

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 御中

令和3年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査

(発電用太陽電池設備に関する技術基準等検討調査)

報告書

令和4年3月11日

SOMPOリスクマネジメント株式会社

< 目 次 >

1 はじめに.....	1
1.1 事業概要	1
1.1.1 本事業の背景及び目的.....	1
1.2 本事業の実施方法	2
1.2.1 太技省令、太技解釈及び太技解釈の追加検討	2
1.2.2 太陽電池発電設備の不適切設置事例の類型化及び現地調査	2
1.2.3 小出力太陽電池発電設備に関する実態調査.....	2
1.3 本報告書の構成.....	2
1.4 用語の定義.....	3
2 太技省令、太技解釈及び逐条解説の追加検討	4
2.1 追尾型太陽電池発電設備について規定すべき技術的要件の検討	4
2.1.1 追尾型太陽電池発電設備における基本情報の調査.....	4
2.1.2 技術要件の素案作成	13
2.1.3 ヒアリング結果	16
2.1.4 検討結果	24
2.2 ペロブスカイト太陽電池に関する調査	29
2.2.1 ペロブスカイト太陽電池発電設備における基本情報の調査	29
2.2.2 ヒアリング結果	39
2.2.3 検討結果の整理	43
3 太陽電池発電設備の不適切設置事例の類型化及び現地調査	48
3.1 太陽電池発電設備の不適切事例の類型化	48
3.1.1 不適切事例におけるデータ整理.....	49
3.1.2 類型化の素案作成.....	53
3.1.3 ヒアリング結果	54
3.1.4 検討結果（類型化整理表）	54
3.2 現地調査	56
3.2.1 現地調査の結果	56
3.2.2 指摘事項	57
3.2.3 施設 A	57
3.2.4 施設 B	59
3.2.5 調査結果まとめ	61

4 小出力太陽電池発電設備に関する実態調査	62
4.1 実態調査手法の検討.....	62
4.1.1 小出力太陽電池発電設備の状況整理.....	62
4.1.2 実態調査手法	64
4.2 実態調査を目的としたアンケート調査	65
4.2.1 アンケート調査票の作成.....	65
4.2.2 アンケート調査票の発送.....	67
4.3 アンケート調査の集計	69
4.3.1 集計結果の概要	69
4.3.2 まとめ	76
5 おわりに.....	78

1 はじめに

1.1 事業概要

1.1.1 本事業の背景及び目的

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（FIT 法）のもと、2012 年（平成 24 年）7 月 1 日より再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT 制度）が開始以来、特に太陽電池発電設備の導入量は急激に拡大し、非住宅用とされる 10kW 以上の太陽電池発電設備累積設備導入量は、2021 年（令和 3 年）9 月末時点で 5,009.7 万 kW に上る¹。しかしながら、太陽電池発電設備の急速な普及に伴って、近年は台風等の自然災害による設備の事故が頻繁に発生し、事故に対する社会的な関心が高まっていることから、公衆安全を念頭に置いた設備被害の低減を図ることが重要課題となっている。こうした中、太陽電池発電設備に特化した技術基準の整備を進め、「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、「太技省令」という。）を策定し、2021 年（令和 3 年）4 月 1 日付で施行した。これによって、太陽電池発電設備に関して遵守すべき技術基準の明確化につながった。

一方で、導入量の増加に伴い発電設備の設置形態についても、従来多く用いられてきた住宅の屋根設置型から地上設置型、さらには追尾型や水上設置型などへの多様化が見られるようになってきている。さらには、ペロブスカイト太陽電池など新たな技術開発が進められている状況である。こうした中、水上設置型については、太技省令で考慮すべき技術的要件が盛り込まれているが、追尾型についての具体的な要件は盛り込まれていない。そのため、昨年度事業「令和 2 年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査（太陽電池発電設備技術基準検討及び小出力発電設備における事故報告制度改正に関する調査）」（以下、「昨年度事業」という。）で整理した追尾型設備に関する基礎情報をもとに、太技省令等に盛り込むべく具体的な要求性能の検討を行うことや、将来的に導入が進むと考えられるペロブスカイト太陽電池について、基礎情報の整理を行うことを本事業の一つ目の目的とする。

前述に加えて、これまでに実施した太陽電池発電設備の支持物の現地調査を行った結果から、支持物が技術基準に適合していない可能性のある施設が存在することが確認できた。この結果を踏まえ、支持物の不適切な設置事例を設計、施工、材料、保守管理など原因として考えられる項目をマトリックス図などで整理し、類型化を行う。類型化の作成に当たっては、電力安全課で近年実施した 10 件程度の立入検査実施事例を整理するとともに、出力 50kW 未満に限らず高压設備や事故が発生した施設等への現地調査を電力安全課職員立ち会いの下で、現地調査を実施し、情報収集を行うことを本事業の二つ目の目的とする。

また、小出力太陽電池発電設備については、事故原因の究明や再発防止対策を講じるため、必要な事故情報を国が収集することを目的に、電気事業法に基づく事故報告制度が改正され、2021 年（令和 3 年）4 月から小出力についても事故報告が義務化された。こうした小出力太陽電池発電設備に対する保安規制のあり方について、保安点検の実施状況や支持物における構造計算書等の完成図書の有無等、今後の保安に関する検討を行うための基礎情報とする実態把握調査を行うことを本事業の三つ目の目的とする。

¹ 資源エネルギー庁 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト
<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>

1.2 本事業の実施方法

1.2.1 太技省令、太技解釈及び太技解釈の追加検討

昨年度事業において整理した、国内における追尾型太陽電池発電設備のメーカーや製品タイプ等の設備情報を参考に、海外における追尾型設備についての基礎情報、規制や技術基準について机上調査を行った。これら基礎情報のもと、太技省令及び太技解釈・解説に規定すべき技術的要件の項目案を検討し、作成した。

太技省令及び太技解釈及び逐条解説に規定すべき技術的要件の項目案を検討するに当たっては、有識者へのヒアリングを行い、その意見内容を考慮して作成を行った。

また、今後の導入が期待されるペロブスカイト太陽電池について、主な特徴や課題、開発状況などの基礎情報の整理を行った。基礎情報の整理に当たっては机上調査に加え、メーカーや研究機関等の有識者にヒアリングを行い、将来的な導入・活用方法等を含め机上調査の情報を補完し、情報をまとめた。

1.2.2 太陽電池発電設備の不適切設置事例の類型化及び現地調査

経済産業省電力安全課で近年実施した 10 件程度の立入検査実施事例の結果を整理するとともに、支持物の不適切な設置事例を設計、施工、材料、保守管理など原因として考えられる項目をマトリックス図などで整理し、類型化の検討を行った。類型化の検討に当たっては、有識者へのヒアリングを行い、その意見内容を考慮して類型化を行った。

さらに、50kW 未満に限らず高压設備や事故が発生した設備等も対象とし、経済産業省電力安全課で選定した施設について、経済産業省職員の立会いの下、太技省令に適合されているか現地調査を行った。現地調査で得られた情報についても類型化の作成に当たっての参考情報として活用した。

1.2.3 小出力太陽電池発電設備に関する実態調査

電気事業法に基づく事故報告制度が 2021 年（令和 3 年）4 月から改正されたことによって、出力 50kW 未満である小出力太陽電池発電設備についても事故報告の対象となった。こうした小出力太陽電池発電設備に対する保安規制のあり方について、今後の保安に関する検討を行うための基礎情報とする実態把握調査を行った。実態調査を進める上で、アンケート調査が有効であることから、保安点検の実施状況や支持物における構造計算書等の完成図書の有無等について、所有者に対してアンケート調査を実施した。また、設備が設置されている自治体や消防本部に対しては、事故情報の有無等についてアンケート調査を実施した。

1.3 本報告書の構成

本報告書は、本章「はじめに」を含め、全 5 章により構成される。

第 2 章「太技省令、太技解釈及び逐条解説の追加検討」では、太技省令及び太技解釈及び逐条解説に規定すべき追尾型設備における技術的要件の項目案の検討及び変更案の作成についてまとめる。また、ペロブスカイト太陽電池における主な特徴や課題、開発状況などの基礎情報とともに、将来的な導入・活用方法等をまとめる。

第 3 章「太陽電池発電設備の不適切設置事例の類型化及び現地調査」では、支持物の不適切な

設置事例を設計、施工、材料、保守管理など原因として考えられる項目をマトリックス図などで整理し、類型化の内容を示す。また、出力 50kW 未満に限らず高圧設備や事故が発生した施設等への現地調査を実施した結果をまとめる。

第 4 章「4 小出力太陽電池発電設備に関する実態調査」では、小出力太陽電池発電設備に対する保安規制のあり方について、保安点検の実施状況や支持物における構造計算書等の完成図書の有無等、今後の保安に関する検討を行うための基礎情報とする実態把握調査の内容をまとめる。

第 5 章「おわりに」では、第 1 章から第 4 章までの内容を踏まえ、本事業のまとめを記述する。

1.4 用語の定義

本報告書において使用している用語のうち、特に定義が必要と思われる用語を抽出し、その定義を表 1-1 に示す。

表 1-1 用語の定義

用語	定義
太陽電池モジュール	複数の太陽電池セルを所定の出力が得られるように電氣的に接続したものを、長期間の使用に耐えられるようガラスや樹脂を用いて封止し、機械的強度を確保するとともに、固定設置するための枠等を取り付けたもの。
太陽光パネル	太陽電池モジュールと同義。
太陽電池アレイ	複数の太陽電池モジュールを機械的・電氣的に架台に設置したもの。
架台	太陽電池モジュールを固定するために用いる構造体のこと。
支持物	太陽電池モジュールを支える架台及び基礎の部分を示す総称。
直接基礎	太陽電池モジュール等の上部構造の荷重を直接的に地盤に伝達する構造体。
杭基礎	杭を地中に打ち込むことで太陽電池モジュール等の上部構造を支持する工法。
追尾型設備	太陽の位置に合わせてパネルの設置角度の変更が可能な架台。
追尾型設備・1 軸	主に東西を追尾すること（1 軸式）。
追尾型設備・2 軸	東西南北の全方位を追尾すること（2 軸式）。
集光型太陽光発電（CPV）	レンズで直達日射光を集光して発電すること。
トラッカー	追尾型設備のこと。
IoT	Internet of Things の略でモノのインターネットのことで、様々なモノ（センサー機器、駆動装置（アクチュエーター）、車、家電製品、電子機器等）が、ネットワークを通じてサーバーやクラウドサービスに接続され、相互に情報交換をする仕組み。
O&M	Operation & Maintenance の略で、運用と保守（維持管理）のこと。

2 太技省令、太技解釈及び逐条解説の追加検討

2.1 追尾型太陽電池発電設備について規定すべき技術的要件の検討

太陽電池発電設備の設置形態は導入量の増加に伴い、多様化してきている。太技省令において、水上設置型については考慮すべき技術的要件が盛り込まれているが、追尾型設備についての具体的な要件は盛り込まれていない。このことから、昨年度事業で整理した追尾型設備に関する基礎情報や海外の状況も参考に、今年度事業において太技省令等に盛り込むべく具体的な要求性能を検討し、要件案の作成を行った。

2.1.1 追尾型太陽電池発電設備における基本情報の調査

(1) 昨年度事業概要の整理

昨年度事業において、導入が増加しているとともに、事故も報告され始めている自動追尾型太陽電池発電設備（以下、「自動追尾型設備」という。）に関する調査を行った。自動追尾型設備は太陽の動きに合わせ、太陽電池モジュール面の角度を油圧装置や電動機（モーター）による駆動装置等を用いて自動制御する太陽電池発電設備である。設備の基本構成は、太陽電池モジュールとそれを支持する架台、追尾させるための機構（油圧シリンダー、モーター等）、支柱、基礎となっている。自然災害における外力への対応として、強風時はモジュール面を水平に、積雪時には垂直に近い状態にした退避姿勢をとることが一般的である。自動追尾型設備は固定架台の設備と比べ総発電量が高くなることや地面設置スペースも少なくなる利点がある。現在、国内で自動追尾型設備の製造・販売等を続けているメーカーの種類を表 2-1、構造的な特徴を表 2-2 にまとめた。

表 2-1 メーカーの種類

No.	メーカー/販売会社	業種	システム名称	ホームページ掲載の実績例
1 ²	フジプレアム株式会社／ フジブレ販売株式会社	太陽光発電システム施工・販売	追尾型太陽光発電システム （トラッキングシステム）	・福島空港追尾式太陽光発電サイト 22.50kW（4 基） ・福島県内太陽光発電サイト 18.37kW（7 基） ・兵庫県追尾式太陽光発電サイト 18.00kW（4 基） ・兵庫県追尾式太陽光発電サイト 17.60kW（4 基） ・島根県追尾式太陽光発電サイト 3.07kW（1 基）
2 ³	株式会社 SolarFlame	ベンチャー系 企業	ジャイロ追尾型太陽光発電 システム	不明

² http://www.fujipre-sales.co.jp/tracking_system.html

³ <https://www.nedo.go.jp/content/100805729.pdf>

3 ⁴	有限会社 本郷工業	土木建設業	太陽光発電追尾式架台システム	不明
4 ⁵	株式会社 マルカワ建設／ 株式会社 新神戸通商	土木建設業	傾斜 1 軸太陽光自動追尾装置 Dual SPS	・ A 社ビル屋上設置 ・ B 社独身寮屋上設置 ・ C 社社屋屋上設置
5 ⁶	株式会社エナテックス(メーカー)株式会社エグテック(施工)	株式会社エグテック(施工) 電気設備工事業	追尾式太陽光発電システム<エナトラッキングシステム>	不明
6 ⁷	ノータス株式会社	営農型太陽光発電のコンサルティング・開発	3 次元追尾式の営農型太陽光発電専用架台「ノータス架台」	不明
7 ⁸	日本電託株式会社	太陽光追尾システムの開発、販売	新型「エネタワー」2 軸型追尾、油圧旋回システム	不明
8 ⁹	住友電気工業株式会社	自動車関連事業、情報通信関連事業ほか	集光型太陽光発電装置(CPV)	・ 同社横浜製作所 ・ 宮崎大学 ほか
9 ¹⁰	株式会社エルム	環境関連製造	全追尾型太陽光発電システム eMax®	不明

出典：昨年度事業報告書¹¹

表 2-2 構造的な特徴

No.	メーカー	設備名称	特徴	分類
1 ¹²	フジプレアム株式会社／フジプレ販売株式会社	追尾型太陽光発電システム(トラッキングシステム)	・ トラッキングシステムにより、季節・時間ごとの太陽の位置を算出し、太陽電池パネルが自動で太陽を追尾 ・ 発電モジュールの下で従来通り営農等を続けることが可能 ・ 強風時(風雨を常時監視)はモジュール面を水平にし、安定性を確保 ・ 1 基あたりのモジュール枚数は 10～12 枚	2 軸追尾型

⁴ <http://www.hongou-i.jp/energy.html>

⁵ <https://maru-kawa.com/LP/index.html>

⁶ <http://egutec.net/solar/>

⁷ <https://notus.co.jp/product/>

⁸ <http://dentaku.co.jp/company.html>

⁹ <https://sei.co.jp/products/cpv/>

¹⁰ https://www.elm.jp/products/solar_power

¹¹ https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000202.pdf

¹² http://www.fujipre-sales.co.jp/tracking_system.html

2 ¹³	株式会社 SolarFlame	ジャイロ追 尾型太陽光 発電システ ム	・ ジャイロ機構により、太陽の動く方向に合わせて太陽電池パ ネルの向きを自動で追尾 ・ 太陽の方向に常に太陽電池パネルが向くよう、架台の向きを ソフトウェアで制御し、影の干渉による発電量の低下を防止 ・ 小型太陽電池(12V)/小型蓄電池(5Wh)を取り付け、5W で運 転させることが出来るため、追尾電源用フィールド配線が不 要で、僅かな電力で太陽追尾が可能 ・ 管理塔から太陽追尾装置の制御盤への接続は、無線で接続し ており、メンテナンスやシステム管理が容易 ・ 1 基あたりのモジュール枚数は 4 枚、架台重量は 60kg、フ レーム等の主要部品数は 8 個で構成	2 軸追尾型
3 ¹⁴	有限会社 本郷工業	太陽光発電 追尾式架台 システム	・ 太陽の動きをプログラミングし、自動追尾（東西・南北の 2 軸） ・ 油圧シリンダーで稼働 ・ 開発・製造・販売・分譲のすべてを自社で担う ・ 1 基あたりのモジュール枚数は 196 枚で国内最大規模	2 軸追尾型 (大型)
4 ¹⁵	株式会社 マ ルカワ建設 ／株式会社 新神戸通商	傾斜 1 軸太 陽光自動追 尾装置 Dual SPS	・ 単軸－傾斜軸システムにより自動追尾 ・ 1 ユニット最大連結数量は 48 基 ・ 搭載可能モジュール寸法は縦 1700 mm以下、横 100 mm以下 ・ 駆動用アクチュエーターには「大手国産メーカー」との共同 開発品を使用 ・ 追尾範囲は+45° ～-45° ・ 風退避モードは風速 15m/s にて退避モードに移行（水平・仰 角 20° に退避） ・ 退避モード時の耐風速は連結数量 48 基で風速 50m/s、36 基 で風速 60m/ ・ 駆動部寿命は 25 年以上を想定 ・ 1 基あたりのモジュール搭載枚数 4 枚	1 軸追尾型
5 ¹⁶	株式会社エ ナテクス（メ ーカー）株式 会社エグテ ック（施工） >	追尾式太陽 光発電シス テム<エナ トラッキン グシステム >	・ PARU 社の 2 軸式追尾システム架台を使用 ・ 駆動方式はスルードライブとアクチュエーターによる 2 軸 追尾 ・ モジュール部は丸型鋼、四角パイプ ・ 三次元構造解析で風速風圧による構造解析に対応 ・ 305W モジュール 42 枚（7 段 6 列）12.8kw/基 ・ 制御方式は光センサーで精密な太陽位置追尾を実現	2 軸追尾型

¹³ <https://www.nedo.go.jp/content/100805729.pdf>

¹⁴ <http://www.hongou-i.jp/energy.html>

¹⁵ <https://maru-kawa.com/LP/index.html>

¹⁶ <http://egutec.net/solar/>

			・ 台風が多い日本の気候に適した製品設計で風速 35m/s、最大風速 60m/s で構造設計（水平時）	
6 ¹⁷	ノータス株式会社	3次元追尾式の営農型太陽光発電専用架台「ノータス架台」	・ 営農型太陽光発電専用架台 ・ 太陽の位置を検知する3次元追尾機能により自動追尾する ・ パネル設置高は 4～5m ・ 柱スパンは 12m×12m	2軸追尾型
7 ¹⁸	日本電託株式会社	新型「エネタワー」2軸型追尾、油圧旋回システム	・ 日本初のトラス構造太陽自動追尾発電タワー ・ 基礎工法は回転貫入パイル工法 ・ 全方向自動追尾システム ・ 建設用機械などで使用される高耐久油圧シリンダーを採用 ・ 油圧シリンダー1本の支持力は約 13t、4本のシリンダーで構成 ・ 1基あたりのモジュール搭載枚数 168枚	2軸追尾型 (大型)
8 ¹⁹	住友電気工業株式会社	集光型太陽光発電装置 (CPV)	・ CPVシステムは、変換効率が 40～50%と極めて高い化合物半導体の発電素子を用い、太陽を追尾しながらレンズで直達日射光を数百倍に集光して発電 ・ 仰角と方位角を調整する2軸追尾架台にモジュールを搭載し太陽を正確に追尾する構造 ・ 1基あたりのモジュール搭載枚数 64枚	2軸追尾型
9 ²⁰	株式会社エスエルム	全追尾型太陽光発電システム eMax®	・ モジュールをほぼ水平から垂直に動かせるという特性を活かして、気象に合わせて自動で制御を行うことで、発電量を最大化 ・ 台風等の強風時は太陽電池モジュールを寝かせて風圧を逃し、破損等のトラブルを回避 ・ 降灰時は太陽電池モジュールを立てて積灰を防ぎ、次の発電に備える ・ 発電量の見込めない雨天時は、手動制御で太陽電池モジュールを傾け、表面を洗浄することも可能	2軸追尾型

出典：昨年度事業報告書²¹

表 2-2 のとおり、国内では 2 軸（東西方向及び南北方向に動作）の追尾型タイプが主流であり、晴天時は常に太陽に正対し、曇雨天時には空からの拡散光を効率よく拾うために太陽に正対する

¹⁷ <https://notus.co.jp/product/>

¹⁸ <http://dentaku.co.jp/company.html>

¹⁹ <https://sei.co.jp/products/cpv/>

²⁰ https://www.elm.jp/products/solar_power

²¹ https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000202.pdf

位置を基本として、影や雲を感知し、最適な位置に制御するシステムが導入されている。なお、1基あたりの太陽電池モジュールの設置枚数については差がみられ、モジュール枚数が100枚以上の大型設備については、最高高さが14m程度、パネル全体の面積は250～300 m²程度の大きさに加え、パネル全体の重量は5t以上にもなると想定される。

昨年度事業におけるメーカー技術者等の外部有識者ヒアリングによれば、自動追尾型設備の構造部分における設計思想としては、強風時や積雪における大きな外力がかかる場合、基本は退避姿勢をとることとしている。また、制御電源の喪失など悪い状況を考慮した際の安全確保として、支柱を倒壊させない設計とすることと、制御電源の確保として電源を冗長化する対応があるとしているという結果が得られた。

(2) 海外状況の整理

国内の状況については「(1) 昨年度事業概要の整理」のとおり基礎情報を得られており、ここでは海外の状況について机上調査を行った。

脱炭素に向けた動きが世界規模で推進される中、再生可能エネルギーの投資が進み、太陽光発電の市場も大きくなってきている。調査会社 Fortune business insights 社²²の行った調査によると、2020 年における世界の追尾型設備の市場規模は、161 億 1000 万米ドルであり（前年比+26.2%）、今後も増加傾向と予測している。また、調査会社 IHS Markit 社²³の行った調査によると、2019 年における世界の出荷量はアメリカ合衆国（以下、米国という。）が引き続き最大需要の市場であったとともに、中南米やオーストラリア（以下、豪州という。）等の市場で大きく成長した状況である。米国をはじめ豪州やスペインは成熟した市場で引き続き堅調な需要が見込まれるとともに、今後は中東やアフリカの市場で大きな成長が予想されている。

前述のとおり、国内では2軸の追尾型タイプが主流であるが、世界規模で見ると操作が簡単な1軸の追尾型タイプが大多数を占めている。調査会社 IHS Markit 社の調査によると、2018 年における追尾装置メーカーの市場シェア（出荷ベース）は表 2-3 のとおりである。

表 2-3 海外メーカーのマーケットシェア上位

ランキング	メーカー	本社所在地（国）	タイプ	シェア（%）
1 ²⁴	Nextracker Inc.	米国	1 軸	29
2 ²⁵	Array Technologies Inc.	米国	1 軸、2 軸	11
3 ²⁶	PV Hardware Solutions S.L.U.	スペイン	1 軸	10
4 ²⁷	Soltec Energias Renovables Slu	スペイン	1 軸	8
5 ²⁸	Arctech Solar Holding Co., Ltd.	中国	1 軸、2 軸	8

