

## 日本産業機械工業会会長賞

## 「ホットナイフ分離法による太陽光パネルの自動解体ライン」

株式会社エヌ・ピー・シー

## 1. 装置の詳細説明

本システムは、太陽光パネル（以下、パネル）のガラスと金属をリサイクルするため、自動で分離回収する解体ラインである。ジャンクションボックス（以下 J-Box）やアルミフレームをパネルから自動で分離した後、カバーガラスを割らずにそれ以外の部材と分離し、ガラスと金属の完全リサイクルを可能にした画期的な中間処理ラインである。

以下に一般的に最も流通している結晶シリコン系パネルの構造を断面図で示す。

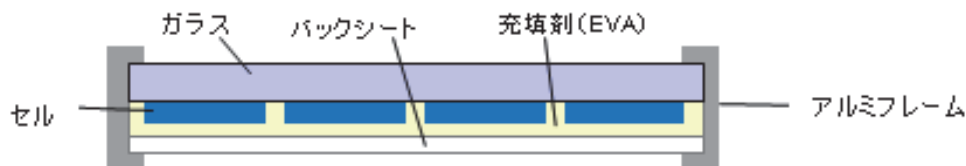


図1 パネルの断面図

結晶シリコン系パネルは、発電素子である太陽電池セルを複数枚、直列に接続し、配列したものを、表側にカバーガラス、裏側にバックシート等の保護部材を配して封止材を固着させて製造する。さらに4辺をフレーム（通常アルミ製）で挟み込んで、風雨から保護し、銅線ケーブルを擁している J-Box（電気の取り出し口）を裏面に取り付けて完成する。

表1は想定されるリサイクル対象のモジュール（＝パネル）の仕様である。

表が示すとおり、パネルにはその重量の6～7割程度を占めるカバーガラスのほかに、アルミや銅などの有価金属が含まれている。また、表には記載がないものの、銀もわずかに含まれている。当社が開発したパネル解体ラインは、こうした有価物を効率的に、かつ低価格で回収し、リサイクルすることを目的としている。

本解体ラインは J-Box 分離装置、フレーム分離装置、ガラス分離装置という3つの装置で構成されている。

まず J-Box 分離装置にて、パネル裏面の J-Box を分離し、J-Box に含まれる銅線を回収する。次にフレーム分離装置にて短辺、長辺それぞれのフレームを2本ずつ分離し、アルミを回収する。最後にガラス分離装置にて、約300℃に加熱した刃（以下ホットナイフ）をパネルの封止材（EVA）部分に当接させることで、カバーガラスを割ることなくその他の部材と分離する。

これにより、銅、アルミ、そして金属を含まない板状ガラスを分離することができ、リサイクルしやすい状態で有価物を回収することができる。

表1 想定されるリサイクル対象のモジュールの仕様

●結晶Siモジュールの想定

| 項目      |                | 単位             | 値      |
|---------|----------------|----------------|--------|
| モジュール寸法 | 長さ             | m              | 1.670  |
|         | 幅              | m              | 1.000  |
|         | 周辺長            | m              | 5.340  |
|         | 面積             | m <sup>2</sup> | 1.670  |
| モジュール出力 |                | W              | 240.0  |
| モジュール効率 |                |                | 14.4%  |
| 構成材料    | セル(結晶シリコン)     | kg/枚           | 0.377  |
|         | フロントカバー(ガラス)   | kg/枚           | 12.500 |
|         | フレーム(アルミ)      | kg/枚           | 3.200  |
|         | 充填材(EVA)       | kg/枚           | 1.109  |
|         | 周辺シール(プラスチック)  | kg/枚           |        |
|         | バックカバー(プラスチック) | kg/枚           | 1.131  |
|         | 電極材料(銅／はんだ)    | kg/枚           | 0.084  |
|         | 端子ボックス(プラスチック) | kg/枚           | 0.300  |
|         | ビス(鉄)          | kg/枚           | 0.100  |
| 合計      |                | kg/枚           | 18.800 |

