

# 使用済太陽光発電設備のリユース・リサイクル・適正処分 を巡る動向

---

環境省 環境再生・資源循環局  
リサイクル推進室  
佐川 龍郎

---

---

# Ⅰ. 太陽光パネルのリサイクルに関する調査結果

# 1. 太陽光発電設備のリサイクルに関する検討

平成25年度から有識者等で構成される検討会（座長：細田衛士 慶應義塾大学経済学部教授）において、太陽電池パネル等のリユース・リサイクル・適正処分の推進に向けた検討を実施

- 太陽光発電設備の概略は以下のとおりであり、太陽電池モジュール（パネル）とモジュールを支えるアレイ（架台）、発電した電気を直流から交流に変換するパワーコンディショナ等により構成される。
- 太陽電池モジュールについては、研究開発段階のものを含めて多くの種類があるが、実用化されているものとしては「シリコン系（結晶系、薄膜系）」「化合物系（CIGS系、Cd-Te系）」に大別することができる。

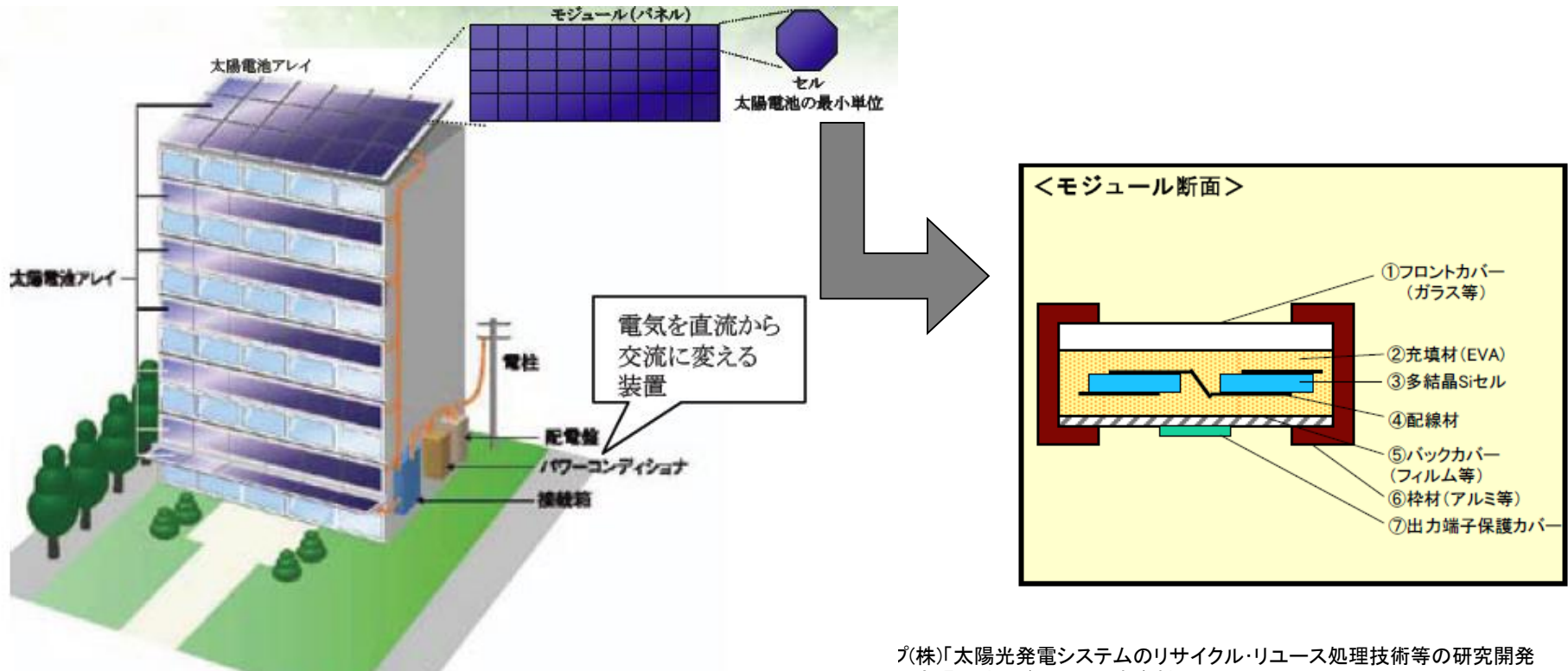


図 太陽光発電設備の概要

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

## 2. 太陽光発電設備の流通・撤去・運搬・処理のフロー、取扱いの実態

- 設備の流通フローは多岐に亘るが、太陽光発電設備の販売を主たる業としている販売店ルートと、設備の施工が主たる事業であるが販売も行う施工業者ルートが主要なルートと考えられる。また、ハウスメーカーが新築住宅に発電設備を搭載して販売するケースもある。
- ハウスメーカーが販売するケースを除き、太陽光発電設備の施工を行う施工業者がユーザーとの間に介在しており、ユーザーとの接点を最も有していると考えられる。

