

2023年度成果報告会 プログラムNo. 40

太陽光発電主力電源化推進技術開発 ／動向調査等／

- ・太陽光発電の技術および産業・市場動向調査
- ・国際技術協力プログラムへの参画
- ・太陽光発電の動向調査(次世代型太陽電池の
新市場への導入・実装に向けての動向調査)

発表日：2024年2月2日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 杉淵 康一 (株)資源総合システム

(株)資源総合システム、みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)

問い合わせ先 (株)資源総合システム E-mail: info@rts-pv.com Web: <http://www.rts-pv.com>

事業概要

太陽光発電の技術および産業・市場動向調査



1. 目的

太陽光発電の主力電源化を推進するため、需要地に近接しているが従来技術では太陽光発電の導入が進んでいなかった場所を利用可能にするための太陽光発電システム開発や長期安定的な事業運営確保として現在顕在化している課題解決を目指した太陽光発電主力電源化推進技術開発プロジェクトの推進に資することを目的とし、本調査では太陽電池セル、モジュール、システムおよび太陽光発電が導入される分野に関する国内外の技術や産業・市場動向や今後の太陽光発電の可能性について調査を行う

2. 期間

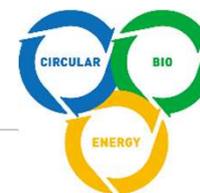
2020年8月 ～ 2025年3月

3. 目標(中間・最終)

国内外の太陽光発電に関する市場・産業・技術・研究開発プログラム・普及促進施策等の現状を把握するために、分野毎の最新動向について調査を実施し、とりまとめる

4. 成果・進捗概要

国内外で開催された国際会議、等へ出席し、国内外の太陽光発電に関する技術・研究開発プログラム・市場・産業・普及促進施策等について、分野毎の最新動向を調査した



事業概要：国際技術協力プログラムへ参画



1. 目的

太陽光発電の導入量を拡大し主力電源化していくには、太陽光発電システムに関する技術や市場の動向および普及に関わる国内外の動向などの最新データを常に把握し、それらを的確に技術開発へフィードバックしていくことが求められる。最新データを把握するためには、国際エネルギー機関(IEA)の太陽光発電システム研究協力実施協定(PVPS)等の国際協力プログラムに参画して情報交換を行うことも有効であり、得られた情報や議論した結果については、併せて国内の省庁を含めて、研究開発者、発電事業者等に広く展開する。

2. 期間

2020年7月13日 ~ 2025年3月31日

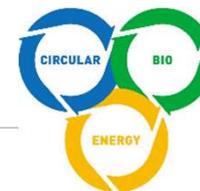
3. 目標(中間・最終)

【中間目標】PVPSの活動に参画し、その内容を産業界に発信する。

【最終目標】PVPSでの活動を踏まえ、定期的な情報発信を行うと共に分析、検討をまとめる。

4. 成果・進捗概要

- IEA PVPSのワーキンググループであるタスク1(太陽光発電の戦略的分析及び情報交換)に専門家として参加し日本の太陽光発電動向を報告すると共に、各国の専門家と共にTrends Report及びSnapShot Reportを刊行。成果について国際会議等で発表(IEEE PVSC、EUPVSEC及びPVSEC)
- タスク1の副代表として、専門家会議に参加して、今後のIEA PVPSの活動計画や活動方針を決定するための議論に参加



事業概要

- ・ 次世代型太陽電池の新市場への導入
- ・ 実装に向けての動向調査



1. 目的

太陽光発電の新市場への実装に当たっては従来の地上設置や住宅屋根設置と比べて、関連業界との調整や施工、コスト等が大きく異なることが予想され、これら社会実装に向けての従来の太陽電池とは異なった要素のさらなる検討が必要となる。本調査では、次世代型太陽光発電（ペロブスカイト太陽電池等）の社会実装を支援する取り組みとしての動向調査を実施する。

2. 期間

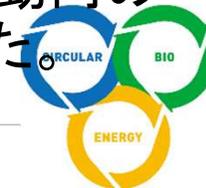
2021年8月 ～ 2025年3月

3. 目標（中間・最終）

太陽光発電の技術開発の方向性や普及方策の分析、検討に資する調査結果をまとめ、関連するプロジェクトへフィードバックを行う。

4. 成果・進捗概要

重量制約のある屋根・建物壁面に関する業界ヒアリング調査方法の検討を行った。次世代型太陽電池（ペロブスカイト太陽電池等）の国内外の開発・技術動向の調査および、従来型太陽電池サプライチェーンの実態調査と分析を実施した。



< 発表内容 >

1. 世界市場の動向（IEA-PVPS）
2. 太陽電池サプライチェーンの動向
3. 太陽電池・次世代太陽電池の技術動向
4. 太陽光発電システムの動向
5. まとめ

< 発表内容 >

1. 世界市場の動向（IEA-PVPS）
2. 太陽電池サプライチェーンの動向
3. 太陽電池・次世代太陽電池の技術動向
4. 太陽光発電システムの動向
5. まとめ

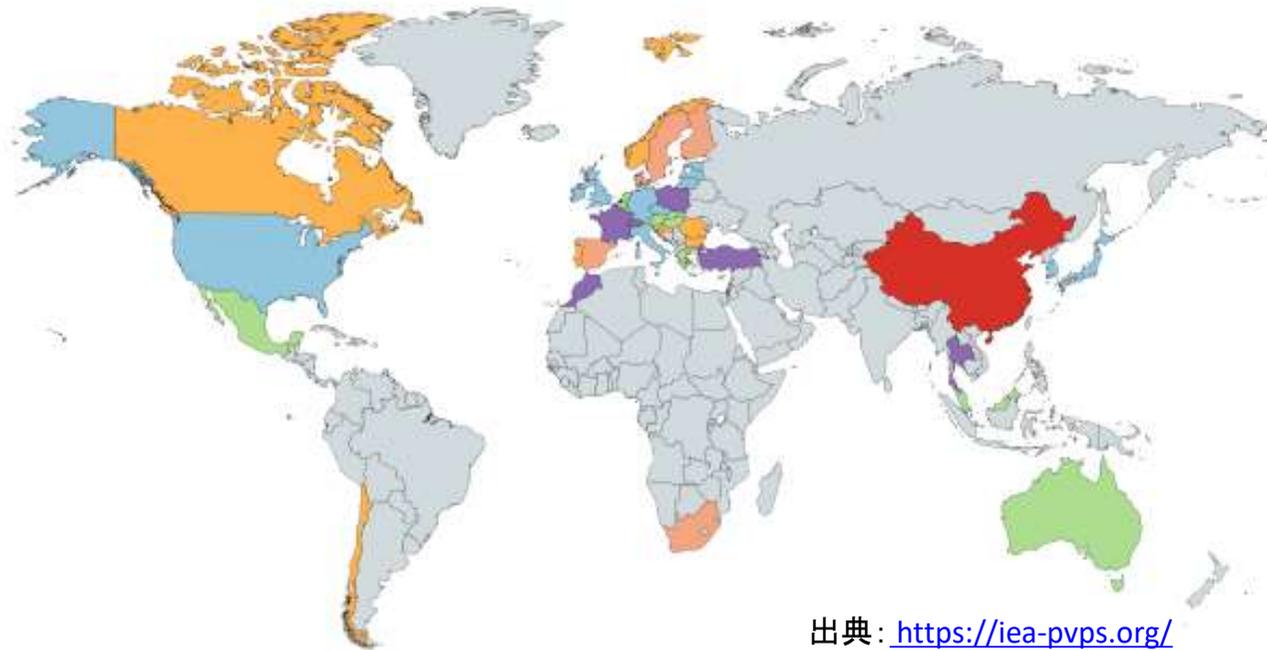
国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力プログラム (IEA PVPS) とは

- 1993年に創設された、IEAの枠組みにおける研究プログラムのひとつ
- 32機関（27ヶ国、欧州委員会（EC）、4産業団体）が加盟
- ミッション：持続可能なエネルギーシステムへの転換におけるひとつの礎としての太陽光発電の役割を推進するために国際協力を強化
- ウェブサイトで成果物や活動を報告 (<https://iea-pvps.org/>)

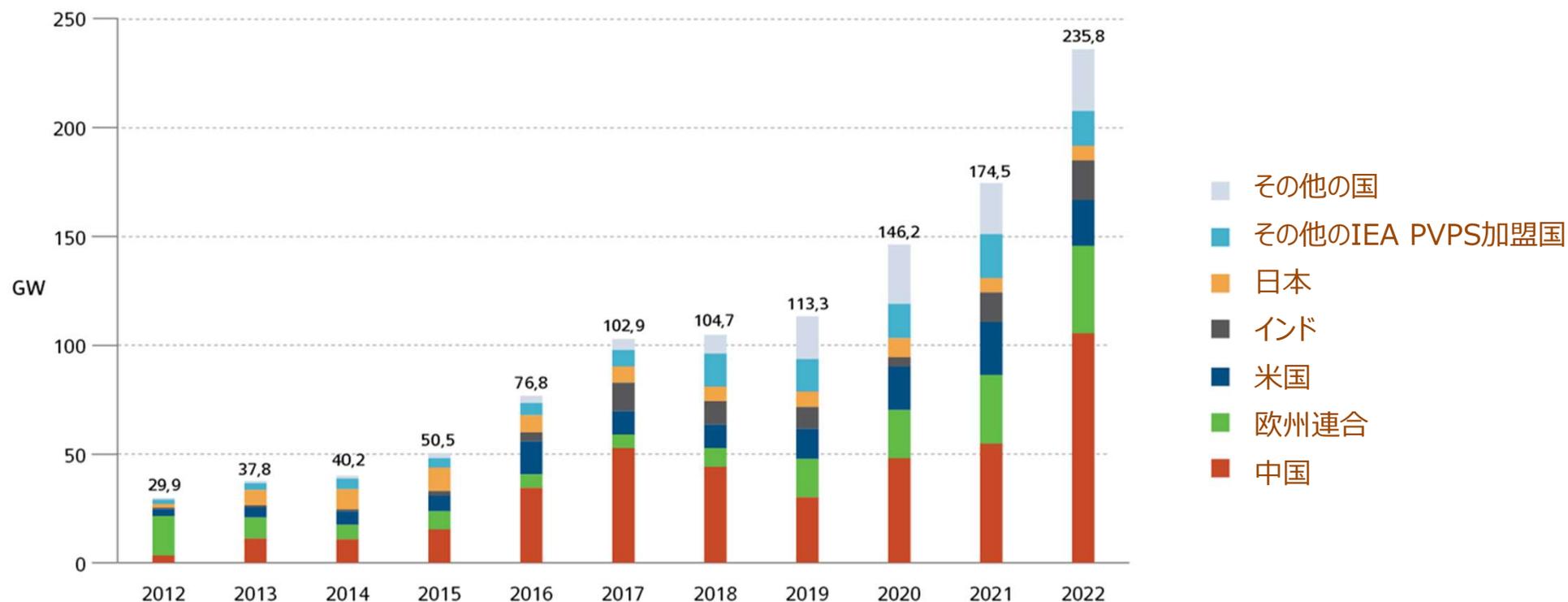
IEA PVPS加盟国と
加盟機関



世界市場の90%を網羅



世界の年間導入量の推移



SOURCE IEA PVPS & OTHERS

- 2022年の導入量は236GW
- 太陽光発電の設置容量は、AC及びDC（太陽電池容量）で報告されているケースがあり、PVPSでは、DCに統一して導入量を分析
- 日本の導入量については、固定価格買取制度の稼働量（AC）及びその他の導入量を分析して報告

