

2021年度成果報告会

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)

(国研)産業技術総合研究所、(一社)構造耐力評価機構
八千代エンジニアリング(株)、(一社)太陽光発電協会
デロイトトーマツコンサルティング合同会社
再委託先:
(学)北海道科学大学、(国研)防災科学技術研究所
(公大)大阪

問い合わせ先
産業技術総合研究所
E-mail: takashi.oozeki@aist.go.jp
TEL: 024-963-1805

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年7月

終了(予定): 2023年2月

2. 最終目標

本事業は、近年増加傾向にある傾斜地、農地、水上に設置される太陽光発電設備の安全確保に向けた電気・構造に関する設計・施工ガイドラインの策定を目的とする。これらのガイドラインは、2021年3月までに暫定版※を策定する。実証実験等で得られる知見を盛り込み、2023年3月までに完成版を策定する。

※「暫定版」とは実証実験を踏まえない内容であることを示すもの。具体的なガイドライン名称は別途検討。

3. 成果・進捗概要

傾斜地設置型、営農型、水上設置型の電気・構造に関する設計・施工ガイドライン(2021年版)を策定し、2021年11月12日に公開した。

https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100060.html#sp

背景

- 太陽光発電（以下、PV）の導入は、2012年のFIT開始後に急拡大。
- 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、安全性や防災・景観あるいは環境影響に対する地域の懸念が高まっている。
- 近年では、太陽光発電所の建設に適した場所の減少に伴い、傾斜地や農地、さらには水上へと展開されているが、それらの設置環境での太陽光発電設備は、一般的な地上設置型の太陽光発電設備より設計や施工上の難易度高く、これらの設備の自然事象による被害が発生。
- これらの設備の設計・施工に関する知見が極めて少ないこと、ガイドライン等のオーソライズされた資料が整備されていない。
- 近年増加傾向にある傾斜地、農地、水上の新しい設置環境の太陽光発電設備の安全な導入拡大を行うために、設計・施工ガイドラインを策定することを目的とした。

ガイドラインの位置づけ

- 法令等により要求事項に対して、特殊な設置環境の構造設計、電気設計・施工に関する具体的な設計・施工の方法を示した文書。

		法規制	規格	ガイドライン
構造設備	構築物 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 	JIS C 8955 : 2017	<div>地上設置型 設計ガイドライン</div> <div>日本風工学会 ハンドブック</div>
	地上設置			
	傾斜地設置			
	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) 	<div>JIS C 8992、8954、8951</div> <div>IEC</div>	<div>JPEA 水没安全 ガイド</div> <div>AIST 直流電気安全 手引と技術情報</div>
	周辺機器			
施工管理	一般	<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) 	IEC、JESC系統連系規程	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・保安) 	JIS C 8907、8953	JPEA 保守点検ガイドライン
	設備維持			<div>JPEA 事業の評価ガイド</div> <div>経産省 事業計画策定ガイドライン</div>

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)

