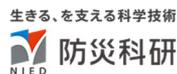
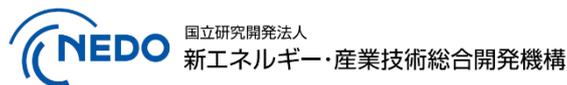


# 水上設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン

2023 年版

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



修正履歴

頁	該当箇所	修正概要	備考
2	17 行目	章の名称	2023/06/01 修正
44	1 行目		
27	式(7.1)	式の修正	2023/06/01 修正

修正内容の詳細については別添「正誤表：水上設置型ガイドライン 2023」参照

## 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](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"> <li>電気事業法</li> <li>電技省令</li> <li>電技解釈及び解説</li> <li>発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令</li> <li>発電用太陽電池設備に関する技術基準の解釈</li> <li>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</li> </ul>	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	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	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	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 譲	(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)
	鉤 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  
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
<b>1. 総 則 .....</b>	<b>4</b>
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.....	6
1.5 構造設計方針.....	11
1.6 電気設計方針.....	12
1.7 施工管理方針.....	13
<b>2. 被害事例.....</b>	<b>15</b>
2.1 強風被害.....	15
<b>3. 構造設計・施工計画.....</b>	<b>17</b>
3.1 設計フロー（構造）.....	17
3.2 施工フロー（構造）.....	18
<b>4. 電気設計・施工計画.....</b>	<b>19</b>
4.1 設計フロー（電気）.....	19
4.2 施工フロー（電気）.....	19
<b>5. 事前調査.....</b>	<b>21</b>
5.1 資料調査.....	21
5.2 現地調査.....	22
5.3 地盤調査（水中）.....	22
5.4 水質・流域の調査.....	23
5.5 環境・景観対策（配慮項目程度）.....	23
<b>6. 太陽電池アレイ配置計画.....</b>	<b>25</b>
6.1 全体配置計画.....	25
6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離.....	25
<b>7. 設計荷重.....</b>	<b>26</b>
7.1 想定荷重と荷重の組み合わせ.....	26

7.2 固定荷重 .....	27
7.3 風圧荷重 .....	27
7.4 積雪荷重 .....	32
7.5 地震荷重 .....	32
7.6 波力・動揺（繰り返し荷重を含む） .....	33
7.7 水面凍結による荷重 .....	37
<b>8. 使用材料.....</b>	<b>38</b>
8.1 鋼材 .....	38
8.2 アルミニウム合金材 .....	38
8.3 コンクリート（独立基礎に使用） .....	38
8.4 ワイヤロープ・チェーン（係留用） .....	39
8.5 樹脂（フロート） .....	39
8.6 その他材料 .....	40
<b>9. フロート設計.....</b>	<b>41</b>
9.1 フロート設計での注意点 .....	41
9.2 フロートの設計 .....	41
<b>10. 係留設計.....</b>	<b>44</b>
10.1 係留設計での基本事項.....	44
10.2 係留方法.....	45
10.3 係留索の設計 .....	45
10.4 アンカーの設計 .....	48
<b>11. 腐食防食.....</b>	<b>51</b>
11.1 水中部（アンカー・ロープ） .....	51
11.2 水上部（固定金具など） .....	51
11.3 樹脂材料など（フロートおよびフロート間接合部） .....	51
<b>12. 電気設備の設計：水上設置型における電気設計の注意点.....</b>	<b>52</b>
12.1 水上の配線方法に関する注意点 .....	52
12.2 水上の機器の設置方法に関する注意点.....	54
12.3 水上における電気機器選定に関する注意点 .....	55
12.4 保守点検を考慮した電気設備計画の注意点 .....	56
<b>13. 施工.....</b>	<b>58</b>

13.1 一般共通項目 .....	58
<b>14. 維持管理計画 .....</b>	<b>60</b>

## 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、港湾、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、全て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ので、これらを理解のうえ本ガイドラインを利用していただきたい。

- ・ 構造関連の内容：基本事項の概要と水上設置型太陽光発電システム特有の内容について記載する。
- ・ 電気関連の内容：基本事項については省略し、水上設置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

1. 本ガイドラインは水面に設置される太陽光発電システムに適用する。
2. 対象とする架台は浮体構造とし、樹脂製フロートおよび樹脂製フロートに鋼製またはアルミニウム製のフレームを設置したものを対象とする。
3. 対象とする係留アンカーは、打込み式および重量式とする。
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 を超えるシステムおよび追尾型システムは除外する。
6. 湖沼、人造湖、ため池などの淡水域の水面を対象とし、河川および海域の水面は対象外とする。
7. 洪水（水流）、流木、土砂の流入が想定され、特段の対策が取られない水面は対象外とする。

適用範囲は、淡水域で流れがない水面上に設置される太陽光発電システムに限定した。河川などの常時流れのある水面、流木や土砂等が流入する水面、海域のような波浪・高潮・津波などの特異な自然条件の発生が想定される水面に設置されるものは、原則として本ガイドラインの対象外とした。

公有水面においては、関連法令に基づく占用手続きや工作物設置許可申請を伴う。この場合においては、本ガイドラインによるほか、関係法令に基づく技術基準への適用が求められる。また、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などに適合させる必要もある。

発電用太陽電池設備の技術基準においては、アレイ面の最高高さが 9m を超える太陽光発電システムでは建築基準法での工作物の構造関連規定(建築基準法施行令第 141 条)への適合を要求していることから、本ガイドラインでは対象外とした。また、一般的な水上設置型太陽光発電システムは高さが数十 cm 程度であることから、水面からの高さが約 1m を超えるような設備については、本ガイドラインの要求のほかに構造強度や施工の安全性について特別な配慮が必要である。

また、例えば谷池のように、洪水、流木、土砂の流入が想定される場合、それらによる流速圧や衝突力が非常に大きく設備の破損が懸念される。そのため、水上太陽光発電システムに直接接しないような有効な防護措置を講じるなど特段の対策が取られない場合には本ガイドラインの対象外とした。



「ため池百選」(農水省 HP) より

[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/tameike/pdf/101213\\_t\\_pamph\\_all.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/tameike/pdf/101213_t_pamph_all.pdf)

図 1-1 谷池の例

### 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。
ROV	無人操作型の無人潜水艇（Remotely Operated Vehicle）
異種金属接触腐食	異種金属が直接接続されて、両者間に電池が構成されたときに生じる腐食。ガルバニック腐食ともいう。電食と呼ばれることもあるが、電食の本来の意味は異なることに注意が必要である。
S.M.B法	対象水域の風速、吹送距離をパラメータとして有義波の波高および周期を推定する波浪推算手法。
音響測深機	水面付近から音波を出し水底から反射して帰って来るまでの時間を測ることによって、水深を求める装置。
乾舷	フロートが水に浮いているときのフロート天端から水面までの垂直距離。
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。
喫水	フロートが水に浮いているときのフロート底面から水面までの垂直距離。
キャップナット （ブーツ）	ナットの種類のひとつ。抑えつけた状態で締結を行うもの。本ガイドラインではコネクタ用に利用される部品の一部。
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。
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。
齧歯目動物	脊椎動物亜門 哺乳綱の目の 1 つ。ネズミ目、齧歯類（げっしるい）ともいう。リス、ネズミ、ヤマアラシ、モモンガ、ヌートリアなどが含まれる。電気配線のケーブルなどを齧ることがある。
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。
コア土	ため池などの堤体に用いられる止水を目的とした土。
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。
補助極	接地抵抗の測定を行う時に接地して利用する測定点。接地して利用するため金属の棒で出来ている。
再現期間	ある大きさ以上の作用が、一度発生してから次に再び発生するまでの平均的な時間間隔（年）。
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。
主働土圧	擁壁などが背面土から前方に離れるような場合に水平土圧が低下し、一定値になった状態での土圧。
受働土圧	擁壁などが背面方向に押し込まれるような場合に、水平土圧が上昇し一定値になった状態での土圧。
深浅測量	池等の水深の深さを測定し、水面下の地形を測定する作業。
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。
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し方向に作用する圧力をいう。本ガイドラインでは、アレイの上面を押し方向の風圧力（風力）をいう。また、正圧が生じる風向を順風と呼ぶ。
静水圧	静止している流体の任意の面、あるいは点に作用する圧力。
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）。
接地極	避雷導線または接地線と大地とを電氣的に接続するために地中に埋設した導体。棒状、板状のものがあり、それぞれ材質によって仕様が決まっている。

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。
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およ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。
弾性波速度	弾性体の中を伝搬する P 波及び S 波の速度。弾性波速度は媒質の密度、弾性定数で決まる。弾性波探査は、人工震源による弾性波動を用いて地下の構造や物性を調べる方法をいう。
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。
T.P.	高さ（標高）の基準面。東京湾平均海面（Tokyo Peil）の略であり、一般に土地の高さ（標高）は東京湾の平均海面（T.P.±0.00m）を基準（標高 0m）として表される。
堤体	水の移動を一定の領域内に制限し、氾濫等を防ぐ目的として築造される堤防本体のこと。
電解質	物質を溶媒に溶かしたとき、アニオンとカチオンに電離する物質で、電気伝導性を示す性質を有する物質。
展張	ロープ等を伸ばし、広げること。
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。

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。
トルク	電気配線の端子台のねじやコネクタ部品の締め付けを行う力のこと。単位はN・m。
難燃性ケーブル (FR)	物質が燃え難い性質であることを表す用語であり、燃えないことを意味していない。性能は、難燃試験方法によって定められている。FR : <b>Frame Retardant</b>
粘着力	土のせん断強さのうち、土粒子を結合させる物理化学的な作用によって生じる強度で、一般に粘性土では大きく砂質土では小さい。
把駐力	浮体を係留するとき用いる係留索先端の錨が底質との間に生み出す抵抗力のこと。
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。 <b>Power Conditioning sub-System (PCS)</b> 。
微生物腐食	微生物によって促進される腐食のこと。MIC (ミック、 <b>Microbially influenced corrosion</b> ) と呼ばれ、この場合は金属に限らず材料が微生物により腐食する現象のことを指す。 主な腐食誘引微生物として、硫酸塩還元細菌、イオウ酸化細菌、鉄酸化細菌、鉄細菌、スライム生成微生物などが知られている。
樋門	河川または水路を横断して設けられる制水施設。当該樋門が横断する河川または水路が合流する河川の堤防内に暗渠として設けられ、堤防の機能を有するもの。
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。
フェッチ線	有効吹送距離 $F_{eff}$ の算定に用いる線。波の算定地点から対岸まで放射状に作図し、対岸距離（フェッチ $F_i$ ）を読み取る。
不陸	平坦ではないこと。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。
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。
付着塩分	材料表面に付着した塩分。主に飛来塩分が付着することで発生する。海水の主要成分とほぼ同じ組成比であり、塩化マグネシウムを含むことから、吸水性が高く、材料表面を湿潤状態に保つ効果がある。そのため、付着塩分量が多くなると大気腐食が促進される。
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。
有義波高 $H_{1/3}$	時間によって波高が変化する不規則波を表現する代表波高であり、海洋分野の設計において一般的に用いられる。波高、周期の不規則な波群中の個々の波から波高の大きい上位 1/3 を選び出して平均したものであり、 $H_{1/3}$ と表記される。
有効吹送距離 $F_{eff}$	水面上をほぼ一定風速、一定風向の風が吹いて波を発生させている区域の長さ。
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。
リード線	電気回路において電源や電子部品などを電氣的に接続するための電線の総称。
レッド測量	深淺測量のうち、レッド（目盛のある長い綱に鉛製のおもりを付けたもの）を用いて深さを測定するもの。

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、フロート、係留部および部材間の各接合部は、稀に起こる地震・暴風・波浪・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. 地盤は、基礎および上部構造で想定された地震・暴風・大雪時の荷重（鉛直荷重、引抜き荷重、水平荷重）に対して十分な耐力を有し、かつ、有害な沈下・傾斜などを起こさないことを確認する。
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定める。
4. フロートは、自重、積載荷重（発電設備、アレイ架台、作業時荷重など）、外力（風、積雪荷重など）に対して、乾舷、傾斜などについて安全であることを確認する。
5. 係留部は、風、波などの適切な外力を想定し、係留アンカーおよび係留索が安全であることを確認する。
6. 水面に設置される太陽光発電設備は腐食、劣化などに対する自然環境が厳しいため、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。
7. 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などでの要求事項については、別途適合させる。
8. 設計図書を作成し、保管する。
9. 計画地の自然条件を適切に設計及び維持管理に反映させる。
10. 供用期間の延長や自然条件の変化等により要求性能に変更が生じた場合は、最新の条件を踏まえ、適切に機能強化等の対策を行う。
11. 関連省庁からガイドライン、手引き等が公表されている場合は、それらにも適合させる。

フロート、架台および係留部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、J I S、建築基準関連法令、建築・土木・港湾の各種学会の基規準・指針などを参照する。フロートに作用する波力を考慮する場合、その波浪諸元の再現期間は50年とする。

設計にあたっては、対象地における自然条件を設計条件に適切に反映させるため、対象地あるいは近隣における気象観測結果、測量や地盤調査結果を収集し整理・分析する。基礎情

報が不足する場合は、現地での観測や調査等を行い、必要な基礎情報を収集することが重要である。

採用する構造や使用する材料によって、当初の性能が経時的に低下し変状・損傷等に至る可能性がある。そのような場合に、他への影響を及ぼしうるものについては、容易に点検診断の実施が可能な構造・材料を用いることが望ましい。

昨今、自然災害の規模（異常時風速や降雨量等）の激甚化が進んでいる。他方で、供用中の施設において設計条件が適切に設定されていない事例も見受けられる。このため、供用期間の延長や既往施設の補強等が必要な場合には、自然条件の変化（降雨量の増大、異常時の設計風速の増大）を踏まえ最新の条件に適合させる必要がある。また、供用期間の延長が想定される場合には、当初設計の段階で、後に機能強化が図れるような設計を行うことが望ましい。

事例の多い農業用ため池への水上設置型太陽光発電設備を対象として、農林水産省より「農業用ため池における水上設置型太陽光発電設備の設置に関する手引き」<sup>1-1)</sup>が公表されている。最新のガイドラインや手引きを確認し、それらに適合した設計を行う必要がある。

## 1.6 電気設計方針

1. 電気事業法他、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他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。

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ほか、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）、内線規程、配電規程、系統連系規程、J I S、I E Cなどの関連法令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るものとして、水上設置型太陽光発電設備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。

水上設置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基本的には同様であるが、感電リスクについては、水上であるため水分の多い環境であること、一定の動揺があることから、下記のとおり設計方針とした。

- ・ 電気設備に接触するのは、「取扱者」のみであるため、基本的には地上設置型太陽光発電設備と同様な考え方とする。なお、電気の専門家ではない関係者（水面利用の権利者、ため池などの施設所有者及び管理者など）は、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、「取扱者」とする。

- ・ 地上設置型太陽光発電設備よりも環境負荷（水分や動揺）が大きいいため、電気設備としての安全性を高める措置を推奨する。また、取扱者は地上設置型と異なる労働環境に関して配慮する。

## 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. 係留部の施工は、国土交通省港湾工事共通仕様書など、同種・類似の工種を参考に、品質管理、出来形管理、工程管理を行う。
3. 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。
4. 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。
5. 現地状況を踏まえた実際の施工結果を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。
6. 施工中、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当っては、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ついても、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。水上、水中での施工にあたり作業者の安全性だけでなく、周辺環境へ悪影響を与えないよう施工計画を立て、管理する。

