

# システム発電特性分析 (太田、北杜、STEP-PV)

植田 譲

東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理工学専攻

日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第7回セミナー  
「太陽光発電システムの発電電力量評価・推定技術の最近動向」  
2013年12月19日, 東京大学 生産技術研究所 中セミナー室1

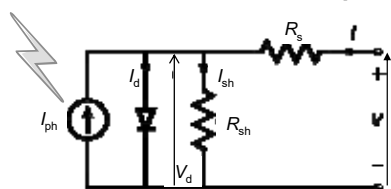
Research on photovoltaic power generation systems  
2013/12/19 Y.U

Tokyo Institute of Technology

2

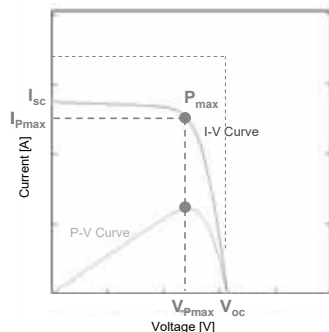
- 標準試験条件(STC)
- 発電特性評価と損失評価
- STEP-PV
- モニタリングと故障検出

## 標準試験条件(Standard Test Condition)

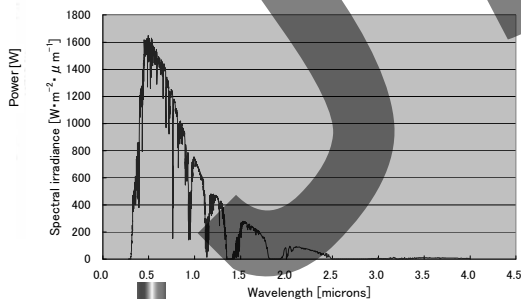


基準太陽光

日射強度	1 [kW/m <sup>2</sup> ]
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



モジュール温度=25°C



- 標準試験条件(STC)
- 発電特性評価と損失評価
- STEP-PV
- モニタリングと故障検出

**System yield** [kWh/kW<sub>STC</sub>]

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/m<sup>2</sup>)/(kW/m<sup>2</sup>)<sub>STC</sub>]

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。)

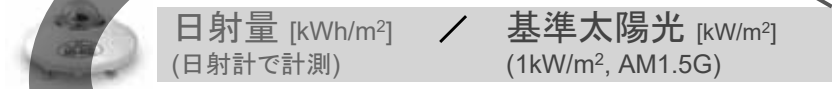
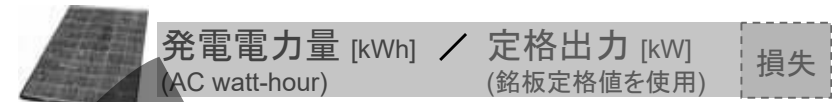
どれだけ日が照ったか

**Performance ratio** [h/h]

システム出力係数

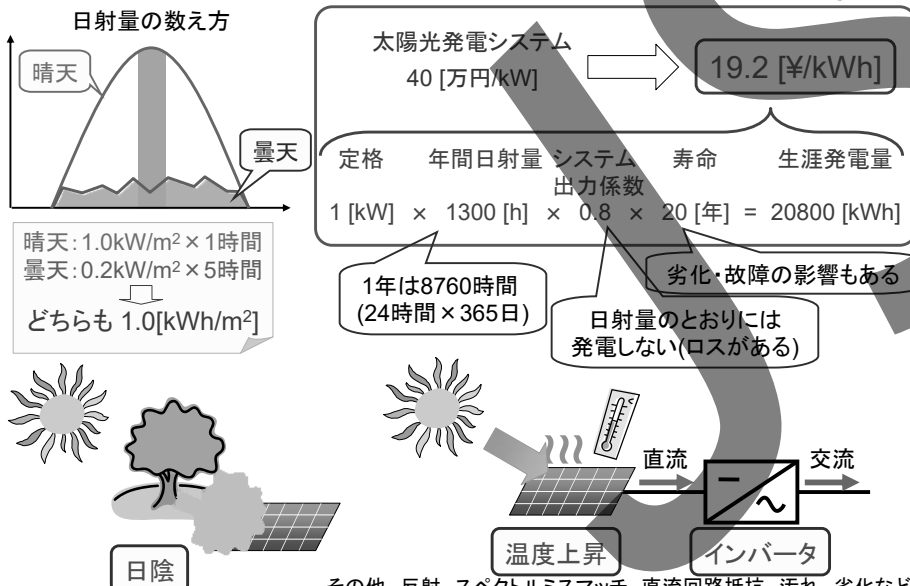
(等価(日)システム運転時間を等価(日)太陽日照時間で除した値。)

