p>① 低コスト撤去・回収・分別技術調査</p> <p>撤去・回収・分別、それぞれの低コスト化技術の実現可能性と有効性を見極め、有望な技術については、課題と目標コストを明確化する。→アンケート、ヒアリング調査、模擬屋根や試作した回収用通箱を使った運搬実験等によりリサイクルのコスト目標である 5 円/W の可能性を確認するとともに撤去、回収、分別それぞれの工程における課題の抽出を行い解決策の検討を実施。</p> <p>② 低コスト分解処理技術 F S (開発)</p> <p>低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術など、年間 2 0 0 MW 処理時の分解処理コスト 5 円/W 以下に資する技術を確認する。分解処理コストを試算する。→分解処理の要素技術は大きく分けてガラスの剥離技術及び回収金属と固着している E V A の処理技術がある。ガラス剥離技術として粉砕やホットナイフ法、E V A 処理技術として薬液処理及び熱分解処理等異なったアプローチで各々の技術の可能性を検証し、5 円/W 実現の可能性を確認した。</p> <p>(中間目標及び成果)</p> <p>③ 低コスト分解処理技術実証</p> <p>低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術を適用した試作プラントを構築する。使用済み太陽電池モジュールの供給と、リサイクル処理により得られる回収物の提供に関して、一時的ではない体制・仕組みを確保する。様々な運転条件下における分解処理コスト低減効果を実証可能な実験計画を策定する。→連続運転が可能な実証試験用プラントを製作、コストダウンに向けた装置の改造を実施中。また実証試験の試験計画を計画。</p> <p>④ 太陽光発電リサイクル動向調査</p> <p>国内の太陽光発電システム導入分布を考慮した排出量予測をまとめる。国内及び海外における技術、政策などを継続的に把握する。撤去、回収から分解処理に至るまで、各技術の効果の横断的な評価方法を確立する。→公表データに基づき導入量データを整備し排出量予測モデルを作成。日本及び海外諸国のリサイクル関連技術、政策の動向調査を実施。評価方法についてはガイドライン作成のための構成案の検討および予備的な環境影響評価を実施。</p>						
	投稿論文	「査読付き」0 件、「その他」0 件 (H28 年 8 月末現在)					
	特 許	「出願済」4(0) 件 (うち国際出願件) (H28 年 8 月末現在)					
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」8 件、「新聞・雑誌等への掲載」2 件、「受賞実績」0 件 「展示会への出展」2 件 (H28 年 8 月末現在)					
	Ⅳ．実用化の見通しについて	これまでの調査や F S での要素技術開発において、2 0 0 MW 処理時の分解処理コスト目標 5 円/W は達成可能の見通し。今後、事業化を目指した大量処理の実証試験を行い、諸課題の抽出及び対策検討を実施し課題解決を図る。					
Ⅴ．基本計画に関する事項	作成時期	平成 26 年 3 月 策定					
	変更履歴	平成 28 年 3 月 研究開発項目⑤「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」、研究開発項目⑥「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」を新たに制定。					

## プロジェクト用語集

用語（日本語）	用語（英語）	説明
CIGS	CIGS	CuIn <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> Se <sub>2</sub> という化合物半導体。
CIGSSe	CIGSSe	半導体 Cu(In, Ga)(S, Se) <sub>2</sub> の構成元素の頭文字からとった略称。光吸収層として使われる。
CIS 系太陽電池	Copper Indium Selenium Cell	銅、インジウム、セレン他による化合物を光吸収層とした太陽電池。
EL 検査	Electro Luminescence Test	太陽光発電モジュールの製造工程等で用いられる検査。太陽光発電モジュールに強制的に電流を流して発光させ、特殊カメラで撮影し検査を行う。
EVA/セル層	EVA/Cell layer	太陽電池モジュールを分離装置で分離したセルを含むシート状の物。
EVA 樹脂	Ethylene-vinyl-Acetate Copolymer	太陽電池モジュールの封止に使用される樹脂材料の一つ。
EVA 積層体	Powder material with Ethylene Vinyl Acetate	研削工程により削り取られた EVA とシリコン、金属類が混合した粉状物質。
FF	FF (fill factor)	太陽光発電素子の短絡電流密度×開放端電圧に対し、最大電力を生じる電流密度×電圧の動作点のこと。直列抵抗が大きく、並列抵抗が小さくなると FF が減少する。
G5 G8.5	G5 G8.5	ガラス基板サイズの呼称。G は世代 (Generation) を表す。通常 G5 は 1.1×1.3m <sup>2</sup> 、G8.5 は 2.2×2.5m <sup>2</sup> を指すが、本開発では 1.1×1.4m <sup>2</sup> も G5 と呼んでいる。
ITO	indium tin oxide	インジウム・スズ合金の酸化物。透明で導電性を有する。
PV CYCLE	PV CYCLE	2007 年に設立された、欧州における太陽光発電モジュールリサイクルを手がける機関。
Pmax	Pmax	太陽電池の動作曲線上において、電力が最も大きくなる点での電力。
RP	Recycle Point	回収した PV システムをリサイクルする場所。
RPD 法	RPD method	薄膜堆積技術の一種。反応性プラズマ堆積法 (reactive plasma deposition) と呼ばれる。TCO 薄膜の成膜に利用される。
RTA 処理	RTA (rapid thermal annealing) treatment	急速に温度を上げ、短時間保ったのちに、急速に温度を低下させる処理。
SLG	SLG	青板ガラス、ソーダ石灰ガラス。
SY	Stock Yard	回収した PV システムを一時的に保管する場所。
TCO	Transparent Conductive Oxide	透明導電膜と呼ばれる。フッ素添加された酸化錫や酸化インジウム錫、酸化亜鉛などが良く用いられる。太陽電池の光入射側に用いて光を透過させながら電流を外部に取り出すのに必要な材料である。

アイオノマー樹脂	Ionomer Resin	イオンによる擬似架橋構造を有する樹脂。高い水分バリア性を有し、架橋樹脂の強靭さを保持しつつ、熔融成型が可能な点で太陽電池封止材へ展開されている。
アパーチャーエリア	Aperture Area	太陽電池モジュールにおいて発電部外周を囲った領域を示す。
アモルファスシリコン	Amorphous silicon	シリコンを主成分とし、原子配列に結晶性を持たない固体半導体。真空蒸着法などにより非常に薄い半導体膜を形成可能。半導体膜形成時の条件を変えることで pn 接合を作製することができる。
アライメント	alignment	集光型太陽光発電システムの各構成部材において、各受光面に対する各入射光線がどのような角度関係にあるかを表すもの。
アルミ枠	Aluminum frame	太陽電池パネルの機械的強度の確保と架台や屋根等への設置を容易とするアルミ製の外周枠。
アレイ	array	ストリングを並列接続したもの。
アレイ状メサ	arrayed mesa	規則正しく配置されたメサ（段差）。
安定化効率	stabilizing efficiency	アモルファス Si 太陽電池は光にあたると出力が低下するが、光を照射して出力が安定になったときの変換効率。
ウェット処理	wet treatment	主に化学薬品等の液体に浸漬させる、基板や半導体材料の表面処理技術。一般的な洗浄処理も含まれる。
エアマス	Air mass (AM)	地球大気に入射した太陽光直達光が通過した路程の長さ。標準状態の大気圧(標準気圧:1013hPa)に垂直に入射した太陽直達光が通過した路程の長さを AM1.0 として、それに対する倍率で表す。
エアロゾル	aerosol	気体中に浮遊する微小液体または固体の粒子。
エピタキシャル成長	epitaxial growth	基板の結晶構造を反映した結晶膜をその上に堆積すること。
エンジニアリングプラスチック	Engineering Plastic	耐熱性・強度に優れるプラスチックの総称。
遠心風力式破碎機	Centrifugal crushing machine	太陽電池パネルを高速回転するプロアー状の羽根で破碎・風選し、ガラスとその他に分離する装置。
凹凸型のロール形状	Ruggedness roll shape	ロール破碎機における2本のロールの表面突起部の形状が角型のもの。
オートクレーブ	autoclave	内部を高圧力にすることが可能な耐圧性の装置や容器、あるいはその装置を用いて行う処理のこと。医療分野では滅菌処理に、工学分野ではコンクリート製品の促進養生に使用されている。
送り速度	input speed	ロール破碎機の回転する2本のロールで挟まれた太陽電池パネルの送り込まれる速度。
温度サイクル試験	Thermal Cycle Test	本稿では IEC61215 に定められた、85℃と-45℃の温度変化を一定周期で一定回数与える試験。試験後の出力低下5%以下であれば合格。
開放電圧	Open circuit voltage	太陽電池セル・モジュールの出力端子を開放した時の両端子間の電圧。

可視光下	Under visible light	照度 200Lx (光波長範囲 400~700nm での光エネルギー57.7 $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ) 環境下。
架台	Support Structure	太陽光発電モジュールを取り付けるための支持物。
ガラス	Glass	太陽電池パネルの破損を回避するために表面を保護する強化ガラス。
ガラス/ガラス モジュール	Glass/Glass module	ガラス/封止材/セル/封止材/ガラス という構成からなる太陽電池モジュール。
ガラス/バックシート モジュール	Glass/Back sheet module	ガラス/封止材/セル/封止材/バックシート という構成からなる太陽電池モジュール。
ガラスカレット	Glass-cullet	太陽電池パネルを保護するガラスを破砕することで得られる粒状のガラスのかげら。
基準状態	Standard test condition	太陽電池セル・モジュールの特性を測定する際の基準。(セル温度: 25°C、分光分布: 基準太陽光、放射照度 1000W/m <sup>2</sup> )
基準太陽光	Standard sunlight	太陽電池セル・モジュールの出力特性を共通の条件で表現するために放射照度および分光放射照度を規定した仮想的太陽光。
基準太陽電池セル	Reference solar cell	太陽電池セル・モジュールの測定にあたって、測定用光源の放射照度を基準太陽光換算で決定するために使用される、基準セル・モジュールと相対的に同じ分光感度を持った太陽電池セル。
切妻	Gable Roof	屋根の形状の一つ。屋根の最頂部の棟から地上に向かい、2つの傾斜面が本を伏せたような山形の形状をした屋根。
グリッドパリティ	Grid parity	再生可能エネルギーによる発電コストが既存の電力のコスト(電力料金、発電コスト等)と同等かそれより安価になる点(コスト)を指す。
蛍光 X 線分析	X-ray fluorescence analysis	X線を試料に照射したときに発生する蛍光 X線のエネルギーや強度から物質の成分元素や構成比率を測定する分析法。
結晶シリコン太陽電池	crystal-silicon solar cell	太陽電池セルが結晶シリコンの無機質である太陽電池。
高温高湿試験	damp heat (DH) test	太陽電池モジュールの信頼性試験の一つ。一般的な条件は温度 85 °C、湿度 85%である。認証試験では、1000 時間の試験後の性能低下が初期値の 5%以内であることを要件としている。
固定価格買取制度	the establishment of Feed-in Tariff	2012 年 7 月に導入された再生可能エネルギーによる発電電力の全量買取り制度。
コレクションポイント	Collection Point	使用済の太陽光発電モジュールの回収拠点であり、発生場所から運び込まれる。一定量が収集されると、リサイクル処理プラント等に搬送される。
最大電力	Maximum power	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の積が最大になる点での電力。
サブストレート型太陽電池	substrate type solar cell	太陽光を基板を通さずに入射させるタイプの太陽電池。

サブモジュール	Submodule	集積構造を備えているがカバーガラス等による封止がされていない太陽電池、サーキット (Circuit) とも言う。
△型のロール形状	Traiangle roll shape	ロール破砕機における2本のロールの表面突起部の形状が三角型のもの。
三角分布	triangular distribution	有限区間の上限と頂点、下限を直線で結ぶことで表現される確率分布であり、三角形の形状を取るもの。サンプルデータに限りがあり、母集団の特定が困難な場合に利用されることが多い。
集光型太陽光発電	concentrating photovoltaics (CPV)	集光レンズ、集光鏡等を用いて太陽光を集光し、その光で発電する方法。
シリカ	Silica SiOx	シリコン酸化物。 二酸化珪素または主として二酸化珪素によって構成される天然鉱石、珪石、珪砂の総称。
振動篩型分級機	vibration type screening machine	分別機に振動を与えることで形状（重さ、大きさ等）の異なるものを効率的に分別できる装置。
水蒸気透過率	water vapor transmission rate (WVTR)	単位面積・単位時間あたりフィルムから水蒸気が透過する量。一般的な単位としては、g/m <sup>2</sup> day が用いられる。
スーパーストレート型太陽電池	superstrate type solar cell	ガラス基板などの透光性基板上に、透明導電膜、シリコン層、裏面電極の順に製膜され、光は透光性基板と透明導電膜層を通して、光活性であるシリコン層に入射させるタイプの太陽電池。
据付システム	Installation System	モジュールを屋根等に取り付けるシステムを指す。
ストリング	string	モジュールを複数直列接続したもの。
セル	Cell	集積構造を備えていない太陽電池、単セル (Single Cell) とも言う。
セル層	cell waste	太陽電池パネルを構成するガラス以外のもの（セル、バックシート、樹脂等）の総称。
太陽光発電	Photovoltaic (PV)	太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。
太陽光発電システム	Photovoltaic power generation system	太陽電池パネルで得た電気を、パワコンを経て自家消費又は系統連結して利用する電力システム。
太陽電池パネル	solar panels	複数の太陽電池セルを直列に接続し、ガラスや樹脂等で封止したもの。太陽電池モジュール。
太陽光発電モジュール	Photovoltaic Module	配線材を用いて複数の太陽電池セルを直列に接続し、ガラスや高分子部材を用いて封止したもの。太陽電池パネルともいう。
太陽電池セル	Photovoltaic cell (Solar cell)	太陽光発電に用いる太陽電池の構成要素最小単位。
多接合太陽電池	multi-junction solar cell	光の利用波長領域が異なる太陽電池を複数積層した太陽電池。
ダブルガラスモジュール	double-glass module	受光面側のみならず、裏面材にもバックシートではなくガラスを用いた太陽電池モジュール。
端子ボックス	Terminal box	太陽電池パネルで発電した電力と外部に出すための送電線とを繋ぐパネル裏面に取り付けたBOX。



タンデム型セル	Tandem cell	短波長を吸収するセルを光の入射側、その後ろに長波長側を吸収するセルを直列になるように構成されたセル。
タンデム型太陽電池	tandem-type solar cell	最小単位のセル（単セル）を重ね合わせた構造を有する太陽電池をタンデム型太陽電池という。ただ実際は、慣習的に2段のものをタンデムと呼んでおり、3段のものはトリプル型と呼ばれる。
ダンプヒート試験	DH Test	高温高湿環境下テスト。本開発では温度 85℃湿度 85%環境下と規定。
短絡電流	Short circuit current	太陽電池セル・モジュールの出力端子を短絡した時の両端子間に流れる電流。
直列接続	series-connection	複数の太陽電池を電気的に直列につなぐこと。
通函	Returnable Box	繰り返し使用される運搬用の容器。
テクスチャー	texture	光を散乱させるためウエハ表面に形成する凹凸のこと。光を凹凸によって散乱させることで光の吸収長を長くとり、光をより効果的に半導体で吸収させるのに用いられる。薄膜シリコン太陽電池では必須技術である。
ドーピング	dope	結晶の物性を変化させるために少量の不純物を母材結晶に添加すること。GaAsN に Si 原子をドーピングすると GaAsN は n 型半導体に変化する。
ドライ処理	dry treatment	主に反応性ガスやプラズマ処理などを用いる、化学薬品等の液体を用いない基板や半導体材料の表面処理技術。
薄膜系太陽電池	thin-film solar cell	数 $\mu\text{m}$ の光吸収層を用いた太陽電池であり、省資源・低コスト化が期待される。シリコンを用いたものと銅-インジウム-ガリウム-セレン化合物を用いたものが実用化されている。結晶系に比べて水蒸気浸入に弱いとされている。
バックシート	back sheet	太陽電池モジュールの裏面側に用いる高分子系シート。ポリエチレンテレフタレート（PET）をベースフィルムとするものが多く、PET フィルムをフッ素系の樹脂ではさんだものや、アルミニウム箔を PET フィルムではさんだものなどが用いられる。
発光分光分析	Emission spectrochemical analysis	放電等により試料を発行させ、分光器によってそのスペクトルを調べ、試料中に含まれる元素の種類やその含有量を定量的に測定する分析法。
パワーコンディショナー	Power Conditioner	太陽光発電システムや家庭用燃料電池を利用する上で、発電された電気を家庭などの環境で使用できるように変換する機器。
バンドギャップ	Band gap	固体中の電子が定常状態でとり得るエネルギー値の差。電子がエネルギーを受けて低エネルギー状態から高エネルギー状態へ遷移する際、バンドギャップ以下のエネルギーでは遷移できない。
ハンマー式破碎剥離機	hammer-type crushing and separation machine	太陽電池パネルを回転する突起（ハンマー）で破碎・粉碎してパネルからガラスを剥離する装置。

光閉じ込め	Light trapping	太陽電池内部での光の伝播方向を制御することにより、伝播距離を伸ばし太陽電池内部での光吸収率を向上させ、太陽電池の変換効率を向上させる技術。
表面パッシベーション	surface passivation	半導体素子の表面保護膜を作成する工程。
ファンデルワールス力	van der Waals force	電荷を持たない中性の原子、分子間ではたらく凝集力。この力を介して物体間の物理吸着が生じる。
封止材	encapsulant	太陽電池モジュール内にセルを固定するための高分子部材。一般的には、エチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) を用いる。
不純物	impurity	結晶中に混入している微量元素。
プラズマ CVD	plasma-enhanced chemical vapor deposition	高周波などを印加することで原料ガスをプラズマ化させることを特徴とする化学気相成長法 (CVD) の一種。化学反応を活性化させるため、高周波などを印加することで原料ガスをプラズマ化させ、薄膜等を堆積させる方法。
分級機	screening machine	ガラスやバックシート等をその形状 (重さ、大きさ等) の違いで分別する装置。
分光感度	Spectral response	太陽電池の入射光波長ごとの変換効率。太陽電池出力の入射光波長依存性を表した特性で、短絡電流の入射単色光入力に対する比。なお、単位は A/W または相対値 (相対分光感度) で表す。
ヘテロ接合	hetero junction	異種材料の接合。例えば、単結晶膜とアモルファス (非晶質) 膜との接合。
ヘテロ接合結晶系太陽電池	heterojunction crystalline silicon solar cell	結晶シリコンとアモルファスシリコンで pn 接合を形成した結晶シリコン系太陽電池。高い電圧が得られて高性能が実現する。実用化されたものとしては、三洋電機が開発した HIT 太陽電池が代表例である。一般的な結晶系に比べれば、水蒸気浸入に弱いとされている。
変換効率	Efficiency	最大電力を太陽電池セル・モジュール面積と放射照度との積で除した値。
ポリシリコン	Polysilicon	半導体用、太陽電池用に用いられる高純度シリコン。主としてシーメンス法で生産される。
モジュール変換効率	module efficiency, $\eta$ module	モジュールの受光面に入った太陽光と発電された電力の割合。
モノリシックモジュール	Monolithic module	1 枚の基板上に太陽電池構成材料を層状に積層して作製したモジュール。
有機系太陽電池	organic solar cell	有機半導体で pn 接合を形成する太陽電池。最近では効率も 10% を超え、早期の実用化が期待されているが、水蒸気浸入に弱いとの欠点もある。
有機色素	organic dye	色素分子を構成する元素が主に炭素からなり、かつ金属元素を含まない色素。
寄棟	Hipped Roof	屋根の形状の一つ。4 方向に傾斜する屋根面をもつものをいう。
リサイクル	Recycle	不要物等を再生、再資源化して使用すること。

リフトオフ	Lift-off	薄膜と基板間に層構造を有する場合に、下層を化学反応により取り去ることにより、薄膜を基板から剥離する方法。
裏面材	back material	太陽電池モジュールの裏面に用いる部材。一般的にはバックシートを用いる。
リユース	Reuse	一度使用されたものをそのまま再び使用すること。
レーザー誘起分光分析	Laser induced breakdown spectroscopy	試料表面に短パルスでレーザーを当てることで発生するマイクロプラズマを用いた分析法。
ロール間隔	distance between the rolls	ロール式破砕機の2本のロール間の隙間（数mmレベル）。
ロール式破砕機	roll-type crushing machine	アルミ枠を外した太陽電池パネルを2本のロールの間に挿入してその押付圧により破砕する装置。
ロールツーロールプロセス	Roll to Roll Process	材料フィルムをロールからロールへと連続的に供給し、印刷やラミネートを行うプロセス。
ロットアウト	Lot Out	抜取検査で一定水準以上の不良品が見つかりロット全体が不合格されたもの。
ワイブル分布	Weibull distribution	物体の強度を統計的に表現するための確率分布であり、耐久消費財の使用年数を表現する分布として排出量予測に適用される例が多い。

# I. 事業の位置づけ・必要性について

## 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1.1 NEDO が関与することの意義

本プロジェクトでは、使用済み太陽光発電システムのうち、リサイクル処理が困難となる太陽電池モジュールについて、低コストリサイクル処理技術の確立とともに、リユース関連の技術を開発し、撤去・回収関連技術などについて課題と対策を検討し、太陽光発電システムのリサイクルシステムの構築促進を図る。

太陽光発電の健全な普及拡大のためには、使用済みの太陽光発電システムを適正に処理する対策や手段を検討しておく必要がある。

一方、公共性が極めて高いことや、市場が苛烈な競争状態にあることから、コスト増につながるリサイクルシステムの民間主導による自律的な構築は非常に困難である。そのため、国主導による使用済み太陽光発電システムの適正処理に関する検討や技術開発などの取り組みが必須であることから、NEDOが主導して支援することは意義がある。

### 1.2 実施の効果

本プロジェクトでは、低コストのリサイクル処理技術に加え、撤去・回収関連技術等、使用済み太陽光発電システムの適正処分を実現する技術を開発・実証し、リサイクルに関する循環型社会システム構築に貢献することを目的とする。

また、プロジェクトの成果により、資源コストあるいは廃棄処理コストの面から太陽光発電システム価格の低減に寄与でき、国の目指す 2030 年太陽光発電コスト 7 円/KWh 実現の一助となり得る。

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

近年のエネルギーセキュリティや地球環境問題への意識の高まり、東日本大震災後の電力供給不足への懸念により、太陽光発電は、平成 10 年に住宅用太陽光発電システムの国内導入件数が 1 万件に到達、平成 16 年に国内累積導入量 1 GW を達成、平成 24 年には住宅用太陽光発電システムの国内導入件数が 100 万件を突破、累積導入量も 6.6 GW に達するなど、着実に導入拡大が続いている。さらに、平成 24 年 7 月より再生可能エネルギーの固定価格買取制度が実施されたことで、今後さらに大幅な普及拡大が見込まれる。

一方、大量導入が実現すると、将来、耐用年数を経過した使用済みの太陽光発電システムが大量発生することが予想され、太陽光発電の健全な普及拡大には、使用済みのシステムを適正に処分可能な手段や循環型社会システムを確保することが重要である。

また、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の附帯決議において、「耐用年数経過後において大量の廃棄物の発生を防ぐ観点から、設備のリサイクル構築等、早急に必要な措置を講ずること」が求められている。

これに対し、我が国ではリサイクル処理技術に関する取り組みが一部存在するものの十分ではなく、NEDO は「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」において、大量かつ様々な種類の太陽電池モジュールに対応した低コスト汎用リサイクル処理技術の開発をしているところである。太陽光発電のさらなる普及を図るためには、リサイクル処理技術の実用化を着実に進めるとともに、撤去・回収関連技術の開発が必要である。

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### 1.1 研究開発の目的

使用済み太陽光発電システムの適正処分に関する技術の確立を図るために、リサイクル処理技術や、撤去・回収関連技術など、大量かつ様々な種類の使用済み太陽電池モジュールのリサイクルコストの低コスト化につながる技術を開発し、リサイクルコストの低減効果を実証する。

#### 1.2 研究開発の目標

使用済み太陽電池モジュールのリサイクル処理に係る低コスト分解処理技術を確立し、その効果を実証することを目標とする。

最終目標として、分解処理コスト5円/W（年間200MW処理時）を設定。

個別研究開発項目毎の最終目標および中間目標は、開発項目毎の内容や目的に合わせて判断し設定した。（詳細目標は、「2.1.4 研究開発内容」を参照）

### 2. 事業の計画内容

#### 2.1 研究開発の内容

##### 2.1.1 研究開発技術分野

本事業では、使用済み太陽電池モジュールのリサイクル処理に係る低コスト分解処理技術について、分解処理コスト5円/Wを最終目標として研究開発及び実証を実施する。

上記目標を達成するため、下記項目について研究開発を実施する。

- ① 低コスト撤去・回収・分別技術調査
- ② 低コスト分解処理技術F S（開発）
- ③ 低コスト分解処理技術実証
- ④ 太陽光発電リサイクル動向調査
- ⑤ 使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発
- ⑥ 使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討

##### 2.1.2 研究開発項目の推移

平成26年度には、公募から選定された上記①②④の8件の研究開発を開始した。

平成27年度には、公募から選定された上記③の5件の研究開発を開始した。

平成28年度、上記⑤、⑥の公募を実施した。今回の中間評価対象からは除外する

#### 【平成26～28年度】

研究開発テーマ毎の平成26年度から平成28年度までの開発スケジュールを表Ⅱ-2-1に示す。なお、平成29年度以降のスケジュールについては、中間評価の結果を踏まえ決定する。

表Ⅱ-2-1. 研究開発の全体スケジュール（平成 26～28 年度）

No	研究開発項目	H26F	H27F	H28F
①低コスト撤去・回収・分別技術調査				
①-1 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				
1	撤去の調査	↔		
2	回収の調査	↔		
3	分別の調査	↔		
①-2 太陽電池モジュール撤去における実作業調査				
1	撤去作業の現場調査及び撤去の実作業	↔		
②低コスト分解処理技術F S（開発）				
②-1 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				
1	小型試験機的设计・製作	↔		
2	前処理方法の検討	↔		
3	最適な運転条件の検討	↔		
4	選別方法の検討	↔		
5	回収物の評価	↔		
6	剥離・選別ラインの設計	↔		
②-2 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				
1	剥離液Aの消費量低減策の検討	↔		
2	剥離液Bの消費量低減策の検討	↔		
3	剥離液Aによる処理速度向上のためのシステムの基本構成検討	↔		
4	剥離したEVA・金属複合体から金属類を分離するためのB液処理の基本システム構成の検討	↔		
②-3 結晶シリコン太陽電池の低コスト分解処理技術の調査／開発				
1	ロール式破砕機によるガラスの剥離	↔		
2	ハンマー型破砕剥離機と遠心風力破砕機によるガラス剥離率の比較	↔		
3	効率的な分級法の検討	↔		
4	低コスト処理の実現	↔		
②-4 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				
1	太陽電池モジュールのガラスとEVA/セルの分離分	↔		
2	可溶化法によるEVA/セルからの資源回収	↔		
3	PVモジュールより分離する金属回収技術の開発	↔		
③低コスト分解処理技術実証				
③-1 結晶シリコン太陽電池モジュールのリサイクル技術実証				
1	実証剥離機の開発		↔	
2	ガラス中ヒ素成分の同定機器選定と測定評価		↔	
3	試作プラントによる事業化検討		↔	↔
③-2 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技術実証				
1	実機パネルでの実証		↔	↔
2	試作パイロットラインによる実証		↔	↔
3	回収シリコンの純化研究		↔	↔
4	有価物評価検証		↔	↔
③-3 ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発				
1	アルミフレーム除去装置の開発及び実証		↔	↔
2	バックシート除去装置の開発		↔	↔
3	ガラス分離装置の改良及び実証		↔	↔
4	ガラス表面EVA除去装置の開発		↔	↔
5	ガラスカレットを板ガラス原料にするための調査		↔	↔
6	ガラス破砕機・選別機の開発		↔	↔
7	回収金属の売却単価の調査		↔	↔

8	EVA/セル層の処理方法の検討及びEVA/セル層処理装置の開発		←	→
9	実験・試験プラント建設及び実証試験による処理コスト評価		←	→
③-4 合わせガラス型太陽電池の低コスト分解処理技術実証				
1	基板ガラスとカバーガラスの解体技術開発		←	→
2	封止剤EVAの剥離技術開発		←	→
3	薬液処理技術の検討		←	→
4	基板ガラスからのCIS膜の剥離、Mo膜の分離技術開発		←	→
5	割れガラスからのCIS膜の剥離、Mo膜の分離技術開発			←
6	試作プラント構築、実証			←
③-5 PVシステム低コスト汎用リサイクル処理手法に関する研究開発				
1	システム整備と装置立上げ		←	→
2	EVA熱処理装置の長期信頼性・安定性・経済性の向上		←	→
3	処理システム全体の実用性及び処理コスト評価		←	→
④太陽光発電リサイクル動向調査				
④-1 太陽光発電リサイクルにおける国内外動向および評価手法に関する調査				
1	海外における使用済み太陽電池モジュールに関する動向調査		←	→
2	太陽光発電リサイクルに関する評価手法の検討		←	→
④-2 太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測				
1	国内の技術動向、政策動向、実施事例の定点観測		←	→
2	太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測		←	→

### 2.1.3 研究開発予算の推移

各年度の研究開発予算（実績）の推移を表Ⅱ-2-2に示す。

表Ⅱ-2-2. 研究開発予算（実績）の推移（単位：億円）

研究開発テーマ名	H26F	H27F	H28F	総額
①低コスト撤去・回収・分別技術調査	0.2	-	-	0.2
②低コスト分解処理技術F S（開発）	1.7	-	-	1.7
③低コスト分解処理技術実証	-	1.5	2.1	3.6
④太陽光発電リサイクル動向調査	0.3	0.2	0.2	0.7
合計 特別会計（需給勘定）	2.1	1.7	2.3	6.1

※平成28年8月31日現在 H26F、H27Fは実績額、H28Fは予算額

## 2.1.4 研究開発内容

研究開発項目別の開発内容、目標は以下の通りとした。

### ① 低コスト撤去・回収・分別技術調査

本調査は、現時点では不透明となっているリサイクルシステムとも大きく関連する、撤去・回収・分別などを対象に、分解処理以外のリサイクルコスト低減の実現可能性や課題の見極めのために行う調査であり、経済産業省や環境省などの動向にも影響を受ける公共性の非常に高い事業であるため、委託事業として実施する。

#### 【最終目標】

- ・回収・分別、それぞれの低コスト化技術の実現可能性と有効性を見極め、有望な技術については、課題と目標コストを明確化する。

### ② 低コスト分解処理技術 F S（開発）

本研究開発は、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要となる要素の一つである、分解処理コスト低減に関して、目標処理コストの達成目処やコスト削減効果を見極めるために行う F S であり、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

#### 【最終目標】

- ・低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術など、年間 200 MW 処理時の分解処理コスト 5 円/W 以下に資する技術を確立する。
- ・分解処理コストを試算する。

### ③ 低コスト分解処理技術実証

本研究開発は、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要となる分解処理技術の実用化に向けて、コスト削減効果を実証するために実施する研究開発であり、共同研究事業として実施する。

#### 【中間目標】

- ・低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術を適用した試作プラントを構築する。
- ・使用済み太陽電池モジュールの供給と、リサイクル処理により得られる回収物の提供に関して、一時的ではない体制・仕組みを確保する。
- ・様々な運転条件下における分解処理コスト低減効果を実証可能な実験計画を策定する。

#### 【最終目標】

- ・分解処理コスト : 5 円/W 以下（年間 200 MW 処理時）

### ④ 太陽光発電リサイクル動向調査

本調査は、研究開発した技術が社会親和性の高い技術であることが求められることから、国内外の技術、普及、政策などの動向や、実施事例などについての調査するものであり、社会的に大きな便益のある公共性の高い事業のため、委託事業として実施する。

#### 【中間目標】

- ・国内の太陽光発電システム導入分布を考慮した排出量予測をまとめる。
- ・撤去、回収から分解処理に至るまで、各技術の効果の横断的な評価方法を確立する。

#### 【最終目標】

- ・国内外の各種動向を調査し、本プロジェクトへのフィードバック情報をまとめる。

### ⑤ 「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」

本研究開発はリサイクル技術開発と同じく、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要な要素である。使用済みの太陽電池モジュールをリユースするための技術開発であり、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

#### 【最終目標】

- ・使用済み太陽電池モジュールの回収・運搬、分別、修復コスト 180 円/枚を達成する技術を開発する。
- 例えば、分別技術であれば出力検査、絶縁検査、外観検査、バイパスダイオード検査等の一連



の分別工程を精度よく5分以内で行うことが可能な技術を開発する。  
上記以外の技術開発の場合、具体的な開発目標及び実施内容は、採択テーマごとにNEDOと実施者との間で協議の上個別に設定することとする。

⑥「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」

本研究開発はリサイクル技術開発と同じく、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要な要素である。使用済みの太陽電池モジュールを有効活用するための可能性検討事業であり、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

【最終目標】

- ・導入可能量、市場規模や導入課題等を明らかにする。

表Ⅱ-2-3. 研究開発項目別開発内容、目標（平成26～28年度）

No.	開発期間	項目名	委託先	内容	目標	備考
①低コスト撤去・回収・分別技術調査						
1	H26	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 リュ ーションズ DOWA エコシ ステム 秋田県資 源技術開 発機構	①撤去、回収、分別の現状分析 ②撤去、回収、分別の実践によるデータの取得 ③撤去、回収、分別の課題抽出 ④撤去、回収、分別の課題解決策の明確化 ⑤撤去、回収、分別のコスト削減の可能性の明確化、目標の設定	【最終目標】 ・撤去、回収、分別に要するコスト5円/W ・目標コスト5円/W以下にさらに削減するための目標設定と、それに向けた課題抽出、必要な対策を調査し、取りまとめる。	
2	H26	太陽電池モジュール撤去における実作業調査	萬世リサ イクルシ ステムズ	住宅に設置された太陽光発電システムの撤去作業現場の調査及び、住宅屋根からの太陽電池モジュール撤去の実作業を実施することにより、机上では想定しえなかった撤去の技術課題の抽出を行い、抽出された課題の解決策と撤去コスト削減の可能性の明確化を行い、加えて目標コストの策定を行う。	【最終目標】 撤去の工程についてコスト低減に資する技術の実現可能性と有効性を見極め、有望な技術については、その課題と目標コストを明確化する。	
②低コスト分解処理技術FS（開発）						
1	H26	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	①小型試験機の設計・製作 ②前処理方法の検討 ③最適な運転条件の検討 ④選別方法の検討 ⑤回収物の評価 ⑥選別ラインの設計	【最終目標】 ①太陽電池パネルからガラスを剥離するためにローラ式剥離機を設計・製作する ②太陽電池パネルからガラス分を剥離するために有効な手段を検討する ③①で製作した試験機において最適運転条件を検討する ④剥離した回収物においてガラス分と金属分に選別する方法を検討する ⑤ガラス分と金属分各々について再資源化が可能かを評価する ⑥処理コストを試算し、5円/W以下を目標とする	
2	H26	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	結晶系太陽電池モジュールのリサイクルを困難にしていた封止材（EVA）に対し、剥離剤を用いたウェット法によるEVA剥離システムを開発する。 分解処理コスト5円/W以下を実現するための剥離、分別基礎システムの開発を行う。	【最終目標】 剥離液の消費量低減し（目標；現状の1/10の消費量に抑える）、システムとしてのリサイクル処理コスト5円/W以下の実現性に目処をつける。	
3	H26	結晶シリコン太陽電池の低コスト分解処理技術の調査／	市川環境 エンジニア リング 鹿島建設 ホン	太陽電池パネルのリサイクル技術の現状を調査すると共に結晶シリコン太陽電池パネルに特化した乾式物理的破碎処理設備の試作とそれを用いた	【最終目標】 200MW/年処理時において処理コスト2円/W以下を達成すること。	

		開発	ジョー	実証試験を実施し、経済性評価と事業性の検討を行った。		
4	H26	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	エヌ・ピー・シー 日本スペリア社 産業技術総合研究所	アルミニウム枠を取り外した後、ガラスとEVAを加熱したカッターで切り離し、次に太陽電池モジュールのEVAを200℃程度の温和な条件下で可溶化してシリコンや金属を回収する。可溶化されたEVAから溶媒を蒸留して回収し、EVAは化学原料あるいはエネルギー資源として再利用する。回収されたシリコンは熔融塩電解で精錬し、太陽電池用の高純度シリコンとして再利用する。回収された金属は混合物であるので、いったん熔融スズに溶かし銀を回収し、残りをハンダの原料として再利用する。本法は、温和な条件下でEVAを可溶化するため回収されたシリコンは比較的清浄であり、熔融塩電解法で太陽電池用高純度シリコンへ精製することができる特徴を有している。	【最終目標】 ・目標とする分解処理コストは5円/W以下（年間200MW処理時） ・ガラスとEVA/セルの分離装置の処理サイクルタイムは50秒/枚以下とする。 ・可溶化法によるEVA/セルからの資源回収率を80%以上 ・可溶化後の金属、シリコン500gからの銀の回収率を90%以上	
③低コスト分解処理技術実証						
1	H27 ～ H28	結晶シリコン太陽電池モジュールのリサイクル技術実証	三菱マテリアル	①実証剥離機の開発 ②ガラス中ヒ素成分の同定機器選定と測定評価 ③試作プラントによる事業化検討	【中間目標】 ①実用に耐えるべくパネル1枚を60秒以内で処理し、より粗粒な剥離後ガラス粒として剥離可能な実証剥離機を製作する。 ②ガラス中のヒ素成分を定量的に測定する機器を選定する。 ③実証剥離機、振動篩、色彩選別機を設置した試作プラントを製作し、実証試験に必要なデータを取得する。	
2	H27 ～ H28	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技術実証	東邦化成株式会社	平成26年度に実施した「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」にて得た知見、基礎技術を基に大規模処理における処理コスト5円/W以下の実証評価を行い、実用化に目処をつける。また分解処理により得られた回収物の高付加価値化技術を開発し安定したリサイクル先の確保につなげる。	【中間目標】 1. 目標コスト5円/W以下を達成できる試作プラントの構築・立上完了。  2. 有価物価値の確定と売却ルートを確立する。（トータル処理コスト；0.1円/W目標）	
3	H27 ～ H28	ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発	エヌ・ピー・シー 浜田	太陽電池モジュールに含まれる有価物を回収して売却することで、低コストで太陽電池モジュールをリサイクルできるようなプロセスを確立し、その実証試験を実施する。 回収を目指す主な有価物は、アルミニウム、ガラス、	【中間目標】 ・5円/W以下で太陽電池モジュールを処理できるプラントを建設する。 ・開発、実証する装置の処理能力は50秒/モジュール以下とする。 ・使用済み太陽電池モジュールの調達	

				<p>及びセルの電極や配線材に含まれている各種金属であり、かつ、それらを出来るだけ高額で売却できるようにするために、リサイクルしやすい状態で回収していくことを目指す。</p> <p>本事業ではガラスを粉砕しないまま太陽電池モジュールを解体して有価物を回収していく各種装置を開発する。</p> <p>次に、ガラスから分離されたセル及び配線材が封入された状態のEVAシート（以下、「EVA/セル層」という。）については、そこからEVAのみを取り除く各種実験を実施することで、含有している有価金属を回収しやすくするための手法を開発する。</p> <p>また、有価物をより低コストで回収し、より高価に売却するための手法についての調査と試算を実施し、最適なりサイクルプロセスの確立を目指す。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・様々な運転条件下における分解処理コスト低減効果を実証可能な実験計画を策定する。（パネルのメーカー、種類）</li> </ul>
4	H27 ～ H28	合わせガラス型太陽電池の低コスト分解処理技術実証	ソーラーフロンティア	<p>合わせガラス型太陽電池のリサイクルにおいて、ホットナイフによるパネルの解体と封止剤EVAの剥離液による除去および効率的な有価物回収プロセスの運転条件を確立する。</p>	<p><b>【中間目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・合わせガラス型太陽電池に対応した、低コスト分解処理技術を適用した試作プラントを構築する。</li> <li>・使用済み太陽電池モジュールの供給と、リサイクル処理により得られる回収物の提供に関して、一時的でない体制・仕組みを検討し、総合的な実施計画を策定する。</li> <li>・様々な運転条件下における分解処理コスト低減効果を実証可能な実験計画を策定する。</li> </ul>
5	H27 ～ H28	PVシステム低コスト汎用リサイクル処理手法に関する研究開発	新菱	<p>PVシステム汎用処理手法の主要装置であるEVA熱処理装置の改造を行い、実用化に向けた処理システム全体の長期信頼性・安定性及び経済性の実証を行う。</p>	<p><b>【中間目標】</b></p> <p>①汎用リサイクル処理システムの整備及び立上げが完了していること。またEVA熱処理装置廻りの改造及び性能評価が完了していること。</p> <p>②連続処理試験に供するCIS系工場スラッグの提供について、PVモジュールメーカーとの契約を完了していること。またリサイクル処理で得られたアルミ枠・カバーガラス・CIS粉の有価売却先、及び基板ガラス・バックシートの処理先との契約を完了していること。</p> <p>③年間200MW処理時の処理コスト5円/W以下を達成する目処の付いた運転条件下</p>

					での、連続処理試験計画の策定が完了していること。
④太陽光発電リサイクル動向調査					
1	H26 ～ H28	太陽光発電リサイクルに関する動向および評価手法の調査	みずほ情報総研	<p>(1) 海外における使用済み太陽電池モジュールに関する動向調査</p> <p>海外における使用済み太陽電池モジュールの適正処理に関する技術および政策・市場の動向、回収・リサイクルの実施状況などを継続的に把握する。</p> <p>(2) 太陽光発電リサイクルに関する評価手法の検討</p> <p>太陽光発電システムのリサイクル関連技術の横断的評価のための指標および評価手法を確立し、研究開発技術の評価を実施する。そして、経済面・環境面などの側面から研究開発技術の優位性・有効性を評価・検証し、フィードバックを行う。</p>	<p><b>【中間目標】</b></p> <p>(1) 海外における使用済み太陽電池モジュールに関する動向調査</p> <p>欧州をはじめとする海外諸国の技術動向や政策動向、回収・リサイクルの実施状況などを継続的に把握し、本技術開発プロジェクトの推進、社会システム構築の検討に資する。</p> <p>(2) 太陽光発電リサイクルに関する評価手法の検討</p> <p>太陽光発電システムのリサイクル関連技術の横断的評価のための指標を検討し、本技術開発プロジェクトで実施される研究開発テーマの評価を行うための、国際的にも妥当性の高い評価手法を確立する。</p> <p>確立した手法を用い、各研究開発テーマのデータを収集し、予備的な評価（概算）を実施し、研究開発実施者に対するフィードバックを行う。また、実施した結果に基づき、詳細な評価を実施するための改訂等を行う。</p>
2	H26 ～ H28	太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測	三菱総合研究所	<p>太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測</p> <p>①国内の技術動向、政策動向、実施事例の定点観測</p> <p>②太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測</p> <p>③全体とりまとめ、委員会運営支援</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内における太陽光発電システムの適正処分に関する技術動向、政策動向、実施事例などを継続的に把握する。</li> <li>国内の太陽光発電システム導入分布を考慮した排出量予測をまとめる。</li> </ul>

## 2.2 研究開発の実施体制

本事業を実施するための基本計画については、平成 25 年 9 月に経済産業省産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループにおいてその方向性を審議、NEDO 内部で事前評価を実施し、平成 26 年 3 月に策定された。また、平成 28 年 3 月に研究開発項目⑤「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」、研究開発項目⑥「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」を追加し改訂された。

本事業は、NEDO が選定する企業、大学、民間研究機関、あるいは独立行政法人等（以下、「委託先」）が、NEDO と業務委託契約を締結し実施した。

実施した公募の状況は以下のとおりである。

### 【平成 26 年度】

公募期間：

平成 26 年 3 月 31 日から 5 月 26 日

審査項目・基準：

#### ①低コスト撤去・回収・分別技術調査、④太陽光発電リサイクル動向調査

- 1) 提案内容は、NEDO の定める基本計画の目的、目標に合致しているか。
- 2) 調査の方法、内容等が優れていること。
- 3) 調査の経済性が優れていること。
- 4) 関連分野の調査・事業等に関する実績を有すること。
- 5) 当該調査を行う体制が整っていること。
- 6) 経営基盤が確立していること。
- 7) 当該調査等に必要な研究員等を有していること。
- 8) 委託業務管理上 NEDO の必要とする措置を適切に遂行できる体制を有すること。
- 9) 総合評価

#### ②低コスト分解処理技術 F S（開発）

- 1) 提案内容は、NEDO の定める基本計画の目的、目標に合致しているか。（不必要な部分はないか、太陽電池モジュールの分解処理コストの低減に繋がるものか）
- 2) 提案された技術（低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術、有価物高付加価値化技術等）は、新規性、あるいは従来技術に対する優位性が十分認められるか。
- 3) 太陽電池モジュールの分解処理に係る課題が存在し、その課題解決の必要性が十分認められるか。（単に別分野における既存の分解処理技術を太陽電池モジュールに適用しただけの内容になっていたりしないか）
- 4) 提案された技術は、分解処理コストの目標を満たす見込みのあるものとなっているか。
- 5) 事業化計画は、実現性のある内容となっているか。
- 6) 応募者は、本研究開発の実施に必要な能力（設計、試作及び評価分析等）、体制（関連分野の開発等の実績、再委託予定先・共同研究相手先等を含めた実施体制等）を有しているか（共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるかを含む）。
- 7) 総合評価

採択審査委員会（敬称略）：

- 委員長 中村 崇（東北大学 教授）  
委員 大木 達也（産業技術総合研究所 研究グループ長）  
委員 松野 泰也（東京大学 准教授）  
委員 宮崎 裕（有限会社コモンズ研究所 代表取締役所長）  
委員 加藤 聡（ガラス再資源化協議会 代表幹事）

件数：

応募 10 件、採択 8 件

【平成 27 年度】

公募期間：

平成 27 年 5 月 29 日から 7 月 13 日

審査項目・基準：

③低コスト分解処理技術実証

- 1) 提案内容は、NEDOの定める基本計画の目的、目標に合致しているか。（不必要な部分はないか、太陽電池モジュールの分解処理コストの低減に繋がるものか）
- 2) 提案された技術（低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術、有価物高付加価値化技術等）は、新規性、あるいは従来技術に対する優位性が十分認められるか。
- 3) 太陽電池モジュールの分解処理に係る課題が存在し、その課題解決の必要性が十分認められるか。（単に別分野における既存の分解処理技術を太陽電池モジュールに適用しただけの内容になっていたりしないか）
- 4) 提案された技術は、分解処理コストの目標を満たす見込みのあるものとなっているか。
- 5) 事業化計画は、実現性のある内容となっているか。
- 6) 応募者は、本研究開発の実施に必要な能力（設計、試作及び評価分析等）、体制（関連分野の開発等の実績、再委託予定先・共同研究相手先等を含めた実施体制等）を有しているか（共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるかを含む）。
- 7) 応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか（関連分野の開発等の実績、再委託予定先・共同研究相手先等を含めた実施体制、優秀な研究者等の参加等）。

採択審査委員会（敬称略）：

委員長 大和田 秀二（早稲田大学 教授）

委員 大木 達也（産業技術総合研究所 研究グループ長）

委員 松野 泰也（東京大学 准教授）

委員 宮崎 裕（有限会社コモンズ研究所 代表取締役所長）

委員 加藤 聡（ガラス再資源化協議会 代表幹事）

件数：

応募 8 件、採択 5 件

研究開発の実施体制を図Ⅱ-2-1～Ⅱ-2-4 に示す。

図 II-2-1. 研究開発項目①「低コスト撤去・回収・分別技術調査」実施体制図  
(平成 26 年度)

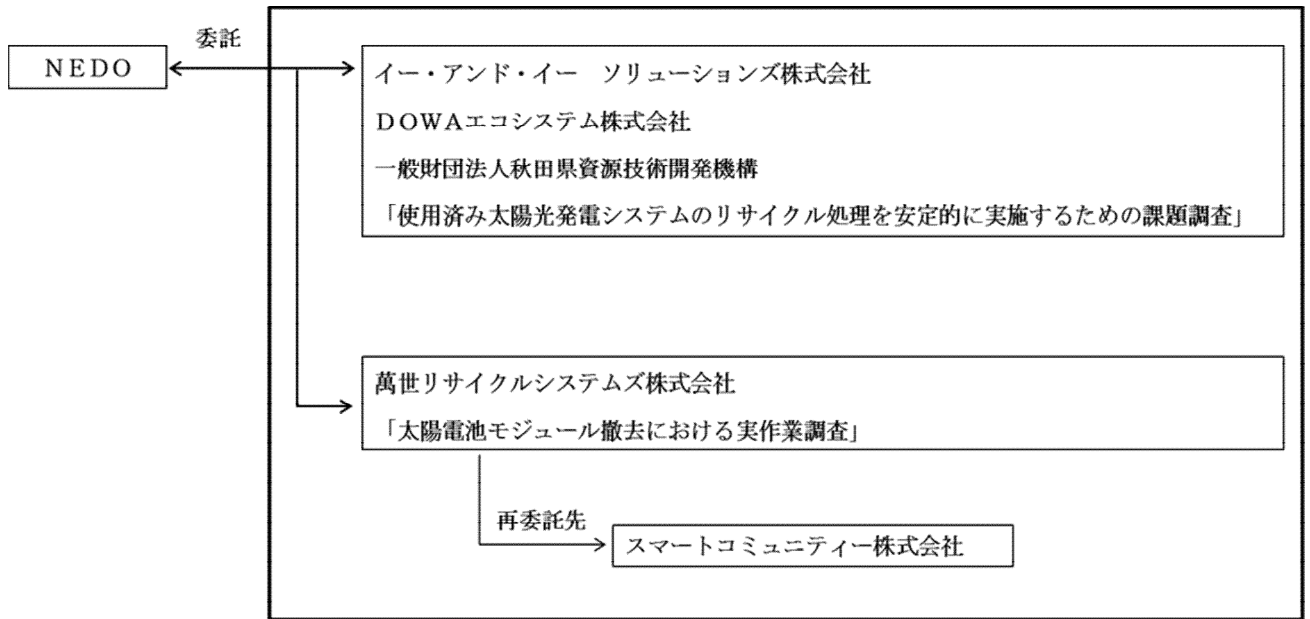




図 II-2-2. 研究開発項目②「低コスト分解処理技術 F S（開発）」実施体制図  
 （平成 26 年度）

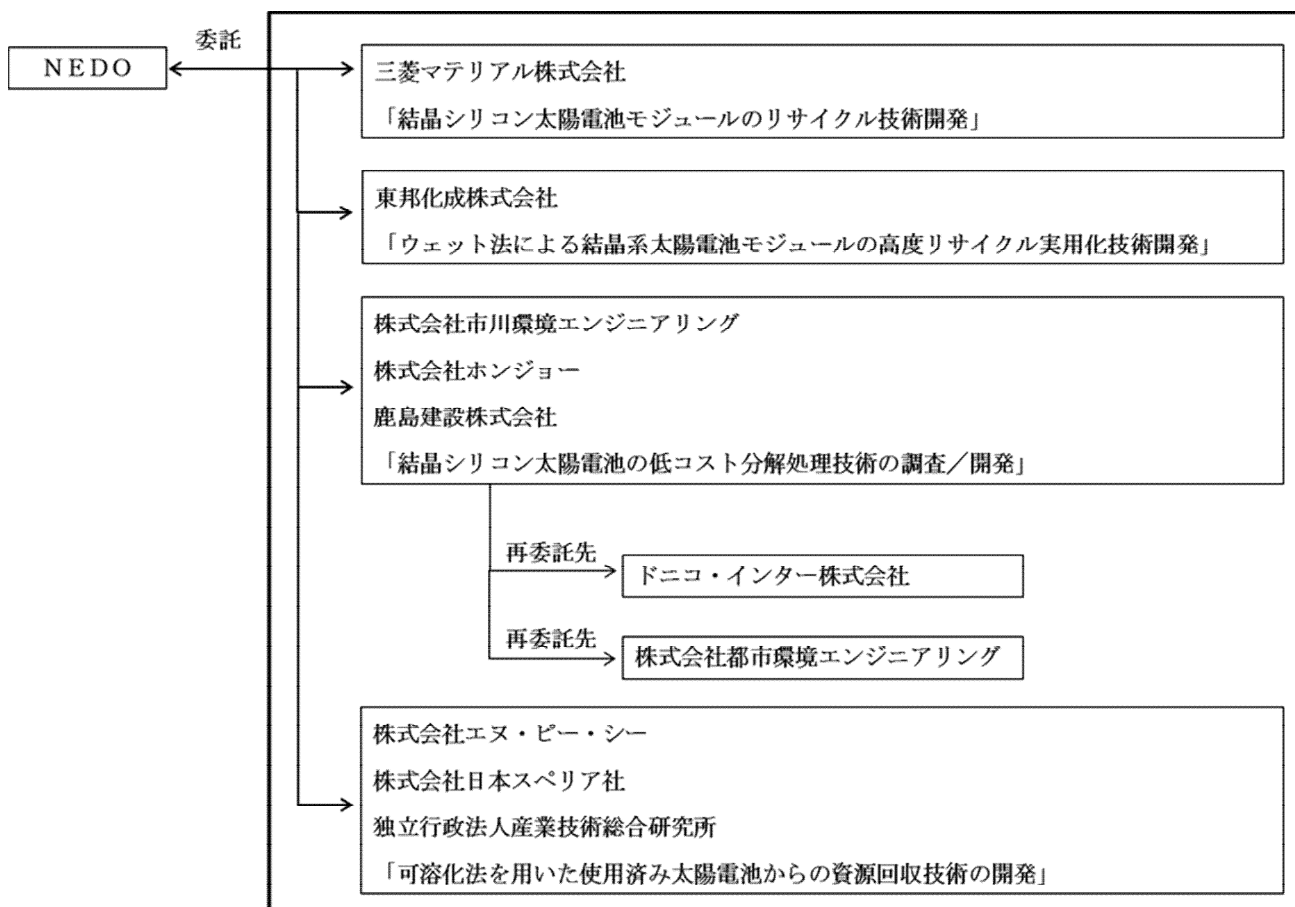


図 II-2-3. 研究開発項目③「低コスト分解処理技術実証」実施体制図  
(平成 27～28 年度)