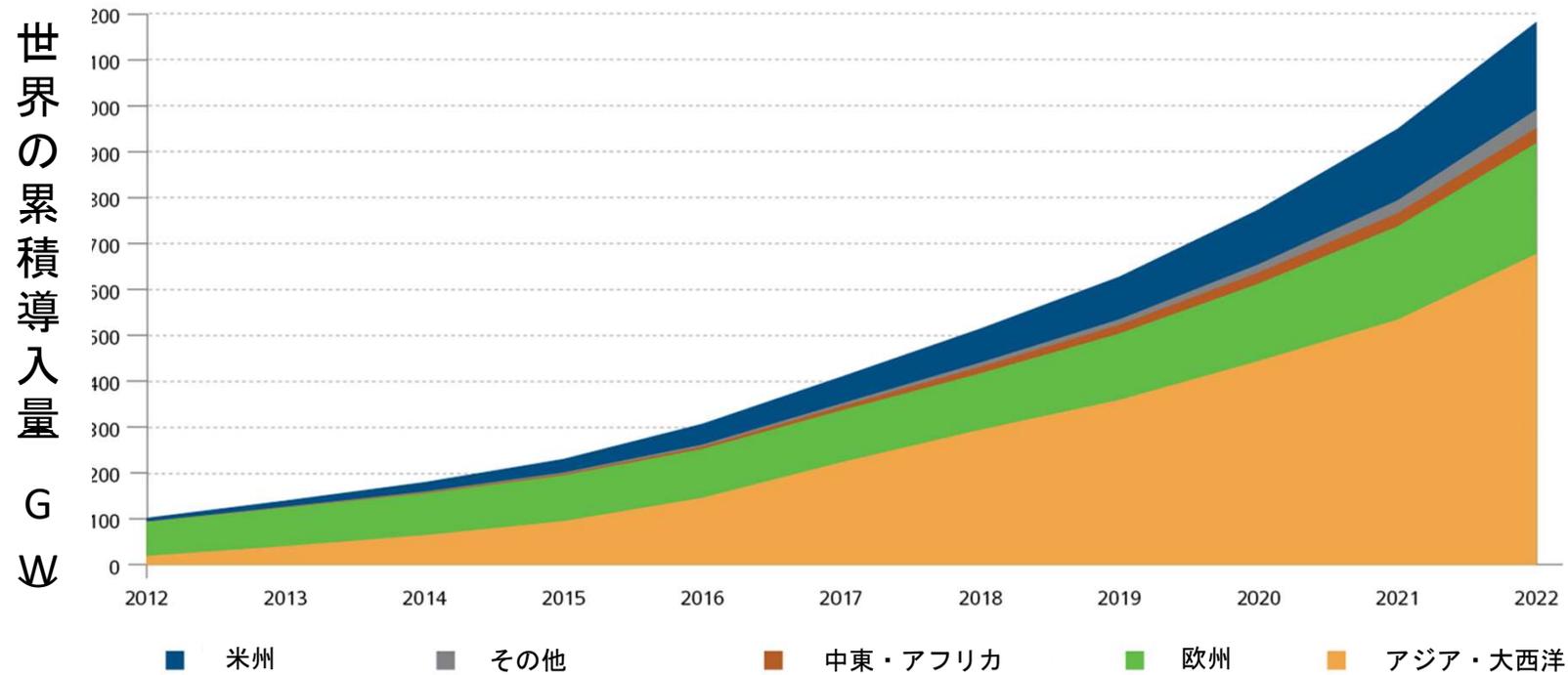
出典：IEA PVPS Task 1, "Trends in Photovoltaic Applications 2022"から、(株)資源総合システムが作成

年間導入量トップ10国（2019～2021年）

順位	2020年		2021年		2022年	
	国名	導入量 (GW)	国名	導入量 (GW)	国名	導入量 (GW)
1	中国	48.2	中国	54.9	中国	105.5
2	米国	19.7	米国	26.9	米国	21.1
3	ベトナム	11.0	インド	13.7	インド	18.1
4	日本	8.7	日本	6.5	ブラジル	9.9
5	インド	5.0	ドイツ	5.8	スペイン	8.5
6	ドイツ	4.9	ブラジル	5.7	ドイツ	7.2
7	オーストラリア	4.5	オーストラリア	4.9	日本	6.7
8	韓国	4.1	スペイン	4.9	ポーランド	4.9
9	スペイン	3.5	韓国	4.2	オーストラリア	4.2
10	オランダ	3.0	ポーランド	3.7	オランダ	3.9

出典：IEA PVPS Task 1, "Trends in Photovoltaic Applications 2022"から、(株)資源総合システムが作成

Task1による太陽光発電市場の分析：累積導入量の推移

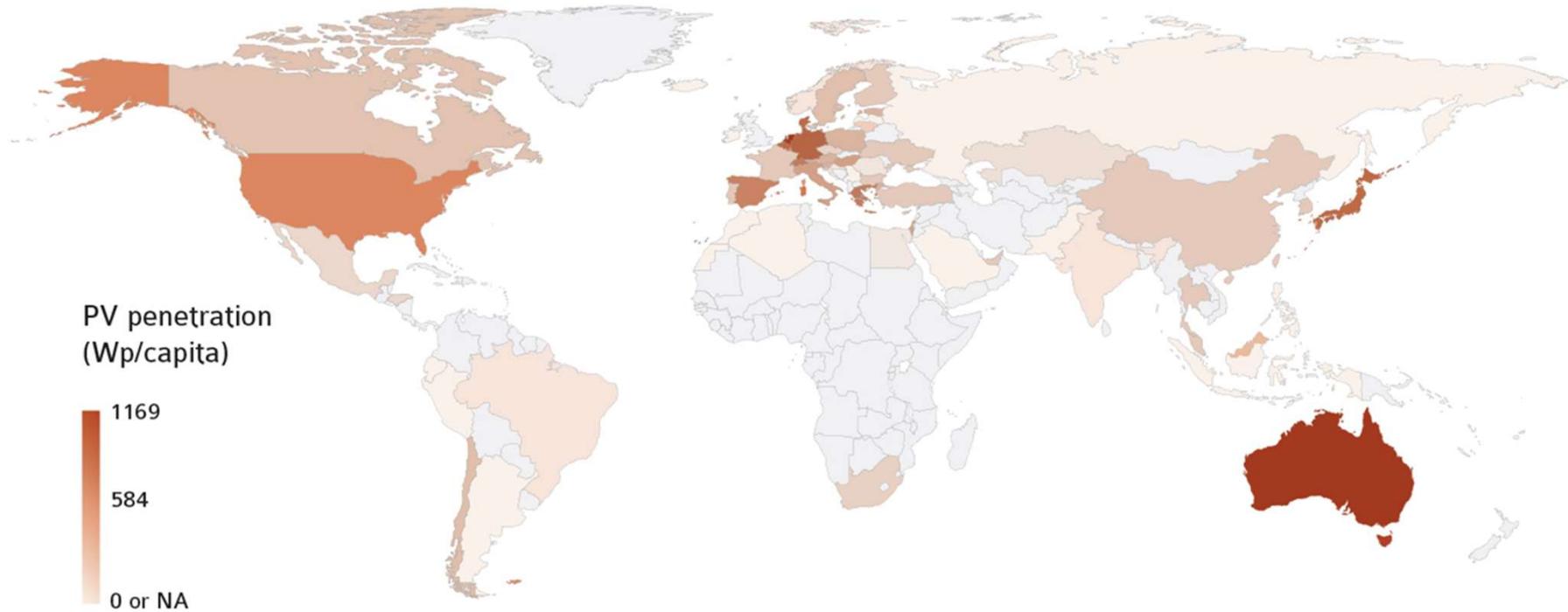


SOURCE IEA PVPS & OTHERS

- 2022末時点での累積導入量は1,184GW。1TW = 1,000GW超えに
- 欧州が太陽光発電市場の拡大に2000年代から2010年代前半に大きく貢献（スペイン、ドイツ、イタリア及びその他の市場）→リサイクルやリパリングの取り組みが開始されている
- その後、中国市場の拡大によりアジア太平洋地域が主導（中国、インド、日本、オーストラリア、韓国など）
- 米州市場もアジア太平洋に続いて成長基調
- 中東及びアフリカ市場の成長が開始