発電性能はどうだったか

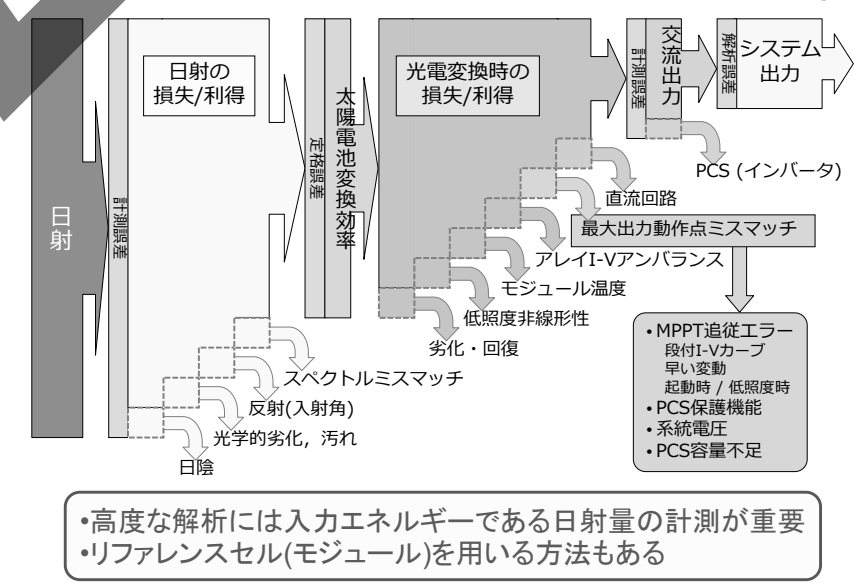


$$\text{Performance ratio} = \frac{\text{発電電力量}}{\text{日射量}} \times \frac{\text{基準太陽光}}{\text{定格出力}}$$

