

2021年度成果報告会

# 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 の調査 太陽光全体の動向調査

(株)資源総合システム

問い合わせ先  
株式会社資源総合システム  
E-mail: [info@rts-pv.com](mailto:info@rts-pv.com)  
TEL: 03-3551-6345

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2020年8月

終了(予定): 2023年3月

## 2. 最終目標

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

## 3. 成果・進捗概要

初年度は主として、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た

# 本動向調査の概要

## 『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・市場動向の調査』

### 調査概要

- ① 太陽光発電主力電源化に向けた**市場動向**調査
- ② 太陽光発電主力電源化に向けた**産業動向**調査
- ③ 太陽光発電主力電源化に向けた最先端の**技術動向**の調査
- ④ **海外の研究開発プログラム**の調査
- ⑤ **海外の普及促進施策**に関する調査
- ⑥ 太陽光発電主力電源化に向けた**2030年・2050年を想定した導入形態**の調査  
(社会実装のための技術、等)

### 調査対象

- ① 日本国内
- ② 欧州連合
- ③ ドイツ
- ④ 米国
- ⑤ 中国
- ⑥ 世界全体

### 重点技術（技術）

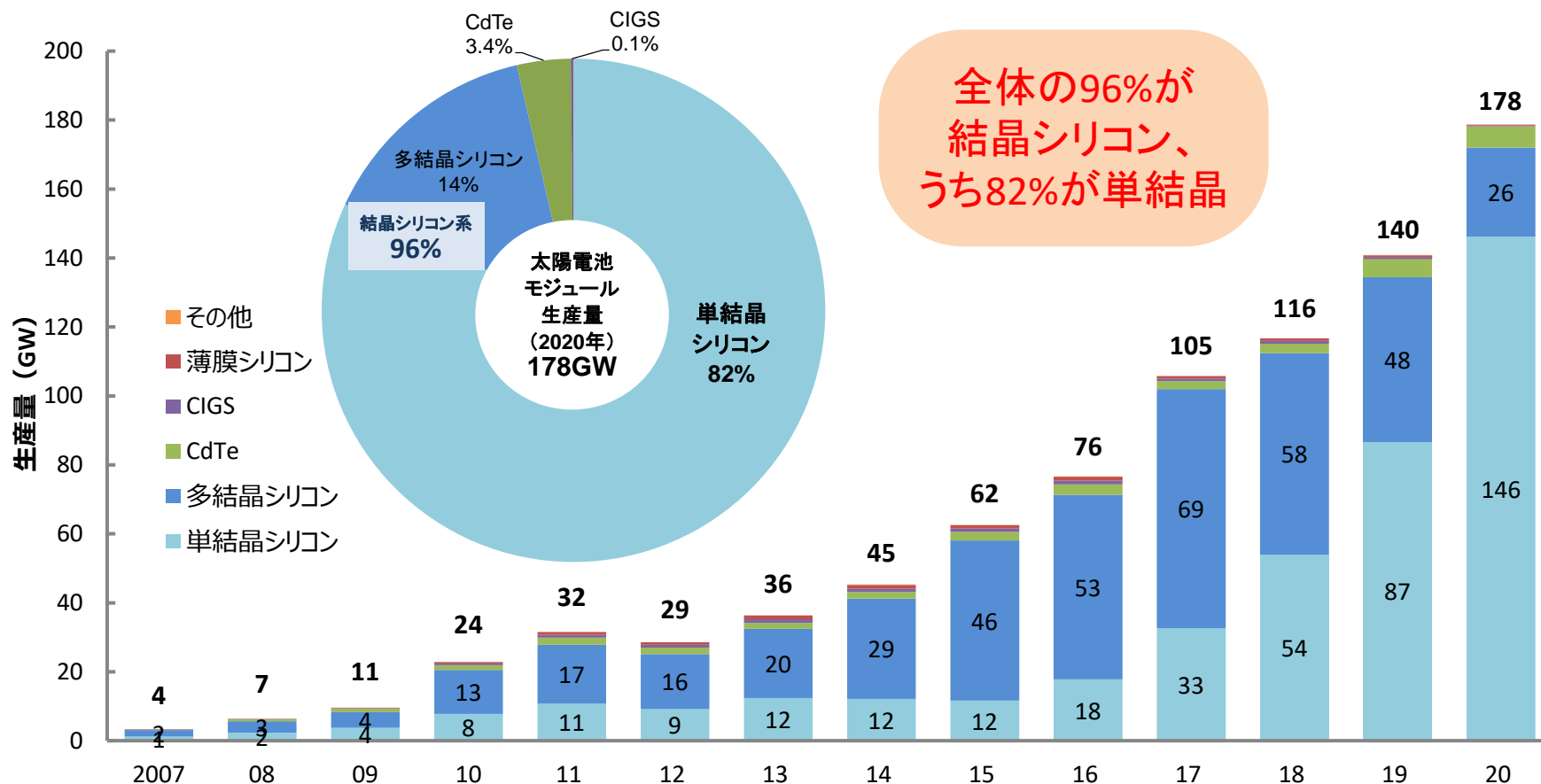
- ・未利用場所・未利用空間への設置を実現する技術（軽量、曲面对応、意匠性、両面、建材一体、水上・海上、MLPE、高性能化、長寿命化、他）
- ・他分野との複合利用のための技術（農業、交通インフラ等）
- ・蓄電池、大規模ストレージ技術
- ・太陽光発電システム群のマネジメント技術（スマート化、EMS、遠隔制御）
- ・システムの検査技術（遠隔監視、現場ツール、ドローン、安全性）
- ・O&Mの高度化技術（遠隔監視、現場ツール、ドローン、安全性、メンテナンス、リパワリング）

### 重点分野

- ① フィルム型超軽量太陽電池
- ② 壁面設置太陽光発電システム
- ③ 太陽光発電の安全性・信頼性確保
- ④ 太陽光発電の系統影響緩和
- ⑤ 新型電池評価、日射量予測

# 世界の太陽電池生産量の推移と種類別比率(2020年)

- 世界の太陽電池生産量は、市場での需要増加に加え、中国メーカー各社が増産したことにより前年比27%増の**178GW**に増加



世界の太陽電池モジュール生産量の種類別比率

※ CdTe: テルル化カドミウム薄膜太陽電池  
CIGS: セレン化銅インジウムガリウム薄膜太陽電池



# 中国における研究開発の重点

エネルギー技術革命創新行動計画(2016～2030年)、エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ

## 太陽電池デバイスに関する行動目標

- 強誘電体－半導体の結合電池:モジュール変換効率14%以上
- **ペロブスカイト太陽電池**:モジュール変換効率15%以上
- **ペロブスカイトと結晶シリコンのタンデム型太陽電池**:モジュール変換効率21%以上
- 新型高効率太陽電池の探索、色素増感型太陽電池、III-V族化合物太陽電池等の高効率化、低コスト化の研究
- 結晶シリコン太陽電池:セル変換効率21%以上
- **ヘテロ接合(HJT)型太陽電池及び裏面電極(IBC)型太陽電池**:セル変換効率23%以上
- **HJTとIBCの結合型太陽電池**:セル変換効率23%以上
- コスト低減、主要技術、プロセス研究、部品の国産化率80%以上の達成、銀ペースト製造技術、無鉛銀電極、低コストペースト材料及び銀/銅ペースト複合電極材等を含むペースト技術の研究
- CIGS:セル変換効率17%以上、CdTe:セル変換効率17%以上
- 薄膜シリコン太陽電池:セル変換効率15%以上
- 産業化に向けた主要技術の研究、CIGS太陽電池材料の国産化、100MW/年級の実証生産ライン構築

## 太陽光発電システムに関する行動目標

- 分散型太陽エネルギー**熱電併給**システム技術の研究、1～1,000kWの実証プロジェクト構築
- **分散型スマート太陽光発電とマイクロ・グリッド**応用技術の開発、太陽光発電効率**予測**や太陽光発電マイクロ・グリッドとインターネット技術の研究・実証
- 高効率、低コストのスマート太陽光発電所の主要技術の研究・実証、1GW級の大規模スマート太陽光発電所の運用と電力系統への影響に関する研究
- 50～100MWの大型集光型太陽光発電所(CPV)の主要技術研究と応用
- 太陽光・風力発電・**エネルギー貯蔵**の混合型実証プロジェクトの研究と応用

第14次国家発展計画で  
新たな目標を検討中

※ CdTe:テルル化カドミウム薄膜太陽電池  
CIGS:セレン化銅インジウムガリウム薄膜太陽電池



# 太陽電池セル

中国太陽光発電産業協会（CPIA）による中国の2020～2030年の  
各種太陽電池セル平均**変換効率**の見通し

（単位：％）

結晶種類	セル構造	2020年	2021年	2023年	2025年	2027年	2030年
p型多結晶シリコン	BSF(裏面電界層)p型ブラック・シリコン	19.4	19.5	19.5	-	-	-
	ブラック・シリコンPERC	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.5
	鋳造(疑似)単結晶PERC	22.3	22.6	23.0	23.3	23.5	23.7
p型単結晶シリコン	PERC	22.8	23.1	23.4	23.7	23.9	24.1
n型単結晶シリコン	TOPCon	23.5	24.0	24.5	25.0	25.3	25.7
	ヘテロ接合	23.8	24.2	24.8	25.2	25.5	25.9
	裏面電極	23.6	24.0	24.5	25.0	25.4	25.8

- 平均変換効率は上昇していく見通し
- 生産コストの低下と変換効率の向上により、n型単結晶シリコン太陽電池セルのシェアが増加する見通し
- 銀ペーストの使用量は、マルチバスバー技術の進展と細線化により減少しつつある。2020年にはp型結晶シリコン太陽電池セルで前年比6.5%減の107.3mg/枚、TOPCon太陽電池セル(トンネル酸化膜パッシベーションコンタクト型太陽電池)で87.1mg/枚となった。コスト低下に向け、今後も銀の使用量を削減する取り組みが続く見通し



# 太陽電池モジュール

- 中国太陽光発電産業協会(CPIA)による太陽電池モジュール**出力**の見通し
- 5W/年以上のペース**で出力が上昇していく見通し

(単位: W)

