

ペロブスカイト太陽電池の サプライチェーンについて

2024年8月

資源エネルギー庁

(参考)主要部素材の素材需要量の算出方法

- 各主要部材の厚みと素材密度から、ペロブスカイト太陽電池製造に必要な素材量を算出。

主要部材	代表素材	厚さ		× 密度		必要素材量(1m ² あたり)
		一般的なレンジ	算出利用値	一般的なレンジ	算出利用値	
バックシート	● PET	0.1 ~ 0.3 mm	0.2 mm	1.3 ~ 1.4 g/cm ³	1.35 g/cm ³	270.0 g
	● PVF			1.6 ~ 1.8 g/cm ³	1.7 g/cm ³	340.0 g
封止材	● EVA樹脂	0.05 ~ 0.1 mm	0.075 mm	0.9 ~ 1.0 g/cm ³	0.95 g/cm ³	71.3 g
	● POE系樹脂			0.8 ~ 0.9 g/cm ³	0.85 g/cm ³	63.8 g
電極	● モリブデン	80 ~ 150 nm	115 nm	10.3 g/cm ³	10.3 g/cm ³	1.2 g
	● 銅			9.0 g/cm ³	9.0 g/cm ³	1.0 g
正孔輸送層	● Spiro-MeOTAD	100 ~ 300 nm	200 nm	1.2 ~ 1.4 g/cm ³	1.3 g/cm ³	0.3 g
	● PTAA	30 ~ 100 nm	65 nm	1.1 ~ 1.3 g/cm ³	1.2 g/cm ³	0.1 g
発電層 (ペロブスカイト層)	● CH ₃ NH ₃ PbI ₃	300 ~ 500 nm	400 nm	3.7 ~ 4.3 g/cm ³	4.0 g/cm ³	1.6 g
	● CH ₃ NH ₃ SnI ₃			3.5 ~ 4.2 g/cm ³	3.85 g/cm ³	1.5 g
電子輸送層	● SnO ₂	20 ~ 80 nm	50 nm	6.8 ~ 7.1 g/cm ³	6.95 g/cm ³	0.3 g
	● TiO ₂			4.1 ~ 4.4 g/cm ³	4.25 g/cm ³	0.2 g
透明電極	● ITO	100 ~ 200 nm	150 nm	7.0 ~ 7.4 g/cm ³	7.2 g/cm ³	1.1 g
	● FTO			6.8 ~ 7.2 g/cm ³	7.0 g/cm ³	1.1 g
基板 (ガラス/樹脂)	● ガラス(SiO ₂)	0.5 ~ 1.1 mm	0.8 mm	2.3 ~ 2.5 g/cm ³	2.4 g/cm ³	1920.0 g
	● 樹脂	0.1 ~ 0.3 mm	0.2 mm	1.3 ~ 1.4 g/cm ³	1.35 g/cm ³	270.0 g
封止材	● EVA樹脂	0.05 ~ 0.1 mm	0.075 mm	0.9 ~ 1.0 g/cm ³	0.95 g/cm ³	71.3 g
	● POE系樹脂			0.8 ~ 0.9 g/cm ³	0.85 g/cm ³	63.8 g
フロントシート (パリアフィルム)	● SiO ₂	0.1 ~ 0.3 mm	0.2 mm	2.1 ~ 2.3 g/cm ³	2.2 g/cm ³	440.0 g
	● Al ₂ O ₃			3.8 ~ 4.0 g/cm ³	3.9 g/cm ³	780.0 g
	● DLC			3.4 ~ 3.6 g/cm ³	3.5 g/cm ³	700.0 g

