

# 中国太陽電池産業の国際競争力

## —産業内分業の分析を通じて—

The International Competitiveness of China's Photovoltaic Industry

澤田 彩

SAWADA Aya

キーワード：キーワード 太陽電池 分業 垂直統合

### 1 はじめに

かつて、日本の太陽電池産業は世界シェアの上位に数社が入るなど重要な地位を占めていた<sup>1</sup>。その後、2000年代中庸に入ると、欧州の環境政策が充実するにつれ、ドイツの太陽電池メーカーと激しい市場争いを繰り広げた<sup>2</sup>。しかしながら、2010年代に入り、中国太陽電池産業が隆盛すると、既存の太陽電池メーカーは非常に厳しい競争にさらされ、徐々に淘汰されていった。

こうした太陽電池産業の歴史をひもといたとき、なぜ中国の太陽電池産業は急速に国際競争力を身に付けたのか、についてはあまり詳細な検討がなされていない。例えば、Marukawa (2012) では、中国太陽電池産業について、最先端の生産設備が導入できるなら、FDIを受け入れる必要はないとしているが<sup>3</sup>、

<sup>1</sup> 2005年は太陽電池の生産量世界トップ5社のうち4社を日本企業が占めた (『日経産業新聞』2006年7月24日)。

<sup>2</sup> 2006年まで日本のシャープ (株) が7年連続で太陽電池の生産量世界一であったが、2004年に生産量世界第5位となったドイツのQ.Cells AG (以下、Qセルズという) に徐々に迫られ、2007年にはQセルズが世界首位となった (『日経産業新聞』2005年7月19日、『日経産業新聞』2006年7月24日、『日経産業新聞』2007年8月2日、『日経産業新聞』2008年7月22日)。

<sup>3</sup> Marukawa (2012), p.21.

この論文が出された当時に比べると現段階の中国太陽電池産業は著しく変容している。続けて丸川（2014）では、当時の中国太陽電池産業の経営が不安定になりがちな点について、FITによる政策的な需要の喚起が市場の安定を欠いたものであることに起因することを指摘している<sup>4</sup>。ただし、今日の中国の太陽電池産業はこうした外部環境の変化によって企業の淘汰や生成を繰り返しながら独自の産業構造を構築していると思われる。また杉山（2019）は近年の太陽電池の価格低下について、FITの有用性よりも半導体産業からのスピルオーバーの方が重視されるべきだとの見解を示しているが<sup>5</sup>、太陽電池産業の独自の技術開発について、特に製品技術の開発については注視していない。

太陽電池モジュールは太陽光発電システムのキーデバイスであり、太陽電池の製造コストダウンおよび太陽電池モジュールの性能、つまり変換効率<sup>6</sup>の向上が製品技術開発上の2つの目的になっている。後述するが、コスト面では太陽光発電システム全体に占める太陽電池の割合は年々低下している。また性能面でも変換効率が大きく向上している<sup>7</sup>。こうした背景から、太陽光発電システムはグリッドパリティを達成しており<sup>8</sup>、今後は他の発電方式に比べて安価な発電方式として普及が加速するものと考えられる。既に途上国の一部では中国資本による太陽光発電システムの導入が進んでいる<sup>9</sup>。

<sup>4</sup> 丸川（2014）28頁。

<sup>5</sup> 杉山（2019）81頁。

<sup>6</sup> 太陽電池の変換効率とは、「太陽電池に照射した光のエネルギーをどれだけの割合で電気エネルギーに変換できるかを示すものである」（桑野、2011、36頁）。

<sup>7</sup> 2010年時点の結晶シリコン系太陽電池モジュールの変換効率は16%程度であった（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー技術開発部 2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）に関する見直し検討委員会、2009年、46頁）。

<sup>8</sup> グリッドパリティとは、「グリッド＝送電網」、「パリティ＝等しい」を合わせた造語であり、ここでは太陽光発電の発電コストが、電力小売価格と等しくなることを表す（メンドーサ他、2019、6頁）。すでに欧州を中心として複数の国で達成された（Shah and Phelps, 2015, p.9）。

<sup>9</sup> 2019年には、中国のChina Jiangxi Corporation for International Economic and Technical Cooperationが、現地の地方電化庁と共に50MWのメガソーラーをケニアに開設した（XINHUANET, 2020）。また、同年にはカンボジアと中国合同ベンチャーであるSchneiTec Co., Ltd.が80MWのメガソーラーをカンボジアに開設した（Pike, 2019）。そして、中国のJinko Power Technology Co., Ltd.は、フランスの電力会社大手のÉlectricité de Franceや現地の国有電力会社2社とコンソーシアムを結成し、2020年にアブダビで2GWのメガソーラーの建設に着工している（Power Technology website）。

以上の問題意識と先行研究の整理を背景にして、本稿の課題は、中国太陽電池産業の国際競争力について考察することを課題とする。

2000年代後半以降、太陽電池モジュールの製造コストは中国メーカーの台頭によって大きく低下してきた。しかし、近年では中国メーカーの太陽電池モジュールはコスト面だけではなく性能でも他国製太陽電池モジュールを上回る性能を示し始めている。そこで本稿では主に2010年代の中国太陽電池産業の競争力獲得過程について、産業内部の構造的変容とメーカーの製品技術開発力に焦点を定めて検討を行う。

なお、本稿では、太陽電池向けシリコンウェハー、太陽電池セルおよび太陽電池モジュールの一部または全てを生産する企業群を太陽電池産業と呼び、ポリシリコンや太陽電池製造装置を生産する企業群のことを太陽電池関連産業と呼ぶことにする。産業レベルの議論をするときには太陽電池産業と、個別企業レベルの場合には太陽電池メーカーといったように用語を区別する。

## 2 太陽電池モジュールの国際競争

ここでは、中国太陽電池産業の競争力の獲得過程について考察する前に、現在、太陽電池モジュール市場ではどのようなことが生じているのか、概観的に考察しよう。

### 2.1 太陽電池モジュールの価格低下

太陽電池モジュールの価格低下は2つの側面で意味づけられるだろう。一つにはモジュールそのものの価格低下である。そしてもう一つは変換効率、つまり太陽電池モジュールの性能である。というのも、太陽電池モジュールの目的は発電にあり、生じた電力の売電にあるのだから、その効率を引き上げることはより多くの電力を販売することを意味するため、モジュールの価格低下と同じ意味合いを有することになるからである。この点を踏まえると、1W当たりのモジュール価格をみるのがシンプルである。そこで表1をみよう。

表1 太陽電池モジュール種類別価格推移 (単位: 米ドル/W)

	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
結晶系シリコン(ドイツ)	3.540	2.765	1.691	1.168	1.044	0.801	0.688	0.559			
結晶系シリコン(日本)	3.540	2.718	1.661	1.242	1.059	0.842	0.747	0.637			
結晶系シリコン(中国)	2.797	2.425	1.223	0.798	0.862	0.720	0.642	0.559			
薄膜シリコン	2.901	2.255	1.102	0.843							
高効率								0.626	0.591	0.415	0.367
中程度								0.492	0.456	0.312	0.267
低コスト								0.313	0.320	0.219	0.211