出典：IEA PVPS Task 1, "Trends in Photovoltaic Applications 2022"から、(株)資源総合システムが作成

太陽光発電の普及状況 2023 年のハイライト



SOURCE IEA PVPS & OTHERS

1人当たりの太陽光発電システム設置容量

2022年に44ヶ国が
累積設置容量で少なくとも

1GWを達成

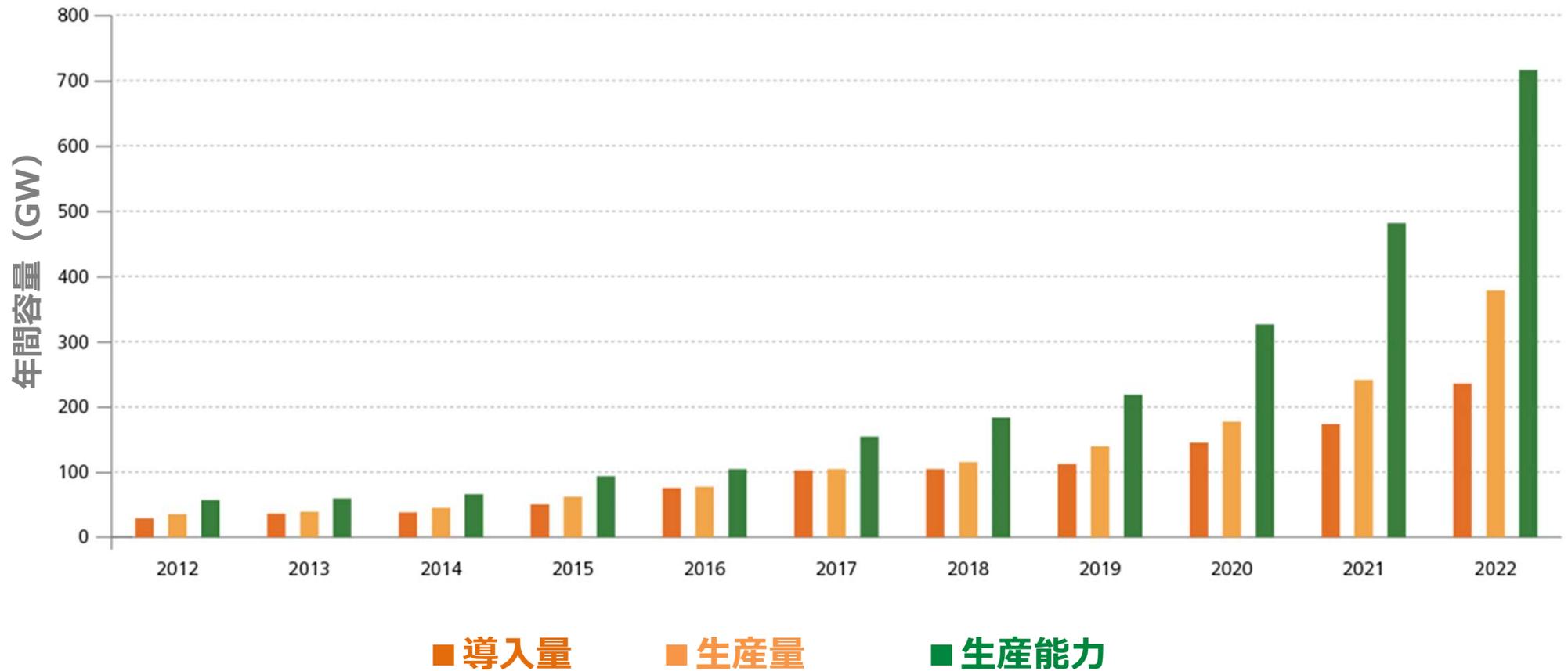
1位	オーストラリア	1,169W/人
2位	オランダ	1,031W/人
3位	ドイツ	800W/人
4位	ベルギー	698W/人
5位	日本	680W/人

2022年に24ヶ国が
年間設置容量で少なくとも

1GWを導入

出典：IEA PVPS Task 1, "Trends in Photovoltaic Applications 2022"から、(株)資源総合システムが作成

太陽光発電設置容量・太陽電池生産量・生産能力の推移



NOTE: REVISED BASED ON CPIA DATA AND RTS SURVEY

SOURCE IEA PVPS, RTS CORPORATION

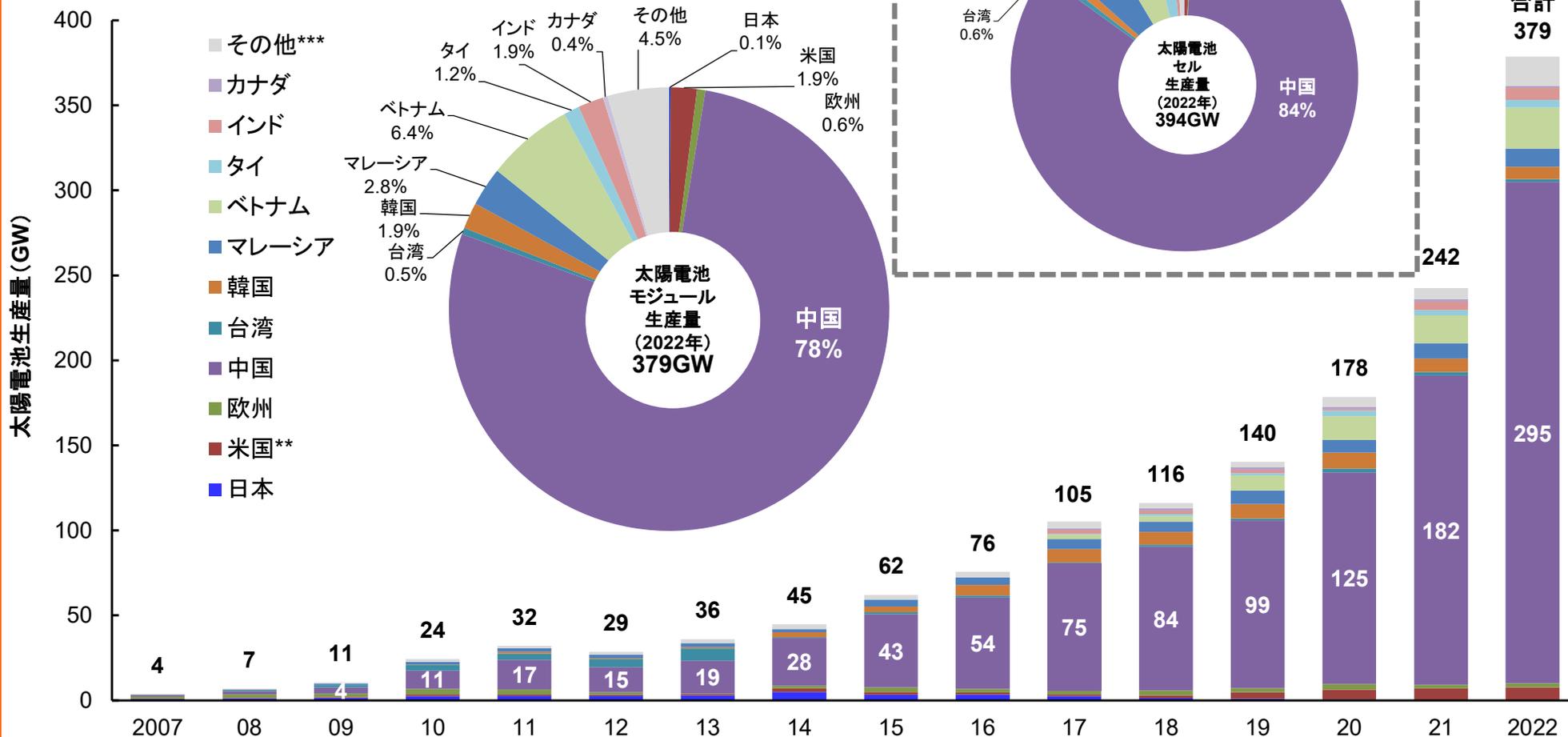
出典：IEA PVPS「Snapshot of Global PV Markets 2022」から、(株)資源総合システムが作成

< 発表内容 >

1. 世界市場の動向 (IEA-PVPS)
2. 太陽電池サプライチェーンの動向
3. 太陽電池・次世代太陽電池の技術動向
4. 太陽光発電システムの動向
5. まとめ

