

# 風工学会 太陽光発電システムの耐風設計 マニュアルの概要

大林組 染川大輔

太陽光発電システム風荷重評価研究会

## 研究会の組織

- 主査 植松 康（東北大）
- 幹事 高森浩治（奥地建産）
- 委員 相原知子（大成建設），井上浩男（日本海事協会），  
大竹和夫（竹中工務店），奥地 誠（奥地建産），  
梶山泰幸（システック・エンジニアング），  
加藤和彦（産総研），菊池浩利（清水建設），  
木村吉郎（東京理科大），澤田秀夫（東北大），  
染川大輔（大林組），  
田村良介（NTTファシリティーズ），  
長尾岳彦（太陽光発電協会），西川省吾（日大），  
松田一俊（九州工大），安永隼平（JFEスチール），  
山本 学（鹿島建設），吉田昭仁（東京工芸大），  
吉富政宣（吉富電気）

建築，土木，機械，電気等様々な分野の研究者・技術者で構成

# 本マニュアルについて

残り部数はわずかですが1冊3,500円で販売中です

<https://www.jawe.jp/ja/info/313-2017-03-15-01-58-25.html>



注：本マニュアルでは、太陽光発電システムを「PVシステム」と略称する。

## 1章：概説

(太陽光発電システムの変遷および  
耐風設計マニュアルの概要と要求性能)

マニュアル1～15頁

原稿執筆：

|           |    |    |    |
|-----------|----|----|----|
| 東北大学      | 植松 | 康  | 主査 |
| 産業技術総合研究所 | 加藤 | 和彦 | 委員 |

スライド作成：

|           |    |    |    |
|-----------|----|----|----|
| 産業技術総合研究所 | 加藤 | 和彦 | 委員 |
|-----------|----|----|----|

## 1.2 本マニュアルの対象範囲と要求性能 〈ねらい〉

PV システムの設計においては、設置場所や設置状況によって風環境（風荷重等）が大きく異なる上、形状や構造形式も多種多様であるため、それらを全てマニュアルに網羅することは不可能

⇒設計手順だけでなく基本原理についても解説し、利用者が現象や算定式の根拠を正しく理解した上で利用することを意図して作成。

原理原則を正しく理解した上でこのマニュアルを使用すれば、少なくとも間違った設計は行われない

### 〈PVシステムが具備すべき耐風性能〉(建基法に準じて)

PVシステムは、通常の建築物に比べ不静定次数が低く冗長性に欠けるので、1箇所あるいは数箇所の破壊で構造全体の破壊に至る

⇒破壊すると飛散物となって人的被害や他の構造物の被害（二次被害）を起こす原因となる。特にモジュールは大きさの割に軽量なので遠方まで飛びやすい。

- (1) 稀に発生する暴風(再現期間=50年)に対して損傷させない。
- (2) 極めて稀に発生する暴風(再現期間=500年)に対して損傷は許容するが飛散させない。

## 1.2 本マニュアルの対象範囲と要求性能 〈方法論〉

建築構造の分野では、目標性能を明確にした上で、荷重および耐力のばらつきを定量的に考慮して安全性を確率論（狭義には「信頼性理論」）に基づいて評価し設計する「限界状態設計法」に移行しつつある。

他方、現状のPV システムには信頼性理論を適用できるほど十分な情報・データは揃っておらず、かつ、PVシステムの規模や構造特性は多様である。

本マニュアルでは「許容応力度設計」を基本とする

## 2章

# 太陽光発電システムの構造安全に 関係する主な関連法規

マニュアル16～24頁

原稿執筆：  
産業技術総合研究所 加藤 和彦 委員

スライド作成：  
奥地建産 奥地 誠 委員

太陽光発電システム風荷重評価研究会

## PVシステムの関連法令

### ◆経済産業省

#### ◆電気事業法(電事法)

地上設置型PV, 屋根置き型設置PV

#### ◆電気設備の技術基準(電技)

◆電気設備の技術基準の解釈(電技解釈) ⇒ JIS C 8955

#### (再エネ特措法(FIT法))

### ◆国土交通省

#### ◆建築基準法

屋根置き型PV, 屋根・壁一体型PV

#### ◆建築基準法施工例

◆平成12年建設省告示第1454号、1458号

◆国土交通省住宅局建築指導課長通知(国住指) 第4936号、1152号

### ◆農林水産省

#### ◆農地法

営農型PV(ソーラーシェアリング)