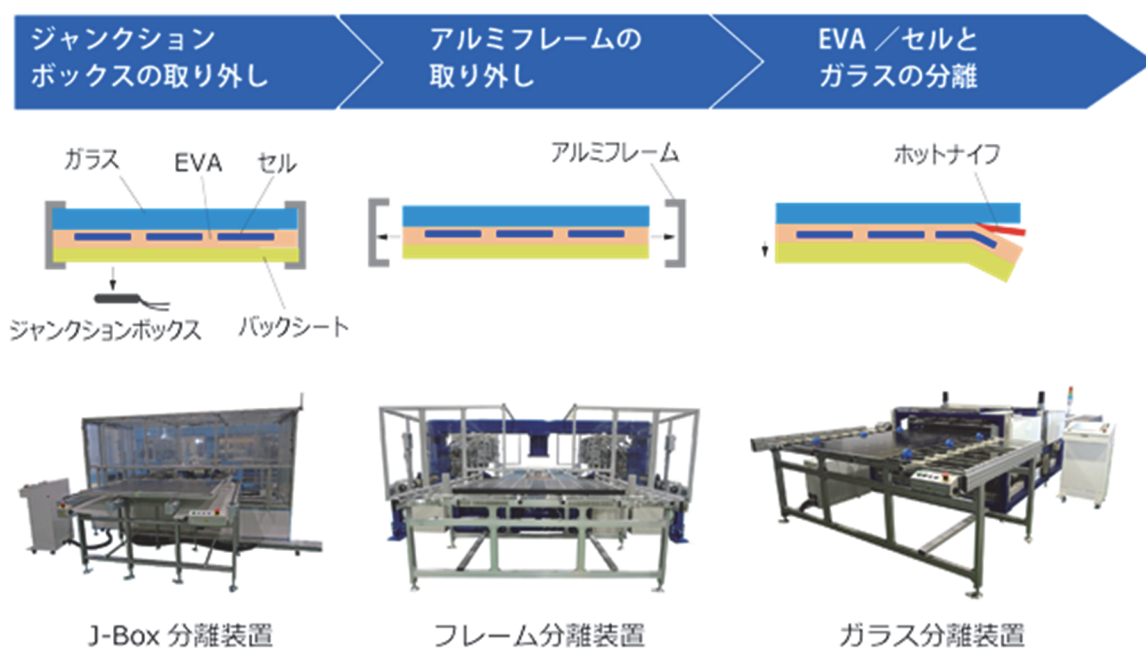


図2 パネル解体ラインの処理フロー

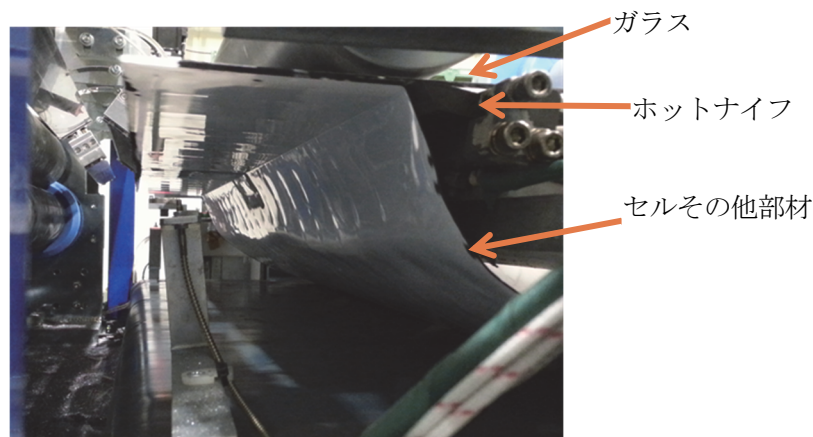


図3 ガラスの分離の様子

## 2. 開発経緯

再生可能エネルギー全量買取制度（FIT 制度）が 2012 年に施行されて以来、日本のパネルの導入量は飛躍的に増加し、2018 年末現在、累計で約 56GW で世界第 3 位に入っている。

パネルには、前述のとおりカバーガラス、銀や銅などの有価物が含まれているが、同時に鉛などの有害物質も含まれている。このため、廃棄処分に際しては、管理型最終処分場における適正な処理が不可欠である。

