

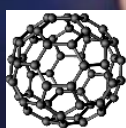
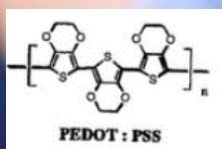


次世代太陽電池



ペロブスカイト

太陽電池について



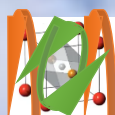
建築物一体型太陽電池
ガラス発電へ活用**ZEB**化達成

各種アドバイザー資格教材
ZEB推進専門員教材一部として活用

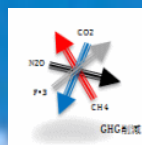
2022年7月22日作成
2023年6月29日追加
2023年9月20日更新
2024年6月12日更新



おきなわSDGsパートナー



次世代太陽電池普及機構
Next Generation Solar Spread Mechanism



一般社団法人
沖縄CO2削減推進協議会
Okinawa CO2 Reduction Promotion Conference

まえがき	1
A.天然のペロブスカイト	2
1、天然ペロブスカイトとは	2
B、ペロブスカイト太陽電池	2
1、発明者は	2
2、発明内容は	2
3、構造は	3
4、良い特徴(KW当りの発電量アップ率)	4
5、課題	15
6、設置可能な場所	15
C、日本政府は	18
D、メーカーの開発動向	19
E、大学や研究所の開発動向	22
F、ペロブスカイト塗布方法の比較	24
G、各種太陽電池の分光感度	24
1、太陽光と太陽電池の感度スペクトグラフ（分光感度）	24
2、温度による変換効率低下比較	26
3、光吸収係数	26
4、入射角度による比較	26
5、ペロブスカイトとシリコンの比較まとめ	26
6、重量当たりのパワーの比較	27
7、面積当たりの鉛の含有量	27
H、太陽電池の種類	29
1、太陽電池の大別すると	29
2、シリコン系（Siケイ素）の種類と特徴	30
3、シリコン系（Siケイ素）の構造と製造工程	30
4、太陽光発電の発電原理	32
5、無機化合物系について	34
6、有機物系薄膜太陽電池について	36
7、各種太陽光電池の経年劣化	38
8、シリコンとペロブスカイトの比較	38
I、太陽光発電世界シェア	39
J、太陽光電池の比較	40
1、太陽電池の種類と特徴	40
2、シリコン太陽光発電で東西南北の壁面の発電量比較	40

3、シリコン系と化合物系の実際の発電量の比較	41
4、天気による1日の太陽光発電量（Si系）	41
5、各種太陽電池のS-Qリミット	41
6、各種太陽電池の最高効率と限界効率	41
7、各種太陽電池のバンドギャップ	42
8、PVK太陽電池各メーカー効率比較	43
9、バンドギャップと開放電圧の限界値	44
10、8月の時間による太陽光スペクトル	44
K、発電ガラス事例	45
L、Low-E複層ガラスについて	48
M、BIPV（建築物一体型太陽電池）について	49
N、各種燃料による発電コスト比較	49
O、世界のヨウ素の埋蔵量と生産量(H29年)	49
資料（変換効率の推移）	50
資料（各種太陽電池のワット当りコスト）	50
資料（太陽電池モジュールのコスト比較）	51
資料（エネルギー自給率）	52
資料 ガラス基板とフィルム型の商品推移	53
資料（特許出願状況、特許庁資料より）	54
資料 ZEBについて ZEB補助金	60
資料 窓や壁一体太陽電池補助金	62
資料 次世代型太陽電池実証事業	63
資料 太陽電池の種類図	64
資料 太陽電池の種類と特徴の比較表	65
資料 ガラス発電の比較表	66
資料 変換効率推移明細グラフ（NREL）	67
資料 元素周期表	68
P、タンデム型太陽電池	69
1、タンデム型は	69
2、タンデム型太陽電池の変換効率限界図	69
3、端子構造による種類	70
4、端子型による変換効率の変化	70
5、世界の動向	71
6、日本の動向	71
7、各種構造による変換効率	72

まえがき

- ①昨今の電気料金高騰により、地産地消の電源として誰でも自由に使えるエネルギー太陽光発電が注目されています。（太陽光エネルギー 1時間で世界の1年分の電気使用量を賄う事が出来る）
- ②経済産業省は2030年までに、再生可能エネルギーの電源構成比率で、目標22～24%から36～38%に引き上げた。（2022年再エネは太陽光・太陽熱・風力・地熱、バイオマスで15.7%）
- ③環境省は2030年度の太陽光発電の導入目標に約2千万キロ・ワット分を積み増す方針を決めた原子力発電所 20基分に相当する。（1基100万KW）1000MW
- ④2023年4月4日、岸田首相が、次世代太陽電池のペロブスカイト型太陽電池を2030年までに、普及させる方針を打ち出した。G7広島サミットで、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の技術開発でも各国との連携などを確認した。
- ⑤ペロブスカイト太陽電池は、印刷などで製造でき、薄くて、軽く、安価、変換効率が高く、曲げられる事から、今まで使用できなかった、軽量建築の屋上やビルの壁面、EV車など、あらゆる場所に設置できる、また、低い光でも、発電することから、曇りや雨天、また室内のLEDでも発電できる優れた太陽電池で、発明者はノーベル賞候補の呼び声もあがっている。
- ⑥ペロブスカイト太陽電池で2035年には1兆円まで市場規模となる見込み。
- ⑦主な原料であるヨウ素は、日本は、生産量で世界2位、埋蔵量は、世界1位です。（千葉県）
- ⑧東京23区内の建物屋上と壁面の一部に設置すると、原発2.5基分の発電が可能という。（変換効率20%を想定、沖電は213万kW）
- ⑨中国では、量産を行っていて、ガラス基板型（大面積6600cm²）で変換効率20.0%（日本は、小面積804cm²にて17.93%で量産はまだ）で、量産品では、最高変換効率です。（大面積にすると、塗布面の均一が非常に難しく、変換効率が落ちる）
- ⑩経済産業省は2026年度から、化石燃料の利用が多い工場や店舗をもつ1万2000事業者に屋根置き太陽光パネルの導入目標の策定を義務づける。薄くて軽いペロブスカイト太陽電池導入を広げて脱炭素に向けて太陽光の比率を大幅に高めるエネルギー基本計画の目標達成に近づける。
- ⑪環境省では、ペロブスカイト太陽電池の実装モデル補助金を、2025年より実施する。

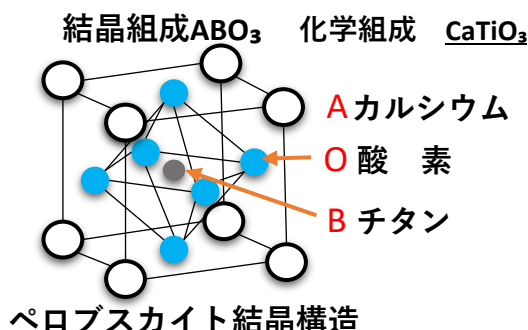
この資料は、次世代太陽電池アドバイザー資格、ガラス発電アドバイザー資格、ZEBプランナー推進専門員の教材としても使用する。

作成者： 瑞慶覧

A.天然のペロブスカイト

1、天然ペロブスカイトとは

ロシアのウラル山脈で、ドイツのクロツシア鉱物学者発見した天然の鉱物（灰チタン石で鉱物名はチタン酸カルシウム）で、珍しい特殊な結晶構造を持ち、この結晶構造をロシアの鉱物学者レフ・A・ペロブスキー氏（1839年に47才のころ）の、名前からペロブスカイト構造と呼ばれる。（ナポレオンが命令により命名）



B、ペロブスカイト太陽電池（PVK）

1、発明者は

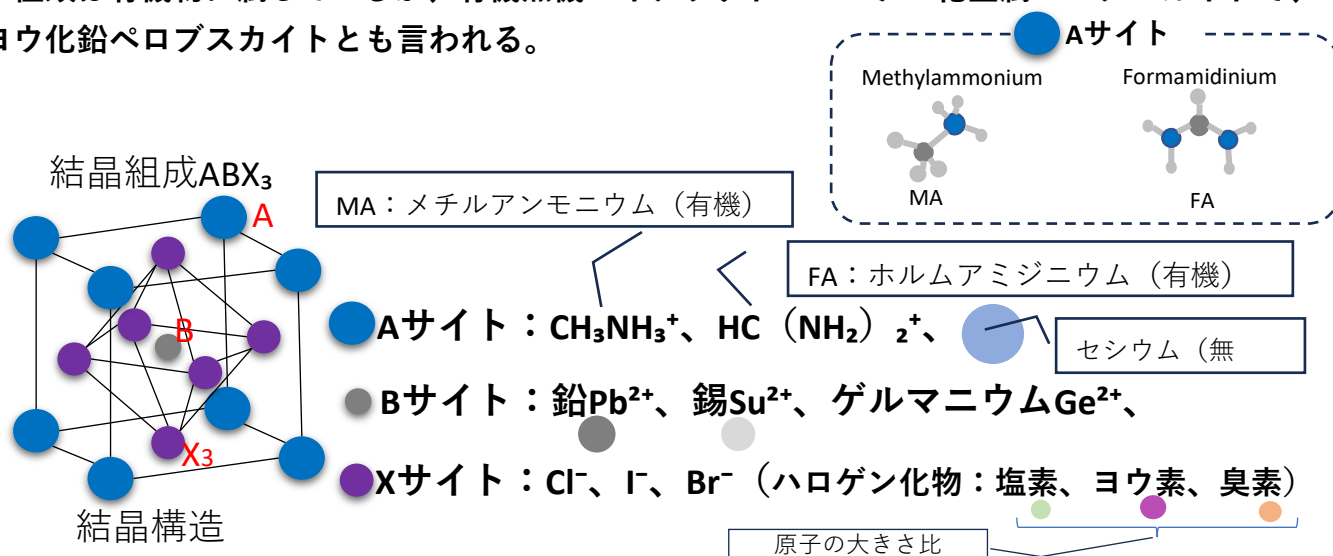
・桐蔭横浜大学の宮坂力特任教授が2009年に発明し、当初の変換効率は3%程度で、注目されていませんでしたが、現在では、次世代の最有力として注目を浴びています、また、研究者数も数名だったのが、4万人（中国人約半数、日本1000人）となり、面積703m²（フィルム状）変換効率も15%以上と、急激に開発されています。（色素増感太陽電池を携わっていて、その材料をペロブスカイトに変えて実験を始めたのは2006年）

2、発明内容は

・天然のチタン酸ペロブスカイト（変換効率が相当低い）の酸素をハロゲン（ハロゲン族からヨウ素を使用）に置き換えた人工的な合成物質で、化学組成は、 $CH_3NH_3PbI_3$ （メチルアンモニウムヨウ化鉛）です。

（その他 $CH_3NH_3PbBr_3$ 、 $CsPbBr_3$ 、 $FASnI_3$ 、 $FACsPbI_3$ 、 $FAPbI_3$ 、 $CsFAPbI_3$ 、 $AgBiI_2$ など）

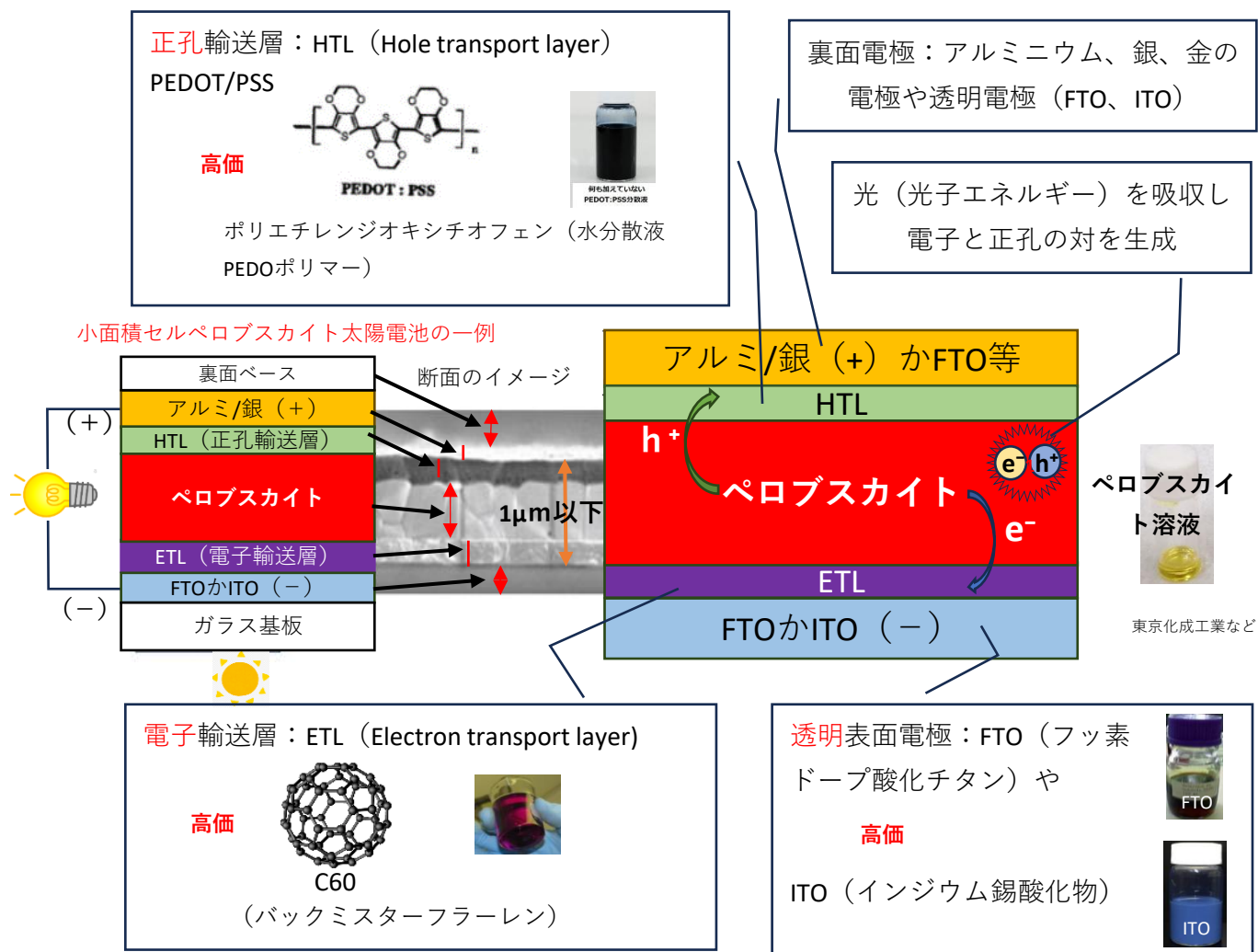
・種類は有機物に属しているが、有機無機ハイブリッドのハロゲン化金属ペロブスカイトで、ヨウ化鉛ペロブスカイトとも言われる。



・種類は有機物に属しているが、有機無機ハイブリッドのハロゲン化金属ペロブスカイト、ヨウ化鉛ペロブスカイトとも言われる。

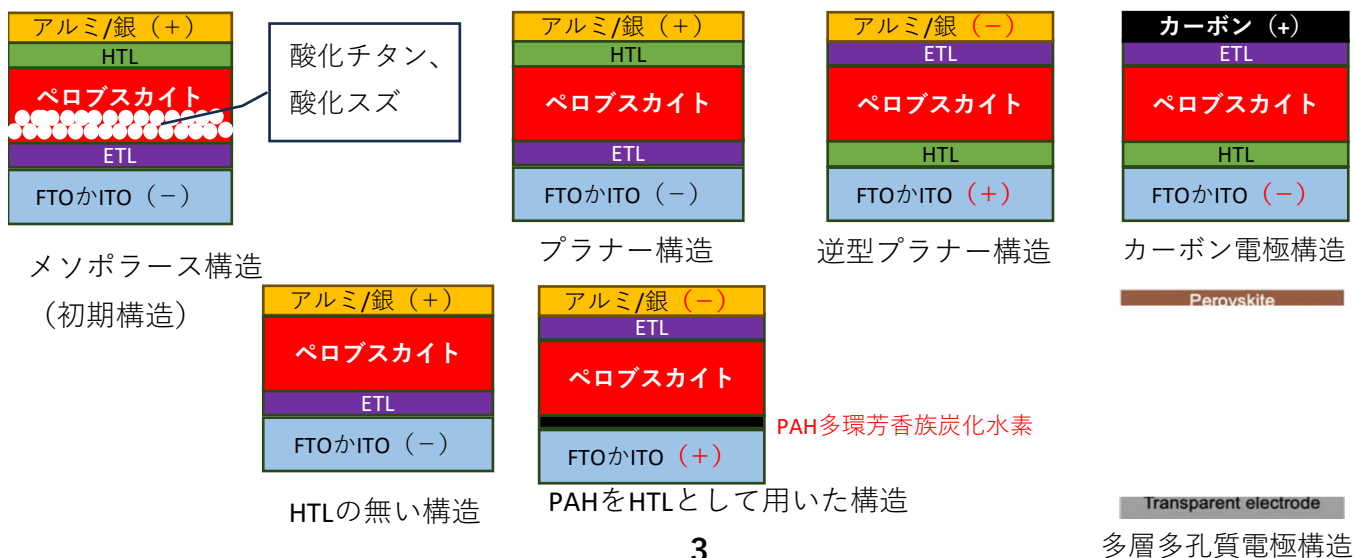
3、構造は

①太陽光入射側（トップ側）から透明導電膜→電子輸送層（ETL）→ペロブスカイト層→正孔（ホール）輸送層（HTL）→裏面電極（アルミや銀）で太陽電池となる、厚さ1～2μmで、電子輸送層とペロブスカイト層と正孔輸送層で1μm以下となる。

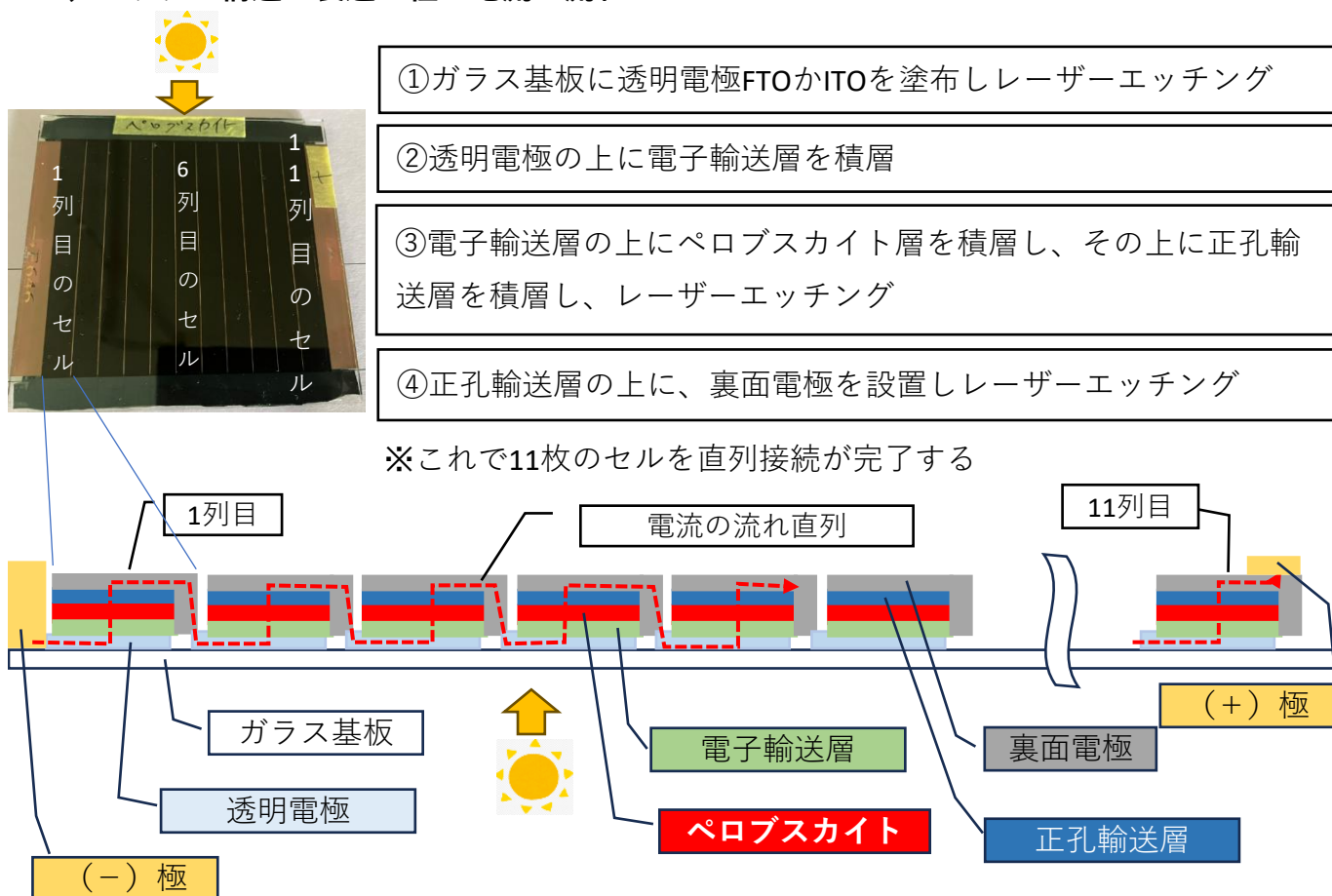


②電子輸送層と正孔輸送層を設けると、効率アップと、ペロブスカイト層の劣化を防ぐため

3-1、層構造



3-2、プラナー構造の製造工程と電流の流れ



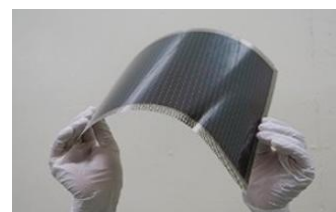
※輸送層は、変換効率アップや、光吸収層の劣化防止となる為重要です。（電極にPVK直接積層すると劣化する。）

※貧溶媒とは、溶解している原料成分にとって溶けにくい液体

4、良い特徴

①フィルム状に、塗布や印刷することにより **薄く（ $1\mu\text{m}$ 程度）**、量産で**安く製造できる**。

②フィルム状の為、**軽く、自由に曲げらる**為、重量（ $1\sim 4\text{ kg/m}^2$ ）で設置できない屋根や、湾曲の場所や壁面などあらゆる場所に設置できる。（シリコン系は $12\sim 15\text{ kg/m}^2$ ）



③ペロブスカイト結晶構造自体、光の吸収量が大きい

④光の吸収効率（光吸収係数や分光感度による）が良い為、雨天でも、室内のLEDでも発電できる。



⑤薄い為、光が、発電層（光吸収層）まで、距離が短い（シリコン100倍厚い）

- ⑥シリコンより透過性があり、発電層への光エネルギーが多く吸収される（シリコンは、透過性がない）
- ⑦入射角でも、発電層までの距離が、短い（シリコンは100倍の厚さで、斜めだと、更に距離が長くなる）
- ⑧温度損失が低い（5%程度、シリコンは、15～20%）
- ⑨表面温度は、透過性があるため、低い（シリコンより3℃程度）
- ⑩光子エネルギーの高い、可視光線を、吸収が高い
- ⑪鉛ペロブスカイトは欠陥でも寛容性があり（錫系は、欠陥寛容性が低い、鉛錫アロイ化は錫系よりはよい）効率を維持できる、とても凄く、筋の良い材料です。
（欠陥：鉛の欠損、ヨウ素の欠損、Aサイトに間違った材料、Xサイトに間違った材料、格子と格子の間にイオンが入り込み）

※実測によるKW当りの発電量アップ率

KW当りの発電量アップ率

- | | |
|---|---------------|
| ①日陰で 2.1倍以上 （中国大正微納科技にて比較実験、協議会でも実測） | |
| ②雨天時で 1.43～1.57倍 （ウトモライト測定） | ウトモ最低1.24倍（年） |
| ③曇天時で 1.54～2.1倍 （ウトモライト測定） | ウトモ最高1.47倍（年） |
| ④晴天時で 1.1～1.23倍 （ウトモライト測定） | ウトモ平均1.35倍（年） |
| ⑤LEDで200Lxで約5倍、1000Lxで約 5倍 （協議会測定） | 日本トップ研究者1.1倍 |
| ⑥上記により年間のアップ率は、最大で約 1.47倍 となる(梅雨時期の実測平均 1.27倍) | |

※アップ率による、ペロブスカイト太陽電池の変換効率18%のシリコン太陽電池効率換算

提供データ		1KW当りのシリコン太陽電池 からのアップ率	シリコン太陽電池に換算 した時の変換効率
ウトモライト	平均	135.8%	24.5%
	最低	124.2%	22.4%
	最高	147.4%	26.6%
	実測	127%	22.9%
日本トップ研究者		110%	19.9%
全体平均		129%	23.2%

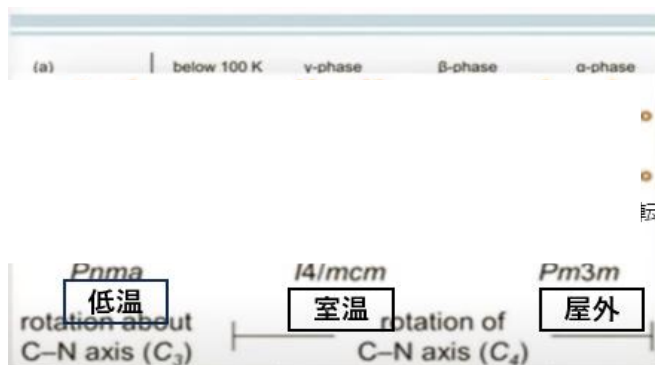
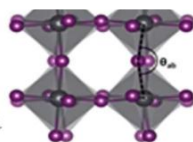
⑫公差係数や温度による結晶の傾きや歪む

(MAPbI₃の場合)

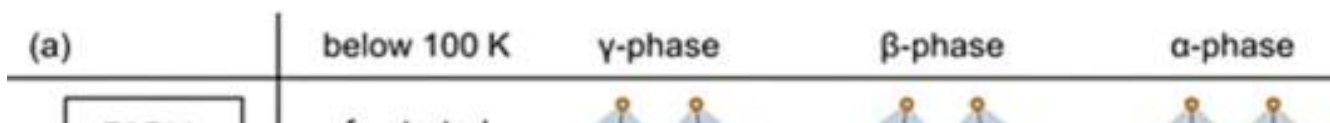


0.9~1以下で
安定

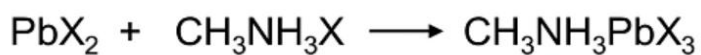
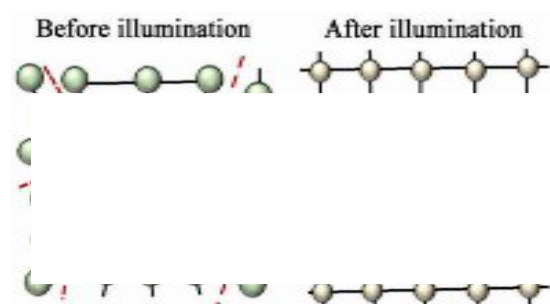
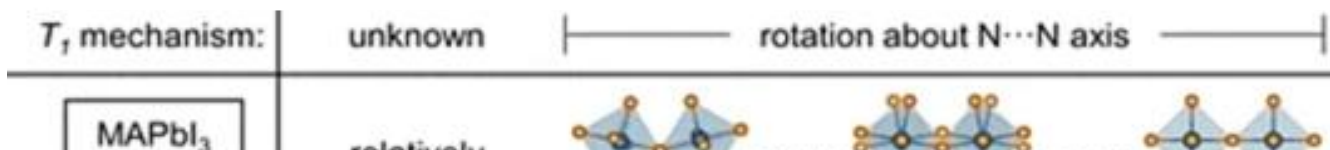
M. Pitaro et al., Adv. Mater. 2021, 2105844.



※FAPbI₃は、低温でも安定



ocl



⑬低照度での変換効率

※専門誌などより集約

光源		項目	単結晶 シリコン	a-Si	色素増感	ペロブスカイト CsPbI ₂ Br小面積	
						順構造	逆構造
太陽光 1Sun	100000Lx	変換効率	18.0%	14.0%	11.5%	16.92%	17.36%
	100mW/cm ²	発電量	18mW	14.0mW	11.5mW	16.9mW	17.4mW
	1000W/m ²		180W	140W	115W	169W	174W
環境光 1000Lx	1000Lx	変換効率	—	11%	—	30.96%	32.6%
	0.33mW/cm ²	発電量	—	0.036mW	—	0.102mW	0.108mW
	3.3W/m ²		—	0.36W	—	1.02W	1.08W
環境光 200Lx	200Lx	変換効率	13V 3.6%	9.9%	10.9%	32.61%	34.2%
	0.065mW/cm ²	発電量	0.00234mW	0.006mW	0.007mW	0.021mW	0.022mW
	0.65W/m ²		0.0234W	0.064W	0.071W	0.212W	0.222W
環境光 300Lx	300Lx	変換効率	3.9%	—	—	—	—
	0.10mW/cm ²	発電量	0.0039mW	—	—	—	—
	0.99W/m ²		0.039W	—	—	—	—
光源		項目	CIGS	CdTe	PVK大面積1200×600中国製		
					鉛フリー	鉛系	備考
太陽光 1Sun	100000Lx	変換効率	17.0%	15.1%	12.5%	18.06%	メーカー 仕様書よ り
	100mW/cm ²	発電量	17mW	15.1mW	12.5mW	18.1mW	
	1000W/m ²		170W	151W	125.0W	180.6W	
環境光 1000Lx	1000Lx	変換効率	—	11%	15.8%	17%	当 協 議 会 実 測
	0.33mW/cm ²	発電量	—	0.036mW	0.052mW	0.056mW	
	3.3W/m ²		—	0.36W	0.52W	0.56W	
環境光 200Lx	200Lx	変換効率	—	—	35V 15.6%	19% 42V	
	0.065mW/cm ²	発電量	—	—	0.010mW	0.012mW	
	0.65W/m ²		—	—	0.10W	0.12W	
環境光 300Lx	300Lx	変換効率	3.7%	10.1%	16.3%	17.5%	
	0.10mW/cm ²	発電量	0.0037mW	0.01mW	0.016mW	0.017mW	
	0.99W/m ²		0.037W	0.10mW	0.16W	0.17W	

※曇り時約1万Lx、雨天時約5千Lxです。 ※Siは室内では電圧が13Vと低く実際には発電出来ない

※実測は、次世代太陽電池普及機構にて行いました。

※太陽光0.001mW/cm²/Lx (0.01W/m²/Lx) ・光子エネルギーが高い為

※環境光0.00033mW/cm²/Lx (0.0033W/m²/Lx) ・LEDの光子エネルギーが低い為

※室内300LxでのシリコンよりPVKが、4倍以上発電する、室内200Lxでの5倍以上発電する。

⑭当初数パーセントだった変換効率が、東芝703cm²で15.1%（世界最高）で、1cm²では、20%以上と、飛躍的に変換効率が向上している。

⑮主材料がヨウ素と鉛の為、日本で調達でき、ヨウ素については、埋蔵量は世界最大で、生産量はチリにつき2位で世界の約30%を占めており日本（千葉県）から輸出できる貴重な国産天然資源とされている。

⑯製造時に100℃の低温製造の為、CO2排出が低い。（シリコン系は、1400℃）

⑰ペロブスカイト膜は、光透過性が有る為、ガラス窓などに使用できる。

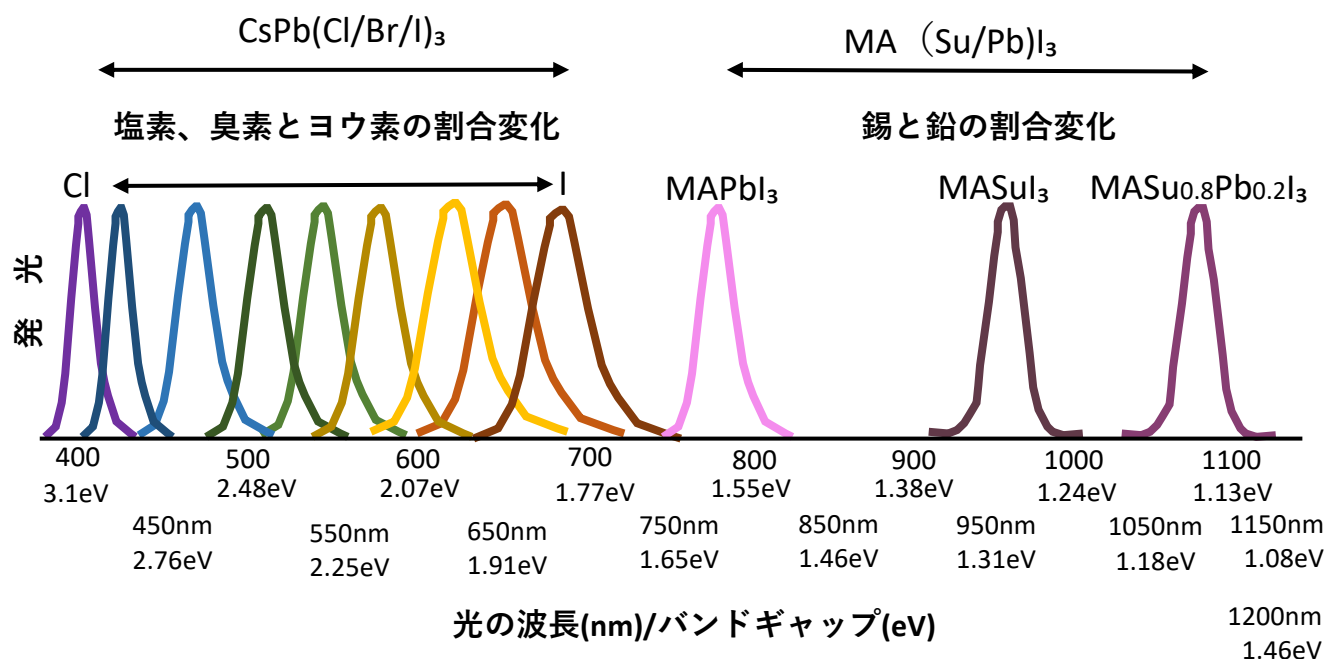
⑱ペロブスカイトは材料を変えることにより色（黒、黄色、オレンジ、赤など）を自在に変えられる。

