

# 「太陽光発電システム長期安定電源化 技術開発プロジェクト」

## 事業原簿【公開】

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| 担当部 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構<br>新エネルギー部 |
|-----|--------------------------------------|



—目次—

|   |         |
|---|---------|
| 概 要   | i       |
| プロジェクト用語集   | v       |
| I. 事業の位置づけ・必要性について                                |         |
| 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性                            | I-1     |
| 1.1 NEDOが関与することの意義                                | I-1     |
| 1.2 実施の効果   | I-1     |
| 2. 事業の背景・目的・位置づけ                                  | I-1     |
| II. 研究開発マネジメントについて                                |         |
| 1. 事業の目標  | II-1    |
| 1.1 研究開発の目的                                       | II-1    |
| 1.2 研究開発の目標                                       | II-1    |
| 2. 事業の計画内容  | II-1    |
| 2.1 研究開発の内容                                       | II-1    |
| 2.2 研究開発の実施体制                                     | II-10   |
| 2.3 研究開発の運営管理                                     | II-14   |
| 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性                      | II-14   |
| 3. 情勢変化への対応                                       | II-15   |
| 4. 評価に関する事項                                       | II-15   |
| III. 研究開発成果と実用化の見通し                               |         |
| 1. 分野別、課題に対する主要な成果                                | III-1   |
| 2. 個別テーマの成果と実用化見通し                                | III-7   |
| ①研究開発項目（I）太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価               | III-7   |
| (i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価および<br>ガイドライン策定に関する企画立案 | III-7   |
| (ii) IoT 技術による長期安定稼働PVシステムの開発シナリオ策定と<br>要素技術の予備検討 | III-51  |
| ②研究開発項目（II）太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発                   | III-67  |
| (i) 合わせガラス型太陽電池のマテリアルリサイクル要素技術開発                  | III-67  |
| (ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発                   | III-81  |
| ③研究開発項目（III）持続可能な太陽光発電動向調査                        | III-89  |
| (i) 多様化太陽光発電システムの信頼性・安全性に関する動向調査                  | III-89  |
| (ii) 太陽光発電システムのリサイクルに関する国内動向調査及び排出量予測             | III-107 |
| (iii) 既設建築物へのZEB化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査             | III-123 |
| 3. 成果発表の件数  | III-148 |



## 概要

|                            |  |           |        |
|----------------------------|--|-----------|--------|
|                            | 最終更新日  | 2020年8月8日 |        |
| プログラム<br>(又は施策)名           |  |           |        |
| プロジェクト名                    | 太陽光発電システム長期安定電源化基盤技術開発   | プロジェクト番号  | P19003 |
| 担当推進部/<br>PMまたは担当者         | <p>新エネルギー部</p> <p>PM : 山崎 光浩 主任研究員</p> <p>担当者: 石村 正憲 専門調査員</p> <p>森田 正 専門調査員 (～2019年9月)</p> <p>葛西 正 主査 (2019年9月～)</p> <p>嶋田 聡 主査</p> <p>楠原 賢治 主査</p> <p>近藤 信義 主査</p>   |           |        |
| 0. 事業の概要                   | <p>太陽光発電の長期安定電源化を目指す取り組みとして、発電設備としての信頼性評価技術及び信頼性向上技術、多様化が進む設置形態における安全確保のための課題を明確化しガイドライン等の策定を行う。また、マテリアルリサイクルを低価格かつ高品質で実現するための要素技術開発を行う。併せて、これらの取り組みに不可欠な動向調査を実施する。</p> <p>以上により、本プロジェクトでは、下記3つのテーマを実施する。</p> <p>(Ⅰ)「太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価」</p> <p>(Ⅱ)「太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発」</p> <p>(Ⅲ)「持続可能な太陽光発電動向調査」</p>  |           |        |
| 1. 事業の位置<br>付け・必要性<br>について | <p>「エネルギー基本計画」(2018年7月閣議決定)では、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取り組みが掲げられ、その中で太陽光発電は、「大規模に開発できるだけでなく、個人を含めた需要家に近接したところで自家消費や地産地消を行う分散型電源としても、非常用電源としても利用可能である。一方、発電コストが高く、出力不安定性などの安定供給上の問題があることから、更なる技術革新が必要である」と位置付けられた。</p> <p>太陽光発電は固定価格買取制度の下で導入量を拡大させたが、その大半は小規模な発電設備であり、これらは買取期間が終了した際の事業継続性に懸念が出ている。発電事業の適正な継続、将来的な再投資を呼び起こすためには、発電設備を適正に評価し、発電設備としての信頼性を向上させる事が必要である。</p> <p>一方、太陽光発電システムは多様な環境に設置されるようになっているが、発電システムの安全確保のための技術的知見は乏しく規格・法令の整備は遅れている。近年、太陽電池モジュールおよび電池アレイの強風による飛散や積雪による圧潰、土砂崩れ等による太陽光発電設備の損壊が報告されており、太陽光発電システムの信頼性、安全性に関する社会的関心も高まりつつある。</p> <p>また、発電事業終了後の設備廃棄等に対する地元の懸念や長期安定的な発電に対する懸念が生じている。調達価格の低減が進んでいることから、正しく処理が行われるための更なる処理コストの低減やリサイクル技術が必要となってきている。</p> |           |        |

2. 研究開発マネジメントについて

|       |  |
|-------|--|
| 事業の目標 | <p>太陽光システムの長期安定電源化を目指し、下記の目標を設定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・様々な設置環境や構造の太陽光発電システムについて、50kW 以下の小規模発電設備に適用可能な技術（信頼性評価技術、信頼性回復技術）の開発課題を明確化する。</li> <li>・発電モジュール及びそれ以外の電気設備について、50kW 以下の小規模発電設備に適用可能な技術（信頼性評価技術、信頼性回復技術）の開発課題を明確化する。</li> <li>・「急傾斜地」/「営農型」/「水上」への太陽光発電システムの設置について、設備自身と周辺環境の安全確保のために考慮する項目を調査し、各項目の対策案を抽出する。さらに、電気安全、構造安全に関する設計施工、普及促進のガイドライン策定に向け課題を抽出し、ガイドラインを策定するための企画書（案）を明確化する。</li> <li>・封止材、ガラスを対象とした部材再利用に係る技術として、分解処理コスト（売却益を含む）3円/W 以下と資源回収率 80%以上を両立させる技術を見出す。見出した技術を用い分解処理後のガラス品質を評価し、マテリアルリサイクルの可能性を明確化する。</li> <li>・国内外の急傾斜地、営農、水上等の設置環境や太陽光発電システムの信頼性・安全性に関わる市場、技術、政策等のトレンドを調査・分析し、日本での技術開発に活用可能な情報として纏める。</li> <li>・太陽電池光発電システムのリサイクルに関わる国内の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などを調査し、国内の太陽光発電システム導入分布を考慮した排出量予測を纏める。</li> <li>・将来の既設建築物の ZEB 化に向けた太陽光発電システム設置の可能性について確認するため、開口部としての窓や改修時に設置可能な部位への太陽電池適用について国内外の市場・技術動向を調査し、既築建築物の Z E B 化への技術課題、要求性能を抽出する。</li> </ul> |
|-------|--|

|         |   |         |  |  |  |  |  |
|---------|---|---------|--|--|--|--|--|
| 事業の計画内容 | 主な実施事項                                    | 2019 年度 |  |  |  |  |  |
|         | 研究開発項目 (I)<br>「太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価」 | ←→      |  |  |  |  |  |
|         | 研究開発項目 (II)<br>「太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発」     | ←→      |  |  |  |  |  |
|         | 研究開発項目 (III)<br>「持続可能な太陽光発電動向調査」          | ←→      |  |  |  |  |  |

|                  |  |            |   |   |   |   |            |
|------------------|--|------------|---|---|---|---|------------|
| 開発予算<br>(単位:百万円) | 会計・勘定                                  | 2019 年度    |   |   |   |   | 総額         |
|                  | 一般会計                                   | -          | - | - | - | - | -          |
|                  | 特別会計<br>(需給)                           | 362        | - | - | - | - | 362        |
|                  | 開発成果促進財源                               | -          | - | - | - | - | -          |
|                  | 総予算額                                   | 362        | - | - | - | - | 362        |
|                  | (契約件数)                                 | 10         | - | - | - | - | -          |
|                  | 負担率:2/3<br>(共同研究)<br>負担率:1/1<br>(委託事業) | 120<br>242 | - | - | - | - | 120<br>242 |

|      |            |                                 |
|------|------------|---------------------------------|
| 開発体制 | 経産省担当原課    | 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課 |
|      | プロジェクトリーダー | (指名せず)                          |

|                |  |  |
|----------------|--|--|
|                | 委託先  | 国立研究開発法人産業技術総合研究所、SOMPOリスクマネジメント(株)、(一社)構造耐力評価機構、(一社)太陽光発電協会、太陽光発電技術研究組合(参加 23 社・機関)、ソーラーフロンティア(株)、(株)トクヤマ、(株)資源総合システム、(株)三菱総合研究所  |
| 情勢変化への対応       |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>2019年9月の台風15号の強風による、水上設置型太陽光発電所の被災及びその後の火災発生を受け、被害状況と発生原因に関する情報を収集し、得られた知見をガイドライン案へ反映した〔(I)-(i)「太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定に関する企画立案」〕</li> <li>太陽光発電システムへのIoT技術導入促進とNFPA 70(NEC) 2020による規制等に伴う、モジュールへの安全性ニーズの高まりを受け、IoT化の技術開発シナリオ案に、緊急遮断機能を持つ高安全モジュールの開発を加えることとした〔(I)-(ii)「IoT技術による長期安定稼働PVシステムの開発シナリオ策定と要素技術の予備検討」〕</li> </ul> |
| 評価に関する事項       | 事前評価   | 事前評価 2018年度実施 担当部：新エネルギー部  |
|                | 中間評価   | (単年度事業につき実施せず)   |
|                | 事後評価   | 事後評価 2020年度実施 担当部：評価部  |
| 3. 研究開発成果について  | <p>研究開発項目 (I) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>50kW以下の小規模発電設備における、設置環境、構造、発電モジュール、発電モジュールを除く電気設備、それぞれに適用可能な信頼性評価技術および信頼性回復技術の開発課題を明確化した。</li> <li>急傾斜地/営農型/水上、それぞれのガイドライン策定のための企画書を立案した。</li> </ul> <p>研究開発項目 (II) 太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発</p> <p>封止材とガラスを対象とした部材再利用に係る技術として、分解処理コスト(売却益を含む)3円/W以下と、資源回収率80%以上を両立させる技術を見出した。これらの技術を用い、分解処理後のガラス品質を評価し、マテリアルリサイクルの可能性を検討した。</p> <p>研究開発項目 (III) 持続可能な太陽光発電動向調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>導入が増加する水面、農地、急傾斜地への太陽光発電システムの設置について、国内外の動向を調査した。また、最先端の技術開発動向、各国の普及施策、太陽光発電システムに関連する各種の実態について最新情報を収集した。</li> <li>国内におけるリサイクルの技術開発を行ううえで参考となるよう、将来的な排出見込量、国内動向(技術開発、政策、事業化事例)、ガラスリサイクル市場動向を調査した。</li> <li>既存建物のZEB化を実現するため、既設建築に対するBIPVの導入拡大に資する阻害要因の分析と課題解決の方策を調査・分析した。</li> </ul> |  |
|                | 投稿論文   | 2件   |
|                | 特許   | 2件   |
|                | その他の外部発表   | 1件   |
| 4. 実用化の見通しについて | <p>研究開発項目 (I) 「太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価」は、承継されたプロジェクトにおいて引き続き研究開発がなされ、将来公開される関連技術や策定されるガイドラインによって、安全で長期間の安定稼働が可能な太陽光発電の普及が促進される。</p> <p>研究開発項目 (II) 「太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発」では、承継されたプロジェクトにおいてさらなる実証検討がなされ、分解処理コストと資源回収率を両立しつつ、回収素材の高品質化や水平リサイクルを可能とする実証プラントの構築により、マテリアルリサイクルの普及に寄与する。なお、実施者であるソーラーフロンティアは、自社工場内でのパイロットラインの構築を計画しており、ソーラーパネルリサイクル処理技術の実証を検討する旨公表している。</p>   |  |
| 5. 基本計画に関する事項  | 作成時期   | 2019年3月 作成   |





## プロジェクト用語集

| 用語（日本語）      | 用語（英語）                           | 説明  |
|--------------|----------------------------------|---|
| アークフォルト      | arc fault                        | 絶縁不良や接触不良が原因で起こるアーク放電による異常発熱故障。直流電流には電流を遮断しにくい性質があり、最悪の場合は火災事故に繋がる恐れがある                       |
| アイオノマー樹脂     | ionomer resin                    | イオンによる擬似架橋構造を有する樹脂。高い水分バリア性を有し、架橋樹脂の強靭さを保持しつつ、熔融成型が可能な点で太陽電池封止材へ展開されている                       |
| アグリゲート       | aggregate                        | 集めること。複数の太陽光発電システムの発電電力を集めることにより、その電力を用いて発電、電力制御などの事業が可能となる                                   |
| アセット評価       | asset evaluation                 | 太陽光発電システムなどのアセット(資産)評価のこと。太陽光発電システムの場合は、発電性能評価や安全性能評価などから成る                                   |
| アパーチャーエリア    | aperture area                    | 太陽電池モジュールにおいて発電部外周を囲った領域を示す   |
| アモルファスシリコン   | amorphous silicon                | シリコンを主成分とし、原子配列に結晶性を持たない固体半導体。真空蒸着法などにより非常に薄い半導体膜を形成可能。半導体膜形成時の条件を変えることでpn接合を作製することができる       |
| アルミ枠         | aluminum frame                   | 太陽電池パネルの機械的強度の確保と架台や屋根等への設置を容易とするアルミ製の外周枠   |
| アレイ          | array                            | ストリングを並列接続したもの  |
| アレイ状メサ       | arrayed mesa                     | 規則正しく配置されたメサ(段差)  |
| 安定化効率        | stabilizing efficiency           | アモルファス Si 太陽電池は光にあると出力が低下するが、光を照射して出力が安定になったときの変換効率   |
| ウェット処理       | wet treatment                    | 主に化学薬品等の液体に浸漬させる、基板や半導体材料の表面処理技術。一般的な洗浄処理も含まれる  |
| エアロゾル        | aerosol                          | 気体中に浮遊する微小液体または固体の粒子  |
| エアマス         | air mass (AM)                    | 地球大気に入射した太陽直達光が通過した路程の長さ。標準状態の大気圧(標準気圧:1013hPa)に垂直に入射した太陽直達光が通過した路程の長さを AM1.0 として、それに対する倍率で表す |
| エチレンビニルアセテート | ethylene-vinyl acetate copolymer | EVA 樹脂はエチレン・酢酸ビニル共重合樹脂で、-58℃まで可撓性があり、水、紫外線に優れた安定性があると同時に、ゴム弾性、柔軟性、強靭性、低温特性、耐候性に優れた樹脂材料        |

|                        |   |  |
|------------------------|---|--|
| エレクトロルミネッセンス<br>(電界発光) | EL, electronic<br>luminescence          | 光を照射しない状態でセル(半導体)に電界を印加するとセルが発光する現象。セル正常部は電流が流れるので発光するが異常部は発光しないので、セル故障の検査ができる       |
| エンジニアリングプラスチック         | engineering plastic                     | 耐熱性・強度に優れるプラスチックの総称  |
| 遠心風力式破碎機               | centrifugal<br>crushing machine         | 太陽電池パネルを高速回転するブローア状の羽根で破碎・風選し、ガラスとその他に分離する装置   |
| オートクレーブ                | autoclave                               | 内部を高圧力にすることが可能な耐圧性の装置や容器、あるいはその装置を用いて行う処理のこと。医療分野では滅菌処理に、工学分野ではコンクリート製品の促進養生に使用されている |
| 送り速度                   | input speed                             | ロール破碎機の回転する2本のロールで挟まれた太陽電池パネルの送り込まれる速度   |
| 温度サイクル試験               | thermal cycle test                      | 本稿では IEC61215 に定められた、85℃と-45℃の温度変化を一定周期で一定回数与える試験。試験後の出力低下5%以下であれば合格                 |
| 開放電圧                   | open circuit<br>voltage                 | 太陽電池セル・モジュールの出力端子を開放した時の両端子間の電圧  |
| 角パイプ                   | square pipe                             | JIS G 3466 一般構造用角形鋼管(STKR400, STKR490)に適合した角形鋼管(200角未満)のこと                           |
| 駆け付け対応                 | rush to the site                        | 太陽光発電システムなどの異常を検知した際に、現場に駆け付け、応急対応、修理などの対応を行うこと                                      |
| 可視光下                   | under visible light                     | 照度 200Lx (光波長範囲 400~700nm での光エネルギー57.7 $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ) 環境下                 |
| 架台                     | support structure                       | 太陽光発電モジュールを取り付けるための支持物   |
| ガラス                    | glass                                   | 太陽電池パネルの破損を回避するために表面を保護する強化ガラス   |
| ガラス/ガラス モジュール          | Glass/Glass module                      | ガラス/封止材/セル/封止材/ガラス という構成からなる太陽電池モジュール  |
| ガラスカレット                | glass-cullet                            | 太陽電池パネルを保護するガラスを破碎することで得られる粒状のガラスのかげら。   |
| ガラス/バックシート モジュール       | Glass/Back sheet<br>module              | ガラス/封止材/セル/封止材/バックシート という構成からなる太陽電池モジュール   |
| 簡易動的コーン貫入試験            | simple dynamic cone<br>penetration test | 人力で5kgのハンマーを50cmの高さから自由落下させて、地盤内にコーンを10cm貫入するのに必要な打撃回数を求める試験である                      |
| 基準状態                   | standard test<br>condition              | 太陽電池セル・モジュールの特性を測定する際の基準。(セル温度: 25℃、分光分布: 基準太陽光、放射照度 1000W/m <sup>2</sup> )          |

|            |                               |   |
|------------|-------------------------------|---|
| 基準太陽光      | standard sunlight             | 太陽電池セル・モジュールの出力特性を共通の条件で表現するために放射照度および分光放射照度を規定した仮想的太陽光   |
| 基準太陽電池セル   | reference solar cell          | 太陽電池セル・モジュールの測定にあたって、測定用光源の放射照度を基準太陽光換算で決定するために使用される、基準セル・モジュールと相対的に同じ分光感度を持った太陽電池セル                                  |
| 犠牲防食       | sacrificial protection        | めっき層がある鋼材において、何らかの理由で鉄素地が露出した際に、鉄が腐食されるより先に、めっき層が腐食され、保護することで鉄を腐食させない効果のこと  |
| 規制のリバランス   | rebalance of regulation       | 規制緩和と規制強化を組合せて最適な規制を行うもの。例えば、保安規定を強化すると同時に、スマート保安(遠隔モニターなどを併用)を容認し、全体として安全性を高める規制とする                                  |
| 逆流防止ダイオード  | blocking diode                | 太陽光発電システム内で逆流を防止するために設置するダイオード。一部の太陽電池モジュールが短絡故障を起こした場合などで、正常なストリングから異常ストリングへ電力が逆流してしまうことを防止する                        |
| 切妻         | gable Roof                    | 屋根の形状の一つ。屋根の最頂部の棟から地上に向かい、2つの傾斜面が本を伏せたような山形の形状をした屋根   |
| 杭頭処理       | processing of pile head joint | 杭頭高さを設計高さにそろえるため、杭頭部を切断、壊し取るあるいは継ぎ足しを行うこと   |
| 杭基礎        | pile foundation               | 構造物を直接に支持することが難しい地盤などで直接基礎に代って杭を用いて支持する形式の基礎。支持方式には、支持杭によるものと摩擦杭によるものがある  |
| グリッドパリティ   | grid parity                   | 再生可能エネルギーによる発電コストが既存の電力のコスト(電力料金、発電コスト等)と同等かそれより安価になる点(コスト)を指す  |
| 蛍光 X 線分析   | X-ray fluorescence analysis   | X線を試料に照射したときに発生する蛍光 X 線のエネルギーや強度から物質の成分元素や構成比率を測定する分析法  |
| 系統連系       | grid connection               | 太陽光発電等の設備と商用電力系統との接続。安全に接続できるよう連系規程などが定められている   |
| 系統安定化      | stabilization of grid         | 一般に太陽光発電システムは変動が大きく、電力系統を不安定にする懸念があるが、これを低減、防止するもの。蓄電池を併用して出力の平準化を図るものなどがある   |
| 結晶シリコン太陽電池 | crystal-silicon solar cell    | 太陽電池セルが結晶シリコンの無機質である太陽電池  |
| 高温高湿試験     | damp heat (DH) test           | 太陽電池モジュールの信頼性試験の一つ(IEC61215 10.13項に規定の耐環境試験)。一般的な条件は温度 85 °C、湿度 85%である。認証試験では、1000 時間の試験後の性能低下が初期値の 5%以内であることを要件としている |

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| 孔食           | pitting corrosion<br>(Corrosion pit)    | 金属の腐食の一種。金属面の欠陥部分から腐食が進行し、孔状に腐食が起こる現象  |
| 交流インピーダンス測定  | AC impedance                            | 作用極－参照極間の電位を、対極－参照極に電流を流すことでコントロールし、作用極－参照極間のインピーダンスを測定すること。その際、与える電位を交流として、その電位の周期を変えることで測定する       |
| 固液分離         | solid-liquid<br>separation              | 液体の中に分散している状態の固体を液体から分けること   |
| 固定価格買取制度     | the establishment<br>of feed-in Tariff  | 2012年7月に導入された再生可能エネルギーによる発電電力の全量買取制度   |
| コレクションポイント   | collection point                        | 使用済の太陽光発電モジュールの回収拠点であり、発生場所から運び込まれる。一定量が収集されると、リサイクル処理プラント等に搬送される                                    |
| 最大電力         | maximum power                           | 太陽電池セル。モジュールの電流電圧特性曲線上で電流と電圧の積が最大になる点での電力  |
| サブストレート型太陽電池 | substrate type<br>solar cell            | 太陽光が基板を通さずに入射させるタイプの太陽電池   |
| サブモジュール      | submodule                               | 集積構造を備えているがカバーガラス等による封止がされていない太陽電池、サーキット(Circuit)とも言う  |
| △型のロール形状     | triangle roll shape                     | ロール破砕機における2本のロールの表面突起部の形状が三角型のもの   |
| 三角分布         | triangular<br>distribution              | 有限区間の上限と頂点、下限を直線で結ぶことで表現される確率分布であり、三角形の形状を取るもの。サンプルデータに限りがあり、母集団の特定が困難な場合に利用されることが多い                 |
| 支持層          | bearing stratum                         | 構造物を十分に支持する能力があり、かつ沈下に対しても安全である地層、または支えている地層   |
| 締固め          | compaction                              | 土壌を振動させる、たたく、突くなどし、空隙を無くし、密実にする  |
| 遮へい暴露試験      | sheltered exposure<br>test              | 遮へい構造物の下若しくは中又は屋内に試料の一部若しくは全部を設置して、日照、雨、雪、風などの直接的な影響を避けた状態で暴露し、試料の化学的性質、物理的性質及び性能の経時変化を調査する暴露試験方法のこと |
| 集光型太陽光発電     | concentrating<br>photovoltaics<br>(CPV) | 集光レンズ、集光鏡等を用いて太陽光を集光し、その光で発電する方法   |
| 需給一体型        | supply/demand<br>integrated system      | 供給(発電)と需要(電力消費)を一体とした太陽光発電システム。自家消費(電力消費)を組み込むことにより系統コスト増抑制などのメリットが見込め、経済産業省も需給一体型への移行を推進している        |

|                  |                                   |   |
|------------------|-----------------------------------|---|
| 出力力率             | output power factor               | 力率の定義は実効電力/皮相電力である。その中で、電源回路からの出力の力率を出力力率、入力を入力力率と呼ぶことがある   |
| シリカ              | silica, SiO <sub>x</sub>          | シリコン酸化物。二酸化珪素または主として二酸化珪素によって構成される天然鉱石、珪石、珪砂の総称   |
| 振動篩型分級機          | vibration type screening machine  | 分別機に振動を与えることで形状(重さ、大きさ等)の異なるものを効率的に分別できる装置  |
| 水蒸気透過率(WVTR)     | water vapor transmission rate     | 単位面積・単位時間あたりフィルムから水蒸気が透過する量。一般的な単位としては、g/m <sup>2</sup> day が用いられる  |
| スウェーデン式サウンディング試験 | Swedish weight sounding (SWS)     | スクリーポイントにロッドの先端につけて荷重段階0.05kN、0.15 kN、0.25 kN、0.50 kN、0.75 kN、1.0 kNのおもりを載荷する。おのおのの荷重段階で貫入量を測定する。おもりが1.0kNになっても貫入しなくなれば、回転を加え25cm貫入に要する半回転数を測定する地盤調査方法である |
| スーパーストレート型太陽電池   | superstrate type solar cell       | ガラス基板などの透光性基板上に、透明導電膜、シリコン層、裏面電極の順に製膜され、光は透光性基板と透明導電膜層を通して、光活性であるシリコン層に入射させるタイプの太陽電池  |
| 据付システム           | installation System               | モジュールを屋根等に取り付けるシステムを指す  |
| ストリング            | string                            | 直列接続された複数太陽電池モジュール。太陽光発電システムでは太陽電池モジュールは直列及び並列に接続され、パワーコンディショナに入力されるが、直列接続された最小単位のモジュール群をストリングと呼ぶ   |
| ストリング            | string                            | 太陽光発電パネルを直列に接続したひとつながりのこと   |
| ストリング            | string                            | モジュールを複数直列接続したもの  |
| スネイルトレイル         | snail trail                       | セルに発生したマイクロクラック部分に水分が侵入し、PVモジュールのオモテ面にカタツムリが這ったような模様が見える現象  |
| スマート保安           | smart security                    | IoTやドローンなどの技術を活用したスマートな保安。設備の老朽化が進む一方で保守保全人員の老齢化が進む現状のもと、経済産業省も普及に向け注力している  |
| 静特性              | static characteristic             | 直流電圧又は、電流を印加して得られる素子特性  |
| 精錬               | smelting                          | 鉱石を還元することによって金属を取り出す過程  |
| 絶縁耐圧試験           | dielectric withstand voltage test | IEC61215 10.3項に規定の絶縁性能試験。試験条件：システム電圧×2+1000Vを1分間  |
| 絶縁抵抗             | insulation resistance             | 太陽電池モジュールの出力端子と接地間の抵抗。これが不十分(低抵抗)であれば地絡の危険性があり、感電や火災の原因となりえる  |

|                |  |  |
|----------------|--|--|
| 接続箱            | connection box                                 | 太陽電池モジュール出力とパワーコンディショナ入力をつなぐボックス   |
| セル             | cell   | 集積構造を備えていない太陽電池、単セル(Single Cell)とも言う                                       |
| セル層            | cell waste                                     | 太陽電池パネルを構成するガラス以外のもの（セル、バックシート、樹脂等）の総称                                     |
| ソーダ石灰ガラス       | soda lime glass                                | 現在最も広く利用されている安価なガラス。板ガラスや瓶ガラスに使用されている                                      |
| ダーク I-V 測定     | dark I-V measurement                           | セル、又は PV モジュールに光を照射しない状態で主回路を直流電源に接続し、I-V 特性(ダイオード特性)を測定すること               |
| 大気暴露試験         | atmospheric corrosion test                     | 開放及び遮へい大気環境下で材料及び製品を暴露して、それらの化学的性質、物理的性質及び性能の変化を調査する試験                     |
| 太陽光発電          | photovoltaic (PV)                              | 太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式   |
| 太陽光発電システム      | solar power system                             | 太陽電池パネルで得た電気を、パワコンを経て自家消費又は系統連結して利用する電力システム                                |
| 太陽光発電モジュール     | photovoltaic module                            | 配線材を用いて複数の太陽電池セルを直列に接続し、ガラスや高分子部材を用いて封止したもの。太陽電池パネルともいう                    |
| 太陽電池セル         | photovoltaic cell (solar cell)                 | 太陽光発電に用いる太陽電池の構成要素最小単位   |
| 太陽電池パネル        | solar panels                                   | 複数の太陽電池セルを直列に接続し、ガラスや樹脂等で封止したもの。太陽電池モジュール                                  |
| 太陽電池モジュールの温度係数 | temperature coefficient of photovoltaic module | 太陽電池は一般的に温度上昇に伴い出力が低下する。この係数が温度係数である                                       |
| ダブルガラスモジュール    | double-glass module                            | 受光面側のみならず、裏面材にもバックシートではなくガラスを用いた太陽電池モジュール                                  |
| 端子ボックス         | terminal box                                   | 太陽電池パネルで発電した電力と外部に出すための送電線とを繋ぐパネル裏面に取り付けた BOX                              |
| ダンプヒート試験       | DH Test  | 高温高湿環境下テスト。本開発では温度 85℃湿度 85%環境下と規定   |
| 短絡電流           | short circuit current                          | 太陽電池セル・モジュールの出力端子を短絡した時の両端子間に流れる電流   |
| 超軽量構造架構(造語)    | ultra-light structure Frame                    | 鋼構造設計基準、軽鋼構造設計施工指針・同解説等の設計基準の適用範囲外となる厚さ 2.3mm 未満の超軽量鉄材を用いても安全性を満足できる太陽電池架台 |
| 直接基礎           | spread foundation                              | 基礎スラブからの荷重を直接地盤に伝える形式の基礎をいう  |

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| 直接暴露試験    | open exposure test  | 大気暴露試験の一種で、気象因子(日照、あめ、雪、風など)の影響を直接受ける状態で材料及び製品を暴露し、化学的性質、物理的性質及び性能の変化を調査する方法  |
| 直列接続      | series-connection   | 複数の太陽電池を電氣的に直列につなぐこと  |
| 地絡        | ground fault  | PV システムなどの電気回路と大地が相対的に低いインピーダンスで電氣的に接続される状態。火災や感電の要因となる現象   |
| 凹凸型のロール形状 | Ruggedness roll shape   | ロール破碎機における2本のロールの表面突起部の形状が角型のもの   |
| デラミネーション  | delamination  | 太陽電池モジュール内の層間剥離。光入射側(セルとガラス間)、裏側(セルとバックシート間)の両者がある。光入射側の場合は表面白濁、裏面側の場合はバックシートの膨らみが観測される   |
| 電圧誘起出力低下  | PID, potential induced degradation                              | 太陽電池モジュールのフレームもしくはカバーガラスと太陽電池(セル)の電極の間に、何らかの原因によって高い電圧が発生し、セルの電圧がマイナスである場合に、カバーガラスに含まれるナトリウム(Na)がセル内部に移動するために起こると考えられており、PV モジュールの出力低下を招く現象 |
| 電気化学測定    | electrochemistry measurement                                    | 化学物質の性質を電氣的に計測する方法  |
| 等価回路      | equivalent circuit  | 交流インピーダンス測定の結果から考えられる反応場の電気回路のこと  |
| 動特性       | dynamic characteristics   | 交流電圧又は、電流を印加して得られる素子特性  |
| 土壌界面      | soil interface  | 鋼製杭等の架台基礎において、大気と土壌間及び異なる土壌間での環境の条件差が生じる境目環境  |
| 土壌粒度      | grain size of soil  | 複数種類の鉱物からなる岩石について、主要鉱物粒子の大きさを示す工業量である。堆積岩や火成岩、変成岩について粒度が定義できる。なお、土壌や破碎性堆積物がどのような粒度の構成粒子からなるかを示す尺度を粒度階区分と呼ぶ                                  |
| 特高、高圧、低圧  | extra high tension power, high tension power, low tension power | 電力系統の電圧の種類(特高:7000V超、高圧:600V超~7000V以下、低圧:600V以下)。太陽光発電システムはその規模によって、連系する電圧が異なる(2MW以上のPVシステムは特高、50kW以上は特高、50kW以下は低圧)                         |
| ドライ処理     | dry treatment   | 主に反応性ガスやプラズマ処理などを用いる、化学薬品等の液体を用いない基板や半導体材料の表面処理技術   |
| バイパスダイオード | bypass diode  | 太陽電池モジュール内に設置するダイオード。セル断線などにより太陽電池の一部が高抵抗になり電流が流れない状況になった際に、電流をバイパスさせる。PVシステムの出力低下を最小限にするとともに安全性を向上させるもの                                    |

|            |   |   |
|------------|---|---|
| パイルドライバー   | pile driver                                 | 主として、打撃エネルギーと振動エネルギーを利用する杭打ち機械  |
| 薄膜系太陽電池    | thin-film solar cell                        | 数 $\mu\text{m}$ の光吸収層を用いた太陽電池であり、省資源・低コスト化が期待される。シリコンを用いたものと銅-インジウム-ガリウム-セレン化合物を用いたものが実用化されている。結晶系に比べて水蒸気浸入に弱いとされている  |
| 破碎装置       | crushing machine                            | 固体を目的の大きさまで細分化する装置  |
| バックシート     | back sheet                                  | 太陽電池モジュールの裏面側に用いる高分子系シート。ポリエチレンテレフタレート（PET）をベースフィルムとするものが多く、PET フィルムをフッ素系の樹脂ではさんだものや、アルミニウム箔を PET フィルムではさんだものなどが用いられる |
| 発光分光分析     | emission spectroscopy analysis              | 放電等により試料を発行させ、分光器によってそのスペクトルを調べ、試料中に含まれる元素の種類やその含有量を定量的に測定する分析法   |
| パワーコンディショナ | power conditioner (PCS)                     | 太陽電池からの直流電力を交流電力に変換するほか、連系機能や出力最大化などの重要な機能を持つ   |
| バンドギャップ    | band gap                                    | 固体中の電子が定常状態でとり得るエネルギー値の差。電子がエネルギーを受けて低エネルギー状態から高エネルギー状態へ遷移する際、バンドギャップ以下のエネルギーでは遷移できない                                 |
| ハンマー式破碎剥離機 | hammer-type crushing and separation machine | 太陽電池パネルを回転する突起（ハンマー）で破碎・粉碎してパネルからガラスを剥離する装置   |
| 光閉じ込め      | light trapping                              | 太陽電池内部での光の伝播方向を制御することにより、伝播距離を伸ばし太陽電池内部での光吸収率を向上させ、太陽電池の変換効率を向上させる技術  |
| 標準貫入試験     | standard penetration test (SPT)             | 重さ 63.5kg の重錘を 75cm 落下させて、標準貫入試験用サンプラーを打撃し、サンプラーが 30cm 地盤に貫入されるまでに要した打撃回数から地盤の固さを調べる地盤調査方法である                         |
| 表面パッシベーション | surface passivation                         | 半導体素子の表面保護膜を作成する工程  |
| ファンデルワールス力 | van der Waals force                         | 電荷を持たない中性の原子、分子間ではたらく凝集力。この力を介して物体間の物理吸着が生じる  |
| 封止材        | encapsulant                                 | 太陽電池モジュール内にセルを固定するための高分子部材。一般的には、エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)を用いる  |
| 不純物        | impurity                                    | 結晶中に混入している微量元素  |
| 腐食         | corrosion                                   | 金属が環境中の酸素・水などの化学反応によって変質すること。また、その現象。普通、変質部が酸化物やイオンなどのかたちでその表面から失われ、金属材料としての品質が低下する場合をいう                              |



|              |   |   |
|--------------|---|---|
| 腐食減量         | corrosion weight loss                         | 腐食試験により生成した表面にある腐食生成物を取り除いた試験片の重量減少量のこと。これらを単位面積当たりの量として、暴露期間で除すと腐食速度が算出される   |
| プラズマ CVD     | plasma-enhanced chemical vapor deposition     | 高周波などを印加することで原料ガスをプラズマ化させることを特徴とする化学気相成長法（CVD）の一種。化学反応を活性化させるため、高周波などを印加することで原料ガスをプラズマ化させ、薄膜等を堆積させる方法                         |
| 分解処理コスト      | disassembling cost                            | 太陽電池パネル 1W あたりの処理費用   |
| 分級機          | screening machine                             | ガラスやバックシート等をその形状（重さ、大きさ等）の違いで分別する装置   |
| 分光感度         | spectral response                             | 太陽電池の入射光波長ごとの変換効率。太陽電池出力の入射光波長依存性を表した特性で、短絡電流の入射単色光入力に対する比。なお、単位は A/W または相対値（相対分光感度）で表す                                       |
| ヘテロ接合        | hetero junction                               | 異種材料の接合。例えば、単結晶膜とアモルファス（非晶質）膜との接合   |
| ヘテロ接合結晶系太陽電池 | heterojunction crystalline silicon solar cell | 結晶シリコンとアモルファスシリコンで pn 接合を形成した結晶シリコン系太陽電池。高い電圧が得られて高性能が実現する。実用化されたものとしては、三洋電機が開発した HIT 太陽電池が代表例である。一般的な結晶系に比べれば、UV 耐性に弱いとされている |
| 変換効率         | efficiency                                    | 最大電力を太陽電池セル・モジュール面積と放射照度との積で除した値  |
| ホットスポット      | hot spot                                      | PV モジュールの受光面の一部又は全部が日陰になると、その部位が高抵抗化し発熱する現象。PV モジュールの損傷に至る  |
| ホットプレート      | hot plate                                     | ワークの温度を精密に調整するための熱板を有する実験器具   |
| ポリシリコン       | polysilicon                                   | 半導体用、太陽電池用に用いられる高純度シリコン。主としてシーメンス法で生産される  |
| マイクロインバータ    | micro-inverter                                | 小型のインバータ。モジュール 1 枚単位（あるいは数枚単位）で設置されることが多い   |
| マイクロクラック     | micro crack                                   | 本報告書では、EL 観察により観察されるセル割れを指す   |
| マルチホップ通信     | multi-hop communication                       | 基地局を介さずに通信装置を経由してデータを伝送する方法   |
| 水みち(造語)      | water path                                    | 太陽電池モジュール面から落下する雨水や結露水の通り道等の架台に局所的に降雨が集中する環境  |
| 水みち腐食(造語)    | corrosion by water path                       | 水みちにより濡れ時間が他の部位より長くなることで発生する局所的な腐食のこと   |
| 見守りサービス      | monitoring service                            | 太陽光発電システムなどの運転状況などをモニター（見守る）し、迅速に異常を検知するサービス  |

|             |                    |   |
|-------------|--------------------|---|
| メッシュネットワーク  | mesh network       | 通信ノード同士が相互に通信を行うことにより、網の目状に形成された通信ネットワーク  |
| モジュール変換効率   | module efficiency  | モジュールの受光面に入った太陽光と発電された電力の割合   |
| モノリシックモジュール | monolithic module  | 1枚の基板上に太陽電池構成材料を層状に積層して作製したモジュール  |
| 有機系太陽電池     | organic solar cell | 有機半導体でpn接合を形成する太陽電池。最近では効率も10%を超え、早期の実用化が期待されているが、水蒸気浸入に弱いとの欠点もある   |
| 有機色素        | organic dye        | 色素分子を構成する元素が主に炭素からなり、かつ金属元素を含まない色素  |
| 誘導負荷        | inductive load     | モータなどで突入電流が流れる負荷  |
| 油化          | oiled              | 廃プラスチックを熱分解して生成油を製造する方法   |
| 横座屈         | lateral buckling   | 曲げねじり座屈。曲げ材に対して横座屈、圧縮材に対して曲げねじり座屈と使い分ける   |
| 寄棟          | hipped Roof        | 屋根の形状の一つ。4方向に傾斜する屋根面をもつものをいう  |
| ラバーヒータ      | rubber heater      | 発熱体であるニクロム線をシリコンのシートで両側から挟み込んだ面状ヒーター  |
| ラピッドシャットダウン | rapid shutdown     | 即時に(短時間で)出力を遮断する機能。火災時等の緊急時に、屋根上の太陽光発電アレイ付近で電圧を遮断することで、消防隊員等が住宅内の直流配線から感電するリスクを低減させるための安全性技術である。米国では米国電気工事基準(NEC2014)以降においてラピッドシャットダウンの導入が要求されている |
| ラミネータ       | laminator          | 熱圧接装置   |
| ラムサウンディング試験 | Ram-sounding (RAM) | 質量63.5kgのハンマーを50cmの高さから自由落下させることで貫入ロットに取り付けた先端コーンが20cm貫入するのに要する打撃回数を求める動的貫入試験である  |
| リサイクル       | recycle            | 不要物等を再生、再資源化して使用すること  |
| リパワーリング     | repowering         | 太陽光発電システムなどの修理、改造などにより、性能回復、性能向上を図ること   |
| リフトオフ       | lift-off           | 薄膜と基板間に層構造を有する場合に、下層を化学反応により取り去ることにより、薄膜を基板から剥離する方法   |
| 裏面バックシート    | back sheet         | 太陽電池モジュールの裏面側のシート。一般的には不透明の樹脂を用いる。モジュールの不具合事例のひとつが裏面バックシートの膨らみであるが、断線や水分侵入などが懸念される  |
| リユース        | reuse              | 一度使用されたものをそのまま再び使用すること  |
| リユース選別      | sorting for reuse  | 太陽電池モジュール廃棄の際、リユースが的確かどうか選別すること   |

|               |                                      |  |
|---------------|--------------------------------------|--|
| リレーショナルデータベース | relational database                  | 関係モデルに基づいて設計されたデータベース  |
| レーザー誘起分光分析    | laser induced breakdown spectroscopy | 試料表面に短パルスでレーザーを当てることで発生するマイクロプラズマを用いた分析法   |
| ロール間隔         | distance between the rolls           | ロール式破砕機の2本のロール間の隙間(数mmレベル)   |
| ロール式破砕機       | roll-type crushing machine           | アルミ枠を外した太陽電池パネルを2本のロールの間に挿入してその押付圧により破砕する装置  |
| ロールツーロールプロセス  | roll to roll process                 | 材料フィルムをロールからロールへと連続的に供給し、印刷やラミネートを行うプロセス   |
| ロットアウト        | lot out                              | 抜取検査で一定水準以上の不良品が見つかりロット全体が不合格されたもの   |
| ワイブル分布        | Weibull distribution                 | 物体の強度を統計的に表現するための確率分布であり、耐久消費財の使用年数を表現する分布として排出量予測に適用される例が多い   |
| AC モジュール      | AC Module                            | マイクロインバータを装備した太陽電池モジュール。出力が交流であるモジュール  |
| BIPV          | BIPV                                 | Building Integrated Photovoltaics。ビル建物、建材と一体となった太陽電池及び太陽光発電。修理、交換が容易でないケースが多く、より高い安全性が要求される                  |
| BPD           | bypass diode                         | 太陽電池モジュール内に設置するダイオード。セル断線などにより太陽電池の一部が高抵抗になり電流が流れない状況になった際に、電流をバイパスさせる。PV システムの出力低下を最小限にするとともに安全性を向上させるもの    |
| CBM           | CBM                                  | Condition Based Management / Maintenance。異常発生を検知し、修理等の対応を行うメンテナンス  |
| CIGS          | CIGS                                 | $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ という化合物半導体   |
| CIGSSe        | CIGSSe                               | 半導体 $Cu(In, Ga)(S, Se)_2$ の構成元素の頭文字からとった略称。光吸収層として使われる   |
| CIS           | $CuInSe_2$                           | $CuInSe_2$ という化合物半導体。ソーラーフロンティア(株)では III 属元素の In に Ga を添加、VI 属元素の Se に S を添加した、 $Cu(In, Ga)(Se, S)_2$ を用いている |
| CIS 系太陽電池     | Copper Indium Selenium cell          | 銅、インジウム、セレン他による化合物を光吸収層とした太陽電池   |
| DR            | DR                                   | Demand Response。電力不足の際に、需要側電力を節減すること。逆に太陽光発電電力が需要を上回る場合などに、需要側電力を増やす「上げ DR」もある                               |

|            |   |   |
|------------|---|---|
| EL 検査      | electro<br>luminescence test                      | 太陽光発電モジュールの製造工程等で用いられる検査。太陽光<br>発電モジュールに強制的に電流を流して発光させ、特殊カメラ<br>で撮影し検査を行う   |
| EMS        | EMS   | Energy Management System。電力(発電、売買電、消費)を制御<br>することにより、電力料金節減、系統安定化などを行うもの  |
| EVA        | ethylene-vinyl<br>acetate copolymer               | EVA 樹脂はエチレン・酢酸ビニル共重合樹脂で、-58℃まで可<br>撓性があり、水、紫外線に優れた安定性があると同時に、ゴム<br>弾性、柔軟性、強靱性、低温特性、耐候性に優れた樹脂材料  |
| EVA/セル層    | EVA/cell layer                                    | 太陽電池モジュールを分離装置で分離したセルを含むシート状<br>の物  |
| EVA 樹脂     | Ethylene-vinyl-<br>acetate copolymer              | 太陽電池モジュールの封止に使用される樹脂材料の一つ   |
| EVA 積層体    | powder material<br>with ethylene vinyl<br>acetate | 研削工程により削り取られた EVA とシリコン、金属類が混合し<br>た粉状物質  |
| FF         | FF (fill factor)                                  | 太陽光発電素子の短絡電流密度×開放端電圧に対し、最大電力<br>を生じる電流密度×電圧の動作点のこと。直列抵抗が大きく、<br>並列抵抗が小さくなると FF が減少する  |
| G5<br>G8.5 | G5<br>G8.5  | ガラス基板サイズの呼称。Gは世代(Generation)を表す。通常<br>G5 は 1.1×1.3m <sup>2</sup> 、 G8.5 は 2.2×2.5m <sup>2</sup> を指すが、本開発では<br>1.1×1.4m <sup>2</sup> も G5 と呼んでいる |
| IEC        | IEC   | International Electrotechnical Commission、国際電気標準<br>会議。電気工学、電子工学、および関連した技術を扱う国際的<br>な標準化団体  |
| IoT        | IoT   | Internet on Things。モノのインターネット。本報告では、太<br>陽光発電に関する各種データを遠隔モニターにより取得するこ<br>と全般を含み、必ずしも Internet 接続に限定していない(広義<br>の IoT)                           |
| IoT-PCS    | IoT-PCS   | IoT 機能を内蔵したパワーコンディショナ。IoT 機能を外付け<br>で具備するものも含む  |
| ITO        | indium tin oxide                                  | インジウム・スズ合金の酸化物。透明で導電性を有する   |
| MLPE       | MLPE  | Module Level Power Electronics。直交変換、最大点追尾、<br>シャットダウン機能などの機能を太陽電池モジュール単位で行<br>うもの。マイクロインバータ、DC オプティマイザなどの MLPE<br>機器が開発、実用化されている                |
| MPP        | MPP   | Maximum Power Point。最大電力点のこと。パワーコンディ<br>ショナで電力変換する際に、得られる電力が最大となるように<br>電圧(電流)を制御する   |

|          |  |   |
|----------|--|---|
| O&M      | O&M                                    | オペレーション(運転管理)とメンテナンス(保守点検)。太陽光発電システムなどを適切に運転するよう管理するとともに、正常に運転できる状態を保つこと  |
| PCS      | power Conditioner (PCS)                | 太陽電池からの直流電力を交流電力に変換するほか、連系機能や出力最大化などの重要な機能を持つ   |
| Pmax     | Pmax                                   | 太陽電池の動作曲線上において、電力が最も大きくなる点での電力  |
| PV CYCLE | PV CYCLE                               | 2007年に設立された、欧州における太陽光発電モジュールリサイクルを手がける機関  |
| RP       | recycle point                          | 回収したPVシステムをリサイクルする場所  |
| RPD 法    | RPD method                             | 薄膜堆積技術の一種。反応性プラズマ堆積法(reactive plasma deposition)と呼ばれる。TCO 薄膜の成膜に利用される   |
| RTA 処理   | RTA(rapid thermal annealing) treatment | 急速に温度を上げ、短時間保ったのちに、急速に温度を低下させる処理  |
| SLG      | SLG                                    | 青板ガラス、ソーダ石灰ガラス  |
| SOC      | SOC                                    | State Of Charge。蓄電池の充電状況。残容量(Ah)/満充電容量(Ah)  |
| SY       | stock yard                             | 回収したPVシステムを一時的に保管する場所   |
| TBM      | TBM                                    | Time Based Management / Maintenance。定期的なメンテナンス  |
| TCO      | transparent conductive oxide           | 透明導電膜と呼ばれる。フッ素添加された酸化錫や酸化インジウム錫、酸化亜鉛などが良く用いられる。太陽電池の光入射側に用いて光を透過させながら電流を外部に取り出すのに必要な材料である                                     |
| TPO      | TPO                                    | Third Party Ownership。第3者所有モデル。第3者が一般家庭や既設建物の屋根を借りて太陽光発電システムを設置し、発電事業を行うものなどがある。発電事業者は建物所有者に損害を与えられないため、一般的には高い安全性を持つPVが要求される |
| VPP      | VPP                                    | Virtual Power Plant。小規模な発電電力を集め、バーチャルな発電所として発電所機能を果たすもの   |



# I. 事業の位置づけ・必要性について

## 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1.1 NEDO が関与することの意義

第5次エネルギー基本計画（2018年7月3日に閣議決定）では、2030年度の総発電電力量のうち再生可能エネルギーの割合を22～24%程度としている。ここで、太陽光発電の導入目標量を設備換算すると64GWとなる。また、太陽光発電を長期安定的な電源としていくため、使用済みパネルの適正な廃棄・処理が確実に実施されるよう対応するとともに、小規模な事業用太陽光発電の適切なメンテナンスを確保し、再投資を促すこととしている。

一方、再生可能エネルギーの主力電源化を目指し、太陽光発電の大量導入社会を構築するためには、顕在化した様々な課題の解決が必要である。特に、近年の自然災害に関連して太陽光発電設備の破損事故例が数多くなっており、なかでも国内設置件数の大半を占める50kW未満の低圧設備に関して、事故や破損に繋がる事象の事前検知やその対応が求められている。

また、災害等で太陽電池モジュールの廃棄物が発生しているが、2030年代のFIT終了後にはさらに大量の廃モジュールの発生が予測されており、そのリサイクル技術の開発が重要となっている。

これらは、社会的ニーズが大きいですが、開発リスクが大きく個々の企業だけでは研究開発投資を促すことが困難である。また、関連する技術的知見も乏しく、規格・法令の整備も遅れている。このため、NEDO主導の産学連携による研究開発が必要である。

### 1.2 実施の効果

本プロジェクトでは、設置環境の信頼性、構造の信頼性、発電モジュールの信頼性、発電モジュールを除く電気設備の信頼性、それぞれに関する評価技術および回復技術の技術開発計画の企画立案を行った。加えて、傾斜地ガイドライン、営農型ガイドライン、水上ガイドライン、それぞれの策定のための企画立案を行った。

また、研究開発した二つの分離処理方法それぞれについて、実サイズモジュールに対応した試作装置を用意し、太陽電池モジュールをガラスやセル等に、低コストかつ高品質で分離する技術を開発すると共に、今後の事業化を見据えた課題を洗い出した。

これらの結果によれば、太陽光発電システムの信頼性と安全性確保のため、新しい設置形態に関するガイドライン策定の企画立案と、信頼性の評価・回復技術開発の企画立案がなされると共に、使用済みモジュールの適正な廃棄・処理技術により、太陽光の主力電源化と循環型社会システムの構築に資することができる。

なお、2020年度より以下の後継事業を実施する予定である。

#### ①安全性に係る基盤整備

- ・傾斜地設置型、営農型、水上設置型の安全ガイドライン策定
- ・機器設置に関するガイドライン等の策定

#### ②信頼性評価技術、信頼性回復技術の開発（構造・電気）

#### ③太陽電池モジュールの分離・マテリアルリサイクル技術開発

- ・低コストと高い収率を両立する分離処理技術を開発、実証プラントを構築し検証を行う

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

再生可能エネルギーの導入は、エネルギーの安定的な確保というエネルギーセキュリティの向上、及び温室効果ガス削減による地球温暖化の防止の観点から、政府が主導して取り組むべき課題の一つとして位置付けられている。加えて、さらなる環境負荷低減のため、使用後のリサイクルによる循環型社会システムの構築も必要とされている。

これに鑑み、第5次エネルギー基本計画（2018年7月3日に閣議決定）では、2030年度の太陽光発電の導入目標量が設定されると共に、使用済みパネルの適正な廃棄・処理や、小規模な事業用太陽光発電の適切なメンテナンスを確保することとしている。

NEDOでは、これらの要求に応じるべく、長期的な観点で技術開発を行っている。本プロジェクトは、再生可能エネルギーの長期安定電源化を目指し、信頼性・安全性及びそのマテリアルリサイクルに関する技術開発を行なうものである。





## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### 1.1 研究開発の目的

前年度に終了した、「太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト」、および「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」を継承し、再生可能エネルギーの長期安定電源化のため、信頼性向上のための技術開発計画の立案と、新しい設置形態での安全性確保のためのガイドライン策定の企画立案、及び使用済みモジュールのマテリアルリサイクルに関する技術開発を行なうと共に、これらの取り組みに不可欠な動向調査を実施する。

なお、本プロジェクトは一年間の FS とし、その成果を次期プロジェクトでの技術開発とガイドライン策定に繋げる。

#### 1.2 研究開発の目標

信頼性向上のための技術開発と、安全性確保のためのガイドライン策定の企画立案においては、

- ・太陽光発電設備の信頼性・安全性確保と、特に 50kW 以下の小規模な設備を適正に評価し信頼性を回復する技術開発計画の企画立案を行う。
- ・「傾斜地」「営農」「水上」へと多様化が進む設置形態における安全確保のため、課題を抽出し、設計・施工のガイドライン策定のための企画立案を行う。

使用済みモジュールのマテリアルリサイクルに関する技術開発では、

- ・発電事業終了後の廃棄モジュールの適切な処理を行うため、封止材、ガラスを対象とした部材再利用に係る技術として、分解処理コスト(3 円/W)以下と資源回収率(80%以上)を両立させる技術を見出すと共に、分解処理後のガラス品質を評価し、マテリアルリサイクルの可能性を明確化する。

動向調査では、

- ・国内外の急傾斜地、営農、水上等の設置環境や太陽光発電システムの信頼性・安全性に関わる市場動向や技術開発動向、政策等に関する最新情報を把握する。
- ・マテリアルリサイクルの要素技術開発やこれらの取り組みに不可欠な動向を把握するため、太陽光発電システムのリサイクルに関わる国内の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などを調査すると共に、国内の太陽光発電システムの排出量を推定する。
- ・新たな太陽光発電のマーケットとして、既設建築物への Z E B 化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査を行う。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### 2.1.1 研究開発項目

実施した研究開発項目（中項目）は以下のとおりである。

- (I) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価 [委託事業] (NEDO 負担率：100%)  
本研究開発項目は、太陽光発電システムに関する安全性基準を開発するもので、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施した。
- (II) 太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発 [共同研究事業] (NEDO 負担率：2/3)  
本研究開発項目は、実用化まで長期間を要する事業であり、共同研究事業として実施した。
- (III) 持続可能な太陽光発電動向調査 [委託調査事業] (NEDO 負担率：100%)  
本研究開発項目は、事業の取り組みに不可欠な調査事業を実施した。

2.1.2 研究開発テーマ

研究開発テーマ（小項目）を表Ⅱ-2-1に、全テーマの開発スケジュールを表Ⅱ-2-2に示す。

表Ⅱ-2-1 研究開発項目

| 中項目                                      | 小項目（研究開発テーマ）                                  | 実施者  |
|--|---|--|
| 研究開発項目（Ⅰ）<br>「太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価」 | (i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定に関する企画立案 | 国立研究開発法人<br>産業技術総合研究所<br>SOMPOリスクマネジメント株式会社<br>一般社団法人<br>構造耐力評価機構<br>一般社団法人<br>太陽光発電協会 |
|  | (ii) IoT技術による長期安定稼働PVシステムの開発シナリオ策定と要素技術の予備検討  | 太陽光発電技術<br>研究組合  |
| 研究開発項目（Ⅱ）<br>「太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発」      | (i) 合わせガラス型太陽電池のマテリアルリサイクル要素技術開発              | ソーラーフロンティア株式会社   |
|  | (ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発               | 株式会社トクヤマ   |
| 研究開発項目（Ⅲ）<br>「持続可能な太陽光発電動向調査」            | (i) 多様化太陽光発電システムの信頼性・安全性に関する動向調査              | 株式会社<br>資源総合システム   |
|  | (ii) 太陽光発電システムのリサイクルに関する国内動向調査及び排出量予測         | 株式会社<br>三菱総合研究所  |
|  | (iii) 既設建築物へのZEB化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査         | 太陽光発電技術<br>研究組合  |

表Ⅱ-2-2 研究開発の全体スケジュール (2019年度)

| No   | 研究開発項目                               | 2019年度 |    |    |    |
|--|--------------------------------------|--------|----|----|----|
|  |                                      | 1Q     | 2Q | 3Q | 4Q |
| (I) 光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価                    |                                      |        |    |    |    |
| (i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定に関する企画立案  |                                      |        |    |    |    |
| 1  | ①設置環境の信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案           |        |    |    |    |
| 2  | a. ヒアリング、事故データの分析                    | ←→     |    |    |    |
| 3  | b. 現地調査による実態調査                       | ←→     |    |    |    |
| 4  | c. リスク分析・整理                          |        | ←→ |    |    |
| 5  | d. 技術課題および有望な技術開発テーマの抽出              |        |    | ←→ |    |
| 6  | e. 技術開発計画の企画立案                       |        |    |    | ←→ |
| 7  | ②構造の信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案             |        |    |    |    |
| 8  | a. ヒアリング、事故データの分析                    | ←→     |    |    |    |
| 9  | b. 現地調査による実態調査                       | ←→     |    |    |    |
| 10   | c. リスク分析・整理                          |        | ←→ |    |    |
| 11   | d. 技術課題および有望な技術開発テーマの抽出              |        |    | ←→ |    |
| 12   | e. 技術開発計画の企画立案                       |        |    |    | ←→ |
| 13   | ③発電モジュールの信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案        |        |    |    |    |
| 14   | a. ヒアリング、事故データの分析                    | ←→     |    |    |    |
| 15   | b. 現地調査による実態調査                       | ←→     |    |    |    |
| 16   | c. リスク分析・整理                          |        | ←→ |    |    |
| 17   | d. 技術課題および有望な技術開発テーマの抽出              |        |    | ←→ |    |
| 18   | e. 技術開発計画の企画立案                       |        |    |    | ←→ |
| 19   | ④発電モジュールを除く電気設備の信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案 |        |    |    |    |
| 20   | a. ヒアリング、事故データの分析                    | ←→     |    |    |    |
| 21   | b. 現地調査による実態調査                       | ←→     |    |    |    |
| 22   | c. リスク分析・整理                          |        | ←→ |    |    |
| 23   | d. 技術課題および有望な技術開発テーマの抽出              |        |    | ←→ |    |
| 24   | e. 技術開発計画の企画立案                       |        |    |    | ←→ |
| 25   | ⑤急傾斜地ガイドライン策定の企画立案                   |        |    |    |    |
| 26   | a. ヒアリングおよび現地調査による実態調査               | ←→     |    |    |    |
| 27   | b. 考慮項目について整理                        |        |    | ←→ |    |
| 28   | c. ガイドライン策定の企画立案作成                   |        |    |    | ←→ |
| 29   | ⑥営農型ガイドライン策定の企画立案                    |        |    |    |    |
| 30   | a. ヒアリングおよび現地調査による実態調査               | ←→     |    |    |    |
| 31   | b. 風荷重・耐風設計に関するSWG開催 (○印)            |        | ○  |    | ○  |
| 32   | b. 考慮項目について整理                        |        |    | ←→ |    |
| 33   | c. ガイドライン策定の企画立案作成                   |        |    |    | ←→ |
| 34   | ⑦水上ガイドライン策定の企画立案                     |        |    |    |    |
| 35   | a. ヒアリングおよび現地調査による実態調査               | ←→     |    |    |    |
| 36   | b. 考慮項目について整理                        |        |    | ←→ |    |
| 37   | c. ガイドライン策定の企画立案作成                   |        |    |    | ←→ |
| (ii) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定に関する企画立案 |                                      |        |    |    |    |
| 38   | ①IoTパワーコンディショナによる遠隔O&M技術の予備検討        | ←→     | ←→ | ←→ | ←→ |
| 39   | ②IoTストリング診断の予備検討                     | ←→     | ←→ | ←→ | ←→ |
| 40   | ③MLPEによるIoTシステムの予備検討                 | ←→     | ←→ | ←→ | ←→ |
| 41   | ④開発シナリオの作成 (企画立案)                    | ←→     | ←→ | ←→ | ←→ |
|  |                                      |        |    |    |    |
|  |                                      |        |    |    |    |
|  |                                      |        |    |    |    |

|                                       |  |   |   |   |
|---------------------------------------|--|---|---|---|
| (Ⅱ) 太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発              |  |   |   |   |
| (i) 合わせガラス型太陽電池のマテリアルリサイクル要素技術開発      |  |   |   |   |
| 1                                     | ①実モジュールにおける基板ガラスとカバーガラスの解体             |   |   |   |
| 2                                     | ②水平リサイクル又はリユースに対応したカバーガラスの清浄化および品質確認技術 | ← | → |   |
| 3                                     | ③基板ガラス及び樹脂材料を分離・選別技術                   | ← | → |   |
| 4                                     | ④マテリアルリサイクルが可能なレベルまで清浄化する技術            | ← | → |   |
| 5                                     | ⑤基板ガラス及び樹脂材料のマテリアルリサイクルのための用途開発        |   | ← | → |
| 6                                     | ⑥試作プラント構築案の作成、分解処理コスト及び資源回収率の評価        | ← | → |   |
| 7                                     | ⑦結晶シリコンモジュールへの技術応用検討                   |   |   | ← |
| (ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発       |  |   |   |   |
| 8                                     | ①実モジュールにおいて、ガラスとEVAで封止されたセルの分離技術開発     |   | ← | → |
| 9                                     | ②CFへの触媒の最適担持技術の開発                      |   | ← | → |
| 10                                    | ③マテリアルリサイクルの具体的手段及び資源回収率の評価            | ← | → |   |
| 11                                    | ④分解処理コストの試算                            |   |   | ← |
| 12                                    | ⑤試作プラントの構築案の作成                         |   |   | ← |
| (Ⅲ) 持続可能な太陽光発電動向調査                    |  |   |   |   |
| (i) 多様化太陽光発電システムの信頼性・安全性に関する動向調査      |  |   |   |   |
| 1                                     | ①土地活用型太陽光発電システムの動向調査                   | ← | → |   |
| 2                                     | ②最先端の太陽光発電システム技術開発動向調査                 | ← | → |   |
| 3                                     | ③海外諸国の研究開発プログラムに関する動向調査                | ← | → |   |
| 4                                     | ④国内外の産業動向に関する調査                        | ← | → |   |
| 5                                     | ⑤太陽光発電システム導入における主要国の施策調査               | ← | → |   |
| (ii) 太陽光発電システムのリサイクルに関する国内動向調査及び排出量予測 |  |   |   |   |
| 6                                     | ①太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測        | ← | → |   |
| 7                                     | ②太陽光発電システムのリサイクル戦略策定に向けた基礎調査           | ← | → |   |
| 8                                     | ③ガラスリサイクル市場に関する基礎調査                    | ← | → |   |
| 9                                     | ④委員会運営支援                               |   |   | ← |
| (iii) 既設建築物へのZEB化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査 |  |   |   |   |
| 10                                    | ①調査：建築物用PVの現状を把握し、課題抽出のための分類を行う        | ← | → |   |
| 11                                    | ②必要な性能試験の特定（建築・PV）                     |   | ← | → |
| 12                                    | ③建築物用PV（色付き、ダブルガラス等）の発電及び環境性能評価        | ← | → |   |
| 13                                    | ④（設置角度・方位が様々な）建築物用PVの発電量評価             | ← | → |   |
| 14                                    | ⑤普及を阻害する要因等、課題の抽出と解決策の提案               |   |   | ← |
| 15                                    | ⑥建築物ZEB化に向けたPVの活用状況・動向の海外調査            | ← | → |   |