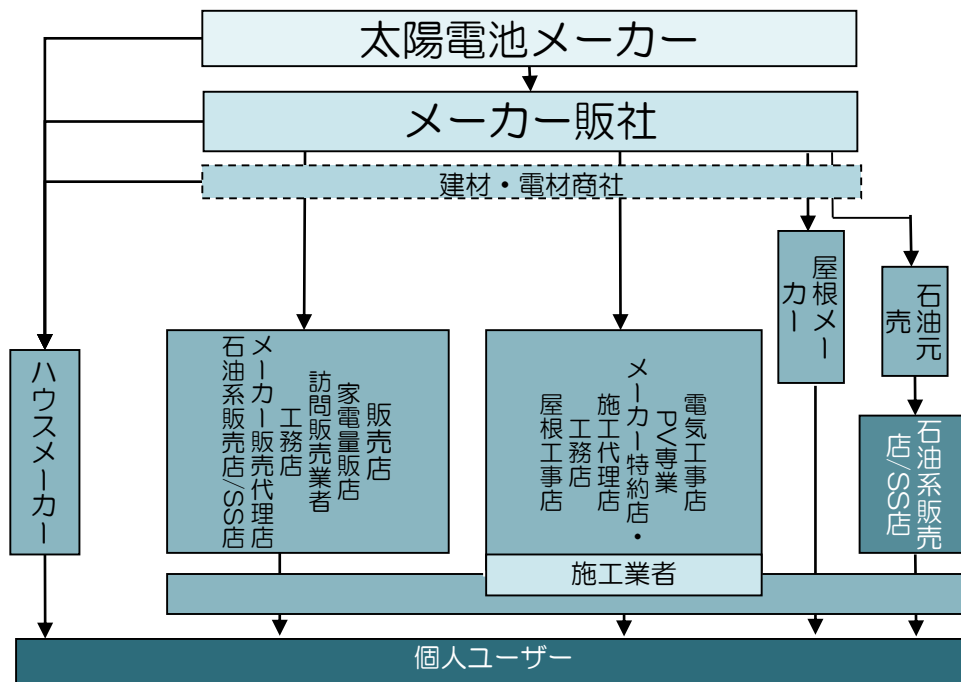


図 住宅用太陽光発電設備の流通フロー

表 住宅用太陽光発電設備の流通に関する主なプレーヤー

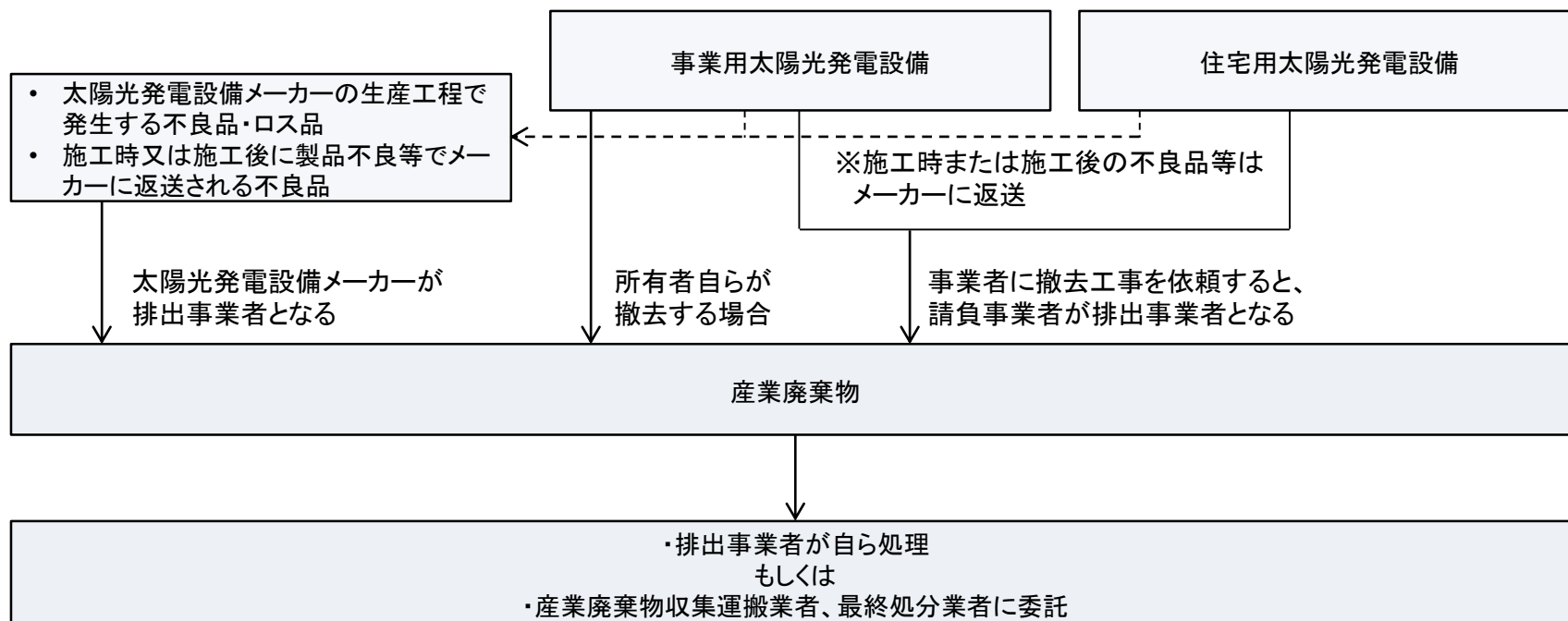
プレーヤー	概要
太陽電池メーカー	PVモジュールやパワコン等を製造している会社
メーカー販売	太陽電池メーカーのPVシステムを販売するための会社
販売店	PV設備を販売を行う会社。施工業務は提携している施工業者等へ依頼して実施。工務店、太陽電池メーカーの販売代理店等、家電量販店等が含まれる。
施工業者	PV設備の施工を行う会社。自らPV設備の販売を行っている会社も多いが、提携している工務店・販売店等からの引き合い業務を行っている会社もある。
建材・電材商社	メーカーからPV設備を仕入れ、それを販売店、施工業者等に卸し売る会社。
屋根メーカー	太陽電池を仕入れ、屋根材のとして加工・販売する会社
ハウスメーカー	主に新築住宅にPVシステムを搭載し販売する会社

## 2. 太陽光発電設備の流通・撤去・運搬・処理のフロー、取扱いの実態

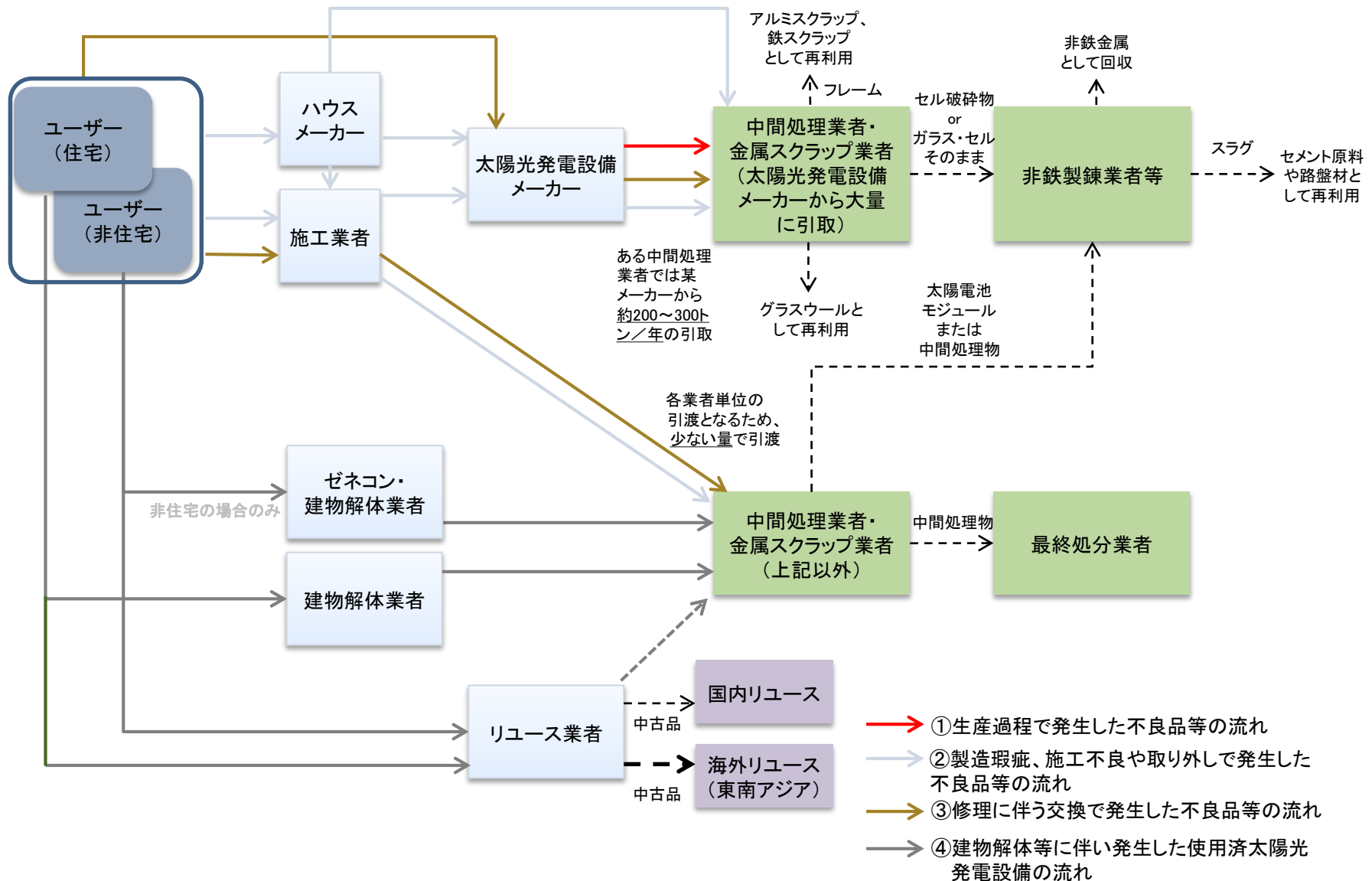
### 使用済太陽光発電設備のリユース・リサイクル・適正処理に係るフロー

- 現状では以下の5つのルートが考えられる。
  - (1)太陽光発電設備メーカールート
  - (2)建物解体業者ルート
  - (3)ゼネコン・建設事業者ルート
  - (4)施工業者ルート
  - (5)リユース業者ルート
- うち、現状では、(1)太陽光発電設備メーカーから排出されるルートが最も発生量が多いと推察される。太陽光発電設備メーカーでは、ある程度の量になるまで保管し、中間処理業者・金属スクラップ業者に引き渡している。引渡しは、太陽電池モジュール中の銀の含有量や銀の相場によって有償にも逆有償にもなる。
- 将来的には資源価格や排出量の増加等によりフローが変わりうる点等に留意が必要。