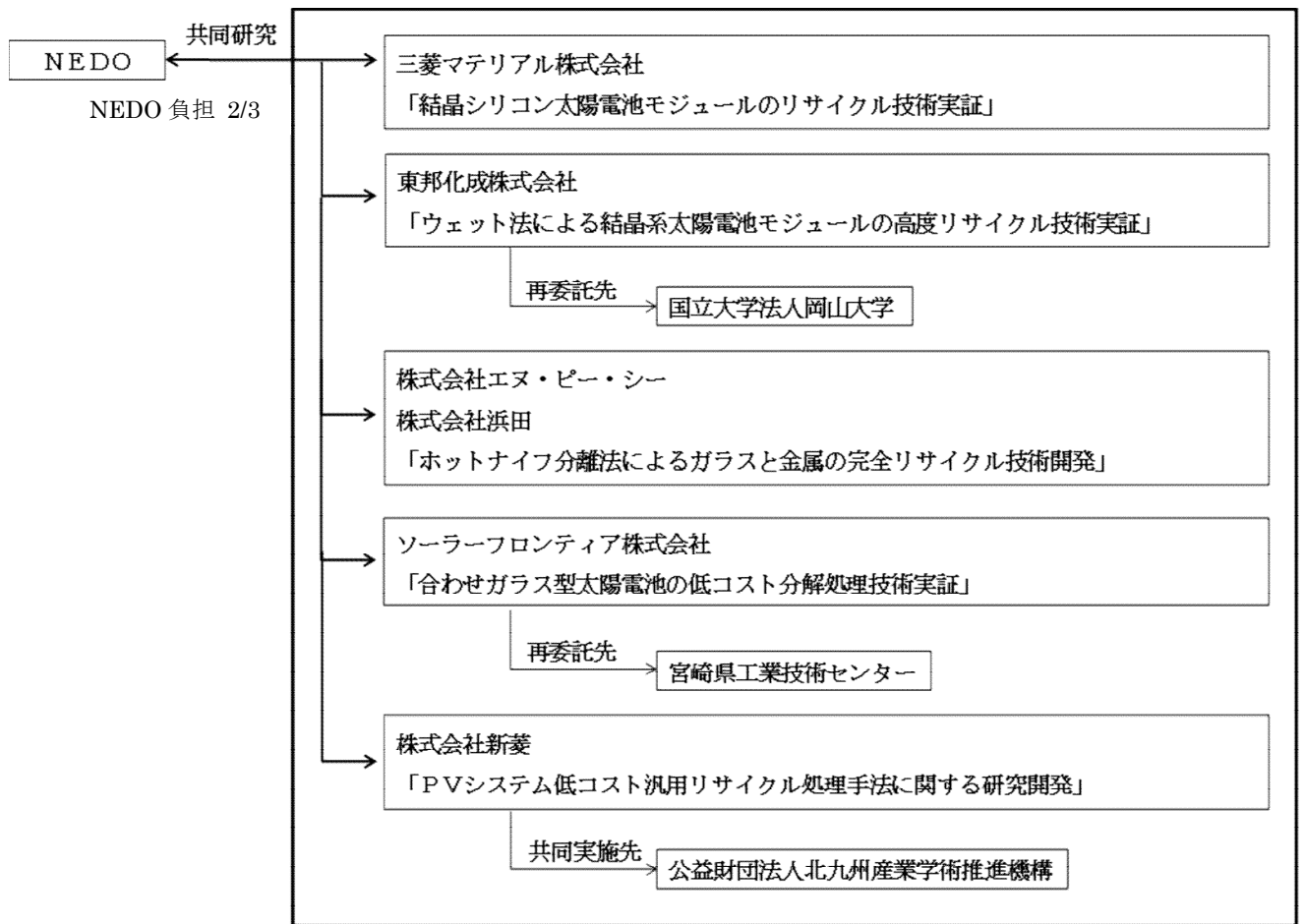
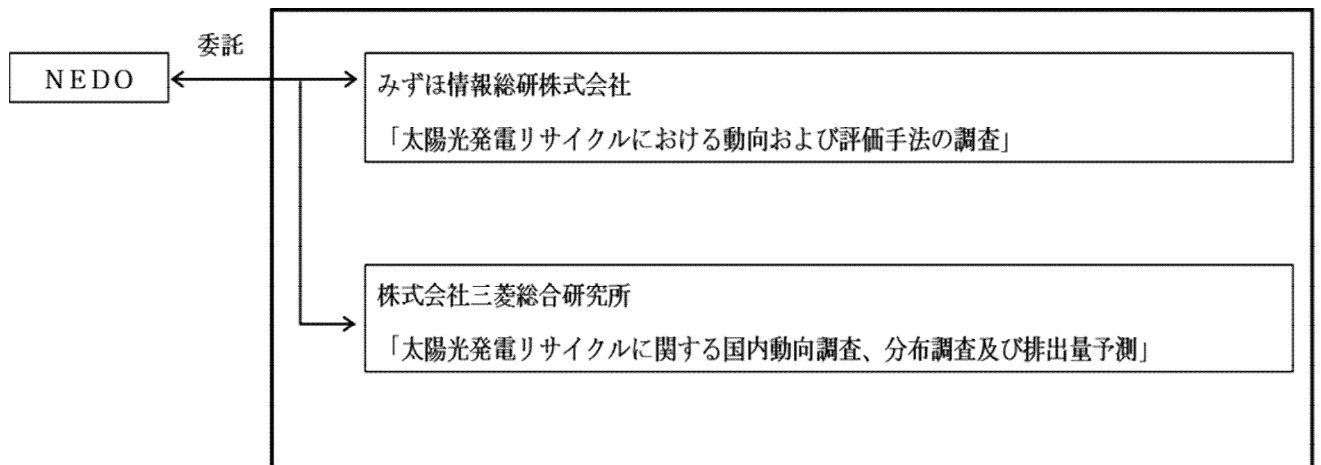


図 II-2-4. 研究開発項目④「太陽光発電リサイクル動向調査」実施体制図  
(平成 26～28 年度)



### 2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権をもつ NEDO は、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。

また、外部有識者による推進委員会を定期的に開催し、委託先から報告を受け、開発の方向性などを審議し、必要に応じて開発内容の修正を実施。（表Ⅱ-2-4 参照）

推進委員会（敬称略）：

- 委員長 大和田 秀二（早稲田大学 教授）
- 委員 松野 泰也（東京大学 准教授）
- 委員 加藤 聡（ガラス再資源化協議会 代表幹事）
- 委員 大木 達也（産業技術総合研究所 総括研究主幹）
- 委員 藤崎 克己（太陽光発電協会 サブリーダー）

表Ⅱ-2-4. 推進委員会メンバー

実施項目	開催時期
推進委員会	第一回（2015年4月17日）
推進委員会	第二回（2016年2月29日）

さらに成果の発信・公表の場として、年度毎の成果報告会を、他の太陽電池関連事業と共に実施している。（表Ⅱ-2-5 参照）

表Ⅱ-2-5. 成果報告会等の実施状況

実施項目	開催時期	場所
平成 26 年度成果報告会	平成 27 年 10 月 28-29 日	パシフィコ横浜 (横浜市みなとみらい)

また他の太陽電池関連事業も含めて、ホームページや展示会による広報、事業紹介パンフレットの作成、学会やシンポジウムでの講演、国際学会への参加と発表、雑誌への寄稿などを通じて成果の発信に努めている。

### 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

研究開発成果の実用化に向けては、進捗報告会などを用いた迅速な進捗状況の把握を行い、進捗が著しいテーマについて、加速流用予算等の予算手当てを行い、実証評価を行える段階に進めるようマネジメントした。

「低コスト分解処理技術実証」では、平成 27 年度の調査結果から、ガラス破碎機・選別機の導入を不要と判断し、平成 28 年度予算の減額を実施するなど、研究成果の状況に合わせて柔軟に対応することを心掛けている。

## 3. 情勢変化への対応

【平成 27 年度】

- ・平成 26 年度 FS での結果を踏まえて、実用化に向けた実証を行うために、「低コスト分解処理技術実証」について公募を行った。

【平成 28 年度】

- ・社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要な要素として、「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」、「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」について公募を行った。

## 4. 評価に関する事項

【事前評価】

評価実施時期：平成 25 年度

評価手法：内部評価

評価部門：評価部、技術戦略研究センター、総務部

### Ⅲ. 研究開発成果と実用化の見通し

#### 1. 分野別、課題に対する主要な成果

##### ①低コスト撤去・回収・分別技術調査

主要な成果、達成度について表Ⅲ-1-1 に示す。

表Ⅲ-1-1. 研究開発項目①低コスト撤去・回収・分別技術調査の主要な成果（平成 26 年度）

テーマ名	目標	成果	達成度	備考
(1)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				
①撤去の調査	撤去、回収、分別に要するコスト5円/W 目標コスト5円/W以下にさらに削減するための目標設定と、それに向けた課題抽出、必要な対策を調査し、取りまとめる。	産業用発電施設の撤去費用に関するアンケート調査において、杭基礎の場合、23.0円/W、コンクリート基礎の場合、27.4円/W程度であることを確認。 本調査での撤去費用にかかる試算結果について、産業用太陽光発電施設で見込まれている撤去費用（建設コスト5%）を下回っていることが確認できた。（建設コストは調達価格検討委員会資料10～50kW平成24年7～9月期のコストデータをもとに算出。）	○	
②回収の調査		一般化した回収コストの試算結果より。 トラック輸送の場合、1Wあたり1.62円、JRコンテナの場合、1Wあたり1.49円であり、5円/Wを下回ることが確認された。 コレクションポイントの適正配置、保管費用の削減、効率のよい積載などがコスト削減の課題となっている。	○	
③分別の調査		分別試験において1Wあたり0.28円程度を確認。 標準作業書の作成などによる効率化等での更なる低減も見込まれる。	○	
(2)太陽電池モジュール撤去における実作業調査				
①撤去作業の現場調査及び撤去の実作業	撤去の技術課題の抽出	太陽電池モジュールの撤去調査によって得られた情報を元に、模擬屋根を用いて太陽電池モジュールの撤去を試験的に行い、撤去における課題として6つの項目が挙げられた。その中でも特にモジュールの撤去費用に寄与している項目として「太陽電池モジュール設置の諸条件の違い」「太陽電池モジュールの荷下ろし工事に係る工数」「屋根上作業の危険性」が挙げられた。	○	
	課題の解決策	撤去の調査によって抽出された6つの課題について、調査を元にそれぞれ解決策の提示を行った。	○	
	撤去コスト削減の可能性の明確化	抽出された6つの課題のうち、解決策を用いてコスト削減が可能で、且つ撤去側の改善によりコストの削減が可能であるものが2つあることが判明した。	○	
	目標コストの策定	住宅用の太陽光発電システムにおいてパネル24枚の撤去を行う場合の撤去費用は198,000円という試算結果となった。その後、撤去における課題を解決することにより、現状より40%程度の撤去コスト削減が可能であると推定された。	○	

※達成度

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：達成見込み

②低コスト分解処理技術 FS（開発）

主要な成果、達成度について表Ⅲ-1-2 に示す。

表Ⅲ-1-2. 研究開発項目②低コスト分解処理技術 FS（開発）の主要な成果（平成 26 年度）

テーマ名	目標	成果	達成度	備考
(1) 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				
①小型試験機 の設計・製作	パネルからガラスを剥離するためにローラ式剥離機を設計・製作する。	小型試験機の設計・製作した。回転する 2本のローラ間にパネルを通すことでガラスを剥離し、シートからガラス粒を選択的に剥離する構造とした。	○	処理速度を勘案した実証機の製作を進める。
②前処理方法 の検討	太陽電池パネルからガラス分を剥離するために有効な手段を検討する。	ガラスを固定している熱軟化性樹脂を加熱することにより剥離性が向上することがわかった。加熱方法としてハロゲンヒータを採用した。	○	パネル毎に条件を適正化する必要がある。
③最適な運転 条件の検討	製作した試験機において最適運転条件を検討する。	試験機の運転条件を変え、種々のパネルにおいて剥離試験を実施した。結果、パネルの種類により剥離状態に差異があることがわかった。	○	パネル毎に条件を適正化する必要がある。
④選別方法の 検討	剥離した回収物においてガラス分と金属分に選別する方法を検討する。	剥離したガラス粒について、色彩選別機により選別を行った。結果、シート分や金属分が付着しているものとしていないものに選別が可能であることがわかった。	○	選別プロセスを把握するために、サンプル量を確保し検討を重ねる必要がある。
⑤回収物の評 価	ガラス分と金属分各々について再資源化が可能かを評価する。	剥離後の粒度毎ガラスとシートについての組成評価、及び物質収支を確認した。 結果、金属含有の少ない 0.6mm 以上のガラス粒については、再資源化できる目途がわかった。	○	パネル毎に使用している金属の種類や量に違いがあるため、回収物の評価検討を重ねる必要がある。
⑥剥離・選別 ラインの設計	処理コストを試算し、5 円/W 以下を目標とする。	上述の知見をもとに剥離・選別ラインを想定し、分解処理コストを試算した。結果、2.9 円/W で処理できる見通しを得た。	○	本技術を用いた実用規模のスケールの剥離・選別ラインを検討し、実証試験を実施する
(2) 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				
①剥離液 A の 消費量低減策 の検討	ガラス面残存 EVA を除去する剥離液 A の消費量を 1 / 10 まで低減し剥離液コスト低減を狙う。	ガラス面側から 0.1 mm 以下の厚みの EVA を残す所までの研削を実施することで剥離液 A での膨潤量を 1 / 10 まで低減できる見通しを得た。 また、EVA への膨潤飽和が起きるまでの特性を確認（膨潤飽和時間約 30 分）、及び、膨潤飽和までの過程で物理力を加え、剥離可能最短時間の計測（最短剥離時間 5 分）を実施。	○	
②剥離液 B の 消費量低減策 の検討	ガラスから分離した EVA 積層体から金属を分離する剥離液 B の消費量を 1 / 10 まで低減し剥離液コスト低減を狙う。	剥離液 B での EVA を膨潤させるプロセスは、消費量低減に限界があることが判明。「次々項目④」にて、消費量低減策も含め剥離プロセスを変更することで処理コストを達成できる見通しを得た。	○	
③剥離液 A に よる処理速度 向上のための システムの基	剥離時間の目標 2 時間、実験機の製作・コスト検証。	①により剥離液 A 浸漬槽への EVA 持込量を低減、かつ膨潤飽和が起きる前に浸漬処理を終えブラシによる物理力にて EVA の剥離を行うことで、処理時間を短縮できる見	○	

本構成検討		通しを得た。(剥離時間 5分)		
④剥離したEVA・金属複合体から金属類を分離するためのB液処理の基本システム構成の検討	剥離液 B による処理の基本システム構成確立。	EVA と金属類の複合体に剥離液 B を加え膨潤、剥離を促進するため攪拌機を使用し液中でのせん断力を加えた後、比重分離にて EVA とシリコン・金属の分離を行うプロセスを考案。 但し、剥離液 B により EVA を膨潤させることで消費量大幅低減と分離時間の短縮が困難であることからプロセス改善の検討実施した結果、単価が安く、比重分離にて分離時間を大幅短縮させるための新たな溶媒を使用し、同様の評価を実施。シリコン・金属の回収率約 80%、かつ処理時間においても 5 分を達成できる見通しを得た。	○	
(3) 結晶シリコン太陽電池の低コスト分解処理技術の調査/開発				
①ロール式破砕機によるガラスの剥離	ガラス回収率 50wt% 以上あること。	ロール間隔の最適値は 6mm であったがガラス回収率は平均 44wt% であった。	△	パネル毎にパネル厚さが異なるためロール間隔制御よりロール間の圧力制御ができる機構が必要。
②ハンマー型破砕剥離機と遠心風力破砕機によるガラス剥離率の比較	ハンマー型破砕剥離機と遠心風力破砕機の選定すること。	比較ではハンマー型破砕剥離機が優れ、ロール式破砕機との組合せではガラス回収率は総合平均 60wt% であった。	○	
③効率的な分級法の検討	回収したガラスとその他が有価性のある状態で分離できること。	ガラスとバックシート等のセル屑とふり下に分級でき、それらはすべて有価性あることを確認した。	○	
④低コスト処理の実現	200MW/年処理時に処理コスト 2 円/W 以下を達成すること。	建設費用、運転費用、有価物売却益等を考慮して 0.32 円/W 処理 (有価物売却益 1.88 円/W を含む) の見通しを得た。	○	
(4) 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				
①太陽電池モジュールのガラスと EVA/セルの分離	サイクルタイム：50 秒/枚	サイクルタイム：50 秒/枚	○	様々な使用済みモジュールでの実験、刃の耐久性の検証
②可溶化法による EVA/セルからの資源回収	80%以上の資源回収率	90%以上の資源回収率	○	ピーカーレベルでの実験では達成したが、スケールアップし確認する必要
③PV モジュールより分離する金属回収技術の開発	金属・シリコン 500g から銀の回収率 90% 以上	可溶化で回収した金属・シリコン 482g から銀の回収率 51%	△	モジュールに構成しなかった太陽電池セルからは銀の回収率 89% であった。条件を詰めれば回収率向上の可能性は十分にある。

※達成度

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：達成見込み

### ③低コスト分解処理技術実証

主要な成果、達成度について表Ⅲ-1-3に示す。

表Ⅲ-1-3. 研究開発項目③低コスト分解処理技術実証の主要な成果（平成27～28年度）

テーマ名	目標	成果	達成度	備考
(1)結晶シリコン太陽電池モジュールのリサイクル技術実証				
①実証剥離機の開発	実用に耐えるべくパネル1枚を60秒以内で処理し、より粗粒な剥離後ガラス粒として剥離可能な実証剥離機を製作する。	パネル1枚を60秒以内で処理し、小型剥離試験機よりも粗粒な剥離後ガラス粒として剥離可能な実証剥離機を製作した。	○	多種のパネルについて評価試験を実施し、最適稼働条件を見出し、汎用性を高める。
②ガラス中ヒ素成分の同定機器選定と測定評価	ガラス中のヒ素成分を定量的に測定する機器を選定する。	可搬型の蛍光X線分析装置にてガラス中のヒ素成分の含有量が定量的に測定可能か検討した。結果、定量が可能となり機器を導入した。導入した機器においてパネル1枚あたり60秒以内で測定可能であることを確認した。	○	多種のパネルについて評価試験を実施し、最適稼働条件を見出し、汎用性を高める。
③試作プラントによる事業化検討	実証剥離機、振動篩、色彩選別機を設置した試作プラントを製作し、実証試験に必要なデータを取得する。	実証剥離機、振動篩、色彩選別機を設置した試作プラントを製作し、実証試験を開始した。	○	搬送等の付帯設備を含めた実証プラントの設計を進める。
(2)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技術実証				
①実機パネルでの実証	分解処理コスト目標；5円/W	処理コスト試算結果2.35円/W（有価物売却益2.81円/Wを含む）。 実使用後の返却されたパネルのEVA剥離工程にてガラスからのEVA剥離力が弱く、改良中。 有価物売却コストを除くモジュール分解コストとしては5.16円/Wで更なるコスト低減に取組中。	○	①分離工程の確立 分離工程改良によりコスト低減が見込めるが有価物評価の結果を待ってプロセスを確定する。 ②剥離剤の改良 使用後パネルのEVA膨潤率75%を目指した改良 ③剥離剤補助の為に物理力強化策の確定
②試作パイロットラインによる実証	分解処理コスト目標；5円/W	研削、分離工程に関する実証機仕様確定。剥離工程の実証機仕様詰め中。パイロットライン稼働によるコスト検証は本年度中に結果を出す予定。	△	上記剥離方法の確立
③回収シリコンの純化研究	シリコン純化の低コストプロセスの確立。	分離工程で回収したEVA、金属類を含むEVA積層体のEVA除去、エッチングにより純度98.5%以上の金属シリコン粒子が回収できた。	○	①処理時間の短縮 ②シリコンの付加価値調査と処理コストの検証
④有価物評価検証	有価物の価値確定（分解処理含むトータル処理コスト0.1円/W）と売却ルート	モジュールを分解、回収したガラス、分離処理を施したEVA積層体の付加価値調査によりトータル処理コスト2.35円/Wを達成。リサイクル率；90%達成	△	①プラント実証機での分解回収物の付加価値向上のための処理条件



				最適化
(3)ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発				
①アルミフレーム除去装置の開発及び実証	処理能力 50秒/モジュール	処理能力 50秒/モジュール	○	様々なメーカーのモジュール、処理枚数を増やし、目標処理能力に達するか確認する。
②バックシート除去装置の開発	処理能力 50秒/モジュール	処理能力 50秒/モジュール	○	様々なメーカーのモジュール、処理枚数を増やし、目標処理能力に達するか確認する。
③ガラス分離装置の改良及び実証	処理能力 50秒/モジュール	現在実験中	△	ホットナイフのさまざまな材質を試し耐久性の確認をしながら処理能力の達成
④ガラス表面EVA除去装置の開発	処理能力 50秒/モジュール	処理能力 70秒/モジュール	△	ガラスメーカーが受入可能レベルのEVA残存量までの除去及び処理能力の達成
⑤ガラスカレットを板ガラス原料にするための調査	受入条件の明確化	混入NG成分 受入荷姿の把握	△	・EVA残留厚の明確化 ガラスメーカーにて試験
⑥ガラス破砕機・選別機の開発	処理コスト40円/kg以下	⑤の結果から破砕機・選別機の導入見送り	-	
⑦回収金属の売却単価の調査	回収金属の明確化	各処理方法による回収金属評価	△	複数の精錬所により評価を入手する
⑧EVA/セル層の処理方法の検討及びEVA/セル層処理装置の開発	処理コスト30円/kg以下	熱分解・油化处理コスト57円/kg以上	△	回収金属評価と処理装置及びランニングコストのコスト比較
⑨実験・試験プラント建設及び実証試験による処理コスト評価	半自動化100枚以上 処理5円/W以下	100枚以上処理のためのモジュール確保	△	
(4)合わせガラス型太陽電池の低コスト分解処理技術実証				
①基板ガラスとカバーガラスの解体技術開発	合わせガラス型太陽電池モジュールをホットナイフ法で、カバーガラスと基板ガラスを割らずに分割する。割れ率50%以下を目指す。加熱炉を用いてEVA	カバーガラスは割らずに回収できるので、基板ガラスが割れてもガラスの割れ率は35.5重量%(カバーガラス:9.8kg、基板ガラス:5.4kg)であった。 ホットナイフ装置による合わせガラス型太陽電池モジュールの分離処理時間は現状では、約400秒/枚(合わせガラス送り速度3mm/秒)であった。	△	ホットナイフの刃の耐久性に課題がある。 モジュールの分離処理時間の短縮が課題である。

	を蒸し焼き状態で熱分解する EVA 除去プロセスと比べ、使用熱量を 50%以上削減することを目指す。 ホットナイフ装置による合わせガラス型太陽電池モジュールの分離処理時間について、120秒/枚以下を目指す。			
②封止剤 EVA の剥離技術開発	基板ガラス及びカバーガラスから EVA を剥離する為の剥離液の組成、剥離方法を確立し、試作プラントの仕様決定のためのデータ収集と薬液等のコスト検証を行う。	試作プラントの仕様決定のためにトルエンを選定してデータ収集を行った。	○	トルエンに対応した EVA 剥離の試作プラントの仕様決定と設計・製作が課題である。 トルエン相当の剥離能を持ち、より取扱の容易な薬液の探索を継続する。
③薬液処理技術の検討	薬液処理技術を広く調査し、これらを比較して、最善の処理方法を選定する。	CIS および Mo 膜の剥離剤として、廃液処理のコスト低減を考慮して過酸化水素水を検討した。	○	
④基板ガラスからの CIS 膜の剥離、Mo 膜の分離技術開発	CIS 膜剥離の剥離液、Mo 膜分離の分離液の仕様を確立し、試作プラントの仕様決定のためのデータ収集と薬液等のコスト検証を行う。	CIS 膜剥離の剥離液、Mo 膜分離の分離液を検討中である。	△	処理時間の短縮と廃液処理が課題である。
⑤割れガラスからの CIS 膜の剥離、Mo 膜の分離技術開発	割れガラスに対応したプロセスを確立し、試作プラントの仕様決定のためのデータ収集と薬液等のコスト検証を行う。	ミキサー試験のデータにより、湿式攪拌剥離方式の試作プラントの仕様を検討中である。	△	処理後の有価物の回収法が課題である。
⑥試作プラント構築、実証	各開発結果から得られたデータに基づいて試作プラントを構築する。	試作プラント構築のためのデータを収集した。	△	実施計画に沿った試作プラントの構築
(5)PVシステム低コスト汎用サイクル処理手法に関する研究開発				
①システム整備と装置立上げ	汎用リサイクル処理システムの整備及び立上げが完了していること。	汎用リサイクル処理システムの整備及び立上げを完了。	○	
②EVA 熱処理装置の長期信頼性・安定性・経済性の向上	EVA 熱処理装置の改造及び性能評価が完了していること。	EVA 熱処理装置の改造及び性能評価を完了。	○	
③処理システム全体の実用性及び処理コスト評価	連続処理試験に供する CIS 系工場スクラップの提供について、PV モジュール	CIS 系工場スクラップ 15 千枚の提供について、PV モジュールメーカーと交渉中。 アルミ枠・カバーガラスの有価売却先、及びバックシートの処理先との契約を完	△	PV モジュールメーカーとの契約締結。 CIS 粉の有価

	<p>メーカーとの契約が完了していること。</p> <p>リサイクル処理で得られたアルミ枠・カバーガラス・CIS 粉の有価売却先、及び基板ガラス・バックシートの処理先との契約を完了していること。</p> <p>年間 200MW 処理時の処理コスト 5 円/W 以下を達成する目処の付いた運転条件下での、連続処理試験計画の策定が完了していること。</p>	<p>了。</p> <p>CIS 粉の有価売却先、及び基板ガラスの処理先との契約交渉中。</p>	<p>売却先、及び基板ガラスの処理先との契約締結。</p>
--	--	--	-------------------------------

※達成度

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：達成見込み

#### ④太陽光発電リサイクル動向調査

主要な成果、達成度について表Ⅲ-1-4に示す。

表Ⅲ-1-4. 研究開発項目④太陽光発電リサイクル動向調査の主要な成果（平成26～28年度）

テーマ名	目標	成果	達成度	備考
(1)太陽光発電リサイクルにおける国内外動向および評価手法に関する調査				
①海外における使用済み太陽電池モジュールに関する動向調査	海外における太陽光発電システムの適正処分に関する技術動向、政策動向、実施事例などを継続的に把握する。	海外諸国における使用済み太陽電池モジュールの適正処分、リサイクル等に関する政策や市場の動向、リサイクル技術の開発動向を継続的に調査し、欧州、米国に加え、中国や韓国などの状況も把握した。また、リユースという観点から欧州における状況、国際協力事業における活用可能性について調査した。	○	
②太陽光発電リサイクルに関する評価手法の検討	太陽光発電システムのリサイクル関連技術の横断的評価のための指標を検討し、評価手法を確立する。	太陽光発電リサイクルに関連する評価手法・視点に関する既存事例の概略を把握し、それらを参照のうえ、太陽電池モジュールリサイクル技術の評価手法を検討し、確立した手法をガイドラインとして取り纏めるための構成案を検討した。また、既存プロジェクトを対象とした予備的な環境影響評価を実施した。	○	
(2)太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測				
①国内の技術動向、政策動向、実施事例の定点観測	国内における太陽光発電システムの適正処分に関する技術動向、政策動向、実施事例などを継続的に把握する。	文献調査、ヒアリング調査等に基づき、国内における太陽光発電システムの適正処分・リサイクルに関する最新の技術動向を整理した。 文献調査等に基づき、国内における主たる政策動向について整理した。 文献調査、ヒアリング調査等に基づき、太陽光発電システムのリユースの実態及び今後の事業化の可能性・課題等について検討・整理した。	○	
②太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測	国内の太陽光発電システム導入分布を考慮した排出量予測をまとめる。	公表データ等に基づき、国内における太陽光発電システムの導入量データ（都道府県別・モジュール種類別）を整備した。 複数の排出見込量予測について検討・試算を実施し、初期状態、出力低下率、排出判断に至る出力低下率（閾値）を変数とする排出予測モデルが、排出量予測の高度化を行う上で、有効なアプローチとなることを確認した。	○	

#### ※達成度

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：達成見込み

## 2. 個別テーマの成果と実用化見通し

### ①低コスト撤去・回収・分別技術調査

【平成 26 年度】

(1)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、DOWAエコシステム、秋田県資源技術開発機構)

#### 1. 成果詳細

使用済み太陽光発電モジュールは、普及後の日数が浅いため、経年劣化等によりまとめて発生することはなく、非常にばらついた個所から、主に自然災害等の原因により突然かつ不定期に発生することが想定される。本調査では、ヒアリング調査などのほか、廃棄モジュールを実際に回収し受け入れることができる体制を一か所（秋田県のレアメタル等リサイクル資源特区内）で整え、破損品、不良品などの発生により生じた廃棄モジュールを実際に回収し、回収にかかる情報取得を主な目的として実施している。そして撤去などの情報の他、破損等の要因の把握など、これまで整理されていない、実質的な情報整理、課題の取り纏めを行っている。

また、欧州では太陽光発電モジュールのリサイクルが先行しているが、コレクションポイント等の回収に関する点については、既存の調査において余りフォーカスされてきておらず、本調査において現地での情報の収集、整理を行った。

#### a) 撤去に関する調査

##### i) 現状及び課題

撤去について、現状は一部破損品、不良品が発生し、個別・小規模での対応がなされており、撤去作業についての知見の集積はなされていない。欧州調査において、撤去作業については、太陽光発電事業者の責任範囲で行われ、現場撤去・回収以降は PV CYCLE との調整で実施されていることが確認された。

撤去に関する課題について、設備の長期間利用による経年劣化による作業阻害、あるいは架台、基礎等の多様な組合せによる効率的作業の阻害が想定される。この場合、取外し作業は設置作業に比べて、労力を要するものになると考えられる。課題解決策として、現状としてはまず撤去事例にかかる事例の集積と検証、解体撤去に関する作業手順の作成と撤去技術講習などの実施が考えられる。また、易解体設計の検討、導入も有効と考えられる。

##### ii) 撤去コストの検討

本調査では、施工事例あるいは一定規模の発電施設を想定した現状での解体撤去コストの試算を行った。調査方法は施工業者等に対するアンケート、ヒアリング調査によるものである。調査対象として、家庭用太陽光発電施設、産業用太陽光発電施設それぞれに、概略の共通仕様を設定し、概算見積もりを入手し、その結果を整理している。共通仕様を含めた撤去コストの調査方法を以下に示す。

家庭用の撤去コストについて、今回の仕様及び規模（4.32kW）の場合、撤去費用全体のコストは、リユースを想定しない場合（全回答）で平均 246 千円程度となり、モジュール 1 枚あたりで計算すると、13,672 円（寄棟）、12,931 円（切妻）となり、屋根の形状による大きな違いは見受けられなかった。コスト区分として、大きな比率を占めたのが足場工事を含めた準備作業であり、両方の屋根の形状とも平均 4 割程度を占めていることが分かった。

リユースを想定した場合とリユースを想定しない場合（「する」を回答した結果のみ比較）については、寄棟で「リユースする場合」が 14,183 円/枚、「リユースしない場合」が 12,648 円/枚であり、切妻の場合、「リユースを想定する場合」が 13,371 円/枚、「リユースを想定しない場合」12,321 円/枚であった。屋根の形状の両ケースとも、「リユースを想定する場合」は「リユースを想定しない場合」に比べて、1 割程度のコストアップが見込まれた。また、これらの増加分はリユースのために破損しないような養生費用や取外し後の梱包のための費用であることがアンケート調査の個別の回答からわかっている。

解体撤去（住宅用の屋根）の場合は、足場等の準備作業のコストが大きなウェイトを占めていることが見積検討から明らかとなっている。安全確保の観点からコスト削減を目的とした検討は難しいが、

足場については、安全確保の観点だけでなく、足場の作業性向上を考慮することにより、総合的な撤去作業の効率を高める方策が有効と考えられる。

表Ⅲ-2-①-(1)-1 撤去コストの調査方法

<b>1. 家庭用</b>	
規模	240W×18枚 (4.32kW)
屋根の形状	寄棟と切妻の両ケースを設定。
<b>2. 産業用</b>	
規模	240W×200枚 (48kW)
基礎	杭基礎とコンクリート基礎の両ケースを設定。
架台	溶融亜鉛メッキを設定。
<b>3. アンケート調査対象</b>	
○対象企業：モジュール販売業者、施工業者等（一部、解体業者へのヒアリング結果含む）	
○対象企業の立地する地域：全国（東北～九州）	
○対象企業の概要：家庭用及び産業用の太陽光発電設備の取扱（販売、施工等）実績がある会社	
○対象数：65社にアンケート送付	
○コスト範囲：準備（足場工事費等）、モジュール撤去、架台撤去、パワーコンディショナー・接続箱等撤去、その他（リユースの場合は養生費等）	

表Ⅲ-2-①-(1)-2 家庭用発電施設に関する撤去コスト（アンケート結果）

撤去コスト (円)	寄棟			切妻		
	しない (n=12)	する/しないの両方を回答 (n=7)		しない (n=11)	する/しないの両方を回答 (n=6)	
		しない	する		しない	する
合計	246,103	227,663	255,291	232,749	221,773	240,673
1枚あたり	13,672	12,648	14,183	12,931	12,321	13,371
1Wあたり	57.0	52.7	59.1	53.9	51.3	55.7

産業用の撤去コストについて、今回の仕様、規模（48kW）の場合、撤去費用全体のコストは、リユースを想定しない場合（全回答）で「杭基礎」で平均1,106千円程度（1枚当たり5,530円）、「コンクリート基礎」で1,314千円（6,571円）となり、コンクリート基礎は杭基礎の2割程度のコストアップが見込まれた。理由としてはヒアリング調査結果などからも、杭基礎はコンクリート基礎に比べて、取扱い（取外し）が容易であり、その分の作業コストが低く見込まれたものと推察される。

リユースを想定した場合とリユースを想定しない場合（「する」を回答した結果のみ比較）については、杭基礎で「リユースを想定する場合」が7,261円/枚、「リユースを想定しない場合」が6,404円/枚であり、コンクリート基礎の場合、「リユースを想定する場合」が7,804円/枚、「リユースを想定しない場合」が6,985円/枚であった。基礎の種類の場合とも、「リユースを想定する場合」は「リユースを想定しない場合」に比べて、1割程度のコストアップが見込まれた。これは家庭用の場合と同レベルのコストアップであった。

表Ⅲ-2-①-(1)-3 産業用発電施設に関する撤去コスト（アンケート結果）

撤去コスト (円)	杭			コンクリート		
	しない (n=11)	する/しないの両方を 回答(n=7)		しない (n=10)	する/しないの両方を回答 (n=6)	
		しない	する		しない	する
合計	1,105,909	1,280,714	1,452,143	1,314,200	1,397,000	1,560,750
1枚あたり	5,530	6,404	7,261	6,571	6,985	7,804
1Wあたり	23.0	26.7	30.3	27.4	29.1	32.5

産業用の太陽光発電所の場合は、建設（システム）コストの5%程度を既に撤去コストとして織り込んでいるのが通常であるということが本調査においても確認している。5%のコストと本調査で想定した撤去コストの範囲、定義が異なり厳密な比較はできないが、本調査試算による撤去コスト（下表のA)の値）と上記の考えを試算対象施設で適用した場合（システムコストの5%）の撤去コスト（下表のd)の値）を参考として比較した。

本調査の試算（想定規模の撤去コストトータル）は1,106千円（杭基礎）、1,314千円（コンクリート基礎）で、システムコスト5%（撤去費用）は1,133千円であり、本調査の試算は概ね5%という目標値をクリアできることが期待できる。

表Ⅲ-2-①-(1)-4 撤去コストの目標値確認

項目	内容
a) 撤去コスト	システム費用の5%（太陽光発電事業計画における計上）
b) 太陽光発電のシステム費用	47.2万円/kW（10kW～50kW未満、平成24年7-9月期）
c) 本試算事例のシステムコスト	22,656千円（48kW×47.2万円/kW）
d) 本試算事例の撤去コスト（c)システムコストの5%）	1,133千円（22,656千円×5%）
A) 本試算（撤去コスト） （処分費、売却コストは加味していない）	1,106千円（杭基礎、平均）（Wあたり：23.0円）
	1,314千円（コンクリート基礎、平均）（Wあたり：27.4円）

### iii) 課題解決策の検討

架台、基礎については、地形、地質、気象、あるいは関係者が所有する技術により、多様な種類、多様な組合せが存在する。このため、解体撤去作業においては、これらの要素を考慮する必要があり、現状では資機材の選定含めてケースバイケースの対応となると考えられる。一般的な考え方として、モジュールの固定を簡単にする、架台の易解体設計などが考えられるが、設置時点ではそれを考えて選択することは困難である。

一方で、撤去後の太陽光発電モジュールのリユースを想定する場合には、全体の流れも大きく影響を受ける。リユースを行うのかどうかの決定は、計画的撤去の場合に重要な観点で、これにより解体撤去の効率も大きく変わることになる。

もう一つの重要ポイントは、スキルの向上である。現状、事例は少ないが、作業手順の作成、撤去技術講習などの継続的な実施は重要である。また、作業は労働安全を担保している必要があり、撤去

事例にかかる事例の集積、検証を行い、効率化、安全な作業のための向上を図っていくことが、健全なリサイクルを行う上で必要な基礎要素となると思われる。

大規模なケースに該当するが、架台については現場での分別を確実にを行うことにより、素材に適した引取施設に運搬することができ、回収（運搬）に関する効率化を行うことができる。発電モジュールについては、アルミの枠を太陽光発電施設の現場で行うことができれば、アルミとその他とそれぞれに適した引取施設（保管、リサイクル施設）に提供することが可能であり、回収（輸送）コストの低減につながる可能性がある。このため現場でのアルミ枠の分別を効率的に行う方法、技術が有効となる。

また、製品設計時にアルミ枠の取外しを考慮した技術があれば、これを適用することにより、後の撤去、回収、リサイクルの工程の効率化に貢献するものと考えられる。

## b) 回収に関する調査

### i) 現状及び課題

廃棄される太陽光発電モジュールについて、現状発生する分については大きく分けて工場ロットアウト、製品の不具合、破損（運搬時、施工時、運転時（自然災害等））、使用済みとなったものの廃棄が考えられる。ヒアリング調査の結果から不具合の場合は多くがパネルメーカーにより回収されており、その後の処理については太陽光発電事業者としては不明との回答であった。破損に関しては、設置時の作業中等における破損、積雪及び強風等の自然災害による破損の事例があった。回収に関する欧州調査において、産業用の発電施設からの廃棄モジュールの発生件数は少ないが、1箇所あたりの発電規模が大きく、モジュール数は多い。従って、PV CYCLE ではダイレクトコールで情報を得た後、収集計画を組んで実行している。家庭用については、外した工事会社や所有者が PV CYCLE のウェブサイトでも申し込みをした後、最寄りのコレクションポイントまで、所有者が運搬することになる。コレクションポイントは、地域での偏りが生じないように 50km 以内には、2つ以上が重ならないよう、認証する際に注意されている。コレクションポイントは、PV パネルが多く設置されるところに、設置業者が多く存在し、コレクションポイントの密度も濃くなる傾向にあることを確認している。

回収の課題として、運搬時の積載効率及びロットの確保が効率化の観点から重要と思われる。また、回収時のパネルの破損防止などの安全確保の配慮も必要となる。

### ii) 回収コストの検討

#### ii) -1 回収のための準備

本調査では、破損品、不良品などの発生により生じた太陽光発電モジュールを実際に回収し、回収コストの検討の他、その他、破損等の要因の把握を行った。太陽光発電モジュール等の回収のため、専用の組み立て式の通函を作成、用意した。欧州においてはコレクションポイントにおいて既にこの様な通函が使われているが、海外製の通函はコレクションポイントにおけるフォークリフト等の使用を前提としたものであるが、日本の特性を考慮して、キャスターによる通函の移動が容易であること、リフター付きのトラックなども利用できることを改良点として、オリジナルに製作した。通函にはモジュールをそのまま入れることができる、帰り便では折りたたんで輸送効率を上げることができる、壁材は遮光が可能な軽量素材であるなどの特徴は欧州のものとは変わらないものとしている。

回収を実施するにあたって、経済産業省東北経済産業局に協力要請し、管内にある認定された太陽光発電事業者へはリーフレットによる回収についての周知を行い、また、各県及び市町村の再生エネルギー担当部署へは秋田県資源技術開発機構のホームページを活用し、関連事業者への周知を依頼し、回収への協力依頼を行った。また、関係する事業者への周知も適宜実施した。回収に関しては、試験目的として実施するため、試験研究書を秋田県生活環境部へ提出し、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の特例措置を受け実施した。

また、回収時の管理のため、廃パネル管理票を作成し、運用した。運送設計・方法は、破損具合や発生量、距離によって異なるため、トラック輸送、JRコンテナ輸送など適宜調整を行った。回収対象物は、工場ロットアウト、不具合、破損、使用済みのパネルである。

荷姿については、パネルを有姿のまま平置きにして複数枚重ね、フォークリフトで積み下ろしが可能となるよう添え木等をして、荷崩れしないように紐による固縛またはシートによるラッピングを行った。今回、実際に回収した際に用いた機材等は、積み下ろしに用いるフォークリフト、添え木またはパレット、トラック、JRコンテナ、通函であった。





図Ⅲ-2-①-(1)-1 利用した資機材

回収後の保管のために秋田県内の既存倉庫の一角を確保（賃貸）して利用した。倉庫の運用は、秋田県の「レアメタル等リサイクル資源特区」内で行なった。倉庫は、発電や不慮の事故防止のため、屋根付き及び施錠可能なものとした。

ii)-2 回収結果

今回の実回収の対象について、それぞれのケースとその内容を以下に示す。なお、それぞれの運搬先は秋田県鹿角郡小坂町である。

表Ⅲ-2-①-(1)-5 回収対象の概要

運搬元	①群馬県太田市	②長野県長野市	③宮崎県国富町
運搬先までの距離	約 620km	約 600km	約 1,850 k m
運搬方法	トラック運搬	J R コンテナ運搬	J R コンテナ運搬
運搬回数	5 回	1 回	1 回
運搬枚数（合計）	2,508 枚	118 枚	320 枚
運搬重量（合計）	52,980kg	1,442kg	6,400kg

回収に要したコストを以下の表に示す。想定ケースとして、撤去、回収後のリユースを行うケースとリユースをしないケースを想定した。リユース対象は実際には回収していないが、リユースを行うための条件を考慮し、想定しない場合の運搬効率が2分の1、また作業時間が2倍という同一の条件のもと算定した。ただし、枚数は実際回収した枚数ではなく、想定しうる最大の積載可能量を用いて

いる。コストの範囲は現場から一次集積所までと、そこから秋田県の保管場所までの費用と、積み下ろしの作業コストが含まれている。リユースをしないケースとして、群馬県からのトラック輸送で、1枚当たり 382 円、長野市からの JR コンテナで 436 円、宮崎県からの JR コンテナで 468 円となっている。

表Ⅲ-2-①-(1)-6 回収に要したコスト

運搬元		群馬県太田市		長野県長野市		宮崎県国富町	
		しない	する (仮定)	しない	する (仮定)	しない	する (仮定)
リユース							
枚数*	(枚)	2,508	1,254	236	118	480*	240
回収コスト (サイトから一時集積所(施工業者等)、保管場所まで)	合計 (円)	957,000	1,011,000	102,800	113,600	224,640	235,440
	1枚あたり (円/枚)	382	806	436	963	468	981
	Wあたり (円/W)	1.53	3.22	1.74**	3.85**	1.88**	3.92**

(\*パネルの枚数は積載可能量(上限)を想定したた。)

(\*\* 実際には1枚あたり130Wであったが、①にあわせて250Wとして計算。)

上記の事例によるコストの検討の他、将来的に使用済モジュールが大量発生するケースを想定し、この場合での一般化したコストを検討した。検討に際しての前提条件を以下に示す。

前提条件：

- ・コストの構成は、収集、保管、運搬及び積み降ろし作業とする。
- ・パネル規格は、一般的なメガソーラーと同程度規格の250W、20kgとする。
- ・コレクションポイントは、EUの事例を参考すると収集エリアは半径50kmとして想定。
- ・コレクションポイントを関東圏として、リサイクル処理を行う地点を秋田県とする(輸送距離は約600km)。
- ・コレクションポイントの保管能力は約100t(250Wパネルの重量20kgとして5,000枚)
- ・保管コストは30万円/月とする。
- ・National Survey Report of PV Power Applications in Japan 2010 (International Energy Agency Photovoltaic Power System Programme (IEA PVPS))より、2010年の国内導入量は約1GW(991MW)であり、単純にこの分の導入量が設計寿命(20年)を迎える分を仮の廃棄量(2030年)として想定する。
- ・パネル1枚(250W)あたりの重量を20kgとすると、導入量約1GWの場合、2030年の廃棄重量は約8万tと計算される。
- ・この内、東日本の発生量を半分と想定して、月換算すると約3,330tが毎月発生。
- ・コレクションポイントを東日本で33地点(1県当たり1~5地点)と仮定すれば、1地点当たり月約100t収集される。
- ・コレクションポイントまでのパネル1枚当たりの収集コストは、本調査で得られた同程度の距離(45km)の効率の良い収集コスト91円/枚を採用。
- ・積み降ろし等の作業は、フォークリフトを用いるため本調査と同等の作業と仮定。1時間当たり10,800円とする。調査実績から、1時間当たり約500枚の積み降ろし作業が可能。
- ・運搬コストは、ほぼ同等の距離であるので群馬県からのトラック輸送及び長野県からのコンテナ輸送の金額を採用し、リサイクル施設までとする。

トラック輸送の場合、1Wあたり1.62円、1枚あたり404円、JRコンテナの場合、1Wあたり1.49円、1枚あたり372円と算出されている。この場合には、目安として考えた5円/Wを下回ることになるが、これは最大限効率よくコレクションポイントに収集される前提となっている。このため、コレクションポイントの適正配置、保管費用の削減、効率のよい積載などがコスト削減のポイントと挙げられる。

表Ⅲ-2-①-(1)-7 回収コストの目標値確認

	トラック輸送	JRコンテナ輸送
1Wあたり	1.62円/W	1.49円/W
1枚あたり	404円/枚	372円/枚

### iii) 課題解決策の検討

パネル等の破損防止のためには、運搬中の振動による荷台等の上での移動を防ぐ必要がある。実際に回収した結果から、紐による固縛、シートによるラッピングのいずれの場合でも、積載量が少ない場合はパネルの移動が認められた。この移動を防ぐためには、移動できる空間を少なくするように積載方法を工夫する必要がある。例えば、出来るだけ隙間を埋めるようにパネルを積載するか、パネルが無い場合は隙間に緩衝材を詰め込む等である。

今回、試験的に通函及び緩衝材を用いてパネルを運搬した。これにより、パネルの破損を防止し、安全に運搬出来ることが確認出来た。しかし、通函を用いることで、輸送効率は低下する。そのため、運用する場合は小口の発生量の場合やリユース目的、有害物質を含むパネルの輸送などに用いることが効果的と考える。また、この運搬方法は既に破損したパネルの破損物の拡散防止にも有効であると思われる。

その他、引越し業者などが利用している発泡スチロールなどを用いた収納ボックスや運搬中の揺れによる移動や破損を防止する観点から固縛用のベルトを装備したコンテナを開発して活用することなどが考えられる。

### c) 分別に関する調査

#### i) 現状及び課題

分別の現状に関して、リサイクル処理はパネル全体を破砕することが多く、パネルが破損していても大きな問題はないため、リサイクルの効率を上げるなどを目的とした分別は想定する必要がないと考えられた。分別の課題として、リユースを想定した場合の分別による追加コストの発生が見込まれる。また、分別の効果的な設定、配置がトータルシステムの中での効率化として重要であることが想定された。

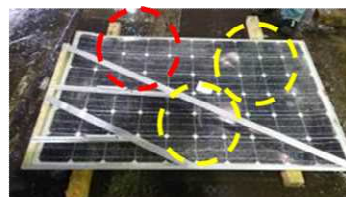
#### ii) 分別試験、分別コストの検討

本調査では、実際に雪害により外されたパネルの抜き取りを行い、リユース出来る可能性がある物の有無を調べた。回収試験により得られた50tの廃棄パネルから、100台のサンプルを無作為に抽出し、変形、破損の有無を確認した。サンプル100台を調査した結果、変形・破損ともに無いものは88台だった。変形・破損のあるサンプルのうち、パネルが変形しているものが1台、パネルが変形破損しているものが4台、枠及びパネルともに変形しているものが2台、枠が変形し、尚且つパネルが変形破損しているものが4台、そして枠及びパネルともに変形破損しているものが1台だった。

破損のなかったパネルは、導線が切断されているので、実際にリユースすることはできない。



変形・破損なし



枠の変形破損あり(赤丸内)  
パネルの変形破損あり(黄丸内)



端子から導線が切断  
されている様子

図Ⅲ-2-①-(1)-2 破損の状況

変形の確認は、直線形の木材を当て、パネル面での変異をみることにより確認。雪害で発生した廃パネルの調査で、外観上ではリユースの検討をできそうなものが 80%以上存在した。ただし、撤去時に有価で売却できる導線部分が切断されており、実際には、リユースは出来ない。リユースを進めて行くにあたり、解体撤去の段階で、リユースのプロセスに入れることが決まっていなくて作業ができない。本調査で、メガソーラーから雪害で発生した廃パネルの分別を行ったが、今回のコストは、対象のパネルが、100 枚で、作業者の人数が 3 名、延べ 70 分の時間を要した。これによる人件費相当がコストとなり、総額 6,990 円となった。従って、一枚あたり、約 70 円のコストを要した事になる。従って、一枚あたり、約 70 円のコストを要した事になる（1W あたり 0.28 円）。標準作業書の作成などによる効率化や作業者の教育などで、おそらく 2 名で作業出来るようになると考えられる。このことにより、今回の約 2/3 程度のコストで分別が可能となると期待できる。

### iii) 課題解決策の検討

課題の解決策として、リサイクルの前段階の分別の他、撤去時、あるいは回収時の分別を行うことにより、全体における効率化を図ることが期待できる。例えば、大量に発生する場合には、現場撤去時にパネルのアルミ枠を取外す、回収時にはパネルの種類ごとに分別保管を行うことより、効率的な運搬に寄与することが考えられる。リユースの判別を目的としたパネルの分別試験によるコスト検討では追加的な費用の発生は大きくないことが見込まれたが、リユースの際にはその前段階の検査等が必要で、効率的な検査実施が重要となる。また、分別については、リサイクル、リユースの直前のみならず、撤去現場、集積現場での更に前段階での分別も全体コストの低減に効果があると思われる。

## 2. 波及効果

収集網整備により目指している効果は、環境効果である。全国的に太陽光発電モジュールの収集網を整備でき、この収集網の中に太陽光発電モジュールが入る仕組みができれば、将来大量増加すると予想されている太陽光発電モジュールの流れをコントロールできるようになる。これをもって、以下の「3. 今後の展開」に記載するように、資源が安易に投棄されなくなる社会システムの構築の実現を目指す。

## 3. 今後の展開

実証事業やモデル事業のような形で国等の公的機関の支援を得て、今後は、これまでに得られた成果を踏まえ、以下のように、取り組みを発展していきたい。

### 地域の拡大

- ・ 東北地方を中心にして構築した収集網の他地域への展開を推進していく。

### 資源価値等が変動しても、安易に投棄されなくなる社会システムの構築とその定着

- ・ 収集から処分までを最も効率的に行えるネットワークをリサイクル業者の面も含めて構築していく。
- ・ 数多く収集し、その破損状況なども含め、最適なリサイクルを検討する。ここで最適なリサイクルとは、最大限資源を投棄することなく、経済的に利用する方法（時代ごとの EVABAT（Economically Viable Application of Best Available Technology）とも言える）を指す。

(2) 太陽電池モジュール撤去における実作業調査（萬世リサイクルシステムズ）

1. 成果詳細

抽出された課題と解決策及びその効果を表Ⅲ-2-①-(2)-1 に示す。

表. Ⅲ-2-①-(2)-1 抽出された課題と解決策及びその効果

課題	解決策	撤去コストの削減可能性	コスト削減額
(1) 太陽電池モジュール、設置工法、設置諸条件	撤去作業の案件ごとに、撤去対象となる太陽電池モジュールのサイズ、枚数、メーカー、設置工法、対象の屋根の周辺のスペース等に関する記録を蓄積していきデータベース化し、同一の工法、類似した条件の撤去案件が出現した際には前例を生かして作業を段取りできるようにする	○	24,500～49,000 円  ※撤去コスト前提条件 ・住宅：木造2階建て住宅 ・屋根：スレート ・太陽光パネルの枚数：24枚
(2) 太陽電池モジュールの降ろし作業	家具やピアノ等を2階以上の住宅に運び入れる際に使用される専用のユニック車の活用が考えられる。手順としては、住宅に面した道路に専用ユニック車を駐車し、屋根の上で架台から取り外した太陽電池モジュールを毛布のような厚手の布で梱包し、専用ユニックで直接車両の荷台に降ろす方法が考えられる。屋根上に一時仮置きできるように足場による数㎡の仮置き場を設ければ、専用ユニック車を使用して3～5枚程度を同時に降ろすことができる。	○	20,000～30,000 円  ※撤去コスト前提条件 ・住宅：木造2階建て住宅 ・屋根：スレート ・太陽光パネルの枚数：24枚
(3) 屋根上作業の安全性確保	設置時に太陽電池モジュールと架台の地組（地上の平らな場所で仮に組み立てる）を行えるように架台を設計し、設置時と併せ撤去時も屋根上での作業を減らすことが考えられる。この場合、撤去時にもモジュール数枚のユニット毎に分割した状態で地上に降ろし、地上で分解作業を行うことになる。地上設置用を前提とした地組式の架台であるが、架台製造工場で一定段階まで組み立てた後、現場での組み立てることが可能ないわゆるプレハブ化を可能とした架台が有効である考えられる。	△	—

	一般的な結晶シリコンタイプのモジュールは重量が 12~17 kg/m <sup>2</sup> のものが多く、10kg/m <sup>2</sup> 未満の薄膜型太陽電池で既に商品化されているものがある。これら軽量パネルが、パネルの荷下ろし作業、安全性の確保の上でも改善が期待できる。	△	—
(4) 太陽電池モジュールの分解性	太陽電池モジュールの設計段階から、アルミ枠とガラス主体のモジュール本体との分解がし易い構造とすることができれば、リサイクル性に優れ、かつ分解作業時間の短縮化による分解コストの低減につながることを期待される。	△	—
(5) 太陽電池モジュールの部品数	太陽電池モジュールや架台の設計段階から、部品点数の少ない構造とすることができれば、リサイクル性に優れ、かつモジュール本体と架台の分解および架台の部品ごとの分解の作業時間の短縮化による撤去コストの低減につながることを期待される。	△	—
(6) 撤去中のトラブル低減	屋根上での太陽電池モジュール撤去作業の効率向上および屋根の軒下の安全確保の観点から、屋根から架台やモジュールを取り外す際に接続金具類を地上に落とさないようにするため屋根上作業時に作業員が装着する素材別専用ポーチの使用や、金具類の保管ボックス、また金具類の地上への落下を防止するための朝顔養生により、リスクコストの削減が期待される。	△	—
	架台の屋根への取付けに接着剤を使用する工法があるが、太陽電池モジュールの撤去作業においては、最終工程で屋根に付着した接着剤の除去が必要となる。接着剤を使用しない工法の場合はこの工程を省くことができ、撤去作業時間の短縮による撤去コストの低減が期待できる。	△	—

撤去費用算出の調査で得られた結果をもとに、リサイクルを前提とした場合で撤去事業者自らの取り組みでコスト低減が可能になると考えられる「太陽電池モジュールの設置工法、設置条件の情報共有化」および「太陽電池モジュールの降ろし作業の時間短縮化」を取り入れた場合の目標コストを表Ⅲ-2-①-(2)-2に示す。

設置工法、設置条件の情報共有化を活用した場合、太陽電池モジュールの屋根上での取り外し作業時間と屋根上からの降ろし時間が25~54%短縮され、モジュール本体取り外し工事、架台取り外し工事、モジュール下ろし工事の人件費を25~54% (24,500円~49,000円)低減可能と推定される。また、専用ユニックを用いた太陽電池モジュールの降ろし作業の時間短縮化を図った場合、専用ユニック車

のレンタル費用として20,000～30,000円分増加が見込まれるが、屋根上からの降ろし時間が約1/4～1/5に短縮されることによりモジュール本体取り外し工事、架台取り外し工事、モジュール下ろし工事の人件費が75～80%（約50,000円相当）低減可能となり、合計で20,000～30,000円の低減が期待される。さらに、設置工法、設置条件の情報共有化と専用ユニックを用いた太陽電池モジュールの降ろし作業の時間短縮化の両方を行った場合は、44,500～79,000円のコスト低減が期待される。

上記のような課題解決によりリサイクル、リユースを前提に太陽電池モジュールだけを撤去する場合の費用削減が期待できる。また更なるコストの削減には、太陽電池モジュールを撤去するために必要な足場の組み払い工事費100,000円の低減が必要となる。このためには、例えばクサビ式足場など、組み立て時間を大幅に短縮できる組み立て方式の足場の検討なども求められる。

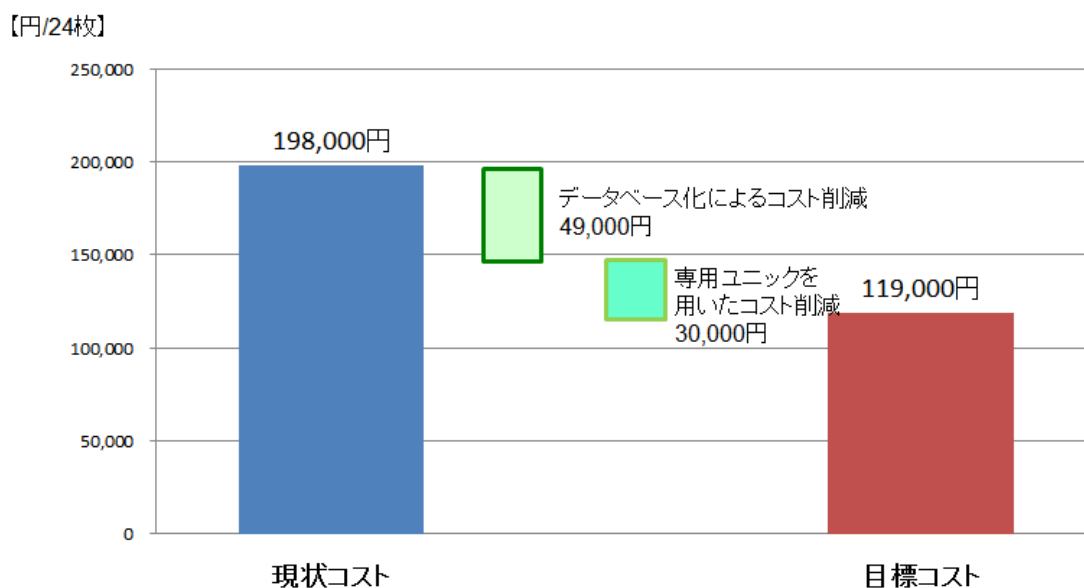
表Ⅲ-2-①-(2)-2 現状の撤去コストと目標とする撤去コストの算出

コスト項目	A) 現状のコスト	B) 設置工法、設置条件の情報を共有化した場合のコスト低減幅(円)	C) 専用ユニックを用いた太陽光パネルの降ろし作業の時間短縮化によるコスト削減幅(円)	B)とC)両方を採用した場合のコスト低減幅(円)	目標コスト(円)
太陽光取り外し工事費用	198,000	24,500 ～49,000	50,000 (ユニック車借用費用: 20,000～30,000円)	44,500 ～79,000	153,500 ～119,000
削減割合	—	12.3～24.7%	10.1～15.1%	22.4～39.8%	—