製品種類	モジュール構造	2020年	2021年	2023年	2025年	2027年	2030年
多結晶シリコン	BSF (157mm)	345	350	350	—	—	—
	PERC(166mm)	415	420	425	435	440	450
	鑄造(疑似)単結晶PERC	445	450	460	465	470	475
p型単結晶シリコン	PERC(166mm)	450	455	465	470	475	480
	PERC(182mm)	540	545	550	555	560	570
	PERC(210mm)	540	545	550	557	565	575
n型単結晶シリコン	TOPCon(166mm)	455	465	475	485	490	495
	ヘテロ接合(166mm)	460	470	480	490	495	505
	裏面電極(IBC)(158.75mm)	350	355	360	370	375	380
メタル・ラップ・スルー(MWT)	単結晶(2020年は162mm、それ以降は166mm)	465	470	488	505	513	520

\*ヘテロ接合以外はハーフカットセル技術採用品、9BBの片面受光型太陽電池セルを採用すると仮定  
 \*210mm品は55セル、IBCは60セル、MWTは78セル、その他のモジュールは72セルを基準としている

- 両面受光**太陽電池モジュールのシェアは2019年の15.7%から29.7%へ上昇。2021年以降、ガラスの供給量が増加するとともにシェアは高まり、2023年には約50%に達すると見ている
- ハーフカットセル**技術は、2020年に市場シェアの71%に達した。2分割、3分割のカットセルにより太陽電池モジュールの出力が向上しており、今後もシェアは増加する見通し



# 結晶シリコン系以外の太陽電池

- 中国太陽光発電産業協会（CPIA）による結晶シリコン系以外の太陽電池に関する変換効率の見通し

（単位：％）

種類			2020年	2021年	2023年	2025年	2027年	2030年
CdTe	セル	小型・実験室	20.2	21.0	22.3	23.8	24.5	25.3
	モジュール	最高値・量産品	16.0	16.7	18.3	19.8	20.7	21.8
		平均値・量産品	15.1	15.8	17.7	18.5	19.0	20.0
CIGS	セル	小型・実験室	23.2	23.5*	23.4*	24.0	24.6	26.0
	ガラス基板モジュール	最高値・量産品	17.6	18.2	18.9	19.8	21.2	22.6
		平均値・量産品	16.5	17.4	17.6	18.5	20.0	21.4
	フレキシブルモジュール	最高値	17.3	18.0	19.5	20.0	21.5	22.0
		平均値・量産品	16.1	17.0	17.5	18.5	19.5	21.0
ガリウムヒ素（GaAs）	単接合セル	小型・実験室	27.1	29.1	29.5	30.0	30.5	31.0
		小型・量産品	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0
	二接合セル	最高値・実験室	32.8	33.0	33.2	33.5	33.8	34.0
	三接合セル	平均値・実験室	36.0	38.0	39.0	39.5	40.0	40.5
ペロブスカイト	セル	0.1cm <sup>2</sup> ・実験室	25.5	25.5	26.5	27.0	28.0	31.0
	ガラス基板モジュール	30cm <sup>2</sup> ・最高値	18.6	18.6	19.0	21.0	23.0	25.0
		30x30cm <sup>2</sup> ・最高値	16.1	16.5	17.5	18.5	19.0	21.0
	フレキシブルモジュール	10cm <sup>2</sup> ・最高値	17.8	18.5	19.0	19.5	21.0	22.0



# 欧州における太陽光発電の研究開発目標

- ・研究開発目標については、欧州戦略的エネルギー計画(SET)において目標を設定。

## 確立された技術(結晶シリコン及び薄膜)の変換効率及び新概念の大きな進歩

- ・2020年までに太陽電池モジュールの**変換効率**を2015年比で少なくとも**20%向上**
- ・太陽電池モジュール変換効率を、最新の太陽光発電技術を導入する等により2030年までに2015年比で少なくとも35%向上

## 主要生産技術のコスト削減

- ・ターンキー・システムコスト: 2015年比で20%以上削減(2020年まで)、50%以上削減(2030年まで)
- ・大量生産により最新かつ潜在的に超高効率な太陽光発電技術の導入で実現する

## 寿命、品質及び、持続可能性の更なる向上

- ・太陽電池モジュールの**寿命**を電力出力の保証期間(初期電力の80%)まで延ばし、2020年までに30年、**2025年までに35年に延長**
- ・太陽光発電のバリューチェーン全体でライフサイクル環境影響を最小限に抑え、太陽電池モジュール・コンポーネントの**リサイクル性**を向上
- ・最大のエネルギー収量(kWh/kW)を支援したうえで最低限のライフサイクル環境影響を実現する実行施策の整備に向け、重点研究及び応用、先進的環境設計要件を実施する

## 建物一体型太陽光発電(BIPV)によって、「ニアリー・ゼロ・エネルギー・ビルディング」の大規模実現を可能にする

- ・太陽光発電部門と建築産業の主要部門の間で、構造的な**共同イノベーション**の取り組みを構築する
- ・屋根やファサードを完全に置き換えて、その追加費用を2015年レベルと比較して、2020年までに50%、**2030年までに75%削減**するために、製造プロセスに柔軟性を持たせるなどして、少なくとも断熱及び防水機能が施されたBIPV要素を構築する

## 製造及び設置における大きな進歩

- ・2020年までに最低でも20m<sup>2</sup>/分の太陽電池の生産能力を実証することで、大規模な製造概念及び製造能力を高める
- ・地上設置型太陽電池**アレイ費用及び建物の改修費用の両方を削減**するため、高速で高度に**自動化された設置が可能な**太陽電池モジュール及びシステム設計概念を2020年までに構築する

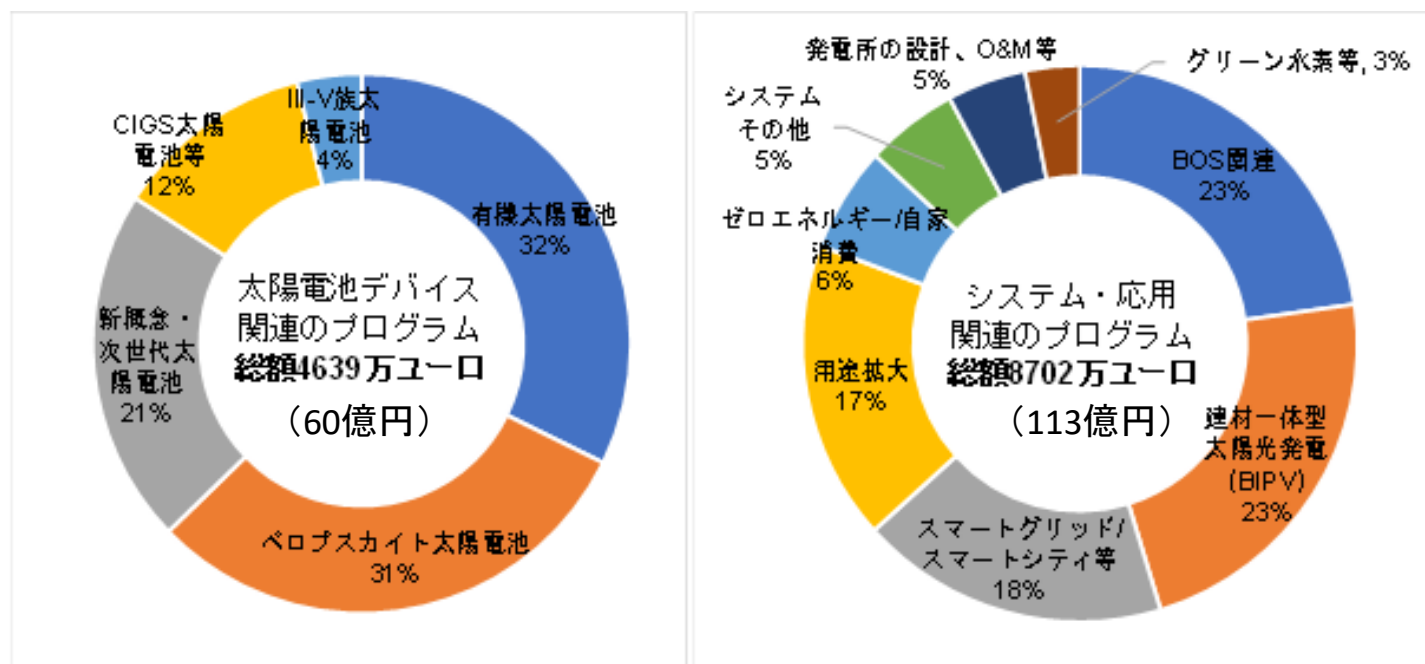
## 技術成熟度(TRL)が低いトピックの分野横断的研究

- ・高度な研究開発については、欧州の研究機関は現状でも世界を主導している
- ・先端的な研究成果により、**欧州の産業を支援**するために、研究機関の緊密な協力により、この地位を維持できる
- ・研究・革新プログラム全体における技術成熟度の低いトピックに重点を置き、上述の行動計画全体に渡るトピックをカバーする

# Horizon 2020における太陽発電に関する研究プログラム 分野別予算配分



- 2020年1月1日～2021年1月15日までにHorizon2020プログラムに基づく支援が開始した「Solar」または「Photovoltaic」をキーワードに含む研究開発プログラムは計**53件**で、プロジェクトの総額は約1.33億ユーロ(**173億円**)、EUの支援額は約1.17億ユーロ(152億円)
- うち**太陽電池デバイス**に関するものが**31件**、プロジェクト総額は4639万ユーロ(**60億円**)
- 太陽光発電**システムや応用**に関するものが**22件**・プロジェクト総額は8702万ユーロ(**113億円**)



太陽光発電に関するHorizon 2020のプロジェクトの総額の内訳  
(2020年1月1日～2021年1月15日開始分)