### 使用済太陽光発電設備における排出事業者の考え方



## 2. 太陽光発電設備の流通・撤去・運搬・処理のフロー、取扱いの実態



※実線は太陽電池モジュール、点線はリユース品または中間処理物の流れを示す。

### 3. 太陽光発電設備の導入実態と排出量予測

#### 太陽電池モジュールの排出見込量

- 過去の太陽光発電設備の導入実績を用途別(住宅用・非住宅用)に集計し、将来の排出見込量は、寿命到来による排出(20, 25, 30年)と、修理を含む交換に伴う排出(毎年の国内出荷量の0.3%)とみなし、過去の導入実績データと導入量の将来予測データを併せて、推計を行った。
- 寿命25年の排出見込量は、2020年約3千トン、2030年約3万トン、2039年約80万トンとなる。
- 太陽電池モジュールを仮に全て埋め立てたと想定した場合の埋立量が産業廃棄物の最終処分量に占める割合は、2020年では0.02%であるが、2039年では6%に増加し、比率の増大が見込まれる。

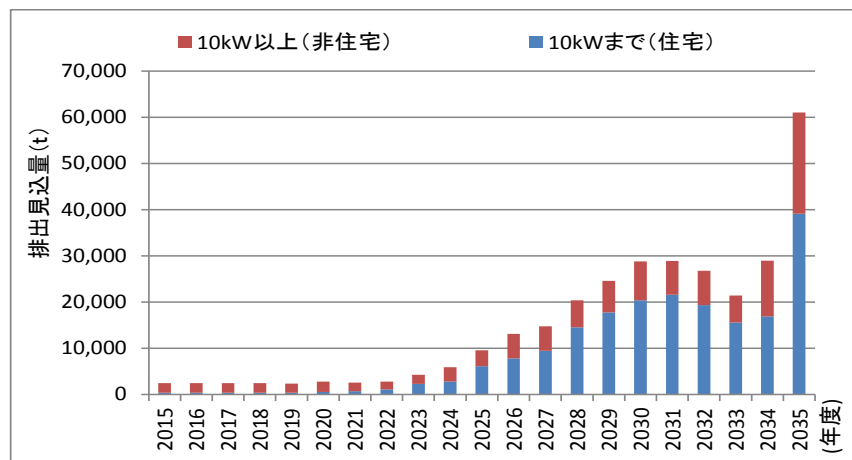


図 太陽電池モジュール排出見込量(寿命25年)

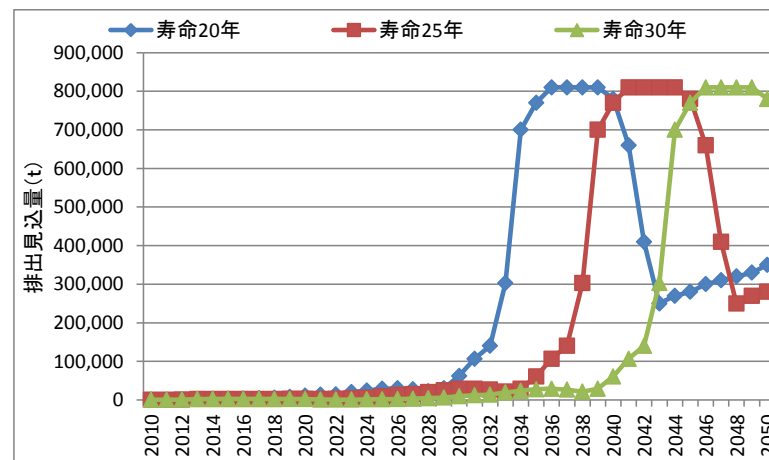


図 太陽電池モジュール排出見込量(寿命20、25、30年)

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

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

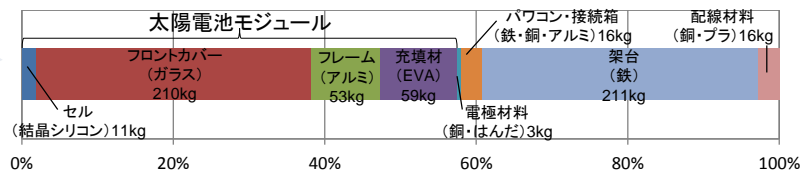
## 4. 太陽光発電設備の素材構成等(含有量・溶出量)

- 太陽光発電設備の素材構成として、現在最も広く普及している「多結晶シリコンモジュール」の構成例を以下に示す。モジュールの初期重量に関しては、ガラスの210kgが最も多く、次いでEVA等の59kg、アルミの53kgが比重として多く見られる。また、結晶シリコンは11kg含まれている。その他BOS(Balance of System)部分では、アレイ架台の鉄が211kg使用されている。

図表 多結晶シリコンモジュール(出力4kW)の素材構成例

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

太陽電池モジュールはガラスの割合が最も大きい。次いで、EVAやアルミ等。また、微量であるが、銀や鉛等の物質も含有





# 4. 太陽光発電設備の素材構成等(含有量・溶出量)

## 含有量試験結果

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

種類	製造年	部位	Pb	Cd	As	Se	T-Hg	Cr <sup>6+</sup>	Be	Sb	Te	Cu	Zn	Sn	上:最大値 下:最小値		含有量単位:mg/kg	N数		
															Mo	In			Ga	Ag
単結晶	国内	～1999	フロントカバーガラス	20	<1	<1	<1	<1	<1	5	<1	<1	<1	<1	11	<1	<1	<1	3	
			電極	110000	<1	<1	<1	<1	<1	3	<1	<1	<1	740000	69000	9	<1	<1	6	
			EVA・結晶・バックシート	1900	3	<1	<1	<1	<1	69	<1	69	<1	4500	220	1900	4	1	17	3
		2000～2009	フロントカバーガラス	310	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2100	<1	<1	320	51	1700	3	<1	15	6
			電極	1100	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1600	<1	<1	730000	150000	<1	<1	<1	6	
			EVA・結晶・バックシート	110	<1	<1	<1	<1	<1	<1	12	<1	13	13	180	8	68	7	3	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	32	<1	<1	<1	<1	<1	<1	8	<1	11	13	58	7	58	6	6	
			EVA・結晶・バックシート	270	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10	<1	460	40	1100	3	3	7	3	
			EVA・結晶・バックシート	220	<1	<1	<1	<1	<1	<1	6	<1	71	11	270	2	2	3	3	
	2010～	フロントカバーガラス	120	<1	4	<1	<1	<1	<1	2200	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	9	
		電極	170	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1200	<1	<1	950000	18000	<1	<1	<1	9		
		EVA・結晶・バックシート	290	<1	25	<1	<1	<1	<1	96	26	160000	170	3700	7	400	6	9		
	海外	2008～2013	フロントカバーガラス	10	<1	<1	<1	<1	<1	780	9	<1	49	12	26	2	<1	<1	3	
			電極	58000	<1	<1	<1	<1	<1	510	<1	<1	880000	97000	<1	<1	<1	<1	9	
			EVA・結晶・バックシート	66	<1	3	<1	<1	<1	<1	2200	2	140	100	87	3	<1	1	6	
		2012～	フロントカバーガラス	27	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1200	<1	21	16	28	1	<1	1	280	3
			電極	10	<1	1	<1	<1	<1	<1	52	<1	110000	26	19000	2	<1	<1	120	
			EVA・結晶・バックシート	7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	36	<1	94000	13	16000	2	<1	<1	59	
フロントカバーガラス			360	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2000	<1	<1	<1	<1	17	<1	<1	12		
電極			140000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1	830000	250000	<1	<1	<1	<1	12		
EVA・結晶・バックシート			7600	6	14	<1	<1	<1	<1	57	7	5600	940	14000	5	1	7	12000		
国内	2012～	フロントカバーガラス	100	<1	<1	<1	<1	<1	2000	<1	40	14	41	2	<1	3	290	6		
		電極	64000	<1	2	<1	<1	<1	1700	<1	83000	89000	<1	<1	<1	<1	12000	6		
		EVA・結晶・バックシート	990	<1	14	<1	<1	<1	<1	35	7	890	940	290	5	1	4	2600		
	2012～	フロントカバーガラス	30	<1	6	<1	<1	<1	<1	1700	<1	40	97	41	2	<1	3	290	6	
		電極	59000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	450	<1	850000	85000	<1	<1	<1	<1	19000		
		EVA・結晶・バックシート	1400	<1	19	<1	<1	<1	<1	100	100	2900	210	1500	5	3	5	2100		
		ガラス・EVA・結晶・バックシート	100	<1	<1	<1	<1	<1	<1	15	3	160	58	280	2	<1	3	160		
		EVA・結晶・バックシート	630	<1	10	<1	<1	<1	<1	570	16	200	51	1100	3	<1	3	3300		
		EVA・結晶・バックシート	41	<1	<1	<1	<1	<1	<1	81	2	13	20	10	2	<1	1	250		
Si薄膜	国内	2008～2013	電極	70	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	690000	<1	320000	<1	<1	<1	6	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	15	<1	<1	2	<1	<1	<1	2	<1	4200	680	680	6	<1	2	180	
			電極	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	12	21	240	3	<1	1	47	
化合物	国内・海外	2007～2013	電極	4100	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	840000	<1	160000	<1	<1	<1	5800	9	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	570000	26	<1	<1	<1	<1	12		
			電極	26	390	2	370	<1	<1	<1	1600	470	4500	500	450	180	300	53	11	

