

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

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3月12日更新

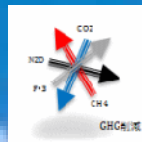
ガラス発電アドバイザー資格教材
ZEB推進専門員教材一部として活用



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	3
3、構造は	3
4、良い特徴	4
5、課題	7
6、設置可能な場所	7
C、日本政府は	11
D、メーカーの開発動向	11
E、大学や研究所の開発動向	13
F、ペロブスカイト塗布方法の比較	15
G、各種太陽電池の分光感度	15
H、太陽電池の種類	18
I、太陽光発電世界シェア	26
G、太陽光電池の比較	27
K、発電ガラス事例	31
L、Low-E複層ガラスについて	34
M、BIPV（建築物一体型太陽電池）について	35
N、各種燃料による発電コスト比較	35
O、世界のヨウ素の埋蔵量と生産量(H29年)	35
資料（変換効率の推移）	36
資料（各種太陽電池のワット当りコスト）	36
資料（太陽電池モジュールのコスト比較）	37
資料（エネルギー自給率）	38
資料（特許出願状況、特許庁資料より）	39
資料 ZEBについて ZEB補助金	45
資料 窓や壁一体太陽電池補助金	47
資料 次世代型太陽電池実証事業	48
資料 太陽電池の種類図	49
資料 太陽電池の種類と特徴の比較表	50
資料 ガラス発電の比較表	51
資料 変換効率推移明細グラフ	52
資料 元素周期表	53

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協議会及び会員のモリベニ（日本総代理店）は、ペロブスカイト太陽電池を屋上や、手すりカーポートや窓材として活用します、また、フレキシブル型の変換効率、耐久性、施工方法が、確立後、壁などへ、活用する。
- ⑩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）

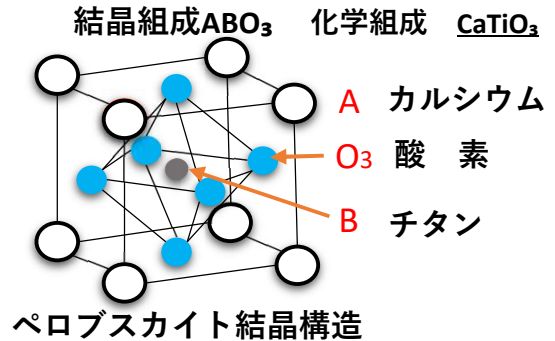
この資料は、次世代太陽電池アドバイザー資格、ガラス発電アドバイザー資格、ZEBプランナー推進専門員の教材としても使用する。

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、ロシアの鉱物学者レフ・A・ペロブスキー氏が、1839年に47才のころに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、この結晶構造をペロブスカイト構造と呼ばれる。



B、ペロブスカイト太陽電池（PVK）

1、発明者は

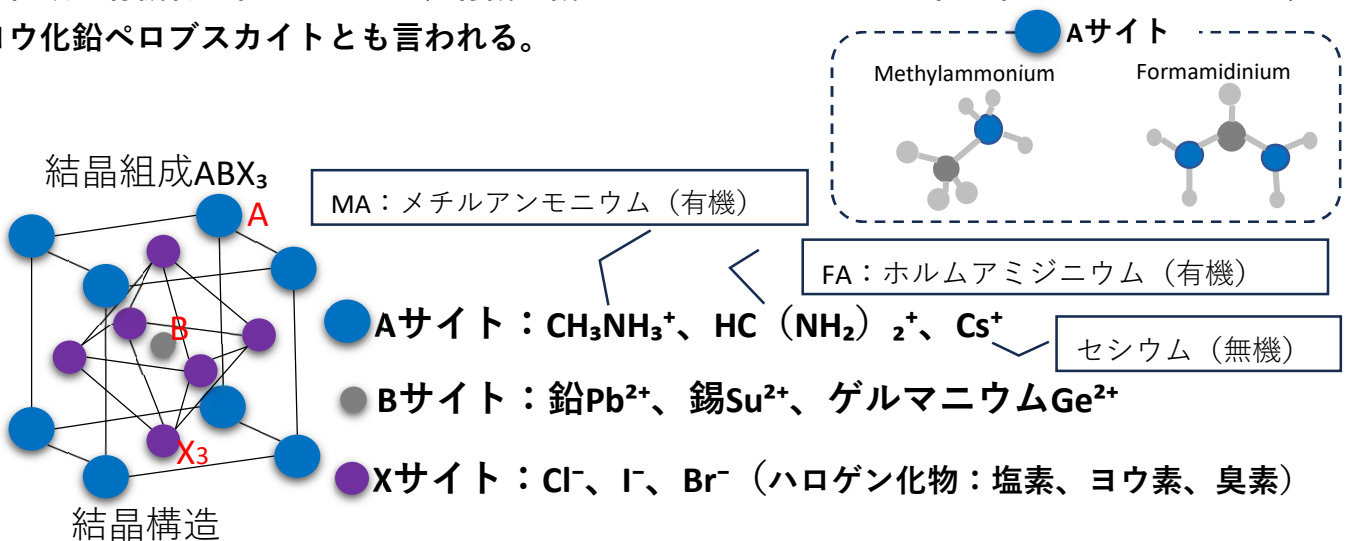
・桐蔭横浜大学の宮坂力特任教授が2009年に発明し、当初の変換効率は3%程度で、注目されていませんでしたが、現在では、次世代の最有力として注目を浴びています、また、研究者数も数名だったのが、4万人（中国人約半数、日本1000人）となり、面積703m²（フィルム状）変換効率も15%以上と、急激に開発されています。（色素増感太陽電池を携わっていて、その材料をペロブスカイトに変えて実験を始めたのは2006年）

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。

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

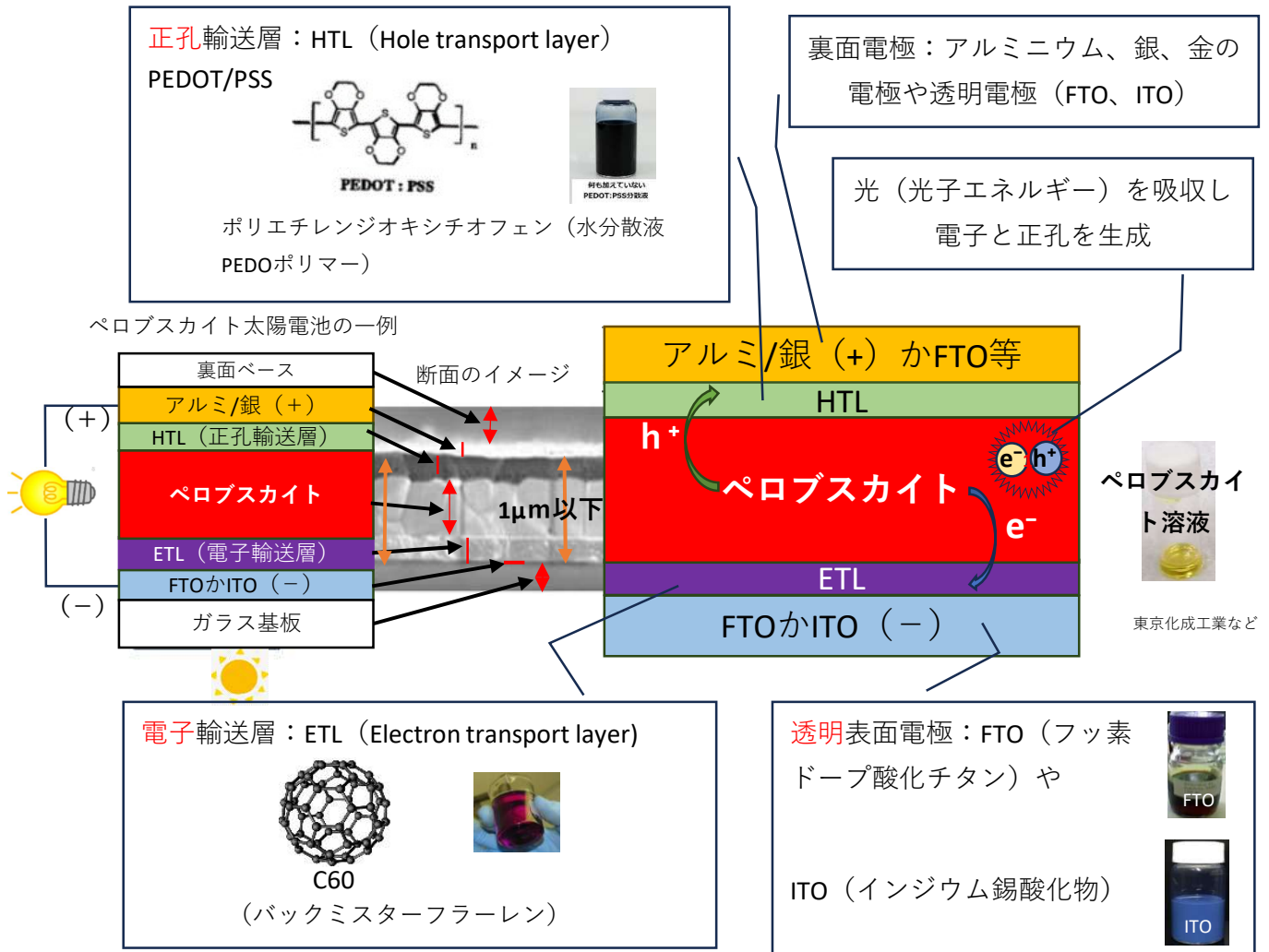
・種類は有機物に属しているが、有機無機ハイブリットのハロゲン化金属ペロブスカイトで、ヨウ化鉛ペロブスカイトとも言われる。



・種類は有機物に属しているが、有機無機ハイブリット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。

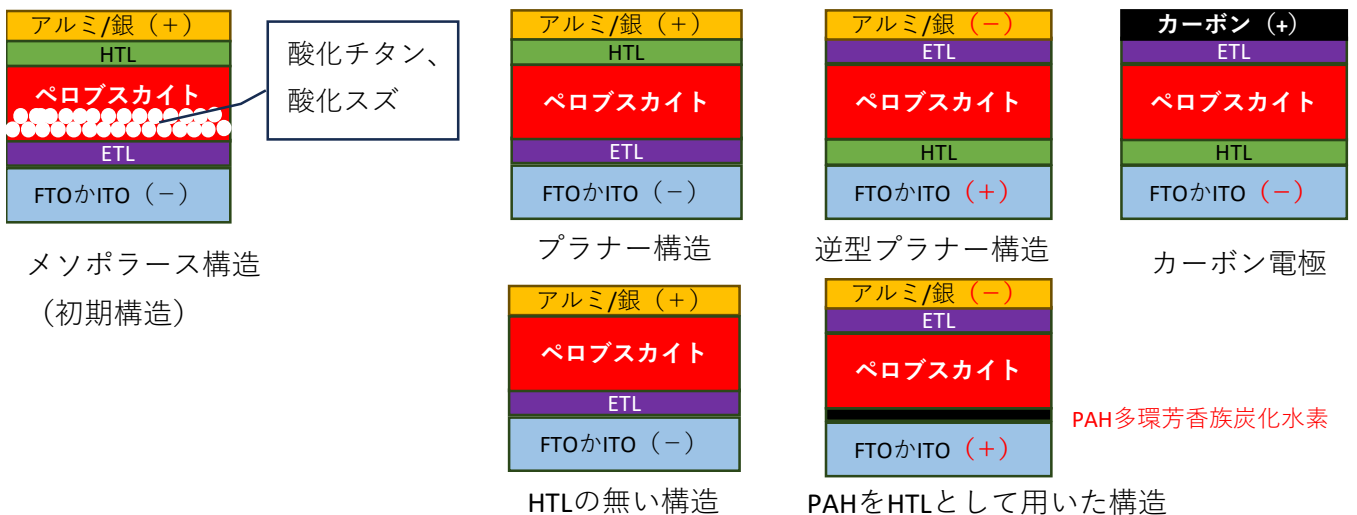
3、構造は

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。

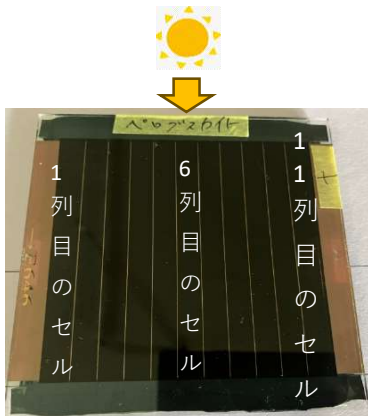


②電子輸送層と正孔輸送層を設けると、効率アップと、ペロブスカイト層の劣化を防ぐため

3-1、層構造



3-2、プランナー構造の製造工程と電流の流れ



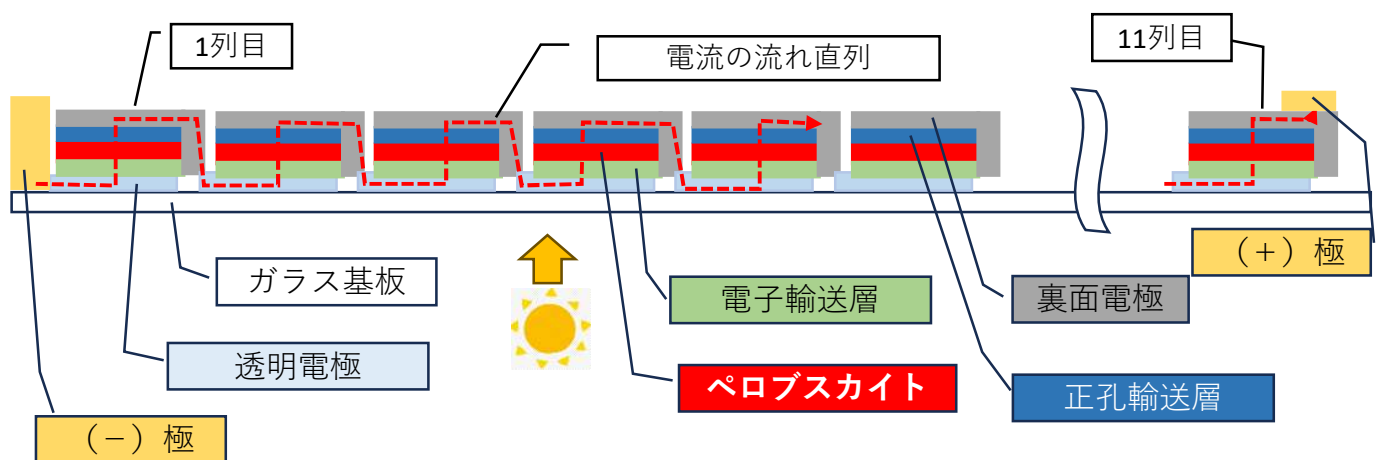
①ガラス基板に透明電極FTOかITOを塗布しレーザーエッチング

②透明電極の上に電子輸送層を積層

③電子輸送層の上にペロブスカイト層を積層し、その上に正孔輸送層を積層し、レーザーエッチング

④正孔輸送層の上に、裏面電極を設置しレーザーエッチング

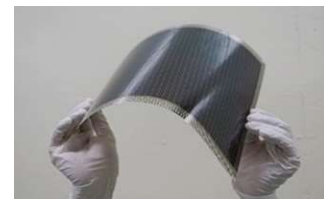
※これで11枚のセルを直列接続が完了する



※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。

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** (0.5~1 μ m)、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 (1~4 kg/m²) 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12~15kg/m²)



③光の吸収効率が良い為、雨天でも、室内のLEDでも発電できる。

(日陰での発電量は、ペロブスカイトが2倍以上、中国の大正微納科技にて比較実験)



④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	22.0%	14.0%	11.5%	16.9%	17.36%
	100mW/cm ²	発電量	22mW	14.0mW	11.5mW	16.9mW	17.4mW
	1000W/m ²		220W	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	1.2%	9.9%	10.9%	32.61%	34.2%
	0.065mW/cm ²	発電量	0.00078mW	0.006mW	0.007mW	0.021mW	0.022mW
	0.65W/m ²		0.0078W	0.064W	0.071W	0.212W	0.222W
実測	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	ペロブスカイト 大面積中国製			
				順構造	備考		
太陽光 1Sun	100000Lx	変換効率	17.0%	15.1%	18.06%	メーカー仕様書より	
	100mW/cm ²	発電量	17mW	15.1mW	18.1mW		
	1000W/m ²		170W	151W	180.6W		
環境光 1000Lx	1000Lx	変換効率	—	11%	15.8%	当協議会実測	
	0.33mW/cm ²	発電量	—	0.036mW	0.052mW		
	3.3W/m ²		—	0.36W	0.52W		
環境光 200Lx	200Lx	変換効率	—	—	15.6%		
	0.065mW/cm ²	発電量	—	—	0.010mW		
	0.65W/m ²		—	—	0.10W		
200Lx 実測	300Lx	変換効率	3.7%	10.1%	16.3%		
	0.10mW/cm ²	発電量	0.0037mW	0.01mW	0.016mW		
	0.99W/m ²		0.037W	0.10mW	0.16W		