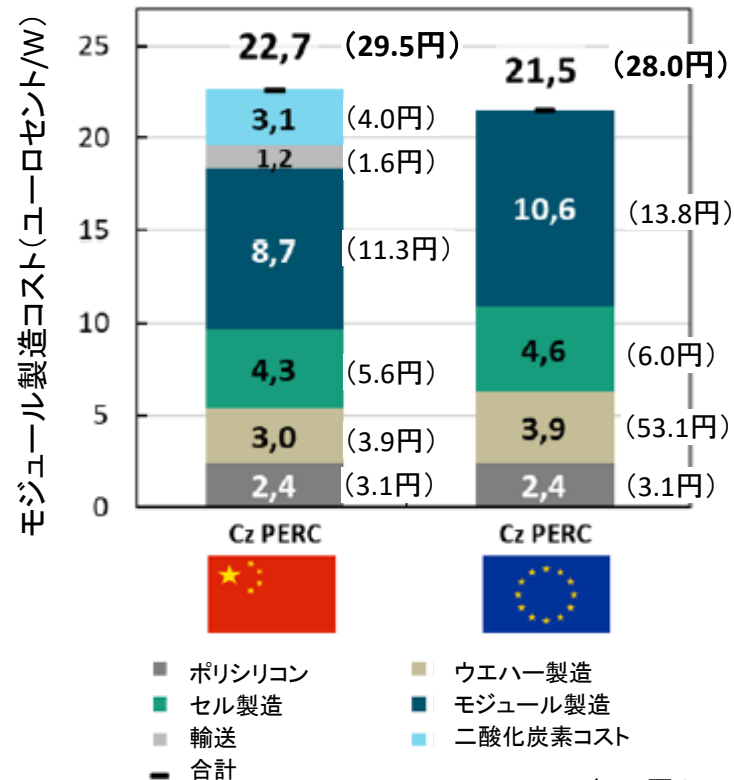
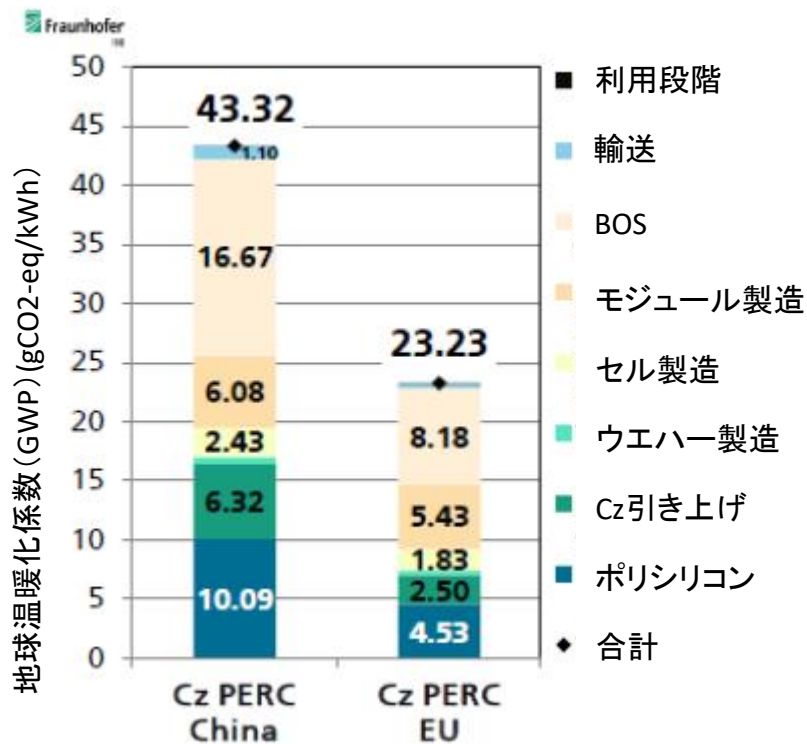
(130円/EUR換算)

# 欧州における太陽電池製造イニシアチブ (10GWグリーンファブ計画、ギガファブ構想)



欧州の太陽電池生産量は縮小しており、将来の**エネルギー安全保障**、**産業競争力**及び欧州における**技術分野でのリーダーシップの確保**の面から**製造の強化が課題**

- ➡ ドイツ・フ라운ホーファ太陽エネルギー研究所 (FhG-ISE) 及びドイツ機械工業連盟 (VDMA) が中心になり、欧州における太陽電池**製造イニシアチブ**を2019年に提唱
- ➡ カーボンフットプリントを考慮すると製造コスト及び地球温暖化係数において欧州産が優位に



(130円/EUR換算)



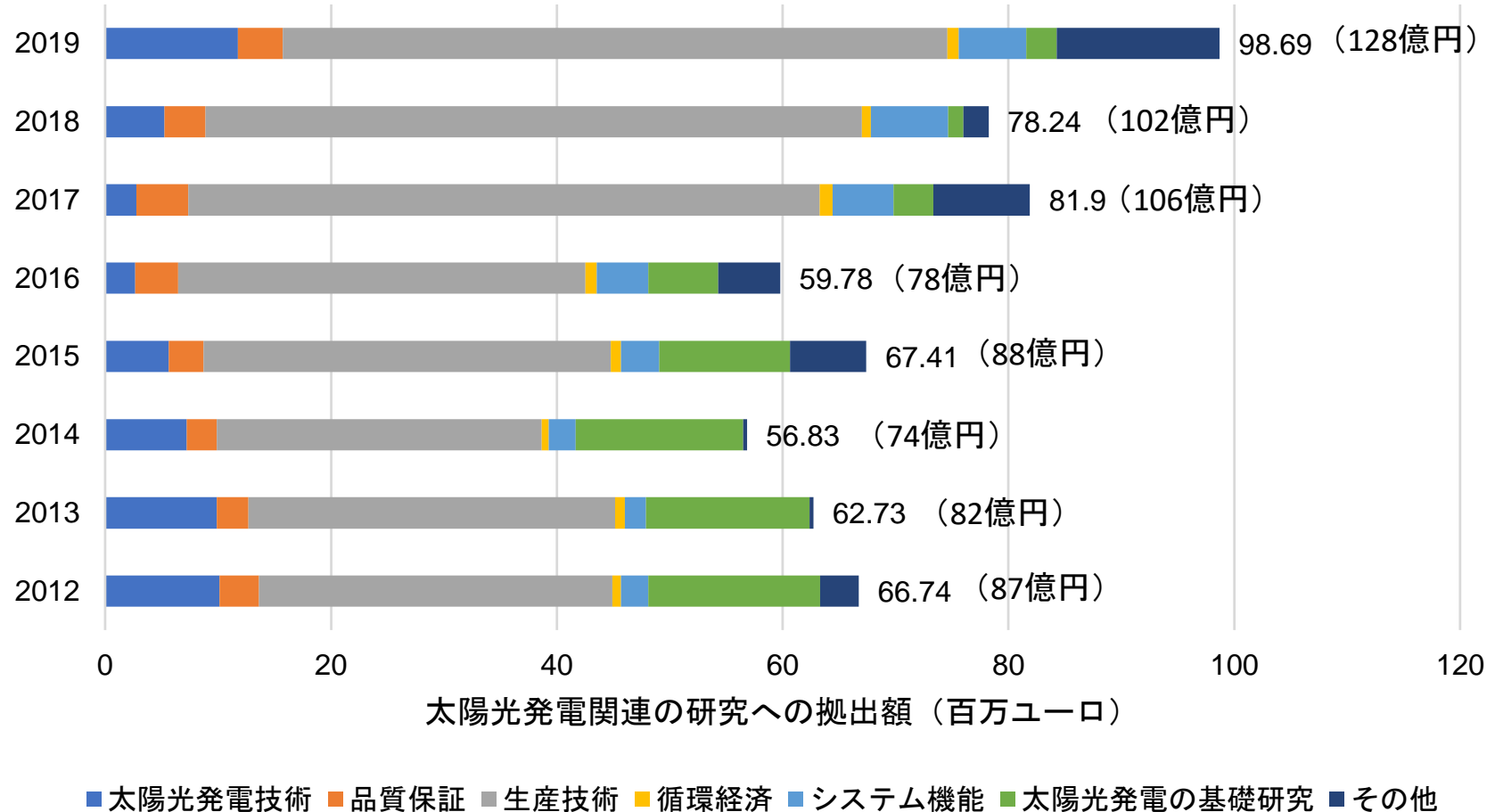
# ドイツにおける太陽光発電研究の重点課題

分野	第7次エネルギー研究プログラムにおける 重点課題(現行)	第6次研究プログラムにおける 重点課題
結晶シリコン	シリコン・ウェハーや薄膜技術向けの性能向上及び価格低下のための効率的なプロセス技術	結晶シリコン・ウェハー技術
薄膜技術	新しい太陽電池材料や太陽電池セル構造(例: タンデム型ペロブスカイト太陽電池セル)	薄膜技術、特にシリコン系及びカルコパイライト系(CIS/CIGS)
信頼性	太陽電池部材やシステムの品質や信頼性の問題	太陽光発電システムの品質及び信頼性に関する問題
システム技術	系統連系形システム及び独立形システムに関するシステム技術	分散型系統連系形システム及び独立形システムに関するシステム技術
集光型太陽熱発電 (CSP)		CSP及びその他の代替コンセプト等の太陽電池セル
分野横断的課題	建材一体型太陽光発電プロジェクト(BIPV)、車載型太陽光発電プロジェクト(VIPV)、または危険な材料の回避や太陽光発電システムのリサイクルなど	BIPV、リサイクル、太陽光発電システムが環境に与える影響に関する研究など

# ドイツ・連邦経済エネルギー省 (BMWi) の太陽光発電への 研究開発資金の推移



(130円/EUR換算)