²² <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/solar-tracker-market-100448>

²³ <https://ihsmarkit.com/research-analysis/the-twin-pillars-of-future-growth-of-the-solar-tracker-market.html>

²⁴ <https://www.nextracker.com/>

²⁵ <https://arraytechinc.com/>

²⁶ <https://pvhardware.com/>

²⁷ <https://soltec.com/>

²⁸ <https://www.arctechsolar.us/>

6 ²⁹	Nclave ⇒2020年に Trina Solar Co.,Ltd. (中国) の子会社へ	スペイン (現在、中国)	1 軸	6
-----------------	--	-----------------	-----	---

出典：IHS Markit 社 HP (<https://ihsmarkit.com/research-analysis/the-goldenage-of-trackers.html>)

を基に当社が作成

シェア上位 2 社（米国）で全体の約 4 割を占めている。国立再生可能エネルギー研究所（The National Renewable Energy Laboratory：NREL）³⁰によれば、米国における 2020 年の太陽電池発電設備の導入割合について、商業用（utility-scale）太陽電池発電設備の 87%が 1 軸タイプの追尾型設備であるとされており、2020 年末における商業用太陽電池発電設備の 73%は 1 軸型タイプの追尾型設備となっている。

また、市場シェア上位における海外メーカーの追尾型設備について、設備名称や構造的な特徴を表 2-4 にまとめた。

表 2-4 設備名称と構造的な特徴

No.	メーカー	設備名称	特徴
1 ³¹	Nextracker Inc.	・ NX Horizon（1 軸） ・ NX Gemini（1 軸片面タイプ、1 軸両面タイプ）	・ NX Horizon は、一体型の一軸水平追尾型設備 ・ NX Gemini は、NX Horizon が 1 段配置であるのに対して上下 2 段配置した両面モジュールにも対応可能な一軸水平追尾型設備
2 ³²	Array Technologies Inc	・ DuraTrack AZ（1 軸） ・ DuraTrack HZ（1 軸、両面モジュール） ・ DuraTrack DA（2 軸）	・ 主力製品は一軸タイプ ・ DuraTrack HZ は電力に依存しない特許取得済みの防風システムを搭載 ・ DuraTrackDA は、堅牢なギア駆動設計により頑丈で信頼性の高いシステム、また特許取得済みの光検知テクノロジーを搭載
3 ³³	PV Hardware Solutions S.L.U.	・ Monoline +（1 軸） ・ Monoline 3H90（1 軸） ・ Axone（1 軸）	・ Monoline +は高い耐風性能 ・ Monoline 3H90 は 60 メートルの単列で水平に配置され 3 列のモジュールを保持 ・ Axone は最大 20 列・62 枚のモジュールを移動可能な多列式モータートラッカー
4 ³⁴	Soltec Energias Renovables Slu	・ SF8（1 軸） ・ SF7（1 軸片面タイプ、1 軸両面タイプ、1 軸タンデムタイプ）	・ SF8 は高い耐風性能を持つ堅牢性モデル（SF7 の改良版） ・ SF7 にはタンデムタイプがあり、2 アレイを 1 つの駆動源に接続することで部品点数を減少させ部品費用や設置コストを低減

²⁹ <https://www.trinasolar.com/jp>

³⁰ <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/80427.pdf>

³¹ <https://www.nextracker.com/>

³² <https://arraytechinc.com/>

³³ <https://pvhardware.com/>

³⁴ <https://soltec.com/>

5 ³⁵	Arctech Solar Holding Co., Ltd.	• SkyLine (1 軸) • SkySmart (1 軸)	• SkyLine は独立型縦 1 列モジュール追尾システムで、1 基あたり最大 90 枚のモジュール設置が可能 • SkySmart は独立型縦 2 列モジュール追尾システムで、1 基あたり最大 120 枚のモジュール設置が可能で、両面モジュールタイプの設置も可能
6 ³⁶	Trina Solar Co.,Ltd. (Nclave)	• Vanguard (1 軸) • Agile (1 軸)	• Vanguard は 1 列モジュール追尾システムで、1 基あたり最大 120 枚のモジュール設置が可能 • Agile は 2 列モジュール追尾システムで、設置時間の削減（設備構成による）から設置コストの低減

シェア上位 6 社の全てが 1 軸タイプを取り扱っていることに対して、2 軸タイプを扱うメーカーは 2 社であり、トップシェアの Nextracker 社では 1 軸タイプのみを取扱っている。このことから世界では 1 軸タイプが主流となっていることが分かる。

海外における国別の状況調査として、追尾型設備の成熟市場で引き続き成長の見込みがある米国と豪州を対象として状況を整理する。なお、両国とも連邦制で州に強い権限が委ねられる法体系であるため、代表として米国はカリフォルニア州、豪州はクイーンズランド州を調査した。調査対象となる州については、米国及び豪州における太陽電池発電設備の導入量が調査時点（2021 年）で最も大きい州を選定した。

① 米国（カリフォルニア州）

SEAA (Solar Energy Industries Association) ³⁷によれば、米国における 2021 年第 3 四半期時点の太陽電池発電設備の累計導入量は約 113.5GW で、その内カリフォルニア州は約 33.2GW（全体の約 29%）を占めている³⁸。また、カリフォルニア州で公表（California Distributed Generation Statistics）³⁹されているデータによれば、州内の 2021 年第 3 四半期時点での太陽電池発電設備の設置数は約 140 万件で、その内住宅用が約 70%を占める。

米国の法制度は州毎に異なり、太陽電池発電設備に関する基準や関連する規格についても同様に、基本的には州が遵守すべきモデルコードを規定し、郡・都市がそれぞれの状況・環境に応じて追加・修正し運用している。2019 年にカリフォルニア州では 2019 Building Energy Efficiency Standards（2019 年建築エネルギー効率基準）⁴⁰において、2020 年から新築住宅に対して太陽電池発電設備の設置を義務化した。対象となる新築住宅は一戸建て住宅だけでなく、3 階以下の多世帯住宅にも設備の設置が義務付けられている。これに伴い、今後は更なる太陽電池発電設備の

³⁵ <https://www.arctechsolar.us/>

³⁶ <https://www.trinasolar.com/jp>

³⁷ <https://www.seia.org/states-map>

³⁸ <https://www.seia.org/state-solar-policy/california-solar>

³⁹ <https://www.californiadgstats.ca.gov>

⁴⁰ <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/building-energy-efficiency-standards/2019-building-energy-efficiency>

導入が予想されている。なお、米国エネルギー情報局(U.S. Energy Information Administration)⁴¹によれば、2015 年時点でカリフォルニア州における商業用太陽電池発電設備の内、追尾型設備を設置している割合は 6 割を超え、この時点でも追尾型設備の設置割合が高かった。

カリフォルニア州における太陽電池発電設備の技術基準に関する法令としては、Government Code (GOV) Title 7. PLANNING AND LAND USE DIVISION 1. PLANNING AND ZONING CHAPTER 4. Zoning Regulations ARTICLE 2. Adoption of Regulations Section 65850.5 (カリフォルニア州政府法第 65850.5)⁴²で、市・郡政府による建築許可等の発行、国・州・現地の安全衛生要件の遵守や、CEC (California Electrical Code : カリフォルニア州電気工事基準)、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers : 米国電気電子技術者協会) 及び UL (Underwriters Laboratories) 等の認証試験機関が定めた安全基準や性能要件の遵守が求められている。また、California Code of Regulations : CCR Title 24 Building Standards code 2019 (カリフォルニア州法第 24 巻・建築基準規則)⁴³における California Building Code (カリフォルニア州建築基準) に架台の強度について定められている。ただし、建築基準を含む州法において追尾型設備に特化した内容の規制や指針等の記載は確認できなかった。一方、前述のとおり、太陽電池発電設備は UL 等の認証試験期間が定めた安全基準や性能要件の遵守が求められており、UL 規格では、UL 3703 Standard for Solar Trackers (ソーラートラッカー標準) が発行されている。本規格の適用範囲には、建物に取り付けられない固定式追尾型設備として設置することを意図した太陽電池追尾型設備を対象とし、これら設備は本規格の電氣的・機械的ハザードの要求事項を考慮して評価する必要があるとしている。このことから、UL 3703 規格はカリフォルニア州における追尾型設備の技術基準の 1 つであると言える。

② 豪州 (クイーンズランド州)

APVI (Australian PV Institute)⁴⁴によれば、豪州における 2021 年末までの太陽電池発電設備の累計導入量は約 25GW で、設置数は約 300 万件である⁴⁵。その内クイーンズランド州の累計導入量及び設置数は、それぞれ約 7.7GW (全体の約 30%) 及び約 85 万件 (約 28%) を占めている⁴⁶。また、クイーンズランド州における大規模太陽電池発電設備 (出力 100kW 以上) の設置数は 281 件であるのに対し、10kW 未満は約 78 万件 (全体の約 92%) を占めており、住宅用が大半を占める状況である。

クイーンズランド州における太陽電池発電設備の技術基準に関する法令としては、Electrical Safety Act 2002 (クイーンズランド州電気安全法)⁴⁷及び Building Act 1975 (クイーンズランド

⁴¹ <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=30912>

⁴² https://leginfo.ca.gov/faces/codes_displaySection.xhtml?sectionNum=65850.5.&lawCode=GOV

⁴³ <https://www.dgs.ca.gov/BSC/Codes>

⁴⁴ <http://apvi.org.au/>

⁴⁵ <http://pv-map.apvi.org.au/analyses>

⁴⁶ <http://pv-map.apvi.org.au/historical#4/-26.67/134.12>

⁴⁷ <https://www.worksafe.qld.gov.au/laws-and-compliance/electrical-safety-laws/laws-and-legislation/electrical-safety-act-2002>

州建築法)⁴⁸を根拠法に、電気関連は Electrical Safety Regulation 2013 (クイーンズランド州電気安全規則)⁴⁹において電気設備の設置や工事についての規則が定められ、建築関連は Building Regulation 2021 (クイーンズランド州建築規則)⁵⁰において規定されている。建築基準としては、モデルコードとなる National Construction Code of Australia : NCC (国家建築基準)⁵¹に適合することが必要である。太陽電池発電設備については、オーストラリア・ニュージーランド国家規格である AS/NZS 5033 Installation and safety requirements for photovoltaic (PV) arrays (太陽電池アレイの設置及び安全要求事項) を参照することになる。また、クイーンズランド州における太陽電池発電所の建設及び運用に関する実施規則 (Construction and operation of solar farms – Code of Practice 2019)⁵²が策定されている。しかしながら、この実施規則に追尾型設備について検査や試験の必要性が記載されているものの具体的な実施事項の説明はなく、またクイーンズランド州の法令等においても追尾型設備に特化した内容の規制や指針等の記載は確認できなかった。なお、太陽電池発電設備に特化しているものではないが、構造物における設計については、AS/NZS 1170 Structural design actions (構造物設計アクション) が発行され、その Part 2 (2章) において、風荷重に対する基準が示されており、参照されている。

③ 国際規格

追尾型設備の導入が進んでいる米国カリフォルニア州及び豪州クイーンズランド州において、追尾型設備に特化した規制は確認できなかった。

一方で、国際規格である IEC 規格 (International Electrotechnical Commission : 国際電気標準会議が制定する国際規格) で、IEC 62817 Edition 1.1 2017-07 Photovoltaic systems – Design qualification of solar trackers (太陽光発電システム – 追尾型太陽電池発電設備の設計認証) (以下、IEC 62817:2017 という。) を追尾型設備に特化した内容で発行されている。IEC 62817:2017 は 2014 年 8 月に発行され、2017 年 7 月に改訂版として発行されたものである。IEC 62817:2017 の概要としては、太陽電池発電設備の追尾型設備に適用される設計基準で、主要部品及び追尾システム全体と両方の試験項目が記載されている。

IEC 62817:2017 において、追尾型設備のタイプ (分類) をはじめ、構造・構造特性や制御方法等のシステム全体の説明が記されているとともに、追尾型設備における精度の評価方法が記載されている。追尾型設備の試験については目的とともに手順が示されており、主な試験項目は目視検査、機能検証試験、性能試験、機械的試験、環境試験、加速機械的試験や電気部品の試験について記載されている。設計荷重については、アレイ面 (ペイロード) に作用する風圧荷重や積雪荷重、さらには追尾時における荷重や退避時における荷重について規定されている。しかしながら、風圧荷重と積雪荷重を組み合わせた荷重については規定されていない。

⁴⁸ <https://www.legislation.qld.gov.au/view/whole/html/inforce/current/act-1975-011>

⁴⁹ <https://www.worksafe.qld.gov.au/laws-and-compliance/electrical-safety-laws/laws-and-legislation/electrical-safety-regulation-2013>

⁵⁰ <https://www.legislation.qld.gov.au/view/html/inforce/current/sl-2021-0126>

⁵¹ <https://ncc.abcb.gov.au/editions-national-construction-code>

⁵² https://www.worksafe.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0016/23506/construction-and-operation-of-solar-farms-cop.pdf

2.1.2 技術要件の素案作成

追尾型太陽電池発電設備は太陽電池アレイまたは太陽電池モジュールの姿勢を変化させるため、様々な姿勢での外力（風圧荷重、積雪荷重など）を想定し、それらの外力に対する構造安全性だけでなく、強風時や積雪時にはこれらの外力を軽減させるために退避姿勢に移行させる機構を持たせて、安全性を担保しつつ経済的な支持物を構成する設計手法が用いられている設備も多い。そのため、一般的な地上設置型太陽電池発電設備より設計上の要求が多く、現行の太技省令の要求性能だけでは構造安全性を担保することは困難である。

他方、太陽光発電システムソーラートラッカーの設計認証として、IEC 62817:2017 が規定されている。この規定では、トラッカー（アレイ駆動部）の設計上の要求が示されているが、必ずしも日本の設置環境に適用しておらず、地震荷重が考慮されていないことや多雪区域における積雪荷重と風荷重の組合せ荷重についても規定されていない。さらに、トラッカー以外のアレイ支持物（架台や基礎）に関する要求は明示されていない。

ここでは、太技省令及びその解釈（及び逐条解説）の考え方を踏襲したうえで、追尾型太陽電池発電設備のアレイ支持物に関する技術要件を構造設計の観点から整理して素案の作成を行った。その際、トラッカー部の要求については IEC 62817:2017 を参考にした。

追尾型太陽電池発電設備の技術的要件の素案を表 2-5 技術的要件の素案表 2-5 に示す。

表 2-5 技術的要件の素案

設計荷重について
<必須事項> ・アレイ面（ペイロード）に作用する風圧荷重、積雪荷重の偏り（偏荷重）によるモーメントを考慮すること。 ・必要に応じて積雪による軒先荷重も考慮する。 → 追尾システムの駆動部の設計を行う場合には、鉛直軸回り、水平軸回りのモーメントの考慮が必須である。 → これらのモーメントを考慮しないと支持物に作用する荷重が過少に与えられ、危険な設計になる。 → JIS C 8955:2017 には偏荷重によるモーメントに関するデータは示されていない。

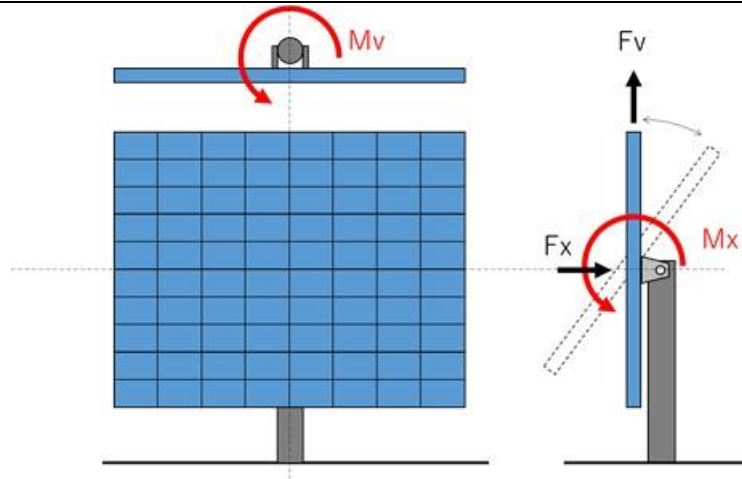


図 2-1 鉛直軸回りと水平軸回りのモーメント

- ・ 追尾時の荷重（風速、積雪量の設定）を適切に設定すること。
 - 退避姿勢へのトリガー風速 + α の風速で検討する必要あり。
（IEC62817 では、1.1 倍の風速で検討することになっている）
- ・ 退避姿勢時の荷重（設計荷重）を適切に設定すること。
 - JIS C 8955 と同様に再現期間 50 年相当の荷重を設定する。

<検討事項>

- ・ 風による振動に伴う繰返し荷重を考慮すること。
 - 支持物の剛性や駆動部の保持能力が低い場合、比較的低い風速で振動を生じる懸念がある。
- ・ 風洞実験によって確認された場合には中央部アレイの風圧荷重の低減することができる。
- ・ 地震荷重の水平震度の設定は支持物の構造特性に合わせて適切に設定すること。
 - トラッカー部分について JIS C 8955:2017 での地上設置型 PV の値（0.3 以上）をそのまま適用してよいのか？ 建物上設置 PV の値（1.0 以上）とするべきか？
- ・ 追尾システムの駆動及び制動に伴う慣性力及び衝撃力を考慮すること。
 - 追尾速度が遅いため問題にならない？

振動等の考慮

<検討事項>

- ・ 空力安定性を確認すること。
 - 渦励振、ギャロッピング、フラッター、ダイバージェンスなどの空力不安定現象が生じないことを確認する。
 - 空力安定性の確認は高度な検討が必要であり、風洞実験等の実施が必要。
 - ⇒ 剛性が低く、減衰が小さい場合には、空力振動が発生しやすい。

基礎

<必須事項> ・追尾時の最大荷重と退避時の荷重のそれぞれについて基礎が安定した状態であること。 → 追尾時と退避時のより厳しい荷重条件での設計を行う必要がある。 → 2軸追尾型のような1本の支柱の場合、基礎の傾きや転倒が生じる懸念があることから、太技省令第4条の五に示された「上部構造に支障をきたす沈下、浮き上がり、水平方向の移動を生じないこと」に「転倒」を追加する。
架台
<必須事項> ・追尾時の最大荷重と避難時の荷重のそれぞれについて安全性を検討すること。 → 追尾時と退避時のより厳しい荷重条件での設計を行う必要がある。 → 通常は避難時の設計荷重時がより厳しい条件となるが、退避姿勢へのトリガー設定（風速、積雪量）によっては、追尾時のほうが部分的に（部材によっては）厳しい条件となることも考えられる。
追尾システム（トラッカー）
<必須事項> ・退避姿勢への移行条件（トリガー）は適切に設定すること。 → 追尾時において危険な状態にならない条件を設定する必要がある。 ・退避姿勢までの時間を考慮した駆動能力の裕度。 → IEC 62817 に倣って退避姿勢のトリガー風速は1.1倍とする。 ・地震時及び退避時における姿勢保持能力を確保すること。 ・風速、積雪の監視センサーは設備の設置場所での風速と積雪量が適切に計測できる位置に設置すること。 → 監視センサーでの確実な計測を行うためには維持管理が必要。 ・追尾システム及び風速・積雪量の監視システムはフェールセーフを考慮して設計されていること。 → 制御不能時の対応（停電時の補助電源、手動制御など） ⇒ 多数の設備が設置されている大規模発電所の場合には、手動制御も限界がある。 → 風速、積雪の監視センサーの動作不良時の対応 ・トラッカーは可動範囲を明確に設定し、その範囲を超えることのないようにすること。 → 可動範囲を明確にしたうえで、追尾時の荷重を設定する。 <要検討事項> ・トラッカーは可動範囲を超えないようリミットスイッチを設置すること。 → センサーで追尾している場合は、必ずしも必要ではない。 ・トラッカーは確実に動作するよう適切に維持管理を実施すること。 → 駆動部や可動構造の維持管理は重要。 ⇒ 風力発電設備においては、風技解釈の解説で触れられているが、風技及び風技解釈には明記されていない。

→ 維持管理を明記した場合には「太陽光発電システム保守点検ガイドライン」の更新が必要になる。
退避姿勢を取らないシステム
<必須事項> ・強風時、積雪時、地震時の各種荷重が作用した場合において最悪姿勢の想定し、いずれの状態においても支持物の各部材の強度を確保すること。

2.1.3 ヒアリング結果

発電用太陽電池設備に関する技術基準を定める省令案の作成に当たっては、2.1.2 で作成した素案を基に有識者へのヒアリングを行い、検討を進めた。有識者は、追尾型太陽電池発電設備に関する専門家や構造設計等に関する専門家を中心に 6 名を選出した。

ヒアリングを通して有識者から出された主な意見の概要について、次のとおりまとめた（表 2-6）。

表 2-6 ヒアリング結果のまとめ

設計荷重について
<支持物の構造上の要件（大技省令及び大技解説への追加）について> ・ 説明があった要件は、すべて追尾型太陽電池設備における支持物（以降、追尾型設備という。）の要件として必要である。 ・ 許容応力度設計がまずは重要と考える。 ・ IEC の基準に則る場合、風車の部材は安全率を 1.1 としたと聞いたことがある。太陽光の場合、1.5 程度は確保されているとのことだが、静定構造物のためもっと安全率をとってもよいのではと思う。 ・ 雪と風が同時に作用した場合、退避はどちらを優先させるかは地域によって違ってくるとのことだが、例えば多雪区域はどうなっているのかが懸念される。吹雪によって強風と積雪の両方が重なるケースはよくあると思う。 ・ 風速、積雪の監視センサーの動作不良時の対策として、二つセンサーを設置する方法は有効だと思う。 ・ 風による振動まで要求するのは難しいため、許容応力度設計でよいと考えるが、付近の建物などの影響で風に角度を付けた場合等を想定し、余裕をもたせた風力係数をもたせた方がよいと思う。 ・ 風力係数の何割増しという表現の方が設計者としては理解しやすいと思う。 ・ 高台に設置している場合は吹上の影響もあると思う。 ・ 風による振動については実例を調べたほうが良いと思う。 ・ 風車のケースでも監視センサーの役割が重要である。センサーが壊れるとブレードも折損してしまうリスクも高くなる。 ・ 建築物は監視センサーが関与する物件は開閉ドームなどを除き、極めて少ない。常に