どのくらい発電するのか

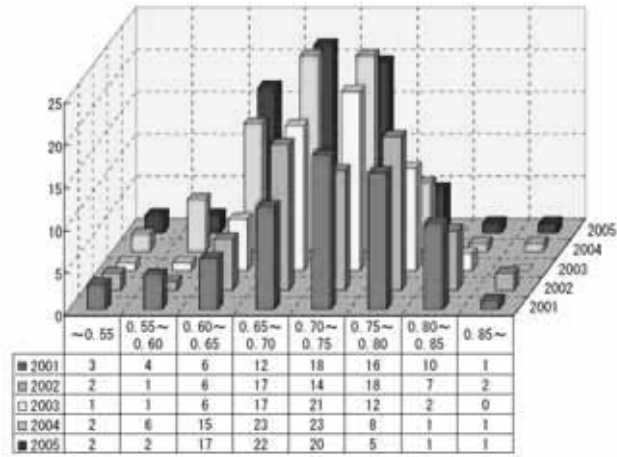


太陽光発電システムのエネルギー変換過程

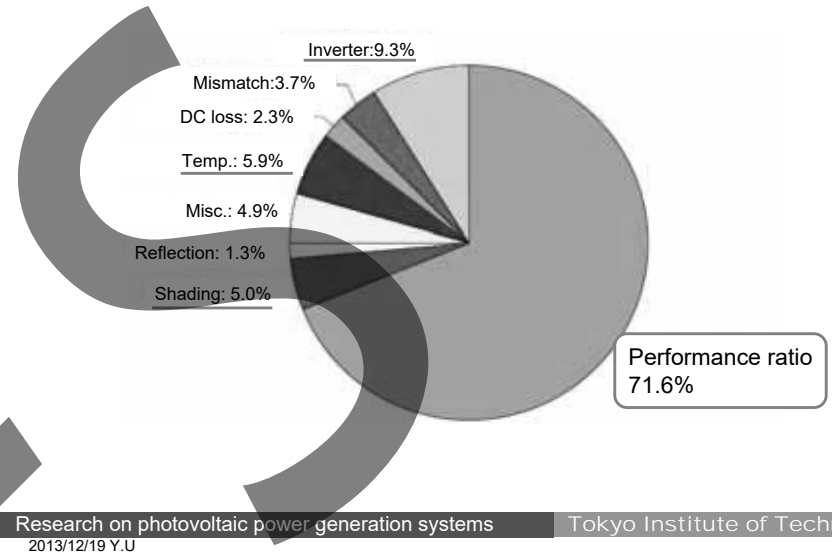


# NEDO 100 residential PV monitoring TOKYO TECH

2001~2005



# NEDO 100 residential PV monitoring TOKYO TECH



## “Demonstrative Research on Clustered PV Systems”

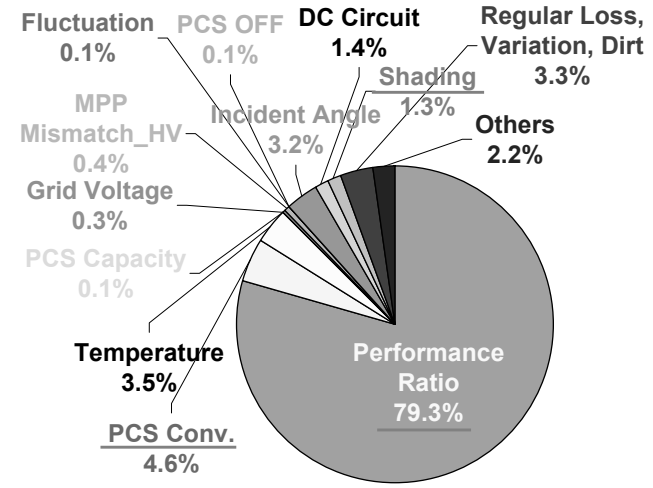
Dec,2002 – Mar,2008  
New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)



➤ Research targets to clarify the issues of clustered PV systems and develop the solution for them

## Results

Oct. 2004 – Sep. 2005



Annual average result of 104 systems

## Array Configurations

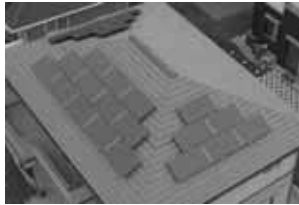


Type1



SINGLE array oriented SOUTH

Type2



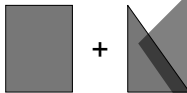
MULTIPLE arrays oriented SOUTH and/or EAST and/or WEST

Type3

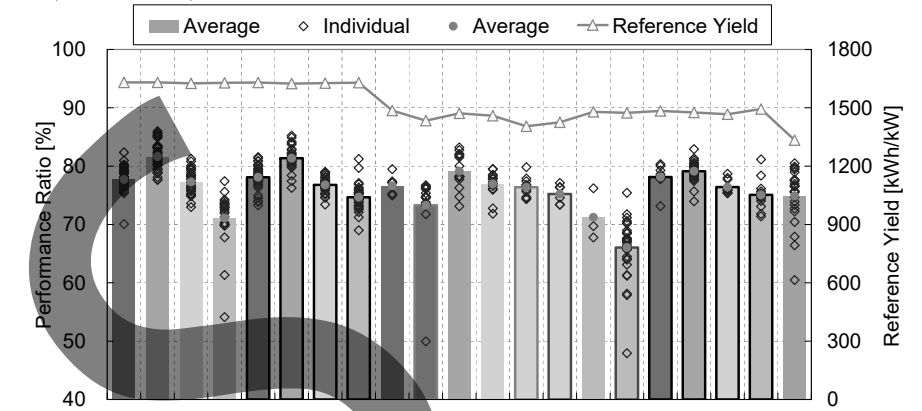


Array(s) NOT oriented SOUTH

2 types module:



## Performance Ratios



Config. #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Array type	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Module	A	B	C	D	A	B	C	D	A	A	B	C	C	C	D	D	A	B	C	D	All
PCS	A	B	C	D	E	E	E	E	A	A	B	C	C	C	D	D	E	E	E	E	All
D/D con.					yes					yes			yes	both	yes	yes					both
2 types module													yes	yes	yes				both	both	

