

気象データを活用したPVシステムの健全性 確認支援ツールSTEP-PV ver.2について

植田 讓

東京理科大学 工学部 電気工学科

第1回 福岡県太陽光発電(PV)保守・リサイクル推進協議会
設立総会・記念講演会
(福岡県中小企業振興センター)
2018年7月18日

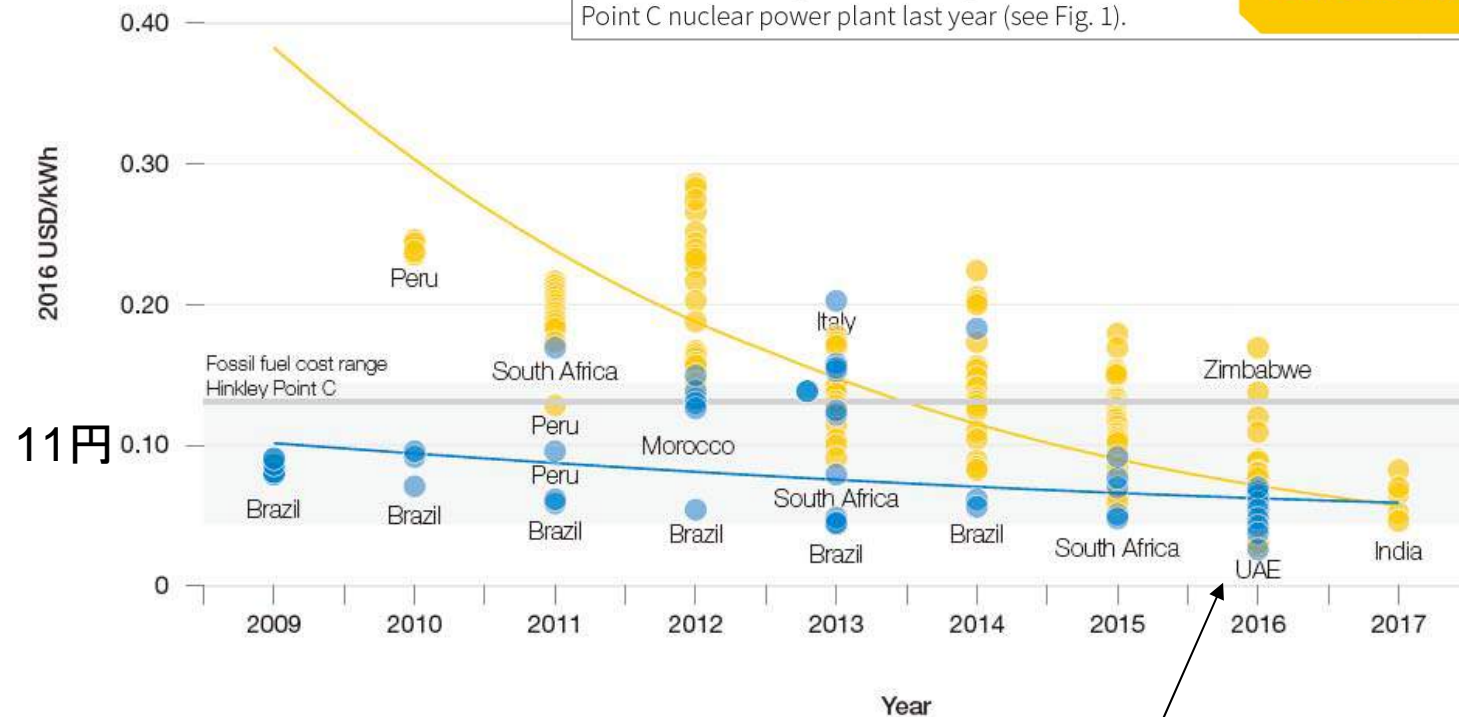
大規模太陽光発電は既に 最も安い電源の一つに

1ドル=110円換算
発電単価 円/kWh

55円 0.50

The fast decreasing solar power costs continue to improve solar's competitiveness. Basically all solar tenders awarded since 2016 are lower than the price guarantee the UK government signed for the Hinkley Point C nuclear power plant last year (see Fig. 1).

Utility-scale solar is today already cheaper than new CCGT, coal and nuclear power plants.



英国 原子力発電
所の買取価格

火力発電所
の価格帯

US ¢ 2.42/kWh
(Abu Dhabi)

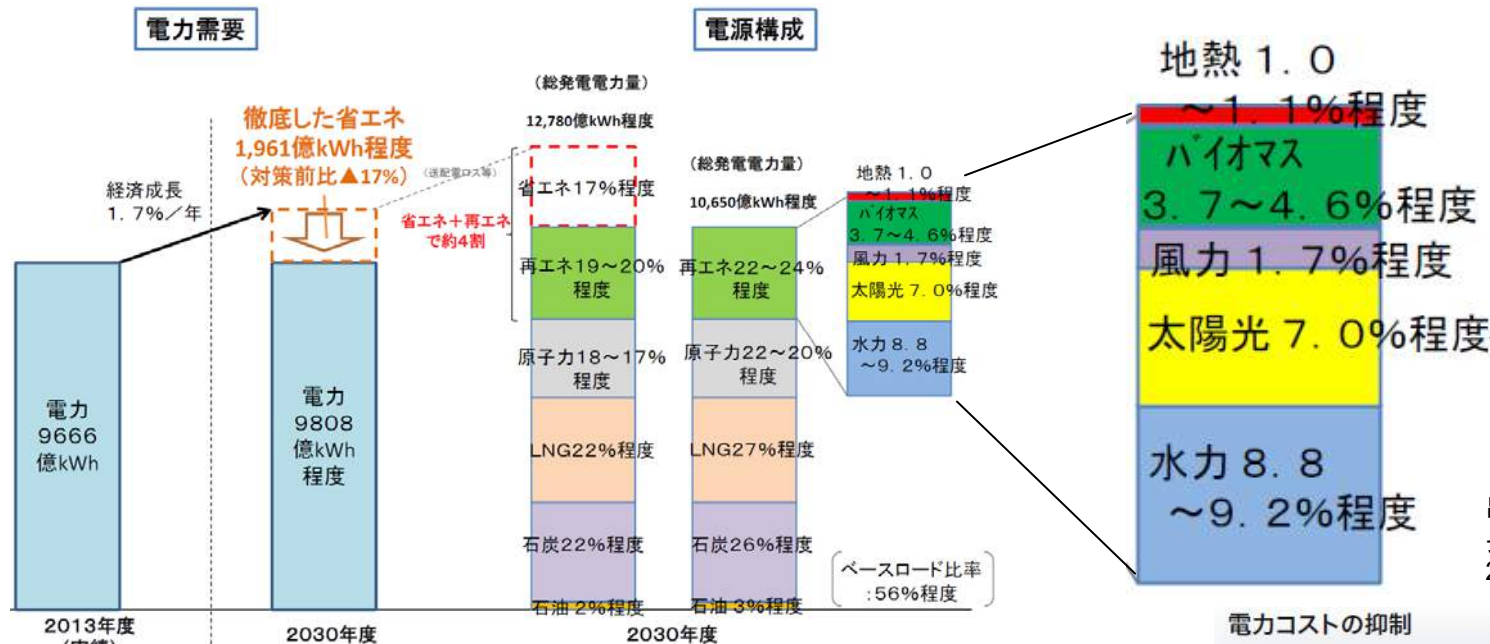
Source: International Renewable Energy Agency (IRENA)