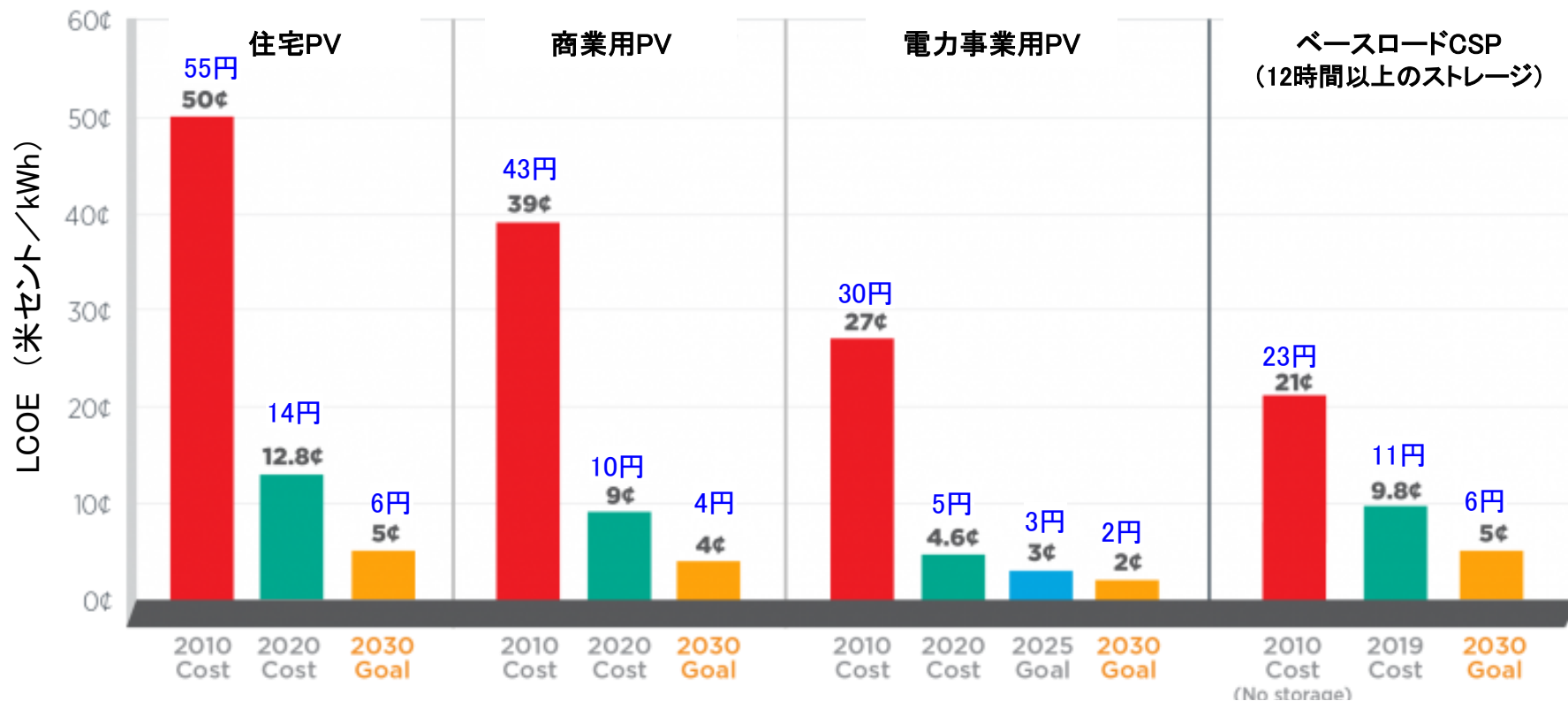
出典: BMWi (ドイツ・連邦経済エネルギー省)、「2020 Federal Government Report on Energy Research, Funding research for the energy transition」(2020年6月)から(株)資源総合システム作成



# 米国の太陽光発電のコスト目標

(110円/USD換算)

米国エネルギー省(DOE)太陽エネルギー技術局(SETO)によるLCOEの進展と2030年目標  
太陽光発電(PV)および集光型熱発電(CSP)



※LCOE計算条件: 米国の標準的気候、投資税、州・地方による補助金等を含まず

※LCOE = Levelized Cost Of Electricityの略。発電量あたりのコストを意味し、均等化発電原価ともいう

# 米国エネルギー省・太陽エネルギー技術局(DOE・SETP)による 2025年までの目標(1/2)



## ● 低コスト電力

(100円/USD換算)

項目	2025年までの目標 [対応する活動分野]
太陽光発電の電力コストの低減	電力事業用太陽光発電所の均等化発電コスト(LCOE)を\$0.03/kWh未満とする [PV, SC, MC]
	業務用太陽光発電システムのLCOEを\$0.08/kWh未満とする 住宅用太陽光発電システムのLCOEを\$0.10/kWhとする [SC]
	フレキシビリティの向上による系統へのインテグレーションコストの低減
集中型太陽熱発電(CSP)の電力コストの低減	電力事業用太陽光発電所+エネルギー貯蔵システムの初期コストを\$1.36/Wdcとする [SI] 効率50%以上の出力サイクルの太陽熱電力 [CSP]

## ● 信頼性の高い電力

項目	2025年までの目標 [対応する活動分野]
電力システムの信頼性の支援	インバータをベースとする電源(太陽光、風力及び蓄電池)の寄与率が75%の電力システムにおいて信頼性の高い運用を大規模で実証する [SI]
	正味現在価値(NPV)がポジティブとなる特定の長期熱エネルギー貯蔵(TES)システムを見出す [CSP]
	充放電効率が50%以上のポンプ熱電力貯蔵(PTES)システム [CSP]
系統のレジリエンスとセキュリティの強化	重要な電力サービスのサイバー攻撃あるいは物理的な事象からの迅速な回復を実証するための太陽光発電とストレージを利用した電力システム [SI]

\*: SETPの予算配分において定義されている活動分野。

PV: 太陽電池、CSP: 集中型太陽熱発電、SI: システムインテグレーション、SC: ソフトコスト低減、MC: 製造と競争力



# 米国エネルギー省・太陽エネルギー技術局(DOE・SETP)による 2025年までの目標(2/2)



## ● 急速な普及拡大

(100円/USD換算)

項目	2025年までの目標 [対応する活動分野]
米国のソーラー産業の成長	産業及び不利な立場にあるコミュニティの需要に対応する十分に支援され、多様性のある労働力 [SC]
	2020年時点で商業化されていない技術をベースとする米国内での1GW/年の生産能力 [MC]
	米国内で設置される太陽エネルギー機器の少なくとも40%は国内価値とする [MC]
太陽エネルギーのライフサイクル影響度の低減	ライフサイクル影響のベンチマークに基づいて優先付けをして太陽光発電の環境影響を低減するために新たな材料、設計及び運用を実証する [PV,SC]
新市場の開拓	農業や建物外装をはじめとした他用途と組み合わせた太陽光発電システムを2025年までに1GWacを設置する[SC,MC]
すべての人のために太陽エネルギーの利益を確実にする	すべての米国のエネルギー消費者が電力コストの増加なしで住宅用太陽光発電またはコミュニティソーラーを選択可能とする [SC]

## ● 電力以外のエネルギーへの対応

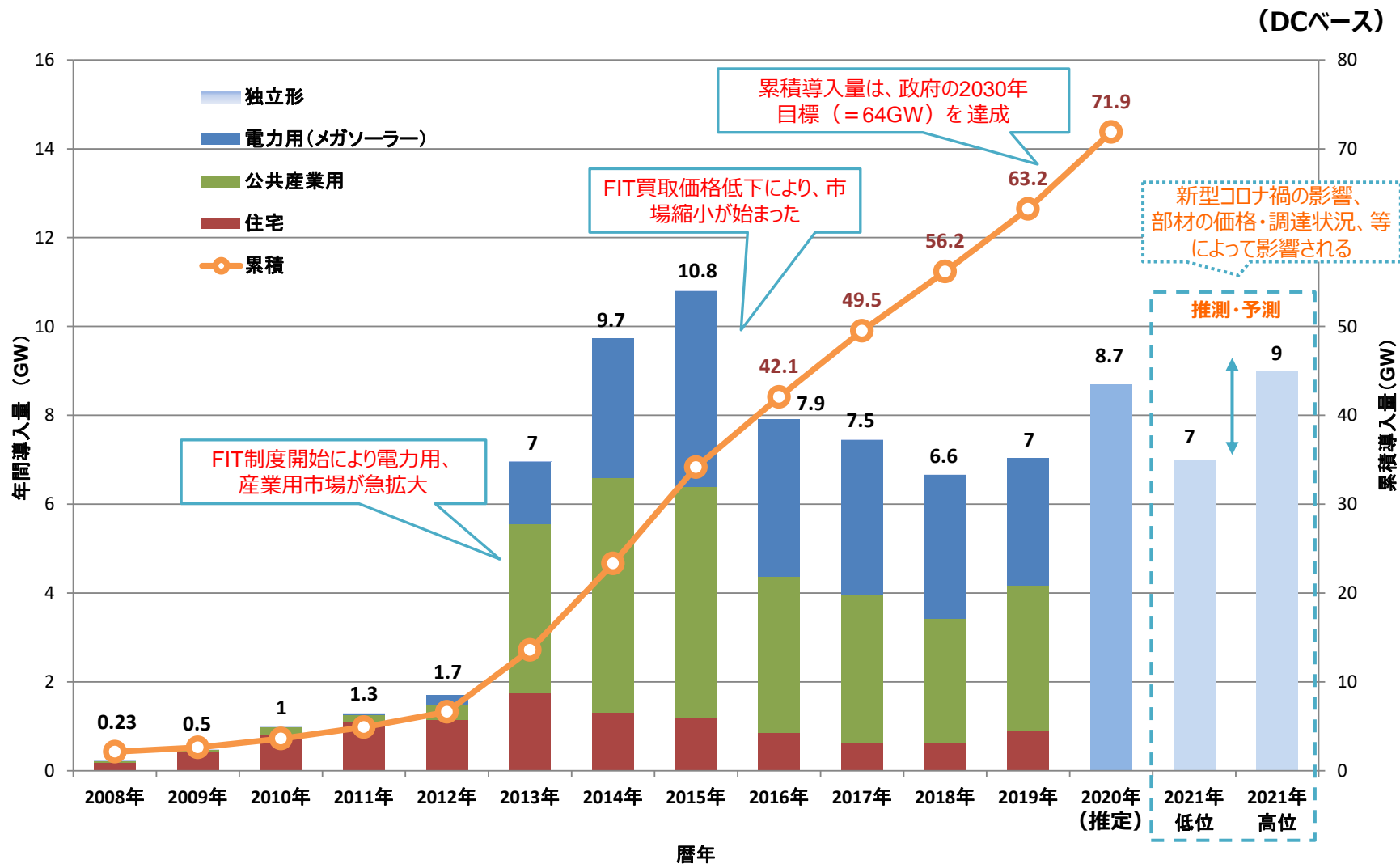
項目	2025年までの目標 [対応する活動分野]
太陽熱エネルギーの利用による産業部門での排出低減	二酸化炭素排出量が多く、熱エネルギー需要の高い産業における太陽エネルギーによるプロセス熱のためにシステムのコンセプトを定義し、主要コンポーネントを検証する [CSP]
ソーラー燃料製造の最適方法を見出す	集中型太陽エネルギーにより燃料を生産するためにシステムのコンセプトを定義し、主要コンポーネントを検証する [CSP]