2.1.3 研究開発予算

各研究開発テーマ（小項目）毎の研究開発予算（実績）を表Ⅱ-2-3 に示す。

表Ⅱ-2-3 研究開発予算（実績）

（単位：百万円）

| 中項目  | 小項目（研究開発テーマ）  | 2019<br>年度 | 合計  |
|--|---|------------|-----|
| 研究開発項目（Ⅰ）<br>「太陽光発電設備の信頼性・<br>安全性向上 有効技術の評価」 | (i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価<br>およびガイドライン策定に関する企画立案     | 89         | 89  |
|  |   | 14         | 14  |
|  |   | 51         | 51  |
|  | (ii) IoT 技術による長期安定稼働 P V システムの開発<br>シナリオ策定と 要素技術の予備検討 | 13         | 13  |
| 研究開発項目（Ⅱ）<br>「太陽電池マテリアルリサイ<br>クル要素技術開発」      | (i) 合わせガラス型太陽電池のマテリアルリサイクル<br>要素技術開発                  | 22         | 22  |
|  | (ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル<br>技術開発                   | 60         | 60  |
| 研究開発項目（Ⅲ）<br>「持続可能な太陽光発電動向<br>調査」            | (i) 多様化太陽光発電システムの信頼性・安全性に<br>関する動向調査                  | 60         | 60  |
|  | (ii) 太陽光発電システムのリサイクルに関する国内動向<br>調査及び排出量予測             | 20         | 20  |
|  | (iii) 既設建築物への Z E B 化に向けた太陽電池設置の<br>可能性に関する調査         | 18         | 18  |
| 合計   |   | 367        | 367 |

## 2.1.4 研究開発内容

研究開発項目別の開発内容、目標は以下の通りとした。

### (I) 「太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価」

太陽光発電設備が長期に亘り安定的な電源であることを維持するため、様々な地形、設置環境、構造、発電モジュールや電気設備について、安定的な電源であることを失う要因を調査し、信頼性を評価する技術、信頼性を回復させる技術の評価する。

#### 【最終目標】 (2019 年度)

- ・50kW 以下の小規模な発電設備を適正に評価し、発電設備としての信頼性向上のため、太陽光発電設備としての信頼性向上技術開発のための課題を明確化する
- ・「傾斜地」「営農」「水上」へと多様化が進む設置形態への安全確保のための課題を抽出し、ガイドライン作成のための企画書案を明確化する

### (II) 太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発

低コスト分解処理技術・資源回収率向上技術の開発として、封止材・ガラスの回収率を向上させるとともに、ガラスのマテリアルリサイクルが可能である技術について検討する。また、工程内排出品を含む、回収ガラスの部材再使用を可能とする品質評価技術を調査し、分解処理後のガラス品質を評価し、マテリアルリサイクルの可能性を確認する。

#### 【最終目標】 (2019 年度)

- ・発電事業終了後の廃棄モジュールの適切な処理を行うため、封止材、ガラスを対象とした部材再利用に係る技術として、分解処理コスト(3円/W)以下と資源回収率(80%以上)を両立させる技術を見出すと共に、分解処理後のガラス品質を評価し、マテリアルリサイクルの可能性を明確化する

### (III) 持続可能な太陽光発電動向調査・動向調査

国内外の急傾斜地、営農、水上等の設置環境や太陽光発電システムの信頼性・安全性に関わる市場動向や技術開発動向、政策等について最新情報を把握する。

太陽光発電システムのリサイクルに関わる国内の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などを調査する。また、国内の太陽光発電システムの排出量を推定する。

新たな太陽光発電のマーケットとして、既設建築物へのZEB化に向けた太陽電池設置の可能性について調査する。開口部としての窓や改修時に設置可能な部位へ太陽光発電適用について、国内外の市場・技術動向を調査する。

#### 【最終目標】 (2019 年度)

- ・マテリアルリサイクルの要素技術開発やこれらの取り組みに不可欠な動向を把握するため、太陽光発電システムのリサイクルに関わる国内の技術開発動向、普及動向、政策動向、実施事例などを調査すると共に、国内の太陽光発電システムの排出量を推定する
- ・併せて、国内外の太陽光発電の信頼性・安全性、設置環境や ZEB 化に向けたトレンドを調査・分析し、技術開発に活用可能な情報として纏める

表Ⅱ-2-4 研究開発項目別開発内容、目標 (2019年度)

| No.                           | 開発期間 | 項目名  | 委託先  | 内容   | 最終目標  | その他 |
|-------------------------------|------|--|--|--|---|-----|
| (Ⅰ) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価 |      |  |  |  |   |     |
| 1                             | 2019 | (i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定に関する企画立案  | 産業技術総合研究所<br>S O M P O リスクマネジメント(株)<br>(一般)<br>構造耐力評価機構<br>(一社)<br>太陽光発電協会 | <ul style="list-style-type: none"> <li>信頼性に関する評価技術および回復技術の技術開発計画の企画立案</li> <li>傾斜地ガイドライン、営農型ガイドライン、水上ガイドライン策定の企画立案</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術のコスト低減が必要な項目や対策が不足している項目などの課題を抽出し、それら課題を解決可能な技術の開発項目や体制などを含めた技術開発計画の企画立案</li> <li>新しい設置形態特有の設計・施工項目を抽出し、設計・施工等のガイドライン策定に必要な情報収集方法や策定体制などを含めた企画立案</li> </ul>  |     |
| 2                             | 2019 | (ii) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定に関する企画立案 | 太陽光発電技術研究組合  | <ul style="list-style-type: none"> <li>パワーコンディショナ、太陽電池、及びシステム全体の点検手法を確立するとともに、その課題抽出、開発シナリオの策定</li> <li>ストリング単位で発電電力、温度などを計測するIoTシステムを実PVシステムに後付け設置し、信頼性評価、信頼性回復に貢献できることを実証するとともに、その課題抽出、開発シナリオの策定</li> <li>MLPE (Module Level Power Electronics) を PV システムに設置し、安全性(シャットダウン)を実証。また、課題抽出、開発シナリオを策定</li> <li>信頼性評価、信頼性回復に貢献する IoT 技術の評価、課題抽出を行うとともに、その開発シナリオを策定</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>3ステップでの遠隔O&amp;Mの開発シナリオを策定。コストシナリオも明確にする</li> <li>後付けで既設PVシステムのストリング診断が可能であることの実証。小規模PVシステムの課題整理を行うとともに付加価値創造シナリオの提言</li> <li>MLPEの遮断機能などの基本性能の実証。安全性規程の整備状況に応じたシナリオの提言</li> <li>IoT PCSの技術開発を中心にした開発シナリオの提言。モジュールやシステムの技術基準整備の提言</li> </ul> |     |
| (Ⅱ) 太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発      |      |  |  |  |   |     |
| 1                             | 2019 | (i) 合わせガラス型太陽電池のマテリアルリサイクル要素技術開発               | ソーラーフロンティア株式会社   | <ul style="list-style-type: none"> <li>実モジュールにおける基板ガラスとカバーガラスの解体</li> <li>水平リサイクル又はリユースに対応したカバーガラスの清浄化および品質確認技術</li> <li>基板ガラス及び樹脂材料を分離・選別する技術</li> <li>マテリアルリサイクルが可能なレベルまで清浄化する技術</li> <li>基板ガラス及び樹脂材料のマテリアルリサイクルのための用途開発</li> <li>試作プラント構築案の作成、分解処理コスト及び資源回収率の評価</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>製品サイズにおけるパネルセパレータプロセス構築</li> <li>リユース可能技術の開発</li> <li>バージン材料費と同等以下の処理費用実現</li> <li>基板ガラス及び樹脂材料のマテリアルリサイクル率60%</li> <li>モジュール全体の資源回収率80% (重量比)</li> <li>売却益を含む分解処理コスト3円/W以下</li> </ul>  |     |

|                      |      |                                       |             |   |  |  |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|---|--|--|
| 2                    | 2019 | (ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発       | (株)トクヤマ     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・実モジュールにおいて、ガラスとEVAで封止されたセルの分離技術開発</li> <li>・セラミックフィルターへの触媒の最適担持技術の開発</li> <li>・マテリアルリサイクルの具体的手段及び資源回収率の評価</li> <li>・分解処理コストの試算</li> <li>・試作プラントの構築案の作成</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱分解炉を導入し、実モジュールの投入実験</li> <li>・実モジュールでのppi最適化実験</li> <li>・熱処理後のガラスの特性評価</li> <li>・資源回収率80%以上</li> <li>・3円/W以下</li> <li>・テストを行った結果を反映させた試作プラント構築案を改定</li> </ul>   |  |
| (III) 持続可能な太陽光発電動向調査 |      |                                       |             |   |  |  |
| 1                    | 2019 | (i) 多様化太陽光発電システムの信頼性・安全性に関する動向調査      | (株)資源総合システム | <ul style="list-style-type: none"> <li>・土地活用型太陽光発電システムの動向調査</li> <li>・最先端の太陽光発電システム技術開発動向調査</li> <li>・海外諸国の研究開発プログラムに関する動向調査</li> <li>・太陽光発電システム導入における実態調査</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・土地活用型太陽光発電システムについて、一般公開情報等による概要調査に加え、国内外の学会・展示会等にて直接調査を行う。さらに関連事業者等へのアンケート、ヒアリング等による詳細調査を実施し、分析深度を深める</li> <li>・太陽光発電システムの信頼性や安全性の確保について、文献・国際会議等にて最先端の技術開発動向を国内外から幅広く情報収集し、動向と将来の方向性を体系的に整理する</li> <li>・欧州連合等の技術先進国を対象に、研究開発プログラムの枠組みなどを調査するとともに、各国の技術開発の方向性を調査する。さらに、欧州で検討が進められている太陽電池モジュールのギガワット製造構想に関して調査する</li> <li>・国内外において、太陽光発電システムに関連した各分野の市場実態等について調査する</li> </ul> |  |
| 2                    | 2019 | (ii) 太陽光発電システムのリサイクルに関する国内動向調査及び排出量予測 | (株)三菱総合研究所  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測</li> <li>・太陽光発電システムのリサイクル戦略策定に向けた基礎調査</li> <li>・ガラスリサイクル市場に関する基礎調査</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・文献調査に基づきデータ更新を行うとともに、現状の排出量予測における課題及びその解決方法を整理して調査計画を立案のうえ、現時点で実施可能な調査について実施する</li> <li>・文献調査及びヒアリング調査を行うなどして、情報収集・分析を実施し、リサイクル技術開発動向、政策動向、実施事例等について基礎情報を整理・把握する</li> <li>・ガラスリサイクルに関して、水平リサイクル、グラスウール等、グレードの高いものから低いものまで幅広く調査対象とし、文献調査及びヒアリング調査により、受入条件や受入ポテンシャル把握を目的とした市</li> </ul>  |  |



|   |      |                                     |             |   |  |  |
|---|------|-------------------------------------|-------------|---|--|--|
|   |      |                                     |             |   | 場調査を実施する。  |  |
| 3 | 2019 | (iii) 既設建築物へのZEB化に向けた太陽電池設置の可能性に関する | 太陽光発電技術研究組合 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・PV設置可能な建築物の整理</li> <li>・性能試験特定のための予備試験</li> <li>・建築物用PVの発電量推定</li> <li>・建築物用PVの安全性</li> <li>・課題の整理と対策・提案</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・後付け設置が建築物のどこに可能か、その時に検討すべき課題は何かを整理する</li> <li>・通常のモジュールにとは異なる形態、色調を持つBIPVに特に必要な試験は何かとすることを特定するためにいくつかの項目について予備試験を行ないその必要性について評価する</li> <li>・垂直設置のBIPVの発電量を推定する方法について、モジュール発電量の角度依存性について予備測定を行なうとともに、設置環境依存性に対するシミュレーション手法を調査する</li> <li>・BIPV特有の安全性の課題について調査検討を行なう</li> <li>・今後の対策と提案を行なう</li> </ul> |  |

## 2.2 研究開発の実施体制

本事業は単年度事業のため基本計画は策定せず、実施方針のみが2019年1月17日開催の部長会に付議・策定された。

また、本事業は、NEDOが選定する企業、大学、民間研究機関、あるいは独立行政法人等（以下、「委託先」）が、NEDOと共同研究契約または業務委託契約を締結し実施した。

公募は中項目毎に実施し、その状況は以下のとおりである。

### (I) 「太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価」

公募期間：

2019年2月25日から4月5日

審査項目・基準：

- 1) 提案内容が実施方針の目的、目標に合致しているか（不必要な部分はないか）
- 2) 提案された方法に新規性・合理性があり、技術的・手法的に優れているか
- 3) 共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるか
- 4) 提案内容・研究計画は実現可能か（技術的可能性、計画の妥当性等）
- 5) 応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか（関連分野の開発等の実績、再委託予定先等を含めた実施体制、優秀な研究者等の参加等）
- 6) 応募者が当該研究開発を行うことにより国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか（企業の場合、成果の実用化・事業化が見込まれるか。大学や公的研究開発機関等で、自らが実用化・事業化を行わない場合には、どの様な形で製品・サービスが実用化・事業化されることを想定しているか）
- 7) ワーク・ライフ・バランス等推進企業に関する認定等の状況に応じた加点評価あり

採択審査委員会

2019年4月24日

採択審査委員（敬称略）：

- |           |   |
|-----------|---|
| 委員長：植田 譲  | （学校法人東京理科大学 工学部 准教授）                            |
| 委員：一木 修   | （株式会社資源総合システム 代表取締役社長）                          |
| 委員：五十嵐 広宣 | （ソーラーエッジテクノロジージャパン株式会社<br>コンプライアンス&品質 担当ディレクター） |
| 委員：鈴木 義人  | （株式会社ユーラスエナジーホールディングス 道北送電事業開発室）                |
| 委員：西岡 賢祐  | （国立大学法人宮崎大学 工学教育研究部 教授）                         |

件数：

応募3件、採択2件

## (Ⅱ) 太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発

公募期間：

2019年2月25日から4月5日

審査項目・基準：

- 1) 提案内容が実施方針の目的、目標に合致しているか（不必要な部分はないか）
- 2) 提案された方法に新規性・合理性があり、技術的・手法的に優れているか
- 3) 共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるか
- 4) 提案内容・研究計画は実現可能か（技術的可能性、計画の妥当性等）
- 5) 応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか（関連分野の開発等の実績、再委託予定先等を含めた実施体制、優秀な研究者等の参加等）
- 6) 応募者が当該研究開発を行うことにより国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか（企業の場合、成果の実用化・事業化が見込まれるか。大学や公的研究開発機関等で、自らが実用化・事業化を行わない場合には、どの様な形で製品・サービスが実用化・事業化されることを想定しているか）
- 7) ワーク・ライフ・バランス等推進企業に関する認定等の状況に応じた加点評価あり

採択審査委員会

2019年4月25日

採択審査委員（敬称略）：

- |            |                            |
|------------|----------------------------|
| 委員長：大和田 秀二 | （学校法人早稲田大学 理工学術院 教授）       |
| 委員：大木 達也   | （国立研究開発法人産業技術総合研究所 総括研究主幹） |
| 委員：加藤 聡    | （ガラス再資源化協議会 代表理事）          |
| 委員：亀田 正明   | （一般社団法人太陽光発電協会 技術部長）       |
| 委員：松野 泰也   | （国立大学法人千葉大学 教授）            |

件数：

応募2件、採択2件

## (Ⅲ) 持続可能な太陽光発電動向調査・動向調査

公募期間：

2019年2月25日から4月5日

審査項目・基準：

- 1) 調査の目標がNEDOの意図と合致していること。
- 2) 調査の方法、内容等が優れていること。
- 3) 調査の経済性が優れていること。
- 4) 関連分野の調査等に関する実績を有すること。
- 5) 当該調査を行う体制が整っていること。
- 6) 経営基盤が確立していること。
- 7) 当該調査等に必要な研究員等を有していること。
- 8) ワーク・ライフ・バランス等推進企業に関する認定等の状況に応じた加点評価あり

採択審査委員会

（内部審査による）

件数：

応募4件、採択3件

研究開発の実施体制を図 2.2-1～7 に示す。

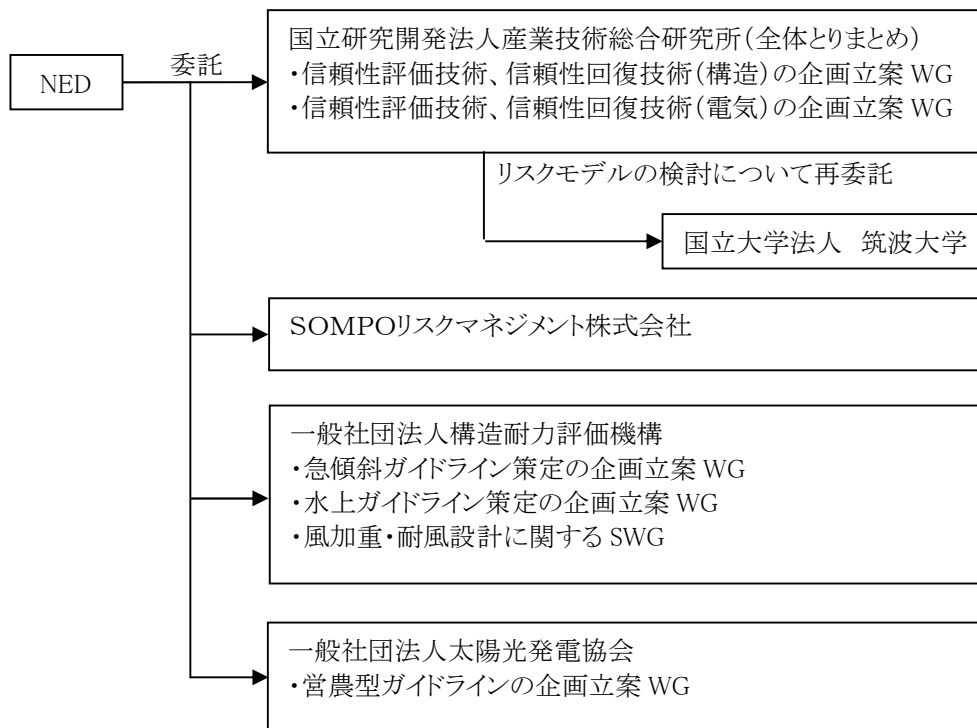


図 2.2-1 (I)-(i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価  
およびガイドライン策定に関する企画立案

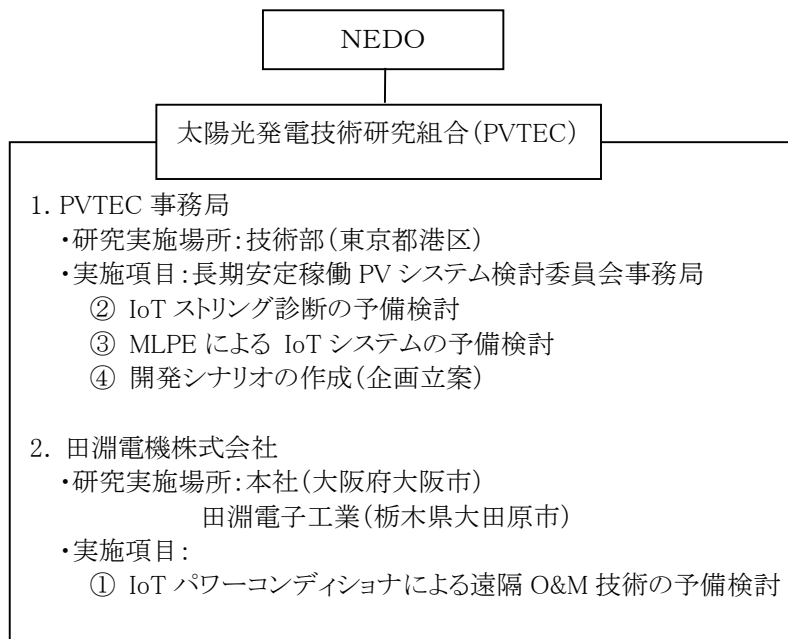


図 2.2-2 (I)-(ii) IoT 技術による長期安定稼働 PV システムの  
開発シナリオ策定と要素技術の予備検討

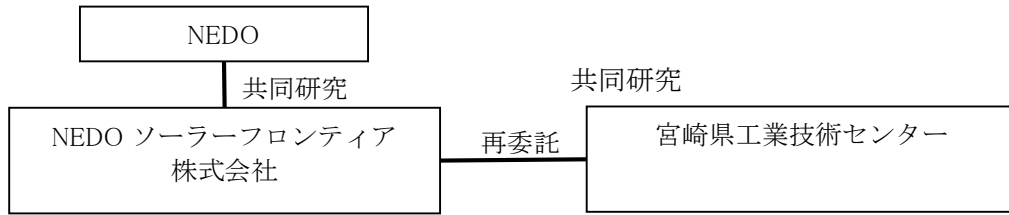


図 2.2-3 (II)-(i) 合わせガラス型太陽電池の材料リサイクル要素技術開発

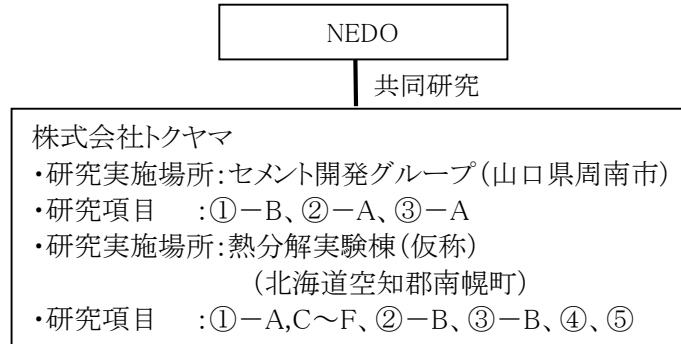


図 2.2-4 (II)-(ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発

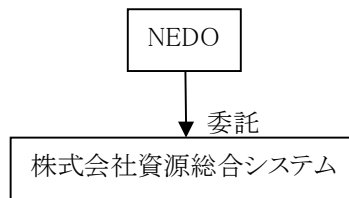


図 2.2-5 (III)-(i) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発

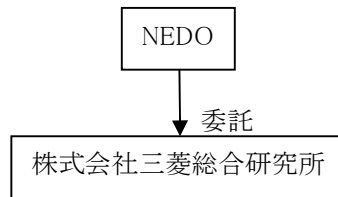


図 2.2-6 (III)-(ii) 太陽光発電システムのリサイクルに関する国内動向調査

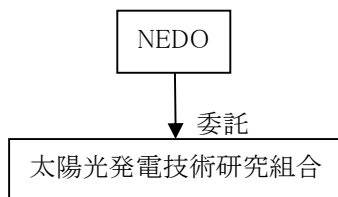


図 2.2-7 (III)-(iii) 既設建築物への ZEB 化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査

## 2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。

また、外部有識者による推進委員会を定期的に開催し、委託先から報告を受け、開発の方向性などを審議し、必要に応じて開発内容の修正を実施した。委員は技術的視点での進捗状況を確認すると共に、各テーマ、或いは委託事業者の成果を評価し、対応策について助言を行う。本プロジェクトでは、研究開発項目（Ⅰ）と（Ⅱ）それぞれにおいて、期間中に2回の推進委員会を実施した。

### ・研究開発項目（Ⅰ）太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価

推進委員会（敬称略）

- 委員長：近藤 道雄（国立研究開発法人産業技術総合研究所 コーディネータ）  
委員：植田 謙（学校法人東京理科大学 教授）  
委員：一木 修（株式会社資源総合システム 代表取締役社長）  
委員：西岡 賢祐（国立大学法人宮崎大学 工学教育研究部 教授）

| 委員会種別 | 開催時期            | 主な検討項目                            |
|-------|-----------------|-----------------------------------|
| 推進委員会 | 第1回（2019年9月25日） | 検討すべき点が多いため、計画的かつ系統だった調査・実験を進めること |
| 推進委員会 | 第2回（2020年1月9日）  | 総括と次期事業に向けての見通しについて               |

### ・研究開発項目（Ⅱ）太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発

推進委員会（敬称略）

- 委員長：大和田 秀二（学校法人早稲田大学 理工学術院 教授）  
委員：松野 泰也（国立大学法人千葉大学 教授）  
委員：加藤 聡（ガラス再資源化協議会 代表理事）  
委員：大木 達也（国立研究開発法人産業技術総合研究所 総括研究主幹）  
委員：亀田 正明（一般社団法人太陽光発電協会 技術部長）  
委員：河本 桂一（みずほ情報総研 シニアコンサルタント）

| 委員会種別 | 開催時期             | 主な検討項目                              |
|-------|------------------|-------------------------------------|
| 推進委員会 | 第1回（2019年11月22日） | 試作機による分離実験状況の確認。採用すべき排出量予測モデルについて議論 |
| 推進委員会 | 第2回（2020年2月17日）  | 事業化へ見通しについて                         |

## 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

研究開発成果の実用化に向けては、推進委員会による迅速な進捗状況の把握を行い、筋道を立てた研究開発を進めた。また、本プロジェクトは1年間のFSであるため、次年度以降の承継プロジェクトに繋がるための成果を出すよう配慮した。

### 3. 情勢変化への対応

2019年9月の台風15号の強風による、水上設置型太陽光発電所の被災及びその後の火災発生に鑑み、被害状況の確認と発生原因を特定し、その結果を水上設置型のガイドラインに反映することとした。

また、家庭用太陽電池システムの安全性の検討結果と、米国におけるNFPA 70 (NEC) 2020による規制強化等に伴うモジュールへの安全性ニーズの高まりから、「IoT技術による長期安定稼働PVシステムの開発シナリオ策定と要素技術の予備検討」に、モジュール安全性に関する検討を盛り込んだ。

### 4. 評価に関する事項

#### 【事前評価】

評価実施時期：2018年度

評価手法：内部評価

評価部門：新エネルギー部

#### 【中間評価】

(無し)

#### 【事後評価】

評価実施時期：2020年度

評価手法：外部評価





### Ⅲ. 研究開発成果と実用化の見通し

#### 1. 分野別、課題に対する主要な成果

- ① 研究開発項目（Ⅰ）太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価  
 主要な成果、達成度について表Ⅲ-1-1に示す。

表Ⅲ-1-1. 研究開発項目（Ⅰ）太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の主要な成果（2019年度）

|   | 目標  | 成果   | 達成度 | 備考 |
|---|---|--|-----|----|
| (i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定に関する企画立案 |   |  |     |    |
| ① 設置環境の信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案                   | 様々な地形や設置環境において、太陽光発電設備の安全性や信頼性を失う要因に対する対策手法や懸念されるリスクを明らかにし、技術課題の抽出を行う。  | 太陽光発電の発電設備を構成する土木、基礎・構造、発電設備（発電性能と安全）、環境影響に対するリスクアセスメントを実施し、それぞれのリスクを現地で評価する技術（信頼性評価技術）とリスクを低減する技術（信頼性回復技術）についての実態把握を行うことで、既存技術のコスト低減が必要な項目や対策が不足している項目などの課題を抽出し、それら課題を解決可能な技術の開発項目や体制などを含めた技術開発計画の企画立案を行った。 | ○   |    |
| ② 構造の信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案                     | 構造に関して、太陽光発電設備の安全性や信頼性を失う要因に対する手法や懸念されるリスクを明らかにし、技術課題の抽出を行う。  |  | ○   |    |
| ③ 発電モジュールの信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案                | 発電モジュール（発電特性）に関して、太陽光発電設備の安全性や信頼性を失う要因に対する手法や懸念されるリスクを明らかにし、技術課題の抽出を行う。   |  | ○   |    |
| ④ 発電モジュールを除く電気設備の信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案         | 電気設備に関して、太陽光発電設備の安定性を失う要因に対する手法や懸念されるリスクを明らかにし、技術課題の抽出を行う。  |  | ○   |    |
| ⑤ 急傾斜地ガイドライン策定の企画立案                           | 「急傾斜地」への太陽光発電システムの設置において、電気安全、構造安全に関する設計施工について考慮する項目について課題を抽出する。  |  | ○   |    |
| ⑥ 営農型ガイドライン策定の企画立案                            | 2018年度のNEDO事業策定した「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン」および「構造設計例」並びに営農型太陽光発電に関する調査を踏まえ、営農型太陽光発電設備において、電気安全、構造安全に関する設計施工等について課題を抽出する。 |  | ○   |    |
| ⑦ 水上ガイドライン策定の企画立案                             | 「水上」への太陽光発電システムの設置について、電気安全、構造安全に関する設計・施工について考慮する項目、およ  |  | ○   |    |

|  |  |   |   |  |
|--|--|---|---|--|
|  | び設備自身と周辺環境のために考慮する項目として、風荷重、積雪荷重、波力、フロートの係留工法、腐食対策、漏電対策、水質変化等の課題を中心に課題を抽出する。                   |   |   |  |
| (ii) IoT技術による長期安定稼働PVシステムの開発シナリオ策定と要素技術の予備検討 |  |   |   |  |
| ① IoT パワーコンディショナによる遠隔O&M技術の予備検討              | パワーコンディショナ、太陽電池、及びシステム全体の点検手法を確立するとともに、その課題抽出、開発シナリオの策定を行う。                                    | 3ステップでの遠隔O&Mの開発シナリオを策定。コストシナリオも明確にした。                                 | ○ |  |
| ② IoT ストリング診断の予備検討                           | ストリング単位で発電電力、温度などを計測するIoTシステムを実PVシステムに後付け設置し、信頼性評価、信頼性回復に貢献できることを実証するとともに、その課題抽出、開発シナリオの策定を行う。 | 後付けで既設PVシステムのストリング診断が可能であることを実証。小規模PVシステムの課題整理を行うとともに付加価値創造シナリオを提言した。 | ○ |  |
| ③ MLPE によるIoTシステムの予備検討                       | MLPE (Module Level Power Electronics) をPVシステムに設置し、安全性(シャットダウン)を実証する。また、課題抽出、開発シナリオの策定を行う。      | MLPEの遮断機能などの基本性能を実証。安全性規程の整備状況に応じたシナリオを提言した。                          | ○ |  |
| ④ IoT技術による長期安定稼働PVシステムの開発シナリオ策定              | 信頼性評価、信頼性回復に貢献するIoT技術の評価、課題抽出を行うとともに、その開発シナリオを策定する。  | IoT PCSの技術開発を中心にした開発シナリオを提言。モジュールやシステムの技術基準整備も提言。                     | ○ |  |

※達成度

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：数値目標未達

② 研究開発項目（Ⅱ）太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発

主要な成果、達成度について表Ⅲ-1-2 に示す。

表Ⅲ-1-2. 研究開発項目（Ⅱ）太陽電池マテリアルリサイクル要素技術開発の主要な成果（2019年度）

| テーマ                                     | 目標   | 成果  | 達成度 | 備考                               |
|---|--|---|-----|----------------------------------|
| (i) 合わせガラス型太陽電池のマテリアルリサイクル要素技術開発        |  |   |     |                                  |
| ① 実モジュールにおける基板ガラスとカバーガラスの解体             | 実モジュールサイズのパネルセパレータ設備を導入し、プロセスの妥当性を検証する。また、水平リサイクルに向けてEVA残渣に対する定量化を行い、各種プロセス感度を解析する | セパレータのタクトタイムを1/2にできた。破碎装置及びディスク型破碎装置を追加導入することで、基板ガラスとEVAを効率的に分離することが可能となり、20枚連続処理にてEVA残渣品質及びカバーガラス割れ無きことを確認。更に比重選別機を導入することにより高純度のガラスを選別できることを確認した。新たにブチルゴムの除去が問題になったが、プラズマ除去で対応できることを見出した | ◎   | 2倍速の処理速度で目標達成したため                |
| ② 水平リサイクル又はリユースに対応したカバーガラスの清浄化および品質確認技術 | ・リユース可能技術の開発<br>・バージン材料費と同等以下の処理費用実現   | ・酸素ラジカル処理の有効性を確認  | ○   | 酸素ラジカル処理の低コスト化<br>バージン材料に対する品質確認 |
| ③ 基板ガラス及び樹脂材料を分離・選別技術                   | ・基板ガラス及び樹脂材料のマテリアルリサイクル率60%<br>・モジュール全体の資源回収率80%（重量比）                              | ・基板ガラスは、今回行った高純度化プロセスにより窯業系フィラーとして用いることが可能と判明。EVAはコンクリート骨材への適用可能性があることを見出した。PETはその市場を確認し、ペレット化により既存のPET流通ルートに乗せることが可能であることを確認した   | ◎   | 目標を大きく上回る資源回収率を達成したため            |
| ④ マテリアルリサイクルが可能なレベルまで清浄化する技術            | ・売却益を含む分解処理コスト3円/W以下   | ・マテリアルリサイクル率は91.4～94.9%（基板ガラスで90%以上、樹脂材料で率50%以上）を見込むことが可能となった。  |     |                                  |
| ⑤ 基板ガラス及び樹脂材料のマテリアルリサイクルのための用途開発        |  | ・上記の結果から200MW相当の工場におけるリサイクルコストを試算したところ、新規に用途開拓したマテリアルを無価としても、産廃費用抑制の効果から2.93円/W(24.2円/kg)のコスト試算結果を得ることができた  |     |                                  |
| ⑥ 試作プラント構築案の作成、分解処理コスト及び資源回収率の評価        |  | ・以上のように、モジュール部材全てのリサイクル用途を明確にした   |     |                                  |
| (ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発         |  |   |     |                                  |
| ① 実モジュールにおいて、ガラスとEVAで封止されたセルの分離技術開発     | 太陽電池パネル分解熱処理装置の導入と搬送用の鉄かごを設計及び購入し、収集した実モジュールの投入実験を行う                               | 実モジュールを熱分解するために、燃焼熱を有効利用可能な構造のチェーンコンベア式の熱分解炉と、モジュール投入用の鉄かごを設計・導入し、投入実験を行い、処理条件を見出して連続3枚の処理を実施、きれいな処理物を得た  | ○   |                                  |
| ② セラミックフィルタ一への触媒                        | 触媒を担持するCFの最適な穴のサイズ(ppi)の選定実験を行う  | 孔のサイズが異なる3種類のCFについて実験したところ、孔の大きい方が、「すす」の発生が抑えられ、  | ○   |                                  |

|                              |  |  |   |  |
|------------------------------|--|--|---|--|
| の最適担持技術の開発                   |  | モジュールの熱分解速度も速いと判ったため、穴径 10ppi を選定  |   |  |
| ③ マテリアルリサイクルの具体的手段及び資源回収率の評価 | 実モジュールテストで得られた回収物である板ガラス及びセルの特性の評価と、資源回収率(目標 80%以上)の評価を行う                    | 熱分解後は、強化ガラスのとしての物性が大きく低下しカレット化は容易だが、その水平リサイクルはできなかった。なお、回収されたガラスを有価として販売できた場合の資源回収率は 90%となった   | ○ |  |
| ④ 分解処理コストの試算                 | 設置するパネル分解熱処理装置と脱臭装置に加え、将来導入する AI 枠除去装置、篩分け装置、セル吸引装置等も考慮した詳細見積も行う(目標 3 円/W以下) | 試作プラントが完成し、2 人体制で全工程が稼働できるという前提で、1 日 24 時間稼働、1 ヶ月あたり 25 日稼働する条件で試算を行った結果、分解処理コストは、2.71 円/W となり、目標はクリアできた                                     | ○ |  |
| ⑤ 試作プラントの構築案の作成              | パネル分解熱処理装置を実運用しながら新たに見積・テストを行い、その結果を反映させて現在の試作プラント構築案を改定する                   | 「AI 枠除去装置」、鉄製トレイ及び CF を最初の位置へ戻す「リターン装置(保温槽)」、熱分解後のガラスを取り除く「ガラス取出装置」、セルとリボンを分離する「篩分け装置」を導入し、作業員 2 人で太陽電池モジュールを 1 時間当たり 15 枚できる処理体制を整える計画を作成した | ○ |  |

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：数値目標未達

### ③研究開発項目（Ⅲ）持続可能な太陽光発電動向調査

主要な成果、達成度について表Ⅲ-1-3 に示す。

表Ⅲ-1-3. 研究開発項目（Ⅲ）持続可能な太陽光発電動向調査の主要な成果（2019 年度）

| テーマ                              | 目標   | 成果   | 達成度 | 備考 |
|----------------------------------|--|--|-----|----|
| (i) 多様化太陽光発電システムの信頼性・安全性に関する動向調査 |  |  |     |    |
| ① 土地活用型太陽光発電システムの動向調査            | 土地活用型太陽光発電システムについて、一般公開情報等による概要調査に加え、国内外の学会・展示会等にて直接調査を行う。さらに関連事業者等へのアンケート、ヒアリング等による詳細調査を実施し、分析深度を深める  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・水上設置は国内で 230MW 以上導入、信頼性・長期安定性に関する技術開発が必要</li> <li>・営農型は、農業と太陽光発電の技術分野をまたいだ体系的な技術開発が重要</li> <li>・急傾斜地は、崩落事故や景観悪化・森林伐採・環境悪化への反対運動が増加しており、技術課題よりも社会的課題が大きく、今後は減少すると推測される</li> </ul> | ○   |    |
| ② 最先端の太陽光発電システム技術開発動向調査          | 太陽光発電システムの信頼性や安全性の確保について、文献・国際会議等にて最先端の技術開発動向を国内外から幅広く情報収集し、動向と将来の方向性を体系的に整理する                         | 太陽光発電システムの動向を調査し、システム機器、システム技術、O&M、信頼性・安全性・持続性の分野における最新のトピックスをまとめた   | ○   |    |
| ③ 海外諸国の研究開発プログラムに関する動向調査         | 欧州連合等の技術先進国を対象に、研究開発プログラムの枠組みなどを調査するとともに、各国の技術開発の方向性を調査する。さらに、欧州で検討が進められている太陽電池モジュールのギガワット製造構想に関して調査する | 米国、欧州連合、ドイツ、フランス、スイス、オーストラリア、中国、台湾、韓国における太陽光発電に関する研究開発プログラムについてまとめた  | ○   |    |
| ④ 太陽光発電システム導入にお                  | 今後の日本市場拡大や技術開発促進に資するデータベースとして、国内外の太陽光発電産業の動向について   | 太陽光発電の主要市場である、ドイツ、フランス、米国、中国、インドにおける各  | ○   |    |

|                                       |   |  |   |  |
|---------------------------------------|---|--|---|--|
| る主要国の<br>施策調査                         | 調査し、ファクト・データとして纏める  | 国の普及施策について調査した   |   |  |
| ⑤太陽光発電システムに関する実態調査                    | 国内外において、太陽光発電システムに関連した各分野の市場実態等について調査する   | 道路応用の動向、発電・EPCの実績多数事業者、太陽電池・システムの価格推移、太陽電池デバイス関連の国別供給状況、太陽電池製造装置・システムの状況、太陽電池モジュール保証状況、自立運転パワーコンディショナの製品動向、国内EPCの実態、国内外の市場実態等について調査した                        | ○ |  |
| (ii) 太陽光発電システムのリサイクルに関する国内動向調査及び排出量予測 |   |  |   |  |
| ①太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測       | 文献調査に基づきデータ更新を行うとともに、現状の排出量予測における課題及びその解決方法を整理して調査計画を立案のうえ、現時点で実施可能な調査について実施する                          | ・文献調査、ヒアリング調査に基づき現状の排出量予測における課題（内的要因、外的要因、その他）を整理した<br>・調査結果を踏まえ、次年度以降の検討方針を整理した   | ○ |  |
| ②太陽光発電システムのリサイクル戦略策定に向けた基礎調査          | 文献調査及びヒアリング調査を行うなどして、情報収集・分析を実施し、リサイクル技術開発動向、政策動向、実施事例等について基礎情報を整理・把握する                                 | ・文献調査、ヒアリング調査に基づき、リサイクル技術開発動向、政策動向、実施事例等の最新動向を整理・把握した<br>・「太陽光発電システムのリサイクル戦略」の策定に必要な基礎情報を整理し、同戦略の策定に向けた今後の課題や更なる検討が必要となる事項を整理した                              | ○ |  |
| ③ガラスリサイクル市場に関する基礎調査                   | ガラスリサイクルに関して、水平リサイクル、グラスウール等、グレードの高いものから低いものまで幅広く調査対象とし、文献調査及びヒアリング調査により、受入条件や受入ポテンシャル把握を目的とした市場調査を実施する | ・文献調査に基づき既存のガラスマテリアルフロー(2017年)を作成した。<br>・文献調査、ヒアリング調査に基づきガラスリサイクルの現状と太陽電池モジュール由来ガラスの受入可能性について整理した<br>・太陽電池モジュール由来ガラスの再利用に向け、課題と思われるポイントをプロセス別に整理し、対応方法案を検討した | ○ |  |
| (iii) 既設建築物へのZEB化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査 |   |  |   |  |
| ①PV設置可能な建築物の整理                        | 後付け設置が建築物のどこに可能か、その時に検討すべき課題は何かを整理する  | 既設建築物に多い鉄骨建築(S造)のガラスカーテンウォール(CW)との親和性が高いことが示されたが、取り付け構造やモジュールの軽量化が課題であることが示された   | ○ |  |
| ②性能試験特定のための予備試験                       | 通常のコモジュールとは異なる形態、色調を持つBIPVに特に必要な試験は何かと言うことを特定するためにいくつかの項目について予備試験を行ないその必要性について評価する                      | フレキシブルモジュールは、ホットスポット試験では焼損が顕著であったが、ダブルガラスモジュールではその影響は軽微であった。また、積雪対策用の融雪型モジュールについて、試験方法のプロトコルの素案を提案した   | ○ |  |

|   |  |   |   |  |
|---|--|---|---|--|
| ③ 建築物用 PV の評価のための試験                         | BIPV でニーズが高い着色モジュールについて発電量や必要と思われる安全性試験について検討する                                      | 市販の着色モジュールにて、部分影の影響や、色むらの評価方法の検討を行い、様々な環境下での検討が必要等の課題を抽出した  | ○ |  |
| ④ 建築物用 PV の発電量推定                            | 垂直設置の BIPV の発電量を推定する方法について、モジュール発電量の角度依存性について予備測定を行なうとともに、設置環境依存性に対するシミュレーション手法を調査する | 発電量の評価は、日射の角度依存性や対地反射の影響、街区での建築物同士による相互干渉などが原因で複雑である。発電量を推定する場合、垂直面における日射量推定が重要である。モジュール温度も地気象データが入手できない場合は推定が重要であることも判った     | ○ |  |
| ⑤ 環境性能評価（窓ガラスの代替として建築物用 PV を採用した場合の省・創エネ効果） | モデルケースにおいて、窓に設置された BIPV がどの程度空調エネルギーを削減しうるかについて簡単な検討を行ない、BIPV の有効性を検討する              | 特定のケースにおいて、様々な窓構造による省エネ効果について BIPV 導入の効果と併せて比較した結果、年間の空調エネルギーを窓に設置した BIPV で 100%賄うことが可能であることが示された                             | ○ |  |
| ⑥ 建築物用 PV の安全性                              | BIPV 特有の安全性の課題について調査検討を行なう   | 建物設置における安全性の課題は、①リスクレベルの考え方、②システム設計要件の決定、であるが、それぞれに技術が存在するため、それらの性能を確保できるプロダクト、インストール、システムという一連の試験方法や竣工試験、定期点検方法を検討することが重要である | ○ |  |
| ⑦ 建築物用 PV の変褪色                              | 着色モジュールの変褪色の評価方法について調査を行なう   | 色を定量的に評価するのは容易ではなく、分光特性やカラーフィルターによる評価法を比較したが、一長一短であり、用途に応じて使い分けることが重要と結論された   | ○ |  |
| ⑧ 国内外の事例調査                                  | 国内外の事例を実地調査含めて調査を行なう   | ヨーロッパでは意匠性に対する意識が高く、様々な新しい試みがなされている。国内でも ZEB に向けて取り組む企業があり、見学調査を行った   | ○ |  |
| ⑨ 課題の整理と対策・提案                               | 今後の対策と提案を行なう   | 性能、コストだけでなくデザイン性、施工性、設計ツールの必要性などが求められていることが分かった。また、ビル特有の日陰の問題などに対する関心も高かった  | ○ |  |

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：数値目標未達

## 2. 個別テーマの成果と実用化見通し

### ①研究開発項目（I）太陽光発電設備の信頼性・安全性向上 有効技術の評価

#### (i) 太陽光発電設備の信頼性・安全性向上の技術評価およびガイドライン策定 に関する企画立案[2019年度]

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
SOMPOリスクマネジメント株式会社  
一般社団法人 構造耐力評価機構  
一般社団法人 太陽光発電協会

#### 1. 成果詳細

##### 1.1 信頼性評価技術、信頼性回復技術の企画立案

###### a) 太陽光発電設備の現地調査

本研究においては、図1に示すフローに従い、実態調査によるリスク抽出、技術課題及び開発項目の抽出、基盤整備における課題の抽出、技術開発計画の策定を行った。

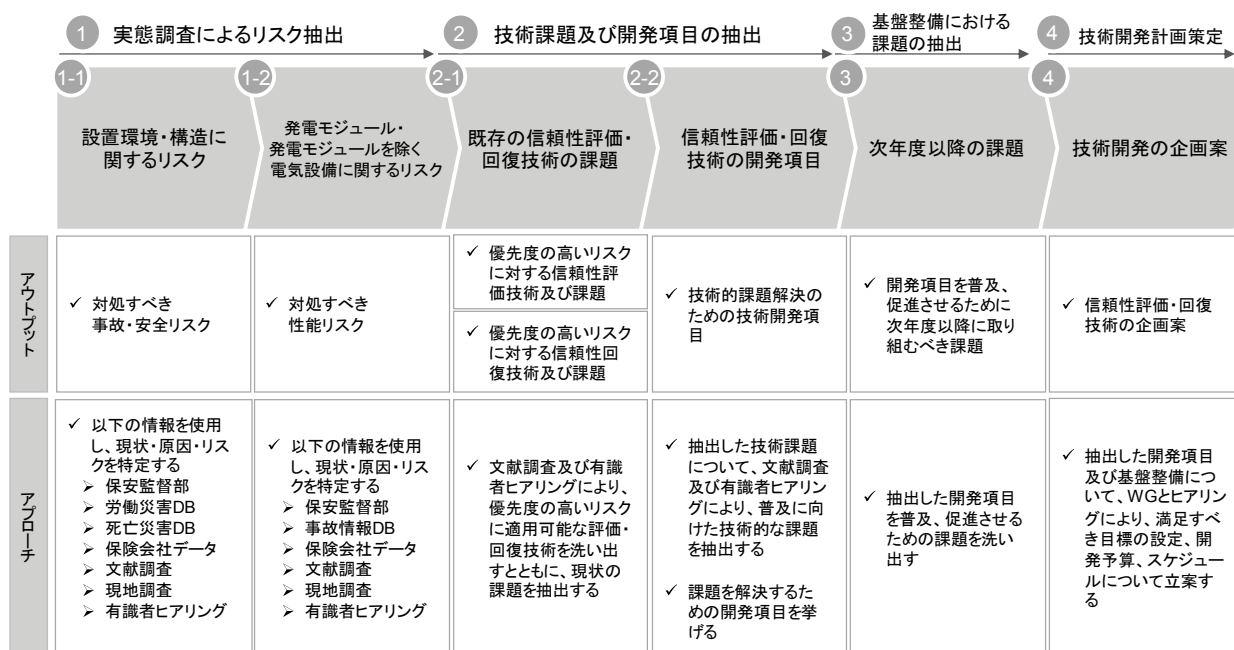


図1 企画立案フロー

###### b) 実態調査によるリスク抽出

本研究において各種調査を行い、各分類におけるデータ、抽出した具体的な問題点とそのリスクをまとめた結果を図2～図4に示す。

具体的な問題点として、土砂災害、杭の抜け、図面の不整備、メンテナンスの不足、単管架台の構造懸念、設備不足の覚知遅れ、除草の不足が挙げられ、これらに起因するリスクについて信頼性評価技術または信頼性回復技術の開発によって解決することが重要である。

環境影響・構造安全に関するリスク(1/2)

| データ   | 抽出した問題点 | リスク    | 構造安全 | 環境影響 | 解決手段<br>評価・回復 |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
|---|---------|--------|------|------|---------------|----|--|--|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----|--|---|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <p><b>i</b> 太陽光関連のハザードで、土砂災害が多く発生している</p> <p>出所：環境省*</p> <table border="1"> <caption>環境危害の発生件数 (上位5被害)</caption> <tr><th>被害種別</th><th>発生件数</th></tr> <tr><td>土砂災害</td><td>88</td></tr> <tr><td>水の濁り</td><td>49</td></tr> <tr><td>暴風</td><td>47</td></tr> <tr><td>生態系影響</td><td>37</td></tr> <tr><td>反照光</td><td>20</td></tr> </table> | 被害種別    | 発生件数   | 土砂災害 | 88   | 水の濁り          | 49 | 暴風   | 47   | 生態系影響                               | 37                       | 反照光                      | 20 | <p>✓ 土砂災害の兆候があっても見逃されてしまう</p> <p>✓ 軟弱地盤が土砂災害が発生するまで放置されている</p> | <p><b>A</b> 地盤支持力の確認不足により土砂災害が起きる</p> <p><b>B</b> 軟弱地盤が把握されてもコストを抑えるため対策されず土砂災害が起きる</p> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 被害種別  | 発生件数    |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 土砂災害  | 88      |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 水の濁り  | 49      |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 暴風  | 47      |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 生態系影響   | 37      |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 反照光   | 20      |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| <p><b>ii</b> 直接基礎と比較して、杭基礎の事故発生数が多い</p> <p>杭基礎と直接基礎の保険出所：保険データ</p> <table border="1"> <caption>杭基礎と直接基礎の保険出所：保険データ</caption> <tr><th>基礎種別</th><th>事故発生件数</th></tr> <tr><td>杭基礎</td><td>49</td></tr> <tr><td>直接基礎</td><td>20</td></tr> </table>  | 基礎種別    | 事故発生件数 | 杭基礎  | 49   | 直接基礎          | 20 | <p>✓ 杭の引抜き試験が十分に行われていない</p> <p>✓ 杭の長さを均一に設計するため引抜き抵抗が十分でない杭がある</p> | <p><b>C</b> 引抜き抵抗力不足が把握できず、杭の飛散事故が起きる</p> <p><b>D</b> 必要な深さまで杭が埋め込まれておらず事故が起きる</p> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 基礎種別  | 事故発生件数  |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 杭基礎   | 49      |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |
| 直接基礎  | 20      |        |      |      |               |    |  |  |                                     |                          |                          |    |  |   |                                     |                          |                          |

\*出所：第7回 太陽光発電施設等に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会報告書

図2 環境影響・構造安全において抽出した問題点とリスク (1/2)

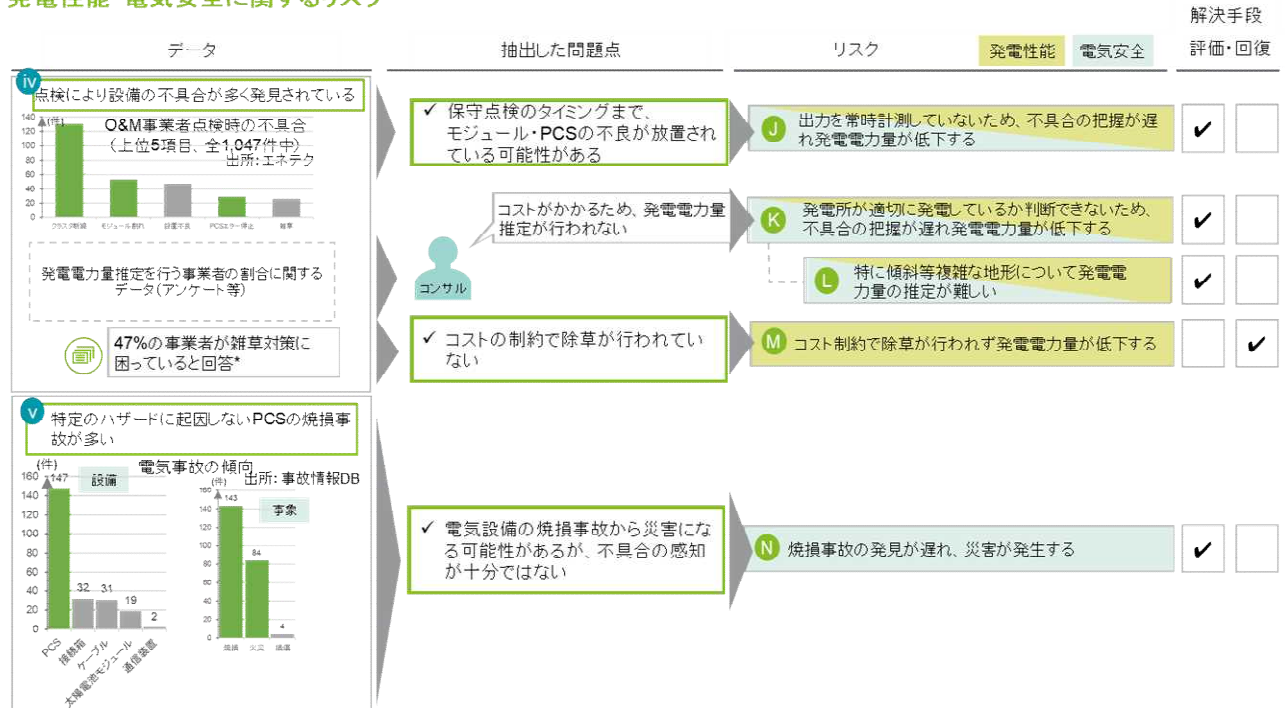
環境影響・構造安全に関するリスク(2/2)

| データ  | 抽出した問題点   | リスク  | 構造安全                                | 環境影響                     | 解決手段<br>評価・回復            |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
|--|---|--|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---|-----|---|------|------|-------|----|----|----|-----|---|--|--|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <p><b>iii</b> モジュール・架台の飛散・損傷事故が多い</p> <p>METI保安監督部把握の事故件数</p> <table border="1"> <caption>飛散事故の発生箇所</caption> <tr><th>発生箇所</th><th>発生件数</th></tr> <tr><td>モジュール</td><td>18</td></tr> <tr><td>架台</td><td>9</td></tr> <tr><td>その他</td><td>1</td></tr> </table> <table border="1"> <caption>損傷事故の発生箇所</caption> <tr><th>発生箇所</th><th>発生件数</th></tr> <tr><td>モジュール</td><td>25</td></tr> <tr><td>架台</td><td>21</td></tr> <tr><td>その他</td><td>6</td></tr> </table> | 発生箇所  | 発生件数   | モジュール                               | 18                       | 架台                       | 9 | その他 | 1 | 発生箇所 | 発生件数 | モジュール | 25 | 架台 | 21 | その他 | 6 | <p>✓ 図面がないため、設計の確認や適切なメンテナンスが困難である</p> <p>✓ 図面があったとしても、間違いも多く、妥当なものか非専門家には判断できない</p> | <p><b>E</b> 設計の確認や適切なメンテナンスができず設備不良のまま放置される</p> <p><b>F</b> 架台・基礎の設計不備を事業者が判断できず事故が起きる</p> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 発生箇所   | 発生件数  |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| モジュール  | 18  |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| 架台   | 9   |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| その他  | 1   |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| 発生箇所   | 発生件数  |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| モジュール  | 25  |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| 架台   | 21  |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| その他  | 6   |  |                                     |                          |                          |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |
| <p>低圧事業者の図面保有率に関するデータ(現在は定性コメントのみ)</p> <p>メンテナンス実施割合に関するデータ(現在は定性コメントのみ)</p> <p>単管架台の設置割合に関するデータ(現在はデータなし)</p>   | <p>✓ 事業者はメンテナンスにほとんどコストをかけていない</p> <p>✓ 傾斜地は特にメンテナンスが困難である</p> <p>✓ 単管の架台には構造上の懸念が生じやすい</p> | <p><b>G</b> コストを抑えるため設備点検のインターバルを長くとり、その間に事故が起きる</p> <p><b>H</b> アクセス困難な設備でメンテナンスが実施されず事故が起きる</p> <p><b>I</b> 耐力が不足している単管の架台で損傷・飛散が起きる</p> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |   |     |   |      |      |       |    |    |    |     |   |  |  |                                     |                          |                          |

図3 環境影響・構造安全において抽出した問題点とリスク (2/2)



発電性能・電気安全に関するリスク



\*出所: 平成28年度太陽光発電の長期安定電源化に向けたサポート体制構築に関する調査事業

図4 発電性能・電気安全において抽出した問題点とリスク

c) 環境影響・構造安全に関する調査結果

環境影響・構造安全に関するデータを抽出するにあたり、文献および事故情報を基に調査を行った。その結果を図5に示す。

林地で発生する土砂災害が安全事故に関するハザードとして最も認識されている、杭基礎の方が直接基礎よりも事故のリスクが高く引抜き抵抗不足で起こる事故が相応に存在する、モジュールと基礎の接合強度不足、架台の強度不足が原因で発生する損傷・飛散事故が多い、屋上での設置・施工はリスクの高い作業である、といった点が主要な調査結果として抽出された。

| 出所   | 概要   | 調査結果サマリー  |
|------|--|---|
| 文献調査 | 環境省<br>第7回 太陽光発電施設等に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会報告書                  | <p><b>i</b> 林地で発生する土砂災害が、安全事故に関するハザードとして最も認識されている</p> <p>a. 設置環境別では林地に設置された設備での苦情が多い</p> <p>b. 林地に寄せられた苦情では土砂災害が最も多い</p>  |
| 事故情報 | 保険データ (SOMPOリスクマネジメント)<br>2017年1月から過去約2年間で保険金支払いのあった大規模事故情報を抽出 | <p><b>ii</b> 杭基礎の方が直接基礎よりも事故のリスクが高く、引抜き抵抗不足で起こる事故が相応に存在する</p> <p>c. 直接基礎よりも杭基礎の設備で事故が多い</p> <p>d. 杭基礎の事故の中では杭抜けの事故が多い</p> <p>e. 構造的に安定の設備よりも不安定な設備で事故が多い</p>                      |
|      | 経済産業省 保安監督部<br>保安監督部が公開している事故情報から太陽光発電設備に関する事故情報を抽出            | <p><b>iii</b> モジュールと基礎の接合強度不足、架台の強度不足が原因で発生する損傷・飛散事故が多い</p> <p>f. 飛散事故の発生箇所はモジュールが最も多い</p> <p>g. 損傷事故はモジュールと架台が多い</p> <p>h. 事故の原因となるハザードは強風と土砂災害が多く、被害の対象となる部分は太陽光モジュールと架台が多い</p> |
|      | 厚生労働省<br>労働災害DB、死亡災害DB<br>労働・死亡災害の発生件数をとりまとめたもの                | <p>屋上での設置・施工はリスクの高い作業である</p> <p>i. 設置・施工時の屋上作業での死亡事故が多い</p>   |

図5 環境影響・構造安全に関する調査結果のまとめ

d) 発電性能・電気安全に関する調査結果

問題点とリスクの抽出結果で挙げたモジュール・モジュール以外の電気設備におけるデータを抽出するにあたって、文献および事故情報を基に事故傾向に関する調査を行った結果を図6に示す。

O&M事業者の点検により発電電力量低下につながる設備の不具合が多く発見されている、雑草対策が多くの事業者の懸念となっている、特定のハザードに起因しないPCSの焼損事故が多い、雷に伴う被害が多く設備の損傷の一因となっているといった点が主要な調査結果として抽出された。

発電性能・電気安全に関する各種調査の内容と結果

|      | 出所                     |                       | 概要                                     | 調査結果サマリー  |
|------|------------------------|-----------------------|--|---|
| 事故情報 | 経済産業省                  | 保安監督部                 | 保安監督部が公開している事故情報から太陽光発電設備に関する事故情報を抽出   | <b>V 特定のハザードに起因しないPCSの焼損事故が多い</b><br>j. 発電設備の構成別にはPCSの事故が最も多い<br>k. 主な危害は焼損と火災であり、焼損したケースで一部火災につながると推測される<br>l. 但しこれらの事故の多くは災害がトリガーになっておらず、多くが内的要因(保安監督部データ)または原因不明(事故情報DB)とされている |
|      |                        | 事故情報DB                | 独立行政法人製品評価技術基盤機構が管理するデータベースから電気事故情報を抽出 |   |
|      | 保険データ (SOMPOリスクマネジメント) |                       | 2017年1月から過去約2年間で保険金支払いのあった大規模事故情報を抽出   | <b>雷に伴う被害が多く、設備の損傷の一因となっている</b><br>m. 内的要因や他の災害よりも雷起因の保険事故が多い<br>n. 設備の構成別には発電モジュールPCSに発生した事故が多い<br>o. 焼損や火災に至るケースもあるが、単なる損傷であることの方が多い  |
| 文献調査 | 経済産業省                  | 平成27年度新エネルギー等導入促進基礎調査 |  | <b>IV O&amp;M事業者の点検により、発電電力量低下につながる設備の不具合が多く発見されている</b><br>p. O&M事業者によって発見される不具合は、クラスタ断線、モジュールの割れ、設置不良など、発電電力量の低下に直結するものが多い<br>q. PCSの不具合が低圧設備における長期停止の主要な原因になっている                |
|      | 一般事業者                  | O&M事業者による不具合事例集計結果    |  |   |

図6 モジュール・モジュール以外の電気設備に関する調査結果のまとめ

e) 既存手法・対策の課題

問題点に対する既存の手法および対策の課題、さらにそれを受けた技術開発対象のまとめを図7および図8に示す。

例えば、地盤のモニタリング不足によって土砂災害が生じるリスクについては、試験杭の傾斜度判定などの対策を取りうるが、常時の把握が難しく、太陽光発電設備に対する応用も確立されたものとは言えない。センサや分析技術を高度化することにより常時の地盤モニタリングを行う技術を開発することができれば、これらの課題を解決することができる。

既存の信頼性評価・回復技術の課題 1/2

| 環境影響        | 構造安全                                       | 発電性能                  | 電気安全             | 適用項目 |   |    |       |         | 既存技術に対する課題 |     |        |       |    |      |     |           |
|-------------|--|-----------------------|------------------|------|---|----|-------|---------|------------|-----|--------|-------|----|------|-----|-----------|
|             |  |                       |                  | 地盤   | 杭 | 架台 | モジュール | その他電気設備 | 時間         | コスト | 技術の成熟度 | 要求レベル | 安全 | 適用範囲 | 専門性 |           |
| G           | 設計の確認や適切なメンテナンスができず設備不良のまま放置される            | 地盤・杭・架台・モジュールの図面の作成   | ✓ レーザー測量 (LIDAR) | ✓    |   | ✓  | ✓     |         | 長い         | 高い  |        |       |    |      |     |           |
|             |  |                       | ✓ 超音波            |      | ✓ |    |       |         |            |     | 低い     |       |    |      |     |           |
| F           | 架台・基礎の設計不備を事業者が判断できず事故が起きる                 | 架台・モジュールの適切性の自動診断     | ✓ AIによる画像認識      |      |   | ✓  | ✓     |         |            |     | 低い     |       |    |      |     |           |
| C           | 引抜き抵抗力不足が把握できず、杭の飛散事故が起きる                  | 引抜き抵抗力の測定             | ✓ 杭の引抜き試験        |      | ✓ |    |       |         | 長い         |     |        |       |    |      |     |           |
| K           | 発電所が適切に発電しているか判断できないため、不具合の把握が遅れ発電電力量が低下する | 発電性能推定技術の開発           | ✓ N/A            |      |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |     |           |
| L           | 特に傾斜等複雑な地形について発電電力量の推定が難しい                 | 複雑な設置環境における発電性能評価     | ✓ N/A            |      |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |     |           |
| G<br>J<br>N | 定期点検されていない間に構造・出力の不具合が発生する                 | オンサイトにおける設備の常時監視      | ✓ N/A            |      |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |     |           |
| H           | アクセス困難な設備でメンテナンスが実施されず事故が起きる               | 架台・モジュール・その他電気設備の遠隔診断 | ✓ ドローン+サーモカメラ    |      |   |    | ✓     |         |            | 高い  |        |       |    |      |     | パネルしか見れない |
| A           | 地盤支持力の確認不足により土砂災害が起きる                      | オンサイトにおける地盤の常時監視      | ✓ 地下水位や地盤変位の計測   | ✓    |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |     | 太陽光への適用   |

図 7 抽出されたリスクに対する既存手法・対策とその課題および技術開発対象 (1/2)