◆24農林水産省農村振興局長通知(農振) 第2657号

# 日本工業規格(JIS)

## 支持物の構造強度に関するJIS

### (1) JIS C 8955:2004

#### 「太陽電池アレイ用支持物設計標準」

電技解釈から引用されている

適用範囲・・・高さ4m以下、地上高60m未満

設計法・・・許容応力度法

### (2) JIS C 8955:2017

#### 「太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法」

2017年の改正により許容応力度設計が削除される

風荷重が大幅に増加

22頁

# 日本工業規格(JIS)

## 太陽電池モジュールに関するJIS

JIS C 8990 , 8991

機械的強度試験後の「電氣的性質」を確認するための規格

「構造強度」を確認するための規格ではない！

- ・試験中に断続的な開放故障が検出 8990
- ・出力の低下が試験前の測定値の5%以下である 8990
- ・絶縁抵抗が、初期測定の場合と同様の要求事項
- ・著しい目視上の欠陥があってはならない

21-22頁

# 3章：太陽光発電システムの設置工法と構造

マニュアル25～32頁

原稿執筆・スライド作成：  
太陽光発電協会 長尾 武彦 委員

太陽光発電システム風荷重評価研究会

## 本日のポイント → なぜ設置工法の分類が必要か

近年、大型化した台風や強風による飛散被害、大雪による被害など、報道、マスコミ等で取り上げられている太陽光発電システムは、4kWクラスの住宅用からメガソーラーの大規模まで同じように報道されている傾向がある。

- \* 設置する地域、場所、部位、取付け仕様によって「設置工法」は異なる
  - \* 設計段階の現地調査、確認事項、仕様を検討する項目も「設置工法」によって異なる
- 設置工法の分類を認識することは極めて重要である



住宅用 4kW 屋根置き型



発電用 メガソーラー 地上設置型

## 太陽光発電システムの太陽電池容量からの分類法

| PV出力容量<br>(kW) | 受電契約容量<br>(kW) | 連系区分 | 電気工作物区分      | 一般名称        |
|----------------|----------------|------|--------------|-------------|
| 10未満           | 50未満           | 低圧   | 一般電気工作物      | 住宅用         |
| 50未満           |                |      |              | 産業用,<br>低圧用 |
| 50未満           | 50以上<br>2000未満 | 高圧   | 自家用<br>電気工作物 | 産業用         |
| 50以上           |                |      |              | 産業用,<br>業務用 |
| 2000以上         | 2000以上         | 特別高圧 |              | 事業用,<br>発電用 |

「太陽光発電システムの設計と施工 改訂5版」参照

## 設置場所と設置工法による分類

マニュアル25頁

| 設置場所     | 設置工法      |       | 屋根・壁等の仕様・工法                      |
|----------|-----------|-------|----------------------------------|
| 地上       | 地上<br>設置型 | 直接基礎型 | 独立基礎, 連続基礎(布基礎), ベタ基礎, 置き基礎工法など  |
|          |           | 杭基礎型  | 鋼管杭, スパイラス工法など                   |
| 屋根       | 屋根<br>置き型 | 陸屋根型  | アスファルト防水, シート防水, 塗膜防水 * 屋上架台型    |
|          |           | 勾配屋根型 | 瓦, 着色スレート, 金属屋根(瓦棒, 横葺き, 立平葺き)など |
|          |           | 折板屋根型 | 重ね, ハゼ, 嵌合式折板 * 直置き, ラック, 傾斜架台工法 |
|          | 屋根一体型     |       | 平板瓦, 金属屋根(横葺き, 平滑葺き)             |
| 外壁<br>・窓 | 壁設置型      |       | RC, ALC板, 鋼板                     |
|          | 壁一体型      |       | ALC板, 鋼板, カーテンウォール               |
|          | 窓一体型      |       | ライトスルー, シースルー, トップライト型も含む        |
| その他      | 底型        |       | 太陽電池モジュール自体が底の機能を有する設置工法         |
|          | ルーバー型     |       | 太陽電池モジュール自体がルーバーの機能を有する設置工法      |
|          | フロート型     |       | 湖面, 池などの水面のフロート(浮体構造物)に設置する工法    |