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

(参考)主要部素材中の鉍物等資源の需要量の算出方法

- 各主要部材中の鉍物等資源含有率から、ペロブスカイト太陽電池製造に必要な**資源量**を算出。

主要部材	代表素材	必要素材量(1m ² あたり)	× 鉍物等資源の含有率		= 必要鉍物等資源量(1m ² あたり)
			鉍物等資源	含有率(重量比)	
バックシート	• PET	270.0 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
	• PVF	340.0 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
封止材	• EVA樹脂	71.3 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
	• POE系樹脂	63.8 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
電極	• モリブデン	1.2 g	モリブデン	100%	1.2 g
	• 銅	1.0 g	銅	100%	1.0 g
正孔輸送層	• Spiro-MeOTAD	0.3 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
	• PTAA	0.1 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
発電層 (ペロブスカイト層)	• CH ₃ NH ₃ PbI ₃	1.6 g	ヨウ素	61.4%	0.98 g
			鉛	33.4%	0.53 g
	• CH ₃ NH ₃ SnI ₃	1.5 g	ヨウ素	71.6%	1.1 g
			スズ	22.3%	0.34 g
電子輸送層	• SnO ₂	0.3 g	スズ	78.8%	0.27 g
	• TiO ₂	0.2 g	チタン	59.9%	0.13 g
透明電極	• ITO ¹	1.1 g	インジウム	74.4%	0.80 g
	• FTO	1.1 g	スズ	7.9%	0.09 g
基板 (ガラス/樹脂)	• ガラス(SiO ₂)	1920.0 g	シリカ	100%	1920.0 g
	• 樹脂	270.0 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
封止材	• EVA樹脂	71.3 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
	• POE系樹脂	63.8 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		
フロントシート (バリアフィルム)	• SiO ₂	440.0 g	シリカ	100%	440.0 g
	• Al ₂ O ₃	780.0 g	アルミニウム	52.9%	412.8 g
	• DLC	700.0 g	一般的に鉍物等資源は含まれない		