※撤去コスト前提条件

- ・住宅：木造2階建て住宅
- ・屋根：スレート
- ・太陽光パネルの枚数：24枚
- ・太陽光パネルのメーカー・型番：シャープ製ND-175AC（175W/枚）

図Ⅲ-2-①-(2)-1 撤去に係る現状コストと目標コスト



表Ⅲ-2-①-(2)-3 住宅用太陽電池モジュールの撤去作業に関するデータベースへの記録入力項目(例)

設置工法	支持金具工法	支持瓦工法	アンカー工法	打込み金具工法
適用される屋根の種類	瓦	瓦	瓦	スレート
				金属屋根
固定方法	垂木固定工法	垂木固定工法	垂木固定工法	垂木固定工法
	野地板固定工法	野地板固定工法	野地板固定工法	野地板固定工法
面積	屋根全体の面積	屋根全体の面積	屋根全体の面積	屋根全体の面積
	撤去対象面積	撤去対象面積	撤去対象面積	撤去対象面積
屋根形状	勾配	勾配	勾配	勾配
	アンテナ等障害物の状況	アンテナ等障害物の状況	アンテナ等障害物の状況	アンテナ等障害物の状況
撤去対象モジュール	メーカー	メーカー	メーカー	メーカー
	枚数	枚数	枚数	枚数
	1枚当たり重量	1枚当たり重量	1枚当たり重量	1枚当たり重量
	1枚当たりサイズ	1枚当たりサイズ	1枚当たりサイズ	1枚当たりサイズ
撤去後の屋根の現状復旧	穴埋め方法	穴埋め方法	穴埋め方法	穴埋め方法
	屋根材の補てん	屋根材の補てん	屋根材の補てん	屋根材の補てん
車両の駐車可否	クレーン車・ユニック車の駐車可否	クレーン車・ユニック車の駐車可否	クレーン車・ユニック車の駐車可否	クレーン車・ユニック車の駐車可否
	使用可能な車種(道路幅員)	使用可能な車種(道路幅員)	使用可能な車種(道路幅員)	使用可能な車種(道路幅員)
周辺スペース	足場設置スペース[m2]	足場設置スペース[m2]	足場設置スペース[m2]	足場設置スペース[m2]
	朝顔養生スペース有[m2]、無	朝顔養生スペース有[m2]、無	朝顔養生スペース有[m2]、無	朝顔養生スペース有[m2]、無
	モジュール分解のスペース有[m2]、無	モジュール分解のスペース有[m2]、無	モジュール分解のスペース有[m2]、無	モジュール分解のスペース有[m2]、無
留意点	近隣状況	近隣状況	近隣状況	近隣状況
	その他	その他	その他	その他
結果	工期	工期	工期	工期
	作業工数	作業工数	作業工数	作業工数
	足場の組み方	足場の組みか	足場の組み方	足場の組み方
	撤去後のモジュールの処分方法	撤去後のモジュールの処分方法	撤去後のモジュールの処分方法	撤去後のモジュールの処分方法

本プロジェクトの模擬屋根を使用した撤去作業の際には、事前に表Ⅲ-2-①-(2)-3のような項目の確認を行わなかったが、設置工法や設置条件に関するデータベースが整備され予め活用できた場合、足場設置の所要時間は変わらないが屋根上でのモジュール取り外しおよび地上への降ろし作業の時間は合計で25~54%程度の短縮が可能になると期待される。



表Ⅲ-2-①-(2)-4 データベースを活用した場合の撤去作業短縮効果の予測

作業工程 (1枚あたり)	模擬屋根試験の結果	予めデータベースを活用し撤去作業を行った場合の推定	作業時間の短縮効果
足場設置	2時間30分	同左	—
モジュール取り外し	約7分~11分	約5分	29~55%
屋根からの降ろし作業	約1分~2分	約1分	0~50%
取り外し、降ろし時間合計	約8分~13分	約6分	25~54%

図Ⅲ-2-①-(2)-2 太陽光パネルの荷おろしの様子



太陽電池モジュールを屋根から下ろす作業は、手おろしの場合と重機を用いる場合の双方とも一枚ずつしか下ろすことが出来ず、一枚あたり1分~2分の時間を要することが判明した。また、手降ろしの場合には、モジュールの落下事故や手の怪我の恐れもあり安全性確保においても課題が残る。

図Ⅲ-2-①-(2)-3 専用ユニック車を用いた荷おろしの様子



この課題に対する解決策として、例えば図Ⅲ-2-①-(2)-3に示すような家具やピアノ等を2階以上の住宅に運び入れる際に使用される専用のユニック車の活用が考えられる。手順としては、住宅に面した道路に専用ユニック車を駐車し、屋根の上で架台から取り外した太陽電池モジュールを毛布のような厚手の布で梱包し、専用ユニックで直接車両の荷台に降ろす方法が考えられる。屋根上に一時仮置

きできるよう足場による数㎡の仮置き場を設ければ、専用ユニック車を使用して 3~5 枚程度を同時に降ろすことができる。

## 2. 波及効果

太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトでは、太陽電池を年間 200MW 処理時に分解処理コストが 5 円/KW 以下に抑えることを最終目標としている。本事業では、太陽光発電システムの処理、リサイクルの流れの中でコスト低減とリサイクル性の向上に大きな影響を及ぼすと考えられる太陽電池モジュールの撤去工程に着目し、コスト低減とリサイクル性向上に資する撤去作業技術の提案とその実現可能性および有効性を検討し、課題の抽出と目標コストを明確化した。

本事業の太陽光発電システムのリサイクル分野での波及効果としては以下のことがあげられる。

- ・国内での撤去・リサイクル技術確立による不法投棄、不正輸出、不適正処理の防止
- ・データベースの構築による継続的な撤去技術の向上並びに撤去技術の開発加速
- ・撤去コスト及び分別回収コストの低価格化
- ・撤去の前工程及び撤去工程の簡略化
- ・効率的な撤去及び現場での分別推進によるリサイクル率の向上
- ・太陽光パネルのリサイクル率の向上による環境負荷の低減
- ・太陽光パネルの撤去・コスト低減に伴う、太陽光パネルの買い替え需要の促進
- ・撤去事業の確立による雇用の創出
- ・太陽電池の撤去技術確立による収集運搬や中間処理業などの周辺産業の振興

また、太陽光発電システムのリサイクル分野以外への波及効果としては、太陽光発電システムの製造工程への適用の可能性がある。たとえば、太陽光パネルの製造における部品数の低減やパネル自体の軽量化により環境への負荷低減につながる可能性がある。

以上、本事業より、日本のリサイクル技術の開発による技術基盤の強化が見込める。

## 3. 今後の展開

太陽光パネルの処理・リサイクルをする際には、まず必ず太陽光発電システムの撤去から始まる。このため撤去に関する技術を体系化することにより、国内での不法投棄、不正輸出、不適正処理を防止することにつながる。また、これらの業務を一手に引き受け、上記の不法行為が発生しないようにするため、撤去、運搬、処理の技術を横断的に調査、開発に取り組んでいく。

## ②低コスト分解処理技術 FS（開発）

【平成 26 年度】

### (1)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)

#### 1.成果詳細

本事業では、初期に導入され、かつ今後も普及が見込まれる結晶シリコン太陽電池を対象とし、ローラ式剥離機を使用した剥離方式を採用することでガラスと銀をそれぞれ高い品位で回収して再資源化原料とすることを検討した。

##### 1.1 小型試験機的设计・製作

太陽電池パネルからガラスを剥離するため、小型試験機を設計・製作した。本試験機は、回転する 2 本の刃付きローラ間にパネルを通すことでガラスを選択的に剥離し、銀を含有するシートとガラスを分離することが可能である。本試験機は小型であるため、パネルは長手方向に 6 分割して試験に用いた。図Ⅲ-2-②-(1)-1 に製作した小型試験機の外観を示す。



図Ⅲ-2-②-(1)-1 小型試験機

シートとガラスを高品位で回収するという目的を達成するためには、最適運転条件を見出す必要がある。本試験機はローラ回転速度、ローラ間隔、刃の形状等のパラメータを下記の通り設定することができる。

- ・シート側ローラ回転数：0～15.6rpm
- ・シート処理速度：0～163.5mm/sec
- ・ローラ間隔：0～10mm
- ・ローラの回転速度比（シート側：ガラス側）：  
（1：2.5）、（1：5）、（1：8）、（1：10）
- ・刃 7 種
  - 《1》ピラミッド小（ガラス側・シート側兼用）
  - 《2》ピラミッド大（ガラス側・シート側兼用）
  - 《3》アヤメローレット加工（シート側専用）
  - 《4》丸型（シート側専用）
  - 《5》サメ刃型（ガラス側・シート側兼用）
  - 《6》キャタピラー型（ガラス側専用）
  - 《7》螺旋型（ガラス側専用）

##### 1.2 前処理方法の検討

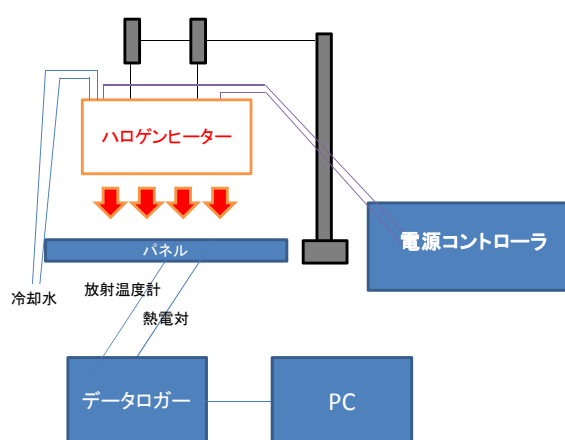
太陽電池パネルのガラスを固定している EVA は熱軟化性樹脂であり、加熱により剥離が容易になる可能性がある。パネルの加熱がガラス剥離性に与える効果を評価するため、加熱したパネルの剥離試験を実施した。表Ⅲ-2-②-(1)-1 に温度の測定結果と剥離性の定性評価を示す。

表Ⅲ-2-②-(1)-1 温度の測定結果と剥離性の定性評価

試料名称	ガラス温度(°C)	バックシート温度(°C)	炉内温度(°C)		剥離性の定性評価
			左	右	
A社No.4	48.6	52.6	64.0	64.0	容易に剥がれる。手で曲げればポロポロ剥がれる。
B社No.1	45.2	45.9	65.0	70.0	剥がれ難くEVAが納豆の様に糸を引いた。追加で10分間(積算20分間)加熱してもEVAは糸を引く状態であり、剥離性は10分間放置後と変わらなかった。
C社No.1	43.0	47.9	71.0	70.0	5分間の加熱では剥がれ難かったが、10分間加熱することにより、剥がれやすくなった。

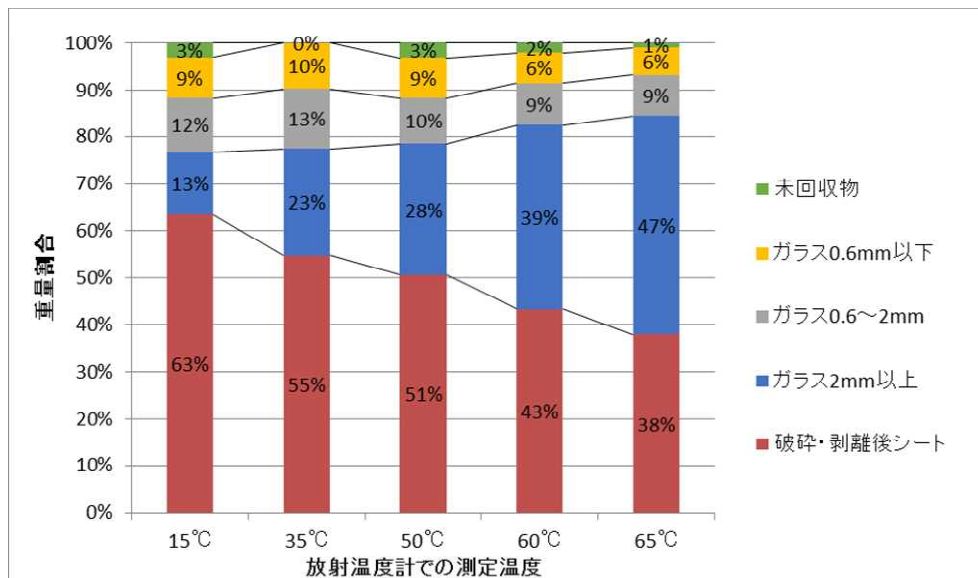
試料により程度の差はあるものの、いずれの試料も加熱後の方が剥離しやすいことが確認できた。60°C程度で加熱すれば、EVA が軟化し、ガラスが剥離しやすい状態になることがわかった。ただし、加熱後にパネルの温度が室温程度まで低下すると、いずれの試料もガラスは剥がれ難い状態に戻ったため、温度が低下しないうちに剥離することが有効である。

次にパネルの加熱方法について検討を行った。ガラスを透過して EVA を選択的に加熱できる可能性のある近赤外線（ハロゲンヒーター）を用いて検討を行った。本事業にて用いたハロゲンヒータは、棒状のハロゲンランプを使用したライン状集光加熱ユニットである。このハロゲンヒータの焦点距離は 25mm であり、焦点幅は約 1.5mm である。また、焦点距離を離すことにより広範囲を加熱することも可能である。ランプ容量は 200V・5kW と高出力が可能である。加熱対象物質の温度の計測には放射温度計と熱電対を用い、データロガーにより昇温速度を記録することができる。図Ⅲ-2-②-(1)-2 にハロゲンヒータ設置時の模式図を示す。



図Ⅲ-2-②-(1)-2 ハロゲンヒータ設置時の模式図

小型試験機を用い、投入直前にパネルを加熱することによるガラスの剥離効果を確認するため、ハロゲンヒータを用いた剥離試験を実施した。試験にはC社No.1の試料を使用した。図Ⅲ-2-②-(1)-3に加熱温度と破碎・剥離後シート及び粒度別ガラスの重量割合の相関性を示す。高い加熱温度となるほど、回収物に占めるガラスの重量割合が増加した。すなわち、シートから剥離されたガラスの重量が多くなった。65°Cに加熱した場合、2mm以上のガラス剥離量は15°Cの場合の約3.6倍となった。加熱をしてから剥離することで、常温で剥離した場合と比較してガラスの剥離量が増加し、かつ、2mm以上の比較的粒径の大きいガラスを多く回収できることが確認できた。



図Ⅲ-2-②-(1)-3 加熱温度と破碎・剥離後シート及び粒度別ガラスの重量割合の相関性

### 1.3 最適な運転条件の検討

低コスト分解・処理技術の確立と回収物の評価を行うため、製作した小型試験機の最適な運転条件の検討を行った。その結果を以下に示す。

- ・ガラス側刃の形状：ピラミッド小（10mm 角、4mm 高）
- ・シート側刃の形状：ピラミッド小（10mm 角、4mm 高）
- ・ガラス側ローラの回転速度：27.2m/min
- ・シート側ローラの回転速度：3.4m/min
- ・回転速度比（ガラス側ローラの回転速度：シート側ローラの回転速度） 1：8
- ・ローラ間隔：A 社 No.1~3、B 社 No.1 及び C 社 No.1：3.7mm  
A 社 No.4：4.0mm

上記の運転条件にてパネルのガラス剥離試験を行った。パネル種を問わず、80%程度のガラスを剥離することができた。剥離したガラスを【2mm 以上】・【0.6~2mm】・【0.6mm 以下】に篩分けし、各回収物の銀含有量を測定した結果を以下に示す。銀はガラス 0.6mm 以下に濃縮していることがわかった。銀回収対象物（剥離後シート・ガラス 0.6mm 以下）はパネルに対し重量比率約 82%であった。したがって、銀を剥離後シートに残留濃縮させるためには、剥離時に 0.6mm 以下のガラスの発生を抑えた運転条件を求める必要がある。

剥離後シート：1,800ppm (77%)	}	銀回収 82%
剥離後ガラス粒 2mm 以上：30ppm (2%)		
0.6~2mm：60ppm (2%)		
0.6mm 以下：270ppm (5%)		
未回収物：14%		

### 1.4 選別方法の検討

剥離後の回収ガラスを高有償な再資源化原料にするためには、金属や有機物等が付着していないガラスと、付着しているガラスとに選別する必要がある。そこで上記最適運転条件を用いて剥離し回収したガラスを【2mm 以上】・【0.6~2mm】・【0.6mm 以下】に篩分けし、それぞれ色彩選別機を用いて選別を行った。色彩選別機は、対象物の色の違いを識別し選別する機械である。本事業では透明物と識別したものをガラス再資源化原料、有色物を銀回収原料とし検討を行った。

本事業で用いた色彩選別機の概略仕様を示す。また、図Ⅲ-2-②-(1)-4 に色彩選別機の外観を示す。

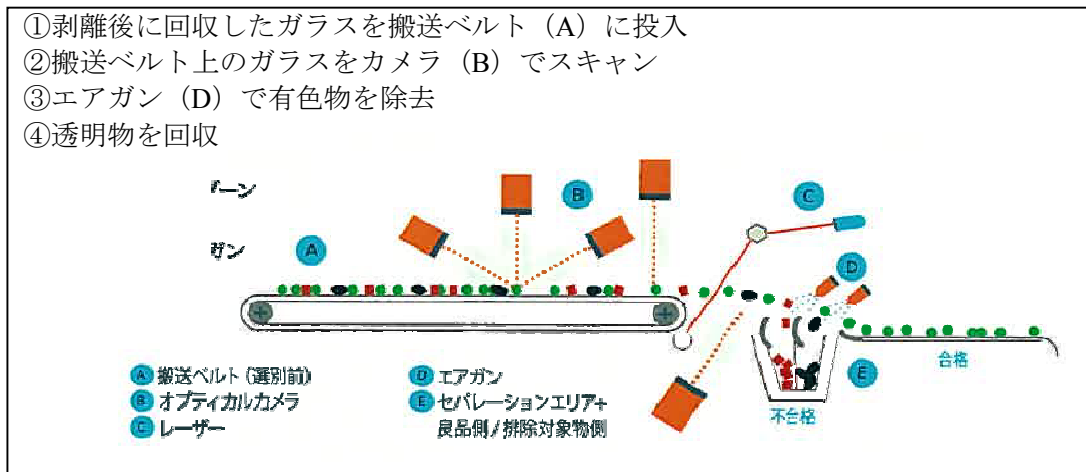
- ・エアノズルピッチ幅：10mm
- ・オプティカルカメラ：モノクロタイプ
- ・搬送ベルト：樹脂製白色
- ・搬送ベルト（検出有効）幅：640mm
- ・搬送ベルト速度：2m/s  
（可変：1.5～3 m/s）



図Ⅲ-2-②-(1)-4 色彩選別機

出典：トムラソーティング(株) GENIUS 製品カタログ

色彩選別の流れを図Ⅲ-2-②-(1)-5 に示す。



図Ⅲ-2-②-(1)-5 色彩選別の流れ

出典：トムラソーティング(株) GENIUS 製品カタログ

剥離試験で得た回収ガラスの約 20kg を用いて試験を行った。図Ⅲ-2-②-(1)-6 にガラス 2mm 以上の色彩選別時の物質収支、図Ⅲ-2-②-(1)-7 にガラス 0.6～2mm の色彩選別時の物質収支を示す。また、図Ⅲ-2-②-(1)-8 に色彩選別後の透明物、図Ⅲ-2-②-(1)-9 に色彩選別後の有色物を示す。

色彩選別前		色彩選別後	
2mm以上	100%	透明物	85%
		有色物	12%
		ロス	3%

図Ⅲ-2-②-(1)-6 ガラス 2mm 以上の色彩選別時の物質収支

色彩選別前		色彩選別後	
0.6～2mm	100%	透明物	95%
		有色物	3%
		ロス	2%

図Ⅲ-2-②-(1)-7 ガラス 0.6～2mm の色彩選別時の物質収支



図Ⅲ-2-②-(1)-8 色彩選別後透明物



図Ⅲ-2-②-(1)-9 色彩選別後有色物

色彩選別前の2mm以上のガラスのうち選別機により透明物として選別されたものは85%であり、0.6～2mmは95%であった。選別回収した有色物はほとんどが金属や有機物が付着したガラスであった。特に2mm以上の有色物については、大きなガラス粒に微量の金属や有機物が付着していたものも多く見受けられた。

ガラス0.6mm以下については粒度が細かすぎるため、選別不可と判断し色彩選別試験は実施しなかった。したがって、0.6mm以下のガラスの透明物と有色物の選別方法については別途検討していくことが必要である。

上記の試験で得られた透明物の金属付着物含有濃度及び有機物含有濃度の分析を実施した。表Ⅲ-2-②-(1)-2に色彩選別前後のガラスの金属付着物含有濃度及び有機物含有濃度を示す。

表Ⅲ-2-②-(1)-2 色彩選別前後のガラスの金属付着物含有濃度及び有機物含有濃度

試料名称	Ag (ppm)		Cu (ppm)		Sn (ppm)		Pb (ppm)		Al (ppm)		Fe (ppm)		有機物 (ppm)	
	選別前	選別後	選別前	選別後	選別前	選別後	選別前	選別後	選別前	選別後	選別前	選別後	選別前	選別後
ガラス2mm以上	30	20未満	590	10未満	70	20未満	50	50未満	40	20未満	10	10未満	2,700	260
ガラス0.6～2mm	60	20未満	1,100	10未満	130	20未満	80	50未満	100	20	350	10未満	2,100	490

各粒度共に透明物には各金属及び有機物の含有が見られなかった。色彩選別を行うことにより、ガラス再資源化原料と銀回収原料に選別することができ、選別方法として有効な手段であることがわかった。

### 1.5 処理コスト試算

本事業の結果を基に処理コストの試算を行った。まず、パネルとパネル処理速度、作業時間の前提条件を以下に示す。

- ・パネル：1枚=110W=11kg（ハーネス、アルミフレームを除去したもの）
- ・パネル処理速度：1分あたり1枚
- ・作業時間：1日8時間、月20日間操業（年間240日、1920時間操業）
- ・年間のパネル処理量：115千枚=12.67MW=1,267t

試算に用いた試験データは、回収物の分析を詳細に行ったC社 No.1のデータとし、処理コストの試算を行った。表Ⅲ-2-②-(1)-3にC社 No.1の剥離後の回収物重量比率と銀の分散状況を示す。剥離後のガラスは、使用用途を考慮し、2mm以上、0.6mm～2mm、0.6mm以下の3つの粒度に篩分けを行った。剥離前のパネルには、銀が9.1g、濃度にして590ppmが含まれていた。剥離後の回収物における銀の分散状況をみると、シートが1,800ppm（全銀量の77%）と最も高い結果となった。次いでガラス0.6mm以下、ガラス0.6mm～2mmとなり、ガラスの粒度が小さいほど銀濃度が高い結果となった。

表Ⅲ-2-②-(1)-3 剥離後の回収物の重量バランスと銀の分散状況

	回収物重量 (g)	回収物重量比率 (%)	回収物中銀含有量 (g)	回収物中銀含有比率 (ppm)	回収物における銀の分散状況 (重量比率) (%)	回収物の処理
剥離前パネル	15420	100	9.10	590	100	-
ガラス 2mm以上	6739	43.7	0.20	29	2	ガラス再資源化原料 (ガラスリサイクル業者で買取)
ガラス 0.6~2mm	2791	18.1	0.17	60	2	
ガラス 0.6mm以下	1712	11.1	0.46	268	5	銀回収原料 (製錬所で買取)
シート	3886	25.2	7.00	1801	77	
ダスト	292	1.9	1.27	4349	14	

これら銀の分散状況から、それぞれの回収物について用途を下記のように想定し、評価を実施した。

A. 銀回収原料：シート、及びガラス 0.6mm 以下

B. ガラス再資源化原料：ガラス 2mm 以上、及びガラス 0.6mm~2mm

上記Aについては、当社がスクラップを買い取る際に通常用いている計算方法により価格を算出した。銀建値は金属資源の市場価格により変動するが、提案書に記載の建値と同様、50 千円/kg と仮定した。有価金属である銅に関しては、含有量が少ないため、評価対象にしなかった。

上記Bについては、ガラスの再資源化評価より軽量骨材として再資源化可能の用途が立っており、有価物として売却できると考えられるが、試料が少なく売却価格の算定が現段階では難しいものとなっているため、本試算では 0 円と仮定した。表Ⅲ-2-②-(1)-4 に回収物の価格評価の結果を示す。

表Ⅲ-2-②-(1)-4 回収物の価格評価

回収物単価	銀回収原料	7.1 円/kg	製錬所にて銀を回収
	ガラス再資源化原料	0.0 円/kg	軽量骨材へ再生
回収物の発生量	銀回収原料	459,921 kg/年	重量比率 36.3%
	ガラス再資源化原料	783,006 kg/年	重量比率 61.8%
合計(有価物売却益)		3,265,439 円/年	

続いて、設備投資、操業コストについて試算を行った。使用する設備は以下を想定した。

- ・投入コンベヤ：パネル投入
- ・ハロゲンヒータ・ローラ式剥離機：加熱・剥離
- ・振動篩：粒度選別
- ・供給コンベヤ 2 台：ガラス供給
- ・色彩選別機 2 台：色彩選別

上記の設備一式の費用は約 106.4 百万円となる。設備に関しては 5 年定額償却とし、保守・管理費を加え、設備費は 26.6 百万円/年とした。光熱水費は上記の設備の稼働による電力使用量、電力料金から 2.164 百万円/年とした。人件費はパネルの投入に 1 人員、設備の操業管理に 1 人員、回収物の輸送及び管理に 1 人員を想定し、11.52 百万円/年とした。以上より、分解処理コストの試算結果をまとめたものを表Ⅲ-2-②-(1)-5 に示す。

表Ⅲ-2-②-(1)-5 分解処理コストの試算結果

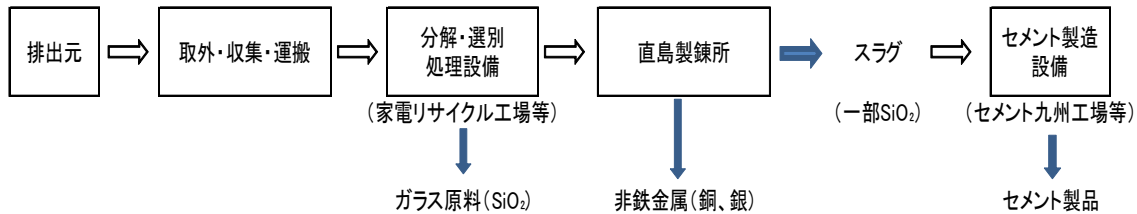
分解コスト	2.9 円/W	29.2 円/kg	1ライン当たり
		321.3 円/枚	
年間処理量	12,672,000 W	1,267,200 kg	1ライン当たり
		115 千枚	
年間処理費用		37,018,401 円/年	
内訳	材料費	0 円/年	使用予定無し
	光熱水費	2,163,840 円/年	電気代23円/kwhと仮定
	人件費	11,520,000 円/年	作業員2,000円/時・人として3名
	設備費	26,600,000 円/年	5年定額償却・保守費(起業費の5%)
	土地・建物費	0 円/年	既存の家電リサイクル工場を利用
	有価物売却益		3,265,439 円/年



上記より、パネルの分解処理コストは2.9円/Wと試算した。本設備1ライン当たりの処理能力は12.67MW/年であるため、年間200MWのパネルを処理するためには本設備が16ライン必要となる。分解処理コスト単価が変わることなく年間200MWを処理することができ、地域分散型の処理にも適応できる。太陽電池の普及実績を考慮すると、廃棄量は徐々に増加するはずであり、処理設備も並行して増設していくことが合理的である。改良を重ねることにより、後発の設備ほど設備費が小さくなり、将来的にはより低コストでの処理を目指すことができる。前述の通り、この試算においては剥離試験における未回収物の評価が含まれておらず、ガラス再資源化原料の売却価格は0円/kgと仮定しており、今後コスト評価の精度を上げるためには、剥離試験を重ね、詳細な分析や評価を行う必要がある。

### 1.6 選別ラインの設計

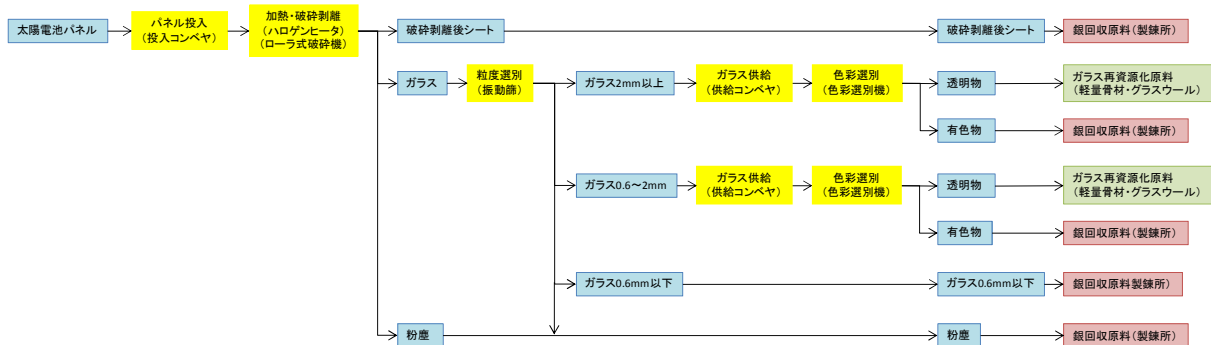
三菱マテリアル株式会社（以下MMC）は、非鉄製錬事業、セメント事業及び家電リサイクル事業を運営している。とくに家電リサイクル事業では太陽電池を製造する家電メーカと協力して運営しており、本事業のリサイクル拠点として位置付けている。これらのネットワークを利用することで、MMCの既存設備を活かした処理フローを構築することが可能である。家電リサイクル工場の有する分解・選別処理設備を利用し、太陽電池パネルの大部分を占めるガラスを分解・選別処理して取り除くことで、製錬工程向け銀の有償性を高め、ガラスを製品原料として再資源化することが実現すれば理想的である。図III-2-②-(1)-10にMMCの既存設備を活かした処理フローの構想図を示す。



図III-2-②-(1)-10 MMCの既存設備を活かした処理フローの構想図

本事業の結果及び上記フローを踏まえ、以下の剥離・選別処理の流れを想定した。また、図III-2-②-(1)-11に太陽電池パネルの剥離・選別処理の流れを示した。

- ・パネルを投入コンベヤに供給
- ・ハロゲンヒータによりパネルを加熱
- ・パネルを加熱後直ちに、ローラ式剥離機により剥離
- ・シートを回収
- ・剥離したガラスを振動篩で【2mm以上】・【0.6~2mm】・【0.6mm以下】に選別
- ・ガラス【2mm以上】・【0.6~2mm】は色彩選別機により異物の除去



図III-2-②-(1)-11 太陽電池パネルの剥離・選別処理の流れ

## 2.実用化見通し

三菱マテリアル株式会社（以下 MMC）は、非鉄製錬事業、セメント事業、及び家電リサイクル事業を運営している。とくに家電リサイクル事業では太陽電池を製造する家電メーカーと協力して運営しており、本事業のリサイクル拠点として位置付けている。MMC が運営に携わっている全国 5 社 6 工場のネットワークを活かし事業を進める。

## 3.波及効果

太陽電池スクラップの発生場所は全国に分散していることが予想される。よって集中して処理するよりも、処理工場は分散することが有効と考えられる。上述のとおり全国に展開する家電リサイクル工場に処理設備を設置することで対応可能であるとする。

## 4.今後の展開

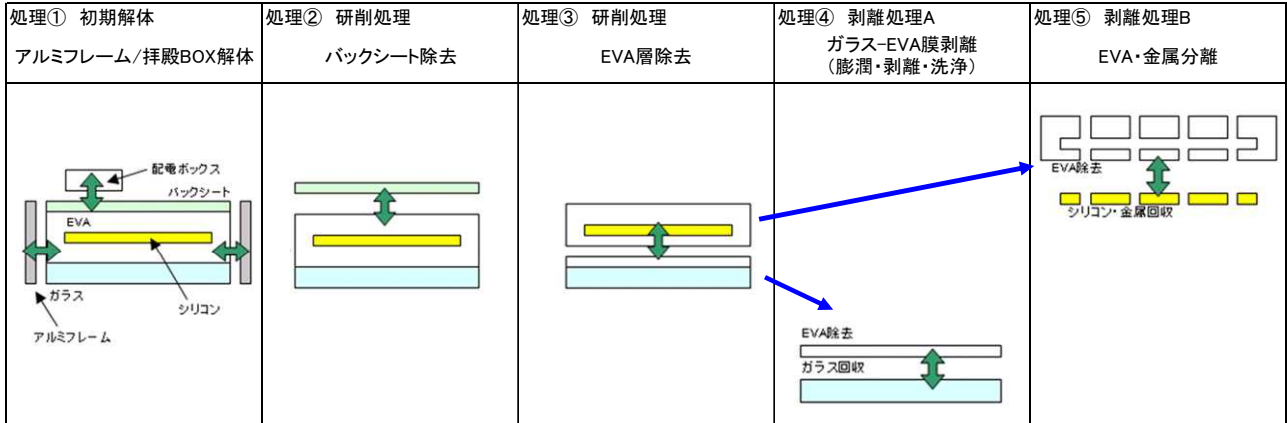
家電リサイクル工場に試験処理設備を設置し、必要なデータを取得し実証プラントの設計・製作を行う。サンプル量を増やすことで処理コストの精度を上げ、事業化展開を進める。

(2) 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）

1. 成果詳細

1.1 モジュール解体の概略工程の実現

本研究において目標とした分解工程を図Ⅲ-2-②-(2)-1 に示す。



図Ⅲ-2-②-(2)-1 解体工程図

この解体プロセスによりコスト5円/W以下を目指した。

<各工程概略>

処理①；初期解体

対象となる太陽電池パネルからアルミフレームと配電BOXを取り除く工程。  
(※今回は手作業にて実施し参考値としてデータを反映した。)

処理②；バックシート除去

裏面に貼り付けられたフッ素製バックシートを研削機により除去する工程。

処理③；EVA積層体（EVA+シリコン層）除去

処理②と同研削機にてEVA・シリコン層を研削・回収する工程。

処理④；ガラス面上の残存EVAの剥離除去

残存するEVAを剥離剤により膨潤させた後、ブラシにより除去する工程。

処理⑤；処理③で除去したEVA積層体からEVAとシリコン、金属類を分離

処理③で回収したEVA積層体からシリコン、金属類を分離・回収する工程。

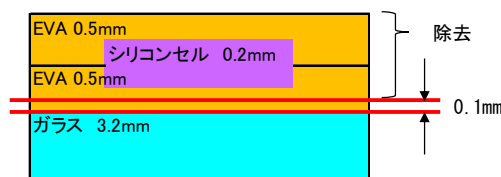
1.2 取組み課題と成果

a) 剥離液Aの消費量低減

図Ⅲ-2-②-(2)-1の、処理④において、EVAを剥離するための剥離液Aの消費量が多く、解体コストを圧迫しておりこれを低減させる必要がある。そこで剥離液に浸漬する前の研削工程（処理③）後、ガラスに残留するEVAを極限まで削減し、EVAの膨潤による剥離液消費量低減を図ることを狙った。

i) EVA含むシリコンセル層の除去

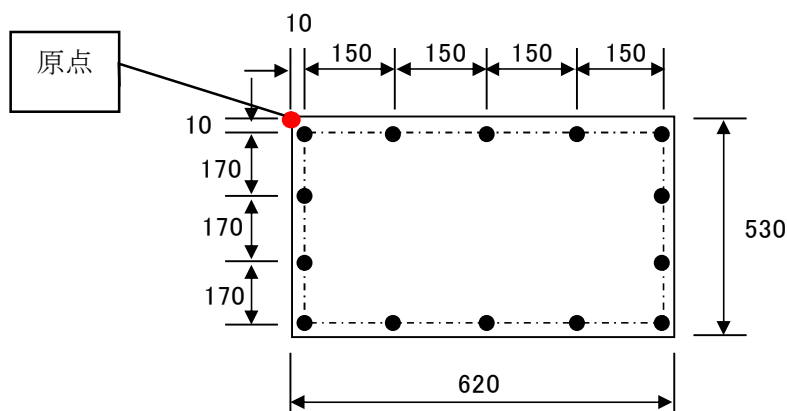
基礎ピーカー実験の結果より、200W級モジュールにおける剥離液Aの消費量は1枚当たり約2.3kgあり、計算上、約1/10の250g以下でないとコストが見合わないことがわかり、これを目標に取り組んだ。図Ⅲ-2-②-(2)-2に示すようにガラス面に残るEVA層を0.1mmを残すまで研削することをターゲットとした。



図Ⅲ-2-②-(2)-2 EVA層研削ターゲット

<得られた成果>

研削実験にサイズ ; 620mm×530mm のオリジナルテスト試料を用い、研削後の厚み（ガラス+残EVA層）はマイクロゲージにて測定。これとは別に超音波を利用したガラス厚み測定器によりガラスのみの厚みを測定。これらの差をEVA層と判定し、以下図Ⅲ-2-②-(2)-3 に示すポイントでの測定を行い表Ⅲ-2-②-(2)-1 に示すような結果が得られ目標を達成した。



図Ⅲ-2-②-(2)-3 EVA層研削後の厚み測定ポイント

n=3 Average

単位: mm

原点	10	160	310	460	610
10	0.08	0.11	0.10	0.13	0.10
180	0.08				0.13
350	0.11				0.09
520	0.09	0.14	0.10	0.06	0.07

Average	Max	Min
0.099	0.14	0.06

※原点：図Ⅲ-2-②-(2)-2 における左上部とする

表Ⅲ-2-②-(2)-1 測定ポイントにおける EVA 層厚み

ただしターゲットの 0.1mm という数字には到達したものの、マイクロゲージではガラス単面から 25mm 前後内側までしか測定できず、ガラス中央部分はデータ取得できなかった。よって今回は上記図Ⅲ-2-②-(2)-2 のポイントで測定したデータを基に次工程の剥離テストを行った。また、研削に時間を要し、1枚あたり約90分必要で今後に課題を残した。

ii) 上述 i) により残存EVAの剥離液Aによる処理において剥離液の消費量の検証  
<得られた成果>

前項 a) により、研削した試料を図Ⅲ-2-②-(2)-4 の剥離装置を使用してガラスからEVAを除去し、その際に消費された剥離液Aの量を測定したところ、テスト試料において平均 62.5g、200W 級のモジュール換算で 218.8g の剥離液Aの消費量となり、目標消費量 245g、1/10 以下を達成した。



図Ⅲ-2-②-(2)-4 実験に使用した剥離装置  
(左；剥離液浸漬ユニット、右；EVAのブラシ除去ユニット)

b) 剥離液Bの消費量低減

図. Ⅲ-2-(ロ)-b(1)、処理③での研削除去により回収した研削後のEVAとシリコンの研削混合粉（以降EVA積層体と称する）はEVAとシリコン、金属類が単に混ざっているだけではなく、EVA樹脂に粉碎されたシリコン、金属類等が埋め込まれたような形で存在しており、より付加価値を高める為にはEVA内の金属をEVAから引き剥がす手段が必要となる。そして、その剥離手段として剥離液Bを用いた剥離方法が提案されていたが、コスト低減が課題となっており分離液Bの消費量を低減する必要がある。

i) 研削後のEVA積層体からの金属類分離工程の確立

コスト面からみて、こちらも剥離液Aと同じく、200W級モジュール1枚当たり250g以下の使用量に抑えなければならない。これを加味した分離処理工程の確立を目指した。

<得られた成果>

剥離液BによるEVA-シリコン、EVA-金属の結合を剥離するための補助力として、先に物理力を付与することでEVAと金属類の剥離促進を狙った。まずは①超音波+剥離液による分離効果、②マグネットスターラーでの攪拌+剥離液による分離効果、③ハンドミキサーでの粉碎+剥離液に夜分離効果の3方式を試行し比較した結果、③ハンドミキサーのよる粉碎剥離方法がもっとも良好に金属類を回収できた。高回転ミキサーによる物理力がもっともEVAとシリコンの粉碎効果が得られ、よって、剥離液BとのEVA積層体混合前に高回転物理力を与えるプロセスを採用することとした。次に、剥離液Bの減量のためまず処理後のEVA積層体+剥離液Bの混合物から余分な剥離液を回収することを試みた。混合物を①濾過、②濾過+圧搾、③濾過+圧搾+遠心機の3条件での回収を試みたところ、表Ⅲ-2-②-(2)-2のような結果が得られた。

表Ⅲ-2-②-(2)-2 EVA積層体の剥離液B回収後の重量増加率

回収方法	重量比 [%]
EVA重量（未浸漬）	100
①濾過	約 470
②濾過+圧搾	約 220
③濾過+圧搾+遠心機	約 206

【条件】

圧搾：約 20 [kgf]

遠心機：約 1000 [rpm]×5分間

結果より、EVA積層体が剥離液Bを吸収、膨潤しその分重量が増加したことがわかる。（①で4.7倍、②で2.2倍、③で約2倍の重量となっている。）これを200W級モジュールの重量に換算すると、もっとも消費量の少ない③の方式であっても約800gの剥離液Bを要する事となり、目標の250gには程遠

いことがわかった。

試行錯誤の上、別の安価な溶媒 C を用い、従来どおりの混合+ミキサー粉碎後比重分離を実施することで剥離液 B と同じ結果が得られることがわかり、更に剥離液 B よりも短時間の約 10 分で分離可能なことも見えてきたため溶媒 C を用いたプロセスとすることとした。次の表Ⅲ-2-②-(2)-3 に剥離液 B と溶媒 C とを種々組合せ分離した場合の分離性能を記す。

表Ⅲ-2-②-(2)-3 各処理プロセスにおける比重分離後の重量分布

使用液 (剥離液→分離液)	分離層	重量分布 (%)		
		有機分画	無機分画	合計
当初プロセス B → B	上層	47	14	100
	下層	28	11	
変更プロセス-1 B → C	上層	61	16	100
	下層	1	22	
変更プロセス-2 C → C	上層	54	15	100
	下層	3	28	

ポイントとして、下層・無機分画の重量比が大きいほどシリコン、金属類を多く含むことがいえるため分離方法として最適といえる。したがって、当初プロセス（剥離処理に剥離液 B 使用し、その後放置し比重分離）よりも変更プロセス-2（剥離処理に溶媒 C 使用し、その後放置し比重分離）で同等以上の結果が得られたことがわかった。更に、変更プロセス-2 で得られた結果から有価物として高付加価値の銀 (Ag)、Cu (Cu) に着目し、それぞれの含有利率を計算すると次の表、表Ⅲ-2-②-(2)-4 のような結果が得られ、下層に比較的的金属純度の高い回収物が得られていると判断しこのプロセスを採用することとした。

表Ⅲ-2-②-(2)-4 変更プロセスにより得られた回収物中の金属含有量

項目	分析結果	
	上層	下層
銀 (Ag)	0.31 %	1.45 %
銅 (Cu)	0.07 %	13.10 %

c) 剥離液 A による処理速度向上のためのシステムの基本構成検討

1.1 項、図Ⅲ-2-②-(2)-1、処理①研削工程において 1.2-a)にて講じた研削手段により剥離液 A の浸漬時間の短縮と消費量低減に繋がった。①剥離液 A への浸漬により EVA が飽和膨潤する前に浸漬処理を終え、②ブラシによる物理的な力により EVA を除去することで当初目標としていた EVA 剥離時間 2 時間を最短 5 分まで短縮できるめどが立った。(システム詳細は g) 項に示す。)

d) 剥離した EVA・金属複合体から金属類を分離するための B 液処理の基本システム構成の検討

1.1 項、図Ⅲ-2-②-(2)-1、処理①研削工程により回収した EVA 積層体を 1.2-b)により講じた手段により比重分離を行うことでシリコン及び金属類の回収率 80%を達成でき、またその処理時間も 5 分を達成した。(システムの詳細は g) 項に示す。)

e) 各工程での回収材料とその重量一覧

オリジナルのテスト用モジュール構成材料に対して、本技術開発において解体した後の回収材料の各重量を表Ⅲ-2-②-(2)-5 に示す。

表Ⅲ-2-②-(2)-5 分解・解体により回収した材料とその重量

部材	試験モジュール処理前重量(g)	各工程で回収した材料重量(g)					回収
		①	②	③	④	⑤	回収重量(g)
アルミフレーム	3976.0	794	-	-	-	-	794
シール材(粘着材)		23	-	-	-	-	23
電源BOX(シールド含む)		69	-	-	-	-	69
ガラス		-	-	-	2554	-	2554
バックシート		-	140	-	-	-	477
EVA		-		(247)	90	247	
シリコン、金属		-	-	-	-	-	-
計						3917	

～回収率計算～

試験モジュール解体前の初期重量 ; 3,976g  
 解体後の回収物総重量 ; 3,917g . . . 回収率 ; 98.5%

※オレンジ網掛けはリサイクル可能と見る材料で、これらの合計は3,685g。  
 これらをリサイクルした場合のリサイクル率としては、全重量の92.7%がリサイクルできることになる。

g) 全工程処理コスト試算

これまで実施してきた処理によるコスト試算結果を表Ⅲ-2-②-(2)-6に示す。解体・分解処理において、5円/W以下のコストを達成した。

表Ⅲ-2-②-(2)-6 処理コスト試算結果

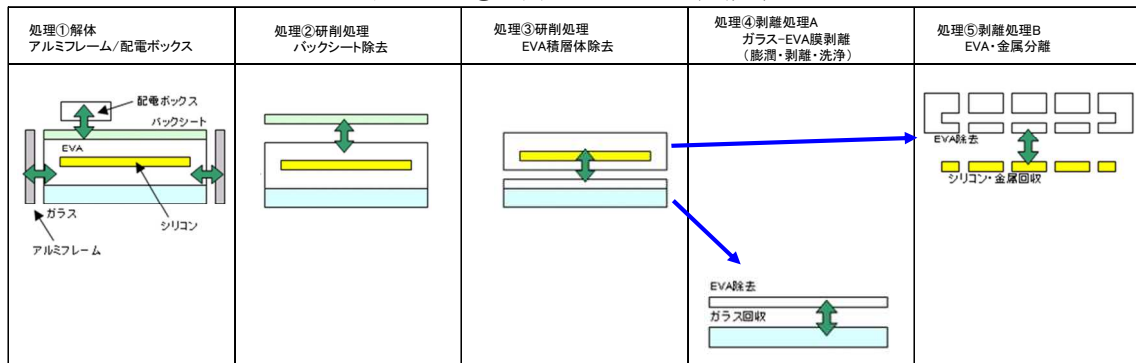
項目	目標値	達成値			備考
	円/W	円/W	円/kg	円/年	
材料費	2.63	1.24	13.06	8,574,336	剥離剤等
光熱水費	0.844	0.16	1.66	1,090,462	設備用力
人件費	0.8	2.22	23.39	15,360,000	@1,000円/人(パート, アルバイト想定)
設備費	0.806	0.65	6.89	4,520,860	設備 ; 8年償却試算、保守費用含
土地・賃借費	0.24	0.35	3.66	2,400,000	貸倉庫・貸工場HPより(*1) 弊社工場周辺150m <sup>2</sup> 程度を想定
最終処分費	0.51	0.35	3.68	2,415,882	使用済剥離剤、EVA等
合計	5.83	4.97	52.34	34,361,540	有価物売却益を含まず

\*1) <http://www.homes.co.jp/chintai/soko/nara/list/>

f) 各工程システム装置概要

i) 各工程概要

図Ⅲ-2-②-(2)-5 処理工程概略



表Ⅲ-2-②-(2)-7 各処理工程内容

工程	対象機	内容
処理①	—	アルミフレーム、配電BOX解体（手作業）
処理②	研削機	バックシートを研削、除去する。
処理③	研削機	ガラス面 0.1mm の厚さを目標に EVA、Si 層を研削し、研削片は回収し処理⑤へ回す。
処理④-1	剥離剤 A 浸漬ユニット	ガラスを剥離剤 A に浸漬させ EVA を膨潤させる。
処理④-2	ブラシユニット	回転ブラシで EVA を剥離、除去する。
処理⑤-1	粉碎ミキサー	処理③で回収した試料研削片を溶媒 C とあわせて投入し粉碎する。
処理⑤-2	剥離装置 (B)	粉碎した試料を C 液 (80℃) で比重分離させ、上層 (有機分画)・下層 (無機分画) のそれぞれを回収する。

ii) 各実験機概要

<研削機 (NC 制御ルーター) > . . . 処理②、③  
 主軸のルーター軸と丸のこ軸を備えるが今回、丸のこは使用せず。

図Ⅲ-2-②-(2)-6 研削機



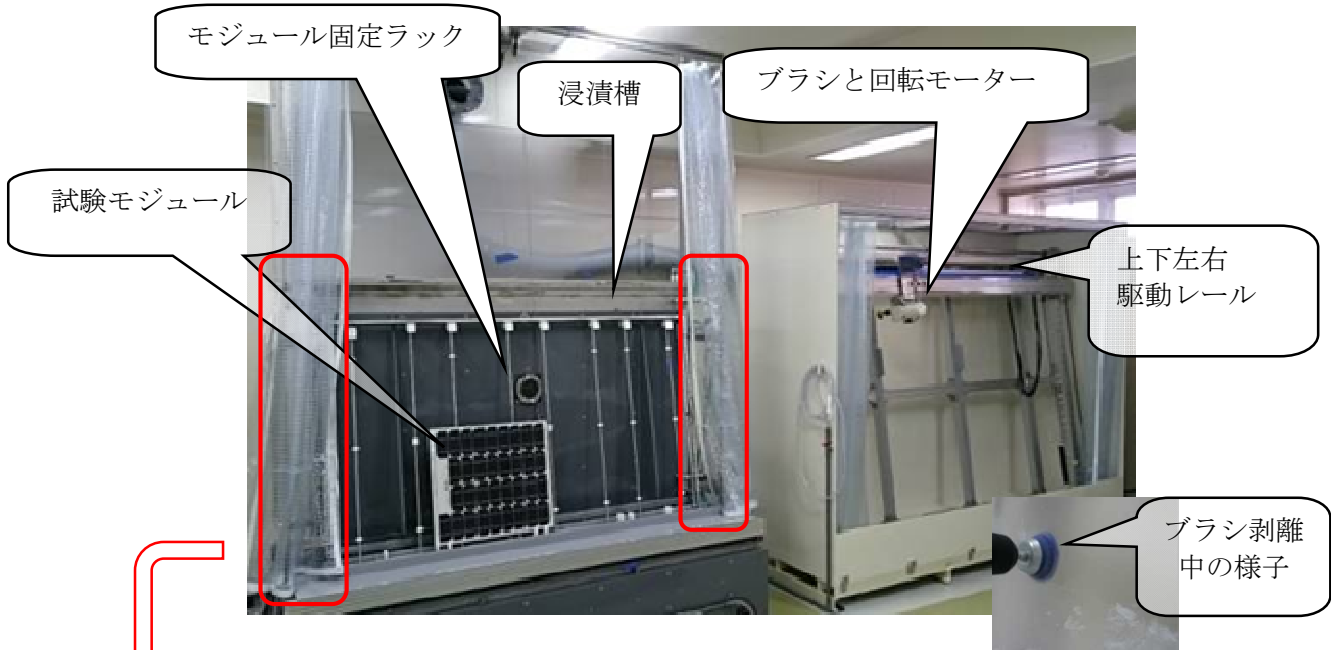
研削刃周辺に研削片回収 BOX を設置し集塵機により研削片を回収する。

モジュールはバキュームポンプにより真空吸着、固定し、研削する。



<EVA 剥離装置（浸漬ユニット、ブラシユニット）>・・・処理④

処理③により粗方の EVA・シリコン層を除去したモジュールからガラスのみを回収するため EVA 層を膨潤剥離、ブラシ剥離させる装置。剥離剤 A に浸漬するユニットとブラシにより剥離するユニットに分けた。



図Ⅲ-2-②-(2)-7 剥離装置（左；浸漬ユニット、右；ブラシユニット）



図Ⅲ-2-②-(2)-8  
超音波発振子

超音波  
発振子

～浸漬ユニット～

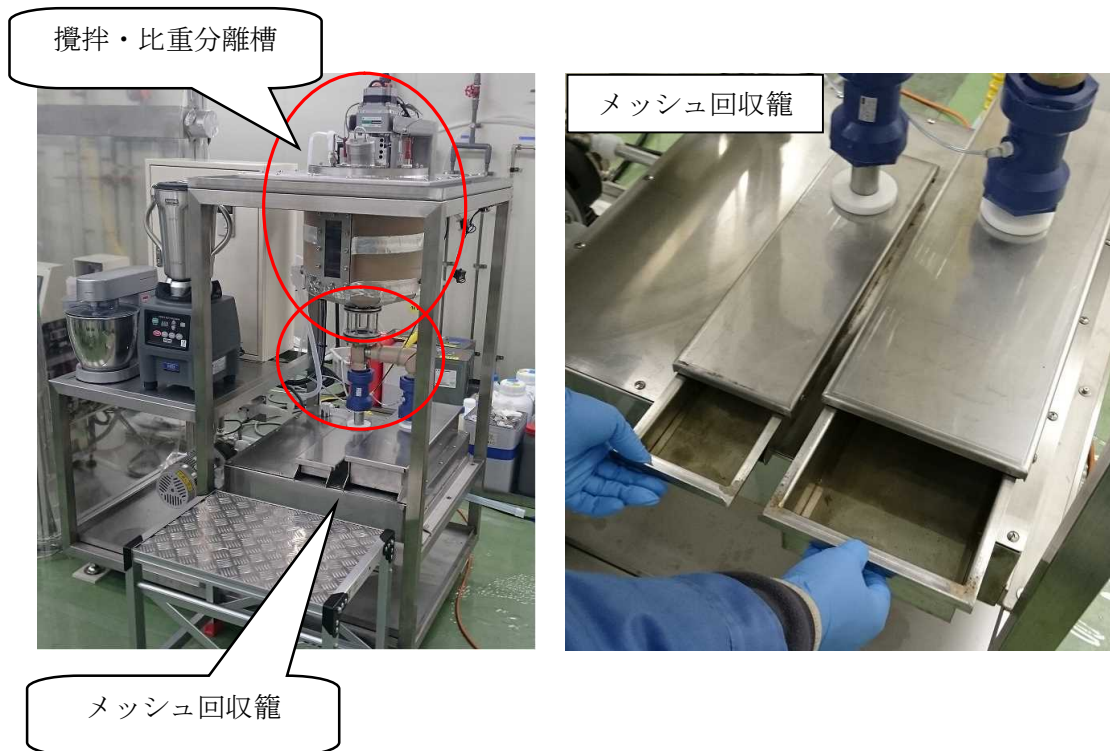
- ①モジュール固定ラックに処理するモジュールをセットしラックごと浸漬槽へ投入。
- ②浸漬槽左右に超音波発振子を取り付け、浸漬中のモジュール表面の EVA を膨潤させると共に、ガラス界面への剥離力アップを狙った。38kHz、100kHz、160kHz を一定時間間隔で自動変更が可能。

～ブラシユニット～

浸漬、膨潤後のモジュールをブラシユニットにセットし X-Y 動作軸により駆動するブラシによりガラス上の EVA を除去させる。

<EVA/シリコン金属分離装置（分離ユニット）>・・・処理⑤

モジュールガラス上から研削・回収した EVA 積層体から EVA 成分の多い有機分画、シリコン・金属成分の多い無機分画に分離する為の装置。積層体粉碎装置と比重分離装置から成る。



図Ⅲ-2-②-(2)-9 比重分離装置

#### 比重分離、回収装置

粉碎後の EVA 積層体試料をムラ無く分離させるために攪拌機構を搭載し、上層の有機分画、下層のシリコン、金属類の回収は液の流下によって回収籠で回収する。上層、下層は分別回収する為にバルブを切り替えて回収する。