1～100mg/kg

100～1000mg/kg

1000～10000mg/kg

10000mg/kg～

# 4. 太陽光発電設備の素材構成等(含有量・溶出量)

## 溶出試験結果

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

表 太陽電池モジュールに関する溶出試験結果

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

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

# 5. リサイクルシステムの経済性

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

## <シナリオ設定の基本的考え方>

排出見込量	①10,000t(寿命30年と考えた場合の2030年頃の排出見込み量を想定して設定) ②50,000t(寿命25年と考えた場合の2030年頃の排出見込み量を想定して設定。推計結果は約30,000tであるが安全側を考慮し過大に設定) ③100,000t(寿命20年と考えた場合の2030年頃の排出見込み量を想定して設定。推計結果は約60,000tであるが安全側を考慮し過大に設定)
回収⇒中間処理	①近隣の産廃業者に持ち込み、破碎後、埋め立て処分 ②一次集積所(SY)に持ち込み、まとめてから専用の中間処理施設へ。専用の中間処理施設では有用金属・ガラスのリサイクルを実施(回収システム及び技術開発をイメージ)

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

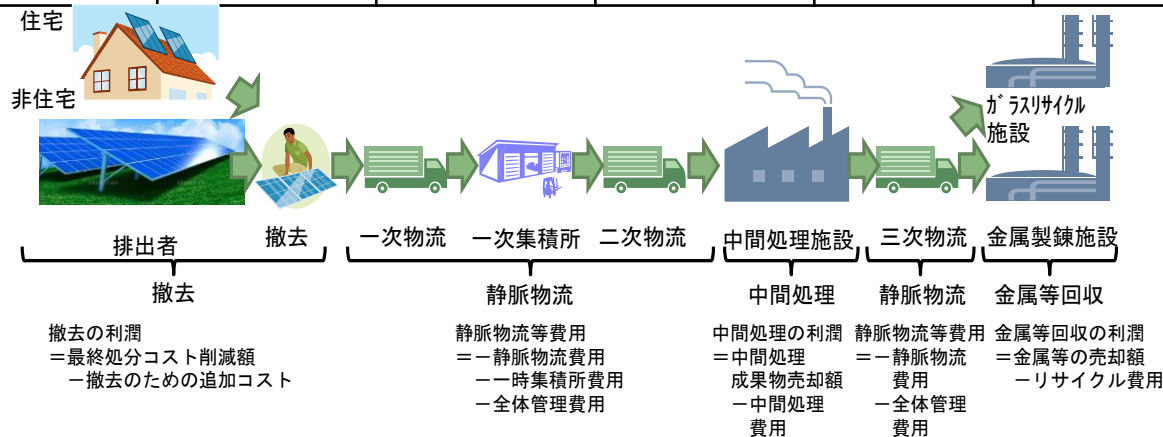


図 関係者の利潤の算定範囲

# 5. リサイクルシステムの経済性

- 費用対効果分析結果は下表の通り、関係者の利潤について段階別の採算性評価を行うとともに、最終処分場の延命効果を整理した。
- 撤去費用を除く運搬・処理に関しても全てのケースで費用が便益を上回る形となった。

表 太陽光発電設備の撤去・運搬・処理に関する費用対効果分析結果

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

(注)量が多くなる場合のコスト単価低減は織り込んでない。

※撤去費用は屋根置きでは昨年度の建物解体業者向け及び  
施工業者向けアンケートから設定、平置きではシステム価格  
の5%程度と想定。

- ・屋根置き : 3.75万円/kW(15万円/件)
- ・平置き : 2万円/kW

※撤去を除いた場合

合計	-204	-2,038	-100	-82	-58
一次物流～保管	-100	-1,000	-100	-500	-1,000
二次物流	-67	-670	-67	-335	-670
中間処理	-37	-368	220	1,101	2,201
三次物流	-	-	-56	-280	-560
金属等回収	-	-	8	38	76
管理・運営	-	-	-105	-105	-105
合計	0.336	0.336	0.870	0.976	0.991
一次物流～保管	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
二次物流	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中間処理	0.74	0.74	1.71	1.71	1.71
三次物流	-	-	0.00	0.00	0.00
金属等回収	-	-	1.06	1.06	1.06
管理・運営	-	-	0.00	0.00	0.00

## 6. 太陽光発電設備のリサイクル技術

(技術導入可能性調査として、本事業のモデル事業で使用済太陽電池モジュールの中間処理を実施する3事業者(リサイクルテック・ジャパン、ハリタ金属、東芝環境ソリューション)を対象に技術を整理)

### リサイクルテック・ジャパン

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

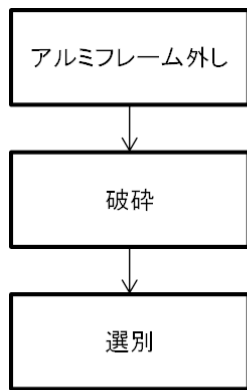


図 プロセスフロー



図 アルミフレームの除去

油圧で内側から押し出す。メーカーによりアルミ枠の固定方法が異なる(ねじ止め、接着剤止め等)が、どのような形態にも対応可能である。



図 破砕機での破砕

アルミフレームを外した太陽電池モジュールを破砕機に通すことで、ガラスを破砕・除去する。



図 剥離したバックシート



図 破砕機で除去したガラス



図 除去後、選別したガラス産物

## 6. 太陽光発電設備のリサイクル技術

### ハリタ金属

#### ■ 破碎プロセス: 20t/h

太陽電池モジュールは全設備屋内型シュレッダーにより破碎される。破碎能力は20 t/h(パネルを20kg/枚とすると、1,000枚/h 破碎できる)であり、太陽電池モジュールの大量処理が可能である。

#### ■ 選別プロセス: 5~10t/h

ふるいにより8mmオーバー、0.5mmアンダーが取り除かれた後、物質相互の比重差を利用して選別する「湿式比重選別機(RETACジグ)」により上層・下層に分離する。