最悪条件を考慮し設計するのが建築物の考え方である。

- ・ 監視センサーの二重化は重要であるが、センサーが壊れた場合の対処法を明確にする必要もあると思う。
 - ・ 風車のケースと同様に追尾型太陽光においても万一倒壊した場合に倒壊範囲内に人家等がないことを規定してはどうか。
 - ・ 設計では一番不利な条件で設計するため、鉛直軸周りに回転することの検討は不要と考える（最も強い風向で検討するため）。
 - ・ 2軸型追尾のほか1軸型も存在し、1軸型の場合は横長の形状が多い。今後は営農型で1軸が増加すると考えられる。海外でも1軸が多く存在する。
 - ・ パネル及び支柱のプロポーションが1対1に近い形状だと揚力とモーメント両方作用することを考えてヨー域を設定したことがある。
 - ・ これまで様々な角度における風圧荷重について実験しているため、それらの結果を踏まえてモーメントを設定すればよいと思う。
 - ・ JISでは M_x （曲げモーメントの x 成分）の検討が省略されているため、設計には M_x 成分も必ず考慮する必要がある。
 - ・ M_x 、 M_y がピークになるタイミングは微妙に違うが、経験的にほぼ同じタイミングで出るため、ピークを足し合わせてもよいと考える。簡単な公式もあるので参考にしてほしい。
 - ・ 風による振動については細長い形状ではないため、不安定振動は発生しにくいので考えなくてよいと思う。
 - ・ フラッターは並行に近い状態で発生する。剛性を保っていれば影響ないと考える。気になる場合は橋梁設計における二次元チェックを試してみればよいと思う。
 - ・ 固有振動数が特別なものではなく、共振するようなものではないのであればピーク風力への許容応力度設計でよいと考える。
 - ・ 今後建物上への設置が出てくる場合もあるが、当面は現状の地震荷重水平震度のままで問題ないと思う。
 - ・ 風速、積雪の監視センサーの動作不良時の対策として、二つセンサーを設置する方法は有効だと思う。
 - ・ 退避姿勢をとらない（とれない）場合は終局耐力設計とし、最悪倒壊しないようにしなければならない。
 - ・ 倒壊させない場合の風速の再現期間は50年では不十分な気がするが、最悪の条件（姿勢）で許容応力度設計することであれば妥当と考える。
 - ・ 太技省令において既存の地上設置型設備との扱い方が気になる。追尾型の方が地上設置型よりも設計の難易度が高いため、仕様規定でも十分と感じる。標準的な仕様について規定し、工業製品化させておく方が現実的ではないかと考える。ただし、電技解釈の大原則としての性能規定は堅持すべきである。
- ⇒ 風力発電については風車の型式認証を実施しているので、トラッキングシステムも製品化して認証するという方法もあると思う。

- ⇒ 製品認証化すると安全なものになると思うが、国内で今後追尾型がどこまで普及するか疑問である。
- ⇒ 営農型で 1 軸の追尾型は今後増加する可能性はあるため、とりあえず 1 軸で要求性能を決めておいても良いと思う。
- ⇒ 1 軸と 2 軸で要求性能は大きくは変わらない。監視しながら動かすのはどちらも難しい。動力部分はこれまで存在しなかった部分である。

<追尾型設備の安全担保の考え方・要件>

- ・ 第一に、何があっても追尾型設備の転倒を防ぐ必要がある（壊れても良いが転倒はしないようにするという考え方が必要である）。プラスマイナスで 45 度しか動かない追尾型設備であっても、強風時はストッパーを破壊してそれ以上に回転する。たとえ 90 度になったとしても転倒しないことが必須要件になる。
- ・ 第二の優先事項は、大型の追尾型設備について、事故時に設備の撤収をしやすくするために分解可能とすることである。大型の追尾型設備をそのままクレーンで釣り上げる作業は、限られた業者しか対応できないため、一般的な業者で対応できるようにすることが必要である。
- ・ 第三の優先事項は、風速レベルに応じてではあるが、修理すれば復旧できるようにすることである。例えば、風速 60m/s では損壊しても転倒しないこと、30m/s では壊れてもよいが修理できるようにすること、といった風速区分に応じた要件が必要である。
- ・ その他として、退避姿勢に移行する途中で停電や突風が吹く可能性があり、その場合は停止させる必要がある。商用のコントローラは予備電源を持っているが、そうでない場合は停止させるという考え方が必要である。

<安全を担保するための追尾型設備の設計について>

- ・ 設計的に安全を担保するためには、設計時、工場立ち上げ時等の各段階において、チェックリストを策定することが必要である。チェックリスト策定に当たっては IEC62817 の設計要件が参考になると思う。追尾型は一点物で様々な設計が考えられるため、一律で試験を実施するといった制度は適さない。むしろ、設計者自身が責任を持って考えていくことが必要であり、設計・製造した人や企業の責任を明確化することが安全担保に効果的である。
- ・ 電気事業法は設計・製造側への責任が求められておらず、発電事業者が責任を取るという内容の法律となっている。そのため、設計者側へ責任を担保させるため、設計者の資格を作った方が良い。
- ・ 追尾時の荷重で、IEC62817 で 1.1 倍の風速で検討することが記載されているが、これで良いのかという議論については、落としどころとして 1.1 倍と設定したもので、科学的根拠はないと思う。設計の参考になるような資料が、IEC62817 以外にはないと思う。
- ・ 設計荷重について過去に WG9 以前の WG7 でも議論している。モーメントが風に対

して安定しているのかが重要である。

- ・ 設計荷重についてきっちりとしたデータを取るのが難しいのが現状。模型作りの精度に加え、パラメーターや歪計の精度など壁がいくつもある。

<追尾型設備の空力上の振動について>

- ・ 振動等の考慮は必要であり、海外メーカーでは風洞実験も実施している。海外では大規模な事故が起きており、プロジェクトの融資を得るために必要な事項になっている。海外の追尾型設備の規模は大きく、日本とは事情が異なる。断面二次モーメントと梁の長さを用いた計算式のような簡単な設計指針を出してほしい、設計者が設計しやすくなる。
- ・ 設計の考え方で重要なことは、設計荷重、計算値、風洞実験であり、また原物大の模型により壊すところまで実験を行い、一番弱いところを確認することも重要である。想定外のところで壊れるケースもある。なお、一連の計算、実験には2～3年かかってしまう。
- ・ メガソーラーについては防風林の減風効果も考えていかないといけないという議論も過去にはあった。

<地震荷重の水平震度の設定について>

- ・ 追尾型は特殊な構造であるが、地震荷重より風荷重の方が支配的なため、地震荷重についてはあまり考慮する必要がない。

<追尾システムの駆動及び制動に伴う慣性力及び衝撃力>

- ・ 追尾システムは制御不良によりリミッターのところで衝撃力が発生することはあるかもしれないが、本体が倒れることはないと考える。
 - ・ 1軸追尾システムについては目に見えるスピード（1～2分で退避姿勢となる）の設備をみたことがある。
 - ・ 稚内市において一軸追尾型太陽電池発電設備で、一軸制御架台の脇に風速計を設置し、風速が設定値以上であれば停止するような設計をしていた。その際、大きなモーメントがかからないとのことであった。鉄塔や電柱の設計に長けている会社であったため、しっかりと設計がなされていると感じている。
- ⇒ 平成18～22年度に行われたNEDO実証研究の成果報告書に、本設計について詳細がある（NEDO成果報告データベースから取得可能）。
- ⇒ 一般社団法人電気学会に論文『稚内メガソーラープロジェクト（2）～一軸制御架台の開発について～』があり、これも上述のNEDO成果報告書内容の一部であるが本設計について記述がある。
- ⇒ その他、山梨県北杜市にて追尾型等について検討を行った成果報告書もNEDO成果報告データベースから取得可能である。

<風による振動に伴う繰返し荷重>

- ・ 振動劣化はあり、時間と共に劣化進行する。従って劣化には、O&Mで対応すること

が基本である。

<基礎の要件>

- ・ 事故例で示された迎角固定で **Stow**（退避）位置に避難できない、回転のみの一軸追尾架台に関しては、追尾時の最大荷重と設計荷重（JIS C 8955）のそれぞれについてより厳しい荷重条件での設計を行う必要があると考えは、良いと考える。
- ・ 世界規格では、最大風速に吹き上がるまでに **Stow**（退避）位置に移行していることを前提に設計することになっている。（日本では設計風速は地域によって異なるが、例えば、**35m/s** に吹き上がる前に天気予報や前兆風況で退避アクションを起こす）
- ・ 「上部構造に支障をきたす沈下、浮上がり、水平方向の移動を生じないこと」（省令第4条の五）には「基礎の転倒」を追加もよいと考える。

<架台の要件>

- ・ 軸受けが壊れたときに動作しなくなるより、安全側である水平な状態になることで良いとは思いますが、その際、退避姿勢を取る際に絶対に壊れてはいけないといったことを規定することは良くないと考える。
- ・ 絶対壊れてはダメという考え方だと「戦車」になってしまうため、フェールセーフになるような考え方も必要である。

追尾システムについて

<全般>

- ・ 追尾システムによっては風ではなく積雪に対する退避姿勢を取る動きを取り、鉛直方向になるときに受ける風圧荷重がワーストケースとなる。
- ・ 台風時は停電を伴うことも想定する必要がある。
⇒ 補助電源の設置などの対策は必要。台風は天気予報などで予想できるので、事前に対応することは可能である。
- ・ 風圧と積雪の組合せに対してどのように追尾システムを制御するかは難しい。
⇒ 一つの答えとなる参考として、先述の **NEDO** 実証研究で最適制御角決定手法の開発がある。強風時及び積雪時の運転において、ある閾値を超える強風が観測された場合には、風圧荷重を低減するため制限値以下（風速レベルに合わせ2段階で設定）の制御角を選定し、冬期の積雪対策として夜間の積雪を防止するため最大角度で待機し、さらに昼間の発電量が積雪により低下していると判断される場合（想定発電量を大きく下回る場合）には、落雪を促すため最大制御角まで動作させるといった機能を開発した（制御可能範囲±60度）。
- ・ 遠隔制御不能時の手動制御について、太陽光発電所は面積的に広い特徴があるため、**50～100kW** 程度（人が1人で対応できるくらいの規模）までが限界ではないかと考える。
- ・ 海外の大規模な一軸追尾型太陽電池発電設備の視察経験から、外周部分と内側部分では受ける荷重が異なる（内側が軽減される）ことから、外周と内側で使用される杭

の太さは異なり、3 種類程度の太さを用いている（外側ほど太い）。ここで、1 軸の場合は設備が密集するため荷重が軽減される効果がでるが、2 軸の場合は設備間の離隔距離があることから軽減効果が少なく内側部分の杭太さを 1 軸ほど細くできないのではないかと考える。

- ・ 最も重要なのは維持管理である。具体的な作業内容は点検ガイドラインの方がしっくりくる。
- ・ 太技省令での規定は例えば、「風速センサーは何か所設置しなければならない」というイメージがよいとおもう。
- ・ 電氣的な設備・部品に対しては 1 年に 1 回、既存の枠組みを変えない範囲で維持管理を実施する方向にしたほうがよい。
- ・ 現状保守点検の内容については保守点検ガイドラインがメインなので、こちらを変更する必要がある。太技解釈では保守点検の要求を含め、保守点検ガイドラインにて運用していくのが一番望ましい。
- ・ 追尾型は国内事業が撤退しているため、モチベーションが低いのが現実。しかしながら追尾型の事故は発生している。事後対応できるように安全性の要求を決めていくのも必要と思う。
- ・ 維持管理を太技省令にどこまで入れていくか。追尾型は数が少ないため実際に入れていくのは難しいのでは。維持管理は数値等できめられないことも多い。
- ・ 維持管理の義務があるのは現状高压以上だが、低压も当然適切な維持管理が必要。一方で義務化して低压まで巻き込むと業界的には厳しいかもしれない。
- ・ 50kW 未満（低压）も規制ができたが、50kW 以上より甘い状況である。本来、規制と出力規模は関係ないと思う。
- ・ 追尾型の特徴として、大雪と強風両方を制御しなければならないことは設計上難しい点だと思う。また、退避姿勢に移行する場合の条件や角度調整による雪落としにかかる時間など追尾型は色々なことを考慮しなくてはならない。

<追尾型設備特有の課題に対するフェールセーフ機能の在り方>

- ・ 大手の発電事業者であっても追尾型設備の納入時に提出する書類の記載事項を遵守していないケースがあった。ユーザー（オペレーション実施者）がドキュメント記載事項を守っていなくても設備が安全である必要がある。また追尾型設備は、メーカーの継続性が課題で、メーカーが倒産すると、モーター外れや油圧装置部のオイル抜けなどの不具合が長期間放置されやすい。以上の観点でフェールセーフ機能を強化する必要がある。
- ・ エンコーダを使用して強風時に退避姿勢をとる仕様のものについては、風でアレイがばたついた際にエンコーダで検知してアラートが鳴るように設定されているが、アラートが鳴らないようにアラート設定を OFF にしてしまうケースがある。これは設計ではなくオペレーションの問題である。海外では、オペレーションが悪くても危険を回避できるように、コントローラ自身がモーターの負荷電流などを見てロックするといった仕様になっている。

＜追尾型設備に関するその他の議論について＞

- ・ 駆動時、制動時の慣性力に関して、例えばリミットスイッチは、劣化による動作不良などがあり信頼性が低いため、ストッパーに衝突することはよくある。オペレータの操作ミスなどで衝突することもある。外力によって急激に止まると、パネルや支柱等の支持物が損壊する可能性がある。

＜国内導入状況＞

- ・ 一軸追尾型太陽光が日本国内で導入がうまく進んでいない理由は定かではないが、大手企業よりもノウハウが少なく、適切な設計よりもアイデアを優先する傾向にある中小企業の導入事例が多いからかもしれない。適切な整備をすれば一軸追尾型太陽光は発電量が大きくなる。また駆動系も横棒が1本とシンプルな構造であり、コスト削減の点でも良い。
- ・ 例えば、発電設備下の植物の日当たりをコントロールできることから営農型で追尾型太陽光を利用することが良いと考えられる。

＜退避姿勢へのトリガー風速について＞

- ・ IEC62817 に記載のある 1.1 倍の風速の妥当性については前提条件による。例えば、壊れてもよいが人命を守ることなのか、単に機器が壊れることを防ぐのかによって議論が変わってくる。
- ・ そもそも風速ではなく、風荷重で議論すべきである。
- ・ IEC62817 では風速 14m/s でも発電することと記載されているが、14m/s の定義について計器を含め、明確にする必要がある。
- ・ 設置する計測機器の精度が規定されていないことや、風速計の耐用年数や点検頻度などが明確化されていないのも問題である。
- ・ 風速計等のセンサー類も O&M が必要である。
- ・ 風速計の精度によるバラつきを考慮して 1.1 倍としているのかもしれない。
- ・ 精度ばらつきに加え、高度が 1000m 高いと気圧が一割変わり、温度差が 27 度異なると空気密度が 1 割変化する。
- ・ 本来、風速計は検定を受けたものなどを用いる必要がある。
- ・ 風速計の設置について IEC に規定されているが、日本では現実的に規定とおりの設置は困難である。

＜駆動能力の裕度＞

- ・ 裕度をもって設計することが基本。当社では退避姿勢まで確実にもっていける裕度をもたせることが重要。当社技術詳細についてはノウハウ的な部分もあり、今は開示できない。
- ・ 退避施設まで駆動能力の裕度をもたせることは重要であるが、地域、高度、気温、風向などによって裕度は異なるため、技術者・運営管理者が適切に対応すべきことである。

- ・ 裕度の一般化は困難であると思う。TS (Test Standard) は一般化できるので規定するとよいと思う。

<姿勢保持能力の確保>

- ・ 設備によっては姿勢保持のためのロックがかからないタイプもあるため、事前に明示していた方がよい。

<トラッカー可動範囲とリミットスイッチ>

- ・ メーカーによってリミットスイッチの考え方は異なる。例えば 2 軸ドライブの場合は広範囲である。
- ・ 太陽位置センサーで追尾しているメーカーもあり、必ずしもリミットスイッチでなくてはならないのかという議論もある。太陽位置センサーを使用しない時の原点位置確認用に使うケースもある。

<風速、積雪の監視センサー>

- ・ 適切な設置位置と確実な監視は必要だが、指針等がないと現実的に運用は困難である。現実的な設置場所の指針は必要だと考える。風速計については現行の国際規格では、日本の狭い国土では設置できない。

<制御不能時の対応>

- ・ 停電時の補助電源、手動制御で退避姿勢をとることなどは必ず要求すべきである。

<風速、積雪の監視センサーの動作不良時の対応>

- ・ 監視には海外で Web カメラが役に立ったという経験がある。
- ・ 監視センサーの動作不良については壊れるということに対しどれだけバックアップをもっているかが重要である。

<退避姿勢を取らない場合>

- ・ 追尾系で退避姿勢を取らないという設計は考えられない。想定される自然災害に関しては、FMEA を施し、部品／システム／ソフト／運用 (O&M) の種々の対応策をハード、ソフト、運用で行う。全てをハードのみに規格を押し込めることは現実的ではない。想定外のものに関しては、現物負荷試験を実施し、設計取りの破壊モードか、それ以外のものがあるか確認をおこなう。いずれも費用の掛かることなのでガイドラインで実現可能なものとするのが肝要である。

その他

<振動等の考慮>

- ・ 空力安定性の確認については、高度な解析が必要となるものの、省令等で触れることが必要と考えている。
- ・ WG9 でも議論すべき点であると考ええる。

- ・ 高価で命にかかわる、橋梁ならともかく直ちに生命の危険に至らない廉価な太陽光設備に振動等の要求するのは経済的な側面から現実的かという課題がある。

＜安全を担保するための追尾型設備の維持管理について＞

- ・ 今後、メーカー倒産等によって、このような事故が多く発生する可能性が高いとみられるため、そこを念頭においた方が良い。事例として栃木県の追尾型設備の事故案件では、事故前に、修理対応ができなかったために、シリンダーを撤去して鉄骨で補強、角度を固定にした太陽電池発電設備として運用していたところ、角度を固定していた箇所が外れてアレイが回転したのちに倒壊した。その際、アレイ端部が地上に衝突した跡も残っていた。このような事故に対応するための安全対策として、技術水準の維持義務だけでは実質的に安全が担保できないため、点検の義務化などで対応すべきである。
- ・ 適切なメンテナンス計画も必要である。以前、追尾型設備の設計を実施していた頃、部品の耐久性を考えてメンテナンス計画を立てたものがある。よろしければ後ほど共有する。

＜トラックの維持管理＞

- ・ 架台（トラック含む）、モジュールは必ず劣化するとい前提で維持管理はとても重要である。
- ・ 動作部品のメーカーに設計寿命を確認することやモーターメーカーに無メンテでどれくらいもつか確認し、それに合わせてメンテ計画することは重要である。
- ・ 部品レベルでの設計寿命を明確化しておかないと形骸化してしまうおそれがある。
- ・ トラックは必ず劣化するという前提で維持管理の規定は必要である。O&M 計画を事前に立てることが必要。現状、維持管理に関する具体的なルールがないため明文化が必要である。

2.1.4 検討結果

有識者ヒアリングの結果を受け、追尾型太陽電池発電システムの技術的要件の必須事項についてまとめた結果を表 2-7 に示す。

表 2-7 追尾型太陽電池発電設備の支持物に関連する技術的要件（必須事項）

太技省令またはその解釈に記載すべき要件
・ 追尾システムは可動範囲を明確に設定し、その範囲を超えることのないようにすること。 ・ 追尾時における風圧荷重、積雪荷重及び地震荷重は、追尾装置の可動範囲内のあらゆる姿勢を考慮して適切に設定すること。ただし、強風時及び積雪時において退避姿勢に移行するシステムの場合は、退避姿勢に移行する条件での風圧荷重及び積雪荷重の 1.2 倍の荷重まで低減することができる。

- ・退避姿勢時において想定すべき荷重は、日本産業規格 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」に規定する荷重その他の当該支持物の設置環境下において想定される各種荷重とする。(解釈)
- ・アレイ面に作用する風圧荷重、積雪荷重においては、その偏りによるモーメントの考慮すること。(解釈)
- ・アレイ面及び支持物が強風によって著しい振動の発生しないよう十分な剛性を確保すること。(解釈)
- ・追尾時及び退避時の各種荷重に対して支持物が安定した状態であり、かつ各部材が許容応力度以下であること。
- ・退避姿勢への移行条件は適切に設定すること。
- ・地震時及び退避時における姿勢保持能力を確保すること。(解釈)
- ・風速、積雪量の計測センサーは設備の設置場所での風速と積雪量が適切に計測できる位置に設置すること。
- ・追尾システム及び風速・積雪量の計測システムはフェールセーフを考慮して設計されていること。

以上の技術的要件に基づき、太技省令及びその解釈の変更案を検討した。なお、太技省令での第4条（支持物の構造等）の要求内容は、追尾型太陽電池発電設備の支持物に対する要求を包括的に具備しているため、ここでは太技省令の解釈及びその解説の変更案について検討することとした。表 2-8 にその内容を示す。

表 2-8 太技省令の解釈及び逐条解説の変更案

太技省令の解釈 変更案
[解釈] 【追尾型太陽電池発電設備】(省令第4条) 第8条 太陽光を追尾するシステムを有する設備においては、第2条から第7条に規定する要求の他、次に掲げる要件についても適合するものであること。 一 追尾システムは可動範囲を明確に設定し、その範囲を超えることのないようにすること。 二 想定すべき荷重は第2条に規定する荷重を基本とし、アレイ面に作用する荷重の偏りを考慮すること。 三 支持物及び追尾システムの駆動部は、前号の各種荷重に対し追尾時のあらゆる姿勢において安定であること。 四 強風時及び積雪時に退避姿勢に移行するシステムにおける風圧荷重及び積雪荷重は、退避姿勢における風圧荷重及び積雪荷重を設定することができることとし、退避姿勢に移行するまでの状態での風圧荷重及び積雪荷重については、退避姿勢に移行するときの風速及び積雪量における荷重まで低減することができる。ただし、風圧荷重の低減については退避姿勢に移行する風速に 1.1 を乗じた風速での荷重と

する。

五 退避姿勢に移行する風速及び積雪量の設定は、追尾時の荷重と退避姿勢での荷重を考慮して適切に設定する。

六 風速及び積雪量の計測センサーは、当該発電設備の設置場所での風速と積雪量が適切に計測できる位置に設置すること。

七 追尾システム及び風速・積雪量の計測システムはフェールセーフを考慮して設計されていること。

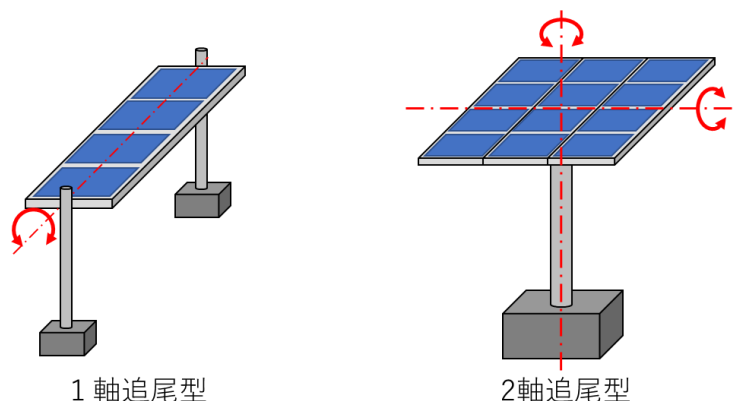
※解釈第 8 条の挿入に伴い、現行の第 8 条～第 10 条は第 9 条～第 11 条に変更する。