## 2. 実用化見通し

### (1) 想定しているビジネス形態

本研究開発成果において、弊社が想定しているビジネス形態は以下3つある。

- ①太陽電池モジュール用リサイクルシステムの製造・販売（装置・剥離剤）
- ②太陽電池モジュール用リサイクルシステム・レンタル事業（メーカー、解体業者工場処理、各都道府県自治体）
- ③太陽電池モジュールリサイクルサービスの事業化（東邦化成社内処理）

来たるべき太陽電池モジュールの大量排出時代に備えて、処理に関わる潜在的ユーザーが、どのような現場においても使用しやすい簡便でコンパクトなシステムをノウハウ付きで提供したい。また、当該市場を育成する観点から、潜在的ユーザーが参入しやすい技術環境を整える目的で、システムの販売だけでなく、弊社の立地を生かしたレンタルやサービスの受託など、実用化に向けた幅広い選択肢の提供も検討したい。

### (2) 実用化見通し

技術開発の観点から本年度、リサイクルシステムの見立て、処理コストの試算を行った結果、弊社にとってもっともハードルの高い上記③を想定した場合のビジネス形態の実現性が見えてきた。まだ弊社として調査の及んでいない物流関係コストに関しては課題を残すものの、解体リサイクルの観点からは有価物売却益を含まずとも5円/W以下での処理が可能であることがわかった。この結果から、まずはモジュールメーカーと手を組み、メーカーに戻ってくるモジュールの解体処理から始め、本格大量処理に向けたノウハウを蓄積し5年、10年先に来る大量廃棄に備える予定。

### (3) 実用化に向けた課題

事業化に向けて、今後以下の課題がある。

- ①本格的なパイロットラインを使用したビジネスモデル実証

②物量を意識した廃棄モジュールを想定したコスト試算

③リサイクル法等の規制対応

まず、来年度①の実証を行いつつ、廃棄モジュールの収集ルート、回収物のリサイクルルート確保を行いビジネスモデル実証を行い、事業化への道筋をつける。

### 3. 波及効果

大規模プラントではなくコンパクトな処理システムを構想。これによりリサイクルが各拠点で実施でき、まずは小規模ラインでのリサイクル処理から始めることが可能。処理量の増加に伴いシステムを増設すれば対応できることから地方分散型のリサイクルシステムが実現できる。年々増加していくであろう廃棄モジュールにあわせてシステムを設置できることから、自治体、リサイクル事業者等が手を出しやすいことが予想できるため、社会システムの構築も平行して行えるメリットがあり、廃棄量と同時に普及すると考える。

### 4. 今後の展開

(1) プロジェクト研究期間中 (H26～H30)

実証装置による処理コスト検証及び回収有価物の売却ルートの確保とそれら情報による事業性の検証を行う。また、事業開始の準備段階としてのビジネス形態の方向性を見定める。

(2) プロジェクト終了後 (H31～)

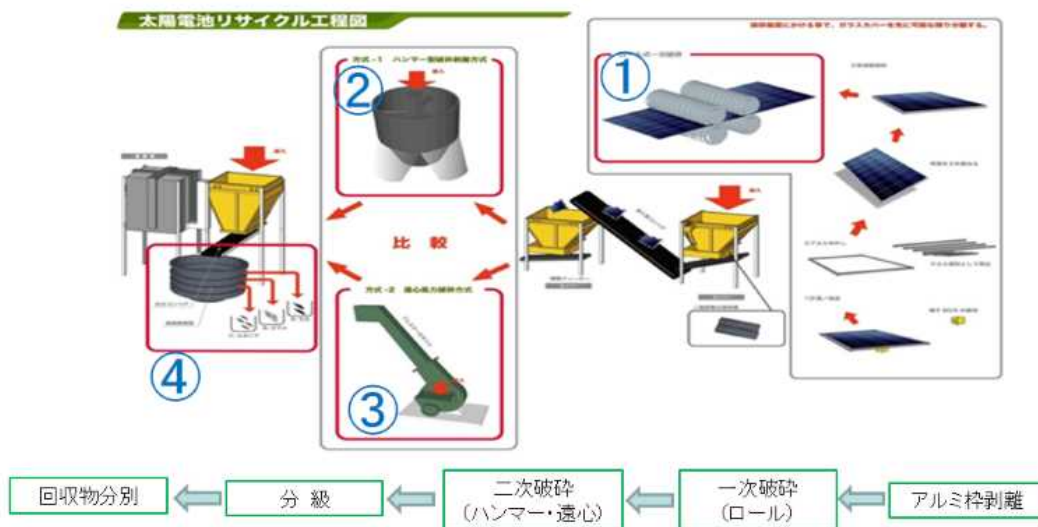
ビジネスの開始。まずは小規模ながらもメーカー、自治体等協力の下リサイクル事業を開始する。また、現在結晶系モジュール特化の為、薄膜系など多種モジュールのリサイクル法の開発を模索して行く。

(3) 結晶シリコン太陽電池の低コスト分解処理技術の調査／開発（市川環境エンジニアリング、ホンジョー、鹿島建設）

1. 成果詳細

(1) 調査の概要

現在広く普及し、今後大量廃棄が見込まれる結晶シリコン太陽電池を対象とした低コスト処理技術の開発を行った。太陽電池の処理工程として、図Ⅲ-2-②-(3)-1 のようなフローを想定した。まず図中①のロール式破碎機にて太陽電池の 70%程度（重量比）を占めるガラスをガラスカレットとして回収する。その後、②ハンマー型破碎剥離機、もしくは③遠心風力破碎機にてさらにガラスとシート状のセル層の分離後、④の分級機で処理物の回収を行う工程である。4 種類の機器（①ロール式破碎機、②ハンマー型破碎剥離機、③遠心風力破碎機、④分級機）を作成し、各機器の太陽電池処理状況を調査し、得られた回収物の割合や市場調査を行った。ハンマー式破碎剥離機と遠心風力破碎機は処理状況を比較してどちらが優れているかを評価した。



図Ⅲ-2-②-(3)-1 処理フロー

なお、処理実験には 26 種類の太陽電池を調達し処理実験を行った（図Ⅲ-2-②-(3)-2）。



図Ⅲ-2-②-(3)-2（左：太陽電池パネル搬入状況、右：搬入された太陽電池）

## (2) ロール式破砕機

まず、重量比で太陽電池の70%程度を占めるガラスを純度の高い状態で回収するためのロール式破砕機を開発した(図Ⅲ-2-②-(3)-3)。本装置は、上下にロールを持ち、その間にガラス面を表にした2枚の太陽電池を投入することによって、太陽電池表面のガラスを破砕・剥離する装置である。処理後は図のように太陽電池表面のガラスが粉砕され、カレットとして回収可能になる(図Ⅲ-2-②-(3)-4)。この装置の最適な運転条件を求めるためにロール間隔(5 mm~8 mm)、ロール形状(凹凸型、△型(図Ⅲ-2-②-(3)-5)、太陽電池の送り速度のガラス回収に及ぼす影響を評価した。



図Ⅲ-2-②-(3)-3 ロール式破砕機 (左：外観、右：投入状況)

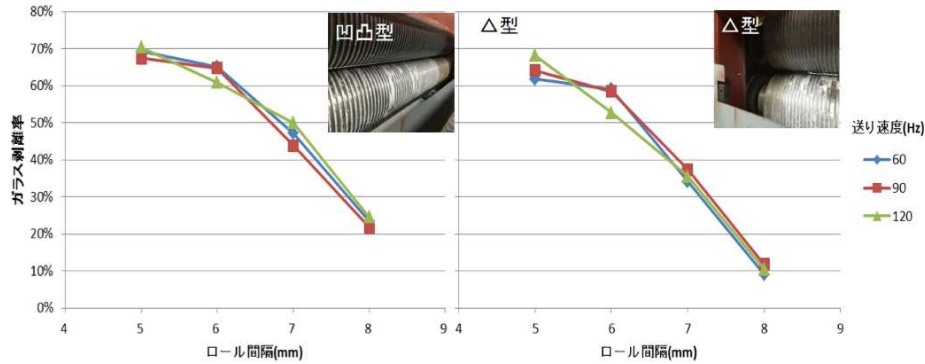


図Ⅲ-2-②-(3)-4 ロール式破砕機処理後の太陽電池



図Ⅲ-2-②-(3)-5 ロールの形状 (左：凹凸型、右：△型)

ロールの形状としては凹凸型が△型より優れている結果となった(図Ⅲ-2-②-(3)-6)。ロール間隔としては狭いほどガラス剥離率は良好であったが、5 mmでは他の物の混入も多くなり、6 mmが最適であると判断した。送り速度については大きな影響はなかった。



図III-2-②-(3)-6 ロール間隔、送りスピード、ロール歯形状とガラス剥離率の関係

(2) ハンマー式破碎剥離機、遠心風力破碎機

次に更なるガラス剥離による回収物の高付加価値化を目指し、2種類の処理機（ハンマー式破碎剥離機、遠心風力破碎機）を製作し、処理状況の比較検討を行った。ハンマー式破碎剥離機は内部に高速回転するハンマーを持ち（図III-2-②-(3)-7）、これと太陽電池シートがぶつかりさらにガラスとシート状のセル層を分離する装置である。遠心風力破碎機は鉛直方向に回転するロールに処理物を投入し、打撃破碎、軽いものは上部へ、重いものは下部へ移行させることで回収物の分離を図る装置である（図III-2-②-(3)-8）。

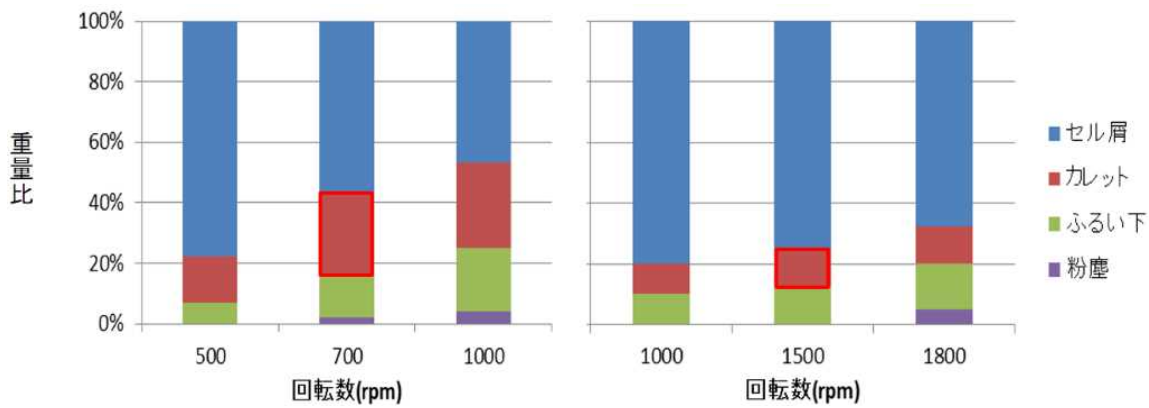


図III-2-②-(3)-7 ハンマー式破碎剥離機（左：外観、右：内部）



図III-2-②-(3)-8 遠心風力式破碎機（左：外観、右：内部）

比較の結果、ガラスの剥離率はハンマー式破碎剥離機の方が良好な結果となった（図III-2-②-(3)-9）。したがって太陽電池の処理に関してはハンマー式破碎剥離機が優れているという結論を得た。



図III-2-②-(3)-9 ハンマー式破碎剥離機（左）、遠心風力破碎機（右）での処理結果

### (3) 分級機

次に回収物を回収する振動篩型の分級機の検討を行った（図III-2-②-(3)-10）。2 段のメッシュを持ち、サイズによって回収物の分離を行う装置である。



図III-2-②-(3)-10 分級機（左：外観、中央：パンチングメタル、右：メッシュ）

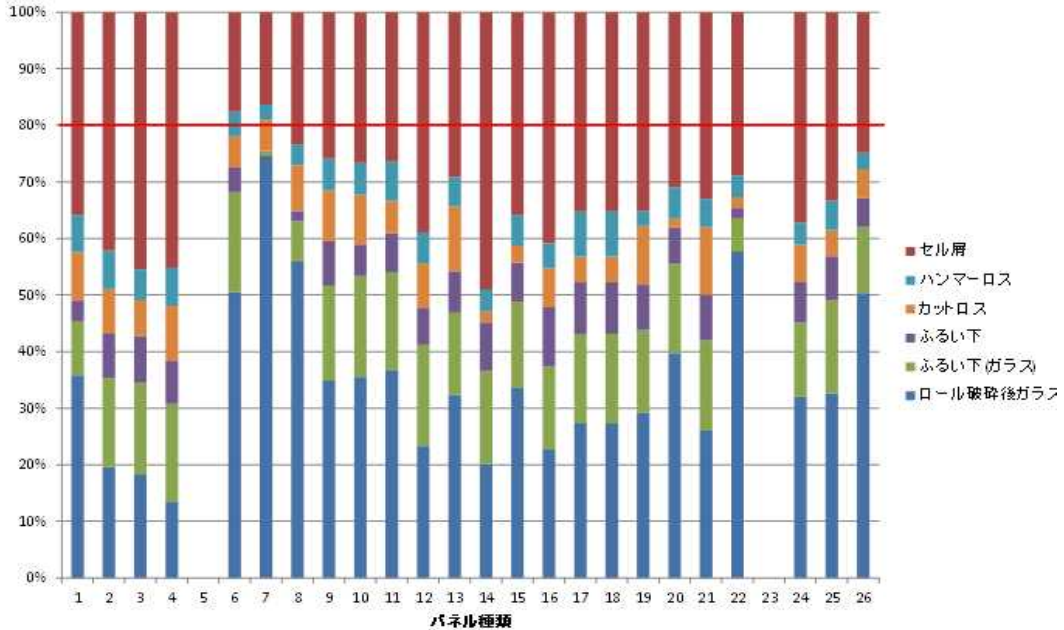
孔径 1 cm のパンチングメタルによって、シート状のセル屑が効率よく回収されることが明らかとなった（図III-2-②-(3)-11 左）。次に孔径 2 mm のメッシュによって、ガラスカレット、金属片の回収が可能であり（図III-2-②-(3)-11 中央）、残りは微粉末として回収された（図III-2-②-(3)-11 右）。



図III-2-②-(3)-11 回収物（左：セル屑、中央：ガラスカレット及び金属片、右：微粉）

(5) 実際の太陽電池の処理状況

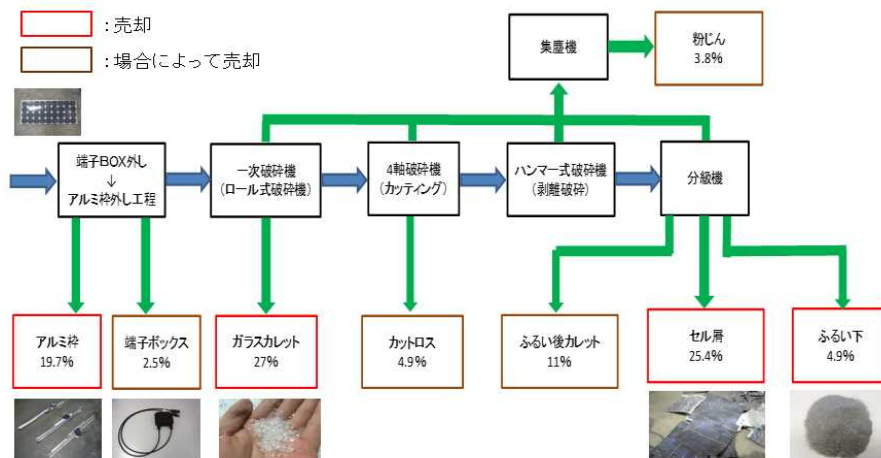
以上の結果からロール式破碎機→ハンマー型剥離破碎機→分級機という処理フローを想定した。取り寄せることのできた26種類の太陽電池パネルを処理した結果、図Ⅲ-2-②-(3)-12に示すような割合で回収物を得る結果となった。太陽電池の種類によって処理結果はかなり異なった。図中の80%の赤線はアルミ枠や端子ボックスを除いたガラスの重量割合となるが、No.7はほとんどのガラスがロール式破碎機で回収されたが、No.4のようにロール式破碎機でガラスがあまり回収されないものもあった。No.7ではセル層の割合は低いのに対して、No.4ではセル層の割合が高い。これは太陽電池の種類によって、ガラスが剥離されやすいものとされにくいものがあることを示すものである。平均するとアルミ枠、端子ボックスを除いた太陽電池総重量を100%とした時、35%がガラスカレットとしてロール式破碎機で回収さ、ハンマー型剥離破碎機、分級機の工程で14%がガラス粉（ふるい下）、33%がセル層、6%が微粉（ふるい下）として回収された。残りはカットロスと集塵装置へ吸引された粉塵である。



図Ⅲ-2-②-(3)-12 26種類の太陽電池の処理結果

(4) 処理工程

以上より、処理工程としてはアルミ枠、端子ボックスの剥離の後に①ガラス破碎機によるガラスカレットの回収、②ハンマー式破碎剥離機による更なるガラスとセル層の分離、③分級機による回収物の分離、という工程を確立した（図Ⅲ-2-②-(3)-13）。また各回収物の比率は図に示す数値となった。



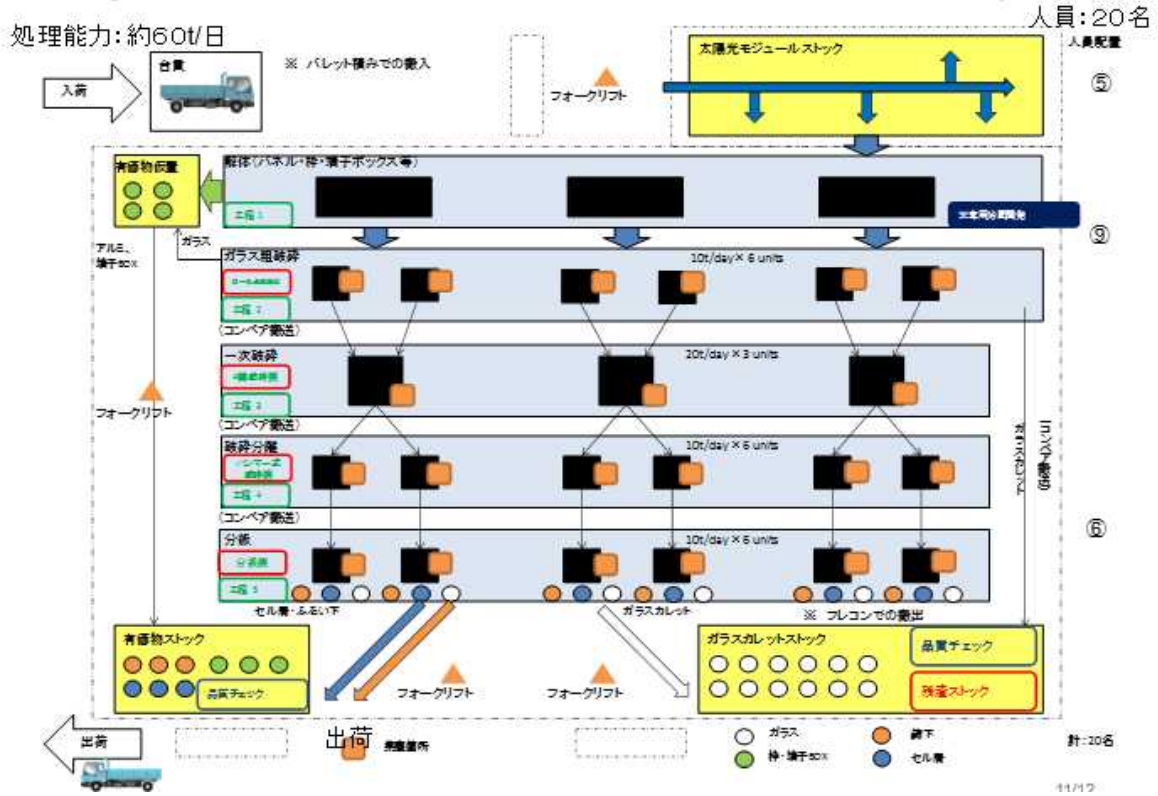
図Ⅲ-2-②-(3)-13 マテリアルフロー図



(7) 事業性評価

回収物はアルミ、ガラスカレット、セル屑、微粉となったが、それぞれ取り扱い業者にサンプルを持ち込んで評価した結果、有価（アルミは111円/kg、ガラスカレットは1円/kg、セル屑は3円/kg、微粉は13円/kg）での売却の見込みが立った。

そして200MW/年の太陽電池を処理した時の事業性の検討を行った。太陽電池1枚を200W、15kgとすると、処理能力約60t/日の処理工場が想定された（図Ⅲ-2-②-(3)-14）。施設建設費用、運転費用、回収物売却益等を考慮し、事業性を検討した結果、2円/W以下での処理の見通しを得た（表Ⅲ-2-②-(3)-1）。



図Ⅲ-2-②-(3)-14 事業化イメージ

表Ⅲ-2-②-(3)-1 事業性評価（200MW/年処理時）

項目	金額	備考	
売上(有価物売却益)	376,576,000円/年		
内訳	枠(アルミニウム)	349,872,000円	
	セル屑(銀)※0.1%以上含有	12,192,000円	
	ふるい下(銀)	10,192,000円	
	ガラス	4,320,000円	
原価合計	440,179,880円/年		
内訳	材料費(資材・機材費)	20,000,000円	フレコン、梱包材
	光熱費	40,000,000円	1000kw × 7h × 250日 × 23円/kwh
	人件費	100,000,000円	20名 × 500万
	設備費(3ライン)	54,250,000円	設備費5.42億円、10年償却
	建物建築費(衛生設備含む)	32,500,000円	建物費6.5億円、20年償却(5,000m <sup>2</sup> × 130,000円/m <sup>2</sup> )
	土地賃借料	5,000,000円	500円/m <sup>2</sup> × 10,000m <sup>2</sup>
	廃棄物処分費 ※1	123,200,000円	3520t/年、35,000円/t(22%)
	一般管理費	48,954,880円	売上の13%
	維持管理費	16,275,000円	設備費の3%
売上ー原価	-63,603,880円/年		

※1 端子BOX、カットロスを処理するものとします。

## 2. 実用化見通し

第一に、現時点で廃棄される太陽電池パネルは多くが太陽電池製造メーカーからの不良品もしくは設置時の破損品さらには台風や積雪等による破損品であるが一定量が常に廃棄されており、2020年ごろからはRPS制度や補助金さらにはFIT制度で急激に導入された大規模な太陽光発電所等から使用済太陽光発電システムが大量に廃棄されてくると想定できること。第二に、廃棄太陽電池パネルの処理後に回収されるガラスカレット及び銀等を含むセル層も一定の価値（有価性）が期待できること。第三に、年間200MWの太陽電池パネルを処理すると想定した時の処理費が0.32円/W程度で対応可能であること。以上①②③より今後大量に廃棄されてくる太陽電池パネル処理事業における市場性や経済性さらには環境負荷低減等の効果は高いと判断できることから、太陽電池パネルリサイクルの実用化及び事業化は今後数年の内に活発化すると想定する。

## 3. 波及効果

廃棄される太陽電池パネルには使用できないもののほかまだ十分に使用できるものも混在していると想定されることから、太陽電池パネルのリサイクル事業の延長線上にリユース事業との一体化学業への展開波及が容易に予想される。

さらには、ガラス主体のガラスと金属と樹脂の混合体である太陽電池パネルのリサイクル事業が進めば、樹脂を階層化した合せガラスや強化ガラスの処理も同様に処理可能となることから、今後の超高層建物の老朽化に伴う建物解体時に廃棄される複合窓ガラスや強化ガラス、廃棄自動車のフロントガラス等の処理事業への拡大をも念頭においた総合ガラス処理事業への波及が期待できると予想する。

## 4. 今後の展開

本事業で得た成果を基礎として、近い将来に予想される使用済み太陽電池の大量廃棄期に向けてできるだけ早く事業化したいと考える。但し、大量廃棄期が到来する前に近年の異常気象（大型台風、ゲリラ豪雨、竜巻、洪水等々）による破損時の損害保険等によりまだまだ使用可能な太陽電池パネルも廃棄されてくることから、リユースも含めた総合処理事業の立上げと全国の処理ネットワークの構築を進め来べき大量廃棄の時代に備えたいと考える。

(4) 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（エヌ・ピー・シー、日本スペリア社、産業技術総合研究所）

## 1. 成果詳細

### 研究開発項目の「太陽電池モジュールのガラスとEVA/セルの分離」の目標の設定根拠

目標：サイクルタイム 50 秒/枚

図Ⅲ-2-②-(4)-1 目標設定試算表

#### 太陽電池モジュール仕様(想定)

モジュールサイズ	1000×1650	mm
モジュール出力	240	W

#### 前提条件

目標処理額	5	円/W
年間処理量	200,000,000	W
年間処理枚数	840,000	モジュール
年間処理金額	1,000,000,000	円

#### 処理条件(想定)

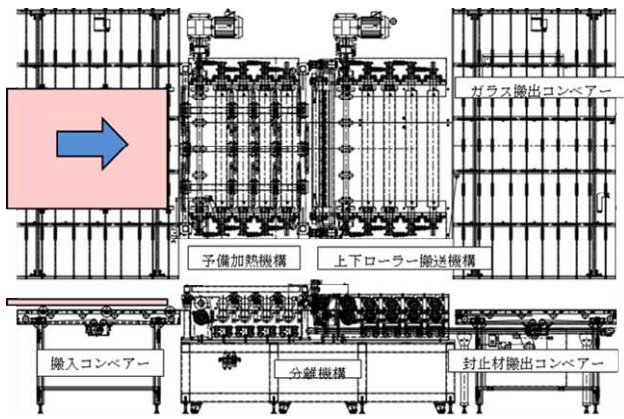
年間稼働日	345	日/年
稼働時間	21	時間/日
年間稼働時間	7,245	時間/年
稼働率	90%	
実稼働時間	6,521	
必要処理能力	129	モジュール/時
処理タクト	28	秒/モジュール

以上の通り年間 200MW の太陽電池モジュールを処理することを前提とすると必要な処理タクトは 28 秒/枚となる。

サイクルタイム 50 秒/枚の設備を 2 台とすると、目標処理コストを達成することが確認できたため、設備 1 台当たりの能力を 50 秒/枚と設定した。

### 研究開発① 太陽電池モジュールのガラスとEVA/セルの分離

1. 単セルモジュールで 200℃に加熱すると EVA/セルを分離できることを確認
2. ガラスとセル/EVA の分離装置の製造 1000×1700 mm  
 上下駆動ローラーにて挟み込み投入 搬送速度 40 mm/sec  
 IR ランプで予備加熱し、200℃に加熱した刃で分離  
 ガラスは上部ローラーコンベア、EVA/セルは下部ベルトコンベアへ搬送



図Ⅲ-2-②-(4)-1 ガラスと EVA/セル分離装置図面



図Ⅲ-2-②-(4)-2 ガラスと EVA/セル分離装置写真

### 3. 分離テスト、評価結果

処理能力 50 秒/枚を達成

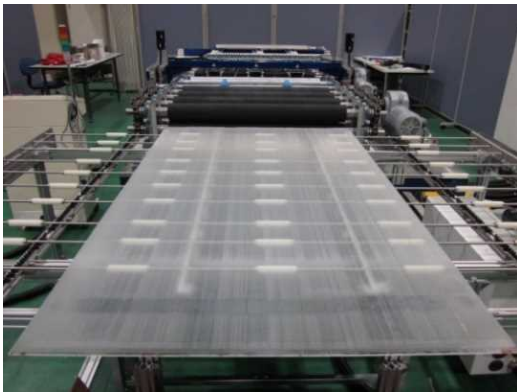
刃温度 150-200℃で酸化に伴う変色なく分離可能

ガラスが割れることなくガラスと EVA/セルを分離

### 4. 今後の課題

平均 7 割程度は分離可能、ガラスに追従させる機構を追加

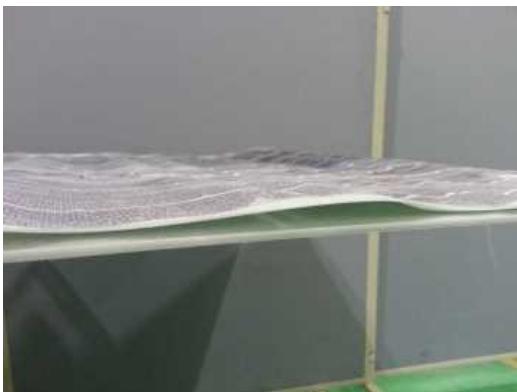
使用済み様々な太陽電池モジュールの処理や刃の耐久性の検証



図Ⅲ-2-②-(4)-3 分離後ガラス写真



図Ⅲ-2-②-(4)-4 分離後 EVA/セルシート写真



図Ⅲ-2-②-(4)-5 分離後の横からの写真

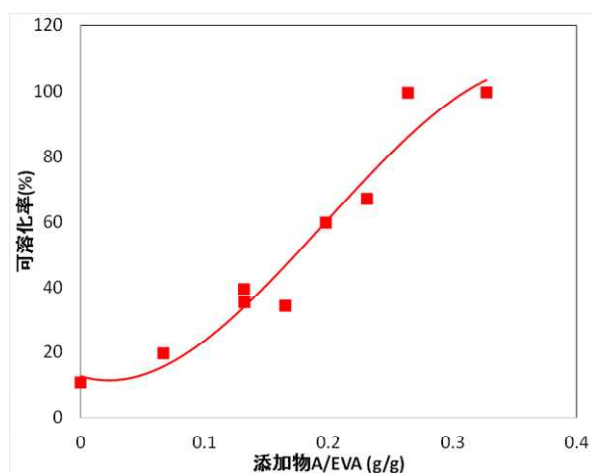


図Ⅲ-2-②-(4)-6 分離後の EVA/セルの受講面側写真

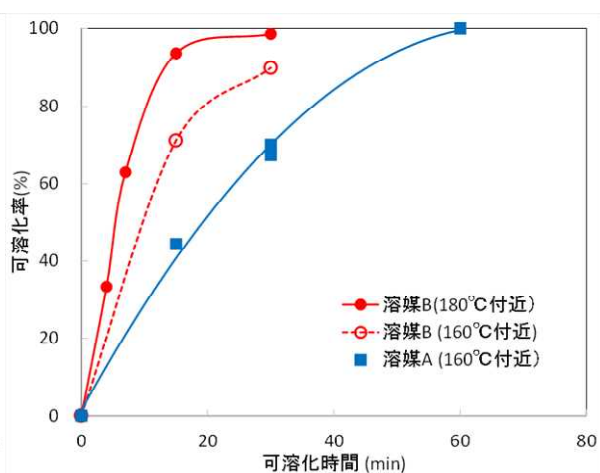
## 研究開発② 可溶化法による EVA/セルからの資源回収

太陽電池モジュールに封止材として使用されている架橋化されたエチレン酢酸ビニル共重合体 (EVA) は、EVA にトリアリルイソシアヌレート等の架橋化剤を添加し、150~160℃加熱して架橋を成形させて製造される。架橋化反応は主にアセチル基の水素と架橋剤との間で起こり、架橋化率は加熱温度が高く加熱時間が長くなるにしたがって高くなり、通常架橋化率は 85%以上で使用されている。架橋内にはエステル結合が含まれていると考えられるので、本研究では、架橋に含まれるエステル結合を溶媒とのエステル交換反応によって開裂させ、EVA を可溶化して金属やシリコンを分離回収することを目指す。

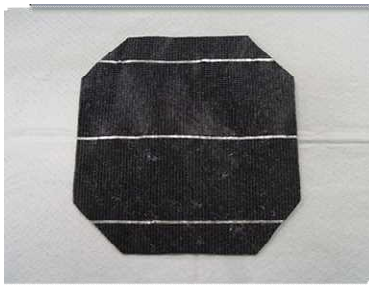
1. 架橋化された EVA の可溶化率は、アルカリ A の添加量に比例して増加した。
2. 架橋化された EVA は、溶媒 B 中 15 分で 90%以上可溶化された。
3. EVA を溶媒 B 中 180℃付近 30 分で処理すると、EVA がほぼ完全に可溶化され、金属・シリコンが回収された。
4. 今後の課題  
スケールアップのための基礎データを蓄積する。



図Ⅲ-2-②-(4)-7  
架橋化 EVA の可溶化に対するカリウム A の添加効果 (溶媒 A、157℃、60min)



図Ⅲ-2-②-(4)-8  
架橋化 EVA の可溶化速度に対する溶媒および可溶化温度の影響 (アルカリ/EVA=0.33)



溶媒A ↓ 可溶化率 99%



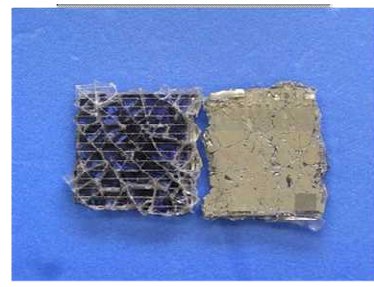
図Ⅲ-2-②-(4)-9 ガラスを切り剥がした太陽電池モジュールから回収された金属およびシリコン



溶媒B ↓ 可溶化率 99%



図Ⅲ-2-②-(4)-10 新しい太陽電池モジュールから回収された金属およびシリコン



溶媒B ↓ 可溶化率 97%

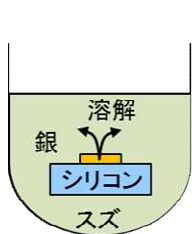


図Ⅲ-2-②-(4)-11 使用済み太陽電池モジュールから回収された金属およびシリコン

### 研究開発③ PV モジュールより分離する金属回収技術の開発

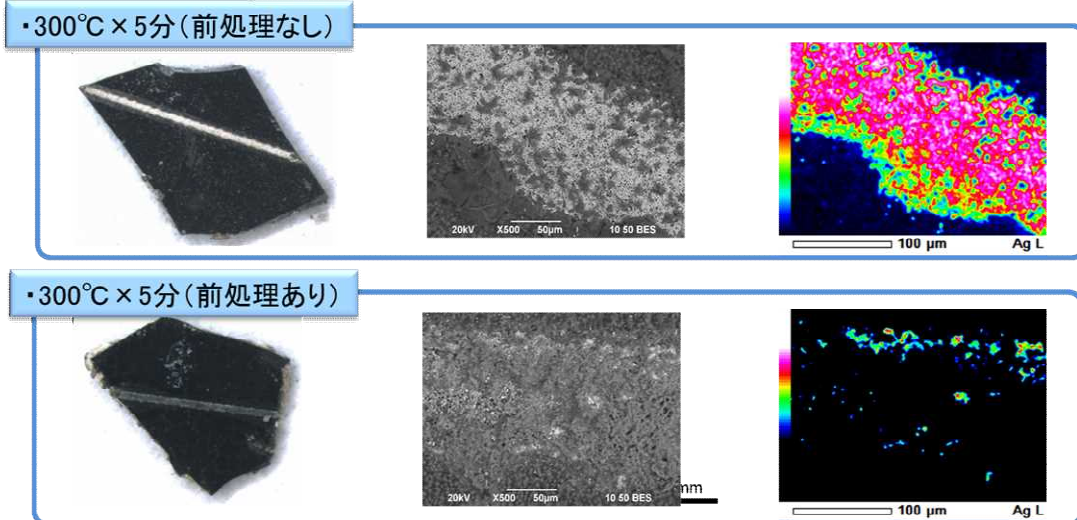
EVA を可溶化して回収した残渣（セル、配線材料など）を熔融スズに浸漬し、はんだ接合で生ずる溶食という現象を利用して金属をスズに溶かし込み、目的とする金属を分離回収することを検討する。

表Ⅲ-2-②-(4)-2 処理条件表



前処理	処理条件		結果
	温度	時間	
なし	300℃	5分	×
有機酸	300℃	5分	△
無機酸A	300℃	5分	○
無機酸B	300℃	5分	○
無機酸C	300℃	5分	○

○：銀が溶解  
△：銀が一部溶解  
×：銀がほとんど溶解しない



図Ⅲ-2-②-(4)-12 金属分離回収の図

太陽電池セルのスズ槽への銀の溶出実験を行った結果、熔融スズ槽温度 300℃、無機酸で前処理を行った状態であれば、ほとんどの銀がセルからスズ槽に溶出することが確認された。

1. 清浄なセル片を用いた場合、300℃ 15分で89%の銀が回収できた。
2. 太陽電池モジュールを可溶化して得られた金属・シリコンからは、51%の銀が回収された。
3. 今後の課題
  - ・ 熔融錫スズとセルとの接触が重要（表面の前処理が必要）
  - ・ 装置、条件を変更することによって、回収率の向上は可能と考える。

スズ槽を用いた銀の回収

- ・ モジュール化していないセル：約 12g（セル 1 枚分）

表Ⅲ-2-②-(4)-3 銀回収率表 1  
15 分間攪拌

温度	Ag回収率(%)
300℃	89
350℃	88
400℃	75

- ・ 太陽電池モジュールから可溶化して回収した金属・シリコン：約 482g  
(モジュール 1 枚分)

表Ⅲ-2-②-(4)-4 銀回収率表 2

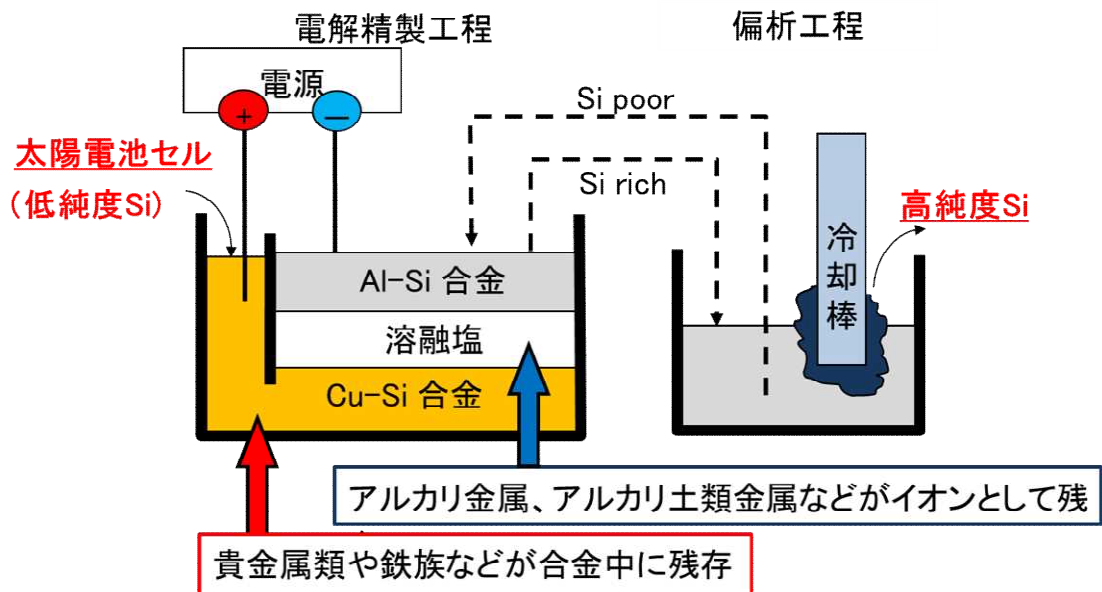
温度	Ag回収率(%)
300℃	51

目標はモジュール 1 枚分の可溶化後のセルから銀の回収率 90%以上であったが、結果は回収率 50%となり、達成しなかった。

#### 研究開発④（参考研究） シリコンの高純度化（産業技術総合研究所）

本研究開発では熔融塩電解精製を用い、使用済み太陽電池から回収されたシリコンを、陽極となる銅-シリコン液体合金に熔融させて系内に導入する。陰極はアルミニウムとシリコンの液体合金である。これに通電すると、上記と同様の原理でシリコンのみが陽極から陰極に移動し、陰極中のシリコン濃度が上昇する。シリコン濃度の増加したアルミニウム-シリコン液体合金は偏析工程に送り、部分的に冷却することで高純度のシリコンを晶出させるとともに、シリコン濃度の低下したアルミニウム-シリコン合金を陰極として再利用する。

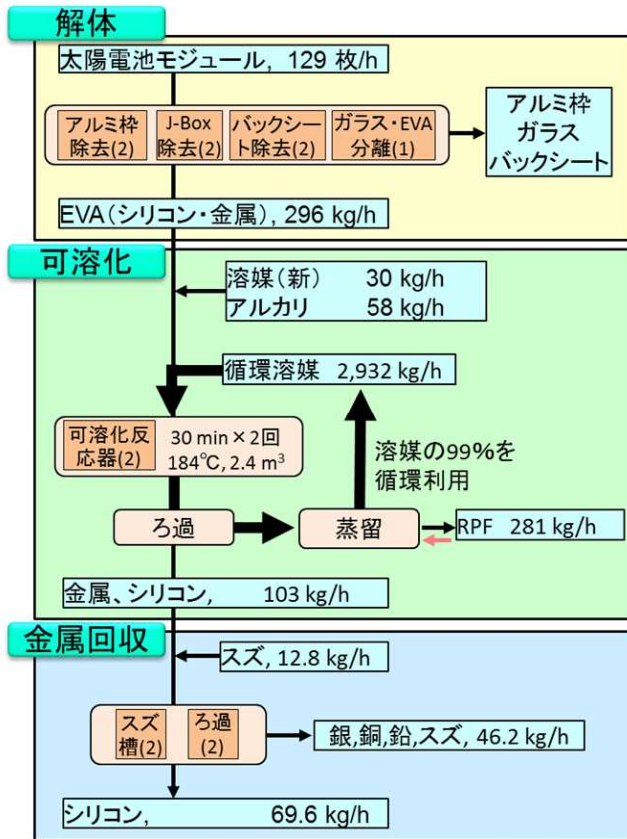
1. 可溶化によって得られたセルは、Al の酸化が抑制され、後段の処理が容易になることを確認
2. 回収されるシリコンの不純物濃度を推算し、一定の効果が見込めることを示した。  
(回収したシリコンの不純物 Fe: 3.2 ppm, P: 1.1 ppm、金属シリコン Fe: 3000 ppm, P: 48 ppm)
3. 熔融電解法を用いてシリコンの高純度化を達成する。



図III-2-②-(4)-13 熔融塩中でのSiの電解精製およびSi回収方法の概念図



## 分解処理コストの試算結果



## 試料概要

太陽電池モジュール	単位
200	MW
840,000	枚
15,460	t

## 回収物

回収物	重量 (t)	単価 (円/kg)	評価額 (億円)
ガラス	10,500	0	0
アルミニウム	2,659	120	3.19
銅	175.2	480	0.84
鉛&スズ	32.8	640	0.21
銀	9.6	52,800	5.07

## 消耗品

消耗品	重量 (t)	単価 (円/kg)	評価額 (億円)
溶媒	193	240	0.46
アルカリ	378	140	0.53
スズ	83,412	2,000	1.67

図Ⅲ-2-②-(4)-14 分離処理コスト試算図

本研究開発を行ったプロセス（解体、可溶化、金属回収）の試算から 0.78 円/W で使用済み太陽電池モジュールを処理できることが分かった。

## 分解処理コストの明細（収支計算）

解体、可溶化、金属回収の各段階における経済収支を表Ⅲ-2-②-(4)-1 以下に示す。これらの計算から、本プロセスでは 0.78 円/W（10.0 円/kg）で使用済み太陽電池を処理できることが分かった。太陽電池モジュールに含まれる銀は、経済性を向上させるために比重に貢献しているが、銀の含有量は年々減少していることが知られている。仮に太陽電池モジュールに銀が全く含まれない場合には、処理費は、3.31 円/W（42.8 円/kg）と推算された。

表Ⅲ-2-②-(4)-3 目的とする処理量

年間処理量	200,000,000	W
年間処理枚数	840,000	枚

表Ⅲ-2-②-(4)-4 太陽電池モジュールの仕様

結晶性シリコン太陽電池	100	%
重量	18.4	kg
1枚当たりの出力	240	W
モジュールサイズ	1000×1650	mm

表Ⅲ-2-②-(4)-5 太陽電池に含まれる有価物の含有量

項目	重量 (1枚当たり)		年間処理量	
アルミフレーム	3.166	kg	2,659	t/y
ガラス	12.5	kg	10,500	t/y
EVA	1.50	kg	1,260	t/y
金属	0.25	kg	208	t/y
銀ペースト、アルミペースト	0.0114	kg	9.58	t/y
シリコン	0.54	kg	454	t/y
バックシート	0.44	kg	370	t/y
合計	18.41	kg	15,460	t/y

表Ⅲ-2-②-(4)-6 操業条件

年間稼働日	345	d/y
稼働時間	21	h/d
年間稼働時間	7,245	h/y
稼働率	90%	%
実稼働時間	6,521	h
必要処理能力	129	枚/h
処理タクト	28	sec/枚

表Ⅲ-2-②-(4)-7 土地建物

	解体	液化	金属回収	
土地		5,000	825	m2
建物		5,000	350	m2
土地購入費		0	20,000,000	円
建物建設費		35,779,355	30,000,000	円
付属設備費		4,100,000		円
合計		39,879,355	50,000,000	円
減価償却年数		7	7	年
減価償却費	2,848,525	2,848,525	7,142,857	円

主な設備とその費用について下表に示す。

表Ⅲ-2-②-(4)-8 解体工程

設備名	台数	購入費 (円)	減価償却 (年)	処理設備 償却費(円)	光熱費 (円)	材料費 (円)
1,アルミフレーム除去装置	2	30,255,000	7	8,644,286	829,446	
2,J-Box除去装置	2	16,370,000	7	4,677,143	829,446	
3,バックシート除去装置	2	20,940,000	7	5,982,857	829,446	
4,ガラス/EVA分離装置	2	31,600,000	7	9,028,571	1,463,728	
5,その他	1	21,000,000	7	3,000,000	1,219,773	
小計		120,165,000		31,332,857	5,171,839	4,000,000

表Ⅲ-2-②-(4)-9 液化工程

設備名	台数	購入費 (円)	減価償却 (年)	処理設備 償却費(円)	光熱費 (円)	材料費 (円)
1,EVA可溶化装置	2	400,000,000	7	114,285,714	3,939,835	
2,蒸留装置	1	400,000,000	7	57,142,857	23,574,668	
小計		800,000,000		171,428,571	27,514,503	99,267,840

表Ⅲ-2-②-(4)-10 材料費内訳

試料名	年間使用量 (t)	単価 (円/kg)	費用 (円)
2-エチル-1-ヘキサノール	193	240	46,347,840
水酸化カリウム	378	140	52,920,000

表Ⅲ-2-②-(4)-11 金属回収工程

設備名	台数	購入費(1台分) (円)	減価償却 (年)	処理設備 償却費(円)	光熱費 (円)	材料費 (円)
1,錫槽	2	10,000,000	7	2857142.857	4,003,200	
2,シリコンろ過装置	2	5,000,000	7	1428571.429	800,000	
小計		15,000,000		4,285,714	4,803,200	166,824,000

表Ⅲ-2-②-(4)-12 材料費内訳

試料名	年間使用量 (kg)	単価 (円/kg)	費用 (円)
スズ	83,412	2,000	166,824,000

表Ⅲ-2-②-(4)-13 回収資源売却収入

	重量 (g/枚)	回収重量 (kg)	販売単価 (円/kg)	売却額 (円)
アルミフレーム	3,166.0	2,659,440	120	319,132,800
銀	11.43	9,601	52,800	506,943,360
シリコン(99.9999%)	540	453,600	0	0
銅	208.6	175,224	480	84,107,520
錫&鉛	39	32,760	640	20,966,400
ガラス	12,500	10,500,000	5	52,500,000
合計				983,650,080

表Ⅲ-2-②-(4)-14 年間処理費用

内訳	解体 (円)	液化 (円)	金属回収 (円)	全体 (円)
土地建物減価償却費	2,848,525	2,848,525	7,142,857	12,839,908
処理設備償却費	31,332,857	171,428,571	4,285,714	207,047,143
光熱水費	5,171,839	27,514,503	4,803,200	37,489,542
材料費	4,000,000	99,267,840	166,824,000	270,091,840
人件費	288,021,772	288,021,772	26,688,000	602,731,543
その他経費	500,000	500,000	7,772,000	8,772,000
合計	331,874,993	589,581,211	217,515,771	1,138,971,976

表Ⅲ-2-②-(4)-15 まとめ

総支出		1,138,971,976	円
総収益		983,650,080	円
総処理費用		155,321,896	円
処理費用	銀11.4g/枚	0.78	円/W
		10.0	円/kg
処理費用	銀0g/枚	3.31	円/W
		42.8	円/kg
処理費用	回収資源無	5.69	円/W
		73.7	円/kg

## 2. 実用化・事業化見通し

### 研究開発① 太陽電池モジュールのガラスとEVA・セルの分離 (エヌ・ピー・シー)

本プロジェクトにて開発した分離プロセス、実証機から、今後の市場、顧客の要望に基づき、最適な装置の開発、設計を行い、実機の製造、リサイクル事業を行う事業者への装置販売事業を行う。

実用化、事業化の定義は、本プロジェクトで開発した装置の販売開始とする。

なお平成27年度～平成30年度の「低コスト分解処理技術実証」に採択され、今回開発を行った装置を引き続きリサイクルプロセス開発、改良、実証用として使用。

### 研究開発② 可溶化法による EVA・セルからの資源回収 (産業技術総合研究所)

実験レベルでの可溶化は十分満足のいく結果となったが、実用化・事業化までの実証を行うとなると、プラント的な大がかりな設備が必要となることから、引き続き独自にて研究開発を行っていく。

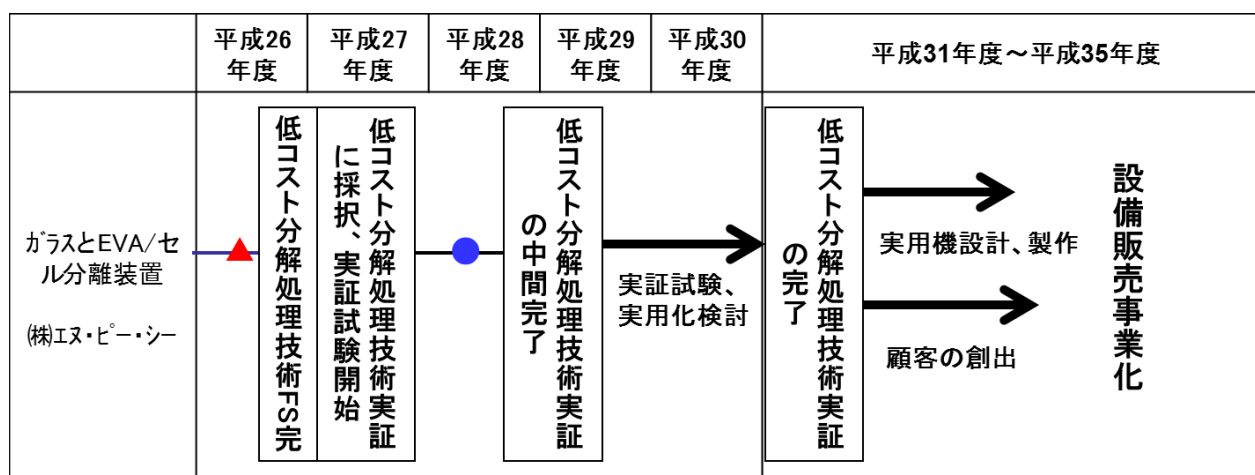
### 研究開発③ PV モジュールより分離する金属回収技術の開発 (日本スペリア社)

目的とした金属回収できる事象は確認でき、今後より条件、設備仕様を詰めていけば、更なる回収率の向上、実用化・事業化に向けた取り組みができるため、将来に向け独自にて研究開発を行うことを検討する。

## 3. 波及効果

現状の廃棄する太陽電池モジュールパネルは破砕して埋め立て処分が一般的と聞いているが、ガラスと EVA/セル分離装置を運用することにより、板状の状態がガラスが回収できるため、ガラスの再生、再利用につながる可能性があり、そのようになれば太陽電池モジュールの廃棄、リサイクルについて劇的に変化し、またガラスメーカーも太陽電池用ガラスの再生、再利用に取り組みざるを得なくなると考える。

## 4. 今後の展開



図Ⅲ-2-②-(4)-14 今後の展開スケジュール

本プロジェクトにて研究開発を行い、今後の課題としては様々な太陽電池モジュールの処理、分離の精度、刃の耐久性となる。

平成27年度～平成30年度の「低コスト分解処理技術実証/ ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発」に採択され、このプロジェクトにて様々なタイプの太陽電池モジュールの処理、刃の耐久性の検証を行う。

プロジェクト終了後、課題を克服できる設備の検討、設計を行い、実機製作の検討を行う。

その後太陽電池モジュールの廃棄市場の調査と営業活動を通じて解体・リサイクル事業を行う企業の創出、探索を行い、装置販売の事業化を行う。

また平27年度～平成30年度の「低コスト分解処理技術実証」での共同採択者の(株)浜田はリサイクル関連事業を行っていることから、協力することにより、より一層の解体・リサイクル事業者への装置販売につながると考える。

### ③低コスト分解処理技術実証

【平成 27～28 年度】

#### (1)結晶シリコン太陽電池モジュールのリサイクル技術実証(三菱マテリアル)

##### 1.成果詳細

本研究では事業化を目指し結晶シリコン太陽電池を対象として、剥離選別コストと回収物の有価物売却益を確認し、分解処理コスト2.9円/W以下の実証を行うことを目的とする。

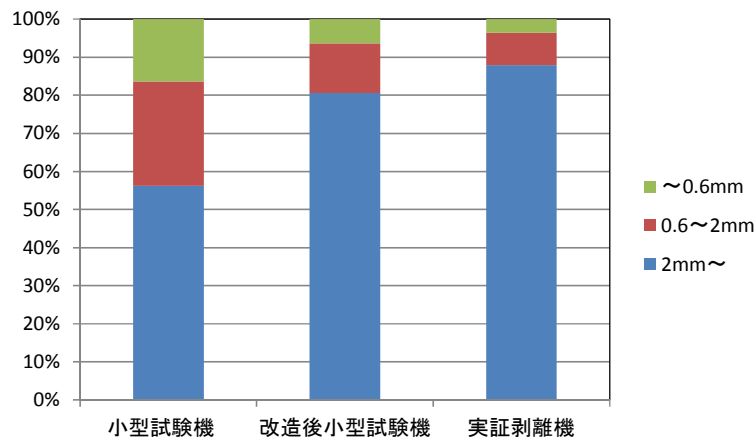
本年度は、実証試験を H28 年度に実施するために、ローラー式剥離機の実証機を設計・製作するとともに、ガラスの有効利用が可能なもの「ガラス再資源化原料」と、シートおよびガラスに銀が付着し銀としての評価をした方がよいもの「銀回収原料」に選別・回収するための分級装置と選別装置の選定を行い、試作プラントを製作した。

##### 1.1 実証剥離機の開発

平成 26 年度に実施した「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／低コスト分解処理技術 FS（開発）／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」において製作した小型剥離試験機を用い、パネルからガラス分を剥離し「ガラス再資源化原料」と「銀回収原料」に分別可能な知見を得た。本研究では、剥離後ガラス粒をより粗粒で回収し、ガラスの有価物売却益を向上させるために小型剥離試験機の改造を行った。小型剥離試験機では回転する 2 本の破碎刃付きローラー間にパネルを通すことでガラスを破碎しシートからガラス粒を剥離する構造であったのに対し、改造機はガラス面を上方にしたパネルを移動させ、回転する剥離ローラーの表面のピンでガラスをシートから剥離する構造とした。

結果、より粗粒のガラス粒を得ることが可能なことがわかり、本知見をもとに実証剥離機を製作した。なお、小型剥離試験機は 1 回の処理がパネル 1/6 枚であったのに対し、製作した実証剥離機は実際の処理を見据え 1 回で 1 枚を処理、また 60 秒/枚の処理速度を前提とした。

同一のパネルサンプルを用い「小型試験機」「改造後小型試験機」「実証剥離機」によりガラスを剥離した。剥離後のガラス粒の粒度毎重量比率を図Ⅲ-2-③-(1)-1 に示す。



図Ⅲ-2-③-(1)-1 剥離後ガラス粒の粒度毎重量比率

実証剥離機は剥離後ガラス粒の粗粒分が増加し微粒分が減少した。微粒分が減少したことで剥離時の粉じんも抑制され、作業環境の向上もみられた。また1回でパネル1枚を処理、また60秒/枚の処理速度で剥離可能であった。