※曇り時約1万Lx、雨天時約5千Lxです。

※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。

⑤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。

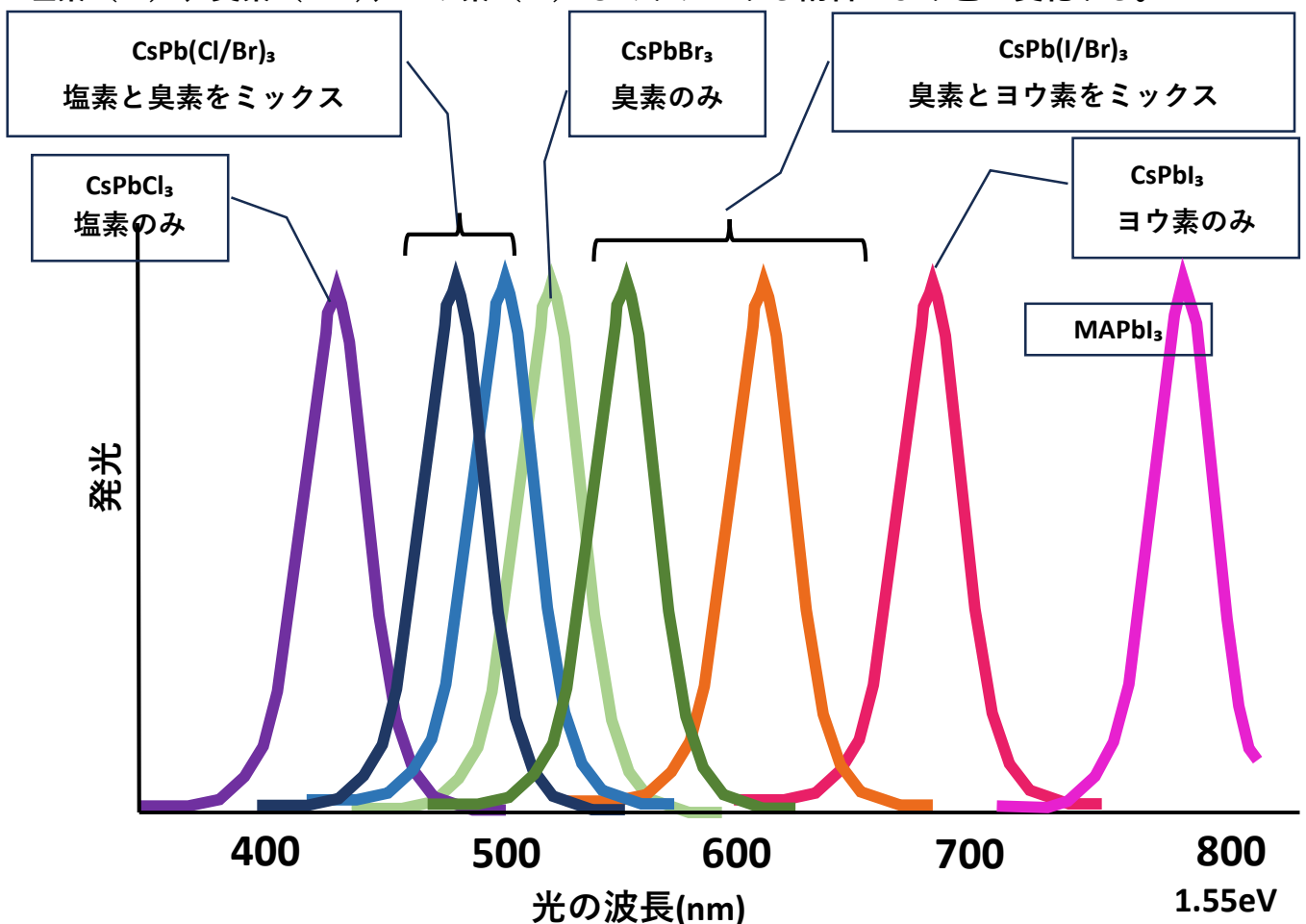
⑥主材料がヨウ素と鉛の為、日本で調達でき、ヨウ素については、埋蔵量は世界最大で、生産量はチリにつき2位で世界の約30%を占めており日本（千葉県）から輸出できる貴重な国産天然資源とされている。

⑦製造時に100°Cの低温製造の為、CO₂排出が低い。（シリコン系は、1400°C）

⑧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。

⑨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。

・塩素（Cl）、臭素（Br）、ヨウ素（I）もミックスする割合により色が変化する。



※錫（MASnI₃）や錫と鉛のアロイ化（MAS_{0.8}Pb_{0.2}I₃）は、赤外線側の発光スペクトルとなる（1.2~1.4eV）

⑨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）

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/m^2 以下です。

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（ヨウ素化合物と臭素化合物の分相する）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（ $10\sim 15\text{ K g/m}^2$ ）設置できない場所（軽量屋根など）でも、軽い（約 2 K g/m^2 ）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。

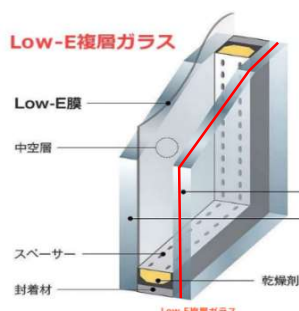


④EV自動車、農事用ハウスなど、あらゆる場所へ設置できる。



※現状は、課題とする、耐久性をクリアー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。



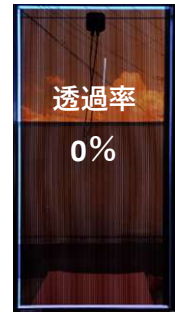
◎水分と熱の課題を
クリアーした商品です



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



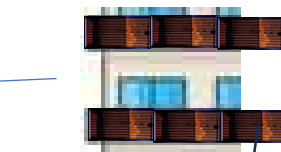
②ガラスビルへの室内側からの設置（防火区域での防火認定不要）

- ・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



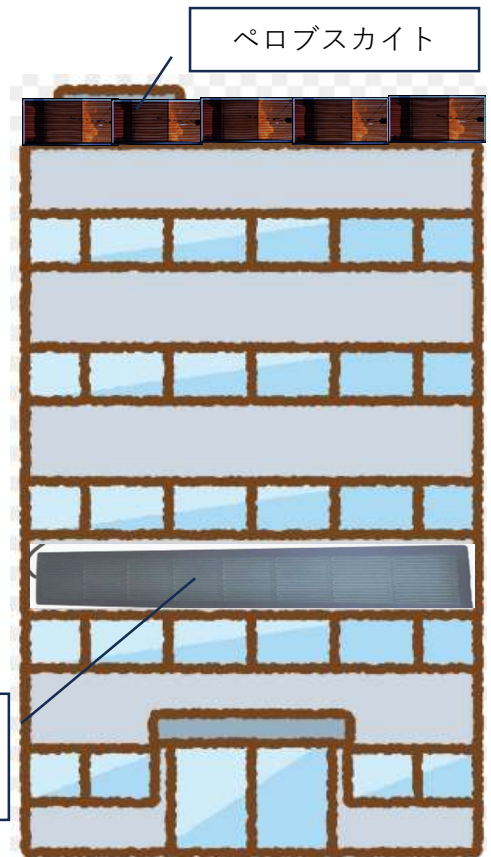
③壁面や、ベランダ、屋上手すりへの設置の場合

- ・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



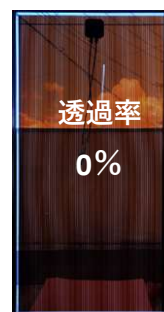
ベランダへペロブスカイト

フレキシブル型CIGS



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

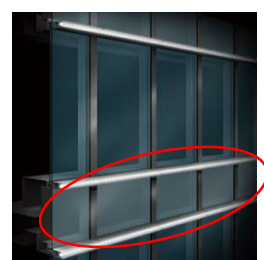
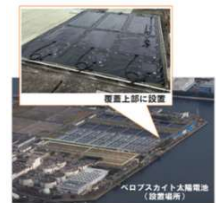



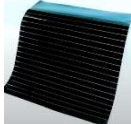
C、日本政府は

- 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。

D、メーカーの開発動向


日本メーカー	型	変換効率	その他
積水化学（NEDO基金、産学官との連携、東大、立命館大）	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のスパンドレル部（床、天井部分）
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）	フィルム	7.5cm角16.9%	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
	ガラス	7.5cm角19.2%	



日本メーカー	型	変換効率	その他
東芝 (NEDO基金、産学官との連携、東大、立命館大)	フィルム	703cm²で 15.1%	製造法はステップメスカス塗布、2025年めどに事業化、フィ 
パナソニック	ガラス	 804cm²で 17.93%	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18.6% に 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 
カネカ (NEDO基金、産学官事業)	フィルム	 0.1m²で 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)	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 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
- ⑤ホンデンは、2023年から本格量産
- ⑥三菱ケミカルは、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
- ⑦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
- ⑧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
- ⑨株式会社日揮は、どこでも発電所として、進めている。

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)	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		
WuxiUcmostLigbtTechnolgy 無錫極電光能科技有限公司(中国)	ガラス	63.95cm²で 20.5%	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。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。
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。
中国	ガラス	6600cm²で 20.0% 30cm角で 28.5%	製造法はインクジェット方式でサイズ1200×600×7mmで量産化している、このサイズでの商品では最高効率
台湾	ガラス	600cm²で13%	サイズ200×300販売は未だ
UtmoLight Co., Ltd (中国 ユーモライト) 	ガラス		モジュール変換効率18.6% (JETにて測定し認定登録した)

※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)
- ④GCL Optoelectronics (中国)
- ⑤Greatcell Energy(オーストラリア)
- ⑥Perovskia (スイス)
- ⑦Hint EnergyとSwiftSolar (米国)
- ⑧ペロブスカイト技術 (台湾)
- ⑨Microquanta Semiconductor(中国)
- ⑩nTact (米国テキサス州)

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
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 AgBiI₂ 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	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
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
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の大面积技術を開発 (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
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
陝西師範大学セシウム	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
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。

※MA、FAに**Cs**（セシウム）をを添加した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。



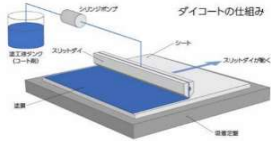
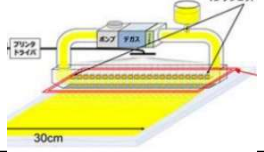
※変換効率や耐久性を向上のための、ミックスPVKは、

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

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

F、ペロブスカイト塗布方法の比較

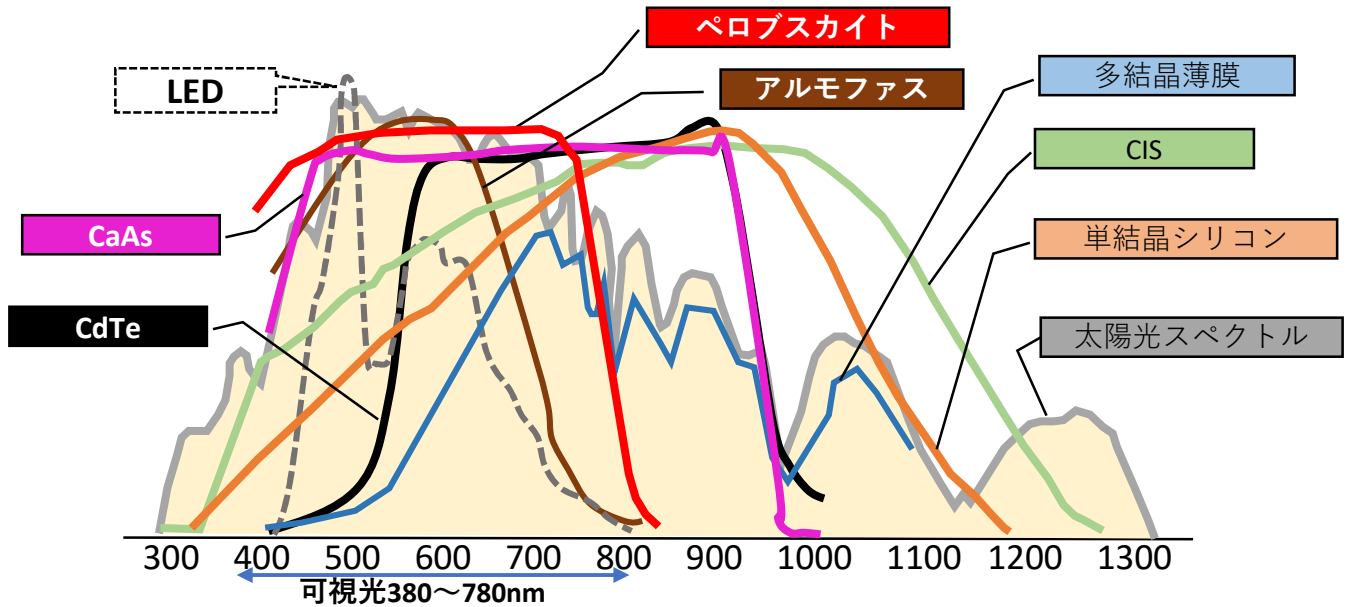
項目	スピニングコート	印刷方式	ダイコート	インクジェット
設備費				
材料利用効率	×	△	○	○
維持費	○	△	○	△
膜厚精度	○	△	○	○
大型化	×	○	○	○
サイズ自由度	×	△	△	○
凹凸・うねり対応	△	△	×	○
メーカー	無し	積水化学、東芝	不明	パナソニック、中国
備考	研究時	日本のトップ		ガラス基板へ塗布

○東芝はステップメカニクス塗布法（印刷方式）で、6m/min

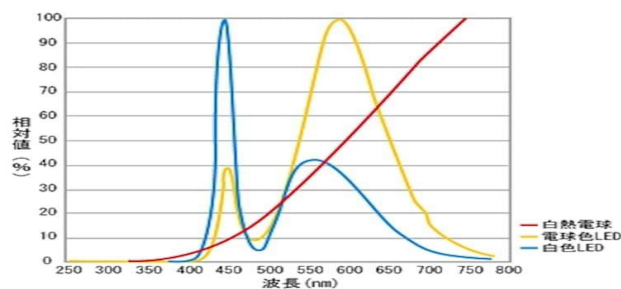


G、各種太陽電池の分光感度

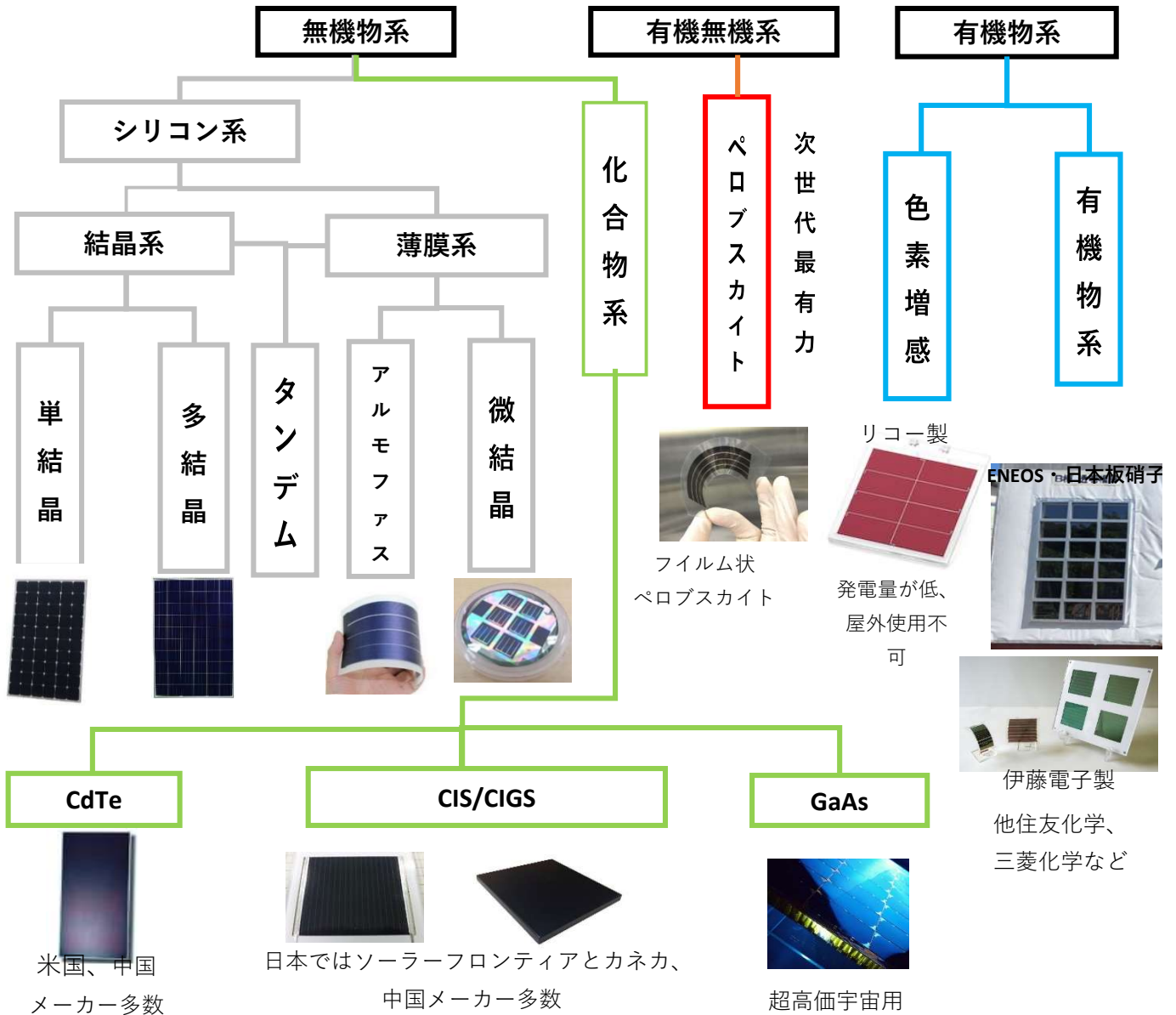
1、太陽光と太陽電池の感度スペクトルグラフ



2、照明の波長



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

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）

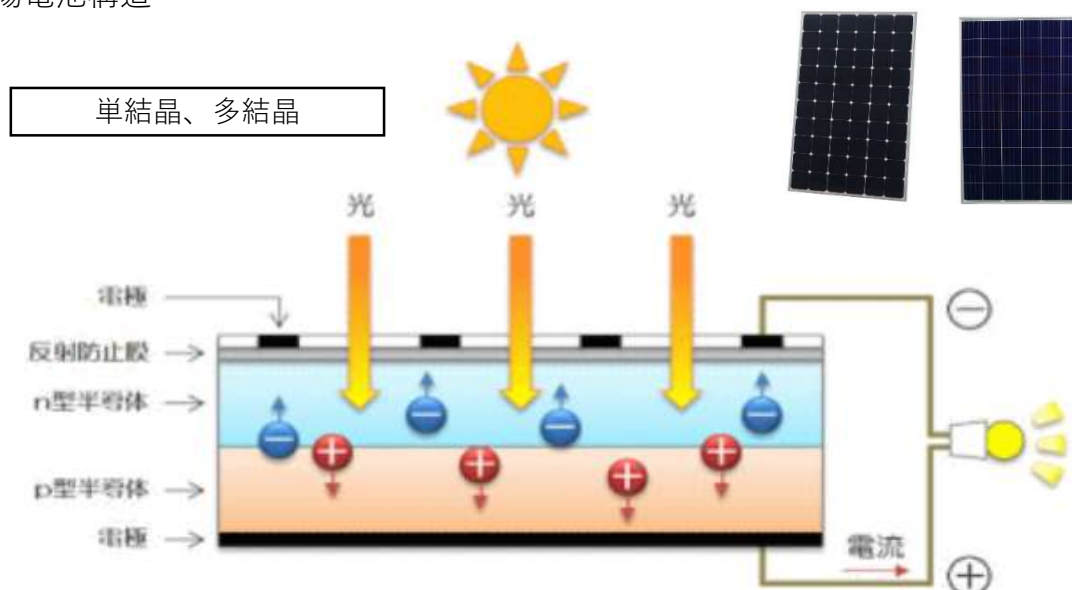
- ・発電効率は10%前後で、初期劣化が10%と悪いが、急激に冷やすことで非結晶となり、光吸収率が上がり、結合後の厚みが1 μ m以下と薄くできる。（結晶型シリコンの200分の1以下）
- ・原料となるシランガスをガラス板などに直接吹き付けてミクロン単位の膜として形成する為、高温でシリコンを溶解する必要のある結晶系シリコンと比べて、原材料の製造コストが低い。（200°Cで良い）
- ・熱損失は11%と良いが、直射日光など、強い光にあてることで内部の水素結合が切れることがある。