\*: SETPの予算配分において定義されている活動分野。

PV: 太陽電池、CSP: 集中型太陽熱発電、SI: システムインテグレーション、SC: ソフトコスト低減、MC: 製造と競争力



# 日本の太陽光発電導入量推移

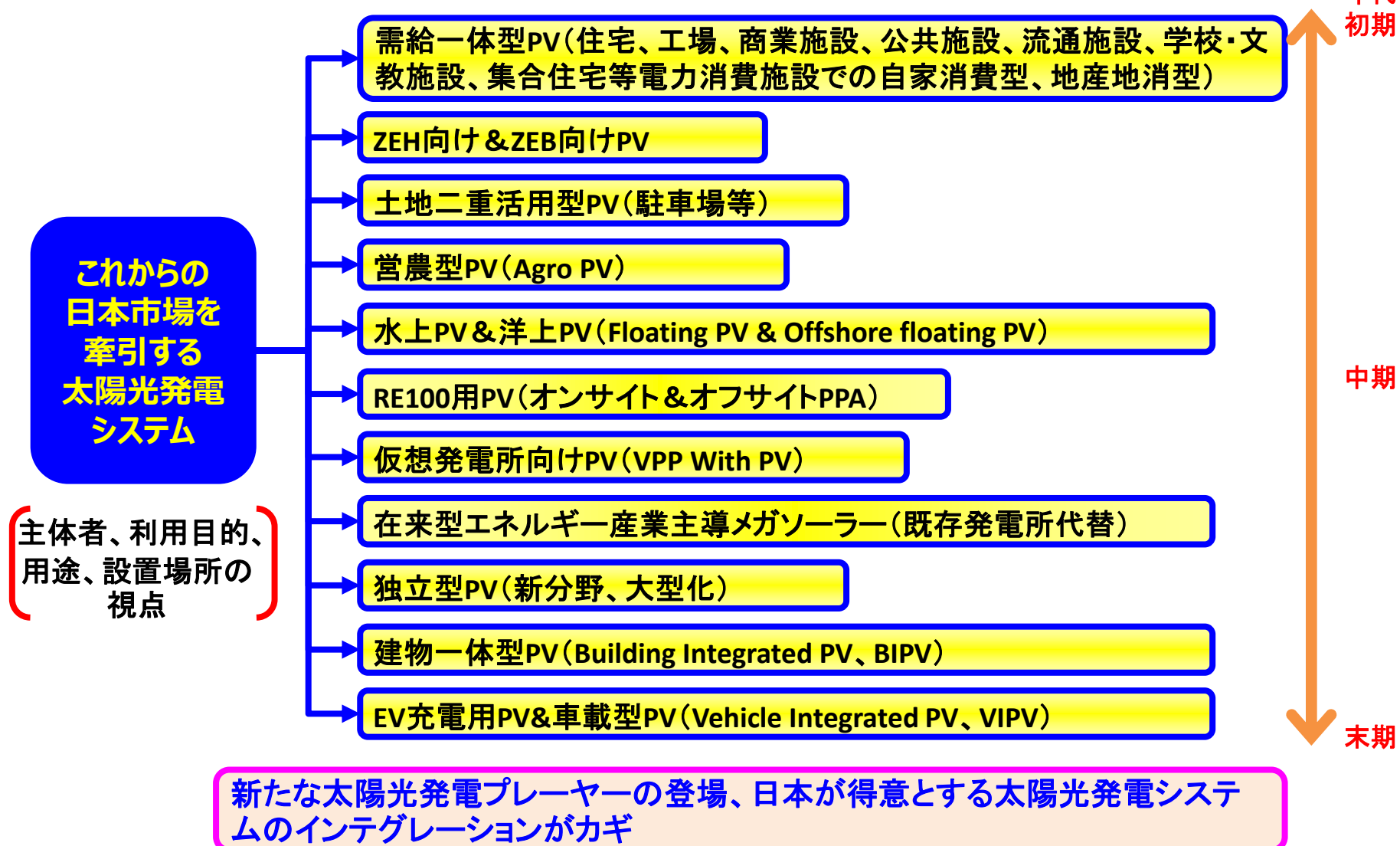


➡ 第6次エネルギー基本計画：2030年 野心的水準  $117.6\text{GW}_{\text{AC}}$  ( $139\text{GW}_{\text{DC}}$ 相当)

# 2020年代の太陽光発電の導入

従来FIT → 自家消費型、PPAといったビジネスモデルの変化

+ 設置場所・活用方法の多様化



# 新たな太陽光発電システム利用環境および応用用途に対する 太陽電池モジュール要件

太陽光発電システムの利用環境・用途		太陽電池モジュール要件
重量制約のある屋根 (余力耐荷重9.5～10kg/m <sup>2</sup> )		軽量化、施工性
建物壁面		軽量化、施工性、建材一体型（BIPV）、採光性、フレキシブル化
建物壁面（窓）		建材一体型（BIPV）、軽量化、透明化、多彩化、着色、印刷フィルム貼り付け、フレキシブル化
高地		軽量化、ACモジュール化
農業 (営農型（ソーラーシェアリング）、Agro-PV)		軽量化、フレキシブル化、採光性、透過波長調整、小型化、両面発電
交通分野（道路防音壁、路面）		耐久性、防眩性、摩擦係数最適化
小面積用途 (BIPVを含 め製品一体型 太陽電池 (PIPV) )	車載（VIPV）、移動体（無人飛行機/ドローン搭載、成層圏通信プラットフォーム（HAPS）、航空機、船舶、鉄道）	高効率化、軽量化、フレキシブル化
	携帯電子機器（EIPV）	高効率化、軽量化、透明化
	エネルギーハーベスティング（環境発電）：IoT、センサー電源	低コスト化、軽量化、高寿命化、高効率化（低照度下）
	ウェアラブル（テキスタイル）	デザイン性、柔軟性、安全性（電氣的、毒性）

# 軽量太陽電池モジュール製品の状況

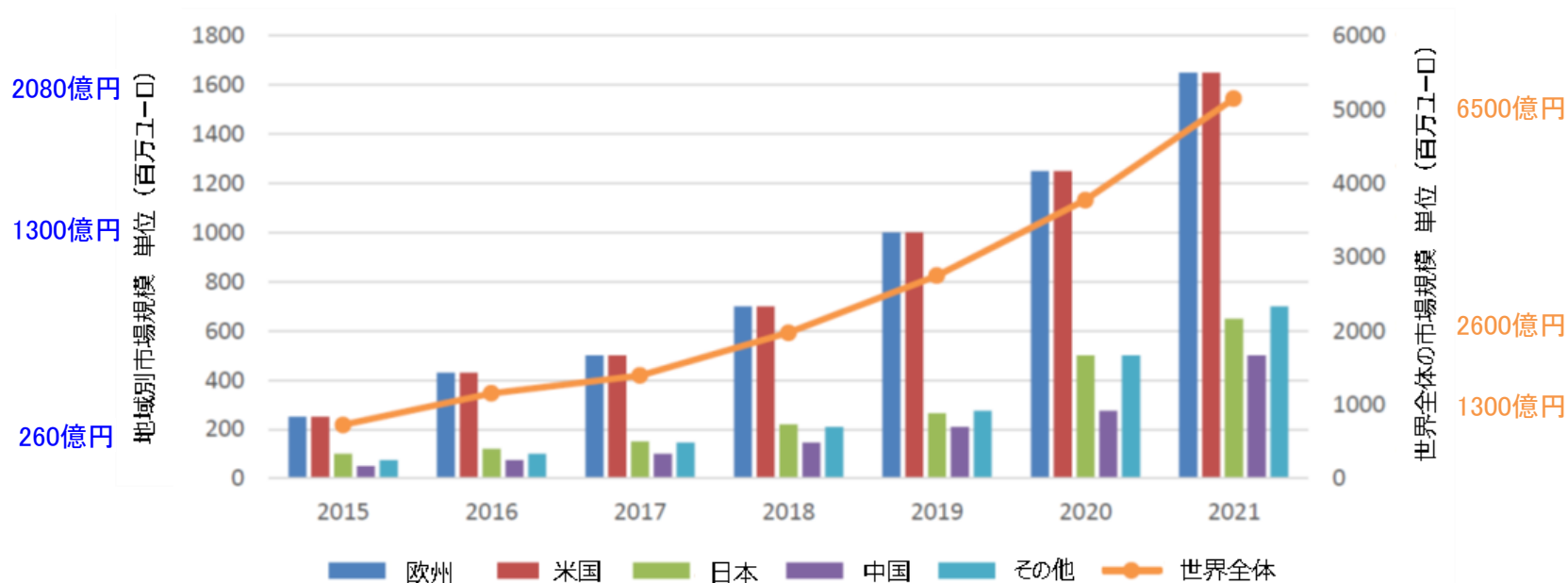
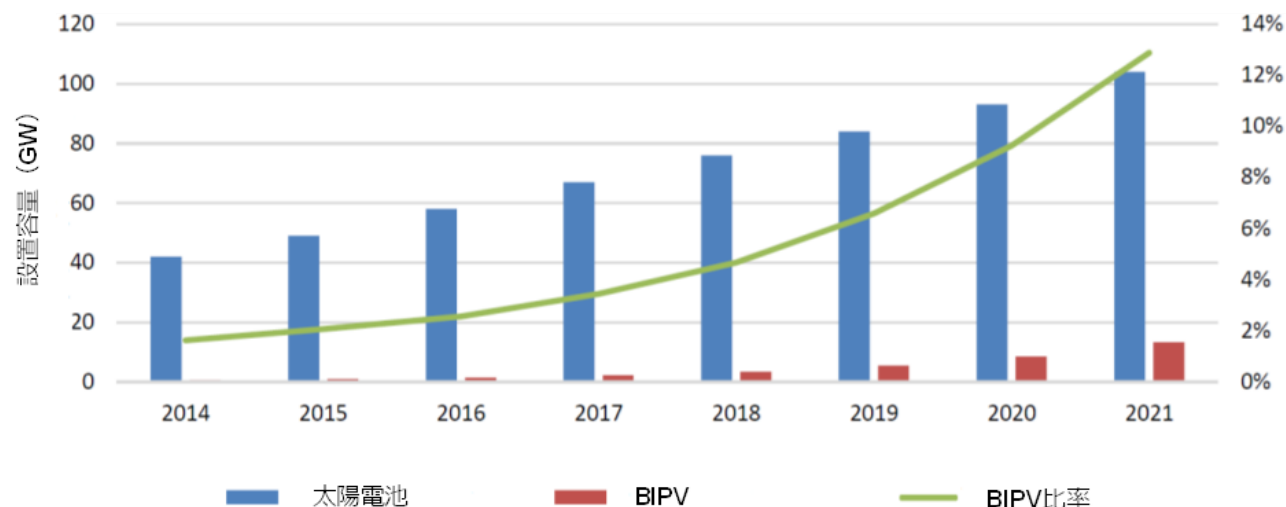
太陽電池種類	平板型軽量結晶Si	セミフレキシブル結晶Si	フレキシブルCIGS	GaAs薄膜	有機薄膜(OPV)
重量	8kg/m <sup>2</sup> 前後	2.5～4kg/m <sup>2</sup> (開発中のHJTフレキシブル型は>200W/kg)	0.4～4kg/m <sup>2</sup> 程度	170g/m <sup>2</sup> (標準)、 280g/m <sup>2</sup> (飛行用)	0.5～2kg/m <sup>2</sup> 程度
構造・部材	フロント材が超薄型ガラスまたは合成樹脂	ポリマー基板等(ガラス不使用) ※フィルム基板・封止(ウエハー厚>100μm)のフレキシブル型も開発中	ステンレス基板 またはポリイミド基板	プラスチック・フィルム基板	プラスチック・フィルム基板
外観(色)	黒	黒	黒	黒	標準色(黒、赤褐色)のほか多色・半透明
寸法	1,000mm×1,700mm×35mm程度	-	幅1m以下、長さ2m程度(最長5m)	幅50mm、長さ90mm	幅30cm～1m、長さ1m～10数m(加工用)
発電性能(変換効率)	15～20%程度	13～18%程度 (同 >20%)	8～18%程度	セル:単接合26%、2接合29%	モジュール変換効率5～10%
耐用年数、保証	製品保証12年、出力保証25年程度	製品保証10年、出力保証25年程度	製品保証5年、出力保証25年程度	-	製品保証5年、出力保証20年程度
主要用途	重量制約のある屋根	重量制約のある屋根・壁面、BIPV、ポータブル電源	重量制約のある屋根	VIPV、移動体用、宇宙用	重量制約のある屋根・壁面、BIPV
主要生産企業	8社程度	5社程度、開発中が数社	10社程度、開発中が数社	1社、開発中が2社程度	3社程度