## 1.2 ガラス中ヒ素成分の同定機器選定と測定評価

平成26年度に実施した「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／低コスト分解処理技術FS（開発）／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」において使用したパネルサンプルの含有成分を分析した結果、ガラス中にヒ素を含有するパネルがあることがわかった。ヒ素を含有するガラスは適正処理が必要であり「ガラス再資源化原料」として使用することはできないため、事前にヒ素含有の有無を同定しパネルを選別する必要がある。迅速かつ現場での同定・選別作業には可搬型の乾式同定器の導入が有効であると考え、機器選定を行い事前選別の可否評価を行った。

### a) 同定方法の決定

可搬型の蛍光X線分析装置およびレーザー誘起分光分析装置を用いた乾式分析と、溶解液発光分光分析の湿式分析の分析値差異評価を実施した。結果、可搬型の蛍光X線分析と湿式分析における分析値の差異は許容値以内であり、定量性が認められた。しかし可搬型のレーザー誘起分光分析では検出できないことがわかった。

### b) 同定機器の選定

現場測定を想定した機器を選定した。3種の可搬型蛍光X線分析装置を評価した結果、リガク社XL3t-950Sを導入した。

### c) 同定機器を用いた測定評価

ガラス中ヒ素をパネル1枚あたり60秒以内で同定可能かを評価した。結果、60秒/枚以内で同定可能なことを確認した。

## 1.3 試作プラントの製作

剥離後の回収物を「ガラス再資源化原料」と「銀回収原料」に選別・回収するために、剥離機、分級装置、選別装置を設置し、事業化を検証するための試作プラントを製作した。

平成26年度に実施した「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／低コスト分解処理技術FS（開発）／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」の結果から、色彩選別機による選別の有効性が確認できたため、選別装置として色彩選別機を採用した。また色彩選別機の効果を高めるため、設備能力に見合った振動篩を導入した。

### a) 色彩選別機の選定

剥離後回収物（剥離したガラス粒と金属物および有機物が混入）を「ガラス再資源化原料：透明物」と「銀回収原料：有色物」に色彩選別可能かを評価した。ただし平成26年度に実施した「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／低コスト分解処理技術FS（開発）／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」の結果から選別を2度繰返すことで効果が向上する知見を得ている。また、本研究ではパネル1枚あたり60秒で剥離処理することを想定している。パネル1枚の重量を11kg、ガラス重量比率80%と仮定した場合、

処理枚数：1(枚/分) = 60(枚/時)

ガラス重量：60(枚/時) × 11(kg/枚) × 80(%) = 528(kg/時)

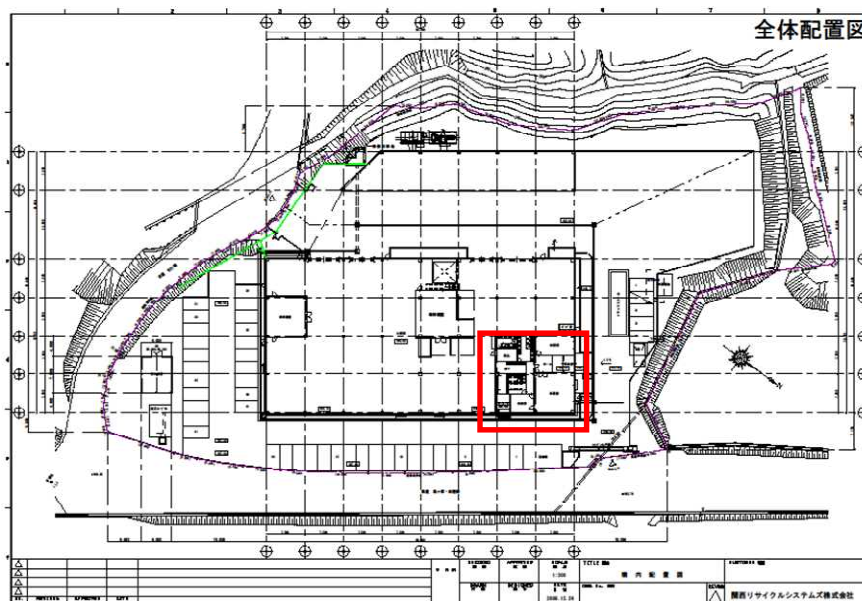
すなわち選別対象物であるガラス粒は528kg/時で剥離されることから、選別を2度繰返すためにはガラス粒1056kg/時の選別能力が必要である。現在購入が可能な色彩選別機を調査・選定した結果、上記要求仕様を満たすトムラソーティング社GENIUS1600を導入した。本装置は対象ガラス粒を1300kg/時で選別可能であることを導入前試験で確認している。

b) 振動篩の選定

色彩選別機において選別対象物であるガラス粒の粒度を合わせることで選別精度が向上する知見を得ている。しかし、③-1で選定した色彩選別機ではガラス粒0.6mm以下（微粒）の選別が難しく、またこれまでの実験により2mm以上（粗粒）と0.6～2mm（中粒）を合せて選別するよりも各々を別々に選別した方が選別精度が向上することがわかっている。そのため振動篩により各粒度に選別可能か評価した。結果、選別可能なダルトン社1002型振動篩を導入した。

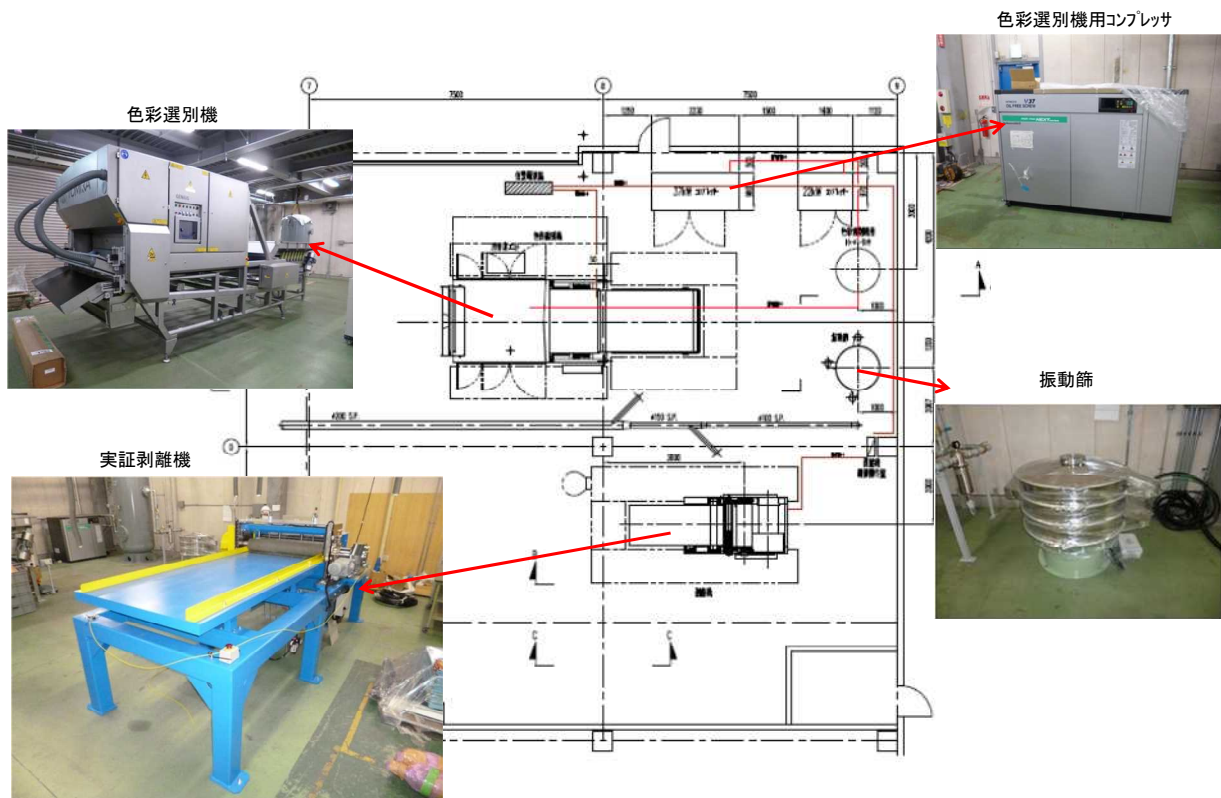
c) 試作プラントの製作

上記装置を関西リサイクルシステムズ(株)第2工場（三重県伊賀市）に設置した。



設置エリア

図Ⅲ-2-③-(1)-2 剥離後ガラス粒の粒度毎重量比率試作プラント設置エリア  
(関西リサイクルシステムズ(株)第2工場 平面図)

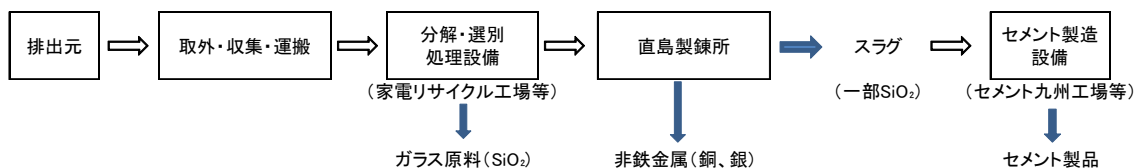


図Ⅲ-2-③-(1)-3 剥離後ガラス粒の粒度毎重量比率試作プラント配置図

H28 年度から本試作プラントを使用し、回収物の物質収支を確認するとともに、剥離選別コストと回収物の有価物売却益を確認し、分解処理コストを試算し、事業化の検討を進める。

## 2. 実用化見通し

三菱マテリアル株式会社（以下 MMC）は、非鉄製錬事業、セメント事業、および家電リサイクル事業を運営している。とくに家電リサイクル事業では太陽電池を製造する家電メーカーと協力して運営しており、本事業のリサイクル拠点として位置付けている。MMC が運営に携わっている全国 5 社 6 工場のネットワークを活かし、MMC の既存設備を活用した場合、処理フローを構築することが可能である。



図Ⅲ-2-③-(1)-4 MMC の既存設備を活かした理想的な処理フロー

## 3. 波及効果

太陽電池スクラップの発生場所は全国に分散していることが予想される。よって集中して処理するよりも、処理工場は分散することが有効と考えられる。上述のとおり全国に展開する家電リサイクル工場に処理設備を設置することで対応可能であると考えられる。

## 4. 今後の展開

家電リサイクル工場に試験処理設備を設置し、必要なデータを取得し実証プラントの設計・製作を行う。サンプル量を増やすことで処理コストの精度を上げ、事業化展開を進める。



(2) 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技術実証(東邦化成)

1. 成果詳細

1.1 実機パネルの実証 (年代別使用済みパネルの実証)

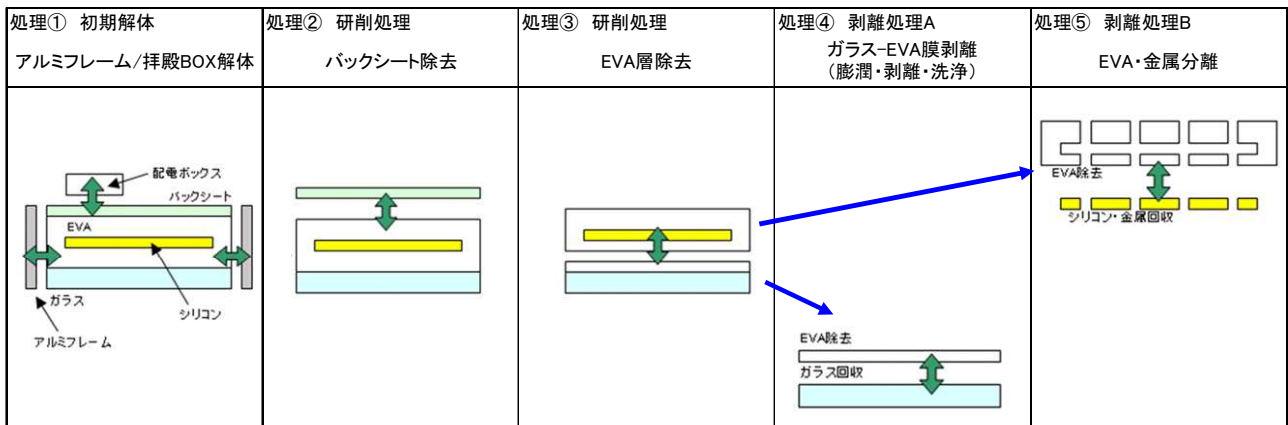
実際に使用されたメーカー製モジュールのうち以下表Ⅲ-2-③-(2)-1 に挙げる年数経過したモジュールを入手し、それぞれについて剥離性能評価を行った。

表Ⅲ-2-③-(2)-1 剥離評価したモジュールの経過年数と機種数

経過年数	10年	11年	13年	14年	15年	18年	19年
評価機種数	7機種	1機種	1機種	1機種	1機種	1機種	1機種

剥離処理としては、平成26年度に実施した「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／低コスト分解処理技術F S (開発)／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」にて開発した工程 (図Ⅲ-2-③-(2)-1) に基づいて行った。

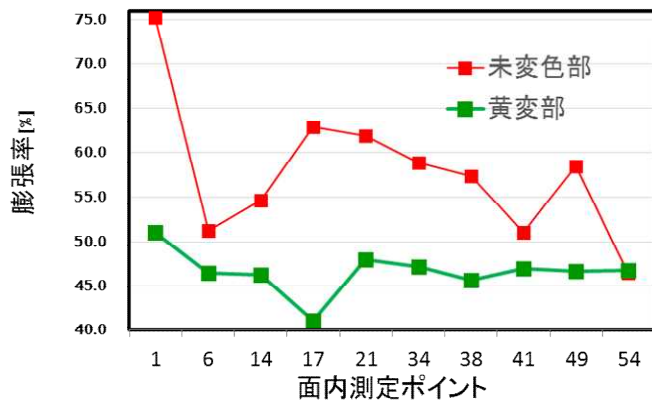
図Ⅲ-2-③-(2)-1 解体工程



その結果、図Ⅲ-2-③-(2)-1 における処理④ (剥離液によるガラス-EVA剥離工程) においてEVAの膨潤効果が弱く表Ⅲ-2-③-(2)-1 に挙げた全ての機種において、ガラスからEVAを剥離することが出来ない問題に直面した。処理③ (EVA積層体研削除去) の後、ガラスに残ったEVA層のシリコンセルの有った場所が黄色く変色しており、EVAの変質により剥離液の膨潤効果が弱くなっているのではないかと推察し、黄変部のEVAの調査を行った。

a) EVA単体の剥離液による膨張率の調査

15年経過品のモジュールから黄変部分、未黄変部分のそれぞれのEVAを採取し剥離液による膨張率を測定した。結果、黄変部分の膨張率は約50%以下に対し、未黄変のEVAは、ばらつきは有るが約60%程度あり、黄変部分が膨潤しにくいことがわかった。図Ⅲ-2-③-(2)-2 に黄変部と未黄変部の膨張率のデータを示す。



図Ⅲ-2-③-(2)-2  
モジュール面内各ポイントより  
採取したEVAの膨張率の違い

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54

図Ⅲ-2-③-(2)-3  
図Ⅲ-2-③-(2)-2におけるEVA採取ポイント

なお、剥離可能なモジュールとしてのテストピースのEVAの膨張率を測定したところ、約70%以上あった。結論として、EVAの膨張率低下により剥離効果が弱まっていることがわかった。これにより剥離剤の改良を薬液メーカーへ依頼し改良中である。

b) 黄変EVAの構造分析調査 (FT-IR分析)

表Ⅲ-2-③-(2)-1に挙げる10年経過品のうちの1機種からEVAを採取しFT-IRによる分析を行いEVAの変質を調査した結果、カルボン酸塩、水酸基が検出され、EVAのエステル結合が分解変質した物と推察された。要因として、太陽光の紫外線及び、バックシートから透過する水分などによる影響が考えられる。下図Ⅲ-2-③-(2)-4に分析したEVAのサンプル場所を示す。



図Ⅲ-2-③-(2)-4 太陽電池モジュール断面 (模式図) におけるEVA分析サンプルの採取場所 (①～⑤及びR)

「R」はリファレンスの位置づけで、最も太陽光の紫外線の影響を受けていないであろう場所と想定しこれに対して①～⑤がどれだけ変質しているかを確認した。結果、ガラスにもっとも近い①、②の部分のEVAの組成変化がもっとも大きく、次いで③、その次に④、⑤がほぼ同じ程度の組成変化であり④、⑤に関しては、R (リファレンス) 部分とほぼ同じ組成であった。このことから太陽光の影響を受けEVAが変質していることはわかったが、この変質によりなぜEVAの膨潤が弱くなるのかのメカニズムは見出せなかった。

### c) 物理力剥離性能の向上策

上述のことから、使用済みモジュールにおいては剥離剤による剥離効果が弱いためこれを補完するための物理的剥離方法による剥離向上に取り組み中である。EVAを剥離するためのブラシ回転数を上げることにより剥離力を向上。ガラステクスチャ内に僅かにEVAが残るところまで除去できた。



図Ⅲ-2-③-(2)-5 物理的剥離方法強化によりガラステクスチャ内にEVAが残っている状態（左）と残っていない状態（右）の比較

### 1.2 実証機（パイロット機）検討

解体処理スループット向上に向けた取り組みとして図Ⅲ-2-③-(2)-1における処理工程②、③を担う研削機の処理能力向上が全体工程のスループット改善に大きな影響を及ぼす為この改善取り組みとして、新規研削機の仕様固めを行い、現在メーカーにて製作中である。研削刃の大口径化とマルチ化を行い、スループット向上を見込んでいる。（図Ⅲ-2-③-(2)-6 写真中央、右）



図Ⅲ-2-③-(2)-6 実験評価用研削機（左）とスループット向上させた新規研削機（中央、右）

一方で、剥離装置に関しては、現在仕様検討しており、物理力強化策を搭載する予定。

### 1.3 回収物の売却価格の調査と有価物の付加価値向上の取り組み

図Ⅲ-2-(ハ)-b(1)における処理工程③及び⑤で発生するEVA積層体に関して、銀としての売却価格の調査を行った。ある金属リサイクルメーカーに試料を持ち込み、その価格の評価を依頼したところ、モジュールにして約1000枚分のEVA積層体から銀を回収して初めて利益がプラスに転ずることがわかった。今後継続して、他社へ試料を持ち込み付加価値評価を実施する予定である。

尚、現状、分解処理コスト試算としては、有価物売却を考慮に入れた場合で2.35円/Wとの試算となっており（表Ⅲ-2-③-(2)-2参照）、更なる分解処理コスト低減と、付加価値向上に取り組む必要性がある。その観点から、回収シリコンに着目し、

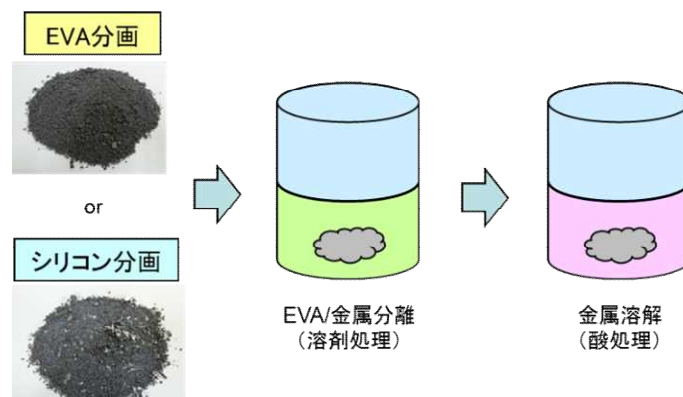
- a) 岡山大学を再委託先とし、EVA積層体からシリコンを回収する技術と純化技術の基礎研究を行う。
  - b) 処理工程⑤において回収ロスとなる微細シリコン粒子の回収方法の改善を行う。
- 上記の2点にも取り組み中である。

表Ⅲ-2-③-(2)-2 処理コスト試算結果

項目	目標値	達成値			備考
	円/W	円/W	円/kg	円/年	
材料費	1.24	1.28	13.49	9,842,400	剥離剤等
光熱水費	0.16	0.28	2.92	2,132,856	設備用力
人件費	2.22	1.78	18.77	13,695,996	@1,000円/人(パート, アルバイト想定)
設備費	0.65	1.10	11.60	8,461,164	設備; 8年償却試算、保守費用含
土地・賃借費	0.35	0.37	3.86	2,816,112	貸倉庫・貸工場HPより 弊社工場周辺150m <sup>2</sup> 程度を想定
最終処分費	0.35	0.35	3.68	2,687,556	使用済剥離剤、EVA等
処理コスト合計	4.97	5.16	54.32	39,636,084	
有価物売却益	4.90	2.81	29.58	21,582,264	アルミフレーム、ガラス、金属類等
トータル処理コスト	0.07	2.35	24.74	18,053,820	

#### a) EVA積層体からのシリコン純化研究

図Ⅲ-2-③-(2)-1における処理工程③ないし、⑤により回収されるEVA積層体より溶剤、酸を利用してシリコン粒子を抽出する基礎研究に取り組んだ。プロセスイメージ図を図Ⅲ-2-③-(2)-7に記す。一次評価結果としては酸の濃度、攪拌条件のパラメーター設定により処理が45分以上と時間が掛かるが目標98.5%の純度に対し、99%以上の純度を持つシリコンを回収することが出来た（表Ⅲ-2-③-(2)-3参照）。今後も引き続きこれら条件の最適化を行いプロセスを確立して行く。



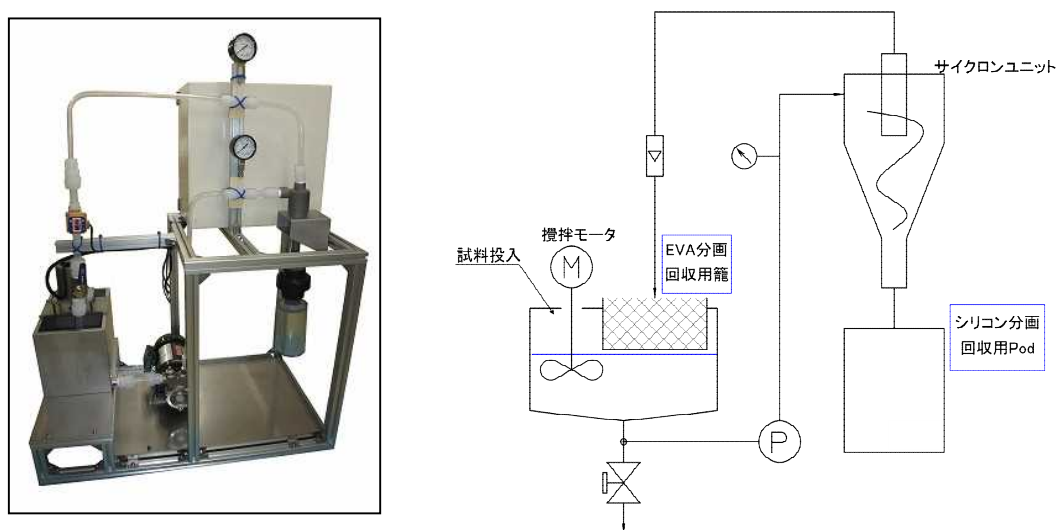
表Ⅲ-2-③-(2)-3 酸処理時間と得られたシリコン純度の関係

酸処理時間 [min]	45	60	180
Si 純度 [%]	99.25	99.90	99.98

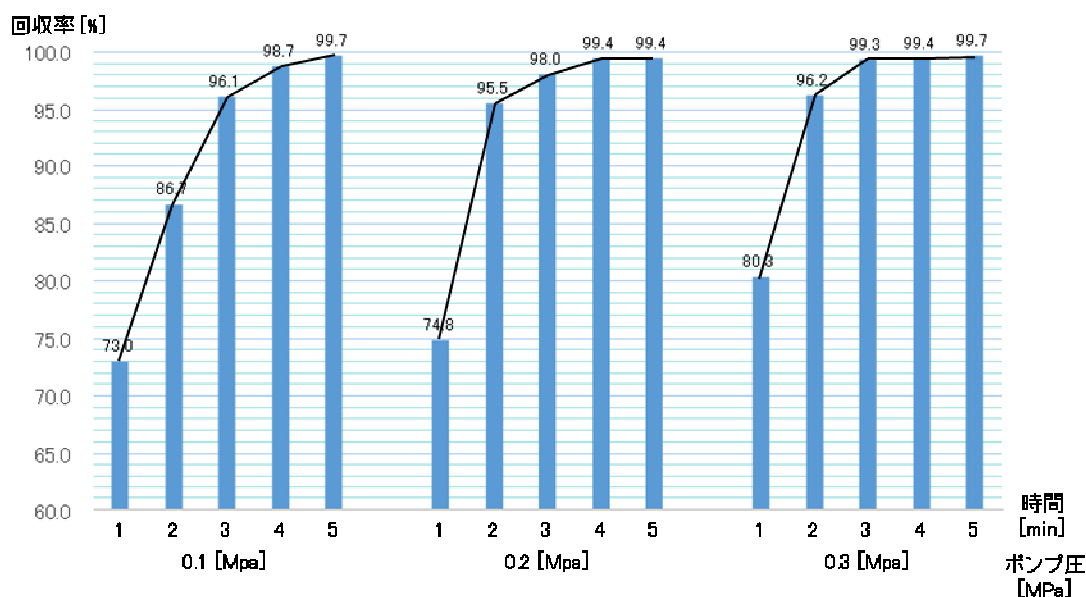
b) 比重分離後の未回収となっているシリコンの回収方法の確立

処理工程⑤（比重分離）の後、回収出来るEVA積層体の内、回収籠をすり抜ける微細なシリコン・金属が存在し、これら物質も有価物として回収する余地が有るため効率的な回収方法を確立する必要がある。サイクロン式回収機（図Ⅲ-2-③-(2)-8）により回収籠をすり抜けた微細粒子をどれだけ回収できるかの基礎評価を実施した結果、約4分で98%以上の溶液に浮遊するシリコン粒子を分離・回収することが可能とわかった。サイクロン回収機により得られたシリコンの回収率データを図Ⅲ-2-③-(2)-9に示す。

これを元にパイロット機の仕様検討に入ったが、更に処理コスト低減のため比重分離の部分が削減できないか試験中である。



図Ⅲ-2-③-(2)-8 サイクロン式回収機



図Ⅲ-2-③-(2)-9 流体圧及び処理時間におけるシリコン回収率の変化

まとめとして以下、表Ⅲ-2-③-(2)-4 に比重分離のみとサイクロン回収機を備えた分離装置の回収率比較を示す。比重分離後のロス量 5%分を回収することが出来た。

表Ⅲ-2-③-(2)-4 比重分離とサイクロン回収した場合の回収率比較

	各分離分画の回収率		
	EVA 分画	シリコン分画	ロス
比重分離のみ	59%	33%	8%
比重分離+サイクロン回収	59%	38%	3%

## 2. 実用化見通し

### (1) 想定しているビジネス形態

本研究開発成果において、弊社が想定しているビジネス形態は以下3つある。

- ①太陽電池モジュール用リサイクルシステムの製造・販売（装置・剥離剤）
- ②太陽電池モジュール用リサイクルシステム・レンタル事業（メーカー、解体業者工場処理、各都道府県自治体）
- ③太陽電池モジュールリサイクルサービスの事業化（東邦化成社内処理）

来たるべき太陽電池モジュールの大量排出時代に備えて、処理に関わる潜在的ユーザーが、どのような現場においても使用しやすい簡便でコンパクトなシステムをノウハウ付きで提供したい。また、当該市場を育成する観点から、潜在的ユーザーが参入しやすい技術環境を整える目的で、システムの販売だけでなく、弊社の立地を生かしたレンタルやサービスの受託など、実用化に向けた幅広い選択肢の提供も検討したい。

### (2) 実用化見通し

技術開発の観点から本年度、リサイクルシステムの見立て、処理コストの試算を行った結果、弊社にとってもっともハードルの高い上記③を想定した場合のビジネス形態の実現性が見えてきた。まだ弊社として調査の及んでいない物流関係コストに関しては課題を残すものの、解体リサイクルの観点からは有価物売却益を含まずとも5円/W以下での処理が可能であることがわかった。この結果から、まずはモジュールメーカーと手を組み、メーカーに戻ってくるモジュールの解体処理から始め、本格大量処理に向けたノウハウを蓄積し5年、10年先に来る大量廃棄に備える予定。

### (3) 実用化に向けた課題

事業化に向けて、今後以下の課題がある。

- ①本格的なパイロットラインを使用したビジネスモデル実証
- ②物流を意識した廃棄モジュールを想定したコスト試算
- ③リサイクル法等の規制対応

まず、来年度①の実証を行いつつ、廃棄モジュールの収集ルート、回収物のリサイクルルート確保を行いビジネスモデル実証を行い、事業化への道筋をつける。

## 3. 波及効果

大規模プラントではなくコンパクトな処理システムを構想。これによりリサイクルが各拠点で実施でき、まずは小規模ラインでのリサイクル処理から始めることが可能。処理量の増加に伴いシステムを増設すれば対応できることから地方分散型のリサイクルシステムが実現できる。年々増加していくであろう廃棄モジュールにあわせてシステムを設置できることから、自治体、リサイクル事業者等が手を出しやすいことが予想できるため、社会システムの構築も平行して行えるメリットがあり、廃棄量と同時に普及すると考える。

## 4. 今後の展開

### (1) プロジェクト研究期間中（H26～H30）

実証装置による処理コスト検証及び回収有価物の売却ルートの確保とそれら情報による事業性の検証を行う。また、事業開始の準備段階としてのビジネス形態の方向性を見定める。

### (2) プロジェクト終了後（H31～）

ビジネスの開始。まずは小規模ながらもメーカー、自治体等協力の下リサイクル事業を開始する。また、現在結晶系モジュール特化の為、薄膜系など多種モジュールのリサイクル法の開発を模索して行く。

### (3) ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発(浜田、エヌ・ピー・シー)

#### 1. 成果詳細

研究開発① アルミフレーム除去装置の開発及び実証

【中間目標】 処理能力：50 秒/モジュール

【成果】 \*2016 年 6 月末日時点

アルミフレーム除去装置の実証機の完成

ガラスを割ることなく、アルミフレームの除去（取り外し）実験、確認済み。

ねじ止め式、コーナーキー式ともに除去（取り外し）実験、確認済み。

アルミフレーム除去の設備処理能力：50 秒/モジュール達成

【今後の対応】

様々なメーカーの太陽電池モジュールにて数を増やして実験を行い、適切除去処理能力を満足するか実験する。



図Ⅲ-2-③-(3)-1 アルミフレーム除去装置完成写真



図Ⅲ-2-③-(3)-2 アルミフレーム除去後のモジュールとフレームの状態



図Ⅲ-2-③-(3)-3 除去後のフレーム ねじ止め（タイプ）



図Ⅲ-2-③-(3)-4 除去後のフレーム（コーナーキータイプ）

研究開発② バックシート除去装置の開発

【中間目標】 処理能力：50 秒/モジュール

【成果】 \*2016 年 6 月末日時点

バックシート除去装置の実証機の完成

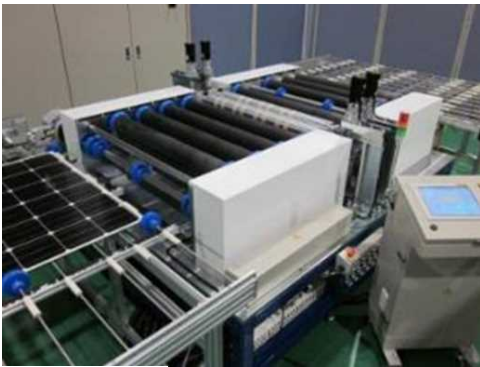
回転、切削刃にてバックシート除去の実験、確認済み。

⇒バックシート除去することにより、有価物の回収がしやすく、低コストとなる可能性。

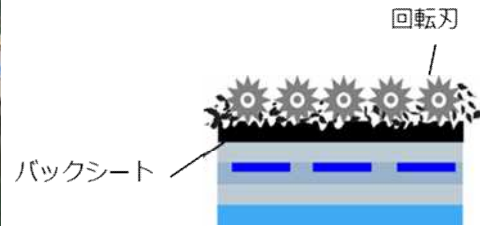
バックシート除去の設備処理能力：50 秒/モジュール達成

【今後の対応】

様々なメーカーの太陽電池モジュールにて数を増やして実験を行い、適切除去処理能力を満足するか確認する。



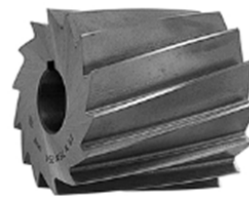
図Ⅲ-2-③-(3)-5 バックシート除去装置完成写真



図Ⅲ-2-③-(3)-6 イメージ図



図Ⅲ-2-③-(3)-7 バックシート除去装置の回転切削刃部



図Ⅲ-2-③-(3)-8 回転切削刃



図Ⅲ-2-③-(3)-9 バックシートかす



図Ⅲ-2-③-(3)-10 バックシート除去後の EVA/セルシート

### 研究開発③ ガラス分離装置の改良及び実証

【中間目標】 50 秒/モジュール

【成果】 \*2016 年 6 月末日時点

平成 26 年度 NEDO リサイクル技術開発にて開発、実験済みの装置のため完成済み。

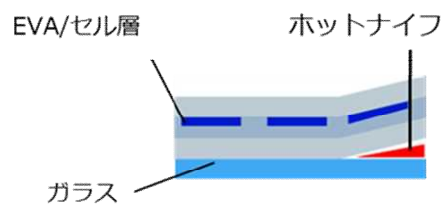
現時点では、刃の改良、耐久性試験、実証試験は行っておりません。

【今後の対応】

ホットナイフの材質（例えば S45C、SACM645、SKD11 など）を変更した刃の手配中。刃の入手後に様々な太陽電池モジュールにて刃の耐久性の実証を行い、処理能力が満足するか確認する。



図Ⅲ-2-③-(3)-11 ガラス分離装置完成写真



図Ⅲ-2-③-(3)-12 イメージ図



#### 研究開発④ ガラス表面 EVA 除去装置の開発

【中間目標】 50 秒/モジュール

【成果】 \*2016 年 6 月末日時点

ホットナイフによるガラスと EVA/セル層の分離後のガラス表面に付着している EVA を金属ブラシにて除去の実験を行った。

EVA/セル層除去後のガラスをガラス表面 EVA 除去装置にて EVA を除去し、2m の高さから落下させ割れたガラスのサイズにより EVA の残存量、メーカーの受入可能レベルの確認を行っている。

【今後の対応】

ガラスメーカーにて受入可能レベルを確認中。

処理枚数を増やし、ガラスメーカーにて評価を行う予定。



図Ⅲ-2-③-(3)-13 装置完成写真

図Ⅲ-2-③-(3)-14 金属ブラシ部

ガラスメーカーにて受入可能なガラスへの EVA 残存量を確認するため、2m の高さから落下テストを行った結果。

\* ガラスが細かく割れるほど、EVA の残存量が少ない。



図Ⅲ-2-③-(3)-15 除去 1 (剥離後)

図Ⅲ-2-③-(3)-16 除去 2 (回転速度 60%)

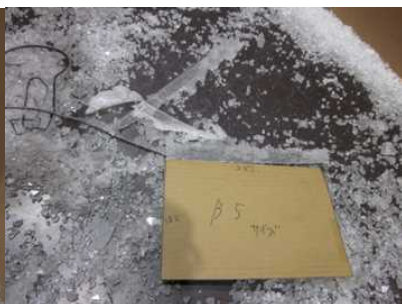
図Ⅲ-2-③-(3)-17 除去 3 (回転速度 80%)



図Ⅲ-2-③-(3)-18 落下後 1



図Ⅲ-2-③-(3)-19 落下後 2



図Ⅲ-2-③-(3)-20 落下後 3

#### 研究開発⑤ ガラスカレットと板ガラス原料にするための調査

【中間目標】 受け入れ条件の明確化

【成果】

ガラスメーカーへ売却するための受け入れ条件調査

a. ガラス製造過程での混入 NG 成分：アルミ、ニッケル等金属。特にアルミは微量でも不可。

b. 受け入れ荷姿：カレット状よりも、パネルガラスのままでの引き渡しの方が異物検査を省略可能。

【今後の対応】

研究開発④の装置が出来上がり次第、ガラスメーカーの窯にて試験を行う。

研究開発⑥ ガラス破砕機・選別機の開発

【中間目標】 処理コスト 40 円/kg 以下、ガラス原料売却単価 3 円/kg 以上。

【成果】

⑤の研究成果より破砕処理が不要。

【今後の対応】

破砕機・選別機の導入見送り。

研究開発⑦ 回収金属の売却単価の調査

【中間目標】 回収金属の各場合での売却単価の明確化

【成果】

表Ⅲ-2-③-(3)-1 回収金属調査結果

	a) 熱分解・油化	b) 破砕	c) 破砕なし
精錬所受け入れ	一部可能	可能	可能
処理コスト	57 円/kg以上 (光熱費含まず)	— (確認中)	0 円/kg
回収金属	△43 円/kg	△9 円/kg	△8.5 円/kg

【今後の対応】

b)c)において、複数の精錬所より評価を入手する



図Ⅲ-2-③-(3)-21  
写真a):EVA/セル層  
EVA 油化後の金属残渣



図Ⅲ-2-③-(3)-22  
写真b):EVA/セル層破砕



図Ⅲ-2-③-(3)-23  
写真c):EVA/セル層 破砕なし

研究開発⑧ EVA/セル層の処理方法の検討及びEVA/セル層処理装置の開発

【中間目標】 EVA 除去の処理コスト 30 円/kg 以下、回収金属の売却単価 5 円/kg 以上

【成果】

研究開発⑧の成果参照

【今後の対応】

研究開発⑦の回収金属評価と処理装置及びランニングコストのコスト比較



図Ⅲ-2-③-(3)-24  
EVA/セル層 油化後の EVA

研究開発⑨ 実証・試験プラント建設及び実証実験による処理コスト評価

【中間目標】 太陽電池モジュール 100 枚以上を処理し、コスト評価の実施

【成果】

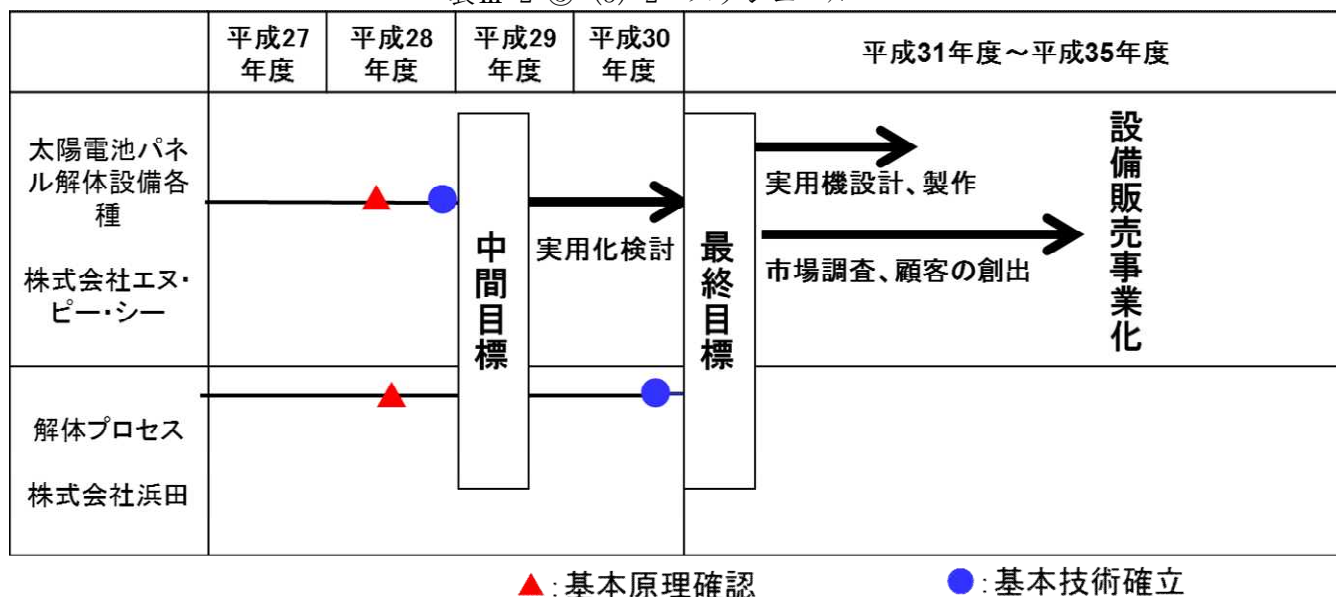
搬送・分解処理にかかる処理コストを半自動化設計

試験・実証用の 100 枚以上/5 日を実施するための 結晶パネルのサンプルを調達中。

## 2. 実用化見通し

本プロジェクトにおいて太陽電池モジュールリサイクルのために技術開発した各解体装置の実験、実証結果を元に実用化できる量産用装置の製作段階に入り、太陽電池リサイクル事業を行う企業に営業、販売活動を行っていく。

表Ⅲ-2-③-(3)-2 スケジュール



## 3. 波及効果

本プロジェクトにおいて、ガラスを粉砕しないまま太陽電池モジュールを解体して有価物を回収するため、廃棄物がほぼゼロとなる。全国の埋立処分残余年数が約14年（平成27年時点）を切った中で、廃棄となる太陽電池モジュールの埋立処分地への搬入を食い止めることができる。

## 4. 今後の展開

本プロジェクトにおいて、太陽電池モジュールリサイクルのために技術開発した各解体装置の実験、実証結果を元に実用化できる量産用装置の製作段階に入り、太陽電池リサイクル事業を行う企業に営業、販売活動を行っていく。販売数の計画は今後設定する。

## (4) 合わせガラス型太陽電池の低コスト分解処理技術実証(ソーラーフロンティア)

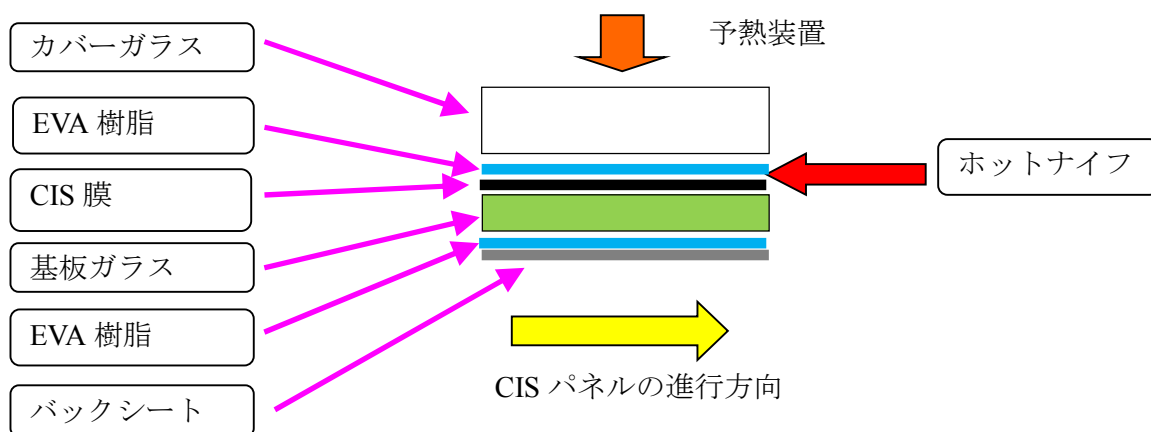
### 1. 成果詳細

合わせガラス構造の太陽電池モジュールの処理において、カバーガラスと基板ガラスの接着に使用されている封止材 EVA を除去する際に、これまで開発してきた、加熱炉を用いて EVA を蒸し焼き状態で熱分解する EVA 除去プロセスでは、使用する熱量が多いこと、設備投資が大きいことがあり、更なる処理費用の削減が望まれていた。本共同研究事業では、このプロセスに比べて、設備投資が少なく、使用熱量が少ないホットナイフ解体プロセスにより、最小限の熱量で EVA を溶断して合わせガラスを解体する技術を導入し、解体したカバーガラスと基板ガラスから低コストで EVA を剥離する方法により、リサイクル処理コストを大幅に削減できることを実証することを目標とした。また、解体した CIS 膜の付着した基板ガラスから高品質の CIS 粉と基板ガラスを分離する技術の実用性を実証することを目標とした。これまでに得られた成果は以下の通り。

#### 1. 1 基板ガラスとカバーガラスの解体技術開発

##### a) 結晶系太陽電池用のホットナイフ装置による合わせガラス型太陽電池解体の課題

結晶系太陽電池用のホットナイフ装置（以後、ホットナイフ装置と呼ぶ）に、合わせガラス型太陽電池である CIS パネルを装着して解体を試みた。処理枚数が少ない間はカバーガラスは割れなかったが、処理枚数が増えるにつれてナイフにかかる負荷によって刃の切断能力が低下し、カバーガラスにかかる応力に耐えられずに割れることがあった。基板ガラスは、最初から合わせガラスの間にナイフの刃が入った瞬間に細かく割れた。刃の耐久性の向上と基板ガラスの割れの回避が課題であった。なお、パネルは赤外線ランプで予熱し、ホットナイフは加熱して処理した。図Ⅲ-2-③-(4)-1 にホットナイフ装置の概略を示す。



図Ⅲ-2-③-(4)-1 ホットナイフ装置の概略図

##### b) 合わせガラス解体を目的としたホットナイフ装置の調整

ホットナイフ装置による合わせガラス型太陽電池の解体で得られた、刃の耐久性の向上と基板ガラス割れの回避という課題の解決を意図して、装置の処理条件の変更のために表Ⅲ-2-③-(4)-1 の項目の調整を、同装置に行って CIS パネルの解体を行った。

表Ⅲ-2-③-(4)-1 ホットナイフ装置の調整

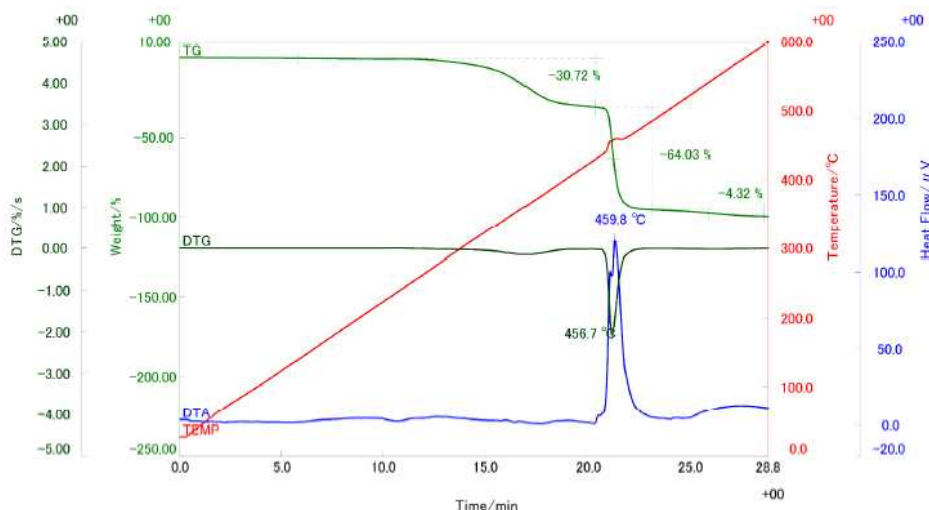
装置の調整項目	変更度合	効果
予熱温度の高温化	低温（～100℃）⇒ 高温（～270℃）	大
パネルの送り速度	低速化：3mm/秒 ⇒ 1mm/秒	小
ナイフの刃のくさびの角度	鈍角から鋭角へ	小

予熱の段階で、パネル中の EVA が溶解・発泡し、基板ガラスが、ある程度の大きさの破片となって割れた。また、予熱中に割れた基板ガラスの破片の一部がナイフの刃に到達する前にカバーガラスから分離する現象が観察された。ナイフの刃に到達した基板ガラスの破片は、ナイフの刃が合わせガ

ラスの間に入り込んでも、さらに割れることなく分離した。この現象の主な原因は、高温下における EVA の接着力の低下と考えられる。この結果から、パネルの高温での加熱が、ナイフの刃にかかる負荷の低減と刃による基板ガラスの細かな割れの抑制に有効であると考えられた。

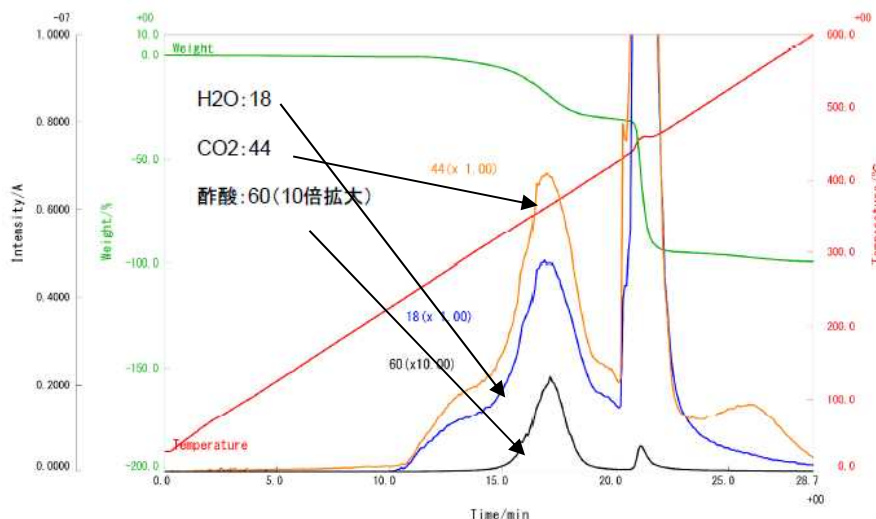
c) 空気中での熱分析による EVA の高温下における性状の検討

上記 b) のような処理条件の調整によるナイフの刃にかかる負荷の低減と基板ガラス割れの回避の可能性の検討のために、EVA を模擬空気 (20%O<sub>2</sub>/He) 気流中で熱重量分析 (TG-DTA) して、高温下における性状を検討した。結果を図Ⅲ-2-③-(4)-2 に示した。



図Ⅲ-2-③-(4)-2 EVA の TG-DTA (20%O<sub>2</sub>/He 雰囲気)

昇温につれて重量減少が低温側 (減少速度最大の温度は約 360°C) および高温側 (減少速度最大の温度は約 460°C) の二段階で起こった。この重量減少に伴って生成したガスを分析するために TG-DTA 装置に直結した質量分析装置を使用した。結果を図Ⅲ-2-③-(4)-3 に示した。



図Ⅲ-2-③-(4)-3 EVA の昇温分析で生成する分子イオン強度 (20%O<sub>2</sub>/He 雰囲気)

これらの結果より、低温側の重量減少は主に EVA からの酢酸の脱離によるものであると考えられた。また、高温側の重量減少については、EVA のポリエチレン主鎖が分解して脱離したためと考えられた。ただし、生成した炭化水素ガスの大部分が模擬空気中の酸素により酸化されたため、図Ⅲ-2-③-(4)-3 では CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O が主成分として検出されたと考えられた。

低温側の重量減少は約 220°C ~ 約 420°C で起こっていることが図Ⅲ-2-③-(4)-2 に示されている。従って、ホットナイフの予熱温度を高温化 (約 270°C) した際に、基板ガラスがナイフの刃に到達する前に分離する現象が起こる原因は、合わせガラス中の EVA から酢酸が脱離したために EVA の接着力が低下したためと結論できた。

#### d) 合わせガラスの解体性能の向上に向けたホットナイフ方式の改良の検討

上記 c) の検討より、約 220℃以上の温度で EVA から酢酸の脱離が開始し、接着力が低下し始めることから、ナイフの刃にかかる負荷の低減と刃による基板ガラスの細かな割れの回避は、予熱温度の高温化（約 270℃）によって回避できる見通しを得た。一方、合わせガラスがナイフの刃に到達する前に割れる（図Ⅲ-2-③-(4)-4 参照）現象は、パネルの予熱温度の高温化によって引き起こされており、予熱温度が低い（100℃以下）ときは、この現象は生じなかった。この原因としては、予熱温度の高温化によりパネルに熱応力が加わり、カバーガラスに比べて強度の弱い基板ガラスが割れたことが原因であると考えられた。そこで、パネルの送り速度を 1mm/秒から 3mm/秒に上げたところ、ナイフの刃に到達する前に基板ガラスが割れる現象は治まったが、ナイフの刃が合わせガラスの間に入った瞬間に基板ガラスが細かく割れる現象は再発した（図Ⅲ-2-③-(4)-5 参照）。

従って、現状のホットナイフ装置では、基板ガラスを割らずに合わせガラスを解体することは困難であると考えられた。

しかしながら、予熱温度の高温化によってナイフの刃にかかる負荷を低減することにより、一定期間カバーガラスを割らずに回収する運転が可能になる。この場合のガラスの割れ率は 35.5 重量%（カバーガラス：9.8kg、基板ガラス：5.4kg）となり、目標値である 50%以下は達成でき、ガラス片の大きさも図Ⅲ-2-③-(4)-5 のように 5～10mm×20～50mm 程度と、ガラスカレット用のガラス片としては問題のない大きさであると考えられた。

処理時間については、現状の合わせガラス（1,210mm×930mm）の分離処理時間は約 400 秒/枚（合わせガラス送り速度 3mm/秒）であり、目標値である 120 秒/枚とは乖離があった。また、合わせガラスの処理のために、くさびの角度を鋭角にしたナイフの刃には、実験終了後に一部欠損が見られた。そこで、分離処理時間の短縮と装置の耐久性の向上を目指して、ホットナイフ方式の改良の検討を継続した。



図Ⅲ-2-③-(4)-4 合わせガラスの予熱温度を高温化（約 270℃）した場合の基板ガラスのナイフの刃への到達前の割れ方  
パネル送り速度：1mm/秒  
ガラス片の大きさ：50～200mm×100～300mm 程度



図Ⅲ-2-③-(4)-5 合わせガラスの予熱温度を高温化した（約 270℃）場合の基板ガラスのナイフの刃による割れ方  
パネル送り速度：3mm/秒  
ガラス片の大きさ：5～10mm×20～50mm 程度

### 1. 2 封止剤 EVA の剥離技術開発

#### a) カバーガラスからの EVA の剥離能力が高く、安全な薬液の探索

トルエンの剥離能力をベンチマークとして、高引火点で劇薬を含まない剥離剤を目指して、その主成分となる薬液を探索した。洗浄剤・剥離剤の先行技術の処方の開示されている化合物を参考に、芳香族/脂肪族の炭化水素の官能基が異なる種々の薬液に、架橋した EVA の付着したカバーガラス（3.5cm×3.5cm）サンプルを浸漬して試験を行い、結果を表Ⅲ-2-③-(4)-2 に示した。EVA の剥離性の指標としては、EVA の剥離に要する物理的作用の強度を採用した。剥離性が低いほど強い力を要し、段階を「不変：×」、「強く引っ張ると剥がれる：△」、「スクレーパー（へら状の刃に柄を付けた工具）で容易に剥がれる：○」、「引っ張ると容易に剥がれる：◎」、「完全剥離：☆」の 5 段階とした。例えば、「不変」（×）では、薬液への浸漬により EVA は変化せず、強い力で引っ張っても剥離しない。また、「完全剥離」（☆）では、力を加えることなく EVA は剥離する。

表Ⅲ-2-③-(4)-2 各種薬剤の剥離試験結果

分類	温度 (°C)	10分浸 漬後剥 離状況	20分浸 漬後剥 離状況	30分浸 漬後剥 離状況	毒劇 物	沸点 (°C)	引火 点 (°C)	消防法 (類-石 油類)
トルエン	30	○		◎	劇	111	4	4-1
(芳香族炭化水素)	45	◎	☆		劇	111	4	4-1
エチルベンゼン	30			○		136	25	4-2
(芳香族炭化水素)	45			◎		136	25	4-2
アニソール	30			×		154	51	4-2
(芳香族エーテル)	45			△		154	51	4-2
ベンジルアルコール	30			×		205	100	4-3
(芳香族アルコール)	45			×		205	100	4-3
グリコール系	30	△		△		244	152	4-3
(脂肪族)	45	△		◎		244	152	4-3
グリコールエーテル系	30	×				242	110	4-3
(脂肪族)	45	×				242	110	4-3
不飽和脂肪族炭化水 素系	30	×				252	107	4-3
	45	△				252	107	4-3
アルカノールアミン系	30	×				160	78	4-3
(脂肪族)	45	△				160	78	4-3
ラクトン系	30			×		204	101	4-3
(脂肪族)	45			×		204	101	4-3
脂肪族ケトン系	30			△		116	17	4-1
	45			○		116	17	4-1
脂肪族エステル/ エーテル系	30			×		188	76	4-3
	45			×		188	76	4-3

薬液への浸漬時間は 10 分、20 分および 30 分、浸漬温度は 30°C と 45°C の条件で試験を行った。トルエン並みの EVA の剥離を示す薬液は、この条件ではエチルベンゼンのみであった。脂肪族グリコール系および脂肪族ケトン系薬液では、45°C における剥離性はエチルベンゼンと同等であった。