世界の太陽電池生産量推移（国・地域別）

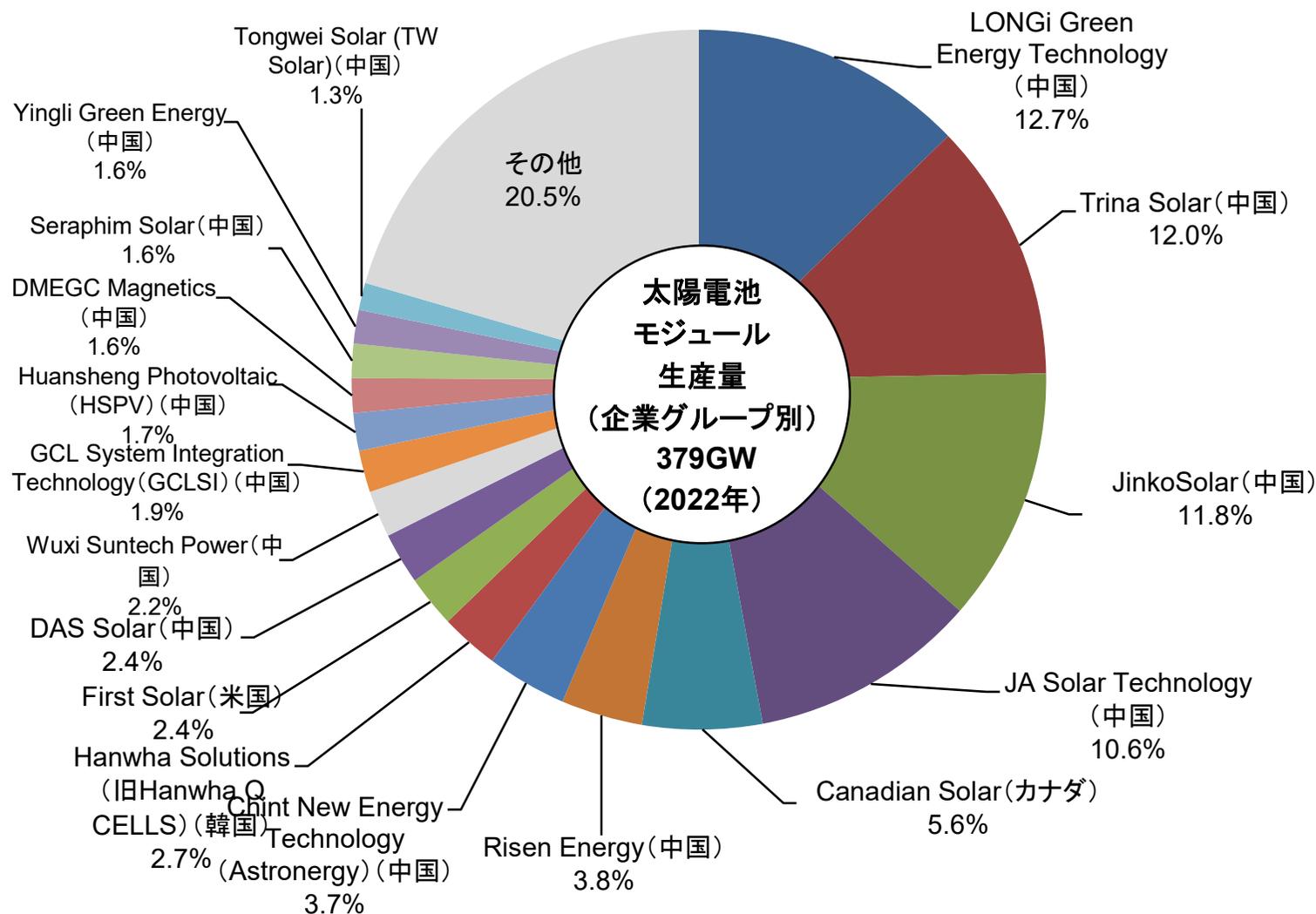
1GW=1,000MW=100万kW



※ 2013年までは太陽電池セル生産量、2014年からは太陽電池モジュール生産量で集計

出典：（株）資源総合システム調べ（一部推定、2023年7月現在）

世界の太陽電池モジュール生産量メーカー別（2022年）



世界の太陽電池モジュール生産量の企業別比率（2022年）

⇒ 上位10社の占有率は68%

結晶シリコン太陽電池産業のサプライチェーン（製造）の動向



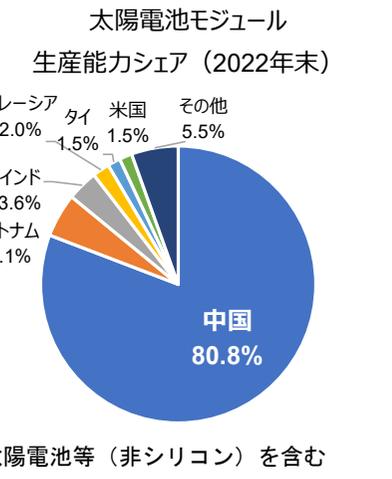
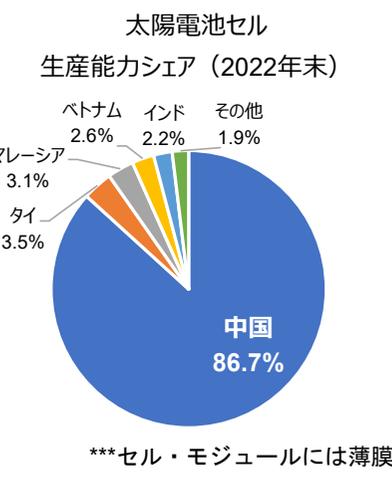
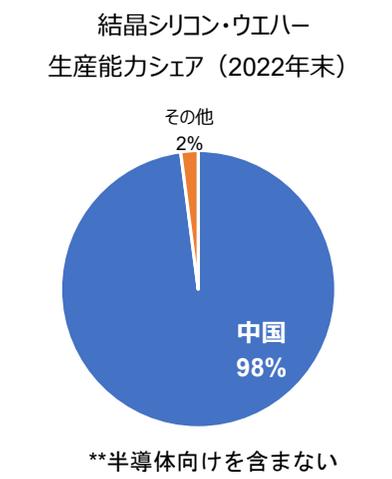
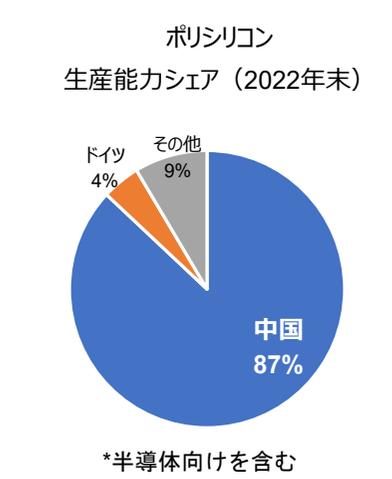
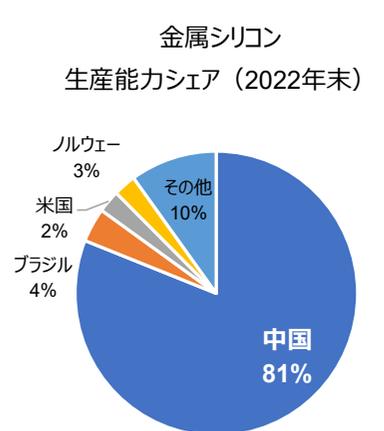
ケイ石を還元して製造される金属の一種。ポリシリコンの原料となるほか、有機シリコン（シリコン）、アルミニウム用添加剤、特殊合金の原料でもある。

金属シリコンを還元して純度を高めたもの。2022年は中国が世界生産能力の87%、生産量では85.6%を占めた。2022年だけで56.7万t/年の工場が中国で新設された。

ポリシリコンを溶融、結晶化させた結晶シリコン・インゴットをスライス・加工したもの。製造工程の違いにより単結晶品と多結晶品がある。中国が生産能力の98%を占める。

中国が生産能力の86.7%を占める。中国からウエハーを輸出し、マレーシア、韓国、ベトナムなどで太陽電池セルに加工する場合もある。

太陽電池セルを組み合わせ、パネル化した製品。他国で製造したセルを輸入し、加工する場合もある。中国が生産能力の80.8%を占める。



出典：中国太陽光発電産業協会（CPIA）、「2022-2023年中国光伏産業年度報告」から、(株)資源総合システム作成

世界および主要市場国における太陽電池産業のサプライチェーン構築の動向



世界全体の今後の見通し

- これまで中国に集中していた**太陽電池サプライチェーンは、世界へ広がる転換期**にさしかかっている。特に米国、欧州連合（EU）、インドが積極的に太陽電池サプライチェーンの構築に取り組んでおり、2024～2025年にかけてこれらの国・地域では、シリコン原料から太陽電池モジュールまでを生産する体制が整備されていく見通しである。



米国

- 2022年8月に成立した**インフレ抑制法（IRA）**におけるインセンティブなどの支援を受け、2023年8月までの1年間で米国内で計51件の工場の新設・拡張計画が発表されたことが報じられている。今後は米国内において太陽電池サプライチェーンが確立されていく見通しである。



欧州連合（EU）

- ロシアからの天然ガス依存度を低減するための戦略**「REPowerEU」**において、太陽電池製品の内製化も目指す方針を明確にしており、ECは**EUイノベーション基金**を通じ、欧州での太陽電池工場拡張・設立を支援する*ことも2022年7月に発表している。2023年11月に40億ユーロ（製造14億ユーロ）を拡充



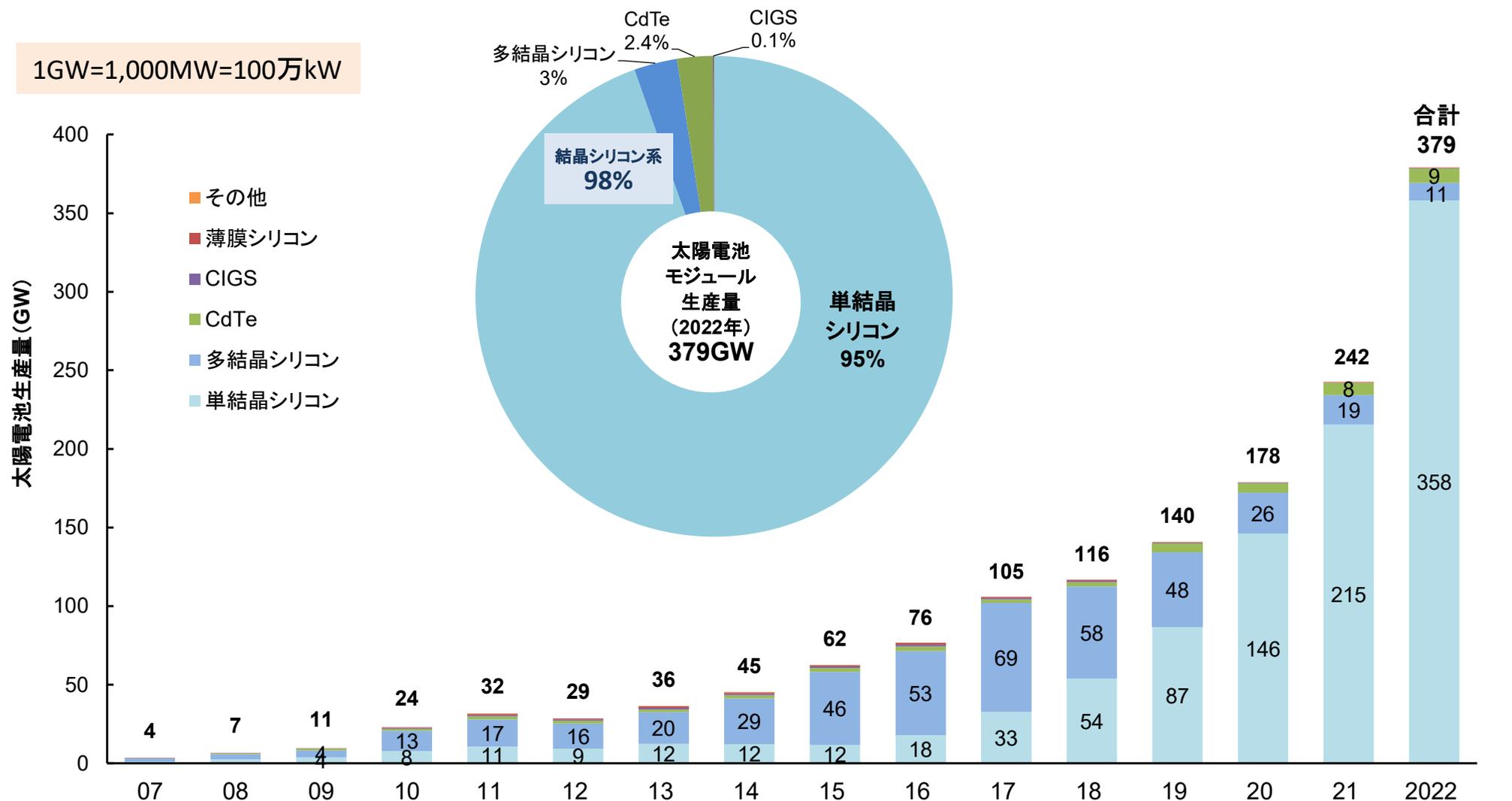
インド

- 国内の太陽電池サプライチェーン構築に熱心に取り組んでおり、太陽電池工場の設立・運営を支援するための**生産連動型インセンティブ（PLI）制度**、国内製品の販売先を確保するための**国内製品の採用**や**太陽電池工場設立が要件**となる入札などで国内産業を支援している。

< 発表内容 >

1. 世界市場の動向 (IEA-PVPS)
2. 太陽電池サプライチェーンの動向
3. 太陽電池・次世代太陽電池の技術動向
4. 太陽光発電システムの動向
5. まとめ