# フレキシブル型軽量太陽電池モジュールについて共通する課題・機会

課題	製品	価格	コスト低減と変換効率向上による価格低減が必要（⇒部材の共用化）	
		性能	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 変換効率向上が必要</li><li>・ 建物設置の場合、屋根の補修、大規模改修等のタイミングでの貼り替えを考慮し、寿命は5～10年でも可</li><li>・ 太陽電池の性質により設置場所の選択が必要（CIGS系は水に弱い、OPVは熱・紫外線・酸素・水分に弱い、ペロブスカイトは水・酸素に弱く耐放射線性が高い、アモルファスSiは耐水性が高い）</li></ul>	
		認証	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 性能評価（測定）方法の国際基準、規格・認証の確立</li><li>・ JETPVm認証等の取得（利用地で適合するモジュール認証を取得することで採用がスムーズに進む）</li></ul>	
	市場・用途		<ul style="list-style-type: none"><li>・ キラーアプリケーションが未開発（製品開発・用途開発・市場および販路開拓が必要）</li></ul>	
	コスト	システムコスト	<ul style="list-style-type: none"><li>・ モジュール価格の高さ、変換効率の低さ（高いW単価、同容量実現にはより広い面積が必要＝金具数、機械ごて作業が増加）をカバーできるほどの施工費の低減が望まれる</li></ul>	
発電コスト		<ul style="list-style-type: none"><li>・ 維持管理費が未知数（清掃や点検は結晶シリコンとほぼ同様）</li><li>・ 結晶シリコンの場合でも、産業用で発電コストをグリッドパリティ以下に低減するのは現状困難</li></ul>		
機会	用途		<ul style="list-style-type: none"><li>・ 屋根強度が弱い（工場・倉庫、膜屋根施設、植物工場等）、築40年以上、屋根への穴開けが敬遠される冷蔵／冷凍設備・精密機械等が内部にある施設、壁面設置ー等の産業用施設</li><li>・ 透明性が活かせる屋根以外の用途（農業用温室、ビル窓（複層ガラス）等）</li></ul>	
	ターゲットユーザー		<ul style="list-style-type: none"><li>・ 大企業で上記の用途施設などを保有する会社のうち、SDGs、RE100、CO<sub>2</sub>削減目標設定、環境意識が高い企業（太陽電池製造時の低廃棄物排出量、低カーボンフットプリントがセールスポイント）</li></ul>	
	販売形態		<ul style="list-style-type: none"><li>・ 防水シート一体型や断熱材一体型の建材として提案し、「屋根材の代替」「改修費＋省エネ＋創エネ」で付加価値を訴求</li><li>・ 強度の弱い建物屋根に対しては、PV設置により耐震改修を行わなくて良い分トータルコストを削減できる可能性</li></ul>	

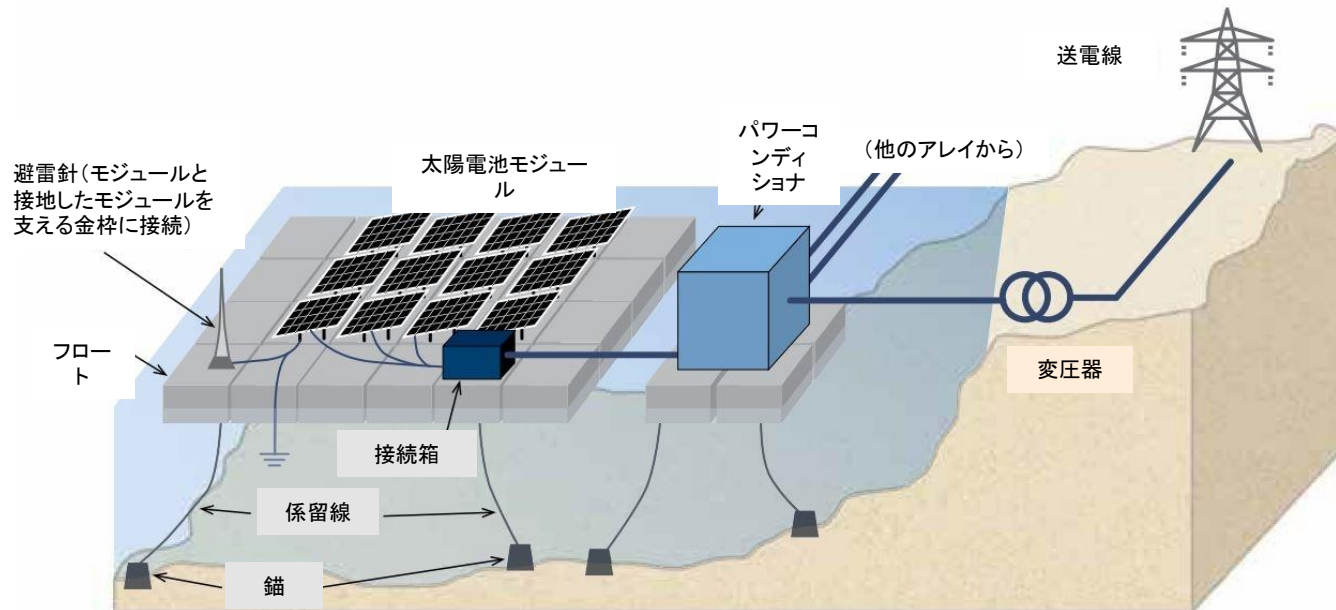
# (世界) BIPVの設置容量・市場規模

設置容量： 欧州・米国を中心に市場が成長し、2021年には10GW超えになると予測



# 未利用地：水上太陽光発電

- 水上太陽光発電（FPV）の基本的なシステム構成（電気関連）は地上設置と同様
- 日本国内では、太陽電池モジュールと接続箱はフロート上に、パワーコンディショナ（PCS）は集中型を陸上に設置する事例が多い（分散型PCSをフロート上に設置する例もあるが、メンテナンス性に難があると言われる）
- 太陽電池もしくは接続箱から陸上への配線は水密をとった配線管をフロートで支持して水面に浮かべる場合が多い
- 太陽電池モジュールを載せたフロートの集合体は、アイランド（island）と呼ばれ、係留線によって、岸や水底のアンカーに固定される（アンカリング）
- 設計・施工においてFPV特有で重要となるのは、水上における高湿度・水分への配慮（機器・部材の選定）、フロートの選定・施工、係留・アンカリングの設計・施工（水深・水位変化・アンカリング先の地質、他）である