解釈の逐条解説 変更案

解説

⑧解釈第 8 条の解説（追尾型太陽電池発電設備）

追尾型太陽光発電設備は、アレイ面の方向を変化させるための追尾システムの駆動部（トラッカー）をもつため、一般的な地上設置型太陽電池発電設備より構造設計上の考慮事項が多くなる。また、解説 3 図に示す 1 軸追尾型より 2 軸追尾型のほうがアレイ面を回転させる機構がより複雑になるが、ここでは両者を対象としている。



解説 3 図 1 軸追尾型と 2 軸追尾型の例

アレイ面の姿勢の変化は、風圧荷重や積雪荷重を大きく変化させるため、アレイの支持物とトラッカーは、あらゆる姿勢において安定であることが要求される。風圧荷重に注目した場合、アレイ面を水平にすることによって設計荷重の低減を図ることができる。一方、積雪荷重に注目した場合には、アレイ面を鉛直に近づけることで積雪荷重を低減することができる。そのため、多くの追尾型太陽電池発電設備では風速や積雪量の計測システムを付加し、アレイ面の姿勢制御を行って支持物やトラッカーの設計荷重の低減を図っている。風荷重や積雪荷重を低減させる姿勢をここでは「退避姿勢」と定義した。

アレイ面の姿勢によって、風圧荷重や積雪荷重は大きく変化するため、本条第一号ではトラッカーでの可動範囲を明確にしたうえで、制御不能時においてもストッパーやリミットスイッチなどによってその範囲を超えることがないようにすることを要求してい

る。

第二号では、支持物及びトラッカーの設計荷重は解釈第2条に規定する荷重を基本としている。ただし、日本産業規格 JIS C 8955(2017)に示された風圧荷重及び積雪荷重はアレイ面に対して一様な荷重が与えられるが、アレイ面に作用する実際の荷重には偏りがあり、トラッカーや支持物の設計においては荷重の偏りによるモーメントの考慮が重要であるため、ここではアレイ面の荷重の偏りを考慮した設計を要求している。風圧荷重の偏りについては、風洞実験によって確認することを推奨する。積雪荷重の偏りについてはアレイ面の下端部での荷重（軒先荷重）を考慮する必要がある、軒先荷重については「地上設置型発電システムの設計ガイドライン 2019 年版」（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：2019）の技術資料が参考になる。

第三号では、トラッカーの可動範囲内で各種荷重（自重、地震荷重、風圧荷重、積雪荷重及び当該支持物の設置環境において想定される各種荷重）が最も大きくなる姿勢をそれぞれ想定し、それらの荷重が作用した場合においてトラッカー及び支持物が安定であることを要求している。通常、風圧荷重はアレイ面が鉛直に近くなるほど大きくなり、積雪荷重はアレイ面が水平に近くなるほど大きくなるが、アレイ面での荷重の偏りによるモーメントも考慮して決定する必要がある。このアレイ面のモーメントは、トラッカーだけでなく支持物にも伝達するので、架台や基礎が転倒することがないようにする必要がある。

第四号では、退避姿勢に移行するシステムを導入している場合の風圧荷重や積雪荷重の低減について示しており、避難姿勢での荷重を用いることを許している。また、避難姿勢に移行するまでの状態における風圧荷重及び積雪荷重は、避難姿勢に移行するときの風速（トリガー風速）及び積雪量（トリガー積雪量）の荷重まで低減できるとしている。ただし、風圧荷重の低減については IEC62817(2017)に倣ってトリガー風速の 1.1 倍の風速における荷重としている。

第五号では、トリガー風速及びトリガー積雪量の設定において、追尾時（退避姿勢に移行するまで）の荷重と退避姿勢での荷重の両方を考慮して設定することとしている。このトリガー風速やトリガー積雪量を高い値に設定すると、退避姿勢の荷重を超える場合があることに注意する必要がある。また、北日本の日本海側の地域においては積雪と強風が同時に発生する場合があるので、いずれか優先する退避条件を設定し、その条件下での退避姿勢における各荷重に対して支持物及びトラッカーが安定した状態を確保できるようにする必要がある。

第六号では、退避姿勢に移行するシステムを導入した場合の風速及び積雪量のセンサーは当該支持物の設置場所での風速及び積雪量を適切に計測できる位置に設置することを要求している。なお、風速や積雪量は周辺の地形や地物（樹木や建築物等）だけでなく当該発電設備自身の影響も受けるため、発電設備の設置環境によっては複数個所に設置することを検討する必要がある。

第七号では、追尾システム及び風速・積雪量の計測システムのフェールセーフを要求している。これらのシステムの動作不良が発生した場合には、発電設備の安全性が確保でき

ないことも想定されるため、動作不良の検知と復旧、予備電源の確保、退避姿勢への予備的な移行手段（手動制御など）を設計段階で計画し、実装しておく必要がある。また、これらのシステムは適切に維持管理され、確実に動作する状態を維持することが望ましい。風速・積雪量の計測システムについては、気象庁やメーカーなどの検定を受け、正しい計測値が得られることを定期的に確認することが重要である。

※⑧の挿入に伴い、現行の⑧及び⑨は⑨及び⑩に変更する。

2.2 ペロブスカイト太陽電池に関する調査

2.2.1 ペロブスカイト太陽電池発電設備における基本情報の調査

ペロブスカイト太陽電池については、商用化前の研究段階であることから、ペロブスカイト太陽電池に関する一般的な基本情報の調査を実施した。

(1) 研究開発の背景

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、太陽電池発電設備を含む再生可能エネルギーの主力電源化を目指し、最大限進めていく必要がある。

こうした中、平地の少ない日本においては、既に国土面積あたりの太陽光発電の導入量は主要国で 1 位⁵³の状況であるが、地域と共生しながら、安価に事業が実施できる太陽電池発電設備の適地が不足しているという点について、発電事業者等から懸念の声があがっており、適地の確保が導入拡大に向けた大きな課題の一つとなっている（図 2-2）。

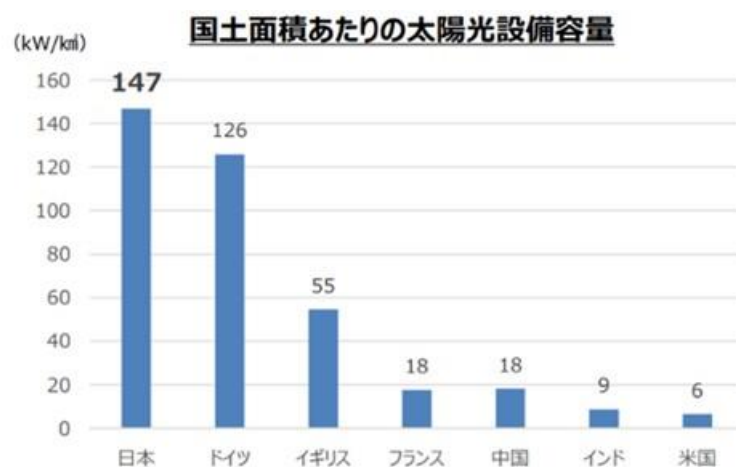


図 2-2 国土面積あたりの太陽光設備容量

出典：資源エネルギー庁 「次世代太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画案の概要

この課題を克服する手段の一つとして、既存技術では太陽電池発電設備を設置できなかった場所（屋根の耐荷重の小さい既存住宅や建築物、住宅や建築物の壁面等）にも導入を進めていくことが期待されているが、その実現には電池の軽量性や壁面等の曲面にも設置可能な柔軟性等を兼ね備え、変換効率や耐久性等の性能面でも既存電池に匹敵する次世代太陽電池の開発が不可欠である（写真 2-1）。

⁵³ https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/green_power/pdf/001_06_00.pdf

ビル壁面等に太陽光パネルを設置するイメージ



出典) 大成建設(株)

写真 2-1 ビル壁面等に太陽光パネルを設置するイメージ

出典：資源エネルギー庁 「次世代太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画案の概要

海外においても太陽光発電の導入を拡大する動きは急速に進んでおり、国際機関の報告によれば⁵⁴世界的に屋根設置型の設置が進むと想定されているところ、適地の確保に関して先行的に課題に直面する日本においては、次世代型太陽電池の開発により、今後拡大が見込まれる次世代型太陽光市場の獲得を目指している（図 2-3）。

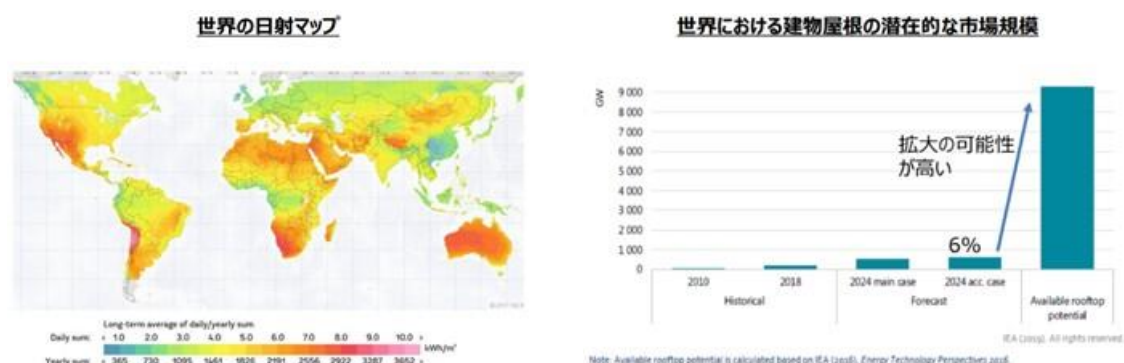


図 2-3 世界における次世代型太陽光発電の潜在的な市場規模

出典：資源エネルギー庁 「次世代太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画案の概要

資源エネルギー庁が公表している『グリーンイノベーション基金事業「次世代型太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画⁵⁵』によると、これまで様々な種類の太陽電池が開発され、大きくシリコン系、化合物系、有機系の3種類に分類されるが、現在普及している太陽電池の95%以上はシリコン系である。シリコン系以外の太陽電池の一部は、既に実用化されているものの、現状ではコストを含む性能面でシリコン系に対して競争力を持つ見込みが立っていない状況にある。

しかしながら、有機系の一つであるペロブスカイト太陽電池は、直近7年間で変換効率が約2

⁵⁴ https://iea.blob.core.windows.net/assets/a846e5cf-ca7d-4a1f-a81b-ba1499f2cc07/Renewables_2019.pdf

⁵⁵ https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/green_power/pdf/001_06_00.pdf

倍に向上（シリコン系の約 4 倍のスピード）するなど、飛躍的な成長を遂げており、シリコン系に対抗しうる太陽電池として有望視されている（図 2-4）。

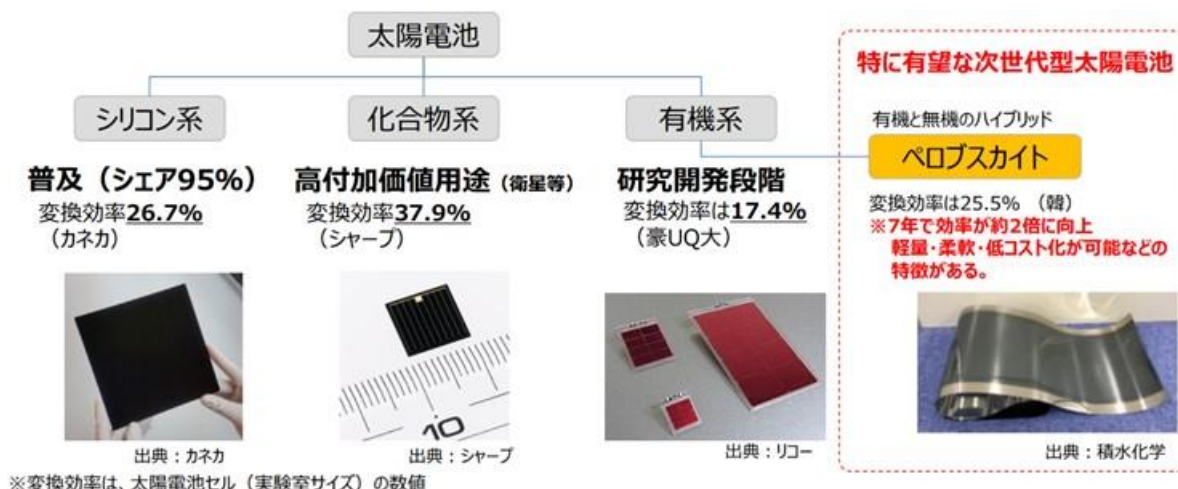


図 2-4 戦略的に開発すべき太陽電池の選定

出典：資源エネルギー庁 「次世代太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画案の概要

また、国立開発法人新エネルギー・産業技術総合研究所（以下「NEDO」という）が公表している太陽光発電開発戦略 2020 によると、太陽光発電が大量に導入されるよう経済性や多様性を高め、エネルギー供給量を増加させていくことを目標に技術開発を進めていく際に描く「導入形態・用途」については次のとおりとされている⁵⁶。

従来市場：地上設置、住宅屋根設置（一部、蓄電池との連携）

新市場：建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）、戸建て住宅（ZEH^{※1}（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）、LCCM^{※2}（ライフ・サイクル・カーボン・マイナス）等）、水上、農地、IoT 用途 等

※1 室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支がゼロとすることを目指した住宅。

※2 長寿命で且つ一層の CO₂ 削減を目標とし、住宅の建設時、運用（居住）時、廃棄までの一生のライフサイクルトータルで CO₂ の収支をマイナスにする住宅。

NEDO では 2020 年から 2024 年の期間で実施する「太陽光発電主力電源化推進技術開発」プロジェクトにおいて、太陽光発電を主力電源化とすべく発電コストの更なる低減等、有効な技術開発を推進していくとされている。さらにグローバル競争の中で、国内企業、国内産業が海外展開を含め競争を勝ち抜く力を持つことが重要であり、川下産業への展開だけでなく、高付加価値事業で戦える成長市場の創出と獲得も視野に建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）等の新市場への太陽光発電システムの技術開発を進める。

⁵⁶ <https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>

ペロブスカイト太陽電池は商用化前の研究段階であるが、その特性を考えれば、これまでの地上設置の発電事業や住宅設置以外の用途にも広がることが予想される。用途に合った発電能力や要求特性を満たすことができれば、新たな市場の創出も可能になる。

これまで太陽電池発電設備が設置されていなかった領域として、建物（壁面・窓）、重量制約のある屋根（工場・倉庫）、移動体（車載）の分野に太陽光発電設備の導入が始まっている。主な分野の状況及び NEDO における太陽光発電の技術開発戦略については次のとおりである。

建物（壁面・窓）：

業務部門のエネルギー消費の削減が世界的に重要な課題となっており、日本でも省エネルギー社会の実現が望まれている。第 5 次エネルギー基本計画では、業務・家庭部門における省エネルギー社会の実現としては、「非住宅建築物については、2020 年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030 年までに新築建築物の平均で ZEB（ゼロ・エネルギー・ビル：建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物）を実現することを目指す。」と示されている⁵⁷。これは、エネルギー収支ゼロを目指すには、省エネルギーだけではなく太陽光発電等の再生可能エネルギーによるエネルギー創出は不可欠であることを示唆している。

NEDO が「BIPV（建材一体型太陽光発電）に関する検討」（2016 年）で実施した試算によると、各種建築物を想定した太陽光を壁面等に設置した際のエネルギー供給について、屋上のみでは省エネルギー・創エネルギー合わせて 83.2%の削減であるが、壁面設置を加えると 96.4%の削減となることがわかっている⁵⁸。

壁面への太陽電池の導入については、建物の要求基準を満たす、意匠性・経済性・耐久性（建材と同程度）を可能とする太陽光発電システムを開発が必要である（写真 2-2）。意匠性にはデザイン性以外にも、従来のシリコン系太陽電池モジュール特有の反射光の眩しさを低減した防眩や色調（建造物と合わせやすいグレー等）も重要な要素となる。



写真 2-2 壁面設置の事例
(NEDO 開発プロジェクトイメージ)

出典：NEDO 「太陽電池太陽光発電開発戦略 2020」

⁵⁷ https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf

⁵⁸ <https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>

また、近年、ガラスを用いた開口部の広い建築物が多いため、窓には透過性と発電効率の両立を兼ね備えたモジュールを開発することで視認性、採光性等が損なわれずに発電が可能になる。

NEDO ではこれまでは太陽光パネルを建物壁面に後付で設置するために、屋内及び壁面への設置工法の低コスト化と、背面ガラス構造の開発や、反射光の眩しさを低減した太陽光パネル（防眩型結晶系太陽電池）の開発を行ってきた。現在は、太陽電池モジュールの建材一体化に向けて、意匠性・経済性・耐久性 の技術開発に取り組んでいる。

重量制約のある屋根（工場・倉庫屋根）：

世界各地で太陽光発電のコスト低減や ESG 投資、RE100 の拡大を背景として、企業敷地内に自家消費型太陽発電の設置が進むと想定される。また、図 2-3 で示したとおり、世界的にも屋根分野への太陽光発電設備の導入ポテンシャルは大きい。特に工場や倉庫の屋根への設置が進んでいるが、設置を行なった企業にヒアリングをしたところ、一般的な太陽電池モジュールの重量では、屋根の重量制約ため設置できず、屋根を補強していることが NEDO のヒアリングによりわかっている⁵⁹。フレキシブルな特性を持つ軽量フィルムモジュールは製品として存在するが、結晶シリコン太陽電池と比較して発電効率が低く、普及していない。

これら重量制約のある屋根への設置を可能とする超軽量モジュールを開発することで、これまで重量の関係で通常の太陽電池モジュールが設置出来なかった工場や倉庫、商業施設等の構造強度が弱い屋根への導入が可能になる（写真 2-3）。

ペロブスカイト系太陽電池は、フィルム状に製造が可能であり、屋根形状にあわせた設置といった太陽光発電の新たな用途開拓につながるが、更なる発電効率向上と屋外耐久性の向上が課題となる。

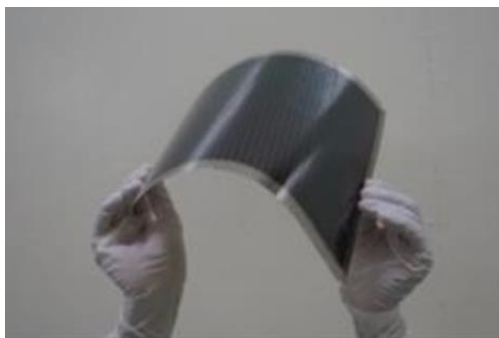


写真 2-3 工場屋根に載る軽量かつ曲面追従が可能な太陽電池の例
(NEDO 開発プロジェクトイメージ)

出典：NEDO 「太陽電池太陽光発電開発戦略 2020」

移動体（車載）：

運輸部門においては、今後、世界的に電気自動車の導入が加速的に進むと想定されている。自動車に搭載する太陽電池で発電する電力は、走行に使用でき燃料低減に貢献できる。また、次世代自動車の急速な増加により充電ステーションなど社会インフラの整備が追いつかない地域にお

⁵⁹ <https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>

いても貢献できる。

NEDO では、高効率太陽電池を EV 車に搭載することによる、航続可能距離、燃費、充電回数の検証を目的に、太陽光発電システムを搭載した自動車の公道走行実証を 2019 年 7 月下旬から開始しており⁶⁰（写真 2-4）、今後も車載搭載に向けて超高効率太陽電池開発に取り組んでいくとされている。超高効率太陽電池として、衛星用途に用いられているⅢ－Ⅴ系太陽電池は、モジュール効率 30%を超えているが、一般のシリコン太陽電池と比べると 2 桁程度の高コストである。このⅢ－Ⅴ系太陽電池を自動車に実装させるためには大幅なコスト低減が必要であるため、セルの薄膜化による原料の低減、安価な基板（樹脂、シリコン）への移載（ELO）、高価な GaAs 基板の再利用、発電層薄膜の高速成膜によるプロセスコスト低減等の低コストプロセス技術を開発する。また、量産効果と合わせて 2 桁以上のコスト低減が可能になることが期待される。



写真 2-4 太陽光発電システムを搭載した公道走行用実証車と搭載したモジュール

出典：NEDO 「太陽電池太陽光発電開発戦略 2020」

他の超高効率太陽電池として、例えば、シリコン系太陽電池とペロブスカイト太陽電池を組み合わせたタンデム型太陽電池があり、車載搭載高効率化のために、シリコン系太陽電池の軽量化やペロブスカイト太陽電池の高効率化といった技術課題の開発を進めていく。

また、このような超高効率太陽電池の技術開発を進めることで、高高度長時間滞空型無人機（UAV）への展開も可能になる。UAV は、インターネット サービス、環境監視、災害救援、通信・放送の中継基地となる空中通信プラットフォーム等、人工衛星の安価な代替手段として注目を集めており、5G 以降の更なる高速通信化に伴い、そのニーズはさらに高まると予想される。昼間に太陽光発電で飛行しながら、余った電力をバッテリーに蓄積し、夜間の飛行に用いることで、理論的には半永久的な飛行も可能となる。充電なしでの航続距離を少しでも伸ばすこと、モジュールを軽量化することにより、UAV の実用化は進むと考えられている。

営農：

太陽光発電設備の下で農業を行う形態であり、農水省による規制緩和等から、国内では営農型発電設備を設置するための農地転用許可件数が 2021 年末で 2,653 件となっている⁶¹。利点とし

⁶⁰ <https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>

⁶¹ <https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriyo/attach/pdf/einogata-49.pdf>

ては、現在では FIT 制度による売電収入が農家の副収入として収益がある。また、盛夏の時期に遮光率を調整し、高温による減産を防ぐ効果も期待されている。

営農型太陽光発電設備の課題としては、架台により農機具の搬入が困難となること、遮光による作物の収穫低下等が挙げられる。また、高い架台を設置するための風対策や下で作業するための電気安全対策が必要とされている。また、営農分野での導入は系統売電だけでなく、今後、農業の電動化に伴い、自家消費や植物工場の電源としても期待できる。

NEDO では、喫緊の課題と捉えていた営農の安全性について、営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2021 年版⁶²を策定し、2021 年 11 月 12 日に公表している。今後、各種設置形態への適用性をより向上させるため、現在実施中の各種実証実験結果などを反映し、今後、さらに本ガイドラインを改定する予定である。その後状況に応じて営農分野の技術開発を進めて行くとされている⁶³。

(2) 特徴及び課題

ペロブスカイト太陽電池とは、ペロブスカイト結晶構造を有する材料を発電層として用いた太陽電池の総称であり、結晶層に半導体機能を付与することで光エネルギーを電子とホールに分離できる（図 2-5）。この機能を太陽電池に適用させたペロブスカイト太陽電池は、2009 年 9 月桐蔭横浜大学の宮坂力教授らが発明した日本発のオリジナル技術である。