© SOLARPPOWER EUROPE 2017

SolarPower Europe, Global Market Outlook For Solar Power / 2017 – 2021

FIGURE 1 PPA PRICES FOR SOLAR PV AND WIND ONSHORE POWER PLANTS IN DIFFERENT COUNTRIES

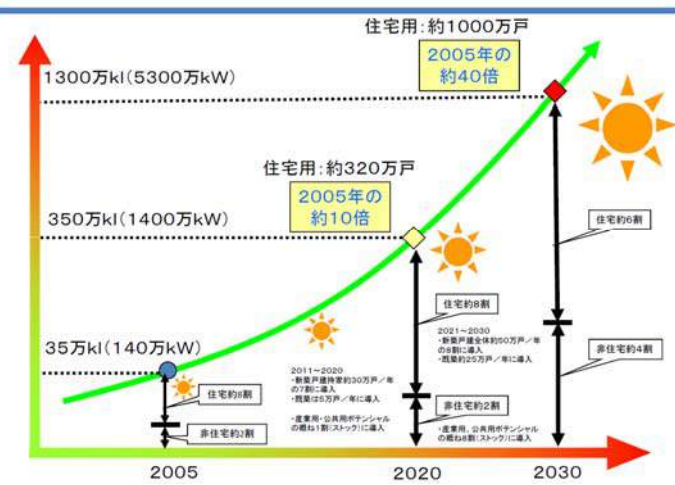
太陽光発電のロードマップ



2030年
PV 64GW

出典:
長期エネルギー需給見通し
2015年7月 資源エネルギー庁

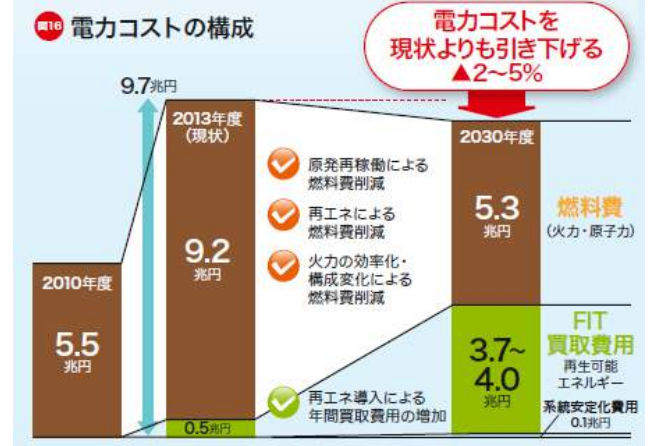
太陽光発電の需要見通し (需給見通し最大導入ケースにおける試算)



2008年(平成20年)7月
「低炭素社会づくり行動計画」
2030年に40倍を目指す (53GW)

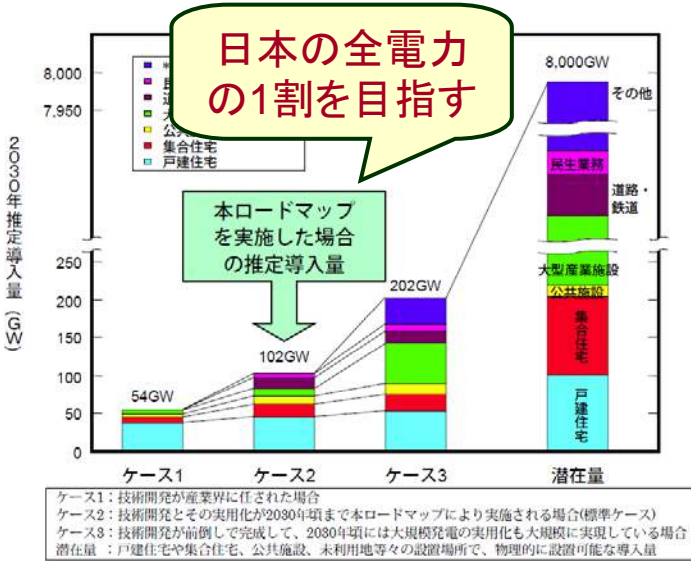
電力コストの抑制

再エネの拡大、原発の再稼働、火力の高効率化等に伴う燃料費の削減により、再エネの拡大に伴う固定価格買取制度の買取費用や系統安定化費用の増加を考慮しても、電力コストは現状に比べ、2~5%程度低減される想定となっています。



出典: 日本のエネルギー2015 資源エネルギー庁

太陽電池のロードマップとポテンシャル



出典: NEDO PV2030, PV2030+(2025年目標)

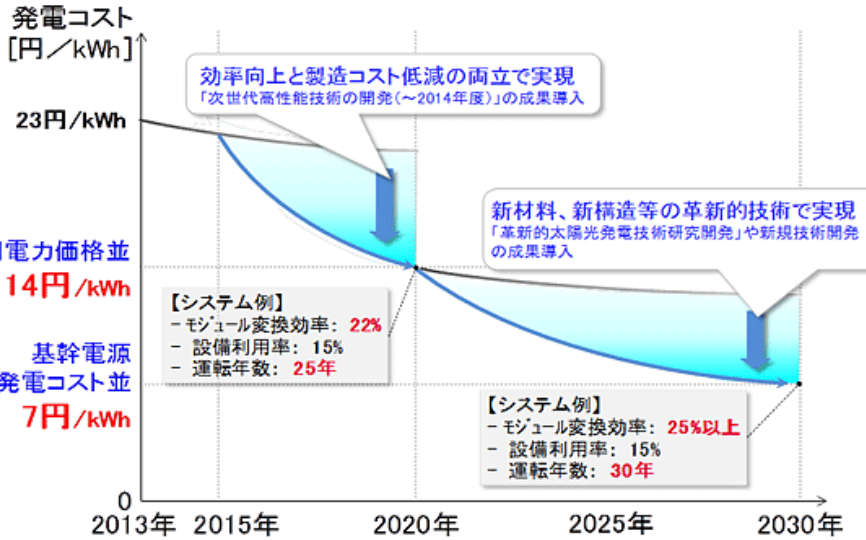
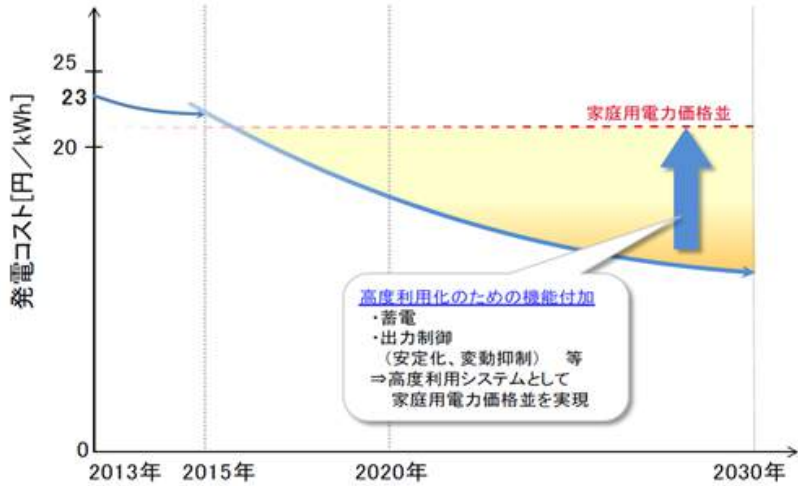
経産省調査の導入ポテンシャル及び導入可能量

	導入ポテンシャル ^{※2} (既設+新增設の設備容量)		導入可能量 (新增設)
	屋根・屋上	屋根・屋上に側壁を加えた合計	
戸建住宅 ^{※1}	4900万kW	—	(試算なし)
集合住宅	1600万kW	4200万kW	(試算なし)
合計	6500万kW	9100万kW	(試算なし)

(1) 経産省・環境省・農水省調査の導入ポテンシャル(既設+新增設)