既存の信頼性評価・回復技術の課題 2/2

| 環境影響 | 構造安全   | 発電性能       | 電気安全     | 適用項目 |   |    |       |         | 既存技術に対する課題 |     |        |       |    |      |             |          |          |
|------|--|------------|----------|------|---|----|-------|---------|------------|-----|--------|-------|----|------|-------------|----------|----------|
|      |  |            |          | 地盤   | 杭 | 架台 | モジュール | その他電気設備 | 時間         | コスト | 技術の習熟度 | 要求レベル | 安全 | 適用範囲 | 専門性         |          |          |
| I    | 耐力が不足している単管の架台で損傷・飛散が起きる                     | 架台接合部の補強   | ✓ クランプ   |      |   | ✓  |       |         |            |     |        |       |    |      |             | 単管しかできない |          |
|      |  |            | ✓ 接着剤    |      |   | ✓  |       |         |            |     | 低い     |       |    |      |             |          |          |
|      |  |            | ✓ テープ    |      |   | ✓  |       |         |            |     |        | 低い    |    |      |             |          |          |
| D    | 必要な深さまで杭が埋め込まれておらず事故が起きる                     | 杭の補強       | ✓ 支線アンカー |      |   | ✓  |       |         |            |     |        | 検証が必要 |    |      | 多様な杭に適用できない |          |          |
| B    | 軟弱地盤に設置されていることが把握されてもコストを抑えるための対策されず土砂災害が起きる | 地盤の補強      | ✓ モルタル吹付 | ✓    |   |    |       |         |            | 高い  |        |       |    |      |             |          |          |
|      |  |            | ✓ 表層地盤改良 | ✓    |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |             | 斜面しかできない |          |
|      |  |            | ✓ 植生     | ✓    |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |             |          | 表層しかできない |
| M    | コスト制約で除草が行われず発電電力量が低下する                      | 安価で安全な除草対策 | ✓ 草刈り機   | ✓    |   |    |       |         | 長い         |     |        |       |    |      |             | 斜面で使用不可  |          |
|      |  |            | ✓ 防草シート  | ✓    |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |             |          | 植生の判断が必要 |
|      |  |            | ✓ 除草剤    | ✓    |   |    |       |         |            |     |        |       |    |      |             |          |          |

図 8 抽出されたリスクに対する既存手法・対策とその課題および技術開発対象 (2/2)

f) 信頼性評価・回復技術の開発項目

土砂災害に対する信頼性評価技術として、図 9 に示す通りセンサ&シミュレーション&分析技術等の高度化、信頼性回復技術として、図 10 に示す通り地盤の補強術の開発が有効であると考えられる。

双方ともに適用可能と考えられる技術自体は既に存在するものの、太陽光発電設備に対する適用性や、導入した場合のコストとそれによって得られるリスク低減量を比べた費用対効果の検証がなされていないため、技術の十分な開発や、実現場での適用が進んでいないものと考えられる、今後の技術開発としては、有望な技術を調査・選定すると共に、リスク量の定量把握を含む費用対効果の検証が重要になるといえる。

## センサ&シミュレーション&分析技術等の高度化(地盤)

評価

| 技術概要      |  | 開発内容   |
|-----------|--|--|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ センサリング・シミュレーション・データ分析技術の高度化により地盤状況を常時監視し、土砂災害兆候の早期発見をする技術を開発する</li> </ul> | <p>技術開発の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 地盤・地下水位の変位を計測する地中センサーや衛星・カメラによるモニタリング技術は存在し、主に土木分野にて実用例がある</li> </ul> <p>実現に向けての課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 太陽光発電設備においてコストに見合ったリスク低減効果があるか不明である</li> <li>✓ 太陽光発電設備への適用できるシステムが存在しない</li> </ul> <p>技術開発目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ リスク分析により導入時のリスク低減量を試算。想定される導入費用と比較し、費用対効果を検証する</li> <li>✓ 変位量等パラメータとリスク量の相関関係について整理する</li> <li>✓ 太陽光発電設備へ適用できるモニタリングソフトを試作する</li> </ul> <p>等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |
| 対象リスク     | <p>A 地盤のモニタリング不足による土砂災害が起きる</p>  |  |
| イメージ      | <p>状態に応じて現地点検</p> <p>常時・状態監視</p>   |  |
| 太陽光への適用範囲 |  |  |

図9 センサ&シミュレーション&分析技術等の高度化(地盤)

## 地盤の補強技術

回復

| 技術概要      |   | 開発内容   |
|-----------|---|--|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 土砂災害が懸念される法面等に対し、太陽光発電設備に有効な補強技術を開発する</li> </ul> | <p>技術開発の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 地盤補強技術については地盤改良・植生・排水路の増設の技術が既に存在し、主に土木分野において広く用いられている</li> <li>✓ 太陽光発電設備に対しても一部適用されている例があるものの、コスト上の懸念等から対策がなされていないことが多く、事後対応になりがちである</li> </ul> <p>実現に向けての課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 太陽光発電設備(特に低圧の小規模なもの)の特性に対して有効な規模・コスト・工法の技術が確立されていない</li> <li>✓ 補強されなかった場合のリスクについて十分に分析がされていない</li> </ul> <p>技術開発目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 土木分野等で使用されている地盤補強技術を洗い出し、規模・コスト・工法の観点から太陽光発電設備への適用可能性を検証する</li> <li>✓ リスク評価により土砂災害等のリスクを定量化し、各工法の導入コストと比較する</li> </ul> <p>等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |
| 対象リスク     | <p>B 軟弱懸念が把握されてもコストを抑えるため対策されず土砂災害が起きる</p>  |  |
| イメージ      | <p>補強された法面のイメージ</p> <p>モルタルの吹付</p>  |  |
| 太陽光への適用範囲 |   |  |

図10 地盤の補強技術

杭の飛散に対して開発する信頼性評価技術として、図 11 に示す簡易な引抜き抵抗測定技術、信頼性回復技術として図 12 に示す地盤の補強技術の開発が有効であると考えられる。

衝撃載荷試験は施工現場で広く実施されているものであるが、引抜き試験が実施されていない、あるいは実施後長期間経過したために改めて計測が必要な発電設備の引抜き抵抗測定方法としても使用できる可能性がある。しかしながら、その信頼性・コストメリット等については未検証であるため、今後の技術開発対象としてこれらが明らかにされることが必要である。

杭の補強技術に関しては、土木・建築分野において複数の工法の実績があるが、いずれも太陽光発電設備に関する適用は未検証である。暴風に対して備える目的から、電柱等の補強に用いられる支線アンカーの応用が考えられるが、実用に当たっては、PV 設備に適用した場合の信頼性やコスト、工法の現実性等に関して検証する必要がある。

### 簡易な引抜き抵抗測定技術

評価

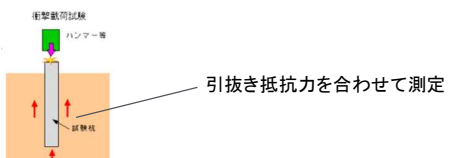
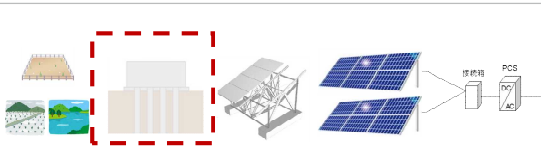
| 技術概要      |  | 開発内容      |   |
|-----------|--|-----------|---|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 引抜き試験が十分に行われていないサイト、または時間経過や大雨の影響等により引抜き抵抗力の減少が懸念されるサイトにおいて、時間・コストのかからない衝撃載荷試験等の引抜き抵抗力の測定方法を開発する</li> </ul> | 技術開発の状況   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 引抜き試験を代替できる信頼性のある試験方法は未開発である</li> </ul>  |
| 対象リスク     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ⓢ 引抜き抵抗不足が把握できず、杭の飛散事故が起きる</li> </ul>   | 実現に向けての課題 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 信頼性・コスト・試験時間の検証が必要である</li> </ul>   |
| イメージ      |  <p>衝撃載荷試験<br/>ハンマー等</p> <p>引抜き抵抗力を合わせて測定</p>                     | 技術開発目標    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 衝撃載荷試験の応用を第一案とし、積算資料等を基に引抜き試験と比較したコストメリット検証を行う</li> <li>✓ 引抜き試験との結果の整合性確認をオンサイトまたは実験施設によって行う</li> </ul> <p>等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |
| 太陽光への適用範囲 |   |           |   |

図 11 簡易な引抜き抵抗測定技術


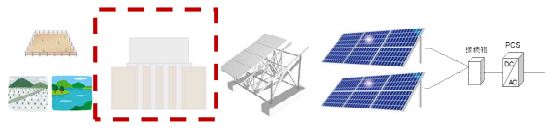
| 技術概要      |  | 開発内容      |   |
|-----------|--|-----------|---|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 引抜き抵抗力の不足が懸念される杭に対し、太陽光発電設備に有効な補強技術(支線アンカーによる補強等)を開発する</li> </ul> | 技術開発の状況   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 太陽光発電設備の杭に使用可能な信頼性のある補強方法は未開発である</li> </ul>  |
| 対象リスク     | <p><b>D</b> 必要な深さまで杭が埋め込まれておらず事故が起きる</p>   | 実現に向けての課題 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 信頼性・コスト・工事時間・適用工法の検証が必要である</li> </ul>  |
| イメージ      |  <p>支線アンカーによる補強</p>       | 技術開発目標    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 電柱等に用いられている支線アンカーの応用を第一案とし、有効性について実証試験や模擬実験で検証する</li> <li>✓ リスク評価により杭飛散等のリスクを定量化し、補強の実施コストと比較する</li> <li>✓ 更に有用な技術候補があれば同様の検証を行う</li> </ul> <p>等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |
| 太陽光への適用範囲 |                           |           |   |

図 12 杭の補強技術

図面の不整備に対する信頼性評価技術として、図 13 に示す構造設計図作成支援技術、信頼性回復技術として図 14 に示す構造・目視評価の自動診断技術が有効であると考えられる。

構造設計図面作成技術に関しては、ドローンによる撮影・測量や、3D スキャナによる測量などが有効であると考えられる。実際に PV 設備へ適用した例はあまり知られていないが、一定レベルの図面は既存技術を利用して作成することが可能であると考えられる。しかしながら、構造図面で求められる架台部材の厚みが再現できるか等、実用に必要な精度を有しているか、検証が必要である。また、図面へ迅速に変換するためにはデータを処理する際に発生するノイズを効果的に取り除く等のソフトウェアの開発も重要であると考えられる。

構造・目視評価の自動診断技術としては、AI による設計図面や写真データを用いた構造の安定・不安定の自動判断技術などが有望であると考えられる。但し、AI による自動判断を可能にするためには、安定・不安定共に十分な量のデータを基にした判定アルゴリズムが必要になることから、判断材料になるデータの洗い出し、その集積等が当面の課題になる。

## 構造設計図面作成支援技術

評価

| 技術概要  | 開発内容  |
|---|---|
| <p><b>概要</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 図面が存在しない太陽光発電設備について、ドローンによる写真データ撮影やレーザー測量技術を応用した3Dスキャナなどの技術を用い、非専門家であっても簡易な方法で図面を作成できる技術を開発する</li> </ul>  | <p><b>技術開発の状況</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドローンや航空機から写真データやレーザーで測量する技術は存在し、活用例もある</li> <li>✓ 3Dスキャナも既に商品化されており、製造業などで活用されている</li> <li>✓ ただし、太陽光発電設備の図面作成目的で活用された例は知られていない</li> </ul>  |
| <p><b>対象リスク</b></p> <p><b>E</b> 設計の確認や適切なメンテナンスができず設備不良のまま放置される</p>   |   |
| <p><b>イメージ</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ドローン撮影の写真データより作成した地盤図面</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3Dスキャナの撮影データより作成した構造図面</p> </div> </div> | <p><b>実現に向けての課題</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 太陽光発電設備用の図面として求められる精度が満たせるか検証が必要である</li> <li>✓ 効率的な画像処理のために、専用のソフトウェア開発等が必要である</li> <li>✓ コストと所要時間が実用にならうか検証が必要である</li> </ul>  |
| <p><b>太陽光への適用範囲</b></p>    | <p><b>技術開発目標</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 図面として必要な要件を定義し、それを満たすことができる機器・手段が存在するか実地試験にて検証する</li> <li>✓ コストを試算し、発電事業者が負担し得るものか検証する</li> <li>✓ 画像処理コストがネックなのであれば、ソフトウェアの開発を行う</li> </ul> <p style="text-align: right;">等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |

図 13 構造設計図作成支援技術

## 構造・目視確認評価の自動診断技術

評価


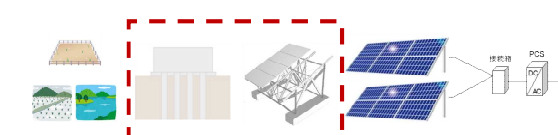
| 技術概要  | 開発内容  |
|---|---|
| <p><b>概要</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 非専門家であっても設計図面データ、構成部材の写真データを利用して、安定・不安定を自動判別する技術の開発</li> <li>✓ 具体的には「太陽光発電事業の評価ガイド」の1次チェック項目を基準に判断できる技術の開発を目指す</li> </ul> | <p><b>技術開発の状況</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 写真による構造認識はある程度可能である</li> <li>✓ ただし、認識された構造と安定・不安定の判定を結びつけるアルゴリズムは未開発である</li> <li>✓ またアルゴリズムの基盤となるデータベースも未整備である</li> </ul>  |
| <p><b>対象リスク</b></p> <p><b>F</b> 架台・基礎の設計不備を事業者が判断できず事故が起きる</p>  |   |
| <p><b>イメージ</b></p>  <p>写真データ・図面等の入力 → DB化 AI利用など → 問題有無の判定</p>                                   | <p><b>実現に向けての課題</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 良否構造共に画像データを多数集積したデータベースを整備することが必要である</li> <li>✓ さらに、データベースを基に、画像と安定・不安定を実用可能な精度で判定できるアルゴリズムを開発することが必要である</li> </ul>   |
| <p><b>太陽光への適用範囲</b></p>    | <p><b>技術開発目標</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 「太陽光発電事業の評価ガイド」の1次チェック項目を判定するのに必要なデータの洗い出しを行う</li> <li>✓ 当該データを既存技術によって写真データや構造図面から取得可能かを検討する</li> <li>✓ 取得可能であれば多数の安定構造・不安定構造につき画像データを取得し、良否判定アルゴリズムの礎とする</li> </ul> <p style="text-align: right;">等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |

図 14 構造・目視評価の自動診断技術

メンテナンスの不足に対して開発する信頼性評価技術として、図 15 に示す構造設備・電気設備に対するセンサ&シミュレーション&分析技術等の高度化によるコンディションベースメンテナンス（以下、CBM）の導入および図 16 に示す衛星・ドローンを利用した目視技術が有効であると考えられる。

構造設備・電気設備に対するセンサ&シミュレーション&分析技術については、既にセンサ技術は構造分野・電気分野共に存在している。但し、PV 設備への適用にあたっては、そのセンサ技術から得た情報を CBM に結び付けるにあたっての考え方の整理や、センサ精度が十分であることの確認が必要となる。また、当技術の普及にあたっては、CBM に移行した場合のコスト・リスク削減額と初期費用との比較を行い、導入のメリットを定量的に示すことが重要である。

衛星・ドローンを利用した点検技術については、ドローンによる撮影・測量が既に様々な分野で行われており、太陽光発電設備についても赤外線カメラを用いた撮影で太陽光モジュールの健全性を評価した例などが報告されている。したがって、技術的な下地は十分に整っているものと考えられるが、現状では衛星・ドローンから撮影を行う場合も目視判断等、一定程度人手に頼らざるを得ないことから、純粋なコストダウンにつながるか否かは更なる検証が求められる。また、ドローンはアクセス困難な場所にも使用できるメリットがあるが、遠隔での操作でアレイ裏も含めた狭小スペースの評価も十分に可能であるか、実証実験等を行う必要があるものと思われる。

### センサ&シミュレーション&分析技術等の高度化(設備)

評価

| 技術概要  | 開発内容  |
|---|---|
| <p><b>概要</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ センシングとデータ分析技術の高度化により発電性能や安全性に関する不具合の早期発見・予防保全や遮断を実現し、定期的な保守点検ではなく、データから判断される必要頻度・方法によるコンディションベースメンテナンス(CBM)を行うと共に安全性の向上を実現する技術の開発</li> </ul>            | <p><b>技術開発の状況</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 構造・電気分野共にセンシングによって変位や発電電力量を常時モニタリングする技術は存在し、特に電気については不具合の把握を主目的としてPCS等に取り付けるセンサが一定普及している</li> <li>✓ 但し既存の電気センサの不具合探知機能は一定の評価はあるが、完全ではない</li> </ul>   |
| <p><b>対象リスク</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>G</b> コストを抑えるため保守点検のインターバルを長くとり、その間に構造上の事故が起きる</li> <li><b>J</b> 出力を常時計測していないため、不具合の把握が遅れ発電電力量が低下する</li> <li><b>M</b> 焼損事故の発見が遅れ、災害が発生する</li> </ul> | <p><b>実現に向けての課題</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ データ変動を変数として保守点検の必要性に結びつける考え方が確立されていない</li> <li>✓ センサや遮断装置の精度が安全性の確保や保守点検の判断に十分なのか検証する必要がある</li> <li>✓ センサ等の導入費用とCBMを行うことによるコスト・リスク低減のメリットの定量的な比較を示す必要がある</li> </ul>                              |
| <p><b>イメージ</b></p> <p>出所：産業構造審議会<br/>保安・消費生活用製品安全分科会</p>  | <p><b>技術開発目標</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ それぞれの設備において、どの計測可能データの変動が保守点検必要性の指針となりうるかを検討する</li> <li>✓ 既存の装置を用いて必要な精度で当該データの取得が可能か、またそのコストはどの程度かを検証する</li> <li>✓ センサや既存遮断装置の安全性について実証実験等を行い、結果に応じて改善策を検討する</li> </ul> <p>等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |

図 15 センサ&シミュレーション&分析技術等の高度化（設備）



技術概要

開発内容

|           |  |           |   |
|-----------|--|-----------|---|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 狭小スペースに活用可能な小型のドローンやスペクトルカメラ等、現地確認が不要な衛星活用により、オンサイトの目視(表面、表面、発熱、発錆、植生)にかかる現地時短化技術を開発する</li> </ul>   | 技術開発の状況   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ホットスポットと呼ばれる太陽電池モジュールの異状箇所をドローンが搭載した赤外線カメラの撮影により判定する技術が実用化されつつある</li> <li>✓ また既に手のひらサイズのカメラ付きドローンが開発されていることから、アレイ裏の狭小スペースでの目視も現実的であると想定される。ただし、太陽光発電設備での実用例については確認されていない</li> </ul>                              |
| 対象リスク     | <ul style="list-style-type: none"> <li>G コストを抑えるため保守点検のインターバルを長くとり、その間に構造上の事故が起きる</li> <li>H アクセス困難な設備でメンテナンスが実施されず構造上の事故が起きる</li> </ul>   | 実現に向けての課題 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドローンを使用した目視だけでは十分な操縦技術があれば既に可能であると考えられるが、実際の設備で試行を行い問題点を検討する必要がある</li> <li>✓ ドローン操縦や衛星の利用、結果を判断する専門家に必要なコストを検討し、現在の目視による保守点検のコストと比較する必要がある</li> <li>✓ アクセス困難な土地でドローンを使用する場合は、ドローンの遠隔操縦性についても検討する必要がある</li> </ul> |
| イメージ      | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>小型ドローン<br/>出所: MIT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>衛星の活用<br/>出所: JMA</p> </div> </div> | 技術開発目標    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実地試験で実現に向けた課題を洗い出す</li> <li>✓ 既存技術で実現できる作業を整理し、コストおよびメンテナンス品質を最適化するためにドローン・衛星・人間による作業・技術の最適な組み合わせを検討する</li> </ul> <p style="text-align: right;">等が今後の技術開発事項として考えられる</p>  |
| 太陽光への適用範囲 |   |           |   |

図 16 衛星・ドローンを活用した点検技術

近年増加している単管架台に対する構造上の懸念に対して開発する信頼性回復技術として、図 17 に示す架台接合部の補強技術が有効であると考えられる。

これらの補強技術については、土木・建築分野で様々な方法がとられているものの、PV 設備に対して有効性を検証した例はほとんど確認されていない。樹脂（ボンド）やテープによる補強に一定の効果があると考えられるが、事例の収集や実験等により、有効な技術を見極める必要があるものとする。また、リスク評価により補強しない場合のリスクを定量的に評価し、補強にあたってのコストに対する優位性を示すことができれば、技術の活用が進むものと考えられる。

## 架台接合部の補強技術

回復

|           | 技術概要  | 開発内容   |
|-----------|---|--|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 強風による被害が見られる架台接合部（長穴、T溝スロット）における接着剤やテープ等の強度を補強する材料や工法技術の開発</li> </ul>    | <p>技術開発の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 特に広く使用されている補強技術は確認されていない</li> </ul>  |
| 対象リスク     | <p>① 耐力が不足している単管の架台で損傷・飛散が起きる</p>   | <p>実現に向けての課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 補強技術が有効であるか、他分野での事例や実験等により検証する必要がある</li> <li>✓ リスクの定量把握がなされていないため、補強コストに見合ったメリットがあるか不明である</li> </ul>                                   |
| イメージ      |  <p>樹脂による補強例      テープによる補強例</p> | <p>技術開発目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 接着剤・テープによる補強を第一候補とし、模擬実験等による有効性を検証する</li> <li>✓ リスク分析によりリスクの定量化を行う</li> <li>✓ 補強コストを試算し、リスク量との比較を行う</li> </ul> <p>等が今後の技術開発事項として考えられる</p> |
| 太陽光への適用範囲 |                                |  |

図 17 架台接合部の補強技術

設備不備の覚知遅れに対する技術信頼性評価技術として、図 18 のセンサ&シミュレーション&分析技術等の高度化および、図 18・図 19 に示した発電性能の評価技術の開発が有効であると考えられる。センサ&シミュレーション&分析技術等の高度化による CBM の開発は、常時モニタリングすることで、コスト削減と共に覚知能力の引き上げによる安全性能の向上も見込むことができる。但し、実用にあたってはその覚知性能が十分なものであるか確認する必要があり、導入コストとリスク低減の費用対効果の検証も必要となってくる。

発電性能の推定・評価に関しては、従来はトラックレコードや地形を十分に加味した検証がなされていなかったため、比較すべき発電性能や、将来的な性能低下リスクなどが十分に評価されていなかったと言える。これらの技術開発により、外部要因による発電性能の低下が覚知できるようになり、発電電力量の損失減少が期待できる。一方で、技術開発にあたっては、十分なデータ分析や実証試験が必要である。

トラックレコード分析及び信頼性試験との相関性を利用した発電性能推定技術

評価

| 技術概要      |   | 開発内容   |
|-----------|---|--|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 発電データ・エラーコード・各種センサデータの履歴データまたは経年した実システムの信頼性試験とリスク評価モデルにより、将来の発電性能のリスク評価を分析する技術の開発</li> </ul>   | <p>技術開発の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 同一太陽光モジュール・PCSを長時間使用したトラックレコードはモデルチェンジ等により通常得ることができないため、長期に渡る発電性能予測は必ずしも容易ではなく、有用な既存技術は確認されていない</li> </ul> |
| 対象リスク     | <p>K 発電所が適切に発電しているか判断できないため、不具合の把握が遅れ発電電力量が低下する</p>   | <p>実現に向けての課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 必要なトラックレコードの収集とリスク評価モデルおよび評価アルゴリズムの開発が必要</li> </ul>  |
| イメージ      | <p>各種トラックレコード、履歴<br/>                 ✓ 発電データ<br/>                 ✓ PCSエラーメッセージ<br/>                 ✓ 保守点検記録<br/>                 ✓ 定点観測写真<br/>                 ✓ 追加的なセンサ：地盤監視など</p> <p>信頼性試験</p> <p>リスク評価モデル</p> | <p>技術開発目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 各インプットデータがどのように発電出力に影響を与えるか、考え方の整理と実証を行う</li> <li>✓ できるだけ多くのサイトにおいてトラックレコードの収集を行い、推定精度の向上を目指す</li> </ul>    |
| 太陽光への適用範囲 |   |  |

図 18 トラックレコード分析及び信頼性試験との相関性を利用した発電性能推定技術

複雑な地形に対応する高精度な発電性能評価技術

評価

| 技術概要      |  | 開発内容   |
|-----------|--|--|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 現地測量技術と屋外高性能発電特性評価技術を利用して、多様な傾斜、方位のシステムの発電性能をオンサイトで評価する技術の開発</li> </ul> | <p>技術開発の状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 複雑な地形における発電性能評価について傾斜や影の影響は単純化されており、詳細に計算可能な既存技術は確認されていない</li> </ul> |
| 対象リスク     | <p>L 特に傾斜等複雑な地形について発電性能の推定が難しい</p>   | <p>実現に向けての課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 予測誤差の縮小を可能にする推定技術を開発し、複雑な地形に存在する設備であっても発電電力量の推定が可能にする</li> </ul>   |
| イメージ      | <p>傾斜、方位角、日影状況の3D化</p>   | <p>技術開発目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 複雑な地形特有の影や傾斜の効果が発電性能に与える影響につきモデル化し、実地試験でその確からしさにつき検証を行う</li> </ul>    |
| 太陽光への適用範囲 |  |  |

図 19 複雑な地形に対応する高精度な発電性能評価技術

除草の不足に対する技術開発として、図 20 に示す自動草刈りロボや防草シート等による除草高度化技術が挙げられる。草刈りロボは既に開発されているものもあるが、太陽光発電設備特有の架台やケーブルなどを有するサイトに対し十分に対応できるか検証する必要がある。また、特に除草作業が困難とされている傾斜地についても十分な性能が発揮できるロボの開発が望まれる。防草シートに関しては、太陽光発電設備への使用例は限定的であるものの、様々なシーンで既に実用化されている。い

れの技術にしても、コストが除草の大きな懸念になっているため、費用対効果の分析を進め、事業者  
にメリットを十分に示しうる技術の開発・検証が必要であるといえる。

### 自動草刈りロボや除草シート等による除草高度化技術

回復


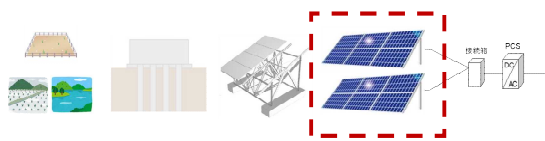
| 技術概要      |  | 開発内容      |  |
|-----------|--|-----------|--|
| 概要        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 多様な設置形態に対応できる自動草刈りロボや防草シート等による除草の高度化を行う</li> </ul>                    | 技術開発の状況   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 自律自走型の草刈りロボは既に開発されているが太陽光発電設備における適用は確認されていない、また斜面への適用可否は不明</li> <li>✓ 防草シートは既に様々なシーンで実用化されているが、太陽光発電設備での使用例は限定的である</li> </ul> |
| 対象リスク     | <p>N コスト制約で除草が行われず発電電力量が低下する</p>   | 実現に向けての課題 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 費用対効果が不明であるため、初期費用が必要な対策が取られにくい</li> <li>✓ 草刈りロボについては、斜面や架台が走行に影響しないか実証試験を行う必要がある</li> </ul>                                  |
| イメージ      |  <p>斜面を走行する草刈機      防草シート</p> | 技術開発目標    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 草木を繁茂させた場合の発電量の減少を簡単にシミュレーションできるモデルを開発する</li> <li>✓ 草木繁茂による逸失利益を算出し、導入費用との比較ができるようにする</li> </ul>                              |
| 太陽光への適用範囲 |                              |           |  |

図 20 除草高度化技術

### g) 基盤整備における課題の抽出

有望な技術の有効性検証、信頼性評価・技術方法のガイドライン整備、事故事例データベースの整備が基盤整備上の課題として挙げられる（図 21）。

### 基盤整備上の課題(全体像)

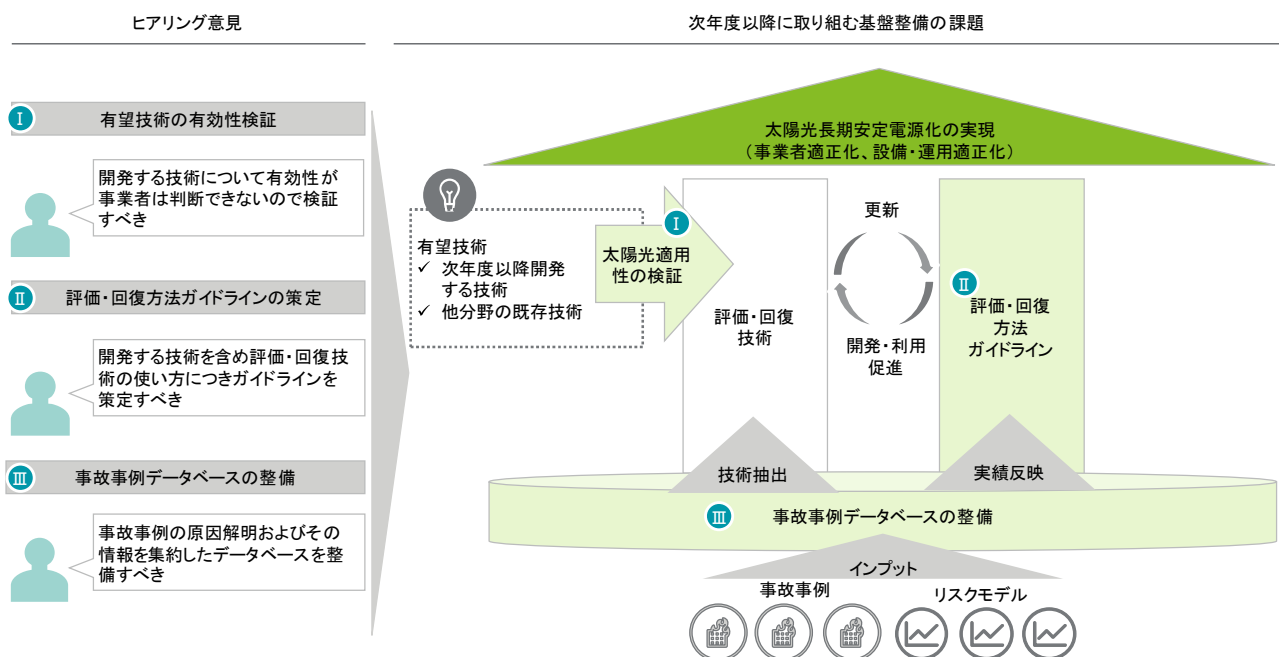


図 21 基盤整備上の課題（全体像）

技術の有効性検証について、その目的と具体的なフローを図 22 に示す。現在はリスクに対する対策について選択し得る様々な技術について有効性の検証がなされていないため、どの技術を適用すべきか判断し難い状況にある。この問題を解決するために、まず取りうる有望技術を他分野での適用例も含めて洗い出し、それぞれについて実証実験等を行うことで、PV 設備への適用性や他の技術と比較した優位性について明らかにする。その結果、適用シーン毎に有望技術をランク付けすることで、それぞれの事象に対する最適な技術が選択できることを目指すものである。

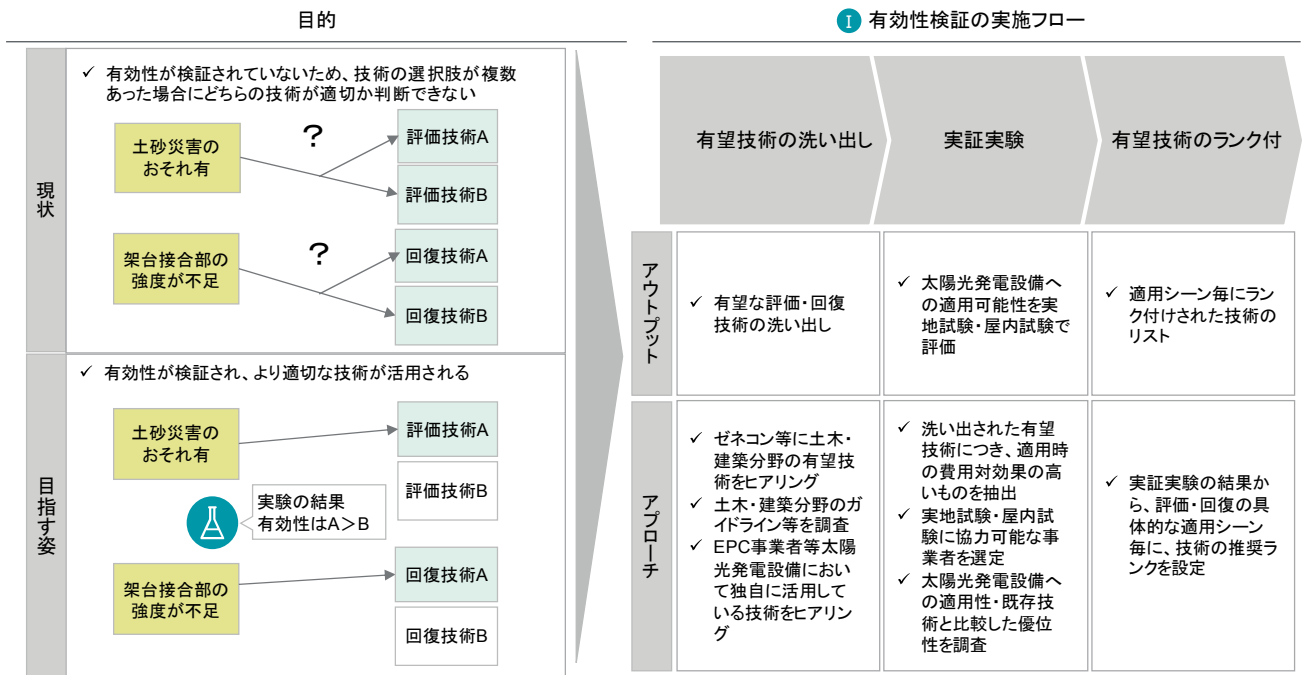


図 22 有効性検証の実施フロー

評価・回復ガイドラインの策定について、その目的と具体的なフローを図 23 に示す。評価・回復方法ガイドラインは、信頼性評価・回復技術の適用が考えられる場面において、活用すべき具体的な技術について明確な指針を与えるものであり、評価・回復技術の普及に欠かせないものである。現状では、このようなガイドラインが存在しないため、発電事業者は技術の活用をすることができない状況にある。今後のステップとしては、土木・建築分野における同趣旨のガイドラインが参考になると考えられ、その調査および親和性の高いガイドラインの選定を行う。その後、PV 設備の固有の事情を加味し、「太陽光発電事業の評価ガイド」などとの連携・整合を十分に意識しながら、策定するものとした。

### 評価・回復方法ガイドラインの策定フロー

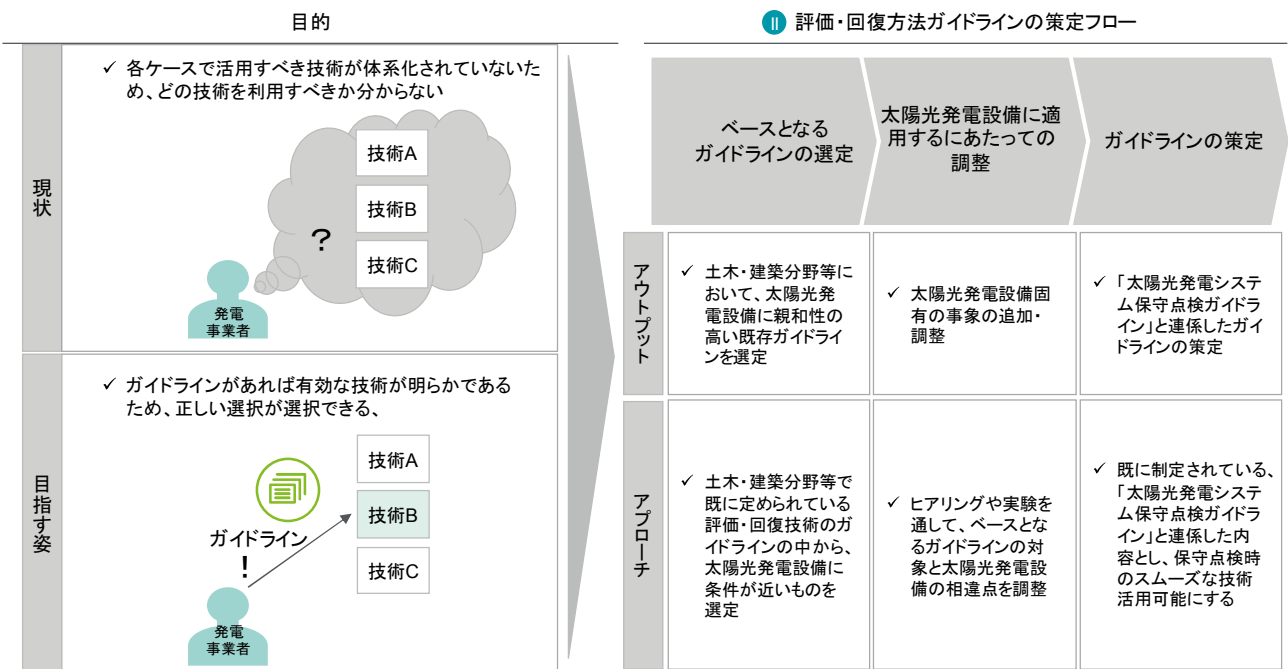


図 23 評価・回復方法ガイドラインの策定フロー

事故事例データベースの整備について、その目的と具体的なフローを図 24 に示す。現状では事故が発生してもその原因と対策が共有されないため、同様の事故を繰り返す可能性が高い。これに対し、事故事例のデータベースを整備し、広く事故の原因と対策を共有することで、事故の発生を未然に防ぐことが可能である。データベースの整備に当たっては、まずは事故発生時の報告項目を検討することが重要である。場合によっては、政府関係当局と、報告内容・報告方法について一定の強制力を持たせられるよう、協議することも検討する。次に、データを有効に活用するために、今年度検討を行ったリスクモデルを活用する。リスクモデルについての詳細は成果報告書 2.7.5 を参照されたいが、これによって、リスクの高い発電システムの特特定や、効果の高い評価・回復技術の選定が可能となる。最後に、データベースの情報量や更新頻度、用途、リスクモデルとの連携などを踏まえ、適切な管理団体の選定やオペレーションフローの確立を行い、継続的に利用されるものとした。

## 事故事例データベースの整備フロー

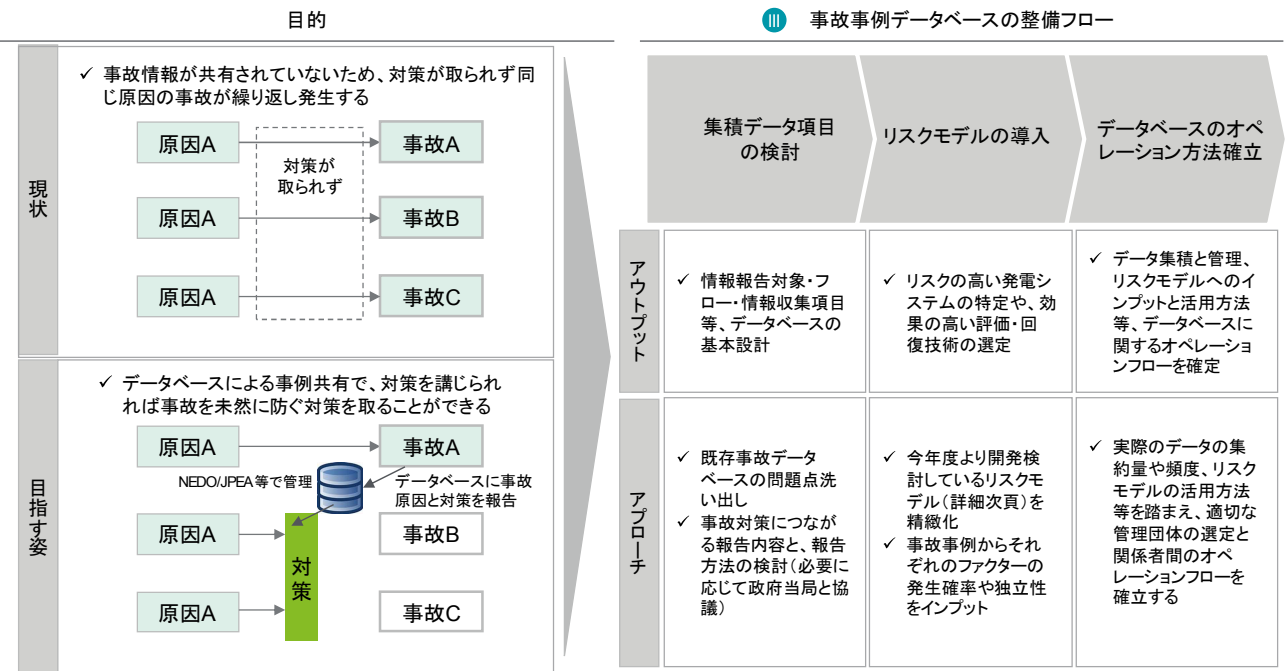


図 24 事故事例データベースの整備フロー

### h) 技術開発計画

本研究においては、図 25 に示す実態調査とリスク分析を実施し、具体的な評価技術と回復技術の技術開発候補を選定した。本研究の成果を基に、具体的な技術開発事項を図 26 に示す。信頼性評価・回復技術の開発項目については、民間企業に一定の開発インセンティブが存在するため、NEDO からの助成による開発が望ましい。基盤整備の開発項目については、技術開発の促進に大きな役割を果たす一方で、民間企業の利益には直結し難いため、委託事業として推進することが望ましい。ただ、これまで述べてきた通り、技術開発と基盤整備は互いに密な関係にあるため、助成事業と委託事業で共通の委員会を開催する、合同の事務局を持つなど、密に連携・管理していくことが重要である（図 27）。

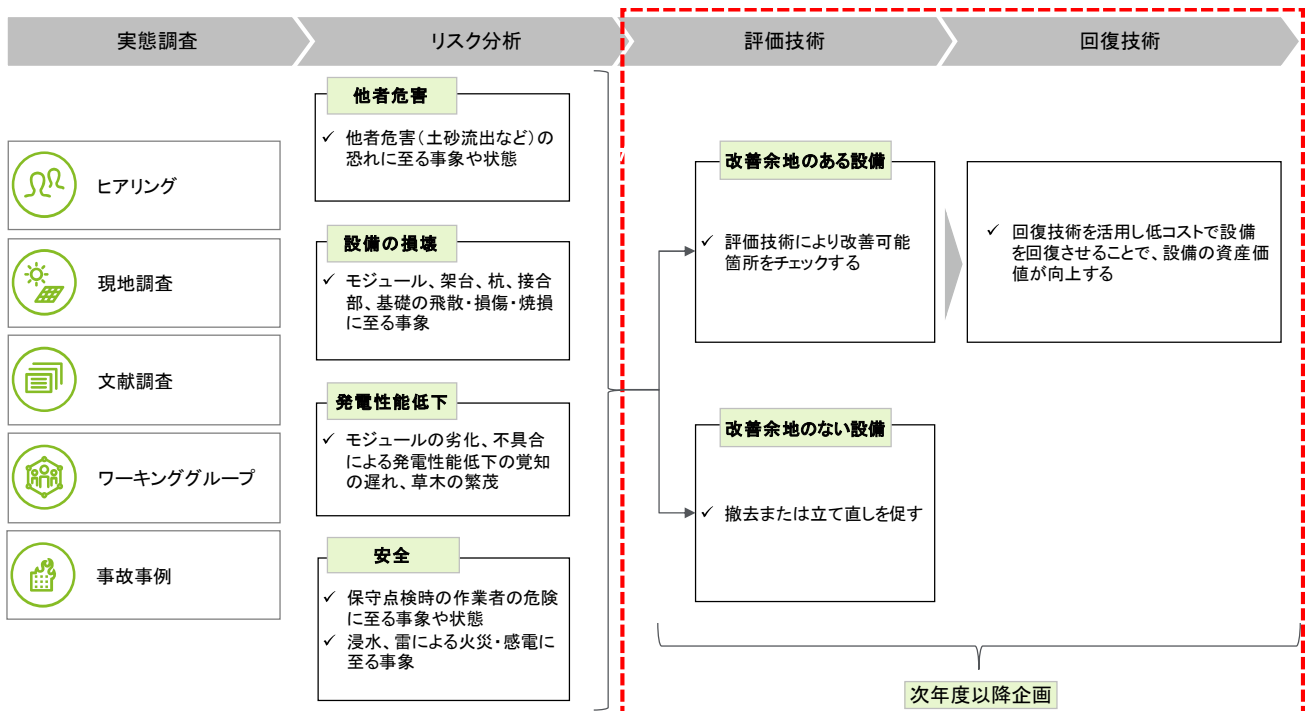


図 25 技術開発立案のフロー



図 26 技術開発の企画案の概要

開発と基盤整備の連携を目的に  
（連携・管理・委員会開催（事務局））

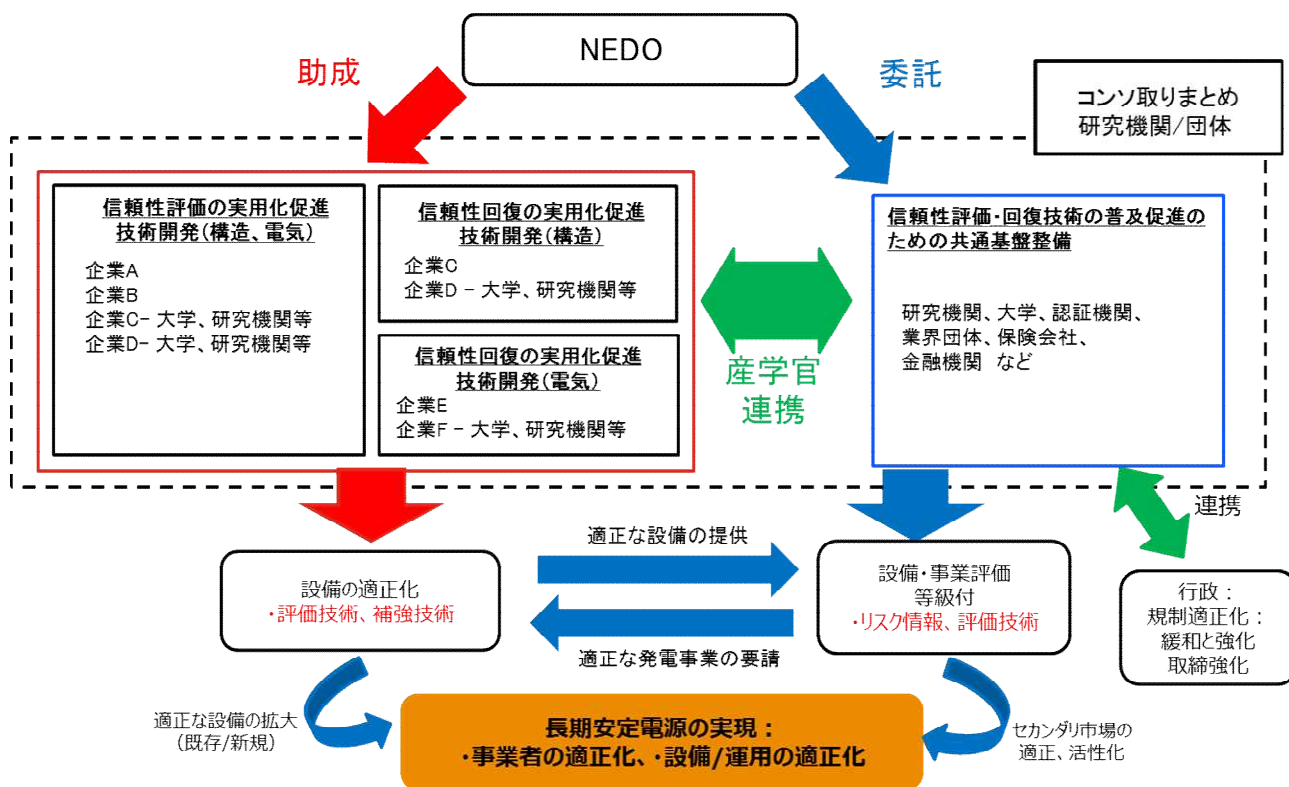


図 27 長期安定電源化のための信頼性評価・回復技術開発のアウトカムイメージ



## 1.2 ガイドライン策定の企画立案

### (a) 企画立案フロー 傾斜地ガイドライン策定の企画立案

太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン策定における企画立案については、有識者ヒアリングや現地調査をもとに、以下のフローにて実施した（図 28）。「実態調査」では、傾斜地・営農（農地）・水上の各設備環境における構成設備の特徴を踏まえ、事故を防止するために考慮すべき設計・施工・運用項目を整理した。次に、「目次案の策定及び検討項目の整理」では、実態調査で考慮すべき設計・施工・運用の内容を踏まえ、既存の地上設置型太陽光発電システム設計ガイドライン 2019 年版（NEDO, JPEA, 奥地建産）と照合させ、傾斜地、営農、水上の各設置形態について追記・修正が必要な目次を抽出し、ガイドラインの目次案を策定するとともに、次年度以降の検討項目についても整理を行った。最後に、「ガイドライン策定の企画立案」では、傾斜地・営農・水上の各特有事項を整理した構造・電気に関するガイドラインの策定方針をまとめ、ダイジェスト版の各設計施工ガイドラインを作成する方向性を提示している。

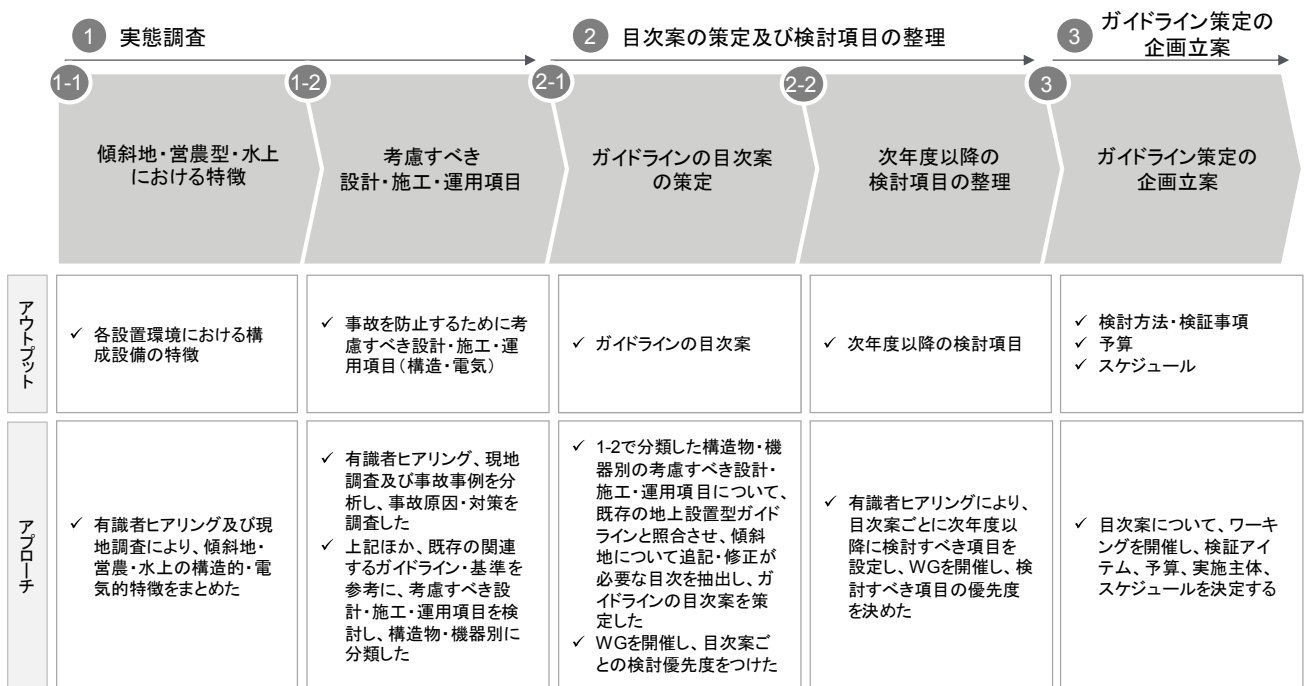


図 28 企画立案フロー

### (b) 傾斜地・営農型・水上における特徴

傾斜地・営農型・水上における太陽光発電の特徴を図 29 に示す。傾斜地については比較的導入が進んでいるものの、特有のリスクとして、豪雨による地盤の崩壊や、強風による杭基礎・架台の崩壊が散見されている。営農型については、1 件あたりの設置規模が小～中規模のものが多く、畑、水田などに設置されている。特有のリスクとして、外周フェンスが無く、設備の管理者以外でも出入り可能であることから感電のおそれが相対的に高い。水上については、1 件あたりの設置規模が中規模のものが多く、溜池、湖、ダムなどに設置されている。特有のリスクとして、技術的な指針が整備されていないことを背景に、火災が発生するケースが散見されている。

各設置場所における構造上の特徴を図 30 に示す。傾斜地設置型における構造上の特徴として、地盤が傾斜していることが挙げられるが、アレイ面が同じ角度で設置される場合と地形なりの角度に設置される場合がある。また、地形に合わせて東西方向に傾斜させている場合がある。基礎については、地上設置型と同様、杭基礎の場合が多いが直接基礎の場合もある。また架台についても一般的な地上設置型に用いられるものが使用されている。営農型における地盤の特徴として、水田や畑などの農耕地盤で、地質は様々であり、基本的には平坦地が多いものの、茶畑のような傾斜地も一部存在する。

基礎については、容易に撤去可能な構造が求められているため杭基礎である場合が多い。架台については、単管パイプとアルミが多く、農作業スペース確保の観点から柱スパンが大きく、梁(横架材)の下端までの高さが高い。また、これらの構造上の特徴から、アレイ支持物は一般的な地上設置型と比較して強度の確保が難しく、脆弱である懸念がある。水上設置型における構造上の特徴として、主に溜池、ダム湖といった水面に設置されており、現時点では国内では海上に設置されたケースはない。基礎については、アースアンカーを水面下の地盤へ打設するケースが多く、アイランド(フロート群)は外周部のフロートを係留されることが多い。架台に相当するフロートは、樹脂製(高密度ポリエチレン)や発泡スチロール製のものが使用されている。また、1フロートに1枚のPVモジュールが設置される場合が多く、アイランドの大きさは設置場所によって様々である。

各設置場所における電気的特徴を図31に示す。傾斜地設置型におけるケーブルについては、地上設置型同様に転がし配線であることもあるが、地中埋設も見られる。また、PCSと共に設置にあたっては排水経路に留意する必要があることが特徴である。運用については、地形ゆえ、保守点検することが相対的に困難であると言える。営農型におけるモジュールについては、大型モジュールのほか、小型の営農PV専用がある。ケーブルについては、頭上にケーブルを架設し、地表設置箇所は転がし配線または地中埋設が一般的であるが、敷設配線されている場所に農業用機械が入るなどのリスクがある。また、モジュールが疎に配置されているため、ケーブルやコネクタが直接雨水や直射日光に曝されるため、劣化のおそれがある。PCSについては、架台が高くモジュールによる日影ができないため、日射に晒される環境下にある。保安面においては、柵・塀が施設されていない場合が多く、営農者が設備敷地内で農作業を行うため、相対的に感電リスクが高くなっている。水上型のケーブルについては、モジュールから接続箱まではフロート上に敷設され、接続箱から岸にあるPCSまでは水中またはフロート上にケーブルを敷設される。接続箱は、水上にあるため、水没する可能性が相対的に高い。運用面においては、火災発生箇所が陸地から遠い場合には、消火活動が困難であり、火災を迅速に収束させる手段がないなどの課題がある。また、電気設計上の課題として、水上のPVS電気設備(絶縁抵抗計)の接地抵抗の考え方(感電防止の考え方)が整理されていない状況である。

|            | 傾斜地                    | 営農型  | 水上                        |
|------------|------------------------|--|---------------------------|
| 1件あたりの設置規模 | 小～大(数十kW～数十MW)         | 小～中(数十kW～数百kW)                             | 中(数百kW～数MW)               |
| 件数         | 多い                     | 中:1,905件<br>(平成24年度～29年度)                  | 少ない:数百件                   |
| 導入量        | 大                      | 小:190MW<br>(1件100kWと仮定した場合)                | 中:300-500MW               |
| 設置場所       | ゴルフ場(大規模)、山林、斜面など      | 畑、水田など                                     | ため池、湖、ダムなど                |
| 特有のリスク     | 土砂災害<br>(設置基準が無い)      | 感電<br>(フェンスが無く誰でも出入り可能)                    | 火災発生<br>(技術的な指針が整備されていない) |
| 今後の動向      | 入札導入により、造成が必要な大規模案件は減少 | FITの地域案件になるため、今後小規模地上設置に関して営農が増加することが想定される | 不明                        |

図29 傾斜地・営農型・水上の比較

地上設置型・傾斜地・営農型・水上の特徴

地上設置型と異なる特徴は赤字にて記載する

|    |           | 地上設置型                         | 傾斜地   | 営農型   | 水上  |
|----|-----------|-------------------------------|---|---|---|
| 構造 | 地盤        | 造成地盤だけでなく自然地盤もある。基本的には平坦地が多い。 | 造成地盤だけでなく自然地盤もある。30°を超える急こう配にも設置されている事例がある。         | 農耕地盤。水田や畑など地質は様々である。堆肥や化学肥料が用いられている。基本的には平坦地が多い。茶畑のような傾斜地もある。   | 溜池、ダム湖(淡水)。現時点では海上は無い。水面に設置している。  |
|    | 基礎        | 杭基礎の場合が多いが直接基礎の場合もある。         | 杭基礎の場合が多いが直接基礎の場合もある。                               | 杭基礎で、簡易に撤去できる基礎が要求されている。  | アースアンカーを水面下の地盤へ打設する場合が多い。コンクリートブロックを設置する場合もある。アイランドの外周部のフロートを係留する。(中間部では係留していない)                            |
|    | 架台        | 鋼製またはアルミ製である。                 | 鋼製またはアルミ製である。                                       | 単管パイプとアルミが多い。柱スパンが大きく、梁(横架材)の下端までの高さが高い(農作業スペース確保のため)。一般的な柱スパンは3~4m、梁の高さは2.5~3.5m。トラクター等の農業機械が入らない場合は各寸法が小さいものもある。アレイ支持物が相対的に脆弱である。 | 樹脂製(高密度ポリエチレン)フロートが多い。発泡スチロール製もある。1フロートに1枚のPVモジュールが設置される。設置場所によりアイランドの大きさは様々である。(国内最大は約5万個のフロートが配置されたアイランド) |
|    | アレイ面の傾斜角度 | 5° ~30° が一般的。                 | 同じ角度で設置される場合と、地形なりの角度に設置される場合がある。東西方向に傾斜されている場合がある。 | 5° ~30° が一般的。追尾型(1軸)もある。  | 10° ~15° が一般的。  |

図 30 地上設置型・傾斜地・営農型・水上の特徴 (構造)

Tuesday, September 1, 2020

図 31 地上設置型・傾斜地・営農型・水上の特徴 (電気)

### (c) 設計・施工・運用項目

実態調査として、有識者ヒアリング、現地調査及び事事故事例を分析し、構造・電気のそれぞれに対し、設計・施工・運用の観点で、考慮すべき項目を整理した上で、既存の関連するガイドライン・基準を照らし合わせて、カテゴリー別に分類した。

傾斜地太陽光発電に関する考慮すべき設計項目出しにあたっては、開発、設計、施工、維持管理の各領域について、発電事業者、EPC・維持管理コントラクター、大学・研究機関にトラブル及び考慮すべき事項のヒアリングを実施した。この中には山梨県甲斐市および福島県楡葉町の発電設備での現地調査2件も含まれる。

構造に関する傾斜地太陽光発電に関する各関係者へのヒアリング、現地調査及びワーキンググループのディスカッション結果、構造的なトラブル及び考慮すべき項目として、傾斜地においては地盤に関連するものが多く挙げられる。具体的には、杭基礎周辺の洗堀、杭長の不足による杭の傾き、植生の喪失に伴い発生する洗堀、地盤転圧不足に起因する沈下、排水路設計の不備により大雨により排水路に土砂が溜まる現象、等である。このうち洗堀の発生については事後的に砕石を敷く、植生を張る、ネットを張る等により対策ができる可能性が指摘されている。また、土砂災害警戒区域内や急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律、地すべり等防止法による指定区域にされているにも関わらず建設が行われている例があり、事前調査の徹底が必要と示唆される。また、宅地造成マニュアルに倣い、円弧すべりについても考慮すべきではないかとの声もあった。地盤以外の点については、風の増速によるモジュールの飛散がトラブルとして挙げられている。これについては発電所周囲の地盤を盛り上げることで対処が可能ではないかという指摘があった。

電氣的な事項についての各関係者へのヒアリング、ディスカッション結果、ケーブルを転がし配管とした場合の洗堀発生が懸念される。これについては地下埋設することで対応が可能であると考えられる。

傾斜地太陽光発電設備を対象とする事事故事例は災害による設備被害であり、の事例 1、2 では豪雨による斜面の崩壊、事例 3、4 では強風によるモジュール・架台の飛散が発生している。それぞれの事故の主要因は、崩壊対策の不備、設計荷重の誤りであると推測される（図 32）。

豪雨による崩壊によって破壊された傾斜地における太陽光発電所の事事故事例は、斜面地盤の崩壊によって、モジュール・架台が崩落している。斜面地盤の調査や排水計画、斜面保護工の施工が不十分であったことが斜面崩壊の原因であったと推測される。他のケースでは、設備が新幹線の軌道付近まで崩落している。小規模の傾斜地であっても斜面が崩壊することがあり、土砂の流出は他者に多大な危害を加える危険性がある。強風による事故では、モジュールや架台の飛散だけでなく、杭基礎が引抜けている様子が分かる。傾斜地においては平地より風速が増加する場合があるが、一般的に設計用風圧荷重として考慮されていないことが多い。これは、太陽光発電設備の設計荷重が示されている JIS C 8955 には、傾斜地における風速増加について明確に規定されていないことも関係していると推測される。また、急傾斜においては基礎や架台の施工の難易度が高く、基礎や架台の強度の確保が平坦地での PV 設備より難しいため、より厳密な施工管理が求められる。

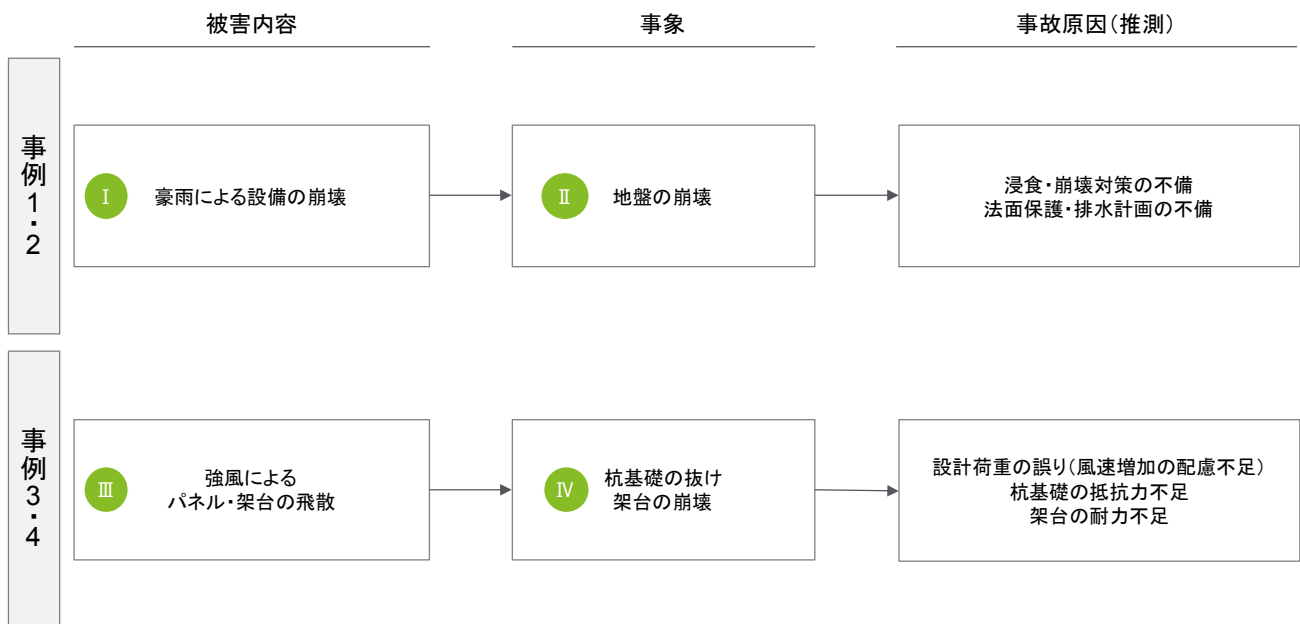


図 32 傾斜地太陽光発電設備の事故事例調査結果

営農型太陽光発電に関する考慮すべき設計項目の抽出にあたっては、開発、設計、施工、維持管理の各領域について、発電事業者、地方公共団体にトラブル及び考慮すべき事項のヒアリングを実施した。この中には神奈川県小田原市他への現地調査 3 件も含まれる。

