

太陽光発電パネルの資源問題と処理問題

2018年7月30日

中西正之

1. 廃棄された太陽光パネルはどうなるの？北九州市のリサイクル工場を直撃！

特にヨーロッパでは、電力における再生可能エネルギーの構成比率を急速に増大する為に、早くからFIT（固定価格買取制度）が導入され、太陽光発電設備や風力発電設備の大量生産効果により、設備コストが急激に低下し、累積設備量も急速に増加してきました。

日本では、それらの制度の実行からかなり遅れて、2012年にFITの制度が発足しました。再生可能エネルギーと言っても、エネルギーは使用すると減少してしまい、リサイクルも再生もできません。必要なのは、持続可能エネルギーと思われれます。

太陽光発電設備や風力発電設備は持続可能エネルギーを使用して発電が行われますが、太陽光発電パネルは資源問題や処理問題でも、持続可能なのか心配になり、調査を始めました。

処理問題については、良い報告が有りました。

「廃棄された太陽光パネルはどうなるの？北九州市のリサイクル工場を直撃！」 [注1]

「産業用メガソーラーの買取価格が切れ始める2030年台半ばから2040年台には、一気に廃棄物が増えると予想されています。環境省の予測によれば、2014年に年間2400トンだった廃棄パネルの量が、ピークを迎えるとされる2040年には、なんと330倍の80万トンにも膨れ上がるとされています。」と報告されています。「全国に先駆けてリサイクル事業の研究と実証を始めているのが、福岡県の北九州市です。北九州市では、行政と民間企業が連携して2011年から技術開発を始め、独立した産業にするための準備を実施しています。太陽光パネルのリサイクル現場を訪れました。・・・太陽光パネルのリサイクル事業で主体となっている株式会社新菱（しんりょう）は、これまでも化学薬品リサイクルやOA機器のリサイクル事業などを手がけてきた、地元本社を置く民間企業です（新菱の親会社は三菱化学株式会社）・・・解体作業では、まずアルミの枠を外し、次にバックシートを除去します。廃棄物の多くの部分はこのバックシートになります。さらにガラスとセルを剥がすために、加熱、燃焼処理を行います。この工程が最も難易度が高く、パネルによって必要な温度や時間が変わってきます。新菱の設備では、試行錯誤の末、ほとんどの種類のセルをガラスからきれいに剥がすことができるようになりました。現在では、総合的にアルミやガラス、セルなど、パネルを構成する95%の資源をリサイクルすることが可能となっています。」と報告されています。開発された処理方法の説明も有ります。

現在は、太陽光パネルの排出量が少ないので、この設備では採算が取れないようですが、発生量が急激に増大してくると、パネルを構成する95%の資源をリサイクルすることが可能になるようです。

太陽光パネルは珪石や珪砂を原料にして製造される半導体のシリコンパネルやレアメタルを使用して製造されるCISパネルでは、リサイクルの方法もかなり違うようです。

珪石や珪砂は日本でも幾らでもあります。しかし、レアメタルは殆ど日本では産出しないようですが、リサイクルは十分に可能なようです。これらについて調べていきたいと思っています。

2. 太陽電池の原理と種類

これまで、太陽電池の原理と種類について、あまり知識が有りませんでした。そこで太陽電池の原理と種類について調査を行ってみました。

国立環境研究所の環境技術解説「太陽光発電」〔注2〕

「太陽光発電の中核をなす太陽電池は、慣例で電池と呼ばれてはいますが、それ自身に電気を蓄める機能はありません。その実体は半導体です。」と説明されています。

現在、家庭の屋根の上や、産業用のメガソーラーなどの太陽光発電システムに使用されている太陽電池は、多くの物はシリコン太陽電池が使用されています。

シリコンはケイ素で原子番号14の元素で元素記号はSiです。地球の表層を構成する成分のうち、酸素の次に多い元素がケイ素(Si)です。ケイ素は、単体では自然界には存在せず、酸素と結びついてケイ石として存在しています。このケイ石を還元して金属ケイ素が製造されています。

「代表的なシリコン太陽電池で説明します。

半導体には、電子がすこし多いn型と、電子がすこし少ないp型があります。p型半導体は、ホール(正孔、正電荷を持つ仮想的な存在)が多いとも言えます。これらを接合すると、n型半導体からp型半導体に電子が移って、n型半導体はプラスに、p型半導体はマイナスになります。図1のピンク側のp型半導体と、ブルー側のn型半導体の接合面に光が当たると、光電効果で電子とホールが生じます。生じた電子はプラスに帯電しているn型半導体のほうに流れ、ホールはマイナスに帯電しているp型半導体のほうに流れます。するとこれらの中に起電力、すなわち電子を流そうとする力が生まれます。これを外部で利用するのが太陽電池の基本原理です。」と説明されています。