# 4章 風荷重算定の基本と留意点

- 4.1 アレイに作用する風力
- 4.2 風荷重算定式
- 4.3 設計風速と設計速度圧
- 4.4 風力係数
- 4.5 風荷重に影響を与える要因

マニュアル34～66頁

原稿執筆：

|        |    |    |    |
|--------|----|----|----|
| 大成建設   | 相原 | 知子 | 委員 |
| 大林組    | 染川 | 大輔 | 委員 |
| 九州工業大学 | 松田 | 一俊 | 委員 |
| 鹿島建設   | 山本 | 学  | 委員 |
| 東京工芸大学 | 吉田 | 昭仁 | 委員 |

スライド作成：

|     |    |    |    |
|-----|----|----|----|
| 大林組 | 染川 | 大輔 | 委員 |
|-----|----|----|----|

太陽光発電システム風荷重評価研究会

## 4.1 アレイに作用する風力

表 4.1 風に関連する圧力を表す言葉と力を表す言葉

|                        |                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>圧力</b><br>(方向を持たない) | 風圧：基準点の圧力に対するある点での圧力<br>正の値を正圧、負の値を負圧と呼ぶ<br>外圧：主に建物などで外部側の風圧<br>内圧：主に建物などで内部側の風圧、室内圧と呼ぶこともある<br>差圧：ある2つの風圧の差         |
| <b>力</b><br>(方向を持つ)    | 風力：風によって生じるある面に作用する力<br>薄い板状のものなら表裏の差圧から求められる<br>抗力：風の流れと同じ方向の力<br>揚力：風の流れに対して直交する方向の力                               |
| <b>荷重</b><br>(方向を持つ)   | 風荷重：風外力に加えて、風外力の変動や構造物が揺れることによって生じる慣性力など様々な要素を考慮した値<br>圧力ではなく力に分類される<br>風圧力：告示で定義されている風荷重<br>風圧荷重：架台 JIS で規定されている風荷重 |



## 4.2 風荷重算定式

アレイ支持物  $W_S = \bar{q}_H G_f C_f A$  ガスト影響係数 × 平均風力係数

モジュール  $W_C = \bar{q}_H \hat{C}_f A$  ピーク風力係数

$W_S$  : 構造骨組用（アレイ支持物設計用）風荷重(N)

$W_C$  : 外装材用（モジュール設計用）風荷重 (N)

$\bar{q}_H$  : 代表高さ  $H$  における平均速度圧 ( $\text{N/m}^2$ )

$G_f$  : ガスト影響係数

$C_f$  : アレイ支持物設計用風力係数

$\hat{C}_f$  : モジュール設計用ピーク風力係数

$A$  : 受風面積 ( $\text{m}^2$ )

38頁

## 4.3 設計風速と設計速度圧

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2$$

風荷重は風速の二乗に比例

ここで,

$q$  : 速度圧 ( $\text{N/m}^2$ )

$\rho$  : 空気密度( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  : 風速 ( $\text{m/s}$ )

気温の影響を受ける  
寒いところでは要注意

代表高さでの風速  
(詳細はのちほど)

39頁

## 4.4 風力係数

$$C_f = \frac{F}{\bar{q}_H A}$$

ここで、 $F$ ：アレイに作用する風力（N）

$\bar{q}_H$ ：代表高さ  $H$  における平均速度圧（N/m<sup>2</sup>）

$A$ ：アレイの受風面積（m<sup>2</sup>）

論文等を参照する場合には代表高さに注意

43頁

# 5章 耐風設計と設計例

- |               |                 |
|---------------|-----------------|
| 5.1 架台構造設計の現状 | 5.8 部材の設計       |
| 5.2 耐風設計の方針   | 5.9 部材の許容応力度の算定 |
| 5.3 耐風設計フロー   | 5.10 接合部の設計     |
| 5.4 性能目標の設定   | 5.11 部材の応力度検定   |
| 5.5 構造計画      | 5.12 基礎の設計      |
| 5.6 風荷重の算定    | 5.13 建物上設置型     |
| 5.7 応力と変形の算定  |                 |