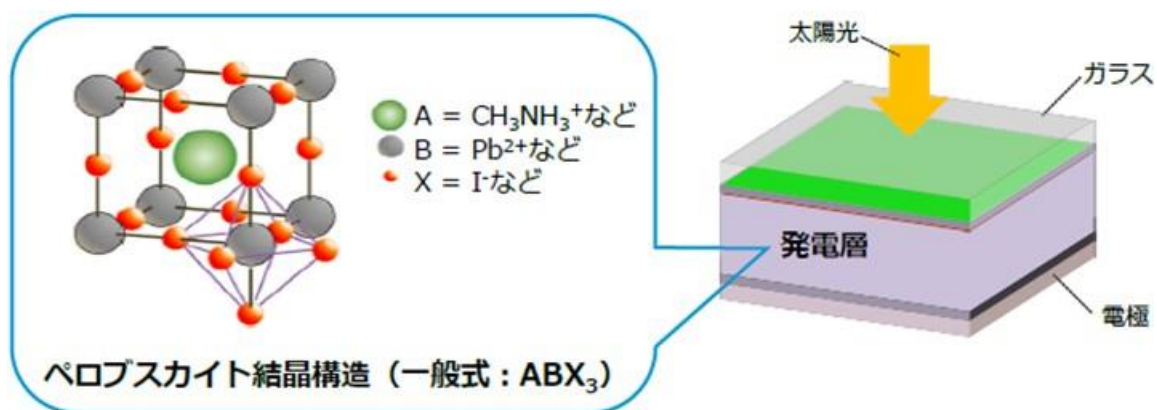


図 2-5 ペロブスカイト太陽電池の基本的な構造

出典：資源エネルギー庁 「次世代太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画案の概要

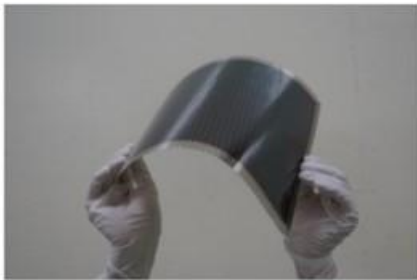
ペロブスカイト太陽電池は、分離した電子とホールが再結合して熱として再放出されることを防止するための電子移動層及びホール移動層と分離された電子とホールを電気エネルギーとして取り出す集電極から構成されており、既存の太陽電池に比べて次のような特徴を有している（図 2-6）。

⁶² <https://www.nedo.go.jp/content/100939011.pdf>

⁶³ <https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>

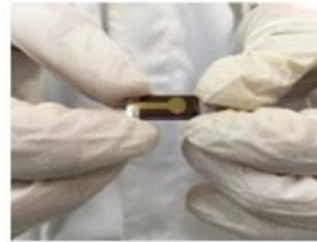
- 少ない製造工程で製造することが可能（製造コスト低減）になる。
※製造技術においても高度な塗布技術を持つ日本に優位性あり
- プラスチック等の軽量基板の利用が容易であり軽量性や柔軟性を確保しやすい。
- 主要な材料であるヨウ素の生産量は日本が世界シェア 30%を占めている。

軽量・柔軟なペロブスカイト太陽電池一例



出典) NEDO/ 東芝

ペロブスカイト太陽電池（実験室サイズ） の超小面積セルサイズの例



国内では、変換効率24.9%の達成が報告されている。
(シリコンの世界最高効率は26.7%)

※NEDO報告書より

図 2-6 ペロブスカイト太陽電池の例

出典：資源エネルギー庁 「次世代太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画案の概要

このような特徴を有することに加え、将来的にシリコン系、化合物系など異なる太陽電池と組み合わせる技術（タンデム化）の進展により、シリコン太陽電池を大きく越える性能の実現が期待されることなどから、高い競争力が期待されている。

他方、現状では、寿命が短い（耐久性が低い）、大面積化が困難、更なる変換効率向上などの課題がある。今後、製品レベルで既存の太陽電池を超える性能の実現やエンドユーザーのニーズに合わせた技術開発によってビル壁面（建材一体型太陽電池）などの新市場開拓を進めていくことが求められている。

(3) 海外における開発等の状況

ペロブスカイト太陽電池の研究開発は、海外においても活発化している。例えば、米国では、NREL 等の国の研究機関が中心となって官民共同で「米国先進ペロブスカイト製造コンソーシアム (US-MAP)」を設立し、基盤技術や製造技術、評価手法の開発等に取り組んでいる。また、欧州 (EU) においても、官民によるプラットフォームが設置され共同で基盤技術、製造技術の開発等を進めている（写真 2-5）。



出典：HZB/M. Setzpfandt



出典：Solliance

写真 2-5 欧州のペロブスカイト開発拠点の例

出典：資源エネルギー庁 「次世代太陽電池の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画案の概要

各国ともに、ペロブスカイト太陽電池をシリコン太陽電池に対抗しうるゲームチェンジャーと位置づけ、長期的には置き換えることも念頭に、官民を挙げ他国に先駆けて実用化を目指す動きが活発化している。

こうした中、日本においては、これまで大学や研究開発機関、民間企業を中心に研究が進められており、世界最高の変換効率を記録するモジュールのプロトタイプ製作に成功するなど、世界をリードし、現在もトップ集団に位置している。

一方で、世界でも官民を挙げた競争が激化する中で、引き続きこれまで培った技術力を活かして製品化・市場獲得を進めていくためには、日本においても支援体制をギアチェンジして取り組みを強化していくことが不可欠である。

(4) 国内における研究開発計画

資源エネルギー庁が実施しているグリーンイノベーション基金事業「次世代型太陽電池の開発」プロジェクト（以下「本プロジェクト」という）では、こうした現下の海外状況等を勘案し、さらには一般に太陽電池の実用化には次の大きく 3 つの開発行程が必要となることも踏まえ、フェーズを分けて事業を進めるとされている。

<3 つの開発行程>

- 実験室サイズでの効率向上
太陽電池セル（実験室サイズの小面積）の基礎的な性能を向上させる技術の開発
- 大型化・耐久性向
性能を維持しつつ、太陽電池モジュール（製品サイズ）への大型化や製造プロセス（塗布工程、電極形成、封止工程等）を含むモジュール化する技術の開発
- 実装・実用
耐久性等の屋内試験をクリアした上で、実際の屋外環境で性能の維持する技術の開発

フェーズごとに、想定される主な課題と実施する開発の例は次のとおりとされている。

＜想定される主な課題と開発例＞

- 実験室サイズでの変換効率向上：【研究開発内容①】
更なる変換効率の向上等を実現するための最適な材料組成の開発
長期に安定した性能を維持する耐久性の確立に必要な結晶構造等に関する要素技術開発
電池性能等を適切に評価するための技術的な手法の確立
- 大型化・耐久性向上：【研究開発内容②】
性能を維持しつつ、製品サイズへの大型化及びモジュール化するために必要な材料塗布
や溶剤の封止技術の開発
開発した上記技術を活用した製造プロセスを実現するための要素技術開発
- 実装・実用化：【研究開発内容③】
建材としての意匠性の向上や効率的な施工方法などを考慮した建材一体化モジュールの
開発など、ユーザー企業等の用途を考慮した仕様に合わせた調整・開発
量産化に当たっての品質維持・低コスト化に必要な技術の開発

本プロジェクトでは 2030 年度までに現地時点における従来型シリコン太陽電池と同等の発電コストの達成を目標に研究開発及び社会実装に向けた支援を行うとされており、本プロジェクトの一環で国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構が採択した 6 プロジェクトに参画する企業や研究機関は次のとおりとされている⁶⁴。

＜「グリーンイノベーション基金事業／次世代型太陽電池の開発」実施予定先＞

- 超軽量太陽電池 R2R 製造技術開発
積水化学工業株式会社 国立大学法人東京大学、学校法人立命館立命館大学
- フィルム型ペロブスカイト太陽電池実用化技術
株式会社東芝 国立大学法人東京大学 学校法人立命館立命館大学
- 設置自由度の高いペロブスカイト太陽電池の社会実装
株式会社エネコートテクノロジーズ 国立大学法人京都大学
- 高効率・高耐久モジュールの実用化技術開発
株式会社アイシン 国立大学法人東京大学
- 高性能ペロブスカイト太陽電池技術開発
株式会社カネカ

⁶⁴ <https://www.nedo.go.jp/content/100940817.pdf>

- 次世代型ペロブスカイト太陽電池の実用化に資する共通基盤技術開発
国立研究開発法人産業技術総合研究所

2.2.2 ヒアリング結果

ペロブスカイト太陽電池について、有識者へのヒアリングを行い、ペロブスカイト太陽電池による将来的な設置形態や活用事例の検討を行った。有識者は、ペロブスカイト太陽電池に関する研究機関やメーカーを中心に 5 名を選出した。ヒアリングを通して有識者から出された主な意見の概要について、次のとおりまとめた（表 2-9）。

表 2-9 ヒアリング結果のまとめ

特徴について
・ ペロブスカイト太陽電池は超薄膜であるため材料コストが安く、製造工法が塗布であるため製造コストも低く、軽量化やフレキシブル化が容易である。 ・ 印刷、塗布、ロール to ロール等による製造によって、大面積化が容易である。 ・ 既存のガソリン乗用車 1 台に用いられる鉛蓄電池 1 個分の鉛を用いることで、ペロブスカイト太陽電池約 1ha 分の製造が可能である。 ・ 主要な材料であるヨウ素は日本が世界生産量 2 位でシェアは 3 割ある。 ・ ペロブスカイト太陽電池は、ある溶媒に綺麗に溶けることから、基盤金属、ガラス、溶媒に溶けたペロブスカイトに容易に分離できるため、廃棄コストが低く済む。 ・ 現状、小面積セルベースでは、ペロブスカイト太陽電池の変換効率は既存の太陽電池と比較しても同程度である。 ・ ペロブスカイト層は単結晶ではなく、小さな結晶で構成されている。 ・ 結晶シリコンより衝撃に強いので薄膜化できる。 ・ 既存の結晶シリコンとは異なる新しいサプライチェーンとプレイヤーを見込んでいる。 ・ 研究レベルでは現状 20%以上の実用効率を達成できている。 ・ 現在は素材、化学、印刷、装置機械、建設、IoT 業界との関連がある。 ・ ペロブスカイトの特徴としては、軽量、フレキシブルで製造工程が少ないため、今後コストが下がることが期待できる。 ・ タンデム型太陽電池の発電効率は非常に高いため、組み合わせることで発電効率をより高くすることができると思う。
課題について
・ ペロブスカイト太陽電池は、ロール to ロールによる製造によって、大面積化は容易であるが、この方法によって製造する場合は、一部でも欠陥箇所が生じるとロール材全てが欠陥となることが課題である。高度な技術開発が必要になる。

- ・ ペロブスカイト太陽電池は発電効率を考慮しなければ既に高い耐久性（20 年以上）のものがあるがその場合は効率が低下するのが現状であり、耐久性と高効率化の両立が課題であるが、これらの課題に対する研究が現在進められており、今後解決できると考えている。
- ・ 技術開発においては、鉛の有害性についても理解し、対応を決めるべきである。例えば欧州では、RoHS 指令、WEEE 指令によって、特定有害物質の使用制限や廃棄規制を求めている。ただ、可溶性であるペロブスカイトは分離が容易であるため、基本的にはこうした規制もクリアできるため、問題ないと認識している。
- ・ ペロブスカイト太陽電池を商用化するためには、20%以上の変換効率が必要である。
- ・ 大面積のペロブスカイト太陽電池は、発電ムラ（発電量が他の箇所と異なること）が生じるため、高効率化に向けてはこのムラを解消することが課題である。
- ・ ペロブスカイト on シリコンについては、耐久性の面で課題がある。シリコンは一般的に 30 年の耐久性があるが、ペロブスカイトは現状では 10 年程度である。ペロブスカイトの経年劣化による貼り替え方法や、ペロブスカイトの長寿命化をどのように行うのかといった課題がある。現状、張り替えコストも加味するとトータルコストがシリコンの 3 分の 1 程度にならないと導入メリットが無い。
- ・ アモルファス CIS もシート型であるため、これを参考にしながらペロブスカイトをどこに活用するのかを考えることは重要である。
- ・ 課題は、高耐久化、高効率化、低コスト化であるが、高耐久化が最重要である。
- ・ 材料は有機アミン、鉛、ハロゲン（元素）などで結晶はイオンでできるため、水に弱い。
- ・ ポリマーのフィルムはどうしても水を通してしまうため、今後水分をブロックする表面処理、材料開発等が必要である。
- ・ 光照射により有機材料が酸化されてしまうことも弱点のため、酸化を抑制する材料等（抗酸化材料など）の開発が必要である。
- ・ 耐用年数は 20 年相当の耐久性を目指している。
- ・ 材料も時代によって変遷してきており、発電効率はこれまでのスピンコート方式では高効率化は可能だが、コスト面で量産化できないため、ペロブスカイトを連続成膜する手法の開発（ロール to ロールでの大量生産など）が重要である。
- ・ 屋外に設置される設備が台風などで壊れた場合、鉛の漏洩は懸念されるが、デバイス側での対策が必要と考えている。鉛の漏洩は通常使用で回収される分は問題ないと思う。
- ・ ペロブスカイトだから壊れやすいということはないが、フィルム形状になった場合は壊れやすいかはわからない。ガラスは割れやすいがポリマー素材は割れにくく、靱性のようなものはあると思う。
- ・ 電氣的に火災についてはポリマーフィルムを使う時点で、シリコンの場合のバックシートが焦げるような可能性はあると思う。
- ・ 熱（直射日光）に関してはシリコンと比べると弱いと思う。85 度程度の熱だけだと

問題ないと思うが屋外使用の場合は封止の能力は落ちることが懸念される。

- ・ 熱により封止部分とペロブスカイト層の膨張係数に差がある場合は水分が入ってしまう可能性もある。ペロブスカイト層自体は何度も過熱するため、熱には問題ないと思う。
- ・ シート状のため、曲げなどによる繰り返し疲労による影響も今後の課題である。軽量化のため薄くすると歪がかかる点に注意が必要である。
- ・ 輸送時の破損については今後実用化してから検証が必要である。実際の納品の仕方によりリスクは異なる。
- ・ ペロブスカイトの発電層自体は非常に薄いため、バックシートとフロントシートをどうするかによってペロブスカイト太陽電池としての性質やコストが変わってくる。
- ・ 耐久性を上げるためにはバックシートとフロントシートがネックとなるが、耐久性とコストは比例する。
- ・ バックシートとフロントシートをガラスにしまい、フレキシブルでなくなるとシリコン型太陽電池と同じになってしまう。
- ・ ペロブスカイトは今後如何に低コストで耐久性を上げるかが重要な課題である。
- ・ 有機系の材料を使用した太陽電池で、まだ実用化はしていない。
- ・ 色素増感タイプは、ペロブスカイトよりも前にアモルファスシリコンの研究が進んでいるが、充電用ではなく電卓等の小型デバイスで実用化されている。
- ・ 材料の優位性が国内にあると言われているが、その一つであるヨウ素の採取が日本とチリに多くあるだけで、他の材料についても考慮する必要がある（ヨウ素だけではない）。

技術開発動向について

- ・ EV へ搭載できる太陽電池はせいぜい 2kW 程度と少ない。レンジエクステンダーの役割として、搭載しない場合よりも走行距離を増加させることに活用することは良い。
- ・ 営農型太陽電池発電施設においては、シリコン系と比較して軽量のペロブスカイト太陽電池であれば、利便性や安全性が高くなると考えられる。
- ・ ドローンへの搭載も軽量であるため有効であると考えられる。
- ・ 耐久性の低い理由が、メチルアンモニウムを含有することにもある（熱や光で気化しやすい物質）。これを含有しない方法で、耐久性を上げる取組も行われている。
- ・ 中国では、民間企業が主体となった投資もあって開発が加速しており、商用化間近である（ただし性能や耐久性は不明）。
- ・ CIGS（銅・インジウム・ガリウム・セレン）化合物の上にペロブスカイト材料を塗布したタンデム電池は、シリコンの上に塗布する場合よりも変換効率を高くできる可能性がありフレキシブル化も可能なため、商用化が期待されている。
- ・ 耐久化や関連材料の研究などメーカー・研究機関で取り組んでいる。

その他（問題、課題など）について

- ・ 水上設置は避けるべき。万一の際、鉛の流出が懸念される。
- ・ 薄膜で光透過性のあるペロブスカイトは窓ガラスへの応用も考えられる。ただし、窓へ設置する場合は、内側に貼付けなど注意が必要。とくにガラスへの貼付けは発熱や熱膨張率の違いに注意すべき。
- ・ 壁への設置も有効だが、耐火防火性能など建築基準法への対応が課題である。
- ・ フレキシブルな特徴を持つペロブスカイト素材がどういった場所で適用されるのかによっても要件が異なる。例えば、建築基準法に則り、建物の屋根、建材に使用した場合は耐火性能が基準を満たすかの確認が必要となる。
- ・ 電気安全の観点からは、従来の太陽電池と異なり、フレームの無い構造であるため、ケーブルの取り回しどうするかが重要である。例えば屋根へ貼り付けたペロブスカイト太陽電池は、破れることですぐ地絡が発生すると考えている。今後どのような場面で活用され、普及していくのかを見ながらの対応になると考えている。
- ・ ペロブスカイトは半透明（シースルー）加工ができるため、様々な活用が期待できる。⇒営農型での活用は想定できる。
- ・ フレキシブルなので、降電試験等において新しい要件が必要になると思われる。
- ・ 軽量で耐荷重の低い屋根に設置できるため、学校の体育館などにも設置できる。
- ・ 学校の体育館は避難場所にもなり、災害時のレジリエンスにもなる。
- ・ ビル壁面への設置は外壁にはめ込む工法は耐久性が低いと不向きである。
- ・ 窓の内側から貼るのは有望である。内側なら室内から交換も可能。
- ・ 今後電気自動車が増え、充電のためソーラーカーポートへの設置も有望。
- ・ タンデム型技術を応用することで発電効率を高めることが可能。
- ・ 農業ハウス屋根、車への搭載も考えられる。
- ・ ペロブスカイトの国内商用事例はまだないと認識している。
- ・ ペロブスカイトは軽量で強風の影響を受けやすいため、設置には注意が必要である。
- ・ 既存のシリコン系太陽光発電施設のリプレースの際、高効率のペロブスカイトが実用化していて安価に導入できるようになっていれば、発電効率が大きく上がることで同じ設置面積でも発電量を上積みできる可能性があるため、再エネ導入目標への貢献が期待できると考える。

ペロブスカイト太陽電池は、その軽量でフレキシブルな形状対応が可能な特長を生かし、耐荷重性の低い住宅や建築物の屋根・側壁・窓、農業用ハウス、車両、鉄道などのインフラ設備への適用など、従来の結晶系シリコン太陽電池では設置できなかった場所に用いることが期待されている結果となった。「2.2.1 ペロブスカイト太陽電池発電設備における基本情報の調査」及び本節を踏まえ、ペロブスカイト太陽電池の主に想定される用途や設置形態について具体的な例を次のとおりまとめた（表 2-10）。

表 2-10 想定される設置形態の例

主な用途	主な設置形態
ZEH、ZEB ^{※1} 向け PV	①窓やビル壁面等（屋根ふき材・外壁材一体型）
	②屋根置き（耐荷重が小さい）、屋上設置
農業向け PV	③営農型（地上設置）
	④農業用温室等（耐荷重が小さい、いわゆる農業用ハウス等）
IoT ^{※2} 向け PV	⑤スマートフォン等（IoT 機器類への組み込み）
車両・移動体向け PV	⑥車載、ドローン、航空機、船舶、鉄道車両等

※1 net Zero Energy House、net Zero Energy Building の略

※2 Internet of Things の略

また、一部の設置形態に関して技術基準に関する課題や懸念に関する意見があったが、研究開発段階であることから、想定される設置形態からは除外せず、検討を進めることとした。

2.2.3 検討結果の整理

ペロブスカイト太陽電池の主に想定される設置形態に関して太技省令及び太技解釈への落とし込み方について検討及び整理を行った。

（1）省令及び解釈への落とし込み方の検討

① 窓やビル壁面等（屋根ふき材・外壁材一体型）

建築基準法で規制される建築物については、建築基準法第 2 条第 1 項第 1 号で次のように定義されている。

土地に定着する工作物のうち、屋根及び柱若しくは壁を有するもの（これに類する構造のものを含む。）、これに附属する門若しくは塀、観覧のための工作物又は地下若しくは高架の工作物内に設ける事務所、店舗、興行場、倉庫その他これらに類する施設（鉄道及び軌道の線路敷地内の運転保安に関する施設並びに跨線橋、プラットフォームの上家、貯蔵槽その他これらに類する施設を除く。）をいい、建築設備を含むものとする。

建材一体型の太陽電池については、屋根ふき材や外壁材の一部であり、建築基準法施行令第 39 条で規定されている構造方法に適合する必要がある。また、建築基準法施行令第 82 条の 4 に示されている構造計算によって風圧に対して構造耐力上安全であることを確かめなければならない。

② 屋根置き（耐荷重が小さい）、屋上設置

建築設備については、建築基準法第 2 条第 3 号で次のように定義されている。

建築物に設ける電気、ガス、給水、排水、換気、暖房、冷房、消火、排煙若しくは汚物処理の設備又は煙突、昇降機若しくは避雷針をいう。

建築物の屋上に当該建築物に電気を供給するために設置する太陽電池発電設備については、建築基準法第 2 条第 3 号で定義される建築設備に該当する。

したがって、建築物に設置される太陽電池発電設備は建築基準法施行令第 129 条の 2 の 3 で規定される建築設備の構造強度に適合する必要がある。【国住指第 1152 号／平成 24 年 7 月 4 日】

③ 営農型（地上設置）

営農型太陽電池発電設備とは、農地に支柱を立てて上部空間に太陽電池発電設備を設置し、太陽光を農業生産と発電の双方で共有する取組である⁶⁵。

写真 2-6 の設置例のように農地に支柱を立てて設置する太陽電池発電設備（当該支柱について、農地法第 4 条第 1 項又は第 5 条第 1 項の許可（市街化区域内にある農地にあつては農業委員会への届出）を受けたものに限る。）のうち、次に該当するものは建築基準法で規制する建築物（建築基準法第 2 条第 1 号）には該当しないとされている。【国住指第 3762 号／平成 26 年 1 月 28 日】

1. 特定の者が使用する営農を継続する農地に設けるものであること。
2. 支柱及び太陽光発電設備からなる空間には壁を設けず、かつ、太陽光発電設備のパネルの角度、間隔等からみて農作物の生育に適した日照量を保つための設計となっていること。

⁶⁵ 農林水産省 HP（営農型発電設備について）<https://www.maff.go.jp/index.html>



写真 2-6 営農型太陽電池発電設備の設置例

出典：農林水産省『2021 年度版 営農型太陽光発電取組支援ガイドブック』

また、太陽光発電設備（電気事業法第 2 条第 1 項第 18 号に規定する電気工作物であるものに限る）については、他の法令の規定による規制と同等の規制を受けるものとして国土交通大臣が指定するもの（建築基準法施行令第 138 条第 1 項）に含まれており、建築基準法の規制の対象となる工作物（建築基準法第 2 条第 1 号）から除外されている。【国土交通省告示第 1002 号／平成 23 年 9 月 30 日】