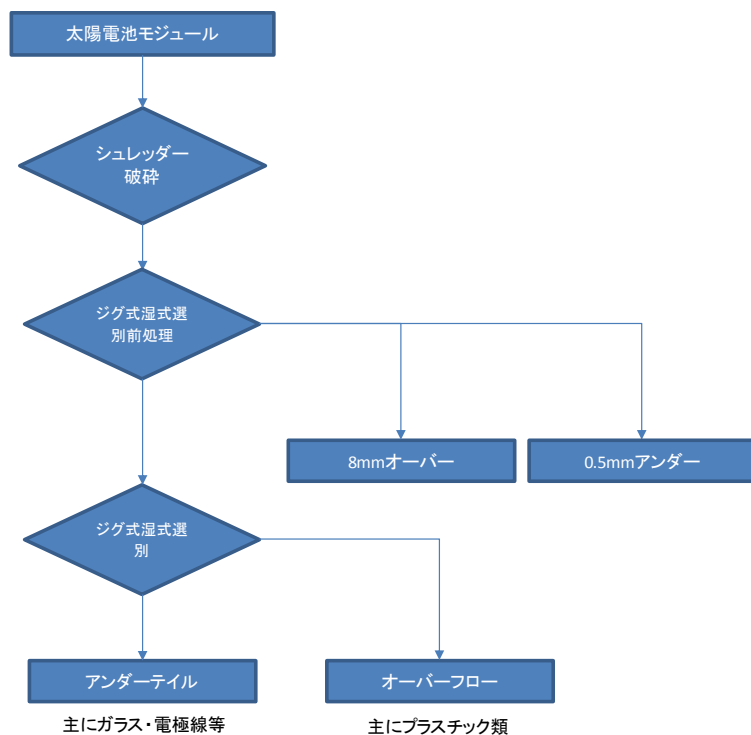


図 破碎・選別プロセス

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



図 モジュールをシュレッダーに投入



図 シュレッダー破碎後

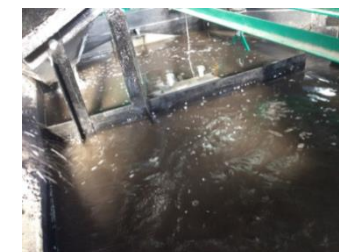


図 湿式比重選別機の外観と水による選別の様子



図 選別されたガラス  
※下層部(アンダーテイル)のガラス粒子。黒の粒子はEVA

# 6. 太陽光発電設備のリサイクル技術

## 東芝環境ソリューション

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

### 破砕プロセス(プロセス1)

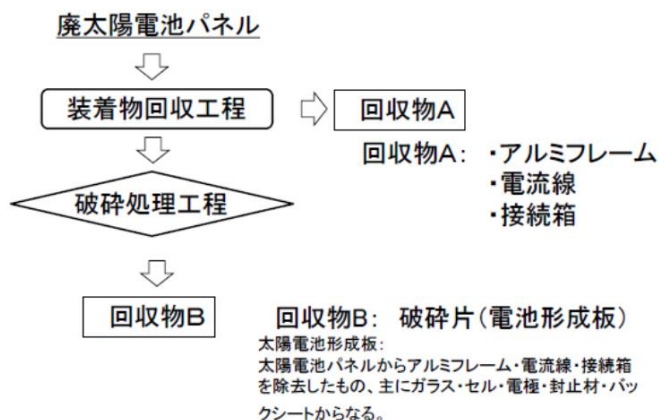


図 プロセス1の破砕機

### 分離プロセス(プロセス2)

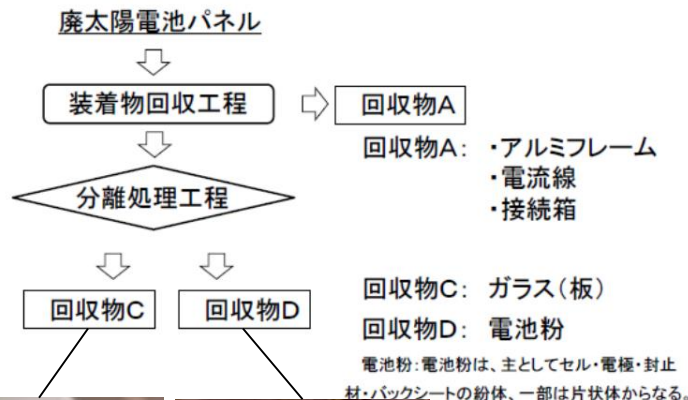


図 回収物



図 プロセス2の分離機

# 7. 環境配慮設計

## 太陽光発電設備メーカーにおける環境配慮設計への取組状況

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

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

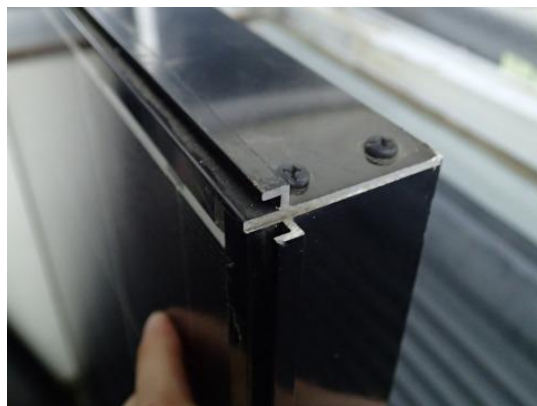
(注2)パワコンにおいても、電気電子部品の基板実装を鉛フリーはんだで行っている。欧州RoHS指令で定められている禁止物質は閾値以下になるよう管理している。



## 7. 環境配慮設計

### モジュールの解体性

- フレームを固定するネジについては、汎用工具で取り外し可能な+型ネジのもの、ネジは無く金具で固定されたもの多く見られたが、中には特殊ネジを使用したものやフレームのないものも存在した。
- フレームとガラス・セル等は、樹脂で接着されているものが多かった。
- ガラスとセルの分離について、手作業では分離不可の製品がいくつか見られた。薄膜系、化合物系のモジュールにおいてはカバーガラスと基板ガラスの間に封止された化合物が挟まっている構造のため、その傾向が顕著であった。
- バックシートの分離について、手作業では分離不可の製品がいくつか見られた。2010年以降の製品はそれ以前のものと比較すると、分離不可のものが若干多く見られた。
- バックシートが層状になっているものもあり、その一部は分離できるものが見られた。
- 国内メーカー品と海外メーカー品を比較すると、海外メーカー品は結晶系でもガラスからの分離不可なものが多く見られるようだが、製造年代による違いの可能性もあることに留意すべきと考える。



+型ねじの例



特殊なねじの例



ねじがなく、フレーム内の金具等で固定されている例

## 8. 海外のリサイクルシステム(欧州WEEE指令)

### 背景・目的

- 電気・電子機器の廃棄物が急増しており、そのうちの約90%は、前処理なしで埋立、焼却または再利用され、重金属や臭素系難燃材等の製品に含まれる物質が土壌、水または大気へ流出し、人への健康リスクや環境破壊につながっている。
- このような状況下、耐用年数管理や環境配慮設計、ライフサイクルの考慮、生産者責任の拡張等によって環境への影響を軽減することを狙いとして、「廃電気・電子機器(Waste Electrical and Electronic Equipment/WEEE)指令」及び「電気電子機器に係る特定有害物質の使用制限(RoHS指令)」が、欧州議会にて採択。2012年に改正欧州WEEE指令が施行。

### 施行状況

- 2002年 欧州議会にて採択
- 2003年 発効
- 2008年 改正提案
- 2012年 改正欧州WEEE指令の施行

### 回収目標

- 欧州WEEE指令では、「1人あたり4kg」の回収目標値が設定されていたが、同目標値の達成のためにWEEEを輸入する必要のある国が出るなど、重量ベースの目標設定の不適切性が露呈。
- 改正欧州WEEE指令では、1人あたり重量ではなく、回収率(%)に目標値が変更され、目標値は段階的に高くなるように設定。

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

### 対象

※2018年8月14日まで

カテゴリー1.	大型家電製品
カテゴリー2.	小型家電製品
カテゴリー3.	情報技術(IT)・通信機器
カテゴリー4.	消費者機器・太陽電池モジュール
カテゴリー5.	照明器具
カテゴリー6.	電気・電子工具(大規模な据付型工具を除く)
カテゴリー7.	玩具、レジャー用品、スポーツ用品
カテゴリー8.	医療機器(移植された・感染したすべての製品を除く)
カテゴリー9.	モニター機器・コントロール機器
カテゴリー10.	自動販売機・自動現金引き出し機

### 役割分担・費用負担

#### <加盟国>

- 回収目標の達成
- 最終所有者及び小売業者からのWEEEを無料で引き取る制度の確立
- 製造業者の登録簿の作成
- 年に1回電気・電子機器の量、カテゴリーに関する情報を推計を含めて収集