経産省	側壁なし ^{※1}	公共系建物 その他業務分野 産業分野	低・未利用地 (最終処分場、 交通・運輸分野など)	耕作放棄地等	合計
		側壁あり ^{※2}			
経産省	2030万kW	—	(1800~3900万kW)	(300~1億400万kW) ^{※5}	—
環境省	4400万kW	2400万kW (220億kWh)	160万kW (15億kWh)	3300万kW ^{※6} (300億kWh)	5900万kW (540億kWh)
環境省	—	5200万kW (440億kWh)	2700万kW (240億kWh)	7000万kW ^{※6} (640億kWh)	1億5000万kW (1300億kWh)
農水省	—	—	—	5500万kW ^{※7} (580億kWh)	—

出典: 第5回 コスト等検証委員会資料



出典: NEDO NEDO PV Challenges

太陽光発電の導入拡大に向けた方向性
(課題と対策 ～PV100年構想に向けて～) 【太陽光発電競争力強化研究会
報告書の概要】

太陽光の自立的な導入加速時代 ～未来型ソーラーライフ時代へ～	競争力のある太陽光発電の実現 ～コスト構造改革、 競争力のある産業の創出～	安定的な信頼ある太陽光発電の実現 ～長期安定発電、系統制約対策～
1. 自家消費モデルの確立 ・系統への負担が少ない、自給・自立型や、地産池消モデルの普及拡大が鍵。 ↓ ・2019年に向けて、 ①EV、蓄電池と連携したエネルギーマネジメントの実現(共通通信規格の普及等) ②自家消費インセンティブ(FIT価格<電気料金)	1. 電源としての競争力強化 ・高いFIT価格、多段階流通構造により、システム費用が海外の約2倍。 ↓ ・FIT価格低減等で競争を促し、技術開発によるコスト低減と併せ、FITから自立した導入を目指す。(2030年に7円/kWh)	1. 長期安定的な発電基盤 ・多数の投資目的の低圧案件、長期安定発電の意識が低い。 ↓ ①FITでメンテナンスを義務化 ②長期安定発電の体制の構築 —インフラファンド活用による所有・運営の再構築 —地域メンテ産業の創出
2. PVベースの未来型社会 ・地域に分散的に導入されるPVをベースとして生み出される ①新たな暮らしや社会の姿や、 ②VPP等の新たなエネルギーの取組の実現を目指すとともに、これを実現するビジネスの創出、更には海外展開に取り組むべき。	2. 産業の国際競争力強化 ・日本企業・産業が、グローバルな規模拡大競争の中で、海外展開を含め、競争を勝ち抜く力を持つことが重要。 ↓ ①高効率・高信頼性による差別化 ②市場に応じた事業展開(システム売り等の高付加価値化)	2. 電力系統制約の克服 ・自然条件により出力が変動、導入可能量に制約が存在。 ↓ ①導入拡大に向けた系統運用ルールの見直し ②出力変動対策の技術開発等(出力制御、変動予測、蓄電池)

～産官学による将来の太陽光の導入像を共有、技術開発、規制改革により、民間の投資を喚起～

太陽光発電競争力強化研究会

- 地元業者による相談受付, 日常点検
- 発電性能維持は常時遠隔モニタリング → スマート化
- 安全性能維持のための定期点検
- 住宅用では住宅メンテナンスに合せた点検と設備更新を

安定的な信頼ある太陽光発電の実現 ～長期安定発電、系統制約対策～

1. 長期安定的な発電基盤

- ・多数の投資目的の低圧案件、長期安定発電の意識が低い。



- ①FITでメンテナンスを義務化
- ②長期安定発電の体制の構築
—インフラファンド活用による所有・運営の再構築
—地域メンテ産業の創出

(1) 懸念③ 最終処分場の逼迫、資源の有効利用

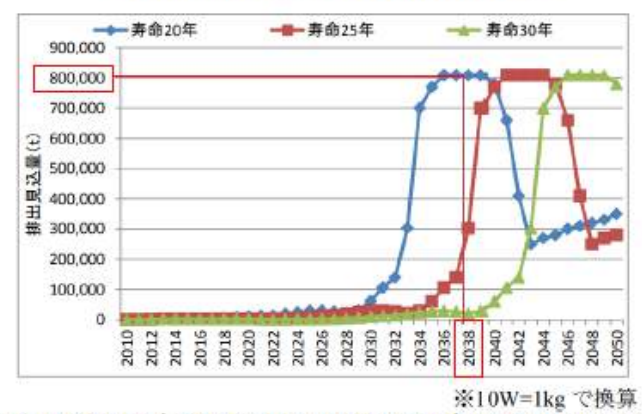
- 太陽光パネルの大量廃棄時、その年間排出量は、ピーク時に、産業廃棄物の最終処分量の6%に相当。なお、ピーク後は、年間導入量の減少に伴い、年間排出量も低減。
- 太陽光パネルは、その多くはガラスで構成されているが、リサイクル時に有価で取引されやすい金属（アルミ、銀等）も含有。

＜太陽光発電設備の出荷推移（MWベース、出荷先別）＞



出典) JPEA統計資料よりNRIが作成

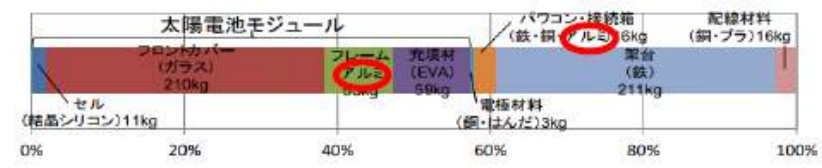
＜太陽電池モジュール排出見込量＞



※10W=1kgで換算

出典) 環境省「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン（第一版）」より

＜多結晶シリコンモジュール（出力4kw、住宅用）の素材構成例＞（再掲）



出典) 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究 (NEDO)

＜排出太陽電池モジュールを仮に全量埋め立てたと仮定した場合の平成24年度の産業廃棄物の最終処分量に占める太陽電池モジュールの割合＞

	2020	2025	2030	2035	2039
排出見込量 (寿命25年)	2,808トン	9,580トン	約2.9万吨	約6.1万吨	約77.5万吨
平成24年度の産業廃棄物の最終処分量に占める割合	0.02%	0.07%	0.2%	0.5%	6%

出典) 太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書より

- 廃棄ではなく更新を前提に
- 適切なメンテナンスでリユース、リパワリング
- 廃棄時はリサイクル

出典: FIT発電事業の適正化, 2018年1月24日 資源エネルギー庁

太陽光発電事業の事業リスクとは？



運用時には様々なリスクがある

発電電力量

システム:

- ・劣化
- ・不具合
- ・破壊行為
- ・盗難

気象:

- ・多照, 寡照
- ・雪害
- ・地震
- ・雷
- ・風害
- ・洪水
- ・土砂災害

系統:

- ・出力抑制
- ・電圧上昇抑制
- ・位相跳躍

工作物責任 賠償責任

事故:

- ・火災
- ・感電

環境影響:

- ・光害
- ・騒音
- ・気温

設備構築できない

- ・動・植物
- ・遺跡
- ・自然・公園

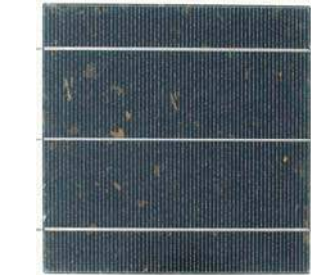
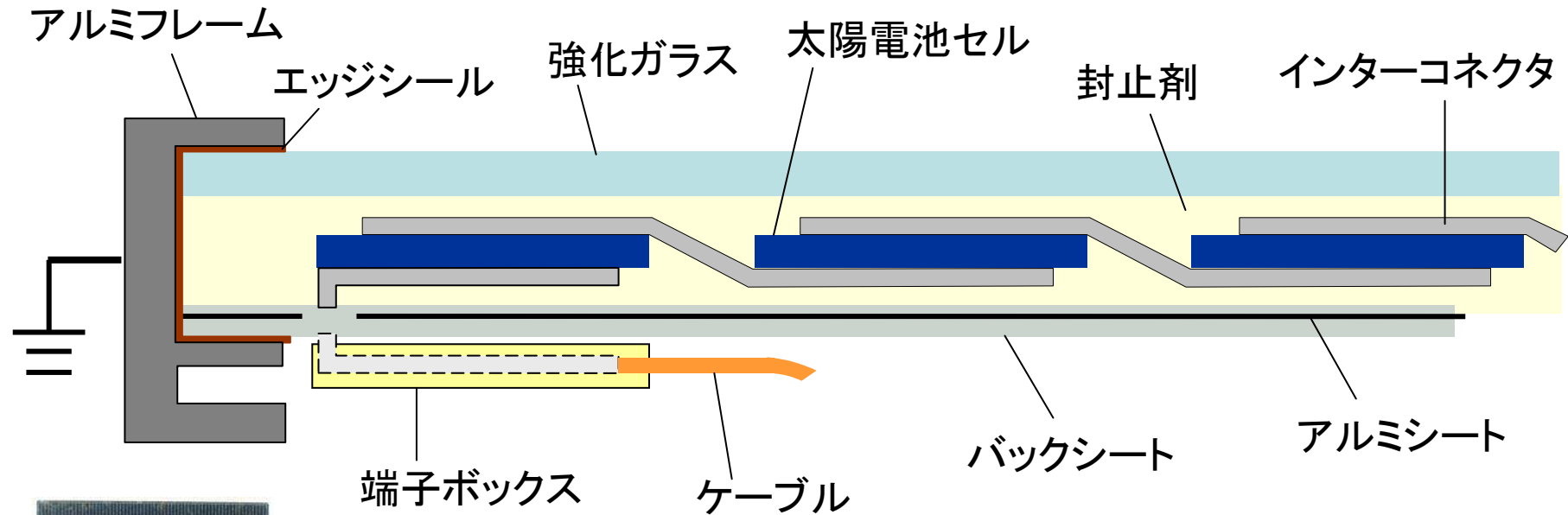
・法改正
(法令準拠)

- ・寿命の判断は？
- ・撤去は可能？
- ・ゴミの問題
- ・最後は安全リスク

- 追加費用:
- ・損害賠償
 - ・撤去
 - ・廃棄
 - ・リサイクル

- 次のサイクルへ:
- ・設備更新
 - ・部分改修
 - ・中古販売
 - ・転売

シリコン結晶系太陽電池モジュールの構造



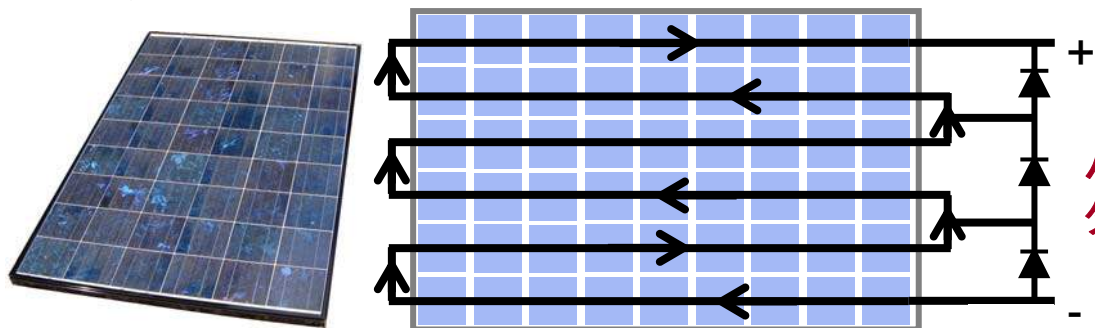
- 全てのセルはモジュール内で直列接続されている
- 様々な材料により構成されている

様々な不具合例:

黄変・デラミネーション(白濁), 配線抵抗増加, ホットスポット, セル割れ, ガラス割れ, バックシート破れ, 断線, バイパスダイオード故障, PID

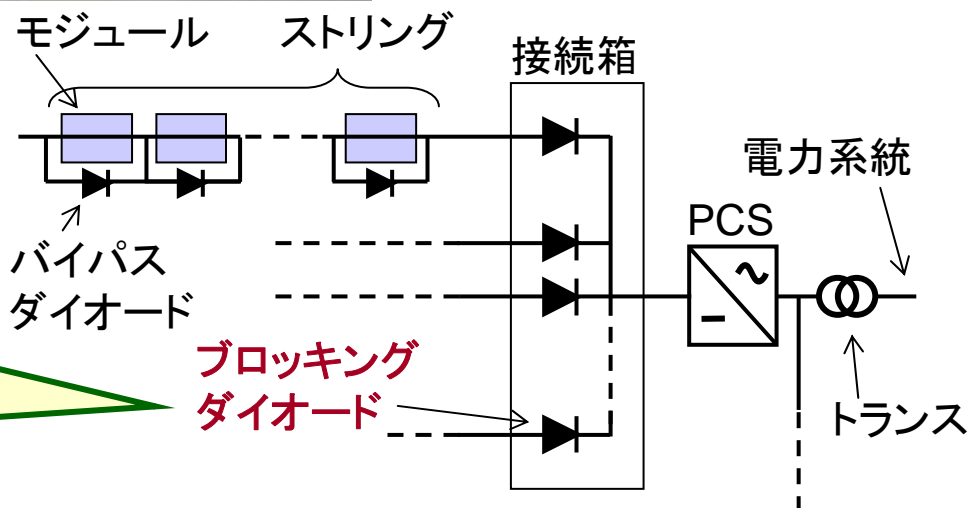
太陽電池アレイと二つのダイオード

モジュール



バイパス
ダイオード

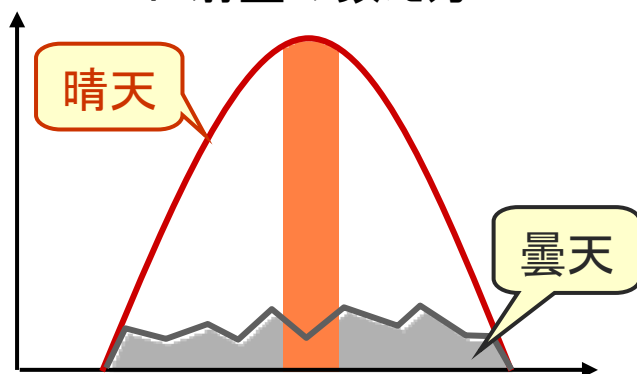
モジュール内の一部のセル(ストリング内の一部のモジュール)の不具合によりモジュール全体(ストリング全体)の発電量が低下する事を回避



