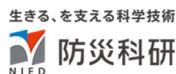
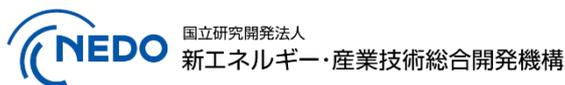


営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン

2023 年版

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。

2023 年 4 月 28 日



はじめに

2021年10月に閣議決定された第6次エネルギー基本計画において、2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、「再生可能エネルギーの主力電源化を徹底し、再生可能エネルギーに最優先の原則で取り組み、国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入を促す。」とされ、具体的には「地域と共生する形での適地確保、コスト低減、系統制約の克服、規制の合理化、研究開発などを着実に進めていく。こうした取組を通じて、国民負担の抑制や、電力システム全体での安定供給の確保、地域と共生する形での事業実施を確保しつつ、導入拡大を図っていく。」との方針が示されました。さらには、昨年2月のロシアによるウクライナ侵略以降、エネルギー安定供給の確保が世界的に大きな課題となる中、GX（グリーントランスフォーメーション）を通じて脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の3つを同時に実現するべく、2023年2月に「GX実現に向けた基本方針」が閣議決定され、再生可能エネルギーについては、改めてその重要性が強調されている状況にあります。

こうした中で、特に、太陽光発電については、2012年のFIT制度開始後に急速に拡大した一方で、台風、積雪、豪雨など自然事象による被害が少なからず発生しており、太陽光発電設備の安全性に対する地域の懸念が高まっています。

このような状況の下、これまでに国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、太陽光発電システムの自然災害や経年劣化に対して安全性と経済性を確保するため「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2017年版」を作成、その後架台や基礎の強度や腐食の進行に関する実証実験を行い、その結果を基に、より合理的かつ安全性の高い設計方法を盛り込んだ「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年版」（<https://www.nedo.go.jp/content/100895022.pdf>）を公開してきました。

他方、近年では太陽光発電の建設に適した場所の減少に伴い、傾斜地や農地、さらには水上へと太陽光発電の設置環境が拡大しています。これらの特殊な設置環境での太陽光発電は、一般的な地上設置型の太陽光発電より設計や施工上の難易度が高く、地方自治体の条例において太陽光発電への要求事項として安全対策が求められつつありますが、それらを満足させる方法については具体的に示されていません。その背景には、これらの設備の設計・施工に関する知見が極めて少なく、また、その知見が集約されてこなかったことにあります。

このため、NEDOの委託事業「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発／安全性・信頼性確保技術開発（特殊な設置形態の太陽光発電設備に関する安全性確保のためのガイドライン策定）」の一環としてこれまでに得られた知見をまとめ、「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2019年版」に上記の特殊な設置環境の構造設計、電気設計・施工の項目を加えた設計・施工ガイドラインを2021年11月に公開しました（https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100060.html#sp）。その後、各種設置形態への適用性をより向上させるため、各種実証実験結果などを反映し、ガイドラインを改定

しました。本ガイドラインが今後、上記の環境における太陽光発電設備の設置で参考になれば幸いです。

最後になりましたが、本ガイドラインの作成にあたり、「太陽光発電の安全性・信頼性確保技術推進委員会」の皆様をはじめ、経済産業省、NEDO事業に参加頂いている企業や研究機関など、多くの方々のご協力を賜りました。この場をお借りして、厚くお礼を申し上げます。

本ガイドラインの位置付け

		法規制	規格	ガイドライン
構造設備	構造物 建物設置	<ul style="list-style-type: none"> 電気事業法 電技省令 電技解釈及び解説 発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令 発電用太陽電池設備に関する技術基準の解釈 発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈に関する逐条解説 	JIS C 8955 : 2017	日本風工学会 ハンドブック
	地上設置			地上設置型 設計ガイドライン
	傾斜地設置			太陽光発電システムの設計・ 施工ガイドライン (傾斜地設置型・営農型 ・水上設置型)
	水上設置			
	営農型設置			
電気設備	太陽電池モジュール	<ul style="list-style-type: none"> 急傾斜地法（指定の有無） 	JIS C 8992、8954、8951 IEC JIS C 8980、8961 IEC、JESC系統連携規定	JPEA 水没安全 ガイド AIST 直流電気安全 手引きと技術情報
	周辺機器	<ul style="list-style-type: none"> 農地転用に係る取扱通知 (営農型太陽光発電) 		
施工管理	一般			JPEA 設計と施工 改訂5版
保守管理	発電能力 安全性	<ul style="list-style-type: none"> 改正FIT(点検・保守) 	JIS C 8907、8953	JPEA 保守点検ガイドライン
	設備維持			JPEA 事業の評価ガイド 経産省 事業計画策定ガイドライン

本書作成関係委員会

—五十音順・敬称略—

特殊な設置形態の太陽光発電設備に関する安全性確保のためのガイドライン策定委員会

委員長	植 松 康	(秋田工業高等専門学校)
副委員長	西 川 省 吾	(日本大学)
委員	植 田 讓	(東京理科大学)
	飯 嶋 俊比古	(飯島建築事務所)
	居 駒 知 樹	(日本大学)
	奥 田 泰 雄	(建築研究所)
	重 光 達	(大成建設)
	篠 原 正	(腐食防食学会)
	田 村 良 介	(NTT ファシリティーズ)
	土 屋 星	(三井住友建設)
	馬 上 丈 司	(千葉エコ・エネルギー)
	鈎 裕 之	(東京電気管理技術者協会)
	松 浦 純 生	(京都大学防災研究所)
	宮 本 裕 介	(関電工)
	安 富 強	(京セラ) ※途中交代
	後 藤 耕司	(京セラ)
	山 崎 雅 弘	(関西大学) ※途中交代
	金 子 治	(広島工業大学)
	山 中 秀 文	(大阪ガス)
事務局	井 上 康 美	(太陽光発電協会)
	榎 本 哲 也	(デロイトトーマツコンサルティング)
	大 関 崇	(産業技術総合研究所)
	高 森 浩 治	(構造耐力評価機構)
	渡 辺 健 二	(八千代エンジニアリング)
	中 村 大	(北見工業大学)
	大 野 慶 詞	(キョーラク株式会社)
(再委託先)	安 達 聖	(防災科学研究所)
	谷 口 徹 郎	(公立大学法人大阪 大阪公立大学)
	千 葉 隆 弘	(北海道科学大学)
オブザーバー	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構	
	新エネルギー部 太陽光発電グループ	
	経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部	
	新エネルギー課	

経済産業省 商務情報政策局 産業保安グループ 電力安全課
環境省 大臣官房 環境影響評価課
農林水産省 林野庁 森林整備部 治山課
独立行政法人 製品評価技術基盤機構
一般社団法人 再生可能エネルギー長期安定電源推進協会
一般社団法人 太陽光発電協会（太陽光発電事業者連絡会、
公共産業部会、O&Mスマート保安タスクフォース）
一般社団法人 電気設備学会
一般社団法人 日本太陽光発電検査技術協会
一般社団法人 日本電気協会
一般社団法人 日本電機工業会
株式会社資源総合システム

風荷重WG（◎主査、○幹事）

- | | |
|---------------------|-------------------|
| ◎ 植松 康（秋田工業高等専門学校） | ○ 高森 浩治（構造耐力評価機構） |
| 相原 知子（大成建設） | 井上 康美（太陽光発電協会） |
| 大関 崇（産業技術総合研究所） | 大竹 和夫（竹中工務店） |
| ガヴァンスキ江梨（構造耐力評価機構） | 菊池 浩利（清水建設） |
| 木村 吉郎（東京理科大学） | 作田美知子（三井住友建設） |
| 染川 大輔（大林組） | 谷口 徹郎（大阪公立大学） |
| 田村 良介（NTT ファシリティーズ） | 中川 尚大（前田建設工業） |
| 松本 知大（建材試験センター） | 丸山 敬（京都大学） |
| 山本 学（鹿島建設） | 吉田 昭仁（東京工芸大学） |

オブザーバー

- | | |
|--------------------|----------------|
| 小西 康郁（東北大学流体科学研究所） | 奥地 誠（構造耐力評価機構） |
|--------------------|----------------|

目次

はじめに.....	i
本書作成関係委員会.....	iii
1. 総 則	4
1.1 本ガイドラインの利用上の注意	4
1.2 適用範囲	4
1.3 引用規格、参考資料	5
1.4 用語・記号の定義	5
1.5 構造設計方針	9
1.6 電気設計方針	10
1.7 施工管理方針	11
1.8 営農型太陽光発電を開始するにあたっての手続き	11
2. 被害事例	14
2.1 強風被害	14
3. 構造設計・施工計画	15
3.1 設計フロー（構造）	15
3.2 施工フロー（構造）	16
4. 電気設計・施工計画	17
4.1 設計フロー（電気）	17
4.2 施工フロー（電気）	17
4.3 資料調査	18
5. 事前調査	19
5.1 現地調査（目視調査）	19
5.2 地盤調査	21
5.2.1 原位置試験	21
5.2.1 スクリューウェイト貫入試験（SWS試験）	23
5.2.2 標準貫入試験	23
5.2.3 ラムサウンディング試験	24
5.2.4 簡易動的コーン貫入試験	24
5.2.5 土検棒貫入試験	25
5.2.6 平板載荷試験	25

5.2.7 凍上対策の検討.....	25
5.3 農地の利用状況と農作物の調査.....	30
6. 太陽電池アレイの配置計画.....	33
6.1 全体配置計画.....	33
6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離（遮光率と農作物の関係）.....	34
7. 設計荷重.....	36
7.1 想定荷重と荷重の組合せ.....	36
7.2 固定荷重.....	36
7.3 風圧荷重.....	37
7.4 積雪荷重.....	42
7.5 地震荷重.....	43
8. 使用材料.....	44
8.1 鋼材.....	44
8.2 アルミニウム合金材.....	44
8.3 コンクリート.....	44
8.4 その他材料.....	45
9. 架台設計.....	46
9.1 架台設計の注意点（農作業空間の確保、農業機械衝突への配慮）.....	46
9.2 架構形式と構造解析モデル.....	46
9.3 構造計算.....	47
10. 基礎の設計.....	49
10.1 農地における基礎設計の注意点.....	49
10.2 基礎形式.....	49
10.3 杭基礎の設計.....	49
10.4 直接基礎の設計.....	52
11. 腐食防食.....	54
11.1 営農環境における腐食の注意点（湛水、散水、薬品などの影響）.....	54
11.2 架台の腐食と防食.....	54
11.3 基礎（杭基礎）の腐食と防食.....	54
12. 電気設備の設計：営農型における電気設計の注意点.....	56

12.1 感電防止対策に関する注意点	56
12.2 電気機器の紫外線・雨水対策に関する注意点	58
12.3 農作業による配線切断対策に関する注意点	58
12.4 営農環境における電気機器の腐食の注意点	59
12.5 保守点検を考慮した電気設備計画	59
13. 施工	61
13.1 一般共通項目	61
13.2 基礎架台工事	63
14. 維持管理計画	64
14.1 一般共通事項	64
14.2 農作物（収穫量）	64
14.3 電気設備	65
14.4 緊急時の対応（設計時における配慮事項）	65

1. 総 則

1.1 本ガイドラインの利用上の注意

本ガイドラインは、太陽光発電システムの構造および電気に関する設計・施工の要求事項について、建築、土木、電気などの各分野における既往の基規準、指針などの文献をもとに取りまとめたものである。そのため、本ガイドラインでは多くの文献を引用しているが、全について詳述できないことから、その趣意、要点、概要についての記載にとどめている。これらについての詳細な内容や解説などについては、引用元の文献を参照されたい。また、構造と電気に関するそれぞれの記載内容については、次のような方針で執筆しているため、これらを理解の上、本ガイドラインを利用して頂きたい。

- ・ 構造関連：基本事項の概要と営農型太陽光発電システム特有の内容について記載する。
- ・ 電気関連：基本事項については省略し、営農型太陽光発電システム特有の内容のみを記載する。

1.2 適用範囲

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. 本ガイドラインは、農地に設置される地上設置型太陽光発電システムに適用する。2. 対象とする基礎は、鉄筋コンクリート造の直接基礎または杭基礎とする。3. 架台の構造は、鋼構造またはアルミニウム構造とする。4. 構造設計は、許容応力度設計法に基づいて行う。5. 太陽電池アレイの最高高さが9mを超えるシステム、追尾型システムおよび畜舎・園芸施設などに設置されるシステムは除外する。 |
|---|

対象とする太陽光発電システムは、30農振第78号農林水産省農村振興局長通知「支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて」（以下「農振局長通知」と称する）にもとづき、農地転用許可を受けた農地に設置されるものに限る。なお、最高高さが9mを超える太陽光発電設備、追尾型システムおよび畜舎や園芸施設などに設置される太陽光発電設備は本ガイドラインの適用範囲外とした。

本ガイドラインの適用範囲内である最高高さが9m以下の太陽光発電設備においても最高高さがおおむね4mを超えるような設備については、国内で多く見られる架台や基礎の仕様では構造強度の確保が難しいと推察されるため、本ガイドラインの要求のほか特別な配慮が必要である。

1.3 引用規格、参考資料

- ・ 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」
- ・ JIS C 8960:2012 「太陽光発電用語」
- ・ IEC 62548:2016 Photovoltaic (PV) arrays - Design requirements
- ・ 内線規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 配電規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 高圧受電設備規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 系統連系規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 自家用電気工作物保安管理規程、一般社団法人日本電気協会
- ・ 公共・産業用太陽光発電システム手引書、一般社団法人太陽光発電協会
- ・ 太陽光発電システムの設計と施工 改訂5版、一般社団法人太陽光発電協会
- ・ 太陽光発電システム保守点検ガイドライン、一般社団法人日本電機工業会・一般社団法人太陽光発電協会 技術資料

1.4 用語・記号の定義

I E C	国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission）。電気および電子技術分野の国際規格の作成を行う国際標準化機関で、各国の代表的標準化機関から構成されている。
圧密	荷重の作用により土が長い時間をかけて排水しながら体積を減少させる現象。これによる沈下を特に圧密沈下という。
液状化	砂質土等の地盤で、地震動の作用により粒子間の水圧が急上昇して、液体のようになる現象。
含水比	ある容積の土に含まれる水の質量の、土粒子だけの質量に対する比率を百分率で表した数値。
基礎	直接基礎と杭基礎とを総称したもの。
基礎スラブ	直接基礎の構造部分で、上部構造からの荷重を分散して地盤に伝達するために必要な面積を確保するスラブまたは片持ちスラブ。底盤、フーチング、ベースともいう。
極限（鉛直）支持力	構造物を支持し得る最大の鉛直方向抵抗力。地盤の支持力のみを指す場合は、地盤の極限支持力（度）とも呼ぶ。
局部腐食	材料表面の腐食が均一ではなく、局部的に集中して生じる腐食であり、一部に極端な腐食が生じる現象。
許容（鉛直）支持力	極限（鉛直）支持力を安全率で除した値で、かつ、部材が許容される応力度以内にあるときの鉛直力。地盤の抵抗力のみを指す場合は、地盤の許容応力（度）とも呼ぶ。
切土	自然斜面地盤の土砂・岩石を取り除いて造成された地盤。
均一腐食	材料表面の大部分にほぼ均一に生じる腐食。全面腐食ともいう。

杭基礎	基礎杭に架台を連結して、架台からの荷重を、杭を介して地盤に伝える形式の基礎。一般的な建築工事のように鉄筋コンクリート基礎の補強として杭を使用する場合は、これを補強杭工法として区別する。
杭の水平載荷試験	杭の頭部に水平力を加える静的な載荷試験。
傾斜角（度）	本ガイドラインでは、アレイ面の水平面からの傾斜の度合いを示し、角度（度）で表す。地盤について用いられる場合もある。
系統連系	自家発電設備を商用電力系統に接続して、運転できるようにすること。連系している商用電力系統の電圧階級および形態によって、低圧連系、高圧連系、特別高圧連系、スポットネットワーク連系などに区分することもある。
原位置試験	原状の地盤において行う土の性質を調べる試験。
洪積層	更新世の時代に堆積した地層。主に台地・段丘を構成している。
勾配	地盤等の水平面からの傾斜の度合い。水平距離と高さの比率で表すことが多い。屋根面の傾斜の度合いを表すこともある。
地盤改良	地盤強度の増大ならびに沈下の抑制等に必要な土の性質の改善を目的とし、土に締固め・脱水・固結・置換等の処理を施すこと。
地盤沈下	地盤が地下水の汲みあげや地盤への載荷等のために広範囲にわたって沈下すること。
除錆処理	腐食減量等を求める際に試験片から腐食生成物を除去する方法。腐食生成物を電解によって除去する場合、材料やめっきによって用いる溶液や浸漬時間等が異なる。
水平地盤反力係数	地盤中の任意の位置における水平応力と変位量の関係から得られる割線勾配。
スラブ	鉛直方向の荷重を支持する床盤・底盤。
正圧	一般に物体表面を押す方向に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、アレイの上面を押す方向の風圧力（風力）をいう。また、正圧が生じる風向を順風と呼ぶ。
接続箱	複数のストリング出力側と負荷側とを、又は複数のアレイ出力側と負荷側とを端子で中継し、必要に応じて逆流防止素子、直流開閉器等を収納した密閉箱（中継端子箱、集電箱）。
大気暴露試験	試験片を一定期間屋外にさらして、自然環境下での腐食、さび、劣化等の状態を調べる試験。屋外暴露試験、耐候性試験ともいう。材料が使用される実環境下で実施するため、現場に即した耐候性評価が可能な唯一の試験方法である。
大気腐食	材料が陸上大気環境中の屋外で使用された場合に発生する腐食。
耐候性	屋外で使用される材料は大気環境中の塩分、光、熱、水分等の影響を受けて腐食する。耐食性のうち、特にこのような大気環境による腐食（大気腐食）に耐える性質。
耐食性	材料が腐食に耐える性質。

沖積層	完新世の時代に堆積した地層。主に低地を構成している。
太陽光発電	太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。光起電力効果を利用した太陽電池を用いるのが一般的である。
太陽光発電システム	光起電力効果によって太陽エネルギーを電気エネルギーに変換し、負荷に適した電力を供給するために構成された装置及びこれらに附属する装置の総体。法令により、太陽光発電設備、太陽電池設備等、様々な呼称が用いられる。
太陽電池パネル	現場取付けができるように複数個の太陽電池モジュールを機械的に結合し、結線した集合体。
太陽電池	太陽光等の光の照射を受けてそのエネルギーを直接電気エネルギーに変える半導体装置。光起電力効果を利用した光電変換素子の一種。太陽電池セル、太陽電池モジュール、太陽電池パネル、太陽電池アレイ等の総称として用いる場合もある。
太陽電池アレイ	太陽電池架台および／または基礎、その他の工作物を持ち、太陽電池モジュールまたは太陽電池パネルを機械的に一体化し、結線した集合体。太陽光発電システムの一部を形成する。
太陽電池架台	太陽電池モジュールまたは太陽電池パネルを取り付けるための支持物。本ガイドラインでは単に「架台」とも呼ぶ。
太陽電池モジュール	太陽電池セルまたは太陽電池サブモジュールを耐環境性のため外囲器に封入し、かつ規定の出力をもたせた最小単位の発電ユニット。
地際部	鋼管杭が地面と接するところ。本ガイドラインでは、地表面から深度 200mm 程度の範囲とした。
直接基礎	基礎スラブからの荷重を直接地盤に伝える形式の基礎。
転倒モーメント	構造物の基部において構造物を転倒させる方向に作用するモーメント。
独立基礎	単一柱からの荷重を独立したフーチングによって支持する基礎。
土質試験	試掘やボーリングによって採取された試料を対象として行う土の物理的性質や力学的性質等の室内試験の総称。
塗装	材料表面に塗料を塗ることで、材料に他の性質を付加する表面処理法。塗装による耐食性は材料表面と腐食因子との接触を防ぐことで得られる。
凍上	地盤が凍結する過程で、地盤中に発生したアイスレンズの成長によって、地盤が膨張すること。
凍結深さ	冷却される地表面から地盤中の 0℃ の等温面（凍結線）までの距離。
凍結指数	0℃ 以下の気温と時間との積を冬の凍結期間にわたって累積したもの。凍結指数を求める方法としては、日平均気温の累積曲線を求め、その極大値と極小値の差として求めるのが最も一般的である。単位は[℃・day]で表される。
軟弱地盤	構造物の支持地盤として十分な支持力をもたない地盤。