供用後の維持管理においては、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<sup>1-2)</sup>や使用前自主検査及び使用前自己確認の方法の解釈<sup>1-3)</sup>、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<sup>1-4)</sup>、自家用電気工作物保安管理規程<sup>1-5)</sup>を参考とすることが望ましい。

太陽光発電設備の完成時だけでなく、施工中においても増水や洪水による資機材流出などの災害発生防止に努めなければならない。環境保全のため、関係する諸法令・条例などを遵守し、工事の施工により発生する恐れのある騒音、振動、大気汚染、水質汚濁などの防止対策を行う。

参考文献

- 1-1) 農林水産省: 農業用ため池における水上設置型太陽光発電設備の設置に関する手引き、  
[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/attach/pdf/index-98.pdf](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-98.pdf)、2021
- 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](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](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

## 2. 被害事例

### 2.1 強風被害

1. 強風により、フロート間を接続する金具が折損し、フロートがめくれ上がる事象が発生した。
2. 強風により、アンカーと係留索で接続されていないフロートの一部が反転した。
3. 強風により、アイランドに偏荷重が発生しフロートが流され、複数箇所から発火した。
4. フロート、アンカー、係留ワイヤー、およびそれらを連結する接合部について、風荷重に耐えられるよう、適切に設計・施行することが必要である。

#### 被害事例 (1)

強風によってフロートが押し流され、数 m の岸をせり上がった。その過程で、架台間の連結部分が部分的に外れ、一部がバラバラになって湖面や岸に飛散した。



写真 2-1 水上設置型太陽光発電設備の強風被害事例 (1)

写真提供：佐賀新聞社 (2019 年 9 月 30 日)

#### 被害事例 (2)

強風によりフロート架台が激しく揺れた結果、外周部分のフロート架台が部分的にめくれ上がって反転し、2 割弱の太陽電池モジュールが損傷した。外周部のフロート架台は係留索でアンカーと接続されているが、アンカー数が少なく、係留索接続箇所から離れたフロート架台がめくれ上がった。



写真 2-2 水上設置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) (2018 年 10 月 4 日掲載)

### 被害事例 (3)

10MW 以上のサイズの大きいアイランドで、強風によりフロート架台が折り重なるように損壊し、複数箇所から発火した。アイランドが大きく形状も複雑であったため、風力や波力により偏荷重が発生し、特定個所に設計値以上の応力が集中し、アンカーおよび係留ワイヤーが外れた。



図 2-3 水上設置型太陽光発電設備の強風被害事例 (3)

出典：新エネルギー発電設備 事故対応・構造強度ワーキンググループ

### 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 に示す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、自然・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。

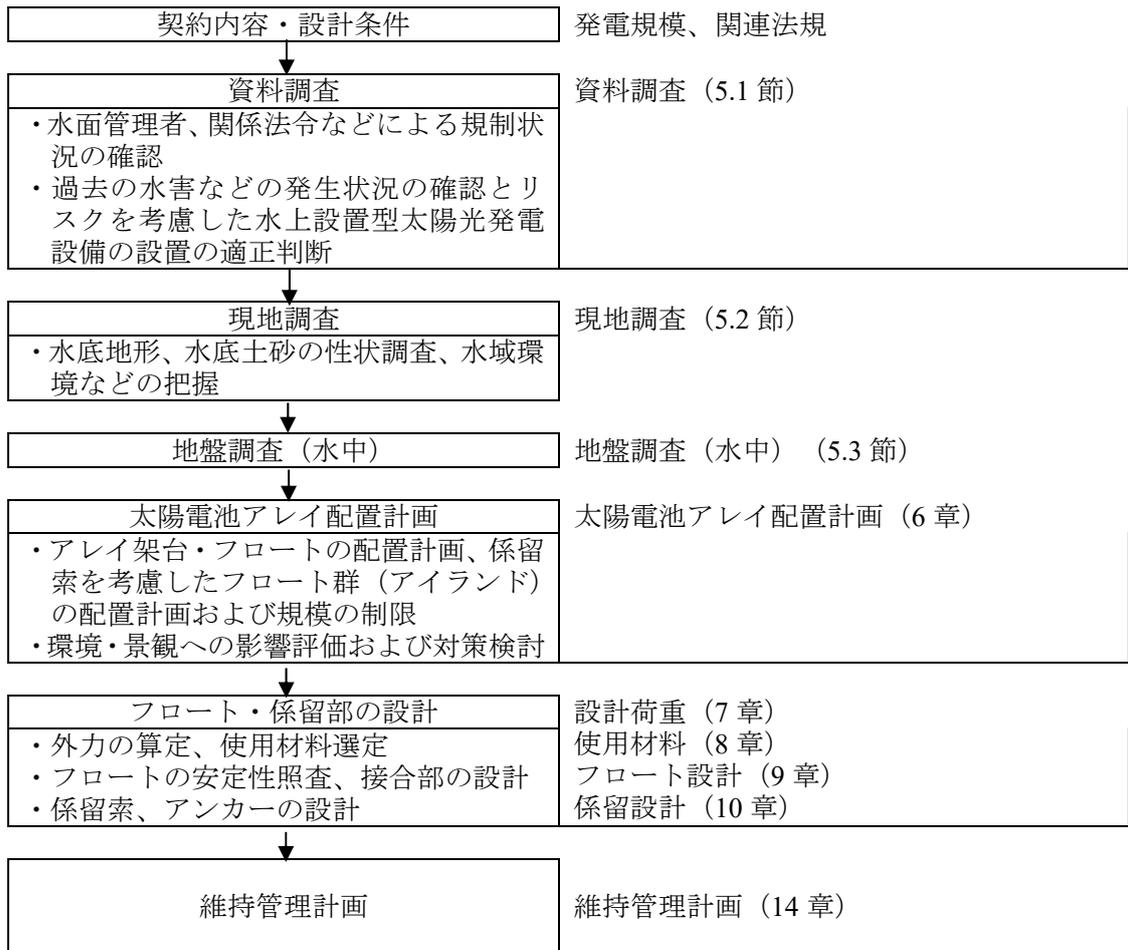
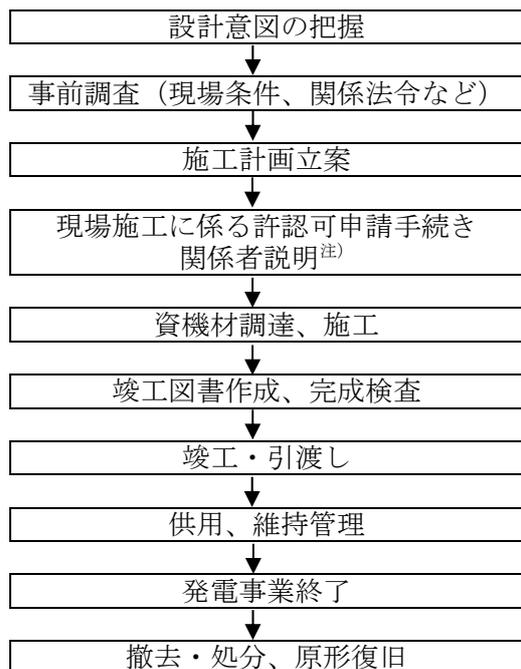


図 3-1 構造設計フロー

### 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し、必要に応じて実施するものとする。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 施工フロー（構造）

## 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。

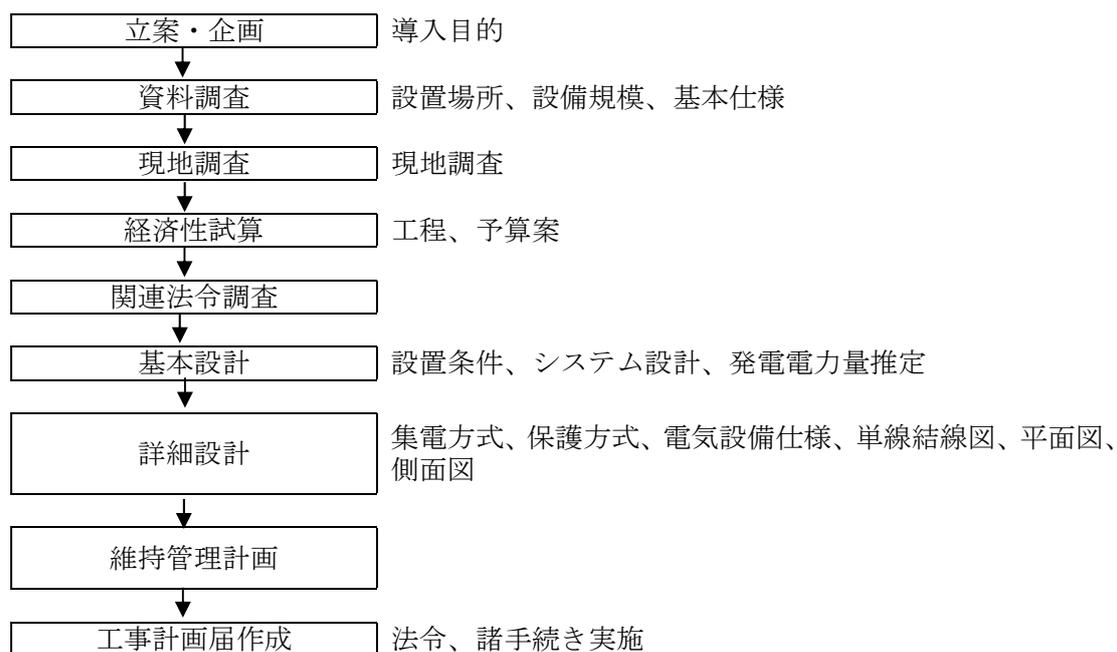
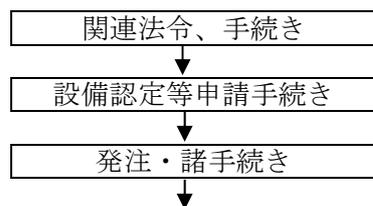


図 4-1 電気設計フロー<sup>4-1)</sup>

### 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 に示す施工フローを参照して作成する。



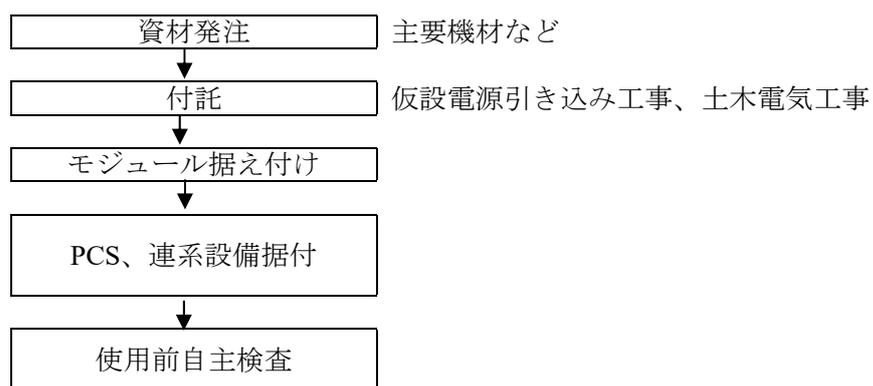


図 4-2 施工フロー（電気）<sup>4-1)</sup>

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、2010

## 5. 事前調査

事前調査は、資料調査、目視による現地調査、水中の地盤調査および水質・流域の調査を基本とする。

### 5.1 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係留設計に必要な水底地盤の情報を収集する。
2. 地名や植生などは、地域に固有な地盤条件を知る資料として有用である。
3. 設置計画水面が自然地形によるものか人工的に整備されたものかを確認した上で、発生しうる水位変動に係る情報を収集する。
4. 設置計画水面の管理者ならびに関係法令による規制適用状況を確認する。

国土地理院発行の地形図などのほか、設置計画水面ができた経緯や周辺堤防などの築造時期や構造、適用技術基準、水位条件などについて文献調査を行う。

農業用ため池の資料調査に当たっては、農業用ため池の管理及び保全に関する法律第4条第3項に基づき都道府県が作成しているため池データベース<sup>5-1)</sup>を参考にすることができる。設置計画水面が位置する行政機関などへのヒアリングを行い、適用法令や規制状況を調査する。

過去の水害などの発生状況も調査し、想定しうるリスクについても確認した上で、水上設置型太陽光発電システムの設置の適否を判断する必要がある。

水上設置型太陽光発電設備は農業用ため池の水面を活用して設置する場合が多い。ため池の堤体が決壊した場合2次被害を引き起こす懸念がある。このため、堤体が決壊した場合など、想定しうるリスクを事前に確認するため、地方自治体が作成している「ため池ハザードマップ」を活用することも有効な手段である。



図 5-1 ため池ハザードマップの例（大阪府）

## 5.2 現地調査

1. 調査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水面外周の堤防などの形状、構造、地盤状況などを把握する。
2. 事前の資料調査で把握できない水底地形は現地調査により把握する。
3. ため池（堤体等）の健全度を現地調査により把握する。

水上設置型太陽光発電システムの設置にあたっての重要な調査項目は、方角、傾斜度・向き、平坦度、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などである。

ため池のうち、谷池の場合は比較的水深が深く不陸が大きく、アンカー位置、係留索長、水深変化等の条件によって、アイランドの水平移動量や係留索の傾斜角、張力が大きく変化するため、係留設計およびその施工に高度な技術が要求される。水底地形調査に当たっての留意点は次のとおりである。

- ① 水上設置型太陽光発電システム設置箇所における水深は、水面と水底地形との関係から把握することができ、係留設計における重要な設計条件となるので、予め調査し、把握しておくことを原則とする。
- ② 水底地形の調査には、船外機船やラジコンボートなどの小型船に音響測深機を艀装して行う深浅測量か、調査船上より調査員が行うレッド測量がある。測量時の水面の高さをT.P.表示にて把握するとともに、水面と水底間の高さ関係を明確にし、水底地形についてもT.P.表示にて把握することが重要である。
- ③ 深浅測量の具体的な方法は、海洋調査技術マニュアルー深浅測量編<sup>5-2)</sup>を参考にすると良い。

農業用ため池は古いものが多く、老朽化が進行しているものがあることから、健全度を現地調査により把握することを基本とする。調査結果を踏まえて、劣化状況および決壊リスクの評価を行う場合は、「防災重点農業用ため池の劣化状況評価等の手引き」（農水省）を参考にすると良い。ため池（堤体等）の健全度が低下している場合、決壊等により太陽光発電設備の流出による二次被害が懸念される。このため、健全度を踏まえて適地であるかどうかの判断を行い、計画地を見直すことも必要である。

## 5.3 地盤調査（水中）

1. 水上設置型太陽光発電設備の係留設計では、事前調査結果を踏まえて地盤調査を実施し、設計に必要な地盤工学的性状に関する情報を収集する。
2. 事前の資料調査で把握できない水底地形ならびに水底土砂の性状は、現地調査により把握する。

水上設置型太陽光発電設備では、水際線付近の陸域にパワーコンディショナなどの電気設備を設置する事が想定されるため、その基礎設計に必要な陸域部の地盤調査もあわせて行う必要がある。水上設置型太陽光発電設備の設置箇所における水底土砂性状は、係留設計における重要な設計条件となるので、予め調査し把握しておくことを原則とする。