## Shading Loss



Stepped roof (large)  
Annual shading loss : 6.1%



Stepped roof (small)  
Annual shading loss : 2.7%



Pole Tr. and antenna  
Annual shading loss : 3.0%

## NEDO:メガソーラプロジェクト(北杜サイト)

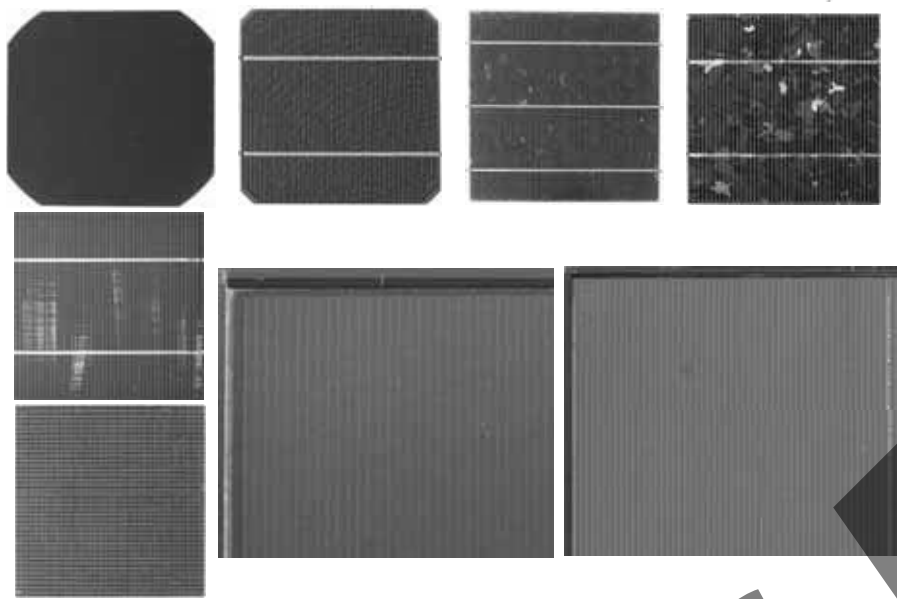


Photo: Inter Pic.