注) ヨーロッパでの各年12月の平均販売価格である。

出所) IRENA (2019) より筆者作成。

表1は2009年から19年までの種類別太陽電池の1W当たりの価格(米ドル)推移を示している。この表を用いて2つの側面から価格の推移を比較してみよう。1つ目に、太陽電池製造国別の比較をみると、09年段階ですでに中国製の結晶系シリコン太陽電池の価格が著しく低く、ドイツ製や日本製の結晶系シリコン太陽電池に比べて0.8ドルほど低い。後を追うように10年にはドイツ製や日本製の価格も中国製のものと同程度の価格にまで下がっていき、その10年には中国製の価格が更に低下していく。11年にはどの製造国の太陽電池も09年比で半額以下に低下しているが、中国製の価格はその後も顕著に低下していき、16年には0.559ドルと09年比で約5分の1まで価格が低下した。この表から見ても明らかのように、太陽電池の価格低下は中国が引き起こし、他国の太陽電池を巻き込んで展開されたことがわかる。2つ目に、低コストだが発電効率で劣るとされた薄膜シリコン太陽電池ですら、中国製の結晶系シリコン太陽電池の価格低下に追いつけず、結果として薄膜シリコン太陽電池は統計すら取れないほどに市場シェアを下げていくことになった<sup>10</sup>。

このように、中国製太陽電池は他国製太陽電池を巻き込み、市場全体の価格を押し下げるようになった。そして、このことは太陽光発電システム全体のコスト低下に寄与するとともに、太陽光発電システムの設置費用全体に占める太陽電池の割合を低下させることになる。国立研究開発法人新エネルギー・産業

<sup>10</sup> 例えば、IEA PVPS (2019) “Trends In Photovoltaic Applications”ではCdTeを含む薄膜太陽電池の割合が太陽電池全体の3%に過ぎないことが示されている(IEA PVPS, 2019, p.65)。

技術総合開発機構（2020）によると、2018年時点の日本における住宅用太陽光発電システムの価格は、12年に比べて40%程度の価格低下がみられ、その中でも太陽電池の占める割合は12年が62%であったのに対して、17年度は55%と低下しているのである<sup>11</sup>。

## 2.2 各国太陽電池生産量の変遷

中国は2009年頃から太陽電池モジュールを本格的に生産し始め、そこから一貫して高い水準で市場のシェアを獲得している。表2は太陽電池生産の主要国のシェアの推移を10年から19年までみたものであり、市場規模は年々の生産量について発電能力（MW）で示している。

表2 各国の太陽電池モジュール生産量シェア推移（単位：％、MW）

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
中国	49	62	63	65	66	69	69	72	73	71
韓国	5	5	5	3	7	5	7	7	6	6
マレーシア		6	5	6	6	6	7	6	5	6
米国	6	4	3	2	2	2	2	1	1	3
日本	11	7	8	9	8	5	4	2	1	1
ドイツ	12	9	6	4	2	4				
その他	17	7	10	11	9	9	11	12	14	13
市場規模（MW）	20,400	34,000	33,900	39,900	46,000	63,000	80,000	105,000	116,000	140,000

注) 市場規模の値のみMW単位、各国の値は％。

出所) IEA PVPS（2011-2020）“Trends in photovoltaic applications”を用いて筆者作成。

これをみると、10年に49%であった中国製太陽電池モジュールの世界シェアは18年に73%になったことが確認できる。2000年代に太陽電池モジュールの世界シェアで覇権を争っていた日本とドイツは徐々にそのポジションを落としていき、19年には日本でも1%のシェアを有するに過ぎない<sup>12</sup>。これは日本の太

<sup>11</sup> 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2020）13頁。

<sup>12</sup> なお、中国以外に目を向けると、韓国とマレーシアが生産量のシェアで一定の地位を維持している。韓国の場合、ドイツの太陽電池メーカーであったQセルズを倒産の際に韓国のハンファグループが買収し、韓国でハンファQセルズとして生産を開始したためである（『日経産業新聞』2012年10月26日）。また、マレーシアの場合は、中国や韓国などの太陽電池メーカーがマレーシアにて太陽電池の生産を相次いで開始したことによる（IEA PVPS,2018, “Trends In Photovoltaic Applications”,p.57）。

陽電池メーカーが減産しているということもあるが、市場規模拡大の多くを中国の太陽電池メーカーが担っているためだと考えるのが妥当だろう。10年に20,400MWであった太陽電池モジュールの市場規模が、19年には140,000MWにまで拡大していることから、中国の太陽電池メーカーの増産が速く、他国の太陽電池メーカーの増産が追いつかない状態が慢性的に続いているためである。

### 2.3 原料となるポリシリコン価格の低下

これまで、中国による太陽電池モジュールの増産が世界の太陽電池モジュール市場を大きく変容させたこと、特に供給価格の低下と供給量の増大に多大な影響を与えたことを確認してきた。他方、中国の太陽電池モジュールの増産に伴い、原材料であるポリシリコンの需要が拡大していることも推察できるだろう。そこで、世界のポリシリコン生産がどのように推移したかを本項で確認していきたい。なお、予め示しておく、ポリシリコン市場も中国の存在感が大きくなっていることになる。

表3 各国ポリシリコン生産量推移（単位：トン）

	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
カナダ	-	1,200	182	8	NA	NA	NA			350			
中国				45,000	84,000	71,000	82,000	136,000	165,000	194,000	242,400	259,000	344,673
ドイツ	8,000	11,200	18,400	30,100	37,150		46,130	>50,000				58,240	55,825
日本	1,391	1,680	4,900	6,302	3,754	6,102	>1,000	>1,000		NA	NA		
韓国	-	NA	9,900	20,000	40,000	40,000	40,000	26,391	93,000	60,000	>49,000	71,680	50,750
ノルウェー	-	NA	NA	<6,000		900		6,000	6,500	6,500	6,500		
米国	5,100	25,787	31,476	42,561	40,658	48,500	39,988	49,059	34,853	29,624	29,777	31,360	30,450
合計	14,491	>40,000	150,000	NA	236,666	230,000	260,000	330,000	410,000	432,000	442,000	448,000	469,000
中国輸入					64,600	82,700	79,000	96,000	9,500	136,000	150,000	137,000	

注) 資料に記載がなかったものは空欄としている。

出所) IEA PVPS (2008-2020) "Trends In Photovoltaic Applications"より筆者作成。

表3は各国のポリシリコンの生産量の推移と、中国による輸入量をまとめて示している。これをみると、2019年の世界のポリシリコン生産のうち、73.5%が中国で生産されている。10年の中国におけるポリシリコン生産量は米国と同程度の45,000トンであったが、わずか10年のうちに30万トンの増産が達成されていることになる。ただし、中国のポリシリコン供給は大きく成長している

が、それでも中国はポリシリコンの輸入国である。中国の太陽電池モジュール生産能力の拡大速度が速く、ポリシリコンの増産が内需に追いつかない状況が続いていることになる。

