

太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト／

太陽光発電システムの安全確保のための実証／

耐風安全性および水害時感電防止を考慮した合理的設計手法の開発

高野 渉
(一社) 太陽光発電協会
奥地建産 (株)

2019年10月17日

問い合わせ先
奥地建産株式会社
E-mail:w_takano@okuji.co.jp
TEL:06-6243-3700

1. 期間

開始 : 平成 2 8 年 6 月
終了 : 平成 3 1 年 2 月

2. 最終目標

長期にわたり社会の財産となりうる構造安全性の高い太陽光発電設備を提供できるよう、
架台・基礎の設計基準となる「**地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン**」を作成する

3. 成果・進捗概要

- 太陽光発電システムの構造安全に係る研究開発（各種実証試験）
 - **各種実証試験**(架台・太陽電池モジュール・接合部・杭基礎・金属腐食)の実施
- 設計ガイドライン
 - 地上設置型太陽光発電システムの**設計ガイドライン 2 0 1 9 年度版**の作成
- 技術資料
 - **風圧荷重、積雪荷重**関連
 - 杭基礎上に設置される**架台のモデル化**
 - **各種実証試験**(架台・太陽電池モジュール・接合部・杭基礎・金属腐食)の結果
- 設計例
 - **鋼製架台**の設計例【一部修正・変更】
 - **アルミニウム合金製架台**の設計例

事業の成果・進捗概要

太陽光発電システムの構造安全に係る研究開発（杭の実証試験）

□ 杭の種類選定

- ✓ 鋼管杭に関する認定を取得しておらず、過去に試験の事例がないと思われるもの
- ✓ 太陽光発電システム用の杭市場の中で、比較的シェアの高い製品
- ✓ 過去に事事故例があるもの

□ 杭の実証試験の成果

- ✓ 2017年度までは6ヶ所で試験を実施
- ✓ 2018年度では不足しているとして、3ヶ所で試験を実施してデータを補填した
- ✓ 不足データの試験場所選定に関して、専門家からの助言

□ 杭の試験方法

- ✓ 押込 載荷試験
- ✓ 引抜 載荷試験
- ✓ 水平 載荷試験
- ✓ 施工不良を想定した検証



押込・引抜載荷 試験風景



水平載荷 試験風景

事業の成果・進捗概要

太陽光発電システムの構造安全に係る研究開発（杭の実証試験）

■ 杭の種類

杭の種類	外観図	備考
先端閉塞杭		Φ114.3
先端開放杭 (仮設単管等)		Φ48.6
スクリー杭 (大・小)		大 : Φ89.1 小 : Φ76.3
形鋼杭 (ハット形等)		108×100×26 t4.5

■ 各杭試験の状況



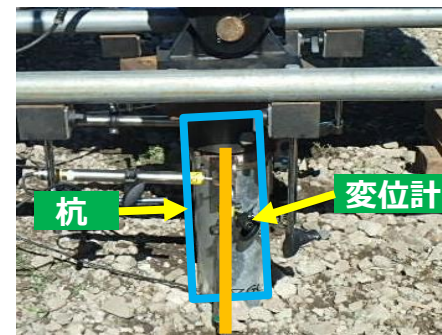
押込み試験



引抜き試験



水平試験



杭の施工不良 試験状況
(試験体が3°傾き)

出典：WEB

実証試験の結果については、**設計ガイドラインに反映**

事業の成果・進捗概要

太陽光発電システムの構造安全に係る研究開発（架台の実証試験）

□ 架台の種類選定

- ✓ 市場流通品の中で、比較的シェアの高い製品
- ✓ 構造形式の網羅性（一般的な構造形式だけでなく、比較的シェアの高い特殊な構造形式も選定）

□ 架台の実証試験の成果

- ✓ 2017年度までの試験では構造形式の網羅性を考慮し、6試験体（正圧・負圧）を実施
- ✓ 部分試験による接合部等の強度確認
- ✓ 2018年度では特殊ピン構造や特殊な接合（タッピングねじ等）の架台試験及び太陽電池モジュール単体試験を実施