出典：SERIS



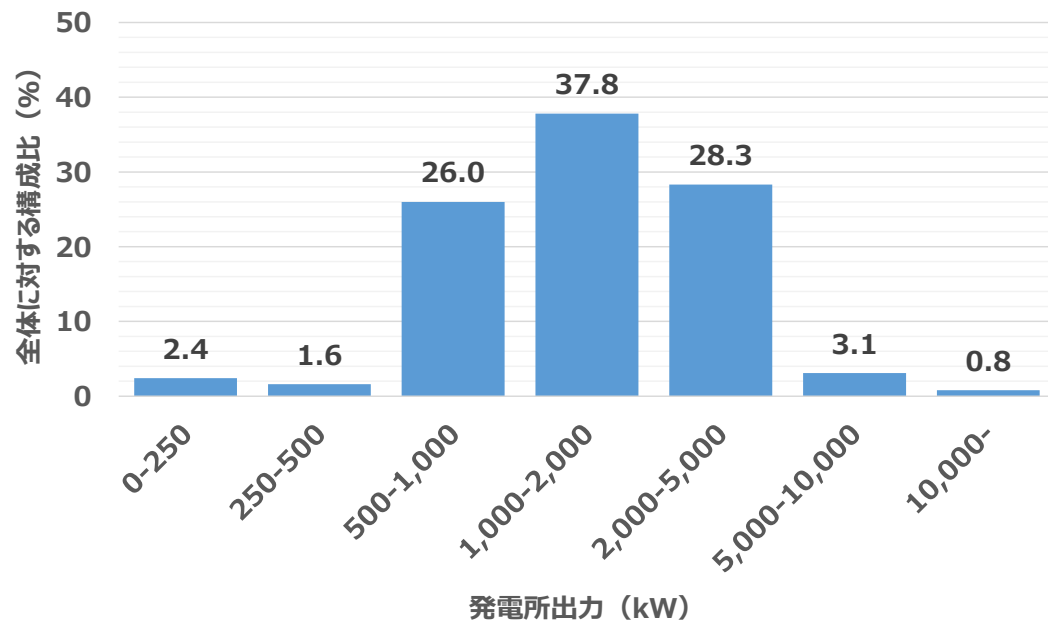
# 水上太陽光発電のメリット

発電設備として	ため池等の所有者、地域として	EPC・発電事業者として
<ul style="list-style-type: none"><li>• 日陰が少ない（水面の中央に浮かべるため、周囲に障害物が少ない）</li><li>• 水による冷却効果によって太陽電池モジュールの温度が下がり、発電量が増加する</li><li>• 水により発電中の太陽電池モジュールの温度が低くなることは太陽電池モジュールの経年劣化に対して有利</li><li>• 地震による被災リスクが低い</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 水面賃借料が得られ、管理費・環境整備等に充てられる</li><li>• 貯水の蒸発が低減される（貯水池としてのメリット）</li><li>• 遮光により、アオコ等の藻類の異常繁殖による水質汚濁、異臭が低減される</li><li>• 魚類の成育・養殖に向く環境の構築も可能</li><li>• エネルギーの地産地消、災害時の避難拠点として活用する例もある</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 土地造成工事・基礎工事が不要で、陸上と同等の施工費で設置可能</li><li>• 地代が安い</li><li>• 除草、モジュール洗浄の必要性が少ない</li></ul>



# 国内水上太陽光発電のシステム出力の分布

- ・ 日本国内に設置された127ヶ所、合計227MWのFPVのデータから分析
- ・ 1,000～2,000kWの規模のものが多く、3MW以下のものが96%を占める。これはため池中心に設置が進んでおり、水面積の制約によると考えられる
- ・ 500kW未満はほとんど無く、コスト的に厳しくなるからだと考えられる
- ・ 日本国内最大のFPVは2018年3月に運転開始された13.7MWの千葉・山倉水上メガソーラー発電所
- ・ 10MWのFPVを設置するには、20ha程度の水面積が必要となるが、日本国内のため池は小さなものが多く、10MW以上のFPVが設置可能なため池は数が限られる
- ・ 技術課題等が克服され、ダム、海（湾内、内海、洋上）への設置が容易に可能となれば、発電所当たりの規模も大容量化すると考えられる



2021年10月に再建・再稼働した国内最大のFPV  
山倉水上メガソーラー発電所(千葉県市原市)

# 海外FPV：海上大規模FPV

- シンガポール・Sunseapグループが、マレーシア・ジョホール海峡のWoodlands Waterfront Parkの北側で、海上設置としては世界最大の太陽光発電システムを開発（2021年3月完工）
- 最大出力が**5MW**、年間発電量が6,388MWh、設置面積は5ha
- 設置場所としては、大波に曝されず、保守・管理のためにアクセスが良いことを条件としており、安全性や環境への配慮などにより場所の選定には約2年を要した
- 海水による腐食や海洋生物（フジツボ等）の付着など、貯水池や湖での設置に比べ条件が厳しく、モジュール設計の採用やガラスパネルを使用して、耐腐食性をもたせる

## SUNSEAP FLOATING SOLAR SYSTEM

The location off Admiralty Road West is ideal as it is close to the Causeway where maritime activity is less and the waters are calmer.

ARTIST'S IMPRESSION



モジュール：JA Solar(両面)  
PCS: Huawei

## NEW FLOATING MODULE

Sunseap's solar farm floater module is designed by HDB and NUS.

**Design and testing**

- HDB and the National University of Singapore collaborated on testing for the system.
- A truck-sized scale model consisting of about 30 units then underwent hydrodynamic testing in a wave tank.
- The design process took up to five months and the project is still ongoing.
- HDB collaborated with 80 Landscape to study, develop and test a floating solar system specifically for marine conditions.
- Tests include for corrosion, movement of waves and building (growth of barnacles and algae).
- The floaters are designed to withstand waves and ship wakes.
- The system was first used at Tengah floating solar farm.

**One design to rule them all.**

- Unlike existing systems which require two floater designs, the new floater requires only one design which can function as solar panel support and also as walkways, thus saving cost.
- The design allows floaters to interlock either alongside or perpendicular to one another.

The surface of the floater is curved to allow water to flow to its sides, keeping the walkway dry at all times.

Evaporation cools the solar panels at open areas.

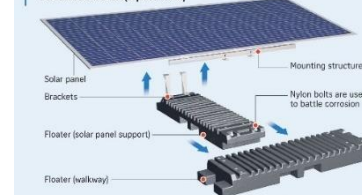
Floaters

Solar panels

TOP VIEW

SIDE VIEW

## 1 THE FLOATER SYSTEM (exploded view)



## 2 ASSEMBLED VIEW



Floater is made of high-density polyethylene (HDPE), which is non-contaminant to water and able to take loads of up to 75kg.

The lifespan of a floater is about 20 to 30 years and it can be recycled.

## THE SOLAR FARM

**Anchoring**

Offshore, the system will be anchored using cables and about 50 concrete blocks.

CCTV cameras and fencing may be installed around the system.

Workers periodically clean and maintain the solar panels and floaters.

Depth of seabed: Up to 14m.

Nylon and steel cables

Concrete blocks

A SECTION OF THE FLOATING SOLAR SYSTEM

**ADVANTAGES**

- Solar for land scarce Singapore, where roof space is limited.
- The project will open up opportunities for sea-based floating photovoltaic (PV) systems in the region.
- It is quiet, produces zero emissions, and requires no moving parts, water or fossil fuels to produce clean energy.
- Can be located anywhere where sunlight is abundant.

**CHALLENGES**

Barnacles and mussels are the bane of floating solar farms. They are crustaceans with hard shells and there are an estimated 900 species. They will grow on floaters and add to the weight of the system. Inspection and cleaning will have to be done periodically to control the proliferation of barnacles.

Source: SUNSEAP HDB PHOTOS: SUNSEAP TEXT: CHENG RU-JEN, CREDIT: TIMES GRAPHICS LEFT: HUPHONG, TENG WEI, CHEN

## BY THE NUMBERS

2,600-tonne reduction in greenhouse gas emissions yearly

Can generate 5MW-peak per day under ideal conditions

30,000 floaters

Able to generate about 6,000MW-hours per year

Energy generated can power 1,250 four-room HDB flats

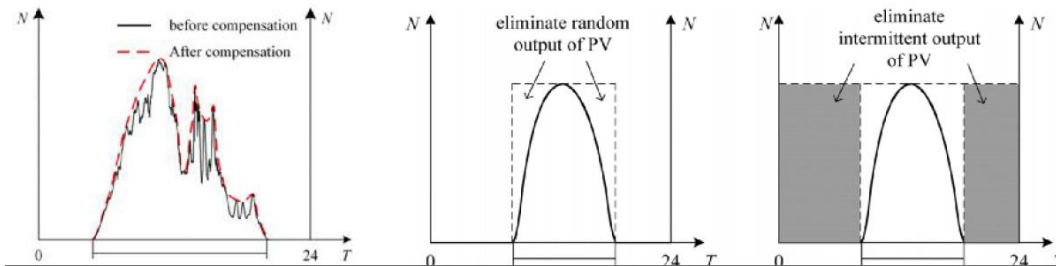
System can last 25 years or more

5ha floating system, roughly the size of five football fields

# 海外FPV：FPV＋水力発電のハイブリッド発電

- 水上PVと水力発電の連携運転（＝ダムを超大型ストレージとして利用）

- ✓ PVの出力変動（短時間、昼夜）を、水力発電タービンの調整で抑えることができる
- ✓ 乾季の水量不足による水力発電量減少をPVで補うことができる
- ✓ 水力発電に既設の電力系統・設備が利用でき工事費が少なくて済み、設備利用率の向上が期待できる



- その他のメリット

- ✓ 自然湖に比べれば生態系や景観への影響は大きい
- ✓ 未利用水面の有効活用

- 課題

- ✓ 水深が大きいこと
- ✓ 水位変動が大きいこと
- ✓ 放水時の水流、水面漂流物



世界初の水力発電・FPVのハイブリッドシステム  
(PV=220kW、ポルトガル・Alto Rabagaoダム)

# 水上設置太陽光発電の課題

設計・施工	O&M	ため池、環境
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 防水性・電気絶縁性・防錆性と、その長期信頼性</li><li>✓ アンカリング（水位変化・流れへの対策、水中作業、堤体やその防水への配慮）</li><li>✓ 揺動に対する耐久性</li><li>✓ 強風・波への対策</li><li>✓ 高湿度環境への対策（耐湿性、高電圧誘起劣化(PID)など）</li><li>✓ 環境・景観への配慮</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 点検・メンテナンス時の作業性（船でのアクセス、フロート上での足場・体勢、水中作業）</li><li>✓ 防水性・電気絶縁性の検査・維持</li><li>✓ フロート性能・アンカリングの検査・維持</li><li>✓ 鳥害対策（糞、落下物）</li><li>✓ 動物害対策（水辺に生息するげっ歯類）</li><li>✓ モジュールへの水垢対策</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 景観変化</li><li>✓ 水質・水温の変化</li><li>✓ 水生生物、野鳥・動植物への影響評価</li><li>✓ ため池の水抜き時の対応</li><li>✓ 地域社会との調和</li></ul>