太陽電池向けの旺盛な需要が存在しているにも関わらず、ポリシリコンの市場取引価格は大きく下落している。長期的に見ると、2011年1月に1キロ当たり70–80米ドルだったポリシリコンの市場価格は、同年12月には25–28米ドルと急落し<sup>13</sup>、12年12月には15–21米ドルとなった<sup>14</sup>。その後も徐々に価格は下落し続け、20年6月には新型コロナウイルス感染症の影響もあって6.19米ドルまで下落している<sup>15</sup>。中国による旺盛な需要があるものの、中国のポリシリコンメーカーが増産を続けてきたために市場価格が下落し続けている。

以上のことから、中国ポリシリコンメーカーのポリシリコン市場への供給は徐々に大きくなっているが、市場価格の下落は中国ポリシリコンメーカーの市場支配力の強化につながっていると考えられる。たとえば、日本のポリシリコンメーカーであるトクヤマは2011年にマレーシアで多結晶シリコン製造用の工場を建設したが、中国製シリコンの大量供給によって市場価格が大幅に下落したため、設備投資の資金を回収できず2015年度決算で設備の減損処理を行い、太陽電池向けポリシリコン事業から撤退した<sup>16</sup>。太陽電池モジュールの競争と同様に、原料となるポリシリコンにおいても、価格の下落と供給量の増大が同時に進行していることが確認できる。

ここまですべてを整理すると、中国の太陽電池モジュール価格の低下は、中国以外の国における太陽電池産業の、中国参入以前の川上から川下までのビジネスの潮流を根本から覆すものになっていると考えられる。そこで、本稿では、以下に中国太陽電池産業を中心とした分析を進めていくことにする。中心的な課題は、なぜ、ここまで中国の太陽電池産業は国際競争力を有することになったの

<sup>13</sup> IEA PVPS (2012), “Trends In Photovoltaic Applications”, p.25.

<sup>14</sup> IEA PVPS (2013), “Trends In Photovoltaic Applications”, p.50.

<sup>15</sup> IEA PVPS (2020), “Trends In Photovoltaic Applications”, p.39.

<sup>16</sup> 渡辺 (2016)。なお、トクヤマのマレーシアに建設した工場は韓国OCIが2017年に引き継いでいる (IEA PVPS, 2017, “Trends In Photovoltaic Applications”, p.49)。

か、である。

### 3 中国太陽電池産業の競争力

2000年代、FITなどの再生可能エネルギー普及政策が広がりを見せ、日本とドイツを中心にした太陽電池メーカーの新規参入や生産拡大が相次ぎ、国別の生産量でも1位と2位を争うようになっていた。中国メーカーで本格的に参入していたのはSuntech Power Holdings Co., Ltd.(以下、Suntech Powerという)だけであった。しかし、2010年代に入ると先行していた日本やドイツの太陽電池メーカーは乱立する中国太陽電池メーカーとの競争の中でその地位を後退させていくことになる。

本節では、中国の太陽電池産業がなぜこのように急速に国際競争力を身に付けたのか、その要因を検討していく。特に重視するのは、中国国内での激しい競争と、サプライチェーンや製造装置の調達の自国での完結、および製品技術開発力の構築、という3点である。いずれも国際競争を有利にすすめる上で重要な要素であり、中国太陽電池産業の強さの源泉になっていると考えられるのである。

もっとも、中国太陽電池産業の太陽光発電システム市場への参入は日本やドイツ、アメリカに比べて遅れていた。したがって、今日の中国太陽電池産業が有する国際競争力を参入当初から有していたとは考えにくいのである。そこで、本節では時系列的に中国太陽電池産業が国際競争力を身につけていく過程を検討していくことにする。

#### 3.1 中国太陽電池メーカーの供給能力

表1をみてもわかるように中国太陽電池産業は国際競争力を有していると考えられるが、当該産業内では多数のメーカーが存在している。この点について表4を用いて時系列的に確認する。表4は中国の太陽電池メーカーをリスト化し、各社の生産量について2011年から19年までまとめたものである。表の上から19年の生産量、ついで18年の生産量、ついで17年の生産量といった具合に、



生産量の大きい企業を並べている。なお、表の注に示した制約が存在している。しかし、この制約があっても本稿の趣旨には反しないため、この表を用いて考察を進めていく。

表4 中国の結晶系シリコン太陽電池モジュールメーカーと生産量推移

(単位：MW)

社名	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
JA Solar	483	1100	1218	2500	3300	4800	5730	7324	10600
JinkoSolar	761	840	1700	2300	3300	6570		6755	9000
LONGi solar					800	2400	4381	6500	7280
Risen Energy					1360	1500	2885	3115	7200
Trina Solar	1510	1700	2471	3600	4300	6000	4800	6058	6850
Canadian Solar	1323	1600	1800	2600		5200		5700	6600
Chint Solar			692	830				1694	3900
GCL System Integration					2100	4000	4610	4100	3660
Jiangsu Seraphim						710	1209		2300
Tangshan Haitai New Energy Technology							937		2200
Hanwha Q CELLS	835	850	1082	1500	1900	2100	2390	2248	
Jinergy						680	920	2000	
SunTech Power	2090	1700			1200		1812	1986	
Yingli green energy	1603	2300	3100	3400	2500	2800	3026	1682	
Talesun Solar		600			1100	1600	1570	1473	
EGing Photovoltaic Technology	450		628	878	1300	1500	1551		
Jinzhou Yangguang Energy								1252	
Rene Solar			900	820	820	1200	1127		
BYD					1000		1100		
HT SAAE					800		849		
Shunfeng Int.						1500			
Hareon Solar Technology	428	840	800	900	3800	950			
Zhshine Solar						750			
Solargiga						710			
Shenzhou Energy						650			
CECEP						620			
Zhengtai					1000				
Gintech Energy		650							
LDK Solar	607								

注) 企業リストはIEA PVPS各年版に記載されている結晶系シリコン太陽電池モジュールを生産する企業についてまとめたものである。当該資料は各年の上位企業について記載しているため、空白箇所においても生産を行っているものと思われる。また、異なる名称であっても同一グループや同一企業である場合があり、これについてはまとめてある。

出所) IEA PVPS (2011-2019) “National Survey Report of PV Power Applications in China”を用いて筆者作成。

第一に、表に記載の企業だけでも29社が存在している<sup>17</sup>。表の下の方の企業は生産量が大きくないため、参考資料の制約から基準に満たない場合が多く、抜け落ちている場合がある。

第二に、1社あたりの生産規模が著しく大きい。生産国で第2位の韓国全体の生産量が同年に8.4GWであったことから<sup>18</sup>、JA Solar Holdings Co., Ltd. 1社で世界第2位の総生産量を有する韓国の生産量を上回っていることになる<sup>19</sup>。なお、19年の中国太陽電池メーカーの生産量上位10社は1年間に約60GWの太陽電池生産を行っている計算になる。

第三に、表の上位10社はいずれも年々生産量が増大している。例えば、19年にはJA Solarが世界で初めて生産量で10GWを超えたが、18年から19年にかけては生産量が7.3GWから10.6GWへと3.3GW増加している。2位のJinkoSolarも同期間に2.3GWの増産になっており、日本の総生産量は19年に1.1GWであったから<sup>20</sup>、この2社だけで、1年間の間に日本の総生産量の5倍程度の増産が行われている計算になる。

第四に、近年は中国国内太陽電池メーカー間の競争が激しく行われている。徐々に上位企業によって市場の寡占化が進みつつあるが、例えばLONGi Green Energy Technology Co., Ltd. (以下、LONGi Solarという) は21年現在で操業を開始してから6年であることからわかるように<sup>21</sup>、比較的参入が遅い企業でも競争に加われる一方で、徐々に淘汰される企業も生じているようである<sup>22</sup>。

<sup>17</sup> 江原 (2013) によれば、中国製太陽電池のダンピング関税をめぐるEUとの貿易摩擦回避のために、中国の太陽電池メーカー94社が輸出価格を最低でも1kW当たり0.56ユーロとする旨に合意したとされている (94-95頁)。これを見れば2013年段階で最低でも94社の太陽電池メーカーが中国国内に存在していることになる。

<sup>18</sup> IEA PVPS (2020), "Trends In Photovoltaic Applications", p.43.