ガイドライン作成方法

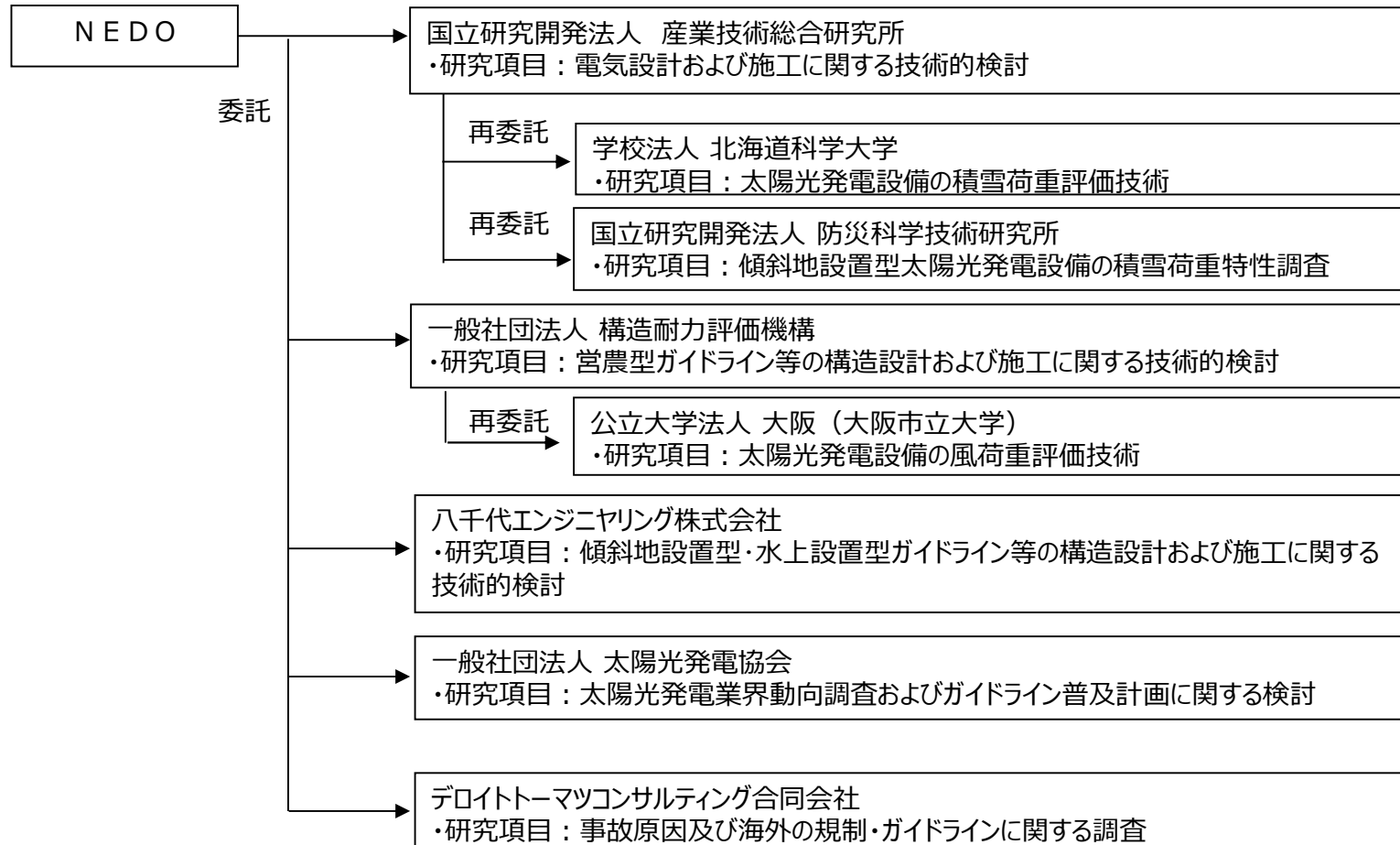


※環境アセスメント(土壌・水質汚濁)に関しては他GLより引用する

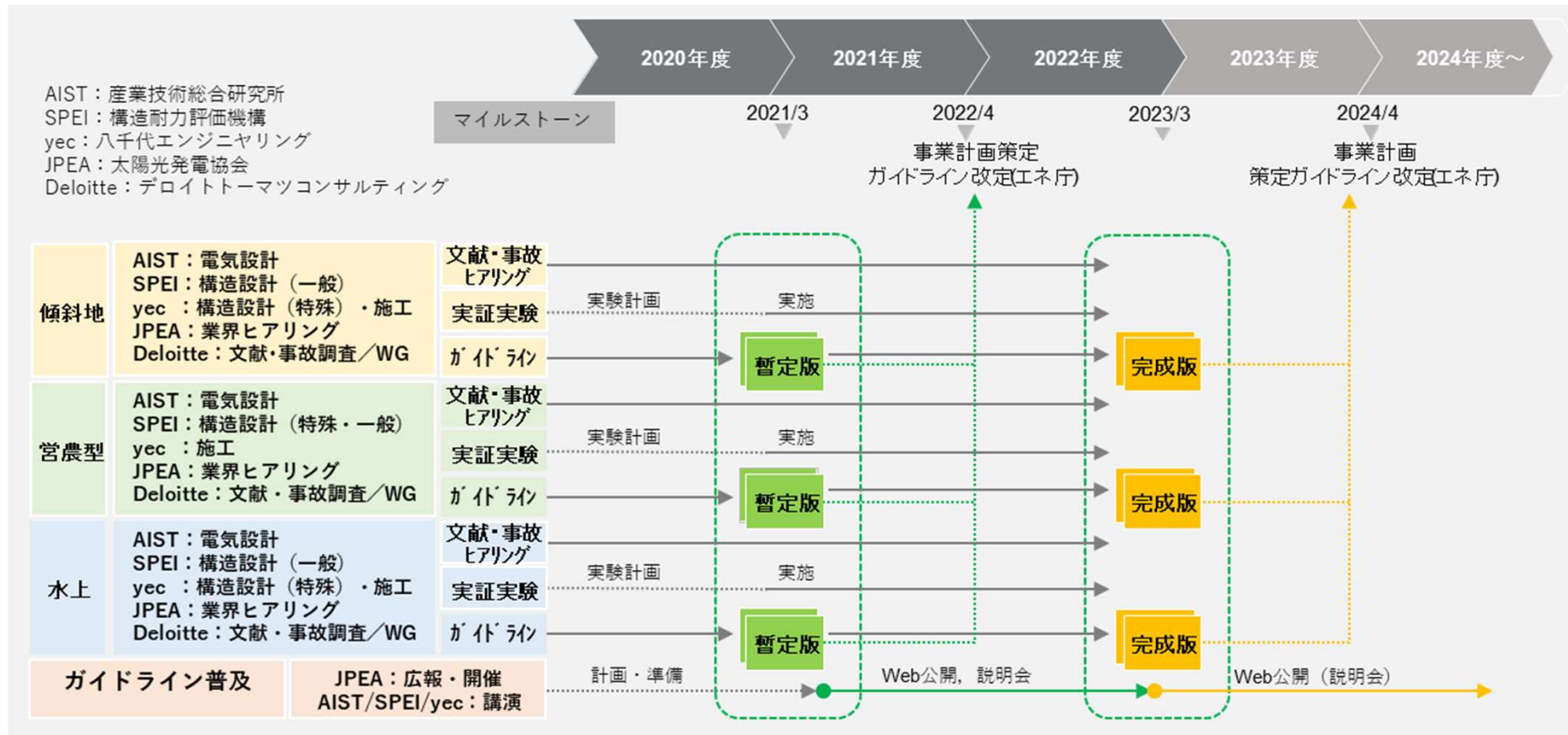
各ガイドラインと共通部分の策定イメージ

	土木・構造	電気
設計	「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」の目次ベースとして、特有事項を追記。共通部分は冗長にならない程度に各ガイドラインにも記載。	共通部分は、一般電気設計・施工や太陽光関係連の既存ガイドライン等の引用を基本とし、特有事項がある項目のみを各ガイドラインに記載。
施工	共通部分でもPV特有かつ重要事項は目次に追加したうえで、特有事項を追記。共通部分は網羅的ではなく、既存の他分野のガイドライン等の引用を基本とする。	共通部分は、一般電気設計・施工や太陽光関係連の既存ガイドライン等の引用を基本とし、特有事項がある項目のみを各ガイドラインに記載。
維持管理 (計画)	共通部分でもPV特有かつ重要事項は目次に追加したうえで、特有事項を追記。共通部分は網羅的ではなく、既存の他分野のガイドライン等の引用を基本とする。	共通部分は、一般電気設計・施工や太陽光関係連の既存ガイドライン等の引用を基本とし、特有事項がある項目のみを各ガイドラインに記載。
参考とする共通部分の文献	日本建築学会の各種指針 地すべり防止技術指針 道路土工の各種指針 港湾の施設の技術上の基準・同解説 プレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル 等	電技解釈、解説 内線規程、配電規程 IEC62548など規格 JPEA：公共産業用太陽光発電システムの手引、太陽光発電システムの設計と施工 JEMA/JPEA：保守点検ガイドライン 等

実施体制、概要



実施体制、概要



実証実験概要

- 傾斜地PV
 - CFD※によるシミュレーション ⇨ 設計風速・風圧係数
 - 風洞実験 ⇨ CFDの検証
 - 積雪荷重実測 ⇨ 軒先荷重, グライド・クリープによる荷重
 - 杭の水平載荷試験 ⇨ 支持力の低減
- 営農PV
 - 風洞実験 ⇨ 風圧係数
- 水上PV
 - 風洞実験 ⇨ 風圧係数
 - フロート間接合部の載荷試験 ⇨ 安全性確認
 - 係留索に作用する荷重実測 ⇨ 係留部の設計荷重
 - 接地測定、絶縁抵抗測定 ⇨ 感電、火災防止



三井住友建設HPより

※ CFD(Computational fluid dynamics:数値流体力学)

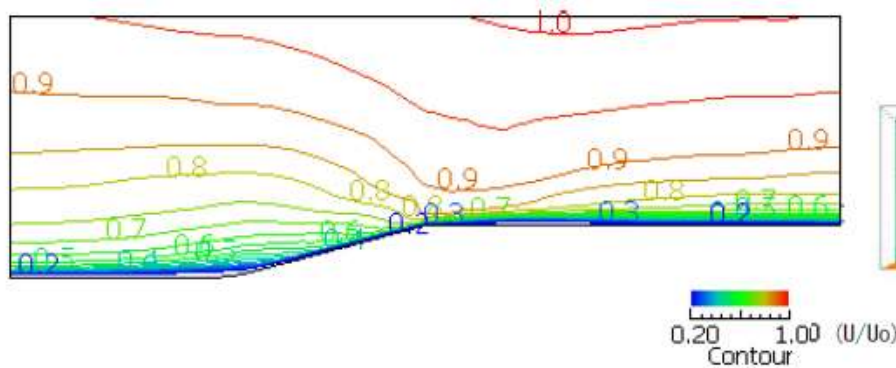
ワーキンググループの概要

		2020年度	2021年度	2022年度(参考)
開催月		11月、1月、3月 ※WEB開催とする	1月下旬～2月中旬 ※WEB開催とする	5月、8月、10月、12月、2月 ※年1回程度を対面開催とし、 残りをWEB開催とする
テーマ (案)		✓ ガイドライン策定方針（ガイドライン策定アプローチ、実証実験項目・内容、スケジュール）の検討	✓ 文献調査、ヒアリング結果および実証実験結果の検証（2021年度は実証実験が中心となる予定）	✓ 実証実験結果のとりまとめ ✓ ガイドライン記載内容についての妥当性の確認
アウトプット (案)		✓ 暫定版ガイドラインの策定※	✓ ガイドラインへ反映すべき内容	✓ 完成版ガイドラインの策定
研究 開発 項目	傾斜地	傾斜地、営農型、水上の合同で議論 (2～3時間) × 年3回開催	傾斜地、営農型、水上の合同で議論 (2～3時間) × 年1回開催	傾斜地、営農型、水上の合同で議論 (2～3時間) × 年4,5回開催
	営農型			
	水上			

※「暫定版」とは実証実験を踏まえない内容であることを示すもの。具体的なガイドライン名称は別途検討。

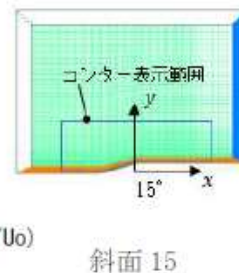
実証実験：傾斜地設置型の風速増加CFD

- 進捗状況
 - 単純な地形のCFD(Computational fluid dynamics:数値流体力学)の結果をもとに既往文献との比較・検証。
 - 建築物荷重指針に示された小地形の風速割増し係数とCFDの解析結果は全体的な傾向は一致するが、流れの剥離が生じる法肩付近で異なる結果となった。
 - 海外の文献調査の結果、傾斜面での粗度や法肩・法尻の形状（丸み）によって風速分布に与える影響が大きいことが分かった。
- 今後の予定
 - 樹木等の粗度の影響についての検討



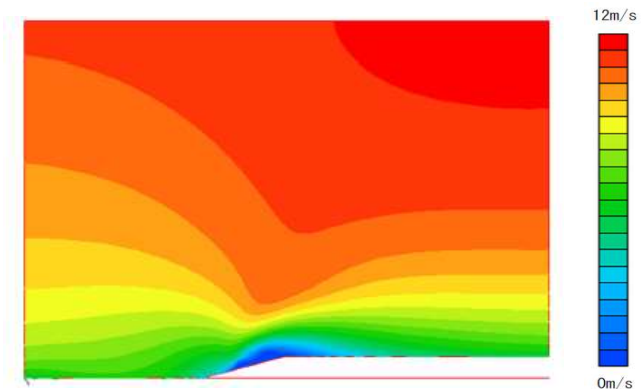
LESによる解析結果（斜面勾配15度）

LES: Large Eddy Simulation
乱流モデルの一つ：空間平均モデル



RANSによる解析結果（斜面勾配15度）

RANS: Reynolds-Averaged Navier-Stokes
乱流モデルのひとつ：レイノルズ平均モデル

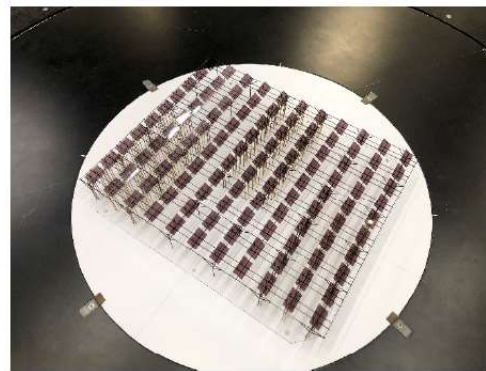


実証実験：営農型の風洞実験

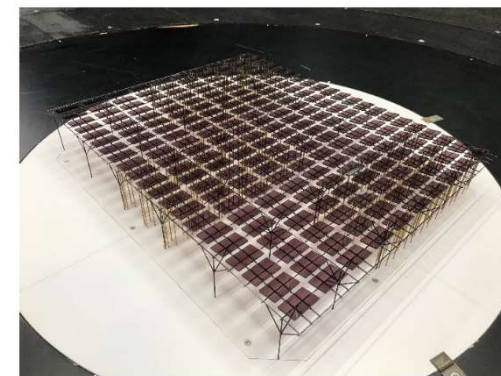
- 進捗状況
 - 営農型PVのアレイ面の風力係数測定として、アレイ面の傾斜角の違いによる比較（10度および30度）、遮光率の違いによる比較（35%および70%）を実施。
 - JIS C 8955との比較・検討を実施（次頁参照）。
- 今後の予定
 - 設計用風力係数の与え方についての検討。