これらの半導体を接合して、シリコン太陽電池は発電を行います。

太陽電池の種類は、シリコン系と化合物系が多く使用されているようです。シリコン系では、多結晶シリコンと単結晶シリコン、薄膜系シリコンが使用されています。単結晶シリコンは、現在のパソコンや携帯電話などのあらゆる電子機器で大量に使用されているような集積回路(IC)の製造の為に開発され、大量生産の行われている製品です。高性能の太陽電池の制作ができたので、使用されるようになったようですが、高価格なので多結晶シリコンが一番多く使用されるようになったようです。薄膜系シリコンは別の製法で作成されるようです。化合物系では、銅(Cu)、インジウム(In)、ガリウム(Ga)、セレン(Se)の4つの元素の化合物による半導体で、高効率期待される、CIGS系が使用されているようです。

3. 太陽光発電パネルの資源問題

少し古い資料ですが、経済産業省の非鉄金属課より、「シリコン産業の現状と課題」〔注

3] が報告されています。

この資料の32ページに「(7) 原材料調達の動向」が示されています。

「世界の金属シリコン需給実績

・安い電力が利用出来る北米、ブラジル、ノルウェー、フランス、中国等で金属シリコンへの加工が行われている。日本では全量工業用金属シリコンとして輸入し、国内ポリシリコン（多結晶）メーカーが多結晶を製造し、シリコンウエーハメーカーに供給・2004年世界の金属シリコン需要は126万トン、前年比14%増えた・供給は西側メーカーが75万トンに対して、中国が54.5万トンと前年比15%増加」と説明されています。ウィドペキアのケイ素の項目によると

「製法、原料 工業用ケイ素の主原料はSiO₂から成る二酸化ケイ素（珪石、珪砂、シリカとも）である。日本国内の埋蔵量は2億トンあるとされるが、アルミニウムと同様、酸化物から還元するには大量の電力を必要とするため、金属シリコンの状態になってから輸入するのが一般的である。世界の二酸化ケイ素の埋蔵量は極めて潤沢であり、高純度のものも世界に広く分布する

精製 金属グレード(MG)シリコン

ケイ素の単体はカーボン電極を使用したアーク炉を用いて、二酸化ケイ素を還元して得る。この際、精製されたケイ素は純度99%程度のものである。」と報告されています。シリコンを製造するための珪石とカーボンは日本国内でも豊富に有りますが、アーク炉を使用して、高温に加熱し、珪石をカーボンで還元し、シリコンを製造するとき、大量の電気を使用するようで、電気代の安価な国でなくては、安価なシリコンは製造できないようです。そして、電気代の安価な北米、ブラジル、ノルウェー、フランス、中国等で製造されたシリコンを日本に輸入しているので、太陽光発電パネルの一次資源は殆どの量を海外に依存している事が分かりました。

これらの輸入された原料は、多結晶シリコンに国内で加工されています。この多結晶シリコンは太陽光発電パネルに大量に使用されています。多結晶シリコンの一部はより精密に加工され、単結晶化され、一部の太陽光発電パネルにも使用されているようですが、電子製品用のICに大量に使用されています。