根入れ深さ	地表面から基礎スラブ下端までの掘削深さ。
パワーコンディショナ（PCS）	主幹制御監視装置、直流コンディショナ、インバータ、直流/直流インタフェース、交流/交流インタフェース、交流系統インタフェース等の一部または全てから構成され、太陽電池アレイ出力を所定の電力に変換する機能を備えた装置。Power Conditioning sub-System（PCS）。
表面処理	材料表面に耐食性や耐摩耗性、意匠性等、他の性質を付加することを目的として、めっきや塗装等を施す加工。
飛来塩分	海浜地帯で潮風によって運ばれてくる塩分。一般に飛来塩分量は離岸距離が大きくなるほど減少するが、地形条件や気象条件に影響を受けるため、注意を要する。また、積雪地域では融雪材が塩分であることもあるので、本ガイドラインでは融雪材の塩分も飛来塩分に含める。
フーチング	建物の基礎にかかる荷重を分散するために基部を幅広くしたもの。
負圧	一般に物体表面を引く方向に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、アレイの上面を引く方向の風圧力（風力）をいう。また、負圧が生じる風向を逆風と呼ぶ。
風圧荷重	風圧力による荷重。厳密には、風圧力とその作用による構造物の応答も含めて評価した荷重。
風圧力	一般に風の中に存在する物体表面に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、風によって物体に作用する力（風力）として用いられ、単位面積当たりの力で表す。
風洞実験	模型あるいは実物の試験体が風から受ける圧力、力、変形、あるいはその周辺の気流性状を調べるために風洞を用いて行なう実験。
腐食	材料がそれを取り囲む環境物質によって、化学的または電気化学的に侵食されるか若しくは物質的に劣化する現象。
腐食形態	腐食要因ごとに共通している特徴的な様子。
腐食減量	腐食試験後の試験片を除錆処理してその重さを量り、試験前の試験片重量と比較して求められる値。腐食量ともいう。腐食により失われた材料の量を意味する。また、腐食減量は電気化学的手法による腐食電流密度の測定により推定されることもある。
腐食生成物	腐食によって生成した物質。通常は固体物質を指し、材料表面に付着するか、または、環境中に分散して存在する。一般的には錆（さび）という。
不同沈下	構造物の不均一な沈下で、沈下形状は一体傾斜と変形傾斜に分類される。傾斜角、変形角、相対沈下量等で評価する。
フランジ	H形やI形の断面で張り出している板部分。または管の外周に張り出しているつば状の部分。
不陸	平坦でないこと。本来は水平でないことを意味するが、水平面以外でも平坦でない場合に用いられる場合がある。

変形角	構造物の途中から変化する傾斜角の相互の差。通常、それぞれの傾斜角の差をラジアンで示す。
防食	材料が腐食することの防止。
めっき	材料表面を金属や非金属の薄膜で被覆することにより、材料に他の性質を付加する表面処理法。被覆方法で、湿式めっき、熔融めっき、乾式めっきに分類できるが、本ガイドラインでは熔融めっきのみを扱っているため、熔融めっきを指す。
盛土	自然斜面地盤の上に土を盛り上げて造成された地盤。
擁壁	切土または盛土等の安定を図るために、土圧に抵抗する壁体構造物。
粒度	土に含まれる大小粒子の混合の程度。
連続基礎・布基礎	一連の柱からの荷重を連続した基礎梁（またはフーチングおよび基礎梁）によって支持する基礎。

1.5 構造設計方針

1. 架台、基礎および部材間の接合部は、稀に起こる地震・暴風・大雪に対して許容応力度設計を行うことを基本とする。
2. 架台、基礎および太陽電池モジュールの配置は、下部の農地における営農に支障をきたさないよう計画する。
3. 架台および基礎の長期耐久性に関する要求性能は、目標を定めて設計・施工および保全がなされるよう設計時に配慮する。
4. 架台および基礎は容易に撤去できる構造とする。
5. 対象とする農地が傾斜地である場合、別途、傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版¹⁻¹⁾の支持物に関する要求についても満足させる。また、必要に応じて排水計画についても検討する。
6. 関係法令および各地方自治体による条例、施行規則およびこれらに基づく設置許可申請の手引き等での要求事項については、別途適合させる。
7. 設計図書を作成し、保管する。

架台および基礎の構造設計については、電気事業法、発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令（以下、「太技」）などの関連法令を遵守するとともに、発電用太陽電池設備の技術基準の解釈（以下「太技解釈」）、発電用太陽電池設備の技術基準の解釈の解説（以下「太技解釈の解説」）での要求を満足させることとする。また、設計にあたっては、JIS、建築基準関連法令、建築・土木の各種学会の基規準・指針等を参照する。

太陽電池モジュールの支持物は、許容応力度設計を基本とするが、農地の一時転用終了後には太陽光発電システムを撤去する必要があるため、容易に撤去できる架台および基礎とする必要がある。対象農地が傾斜地である場合には、傾斜地設置型太陽光発電システムの設

計・施工ガイドライン¹⁾のうち、支持物（架台・基礎）に関する要求についても満足させることとした。また、農地における排水については既存設備として整備されているものと推測されるが、アレイの設置によって雨水等の流出経路や流出量が増加すると予想されるので、必要に応じて排水の追加、変更について検討する。

1.6 電気設計方針

1. 電気事業法関連法令を遵守する。
2. 内線規程、配電規程、系統連系規程、J I Sなどの関連の規格を参照して設計する。
3. 設計図書を作成し保管する。
4. 電気設備の下で作業を行う農業作業員に対して、リスクを十分周知する。

電気設計方針については、電気事業法、電気設備に関する技術基準を定める省令などの関連法令を遵守するとともに、基本的な設計は、電気設備の技術基準の解釈（以下「電技解釈」）、電気設備の技術基準の解釈の解説（以下「電技解釈解説」）などの関連法令、ならびに内線規程、配電規程、系統連系規程、J I S、I E Cなどの国内外の民間規格を参照して設計する（参考になる基準、規格などの一覧は 1.2 にまとめる）。本ガイドラインでは、基本設計はこれらで行われているものとして、営農型に特化した部分に関する設計・施工項目についてのみ記載する。

営農型太陽光発電設備の火災リスクは、地上設置型太陽光発電設備と同様と考えられる。他方、感電リスクについては、電気設備の下に人が存在することから、下記を想定した電気設計方針とした。

- ・ 電気の専門家ではない農業従事者は一定の時間、電気設備の下で作業を行うため感電リスクが存在するが、設計者、施工者、保守点検事業者から説明、教育や講習を受けるなどにより感電リスクを認識しているものとして、農業従事者は「取扱者」とする。
- ・ 架台、パワーコンディショナなど、手で触れる高さにある機器は、一般公衆が容易に接触する恐れがあるものとする。
- ・ 設置場所は住宅ではないが、感電リスクに関しては住宅用太陽光発電（10kW 未満）と同様な要求仕様と設計の考え方を取り入れ、対地静電容量の大きい太陽電池アレイ（目安として 50kW を超える場合）を利用する場合には、特段の感電防止措置を講じる。

1.7 施工管理方針

1. 労働安全衛生法などの関係法令を遵守する。
2. 予め現地の状況を確認した上で施工計画を立案し、安全性はもとより周辺環境への悪影響が発生しないよう施工する。
3. 対象農地で重機などを使用する場合、その後の営農に悪影響を与えることがないよう作土層の保護措置を講じる。
4. 農閑期を考慮し、施工スケジュールを計画する。
5. 電気工事完了後、使用前の竣工試験により、計画に従って工事が行われたこと及び電気設備技術基準に適合するものであることを確認する。
6. 現地状況を踏まえた実際の施工結果を施工竣工図書としてとりまとめる。図化できない範囲については写真にて記録する。
7. 施工中において、災害の発生防止、環境保全に努める。

太陽光発電設備の設置工事にあたっては、関連する諸法令および条例を遵守し、工事の円滑な進捗に努めなければならない。関係する諸法令・条例などにより、行政機関などへの手続きが必要な場合は、遺漏・遅延なく手続きを行うものとする。有資格者の配置や使用機械などについての規定がある場合には、これらを遵守する。

公共の建築・土木工事と同様に、安全管理、品質管理、出来形管理、工程管理の視点で管理を行うこととする。農地内での施工にあたり重機などを使用する場合には、農地に悪影響を与えることがないように、保護措置などを行う。また、営農を優先した施工計画とするため農閑期を考慮した施工スケジュールとすることが望ましい。

供用開始後の維持管理（点検診断、維持補修）においては、対象施設の竣工図書が必要であり、当該施設が撤去されるまで竣工図書は保管する。出来形などの図化が困難な場合には、写真などで記録を残すことが重要である。

電気工事完了後、計画に従って工事が行われたことおよび電気設備技術基準に適合するものであることを確認するために、使用前の竣工試験を行う必要がある。試験項目については、経済産業省の使用前・定期安全管理審査実施要領¹⁻²⁾や使用前自主検査及び使用前自己確認の方法の解釈¹⁻³⁾、また、民間のガイドラインである太陽光発電システム保守点検ガイドライン¹⁻⁴⁾、自家用電気工作物保安管理規程¹⁻⁵⁾を参考とすることが望ましい。

1.8 営農型太陽光発電を開始するにあたっての手続き

1. 発電および農業関連の各種手続きを事前に確認し、全体の工程管理を計画する。

営農型太陽光発電システムでは、発電関係だけでなく農業関係の手続きも必要になるため、それぞれの書類作成が必要になるほか、申請および許可の時期についても配慮し、全体の工程管理が重要となる。図 1-1 は営農型太陽光発電取組支援ガイドブック¹⁻⁶⁾に示された

各種手続きのフロー（取組フロー）である。本ガイドラインの範囲外の項目も含まれるが全体工程を管理する上での参考になる。また、同ガイドブックにはチェックリストが示されており、各種手続きを行う上での要点がまとめられている。なお、各種の手続きの詳細については各担当部局に確認されたい。

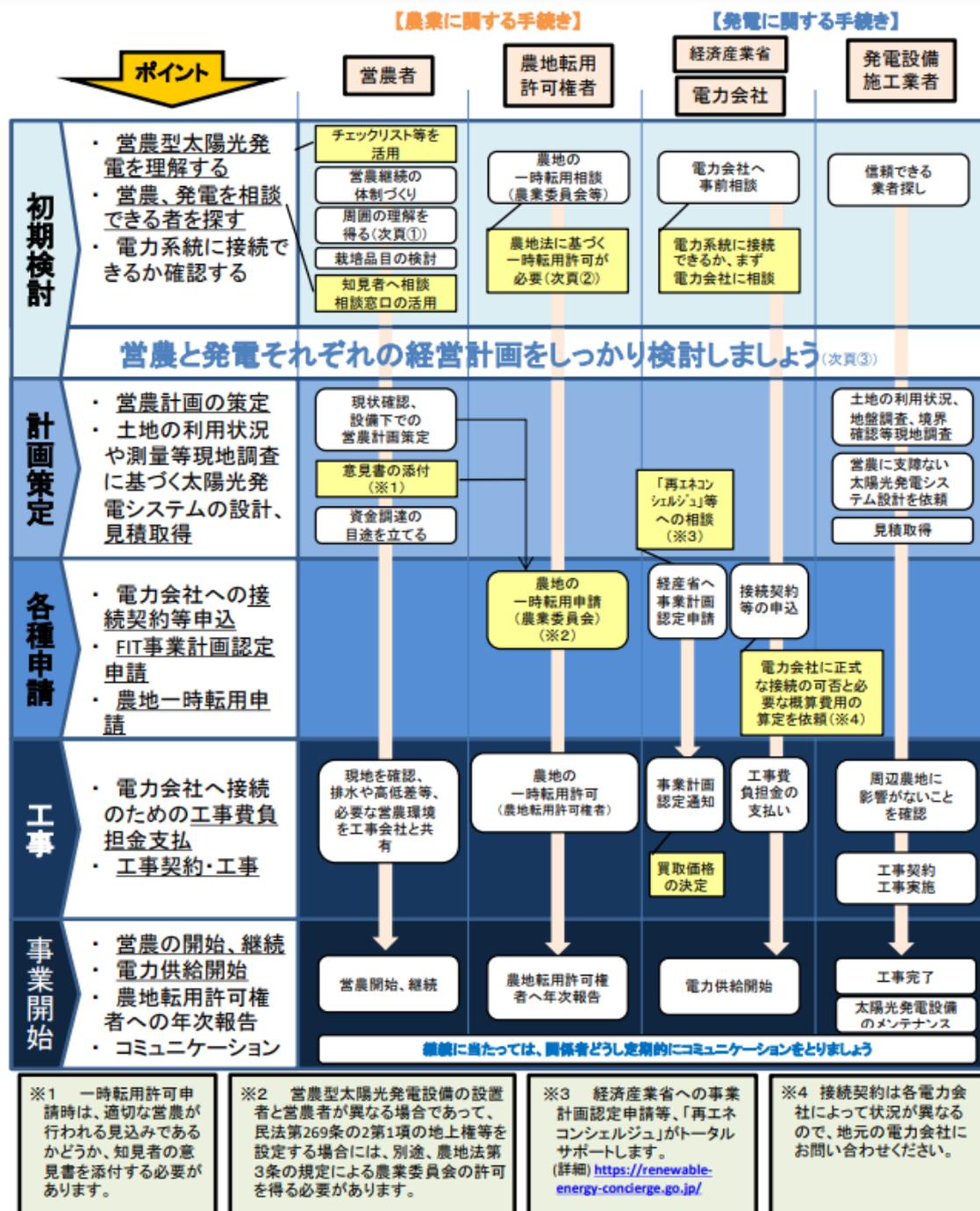


図 1-1 営農型太陽光発電の導入までの流れ（取組フロー）

参考文献

- 1-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: 傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版、2023
- 1-2) 経済産業省: 使用前・定期安全管理審査実施要領、
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/law/files/170331shiyoumae.pdf、
2017
- 1-3) 経済産業省: 使用前自主検査及び使用前自己確認の方法の解釈、
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/law/files/73-4kaisyaku.pdf、
2021
- 1-4) 一般社団法人日本電機工業会、一般社団法人太陽光発電協会: 太陽光発電システム保守点検ガイドライン、2019
- 1-5) 一般社団法人日本電気協会: 自家用電気工作物保安管理規程 JEAC8021-2018、2018
- 1-6) 農林水産省: 営農型太陽光発電取組支援ガイドブック (2022 年度版)、2022

2. 被害事例

2.1 強風被害

1. 水田に設置した太陽光発電システムの架台が強風によって倒壊した。
2. 単管架台にて、強風により太陽電池モジュールが脱落した。
3. 架台や部材の構造に合わせて風荷重に耐えられるよう適切に設計・施工することが必要である。

被害事例（1）

台風時に強風に煽られて架台全体が激しく揺れ、杭と架台を接続する接合部（L 字金具）が風荷重に耐えられず破断し、架台全体が倒壊した。対策として、L 字金具の締結ボルトを2本に増やし、架台材の厚みを増した。また、杭の打ち込み深さを増し、杭の倒れに対する対策を施した。さらに、支柱間隔を狭めて支柱の本数を増やし、水平方向に筋交いを入れて補強するなどの対策を実施した。



写真 2-1 営農型太陽光発電設備の強風被害事例（1）提供：事業者

被害事例（2）

台風時に強風により、梁用の棒材（単管）が支柱から外れ、梁が下側に傾いた。また、短冊形モジュールが飛散した。



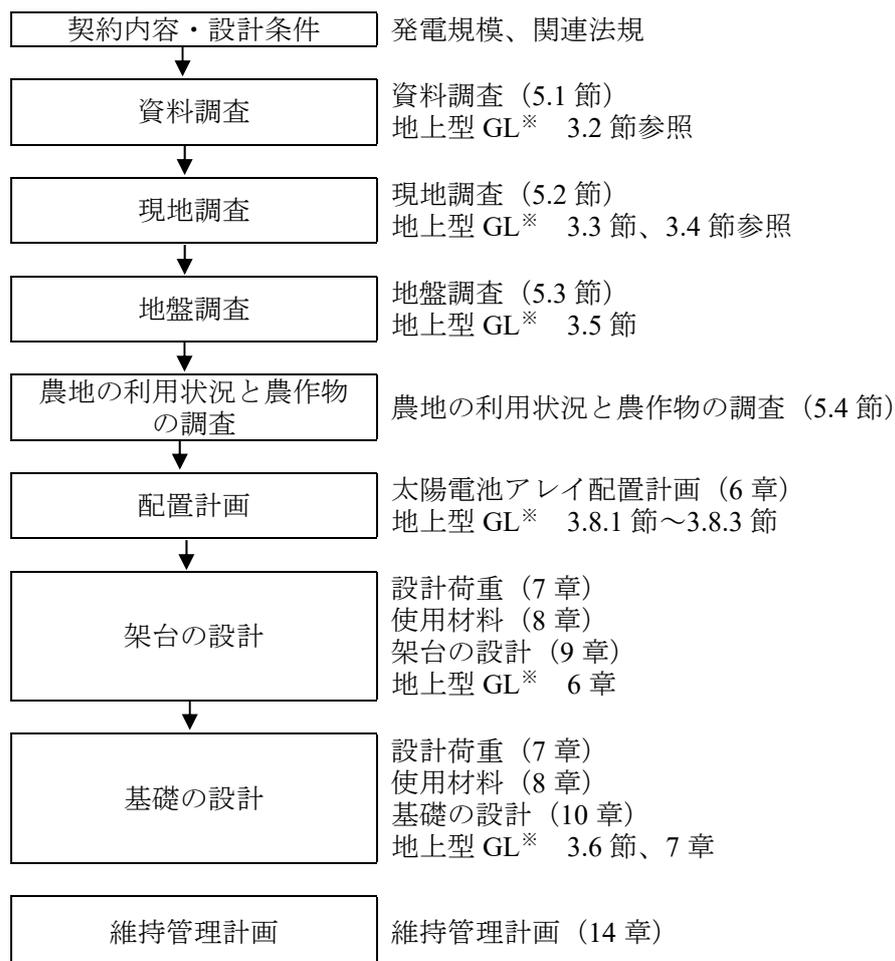
写真 2-2 営農型太陽光発電設備の強風被害事例（2）

写真提供：メガソーラービジネス（日経 BP）（2019 年 11 月 21 日掲載）

3. 構造設計・施工計画

3.1 設計フロー（構造）

1. 構造設計の計画は図 3-1 のフローを参考に進める。
2. 過去の被災事例を参考に、地域特性・環境特性を考慮して計画を進める。
3. 供用期間にわたって要求性能を満足するよう、設計段階において維持管理計画を作成する。

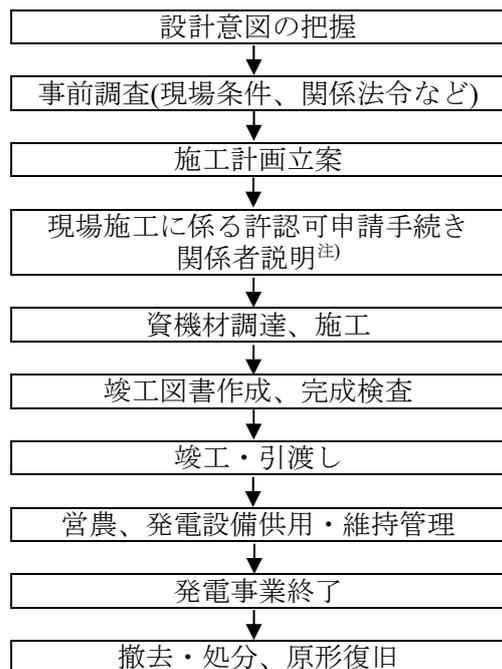


※地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版³⁻¹⁾

図 3-1 構造設計フロー

3.2 施工フロー（構造）

1. 施工は図 3-2 に示すフローを参考に進める。
2. 施工に先立ち、設計意図を把握するとともに、現場条件を考慮した施工計画を立案する。
3. 法令などを確認し、関係官公庁などへの許認可申請手続きを行う。
4. 供用後の撤去計画を立案する。