風洞実験の様子



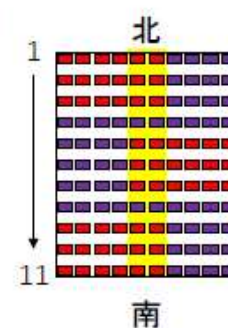
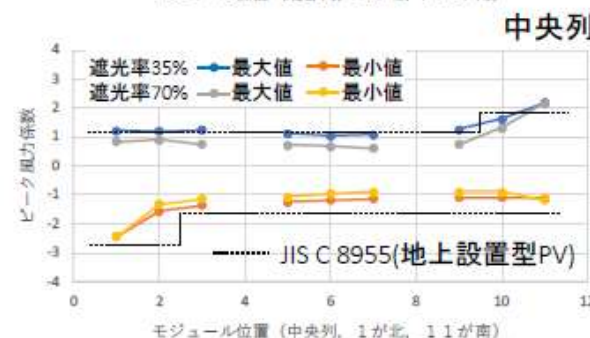
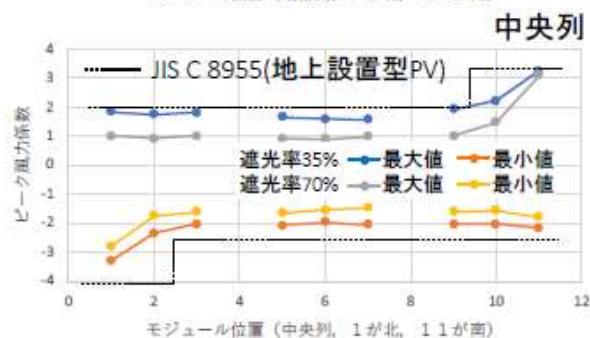
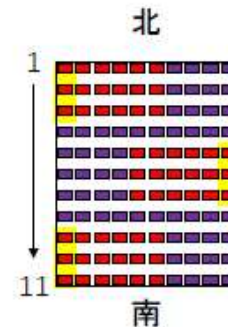
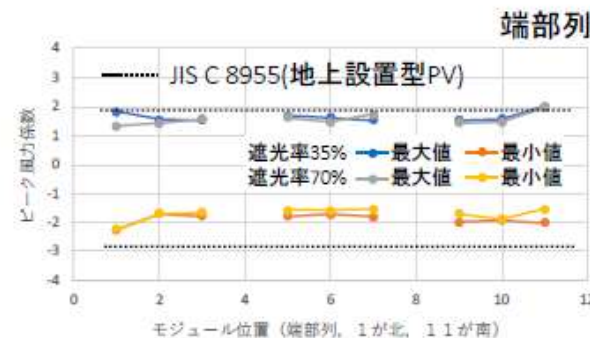
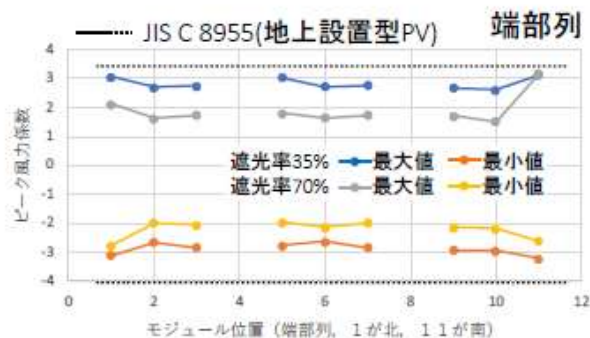
遮光率35%傾斜角30度



遮光率70%傾斜角10度

実証実験：営農型の実証実験の風洞実験

- 実験結果の概要
 - JIS C 8955：2017の地上設置型PVの風力係数の範囲内であることが判明した。
 - 遮光率が大きほうが風力係数の絶対値は小さくなる傾向にある。
 - 中央部の風力係数の低減は見込むことが難しい。



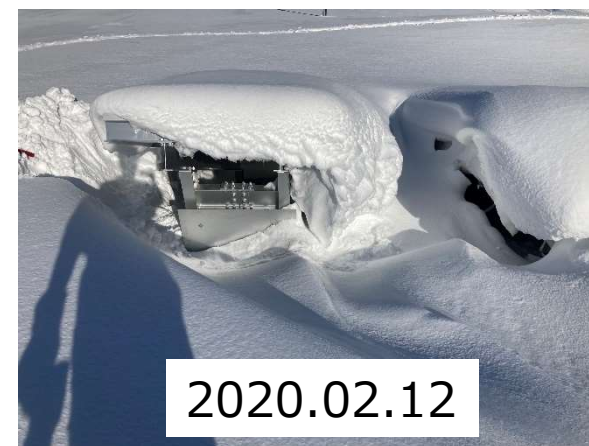
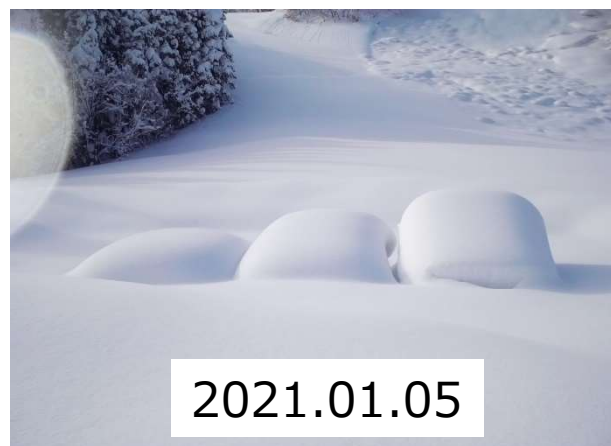
モジュールの傾斜角度30°

モジュールの傾斜角度10°

全風向中最大・最小ピーク風力係数(モジュール1枚)

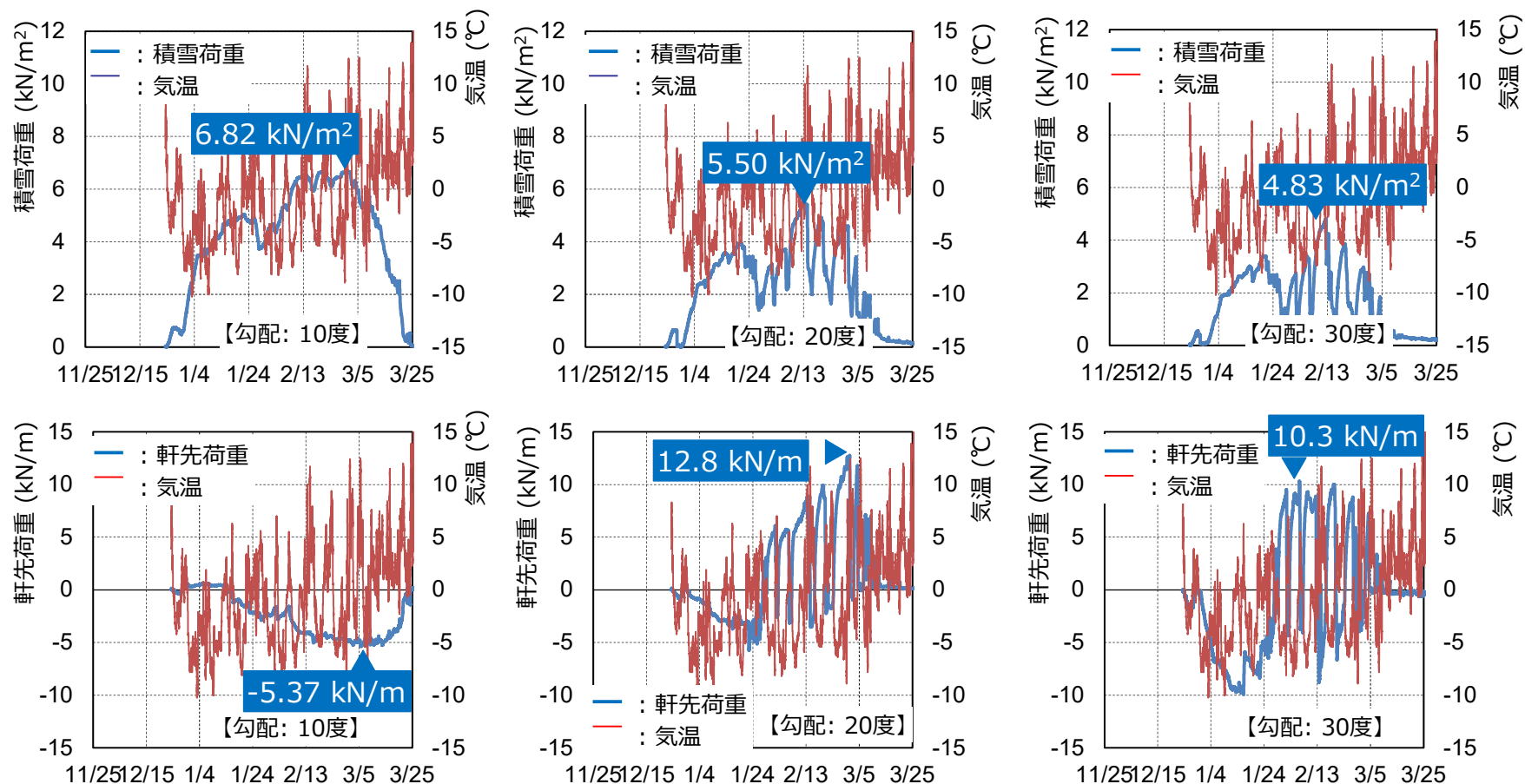
実証実験：傾斜地設置型の積雪荷重の測定

- 傾斜地設置型PV設備に作用する積雪荷重を実測し，平地設置型での積雪荷重と比較を行うことで，設計用積雪荷重の検討を実施。
- 実測調査場所
 - － 秋田県湯沢市皆瀬村（とことん山キャンプ場）
 - － スキー場跡地で地盤勾配約10度
- 進捗状況
 - － 2020/12/24から測定開始。
 - － 2021/10/29から測定再開。
 - － 2021/4までのデータを分析（次頁参照）