参考文献

[注1] 「廃棄された太陽光パネルはどうなるの？北九州市のリサイクル工場を直撃！」

<https://ameblo.jp/enekeireport/entry-12250916291.html>

[注2] 国立環境研究所の環境技術解説「太陽光発電」

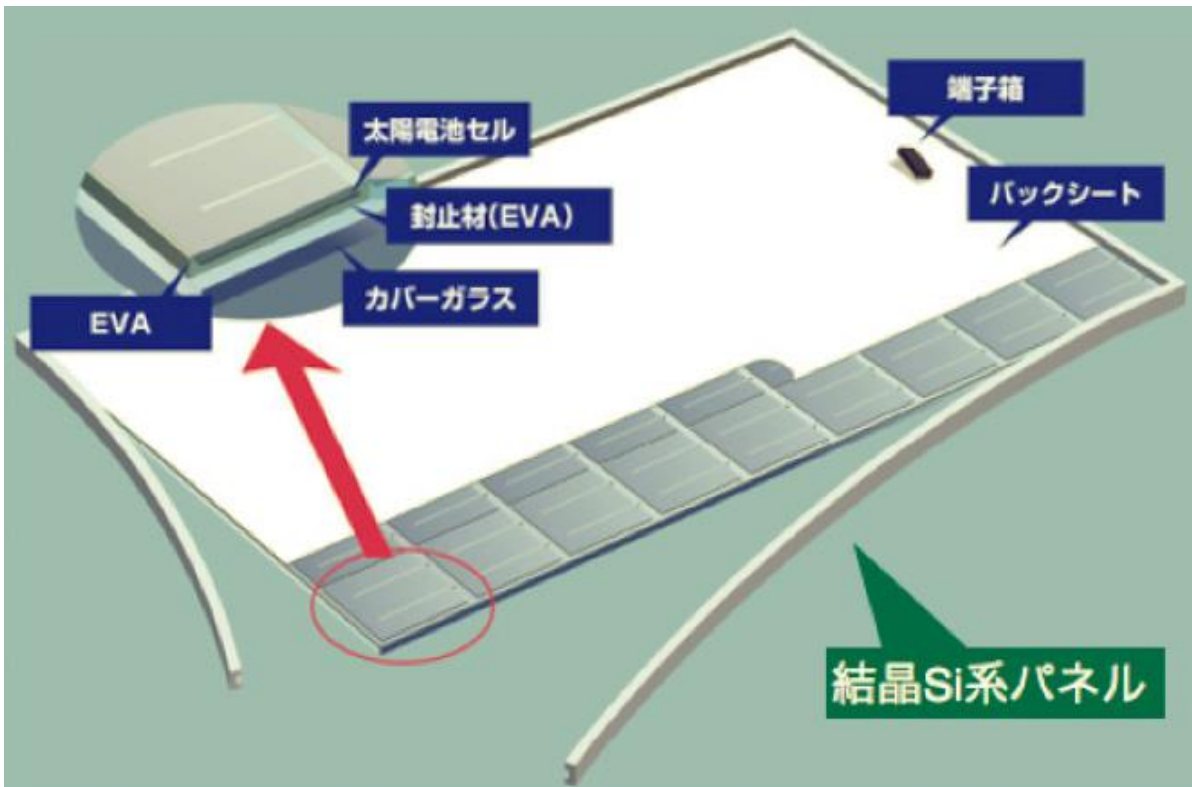
<http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=3>

[注3] 経済産業省の非鉄金属課「シリコン産業の現状と課題」

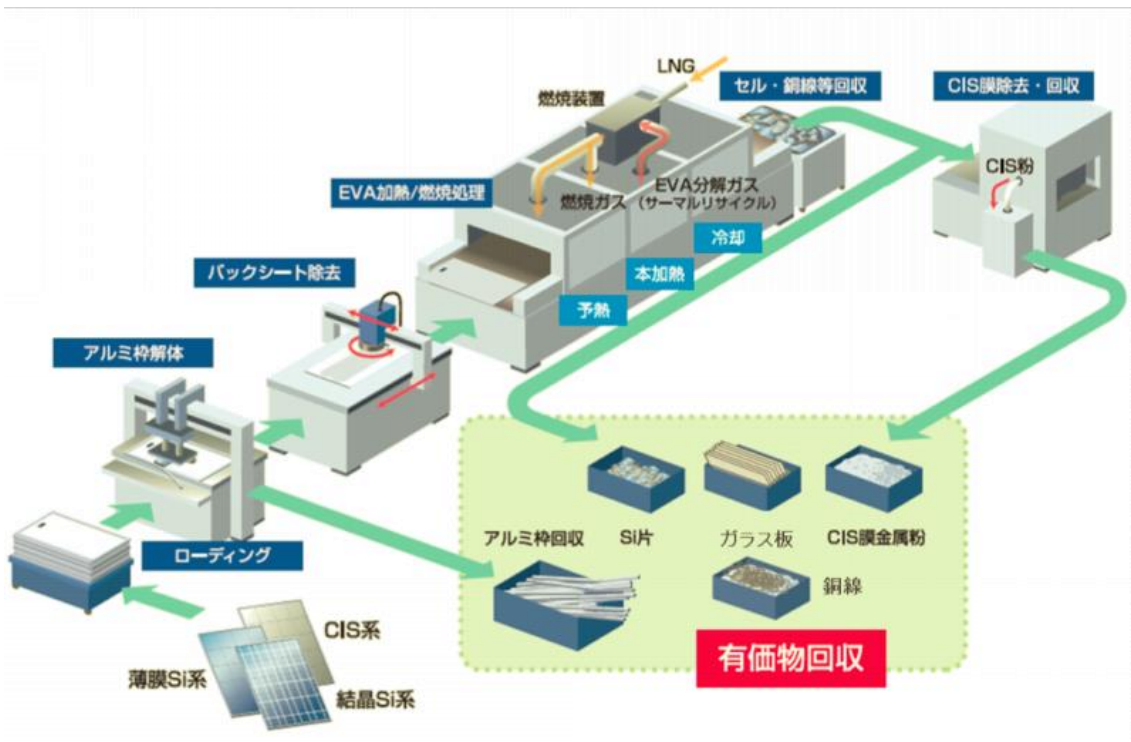
http://www.meti.go.jp/policy/nonferrous_metal/strategy/semiconductor02.pdf