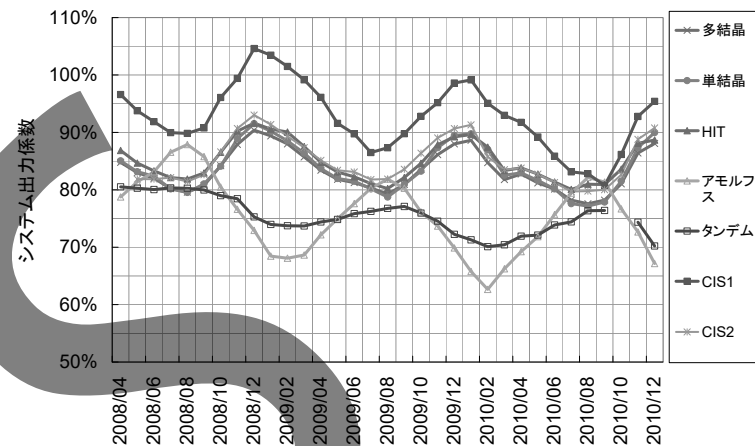


24種類のモジュールを設置  
システムとモジュールの比較

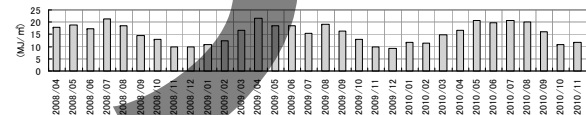
## 様々な種類の太陽電池



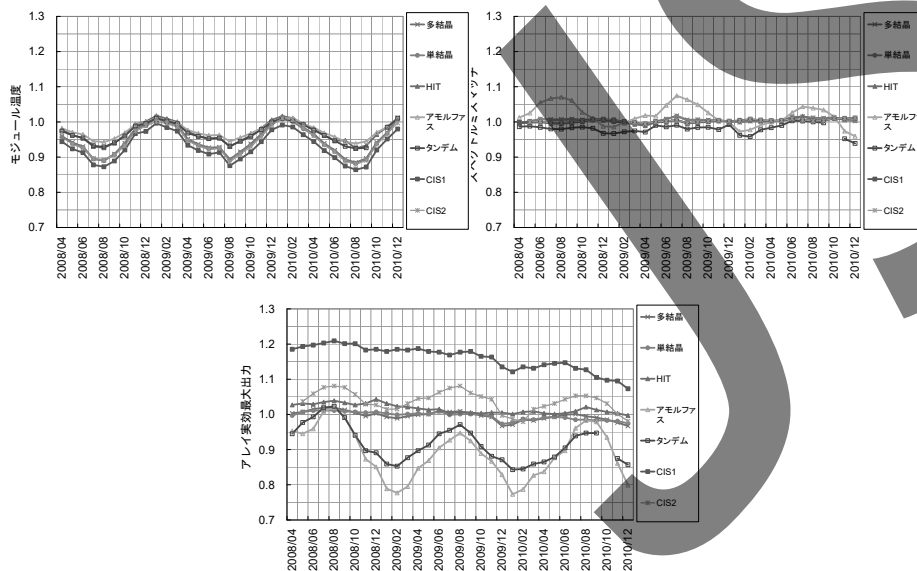
## システム出力係数の推移



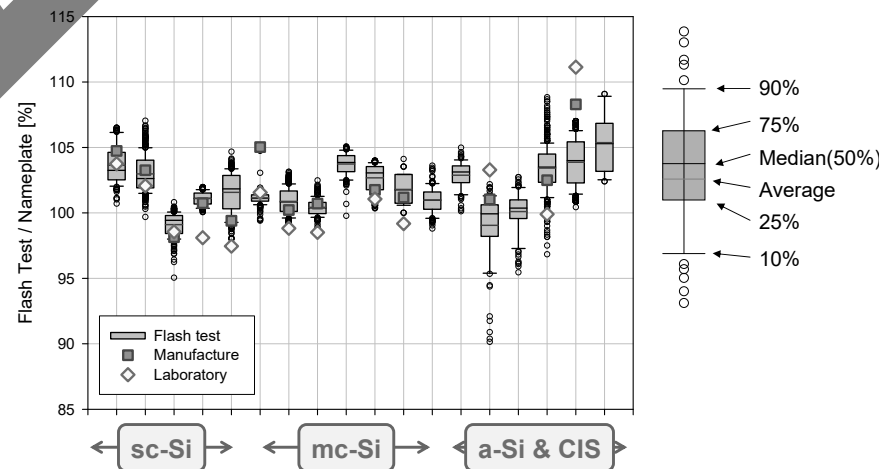
気象庁  
甲府  
水平面全天  
日射量



## 各種損失係数の推移



## メーカー出荷検査値と屋内測定結果



✓メーカー出荷検査値はJIS規格内で管理されている  
✓メーカー出荷検査値の計測精度は必ずしも高くない

- 標準試験条件(STC)
- 発電特性評価と損失評価
- STEP-PV
- モニタリングと故障検出

## 北杜サイトにおける実証研究の概要

山梨県北杜市において、日照条件の良い環境における大規模PVシステムの実証をNTTファシリティーズを中心に実施。



PV出力合計	約1.8MW(27種類)
その他設備	大容量PCS:400kW
設置面積	約10ha (東京ドーム約2個分)
予想発電量	約240万kWh/年

### 主な研究内容

- 多種類のPVモジュールの特性評価
- 系統安定化機能を備えたPCSの開発・実証
- 環境性を考慮した架台設計や環境貢献度の定量化

## STEP-PVの開発方針

### □ 目的

大規模太陽光発電所の設備設計検討において、任意の設備形態(架台形状、配置やモジュール種別などを設定)等を考慮して、簡易的に期待される発電所年間発電量の算定を行なうことが可能な「発電所出力推定ツール(STEP-PV: Simulation Tools for Estimating system output Power of a large-scale PV plant)」を開発。

### □ ツール機能構成

#### ・日射量シミュレータ:

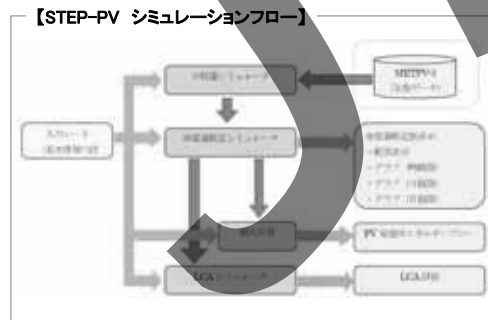
標準気象・日射データベース(METPV-3)をもとに傾斜面日射量を計算。

#### ・発電量推定シミュレータ:

発電所内での各種損失を考慮して発電所の送電端電力を算出。

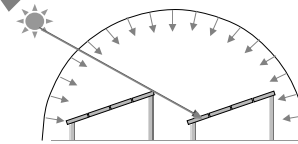
#### ・LCAシミュレータ:

システム諸言、推定発電量をもとに、エネルギーペイバックタイムとCO2排出量を計算。

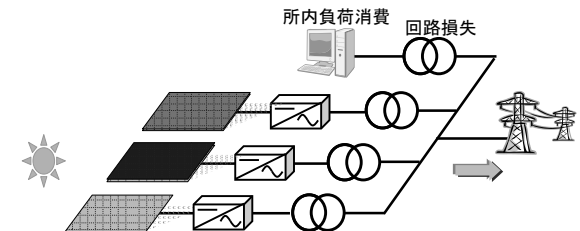


## STEP-PVの特徴

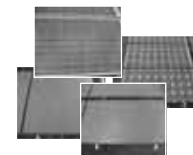
### ■ 前方アレイを考慮した日射量推定



### ■ 売電量(送電端電力量)の推定

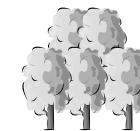


### ■ 多様な太陽電池への対応



単・多結晶  
アモルファス  
化合物

### ■ ライフサイクルアセスメント(LCA)



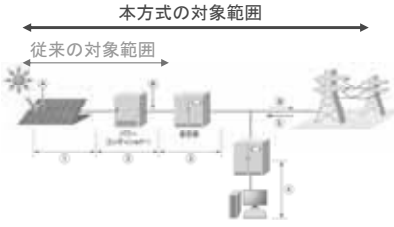
- ✓ 二酸化炭素排出量
- ✓ エネルギーペイバックタイム  
(エネルギー回収年数)

# 発電量推定



## 機能概要

実験データに基づき従来方式 (JISC8907) を修正・拡張することで、様々な種類の太陽電池に適用可能で、太陽光発電所の正味の送電(売電)電力量を推定する。



## 推定方法

分類	評価点	項目	従来	考慮する内容
損失	①	モジュール直流回路	結晶系のみ 経年劣化なし	JISC8907をベースに、補正係数の変更、詳細化
	②	PCS変換	一定	負荷率に応じたPCS変換効率
	③	交流回路	一定	・電圧降下設計値に基づく配線損失 ・変圧器損失の負荷損
消費	④	PCS冷却	未考慮	強制空冷方式においてPCS変換ロスに応じた冷却消費電力
	④	監視計測	未考慮	日射量によらない所内機器の一定の消費電力
流入	⑤	受電	未考慮	PCS待機電力や所内負荷により主に夜間に受電する電力

# 総合設計係数



パラメータ法であるJIS手法では、総合設計係数と傾斜面日射量と標準太陽電池アレイ出力の積により発電電力量を推定する。

$$E_{pm} = K \times P_{AS} \times H_{Am} \div G_S$$

$E_{pm}$  月間発電電力量[kWh・month<sup>-1</sup>]  
 $K$  総合設計係数  
 $P_{AS}$  標準太陽電池アレイ出力[kW]  
 $H_{Am}$  月平均日積算傾斜面日射量[kWh・month<sup>-1</sup>]  
 $G_S$  標準試験条件における日射強度[kW・m<sup>-2</sup>]

JIS手法における補正係数	
アレイ面入射量補正係数	↓
日射量年変動補正係数	↓
日陰補正係数	↓
入射光貢献度補正係数	↓
太陽電池変換効率補正係数	↓
経時変化補正係数	↓
汚れ補正係数	↓
劣化補正係数	↓
太陽光発電応答変動補正係数	↓
分光応答変動補正係数	↓
非線形応答変動補正係数	↓
温度補正係数	↓
アレイ回路補正係数	↓
アレイ負荷整合補正係数	↓
蓄電池回路補正係数	↓
パワーコンディショナ回路補正係数	↓

総合設計係数は、PVシステムにおける各種損失割合を示す補正係数ごとに定められる推奨値から求められる。

$$K = K_{HD} \times K_{PD} \times K_{PA} \times K_{PM} \times K_{PT} \times \eta_{INO}$$

$K_H$  アレイ面入射量補正係数  
 $K_P$  太陽電池変換効率補正係数  
 $K_B$  蓄電池回路補正係数  
 $K_C$  パワーコンディショナ回路補正係数