営農型太陽光発電に関する各関係者へのヒアリング、現地調査及びワーキンググループのディスカッション結果、基礎については、水田に設置する場合にフランジ面の水平を保てなくなる事象が発生するとともに、農地法では簡単に撤去できる構造にすることからコンクリート打ちはできなくなっており、発電設備の構造に十分な強度が求められる電気事業法との間で矛盾も発生している。架台に関しては、農機具を柱にぶつけるなど安全面での懸念だけでなく、隣地との離隔距離が不十分の場合に、隣地に太陽電池モジュールの影を落とし、農作物の生育に悪影響を与える可能性も指摘されている。また、安全面に関しては、営農者は電気工作物の下で農作業をしているという認識が薄く、感電のリスクも懸念されている。

営農型発電設備を対象に事故事例は強風による設備被災である。事例 1 では、部材接合部の破損、脱落、柱部材の折損の事象が発生しており、それぞれ接合部の構造計算の不備、部材応力の計算の誤りが事故原因と推測される。事例 2 は、柱部材の折損（曲げ変形）の事象であるが、事例 1 と同様に応力計算の誤りが原因と考えられる。

営農型太陽光発電設備の千葉県における事故事例は、最寄りの千葉特別地域気象観測所の風速観測高さ地上 47.9mにおいて、台風 15 号により最大風速 35.1 m/秒（南東）、最大瞬間風速 57.5 m/秒を記録した。地表面粗度区分Ⅱとして、高さ 10mレベルに換算すると、最大風速 27.8m/秒程度の風が吹いたと推定される。これにより北西側端部、東側端部のモジュールが飛散した。特に東側端部は 3 スパンにわたり架台ごと破損し、さらに飛散したモジュールがアレイの上に飛び散ったために、より多くのモジュールが破損することとなった。また、飛散したモジュールが敷地内の架台の別の地点にモジュールの上に落下し、被害が広がった。同事故現場にてアルミ部材接合部の脱落・破損によって架台の変形・倒壊している様子が見られた。このように、アルミ製架台の接合部では、T 型溝とスロットによる部材間の摩擦を期待した接合が多用されるが、期待した摩擦が得られず脱落する事例が見られる。また、同事故現場にてアルミ製の柱部材が折損していた。アルミ部材は熱処理によって強度を増すことができるが、その反面、脆性的に破壊することがある。また、千葉県の別事故現場において強風によって崩壊した単管製架台では、柱部材の曲げ強度不足が原因と推測される。

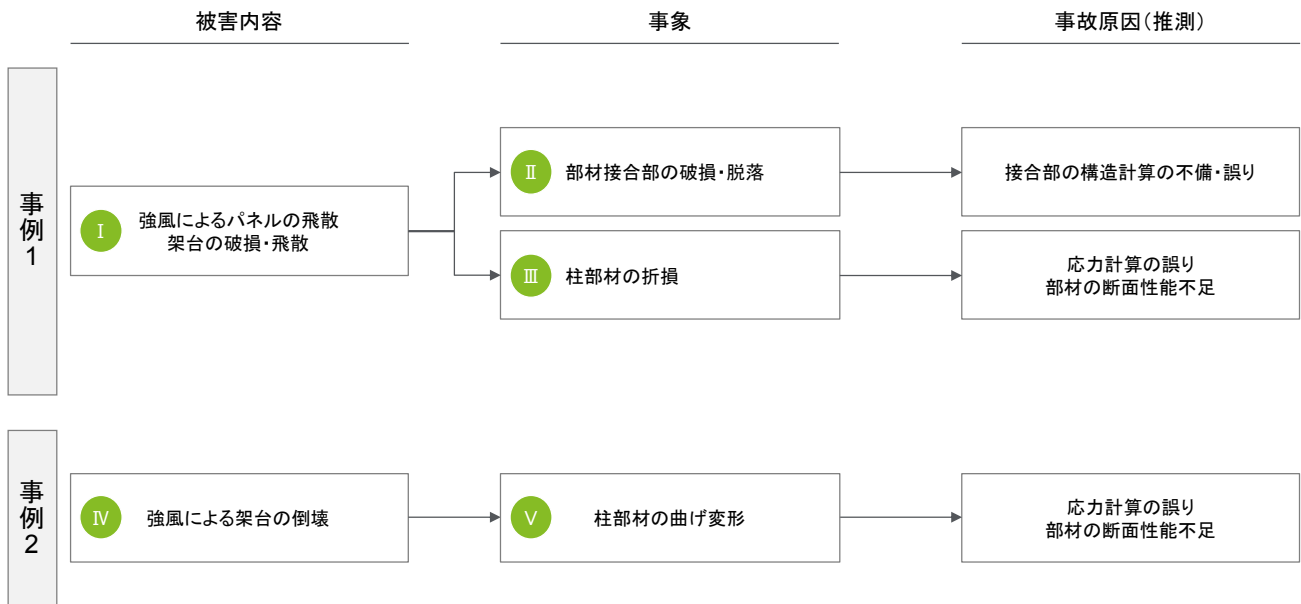


図 33 水上型太陽光発電設備の事故事例

水上太陽光発電に関する考慮すべき設計項目の抽出にあたっては、開発、設計、施工、維持管理の各領域について、発電事業者、フロートメーカー、地方公共団体にトラブル及び考慮すべき事項のヒアリングを実施した。この中には兵庫県加西市他の発電設備への現地調査 6 件も含まれる。

水上太陽光発電に関する各関係者へのヒアリング、現地調査及びワーキンググループのディスカッション結果、構造的なトラブル及び考慮すべき項目として、フロート部では、モジュールが強風であられることによりフロートが裏返る被害が発生している。これについては、アイランドの外周の一列にはモジュールは設置せず、フロートのみ設置することで、モジュールがおあられにくくなるよう対策したとの発電事業者からの説明があった。また、フロート間の接合部の破断等が見られたが、フロート間の接合部が破断したアイランド外周のフロート間の接合部について強化ピンの試験的導入などの対策が見られた。アンカー部について、アイランド中央部にアンカーを設置したために、中央部付近でフロートの盛り上がるトラブルが見られた。これは、アイランドに風圧荷重などの外力が作用したときに中央部が固定されることにより、フロートが行き場を失うことが原因として考えられ、係留ロープへの緩衝装置の設置により解消できる可能性がある。

アイランドの形状については、大型のアイランドや L 字型などの変形型のアイランドにおいて、局部的に応力集中が発生し事故につながるということが指摘されており、変形型アイランドの応力集中は十分に検証する必要がある。

また、構造事故や火災等の被害が発生した場合における水質・環境への影響や緊急時の対応等の必要性について、指摘があった。電氣的なトラブル及び考慮すべき事項として、水位の影響でケーブルが損傷する恐れが指摘され、適切な配線方法等を検討する必要がある。

水上太陽光発電設備を対象に事故事例は強風による設備被害であり、事例 1, 2 はフロート間の接合部の破断、事例 3 は係留ワイヤーとフロートの接合部の破断する事象が発生しており、設計荷重の検討不足、接合部の耐力不足が事故原因と推測される（図 33、図 34）。

千葉県市原市にあるダムの水面を活用した水上太陽光発電設備の事故事例は、台風時の強風によって、アイランドの分断、フロート（太陽電池モジュール）の重なり、火災の発生等の被害が見られる。分断された風下側アイランドでは、フロートが折り重り太陽電池モジュールが破損していた。フロート間の接合部の破断していた。樹脂製ピンの抜け、接合部の部材破損といった被害が確認できる。佐賀県で発生した水上太陽光発電設備の強風被害があり、フロート間接合部の破損によって、多くのフロートがばらばらになって飛散していることが分かる。フロート間接合部の破断の原因は接合ピンの破損であったと考えられる。

大阪府で発生した強風被害では、風上側の係留ワイヤーとフロート間の接合部の破断によって、係留の切れた風上端部のフロートが捲れ上がったと推測される。

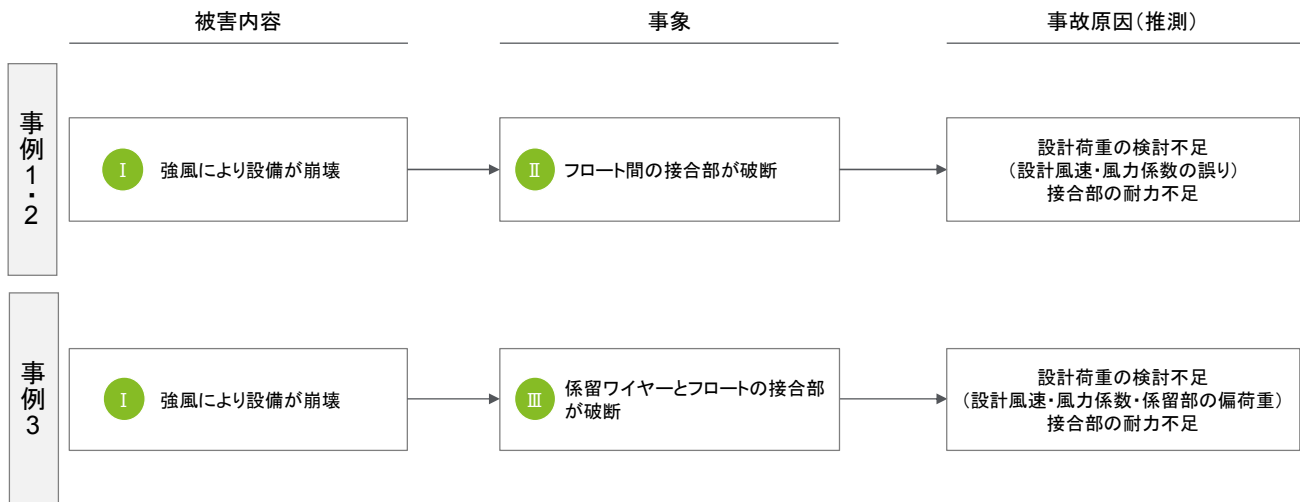


図 34 水上太陽光発電設備の事故事例

(d) 目次案の策定及び検討項目の整理

ガイドラインの目次案の策定は、考慮すべき設計・施工・運用のカテゴリー分類を踏まえ、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（地上設置ガイドライン）と照合した上で、地上設置ガイドラインから追記修正が必要な項目及び記載のない項目を抽出し、目次案を作成した。

上記プロセスを踏まえ、傾斜地ガイドライン目次案を表 1、営農型ガイドラインの目次案を表 2、水上型ガイドラインの目次案を表 3 に示す。ヒアリング・現地調査・WG 等の結果を踏まえ、重要度を記載している。

表 1 傾斜地ガイドライン目次案

| 目次案         | 項目           | 地上設置ガイドラインを引用 | 地上設置ガイドラインに追記・修正 | 新規 | 重要度 | ヒアリング・現地調査・WG 結果項目       |
|-------------|--------------|---------------|------------------|----|-----|--------------------------|
| 1 総則        | 1.1 適用範囲     | ✓             |                  |    |     |                          |
|             | 1.2 引用規格     | ✓             |                  |    |     |                          |
|             | 1.3 用語・記号の定義 | ✓             |                  |    |     |                          |
|             | 1.4 構造設計方針   | ✓             |                  |    |     |                          |
|             | 1.5 電気設計方針   |               |                  | ✓  | 高   |                          |
|             | 1.6 施工管理方針   |               |                  | ✓  | 高   |                          |
| 2 被害事例と被害要因 | 2.1 豪雨被害     |               |                  | ✓  | 高   | Ⓐ 地盤崩壊事故                 |
|             | 2.2 強風被害     |               |                  | ✓  | 高   |                          |
|             | 2.3 その他の被害   |               |                  | ✓  | 高   | Ⓕ 地震による被害調査<br>Ⓖ フェンスの倒壊 |
| 3 構造設計・施工計画 | 3.1 設計フロー    | ✓             |                  |    |     |                          |
|             | 3.2 施工フロー    |               |                  | ✓  |     |                          |
| 4 電気設計・施工計画 | 4.1 設計フロー    |               |                  | ✓  |     |                          |

| 目次案          | 項目                      | 地上設置ガイドラインを引用 | 地上設置ガイドラインに追記・修正 | 新規 | 重要度 | ヒアリング・現地調査・WG 結果項目   |
|--------------|-------------------------|---------------|------------------|----|-----|--|
|              | 4.2 施工フロー               |               |                  | ✓  |     |  |
| 5 事前調査       | 5.1 資料調査                | ✓             |                  |    |     | D 行政危険区域該当の有無の調査<br>E  |
|              | 5.2 現地調査                | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 5.3 地盤調査                |               |                  | ✓  |     | I 円弧滑りの調査  |
| 6 造成計        | 6.1 基本事項<br>(基本的な考え方)   | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 6.2 切土・盛土計画             |               | ✓                |    | 高   | G 造成後の転圧   |
|              | 6.3 排水計画 (調整池)          |               | ✓                |    | 高   | K 排水路に土砂が溜まる事象   |
|              | 6.4 斜面崩落防止計画            |               | ✓                |    | 高   | B 洗掘の発生<br>F 緑化時の土質調査<br>O 段切りや暗渠の検討<br>P 地盤崩壊のアラート (地下水位監視) |
|              | 6.5 環境・景観対策*            |               |                  | ✓  | 低   |  |
| 7 PV アレイ配置計画 | 7.1 全体配置計画              | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 7.2 アレイ面の傾斜角と隔離距離       | ✓             |                  |    |     |  |
| 8 設計荷重       | 8.1 想定荷重と荷重の組み合わせ       | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 8.2 固定荷重                | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 8.3 風圧荷重                |               | ✓                |    | 高   | M モジュールの飛散   |
|              | 8.4 積雪荷重                |               | ✓                |    | 高   | N 雪の吹き溜まりの影響   |
|              | 8.5 地震荷重                |               | ✓                |    | 高   |  |
| 9 使用材料       | 9.1 鋼材                  | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 9.2 アルミ合金材              | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 9.3 コンクリート<br>(独立基礎に使用) | ✓             |                  |    |     |  |
|              | 9.4 その他材料               | ✓             |                  |    |     |  |
| 10 架台設計      | 10.1 傾斜地における架台設計の注意点    |               |                  | ✓  | 高   |  |
|              | 10.2 架構形式               |               | ✓                |    | 高   |  |
|              | 10.3 構造計算               |               | ✓                |    | 高   |  |
| 11 基礎の設計     | 11.1 傾斜地における基礎設計の注意点    |               |                  | ✓  | 高   |  |
|              | 11.2 基礎形式               |               | ✓                |    | 高   | A 地盤が崩れ基礎から設備が崩壊する事故   |
|              | 11.3 基礎の設計              |               | ✓                |    | 高   |  |
| 12 腐食防食      | 12.1 架台の腐食と防食           |               | ✓                |    |     |  |
|              | 12.2 基礎 (杭基礎) の腐食と防食    |               | ✓                |    |     |  |
| 13 電気設備の設    | 13.1 傾斜地における基礎設計の注意点    |               |                  | ✓  |     |  |
|              | 13.2 排水を考慮した配線計画        |               |                  | ✓  |     | Q 地上ケーブルによる洗堀  |



| 目次案     | 項目                   | 地上設置ガイドラインを引用 | 地上設置ガイドラインに追記・修正 | 新規 | 重要度 | ヒアリング・現地調査・WG 結果項目         |
|---------|----------------------|---------------|------------------|----|-----|----------------------------|
|         | 13.3 排水路を考慮した機器設置計画  |               |                  | ✓  |     |                            |
|         | 13.4 保守点検を考慮した電気設備計画 |               |                  | ✓  |     | U 動物の侵入防止策<br>W            |
| 14 施工   | 14.1 一般共通項目          |               |                  | ✓  |     |                            |
|         | 14.2 仮設工事            |               |                  | ✓  |     |                            |
|         | 14.3 造成工事            |               |                  | ✓  |     | G 地方自治体の土木工事共通仕様書          |
|         | 14.4 基礎架台工事          |               |                  | ✓  |     | J 建築工事標準仕様書の参照             |
|         | 14.5 電気工事            |               |                  | ✓  |     | S 現地での電工の管理                |
| 15 維持管理 | 15.1 地盤・排水           |               |                  | ✓  |     |                            |
|         | 15.2 基礎・架台           |               |                  | ✓  |     |                            |
|         | 15.3 電気設備            |               |                  | ✓  |     | S コネクタの緩み<br>V 草刈り時のケーブル切断 |
|         | 15.4 緊急時の対応          |               |                  | ✓  |     | R 接続箱, モジュールからの発火<br>T     |

\*環境・景観対策については、地方自治体の条例等の規制を受けるため、ガイドラインでは重要度を下げ、留意点を記載するに留める。

表2 営農型ガイドライン目次案

| 目次案         | 項目               | 地上設置ガイドラインを引用 | 地上設置ガイドラインに追記・修正 | 新規 | 重要度 | ヒアリング・現地調査・WG 結果項目              |
|-------------|------------------|---------------|------------------|----|-----|---------------------------------|
| 1 総則        | 1.1 適用範囲         | ✓             |                  |    |     |                                 |
|             | 1.2 引用規格         | ✓             |                  |    |     |                                 |
|             | 1.3 用語・記号の定義     | ✓             |                  |    |     |                                 |
|             | 1.4 構造設計方針       | ✓             |                  |    |     |                                 |
|             | 1.5 電気設計方針       |               |                  | ✓  |     |                                 |
|             | 1.6 施工管理方針       |               |                  | ✓  |     |                                 |
| 2 被害事例と被害要因 | 2.1 強風被害         |               |                  | ✓  | 高   | D 台風による部材の破損                    |
|             | 2.2 その他の被害       |               |                  | ✓  |     |                                 |
| 3 構造設計・施工計画 | 3.1 設計フロー        | ✓             |                  |    |     |                                 |
|             | 3.2 施工フロー        |               |                  | ✓  |     |                                 |
| 4 電気設計・施工計画 | 4.1 設計フロー        |               |                  | ✓  |     |                                 |
|             | 4.2 施工フロー        |               |                  | ✓  |     |                                 |
| 5 事前調査      | 5.1 資料調査         | ✓             |                  |    |     |                                 |
|             | 5.2 現地調査         | ✓             |                  |    |     |                                 |
|             | 5.3 地盤調査（土壌成分調査） |               | ✓                |    |     | C Q L 支持層・作土層の確認<br>J 火山灰土などの特殊 |

| 目次案          | 項目   | 地上設置ガイドラインを引用 | 地上設置ガイドラインに追記・修正 | 新規 | 重要度 | ヒアリング・現地調査・WG 結果項目  |
|--------------|--|---------------|------------------|----|-----|---|
|              |  |               |                  |    |     | な地盤への配慮<br>環境影響   |
|              | 5.4 農作物の調査（現状での収穫量）                        |               |                  | ✓  | 低※  |   |
|              | 5.5 土地利用状況の調査                              |               |                  | ✓  |     |   |
| 6 PV アレイ配置計画 | 6.1 全体配置計画                                 |               |                  | ✓  |     |   |
|              | 6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離（遮光率と農作物の関係）              |               | ✓                |    | 低※  |   |
|              | 6.3 隣地との隔離距離                               |               |                  | ✓  |     |   |
|              | 6.4 使用の農機具・機械への配慮                          |               |                  | ✓  |     | S 農機具・機械との仕様の整合性  |
| 7 設計荷重       | 7.1 想定荷重と荷重の組み合わせ                          | ✓             |                  |    |     |   |
|              | 7.2 固定荷重                                   | ✓             |                  |    | 高   |   |
|              | 7.3 風圧荷重                                   |               | ✓                |    | 高   | F 営農 PV での風圧荷重  |
|              | 7.4 積雪荷重                                   |               | ✓                |    | 高   | H<br>F 営農 PV での雪荷重  |
|              | 7.5 地震荷重                                   |               | ✓                |    | 高   |   |
|              | 7.6 衝突荷重（農機の衝突）                            |               |                  | ✓  | 高   | E 農機と架台の衝突  |
| 8 使用材料       | 8.1 鋼材                                     | ✓             |                  |    |     |   |
|              | 8.2 アルミ合金材                                 | ✓             |                  |    |     |   |
|              | 8.3 コンクリート（独立基礎に使用）                        | ✓             |                  |    |     |   |
|              | 8.4 その他材料                                  | ✓             |                  |    |     |   |
| 9 架台設計       | 9.1 架台設計の注意点（農作業空間の確保、農機衝突への配慮）            |               |                  | ✓  | 高   | E 農機と架台の衝突<br>G 隣地との隔離  |
|              | 9.2 架構形式                                   |               | ✓                |    | 高   |   |
|              | 9.3 構造計算                                   | ✓             |                  |    |     |   |
| 10 基礎の設計     | 10.1 農地における基礎設計の注意点                        |               |                  | ✓  | 高   | R 設備構造の強度と撤去<br>N 排水設備  |
|              | 10.2 基礎形式                                  |               | ✓                |    | 高   | K 農地特性を踏まえた杭基礎  |
|              | 10.3 基礎の設計                                 |               | ✓                |    | 高   | A 杭の打ち込みの深さ   |
| 11 腐食防食      | 11.1 営農環境における腐食の注意点（湛水、散水、薬品などの影響）         |               |                  | ✓  |     | B 湛水による腐食への影響   |
|              | 11.2 架台の腐食と防食                              |               | ✓                |    |     |   |
|              | 11.3 基礎（杭基礎）の腐食と防食                         |               | ✓                |    |     | B 杭の腐食  |
| 12 電気設備の設計   | 12.1 農地における電気設計の注意点（ケーブルや PCS、接続箱の日射の遮蔽など） |               |                  | ✓  | 高   | T 温度異常による PSC の停止<br>Y モジュールのバックシートやケーブルの経年劣化<br>AA PCS のフィルタ目詰まりによる不具合<br>ケーブル・コネクタによる日射の影響<br>N |

| 目次案       | 項目                   | 地上設置ガイドラインを引用 | 地上設置型ガイドラインに追記・修正 | 新規 | 重要度 | ヒアリング・現地調査・WG結果項目                           |
|-----------|----------------------|---------------|-------------------|----|-----|---|
|           | 12.2 感電防止対策          |               |                   | ✓  | 高   | Z 地上ケーブルの切断・破損事故<br>U 農作業者の感電リスク<br>V<br>AB |
|           | 12.3 農作業中の断線対策       |               |                   | ✓  | 高   |   |
|           | 12.4 営農環境における腐食の注意点  |               |                   | ✓  |     |   |
|           | 12.5 保守点検を考慮した電気設備設計 |               |                   | ✓  | 高   |   |
| 13 施工     | 13.1 一般共通項目          |               |                   | ✓  |     |   |
|           | 13.2 仮設工事            |               |                   | ✓  |     | M 施工時の架台の高さ                                 |
|           | 13.3 基礎・架台工事         |               |                   | ✓  |     | C 作土層の保護<br>P ボルトの緩み                        |
|           | 13.4 電気工事            |               |                   | ✓  |     | W 余裕のない配線                                   |
| 14 維持管理計画 | 14.1 農作物（収穫量）        |               |                   | ✓  | 低※  | L 防錆塗装の環境影響                                 |
|           | 14.2 地盤              |               |                   | ✓  |     |   |
|           | 14.3 基礎・架台           |               |                   | ✓  |     | P ボルトの緩み・脱落<br>E 農機の衝突                      |
|           | 14.4 電気設備            |               |                   | ✓  |     |   |
|           | 14.5 緊急時の対応          |               |                   | ✓  | 高   | D 架台の倒壊                                     |

※一部項目（5.4 農作物の調査、6.2 アレイ面の傾斜角と離隔距離、14.1 農作物）についてはガイドラインでは重要度を下げ、留意点を記載するに留める方針。

表3 水上ガイドライン目次案

| 目次案         | 項目           | 地上設置ガイドラインを引用 | 地上設置型ガイドラインに追記・修正 | 新規 | 重要度 | ヒアリング・現地調査・WG結果項目 |
|-------------|--------------|---------------|-------------------|----|-----|-------------------|
| 1 総則        | 1.1 適用範囲     | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 1.2 引用規格     | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 1.3 用語・記号の定義 | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 1.4 構造設計方針   | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 1.5 電気設計方針   |               |                   | ✓  |     |                   |
|             | 1.6 施工管理方針   |               |                   | ✓  |     |                   |
| 2 被害事例と被害要因 | 2.1 強風被害     |               |                   | ✓  | 高   |                   |
|             | 2.2 その他の被害   |               |                   | ✓  |     |                   |
| 3 構造設計・施工計画 | 3.1 設計フロー    | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 3.2 施工フロー    |               |                   | ✓  |     |                   |
| 4 電気設計・施工計画 | 4.1 設計フロー    | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 4.2 施工フロー    |               |                   | ✓  |     |                   |
| 5 事前調査      | 5.1 資料調査     | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 5.2 現地調査     | ✓             |                   |    |     |                   |
|             | 5.3 地盤調査     |               | ✓                 |    |     | F ボーリング調査の必       |

| 目次案          | 項目  | 地上設置<br>ガイドラ<br>インを引<br>用 | 地上設置型<br>ガイドラ<br>インを追記・<br>修正 | 新規 | 重<br>要<br>度 | ヒアリング・現地調査・<br>WG 結果項目  |
|--------------|---|---------------------------|-------------------------------|----|-------------|---|
|              |   |                           |                               |    |             | 要性  |
|              | 5.4 水質・流域の調査  |                           |                               | ✓  | 低           |   |
| 6 PV アレイ配置計画 | 6.1 全体配置計画（アイ<br>ランド）   |                           |                               | ✓  |             | Ⓐ アイランドの外側<br>におけるモジュールの<br>設<br>Ⓣ PV 全体での評価シ<br>ステム          |
|              | 6.2   |                           | ✓                             |    |             |   |
|              | 6.3 環境・景観対策（配<br>慮項目程度）   |                           |                               | ✓  | 低           | Ⓜ 事故後の水質・環境<br>への影響<br>ⓧ 生態系への影響                              |
| 7 設計荷重       | 7.1 想定荷重と荷重の組<br>み合わせ   |                           | ✓                             |    |             |   |
|              | 7.2 固定荷重  |                           | ✓                             |    | 高           |   |
|              | 7.3 風圧荷重（衝撃荷重<br>含む）  |                           | ✓                             |    | 高           | Ⓚ アイランド全体での<br>風洞実験<br>Ⓤ 設定荷重の注意点<br>Ⓥ 最高水位による荷重<br>の設計       |
|              | 7.4 積雪荷重  |                           | ✓                             |    | 高           |   |
|              | 7.5 地震荷重  |                           | ✓                             |    |             |   |
|              | 7.6 波力・揺動（繰り返<br>し荷重含む）   |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓑ 揺動による繰返し疲労  |
|              | 7.7 水面凍結による荷重   |                           |                               | ✓  |             |   |
| 8 使用材料       | 8.1 鋼材  | ✓                         |                               |    |             |   |
|              | 8.2 アルミ合金材  | ✓                         |                               |    |             |   |
|              | 8.3 コンクリート（独<br>立基礎に使用）   | ✓                         |                               |    |             |   |
|              | 8.4 ワイヤロープ・チ<br>ェーン（係留用）  |                           |                               | ✓  |             |   |
|              | 8.5 樹脂（フロートの材<br>料）   |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓗ 材料試験の実施   |
|              | 8.6 その他の材料  | ✓                         |                               |    |             |   |
| 9 フロートの設計    | 9.1 フロート設計での注<br>意点   |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓓ アイランドの形ごと<br>の応力集中<br>Ⓗ フロートの材料試験                           |
|              | 9.2 フロートの設計   |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓘ フロートの設計のベ<br>ース   |
|              | 9.3 接合部の設計（フロ<br>ートあいだ、係留ロ<br>ープとフロート間、<br>フロートと PV モジ<br>ュール間） |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓑ フロート間接合部の<br>不<br>Ⓔ 具合<br>Ⓙ フロート間、フロ<br>ートとアンカー間の接<br>合部の設計 |
|              | 10.1 係留設計での基本事<br>項   |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓚ 係留ロープの荷重負<br>担の割合   |
|              | 10.2 係留方法   |                           |                               | ✓  | 高           |   |
| 10 係留設計      | 10.3 アンカーの設計  |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓒ 中央部にアンカーを<br>設計する際の注意点<br>Ⓡ 荷重計算におけるア<br>ンカーの設計基準           |
|              | 10.4 係留ロープの設計   |                           |                               | ✓  | 高           | Ⓟ 係留ロープの張力・<br>角度の影響  |

| 目次案        | 項目  | 地上設置<br>ガイドラ<br>インを引<br>用 | 地上設置型<br>ガイドラ<br>インを追記・<br>修正 | 新規 | 重要<br>度 | ヒアリング・現地調査・<br>WG 結果項目  |
|------------|---|---------------------------|-------------------------------|----|---------|---|
| 11 腐食防食    | 11.1 水中部（アンカー・<br>ロープ）                            |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 11.2 水上部（固定金具<br>等）                               |                           |                               | ✓  |         | S 電食の考慮   |
|            | 11.3 フロート（樹脂）の<br>劣化                              |                           |                               | ✓  | 高       | H フロートの材料試験   |
| 12 電気設備の設計 | 12.1 水中・水上環境にお<br>ける電気設計の注<br>意点（接続箱など<br>の IP 等） |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 12.2 水上、水底の配線方<br>法                               |                           |                               | ✓  | 高       | G フロート上のケー<br>ブルの設置方法<br>Y ケーブルの損傷<br>Z 動物によるケー<br>ブル<br>への被害 |
|            | 12.3 感電防止対策                                       |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 12.4 保守点検を考慮した<br>電気設備の設計                         |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 12.5 緊急時の対応（設計<br>時）                              |                           |                               | ✓  | 高       |   |
| 13 施工      | 13.1 一般共通項目                                       |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 13.2 仮設工事   |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 13.3 係留工事   |                           |                               | ✓  | 高       |   |
|            | 13.4 地上での組み立て工<br>事                               |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 13.5 進水および水上での<br>組み立て工事                          |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 13.6 電気工事   |                           |                               | ✓  |         |   |
| 14 維持管理計画  | 14.1 フロートと PV モジ<br>ュール（水上）                       |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 14.2 係留索（水中）                                      |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 14.3 電気設備   |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 14.4 浚渫   |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 14.5 フロートへのアクセ<br>ス方法                             |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 14.6 労働安全衛生に配慮<br>した装備等                           |                           |                               | ✓  |         |   |
|            | 14.7 緊急時の対応                                       |                           |                               | ✓  | 高       | W 構造事故・火災への<br>対応   |

※5.4 水質・流域の調査 および 6.3 環境・景観対策 については地方自治体の条例等の規制を受けるため、ガイドラインでは重要度を下げ、留意点を記載するに留める。

#### (e) 検討項目の整理

地上設置ガイドラインに追記・修正した項目及び新規の項目に対し、ワーキンググループでの議論をもとに、検討項目を整理した。検討すべき項目を抽出し、実証実験を行う項目、文献調査・ヒアリングを行う項目、重要度を整理した。

傾斜地型に関する検討項目のうち実証実験が必要なものについて、表4に整理した。傾斜地型については、実証試験①（実①）については CFD（数値流体解析）によって、傾斜地における地表面近傍の風速の評価方法を検討する。具体的には、建築物荷重指針・MASCOT（風況予測モデル）等の適用性について検証する。また、実証試験②（実②）については風洞実験によって、傾斜地に設置された PV ア

レイの風力係数の評価方法を検討する。具体的には「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版」の技術資料にて提案した方法の検証と、法肩・法尻での風力係数への影響を把握する。(図 35)。実証試験③(実③)については、傾斜地型太陽光設備における積雪荷重の軒先荷重、沈降荷重への影響について実測調査を行う(図 36)。実証試験④(実④)については、杭基礎の水平抵抗力の低下が懸念される下り方向への抵抗力について確認する(図 37)。具体的には、傾斜地に打設された杭基礎の抵抗力について、載荷試験を行って確認する。載荷試験は、土質の異なる数ヶ所(5箇所程度)において実施する。

表 4 検討項目と重要度

| 検討項目       | 検討内容                                 | 実証実験 | 文献調査・ヒアリング | 重要度 | 目次案        |   |
|------------|--------------------------------------|------|------------|-----|------------|---|
| 地盤調査方法     | 適切かつ簡易な調査方法の選定(SWS、簡易貫入ほか)           |      | ✓          |     | 5.3        |   |
| 法面保護工      | PV 設備に適用可能な法面保護工の検討                  |      | ✓          |     | 6.4        |   |
| 排水計画       | 適切かつ安価な排水工法(排水設備の保守点検頻度も配慮した対応方法の調査) |      | ✓          |     | 6.3        |   |
| 滑動崩落防止対策   | PV 発電所に適した抑制工、抑止工の検討                 |      | ✓          |     | 6.3, 6.4   |   |
| 風圧荷重       | 設計風速への影響評価方法の検討                      | ✓    | 実①         | 高   | 8.3        |   |
|            | 風力係数への影響評価方法の検討                      | ✓    |            | 高   |            |   |
| 積雪荷重       | 傾斜地での設計用積雪量の計算方法の検討                  |      | 実②         | ✓   | 8.4        |   |
|            | 軒先での雪の滑落と沈降荷重のデータ蓄積                  | ✓    |            | 実③  |            | 高 |
|            | 雪崩(小規模)などの影響の調査                      |      |            | ✓   |            | 高 |
| 周辺環境への配慮   | 土砂流出・泥水排出の影響の調査                      |      | ✓          | 高   | 15.1       |   |
| 基礎の工法      | 傾斜地に適した工法(直接基礎、杭基礎の調査)               |      | ✓          | 高   | 11.2       |   |
| 基礎の施工      | 基礎工事の管理項目の調査                         |      | ✓          | 高   | 14.4       |   |
| 基礎の支持力     | 直接基礎の滑りの調査                           |      | ✓          | 高   | 11.3       |   |
|            | 杭基礎の抵抗力(下り方向への水平抵抗力)のデータ蓄積           | ✓    | 実④         | 高   |            |   |
| 架台の架構      | 急傾斜に対応した架構の調査                        |      | ✓          |     | 10.1       |   |
| 架台の施工      | 架台工事の管理項目の調査                         |      | ✓          |     | 14.4       |   |
| 電気設備の設計・施工 | 傾斜地における電気設計の調査                       |      | ✓          |     | 13.1, 14.5 |   |
|            | 工事管理項目の調査                            |      | ✓          |     |            |   |
| ケーブルの敷設方法  | 傾斜地に対応した敷設方法の調査                      |      | ✓          |     | 13.2, 14.5 |   |
|            | 敷設工事での管理項目の調査                        |      | ✓          |     | 14.5       |   |
| 維持管理       | 維持管理の項目の検討                           |      | ✓          |     | 15.1~15.3  |   |
| メンテナンス法    | 傾斜地で実施可能なメンテナンス作業、労働安全衛生への影響の検討      |      | ✓          |     | 15.2, 15.3 |   |
| 緊急時の対応     | 地盤崩壊等の事故時の対応                         |      | ✓          |     | 15.4       |   |

### 設計風速への影響評価方法の検討 実①

- CFD(数値流体解析)によって、傾斜地における地表近傍の風速の評価方法を検討する。
- 建築物荷重指針、MASCOT(風況予測モデル)等の適用性について検証する。



引用元: 奥地建産HP

### 風力係数への影響評価方法の検討 実②

- 風洞実験によって、傾斜地に設置されたPVアレイの風力係数の評価方法を検討する。
- 「地上設置型太陽光発電システム設計ガイドライン」の技術資料にて提案した方法の検証と、法肩、法尻での風力係数への影響を把握する。



引用元: 構造耐力評価機構撮影

図 35 風力係数に関する風洞実験

### 積雪荷重への影響把握 実③

- 傾斜地型太陽光設備における軒先荷重、沈降荷重への影響について実測調査を行う。



引用元: 産業技術総合研究所

図 36 積雪荷重の実測調査

杭基礎の抵抗力(下り方向への水平抵抗力)のデータ蓄積 **実④**

- 傾斜地に打設された杭基礎の抵抗力について、載荷試験を行なって確認する。
- 載荷試験は、土質の異なる数ヶ所(5箇所程度)において実施する。



引用元: 奥地建産撮影

図 37 杭基礎の水平抵抗力の実測調査

営農型に関する検討項目のうち実証実験が必要なものについて、表 5 に整理した。営農型の実証試験①(実①)については、本年度に風洞実験を実施した(図 38)。アレイ面の風力係数は、JIS C 8955:2017 の規定値から低減できる可能性があるが、中央部アレイの風力係数の低減について、同 JIS の規定値(0.6 倍)の適用は難しいことを確認した(図 39)。実証試験②では、多様なモジュール配置による風圧荷重への影響を把握する(図 40)。具体的には、モジュール配置や遮光率を変化させた代表的なアレイ構成について風洞実験を実施し、設計用風力係数の充実を図る。

表 5 検討項目と重要度

| 検討項目        | 検討内容               | 実証実験 | 文献調査・ヒアリング | 重要度 | 目次案              |
|-------------|--------------------|------|------------|-----|------------------|
| 農作物と遮光率     | 農作物の光飽和点と遮光率の関係の調査 |      | ✓          | 低   | 5.4              |
| アレイ配置と日陰の関係 | アレイの方向の影響の調査       |      | ✓          | 低   | 5.2, 5.3         |
|             | アレイの高さの影響の調査       |      | ✓          | 低   |                  |
| 風圧荷重        | 風圧荷重の低減の可能性の検討     | ✓ 実① |            | 高   | 7.3              |
|             | 遮光率による影響の検討        | ✓ 実② |            | 高   |                  |
| 積雪荷重        | 遮光率による影響の調査        |      | ✓          | 高   | 7.4              |
|             | 軒先での雪の滑落と沈降荷重の調査   |      | ✓          | 高   |                  |
| 地震荷重        | 水平震度の設計方法の調査       |      | ✓          | 高   | 7.5              |
| 地盤調査方法      | 軟弱地盤での調査方法の調査      |      | ✓          |     | 5.3              |
| 排水計画        | アレイ設置による影響         |      | ✓          |     |                  |
| 周辺環境への影響    | 隣地への日影および倒壊時の影響    |      | ✓          |     | 6.3, 14.5        |
| 杭基礎の設計と工法   | 柱スパンが大きい場合の設計方法の調査 |      | ✓          | 高   | 10.1, 10.2, 10.3 |
|             | 転倒モーメントへの考慮方法の調査   |      | ✓          | 高   |                  |
|             | 地中抵抗盤の効果の調査        |      | ✓          | 高   |                  |



| 検討項目                               | 検討内容                                  | 実証実験 | 文献調査・ヒアリング | 重要度 | 目次案                  |
|------------------------------------|---------------------------------------|------|------------|-----|----------------------|
|                                    | 杭基礎の抵抗力と簡易撤去との関係について調査                |      | ✓          | 高   |                      |
| 杭基礎の施工                             | 軟弱地盤での施工方法の調査                         |      | ✓          | 高   | 13.3                 |
| 杭基礎の支持力(抵抗力)                       | 支持力試験・検査の方法の調査                        |      | ✓          | 高   | 10.3                 |
| 杭基礎以外の基礎に関する課題                     | 杭基礎以外の基礎の可能性の調査                       |      | ✓          | 高   | 10.2                 |
| 農作業や農作物への配慮と留意点                    | 収穫作業や除草作業への配慮項目の調査                    |      | ✓          | 低   | 6.1, 6.4, 11.1, 14.1 |
|                                    | 農耕面積の低減との関係を調査                        |      | ✓          | 低   |                      |
|                                    | 防食表面処理成分の溶出による農作物への影響の調査              |      | ✓          | 低   |                      |
| 架台の設計と架台構造(多種多様な架台構造のモデル化)         | 大スパンを可能とする架構と設計上の留意点の調査               |      | ✓          | 高   | 9.1, 9.2, 9.3        |
|                                    | 柱梁接合部の剛性評価の調査                         |      | ✓          | 高   |                      |
|                                    | 杭基礎の水平変位の影響の調査                        |      | ✓          | 高   |                      |
| 架台の施工方法                            | 軟弱地盤上での施工の調査                          |      | ✓          |     | 13.1, 13.2, 13.3     |
|                                    | 架台工事の管理項目の調査                          |      | ✓          |     |                      |
| 農作業への配慮と留意点                        | 農作物および農機具と空間確保の関係(柱スパン x 梁下高さ)        |      | ✓          | 高   | 9.1, 10.1            |
| 湛水、散水、薬品流布による影響                    |                                       |      | ✓          |     | 11.1, 12.4, 14.3     |
| 防食方法                               |                                       |      | ✓          |     | 11.2, 11.3, 14.3     |
| 電気設備(PC・集電箱)の配置                    | 日射を避けるハウジング方法の調査                      |      | ✓          |     | 12.1, 12.2, 12.3     |
| 電源ケーブル(直流・交流・アース)の配置、取り回し          | 農作業と埋設配線切断リスクの調査                      |      | ✓          |     |                      |
|                                    | モジュールが疎にあることによる電気設備の日射による劣化等の影響の調査    |      | ✓          |     |                      |
| 感電対策の検討                            | 地絡検知と遮断方法、接地方法、農業者への教育、第三者への注意喚起方法の調査 |      | ✓          |     |                      |
| 農作業への配慮と留意点                        |                                       |      | ✓          |     |                      |
| 営農面からの留意点(生育、収量の調査方法、営農機械化に対する留意点) |                                       |      | ✓          |     | 14.1                 |

| 検討項目                        | 検討内容     | 実証実験 | 文献調査・ヒアリング | 重要度 | 目次案  |
|-----------------------------|----------|------|------------|-----|------|
| 農作業への太陽光発電設備からの電力を応用するモデル検討 |          |      | ✓          |     | 12.1 |
| 緊急時の対応                      | 倒壊時の感電防止 |      | ✓          |     | 14.5 |

### 風圧荷重の低減の可能性の検討(風洞実験)

実①

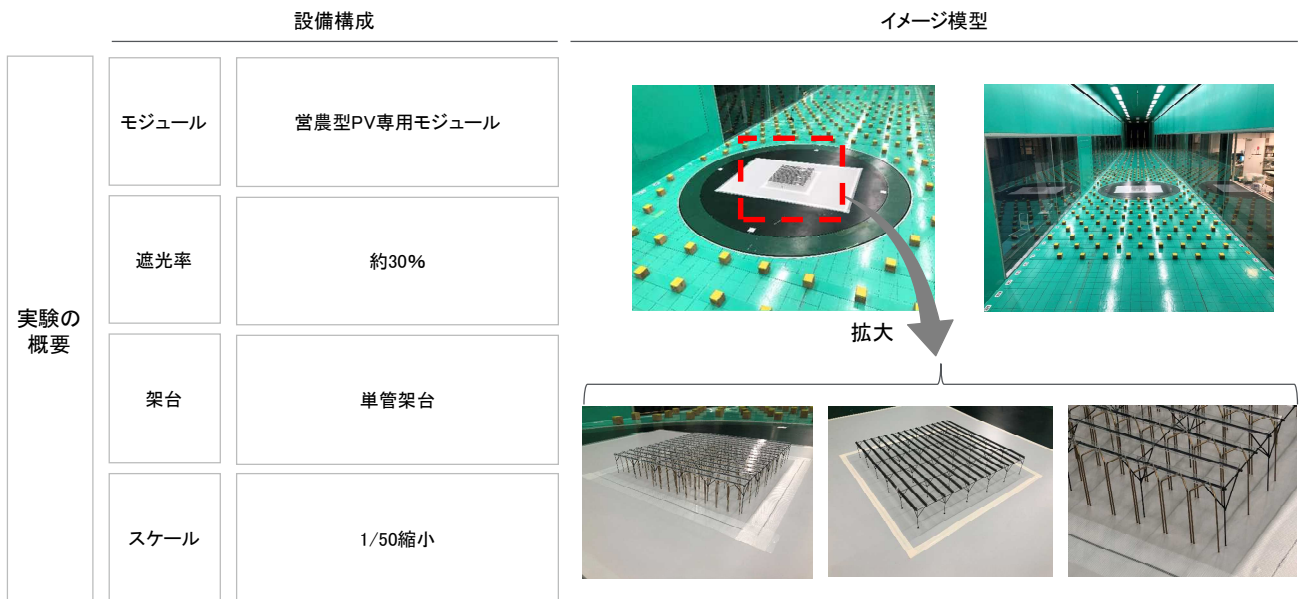


図 38 風圧荷重の低減の可能性の検討

### 風圧荷重の低減の可能性の検討(実験結果)

実①

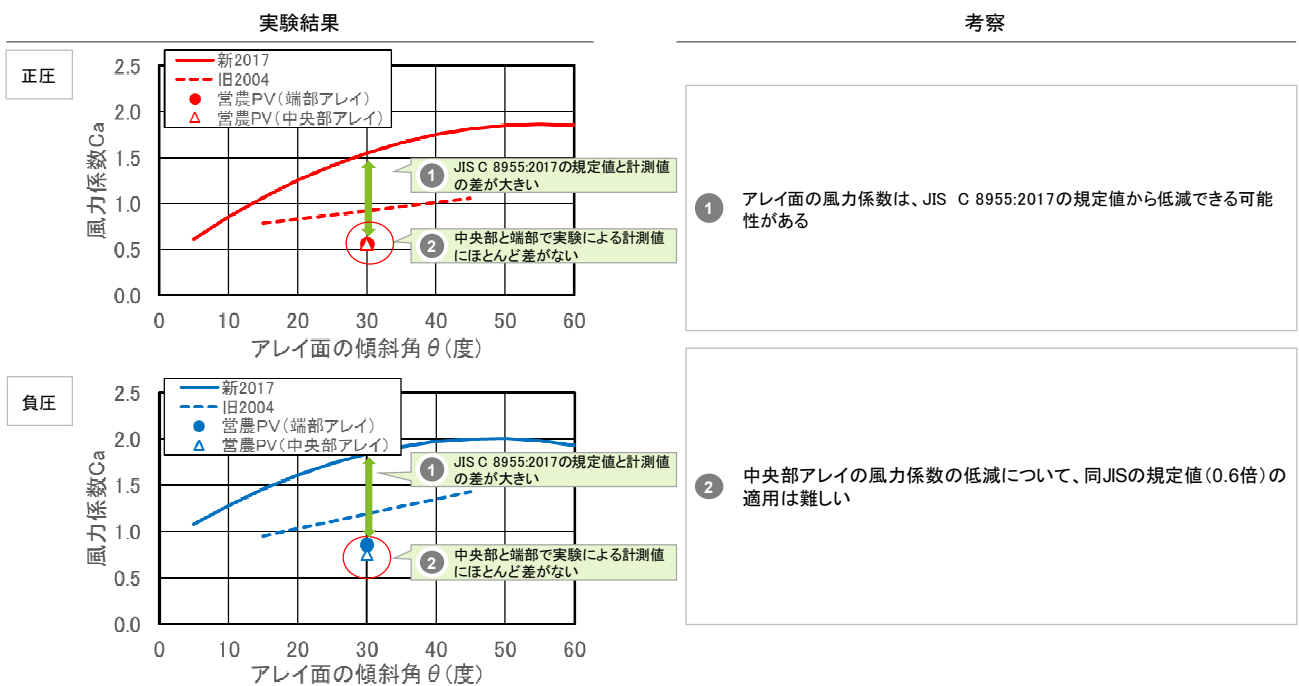


図 39 営農型 PV の風洞実験

## 遮光率による風圧荷重への影響の検討(風洞実験) 実②

- 代表的なアレイ構成(パネル配置・遮光率)について風洞実験を実施し、設計用風力係数の充実を図る。



\* 千葉エコ・エネルギー株式会社 馬上丈司著「営農型太陽光発電(ソーラーシェアリング)の普及状況に見る設備や事業スキームの多様化と普及に向けた課題」より引用

図 40 営農型 PV で見られる多様なモジュール配置の例

水上型に関する検討項目のうち実証実験が必要なものについて、表 6 に整理した。水上型の実証試験①(実①)については、適切な風圧荷重を設定するために風力係数を整備する。具体的には、代表的なフロート形状(3種類程度)について縮小模型を用いた風洞実験を行い、風洞実験結果からフロートおよびアイランドに作用する風力特性を整理し、設計用風力係数に関する基礎資料を作成する(図 41)。実証試験②(実②)については、フロート間の接合部の耐力を載荷試験にて評価する。具体的には、代表的なフロートを対象に載荷試験を行なって接合部耐力の実力を把握し、その試験結果を用いて、アイランドにおけるフロート接続可能個数の検討を行う。(図 42)。実証試験③(実③)については、係留ワイヤーに作用する荷重の実測調査により、係留ワイヤーに作用する荷重を把握する(図 43)。具体的には、強風時における係留ワイヤーに作用する荷重について、実物大の水上太陽光発電設備の試験体を用いて測定する。実測調査では、係留ワイヤーに作用する静荷重に加え、衝撃荷重を含むピーク荷重や係留ワイヤー毎の荷重の偏りを計測する。また、強風時の実測データ取得を期待した試験であるため、長期の調査期間を必要とする。実証試験④(実④)では、作業者の感電防止に関する設置方法、保守点検手順について検討する(図 44)。具体的には、水上部に設置することが許容される機器(モジュール、PCS、接続箱など)およびそれらを水上設置する場合に求められる IP 等級(防水性能)の検討、水上部に設置されるケーブル、コネクタ、接地線に求められる対候性、IP 等級(防水性能)の検討を行う。また、水上部の非充電金属部分に求められる接地線の配線方法(等電位の確保や冗長性)や品質(耐久性・防水性)の検討、水上部の非充電金属部分に求められる接地抵抗の考え方の検討、水上部の非充電部分に求められる絶縁抵抗の考え方を検討する。保安関係については、作業者が水上部にアクセスすることなく実施できる遠隔監視等の点検方法を検討する。

表 6 検討項目と重要度

| 検討項目                           | 検討内容                              | 実証実験 | 文献調査・ヒアリング | 重要度 | 目次案                      |
|--------------------------------|-----------------------------------|------|------------|-----|--------------------------|
| 風圧荷重                           | 風力係数の整備、データ蓄積                     | ✓ 実① |            | 高   | 7.3                      |
| 積雪荷重                           | 地上と水上の積雪量の関係の調査                   |      | ✓          |     | 7.4                      |
| 波力                             | 波力の考え方の調査                         |      | ✓          | 高   | 7.6                      |
|                                | 風力と波力の組み合わせ荷重の調査                  |      | ✓          | 高   |                          |
|                                | 揺動（繰り返し荷重）の調査                     |      | ✓          | 高   |                          |
| その他の荷重                         | 衝撃荷重の調査（アイランドの移動に伴う衝撃）            |      | ✓          | 高   | 7.3, 7.7                 |
|                                | 水面凍結の影響の調査                        |      | ✓          |     |                          |
| 浮体物（フロート）の設計                   | 樹脂部材の強度特性の調査                      |      | ✓          | 高   | 8.5, 9.1, 9.2, 9.3, 14.7 |
|                                | 鉛直荷重と浮力の関係の調査                     |      | ✓          | 高   |                          |
|                                | PV モジュールの姿勢確保の調査                  |      | ✓          | 高   |                          |
|                                | フロート間接合部の強度の調査                    | ✓ 実② |            | 高   |                          |
|                                | 火災への配慮の調査                         |      | ✓          | 高   |                          |
| 係留方法                           | 係留位置の適正位置の調査                      |      | ✓          | 高   | 10.1, 10.2, 10.3, 10.4   |
|                                | 係留ロープに作用する荷重                      | ✓ 実③ |            | 高   |                          |
|                                | フロートと係留ロープとの接合部の強度の調査             |      | ✓          | 高   |                          |
|                                | アースアンカーの必要抵抗力の調査（安全率の考え方）         |      | ✓          | 高   |                          |
|                                | コンクリートブロックの必要重量の調査                |      | ✓          | 高   |                          |
| 経年劣化・腐食                        | フロートの劣化の調査（水上部、水中部）               |      | ✓          | 高   | 11.1, 11.2, 11.3, 14.1   |
|                                | 係留部材の劣化・腐食の調査                     |      | ✓          | 高   |                          |
|                                | フロートと PV モジュールとの接合部材の劣化調査         |      | ✓          |     |                          |
|                                | フロートと係留索のメンテナンス方法                 |      | ✓          |     |                          |
| 施工                             | 水中作業（アンカー工事）                      |      | ✓          |     | 13.2, 13.3, 13.4, 13.5   |
|                                | アースアンカーの抵抗力の確認方法の調査               |      | ✓          |     |                          |
|                                | 地上作業の調査（PV モジュールとフロートの組み立て、推水作業）  |      | ✓          |     |                          |
|                                | 水上作業の調査（フロート間、アンカーロープとの接合作業）      |      | ✓          |     |                          |
| 水質等の環境への影響                     | 遮光による影響の調査（動植物への影響）               |      | ✓          | 低   | 5.4, 6.3                 |
|                                | 水中に溶出する物質の調査                      |      | ✓          |     |                          |
| 電気設備（PCS・集電箱・接続箱）の配置位置、必要な防水機能 | 電気設備（PCS・集電箱・接続箱）の配置位置、必要な防水機能の調査 |      | ✓          |     | 12.1                     |
| 電源ケーブル                         | 適切な水上、水底の配線方法の調査                  |      | ✓          | 高   | 12.2, 13.6               |

| 検討項目                | 検討内容                              | 実証実験 | 文献調査・ヒアリング | 重要度 | 目次案        |
|---------------------|-----------------------------------|------|------------|-----|------------|
| (直流・交流・アース)の配置、取り回し | (電技との関係含む)                        |      |            |     |            |
| 感電対策                | 地絡検知と遮断方法、接地方法の調査                 |      | ✓          |     | 12.3       |
| 緊急時の対応              | 水上のために直ちにアクセスできない場合の遮断方法の調査       |      | ✓          |     | 12.5, 14.7 |
| メンテナンス方法            | 作業者の感電防止に関する設置方法を考え方の整理、保守点検手順の検討 | ✓    | 実④         |     | 12.4, 14.4 |

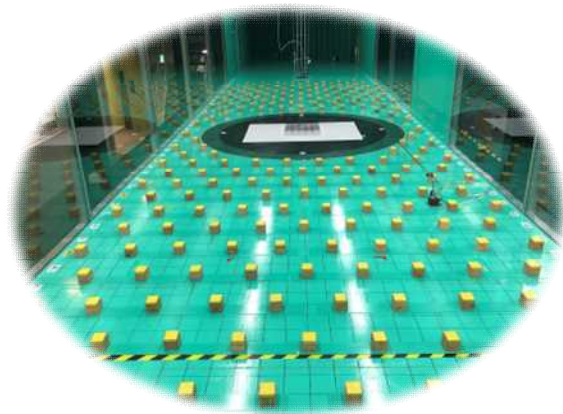
### 風力係数に関する風洞実験 実①

- 代表的なフロート形状(3種類程度)について縮小模型を用いた風洞実験を行う。
- 風洞実験結果から、フロートおよびアイランドに作用する風力特性を整理し、設計用風力係数に関する基礎資料を作成する。



\* 三井住友建築株式会社のHPより引用

フロートのイメージ



風洞実験のイメージ

図 41 風力係数に関する風洞実験

### フロート間接合部の載荷試験 実②

- 代表的なフロートを対象に載荷試験を行ない、接合部耐力の実力を把握する。
- 載荷試験の結果を用いて、アイランドにおけるフロート接続可能個数の検討を行う。



図 42 フロート間接合部の載荷試験

### 係留ワイヤーに作用する荷重についての実測調査 実③

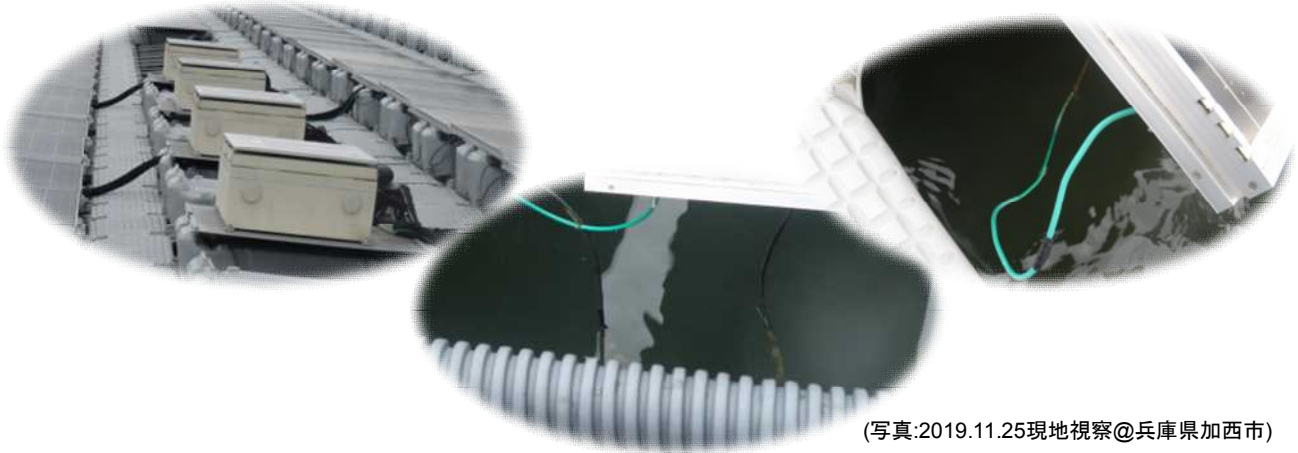
- 強風時における係留ワイヤーに作用する荷重について、実物大の水上太陽光発電設備の試験体を用いて測定する。
- 実測調査では、係留ワイヤーに作用する静荷重のほかピーク荷重(衝撃荷重を含む)や係留ワイヤー毎の荷重の偏りを計測する。
- 強風を期待した実測調査であるため、長期間の調査期間を要する。



図 43 係留ワイヤーに作用する荷重についての実測調査

#### 感電防止に関する調査 実④

- 水上部に設置することが許容される機器(モジュール, PCS, 接続箱など)およびそれらを水上設置する場合に求められるIP等級(防水性能)の検討を行う。
- 水上部に設置されるケーブル、コネクタ、接地線に求められるIP等級(対候性、防水性能)の検討を行う。
- 水上部の非充電金属部分に求められる接地線の配線方法(等電位の確保や冗長性)や品質(耐久性・防水性)の検討を行う。
- 水上部の非充電金属部分に求められる接地抵抗の考え方\*を検討する。
- 水上部の非充電部分に求められる絶縁抵抗の考え方\*を検討する。  
(※陸上部分の大地を「アース」とみなすことの是非、金属アンカーとの関係など)
- 作業者が水上部にアクセスすることなく実施できる点検方法(=遠隔監視)を検討する。



(写真:2019.11.25現地視察@兵庫県加西市)

図 44 感電防止に関する調査

#### (f) ガイドライン策定の企画立案

ガイドライン策定の企画立案にあたっては、共通となる地上設置型の設計施工ガイドラインを作成し、傾斜地・営農型・水上の各特有事項をまとめたガイドラインを追補として作成する(図 45)。また、ガイドラインの構成イメージを図 46 に示す。傾斜地・営農型・水上の各特有事項を整理し構造・電気のガイドラインをまとめ、ダイジェスト版の傾斜地・営農型・水上設計施工ガイドラインを作成する。ガイドライン作成プロセスを図 47、48 に示す。ガイドライン作成については、1年目に暫定版、2～3年目に完成版を作成することを想定している。

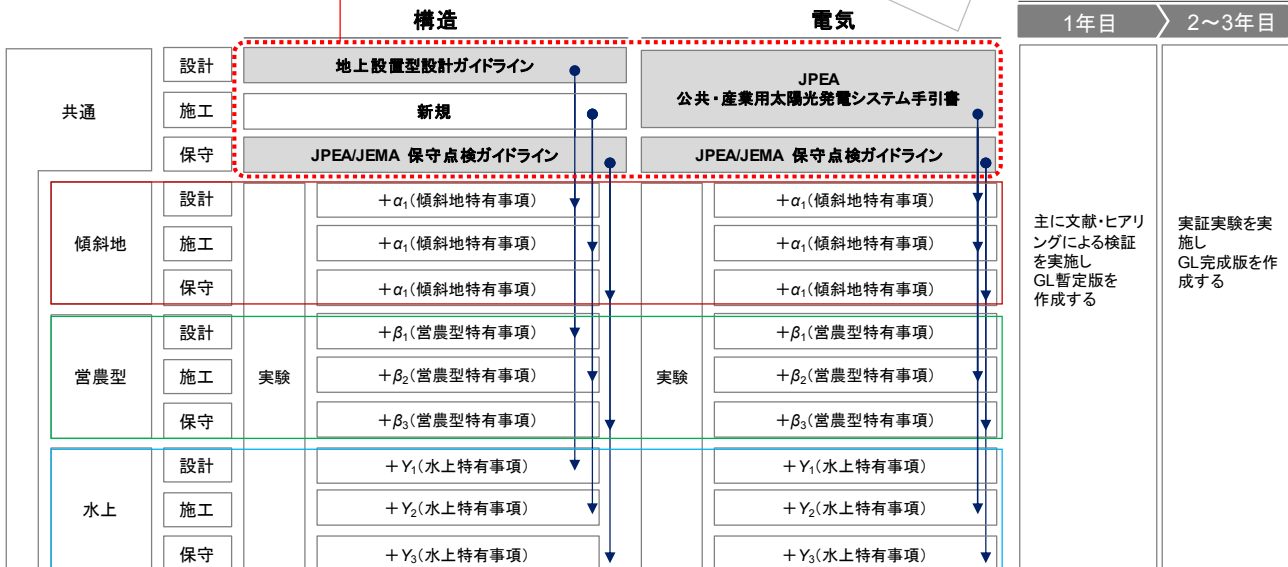
# 地上設置型PVS設計・施工ガイドライン（共通ガイドライン）

機器単体ではなく  
システム全体にフォーカスをあて記載する

— 傾斜地  
— 営農型  
— 水上

## スケジュール

1年目 2~3年目



※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

図 45 ガイドラインの全体構成案

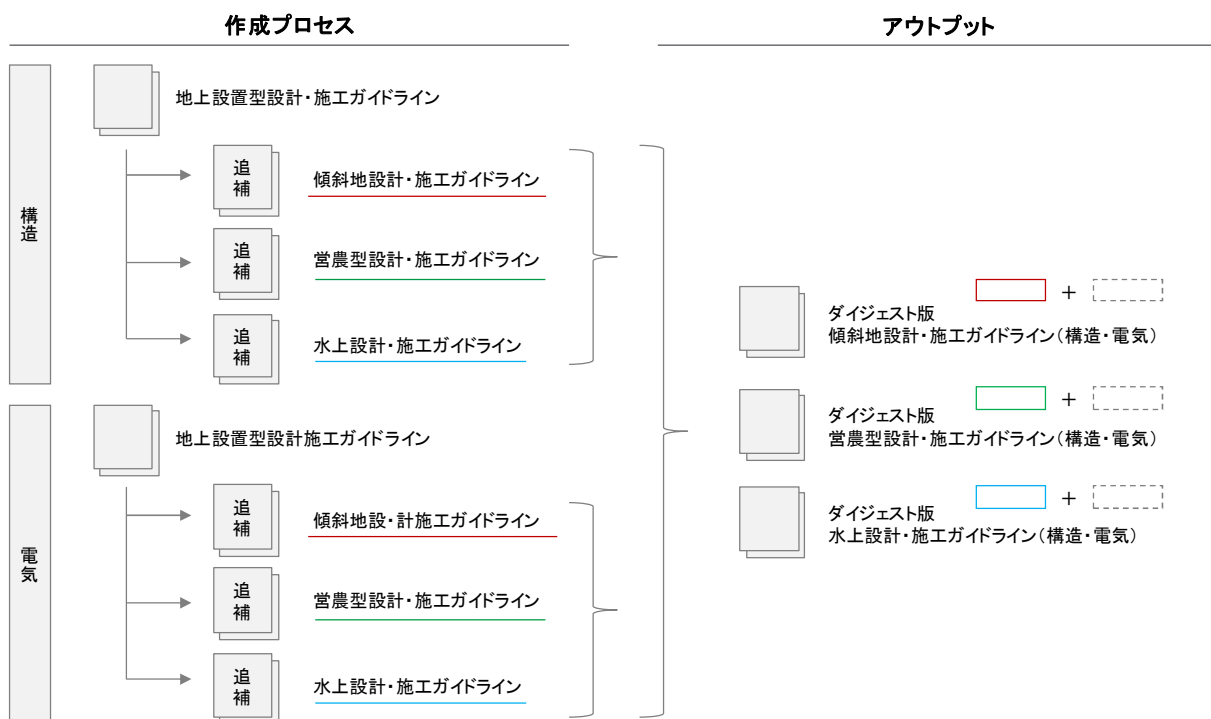


図 46 ガイドラインの構成イメージ



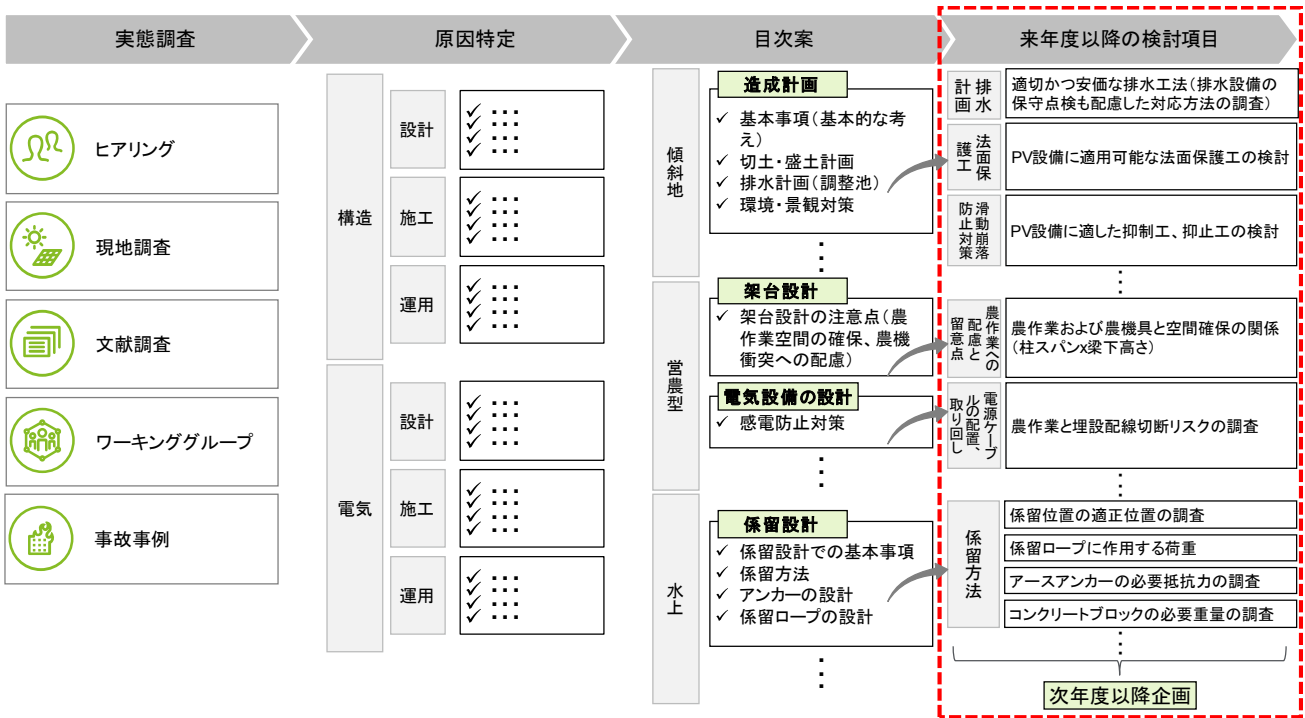


図 47 ガイドライン策定の企画立案

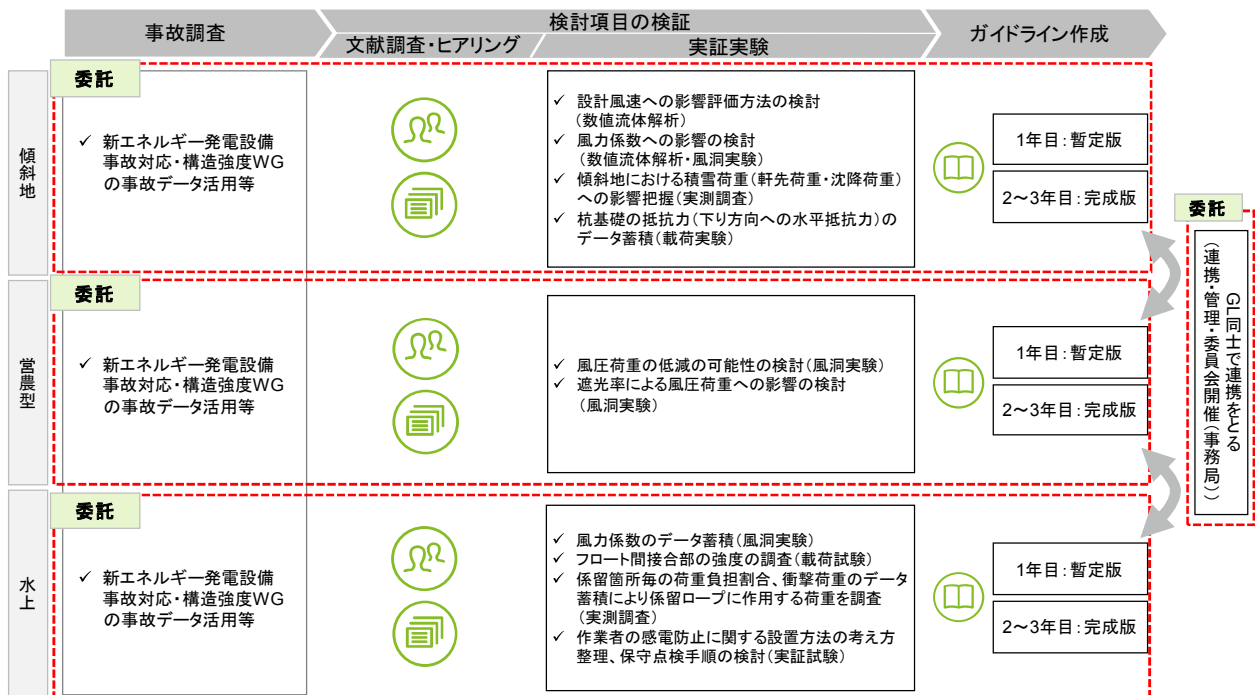


図 48 次年度以降のガイドライン作成プロセスイメージ

## 2. 実用化・事業化見通し

本事業をもとにして、技術開発およびガイドラインの策定が行われる見込み。

## 3. 波及効果

技術開発が行われることにより、適切な発電設備の増加が期待される。また、ガイドラインの整備によりより新しい設置形態においても安全な導入拡大が期待される。

## 4. 今後の展開

本企画立案をもとにして、技術開発およびガイドラインの策定を行う。

## 5. 研究発表・講演、文献、特許等の状況（共同研究、再委託研究も含む。）

### (1) 研究発表・講演

- M. Seapan, Y. Hishikawa, M. Yoshita, K. Okajima, “Temperature and Irradiance Dependence of Current and Voltage at Maximum Power of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules”, 46th IEEE PVSC, Chicago (June 16-21, 2019).
- Manit Seapan (Univ. of Tsukuba), Yoshihiro Hishikawa, Masahiro Yoshita, Keiichi Okajima (Univ. of Tsukuba), 「Temperature and irradiance dependences of the current and voltage at maximum power of crystalline silicon PV modules」, AIST 太陽光発電研究成果報告会 2019（ポスター講演）(2019/12/18).