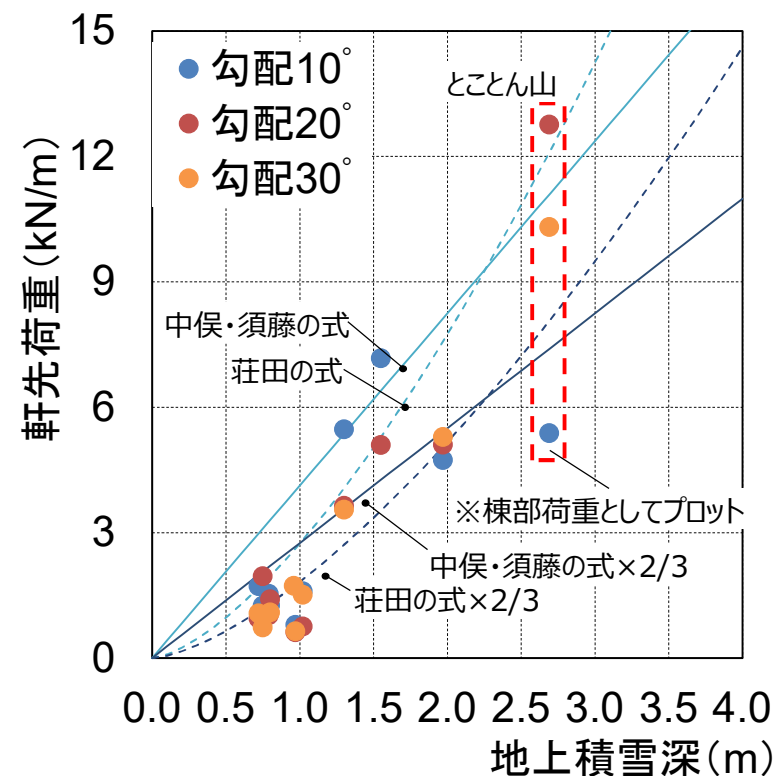
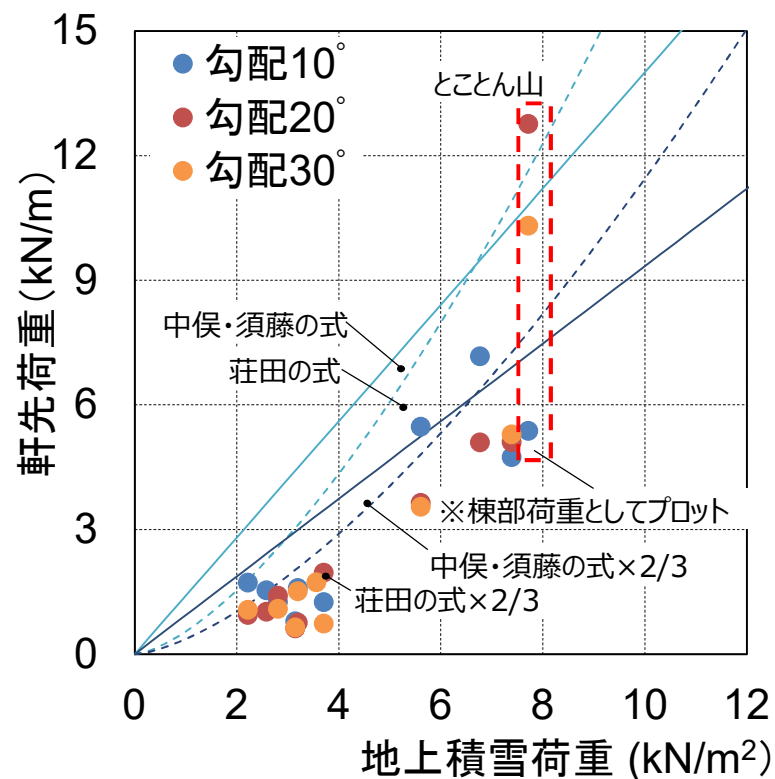
実証実験：傾斜地設置型の積雪荷重の測定

- 積雪荷重：アレイ勾配の増加に伴い積雪荷重が減少
- 軒先荷重：気温がマイナスに低下して積雪がモジュールに凍結付着し、軒先荷重が作用



実証実験：傾斜地設置型の積雪荷重の測定

- 地上積雪荷重および地上積雪深と軒先荷重との関係
 - 軒先荷重：地上積雪荷重および地上積雪深の増加に伴い軒先荷重が増加
 - 傾斜地：平地に比べて軒先荷重が大きい⇒平地：中俣・須藤式×2/3 傾斜地：中俣・須藤式

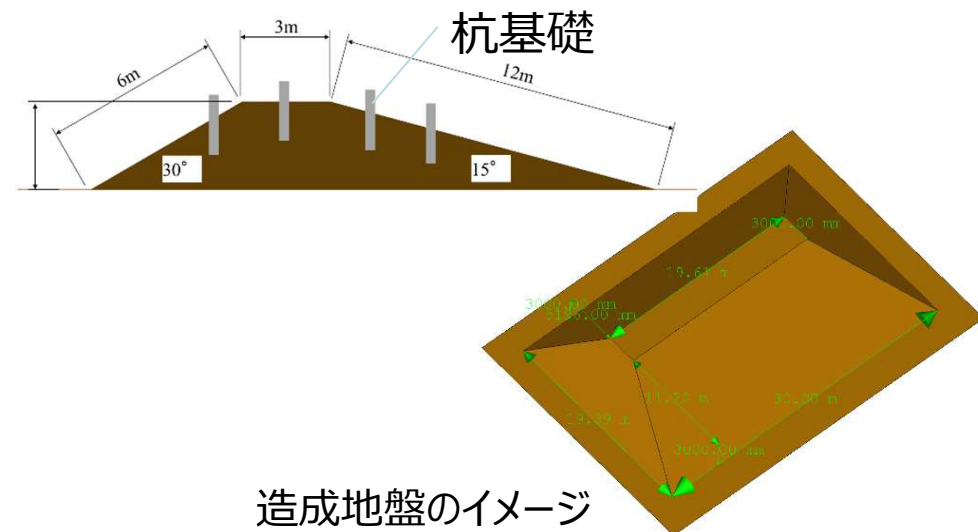


実証実験：傾斜地設置型の杭基礎の抵抗力測定

- 傾斜地に打設された杭基礎の下り方向への水平抵抗力および引抜抵抗力の低下の懸念があるため、傾斜地における杭基礎の打設時の施工方法や載荷試験方法に関する工事監理の要点について整理を実施。
- 進捗状況
 - 試験場所の提供と造成工事等に関する協力依頼。
 - 試験条件等を検討中。



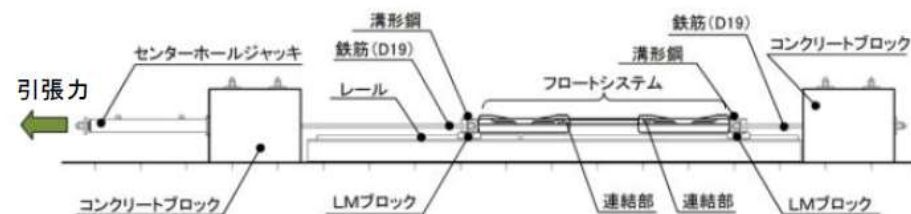
試験場所候補地（千葉県君津市）



造成地盤のイメージ

実証実験：水上型の架台フロート間の強度評価

- 強風被害でフロート間接合部が破損し、飛散した事例があり、フロート群（アイランド）は風下側に流されるため、風上側の係留策やフロートに大きな荷重がかかる。
- 国内で流通している代表的なフロートを対象に載荷試験を実施し、フロート間接合の強度評価とアイランドとして接合できる列数等の概略把握を実施。
- 進捗状況
 - － 代表的なフロートメーカー 3 社にフロートの強度設計に関するヒアリングの実施と試験体提供を依頼。
 - － ヒアリングの結果から載荷試験方法を検討中。