水底土砂の性状を把握するには、底質採取を行い、目視観察を行うとともに必要に応じて室内試験を行うことが望ましい。底質採取の方法には、調査船上より採泥器を用いた底質採取と、潜水士による目視調査と採泥がある。なお、水底土砂の強度が平面的にも、深度方向にもバラツキがあることから、事前に把握するための調査方法として音波探査がある。底質採取・音波探査の具体的な方法は、海洋調査技術マニュアルー水質・底質調査編<sup>5-3)</sup>を参考にすると良い。

ため池等はその機能を確保するため、堤体や水底に遮水構造を有している場合がある。これらを損傷させないように、事前に調査により確認しておく必要がある。

#### 5.4 水質・流域の調査

1. 水上設置型太陽光発電設備の設置による水環境などへの影響を評価するには、事前に計画水面および接続水面など、周辺の水質などの現状把握に努める。
2. 暴風や水害などにより発電設備が流出した場合に影響が想定される接続水面ならびに水門・樋門などの水面管理施設などについて調査する。

結果を踏まえて適地であるかどうかの判断を行い、計画地を見直すことも必要である。

#### 5.5 環境・景観対策（配慮項目程度）

1. 水上設置型太陽光発電システムの設置による水環境や景観などの変化について、事前調査結果ならびに既往の知見などをもとに悪影響を及ぼさないことを、計画段階において確認する。
2. 周辺環境への配慮事項は、関連法令および各地方自治体の環境影響評価条例のほか、事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）<sup>5-4)</sup>、太陽光発電の環境配慮ガイドライン<sup>5-5)</sup>を参考とする。

水上設置型太陽光発電設備では、その規模にかかわらず、環境、景観に配慮することとする。太陽光発電設備の設置に伴い、景観への影響、反射光による生活環境への影響などの問題が生じる事例が近年増加している。地域住民とのトラブルになる事例も報告されており、重要な動植物の生息・生育環境の改変などによる自然環境への影響なども懸念されている。水面の景観を保全するため、太陽電池モジュールの設置面積が水面の面積の概ね 50%以下とする規定を設けている事例もある。

比較的水深が浅い湖沼などにおいては水面・水中への入射光が減ると水質が悪化する事例などが報告されている。飲料用水、農業用水等に使用されているため池に設置する場合は、

必要に応じ、定期的に水質検査を行い、その用途を害することがないようにモニタリングを行うとともに対策を講じる。モジュール洗浄を行う場合は、水質に悪影響を与えない材料・方法とする。

予めこれらの影響などについて事前調査および検討を行い、必要な対策を講じる必要がある。周辺環境への配慮事項については、各地方自治体の環境影響評価条例のほか、事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）<sup>5-4)</sup>、太陽光発電の環境配慮ガイドライン<sup>5-5)</sup>を参考とすることができ、例として次の項目が挙げられる。

表 5-1 太陽光発電に係る環境配慮事項など

配慮事項	想定されるリスク
騒音	・ パワーコンディショナなどから発生する騒音が大きい場合、地域住民から苦情が寄せられる。
反射光	・ 太陽電池モジュールの反射光により、地域住民から苦情が寄せられる。
工事に関する粉じんなど、騒音・振動	・ 工事用車両などによる粉じん、騒音・振動により、事業区域周辺環境への悪影響が生じる。
景観	・ 良好な景観が阻害、破壊される。
動物・植物・生態系	・ 重要な動植物の生息・生育場所の消失・縮小や生態系への悪影響が生じる。 ・ 水質や水環境の変化により、生態系に悪影響を与える。
自然との触れ合いの活動の場	・ 自然との触れ合い活動の場が消失・縮小し、地域生活の快適性・利便性に悪影響が生じる。

自治体の条例においては、上記の対策として、植栽・塀などの遮蔽措置、水面の整備面積の上限設定、低彩度の工作物の使用などを規定している事例もある。

#### 参考文献

- 5-1) 兵庫県: ため池データベース (<https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk11/tameikedatabase.html>)、2022
- 5-2) 海洋調査協会: 海洋調査技術マニュアル 深淺測量編、2020
- 5-3) 海洋調査協会: 海洋調査技術マニュアル 水質・底質調査編、2008
- 5-4) 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.
- 5-5) 環境省: 太陽光発電の環境配慮ガイドライン、2020

## 6. 太陽電池アレイ配置計画

### 6.1 全体配置計画

1. 事業計画条件、自然環境条件、環境・景観などへの配慮を踏まえて計画する。
2. 水上設置型太陽光発電設備に使用されるアイランド（フロート群）は、水面上を移動するため、特定の係留索に荷重が集中した場合にあっても、その安全性が確保されるよう、フロート群の大きさ・形状と係留索の配置を計画する。

水上設置型太陽光発電設備では水面を有効かつ効率的に使用するため、限られた水域に多くのフロート群を配置することとなる。このフロートは単体では小型のものを多行列に複数連結してアイランド（フロート群）を構成している。アイランドは水位変動への追従などを考慮し、水底あるいは陸域に設置されたアンカーに係留索を用いて係留されることが多い。このため、風、波などによる外力作用時にフロート群は水面上を移動し特定の係留索に荷重が集中することがある。2019年に発生した千葉県山倉ダムの水上設置型太陽光発電設備の被災はこの現象により、係留アンカーの引抜きに至ったものと推測される。

このような事故を未然に防止するため、水理実験や数値解析により検証を行い、フロート群の連結数を制限しアイランドの大きさを小さくする、あるいはアイランドを矩形などの単純な形状とするなど、外力の集中対策を講じる必要がある。アイランド形状がL字型などの場合の入隅部においては、荷重の集中が生じやすいことに加え、係留索の展張方向によって係留索の交差が発生するなどの課題があるため設計に当たって特段の留意が必要である。

### 6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離

1. 当該設置環境での発電電力量と建設コストの最適なバランスを考慮して、アレイ面の方位と傾斜角度およびアレイ間の離隔距離を設定する。
2. 離隔距離は、冬至の9時および15時の日陰長さを目安に設定されるが、保守通路の確保についても配慮する。
3. アレイ面の傾斜角度は、風圧荷重などの荷重への影響も考慮して設定する。

水上設置型太陽光発電設備のアレイ面の傾斜角度と離隔距離はフロートの仕様によって決定されることが多い。大型フロートに架台を取り付ける仕様の場合には、一般的な地上設置型太陽光発電設備と同様の配慮が必要である。その場合には、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<sup>6-1)</sup>の3.8節「配置計画（ラフプラン）」が参考となる。

#### 参考文献

- 6-1) 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

## 7. 設計荷重

### 7.1 想定荷重と荷重の組み合わせ

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定方法」<sup>7-1)</sup> 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った場合、それに従う。
2. 太陽電池架台および係留部の設計で想定する荷重は、上部構造に作用し係留部に伝達される固定荷重・積雪荷重・風圧荷重・地震荷重のほか、係留アンカーに直接作用する固定荷重、土圧・水圧、地震荷重、その他の荷重とする。
3. 原則として考慮する荷重は、固定荷重、その他積載荷重（積雪荷重、作業員）および風圧荷重、波力とする。
4. 必要に応じて考慮する荷重は、地震荷重および流れや水面凍結によって生じる荷重とする。
5. 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	$G+W$	$G+W$
			$G+0.35S+W$
	波浪時	$G+W+H$	$G+W+H$
$G+0.35S+W+H$			
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、 $H$  : 波力

水上設置型太陽光発電設備が設置される水面は閉鎖域が多く、発生する波高が小さいこと、使用するフロートは比較的浅喫水であり受圧面が小さいことから、フロートに作用する波力は小さい。水面上の設備に作用する風圧力に比べて小さいことから、波力を考慮していない事例も見受けられる。しかしながら、風上側の堤体からフロート群までの水面上を風が吹き渡る距離、すなわち吹送距離が大きい場合、発生波高は数 10cm に発達し（例えば、有効吹送距離  $F=0.1\text{km}$ 、水面上 10m の風速  $U_{10}=30\text{m/秒}$  の場合、発生する有義波高は  $H_{1/3}=23\text{cm}$  と試算される）、フロート群の外縁部に波力が作用することから、波力を考慮することを原則とした。

## 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（架台、フロート、係留線）の重量の総和とする。
2. フロート上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には、それらの重量も加算する。

フロート浮力を検討するためには、固定荷重の見積もりが重要である。フロートには太陽電池モジュールや架台のほかに係留線の浮力分を差し引いた重量も付加される。また、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などの固定荷重は局所的に作用するので、それらが取付けられるフロートの固定荷重に算入する。

## 7.3 風圧荷重

1. 太陽電池モジュールがフロートに直接取り付けられているシステムでは、太陽電池モジュールとフロートが一体の状態（「PVフロート」と呼ぶ）での風力係数を設定し、太陽電池モジュールが取り付けられていない状態のフロート（「サブフロート」と呼ぶ）がある場合にはその風力係数も設定する。また、これらの風力係数は風洞実験結果をもとに決定することを基本とする。
2. アイランド（フロート群）を構成する場合には、アイランド全体および風上側1列目のPVフロートやサブフロートに作用する風圧荷重をそれぞれ算定する。
3. アイランド全体に作用する風圧荷重は、風方向への風力（抗力）として式(7.1)によって算出する。フロート上にパワーコンディショナや接続箱等が設置されている場合には、それらに作用する風圧荷重も適切に算定して加算する。

$$W_D = \sum_{i=1}^{N_r} W_{Di} \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

$$W_{Di} = \sum_{j=1}^{N_c} C_{Dij} \times q_p \times A_{Dij}$$

$$q_p = 0.6 \times V_0^2 \times E \times I_w$$

$$E = E_r^2 \times G_f$$

ここに  $W_D$  : アイランド全体の風方向設計用風圧荷重 (N)  
 $W_{Di}$  : 風方向  $j$  列目の PV フロートまたはフロートに作用する風方向風圧荷重  
 $N_r, N_c$  : 風方向および風直交方向のフロートの列の総数

$C_{Dij}$ :	風方向 $i$ 列目で風直交方向 $j$ 列目の PV フロートまたはフロートの風力係数 (抗力係数)
$q_p$ :	設計用速度圧 (N/m <sup>2</sup> )
$A_{Dij}$ :	風方向 $i$ 列目で風直交方向 $j$ 列目の PV フロートまたはフロートの風方向の鉛直投影面積 (m <sup>2</sup> )
$V_0$ :	基準風速* <sup>1</sup> (m/s)
$E$ :	環境係数
$I_w$ :	用途係数* <sup>1</sup>
$E_r$ :	平均風速の高さ方向の分布を表す係数* <sup>1</sup>
$G_f$ :	ガスト影響係数* <sup>1</sup>

\*1 : JIS C 8955:2017<sup>7-1)</sup> による。

4. 風上側 1 列目の風圧荷重については、PV フロートやサブフロートの風による捲れ上がりのモーメント風力や浮き上がりの風力を対象とし、式(7.2)に示すピッチングモーメント荷重および式(7.3)に示す鉛直上向きの荷重を求め、捲れ等の防止について検討する。

$$W_M = C_M \times q_p \times A_L \times L \dots\dots\dots (7.2)$$

$$W_L = C_L \times q_p \times A_L \dots\dots\dots (7.3)$$

ここに  $W_M$  : 設計用ピッチングモーメント荷重 (Nm)

$W_L$  : 鉛直上向きの設計用風圧荷重 (N)

$C_M$  : モーメント風力係数 (ピッチングモーメントの風力係数)

$C_L$  : 揚力係数 (鉛直上向きの風力係数)

$A_L$  : 対象フロートの水平投影面積 (m<sup>2</sup>)

$L$  : 対象フロートの風方向の長さ (m)

5. フロート上に架台を設けて太陽電池アレイを構築する場合の設計用風圧荷重は、式(7.4)に示すアレイに作用する風圧荷重  $W_a$  と式(7.5)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。また、フロートの水上部分にも風圧荷重が作用するので、適切に設定して加算する。
6. アレイの風圧荷重はアレイ面に垂直に作用することとし、架台の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、支持物構成材などには、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まれる。
7. アレイ面および支持物構成材の風力係数  $C_a$  および  $C_b$  は風洞実験によって設定することを基本とするが、一般的なアレイ形式の場合には JIS C 8955:2017<sup>7-1)</sup> に示された風

力係数を用いてもよい。

$$W_a = C_a \times q_p \times A_a \dots\dots\dots (7.4)$$

$$W_b = C_b \times q_p \times A_b \dots\dots\dots (7.5)$$

- 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
  - $A_a$  : アレイ面の受風面積 (m<sup>2</sup>)
  - $A_b$  : 支持物構成材の鉛直投影面積 (m<sup>2</sup>)

水上設置型太陽光発電設備は、通常、アイランド（フロート群）として設置されるので、アイランド内の位置（風上側からの列数など）によって風圧荷重が変化します。一般的には風上側1列目の風圧荷重が最も大きくなり、後列では風圧荷重が小さくなるため、その傾向を把握したうえで、アイランド全体の風圧荷重を設定する必要があります。なお、風上側1列目においては、強風によって捲れ上がる事故が発生していることから、ピッチングモーメント（捲れ方向へのモーメント風力）や揚力（上方向への風力）についても把握しておくことが重要である。また、太陽電池モジュールがフロートに直接取り付けられているPVフロートにおいては、フロートの形状が風力に与える影響が大きいため、太陽電池モジュールとフロートを一体のものとして風圧荷重を設定する必要があります。

【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の風洞実験】は、太陽電池モジュールとフロートが一体となったシステム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PVフロート（技術資料では「メインフロート」と呼んでいる）の設計用風力係数（抗力係数  $C_D$  : 式(7.1)の  $C_{Dij}$ ）を表 7-2～表 7-4 に示す。ここでは、アイランド全体の風圧荷重を対象としているため、風方向の各列（風直交方向に並ぶPVフロート）の風力係数の平均値として与えている。一方、風上側1列目の捲れ上りを検討するための設計用風力係数（モーメント係数  $C_M$  および揚力係数  $C_L$ ）は、個々のPVフロートを対象とし、モーメント係数  $C_M$  の最大値とそのときの揚力係数  $C_L$  で与え、それらを表 7-5～表 7-7 に示している。

この風洞実験では、アイランドの外周にサブフロートが配置されている状態（写真 7-1）で測定しているため、外周のサブフロートが配置されていない状態ではPVフロートの風力係数が大きくなることも想定される。そのため、外周のサブフロートが配置されない場合には、その状態での風洞実験を行ってPVフロートの設計用風力係数を決定する必要があります。なお、【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の風洞実験】にはサブフロートの風力係数の測定結果も示しているので参照されたい。

表 7-2 PV フロートの抗力係数  $C_D$  (順風)

モジュール 傾斜角度	風上から 1 列目	2 列目	3 列目以降	最後列
5°	0.25	0.25	0.25	0.30
10°	0.40	0.30	0.25	0.30
20°	0.65	0.45	0.30	0.35

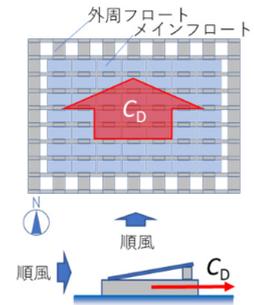


表 7-3 PV フロートの抗力係数  $C_D$  (逆風)

モジュール 傾斜角度	風上から 1 列目	2 列目	3 列目以降	最後列
5°	0.50	0.50	0.40	0.45
10°	0.75	0.55	0.50	0.60
20°	1.00	0.65	0.65	0.70

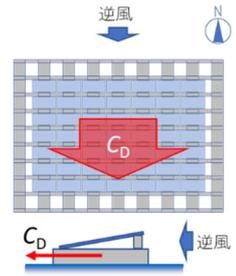


表 7-4 PV フロートの抗力係数  $C_D$  (横風)