・Xサイトの塩素（Cl）、臭素（Br）、ヨウ素（I）のミックスする割合により波長（色も変化）とバンドギャップが変化する

・AサイトのMA（メリルアンモニウム）をCs（セシウム）に変えると、MAよりCsが小さい為格子が歪ワイドバンドする

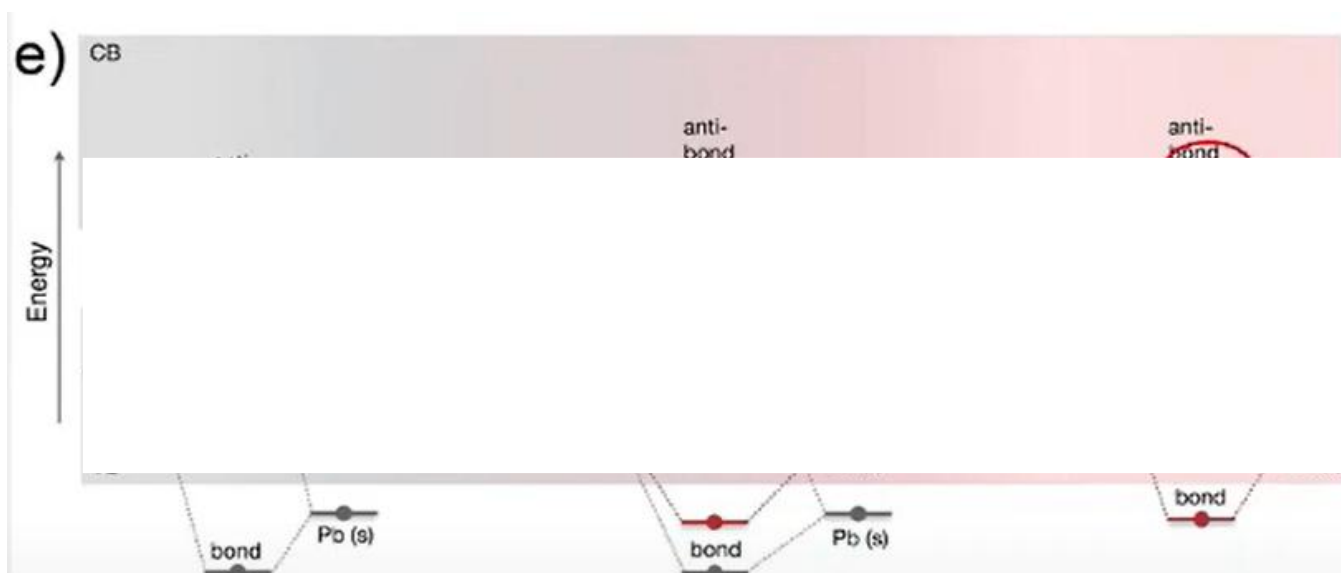
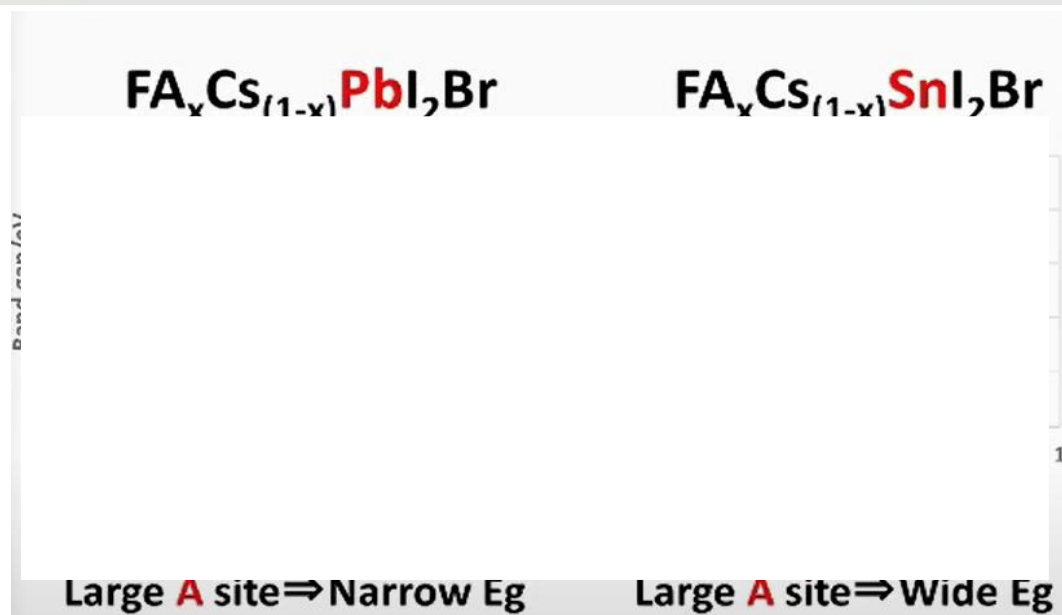
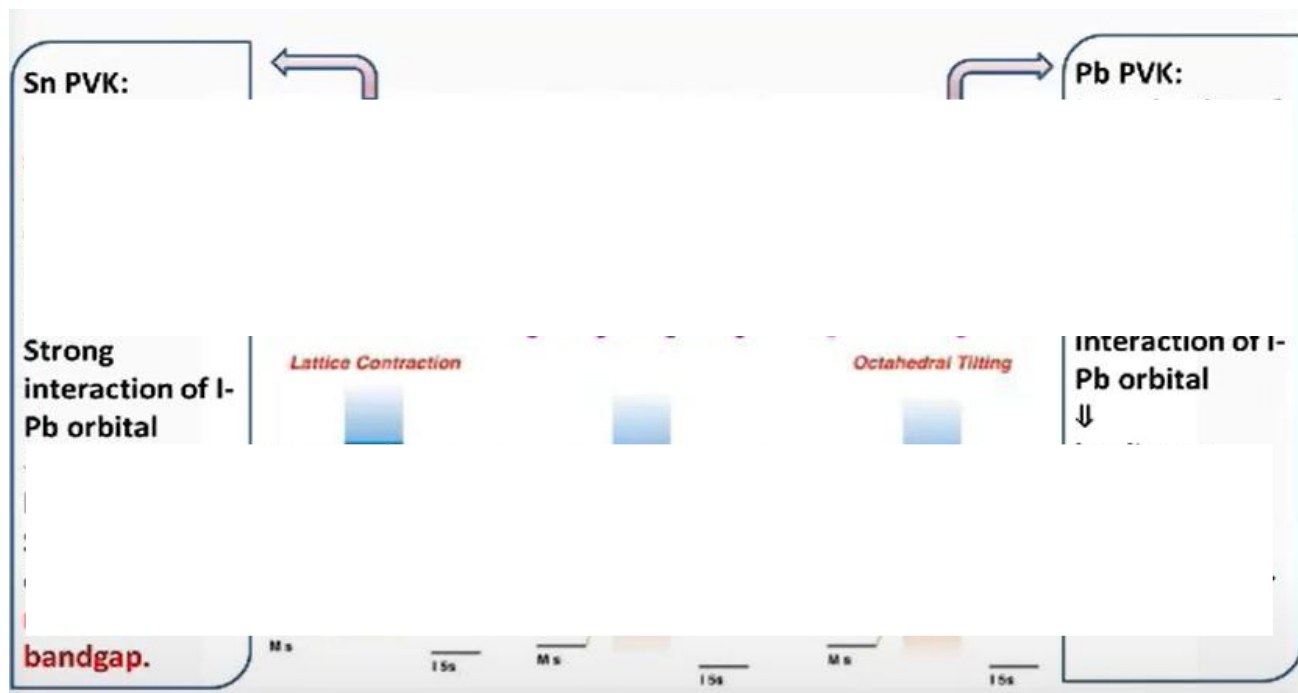
・長波長する為には、MAにBサイトに鉛を錫に変えると格子が小さくなりナローバンドする

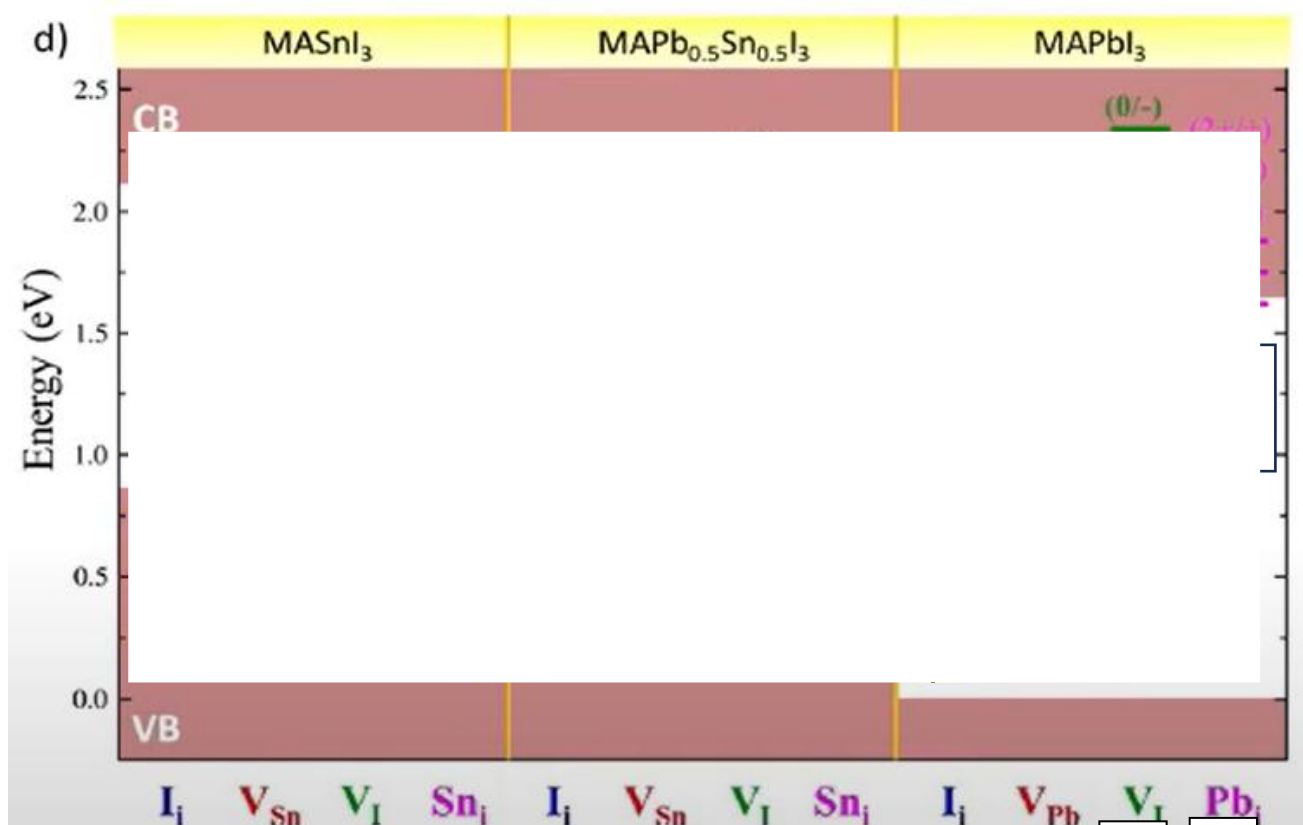
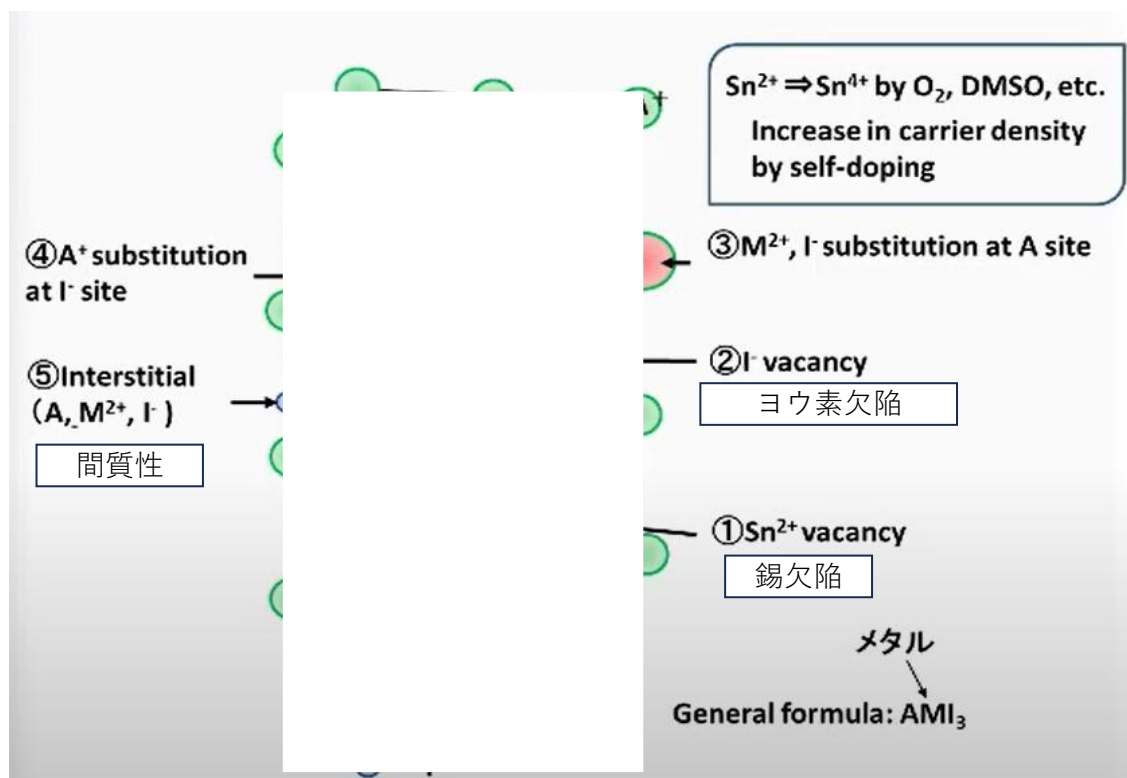
・更に長波長にする為には、錫と鉛をミックス（アロイ化）すると更にナローバンド（低く）しバンドギャップは1.13eVとなる（コンダクションバンドは、鉛の値となり、バレンスバンドは、錫の値となる為、結果バンドギャップが低くなる



⑲近い将来で量販ができ、寿命が20年とすると発電

コストが、石炭発電の12円/ kWhに対して6～7円/ kWhとなる。（低コスト出来る）





※鉛系は、欠損や格子間へ有っても結果無くなる

※錫系は、電荷トラップが出来る

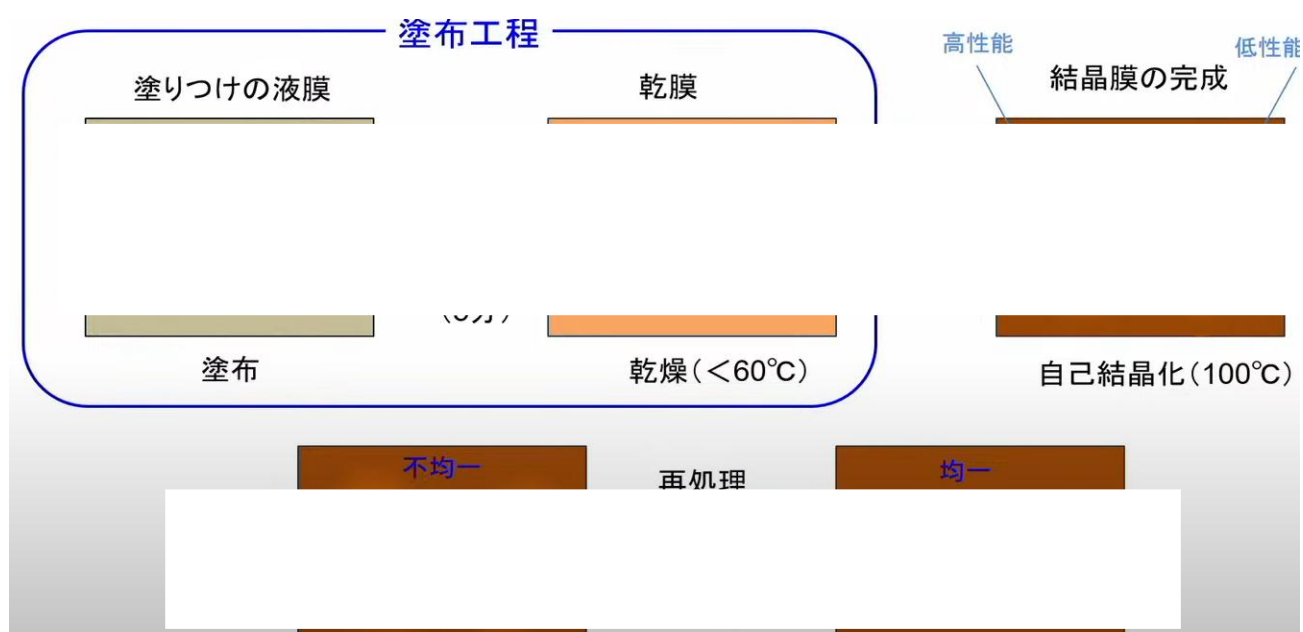
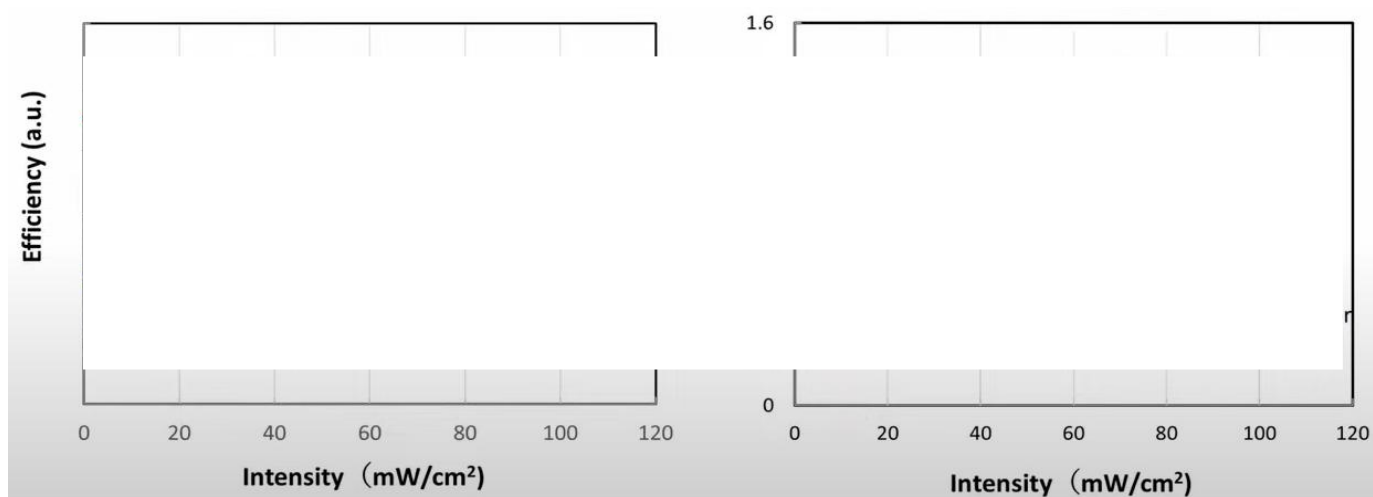
※更に錫系は、2⁺ が4⁺ になりやすく大きく効率が低下する

ヨウ素格子間

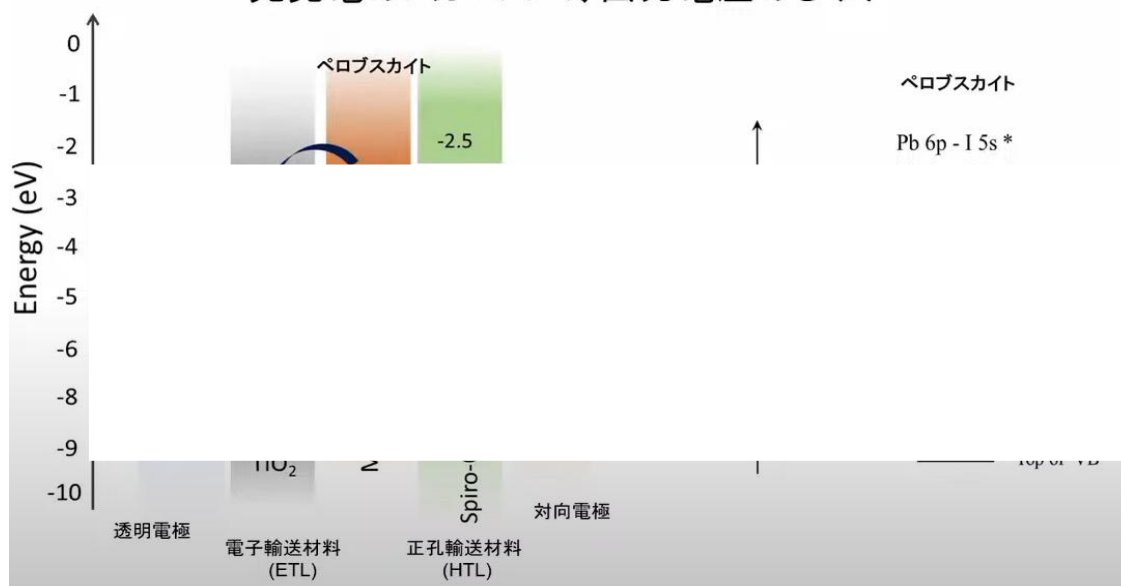
鉛欠損

ヨウ素欠損

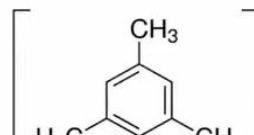
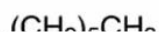
鉛格子間へ



光発電のメカニズム、出力電圧のしくみ

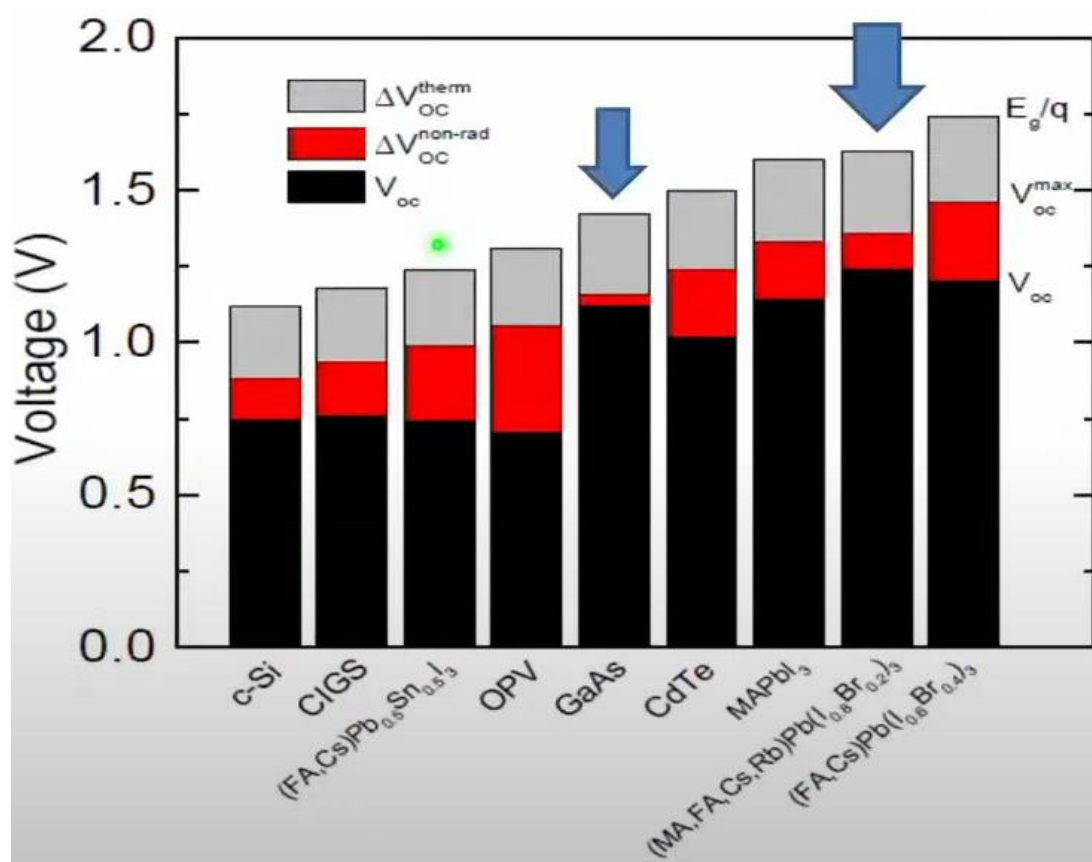


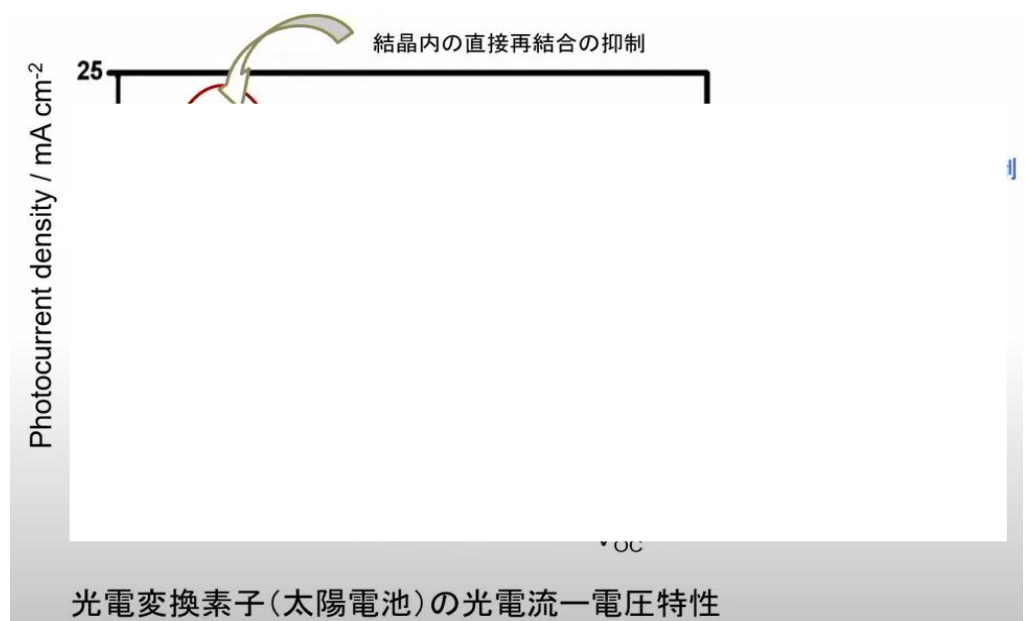
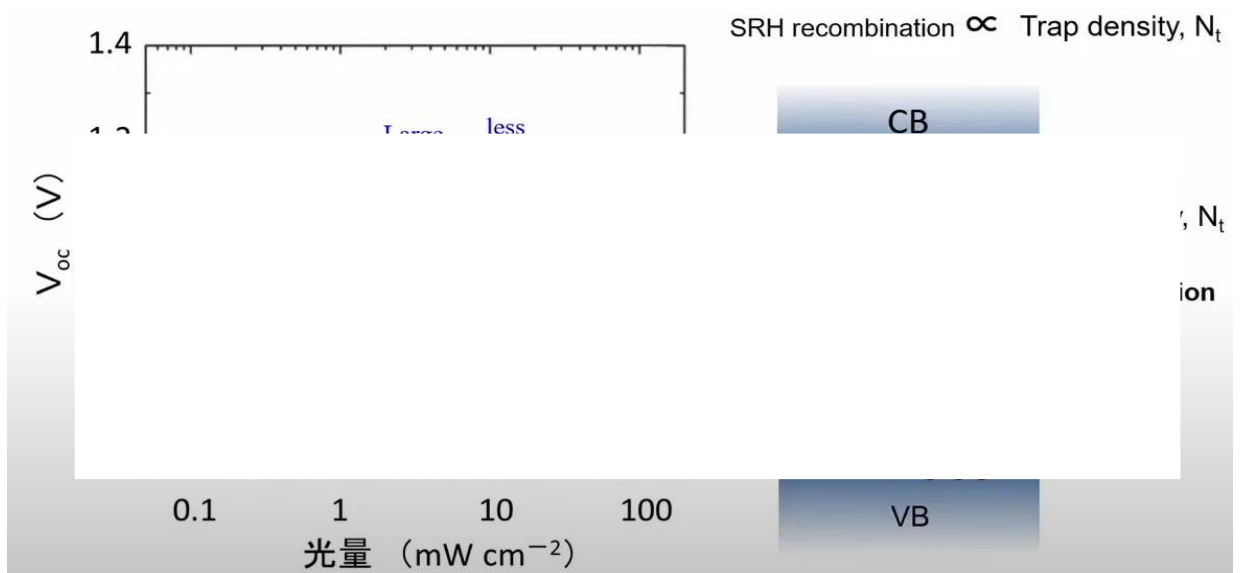
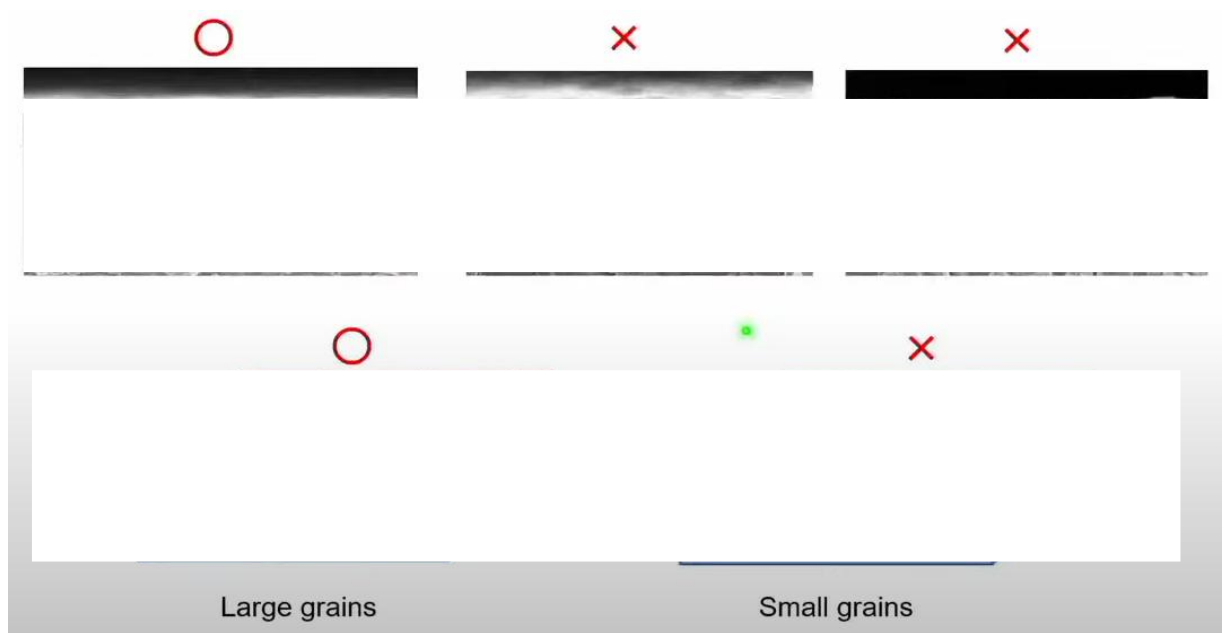
高分子正孔輸送材料



DTB

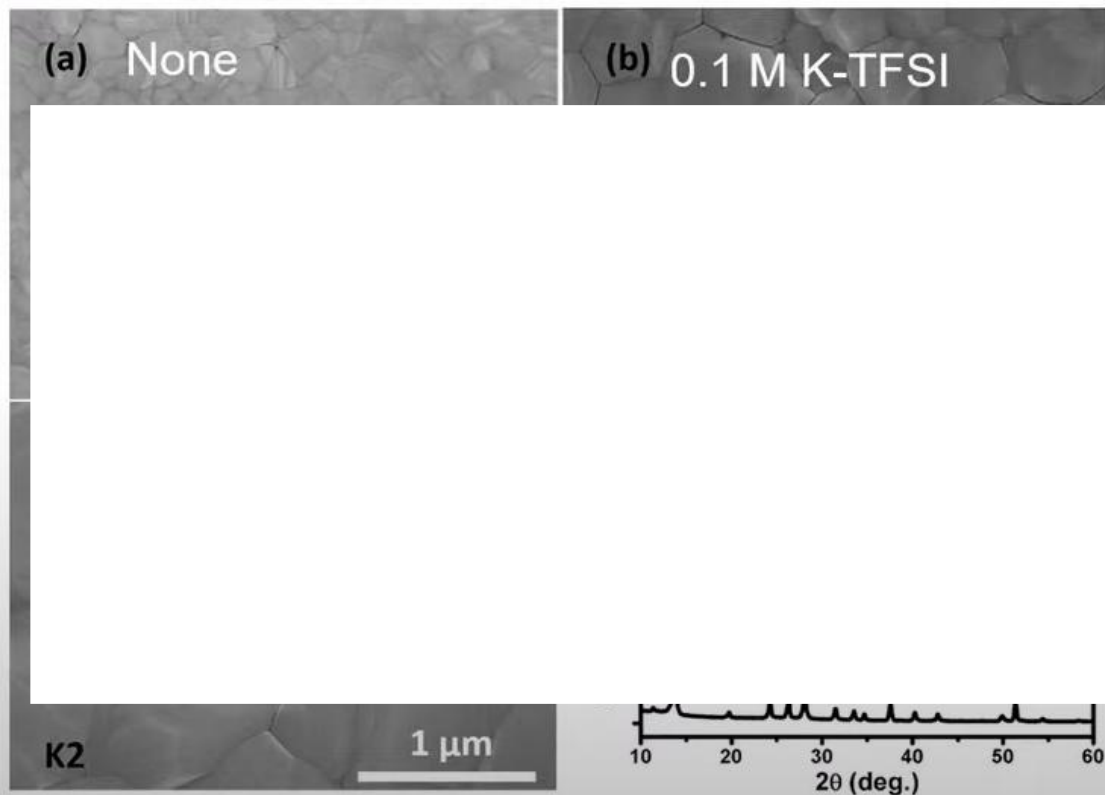
DTSTPD-BThTPD





結晶成長の下地(TiO_2)にカリウム(K)をドーピングして結晶を大粒子化

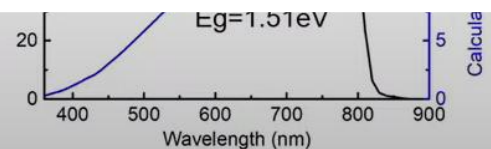
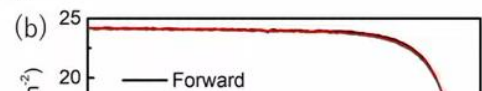
ペロブスカイト組成: $\text{Cs}_x(\text{FA}_{0.83}\text{MA}_{0.17})_{(1-x)}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$



V_{OC} はShockley–Queisser (SQ) の理論限界値($\sim 1.22\text{V}$)の近くまで向上

$V_{\text{OC}}=1.19\text{V}$, Bandgap= $1.51\text{ eV} \rightarrow V_{\text{OC}}$ loss, 0.32 V

Cf. GaAs $V_{\text{OC}}=1.12\text{V}$, Bandgap= 1.42 eV , V_{OC} deficit, 0.30 V



Kim et al. 2021, *Adv. Energy Mat.* 2021, 2102856.