### (2) 文献

- M. Seapan, Y. Hishikawa, M. Yoshita, K. Okajima, “Temperature and Irradiance Dependence of Current and Voltage at Maximum Power of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules”, Proceedings of the 46th IEEE PVSC, Chicago (2019) 2583-2587.
- 植松康、高森浩治ほか、日本風工学会誌 第 41 巻第 4 号（通号第 149 号）特集：多様化する太陽光発電システムの耐風設計上の課題，2020.04

### (3) 特許等

(なし)

## (ii) IoT 技術による長期安定稼働 P V システムの開発シナリオ策定と

要素技術の予備検討[2019 年度]

太陽光発電技術研究組合

### 1. 成果詳細

電気面での長期安定電源化に着目し、IoT 技術導入による信頼性評価技術、信頼性回復技術の調査検討を行い、今後の開発シナリオを策定することを目標とした。その結果、以下に示す成果を得るとともに開発シナリオを提言し、目標を達成した。

#### 1.1 IoT PCS の予備検討（担当：田淵電機株式会社）

##### 1.1.1 IoT-PCS による遠隔 O&M について

太陽光発電システムの O&M を、PCS を活用して行い、さらに PCS を IoT 化することにより、経済性に優れた遠隔 O&M の仕組みを構築する。この遠隔 O&M によって、システムの「(電気系)安全性確保」、「安定性維持」、「性能維持」を同時に協調して行い、太陽光発電システムの長期安定稼働に貢献する。

##### (1) IoT-PCS の開発目標

遠隔 O&M を行う PCS は、太陽光発電システムの運転に影響を与えずに、運転を継続しながら日常的に O&M を行うことを前提条件にして、下記の機能を装備する。

- ①太陽光発電システムの不具合を PCS で予知、検知する機能
- ②PCS をインターネットと接続して、PCS を外部から遠隔でコントロールする機能

上記 IoT-PCS をベースにして、経済性に優れた遠隔 O&M 手法を確立し、以下のメリットを創出する。

- ①システムの不具合をリアルタイムで判定することで、迅速に適切な対応を行う。
- ②システムの異常発生時には、システムを外部からシャットダウンする。
- ③現場作業を伴わないので、点検インターバルに関係なく、システムの点検を行なう。
- ④運転データを継続してモニタすることで、経時変化による不具合も確実に検出できる。
- ⑤他システムとの運転データ比較から不具合の予兆を検出し、事前に不具合を防止する。

##### (2) IoT-PCS で目指す遠隔 O&M の特長

IoT-PCS による遠隔 O&M では、太陽光発電システムの主力電源化を支える“(電気系)安全性確保”、“構成機器の故障検出”、“長期安定稼働”の 3 つを同時に満足することを基本コンセプトに、経済性に優れた PCS の開発を行う。

目標、及び方法は、表 1 の通りである。

表 1 目標、及び方法

| 切り口                 | 目標                       | 方法                                     |
|---------------------|--------------------------|--|
| システムの<br>(電気系)安全性確保 | 火災・感電の恐れが無いこと            | 火災、及び感電のリスクがある事象を検知して、発生を防止する。         |
| システム構成機器の<br>故障検出   | システム構成機器が正常に<br>運転していること | システム構成機器の不具合、又は、不具合の<br>予兆を検知して、復旧を促す。 |
| システムの<br>長期安定稼働     | 長期にわたってシステム性能<br>を維持すること | システム出力性能の低下を検知し、アラームを<br>出す。           |

##### 1.1.2 遠隔 O&M の考え方

##### (1) 遠隔 O&M のシステム構成

太陽光発電システムの構成機器である PCS にインターネット接続機能を備え、インターネットを活用し、構成機器、及びシステム全体の O&M を遠隔で行う(図 1)。特に太陽電池(直流)側の性能維持、不具合対策に注力することを特長として、不具合検出センサは、太陽電池と PCS の間に設ける。

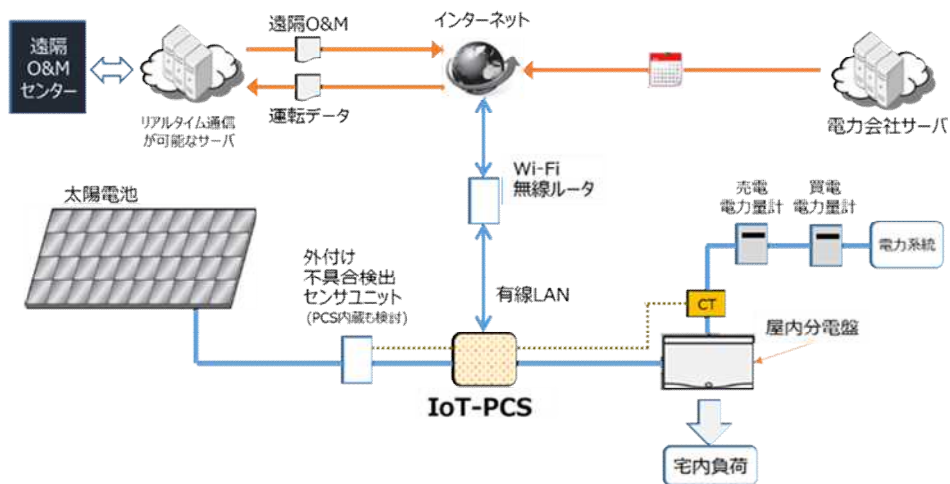


図1 遠隔 O&M システムの構成

PCS は、①常に太陽電池の最大出力を取り出す機能、②太陽電池出力(直流電力)を効率よく交流電力に変換する機能、及び③制御電力系統と保護協調を取りながら連系運転を行う機能を備えている。

この PCS の入出力が所定の定められた値から外れた場合には、それを検出する機能、及びメッセージコードを表示する機能を発展、進化させて O&M に活用する。

(2) 遠隔 O&M 制御

PCS の制御回路に遠隔 O&M 機能部分を付加する。図 2 に示すように、遠隔 O&M 機能は、①(システムの)安全性確保、②(構成機器の)故障検出、③長期安定(運転)の観点の機能から構成する。

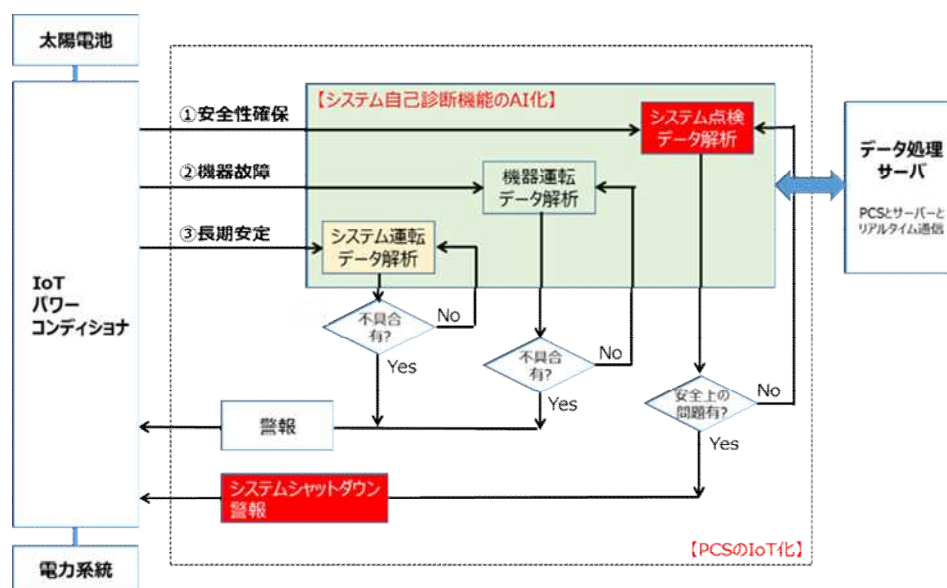


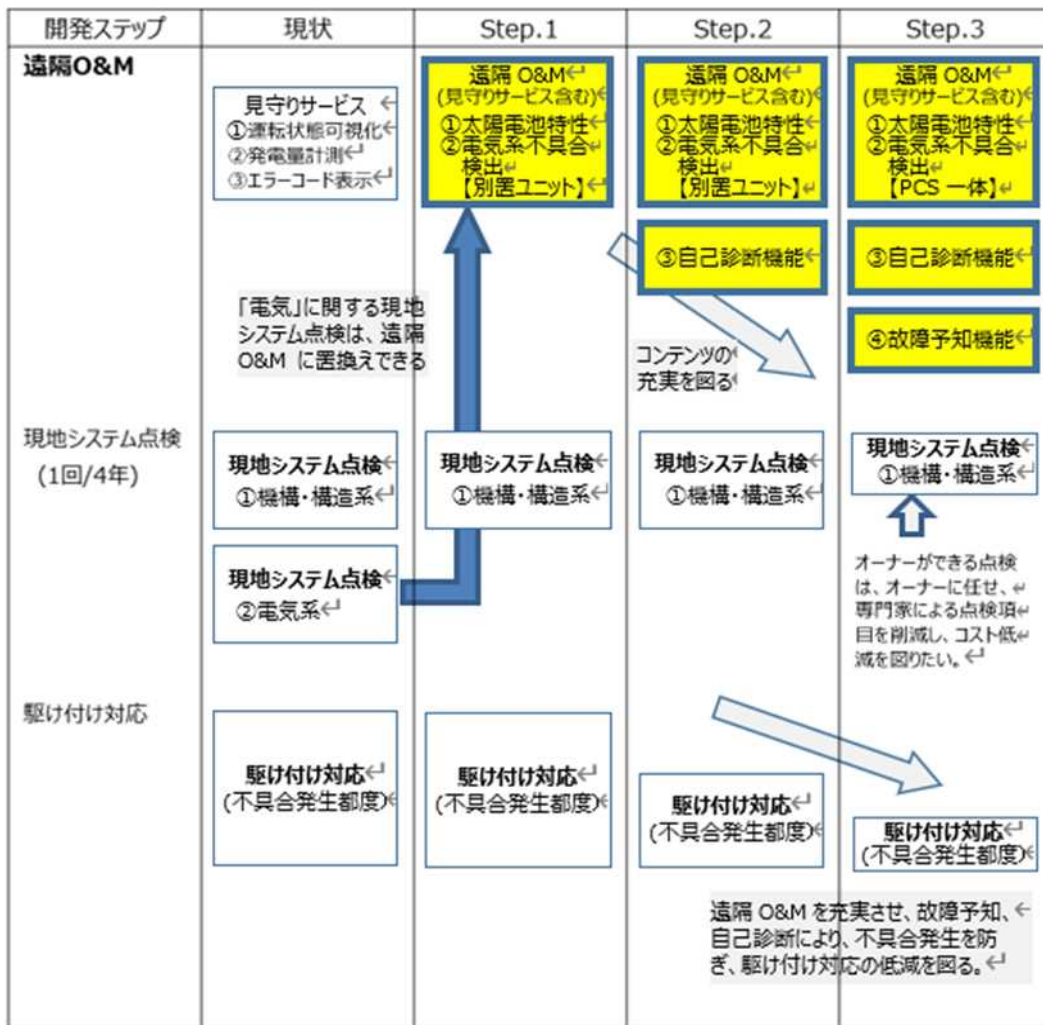
図2 遠隔 O&M 制御

1. 1. 3 遠隔 O&M 対応システムの開発シナリオ

遠隔 O&M の機能を充実することによって、現地システム点検における電気関係の点検を簡略化することが可能になる。開発シナリオを表 2 に示す。

現地システム点検のインターバル 1 回/4 年に対して、遠隔 O&M は毎日の確認ができ、不安全事象に対し、即座に対応できる。さらに、運転データの継続監視によって、経年変化から故障を予知し、不具合発生の予防、あるいは、システム機能のバージョンアップやソフトウェアの不具合についても対応可能で、駆け付け対応の大幅減を見込む。また、このサービスは、PCS メーカーにとってもお客様対応の迅速化に繋がる点で大きなメリットとなる。

表 2 遠隔 O&M の開発シナリオ



遠隔 O&M では、電気系の安全性について取り組み、現地システム点検の電氣的点検に置換える。さらに、機構・構造面での安全性には、電気系の安全性を追求する中で、可能な限りカバーすることで、機構・構造面の現地点検を O&M 技術者でなく、システムのオーナーでも対応できるレベルにして現地点検の費用低減を図ることを目標に推進する。

### 1.1.4 遠隔 O&M の開発イメージ

IoT-PCS による遠隔 O&M の開発イメージを機能、及びコストの観点から検討を行った。

#### (1) 遠隔 O&M の機能

現行の太陽光発電システムの” O&M サービス” と “IoT-PCS による遠隔 O&M” とを機能面で比較すると図 3 の通りとなる。現行の O&M は現場点検が基本であり、点検と点検のインターバルが数年になることから、その期間が安全性に対する空白期間となる。一方、IoT-PCS による遠隔 O&M については、常時監視で安全性に関わる不具合の他、システムの性能低下、機器故障についても判明次第、対応できる。

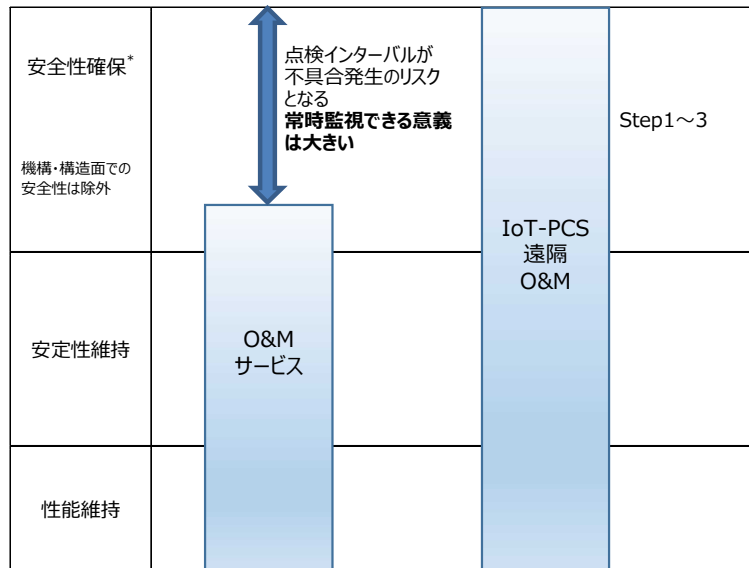


図 3 遠隔 O&M の機能面での目標

## (2) 遠隔 O&M のコスト

現行の太陽光発電システムの” O&M サービス”と “IoT-PCS による遠隔 O&M” とをコストの観点から比較すると図 4 の通りである。特に、直流側の安全性にコストをかける必要があることから、PCS 入力 1 回路当たり (=太陽電池 1 スtring 当り) のコストで評価する。このように考えると、住宅用、及び産業用太陽光発電システムを同時に検討できる。

現行の O&M は、住宅用太陽光発電システムの場合、4 年間隔で行うと、1 回 20,000 円で (年間償却額 5,000 円) システム構成が太陽電池容量 6kW、PCS が 5.5kW の住宅用太陽光発電システムを考えると、PCS の入力回路数 3 回路である。したがって、PCS 入力回路 (=太陽電池 String) 当り約 1,600 円/年となる。

一方、遠隔 O&M の運営費用を 5 万円、不具合検出機能に関わる機器費用を 10 万円/3 回路とすると 15 万円で、これを 15 年償却すると 1 年当り 1 万円となる  
4 年に 1 回の現地点検 (電気系点検と機構・構造系点検) の費用と、遠隔 O&M による 365 日 24 時間電気系の常時点検の費用を単純に比べても意味はないが、これは、太陽電池 String 当りに換算すると 3,300 円/年 (275 円/月) で、現行 O&M の 2 倍となる。

3 回路入力の PCS (定格出力 5.5kW) のシステムを想定した場合、9,900 円/年 (825 円/月) になる。

また、50kW の産業用システムの場合、太陽電池入力 5 回路の 9.9kW 出力 PCS を 5 台使用していると、太陽電池 String 数は 25 String (=5 String × 5 台) になり、したがって、単純に計算して、82,500 円/年 (6,875 円/月) となる。作業による現地点検時間は、PCS の台数の増加と単純比例するが、遠隔 O&M の場合は、AI 導入により、点検時間と検出精度を大幅に削減することが期待できる。

さらに、不具合検出機能に関わる費用を 10 万円としたが、5 万円になった場合、太陽電池 String 当り 2,200 円/年 (183 円/月) となる。尚、ここでは開発投資の償却費は、償却台数により大きく変動するため含めない形にしている。

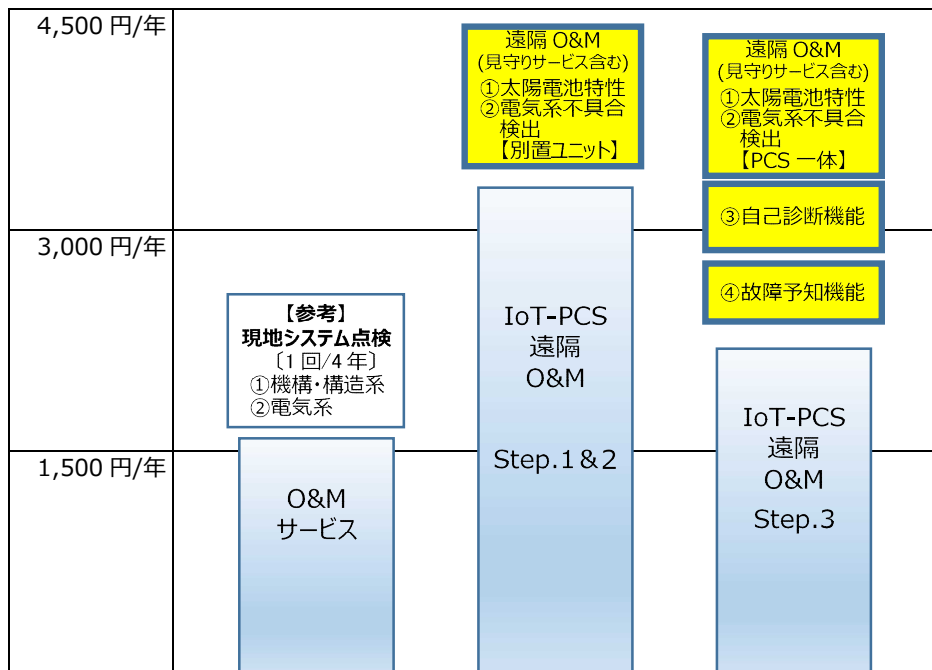


図 4 遠隔 O&M の(太陽電池ストリング当り)コスト目標

### 1.1.5 遠隔 O&M 実現に向けての課題と対応

IoT-PCS による遠隔 O&M の実現するための課題、及び対応について表 3 の通り検討を行なった。

表 3 遠隔 O&M の課題

| 項目   | 課題  | 内容   | 対応策  |
|------|---|--|--|
| 遠隔制御 | 遠隔操作において、PCS の停止はできるが、起動ができない。<br>(認められていない。) | 遠隔で点検する場合、(例えば太陽電池の開放電圧を計測するために PCS を停止させたとき) PCS の再起動ができない。 | リスクアセスメントをおこない、点検時の遠隔起動は可能にする。   |
|      | 制御ソフトウェアの遠隔バージョンアップができない。<br>(禁止されている。)       | パソコン機能アップ、あるいは改善による制御ソフトウェアのバージョンアップは、現地に出向いて書換えを行う必要がある。    | 制御ソフトウェアの遠隔バージョンアップを前提とした PCS 制御回路の開発手法を提案して、標準化を図る。                       |
| 故障検出 | 故障検出機能を PCS に内蔵するにしても、外置きタイプにしても、コストアップになる。   | 直流側不具合の検出する場合、現時点では専用の計測器、あるいは検出回路が必要である。                    | 検出回路の低コスト化を検討する。   |
|      |   |  | 電流、電圧、電力等、PCS の制御でモニタリングしている計測項目で、不具合の予兆検知技術を提案する。<br>これが実現できれば、コスト低減が図れる。 |
|      | 外置きタイプで故障検出したとき、PCS に直接停止させる外部入力端子が必要。        | 住宅用 PCS の場合、外部信号で運転を停止する機能がない場合がある。                          | 外部信号による PCS の停止機能を設ける。   |

### 1.1.6 開発計画

IoT-PCS による遠隔 O&M の開発は、表 4 に示すスケジュールを想定した。PCS の AI 化等を進め、2023 年度の事業化を目指す。

表 4 開発スケジュール

| 年度    | 2019年度 | 2020年度        | 2021年度              | 2022年度                   | 2023年度 |
|-------|--------|---------------|---------------------|--------------------------|--------|
| 遠隔O&M |        |               |                     |                          |        |
| FS    | →      |               |                     |                          |        |
| 仕様検討  |        | 遠隔O&M<br>→    |                     |                          |        |
|       |        | PCSのIoT化<br>→ |                     |                          |        |
| 製品設計  |        |               | PCSのAI化<br>故障予知設計完了 | 自己診断設計完了                 |        |
| 設備投資  |        |               |                     | 本機能の実現に必要な<br>新たな設備投資不要  |        |
| 生産    |        |               |                     | 本機能の実現に必要な<br>新たな生産上の問題無 | ▲生産開始  |
| 販売    |        |               |                     |                          | ▲販売開始  |
| 収益発生  |        |               |                     | 開発費回収後は、収益<br>の確保が可能     |        |



## 1.2 スtring IoT の予備検討

### 1.2.1 String IoT の概要

太陽光発電所において、String IoT を用いた遠隔監視を実施した場合のシステム構成のイメージとその狙いを図5に示す。新設及び既設の太陽光発電所において、後付けでも簡単に設置できるString IoT 端末は、String毎の発電量を計測し、クラウドサーバーに蓄積する。蓄積したデータを活用して、モジュールや直流電力設備の不良の早期検出と改修による安全性確保、アセット評価、リパワリングによる安定性や性能の維持と改善、さらにアフターFIT後のモジュールのリユースなどに活用できると考える。

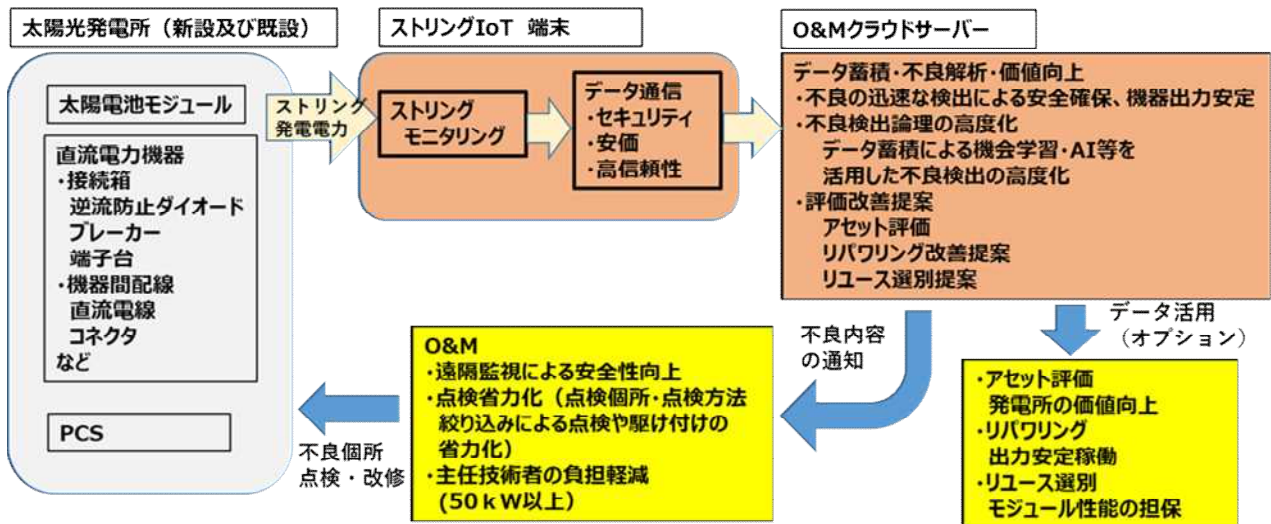


図5 String IoT システムの構成と狙い

#### (1) String IoT の狙い

String毎の発電量を、IoTを使って遠隔監視することによって表5の実現を目指す。

表5 String IoT の狙い

|                  | 内容                          | 狙い  |
|------------------|-----------------------------|---|
| 高安全化             | 遠隔監視により太陽光発電所の直流設備の不良を迅速に検出 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・重大事故（火災や感電等）の防止</li> <li>・遠隔での対応通知、駆け付け対応などによる TBM<sup>※</sup>から信頼性の高い CBM<sup>※</sup>への転換</li> </ul> |
| 長期出力安定           | 発電性能の常時監視                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・出力低下最小化、効率的修繕、リパワリングによる長期にわたる安定出力稼働</li> </ul>  |
| 機器故障検出           | 機器動作の常時監視                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・不良の早期検出（又は劣化検知）による点検の省力化や効率的な改修</li> </ul>  |
| アセット評価<br>リユース判別 | String発電データの活用              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所の付加価値向上（転売等）</li> <li>・出力安定稼働に向けたリパワリング提案</li> <li>・リユースモジュールの効率的選別</li> </ul>                     |
| 波及効果             | 同上                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・系統安定性や需給一体型システムへの貢献</li> <li>・スマート保安の推進（将来の保守人員減少対策や労働環境の改善）</li> </ul>                               |

※TBM:Time Based Maintenance, CBM:Condition Based Maintenance

## (2) スtring IoT に対する検討の進め方

本事業において実施する予備検討では、図 6 に示す内容について検討した。

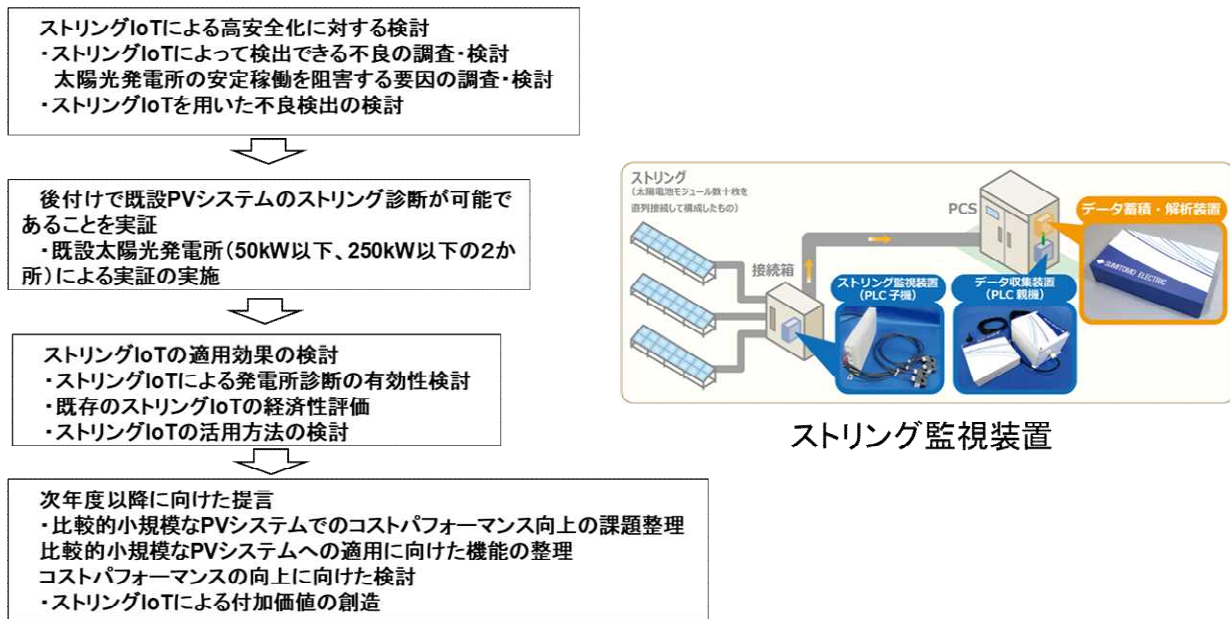


図 6

### 1.2.2 既設太陽光発電所による実証

既設太陽光発電所 2 か所にString監視装置（String IoT、図 6）を設置し、データを取得した。設置した監視装置は、500kW 以上の特高・高圧 PV システム（大規模 PV システム）向けの監視装置であるが、これを比較的小規模（250kW、50kW）の PV システムに設置し、課題抽出を行った。その結果、以下のことがわかった。

a) 小規模の PV システムであってもString監視装置（String IoT）が機能し、役立つことがわかった。50kW の低圧システムでの結果例を図 7 に示す。

b) 但し、低圧 PV システムに適用するには、低コスト機器の開発などのさらなる低コスト化開発が必要であることもわかった。低圧 PV システムはスケールメリット面で不利であることに加え、現在の特高・高圧向け監視機器をそのまま用いるとその設置（格納場所）において付加的なコストが発生することがわかった。

大規模システムでは監視装置類は、PCS のボックス内や接続箱内に格納できるが、小規模システムは接続箱がそもそも無い、PCS のボックス内に余裕スペースが無いなど、監視装置類の格納のために新たなボックスを製造、設置する必要があった。

c) さらなる機能向上（不良判定レベルの向上）のヒントを得ることができた。

MPP 電圧をモニターすることにより（陰などによる）出力低下を推測する可能性を示すデータが得られたが、これは低コストでの機能向上につながる可能性を示すものである。

また、曇天時の出力モニターを活用することにより、陰の影響を排除した出力性能評価が行える可能性を示すことができた。これも低コストでの機能向上につながる可能性を示すものである。

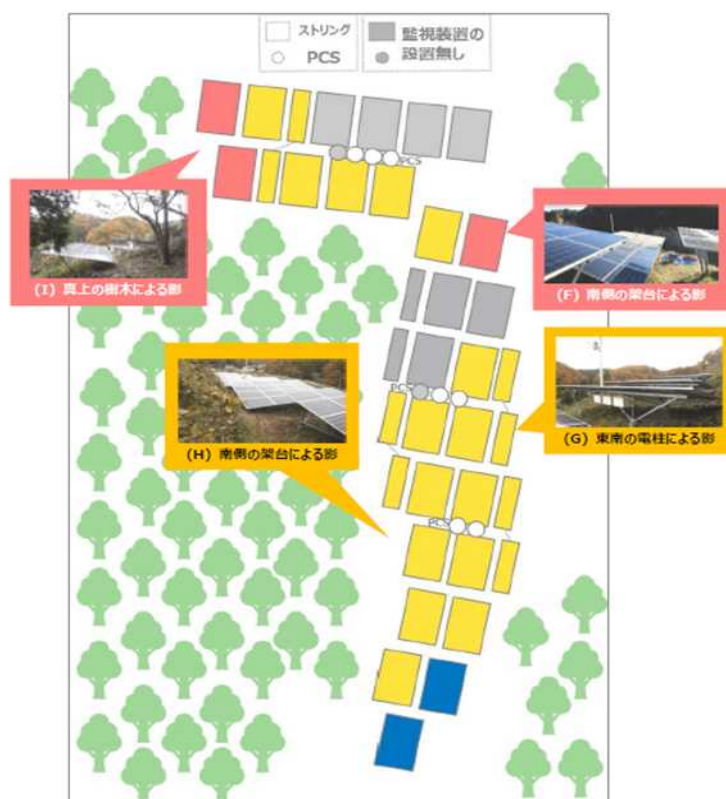


図7 スtring IoT の予備検討結果。(低圧：50kW) PV 発電所でのデータ。

### 1.2.3 課題と提言

表6に既設、新設の太陽光発電所に対するString IoTの課題を示す。既設PV発電所には、表中①-Bのシンプルな外付けIoT機器、新設PV発電所には、②のPCSにIoT機能を内蔵する構成がコストパフォーマンスが良く、機能を満たすシステムが実現できると考える。ただし、宅内用途への適用には、かなりのコストダウンが課題となる。

表6 課題の整理

|         |                      | 開発対象  | 課題   |
|---------|----------------------|---|--|
| 既設<br>① | ①-A: 通信機能付きPCSの場合    | 通信機能付きPCSの機能を活用しString発電データをクラウドサーバーに集め、AI等活用した高機能なString IoT機能の開発および電力システム要求に対応してソフト開発                 | ・既設PCSの機能やデータの活用ができるか不明。協業等も検討が必要<br>・業界としてスマート化や機能向上の標準化              |
|         | ①-B: 外付けString IoT設置 | 外付けString IoTによるString発電量の計測に絞ってString発電データをクラウドサーバーに集め、AI等活用した高機能なString IoT機能の開発および電力システム要求に対応してソフト開発 | ・機器のコストダウン（通信費用の削減を含む）<br>特に、住宅用途はかなりコストダウンが必要<br>・業界としてスマート化や機能向上の標準化 |
|         | ①-B+a                | ①-B+a<br>上記+付加機能（直流地絡、絶縁抵抗、アークフォルト等の検出）の追加  | ・同上<br>宅内用途は、コストが見合わない可能性大   |
| 新設<br>② | PCSに機能追加             | PCSにString IoTの機能を追加し、String発電データをクラウドサーバーに集め、AI等活用した高機能なString IoT機能の開発および電力システム要求に対応してソフト開発           | ・既存の同機能を有するPCSとの差別化。<br>・業界としてスマート化や機能向上の標準化                           |
|         | PCS+a                | ②+a<br>上記+付加機能（直流地絡、絶縁抵抗、アークフォルト等の検出やI-V測定等）の追加   | ・コストダウンが必要<br>・宅内用途は、コストが見合わない可能性大                                     |

太陽光発電所は低コスト化、高安全化、高信頼性化とともに高機能化が進んでいる。上述のIoTもこれらの高機能化との相乗効果を狙って開発、事業化することが望まれる。図8に高機能化PV発電所例として、アグリゲート売電を行うPV発電所例、自家消費を行うPV発電所例を示す。

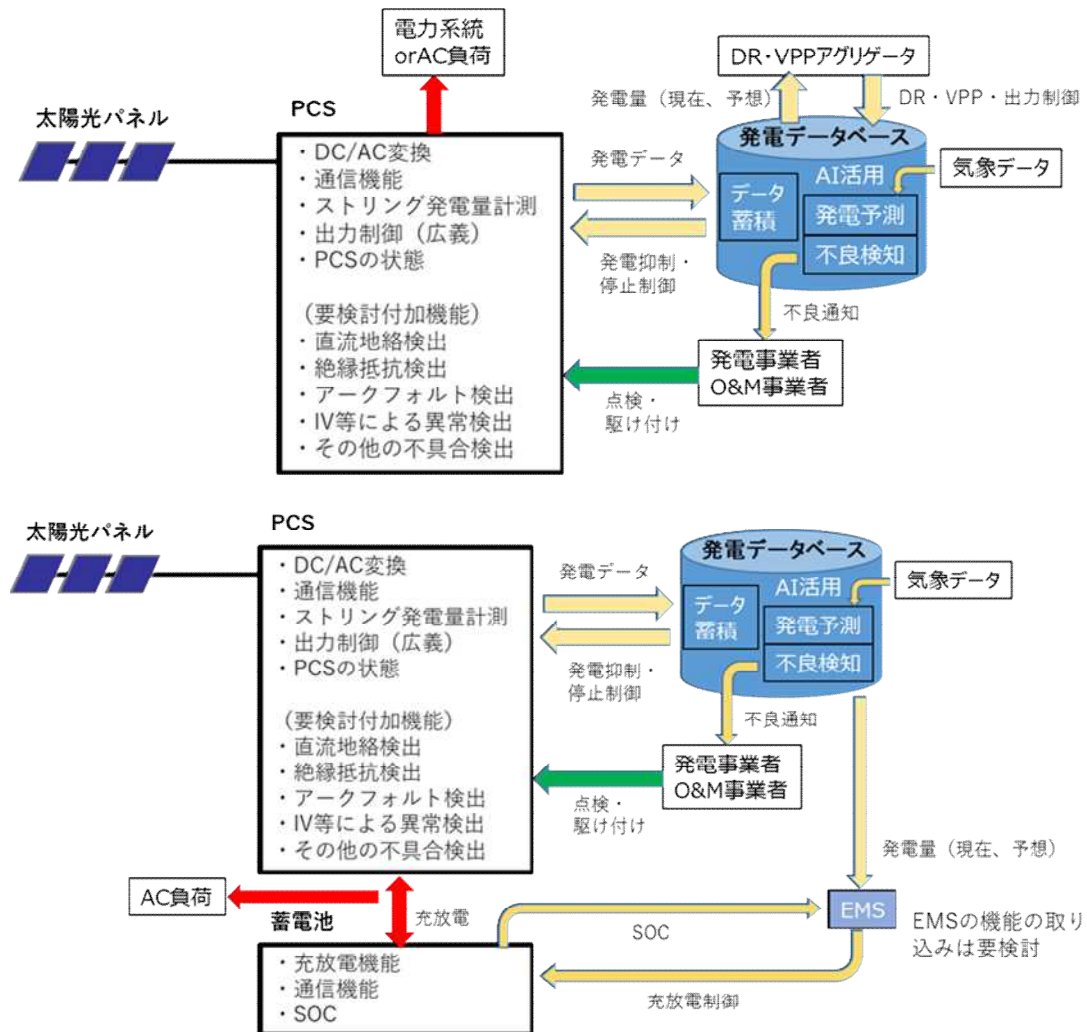


図8 高機能太陽光発電所でIoT活用例  
上：アグリゲート売電を行うPV、下：自家消費PV

### 1.3 MLPEの予備検討

#### 1.3.1 MLPEのシャットダウン機能検証

MLPE (Module Level Power Electronics) の予備検討として、今回は安全性確保の観点からシャットダウン機能に関する試験を行った。試験は東芝府中工場で行ったマイクロインバータ (MIC) 単体の動作試験とケミトックスで行ったACモジュール (マイクロインバータ搭載の太陽電池モジュール、図9) での試験に大別される。また試験モジュールとして利用したものは、米国内で販売されているSunPower社製のACモジュールとこれに付随するEnphase社製のMIC: IQ7である。

試験は、モジュールとMIC間の直流部分にアーク発生治具を設置して行った。その結果、系統電源の遮断時あるいはアーク発生時に規定条件通りに遮断できることは確認できた。また停止後に再起動する動作も見られた。規程通りの安全性は確保されているが、経年変化などについては不明である。さらに個別のI-Vカーブの情報から、不具合を予兆することができるはずであるが、まだ結果を判断する彼らの経験値の不足から解析ツールとして用意されていない。

### 1.3.2 今後の課題

今後の課題はコストと法制度である。ラピッドシャットダウンなどの安全性をドライブする規程の有無により方向性が異なる。

#### ① IEC 規程などがない場合

コストダウン推進と段階的な導入施策が必要。壁面設置などの極めて高い安全性が要求される市場や系統安定化などの高付加価値市場などから入ることが望まれる。

#### ② IEC などの規程が整備された場合

米国と同様な進展が期待される。先行企業に打ち勝つ技術力が望まれるが、そのハードルは相当高く、国内は農業、水上設置などの用途利用を意識し、より安全な機器とシステムを開発



図9 マイクロインバータとACモジュール

## 1.4 課題と提言（開発シナリオ）

### 1.4.1 IoT化の狙いとメリット

本開発を進めるにあたり、IoT化の狙いを整理した。

IoT化の効果（メリット）は図10に示す通り、大きく分けて

(1) 高安全化（IoTによる安全モニタ、シャットダウンなど）

(2) 出力安定性、機器安定性向上

（IoTによる出力異常検知、MLPEによる出力低下抑制、PCS等の故障検出など）

(3) アセット評価による発電事業の継続拡大、使用済モジュールのリユース選別（IoTモニター機能の活用）

になる。

#### (1) 高安全化

PVシステムの電気安全は、焼損や発火などの火災関連と、感電などの人的安全の2つが主なものである。IoTモニター機能により安全にかかわる情報である、地絡、絶縁、温度などを検出、あるいは予知することができるため、これに対する迅速かつ的確な対応を取ることにより、高安全化が実現できる。加えて、IoTのシャットダウン機能により、リアルタイムの緊急遮断を実現できるため、さらなる安全性向上が見込める。

#### (2) 出力安定、機器安定向上

安全性とともに重要なのが、出力安定性、機器安定性である。IoTモニターにより出力に直接、間接に関わる情報をリアルタイムに得ることができるため、出力低下に対し適切かつ迅速な対応が可能となる。IoTモニターは、電流、電圧、温度などを対象とする。また、パワーコンディショナ（PCS）などの機器安定性向上にもIoTは重要な役割を果たす。PCSの入出力モニターなどにより、機器故障（PCS故障）を検知することにより、機器故障を未然防止、あるいは的確な故障修繕が可能となる。

【IoT化の狙い】

1. 高安全化 (IoTによる高安全化)
2. 出力安定性向上 (IoTによる出力異常検知、MLPEによる出力低下抑制)  
機器安定性向上 (PCS等の故障検出)
3. アセット評価により発電事業の継続拡大  
使用済みモジュールのリユース選別

【IoT化の対象】

主にDC側の電気安全、発電安定性

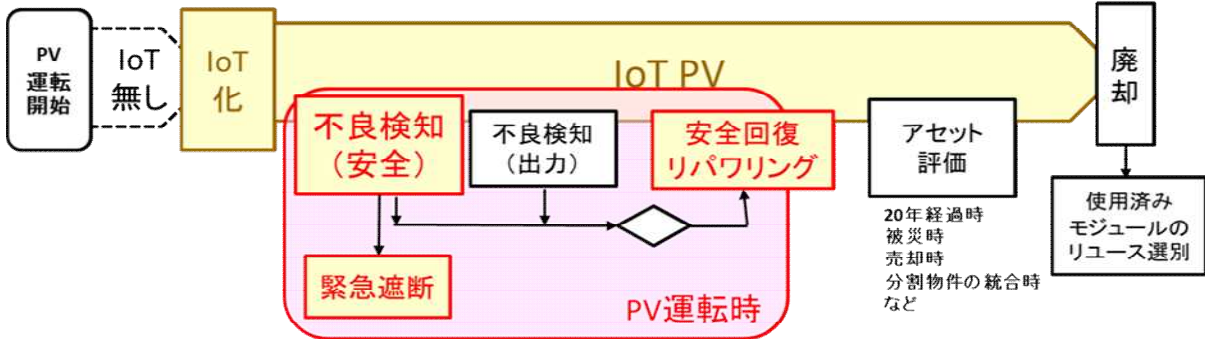


図 10 IoT 化の狙い

(3) アセット評価、リユース判別

IoT モニターにより、太陽光発電システムに関わる情報がリアルタイムかつ正確に把握できる。これはアセット（太陽光発電システム）評価が正確かつ低コストで実施できることを意味する。20 年経過時、被災時、売却時、分割物件の統合時など、太陽光発電システムのアセット評価ニーズに対応できるため、結果として高信頼性化、長期安定稼働が可能となる。さらに、システム廃却に伴う中古モジュールのリユース判別（リユース可能かリサイクルに回すべきか）にも IoT モニターデータが重要な役割を果たすことが期待できる。

本開発では、住宅用 PV や低圧 PV を中心とする小規模 PV を主なターゲットとして IoT 化の検討を行ったが、これら小規模 PV の IoT 化により期待される効果を表 7 にまとめた。IoT 化の効果（ニーズ）はそのコストが大きく影響する。この表では、数年後に実現すると予想（本開発での提言ベース）されるコストを想定し、ユーザメリットをまとめた。

住宅用 PV は、コスト要求が最も厳しいこともあり、安全性向上（と機器安定）が IoT 化メリットと考えられる。出力安定のために IoT コストをかけるユーザは少数であると判断した。低圧を中心とした産業用は、建物設置と野立てに分けて検討した。産業用（建物設置）は安全ニーズが最大であるが、出力安定やアセット評価などその他のニーズもある。産業用（野立て）は、安全ニーズは建物設置に比べると若干ニーズは小さいものの、出力安定など多くの項目でのニーズがある。

表 7 IoT 化のニーズ。PV 顧客別に IoT 化により期待される効果をまとめた

| IoT 化による効果 (メリット) | 安全 (焼損、発火、感電) | 出力安定 | 機器安定 | アセット評価 | リユース選別 |
|-------------------|---------------|------|------|--------|--------|
| 住宅用               | ◎             |      | ○    |        |        |
| 産業用 (建物設置)        | ◎             | ○    | ○    | ○      | ○      |
| 産業用 (野立て)         | ○             | ○    | ○    | ○      | ○      |

### 1.4.2 開発の方向性

前述の通り、3種類のIoT、すなわち

- ・PCS単位のIoT (IoT PCS)
- ・ストリング単位のIoT
- ・モジュール単位のIoT (MLPE; Module Level Power Electronics)

に分けて検討を行った。その結果、開発の方向性として、以下の通り提言することとした。図11に開発の方向性を図示する。

#### (I) IoT PCS ベースのIoT化がベース

コストとメリットを勘案すると、IoT PCSをベースにしたIoT化が望ましい。但し、既築PVでは、IoT PCSへの切り替えコストを勘案し、センサ後付け（アークフォルトセンサなど）が最適解となる（既築PVでも、PCSリプレースの機会があれば、IoT PCSへのリプレースがベター）。

#### (II) 高安全用途や高付加価値PVに対応したIoT化

ビル壁面のBIPVなどの極めて高い安全性が要求される市場や、系統安定化機能などを有する高付加価値PVシステムには、MLPEも組み合わせた高機能IoT化が望ましい。

#### (III) 安全性重視の考えに従い、IoT化だけでなく高安全モジュールを目指した開発も

安全性向上を主体とした検討の結果、システムによる高安全化（IoT化による高安全化）だけではなく、モジュールの高安全化にも踏み込むべきである。

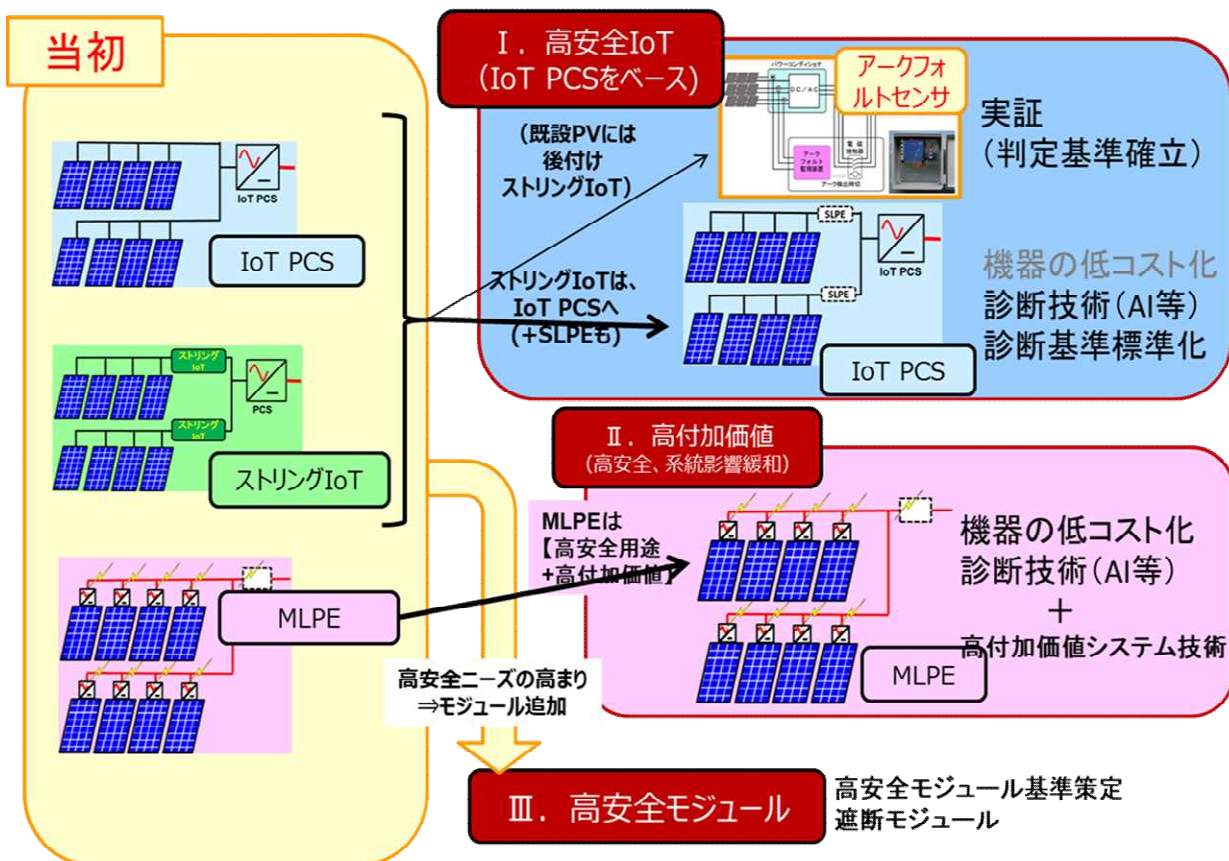


図11 IoT技術開発の方向性

### 1.4.3 開発シナリオ まとめ

3種類の予備検討の結果等を踏まえ、以下の通り開発シナリオを提言する。

- ①既設PVを念頭に置いた外付けIoTの実証を進め、判定精度の向上を実現する。
- ②コストパフォーマンスを勘案し、IoT PCSに機能を集約した高安全の長期安定稼働PVシステムを中心とした開発を行う。IoTに対応した法制度の整備（規制のリバランス）に加えて、AIや機械学習を取り入れた診断技術、予知技術を開発、導入し、低コストで安全性向上を実現する。
- ③この開発と並行して、求められる技術基準の明確化（標準化に向けた技術開発）が不可欠である。高安全IoTシステムとしての技術基準だけでなく、高安全モジュールについても技術基準の明確化に取り組む。また、ビッグデータなどのデータ有効活用が望まれる。
- ④特に高安全が求められる市場、高付加価値市場に向け、MLPEベースのIoT技術開発を行う。MLPE機器の低コスト化技術開発、MLPE利用技術（含AI活用）の開発を進める。

以上のシナリオに基づき、2020年度のNEDO公募【太陽光発電主力電源化推進技術開発】に応募し、「安全性・信頼性確保技術開発（高安全PVモジュール、高安全PVシステムの技術基準案の策定）」の受託が決定した。

## 2. 実用化・事業化見通し

### 2.1 進め方

本研究により策定したシナリオに基づき、以下の通り進めていく（図12）。

- 1) IoT-PCSの事業化：田淵電機で自社開発を進め、段階的な事業化を行うとともに、2023年度の本格事業化を行う。
- 2) AI導入など遠隔監視技術の進化を図るとともに、技術基準の策定などの事業環境整備を並行して行い、さらに進化した事業（高安全、高付加価値事業）につなげる。

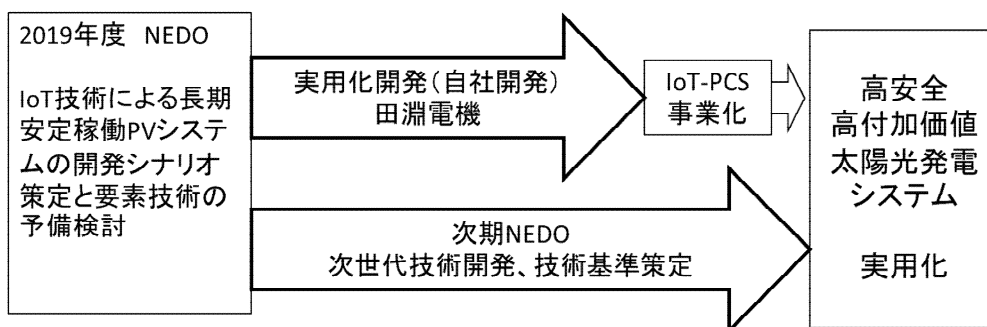


図12 本研究の事業化に向けた構想

### 2.2 IoT-PCSの事業化（田淵電機株式会社）

田淵電機株式会社は、太陽光発電システム用パワーコンディショナの製造メーカーとして2020年3月末で約1300千台の生産実績を有する。現在、太陽光発電システムは蓄電池と併用する蓄電ハイブリッドタイプに移行しつつあり、当社の新製品開発は、ハイブリッドタイプにシフトしている。

本研究の成果をハイブリッドパワコンに導入し、IoT化を進める。自社開発により、PCSのIoT化、PCSのAI化を進め、2023年度生産開始を目標とする（表8；表4の再掲）。



表 8 IoT-PCS の開発・事業化計画（田淵電機株式会社）（表 4 の再掲）

| 年度    | 2019年度 | 2020年度     | 2021年度        | 2022年度                   | 2023年度 |
|-------|--------|------------|---------------|--------------------------|--------|
| 遠隔O&M |        |            |               |                          |        |
| FS    | →      |            |               |                          |        |
| 仕様検討  |        | 遠隔O&M<br>→ | PCSのIoT化<br>→ |                          |        |
| 製品設計  |        |            | PCSのAI化<br>→  | 自己診断設計完了                 |        |
| 設備投資  |        |            |               | 本機能の実現に必要な<br>新たな設備投資不要  |        |
| 生産    |        |            |               | 本機能の実現に必要な<br>新たな生産上の問題無 | ▲生産開始  |
| 販売    |        |            |               |                          | ▲販売開始  |
| 収益発生  |        |            |               | 開発費回収後は、収益<br>の確保が可能     |        |

### 2.3 次世代技術開発 ～ NEDO 後継プロジェクト

田淵電機での事業化と並行して、新たな NEDO プロジェクトを中心に次世代の技術開発ならびに事業環境整備を行い、残された課題に対応していく。

- 1) さらなる低コスト化：ソフトウェアで対応。AI 導入など
- 2) 高安全かつ高安心：技術基準、ガイドラインを明確にし、市場認知を高める。  
システムだけでなくモジュールの高安全、高安心に向けた取り組みも行う。
- 3) データ活用：AI 導入など、データ活用環境整備を進める。
- 4) 高安全、高付加価値市場に対応した技術開発を進める。

図 13 に、IoT 化に向けた課題と対応策を示す。

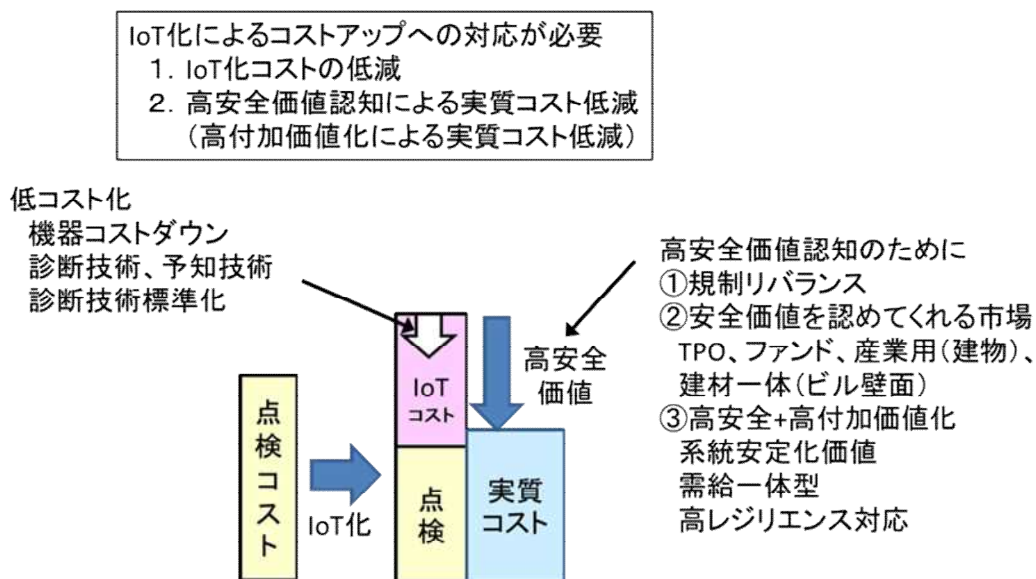


図 13 次世代 IoT 技術の実現に向けた考え方と課題

### 3. 波及効果

本研究では、太陽光発電システムの高安全、高信頼性を目的とした研究を行った。その一方で、太陽光発電システム業界では、システムの高付加価値化の動きが顕著となってきているが、本研究による成果は高付加価値化を促進するものである（図 14）。

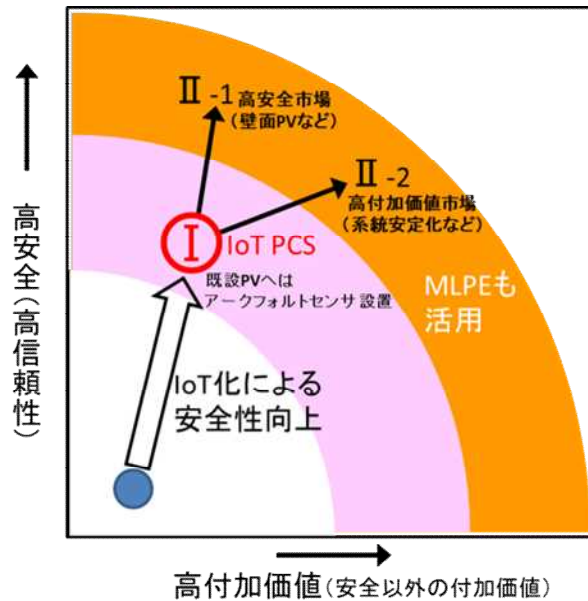


図 14 波及効果（高安全、高信頼性化とともに高付加価値化への対応が望まれる）

### 4. 今後の展開

上述の通り、本研究により策定したシナリオに基づき、

- 1) IoT-PCS の事業化：田淵電機で自社開発を進め、段階的な事業化を行うとともに、2023 年度の本格事業化を行う。
- 2) AI 導入など遠隔監視技術の進化を図るとともに、技術基準の策定などの事業環境整備を並行して行い、さらに進化した事業(高安全、高付加価値事業)につなげる。