□ 架台・太陽電池モジュールの試験方法

- ✓ 正圧荷重試験
- ✓ 負圧荷重試験



（大型）動風圧試験装置



（小型）動風圧試験装置

太陽光発電システムの構造安全に係る研究開発（架台の実証試験）

◆試験体の構造形式（10試験体を実施）

No.	構造形式	構造形式図		材質 段×列	No.	構造形式	構造形式図		材質 段×列
		側面	背面				側面	背面	
1	ピン構造			鋼製 4段2列	6	柱構造			アルミニウム製 + 鋼製 4段5列
2	ピン構造			アルミニウム製 4段5列	7	柱構造			アルミニウム製 + 鋼製 4段6列
3	方づえ + ピン構造			鋼製 4段4列	8	ピン構造			アルミニウム製 4段4列
4	ピン構造			鋼製 (単管パイプ) 4段4列	9	ピン構造			鋼製 4段6列
5	柱構造			鋼製 4段5列	10	ピン構造			アルミニウム製 4段5列

◆試験体の仕様

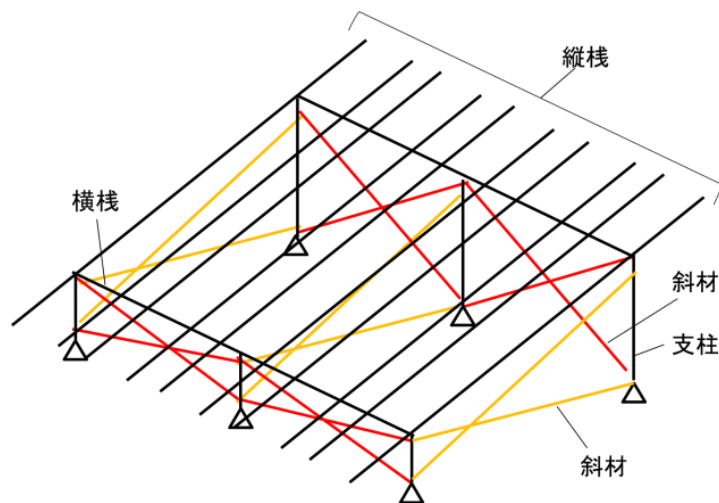
区分	項目	備考
設計用基準風速	34m/s	参考値。架台メーカーの仕様による
地表面粗度区分	Ⅲ	
垂直積雪量	50cm以下	参考値。架台メーカーの仕様による
雪の単位量	20N/m ² /cm	一般の地域
アレイ面傾斜角度	20度	