※赤字はJIS手法と異なる係数

# その他の補正係数



## 日射量年変動補正係数

日射量年変動補正係数は推奨値どおり。日陰損失は日射を遮る障害物の有無などの周辺環境とアレイ設置状態によるため、0~1.0の任意設定の係数とする。

## アレイ回路補正係数

直流回路抵抗損失を別途試算することから、ここでは1.0とする。

## アレイ負荷整合補正係数

推奨値では0.94だが、実証研究でのデータに基づく平均で1.0。メガソーラではPVアレイの設置条件が比較的良好なことが影響していると考え1.0とする。

## 温度補正係数

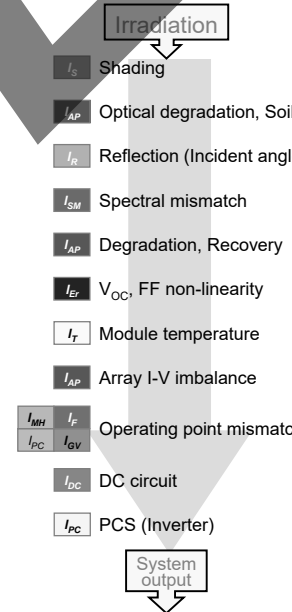
METPV-3では外気温度  $T_A$ 、風速  $V$  および日射強度  $G_A$  を含む時間別データを収録していることから、1時間以下の間隔で用いるシステム運転特性評価の用途の式(1)を用いて温度係数を算出し、式(2)の  $T_{CR}$  に代入。

$$T_{PA} = T_A + \left( \frac{A}{B \times V^{0.8} + 1} \right) \times 2 \times G_A - 2 \quad \dots(1)$$

$$K_{PT} = 1 + \alpha_{Pmax} \times (T_{CR} - 25) / 100 \quad \dots(2)$$

ここで、A、Bはアレイ設置形態による係数

# SV法とSTEP-PV



1. 日陰
2. アレイ実効最大出力損失 (劣化, 汚れ, 直並列アンバランス等, 定格誤差)
3. 反射(入射角依存性)
4. モジュール温度
5. PCS容量不足
6. 系統電圧上昇時の出力抑制
7. 動作点ミスマッチ(高電圧側)
8. 変動
9. 直流回路抵抗
10. PCS (インバータ)
11. 蓄電池
12. PCSオフ
13. スペクトルミスマッチ (分光放射照度分布測定値が利用可能な場合)

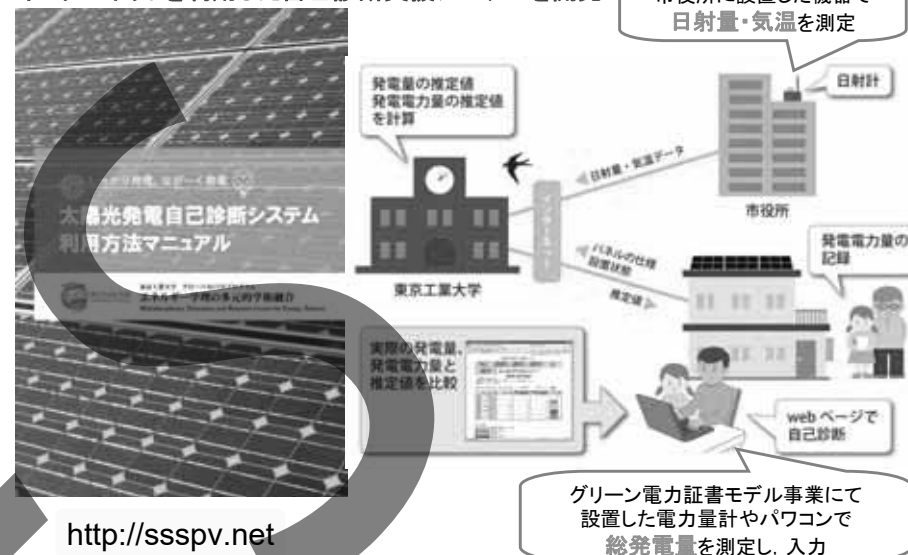
JIS手法における補正係数	
アレイ面入射量補正係数	↓
日射量年変動補正係数	↓
日陰補正係数	↓
入射光貢献度補正係数	↓
太陽電池変換効率補正係数	↓
経時変化補正係数	↓
汚れ補正係数	↓
劣化補正係数	↓
太陽光発電応答変動補正係数	↓
分光応答変動補正係数	↓
非線形応答変動補正係数	↓
温度補正係数	↓
アレイ回路補正係数	↓
アレイ負荷整合補正係数	↓
蓄電池回路補正係数	↓
パワーコンディショナ回路補正係数	↓

※「アレイ負荷整合補正係数」はモジュールの  $P_{max}$  をアレイ  $P_{max}$  に換算(温度含む)した値と実際のアレイ出力(電圧×電流+直流回路損失)の比率により算出