アレイ内の一部のストリングの電圧が低いときに、他のストリングの電流が電圧の低いストリングに流れ込むことを回避

どのくらい発電するのか

日射量の数え方



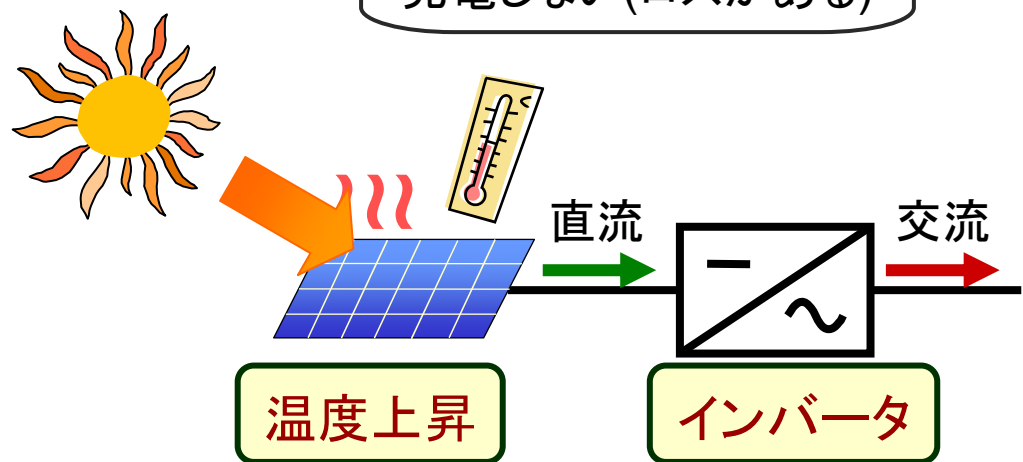
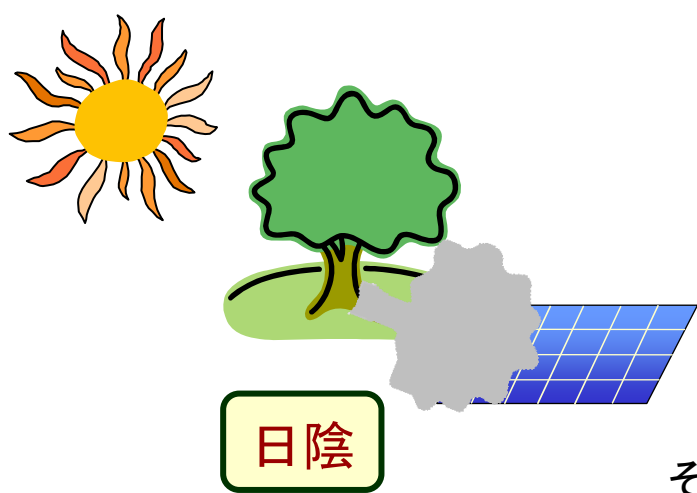
晴天: $1.0 \text{ kW/m}^2 \times 1 \text{ 時間}$
 曇天: $0.2 \text{ kW/m}^2 \times 5 \text{ 時間}$
 ↓
 どちらも $1.0 \text{ [kWh/m}^2]$

太陽光発電システム
40 [万円/kW] → **19.2 [¥/kWh]**

定格	年間日射量	システム出力係数	寿命	生涯発電量
1 [kW]	× 1300 [h]	× 0.8	× 20 [年]	= 20800 [kWh]

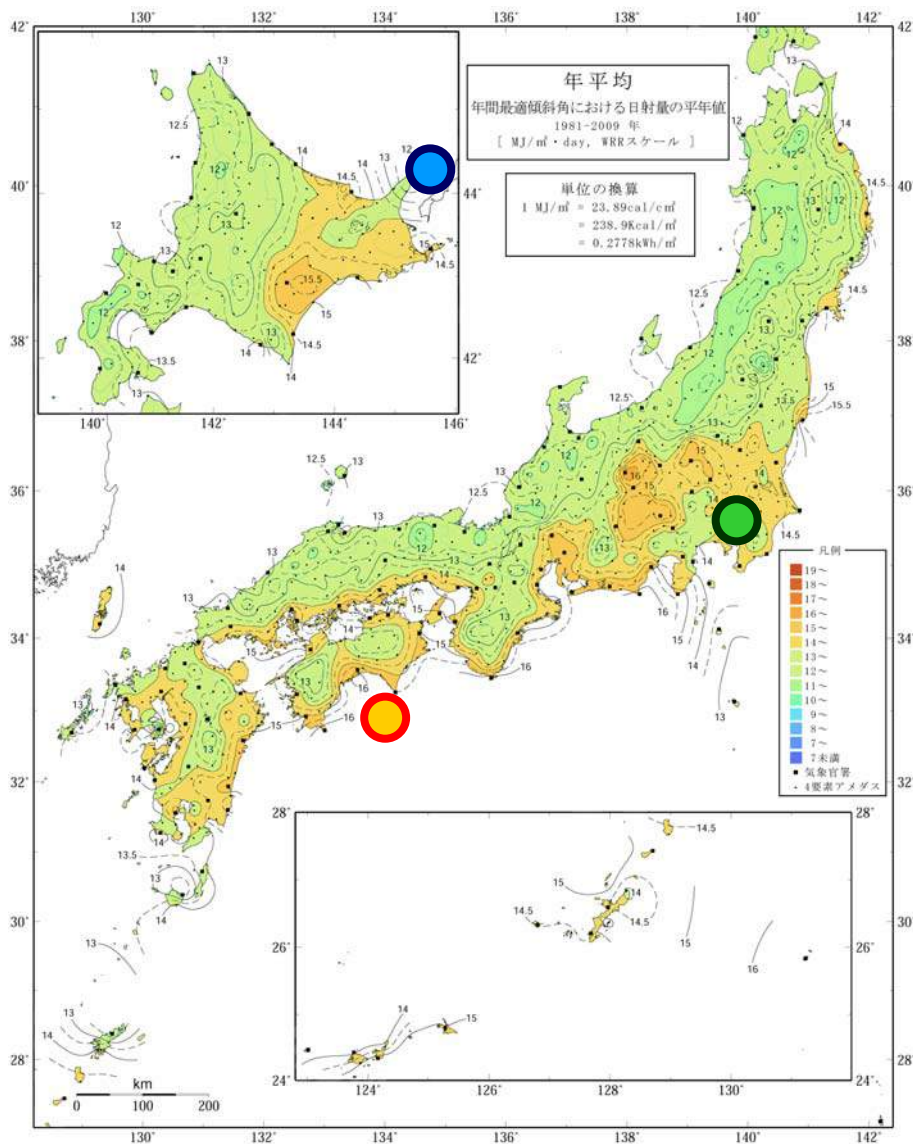
1年は8760時間
(24時間 × 365日)

劣化・故障の影響もある
 日射量のとおりには
 発電しない(ロスがある)



その他, 反射, スペクトルミスマッチ, 直流回路抵抗, 汚れ, 劣化など

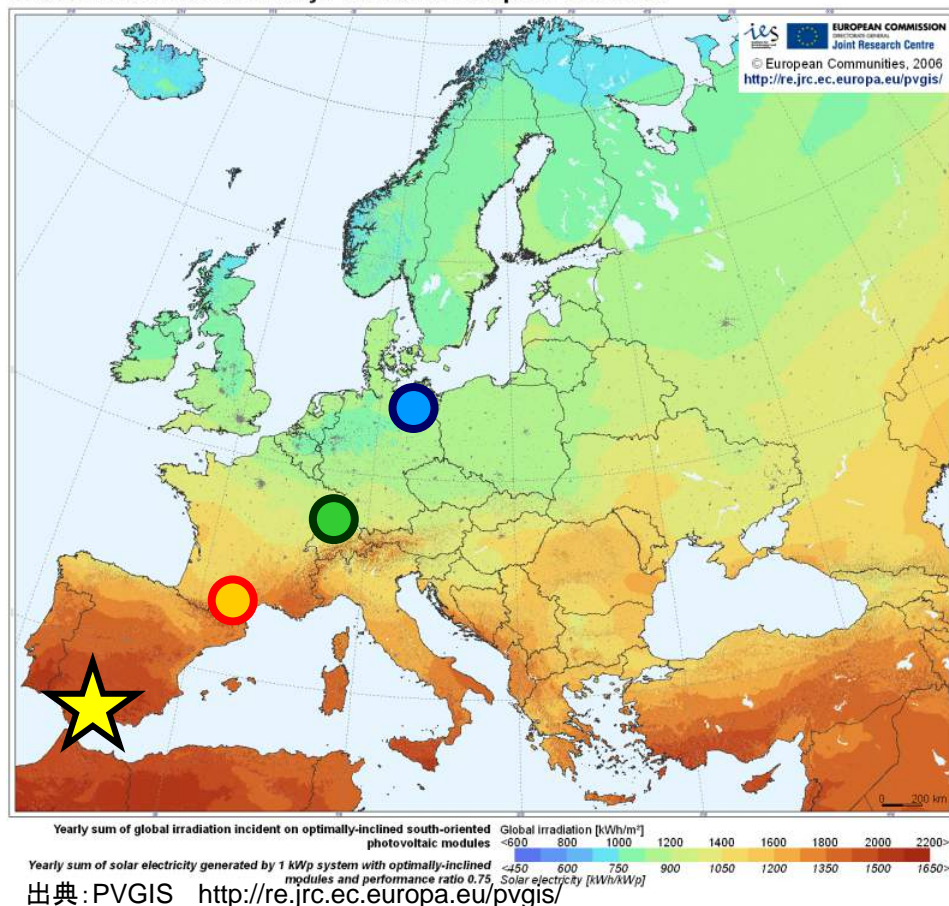
日射量の比較(最適傾斜角)