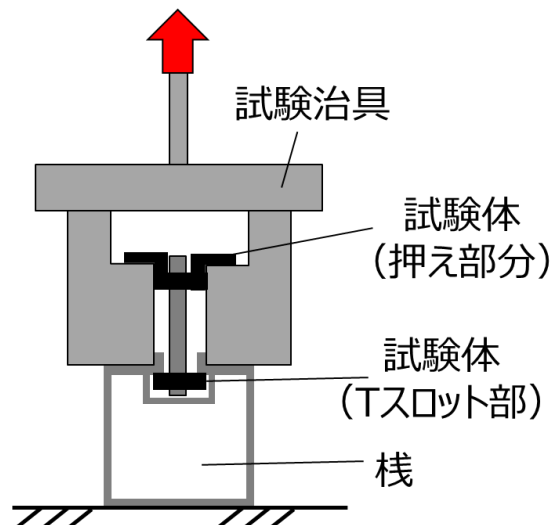
動風圧試験装置

事業の成果・進捗概要

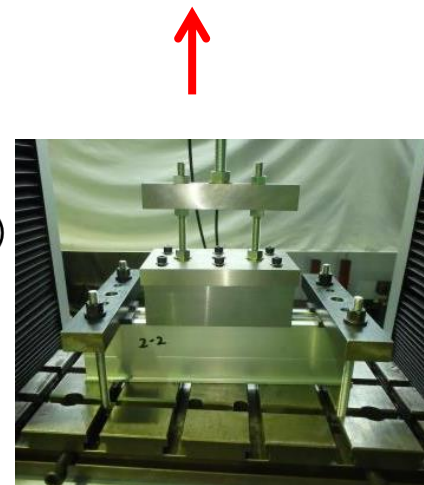
太陽光発電システムの構造安全に係る研究開発（架台の実証試験）



架台イメージ



試験体模式図（側面）



試験体 全景



タッピングねじのせん断破壊



柱脚部の破壊



押え部分の変形



Tスロット部の破壊

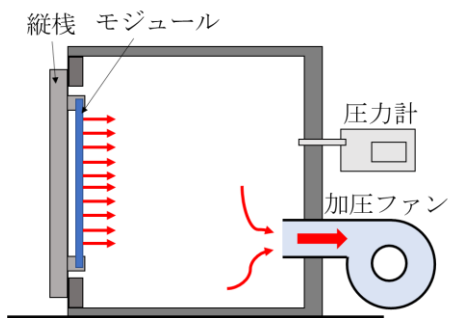
架台のアセンブリ試験後状況（代表）

架台の部分試験後状況（代表）

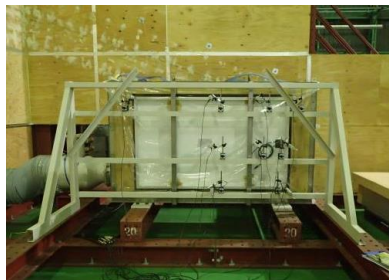
実証試験の結果については、**設計ガイドラインに反映**

事業の成果・進捗概要

太陽光発電システムの構造安全に係る研究開発（太陽電池モジュールの実証試験）



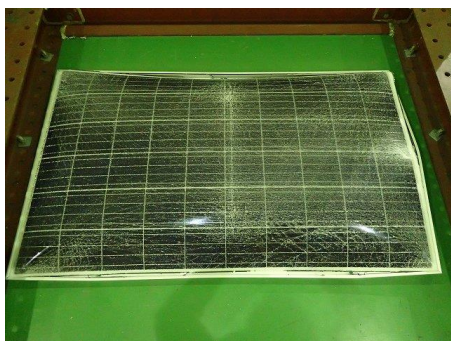
試験概要
(負圧载荷を示す)



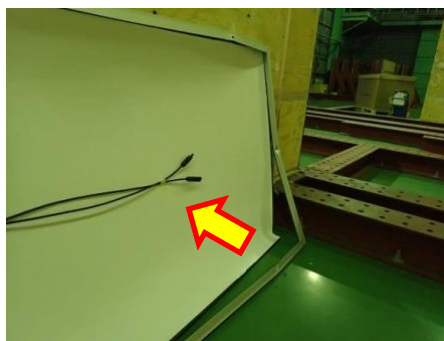
試験風景

No.	長さ (mm)	幅 (mm)	厚み (mm)	固定 方法	メーカー保証耐力 (Pa)		備考
					正圧	負圧	
1	1960	992	40	M8ボルト	2400	-2400	
2	1664	998	6	押え金具	2400	-2400	フレームレス
3	1650	992	35	M8ボルト	5400	-2400	
4	1638	826	40	M8ボルト	2400	-2400	
5	1662	990	46	M8ボルト	2400	-2400	
6	1652	994	46	M8ボルト	2400	-2400	
7	1650	991	40	M8ボルト	2400	-2400	
8	1257	977	35	M8ボルト	2400	-2400	

試験体一覧



ガラス面の抜け



ボルト孔のせん断破壊



太陽電池モジュールの試験後状況（代表）

実証試験の結果については、**設計ガイドラインに反映**

事業の成果・進捗概要

太陽光発電システムに関する耐食性評価・腐食対策技術の開発（大気暴露試験）

◆ 暴露試験から腐食量の予測 ◆

- 遮へい暴露試験を継続実施、データ収集
- 各種腐食量予測曲線の妥当性を検討

妥当性：○

妥当性：×

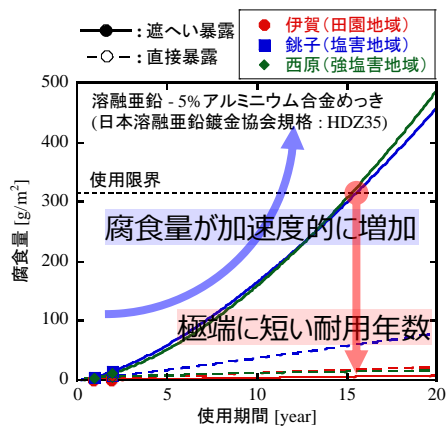
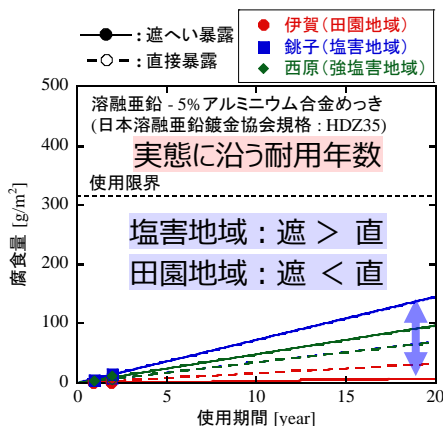