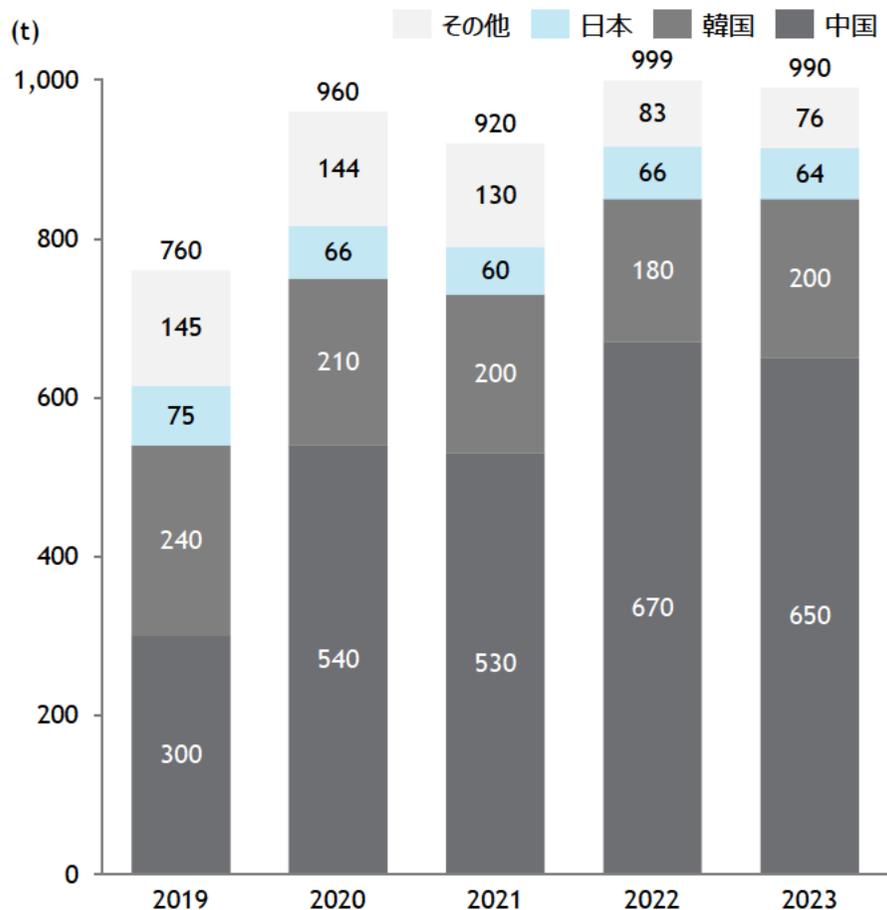
1. ITOはIn₂O₃とSnO₂が9:1の重量比で組成

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

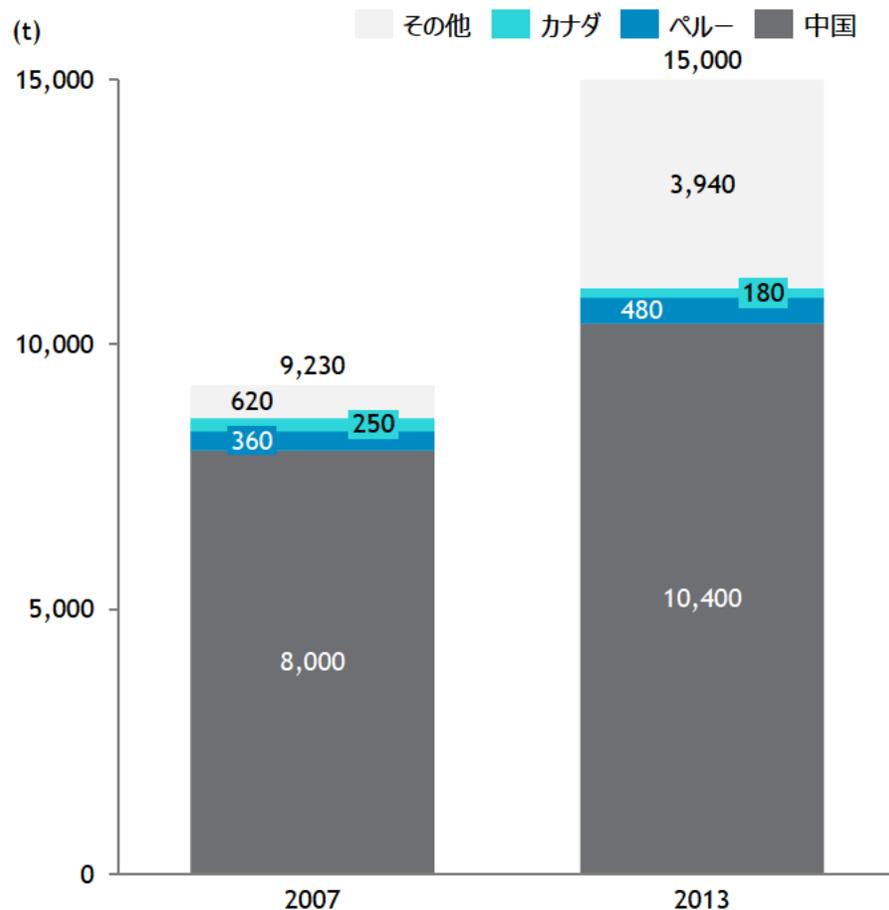
ペロブスカイト太陽電池の導入拡大に伴う鉍物資源需要への対応（例）

- 例えば、将来的には、一部のシリコン太陽電池においても供給リスクが指摘されているインジウムについては、ペロブスカイト太陽電池においても同様に使用されること、安定調達体制の確立やリサイクル、代替素材の開発の要否及び手法に向けた検討が必要。

インジウムの国別年間生産量



インジウムの国別賦存量



ペロブスカイト太陽電池の部素材となる化合物品の主要メーカー

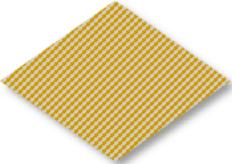
- ペロブスカイト製造時に使用される**化合物系の素材の大部分**において**製造技術を有す日本企業が存在**する一方、まだ試験用規模での製造のため**量産化に向けた体制を確保**する必要。

主要部材	代表素材	主要メーカー						
セル用	② 正孔輸送層	• Spiro-MeOTAD	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
		• PTAA	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
	③ 発電層 (ペロブスカイト層)	• メチルアンモニウム(MA)	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
		• ホルムアミジニウム(FA)	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
	⑤ 透明電極	• ITO (酸化インジウムスズ)	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
		• FTO (フッ素ドープ酸化スズ)	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
	⑥ 基板	• ガラス	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
		• 樹脂フィルム	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
	モジュール用	⑦ 封止材	• EVA樹脂	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社
			• POE系樹脂	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社
⑧ バックシート		• PET	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	
		• PVF	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	XXX社	

XXX社 : 日本メーカー

ペロブスカイトPV製造プロセス

- 海外においては、ペロブスカイト太陽電池の性能を決めるうえで重要な②成膜・コーティング、③パターニング製造装置に関して、半導体やディスプレイなど、先行して薄膜成膜や積層技術が活用されている分野へ製造装置を提供しているプレイヤーの参入が進む。
- また、海外では太陽電池メーカーと製造装置メーカーの協業も進展。

