# 廃棄太陽光パネルの資源循環

今村　将基

2022.Nov.26

# 課題：大量廃棄が迫っている！

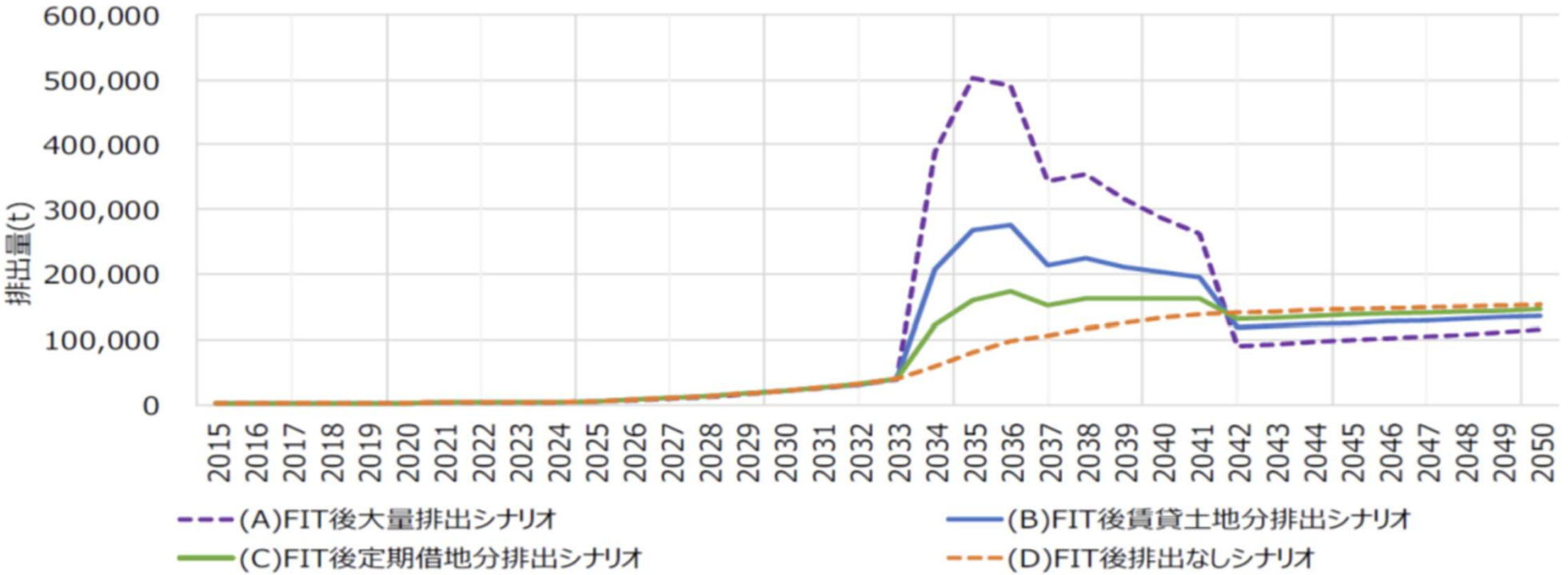
- 2009年からの余剰電力買取制度、2012年の「再生可能エネルギーの固定買取制度（FIT法）」によって急速に普及

- 2020年、年間約6,700ｔが排出
  （リユースへ　約4,200t　、リサイクルへ　約1,500t）

- 2035年頃には廃棄のピークをむかえる予測
  300,000～500,000トン/年

# 予測排出量

| | 排出見込量<br>(B)、(C) | 2015年度の産業廃棄物の最終処分量に占める割合 |
|---|---|---|
| 2020 | 約0.3万トン | 0.03% |
| 2025 | 約0.6万トン | 0.06% |
| 2030 | 約2.2トン | 0.2% |
| 2036 | 約17~28万トン | 1.7~2.7% |