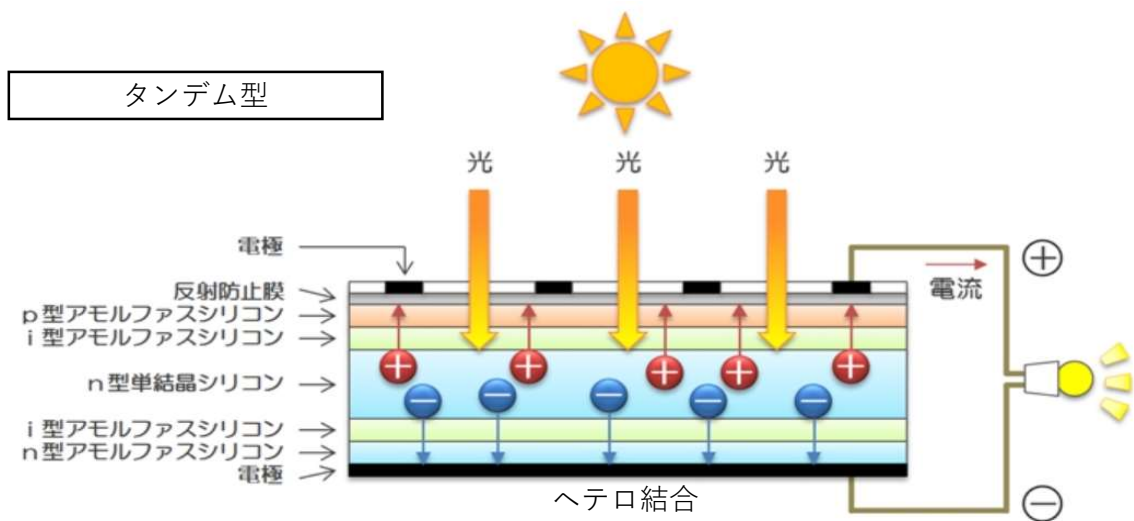
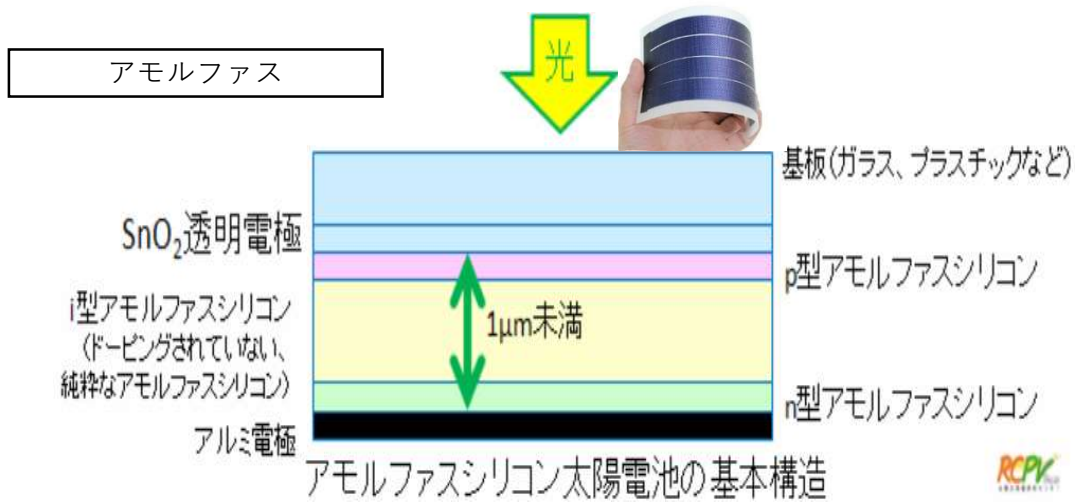
④タンデム型（ハイブリット型）

- ・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。

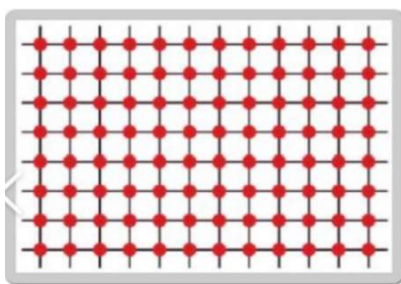
3、シリコン系（Siケイ素）の構造と製造工程

①太陽電池構造

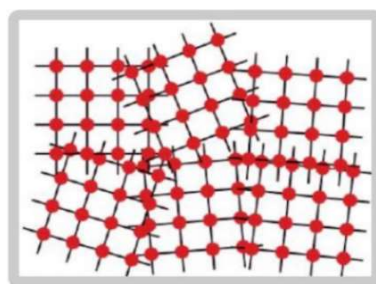




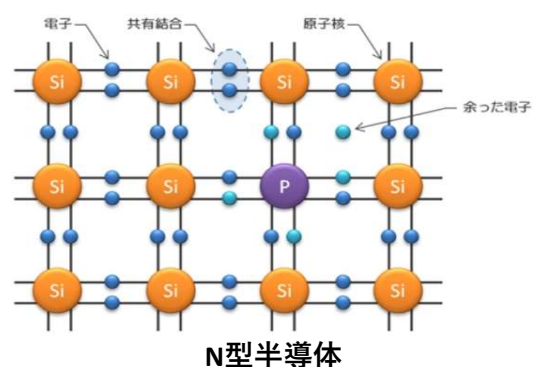
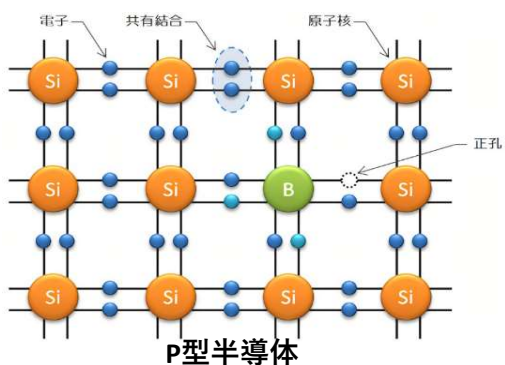
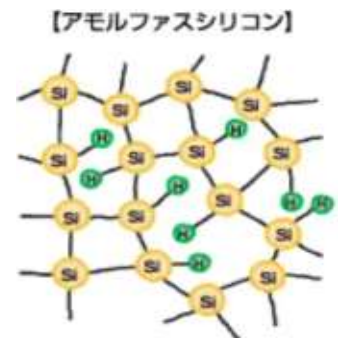
②シリコン系の結晶構造



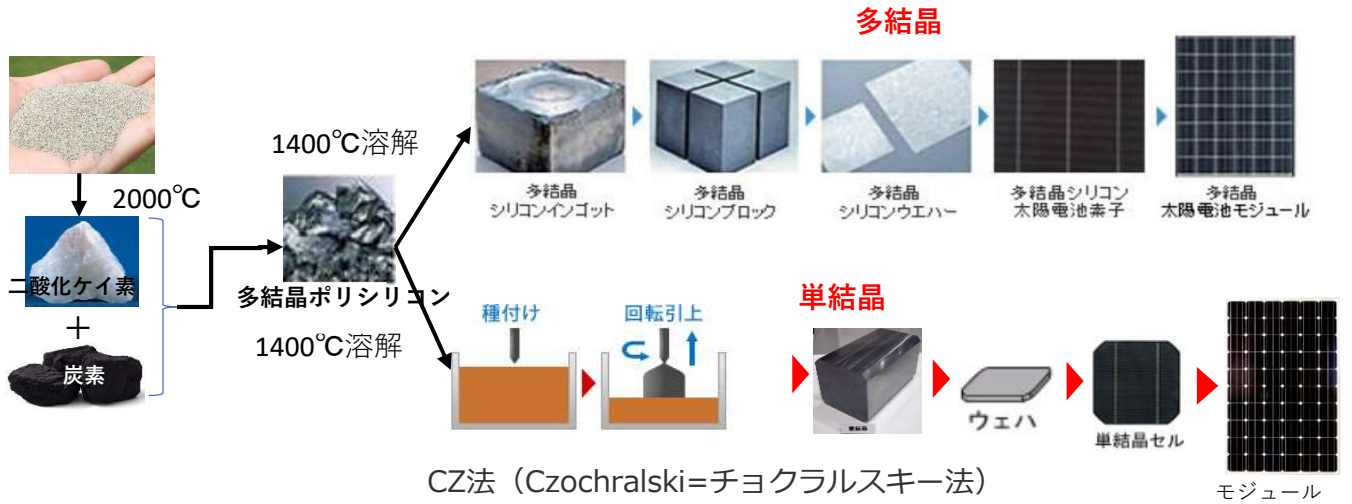
単結晶



多結晶

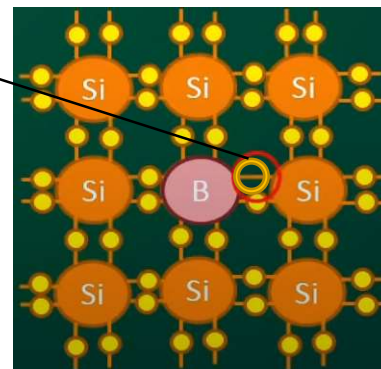
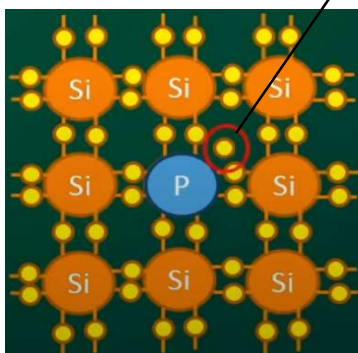
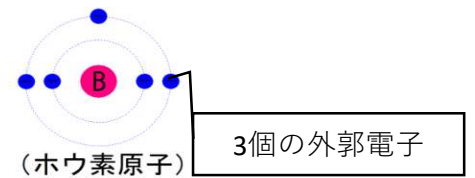
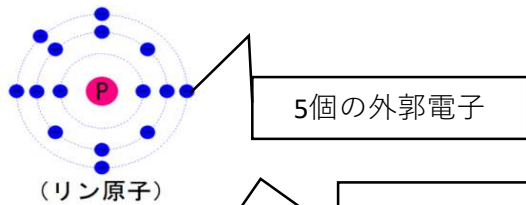
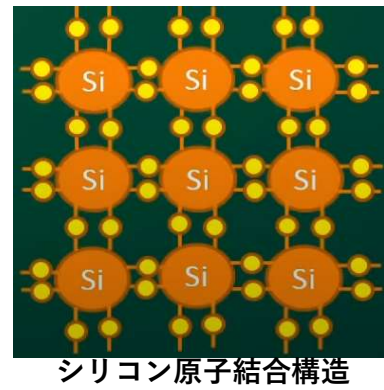
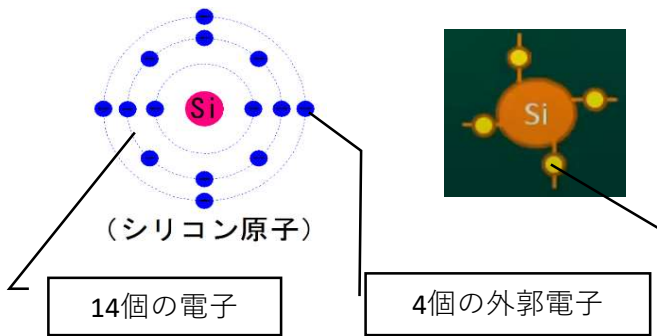