北九州市にある太陽光パネルのリサイクル工場



太陽光パネルの仕組み（提供：株式会社新菱）



パネルの解体工程（提供：株式会社新菱）

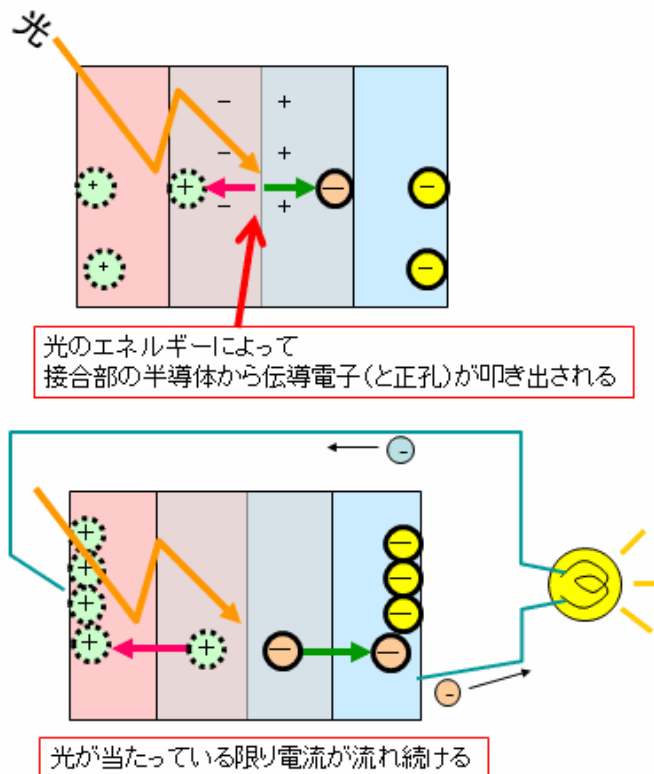


図 1 太陽電池の原理

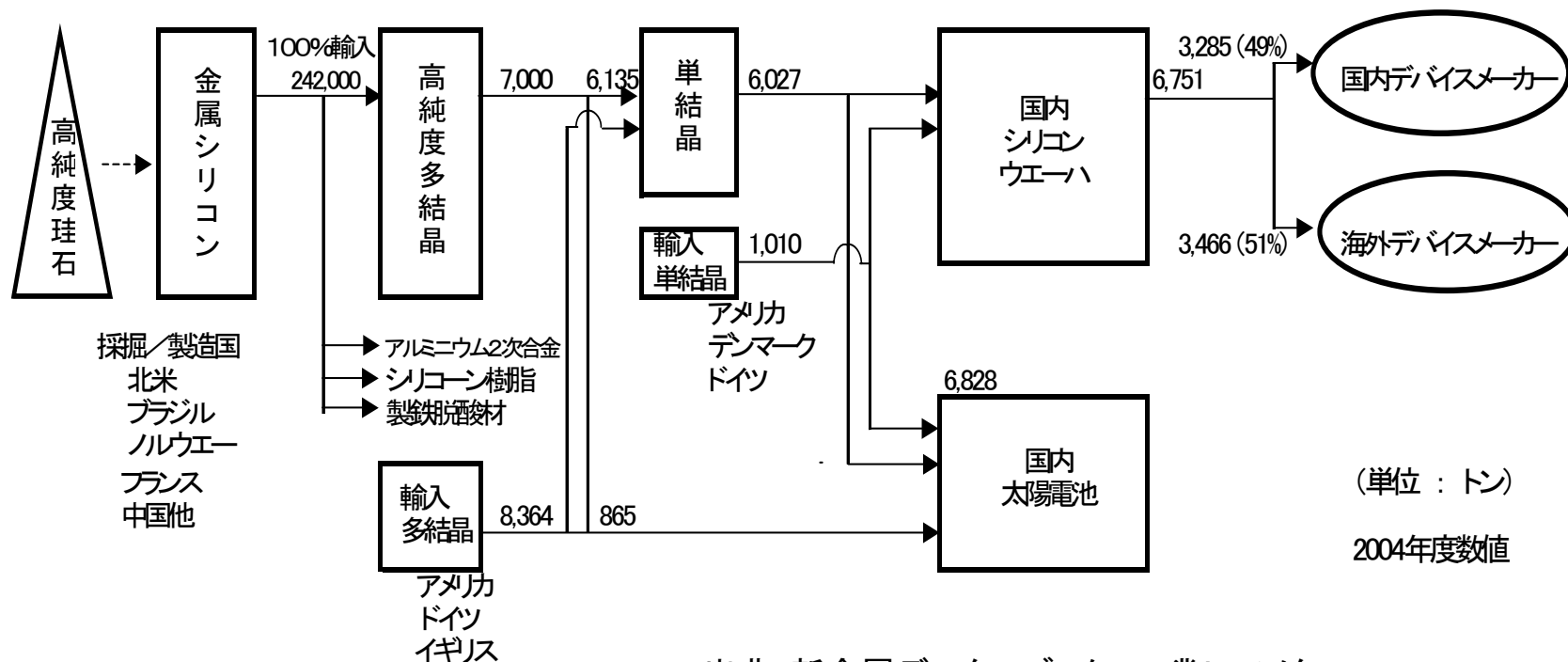
出典：国立研究開発法人産業技術総合研究所（AIST）太陽光発電研究センター

表 1 太陽電池の種類と特徴			
分類	区分	種類	説明
シリコン系	結晶系	多結晶シリコン	現在の太陽電池の主流。多くの結晶でできたシリコン基盤を使ったもの。
		単結晶シリコン	単結晶のシリコン基盤を使ったもの。多結晶より高価だが、性能や信頼性に優れる。
	非晶質系	薄膜系シリコン	アモルファス（非晶質）シリコンを使ったもので、シリコン層の厚みを薄くできる。電卓などの電源に利用されている。
その他	化合物系	CIGS 系	銅(Cu)、インジウム(In)、ガリウム(Ga)、セレン(Se)の4つの元素の化合物による半導体。高効率が期待される。
		CdTe 系	カドミウム(Cd)とテルル(Te)を使うもので、製造時のエネルギーが小さく、低コストでもある。
	有機物系	色素増感型	色素を吸着させた二酸化チタンを電極ではさんだもの。新しいタイプの太陽電池。
		有機半導体	有機物を含む固体の半導体膜を使う。常温で塗布するだけで製造できるなど、コストダウンに期待がかかる。

(7) 原材料調達の動向

・サプライチェーン

・高純度多結晶の材料である金属シリコンの供給については、ブラジルの数社が増産に入る一方、中国では電力問題、現地通貨高、増値税還付の廃止、輸出税導入の可能性などコストアップ要因が目白押し。供給量に関しては大きな変化はないが、金属シリコンの価格変動に関して注意が必要