付録 構造計算例（地上設置架台）

マニュアル70～107頁

原稿執筆・スライド作成：

NTTファシリティーズ 田村 良介 委員

## 5.2 耐風設計の方針

マニュアル P.71

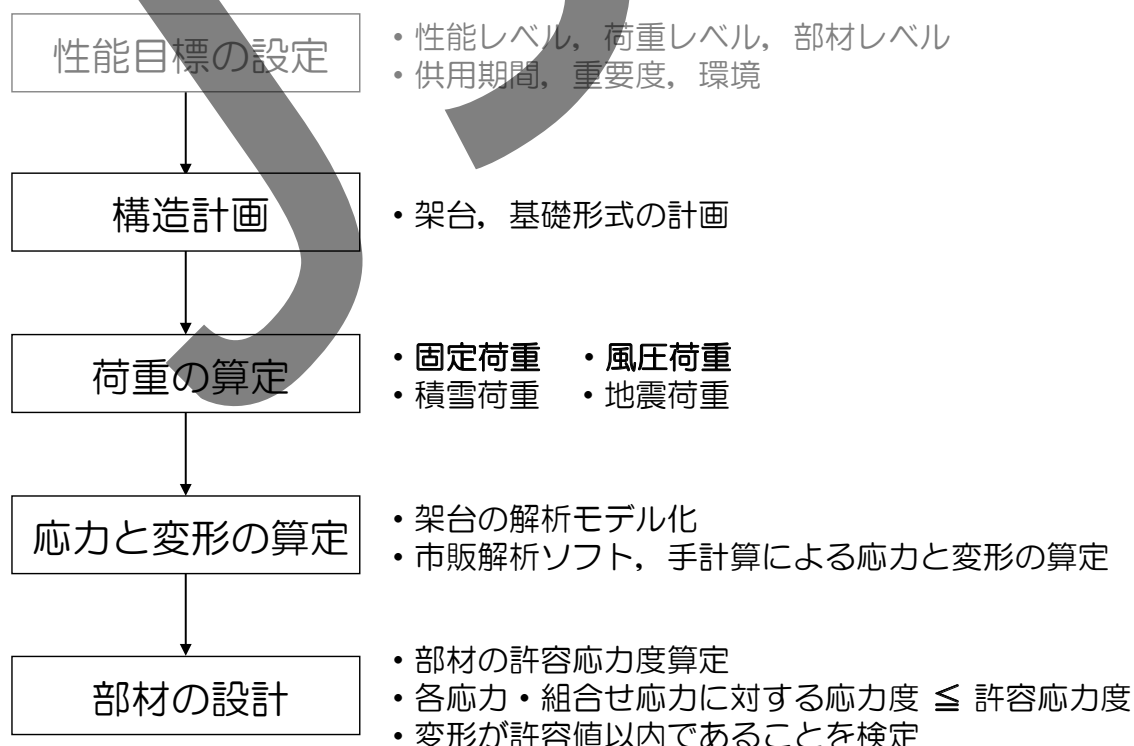
### ■本マニュアルの構造計算方針

- ①対象架台 : 鋼製架台およびアルミ製架台
- ②荷重算定 : 架台JISに準拠 (6節)
- ③応力と変形の算定 : 手計算や解析ソフトを用いる (7節)
- ④部材・基礎設計 : 許容応力度設計 (8, 10, 12節)
- ⑤部材設計の適用基準 : 建築基準法・学会指針類 (8, 10, 12節)
- ⑥許容応力度の算定 : 座屈等を考慮した評価式 (9節)
- ⑦応力度検定 : 幅厚比や断面控除を考慮した有効断面積 (11節)