図 同じデータから異なる推定方法で描いた腐食予測曲線の違い（例）

表 試験片一覧

試験片No.	表面処理名	規格 種類の記号	規格上の めっき付着量 [g/m ²]
1	溶融亜鉛めっき	JIS H 8641 HDZ55	550 (片面)
2	溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき	日本溶融亜鉛鍍金協会規格 HZA35	350 (片面)
3	溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板	JIS G 3323 SGMH400 K27	275 (両面)
4	溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板	JIS G 3323 SGMH400 K27	275 (両面)
5	溶融55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板	JIS G 3321 SGLCC AZ150	150 (両面)

◆ 耐用年数の予測 ◆

- 腐食量予測曲線を用いて耐用年数を推定
- 耐食性の指標を作成

表 直接暴露試験結果から推定された耐用年数

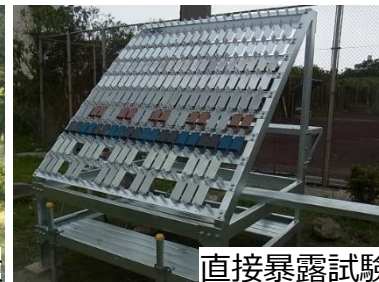
[year]

試験片No.	1	2	3	4	5
暴露試験場					
伊賀（田園地域）	100以上	100以上	58.31	100以上	26.55
銚子（塩害地域）	81.12	98.25	37.64	45.86	17.64
西原（強塩害地域）	82.47	91.45	36.76	63.14	13.31

表 遮へい暴露試験結果から推定された耐用年数

[year]

試験片No.	1	2	3	4	5
暴露試験場					
伊賀（田園地域）	100以上	100以上	100以上	100以上	20.49
銚子（塩害地域）	43.37	46.80	23.47	26.16	7.62
西原（強塩害地域）	71.16	65.13	25.95	54.44	9.62