5、課題

①原料は、ヨウ化鉛（毒性・発がん性があり、また血液、肝臓、神経に障害が出る）とヨウ化メチル（咳・咽頭痛・吐き気・嘔吐・下痢・頭痛・めまい・嗜眠・脱力感・痙攣・錯乱・死、症状は遅れて現われることがある）を使用しており、安全性に問題あり。

（スーパーコンピューター京で代替材料Aサイト3種類、Bサイト49種類、Xサイト3種類探索）を探索され、現在研究中）※鉛の使用量は、**4 g/m²**以下（5円玉1個分）です。（ウトモライト製**0.75 g/m²**、1円玉1個以下）（ペロブスカイト層の重さは約13 g/m²で、約10円玉3個分）

②面積を大きくすることが、難しく、性能にバラツキが出る。

③ペロブスカイトは、吸湿性が有る為、水分と反応し劣化し発電効率が下がる。

④赤外線（熱）や紫外線に、弱い性質が有り、ペロブスカイトの組成が混合ハロゲンの場合連続光放射において、結晶層の分相（ヨウ素化物と臭素化物の分相する）が、おこることが有り結晶が劣化し発電性能が、落ちる。

6、設置可能場所

6-1近い将来に設置場所

①シリコン系などは重い為（10～15K g/m²）設置できない場所（軽量屋根など）でも、軽い（約2K g/m²）ため設置できる。

②低い光量でも、発電できるため、外壁、窓ガラス、ブラインド、ベランダ、屋根北斜面、室内（机、内壁など）にでも設置出来る。



③曲げられるため、湾曲した場所にも設置できる。

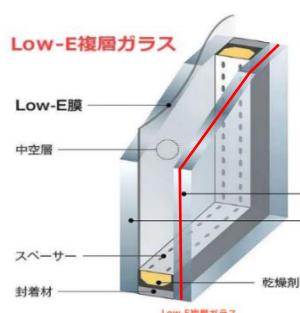


④EV自動車、農事用ハウスなど、あらゆる場所へ設置できる。



※現状は、課題とする、耐久性をクリアする必要が有ります。

⑤現在使用できる場所は、耐久性（水分や熱の影響）の課題が有り、**室内の内壁**や、屋外は、**Low-E複層ガラスにペロブスカイト太陽電池**を挟み込み使用することが考えられる。



◎水分と熱の課題を
クリアーした商品です

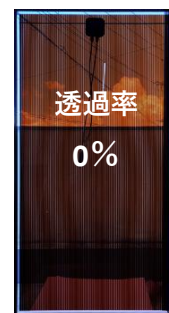


6-2ガラス基板ペロブスカイトの場合

①ビル等の屋上へZEB補助金を活用し設置する（条件有り）

- ・入射角が有利な為、平置きが可能で、設置容量が増える。
- ・風圧過重が軽減で、架台費用は、減る。
- ・平置きを想定しており、夏場の発電量は増加する。
- ・既存建築物、延べ面積2千㎡未満対象、補助率2/3

※要件有り



②ガラスビルへの室内側からの設置（防火区域での防火認定不要）

- ・透過率20%を室内から外に向け設置（空調使用料軽減）
- ・両面発電の為、室内LEDで少々発電する
- ・室内側からの設置で、施工費軽減
- ・建築物一体型太陽電池補助金を活用する（補助率、窓2/3、外壁やバルコニー1/2）

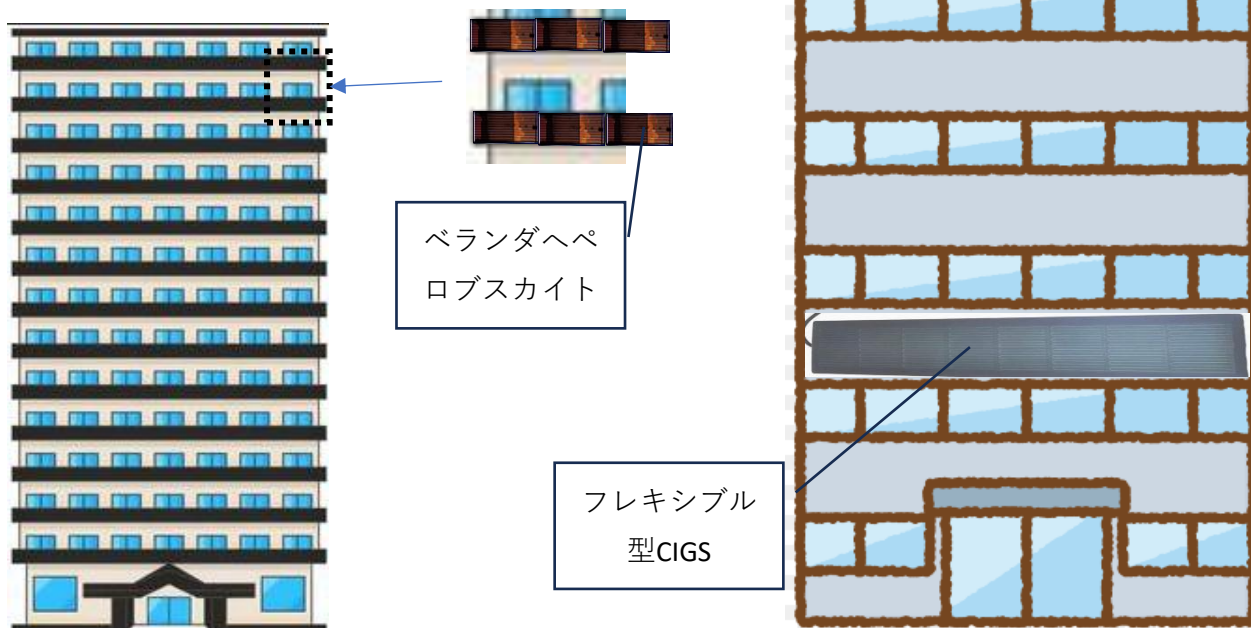
※要件有り



③壁面や、ベランダ、屋上手すりへの設置の場合

- ・バルコニーや屋上手すりは、ペロブスカイトを使用
- ・壁面は、フレキシブルCIGSを使用する
- ・建築物一体型太陽電池補助金を活用する（補助率、窓2/3、外壁やバルコニー1/2）

※要件有り

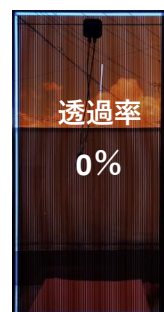
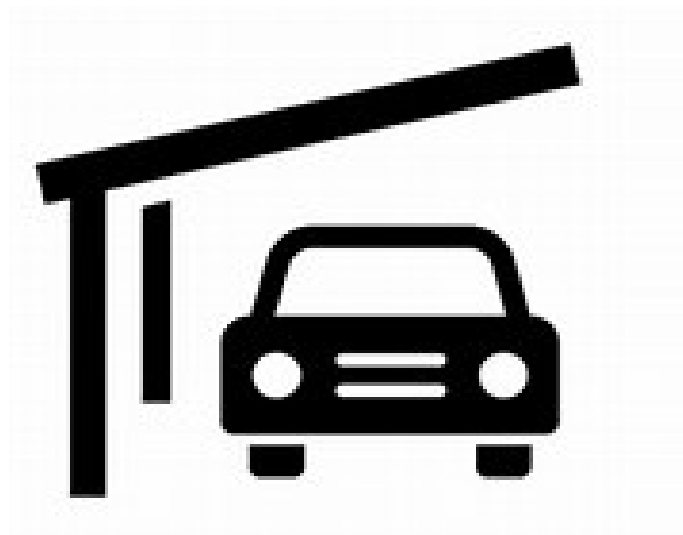


④カーポートへ設置

- ・両面発電で、発電量がアップする
- ・ソーラーカーポート補助金を活用する

(補助率、1/3、補助対象、カーポート架台や太陽電池等)

※要件有り



C、日本政府は

①2023年4月4日、岸田首相が「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」で、「ペロブスカイト型太陽電池」と呼ばれる次世代パネルを2030年までに普及させる方針を打ち出した。

この「ペロブスカイト太陽電池」、開発したのは日本人、宮坂力博士とその弟子だ。

薄くて軽量、曲げることもできる。宮坂博士には、ノーベル賞候補の呼び声もあがっている。

日本の発明なのに、実は世界はすでに大きく動き出し、中国では大量生産への動きも具体化している。

②ペロブスカイト太陽電池で2035年には8300億円まで市場規模となる見込み。

・東京23区内の建物屋上と壁面の一部に設置すると、原発2.5基分の発電が可能という。

（変換効率20%を想定）

③環境省は2030年度の太陽光発電の導入目標に約2000万キロ・ワット分を積み増す方針を決めた。原子力発電所20基分に相当する。

④製造技術の確立や試作品開発、性能試験などの費用を補助するもので、タンデム型の補助率は事業開始から3年間は3分の2（タンデム型も加え総額800万円）

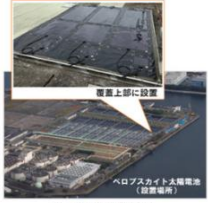
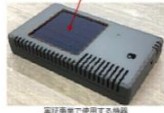
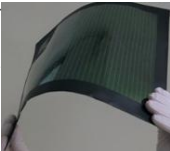
⑤省エネ法改定を経済産業省では2026年度から、エネルギー使用量の多い工場や店舗を持つ1万2000事業者の屋根置き太陽光パネルの導入目標とし義務付ける。フィルム型ペロブスカイト太陽電池の導入を促す。

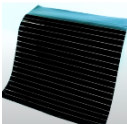
⑥環境省では、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の実装モデル補助金

（50億円を2025年度新規事業を開始）

⑦FIT制度（全量買取制度）で、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の場合、買取価格をアップする予定。

D、メーカーの開発動向

日本メーカー	型	変換効率	その他
NED補助1572億円（総額3145億円） 積水化学（NEDO基金、産学官との連携、東大、立命館大） 2025年度計画（100MW、250億円販売） ⑦東京国際クルーズターミナルへ実装	フィルム	30cm角 15%	①耐用年数は、樹脂でパッケージで10年製造法はロールtoロール。 ②大阪うめきた駅の広場 2025年設置。 ③東京都と協定締結し実証事業（下水道施設に9㎡太陽電池設置） 2025年まで実施 ④開発研究所2023年4月頃～2024年3月頃まで実証実験。 ⑤NTTデータ品川TWINSデータ棟2023年4月頃～2024年3月頃まで実証実験 ⑥東京電力が発表、東京都内幸町の再開発でサウスタワー設置。  
NED補助数十億円 エネコートテクノロジーズ（NEDO基金、産学官との連携、京大） ※京大のスタートアップ企業（どこでも電源） ⑥江の島シーキャンドルのイルミネーション	フィルム ガラス	7.5cm角16.9% 7.5cm角19.2%	①2024年にパネル大での量産予定。 ②東京都と、IOTセンサー室内で実証開始 ③トヨタとEV車用、開発開始 ④神奈川県と、普及協定（床天井部分に設置） ⑤KDDI電柱型基地局へ2024/2月設置、2割賄う。  
NED補助200億円 東芝（NEDO基金、産学官との連携、東大、立命館大） シートtoシート	フィルム	703cm²で 16.6%	製造法はステップメスкас塗布、2025年めどに事業化、フィルム型では、世界で最高効率製造法です。 
パナソニック シートtoシート	ガラス	 804cm²で 18.1%	①インクジェット塗布法。 ②世界最高効率だったが中国の極電光能20.5%に抜かれました。 ③ガラス建材一体型ペロブスカイト太陽電池を23年8月31日に発表5年以内に量産目指す。 

日本メーカー	型	変換効率	その他
カネカ (NEDO基金、産学官事業)	フィルム	 0.1cm² 19.8%	①厚さ10μmで10cm角のポリイミド基板ペロブスカイトを開発。 ②薄膜シリコンとペロブスカイトのタンデム型開発中。
アイシン (NEDO基金、産学官との連携、東大) NED補助1572億円	フィルム	30cm角 (50直列) 13.08%	①製造法はスプレー法で2025年に自社工場で実証 シートtoシート ②2030年の発売を目指す。

その他の日本メーカー

- ①ウシオ電機とフジコーは、水と酸素の侵入を完全に遮断した円筒型太陽電池を開発している。
- ②カーメイトは、電気通信大学と、フレキシブルPVKを開発
- ③GSアライアンスは、ペロブスカイトの光吸収材料を開発
- ④ペクセル・テクノロジーズ (桐蔭横浜大スタートアップ企業) は、自動成膜装置を開発、また23年10月に企業連合 (ペクセル・テクノロジーズ、フィルムメーカー麗光、半導体商社のマクニカ、化学品製造MORESCO、三菱ケミカルは技術協力) を設置し、3年以内に商品化する。
また、MORESCO、三菱ケミカル以外で、環境省のプロジェクト横浜の湾岸施設等、苛烈な環境下でのシステム構築する為、ペロブスカイト太陽電池を設置する。
- ⑤ホシデンは、2023年から本格量産
- ⑥倉元製作所はペロブスカイト製造予定
- ⑦三菱ケミカルは、OPVの技術を応用しPVKを開発、周辺材料開発、鉛フリー開発、エネコートへ投資
- ⑧リコーは色素増感太陽電池を、商業開始しているが、PVKの開発に力を入れる、今回東京都で、室内温度湿度センサーの電源として、25年まで検証する。(ロールtoロール)
- ⑨麗光 (京都市) は、フレキシブル型の封し技術で、フィルムを開発 (積水と提携)
- ⑩株式会社日揮は、どこでも発電所として、進めている。(エネコートへ出資し神奈川県実証)
- ⑪日本精化は正孔輸送材料 (産総研などとSpiro-MeOTAD開発) を販売
- ⑫MORESCO (化学製造) は、OPVを開発、宮坂特任教授が主導する企業連合メンバー
- ⑬浜松ホトニクスはペロブスカイトの測定装置を開発
- ⑭藤川は輸送層開発
- ⑮ヨウ素は伊勢化学、K&O、合同資源など
- ⑯キャノンは劣化を防ぐ素材開発
- ⑰ENEOSは、主原料増産
- ⑱住友重機工業、ペロブスカイト太陽電池の生産コスト200分の1以下抑える成膜技術
- ⑲京大若宮教授がヨウ化鉛 (PbI₂) を開発 (脱水) し東京化成工業が販売

海外メーカー	型	変換効率	その他
サウレ・テクノロジーズ (ポーランド)	フィルム	15.74cm²で 10.5%	2021年5月に5000m ² 工場を開設、IoT端末向け、100メガワット精算ライン
オックスフォードPV (英国)		タンデム型 29.52%	シリコンとPVK。シリコン型と合わせた電池の工場を建設
大正微納科技 (中国) 2018/11設立、42名	ガラス	3mm角21%	22年7月シートtoシート大型パネルを量産を開始、23年には10倍、大規模工場 24年6月製造開始
	フィルム	18%目指す	
 無錫極電光能科技有限公司 (中国) UtmoLight Co., Ltd (ウトモ ライト) 2021/12設立、52名 (研究者10名)	ガラス	63.95cm²で 20.5%	①世界最大規模のペロブスカイト太陽電池生産ラインがこのほど稼働した。 ②江蘇省無錫市に年産能力150MW (15万kW) の工場を設置している。 ③モジュール30cm角変換効18.6%更に20.5% (JETにて測定し認定登録した) ④1200×600サイズにて変換効率13% TUV認証取得 (18%TUV審査中)
万度光能 (中国)			2023年6月までに、200MWの印刷可能なメゾスコピックペロブスカイト太陽電池パネルの第2大型(試作)生産ラインの建設が始まります。
杭州織納光電科技有限公司 300名 (技術者200名)	ガラス	効率20%	2015年設立2020年に100MWライン設立 (100cm×200cmサイズなど)
昆山協鑫光電材料GCL	ガラス	効率18%	2016年設立100MW量産ライン準備 1×2m360W18%作成
台湾	ガラス	600cm²で13%	サイズ200×300販売は未だ

※量産し販売を開始しているのは、中国やポーランド。

- ①Cubic(米国マサチューセッツ州)
- ②EMC (米国ニューヨーク州)
- ③Evolar (スウェーデン)
- ④Greatcell Energy(オーストラリア)
- ⑤Perovskia (スイス)
- ⑥Hint EnerugyとSwiftSolar (米国)
- ⑦ペロブスカイト技術 (台湾)
- ⑧Microquanta Semiconductor(中国)
- ⑨nTact (米国テキサス州)
- ⑩First Solar(米国) スイスのエボラ (PVK開発) を買収
- ⑪中国核工 (CNNC) は、サイズ60×120cm効率18.2%

E、大学や研究所の開発動向

大学や研究所	開発動向
宇宙航空研究開発機構	宇宙用PSCを開発
沖縄科学技術大学院大学	①PSCモジュール面積22.4cm ² （5cm角）2000 h 光照射後の性能86%を維持した（産業技術総合研究所では変換効率16.6%を達成、今後大型化を図り商業化を目指す） ②多環芳香族炭化水素を正孔輸送層に用い長寿命。
京都大学	スタートアップ企業エネコートテクノロジーを立ち上げスズ系PSCを開発、 スズ系 PSCで変換効率11.5%だった。15~20%の変換効率は見えてきた。（CH ₃ NH ₃ SnI ₃ ）
金沢大学	PSCの高性能電子輸送層を開発、変換効率30%は可能している
筑紫大学	PSCの劣化機構を解明
電気通信大学	円筒型PSCモジュールを開発、鉛フリー（スズ系）で世界最高
桐蔭横浜大学	①PSCのパイオニアで、自動成膜装置を開発。 ②鉛フリーでは AgBi₂l₇ に注目している。
東京工業大学	PSCを光無線給電に応用。成膜プロセスを簡素化し安定した高品質の成膜を行うため CsPbBr₃ 粉末を用いシングルソース蒸着と言う新たな新たな成膜プロセスを検討。
東京都立大学	光無線にPSCを応用（ CH₃NH₃PbBr₃ ）
山形大学	逆構造のPSCを開発
NIMS （物質・材料研究機構）	ペロブスカイト結晶のAサイトに有機アミン類（安価）の分子不働態化剤（ ベンゾフェネン を発見）を注入することで、耐久性を改善する技術を発表した。変換効率を落とさず、耐久性を確保。（ 岡山大学 にて ベンゾフェノン 発見）
兵庫県立大学・紀州技研・化学技術振興機構	電子輸送層上に、多孔質TiO ₂ を成層し、この上に多孔質ZrO ₂ 、多孔質カーボン成層しペロブスカイト液を、しみこませ、耐久性（20年）を向上（ 多孔質カーボン電極型 ：伊藤省吾教授）
名古屋大学・レゾナック	電子輸送層にフラーレン誘導体（塊ずらい）を使用し、耐久性（20年）と変換効率（22%）も向上
オーストラリア国立大学	PSCタンデム型を開発、 27.7%
スイス連邦工科大学	グアニジウムイオンを添加で1000 h で7割低下を維持、変換効率
英国ケンブリッジ大学	PSCタンデム型の高耐久化を実現
フランス国立太陽エネルギー研究所	フレキシブルPSCで800 h で初期効率90%を維持（33mm ² ）
ドイツヘルムホルツセン	PSCタンデム型の高効率技術を開発、 FASnI₃ スズ系PSCで世界
国際研究所imec	PSCタンデム型を開発、PSCとCIGSのタンデムで変換効率24.6%を達成

大学や研究所	開発動向
ドイツ非営利研究機関ISFH	PSCとシリコンのタンデム型を開発、SiとPSCのタンデムで30%以上を目指す
韓国のKAIST	PSCタンデム型を開発、SiとPSCのタンデムで30%以上を目指す
サウジアラビア王立科学技術大学	PSCタンデム型を開発 PSC変換効率23.8%を達成
独カールスルーエ工科大学	PSCベースのタンデム型を開発
リトアニア カウナス工科大学	PSCの新規正孔輸送材料を開発
華中科技大学	PSCの大面積技術を開発 (FACsPbI ₃ Br)
マサチューセッツ工科大学	PSCの長寿命化を開発
シンガポールナンヤン工科大学	CsFAPb (I, Br) 3薄膜で成膜平均効率16.35%で最高18% (アクティブエリア0.09cm ²)、また末封止でも80°C700 hで高い耐久性を示す。
米国再生可能エネルギー研究所	オールPSCタンデム開発
豪クイーンズランド大学	CsFAPbI₃ で変換効率16.6%を達成
ローマ トルヴェルガタ大学	PSCとSiのタンデム型で26%超
陝西師範大学センセイハン	電子輸送層にユウロピウムイオンを添加したPSCの変換効率は20.14%。
オランダ アイトホフェン	PSCとCIGSのタンデム型で変換効率28.7%
台湾国立大学	36.6cm ² でモジュール変換効率16.06%。
韓国UNIST	FAPbI₃ 薄膜で、照明下で25.8%を達成
豪ニューサウスウェールズ	高耐久のPSCを開発
独ZSW	PSCとCIGSのタンデム型を開発
中国・南京大学	英国オックスフォード大共同WPVKタンデム型20cm角21.7%

※中国とスウェーデンの研究チームは、唐辛子のカプサイシンを使用し変換効率を21.88%。

※MAの熱安定性は、**120°C**まで、FAでは、**150°C**まで安定し、光吸収も長波長側へ**30nm**伸びる。(Csは300°Cまで安定)

※MA、FAに**Cs** (セシウム) を添加した3カチオン混合で、室温でも質の高い平坦な結晶膜が作成できる、また、第4カチオンとしてRb (ルビジウム) の添加すると、効率と保存耐久性が向上する。

※変換効率や耐久性を向上のための、ミックスPVKは、

FA_{0.83}MA_{0.17} (Pb_{0.97}Ge_{0.03}) (I_{0.83}Br_{0.17})₃

Cs_{0.05}FA_{0.8}MA_{0.15}Pb (I_{0.85}Br_{0.15})₃

Cs_{0.05}FA_{0.83}MA_{0.17}Pb (I_{0.95}Br_{0.05})₃

Cs_{0.05}FA_{0.9}MA_{0.05}Pb (I_{0.95}Br_{0.05})₃ (フッ素化合物をドーパで1600 h 85°C50%で効率20→17%)

FA_{0.85}MA_{0.15}Pb (I_{0.85}Br_{0.15})₃

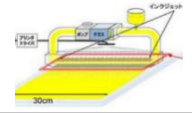
FA_{0.79}MA_{0.16}Cs_{0.05}Pb (I_{0.83}, Br_{0.17})₃

ペロブスカイト組成: Cs_x(FA_{0.83}MA_{0.17})_(1-x)Pb(I_{0.83}Br_{0.17})₃

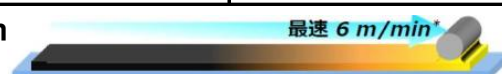
Cs_x (FA_{0.83}MA_{0.17})_(1-x)Pb (I_{0.83}Br_{0.17})₃ on TiO₂

Cs_{0.05} (FA_{0.79}MA_{0.16}) Pb (I_{0.83}Br_{0.17})₃

F、ペロブスカイト塗布方法の比較

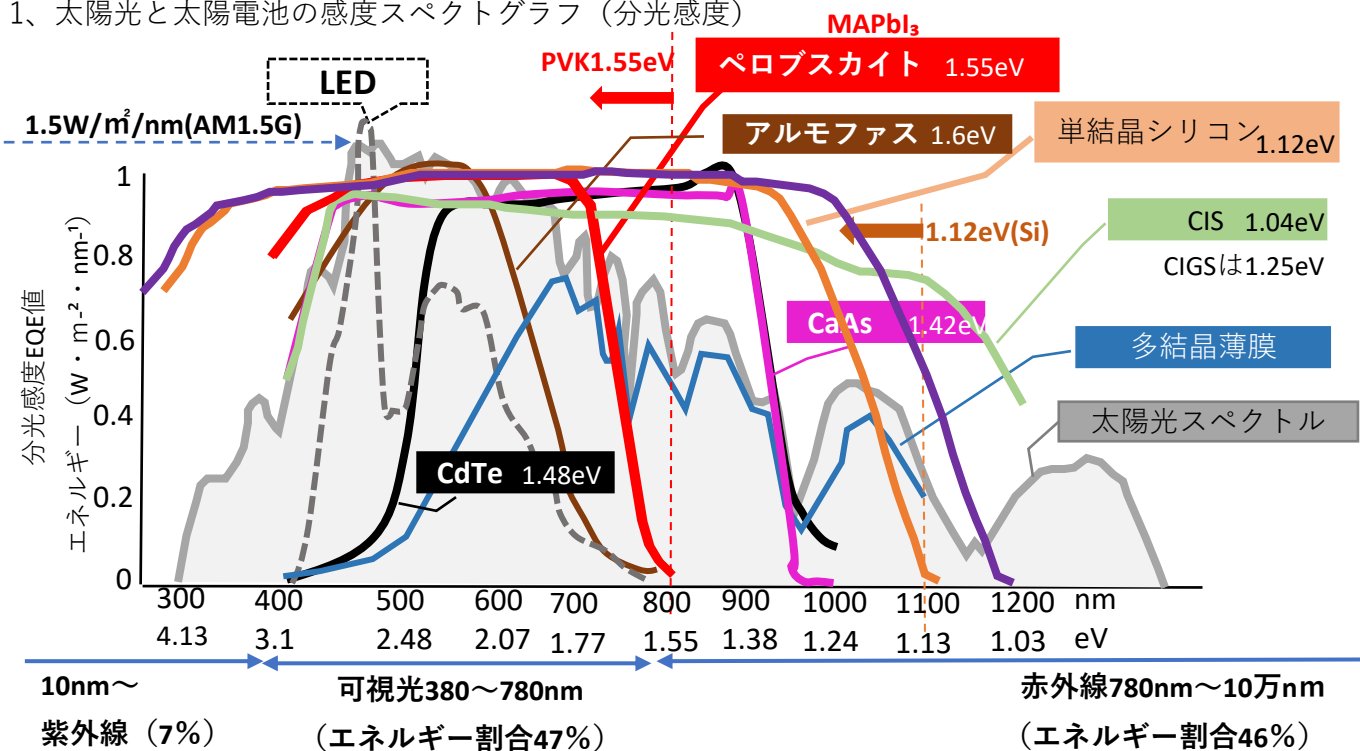
項目	スピンコート	ロールtoロール		シートtoシート
設備費				
塗布方法	スポイト	ダイコート	インクジェット	インクジェットなど
材料利用効率	×	△	△	○
維持費	○	△	△	△
膜厚精度	○	△	△	○
大型化	×	○	○	○
サイズ自由度	×	△	△	○
凹凸・うねり対応	△	△	△	○
メーカー	大学	積水化学	リコー	東芝、パナソニック、アイシン、エネコート、中国
備考	研究時	日本のトップ		ガラス基板へ塗布も

○東芝はステップメニカス塗布法（印刷方式）で、6m/min



G、ペロブスカイトとシリコンの比較

1、太陽光と太陽電池の感度スペクトルグラフ（分光感度）



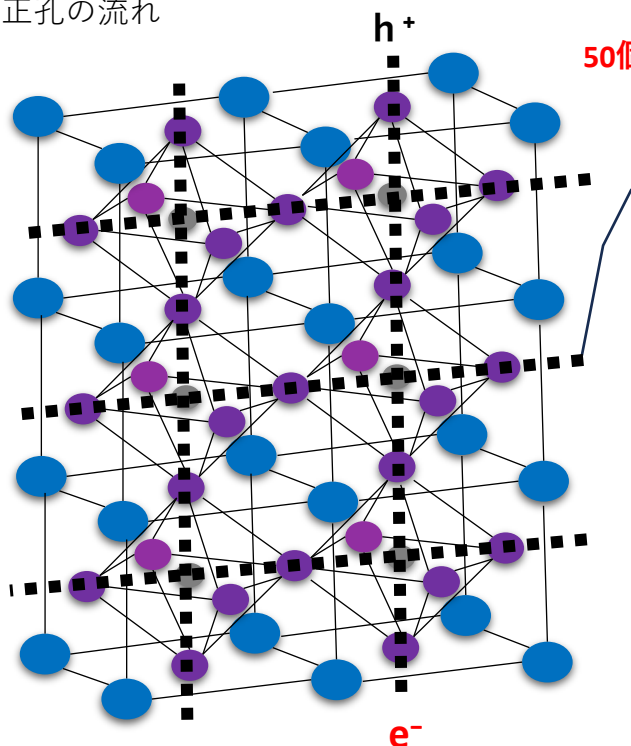
※1、MAPbI₃ペロブスカイトは、エネルギー感度が高く、可視光を有効的に、吸収でき有利

※2、シリコンは、可視光での光吸収係数が低く、赤外線で感度が高い

※3、シリコンの場合、分光感度は、可視光線から赤外線まで高いが、一つの半導体で、全ての太陽エネルギーまで吸収使用とすると、エネルギーの低い赤外線の影響を受け、可視光エネルギーを吸収できなくなる。（化合物系は、そう言うことはない、ペロブスカイトも化合物）

$$1240 \div E_g \text{ (eV)} = \text{波長 (nm)}$$

電子と正孔の流れ



50個から100個の結晶が重なっている状態

電子と正孔の流れ

ヨ

ウ素→鉛→ヨウ素→鉛

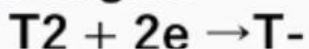
Ge²⁺によるSn⁴⁺のSn²⁺への還元

Redox potential

酸化還元電位

強い酸化剤

Strong oxidation reagent



0.485

1日攪拌

強い還元剤

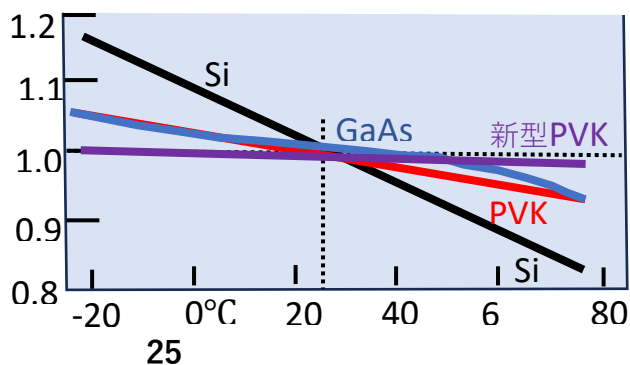
Strong reducing reagent

2、温度による変換効率低下比較

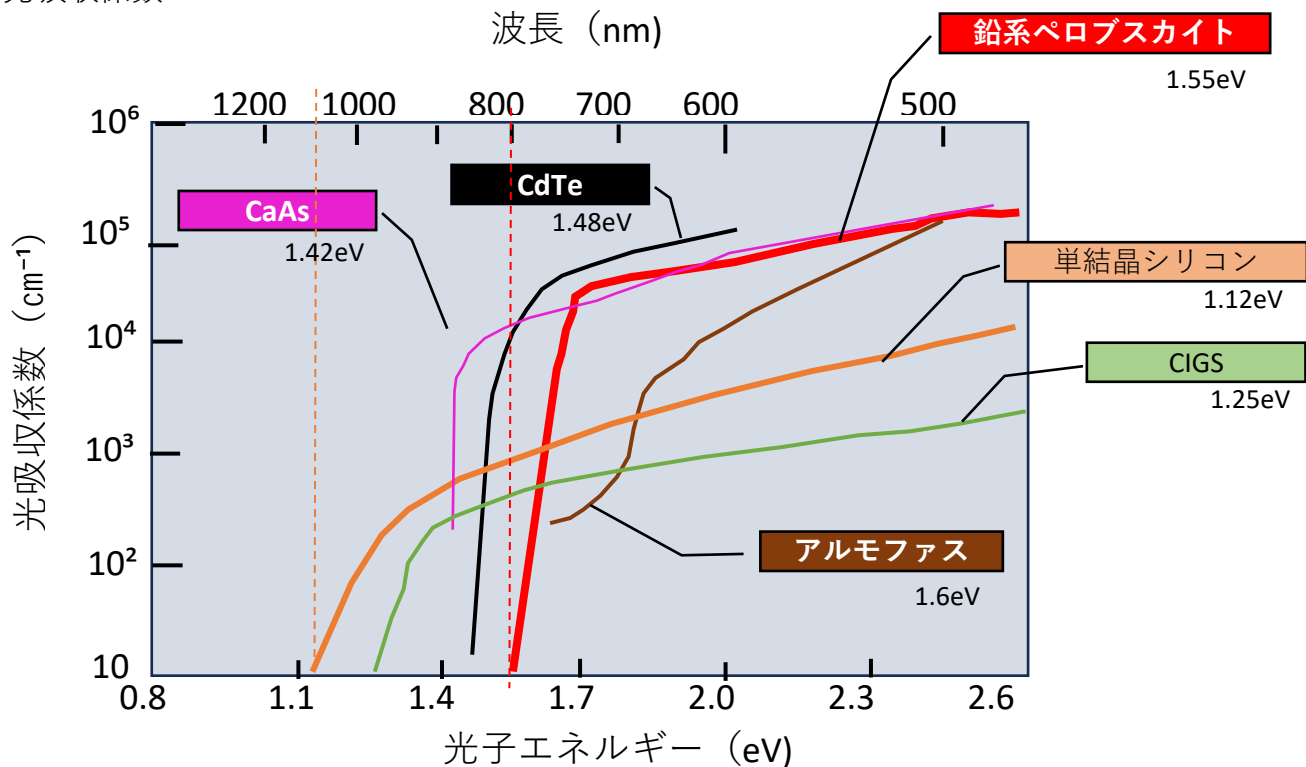
PVK:



※新型PVKの温度損失0.003%/°Cと
表面温度80°Cでは、0.17%の損失
(シリコンは、15~20%)

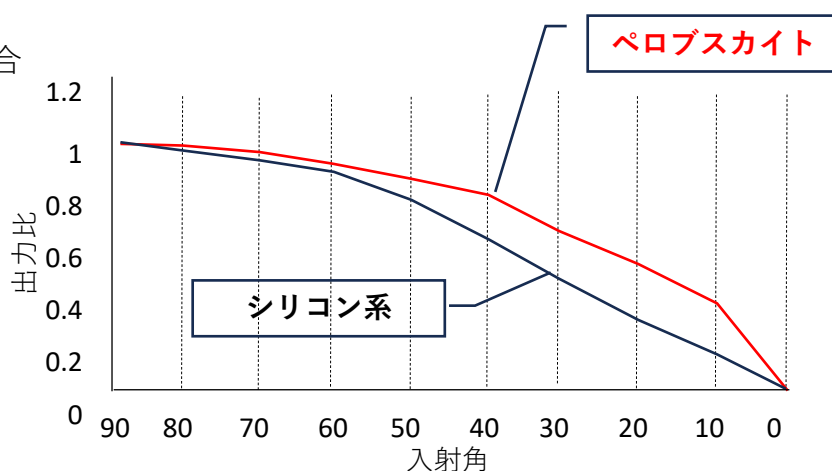
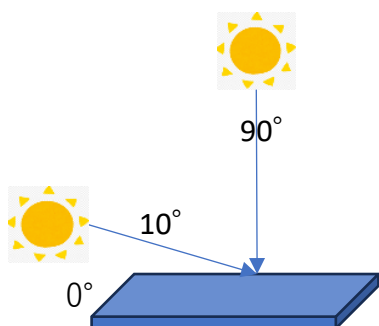