<sup>19</sup> なお、20年には表中3位のLONGi Solarが世界最大手となったようである (Movellan, 2021)。

<sup>20</sup> 太陽光発電協会 (2020)、6頁。

<sup>21</sup> LONGi Green Energy Technology Co., Ltd. website.

<sup>22</sup> 例えば、表中のYingli green energyはコンスタントに生産を行ってきた企業であるが、負債が過多になり、生産子会社債務の一部を株式に転換する処理を行うことになっている (共同通信PRWire, 2020)。

こうした中国国内の太陽電池メーカーによる競争環境は中国太陽電池メーカーが競争力を身に付けている一因になるだろう。ただし、この巨大な生産能力を急速に身に付けていく過程では、川上の工程から川下の工程まで一様に生産能力を拡充していく必要が生じる。では、中国太陽電池メーカーはどのようにしてこの問題に対応しているのだろうか。この点について、第4節で考察していくことにして、次に、中国太陽電池メーカーの製品開発能力について検討していこう。

### 3.2 中国太陽電池メーカーの技術開発

中国太陽電池産業が急速に国際競争力を身に付けていることは、その圧倒的な供給能力から明らかであるが、太陽光発電システム産業による中国製太陽電池モジュールへの位置づけはやや変化してきているように思われる。というのも、変換効率に注目すると、太陽電池モジュールの性能は中国製であっても世界でも先進的なものになってきているからである。したがって、従来のように、地価の高い地域では、高価であっても高い変換効率の太陽電池モジュールを、地価の低い、広大な土地を有するような地域では低い変換効率で安価な太陽電池モジュールを導入する、という考え方が、中国製太陽電池モジュールの高性能化によって変化しているように思われるのである。

そこで本項では、中国太陽電池メーカーの技術開発について、製品技術の開発と生産技術の開発（国内調達）という観点から検討していきたい。

#### 3.2.1 中国太陽電池メーカーの製品技術開発

近年、技術開発の中心にあるのは単結晶シリコン太陽電池とPERC技術である。PERCはPassivated Emitter and Rear Cellの略であり、裏面不動態型セルと訳される<sup>23</sup>。太陽電池はp型半導体にある電子を光子が押し出し、n型半導体に移行した結果として生じる起電力を用いて発電を行うが、その際にp型半導

---

<sup>23</sup> Movellan (2020)。

体に生じた正孔を埋めるために外部回路から再びp型半導体に電子が戻されることになる。この電子が正孔に戻る再結合の際の抵抗を減少させるために開発された技術がPERCであり、この抵抗減少により変換効率が高まることになる<sup>24</sup>。PERCは多結晶シリコン太陽電池にも適用できるが<sup>25</sup>、変換効率を高めるために近年では単結晶シリコン太陽電池を中心にPERCの開発が進められている<sup>26</sup>。

PERCそのものの考えはすでに1989年には成立していたが<sup>27</sup>、産業化されて本格的に市場に投入されたのはSuntech Powerが自社製品にPERCを適用したのが最初である<sup>28</sup>。その後、変換効率競争が始まり、Qセルズは2011年に多結晶シリコン太陽電池で19.5%の変換効率を、2012年にはドイツのSchott Solarが単結晶シリコン太陽電池で21%の変換効率を達成し、その後、開発年は不明だがTrina Solar Co., Ltd.が多結晶シリコン太陽電池で20.8%の変換効率を達成することになる<sup>29</sup>。このように、すでに10年代初頭にはPERCによる変換効率競争に中国メーカーが加わっていることがわかる。

こうして様々な中国メーカーがPERCを適用した太陽電池モジュールを生産に移行し、先の表4に掲げた中国太陽電池大手メーカーはPERCを適用した単結晶シリコン太陽電池モジュールを生産しているが、これに加えて背面にまで発電能力をもたせた両面発電<sup>30</sup>やハーフカットセル<sup>31</sup>などの近年主流となりつつある技術を適用して、モジュールの性能向上を続けている。

このように、中国太陽電池メーカーがモジュールの性能を恒常的に向上させている背景には、中国政府が変換効率の基準に満たないメーカーを閉鎖する政

---

<sup>24</sup> 廣町 (2018) 41頁。

<sup>25</sup> Luka et.al (2016) ,p.43.

<sup>26</sup> Movellan (2021)。

<sup>27</sup> Green (2015) , p.190.

<sup>28</sup> Green (2015) , p.194.

<sup>29</sup> Green (2015) , p.194.

<sup>30</sup> LONGi, Trina Solar, JA Solar, JinkoSolar Holding Co., Ltd. (以下、JinkoSolarという) などでは既に製品に採用されている (各社websiteより)。

<sup>31</sup> LONGi, Trina Solar, JA Solar, JinkoSolar, Canadian Solar Inc.などでは既に製品に採用されている (各社websiteより)。

策を採っていることが影響しているが<sup>32</sup>、結果として中国製太陽電池モジュールの性能は大きく向上しており、それが製品レベルでの高い国際競争力の一端を担っていることになっているのである。

また、中国太陽電池メーカーはISO9001（品質マネジメントシステムの国際標準規格）を導入しているところが多く、TUV SUDやTUV RheinlandといったEUの認証機関や米国のUL（米国の認証機関）の認証を得る程度には品質管理が可能になっていることがわかる<sup>33</sup>。

以上のように、中国の太陽電池モジュールは他国の太陽電池モジュールと比較しても変換効率や品質の面で十分な競争力を持つに至っている。

### 3.2.2 中国太陽電池製造装置産業の成立

3.2.1にて中国製太陽電池モジュールの性能が他国製と伍する性能を有するようになったことを示したが、中国メーカーが太陽電池産業に参入してからの太陽電池モジュール市場の動向をみると、表1に示したように、単結晶シリコン太陽電池が世界市場全体の主流になってきたことになる。

このことから、太陽電池モジュールの生産技術も単結晶シリコン太陽電池の生産に最適な生産技術が選択されることになる。そして近年では中国で用いられる太陽電池製造装置は中国製のものが増えてきている。このことは中国太陽電池産業にとって重要な意味を持っているが、この点を中国における太陽電池製造装置調達史の歴史を振り返りつつ確認しよう。

2010年前後、中国太陽電池メーカーは他国の太陽電池メーカーと同じく、太陽電池市場がどのような方向に進んでいくのか、についての見通しが立っていなかったと思われる。当時の中国太陽電池メーカーが採用していた太陽電池の種類は結晶系シリコン太陽電池や薄膜シリコン太陽電池であり、これは例えば

---

<sup>32</sup> Green (2015), p.194.