フロートの載荷試験の例
出典：三井住友建設の技報

実証実験：水上型の係留索に作用する荷重測定

- 強風被害でアンカーが抜け、事故起点となった事例があり、風，波の作用状況やフロート群の移動による係留索の緊張、緩み具合等により係留索に作用する引張力が変動する。
- 既設水上PVにおいて、係留索に作用する静荷重に加え、ピーク荷重や荷重の偏りを計測を実施。
- 進捗状況
 - 2021/9/25 機器設置完了、計測開始
 - 2021/10/12 , 11/11 データ回収実施
 - 計測されていることを確認、データ分析中

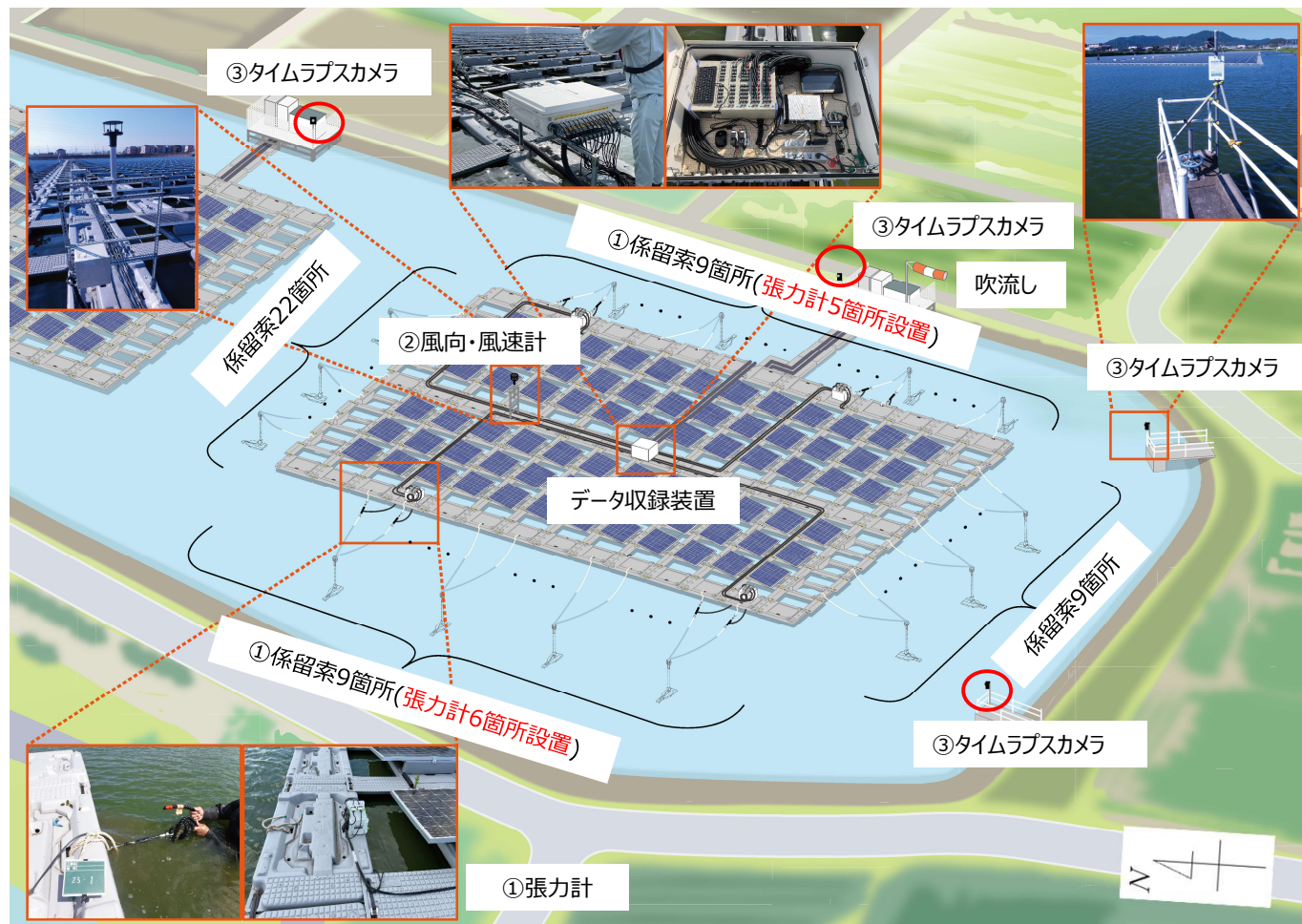


係留索への張力計設置状況

実証実験：水上型の係留索に作用する荷重測定

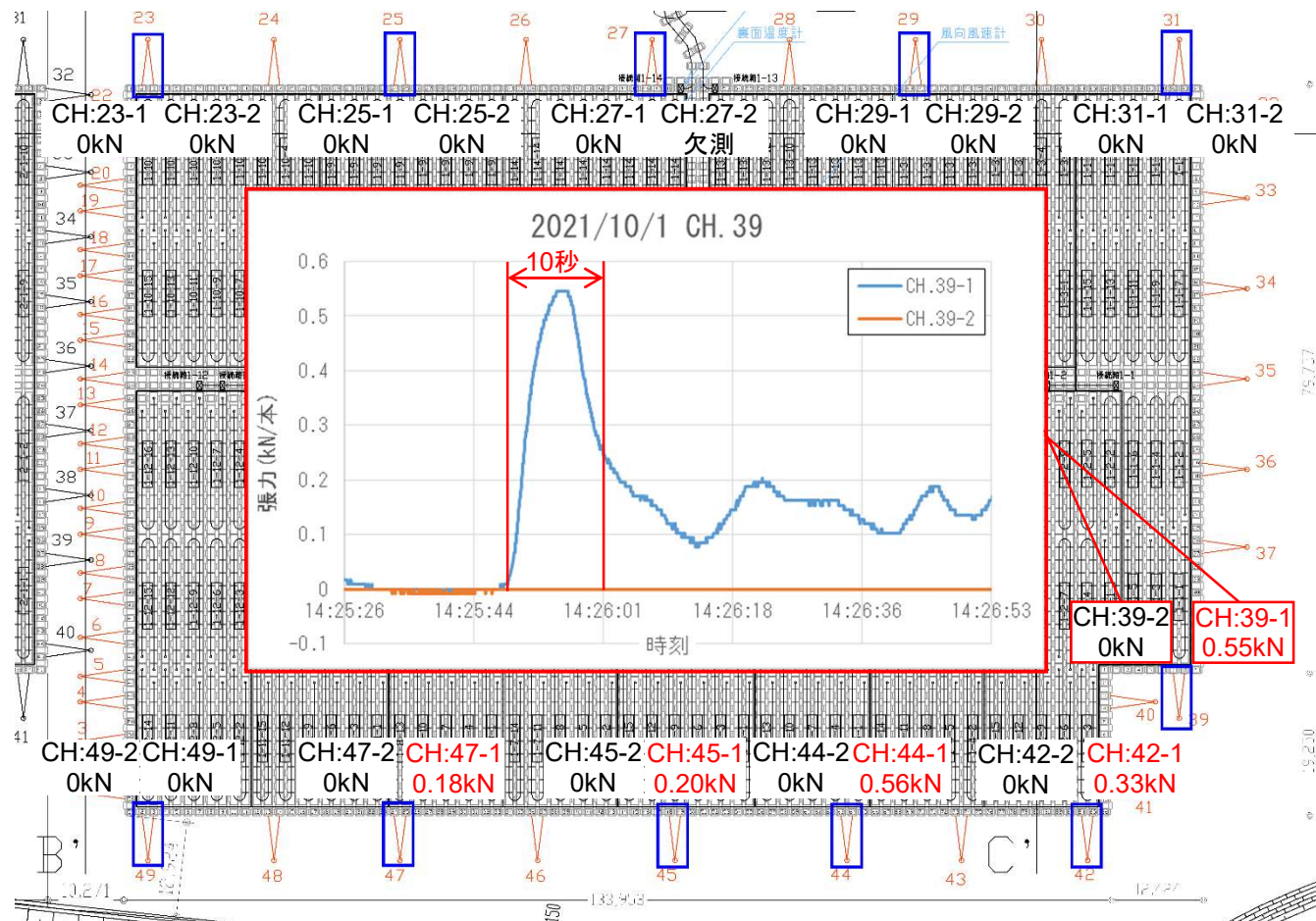
- 実証実験システムイメージ

- ①アイランド東側および西側の係留索11箇所(22本)にて張力計測
- ②既設風向・風速計からデータを取得
- ③タイムラプスカメラ(4箇所)にてフロートの移動状況を撮影



実証実験：水上型の係留索に作用する荷重測定

- 張力計測結果の一例 (2021/10/01 14時26分頃の計測値)