出典: NEDO MONSOLAのデータをもとに作成

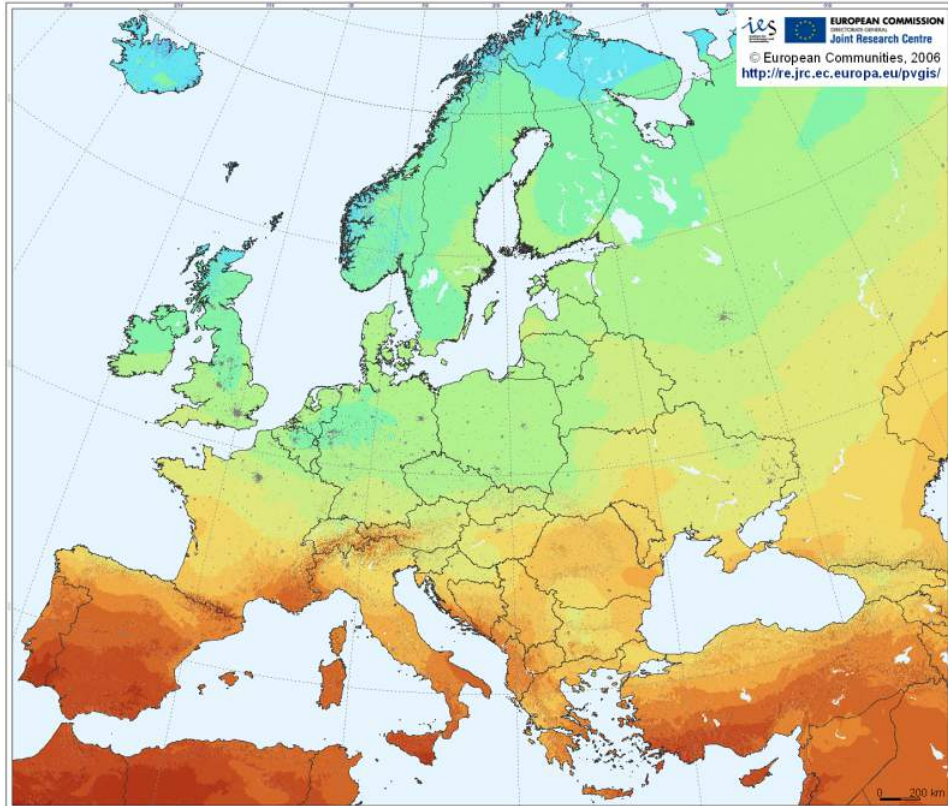
- 知床岬 (1200h) → ドイツ北部
- 東京 (1400h) → ドイツ南部・フランス
- 東・南海沿岸 (1600h) → フランス南部
- ★ スペイン (2000h) → 東京の1.4倍以上

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



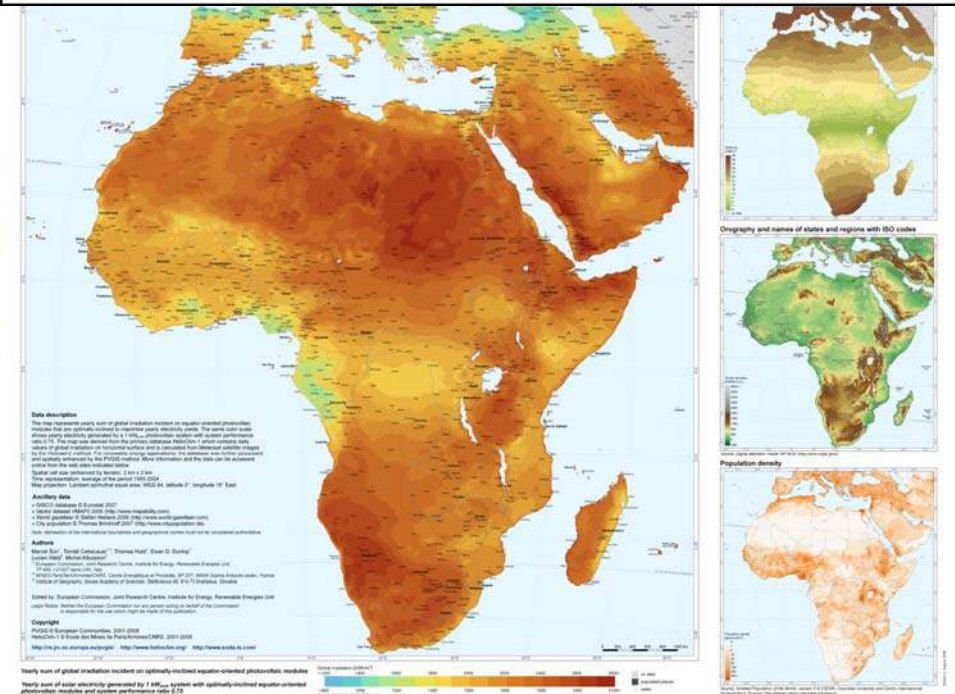
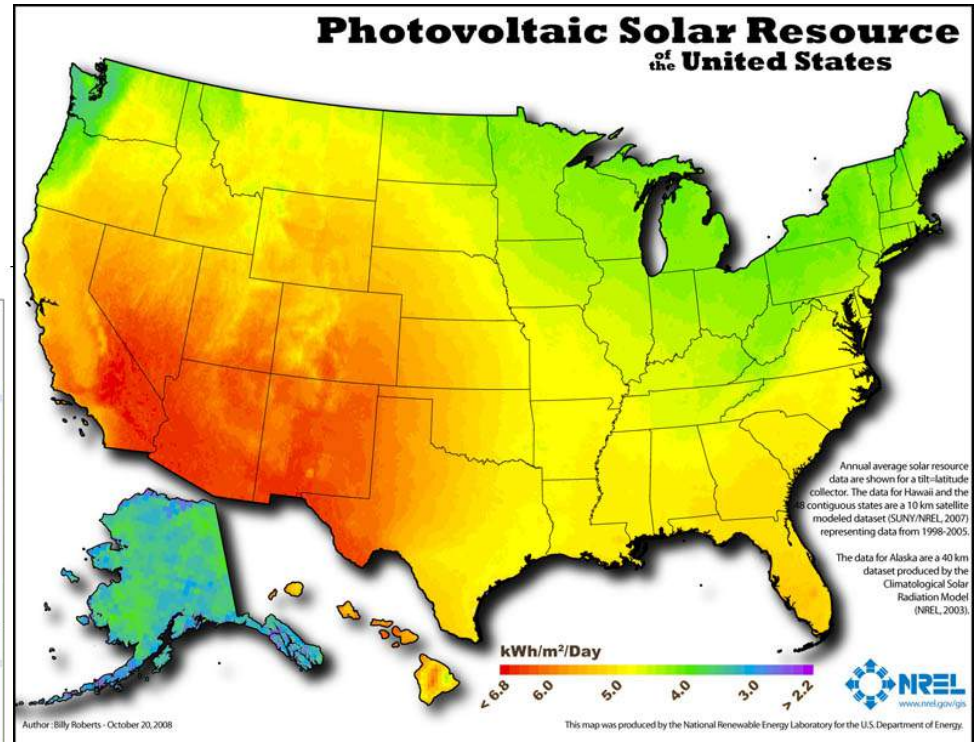
出典: PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