太陽光パネルのシナリオ別排出量推計（出所：NEDO）

# 何が問題か？

- 不法投棄、放置の問題
- 有害物質の適正処理
  （鉛、カドニウム，　ヒ素、セレン等）
- 資源の再利用
- 管理型最終処分場の枯渇を早めてしまう

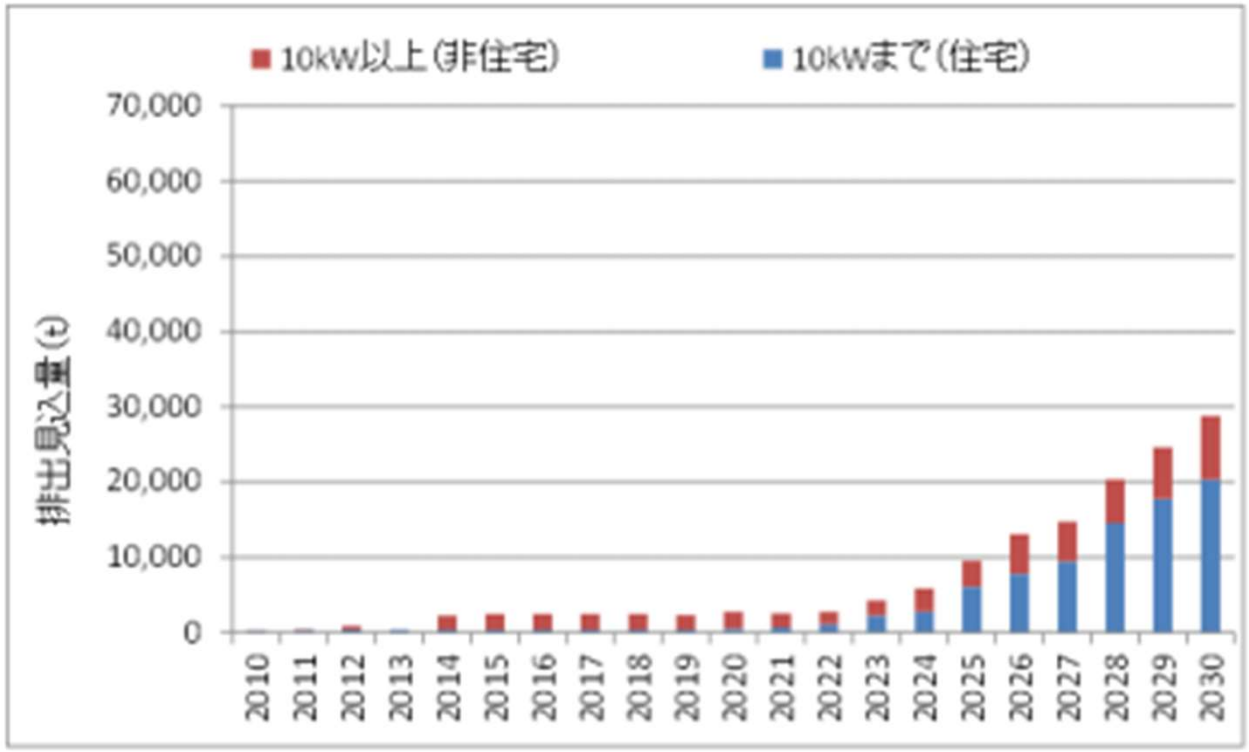



図　太陽電池モジュール排出見込量（寿命 25 年）

**太陽光**

| | 1kWhあたり調達価格等/基準価格 ※1 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 入札制度適用区分 | 50kW以上<br>（入札制度対象外） | 10kW以上50kW未満 ※3 | 10kW未満 |
| 2021年度<br>（参考） | 入札制度により決定<br>（第8回11円/第9回10.75円/<br>第10回10.5円/第11回10.25円） | 11円 | 12円 | 19円 |
| 2022年度 | 入札制度により決定 ※4<br>（第12回10円/第13回9.88円/<br>第14回9.75円/第15回9.63円） | 10円 | 11円 | 17円 |
| 2023年度 | 入札制度により決定 | 9.5円 | 10円 | 16円 |
| 調達期間/<br>交付期間 ※2 | 20年間 | | | 10年間 |

# 20年後のための提案

リユース、リサイクルの推進を行い、

①資源の有効活用

②エネルギーの抑制

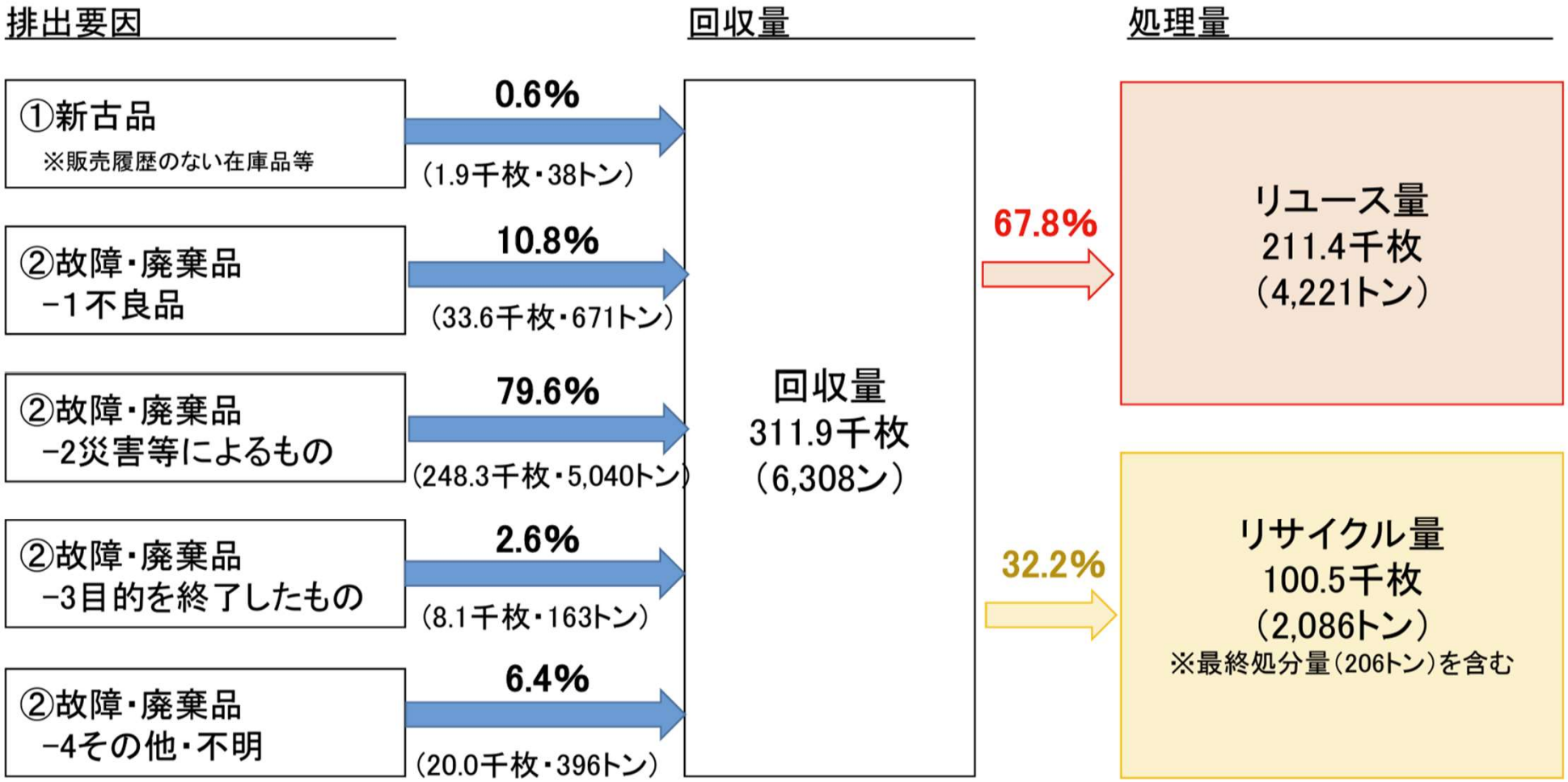
③有害物質の管理

④最終処分量の削減　を行う。

リユース：ガイドラインに準じたリユース市場の構築

リサイクル：金属、ガラス、そしてSiのリサイクル

・2020 年度




出典：令和3年度使用済み太陽電池モジュールのリサイクル等の推進に関わる調査業務

# 提案１

- リユースについて

ガイドライン※に準じた信頼性の
高い市場を創る　（古物商営業許可）

1. 製品情報
2. 外観
3. 発電性能
4. 絶縁性能

太陽光電池モジュールの適切なリユース促進ガイドライン　環境省
令和3年５月

別紙：太陽電池モジュールの適正なリユース促進ガイドライン　チェックシート（案）

| | | |
|---|---|---|
| 太陽電池モジュールをリユース品として取扱う上での法律上の責務 | 古物営業法への対応 | ●「古物商」、「古物市場主」、「古物競りあっせん業者」の分類に従い、古物市場が所在する都道府県の都道府県公安委員会ごとに営業許可を受けること。<br>●古物の取引を行うたびに、帳簿若しくは国家公安委員会規則で定めるこれに準ずる書類に記載、または電磁的方法により記録をすること。 |
| | 処理・処分する際の廃棄物処理法への対応 | ●太陽電池モジュールがリユースに適さず、廃棄物となった場合には、排出事業者が廃棄物処理法に基づいた適切な処理を行うこと。 |