このことより、脂肪族グリコール系および脂肪族ケトン系薬液のように、トルエンより引火点と沸点は高いが、同等の剥離能を有する薬液の存在が示唆された。脂肪族ケトン系薬液は引火点が 17°C と低い、脂肪族グリコール系薬液は引火点 152°C、沸点 244°C と高い。そこで、安全性を考慮して、脂肪族グリコール系薬液および 45°C では強く引っ張ると剥がれる程度の剥離能しか示さなかったが引火点と沸点の高い薬液類（不飽和脂肪族炭化水素および芳香族エーテル）について、浸漬時間をさらに長く、そして浸漬温度をさらに高くして EVA の浸漬試験を実施した。

浸漬時間 120 分および浸漬温度 60°C と 80°C の結果を表Ⅲ-2-③-(4)-3 に示した。

表Ⅲ-2-③-(4)-3 に示したように、トルエンでは浸漬温度 45°C、浸漬時間 20 分で EVA は完全に剥離した。トルエンと比べて剥離能力は劣るが、引火点と沸点の高い薬液類（脂肪族グリコール、不飽和脂肪族炭化水素、芳香族エーテル）では、浸漬温度を 60°C および 80°C とすることで、スクレーパーで容易に剥がれる程度にまで剥離性は向上した。EVA の剥離に対しては、薬液への浸漬温度を上げることは有効であった。

表Ⅲ-2-③-(4)-3 常温で剥離性を示した各種薬剤の加温剥離試験結果

分類	温度(°C)	10分浸漬後剥離状況	20分浸漬後剥離状況	30分浸漬後剥離状況	120分浸漬後剥離状況	毒劇物	沸点(°C)	引火点(°C)	消防法(類-石油類)
トルエン (芳香族炭化水素)	30	○		◎		劇	111	4	4-1
	45	◎	☆			劇	111	4	4-1
アニソール (芳香族エーテル)	30			×			154	51	4-2
	45			△			154	51	4-2
	60				○		154	51	4-2
	80				○		154	51	4-2
グリコール系 (脂肪族)	30	△		△			244	152	4-3
	45	△		◎			244	152	4-3
	60				◎		244	152	4-3
	80				◎		244	152	4-3
不飽和脂肪族炭化水素系	30	×					252	107	4-3
	45	△					252	107	4-3
	60				○		252	107	4-3
	80				○		252	107	4-3

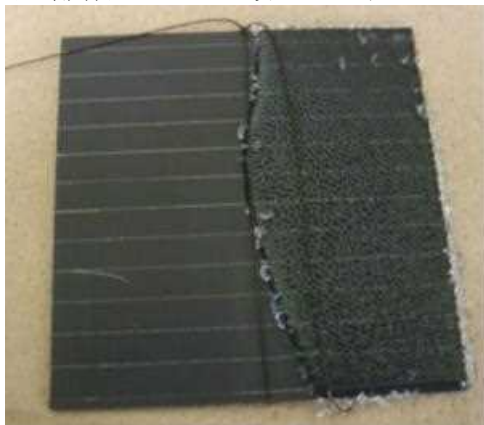
しかし、トルエン以外の薬液では 80°C、120 分の浸漬でも完全剥離はしなかった。そこで、45°C、20 分で EVA の完全剥離が可能なトルエンを選定し、トルエンを使用した試験データを処理装置の仕様決めに供することとした。また、トルエンの使用に伴う安全対策も装置の仕様に盛り込むこととしたが、トルエン相当の剥離能を持ち、より取扱の容易な薬液の探索についても並行して継続することとした。

#### b) 基板ガラスからの EVA の剥離の課題

カバーガラスからの EVA の完全剥離を短時間でできるトルエンを使用して、基板ガラスからの EVA の剥離を、浸漬温度 55°C の条件で試みた。なお、目視での観察の便宜のため、ガラス面の半分の EVA は手で強制的に剥離して CIS 膜面を露出させた。カバーガラスの場合と異なり、図Ⅲ-2-③-(4)-6 のように、浸漬時間 1 時間で EVA に膨潤は見られるものの剥離はしなかった。2.5 時間後にはさらに膨潤は進み、一部の EVA が塊状になり膜としては薄くなったが、剥離はしなかった(図Ⅲ-2-③-(4)-7)。

この塊状の EVA の膨潤物は、紙製のウエス(キムワイブ)でこすることで剥離した。サンプルをその後 48 時間トルエンに浸漬したが、EVA の膜は剥離せず、その後に超音波を 8.5 時間印加しても剥離はしなかった(図Ⅲ-2-③-(4)-8)。

そこでピンセットで一部の EVA の膜を強制的に剥離することを試みた結果、剥離することができた(図Ⅲ-2-③-(4)-9)。このことより、基板ガラスでは、カバーガラスの場合より、EVA と CIS との結合が強固であると考えられ、トルエンに浸漬するだけでは EVA の剥離は困難であり、強力な物理的剥離作用によって引きはがすことの必要性が示唆された。

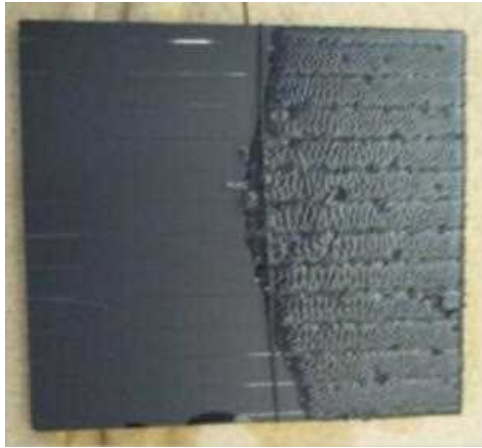


図Ⅲ-2-③-(4)-6 基板ガラスからの EVA の剥離実験  
(7cm×7cm 基板ガラス、55°C、トルエン浸漬、1 時間)



図Ⅲ-2-③-(4)-7 基板ガラスからの EVA の剥離実験  
(7cm×7cm 基板ガラス、55°C、トルエン浸漬、2.5 時間)





図Ⅲ-2-③-(4)-8 基板ガラスからの EVA の剥離実験

(7cm×7cm 基板ガラス、55℃、トルエン浸漬、48 時間+超音波 8.5 時間)



図Ⅲ-2-③-(4)-9 EVA の強制剥離後の基板ガラス

(7cm×7cm 基板ガラス、55℃、トルエン浸漬、48 時間+超音波 8.5 時間)

強力な物理的剥離作用の加え方の検討のため、かための歯ブラシと PP (ポリプロピレン) 樹脂製へらで、トルエン浸漬後の基板ガラス (図Ⅲ-2-③-(4)-10) を剥がす検討を行った。かための歯ブラシで強くこすっても、なかなか膨潤した EVA は剥離しなかったが、PP 樹脂製のへらで引きはがすような力を加えることによって、容易に剥離した (図Ⅲ-2-③-(4)-11)。この結果より、膨潤した EVA を基板から剥離する際には、硬いもので引きはがすような物理的力を加えることが有効であった。

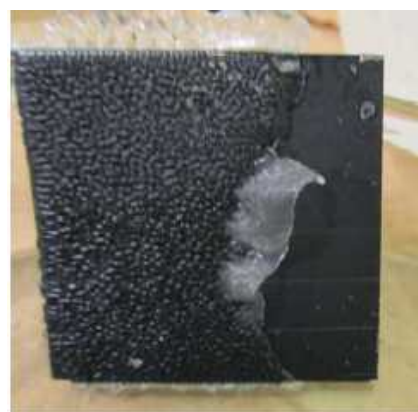
c) カバーガラスと基板ガラスの特性に応じた封止剤 EVA の剥離液および剥離法の検討

上記 a)、b) で示されたように、同じ薬液 (トルエン) でも EVA の剥離特性はカバーガラスと基板ガラスではかなり異なっていた。

そこで、カバーガラスについては 100%割れずに回収できることも考慮に入れて、トルエンを薬液として EVA を浸漬させて膨潤させた後に、ブラシ等での水などによる剥離と洗浄も含めた、試作プラントの仕様決めに必要なデータを取得することを目指した。



図Ⅲ-2-③-(4)-10 トルエン浸漬後の基板ガラス



図Ⅲ-2-③-(4)-11 PP 樹脂製のへらにより剥離した EVA

基板ガラスからの EVA の剥離液については、EVA と CIS の強固な結合を考慮に入れた場合、カバーガラス用薬液より界面の破壊力および EVA の溶解力の強い薬液が求められるが、現時点ではトルエンを超える薬液は見出されていない。従って、基板ガラスに対しては、剥離液としてはカバーガ

ラス同様にトルエンを使用し、強い機械的剥離力を、例えば金属製ブラシ等によって加えることで対応することとした。

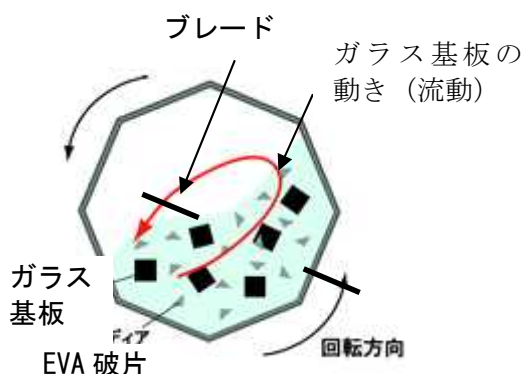
d) 割れた基板ガラスからの EVA の剥離技術の開発

1. 1d) で示されたように、現状のホットナイフ装置では基板ガラスを割らずに合わせガラスを解体することは困難であった。割れた基板ガラスには、上記 b)、c) で示されたような強い機械的剥離力を金属製ブラシ等で加えることは困難であるため、割れた基板ガラス自身の相互研磨（共擦り）による機械的剥離力を活用して EVA を剥離することとした。

共擦りを実現するために、回転する容器の中で割れたガラス片同士を擦り合わせて、基板ガラス上に残る CIS 膜を擦り落とすことを目指した。具体的には、図Ⅲ-2-③-(4)-12 のようなポットミキサーのボール型容器に割れた基板ガラスと剥離液を入れて回転させた。剥離液と基板ガラスは容器内部の2枚のブレードにより、攪拌されて混合し、ガラス同士の共擦りも生起したと考えられる。ミキサーの容器内部のガラス基板の動きを模式的に図Ⅲ-2-③-(4)-13 に示した。



図Ⅲ-2-③-(4)-12 ポットミキサー  
傾斜角調節範囲：90°  
容器材質：SUS304、回転数：4～56rpm



図Ⅲ-2-③-(4)-13 ボール型容器内のガラス基板の動き

トルエンと EVA 付きの基板ガラス (7cm×7cm) 2～4 枚をハンマーで叩いてクラックを入れた状態で、ボール型容器に入れてポットミキサーに取り付けて、ゆっくりと回転させながら 12 時間処理した。処理温度は室温、ミキサーの傾斜角は 30～40° であった。攪拌を開始して 5 分ほどで基板ガラスは EVA を伴って小片に分離し、その後は小片がぶつかり合いながら共擦りを続けた。12 時間処理後の基板ガラスの状態を図Ⅲ-2-③-(4)-14 に示した。ガラス片のサイズは 1～3cm 程度であった (右下のペンは比較のために置いた)。ガラス片の端から数 mm 程度までの EVA は剥がれてはいるものの、それ以外は残っており、EVA はかなり強固に基板ガラスに結合していると考えられた。

比較のために、EVA 付きのカバーガラス 2～4 枚を同様に処理した結果を図Ⅲ-2-③-(4)-15 に示した。基板ガラスの場合と異なり、EVA は完全にカバーガラスから剥離していた。その理由は、表Ⅲ-2-③-(4)-3 に示されているように、EVA 付きカバーガラスは常温付近 (30℃) でトルエンに浸漬すると、浸漬後 30 分で、引っ張ると容易に剥がれる状態になるほど EVA とカバーガラスとの結合が弱くなることであると考えられた。



図Ⅲ-2-③-(4)-14 ミキサー中、トルエンで 12 時間処理した EVA 付き CIS 基板ガラス



図Ⅲ-2-③-(4)-15 ミキサー中、トルエンで 12 時間処理した EVA 付きカバーガラス

今後は、EVA と基板ガラス上の CIS との相当に強固な結合を考慮して、例えば EVA と直に接する CIS と、基板ガラスからの CIS の剥離能を有する薬液とを混合してミキサー処理をすることにより CIS を剥離することによって EVA をリフトオフする等の手法を検討することとした。必要に応じて、この手法にトルエンへの事前の浸漬による EVA の膨潤を組み合わせることによって、EVA を基板ガラスから完全に剥離することを目指した。この処理により取得したデータに基づいて、湿式攪拌式剥離装置の仕様を決定することとした。

### 1. 3 薬液処理技術の検討

#### a) 薬液処理技術の検討

##### i) 封止剤 EVA の薬液処理技術の検討

「1. 2 封止剤 EVA の剥離技術開発」において、洗浄剤・剥離剤の先行技術の処方に開示されている化合物を参考に、薬液の化学構造および処理条件を検討した。有機系の薬剤に加えて、過酸化水素水や無機酸およびアルカリ等の無機系の薬剤も検討した。

##### ii) 種々の EVA 剥離技術の検討

オートクレーブ中で高温・高圧でトルエン処理を行うことにより、合わせガラスが解体され、EVA の剥離ができることを確認した。また、ドライアイスの細片を強く吹き付けるドライアイスブラストや、液体窒素への浸漬、さらに薬液を全く使わないプラズマアッシングでもガラスから EVA を剥離できることを確認した。ただし、コスト的にこれらの技術の適用可能性は低いと判断した。

### 1. 4 基板ガラスからの CIS 膜の剥離、Mo 膜の分離技術開発

#### a) 基板ガラスからの CIS 膜の剥離性の評価法の検討

CIS 膜の製膜時に Mo 膜と Se が反応して、CIS 膜と Mo 膜の間には  $\text{MoSe}_2$  層が形成されている。この  $\text{MoSe}_2$  層の脆弱化による CIS 膜の剥離を期待して、水酸化ナトリウム水溶液を CIS 膜の剥離液として検討した。6M (20 重量%) 水酸化ナトリウム水溶液に、EVA の付いていない基板ガラスを液温 20~60°C の範囲で浸漬した。液温が高いほど CIS 膜の剥離が容易であったので、60°C で処理することとした。水酸化ナトリウムへの浸漬により、透明電極層とバッファ層は溶解した。

水酸化ナトリウム水溶液に浸漬しただけで機械的作用を加えないと一部の CIS 膜が残るため、残った CIS 膜を PP 樹脂製のヘラやブラシでこすり落とす作業を行ったところ剥離した (図 III-2-③-(4)-16、図 III-2-③-(4)-17)。

目視で CIS 膜が見えなくなった基板ガラス (Mo 膜は残っている) の表面分析を X 線分析顕微鏡 (顕微鏡タイプの蛍光 X 線分析装置) で行ったところ、銅やインジウムは検出されず、ごく微量の Se が検出された。この Se は  $\text{MoSe}_2$  層に由来すると考えられるので、CIS 膜は完全に剥離したと考えられた。



図 III-2-③-(4)-16 CIS 膜の物理的剥離試験  
(6M NaOH 水溶液、60°C)



図 III-2-③-(4)-17 CIS 剥離後の基板ガラス  
(Mo 膜は残っている)

剥離した CIS 膜は、孔径 0.8 $\mu$ m の PTFE (ポリテトラフルオロエチレン) 製メンブレンフィルターでろ過して回収した。回収した CIS 膜をろ紙ごと 3M 塩酸と 3M 過酸化水素水の混合液に溶解して Cu、In、Ga 等の含有量を高周波誘導結合プラズマ発光分光 (ICP) 分析法で定量した結果を①とした。また、水酸化ナトリウム水溶液への浸漬時に剥離せず、Mo 膜付き基板ガラスに残存する CIS 膜を 3M 塩酸と 3M 過酸化水素水の混合液に溶解して Cu、In、Ga 等の含有量を ICP で定量した結果を②とした。最も有価性の高い In に注目して、剥離した CIS 膜の回収率の計算式を式Ⅲ-2-(ハ)-d(1)とした。

$$\text{回収率} = \{ \text{①} / (\text{①} + \text{②}) \} \times 100 \quad (\text{式Ⅲ-2-(ハ)-d(1)})$$

実験結果 (In 重量①=7.0mg、②=0.58mg) より、CIS 膜の回収率は 92.3%であり、目標である 90%を超える値が得られた。

#### b) 過酸化水素水による基板ガラスからの CIS 膜の剥離性の検討

次に、メッキ等の剥離剤の成分である過酸化水素水を CIS 剥離液として検討した。1. 4 a) で検討した水酸化ナトリウムによる CIS 膜の剥離では Mo 膜は溶解せずに残ったが、過酸化水素水は Mo 膜のエッチング液として使われる事例もあることから、Mo 膜の溶解によるリフトオフにより、一段階で CIS 膜と Mo 膜を剥離できるか確認した。

基板ガラスの過酸化水素水への浸漬では、液温を上げることで CIS 膜の剥離が容易になる反面、過酸化水素も分解しやすくなるため、40°Cで処理した。過酸化水素水の濃度は、まず 1M (3.4 重量%) とした。CIS 膜を固体として回収するためには過酸化水素水への CIS 膜の溶解は望ましくない。そこで、基板ガラスを浸漬した過酸化水素水を時間ごとにサンプリングして、ICP で CIS 膜の成分元素を定量して CIS 膜の溶解量を確認した。また、CIS 膜の溶解率の算出のために、24 時間浸漬後の基板ガラスを 3M 塩酸と 3M 過酸化水素水の混合液に浸漬して、残存する CIS 膜を溶解させ ICP で分析した。結果を表Ⅲ-2-③-(4)-4 に示した。

1 時間浸漬後の In の溶解率は、1.8% ( $=\{ \text{②} / (\text{②} + \text{③}) \} \times 100$ ) と低く、この値は 24 時間浸漬後も 1.9%と、ほとんど変化がなかった。Cu と Ga についても溶解率は低く、1 時間浸漬後と 24 時間浸漬後でほとんど変化がなかった (Cu: 不検出→不検出、Ga: 2.8%→2.2%)。一方、Se、S および Mo については、1 時間浸漬後と 24 時間浸漬後を比較すると、溶解率が増加していた (Se: 不検出→2.5%、S: 不検出→9.1%、Mo: 9.9%→15.5%)。予想通り Mo の溶解率が最も高く、CIS 膜と Mo 膜の一段階の剥離の可能性が伺えたが、24 時間浸漬後でさえ溶解率が 15.5%と低く、溶解性は不十分であった。

表Ⅲ-2-③-(4)-4 1M 過酸化水素の CIS 膜の剥離試験結果 (7cm×7cm 基板ガラス)

		Cu	In	Ga	Se	S	Mo
溶解前の量(mg)	②+③	7.7	9.3	3.6	17.3	1.4	11.8
24H 溶解後の基板ガラス中の量(mg)	③	7.7	9.1	3.5	16.9	1.3	10
1H 後溶解量(mg)	①	不検出	0.17	0.10	不検出	不検出	0.99
1H 後溶解率(%)	①×100/(②+③)	不検出	1.8	2.8	不検出	不検出	8.4
24H 後溶解量(mg)	②	不検出	0.18	0.08	0.43	0.13	1.83
24H 後溶解率(%)	②×100/(②+③)	不検出	1.9	2.2	2.5	9.1	15.5

そこで、過酸化水素水の濃度を上げて 11.6M (35 重量%) として検討を行った。実験方法は過酸化水素濃度 1M の場合と同様であったが、高濃度の過酸化水素水の使用量を減らすために、7cm×7cm 基板ガラスを 1/4 に切断して使用し、結果を表Ⅲ-2-③-(4)-5 に示した。

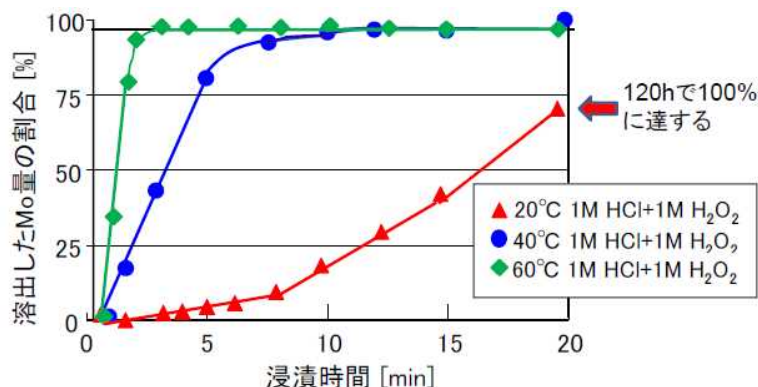
過酸化水素濃度 1M の場合と比べて大きな違いは、CIS 膜に対する過酸化水素水の濡れが悪いことであった。その結果、超音波を印加したにもかかわらず、1 時間基板ガラスを浸漬した際の CIS 膜と Mo 膜の溶解率は、1M の場合より低下した。しかし、超音波印加をせずに、さらに浸漬を続けて 24 時間経過した後は、Mo 溶解率は向上して 71.7%に達し、CIS 膜のリフトオフが期待できた。一方、In の溶解率は 5.7%と、過酸化水素濃度 1M の場合と比べてあまり向上せず、CIS 膜を固体として回収するには望ましい結果となった。

表Ⅲ-2-③-(4)-5 11.6M 過酸化水素の CIS 膜の剥離試験結果 (3.5cm×3.5cm 基板ガラス)

		Cu	In	Ga	Se	S	Mo
溶解前の量(mg)	③	1.9	2.3	0.9	4.3	0.4	2.9
1H 後溶解量(mg)	①	0.01	0.02	0.01	0.01	0.003	0.004
1H 後溶解率(%)	①×100/③	0.5	0.9	1.1	0.2	0.8	0.1
24H 後溶解量(mg)	②	0.66	0.13	0.01	1.59	0.21	2.08
24H 後溶解率(%)	②×100/③	34.7	5.7	1.1	37.0	52.5	71.7

c) 基板ガラスからの Mo 膜の剥離性の評価法の検討

Mo 膜の剥離液として過酸化水素水を使う際に、酸を加えることによる水素イオン濃度の増加が剥離能力に与える影響を検討した。手始めに、1. 4 a) で検討した水酸化ナトリウム水溶液によって CIS 膜を剥離した基板ガラスを過酸化水素水と塩酸の混合液に浸漬し、時間ごとに剥離液をサンプリングして、ICP で Mo を定量した。液温が高いほど Mo の剥離が速かった (図Ⅲ-2-③-(4)-18) が、60℃では塩素の発生が激しく、それを避けるため、40℃で処理することとした。この温度において、1M 塩酸と 1M 過酸化水素水の混合液では、約 80%の Mo 溶出には 5 分程度を要した。



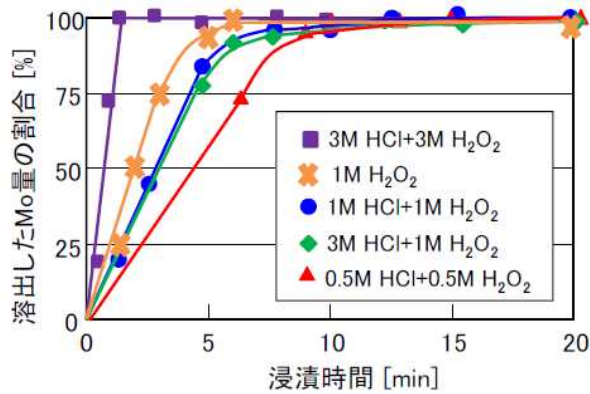
図Ⅲ-2-③-(4)-18 Mo の溶出に要する時間の温度依存性

Mo の剥離処理後に基板ガラス上に残留する Mo は以下の方法で定量した。基板ガラスを粉碎して、HClO<sub>4</sub>、HNO<sub>3</sub>、HF 等を加えて加熱して溶解し、ICP 分析を行った。基板ガラスへの残留 Mo 濃度は一例で 14ppm であり、目標値である 50ppm 以下であった。

攪拌の効果について浸漬温度 60℃の場合について、検討した。基板ガラスの残留 Mo 濃度は、攪拌なしの場合 13.1ppm、攪拌有りの場合で 11.1ppm とほぼ等しく、特に攪拌を要せずに Mo は剥離液への 3 分程度の浸漬で剥離することが判明した。

d) 過酸化水素水と酸の混合液による基板ガラスからの Mo 膜の剥離性の検討

次に、過酸化水素水と酸の混合液の濃度を変えて、Mo 膜の剥離速度に与える影響を検討した結果を図Ⅲ-2-③-(4)-19 に示した。実験条件と分析法は 1. 4 c) と同様である。ただし、剥離液の ICP 分析の際は 10 倍に希釈した。

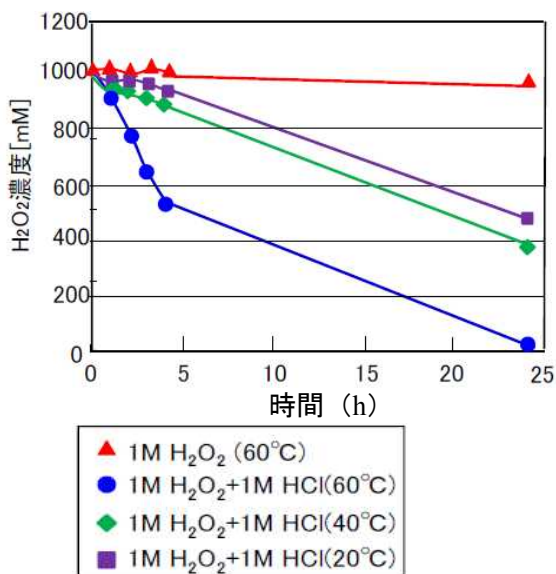


図III-2-③-(4)-19 Moの溶出に要する時間の過酸化水素水と塩酸の濃度依存性

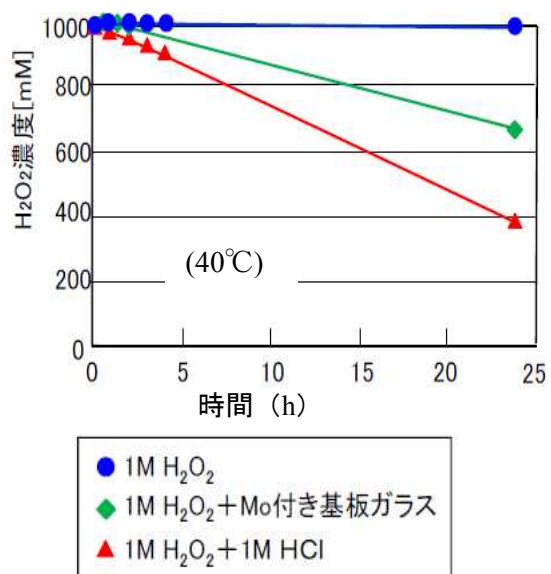
Moの溶出に要する時間は、塩酸の濃度を高くしても短縮せず、過酸化水素水の濃度を高くした場合に短縮し、3Mの場合には2分以内に100%のMoが溶出した。また、特筆すべきこととして、1Mの過酸化水素水のみを使用した場合、1Mの過酸化水素水と3Mの塩酸の混合液を使用した場合より、Moの溶出時間が短い（5分程度で約90%のMoが溶出）ことであった。

過酸化水素は自己分解し、それは温度の上昇や酸の共存により促進される（図III-2-③-(4)-20）。従って、CIS膜を剥離した基板ガラスからMoを剥離する剥離液の安定性を考えると、過酸化水素水のみで剥離することが処理コスト低減の観点から望ましい。

ただし、過酸化水素水のみで剥離した場合も剥離対象のMoとの反応により自己分解するが、その程度は24時間経過後においても、1M塩酸と共存させて放置した過酸化水素水の半分程度であった（図III-2-③-(4)-21）。



図III-2-③-(4)-20 過酸化水素水の自己分解(1)



図III-2-③-(4)-21 過酸化水素水の自己分解(2)

### 1. 5 割れガラスからのCIS膜の剥離、Mo膜の分離技術開発

#### a) 割れガラスからのCIS膜の剥離の検討

1. 4a) で示されたように、水酸化ナトリウム水溶液に浸漬しただけでは一部のCIS膜が残るため、残ったCIS膜をPP樹脂製のヘラやブラシでこすり落とすことが必要であった。しかし、1. 1d) で示されたように、現状のホットナイフ装置では基板ガラスを割らずに合わせガラスを解体することは困難なため、ガラスに残るCIS膜を樹脂製のヘラやブラシでこすり落とす方法は適用できない。

そこで、1. 2d) で使用した、回転する容器の中で割れたガラス片同士を擦り合わせる共擦りの手法を活用して、基板ガラス上に残るCIS膜を擦り落とすこととした。薬液および温度については、1. 4a) b) で検討したものを使用することとした。

#### b) 割れガラスからの Mo 膜の剥離の検討

1. 4c)、d)で示されたように、基板ガラスからの Mo 膜の剥離は、薬液への浸漬だけで実用的な処理時間内に行うことが可能である。従って、割れガラスについての特段の検討は行わなかった。

#### 1. 6 試作プラント構築、実証

##### a) 基板ガラスとカバーガラスの解体装置

1. 1で検討した、ホットナイフ装置を試作プラントの構成要素として、実証化に向けて、処理時間の短縮と装置の耐久性の向上を目指した検討を行う。

##### b) カバーガラスからの EVA の剥離装置

1. 2a) の検討を踏まえて選定したトルエンの、カバーガラスからの EVA の剥離能力と、その性状に基づく EVA の剥離装置の仕様を決めて製作した装置を試作プラントの構成要素として、実証化に向けた検討を行う。

##### c) 割れ基板ガラスからの EVA、CIS および Mo の剥離装置

1. 2a)、b)、c)の検討を踏まえて選定したトルエンの、基板ガラスからの EVA の剥離能力と、1. 2d) および 1. 5a)、b)、c) の検討に基づいて EVA、CIS および Mo の剥離装置の仕様を決めて製作した装置を試作プラントの構成要素として、実証化に向けた検討を行う。

## 2. 実用化見通し

プロジェクト終了後の平成 31 年から 5 年間は、工場からの歩留り落ち製品や市場不良品が主なりサイクル対象となるため、10MW/年の規模を有するリサイクル処理設備の投資計画を検討中である。その後、小規模工場における運転ノウハウを元に当社太陽電池の市場回収品が大量に発生すると想定される平成 40 年頃までに、数百 MW スケールのリサイクル工場建設への投資を検討する。

## 3. 波及効果

合わせガラス型太陽電池のリサイクル技術の開発要素の中に、ガラスから樹脂の剥離技術の開発も含まれ、結晶系太陽電池のリサイクルと同様の課題解決の要素が含まれていることから、結晶系を含めた太陽電池に対してのリサイクル技術開発を促進できるとともに、これに関連する研究開発に従事する人材の育成に寄与すると考えられる。

## 4. 今後の展開

本技術が実証されることで、工場の廃棄コスト低減、市場回収品の処分費用低減が可能であることが示され、当社の製品コストや管理費の低減に繋がる。製品コスト及び管理費の低減は、コスト競争が厳しい現状において関連部門の責任者からも強く求められている。また、市場の使用済太陽電池の廃棄取扱いに対するリサイクルへの取組はメーカーとしての社会的責任であり、当社は重要な課題と認識している。

当該技術は、自社としての取り組みに活用するばかりでなく、広く他の事業体への活用も含め推進していきたい。

## (5) PVシステム低コスト汎用リサイクル処理手法に関する研究開発（新菱）

### 1. 成果詳細

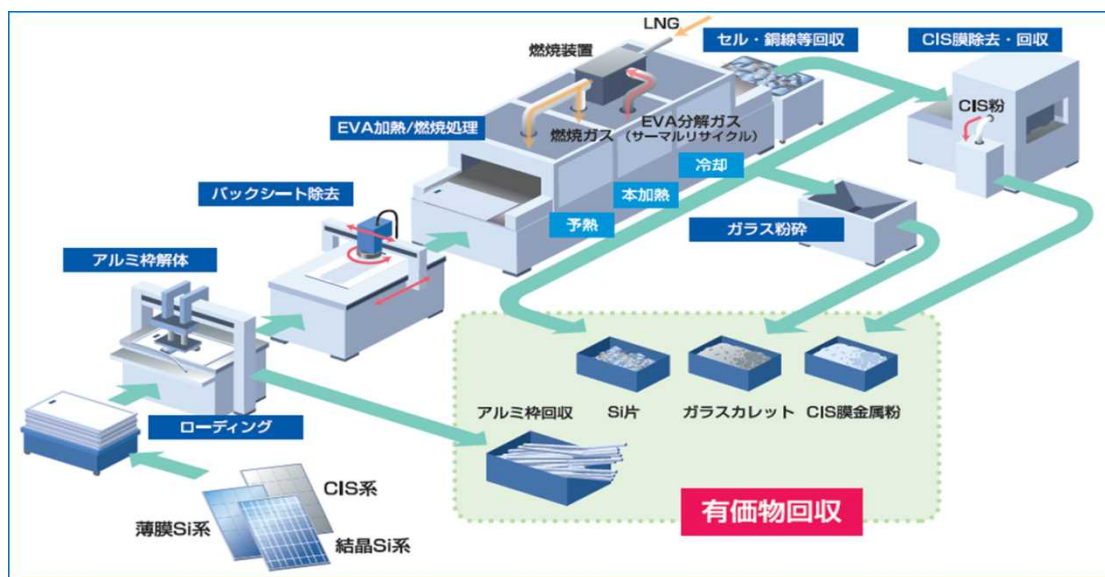
平成 26 年度までに実施した「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」委託事業で開発した「PV システム汎用処理手法」の主要装置である EVA 熱処理装置に改造を行い、実用化に向けた処理システム全体の長期信頼性・安定性及び経済性の実証を行う。

これまでに得られた成果を以下のとおりである。

#### ①システム整備と装置立上げ

外部借用地での分解処理技術の研究開発を終えて、解体して倉庫保管している状態の汎用リサイクル処理システムを工場内に設置し、システムを稼働するために必要な電源・燃料ライン等を整備することで、試作プラントを構築した。

なお汎用リサイクル処理フローを図Ⅲ-2-③-(5)-1 に、工場全景を図Ⅲ-2-③-(5)-2 に、汎用リサイクル処理システム全景を図Ⅲ-2-③-(5)-3 に示す。



図Ⅲ-2-③-(5)-1 汎用リサイクル処理フロー



図Ⅲ-2-③-(5)-2 工場全景



図Ⅲ-2-③-(5)-3  
汎用リサイクル処理システム全景



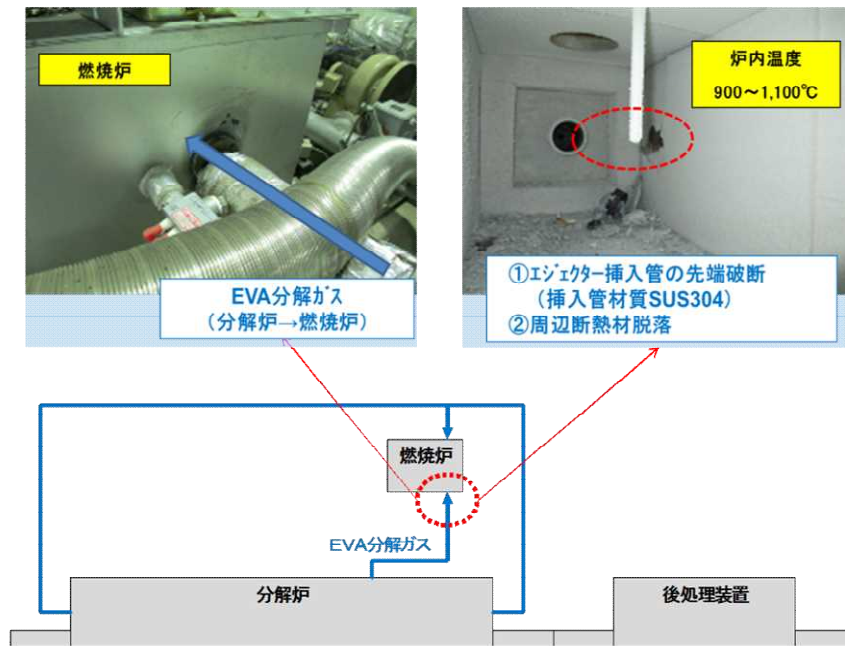
②EVA 熱処理装置の長期信頼性・安定性・経済性の向上

主要装置である EVA 熱処理装置は、本来研究開発用設備で長期信頼性・安定性及び経済性の向上に関する課題が残っており、この課題を解決するために以下の改造を実施した。

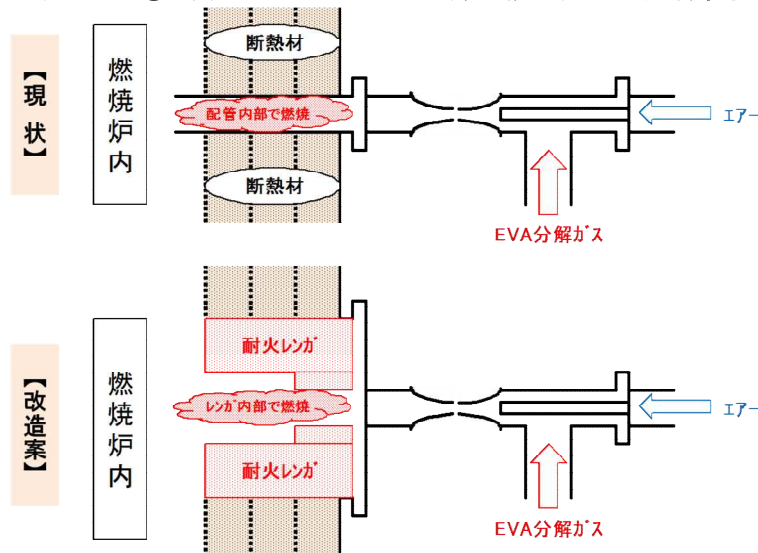
②-1 エジェクター部の耐熱強化

分解炉で熱分解された EVA 分解ガスは、エジェクターで吸引されて燃焼炉へと導かれるが、このエジェクター部の耐熱不足で長期運転出来ない状態であるので、耐熱性の高いバーナー構造への改造を実施した。

なおエジェクター部の概念図と不具合状況を図Ⅲ-2-③-(5)-4 に、バーナー構造の概念図を図Ⅲ-2-③-(5)-5 に示す。



図Ⅲ-2-③-(5)-4 エジェクター部の概念図と不具合状況

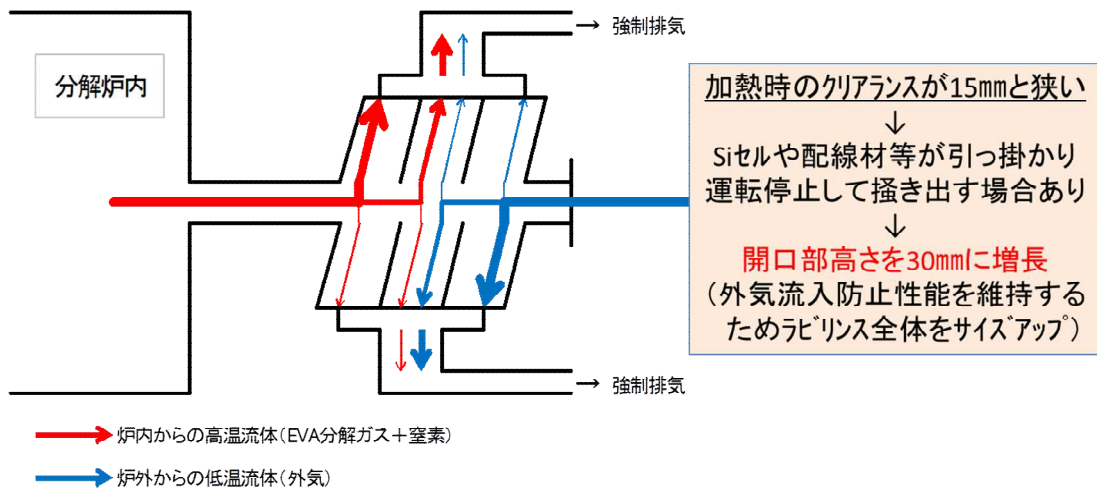


図Ⅲ-2-③-(5)-5 バーナー構造の概念図

②-2 出口側ラビリンス開口高さ増長

EVA 熱処理装置には外気流入防止のために、出入口部にラビリンス機構を有するが、出口側ラビリンスの開口部に Si セルや配線材が引っ掛かり、運転を停止して除去作業を行う必要がある場合があるので、引っ掛かり防止を目的として、開口高さを増長する改造を実施した。

なお出口側ラビリンス開口高さ増長改造の概念図を図Ⅲ-2-③-(5)-6 に示す。



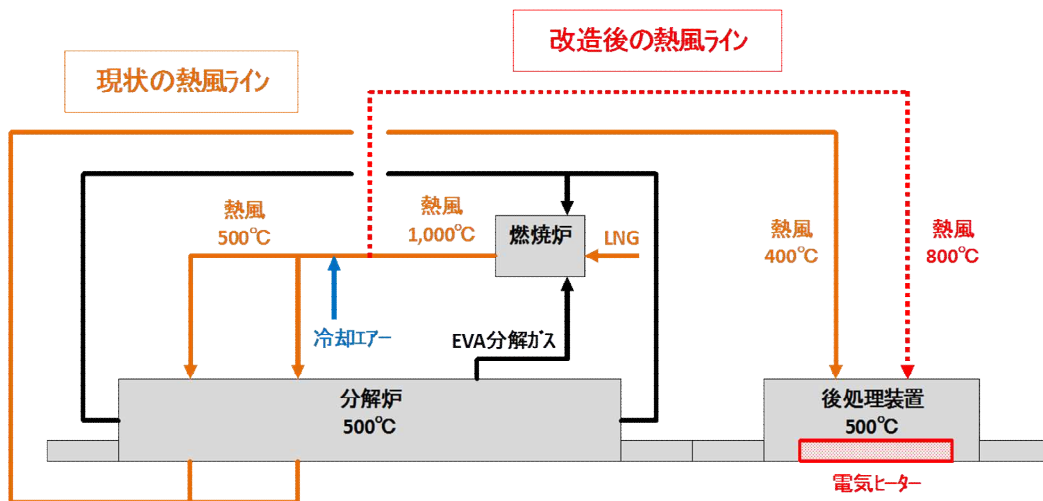
図Ⅲ-2-③-(5)-6 出口側ラビリンス開口高さ増長改造の概念図

### ②-3 後処理装置（大気炉）の加熱強化

EVA 熱処理装置は後段に後処理装置を有しており、この後処理装置の加熱源として EVA 熱処理装置に排熱を利用しているが、現状は 500℃程度の排熱であるために、後処理装置に付随する電気ヒーターで排熱を再加温している。

この電気ヒーターの使用電力削減を目的として、より高温の 800℃程度の排熱を利用出来るように、排熱配管系統の改造を実施した。

なお後処理装置（大気炉）の加熱強化改造の概念図を図Ⅲ-2-③-(5)-7 に示す。



図Ⅲ-2-③-(5)-7 後処理装置（大気炉）の加熱強化改造の概念図

### ③処理システム全体の実用性及び処理コスト評価

処理システム全体の実用性及び処理コスト評価を目的として「24 時間×数週間」単位の連続処理試験を複数回実施するために、連続処理試験用モジュール提供、リサイクル処理で発生する有価回収の売却、及び廃棄物の処理に関する契約を実施中である。

なお現状の契約進捗状況を表Ⅲ-2-③-(5)-1 に、連続処理試験時の評価項目を表Ⅲ-2-③-(5)-2 に示す。

表Ⅲ-2-③-(5)-1 現状の契約進捗状況

対象物	契約形態	契約先	契約進捗状況
アルミ枠	有価売却	非鉄精錬業者	○ 契約締結済み
カバーガラス	有価売却	ガラスメーカー	○ 契約締結済み
CIS 粉	有価売却	非鉄精錬業者	△ 交渉中
基盤ガラス	産廃処理	ガラスカレット業者	△ 交渉中
バックシート	産廃処理	焼却処理業者	○ 契約締結済み

表Ⅲ-2-③-(5)-2 連続処理試験時の評価項目

	アルミ枠解体	バックシート除去	EVA熱処理	EVA熱処理後処理 * CISモジュールのみ	薄膜スクレーパー * CIS基板のみ	有価物回収
信頼性	①解体不具合率 ②ガラス割れ発生率 ⇒ 目標: 0%	①除去不具合率 ②ガラス割れ発生率 ③集塵機閉塞発生率 ⇒ 目標: 0%	①EVA除去具合の ハズキ ②ガラス割れ発生率 ⇒ 目標: 0%	①未燃EVA除去具合の ハズキ ②ガラス割れ発生率 ⇒ 目標: 0%	①CIS膜除去具合の ハズキ ②ガラス割れ発生率 ⇒ 目標: 0%	①有価物回収率 (アルミ、Siセル、銅線、 ガラス、CIS粉) ⇒ 目標: 100%
安定性	①刃物交換頻度 ⇒ 目標: 1回/年 ②モジュール滑り止め 交換頻度 ⇒ 目標: 1回/週 ③ゴム層掃除頻度 ⇒ 目標: 1回/日	①カッター交換頻度 ⇒ 目標: 2回/週 ②切削屑用フレコンバック 交換頻度 ⇒ 目標: 1回/日 ③給油頻度 ⇒ 目標: 1回/月	①配管閉塞頻度 ⇒ 目標: 1回/月	①配管閉塞頻度 ⇒ 目標: 1回/月	①ブラシ交換頻度 ⇒ 目標: 1回/年 ②集塵フィルター交換頻度 ⇒ 目標: 1回/年 ③周辺掃除頻度 ⇒ 目標: 1回/日 ④給油頻度 ⇒ 目標: 1回/月	①周辺掃除頻度 ⇒ 目標: 1回/日
安全性	-	-	①排ガス分析 (Pb, F, Se, In) ②炉内蓄積分析 (Pb, Se, In) ⇒ 目標: 法定基準以下	①排ガス分析 (Pb, F, Se, In) ②炉内蓄積分析 (Pb, Se, In) ⇒ 目標: 法定基準以下	①作業環境測定 (Se, In) ⇒ 目標: 法定基準以下	-
経済性	①スループット ⇒ 目標: 360枚/日	①スループット ⇒ 目標: 600枚/日 ②切削屑処理量 ⇒ 目標: 96kg/日 ③フレコンバック使用量 ⇒ 目標: 1枚/日	①スループット ⇒ 目標: 192枚/日 ②消費電力 ⇒ 目標: 34kwh ③LPG使用量 ⇒ 目標: 1.9Nm <sup>3</sup> /hr	①スループット ⇒ 目標: 192枚/日 ②消費電力 ⇒ 目標: 左記に含む	①スループット ⇒ 目標: 960枚/日 ②消費電力 ⇒ 目標: 30kwh	①スループット ⇒ 目標: 192枚/日 ②有価物回収量 ③有価物買取価格 ⇒ 目標: アルミ 65,800円/日 CIS粉 19,500円/日 おハ-ガラス 4,700円/日
その他	①想定労務負荷(「アルミ枠解体～バックシート除去」で1名+「EVA熱処理～有価物回収」で1名)の適正度					

## 2. 実用化見通し

### 1) 事業化イメージ

廃棄 PV モジュールの排出源となるのは、①戸建住宅、②メガソーラー等の産業用ソーラー、及び③ PV モジュール工場である。

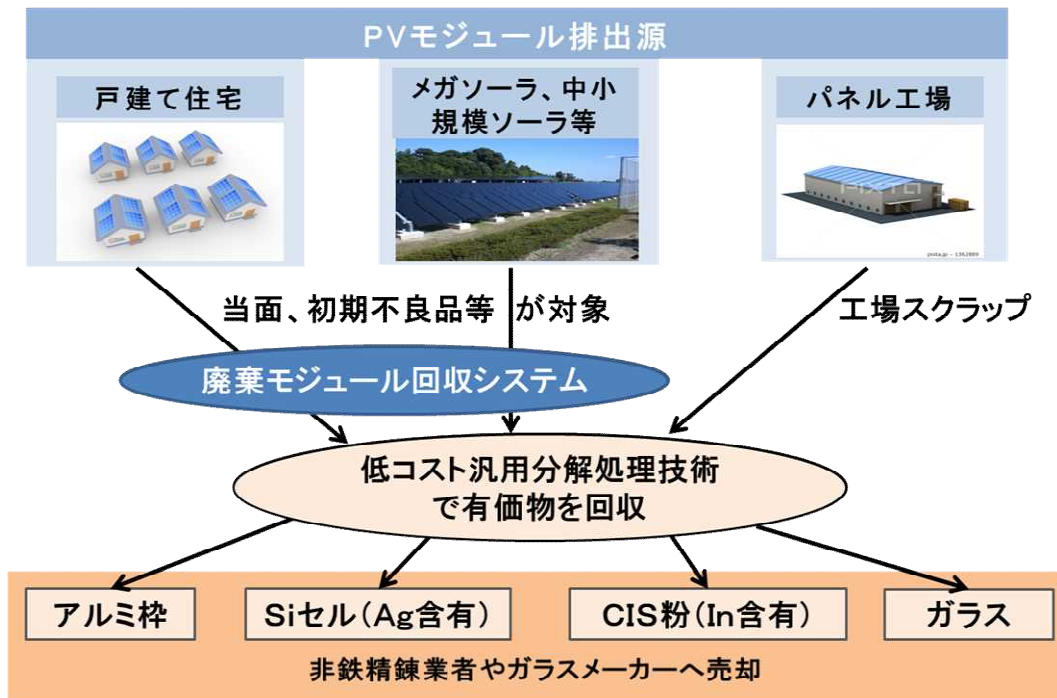
①と②では当面、初期不良品や外部要因による破損品等が対象で、一件当たりの数量が少ないため、廃棄 PV モジュール回収システムの確立が不可欠となる。

③では製造過程で発生するスクラップが対象となる。

以上のことを考慮すると、事業性はリサイクル徴収費とリサイクル処理で回収した有価物の売却収入の合計が、廃棄 PV モジュール回収システムによる回収コストと処理コストの合計をどの程度上回れるかで決まる。

特にリサイクル徴収費をいかに少なくできるかがキーポイントで、そのためには回収コストと処理コストをいかに低くできるかがキーポイントとなる。

なお事業化イメージを図Ⅲ-2-③-(5)-8 に示す。



**事業性**      **リサイクル徴収費＋有価物収入 > 回収コスト＋処理コスト**

図Ⅲ-2-③-(5)-8 事業化イメージ

2) 事業化に対する課題と対策

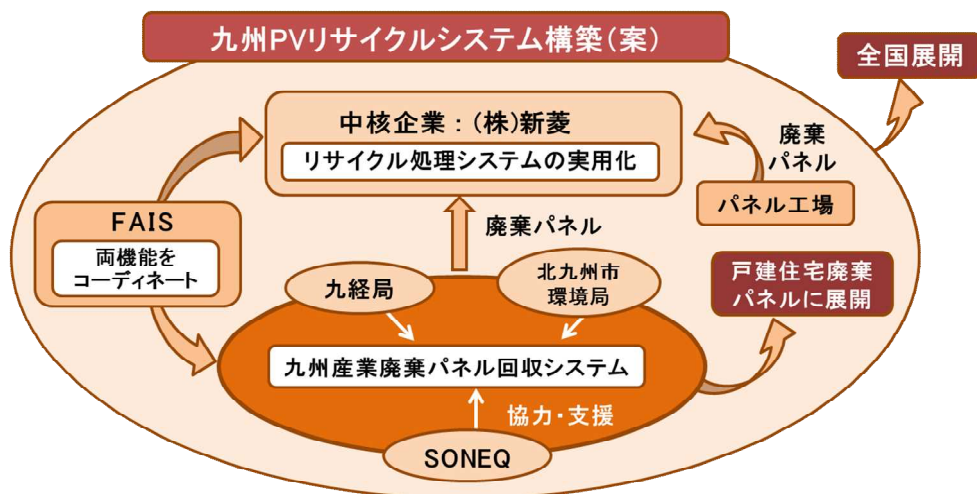
(1) 処理システムの長期信頼性・安定性及び経済性の実証

本低コスト分解処理技術実証事業にて、実用性及び処理コストを実証する。

(2) 大量の廃棄 PV モジュール確保のための拠点回収システム構築

廃棄 PV モジュールの安定・大量確保のため、広域から拠点回収するシステム構築が必要であり、北九州市、九州経済産業局及び九州ソーラー&クリーンエネルギーネットワーク (SONEQ) と連携し、廃棄 PV モジュール処理の実態を把握すると共に、運送業者の経験・ノウハウを生かし、実態に即した回収システム構築を目指す。

なお廃棄 PV モジュール回収システム構築スキームを図Ⅲ-2-③-(5)-9 に示す。



SONEQ: 九州ソーラー&クリーンエネルギーネットワーク

図Ⅲ-2-③-(5)-9 廃棄 PV モジュール回収システム構築スキーム

### 3) 事業計画

事業計画を表Ⅲ-2-③-(5)-3 に、事業化スケジュールを表Ⅲ-2-③-(5)-4 に示す。

表Ⅲ-2-③-(5)-3 事業計画

フェーズ	年度	事業内容	売上 (百万円 /年)
準備期	H27～H29	・設備信頼性アップ、低処理コスト化 ・九州廃棄モジュール回収システム構築	—
立上げ期 (STEP. 1)	H30～H32	・工場スクラップ品処理事業開始 ・産業用ソーラー廃棄モジュール処理開始	76
拡大期 (STEP. 2)	H32～	・一般住宅廃棄モジュール処理事業開始 ・炭素繊維リサイクルとの協業で処理コスト削減し、事業拡大	140

表Ⅲ-2-③-(5)-4 事業化スケジュール

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
1. 事業化準備							
①低コスト分解処理技術実証 (株)新菱 公財)北九州産業学術 推進機構		システム整備と立上げ EVA熱処理装置の長期信頼性・安定性及び経済性評価	処理システム全体の実用性及び処理コスト評価				
②廃棄モジュールの確保 北九州市 九州経済産業局 公財)北九州産業学術推進機構 (株)新菱		廃棄モジュール処理の実態把握	回収システムの構築				
③法規申請等 (株)新菱			産廃処理関連の申請				
2. 事業化							
(株)新菱				工場スクラップ等を処理			
STEP. 1							
STEP. 2					炭素繊維リサイクルとの協業で事業強化 製品寿命を過ぎた廃棄品を処理		

### 3. 波及効果

#### ①技術的効果

EVA 熱処理技術が炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の樹脂除去に応用可能で、炭素繊維リサイクル処理技術開発に貢献する。

#### ②経済的効果

PV モジュールリサイクル処理のバリューチェーンに属する下記業界の事業拡大に効果がある。

- ・ 物流業者 : 廃棄 PV モジュールの回収
- ・ 非鉄精錬業者 : 回収アルミ及び Si セル、CIS 粉の売却先
- ・ ガラスメーカー : 回収ガラスの売却先

#### ③社会的効果

将来必ず大量発生する廃棄 PV モジュールを埋立て処分することなく、リサイクル処理により資源有効利用を促進して地球環境負荷を下げ、持続可能社会実現に貢献する。

#### 4. 今後の展開

NEDO「低コスト分解処理技術実証事業」完遂と共に、産廃処理上の法規申請等を実施し、まずは PV モジュールメーカーから発生する工場スクラップ（規格外品）を対象とした事業化を目指す。

その後、技術的波及効果である炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の樹脂除去リサイクル技術を実用化させ、PV リサイクルとの並行処理による処理コストの低減化を図り、事業を強化する。

将来的には製品寿命を過ぎて廃棄される家庭用・事業所用 PV モジュールへと処理対象を拡大する。

#### ④太陽光発電リサイクル動向調査

【平成 26～28 年度】

(1) 太陽光発電リサイクルにおける国内外動向および評価手法に関する調査(みずほ情報総研)