3、光吸収係数



4、角度による比較

・水平0° で、出力比1とした場合

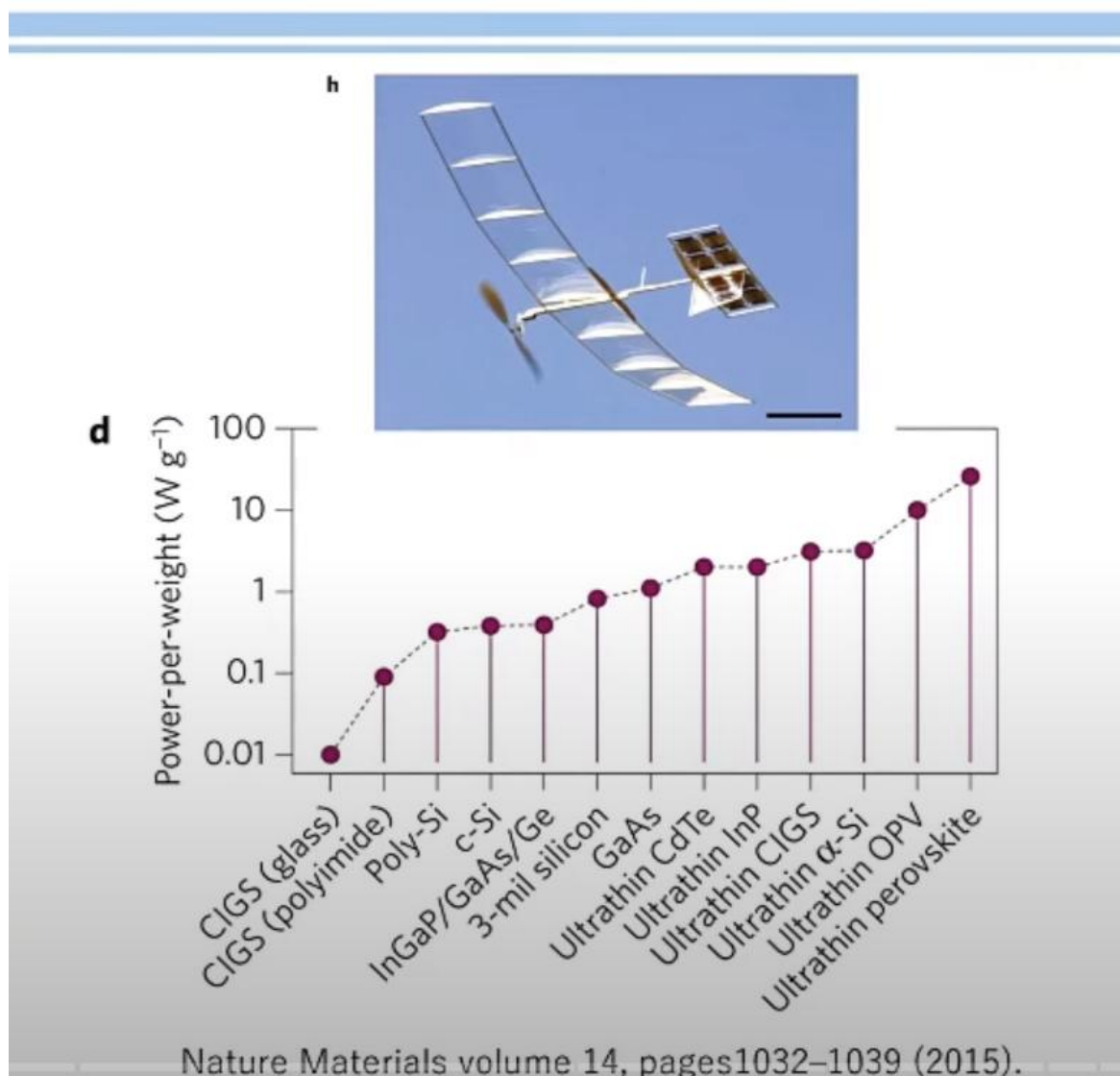


5、ペロブスカイト (PVK) とシリコン (Si) の比較まとめ

- ①ペロブスカイト結晶構造自体、光の吸収量が多い
- ②ペロブスカイトは、薄膜でも、可視光（光子エネルギーが高い）の全域を有効的に、吸収（発電）できる
- ③ペロブスカイトは、薄く、電極や電子輸送層も透明の為、発電層への到達が、容易のため低い光でも変換効率が良い
- ④入射角度（10～40°）が、シリコンに比べ、P V Kは、20%発電量が増加する
- ⑤シリコンは、ペロブスカイトの10倍の厚みが必要で、また空乏層（発電層まで表面から4 μm）まで透明性が無く到達しにくい、また可視光（侵入長500nm0.45 μm、800nmは5.88 μm）の光吸収は下がり赤外線（1000nmは78.1 μm、1200nmは227mm）は、侵入しやすい為、この波長では、感度が上がる
- ⑥温度損失が低い（7%程度、シリコンは、15～20%）

6、重量当たりのパワー比較

軽量太陽電池



7、シリコン太陽電池の面積当たりの鉛の含有量

メーカー	重さ (Kg)	面積 (m ²)	出力 (KW)	効率 (%)	Kg当り 鉛量 g	フレーム抜 (g/m ²)	全体の 鉛量 g	m ² 当りの 鉛量 g
メーカーA	22.0	2.01	410	20.4%	43	9,226.9	797.5	396.8
メーカーB	22.0	2	445	22.3%		9,273.0	797.5	398.7
メーカーC	28.7	2.58	555	21.5%		9,377.6	1040.3	403.2
平均	24.23	2	470	21.4%		9,292.5	878.4	399.6

※含有量試験の実施に当たり、フレームは対象外にしている。（フレームを除いた重量）

※従来のシリコン太陽電池パネルは、相当頑丈に作られている為、**リサイクルの問題**が有り
リサイクルには、高額のコストがかかるため、現状では、**地中埋設**しかないと言われており、
2040年には、総ごみ量の1.8%（東京ドームの約2杯分）に至ると試算されている。

①一般的なペロブスカイト太陽電池(PVK)の鉛含有量は、4g/m²で、シリコンは399g/m²の100分の1です。

図表 51 含有量試験結果

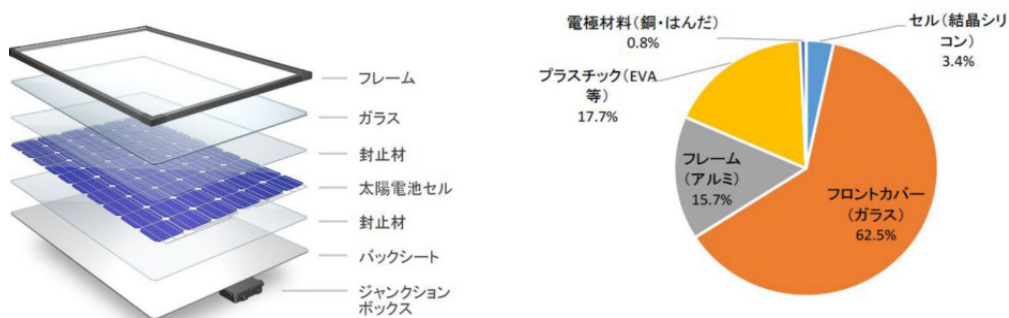
種類		製造年	部位	Pb 鉛	Cd カドミウム	As ヒ素	Se セレン	T-Hg 水銀	Cr ⁶⁺ 六価クロム	Be ベリリウム	Sb アンチモン	Te テルル	Cu 銅	Zn 亜鉛	Sn スズ	Mo モリブデン	In インジウム	Ga ガリウム	Ag 銀	検 数	
結晶シリコン系 (単結晶)	国内	～1999	フロントカバーガラス	20	—	<1	—	—	—	—	5	—	—	—	—	11	—	—	—	3	
			電極	5	—	<1	—	—	—	3	—	—	—	—	—	9	—	—	—	6	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	110,000	—	—	—	—	—	—	—	740,000	—	69,000	—	—	—	—	30,000		
		2000～2009	フロントカバーガラス	85,000	—	—	—	—	—	—	—	550,000	—	490	—	—	—	—	—	18,000	
			電極	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	1,900	3	<1	<1	<1	<0.5	<1	69	<1	4,500	220	1,900	4	1	17	6,200	3	
		2010～2013	フロントカバーガラス	1,800	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	20	<1	320	51	1,700	3	<1	15	4,300	3	
			電極	310	—	1	—	—	—	—	2,100	—	—	—	—	2	—	—	—	6	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	<1	—	<1	—	—	—	—	1,600	—	—	—	—	<1	—	—	—	6	
		2008～2013	フロントカバーガラス	1,100	—	—	—	—	—	—	—	—	730,000	—	150,000	—	—	—	25,000	3	
			電極	44	—	—	—	—	—	—	—	—	670,000	—	950	—	—	—	4,900	3	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	110	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	12	<1	13	13	180	8	68	7	3,200	3	
		2017～	フロントカバーガラス	32	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	8	<1	11	13	58	7	58	6	3,200	3	
			電極	270	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	10	<1	460	40	1,100	3	3	7	5,300	3	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	220	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	6	<1	71	11	270	2	2	3	3,100	3	
		海外	2008～2013	フロントカバーガラス	120	—	4	—	—	—	—	2,200	—	—	—	—	<1	—	—	—	9
				電極	16	—	<1	—	—	—	—	1,200	—	—	—	—	—	—	—	—	9
				ガラス・EVA・結晶・バックシート	170	—	—	—	—	—	—	—	950,000	—	18,000	—	—	—	23,000		
	2017～		フロントカバーガラス	5	—	—	—	—	—	—	—	—	780,000	—	3	—	—	—	280		
			電極	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	290	<1	25	<1	<1	<0.5	<1	96	26	160,000	170	3,700	7	400	6	9,400	9	
	2008～2013		フロントカバーガラス	1	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	9	<1	49	12	26	2	<1	<1	150	3	
			電極	10	—	<1	—	—	—	—	780	—	—	—	—	<1	—	—	—	9	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	5	—	<1	—	—	—	—	510	—	—	—	—	<1	—	—	—	9	
	2017～		フロントカバーガラス	58,000	—	—	—	—	—	—	—	—	880,000	—	97,000	—	—	—	22,000	1	
			電極	9	—	—	—	—	—	—	—	—	760,000	—	9,800	—	—	—	84	1	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	66	<1	3	<1	<1	<0.5	<1	2,200	2	140	100	87	3	<1	1	470	3	
	2008～2013		フロントカバーガラス	27	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	1,200	<1	21	16	28	1	<1	1	280	3	
			電極	10	<1	1	<1	<1	<0.5	<1	52	<1	110,000	26	19,000	2	<1	<1	120	1	
			ガラス・EVA・結晶・バックシート	7	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	36	<1	94,000	13	16,000	2	<1	<1	59	1	
	2017～	フロントカバーガラス	21	1	14	<1	<1	<0.5	<1	1,500	1	44	33	9	<1	<1	<1	<1	1		
		電極	43,000	<1	2	<1	<1	<0.5	<1	<1	3	900,000	6	54,000	<1	49	<1	3,200	1		
		ガラス・EVA・結晶・バックシート	43,000	<1	2	<1	<1	<0.5	<1	<1	3	900,000	6	54,000	<1	49	<1	3,200	1		
2017～	フロントカバーガラス	62	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	72	6	26	12	57	<1	<1	2	1,400	1			
	電極	62	<1	<1	<1	<1	<0.5	<1	72	6	26	12	57	<1	<1	2	1,400	1			
	ガラス・EVA・結晶・バックシート	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

出典：「平成 25 年度 使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル促進調査委託業務 報告書（環境省）」

平成 30 年度リサイクルシステム統合強化による循環資源利用高度化促進業務（環境省）において

三菱総合研究所作成

結晶シリコン系太陽電池モジュール（パネル）の構造と重量比



出所：太陽光発電開発戦略 2020（NEDO PV Challenges 2020）

<https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>

一般社団太陽光発電協会

②鉛の含有基準（**0.1wt/%**以内）※フレーム部分を除いた重量で割る

シリコン太陽電池の鉛の含有量は、約4.3wt/%で基準の**0.1wt%**を大幅に超過しています。

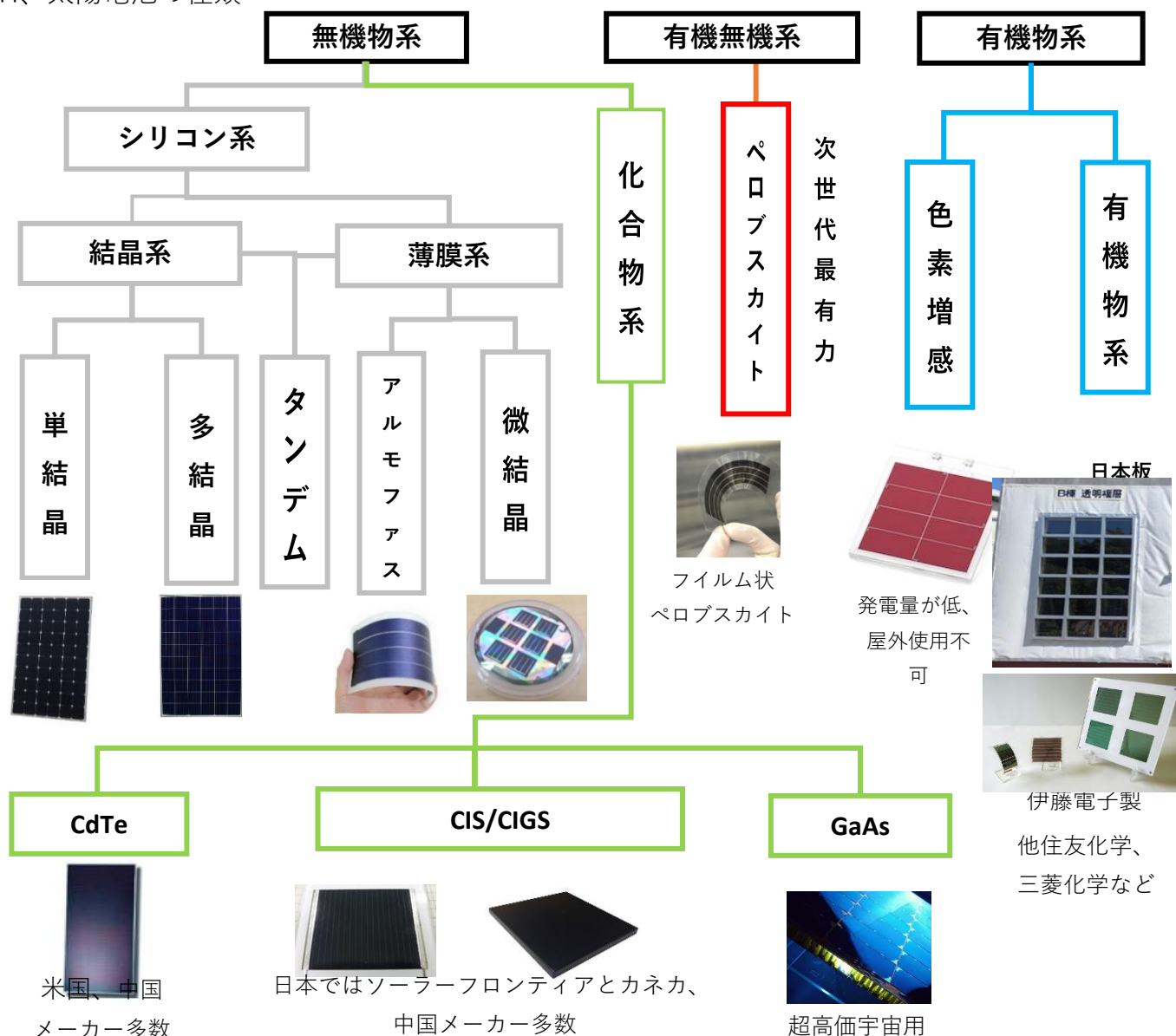
・旧型シリコン太陽電池の計算：399 g/m² ÷ 9292 g/m²（フレーム除いた重量）= **4.3wt%**

・通常フレキシブルPVK太陽電池の計算：4 g/m² ÷ 1000～4000 g/m² = **0.4～0.1wt%**

・最新商品ガラス型PVK太陽電池の計算：0.75 g/m² ÷ 15970 g/m² = **0.0047wt%**

（基準以内商品は、一般産業廃棄物として処理でき、リサイクルできる）

H、太陽電池の種類



1、太陽電池の大別すると

①無機物系のシリコン系（単一元素）と化合物系（複数元素）と有機無機ペロブスカイト
有機物系の有機物と色素増感に分けられます。

2、シリコン系（Siケイ素）の種類と特徴（1954年誕生し変換効率6%）

①単結晶型（c-Si）

- ・発電効率が約20%以上と高く、希少物質を使用しない事から世界シェア82%。
- ・製造時に砂溶解に2000°Cでポリシリコン溶解に1400°Cの熱量が必要の為、製造コストが高く環境に相当悪い。
- ・光吸収係数が低い為、PN接合の厚みが150～200 μm と厚い（多結晶も同様）
- ・住宅や小規模施設に多く使用される。
- ・熱損失が15～20%と悪い。（多結晶も同様）
- ・P型半導体はSiに、不純物ホウ素（B）をドーピング（添加）し正孔（ホール）が発生、N型半導体はリン（P）ドーピングし自由電子が生まれる。

②多結晶型（p-Siまたは、mc-Si）

- ・発電効率が約15%～18%（原子が規則正しく配列していない）やや低いが、世界シェア14%で単結晶と合わせると96%（2020年）。
- ・単結晶シリコンを作る際にできたシリコン粒などを利用し作られるため、製造コストが安い。
- ・大規模施設に多く使用される。

③アモルファス型（非結晶a-Si）

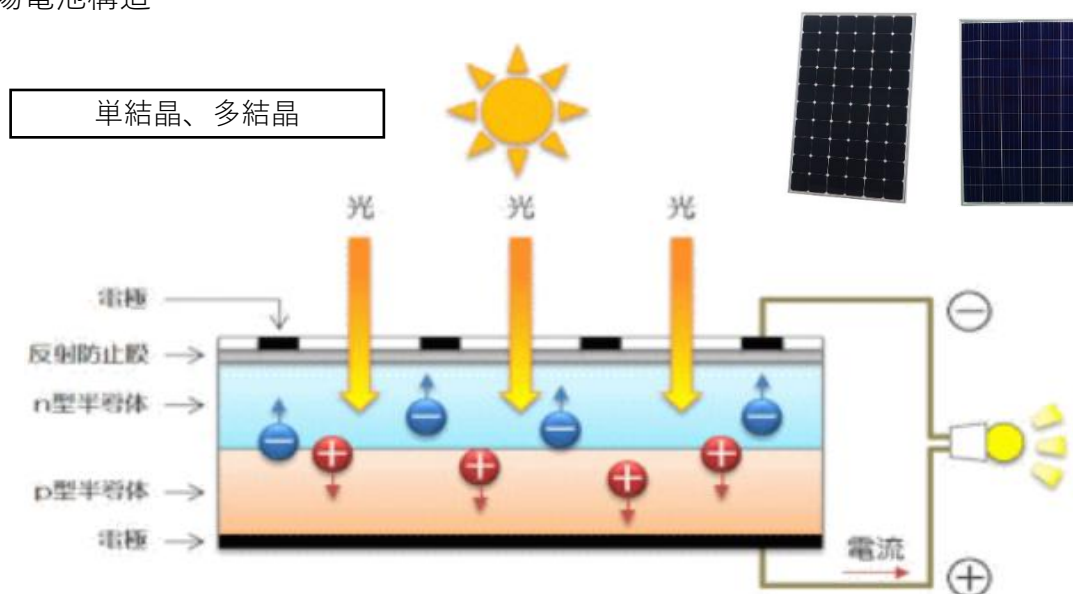
- ・発電効率は10%前後で、初期劣化が10%と悪いが、急激に冷やすことで非結晶となり、光吸収率が上がり、結合後の厚みが $1\mu\text{m}$ 以下と薄くできる。（結晶型シリコンの200分の1以下）
- ・原料となるシランガスをガラス板などに直接吹き付けてミクロン単位の膜として形成する為、高温でシリコンを溶解する必要のある結晶系シリコンと比べて、原材料の製造コストが低い。（200℃で良い）
- ・熱損失は11%と良いが、直射日光など、強い光にあてることで内部の水素結合が切れることがある。

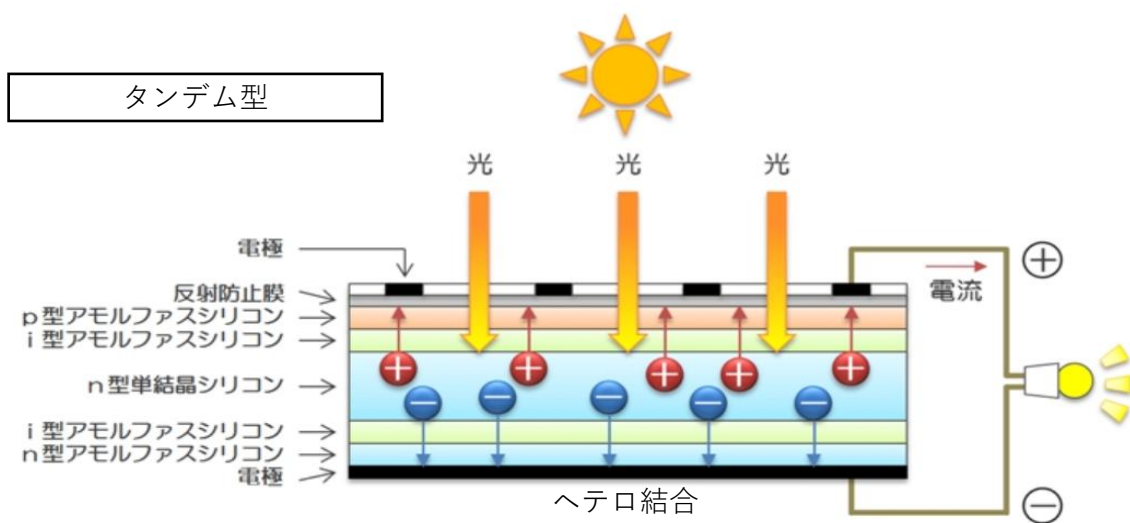
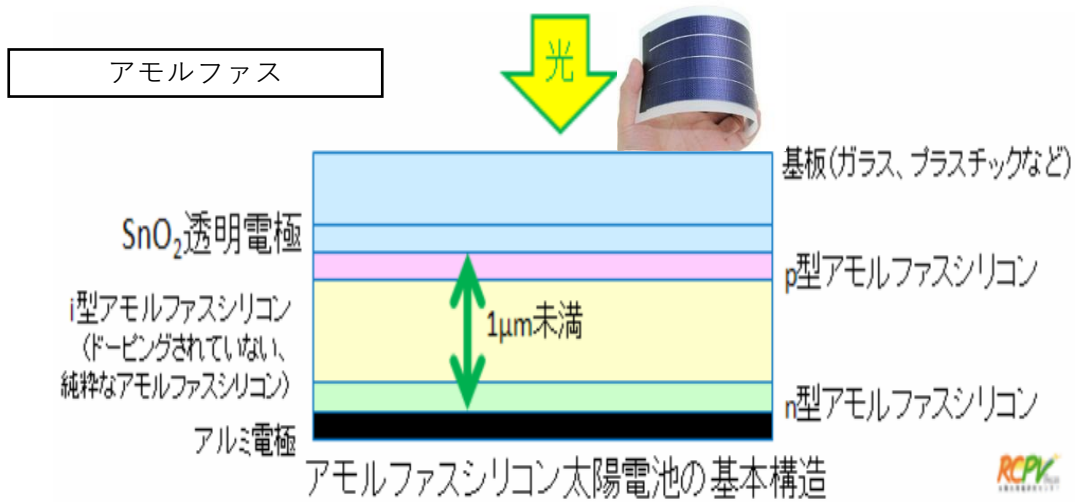
④タンデム型（ハイブリット型）

- ・単結晶型とアモルファス型をヘテロ結合したハイブリット型です。
- ・アモルファスの短い波長と単結晶の長い波長で幅広い波長を光吸収し発電効率20%。
- ・構造が複雑で、製造コストが非常に高い。
- ・アモルファスの優れた熱損失を取り入れ、5～10%で、実質発電が多くなる。
- ・タンデム型はパナソニックのHITが代表的です。

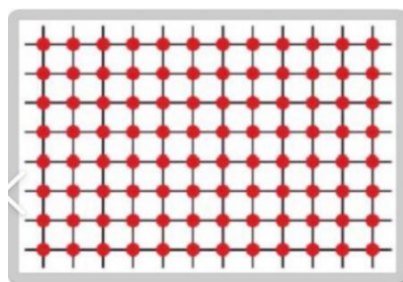
3、シリコン系（Siケイ素）の構造と製造工程

①太陽電池構造

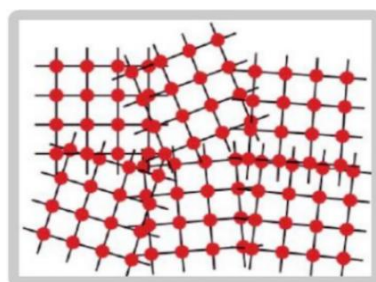




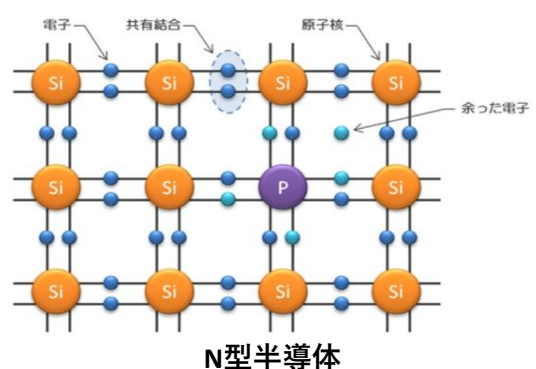
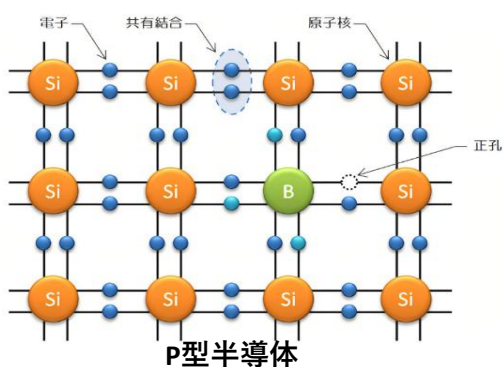
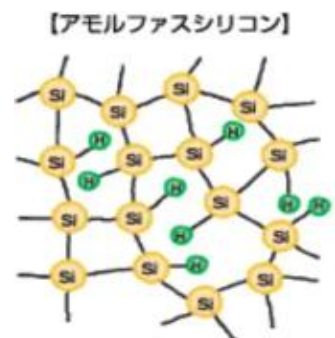
②シリコン系の結晶構造



単結晶



多結晶

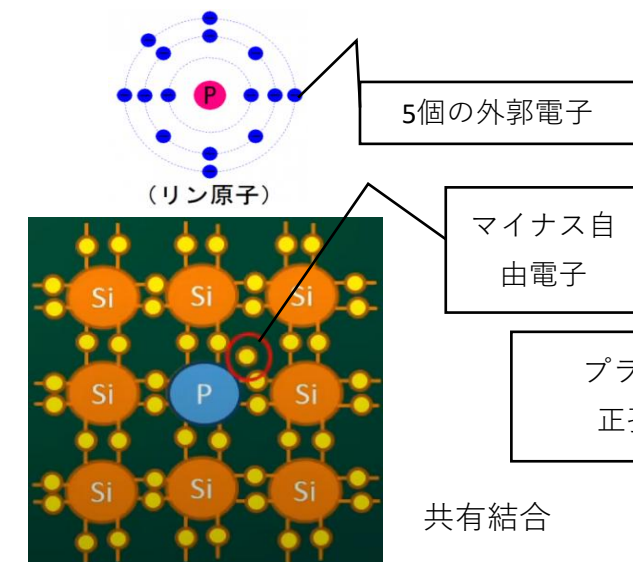
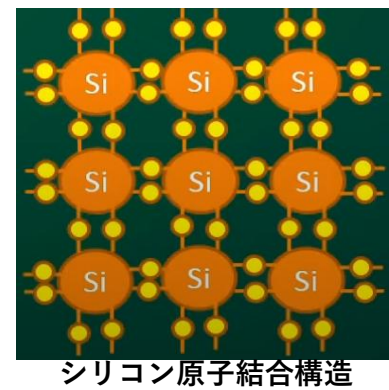
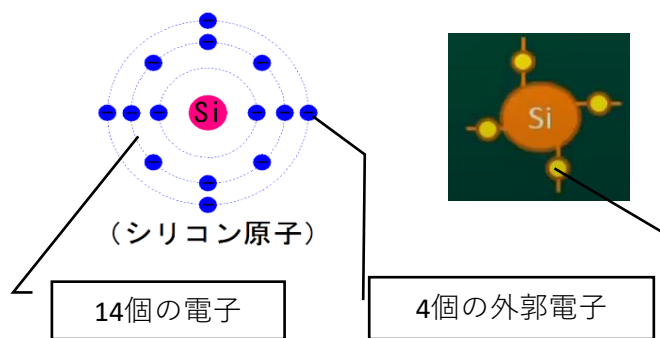


③シリコン製造工程

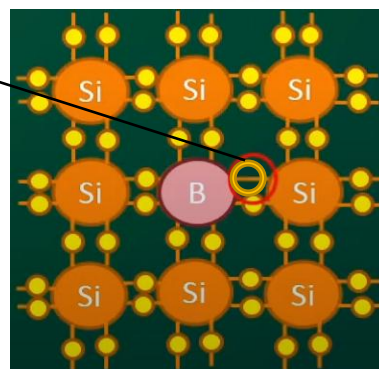
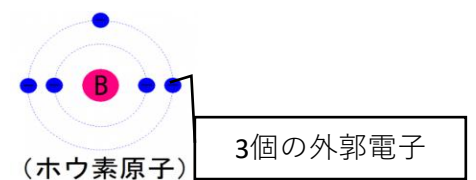


4、太陽光発電の発電原理

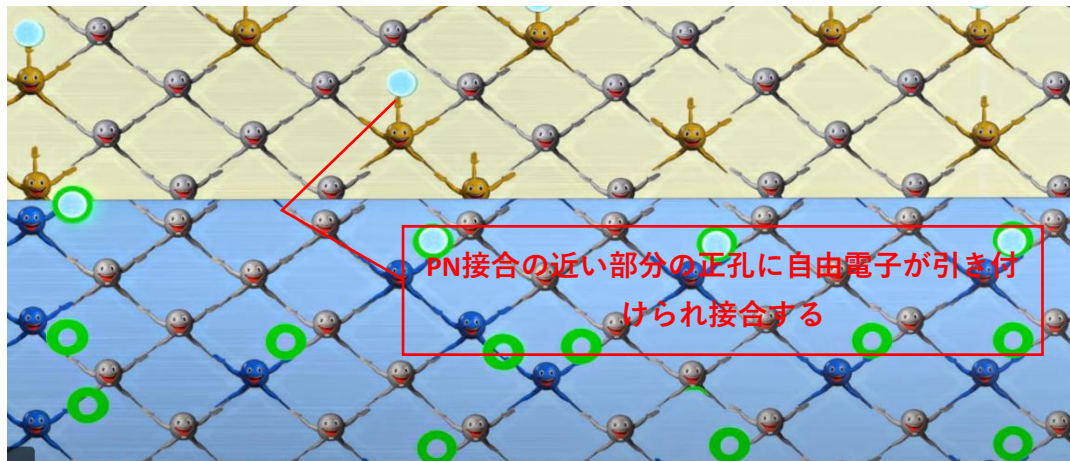
共有結合



リン原子をドープリN型半
導体となる

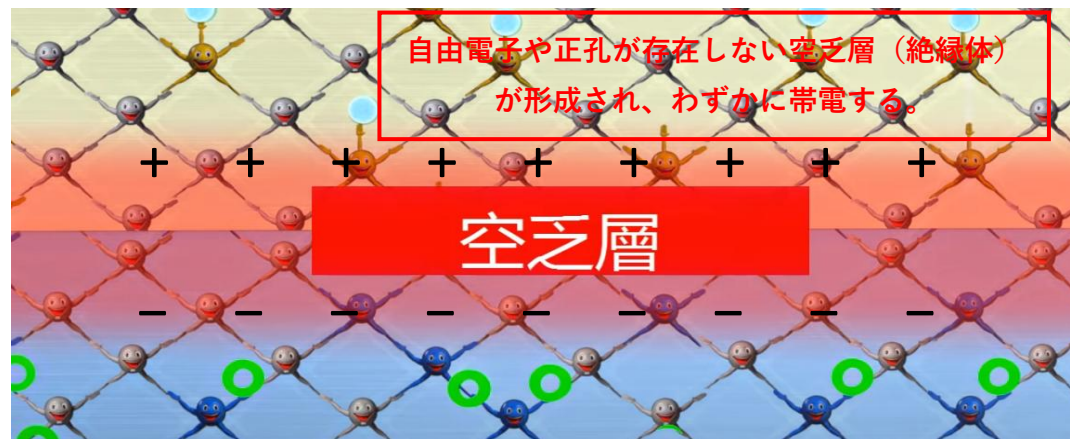


ホウ素原子をドープリP型
半導体となる



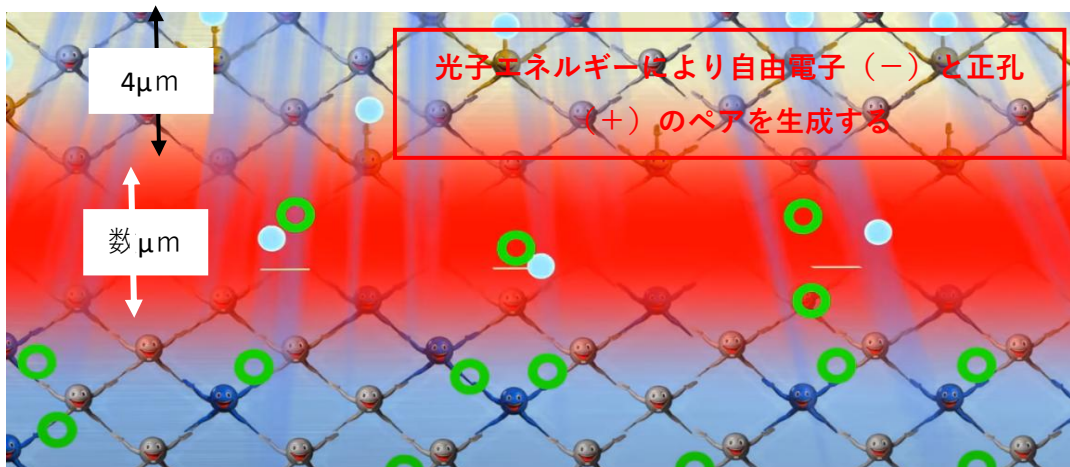
N型

P型



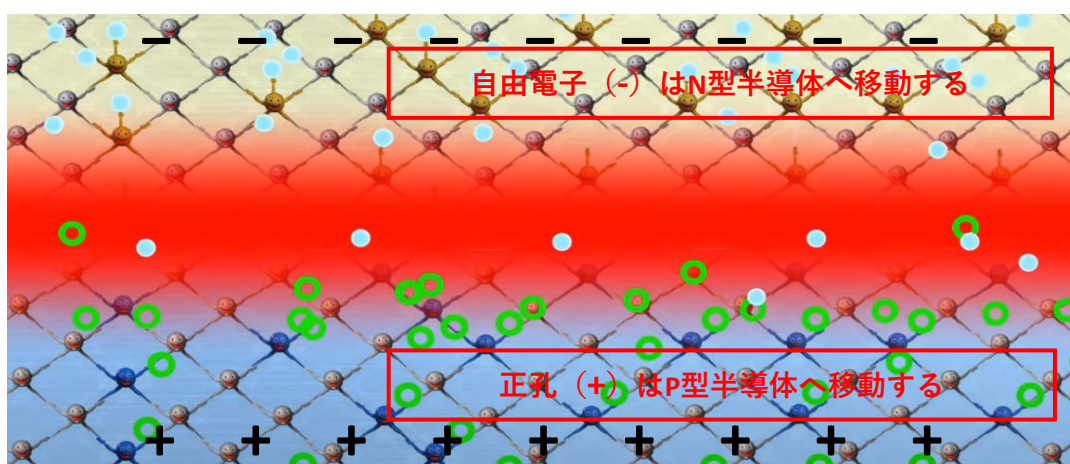
N型

P型



N型

P型



N型

P型

電位差が発生し負荷を繋ぐと電流が流れます

5、無機化合物系について

①CdTe太陽電池（カドミウム、テルル）

- ・モジュール発電効率が約15%～17%程度（米ファーストソーラー）で、希少物質のテルル（Te）を使用している。
- ・毒性が懸念されるカドミウム（Cd）を使用してる。
- ・成膜工程を比較的低温（400～650℃）で短時間で行うことができ、非常に低コストで環境負荷も低い。
- ・熱損失が5%と良く、実際には、発電量が、多くなる。
- ・P型半導体はCdTe、N型半導体はCdS（硫黄）
- ・発電ガラスとして使用可能です。
- ・発電ガラス大型化実現（最大1200mm×3000mm）
- ・現在販売されている、透過率0%、20%、40%、80%