#### <製造業者>

- 2005年8月13日前に上市された電気・電子機器の廃棄物管理費用は、費用が発生した時点での市場シェアに基づき、製造業者が負担。2005年8月13日以降に上市された同費用は、製造業者が自社製品に対して費用を負担。この際、個別に義務を果たすか、あるいは、共同の管理スキームを設置することにより義務を果たすか、どちらかを選択することが可能
- 一般家庭以外からのWEEEについては、製造業者あるいは最終所有者どちらかが、回収、処理、廃棄等の費用負担の責任を負う。
- WEEEのリカバリー率、再利用及びリサイクル率に関する目標の達成

#### <小売業者>

- 消費者が不要になった電気・電子機器と同等かつ同じ機能を有する新製品を購入する限り、少なくとも一対一のベースでは、無料で引き取らなくてはならない。
- WEEEの分別、再利用、リサイクル等に関する情報提供

#### <処理業者>

- 廃棄物に関する指令(75/442/EEC)に従い、関係当局の許可を取得
- WEEE指令の附属書Ⅲに規定される順守事項を保障

# 8. 海外のリサイクルシステム(PV CYCLE)

## 背景・目的

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

## 主要業務・メンバー等

- 欧州域内で廃棄される太陽電池モジュールのリサイクルシステム(回収・輸送・リサイクル)の運営。
- 欧州域内に太陽電池モジュールを供給する太陽電池メーカー、輸入業者および関連企業・機関。2013年2月時点の加盟メンバー数は、Full member(PV CYCLEのサービスを利用する契約企業)307社、Associated member(その他関連機関)25社(欧州市場の太陽光発電関連企業・機関の約90%をカバー)。
- メンバー企業の年会費のみで活動。

## 目標・実績

- PV CYCLEでは、改正欧州WEEE指令と同等またはそれ以上の目標を掲げている。  
回収率: 欧州で廃棄される使用済太陽電池モジュールの85%  
リサイクル率: 2015年までに80%、2020年までに85%
- 太陽電池モジュールの累積回収量は、8,330トン(2013年12月時点)。回収量は年々増加(2010年実績: 80トン、2011年実績: 1,429トン)。
- 現在は、回収された太陽電池モジュールの約8割をシリコン系太陽電池が占めている。

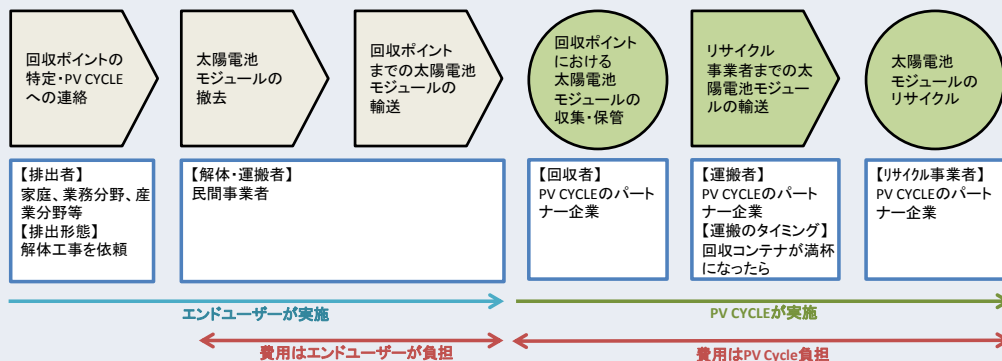
## 回収ポイント

- 回収ポイントは、2013年12月時点で14か国、324箇所。回収ポイントの3分の2以上は、ドイツ、イタリア、フランスに位置。
- 回収ポイントは、自治体が設置しているWEEEの回収ポイントとは別途設定。回収ポイントの多くは、太陽光の設置・撤去工事を行う電気工事業者の敷地内。