- 標準試験条件(STC)
- 発電特性評価と損失評価
- STEP-PV
- モニタリングと故障検出

## 自己診断支援システムの開発

•インターネットを利用した自己診断支援システムを開発



## システム構成の入力

傾斜角	方位角	太陽電池容量	設置年月日	設置方式
30 度	0 度	1 kW	2000-10-01	屋根置き型
30 度	90 度	1 kW	2000-10-01	屋根置き型
30 度	180 度	1 kW	2000-10-01	屋根置き型
30 度	-90 度	1 kW	2000-10-01	屋根置き型

出力 kW

傾斜角

方位角

## 現在の推定発電量をweb上で提供

現在の発電量の推定値 0 kW

北側の太陽電池容量は1kWです。

東側の太陽電池容量は1kWです。

南側の太陽電池容量は1kWです。

西側の太陽電池容量は1kWです。

10分平均のリアルタイム気象情報を提供

利用者のシステム構成に合わせた推定発電量を表示



## 任意の期間の発電電力量を算出

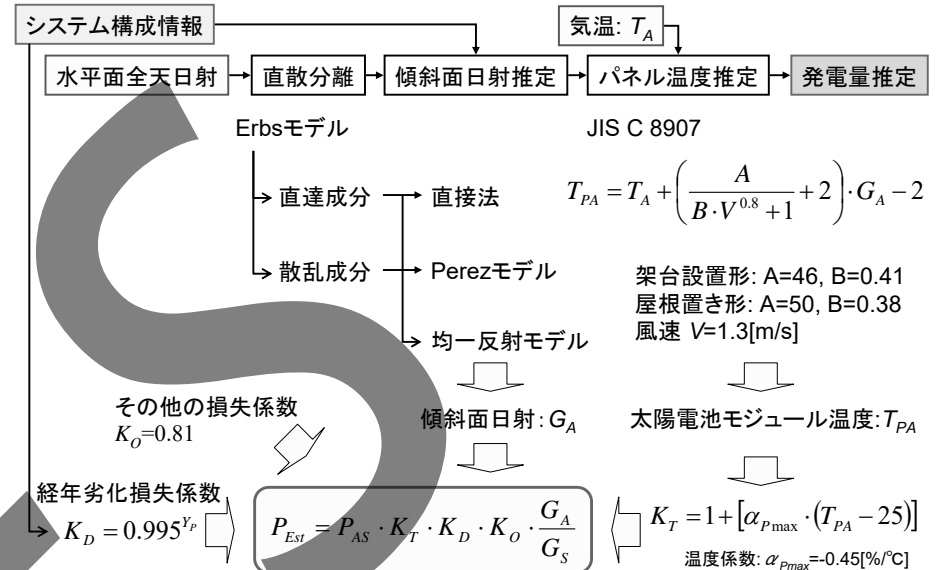


メーターを讀んだ年月日・時間	メーターの読み値 (kWh)	実際の発電電力量 (kWh) 今回-前回の数値	発電電力量の推定値 (kWh) 今回-前回の数値	判定	判定
年月日 2010年10月31日 時間 16時23分	2583	83.0	85.4	97.2 %	
年月日 2010年11月30日 時間 07時10分	2710	127.0	227.7	55.8 %	
年月日 2010年12月31日 時間 18時00分	2950	240.0	234.8	102.2 %	
年月日 2011年1月31日 時間 08時00分	3170	220.0	275.0	80.0 %	
年月日 2011年2月28日 時間 18時20分	3435	265.0	269.1	98.5 %	異常

•定期的に発電電力量を確認することで簡易的な故障診断が可能

➢しかし、メーカへのクレームは設置者の判断で行う必要有

## 発電量の推定方法



## 太陽光発電のモニタリング

- ◆何のためにモニタリングするのか
  - 太陽光発電システムの発電性能の評価  
→ ある条件下でどのくらい発電するかが分かる
  - システムの健全性の確認  
→ 参照(推定または実測)発電量と実際の発電量を比較する事で、システムの健全性を確認
  - 故障検出  
→ 発電特性を解析して高精度に故障を検出
- ◆何を計測するのか
  - 日射量 (太陽電池アレイ面)
  - 発電量(直流側 電流・電圧, 交流側 電流・電圧・電力)
  - 太陽電池モジュール温度
  - 分光放射照度分布
  - 水平面全天日射量, 直達日射量
  - 気温
  - 風速・風向
  - 積雪深 など