ガラスに内蔵した事例

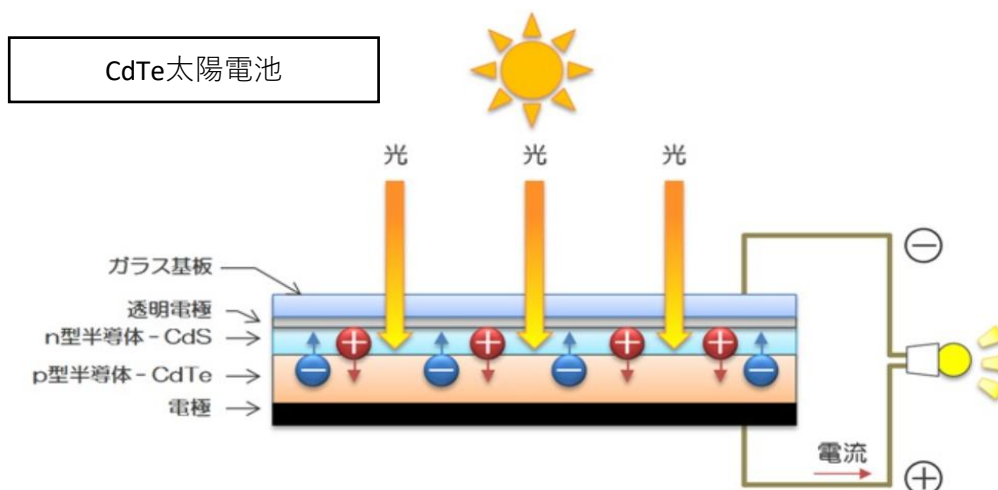


Low-E複層発電ガラス仕様

型式	中空層	ASP-INS-T0-100	ASP-INS-T20-80	ASP-INS-T40-60	ASP-INS-T80-20
	真空層	ASP-SNS-T0-100	ASP-SNS-T20-80	ASP-SNS-T40-60	ASP-SNS-T80-20
可視光透過率		0%	20%	40%	80%
公称最大電力(Pm)/W		100W	80W	60W	20W
開回路電圧(Voc)/V		123.5	123.5	123.5	123.5
短絡電流(Isc)/A		1.24	0.99	0.74	0.25
動作電圧(Vm)/V		91.7	91.7	91.7	91.7
動作電流(Imp)/A		1.09	0.89	0.65	0.22
モジュール変換効率		15.1%	12.1%	9.1%	3.0%
外形寸法 (mm)	1200*600* (空気層厚み21mm, 真空厚み17mm)、フレーム無し				
面積	ガラス0.72㎡ 発電モジュール0.661㎡				
質量	空気層22kg 真空層31kg				
発電材料	テルル化カドミウム(CdTe)				
構成	中空層	3.2cell+0.76pvb+3.2T+9A+5TLow-e			
	真空層	3.2cell+0.76pvb+3.2T+0.4SEF+5TLow-e+0.15真空+5T			
熱貫流率 (W/㎡・K)		中空層1.94 真空層0.65			
日射熱取得率 (%)	中空層	0.11	0.16	0.26	0.44
	真空層	0.06	0.10	0.16	0.19
雪負荷/耐風圧	雪負荷5400Pa (IEC) / 耐風圧4500Pa (IEC)				
連続運転温度/保護階級	-40℃から+85℃ / IP67 / 燃焼レベルA2				
温度係数	Pmpp-0.21%/℃ Voc-0.31%/℃ Isc0.06%/℃				
認証番号	太陽光発電TUV(44 780 21 406749-080) JIS R3209 複層ガラス				
太陽光製造メーカー	Advanced SOLAR POWER(HANGZHOU) JINC (龍炎エネルギー科学杭州有限公司)				
ガラス製造メーカー	信義玻璃工程有限公司				
販売総代理店	アモイソーラーファーストエネルギー有限公司 (廈門晶晟エネルギー有限公司) 日本総代理店 モリベニ株式会社				

※この商品は、日射遮蔽、断熱、防犯に優れ、更に発電までします。

①-1、CdTe太陽電池の構造

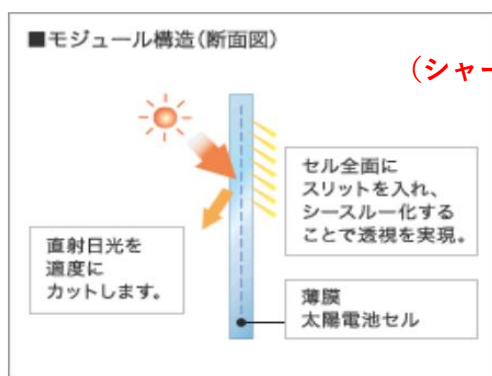
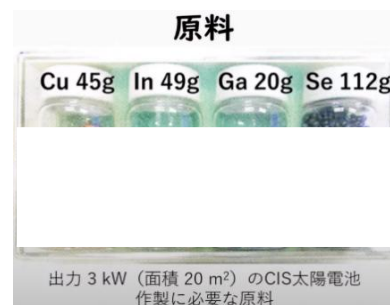


②CIGS太陽電池（銅、インジウム、セレン、ガリウム）について

- ・発電効率が約13%程度で、希少物質（In、Se、Ga）を使用している。
- ・成膜工程を比較的低温で短時間で行うことができ、非常に低コストで環境負荷も低い。
- ・バッファ層にCdSで毒性のあるカドミウムが使用

されている。

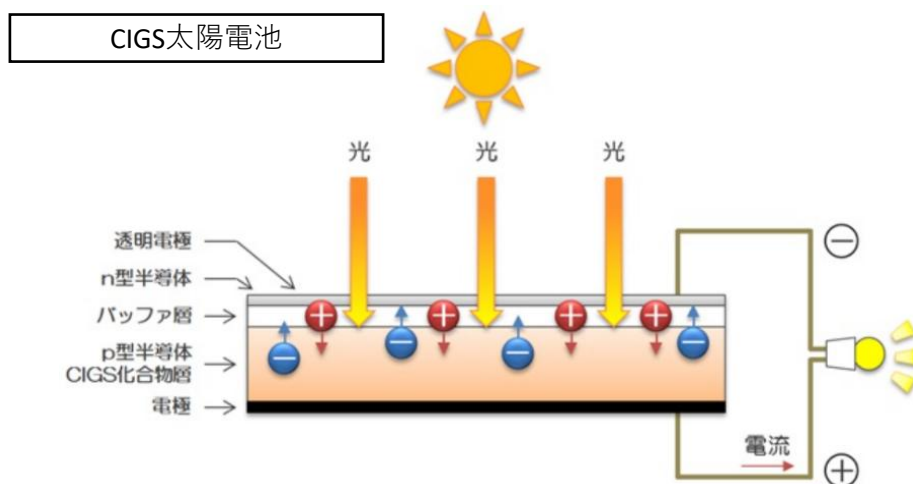
- ・熱損失が5%と良く、実際には、発電量が、多くなる。
- ・カネカのモジュール発電効率は9%です。
- ・実際シャープやカネカが販売している発電ガラス商品は、透過率10%で、両メーカー共モジュール発電効率7%程度です。
- ・ソーラーフロンティア（昭和シェル）は、出光に移り、現在泊まっている。



鈴鹿市庁舎様（三重県鈴鹿市）



②-2、CIGS（カルコパイライト）太陽電池の構造

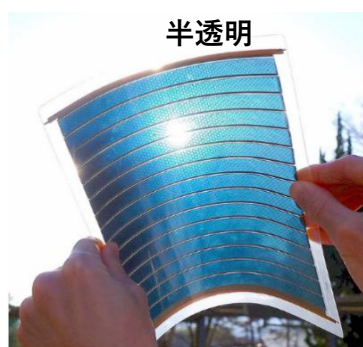


③GaAs太陽電池（ガリウム（Gaレアメタル）とⅤ族のヒ素（As））について

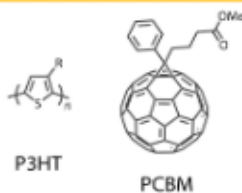
- ・ 発電効率が約28%と相当高く、希少物質GaとAsを使用している。
- ・ 光吸収係数が大きく薄く軽量である。
- ・ 高温時の出力低下が少なく集光用による高温化でも高い変換効率が期待できる
- ・ 耐放射線性を有している為宇宙での使用に適している
- ・ 原材料となるGaAs単結晶ウェハが高価
- ・ 原材料に希少金属（レアメタル）であるガリウムを含んでいる
- ・ 原材料に毒性元素であるヒ素を含んでいる

6、有機物系薄膜太陽電池について

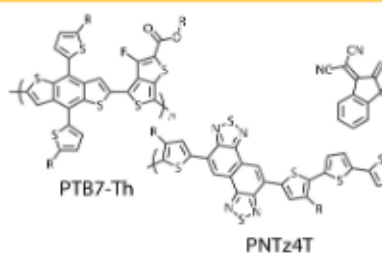
①有機半導体の薄膜を発電層とした太陽電池で塗布による低温プロセスにて製造出来る為環境負荷が低く、低コストで製造できる。



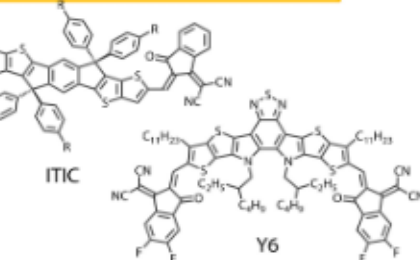
P3HT/フルレニン誘導体



D-A型ポリマー/フルレニン誘導体



D-A型ポリマー/非フルレニン



②ENEOSと日本板硝子が、ユビキタスエネジー社（マサチューセッツ工科大学の大学発ベンチャー企業）が、開発した、無色透明発電（ポリマー有機薄膜）ガラスの実証実験を1年間（2021年9月から2022年8月31日まで）行い、実環境で、性能低下を確認する。

- ・原材料は、ポリフェニレンビニレン、銅フタロシアニン、カーボンフラーレンです。
 - ・紫外線と赤外線のみで発電する。（紫外線に弱い）
 - ・可視光は40%～80%としている。
 - ・発電効率は、ラボレベルで10%を達成した。
透明率は不明。
 - ・1.5×3mと大型化している。
 - ・有機薄膜太陽電池には、低寿命という問題があります。
- ※現在開発中で、2024年には、販売開始予定。



③東レも、同様のポリマー有機薄膜太陽電池を2013年に開発し変換効率10%を実現したが、大型化することは出来ていない。

④伊藤電子工業の透明発電ガラスは、緑色で無色ではない。

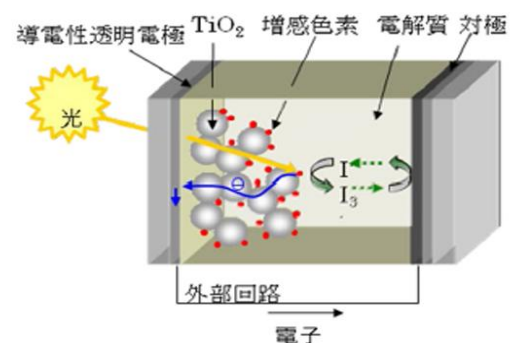
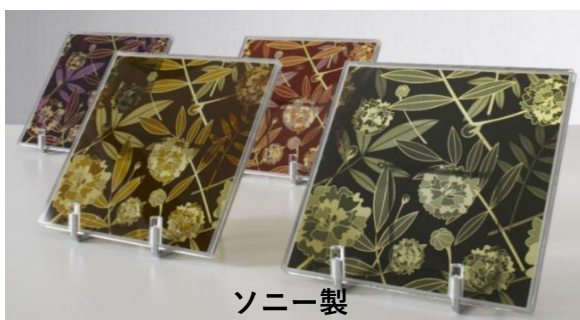
⑤inQ株式会社が発明した無色透明発電ガラスを、NTT-APが販売を開始した。

- ・二酸化ケイ素の微粒子を使った太陽電池で新技術です。
- ・紫外線と赤外線のみで発電する。（日射遮蔽が有る）
- ・発電効率が1%未満で、非常に低く、発電で使用するの
は厳しい。
- ・大型化は未だです。



⑥色素増感太陽電池（Dye Sensitized Solar Cell DSC、またはDSSC）について

- ・酸化物半導体（酸化チタン、酸化亜鉛など）の表面に色素を吸着させる。
- ・低照度環境での発電能力が高く
- ・デザイン設計（カラー、絵柄模様、フレキシブルなど）が可能です。
- ・発電効率が低く、ラボレベルで11～12%です。



7、各種太陽光電池の経年劣化

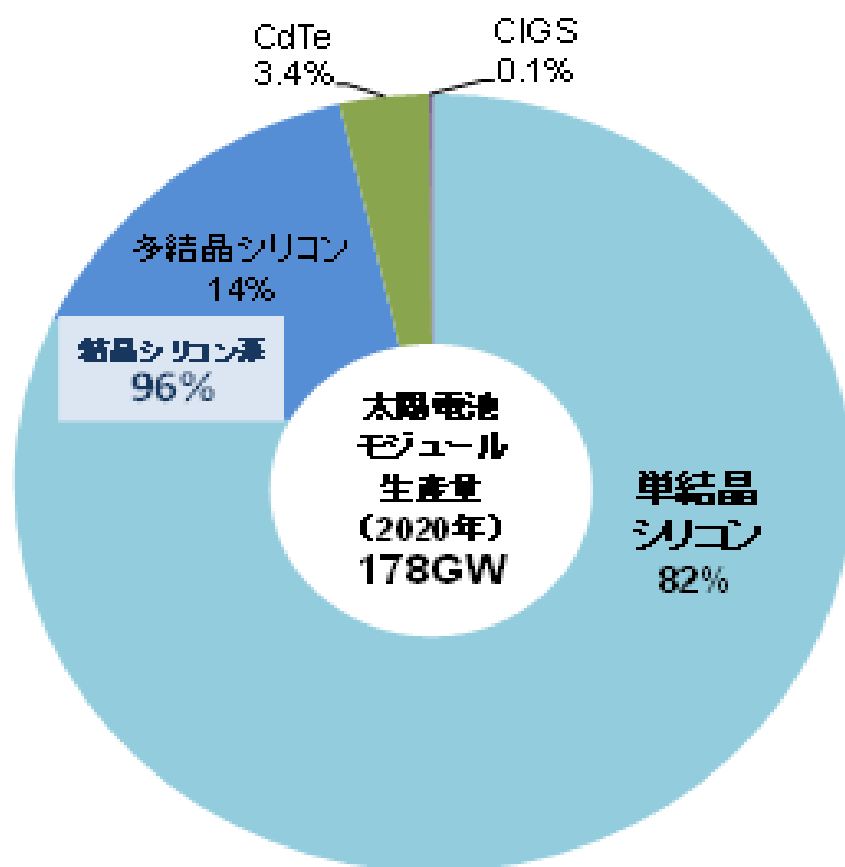
パネルの種類	5年後	10年後	20年後
単結晶シリコン	96.4%	92.2%	84.2%
多結晶シリコン	97.4%	94.3%	88.4%
アルモファスシリコン	94.3%	87.6%	75.7%
CIGS（化合物系）	98.5%	92.5%	81.4%
ヘテロ接合（HIT）	98.0%	95.6%	90.8%

8、シリコンとペロブスカイトの比較

シリコン太陽電池とガラス基板ペロブスカイト太陽電池の比較			
項 目		シリコン太陽電池	ペロブスカイト太陽電池
モジュール変換効率（市販）		18～23%	18～20%
光吸収する波長範囲		300～1150nm赤外線を有効に	300～800nm可視光を有効に
実発電量	影で	セル2枚影で6割以上減、室内無理	影響少ない、室内でも発電
	1KWの発電量	低い	高い(1.27倍実測)
	設置不可	影の多い場所	なし
	温度損失/実測	0.35%/℃ /53.1℃ 3℃差	0.08%/℃ /49.4℃ 3℃差
	設置方法	南向き傾斜約20°	屋上平行可能
	入射角度影響	大きい（発電層まで厚い）	薄いため10～40° 20%アッ
	両面発電	裏面発電しない	裏面も発電(表の30%)
	設置面積	少なく済む	平置きで少なく済む
	表面から発電層までの距離	4μm（不透明）	0.25μm（透明）
	侵入長	500nm0.45μm、800nmは5.88μm	透明性の為ほぼない
光吸収層	材 料	シリコン	鉛、錫、ヨウ素、臭素、塩素
	価 格	高い	安い
	厚 み	100～200μm	1μm以下
	製 造	ほぼ中国製造	印刷の為可能
	調 達		ヨウ素など無理なく調達
耐 久 性		20～30年	15～25年
有 毒 物 質		鉛、アンチモン	鉛
環境負荷	製造方法	溶解し5時間掛け製造しスライス	印刷塗布の為短時間（数分）
	製造温度	1400℃	100℃くらい

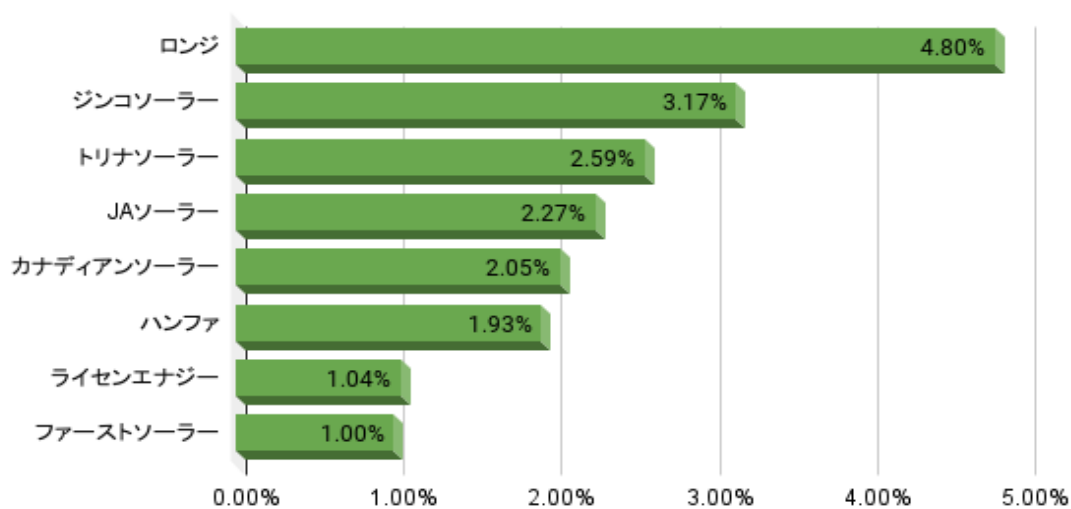
I、太陽光発電世界シェア

1、発電種類による世界シェア



2、メーカーによるシェア

太陽光パネルの世界シェア(2020年)



Ⅱ、太陽電池の比較

1、太陽電池の種類と特徴

項目		シリコン系	無機系化合物系	有機無機系	備考
		単結晶型	C d T e	ペロブスカイト	
特徴		信頼性が高い	欧米中心に普及	自由に曲げられる	
変換効率		18～22%	15～17%	703cm ² で15.1%	
発電素子厚み		150～200μm	3μm程度	1μm	
高温時出力低下率		15～20%	5%	5%	
室内発電		無理	少々	大きい	
影の影響		大きい	小さい	小さい	
製造コスト		高い	低い	低い	
実用化		◎	◎	開発中	
環境負荷	温暖化	高い	中	少ない	
	製造温度	1400℃を4、5時間	400～650℃	100℃	
	有害物質	鉛、アンチモン	カドミウム	鉛	
主原料		ケイ素	カドミウム、テルル	鉛、ヨウ素	
耐久性	現状	20～30年	20～30年	3年ほど※	※開発中
	近将来			15～20年	
波長範囲		300～1150nm	500～900nm	300～800nm	
限界値		29%	30%	研究中	
備考		世界シェア82%	ガラス発電に使用	次世代最有力	

2、シリコン太陽光発電で東西南北の壁面の発電量比較（沖縄県の場合）

月	屋上20°	北壁面		東、西壁面		南壁面	
	発電量	発電量	壁/屋根	発電量	壁/屋根	発電量	壁/屋根
1月	47	15	31.9%	23	48.9%	39	83.0%
2月	47	16	34.0%	23	48.9%	33	70.2%
3月	56	20	35.7%	30	53.6%	34	60.7%
4月	64	23	35.9%	35	54.7%	30	46.9%
5月	71	28	39.4%	39	54.9%	28	39.4%
6月	68	28	41.2%	38	55.9%	24	35.3%
7月	82	28	34.1%	45	54.9%	24	29.3%
8月	78	23	29.5%	43	55.1%	29	37.2%
9月	76	20	26.3%	42	55.3%	39	51.3%
10月	70	18	25.7%	35	50.0%	48	68.6%
11月	54	15	27.8%	27	50.0%	44	81.5%
12月	51	15	29.4%	25	49.0%	45	88.2%
合計	764	249		405		417	
壁/屋上	100%	32.6%		53.0%		54.6%	

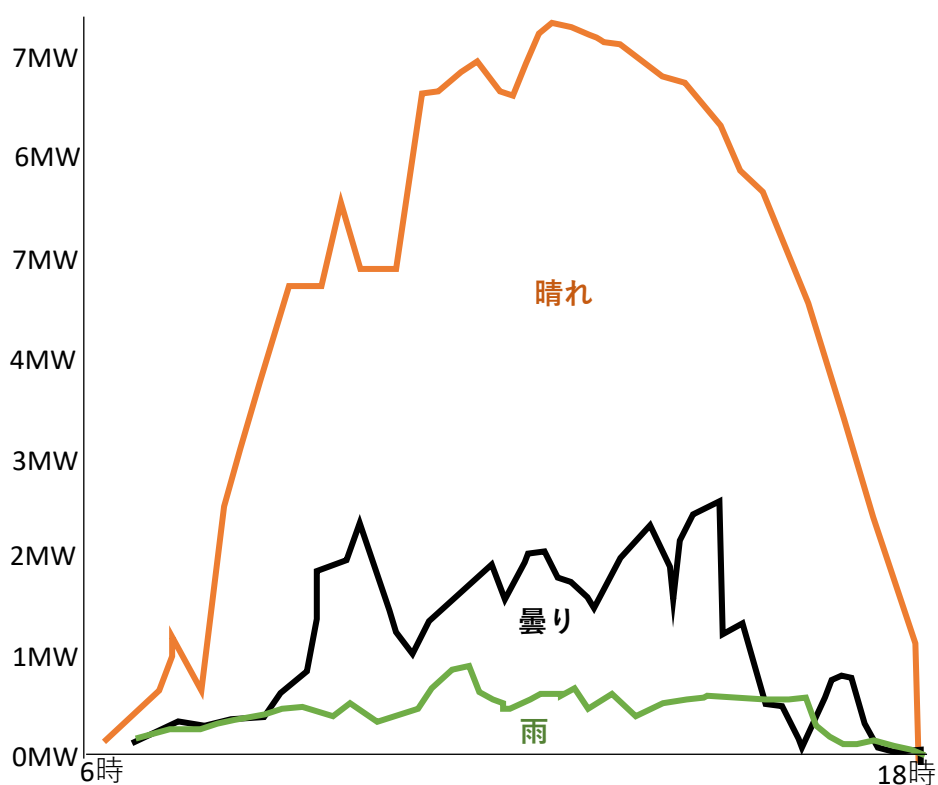
※設置容量は0.72kW

3、シリコン系と化合物系の実際の発電量の比較

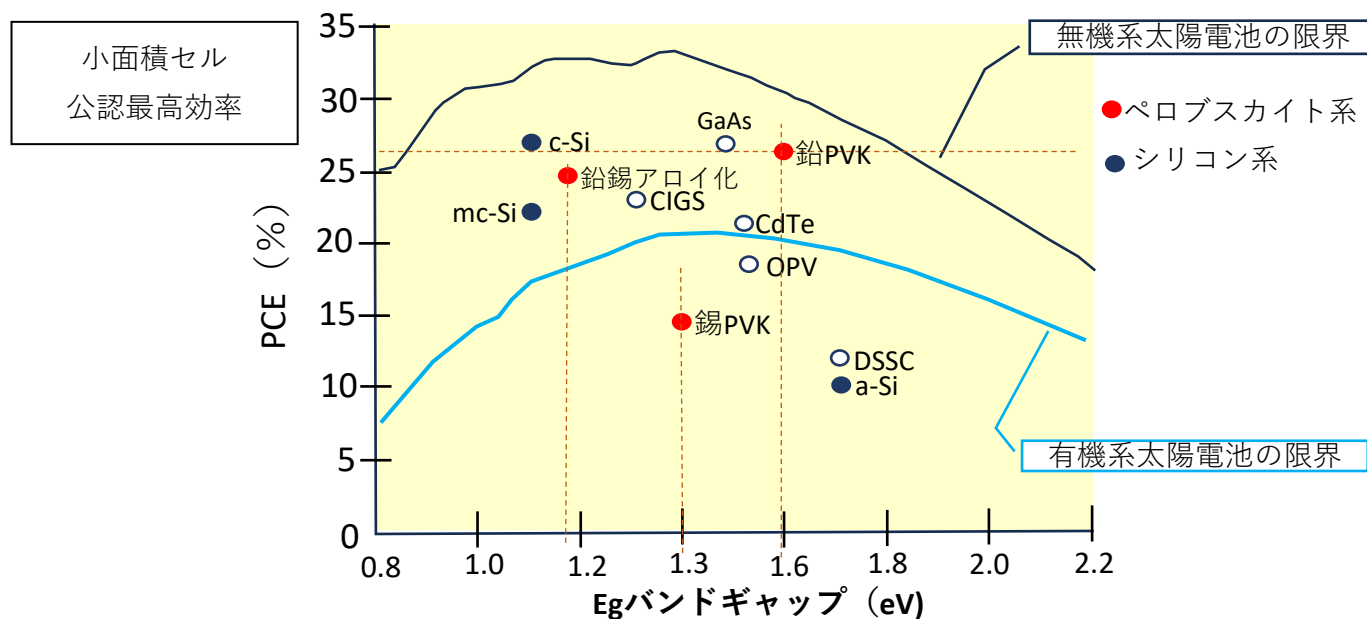
メーカー	種類	変換効率	4 kW当りの		30㎡当りの	
			発電量	倍率	発電量	倍率
ソーラーフロンティア	CIS	9.64%	5443	113%	4126	82%
三菱電機	多結晶	12.68%	4960	103%	4972	99%
パナソニック	HIT	16.92%	4945	103%	6649	132%
現代	単結晶	13.61%	4778	99.2%	5311	106%
シャープ	多結晶	13.44%	4763	98.9%	5112	102%
東芝	単結晶	15.89%	4647	96.5%	5884	117%
京セラ	多結晶	12.88%	4576	95.0%	4175	83%
サンテック	単結晶	14.01%	4538	94.2%	5199	103%

※CIS（化合物系）は、変換効率は低いが、高温時の発電量の低下率が低く、影の影響を受けにくく、曇りでも発電量が若干大きくなる事から、発電量は増えるが、CSIは、製造を中止している。

4、天気による1日の太陽光発電量（Si系）



5、各種太陽電池のショックレー・クワイサー限界と 達成している効率 (S-Qリミット)



6、各種太陽電池の最高効率と限界効率

各種太陽電池の最高効率と限界効率							
種類			名称	材料	面積	公認最高効率	理論限界効率
無機物系	シリコン系	結晶系	単結晶c-Si	ケイ素 (シリコン)	1cm ² 以上	26.8%	約33%
			多結晶p-Si	ポリシリコン		22.3%	
		薄膜系	a-Si	非結晶シリコン	1cm ²	10.2%	約25%
			微結晶	微結晶シリコン		10.5%	
		タンデム型		c-Si/a-Si		24.7%	
	化合物系	GaAs		ガリウム・ヒ素	1cm ² 以上	28.0%	約33%
		CIGS		銅・インジウム・ガリ		23.4%	
		CdTe		カドミウム・テルル	1cm ² 以上	22.1%	約31%
有機物系	有機物系	色素増感DSSC		酸化チタン電極・植物色素	1cm ² 以上	14.0%	28.4%
		有機薄膜OPV		ポリフェニレンビニレン、銅フタロシアニン、カーボンフラーレン	1cm ² 以上	19.0%	約21%
	有機無機系PVK	ペロブスカイトPb系		鉛・MAヨウ素/臭素など	セル※1	26.0%	約30%
		PbSnアイロ化		鉛・錫・MAヨウ素/臭素など	1cm ² 以上	23.8%	約32%
		Sn系		錫・MAヨウ素/臭素など	1cm ² 以上	14.8%	

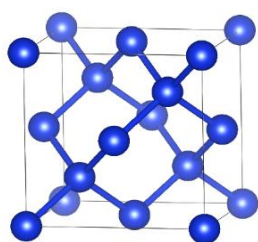
※1、2023.07.07JETで測定された太陽電池変換効率値(ペロブスカイト太陽電池セル Institute of Semiconductor, Chinese Academy of Sciences作製 / 変換効率26.0%は、世界最高値。
 ※PVK/PVKタンデム型28.2% (1.038cm²)、29.1% (0.096cm²) を、最高効率をJETが測定し認定登録した (College of Engineering and Applied Sciences, Nanjing University & Renshine Solar (Suzhou) Co. Ltd.作製2023年7月7日公表)

※色素増感はADEKA、有機薄膜型は、海外の大学

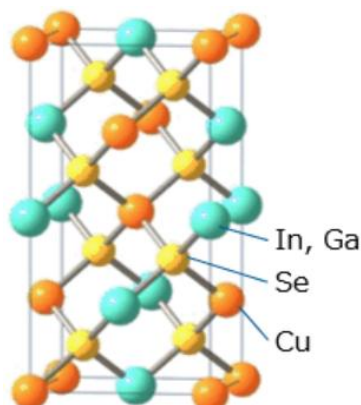
7、各種太陽電池のバンドギャップ

太陽電池			材料	Eg(eV)	波長nm	結晶構造
無機物系	単結晶、多結晶シリコン		Si	1.12	～1100	D
	アモルファスシリコン		a-Si	1.6～1.8	～800	非結晶
	微結晶シリコン		μ c-Si	～1.1	～1100	D
	化合物	CIS	Cu In Se ₂	1.04	～1200	CH
		CIGS	Cu In Ga Se	1.25	～1000	CH
		カドテル	Cd Te	1.48	～870	ZB
		ガリヒ素	Ga As	1.42	～890	ZB
有機物系	色素増感DSSC		酸化チタン電極・植物色素	1.7～1.8	～740	—
	有機薄膜OPV		ポリマー系やフラーレン	1.45～1.95	～880	—
有機無機系	ペロブスカイト	Pb系	鉛・MA/FA・ヨウ素/臭素など	1.55～1.6	～800	ペロブスカイト
		PbSnアイロ化	鉛・錫・MA/FA・ヨウ素/臭素など	1.18～1.4	～1070	
		Sn系	錫・MA/FA・ヨウ素/臭素など	1.3	～960	

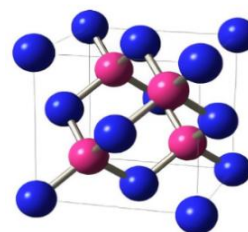
※鉛系MAPbI₃の場合は1.55eV、錫系MASnI₃の場合1.4eVで、材料比率によりバンドギャップは変化する



D:ダイヤモンド結晶構造



CH:カルコパライト結晶構造

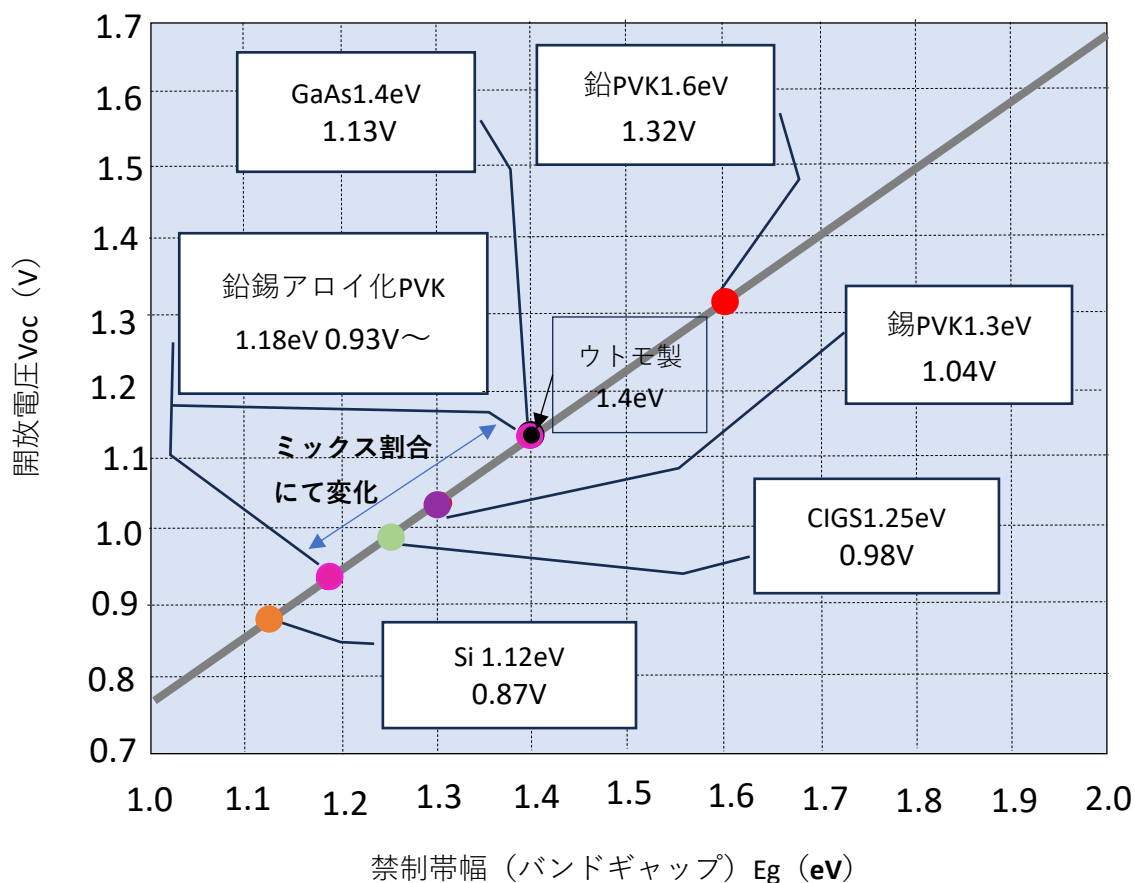


ZB:閃亜鉛鉱結晶構造

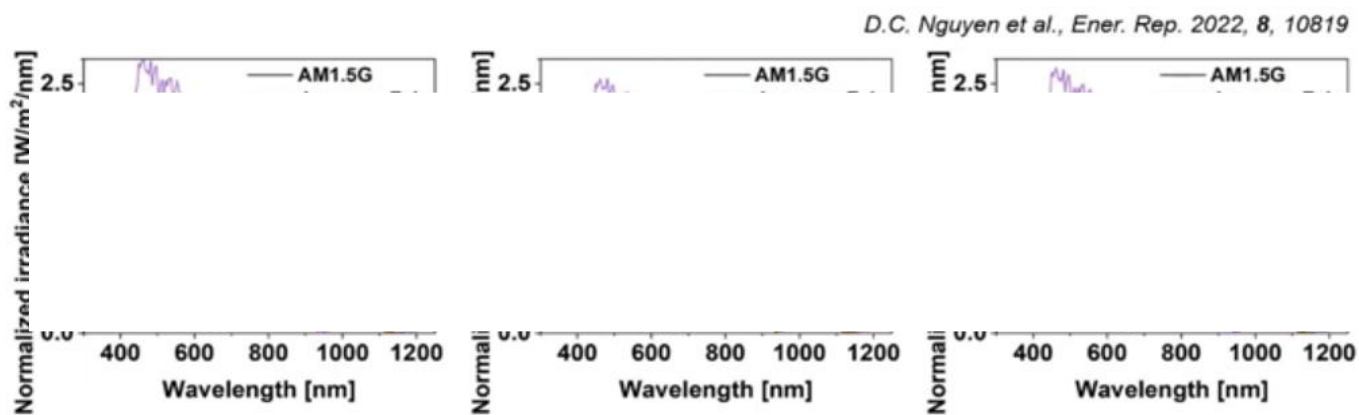
8、ペロブスカイト太陽電池各メーカー効率比較

メーカー	塗布プロセス	型	面積	効率
積水化学	ロールツーロール	フィルム	30cm角	15%
東芝	ステップメスカス塗布	フィルム	703cm ²	16.6%
アンシン	スプレー法	フィルム	30cm角	13.08%
エネコートテクノロジーズ	HAT法とSVA法組み合わせ塗布	フィルム	7.5cm角	16.9%
		ガラス		19.2%
パナソニック	インクジェット塗布法	ガラス	804cm ²	18.1%
サウレ・テクノロジーズ (ポーランド)		フィルム	15.74cm ²	10.5%
WuxiUcmostLightTechnology (中国) 無錫極電光能科技有限公司	インクジェット塗布法	ガラス	63.95cm ²	20.5%
台湾		ガラス	600cm ²	13%