世界の太陽電池生産量推移（半導体種類別）

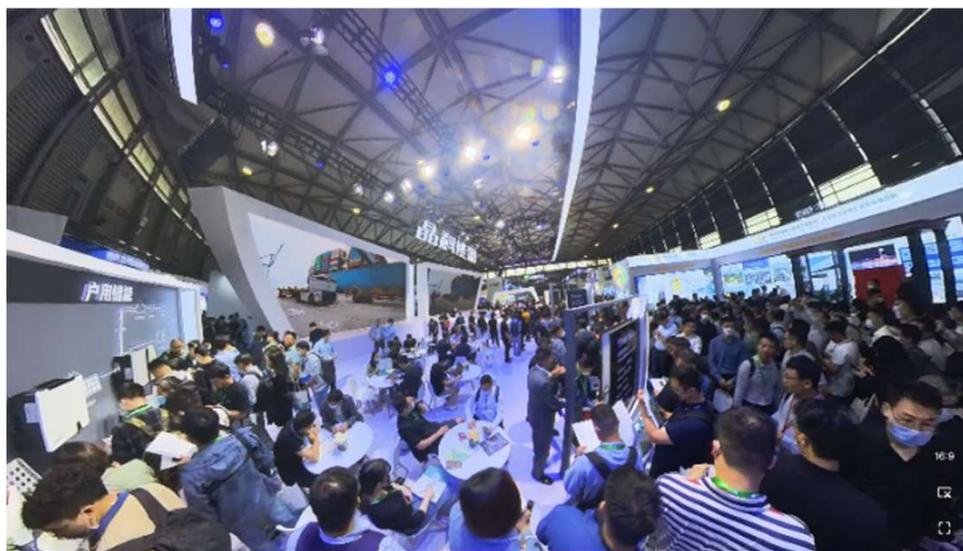


※ 2013年までは太陽電池セル生産量、2014年からは太陽電池モジュール生産量で集計

出典：（株）資源総合システム調べ（一部推定、2023年7月現在）

海外展示会における太陽電池モジュール技術動向

- 2023年5月 中国・上海市で SNEC PV Power Expo 2023展示会/会議が開催
- 3,100社以上が出展、来場者数は50万人に達したと報じられ、太陽光発電に関する世界最大の展示会
- 展示されている結晶シリコン太陽電池の多くが「p型」ではなく「n型」の高効率品に
- **ヘテロ接合（HJT）太陽電池**も製品ポートフォリオに含める企業が増加（ヘテロ接合-バックコンタクト複合型（HBC）の展示も）
- **結晶シリコン・ウエハのサイズは182mmと210mmが主流**に（長方形ウエハも各社で登場）
- 太陽電池モジュールの**大型化、高出力化**が進み主要製品は**600W超え**
- **建材一体型太陽光発電（BIPV）**製品の展示が増加
- **ガラス基板ペロブスカイト太陽電池**製品が複数社より出展
ペロブスカイト/Siタンデム製品も展示



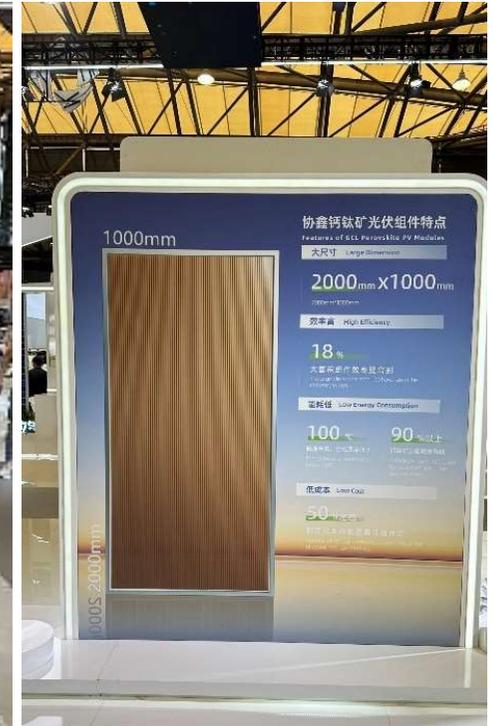
中国・GCL社のペロブスカイト太陽電池製品 (SNEC2023)



写真@RTS



写真@RTS



写真@RTS



写真@CINNO Research
<https://c.m.163.com/news/a/I5RU0Q8E0511CS15.html?referFrom=>

- 中国・GCL社は、幅広い事業領域と先進技術を紹介する中でペロブスカイト太陽電池も展示した
- 2m×1mサイズの標準ペロブスカイト太陽電池モジュール（変換効率18%、製造コストは結晶シリコン太陽電池の約半分）
- 半透明、石材模様のペロブスカイト太陽電池モジュールも展示

次世代型太陽電池変換効率世界記録の進捗 (研究開発R&D)

セル変換効率の世界最高記録

◆ ペロブスカイト単接合

- ガラス基板 : **26.1%** (0.05cm²、ノースウェスタン大学/トロント大学 (米))
- フィルム型 : **22.5%** (1cm²、清華大学 (中))

◆ ペロブスカイト/Xタンデム型

- ペロブスカイト/結晶シリコン : **33.9%** (1cm²、LONGi Green Energy Technology (中))
- ペロブスカイト/ペロブスカイト : **29.1%** (0.05cm²、RenShine Solar/南京大学 (中))



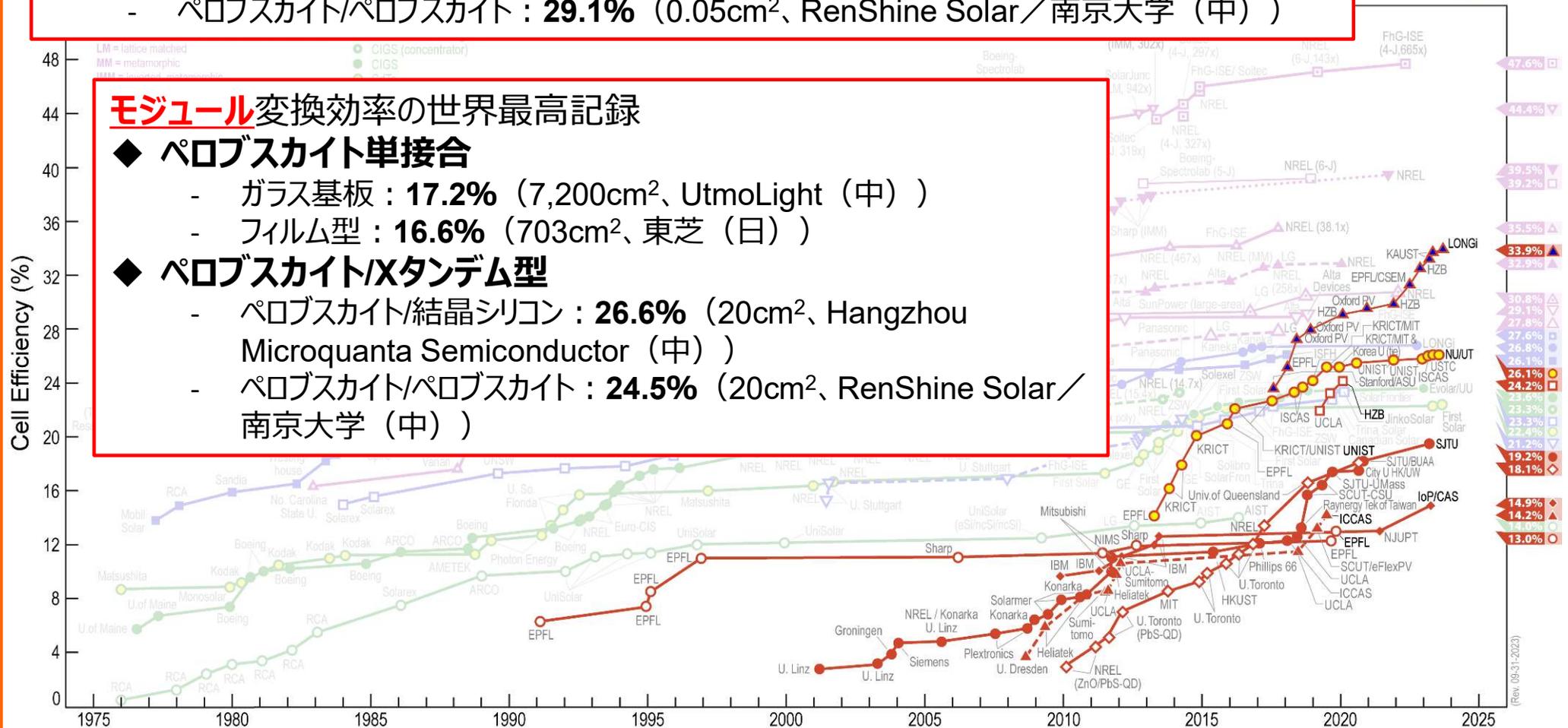
モジュール変換効率の世界最高記録

◆ ペロブスカイト単接合

- ガラス基板 : **17.2%** (7,200cm²、UtmoLight (中))
- フィルム型 : **16.6%** (703cm²、東芝 (日))

◆ ペロブスカイト/Xタンデム型

- ペロブスカイト/結晶シリコン : **26.6%** (20cm²、Hangzhou Microquanta Semiconductor (中))
- ペロブスカイト/ペロブスカイト : **24.5%** (20cm²、RenShine Solar/南京大学 (中))