<sup>33</sup> 例えば、JA SolarやLONGi、Risen Energy Co., LtdはTUV SUD、JinkoSolarはTUV SUD、TUV Rheinland、JET、ULなどの認証を得ている。

日本でも、パナソニック株式会社<sup>34</sup>、シャープ株式会社<sup>35</sup>、京セラ株式会社<sup>36</sup>は結晶系シリコン太陽電池を、ソーラーフロンティア株式会社はCIS太陽電池<sup>37</sup>を生産していたように、どの国や企業にとっても当時の太陽電池が性能やコストに一長一短があり、多様な種類の太陽電池が併存していたためである<sup>38</sup>。

こうした中で話題になったのはターンキー方式であった。ターンキー方式とは、鍵を回せば太陽電池が生産できる、という、生産技術が身に付いていなくとも生産が行えるように、太陽電池製造装置の設置業者が製造装置の設置から調整、試運転に至るまでを一括して受注する方式で、現在はEPCと呼ばれるものである。太陽電池メーカーに太陽電池生産のノウハウがなくとも太陽電池を生産でき、これが中国に輸出されたことから話題になったのである。米国のApplied Materialsや日本の株式会社アルバックなどが中国に輸出していた<sup>39</sup>。2010年代初頭まではプラズマCVD法を用いたターンキー方式で太陽電池市場に参入する中国企業が一定程度存在していたことになる<sup>40</sup>。しかし、薄膜シリコン太陽電池はその地位を徐々に低下させていき、これに伴ってターンキー方

<sup>34</sup> 元々、同社の太陽電池は三洋電機株式会社が開発したもののだが、三洋電機が2005年頃から経営が悪化して2009年にパナソニック株式会社が子会社化することとなった結果、パナソニックの事業になった経緯がある。三洋電機時代からの太陽電池はHITという自社独自の技術を用いたもので、単結晶シリコンにアモルファス（薄膜と同じ）層を形成したもの（パナソニックウェブサイト）。

<sup>35</sup> シャープ株式会社は液晶パネルと太陽電池を生産する拠点として大阪府堺市にグリーンフロント堺という名称の工場を建設したが、その後の液晶パネルと太陽電池をめぐる市況の悪化から財務状況が悪化し、2016年に台湾の鴻海精密工業に買収された（『日本経済新聞』2016年3月31日、朝刊1面）。

<sup>36</sup> なお、1982年に京セラ株式会社は多結晶シリコン太陽電池を量産した会社である（京セラウェブサイト）。京セラは2005年以降、Hemlock Semiconductor Corporationと子会社のHemlock Semiconductor, LLC.との間にポリシリコンの長期契約を結んだが、2016年に中国政府が中国のポリシリコンメーカーおよび太陽電池メーカーに補助政策を打ち出した結果（京セラ株式会社2016年3月期有価証券報告書、36頁）、市場価格が著しく下落し、価格面での競争力を失った。

<sup>37</sup> ソーラーフロンティア株式会社ウェブサイト。

<sup>38</sup> 本稿4.1.1を参照のこと。

<sup>39</sup> 例えば株式会社アルバックの2011年6月期の有価証券報告書には、「台湾、中国を中心に薄膜シリコン系太陽電池の投資計画の凍結・延期があり、厳しい状況が続きました」（13頁）とあり、それまでは中国向けの輸出が行われていたことがわかる。

<sup>40</sup> 例えば、中田（2010）によると、中国メーカー4社向けにターンキー方式での薄膜シリコン太陽電池向け製造装置の輸出を行なっていることが示された。

式も注目されなくなっていった。

これに対して中国製太陽電池製造装置は徐々に浸透している<sup>41</sup>。筆者の調べたところ、中国の太陽電池製造装置はモジュールの自動化装置になっている<sup>42</sup>。太陽電池セルよりも以前の工程についてはドイツなどの製造装置を使用している企業が多かった<sup>43,44</sup>。恐らくはセルの製造に必要な工程の中では、テクスチャーを生成する工程やpn接合を生成する工程など化学反応を用いる工程が多いために、それを制御する技術を実装できる製造装置メーカーが中国国内に育っていないものと思われる。

仮に中国国内の製造装置メーカーがセルの製造装置から供給を可能にするとなると、次の2つを可能にする。第一に、中国太陽電池メーカーにしてみれば、他国製の太陽電池製造装置に比べて、輸送コストや設置コスト、為替リスクや政情不安の点で安定的に調達を行うことが可能になる。第二に、太陽電池製造装置の中国内での調達は、ポリシリコン供給体制と相まって中国太陽電池モジュール生産の国内完結を現実のものにする。したがって中国では、他国に依存することなく太陽電池モジュールを生産することが可能になる。

#### 4 中国太陽電池産業の分業構造

ここでは、太陽電池生産の分業が行える箇所を生産技術に注目して検討する。この点に注目するのは、第4節にて中国太陽電池産業の分業構造の実態分析を行うからである。そのために太陽電池モジュールがどのように生産されるのか、一般的に考察する。

<sup>41</sup> やや気がかりなのは丸川（2014）が指摘するようにSuntech Powerによる株式会社MSKの買収が、生産技術の吸収であるとする見方である。

<sup>42</sup> Wuhan Ooi Photoelectric Technology Co., Ltd., Suzhou Horad New Energy Equipment Co., Ltd., STIN Holdings, Qinhuangdao Radiant Automation Equipment Co., Ltd., Suzhou Delphi Laser Co., Ltd., Ningxia XN Automation Equipment Co., Ltd.などがモジュール用の製造装置を作っているが、セル用の製造装置については確認できなかった（各社website）。

<sup>43</sup> 例えば、RENA Technologies GmbH, Meyer Burger Technology AGなどの生産する設備が用いられている（各社website）。

<sup>44</sup> なお製造工程については本稿4.1.2を参照されたい。

## 4.1 太陽電池モジュールの種類と生産分業

### 4.1.1 太陽電池モジュールの種類

太陽電池にはいくつかの種類があり、それぞれセルの生産方式が大きく異なっている。まずは太陽電池の種類について大きく単結晶シリコン太陽電池と多結晶シリコン太陽電池、薄膜シリコン太陽電池に分けて検討しよう<sup>45</sup>。

単結晶シリコン太陽電池は原材料に単結晶シリコンを用いることからコストが割高になる（この点は本稿4.1.2を参照のこと）<sup>46</sup>。その一方で変換効率は他の太陽電池に抜きん出ており、近年はPERC<sup>47</sup>が登場したことにより、太陽電池は単結晶シリコンを基材に用いたものが主流になりつつある<sup>48</sup>。

多結晶シリコン太陽電池は、原材料に多結晶シリコンを用いることから単結晶シリコンに比べるとコストが低下する。その一方で多結晶シリコンの構造上、変換効率は単結晶シリコンに劣る<sup>49</sup>。

薄膜シリコン太陽電池の生産方法は上記2つのものと大きく異なっている（この点は本稿4.1.2を参照のこと）。原材料にシリコンを含んだガス（SiH<sub>4</sub>（モノシラン）など）を用いてガラス上にシリコンを堆積させるので、多結晶シリコンよりも更にコストが低いのがメリットである<sup>50</sup>。ただし変換効率が劣るほか、強い光にさらされ続けると劣化するなどのデメリットが存在している。