	① 基盤・電極形成	② セル/モジュール形成	③ デバイス形成	④ 封止・コーティング
				
プロセス概要	太陽電池の土台となる導電基盤上に電極を形成 <ul style="list-style-type: none"> ● 基盤はガラス型と樹脂等を材料とするフレキシブル型が存在 	基盤上に、正孔輸送層→発電層→電子輸送層を成膜し、その後セル分離→金属電極成膜後に電極を分離すると、分離セルが直列に接続するモジュールが完成	集積化プロセスとして"パターニング"を施して発電面積を拡大し、配線配置・レーザー等で加工してデバイス化	コーティングフィルム・樹脂材料等でデバイス全体に保護膜を形成
付加価値	既存シリコン技術で対応可能なため、技術難易度は高くない	均一積層技術 <ul style="list-style-type: none"> ● 材料が脆弱で分解しやすい中、大面積にミクロンレベルに薄い膜を均一に積層する技術は高難易度 	高速精密制御技術 <ul style="list-style-type: none"> ● 厚さ数百nmの非常に薄い膜を選択的に高精度かつ高速で除去するパターニング技術は高難易度 	高气密技術 <ul style="list-style-type: none"> ● 酸素や水分の影響を受けやすいペロブスカイト材料を高い気密性で保護する技術は高難易度
主な製造装置		<ul style="list-style-type: none"> ● 成膜・コーティング装置 	<ul style="list-style-type: none"> ● パターニング装置 ● カッティング装置 	<ul style="list-style-type: none"> ● パッケージング装置

ペロブスカイトのスペックを決めるうえで特に肝要

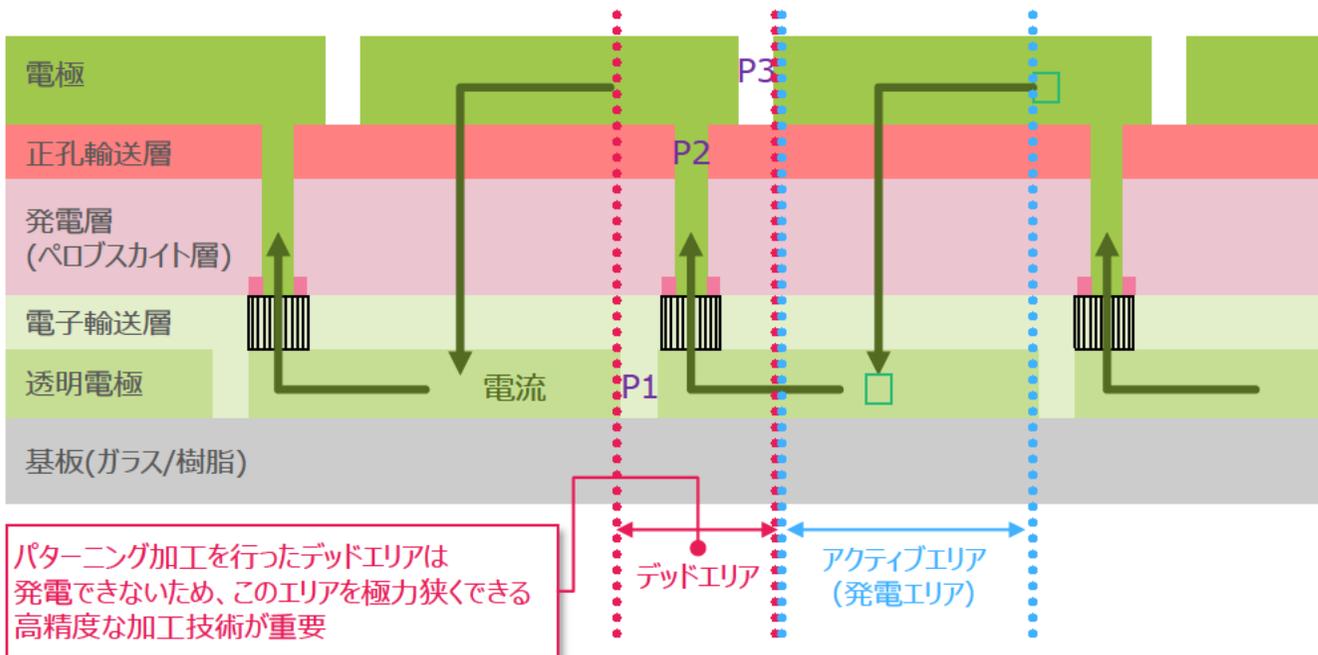
- 量産における品質向上、生産安定性の確保に向け、ペロブスカイトPVメーカーと製造装置メーカーの協業が進む

ペロブスカイトPV製造に必要な技術例 (パターニング装置と量産化に向けた課題)

- アクティブエリアの面積をできるだけ確保するため、極めて小さい幅のパターニングが必要。特に積層工程での各層の膨張・収縮を加味した加工位置を高精度で制御可能な技術が求められる。