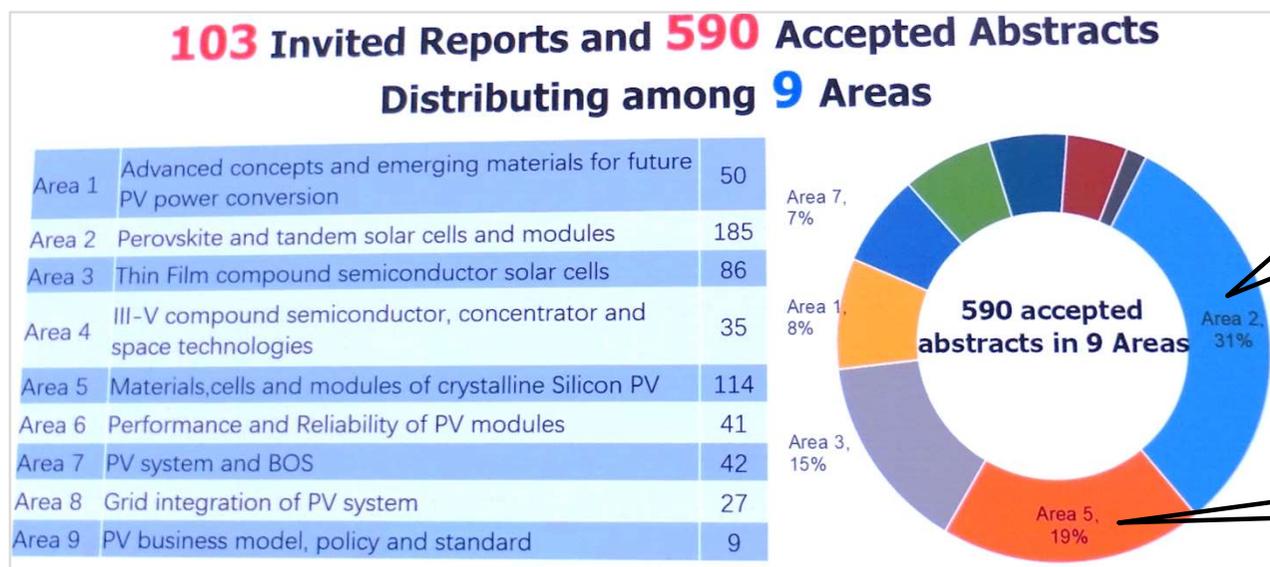


出典：米国立再生可能エネルギー研究所 (NREL) 資料 (2023年9月31日更新) に(株)資源総合システムが加筆 (2023年12月末時点)

国際会議(PVSEC-34)におけるペロブスカイト関連報告



- 第34回The International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-34) が**2023年11月6日～10日、中国・深圳**で開催。
33ヶ国から約1,165人が参加（中国74%、日本7%、韓国・豪4%、ドイツ2%）、投稿論文数は590件（ほか招待講演が103件）
- 投稿論文数うち**31%が「エリア2：ペロブスカイトとタンデム型太陽電池」**で、結晶シリコン系分野（19%）を上回る比率を占めており、非常に活発な研究開発の状況が示された。
- 中・LONGiがペロブスカイト/Siタンデムセルで変換効率33.9%で世界記録を更新**
- 中国勢のペロブスカイト（ガラス）については、**IEC規格での性能・安全性評価試験をパス**しており、屋外設置での発電量測定結果等を報告している。
- 全体印象：太陽電池産業のほか、**研究開発と技術の進展でも中国勢が他国と差を付けた印象**。**オープンイノベーションの土壌**ができています。中国は、**若い留学経験のある研究者が流暢な英語でレベルの高いプレゼンと質疑応答（論文はScienceやNature掲載）**。アカデミアのレベルが上昇。



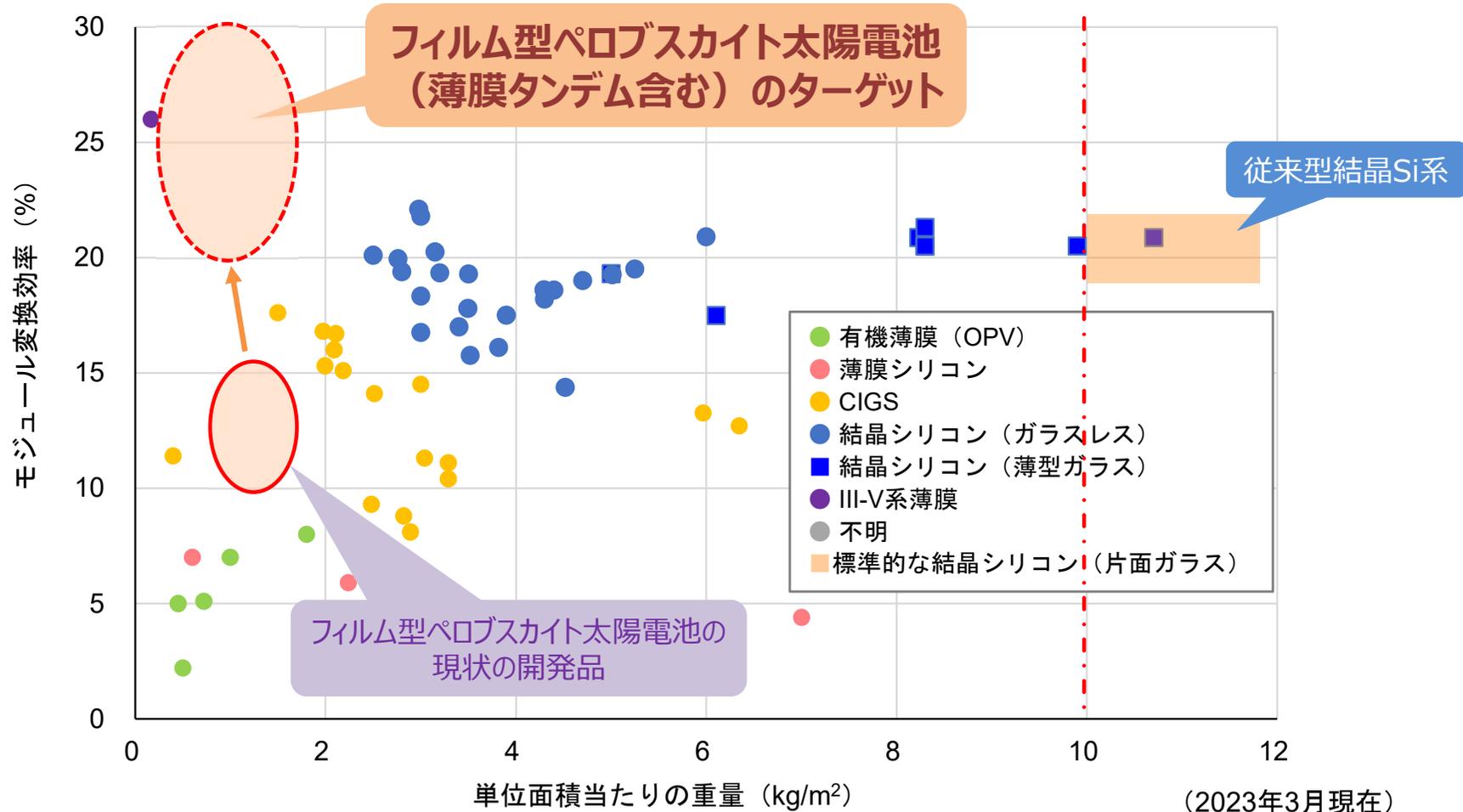
ペロブスカイトおよびタンデム型太陽電池 31%

結晶シリコン太陽電池、シリコン原料 19%

軽量太陽電池モジュールの単位重量と変換効率

重量制約がある工場や倉庫などの屋根では、架台重量も含めると従来型太陽電池製品（11~13kg/m²）は設置できない

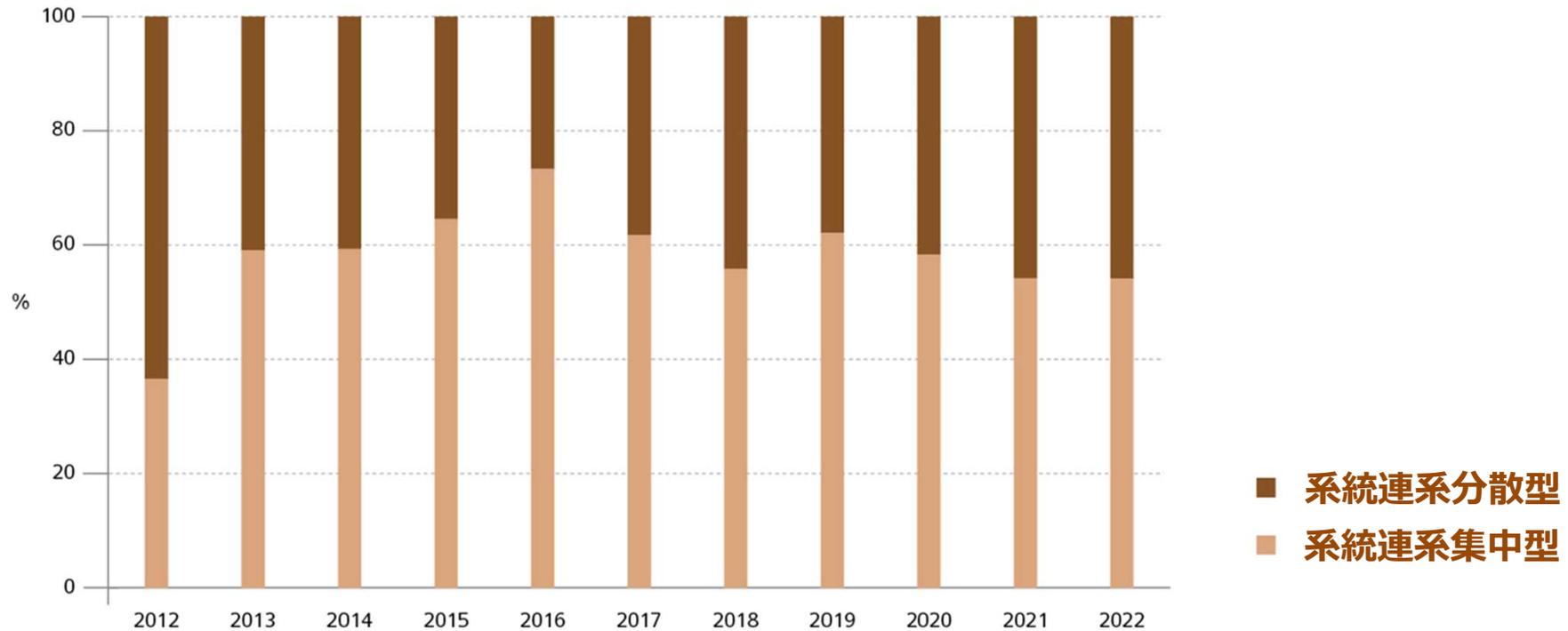
- ガラスの薄型化、化学強化極薄ガラス等による軽量化
- ガラスレス（樹脂材料、樹脂フィルム等）、フレームレスによる軽量化
- **フィルム型太陽電池**



< 発表内容 >

1. 世界市場の動向 (IEA-PVPS)
2. 太陽電池サプライチェーンの動向
3. 太陽電池・次世代太陽電池の技術動向
4. 太陽光発電システムの動向
5. まとめ