一方、将来的には大量の使用済みパネルが排出されると予想されている。経済産業省・資源エネルギー庁は 2018 年 11 月、2035 年～2037 年頃にパネルの排出量がピークを迎え、年間約 17～28 万トンのパネルが排出されるとの試算を公表した。

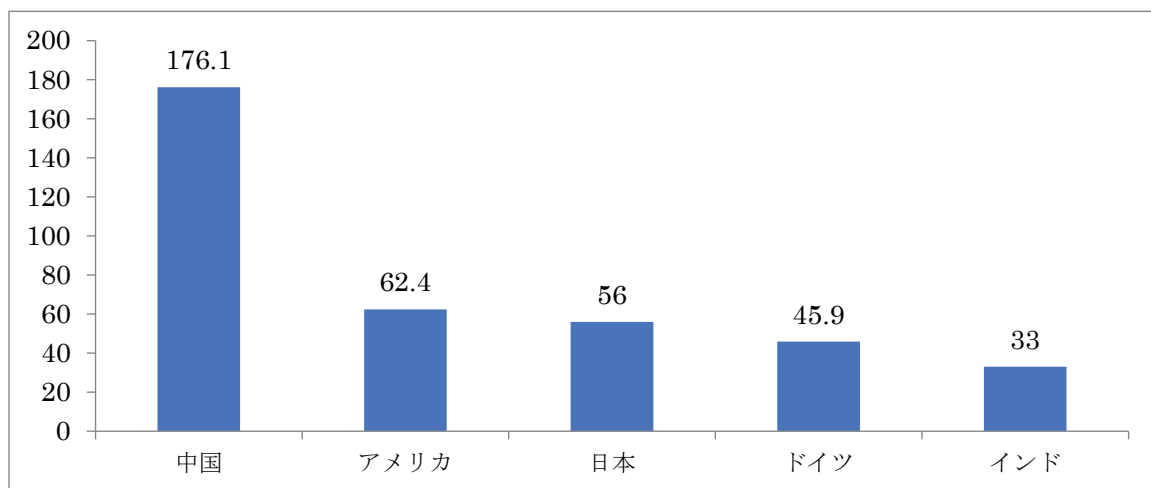
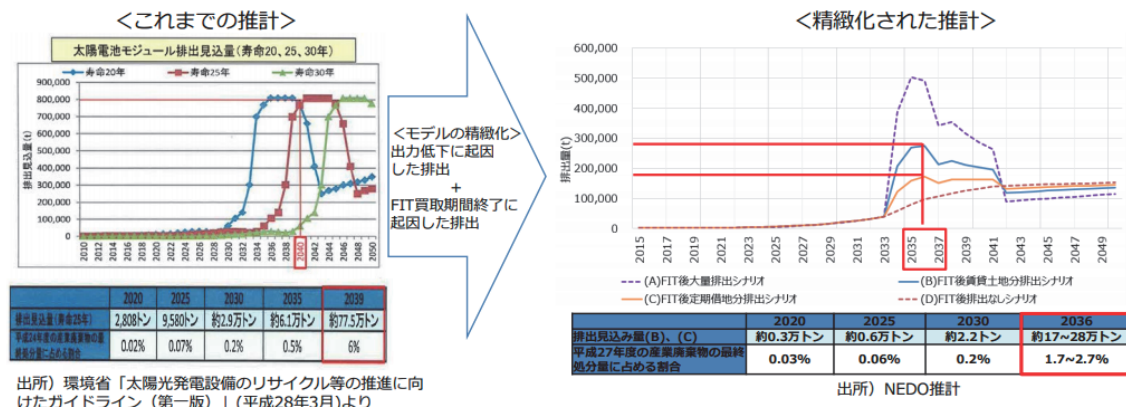


図4 2018 年末時点の太陽光発電累計導入量 上位 5 か国  
(REN21 及びドイツ連邦ネットワーク庁のデータを元に当社にて作成)