出典: 新金属データブック、工業レアメタル

(7) 原材料調達の動向

・世界の金属シリコン需給実績

- ・安い電力が利用出来る北米、ブラジル、ノルウェー、フランス、中国等で金属シリコンへの加工が行われている。日本では全量工業用金属シリコンとして輸入し、国内ポリシリコン(多結晶)メーカーが多結晶を製造し、シリコンウエーハメーカーに供給
- ・2004年世界の金属シリコン需要は126万トン、前年比14%増えた
- ・供給は西側メーカーが75万トンに対して、中国が54.5万トンと前年比15%増加

(単位: 千トン)

		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005見通
需要	西欧	316	318	318	386	383	387	420	445	450
	アメリカ	280	272	272	295	248	240	231	270	270
	日本	161	150	160	186	184	189	215	240	240
	アジア(除く日本)	59	45	50	59	56	73	90	140	320
	他西欧諸国	88	88	88	108	110	122	145	165	
	合計	903	873	888	1,035	981	1,011	1,101	1,260	1,280
供給	西欧諸国	684	684	684	782	688	690	728	750	750
	中国	200	176	200	257	257	309	475	545	600
	CIS、東欧	39	41	41	27	39	33	26	15	20
	合計	923	901	925	1,066	984	1,032	1,229	1,310	1,370

出典: 工業レアメタル