| 項目 | 条件 | (リユース品の売手が実施すべき)対処事項<br>(※売手が行うもの。買手も参照できるものとして整理) | 備考 | チェック |
|---|---|---|---|---|
| A 製品情報・外観 | ＜製品情報＞<br>・リユース品の状態が把握できる製品情報(①メーカー、②型式、③年月情報(製造年月・設置年月・撤去年月)、④排出由来・要因、⑤中古太陽電池モジュールの販売事業者名等)が提供されていること。 | ・製品情報を記録し、売手、買手間で確認可能な状態としておくこと。 | ― | ☐ |
| | ＜外観状態＞<br>・ガラスの割れ、セル・タブ線・バスバー電極のずれ、外観の焦げキズ、バックシートの破れ、ケーブルの断線、アルミフレームの変形、ジャンクションボックスの接続不良や絶縁不良等の故障につながる要因がないこと。⇒【参考写真】<br>・使用に支障をきたす程度の汚れがないこと。。 | ・外観の状態を記録し、かつその事実を確認できる書類を求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。<br>・外観の状態を確認し、使用に支障をきたす汚れがある場合は、太陽電池モジュールの洗浄を実施すること。 | ・明るい所で外観を目視検査により、不適正(表面の亀裂、接続不良、内部の腐食、接着不良等)がなく、絶縁性を有していることを確認することが重要となる。<br>・新古品(未使用品)も保管や輸送中に劣化、破損している可能性があることから、基本的に外観チェックを実施するが、製品の状態に応じた対応となる。<br>・検査の実施単位、方法については、排出状態に応じて売手の任意又は買手が指示による。 | ☐ |
| B 正常作動性 | ＜発電性能＞<br>・リユース品としての発電性能を有すること。 | ・発電実績記録又は保守点検記録(直近数か月分等)を用意、又は記録がない場合は発電性能の検査を行った上で記録し、確認できる書類を求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。<br>・発電性能を示す記録、内容に責任を負う売手の名前・名称、連絡先を求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。<br><br>【海外輸出時のみ】<br>・当該製品の使用に際し、必要な発電用付属品(例:コネクタ)が欠損している場合は、その付属品名と現地での調達可能性の説明を記録し、求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。 | ・災害時に水没、落雷等直接被害を受けたものは、被害状況を確認の上、発電性能に係る記録が存在していても、必要に応じて発電性能の検査の実施が必要となる。<br>・検査の実施単位、方法については、排出状態に応じて売手の任意又は買手の指示による。<br>・IV等の検査を行うことでより詳細な発電性能を把握する取組も推奨される。⇒【参考資料】 | ☐ |
| | ＜絶縁性能＞<br>・絶縁性を有すること。 | ・絶縁性に関する目視検査記録又は絶縁性能検査結果等を確認できる書類を求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。<br>・絶縁性を示す記録を示す記録、内容に責任を負う売手の名前・名称、連絡先を求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。 | ・明るい所における目視検査により、不適正(表面の亀裂、接続不良、内部の腐食、接着不良等)がなく、絶縁性を有していることを確認する。ただし、絶縁性能に関する記録又は絶縁性能検査結果等においても確認することが望まれる。⇒【参考資料】<br>・絶縁が十分に施されていない場合、感電等のリスクがあるため十分に注意する。<br>・災害時に水没、落雷等直接被害を受けたものは、被害状況を確認し絶縁性能に係る記録が存在していても必要に応じて絶縁性能の検査の実施が望まれる。<br>・検査の実施単位、方法については、排出状態に応じて売手の任意又は買手が指示による。 | ☐ |
| C 梱包・積載状態 | ・積み込み時、輸送時、積み降ろし時の破損等で、リユース品としての性能に支障が生じることを防止するため、適切な荷姿等であること。⇒【参考写真】<br>・発電しない梱包状態であること。 | ・荷崩れしないように梱包、積載、保管しておくこと。<br>・発電しないように発電面を遮光している状態としておくこと。<br><br>【海外輸出時のみ】<br>・梱包、積載、保管状況を写真等に記録し、かつその梱包・積載状態の写真を、求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。 | ― | ☐ |
| D 中古取引の事実関係及び中古市場 | ・契約条件が明確化されていること。<br><br>【海外輸出時のみ】<br>・リサイクル又は廃棄処分されずに、リユース品として取引される事実関係が確認されること。<br>・輸出先国において、リユース品の市場が形成されており、リユース目的で販売されることが確認されること。 | ・取引の事実関係が確認される書類には、保証事項などの契約条件を記載しておくこと。<br><br>【海外輸出時のみ】<br>・取引の事実関係が確認される書類には、少なくとも1.リユース品の販売に関する内容(取引価格に関する情報を含む)、2.部品取りされない旨を記載し、かつ書類を求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。<br>・輸出先又は再輸出先国においてリユース販売する者の名称・所在・連絡先・販売店の写真を記録し、求めに応じて提出可能な状態にしておくこと。<br>(英文以外は、その翻訳(日本文又は英文)を提示できるよう配慮すること) | ― | ☐ |

**発電性能について**

I-V　（電流・電圧）　曲線測定

EL（エレクトロルミネンス）検査

特殊カメラで撮影し、異常を発見

**漏電について**

目視検査

絶縁抵抗検査

# 中古製品の規格をつくる

- リユース製品の信頼度を担保し、透明性の高い
  セカンドマーケットが醸成されるように
  業界団体、あるいは第三者機関を設けて

中古製品の規格（グレード分け）をつくる。

例えば　A　新品の80％以上の発電量
B　70％以上の発電量
C　60％以上の発電量

F　50％未満　⇒リサイクルへ

# 製品情報について

- 廃棄物データシート　（waste data sheet, WDS)

- 廃棄物の名称や成分など、廃棄物の適正処理を進める上で必要となる各種データをまとめた書類。
- 目的としては、排出事業者の委託する産業廃棄物が適正に処理されるために記載するもの。

本来は排出事業者の責任において作成される。

＜表 面＞

管理番号.....