##### 1. 成果詳細

##### 1. 1 海外における使用済み太陽電池モジュールに関する動向調査

##### a) 太陽電池モジュールリサイクルに関する政策・市場動向

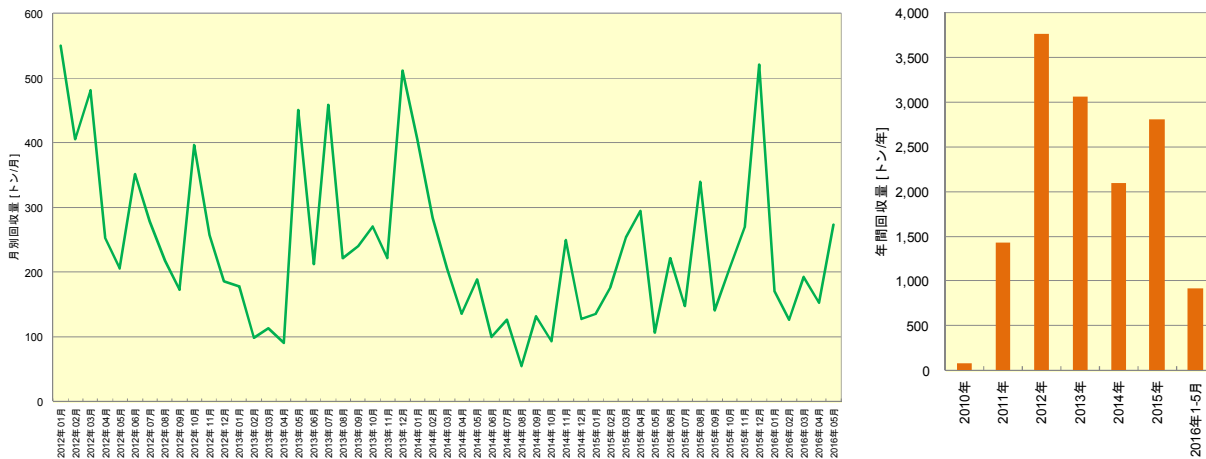
欧州では、WEEE 指令が 2012 年に改正され、太陽電池モジュールが同指令の対象に加えられ、市場からの廃棄物回収率、回収廃棄物からの資源回収率、リサイクル・リユース率に関する義務が各国に課されることとなった。実際の運用・管理は EU 各国内の規制に委ねられ、2015 年末までにはほぼ全ての国や地域で新たな国内法が施行されている。表Ⅲ-2-④-(1)-1 にドイツ、イタリア、スペイン、イギリスおよびフランスにおける使用済み太陽電池モジュールの取り扱いに関する要点を示す。

表Ⅲ-2-④-(1)-1 ドイツ、イタリア、スペイン、イギリスおよびフランスにおける使用済み太陽電池モジュールの取り扱いの要点

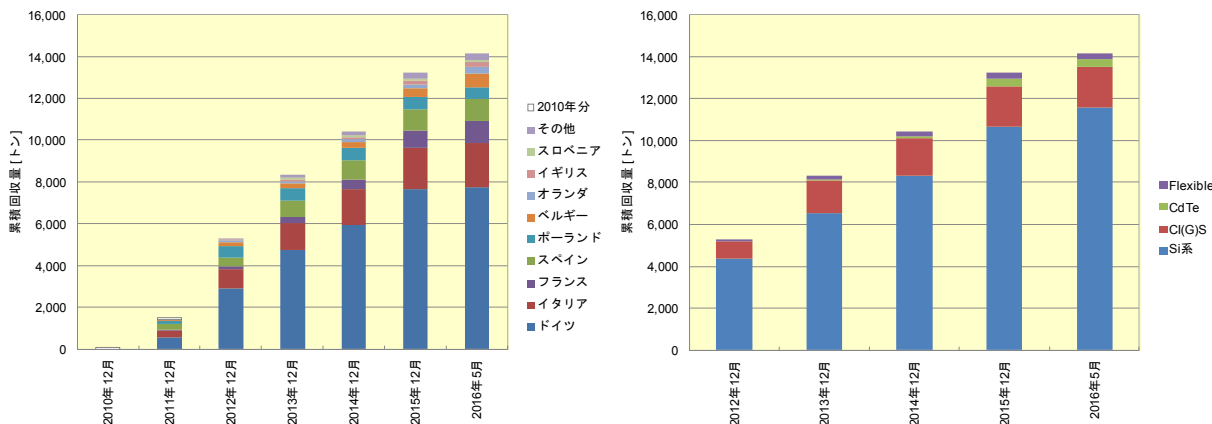
国 (国内法発効日)	要 点
ドイツⅢ-2-④-(4)-a (1) (2015 年 10 月 24 日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>家庭用 (BtoC) は他の WEEE 指定電気廃棄物と同様に自治体の回収拠点 (コレクションポイント) で収集し、処理費用は Producer により積み立てられる。</li> <li>事業用 (BtoB) の回収方法は議論中であるが、費用は処理時に Producer が負担・支出する。</li> <li>なお、2015 年 10 月 23 日以前に販売・供給されたモジュールについては、処理費用として所有者が負担する。</li> </ul>
イタリアⅢ-2-④-(4)-a (2) (2014 年 4 月 12 日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>10kW 以下のシステム (BtoC) および同法発効以降に導入される 10kW 超システム (BtoB) は Producer の責任、同法発効以前に導入された 10kW 超システムは所有者の責任となるが、固定価格買取制度 (Conto Energia) の認定対象か否かで取り扱いが異なる。</li> <li>[ 固定価格買取制度による認定対象 ]</li> <li>同制度を運営する GSE (Gestore Servizi Energetici : イタリア電力サービス管理会社) が発電事業者の売電利益より処理分損金を控除、廃棄分損金として予防的に回収し、事業者が適切な処理を行ったことが確認されたのちに返還する。</li> <li>[ 固定価格買取制度の認定対象外 ]</li> <li>PV CYCLE Italy やその他の GSE の認可を受けた処理機構に直接依頼し、リサイクルを行う。</li> </ul>
スペインⅢ-2-④-(4)-a (3) (2015 年 2 月 22 日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽電池モジュールは基本的に事業用 (BtoB) として位置づけられており、Producer の責任により実施されるが、明確な規定はなく、Producer による独自のシステムの利用、PV CYCLE España 等への委託なども可能であり、費用は処理時に実施者により決定される。</li> </ul>
イギリスⅢ-2-④-(4)-a (4) (2014 年 1 月 1 日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>家庭用 (BtoC)、事業用 (BtoB) いずれも Producer の責任により実施される (当面、全ての太陽電池モジュールは BtoC 扱い)。</li> <li>2013 年 12 月 31 日以前に販売・供給されたモジュールは、廃棄費用として所有者が負担する。</li> </ul>
フランスⅢ-2-④-(4)-a (5) (2014 年 8 月 23 日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>すべての太陽電池モジュールは家庭用 (BtoC) 電子機器となる。</li> <li>処理費用は Visible Fee (eco-fee) として消費者に請求できるが、Visible Fee を本体価格と別に明記する義務がある。</li> <li>太陽電池モジュールに関しては PV cycle France のみが処理事業者として政府から認定されている。</li> </ul>

WEEE 指令改正前の 2010 年 6 月より、欧州では PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュールの回収・リサイクルスキームの運用が開始されている。PV CYCLE による使用済みモジュール回収量の推移を図Ⅲ-2-④-(1)-1～2 に示す。年間回収量は 2011 年が約 1,430 トンであったが、2012 年に大きく増加し約 3,760 トン、その後、2013 年は約 3,070 トン、2014 年は約 2,100 トンと減少したが、2015 年は再び増加し 2,809 トンであった。2016 年 5 月までの累積回収量は 14,153 トンで、国別では

ドイツからの回収が最も多く 55%を占め、次いでイタリア、フランス、スペイン、ポーランド、ベルギーとなっており、太陽電池種類別では Si 系が 82%を占め、次いで CIGS、CdTe、フレキシブルの順である。回収された太陽電池モジュールは、Si 系はガラスリサイクルプラントにて破碎・分別し、ガラスを回収した後、他のリサイクル業者にて金属回収等が行われ、薄膜化合物系は化学的処理によりガラスや原料金属の回収が行われている。回収率は Si 系で 90%、薄膜化合物系は 97%に達している<sup>III-2-④-(4)-a (6)</sup>。



図III-2-④-(1)-1 PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュール回収量の推移（左：月間、右：年間（～2015年））<sup>III-2-④-(4)-a (7)-(8)</sup>



図III-2-④-(1)-1 PV CYCLE による使用済み太陽電池モジュール累積回収量の推移（左：国別、右：太陽電池種類別）<sup>III-2-④-(4)-a (7)-(8)</sup>

このような動きと相まって、欧州の CENELEC では、電気・電子機器の使用後処理の標準化に関する議論が開始され、太陽電池モジュールも対象製品のひとつとなっており、2016 年秋頃の発効が目標とされている。また、太陽電池モジュールを対象とし、リサイクルによる効果や影響も考慮した環境フットプリントの評価ルール作成も進められている。

米国では、太陽光発電の導入が進んでいるカリフォルニア州において、有害物質対策の一環として、有害廃棄物に相当する太陽電池モジュールの Universal Waste としての指定に関する議論がなされている。太陽電池モジュールが有害廃棄物に相当するか否かは、California Waste Extraction Test により判断されるが、有害廃棄物に相当する場合には、非有害廃棄物としての埋立て処理が禁止される。Universal Waste は有害廃棄物ではあるが、広く普及しており、他の有害廃棄物と比較して相対的にリスクは小さく、適切な使用後処理が施されることを前提とし、有害廃棄物としての厳格な管理要求を軽減できるものとされている。例えば、通常、有害廃棄物は州を越えた移送を行うことが禁止されているが、Universal Waste はリサイクル等の適正処理のために州外に移送することが認められる。

また、アジア地域でも、中国や韓国、タイにおいて太陽電池モジュールリサイクルに関する議論が開始されている。



b) 太陽電池モジュールリサイクルに関する技術動向

欧州では、今後の使用済み太陽電池モジュールの大量発生に対応するため、EU による技術開発プロジェクトが実施されている。それらの概略を表Ⅲ-2-④-(1)-2 に示す。

EU によるプロジェクトのほか、First Solar、Loser Chemie などの企業でも太陽電池モジュールリサイクルの技術開発を実施している。

First Solar のリサイクル処理プラントは米国、マレーシア、およびドイツのモジュール製造工場敷地内にあり（ドイツ工場はモジュール生産を中止しているがリサイクル処理プラントは稼働）、基本的な処理技術は、太陽電池モジュールをシュレッダーおよびハンマーミルにより粉砕し、薬液処理を行うものである。最初のプラント（Version-1）は 2006 年に導入され、その後、2011 年より技術改良を加えた Version-2 が導入されている。現在、ドイツでは Version-1（当初の処理能力は 10t/日、現在は 20t/日）が稼働しており、マレーシアでは Version-2（処理能力 30t/日）が稼働している。米国では Version-2 が稼働しているほか、2015 年からは、さらなる改良を加えた Version-3 も稼働を開始している（処理能力 150t/日）。Version-2 はバッチ式であるのに対し、Version-3 では年間を通じた連続処理が可能となる。また、将来的な大量処理のニーズに対応するため、処理能力 350t/日の処理プラントの開発を掲げているほか、使用済み太陽電池モジュールをオンサイトで処理することを目的とした可搬型処理装置の実用化も目指している。

Loser Chemie では、ラミネーションされた薄膜化合物太陽電池モジュールに対して、特定波長のレーザー照射、あるいは FLA（Flash Lamp Annealing）によって、発電層（金属）と EVA の接着界面を軟化させ、二枚のガラスを EVA/透明導電膜（TCO 等）付のガラスと発電層と電極が蒸着されたガラスに分離する技術の開発を手掛けている。アルミフレームと端子箱を除去したモジュールをレーザー照射/FLA 装置への送込から送込までは自動化されており、市販サイズのモジュール 1 枚あたり 1 分程度とされている。

表Ⅲ-2-④-(1)-2 EU による太陽電池モジュールリサイクル技術開発プロジェクト

<p>FRELP <sup>(※1)</sup> Ⅲ-2-④-(4)-a (9)-(11)</p>	<p>結晶 Si 太陽電池モジュールから高品位なガラスや金属を回収しリサイクル率 100%の実現を目指すもので、赤外ランプを用いる処理により、ガラスと EVA の接着界面を軟化させた後、機械的にガラスのみを粉砕・回収し、残存物の熱分解・酸処理等によって、油分、Si、他の金属等を回収するものである。現在までのところ、各工程に必要となる要素技術開発がパイロットプラントレベルで実施されている。</p>
<p>PV Morede <sup>(※2)</sup> Ⅲ-2-④-(4)-a (12)-(13)</p>	<p>使用済み太陽電池モジュールの分解処理を太陽光発電サイトにおいて実施するためのモバイル装置の開発を目指している。「フレーム除去・モジュール裁断」→「ガラスの分離」→「残存物の粉砕」→「セル・プラスチックの分離」という四つの工程から構成され、従来と比較して、40%程度の処理コストの低減が期待されている。処理速度について、1.5 トン/時間という目標を掲げており、今後、ドイツ、スペイン、フランス、イタリアにおいて、各国最低 1 機のモバイル装置の導入を目標としている。</p>
<p>Cu-PV <sup>(※3)</sup> Ⅲ-2-④-(4)-a (14)-(17)</p>	<p>結晶 Si 太陽電池モジュール製造における Si 消費量、エネルギー消費量、銀消費量の使用量を低減するとともに、リサイクル性を高めるモジュール構造に関する研究開発である。リサイクルを阻害する要因への対策として「充填材としての熱可塑性プラスチックの利用」、「フレーム装着・固定方法の改善」を提案するとともにダンプヒート試験を実施し、充填材として TPO（ポリオレフィン）を使用した場合にも EVA と十分に競合可能、フレーム装着・固定方法としては U-profile が最も優れており、O-ring、Sponge rubber も変色は少ないが、Single sided adhesive tape では変色が激しいという結果が報告されている。また、フレーム除去後のモジュール分解について、「加熱（120℃）による充填材軟化」→「裏面ホイル除去」→「加熱温度上昇（200℃）」→「Wire-Saw による充填材切断」→「セル・ガラスの分離回収、洗浄」という手順を提案している。</p>
<p>Photolife Ⅲ-2-④-(4)-a (18)-(19)</p>	<p>湿式精錬法による金属・シリコンのリサイクルにより太陽電池モジュールリサイクルの経済性を確立する技術の開発を目的としている。結晶 Si および CdTe 系のモジュールを対象とし、さまざまな破損状態の使用済み太陽電池モジュールリサイクルを実現する技術開発と、</p>

	オートメーション化された実証プラントにおいて 200 トン／年の処理能力を達成することを目的としている。リサイクル処理は「フレーム除去」→「破碎」→「篩別」→「破碎後の粒径に応じ湿式精練・直接ガラス原料化・熱処理をそれぞれ実施」という工程から構成され、破碎や篩別に従来の廃棄物処理と共通の設備が使用でき、設備コストの削減が期待される。
CABRISS (※4) Ⅲ-2-④-(4)-a (20)-(21)	太陽電池モジュールリサイクル循環経済確立を目的に以下のコンセプトを掲げている。 ▶ 使用済みモジュールおよび太陽電池廃棄物の回収 ▶ シリコンおよびその他回収金属の精製（高純度化） ▶ 回収・精製シリコンを利用したウェハーの作製 ▶ 同ウェハーの太陽電池セルへの再生 ▶ 再生セルおよび回収・精製金属のモジュールへの適用（あるいは他の金属原料） 太陽電池モジュールから分離・回収された各種構成材料を太陽電池モジュールとして再生することを目的とし、そのための要素技術開発を実施することとしている。そして、同プロジェクトの後、得られた成果に基づくパイロット事業への展開を目指している。

※1： Full Recovery End-of-Life Photovoltaic

※2： Photovoltaic panels Mobile Recycling Device

※3： Cradle-to-cradle sustainable PV modules

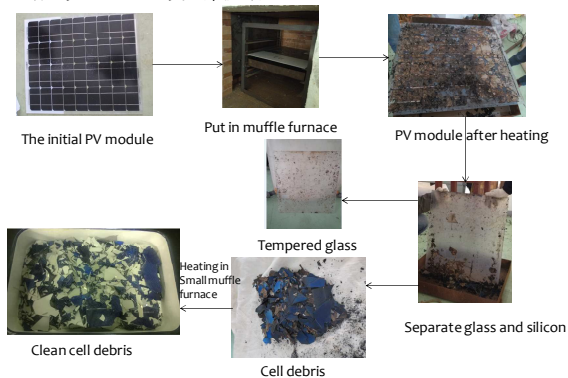
※4： Implementation of a Circular economy Based on Recycled, reused and recovered Indium, Silicon and Silver materials for photovoltaic and other applications

中国では結晶 Si 太陽電池モジュールを対象とし、液体窒素を用いた低温破碎技術、ならびに燃焼による分解技術に関する基礎的な研究が実施されてきた（図Ⅲ-2-④-(1)-3）。その後、2016 年より開始される第 13 次 5 ヶ年計画におけるエネルギー政策のもと、太陽光発電に関するリサイクル技術開発が本格的に実施されることとなっている。具体的な実施内容は議論されている最中であるが、結晶 Si 太陽電池モジュールを対象とした実証研究、オンサイト処理を行うための可搬型処理技術、薄膜太陽電池モジュールを対象とした研究開発などを掲げ、産業界を中心として実用化技術を目指すのが想定されている。

#### <低温破碎技術>

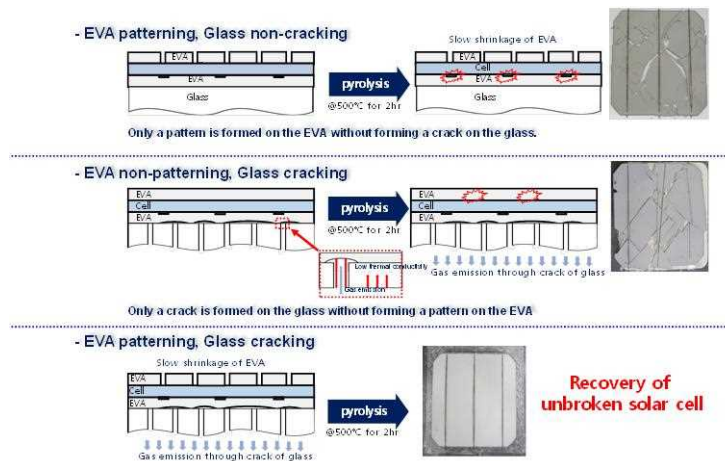


#### <燃焼による分解技術>



図Ⅲ-2-④-(1)-3 中国で実施されてきた結晶 Si 太陽電池モジュールリサイクルに関する基礎研究Ⅲ-2-④-(4)-a (22)

韓国においても、使用済み太陽電池モジュールの使用後処理に関する取組みが開始されている。太陽電池モジュールリサイクルに関する技術開発は、結晶 Si 太陽電池モジュールに焦点を当て、太陽電池セルおよび各種金属資源の回収・リサイクルに向けた取組みが実施されている（図Ⅲ-2-④-(1)-4）。また、使用済み結晶 Si 太陽電池モジュールの回収、リサイクルを推進・運営する PV リサイクルセンター（仮称）の設立に向けた検討も開始される見通しである。



図Ⅲ-2-④-(1)-4 韓国で実施されている結晶 Si 太陽電池モジュールリサイクルに関する基礎研究の例Ⅲ-2-④-(4)-a (23)

c) 太陽電池モジュールリユースの可能性に関する基礎情報

欧州におけるリユースの現状や考え方、ODA 等の海外協力事業における中古品の活用可能性について平成 26 年度に行ったヒアリング結果を表Ⅲ-2-④-(1)-3~4 に示す。

表Ⅲ-2-④-(1)-3 欧州におけるリユースの現状や考え方に関するヒアリング結果

太陽電池モジュールリユース・中古品市場の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期使用品ではないが、自然災害等による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いる。</li> <li>・損傷を受けていないモジュールがリユース品として流通し始めており、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ある。</li> <li>・リユース事業も手掛ける保守管理企業では、ユーザーからの依頼で撤去したモジュールについて、損傷していないものを自社にて性能評価を行い、保証をつけずに安価で販売している。販売した中古モジュールは設置後 3~6 年程度経過したもので、購入ユーザーは数枚で独立電源とすることもあれば、数 kW のシステムとして利用していることもある。</li> </ul>
リユースに対する考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リユース市場はまだ非常に小さいが、今後、拡大する可能性がある。</li> <li>・WEEE による使用後処理に対する義務はリサイクルのみならずリユースも含まれており、リサイクル率に対する目標・義務がより高い水準に設定された場合、主たる使用後処理がリユースに移行するかもしれない。</li> <li>・撤去することにより、初期段階（新品）に付与された保証や認証が効力を失うため、再度の性能検査・認証等が必要となる。</li> <li>・電気設備としての性能と安全性が維持されていることが確認できたものはリユースするべきであるが、そのためのコストを考えると、経済的メリットは小さいのではないかと。</li> </ul>
リユースを具現化あるいは促進するための課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品性能保証も含めたガイドライン、チェック項目等の整備</li> <li>・中古モジュールを使用する場合の適切なシステム設計</li> <li>・リユースを促進するための政策的な枠組み</li> <li>・リユースに要する費用とリサイクルのための費用負担との整合</li> <li>・安価かつ信頼性の高い性能検査技術の実現</li> </ul>

表Ⅲ-2-④-(1)-4 海外協力事業における中古品活用可能性に関するヒアリング結果

海外協力における現状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・公的資金による事業で中古太陽電池モジュールが利用された実績はないと思われる。</li> </ul>
海外協力における中古太陽電池モジュールリユースの可能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調達条件に示される仕様（性能要求）を満たしていることが条件であり、製品が保証・認証されていることが条件となることもある。</li> <li>・一般には中古品の調達を排除した規定はないため、信頼性（調達条件を満たしていること）を証明できるのであれば、理論的には調達対象になり得るが、過去に実例もなく、実際には政策的な判断がない限り実現は困難と想定される。</li> <li>・海外への製品供与・輸出ではなく、海外で実施する事業（責任の所在は日本事業者）を対象とする協力であれば、相対的には可能性はある。</li> <li>・国際競争入札において、中古品の利用が「日本企業の優位性」となる場合には、製品供与・輸出であっても可能性はあるかも知れない。</li> <li>・相手国側が中古品を受け入れる場合、海外で発生する中古品との競争となる。</li> <li>・公的資金による事業よりも、品質保証を前提とした民間ビジネスの方が可能性はある。</li> </ul>
リユースに対する考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海外協力において「途上国向けは安い製品が良い」という考え方をすべきではない。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・途上国では「安物を輸入して、すぐにだめになる」ことが多く、日本ブランドや太陽光発電に悪いイメージがつかないように、メーカーや輸出業者が責任を持つ必要がある。</li> <li>・安く大量に供給できるようになれば、市場が出来る可能性は大きい。</li> <li>・太陽電池モジュール市場を乱す（新品も値崩れを起こす）可能性がある。</li> </ul>
リユースを具現化あるいは促進するための課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適正な性能検査に基づく製品保証の付与、メーカーによるサポートの保証</li> <li>・中古品を利用することのメリットの明確化</li> <li>・政策的な意義付け、および中古品利用に関する相手国側との取り決め・確認</li> <li>・海外協力（全般）における中古品利用の実績</li> <li>・中古品を利用するビジネスモデルの構築と、相手国側へのキャパシティビルディング</li> <li>・（民間ビジネスの場合）輸入関税の取り扱い</li> </ul>

また、アジア地域の 8 ヶ国について中古品輸入が可能となる主な条件を調査した結果、多くの国が中古品輸入を許可しているが、製造日から 3 年や 5 年以上が経っている中古品については輸入禁止となっていること、輸入可能条件として使用可能寿命の年数や品質を要求している国もあることが確認された。これらの条件は電気・電子機器や機械設備の場合に適応されるが、太陽電池モジュールにもそのまま適応されるかどうかについては、相手国との検討、議論が必要となる。

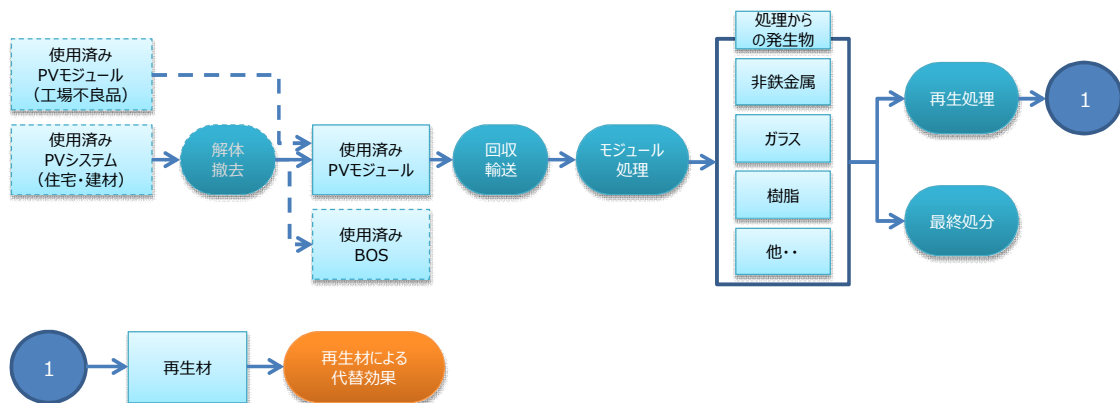
## 1. 2 太陽光発電リサイクルに関する評価手法の検討

### a) 評価手法・指標の検討

太陽光発電リサイクル技術による効果の評価するために検討すべき項目は、技術導入による効果の比較対象（ベースライン）、評価範囲（評価対象プロセス）、評価する環境影響項目となる。

技術導入による効果の評価に際し、当該技術が無い場合の技術（既存の処理プロセス等）をベースラインとして考えることが一般的であるが、本研究開発プロジェクトで開発されるリサイクル技術の導入による環境合理性を考える場合、具体的なベースラインを考慮するのではなく、評価対象となる研究開発間で評価範囲を揃え、それらの結果を比較可能としておくことが重要と考えられる。他方、研究開発成果のリファレンスケースとして埋立あるいは焼却する場合の結果を用意することも必要と考えられる。その整理については、今後の検討課題となる。

今回の評価において想定する評価範囲（案）を図Ⅲ-2-④-(1)-5 に示す。通常のライフサイクル評価では、リサイクルによる効果を、使用済み製品を排出する側とリサイクル材を使用する側で分け合うことになるが、リサイクル技術の評価にあたっては、リサイクルに係る効果の全てを考慮すべきと考えられる。そのうえで、効果の出るプロセスを評価範囲に含めておくことが必要である。評価項目によっては、これら全プロセスを対象とする必要が無い項目も存在するため、評価項目に従って妥当な評価範囲を設定する。



図Ⅲ-2-④-(1)-5 太陽電池モジュールリサイクルに関する研究開発技術の評価範囲の案

環境性に関する評価対象項目はこれまでも様々な議論、検討が実施されてきている。その概略を表Ⅲ-2-④-(1)-5 に示す。

表Ⅲ-2-④-(1)-5 既存事例における環境影響評価項目の例

環境影響領域	既存の方法論							太陽光発電に関する研究事例			
	LIME2 Ⅲ-2-(イ)4(24)	特性化係数	CML Ⅲ-2-(イ)4(25)	特性化係数	環境フット プリント Ⅲ-2-(イ)4(26)	特性化係数	PVの PEFCR Ⅲ-2-(イ)4(27)	特性化係数	Öekopol Ⅲ-2-(イ)4(28)	Bio Intelligence Ⅲ-2-(イ)4(29)	Fraunhofer Ⅲ-2-(イ)4(30)
オゾン層破壊	○	ODP	○	ODP	○	ODP	○	ODP	○		
地球温暖化	○	GWP	○	GWP	○	GWP	○	GWP	○		○
酸性化	○	DAP	○	AP	○	Accumulated Exceedance model	○	Accumulated Exceedance (AE)	○		○
光化学オキシダント	○	OCEF	○	POCP	○	LOTOS-EUROS model	○	Tropospheric ozone concentration increase	○		○
有害化学物質 (人間毒性)	○	HTP	○	HTP	○	USEtox model - CTUh (Comparative Toxic Unit for humans)	○	CTUh (Comparative Toxic Unit for humans)	○	○	
水生生態毒性	○	AETP	○	FAETP (淡水) MAETP (海水)	○	USEtox model - CTUe (Comparative Toxic Unit for ecosystems)	○	CTUe (Comparative Toxic Unit for ecosystems)			
陸生生態毒性	○	TETP	○	TETP	—	—	—	—			
富栄養化	○	EPMC	○	EP	○	Accumulated Exceedance model (陸域) EUTREND model (水域)	○	Accumulated Exceedance (陸域), Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P) or marine end compartment (N) (水域)	○		○
土地利用	○	名称なし	○	LUC	○	Soil Organic Matter (SOM) model	○	Soil Organic Matter			
資源消費	○	ADP	○	ADP	○	Swiss Ecoscarcity model (水資源) CML 2002 model (鉱物、 化石資源)	○	Water use related to local scarcity of water (水資源) Scarcity (鉱物・化石・再生可 能資源)		○	
都市域大気汚染	○	UAF	—	—	○	RiskPoll model - kg PM2.5 eq	○	Intake fraction for fine particles (kg PM2.5 eq)			
室内空気汚染	○	IAF	—	—	—	—	—	—			
廃棄物	○	名称なし	—	—	—	—	—	—			
騒音	○	名称なし	—	—	—	—	—	—			
一次エネルギー消費 (再生可能)	—	—	—	—	—	—	○	Gross energy content of renewable primary energy resources			○
一次エネルギー消費 (非再生可能)	—	—	—	—	—	—	○	Gross energy content of non- renewable primary energy resources			区別なし
放射性廃棄物	—	—	—	—	—	—	○	Radiotoxicity index, RTI			

これらの事例も参照のうえ、今回の評価において評価対象とすべき環境影響項目として「温暖化」「廃棄物」「資源枯渇」「人間毒性（土壌／水質汚染（重金属含む））」「エネルギー消費」が挙げられる。また、リサイクル技術による事業化を考えた場合、社会性の評価についても検討が必要である。既存事例においても、環境性の評価に比べて社会性に関する評価軸はまだ定まっていないものが多いが、候補として「雇用創出効果」「地域貢献の効果」「技術の波及効果」が挙げられる。社会性評価は、定量的な評価方法が定まっていない評価項目も多く、今回の評価では定量的な評価だけでなく、定性的な評価方法も含めて検討を行っている。

今後、研究開発技術に関する評価手法、指標の考え方に関するガイドラインを策定する予定であり、その構成案を表Ⅲ-2-④-(1)-6に示す。

表Ⅲ-2-④-(1)-6 ガイドラインの構成案

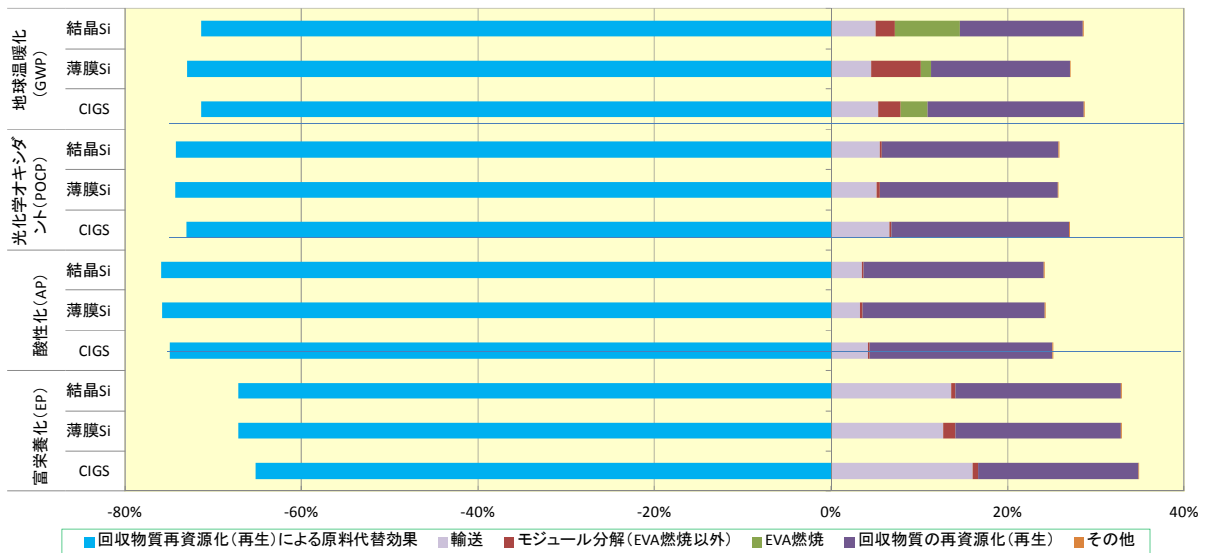
1. ガイドラインの適用範囲
2. 本ガイドラインの運用について
3. 評価対象範囲
3. 1 評価対象プロセス
3. 2 評価対象地域の想定
4. 評価側面及び評価方法
4. 1 評価側面
4. 2 評価内容
4. 3 評価単位
5. 経済性評価の評価方法
5. 1 単位処理量あたり費用
5. 2 単位処理量あたり利益
5. 3 年間のネット処理費用
5. 4 社会全体の費用回避額
6. 社会性評価の評価方法
6. 1 地域貢献・地域連携
6. 2 我が国の経済成長への貢献
6. 3 技術開発の展開
7. 環境性評価の評価方法
7. 1 サイトベースの算定方法
7. 2 ライフサイクルベースの算定方法
7. 1. 1 使用済み太陽電池モジュールの回収輸送
7. 1. 2 リサイクル処理工場における処理
7. 1. 3 リサイクル処理工場から再生工場までの輸送
7. 1. 4 各種材料の再生処理
7. 1. 5 リサイクル処理工場から廃棄物処理場までの輸送
7. 1. 6 廃棄物処理
7. 1. 7 再生材による新規材料製造の代替効果
7. 3 環境影響評価の実施
8. 評価に用いるデータベース

b) 予備的評価の実施

本技術開発プロジェクトによる開発技術の予備的評価に先立ち、既存の技術開発プロジェクト（「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発／広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発」（平成 22～26 年度））による成果を活用し、太陽光発電リサイクル技術による環境影響評価に関する予備的な検討を行った。

ライフサイクルインベントリ分析の結果からは、太陽電池モジュールリサイクルの実施により社会全体の CO<sub>2</sub> 排出量を削減できる可能性があること、そしてその削減幅は熱分解プロセスにおける熱回収、回収ガラスの再生利用によりさらに大きくなる可能性があることが示された。また、ガラスをリサイクルすることで 90～98%程度の廃棄物発生量削減効果が得られることが示された。

ライフサイクル影響評価では、四つの環境影響領域（地球温暖化、光化学オゾン生成、酸性化、富栄養化）についてそれぞれ特性化を行った。その結果を図Ⅲ-2-④-(1)-6 に示す。いずれの影響領域においても、回収素材の再資源化による環境負荷削減量がリサイクルプロセスにおける環境負荷発生量を上回っており、リサイクルの実施によって環境負荷量を低減できることが示された。



図Ⅲ-2-④-(1)-6 ライフサイクル影響評価結果

## 2. 実用化見通し

本調査は、海外における使用済み太陽電池モジュールに関する動向を調査するとともに、『太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト』による研究開発技術の優位性・有効性を検証するための手法を確立するものである。

本調査による成果を基に、海外における動向等について NEDO 技術開発機構を通じて資源エネルギー庁・環境省による太陽電池モジュール適正処理に関する議論の基礎資料として提示することができたほか、評価手法確立の一貫として既存プロジェクトを対象とした環境性に関する予備的評価を実施し、プロジェクト実施者にフィードバックするとともに、国際会議での発表を行い、日本における太陽光発電リサイクルへの取り組みを周知することができた。

今後も本調査の成果を広く周知することで、太陽光発電リサイクルに関する技術開発の推進、社会システムの構築、わが国の取り組みに関する国際的な情報発信に貢献することが見込まれる。

## 3. 波及効果

太陽光発電の導入拡大が加速する中、使用済み太陽電池モジュールの適正処理に関する政策的な議論、ならびにリサイクル処理技術の開発・実用化に向けた取り組みが世界的に活発化している。わが国においても、リサイクルをはじめとする使用後の適正処理に対する政策的な位置づけ等について資源エネルギー庁、環境省による議論、検討が継続的に実施されているところであるが、リサイクルをはじめとする太陽光発電の適正処理技術の確立は、激しさを増す国際競争を勝ち抜くための活路の一つになり得る。

このような環境の中、本調査は、太陽光発電リサイクルに関する海外動向の把握、研究開発技術の評価を通じて、今後の取り組みの方向性等を明確にし、わが国の太陽光発電産業の更なる発展と国際競争力確保に貢献することができる。

## 4. 今後の展開

太陽光発電の健全な普及拡大には使用済みのシステムを適正に処分することが可能な手段を確保することが重要であり、リサイクル処理技術の実用化を着実に進めるとともに、撤去・回収・分別等においても低コスト化技術を開発し、それら技術を最大限有効に活用する社会システムの構築が必要である。

『太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト』の着実な推進に向け、今後も、定点観測的な調査を継続し、海外における最新の状況を把握し、NEDO 技術開発機構およびその関係者へに周知するとともに、急激に進展している政策・市場動向や技術動向に応じ、新しい方向性を模索しつつ調査を実施する予定である。また、精度の高い評価手法を確立し、環境性、社会性などの側面から研究開発技術の優位性・有効性を評価・検証するとともに、開発された技術を効果的に社会へ導入するための方策を検討していく。

【参考文献】

- Ⅲ-2-④-(4)-a (1) Gesetzes zur Neuordnung des Rechts über das Inverkehrbringen : die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (2015年10月20日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (2) GSE : Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche RAEE Istruzioni operative per la gestione e lo smaltimento dei pannelli fotovoltaici incentivati (2015年12月14日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (3) Real Decreto 110/2015 Sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: principales novedades (2015年2月20日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (4) Environment Agency and Department of Business Innovation & Skills : How to assess and report B2C and B2B electrical and electronic equipment (EEE) and waste electrical and electronic equipment (WEEE) products (2015年2月23日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (5) Décret n° 2014-928 du 19 août 2014 relatif aux déchets d'équipements électriques et électroniques et aux équipements électriques et électroniques usagés (2014年)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (6) PV CYCLE : PV Recycling Achievement (2015年)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (7) PV CYCLE Operational Status Report (Monthly レポート) 各号
- Ⅲ-2-④-(4)-a (8) PV CYCLE Annual Report 各号
- Ⅲ-2-④-(4)-a (9) FRELP プロジェクト website (<https://frelp.info/4-2/>) (アクセス日 2016年7月19日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (10) L. Ramon : Full Recovery End of Life Photovoltaic, Workshop on PV Life Cycle Management and Recycling at the 29<sup>th</sup> EU-PVSEC, Amsterdam, the Netherlands, September 2014
- Ⅲ-2-④-(4)-a (11) D. Ercole : FRELP 2 Project Full Recovery End of Life Photovoltaic, 32<sup>nd</sup> EU-PVSEC, Munich, Germany, June 2016
- Ⅲ-2-④-(4)-a (12) PVMo.Re.De. プロジェクト website (<http://www.pvmorede.it/>) (アクセス日 2016年7月19日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (13) R. Reggi : PV Recycling Innovations: PV-MOREDE, 3<sup>rd</sup> International Conference on PV Recycling, Rome, Italy, February 2013
- Ⅲ-2-④-(4)-a (14) CU-PV プロジェクト website (<http://www.sustainablepv.eu/cu-pv/>) (アクセス日 2016年7月19日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (15) B. Geerligns : Cu-PV Project, Resource efficiency cluster meeting, Brussels, September 2015
- Ⅲ-2-④-(4)-a (16) M. J. A. A. Gomes : Production of Recyclable Crystalline Si PV Modules, 31<sup>st</sup> EU-PVSEC, Hamburg, Germany, September 2015
- Ⅲ-2-④-(4)-a (17) M. J. A. A. Gomes : Recycling Friendly Design, Workshop on PV Life Cycle Management and Recycling at the 29<sup>th</sup> EU-PVSEC, Amsterdam, the Netherlands, September 2014
- Ⅲ-2-④-(4)-a (18) Photolife プロジェクト website (<http://www.photolifeproject.eu/>) (アクセス日 2016年7月19日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (19) Photolife Project Newsletter, N.1, January 2016
- Ⅲ-2-④-(4)-a (20) CABRISS プロジェクト website (<https://www.sintef.no/en/projects/cabriiss-implementation-of-a-circular-economy-based/>) (アクセス日 2016年7月19日)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (21) D. Pelletier, et.al : Developing a Circular Economy Based on Recycled, Reused and Recovered Indium, Silicon and Silver Materials for Photovoltaic and Other Applications, 31<sup>st</sup> EU-PVSEC, Hamburg, Germany, September 2015
- Ⅲ-2-④-(4)-a (22) Z. Wang : China PV Recycling technology -Physical method, PV Environmental Health and Safety Workshop, Beijing, China, March 2014
- Ⅲ-2-④-(4)-a (23) J.-K. Lee, J.-S. Lee, et al. : Low-cost Recovery Process of Unbroken Solar Cell from PV Module, 25<sup>th</sup> PVSEC, Busan, Korea, November 2015
- Ⅲ-2-④-(4)-a (24) 産業環境管理協会 : LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法 (2010年)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (25) Leiden University : CML-IA Characterisation Factors (2015年)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (26) European Commission : Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations (2013年)
- Ⅲ-2-④-(4)-a (27) Product Environmental Footprint Category Rules - Production of Photovoltaic



Modules Used in Photovoltaic Power Systems for Electricity Generation (2015 年)  
III-2-④-(4)-a (28) Öekopol : Study on the Development of a Take Back and Recovery System for photovoltaic Products (2007 年)  
III-2-④-(4)-a (29) Bio Intelligence Service : Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive (2011 年)  
III-2-④-(4)-a (30) Fraunhofer IBP : LCA Screening of a Recycling Process for Silicon based PV Modules (2013 年)

(2) 太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測(三菱総合研究所)

1. 成果詳細

(1) 国内の技術動向、政策動向、実施事例の定点観測

1) 太陽光発電システムのリサイクルに関する技術開発動向調査、政策動向調査及び実施事例調査

国内における太陽光発電システムのリサイクルに関する技術開発動向、政策動向及び実施事例について調査を行い、情報収集・分析を行った。

ア. 国内における技術開発動向調査

国内の代表的な研究開発事例等について、文献調査に基づき、研究開発の概要や技術の特徴(適用モジュール種類、処理コスト、資源・有害物質の回収率等)を整理するとともに、各技術の特徴を俯瞰できるように、太陽電池モジュールのリサイクル処理技術の分類・整理を行った。また、NEDO 太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトの実施事業者へのヒアリング調査を実施し、技術開発の進捗状況・課題について把握した。その他、新しい技術開発動向について定点観測を実施し、代表的な取組についてヒアリング調査に基づき詳細を調査した。

表Ⅲ-2-④-(1)-1 国内における太陽光発電システムのリサイクルに関する技術開発動向

技術類型	技術開発動向
モジュールの撤去・分別・回収技術	●平成 26 年度 NEDO 事業において技術開発調査が 2 件実施されている。
モジュールの分離・解体技術	●アルミ枠の取り外し技術の開発が実施されている。
素材の分離・選別技術	●最も多くの技術開発が行われている。技術の類型としては、乾式処理と湿式処理に大別される。 ▶乾式処理については、非加熱処理として破砕・物理選別機によるセルとガラスの選別技術や、加熱により EVA を除去することで、セルとガラスを分離する技術が開発されている。 ▶湿式処理については、薬剤等を用いてセルとガラスを分離する技術や、破砕後に湿式比重選別を用いてセルとガラスを分離する技術等が開発されている。
その他	●リユース技術、回収物(ガラス)の利用・評価技術、環境配慮設計技術(リサイクルしやすいモジュールの構造の開発)等の技術開発が実施されている。

イ. 国内における政策動向調査

国内での太陽光発電システムのリサイクルに係る政策動向として、平成 24~26 年度に環境省請負業務として実施された「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」、「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」、「平成 26 年度使用済再生可能エネルギー設備のリサイクル等促進実証調査委託業務」等の実施内容について、国内関連法における使用済太陽電池モジュールの取扱い等の観点から再整理した。

ウ. 国内の実施事例調査

ヒアリング調査に基づき、太陽電池モジュールのリサイクルに関する国内の先進事例について調査を行った。本事例での処理プロセスは、アルミ枠の解体工程とガラス剥離工程に大別され、様々な種類のモジュールに対応可能な処理を行っているのが特徴であり、太陽電池モジュールのリサイクルの展開モデルを考える上で、多様な種類のモジュールに対応可能な柔軟性が重要な視点となることを把握した。

2) 太陽光発電システムのリユースに関する調査

ア. リユースビジネスの現状調査

太陽光発電設備のリユースビジネスモデルの検討にあたり、リユースビジネスの現状や中古品への関心の有無、中古品需要創出の妨げとなり得る要因等について文献調査、ヒアリング調査を実施した。

その結果、現状、太陽光発電システムのリユースビジネスとして、国内向け販売と海外向け販売が存在することが判明した。また、国内向け販売は売り先がなく、市場が小さい状況であること、海外リユースは途上国を中心に市場が一部存在する状況であることが判明した。

イ. 他の製品分野におけるリユースビジネスの実態調査

太陽光発電設備のリユースビジネスモデルの検討にあたり、リユースビジネスが成立している他の分野の状況（成立条件等）について文献調査、ヒアリング調査を実施した。その結果、リユースビジネスの成立する主要な条件として以下があり、太陽光発電設備によって該当する条件と該当しない条件が存在することを確認した。

表Ⅲ-2-④-(1)-2 リユースビジネスの成立する主要な条件

量・需給	<ul style="list-style-type: none"> <li>●需要と供給があること</li> <li>●買取が可能なものの量が多いこと</li> <li>●中古品のニーズがあること</li> <li>●調達した中古品をキャッシュ化できるルートがあること</li> </ul>
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>●供給側のコスト&lt;販売額が成立すること</li> <li>●中古品と新品の価格差が大きいこと</li> <li>●単価が極端に安いものでないこと</li> </ul>
品質	<ul style="list-style-type: none"> <li>●耐用年数が一定以上あること</li> <li>●査定ができること</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>●法的規制等がないこと</li> </ul>

ウ. リユースビジネスの可能性検討

ア及びイの調査結果を踏まえてリユースビジネスモデル（案）の仮説を複数パターン作成し、専門家等との議論や有識者・関係者へのヒアリング調査等を通じて仮説検証を行い、具体的なビジネスモデルを整理した。ビジネスモデルとして①国内リユース、②海外リユース、③メンテナンス向けリユースを取り上げ、調達元、リユースビジネスの担い手、売り先の検討を行った。

表Ⅲ-2-④-(1)-3 太陽光発電システムのリユースビジネスモデル（案）

	概要	ビジネスモデルイメージと現状の課題等
①国内リユース	<ul style="list-style-type: none"> <li>●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。</li> <li>●一方、調達元を考えた場合、現状でも一定量は発生しているため一箇所では数が少ないため効率的に集めることができれば数の確保は可能。今後は販路の拡大が必要。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拡大する可能性あり。</li> </ul>	

	概要	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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。</li> <li>● 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。</li> <li>● 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。</li> <li>● 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。</li> </ul>	
③ メンテナンス向けリユース	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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。</li> <li>● 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。</li> </ul>	

エ. 中古パネルの経済性評価のための基礎データの収集

中古パネルの経済性評価の手法を検討するために、文献調査・ヒアリング調査を実施し、中古品として出荷するために必要な事項及びその実施にあたってのコスト等を把握した。具体的には、①撤去・運搬に係るコストデータ、②メンテナンスに係るコストデータ、③中古パネルの価格データを収集し、住宅用、非住宅用のそれぞれについてリユースに要するコストの簡易な試算を実施した。

試算に用いたデータ及び試算結果は以下のとおりである。リユースに要するコストは住宅用で約 4.0 万円/kW、非住宅用で約 2.2 万円/kW であり、いずれも撤去費用が全体の 9 割程度を占めるという結果となった。

表Ⅲ-2-④-(1)-4 使用済太陽電池モジュールリユース費用の簡易試算結果

		住宅用	非住宅用
試算に用いたデータ	換算係数	▶ 太陽電池モジュールの出力あたりの重量 1kW→100kg ▶ 太陽電池モジュール 1枚→20kg ▶ 住宅用太陽電池の出力を 1件→4kW→20枚	
	撤去費用	1件→150,000円	2万円/kW（太陽光発電設備のシステム価格を40万円/kW、その5%が撤去費用であると仮定）
	運搬費用	1kg→10円	
	メンテナンス費用	▶ メンテナンス時間：10分/枚 ▶ 作業員時給：1,000円/時間 ▶ イニシャルコスト：1,400万円 ▶ 減価償却期間：7年、年間40,000枚	
試算結果	全体（円/kW）	39,683	22,183
	使用済モジュール購入	100	100
	撤去	37,500	20,000
	運搬	1,000	1,000
	メンテナンス	1,083	1,083

オ. リユースに関する関連法規制等の整理

太陽光発電設備のリユースを行う際に配慮が必要と考えられる関連法規制等について、文献調査及びヒアリング調査に基づき基礎的な情報を収集・整理した。太陽光発電設備のリユースにあたって配慮が必要である事項は、太陽光発電設備の「買取時」、「販売・保管時」、「廃棄時」まで（古物営業法、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、廃棄物処理法）であり、販売以降の「設置・使用時」では、新品と法規制上の相違点は確認できなかった。また、リユースを行う際に技術的に配慮が必要と考えられる事項についても併せて整理した。

表Ⅲ-2-④-(1)-5 太陽光発電設備のリユースを行う際に  
配慮が必要と考えられる関連法規制の概要

分類	関連法規制	リユースにあたり特別に配慮すべき事項
買取時	●古物営業法	○
販売・保管時	●電気用品安全法	—
	●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	○
廃棄時	●廃棄物処理法	○
設置・使用時	●再エネ特措法	—
	●電気事業法 等多数	—

(2) 太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測

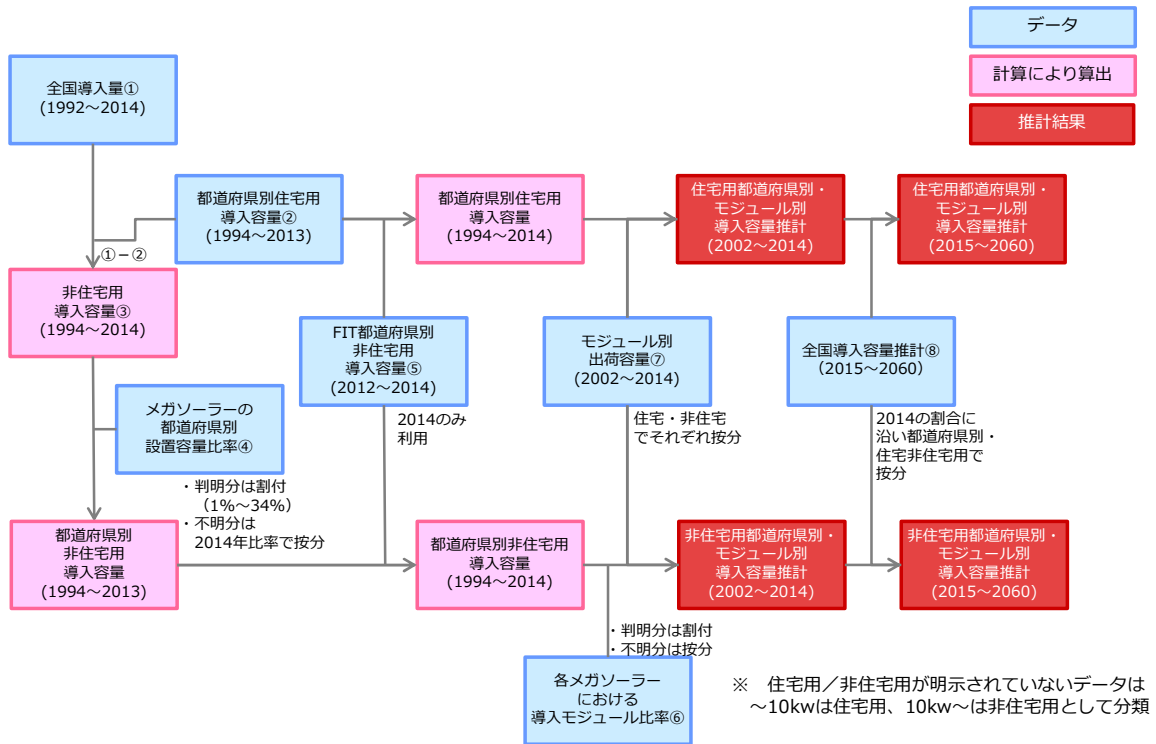
1) 太陽光発電システムの分布調査

太陽光発電システムの地域別（都道府県別・モジュール種類別等）導入実績の推移を住宅用（10kW未満）と非住宅用（10kW以上）の2区分について整理した。

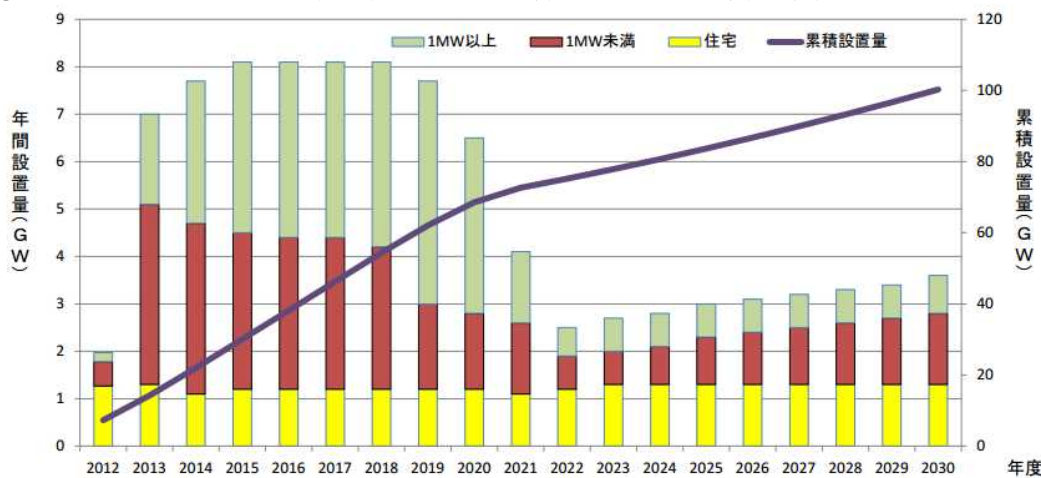
各種文献・統計データに基づき、導入初期の1990年代から現在までの導入量を把握・整理するとともに、統計データの制約から住宅用・非住宅用および都道府県別の分類が困難な年代については、一定の前提条件を設定し用途別（住宅・非住宅）・都道府県別の導入量を推計した。年度別の推計データを基に、時系列的な特徴を整理した。

次に、太陽光発電協会の国内出荷量データを基に、出荷容量の割合を加味しつつ、モジュール種類別（シリコン単結晶系、シリコン多結晶系、シリコン薄膜系、その他）の出荷容量を推計した。

また、後述の排出量予測に活用するため、太陽光発電協会、民間調査会社等による導入量の将来見通しについての既存文献資料を参考に、2030年度までの導入見込み量を整理した。これらの推計手順を整理した結果を次図に示す。



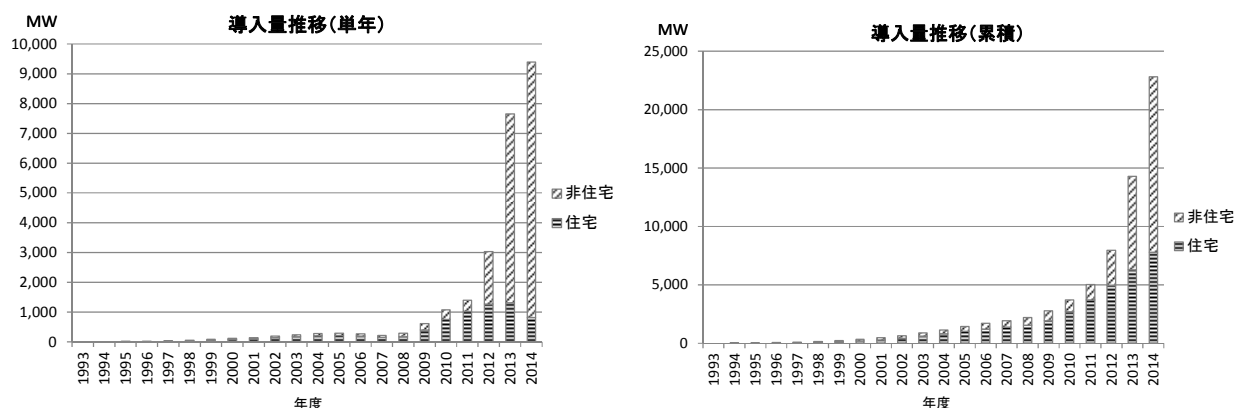
- ① IEA PVPS INSTALLED PV CAPACITY (MW)による暦年データを年度データを推計により補正 (N年度のデータは、 $N \times 75\% + (N+1) \times 25\%$  として算出)
- ② 1994~2005 新エネルギー財団 (NEF) 補助金データ、2009~2013 太陽光発電普及拡大センター (J-PEC) 補助金データ、2006~2008 は国内導入量に比例した推計により補完
- ③ 1994~2013 は①-②により算出
- ④ メガソーラーリスト (RPS 法認定設備データ、経済産業省審議会資料・全国メガソーラー分布マップ、ガラス再資源化協議会資料・全国メガソーラー一覧データ、富士経済「全国 FIT 発電事例リスト 2015」)等に基づき整備したメガソーラー施設のリスト)
- ⑤ 固定価格買取制度公表データ 10kW~ 導入量データより
- ⑥ メーカー別の使用モジュール比率を基に、メガソーラーリストより算定
- ⑦ (一社)太陽光発電協会 (JPEA) 太陽電池の出荷統計 (四半期データ)より
- ⑧ JPEA PV OUTLOOK (下図) より(2030以降は2029予測の単純延長)