（出典：資源エネルギー庁）

図5 使用済みパネルの排出量推計

FIT 終了後の排出量には、出力低下及び土地の所有形態（定期借地、賃貸、または所有）の2点が大きく影響すると想定し、現実に即した4つのシナリオを準備したものである。環境省が2016年3月に発表していた、2040年に年間77万トンとの推計からは大きく下がっているものの、現在でも台風や水害その他の災害等で被災したパネルや、何らかの不具合があるパネルが全国で多数排出されており、その適正な処分やリサイクルのための早急な体制づくりは急務である。

当社は2014年から、低コストで効率的なパネルのリサイクルに向けて研究開発を進めてきた。同年7月から2015年2月にかけては、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」に国立研究開発法人産業技術総合研究所、はんだを専門とする株式会社日本スペリアとともに参画した。その際、「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」プロジェクトのフェーズB・スタディ（FS）を実施し、当社の担当であるガラス分離装置の開発を完了した。このFSにおいて、当社の分離技術が採用となり、あらためて2015年4月から2018年12月にかけて、産業廃棄物処理業者である株式会社浜田とともに「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」として採択され、処理コスト5円/Wに向けた実証試験を行った。その結果、処理コスト目標を上回る3円/Wを達成したものである。

以下に第1号機納入までの経緯をまとめる。

2014年～

調査・研究開始

2014年7月～2015年2月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトに参画。

「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」をテーマとし、当社の担当であるフレーム分離装置、ガラス分離装置を開発。

2015年4月～2018年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトに参画。

「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」をテーマとし、ホットナイフ分離装置の改良及び実証を実施。

2017 年 11 月

第 1 号機納入

### 3. 独創性

廃棄されたパネルは、比較的取り外して回収しやすいフレーム（アルミ製）を除いて、そのまま破碎処理され、埋め立てられている。前述のとおり、将来的に急増する廃棄パネルの処理問題に対処するため、欧州や日本など、太陽光発電が普及している各国でリサイクルに関する取組みが始まっている。その一方、破碎せずに資源を効率的にリサイクルする手法については、依然として模索中であり、確立されていない。

当社は、パネルを製造するための装置一式を世界 50 か国以上へ提供してきた実績がある。パネルの製造工程には、太陽電池セルやカバーガラスなどを圧着封止するラミネーション工程や、不要な端部を切除するトリミング工程が含まれるが、これを製造とは逆の解体という視点から見直して、今回の機構を着想したものである。

ラミネーションでは、封止材によって、太陽電池セルとカバーガラス、バックシートを圧着封止するが、解体する場合は封止材が溶融する温度でパネルを加熱すれば、カバーガラスとその他の部材を分離することができる。その際、トリミング工程で用いている加熱した刃（ホットナイフ）を、固着した封止材の部分に当接することで、ガラスを割らずに封止材層と分離できる機構を構想した。