モジュール 傾斜角度	風上から 1 列目	2 列目	3 列目以降	最後列
5°	0.60	0.50	0.50	0.55
10°	0.80	0.80	0.65	0.80
20°	1.15	1.15	0.90	1.00

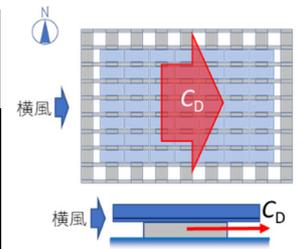


表 7-5 PV フロートの捲れ検討用のモーメント係数  $C_M$   
および揚力係数  $C_L$  (順風)

モジュール 傾斜角度	モーメント係数 $C_M$	揚力係数 $C_L$
5°	0.02	0.22
10°	0.02	0.12
20°	0.05	0.07

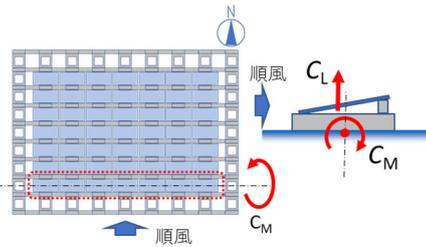


表 7-6 PV フロートの捲れ検討用のモーメント係数  $C_M$   
および揚力係数  $C_L$  (逆風)

モジュール 傾斜角度	モーメント係数 $C_M$	揚力係数 $C_L$
5°	0.05	0.30
10°	0.10	0.49
20°	0.17	0.75

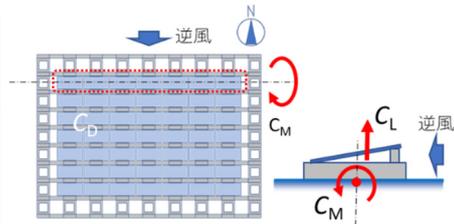


表 7-7 PV フロートの捲れ検討用のモーメント係数  $C_M$

および揚力係数  $C_L$  (横風)

モジュール 傾斜角度	モーメント係数 $C_M$	揚力係数 $C_L$
5°	0.11	0.26
10°	0.15	0.48
20°	0.17	0.57

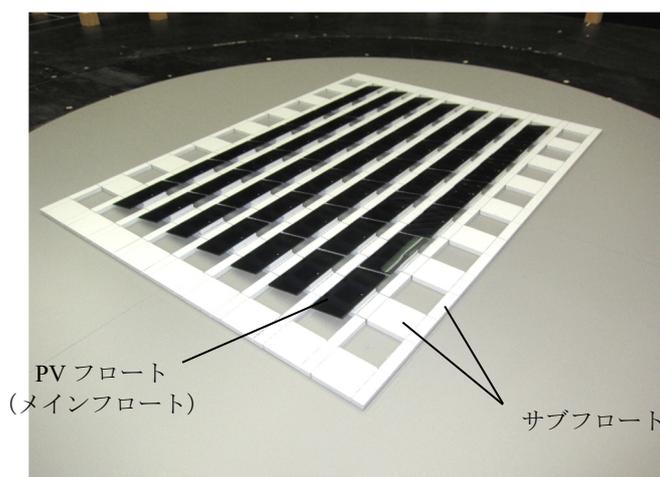
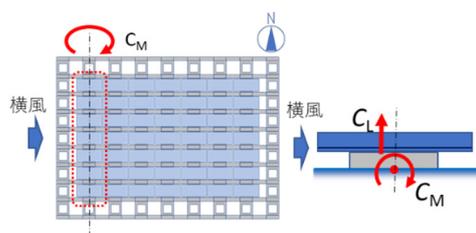


写真 7-1 PV フロートとサブフロート

なお、ここで示した風力係数は国内で多く流通する典型的なフロート形状の一例、かつアイランドの形状が矩形である場合についての値であるため、これらの条件と異なる場合には風洞実験を行って設計用風力係数を決定することを推奨する。風洞実験の実施に当たっては、PV フロートやサブフロートが単体の状態での風力特性だけでなく、アイランドを構成して列ごとの荷重負担割合についても把握できる測定を行うことが望ましい。また、風洞実験で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、専門家の指導のうえ実施する必要がある。風洞実験方法の検討に当たっては、次の文献を参考にされたい。

- ・ 「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<sup>7-2)</sup>
- ・ 「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<sup>7-3)</sup>

他方、フロート上に架台を設けて太陽電池アレイを設置するシステム(写真 7-2)では、その形状が一般的な地上設置型太陽光発電設備に近いので、JIS C 8955:2017<sup>7-1)</sup> に示された地上設置型の風力係数を適用することができる。また、風上側から2列目以降のアレイの風力係数については、同 JIS に示された中央部アレイと同様に上記の風力係数を 0.6 倍した値としても良い。ただし、フロートの水上部分にも風力が作用するので、その部分に作用する風圧荷重については専門家に相談のうえ適切に設定することを推奨する。



写真 7-2 大型フロートを用いたシステム

#### 7.4 積雪荷重

1. 設計用積雪荷重は、式 (7.6) によって算出する。
2. ひとつのフロートの水平投影長さが 10m 以上かつ有効な排水口がない場合、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。

$$S_p = C_s \times P \times Z_s \times A_s \times 100 \dots\dots\dots (7.6)$$

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<sup>2</sup>)  
 $Z_s$  : 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<sup>2</sup>)  
 ※ $C_s$ 、 $P$ 、 $Z_s$ は JIS C 8955:2017<sup>7-1)</sup> による。

一般的な水上設置型太陽光発電設備では、アレイ面の高さが低くアレイ面上の積雪を確実に滑落させるだけの高さがないので、勾配係数  $C_s$  は 1.0 を採用することになる。また、アレイ面だけでなくフロート上にも積雪するため、積雪面積はアレイ面とフロートの水平投影面積とした。なお、フロート間の隙間が小さい場合には、その部分に積雪することも考えられるので、積雪面積を適切に設定し積雪荷重を算定する。

また、一般の地方 (多雪区域以外の区域) に設置される大型フロートの太陽光発電設備の場合には、積雪後の降雨による荷重増加についても配慮する。

#### 7.5 地震荷重

1. 水面部に設置するフロート、係留索の設計には地震荷重を考慮しなくて良い。
2. 係留アンカー(重力式)および陸上部に設置する設備などは、地震荷重を考慮する。

水面上に浮遊しているフロートに対しては、直接地震力が作用しないため、フロート、係留索には地震荷重を考慮しなくて良いものとした。

水底あるいは陸上部に設置する係留アンカーのうち重力式アンカーについては地盤に設置しており、慣性力によって滑動・転倒が生じる場合があるため、適切に地震荷重を考慮するものとした。

ただし、一般に建築・土木施設の耐震設計で考慮する地震時水平荷重は自重の0.2~0.3倍程度を見込むことが多い。一方、この値は重力式係留アンカーの摩擦係数と比べて小さい。さらに、重力式係留アンカーの必要重量は暴風時や波浪時の荷重によって決定されることが実際である。このようなことから、設計実務上は、地震荷重に対する照査は省略して良い。

なお、水深が浅く、対岸距離が短い水面においては、スロッシング（水面が比較的長周期の地震動により周期的に動揺すること）が生じることもあるため、その影響については必要に応じ、別途検討する。

## 7.6 波力・動揺（繰り返し荷重を含む）

1. フロートに作用する波力は、水理実験や数値解析などにより評価する。
2. フロート間接合部、係留部の設計においては、動揺による影響が生じると想定される場合、水理実験や動揺シミュレーションなどを行い、動揺により発生する荷重を評価する。

水上設置型太陽光発電システムに使用する浅喫水のフロートに作用する波力の算出方法が明確でないため、水理実験や数値解析により算出することを原則とする。水理実験の事例及び水理実験の方法等については、【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の水理実験結果の概要】を参照されたい。

ただし、フロートに作用する波力は風圧荷重に比べ小さいこともあり、簡易的に算出する方法として、漁港の浮棧橋やマリナーのプレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル<sup>7-4)</sup>などに示されている比較的浅喫水の小型浮体に対する波力算出方法を参考にすることができる。ただし、水理実験【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の水理実験結果の概要】では、入射波高が大きく、フロート端部の動揺が大きい場合には波力算定式の精度が低下する傾向が確認されている。こうした高波浪条件においては水理実験により波力を適切に評価する必要がある。

波力算出に用いる波浪諸元は、有義波高  $H_{1/3}$  を原則とし、再現期間は JIS C 8955:2017<sup>7-1)</sup> の風速の再現期間に合わせ 50 年とする。国内の水上設置型太陽光発電システムが設置されている水面は、ため池や湖など、閉鎖水域であることから、波力算出に用いる有義波諸元（波高、周期）は、港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>7-5)</sup> に示されている有義波高による波浪推算方法である「S. M. B. 法」を用いて算出しても良いものとする。

フロートの動揺によりその接合部などには、作用する繰返し荷重によって、疲労破壊が発生することも想定される。必要に応じ、周辺の気象観測データなどをもとに風、波浪などによる外力の発生頻度を整理・分析し、疲労破壊の検討を行うことが望ましい。

水理実験【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の水理実験結果の概要】において、フロートの動揺に伴う波や風に対する受圧面積の増大により、フロートに作用する波力や風圧荷重が大きくなる現象が確認されている。波浪等によりフロートが大きく動揺する場合には、水理実験により波力や風圧荷重を適切に評価する必要がある。

フロートに作用する波力や動揺について、水理実験や数値解析により検討する場合、特殊な施設・設備や専門的知識・技術を必要とするため、専門家の協力を得て実施することが必要である。

有義波諸元の算出方法、波力算出方法の事例を以下に示す。

(1) 波力算定に用いる有義波諸元（波高、周期）の算出方法（S. M. B. 法）<sup>7-5)</sup>

S. M. B. 法は、風速  $U_{10}$ （水面上 10m における風速）、吹送距離  $F$  をパラメータとして有義波高  $H_{1/3}$  と有義波周期  $T_{1/3}$  を推定するものであり、次式にて表される。

$$gH_{1/3}/U_{10}^2 = 0.30 \left[ 1 - \left\{ 1 + 0.004(gF/U_{10}^2)^{1/2} \right\}^{-2} \right] \dots\dots\dots (7.7)$$

$$gT_{1/3}/(2\pi U_{10}) = 1.37 \left[ 1 - \left\{ 1 + 0.008(gF/U_{10}^2)^{1/3} \right\}^{-5} \right] \dots\dots\dots (7.8)$$

ここに、

- $H_{1/3}$  : 有義波高 (m)
- $T_{1/3}$  : 有義波周期 (s)
- $F$  : 吹送距離 (m)
- $U_{10}$  : 水面上 10m での風速 (m/s)
- $g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

なお、式 (7.7)、式 (7.8) に与える吹送距離  $F$  については、式 (7.9) で求められる有効吹送距離  $F_{eff}$  を用いる。

$$F_{eff} = \sum F_i \cos^2 \theta_i / \sum \cos \theta_i \dots\dots\dots (7.9)$$

ここに、

- $F_{eff}$  : 有効吹送距離 (km)
- $F_i$  : 波の算出点から  $i$  番目の方向への対岸距離 (km)
- $\theta_i$  : 対岸距離  $F_i$  の方向と主風向とのなす角度 (度)  $-45 \text{ 度} \leq \theta_i \leq 45 \text{ 度}$

有効吹送距離  $F_{\text{eff}}$  の算出に当っては、フェッチ線を作図し主方向に対して  $\pm 45$  度の方向からの影響を考慮して設定する。大まかな作業手順は次のとおりである。

- ① 算出する波の主方向  $\theta$  を決定する。
- ② 主方向より  $\pm 45$  度の範囲まで 5 度間隔でフェッチ線を引く。フェッチ線の取扱は次のとおり。
  - (a) フェッチ線が 2 本以上連続して掛かる島については、フェッチ線をその島で止める。
  - (b) フェッチ線が 1 本しか掛からない島については、フェッチ線を止めずに通過させる。
  - (c) 全体として一つの島とみなせる複数の島があり、フェッチ線がこれらに連続して掛かる場合は、フェッチ線をその島で止める。
- ③ 各方向にフェッチ  $F_i$  を読み取る（単位：km）。
- ④ 式 (7.9) により有効吹送距離  $F_{\text{eff}}$  を設定する。

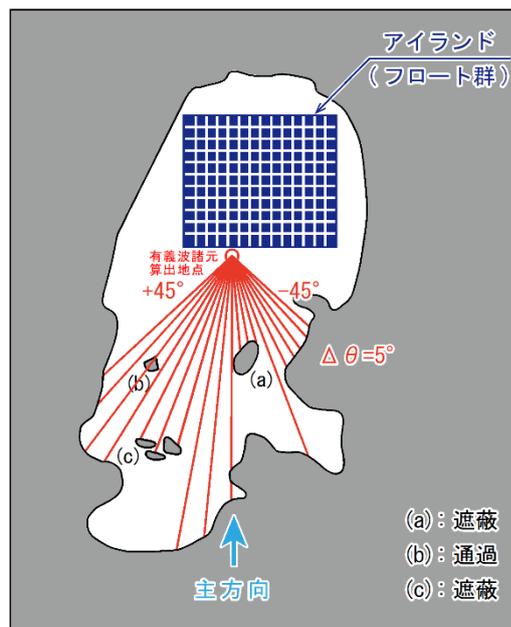


図 7-1 フェッチ線の作図イメージ

なお、式 (7.4)、式 (7.5) に与える水面上 10m での風速  $U_{10}$  は、周辺の気象観測データを収集し統計処理により、再現期間 50 年の風速を設定する方法がある。具体的な方法は港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>7-5)</sup>の極値波浪の統計処理の手法を参照すると良い。また、気象観測データの風況観測高さを確認し、高さ補正を適切に行う必要がある。

(2) 比較的浅喫水の小型浮体に対する波力算出方法の例<sup>7-4, 7-6)</sup>

マリーナのプレジャーボート用浮棧橋設計マニュアルなどに示されている比較的浅喫水の小型浮体に対する波力算出方法の事例を示す。

浮体に作用する波力は、波高の差（波の山部と谷部の水位差）による静水圧の値として算出している。

$d > 1/2 \cdot H_{1/3}$  の場合

$$F_s = \omega_0 \cdot H_{1/3} \cdot L \cdot d \quad : B > L_A/2 \dots \dots \dots (7.10)$$

$$F_s = 2 \cdot \omega_0 \cdot H_{1/3} \cdot L \cdot d \cdot B/L_A \quad : B \leq L_A/2 \dots \dots \dots (7.11)$$

$d \leq 1/2 \cdot H_{1/3}$  の場合

$$F_s = 1/2 \cdot \omega_0 \cdot (H_{1/3}/2 + d)^2 \cdot L \quad : B > L_A/2 \dots \dots \dots (7.12)$$

$$F_s = \omega_0 \cdot (H_{1/3}/2 + d)^2 \cdot L \cdot B/L_A \quad : B \leq L_A/2 \dots \dots \dots (7.13)$$

ここに、

- $d$  : 浮体の喫水 (m)
- $F_s$  : 浮体に作用する波力 (kN)
- $H_{1/3}$  : 設計波高 (有義波高) (m)
- $\omega_0$  : 水の単位体積重量  $\rho_0 g$  (kN/m<sup>3</sup>) (淡水の場合 10.0kN/m<sup>3</sup>)
- $L$  : 浮体の長さ (波の進行方向に直角な長さ) (m)
- $B$  : 浮体幅 (波の進行方向に対する長さ) (m)
- $L_A$  : 波長 (m)