③シリコン製造工程



4、太陽光発電の発電原理

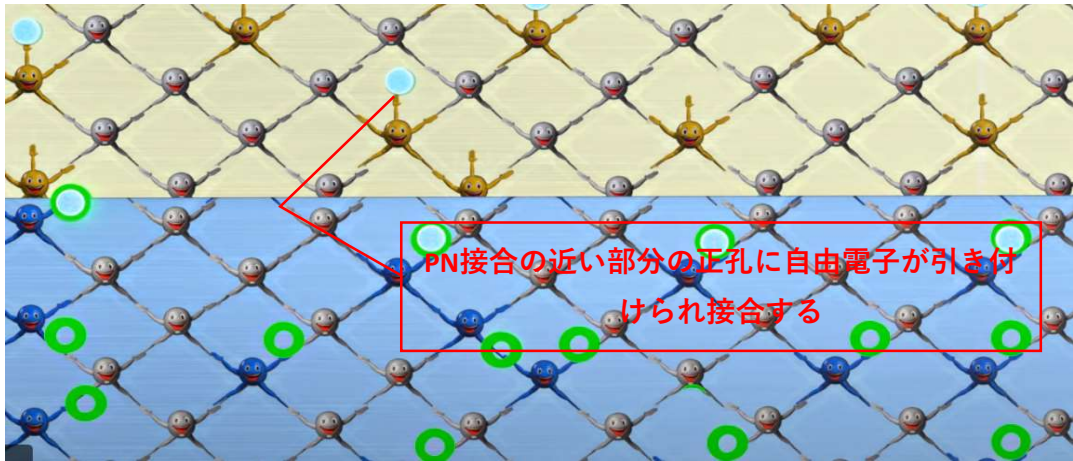
共有結合



共有結合

リン原子をドープレN型半導体となる

ホウ素原子をドープレP型半導体となる



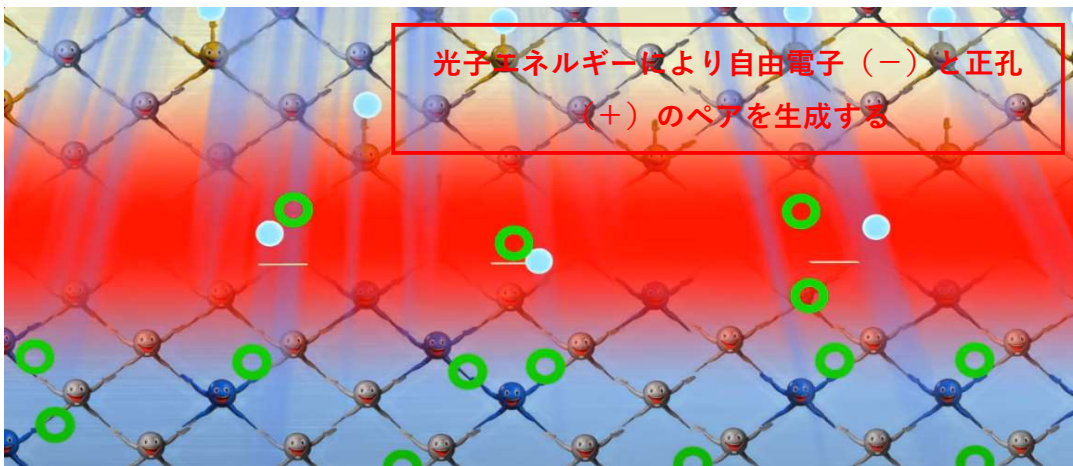
N型

P型



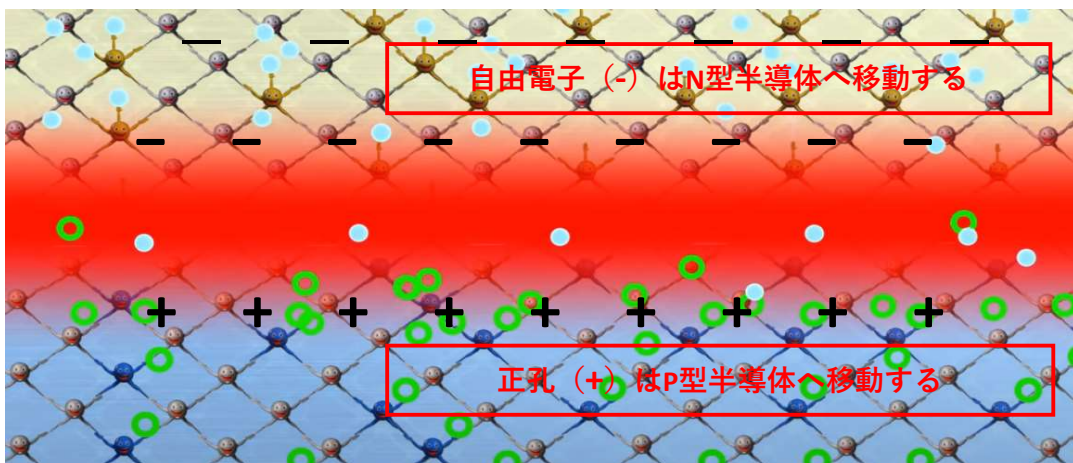
N型

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

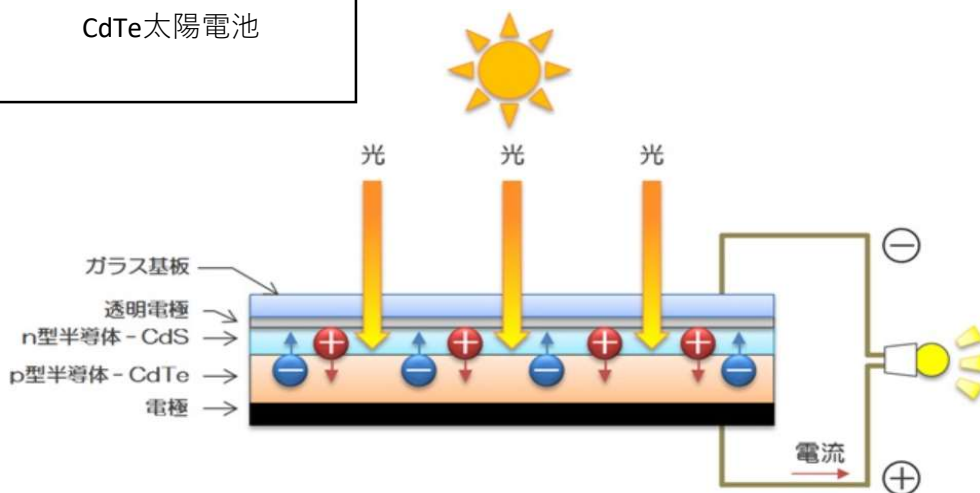
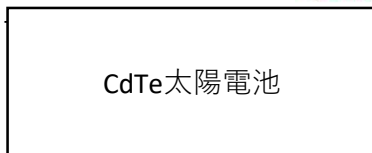
Low-E複層発電ガラス仕様

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(I _m)/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	P _{mp} -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)INC (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、Cd

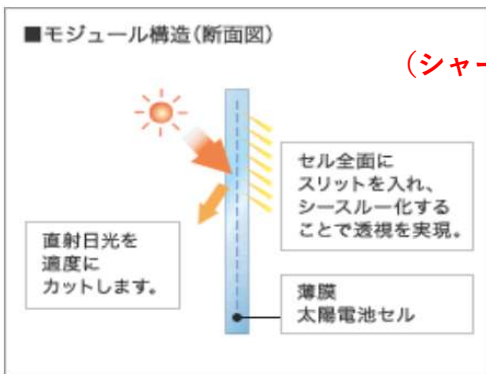


②CIGS太陽電池（銅、インジウム、セレン、ガリウム）について

- ・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。



(シャープ)



鈴鹿市庁舎様（三重県鈴鹿市）

開口率イメージ

(シャープ)

【開口率10%】

拡大写真

【開口率20%】

拡大写真

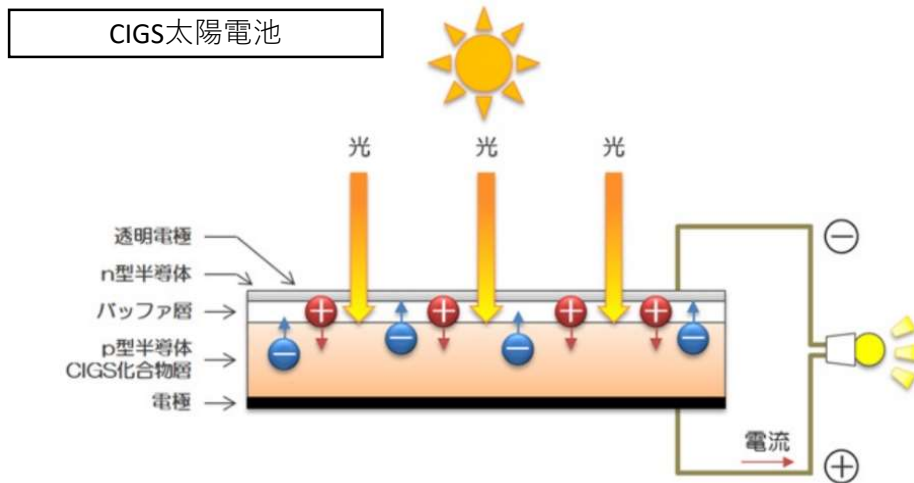
【開口率30%】

拡大写真

開口率が大きいほど、より多くの太陽光が通過します。



②-2、CIGS（カルコパイライト）太陽電池の構造

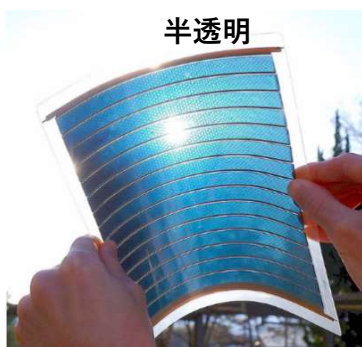


③GaAs太陽電池（ガリウム（Gaレアメタル）とV族のヒ素（As））について

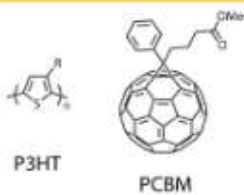
- ・発電効率が約28%と相当高く、希少物質GaとAsを使用している。
- ・光吸収係数が大きく薄く軽量である。
- ・高温時の出力低下が少なく集光用による高温化でも高い変換効率が期待できる
- ・耐放射線性を有している為宇宙での使用に適している
- ・原材料となるGaAs単結晶ウェハが高価
- ・原材料に希少金属（レアメタル）であるガリウムを含んでいる
- ・原材料に毒性元素であるヒ素を含んでいる

6、有機物系薄膜太陽電池について

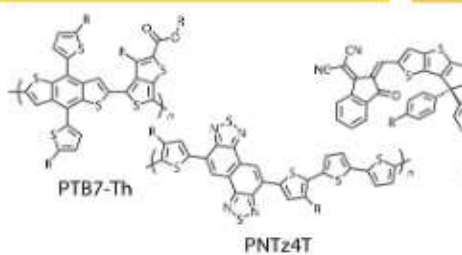
①有機半導体の薄膜を発電層とした太陽電池で塗布による低温プロセスにて製造出来る為環境負荷が低く、低コストで製造できる。



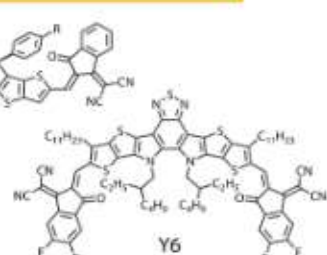
P3HT/フルーレン誘導体



D-A型ポリマー/フルーレン誘導体



D-A型ポリマー/非フルーレン



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。
 - ・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。

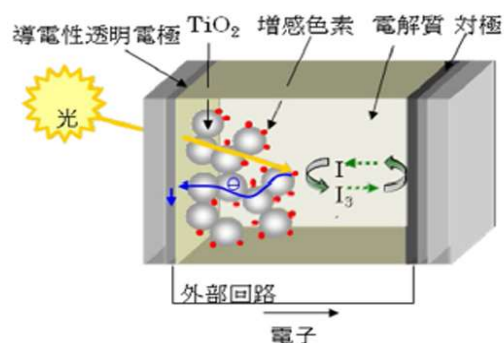
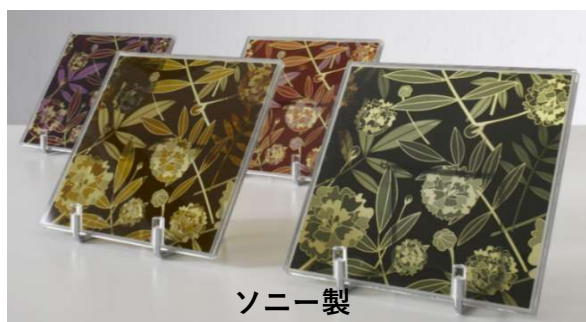
⑤inQ株式会社が発明した無色透明発電ガラスを、NTT-APが販売を開始した。

- ・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、発電で使用するのには厳しい。
- ・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

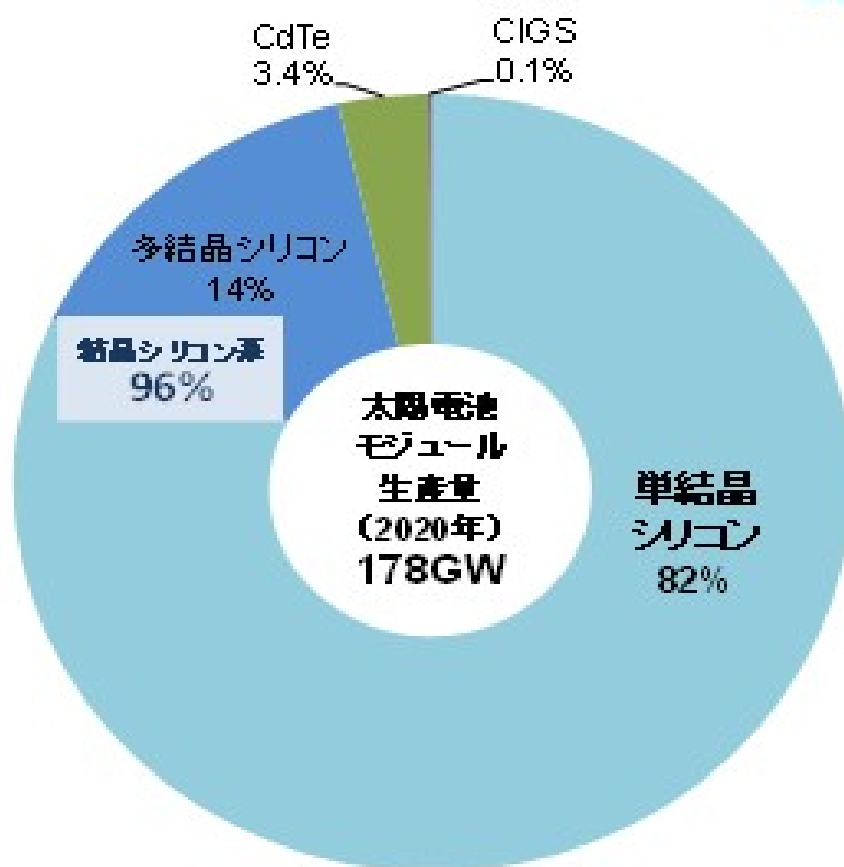
パネルの種類	経年劣化		
	5年後	10年後	20年後
単結晶シリコン	96.4%	92.2%	84.2%
多結晶シリコン	97.4%	94.3%	88.4%
アルモファスシリコン	94.3%	87.6%	75.7%
CIGS（化合物系）	98.5%	92.5%	81.4%
ヘテロ接合（HIT）	98.0%	95.6%	90.8%

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%	
実発電量	影で	半分以下、室内無理	倍以上、室内でも発電
	1KWの発電量	低い	高い
	設置不可	影の多い場所	なし
	温度損失/実測	0.38%/℃ /53.1℃	0.29%/℃ /49.4℃
	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	少ない
	両面発電	裏面発電しない	裏面も発電
	設置面積	少なく済む	平置きで少なく済む
光吸収層	材 料	シリコン	鉛、ヨウ素、臭素など
	価 格	高い	安い
	厚 み	100～200 μm	1 μm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	15～20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

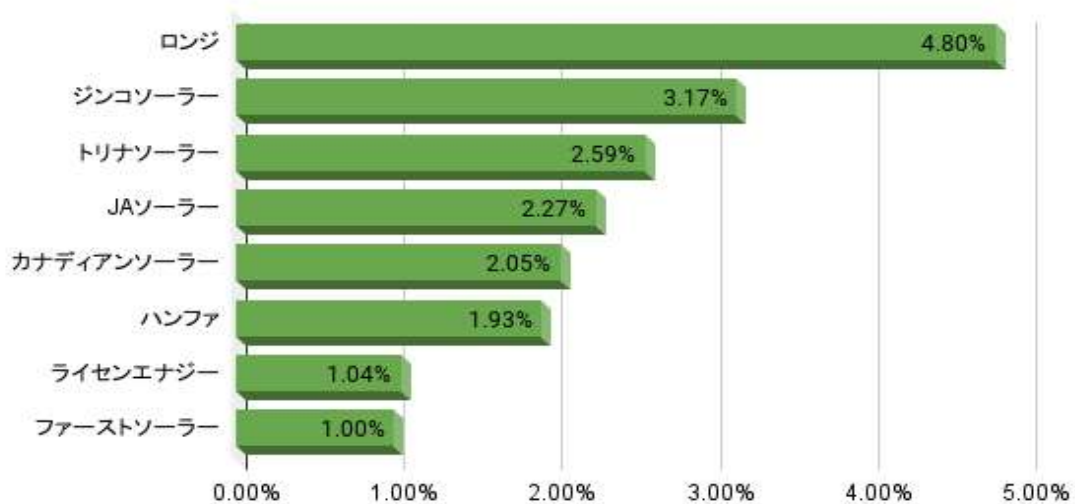
1、太陽光発電世界シェア

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)



J、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		有機系		備考	
	単結晶型		CdTe		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%		大きい			
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°Cを4、5時間		400~650°C		100°C		
	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、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%	

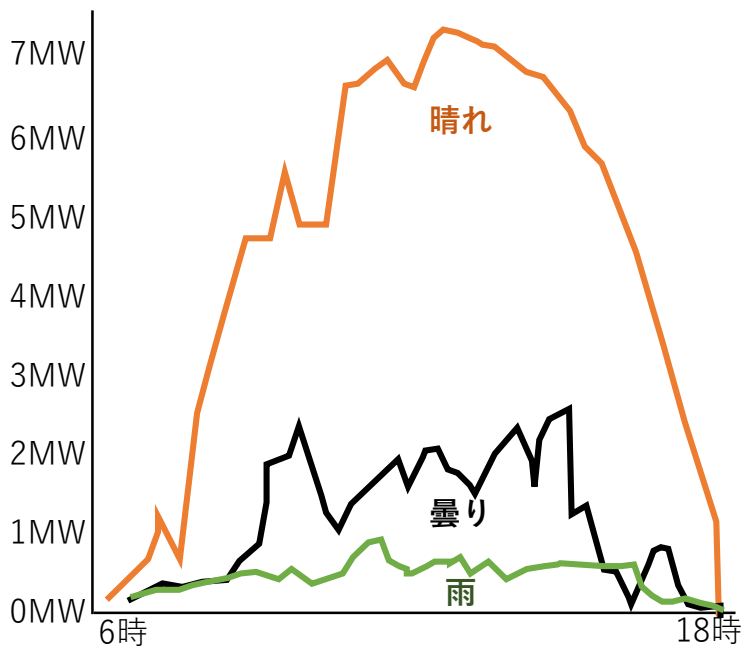
※設置容量は0.72 kW

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%

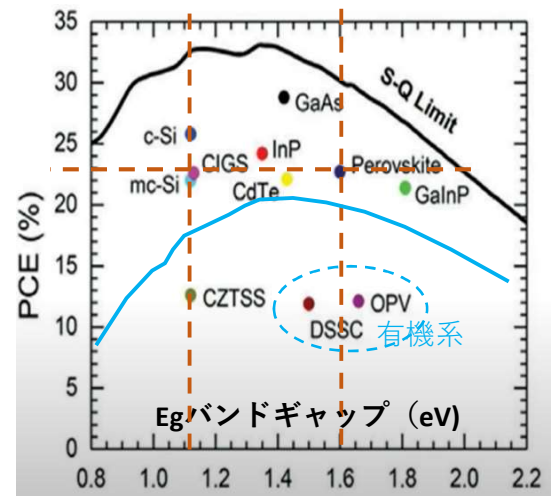
※CIS（化合物系）は、変換効率は低いが、高温時の発電量の低下率が低く、影の影響を受けにくく、曇りでも発電量が若干大きくなる事から、発電量は増えるが、CSIは、製造を中止している。