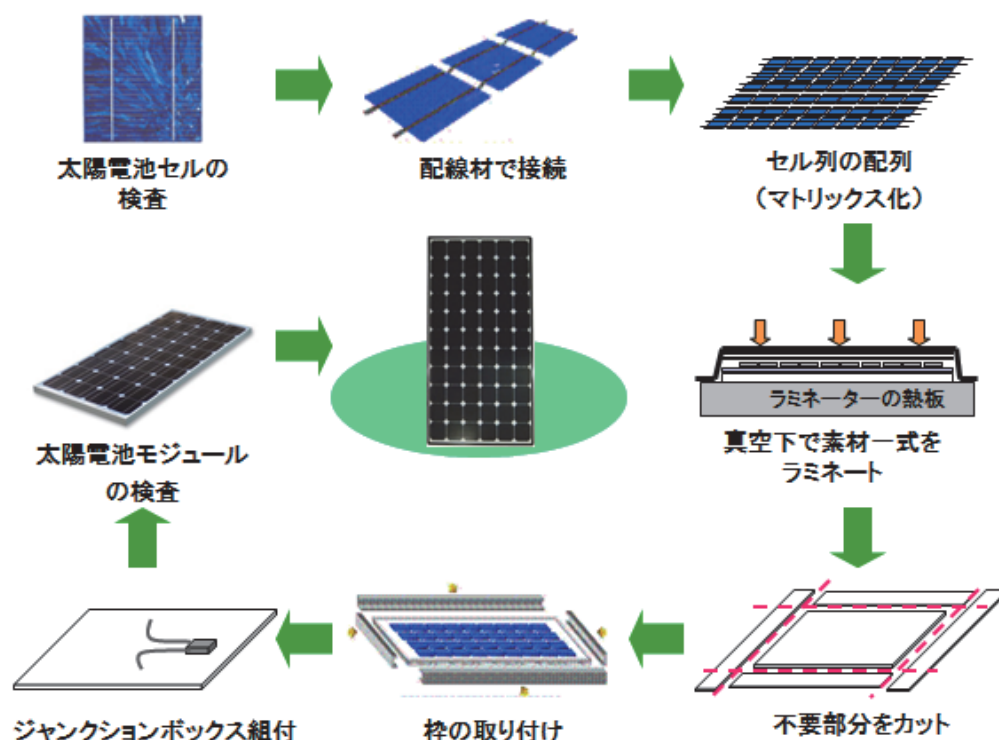


図 6 太陽電池の製造工程



ガラスについては、価値が高い板ガラスの原料として回収することができれば、売却単価を上げることが可能になる。ただし、板ガラスの製造工程においては、異物の混入がないことが重要な条件となる。このため、分離後のガラス上に封止材がほぼ残らないように分離することが求められる。

封止材の残膜厚の目標値を設定するにあたり、ガラスメーカーから聞き取りを行ったところ、2mの高さからガラスを落としたとき、名刺大に割れる必要があるとのことであった。当社で行った実験では、残膜厚が0.1mmであれば名刺大に割れることがわかったため、残膜厚0.1mmを目標とした。

なお、開発当初は、ホットナイフを1枚刃機構で構成していたが、この構成では目標値に達しないことがわかった。また、ホットナイフの位置を調整して目標値を達成しようとする、ガラスが割れてしまう場合もあった。このため、構成を2枚刃機構とし、2段階で分離するよう変更すると、残膜厚を安定的に0.1mmとすることができた。

最終的にはパネルの端部から数cmの位置に第1のホットナイフを当接し、封止材層を数cm除去した後、この部分に第2のホットナイフを当接して残りの封止材層を分離する機構とした。

ホットナイフの材質については、処理コストの低減を図るため、交換まで2,400枚の耐久性を持つことを目標とした。S45C、SACM645、SKD11などの様々な材質を評価し、分離性能と高耐久性を兼ね備えた材質の選定を行った結果、細粒超硬合金を採用することとした。これにより、交換まで2,500枚の耐久性を達成した。

なお、他社の手法については、パネル全体を炉で加熱する機構や、ガラスを板状で回収するためにその他の部材を削り取る手法などが考案されている。しかしながら、装置が大掛かりになったり、処理時間が長くなったりするなど、検討すべき課題が発生している。また、これらは製品化されていないため、詳細比較は実質的に困難である。