- ✓ 耐食性評価期間の短縮し、各種表面処理鋼材の耐用年数を推定し、設計ガイドラインに反映

事業の成果・進捗概要

太陽光発電システムに関する耐食性評価・腐食対策技術の開発（土壌暴露試験）

◆ 暴露試験から各深度の腐食速度測定 ◆

- 土壌暴露試験の継続実施、経過観察
- 各深度の腐食減量測定、腐食速度の算出
- 有効な腐食しろの値を算出

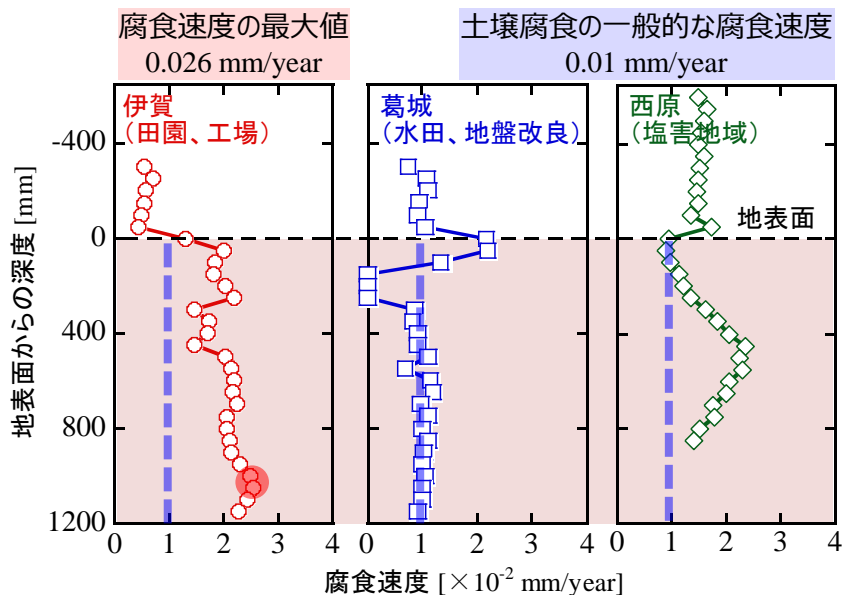


図 土壌中各深度の腐食減量から求められた
各深度の平均腐食速度

◆ 鋼製杭基礎の腐食対策 ◆

- 表面処理の有効性確認
- 腐食しろ以外の腐食対策の検討

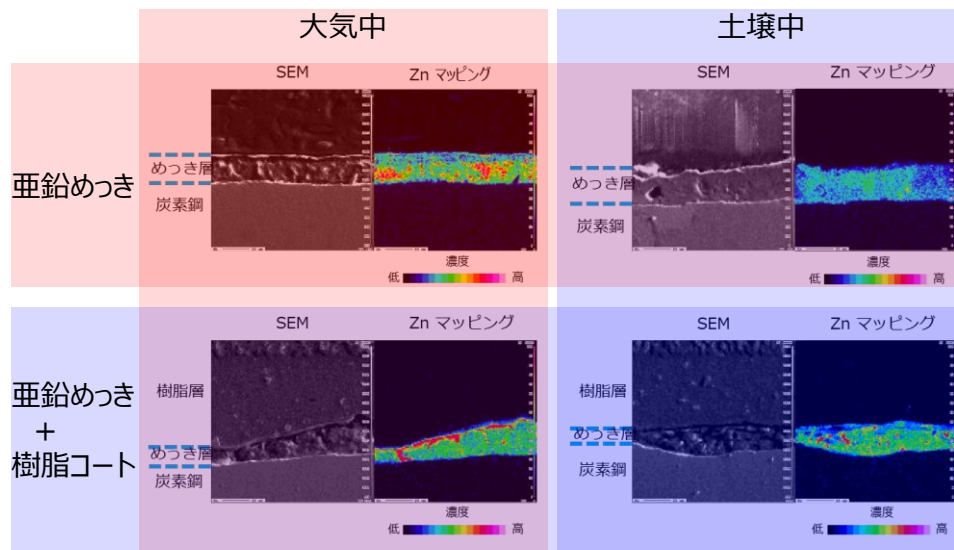


図 表面処理を施した一般構造用炭素鋼鋼管を
浅層土壌中で1年間暴露後の断面観察結果

- ✓ 土壌腐食による腐食量はバラツキが大きい
- ✓ 浅層土壌中では一般的な土壌腐食以上に腐食
- ✓ 片面1 mmの腐食しろが必要

(0.03 mm/year × 20年 × 安全率1.5)

▶ 設計ガイドラインへ反映

- ✓ 溶融亜鉛めっきの土壌中での有効性は低い
- ✓ 土壌中では金属表面を露出させないことが重要
- ▶ 設計ガイドラインに反映

地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年度版の策定 (2017年度版からの改訂)

- 「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドラインは、2017年に主に建築・土木関連の各種規基準を基に太陽光発電システムに適用できる内容を抽出・選定して策定した。
- 2019年版の設計ガイドラインでは、2017年版公表後に実施した架台・基礎・太陽電池モジュール・金属腐食等の実証試験によって得られた知見を基に、学識経験者による検討委員会で議論を重ね、太陽光発電システムへの適用性をより向上させた内容に改訂した。
- 構造設計に有用な情報提供を目的とし「技術資料」や付録で「構造設計例」の充実に図った。

地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年度版の策定

- 2017年版から2019年版での主な追加・変更内容は次のとおり

□ 設計ガイドライン本文

- 造成、排水計画【追加】
- 条例等による環境影響評価の要求確認【追加】
- 地盤調査ポイント数の目安【変更】
- 傾斜地での風速増加の考慮【追加】
- 積雪後の降雨による積雪荷重【追加】
- 使用材料の規定【追加】
- 架台設計【変更・追加】
 - ✓ 応力算定方法
 - ✓ 部材設計の考慮事項
 - ✓ 許容応力度算定
 - ✓ 接合部設計での考慮事項
 - ✓ 部材応力度の検定方法
- 基礎の設計【変更・追加】
 - ✓ 杭基礎設計における水平抵抗力および水平変位の考慮
 - ✓ 杭状補強
- 腐食・防食【変更・追加】
 - ✓ 腐食形態と防食方針
 - ✓ 大気中（架台）の腐食と防食
 - ✓ 地中部（鋼杭）の腐食と防食
 - ✓ 管理・点検・メンテナンス

□ 設計例

- 鋼製架台の設計例【一部修正・変更】
- アルミニウム合金製架台の設計例【追加】

□ 技術資料

- 風圧荷重、積雪荷重関連【追加】
- 杭基礎上に設置される架台のモデル化【追加】
- 各種実証試験（架台・太陽電池モジュール・接合部・杭基礎・金属腐食）の結果【追加】