## 5.3 耐風設計フロー

マニュアル P.72

### ■設定から部材設計までの流れ



## 5.4 性能目標の設定

マニュアル P.72

### ■荷重と強度の性能設定

①どの程度の規模の自然災害に耐えられるか？

→荷重の大きさの設定

②耐えるとはどのような状態か？

→荷重作用時の部材状態(強度レベル)の設定

架台JISにおける架台・基礎の安全性に対する耐風性能目標

| 荷重の大きさ                      | 部材の強度レベル               |
|-----------------------------|------------------------|
| 稀に発生する中程度の暴風<br>(再現期間50年相当) | 無被害<br>(部材の応力は許容応力度以内) |

※ 近年の台風で観測される最大風速 ≪ 架台JISの設計用基準風速  
⇒架台損傷が生じるのは強度計算方法が不適切である可能性

# 6章：風洞実験等による風荷重評価

6.1 風洞実験装置

6.2 実験気流

6.3 実験模型

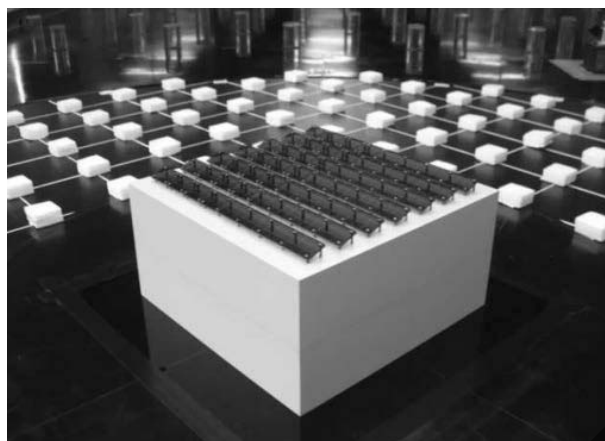
6.4 測定データの解析手法

6.5 数値流体計算の利用

マニュアル108～116頁

原稿執筆・スライド作成：  
清水建設 菊池 浩利 委員

## 実験模型：風圧模型



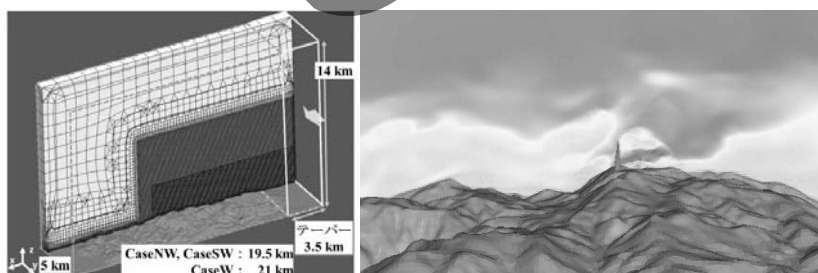
(a) 屋上に設置されるモジュール模型 (b) 風圧測定孔の配置

図6.9 屋上に設置されるモジュールの風圧実験模型

## 数値流体計算の利用

数値流体解析は、風洞実験とは異なり計算領域を広げることが可能であり、周辺地形の影響を含めた風速変化を評価することができる。

CFDの活用については、日本建築学会「建築物荷重指針を活かす設計資料2 CFD適用ガイド」を参照。



(a) 計算格子 (b) 風速分布  
図6.12 地形を考慮した流れ場の検討

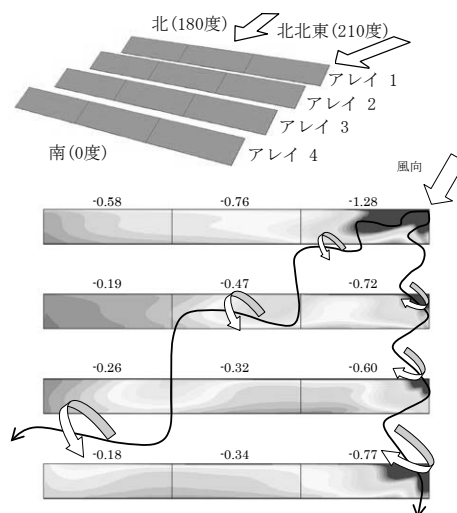


図6.13 CFDを用いたモジュールに作用する風力の評価

# 7章：載荷試験による耐力評価

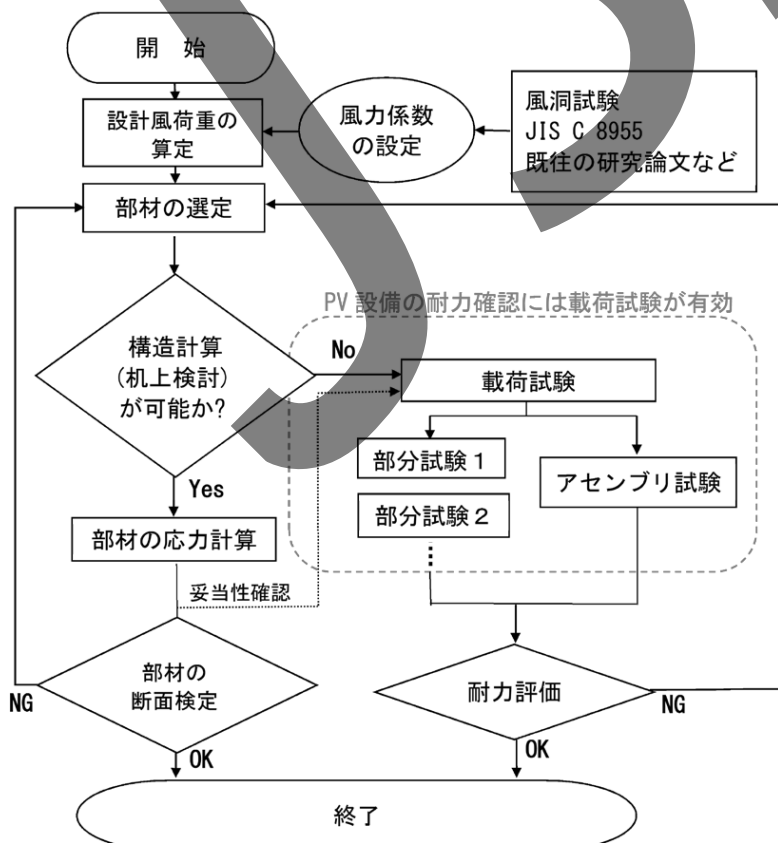