ドイツでFITが導入されるなど、太陽光発電の普及への制度整備が進んだ2000年代には、最適な太陽電池の種類は定まっていなかった。特に戸建用の太陽光発電システムと産業用の太陽光発電システムでは最適な太陽電池モジュールが異なると考えられていたのである。戸建てなど設置面積が限られるものに

<sup>45</sup> なお、米国ではCdTe（カドミウムテルル）太陽電池も普及しているが、例えば日本国内ではイタイイタイ病の原因になることからカドミウムの使用は制限があり、またそもそもテルルが希少であるためにコスト低下の制約条件になると言われる。CdTe太陽電池セルは薄膜シリコン太陽電池と同様のプラズマCVD法によって生産されるので、技術的には当該部分を参照されたい。

<sup>46</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構[編]（2014）7頁。

<sup>47</sup> PERCについては本稿3.2.1を参照のこと。

<sup>48</sup> Movellan（2020）。

<sup>49</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構[編]（2014）7頁。

<sup>50</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構[編]（2014）7頁。



は変換効率の高いモジュールを、広大な土地を安価に調達できる場合には変換効率よりも安価なモジュールが重視されてきた<sup>51</sup>。そのために上記の3つの太陽電池モジュールが市場を棲み分けながら成長してきたのである。ところが、既述のように10年代に入り中国製太陽電池モジュールが市場参入を本格的に開始すると、薄膜シリコン太陽電池よりも安価な結晶系シリコン太陽電池が流通し始め、薄膜シリコン太陽電池は市場での地位を徐々に失っていくことになる<sup>52</sup>。このように、太陽電池の種類については主流とされるものが徐々に変化していった。また、これによって主流の生産方式も変化していくことになる。次に太陽電池モジュールの生産方式について、太陽電池モジュールの種類別にまとめてみよう。

#### 4.1.2 太陽電池モジュールの製造工程

次に製造工程について確認する。現在の主流である単結晶シリコン太陽電池の製造工程からみていくことにする。

単結晶シリコン太陽電池は主材料に単結晶シリコンをもちいた太陽電池である。単結晶シリコンの製造方法はいくつか存在しているが代表的なのはCZ法である<sup>53</sup>。石英るつぽに投入された大粒のシリコン（ポリシリコン）を溶解し、種となる棒状のシリコンを落とし込み、それを回転させながら引き上げることで単結晶の円柱状のシリコンインゴットを得る<sup>54</sup>。この単結晶シリコンの四辺を切り出し、残った四角状のインゴットをワイヤーソーで薄くスライスしたものがウェハーとなる<sup>55</sup>。このウェハーに（エッジングやn型半導体の生成など）種々の加工を行い、スクリーン印刷で電極を印刷したのち、焼成したものが単

<sup>51</sup> Marukawa (2012) p.6.

<sup>52</sup> 既述のように中国の太陽電池メーカーの中にも薄膜シリコン太陽電池で市場参入した企業があり、それはターンキー方式によるものであった。薄膜シリコン太陽電池はIEA PVPS (2020) “Trends In Photovoltaic Applications”, p.43が示すように、今日では僅少な市場しか獲得できていない。なお、ターンキー方式の経緯の詳細は中田 (2010) が詳しい。

<sup>53</sup> 株式会社SUMCOウェブサイト。

<sup>54</sup> 株式会社SUMCOウェブサイト。

<sup>55</sup> 株式会社安永ウェブサイト。なお、ウェハーまでの工程はIC (Integrated Circuit) の生産方式と同様である。

結晶シリコンの太陽電池セルになる<sup>56</sup>。

多結晶シリコン太陽電池では、結晶の生成以外の工程は単結晶シリコン太陽電池と同様である。多結晶シリコンはるつぽにポリシリコンを投入し、これを溶解して形成したものであり、金属の鋳物のような状態のシリコンである<sup>57</sup>。スライス以降の工程は単結晶シリコン太陽電池と同様になる。

作り方が大きく異なるのは薄膜シリコン太陽電池である。シリコンを含むガラスを放電によって分解し、表面電極を生成したガラスの上にシリコンを堆積させるプラズマCVD法によってセルが生産される<sup>58</sup>。

以上のようにそれぞれのセルの生産方法は大きく異なるが、モジュール生産は薄膜シリコン太陽電池とその他で若干異なるものの、概ね同様の方法で生産される。つまり、太陽電池セル同士をインターコネクター（リボン状の金属）によって接合し、それを複数枚直列に接続したものをガラスと樹脂でラミネートし、主にアルミ製の外枠をはめて出力用の端子につなげば完成になるのである。

なお、単結晶シリコン太陽電池が高コストになりやすいのは、多結晶シリコンと比べて単結晶シリコンの生産により手間がかかるためであり、その他の部分は同様のコストで生産が可能になる。薄膜シリコン太陽電池はセル製造における製造装置が複雑であるものの、原料であるシリコンは節約できるため、結晶系シリコン太陽電池よりも低コストでの生産が可能とされる。ただし、既述のように、中国製太陽電池の流通によって薄膜シリコン太陽電池は市場を追われつつある。

---

<sup>56</sup> 桑野（2011）、44頁。

<sup>57</sup> 桑野（2011）、105頁。

<sup>58</sup> 桑野（2011）、186－187頁。

図 ポリシリコンから太陽電池モジュールまでの製造工程



注) 丸数字のついているものは製品の一般名を、それ以外は工程名を示している。

出所) 野々村 (2014) 6頁およびリープトンエナジー株式会社ウェブサイトを参考に筆者作成。

以上でみたことを整理すると、図のようにまとめられるだろう。なお、議論の簡略化のために薄膜シリコン太陽電池の製造工程は省いている。各工程は原料であるポリシリコンの製造工程、シリコンインゴットの製造工程、ウェハの製造工程、セルの製造工程、モジュールの製造工程、の以上5つの工程に分類でき、それぞれの段階で流通可能な製品で見れば、①ポリシリコン、②シリコンインゴット、③ウェハー、④セル、⑤モジュールの各材に分類できる。なお、上記以外の工程は技術的に連続して行われる必要はないが、輸送に適さないなどの種々の問題を抱えているため、現実的には中間財として取引するには適さないだろう。

以上を念頭において、次に中国太陽電池産業の分業構造についてみていくことにしよう。

## 4.2 中国太陽電池産業の分業構造

太陽電池産業の一般的な工程間の分業を3.1.2に示したが、この各工程を単一の企業が行うのか、企業間の分業として行うのか、については、各企業の出自と戦略的な意思決定が大きく影響している。中国太陽電池産業は複雑な分業構造によって成り立っており、また公開情報も少ないために、確認できる分業の範囲も絞られているが、傾向を捉える上での資料は入手できたため、これらを基礎にして分業構造を把握していくことにする。以下では、図に示した中間製品を元にして、各中間製品を供給できる企業が中国国内にどの程度存在しているのか、また、どの程度垂直統合しているのかを確認していくことにする。