注)：ここでの関係者説明は、現場施工に係る着手前説明を示す。太陽光発電事業に係る関係者説明は、計画段階において実施する。

図 3-2 施工（構造）フロー

参考文献

- 3-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版、2019

4. 電気設計・施工計画

4.1 設計フロー（電気）

1. 企画、立案として、導入目的、設備規模、関連法令を調査する。
2. 設計として、基本設計、詳細設計、法令諸手続きを実施する。

図 4-1 に示す設計フローを参照することが望ましい。

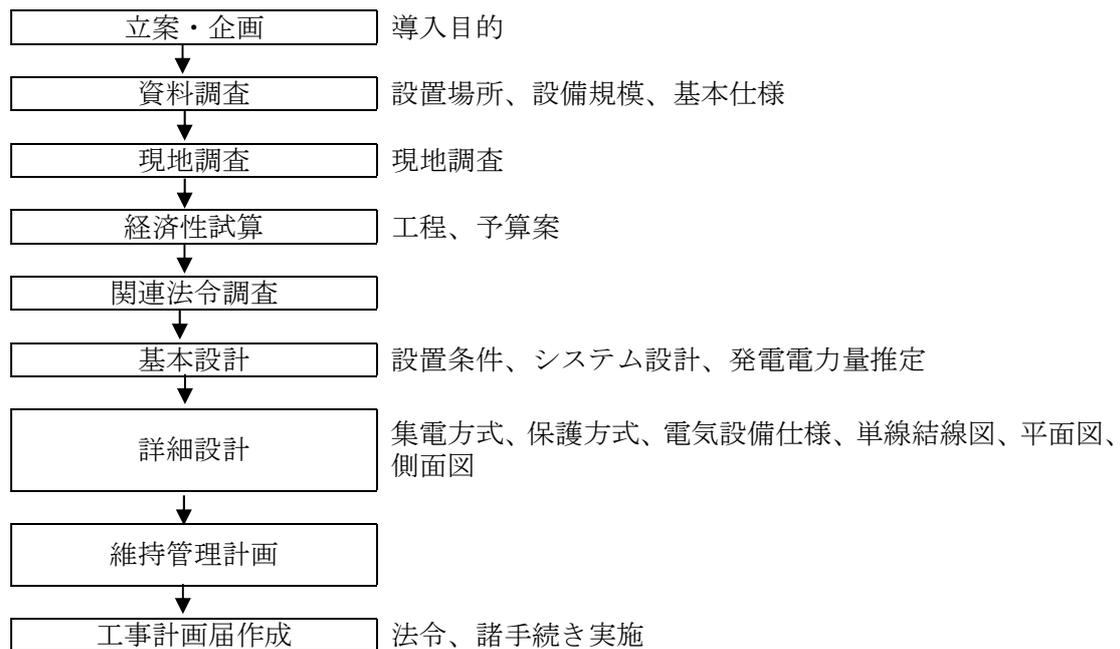
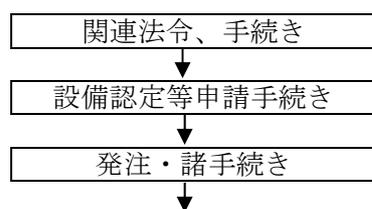


図 4-1 電気設計フロー⁴⁻¹⁾

4.2 施工フロー（電気）

1. 付託、資材発注を行う。
2. 据え付け工事を行う。
3. 自主点検を行う。

図 4-2 に示す電気施工フローを参照することが望ましい。



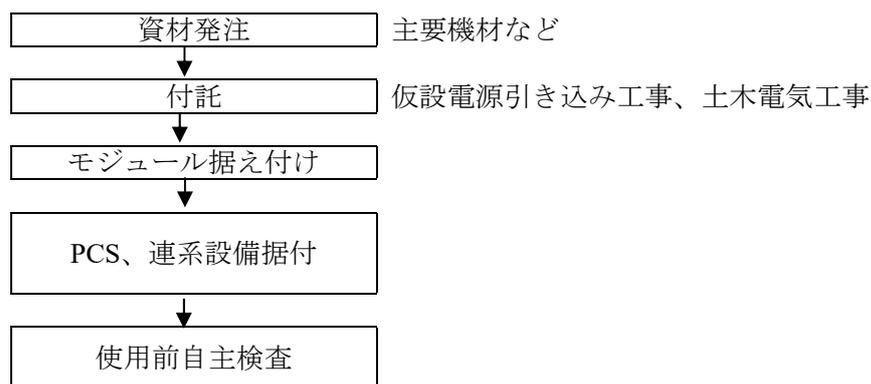


図 4-2 施工（電気）フロー⁴⁻¹⁾

4.3 資料調査

1. 国土地理院発行の地形図や土地条件図、ハザードマップなどの地図資料、既往地盤調査資料および各種文献などを用いて基礎設計に必要な地盤の情報を収集する。
2. 地域に固有な地盤条件を知る情報として、地名や植生なども調査する。

資料調査は、太陽光発電設備の建設地の標高、地形分類（山地、台地・段丘、低地、水部、人工地形など）、災害の危険性、地盤特性などについて事前に把握することを目的として行われる。

参考文献

4-1) 一般社団法人太陽光発電協会：公共・産業用太陽光発電システム手引書、2013

5. 事前調査

事前調査は、資料調査、目視による現地調査、地盤調査、土地利用状況および農作物の調査を基本とする。

5.1 現地調査（目視調査）

1. 対象地を中心として周辺の観察を行い、資料調査の結果と照合しながら、敷地の地盤状況を把握する。
2. 地形や造成盛土などの状況から、地盤の安全性や不同沈下の危険性について評価する。

現地調査の重要項目は、方角、傾斜度・向き、平坦度、陥没の有無、前面道路（幅員）、障害物の有無、隣地の利用状況、海岸からの距離、系統連系を行う地点であり、表 5-1 のチェックリストを参考に調査する。

表 5-1 現地調査のチェックリストの例（調査地と周辺を含む）⁵⁻¹⁾

点検項目		点検細目
基本資料	既存資料	地形図・旧地形図・地盤図・地質図・土地条件図・ その他（ ）
地形観察	地形判別	山地・丘陵・崖錐・洪積台地・扇状地・自然堤防・後背湿地・ 谷底低地・埋没谷・おぼれ谷・旧河道・三角州・海岸砂州・砂丘・ 堤間低地・潟湖跡（干潟・干拓地）
	付近の水域からの高低差	敷地からみた川・池沼・湿地までの高さ (GL-) m
地表の傾斜	傾斜度	急傾斜地・接傾斜地・平坦地（斜度 15 度以上を急傾斜とする ^{注)} ）
	主傾斜の方向	主傾斜が（南・北・西・東・北東・北西・南東・南西） 向き斜面
表層土質	表層地質の地層区分	沖積層・洪積層・第三紀層・その他（ ）
	露頭の土質	堀削面無・岩盤・固粘土・砂質土・粘性土・ローム・ その他（ ）
起伏の位置関係	尾根との関係	裾地・中腹・頂上付近などの鞍部
	台地・崖地との関係	崖麓・中腹・崖端・台地上の平坦部
	微地形境界（傾斜転換点）線上からの位置	低地側平坦部・地形境界の接合端部・高地側傾斜部
土地利用	周辺の土地利用	旧来からの宅地・水田・畑地・山林・草地・原野・果樹園・沼沢・ その他（ ）
	地域地盤特性	凍上・凍結地帯・水害常襲地・地盤沈下地帯・崖崩れ危険区域・ 液状化履歴地・特記なし
	宅地化の状況	家が（まばらである・多い・密集している）
植生	植物の種類	かん木が目立つ・湿地性植物・砂丘性植物・その他（ ）・特記 なし
周辺異常	電柱の傾斜	無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ
	道路の波打ち・亀裂	無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ
	排水溝・水路の波打ち	無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ
	家屋の壁・基礎の亀裂	無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ
	塀の不陸・傾斜	無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ
敷地履歴	擁壁の異常	無し・有り わずか・目立つ・かなり目立つ
	敷地の現況	既成宅地・不整地の原野・水田・畑・その他（ ）
	敷地の履歴	原野・山林・崖地・畑・水田・池沼・河川敷・その他（ ）
造成状態	過去の災害履歴	有（ ）・無
	地上面形状	敷地傾斜 無・有（ ） m 段差 無・有（ ） m
	盛土の厚さ	（ ） m - （ ） m・不明
	盛土の経過時間	在来地盤・10 年以上・5 年以上 - 10 年未満・3 年以上 - 5 年未満・1 年以上 - 3 年未満・1 年未満・解体後の敷地 （推定 20 年）・不明
	切・盛土の境界	明瞭・不明瞭
	新規盛土予定	新規盛土なし・予定有り（ ） m - （ ） m・未定

注)：参考文献 5-1) での急傾斜地の定義であり、「傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン」⁵⁻²⁾ では 30 度以上を急傾斜地としている。

5.2 地盤調査

1. 事前調査結果を踏まえて原位置試験を実施し、設計に必要な地盤工学的特性に関する情報を収集する。
2. 資料調査および現地調査の結果から、太陽光発電設備を設置する予定の用地が、軟弱地盤、埋立地、盛土地盤、造成地、傾斜地、谷底低地に該当するような地盤と考えられる場合、十分な基礎の支持力を得られないことが懸念されるため、より詳細な調査を行う。

太陽光発電設備の重量はそれほど大きくはないが、作土層より下も軟弱な地盤である場合には、不同沈下や崩壊の危険性がある。注意が必要な地形・地盤については、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版⁵⁻³⁾の 3.4 節が参考となる。また、農地においては、金属腐食に悪影響を与える肥料や薬剤などが使用される場合があるので、それらの成分調査を行い、腐食への影響が大きいと判断される場合には、11.2、11.3 節に示す基礎や架台の防食措置について検討する。

杭基礎を採用する場合には、十分な支持力（圧縮力・引抜き力・水平力）が必要となる。架台の設計では、中規模以上の建築物のように地盤調査に十分な費用がかけられない状況があるので、5.1 節 で述べたように充実した事前調査を実施し、その結果を踏まえて地盤調査や土質試験を実施する必要がある。地盤調査方法には、標準貫入試験、スクリーウエイト貫入試験（以後、「SWS 試験」と呼ぶ）、簡易動的コーン貫入試験などがある。また、地盤の許容支持力を原位置にて測定する方法として平板載荷試験がある。

5.2.1 原位置試験

1. 原位置試験は、基礎設計に必要な設計用地盤定数を求めることを目的として実施する。この設計用地盤定数には、地盤の支持力だけでなく、地下水位や土質区分も含まれる。
2. 湛水が行われる地盤の場合、湛水時における試験実施を原則とする。
3. 原位置試験は、SWS 試験を中心に行う。ただし、事前調査や SWS 試験で十分な情報が得られていない場合、圧密沈下が生ずる可能性のある地盤の場合および湛水時の試験を実施する場合は、適切な試験方法を選定し実施する。
4. 調査ポイントの箇所数と測定位置は敷地の規模と形状、地盤の状態により異なるため注意する。調査ポイント数については図 5-2 を目安に実施する。

事前調査により支持層の不陸が予想される場合は、予備調査を行って地盤構成を概略把握した後に本調査を実施するか、調査結果によっては追加調査を行う可能性を予め想定した計画とすることも必要である。

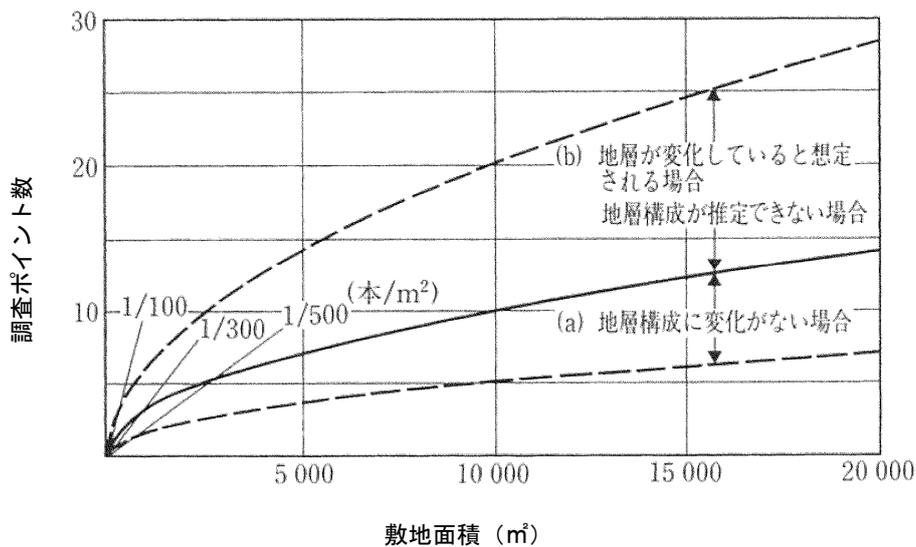
水田などの湛水が行われる農地では、湛水時の状態での地盤定数を確認することを基本とし、湛水状態で実施できる試験方法を選択する。

水田などの湛水が行われる農地において、直接基礎のような比較的浅い層での地盤反力を期待する基礎形式を用いる場合には、湛水状態での地盤の状態を把握しておく必要がある。その際、軟弱な地盤において実施可能な簡易動的コーン貫入試験などによって支持層の深さを確認する（図 5-1）。



図 5-1 農地（畑）での原位置試験の例

調査ポイント数は図 5-2 を目安とするが、小規模な敷地であっても 3 か所以上とし、配置計画を考慮して決定する。また、地層が変化していると想定される場合や地盤構成が推定できない場合は調査ポイントを増やす。地盤構成に変化がない場合は適宜削減してもよい。



出典：建築基礎設計のための地盤調査計画指針⁵⁻⁴⁾の図を参考に作成

図 5-2 調査ポイント数の目安

5.2.1 スクリューウェイト貫入試験（SWS試験）

SWS試験は静的貫入試験の1種であり、JIS A 1221（スクリューウェイト貫入試験）方法に規定されている⁵⁻⁵⁾。

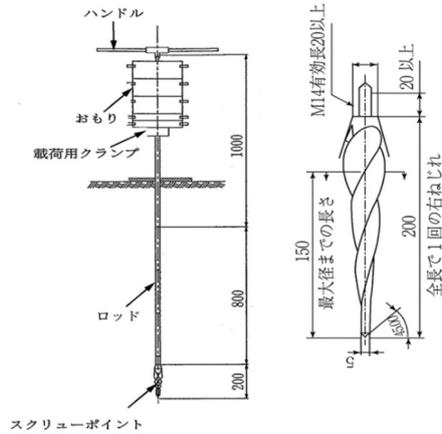


図 5-3 SWS試験（手動式）

5.2.2 標準貫入試験

標準貫入試験は、JIS A 1219に規定されている。

SWS試験では評価が難しい硬い支持層、水位や土質区分の測定ができる。また、土をサンプリングできるため、土層の確認ができる⁵⁻⁵⁾。

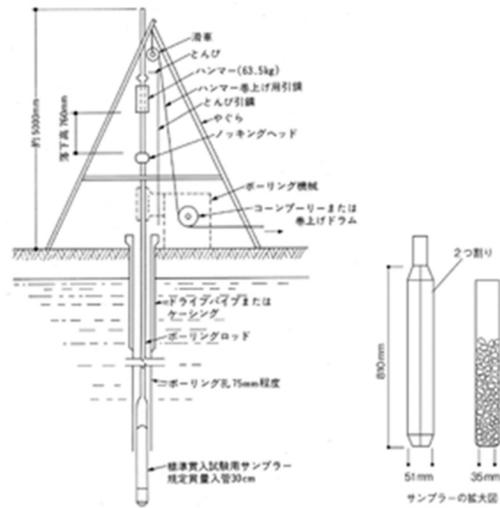


図 5-4 標準貫入試験

標尺	層高	深	柱状	土質区分	色相対調度	相対稠度	記	標準貫入試験				原位置試験	試料採取	室内試験	掘進					
								深	10cm毎の打撃回数	打撃回数	N 値									
(m)	(m)	(m)	(m)	図			事	深	10	20	30	40	50	60	深	試験名	試料採取	室内試験	掘進	
								度	1	1	1	1	1	1	(m)	および結果	度	番号	方法	月
								(m)	10	20	30	40	50	60						日
								測定月日												
								1.15	2	1	1	4	3.9							
								1.46	2	1	1	3	3.9							
								2.15	1	1	2									
								2.45	3	1	4	3.4								
								3.15	2	1	1	4	3.5							
								3.40	2	1	1	3	3.4							
								4.15	2	2	5	4.4								
								4.40	1	1	2	3	4.4							
								5.15			10									
								5.45	3	4	3	30	10							
								6.15	3	5	4	30	12							
								6.45	3	5	4	30	12							
								7.15			22									
								7.45	8	7	7	30	22							
								8.15			18									
								8.45	6	5	7	30	18							

図 5-5 土質柱状図の例

5.2.3 ラムサウンディング試験

ラムサウンディング試験は、現在、JISの規格基準に定められていない調査方法ではあるが、Nd値はN値との相関性が高く、SWS試験では貫入困難な地盤や鋼管等の支持層確認に用いられている。

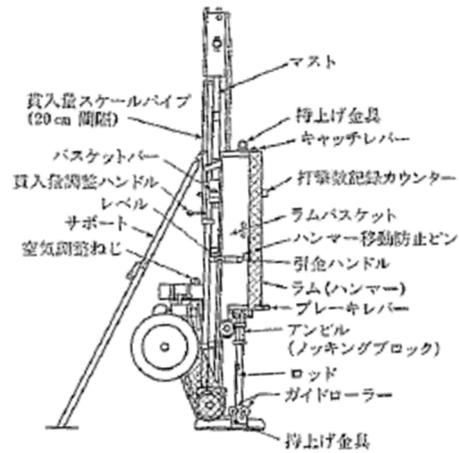


図 5-6 ラムサウンディング試験機

5.2.4 簡易動的コーン貫入試験

簡易動的コーン貫入試験は、地盤工学会 JGS 1433 に規定されている。ハンマー（5kg）の打撃回数とロッドの貫入量から、原地盤の相対的支持力を測定できる。

試験機が比較的軽量であるため、傾斜地の場合に有効である。

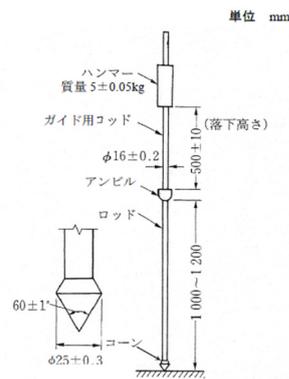


図 5-7 簡易動的コーン貫入試験機

5.2.5 土検棒貫入試験

土検棒貫入試験は、先端コーンつきの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより土層強度や土層深を簡易に測定する試験である（特許第3613591号土のせん断強度測定方法及び装置）⁵⁻⁶⁾。試験に用いる土検棒は一人で容易に運搬でき、試験法も非常に簡便であるが、まだ開発途上であり、試験結果の解釈には総合的な土質力学的判断が必要とされる。

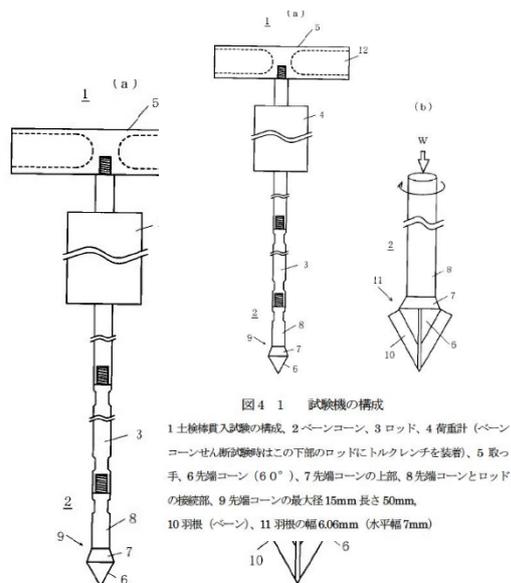


図4 1 試験機の構成

1 土検棒貫入試験の構成、2 ベーンコーン、3 ロッド、4 荷重計（ベーンコーンせん断試験時はこの下部のロッドにトルクレンチを装着）、5 取っ手、6 先端コーン（60°）、7 先端コーンの上部、8 先端コーンとロッドの接続部、9 先端コーンの最大径15mm長さ50mm、10 羽根（ベーン）、11 羽根の幅6.06mm（水平幅7mm）

図5-8 土検棒貫入試験の構成

5.2.6 平板載荷試験

地盤の平板載荷試験は、地盤工学会 JGS 1521 に規定されている。

原地盤に載荷板を設置して荷重を与え、荷重の大きさと載荷板の沈下量との関係から、地盤の支持力特性を調べる。

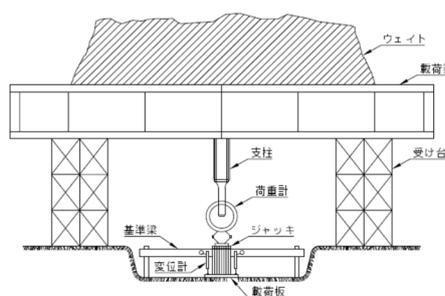


図5-9 平板載荷試験

5.2.7 凍上対策の検討

地盤の凍上現象は、凍上の3要素と呼ばれる土質、温度、水分の3条件が揃ったときに発生する。3条件が揃っているにも拘わらず、凍上対策を実施しなければ、凍上によって太陽電池モジュールの波打ちや架台の傾きといった凍上被害が発生することとなる（図5-10）。凍上による変形は長期間にわたって蓄積されていくため、架台が変形し続けることとなり、

最終的にはパネルの破損や、施設の倒壊へと繋がる恐れもあることから、凍上対策を講じることは重要である。



図 5-10 太陽光発電設備の凍上被害の一例

凍上被害発生の可能性については、凍上に関する調査を実施して検討する。地盤の凍上を支配する要素は、土質、温度（気温）、水分（地下水位および土壌水分）の3つである。この3つの調査を行い、凍上現象が起こる恐れがあると確認された場合、凍結深さを求める必要がある。凍結深さは、気象観測データと土の熱的定数を用いて推定することができる。図 5-11 に太陽光発電設備のための凍上対策検討のフローを示す。