# 廃棄物データシート（WDS）

※1 本データシートは廃棄物の成分等を明示するものであり、排出事業者の責任において作成して下さい。
※2 記入については、「廃棄物データシートの記載方法」を参照ください。

作成日　平成　年　月　日　　記入者

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 排出事業者 | 名称 | | 所属 | | | |
| | | 所在地 | 〒 | 担当者 | | TEL | |
| | | | | | | FAX | |
| 2 | 廃棄物の名称 | | | | | | |
| 3 | 廃棄物の組成・成分情報<br>（比率が高いと思われる順に記載） | 主成分<br>他 | | | MSDSがある場合、CAS No. | | |
| | □ 分析表添付（組成） | ・成分名と混合比率を書いて下さい。 ばらつきがある場合は範囲で構いません。<br>・商品名ではなく物質名を書いて下さい。重要と思われる微量物質も記入して下さい。 | | | | | |
| 4 | 廃棄物の種類<br>□産業廃棄物 | □汚泥　□廃油　□廃酸　□廃アルカリ<br>□その他（　　）<br>※ 廃棄物が以下のいずれかに該当する場合<br>□石綿含有産業廃棄物　□水銀使用製品産業廃棄物　□水銀含有ばいじん等 | | | | | |
| | □特別管理産業廃棄物 | □引火性廃油　□強アルカリ（有害）　□指定下水汚泥　□廃酸（有害）<br>□引火性廃油（有害）　□感染性廃棄物　□鉱さい（有害）　□廃アルカリ（有害）<br>□強酸　□PCB等　□燃えがら（有害）　□ばいじん（有害）<br>□強酸（有害）　□廃水銀等　□廃油（有害）　□13号廃棄物（有害）<br>□強アルカリ　□廃石綿等　□汚泥（有害） | | | | | |
| 5 | 特定有害廃棄物<br>（ ）には<br>混入有りは○、<br>無しは×、混入の<br>可能性があれば△<br>□ 分析表添付<br>（廃棄物処理法） | アルキル水銀（　）　トリクロロエチレン（　）　1,3-ジクロロプロペン（　）<br>水銀又はその化合物（　）　テトラクロロエチレン（　）　チウラム（　）<br>カドミウム又はその化合物（　）　ジクロロメタン（　）　シマジン（　）<br>鉛又はその化合物（　）　四塩化炭素（　）　チオベンカルブ（　）<br>有機燐化合物（　）　1,2-ジクロロエタン（　）　ベンゼン（　）<br>六価クロム化合物（　）　1,1-ジクロロエチレン（　）　セレン（　）<br>砒素又はその化合物（　）　シス-1,2-ジクロロエチレン（　）　ダイオキシン類（　）<br>シアン化合物（　）　1,1,1-トリクロロエタン（　）　1,4-ジオキサン（　）<br>PCB（　）　1,1,2-トリクロロエタン（　） | | | | | |
| 6 | PRTR対象物質 | 届出事業所 （該当 ・ 非該当）、 委託する廃棄物の該当・非該当 （該当 ・ 非該当）<br>※ 委託する廃棄物に第1種指定化学物質を含む場合、その物質名を書いて下さい。 | | | | | |
| 7 | 水道水源における消毒副生成物前駆物質 | 生成物質：ホルムアルデヒド（塩素処理により生成）<br>□ヘキサメチレンテトラミン（HMT）　□1,1-ジメチルヒドラジン（DMH）<br>□N,N-ジメチルアニリン（DMAN）　□トリメチルアミン（TMA）　□テトラメチルエチレンジアミン（TMED）<br>□N,N-ジメチルエチルアミン（DMEA）　□ジメチルアミノエタノール（DMAE） | | | | | |
| | | 生成物質：クロロホルム（塩素処理により生成）<br>□アセトンジカルボン酸　□1,3-ジハイドロキシルベンゼン（レゾルシノール）<br>□1,3,5-トリヒドロキシベンゼン　□アセチルアセトン　□2'-アミノアセトフェノン<br>□3'-アミノアセトフェノン | | | | | |
| | | 生成物質：臭素酸（オゾン処理により生成）、ジブロモクロロメタン、ブロモジクロロメタン、ブロモホルム（塩素処理により生成）<br>□臭化物（臭化カリウム等） | | | | | |
| 8 | その他含有物質<br>（ ）には<br>混入有りは○、<br>無しは×、混入の<br>可能性があれば△<br>□ 分析表添付（組成） | 硫黄（　）　塩素（　）　臭素（　）<br>ヨウ素（　）　フッ素（　）　炭酸（　）<br>硝酸（　）　亜鉛（　）　ニッケル（　）<br>銅（　）　アルミ（　）　アンモニア（　）<br>ホウ素（　）　その他（　） | | | | | |

