

太陽電池のゴミをどうするか？

ガラス技術研究所

織田 健嗣

What is recycling photovoltaics waste - Penny wise and pound foolish!

Kenji Oda

Institute of Glass Technology

かつて原子力発電から出る高レベル放射性廃棄物の処理技術が確立していない時代には、原発は「トイレのないマンション」と言われた時代があったが、ガラス固化技術によって、日本原燃(株)では2013年までに346体の固化体が生産されるに至っている。また日本原子力研究開発機構でも272体に続き、ガラス固化が継続されている。さらに海外から返還されるものが1830体ある。ガラス固化のプロセスは、核分裂反応するウランやプルトニウムを除いた放射性廃液をガラスに溶解させる工程である。セシウムやストロンチウムなどの放射性元素は、ガラス構造の中に閉じ込められており、地震によって廃液が漏れることはない。使用済み燃料を再処理する方式では、ガラス固化体に核分裂反応する物質は含まれておらず、核爆発は起きない。ガラス固化体の放射能は、50年で80%、1000年で99%が失われ、その後、数万年を経て、天然ウラン鉱石並みのレベルに低下する。固化体の処分は、人が接近できない非管理型処分として地層処分が適切である。既に調査研究

で「国内に十万年程度の長期安定な地域は広く存在」することが明らかになっており、これまでの電力受益者には、先進的、実証的に適地を選定し、次世代の負担を最小化することが求められる。

太陽電池 (photovoltaics, PV) のリサイクルは、家電、建築、自動車のリサイクルや核燃料リサイクルに比べて、遅れている。制度が設計されておらず、FITの受益者がリサイクル費用を負担する仕組みもない。さらにPVの導入推進と環境の破壊や汚染を見据えた規制とのバランスのとれた政策が執行されていない。2010年代半ばから、素性の不明なPVの輸入が急増している(図1)。

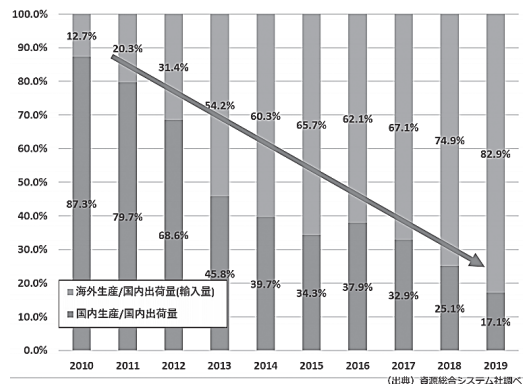


図1 PVの年次別国内出荷比率: (下) 国内生産品vs. (上) 輸入品, 出典) 資源総合システム社

PV 市場の 90 % を占めるのは結晶系 PV であり、PV パネルの重量の 70 % はカバーガラスである。PV パネルは、モジュールを樹脂膜で封止し、カバーガラスとバックシートで挟み、アルミ製フレームで端部を保護したものである (図 2)。廃 PV から回収したガラスの価値は、パネル全体の 4 % で、銀 (42)、アルミニウム (24)、シリコン (20)、銅 (7) に比べると小さい。

2019 年までの各国の PV の累積導入量を人口で割ると、国民一人当りの導入量となるが、我国は、独、豪に次いで、世界第 3 位の「環境」先進国である (表. a 列)。中進国グループには伊、米、韓、後進国グループには英、仏、中、印が入る。導入量に設備利用率 (capacity factor, CF) を乗じると、日本人一人当りの発電量は世界第 1 位になる (表. b 列)。

ここで考えるべきは、日本人に世界第 3 位の大量廃棄の時代が到来することである。2011 年

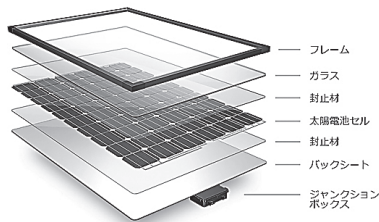


図2 PVパネル, 出典) J-partners.

表 国別のCF, 一人当りのPVのa. 導入量, b. 発電量, 出典) IEA-PVPS, 2020.

	CF %	a.導入量[kW/人]	b.発電量[kWh/h/人]
中	15	0.14	0.021
EU	11	0.26	0.028
米	15	0.23	0.035
日	13	0.50	0.065
独	10	0.59	0.059
印	21	0.03	0.007
伊	14	0.34	0.048
豪	9	0.58	0.052
英	11	0.20	0.022
韓	12	0.22	0.026
仏	14	0.15	0.021

の東日本大震災以降に導入した PV は、25 年の平均寿命を経て、2030 年代後半に年間 23 万トン前後の廃棄物になる (図 3)。

廃パネルからの回収ガラスを利用する際には、組成や有害物の濃度を測定し、利用の可否を決める必要がある。組成範囲が狭い建築用、自動車用、電子表示用ガラスとは違う。大半のガラスには砒素 (As) やアンチモン (Sb) のような有害物質が含まれており、安定型でなく管理型の処分が必要になる。管理処分場の建設が必要になり、用地確保が切迫してくる。PV パネルとガラスの主たる生産国の中国は、廃ガラスを引き取らない。