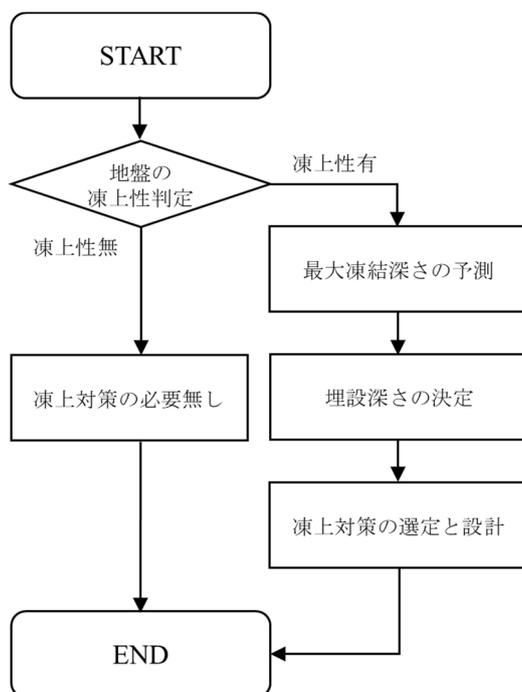


図 5-11 太陽光発電設備のための凍上対策検討のフロー

(1) 土質

土質は凍上被害発生の可能性を検討するうえで極めて重要である。凍上に関する地盤調査では、凍結が及ぶ範囲（最大凍結深さ以浅）にある土が凍上性を有しているかどうかを調べることとなる。

現地の土の凍上性は、以下の2つの方法により判定する。ここでは、直接的に土の凍上性を判定することができる地盤工学会基準「土の凍上性判定のための凍上試験方法（JGS 0172-2020）」⁵⁻⁷⁾を推奨する。ただし、凍上試験の実施が困難な状況においては、土質試験による間接的な方法で土の凍上性を判定することを妨げない。

a) 凍上試験による直接的な方法

地盤工学会基準「土の凍上性判定のための凍上試験方法（JGS 0172-2020）」⁵⁻⁶⁾を用いて、土の凍上性を直接的に判定することができる。

図 5-12 は地盤工学会基準の凍上試験装置で、図 5-13 は凍上試験で得られる凍上量-時間曲線の一例である。図のように凍上量-時間曲線が直線となる場合、この傾きから凍上速度 U_h を求める。この凍上速度 U_h から、土の凍上性を以下のように判定する。

- ・ 凍上速度 0.1mm/h 未満：凍上性が低いと判定される。
- ・ 凍上速度 0.1mm/h 以上、0.3mm/h 未満：凍上性中位
- ・ 凍上速度 0.3mm/h 以上：凍上性が高いと判定される。

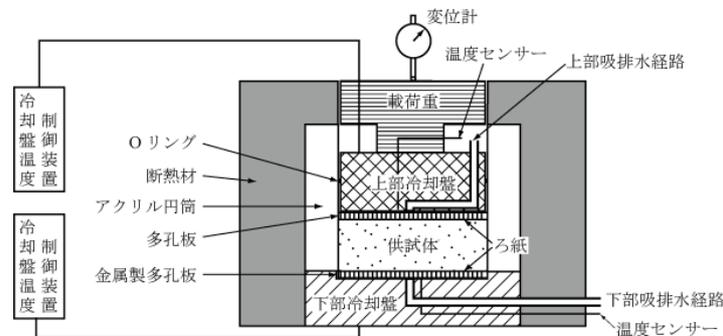


図 5-12 地盤工学会基準の凍上試験装置（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸⁾から引用）

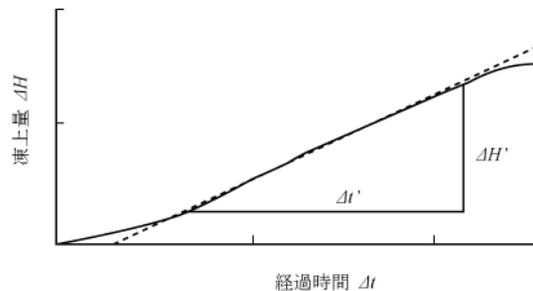


図 5-13 凍上量-時間曲線の一例（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸⁾から引用）

b) 土質試験による間接的な方法

土の粒度分布や細粒分含有率を用いて、土の凍上性を間接的に判定することができる。ただし、土の凍上メカニズムは複雑であり、土粒子径だけに依存するわけではない。以下では「寒冷地地盤工学—凍上被害とその対策—⁵⁻⁸⁾」を参考に、土質や粒度による間接的な凍上性の判定手法について紹介する。

① 土質による間接的な凍上性判定法

図 5-14 は Kaplar⁵⁻⁹⁾が示した土質と凍上性の関係である。Kaplar は Casagrande⁵⁻¹⁰⁾の研究を基に、各種の土質と凍上性の関係を取りまとめた。Casagrande は、粒径によって反比例する透水性と凍上有効力の関係がシルト粒径で交わることを示し、シルトが最も強い凍上性となる理由とした。

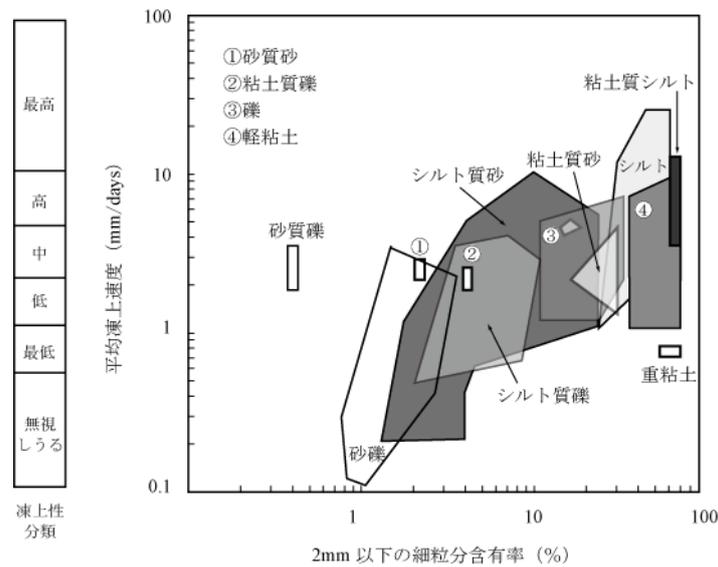


図 5-14 土質と凍上性の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸⁾から引用）

② 粒度による間接的な凍上性判定法

図 5-15 は国際地盤工学会 TC-8⁵⁻¹¹⁾が示した土の凍上性と粒度の関係である。この図において領域 4 ($U_c > 15$ かつ $D_{50} > 1\text{mm}$) および領域 3 ($U_c < 15$ かつ $0.2 < D_{50} < 1\text{mm}$) は、非凍上性とされる。領域 2 ($U_c < 15$ かつ $0.1 < D_{50} < 0.2\text{mm}$) も毛細上昇高さが 1m 以下であれば非凍上性である。領域 1 が凍上性とされ、領域 1L では透水性が低いいため、実地盤の凍上量は小さくなるとされている。

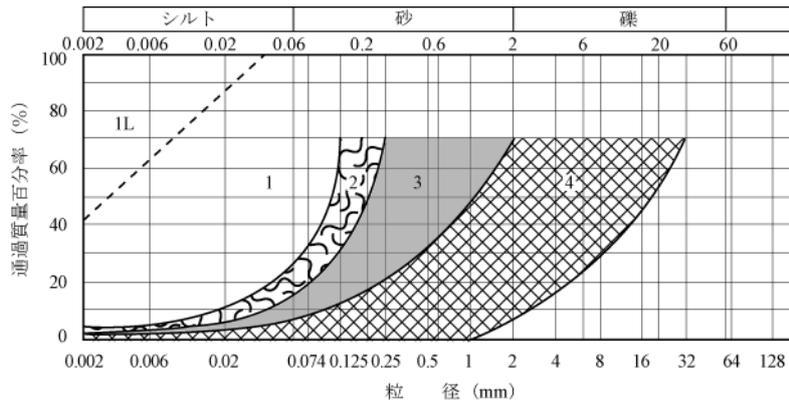


図 5-15 粒度と凍上性の関係（寒冷地地盤工学⁵⁻⁸から引用）

(2) 温度（気温）

気温（寒さの程度）も凍上が発生する条件の一つであり、凍結指数により判定される。道路土工要綱⁵⁻¹²によると、凍上の検討を行う目安としては、凍結指数 500°C・days 以上において適用することが多いとの記載がある。ただし、対象地域の既設構造物等の凍上被害に関する履歴等も勘案して判断しなければいけない。なお、凍結指数とは、日平均気温が連続して 0°C 以下となる日から、連続してプラスの温度になる日までの日平均気温を累積したもののことである。

次に、凍結深さの推定を行うが、ここで必要な気象観測データは気温である。ただし、現地の気温を計測するのは施工計画上の制限等で困難な場合も多々あるため、実務的には地域気象観測システム（AMeDAS）の観測地点データを利用することとなる。

凍結深さは凍上対策の選定と設計に活用する。凍結深さとは、凍結前の地表面から地中温度の 0°C までの最大深さと定義される。凍結深さの推定については、道路土工要綱⁵⁻¹²を参照することができる。凍結深さの推定値は、設計で想定する凍結指数に対応した理論最大凍結深さとして算出する。以下は道路土工要綱⁵⁻¹²を参考に記述した。

計算によって理論最大凍結深さを求める場合、現地の最寄りの気象データから凍結指数 F を求め、 F に対応する凍結深さを Aldrich による修正 Berggren 式を簡易化した次式によって計算する。

$$D_{\max} = C\sqrt{F} \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、 D_{\max} は理論最大凍結深さ (cm)、 F は設計に用いる凍結指数 (°C・days)、 C は凍結係数である。

図 5-16 は細粒土と粗粒土における凍結指数と凍結深さの関係を示したものである。ここで A 曲線は凍上を起こしやすい細粒土 ($\rho_d=1.20\text{g/cm}^3$, $w=50\%$) からなる地盤、B 曲線は凍上を起こしにくい粗粒土 ($\rho_d=1.80\text{g/cm}^3$, $w=15\%$) からなる地盤を、地表面から冷却したときの凍結指数に対する凍結深さを計算したもので、道路土工ではこれが理論最大凍結深さの推定に用いられている。より正確に推定を行うには、実際の地盤の乾燥密度と含水比

等のデータを収集し、理論最大凍結深さを求める必要がある。ここでは、凍上を起こしやすい細粒土を対象とすることになるため、A 曲線を用いて最大凍結深さを予測することとなる。

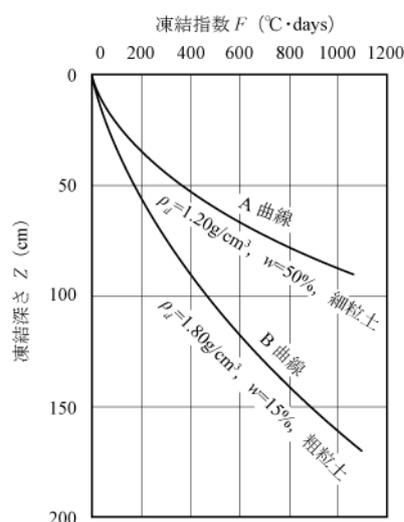


図 5-16 細粒土と粗粒土における凍結指数と凍結深さの関係
(寒冷地地盤工学⁵⁻⁸⁾から引用)

表 5-2 は A および B 曲線の凍結指数 F に対する凍結深さの計算値とそれを逆算して求めた凍結係数 C をまとめたものである。

表 5-2 凍結指数と凍結深さ、凍結定数の関係 (寒冷地地盤工学⁵⁻⁷⁾から引用)

材料名	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	凍結指数 F (°C · days)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
				凍結深さ (cm)	25	37	45	53	61	67	74	79	84	89
A 曲線	1.20	50	凍結深さ (cm)	25	37	45	53	61	67	74	79	84	89	93
			C	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
B 曲線	1.80	15	凍結深さ (cm)	37	58	76	91	105	117	130	141	150	161	171
			C	3.7	4.1	4.4	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.2

(3) 水分 (地下水位および土壌水分)

水分の調査は主に地下水位を調べることとなる。ボーリング調査結果をもとに、地下水の位置 (深さ) や分布、春先の融雪水の影響や湧水等の有無を確認することが重要である。

5.3 農地の利用状況と農作物の調査

1. 対象農地の区分および利用状況を調査する。
2. 農業従事者からの聴取によって、対象農地において生産する農作物と作付期間を特定する。
3. 対象農地における農作物の品種と過去の平均的な収量および品質を事前に把握しておく。対象農地が荒廃農地である場合、周辺地域における当該農作物の年間の平均収量や品質を調査する。
4. 農業機械の利用が想定される場合、使用する農業機械の寸法、旋回半径などの仕様を

確認する。

5. 太陽光発電設備の設置に伴う下部の農地における営農への影響の見込みについて知見者の意見を聴取し、営農条件としての妥当性について確認する。

対象農地の区分や利用状況によって農地の一時転用許可の期間が異なるため、それらを調査する。なお、一時転用許可申請時には、太陽光発電設備が設置に伴う下部農地への影響の見込みやその根拠となる書類を提出する必要がある。そのため、生産する農作物の品種、収量、品質について事前に調査し、知見者（例えば、普及指導員、試験研究機関、設備の製造業者等）の意見聴取や、先行して営農型太陽光発電の設置に取り組んでいる事例の調査等を行う。また、作付期間を特定することによって、農閑期を想定した工事期間を設定することができる。農業機械の利用が想定される場合には、その寸法（幅、高さ）や旋回半径が太陽光発電システムの基礎や支柱の配置間隔を決定する際の重要な情報であるため、事前に把握しておく。営農型太陽光発電設備に関する実態調査結果の概要については、【技術資料：営農型太陽光発電設備の実態調査】に示しているため、参照されたい。

農地の一時転用許可の期間は 30 農振 76 号にて、以下のように定められている。

表 5.3 農地の区分と一時転用許可の期間

区分	期間
(1) 担い手が、自ら所有する農地又は賃借権その他の使用及 10 年以内および収益を目的とする権利を有する農地などを利用する場合 この場合の担い手とは、食料・農業・農村基本計画（平成 27 年 3 月 31 日閣議決定）の第 3 の 2 の（1）に掲げる次の者をいう。 ア 効率的かつ安定的な農業経営（主たる従事者が他産業従事者と同等の年間労働時間で地域における他産業従事者と遜色ない水準の生涯所得を確保し得る経営） イ 認定農業者（農業経営基盤強化促進法（昭和 55 年法律第 65 号）第 12 条第 1 項に規定する農業経営改善計画の認定を受けた者） ウ 認定新規就農者（農業経営基盤強化促進法第 14 条の 4 第 1 項に規定する青年等就農計画の認定を受けた者） エ 将来法人化して認定農業者になることが見込まれる集落営農	10 年以内
(2) 荒廃農地（荒廃農地の発生・解消状況に関する調査要領（平成 20 年 4 月 15 日付け 19 農振第 2125 号農林水産省農村振興局長通知）の 2 に規定する荒廃農地をいう。以下同じ。）を再生利用する場合（既に一時転用許可を受けている場合には、許可を受ける前に荒廃農地であったものを含む。）	
(3) 第 2 種農地（運用通知第 2 の 1 の（1）のオ又はカ）の第 2 種農地をい	

う。)又は第3種農地(運用通知第2の1の(1)のエの第3種農地をいう。)を利用する場合	
(4)(1)から(3)まで以外の場合	3年以内

注記：「荒廃農地」とは、現に耕作されておらず、耕作の放棄により荒廃し、通常の農作業では作物の栽培が客観的に不可能となっている農地と定義されており、市町村および農業委員会による荒廃農地の所在地および荒廃状況を確認する現地調査の結果である。

一方、「耕作放棄地」とは、5年に一度調査が行われる「農林業センサス」で定義されている用語で、「以前耕作していた土地で、過去1年以上作物を作付け(栽培)せず、この数年の間に再び作付け(栽培)する意思のない土地」であり、農家などの耕作意志の調査結果である。

参考文献

- 5-1) 一般社団法人日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針、2008
- 5-2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：傾斜地設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2023年版、2023
- 5-3) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019年版、2019
- 5-4) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針、2009
- 5-5) 一般社団法人日本建築学会：構造用教材(2014年(改定))
- 5-6) 国立研究開発法人土木研究所：土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案)、2010
- 5-7) 公益社団法人地盤工学会：凍上性判定のための土の凍上試験方法(JGS 0172-2020)、2020
- 5-8) 公益社団法人地盤工学会北海道支部：寒冷地地盤工学－凍上被害とその対策－、2009
- 5-9) Kaplan, C. W.: Freezing Test for Evaluating Relative Frost Susceptibility of Various Soils, CRREL Technical Report, No.250, pp.1-36, 1974
- 5-10) Casagrande, A.: Discussion on Frost Heaving. Proc., H.R.B., pp.168-188, 1932
- 5-11) ISSMFE TC-8: Grain size distribution as a frost susceptibility criterion of soils, VTT Symposium, Vol.1, pp.29-32, 1989
- 5-12) 日本道路協会編：道路土工要綱 平成21年度版、2011

6. 太陽電池アレイの配置計画

6.1 全体配置計画

1. 作付面積、農業機械などの進入路や走行ルートを考えて、太陽電池アレイの設置範囲、基礎および支柱の位置を決定する。
2. アレイ面および架台の梁の高さは、下部での農作業に支障がない十分な高さとする。
3. 隣接農地の日照および用水路・道路などの利用に支障がないように配置する。

基礎や支柱の配置によって、作付面積が大幅に減少しないようにする。トラクターなどの農業機械の使用が想定される場合には、農業機械の進入路、走行ルート、転回スペースなどを考慮して基礎や支柱の配置を決定する（図 6-1）。アレイ面および架台（梁）の高さは、効率的な農作業の環境を確保するため、農業機械の高さや作業者が立って作業を行える高さ（最低地上高が概ね 2m 以上）を考慮して設定する。さらに、太陽電池アレイの設置によって用水路や隣接道路などの利用に支障がないように配置する。

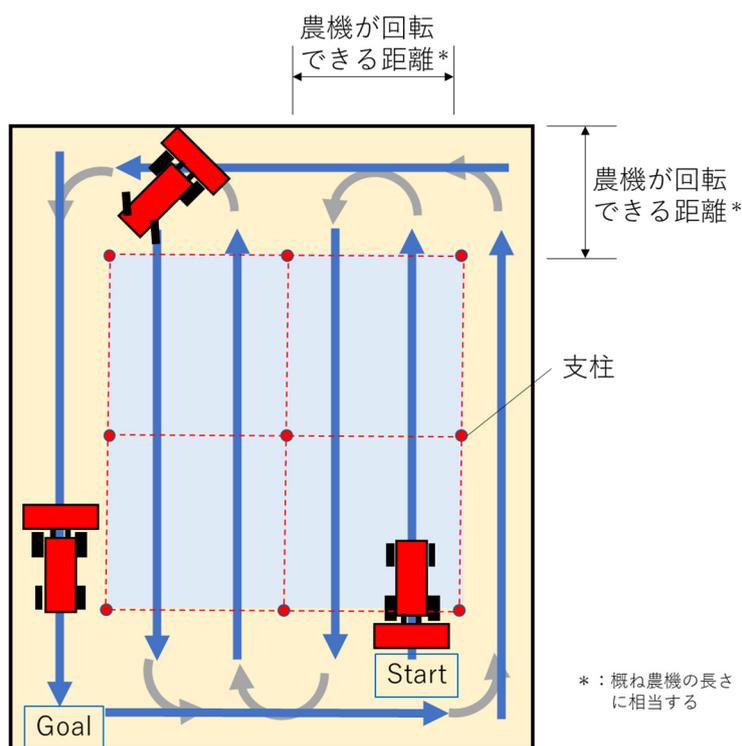


図 6-1 農業機械を利用する場合の支柱の配置例

6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離（遮光率と農作物の関係）

1. 農作物への日照と発電特性の両面からアレイ面傾斜角と離隔距離を設定する。
2. アレイ面の角度は、発電特性だけでなく、風圧荷重、積雪荷重への影響も考慮して設定する。
3. アレイ面の離隔距離は設置場所の緯度を考慮して、下部農地での日照を十分に確保できるように設定する。
4. アレイ面からの雨だれが農作物への悪影響や農地の洗堀を引き起こさないよう、アレイ面の大きさや配置を決定する。