中国国内ではどのような分業に基づいて太陽電池モジュールが生産されているのかを確認するために、川上から川下までの各段階における中間製品の供給企業を簡単にまとめておく。

表5 メーカーごとの中間製品生産・販売品目

注) GCLはグループ全体。また、モジュール生産の企業については表4も参照のこと。

①ポリシリコン	②インゴット	③ウェハー	④セル	⑤モジュール
GCL	GCL	GCL	GCL	GCL
	LONGi Solar	LONGi Solar	LONGi Solar	LONGi Solar
	Trina Solar	Trina Solar	Trina Solar	Trina Solar
	JinkoSolar	Jiangsu Shunfeng Photovoltaic Technology	Jiangsu Shunfeng Photovoltaic Technology	Jiangsu Shunfeng Photovoltaic Technology
		JA Solar	JA Solar	JA Solar
		Risen Energy	Risen Energy	Risen Energy
		JinkoSolar	Tongwei Solar	Tongwei Solar
			JinkoSolar	JinkoSolar
Asia Silicon			Aiko Solar	
East Hope				
Daqo				
TBEA				

出所) IEA PVPS (2008-2020) “Trends in photovoltaic applications”およびIEA PVPS (2011-2019) “National Survey Report of PV Power Applications in China”に記載の企業名を元にして、各社ウェブサイトまたはAnnual Reportより筆者作成。

表5に筆者調べのメーカーごとに生産・販売を行っている中間製品の品目を整理した。この表を用いて、品目ごとの特徴および垂直統合の度合いについてみていくことにする。

まずはポリシリコンであるが、これは専業メーカーが多い。これらの企業の多くはポリシリコンは太陽電池以外にもICなどの他の用途の原料にも用いら

れ、またポリシリコン以外の原料も生産している装置産業である。ただし、Golden Concord Holdings Limited（以下、GCLという）は垂直統合型の太陽電池モジュールまでを手掛けるメーカーであり、セルやモジュールでは存在感は大きくないが、ポリシリコンメーカーとしては世界最大手である<sup>59</sup>。またTBEA Co., Ltd.は太陽光発電システムの制御系のシステムを生産している<sup>60</sup>。

インゴットについてはGCLにLONGi Solar、Trina Solar、JinkoSolarを加えた4社が生産・販売を行っていることを確認できた。LONGi SolarとTrina Solar、JinkoSolarはGCLに次ぐ垂直統合度合いのメーカーになる。その一方で、次工程であるウェハを生産する企業は3社増えるため、インゴットの専業メーカーが存在する可能性が残っている。

ウェハから供給を行なっている企業は上記の3社に加えてJiangsu Shunfeng Photovoltaic Technology Co., Ltd.、JA Solar、Risen Energyの3社で生産・販売が確認された。以下、セルについてはShanghai Aiko Solar Energy Co., Ltd.のみがセル生産に特化しており、それ以外の企業はセルからモジュールまでを生産している。なお、太陽電池モジュールのメーカーに関しては表4を参照されたい。

以上を踏まえて整理すると、第一に、垂直統合は限られた企業によって進められている。ポリシリコンからの一貫生産はポリシリコンの生産がインゴット以降の生産技術の体系と異なるためにGCL以外の企業は参入していない。半面、インゴット以降の工程を有する企業はいずれも太陽電池モジュールの生産で上位に位置しており、垂直統合によるメリットが存在していることになるだろう。なお、LONGi Solarは太陽電池セルやモジュールの生産では後発企業であり、川上から川下まで生産品目を伸張させている。

第二に、3.1にて指摘した、川上から川下までの生産能力の拡充は、各中間製品の企業間取引による調整が機能しているものと思われる。たとえばJinkoSolarの2020年のAnnual Reportでは「Certain downstream manufacturers, some of

<sup>59</sup> IEA PVPS (2019) ,“Trends In Photovoltaic Applications”, p.60.

<sup>60</sup> TBEA Co., Ltd. website.

which are also our customers and suppliers, have also built out or expanded their silicon wafer, solar cell, or solar module production operations.」(p.22)と、同業他社との企業間取引が行われていることを明記している。このように個別企業のある工程の生産能力の拡充が生じさせる歪みを、産業内での中間製品の流通を通じて調整することで解消すること、そして産業全体としては生産を拡大しているのが、中国太陽電池産業の特徴だと考えられるのである。

## 5 結論

これまで、中国太陽電池産業の競争力について考察してきた。その結論を示せば以下の5点に集約できる。

第一に、中国太陽電池産業は多数の企業が参入する競争の激しい産業である。特にモジュール生産では表4に示した比較的大きい企業ですら29社が計上されている。

第二に、中国太陽電池産業において競争力のあるメーカーは技術開発が先進的である。既に日本の太陽電池メーカーは価格だけでなく、性能面でも後塵を拝する状態に陥っているが、それは中国太陽電池メーカーの製品技術の開発が進んでいることに起因している。

第三に、急速な生産能力の拡充にも関わらず、中国太陽電池メーカー各社は産業内で中間製品の流通を行うことで、個別企業の実産能力の歪みを吸収している。中国太陽電池産業が全体として急速な成長を実現しているのには、こうした取引構造があるものと考えられる。

第四に、規模の大きいメーカーは垂直統合的な動きを見せている。この流れが大企業以外にも波及していくのかは不明だが、競争環境の中で淘汰される企業の買収などの可能性は残される。

第五に、太陽電池関連産業、例えばポリシリコン産業も太陽電池産業に付随して成長している。また、モジュール生産設備については国内製造装置メーカーが供給を可能にしている。今後、セル生産設備の生産技術まで国内製造装置メーカーが身に付けていく可能性がある。こうした段階に至ったとき、中国

の太陽電池産業はすべてを国内調達できる体制が整うことになる。

本研究において前提とした条件については今後の研究課題である。第一に、中国政府による太陽電池産業育成政策は産業発展における外部環境の要であるが、その詳細については本稿の研究課題上、前提としている。

第二に、中国太陽電池産業の海外展開について、具体的に考察していない。中国太陽電池産業は地球規模で太陽電池モジュールの供給を行っているが、これは現地の太陽光発電システムインテグレーターとの契約なしには進められない。どのように市場を獲得していったのか、について具体的に解明する必要がある。

## 参考文献

※インターネット上の資料については全て2021年9月3日を最終閲覧日とする。

江原 規由 (2013)「中国・EUの反ダンピング・反補助金調査の顛末」『季刊 国際貿易と投資』93号, 90-106頁。

桑野幸徳 (2011)『太陽電池はどのように発明され、成長したのか—太陽電池開発の歴史—』オーム社。

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構[編] (2014)『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2020)『太陽光発電開発戦略2020』

杉山大志 (2019)「太陽光発電のコストが下がった理由は何か?」『環境管理』2019年2月号, 77-83頁。

野々村修一 (2014)『太陽光発電の現状と将来像』岐阜大学工業倶楽部関西支部第6回定期総会記念講演。

廣町公則 (2018)「単結晶モジュール世界No.1 企業が語る、太陽光の未来」『SOLAR JOURNAL』vol.24, 2018年1月, 40-41頁。

丸川知雄 (2014)「世界の太陽光発電産業のなかの中国」『経済論叢 (京都大学)』第188巻第2号, 2014年5月, 15-29頁。

ミゲル・メンドーサ、デイビッド・ヤコブス、ベンジャミン・ソヴァークール著、安田陽訳 (2019)『再生可能エネルギーと固定価格買い取り制度 (FIT) —グリーン経済への架け橋』京都大学学術出版会。

Green, Martin A. (2015) “The Passivated Emitter and Rear Cell (PERC) : From conception to mass production”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol.143, Dec. 2015, pp.190-

199.