# WDSの製造元への義務化

Panasonic

電気・建築設備（ビジネス） | 商品情報 | カタログ | 各種データ | 納入事例 | 業務支援 | サポート | 個人のお客様

電気・建築設備 ＞ 太陽光発電・蓄電システム ＞ 太陽電池モジュールの廃棄物データシート（ＷＤＳ）情報

## 太陽電池モジュールの廃棄物データシート（WDS）情報

### 「廃棄物データシート（WDS）」とは

太陽電池モジュールの廃棄処分の際には排出事業者様より「廃棄物データシート（ＷＤＳ）」を作成いただき、提出いただく必要があります。

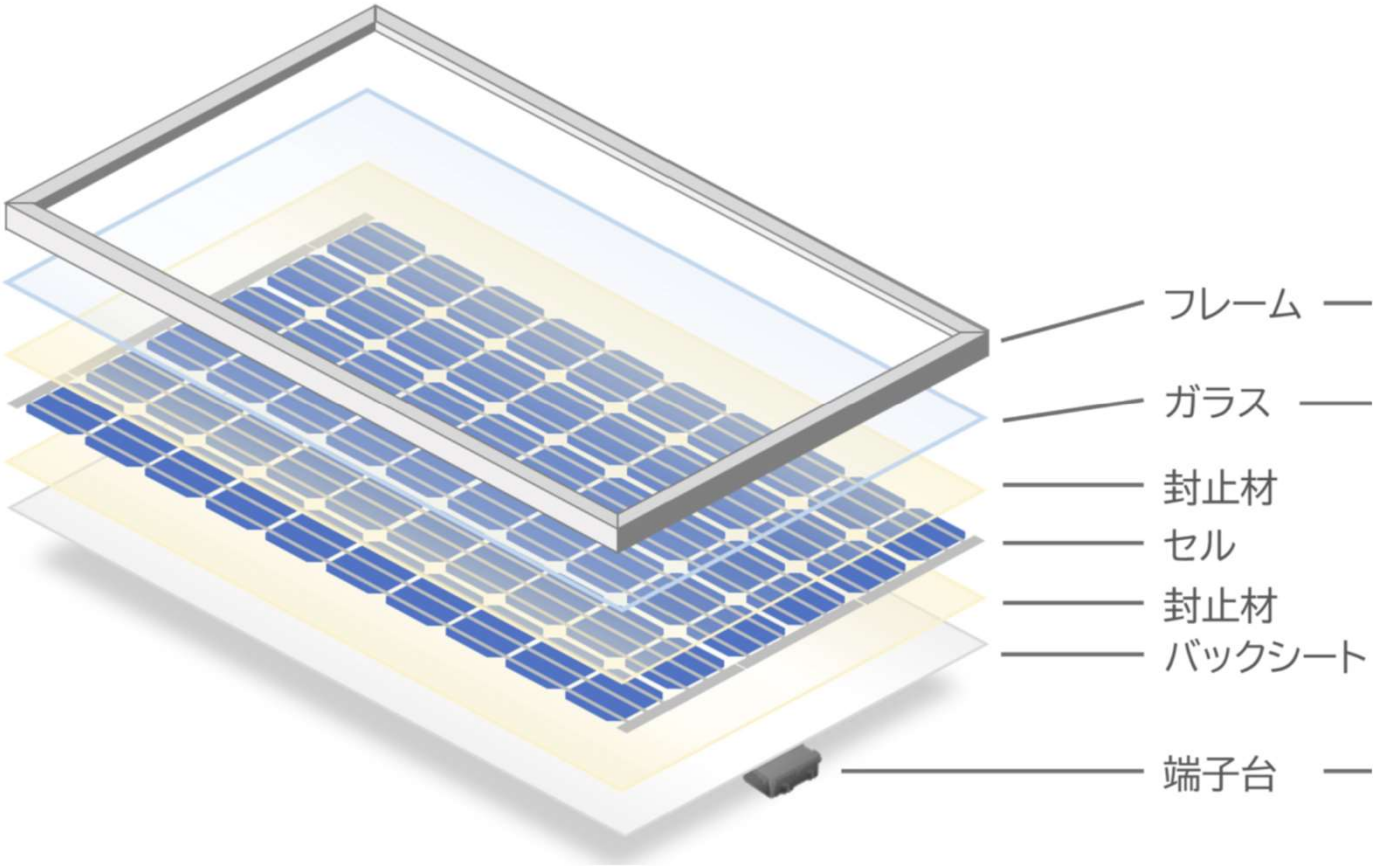
「廃棄物データシート（ＷＤＳ）」は、製品品番により数値が異なりますので、以下の記入例を元に作成ください。

# 提案２

- リサイクルについて　（廃棄物処理法）

アルミなどの金属⇒非金属を扱う業者を通じて
原料へ

ガラス⇒剥離し、原料として利用
例）グラスウールの原料　※
発砲ガラスの原料　※


フレーム
ガラス
封止材
セル
封止材
バックシート
端子台

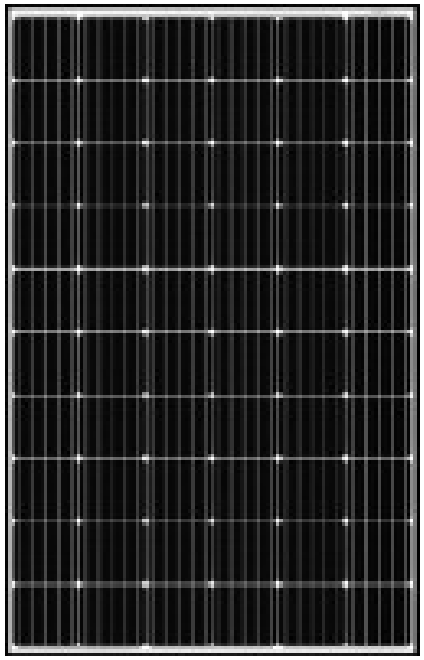


表 2.1-11　Si 単結晶 の素材構成

| 部位 | 重量 (kg) | 部位 | | 重量 (kg) | 構成割合 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| モジュール全量 | 870.00 | セル | 結晶シリコン | 28.50 | 3.28 |
| | | フロントカバー | ガラス | 523.97 | 60.23 |
| | | フレーム | アルミ | 176.32 | 20.27 |
| | | プラスチック | EVA 等 | 133.62 | 15.36 |
| | | 電極材料 | 銅／はんだ | 7.60 | 0.87 |