アレイ面、架台、パワーコンディショナなどの日影が隣接農地での農作物の育成に悪影響を与えることがないように配慮する。農作物と遮光率の関係については表 6-1 が参考になる。なお、遮光率の定義は文献によって若干異なる場合があるが、ここでは図 6-1 に示す太陽電池アレイの外郭平面積（アレイ式の場合はアレイ群の外郭平面積）に対する太陽電池モジュールおよび支持物などが占める平面積の割合とした（図 6-2 参照）。

表 6-1 農作物と遮光率の関係⁶⁻¹⁾

作物の種類	架台高さの範囲 (m)	遮光率(%)	
		範囲	平均値
サカキ、センリョウ、マンリョウ、シキミ	0.7～3.6	19～85	65.9
キノコ類（シイタケ、キクラゲ、シメジ）	0.6～3.8	35～100	73.4
ミョウガ	1.0～5.8	15～90	60.2
水稲	1.8～4.9	10～75	35.1
牧草、ダイカランドラ、芝、ツワブキ	1.2～4.8	10～80	42.8
根菜類（ジャガイモ、サトイモ、サツマイモ、ニンジン、ショウガ、ウコン、カブ、ダイコン）	1.8～4.2	8～78（100※）	41.0※
葉菜類（ネギ、タマネギ、キャベツ、レタス、ニラ、シュンギク）	1.5～5.0	5～78	41.0
柑橘類（ミカン、デコポン、ヒュウガナツ、ユズ、スダチ）	2.2～3.2	25～52	38.7
カキ、ヤマモモ、イチジク、クリ、ウメ	1.8～3.7	25～73	41.3
豆類（ダイズ、エダマメ、クロマメ、エンドウ）	2.3～3.5	28～45	36.7
イチゴ類（イチゴ、ブルーベリー、ハスカップ、ジューンベリー、ブラックベリー）	1.5～3.5	19～60	35.9
茶	2.0～3.8	30～65	49.6
瓜類、ナス類（カボチャ、キュウリ、ナス、スイカ、トマト）	1.5～3.5	10～85	43.1

データ出典：千葉大学倉阪研究室・NPO 法人地域持続研究所、千葉エコ・エネルギー株式会社委託調査「ソーラーシェアリング全国調査結果報告書」、2019年2月

※：100%は薬用ニンジンであり遮光率平均値から除外している。

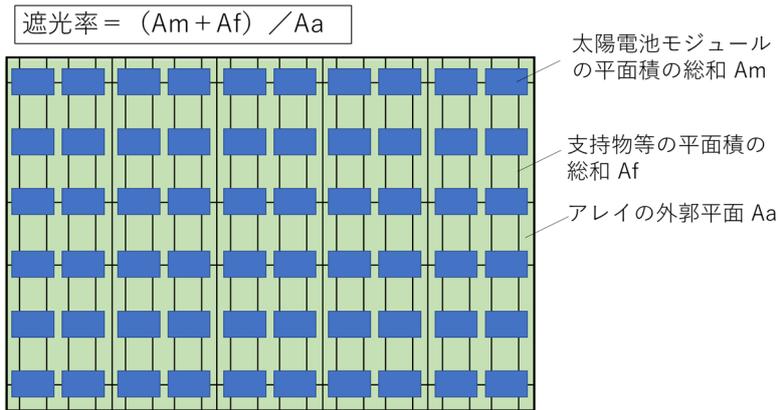
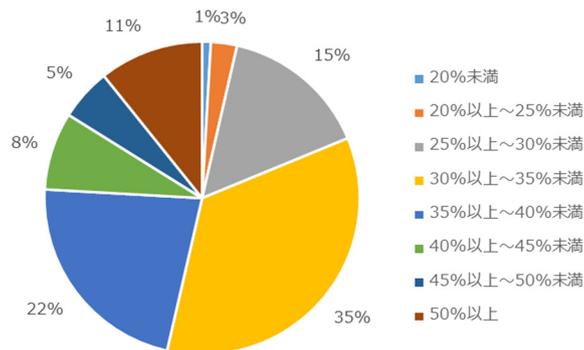
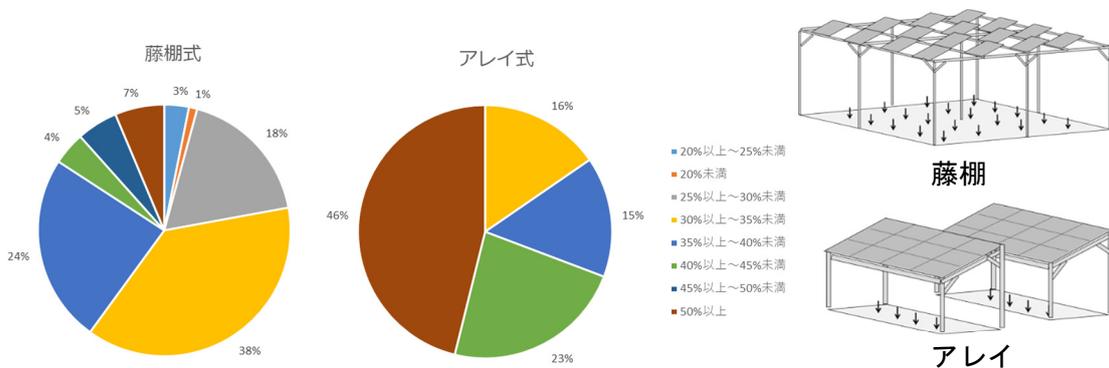


図 6-2 遮光率の定義

また、営農型太陽光発電システムの実態調査結果【技術資料：営農型太陽光発電システムの実態調査】によれば、導入されている架台形式としては藤棚式がアレイ式より多く、設備の遮光率は藤棚式で 30%～40%のもの、アレイ式で 50%以上のものが多いことがわかる(図 6-3 参照)。



(a) 遮光率の件数割合 (n=112 件)



(b) 遮光率の件数割合 (架台形式別：藤棚式 95 件、アレイ式 17 件)

図 6-3 営農型太陽光発電システムにおける遮光率の調査結果

7. 設計荷重

1. 設計荷重は、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」⁷⁻¹⁾に準じて算定する。ただし、公共工事標準仕様書などで指定がある場合にはそれに従う。

7.1 想定荷重と荷重の組合せ

1. 太陽電池架台および基礎の設計で想定する荷重は、上部構造に作用し基礎に伝達される固定荷重・積雪荷重・風圧荷重・地震荷重とする。
2. 前号に掲げる荷重のほか、当該設置環境において想定される荷重を考慮する。
3. 各荷重の組合せは表 7-1 に従う。

表 7-1 荷重条件と荷重の組合せ

荷重条件		一般の地方	多雪区域
長期	常時	G	G
	積雪時		$G+0.7S$
短期	積雪時	$G+S$	$G+S$
	暴風時	$G+W$	$G+W$
			$G+0.35S+W$
	地震時	$G+K$	$G+0.35S+K$

G : 固定荷重、 S : 積雪荷重、 W : 風圧荷重、 K : 地震荷重

7.2 固定荷重

1. 固定荷重は太陽電池モジュールの重量と支持物の重量の総和とする。
2. 支持物にパワーコンディショナ、配線、その他の機器などが固定されている場合、それらの重量も加算する。
3. 支持物を利用して果樹棚等を取り付ける場合は棚や果樹等の重量も加算する。

架台にパワーコンディショナや配線などが固定されている場合には固定荷重が増加するため、それらの重量を加算する必要がある。特にパワーコンディショナの固定荷重は局所的に作用するので、取付けられる支柱の地震荷重や当該基礎への鉛直荷重に算入する。

7.3 風圧荷重

1. 太陽電池アレイ用支持物の設計用風圧荷重は、式 (7.1) に示すアレイに作用する風圧荷重 W_a と式 (7.2) に示す支持物構成材などに作用する風圧荷重 W_b の両方を考慮する。
2. アレイの風圧荷重はモジュールの面に垂直に作用することとし、支持物構成材などの風圧荷重は水平に作用することとしてもよい。なお、支持物構成材などとは、支持物に付帯するパワーコンディショナや接続箱なども含む。
3. アレイ面の受風面積は、モジュールの周囲に付けられる部材を含む面積とする。
4. 傾斜地に設置されるアレイにおいては、傾斜地設置型太陽光発電設備ガイドライン⁷⁻²⁾に示された設計風速の割増しについても考慮する。
5. 支持物を利用して果樹棚等を取付ける場合は棚および果樹等に作用する風圧荷重を適切に設定して加算する。

$$W_a = C_a \times q_p \times A_a \dots \dots \dots (7.1)$$

$$W_b = C_b \times q_p \times A_b \dots \dots \dots (7.2)$$

ここに W_a : アレイ面の設計用風圧荷重 (N)
 W_b : 支持物構成材などの設計用風圧荷重 (N)
 C_a : アレイ面の風力係数
 C_b : 支持物構成材の風力係数
 q_p : 設計用速度圧 (N/m²)
 A_a : アレイ面の受風面積 (m²)
 A_b : 支持物構成材の鉛直投影面積 (m²)

※ C_a 、 C_b 、 q_p は JIS C 8955:2017⁷⁻¹⁾による。

JIS C 8955:2017 では、アレイ面と支持構成材に作用する風圧荷重を設定することとしているが、支持物に付帯するパワーコンディショナや接続箱などについても風圧荷重が作用するため、本ガイドラインではそれらの荷重も加えることとした。

【技術資料：藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験（設計用風力係数の検討）】および【技術資料：アレイ式（足高式）営農型太陽光発電設備の風洞実験】は、藤棚式架台とアレイ式（足高式）の風洞実験結果について示している。この結果から得られた支持物設計用の風力係数を以下に示す。

(1) アレイ式（足高式）の設計用風力係数

アレイ式の架台は、一般的な地上設置型の架台を高くした形状であるため、JIS C 8955:2017 に示す地上設置型の風力係数と同様、アレイ面の傾斜角 θ を用いた式 (7.3)、式 (7.4) で風力係数を与えることができる。

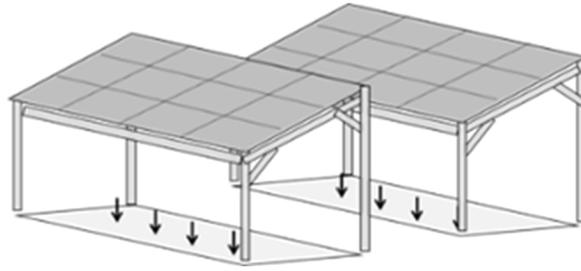


図 7-1 アレイ式架台

順風（正圧）の場合

$$\text{端部アレイ } C_a = 0.9 + 0.05\theta - 0.0005\theta^2 \dots\dots\dots (7.3)$$

ただし、 $5 \text{ 度} \leq \theta \leq 30 \text{ 度}$

中央部アレイは端部アレイの 0.6 を乗じた値とすることができる

逆風（負圧）の場合

$$\text{端部アレイ } C_a = 1.0 + 0.04\theta - 0.0005\theta^2 \dots\dots\dots (7.4)$$

ただし、 $5 \text{ 度} \leq \theta \leq 30 \text{ 度}$

中央部アレイは端部アレイの 0.7 を乗じた値とすることができる

なお、端部アレイと中央部アレイは JIS C 8955:2017 での図 2 と同様の範囲とする。

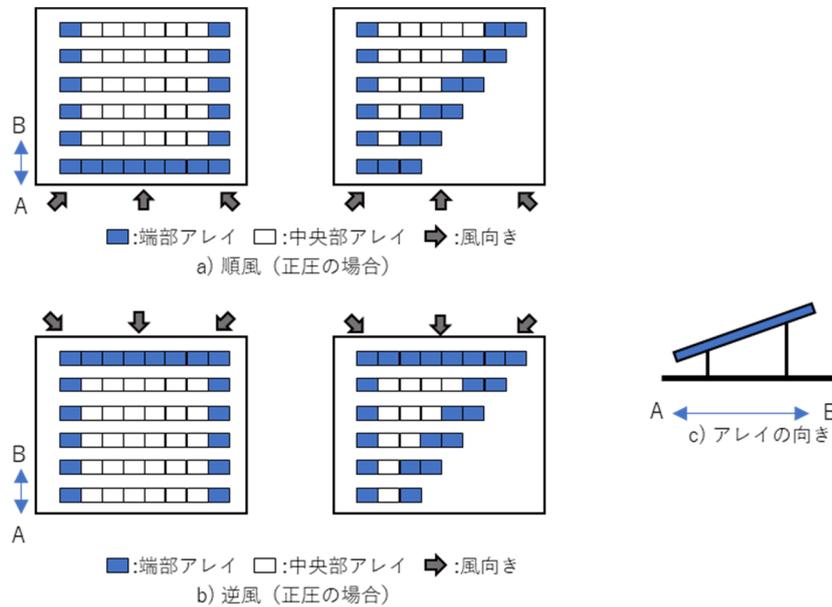


図 7-2 端部アレイと中央部アレイの範囲

一方、藤棚式の架台については、多スパン構造（多数の支柱が梁で連結された構造）で、太陽電池モジュールが疎らに配置されるため、アレイ式とは異なる設計用風力係数を与える必要がある。表 7-2は、【技術資料：藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験（設計用風

力係数の検討)】に示した実証実験(風洞実験)の結果をもとに設定した藤棚式の設計用風力係数であり、風圧荷重の算定対象とする面積(ここでは「対象面積」と称する。対象面積はアレイ面を含む解析対象フレームの外郭面積を想定) A_0 、遮光率 β 、アレイ面の角度 θ に対応したアレイの風力係数として与えている。対象面積 A_0 は、ここでは図 7-5 に示す①～③で設定されており、解析対象のフレームの範囲に応じて設定できるように与えられている。遮光率 β (35%、70%) およびアレイ面の角度 θ (10 度、30 度) は、風洞実験での測定条件にもとづいている。設計用風力係数としては、アレイ面の設計用風力係数 C_a とモーメント係数 C_M を与えており、図 7-4 に示す風圧荷重 W_a および M_a (モーメント) を考慮することで、支持物の各部材(モジュール固定金具、梁、支柱など)に作用する荷重の偏りを含めたより合理的な荷重設定を行うことができる。なお、風圧荷重 W_a および M_a は式(7-5)、式(7-6)で算出することができる。また、ここでの端部アレイと中央部アレイの領域は JIS C 8955:2017 とおおむね同様であるが、図 7-5 に示すように対象面積によって領域の範囲(幅)が変化することに注意する必要がある。

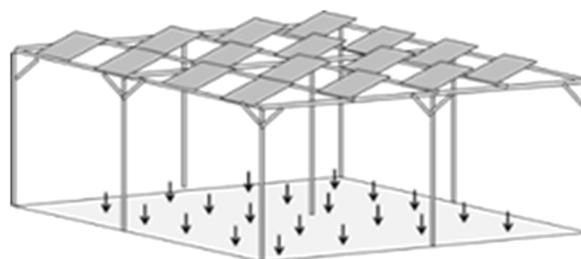


図 7-3 藤棚式架台

$$W_a = C_a \times q_P \times A_0 \times \beta \dots\dots\dots (7.5)$$

$$M_a = C_{Ma} \times q_P \times A_0 \times \beta \times L_a \dots\dots\dots (7.6)$$

- ここに
- W_a : アレイ面の風圧荷重(N)
 - M_a : アレイ面の設計用モーメント (Nm)
 - C_a : アレイ面の風力係数
 - C_{Ma} : アレイ面のモーメント係数
 - q_P : 設計速度圧 (N/m²)
 - A_0 : アレイの外郭面積 (m²)
 - β : 遮光率
 - L_a : アレイのモーメント距離 (m)

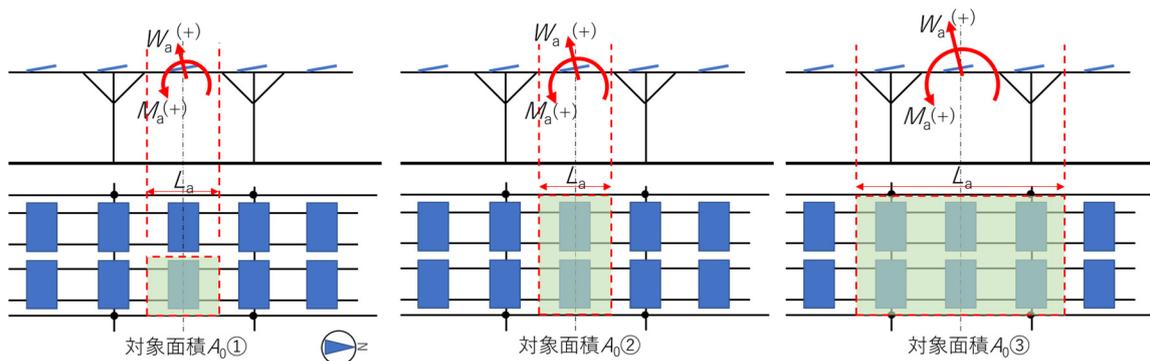


図 7-4 風圧荷重 W_a , M_a , 対象面積 A_0 およびモーメント距離 L_a の定義

表 7-2 営農型太陽光発電設備（藤棚式）の設計用風力係数

アレイの角度 θ (度)		10	10	30	30	10	10	30	30
遮光率 β (%)		35	70	35	70	35	70	35	70
対象面積 A_0 (m^2)		端部アレイ：順風（正圧）				端部アレイ：逆風（負圧）			
C_a	①3.5	2.2		3.2		-2.5		-3.4	
	②7.0	2.0		3.1		-2.3		-3.2	
	③25.6	1.3	1.1	1.9	1.3	-1.4	-1.2	-2.0	-1.5
C_{Ma}	①3.5	0.20			0.30	0.25	0.40	0.25	0.40
	②7.0	0.20				0.20	0.35	0.20	0.35
	③25.6	0.20		0.30		0.20		0.35	
対象面積 A_0 (m^2)		中央部アレイ：順風（正圧）				中央部アレイ：逆風（負圧）			
C_a	①3.5	1.7	1.3	2.3	1.5	-1.7	-1.3	-2.3	-1.8
	②7.0	1.5	1.2	2.0	1.3	-1.5	-1.3	-2.2	-1.7
	③25.6	0.8	0.6	1.3	0.7	-1.0	-0.7	-1.6	-1.2
C_{Ma}	①3.5	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20			
	②7.0	0.10			0.20	0.15		0.10	0.20
	③25.6	0.10				0.10			

備考：対象面積①～③はそれぞれ次の面積を想定している。

①： $2m \times 1.2m = 2.4m^2$ ($\beta=70\%$) \sim $2m \times 2.3m = 4.6m^2$ ($\beta=35\%$) $\Rightarrow 3.5m^2$ (中央値)

②： $4m \times 1.2m = 4.8m^2$ ($\beta=70\%$) \sim $4m \times 2.3m = 9.2m^2$ ($\beta=35\%$) $\Rightarrow 7.0m^2$ (中央値)

③： $4m \times 5.8m = 23.2m^2$ ($\beta=70\%$) \sim $4m \times 7m = 28m^2$ ($\beta=35\%$) $\Rightarrow 25.6m^2$ (中央値)

アレイの角度が 10～30 度、遮光率が 35～70%、対象面積 A_0 が 3.5～25.6 m^2 の範囲内にある場合には、それぞれについて直線補完した値を用いることができる。

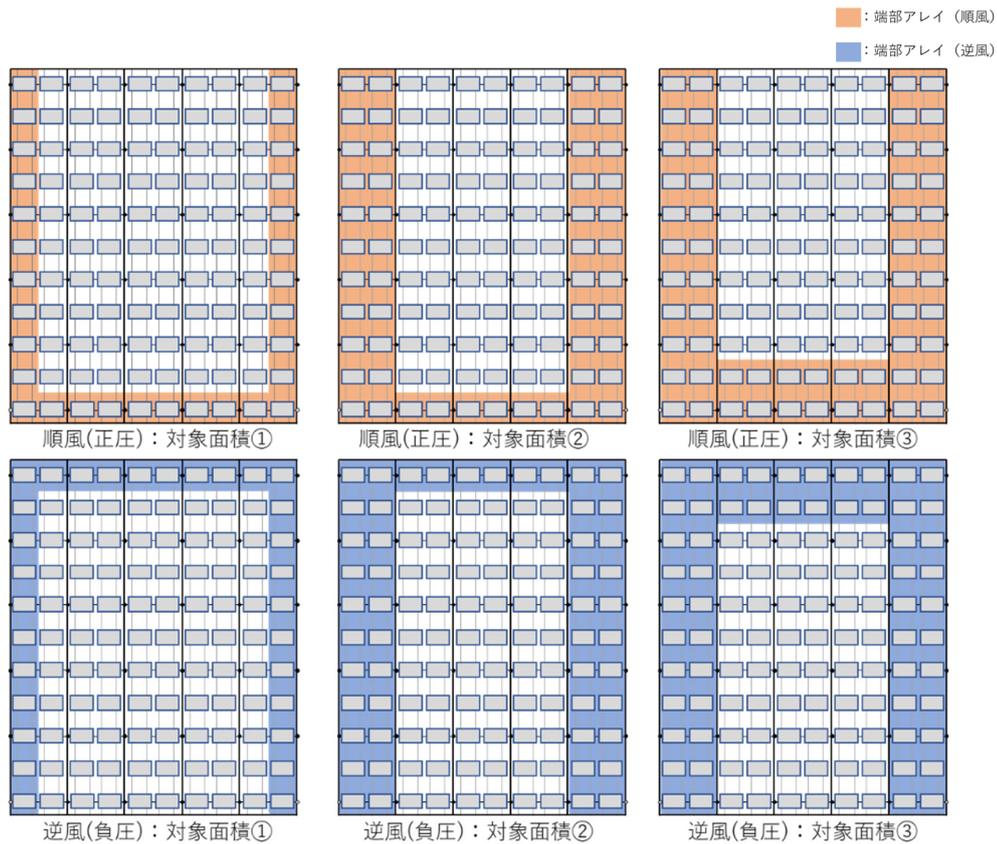


図 7-5 端部アレイの領域

なお、架台形式やモジュールの配置パターンが【技術資料：藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験（設計用風力係数の検討）】に示したものと大きく異なる場合には、風洞実験を実施して風力係数を確認する必要がある。風洞実験の実施に当たっては、自然風の気流特性の再現や縮小模型を使用した場合の実験相似則の考慮など、専門的な知識を要するため、次の文献を参考に専門家の指導のうえ実施する。