4、天気による1日の太陽光発電量



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

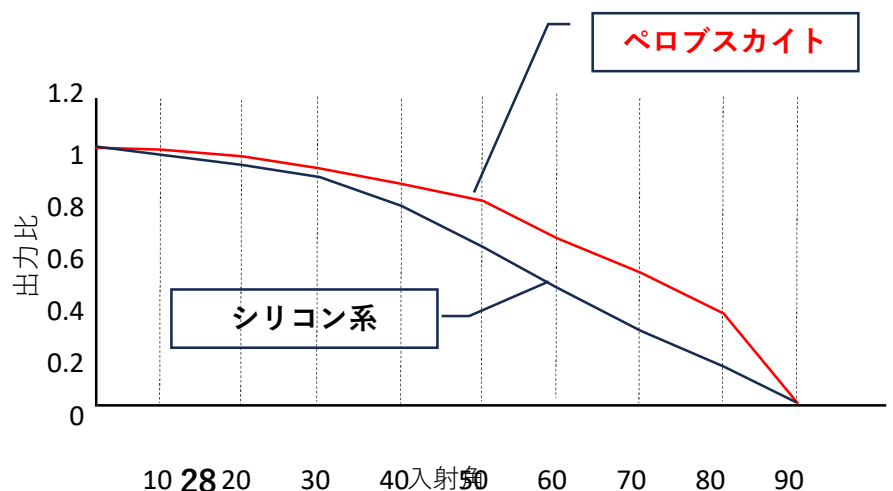
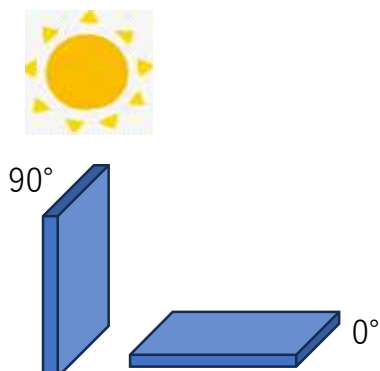
クワイサー限界と達成している効率



赤：無機系太陽電池の限界
青：有機系太陽電池の限界

6、角度による比較

・水平0°で、出力比1とした場合



7、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	1cm ² 以上	26.7%	約33%
			多結晶 p-Si		ポリシリコン	
		薄膜系	a-Si ※1	非結晶シリコン	10.2%	約25%
			微結晶	微結晶シリコン	1cm ²	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	26.7%	約33%
		CIGS	銅・インジウム・ガリウム・セレン		22.9%	約33%
		CdTe	カドミウム・テルル	1cm ² 以上	21.0%	約31%
	1cm ² 未満			21.1%		
	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	11.9%
有機薄膜 OPV			ポリフェニレンビニレン、銅フタロシアニ	1cm ² 以上	11.2%	約21%
有機無機系ペロブスカイト		Pb系	鉛・MAヨウ素/臭素など	1.06cm ²	23.7%	約30%
				0.096cm ²	25.7%	
		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%			

※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)

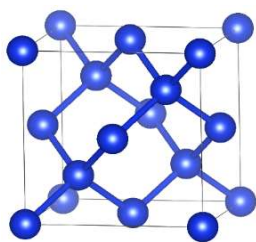
8、ペロブスカイト太陽電池各メーカー効率比較

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	15.1%
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	17.93%
サウレ・テクノロジーズ (ポーランド)		フィルム	15.74cm ²	10.5%
wuxiocmostlighttechnology (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%

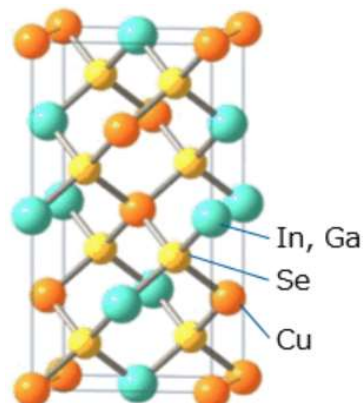
9、各種太陽電池のバンドギャップ

太陽電池		材料	Eg(eV)	結晶構造	
無機物系	単結晶、多結晶シリコン	Si	1.12	D	
	アモルファスシリコン	a-Si	~1.7	非結晶	
	微結晶シリコン	μc -Si	~1.1	D	
	化合物	CIS	Cu In Se ₂	1.04	CH
		CIGS	Cu In Ga Se	1.25	CH
		カドテル	Cd Te	1.48	ZB
		ガリヒ素	Ga As	1.42	ZB
有機物系	色素増感DSSC	酸化チタン電極・植物色素	3.2	—	
	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	1.45~1.95	—	
有機無機系	ペロブスカイト	Pb系	鉛・MAヨウ素/臭素など	1.55~1.6	ペロブスカイト
		PbSnアイロ化	鉛・錫・MAヨウ素/臭素など	1.2~1.4	
		Sn系	錫・MAヨウ素/臭素など	1.4	

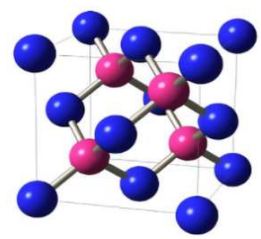
※鉛系MAPbI₃の場合は1.55eV、錫系MASnI₃の場合1.4eVで、材料比率によりバンドギャップは変化する



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

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

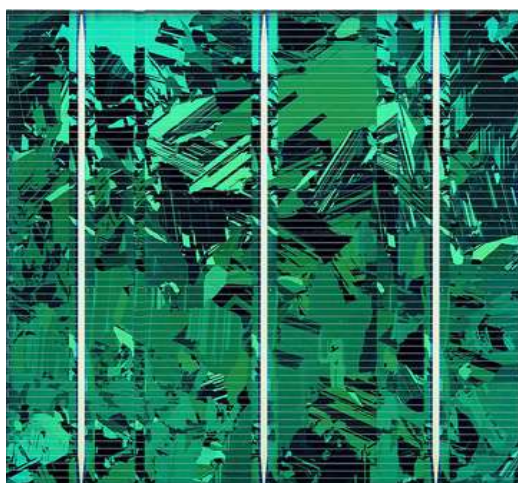


SUDARE



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）

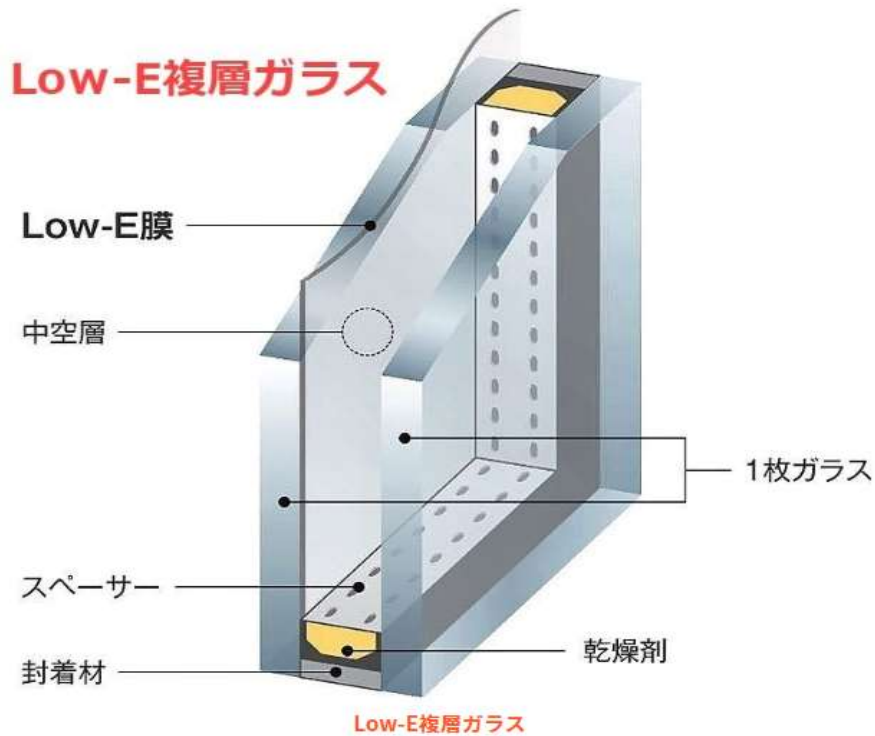


■仕様

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)
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。

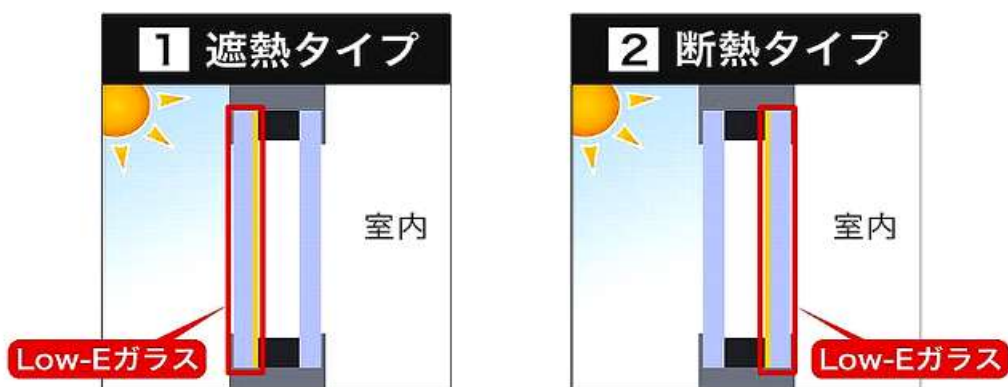
「Low-E」は「ローイー」と読み、英語の「**Low Emissivity**（ロー・エミシビティ）」の頭文字をとって表記されています。

「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）	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

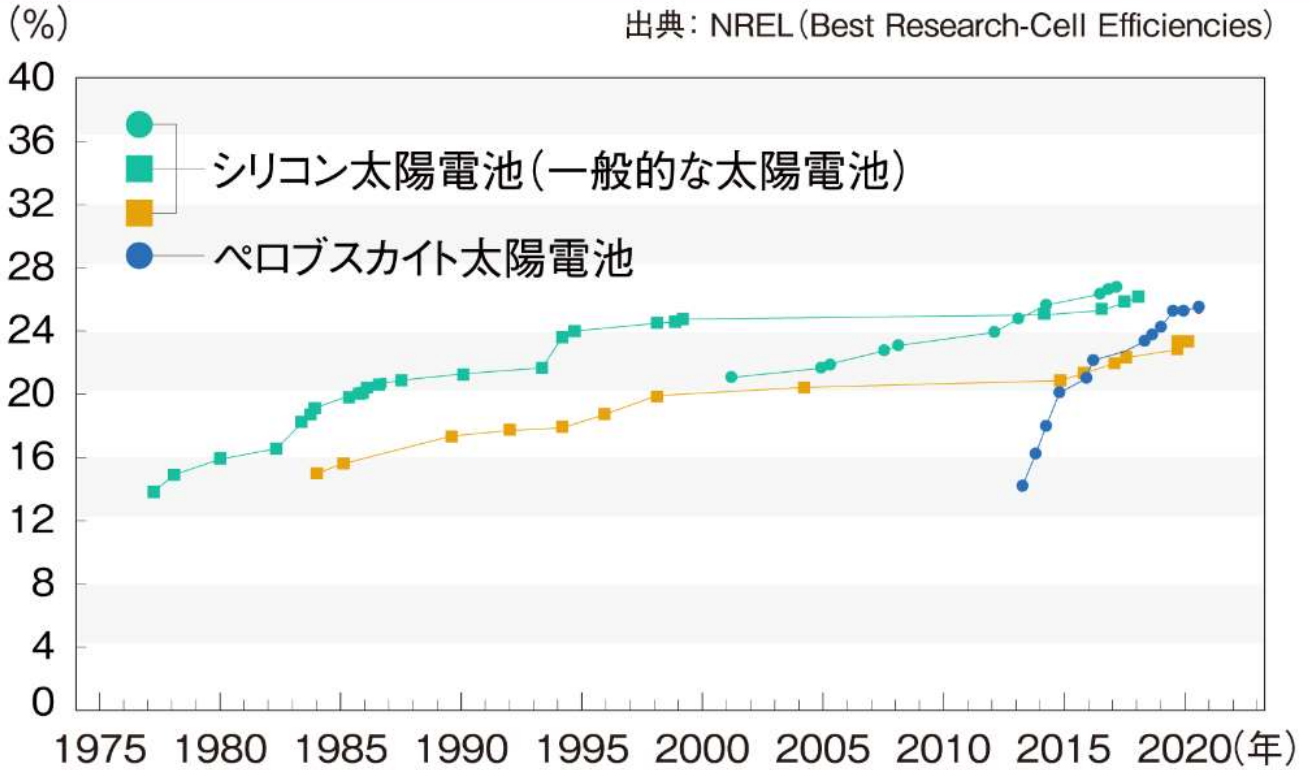
電源	洋上風力	小水力	地熱	バイオマス		コージェネ	
				混焼50%	専焼	ガス	石油
発電コスト（円/kWh）	30	25.3	16.7	13.2	29.8	9.3～10.6	19.7～24.4
設備利用率	30%	60%	83%	70%	87%	72.3%	36%
稼働年数	25年	40年	40年	40年	40年	30年	30%

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	0.98	—	—	—	—	—
埋蔵量（万トン）	70	500	25	7	17	10	12
生産量割合（%）	59%	29%			12%		

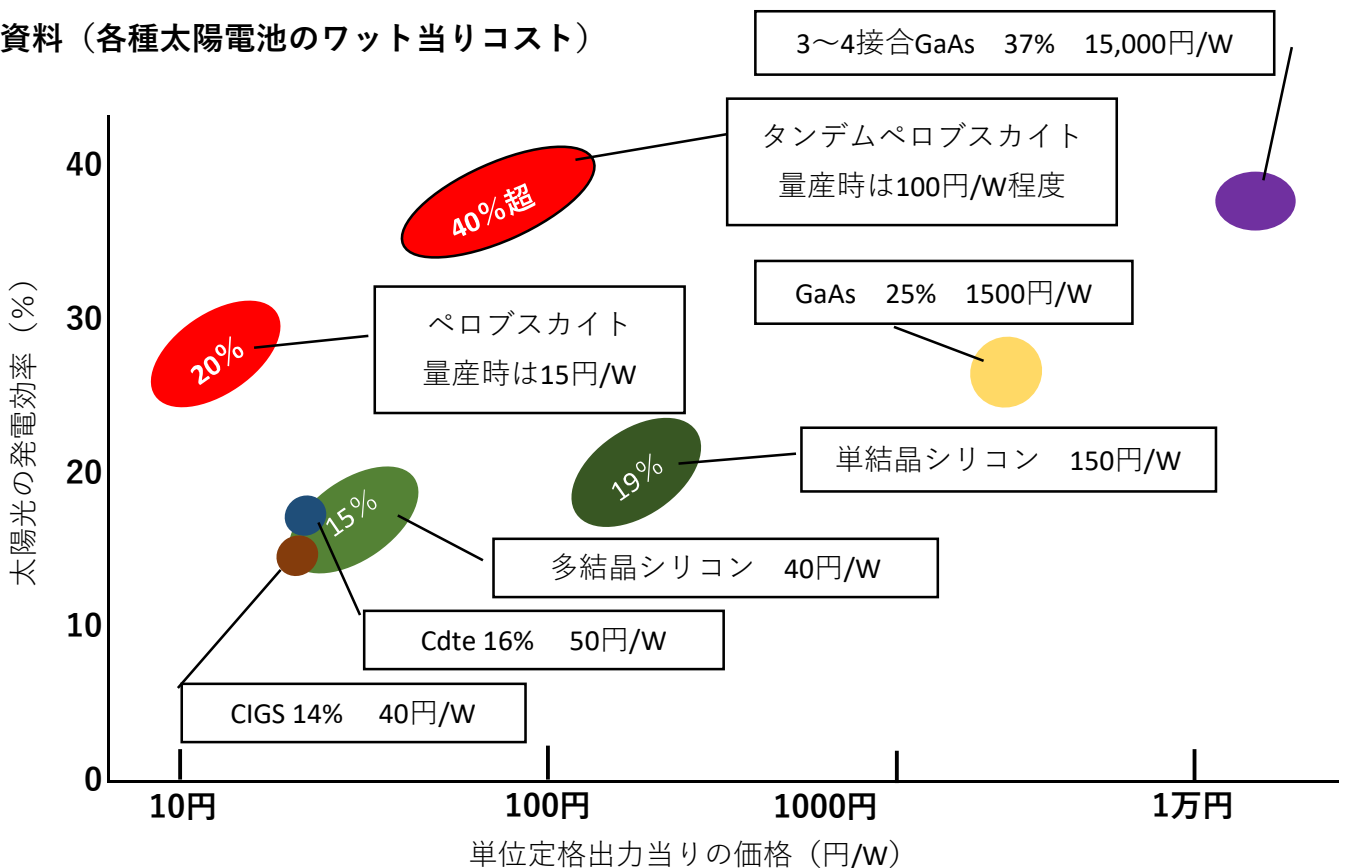
資料 (変換効率の推移)

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

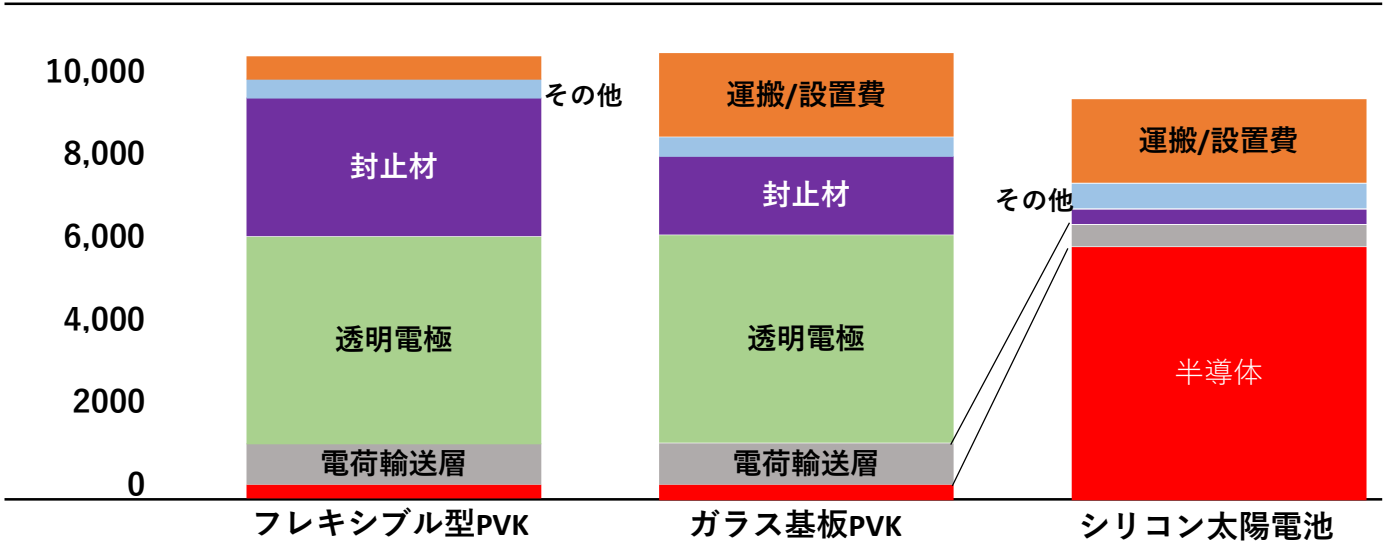
資料 (各種太陽電池のワット当りコスト)