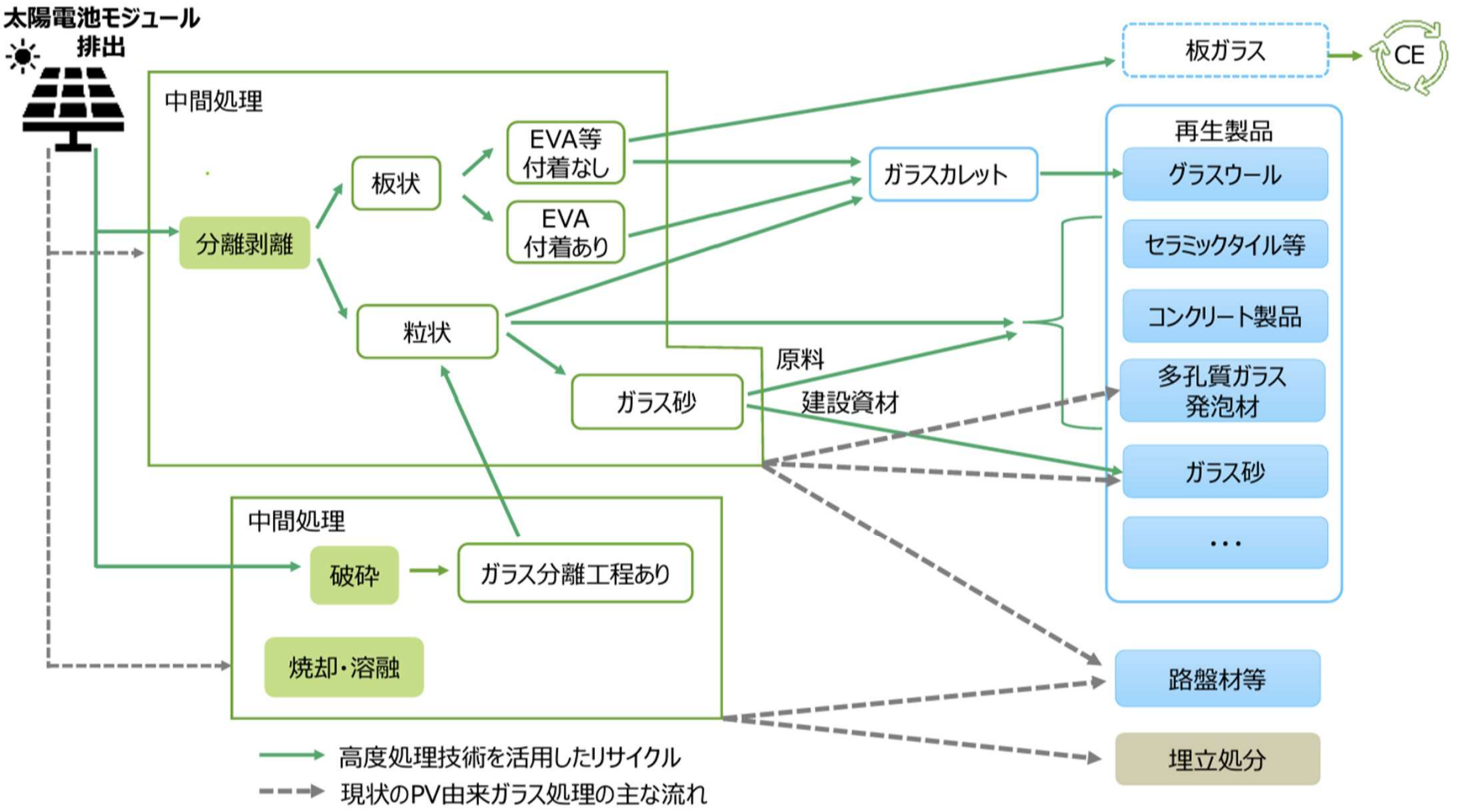
表 2.1-12　Si 多結晶の素材構成

| 部位 | 重量 (kg) | 部位 | | 重量 (kg) | 構成割合 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| モジュール全量 | 863.32 | セル | 結晶シリコン | 29.02 | 3.36 |
| | | フロントカバー | ガラス | 540.00 | 62.55 |
| | | フレーム | アルミ | 135.28 | 15.67 |
| | | プラスチック | EVA 等 | 152.54 | 17.67 |
| | | 電極材料 | 銅／はんだ | 6.48 | 0.75 |

表 2.1-13　Si 薄膜の素材構成

| 部位 | 重量 (kg) | 部位 | | 重量 (kg) | 構成割合 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| モジュール全量 | 1,493.14 | 基盤/フロントカバー | ガラス | 1,117.94 | 74.87 |
| | | フレーム | アルミ | 212.28 | 14.22 |
| | | プラスチック | EVA 等 | 152.71 | 10.23 |
| | | 電極材料 | 銅／はんだ | 10.21 | 0.68 |

出典：太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究，NEDO，2009 年


太陽電池モジュール
排出
中間処理
分離剥離
板状
粒状
EVA等
付着なし
EVA
付着あり
ガラス砂
原料
建設資材
板ガラス
CE
ガラスカレット
再生製品
グラスウール
セラミックタイル等
コンクリート製品
多孔質ガラス
発泡材
ガラス砂
・・・
中間処理
破砕
ガラス分離工程あり
焼却・溶融
路盤材等
埋立処分
高度処理技術を活用したリサイクル
現状のPV由来ガラス処理の主な流れ

# 廃ガラスの活用例

グラスウール

# 廃ガラスの活用

保水性
植物が育つ環境を整える
ECO
土から土へのリサイクル
無機鉱物性
熱や薬品にも強い
超軽量
とても軽く、施工性が良い
多孔質
無数の穴が開いている
排水性
目詰まりしにくい
気泡や吸水率の調整が可能。