- ・ 「太陽光発電システム耐風設計マニュアル」、太陽光発電システム風荷重評価研究会編、日本風工学会・東京工芸大学風工学研究拠点、2017年2月⁷⁻³⁾
- ・ 「実務者のための建築物風洞実験ガイドブック」、日本建築センター、2008年⁷⁻⁴⁾

7.4 積雪荷重

1. 設計用積雪荷重は、式 (7.7) によって算出する。

$$S_p = C_s \times P \times Z_s \times A_s \times 100 \dots \dots \dots (7.7)$$

ここに S_p : 積雪荷重 (N)
 C_s : 勾配係数
 P : 雪の平均単位荷重 (積雪 1cm 当たり N/m^2)
 Z_s : 地上垂直積雪量 (m)
 A_s : 積雪面積 (アレイ面の水平投影面積) (m^2)

※ C_s 、 P 、 Z_s は JIS C 8955:2017⁷⁻¹⁾による。

2. 太陽光発電システムのアレイ面の上端から下端までの水平投影長さが 10m 以上、かつ、アレイ面の傾斜角度が 15 度以下の場合、平成 19 年国土交通省告示第 594 号に従って割増荷重を考慮する。

3. アレイ面の下端に作用する積雪荷重 (軒先荷重) は、必要に応じて傾斜地設置型太陽光発電システム的设计・施工ガイドライン 2023 年版⁷⁻²⁾の 8.4 節を参考に設定する。

アレイ面と地上の積雪が繋がる状態になると、アレイの下端部にはアレイ上面の積雪荷重だけでなくアレイ上面からせり出した分の積雪荷重 (軒先荷重) も作用する。積雪被害においては、この軒先荷重によってアレイ下端が下方向に折れ曲がる被害が多くみられるので、軒先荷重の考慮は重要である。軒先荷重を考慮する条件は、アレイ面の長さにもよるが、アレイ下端の高さが地上垂直積雪量のおおむね 2 倍 ($h/Z_s \leq 2$) 以下である (図 7-6 参照)。

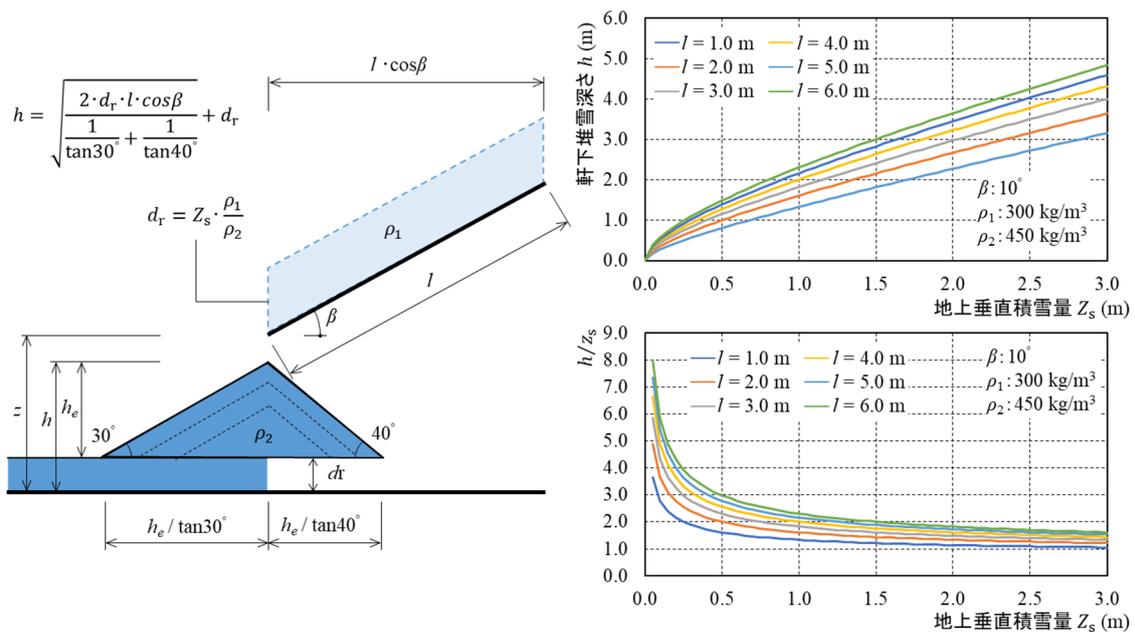


図 7-6 軒高算定モデルと地上垂直積雪量と軒高との関係

7.5 地震荷重

1. 設計用地震荷重は、一般の地方では式 (7.8)、多雪区域では式 (7.9) によって算出する。

$$K_p = k_p \times G \dots\dots\dots (7.8)$$

$$K_p = k_p \times (G + 0.35S) \dots\dots\dots (7.9)$$

ここに K_p : 設計用地震荷重 (N)
 k_p : 設計用水平震度
 G : 固定荷重 (N)
 S : 積雪荷重 (N)

※ k_p は JIS C 8955:2017⁷⁻¹⁾による。

参考文献

- 7-1) 日本規格協会: 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
- 7-2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: 傾斜地設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン、2023
- 7-3) 太陽光発電システム風荷重評価研究会編: 太陽光発電システム耐風設計マニュアル、日本風工学会・東京工芸大学風工学研究拠点、2017
- 7-4) 日本建築センター: 実務者のための建築物風洞実験ガイドブック、2008

8. 使用材料

8.1 鋼材

1. 支持物に使用される鋼材は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。また、使用される目的、部位、環境条件、耐久性などを考慮して選定する。
2. 建築系、土木系の各種技術基準などに示されている J I S 規格に基づく材料を使用する場合、技術基準などに示されている断面性能諸元などの特性値を使用することができる。

鋼材の材質・形状・寸法は、原則として鋼構造設計規準—許容応力度設計法—⁸⁻¹⁾および軽鋼構造設計施工指針・同解説⁸⁻²⁾に従い、適切に選定する。コンクリートの補強などに使用する鉄筋および金網は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」⁸⁻³⁾および JIS G 3551「溶接金網及び異形鉄筋格子」⁸⁻⁴⁾に従い、適切に選定する。ステンレス鋼などの特殊鋼については、その強度特性、耐久性などを十分に考慮して、適切に選定する。

鋼構造設計規準—許容応力度設計法—⁸⁻¹⁾および軽鋼構造設計施工指針・同解説⁸⁻²⁾に記載がない、もしくは海外規格などの鋼材については、その強度特性、耐久性などを十分に考慮して適切に選定する。

8.2 アルミニウム合金材

1. 架台に使用するアルミニウム合金材は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。
2. アルミニウム合金材の材質は、使用される目的、部位、環境条件、耐久性などを考慮して選定する。

アルミニウム合金材の材質・形状・寸法は、原則としてアルミニウム建築構造設計規準・同解説⁸⁻⁵⁾に従い、適切に選定する。アルミニウム建築 構造設計規準・同解説⁸⁻⁵⁾に記載がない、もしくは海外規格などのアルミニウム合金材についてはその強度特性、耐久性などを十分に考慮して、適切に選定する。

8.3 コンクリート

1. 支持物に使用するコンクリートおよびコンクリート製品は、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。また、使用される目的、部位、環境条件、耐久性などを考慮して、コンクリートの適切な規格・仕様を選定する。

支持物に使用するコンクリート材料の種類および品質は、原則として建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事⁸⁻⁶⁾またはコンクリート標準示方書⁸⁻⁷⁾に従い、適

切に選定する。使用するコンクリート強度について、無筋コンクリートでは圧縮強度 18N/mm^2 、鉄筋コンクリートでは圧縮強度 24N/mm^2 以上を使用することが望ましい。コンクリート製品は J I S 規格に準拠する製品を基本とし、強度特性が明確なものを使用する。

8.4 その他材料

1. その他の材料を用いる場合には、使用される目的、使われる部位、環境条件、耐久性などを勘案し、設計条件に耐え得る安定した品質をもつ材料とする。
2. 使用にあたっては、その材料強度を把握する。

新材料に関しては、その強度特性、耐久性などを十分に考慮して、適切に選定する。

参考文献

- 8-1) 一般社団法人日本建築学会: 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—、2005
- 8-2) 一般社団法人日本建築学会: 軽鋼構造設計施工指針・同解説、2002
- 8-3) 一般社団法人日本規格協会: JIS G 3112:2020 鉄筋コンクリート用棒鋼、2020
- 8-4) 一般社団法人日本規格協会: JIS G 3551:2005 溶接金網及び異形鉄筋格子、2005
- 8-5) アルミニウム建築構造協議会: アルミニウム建築構造設計規準・同解説、2016
- 8-6) 一般社団法人日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工、2018
- 8-7) 土木学会: コンクリート標準示方書、(【設計編】、2017) 他

9. 架台設計

9.1 架台設計の注意点（農作業空間の確保、農業機械衝突への配慮）

1. 営農に支障をきたさない程度の十分な空間確保が可能な柱の間隔および梁の高さとし、架台下の作業空間を分断する筋交いなどの配置は最小限とする。
2. 設計荷重に対する耐力を有し、かつ簡易な構造で容易に撤去できるものとする。
3. 農業機械などが衝突した際に架台が連鎖的に倒壊しない構造とする。

営農型太陽光発電設備の支持物は、電気事業法、発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令での構造上の要求を満足させた上で、農振局長通知での「簡易な構造で容易に撤去できる構造」とする必要がある。これらの要求は、一般的な地上設置型太陽光発電システムに比べて、より高度な設計となることを意味している。また、農業従事者の安全確保（負傷や感電の防止）のため、農業機械などが架台や基礎に衝突した際はその損傷範囲を部分的にとどめ、架台が連鎖的に倒壊しないよう構造上の冗長性をもたせることを要求している。なお、衝突時の農業機械の停止距離を想定できる場合には、次のような検討を行うことで架台の倒壊の可能性について確認することができる。

- ① 農業機械が支柱（あるいは梁）に衝突してからの停止距離を想定する。
- ② 衝突した支柱（あるいは梁）に停止距離分の強制変位を与えて応力解析を行う。
- ③ 架台の変形の範囲が限定的であり、倒壊しない性能を維持できることを確認する。

9.2 架構形式と構造解析モデル

1. 架台は x 方向、y 方向（一般的には東西方向、南北方向）のいずれの構面についても安定構造とする。
2. 架台の構造解析モデルは、部材、接合条件、柱脚部の支持条件を正しく設定し、架台の実情を正しく再現する。
3. 接合部が偏心している場合、構造解析モデルにもその偏心が考慮されていることを基本とする。接合部での偏心を反映できない場合、別途、構造計算により求めた応力を用いて偏心による付加応力を求め、部材の断面算定においてその応力を反映させる。
4. 杭基礎の場合、上部構造と杭を一体とした構造モデル化を行う。ただし、杭の変位が微小であり、上部構造の応力状態への影響が軽微である場合、この限りではない。

構造解析モデルの作成において、架構形式を正確に再現することは難しいことから、各種の仮定が設定されるが、それらの仮定が構造設計上、安全側に評価されるよう設定することが重要である。特に、太陽光発電設備の架台の接合部は、部材間の軸心がずれている偏心接合が多く、その場合には偏心によって作用する付加応力の影響を考慮する必要がある。また、地上から突出した杭基礎の上端に接合された支柱の場合、杭基礎の変形が架台の部材応力

に与える影響が大きいので、支柱基部の支持条件を正しくモデル化する必要がある。これらの詳細については、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版⁹⁻¹⁾の 6.1 節を参照されたい。

なお、藤棚式架台のように東西および南北の方向に複数の柱スパンで架台が構成されている場合、架台全体を再現した解析モデルとすることを原則とする。ただし、多数の柱スパンで構成されている場合には、東西、南北方向ともに端部アレイを含む 2 スパン以上の範囲を再現した解析モデルとすることがある。また、架台にパワーコンディショナや接続箱等の電気設備が取り付けられている場合には、その範囲を含めてモデル化する（図 9-1）。

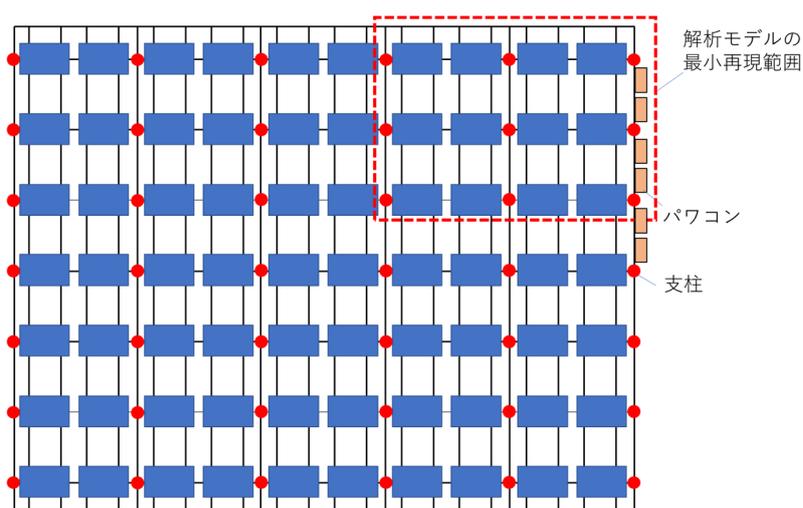


図 9-1 藤棚式架台における構造解析モデルの最小再現範囲の例

9.3 構造計算

1. 荷重の算定は「7. 設計荷重」に従う。
2. 応力と変形の算定には、力のつり合い式やマトリックス変位法などを用いる。
3. 架台部材および基礎設計は、許容応力度設計とする。
4. 部材の設計には、部材の材質・形状や板厚などの特徴に合った法令・学会指針類を適用する。
5. 許容応力度の算定には、補剛などを考慮した適切な支点間長さを用い、座屈などを考慮した評価式を用いる。
6. 部材の応力度検定には、幅厚比や突出部の控除を考慮した有効断面積を用いる。

構造計算の詳細については、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版⁹⁻¹⁾の 6.2 節を参照されたい。なお、営農型太陽光発電設備の架台は、一般的な地上設置型太陽光発電設備より、アレイ面の高さが高く支柱間隔が広いいため、強風や地震などによって変形が大きくなりやすい。そのため、押え金具などによって固定される部材（部材を貫通するボルトなどによる固定されていない部材）においては、架台の変形に伴い脱落する危険

性があるため、架台の変形量を考慮して固定部の安全性を確認する必要がある。また、架台の振動に伴うボルトの緩みや脱落の防止措置についても実施する。

参考文献

- 9-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版、2019

10. 基礎の設計

10.1 農地における基礎設計の注意点

1. 上部構造から伝達する荷重に対して、沈下、浮上がりおよび横移動しない性能を有し、かつ容易に撤去できるものとする。
2. 基礎が専有する面積は、前号の性能を確保できる最小限とする。

基礎が専有する面積は農地の一時転用の対象となるため、基礎の面積は必要最小限にする必要がある。特に、直接基礎とする場合には杭基礎に比べて基礎の面積が大きくなるため、基礎の高さ（深さ）によって抵抗力を確保する工夫が必要である。

また、営農型太陽光発電設備はアレイ面が高い位置に設置されるため、基礎に作用する転倒モーメントが大きくなる。基礎の底面積を大きくすることが難しい営農型太陽光発電システムでは、基礎の根入れを深くして転倒モーメントに対する反力を確保する必要がある。農地の表層地盤は柔らかい作土層であり十分な水平方向の抵抗力が期待できないため、基礎の根入れ深さを確保することが重要である。さらに、30農振76号で要求されている「簡易な構造で容易に撤去できる支柱」とする必要があるため、基礎に関しても容易に撤去できるものである必要がある。

10.2 基礎形式

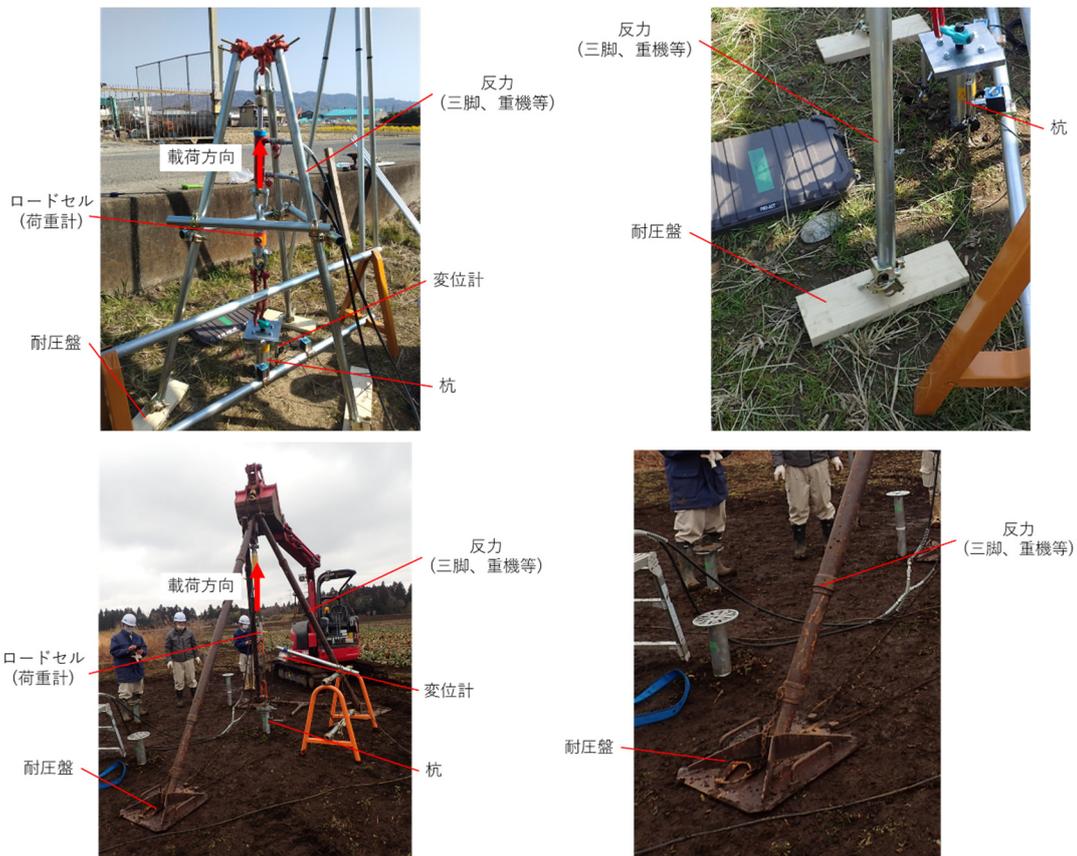
1. 基礎は杭基礎を基本とする。
2. 直接基礎とする場合には、基礎の専有面積が大きくなならない独立基礎とする。
3. 作土層を保護する観点から、原則として地盤改良工法は行わない。

10.3 杭基礎の設計

1. 杭基礎に使用する材料は、使用目的や地盤条件に適したものを選定する。
2. 杭基礎の杭芯と上部構造柱芯に偏心がある場合、これを考慮した金具などを準備し、ボルトなどで緊結する。
3. 杭の長期、短期許容支持力は、地盤から定まる長期、短期許容支持力と杭体の長期、短期許容力のうち、小さい方の値とする。
4. 杭の許容鉛直支持力（押し込み力・引抜き力）は、載荷試験によって求めることを基本とし、杭の長期許容支持力（押し込み・引抜き）は、極限支持力の1/3、杭の短期許容支持力は、極限支持力の2/3とする。
5. 杭の水平抵抗力は、水平載荷試験によって求められた水平地盤反力係数をもとに、「建築基礎構造設計指針：日本建築学会¹⁰⁻¹⁾」に示されている水平抵抗算定式を用いて適切に求める。
6. 地盤の凍結が想定される地域では凍上対策を検討する。