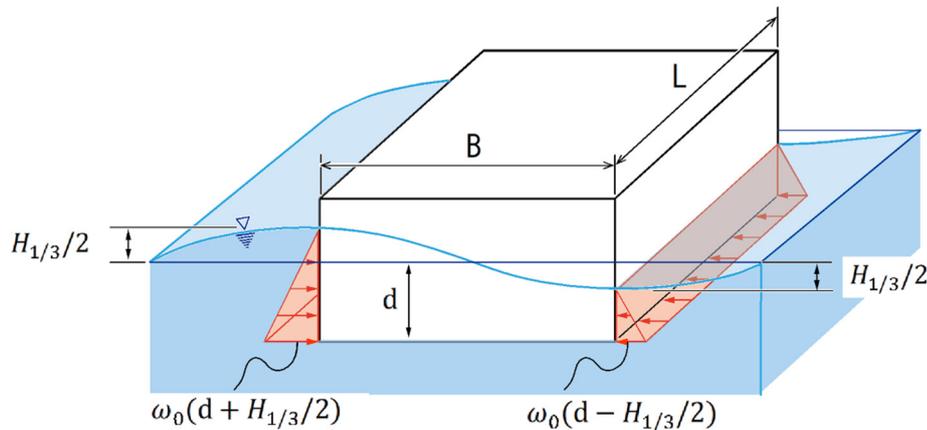


図 7-2 浮体に作用する波力（静水圧差）

### (3) 動揺の抑制

外周フロートの風による捲れ防止を目的として、外周フロートの内部に注水する対策が講じられることがある。フロートの重量の増加によりフロート動揺の抑制効果が得られる場合がある。【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の風水洞結果の概要】は、その効果について風水洞実験で検証した例であり、フロートを注水することによって、外周フロートの動揺が若干抑制されることが確認されている。

## 7.7 水面凍結による荷重

1. 水面凍結により、フロートや係留索に荷重が作用する場合、その荷重を考慮する。

水面が凍結すると、フロートの側面には大きい圧力が発生する。その圧力は、凍結した面積や氷層厚さにより変化するので、当該設置環境における水面凍結の状況について調査し、凍結の可能性がある場合にはその荷重を適切に考慮する。また、水面凍結が係留索に与える影響についても検討する。

### 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定方法、2017
- 7-2) 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
- 7-3) 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
- 7-4) 一般社団法人日本マリーナ・ビーチ協会: プレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル、2018
- 7-5) 公益社団法人日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説、2018
- 7-6) 全国漁港漁場協会: 漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版、2016

## 8. 使用材料

### 8.1 鋼材

1. 架台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。
3. 水面あるいは水中に設置する場合は、鋼材などの腐食環境が厳しいことから、腐食量を適正に見込むか腐食対策を講じる。

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<sup>8-1)</sup> および軽鋼構造設計施工指針・同解説<sup>8-2)</sup> に従い、適切に選定する。鉄筋は、特別の場合を除き、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」<sup>8-3)</sup> に従い、適切に選定する。金網は、JIS G 3551「溶接金網及び異形鉄筋格子」<sup>8-4)</sup> 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<sup>8-1)</sup> および軽鋼構造設計施工指針・同解説<sup>8-2)</sup> 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. 架台に使用され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。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。

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<sup>8-5)</sup> 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<sup>8-5)</sup> 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（独立基礎に使用）

1. コンクリート材料は、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、コンクリートの規格・仕様を選定する。

架台に使用され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<sup>8-6)</sup> またはコンクリート標準示方書<sup>8-7)</sup> 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  $18\text{N/mm}^2$ 、鉄筋コンクリートでは圧縮強度  $24\text{N/mm}^2$  以上を使用することが望ましい。コンクリート材料は J I S 製品を基本とし、強度特性が明確なものを使用する。

重力式係留アンカーの材料にコンクリートを使用する場合、その単位体積重量は、無筋コンクリートの場合  $22.6\text{kN/m}^3$ 、鉄筋コンクリートの場合  $24.0\text{kN/m}^3$  として良い。なお、水中で使用する場合は、浮力を考慮する必要がある。

#### 8.4 ワイヤロープ・チェーン（係留用）

1. 係留索に使用するワイヤロープ、チェーンについては、鋼材に加え、化学繊維を使用することが多い。使用される部位、目的、環境条件、耐久性を考慮し材料を選定する。
2. 使用する係留索の種類に応じて、適切に許容張力を設定する。

許容張力の設定として次の例がある<sup>8-8)</sup>。

- ・ チェーン（鋼製）の許容張力                   : 破断荷重の 1/3
- ・ ワイヤロープ（鋼製）の許容張力           : 破断荷重の 1/3
- ・ 合成繊維索の許容張力                     : 破断荷重の 1/5

#### 8.5 樹脂（フロート）

1. フロートなどに樹脂系材料を使用する場合、使用される部位、目的、環境条件、耐久性を考慮し材料を選定する。
2. フロートなど、個別製作部材は、破断試験などの材料試験を実施し、強度特性値を設定する。
3. フロートに使用する樹脂は、紫外線劣化や浮遊物の衝突による損傷が発生しない強度を有したものとする。

J I S 規格に適合した既製品ではなく、樹脂などにより個別に任意形状で製作した部材については、使用状況に応じた破断試験などを実施し、材料強度の特性値を適正に把握する必要がある。フロートは損傷により割れなどが発生した場合、内部に浸水し浮力低下に繋がる恐れがあるため、紫外線劣化や浮遊物の衝突により割れが発生しない強度・耐久性を確保した材料を用いるか、フロート内部に発泡樹脂などを注入して浮力低下対策を講じた材料を使用することが望ましい。

## 8.6 その他材料

1. 上記までに記載のない、プラスチック、ゴム、塗装材料、再生材などを使用する場合、使用する部位、使用される目的、環境条件、耐久性を考慮し適切な材料を選定する。
2. 使用にあたっては、その材料強度を把握する。

フロート間の接合に化学繊維系のバンドと金属製のバックルなどを用いている事例もある。使用する部位、使用目的、環境条件を踏まえ、設計供用期間に対して耐久性を有する材料の選定が望ましいが、比較的軽微な材料については耐久性が不足する場合もあり得る。このような場合は、供用期間内に部材の更新を計画しておくことが必要である。

### 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事 2018
- 8-7) 土木学会: コンクリート標準示方書、(【設計編】、2017) 他
- 8-8) 沿岸開発技術研究センター: 浮体構造物技術マニュアル、1991

## 9. フロート設計

### 9.1 フロート設計での注意点

1. 水上設置型太陽光発電システムに使用する樹脂製フロートは、比較的小規模で強度が低い。これらフロートを多連結して使用するため、使用材料特性や作用荷重を適切に設定した上で、設計を行う。

### 9.2 フロートの設計

1. 設計荷重に対してフロート各部位での応力度が当該部材の許容応力度以下になるよう、フロートの形状や部材厚さを設定する。
2. フロート自重、太陽電池モジュール、接続箱や作業員などの積載荷重および風、波浪などによる外力作用時において、所定の安定性を有することを確認する。
3. フロート安定性の許容値は、荷重載荷時の乾舷、偏載荷時の傾斜について、利用上の支障が生じないように設定する。
4. 水生生物付着や浸水などによる安定性低下が生じないように、予めその対応を検討する。

フロートの強度設計においては、アイランドに作用する荷重が係留索に集中することを考慮して、設計荷重を適切に設定する必要がある。この荷重の集中はアイランドの大きさや形状、係留索の配置、荷重の方向（例えば風向）などによってその状態が異なる。そのため、いずれの荷重状態においても全てのフロートは各部位に生じる応力度が許容応力度以下になる強度を確保しなければならない。

フロートの安定性については、各設計状態において考慮する荷重を適切に設定した上で、その安定性を確認することが必要である。

フロートの安定性の検討例を表 9-1 に示す。ただし、ここで用いた安定性に係る許容値は事例として示したものであり、利用状態などを勘案して適切に設定するものとする。

安定性の検討は、フロート単体の諸元・性能をもとに数値計算にて行うか、数値計算が不可の場合は実機を用いた実証実験により確認することが望ましい。

表 9-1 フロートの安定性検討例

	考慮する荷重							安定性検討内容（例）
	自重 フロート	太陽光発電 設備自重	作業員	浮力	風荷重	波力	積雪荷重等	
常時	○	○		○			○	・フロートの全載荷重に対して、フロートの乾舷がゼロ以下としないことを確認する。
作業時	○	○	○	○			△	・フロートの積載荷重に加え、作業員がフロート歩行時に傾斜が 1/10 以下であり、かつ乾舷がゼロ以下としないことを確認する。作業員荷重を照査対象フロートの端部に偏載荷重する場合は、連結された隣接フロートの浮力による復原効果を見込む。
異常時	○	○		○	○	○	△	・フロートに風荷重、波力等が作用した場合に、フロートの浮上がりが発生しないことを確認する。

注) ○：原則として考慮すべき荷重、△：必要に応じて考慮すべき荷重

### 9.3 接合部の設計（フロート間、係留索とフロート間、フロートと太陽電池モジュール間）

1. フロート間の接合部は、動揺に対して追従するためピン接合となる。接合部の部材が接合部に生じる引張力、圧縮力に耐えうる強度を有することを確認する。動揺などにより繰返し荷重が作用することから、必要に応じ疲労破壊に対する照査を行う。
2. 係留索とフロート間の接合部は、作用する引張力を適切に設定し、フロート部材の許容引張力以下となるよう決定する。フロート群に作用する外力を複数の係留索で負担するが、その負担割合についてはフロート群の移動による荷重集中を適正に評価する。

動揺に対して追従するためにフロート間の接合部には樹脂製のピンやバンド等によってピン接合されている場合が多く、また一箇所の接合部で複数の部材が留付けられる場合があることから、荷重作用時には変形が大きくなりやすく、構造計算やFEM解析によって適切に強度評価することが難しいものが多い。フロート間接合部の強度評価が難しい場合には載荷試験を行って接合強度を把握するとともに変形性状も確認しておくことが望ましい。なお、アイランドに作用する荷重は係留索に集中するので、フロート間接合部の設計においても荷重集中を考慮した強度評価を行う必要がある。また、フロート間接合部の強度は、当該接合部を構成する複数のフロートの変形も影響すると考えられるので、載荷試験やFEM解析等を行う場合には図 9-1 に示すような複数のフロートが接続された状態で実施されることが望ましい。フロート間接合部の載荷試験（引張試験）の例を【技術資料：水上設置型太陽光発電設備のフロート間接合部の載荷試験結果の概要】に示したので参照されたい。

フロート間の接合部の曲げ剛性が高く、動揺に伴う大きい曲げモーメントが発生する場合には、接合部の曲げ強度についても確認しておく必要がある。

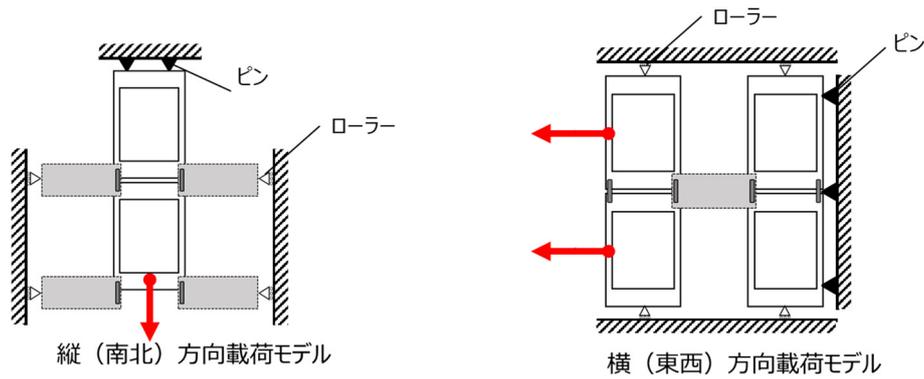


図 9-1 フロート間接合部の载荷試験の例

係留索とフロートの接合部については、強風時には下図のように係留索とフロートが直線的に引っ張られるため、強度計算や载荷試験によって接合部の強度を確認する場合には、このような状態を前提として検討することも可能である（図 9-2）。ただし、フロートの浮力が大きい場合には下図の弱風時のように係留索とフロート間で角度が生じるので、その角度を適切に評価したうえで強度確認を行う必要がある。

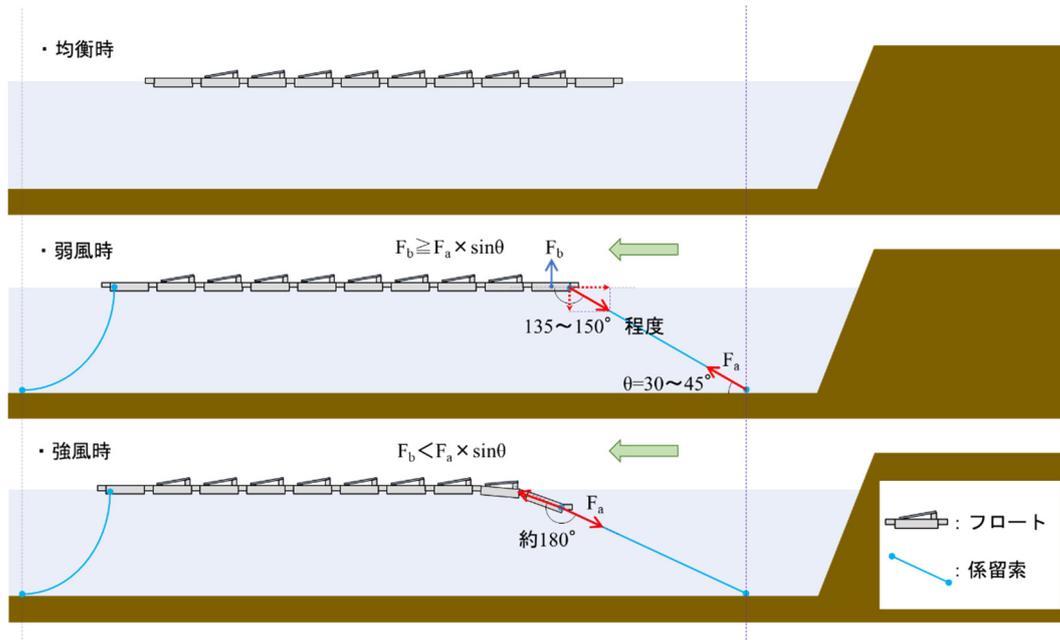


図 9-2 係留索とフロートの引張荷重の方向

## 10. 係留設計

### 10.1 係留設計での基本事項

1. 係留設計は、フロートへの係留索取付部、係留索、アンカーを対象とする。
2. フロート群の荷重は複数の係留索に分散して負担させるが、フロート群の移動によって特定の係留索に荷重集中が発生することを考慮して設計を行う。
3. 特定の係留索が破断した場合にアイランドの移動、他の係留索への荷重集中によって連鎖的に被害が拡大しないよう、工夫して設計を行う。

係留設計は、図 10-1 に示す部材（係留索、係留アンカー）およびそれらの接合部を対象とする。係留設計の工夫としては、荷重分散が図れる係留索の配置や係留索強度に余裕を持たせること等により、係留システムに冗長性を組込むことなどが有効である。