これにより、高安全、高信頼性、高付加価値を兼ね備えた低コスト太陽光発電システムが実現し、再エネの主力電源化を加速することが見込める。

## ②研究開発項目（Ⅱ）太陽電池材料リサイクル要素技術開発

### (i) 合わせガラス型太陽電池の材料リサイクル要素技術開発[2019 年度]

ソーラーフロンティア株式会社

#### 1 成果詳細

##### 1.1.1 合わせガラス型太陽電池モジュールの構造

図 1 に合わせガラス型太陽電池モジュールである CIS 太陽電池モジュールと、結晶シリコン太陽電池モジュールの断面構造の違いを示す。

CIS 太陽電池モジュールはカバーガラス (CG) と基板ガラスの 2 枚のガラスに挟まれた構造をしており、基板ガラスの表面に薄膜の CIS 太陽電池層が形成され、EVA を介してサンドイッチされている構造をしている。また基板ガラスの背面側には EVA を介してバックシート (BS) が形成されている。

一方、結晶シリコン太陽電池モジュールには基板ガラスが存在せず、太陽電池セルがガラスと接していない。このため CIS 太陽電池モジュールと比較して分解が容易な構造となっている。

以上から CIS 太陽電池モジュールのリサイクルには独自の技術開発が必要となっている。

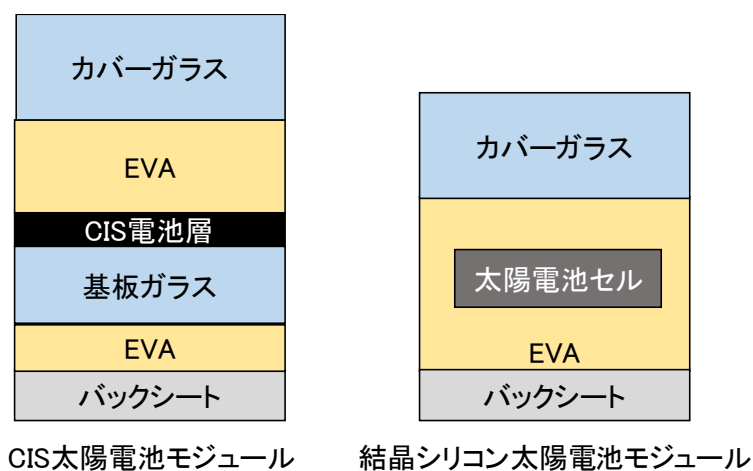


図 1 CIS 太陽電池モジュールと結晶シリコン太陽電池モジュールの断面構造

##### 1.1.2 処理フロー

今回開発したプロセスの全体フローを図 2 に示す。

CIS 太陽電池モジュールからアルミフレームと端子箱 (JB) を除去したワーク (パネル) は、パネルセパレータプロセスによりカバーガラスを分離する。分離されたカバーガラスは、樹脂 (EVA、ブチルゴム) 残渣が極僅かであるため後処理が不要でガラスカレット用途にリサイクルできるが、本プロジェクトでは水平リサイクルとしてリユースを目的に EVA 及びブチルゴムの残渣を除去しリユースが可能であることの品質を確認する。一方、カバーガラスから分離された残りの基板ガラス及びバックシートにより構成された側のワークは、破碎剥離装置にて、基板ガラス、EVA、バックシートに分離する。そして分離された各材料に対し、硝酸に浸漬し、金属材料である CIS 層及び電極層 (Mo 層、ZnO 層) をエッチングし、硝酸に溶解された状態にて回収する。金属材料回収後の部材 (基板ガラス、EVA、バックシート) は、それぞれに用途に応じた純度まで清浄化し回収する。

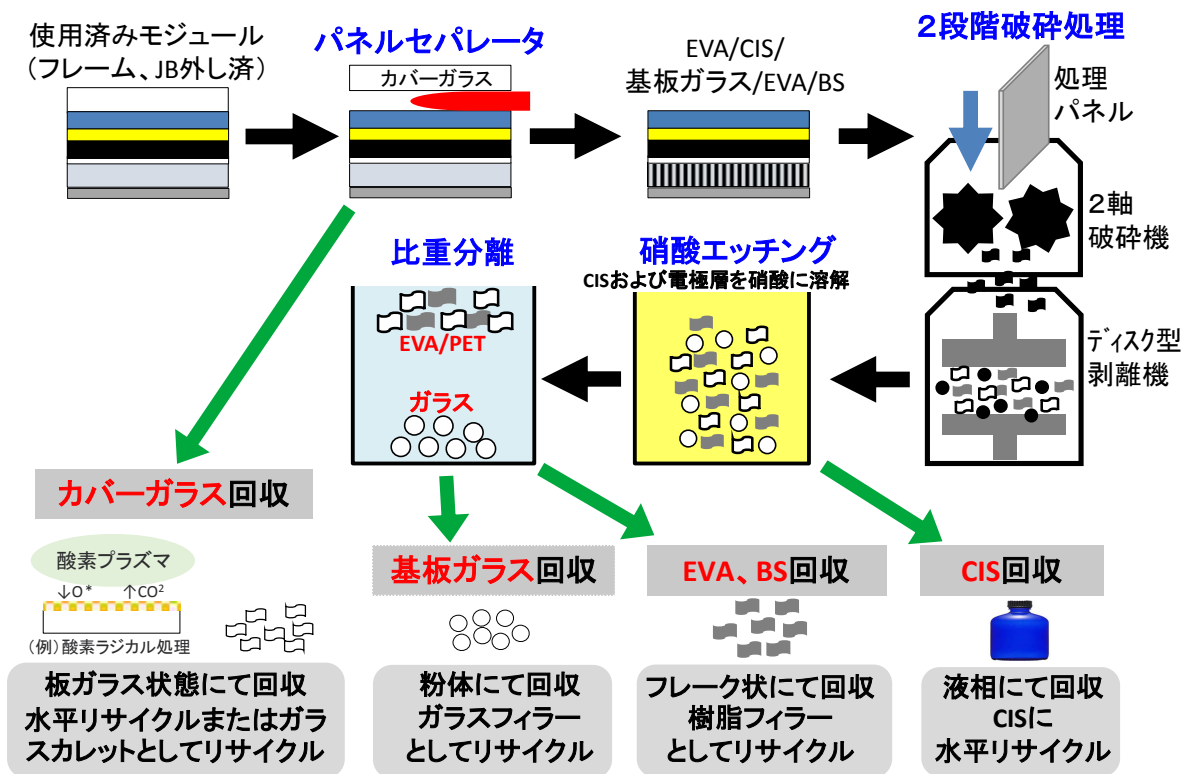


図2 全体プロセスフロー

### 1.1.3 各プロセスの詳細

#### 1.1.3-1 実モジュールにおけるパネル分解技術(パネルセパレータ)

前プロジェクトにて小型基板で原理確認を行ったパネルセパレータプロセスに対し、本プロジェクトにおいては実モジュールに対応した設備およびプロセスを開発した。

開発・導入した設備を図3に示す。本設備は970mm×1270mmサイズ対応であり、前プロジェクトで確認した325mm×325mmサイズに比べ面積が約12倍と大きく、また新型モジュール構造に用いられるブチルゴムにも対応するため、新たに3つの付加機能を追加した。

1番目はパネル反り矯正機構である。合わせガラス型パネルは、異なる組成を持つ2枚のガラスによる張合わせ構造の為、若干のパネル反りが生じるが、サイズが大型化することにより、プロセス精度に対しより大きな影響が懸念される。このため反り矯正機構を設けモジュール間の反りばらつきを吸収した。

2番目はEVAの選択加熱機構および加熱ランプのレイアウトである。前プロジェクトにて調査したEVAのみが効率的に加熱される赤外線波長ランプを選択し、サイズの大型化に伴う基板面内の温度分布悪化の懸念とパネルエッジ部分からの放熱を考慮してランプの配置を基板進行方向に対し平行に配置し、ランプの間隔を制御することにより、970mm×1270mm面内で±5℃以下という均一な温度分布を実現した。

更に3番目として、新型モジュール構造に用いられるブチルゴムがパネルセパレータ刃部に付着することでの搬送不良を回避するため、要所にテフロンコートを行うことにより安定した搬送を実現した。

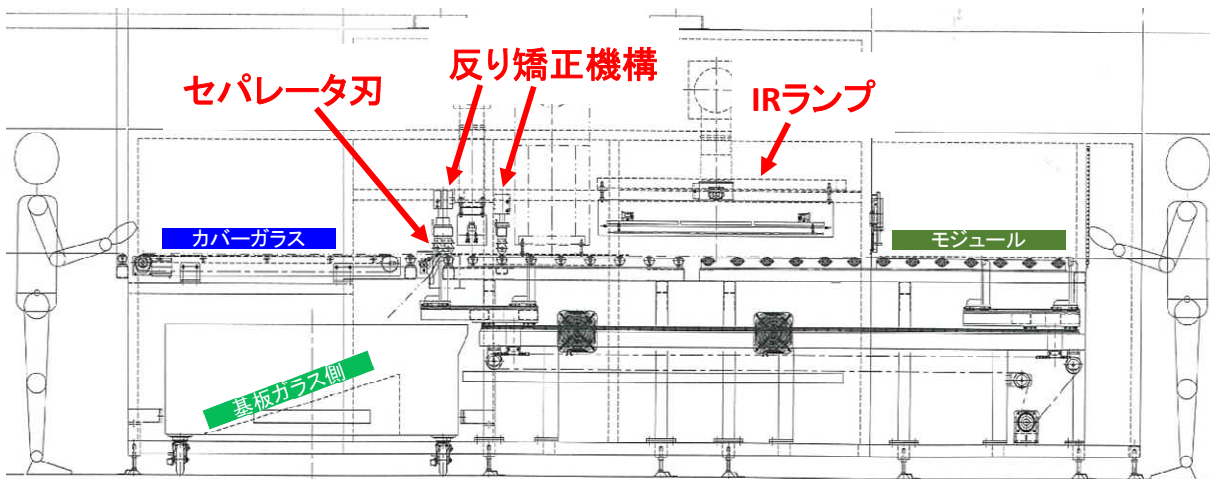


図3 パネルセパレータの概要

パネルセパレータ処理後のカバーガラス上の EVA 残渣状態を図4に示す。前プロジェクトにて達成した EVA 残渣品質を 970mm×1270mm サイズ全面に渡って確認した。更に前プロジェクトにて達成した処理速度 (24mm/s) の倍速 (48mm/s) においても同様の残渣品質を確認し、また 20 枚連続処理にて残渣品質およびカバーガラス割れが無いことを確認した。

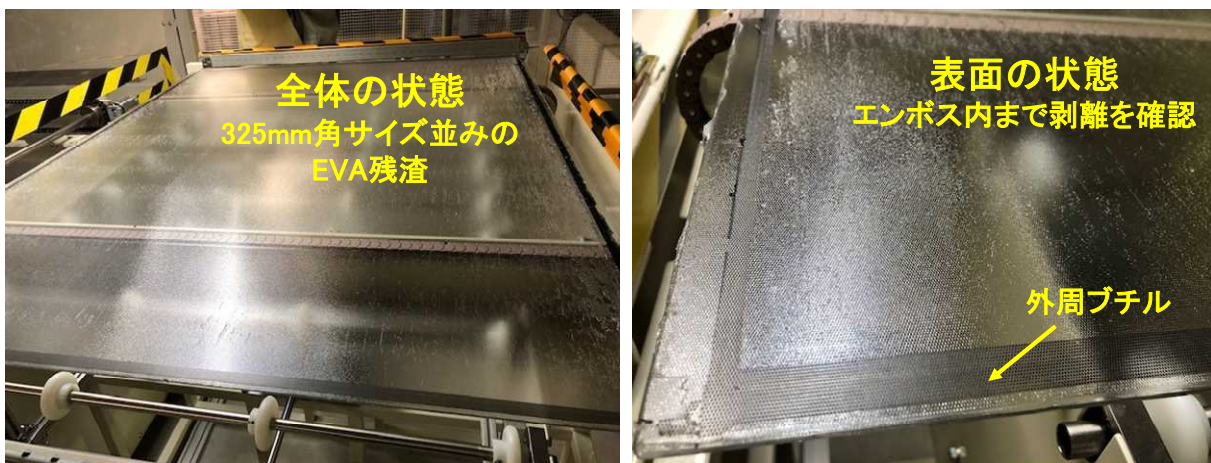


図4 カバーガラス上の EVA 残渣状態 (48mm/s 処理)

### 1.1.3-2 水平リサイクル又はリユースに対応したカバーガラスの清浄化および品質確認

前プロジェクトにおいて、パネルセパレータにより処理したカバーガラスは極僅かな EVA 残渣であり、後処理不要でガラスカレット用途としてリサイクル可能であることを確認した。しかしながら水平リサイクル、中でも、このカバーガラスを太陽電池用に再利用する「リユース」に対しては、残存する僅かな EVA 残渣および新型モジュール構造に用いられるブチルゴム残渣により、適用は困難であった。そこで本プロジェクトにおいては、以下の3種類の方式により EVA 及びブチルゴム残渣除去を検討した。また上記残渣除去処理を行ったカバーガラスをリユースするために、新規品と同等の性能を有することを表面分析および強度試験により確認した。

#### ①紫外線加熱プロセス

前プロジェクトにおいて長時間紫外線 (UV) 処理を行った際に、EVA とカバーガラスの密着性が著しく低下することを見出した。この理由は EVA がガラスと密着する酢酸結合が分解するためであることが分析の結果判明している。そこで酢酸結合の吸収が顕著な 300~360nm の紫外線と加熱処理を同時に行うことで、より切断反応を進行させ、EVA とガラスの密着性を低減させる検討を行った。

結果を図5に示す。UV 照射+200℃加熱により、3分間処理において EVA は容易に剥離することを確認した。

認した。またその時の界面状態を ATR 法 FT-IR 分析にて確認したところ、CO の 2 重結合が分解しており、水素結合に置換されていることを確認した。しかしながらブチルゴムの密着性低減効果が無いことが確認された。これらの結果から、UV 照射はパネルセパレータプロセスのプロセスウインドウ拡大に応用できるが、リユースプロセスには適さないことが判明した。

照射ランプ: 高圧水銀ランプ(波長300nm、240W/cm<sup>2</sup>)  
 処理条件: ステージ温度 × UV照射時間

|   | マテリアル | 温度   | 照射時間(分) | 密着性(※) |
|---|-------|------|---------|--------|
| ① | EVA   | 150□ | 5       | △      |
| ② |       |      | 10      | △      |
| ③ |       |      | 3       | ○      |
| ④ | ブチル   | 200□ | 5       | ○      |
| ⑤ |       |      |         | ×      |

(※)水を含ませた歯ブラシでスクラブし判断  
 (○容易に剥離 △長時間擦れば剥離 ×剥離しない)

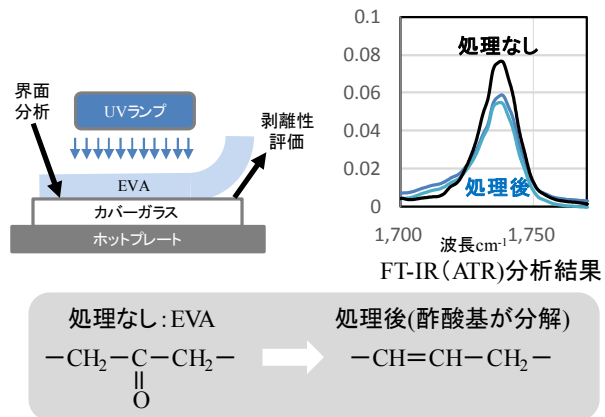


図 5 UV 照射+加熱処理によるカバーガラス上の EVA 及びブチルゴム密着性低減効果

### ②超低温暴露プロセス

一般に EVA は可撓性に優れ-58℃程度まで柔軟性を有するが、超低温(液体窒素: -196℃)に暴露することにより EVA を脆化させることが可能であり、実際にソーラーパネルの粉碎工程において行われている実績がある。そこで基板上に残存する EVA 及びブチルゴムに液体窒素を噴射し脆化させて除去を行う検討を行った。

結果を図 6 に示す。EVA は容易に剥離できたが、ブチルゴムは硬化してガラスに密着し、ブラシでスクラブしても除去できないことが判明した(左図)。そこで液体窒素を加圧してノズルからブローし、硬化部分を吹き飛ばすことを検討した(右図)。その結果、ブチルゴムの表層部分は除去されるが、下層部分はカバーガラスのエンボス内に残存し除去できないことが判明した。この原因として、エンボス構造が加圧液体窒素を抑制し、ブチルの硬化速度が除去速度に勝っていると推測している。


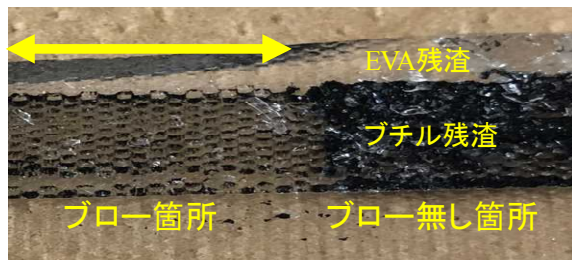
| 液体窒素浸漬+ブラシスクラブ  | 液体窒素ブロー  |
|---|--|
|  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>EVA: 容易に剥離</li> <li>ブチル: 基板に固化付着</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>EVA: 容易に剥離</li> <li>ブチル: 基板に固化付着</li> </ul>   |

図 6 液体窒素によるカバーガラス上の EVA 及びブチルゴム除去効果

### ③酸素ラジカル暴露プロセス

RF プラズマにより励起して発生させた酸素ラジカルにより EVA 及びブチルゴムをアッシング(灰化)する方法を検討した。

結果を図 7 に示す。アッシング処理により EVA は除去され、ブチルゴムは白化した残渣が残った。更にスクラブしたところ白化した残渣は除去できることが判明した。なお、この残渣はブチル内に粘度調整剤として混入されている無機材質のフィラーと考えられる。

アッシング条件は、高圧・高温ほど高速で除去が可能であることから、この領域で効率的に酸素ラジカルが生成されていると考えられる。しかしながら処理時間が 10min 以上必要であること、残渣量によって処理時間のばらつきも大きいことから、前処理にて EVA とブチルゴムを粗く除去し、そのあとにアッシング処理を行う検討を行った。

前処理としては EVA もブチルゴムも熱可塑性樹脂であることに着目し、200℃に加熱した状態で表面から布でワイプすることで、薄膜化と面内画一化を行った。引き続きアッシング処理を行い、表面の有機物残渣を水の接触角により評価した。

結果を図 8 に示す。加熱ワイプ処理によって、外見上はほぼ基板全面に渡って残渣が除去されたことが確認された。ただし水の接触角を測定したところ処理前とほとんど変化がなく、有機物残渣が残存すると考えられる。その後アッシング処理を 5min 行うことにより親水性になることが判明した。

これらの結果から、酸素ラジカル処理は有機物残渣除去に有効であり、懸念事項である処理タクトにおいても前処理を最適化することにより解決できる可能性が高いことが示唆された。

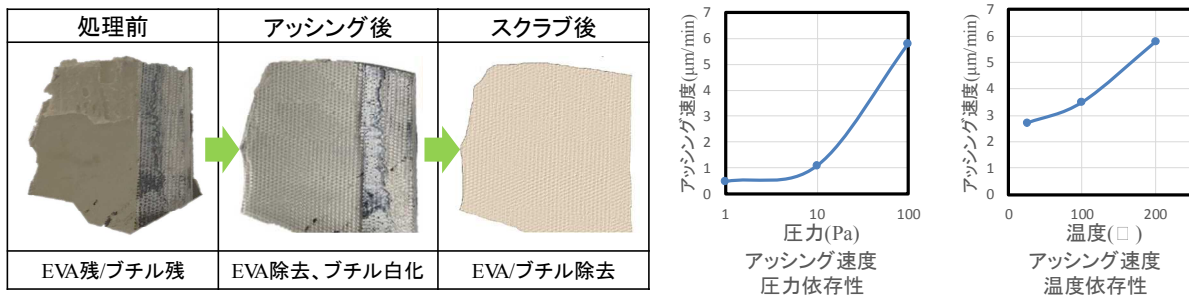


図 7 アッシング処理によるカバーガラス上の EVA 及びブチルゴム除去効果

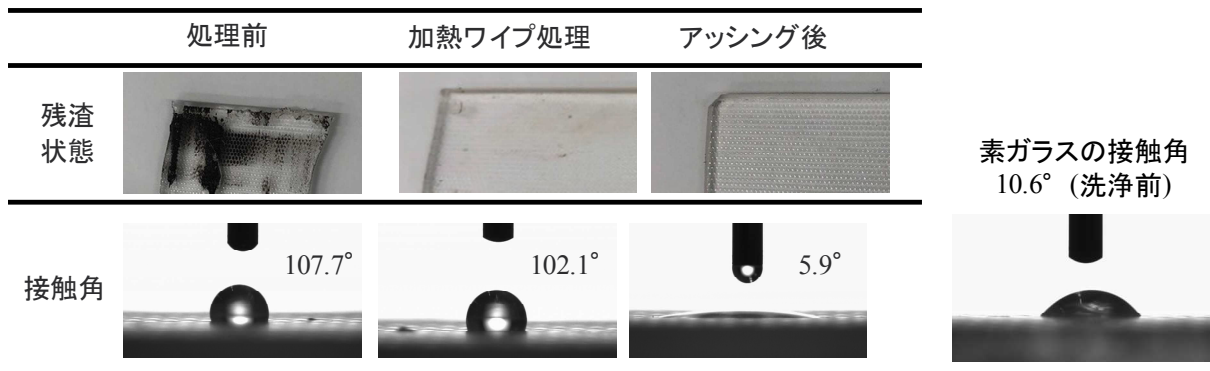


図 8 前処理およびアッシング処理によるカバーガラスの清浄度

### ④リユースに必要なガラスの品質調査

有機物残渣について③項で確認したが、機械強度としては、リユースプロセスにおいて最もガラスにダメージを与える工程はパネルセパレータ処理であると予想される。そこでパネルセパレータにより分解したカバーガラスの強度を、破壊靱性試験 JIS R1607 準拠した方法にて、島津製作所製オートグラフにより素ガラスと比較した。

結果を図 9 に示す。10 サンプルの測定の結果、全てのガラスは端面からではなく圧力面から破壊す

ることが分かった。これはパネルセパレータ処理が、はま欠け等エッジに対するダメージを与えていないことが予想される。しかしながら一方で、パネルセパレータ処理後のカバーガラスは素ガラスに比べ平均 14%強度低下することが判明した。この原因として、強度のばらつきが少ないことから、パネルセパレータ工程によるダメージではなく、パネルモジュール化工程による熱履歴等が強度低下の原因である可能性が高いと考えられる。リユース適用に向けては、再度パネルモジュール化工程の熱履歴に耐え、製品としての強度が担保できる検証が必要であることが分かった。

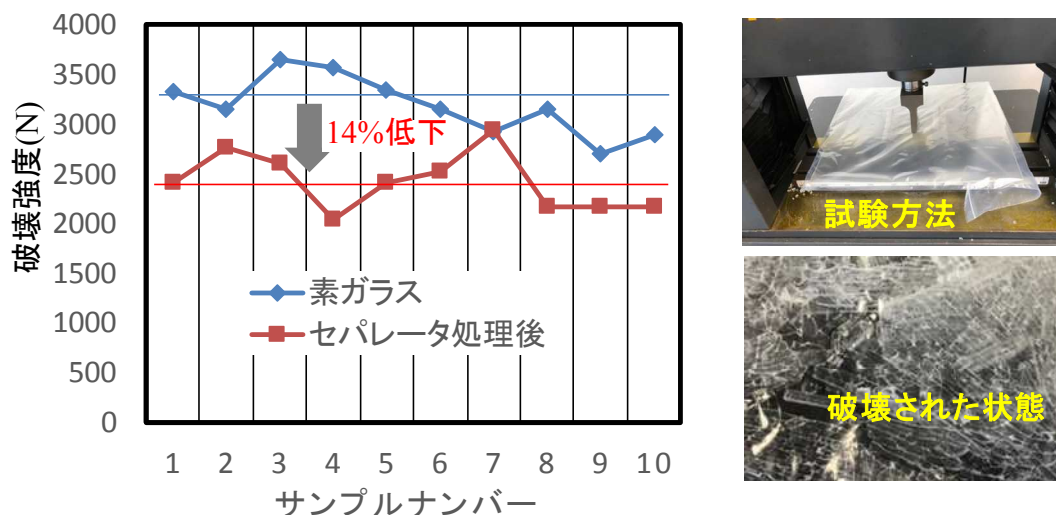


図9 パネルセパレータ処理によるカバーガラスの強度変動






### 1.1.3-3 基板ガラス及び樹脂材料の分離・選別

前プロジェクトにおいては、CIS 電池層上の EVA は CIS 電池層をエッチングするリフトオフプロセスにより材料分離を実現したが、基板ガラス裏面側の樹脂は材料分離することが出来ていなかった。そこで基板ガラスと EVA 及び EVA とバックシートを材料分離する目的から、各界面に対し効率的に分離が可能な破碎装置を評価した。

結果を表 1 に示す。各材料を分離するためには、接着面に対し垂直方向の衝撃は効果がなく、水平方向の応力である、ずり応力を効果的に与えるディスク型破碎装置が効果的であることが判明した。しかしながらディスク型破碎装置は原理上、大型のワークには対応できず 10mm 程度以下に留まる。そこでワークの破碎形状制御性に優れた 2 軸型の一次破碎装置を組み合わせることによる 2 段階の破碎分離プロセスを開発した。



表 1 破碎装置の原理と EVA 剥離性

| 設備      | 設備説明   |   | 処理結果   |            |   |                                      |
|---------|--|---|--|------------|---|--------------------------------------|
|         | 破碎原理   | 処理可<br>サイズ  | 状態   | EVA<br>剥離性 | ガラス<br>粒度   | 説明                                   |
| 1軸型     | 設備内でワークを対流させながら、設定したメッシュ開口以下になるまで固定歯と歯車に挟み込むことによりワークを切断。 | 1500<br>×<br>1500<br>mm<br>程度<br><br>設備<br>サイズ<br>に<br>依存 |   | 一部<br>剥離   | 10mm以上  | ワークはEVAとガラスが一体となって不定形に切断、ガラスは破碎されない。 |
| 2軸型     | 回転数差を持たせた歯車状の刃に挟み込むことによりワークを切断。                          |   |   |            | 5mm～<br>(歯幅に<br>依存)   | 切断サイズは歯幅に依存し、制御性良好、ガラスは破碎されない。       |
| ハンマー型   | ディスク上に設置した大型のハンマーを低速回転し、ワークをたたくことにより、衝撃で破碎               |   |   |            | 5～<br>100mm<br>角  | 破碎サイズが不定形                            |
| 高速ハンマー型 | ディスク上に設置した小型のハンマーを高速回転し、ワークをたたくことにより、衝撃で破碎               |   |  |            | ～5mm<br>角   | EVAに付着したガラスは破碎されず                    |
| ディスク型   | 回転数差を持たせた対向ディスク状のグラインダーにワークを挟みこみずり応力を与え剥離および破碎           |   | 10<br>mm<br>角<br>以下  |            |  | 完全<br>剥離                             |

次にディスク型破碎装置の特性について図 10 に示す。

EVA/CIS 電池層/基板ガラス/EVA/バックシート積層物をディスク型破碎装置で処理後、目開き 2mm の篩処理した後、1000℃酸素雰囲気にて加熱し有機残渣を測定した。また処理後のガラスを篩により分離し、粒度分布を測定した。

その結果、ずり応力が大きい、つまりディスク間隔が小さい方向で残渣率は小さくなる傾向にあり、400 μm 程度以下の領域では飽和することが分かった。またその時の有機残渣は 1wt%程度であった。ガラスの粒度に関しては、ディスク間隔が大きいほど大粒径のガラス比率が大きな傾向にあるが、ディスク間隔差に比べると小さいことが分かった。

これらの結果、ずり応力が EVA とガラスの密着力に対する閾値を超えれば分離が発生すると考えられる。またガラスの粒度に対しディスク間隔依存が少ないことから、ディスク間の圧力ではなく、回転するディスクによりガラスは破碎されると考えられる。

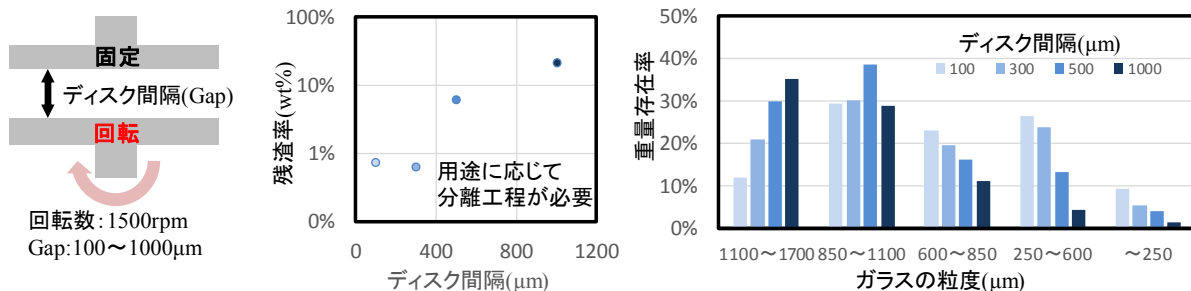


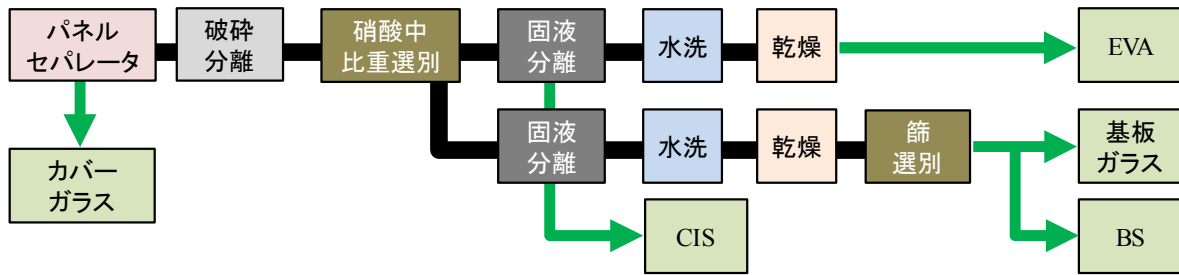
図 10 ディスク型破碎装置のマテリアル分離性およびガラス破碎特性

### 1. 1. 3-4 マテリアルの清浄化

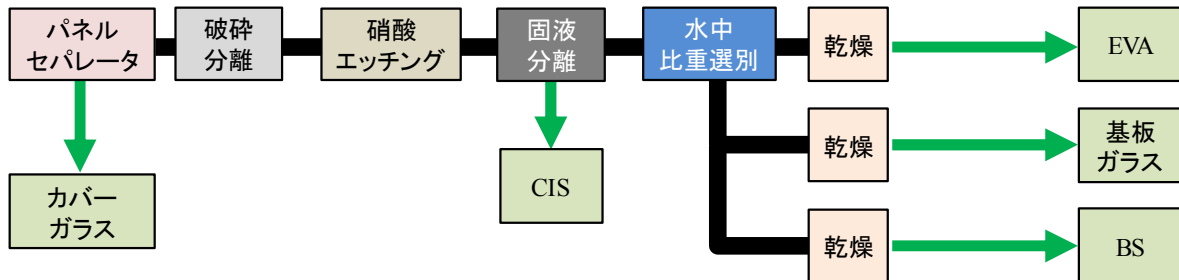
マテリアルリサイクルにおいて用途に応じて各マテリアルを清浄化し純度を向上させる必要がある。特に基板ガラスの窯業系フィルター用途は要求純度が 99.5wt%と高く、ディスク型破碎装置にてマテリアル分離を行った後に精度の高い清浄化を行う必要がある。

今回検討したマテリアル分離および清浄化フローを図 11 に示す。マテリアル分離フロー①においてはパネルセパレータにてカバーガラスを分離後、基板ガラス側を破碎分離し硝酸中にてエッチングと比重分離の検討を行った。これは EVA の比重が 1 と水と同等であり、硝酸の比重が 1.45 であり重液の代替になるためである。その後分離された EVA とガラス+バックシート混合物は、固液分離装置により付着した CIS を分離し、ガラス+バックシート混合物は篩選別により分離を行う。しかしながらこの工程は固液分離工程が複数あることにより高コスト化を招き、ガラスとバックシートを篩で分離する為、ガラスの高純度化には不利である。そこでマテリアル分離フロー②および③を検討した。これらのフローは硝酸中においてエッチングのみを行い、固液分離工程において CIS のみを抽出する。その後、比重選別機を適用し各マテリアルに分離を行う。またマテリアル分離フロー③においては比重選別機の精度を上げるためバックシートをパネルセパレータによりあらかじめ分離することを特徴としている。

マテリアル分離フロー①（全10工程：選別工程2/固液分離工程2）



マテリアル分離フロー②（全8工程：選別工程1/固液分離工程1）



マテリアル分離フロー③（全8工程：選別工程1/固液分離工程1）

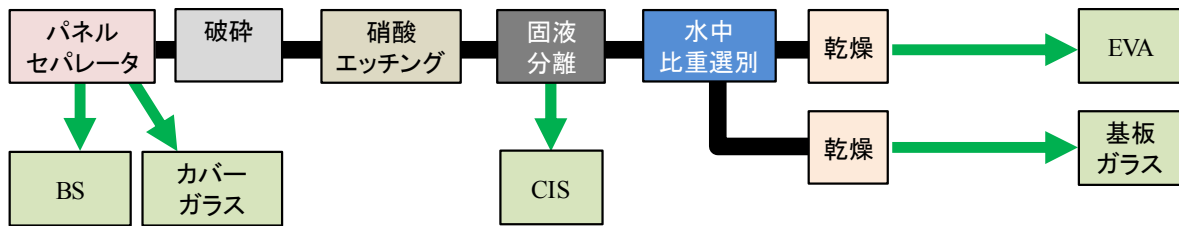


図 11 マテリアル分離および清浄化フロー

次に前記マテリアル分離フロー検討結果を受けて、比重選別工程について検討を行った。

ディスク型破碎装置にてマテリアル分離を行った後のワークを篩処理後、比重選別装置によりガラスと樹脂(EVA及びバックシート)に選別した。またその際に、前記マテリアル分離フロー③に対応する前処理として、パネルセパレータによりバックシートをあらかじめ剥離する効果を確認した。また比重選別装置はJIG型選別機と湿式テーブル型選別機を比較した。

その結果を図12に示す。比重選別により1wt%以下まで有機残渣が減少しており、バックシートをあらかじめ剥離するマテリアル分離フロー③は有機残渣抑制に対し有効であることが判明した。また湿式テーブル型およびJIG型選別法はマテリアル分離フロー①である硝酸分離法よりも高精度である。これらの検討結果からディスク型破碎装置にてマテリアル分離工程後に篩処理及び比重分離工程を追加することにより、高純度ガラス用途に対応が可能であることを確認した。

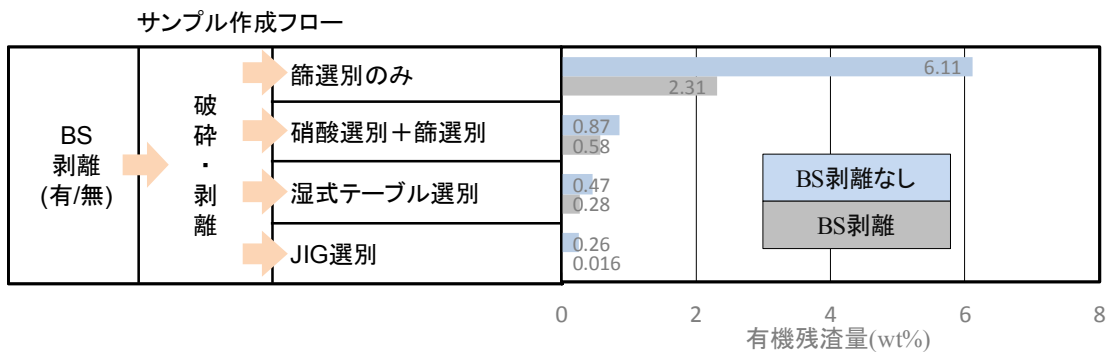


図 12 比重選別機によるガラス中の有機物残渣量

### 1.1.3-5 ガラス及び樹脂材料のマテリアルリサイクルのための用途開発検討

今回調査検討したマテリアルの用途を表 2 に示す。各マテリアルに対する用途と要求される純度、受け入れ規模、製品のリサイクル性について比較した。

カバーガラスはガラスカレット用途とリユース用途を検討した。ガラスカレットはパネルセパレータ処理のみで受け入れが可能であることが判明しており、市場規模も大きい一方でカスケードリサイクルであるという側面がある。一方リユースは要求純度が非常に高く、清浄化プロセスにおいて経済合理性を考慮する必要がある。

基板ガラスは、窯業系フィラー材料及びコンクリート骨材としての用途を検討した。窯業系フィラー材料は要求純度が高い一方、既に市場が確立しており、リサイクル性が高い製品が創出できるというメリットがある。それに対しコンクリートへの適用は要求純度も低く、市場規模も巨大である一方、製品としてのリサイクル性は低く、将来廃棄される際は産廃物となる懸念がある。

バックシートは PET のペレット化による汎用化とコンクリート骨材としての用途を検討した。ペレット化による汎用化は受け入れ市場が大きく、既に市場が確立しているメリットがあるが、バックシートをベースにすると歩留りが悪く、低純度のマテリアルは産廃物となる懸念がある。一方 EVA についても唯一の用途であるコンクリートへの添加は、要求純度も低く、市場規模も比較的大きい。またガラスの混入に対しても可能性がある。これらのマテリアルを選別せずにリサイクルすることにより、低エネルギーで経済合理性を兼ね備えた有効な用途と考える。

以上の用途検討結果を総合的に勘案すると、マテリアルリサイクル率という数字にとどまらず、リサイクルプロダクトを得るために投入されるエネルギー、コスト、再リサイクル性、市場規模等を総合的に勘案し、環境への影響度が最小になる方式を選択すべきと考える。

表2 マテリアルの用途検討結果

| マテリアル                     | 用途               | 要求純度<br>(精製コスト) | 年間受入<br>規模*1   | リサイクル<br>性 | 備考<br>○メリット、×デメリット<br>▲開発項目                                |
|---------------------------|------------------|-----------------|----------------|------------|--|
| カバーガラス                    | ガラスカレット          | 中               | 大<br>(100万t超)  | 高          | ○セパレータ処理のみで受入可<br>×As、Sb含有は受入不可                            |
|                           | セメント<br>コンクリート骨材 | 低               | 大<br>(1000万t超) | 低          | ▲As、Sb等の規制物質対応<br>×製品のリサイクル性低                              |
| 基板ガラス                     | 窯業系フィラー          | 高               | 中<br>(約1万t)    | 高          | ▲安定した高純度精製技術<br>○市場および用途が確立                                |
|                           | セメント<br>コンクリート骨材 | 低               | 大<br>(1000万t超) | 低          | ▲自治体との協力体制<br>▲セメントとの密着性開発<br>×製品のリサイクル性低                  |
| バックシート<br>(PET)           | ペレット化による<br>汎用化  | 高               | 大<br>(2万t超)    | 高          | ○受け入れ市場が既に確立<br>×精製に高額設備が必要<br>×低純度マテリアルは廃棄                |
| EVA                       | セメント<br>コンクリート骨材 | 低               | 大<br>(1000万t超) | 低          | ○マテリアル全て混入が可能<br>▲自治体との協力体制<br>▲セメントとの密着性開発<br>×製品のリサイクル性低 |
| ガラス/EVA/<br>バックシート<br>混合物 |                  |                 |                |            |  |

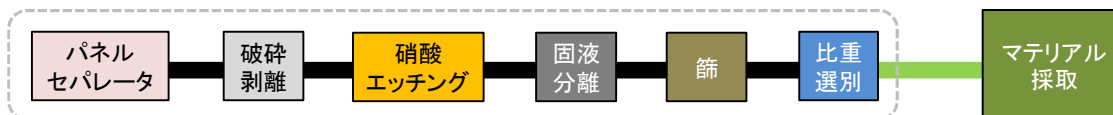
\*1 CIS/結晶シリコンパネル全量受入可能＝大、CIS処理分受入可能＝中、それ以下＝小

### 1.1.3-6 試作プラントの構築案および工場設計

ここまでの検討結果を元に量産設備及び量産工場を検討した結果を図13に示す。

前項までに示した通り、各マテリアルに対し、用途先に応じて要求される純度、形状、マテリアルの混合状態は大きく異なる。そのため工場は処理効率を優先したジョブフロー方式ではなく、ジョブショップ方式にて構築し、用途先に応じて柔軟にリサイクルマテリアル物を産出できるプラントである必要があると考える。ジョブショップ方式は、リサイクルプロセスをいくつかのジョブブロックに分離し、リサイクル先のニーズに応じてジョブブロックを組み替える方式である。処理対象が太陽電池モジュールに限定されたリサイクル工場において、単一リサイクル物を採取することを仮定すると、処理効率を優先したジョブフロー方式が有効と考えられるが、種々の用途が混在するマテリアルリサイクルの観点において、それぞれの用途に応じた処理を行うジョブショップ方式は、より低コストのプロセスで用途に応じた最小限の品質のマテリアルが供給できると考えられ、また、将来のマテリアル用途の変化に柔軟に対応できると考える。

### ジョブフロー方式による効率的な一貫生産



### ジョブショップ方式による用途グレードに応じた柔軟な工程組み換え生産

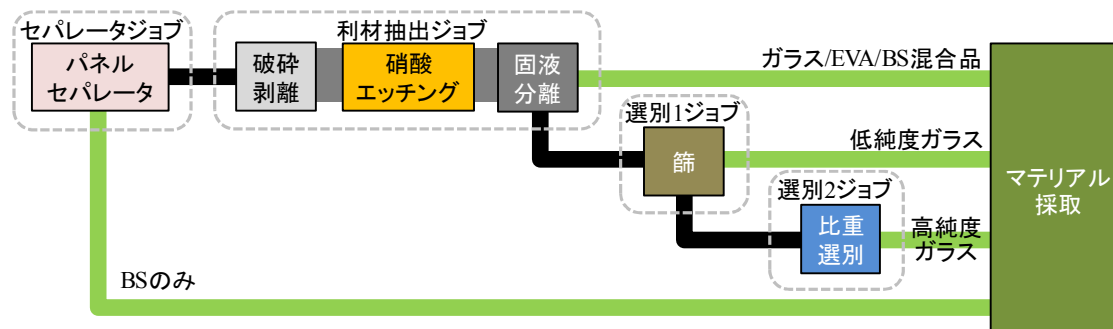


図 13 用途を考慮したリサイクル工場の構築

#### 1.1.3-7 マテリアルリサイクル率および処理コスト

表 3 にマテリアルリサイクル率の達成見込みを示す。

前プロジェクトで廃棄(マテリアルリサイクル率 0%)としていた基板ガラス、EVA、バックシートに対し、マテリアル分離及び選別技術開発と用途開拓の結果から、モジュール部材全体で 91~95%程度までリサイクル可能との試算結果となり、目標である 80%を大きく上回って達成した。今後は、マテリアルリサイクル率の向上と用途に応じた必要純度向上処理とそれに伴う分解処理コストのバランスが重要になると考えられる。

マテリアルリサイクル率の結果を受けて表 4 に、コスト試算結果(前プロジェクトで得られた値と本プロジェクトで試算した値)を示す。前プロジェクトに対し、新たにマテリアル分離を行うディスク型破碎装置とマテリアル選別を行う湿式テーブル型選別機を追加することで、9%のプロセスコストが増加する一方、マテリアルリサイクル率を 90%まで向上させることにより最終処分費(産廃費用)を 57%抑制した。また試算においては、新たに用途開拓したリサイクルマテリアルの売却益は不明確であるため、無価とした(アルミフレーム価格は最新の買取価格に補正したため低下)。これらの結果を総合し、2.93 円/W を達成した。

この結果は、最低限のプロセス付加とマテリアルリサイクル率向上に伴う産廃費用抑制効果であり、有価物の買取り相場価格に依存することのない、十分に実現可能な値であると考えられる。

表3 マテリアルリサイクル率の達成見込み

| モジュール構成  |         |           | マテリアルリサイクル率   |               | 備考  |
|----------|---------|-----------|---------------|---------------|---|
| 内訳       | 重量 [kg] | 重量比 [wt%] | 前プロジェクト 試算[%] | 本プロジェクト 試算[%] |   |
| アルミフレーム  | 1.895   | 9.8       | 99            | 99            |   |
| ビス       | 0.008   | 0.0       | 99            | 99            |   |
| カバーガラス   | 9.684   | 49.8      | 95            | 95            | <ul style="list-style-type: none"> <li>ガラスカレット用途</li> <li>酸素プラズマ処理によるリユースを検討</li> </ul>   |
| リボン電極    | 0.010   | 0.1       | 95            | 95            |   |
| 電池層      | 0.012   | 0.1       | 93            | 93            | <ul style="list-style-type: none"> <li>前プロジェクトにて技術確立</li> </ul>   |
| 基板ガラス    | 5.855   | 30.1      | 0             | 90~95         | <ul style="list-style-type: none"> <li>基板ガラス回収率はバックシート先行剥離工程により変動</li> <li>EVAおよびBSはコンクリート添加の場合95%と試算</li> <li>BSは高純度ペレット品精製率50%</li> </ul> |
| EVA(CG側) | 0.813   | 4.2       | 0             | 95            |   |
| EVA(BS側) | 0.349   | 1.8       | 0             | 50~95         |   |
| バックシート   | 0.552   | 2.8       | 0             |               |   |
| ブチル      | 0.101   | 0.5       | 0             | 0             |   |
| 端子箱      | 0.150   | 0.8       | 99            | 99            |   |
| 合計       | 19.429  | 100.0     | 58.0          | 91.4~94.9     | <ul style="list-style-type: none"> <li>マテリアルリサイクル率向上と分解処理コスト低減を両立</li> </ul>  |

表4 分解処理コスト試算

| 項目            | 明細                | 前プロジェクト 試算 | 本プロジェクト 試算     | 単位     | 算出式・備考                        |
|---------------|-------------------|------------|----------------|--------|-------------------------------|
| 年間処理量         |                   | 1,248      | 1,248          | [k枚/年] | ①                             |
|               |                   | 199,728    | 199,728        | [kW/年] | 160W=1枚 ①'                    |
|               |                   | 24,211     | 24,211         | [t/年]  | 19.4kg=1枚 ①''                 |
| 処理費用          | 材料費               | 13,934     | <b>13,934</b>  | [k円/年] | 薬品費など                         |
|               | 光熱水費              | 104,093    | <b>117,624</b> | [k円/年] | 電力費など                         |
|               | 人件費               | 258,000    | <b>284,000</b> | [k円/年] | 作業員費など                        |
|               | 設備費               | 80,197     | <b>90,223</b>  | [k円/年] | 設備償却費など                       |
|               | 土地・建物費            | 103,450    | <b>104,170</b> | [k円/年] | 土地賃借料など                       |
|               | 最終処分費             | 364,731    | <b>153,688</b> | [k円/年] | 産廃、埋立処分費など                    |
| 合計            | 合計                | 924,405    | <b>763,640</b> | [k円/年] | ②                             |
| 分解処理コスト (グロス) | 有価物売却益を差引き前のグロス単価 | 4.68       | <b>3.82</b>    | [円/W]  | ②/①'                          |
|               |                   | 38.1       | <b>31.5</b>    | [円/kg] | ②/①''                         |
| 有価物売却益        |                   | 248,651    | <b>177,486</b> | [k円/年] | ③有価物の売却益 新たな売却益ゼロ アルミフレーム価格補正 |
| 分解処理コスト (ネット) | 有価物売却益を差引き後のネット単価 | 3.38       | <b>2.93</b>    | [円/W]  | (②-③)/①'                      |
|               |                   | 27.9       | <b>24.2</b>    | [円/kg] | (②-③)/①''                     |

## 2. 実用化・事業化見通し

2019年11月に公表した当社親会社である出光興産株式会社の中期経営計画において、2030年に向けた重点課題として「次世代事業の創出」が提示された。この次世代事業の一つとして「サーキュラービジネス」が位置付けられており、当社が製造している CIS 太陽電池モジュールのみならず結晶シリコン太陽電池モジュールも含めたパネルリサイクル技術開発を行うことを公表している。この中期経営計画に基づき、2020年度より、本プロジェクトの成果を基に10MW規模の技術実証プラントの設計、設備導入に着手している。その後、実証プラントにおける設備増強、運転ノウハウ蓄積を元に、FIT終了後の太陽電池モジュールが大量発生すると想定される2030年までに、数百MWスケールのリサイクル工場建設への投資を検討する。

## 3. 波及効果

合わせガラス型太陽電池モジュールの材料リサイクル技術として、材料の高純度分離技術を開発し、高い経済合理性を持つことが確認された。また特殊な工程を用いないことから、結晶シリコン太陽電池モジュールへの応用についても示唆された。

更にリサイクル用途が不明確で廃棄対象としていた、基板ガラス、EVA、バックシートに関しても、市場規模と要求純度を加味した用途を明確にしたことは、太陽電池モジュールにおける全ての構成部材が材料リサイクル可能であることを示しており、ソーラービジネスにおける高度循環型ビジネスが可能となる。

## 4. 今後の展開

本技術が実証されることで、工場の廃棄コスト低減、市場回収品の処分費用低減が可能であることが示され、当社の製品コストや管理費の低減に繋がる。また、市場の使用済太陽電池モジュールの廃棄取扱いに対するリサイクルへの取組は製造メーカーとしての社会的責任であり、当社は重要な課題と認識している。

更に、FIT制度下で国民負担の元普及した太陽光発電所を、FIT終了後も継続・拡大し、持続可能な循環社会を作り上げることに、本技術を通じて推進していきたい。

## 5. 論文、特許、学会発表等

### 5.1 研究開発・講演(口頭発表も含む)

| 発表日        | 発表媒体                   | 発表タイトル              | 発表者  |
|------------|------------------------|---------------------|------|
| 2020年2月20日 | 宮崎県太陽電池・半導体関連産業振興会臨時総会 | 合わせガラス型太陽電池のリサイクル技術 | 原田秀樹 |

### 5.2 特許：

出願番号 2019-201487 積層構造体の分離方法

出願番号 2020-103303 光電変換モジュールの解体方法及び解体具

### 5.3 その他(新聞・雑誌等への掲載)

| 掲載日        | 掲載媒体   | 記事タイトル                   |
|------------|--------|--------------------------|
| 2020年2月26日 | 日経産業新聞 | 太陽光、廃パネル有効活用出光系、リサイクル設備  |
| 2020年5月25日 | 電気新聞   | 太陽光パネルリサイクル設備設置へ 国富工場で検証 |



(ii) 太陽電池モジュールの触媒使用によるリサイクル技術開発[2019 年度]

株式会社トクヤマ

1. 成果詳細

1.1 実モジュールにおいて、ガラスと EVA で封止されたセルの分離技術開発

1.1.1 研究概要

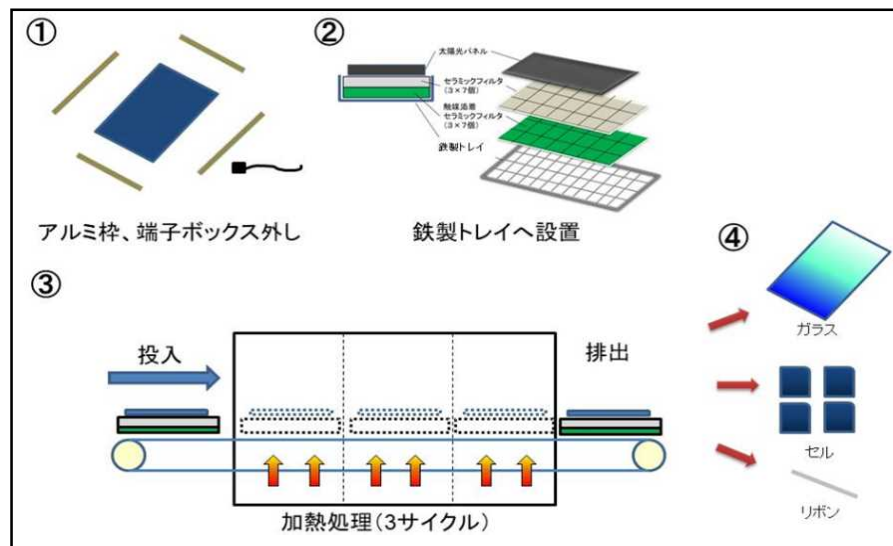


図1 太陽光モジュール処理フロー

今回開発した処理プロセスの全体フローを図1に示す。

- ①太陽電池モジュールからアルミ枠と端子ボックスを除去する。
- ②鉄製トレイの上に、触媒添着セラミックフィルター（CF）、CF、太陽電池モジュール、を順に積載する。
- ③熱分解炉へ投入→加熱→燃焼→排出の工程にて熱分解を行う。
- ④排出された太陽電池モジュールから、ガラスと、セル及びリボンを回収する。

北海道空知郡南幌町内南幌工業団地に図2に示す実証実験棟を建設し、図3、図4に示す太陽電池パネル熱分解炉及びアフターバーナーを導入した。



図2 南幌工業団地内研究棟写真



図3 太陽電池パネル熱分解炉写真



図4 アフターバーナー写真

鉄製トレイを製作し、鉄製トレイの上に触媒添着セラミックフィルター（CF）を積載（図5）し、さらにその上にCFを積載した（図6）。



図5 触媒添着セラミックフィルター



図6 セラミックフィルター

### 1.1.2 実モジュール実験

A社から1枚ガラスのモジュール（1632×992×40mm品）を購入して、実モジュールサイズの熱分解実験を行った。

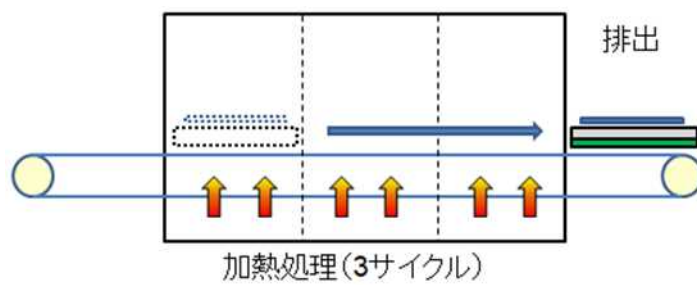


図7 実モジュール1枚投入実験

図7に示すように、実モジュールを熱分解炉内へ投入し、最適な熱分解炉滞在時間を見出し、ガラスとセルは「すす」の付着がなく、きれいに分離できた（図8）。



図8 熱分解後のガラス写真

さらに図9に示すように、3枚連続で熱分解炉内へ投入実験を行った。その結果、投入した3枚ともに「すす」がないきれいなガラスとセルを回収することができた。このように、連続的に太陽電池モジュールを投入してもきれいにガラスとセルが回収することができた。

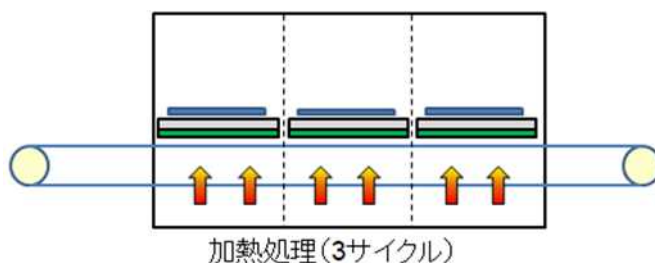


図9 実モジュール3枚投入実験

## 1.2 セラミックフィルターへの触媒の最適担持技術の開発

### 1.2.1 小型電気炉でのセラミックフィルターのppi最適化実験

市販されているセラミックフィルター（CF）には孔のサイズが異なる3種類（図10）が市販されており、孔の大きさが熱分解に及ぼす影響を検討した。aのCFを2枚用いて、触媒をコーティングしたCFの上に未添着のCFを載せて、太陽電池パネルを載せた（図11）。b、cも同様に作成した。この3種類を小型電気炉に投入後、熱分解を行い、CFと太陽光パネルを小型電気炉から取り出した。

その結果、いずれのCFを使用した場合でも、図12に示すような「すす」の付着がないきれいなガラスが得られた。一方、図13に示すように、CFの目が粗くなると、電気炉内の炉底部に「すす」が多く付着する現象が見られた。この現象は、熔融樹脂がCFを通過して炉底部に落下して「すす」が発生したと考えられる。したがって、孔の小さい方が、炉底部への熔融樹脂の落下が少なくなり、「すす」の発生が抑えられると考えられる。

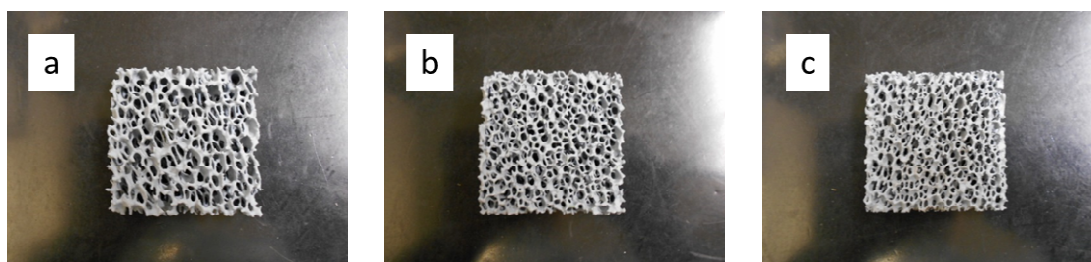


図10 孔のサイズが異なるセラミックフィルタ

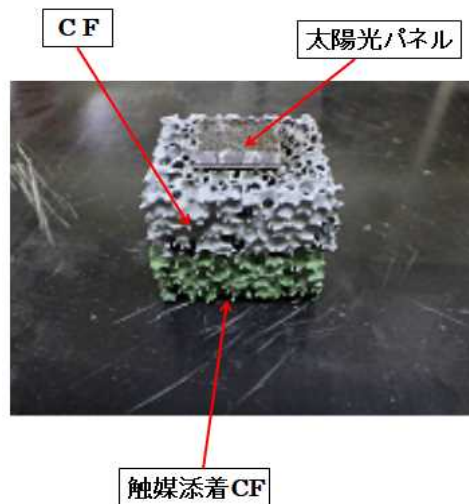


図 11 小型電気炉に投入するセラミックフィルタと太陽光パネル

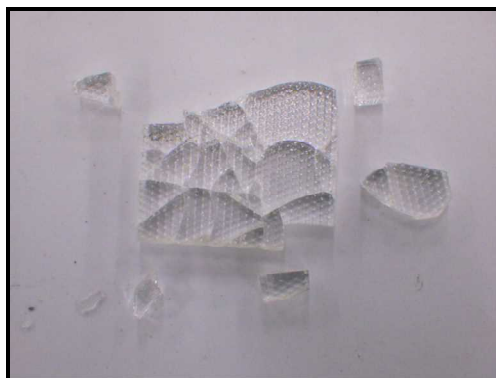


図 12 熱分解後のガラス

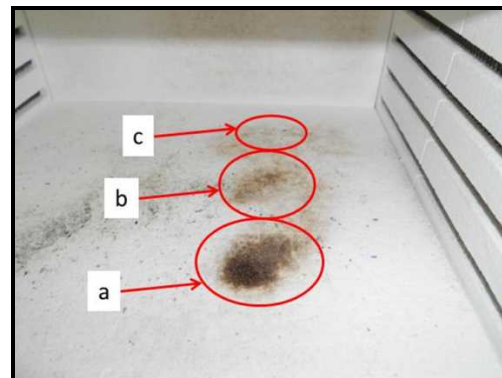


図 13 熱分解後の電気炉内

### 1.2.2 熱分解処理炉でのCFのppi最適化実験

小型電気炉と同様に、a、b、cの3種類のCFを用いて、実モジュールサイズの太陽電池を熱分解炉に投入してテストを実施した。これらの試験結果を表1に示す。熱分解炉滞在時間(t) = 21分の場合は、いずれも「すす」の発生がなく、きれいなガラスとセルが回収できた。一方、t = 19.5分の場合、aを除くと、ガラスへの「すす」の残留がみられた。また、t = 18分の場合は、いずれもガラスに「すす」が残った。

小型電気炉においては、cの方が炉底部への溶融樹脂の落下が少なくなり、「すす」の発生が抑えられたが、熱分解炉では、循環したエアーがCFの下から入り、溶融樹脂が炉底部への落下を防止しているものと考えられる。また、孔が小さくなると、溶融樹脂の酸化反応に時間がかかるため、「すす」がなくなるまでの時間が長くなったと考えられる。

表 1 セラミックフィルタ (CF) の種類と熱分解炉滞在時間

|    |   | 熱分解炉滞在時間 (t) |       |     |
|----|---|--------------|-------|-----|
|    |   | 18分          | 19.5分 | 21分 |
| CF | a | ×            | ○     | ○   |
|    | b | ×            | ×     | ○   |
|    | c | ×            | ×     | ○   |

### 1.3 マテリアルリサイクルの具体的手段及び資源回収率の評価

B 社から購入した小型の1枚ガラスのモジュール（244×216mm 品）を実モジュールと同じように熱分解炉でテストを行った。

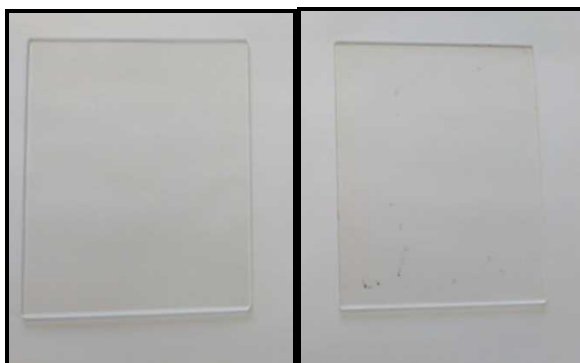


図 14 太陽電池製造用ガラス（左）と熱分解後のガラス

図 14 に示すように得られた熱分解後のガラスは、「すす」の付着がなく、外見上は何も変化していないようであった。この2種類のガラス10枚を用いて、強化ガラスの表面圧縮応力及び内部引張応力試験を行った。表 2 に示すとおり熱分解後は、強化ガラスのとしての物性が大きく低下しており、普通のガラスへ変化しているものと思われる。したがって、熱分解後の回収されたガラスをそのまま太陽光パネル製造用の強化ガラスへの水平リサイクルはできなかった。

表 2 ガラスの強度試験結果 (n=10)

|              | 製造用ガラス | 熱分解後 |
|--------------|--------|------|
| 表面圧縮応力 (MPa) | 114.5  | 29.2 |
| 内部引張応力 (MPa) | 65.1   | 13.4 |

15.98kg の実モジュールサイズの太陽電池モジュールからアルミ枠と端子ボックスを外した。アルミ枠、端子ボックスの重量は、それぞれ2.28kg、0.30kg であった。アルミ枠と端子ボックスを外した太陽電池モジュールの熱分解を行い、回収されたガラスとセルの重量は、それぞれ11.06kg、0.82kg であった。地元のスクラップ業者からアルミ枠、端子ボックス及びセルは、有価で購入できるという評価を頂いた。ガラスについては、板ガラスメーカーで回収不可能な有害物が含まれていなければ有価扱いになる。今後は板ガラスメーカーとも情報交換を行い、有価扱いになるための詳細な品質基準を調査していく。回収されたガラスを有価として販売できた場合の資源回収率は、表 3 のように90%となった。

表 3 資源回収率

| 太陽電池     | 熱分解後     | 資源回収率 |
|----------|----------|-------|
| 15.98 kg | 14.46 kg | 90 %  |

#### 1.4 試作プラントの構築案の作成

図 15 に示す試作プラントを計画している。「Al 枠除去装置」、鉄製トレイ及び CF を最初の位置へ戻す「リターン装置（保温槽）」、熱分解後のガラスを取り除く「ガラス取出装置」、セルとリボンを分離する「篩分け装置」を導入し、作業員 2 人で太陽電池モジュールを 1 時間当たり 15 枚できる処理体制を整えていく計画である。