したがって電気事業法第 2 条第 1 項第 18 号及び太技省令（経済産業省令第 29 号）で規定する電気工作物を土地に自立して設置する場合は、現行の太技省令及び太技解釈等の構造関連規定を満たす必要がある。

④ 農業用温室等

農林水産省が公表している資料によると一般的に、温室の被覆資材が取り外し容易なビニール等の場合は建築物ではなく、ガラスの場合は建築物であると判断する建築主事が多いが、建築主事によっては、ビニール等の場合であっても軒高や面積が大きい場合は建築物と、ガラスの場合であっても建築物ではないと判断する場合があるとされている⁶⁶。

一例として兵庫県が公表している資料によると、次の全てに該当するものは建築物とみなさないことができるとされている⁶⁷。

- 1.建設敷地が農地（農地法第 2 条第 1 項）であること。
- 2.建設敷地は、温室内外を含めて農業生産物の栽培以外に供さないこと。
- 3.建設敷地は、温室内外を含めて形質の変更を行わないこと。（農地にあたらないもの）
- 4.ビニール、ガラス、強化ポリエステル等の温室で、主に太陽光を利用するものであること。

したがって、農業用温室等が建築基準法第 2 条第 1 項第 1 号で規定される建築物に該当するかどうかについて、当該地域の建築主事の判断に沿ったうえで、建築物に該当する場合は、建築基準法令における構造関連規定に適合する必要がある。農業用温室等が建築物に該当しない場合は、

⁶⁶ https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/pdf/jyousei_all.pdf

⁶⁷ <https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks29/documents/01toriatukai.pdf>

電気事業法第2条第1項第18号及び太技省令（経済産業省令第29条）で規定する電気工作物として現行の太技省令及び太技解釈等の構造関連規定を満たす必要がある。

⑤ スマートフォン等（IoT 機器類への組み込み）

電気事業法で規制を受ける電気工作物については、電気事業法第2条第18号で次のように規定されている。

発電、変電、送電若しくは配電又は電気の使用のために設置する機械、器具、ダム、水路、貯水池、電線路その他の工作物（船舶、車両又は航空機に設置されるものその他の政令で定めるものを除く。）をいう。

なお、IoT 機器類に組み込まれたものについては、電気事業法第2条第18号及び太技省令（経済産業省令第29条）で定義される電気工作物に当たらないため、電気事業法令の適用範囲外である。

一方で、スマートフォンへ組み込んだ場合であれば電気通信事業法令や電波法令⁶⁸など、各製品の安全に関連する法令で規定される技術基準を満たす必要がある。

⑥ 車載、ドローン、航空機、船舶、鉄道車両等

車載、ドローン、航空機、船舶、鉄道車両等については、電気事業法第2条第18号及び太技省令（経済産業省令第29条）で定義される電気工作物に当たらないため、電気事業法令の適用範囲外である。車載であれば道路運送車両法令⁶⁹など、各輸送の安全に関連する法令で規定される技術基準を満たす必要がある。

（2）検討結果の整理

以上の検討結果を踏まえ、ペロブスカイト太陽電池について将来的に想定される設置形態ごとに太技省令及び太技解釈への落とし込み方を整理した（表 2-11）。

表 2-11 検討結果の整理

主な用途	主な設置形態	電事法令	建基法令
ZEH、ZEB 向け PV	①窓やビル壁面等（屋根ふき材・外壁材一体型）	—	○
	②屋根置き（耐荷重が小さい）、屋上設置	—	○

⁶⁸ https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/pdf/kijyun_m.pdf

⁶⁹ <https://www.mlit.go.jp/common/001260130.pdf>

農業向け PV	③地上設置（営農型）	○	—
	④農業用温室等（耐荷重が小さい）	○※3	○※3
IoT 向け PV	⑤スマートフォン等（IoT 機器類への組み込み）	—	—
車両・移動体向け PV	⑥車載、ドローン、航空機、船舶、鉄道車両等	—	—

※3 農業用温室等が建築基準法第 2 条第 1 項第 1 号で規定される建築物に該当するか否かについて、建築主事を置く都道府県及び市町村の判断に沿う必要がある。

3 太陽電池発電設備の不適切設置事例の類型化及び現地調査

3.1 太陽電池発電設備の不適切事例の類型化

2012年7月に施行された再生可能エネルギーの固定買取制度（FIT 制度）を背景に太陽電池発電設備が大量導入され、10kW以上の設備の導入量は2021年9月の時点で60万件を超えている。そのうち地上設置型の小出力発電設備（10～50kW）の導入件数は95%を占めており（図 3-1）、技術基準の適合性が疑われる設備も少なからず見受けられる。そのため、本事業（エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査）において、2019年度から小出力太陽光発電所を中心に現地調査を実施しており、本年度で計10件の調査結果が得られた。これらの調査した物件においては太陽電池発電設備として構造・土木の観点から不適切な事項が見受けられたため、ここでは不適切設置事例について類型化を行った。

類型化の主な目的としては、発電所の所有者等に自主的な改善を促すための情報をまとめることにあるが、今後の現地調査において着目すべき要点を整理することについても試みた。なお、類型化の検討において使用した2021年度までのデータについては本事業の過去の報告書に基づき、2022年度のデータについては本年度において新たに実施した現地調査結果に基づいている。本年度の立入検査結果の詳細は後述の3.2節に示している。



図 3-1 太陽光発電の導入状況（2021 年 9 月時点）

出典：資源エネルギー庁の固定価格買取制度情報公表用ウェブサイトのデータから作成

3.1.1 不適切事例におけるデータ整理

不適切事例の判断基準としては、当該発電所が建設された当時の電気設備の技術基準（以下、「電技」という。）及びその解釈（以下、「電技解釈」という。）に基づくことが原則となるが、建設された時期によって判断基準が異なると類型化することが困難となるため、ここでは現行の太技省令に基づくこととした。

類型化にあたり太陽電池発電設備の概要として以下の項目ごとに分類して整理した。また、不適切事項をより理解するために、整理表には当該発電設備の写真も添付した。

- a) 発電所の所在地
- b) 発電出力
- c) 太陽電池発電設備の形式（地上設置型、追尾型など）
- d) 架台構造
- e) 基礎形式
- f) 不適切事項

対象とした発電所の概要は次のとおりである。

発電所①：

- a) 所在地 : 近畿地方
- b) 発電規模 : 高圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 地上設置型
- d) 架台形式 : なし（コンクリート基礎に直結）
- e) 基礎形式 : 直接基礎（独立基礎）
- f) 不適切事項
 - ・設計荷重の計算誤り（風圧荷重）。
 - ・基礎の重量不足（安定計算の不備）。
 - ・モジュール取付金具の固定位置の不備。
 - ・モジュール取付金具と基礎が緊結されていないため、ずれが生じている。

発電所②：

- a) 所在地 : 近畿地方
- b) 発電規模 : 低圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 地上設置型
- d) 架台形式 : なし（コンクリート基礎に直結）
- e) 基礎形式 : 直接基礎（独立基礎）
- f) 不適切事項
 - ・設計荷重の計算誤り（風圧荷重）。
 - ・基礎の重量不足（安定計算の不備）。
 - ・モジュール取付金具の固定位置の不備。
 - ・モジュール取付金具と基礎が緊結されていない。

- ・モジュール固定金具のズレ・外れ。

発電所③：

- a) 所在地 : 近畿地方
- b) 発電規模 : 低圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 地上設置型
- d) 架台形式 : なし（コンクリート基礎に直結）
- e) 基礎形式 : 直接基礎（独立基礎）
- f) 不適切事項
 - ・設計荷重の計算誤り（風圧荷重）。
 - ・基礎の重量不足（安定計算の不備）。
 - ・モジュール取付金具の固定位置の不備。
 - ・モジュール取付金具と基礎が緊結されていないため、ずれが生じている。

発電所④：

- a) 所在地 : 四国地方
- b) 発電規模 : 低圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 追尾型
- d) 架台形式 : 鋼製架台
- e) 基礎形式 : 直接基礎（べた基礎）
- f) 不適切事項
 - ・設計荷重の算出根拠不明。
 - ・支持物の高さが 9 m を超えている。
 - ・設計荷重が不明であるため、各部材の強度が確保できているか不明。
 - ・姿勢制御用アクチュエーターの能力が不明。
 - ・モジュール固定金具の安全性検討不足。
 - ・追尾システムが動作していない。

発電所⑤：

- a) 所在地 : 甲信地方
- b) 発電規模 : 低圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 地上設置型
- d) 架台形式 : 単管架台
- e) 基礎形式 : 杭基礎（スクリュー杭）
- f) 不適切事項
 - ・設計図書が整備されていない。
 - ・南北方向及び東西方向が安定構造でない。
 - ・緊結金具(クランプ等)で接合されており、部材間の荷重を伝達できるか不明
 - ・杭基礎の鉛直方向、水平方向の抵抗力が確認できない。

発電所⑥：

- a) 所在地 : 甲信地方
- b) 発電規模 : 低圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 地上設置型
- d) 架台形式 : 単管架台
- e) 基礎形式 : 直接基礎（独立基礎）
- f) 不適切事項
 - ・設計図書が整備されていない。
 - ・南北方向及び東西方向が安定構造でない。
 - ・緊結金具(クランプ)で接合されており、部材間の荷重を伝達できるか不明
 - ・接結金具が腐食している。
 - ・直接基礎（独立基礎）の重量が不足している懸念がある。

発電所⑦：

- a) 所在地 : 中国地方
- b) 発電出力 : 高圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 地上設置型（傾斜地）
- d) 架台形式 : 単管架台
- e) 基礎形式 : 杭基礎（鋼管杭）
- f) 不適切事項
 - ・構造解析の架構モデルに不備があるため構造安定性及び各部材の強度が確保できているか不明
 - ・設計荷重が適切に計算されていない。また周辺状況についても考慮できていない。
 - ・使用している単管の板厚が 1.8 mm であるため、使用材料として適切であるか不明（強度面）
 - ・押さえ金具、U 字型ボルトで腐食が確認できた。
 - ・緊結金具(クランプ) 及び単管ジョイントで接合されており、部材間の荷重を伝達できるか不明
 - ・杭基礎の引抜抵抗力が不足している懸念がある。

発電所⑧：

- a) 所在地 : 近畿地方
- b) 発電規模 : 高圧
- c) 太陽電池発電設備の形式 : 追尾型
- d) 架台形式 : 鋼製架台
- e) 基礎形式 : 直接基礎（べた基礎）
- f) 不適切事項
 - ・設計図書が整備されていない。

- ・東西方向フレームが不安定構造の懸念がある。
- ・杭基礎の浮上がり方向および水平方向への抵抗力不足の懸念。
- ・モジュール押さえ金具に緩みがある。

3.1.2 類型化の素案作成

前項に示した発電所の概要及び設計図書確認や現地調査結果での不適切事項の要点を一覧表にまとめ、整理した。不適切事項については、その内容が電技解釈や太技省令のいずれの条項に当てはまるかについて整理するとともに、それらの各事項の危険度や改善難易度についての評価、及び設計、施工、保守のいずれの段階での問題であるかの類型化を行った。なお、危険度や改善難易度については、現地調査の担当が高・中・低の3つのレベルで評価した。

図 3-2 は、設計、施工、保守の各段階における不適切事項の指摘の有無に関するデータについて整理した結果である。なお、指摘事項の有無については、「○：指摘なし」、「△：軽微な指摘あり」、「×：指摘あり」の3つのレベルで類型化している。現時点では現地調査結果としては十分なサンプル数ではないが、この結果からは、設計段階での不適切事項が非常に多く、施工、保守の段階に進むにつれ、不適切事項が減少する傾向にあることが分かる。

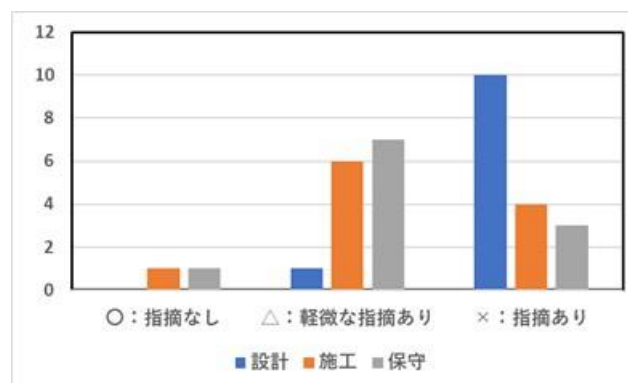


図 3-2 設計・施工・保守の各段階における指摘事項

図 3-3 は、設備の危険度と改修難易度の関係についてのマトリックス図のイメージである。現時点では調査件数が少なく、危険度や改修難易度の重みづけに関する整理が十分でないため、調査した物件についての同図への落とし込みは行っていないが、調査サンプルの増加に伴い危険度や改修難易度の点数化ができれば、物件ごとの位置づけが明確になり改善の緊急度の評価が可能となると推測される。

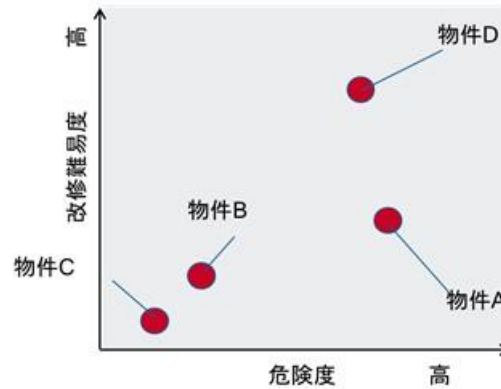


図 3-3 設備の危険度と改修難易度の関係（イメージ）

3.1.3 ヒアリング結果

前項にて整理した不適切事項に関する資料（図 3-2、図 3-3）に基づき、類型化の方法について有識者アリングを実施した。有識者は太陽電池発電設備の構造設計や事故調査に関する 3 名の専門家とした。ヒアリングの結果、類型化の方針についてはおおむね同意された。ヒアリングにおいて有識者から出された主な意見は次のとおりである（表 3-1）。

表 3-1 ヒアリング結果のまとめ

類型化について
- マトリックス図での危険度や改善難易度の点数化については、住宅の耐震診断での危険性を評価する際の採点方法が参考になるかもしれない。 - 類型化の視点として、部材（架台、基礎、パネル、電気設備など）ごとの評価を加えてみてもよいと思う。 - 調査の結果、全ての項目で「問題なし」となるような事例も不適切設置事例との対比の意味で類型化には必要だと思う。 - 事故報告 WG で出てくる資料のような情報が蓄積としてあると良いと思う。 - 電気設備の事故情報公開システム（NITE）との連携が図れると、より有効な資料になると思う。

3.1.4 検討結果（類型化整理表）

ヒアリングの結果、類型化の方針については概ね同意された。整理した太陽電池発電設備の不適切事項の一覧については、今後の調査結果を追加することで、発電事業者や現地調査担当者にとって有用な資料になると考えられる。整理した一覧表中の写真については、不適切事項の理解には重要な情報であると推測されるが、当該発電所の特定につながらないこと、発電事業者への許可などの問題も含まれるため、一般公開する場合には慎重に判断する必要がある。一方、現地調査（立入検査）等の実施する特定の権限を有する担当者においては、過去の事例を理解するうえで詳細な情報が必要であるため、同表における写真の添付は有効であると考えられる。

設計・施工・保守の各段階における指摘事項（図 3-2）については、今後の調査件数の増加に伴って傾向が明確になるとともに、可能であれば部材別（架台、基礎、パネル、電気設備など）に分類できる可能性がある。

設備の危険度と改修難易度の関係性（図 3-3）については、調査結果が一定数集まった時点で危険度や改修難易度の点数化について検討し適切な設定が可能になれば、図 3-4 に示すような改善の必要性や緊急度などの位置づけを明確化できることも考えられる。

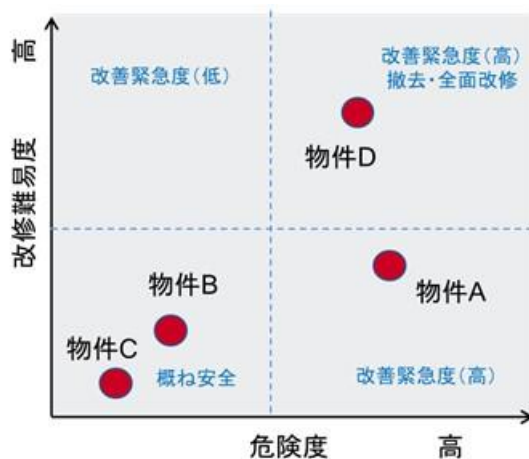


図 3-4 設備の危険度と改修難易度の関係と改善緊急度の評価

3.2 現地調査

太陽電池発電設備については、昨年度事業において、設計・施工・維持管理に不備がある現状が散見され、公衆安全を脅かす設置状況が確認されている。そのため、本年度事業においても 2 件の太陽電池発電所を対象として、太陽電池発電設備の支持物の現地調査を行い、太技省令への適合性について確認した。なお、発電設備の施設時期（着工日、更新工事着工日、工事計画届提出日）によって適用する省令、電技解釈が異なるので、本報告では施設時期、各発電所の運転開始日などを参考に省令、当時の電技解釈を参照することとした。

3.2.1 現地調査の結果

調査対象の太陽電池発電設備は表 3-2 に示す。調査は経済産業省職員の立会いのもと実施され、昨年度事業でも用いた表 3-3 に示す調査の観点を参考に当該施設の太技省令への適合性について確認した。

表 3-2 現地調査対象の太陽電池発電設備

施設記号	施設概要
A	発電所場所 : 東海地方 発電所規模 : 低圧設備が複数の区画で構成 基礎形式 : スクリュー杭基礎 架台材料 : アルミニウム合金製 設置環境 : 傾斜地
B	発電所場所 : 四国地方 発電所規模 : 低圧 基礎形式 : スクリュー杭基礎 架台材料 : アルミニウム合金製 設置環境 : 地上設置

表 3-3 調査の観点

No.	項目	内容
1	設計図書の確認	敷地・基礎・架台の図面の有無 構造計算書の有無 構造設計の誤り・不備事項
2	敷地・地盤	設計図書との整合 土砂の流出の有無 著しい地盤の洗堀
3	アレイ配置	設計図書との整合 アレイの傾斜角
4	直接基礎	設計図書との整合（配置・基礎の大きさ） 基礎の沈下・浮上がり・横移動 根入れ深さ 基礎周辺の洗堀
5	杭基礎	設計図書との整合（形状・配置・杭の突出高さ） 杭の変形・腐食 杭周辺の洗堀
6	架台	設計図書との整合（架構、部材形状、材質） 接合部の構造（固定方法、反力方向）

		摩擦接合と荷重方向（長孔・スロット・単管クランプ） 接合部材の変形・腐食
7	その他	特殊な構造の場合の構造的弱点・設計上の注意点

3.2.2 指摘事項

表 3-2 に示す各施設の現地調査結果及び設計図書の調査結果をもとに、太技省令、電技解釈に示された要求性能に適合していないことが懸念される事項について次に示す。

3.2.3 施設 A

（1）施設の概要

施設 A の太陽電池発電設備は、傾斜地に設置されたアルミニウム合金製の架台で、基礎はスクリュー杭が使用されている。当該施設の調査では工事開始日の推定から、当時の電技解釈（平成 28 年 5 月 25 日付け）」をもとに支持物に関する不備・不足の指摘を行った。また、地盤に関する規定については当時の電技解釈では適用されないため推奨事項として記載する。

（2）部材の性能

設計図書の架台図面では、いずれのアレイ構成の架台においても南北方向に 2 本の杭が配置されているが、構造計算書では南北方向に 3 本配置されており、各部材の応力及び支点反力の計算結果が過少に与えられている懸念がある。

【指摘根拠：JIS C 8955:2004 8.2 許容応力度】

（3）接合部の性能

接合部の部材の詳細が示されていない。また、それらの部材の断面形状や構造計算に用いる断面性能（断面積、断面係数など）が示されておらず、その部分の存在応力を確実に伝えることができる接合部としての性能を有していることが確認できない。

【指摘根拠：JIS C 8955:2004 8.3 部材の接合】

（4）アレイ配置図の不整合

設計図書に示されたアレイの配置と実物のアレイの配置が異なっている。当該発電所は低圧設備が複数の区画で構成されているが、区画ごとのフェンスの配置がなく標識の設置も確認できなかったことから、各区画の出力については特定できなかった。なお、フェンス及び標識の未設置は FIT 法違反の疑いがある。

（5）構造計算書との不整合

実物の架台は設計図書の図面に示されたとおり南北方向に 2 本の杭で支持されているため、構造計算書での計算条件と一致していない。そのため、上述したように部材の性能が確保されていない懸念がある。また、設計図書に示された地盤とアレイ面の傾斜角はいずれも実物と整合していないため、各種荷重の設定や各部材（杭兼支柱を含む）に使用されている部材が許容応力度以下にあることが確認できない。

【指摘根拠：JIS C 8955:2004 5.風圧荷重、6.積雪荷重、7.地震荷重、8.2 許容応力度】

(6) 設計荷重（推奨事項）

当該発電設備は、傾斜地に施設されているため「設置環境下において想定される各種荷重」を設定する必要がある。例えば、傾斜地における風速増加を考慮した風圧荷重の設定は構造安全確保のうえでは検討すべき内容である。

【指摘根拠：太技省令第 4 条第 1 号】

(7) 土砂の流出及び地盤崩壊（推奨事項）

①排水溝の改変：設計図書によれば、排水溝には U 字溝が使用される計画となっているが、いずれも水路（排水）工が設計図書どおりの状態ではなく、U 字溝の多くは撤去され、排水溝内部には角礫が充填されていた。そのため、排水能力が著しく低下し、排水溝で捕捉した雨水の越水、中部斜面では面状侵食（表面侵食）が発生し、さらに一部はリル（細溝）侵食に移行していた。一部の地表流は掃流力が大きくなったため、再生骨材等を取り込み、東側堤体を越えて斜面に流出していた。さらに、地表流及びリル・ガリー侵食で発生した土砂は直進性が大きくなるため、敷地南側端部付近から堤体を越えて南側斜面に流出していた。

②堤体の劣化：発電所敷地の東側及び西側の端部には、排水溝で処理しきれなかった地表水を外部に流出させないように堤体が設けられていたが、この堤体を構成する土嚢袋は耐候性のものでないため劣化していた。堤体が破損し地表水が外部に流出している部分も散見された。これらの表流水の流出は斜面崩壊の原因となる懸念がある。

③斜面の崩壊：発電所敷地を整形した際に発生した残土は、主に西側斜面側に盛土したと考えられる。そのため、西側端部斜面は受食性が高く、侵食されて小崩壊が発生していた。また、敷地内の横排水溝の西側端部は、この斜面に開放されていた。さらに、西側斜面保護のための大型土嚢は耐候性でないため劣化が進行しており、西側下部斜面は建設当初よりも不安定になっている可能性がある。発電所敷地東側斜面においても限定的な範囲であるが地盤侵食が見られた。