仮に廃ガラス年間 15 万トンの内、3 万トンをグラスウールの原料として消化するとしても、残り 12 万トンをカレット (ガラス屑) にして、PV 用ガラスを生産するには、国内の生産設備が足りない。もしも生産されたガラスを PV パネルに用いると、年間約 6 GW の PV に相当する。FIT の受益者がガラス生産者に処理費用を支払うのが妥当であるが、その負荷を最小化するには、①廃ガラスから板状のガラスを回収し、産業用や農事に利用する、②有害物やアルカリ (Na₂O) を除去する研究を行い、回収ガラスの利用範囲を拡大する、さらに③ As & Sb フリーのガラスに転換して、リサイクル性を高める、等に取り組むことが考えられる。As & Sb フリーの高透過ガラスを用いれば、建築用白板ガラス、自動車用濃色ガラス、曇りガラス、グラスウール、路盤材、, とカスケード・リサイクル

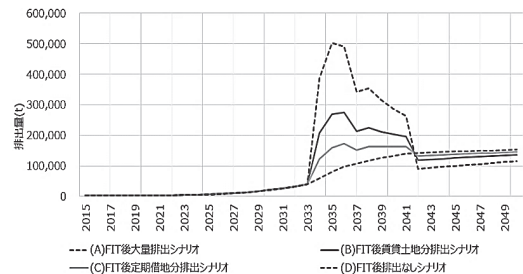


図3 シナリオ別の排出量の予測, 出典) 資源エネルギー庁, 2018.

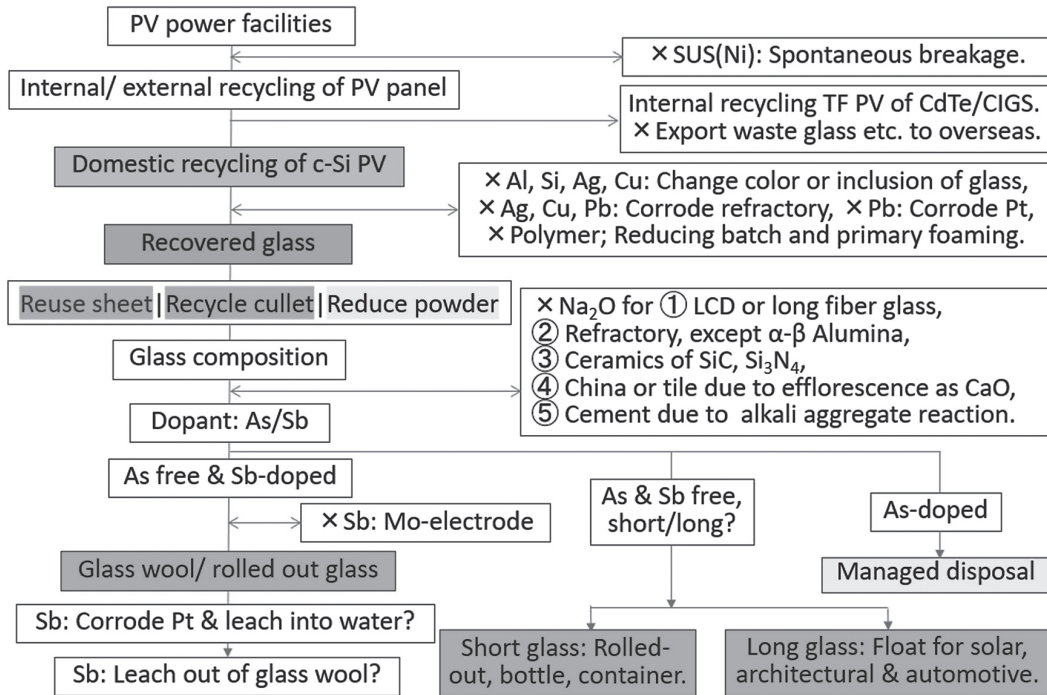


図4 PV用ガラスのリサイクル, 但し×は忌避物質等.

ルが可能になり, Sb 含有のガラスと比較して, リサイクル性が高く, 広い。この高透過ガラスの採用によって, PV が環境汚染を起こさない“環境に優しい”エネルギー源になる。優れたPV メーカーは, 環境汚染物質を含まないガラスを使い, モジュールの変換効率を上げるであろう。

PV のリサイクルに当たって, 支持構造物に SUS が使われていれば, Ni がガラスの自爆の原因となるので, 除外する(図4)。Al, Si, Cu, Ag, Pb は, ガラスを変色し, 製品中の異物となり, 窯の耐火物や白金を侵食する。有機物は CO₂ の泡層を厚くし, 窯の燃焼空間から素地空間への伝熱効率を下げる。Sb は白金治具や電極材のモリブデンを侵食し, 窯の操作や寿命に負の影響をもたらす。ガラスのエネルギー透過率が大きくするために, 5 酸化アンチモン (Sb₂O₅) によって酸化第 1 鉄 (FeO) を酸化第 2 鉄 (Fe₂O₃)

に酸化し, 1050nm 付近の光の吸収を減らし, PV に達する光を増し, 発電量を増やしている。As は健康被害をもたらす, 酸化アンチモンはフロート成形の錫バス中で還元されて, 金属になり, ガラスの表面を変色させるため, Sb 含有ガラスは, フロート法で製造する建築・自動車用ガラスのカレットにならない。ガラスは組成によって高温物性も違い, As や Sb の有害物の濃度も異なるため, 分別回収が必要である。

異常なことに, 欧州の WEEE 指令では 1000ppm 未満の As は非表示で, RoHS の規制対象に As も Sb も含まれていない。廃ガラスの放置は景観, 森林, 土壌を破壊し, 水質を汚染する。我々には, 自然と自己の一体感を重んじる, 古来からの世界観に立脚して, PV のリサイクルを先導することが求められているのではないか。