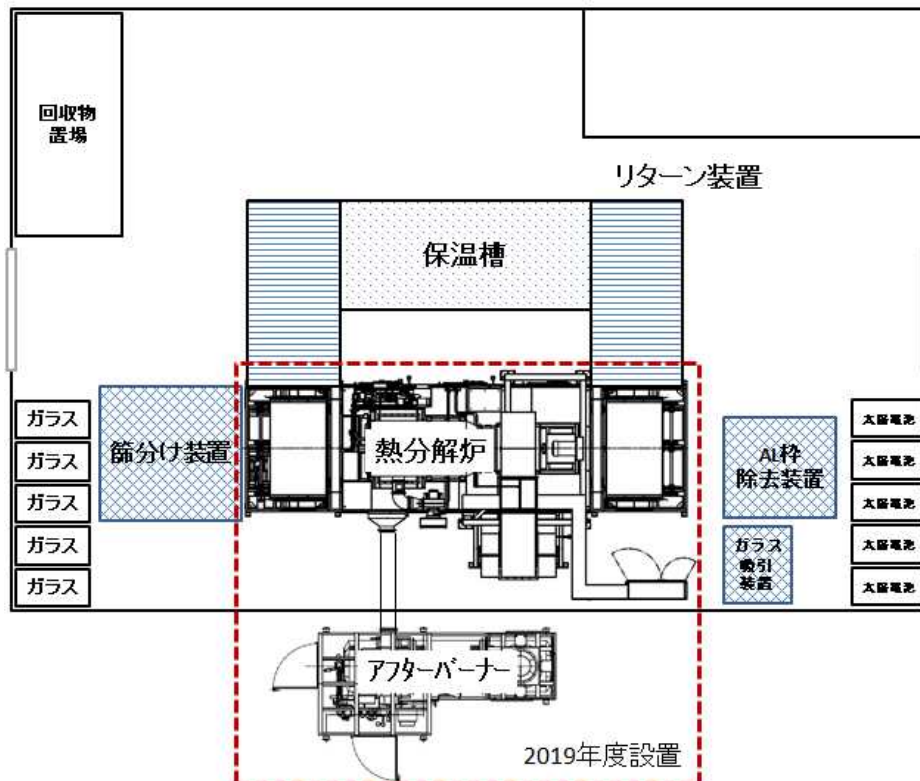


図 15 試作プラントの構築案

#### 1.5 分解処理コストの試算

熱分解炉とアフターバーナーのみしか設備投資できていないため、連続運転による熱回収効果等は検証できていない。そのため、試作プラントが完成し、2人体制で全工程が稼働できる条件で、1日24時間稼働、一ヶ月あたり25日稼働する条件で試算を行った。その結果を表 4 に示す。分解処理コストは、2,710円/Wという結果を得た。次年度以降にこれらは実証していく計画である。

表4 分解処理コスト まとめ

| 項目               | 明細                        | 現状試算       | 単位     | 算出式                   |
|------------------|---------------------------|------------|--------|-----------------------|
| 年間処理量            |                           | 108,000    | [枚/年]  | ①                     |
|                  |                           | 21,600,000 | [W/年]  | 200W=1枚 ①'            |
|                  |                           | 1,620,000  | [kg/年] | 15kg=1枚 ①''           |
| 処理費用             | 材料費*1                     | 3,240      | [千円/年] |                       |
|                  | 光熱水費*2                    | 21,170     | [千円/年] |                       |
|                  | 人件費*3                     | 49,100     | [千円/年] |                       |
|                  | 設備費*4                     | 18,460     | [千円/年] |                       |
|                  | 土地・建物費*5                  | 9,050      | [千円/年] |                       |
|                  | 最終処分費*6                   | 86         | [千円/年] |                       |
| 合計               | 合計                        | 101,106    | [千円/年] | ②                     |
| 分解処理コスト<br>(グロス) | 有価物売却益を<br>差引き前のグロ<br>ス単価 | 4.68       | [円/W]  | ②/①'                  |
|                  |                           | 62.4       | [円/kg] | ②/①''                 |
| 有価物売却益*7         |                           | 42,660     | [千円/年] | ③                     |
| 分解処理コスト<br>(ネット) | 有価物売却益を<br>差引き後のネッ<br>ト単価 | 2.71       | [円/W]  | ②-③/①'                |
|                  |                           | 36.1       | [円/kg] | ②-③/①''<br>※最終目標 3円/W |

\*1 材料費 : 薬品費など

\*2 光熱水費 : 電力費、水使用費など

\*3 人件費 : 作業員費など

\*4 設備費 : 設備償却費、保守費、交換部品費など

\*5 土地・賃借費 : 土地・建物の賃借料など

\*6 最終処分費 : 埋立処分費など

\*7 有価物売却益 : 回収されるアルミやガラス、銀など有価物の売却益

### 1.6 統括および結論

実モジュールサイズの太陽電池が投入できる熱処理炉を導入した。従来開発されている熱分解技術よりも、回収されたガラスへの「すす」の付着が少なく、実モジュールでもきれいに熱分解できることが分かった。また、3枚までの連続投入実験を行い、モジュールの燃焼熱が定性的であるが、有効利用できることが分かった。CFについては、より目の粗い方がモジュールの熱分解速度が速いことが分かった。

強化ガラスは熱分解中に500℃ぐらいまで上昇するため、強度が下がったガラスになっており、再利用しやすいことが分かった。元の太陽電池モジュールに対して、回収された有価販売可能なアルミ、セル、ガラスの重量から、資源回収率は90%であり、試算できたプロセスから算出された処理コストは2.71円/Wであった。このことから、マテリアル回収率80%以上と処理コスト3円/W以下確立することができる目途をつけることに成功した。

### 2. 成果の実用化見通し

本研究開発における技術は、封止材であるEVAを完全に除去することが可能であり、セルとガラスをきれいに分離することができるリサイクル方法である。研究開発段階では工場内設備を2人作業可能な自動化を行い、熱処理炉設備の耐久性を確認することで実用化の見通しを立てる。事業化には、産業廃棄物の中間処理業の許可及び処理施設の設置許可が必要である。処理施設の設備改造ごとに変更許可申請が必要のため、研究段階において改造の必要がないように技術を確立しておく必要がある。

### 3. 研究発表・講演、論文、文献、特許等の状況

2020年7月1日 1件出願予定





### ③研究開発項目（Ⅲ）持続可能な太陽光発電動向調査

#### （i）多様化太陽光発電システムの信頼性・安全性に関する動向調査[2019年度]

株式会社資源総合システム

##### 1. 成果詳細

近年導入が増加する水面、農地、急傾斜地への太陽光発電システムの設置は、これまで未利用だった場所を有効活用化するものと言え、これらを総称して土地活用型太陽光発電システムとし、国内外の動向を調査した。また最先端の太陽光発電システム技術開発動向、各国の普及施策、太陽光発電システムに関連する各種の実態について最新情報を収集した。

##### ①土地活用型太陽光発電システムの動向調査

水上設置は国内に 230MW 以上が導入され導入数では世界一である。ため池だけで 8GW の導入可能量があり、今後も増加が期待される。一方で台風による転覆事故の事例もあり信頼性・長期安定性に関し技術開発の必要性が露呈している。欧米では関連の技術開発が、特に欧州では海上設置の研究開発が盛んになっている。

営農型太陽光発電も日本で設置事例が先行し導入数では世界一である。今後さらに重要な市場となるが、営農と太陽光発電の両立を、信頼性を保ちつつ長期安定に維持するには、農業と太陽光発電の技術分野をまたいだ体系的な技術開発が重要である。海外では国が営農型太陽光発電の研究開発を主導している例もあり技術向上が加速している。

急傾斜地への設置は、山林を造成せずに杭打工法で設置する事例が増えているが、斜面の崩落事故や、景観悪化・森林伐採・環境悪化への反対運動が増加しており、条例で規制する自治体も増えている。技術課題よりも社会的課題が大きく、今後は減少すると推測される。

##### ②最先端の太陽光発電システム技術開発動向調査

太陽光発電システムに関する国内外における最新技術開発の動向を国際会議参加や文献によって調査した。主に、システム機器、システム技術、O&M、信頼性・安全性・持続性の分野における最新のトピックスをまとめた。

##### ③海外諸国の研究開発プログラムに関する動向調査

米国、欧州連合、ドイツ、フランス、スイス、オーストラリア、中国、台湾、韓国における太陽光発電に関する研究開発プログラムについてまとめた。

##### ④太陽光発電システム導入における各国の普及施策調査

太陽光発電の主要市場である、ドイツ、フランス、米国、中国、インドにおける各国の普及施策について調査した。

##### ⑤太陽光発電システムに関する実態調査

太陽光発電システムに関連し、道路応用の動向、発電・EPC の実績多数事業者、太陽電池・システムの価格推移、太陽電池デバイス関連の国別供給状況、太陽電池製造装置・システムの状況、太陽電池モジュール保証状況、自立運転パワーコンディショナの製品動向、国内 EPC の実態、国内外の市場実態等について調査した。

## 1.1 土地活用型太陽光発電システムの動向調査

### 1.1.1 水上設置型

水上設置型太陽光発電とは、水面に太陽電池モジュール等を並べて設置した太陽光発電所である。フロートと呼ばれる浮体構造物に太陽電池モジュール（太陽電池パネル）を取り付け、それらを複数連結させることによって太陽電池アレイを水面に形成する。

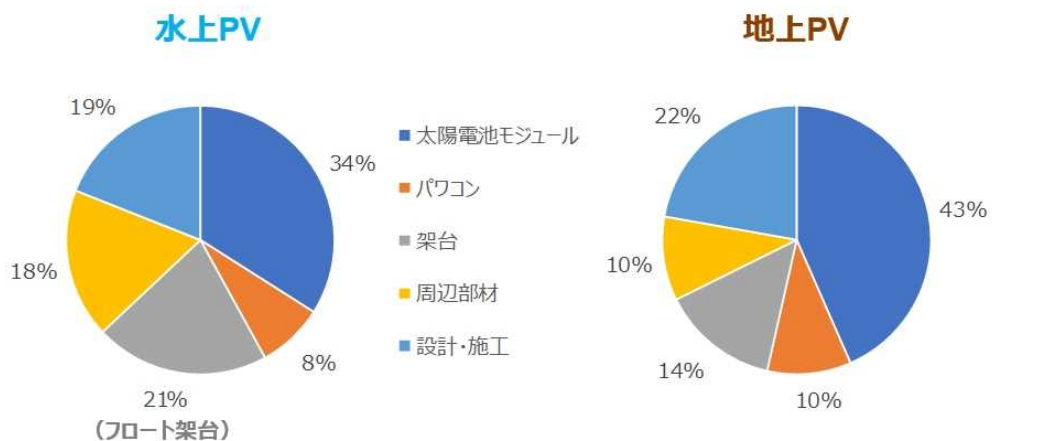
日本国内での導入については2013年頃からメガワットクラスの発電所の設置が始まり、2019年時点で230MWが設置されていると推測される。また2022年に500MWを超えると推測される。これらの設置はため池への設置が中心であるが、全国に17万箇所あるとされるため池だけを対象とした場合でも、導入ポテンシャルは8GW以上が見込まれる。また、海外においては海上（洋上）への設置についても、研究開発や実証試験が進められており、日本においても将来的に海上への設置が可能とすることができれば数十GWの導入ポテンシャルになると推測される。

日本国内への水上太陽光発電用フロート架台のサプライヤは十数社があるが実績では5社程度による寡占状態である。また低価格や海外での実績をアピールポイントとした中国メーカーも参入しようとしている。

水上設置においても基本的なシステム構成（電力関連）は地上設置と同様である。日本国内では、接続箱はフロート上に、パワーコンディショナ（PCS）は集中型を陸上に設置する事例が多い（分散型PCSをフロート上に設置する例もあるが、メンテナンス性に課題があると言われている）。フロート上の太陽電池アレイもしくは接続箱から陸上への配線は、水密をとった配線管をフロートで支持して水面に浮かべることが多い。太陽電池モジュールを載せたフロートの集合体は、アイランド（island）やポンツーン（pontoons）と呼ばれ、係留ロープ（Mooring lines）によって、水底等に固定（アンカリング）される。設計・施工において水上光発電特有で重要となるのは、水上における高湿度・水分への配慮（機器・部材の選定）、フロートの選定・施工、係留・アンカリングの設計・施工（水深・水位変化・アンカリング先の地質、他）が挙げられる。

水上設置の導入に係るコスト分析の結果を図III-1に示す。フロート架台にかかるコストは全体の21%である。また地上設置と比べて水上光発電は割高だと言われるが、土地取得・土木工事・土地造成は地上設置よりも安く、全体では15%程度のコスト高である。しかし、このコスト増加分は、水上における冷却効果等によって発電量が増えることが期待されるため、LCOEでは水上光発電の方が有利となる。また、水上光発電の建設にかかるコストは年率5～8%で低下している。

水上PVの初期投資コストは年々低下傾向にあり、2018年では1USD/Wレベルとなり、地上設置と大きく変わらないレベルになっている。



※モジュール価格（0.25USD/Wp）とPCS価格は同一とした場合

（2018年10月現在）

図1 水上太陽光発電と地上設置のコスト比較

水上太陽光発電の導入量の増加に伴い事故事例も増加している。日本国内で報告されている事故事例は台風によるものがほとんどで、強風によってフロート架台（太陽電池モジュール）の転覆や飛散が発生している。また 2019 年 9 月には日本で最大の水上太陽光発電システムである千葉・山倉水上メガソーラー発電所（13.7MW）において大規模な火災が発生した。

| 発電所名/水域名               | 場所     | 稼働時期     | 開発/発電事業者      | EPC             | 出力                   | モジュール      | フロート    |
|------------------------|--------|----------|---------------|-----------------|----------------------|------------|---------|
| 千葉・山倉水上メガソーラー発電所（山倉ダム） | 千葉県市原市 | 2018/3/5 | 京セラCLソーラー合同会社 | 京セラソーラーコーポレーション | 13.7MWdc<br>11.5MWac | 京セラ（多結晶Si） | シエル・テール |

- ・ 2019/9/8（台風15号）（※千葉市で最大瞬間風速57.5m/s。千葉県南部で最大風速38m/s以上。千葉県南部の市原市等で大規模・長期の停電が発生した）
- ・ 強風による応力でフロート接合部が破断してアイランドが移動。フロートや太陽電池モジュールが重なりあった部分で、モジュール破損やケーブル断線が発生。太陽光を受けて太陽電池モジュールから電力が発生し、破損または断線した部分で直流アークが発生し、樹脂部品から発火（9日13時過ぎ）したのではないかと推定。（※9/27時点でのRTS推定）

動画 > 9月8日新報

出典：朝日新聞DIGITAL: 風速を上げて燃える太陽光(1) 2019年9月9日午後2時19分、千葉県市原市山倉、朝日新聞社へリから、道和田撮影

図2 水上太陽光発電の火災事故の例（千葉・山倉メガソーラー発電所）

この事故に関しては数ヶ月にわたる事故調査が実施され、事故および事故原因、および再発防止策等に関する調査結果は、経済産業省 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ においても詳細に報告された。

一方、海外においても水上太陽光発電の導入量は増加しており、日本、韓国、米国にはじまり、中国、オーストラリア、ブラジル、カナダ、フランス、インドなど、多くの国々に広がっている。中国では出力 100MW を超える水上設置型太陽光発電システムが複数設置され、最も大きいものは出力 150MW となり、導入量では世界一となっている。世界には 400,000km<sup>2</sup> を超える人工池があることから、単純に面積で考えると水上設置型太陽光発電システムの理論的なポテンシャルは TW 規模となる。最も保守的に見積もられたものであっても、世界での導入ポテンシャルは 400GW を超えると試算されている。

また特に欧州では、水上太陽光発電を海上に設置することについての研究開発、実証試験、試験設置が積極的に進められており、モルディブやフィリピンなどでの導入事例がでてきている。

水上太陽光発電における技術課題としては、アンカリング（アンカーおよび係留）、電気安全・火災、フロート架台（耐風性能、水面での安定性、長期信頼性等）、太陽電池モジュール（水面環境における長期信頼性およびその設計・確認方法）、環境（水質・水生生物への影響）、O&M（水面での作業、水中部分のメンテナンス作業等）、海上・洋上設置、発電特性（水冷効果、フロート架台の揺動によるミスマッチロス等）が挙げられ、各課題に対する技術開発の必要性が高いのと同時に、事故防止など急を要するものもある。

### 1.1.2 営農型太陽光発電

営農型太陽光発電（ソーラーシェアリング）とは、「農地に支柱を立てて上部空間に太陽光発電設備を設置し、太陽光を農業生産と発電とで共有する取組」、そして「作物の販売収入に加え、売電による継続的な収入や発電電力の自家利用等による農業経営の更なる改善が期待できる取組手法」と説明される。日本においては、農地の他の用途への転用（農転）は食料自給率維持の目的から、法律によって厳しく制限されてきた。しかし、2013 年に 24 農振第 2657 号「支柱を立てて営農を継続する太

陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて」が発出され、営農型太陽光発電の架台支柱部分の農地を一時転用とする許可制（許可期間 3 年）が実施され、さらに 2018 年に通知改正により、条件付きで一時転用許可期間が 10 年に延長された。これらがきっかけとなり、営農型太陽光発電の普及が本格化した。

営農型太陽光発電の導入量については、営農型太陽光発電設備を設置するための農地転用許可実績から推測することができる。農地転用実績については 2014 年頃から急増しており、4 年間で 16 倍に増加している。このことから推測すると、営農型太陽光発電の導入量は 2019 年時点で 405MW 程度あると考えられる。

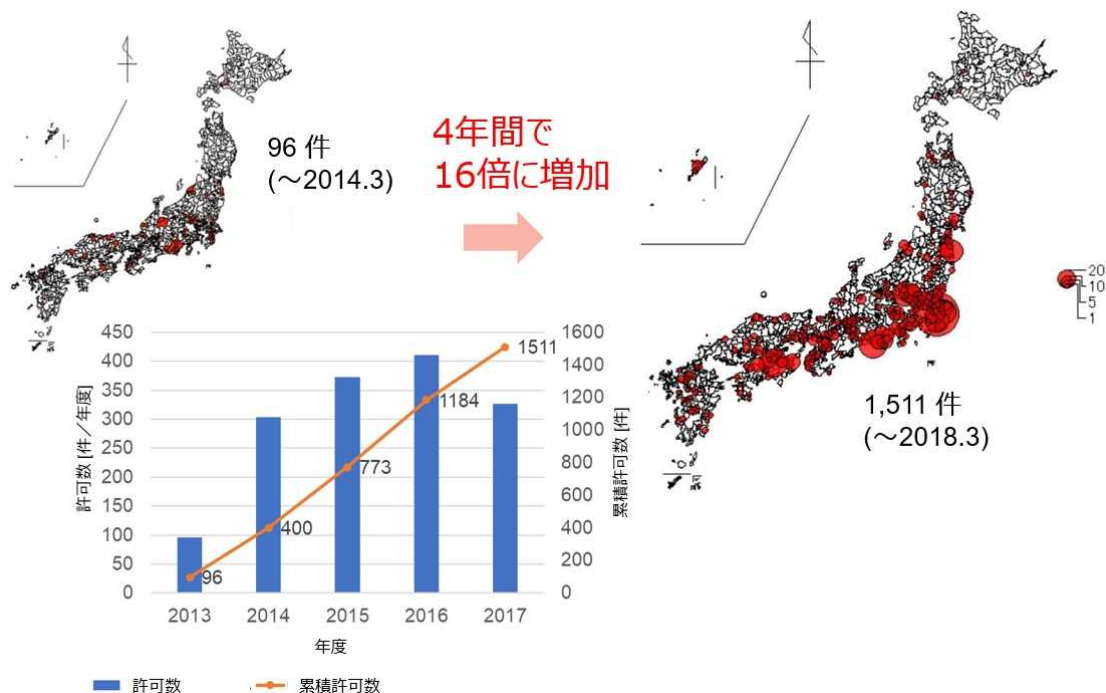


図 3 営農型太陽光発電の増加状況

国内への導入ポテンシャルについては、仮に、「現に耕作に供されておらず、耕作の放棄により荒廃し、通常の農作業では作物の栽培が客観的に不可能となっている農地」として分類されている「荒廃農地」のすべてに太陽光発電設備を導入した場合、年間発電量は 1347 億 kWh になると試算している。これは太陽光発電設備の発電容量に換算すると 100GW 以上になる計算である。

営農型太陽光発電の関連事業者については、先駆的に営農型太陽光発電（ソーラーシェアリング）に取り組む関係者たちによって複数の協会が立ち上げられ、普及に向けて農業関係者への情報提供、普及啓発、太陽光発電設備の導入支援や政府への政策提言が行われている。これらの協会は、太陽光発電に関する知識や経験を農業関係者に共有することで、農業と太陽光発電事業の両立を目指している。

営農型太陽光発電（ソーラーシェアリング）は、農業従事者によって小規模なものから始まり、広がってきている。その一方で、10MW を超えるような大規模なものも設置されるようになっており、今後も増加するとみられる。

営農型太陽光発電に特有の技術としては、農地の上空に太陽電池モジュールを配置させるための架台、太陽電池モジュールによる農地への遮光率、農地での作物の収穫量とのバランス、農作業を鑑みた O&M が挙げられる。また技術開発課題としては、架台の構造設計（耐風設計、営農とのバランス）、電気安全（設備の近傍で営農作業がされる）、O&M（土埃によるソイリング、高所作業等）、太陽電池モジュール（適切なサイズ、軽量化、両面発電）、パワーコンディショナ（防塵性・ノイズ・漏電防

止)、営農面の効率化があるが、これらは個々の事業者等による開発・発展の途上であるが、より体系的で、効率的・効果的な技術開発が必要な状況にある。

太陽光発電の農地への応用については、海外でも研究開発・実証試験・実用化がされている。その概要を表Ⅲ-1に示す。

表 1 営農型太陽光発電の歴史

| 年         | 国    | 出来事   |
|-----------|------|---|
| 1981      | ドイツ  | FhG-ISE の創設者である A. Goetzberger 教授が農地での太陽光発電について発案                                     |
| 2003-2005 | 日本   | CHO 技術研究所・長島彬氏が 2003 年にソーラーシェアリングのコンセプトを発案し、2004 年に特許出願、2005 年に特許公開（特許公開 2005-277038） |
| 2010      | 日本   | 長島氏がソーラーシェアリング実証試験を開始（作付け試験）  |
| 2010      | フランス | Montpellier 大が 50kW の試験設備を設置  |
| 2011      | イタリア | R. E. M. Spa が 3MW のシステムを 3 機設置   |
| 2013      | 日本   | 農地法における農地転用許可制度上の取り扱いを明確化し、国によるサポートが開始された   |
| 2015      | 中国   | 大型の農業型発電所の導入（9.8MW、Changshu）  |
| 2016      | ドイツ  | FhG-ISE が Heggelbach に 194kW の実証試験設備を設置   |
| 2017      | フランス | 農業型太陽光発電のサポートスキーム   |
| 2017      | エジプト | SEKEM 社と Almaden 社が、カイロに 90kW の設備を導入  |
| 2018      | 日本   | 農地転用許可の許可期間が 3 年から 10 年に延長（規制緩和）  |
| 2019      | 世界   | 世界の営農型（農業応用型）の導入容量が 2GW を超えた  |

### 1.1.3 急傾斜地設置型

日本国内では、太陽光発電所を急傾斜地へ設置する事例が増加していると言われている。背景として、2012 年に始まった固定価格買取制度（FIT 制度）によって事業参入が急増し、日本全国各地での太陽光発電所の開発・設置が進んできた結果、いわゆる「野立て」で売電事業を目的とした太陽光発電所を設置するために適した土地が少なくなってきたからであると考えられる。また太陽光発電技術の進展と、太陽光発電市場および製造の世界的な急拡大により、太陽光発電の設置にかかるコスト（主に設備にかかる費用）は急速に、かつ大きく低減してきている。特に、太陽光発電設備の主構成要素である太陽電池モジュールやパワーコンディショナの市場価格が低下したことで、それらの調達コストが大きく低減されていることにより、太陽光発電所を建設する際の土地造成といった設置場所の整備費用に対して、費用を捻出しやすくなってきたという事情がある。そのため、数年前であれば森林伐採費用や、土地造成費用、架台基礎工等がかさむために、建設コストが高くなり忌避されていた山地や丘陵地においても、太陽光発電所を建設しようとする動きが活発になってきている。

しかしながら、傾斜地への太陽光発電設備の設置が増加するに伴って、設備を設置した土地や、架台基礎が崩落するという事故が、件数・事故率ともに増加の傾向があると、経済産業省の新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ等においても報告され、問題視されている。また、人の居住地域に近い里山などの傾斜面に太陽光発電設備が設置されたケースや、山林地域に大規模太陽光発電設備（大規模メガソーラー）を設置したケースにおいては、景観の観点や自然保護の観点から好ましくない、不適切であるといった批判も SNS で発信されたり、マスコミで取り上げられたりする状況となっている。

急傾斜地設置に太陽光発電を設置するに当たっては、まず土木技術面が重要となる。設置場所の土

地の安定化・維持管理、急傾斜地に対応可能な架台や架台基礎・基礎工法、基礎工事に必要となる特殊な重機の選定や実施が特に重要である。また太陽光発電の設計については、3D 設計ソフトウェアの技術が進歩しており、それを利用することにより、短時間に太陽電池アレイの最適設置ができるようになってきている。

#### 1.1 最先端の太陽光発電システム技術開発動向調査

多様化する太陽光発電の信頼性および安全性の確保のためには、多様な対応が必要となる。したがって、太陽光発電システムの信頼性や安全性の確保などの技術動向について、最先端の技術開発動向を幅広く情報収集を行った。

2019 年 9 月の EU-PVSEC (マルセイユ) のオープニングでは、現在、太陽光発電が主流電源になっていく「岐路(Cross road)」にあるとし、脱炭素に大きく貢献する電源として、先進的なセル・モジュール構造、先進的製造、系統との調和により、場所と時間に拠らず利用が可能な「PV Everywhere」を達成することが重要であるというメッセージが示された。また、2019 年 7 月の IEEE-PVSC (シカゴ) の特別セッションでは、研究開発による変換効率向上が均等化発電コスト (LCOE) 低減への貢献だけでなく、面積占有緩和で応用が広がる (建材一体型太陽電池 (BIPV)、無人飛行移動体 (UAV)、車載、携帯型など)、周辺装置 (BOS) の自由度が広がる (人件費などのネック解消、特殊用途も許容できる、など)、波及効果が大きいことが確認された。

このように世界では、主要電源となりつつある太陽光発電の今後より一層の発展を目指し、研究開発が推進されている。

太陽電池デバイスの中心は、依然として、結晶シリコン系であり、将来に向けた高効率化 (タンデムも含む) や、量産コスト低減のための研究が行われている。システム関連の研究については、応用展開や系統へのインテグレーションといった従来からある分野に加え、蓄電池を含めた EMS や発電量予測の分野の発表も増えてきている。

水上設置や農業への応用については欧州から数件の発表があり、新たな設置場所として認知されはじめ、研究分野としても注目されつつあるように感じられた。一方、急傾斜地に関しては、特に関連するものは見られなかった。逆に言えば、水上、営農型、急傾斜地設置については、日本で高度な技術を先行して開発できれば、それらの技術を輸出できる可能性がある分野と考えられる。

#### 1.2 海外諸国の研究開発プログラムに関する動向調査

##### 1.3.1 米国における太陽光発電システムに関する研究開発動向

米国においては、米国エネルギー省 (DOE) が省エネルギー・再生可能エネルギー局 (EERE) の下で「太陽エネルギー技術プログラム (SETP)」に基づき国立研究所、大学、民間企業と提携し、研究開発 (R&D) 活動及び市場転換活動に資金を提供することで太陽光発電の技術開発から普及までを推進している。このほかに米国防衛省 (DoD)、カリフォルニア州やニューヨーク州などでも太陽光発電に関する研究開発は実施されている。

米国では、2011 年 2 月に太陽光発電に関する大型研究開発・普及プログラム、SunShot 計画がオバマ前大統領政権の下で開始された。同計画は、太陽エネルギー・システム (太陽光発電及び集光型太陽熱発電 (CPV)) が他の形態のエネルギーに対して競争力を獲得するためのイノベーションの促進に重点を置いていた。目的を達成するため、エネルギー省の太陽エネルギー技術局 (SETO)、科学局、エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E) を含むエネルギー省の複数の部門が共同で活動を開始した。SunShot 計画の当初目標は、①電力事業用の太陽エネルギーによる均等化発電原価 (LCOE) を 2020 年までに補助金なしで約 6 セント/kWh に引き下げること、②分散型太陽光発電の発電コストを電力小売価格未満にすることであった。DOE は、国立研究機関、大学及び民間企業による取り組みを支援した。2017 年に、DOE は 2020 年までの発電事業用太陽光発電システムのコスト目標が達成したことを発表し、新たな目標を策定した。新たな均等化発電原価 (LCOE) の目標では、2030 年までに発電コスト電力事業用太陽光発電システム：3 セント/kWh、業務用太陽光発電システム：4 セント/kWh、住宅用太陽光発

電システム：5 セント/kWh（米国の平均的気候の地域で補助金なしの場合）を目指している。日射量の多い地域では、電力事業用システムの目標を 2 セント/kWh と設定した。系統連系の課題と市場障壁に対処することで、より多くの設置を可能とすることが目標の実現手段として認識されている。SunShot 計画におけるこの目標は、SETO の目標として継承されている。

SETO は、太陽光発電関連の重点分野として、①太陽光発電の研究及び開発、②集光型太陽熱発電（CSP）、③システム・インテグレーション、④周辺機器（BOS）及びソフトコストの低減、⑤製造競争力の刷新に取り組んでいる。製造競争力の刷新の分野では、トランプ政権の意向を反映して、米国での製造の復興が強調されている。システム・インテグレーション分野においては、①計画と運用、②ソーラー・プラス・エックス（solar plus X）、③パワーエレクトロニクス、④センシングとコミュニケーション、及び⑤規格及び標準化に重点を置いている。

### 1.3.2 米国の太陽光発電システムに関連する研究プロジェクト

米国エネルギー省（DOE）・太陽エネルギー技術局（SETO）は、システム・インテグレーション分野の研究開発において、競争的資金支援によりプロジェクトを公募して、研究開発及び実証プログラムを実施している。2019 年 3 月に SETO は、2019 年度の太陽光発電技術に対する公的財政支援プログラムを発表した。同公募でのシステムの関連の対象分野は、次のとおりである。

- ・太陽光発電の研究開発（商業化技術と太陽光発電電力価格の低減のための新規材料の探求に対する複数年にまたがる共同研究、小規模な革新的研究など、12～18 件、2600 万ドル）
- ・BOS・ソフトコストの削減（規制対策や資金調達のためのコスト負担の軽減、サイバーセキュリティ対策など、15～21 件、1700 万ドル）
- ・製造競争力の刷新（太陽光発電電力コストの削減や早期商業化など、10～12 件、1000 万ドル）
- ・先進的システム・インテグレーション技術（国内電力網への太陽光発電の連系の容易化など、10～15 件、4400 万ドル）

対象となるプロジェクトは、検証期間中の経費の最低 20%、実証を伴う場合には最低 50%を負担する必要がある。2019 年 11 月に DOE は、選定プロジェクトを発表した。

システムの研究開発に係るプロジェクトでは、太陽光発電所の新規設計及び畜産業での太陽光発電に関するプロジェクトをそれぞれ 1 件ずつ採用した。システム関連ソフトウェア開発では、3 件のプロジェクトを採用した。系統連系や電力システムのシミュレーションを可能とするツール類が開発される。製造競争力の刷新の分野においてはインバータをはじめとしたパワーエレクトロニクス向けの基盤や、発電所のコスト削減のためのフィールドでの組み立てに関する研究開発プロジェクトが採択されている。系統対策の分野においては、系統保護や系統の安定化のために 4 件のプロジェクトが採用された。需要家側での系統サービスの分野では、分散型電源を利用したグリッドサービスやストレージの最適化に関するプロジェクトが選定された。高度な太陽光発電の制御とサイバーセキュリティ分野は 8 件のプロジェクトが採択され、今回の選定プロジェクトでは分野別件数では最多である。この分野においては様々なレベルでのセキュリティ対策にパワーエレクトロニクスメーカーや電力会社、大学などが取り組む。リモートでの監視だけでなく、変動電源の系統とのインタラクティブな運用が今後必要となり、デジタル化やビッグデータを活用するためには、セキュリティ対策に早急に取り組む必要が生じていることが背景にある。

ソフトコストの低減も SETO の重要課題であり、今回の公募ではソフトコスト低減に関するプロジェクトも各種採択された。主に規制緩和、太陽光発電の共同利用や資金調達に関するものである。

### 1.3.3 欧州連合（EU）による研究開発の取り組み

欧州連合（EU）は、より安全で、手頃な価格でかつ持続可能なものにするための戦略を策定している。この戦略により国境を越えた加盟国間でのエネルギーの流通が容易になり、EU 各国でのエネルギー供給の確保が改善されている。今後、新技術やインフラの刷新により電力購入の費用が減少し、企

業による輸出が増加し成長が促進されると、新たな雇用や技能が創出されることも期待される。低炭素で持続可能な、環境に優しい経済へとつながり、欧州は再生可能エネルギー製造、クリーンエネルギー技術と、地球温暖化対策を主導していくことが可能となる。「欧州エネルギー連合」は、以下の5つの分野を重点としている。

- ①安全保障、結束及び信頼、すなわち、欧州のエネルギー源の多様化と、EU 諸国間での結束と協力を通じたエネルギー安全保障の確保
- ②欧州内で完全統合されたエネルギー市場、すなわち、適切なインフラ利用により技術や規制の障壁の無い域内でのエネルギーの自由な流通
- ③エネルギー効率、すなわち、エネルギー効率の改善によるエネルギー輸入への依存の低下、排出量の削減と雇用と成長の促進
- ④経済の脱炭素化
- ⑤研究、革新と競争力の強化、すなわち、低炭素及びクリーンエネルギー技術のブレイクスルーを支援し、エネルギー転換と競争力化のための研究と革新を優先すること

欧州議会は2018年11月13日、再生可能エネルギー及びエネルギー効率向上等に関する一連の施策について投票し、2030年までにEU域内における再生可能エネルギー比率32%（対最終総消費量）という拘束力のある目標と、同年までにエネルギー効率32.5%向上という指標的目標を承認した。エネルギー分野に関する総合政策「すべての欧州のためのクリーンエネルギー」（“Clean Energy for All European”）において策定されており、クリーンエネルギー・イノベーションを促進し、欧州の建物を刷新する施策も盛り込まれている。今後、EU加盟各国は具体的なエネルギー効率向上施策の策定が義務づけられ、国家目標、政策、施策を盛り込んだ10ヶ年の「統合的国家エネルギー・気候計画」を欧州委員会（EC）に提出することが義務付けられた。また、加盟各国は、国民に再生可能エネルギーによる発電電力の自家消費、蓄電、余剰電力の売電を認める体制の整備も義務づけられた。これにより、各国が2030年までの太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギーの導入計画を発表しており、欧州の太陽光発電市場の大きな回復が期待されている。

2019年6月20～21日の欧州首脳会議で、2050年温室効果ガス排出量をネットゼロとする目標案を検討した。EU加盟28ヶ国中、24ヶ国は賛成したものの、ポーランド、チェコ、ハンガリー及びエストニアの4ヶ国がエネルギー転換へのコスト増や化石燃料関連産業の雇用問題を理由に反対したため、目標設定は先送りされ、2020年初めに最終決定することになった。その後、2019年12月にECは、気候変動対策「欧州グリーンディール」を発表した。温室効果ガス排出量の削減目標を現状の2030年までに40%減から50～55%減、2050年までにネットゼロとする法案を2020年3月に提案する計画である。この対策において、化石燃料からのエネルギー転換を進める上で特に困難を抱えている地域に向け、350億ユーロ以上の基金を設立する計画も発表した。2019年12月にECの委員長に就任したフォンデアライエン委員長（前・ドイツ国防大臣）は、欧州グリーンディールを産業戦略と位置づけ、1000億ユーロ相当の投資を動員したいと表明している。

こうした再生可能エネルギーに関する政策目標の実現を目指して、ECは研究開発プログラムを遂行し、その枠組みにおいて太陽光発電の研究開発プログラムを遂行している。現在実施されているプログラムは、2014年に枠組みプログラムの後継プログラムとして開始された「Horizon 2020」である。同プログラムは、2014～2020年の間の研究及びイノベーションのための7ヶ年のEU枠組みプログラムであり、3つの戦略的目標、すなわち「卓越した科学（Excellent Science）」、「産業界のリーダーシップ（Industrial Leadership）」、「社会的課題（Societal Challenges）」を実現するべく遂行されている。Horizon 2020の期間は、公募期間であるために、2020年までにHorizon 2020の下での研究開発の公募が実施されていく計画である。

Horizon 2020では、効率的で信頼でき、かつコスト競争力のある太陽光発電システムの開発に対する欧州の支援を継続することが期待されている。同プログラムの活動計画によると、太陽光発電は主に「競争力のある低炭素エネルギー（LCE）」のカテゴリーで、研究開発と実証が推進されている。



Horizon 2020 においては、太陽光発電の研究テーマの公募が継続して実施されている。これまでに約 1 億 6560 万ユーロが太陽光発電関連の研究活動や実証活動に充当された。欧州においては、2030 年までの再生可能エネルギー導入目標に伴い、欧州での太陽電池製造が再考されるようになっている。2018 年には太陽電池製造に関する研究開発の公募が実施された。EC は、Horizon 2020 の後継プログラムとして、HORIZON EUROPE プログラムを開始する計画である。同プログラムにおいても継続して、太陽光発電の研究開発が支援されていく予定である。2019 年には同プログラムの方向性についての議論がまとめられた。

研究開発の指針については、「統合欧州戦略的エネルギー技術 (SET) 計画：欧州におけるエネルギー・システム転換の促進」が発効されている。SET 計画では、欧州技術・イノベーションプラットフォーム (ETIPs, European Technology and Innovation Platforms) を設立することが規定されており、太陽光発電分野のプラットフォーム「欧州太陽光発電技術・イノベーションプラットフォーム (ETIP PV)」が設立された。同プラットフォームでは、関連するすべてのステイクホルダーを参集して、加盟国、準加盟国、委員会の各部門との協調的議論を調整する役割を果たしている。この組織は、従来の欧州技術プラットフォーム (ETP) と欧州産業イニシアチブを統合した組織である。ETIP は、高性能太陽光発電技術及び、それらの欧州エネルギー・システムへの統合を推進することで同分野における EU の技術面のリーダーシップを再構築することと、太陽光発電の均等化発電原価を迅速かつ持続的に引き下げることを目標として、暫定ワーキンググループ (TWG) により、2017 年 10 月に SET 計画 太陽光発電の実施計画 (PV IP) を策定した。

### 1.3.3 ドイツにおける太陽光発電に関する研究開発動向

ドイツにおいては、エネルギー・システムの転換 (Energiewende) は、最重要課題のひとつである。ドイツ政府が 2010 年秋に発表した「エネルギー構想 2050 年 (Energy Concept 2050)」においては、地球温暖化ガス (GHG) を 2020 年までに 40%、2030 年までに 55%、2040 年までに 70%、2050 年までに 80~95% (1990 年比) 削減し、最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率を 2020 年までに 18%、2030 年までに 30%、2050 年までに 60%、電力生産のシェアは 2050 年までに 80%とする目標を掲げている。さらに、2011 年には原子力発電を 2022 年 12 月 31 日までに全廃することも決定した。原子力発電の廃止により中期的には石炭火力及び天然ガスを利用することになるが、連立政権は遅くとも 2038 年までに、石炭火力発電所も廃止する事で合意しており、再生可能エネルギーのさらなる導入が必要となっている。エネルギー転換においては、太陽光発電及び洋上風力を含む風力発電が中心的な役割を担うことは確実である。こうした政策を背景に、ドイツにおいては再生可能エネルギー源での電力供給が増加している。ドイツの代表的な研究機関であるフラウンホーファー太陽エネルギー研究所 (FhG ISE) によれば、2018 年の総発電量の約 40.4%が再生可能エネルギー (水力発電を含む) によって賄われた。このうち太陽光発電による電力のシェアは約 8.4%であった。

連邦政府は産官学との協議プロセスを経て、2018 年 9 月に「エネルギー転換のためのイノベーション」と題する第 7 次エネルギー研究プログラムを策定した。同プログラムでは、資金提供の重点課題を定めており、イノベーション活動に約 64 億ユーロが充当されている。研究はドイツ連邦経済技術省 (BMWi) が主導しており、エネルギー転換に資する技術のひとつとして太陽光発電の研究開発を継続している。プログラムの主要部分は、ユーリッヒ・プロジェクト管理機関 (PtJ) が統括しており、2019 年も継続して、太陽光発電関連の研究開発が実施されている。基礎的な研究は、教育・研究省 (BMBF) が遂行している。

変動電源の比率が拡大しているドイツにおいては、系統対策が大きな課題となっており、系統へのインテグレーションへの取り組みや蓄電池と太陽光発電を組み合わせたゼロ・エネルギー建物の取り組み、系統のサポートが可能なスマート・インバータをはじめとした BOS の開発を重点に、太陽光発電システムの技術開発及び実証が遂行されている。ドイツには大手インバータ製造企業が複数社存在するために、研究開発は研究機関、大学及び企業により実施されている。さらに、ドイツには国内外で大規模太陽光発電所の開発・EPC 及び O&M 事業を展開する企業が複数存在していることから、発電所

の信頼性や発電量予測、モニタリングに関する研究開発も活発化している。

#### 1.3.4 中国における太陽光発電システムに関する研究開発動向

中国国家発展改革委員会（NDRC）は、財政、金融、貿易などの制定を行う上での基礎となる「産業構造調整指導目録（2019年版）」を8年ぶりに改定、2019年11月に公布した。文書は第1類：奨励すべき産業、第2類：制限すべき産業、第3類：淘汰すべき産業から構成されている。

2016年にNDRCは、中・国家能源局（NEA）と連名で「エネルギー技術革命創新行動計画（2016-2030年）」を公布した。2030年までに、国内総生産（GDP）当たりのCO2排出量を2005年比60～65%削減し、一次エネルギー消費に占める非化石燃料の割合を2020年に15%、2030年までに20%にする目標で、太陽エネルギー利用技術の革新も重点項目として掲げられた。

短～中期的な目標としては、中国は2016～2020年までの「第13次5ヶ年計画」に基づき、太陽光発電システムの導入や研究に関する目標を定めている。太陽光発電システムの導入目標は2020年に105GWとされていたが、2017年に達成済みである。2019年末における太陽光発電システム累積導入量は速報値で204.68GWとなった。中国政府が補助金政策を縮小していることから、中国市場は2017年の53GWをピークに2年連続で縮小しており、2018年の導入量は約44GW、2019年の導入量は約30GWとなった。2021年からの第14次5ヶ年計画について、再生可能エネルギー技術は大量導入を奨励する段階から、各産業との連携や利用率の向上に注力する段階へ移行するとの位置づけの下に検討が進められている。NDRC・エネルギー研究所は、2019年12月に発表した「China Renewable Energy Outlook 2019」において、中国が世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して2℃未満に抑えるというパリ協定の目標を達成するためには、中国は2025年末に太陽光発電システムの累積導入量532GWを目標とすべきと提言している。

2018年4月に中国工業情報化部（MIIT）は、住宅都市農村建設部、中国交通運輸部、NEAなど政府の6部門の連名で「スマート太陽光発電産業行動計画（2018～2020年）」を公布した。中国政府が主導する、製造業の発展を目指す戦略「中国製造2025」の実現に向けた太陽光発電産業に関連する17項目について、2020年までの行動目標が掲げられている。

中国は、補助金を受けないグリッド・パリティ・プロジェクトや入札制度のほか、住宅用屋根設置型太陽光発電システムへのフィードイン・タリフ（FIT）制度、太陽電池の性能等に要件を設定したトップランナー・プログラム（入札制度）に基づくプロジェクト、貧困地域の住宅等に太陽光発電システムを設置し、世帯の収入を向上させる目的の貧困緩和プロジェクト等の普及施策を実施している。これに加え、2018年にはグリーン電力証書取引制度が開始された。また、2019年1月には補助金を受けない風力発電、太陽光発電プロジェクトの開発を奨励する通知を公布、用地取得コストの低減など、補助金以外の優遇措置を受けられるプロジェクト開発の枠組みを発表している。さらに2020年からは、消費電力における再生可能エネルギー比率の目標を義務づける制度（RPS制度）も開始されている。

2015年に導入されたトップランナー・プログラムは、先進的な太陽光発電技術の導入を奨励すること等を目的としている。プログラムの適用要件と容量は実施年によって異なるが、2017年のトップランナー・プログラムでは、「応用トップランナー・プロジェクト」と「技術トップランナー・プロジェクト」の2種類のプロジェクトに異なる要件が設定された。「技術トップランナー・プロジェクト」は、量産化が進んでいない技術の採用も奨励し、選定において先進技術指標への配点が最も高く設定された。2018年、2019年には新たなトップランナー・プロジェクトの募集は行われなかったが、2017年のプロジェクトに対し3基・計1.5GWまでの追加設置が認められた。

科学技術部（MOST）は、国家重点研究開発計画に基づき研究開発プロジェクトへの支援を行っている。2019年は「再生可能エネルギー・水素エネルギー技術」分野では、①太陽エネルギー、②風力発電、③バイオマス、④地熱・海洋エネルギー、⑤水素エネルギー、⑥再生可能エネルギーの統合とシステム・インテグレーション技術の技術について、計38項目の研究テーマについてプロジェクトを募集している。

また、中国国有の電力系統運用企業であるState Grid（国家电网）傘下のState Grid Energy

Research Institute は、クリーンエネルギーの普及や電力系統への統合に関する研究を行っている。電力系統に関しては、NEA も太陽光発電システム分野の実証プログラムとして、マイクロ・グリッド実証計画や、ハイブリッド型の電力系統の実証プロジェクトの実施計画を発表しており、2020 年までに新興都市や大型の公共施設、離島等の地域で自家消費型ハイブリッド発電プロジェクトを 20 件以上、出力が変動する再生可能エネルギーと火力発電等を組み合わせて利用する相互補完型発電プロジェクトを 3 件以上開発する目標である。

2017 年 9 月には、NDRC が蓄電技術の産業化に向けた指針、「エネルギー貯蔵技術の促進と産業発展に関する指導意見」を発表した。今後 10 年間で 2 段階に分け、研究開発から商業化へ展開させる方針で、エネルギー貯蔵技術の研究開発や実証を進める計画である。

「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」、「エネルギー技術創新第 13 次 5 年計画」、「スマート太陽光発電産業行動計画（2018～2020 年）」、「State Grid（国家电网）」に基づいた研究開発への投資および研究開発が活発に行われている。

### 1.3.5 韓国における太陽光発電システムに関する研究開発動向

韓国の文政権は、再生可能エネルギーの利用拡大に意欲的である。2017 年 12 月に発表した「再生可能エネルギー 3020 計画」においては、再生可能エネルギー比率を 2022 年に 10.5%、2030 年に 20%とする目標を掲げ、特に太陽光発電と風力発電の比率を高める方針を表明した。同計画では、目標達成に向け、2018～2030 年までに 30.8GW の太陽光発電システムの新設が計画されている。

また、2019 年 6 月に閣議決定された「第 3 次エネルギー基本計画」では、2040 年までに再生可能エネルギー比率を 30～35%へ引き上げる目標が掲げられた。2019 年 12 月には産業通商資源部（MOTIE）が「第 4 次エネルギー技術開発計画」を発表、同国の中長期のエネルギー政策目標を達成するための 4 大戦略が提示された。第 1 の戦略として、エネルギー転換を後押しするための R&D 投資を強化し、16 項目のエネルギー技術の重点分野を定めて、研究開発を行うことが示されている。

2020 年の研究開発の方針については、MOTIE が 2020 年 1 月に「2020 年エネルギー技術開発の実行計画（案）」を発表している。MOTIE は 2020 年にエネルギー関連の R&D 活動に前年比 19.1%増の計 9163 億ウォンを予算化し、90%（8279 億ウォン）を 16 項目の重点分野に振り分ける方針である。このうち太陽光発電と風力発電に 1571 億ウォン、水素技術に 932 億ウォン、エネルギー効率化に 1592 億ウォンが振り分けられている。表 3.5.1-2 に 16 項目の重点分野と予算額を示す。太陽光発電システムに関連する課題としては、太陽電池モジュールのリサイクル、立地の多様化や建物設置への適応性を向上させるための技術開発の推進、洋上太陽光発電システムのコスト低減に向けた部材の開発などが挙げられている。また、分散型エネルギー普及分野では、電力系統の安定化や直流負荷の増加に対応する技術の開発、スマート・パワーコンディショナ（PCS）の商品化や信頼性向上、次世代エネルギー貯蔵システム（ESS）開発の推進等も挙げられている。2017～2019 年に同国のエネルギー貯蔵設備（ESS）で火災事故が続いたことを踏まえ、エネルギー供給の安全性にも焦点が当てられている。

### 1.3.6 欧州ギガワット製造構想

欧州においては、太陽光発電市場が 2030 年の欧州の再生可能エネルギー目標に向けて拡大基調にあるが、欧州製の太陽電池モジュール及び太陽電池セルの生産量シェアは減少傾向にある。2018 年 6 月に破産した独・SolarWorld Industries が欧州において太陽電池セル及びモジュールを生産していたが、同社破産以降のセル生産はわずかであり、太陽電池モジュールについては、建材一体型製品など、中小規模の太陽電池モジュール製造企業が生産を継続している状況である。一方、欧州においては、ドイツを中心とする製造装置メーカーや結晶シリコン太陽電池の主要研究機関が多数存在しており、ドイツのフラウンホーファー太陽エネルギー研究所（FhG-ISE）を中心に、10GW/年レベルの持続可能な製造ラインを構築する構想「10GW グリーンファブ構想」が提案されている。

欧州における太陽電池生産の復活を望む声が、研究機関や産業団体からあがっている。欧州の太陽光発電産業団体 Solar Power Europe（SPE）は、欧州において 5GW/年の太陽電池モジュール生産工場の

設立が必要であるとの見解を表明した。欧州連合（EU）における再生可能エネルギーを推進するための Clean Energy for All Europeans パッケージの承認や、アジアから輸出される太陽電池の最低輸入価格（MIP）の取り決めの終了などにより、欧州の太陽光発電システムの需要が約 15GW/年に増加すると予想されるため、SPE は、国庫補助法の緩和による製造業の支援を要望している。

欧州においては、太陽電池生産量の回復に関する議論が継続しており、欧州太陽光発電技術イノベーション・プラットフォーム（ETIP PV）が中心に議論がなされてきた。PV Airbus 構想を主導してきた FhG-ISE の所長である Andreas Bett 氏は、2018 年に新たに 10GW グリーンファブ構想について EU PVSEC の Solar Industry Forum において発表した。その後 2019 年 9 月に「Sustainable PV Manufacturing in Europe - An Initiative for a 10GW GreenFab」を刊行し、太陽光発電市場の今後のポテンシャルを強調し、将来の安全保障、産業競争力及び欧州の技術分野でのリーダーシップの確保、カーボン・フットプリントなどの観点から欧州域内で欧州の製造技術を採用した 10GW/年の製造ラインの必要性を打ち出した。

欧州には太陽電池製造の価値連鎖に係る企業が多数存在している。ドイツとノルウェーにはポリシリコンの製造拠点があり、セル生産量は非常に少なくなっているものの、太陽電池モジュール製造企業が複数存在している。また、大手製造装置企業や封止材や電極材料などの企業も存在している。

中国太陽光発電産業会（CPIA）によれば、2018 年に中国における太陽電池モジュールの製造コストは、約 22 ユーロセント/W となっている。中国から欧州への太陽電池モジュールの輸送コストは、1～1.5 ユーロセント/W と報告されており、欧州域内において中国と同じレベルの太陽電池モジュールコストが実現可能であれば、輸送コスト及びカーボン・フットプリントの観点で欧州製品の優位性が生じる可能性もある。ドイツ機械工業連盟（VDMA）は、グリーンファブ構想のために製造コストの分析を実施した。VDMA によれば、2019 年 8 月時点での太陽電池モジュールの製造コストは、ドイツでは 27.3 ユーロセント/W、ポーランドでは 25 ユーロセント/W、一方、中国で製造した太陽電池モジュールを輸入する場合は、輸送費も含めたコストが 24 ユーロセント/W である。欧州において 5GW/年規模の工場で生産される場合のコストは、ドイツで 24.3 ユーロセント/W、ポーランドで 22.3 ユーロセント/W まで低減することが可能だという。FhG-ISE 及び VDMA は、生産規模と太陽電池モジュール製造コストの相関についても試算しており、10GW/年での製造が実現できれば、ドイツで生産を実施した場合でも 23.4 ユーロセント/W までコストを下げる事が可能だとしている。

### 1.3 太陽光発電システム導入における各国の普及施策調査

#### 1.4.1 ドイツにおける太陽光発電普及施策

再生可能エネルギーへの転換政策「Energiewende（エネルギー・システムの転換）」は、ドイツの環境及び経済政策にとって最重要の課題である。全体的な目標は、環境に優しく、信頼性があり、経済的に実現可能なエネルギー供給である。

エネルギー・システムの転換では、2050 年までの電力・熱・交通における法的枠組みを示しており、具体的な目標値として、2020 年、2030 年、2040 年に向けた中期目標と共に、2050 年までに温室効果ガス排出量を 1990 年比で 80～95%削減することを目指す野心的な目標が掲げられている。

ドイツ政府は、2030 年までの温室効果ガス削減に向けた新たな気候変動政策パッケージ（Climate Package）を 2019 年 9 月に発表した。2023 年までに 540 億ユーロを支出し、2020 年までに温室効果ガス排出量を 1990 年比で 40%、2030 年までに 55%削減するという目標の達成を目指す。太陽光発電システムについては、累積設置容量が 52GW に達した時点で 750kW 以下のシステムに対するフィードイン・タリフ（FIT）をゼロにする規定を廃止する内容が盛り込まれている。540 億ユーロの資金拠出は中長期的にドイツ国内の需要を押し上げ、景気を下支えする効果があるとみられ、ドイツ政府は今後も財政黒字を維持する方針で、新規の国債発行には頼らない予定である。同政策パッケージにより、排出量取引の仕組みを導入し、今後ガソリンや軽油などの価格が少しずつ上昇するようにする。また、電気自動車（EV）の購入を補助金で促進する。

気候変動政策パッケージは、気候保護法案（Climate Action Law）と 2030 年気候変動行動プログラム

(Climate Action Programme 2030) からなる。気候保護法案は、2030年の温室効果ガス排出目標を法に定め、セクター別に年間排出を割り当て、2050年までにカーボンニュートラルを追求するとしている。ドイツ政府は、2019年12月に気候保護法案を正式に承認した。一方、2030年気候変動行動プログラムは、輸送及び建物における炭素価格、複数のインセンティブ、エネルギー効率基準といった規制など、各セクターの2030年の気候目標達成に向けた具体的対策を定めている。

#### 1.4.2 フランスにおける太陽光発電普及施策

フランス政府は、2017年7月に環境行動計画を発表し、2050年までにカーボン・ニュートラルを目指すことを表明している。

マクロン大統領は、2018年11月27日に中期的なエネルギー政策をとりまとめた「複数年エネルギー・プログラム (PPE)」の骨子を発表した。同国の発電容量における原子力発電比率を2018年現在の70%超から、2035年には50%まで引き下げる目標を示した。2019年1月25日に、フランス環境連帯移行省 (MTES) は PPE の草案を公表した。2019～2023年、2024～2028年の期間に分けて、今後10年間のエネルギー戦略を計画している。化石燃料の消費を低減し、再生可能エネルギーの利用を拡大する内容である。2020年1月には草案による目標値を微調整して、パブリック・コメントの募集を開始した。

PPE では、より低価格な地上設置型及び駐車場屋根設置の開発に重点が置かれている。パブリック・コメントを募集中の PPE の発効に先立ち、これらの開発目標の達成に向けた、具体的な25の方策を提示した「PlaceAuSoleil イニシアチブ」が2018年6月に発刊された。PlaceAuSoleil イニシアチブのターゲットは大規模な未利用地 (スーパー、国鉄関連、農業用地) の所有者で、これらの土地で太陽光発電の利用を促すことを目指す。イニシアチブの概要は以下の通りである。

- ・自家消費プロジェクトに対する電力公共サービス拠出金 (CSPE) の免除制度を更新する
- ・自家消費システム設置業者の品質要件の強化によって消費者を保護する。電力需要家安全全国委員会 (CONSUEL) が管理を担当する
- ・すべての消費者及び発電者が半径 1km 以内に所在するようなプロジェクトを拡充することで共同自家消費の機会を新たに設ける。エコ地区の開発や建物のグループ化による自家消費の最適化等を可能にする
- ・第3者投資を可能にすることにより、個人及び集団での自家消費のための資金調達を支援する。自家消費プロジェクト開始時に全額負担しないで済むようにする。たとえば、3kW のプロジェクトを始める個人は、6,000ユーロの負担を減らせる
- ・入札対象となる自家消費プロジェクトの規模を500kWから1MWに拡大する
- ・農地や水上における太陽光発電システムの開発、市民向け施策の拡充

#### 1.4.3 米国政府における太陽光発電普及施策

米国における太陽光発電市場の発展は、連邦政府レベルと州レベル双方の施策により支援されている。連邦政府による主な支援は、①税額控除制度 (ITC)、②加速償却、③研究開発実証プログラムにおける普及支援、④関連省庁による普及施策である。連邦政府は、将来における連邦レベルのクリーンエネルギー基準の要綱を示し、その中で、国家のエネルギー・ポートフォリオに占める一定割合は「クリーン」なエネルギー源とするよう指示しているが、再生可能エネルギー及び太陽光発電についての具体的数値目標は定めていない。

気候変動対策に消極的な米・トランプ大統領は、2019年11月15日に正式にパリ協定離脱を通告した。米国の温室効果ガス排出量削減目標は破棄されたが、後に州知事らにより組織された米国気候同盟が州レベルでの削減目標を掲げて取り組みを続けている。また、米国議会下院エネルギー・商業委員会は、2050年までに米国経済の100%脱炭素化 (温室効果ガス排出ネットゼロ) を目指すクリーンエネルギー法案「Climate Leadership and Environmental Action for our Nation's (CLEAN)

Future Act（米国の将来に向けた気候リーダーシップ・環境活動法（CLEAN Future Act））」を提案している。同法案は野党民主党議員の提案による法案であるため成立するかどうかは不透明であるが、気候変動対策への意識は高まっている。また、2020年の米国大統領選挙においては、気候変動対策も争点の一つとして重要視されている。

米国政府による太陽光発電普及施策としては投資税額控除（ITC）がある。控除率は太陽光発電プロジェクトの着工年に応じて定められている。ITCは段階的に減額される予定で、2019年着工：30%、2020年着工：26%、2021年着工：22%で、2022年には住宅用のITCは終了、業務用は10%となる予定である。いずれも2023年12月31日以前に稼働を開始する必要がある。2019年に米国連邦議会と米国政府は、太陽光発電向けの投資税額控除（ITC）の控除率を30%のまま5年間延長する法案について協議したが、合意に至らなかった。このため、2020～2021年に駆け込み設置が起り、米国の太陽光発電システムの年間導入量は20GWを超える見通しである。

一方、太陽光発電の普及の制約要因としては貿易摩擦がある。米国は2018年から米国に輸入される結晶シリコン太陽電池セル・モジュールにセーフガード関税を課している。初年度の税率は30%で、5%/年の割合で段階的にタリフが減額される。2020年2月7日からの税率は20%である。セーフガード措置については、2019年6月に両面受光型太陽電池モジュールへのセーフガード関税の適用が除外された。これにより米国に輸入される太陽電池製品の量は再び増加したため、米国通商代表部（USTR）は同年10月に適用除外を廃止しようとしたが、米国国際貿易裁判所（CIT）による課税差し止め命令を受け、適用除外は続いている。また、USTRは同措置における太陽電池セルの免税枠を、2.5GW/年から4～6GW/年に拡大するよう要請しており、実現すれば同措置の影響は緩和される見通しである。また米中貿易摩擦では、一般的な太陽電池セル・モジュールが分類されるHSコード8541.40.60「半導体デバイス向けダイオード、発光ダイオード以外のもの」が25%関税の対象とされたほか、太陽光発電用インバータにも10%関税が課されている。これらも米国における太陽光発電プロジェクトの開発コストの上昇要因となっている。

また、2020年1月には米国連邦エネルギー規制委員会（FERC）が、米・送電系統運用機関のPJMによる年次の発電設備容量市場入札において「最低入札価格ルール（MOPR）」を適用するよう命じた。補助金の適用を受けている再生可能エネルギーや原子力発電は、低価格での入札が可能で不公平であると指摘する石炭火力発電企業の声を反映したものであるが、石炭火力発電を優遇する判断であるとして批判の声があがっている。同命令の影響を受けるのはデラウェア州など13州とワシントンD.C.である。

米国においては、州政府による再生可能エネルギー導入の意欲はトランプ政権下でも衰えておらず、脱炭素や再生可能エネルギー比率100%を目標に掲げる州が増加している。また、企業が再生可能エネルギーを調達する動きも増加している。

再生可能エネルギー導入政策を強化する州政府が多数ある。電力供給における再生可能エネルギーの比率を100%にする目標を掲げている州は、コロンビア特別区（ワシントンD.C.）（2032年まで）、カリフォルニア州（2045年まで）、ハワイ州（2045年まで）、ロードアイランド州（2030年まで）、ニューメキシコ州（2045年までに脱炭素）、メイン州（2050年まで）、ニューヨーク州（2040年までに脱炭素）、ワシントン州（2050年まで）、バージニア州（2050年まで）、ウィスコンシン州（2050年まで）、マサチューセッツ州（2090年まで）である。この他にクリーンエネルギー比率100%を目指す法案等が提案され、審議されている州がある。

また、地域によっては太陽光発電が最低コストの電源となっており、公益事業規制法（PURPA）の枠組みによって太陽光発電による電力の調達をする例もある。PURPAにおいては、連邦エネルギー規制委員会（FERC）の認定を受けた再生可能エネルギー発電事業者（IPP）が電力事業者の発電コスト（回避原価（Avoided cost））よりも安価な価格で電力を販売することができる場合に、電力事業者（公益事業者）はIPPから回避原価を買い取る義務を負っている。

米国では民間企業による再生可能エネルギーによる電力の調達も増加している。2019年に米国企業が締結した再生可能エネルギーのPPAは計13.6GWに達したと報じられている。米・Microsoftは、同

社の創立（1975年）からこれまでに直接、間接的に排出されたCO<sub>2</sub>を2030年までに全て相殺し「カーボンネガティブ」に移行することを宣言している。また、米・Googleは2007年以来「カーボンニュートラル」であり、米・Amazonは2040年までに「カーボンニュートラル」に移行すると表明している。

#### 1.4.4 米国州政府における太陽光発電普及施策

米国は、2019年11月15日に正式にパリ協定離脱を通告した。米国の温室効果ガス排出量削減目標は破棄されたが、州知事らにより組織された米国気候同盟が州レベルでの削減目標を掲げて取り組みを続けている。この同盟には2019年時点では米国の人口の55%を占める25州が参加を表明しており、①パリ協定における取り決めに遵守するため、2025年までに温室効果ガスを2005年比で26～28%削減する政策を導入すること、②進捗状況を管理、報告すること、③炭素排出量の削減とクリーンエネルギー普及促進に関する新規または既存の政策を推し進めること、を公約に掲げている。米国におけるクリーンエネルギーへの取り組みは州政府などが中心となって進められている。

表2 米国気候同盟に参加している州

|   |
|---|
| カリフォルニア州、コロラド州、コネチカット州、デラウェア州、ハワイ州、イリノイ州、メイン州、メリーランド州、マサチューセッツ州、ミシガン州、ミネソタ州、モンタナ州、ネバダ州、ニュージャージー州、ニューメキシコ州、ニューヨーク州、ノースカロライナ州、オレゴン州、ペンシルバニア州、プエルトリコ、ロードアイランド州、バーモント州、バージニア州、ワシントン州、ウィスコンシン州 |
|---|

出典：米国気候同盟ウェブサイト（2020年2月アクセス）

州政府による太陽光発電システム向けの主な規制及びインセンティブを表に示す。この中で、太陽光発電システムの普及に特に大きな役割を果たしてきたのは、再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準（RPS）及びネットメタリング制度である。RPSの義務量については達成済みの州が増加している。一方、地域によっては太陽光発電が最低コストの電源となったため、公益事業規制法（PURPA）の枠組みによって太陽光発電による電力の調達をする例が増えている。ただし、米国連邦エネルギー規制委員会（FERC）は2019年9月にPURPAに基づく小規模再生可能エネルギー発電事業者とコジェネ事業者を管理する規制の包括的な見直しを提案した。電力事業者へのエネルギー調達の義務づけを完全に撤廃することを提案している。義務づけの撤廃は独立系発電事業者（IPP）の競争力を損ない、地方の電力事業者の独占をすすめる可能性があるとして批判する意見も出ている。