実証実験：水上型の係留索に作用する荷重測定

- タイムラプスカメラ撮影し、フロートの移動状況を確認。
- フロートの移動状況を踏まえて係留索張力について考察予定。



タイムラプスカメラ撮影画像
2021/10/04 11:36

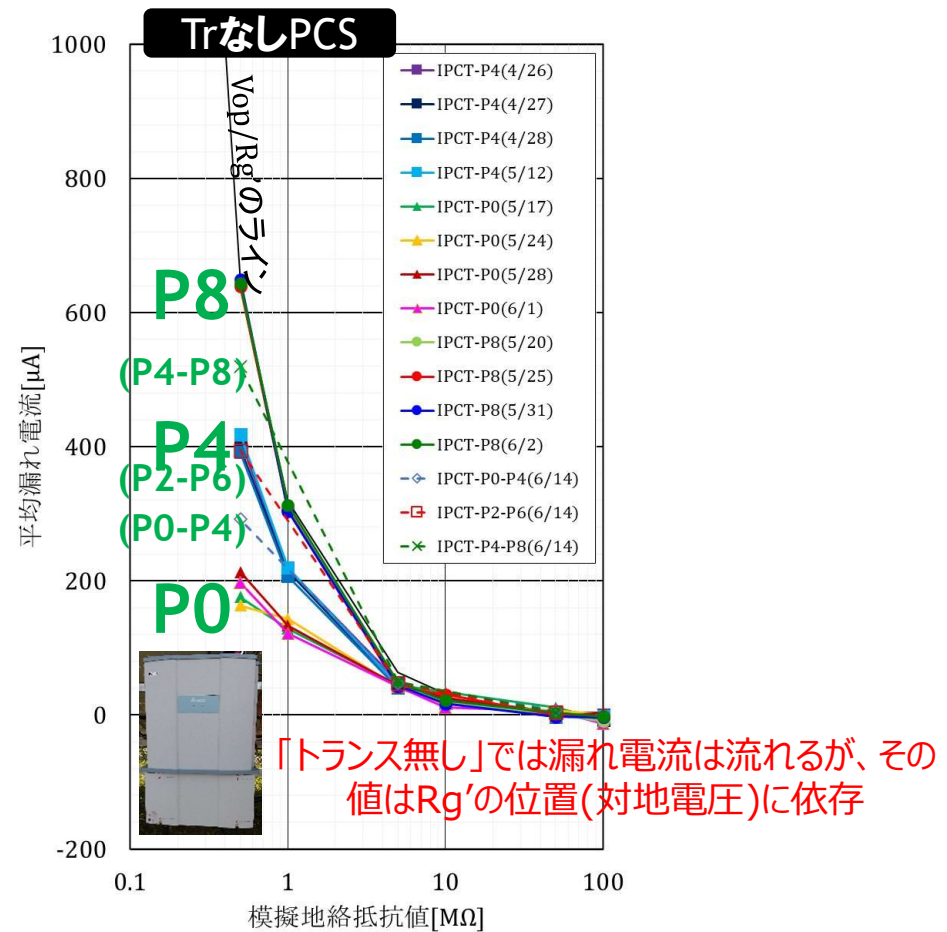
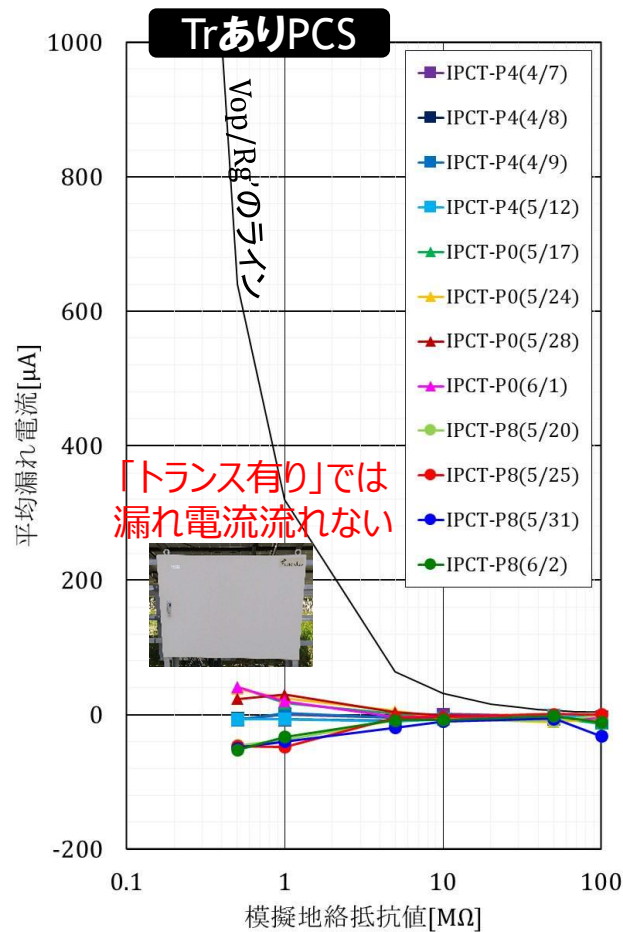
タイムラプスカメラ撮影画像
2021/10/04 12:15

実証実験：水上型の電気設計、維持管理に関する実験

- 絶縁抵抗測定方法の検討
 - － 漏れ電流と絶縁抵抗測定の関係の調査として地上設置によるの実験を実施。
 - － 水上システムの絶縁抵抗の常時測定を予定。
- 接地抵抗測定方法、接地設計の検討
 - － 参照極、測定端子の水上、地上による影響調査。
 - － 水上PVにおける実測を実施。
 - － 多極接地の影響を実験、モデル化を実施予定。
- ケーブル、コネクタの絶縁性能の検討
 - － ケーブル、コネクタの浸水させた試験を継続的に観測。
 - － 代表的なコネクタ型式の純正品、および異種嵌合品（コネクタの形状が同じもの）のサンプルについて実験を実施。
- モジュールの漏れ電流分析
 - － 水上設置環境におけるモジュールからの漏れ電流の分析。
 - － バックシート異常モジュールを信頼性試験、分析を実施。
 - － 漏れ電流の経路などの分析を継続的に実施中。

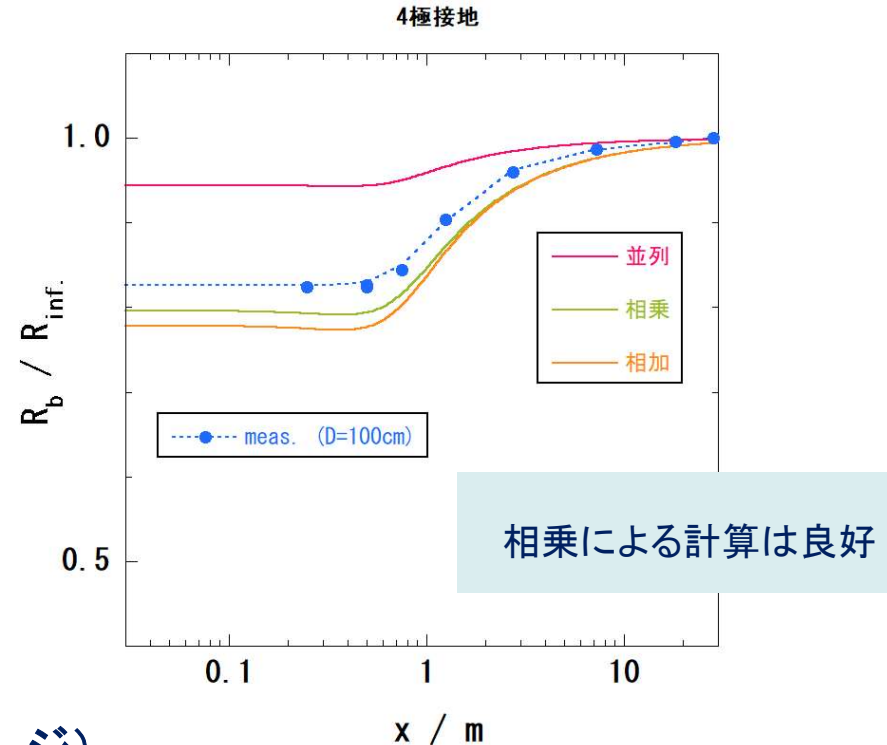
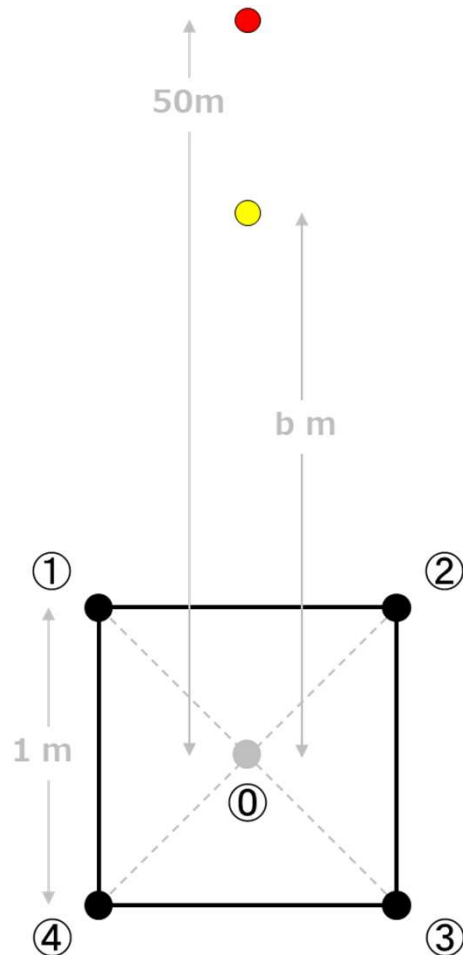
実証実験：水上型の絶縁抵抗測定方法の検討