- 7.1 載荷試験の必要性
- 7.2 試験方法の選択
- 7.3 試験計画
- 7.4 試験の実施
- 7.5 試験結果と耐力評価
- 7.6 載荷試験の事例

マニュアル 118～134頁

原稿執筆・スライド作成：  
奥地建産 高森 浩治 委員

太陽光発電システム風荷重評価研究会

## 7.1 載荷試験の必要性 (p.118)



- 構造計算が難しい場合や、計算結果の妥当性を確認する場合には、載荷試験が実施される。
- 載荷試験には、部分試験とアセンブリ試験がある。

## 7.2 試験方法の選択 (p.120)

表7.3 部分試験とアセンブリ試験の  
メリット・デメリット

|       | 部分試験                                      | アセンブリ試験                                   |
|-------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| メリット  | ・試験体が小規模で試験が比較的容易である                      | ・実際の荷重の伝達経路を再現でき、より正確な耐力評価が可能である          |
| デメリット | ・部材毎の試験が必要<br>・各部材間の荷重伝達の状態を正確に再現することが難しい | ・試験を実施できる機関が少ない<br>・試験体が大きくなり、試験コストが高額になる |

## 8章：太陽電池アレイの風力係数に関する文献とその活用方法

8.1：アレイのピーク風力係数

8.2：アレイの平均風力係数

8.3：アレイの設計用風力係数

マニュアル135～138頁

原稿執筆：

竹中工務店 大竹 和夫 委員  
JFEスチール 安永 隼平 委員

スライド作成：

JFEスチール 安永 隼平 委員

- ・ 地上設置型のアレイ群を対象とした風洞実験結果を示した文献(文献中の最大・最小値)に基づき, アレイ支持物設計用風力係数を提案
- ・ 8.1: アレイの勾配とピーク風力係数の関係
- ・ 8.2: アレイの勾配と平均風力係数の関係
- ・ 8.3: アレイ支持物の設計用風力係数を提案

## 9章：今後の課題

- 9.1 風荷重算定に関する課題
- 9.2 耐風設計上のその他の課題
- 9.3 社会システムに関する課題