図Ⅲ-2-④-(1)-1 太陽光発電システムの導入実績・見通しデータの整理方法

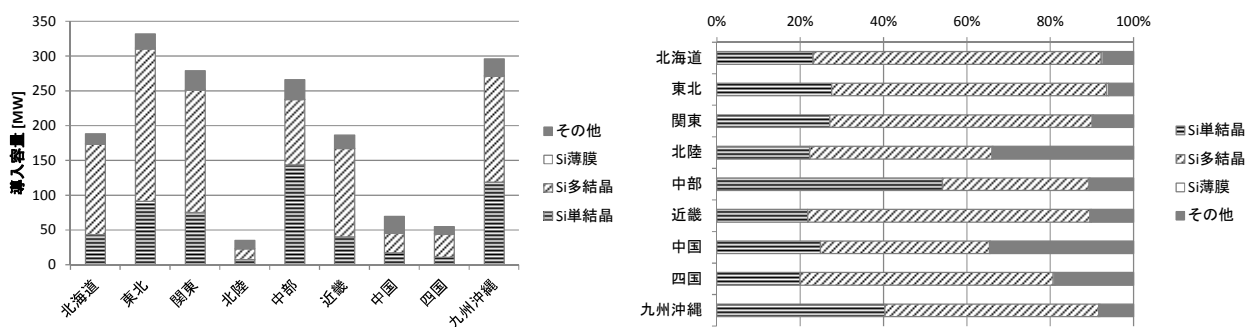
上記方法に基づき推計した導入実績は以下のとおりであり、2012年6月の固定価格買取制度

の導入を機に導入が加速度的に進んでいる結果が見て取れる。特に、非住宅（10kW 超）の増加が顕著である。



図Ⅲ-2-④-(1)-2 住宅・非住宅別導入量推移（左：単年、右：累積）

また、非住宅用について、2014 年度におけるモジュール別・地域別の導入容量・比率を推計した結果は以下のとおりであり、導入容量には地域別に偏在していること、モジュール別の比率では単結晶・多結晶が大半を占めているが、地域によってはモジュール種類に偏りがあることが示唆された。



図Ⅲ-2-④-(1)-3 地域別・モジュール別導入容量・比率（2014 年度：非住宅用）

## 2) 分布に基づいた排出量予測

### ア. 事前検討（既往研究のレビューと有識者へのヒアリング調査）

排出量予測手法の検討にあたり、太陽光発電システムやその他電気電子機器等の排出量予測に関する既往研究等の文献調査を行い、排出量予測方法、使用データ、排出量予測にあたっての課題等を収集・整理した。また、太陽光発電システムやその他電気電子機器等の排出量予測に関して知見の深い有識者に対してヒアリング調査を行った。これらの調査において得られた示唆は以下のとおりである。

- 排出見込量推計にあたって分布を適用する場合には、適用する確率の分布型について、ワイブル分布や三角型、平坦型など、いくつかの分布型を当てはめてみて、感度分析を実施してみることも有効ではないか。
- 導入量の将来予測については不確実性が高いので、複数のシナリオを設定し、高位推計、低位推計などの幅をもった値で示すことも必要ではないか。
- 太陽熱温水器のように太陽電池モジュールについても故障したまま撤去されない（退蔵される）ケースが想定される。建物を建ててから何年経過した後にモジュールを設置しているかのデータがあれば、建物の寿命とモジュールの寿命との関係を定式化する際の参考になるのではないか。

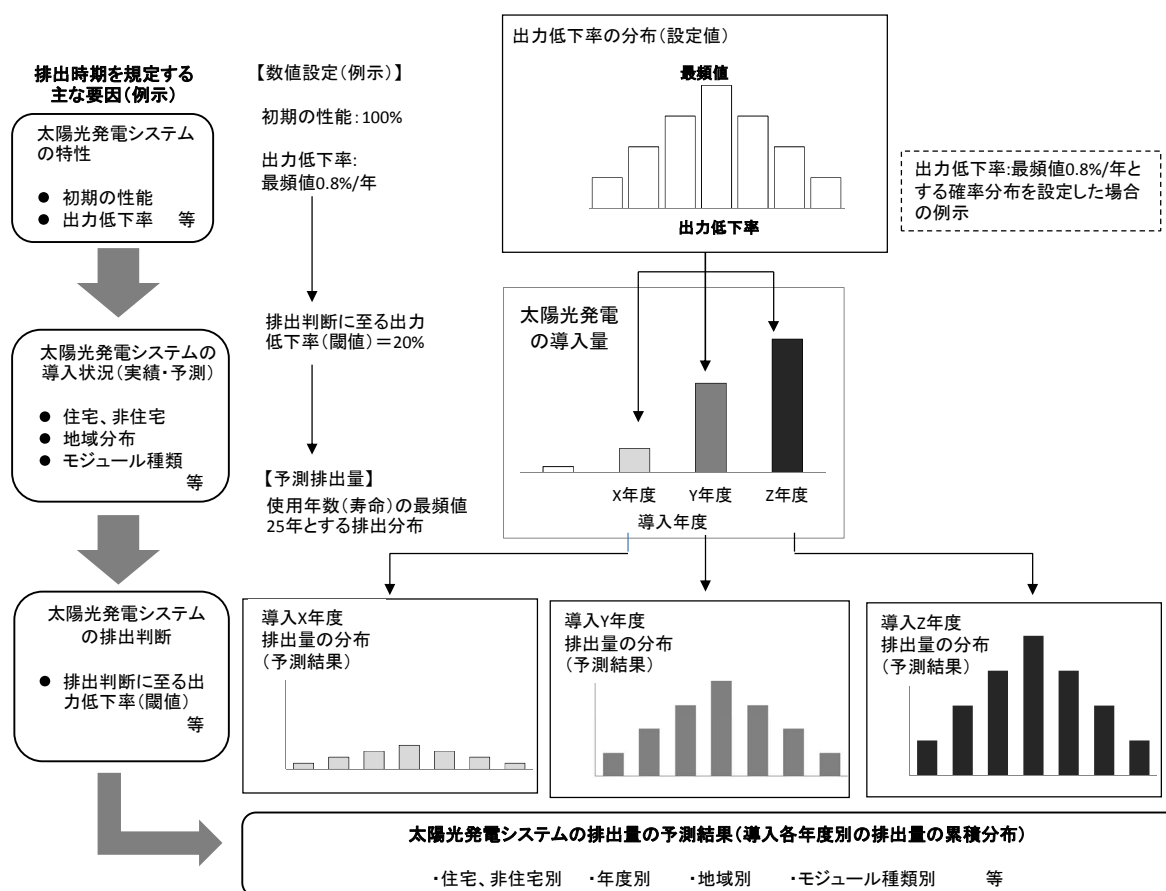
### イ. 排出量予測手法の検討

次に、上記の示唆も踏まえつつ、排出量予測の方法として、①機器使用年数を一律 25 年とした場合、②機器使用年数に分布を仮定した場合の 2 つの方法について検討した。

①の方法は、機器の使用年数を一定（25 年）とする方法であり、機器使用年数相当を遡った年の導入量が排出量と等しくなる。

一方、太陽光発電システムにおける実際の排出を考えた場合には、機器使用年数は一律でなく、様々な要因により変動するものと考えられる。このため、②設定寿命に一定の分布を与えた場合の排出量予測を行うことを目的に、太陽光モジュールの寿命（排出時期）を規定する要因（複数）を加味した排出量予測モデルについて検討を行った。

具体的には、太陽光モジュールの寿命（排出時期）は、初期状態（初期性能）、出力低下率、排出判断に至る出力低下率（閾値）等により影響を受けるものと考え、これらの要因を変数とした排出予測モデルを作成し、将来の排出見込量を試算した。例えば、初期性能を 100%、初期出力からの出力低下率を 0.8%/年、排出判断に至る出力低下率（閾値）を 20%とした場合には、出力性能が 20%低下した段階で排出され、使用年数は 25 年と概算できる。この場合、出力低下率は、一定ではなく、個別の製品等により異なるものと考えられ、出力低下率の分布状況により、使用年数が変動し、排出量も分布することとなる。方法②に基づく予測手法について次図に示す。



図III-2-④-(1)-4 排出量予測モデルのフロー  
(②機器使用年数に分布を仮定した場合)

#### ウ. 排出量予測の実施

イ. で検討した排出量予測手法を用いて、排出量予測を実施した。排出量は、住宅用・非住宅用のそれぞれについて、①機器使用年数を一律 25 年とした場合、②機器使用年数に分布を仮定した場合の 2 ケースの推計を実施した。

##### ①機器使用年数を一律 25 年とした場合

排出までの機器使用年数が一律 25 年であるとしたときの、将来の排出量予測結果を以下に示す。排出見込量（住宅用、非住宅用）は重量[t]ベースとし、モジュールの種別に関わらず 10kW あたり 1t の排出量と設定した。

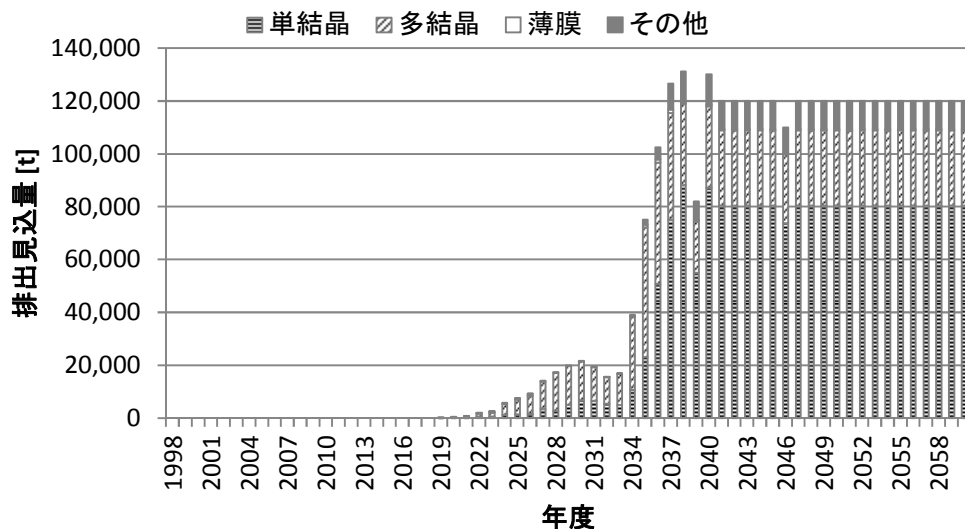
排出見込量は、ある年度の導入量がそのまま 25 年後に排出されるとみなされるため、前述した導入量推移が 25 年後に平行移動する形状になる。すなわち、固定価格買取制度の開始に伴い



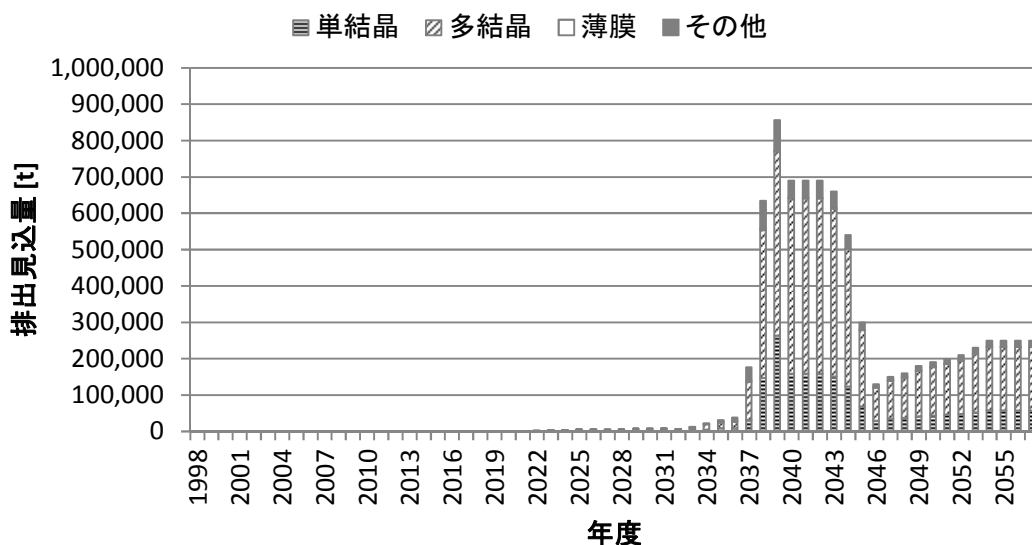
2012 年頃より太陽光発電急激に導入が進んだ結果が、2037 年頃より現れる結果となっている。

最も排出量が多い 2039 年では、住宅用 8.2 万トン、非住宅用 85.7 万トンとなり、合計で 93.9 万トンの排出見込量と推計された。

また、同じ 2039 年の排出見込量をモジュール種類別に見ると、住宅用では排出見込量の約 7 割が単結晶を占めており、多結晶と合わせれば全体の 9 割を占める結果となった。一方、非住宅用では多結晶の割合が最も高く排出見込量の約 6 割を占めている。



図Ⅲ-2-④-(1)-5 モジュール種別ごとの排出見込量（住宅用）[t]  
 (①機器使用年数を一律 25 年とした場合)



図Ⅲ-2-④-(1)-6 モジュール種別ごとの排出見込量（非住宅用）[t]  
 (①機器使用年数を一律 25 年とした場合)

②機器使用年数に分布を仮定した場合

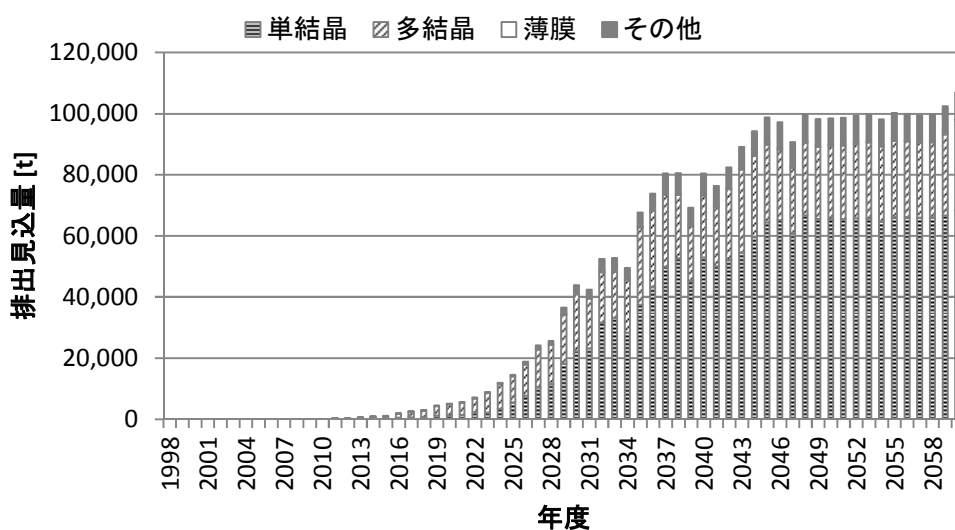
排出予測モデルのプロトタイプとして、出力低下率の分布について、一定の確率分布（0.8%/年を最頻値とした三角分布）を設定し、閾値 20%とした場合の将来の排出見込量（住宅・非住宅）について、1) で検討した太陽光発電システムの分布状況を基に、排出見込量分布の試算を行った。

試算結果は以下に示すとおりであり、①機器使用年数を一律 25 年とした場合と同様に、排出見込量（住宅用、非住宅用）は重量[t]ベースとし、モジュールの種別に関わらず 10kW あたり 1t の排出量と設定した。

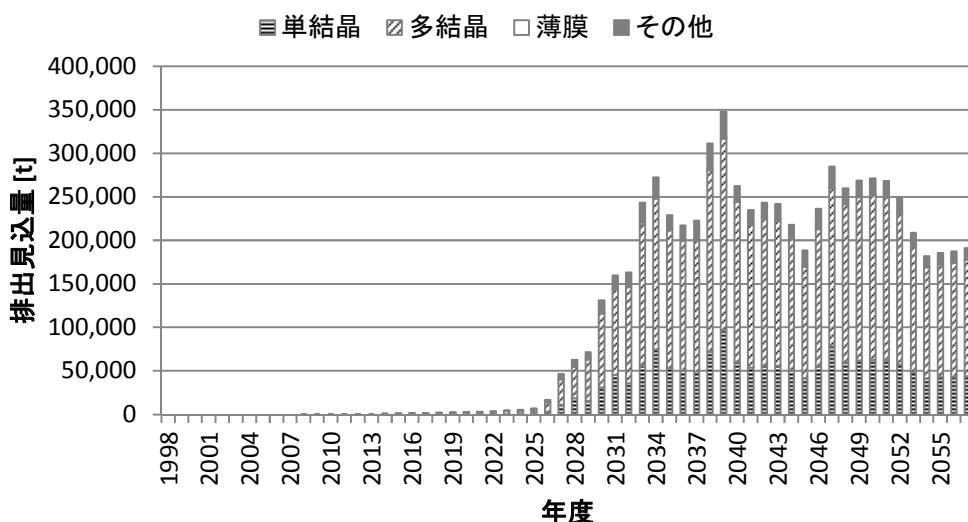
排出見込量の推移は、出力低下率が確率分布の形状をとることを反映し、①機器使用年数を一律 25 年とした場合に比べて、全体的に排出見込量の急激な変化が均される形状となった。すなわち、固定価格買取制度の開始に伴い 2012 年頃より太陽光発電急激に導入が進んだ結果が、2020 年代より徐々に現れる結果となっている（2029 年で排出見込量は 10.8 万トンに達する）。

最も排出量が多い 2039 年では、住宅用 6.9 万トン、非住宅用 34.8 万トンとなり、合計で 41.7 万トンの排出量と推計された（これは、①機器使用年数を一律 25 年とした場合の同年の排出見込量 93.9 万トンの半分以下の水準となっており、急激な排出見込量の変化が均されていることがわかる）。

また、2039 年の排出見込量をモジュール種類別に見ると、①機器使用年数を一律 25 年とした場合と同様に、住宅用では排出見込量の約 7 割が単結晶を占めており、多結晶と合わせれば全体の 9 割を占める結果となった。一方、非住宅用では多結晶の割合が最も高く排出見込量の約 6 割を占めている。



図Ⅲ-2-④-(1)-7 モジュール種別ごとの排出見込量（住宅用）[t]  
 (②機器使用年数に分布を仮定した場合)



図Ⅲ-2-④-(1)-8 モジュール種別ごとの排出見込量（非住宅用）[t]  
 (②機器使用年数に分布を仮定した場合)

エ. 排出量予測精緻化に向けた検討課題

本事業では、排出見込量予測モデルのプロトタイプとして、出力低下率の分布について、一定の確率分布（0.8%/年を最頻値とした分布）を設定し、閾値 20%とした場合の将来の排出見込

量（住宅・非住宅）について、1）で検討した太陽光発電システムの分布状況を基に、排出量分布の試算を行い、寿命一律とした場合の排出量分布との比較を行った。

比較の結果、今回検討した初期状態（初期の性能）、出力低下率、排出判断に至る出力低下率（閾値）を変数とする排出予測モデルは、排出量予測の高度化を行う上で、有効なアプローチとなることを確認した。

今後は、以下に掲げるとおり、モジュールの製品特性や導入状況を加味した分布の設定等を検討し、より実態に即した予測となるよう精緻化を行うことが課題となることを確認した。

- 出力低下率分布の設定値の検討

- ▶モジュール種別等ごとに異なる出力低下率を設定する等により、モジュール特性に即した使用年数を規定することで、排出見込量にモジュール種別の構成割合・排出特性を反映させることを目指す。

- 排出判断に至る閾値の検討

- ▶今回の試算では一律 80%を閾値として設定したが、閾値に一律の値ではなく分布を適用することで、排出判断に至る判断に設置主体による個人差を反映させることを目指す。

- 初期状態の設定値の検討

今回の試算では初期状態（導入時の発電効率）を一律 100%として設定したが、分布を適用することで、初期状態にばらつき（個体差）があることを反映させることを目指す。

## 2. 実用化見通し

本調査研究は、我が国における太陽光発電システムのリサイクルの技術開発を実施する上で参考となるよう、国内動向（技術開発、政策、事業化事例）及び将来的な排出見込量を調査したものである。本調査研究を通じて得られた成果は、本事業内で実施されているリサイクル等の技術開発において、目指すべき技術開発の水準や事業規模等の検討に資することが期待される。さらに NEDO 技術開発機構を通じて本調査研究の成果を一般に周知することで、我が国の太陽光発電システムのリサイクルシステムの構築に貢献することが見込まれる。

## 3. 波及効果

固定価格買取制度の導入を契機に、太陽光発電システムの導入が急激に進んでおり、今後は幾分鈍化するものの、一定量の導入が継続していくことが見込まれている。これらの太陽光発電システムを将来的に我が国の安定的な電源として位置づけていくためには、それらが使用済設備となり排出される段階までを想定したリユースやリサイクルに関する技術開発を進め、排出が本格化するまでに社会実装しておくことが重要である。

このような環境の中で本調査研究は、国内の太陽光発電システムのリユース・リサイクルの技術開発・政策・事業化の動向について調査・分析することを通じて、我が国の今後の技術研究開発の方向性等を明確にするとともに、将来的な排出見込量を提示することで、我が国の太陽光発電システムのリユース・リサイクルの技術開発及び社会実装に貢献することが期待できる。

なお、本調査研究の成果の一部は、経済産業省・環境省が太陽光発電システムにおけるリユース・リサイクル・適正処分に向けた対応方策を検討した「使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分の推進について 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、平成 27 年 3 月）にも活用されている。

## 4. 今後の展開

現在、国内においては、NEDO 技術開発機構のプロジェクト以外にも、リユース・リサイクルの技術開発や事業化の動きが見られるところである。また、国内における政策については、その方向性は示されているものの、今後の排出実態や取組の進捗をフォローアップしながら方向性を見直しや施策の具体化を図ることとされている。今後も、定点観測的な調査を継続し、常に最新の状況を把握し、NEDO 技術開発機構及びその関係者に周知する予定である。

また、排出見込量については、目指すべき技術開発や事業化の規模等を検討する上で、より実態に即した予測が求められる。今回検討した初期状態（初期の性能）、出力低下率、排出判断に至る出力低下率（閾値）を変数とする排出予測モデルをベースに、モジュールの製品特性や導入状況を加味した分布の設定等を検討し、より実態に即した予測となるよう精緻化を行う予定である。

### 3. 成果発表の件数

各研究開発項目の成果発表件数を表Ⅲ-3-1 に示す。

表Ⅲ-3-1. 成果発表の件数

研究開発項目	特許出願		論文 (査読付)	学会発表 ・講演	新聞・雑 誌等掲載	受賞 実績	展示会 への出展
	国内	外国					
①低コスト撤去・回収・分 別技術調査	0	0	0	0	0	0	0
②低コスト分解処理技術 FS (開発)	3	0	0	5	1	0	0
③低コスト分解処理技術実 証	1	0	0	2	2	0	2
④太陽光発電リサイクル動 向調査	0	0	0	1	0	0	0
合計	4	0	0	8	3	0	2

平成 28 年 8 月末現在

## 「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」基本計画

新エネルギー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ①政策的な重要性

「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の附帯決議において、「耐用年数経過後において大量の廃棄物の発生を防ぐ観点から、設備のリサイクルシステム構築等、早急に必要な措置を講ずること」が求められている。

## ②我が国の状況

近年のエネルギーセキュリティや地球環境問題への意識の高まり、東日本大震災後の電力供給不足への懸念により、太陽光発電は、平成10年に住宅用太陽光発電システムの国内導入件数が1万件に到達、平成16年に国内累積導入量1GWを達成、平成24年には住宅用太陽光発電システムの国内導入件数が100万件を突破、累積導入量も6.6GWに達するなど、着実に導入拡大が続いている。さらに、平成24年7月より再生可能エネルギーの固定価格買取制度が実施されたことで、今後さらに大幅な普及拡大が見込まれる。

一方、大量導入が実現すると、使用済みの太陽光発電システムが大量発生することが予想され、太陽光発電の健全な普及拡大には、使用済みのシステムを適正に処分可能な手段や社会システムを確保することが重要である。

これに対し、我が国ではリサイクル処理技術に関する取り組みが一部存在するものの十分ではなく、NEDOにおいても「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」において、大量かつ様々な種類の太陽電池モジュールに対応した低コスト汎用リサイクル処理技術の開発をしているところである。しかし、太陽光発電のさらなる普及を図るためには、リサイクル処理技術の実用化を着実に進めるとともに、撤去・回収・分別・リユース関連技術の開発も必要である。

## ③世界の取組状況

ヨーロッパでは、欧州の太陽電池モジュールのリサイクルを担う機関として、平成19年にPV CYCLEが設立され、ガラスリサイクルを主としたリサイクル事業を展開している。また、平成24年のWEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) 指令の改定において太陽電池モジュールも対象製品と位置付けられた。

## ④本事業のねらい

本プロジェクトでは、低コストのリサイクル処理技術に加え、撤去・回収関連技術等、使用済み太陽光発電システムの適正処分を実現する技術を開発・実証し、また使用済みの太陽電池モジュールをリユースするための技術も開発し、リサイクルに関する社会システム構築に貢献することを目的とする。

## (2) 研究開発の目標

使用済み太陽光発電システムの適正処分に関する技術の確立を図るために、リサイクル処理

技術や、撤去・回収・分別・リユース関連技術など、大量かつ様々な種類の使用済み太陽電池モジュールのリサイクルコストの低コスト化につながる技術を開発し、リサイクルコストの低減効果を実証する。

①アウトプット目標（平成30年度末）

- ・使用済み太陽電池モジュールのリサイクル処理に係わる低コスト分解処理技術を確立し、その効果を実証する。

研究開発項目①「低コスト撤去・回収・分別技術調査」

【最終目標】

- ・回収・分別、それぞれの低コスト化技術の実現可能性と有効性を見極め、有望な技術については、課題と目標コストを明確化する。

研究開発項目②「低コスト分解処理技術F S（開発）」

【最終目標】

- ・低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術など、年間200MW処理時の分解処理コスト5円/W以下に資する技術を確立する。
- ・分解処理コストを試算する。

研究開発項目③「低コスト分解処理技術実証」

【中間目標】

- ・低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術を適用した試作プラントを構築する。
- ・使用済み太陽電池モジュールの供給と、リサイクル処理により得られる回収物の提供に関して、一時的ではない体制・仕組みを確保する。
- ・様々な運転条件下における分解処理コスト低減効果を実証可能な実験計画を策定する。

【最終目標】

- ・分解処理コスト：5円/W以下（年間200MW処理時）

研究開発項目④「太陽光発電リサイクル動向調査」

【中間目標】

- ・国内の太陽光発電システム導入分布を考慮した排出量予測をまとめる。
- ・撤去、回収から分解処理に至るまで、各技術の効果の横断的な評価方法を確立する。

【最終目標】

- ・国内外の各種動向を調査し、本プロジェクトへのフィードバック情報をまとめる。

研究開発項目⑤「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」

【最終目標】

- ・使用済み太陽電池モジュールの回収・運搬、分別、修復コスト180円/枚を達成する技術を開発する。

例えば、分別技術であれば出力検査、絶縁検査、外観検査、バイパスダイオード検査等の一連の分別工程を精度よく5分以内で行うことが可能な技術を開発する。

上記以外の技術開発の場合、具体的な開発目標及び実施内容は、採択テーマごとにNEDOと実施者との間で協議の上個別に設定することとする。

#### 研究開発項目⑥「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」

##### 【最終目標】

- ・導入可能量、市場規模や導入課題等を明らかにする。

#### ②アウトカム目標

平成24年までに累積導入された太陽電池モジュールが廃棄される過程において、

- ・埋立費用の削減：79～132億円
  - ・CO<sub>2</sub>排出量の削減：66,000t
  - ・鉛など有害物質が含まれるため埋立が不可能な廃棄物の適正処分
- 2030年にリユース市場9億円を創出

#### ③アウトカム目標達成にむけての取組

- ・本プロジェクトで取り組む技術確立以外の実用化・事業化の大きな課題としては、ロジスティクスや法規制など社会システムの構築が挙げられるが、これらは経済産業省や環境省で検討、策定されると想定している。そこで、策定される社会システムに関する情報を的確にキャッチアップし、本プロジェクトにフィードバックしていくことで、構築された社会システムに最適な技術の確立を可能とし、早期実用化を図る。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

#### 【委託事業】

##### 研究開発項目①「低コスト撤去・回収・分別技術調査」

本調査は、現時点では不透明となっているリサイクルシステムとも大きく関連する、撤去・回収・分別などを対象に、分解処理以外のリサイクルコスト低減の実現可能性や課題の見極めのために行う調査であり、経済産業省や環境省などの動向にも影響を受ける公共性の非常に高い事業であるため、委託事業として実施する。

#### 【委託事業】

##### 研究開発項目②「低コスト分解処理技術F S（開発）」

本研究開発は、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要となる要素の一つである、分解処理コスト低減に関して、目標処理コストの達成目処やコスト削減効果を見極めるために行うF Sであり、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

**【共同研究事業（NEDO負担率：2／3）】**

**研究開発項目③「低コスト分解処理技術実証」**

本研究開発は、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要となる分解処理技術の実用化に向けて、コスト削減効果を実証するために実施する研究開発であり、共同研究事業として実施する。

**【委託事業】**

**研究開発項目④「太陽光発電リサイクル動向調査」**

本調査は、研究開発した技術が社会親和性の高い技術であることが求められることから、国内外の技術、普及、政策などの動向や、実施事例などについての調査するものであり、社会的に大きな便益のある公共性の高い事業のため、委託事業として実施する。

**【委託事業】**

**研究開発項目⑤「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」**

本研究開発はリサイクル技術開発と同じく、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要な要素である。使用済みの太陽電池モジュールをリユースするための技術開発であり、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

**【委託事業】**

**研究開発項目⑥「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」**

本研究開発はリサイクル技術開発と同じく、社会負担の少ないリサイクルシステムを構築する上で非常に重要な要素である。使用済みの太陽電池モジュールを有効活用するための可能性検討事業であり、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

**2. 研究開発の実施方式**

**(1) 研究開発の実施体制**

本研究開発は、NEDOが、単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業等の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

NEDOは、研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的な研究開発を図る観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を委嘱又は指名し、その下に効果的な研究を実施する。

**(2) 研究開発の運営管理**

**① 研究開発の進捗把握・管理**

NEDOは、主としてプロジェクトリーダーをとおして研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握するとともに、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運



営管理を実施する。また、外部有識者で構成する技術検討会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

## ② 技術分野における動向の把握・分析

NEDOは、プロジェクトで取り組む技分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

## 3. 研究開発の実施期間

「低コスト撤去・回収・分別技術調査」の実施期間は、採択決定から1年間とする。

「低コスト分解処理技術F S（開発）」の実施期間は、採択決定から1年間とする。

「低コスト分解処理技術実証」の実施期間は、平成27年度から平成30年度の4年間とする。

「太陽光発電リサイクル動向調査」の実施期間は、平成26年度から平成30年度までの5年間とする。

「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」の実施期間は、平成28年度から平成30年度までの3年間とする。

「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」の実施期間は、採択決定から1年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成28年度、事後評価を平成31年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ① 成果の普及

本研究開発で得られた研究成果についてはNEDO、委託先とも普及に努めるものとする。

#### ② 知的基盤整備事業との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備との連携を図るためデータベースへのデータ提供を積極的に行う。

#### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発

動向、政策動向、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号イ」

6. 改訂履歴

(1) 平成26年3月、基本計画制定。

(2) 平成28年3月、研究開発項目⑤「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」、研究開発項目⑥「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」を新たに制定。

## (別紙1) 研究開発計画

### 研究開発項目①「低コスト撤去・回収・分別技術調査」

#### 1. 研究開発の必要性

使用済み太陽光発電システムのリサイクルコストの低減のためには、分解処理に関するコストを低減するだけでなく、リサイクルの全工程においてコスト低減を図ることが有効である。そこで、撤去、回収、分別の工程について、コスト低減に資する技術の実現可能性を検討するとともに、課題を明確化することが必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

使用済み太陽光発電システムの撤去コストや回収コスト、分別コストを低減する低コスト撤去技術、低コスト回収技術、低コスト分別技術について、実現可能性や有効性を検証し、課題や目標コストを明確化する。

#### 3. 達成目標

##### 【最終目標】

- ・撤去・回収・分別、それぞれの低コスト化技術の実現可能性と有効性を見極め、有望な技術については、課題と目標コストを明確化する。

### 研究開発項目②「低コスト分解処理技術F S（開発）」

#### 1. 研究開発の必要性

現在、販売・導入・運用されている太陽光発電システムでは、様々な種類の太陽電池モジュールが導入されている。これらの太陽電池モジュールが使用後に、使用済み太陽電池モジュールとしてリサイクルの対象となる。そのため、太陽電池モジュールの種類に依存せず、様々な種類の太陽電池モジュールを低コストで処理可能となる低コスト汎用分解技術を確立する必要がある。一方、リサイクルコストの低減を実現する上では、導入されている太陽光発電システムの大半が結晶シリコン太陽電池である事実も鑑みると、分解処理可能な太陽電池モジュールの種類を限定することで低コスト化を図る方策も有効と考えられるため、低コスト専用分解処理技術についても確立する必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

太陽電池モジュールをガラスや封止材、金属類などに分解する工程に関して、様々な太陽電池モジュールを対象とした低コスト汎用分解技術に加え、結晶シリコン太陽電池や薄膜系太陽電池など、太陽電池モジュール種類に応じた専用の分解工程とすることでさらなる分解コストの低減を図る低コスト専用分解処理技術を開発し、処理コストを明確化する。

また、太陽電池モジュールを分解することで回収された有価物について、リサイクルコストの低減に寄与するため、有価物の回収率向上や、価値が高い状態での回収を可能とする、有価物高付加価値化技術を開発し、処理コストの低減効果を明確化する。

### 3. 達成目標

#### 【最終目標】

- ・低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術など、年間200MW処理時の分解処理コスト5円/W以下に資する技術を確立する。
- ・分解処理コストを試算する。

### 研究開発項目③「低コスト分解処理技術実証」

#### 1. 研究開発の必要性

公共性が高く、当初は対象となる使用済み太陽電池モジュールの発生量も十分でないことから大量処理によるコスト削減効果が見込めないこともあり、技術確立した低コスト分解処理技術の採算性や事業性についての評価や判断を民間主導で実施することは、非常に困難である。そこで、早期実用化を実現するためには、実用化時に近い規模、対象に対する実証を通して、処理コストやコスト削減効果、安全性など実運用に重要なデータを蓄積・提供することが有効である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

目標分解処理コストの達成目安や、十分なコスト低減効果が確認された技術については、コスト低減効果を実証する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標】

- ・低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術を適用した試作プラントを構築する。
- ・使用済み太陽電池モジュールの供給と、リサイクル処理により得られる回収物の提供に関して、一時的ではない体制・仕組みを確保する。
- ・様々な運転条件下における分解処理コスト低減効果を実証可能な実験計画を策定する。

#### 【最終目標】

- ・低コスト汎用分解処理技術、低コスト専用分解処理技術の分解処理コストが5円/W以下となることを実証する。

### 研究開発項目④「太陽光発電リサイクル動向調査」

#### 1. 研究開発の必要性

リサイクル関連の技術のスムーズな実用化には、社会親和性の高い技術であることが求められる。これに対し、経済産業省や環境省など他の省庁の動向をはじめ、国内外の技術開発や普及、政策に関する動向や最新データを常に把握しつつ、それらを的確に技術開発にフィードバックしていくことが必要となる。

## 2. 研究開発の具体的内容

### (1) 動向調査

太陽電池光発電システムの適正処分に関わる国内外の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などを調査する。

### (2) 排出量予測

国内の太陽光発電システムの分布調査を行い、分布に基づいた排出量予測を行う。

### (3) 横断的評価手法の確立

上記の研究開発項目①～③を横断的に評価する手法について検討し確立する。

## 3. 達成目標

### 【中間目標】

- ・国内の太陽光発電システム導入分布を考慮した排出量予測をまとめる。
- ・撤去、回収から分解処理に至るまで、各技術の効果の横断的な評価方法を確立する。

### 【最終目標】

- ・国内外の各種動向を調査し、本プロジェクトへのフィードバック情報をまとめる。

## 研究開発項目⑤「使用済み太陽電池モジュールの低コストリユース技術の開発」

### 1. 研究開発の必要性

使用済み太陽電池モジュールのリユースを普及するためには、使用済み太陽電池モジュールの回収・運搬、分別、修復等を低コストに行う技術の開発が必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

使用済み太陽電池モジュールを低コストにリユースできる技術の開発を行う。例えば、以下のような技術開発を行う。

- ・使用済み太陽電池モジュールを効率的かつ精度よくリユース可能か見極める分別技術（外観検査、出力検査、絶縁検査やバイパスダイオード検査等）
- ・使用済み太陽電池モジュールを設置現場から損傷させず、効率的に回収、運搬する技術
- ・不具合（PIDによる出力低下等）が生じた太陽電池モジュールを修復する技術

### 3. 達成目標

#### 【最終目標】

- ・使用済み太陽電池モジュールの回収・運搬、分別、修復コスト180円/枚を達成する技術を開発する。

例えば、分別技術であれば出力検査、絶縁検査、外観検査、バイパスダイオード検査等の一連の分別工程を精度よく5分以内で行うことが可能な技術を開発する。

上記以外の技術開発の場合、具体的な開発目標及び実施内容は、採択テーマごとにNEDOと実施者との間で協議の上個別に設定することとする。

## 研究開発項目⑥「使用済み太陽電池モジュールの用途開拓検討」

### 1. 研究開発の必要性

使用済み太陽電池モジュールのリユースを促進するためには、その用途を開拓していくことが必要となる。

### 2. 研究開発の具体的内容

リユースモジュールを活用すべき用途（例えば、すでに製造中止されたメーカー、型番等のモジュールのメンテナンス・交換用途、短期間の太陽電池モジュールの使用を想定した環境での用途等）について、リユースモジュールを活用すべき理由を明確にした上で、導入した場合の市場規模、導入課題等について調査し、有望な市場となり得るか判断するための導入可能性検討調査を実施する。

### 3. 達成目標

#### 【最終目標】

導入可能量、市場規模や導入課題等を明らかにする。

「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月28日  
NEDO  
新エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
貴重なご意見を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間  
平成26年2月28日～平成26年3月13日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞  
計4件（以下、項目ごとに分類し記載しております）
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
1. 研究開発の目的 (1) 研究開発の内容		
[意見1]（2件） 分解処理のコスト削減だけでは無く、物流費など全体コストの削減が重要と考えますが、いかがでしょうか。また、物流も考慮し、一極集中・大量処理だけでなく、分散型リサイクルも可能では無いかと考えますが、いかがでしょうか。	[考え方と対応] 貴重なご意見ありがとうございます。 ご指摘の通り、全体コストの低減は重要と認識しており、研究開発項目①において、撤去や回収、分別等の低コスト化技術についても検討を進めて参ります。その中で、分散型リサイクルについても検討する予定です。	[反映の有無と反映内容] 特になし。

<p>[意見2] (1件)</p> <p>太陽電池の種類に応じた専用分解処理技術の確立や価値が高い状態での回収実現も内容に含めたことは極めて高く評価できる。国内海外を問わず現状でのボリュームゾーンを形成するのは結晶系太陽電池であり、汎用分解処理技術より、専用分解処理技術の確立を優先すべきと考えますが、いかがでしょうか。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>プロジェクトの開発技術へのご賛同、ありがとうございます。</p> <p>また、貴重なご意見ありがとうございます。</p> <p>ご指摘の通り、国内外の導入状況なども鑑みて、導入量の多い結晶系太陽電池等、対象を限定することによりさらなる低コスト化を目指した専用分解処理技術の確立に向け、取り組んで参ります。一方、市中回収の使用済み太陽電池モジュールには様々な種類の太陽電池が混在する可能性があるため、様々な太陽電池に対応した汎用分解処理技術の確立も必要と考えております。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見3] (2件)</p> <p>単純に処理コストによる比較だけではなく、水平リサイクルや、有害物質の積極的な除外等についても追求すべきと考えますが、いかがでしょうか。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>貴重なご意見ありがとうございます。</p> <p>研究開発項目②では、有価物や有害物質の回収率向上や、高品位の状態での回収を可能とする技術に関する取り組みも想定しております。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見4] (2件)</p> <p>ガラスの水平リサイクルの可能性や、メーカーの製造過程における不具合品・故障品の処理を考えると、ウェット法なども検討すべきと考えますが、いかがでしょうか。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>貴重なご意見ありがとうございます。</p> <p>分解処理技術については、方式を限定しておりません。本プロジェクトの目的、目標に合致する低コスト分解処理技術の技術開発について取り組んで参ります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見5] (1件)</p> <p>研究開発項目③の実証では、使用済み太陽電池モジュールの大量確保は不可欠であり、必然的に撤去・回収・分別方法の検討も発生するため、研究開発項目①も同時実施することになるが、研究開発項目①と研究開発項目③の両項目を含む提案を可能としていただきたい。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>貴重なご意見ありがとうございます。</p> <p>研究開発項目①については、研究開発項目③に先駆けて平成26年度から検討を行って参ります。こちらの検討も必要であれば、研究開発項目①からご応募いただきたく存じます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>



## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

[意見6] (2件)	[考え方と対応]	[反映の有無と反映内容]
研究開発項目③は共同研究事業（NEDO負担率：2/3）となっているが、公共性の高い事業であること、現時点では将来の事業化に向けた先行投資の判断が困難であること等もある。そのため、公的機関あるいは公益財団法人等の提案も考慮し、事業形態は委託事業（NEDO負担率：100%）としていただきたい。	貴重なご意見ありがとうございます。 近年の太陽光発電システムの導入拡大の状況を鑑み、本プロジェクト終了後、速やかに実用化・事業化に進むべきと考えております。そのため、研究開発項目③の実証については、実用化・事業化へ円滑に移行できるように、事業主体が明確な体制での実施を考えております。	特になし。

以上

# 事前評価書

	作成日	平成26年2月20日
1. プロジェクト名	太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト	
2. 推進部署名	新エネルギー部	
3. プロジェクト概要 (予定)		
(1) 概要		
1) 背景		
<p>太陽光発電は、平成10年に住宅用太陽光発電システムの国内導入件数が1万件に到達、平成16年に国内累積導入量1GWを達成、平成24年には住宅用太陽光発電システムの国内導入件数が100万件を突破、平成24年7月の再生可能エネルギーの固定価格買取制度開始によって、導入はさらに加速し、平成25年10月には累積導入量も11.2GWに達した。今後もさらに大幅な普及拡大が見込まれる。</p> <p>一方、大量導入が実現すると、使用済みの太陽光発電システムが大量発生することが予想され、太陽光発電の健全な普及拡大には、使用済みのシステムを適正に処分可能な手段を確保することが重要である。また、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の附帯決議において、「耐用年数経過後において大量の廃棄物の発生を防ぐ観点から、設備のリサイクルシステム構築等、早急に必要な措置を講じること」が求められている。</p> <p>これに対し、我が国ではリサイクル処理技術に関する取り組みが一部存在するものの十分ではなく、NEDOは「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」において、大量かつ様々な種類の太陽電池モジュールに対応した低コスト汎用リサイクル処理技術の開発をしているところである。しかし、太陽光発電のさらなる普及を図るためには、リサイクル処理技術の実用化を着実に進めるとともに、撤去・回収・分別等においても低コスト化技術の有効性や実現可能性を検討することが必要である。</p>		
2) 目的		
<p>太陽光発電システム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とともに、撤去・回収・分別技術などについて課題と対策を検討する。</p>		
3) 実施内容		
・ 研究開発項目① 「低コスト撤去・回収・分別技術調査」		

使用済み太陽光発電システムの撤去コストや回収コスト、分別コストを低減する低コスト撤去技術、低コスト回収技術、低コスト分別技術について、実現可能性や有効性を検証し、課題や目標コストを明確化する。

・研究開発項目② 「低コスト分解処理技術F S（開発）」

太陽電池モジュールをガラスや封止材、金属類などに分解する工程に関して、様々な太陽電池モジュールを対象とした低コスト汎用分解処理技術に加え、結晶シリコン太陽電池や薄膜系太陽電池など、太陽電池モジュール種類に応じた専用の分解工程とすることでさらなる分解コストの低減を図る低コスト分解処理技術を開発し、処理コストを明確化する。

また、太陽電池モジュールを分解することで回収される有価物について、リサイクルコストの低減に寄与するため、有価物の回収率向上や、価値が高い状態での回収を可能とする、有価物高付加価値化技術を開発し、処理コストの低減効果を明確化する。

・研究開発項目③ 「低コスト分解処理技術実証」

上記の研究開発項目②で目標処理コストの達成目安や、十分なコスト低減効果が確認された技術については、コスト低減効果を実証する。

・研究開発項目④ 「太陽光発電リサイクル動向調査」

太陽光発電システムの適正処分に関わる国内外の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などを調査する。

また、国内の太陽光発電システムの分布調査を行い、分布に基づいた排出量予測を行う。

さらに、上記の研究開発項目①～③を横断的に評価する手法についても検討を行う。

(2)規模 総事業費（一般、需給等）13.0億円（委託、共同研究）

(3)期間 平成26年度～30年度（5年間）

#### 4. 評価内容

##### (1) プロジェクトの位置付け・必要性について

###### 1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

太陽光発電の健全な普及拡大のためには、使用済みの太陽光発電システムを適正に処理する対策や手段を検討しておく必要がある。一方、公共性が極めて高いことや、市場が苛烈な競争状態にあることから、コスト増につながるリサイクルシステムの民間主導による自律的な構築は非常に困難である。そのため、国主導による使用済み太陽光発電システムの適正処理に関する検討や技術開発などの取り組みが必須であることから、NEDOが主導して支援することは妥当である。

## 2) 目的の妥当性

太陽光発電システムのリサイクル処理において、太陽電池モジュールの分解処理に関する従来技術としては、ガラスリサイクルを目的とした技術が一部存在するものの、低品位のガラス回収にとどまったり、処理コストが高いものになる等の課題があった。

また、リサイクルに係る費用負担の低減には、撤去や回収など分解処理以外における低コスト化も有効であると思われるが、その有効性や課題、効果は明確になっていないため、低コスト化技術の有効性や実現可能性、課題や目標コストを明確化する必要がある。

以上より、太陽光発電システムのリサイクル社会の構築に向け、廃棄物の大量発生回避を低コストに実現する技術として、太陽電池モジュールの低コスト分解処理技術の確立と、撤去・回収・分別技術などについて課題と対策の明確化を目指す、本プロジェクトの目的は妥当と考えられる。

## (1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

近年の導入普及の拡大や、国会附帯決議への対応など、リサイクル社会の構築は強く求められている。

リサイクル社会の早期実現のためには、廃棄物の大量発生回避を低コストに実現する技術の早期確立が必須であるが、極めて公共性が高いことなどから、民間主導では早期確立は望めない。

従って、NEDOが本プロジェクトにより、リサイクル処理技術の早期確立を支援することが必要であると考えられる。

## (2) プロジェクトの運営マネジメントについて

### 1) 成果目標の妥当性

成果目標として、年間200MW処理時の分解処理コストを5円/Wとしている。撤去コストや回収コストについては、現時点では、使用済み太陽光発電システムは他の建築廃材と同様に、産業廃棄物として処理されていることもあり、目標の設定が困難であるが、調査等を通して検討する。

調達価格等算定委員会では、2012年時点の廃棄処理費用は、建設費280,000円/kWの5%とされていることから、廃棄処理費用は14円/Wとなる。使用済み太陽光発電システムのリサイクルには、分解処理コストの他に、システムの撤去コストや回収コストなどがかかるが、リサイクルにかかる費用の総額を現在の廃棄処理費用と同レベルに保つためには、分解処理コスト、撤去コスト、回収コストがそれぞれ同程度と仮定すると、分解処理コストは約5円/W以下となり、成果目標の設定は妥当と考えられる。

## 2) 実施計画の想定と妥当性

リサイクル分解処理技術については、分解処理コストによる絞り込みをマイルストーンとして設定する。具体的には、まずF S（開発）において技術開発とともに処理コストを明確化する。その後、再度公募を行い、目標処理コストの達成目処や、十分なコスト低減効果が確認された技術のみ、実証を行う。

一方、現時点では実現可能性や有効性、コストなどが不明瞭である「撤去・回収・分別技術など」については、今回の調査を通じて実現可能性や有効性、コスト目標などを明確化する。

以上のように、分解処理技術と撤去・回収・分別技術を技術開発のフェーズにより切り分け、技術開発・実証フェーズにある分解処理技術においてはマイルストーンを設定するなど、本プロジェクトの実施計画は妥当であると考ええる。

## 3) 評価実施の想定と妥当性

研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について随時確認を行い、必要に応じて研究開発内容の見直し等を行う。また、平成28年度に外部有識者による中間評価を、平成31年度に外部有識者による事後評価をそれぞれ実施する。

## 4) 実施体制の想定と妥当性

本プロジェクトは社会システム構築に資する技術の確立を目指した事業であるため、社会システム構築時に主体となるリサイクル事業者、回収事業者などの企業や自治体などによる提案を想定している。さらに、太陽電池モジュールの効率的な分解処理技術を検討する観点から、太陽電池モジュールメーカーも含まれる体制が最適であると考ええる。

また、リサイクル分解処理技術のF S（開発）や実証、撤去・回収・分別技術の調査は、協調的に実施することを想定している。

NEDOは、リサイクルに関する社会システムに精通したプロジェクトリーダーを設置し、全体を俯瞰的に把握し、社会システム構築も視野に入れた上で、個別最適だけでなく、社会システムとしての全体最適の観点でも技術開発の方向性の検討や、各実施者への指示・助言等を行うことで、シナジー効果を生み出す。

以上より、事業の実施体制や実施者間の連携は、妥当であると考ええる。

## 5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

撤去・回収・分別技術については、調査によりユーザーニーズを明確にしつつ、課題や実現可能性、目標値などを明確にする。分解処理技術については、F S（開発）ではユーザーニーズであるリサイクルに係る負担の最小化

のため、低コスト化を目指した技術開発を行うとともに、その処理コストの明確化を行う。さらに、実証では、目標処理コストの達成目処や、十分なコスト低減効果が見込まれる技術に絞ってコスト低減効果を実証することで、リサイクルに係る負担の最小化を実現し、社会受容性の向上を図る。

また、リサイクル動向調査により、国内外の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などに関する情報を収集し、それらを基に社会システムも視野に入れた上で、プロジェクトリーダーとともに技術開発の方向性の検討や、各実施者への指示・助言を適宜行うことで、社会システムに最適な技術の確立を可能とし、早期実用化を実現する。

#### 6) 知財戦略の想定と妥当性

研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて実施者に帰属させることとする。

また、実証フェーズなどでは、必要に応じて実施者間の守秘義務契約締結や、プロジェクトリーダーを通じた実施者と緊密な連携の実現により、実施者間で情報共有を図る。また、「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」のリサイクル処理技術の研究開発で得られた知見やデータについても、適宜情報共有を図る。

#### 7) 標準化戦略の想定と妥当性

使用済み太陽光発電システムを取り巻く環境が国により異なり、日本と同様の状況でない国も含めた標準化は困難であるため、成果に関する標準化については、現時点では想定していない。

### (2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本プロジェクトの目的、実施計画、予算とも、太陽光発電システムの適正処理の確立を念頭に置いた取り組みとして適切と考えられる。また、想定する実施体制、実用化・事業化戦略、知財戦略も、本プロジェクトの事業の実施主旨を十分に反映していると考えられる。

### (3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

#### 1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

本プロジェクトでは、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を実用化する。さらに、リサイクル動向調査により、国内外の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などに関する情報を収集し、それらを基に技術開発の方向性の検討や、各実施者への指示・助言を適宜行うことで、円滑な実用化を図る。

本プロジェクトで開発する技術は、ユーザーニーズであるリサイクルに係る負担の最小化に貢献することや、環境負荷の低減につながることから、社会受容性が高い技術であり、実用化・事業化の可能性は高いと考える。

## 2) 成果の波及効果

工程内リサイクルにも展開可能であり、太陽電池モジュールの製造コスト低減に寄与できる。

また、ガラスリサイクル事業者に対しては、新たに太陽電池モジュールのガラスが対象となることから、市場規模拡大や、処理量の増加による低コスト化など、経済波及効果が見込まれる。

## (3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

本プロジェクトは、リサイクル社会の構築に向け、廃棄物の大量発生回避を低コストに実現する技術を実用化するもの。社会受容性の高い技術として、成果の早期実用化・事業化が期待できる。

【外部発表リスト】

(a) 学会発表・講演

②低コスト分解処理技術 FS (開発)

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	宮林亮介	エヌ・ピー・シー	可溶化法を用いた使用済太陽電池からの資源回収技術の開発	平成 27 年度新エネルギー成果報告会	2015/10/29
2	加茂徹	産総研	有価物回収を目的とした使用済み太陽電池の可溶化」	動力・エネルギー技術シンポジウム	2015/6/18
3	加茂徹	産総研	RECOVERY OF USEFUL RESOURCES FROM PHOTOVOLTAIC MODULE BY USING LIQUEFACTION OF CURED ETHYLENE VINYLACETATE (EVA)	The 8th International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Materials	2015/9/1
4	加茂徹	産総研	Recovery of Useful Resources from End-of-Life Photovoltaic Module by liquefaction of cured EVA	EcoDesign 2015	2015/12/1
5	本城新吾 猪子兼行	(株)ホンジョー トニコ・インタ ー(株)	NEDO PV リサイクル技術開発プロジェクト	IEA:PVPS:task12	2014/11/23

③低コスト分解処理技術実証

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	斉藤 寛	(株)新菱	PV システム低コスト汎用リサイクル処理技術開発	環境ビジネス交流会	2015/12/9
2	斉藤 寛	(株)新菱	(株)新菱における PV リサイクル実証事業	SONEQ 講演会	2016/2/10

④太陽光発電リサイクル動向調査

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	河本桂一	みずほ情報総研(株)	Expected Environmental Impacts of PV Module Recycling	25 <sup>th</sup> International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition	2015/11/17



(b)新聞・雑誌等への掲載

②低コスト分解処理技術 FS (開発)

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東邦化成株式会社	処理費用「1ワット5円以下」 にめど 今夏にも事業化実証	日刊工業新聞	2015/6/5

③低コスト分解処理技術実証

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	エヌ・ピー・シー 浜田	太陽光パネルRに注力 低コストを目指す	循環経済新聞	2016/2/22
2	(株)新菱	太陽光パネル寿命後は 北九州発リサイクル模索	西日本新聞, 朝刊 26面	2016/4/5

(c)その他 (展示会への出展)

③低コスト分解処理技術実証

番号	出展者	展示会名	開催場所	開催年月
1	(株)新菱	エコテクノ 2014	西日本総合展示場	2014/10/8-10
2	(株)新菱	エコテクノ 2015	西日本総合展示場	2015/10/7-9

【特許リスト】

②低コスト分解処理技術 FS（開発）

番号	出願者	出願番号	国内外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	(国)産業 技術総合 研究所	特願 2015- 080911	国内	2015/4/10	出願	架橋化 EVA の可溶化 方法、可溶化方法 を用いた使用済み太陽 電池からの資源回収 法	加茂 徹
2	(株)エヌ・ ピー・ シー	特願 2015- 085201	国内	2015/4/17	出願	太陽電池モジュール のリサイクル装置	矢内利幸 他
3	東邦化成 株式会社	特願 2015- 185738	国内	2015/9/18	出願	太陽電池モジュール のリサイクル方法	川西孝則他

③低コスト分解処理技術実証

番号	出願者	出願番号	国内外 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)エヌ・ ピー・ シー	特願 2016- 125869	国内	2016/6/24	出願	太陽電池パネルの枠 分離装置	熊本末広他