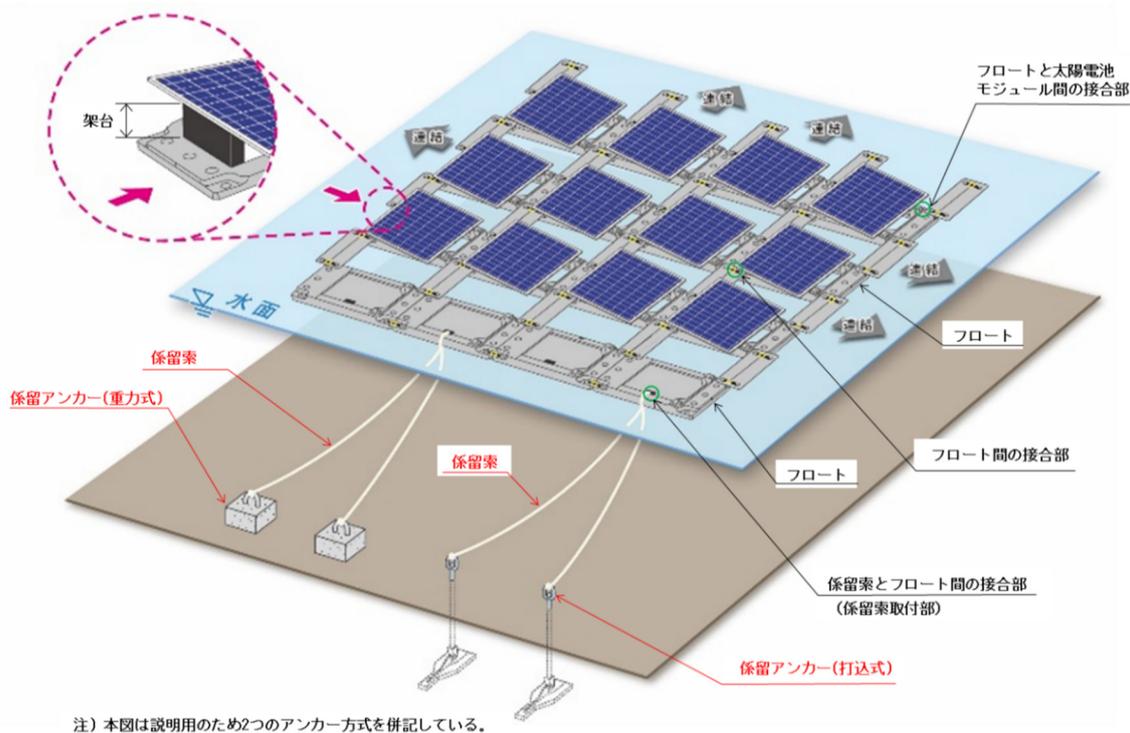


図 10-1 係留設計の対象部材

## 10.2 係留方法

1. 水底にアンカーを設置して係留索で固定する方法、あるいは、水中ではなく堤防などの陸上部にアンカーを設置して係留索で固定する方法とする。

アイランド（フロート群）の係留方法は、表 10-1 に示す型式を対象とする。なお、係留方法の選定に当たっては、アンカーの設置により既存施設の機能が低下もしくは満足できない事象が発生しないようにする必要がある。特に堤防にアンカーを設置する場合には、水密性の確保などに十分配慮し、堤防の安全性を損なわないことを確認する。また、水面より高い位置で係留する場合には、フロートの浮き上がりに対してアンカーで抵抗できないため、風上側フロートの浮き上がり（捲れ）抵抗について別途検討する必要がある。

表 10-1 係留方法

係留方法	イメージ図	
	打込式	重力式
水底にアンカーを設置する場合		
陸上部にアンカーを設置する場合		

## 10.3 係留索の設計

1. 係留索に作用する引張力を適切に設定し、許容引張力以下となるよう決定する。
2. 設置期間を考慮して、経年劣化に対する影響や更新計画を立案する。

アイランド（フロート群）は複数の係留アンカーと係留索で係留されている。アイランド（フロート群）全体に作用する荷重を算出した後、係留索 1 本あたりが負担する荷重を適切に設定する必要がある。係留索は水位変動などに追従できるようにある程度余裕を持たせて

長さを設定することから、風圧荷重や波力が作用した場合、アイランド（フロート群）は水面上を移動したり、その形状が変化したりする。このため、複数の係留索に均等に荷重が作用することはなく、荷重の集中が発生する。しかしながら、この係留索への集中の度合いについては、現時点で有効な知見、評価方法がないことから、実証実験、水理実験や数値解析などを行い、適切に設定する必要がある。

係留索に発生する張力の実測調査（【技術資料：係留索に発生する張力の実測調査に関する実証実験結果】参照）および水理実験（【技術資料：水上設置型太陽光発電設備 P V の水理実験結果の概要】参照）の結果から、風向やアイランドの移動状況に応じて、特定の係留索に張力が集中する現象が確認されている。実測調査においては、係留索に均等に張力が作用すると仮定する場合に比べ、3～5 倍程度の張力が作用することが確認された。1 基のアンカーからフロートに 2 本の係留索が展張されている場合は、片方の係留索に張力が集中する現象が確認されている。このため、係留設計に当たっては張力の集中について適切に考慮する必要がある。

アイランド形状が L 字型などの場合の入隅部においては、荷重の集中が生じやすいことに加え、係留索の展張方向によって係留索の交差が発生するなどの課題があるため設計に当たって特段の留意が必要である。

また、海外において係留索に弾性係留索を用いる事例がある。弾性係留索とは索の一部にゴム等の伸縮性のある材料を用いたものであり、ある程度緊張状態で係留索を展張し、初期張力を持たせることによってフロートの水平変位や動揺を抑えることができ、多数の係留索に荷重を均等に分散させることができるシステムである。国内においては、太陽光発電設備への導入事例は無いが、マリーナ等のプレジャーボート用浮棧橋の係留システムとしての導入事例がある。これは上記に示した特定の係留索に荷重が集中するという課題を解決する有効な手法の一つであり、今後導入の可能性がある。他方、初期張力を必要とするため、フロート端部の沈み込み等が発生することから、その対応について留意する必要がある。

アンカー位置、係留索長、水深変化等の条件によって、アイランドが水面上を水平移動することから、堤体への接触等が生じないように係留システムの配置計画を立案する必要がある。現地施工時においてアンカー位置に変更が生じた場合には、係留索長を調整し、特定の係留索だけが緊張状態にならないよう配慮する必要がある。

係留索 1 本あたりが負担する荷重を設定した後、係留索の設計については次のように行う方法がある。

#### 【係留索の設計事例】<sup>10-1)</sup>

##### (1) 設計方針

係留索の設計は、係留索 1 本あたりが負担するアイランド（フロート群）の水平力をロープの引張方向に換算し、許容引張力以下であることを照査する。なお、ここではアイランド（フロート群）に作用する荷重は水平力のみを対象に記載しているが、風圧荷重や波力などによりフロート端部に揚圧力（上向きの荷重）が作用する場合は、別途考慮する必要がある。

(2) 係留索の長さ

図 10-2 より、次式にて求める。

$$L = \sqrt{Kh^2 + h^2} \dots\dots\dots (10.1)$$

ここに、

$L$  : 係留索の長さ (m)

$Kh$  : 係留索の水平距離 (m)

$h$  : 係留索のフロートへの取付点からアンカーブロック上面までの高さ (m)

係留索の長さは水位変動に対するアイランドの追随性を考慮して設定すること。

水位が低下した場合にはアイランドが水平移動するため、堤体やその他施設に接触しないよう係留索の長さを適切に設定する必要がある。

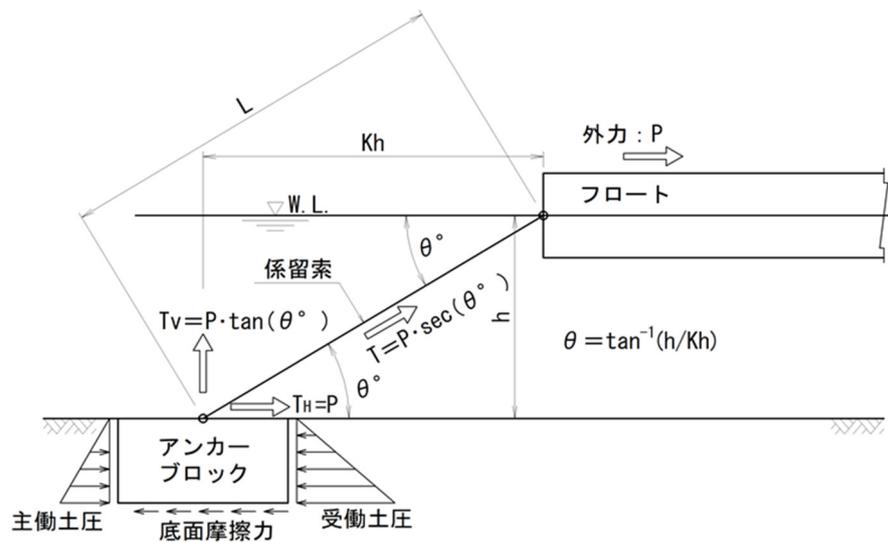


図 10-2 係留索の照査 (重力式アンカーの場合を示す)

(3) 係留索の張力

$$T = P \cdot \sec(\theta) \dots\dots\dots (10.2)$$

ここに、

$T$  : 係留索の最大張力 (kN)

$P$  : 係留索 1 本あたりが負担する浮体に働く力 (kN)

$\theta$  : 係留索と浮体底面のなす角度 (度)

想定される水位変動の範囲内で、係留索が伸びきった場合に係留索の張力が最大となる状態を考慮する。

(4) 係留索の照査

係留索の最大張力が許容張力以下であることを確認する。

$$T \leq Ta \dots\dots\dots (10.3)$$

ここに、

$T_a$  : 係留索の許容張力 (kN)

#### 10.4 アンカーの設計

1. 水底への打込式アンカー、コンクリートブロックなどの重力式アンカーとする。
2. 水位変動などを考慮して、係留索の引張り角度の変動を考慮する。また、アンカーの耐力方向とフロートによる作用方向が異なる場合、その影響を考慮する。
3. 水底への打込式アンカーは、原位置試験により耐力評価を行う。
4. 重力式アンカーの必要重量は、港湾や漁港施設の浮棧橋などの係留部の設計の考え方を参考にする。
5. ため池などの堤体にアンカーを設置する場合、堤体の安全性や安定性、水密性等に影響しないアンカーおよび施工方法を選定する。

打込式アンカーについては、図 10-3 のようにアンカーの打設・耐力方向とフロートによる外力の作用方向が異なるが、打込式アンカーの斜め引張試験（【資料 4-5】参照）の結果から、作用方向の違いによるアンカーの耐力低下は生じないことが確認されている。ただし、耐力を超える荷重が作用した場合、仰角が小さいほどアンカーの変位量が大きくなることが確認されている。強風により特定のアンカー天端がフロート方向に変位した場合は、係留索が緩む方向に作用する。水深等に応じて係留索長を調整し、複数の係留索に張力を分散させている場合は、アンカーの変位により張力の分散バランスが崩れ、特定の係留索に張力が集中しやすくなるため留意が必要である。

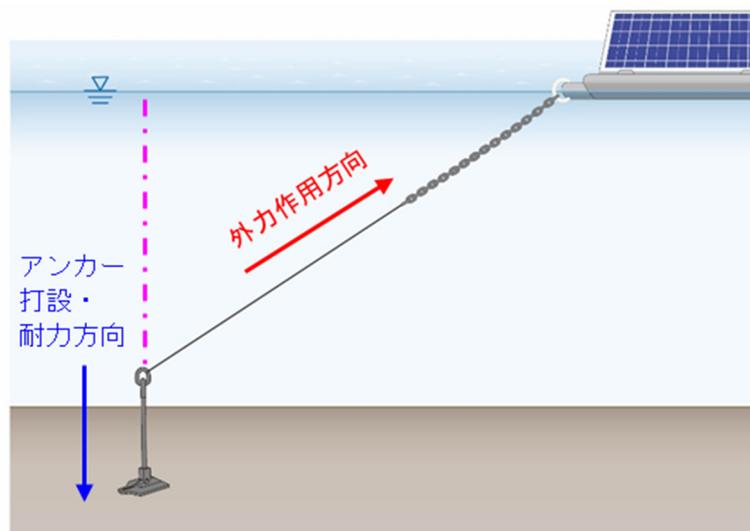


図 10-3 打込式アンカーの打設・耐力方向と外力の作用方向

重力式アンカーについては港湾や漁港の施設において多く用いられており、その設計の考え方を参考にすることができる。検討方法の事例を示す。

【重力式アンカーの設計事例】<sup>10-1)</sup>

(1) 設計方針

重力式アンカーは、係留索に最大張力が働いたときに滑動しないよう、滑動に対し所要の安全率を確保する。

(2) 重力式アンカーに働く荷重

重力式アンカーには、水平力として  $P$ 、鉛直力として  $P \cdot \tan(\theta)$  が働くものとして良い。

(3) 重力式アンカーの抵抗力

通常はコンクリートブロックを水底土中に埋込んで使用することが望ましい。この場合、抵抗力としては次のものを考慮する。ただし、底面摩擦力の計算に用いる鉛直力は、 $W_w - P \cdot \tan(\theta)$  とする。ここに、 $W_w$  はアンカーの水中重量である。重力式アンカーを土中に埋込まない場合は、抵抗力は底面摩擦のみとする。

a) 水平抵抗力：

〈粘性土の場合〉 底面・側面の粘着力および受働土圧と主働土圧の差

〈砂質土の場合〉 底面摩擦力および受働土圧と主働土圧の差

b) 鉛直抵抗力：水中重量および水中土かぶり重量

(4) 重力式アンカーの照査方法

係留基礎には、図 10-4 に示すような重力式、把駐力式があるが、一般には重力式が用いられることが多く、ここでは重力式（直置き）を対象として示す。

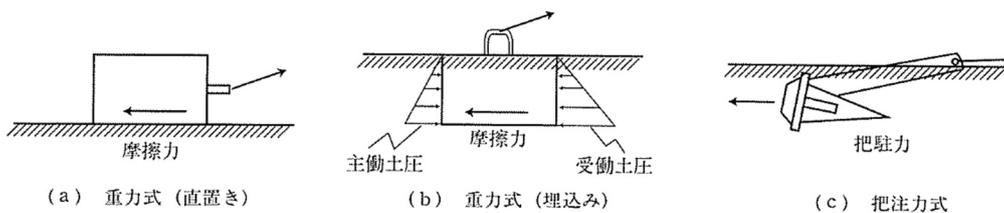


図 10-4 重力式アンカーの種類<sup>10-1)</sup>

重力式アンカーにはコンクリートブロックが用いられる場合が多い。底質が砂質土の場合には重力式の滑動に対する安定の検討は次式による。

$$\frac{\mu(W_w - T_V)}{T_H} \geq F \dots\dots\dots (10.4)$$

ここに、

$\mu$  : 摩擦係数

底質が砂質土の場合はコンクリートブロックとの摩擦係数は 0.5~0.6 として  
いる場合が多い。

$W_w$  : コンクリートブロックの水中重量 (kN)

コンクリートブロック (無筋) の単位体積重量 : 22.6kN/m<sup>3</sup>

淡水の単位体積重量 : 10.0kN/m<sup>3</sup>

$T_V$  : 係留基礎部における係留索の最大張力の鉛直成分 (kN) 、 $T_V = P \cdot \tan (\theta)$

$T_H$  : 係留基礎部における係留索の最大張力の水平成分 (kN) 、 $T_H = P$

$F$  : 滑動に対する安全率 ( $F=1.2$  を用いる場合が多い)