【指摘根拠：太技省令第 5 条】

(8) 基礎の性能（推奨事項）

設計図書に示された地盤とアレイ面の傾斜角は実物と整合していない。この場合、地盤よりアレイ面の傾斜角が大きくなり、背面側（北側）の杭の突出高さが大きくなるため、背面側の杭の抵抗力の低下が懸念される。また、敷地の南西側端部付近のアレイにおいては、背面側の高さが設計図書より大幅に高いものも見られ、杭の抵抗力不足が懸念される。

【指摘根拠：太技省令第 4 条第 5 号】

3.2.4 施設 B

(1) 施設の概要

施設 B の太陽電池発電設備は、傾斜地に設置されたアルミニウム合金製の架台で、基礎はスクリュー杭が使用されている。当該施設は 2021 年 8 月初旬に着工されたと推定されることから、太技をもとに支持物及び地盤に関する不備・不足の指摘を行った。また、当該施設では、外観目視により接地及び非導電性充電部の等電位接続などの電気に関する項目についても確認を行った（電気設備の技術基準を定める省令への適合・不適合についての判断は行っていない）。

(2) 設計荷重

固定荷重の算定に関して部材の一覧表で重量計算されているが図面と比較して戸数が多い部材があり、適切な荷重が設定されているか不明である。

【指摘根拠：太技省令第 4 条第 1 項】

(3) 断面性能の明示

設計図書に部材の寸法や断面性能が明示されていない。

【指摘根拠：太技省令第 4 条第 3 項】

(4) 基礎の性能

基礎の浮上がり、転倒に関する計算を実施していない。また、参考までに固定荷重と風圧荷重による浮き上がり力を比較したところ固定荷重による抵抗力が不足している懸念がある。

また、現地で杭の引抜試験を実施した記録はあるが、杭の許容引抜抵抗力については不明である。水平載荷試験の結果については記録がないため不明である。

【指摘根拠：太技省令第 4 条第 5 項】

(5) 部材の許容応力度

許容圧縮応力度の算出における局部座屈の考慮、許容曲げ応力度の算出における横座屈や局部座屈の考慮がされていないため、部材の許容応力度が過大評価されている懸念がある。

【指摘根拠：太技省令第 4 条第 2 項】

(6) 構造解析モデル

実際の架台形状と構造解析モデルが異なっているため、解析結果で算定された各部材の応力が適切な数値ではない懸念がある。

【指摘根拠：太技省令第 4 条 1 項、2 項】

(7) 接合部の性能（設計図書の確認）

接合部の検討がされていないため、その部分の存在応力を確実に伝えることができる接合部としての性能を有していることが確認できない。

【指摘根拠：太技省令第 4 条 4 項】

(8) 架台の構造安定性

東西方向フレームの主材（梁）・柱間接合部の柱頭は 1 本の中ボルトで接合されており、柱・杭間接合部の柱脚部ベースプレート金物は 2 本の中ボルトで接合しているため東西方向の固定度が低く不安定構造に近い懸念がある。

【指摘根拠：太技省令第 4 条 1 項】

(9) 接合部の性能（現地調査）

現地調査では杭頭の接合部（杭頭・柱及び杭頭・ブレース）を確認したところ長孔が用いられていた。長孔を用いた接合部では、滑りを防止するためにローレット加工の金具とワッシャーを用いているが、接合部の強度を保証する資料がないため、各種荷重が作用したときに部材間の存在応力を確実に伝達できるか不明である。

柱頭と主材（梁）、筋交いと主材（梁）の接合は、主材（梁）の側面にある溝に沿って横移動可能な納まり（T 型スロット接合）となっているため、主材に力が作用したときに T 型スロットを用いた接合部が滑る懸念がある。

また、太陽電池モジュールは押え金具を用いて固定していたが、一部で押え金具のゆるみが確認できた。押え金具はボルトの締め付け力でモジュールを押さえつけるためボルトがゆるむと固定度が低下し、風圧荷重によりモジュールが飛散する懸念がある。

【指摘根拠：太技省令第 4 条 4 項】

(10) 基礎の性能（現地調査）

構造計算書に杭の抵抗力に関する検討が示されていないため、杭の現地載荷試験（引拔、水平）についてヒアリングを行った。施工時に地中障害にあたり杭体を切断した箇所については地盤改良をまたは根巻きコンクリートを施工したとのことだが、杭の載荷試験については詳細が不明であった。また、設計図書では地盤条件として粘性土としていたが、現地で試掘をしたところの土質は砂質土と推定される。

【指摘根拠：太技省令第 4 条 5 項】

(11) 設計荷重（現地調査）

設計図書には明記されていない集電箱や PCS が取り付けられている架台があり、構造計算で固定荷重が適切に設定できていない懸念がある。また、固定荷重の増加は風圧荷重や地震荷重の増加も見込まれるため、これらの荷重を考慮したうえで構造計算をする必要がある。

【指摘根拠：太技省令第 4 条 1 項】

(12) 接地（抵抗）

当該施設は別々の柵で囲われた 2 つの部分に分けられているが、この両者間にはアースボンディングはされていなかった。

現地での目視により 2 箇所それぞれで設置棒が埋め込んであると推測される。

(13) 等電位性

太陽電池モジュールフレーム相互間にボンディング線が確認できないことから、架台との直接接触によって導通を得ていると推察される。

架台相互間はボンディング線が配線されているのが確認できた。また、当該施設のボンディング線はビスを用いて太陽電池モジュールのフレームに接続されており、ゆるみの確認を行ったところ接続状態は良好であった。

PCS の保護接地は、ボンディング線を架台へボルト止めすることで行っている。

3.2.5 調査結果まとめ

本調査対象の全ての施設において、太技省令、電技解釈での要求性能を満足していないと推定される事項が見られた。これらの発電設備では架台、基礎及び地盤の強度不足が懸念され、強風、積雪、地震、豪雨等の自然事象によって損壊することも考えられるため、当該発電設備においては前述の指摘事項を参考に早期に補強されることが望ましい。

また、施設 B で電気安全に関する検査を行ったが、外観目視による電技への適合性の判定は極めて困難である。接地抵抗の絶縁抵抗の測定が望ましいがこれらの測定値は環境条件に依存し、適切な測定方法も明らかになっていないため、これらの測定を実施しても電技適合性の判定は難しいが、電気安全に関する仕様情報（電圧区分とそれに付随する絶縁抵抗下限値・接地抵抗上限値など）及び点検記録（竣工時・定期点検時、測定に用いた機器及び方法）等については事前に入手しておくことが望ましい。

4 小出力太陽電池発電設備に関する実態調査

4.1 実態調査手法の検討

小出力太陽電池発電設備については、電気事業法に基づく事故報告制度が 2021 年 4 月の改正によって、新たに事故報告の対象として義務化された。こうした状況を踏まえ、小出力太陽電池発電設備に対する保安規制のあり方について、今後の保安に関する検討を行うための基礎情報とする実態把握調査を行うため、アンケート調査の実施を念頭において、小出力太陽電池発電の状況を整理するとともに検討を行った。

4.1.1 小出力太陽電池発電設備の状況整理

2012 年（平成 24 年）7 月 1 日より再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT 制度）の導入以降、特に太陽電池発電設備の導入量は急激に拡大し、設置件数は増加の一途をたどっている（図 4-1）。非住宅用とされる 10kW 以上の太陽電池発電設備の導入件数は約 66 万件あり、そのうち 50kW 未満である小出力太陽電池発電の導入件数は約 63 万件に昇り、導入件数の約 95%を小出力太陽電池発電が占めている状況である。

＜太陽電池発電設備の導入件数推移＞

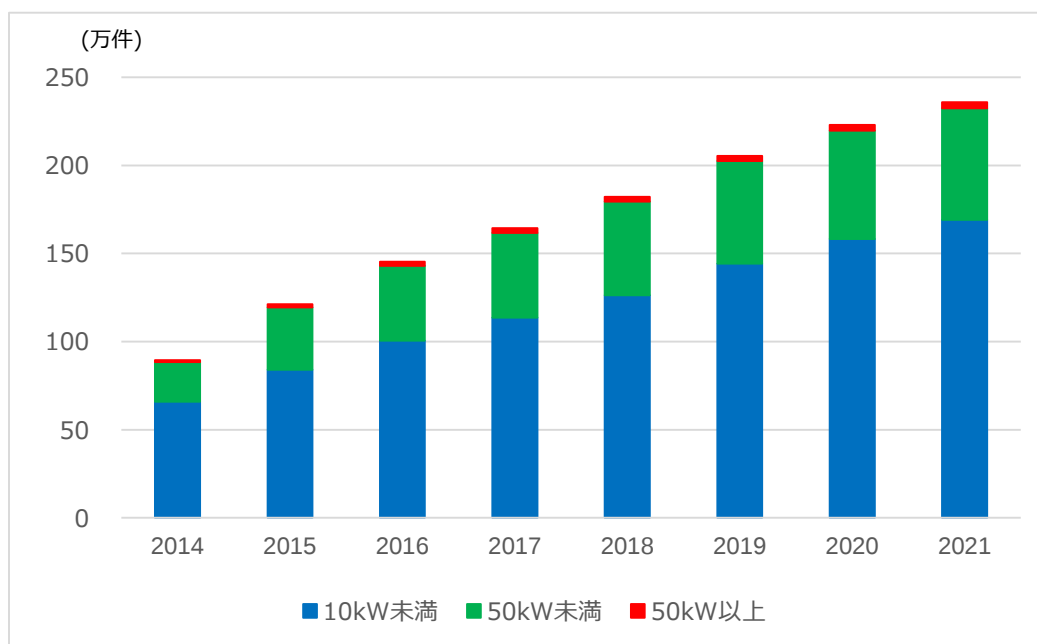


図 4-1 導入件数の推移

出典：固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト (<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>)

導入状況（2021 年 9 月末時点まで）を基に当社が作成

一方で、昨年度事業で示されているとおり、太陽電池発電設備の急速な普及に伴って、近年は強風等による太陽電池モジュールの飛散や架台の倒壊、さらには斜面の崩落によって太陽電池発電設備が敷地外に流出するなど、公衆に被害を及ぼす事故が報告されている。また、電気保安統計によれば、太陽電池発電所の事故件数（電気工作物の損壊による事故）及び事故率（発電出力

100 万 kW 当たりの事故件数）ともに増加傾向であることが示されている（図 4-2）。ただし、この統計には施設の大多数を占める小出力太陽電池発電の事故は含まれていない。

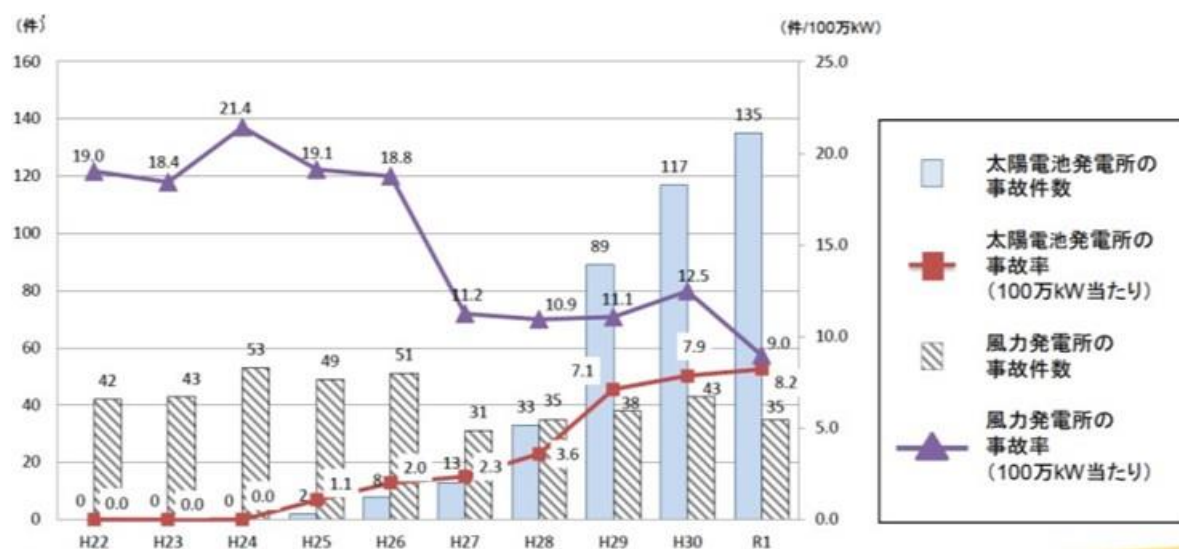


図 4-2 太陽電池発電所、風力発電所の事故件数推移（自家用電気工作物を設置する者⁷⁰⁾

出典：令和元年度電気保安統計 概要版⁷¹⁾

しかしながら、事故の増加が顕著な状況であることから、事故原因の究明や再発防止対策を講じるための事故情報の収集を目的に、2016 年（平成 28 年）9 月に電気事業法に基づく事故報告制度の改正を行い、事故報告の対象とする太陽電池発電所の出力要件を出力 500kW 以上から出力 50kW 以上に引き下げ、報告対象を拡大させた。他にも、太陽電池発電設備を設置する際には、500kW 以上 2MW 未満の設備に対して使用前自己確認の実施と結果報告の提出を 2016 年（平成 28 年）11 月に義務化した。

さらには、小出力太陽電池発電設備の事故で、近年に社会的影響を及ぼした事故も発生している。そのため、導入件数の大多数を占める出力 50kW 未満の小出力太陽電池発電設備についても、事故情報をしっかり収集した上で、事故原因の究明や再発防止対策を講じることが必要であることから、さらなる事故報告制度が改正され、2021 年（令和 3 年）4 月からは 50kW 未満の小出力太陽電池発電設備についても事故報告が義務化された。（表 4-1）。

表 4-1 事故報告の対象となる出力要件

設備	改正前	2016 年 9 月改正後	2021 年 4 月改正後
太陽電池発電所	出力 500kW 以上	出力 50kW 以上	出力 10～50kW 未満

⁷⁰⁾ 「自家用電気工作物を設置する者」：電気事業法第 38 条第 4 項各号に掲げる事業の用に供する電気工作物及び一般用電気工作物以外の電気工作物を設置する者をいう。具体的には、600 ボルトを超える電圧で受電する電気設備や、電気事業法第 38 条第 4 項各号に掲げる事業の用に供さない一定出力以上の発電設備を設置する者をいう。

⁷¹⁾ https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/detail/denkihoantoukei.html

こうした状況下においても、事故件数は増加が見られており、とくに小出力太陽電池発電については、事故報告義務が 2021 年 4 月から開始ということもあり、実態把握が難しい状況である。

4.1.2 実態調査手法

出力 50kW 以上の太陽電池発電設備については、技術基準の適合義務だけではなく、その維持義務が発生する。また、その維持及び運用に関する保安を確保するため、保安規定を定めて届け出る義務や、設備に関する保安の監督をさせるため、電気主任技術者を選任して届け出る義務が発生する。

一方で、小出力太陽電池発電設備については、技術基準の適合義務はあるものの、その維持義務をはじめ、保安規定の届出や電気主任技術者を選任する必要がないことから、小出力太陽電池発電設備の所有者は、設備に対する技術的な知見や知識が乏しいと考えられる。

しかしながら、小出力太陽電池発電設備の所有者が実際に行っている保安管理や事故の発生状況などの実態把握が難しい。

こうした小出力発電設備に対する保安規制のあり方について検討を進めるため、実態把握調査が不可欠であり、その基礎情報を収集するため、小出力太陽電池発電設備の所有者等に対し、保守点検の実施状況等の実態把握を目的としたアンケート調査を行うことにした。また、発電設備が設置されている自治体（市町村）及び消防本部に対しても、事故の発生状況等の把握を目的にアンケート調査を行うことにした。

アンケート調査をより効果的な内容となるよう調査票を作成するに当たって、有識者へのヒアリングを行い、その意見を踏まえて作成することが有効であることから、有識者へのヒアリングを実施した。

調査票の素案の作成に当たっては、最初の段階として「4.1.1 小出力太陽電池発電設備の状況整理」を踏まえて各対象におけるアンケート調査票目的を整理した（表 4-2）。

表 4-2 アンケート調査の目的

対象	目的
小出力太陽電池発電設備の所有者	発電設備における保守点検の実施状況等、保安管理の状況についての状況把握
発電設備が設置されている自治体（市町村）及び消防本部	発電設備による事故の発生件数、原因や被害内容についての状況把握

4.2 実態調査を目的としたアンケート調査

「4.1 実態調査手法の検討」の内容のもと、小出力太陽電池発電設備の所有者とともに発電設備が設置されている自治体（市町村）及び消防本部に対してのアンケート調査票を作成した。

4.2.1 アンケート調査票の作成

アンケート調査票の作成にあたり、調査の目的を踏まえて質問項目の作成を行った。アンケートの回答率を上げること念頭におき、回答者への負担を考慮して 5 分～10 分程度の簡単なアンケートとする方針に決めた。また、質問項目については、回答の容易さから回答形式は選択形式を基本とした。

次に、調査目的に鑑みて基本的な構成要素（表 4-3）を各対象に区分して列挙し、その内容に応じた質問項目を作成した。

表 4-3 基本的な構成要素

小出力太陽電池発電設備の所有者	発電設備が設置された自治体・消防本部
- 所有者等の属性（法人／個人） - 設備の入手方法 - 設置エリア - 設置形態（地上／屋根置き） - 保安全管理者（所有者自身／業者） - 設計者・施工者について - 設計及び施工の配慮事項 - 図面等の保管図書について - 保守点検及び維持管理について - 事故について	- 属性（自治体／消防本部） - 事故について - 事故の発生件数 - 事故原因 - 事故後の状況等 - 緊急時対応について - 近隣住民からの通報について

質問項目の作成とともに、それに対応する回答の選択肢を作成し、アンケート調査票の素案を作成した。

また、素案をもとに外部有識者に対してヒアリング調査を行い、ヒアリングで出た意見をもとにアンケート調査票を策定した。（表 4-4）。

表 4-4 アンケート調査票（素案）に関する主なヒアリング結果と対応方針

対象	構成分類	専門家の意見	対応方針
所有者 自治体/消防本部	全体	全体を通した質問項目の概要については、これでよいと考える。	方向性に問題がないことを確認した。
所有者 自治体/消防本部	全体	全体を通して否定形の設問とした意図は理解するが違和感があるので、肯定の形に修正した方がよい。	肯定形とする。
所有者	全体	回答選択肢の「不明」という選択肢	「わからない」の回答選択肢と

自治体/消防本部		の意図するところが判断しにくい。 「わからない」ということであれば、そのように修正した方がよい。	する。
所有者	設置形態	屋根置きは住宅用も含まれるのかどうか不明なので、分かるように記述した方がよい。	住宅用は対象外。発送先が 10～50kW 未満の小出力太陽電池発電設備であるため、問題（修正）なしと判断。
所有者	図面	保管図書については、どんな図面かを例示をあげて分かりやすくするとよい。	回答選択肢の箇所に例示を追記する。
自治体/消防本部	事故	「把握している」という回答選択肢の意図するところがわからない。回答選択肢に見合う質問項目の記載内容を修正した方がよい。	「管轄地域」が対象になることを明記した記載内容とする。
自治体/消防本部	通報	通報については、景観なのか、設備的なものなのか、具体的な選択肢を入れた方がよい。	個別の質問項目とする。

アンケート調査票の素案を対応方針に応じて修正を行い、最終的にアンケート調査票を作成した。アンケート調査票の主な内容は表 4-6 のとおりである。

表 4-5 アンケート調査票の主な内容

所有者	
1	あなたの属性をお選びください。
回答選択肢	①法人等（発電事業者） ②法人（発電事業者以外） ③個人事業者 ④一般個人
2	設備の入手方法をお選びください。
回答選択肢	①既設の設備を購入 ②自ら設置 ③その他
2	発電施設の設置形態をお選びください。
回答選択肢	①地上設置 ②屋根おき（建物設置） ③その他
3	電気設備の設計者についてお選びください。
回答選択肢	①発電事業者自身 ②設計会社（電気専門） ③その他 ④わからない
4	電気設備の施工者についてお選びください。
回答選択肢	①発電事業者自身 ②施工会社（電気専門） ③その他 ④わからない
5	支持物（構造）の設計者についてお選びください。
回答選択肢	①発電事業者自身 ②設計会社（構造専門） ③その他 ④わからない
6	支持物（構造）の施工者についてお選びください。
回答選択肢	①発電事業者自身 ②施工会社（構造専門） ③その他 ④わからない
7	設備の運転開始（使用）前に発電設備の安全性を確認していますか。

回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
8	設計図書（電気）がありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
9	設計図書（構造）がありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
10	構造計算書がありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
11	地盤に関する試験データがありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
12	竣工検査データがありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
13	保守点検及び維持管理計画がありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
14	計画に基づく実施体制がありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
15	運用・保守（O&M）の実施者についてお選びください。
回答選択肢	①発電事業者自身 ②販売店/施工店 ③O&M 業者 ④その他 ⑤わからない
16	電気事業法上の電気保安について何かご意見あればご記載ください。（自由記述）
回答選択肢	フリーアンサー
自治体／消防本部	
1	あなたの属性をお選びください。
回答選択肢	①自治体 ②消防本部
2	管轄地域の事故の発生件数を把握していますか（戸建住宅用は除く）。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③一部のみ ④事故は発生していない
3	通報（苦情を含む）を受けたことがありますか。
回答選択肢	①はい ②いいえ ③わからない
4	通報（苦情）を受けた施設規模についてお選びください。
回答選択肢	①小出力（50kW 未満） ②①以外 ③わからない
5	電気事業法上の電気保安について何かご意見あればご記載ください。（自由記述）
回答選択肢	フリーアンサー

4.2.2 アンケート調査票の発送

調査数は、必要な有効回答数の向上を考慮し、所有者に対しては 20,000 箇所の発送に設定した。発送先については、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（FIT 法）に基づく事業計画認定事業者として登録されている小出力太陽電池発電設備の所有者等の中から無作為に選定した。また、自治体及び消防本部の調査数については、回答率が高いことを想定し、300 箇所に設定した。発送先については、地域に偏りがないように選定した。

アンケート調査の対象者からはインターネット上で回答を行うことで入力作業の最小化に努め

るとともに、回答集計の効率化を図った。そのため、発送にはアンケート調査票そのものを同封せず、本調査の目的の記載とともに、専用のアンケートサイトに関する URL 及び QR コード（スマートフォンからの回答も可能）を示したアンケート依頼の送付状として発送した。

送付状発送の際には、事故報告制度について正しく理解してもらうため、小出力発電設備の事故報告が義務化されたことを周知するチラシを同封した。印刷、発送及び専用のアンケートサイトの構築については外部の専門業者に依頼した。なお、印刷内容は表 4-6 のとおりである。