太陽光発電システム：世界のセグメント別の導入動向 ～セグメント別年間導入量（屋根設置（分散型）・電力事業用）～



SOURCE IEA PVPS & OTHERS

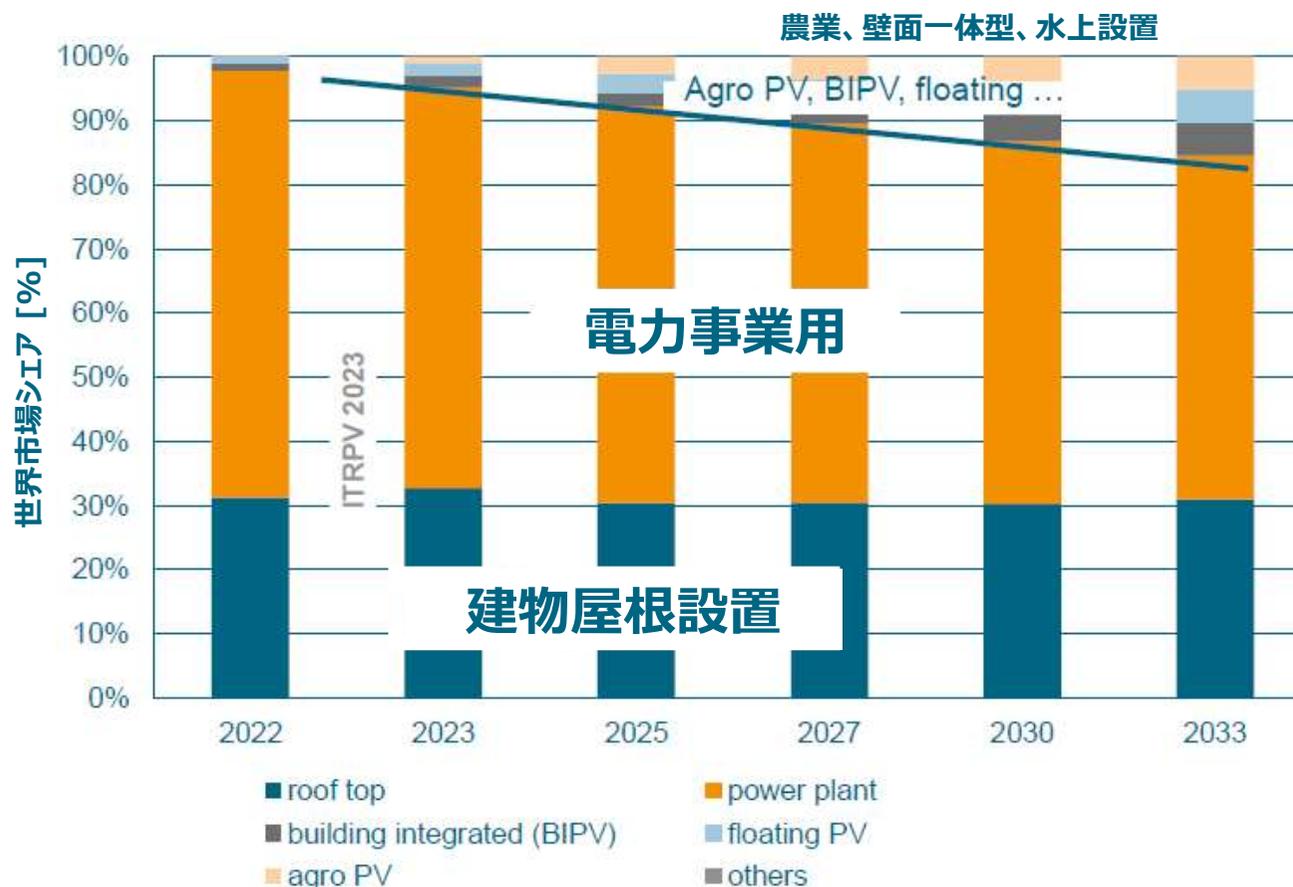
- 分散型市場が中国、ドイツをはじめとした欧州を中心に成長
- 集中型（電力事業用）は、世界各地で入札制度で拡大。ほとんどが地上設置
- 水上設置、営農型などが成長。面積の制約の克服手段として期待

出典：IEA PVPS「Snapshot of Global PV Markets 2022」から、(株)資源総合システムが作成

今後、農業型・壁面一体型・水上設置のシェアが増加

太陽光発電システムの用途別の市場シェアは・・・

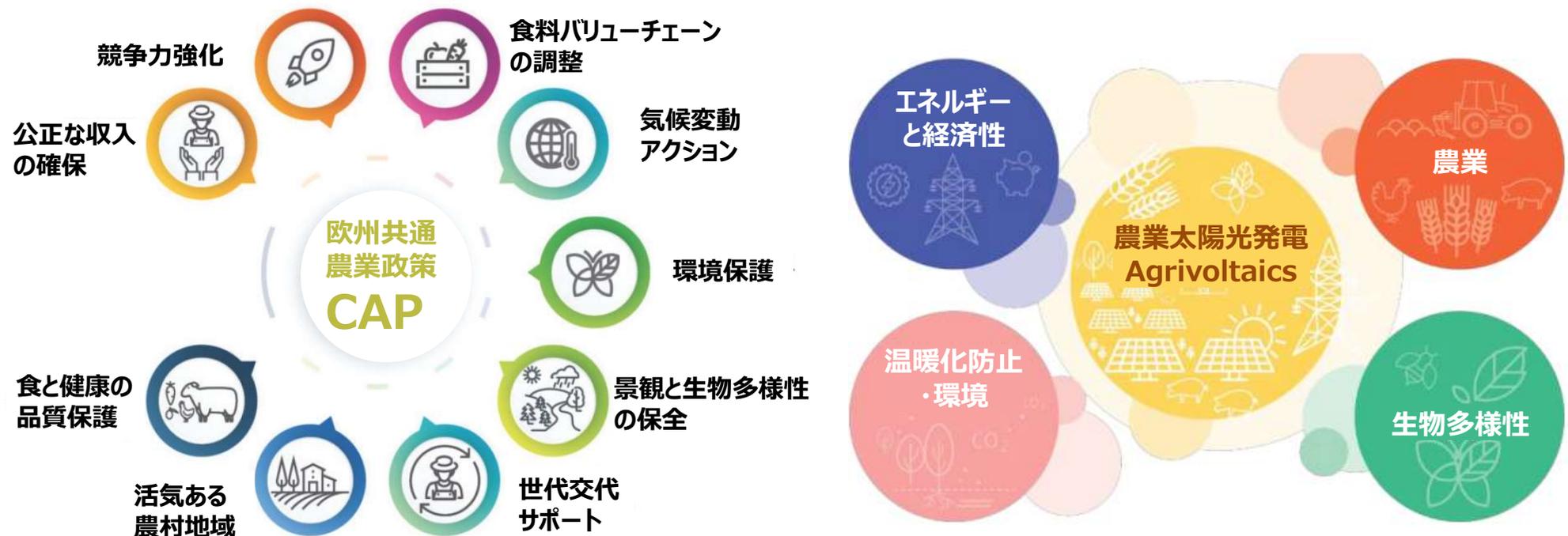
- 電力事業用太陽光発電システムは2022年の70%弱から**2033年に55%まで減少**
- **建物屋根設置**は今後10年は現状の**30%を維持**
- 新市場として**農業型、建材一体型、水上設置型**などがシェアを拡大し、**2033年には年間市場シェア15%に**



出典：ドイツ機械工業連盟（VDMA）；「太陽光発電国際技術ロードマップ（ITRPV）2023、第14版」

世界中で注目される農業太陽光発電（Agrivoltaics）

- ✓ **農業太陽光発電**は、農作物と複数の生態系サービスを提供しながら、**エネルギー発電を併設できる多機能性から、世界各地で注目を集めている**。この農業太陽光発電は、**エネルギー・食糧の安全保障と環境の相乗効果を最大化する**一方で、土地利用率向上や土地生産性向上といったさまざまな利点をもたらす
- ✓ 環境面以外でも、**農業地域の持続可能な開発を促進**することで、多面的な機会を提供する。**雇用創出し、地域社会の収入や税収を生み出し、農家や土地所有者に多様な収入をもたらす**ことで、**農村経済にとって有益**なものとなる。また特に持続可能な農業とエネルギー生産方法を切実に必要とする干ばつに頻繁に見舞われる乾燥気候の農村地域において、重要な役割を果たすことができる。農村部における雇用創出と経済的繁栄は、農村部から都市部への移住、いわゆる農村部の過疎化の抑制にもつながる
- ✓ **農業太陽光発電は農村部の社会経済的福祉を向上させ、持続可能で豊かな未来の基盤となる**



海外での農業太陽光発電（Agrivoltaics）の事例



太陽光パネルをスライド式にし、作物への日射量を調整



杏栽培において適度な遮光により、節水と熱波保護。十分な収穫量。



光透過型の太陽光パネルによる温室でのイチゴ栽培



高さ5m、支柱間13mの架台の下で小麦や野菜を輪作



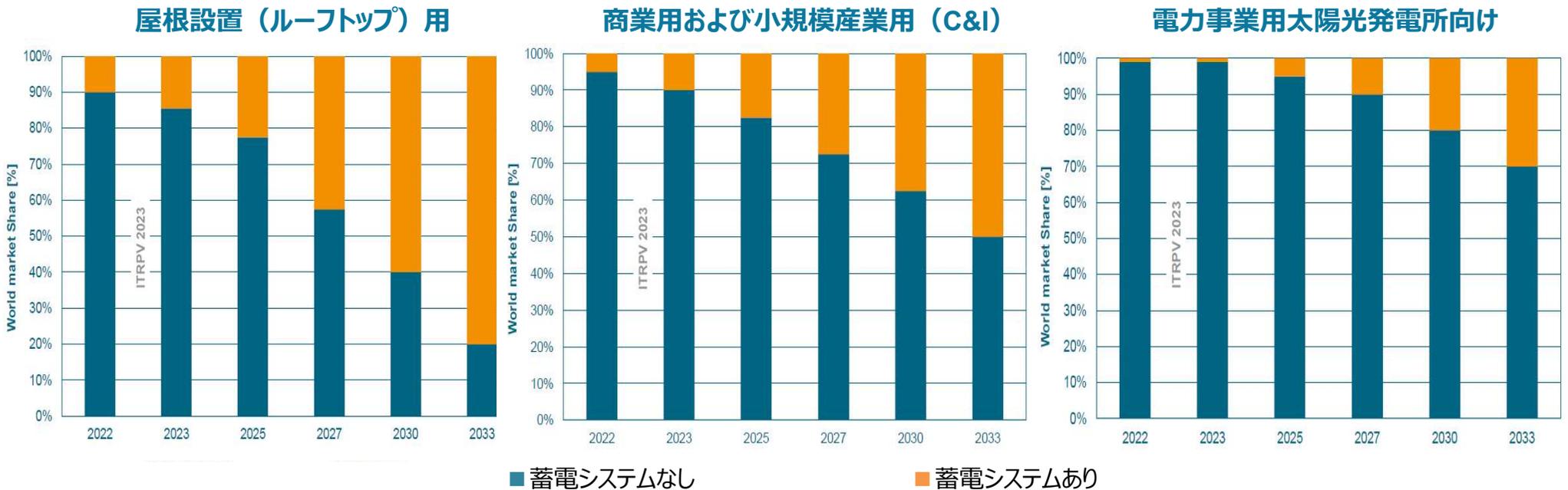
熱帯性高木果樹（パパイア）栽培



両面垂直パネルで放牧酪農

蓄電システム付き太陽光発電システムのシェアの見通し

- 太陽光発電システムは今後、蓄電システムとの併用が増加していく
- 屋根設置では蓄電併用が急速に増え、2022年の10%から2033年にはシェアが80%にまで拡大する
- 商業・産業用（C&I）における蓄電併用は2033年には50%まで増加
- 電力事業用においても蓄電併用が2033年には33%まで増加