重力式アンカーを設置する地盤が、土質条件に基づいて十分な支持力を有していることを確認する。地盤が軟弱で十分な支持力が得られない場合には、アンカー下への基礎捨石の設置、砂置換などの地盤改良の検討を行う。

ため池などの堤体アンカーを設置する場合は、重力式アンカーによる堤体の安全性、アンカー設置によるすべり破壊等の誘発に対する安定性、打込式アンカーによる水みちの発生に伴う水密性への影響<sup>10-2)</sup> など、堤体の安定性や機能に悪影響を及ぼさないようにする必要がある。なお、打込式アンカーは、コア土に亀裂を生じさせる恐れがあることから、使用禁止としている事例がある<sup>10-3)</sup>。

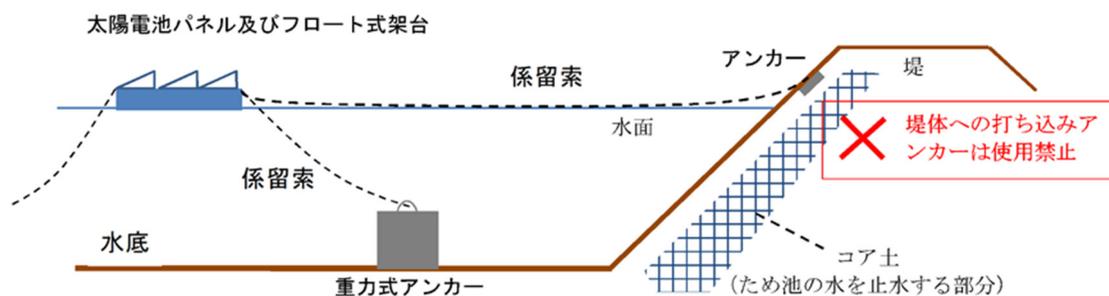


図 10-5 堤体への打込式アンカーの使用を禁止としている事例<sup>10-2)</sup>

#### 参考文献

- 10-1) 全国漁港漁場協会: 漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版、2016
- 10-2) 農林水産省農村振興局: 農業用ため池における水上設置型太陽光発電設備の設置に関する手引き、2021
- 10-3) 兵庫県県土整備部住宅建築局建築指導課: 太陽光発電施設等と地域環境との調和に関する条例 技術マニュアル (案)、2022

## 11. 腐食防食

### 11.1 水中部（アンカー・ロープ）

1. 水中で使用する材料は、太陽光発電設備の供用期間中に構造上致命的な腐食や腐朽がないよう、耐食性を確認する。
2. 水面付近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. 水質や水底の土壌を調査して、微生物腐食の発生が懸念される場合、有効な対策を講じる。
4. 腐食対策として、係留索に化学繊維の材料を使用する場合、紫外線による経年劣化などに配慮する。

### 11.2 水上部（固定金具など）

1. 架台などで使用する材料に、太陽光発電設備の供用期間中に構造上致命的な腐食や腐朽がないよう、耐食性を確認する。
2. 水面付近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。水面付近の気中部は、飛沫などが多く腐食環境として最も厳しいため、特に留意する。
3. 異なる金属を組合せて用いると異種金属接触腐食の原因となるため、可能な限り同じ金属を用いる。ここでの金属は、主要な部材だけでなく、締結材であるボルト、ナットなども含む。ただし、有効な防食処置を講じて用いる場合、または対策の必要がないことを確認し、適切なメンテナンス期間を定めている場合は、この限りではない。

### 11.3 樹脂材料など（フロートおよびフロート間接合部）

1. フロートやフロート間接合部に使用される樹脂材料は、フロートの供用期間中において紫外線、応力（ひずみ）、熱、環境物質などによって著しい劣化がないことを確認する。
2. 劣化の可能性がある部材は、使用期限を設定し定期的に交換する。この場合、交換方法についてのマニュアルなどを事前（設計時）に作成する。

## 12. 電気設備の設計：水上設置型における電気設計の注意点

### 12.1 水上の配線方法に関する注意点

1. ケーブルの移動が想定される場所は、電気設備の技術基準の解釈（電技解釈）第 127 条「水上電線路及び水底電線路の施設」が規定するキャブタイヤケーブルを利用する。他のケーブルを利用する場合は、ケーブルの損傷を避けるため保護管に入れる。
2. フロートやアイランドの移動によりケーブルに過度な張力が発生しないよう配線余長を持たせるとともに、ケーブルを損傷しないように固定する。
3. ケーブル・コネクタは浸水しないように敷設する。
4. 極性の異なる配線を分離して敷設する。配線が長く誘導雷の影響を受ける恐れがある場合は、配線のループ面積を小さくして敷設する。
5. 齧歯目動物によるケーブル損傷の対策を行う。
6. 接地は地上部の接地極により行う。

水上のフロート、アイランドの移動に伴い、配線やケーブルの移動が想定される場所には、電気設備の技術基準の解釈（電技解釈）第 127 条「水上電線路及び水底電線路の施設」が規定するキャブタイヤケーブルを利用することが望ましい。他のケーブルを利用する場合は、フロートやアイランドの移動によりケーブルに過度な張力が発生しないように、地上部とアイランド部間の配線を S 字状にする<sup>12-1)</sup>など、配線に余長を持たせること、ケーブルが損傷しないよう保護管に入れることなどの措置をすることが望ましい。また、保護管を使用する場合は導管内に水が溜まらないよう配慮することが必要である。



写真 12-1 余長を考慮した配線の例

配線の固定に関しては、太陽光が直接当たらないようにするとともに、配線が常時浸水することのないようにする。特にコネクタは常時浸水していると絶縁抵抗の低下が進むため注

意が必要である。コネクタの浸水試験の結果を技術資料にまとめているため、参考にされたい。（【技術資料：太陽電池モジュール接続用コネクタの防水性について】）



写真 12-2 配管に納めた配線の例

短絡事故を避けるため、極性の異なる配線は分離することが望ましい。ただし、この場合には配線経路がループを形成すると誘導雷の影響により電圧を誘起するおそれがあるため、配線経路が長い範囲にわたる場合には、配線をわけてループ面積を小さくすることが望ましい<sup>12-2)</sup>。

池などへの設置事例ではヌートリアのような齧歯目動物によってケーブルが齧られる被害が確認されている。このような場合には、鳥獣の保護および管理並びに狩猟の適正化に関する法律を遵守しつつ対策することが望ましい。ヌートリアなどが池に入らないように、池をフェンスで覆うなどして侵入経路を塞ぐこと、もしくはケーブルを配管などで覆い露出を減らすことなどの対策が考えられる。ただし、対策には限界があることから、これらの被害が発生した場合に重大事故につながらないようにするため、地絡検知、警報、遮断できる機構と体制を構築することが必要である。また、保守点検時にケーブルなどの被害が想定される個所については注意して確認することが望ましい。

接地については、地上部に接地棒等を埋設することにより接地極をとり、水上の各機器の接地は、この接地極より配線する必要がある。実証実験から、水中に接地極をとることは地上に接地極を設ける場合と同程度の効果が得られる可能性が示唆されたが、接地極の形状や必要数などに解決すべき課題があるため、現段階では地上部に接地極をとることを原則とした。なお、通常の電路と同様に、地上部からアイランド部への接地線の敷設はフロートやアイランドの移動により接地線に過度な張力が発生しないようにする必要がある。また、海外の規格では、接地線を陸地に敷設することが困難な場合、水底に接地電極を十分な深さまで打ち込み、重りを使って固定する方法も例示されている。しかしながら、この方法は、水底の水深や土質に大きく依存し、水深が深い場合や水底の土質が接地に適していない場合もあるため、十分に調査が必要である。また、係留索が導電性材料で作られていても接地導体として使用してはならないとされている<sup>12-3)</sup>。

## 12.2 水上の機器の設置方法に関する注意点

1. 通常の使用状態において、浸水しない高さに機器を設置する。
2. フロートやアイランドの移動などに伴う傾きの範囲内において、転倒しないように機器を設置する。
3. アイランドへのアクセス手段を確保するとともに、容易に開閉できる場所に機器を設置する。
4. アイランドの浮力設計を考慮して、機器の設置場所を決定する。

内線規程<sup>12-4)</sup>「1365-1 配電盤及び分電盤の設置場所／1」において、配電盤および分電盤は「安定した場所」、「容易に開閉できる場所」、「容易に点検できる場所」に設置することが求められている。

従って、水上設置型太陽光発電システムについては、アイランド上に設置する機器（接続箱やパワーコンディショナなど）は、通常の使用状態において浸水しないようにするだけでなく、フロートやアイランドの移動などによって生じる傾きによって転倒しないように設置する必要がある。また、アイランドやフロートの耐荷重の設計値を考慮して接続箱やパワーコンディショナの設置場所がアイランドの中で著しく不均一とならないようにするなど、機器の重量により浸水や転倒しないように設置場所を決定する必要がある。特にアイランドの外周部への接続箱やパワーコンディショナの設置は、機器の浸水リスクが高まるため、避ける必要がある。

さらに、作業者がアイランドにアクセスする手段が確保できていることを前提とし、アイランド上において「容易に開閉できる場所」、「容易に点検できる場所」に接続箱やパワーコンディショナを設置する必要がある。



写真 12-3 接続箱の設置例

### 12.3 水上における電気機器選定に関する注意点

1. アイランド上の機器は浸水しないように設置する。
2. 対応する I P 等級の電気機器を選定する。
3. アイランド上の機器の傾きが大きくなる場合は、適切な機器を選定する。

本ガイドラインにおいては、アイランド上に設置される電気機器に求められる防塵・防水性の等級である I P (Ingress Protection) 等級の基本的な考え方の前提を「アイランド上にある機器は長期にわたって浸水することはない」とした。従って、先ずアイランド上にある機器が浸水しないように設置することが必要である。その上で、アイランド上の各機器については次に示す I P 等級のものを選定することが望ましい。

- ・ 接続箱およびパワーコンディショナ : IPX5 以上
- ・ ケーブル : IPX7 以上
- ・ コネクタ : IPX7 以上

ケーブルおよびコネクタについては、通常の使用状態や保守点検時の作業員が及ぼす荷重による動揺、あるいは固定のための結束帯の破断による水没のリスクを排除できないため、接続箱やパワーコンディショナよりも高い I P 等級とした。なお、コネクタを現地でケーブルに取り付ける場合、不適切な組み立てによって箆合部の接触抵抗の増大や防水性の低下を引き起こす事例があるため、製造者の組み立て説明書に従って正しく組み立てることが必要である。また、近年の研究では、半密閉型格納箱（接続箱等）においては、I P 等級と関係なく入線口や接続箱内部の温湿度環境のくり返しにより、金属部の腐食が発生することが指摘されており、水上設置型太陽光発電設備では相対的に湿度が高い環境にあるため、注意が必要である。具体的な考慮事項は文献<sup>12-5)</sup>を参考にされたい。

7.6 の波力・動揺の評価の結果、機器の傾きが大きくなることが想定される場合は、傾斜した状態でも正常に動作するように設計された機器を選定することが必要である。これらの機器の選定には、船舶設備規程や関連の J I S 規格<sup>12-6)</sup>などが参考となる。

参考：コネクタの絶縁試験（詳細は、【技術資料：太陽電池モジュール接続用コネクタの防水性について】を参照）

- ・ 純正 MC 4 コネクタ（箆合時 IP67）付ケーブルの試験
- ・ 試験方法：JIS C 8990:2009<sup>12-7)</sup>（IEC 61215:2005<sup>12-8)</sup>）「10.15 湿潤漏れ電流試験」
- ・ 試験体：2 種類のケーブル径（細径；4 mm<sup>2</sup>／太径；5.5 mm<sup>2</sup>）および 3 種類の締め付けトルク（適正トルク／過少トルク／過大トルク）を組み合わせた 6 類型について、それぞれ 5 個の試験体。これらの試験体の箆合部を防水テープで保護し箆合部からの水分の浸入を抑止。また、これらとは別に「パッキンなし」「箆合不足」の試験体を各 1 個用意。

- 実験の結果、「太径・トルク過小」のコネクタのほとんどは試験開始後の1時間で絶縁抵抗の低下が確認され、約20日で全ての太陽光発電用コネクタの絶縁抵抗が低下した。また「細径・トルク過小」の太陽光発電用コネクタは10本中1本の絶縁抵抗が試験後1時間で低下したものの、残りの9本については約300日後でも800MΩ以上であった。なお、他の条件で作成したコネクタについては試験後約90日から徐々に抵抗の低下が確認されたものの、ほとんどが1GΩ以上であった。「パッキンなし」「はめ込み不足」の各試験体と「4mm<sup>2</sup>-過少トルク」の一部と「5.5mm<sup>2</sup>-過少トルク」は、水没直後から絶縁抵抗が大きく低下した。これはコネクタ内の導電部に水が入ったことによるものである。キャップナット（ブーツ）の締め付けは付属のレンチで締めただけでは不十分で、さらにトルクレンチで適正トルクまで締めなおす必要がある。また、組み立ての際に防水用のパッキンが外れていないか確認した上で施工することも重要である。

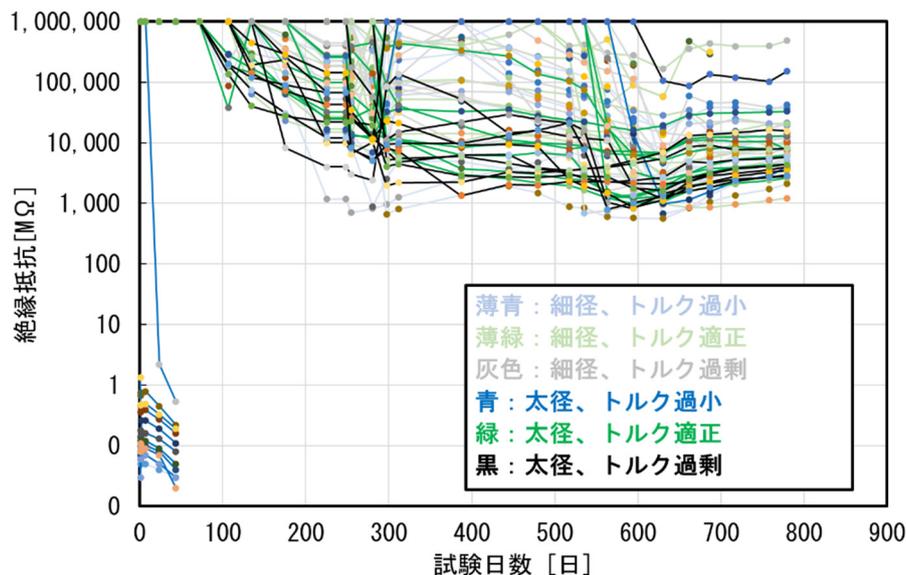


図 12-1 コネクタのトルクと線径別の浸水試験結果

#### 12.4 保守点検を考慮した電気設備計画の注意点

- アイランド上に設置する接続箱やパワーコンディショナは、取扱者のアクセスが可能でかつ「容易に点検できる場所」に設置する。

取扱者がアイランド上の接続箱やパワーコンディショナにアクセスできること、それに加えてこれらの機器が「容易に点検できる場所」に設置されている必要がある。また、アイランド上は滑りやすく不安定であることから、取扱者が自立して作業できる環境を確保することが必要である。