杭基礎の設計の詳細については、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019年版¹⁰⁻²⁾の7.5節を参照されたい。

図 10-1 は農地における杭の載荷試験の様子である。杭の載荷試験を軟弱地盤において行う場合は、十分な反力を確保できるように配慮する。また、営農型太陽光発電システムの架台においては、アレイ面の位置（荷重の作用位置）が高いため、一般的な地上設置型太陽光発電システムの杭と比較して、杭に作用する転倒モーメントが大きくなる。そのため、杭の水平載荷試験においては、杭に作用する水平力と転倒モーメントのバランスを考慮して、高い位置での載荷を行うことが望ましい（図 10-1(c)および図 10-2 参照）。ただし、基礎と支柱の接合部をピン接合（またはピンに近い接合）とする架構形式の場合には、杭頭（柱脚）にはモーメントが生じない（または大きいモーメントが生じない）ため、杭頭の高さにおいて水平力を載荷することができる。なお、農地における杭の抵抗力試験結果の概要については、【技術資料：農地における杭の抵抗力試験結果の概要】に示しているもので、参照されたい。



(a) 引抜き載荷試験の状況

(b) 反力用の耐圧盤



(c) 水平荷重試験の状況

図 10-1 農地（水田）での杭の荷重試験の例

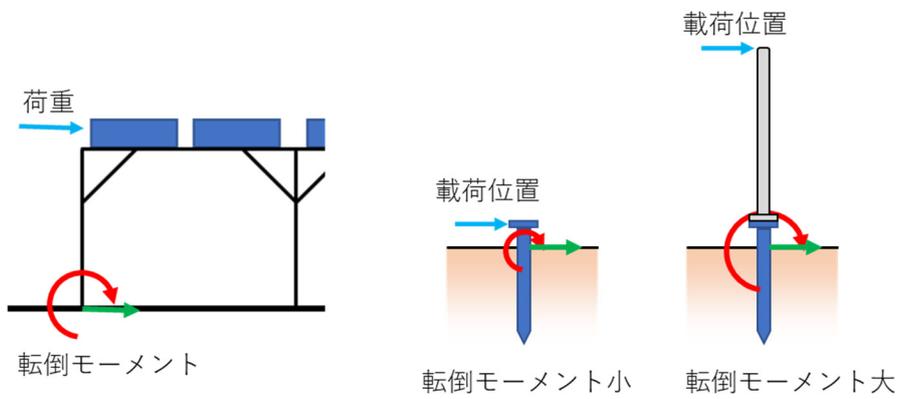


図 10-2 荷重点の違いによる杭に作用するモーメント

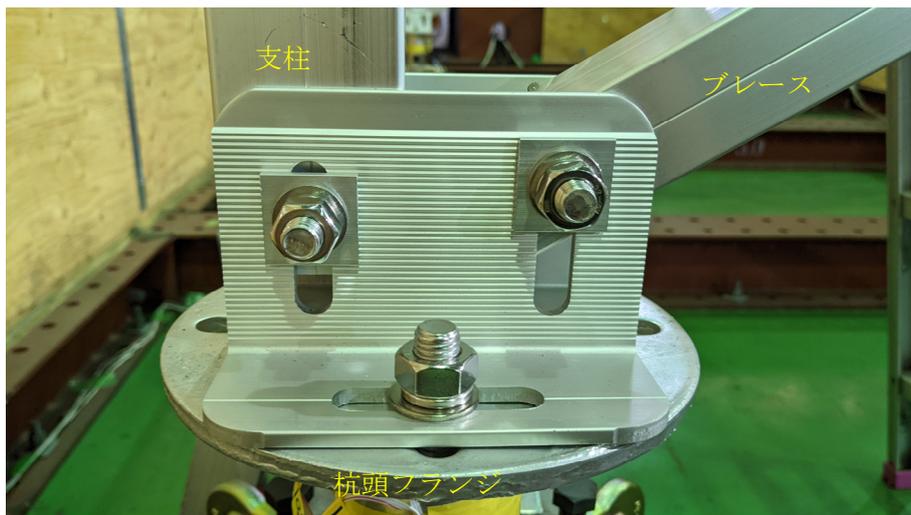


図 10-3 ピン接合の杭頭接合部の例

寒冷地において、地盤が凍上性を有する土質の場合には（凍上性の確認は5.2.7を参照）、凍結深さまで凍上を起しにくい材料で置き換える置換工法を実施するか、凍上を発生させない対策を講じる必要がある。凍上対策の選定にあたっては、経済性、施工性、耐久性等を勘案して、適切な対策工法を選定するよう留意する必要がある。

架台の基礎として、スパイラル杭を用いることは凍上対策として有効である。これは、スパイラル杭の羽根の上面に、土圧が作用して、凍上による鉛直上方への変位を抑制するためである。

図10-4にスパイラル杭の適切な埋設方法について示す。実証実験の結果から、図10-4(a)のようにスパイラル杭を最大凍結深さの2倍から3倍程度深く埋設することで、凍上対策として高い効果が得られることが明らかとなっている（実証実験の結果は【技術資料：実物大模型実験による太陽電池アレイ架台の凍上被害発生メカニズムの解明に関する研究】を参照）。また、図10-4(b)のように埋設深さが最大凍結深さよりも浅い場合には、たとえスパイラル杭であっても凍上対策としての効果が得られない。なお、羽根の無い円筒型の杭やH型鋼の杭、羽根の小さなスクリー杭等でも、埋設深さが適切であれば、凍上による変位を低減することができる。ただし、当該箇所の地質が極めて高い凍上性を有している場合や、上部構造が凍上変位を許容できないような場合には、断熱工法や置換工法などを併用した凍上対策についても、検討することが望ましい。

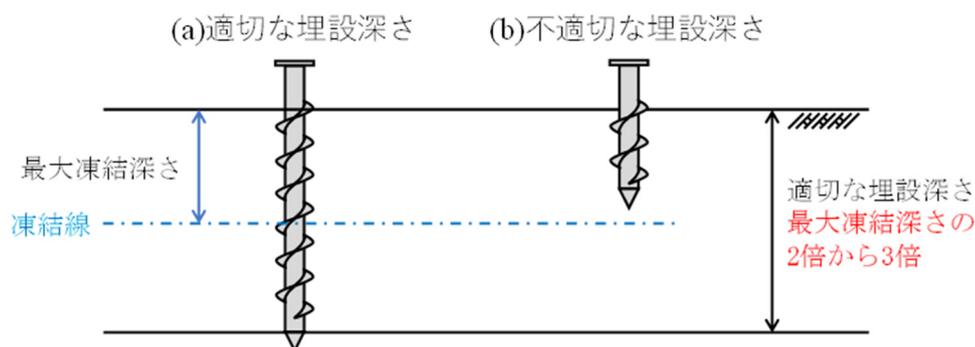


図10-4 杭基礎の適切な埋設方法

10.4 直接基礎の設計

1. 直接基礎は、原則として独立基礎とし、地上部分の基礎面積は最小限にとどめる。
2. 基礎は、一体の鉄筋コンクリート造とする。
3. 基礎に作用する荷重（支点反力）に対して、沈下、浮上がり、横移動、転倒が生じないように、十分な安全性を確保する。
4. 立ち上がりを高くする場合、柱筋・あばら筋を配置する。
5. 地盤の凍結が想定される地域では凍上対策を検討する。

杭基礎の設計の詳細については、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版¹⁰⁻²⁾の 7.5 節を参照されたい。

軟弱な地盤に独立基礎を設置するためにやむを得ず地盤改良を行う場合には、セメント系改良剤を使用するとその周辺地盤がアルカリ性に変化し、農作物の種類によってはその育成に悪影響を与えることもある。そのため、地盤改良材の選定にあたっては当該農地の農作物への影響がないものとする。

寒冷地において、地盤が凍上性を有する土質の場合には（凍上性の確認は 5.2.2 を参照）、凍結深さまで凍上を起こしにくい材料で置き換える置換工法を実施するか、凍上を発生させない対策を講じる必要がある。凍上対策の選定にあたっては、経済性、施工性、耐久性等を勘案して、適切な対策工法を選定するよう留意する必要がある。また、フーチング幅は土圧が作用するように、十分に広くする必要もある。

架台の基礎として、独立基礎、布基礎を用いることは凍上対策として有効である。これは、基礎底板（フーチング）の上面に、土圧が作用して、凍上による鉛直上方への変位を抑制するためである。ただし、フーチングの上面に凍結線が達した時点で凍上が発生してしまうため、フーチングの上面が最大凍結深さよりも深い位置となるよう埋設することに留意する必要がある。

図 10-5 に独立基礎及び布基礎の適切な埋設方法について示す。実証実験の結果より、埋設深さは地表面からフーチング上面までの深さとして、予測される最大凍結深さの 1.2 倍程度の深さで設計することで凍上を防ぐことができる（実証実験の結果は【技術資料：実物大模型実験による太陽電池アレイ架台の凍上被害発生メカニズムの解明に関する研究】を参照）。ただし、当該箇所の地質が極めて高い凍上性を有している場合や、上部構造が凍上変位を許容できないような場合には、断熱工法や置換工法などを併用した凍上対策についても、検討することが望ましい。

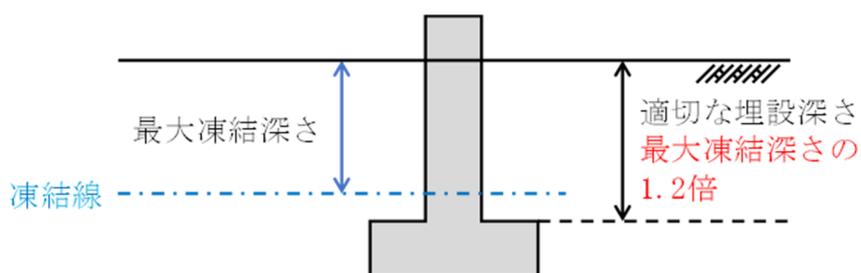


図 10-5 独立基礎及び布基礎の適切な埋設方法

参考文献

10-1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019

10-2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社奥地建産：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版、2019

11. 腐食防食

11.1 営農環境における腐食の注意点（湛水、散水、薬品などの影響）

1. 使用する肥料や薬剤の成分を確認し、架台、基礎の主要な部材は、肥料や薬剤により著しい腐食が生じない材料とする。また、肥料や薬剤によって架台、基礎の主要な部材に著しい腐食が予想される場合、使用する肥料や薬剤を変更する。
2. 営農により柱や基礎が傷つけられると、めっきや塗装などの表面処理の防食効果が得られなくなる可能性があるため、特に柱や基礎の直近は営農の作業性を考慮して設計する。

11.2 架台の腐食と防食

1. 架台の主要な部材に構造上致命的な均一腐食による減肉がないこと、または、構造上致命的な腐朽がないようにする。
2. 地際部や異種金属接触部など、局部的な腐食の発生が懸念される場合、それらが集中して発生しないように適切な防食処理などを施す。
3. 環境に応じた材料の耐食性を評価し、架台の主要な部材には適切な防食処理を施す。

架台の腐食形態とその防食方法の詳細は、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版¹¹⁻¹⁾の 8.3 節を参照されたい。

11.3 基礎（杭基礎）の腐食と防食

1. 基礎（杭基礎）の腐食と防食は、11.2 節の架台の腐食と防食に準ずる。
2. 営農により肥料や農薬などの散布や散水が頻繁に行われるため、土壌中の環境は高い腐食性を示す可能性があり、土壌の腐食性を評価する。
3. 評価された土壌の腐食性に合わせた耐食性をもつ材料を基礎（杭基礎）に使用する。

基礎（杭基礎）の腐食形態と、その防食方法の詳細は、地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版¹¹⁻¹⁾の 8.4 節を参照されたい。

土壌の腐食性評価は、米国国家規格協会の ANSI/AWWA C105/A21.5-18¹¹⁻²⁾*やドイツ規格協会の DIN50929-3:2018-03¹¹⁻³⁾などが参考になる。

※参考：ANSI/AWWA C105/A21.5-18 では、表 11-1 中の測定（抵抗率、pH、酸化還元電位、水分、硫化物）を実施し、各測定値から点数を付け、合計点が 10 点以上で腐食性が大きいと評価される。

表 11-1 土壌の腐食性評価

測定項目	測定値	点数	測定項目	測定値	点数
抵抗率 [Ω・cm]	<700	10	酸化還元電位 Redox 電位 [mV]	>100	0
	700~1000	8		50~100	3.5
	1000~1200	5		0~50	4
	1200~1500	2		<0	5
	1500~2000	1	水分	排水悪く常に湿潤	2
	>2000	0		排水かなり良、 一般に湿っている	1
		排水良、 一般的に乾燥		0	
pH	0~2	5	硫化物	検出	3.5
	2~4	3		痕跡	2
	4~6.5	0		なし	0
	6.5~7.5	0※			
	7.5~8.5	0			
	>8.5	3			

※硫化物が存在し、Redox 電位が低いときは3点を加算する。

参考文献

- 11-1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、太陽光発電協会、株式会社
奥地建産：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版、2019
- 11-2) 米国国家規格協会：ANSI/AWWA C105/A21.5-18 Polyethylene Encasement for Ductile-Iron
Pipe Systems, 2018
- 11-3) ドイツ規格協会：DIN50929-3:2018-03 Corrosion of metals – Corrosion likelihood of metallic
materials when subjected to corrosion from the outside – Part 3: Buried and underwater pipeline
and structural components, 2018

12. 電気設備の設計：営農型における電気設計の注意点

12.1 感電防止対策に関する注意点

1. 農業従事者および一般公衆の感電防止対策を配慮した電気設計とする。
2. 出力が 50kW 未満の場合、直流の対地電圧を 450V 以下とする。
3. 出力が 50kW 以上の場合、50kW 未満のパワーコンディショナで分割した電気設計とするとともに直流の対地電圧を 450V 以下とする。分割ができない場合には、地絡検知・遮断機能、警報の機能、接地の確保を定期的に確認できる設計および体制とする。
4. 750V を超える電圧を利用する場合には、地絡検知・遮断機能、警報の機能、接地の確保を定期的に確認できる設計および体制とする。

平成 30 年度末時点での営農型太陽光発電システムの設置者は、主として発電事業を営んでいる発電事業者が 58%、農業従事者が 42%であり、必ずしも農業従事者自らが太陽光発電システムを主体的に設置しているとは限らない。このような場合には、農業従事者へのリスクの周知と注意喚起を行うことが必要である。具体的には、設計と施工を行う E P C（設計エンジニアリング（Engineering）、調達（Procurement）、建設（Construction））事業者が責任をもって、農業従事者とのリスクコミュニケーションを行うことが重要である。

農業従事者および一般公衆の感電防止対策を配慮した電気設計としては、物理的な接触防止措置を行うことが有効である。柵塀等の設置が可能な場合は、一般公衆への対策には有効である。現状、経済産業省の事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）¹²⁻¹⁾において「10kW 以上 50kW 未満の営農型太陽光発電等を実施し、柵塀等の設置により営農上支障が生じると判断される場合には、柵塀等の設置を省略することができる」とされている。また、この場合「容易に第三者が近づき事故等が起こることを防ぐため、発電設備が設置されていることについて注意喚起を促す標識」が求められている。そのため、一般公衆が太陽光発電システムに関連する機器や設備に触れないように促す標識を設置することが必要である。特にパワーコンディショナや接続箱などの電気機器には感電注意などの安全標識を付けることが望ましい。

また、接触防止措置として、ストリングケーブルなどの太陽電池モジュールに接続する負荷側の配線高さは人が容易に触れられないように 2m 以上を基本とし、2m より低い場所は電気設備の技術基準の解釈の解説第 143 条に示されているように住宅用太陽光発電システムの露出場所への施設時と同等の措置を行うことが望ましい。また、パワーコンディショナや接続箱なども充電部に容易に接触できないように施錠などを行うとともに、充電の露出導電性部分（金属筐体）が確実に接地されていることを確認することが必要である。

これら物理的な感電防止対策を行ったうえで、電気設計に関して下記のような考慮することが望ましい。電技解釈の解説の第 29 条に示すように UL1741（Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use with Distributed Energy Resources）¹²⁻²⁾の” 11. Electric Shock”によると、直流電圧 450V で充電された静電容量から受ける電撃は、

対地静電容量が $1.99\mu\text{F}$ 以下であれば人体に問題ないとされている。出力 10kW の太陽電池モジュールの対地静電容量は、実測の結果 $0.25\mu\text{F}$ 程度であることから、出力 50kW では $1.25\mu\text{F}$ 程度となる。ただし、対地静電容量は太陽電池モジュールにより異なることから、対地静電容量 $2\mu\text{F}$ ごとに分割する必要がある。以上のことから、営農型太陽光発電システムでは、住宅用と同様に対地電圧の制限を設け、出力 50kW 未満かつ対地電圧 450V 以下を推奨する。ここで、パワーコンディショナなどが運転中は高抵抗やコンデンサなどで太陽電池アレイの midpoint 付近が接地されることで対地電圧は線間電圧の半分程度になることが想定されるが、電気設備の技術基準の解釈の解説第 143 条に示されているように、電路が非接地であること、パワーコンディショナなどから切り離された場合を想定して、対地電圧は太陽電池アレイの線間の電圧とする。

出力 50kW 以上の場合には、 50kW 未満のパワーコンディショナで分割するとともに直流の対地電圧を 450V 以下とすることを推奨する。 50kW 未満ごとに分割できない場合は、対地電圧を抑制してもリスクが低減しないため、通常用いられている地絡検知・遮断、警報の機能、接地が取れていること（特に太陽電池モジュールから架台にかけて）の確認方法を確保することが重要である。また、地絡、絶縁抵抗低下、接地の不備などの異常が確認された場合には、速やかに対処できる体制を取っておくことが必要である。

また、対地電圧を 450V を超えて 750V 以下（対地電圧は太陽電池アレイの線間の電圧を想定するため、 750V を超える場合は高圧となるため接触防止措置が困難なため推奨しない）とする場合は、対地静電容量からの電流が増加するため、分割するパワーコンディショナの範囲容量も低減させる必要がある。しかしながら、対地静電容量と電圧との関係などの知見が十分でないため、ここでは容量は規定せず、地絡検知・遮断機能、警報の機能、接地の確保を定期的に確認できる設計および体制とすることとした。同様に感電電流を考慮する電路の範囲は、パワーコンディショナの絶縁トランスの有無、直流側の電圧やモジュール枚数（面積）などに依存する。これらの考え方や感電が発生する代表的な事例について技術資料にまとめているため、重点的に確認する必要がある地絡、絶縁抵抗低下、接地の状況を把握する際に参考にされたい。（【技術資料：太陽光発電設備の直流感電リスクに関する基礎実験、小型・可搬型の接地抵抗計を用いた太陽光発電設備の接地抵抗測定技術に関する実験】）

なお、太陽光発電システムの電路の遮断方法として、接続箱内の開閉器、断路器、遮断器、パワーコンディショナの停止などが想定される。ただし、これらの箇所でも電路を開放した場合でも、太陽光が太陽電池に照射される状態では太陽電池は発電を継続するため、太陽電池アレイ側は電圧が印加され続けている。また、地絡、短絡事故が発生している場合には、電氣的な閉回路を形成することがあり、電流も継続して流れる恐れがある。そのため、接続箱における電路の開放やパワーコンディショナの停止を行っても、感電や火災のおそれがあることに注意する必要がある（図 12-1 参照）。感電を防止するためには、 60V 以下などの電圧まで低下させる必要がある。その方法としては、太陽電池を遮光すること、太陽電池モジュールごとに機器を付ける M L P E (Module Level Power Electronics) の利用などがある。