Luka, Tabea, Christian Hagendorf & Marko Turek (2016) “Multicrystalline PERC solar cells: Is light-induced degradation challenging the efficiency gain of rear passivation?”, *Photovoltaics International*, vol. 32, pp.43-48.

京セラ株式会社 2016年3月期有価証券報告書。

株式会社アルバック 2011年6月期有価証券報告書。

JinkoSolar Holding Co., Ltd *Annual Report 2020*.

『日経産業新聞』2005年7月19日、2006年7月24日、2007年8月2日、2008年7月22日、2012年10月26日。

『日本経済新聞』（朝刊）2016年3月31日。

共同通信PRWire (2020) 「Yingliが公式に法的再編プロセス入り」

<https://kyodonewsprwire.jp/release/202006110771>

太陽光発電協会 (2020) 「日本における太陽電池出荷統計2019年度第4四半期及び2019年度」

<http://www.jpea.gr.jp/pdf/statistics/h314q.pdf>

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー技術開発部 2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030) に関する見直し検討委員会「太陽光発電ロードマップ (PV2030+) 『2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030) に関する見直し検討委員会』報告書」

[file:///C:/Users/user/Downloads/%ED%83%9C%EC%96%91%EA%B4%91%EB%B0%9C%EC%A0%84\\_pv2030%20.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/%ED%83%9C%EC%96%91%EA%B4%91%EB%B0%9C%EC%A0%84_pv2030%20.pdf)

中田行彦 (2010) 「技術発散とターンキー・システム : 太陽電池産業への参入戦略」 [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasmin/2010s/0/2010s\\_0\\_11/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasmin/2010s/0/2010s_0_11/_pdf/-char/ja)

Movellan, Junko (2020) 「2020年の太陽電池市場、『単結晶』が市場を独占」

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/04910/?P=2>

Movellan, Junko (2021) 「2020年の世界太陽電池市場、シェアトップ5社は？」

<https://project.nikkeibp.co.jp/ms/atcl/19/feature/00003/052100062/?ST=msb>

渡辺清治 (2016) 「太陽電池で大ヤケド、“名門”トクヤマの失態」、

<https://toyokeizai.net/articles/-/103260>

IEA PVPS (2008-2020) “Trends In Photovoltaic Applications”

IEA PVPS (2011-2019) “National Survey Report of PV Power Applications in China 2011-2019”

IRENA (2020) “Renewable Power Generation Costs in 2019”,

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA\\_Power\\_Generation\\_Costs\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf)



Marukawa, Tomoo (2012) “The Compressed Development of China’s Photovoltaic Industry and the Rise of Suntech Power”,

[https://www.researchgate.net/publication/257208641\\_The\\_Compressed\\_Development\\_of\\_China's\\_Photovoltaic\\_Industry\\_and\\_the\\_Rise\\_of\\_Suntech\\_Power](https://www.researchgate.net/publication/257208641_The_Compressed_Development_of_China's_Photovoltaic_Industry_and_the_Rise_of_Suntech_Power)

Pike, Lili (2019) “In Cambodia, solar power surges”, <https://chinadialogue.net/en/energy/11706-in-cambodia-solar-power-surges-2/>

Power Technology website “Al Dhafra Solar Project, Abu Dhabi”

<https://www.power-technology.com/projects/al-dhafra-solar-project-abu-dhabi/>

Shah, Vishal & Phelps, J. B. (2015) “Crossing the Chasm”,

[https://www.db.com/cr/en/docs/solar\\_report\\_full\\_length.pdf](https://www.db.com/cr/en/docs/solar_report_full_length.pdf)

XINHUANET website “Feature: Chinese-constructed mega solar plant powers Kenya”, [http://www.xinhuanet.com/english/2020-12/15/c\\_139591878.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2020-12/15/c_139591878.htm)

#### 参考企業ウェブサイト

株式会社安永 〈<https://www.fine-yasunaga.co.jp/product/solor/index.html>〉

株式会社SUMCO 〈[https://www.sumcosi.com/products/process/step\\_01.html](https://www.sumcosi.com/products/process/step_01.html)〉

ソーラーフロンティア株式会社

〈<https://www.solar-frontier.com/jpn/products/modules/>〉

パナソニック株式会社

〈[https://www2.panasonic.biz/ls/souchikuene/solar\\_industrial/hit1.html](https://www2.panasonic.biz/ls/souchikuene/solar_industrial/hit1.html)〉

リープトンエナジー株式会社 〈<https://www.leaptonenergy.jp/profile/flow.html>〉

Asia Silicon Co., Ltd.

〈<http://www.asia-silicon.com/English/about/?59.html>〉

Shanghai Aiko Solar Energy Co.,Ltd. 〈<http://en.aikosolar.com/>〉

Canadian Solar Inc. 〈<https://www.csisolar.com/module/>〉

Daqo New Energy Corp. 〈<http://www.dqsolar.com/>〉

East Hope Group Co. Ltd. 〈<https://www.easthope.cn/>〉

Golden Concord Holdings Limited 〈<http://en.gcl-power.com/site/product#side-menu-photovoltaic2>〉

JA Solar Holdings Co., Ltd. 〈[https://www.jasolar.com/html/en/en\\_overview/](https://www.jasolar.com/html/en/en_overview/)〉

Jiangsu Shunfeng Photovoltaic Technology Co., Ltd. 〈<http://www.sf-pv.com/>〉

JinkoSolar Holding Co., Ltd. 〈<https://www.jinkosolar.com/jp/site/tigerpro#s4>〉

LONGi Green Energy Technology Co., Ltd.

〈<https://en.longi-solar.com/home/about/index.html>〉

Meyer Burger Technology AG 〈<https://www.meyerburger.com/en/>〉

NingXia XN Automation Equipment Co., Ltd.

〈<http://www.nxxnsolar.com/EN/cpzx.asp?classid=243>〉

Qinhuangdao Radiant Automation Equipment Co., Ltd.

<https://www.machineryoffers.com/company/yudiansolar/>

RENA Technologies GmbH <https://www.rena.com/en/>

Risen Energy Co., Ltd <https://risenenergy.com/>

STIN Holdings <https://www.stinholdings.com/En>

Suzhou Delphi Laser Co., Ltd. <http://www.delphilaser.com/en/>

Suzhou Horad New Energy Equipment Co., Ltd. <https://www.horadgroup.com/solar-panel-productionn-line/>

TBEA Co., Ltd. <http://www.tbea-usa.com/aboutus/profile/>

Tongwei Solar Co., Ltd. <http://www.tw-solar.com/en/>

Trina Solar Co., Ltd. <https://www.trinasolar.com/us>

Wuhan Ooi Photoelectric Technology Co., Ltd. <https://www.ooitech.com/SolarPanelProductionLine/>