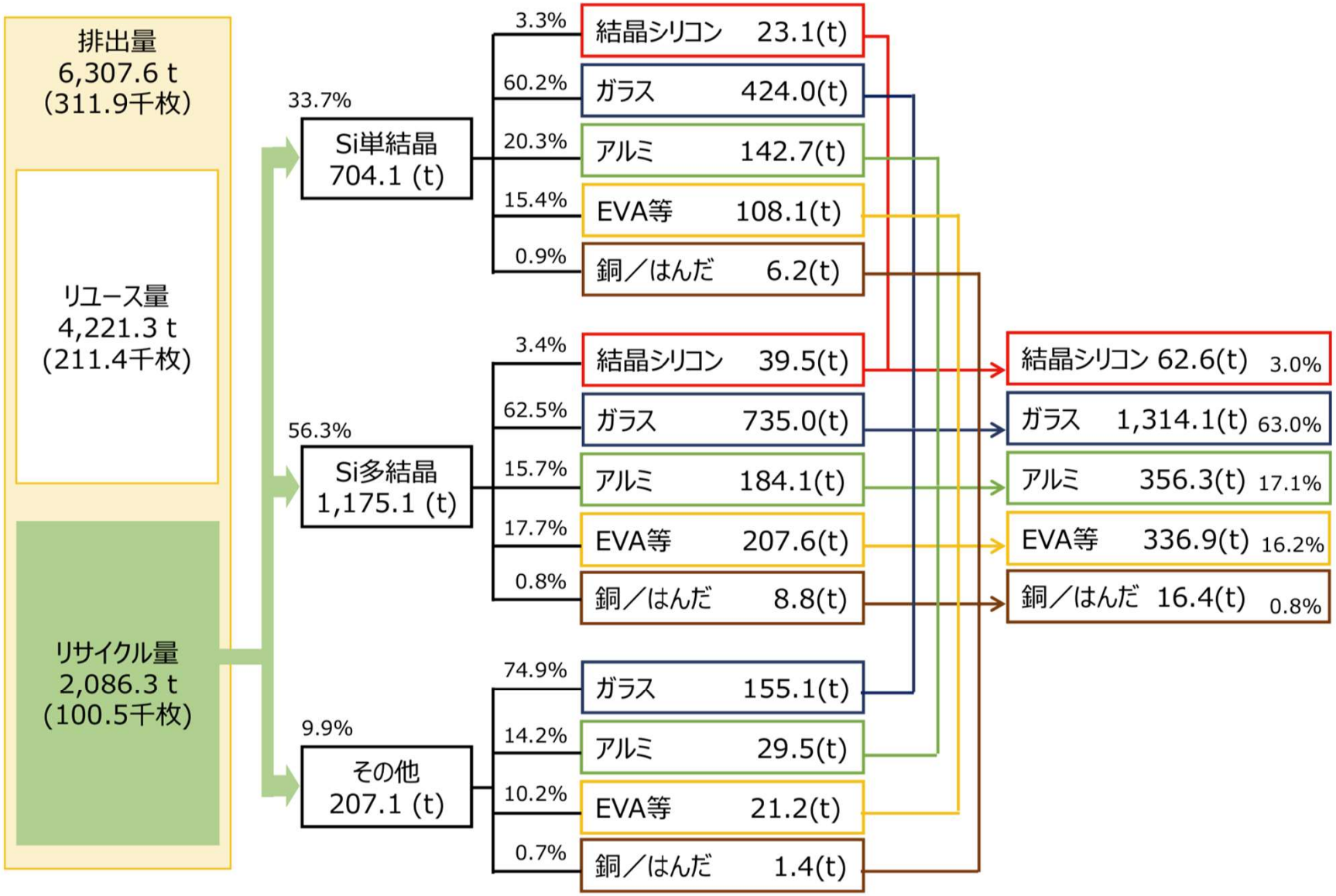



図 2.1-4　太陽電池モジュール素材別処理量（2020 年度）

註：太陽電池モジュールが排出された場合の素材ごとの重量推計値を示す。

# 提案２　続き

## シリコン（Si）のリサイクル

金属シリコンの世界生産量は年間90万トン。主要生産国は中国やノルウェー、米国、ブラジル、オーストラリア、南アフリカなどがあり、中国が世界の6割以上を占める。

日本のシリコンの輸入量は、2020年は21万トン。
内訳は99・99%（４N）以上の高純度単結晶シリコンが3900トン、

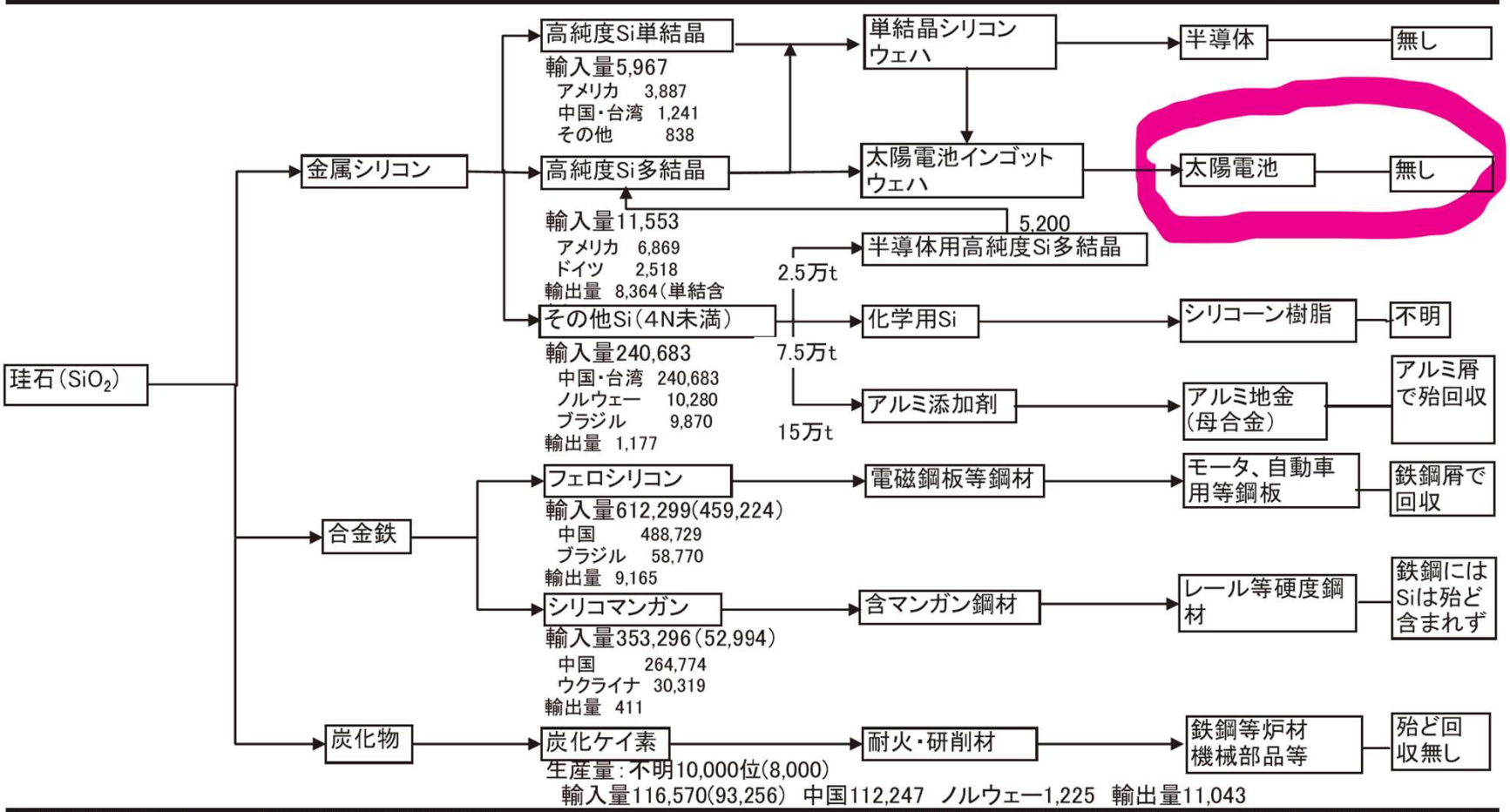
高純度多結晶シリコンは1万4400トン、

４N未満のその他（280469000）は19万1000トン。

４N未満のいわゆる低品位の金属シリコンが最も多く、その大多数がアルミ合金や二次合金の添加用に使用されている。

# ケイ素（Si）

2008年ベース　単位：（　）内はSi純分t、その他はマテリアルt



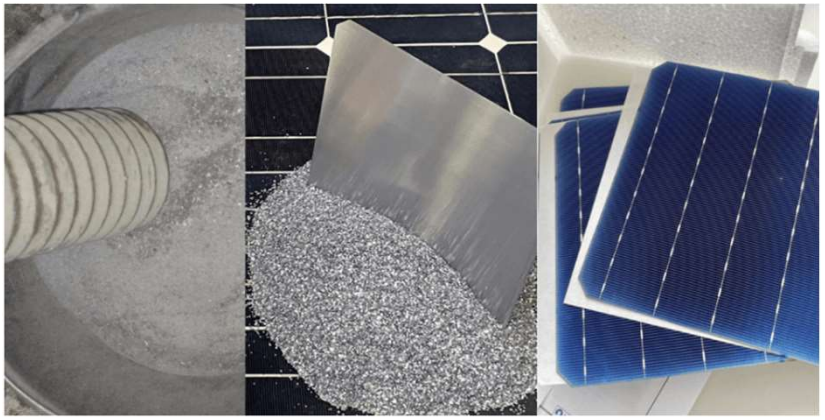

1. 鉱石埋蔵量（Reserves）：N.A.(USGS:MCS 2009)
2. 換算率　フェロシリコン：75%　シリコマンガン：15%　炭化ケイ素：80%
3. 出典：工業レアメタル2009、合金鉄年鑑、日本貿易統計、他

# Si　リサイクルの実現性について

**海外ではリサイクルの技術が実用レベルまで来ている。**

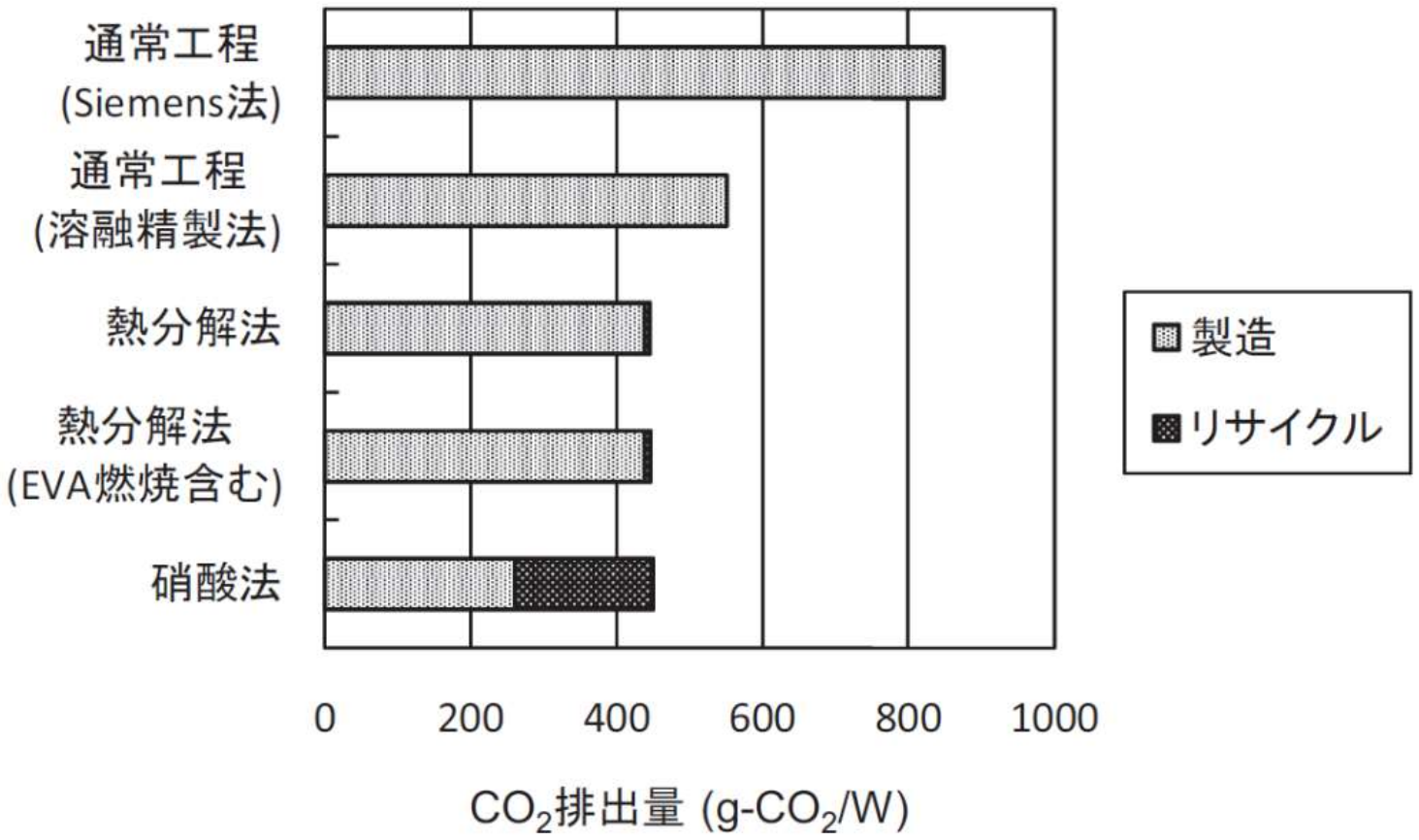