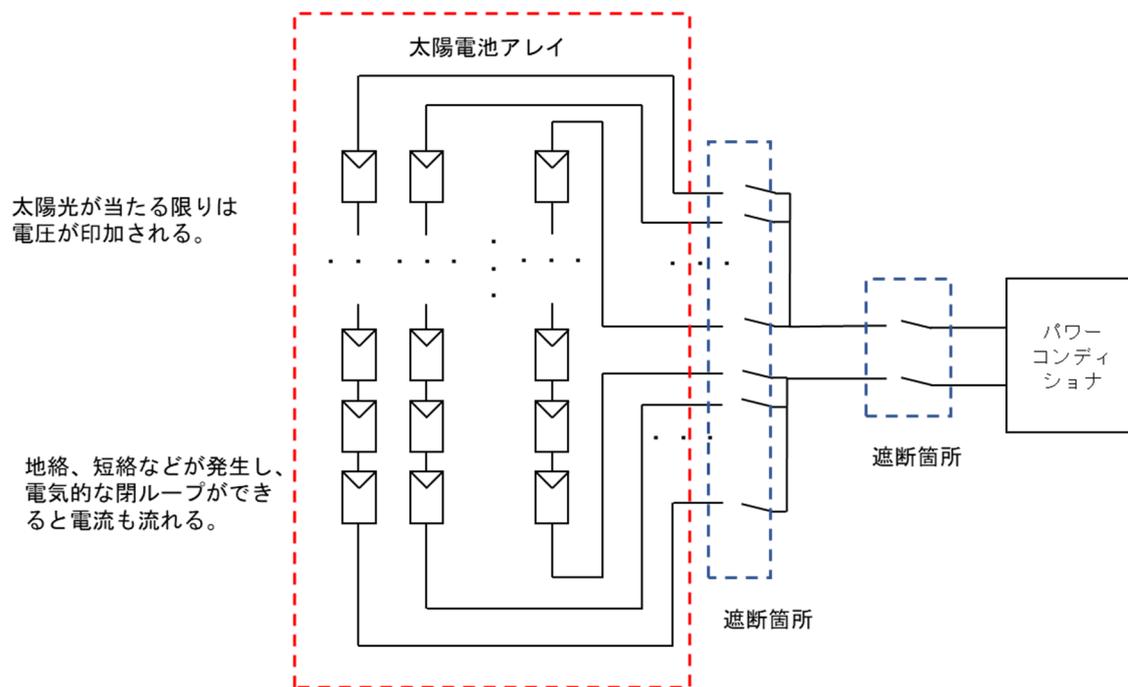


図 12-1 太陽電池アレイ内の感電リスクの概要

12.2 電気機器の紫外線・雨水対策に関する注意点

1. ケーブル、コネクタ、パワーコンディショナや接続箱が紫外線や雨水に直接曝されないように施設する。

営農型太陽光発電設備では、太陽電池ケーブルやコネクタが直接、太陽光や雨水にさらされる場合がある。この場合、紫外線による劣化や雨水の浸入による錆・絶縁性能低下の恐れがあるため、保護管を用いたケーブル配線、絶縁テープによるコネクタの保護などの対策をとることが望ましい。

また、パワーコンディショナや接続箱は、上部を屋根で覆うなどの対策を施す必要がある。

12.3 農作業による配線切断対策に関する注意点

1. 農業従事者がケーブルなどに接触する恐れがないように配線する。
2. ケーブルや接地線を埋設する場合には、農作業による配線切断の恐れがないように配線する。
3. 埋設した接地極の位置がわかるようにする。

営農型太陽光発電設備では、農業従事者が利用する農業機械や農機具が電気工作物に衝突、接触する恐れがある。そのため、架空配線を利用するなどの簡易接触防護措置を行うとともに、農業従事者が行う農作業範囲や農業機械・農機具を把握し、接触、衝突の恐れがある箇所に対しては、金属配管などによるケーブルの保護を行うことが望ましい。また、警戒

用テープによる配線箇所の明示も効果的である。

ケーブルや接地線の埋設配線では、農業従事者が土を掘り起こす際に配線を誤って切断する恐れがある。従って、埋設場所には農作業に干渉しない場所を選択する必要がある。また、農業従事者に埋設配線があることを十分に周知するとともに、埋設箇所を示す表示を設ける必要がある。海外のガイドライン¹²⁻³⁾では、通常 100-150mm、最大 200mm の深さに土壌を耕すことがあることを考慮して適切な深さの原則が決められている。そのため、農業従事者と相談し、土壌を耕す深さを確認して埋設する深さを決定する必要がある。

接地棒など接地極の埋設箇所は、設計図書や接続箱内に保管している書類などに明記するとともに、埋設箇所を示す表示を設けることが望ましい。

12.4 営農環境における電気機器の腐食の注意点

1. 営農環境における腐食の恐れがある場合は、電気機器の選定を適切に行う。

ケーブルや太陽電池モジュールへの肥料の付着が多く想定される営農環境では、IEC 62716¹²⁻⁴⁾に適合した太陽電池モジュールを利用することが望ましい。IEC 62716 は、畜舎の屋根など、高濃度のアンモニアを含む湿潤環境下における耐性を試験するものであるため、設置される環境条件を勘案して、必要性を判断することが望ましい。

コネクタや端子台の配線部が暴露されている箇所などの腐食する恐れがある場所については、絶縁テープによる保護や防塵・防水性の等級である IP (Ingress Protection) 等級の高い接続箱を利用することが望ましい。

12.5 保守点検を考慮した電気設備計画

1. 接続箱やパワーコンディショナは開閉可能な場所に設置する。
2. 高所作業のための安全装備を準備する。

保守点検のためには、高圧受電設備規程¹²⁻⁵⁾「1130-4 屋外に設置するキュービクルの施設」、内線規程¹²⁻⁶⁾「1365-1 配電盤及び分電盤の設置場所/1」において、接続箱やパワーコンディショナは開閉可能な場所に設置することが求められているが、農業従事者や一般公衆が容易に触れることができるような場所を避けることが必要である。また、設置場所には接触を予防するための注意喚起表示をすることが必要である。表示方法については、一般社団法人太陽光発電協会の文書が参考となる^{12-7, 12-8)}。一般公衆が触れるおそれがある場所では具体的措置として取扱者以外が操作できないように「施錠」をすることが必要である。

営農型太陽光発電設備では農作業との関係もあるため、接続箱、パワーコンディショナは農作業に支障がない場所へ設置することが必要である。また、農作業が優先となるため、農繁期に太陽光発電設備の故障や異常が生じた際の対応が応急措置にとどまる場合がある。応急であっても、農業従事者や一般公衆に感電のおそれがないように措置することが必要である。

営農型太陽光発電設備では太陽電池モジュールや配線が高所にあるため、高所作業に対応した安全装備が必要である。

参考文献

- 12-1) 経済産業省資源エネルギー庁: 事業計画策定ガイドライン (太陽光発電)、2021
- 12-2) 米国保険業者安全試験所規格: UL1741 Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use with Distributed Energy Resources, 2010
- 12-3) BRE, Agricultural Good Practice Guidance for Solar Farms, 2014
- 12-4) International Electrotechnical Commission (IEC): IEC 62716 Photovoltaic (PV) modules – Ammonia corrosion testing, 2014
- 12-5) 一般社団法人日本電気協会: 高圧受電設備規程 JEAC 8011-2014、2014
- 12-6) 一般社団法人日本電気協会: 内線規程 JEAC8001-2016、2019
- 12-7) 一般社団法人太陽光発電協会: 住宅用太陽光発電システム 直流配線部の表示に関する自主ルール、2016年8月
- 12-8) 一般社団法人太陽光発電協会: 公共産業用太陽光発電設備のレイアウト・表示について、2014年9月

13. 施工

13.1 一般共通項目

1. 農閑期を考慮した計画工程を立案する。
2. 自然条件ならびに利用条件など当該施設が置かれる諸条件を勘案して、当該施設の要求性能を満足する方法により施工する。
3. 設計者が求める要求性能が満足されるよう施工する。
4. 対象施設を正確、円滑かつ安全に施工するために、予め施工計画を定める。また、工事の進捗や現場状況の変化により必要が生じた場合、施工計画を変更する。
5. 設計者が要求する性能を満たしていることを確認するため、施工管理を行う。また、施工管理により取得した記録・情報を維持管理計画などに反映させる。
6. 実際の施工結果を施工竣工図書としてとりまとめる。図化できない範囲については写真にて記録する。
7. 安全に関する関係法令などにもとづき、安全確保上必要となる措置について検討を行った上で適切に安全管理を行い、事故および災害の防止に努める。

施工とは、設計された施設を実際に工事する行為であり、設計時に考慮した自然条件、利用条件などの諸条件を勘案して、設計者が求める要求性能が満足されるように施工されなければならない。このため、施工者は、工事に先立ち、設計時に設定した自然条件、利用条件、使用材料、施工方法などの設計条件、設計計算書や仕様検討書などの内容、これらにより決定した使用主要資材の規格・仕様・諸元、設計図面などの内容を把握する必要がある。

これらを踏まえた上で、対象施設を正確、円滑かつ安全に施工するために作成する施工計画書には、工事概要、計画工程表、現場組織表、主要機械、主要資材、主要工種の施工方法、施工管理、安全管理、緊急時の体制および対応、環境保全対策などを取りまとめることが望ましい。施工計画における主な項目は次のとおりである。

- ・ 各工種の施工法、建設機械の使用計画、施工速度及び所要時間
- ・ 各工種の施工順序、施工時期、全体工程計画
- ・ 労務計画、資材計画
- ・ 現場施工体制、仮設備計画
- ・ 工事用道路、その他準備工の計画
- ・ 事故防止、安全衛生に関する計画
- ・ 周辺環境の保全計画

実際の施工現場、施工時点において設計時に設定した条件と異なる場合、設計図面どおりに施工しても所定の機能・性能を確保することはできず、当然、設計の見直しを行う必要がある。現場での施工において、図面どおりの施工が困難あるいは不可の場合、どの程度の施

工誤差が許容できるかあるいは工法変更が可能かなど、設計内容を把握した上で判断することが要求される。これらのことから、設計者と施工者が異なる場合、施工者は設計者の設計意図の把握に努めることが重要である。この対応として、設計者～施工者間で設計意図伝達会議を開催することが有効である。他方、設計の見直しや工法変更が生じた場合は、変更の理由、経緯、意図などを設計者に対して共有するとともに、要求性能を満足しているか確認する必要がある。

太陽光発電設備の供用中において、点検診断や維持補修を行う場合、実際に施工された状況を把握しておくことが重要である。このことから、施工時点において設計から変更した内容について可能な限り詳細に記録するとともに、変更した理由をあわせて記録することが望ましい。

太陽光発電設備の設置工事においては、労働災害などの発生防止のため、施工方法や仮設計画の検討、安全教育の実施など安全対策を講じるものとする。また、土砂の流出などの災害を防止するため、気象条件の良い施工時期の選定、リスクの少ない施工方法・施工手順の検討などを行うことが必要である。

施工段階では、施工状況を把握するための施工管理を行う。特に、地中埋設物は工事完成時の出来形や品質等の目視確認が困難であるため、工事中における記録を書類にまとめておくことが重要となる。近年では情報技術の進展とともに、電子データによる管理・監督が可能となってきたことから、良質な目的物を完成させるため、予め施工管理方法を検討して適切に実施する。

施工終了後は、完成した工事目的物が所要の品質・性能を満足しているかの検査を行う。出来形の検査は、構造物の位置や形状を確認する。品質の検査は、材料、基礎工の性状や強度等を確認する。

各項目の具体的な考え方については、道路土工要綱¹³⁻¹⁾の「第5章 施工計画」を参考にすることができる。

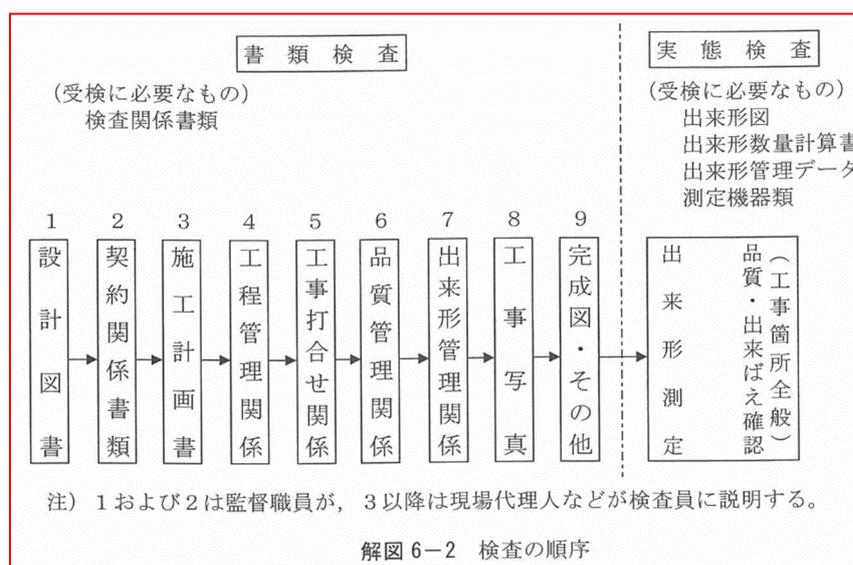


図 13-1 検査の順序¹³⁻¹⁾

13.2 基礎架台工事

1. 基礎工事に重機などを使用する場合、必要に応じて作土層の保護を行うとともに、畔、水口、灌水パイプ等の保護措置を行う。
2. 基礎や架台工事において大型重機を使用する場合には、暗渠に影響を与えないよう保護措置を行う。
3. 架台工事は、比較的軟弱な作土層上における高所作業となるため、安定した足場の確保および転落防止措置を施す。

多くの農地では、太陽光発電設備用の杭打ちに用いられる小型重機の使用については問題ないが、表土が軟弱な場合は、作土層、暗渠の保護のために敷板等を敷設する。また、脚立足場を利用する場合においても敷板などを利用して足場の安定を図る。また、灌水パイプ等が設置されている場合には、工事作業中に破損させないように、その位置を確認したうえで注意して作業を行う。また、大型の重機を使用する場合には、その重量によって暗渠が損傷する場合もあるため、暗渠の位置を事前に確認したうえで、重機の移動経路の配慮や敷板等の敷設による保護措置を行う。

参考文献

- 13-1) 社団法人日本道路協会: 道路土工要綱、2009

14. 維持管理計画

14.1 一般共通事項

1. 太陽光発電設備全体について、供用期間にわたってその設置目的・機能、要求性能を維持されるよう、予め維持管理計画を作成した上で維持する。
2. 維持管理計画書は、施設の所有者が作成することを原則とし、設計者、施工者のほか、維持管理に関する専門的知識・技術を有する者の意見を反映させる。
3. 維持管理計画書は、対象施設の損傷、劣化その他の変状についての計画的かつ適切な点検診断の時期、対象とする部位および方法などについて定める。
4. 太陽光発電設備の維持管理計画書の作成および維持においては、設置箇所の自然条件、設計条件、構造特性、材料特性などを勘案する。
5. 点検および診断の結果にもとづき維持補修に関する対策を行った場合は、その内容を記録し、供用期間に亘って保存する。
6. 維持管理計画の作成および点検診断の方法などにおいては、民間のガイドラインなどを参考にする。

発電規模にかかわらず、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則（第5条第1項第3号など）¹⁴⁻¹⁾ならびに事業計画策定ガイドライン(太陽光発電)¹⁴⁻²⁾に記載の「再生可能エネルギー発電設備の適切な保守点検及び維持管理」に係る趣旨を踏まえて、設計段階に維持管理計画を作成することが望ましい。

維持管理計画作成にあたっては、太陽光発電システム保守点検ガイドライン¹⁴⁻³⁾、自家用電気工作物保安管理規程¹⁴⁻⁴⁾、太陽光発電アセットマネジメントガイドライン(案)¹⁴⁻⁵⁾などの技術指針などを参考すると良い。

14.2 農作物（収穫量）

1. 農業委員会に報告するための対象農地における農作物の収量、品質の調査計画を作成する。
2. 農作物の収量、品質に著しい低下が認められた場合の相談先のリストを作成する。

農作物の収量は2割程度の低減に留める必要がある。太陽電池アレイによる遮光によって収量、品質の低下が認められる場合には、アレイ面の角度、設置間隔を調整し（間引き）、日射量の確保を図る必要があるため、農作物および構造設計に関する相談先リストを作成する。

14.3 電気設備

1. 高所作業に対応した装備や点検計画を作成する。

基本的な点検項目は、太陽光発電システム保守点検ガイドライン¹⁴⁻³⁾や自家用電気工作物保安全管理規程¹⁴⁻⁴⁾などのガイドラインを参考に維持管理計画を作成することが望ましい。

営農型太陽光発電設備では一般に太陽電池モジュールや配線が地上 2m 以上の高所にあるため、これらに関する点検には脚立などを利用することが想定される。従って、取扱者の労働安全確保のため、脚立からの落下防止などの安全対策を行う必要がある。

「モジュールが外れかけている」「ケーブルコネクタが抜け（かけ）ている」など、外観異常が判断でき、かつ一見軽微な修理作業と思える場合でも電氣的に安全とは限らない。従って、このような場合であっても、農業従事者が自ら電気工作物に接触しないように周知する必要がある。

営農型太陽光発電システムでは農作業が優先となるため、農地への影響が小さい時期に点検を行うことや脚立や足場など、点検に利用する器具が農地に影響を及ぼさないような方法など、保守点検計画や方法については農業従事者と事前に協議することが望ましい。

また、営農環境下では、トラクターが砂ぼこりを巻き上げ、パワーコンディショナのフィルターが目詰まりしてしまうこともあるため、ファンレスの機器の選択、保守点検の確認項目に入れることや部品交換頻度を考慮しておくことが望ましい。

接地抵抗の測定に関しては、杭や基礎が地極として作用するため、接地極における接地抵抗を測定するかなどの目的に応じて、太陽光発電設備から十分離れた地点に測定点を確保するなど注意して測定すること。測定方法の注意点などの詳細は、【技術資料：小型・可搬型の接地抵抗計を用いた太陽光発電設備の接地抵抗測定技術に関する実験】にまとめているため参考にされたい。

14.4 緊急時の対応（設計時における配慮事項）

1. 災害時および施工、保守点検での事故時において迅速に対応できる緊急連絡体制の整備を計画する。
2. 火災など発生時の消火方法、消火活動のための動線および活動スペースの確保を検討する。
3. 電気機器の異常時に対応できる迅速な接続箱における遮断、パワーコンディショナの停止方法を計画する。可能であれば遠隔操作も検討する。
4. 医療機関へのアクセスが容易でない場合、AEDなどの緊急時の医療機器の設置を検討する。
5. リスクアセスメントと対応マニュアルを準備する。

警戒時、災害時に備え、農作業者とともに、市役所、町役場、消防署、自治会など、関係機関との情報連絡体制を確認し、迅速な初動体制を確立できるようにすることが望ましい。災害などの緊急時の対応は、一般社団法人太陽光発電協会の公開している文書^{14-6)~14-11)}を参考にして、取扱者の二次災害も留意して対応することが必要である。太陽光発電設備は人が常駐して常時監視していないことが多いため、緊急時の覚知が遅れることもある。自家用電気工作物では、常時監視をしない発電所の要件として電技解釈第47条の2第5項の規定を満たす必要がある。それ以外の一般用電気工作物の太陽光発電設備においても当該技術基準を参考に設備構築し、監視体制を整備、計画することが望ましい。

火災発生時には、消防隊員が行う消火活動のための動線および活動スペースの確保が必要となる。具体的には、建物設置に関する基準ではあるが、東京消防庁の太陽光発電システムに係る防火安全対策の指導基準¹⁴⁻¹¹⁾において、消防活動用通路の設置方法は全ての太陽電池モジュールとの距離を24m以内とする基準が参考となる。

電気機器の異常時には、接続箱における遮断、パワーコンディショナの停止が必要である。14.4に述べたように、これらの機器をアクセスしやすいところに設置するとともに、遠隔でも操作可能な方法を検討することが望ましい。

参考文献

- 14-1) 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則（第5条第1項第3号など）、平成二十四年経済産業省令第四十六号（令和四年経済産業省令第二十七号による改正）
- 14-2) 経済産業省資源エネルギー庁：事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）、2021
- 14-3) 一般社団法人日本電機工業会、一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電システム保守点検ガイドライン、2019
- 14-4) 一般社団法人日本電気協会：自家用電気工作物保安全管理規程 JEAC8021-2018、2018.
- 14-5) 一般社団法人日本アセットマネジメント協会、太陽光発電アセットマネジメント委員会：太陽光発電アセットマネジメントガイドライン(案)、2020
- 14-6) 一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電の水害時の感電の危険性について、2019年5月
- 14-7) 一般社団法人太陽光発電協会：住宅用太陽光発電システム被災時の点検・復旧・撤去に関する手順・留意点【震災編】、2016年4月
- 14-8) 一般社団法人太陽光発電協会：震災によって被害を受けた場合の太陽光発電システム取り扱い上の留意点、2016年4月
- 14-9) 一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電システム被災時の点検・撤去に関する手順・留意点【水害編】、2015年10月
- 14-10) 一般社団法人太陽光発電協会：太陽光発電設備が水害によって被害を受けた場合の対処について、2015年9月
- 14-11) 一般社団法人太陽光発電協会：停電に伴う住宅用太陽光発電システムの自立運転について、2011年3月

14-12) 東京消防庁: 太陽光発電システムに係る防火安全対策の指導基準、平成 26 年 7 月

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。