- 漏れ電流と絶縁抵抗との関係を実測、分析。



実証実験：水上型の接地抵抗測定方法の検討

- 多極接地時の測定方法の検討



(計算式イメージ)

• **並列** : $R_G(x) = \frac{R_1(\infty) \cdot R_2(\infty)}{f_1(x) \cdot R_1(\infty) + f_2(x) \cdot R_2(\infty)} f_1(x) \cdot f_2(x)$

• **相乗** : $R_G(x) = \frac{R_1(\infty) \cdot R_2(\infty)}{R_1(\infty) + R_2(\infty)} f_1(x) \cdot f_2(x)$

• **相加** : $R_G(x) = \frac{R_1(\infty) \cdot R_2(\infty)}{R_1(\infty) + R_2(\infty)} [1 - \{1 - f_1(x)\} - \{1 - f_2(x)\}]$

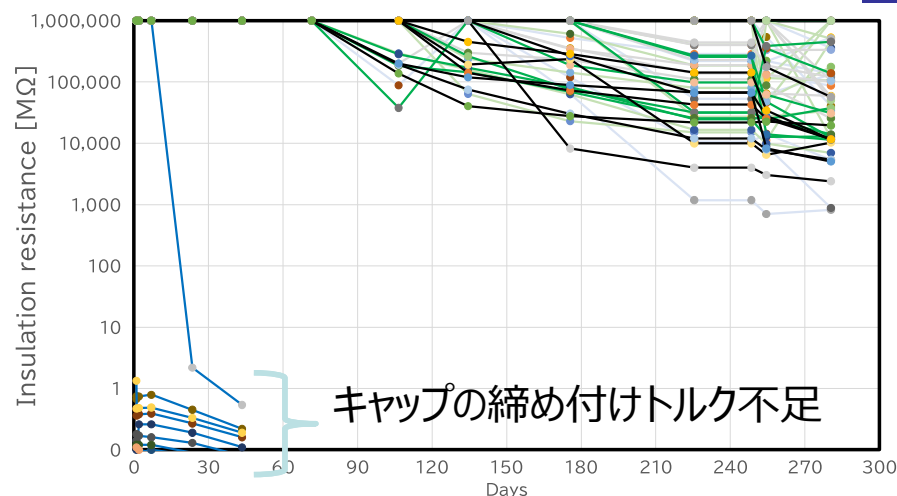
実証実験：水上型のコネクタ浸水試験

- 代表型式の純正品は施工品質による絶点抵抗低下に違いがみられた。
- 非純正品は、純正品と比べて、絶縁抵抗低下が速く、水分侵入経路はキャップ部や勘合部であることが推測された。



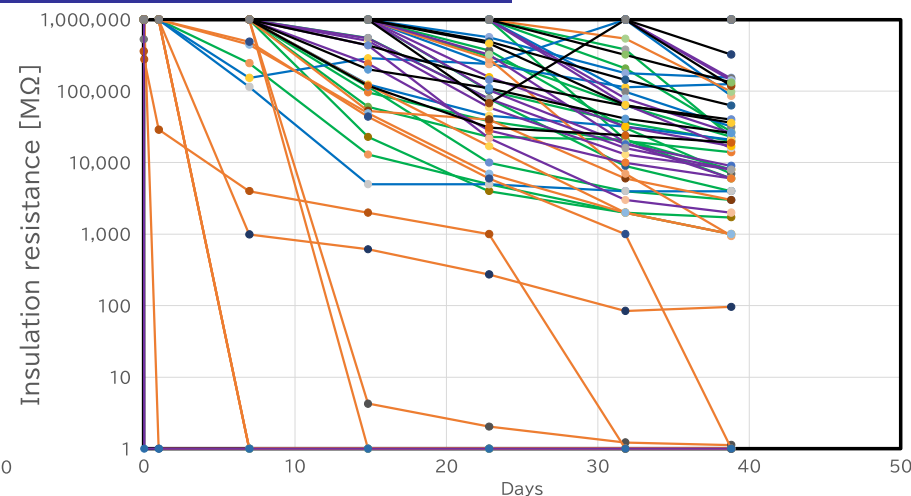
純正品

組立て：熟練者
トルク：工具+トルク管理

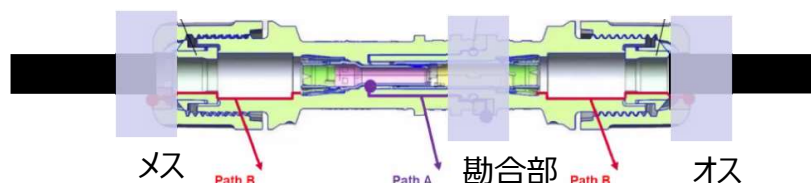


純正品+形状が同じ4種

組立て：熟練者、トルク：工具のみ



水侵入箇所の確認：キャップ部・勘合部を水で浸した布をアルミホイルで巻き、絶縁抵抗を測定。絶縁抵抗が低い箇所が浸水部となる



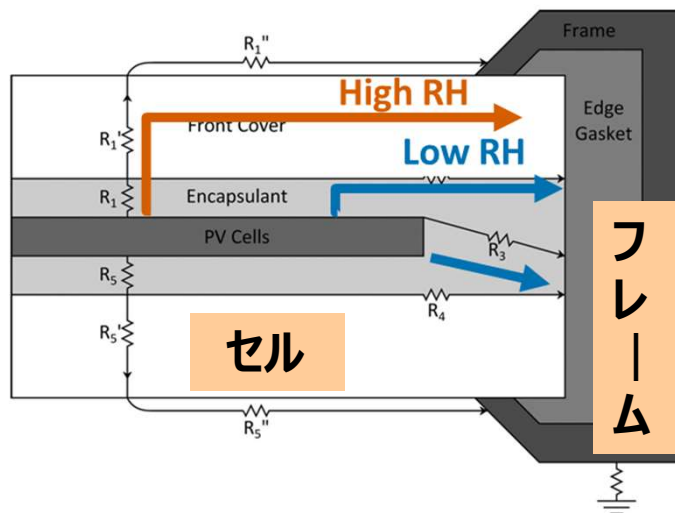
	浸水時	オス	メス	勘合部
X社	69kΩ	1.62MΩ	235KΩ	1.63MΩ
Y社	983kΩ	343MΩ	456MΩ	854kΩ