# 未利用地：営農型太陽光発電

## 営農型太陽光発電（ソーラーシェアリング）とは

- ・ 農地に支柱を立てて上部空間に太陽光発電設備を設置し、**太陽光を農業生産と発電とで共有すること**で、**国民生活にとって必要不可欠なエネルギーと食料を含めた農作物**とを一挙両得で得られる取組
- ・ 作物の販売収入に加え、売電による継続的な収入や発電電力の自家利用等による**農業経営の更なる改善**が期待できる取組手法
- ・ **2020年7月に閣議決定**された成長戦略フォローアップにおいても、農林水産省全体にわたる改革とスマート農林水産業の実現の中で、「**営農型太陽光発電**について、2022 年度までに電気を自家利用する農業者向けの手引を作成する等により、**全国展開を図る**」と位置づけられている

露地の田畑の上部にパネルを設置

隙間を空けてパネルを配置することで、下部での営農が可能です。



千葉県匝瑳市の大豆畑



静岡県静岡市のキウイフルーツ園場

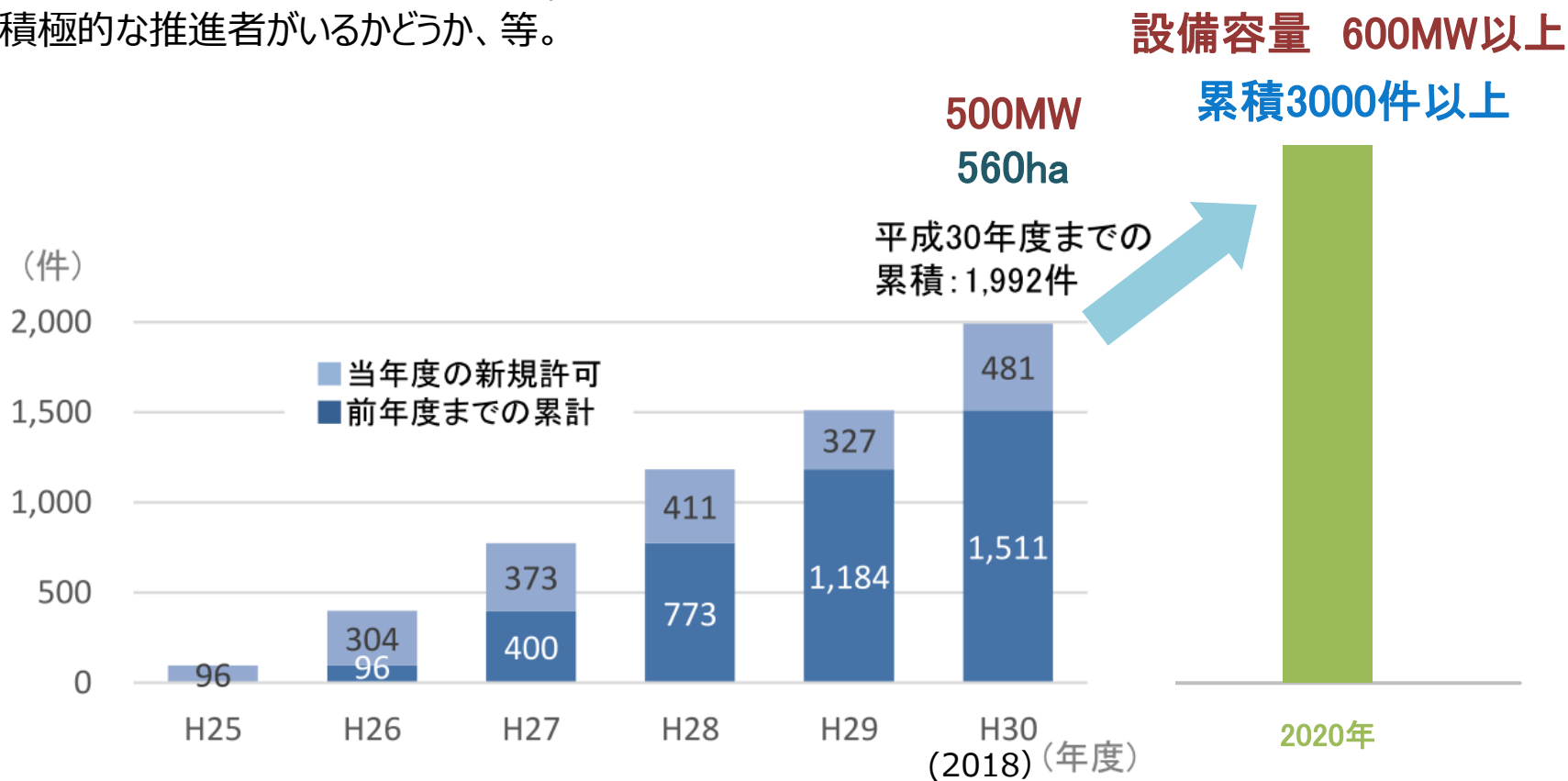


香川県丸亀市の水田

# 営農型太陽光発電の導入状況

- 営農型太陽光発電設備を設置するための農地転用許可実績より導入量を推測
- 2020年現在、日本国内で、3000件以上、600MW以上の営農型太陽光発電が導入されていると推測される
- 最近2年ほどは、関東地方（千葉・静岡）での導入量が増加しており（逆に北陸・四国は少ない）。

地域に偏りがあるのは、自治体・農業委員会等のマインド、積極的な推進者がいるかどうか、等。

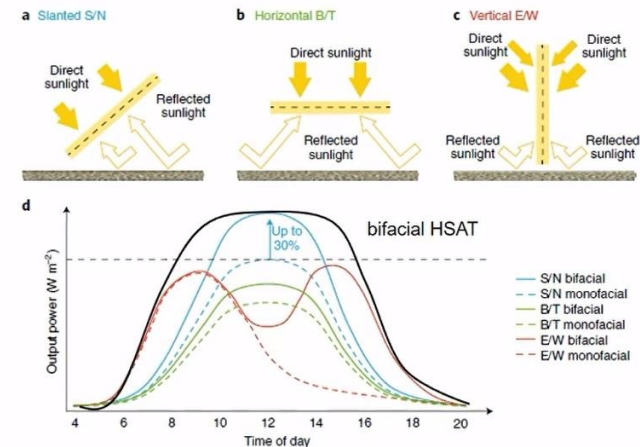


営農型太陽光発電を設置するための農地転用許可実績（農水省）



# 海外事例：農地での両面発電（垂直設置）

◆ 農地に両面太陽電池モジュールを垂直設置し、複数アレイの間で営農する。



# 営農太陽光発電の技術的課題

設計・施工	O&M	営農環境
<ul style="list-style-type: none"><li>・ 架台および基礎の耐風設計・施工が未成熟</li><li>・ 高脚架台や追尾式架台の強度、信頼性</li><li>・ 肥料・農薬に耐久性のある部材、機器の選択</li><li>・ 農作業性を考慮したアレイ、架台、機器、配線等のレイアウト・設置方法</li><li>・ 営農者の電気安全の確保</li><li>・ 架台や施工のコスト低減</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 点検・メンテナンスの方法や実施時期</li><li>・ 点検・メンテナンス時の作業性の向上（作付地または温室・畜舎等の耐荷重の低い屋上での作業性・安全性の確保）</li><li>・ 鳥獣害への対策（糞、落下物、ケーブル等の損傷防止）</li><li>・ 積雪・台風対策（パネル落下や支柱の破損により耕作に支障）</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 栽培作物・品種の選定（遮光率100%を含む耐陰性が高い品種に偏る）</li><li>・ 農業を主にしたソーラーシェアリングによる営農の適切な継続</li><li>・ 支柱やパネルが障害となり、農作業効率が低下、大型作業機械の導入が困難になる</li><li>・ 太陽電池モジュール等の構造物による光（影）、雨水の偏り</li><li>・ 肥料・農薬の選択や散布</li><li>・ 発電電力を利用したスマート化・自動化</li><li>・ 景観変化</li><li>・ 周辺農地、地域社会との調和</li></ul>



# 2020年度調査の成果概要

## 1. 太陽光発電市場の主力電源化に向けた市場動向調査

日本市場は2020年春頃には新型コロナ禍の影響を大きく受けたものの、年間では前年比増の導入量となった。エネルギー供給強靱化法の成立、2050年カーボンニュートラル宣言をきっかけに太陽光発電の導入促進に向けての動きが加速している。

世界でも新型コロナ禍により製造・輸送、施工等において一時的に支障が発生したが、中国、ベトナム、欧米での補助金や政策支援により、2020年下期には市場が活性化し、年間導入量増加傾向。

## 2. 太陽光発電市場の主力電源化に向けた産業動向調査

軽量太陽電池、壁面設置、安全性・信頼性、発電量予測、太陽電池デバイス(Si結晶系、薄膜系)、パワーコンディショナ、O&M、蓄電池、未利用場所への設置等について、実用化されたり、実用化に向けた開発が進んでいる技術等を中心に調査を実施した。また電力取引とPPAに関しビジネスモデル等について調査した。

## 3. 太陽光発電の主力電源化に向けた最先端の技術開発動向の調査

コロナ禍の影響によりオンライン開催された主要国際会議において、研究レベルでの最新技術動向を調査した。軽量太陽電池、壁面設置、安全性、信頼性、系統影響、発電量予測、新型太陽電池評価、太陽電池デバイス(Si結晶系、薄膜系)、パワーコンディショナ、O&M、蓄電池、未利用場所への設置を対象として調査した。

## 4. 海外の研究開発プログラムの調査

欧州連合(EU)、ドイツ、米国、中国を対象に太陽光発電システムに関する研究開発プログラムについての枠組み、目標や予算に関する調査を行った。

## 5. 国内外の普及促進施策に関する調査

太陽光発電の主要市場である、欧州連合(EU)、ドイツ、米国、中国及び日本国内の普及促進施策の動向に関し調査した。