表 4-6 印刷内容

紙媒体	用紙サイズ	色	作成部数
送付状	A4 判	白黒	20,300 部
パンフレット（Q&A 集）	A4 判	4 色カラー	20,300 部

9 月初旬に発送先に対して表 4-6 の印刷物を同封して発送した。アンケートの回答期間は約 1 か月とし、9 月末を回答の締め切りとした。なお、アンケートの具体的な発送先については無記名方式の調査のため本報告書には含めないこととする。

4.3 アンケート調査の集計

「4.2.2 アンケート調査票の発送」で選定した発送先に対してアンケート調査を実施し、その調査結果の集計を行った。

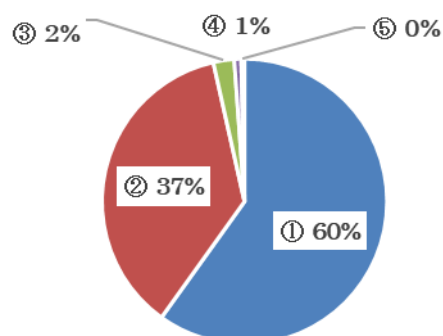
4.3.1 集計結果の概要

アンケート調査における回答数は、所有者では 3,891 者（回答率約 19%）、自治体・消防本部では 163 者（回答率約 54%）、4.2.2 で想定した回答率と同程度の結果となった。集計結果の概要は以下のとおりである。

（1）所有者用アンケート

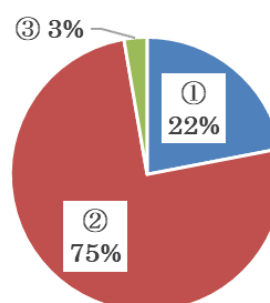
【Q1】 あなたの属性をお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	法人等（発電事業者）	2,331	59.9%
2	法人（発電事業者以外）	1,423	36.5%
3	個人事業者	92	2.4%
4	一般個人	31	0.8%
5	その他	14	0.4%
	計	3,891	100.0%



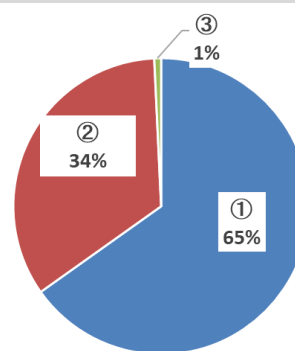
【Q2】 設備の入手方法をお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	既設の設備を購入	855	22.0%
2	自ら設置	2,930	75.3%
3	その他	106	2.7%
	計	3,891	100.0%



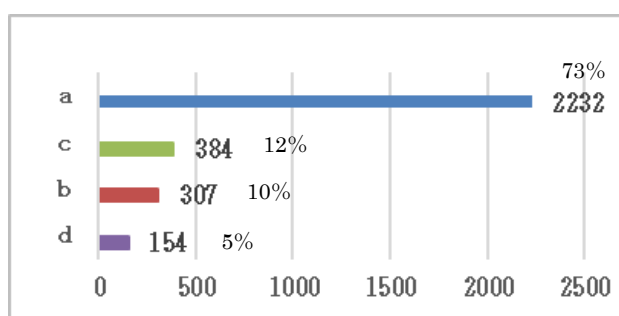
【Q3】 発電施設の設置形態をお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	地上設置	2,536	65.2%
2	屋根おき（建物設置）	1,326	34.1%
3	その他	29	0.7%
	計	3,891	100.0%



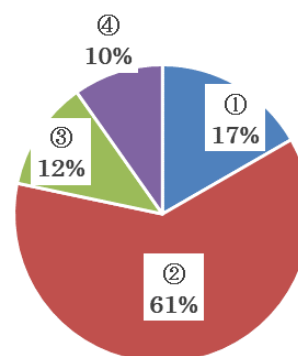
設置場所をお選びください

	回答項目	回答数	割合
a	平地	2,232	72.5%
b	傾斜地	307	10.0%
c	農地	384	12.5%
d	盛土（or 造成地）	154	5.0%
	計	3,077	100.0%



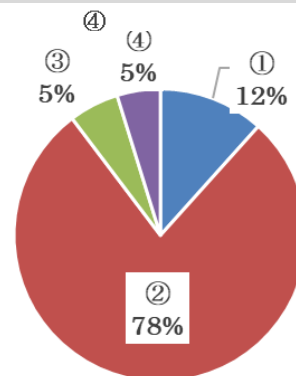
【Q4】 電気設備の設計者についてお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	発電事業者自身	650	16.7%
2	設計会社（電気専門）	2,397	61.6%
3	その他	463	11.9%
4	わからない	381	9.8%
	計	3,891	100.0%



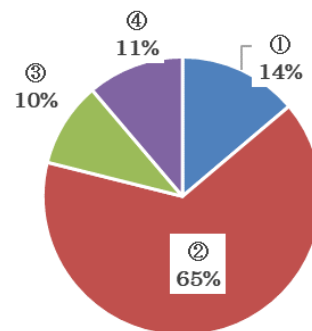
【Q5】 電気設備の施工者についてお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	発電事業者自身	453	11.6%
2	施工会社（電気専門）	3,037	78.1%
3	その他	215	5.5%
4	わからない	186	4.8%
	計	3,891	100.0%



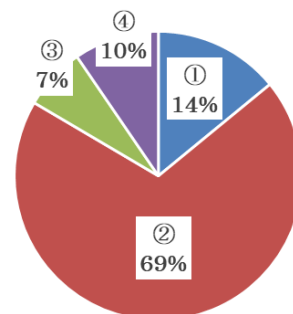
【Q6】 支持物（構造）の設計者についてお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	発電事業者自身	538	13.8%
2	設計会社（構造専門）	2,533	65.1%
3	その他	384	9.9%
4	わからない	436	11.2%
	計	3,891	100.0%



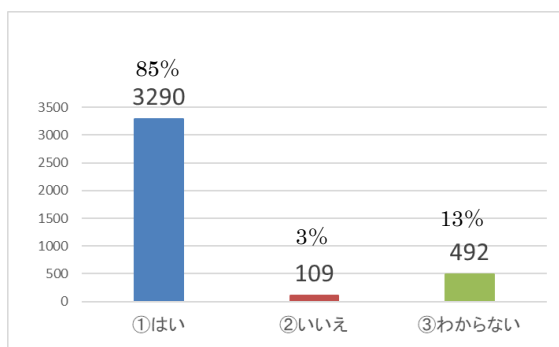
【Q7】 支持物（構造）の施工者についてお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	発電事業者自身	548	14.1%
2	施工会社（構造専門）	2,699	69.3%
3	その他	272	7.0%
4	わからない	372	9.6%
	計	3,891	100.0%



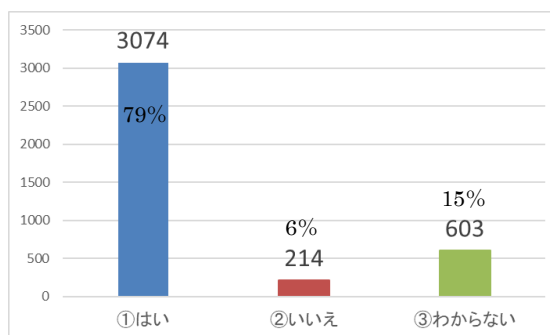
【Q 8】 設備の運転開始（使用）前に発電設備の安全性を確認していますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	3,290	84.6%
2	いいえ	109	2.8%
3	わからない	492	12.6%
	計	3,891	100.0%



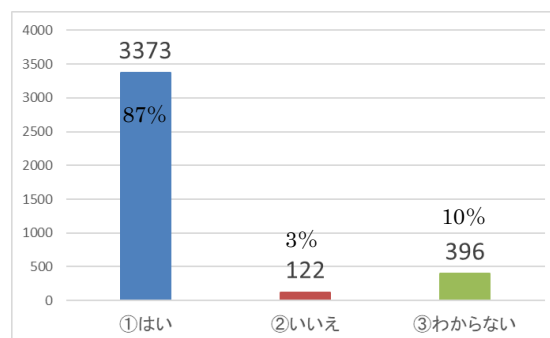
【Q 9】 設計図書（電気）がありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	3,074	79.0%
2	いいえ	214	5.5%
3	わからない	603	15.5%
	計	3,891	100.0%



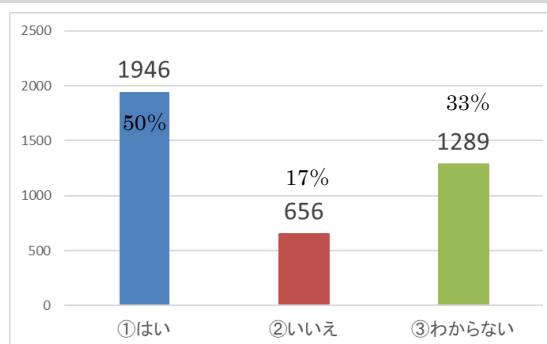
【Q 10】 設計図書（構造）がありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	3,373	86.7%
2	いいえ	122	3.1%
3	わからない	396	10.2%
	計	3,891	100.0%



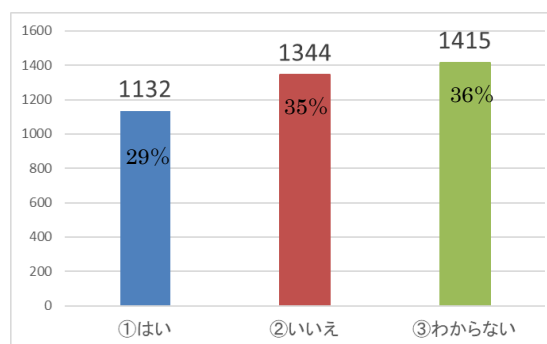
【Q11】 構造計算書がありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	1,946	50.0%
2	いいえ	656	16.9%
3	わからない	1,289	33.1%
	計	3,891	100.0%



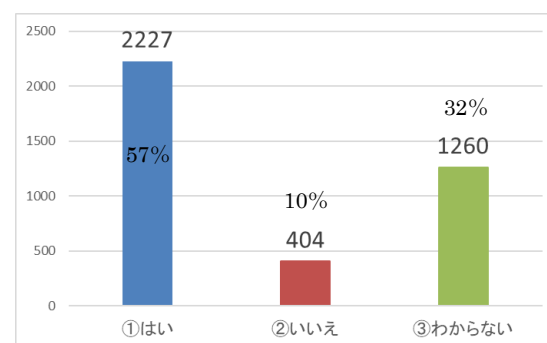
【Q12】 地盤に関する試験データがありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	1,132	29.1%
2	いいえ	1,344	34.5%
3	わからない	1,415	36.4%
	計	3,891	100.0%



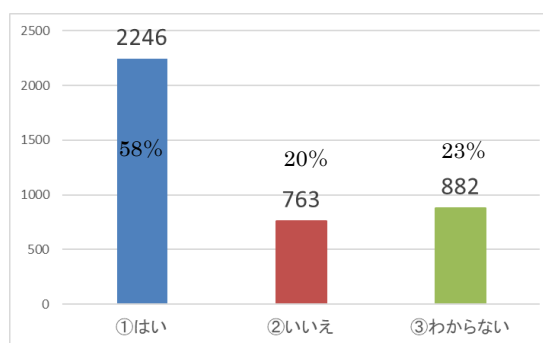
【Q13】 竣工検査データがありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	2,227	57.2%
2	いいえ	404	10.4%
3	わからない	1,260	32.4%
	計	3,891	100.0%



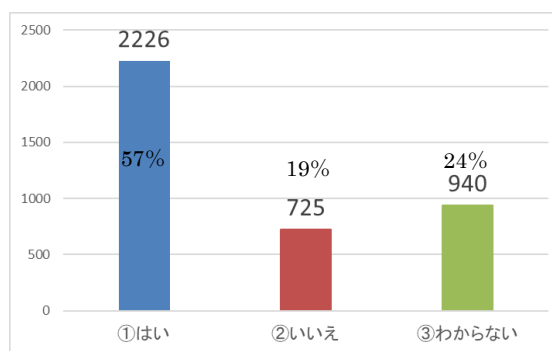
【Q14】 保守点検及び維持管理計画がありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	2,246	57.7%
2	いいえ	763	19.6%
3	わからない	882	22.7%
	計	3,891	100.0%



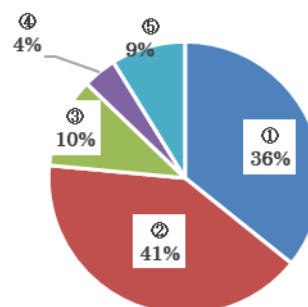
【Q15】 計画に基づく実施体制がありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	2,226	57.2%
2	いいえ	725	18.6%
3	わからない	940	24.2%
	計	3,891	100.0%



【Q16】 運用・保守（O&M）の実施者についてお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	発電事業者自身	1,392	35.8%
2	販売店/施工店	1,584	40.7%
3	O&M 業者	416	10.7%
4	その他	156	4.0%
5	わからない	343	8.8%
	計	3,891	100.0%



【Q17】 電気事業法上の電気保安について何かご意見あればご記載ください（自由記述）。
（主なもの）

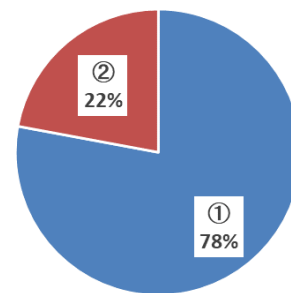
<小出力発電設備の所有者からの御意見>

- ✓ 設備に対しての保安基準や保安事例等を明確にしてほしい。
- ✓ 設置業者、施工業者やO&M業者など保安は任せており、適切に実施されている。
- ✓ 設置業者、施工業者やO&M業者など保安は任せることになってしまうので、適切に実施されているか不安はある。
- ✓ 発電事業者として、自ら保安管理を実施している。
- ✓ 点検やO&Mについて講習会などあれば参加したい、また、開催してほしい。
- ✓ 法令改正については周知徹底を行い、管理体制や設置状態が悪い事業者に対して積極的に勧告及び処分してほしい。

(2) 自治体・消防本部用アンケート

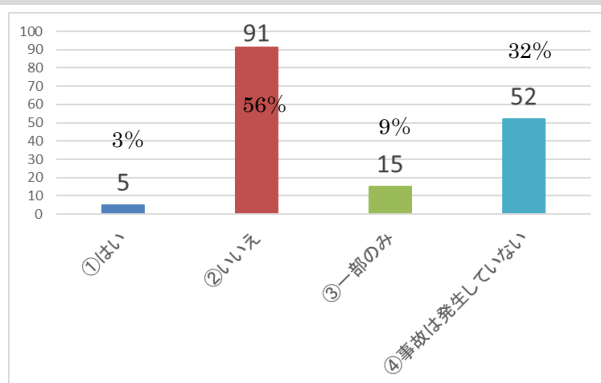
【Q1】 あなたの属性をお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	自治体	127	77.9%
2	消防本部	36	22.1%
	計	163	100.0%



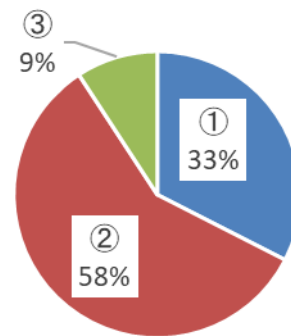
【Q2】 管轄地域の事故の発生件数を把握していますか（戸建住宅用は除く）。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	5	3.1%
2	いいえ	91	55.8%
3	一部のみ	15	9.2%
4	事故は発生していない	52	31.9%
	計	163	100.0%



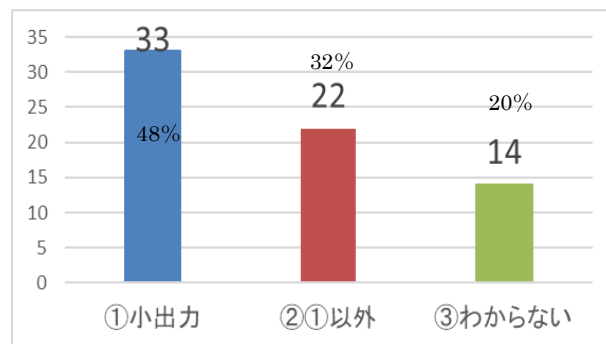
【Q3】 通報（苦情を含む）を受けたことがありますか。

	回答項目	回答数	割合
1	はい	53	32.5%
2	いいえ	95	58.3%
3	わからない	15	9.2%
	計	163	100.0%



【Q4】 通報（苦情）を受けた施設規模についてお選びください。

	回答項目	回答数	割合
1	小出力	33	47.8%
2	①以外	22	31.9%
3	わからない	14	20.3%
	計	69	100.0%



【Q5】 電気事業法上の電気保安について何かご意見あればご記載ください（自由記述）。
（主なもの）

<近隣住民からのご意見等の内容例>

- ✓ 売電を行うための発電設備に関しては、小規模のものでも基準に該当しているか確認を厳にさせていただきたい。
- ✓ 国から現地での架台強度について、確認及び指導をしていただきたい。
- ✓ 所有者等の制度理解のため、国から改めて強く周知徹底を図っていただきたい。

4.3.2 まとめ

「4.3.1 集計結果の概要」から、小出力太陽電池発電設備の所有者の回答結果集計によれば、所有者の 97%が事業者であり、設備はについて 75%は自らが設置した新設のものである一方で、22%は既設の設備を購入したセカンダリーであった。設備の設置形態は 65%が地上設置型であった。

設備の設置に当たって、設計については電気で 61%、構造で 65%が設計の専門会社が実施しており、また施工についても電気で 78%、構造で 69%が施工の専門会社が実施している結果であり、設計や施工は専門業者に委託する傾向となっている。設計図書の保管状況について、電気関連（単線結線図などの図面）は 79%、構造関連（太陽光パネル配置図、架台平面図など）は 87%で保管

している結果であった。しかし、より詳細となる構造計算書については 50%、地盤データについては 29%と保管状況は低下する傾向となった。なお、竣工検査データについては、57%の保管状況であった。

設備の維持や運用について、所有者の 58%で保守点検及び維持管理の計画を策定しており、また 57%で計画に基づく実施体制を構築している状況であった。設備の運用・保守の実施者については、販売店・施工店が 41%、O&M 業者が 10%となっており、過半数が協力事業者へ委託している状況であったのに対して、発電事業者自ら行っているのは 36%の状況であった。

自治体・消防本部の回答集計結果によれば、管轄地域の事故発生件数について、3%が事故の発生を把握し、32%で事故は発生していない状況である一方で、56%が把握していないという結果となった。多くの自治体・消防本部では、太陽電池発電設備の事故という形での把握を正確にはできていないものの、一部の自治体・消防本部においては事故（の有無）を認識している状況であった。また、近隣住民からの通報の有無については、33%で受けたことがあるという結果であった。さらに通報を受けた施設規模については、48%が小出力太陽電池発電設備であった。

電気保安についての意見（自由記述）の回答では、所有者から「設備に対しての保安基準や保安事例等を明確にしてほしい」という回答があり、自治体・消防本部から「所有者等の制度理解のため、国から改めて強く周知徹底を図っていただきたい」という、保安基準や制度の周知の必要性についての意見が双方からあった。さらに、所有者から「法令改正については周知徹底を行い、管理体制や設置状態が悪い事業者に対して積極的に勧告及び処分してほしい」という回答があり、自治体・消防本部から「売電を行うための発電設備に関しては、小規模のものでも基準に該当しているか確認を厳にしていきたい」という、小出力太陽電池発電設備であっても基準確認の厳格性ととも、是正されない事業者に対しては勧告や処分を求める回答が双方からあった。

小出力太陽電池発電設備における実態調査から、設備の設置については、設計・施工の専門業者に委託、また維持管理や運用・保守については、販売店・施工店や O&M 業者等の協力事業者へ委託している状況であることから、所有者自身が技術基準等を含めた制度について正しく理解していない可能性がある。さらには、意見として保守点検等を含む講習会の開催を要望する声や、制度理解のための周知徹底を要望する声がある。この状況を踏まえ、保守点検の方法を目的とした講習会開催の検討とともに、制度に関する理解の向上に向けての周知活動を推進していくことは重要であるため、講習や周知における広報の具体的な方法について今後の検討が望まれる。

5 おわりに

本事業では、昨年度事業で調査した追尾型太陽電池発電設備における国内状況を含む基礎情報を踏まえ、海外状況について調査するとともに国際規格の内容を調査したうえで、太技省令等に盛り込むべき技術的要件の項目案の作成を行った。その項目案のもと具体的に太技省令、太技解釈及び太技解釈の解説に追加すべき内容の変更案の作成を行った。

一方で、本事業で作成した太技省令等の変更案について、現行の太技省令においては、単純に追尾型設備に関する技術的要件の項目を新たに追加することは難しい構成となっており、現状では太技省令第四条に追加することが望ましいと判断した。また、太技省令の変更案とともに太技解釈及び太技解釈の解説についても、同様に追加する方向で変更案を作成した。

ペロブスカイト太陽電池に関する調査では、一般的な基本情報について机上調査を行うとともに有識者ヒアリングを行い、将来的な活用事例を想定したうえで、今後の太技省令等への落とし込みの参考となる情報の整理を行った。しかしながら、現時点では商用化前の研究段階であることから、具体的な技術的要件の検討は困難な状況であるため、引き続き研究開発状況等の動向把握を進めていくことが必要である。

小出力太陽電池発電設備を中心に現地調査を実施し、今年度で計 10 件の調査結果が得られ、これら調査した施設について構造や土木の観点から不適切な事項が見受けられたため、不適切設置事例についての類型化を行った。類型化を作成するに当たっては、現地調査結果における不適切事項について整理し、それら事項に対して危険度や改善難易度について評価を行い、不適切事項の一覧としてまとめた。しかしながら、類型化を作成するに当たっての基本データとなる不適切事例（現地調査事例）が 10 件と少なく、不適切事項の傾向として判断することは難しい状況である。そのため、今後も継続して現地調査を行っていくとともに、不適切事例のデータを蓄積していくことにより、更なる精査を進めていくことが必要である。

昨年度事業において、設計・施工・維持管理に不備がある現状が確認されていることから、本事業においても 2 件の太陽電池発電設備について支持物の現地調査を行い、太技省令への適合性について確認した。調査の結果、2 件とも太技省令及び電技解釈における要求性能を満たしていないと推定される結果となった。この結果に鑑み、今後の保安規程を検討するうえでの更なる情報収集を目的に、現地調査を継続して実施することが望ましい。さらに不適切事例については、作成した類型化を精査していくデータとして蓄積させていくことも望まれる。

また、小出力太陽電池発電設備について今後の保安に関する検討を行うための基礎情報とする実態把握調査を行った。実態把握に当たっては、小出力太陽電池発電設備の所有者及び設備が設置される自治体・消防本部に対してアンケート調査を行った。アンケート調査結果から設計図書の有無や保安状況等について一程度の概要を把握できた。アンケート調査によって制度や保守管理等について正しく理解できていない所有者が一定数把握できたとともに、制度や保守管理の理解向上に向けた対策の要望もあったことから、講習会の開催や周知のための広報について今後の検討が望まれる。