## 参考文献

- 12-1) World Bank, Energy Sector Management Assistance Program; Solar Energy Research Institute of Singapore: Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners. 2019
- 12-2) 第 22 回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ 資料 4、2020
- 12-3) Singapore Standards Council; TR 100:2022, “Technical reference; Floating photovoltaic power plants- design guidelines and recommendation”
- 12-4) 一般社団法人日本電気協会: 内線規程 JEAC8001-2016、2019
- 12-5) 電子機器部品の腐食・防食 Q&A、公益社団法人 腐食防食学会、2019 年
- 12-6) JIS F 8061 : 2005 (IEC 60092-101 : 1994) 船用電気設備
- 12-7) 日本規格協会: JIS C 8990:2009 地上設置の結晶シリコン太陽電池 (PV) モジュール-設計適格性確認及び形式認証のための要求事項、2009
- 12-8) International Electrotechnical Commission (IEC): IEC 61215:2005 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval, 2005

## 13. 施工

### 13.1 一般共通項目

1. 自然条件など、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ような方法により施工する。
2. 設計者が求める要求性能が満足されるよう施工する。
3. 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。
4. 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、施工管理を行うものとする。また、施工管理により取得した記録・情報は維持管理計画などに反映させる。
5. 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。
6. 実際の施工結果を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. 打込み式アンカーについては、現地での全数検査を原則とする。

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。

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には、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、意図などの情報を設計者と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

容についてでき得る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。特に潜水作業は危険を伴うため、潜水作業安全施工指針<sup>13-1)</sup>などを参考に、遵守事項、施工要領、安全管理について十分検討を行った上で施工する。

また、増水、洪水などによる資機材の流出やフロートの飛散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。リスクの少ない施工に当っては例えば次のような対策が有効である。

- ・ フロートは卓越風向に対して風上側から風下に向かって設置する。
- ・ フロート設置途中においては、仮設のアンカー等によりアイランドの全周を係留した状態で養生する。

施工時においても堤体や遮水層などの安全性を確保するとともに、汚濁の発生・拡散の防止に努めるなど、周辺環境への影響を与えないよう施工する。

水上設置型太陽光発電設備の新設または改良を行う場合、施工に関する専門的知識、技術・技能を有する者を配置し、施工管理および安全管理を行う。

施工管理方針に基づき施工管理の内容・方法を定め、施工計画書に記載する。

係留アンカーは広範囲に亘って設置することから水底土砂の強度には平面的・深度方向にバラツキがあり、所定の引張耐力が不足する場合がある。この場合、現地にてアンカーの増し打ちや規格変更を行うことがある。このため、現地にて全数試験を行い、記録することを原則とした。アンカーの設置数や規格の変更を行った場合は、その結果を維持管理計画に適切に反映させるものとする。

#### 参考文献

13-1) 一般社団法人日本潜水協会: 潜水作業安全施工指針、2015

## 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、要求性能が維持されるよう、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、施工者の他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）<sup>14-1)</sup>ならびに事業計画策定ガイドライン（太陽光発電）<sup>14-2)</sup>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<sup>14-3)</sup>、自家用電気工作物保安管理規程<sup>14-4)</sup>、港湾の施設の維持管理技術マニュアル（改訂版）<sup>14-5)</sup>、太陽光発電アセットマネジメントガイドライン（案）<sup>14-6)</sup>などの技術指針などを参考にすると良い。

昨今、自然災害の規模（異常時風速や降雨量等）拡大が進んでいる。このため、供用期間中に、供用期間の延長や自然条件の変化（降雨量の増大、異常時の設計風速の増大）などが生じた場合は、最新の条件を維持管理計画に反映させる。

### 14.2 フロートと太陽電池モジュール（水上）

1. フロートと太陽電池モジュールの維持管理計画には、以下の内容を盛り込む。
  - ・ 水面に浮遊しているフロートおよびフロート上の太陽電池モジュールは、点検診断を行うとともに、点検診断結果をもとに健全度評価を行い、必要に応じ維持補修工事を実施する。
  - ・ フロートについては、劣化・損傷の有無、フロート内への浸水や傾斜の有無に着目し、船上およびフロート上より外観目視調査やフロート上の歩行時安定性を確認する。
  - ・ 太陽電池モジュールについては、劣化・損傷、パネルの汚れなどの状況に着目し、

船上およびフロート上より外観目視調査を行う。

モジュール洗浄を行う場合は、水質に悪影響を与えない方法で実施する。

### 14.3 係留索（水中）

1. 係留索の維持管理計画は、以下の内容を参考に作成する。

- ・ 水中の係留索および係留アンカーは、点検診断を行うとともに、点検診断結果をもとに健全度評価を行い、必要に応じ維持補修工事を実施する。
- ・ 係留索に係る点検診断は、フロートおよび係留アンカーとの連結状況、腐食・摩耗、劣化・損傷の有無、展張状況、浮遊ゴミや水生生物の付着の有無などに着目し、潜水士等による潜水目視調査により行う。
- ・ 係留アンカーに係る点検診断は、移動・変形の有無、周辺水底土砂の洗掘の有無などに着目し、潜水士による潜水目視調査により行う。
- ・ 潜水作業は、水面がフロートに覆われ水中に光が届かず暗いこと、係留索が多数展張されており潜水士が絡まるなどの事故を未然に防止するため、2名1組のバディ潜水を原則とする。

係留索については、摩耗、腐食、紫外線劣化などにより強度低下が発生することから、設計段階でこのことを適切に考慮するとともに、点検診断時に劣化状況を把握し新規部材に更新するなど、適切に維持管理を行う必要がある。

潜水目視調査は、潜水作業を基本とするが、潜水作業の事故防止を図る方法としてROV（Remotely Operated Vehicle）や各種センサーを用いるなど観測無人化技術を活用することも有効である。

### 14.4 電気設備

1. 濡れた状態を想定した保守点検方法や装置、装備を計画する。
2. アイランド上の不安定作業を想定した保守点検方法や装置、装備を計画する。

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<sup>14-3)</sup>や自家用電気工作物保安管理規程<sup>14-4)</sup>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。

地上設置型太陽光発電システムとは異なり、水上設置型太陽光発電システムの作業環境は常に足元が濡れた状態がかつ不安定であることを想定する必要がある。

従って、地上設置型太陽光発電設備の場合以上に労働安全に配慮した装備を計画段階で想定しておくことが重要である。例えば、転倒や水中への転落のリスクがあるため、アイランド上での作業時にライフジャケットの着用が必要である。また、水上フロートでの転倒リスクを軽減するため、フラット（平坦）なフロートを採用すること、転倒時のけがを防止す

るためのフェイスガード付ヘルメットなどを着用することが望ましい。さらに、絶縁保護手袋などの絶縁保護具を複数用意することも検討すべき事項の一つである。

さらに、絶縁抵抗の観点でも、地上設置型太陽光発電設備よりも日中の絶縁抵抗が低い可能性があるため、作業者の感電防止に配慮する必要がある。水上設置型太陽光発電設備の実証実験の測定データについては技術資料にまとめているので参考にされたい。（【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の絶縁抵抗の測定】）

規模の大きい水上設置型太陽光発電設備での接地抵抗測定においては、アイランド上の接続箱やパワーコンディショナの接地極の接地抵抗を測定する際に長尺のリード線が必要になる場合がある。これの代替として接地極の近傍の水に補助極をとる方法が考えられる。実証実験では、水中に補助極をとった場合と地上部に補助極をとった場合の接地抵抗測定値は同程度であった。しかし、補助極の設置形態や設置位置など、検証すべき課題が残っていることから、地上部に補助極をとって測定する方法が望ましい。

参考：水上設置型太陽光発電設備の実証データ：絶縁抵抗測定の例（詳細は、【技術資料：水上設置型太陽光発電設備の絶縁抵抗の測定】を参照）

- ・ 絶縁抵抗値の変化は、温度（気温、モジュール温度）とは正の相関を示し、容積絶対湿度とは負の相関を示し、低絶縁抵抗状態の発現する条件は、季節的な気温の上昇により容積絶対湿度が相対的に増加すること、また日間での時間単位での気象変化により温度が低下する。
- ・ 陸上環境に比べ水上環境のほうが高容積絶対湿度となる頻度が多いこと、日中は水上環境のほうが高温の発現頻度が高いことは、水上環境のほうが低絶縁抵抗となる条件が相対的に揃いやすいことを示すものと考えられる。

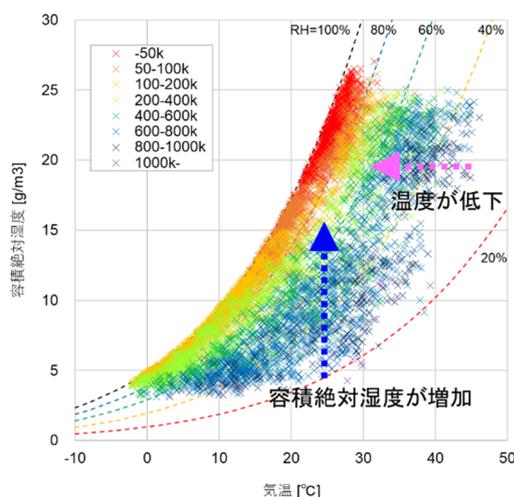
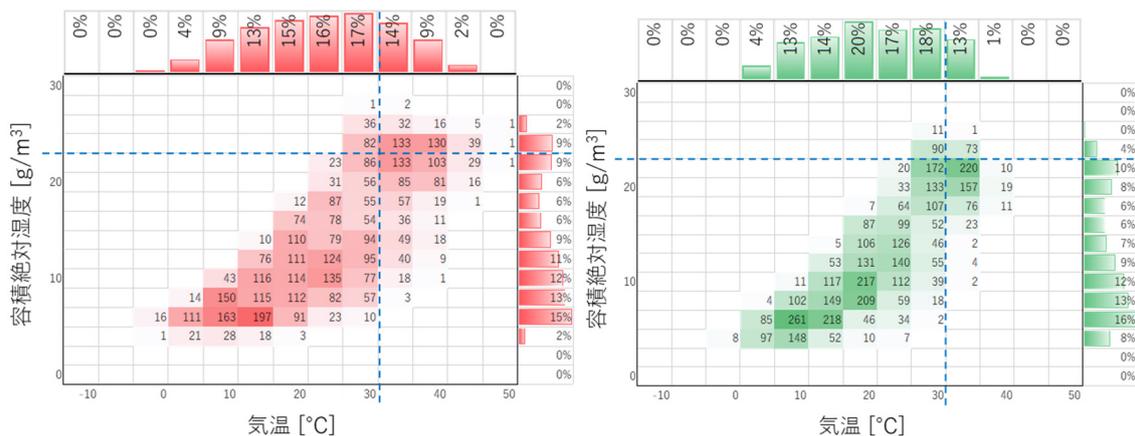


図 14-1 容積絶対湿度と気温の相関（2022 年 2 月～ 2023 年 1 月）



(1) 水上設置型太陽光発電設備

(2) アメダス高松

図 14-2 水上設置型太陽光発電設備および

アメダス高松における気温と容積絶対湿度の出現頻度分布

(7:00-18:00) 計測期間：2022年2月14日～2023年1月24日、4140点（1時間値）

参考：水上設置型太陽光発電設備の接地抵抗測定実験（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】を参照）

- 水上設置型太陽光発電設備（49.5kW、福島県）において、岸（地面）あるいは水面に設置した補助電極によりシステムの接地抵抗を測定した。システムの接地は岸に埋設された接地極から接地線により架台のフレームに接続されており、施工完了時における接地極の接地抵抗値は  $1.48\Omega$  と完成図書に記録されていた。
- 架台フレームの接地抵抗値について、地面に設置した補助電極による測定と水面に設置した補助電極による測定の差は  $0.5\Omega$  程度であった。

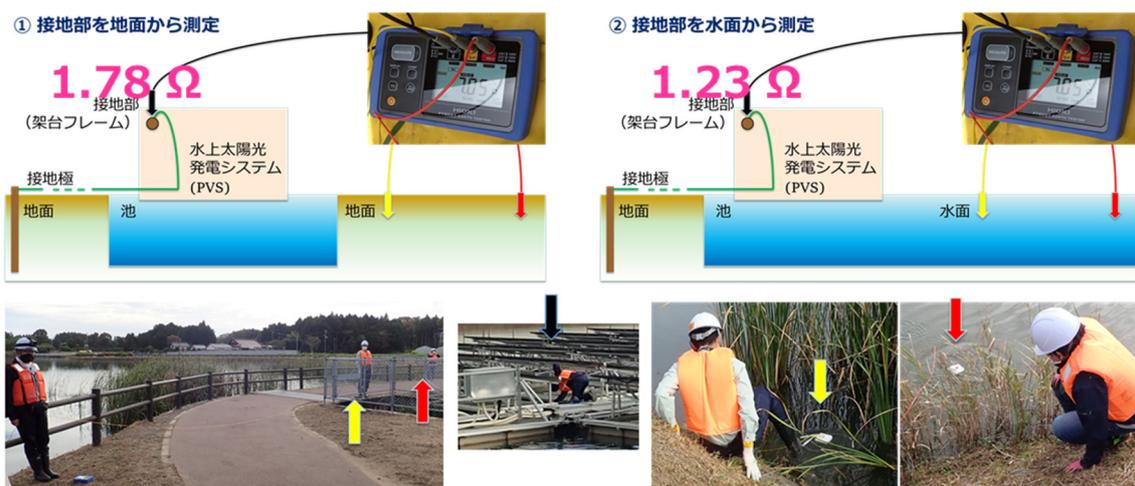


図 14-3 水上設置型太陽光発電設備の接地抵抗測定の概要

## 14.5 フロートへのアクセス方法

1. 水上設置型太陽光発電設備の点検診断には、陸上からのアクセス手段を確保しておく。
2. 点検診断作業員や維持補修に必要な機器、工具類などの搭載が可能な小型船を準備しておく。
3. 一般者のアクセス・侵入による、事故や機器の損傷を防止するため、侵入防止対策や注意喚起を行う。

## 14.6 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、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<sup>14-7~14-12)</sup>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気設備の技術基準の解釈（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。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<sup>14-13)</sup>においては、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。また、水上設置型太陽光発電設備は周辺堤防など、陸地から離れている場合があるので、その際の消火方法を予め検討しておくことが望ましい。また、消火活動時に使用する材料などによって水質や水域環境に悪影響を与えないよう事前に確認しておくことが望ましい。

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。12.2 に述べたように、アクセスしやすいところに機器を設置するとともに、遠隔でも操作可能な方法を検討することが望ましい。

また、海外の規格<sup>14-14)</sup>では、消火活動時のアイランドへのアクセスを考慮して、アイランドの最大の大きさを消防用の舟艇の放水距離の 2 倍以下とすることや、アイランド間の水路の最小距離を消防用の舟艇の長さの 3 倍以上にすること、ケーブルや歩道が水上太陽光発電システムのどの部分へのアクセスも妨げないように注意することなどが附属書に示されている。

#### 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管理規程 JEAC8021-2018、2018
- 14-5) 一般財団法人沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル(改訂版)、2018
- 14-6) 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
- 14-7) 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
- 14-8) 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
- 14-9) 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
- 14-10) 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
- 14-11) 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
- 14-12) 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
- 14-13) 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、2014 年 7 月
- 14-14) Singapore Standards Council; TR 100:2022, “Technical reference; Floating photovoltaic power plants- design guidelines and recommendation.”



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。