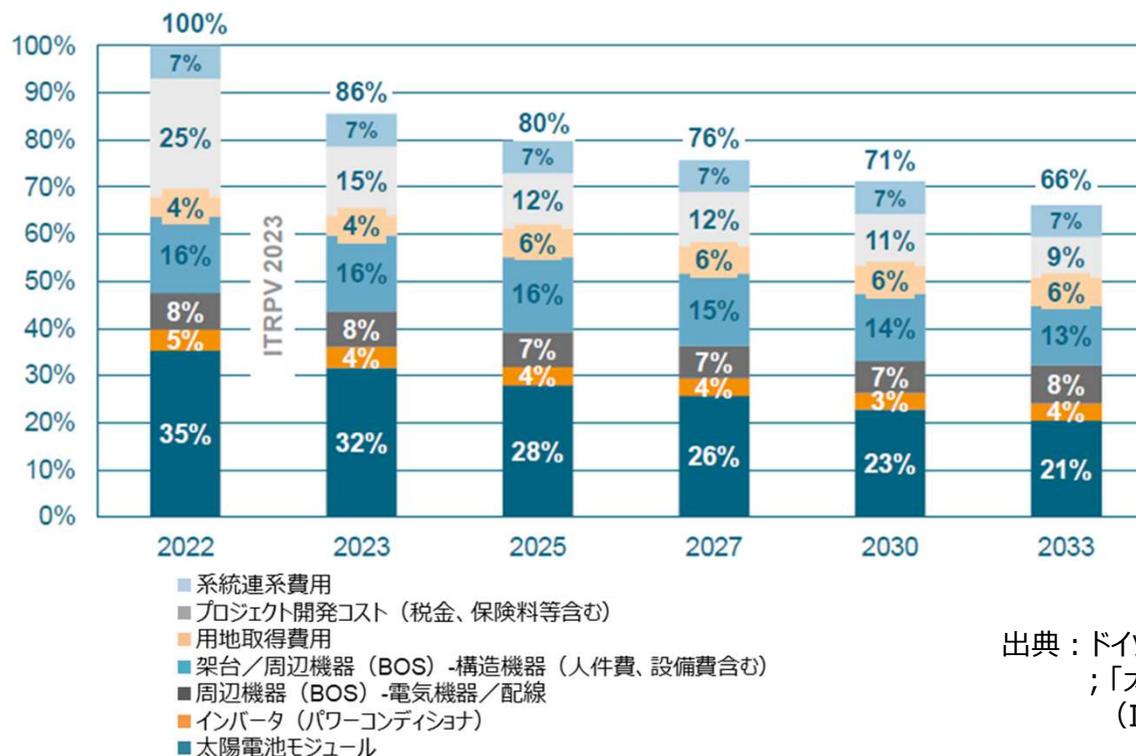


蓄電システム付き太陽光発電システムのシェアの見通し（用途別）

出典：ドイツ機械工業連盟（VDMA）；「太陽光発電国際技術ロードマップ（ITRPV）2023、第14版」

世界の電力事業用太陽光発電システム設置コストの見通し

- 電力事業用太陽光発電システム(10MW以上)のシステムコストの世界平均は、技術進展と規模の経済性で、今後10年間で34%低減される
 (2021年 790米ドル/kW ↗ 2022年966米ドル/kW ↘ 2033年 608米ドル/kW)
- 2022年の各地域でのシステムコスト（中央値）：
 欧州 770米ドル/kW、アジア 705米ドル/kW、米国 1,410米ドル/kW
- 太陽電池モジュール価格（中央値）：
 2022年の0.32米ドル/Wから、2033年に0.18米ドル/Wまで低下する（43%減）
- パワーコンディショナやその他周辺機器、架台などの価格（中央値）：
 2033年まで大きく変化しない見通し

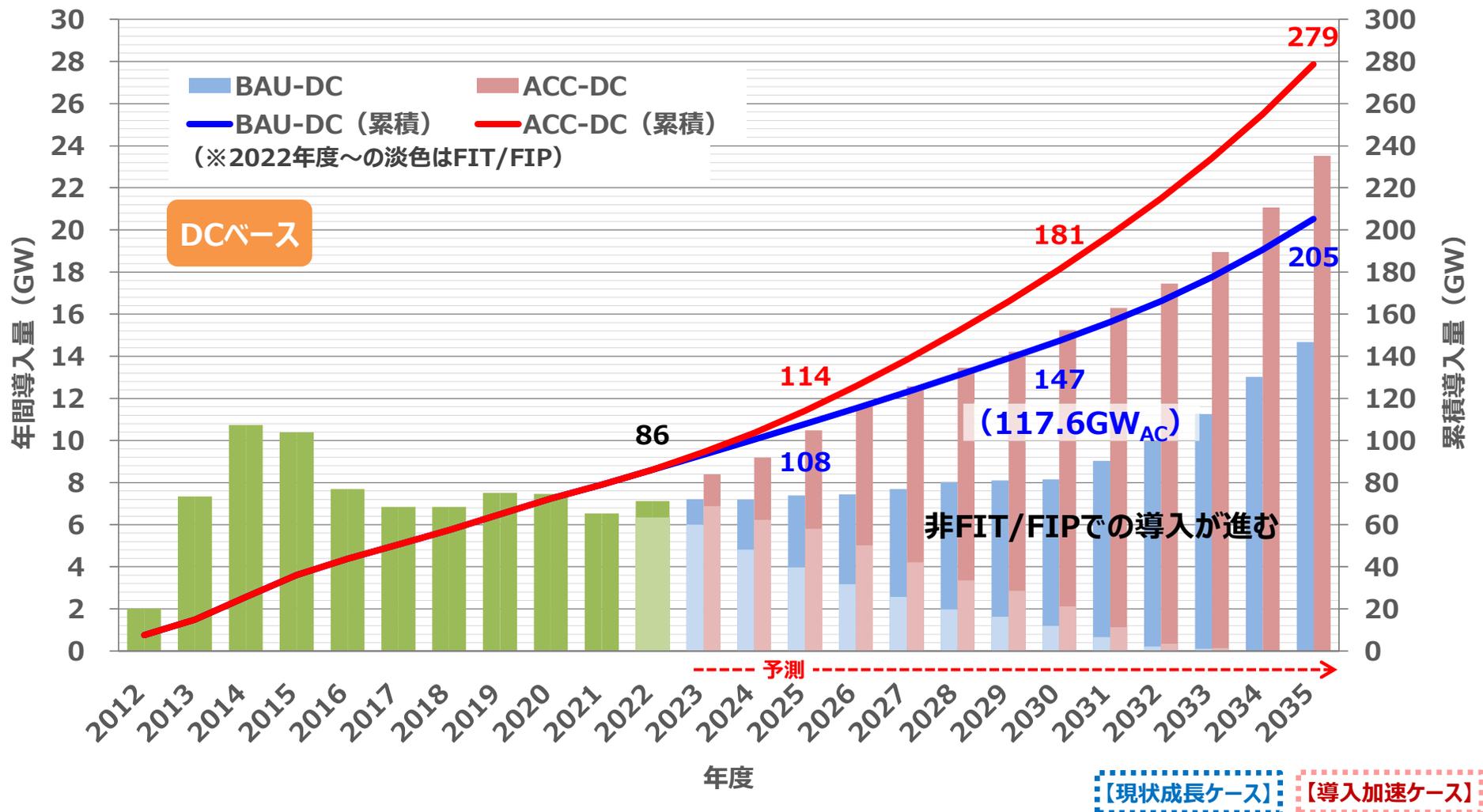


< 発表内容 >

1. 世界市場の動向 (IEA-PVPS)
2. 太陽電池サプライチェーンの動向
3. 太陽電池・次世代太陽電池の技術動向
4. 太陽光発電システムの動向
5. まとめ

日本国内の2035年に向けた太陽光発電導入量の予測

単年・累積	2022年度	2030年度	2035年度
現状成長 (BAU)	7.1 GW・86 GW	8.1GW・147 GW	14.7GW・205 GW
導入加速 (ACC)		15.2GW・181GW	23.5GW・279 GW



出典：資源総合システム；「日本の太陽光発電導入量予測（2023～2035年）」；2023年10月

太陽光発電の技術・市場動向調査のまとめ

- 太陽光発電の**導入**は、2022年には年間導入量が236GWとなり、世界全体での**累積導入量が1テラワット（1000GW）を超えた**と推測され、成長を続けている
- 太陽光発電の導入量でも、太陽電池生産でも、**中国が世界トップ**
- **太陽電池モジュールの生産**は中国が最大のシェア（78%）を占めるが、世界へ広がる転換期にさしかかっている
- 太陽電池の種類は**単結晶シリコン系**が95%を占める
- メーカー別の生産量では**上位4社が中国メーカーで、上位10社の占有率は7割**
- 太陽電池製品は、**n型結晶Siセルによる高効率化、大型化**というトレンドの他に、**建材一体型、ペロブスカイトの製品も発表**されている
- **ペロブスカイト太陽電池**は、**結晶Siとのタンデム**で高効率化が進み、IEC規格での性能・安全性の試験に合格するなど、**研究開発と製品化に向けた動きが世界中で活発**になっている
- **太陽光発電システム**は、今後、電力事業用メガソーラーは世界でもシェアが低くなり、**建物一体型、水上設置、農業型**のシェアが大きくなる見込み
- 太陽光発電は、今後、**蓄電池との併用**が進む
- **システムコストは年々低下**していき、**日本国内導入量は拡大傾向が続く**と予測される