ペロブスカイトPVモジュールのパターニング

P1: 透明電極膜のパターニング P2: 正孔輸送層、発電層、電子輸送層のパターニング P3: 電極のパターニング



量産化に向けた課題

積層時の温度変化によって基板やすでに積層した層が膨張・収縮するため、そのずれを高精度で把握し、加工できる制御技術が重要となる

- 国内ペロブスカイトPVメーカー、研究主任

量産化のためにはデッドエリアを最小化する必要があるが、数十 μm 幅という微細なパターニングを安定して加工する点に課題がある。そのため、成層素材を製造装置メーカーに提供して共同開発することが必要

- 海外ペロブスカイトPVメーカー 担当者

(参考) シリコンPV生産能力上位15工場

- シリコンPVでは、10GW以上の生産能力を有す工場も多く存在している。

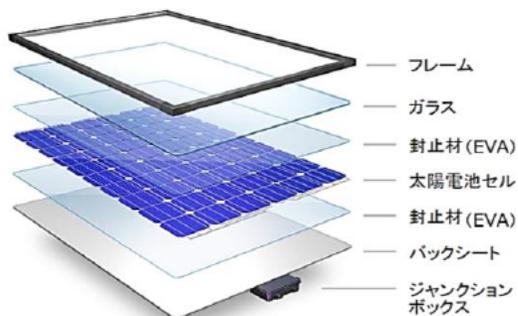
#	企業名		工場所在地		生産能力(GW/年)
1	JinkoSolar		山西省		56
2	LONGi		雲南省		50
3	Trina Solar		江蘇省		45
4	JA Solar		内モンゴル自治区		30
5	Canadian Solar		江蘇省		28
6	Tongwei Solar		四川省		25
7	Risen Energy		浙江省		22
8	Astronergy		浙江省		20
9	DAS Solar		安徽省		18
10	GCL SI		安徽省		16
11	First Solar		オハイオ州		14
12	Q CELLS		ジョージア州		12
13	SunPower		オレゴン州		10
14	REC Group		シンガポール		9
15	LG		慶尚北道		8

廃棄・リサイクルについて

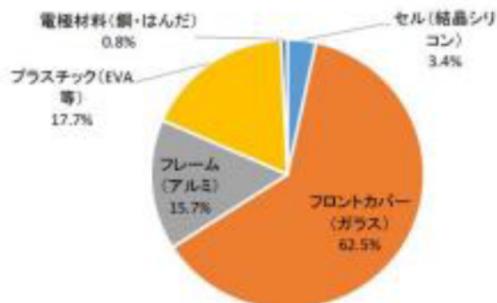
- 太陽電池のライフサイクル全体では、製造・発電のみならず、適切な廃棄・リサイクルまでを確保していくとともに、それが適切に評価される仕組みを構築する必要がある。
- ペロブスカイト太陽電池については、軽量・減容化に優れた特徴を活かし、最適な廃棄・リサイクルのシステムを確立することが必要。

【シリコン太陽電池】

- ✓ 2030年代後半に大量の排出が想定されている。その際、排出時点で製造・輸入事業者が不在であることも懸念される。
- ✓ 全重量の6割超をフロントカバー（ガラス）が占め、その適切なリサイクルが課題。
- ✓ フレーム、ガラス、封止材、太陽電池セル、バックシートを分解、ガラス・一部金属の有価物を再利用。
- ✓ FIT/FIP制度において、有害4物質（鉛、ヒ素、カドミウム、セレン）の含有情報登録を義務付け。

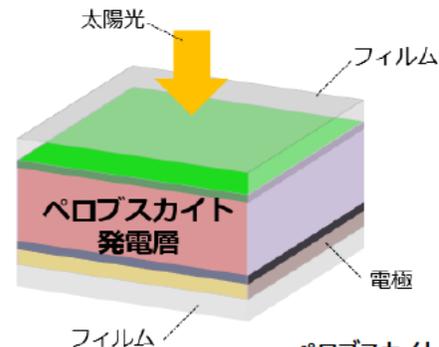


シリコン太陽電池の構造（出所：NEDO）



【ペロブスカイト太陽電池】

- ✓ 製造事業者がリサイクルまでを視野に入れた設置・導入を行っていくシステムの構築が必要。
- ✓ 重量は、一般的なシリコン太陽電池の1/10であり軽量化が可能。容積は、一般的なシリコン太陽電池の1/20。
※フィルム型の場合、1.5 kg/m²として試算。
- ✓ 微量（0.5 g/m²程度）に含有する鉛について適切な処理・回収を行う必要がある。
- ✓ ヨウ素などの有価物を回収・再利用していく仕組みも構築していく必要がある。



ペロブスカイト太陽電池の構造