資料（太陽電池モジュールのコスト比較）

①シリコン太陽電池とペロブスカイトの現状の比較(m²当り)

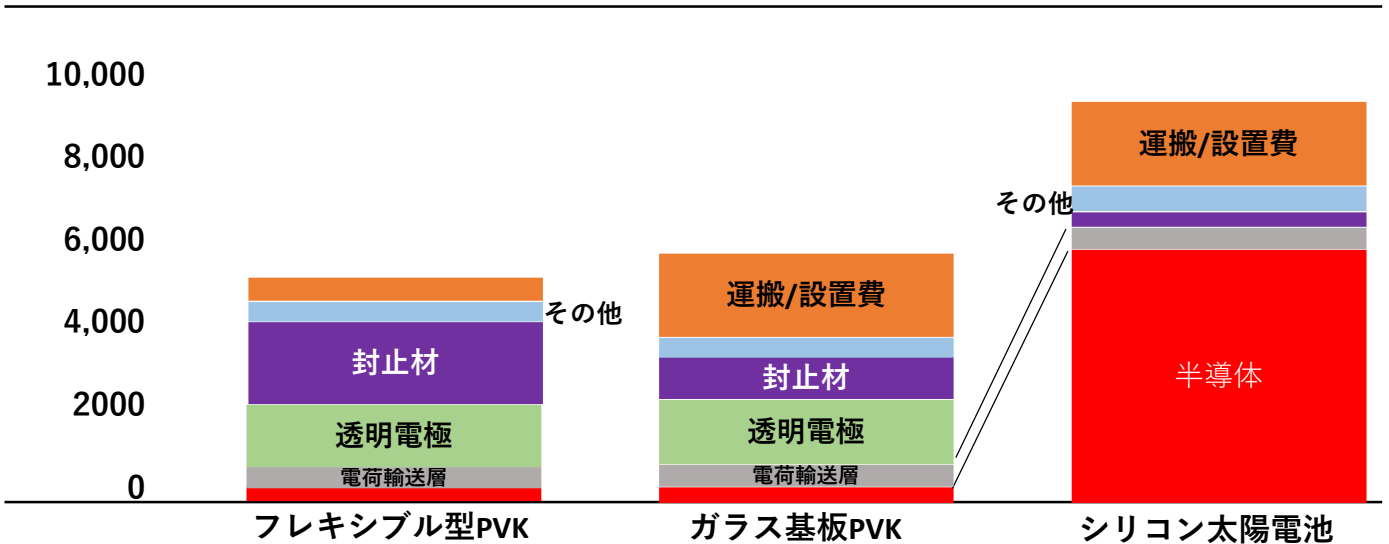
12,000



※PVKは、透明電極や封止材が高い

②ペロブスカイトの周辺部材を改善後の比較(m²当り)

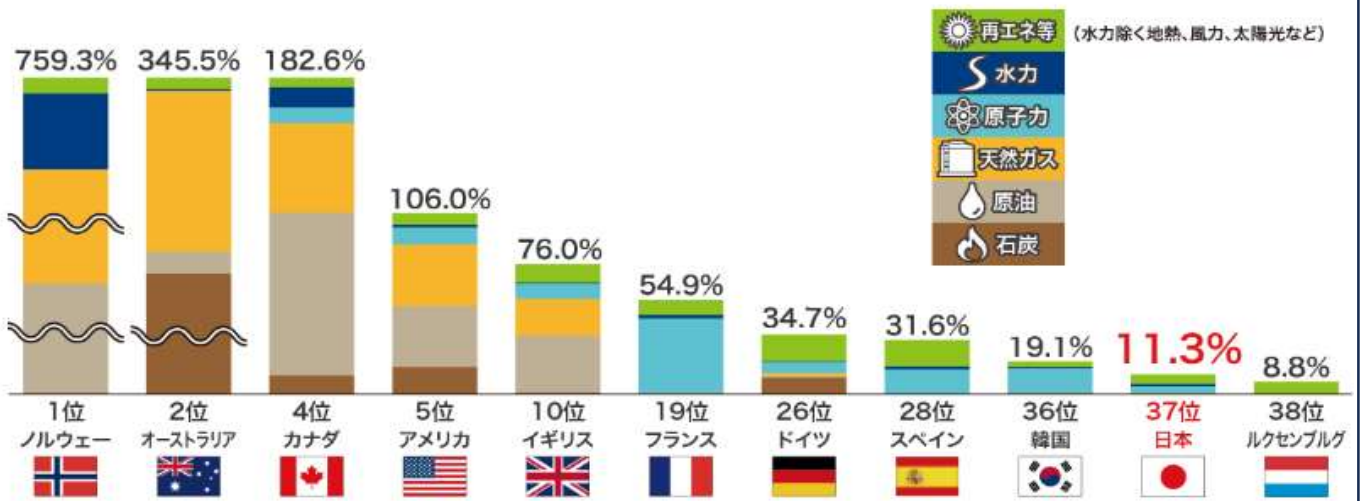
12,000



※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

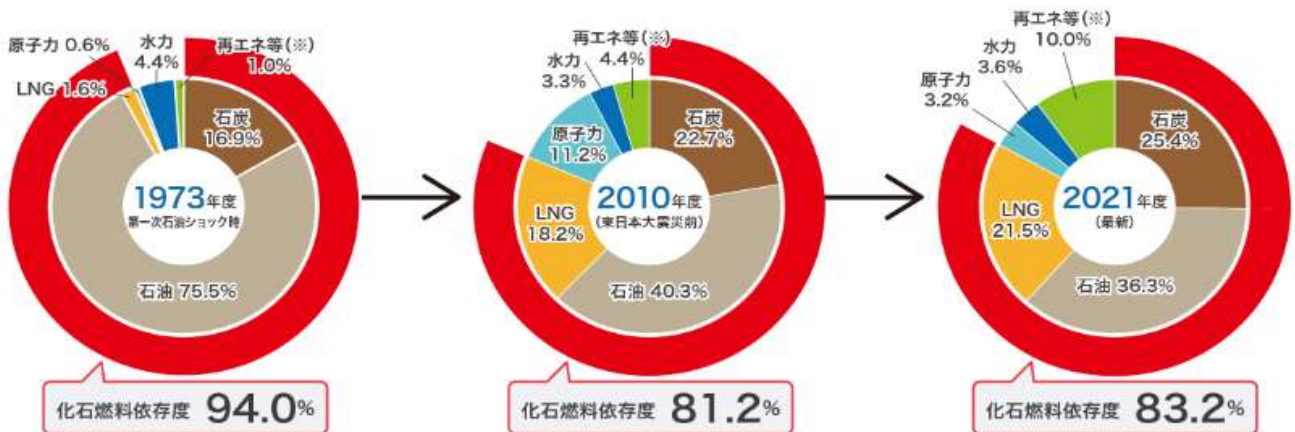
我が国のエネルギー自給率



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

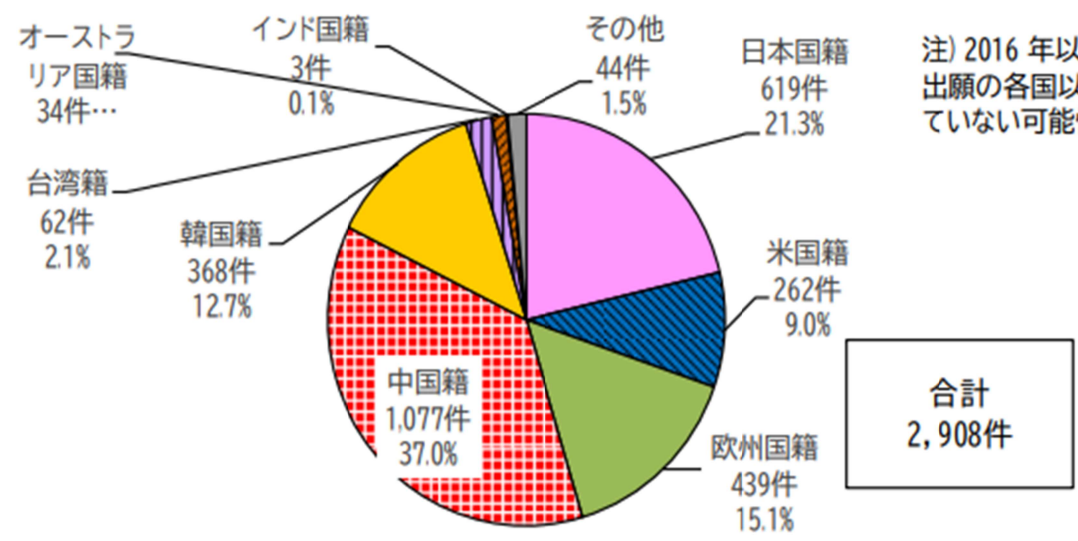
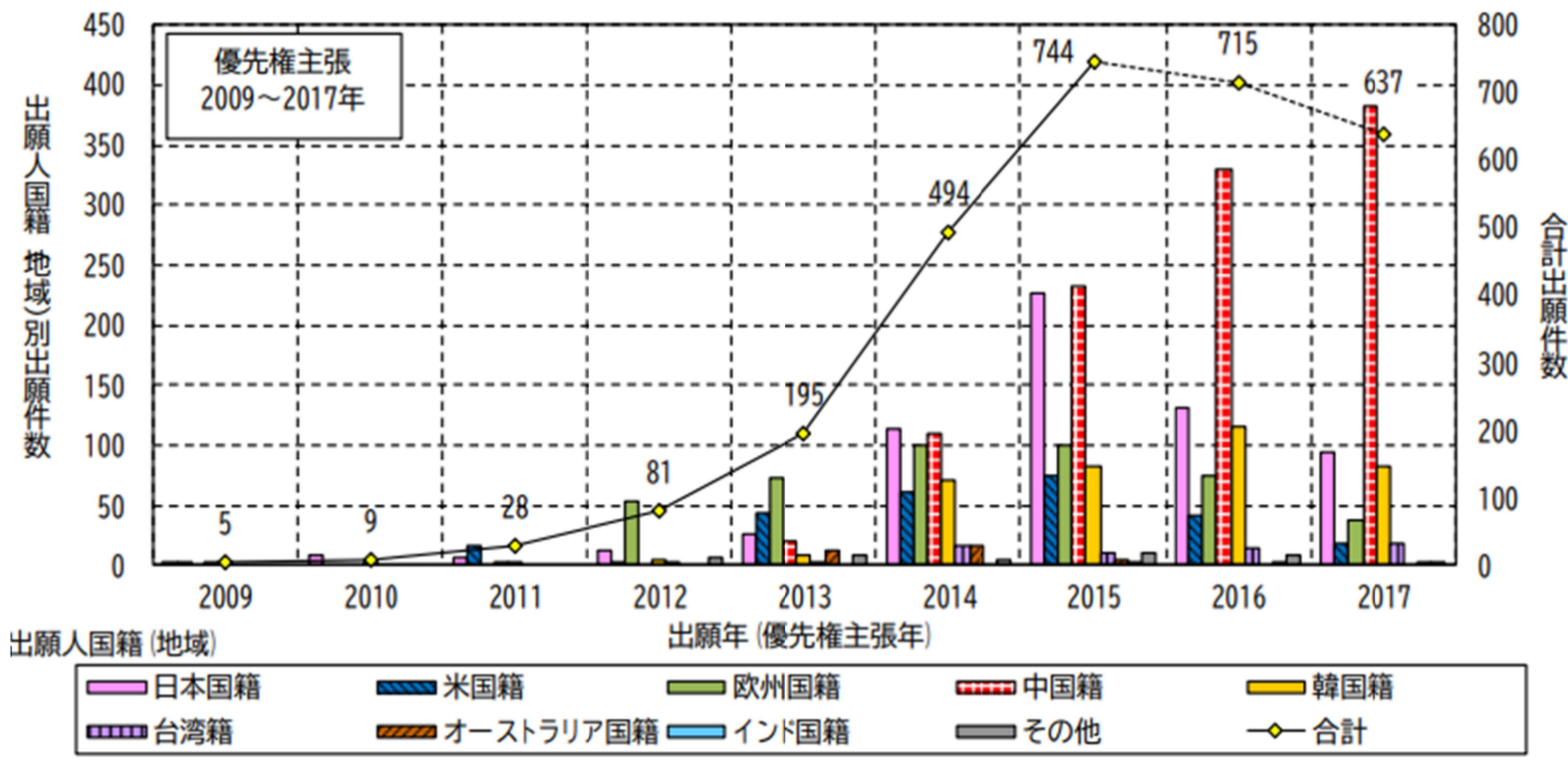


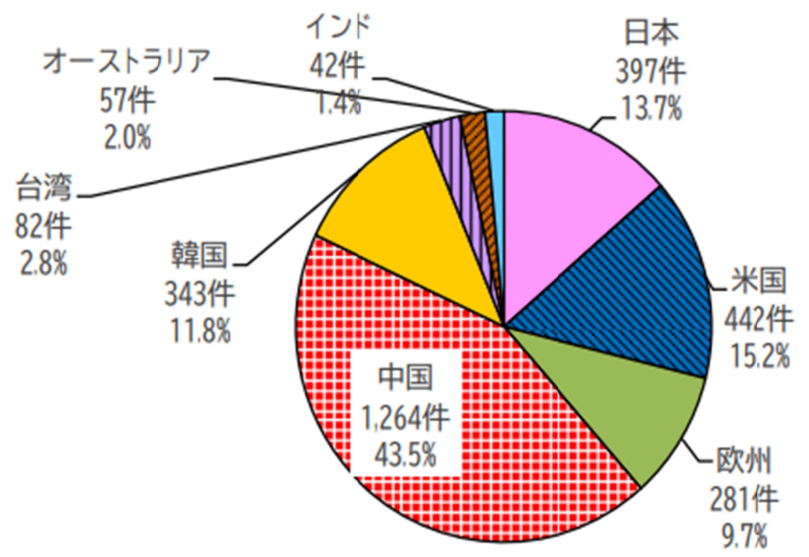
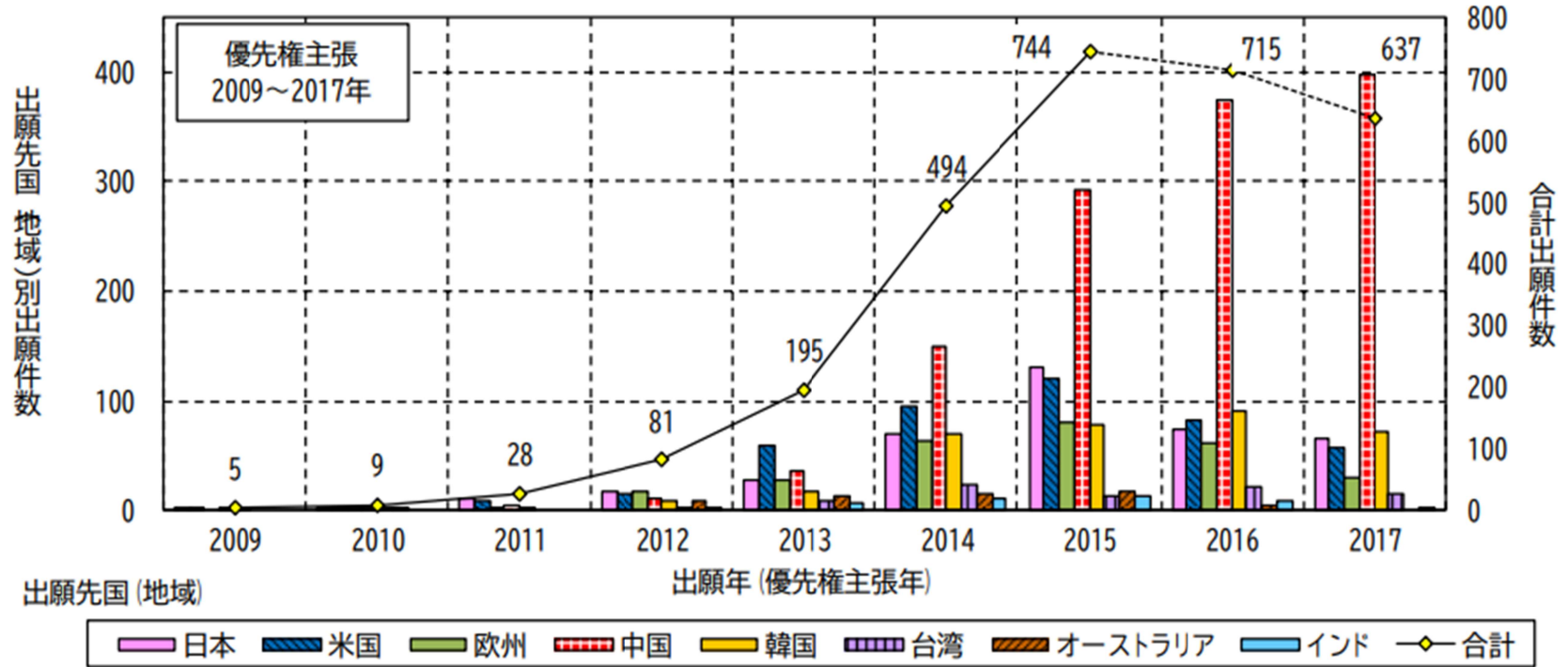
出典：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2021年度速報値