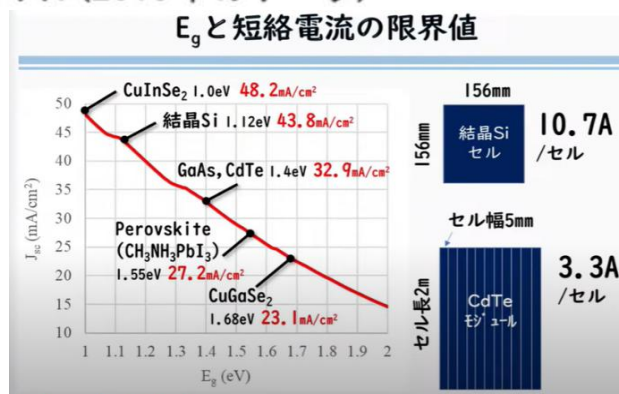
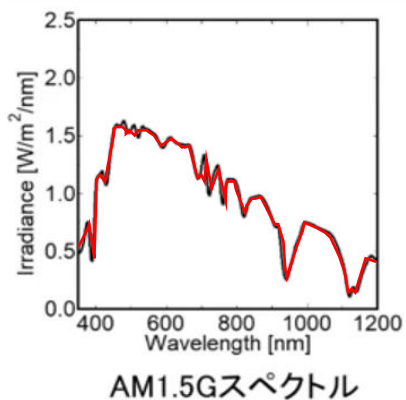
9、バンドギャップ（禁制帯幅 E_g ）と開放電圧



10、8月の実際の時間による太陽光スペクトル



岐阜市の実測スペクトル(2015年のデータ)



K、発電ガラス事例など

1、中空層Low-E複層ガラスに薄型CdTe太陽電池を内蔵した商品

①発電効率は、透過率0%で15.1%、透過率20%で12.1%、透過率40%で9.1%で、他社に比べても高い。



2、中空層Low-E複層ガラスにペロブスカイト太陽電池を内蔵した商品

①中国では量産製造できる状態まで来ている

②単ガラスは、量産を開始している。（サイズは、1200mm×600mm×7mm、最大電力は120W、変換効率は18.2%）※量産商品では、世界トップ。

2、inQ製をNTT-APが海城学園の屋上温室へ発電ガラス取付け

①勉強用として設置。

②発電効率は30センチ角で数十mWと低い。（100分の1以下）



海城学園様 サイエンスセンターイメージ



屋上温室への発電ガラス取り付けイメージ

3、AGCは、サンジュールSUDAREを設置

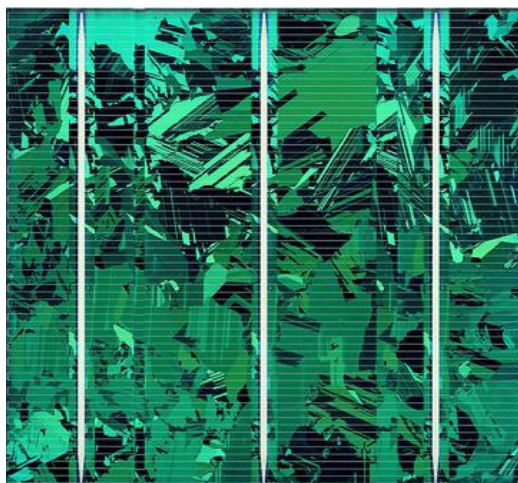
①1セルユニットのサイズ：156mm × 77.9mm

- ・外観：☒ 開口率 約57%（セル部分）のシースルー。
- ・単結晶シリコンセルを使用し、発電効率を維持しながら、シースルーを実現



②、AGCは、サンジュールGRを設置

- ・1セルのサイズ：156mm × 156mm
- ・外観：森林を思わせる爽やかなグリーン色の多結晶片面シリコンセルを使用



4、株式会社カネカは大成建設と共同開発したシースルー発電ガラス

- ・エコガラスにCISやCIGS太陽電池を内蔵した。
- ・2021年にGOODデザイン賞を受賞した。



「Green® Multi Solar（シースルータイプ）」



5、シャープのシースルー太陽電池

- ・旭電業第二ビルに設置（開口率10%を使用、発電効率6.77%で低い）



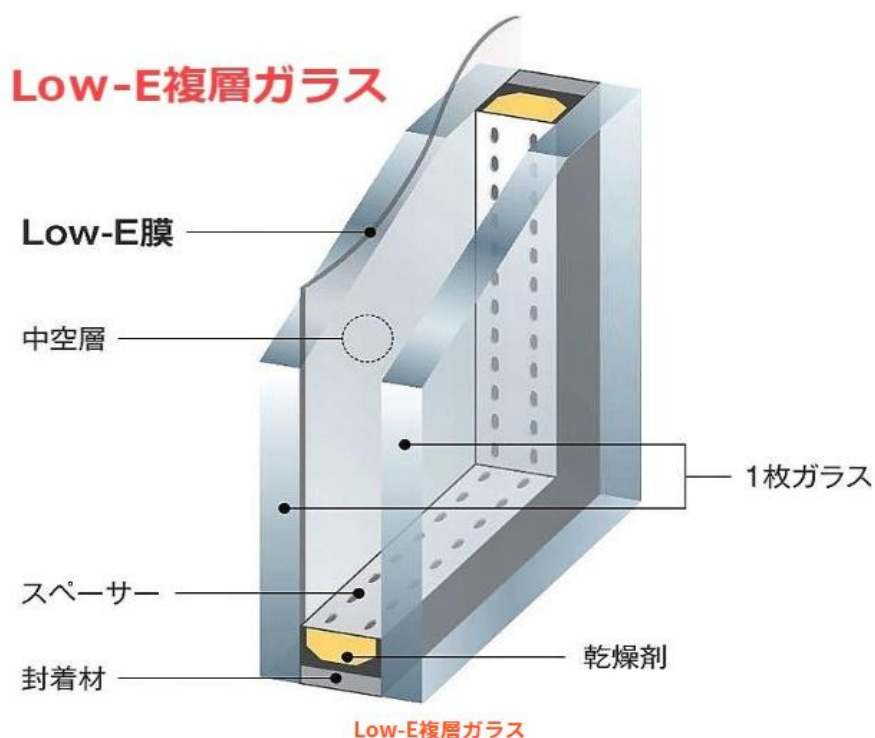
■仕様



品名	シースルー太陽電池モジュール					
形名	NA-B07A	NA-B07B	NA-B11A	NA-B11B	NA-B14B	NA-B0955/ （従来型）
公称最大出力	46W	39W	77W	66W	80W	95W
開口率	10%	20%	10%	20%	20%	10%
公称最大出力動作電圧	43.3V	41.5V	43.3V	41.5V	41.5V	42.7V
公称最大出力動作電流	1.07A	0.94A	1.78A	1.60A	1.93A	2.23A
公称開放電圧	56.9V	57.0V	56.9V	57.0V	57.0V	56.9V
公称短絡電流	1.30A	1.20A	2.20A	2.00A	2.40A	2.70A
外形寸法※ （幅×奥行×高さ）	701×1,001 ×9.5mm	701×1,001 ×9.5mm	1150×1,001 ×9.5mm	1150×1,001 ×9.5mm	1402×1,001 ×9.5mm	1402×1,001 ×9.5mm
質量	約17kg	約17kg	約28kg	約28kg	約33kg	約33kg

L、Low-E複層ガラス（エコガラス）について

1、中空層タイプの構造



①ガラスの表面に「**Low-E膜**」といわれる特殊な金属膜（酸化錫や銀）をコーティングしたガラスのことです。

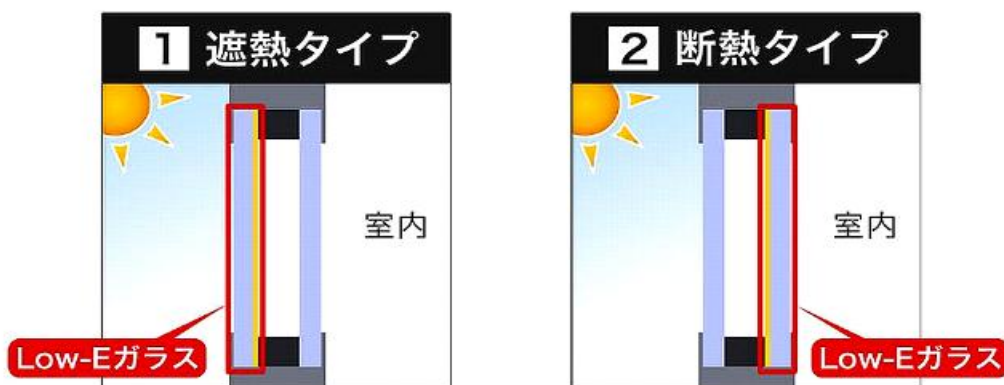
「Low-E」は「ローイー」と読み、英語の「**Low Emissivity**（ロー・エミシビティー）」の頭文字をとって表記されています。

「Low Emissivity」とは「**低放射**」という意味で、**放射を低くする（下げる）**という意味になります。

そして、ガラスにコーティングされた「Low-E膜」が、**太陽の熱や、部屋を暖房で暖めた熱を吸収、反射（赤外線、紫外線をカットする）**してくれるのです。

その効果として、夏の暑さを和らげ、冬の暖房効率を高め、室内の快適さを高めてくれるのです。

Low-Eガラス



「遮熱タイプ」と「断熱タイプ」

M、BIPV（建築物一体型太陽電池）について

1、建築物の外壁に、太陽電池を張り付けた建物です。



2、BIPVの世界市場規模

・2020年で39億ドルと推計され、今後2025年段階では113億ドルへと急速な拡大が予測されます、また2027年には、516億米ドルに達する。

N、各種燃料による発電コスト比較

電源	石炭火力	LNG火力	原子力	陸上風力	太陽光		ペロブスカイト
					事業用	住宅	
発電コスト（円/kWh）	12.5	10.7	11.5～	19.8	12.9	17.7	6～7※1
設備利用率	70%	70%	70%	25.4%	17.2%	13.8%	—
稼働年数	40年	40年	40年	25年	25年	25年	—

※1、量販体制が整い、耐用年数が20年とした場合

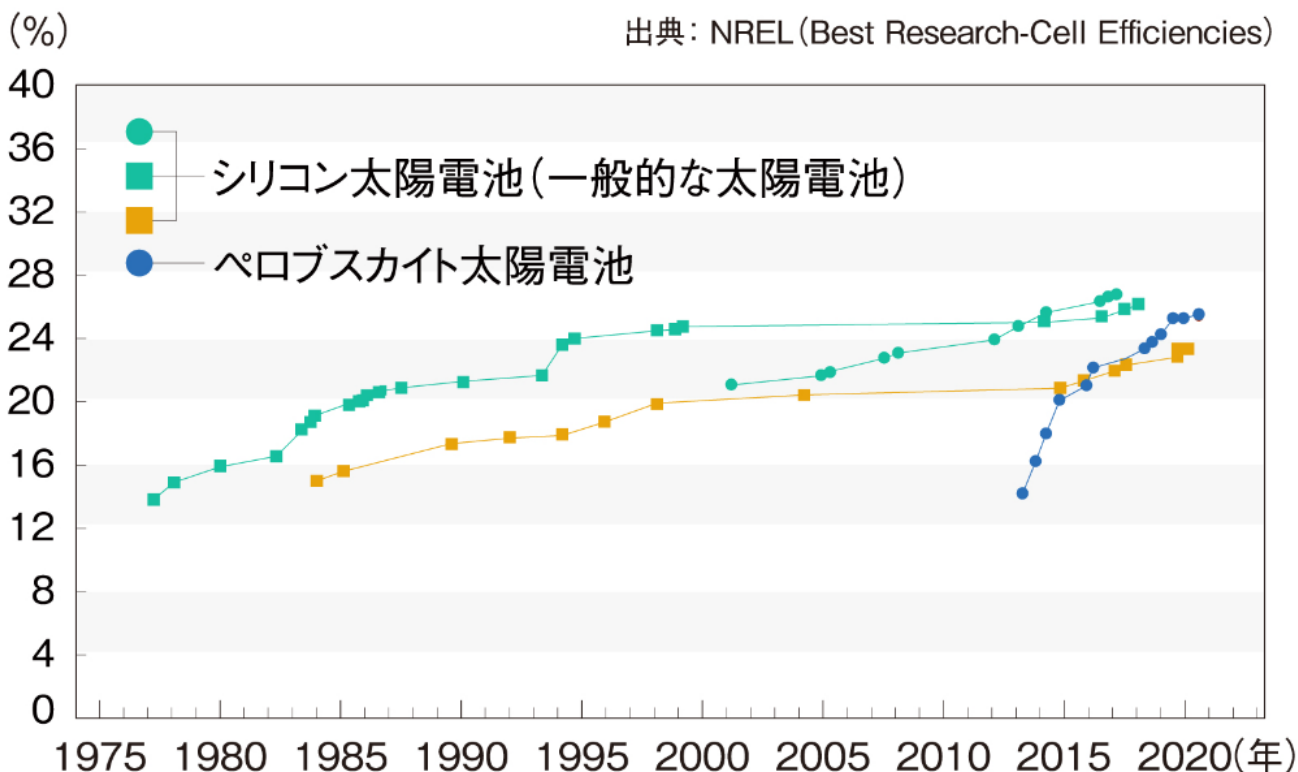
電源	洋上風力	小水力	地熱	バイオマス		コージェネ	
				混焼50%	専焼	ガス	石油
発電コスト（円/kWh）	30	25.3	16.7	13.2	29.8	9.3～10.6	19.7～24.4
設備利用率	30%	60%	83%	70%	87%	72.3%	36%
稼働年数	25年	40年	40年	40年	40年	30年	30%

O、世界のヨウ素の埋蔵量と年間生産量(H29年) ※生産総量3.393万トン

国名	チリ	日本	米国	トルクメニスタン	アゼルバイジャン	インドネシア	ロシア
生産量（万トン）	2.1	1	—	—	—	—	—
埋蔵量（万トン）	70	500	25	7	17	10	12
生産量割合（%）	60%	29%	11%				

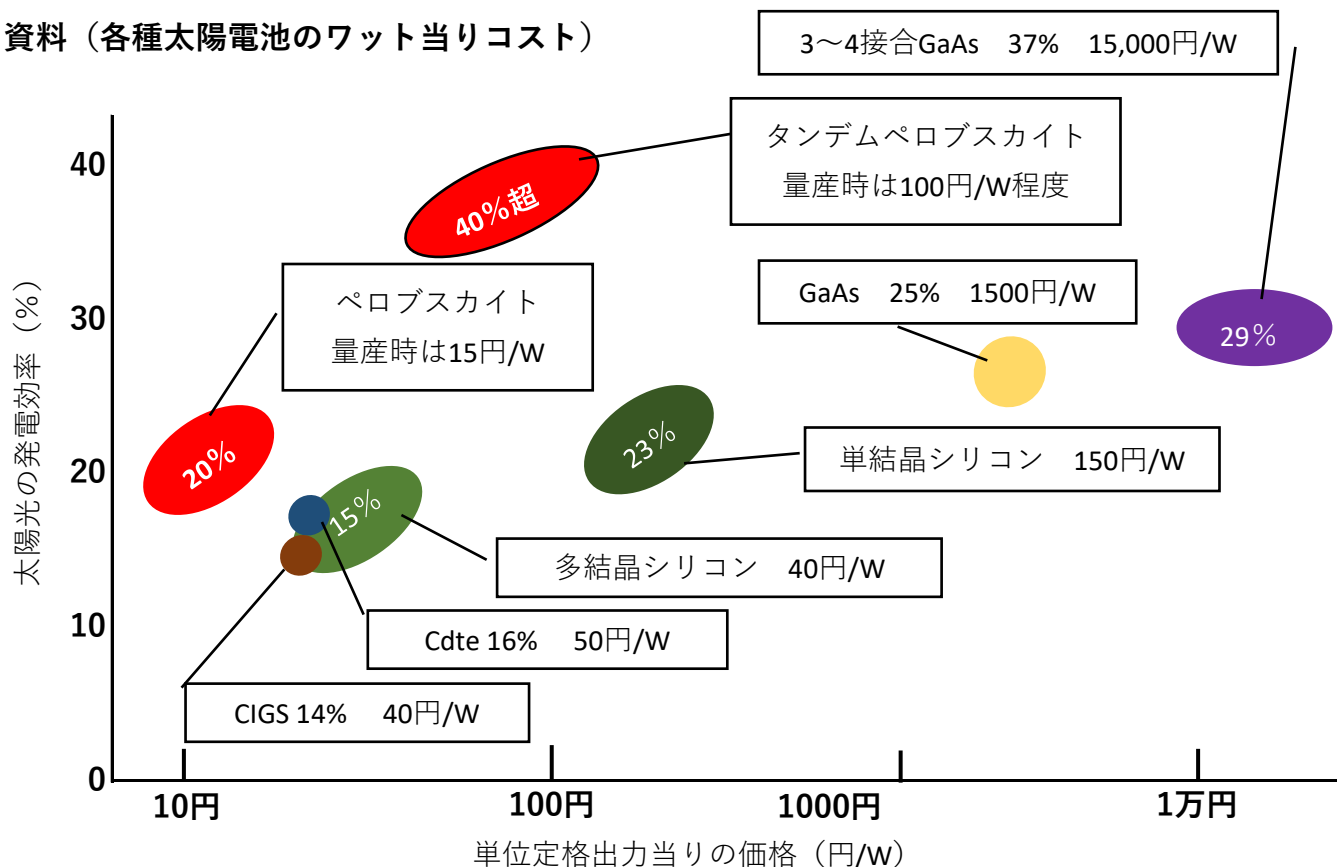
※千葉県24%、合同資源によるとヨウ素一缶（50Kg）で2～3MWで1000世帯1年分に相当し、約0.05 g/W（約9 g/m²）です。（鉛量は、通常4 g/m²で、新商品では0.75 g/m²も出てきている）※ヨウ素は、鉛の3倍を使用

小面積サイズセル太陽電池の変換効率の推移

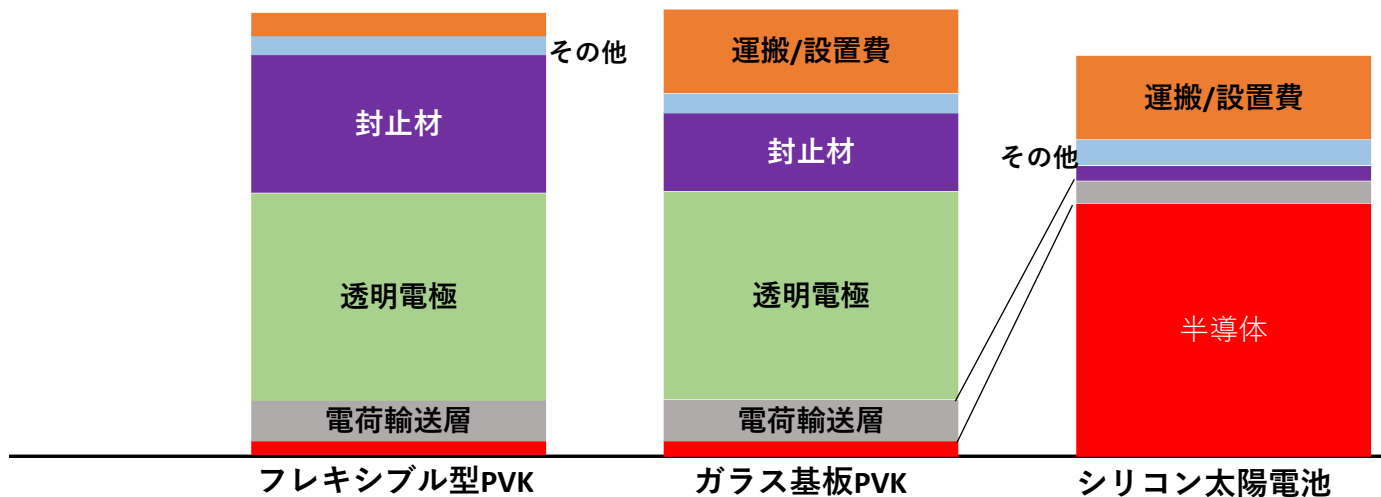


ペロブスカイト太陽電池は、10年余りでシリコン太陽電池のセル変換効率に到達した

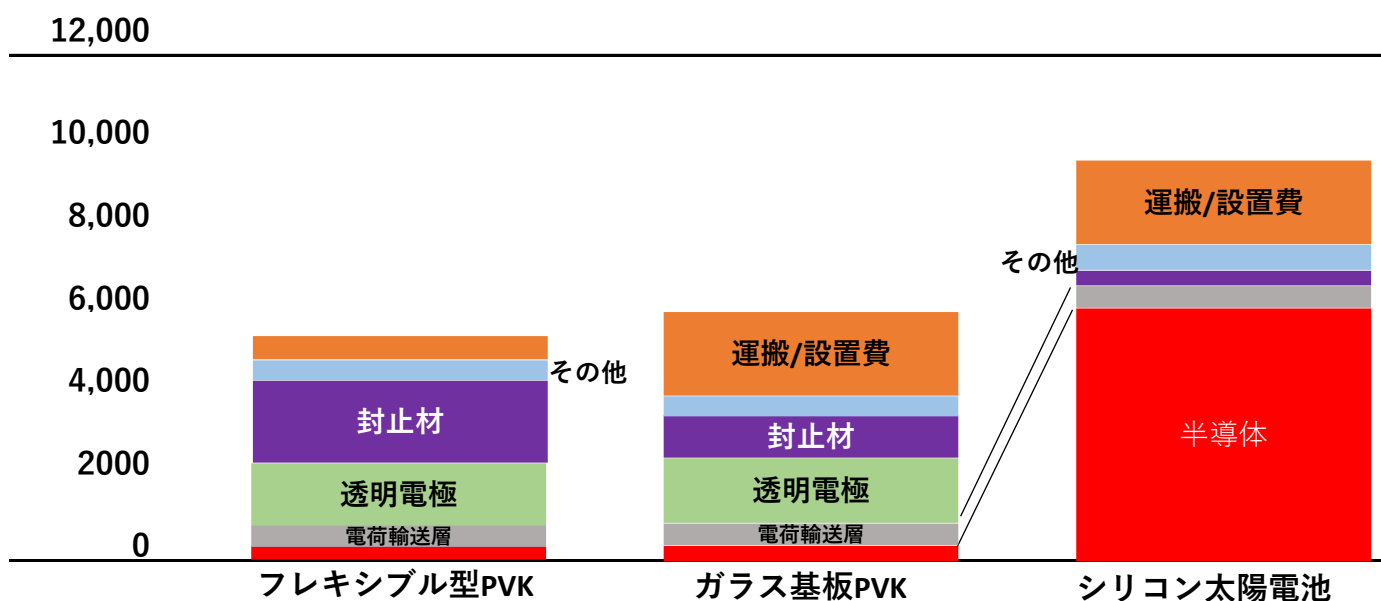
資料（各種太陽電池のワット当りコスト）



資料（太陽電池モジュールのコスト比較）



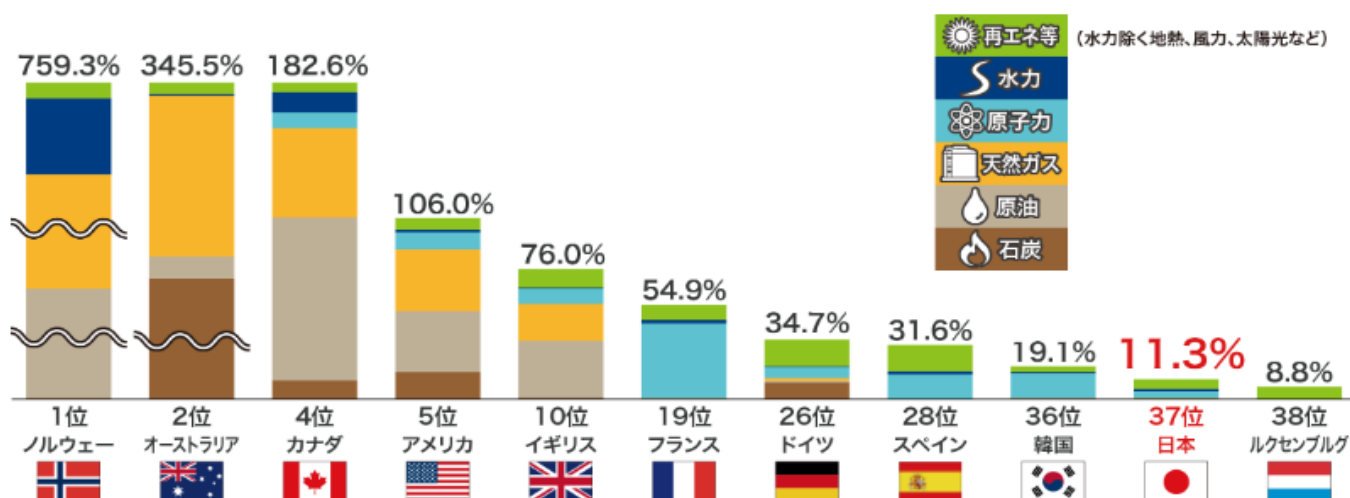
②ペロブスカイトの周辺部材を改善後の比較(㎡当り)



※封止材の量産化や、透明電極の改良や代替材料が必要

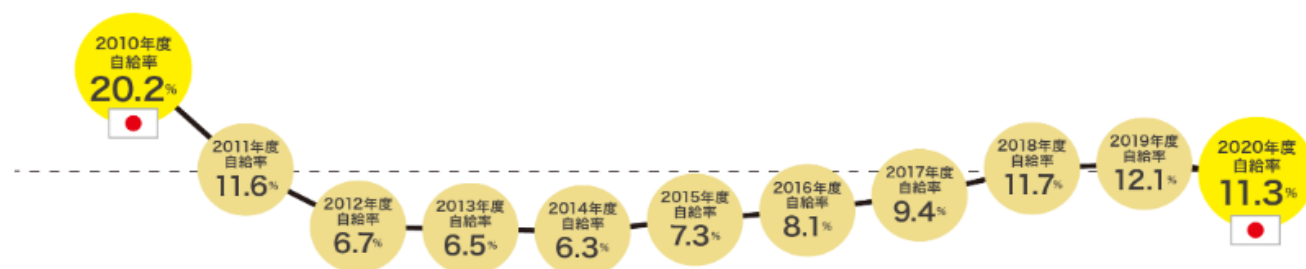
資料（エネルギー自給率）

主要国の一次エネルギー自給率比較(2020年)



出典：IEA「World Energy Balances 2021」の2020年推計値、日本のみ資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2020年度確報値。※表内の順位はOECD38カ国中の順位

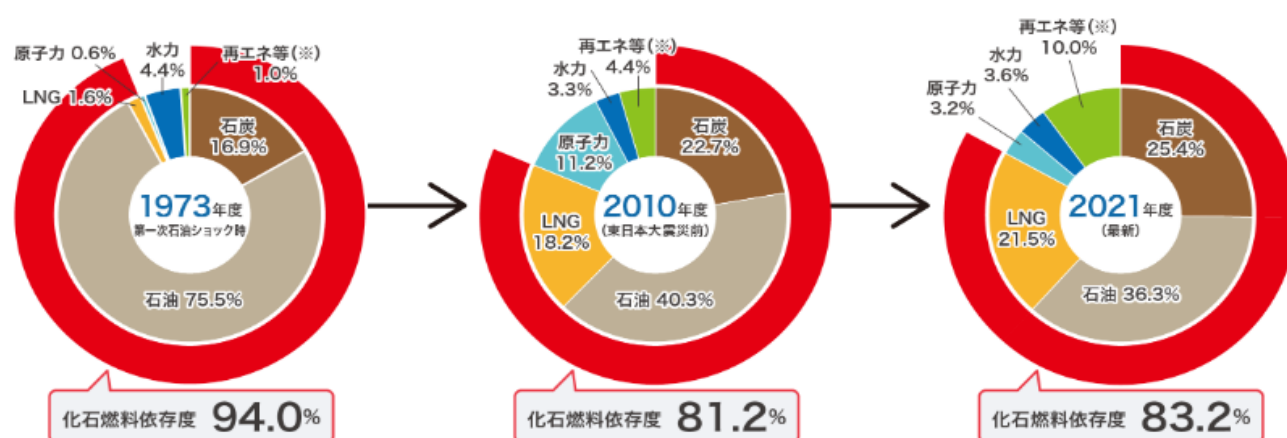
我が国のエネルギー自給率



一次エネルギー：石油、天然ガス、石炭、原子力、太陽光、風力などのエネルギーのもともとの形態

エネルギー自給率：国民生活や経済活動に必要な一次エネルギーのうち、自国内で産出・確保できる比率

日本の一次エネルギー供給構成の推移

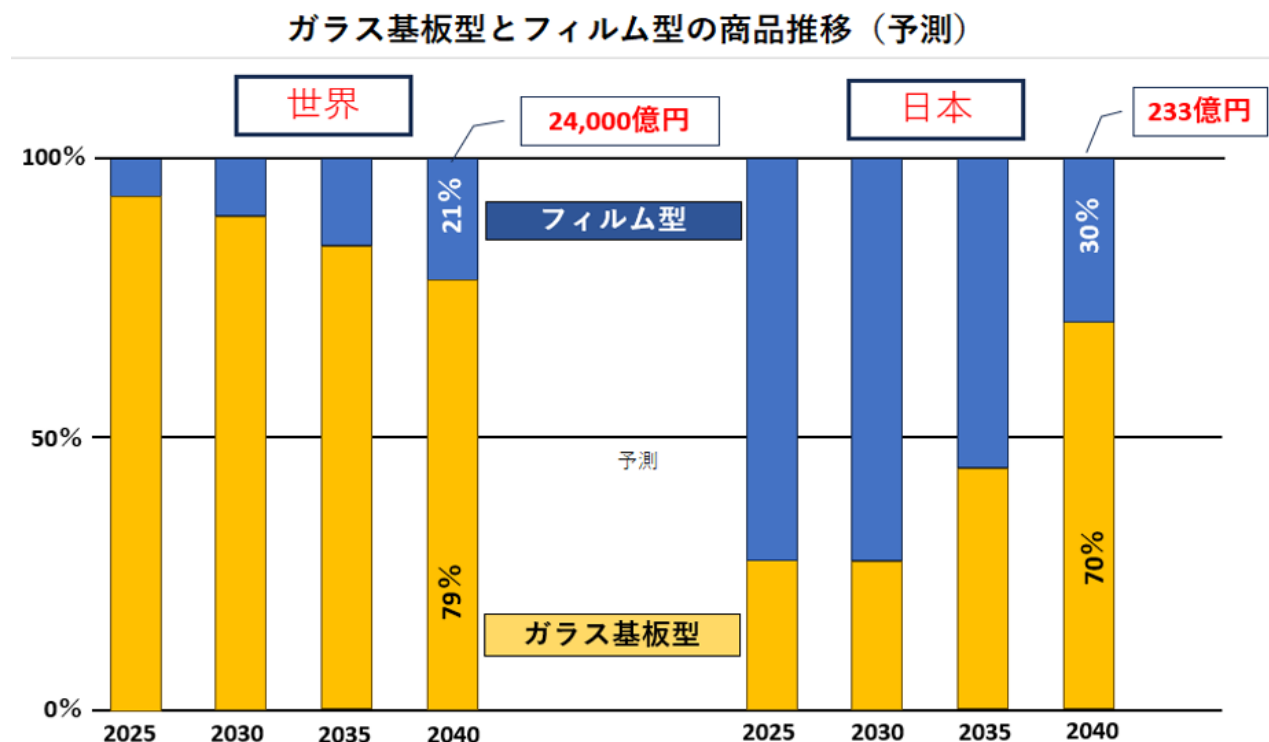


出典：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2021年度速報値

※四捨五入の関係で、合計が100%にならない場合がある。

※再生エネルギー等（水力除く地熱、風力、太陽光など）は未活用エネルギーを含む。

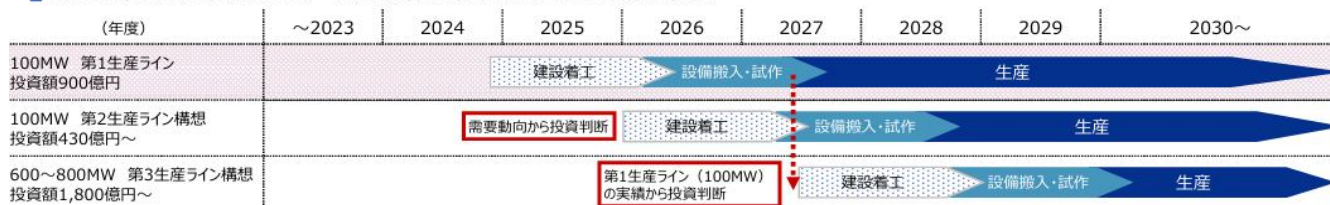
資料（ガラス基板とフィルム型の商品推移）



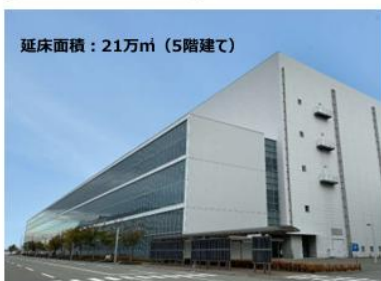
6. 事業化に向けて スケジュール・事業計画ー

SEKISUI

- 100MW（約3万1,000世帯分の年間消費電力量）生産ラインを新設。2027年度稼働予定
- 投資総額：900億円(第1生産ライン)
- 2030年度生産能力1GW～に向け第2・第3生産ラインの増設も検討

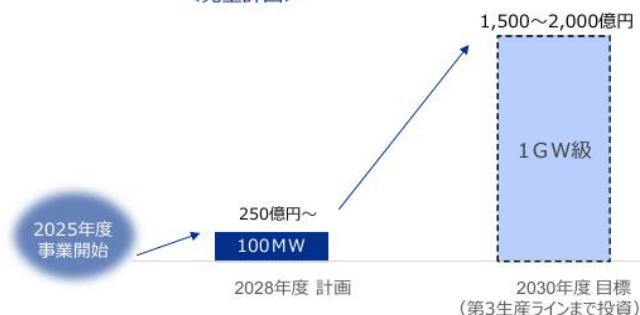


堺工場 全景



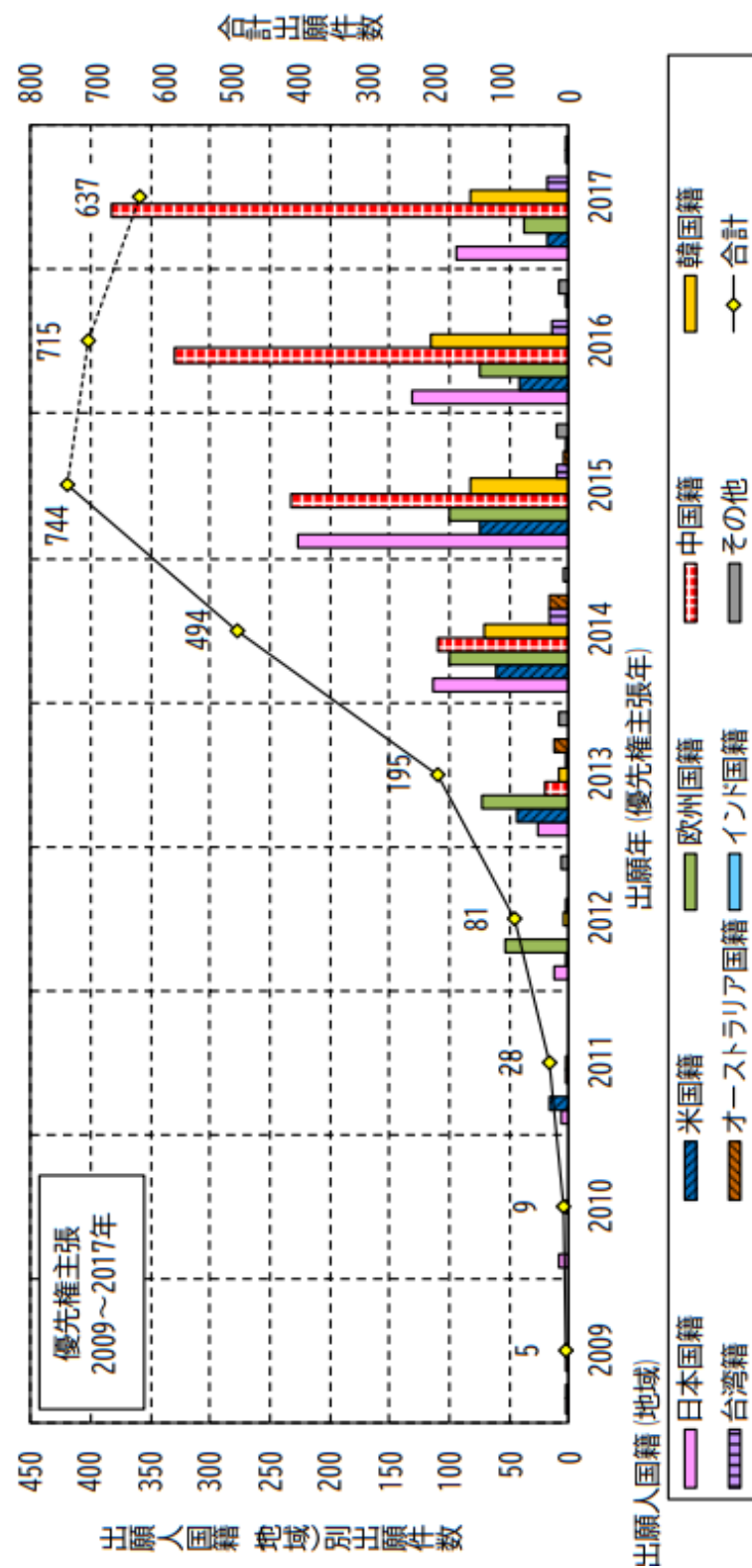
©2018 SEKISUI CHEMICAL CO., LTD.