当社の手法であれば、予熱機構とホットナイフ機構、搬入出機構というシンプルな機構で実現できるため、ガラスとその他の部材の分離にはスペースを取らない。

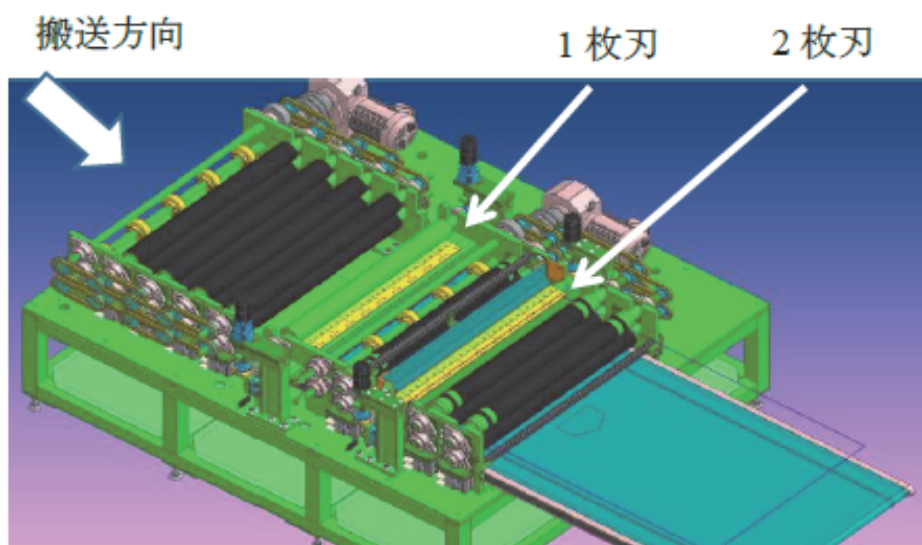


図7 ホットナイフ分離装置の構成

#### 4. 特許の有無

次のとおり、特許 3 件を取得済み。

特許番号：第 6133475 号 / 名称：太陽電池パネルの枠分離装置

特許番号：第 6271468 号 / 名称：太陽電池モジュールのリサイクル装置

特許番号：第 6271686 号 / 名称：太陽電池モジュールのリサイクル装置

このうち第 6133475 号はフレーム分離装置に、第 6271468 号と第 6271686 号はガラス分離装置に関するものである。

#### 5. 性能

分離性能は、前述のとおり、封止材の残膜厚 0.1mm 以下を達成している。

本ライン一式は CE 規格に準拠しており、また、耐久性についても強度の高いチェーン駆動方式を採用し、安全性の高い材料を選定している。また、パネルサイズが変更されても自動的にホットナイフの調整が行われるため、操作性も高い。操作はタッチパネル式となっており、オペレータはストレスの少ない操作が可能である。また、ホットナイフなどの消耗品の交換や保守が容易な構造とすることで、維持管理性を高めている。

#### 6. 経済性

ライン一式による処理コストは、出力 240W のパネルを一日 240 枚処理し、年間 270 日稼働すると、3 円/W という低コストを実現した。

管理型最終処分場の処理費用は平均で 15,000 円/m<sup>2</sup>であり、パネル 1 枚あたりで換算すると、1,200 円となる。当社の開発した解体ラインを用いて処理した場合、処理コストは 3 円/W (720 円/枚) であるため、管理型最終処分場における処理費用に比べ、4 割もコストを抑えることができる。

また、回収した有価物も、パネルのサイズや年式、使用状況等によって違いはあるものの、おおよそ以下のような金額で販売が可能である。

アルミフレーム：90～110 円/kg

セルシート：10～200 円/kg

J-Box ケーブルのみ：約 100 円/kg

(注：金額は 2019 年 12 月時点の参考価格)

さらに、ホットナイフの耐久性は 2,500 枚を処理できるため、ランニングコストも低く抑えられる。

なお、従来はパネルを産業廃棄物として粉砕して埋め立て処理を行っており、パネルの解体装置は存在していなかった。

#### 7. 将来性

太陽光パネルの導入量は、今後も世界的に増加すると考えられている。

これに伴い、廃棄パネルの数も将来的に大幅に増加することが見込まれている。

日本だけに限ると、前記の経済産業省の廃棄パネル予想のとおり、年間 17 万トンとすれば、当社の太陽光パネル解体ラインの処理能力が年間 1,218 トンであるため、単純に解体ライン 130 台以上に相当する。このため、全国の産業廃棄物処理業者に本パネル解体ラインを販売し、パ

ネルのリサイクル体制を構築することを目指している。

また、海外市場、特に欧州や北米など、太陽電池市場が早くから形成されてきた市場への展開も図る。

## 8. その他

本装置については、当社においても工場に導入し、パネルの中間処理サービスを本年より開始している。これにより、ガラスが割れたパネルに対応する機構や、さらなる機能の改善に向けた研究開発を継続的に行っている。

また、アルミと銅の分離に特化した機能を持つ簡易型フレーム・J-Box 分離装置も開発・発売した。これは電力のみを動力源とするため、発電機とともにトラックに積載すれば、太陽光発電所などの現場でアルミと銅を分離・回収でき、輸送コストの削減に寄与するものである。当社は、今後も市場の形成状況を見極めつつ、パネルのリサイクル市場を牽引していく所存である。