※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。

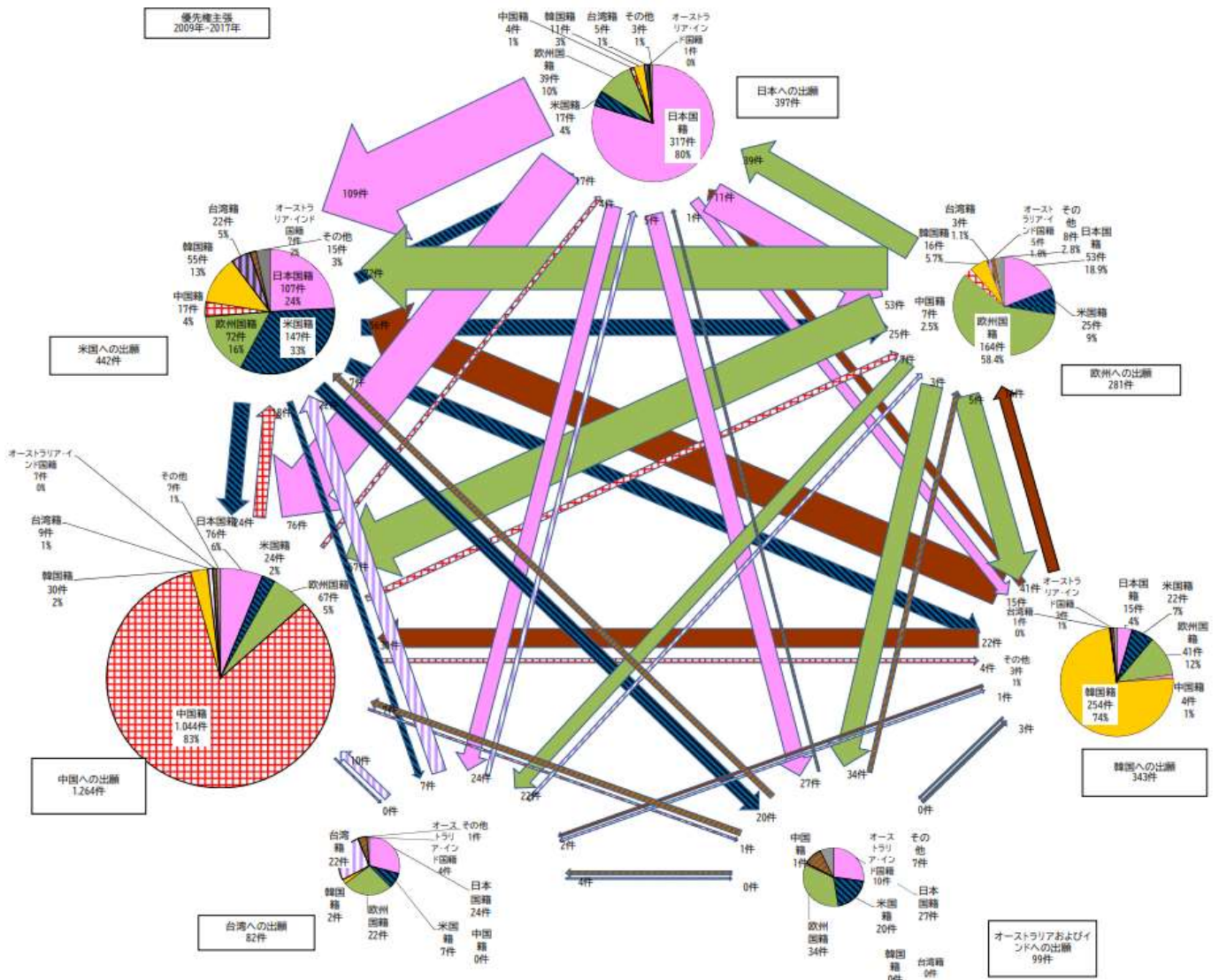
資料（特許出願状況、特許庁資料より）
出願人国籍（地域）別の出願件数





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。

主要国(地域)間の出願件数収支



出願人別出願ランキング [出願全体]

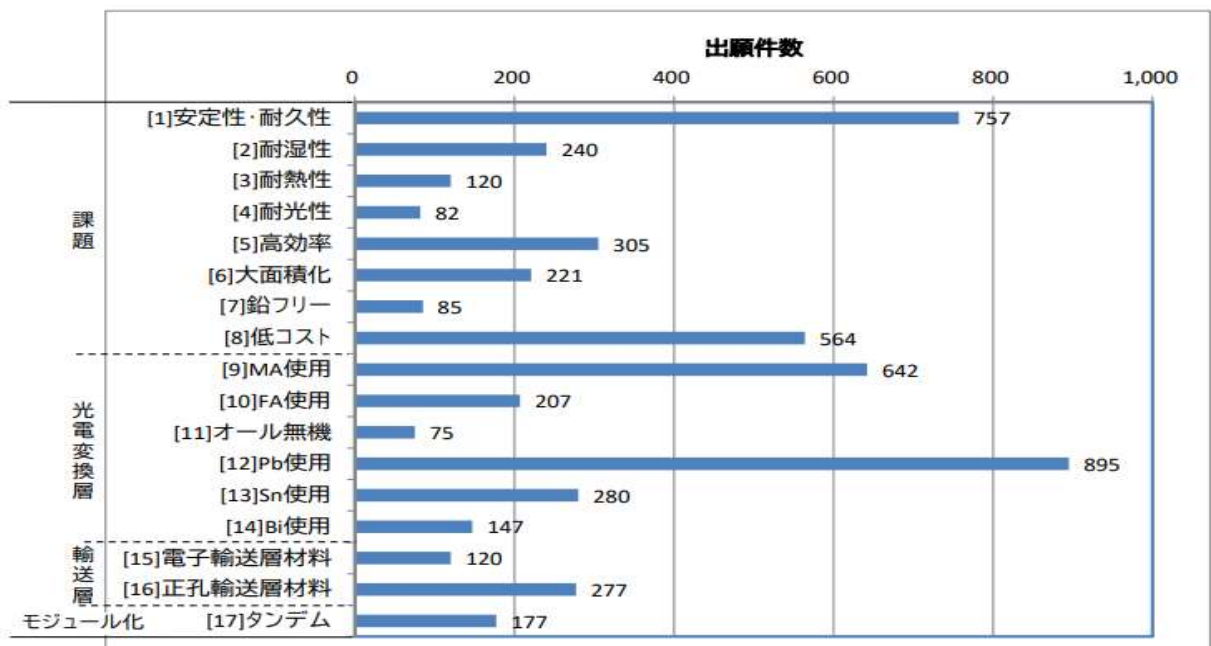
全体		
順位	出願人	件数
1	積水化学	148
2	富士フィルム	99
3	LGエレクトロニクス(韓国)	79
4	メルク(ドイツ)	78
5	オックスフォード大学(英国)	75
6	スイス連邦工科大学(スイス)	73
7	Hee Solar(米国)	69
8	パナソニック	57
9	華中師範大学(中国)	47
10	KRICT韓国化学技術研究所(韓国)	44

出願人別出願ランキング [出願先国(地域)別]

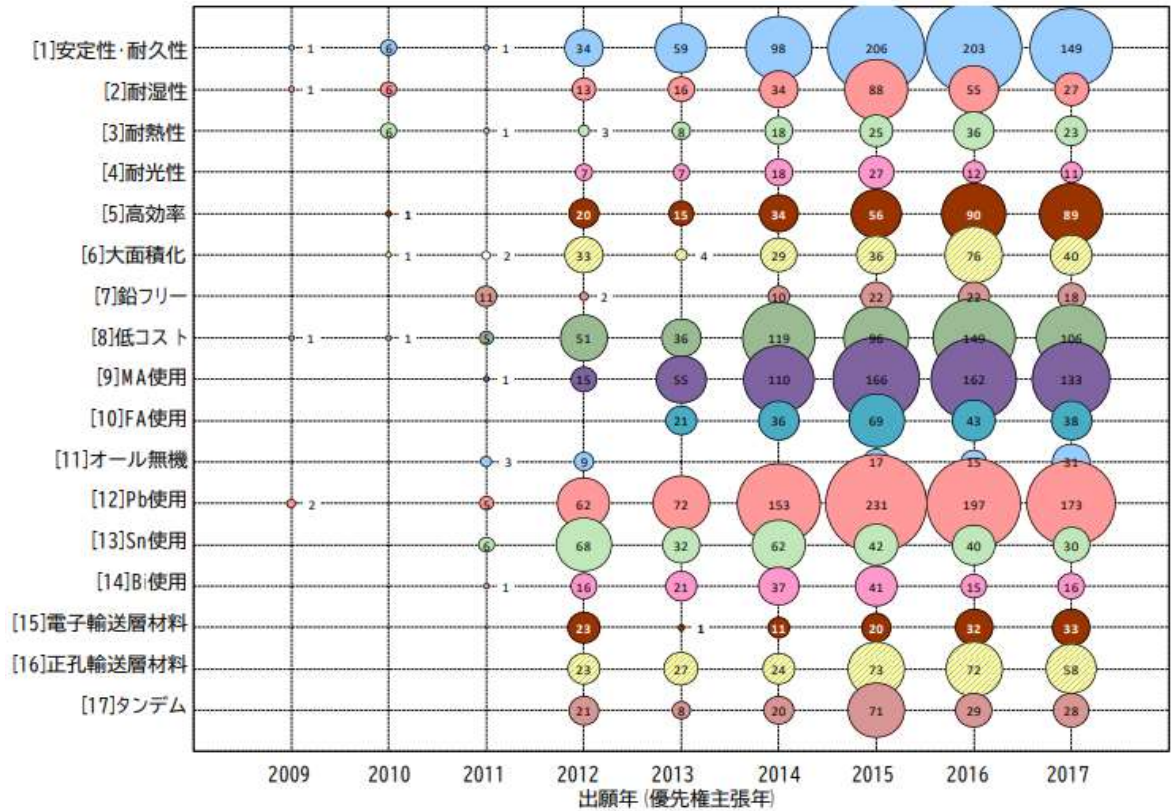
日本			米国			欧州		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	積水化学	75	1	Hee Solar(米国)	22	1	スイス連邦工科大学(スイス)	31
2	富士フイルム	33	2	パナソニック	20	2	富士フイルム	20
3	パナソニック	19	2	富士フイルム	20	2	オックスフォード大学(英国)	20
3	東芝	19	4	東芝	15	4	メルク(ドイツ)	17
5	住友化学	16	4	オックスフォード大学(英国)	15	5	積水化学	14
中国			韓国			台湾		
順位	出願人	件数	順位	出願人	件数	順位	出願人	件数
1	華中師範大学(中国)	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(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(韓国)	18	3	カティール(米国)	5
4	寧波大学(中国)	23	5	ソウル大(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

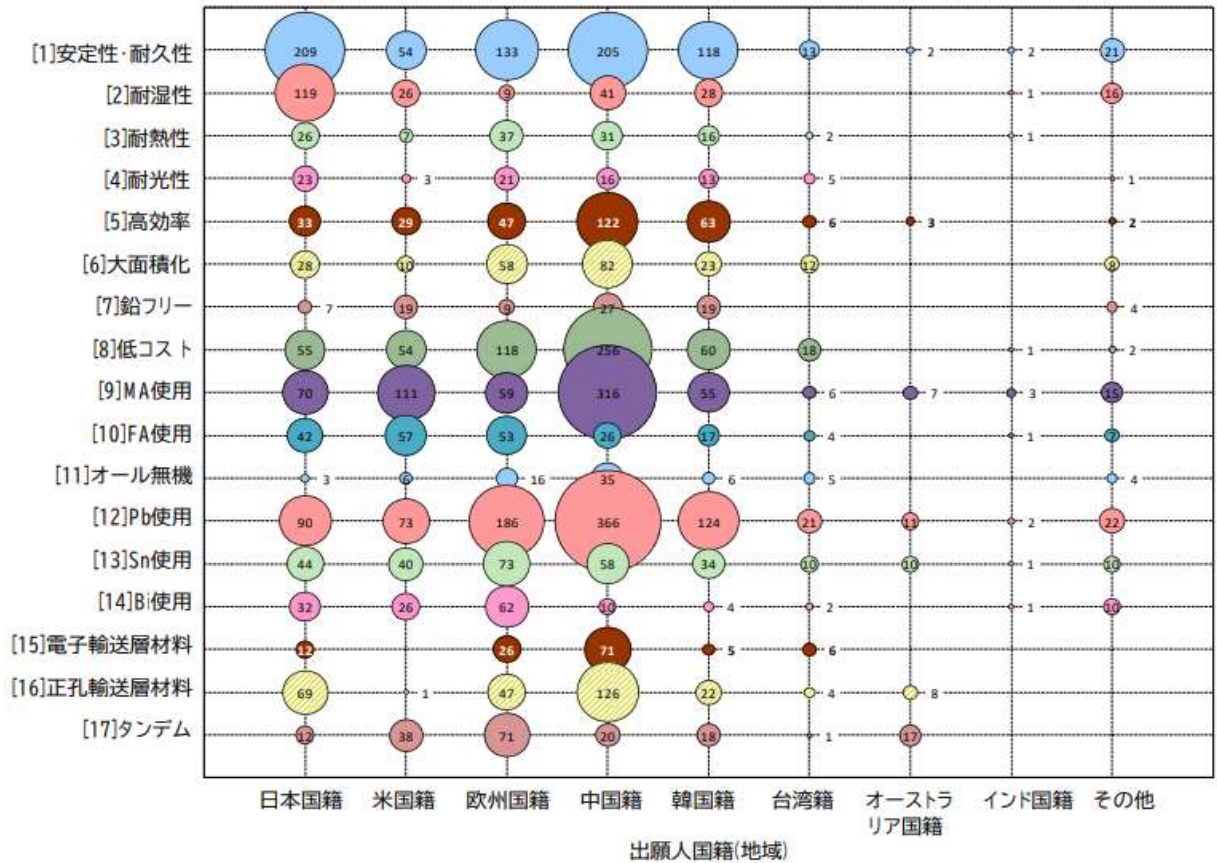


技術区分別の出願件数推移



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。

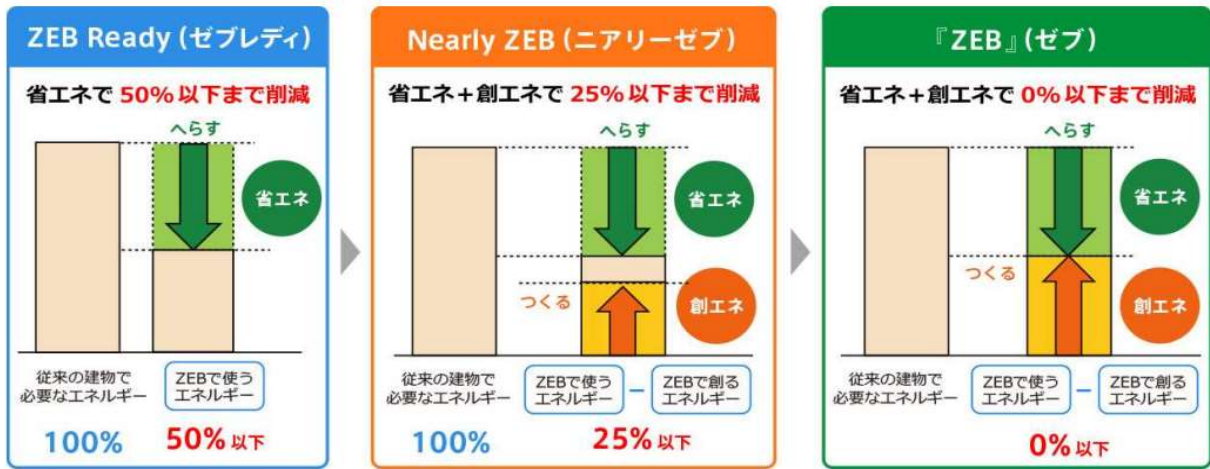
技術区分別－出願人国籍(地域)別の特許出願件数



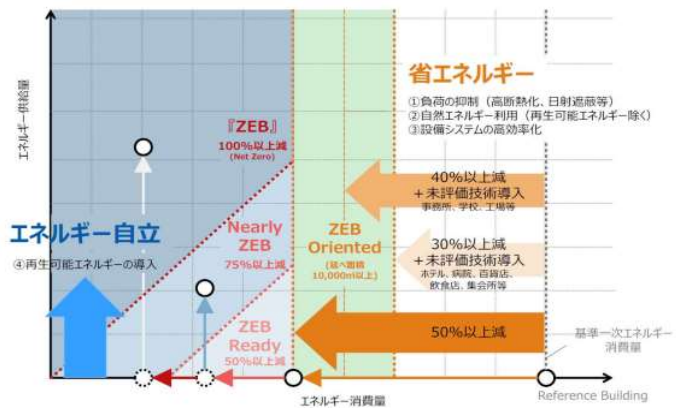
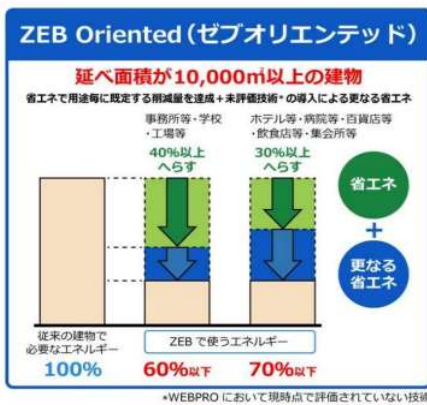
- 全体の出願件数は、調査期間(2009～2017年)において2009～2013年頃は緩やかに、2013～2015年頃に急激に増加している。
- 中国籍出願人の出願は、2015年以降に急激に増加し、出願件数は第1位(約37%)である。
- 日本国籍出願人の出願は、2015年まで増加していたが、それ以後は減少傾向にあり、出願件数は第2位(約21%)である。
- 「安定性・耐久性」の技術区分では、日本国籍出願人の出願件数が第1位(約28%)である。
- 論文発表件数は、2014年頃から急激に増加し、2018年の発表件数は約3,400件である。2016年頃から中国の発表件数の伸びが著しい。
- 研究機関では、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