<売上計画>

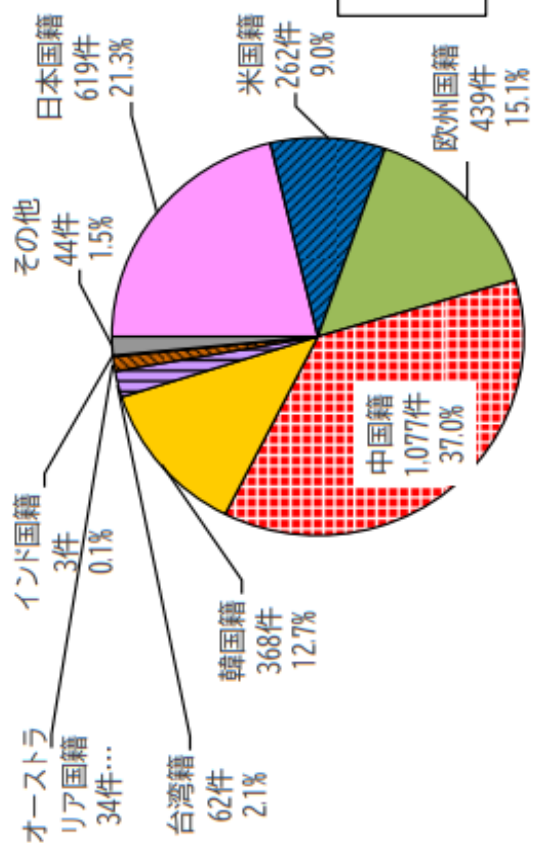


資料（特許出願状況、特許庁資料より）

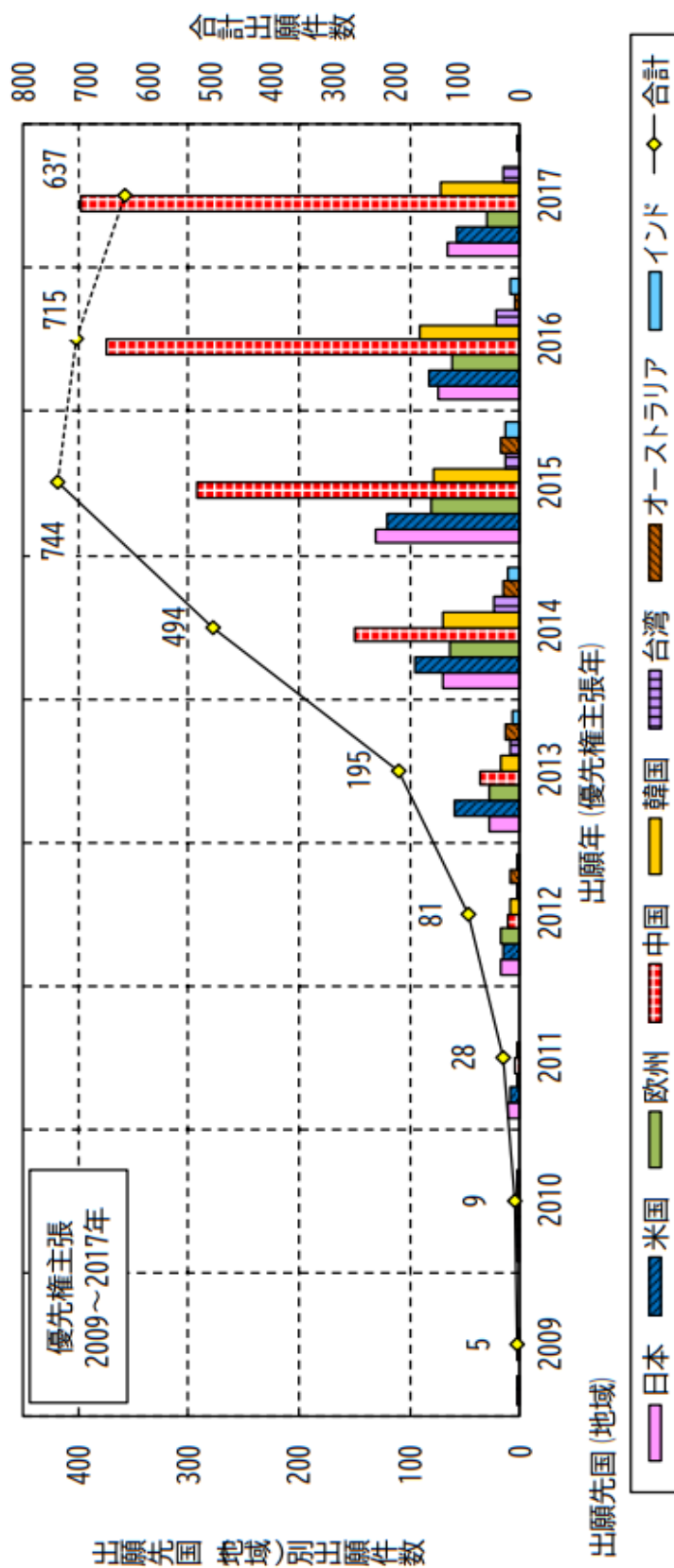
出願人国籍(地域)別の出願件数



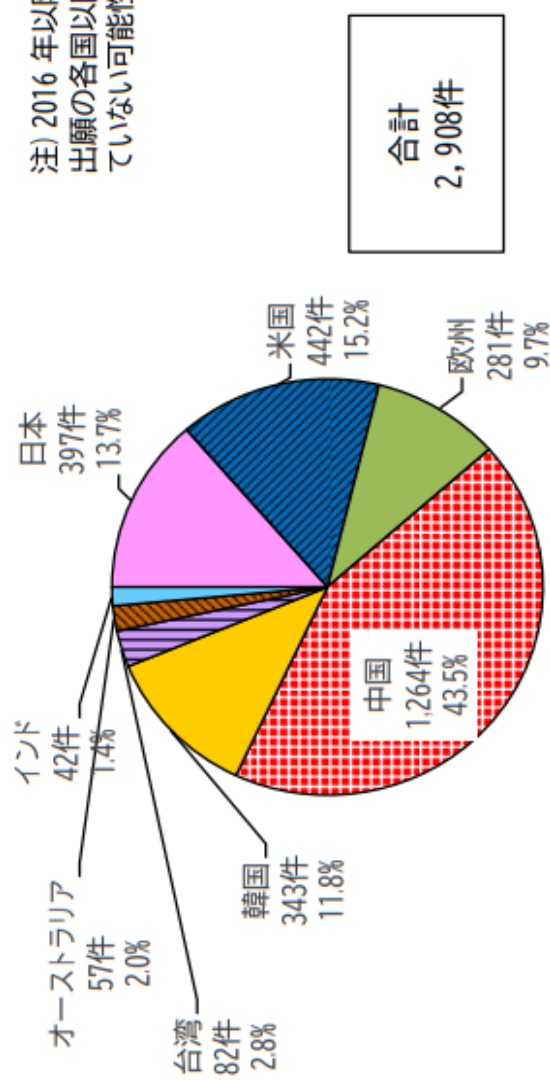
注) 2016 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国以降のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。



出願先国(地域)別の出願件数



注) 2016 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国以降のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。



優待権主張
2009年~2017年

日本への出願
397件

日本国籍 317件 80%

オーストラリア国籍 3件 1%

台湾籍 5件 1%

中国籍 11件 3%

韓国籍 4件 1%

欧州国籍 39件 10%

米国籍 17件 4%

米国への出願
442件

日本国籍 107件 24%

米国籍 147件 33%

欧州国籍 72件 16%

中国籍 17件 4%

韓国籍 55件 13%

台湾籍 22件 5%

オーストラリア国籍 7件 2%

その他 15件 3%

中国への出願
1,264件

中国籍 1,044件 83%

日本国籍 4件 0%

米国籍 24件 2%

欧州国籍 67件 5%

韓国籍 30件 2%

台湾籍 9件 1%

オーストラリア国籍 7件 0%

その他 3件 1%

台湾への出願
82件

日本国籍 24件

中国籍 7件

韓国籍 2件

台湾籍 22件

オーストラリア国籍 4件

その他 1件

欧州への出願
281件

日本国籍 15件 5%

米国籍 25件 9%

欧州国籍 164件 58.4%

中国籍 7件 2.5%

韓国籍 16件 5.7%

台湾籍 3件 1.1%

オーストラリア国籍 8件 2.8%

その他 53件 18.9%

韓国への出願
343件

韓国籍 254件 74%

中国籍 4件 1%

欧州国籍 15件 4%

日本国籍 15件 4%

米国籍 7件 2%

オーストラリア国籍 1件 0%

その他 3件 1%

オーストラリアおよびイギリスへの出願
99件

日本国籍 27件

米国籍 20件

欧州国籍 34件

韓国籍 10件

オーストラリア国籍 1件

中国籍 1件

台湾籍 0件

その他 7件

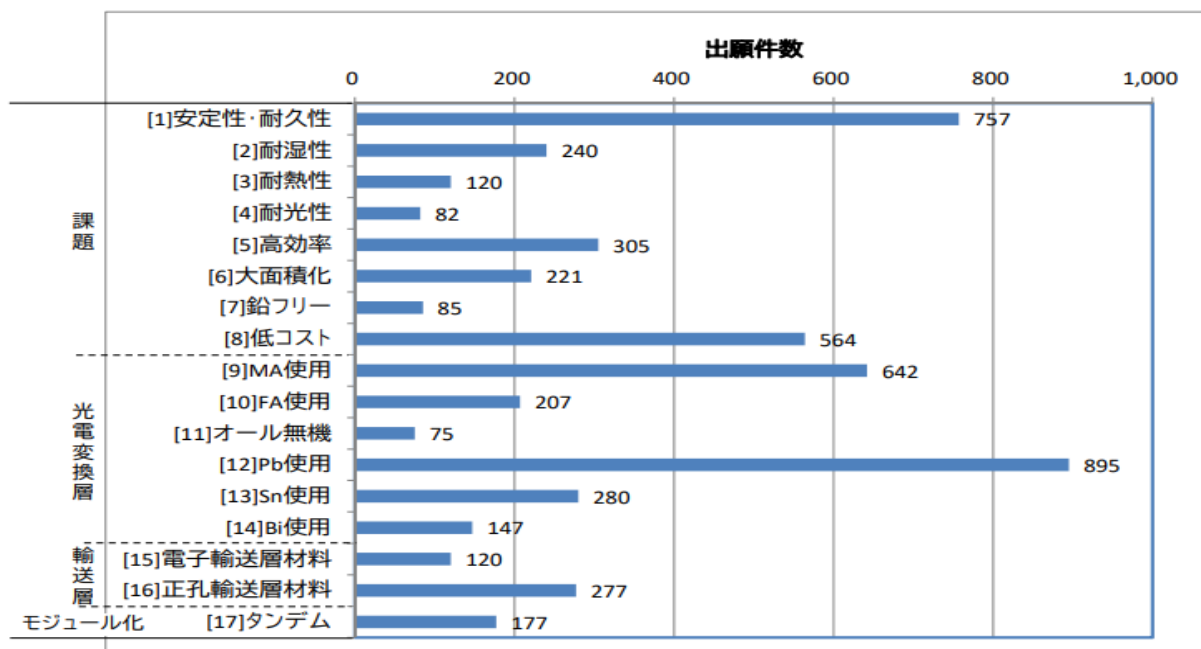
全体		
順位	出願人	件数
1	積水化学	148
2	富士フイルム	99
3	LGエレクトロニクス(韓国)	79
4	メルク(ドイツ)	78
5	オックスフォード大学(英国)	75
6	スイス連邦工科大学(スイス)	73
7	Hee Solar(米国)	69
8	パナソニック	57
9	華中師範大学(中国)	47
10	KRICT韓国化学技術研究所(韓国)	44

出願人別出願ランキング [出願先国(地域)別]

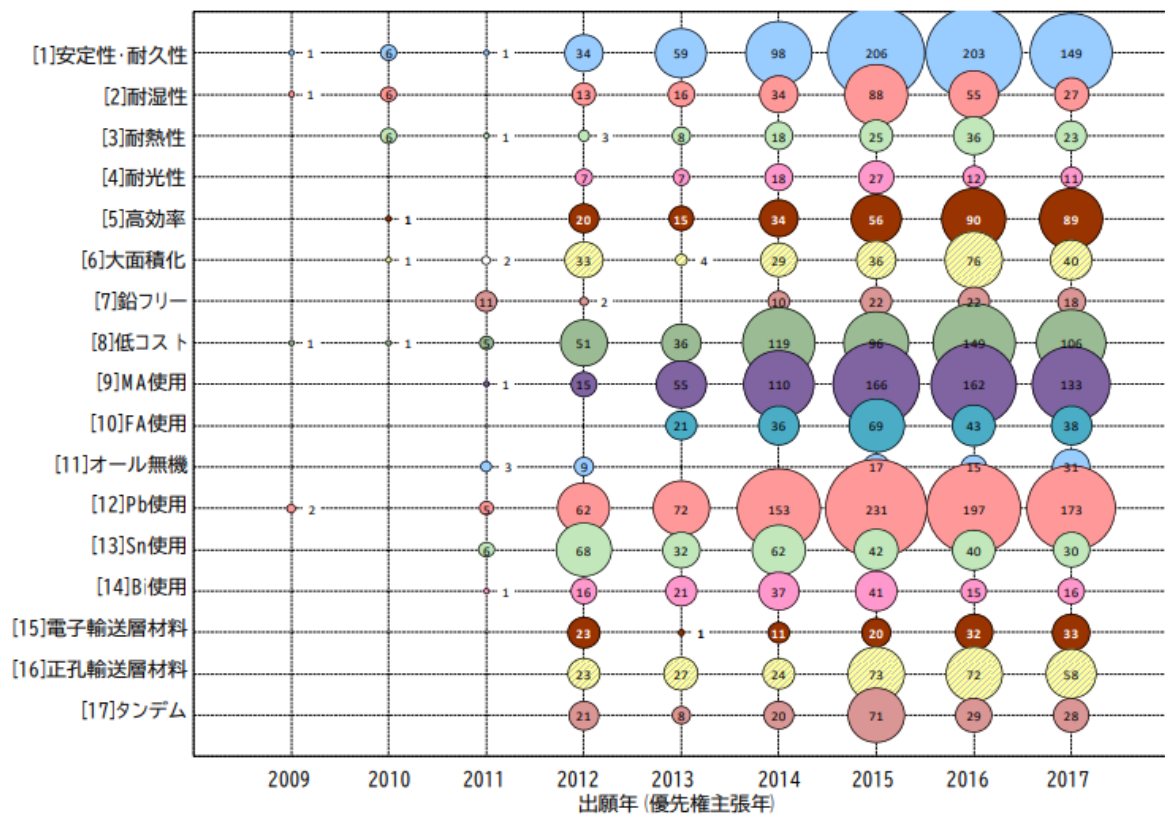
日本			米国			欧州		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	積水化学	75	1	Hee Solar(米国)	22	1	スイス連邦工科大学(スイス)	31
2	富士フイルム	33	2	パナソニック	20	2	富士フイルム	20
3	パナソニック	19	2	富士フイルム	20	2	オックスフォード大学(英国)	20
3	東芝	19	4	東芝	15	4	メルク(ドイツ)	17
5	住友化学	16	4	オックスフォード大学(英国)	15	5	積水化学	14
中国			韓国			台湾		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	華中師範大学(中国)	40	1	LGエレクトロニクス(韓国)	39	1	メルク(ドイツ)	13
2	天津職業大学(中国)	27	2	KRICT韓国化学技術研究所(韓国)	26	2	積水化学	9
3	蘇州大学(中国)	25	3	成均館大学校(韓国)	23	3	住友化学	5
4	武漢理工大学(中国)	23	4	浦項工科大学校(韓国)	18	3	カティバ(米国)	5
4	寧波大学(中国)	23	5	ソウル大学校(韓国)	15	5	国立成功大学(台湾)	4
						5	台湾中油(台湾)	4
						5	花王	4

オーストラリア			インド		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	Hee Solar(米国)	12	1	積水化学	10
2	積水化学	11	2	Hee Solar(米国)	5
3	オックスフォード大学(英国)	9	3	パナソニック	2
4	CSIRO連邦科学産業研究機構(オーストラリア)	4	3	メルク(ドイツ)	2
5	スイス連邦工科大学(スイス)	3	3	沖縄科学技術大学院大学	2
5	オックスフォードPV(英国)	3	3	インド工科大学(インド)	2
			3	オックスフォード大学(英国)	2
			3	オックスフォードPV(英国)	2

技術区分別の出願件数

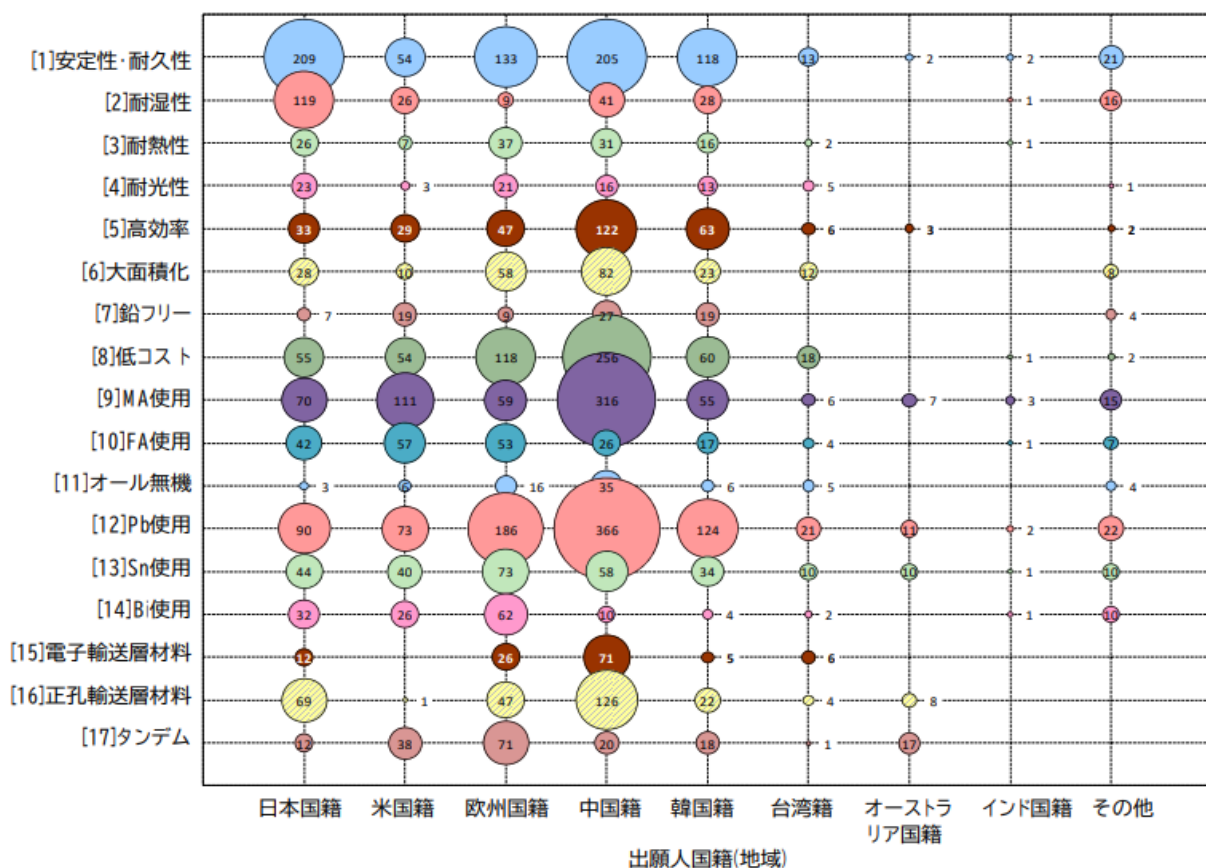


技術区分別の出願件数推移



注) 2016 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国以降のずれ等で全出願データを反映していない可能性がある。

技術区分別－出願人国籍(地域)別の特許出願件数

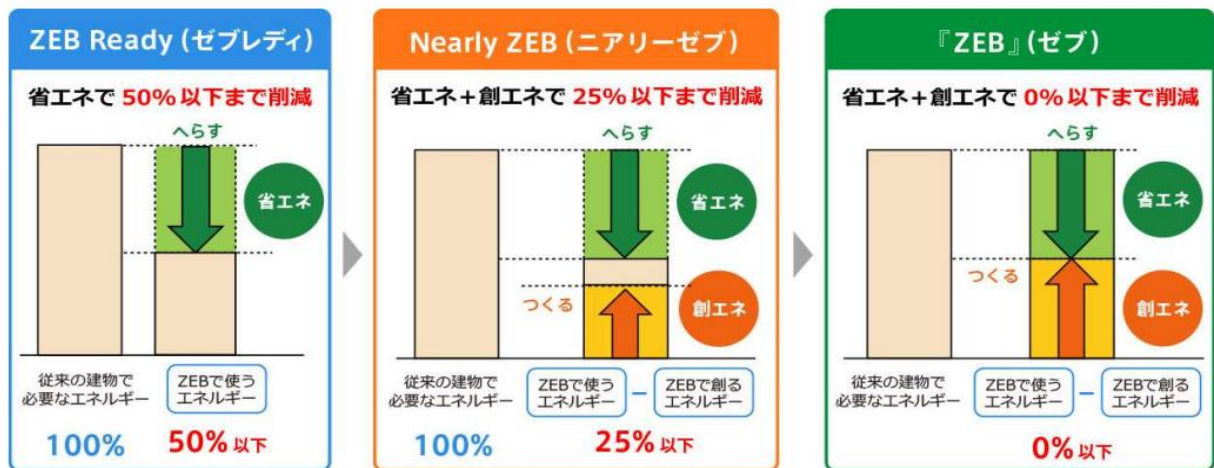


- 全体の出願件数は、調査期間(2009～2017年)において2009～2013年頃は緩やかに、2013～2015年頃に急激に増加している。
- 中国籍出願人の出願は、2015年以降に急激に増加し、出願件数は第1位(約37%)である。
- 日本国籍出願人の出願は、2015年まで増加していたが、それ以後は減少傾向にあり、出願件数は第2位(約21%)である。
- 「安定性・耐久性」の技術区分では、日本国籍出願人の出願件数が第1位(約28%)である。
- 論文発表件数は、2014年頃から急激に増加し、2018年の発表件数は約3,400件である。2016年頃から中国の発表件数の伸びが著しい。
- 研究機関では、オックスフォード大学(英国)とスイス連邦工科大学(スイス)が、特許出願・論文発表ともに大きな存在感を示している。

ZEBを段階別で分けた定義について①

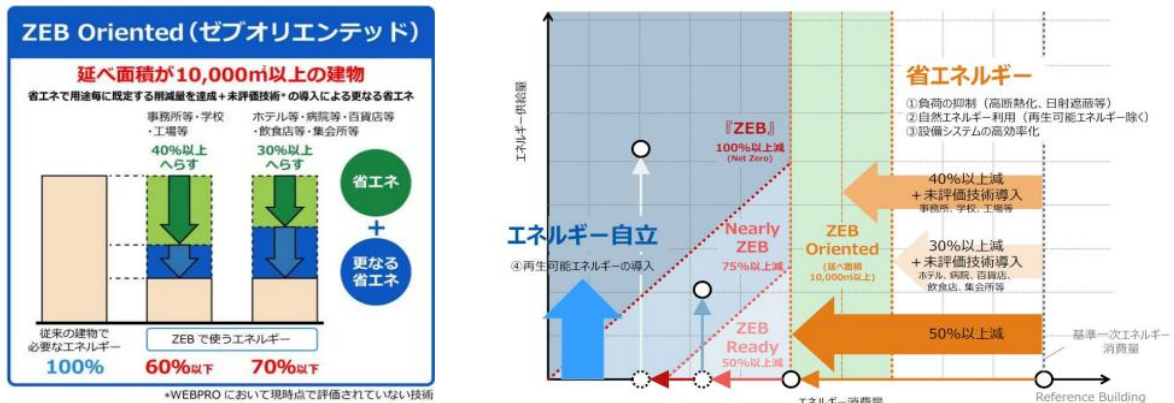
1-2

●建物のエネルギー消費量をゼロにするには、大幅な省エネルギーと、大量の創エネルギーが必要です。
そこで、ゼロエネルギーの達成状況に応じて、4段階のZEBシリーズが定義されています。



ZEBを段階別で分けた定義について②

1-3



ZEB (省エネ (50%以上) + 創エネで100%以上の一次エネルギー消費量の削減を実現している建物)	年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物	以下の①~②のすべてに適合した建築物 ①基準一次エネルギー消費量から50%以上の削減 (再生可能エネルギー*を除く) ②基準一次エネルギー消費量から100%以上の削減 (再生可能エネルギー*を含む)
Nearly ZEB (省エネ (50%以上) + 創エネで75%以上の一次エネルギー消費量の削減を実現している建物)	ZEBに限りなく近い建築物として、ZEB Readyの要件を満たしつつ、再生可能エネルギーにより年間の一次エネルギー消費量をゼロに近付けた建築物	ZEBに限りなく近い建築物として、ZEB Readyの要件を満たしつつ、再生可能エネルギーにより年間の一次エネルギー消費量をゼロに近付けた建築物
ZEB Ready (省エネで基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量の削減を実現している建物)	ZEBに限りなく近い建築物として、ZEB Readyの要件を満たしつつ、再生可能エネルギーにより年間の一次エネルギー消費量をゼロに近付けた建築物	再生可能エネルギー*を除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減に適合した建築物
ZEB Oriented	ZEB Readyを見据えた建築物として、外皮の高性能化及び高効率な省エネルギー設備に加え、更なる省エネルギーの実現に向けた措置を講じた建築物	延べ面積10000㎡以上で省エネで用途ごとに規定した一次エネルギー消費量の削減を実現し、更なる省エネに向けた未評価技術 (WEBPROにおいて現時点で評価されていない技術) を導入している建物 ・事務所等、学校等、工場等は40%以上の一次エネルギー消費量削減 ・ホテル等、病院等、百貨店等、飲食店等、集会所等は30%以上の一次エネルギー消費量削減

建築物等のZEB化・省CO2化普及加速事業のうち、

(1) ZEB普及促進に向けた省エネルギー建築物支援事業（経済産業省連携事業）



業務用施設のZEB化普及促進に資する高効率設備導入等の取組を支援します。

- 1. 事業目的
 - 一度建築されたとストックとして長期にわたりCO2排出に影響する建築物分野において、建築物のZEB化の普及拡大を強力に支援することで2050年のカーボンニュートラル実現に貢献する。
 - 建築物分野の脱炭素化を図るためには既存建築物ストックの対策が不可欠であり、2050年ストック平均でZEB基準の2千㎡以上の既存民間施設は、対象外
- 2. 事業内容

4. 補助対象等

延べ面積	補助率等	
	新築建築物	既存建築物
2,000㎡未満	『ZEB』1/2 Nearly ZEB 1/3 ZEB Ready 対象外	『ZEB』2/3 Nearly ZEB 2/3 ZEB Ready 対象外
2,000㎡～10,000㎡	『ZEB』1/2 Nearly ZEB 1/3 ZEB Ready 1/4	『ZEB』2/3 Nearly ZEB 2/3 ZEB Ready 2/3
10,000㎡以上	『ZEB』1/2 Nearly ZEB 1/3 ZEB Ready 1/4 ZEB Oriented 1/4	『ZEB』2/3 Nearly ZEB 2/3 ZEB Ready 2/3 ZEB Oriented 2/3

- ※1 一次エネルギー消費量が省エネルギー基準から、用途に応じて30%又は40%程度削減されている状態。
- ※2 都道府県、指定都市、中核市及び施行時特例市を除く。
- ※3 延べ面積において新築の場合10,000㎡以上、既存の場合2,000㎡以上の建築物については民間事業者・団体等は対象外。

3. 事業スキーム

- 事業形態 間接補助事業（2/3～1/4（上限3～5億円））
- 補助対象 地方公共団体※2、民間事業者・団体等※3
- 実施期間 令和6年度～令和10年度

お問合せ先： 環境省地球環境局地球温暖化対策課地球温暖化対策事業室

電話：0570-028-341

補助対象は、空調、全熱交換器（必須）、変圧器、Low-E複層ガラス、屋外断熱、BEMS太陽電池（条件有り）、工事費用など。

民間企業等による再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業のうち、
(2) 新たな手法による再エネ導入・価格低減促進事業（一部 農林水産省・経済産業省 連携事業）（1/2）



環境省

地域の再エネポテンシャルの活用に向けて、新たな手法による自家消費型・地産地消型の再エネ導入を促進します。

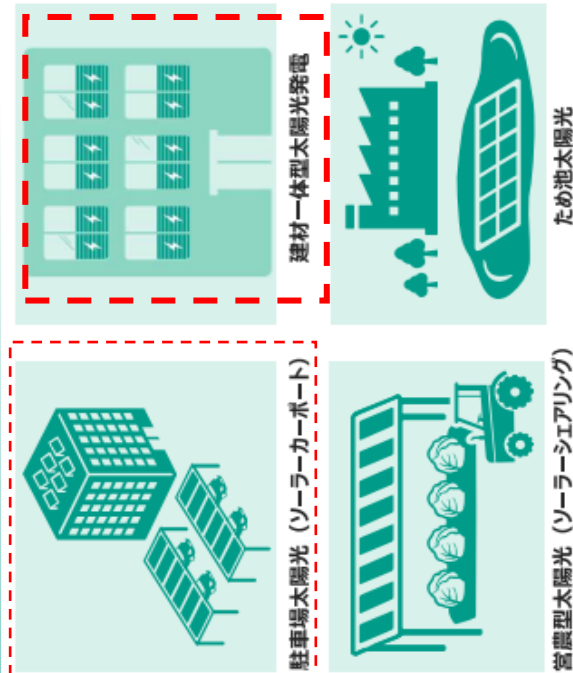
1. 事業目的

- ・地域の再エネポテンシャルを有効活用するため、地域との共生を前提とした上で、新たな手法による太陽光発電の導入・価格低減を促進する。

2. 事業内容

- ①建物における太陽光発電の新たな設置手法活用事業（補助率1/3）
駐車場を活用した太陽光発電（ソーラーカーポート）について、コスト要件（※）を満たす場合に、設備等導入の支援を行う。
- ②地域における太陽光発電の新たな設置場所活用事業（補助率1/2）
宮農地・ため池・廃棄物処分場を活用した太陽光発電について、コスト要件（※）を満たす場合に、設備等導入の支援を行う。
- ③窓、壁等と一体となった太陽光発電の導入加速化支援事業（補助率2/3、1/2）
住宅・建築物の再エネポテンシャルを最大限引き出し、太陽光発電設備の導入を促進するため、窓、壁等の建材と一体型の太陽光発電設備の導入を支援する。
- ④オフサイトからの自営線による再エネ調達促進事業（補助率1/2）
オフサイトに太陽光発電設備を新規導入し、自営線により電力調達を行う取組について、当該自営線等の導入を支援する。※令和6年度は、継続事業のみ実施し、新規募集はしない。

4. 事業イメージ



※①②コスト要件

本補助金を受けることで導入費用が最新の調査価格等認定委員会の意見に掲載されている同設備が整理される電源・規模等と同じ分額の資本費に係る調査結果を踏まえて設定した値を下回るものに限る。