出典: PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Photovoltaic Solar Resource of the United States



PVシステムはメンテナンスフリーか？ → 違う

➤健全性評価技術

- モニタリング(監視) (Monitoring)
 - ◆ データ解析 (Data analysis)
 - ◆ 健全性診断 (Diagnosis)

- 交流出力電力
- 直流電力・電流・電圧
- スtring電流
- モジュール電圧

- 予防保全 (Preventive maintenance)
 - ◆ 定期点検 (Periodic inspection)
 - ◆ 保守点検

- ◆ 草刈り (Grass cutting)
- ◆ 増し締め (Retightening)

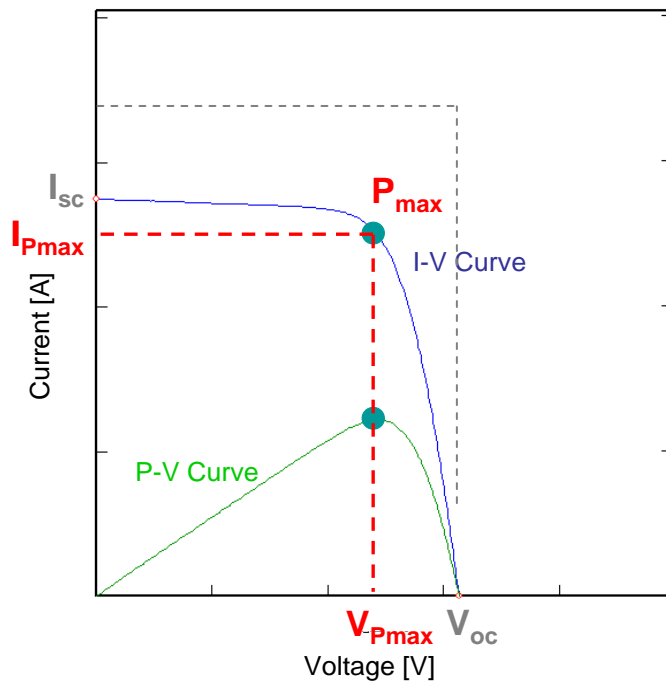
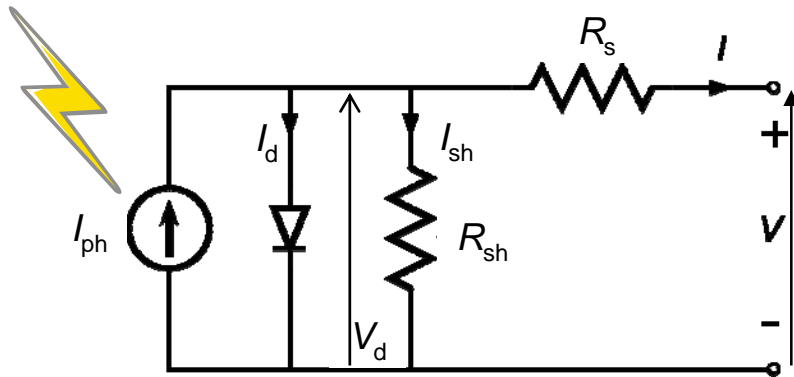
- 目視 (Visual inspection)
(モジュール・配線・架台)
- 絶縁抵抗
- 開放電圧
- 赤外線サーモグラフィ (IR image)
(セル・モジュール・バイパスダイオード・接続箱)
- バイパスダイオードチェック

- 不具合検出 (Failure detection)
 - ◆ 屋外 (Outdoor)
 - ◆ 屋内 (Indoor)

- I-V特性
- 配線路探査
- EL特性
- PL特性
- 赤外線サーモグラフィ (IR image)
- Lock-in Thermography

- 発電性能評価の基本
- STEP-PV ver.2
- 不具合検出

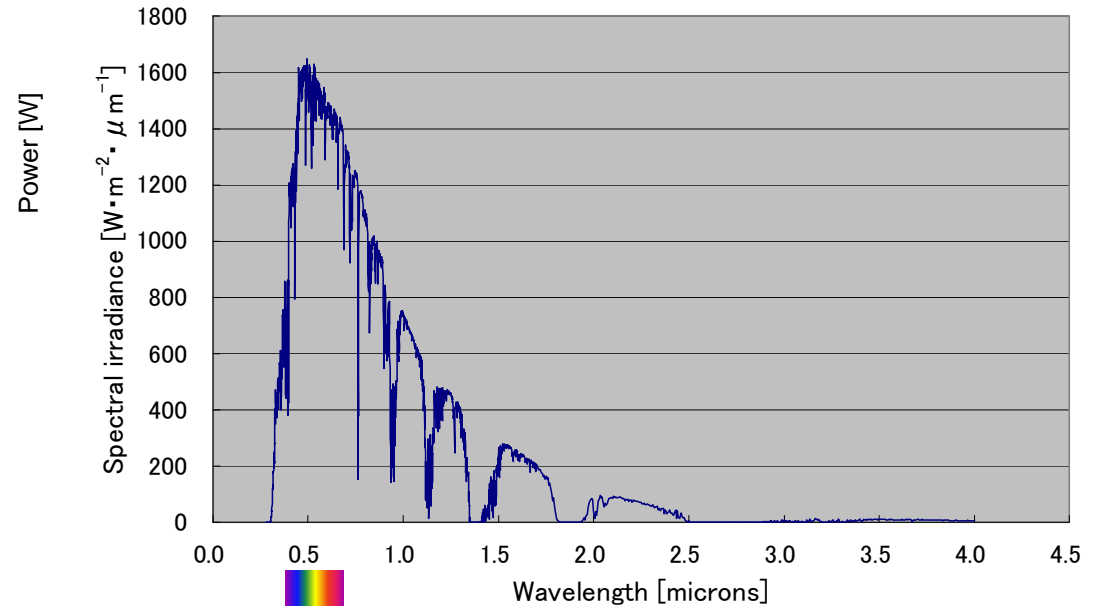
標準試験条件(Standard Test Condition)



モジュール温度=25°C

基準太陽光

日射強度	1 [kW/m ²]
大気状態	
可降水量	1.42 [cm]
大気オゾン含有量	0.34 [cm]
混濁係数(0.5 μmにおいて)	0.27
エアマス	1.5
測定条件	
アルベド	0.2



System yield [kWh/kW_{STC}]

等価(日)システム運転時間

(システム出力電力量を, 標準太陽電池アレイ出力で除した値。)

どれだけ発電したか

Reference yield [(kWh/m²)/(kW/m²)_{STC}]

等価(日)太陽日照時間

(基準アレイ面日射強度で(日)積算アレイ面日射量を供給するのに必要な(1日当たりの)時間数。)

どれだけ日が照ったか

Performance ratio [h/h]

システム出力係数

(等価(日)システム運転時間を等価(日)太陽日照時間で除した値。)

発電性能はどうだったか

システム出力係数と損失



発電電力量 [kWh] / 定格出力 [kW]
(AC watt-hour) (銘板定格値を使用)