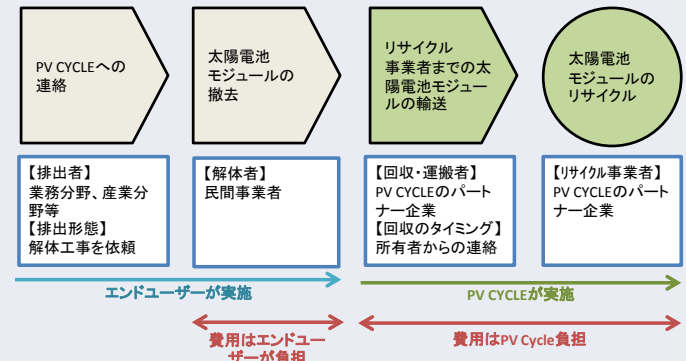
## 回収・リサイクルサービス

- 太陽電池モジュール枚数に応じて異なる回収・リサイクルサービスを提供。

《モジュール枚数 40未満の場合》



《モジュール枚数 40以上の場合》



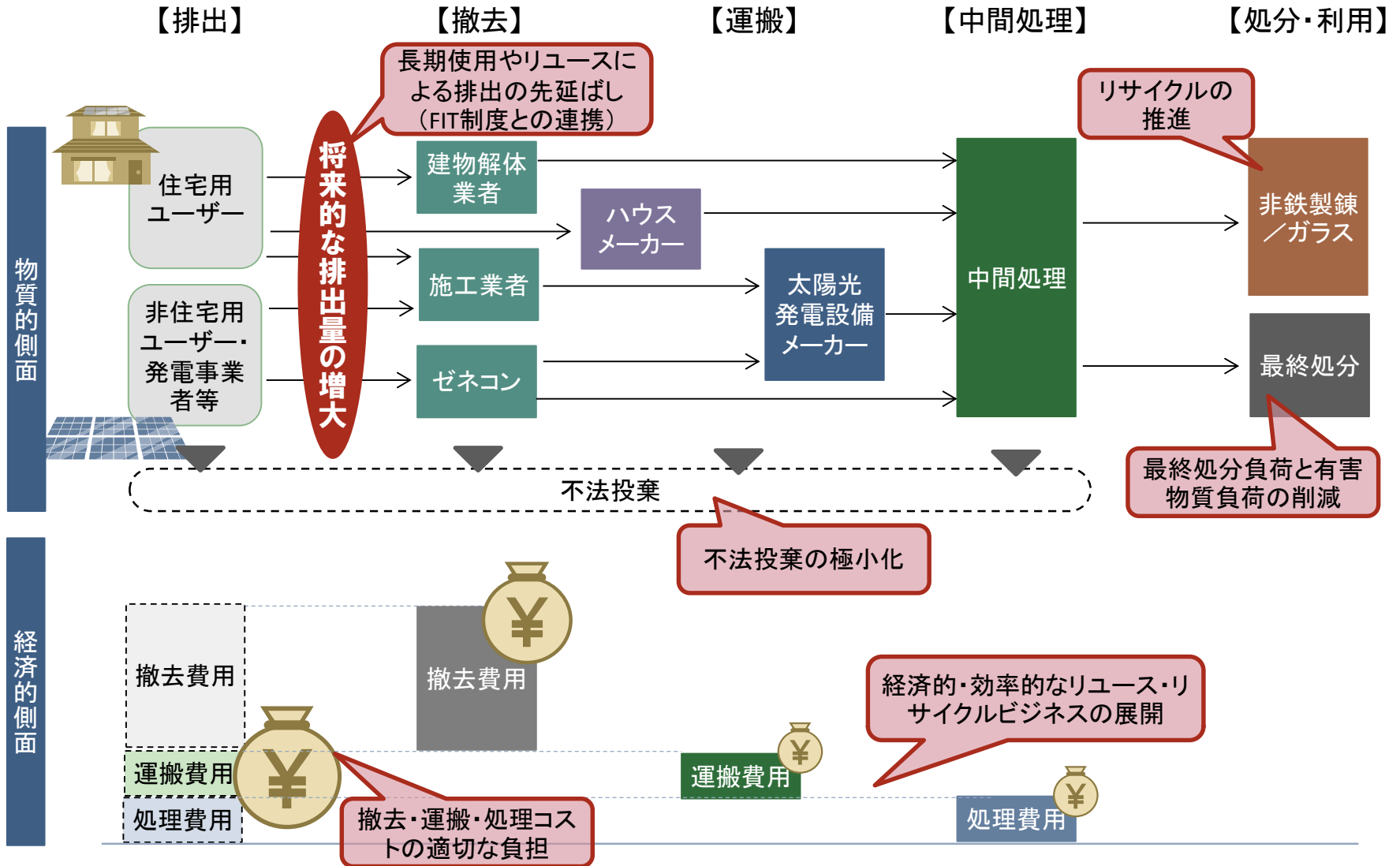
# 調査結果 まとめ

調査項目	現状分析
①排出見込量と地域偏在性の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 寿命を25年とした場合の排出見込量は、<b>2020年で約3千トン、2030年で約3万トン、2040年で約80万トン。</b></li> <li>● 地域別に埋立処分場容量と排出見込量を比較すると、<b>一定の地域偏在性が存在</b>することが示唆（特に関東や九州において偏在性が高い）。</li> </ul>
②資源価値・有害性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 配線に<b>銀・銅が含まれており</b>、含有量で資源価値が決まるが、個体差が大きい。</li> <li>● 溶出試験結果では、結晶系パネルの一部で鉛、化合物系パネルの一部でセレンについて相対的に高い値が検出され、<b>埋立処分への影響が懸念。</b></li> </ul>
③リサイクル技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● パネルに含まれる銀・銅の有用金属については、<b>ガラスを分離すれば製錬業者においてリサイクルが可能。</b>ガラスの選別技術と選別されたガラス（重量ベースでパネルの約7割）の用途開発が課題。</li> </ul>
④リサイクルシステムの経済性分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 撤去費用の占める割合が大きい。撤去を除いても<b>得られる資源価値よりリサイクル費用が大きい。</b>効率的なリサイクルスキームが構築されれば、埋立てよりも<b>リサイクルの経済性が高くなる可能性あり。</b></li> </ul>
⑤リユース・環境配慮設計の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国内リユースはほとんどないが、<b>海外リユースの事例が存在。</b></li> <li>● 国内パネルメーカーでは、鉛等の有害物質の含有量低減や分解・解体容易性向上等の環境配慮設計の取組も一部実施。</li> </ul>
⑥国内外の制度状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国内では廃掃法に基づき、<b>産業廃棄物として処理。</b></li> <li>● 国内のFIT制度では、電力の買取価格に撤去費用（5%程度）を見込んでいる。</li> <li>● 欧州では、改正WEEE指令に基づき、2014年から、<b>メーカーによる太陽電池パネルの回収・リサイクルが制度上義務づけ</b>（リサイクルを実施することが費用対効果としてプラスとの判断）。</li> <li>● 欧州では従来から、メーカーが中心となった<b>自主的なリサイクルスキームを構築。</b>有害物質のカドミウムを含むパネル製造メーカーの<b>ファーストソーラー社（米国）は、世界的に自主回収・リサイクルスキームを構築。</b></li> </ul>

---

## II. 調査結果を踏まえた 施策の方向性

# 太陽光パネルのリサイクルにおける課題



# 太陽光パネルのリサイクル等の推進に向けた対策

## <課題>

不法投棄の  
極小化

最終処分負荷と有  
害物質負荷の  
削減

長期使用や  
リユースによる  
排出の先延ばし

リサイクルの推進

経済的・効率的な  
リユース・リサイク  
ルビジネスの展開

撤去・運搬・処理  
コストの  
適切な負担

## <対策メニュー>

回収・適正処理・  
リサイクルシステムの  
構築・強化

FIT期間終了後の発電事  
業継続に向けた検討  
(リユース含む)

技術開発等の支援

環境配慮設計の推進

撤去・運搬・処理方法に  
関するガイドライン作成

住宅用ユーザー・  
発電事業者等への周知

①廃掃法の広域認定制度の活用等、関連事業者による回収・適正処理・リサイクルシステムを構築【準備期間として3年程度】

②リサイクルを促進・円滑化するための制度的支援・義務的リサイクルの必要性を検討  
(自主回収スキームの運用状況、欧州動向等を見ながら継続的に実施)

③発電事業継続のためのメンテナンス・設備更新支援や、FIT期間終了後の事業継続に向けた検討を実施【～平成31年度】

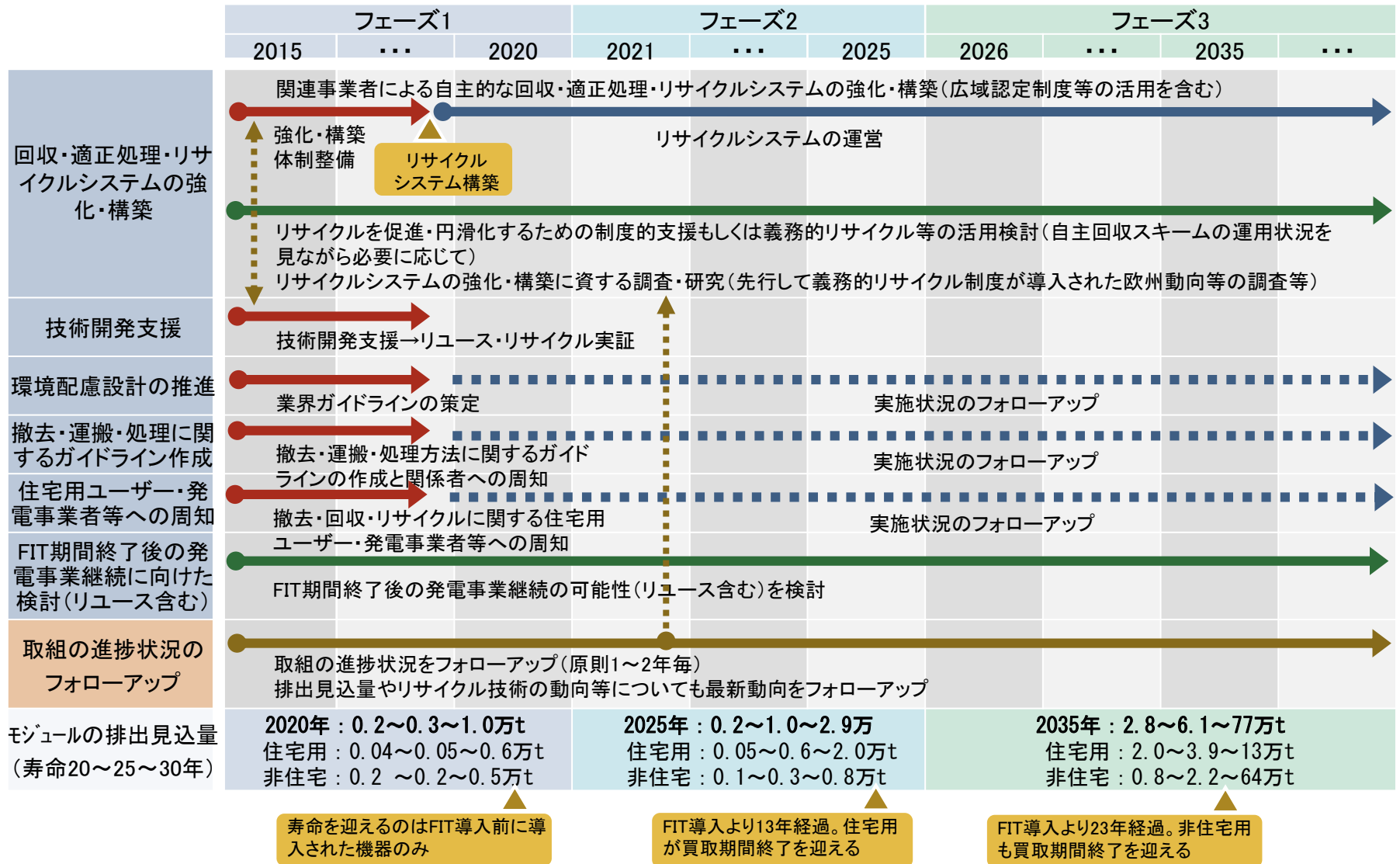
④環境省・NEDOによるリユース・リサイクル技術開発の支援・実証事業【～平成31年度】