**太陽光パネルのシリコンもリサイクル　ドイツの研究所が技術開発**

- ドイツの研究所（CSP）と同（ISE）は2022年2月、共同でシリコン（Si）系太陽光パネルのSiをリサイクルし、それを基に最新のPERC型太陽電池セルを作製したと発表した。これまで難しいと考えられていたSiのリサイクルが軌道に乗れば、太陽光パネルを構成するほとんどの材料の再資源化が実現する。



回収されたシリコンと製造されたPERC太陽電池（引用元：Fraunhofer）

# 再処理方法別投入$CO_2$排出量比較




（出典）リサイクル技術を考慮した太陽電池ライフサイクル評価，岡島敬一，内山洋司，Journal of Life Cycle Assessment, Japan, Vol5, No.4 (2009)

# 波及効果として

- 資源を鉱山から採掘、精錬するのではなく、

都市鉱山を活用するという意味からも環境負荷、エネルギー使用量、ＣＯ2排出、を低減できる。

天然資源のあまり豊富でない日本においては、

「廃棄」ではなく「資源化」のテクノロジーの開発、発展は非常に大きな意義がある。

# まとめとして

- CO2を排出しない「再生可能エネルギー」、太陽光発電であるが、時間の経過に従ってその太陽光パネル自体が廃棄物になってしまう、という課題が生じている。

- しかし、廃棄物への対処の基本であるリユース、リサイクルを技術の進歩とともに進めていく事でその課題の解決（根本解決ではなくとも）につながる可能性はある。

  また、その技術は大きな意味をもたらす。