損失



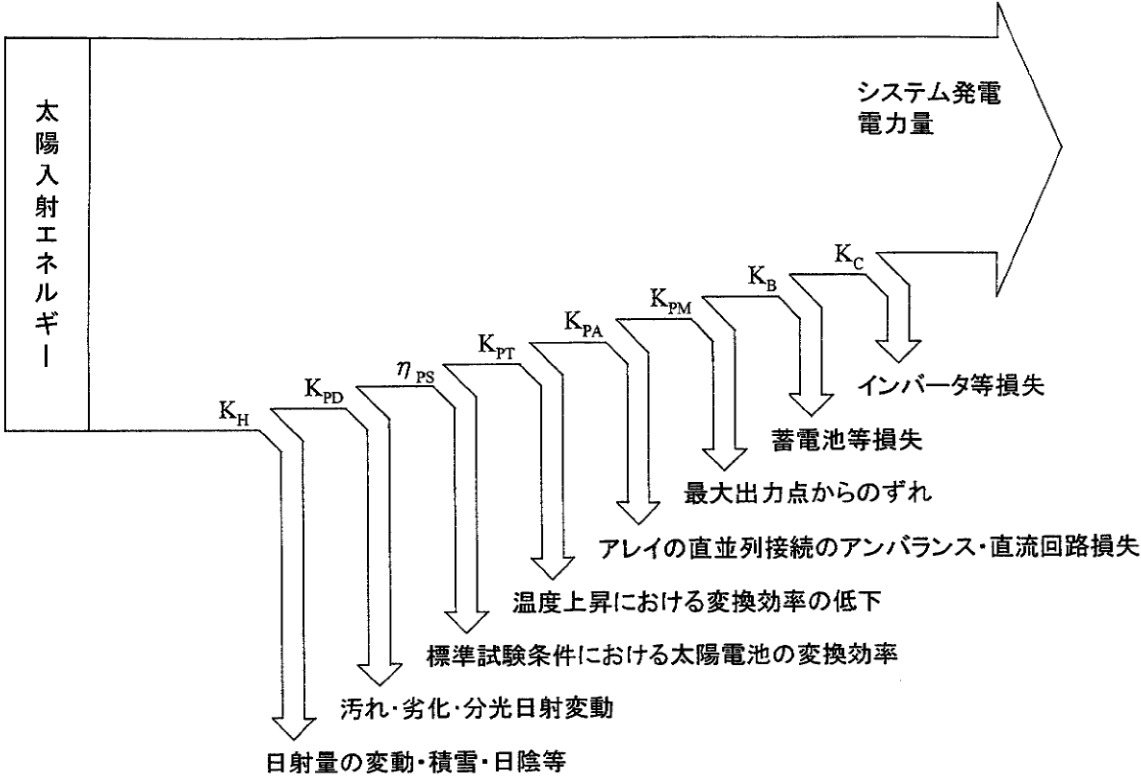
日射量 [kWh/m²] / 基準太陽光 [kW/m²]
(日射計で計測) (1kW/m², AM1.5G)



$$\text{Performance ratio} = \frac{\text{発電電力量} \times \text{基準太陽光}}{\text{日射量} \times \text{定格出力}}$$

発電量推定手法の概要

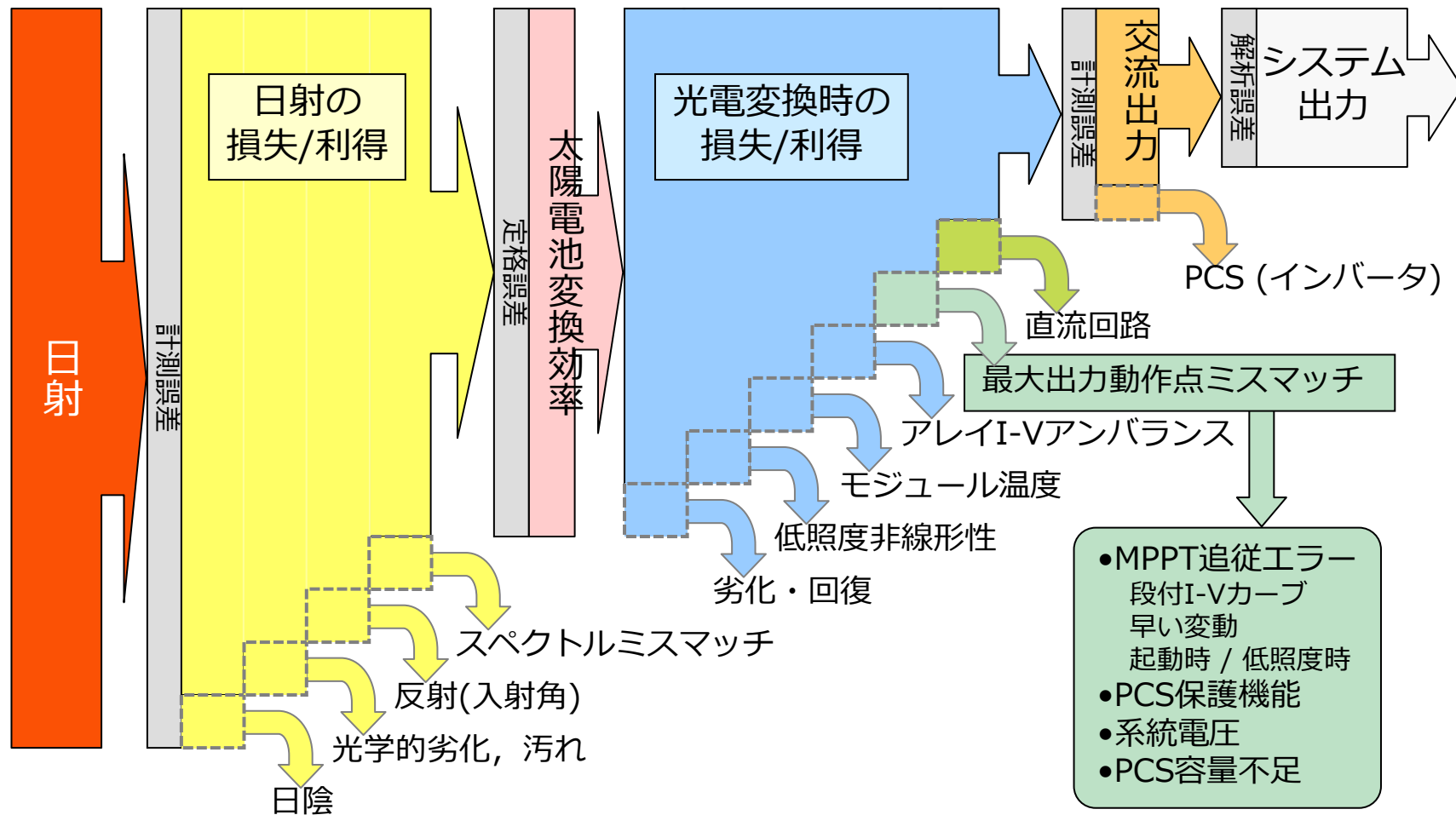
JIS C 8907による発電電力量推定方法では、入力エネルギーとなる日射量とPVシステムの定格出力に対し、各種損失要因の影響を補正係数(損失係数)として表わす



$$E_{IN} \rightarrow \left[K_X = \frac{E_{OUT}}{E_{IN}} \right] \rightarrow E_{OUT}$$

Loss factors K_X :
 $K_X = 1$: No effect
 $K_X < 1$: Loss
 $K_X > 1$: Gain

太陽光発電システムのエネルギー変換過程



- JIS C 8907 をもとにより詳細にエネルギー変換過程をモデル化
- SV法は多くの実証プロジェクト等に使われている