←メス側のキャップから水侵入

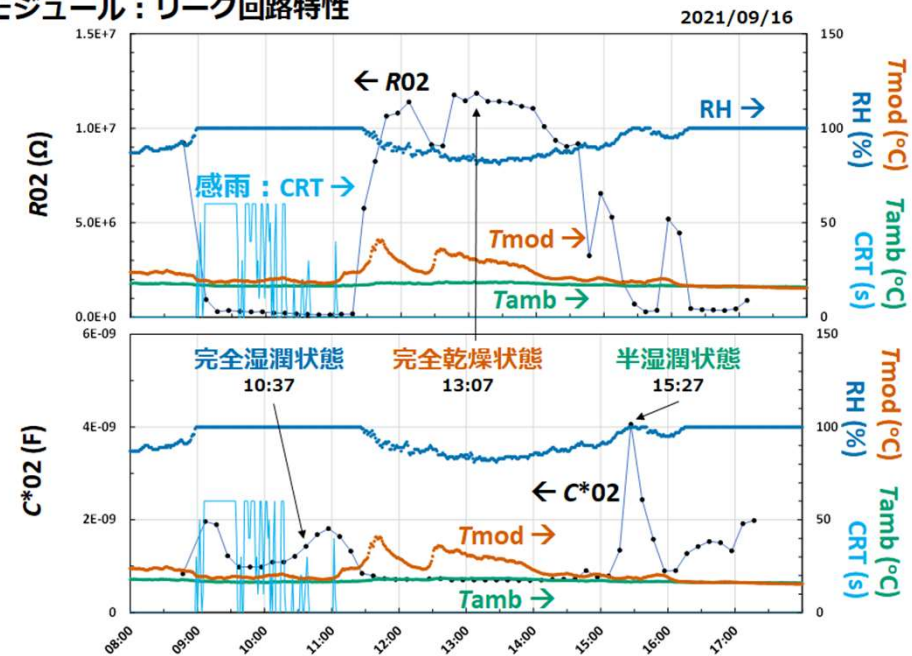
←勘合部から侵入

実証実験：水上型のモジュールの漏れ電流の分析

- 水上型PVは、高湿環境にある。
- 漏れ電流が大きくなるか等を分析。
- 漏れ電流のモデルを検討中。

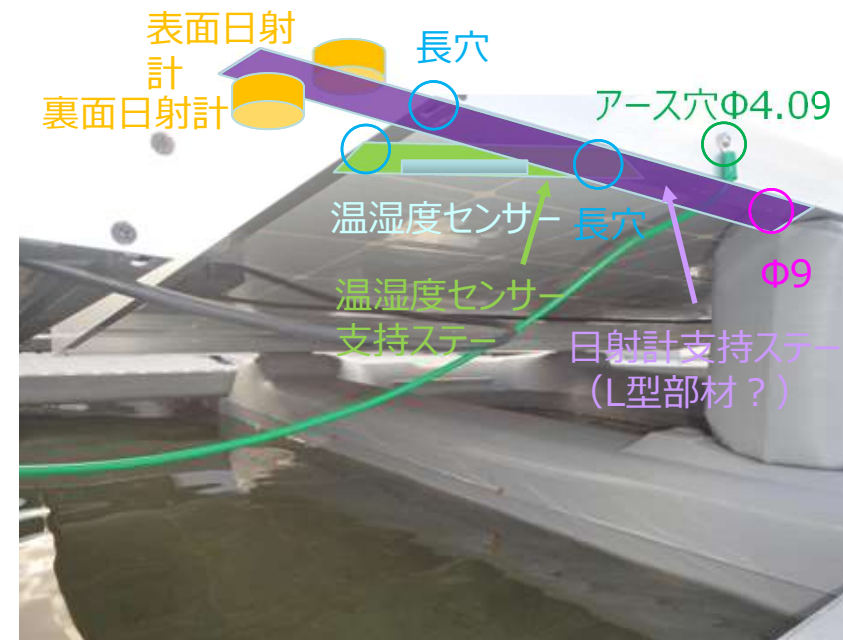
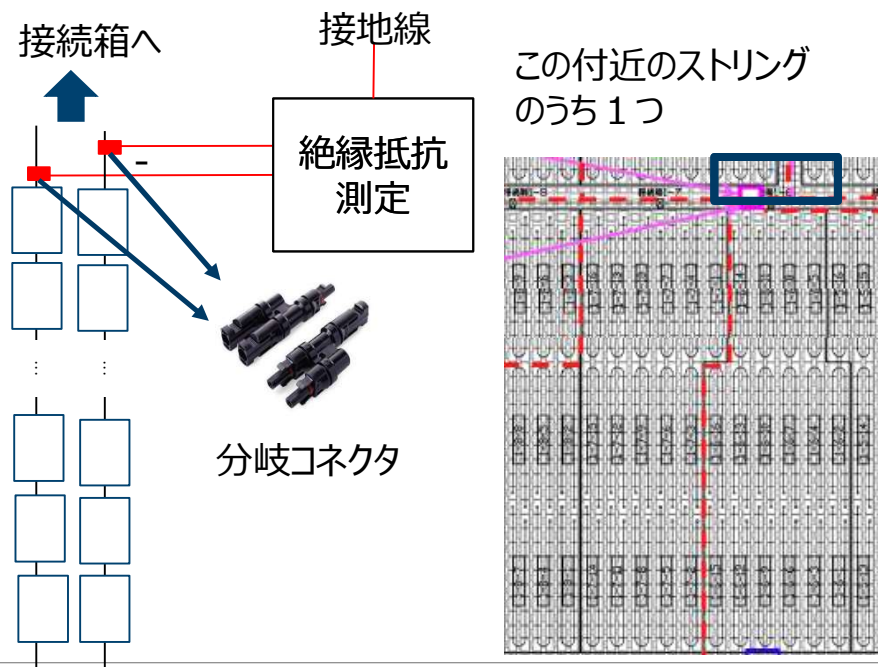


PVモジュール：リーク回路特性



実証実験：水上型の絶縁抵抗、温湿度実測





- 絶縁抵抗測定の測定
 - － スtringケーブル途中から配線：1か所
- 気象観測の測定
 - － 日射、温度、湿度
 - 太陽電池（表面、裏面、モジュール温度、温湿度）×1か所
 - 接続箱内の温湿度×1か所



海外規制調査

- 英国、ドイツ、フランスについて規制調査を実施。

各国の特殊な設置形態の太陽光発電における概況

	特殊な設置形態向けの法規制・ガイドライン		規制緩和・導入促進
	太陽光設備一般の法規制・ガイドライン		規制強化・導入抑制

		アジア			欧州		
		日本	韓国	台湾	英国(イングランド)	ドイツ	フランス
傾斜	導入関連指標	傾斜地太陽光は一般的に導入量統計が存在しない					
	導入政策	—	地上設置型(1.0)より低いREC係数(0.7)を適用	—	—	—	—
	法規制	対象の民有林の1ha以上を超える開発は林地開発許可が必要	設置可能な傾斜角度を25度以下から15度以下に規制	—	—	—	—
	ガイドライン	—	傾斜地ガイドラインあり	—	傾斜地ガイドラインあり	—	—
営農	導入関連指標	560ha(2018年度累計)(営農型太陽光設置のための一時転用許可実績)	10GW(2030年)	2025年までに2万haの荒廃農地に太陽光発電の導入を計画	不明	導入実績は数十MW(2020年10月時点)	2017-2020年に約135MW導入
	導入政策	農業経営の高度化に活用できる場合は補助金を支給	地上設置型(1.0)より低いREC係数(0.7)を適用	地上設置型より高いFIT価格を適用*1	—	専用の入札枠	専用の入札枠
	法規制	農地の一時転用は3年間、荒廃農地を復旧する場合等は10年間許可される(支柱部分)	塩害農地の一時使用許可20年延長可能	2ha以上の農地は承認が必要	—	DINで規格を作成中 入札仕様は2021年10月までに作成される	農業との面立・収穫量のモニタリングが必要(入札仕様)
	ガイドライン	—	営農ガイドラインあり	—	営農ガイドラインあり	営農ガイドラインあり	営農ガイドラインあり(ADEME作成中)
水上	導入関連指標	145MW(2018年)	2.6GW(2030年)	高雄市は210MWの漁電共生太陽光*2の導入を目標	9.8MW(2018年)	56GWのポテンシャルがあると推計されている	少なくとも17MWを導入(2019年)
	導入政策	—	地上設置型(1.0)より高いREC係数(1.5)を適用	地上設置型より高いFIT価格を適用*	—	新技術に対する入札枠	新技術に対する入札枠
	法規制	特定農業用ため池において、堤体の掘削等の行為は都道府県知事の許可等が必要	—	灌漑貯水池の面積を50%以下に制限	開発の許可制度、リスク管理・事故報告等の義務	入札仕様は2021年10月までに作成される	直接保護領域(取水口付近)では、明示的に許可されたものを除き禁止される
	ガイドライン	—	水上ガイドラインあり	—	—	—	水上ガイドラインあり

注1：2021年の地上設置型のFIT価格が約NT\$3.8/kWh、営農型が約NT\$4.0/kWh、水上型が約NT\$4.2/kWh

注2：水産物の養殖場の水面上に設置される

国内の事故事例調査

- 低圧を中心に設計・施工に関する課題を把握すべくメンテナンス団体へヒアリングを実施。今後メガソーラーについてもヒアリング予定。

ヒアリング先		日時
太陽光発電O&M	民間団体A	2021年9月21日 13:00-14:00 実施済
太陽光発電O&M	民間団体B	2021年10月19日 11:00-12:00 実施済
団体	市民ネットワークA	2021/11 インタビュー実施予定



- ✓ 傾斜地に設置された太陽光発電設備で、排水設計などの対策が適切になされていないケースもあり、対策しても、素掘り側溝がある程度で、モジュールから垂れる雨水により下段の地面が削れている事例がある。
- ✓ 低圧の接地は、接地棒を打ち込んでいない設備もある。落雷によりモジュールが破損するケースもある。
- ✓ 設置可能な場所が少なくなっており、傾斜地の場合はアレイを分けず一面に集中設置する形態が増えており、土砂災害のリスクが増加している。
- ✓ FIT単価が低下したことで、整地しないまま施工するケースが増えているが、墨出しをせず、架台の位置合わせができていない施工により、設計時の荷重計算等に対応した施工がなされていない設備が増えている。

ガイドラインの説明会の実施予定

- 増加傾向にある傾斜地設置型、営農型、水上設置型の新しい設置環境の太陽光発電を対象とした作成した2021年版の設計・施工ガイドラインの紹介（説明）
 - ✓ 構造関連（基本事項の概要と各設置形態の特有の内容）
 - ✓ 電気関連（各設置形態の特有の内容のみ）
- 第1回説明会（2021年12月頃）
- 第2回説明会（2022年2～3月頃）
 - ✓ Zoomのウェビナーでのオンライン（参加者事前登録制：JPEA主催）
- 対象
 - ✓ 発電事業者、EPC、メーカー、電気主任技術者、関係官庁（保安監督部等）、自治体、一般
- 事前申し込み・先着制で定員は100～200名程度
- 事業者が各自で行う活動やセミナー等での本ガイドラインの周知と活用の促進を図るための広報活動も行う。

まとめ

- 傾斜地設置型、営農型、水上設置型の設計・施工ガイドラインの2021年版（暫定版）を完成し公開（2021/11/12）
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100060.html#sp
- 2022年度末の完成版ガイドラインに向けて、実証実験を実施開始。
- 今後の予定
 - － 実証実験の実施。
 - － ガイドラインの周知のための広報活動とセミナーの開催（2回予定）。