3. 事業スキーム

- 事業形態 ①～④：間接補助事業（補助率1/3、1/2、2/3）
- 補助対象 民間事業者・団体等
- 実施期間

① 令和3年度～令和7年度	② 令和4年度～令和7年度
③ 令和6年度～令和7年度	④ 令和4年度～令和6年度

お問合せ先： 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室 電話：0570-028-341

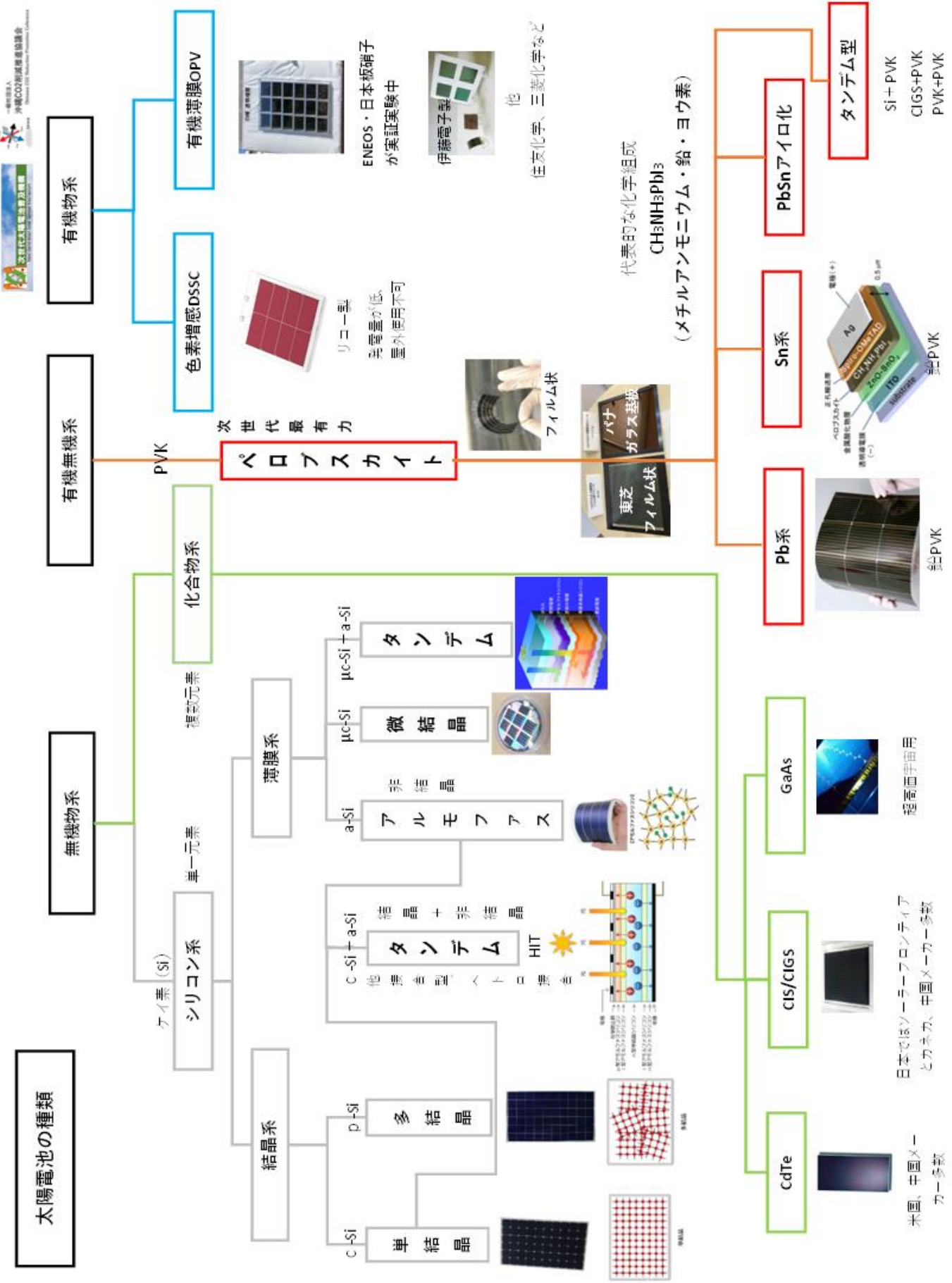
4、窓、壁等と一体なった太陽発電の導入加速支援事業

- ①住宅や商業ビルの窓や壁などと一体となった太陽光発電の導入
- ②補助率は、窓との一体型 2/3 、外壁やバルコニー 1/2

○次世代型太陽電池の実証事業

品質を安定させつつ大量生産可能な量産技術の確立に向け、「次世代型太陽電池のグリーンイノベーション基金事業（次世代型太陽電池実証事業）」

技術・事業分野	太陽光
プロジェクトコード	P21016
事業名	グリーンイノベーション基金事業（次世代型太陽電池実証事業）
事業分類	研究（委託、共同研究、助成）
対象者	企業（団体等を含む）、大学等
公募開始予定日	2024年3月下旬
問い合わせ先	新エネルギー部 太陽光発電グループ
	担当者：松原、山崎、永田、宮川
	E-MAIL： nedo.gi-pv@ml.nedo.go.jp

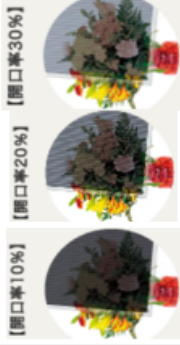


太陽電池の種類と特徴の比較									
項目	物質 (元素)					化合物系 (2種類以上の元素を結合) ※2			
	シリコン系 (Si=ケイ素、IV族) ※1		無機物系 (炭素を含まない)			有機物系 ※3			
	単結晶型 (c-Si)	多結晶型 (p-Si)	薄膜型 アモルファス型 (a-Si)非結晶	CdTe (II-VI族)	CIS/CIGS (I-III-VI族)	有機薄膜			
特徴	高純度シリコンを使用するため高価だが変換効率や信頼性も高い。	単結晶シリコンを作る際、にできたシリコン粒などを利用して作られるため、単結晶より低コスト。	ケイ素を結晶化させないため多結晶シリコンよりも低コストだが、変換効率も低い、直射日光に弱く初期劣化10%程度有。	カドミウムとテルル (レアメタル) を原材料とし、欧米を中心に普及、日本ではイタイタイ病でイメージが悪い。	材料の組み合わせで幅広い波長を受光でき、低コストで変換効率も比較的良好い。	有機半導体材料とす。雨天や室内でも発電出来るが、酸素、水分、湿度の外的影響を受けやすい。(開発中)			
	モジュール変換効率	18～22%程度	15～18%程度	10%前後	15～17%	15%程度	ラポレ	ラポレ	ラポレ
	発電素子の厚み	150～200μm	150～200μm	1μm	3μm程度	3μm	50nm	50nm	1μm
	高温時の出力低下が	15～20%低下する	15～20%低下する	11%	5%	5%	大きい	大きい	5%
	原材料の製造コスト	高い	中	低い	低い	低い	低い	低い	低い
材料の環境負荷	実用化	◎	◎	◎	◎	◎	開発中	開発中	急速に研究中
	室内での発電	無理	無理	出来る	少々	少々	出来る	出来る	大きい
	温暖化影響度	高い	高い	中	中	中	小	小	小
		(製造時に砂溶解に2000℃でポリシリコン溶解に1400℃の熱量が必要の為、製造コストが高く環境に相対悪い)	(製造時に砂溶解に2000℃でポリシリコン溶解に1400℃の熱量が必要の為、製造コストが高く環境に相対悪い)	(原材料の製造で薄膜の為に200℃で良く環境負荷は低い)	(成膜工程を比較的低温の400～650℃で短時間で行うため環境負荷は低い)	(成膜工程を比較的低温の350～550℃で短時間で行うことができ、環境負荷は低い)	(低温製造の為環境負荷は相対低い)	(低温製造の為環境負荷は相対低い)	100℃低温製造の為環境負荷は相対低い
		有害物質	鉛、アンチモン	ケイ素	カドミウム	パフア層にカドミウム	無し	鉛	鉛
主原料	現状	ケイ素	ケイ素	ケイ素と非結晶	II族のカドミウムCdとVI族のテルルTe	銅Cu、インジウムIn、ガリウムGa、セレンSe	ポリフェニレンビニレン、網フタロシアニン、カーボンフラーレン	CH ₃ NH ₃ 、Pb、I ₃ 有機物と無機物	CH ₃ NH ₃ 、Pb、I ₃ 有機物と無機物
		長い	長い	中	長い	長い	長い	長い	長い
		300～1150nm	300～750nm	300～750nm	510～900nm	300～1250nm	300～800nm	300～800nm	300～800nm
	出力維持	33%	33%	25%	31%	33%	21%	30～32%	30～32%
		世界シェア82%	世界シェア14%	直射日光に弱い	ガラス発電として使用 (モリベニ)	ガラス発電として使用 (シャープ、カネカ)	ガラス発電として使用 (ENEOS)	ガラス発電として使用 (ENEOS)	ガラス発電として使用 (ENEOS)
備考	耐久性	20年～30年	20年～30年	20年～30年	20年～30年	20年～30年	45000 h程度	30000 h (パッケージ処理10年) ※4	30000 h (パッケージ処理10年) ※4
		長い	長い	中	長い	長い	長い	長い	長い
		300～1150nm	300～750nm	300～750nm	510～900nm	300～1250nm	300～800nm	300～800nm	300～800nm
	出力維持	33%	33%	25%	31%	33%	21%	30～32%	30～32%
		世界シェア82%	世界シェア14%	直射日光に弱い	ガラス発電として使用 (モリベニ)	ガラス発電として使用 (シャープ、カネカ)	ガラス発電として使用 (ENEOS)	ガラス発電として使用 (ENEOS)	ガラス発電として使用 (ENEOS)

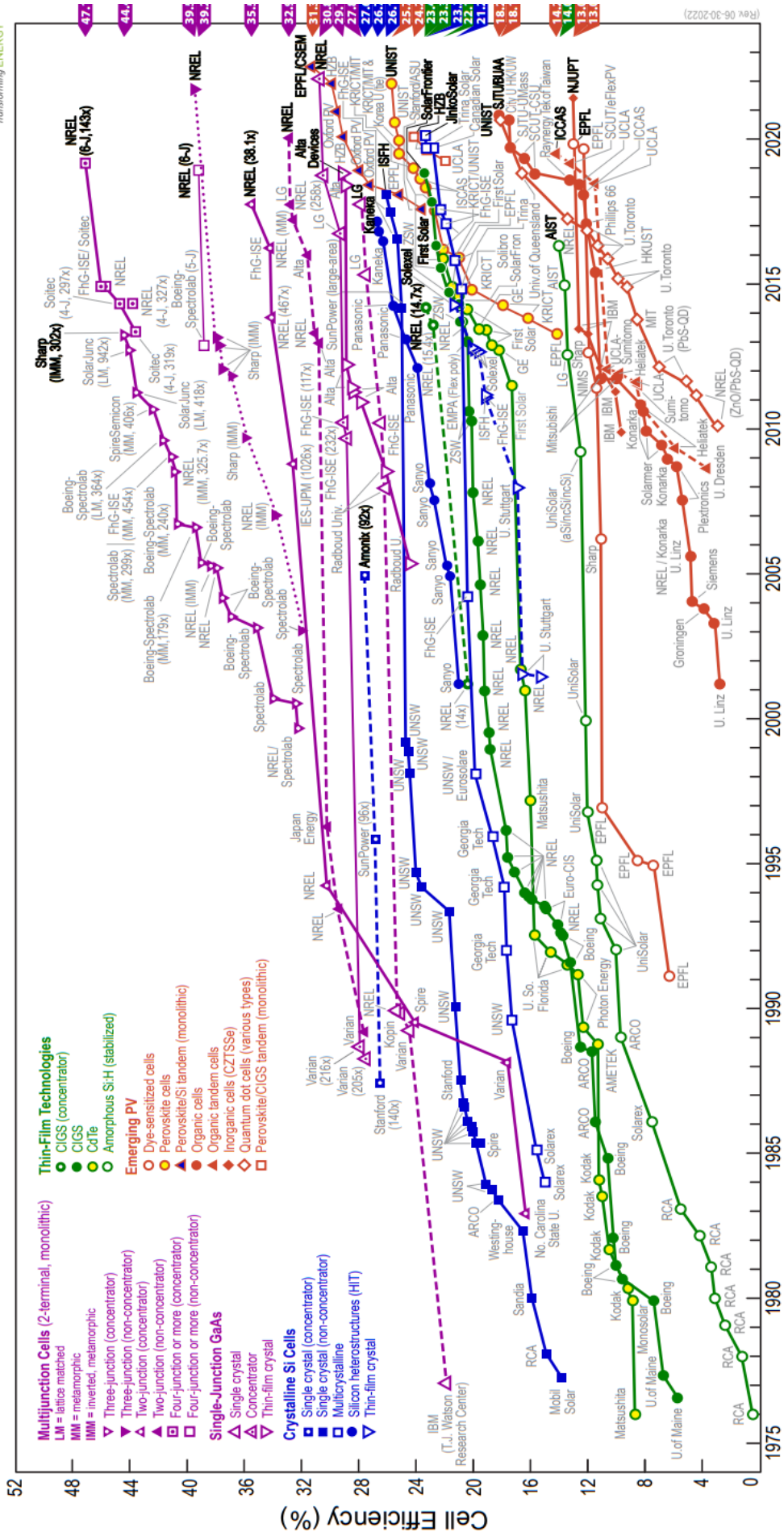
※1、シリコン結晶系には、他にタンデム構造 (多結晶シリコンとアモルファスシリコンを重畳させた構造) がある。(モジュール変換効率25%以上)

※2、無機物系には、他に、耐放射線性を有する宇宙船で使用する、相当高価なGaAsがある。(モジュール変換効率25%以上)

※3、有機薄膜型には、他に色増感太陽電池で電極の白金以外には非常に低価な材料で製造可能ですが製品寿命などの課題に対する研究が行われている。(変換効率ラポレ11%前後)

発電ガラスの比較									
メーカー	太陽光：隆政エネルギー科学杭州有限公司			シャープ	KANEKA	inQs 株式会社	ユピタスエネジー	Panasonic	
代理店	アモイソーラーファーストエネジー株式会社、日本総代理店モリベニ株式会社			-		NTTが販売	ENEOSと日本板硝子		
型式	ASP-INS-T20-80	ASP-INS-T40-602	ASP-INS-T80-20	NA-B0955AA	NA-B14B			VBM375EA01N	
種類	中空層Low-E複層ガラス発電			シーソー太陽電池			ポリマー有機薄膜太陽電池	一般的には屋根型	
開口率/透過率	20%	40%	80%	10%	20%	10%	40~80%	—	
公称最大電力	80W	60W	20W	95W	80W	85W	不明	375	
モジュール変換効率	12.1%	9.1%	3.0%	6.77%	5.70%	7.2%	現在3%、ラポレベル10%	20.3%	
1㎡当りの発電量	121.2W	90.9W	30.3W	67.7W	57.0W	71.7W	不明	202.7W	
変換効率順位	①	②	⑥	④	⑤	③	⑦	—	
外形寸法 (mm)	1200*600*21			1402*1001*9.5			不明	1048*1765*35	
ガラス面積	0.72			1.40			不明	—	
発電パネル面積	0.66			1.40			不明	1.85	
質量 (kg)	22 (複層ガラス込み)			33			不明	21	
日射遮蔽効果	高い			有る			有る	—	
断熱効果	高い			無し			無し	—	
発電材料	化合物系テルル化カドミウム薄膜(CdTe)			CIS (ストライプ状)			ポリフェニレンビニレン、銅フタロシアニン、カーボンフラーレン	単結晶シリコン	
ガラス仕様	 透過率 40%			 【開口率10%】 【開口率20%】 【開口率30%】			 丹島ガラス (東京・宇都宮)		
実用化	実用化			実用化			開発中	実用化	
備考	通常の太陽電池と比較し、発電能力は落ちるものの、窓（遮光、遮熱効果、強度も高い）や外壁への設置でき、有望です。全国の窓ガラスが、発電ガラスになると、カーボンニュートラルを達成できる。			cdtaガラス発電の約半分の発電量			紫外線と赤外線のみで発電する、現在実証試験中で、寿命に問題が有ると思われる。	一般的な太陽電池	

Best Research-Cell Efficiencies



ペロブスカイト太陽電池への使用材料																
族	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	O
周期	アルカリ族	アルカリ土族	希土族	チタン族	バナジウム	クロム族	マンガン族	鉄族 (4周期) 白金族 (5・6周期)	銅族	亜鉛族	アルミニウム族	炭素族	窒素族	酸素族	ハロゲン族	不活性ガス
1	1H水素 1価イオン ⁺															2Hヘリウム
2	3Liリチウム	4Beベリリウム														10Nネオン
3	11Naナトリウム	12Mgマグネシウム														18Arアルゴン
4	19Kカリウム	20Caカルシウム														36Krクリプトン
5	37Rbルビジウム	38Srストロンチウム														54Xeキセノン
6	55Csセシウム	56Baバリウム														86Rnラドン
7	87Frフランジウム	88Raラジウム														118Ogオガネソン

4価で安定 2*は不安定 4価イオン²⁺ 7価イオン⁺	5Bホウ素 6C炭素 7N窒素 8O酸素 9Fフッ素	10Ne 11Na 12Mg 13Al 14Si 15Pリン 16S硫黄 17Cl塩素 18Ar
--	---	---

レアース (中国は世界6割) その他レアメタル (中国は世界の3割) シリコン、化合物太陽電池材料 ペロブスカイト材料 鉛フリーペロブスカイト材料 鉛フリー材料で中国が最大生産国	メチルハムモニウム MA ホルムニウム FA
--	--

Aサイト有機物 Methylammonium MA Formamidinium FA	31Gaガリウム 32Geゲルマニウム 33Asヒ素 34Seセレン 35Br臭素 36Kr
---	--

59Pr 60Nd 61Pm 62Sm 63Eu 64Gd 65Tb 66Dy 67Ho 68Er 69Tm 70Yb 71Lu	89Ac 90Th 91Pa 92U 93Np 94Pu 95Am 96Cm 97Bk 98Cf 99Es 100Fm 101Md 102No 103Lr
---	--

87Fr 88Ra 89Ac 90Th 91Pa 92U 93Np 94Pu 95Am 96Cm 97Bk 98Cf 99Es 100Fm 101Md 102No 103Lr	118Og 119Nh 120Ds 121Fl 122Mc 123Lv 124Ts 125Og
--	---

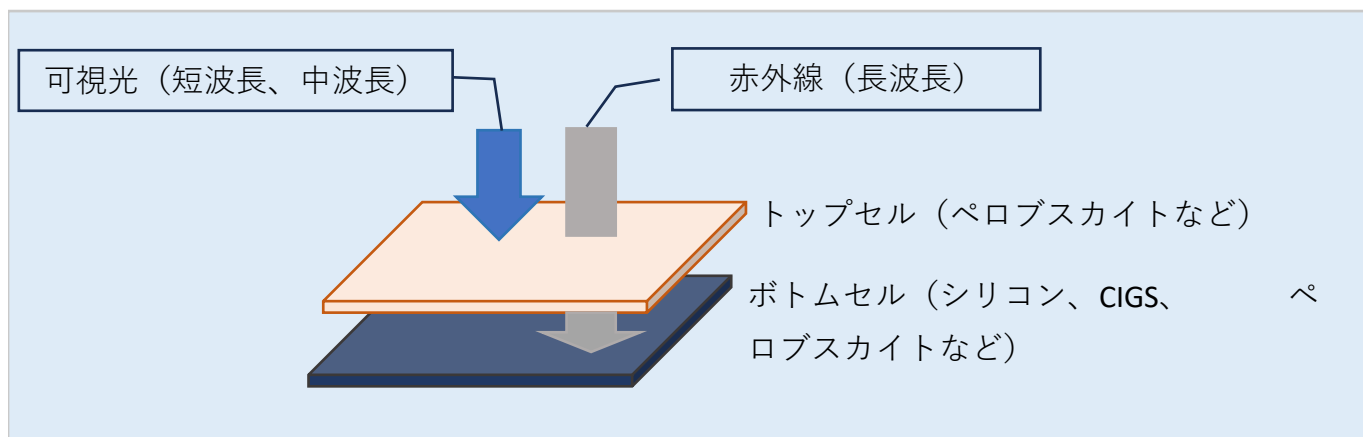
59Pr 60Nd 61Pm 62Sm 63Eu 64Gd 65Tb 66Dy 67Ho 68Er 69Tm 70Yb 71Lu	89Ac 90Th 91Pa 92U 93Np 94Pu 95Am 96Cm 97Bk 98Cf 99Es 100Fm 101Md 102No 103Lr
---	--

87Fr 88Ra 89Ac 90Th 91Pa 92U 93Np 94Pu 95Am 96Cm 97Bk 98Cf 99Es 100Fm 101Md 102No 103Lr	118Og 119Nh 120Ds 121Fl 122Mc 123Lv 124Ts 125Og
--	---

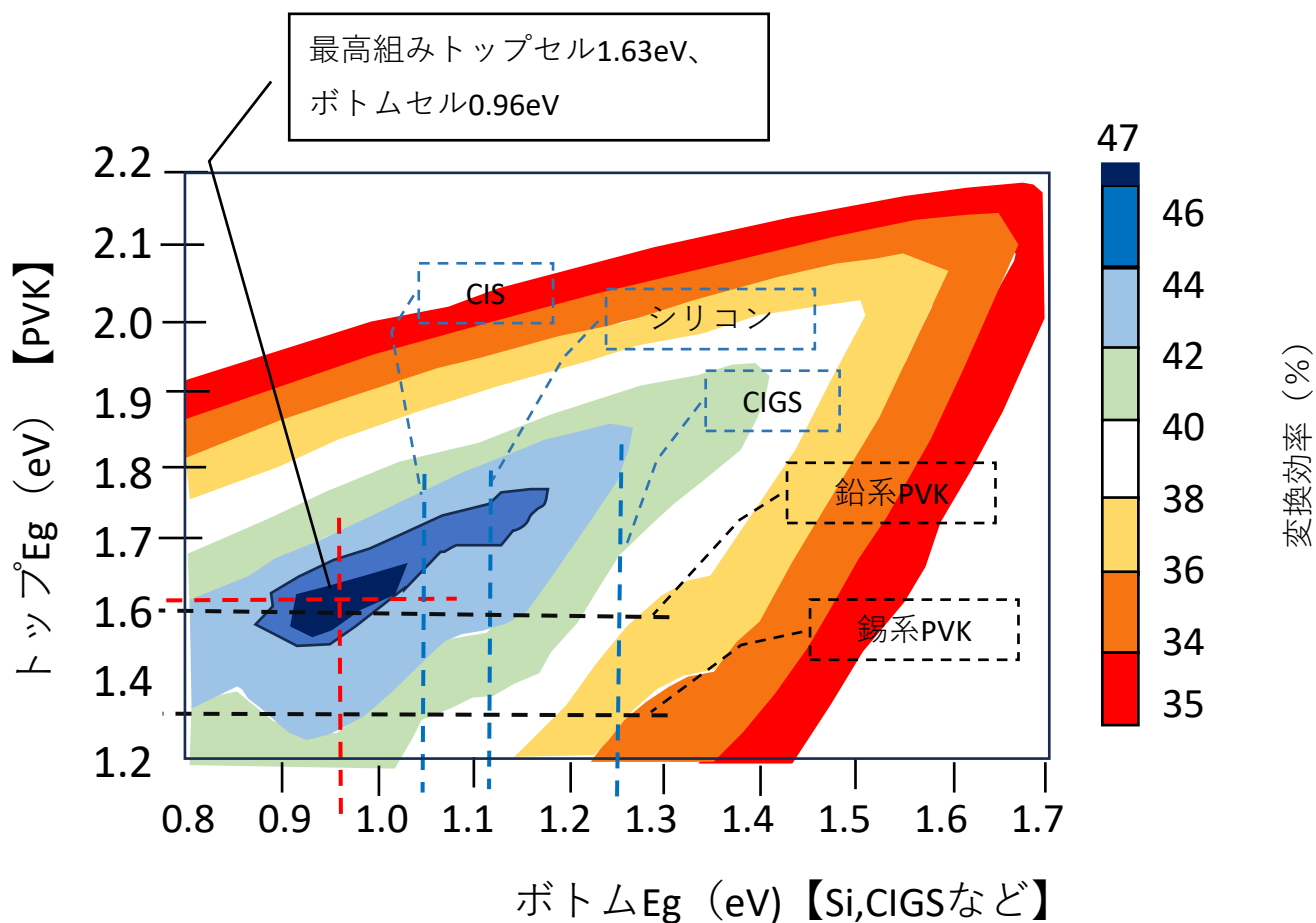
※ヨウ素(I):埋蔵量は世界最大で、生産量は、チリにつき世界2位 (千葉県)。
 ※インジウム: 世界の約1割は日本産。
 ※中国が世界最大産出量材料は、ルビジウム、アンチモン、ビスマス、ガリウムです。
 ※ガリウム (Ga) : 半導体に不可欠、人肌で溶ける金属。
 ※中国はレアースの世界最大の生産国で、世界全体の約58% (2020年) を占め、埋蔵量は総量の約37%です。
 ※中国の輸出規制が2023年8月1日から開始、ガリウムGaとゲルマニウムが規制に。



- 1、タンデム型は、二つ以上の太陽電池を縦に配列したものでトップセルで太陽光の短波長（380～680ナノメートル）などを、光吸収が得意な、半透明の太陽電池を配置し、ボトムセル



2、タンデム型太陽電池の変換効率限界図



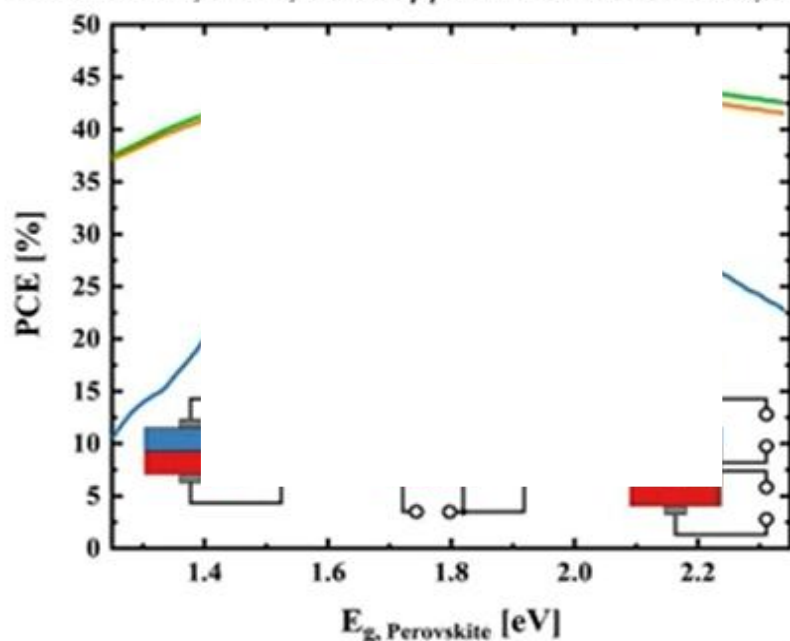
- ※1、トップセル1.63eV、ボトムセル0.96eV時には、理論効率47%となる
- ※2、トップセルには、ペロブスカイトとし、ボトムセルには、CIS、シリコン、CIGS、ペロブスカイト（材料を変えるとバンドギャップが変えられる）

3、端子構造による種類

構造	2端子	3端子 ¹⁾ (中間電極型)	3端子 ²⁾ (BC電極型)	4端子	4端子 (BC電極型)
概要図					↓ : ↓
長所					
短所		・ 電力損失@中間層	・ 高品質ホトムセル	& モジュールコスト↑?	& モジュールコスト↑?

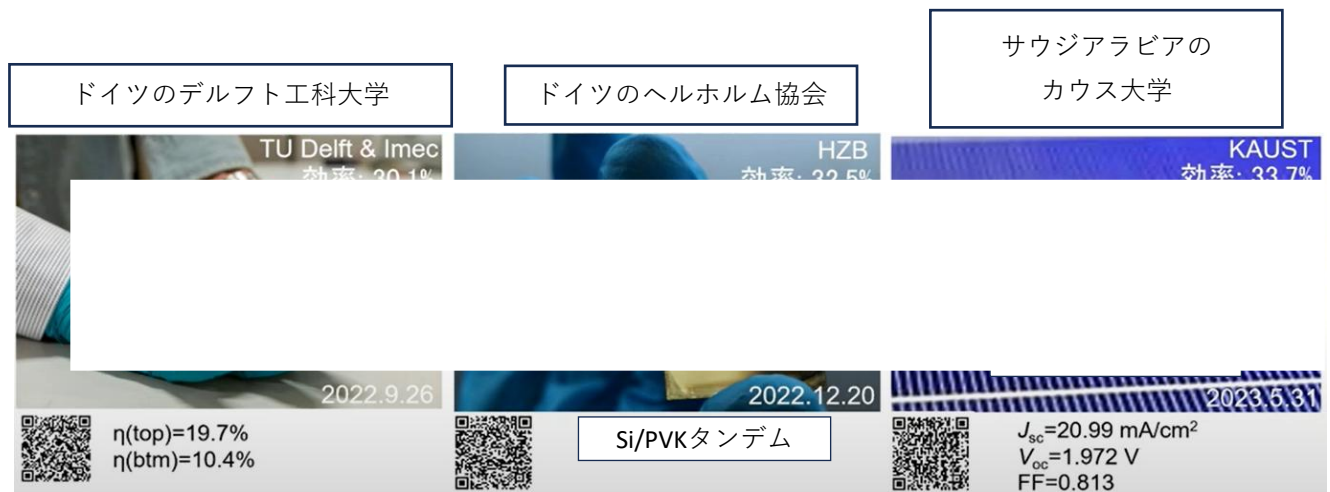
4、端子数による変換効率の変化

P. Tockhorn, et al., ACS Appl. Ener. Mater. 2020, 3, 1381.



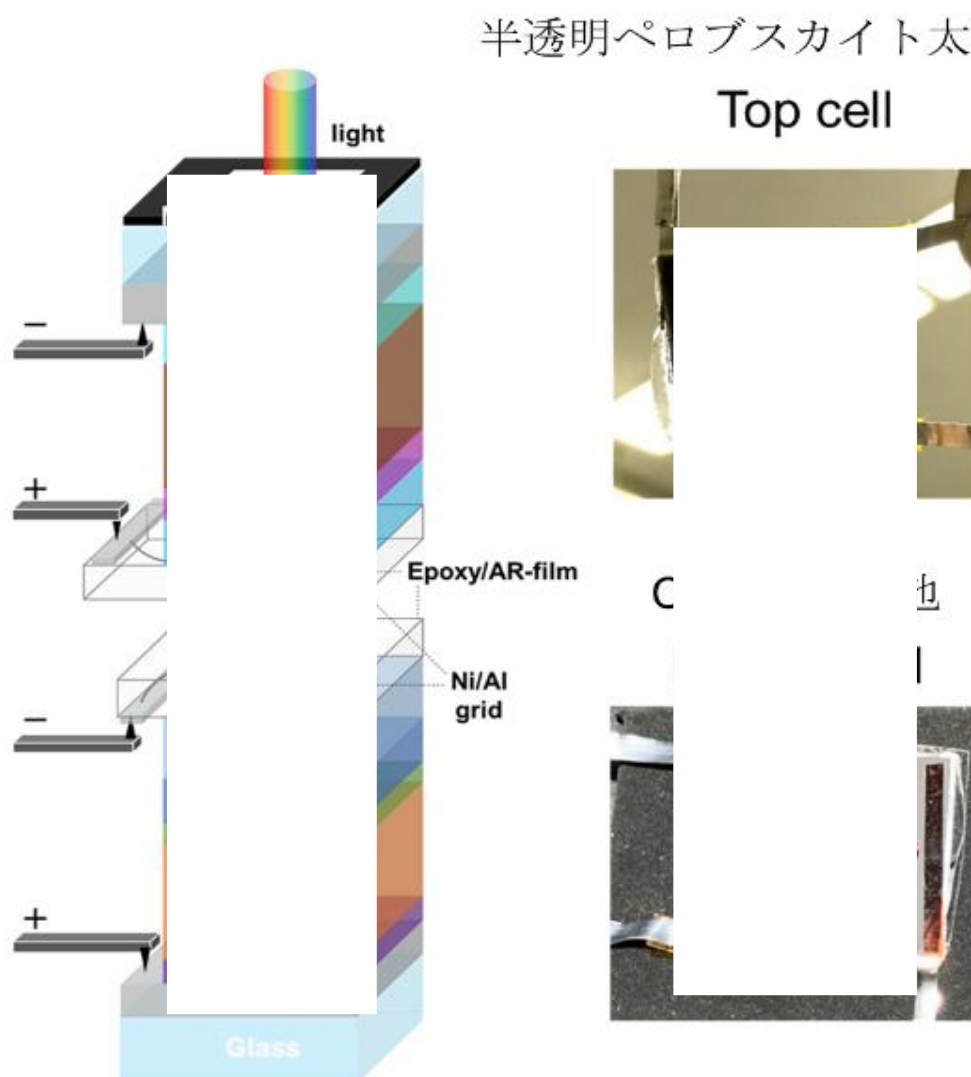
TopにPerovskite、BottomにSiを使った時の端子型による変換効率の変化

5、世界の動向

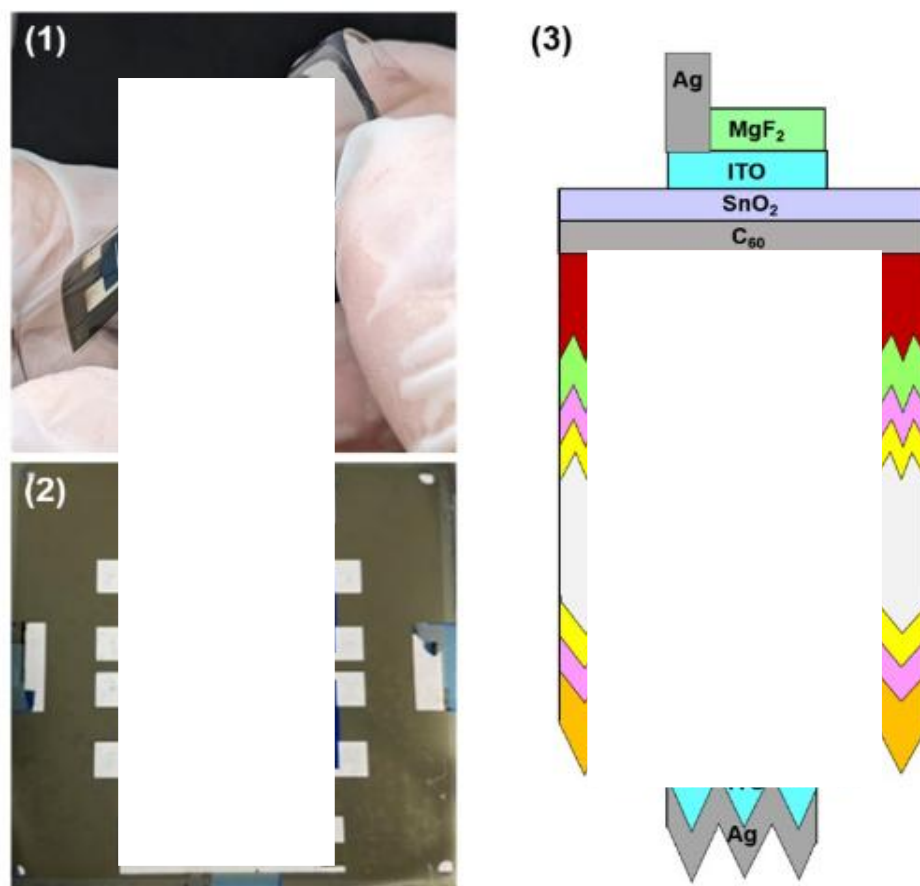


6、日本の動向

①東京大学では、ペロブスカイト／CIGSタンデム太陽電池として世界最高性能となる変換効率26.2%を達成。



②東京都立大学は、エネルギー変換効率の面でもセル面積1cm²において26.5%を達成



(1)フレキシブルなペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池の様子
(2)タンデム太陽電池の外観
(3)タンデム太陽電池の概念

③カネカは変換効率30%を確認した

③神奈川県のパイオニア株式会社（SOLABLEの子会社）はCIS/PVKにて2024年4月にセル効率26.5%を達成（元ソーラーフロンティア技術本部長）

7、各種構造による変換効率（セル小面積1cm²以上）

太陽電池		セル変換効率	曲げ性	備考
単体	結晶シリコン	26.8%	×	
	ペロブスカイト	26.0%	○	
タンデム	ペロブスカイト/シリコン	33.7%	×	
	ペロブスカイト/CIGS	24.2%	△	
	ペロブスカイト/薄膜シリコン	26.5%	○	
	ペロブスカイト/CIS	26.5%	△	
	ペロブスカイト/ペロブスカイト※1	29.0%	○	

※1、トップに鉛ペロブスカイト、ボトムに鉛錫アロイ化ペロブスカイト