- 一度建築される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基準の水準の省エネルギー性能※1の確保を目指す。

2千㎡以上の既存民間施設は、対象外

2. 事業内容

①新築建築物のZEB普及促進支援事業（経済産業省連携事業）

②既存建築物のZEB普及促進支援事業（経済産業省連携事業）

ZEBの更なる普及拡大のため、新築/既存の建築物ZEB化に資するシステム・設備機器等の導入を支援する。

- ◆補助要件：ZEBの基準を満たすと共に、計量区分ごとにエネルギーの計量・計測を行い、データを収集・分析・評価できるエネルギー管理体制を整備すること。需要側設備等を通信・制御する機器を導入すること。新築建築物については再エネ設備を導入すること。ZEBリーディング・オーナーへの登録を行い、ZEBプランナーが関与する事業であること等。
- ◆優先採択：以下に該当する事業については優先採択枠を設ける。
 - ・補助対象事業者が締結した建築物木材利用促進協定に基づき木材を用いる事業
 - ・CLT等の新たな木質部材を用いる事業 等

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

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。

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

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)



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。

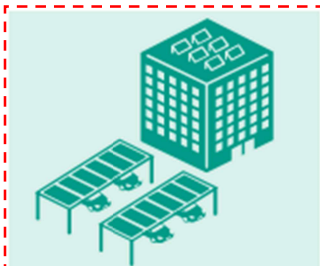
1. 事業目的

- 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。

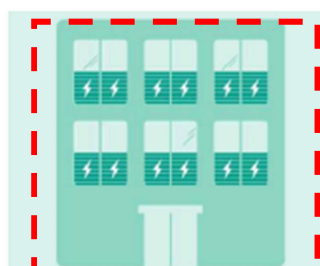
2. 事業内容

- 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)
 営農地・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



駐車場太陽光 (ソーラーカーポート)



建材一体型太陽光発電



営農型太陽光 (ソーラーシェアリング)



ため池太陽光

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

※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達価格等算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・規模等と同じ分類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。

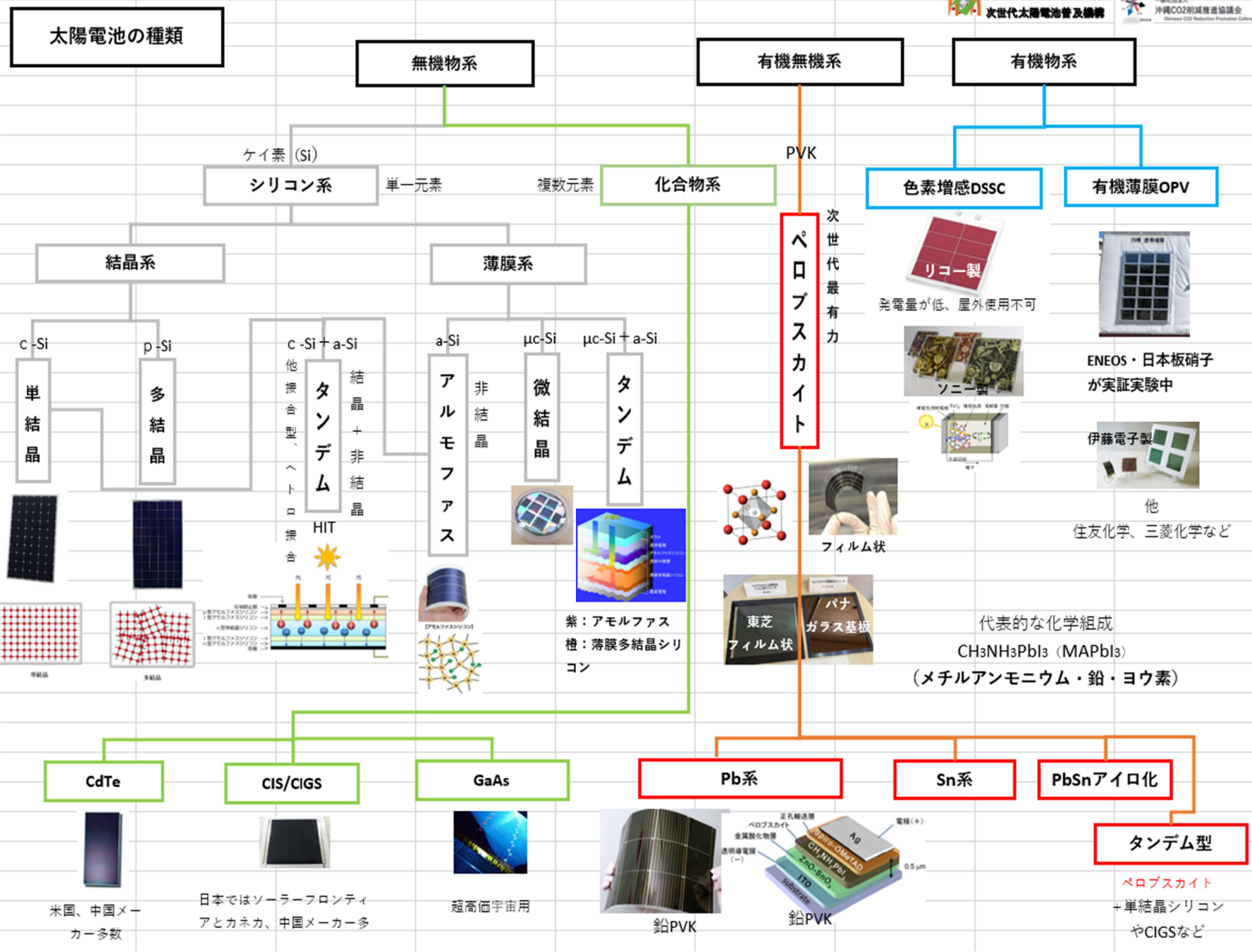
お問合せ先：環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室 電話：0570-028-341

○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)					有機物系 ※3	有機・無機ペレブスカイト(次世代最有力)		
	シリコン系(Si=ケイ素、IV族) ※1		化合物系(2種類以上の元素を結合) ※2						
	結晶型		薄膜型	無機物系(炭素を含まない)		有機薄膜			
	単結晶型(c-Si)	多結晶型(p-Si)	アモルファス型(a-Si)非結晶	CdTe(II-VI族)	CIS/CIGS(I-III-VI族)				
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。	有機半導体を材料とする。製造コストが安く、現在研究が盛んに行われている。	フィルム状で柔らかく軽量の素材で自由に曲げられ雨天や室内でも発電出来るが、酸素、水分、温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	ラボレベル10%程度	ラボレベル東芝703cm ² で15.1%、1cm ² で20%以上		
発電素子の厚み	150~200μm		1μm	3μm程度	3μm	50nm	1μm		
高温時の出力低下	15~20%低下する		11%	5%	5%	大きい	大きい		
原材料の製造コスト	高い	中	低い	低い	低い	低い	低い		
実用化	◎	◎	◎	◎	◎	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	大きい		
材料の環境負荷	温暖化影響度	高い	高い	中	中	中	小	小	
	有害物質	(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)			(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)	(原材料の製造で薄膜の為200°Cで良く環境負荷は低い)	(成膜工程を比較的低温の400~650°C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350~550°C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当低い)
主原料	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、銅フタロシアニン、カーボンフラーレン	CH ₃ NH ₃ PbI ₃ 有機物と無機物		
耐久性	現状	20年~30年			20年~30年		45000h程度	30000h(パッケージ処理10年) ※4	
	将来						15~20年	15~20年	
出力維持	長い	長い	中	長い	長い	短い	短い		
分光感度波長範囲	300~1150nm		300~750nm	510~900nm	300~1250nm	300~800nm	300~800nm		
限界値	33%	33%	25%	31%	33%	21%	30~32%		
備考	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)	ガラス発電に使用(シャープ、カネカ)	ガラス発電として使用(ENEOS)	次世代最有力候補 ガラス発電使用可能		


※1、シリコン結晶系には、他にタンデム構造(多接合型HIT:単結晶シリコンとアモルファスの異なる太陽電池を重ね合わせた物)もある。(モジュール変換効率20%以上)薄膜タンデム型もある。

※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)

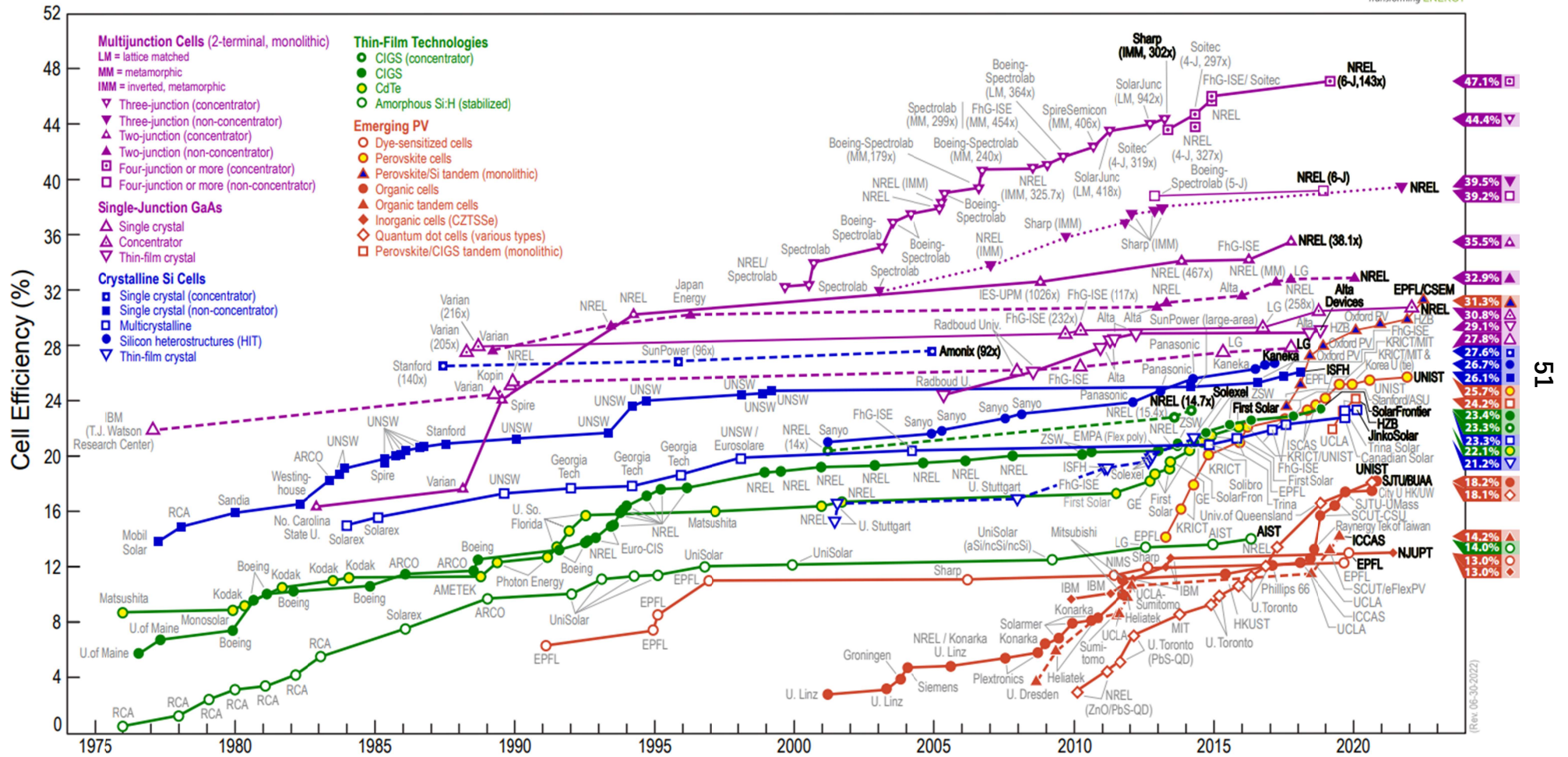
※3、有機薄膜型には、他に色素増感太陽電池で電極の白金以外は非常に低価格な材料で製造可能ですが製品寿命などの課題に対する研究が行われている。(変換効率ラボレベル11%前後)

発電ガラスの比較



メーカー	太陽光：麗光エネルギー科学杭州有限公司 ガラス：信義玻璃工程有限公司			シャープ		KANEKA	inQs 株式会社	ユビキタスエネジー	Panasonic
代理店	アモイソーラーファーストエネルギー有限公司、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		中空層Low-E複層ガラス発電	無色透明発電ガラス (90mWで計算)	ポリマー有機薄膜太陽電池	一般的は屋根置型
開口率/透過率	20%	40%	80%	10%	20%	10%	不明	40~80%	-
公称最大電力	80W	60W	20W	95W	80W	85W	数十mW	不明	375
モジュール変換効率	12.1%	9.1%	3.0%	6.77%	5.70%	7.2%	1%以下	現在3%、ラボレベル10%	20.3%
1㎡当りの発電量	121.2W	90.9W	30.3W	67.7W	57.0W	71.7W	1.1W	不明	202.7W
変換効率順位	①	②	⑥	④	⑤	③	⑧	⑦	-
外形寸法 (mm)	1200*600*21			1402*1001*9.5		1200*988*11	280*280	不明	1048*1765*35
ガラス面積	0.72			1.40		1.186	0.078	不明	-
発電パネル面積	0.66			1.40		1.186	0.078	不明	1.85
質量 (kg)	22 (複層ガラス込み)			33		30	不明	不明	21
日射遮蔽効果	高い			有る		高い	有る	有る	-
断熱効果	高い			無し		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)		CIS (ストライプ状)	二酸化ケイ素、酸化チタン	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									
実用化	実用化			実用化		実用化	発電少ない	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。			cdaガラス発電の約半分の発電量		オリンピックメイン会場へ設置しているが、ビルへは開口率0%と組み合わせにて使用する	可視光以外で発電するが、発電量が低く大型化出来ていない、電源として使用できない。	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



族 周期	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
	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 ガス族
1	1 H 水素																	2 He ヘリウム
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリ ウム											●5 B ホウ素	●6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3	11 Na ナトリウ ム	12 Mg マグネ シウム											13 Al アルミニ ウム	●14 Si ケイ素	●15 P リン	●16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウ ム	21 Sc スカンジ ウム	22 Ti チタン	23 V バナジウ ム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	●29 Cu 銅	●30 Zn 亜鉛	●31 Ga ガリ ウム	●32 Ge ゲルマニ ウム	●33 As ヒ素	●34 Se セレン	●35 Br 臭素	36 Kr クリプト ン
5	●37 Rb ルビジウ ム	38 Sr ストロン チウム	39 Y イットリ ウム	40 Zr ジルコニ ウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデ ン	43 Tc テクネチ ウム	44 Ru ルテニウ ム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウ ム	●47 Ag 銀	●48 Cd カドミ ウム	●49 In インジ ウム	●50 Sn 錫	●51 Sb アンチモ ン	●52 Te テルル	●53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6	●55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57~71 ランタノ イド	72 Hf ハフニウ ム	73 Ta タンタル	74 W タングス テン	75 Re レニウム	76 Os オスミウ ム	77 Ir インジウ ム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	●82 Pb 鉛	●83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウ ム	85 At アスタチ ン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシ ウム	88 Ra ラジウム	89~103 アクチノ イド	104 Rf ラザホー ジウム	105 Db ドブニウ ム	106 Sg シーボギ ウム	107 Bh ボーリウ ム	108 Hs ハッシュ ウム	109 Mt マイトレ リウム	110 Ds ダルムタ チウム	111 Rg レントゲ ニウム	1112 Cn コヘルニ ウム	113 Nh ニホニウ ム	114 Fl フレロビ ウム	115 Mc モスコビ ウム	116 Lv リバマリ ウム	117 Ts テネシン	118 Og オガネソ ン
ランタノイド		57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオ ジウム	60 Nd ネオジウ ム	61 Pm プロメチ ウム	62 Sm サマリウ ム	63 Eu ユウロビ ウム	64 Gd ガドリニ ウム	65 Tb テルビウ ム	66 Dy ジスプロ シウム	67 Ho ホルニウ ム	68 Er エルビウ ム	69 Tm ツリウム	70 Yb イッテル ビウム	71 Lu ルテチウ ム		
アクチノイド		89 Ac アクチニ ウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトア クチウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニ ウム	94 Pu プルトニ ウム	95 Am アメリシ ウム	96 Cm キュリウ ム	97 Bk バークリ ウム	98 Cf カルホル ニウム	99 Es アインスタ イリウム	100 Fm フェルミ ウム	101 Md メンделе ビウム	102 No ノーベリ ウム	103 Lr ローレン シウム		

レアアース (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

※ヨウ素(I):埋蔵量は世界最大で、生産量は、ペルーにつき世界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。