⑤関連メーカーにおける自主的な環境配慮設計ガイドラインの策定・フォローアップ【～平成29年度】

⑥撤去・運搬・処理に関する方法・留意事項に関するガイドラインの作成、関係者への周知【平成27年度】

⑦住宅用ユーザー・発電事業者等に対する適切な費用負担、処理費用の積立て等によるリサイクルの確保に向けた周知・仕組み作り等を実施【～平成29年度】

# リサイクルを含む適正処理の推進に向けたロードマップ(2015年6月)





# 太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン(2016年4月)

構成	主な記載内容
1.本ガイドラインについて	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ガイドラインの<b>目的・位置づけ</b>(上記1.を参照)</li> <li>● 太陽光発電設備の所有者、使用済太陽光発電設備の排出事業者、撤去事業者、収集運搬業者、リユース関連事業者、リサイクル・処分業者等の<b>関係者の例、ガイドライン上の定義とガイドラインの使い方</b></li> </ul>
2.太陽光発電設備を巡る状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 太陽光発電設備の基礎情報(構成品、太陽電池モジュールの種類、設置の種類、太陽光発電設備の導入量、排出見込量(上記1.を参照)、リユース・リサイクル・適正処分のフロー等の全体像)</li> </ul>
3.1使用済太陽光発電設備の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 使用済太陽光発電設備の処理の優先順位(リデュース、リユース、リサイクル、熱回収、適正処分)</li> <li>● 利用終了、事業終了後の発電がおこなわれないような措置の速やかな実施</li> </ul>
3.2 撤去の方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 撤去の流れ(作業周囲における環境の確認、電力系統の遮断、太陽電池モジュールの取り外し)</li> <li>● 所有者・排出事業者の留意事項:<b>原則「産業廃棄物」として取り扱われること、排出事業者による処理義務、産業廃棄物管理用の交付等</b></li> <li>● 撤去事業者の留意事項:有資格者が撤去を実施、建設業法、建設リサイクル法の順守、<b>転落の防止、感電の防止、破損によるけがの防止等への配慮</b></li> </ul>
3.3 運搬の方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 運搬作業の流れ(梱包、積み込み)</li> <li>● 収集運搬業者の留意事項:排出事業者自ら、もしくは排出事業者から委託を受けた産業廃棄物収集運搬業者が実施、産業廃棄物の収集、運搬基準の順守、<b>感電の防止等への配慮</b></li> </ul>
3.4 リユースの方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 一般的なリユース作業の流れ(外観検査、洗浄、絶縁抵抗検査、出力検査等)、関係者別留意事項</li> </ul>
3.5 リサイクル・適正処分の方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 一般的なリサイクルの流れ(解体、選別、リサイクル、適正処分)</li> <li>● <b>リサイクル、処分の留意事項(産業廃棄物処理基準の順守、性状等に応じて適正な処分方法により処理)</b></li> </ul>
4.参考資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 太陽光発電設備の性状、リユース、リサイクル方法の参考事例、リサイクルに係る費用対効果分析等</li> </ul>
5.あとがき	<ul style="list-style-type: none"> <li>● まとめと本ガイドラインの<b>追加・更新の可能性</b></li> </ul>

## (抜粋)

### ①現状と課題

今後加速度的に排出量が増加すること想定されている太陽電池 モジュールは、鉛等の有害物質を含有することが想定されるが、必ずしも安定型5品目から除れていることが明らかではない。

### ②見直しの方向性

太陽電池モジュールについては鉛等の有害物質を含有する可能性のあることから、安定型5品目から除外し、原則として管理型処分場で最終処分すべきである。加えて、太陽電池モジュールの自主的な回収・適正処理・リサイクルスキームの運用状況や欧州の動向等を踏まえながら、リサイクルを促進・円滑化するための制度的支援や必要に応じて義務的リサイクル制度の活用を検討すべきである。

# 太陽光発電設備の廃棄処分等に関する実態調査の結果に基づく総務省勧告(2017年9月)

## 背景

再生可能エネルギー固定買取価格制度の創設以降、2030年代半ば頃から使用済みパネルの排出量が急増の見込。また、将来の大量廃棄問題のみならず、現下においても、災害により損壊したパネルによる感電や有害物質流出のおそれなどがある。さらに、パネルには有害物質が使用されており、適正な廃棄物処理が必要。

## 勧告

### 対応状況(平成30年3月末時点)

・感電等の危険性やその防止措置の確実な実施等について周知徹底

平成29年秋の台風に際して、全都道府県に対し、損壊パネルによる感電等の危険性、地域住民等への注意喚起、迅速な感電等の防止措置等について、市町村・事業者への周知を求める通知を発出。

平常からの備えを一層推進するため、平成30年中に、環境省ガイドライン等に損壊パネルの取扱い・留意事項等を追記・周知。

・有害物質情報を容易に確認・入手できる措置、排出事業者から産廃処理業者への情報提供義務の明確化、適切な埋立方法の明示

パネルメーカー等が有する有害物質情報の開示に関する取組の検討を業界団体に対し要請。平成29年12月、提供する有害物質情報の内容や提供方法等を示したガイドラインが業界団体により作成・公表

今後、業界団体を通じて、引き続き情報の開示を働きかけ。また、平成30年中に、環境省ガイドラインに情報の開示の呼びかけや開示情報の提供等について記載

上記のメーカー等による取組を前提に、その状況等も踏まえつつ、有害物質情報の伝達の在り方について検討。その上で、適切な埋立処分の方法について検討

・使用済みパネルの回収・適正処理・リサイクルシステムの構築について、法整備も含め検討

パネルの適正なリユース・リサイクル・処分のための施策の在り方について、自主的なリサイクルの実施状況や諸外国の動向を踏まえ、法整備も含め検討中

# 太陽光発電のリサイクル・適正処分等に関する検討チーム(2018年7月3日)

## 背景

低炭素社会の実現に向け、太陽光発電を始めとした再生可能エネルギーの活用が重要であり、太陽光発電設備の大幅導入が進んでいる。一方、太陽電池モジュールの適正なリユース、廃棄・リサイクル、地域の環境保全等の観点から課題が指摘されている。このため、こうした課題に対応し、太陽光発電の適正な推進を図るため、武部新環境大臣政務官をチーム長とする「太陽光発電のリサイクル・適正処理等に関する検討チーム」を設置し、課題への対応の在り方について検討を行った。

## 検討経過

第1回 2018年5月21日(月)

- ・太陽光発電設備を巡る現状と課題の整理
- ・発電事業者、メンテナンス事業者ヒアリング

第2回 2018年6月4日(月)

- ・リユース・リサイクル事業者、最終処分業者ヒアリング

第3回 2018年6月18日(月)

- ・業界団体、地方公共団体、有識者ヒアリング

第4回 2018年6月21日(木)

- ・太陽光発電設備のリユース・リサイクル・適正処分及び適正導入の推進について

## とりまとめ

- 適正なリユースの推進のため、リユース品に係る判断基準の整備が必要であるとともに、物流・診断の低コスト化に向けた取組が必要。
- 将来にわたって、太陽電池モジュールのリサイクル・適正処分を推進していくためには、  
①処理の滞留のおそれがある現状を踏まえつつ、排出量が大幅に増加する将来も見通して、安定的に処理ができる体制を整えることや、②製造業者等からの有害物質含有情報の提供による適正かつ円滑な処理の確保が必要である。また、資源の有効利用や最終処分場の逼迫回避の観点からは、③市場におけるリサイクル・最終処分コスト及びその変動に関わらず安定的に太陽電池モジュールのリサイクルがなされる状況を整えることが必要である。こうした条件を満たし、円滑かつ効率的にリサイクル・適正処分がなされるような制度を、できるだけ早期に導入すべきである。このような制度の早期導入が、国内リサイクル産業の振興や先進的なリユース・リサイクル技術の国際展開につながることを期待される。

---

**ご静聴いただきありがとうございました。**