表3 米国の州政府による規則・規定及びインセンティブ

|                  |   |
|------------------|---|
| <p>規則・規定</p>     | <p>建築物エネルギー基準 (Building Energy Code)、エネルギー効率化資源基準 (EERS、Energy Efficiency Resource Standards)、公共建築物エネルギー基準 (Energy Standards for Public Buildings)、装置認証 (Equipment Certification)、グリーン電力購入政策 (Green Power Purchasing Policies)、系統連系基準 (Interconnection Standards)、電力線路延長分析 (Line Extension Analysis)、電力事業者によるグリーン電力オプション義務 (Mandatory Utility Green Power Option)、ネットメタリング (Net Metering)、公益基金 (PBF、Public Benefit Funds)、再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準 (RPS)、ソーラー及び風力アクセス法 (Solar &amp; Wind Access Policies)、ソーラー及び風力請負業者許可、免許制度 (Solar &amp; Wind Contractor Licensing)、ソーラー及び風力許可基準 (Solar &amp; Wind Permitting Standards)、太陽光発電価値に基づく買取額 (VOST、Value of Solar Tariff)、その他</p> |
| <p>財政インセンティブ</p> | <p>債券プログラム (Bond Program)、減価償却プログラム (Corporate Depreciation)、法人税インセンティブ (Corporate Tax Incentives)、フィードイン・タリフ (FIT) 制度、助成金プログラム (Grant Programs)、グリーン・ビルディング・インセンティブ (Green Building Incentives)、産業誘致インセンティブ (Industrial Recruitment/Support)、ローン・プログラム (Loan Programs)、PACE融資プログラム (Property-Assessed Clean Energy、PACE Financing)、発電量インセンティブ (Performance-Based Incentives)、個人所得税インセンティブ (Personal Tax Incentives)、固定資産税インセンティブ (Property Tax Incentives)、リベート・プログラム (Rebate Programs)、消費税インセンティブ (Sales Tax Incentives)、ソーラー再生可能エネルギー証書 (SRECs)、電力料金優遇 (Utility Rate Discount)</p>   |

出典：IREC, DSIRE: Incentives by State, www.dsireusa.org (2020年2月アクセス)

#### 1.4.5 中国における太陽光発電普及施策

中国は「第13次5ヶ年計画」(2016～2020年)に基づき、「エネルギー発展第13次5ヶ年計画」、「電力発展第13次5ヶ年計画」、「再生可能エネルギー発展第13次5ヶ年計画」、「太陽エネルギー第13次5ヶ年計画」及び「エネルギー技術革新第13次5ヶ年計画」を発表しており、2020年までのエネルギー関連の目標を定めている。

第13次5ヶ年計画における太陽光発電システムの導入目標は2020年に105GWであったが、これは2017年に達成済みである。中・国家能源局 (NEA) の速報値では2019年末における中国の太陽光発電システム累積導入量は204.68GWに達した。

2021年からの第14次5ヶ年計画の策定も開始されている。ただし中・水電水利規画設計総院 (CREEI) の鄭声安院長は、同期間においては水力発電、風力発電、太陽光発電の個別の計画を作成せず、エネルギー分野を①石炭、②石油、③電力、④再生可能エネルギー、⑤技術革新、⑥体制改革の6種類に分類して計画を策定する方針を示唆している。また同期間には再生可能エネルギーの電力以外の分野での活用を促進する方針であると報じられている。

中国の太陽光発電システム普及施策は大きな転換期を迎えている。これまで主要な普及施策であったフィードイン・タリフ (FIT) 制度は、減額や対象の縮小が行われており、2020年末で終了すると報じられている。今後は、補助金を利用しないグリッド・パリティ・プロジェクトの開発促進、2020年に開始した消費電力における再生可能エネルギー比率の目標を義務づける制度 (RPS 制度)、グリーン電力証書取引制度などを通じた再生可能エネルギーの普及を目指す方針である。



#### 1.4.6 インドにおける太陽光発電普及施策

世界第2位となる13億人以上の人口を有するインドでは、高い経済成長率を背景に恒常的な電力不足が発生してきたが、積極的な発電能力の拡張政策が結実し、電力不足は解消されつつある。インド中央電力庁（CEA）は、2018年4月～2019年3月における同国のピーク電力需要が180.7GWであったのに対し、ピーク電力供給は185.1GWで、全国的には電力は4.4GWの余剰がでたと報告している。ただし、パンジャブ州、ウッタル・プラデーシュ州、テランガナ州等一部の州では電力不足が継続している。同国では、2040年までにエネルギー需要が倍増、電力需要は3倍増となる可能性があり、電力の安定供給に向けた更なる取り組みが求められている。

インドは2022年までに再生可能エネルギーの導入量を175GWとする意欲的な目標を掲げている。内訳は、集光型太陽熱発電（CSP）を含む太陽光発電が100GW、風力発電が60GW、バイオマスが10GW、小規模水力が5GWである。太陽光発電については、40GWが屋根設置、残りが地上設置をはじめとしたその他の応用となっている。2018年10月に、同国のモディ首相は、2030年までにインドの電力の40%を非化石電源にすることを目指す方針を表明、これを受けてインド新・再生可能エネルギー省（MNRE）のAnand Kumar事務官は、インドは、2030年までに計500GWの再生可能エネルギー・システム導入を検討していることを示唆した。内訳は、太陽光発電350GW、風力発電140GW、その他技術が10GWとされている。

2019年12月17日時点の同国の再生可能エネルギー導入量は84GWで、うち太陽光発電システムは32.5GWと発表されている。2022年の導入目標達成には3年あまりで68GWを導入する必要があり、導入ペースを大幅に引き上げない限り達成は難しい情勢となっている。このためMNREは2019/2020年度と2020/2021年度にそれぞれ15GWのプロジェクト入札を行う計画を示唆している。また屋根設置型太陽光発電システムは2022年に40GWという設置目標に対し、2019年11月時点での導入量は4GW程度と報じられており、目標の10%しか導入されていない状況である。これを受け、インド内閣経済問題委員会（CCEA）は、2022年までの屋根設置型太陽光発電システムの導入目標を3GW/年に下方修正し、MNREに対し、関連するプログラムの見直しを求めたと報じられている。

現状での太陽光発電システムの導入は、Solar Energy Corporation（SECI）が行う入札プログラム、小規模及び屋根設置システムへの補助、及び再生可能エネルギー電力購入義務（RPO）及び州政府によるネットメタリングなどのイニシアチブによって推進されている。

インド政府は、各州にRPOを定めている。2018年6月にインド電力省は、RPOの目標を改定した。2022年3月の太陽エネルギー購入義務量（SRPO）は、これまでの8%から10.5%へ改定された。これまで各州の取り組みや達成状況は管理されていなかったが2018年5月に、RPOコンプライアンス組織の設立を発表、州政府、中央電力規制委員会（CERC）、州の電力規制委員会（SERC）と協調し、取り組み状況を管理することを表明した。しかし、2018年末時点において、RPOの達成率が60%未満に留まる州が27州に上っていると報じられている。

また、インドにおいては無電化地域の電化も大きな政策課題とされており、2017年9月にモディ首相は、「Saubhagya Yojna」プログラムを開始した。電力系統にアクセスのないインドの全住宅に対し、2018年12月末までに太陽光発電、蓄電システム及びLED照明による電力供給を行うプログラムで、1630億インド・ルピー（25億ドル）の予算を割り当てた。これらの取り組みの結果、モディ首相は、2018年4月28日時点でインド国内全地域において少なくとも1割の民家と公共施設への電力供給を実現したことを発表した。

#### 1.4 太陽光発電システムに関する実態調査

太陽光発電システムに関する技術等の実態について、以下の項目について調査を実施し、最新の動向をまとめた。

- ・ 道路応用太陽光発電設備に関する動向調査
- ・ 太陽光発電事業に関する国内外の事業者調査
- ・ 太陽電池価格、太陽光発電システム価格
- ・ 太陽電池デバイス関連の国別供給状況調査
- ・ 太陽電池製造装置・システムに関する状況調査
- ・ モジュール性能・価格・保証
- ・ パワーコンディショナの自立運転機能付き製品動向調査
- ・ システム技術によるコスト低減対策
- ・ システム価格
- ・ 海外における大規模発電所の実態

## 2. 波及効果

本調査による成果は、NEDO 成果報告会での報告、弊社の各種の調査レポート、コンサルティング、国内外での講演等にも活用され、日本を中心とした国内外の最新動向を示す情報として、日本国内、世界に向けて幅広く情報発信している。

## 3. 今後の展開

本調査では、近年導入が増加する水面、農地、急傾斜地への太陽光発電システムの設置について調査した。特に水面への水上設置太陽光発電、農地における営農型太陽光発電については、今後も有用な設置形態ではあるが技術的には発展途上であり、信頼性を担保するための技術開発をはじめ技術課題が多くあることがわかった。

また国内外の技術開発動向、研究開発プログラム、普及施策、各種の実態について調査した結果、今後の日本の研究開発にも参考とすべき点があった。

今後も太陽光発電の主力電源化推進のために、太陽光発電システムに関する技術や市場の動向および普及に関わる国内外の動向などの最新データを常に把握し、それらを的確に技術開発へフィードバックし、今後の技術開発の方向性の策定に資することに努めたい。

(ii) 太陽光発電システムのライフサイクルに関する国内動向調査及び排出量予測[2019 年度]

株式会社三菱総合研究所

1. 成果詳細

(1) 太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測

1) 排出量予測モデルの概要

「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／太陽光発電リサイクル動向調査／太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測」(NEDO、平成 26～30 年度)では、太陽光発電システムの分布調査と、その分布に基づいた排出量予測を実施した。

同排出量予測では、太陽光発電設備の用途別(住宅用:10kW 未満、非住宅用:10kW 以上)及び地域別(都道府県別)、モジュール種類別(Si 単結晶、Si 多結晶、Si 薄膜、その他の4種類)の導入量の実績及び将来見通しを推計するため、既存データ・文献を整理し、区分別予測を実施した。

太陽光発電設備は、社会システムの動向等によって排出量が大きく左右されると考えられること、排出状況等の情報が不足していること等から、現時点では正確な排出量推計を行うことは困難と考えられる。このことを理由として、まず議論の基準となるケースを設定するべく、以下に示すとおり、あらかじめ排出量推計の目的を明確化し、その目的に即した上で可能な限り納得性の高い推計となるような推計方法(モデルの基本構造やパラメータの設定)の確立に向け、検討を行った。

<排出量推計の目的>

1. 大量排出時代のピーク(時期、量)を予測する
2. 現状の再資源化能力を上回る排出がなされるようになる時期を予測する

排出量推計にあたり、基本的な考え方のイメージは図 1 のとおりである。各種資料に基づき、設定した導入量に沿い、設置区分別に内的要因(出力低下)と外的要因(太陽光発電設備の性能以外の要因)の2種類の要因により排出が発生すると仮定した。この他、市場戻り率を0.3%と設定した。なお、災害による廃棄等、予測不可能な突発的排出については予測の対象外とした。本調査では、同排出量予測モデルを用いた推計(図 2)及び導入量、排出量における課題の検討を行った。

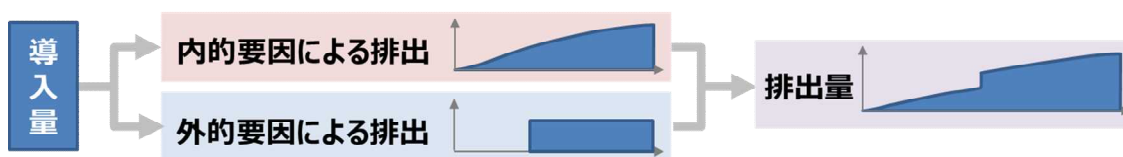


図 1 排出量推計の考え方 イメージ

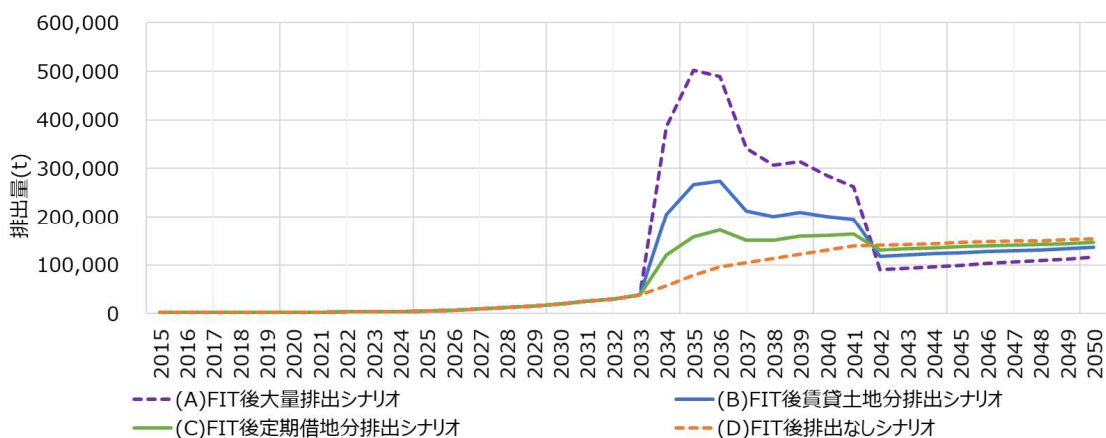


図2 排出量推計結果 (令和元年度検討結果)

## 2) 導入量における課題の検討

導入量の精緻化にあたり、文献調査によって、最新の導入量データ（全国、都道府県別、FIT 制度の事業計画認定情報）等を収集することで、導入量データの更新、地域別・モジュール別導入量データの精度向上等を検討した。

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第 9 条第 5 項に基づき、再生可能エネルギー発電事業計画の認定情報について、FIT ポータル内のウェブページに公表されており、発電事業者名に加え、発電設備区分、発電出力（AC, DC）、発電設備の所在地等、太陽電池の合計出力、新規認定日の情報が設備 ID ごとに掲載されている。

このデータを用いて導入実績データを拡充できないか検討を行った。2019 年 9 月 30 日時点での新規認定を受けている又は新制度への移行手続きが完了した事業計画についての情報（事業計画認定情報）と、2019 年 6 月末時点での FIT 導入件数・導入容量データ（FIT 情報）と比較した。FIT 情報は、事業計画認定情報の定義とそろえるため、新規認定分の認定件数に移行認定分の導入件数を加えた値を使用している（容量も同様）。50kW を超える事業計画については、件数・容量ともカバレッジが 90%を超えた。一方で、50kW 未満の事業については件数で 52%、容量で 77%のカバレッジに留まっている。全体としては、件数ベースでは 54%だが、容量ベースでは 92%までカバレッジが高まった。

また、2019 年 1 月 31 日時点での新規認定を受けている又は新制度への移行手続きが完了した 411,734 件の事業計画認定情報のうち、太陽電池の合計出力が発電出力の 1,000 倍を超えている件数は 147 件 (0.036%) であり、以前に比べて信頼度の低い情報の数は着実に減少している。モデルに導入量として組み込む場合には時点情報が必要となるが、現時点で公表されている時点情報は新規認定日のみであり、そのままでは現状の導入量データを代替することはできない。一方で、住所や 1ID あたりの太陽電池の出力情報等は、今後地域特性別等の検討を行う際に活用を検討することが考えられる。

## 3) 排出量における課題の検討

### ア. 排出量における課題の抽出

1. (1)1) に示した排出量予測モデルで設定した仮定については、表 1 に示すとおり、いくつか課題が考えられる。これらの課題について、特定及びその解決方針の検討を行った。

表1 平成30年度排出量予測モデルにおける課題の例

| 排出要因 | 課題   |
|------|--|
| 内的要因 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 出力低下率の文献値の更新                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 現在使用している文献値のデータは 2000 年以前製造のモジュールを使用したものが多い</li> <li>▶ モジュール種類に拘らず、出力低下率を一律に設定（導入量はモジュール種別で分類）している</li> </ul> </li> <li>● 出力低下の考え方の変更                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 設置後、出力低下率に急激な変動はないと仮定しているが、何らかの要因により急激に低下するとの文献あり</li> </ul> </li> </ul> |
| 外的要因 | ● FIT 買取期間終了後の判断の精緻化   |

課題のうち、出力低下率の文献値の更新については、一般公開されている文献の調査を実施したが、排出量予測モデルへの組込が可能な内容は確認されなかった。出力低下の考え方については、IEA のレポート<sup>1)</sup>では、設置後、何らかの要因により出力が急激に低下する可能性が示唆されている。しかし、同レポートでは急激な出力低下の発生期間や頻度、具体的な出力低下の度合い等は示されておらず、このグラフを直接排出量予測モデルへ組み込むことは難しい。このため、急激な出力低下の要因を把握し、発生期間等に関する詳細な情報を得るべく、太陽光発電設備の故障パターンについて文献調査を実施した。各種文献に基づきパターンを整理した結果は表2のとおりである。太陽電池モジュールの技術開発や屋外曝露使用に伴い、新たに発見されてきた劣化パターンもあるため、今後更に劣化故障のパターンは増えていく可能性がある。

表2 劣化故障のパターン<sup>2)、3)</sup>

| 不具合パターン                            | 不具合の概要                               | 発現時期                   | 発現箇所       |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|
| 入射光の遮蔽<br>(太陽電池セルに届く光の量の低減による出力低下) | ガラスの汚損<br>(水垢、降砂、降灰、鳥の糞など)           | 中長期的<br>(継続的に進行)       | ガラス表面      |
|                                    | 紫外光による封止材・バックシートの着色                  | 中長期的<br>(継続的に進行)       | 封止材・バックシート |
|                                    | 透明導電膜の着色(原因未解明)                      | 中長期的<br>(継続的に進行)       | 透明電極       |
|                                    | 封止材の剥離による白濁                          | 中長期的                   | ガラス接着面     |
| 集電劣化<br>(発電しても集電できないことによる出力低下)     | インターコネクタの破断、剥離                       | 中長期的/偶発的               | インターコネクタ   |
|                                    | フィンガー電極とバスバー電極の交点での破断                | 中長期的/偶発的               | 電極         |
|                                    | 封止材から発生した酸による電極(特に受光面側フィンガー電極)の化学的腐食 | 中長期的/偶発的<br>(破損部からの浸水) | 電極         |
| 発電劣化(起電力低下)<br>(発電能力そのものの低下)       | 電圧誘起劣化(PID)                          | 初期(数か月～数年)             | セル内部       |
|                                    | 光誘起劣化(LID)                           | 初期                     | セル内部       |

#### イ. 排出量における課題及び検討方針の整理

上記の文献調査について詳細を把握するとともに、特にモデルに反映すべき劣化要因について更なる情報収集を目的として、太陽光発電設備の寿命予測・経年劣化に関する調査に取り組む2人の有識者にヒアリングを実施した。ヒアリング結果を踏まえ、モデルへの組み込み方法を検討し、現

在の排出量予測において考えられる課題及び検討方針の整理を行った結果を表3に示す。

表3 その他の課題及び検討方針の整理結果

| 項目   |   | 現状・課題   | 次年度以降の検討方針  |
|------|---|---|---|
| 内的要因 | 出力低下率の文献値の適正性   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 現在使用する文献値は古い一方で、実測値としては現時点では他に適正な文献値はない。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 引き続き新しい文献が出ないか確認。</li> <li>● 高加速試験法等での検討結果を確認し、実測値と組み合わせるモデルに組み込む可能性もある。</li> </ul>                          |
|      | 出力低下率の一定性（設置後経過年数、場所等）  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 現在は連続的な劣化の進行を仮定しているが、実態は設置から2、3年間である程度劣化しその後はほとんど劣化せず安定的。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● まだ観測結果のN数が少ないため、他にも類似の結果が出てこないかを注視。</li> </ul>   |
|      |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● IEAのレポートでは、設置後数十年経過後の急激な出力低下が示唆。現状は長期間排出されないパネルがあるが、例えば設置後50年経過後の全量廃棄等も考えられる。</li> <li>● 段階的な出力劣化率増加モデルを検討したところピークの立下りが緩やかとなったが、根拠となる定量データなし。</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 今後実測データにて示されないかを注視のうえ、モデルへの反映を検討。</li> <li>● 今年度実施した手法以外のモデルへの組み込み方法を引き続き検討。</li> </ul>                      |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>● モジュールの設置環境（湿熱等）により劣化速度は異なる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 今後、沿岸部・内陸部等の地域特性の組込可能性を検討。（地域特性のデータ化、地域の分類等が課題）</li> </ul>   |   |
| 外的要因 | 非住宅用太陽電池モジュールの外的要因  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 外的要因としてFITのみを仮定しているが、それ以外の要因（借地の契約更新、インバータ等の周辺機器の故障のタイミング等）も考えられる。</li> <li>● FIT買取期間終了後も10年に一度、事業を見直す機会があると仮定し検討を行ったが、根拠となる定量データが存在しない。</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 今後、FIT買取期間終了後に想定する事業やその理由について、アンケートやヒアリングで事業者に聴取し、その結果を反映することが考えられる。</li> </ul>                              |
|      | その他、考えられる要因   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 現在、炭素排出量目標を見据えた市場動向、例えばリユース市場の形成や、技術進展による運用コスト低減等に伴う経済性変化、PPA等のビジネスモデルの変化は想定していない。また、廃棄費用積立による排出費用の低減も、排出判断に影響を及ぼす可能性がある。</li> <li>● モジュールの過積載が行われている場合、モジュールの性能劣化が分かりにくくなる</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 今後の太陽光発電システムの動向について複数シナリオを立て、それに基づいて予測を行うことが考えられる。</li> <li>● 過積載の状況等をデータ分析や事業者へのアンケート・ヒアリング等で調査。</li> </ul> |

| 項目 |  | 現状・課題                     | 次年度以降の検討方針                        |
|----|--|---------------------------|-----------------------------------|
|    |  | め、劣化が直接の排出要因になりにくい可能性がある。 |                                   |
|    |  | ●災害廃棄のパネルについて、対象外となっている。  | ●現状でモデルへの組み込みは難しいが、引き続き状況の把握に努める。 |

## (2) 太陽光発電システムのリサイクル戦略策定に向けた基礎調査

### 1) リサイクル技術開発動向調査

太陽光発電システムのリサイクル技術開発（リユースを含む）を行っている企業等（太陽光発電メーカー、ガラスメーカー、リサイクル業者、研究機関等）を対象に、文献調査やヒアリング調査を行い、研究開発の概要や技術の特徴（技術概要、適用モジュール、処理コスト、回収率、再利用先等）を整理した。平成 26～平成 30 年度に実施された国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／太陽光発電リサイクル動向調査／太陽光発電リサイクルに関する国内動向調査、分布調査及び排出量予測」にて整理された技術開発動向を踏まえた上で、公表情報調査を行い、新たな技術と考えられる以下の 3 社を対象にヒアリング調査を行い、技術開発動向を確認した。

#### <ヒアリング調査対象>

- ミクロンメタル(株)
- 近畿電電輸送(株)
- (株)鳥取再資源化研究所

### 2) リサイクル関連政策動向調査

国内における太陽光発電システムのリサイクル等に係る政策動向として、注目すべき動向を取り上げ、文献調査によって、その概況（政策の概要、政策の影響を受ける対象者、スケジュール、課題等）を整理した。

#### <政策動向調査対象>

- 総務省『太陽光発電設備の廃棄処分等に関する実態調査』の勧告に対する改善措置状況（2 回目のフォローアップ）のポイント
- 総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会新エネルギー小委員会太陽光発電設備の廃棄等費用の確保に関するワーキンググループ中間整理（2019 年 12 月）
- 東京都「東京都使用済太陽光発電設備リサイクル検討会」

### 3) リサイクル実施事例等調査

公表資料に基づき、太陽電池モジュールのリサイクルに関する国内の先進的な取組事例を調査した。その上で、技術開発動向調査でも対象とした 3 つの企業に対してヒアリング調査を実施し、具体的な内容を把握した。太陽光発電協会の適正処理（リサイクル）可能な産業廃棄物中間処理業者名一覧表、ガラス再資源化協会の太陽電池モジュールのリサイクルが可能な施設、その他公表情報に基づき、太陽電池モジュールの適正処理・リサイクルが可能な実施事例を整理した。

### 4) 太陽光発電システムのリサイクル戦略策定に向けた基礎情報のとりまとめ

ア. これまでの調査で得られた情報の整理

#### ① 太陽光発電システムの中間処理施設

図 3 に太陽光発電システムの中間太陽光発電設備の中間処理施設の立地状況を示す。地域ブロック単位で見ると北海道から九州まで立地していることがわかる。中部、近畿、四国の事業者が他の





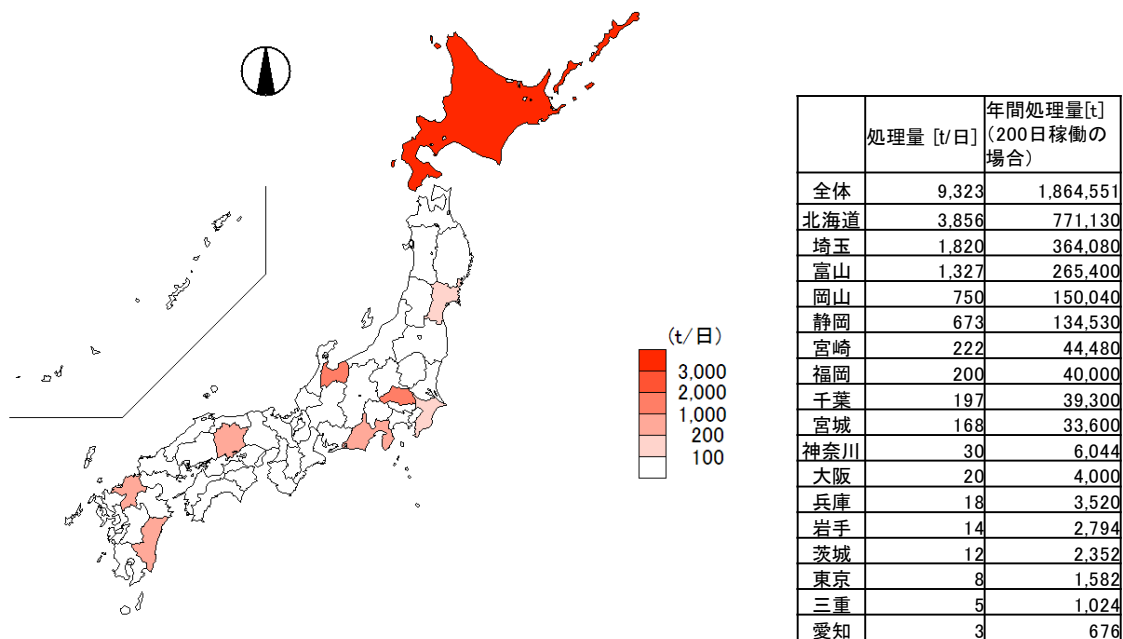


図4 都道府県別のガラス処理能力

③都道府県別の太陽光発電システムの排出量推計（2019年）

図5に都道府県別の太陽光発電システムの排出量推計結果（2019年）を示す。この推計結果とガラスの処理能力を比較したところ、全体の処理量はガラスの処理能力が大きく上回った。一方で、ガラス処理能力のある施設の存在は、本マッピング上では一部地域にとどまっており、地域の偏在が起きる可能性がある。

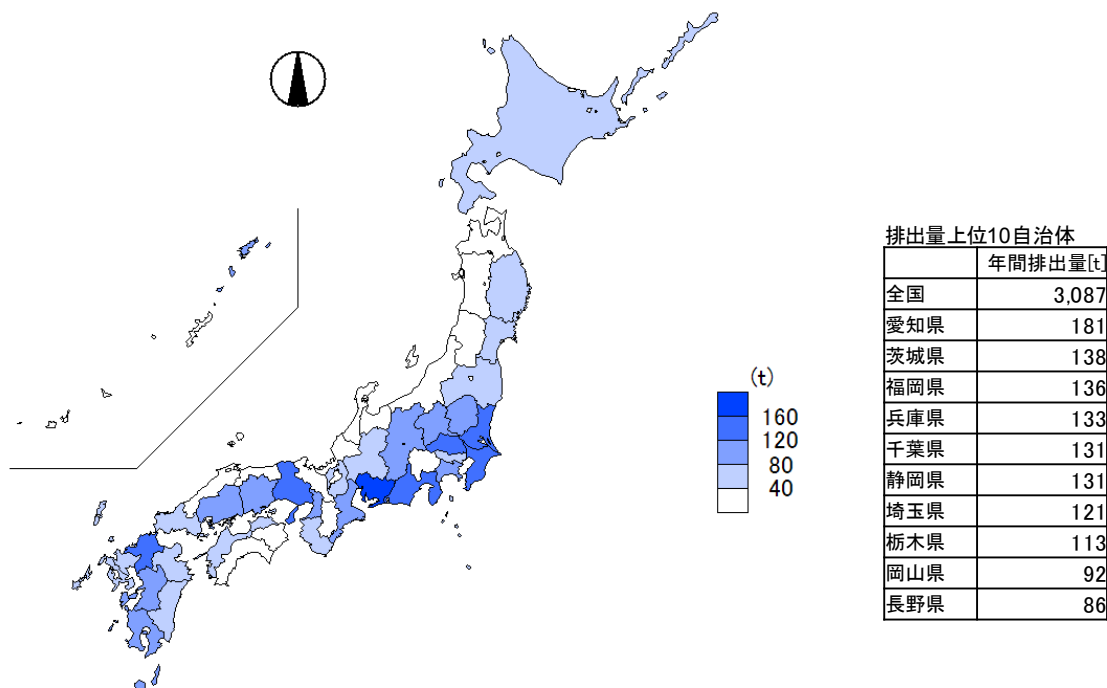


図5 都道府県別の太陽光発電システムの排出量推計結果（2019年）

④都道府県別の太陽光発電システムの排出量推計（2036年）

排出量がピークとなる 2036 年における都道府県別の太陽光発電システムの排出量推計結果を図 6 及び図 7 に示す。この推計結果とガラスの処理能力を比較したところ、排出量のピーク時でもガラス処理能力の上限は超えていないが、地域別では受入れ偏在が起きる可能性がある。

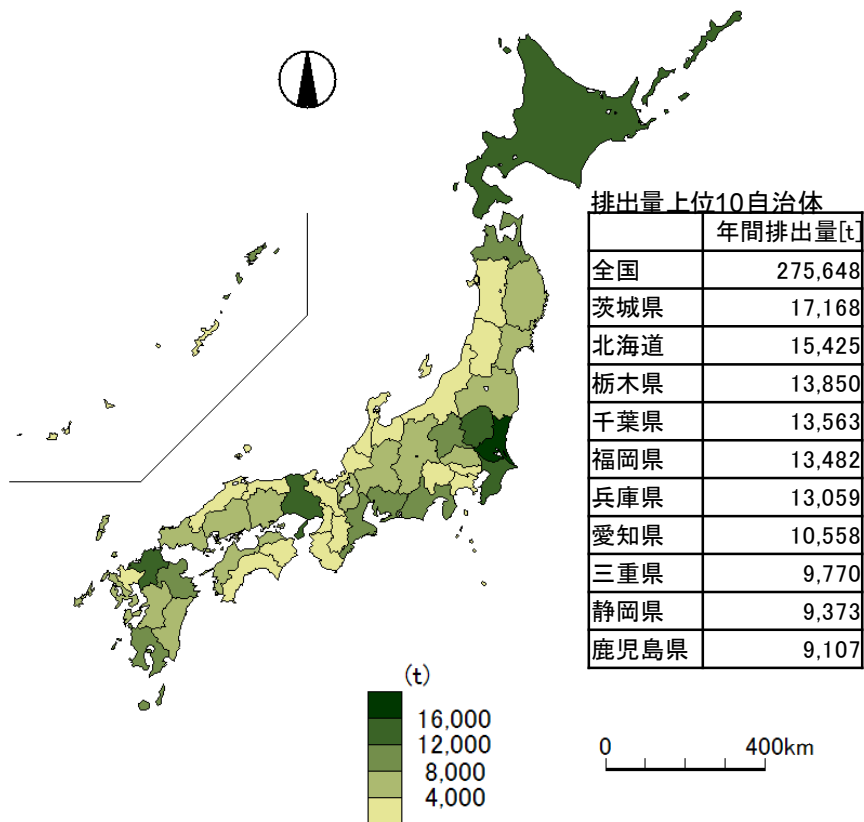


図 6 都道府県別の太陽光発電システムの排出量推計結果  
FIT 後賃貸土地分排出シナリオ（2036年）

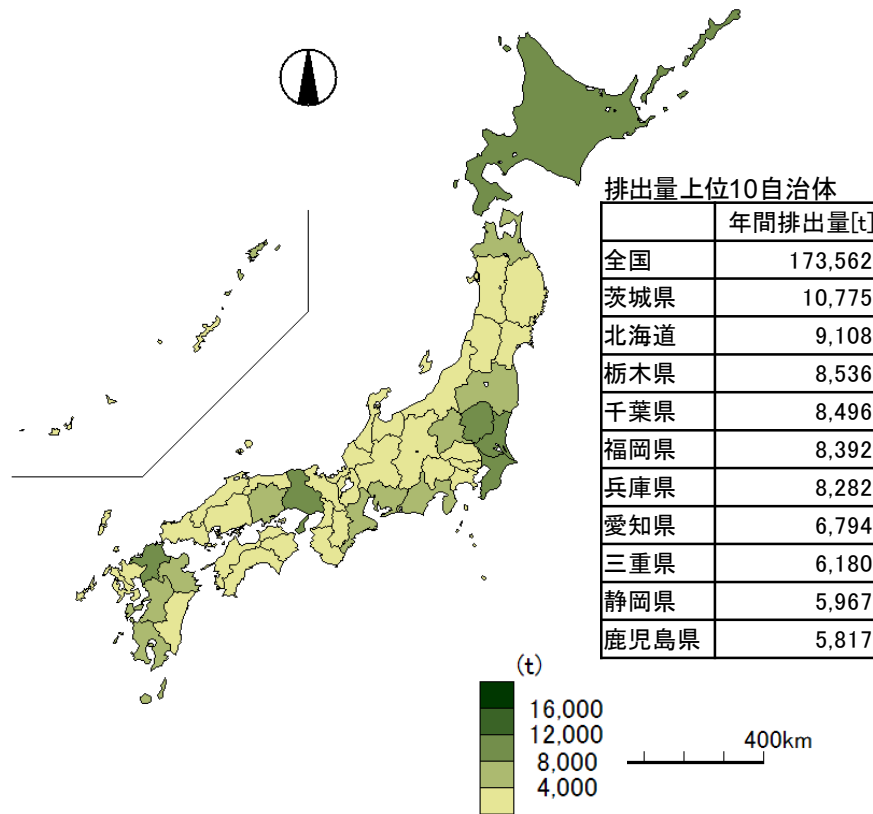


図7 都道府県別の太陽光発電システムの排出量推計結果  
FIT 後定期借地分排出シナリオ (2036年)

イ. リサイクル戦略策定にあたっての課題等の検討

①リサイクル戦略のイメージ

リサイクル戦略のイメージは図III-8のとおり。次年度以降に、リサイクル戦略策定を検討。本調査では、リサイクル戦略策定にあたって更なる情報収集、検討が必要となる事項を洗い出すことが最終目標となる。

| 項目                            | 2020   | 2025   | 2030 | 2035     | 2040     |
|-------------------------------|--|--------|------|----------|----------|
| 排出量                           | 0.3万トン   | 0.6万トン | 2万トン | 10~50万トン | 15~30万トン |
| 法制度                           | FIT・FIP<br>廃棄費用積立<br>自主的取組<br>義務的措置<br>➤ 想定される法制度の状況を記載。   |        |      |          |          |
| 現場診断<br>解体・撤去<br>収集運搬<br>リユース | ➤ 技術開発の状況と将来的に必要な技術要素を整理<br>➤ 検討時点の技術要素の状況を踏まえて、将来的に必要な技術要素の課題を抽出。当該課題を踏まえて足元で技術開発が必要となる事項を整理し、NEDOの技術開発戦略へインプットする。<br>➤ この検討のために必要と考えられる情報は以下のとおり。<br>● 国内にてリユース・リサイクルが可能な事業者の情報<br>✓ 所在地、技術、受入条件・受入可能量<br>● リユース・リサイクルに係るコスト<br>✓ 収集運搬コスト、インシャルコスト、ランニングコスト<br>● リサイクル後の資源の受入可能性<br>✓ ガラス、金属、プラスチックの受入用途・受入可能量 |        |      |          |          |
| リペア・リビルド<br>リサイクル前処理          | アルミフレーム外し<br>端子・ケーブル外し<br>分別・選別  |        |      |          |          |
| 再生利用                          | ガラス<br>金属<br>プラスチック  |        |      |          |          |
| 適正処分                          |  |        |      |          |          |

図8 リサイクル戦略のイメージ

## ②リサイクル戦略策定に向けて更なる情報収集・検討が必要な事項

NEDO 開発技術等の現状のリサイクル技術を持つリサイクラーを整理し、技術的特徴や太陽光発電システムのリサイクル等の状況等を整理する。また、リサイクラー別のリサイクルコストについて、研究開発結果等の公表情報やアンケート調査結果を踏まえながら実際のコストの検討を行う。加えて、太陽光発電設備の排出量推計モデルを活用し、太陽光発電設備の排出要因別排出量を推定し、いつ（時期）、どこで（地域）、だれが（リサイクラー）どのように（技術）、リサイクルすべきかを整理したリサイクル戦略及びリサイクルロードマップを策定する。

### ●文献調査

- ▶リサイクル技術
- ▶リサイクル政策動向
- ▶リサイクル実施事例

### ●リサイクラーに対するアンケート調査、ヒアリング調査

- ▶リサイクル技術・リサイクルフローの詳細
- ▶使用済太陽光発電システムの受け入れ量、今後の受け入れ量見込み
- ▶リサイクルコスト

### ●調査結果に基づく検討

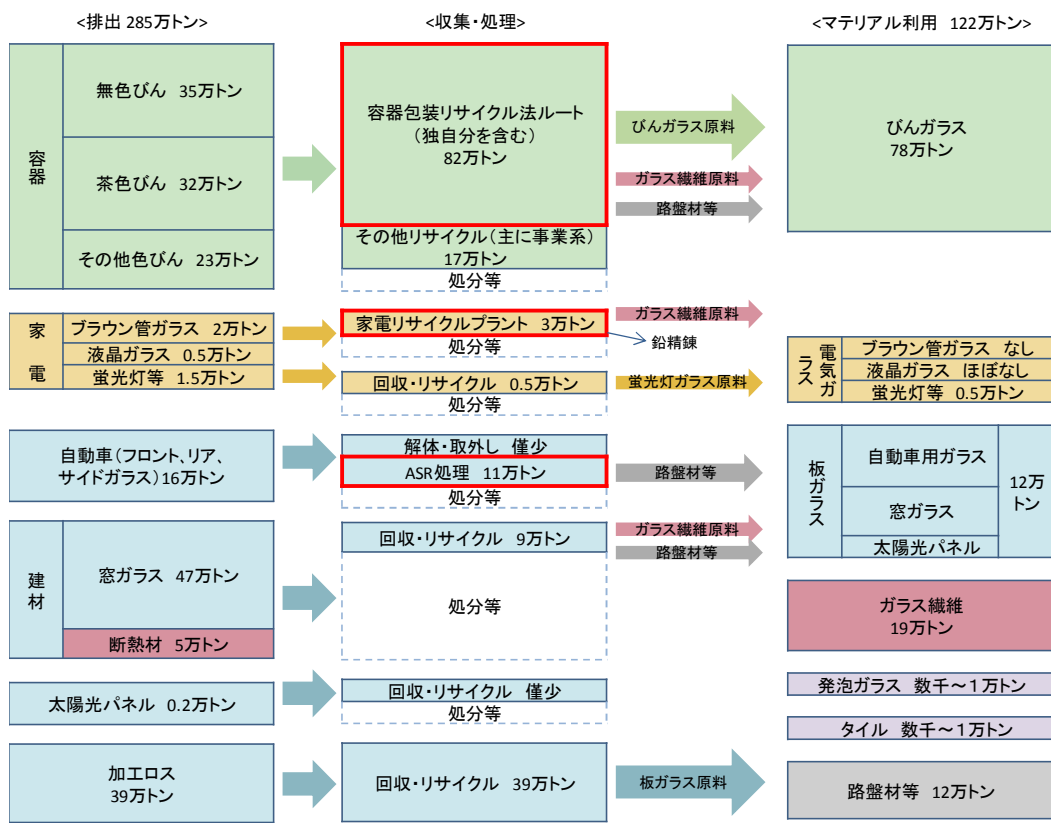
- ▶太陽光発電システムのリサイクル戦略・リサイクルロードマップの作成

(3) ガラスリサイクル市場に関する基礎調査

1) マテリアルフロー情報の整理

既存のガラスのマテリアルフロー情報をベースに、文献調査に基づき、ガラス出荷量、回収・リサイクル量、ガラスリサイクル技術、カレット利用量・利用用途等の項目について最新の状況変化を把握・整理し、マテリアルフロー情報を更新した。推計結果の概要は図9のとおりである。

ガラス製品生産量 330 万 t のうち、主要製品の板ガラスが 149 万 t、ガラスびんが 120 万 t、ガラス繊維が 44 万 t であり、これらで全体の 95% を占めている。使用済製品の排出見込量として、一般に公表されている数値は容器包装リサイクル法対象のガラスびん 94 万 t のみであり、建築用板ガラス、自動車用板ガラスは推計によりそれぞれ 52 万 t、16 万 t と算出した。収集量については、ガラスびんはそれぞれ容器包装リサイクル法ルートでの実績量が 75 万 t と公表されている。その他 40 万 t が容器包装リサイクル法ルートの外で収集されていると推定される。排出されたガラス製品のうち、有効利用される量は 122 万 t と推計される（排出見込量に対する割合は約 43%）。このうち、ガラスびん用途が 78 万 t、グラスウールが 19 万 t、板ガラスが 12 万 t、土木原料等に利用されているものが 13 万 t と推計される。残り約 100 万 t が未利用分として埋立等に回る。



※    は個別リサイクル法ルート

図9 ガラスのマテリアルフローの概要(2017年)

2) 調査対象用途先の選定及び受入条件・ポテンシャル等の把握

整理したマテリアルフロー情報に基づき、新たな用途先の追加も含めて、調査対象用途先及び関連主体を選定した。太陽光パネル由来のガラスの使用実績や、出荷先として検討中であること、一定量のガラスを安定的に受け入れられる可能性があること等を条件に、調査対象用途（板ガラス、グラスウール、発泡ガラス、その他ガラスリサイクル全般）及びヒアリング調査対象を選定した。選定した調査対象用途に対して、用途別受入条件（最小受入量、必要となる品位等）、現状及び将

来的な用途別受入ポテンシャルについてヒアリング調査を行い、受入条件・受入ポテンシャル等を把握し、用途別に整理した。

調査の結果、板ガラス、グラスウール、発泡ガラス、セラミック、タイル等について得られた情報のうち、使用済ガラスの受入条件および課題を表 4 に、ガラスリサイクル市場の動向を表 5 に整理した。

使用済ガラスの受入条件について、一部の条件は用途によらず共通しており、有害元素の混入は不可である、不純物（金属、有機物等）の含有は望ましくない、組成が均一な状態が望ましい、一定の粒径が必要である等の条件はいずれの用途でも言及があった。ただし、各々の条件について、どの程度厳格に定められているかは用途によって異なった。例として、不純物のうち有機物の含有量は板ガラスよりもグラスウールの方が許容幅は広く、組成の均一性についてもグラスウールは板ガラスと比較して厳密ではないと考えられる。

また、アンチモンの含有についても用途により扱いが異なり、板ガラスではアンチモンの含有による着色等が懸念される一方、グラスウールでは受入可能であるものの許容量については十分な知見がなく、今後の追加検討が必要と考えられる。発泡ガラスメーカーへのヒアリング調査からは、アンチモンの溶出への対応（不溶化）の技術を確立しており、アンチモンを含有するガラスも受入可能であるとの見解が得られている。

ガラスリサイクルの市場動向について、現状、太陽光発電設備由来のガラスは、カレットメーカー側にはほとんど流通していないとのことであった。現時点では太陽光発電設備に使用されるガラスの組成が安定しておらず、サンプルによっても異なるため、二次原料としての利用が難しいとされる。

使用済ガラス受入条件及び二次原料の受入ポテンシャルの双方の観点において、制約条件のひとつにアンチモンの含有が挙げられた。このことより、太陽光発電設備に使用されるガラスへのアンチモン使用に関する規制や、使用済ガラス利用におけるアンチモンの管理可能性の検証、使用済ガラスからアンチモンを除去する技術の開発等が重要であることが示唆された。

表 4 使用済ガラスの受入条件・課題

| 調査対象用途 | 異物混入  | 組成   | 粒径   | 検討課題  |
|--------|---|--|--|---|
| 板ガラス   | <ul style="list-style-type: none"> <li>●板硝子協会にて不純物の許容量の規格を整理（有機物、砂利・セラミクス、鉄片）</li> <li>●Al、Ni、Pb 等の非鉄金属は混入不可</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●As は有害性、Sb はガラス着色及び今後有害性指定の懸念</li> <li>●ガラスの色ムラや気泡の原因となるため、品質の高いガラスを生成する窯には均質なカレットを使用</li> <li>●比較的品質の低い網入りガラス等であれば基準はやや緩やか</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●原料が粉末状の場合、運搬・管理が難しい。溶解でも問題が発生する可能性あり</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●Sb、ガラス組成のばらつきの管理可能性検証</li> <li>●ガラス簡易分析方法の標準化</li> </ul>                        |
| グラスウール | <ul style="list-style-type: none"> <li>●原料への金属およびセラミックの混入は不可</li> <li>●有機物の含有も多すぎると望ましくない</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●As は有害性の観点から NG</li> <li>●Sb は原料溶解プロセスに影響が出る懸念あり。どの程度使えるかは未検証</li> <li>●ガラス組成の違いはそれほど大きな問題にならないが、粘性に影響を与える Ca、Mg の管理はある程度必要</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●原料が粉末状の場合、溶解時の熱効率低下、原料供給パイプの詰まりの原因となり得る</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●Sb の混入による影響分析</li> <li>●PV 由来ガラスの受入可能性検証、受入条件明確化</li> <li>●ガラス簡易分析方法</li> </ul> |

| 調査対象用途 | 異物混入  | 組成   | 粒径                              | 検討課題         |
|--------|---|--|---------------------------------|--------------|
|        |   | ● 結晶化ガラスは NG   |                                 | の標準化         |
| 発泡ガラス  | ● 現在の主原料であるガラスびんからは、金属や薬品用を破碎する前に手選別で除去する必要あり | ● Pb は熱処理前に分離できる見通し。Cr が六価に変化しないような抑止剤や、As の抑止剤も使用<br>● Sb については溶出させない不溶化技術を確立 | ● 主原料であるガラスびんはびんのまま入荷し、プロセス内で破碎 | ● Sb の溶出への対応 |

表 5 ガラスリサイクル市場の動向

| 調査対象用途    | 市場規模と二次原料受入ポテンシャル   | 二次原料受入状況   |
|-----------|---|--|
| 板ガラス      | 10 万 t 程度（型板ガラス）<br>● 建造物の着工件数が減少の一方、建造物当たりのガラス使用量が増加しているため、消費量は安定<br>● Sb に関する制約のため、受入ポテンシャルは生産量の 5%にあたる 5,000t（50MW）程度<br>● 網入りガラス等の特殊用途は需要拡大の見込みなし                           | ● 加工ロスについて積極的に利用<br>● 市中で使用されたものは板カレットメーカーが管理するもののみ利用。市中で使用されたものは型板ガラスのみ使用可能であり、フロートガラスには使用不可。<br>● ポストコンシューマ材の利用にも試験的に取り組んでいるところ。一次原料が安価であるためコストが見合わないことが課題 |
| グラスウール    | 20 万 t 程度<br>● 建造物の着工件数が減少の一方、建造物当たりの断熱材使用量が増加。また、電気自動車向けの需要が拡大する可能性<br>● かさ密度が低いため輸出入がなく、市場はドメスティック<br>● 生産プロセスにおける歩留まり（約 90%）と、Sb に関する制約を考慮すると、受入ポテンシャルは生産量の 15%にあたる 3 万 t 程度 | ● 原料の 92%はカレットである。半分は板ガラスの加工ロス、3~4 割はびんへの再利用が困難なカレットを使用。ブラウン管テレビや蛍光灯ガラスも受入<br>● 自動車用ガラスやドラム式洗濯機の蓋に使用されるガラスの受入も検討中<br>● カレットはやや不足傾向                           |
| 発泡ガラス     | 数千~1 万 t 程度<br>● 今後新規用途開発により需要増が見込まれる   | ● 市町村から排出されるガラスびんを主原料とする。自動車のフロントガラス等の利用も検討中   |
| セラミック、タイル | 数千~1 万 t 程度<br>● 今後新規用途開発により需要増が見込まれる   | ● 一部利用が進められているところ  |

上記のヒアリング結果をもとに、ガラスリサイクルの現状と太陽光発電設備由来ガラスの受入可能性について整理した結果は図 10 のとおりである。今後の用途別受入ポテンシャルは多くとも合計約 5.5 万 t であり、ピーク時には約 17 万 t から 28 万 t の使用済太陽光発電設備が排出されると予想されることを考慮すると、更なる受入ポテンシャルの拡大および新規用途開発が必要であると考えられる。





表6 太陽光発電設備由来ガラスのリサイクルにおける課題

| 課題番号 | 目指すべき姿  | 現状   | 対応方策案  |
|------|---|--|--|
| ①    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●PV に使用されるガラスの組成が統一されている</li> <li>●PV に有害元素（ヒ素等）が使用されていない</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●PV に使用されるガラスの組成は多様である</li> <li>●海外から有害元素含有のガラスを使用した PV が輸入されている</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●PV に使用するガラスの組成統一を促す制度を設計</li> <li>●海外製 PV 中の有害元素に関する管理制度を設計</li> </ul>   |
| ②    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●PV 解体現場にてPV に使用されるガラスの組成把握が可能</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>●PV に使用されるガラスのトレーサビリティが担保されない</li> <li>●解体現場で使用可能な簡易組成分析装置・手法がない</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>●簡易組成分析装置・手法の開発</li> <li>●組成分析手法の標準化</li> <li>●ガラスに組成情報（記号）を記載</li> </ul> |
| ③    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●同一組成の PV（ガラス）が安定して一定量排出される</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>●使用済となる PV の種類が多様であり、排出時期・場所も様々</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>●大規模非住宅 PV を狙った PV 回収・リサイクルから開始</li> <li>●PV に使用するガラスの組成を統一</li> </ul>    |
| ④    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●処理産物に異物が混入しない</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>●処理産物に異物が混入している</li> <li>●コストの面から、異物除去のための選別装置を十分に導入できない</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>●ガラス回収技術の高度化</li> </ul>   |
| ⑤    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●ガラスメーカーが受入可能な程度の粒径でガラスが回収される</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>●一部のガラス回収技術では産物が粉末状になるため、窯への投入が困難な場合がある</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>●ガラス回収技術の高度化</li> </ul>   |
| ⑥    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●PV 由来のガラスが全量再利用される</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>●現状、検討が行われている用途のみでは PV 由来のガラス全量が消費されない</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>●新規用途開発</li> </ul>  |

## 2. 実用化・事業化見通し

本調査研究は、我が国における太陽光発電システムのリサイクルの技術開発を実施する上で参考となるよう、将来的な排出見込量、国内動向（技術開発、政策、事業化事例）、ガラスリサイクル市場動向を調査したものである。本調査研究を通じて得られた成果は、本事業内で実施されているリサイクル等の技術開発において、目指すべき技術開発の水準や方向性等の検討に資することが期待される。さらに NEDO 技術開発機構を通じて本調査研究の成果を一般に周知することで、我が国の太陽光発電システムのリサイクルシステムの構築に貢献することが見込まれる。

## 3. 波及効果

固定価格買取制度の導入を契機に、太陽光発電システムの導入が急激に進んだが、太陽光発電システムを将来的に我が国の安定的な電源として位置づけていくためには、それらが使用済設備となり排出される段階までを想定したリユースやリサイクルに関する技術開発を進め、排出が本格化するまでに社会実装しておくことが重要である。

このような環境の中で本調査研究は、国内の太陽光発電システムのリユース・リサイクルの技術開発・政策・事業化の動向について調査・分析することを通じて、我が国の今後の技術研究開発の方向

性等を明確にするとともに、将来的な排出見込量を提示することで、我が国の太陽光発電システムのリユース・リサイクルの技術開発及び社会実装に貢献することが期待できる。

【参考文献】

- 1) IEA” Review of Failures of Photovoltaic Modules”  
[http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/intranet/ExCo/IEA-PVPS\\_T13-01\\_2014\\_Review\\_of\\_Failures\\_of\\_Photovoltaic\\_Modules\\_Final.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/intranet/ExCo/IEA-PVPS_T13-01_2014_Review_of_Failures_of_Photovoltaic_Modules_Final.pdf)
- 2) 猪狩真一，高久清 “太陽電池モジュールのマテリアルライフ” マテリアルライフ学会誌 17.2 (2005)：35-42.
- 3) 増田淳 「太陽電池モジュールの科学 明確化された減少と解決すべき課題」，国立研究開発法人産業技術総合研究所 太陽光発電研究 成果発表会 2017  
[https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/results/past\\_presentation/2017/oral/0613\\_T01.pdf](https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/results/past_presentation/2017/oral/0613_T01.pdf)
- 4) さんぱいくん（産業廃棄物処理業者 DB） <http://www2.sanpainet.or.jp/zyohou/index.php>

### (iii) 既設建築物へのZEB化に向けた太陽電池設置の可能性に関する調査[2019年度]

太陽光発電技術研究組合

#### 1. 成果詳細

##### 1.1 概要

###### 1.1.1 調査目的

太陽光発電技術研究組合が NEDO の委託を受け 2016 年に実施した「BIPV(建材一体型太陽光発電)に関する検討」では、既設建築物の改修時の(BI)PV 導入ポテンシャルについて、改修時期にあたる建築物の床面積から、PV 設置可能な屋根、壁面の面積は、2020 年時点で 2.3 億～15 億㎡、2030 年時点で 1.5 億～10.6 億㎡であると算出した。民間工事会社の大規模改修時期が竣工後、15 年～25 年に実施される傾向が強いことから、2020 年には、1996 年から 2005 年に建設された建物が改修時期を迎えると仮定し、10 年分の延床面積を合算して既築の潜在需要とした。10 で除せば単年度相当とみなせる。これは、PV の設置容量ではそれぞれ、33-215GW、22-149GW となる。一方、市場予測は、2020 年時点で年間 140 万～261 万㎡(0.27～0.91GW)、2030 年時点では年間 1,565 万～5,790 万㎡(3.29～12.19GW)としており、導入ポテンシャルの 1%にも満たない。ZEB の創エネについては PV がその大部分を担うとされるが、この予測からは、既設建築物については、改修時に ZEB 化できる例が極めて少ない事が推定できる。また、e-stat によると日本国内の過去 35 年間の建築出来高は、平成 3 年が最高(金額ベース)であり、以降、漸減し平成 24 年が最低値であった。このことから、ZEB 化対象の建築物は、新築より既設の方が多くことがわかる。そこで、本事業では、建築物の中で比率の多い既設建築物の ZEB 化促進を目的に、国内外の市場、技術動向調査、予備試験などを通して、既設建築物への PV 設置の課題を抽出、PV 設置量向上を目指すための課題の抽出と予備検討を実施した。

###### 1.1.2 調査概要

建築物の構造や用途に応じた開口部としての窓への太陽電池設置及び、建築物の改修時などに交換、後付けなどで太陽電池設置が可能な部位についての検討を行った。

建築物用途の太陽電池モジュール(及びシステム)は従来型の太陽電池と同一の技術的要件を満たすだけでは実装可能とはならないと考えられる。例えば、意匠性の観点からの着色と着色された色の褪色、高い場所への設置のための耐風圧などの荷重、設置場所の(架台でなく)外壁との親和性などは、建築物へ設置するための要求事項である。また設置時の太陽電池の角度や方位は、建築物の部位としての要求や建設地により制約されるため同一技術の製品であっても実発電量はさまざまであることが予想される。これらの条件、要求事項のもと、太陽電池の設置が実用に供するか、また、従来と同じ試験、測定で対応可能かなどを予備試験やシミュレーションなどを通じ検討した。

太陽電池設置部位の検討、太陽電池への要求事項、条件の整理に加え、国内外の事例を調査し、これらの活動から、建築物設置の太陽電池普及に向けての課題である普及阻害要因を抽出し、その解決策を提案した(目標達成)。

#### 1.2 PV 設置可能な建築物の整理(建築物への設置可能領域の検討)

##### 1.2.1 概要(建築物への設置可能領域の検討)

本稿では、既設 ZEB を目指す上で欠かせない太陽光発電設備(以下 BAPV)の設置可能な部位の洗い出しを行う上で最初に設置部位の状態を建築用途、建築構造、外皮構法および外皮の形態に分類した。この分類を基本とし BAPV の設置可能領域における特性を分析・展開すれば、設置部位別における課題が詳らかになると考えたからである。BAPV の設置に向けた課題を抽出するには、設置部位の状態による分類から BAPV を設置する上での基本要件である①施工要件(要下地、要貫通孔)、②建築外皮性能(気密・水密、耐風圧、地震、積雪、自重、層間変位、防耐火、耐熱性、遮熱、断熱、防露、耐久性、耐用

性)の評価を行い、③設置に必要な検討確認項目(法令・規準、デザイン、電気およびメンテナンス等)を抽出した。本稿では、BAPV の設置に向けた課題を整理する目的で、上記分類に即して課題を整理した。

### 1.2.2 検討結果

検討結果を表 1 に示す。

建築用途による違いは、BAPV の設置に向けた課題として検討を行ったが、大きな差異が生じないことが判明したため、ここでは建築用途の中で一番割合の高い事務所ビルを採用した。表中、縦軸に示した項目は、建築構造、建築外装構法、外壁部位(開口部、腰部)による使用部材、PV 設置想定部位、後付する PV の種類を示している。後付けする PV の種類には、図 1 に示す通り、SM(標準モジュール)、OM(特注モジュール)、直貼り型、あと施工型、ルーバー型およびブラインド型とした。横軸に示した PV 設置に向けた課題は施工基本要件や建築外皮性能に関する各要件に対して該当するものに✓を入れる形とし、設置に必要な検討事項は各領域での必要であろう課題を記述した。

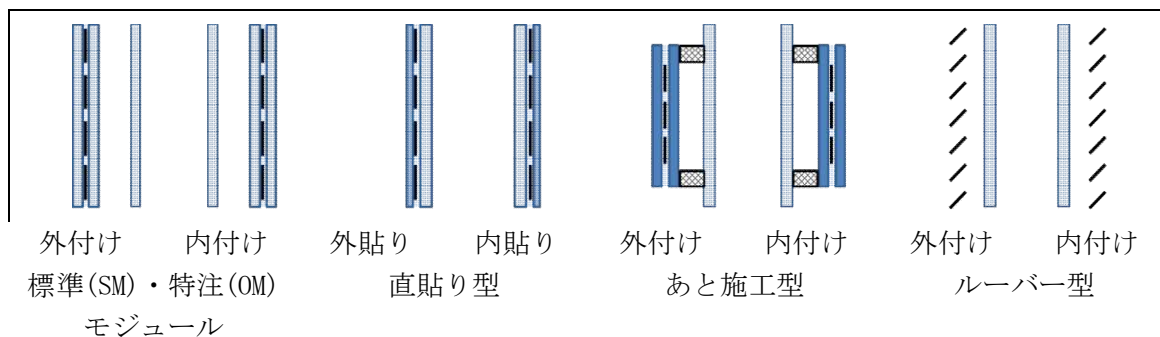


図1 建築外皮における各構法別の基本的なデザインパターン



### 1.2.3 まとめと課題（建築物への設置可能領域の検討）

既設建築物においては鉄骨建築(S 造)の割合が多く外皮がガラス CW(カーテンウォール)の場合はBIPV との親和性が高いことが示された。また ALC(autoclaved lightweight aerated concrete ;オートクレーブ養生した軽量気泡コンクリート)の外皮が用いられることも多いがこの場合、取り付け構造やモジュールの軽量化が課題であることが示された。

ZEB 実現に向けて既存の外壁に新たに PV モジュールを設けるということは、デザインの更新や進化に寄り添いながら、建築外皮性能ラインを維持し、安全に発電性能を付与することであり、それを行うためには、以下の開発が必要と現時点では考える。

- ① 開口部にPVモジュールを入替るため、開口寸法にアジャストできるデザイン性の高いアタッチメント。標準モジュールを活かせるデザイン性の高いアタッチメント。
- ② 外壁性能ライン維持のため外壁に孔を開けず発電電力を室内側に供給する送電方法。
- ③ 可視光透過率が高く、配線が目立たない電極を使用し受熱し難い構造を有した貼付け施工できるフレキシブルなPVモジュール。
- ④ あらゆる業者が参入しても一定以上の品質を維持できる設計施工管理支援ツール。
- ⑤ 電気的エラーが生じた場合に着火温度に至らない遮断機構や自己消火機能を有するPVモジュール。
- ⑥ 複雑な動きに追従できる接続機構。

## 1.3 性能試験特定のための予備試験

### 1.3.1 フレキシブルモジュール

建築物へ太陽電池モジュールを設置する場合、軽量化とともに曲面を有する建築物へはフレキシブルモジュールを用いた対応が多くなると予想される。本調査では、曲面での発電量測定およびベンディング試験を行い、曲面設置を想定したフレキシブルモジュールの性能を評価した。また、両面樹脂モジュールとしてのホットスポット特性も評価した。

#### 1.3.1-1 曲面での発電量測定

表 2 に示す 2 種類のフレキシブルモジュールについて、IEC61730-2, MST 02(STC=Standard Test Condition における最大出力測定)に基づき、曲げ半径 1600mm と 3200mm で各凹凸両曲面設置での発電量を測定し、平面状態での発電量との比較を行った。試験結果を表 3 および表 4 に示す。

表 2 フレキシブルモジュール仕様

| タイプ  | メーカー                 | サイズ         | 最小曲げ半径 |
|--|----------------------|-------------|--------|
| 6 インチ単結晶シリコン 60 直列／<br>両面樹脂                                | Sunman 製<br>(フレームなし) | 1660×990 mm | 450 mm |
| CIGS(Copper Indium Gallium<br>Selenide)／両面樹脂 (裏面接着剤<br>付き) | Filsom 製<br>(フレームなし) | 1617×411 mm | 250 mm |

表3 Sunman製単結晶シリコンモジュール曲面での発電量測定結果

| 設置条件                  | Isc<br>[A] | Voc<br>[V] | Ipm<br>[A] | Vpm<br>[V] | FF<br>[%] | Pm<br>[W] | Pm<br>相対値※ |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 平面状態(試験前)             | 9.286      | 39.92      | 8.808      | 32.80      | 77.93     | 288.9     | 1.00       |
| 平面状態(試験後)             | 9.311      | 39.85      | 8.801      | 32.66      | 77.47     | 287.4     | 0.99       |
| 曲げ半径 1600mm/<br>凹曲面設置 | 9.167      | 39.84      | 8.726      | 32.71      | 78.15     | 285.4     | 0.99       |
| 曲げ半径 1600mm/<br>凸曲面設置 | 7.668      | 39.84      | 7.433      | 34.18      | 83.18     | 254.1     | 0.88       |
| 曲げ半径 3200mm/<br>凹曲面設置 | 9.353      | 39.88      | 8.852      | 32.71      | 77.61     | 289.5     | 1.00       |
| 曲げ半径 3200mm/<br>凸曲面設置 | 8.700      | 39.87      | 8.406      | 33.07      | 80.14     | 278.0     | 0.96       |

※ 相対値は、平面状態(試験前)での発電量を1.00とした時の各曲面での発電量の比率を示す。平面状態(試験後)の測定は、曲げ設置での治具固定などでのダメージ要因がないか確認のため実施した。

表4 Filsom製CIGSモジュール曲面での発電量測定結果

| 設置条件                  | Isc<br>[A] | Voc<br>[V] | Ipm<br>[A] | Vpm<br>[V] | FF<br>[%] | Pm<br>[W] | Pm<br>相対値※ |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 平面状態(試験前)             | 2.050      | 48.20      | 1.743      | 36.72      | 64.77     | 63.99     | 1.00       |
| 平面状態(試験後)             | 2.044      | 48.02      | 1.742      | 36.34      | 64.50     | 63.30     | 0.99       |
| 曲げ半径 1600mm/<br>凹曲面設置 | 2.035      | 48.26      | 1.726      | 36.90      | 64.84     | 63.68     | 1.00       |
| 曲げ半径 1600mm/<br>凸曲面設置 | 1.912      | 48.11      | 1.631      | 36.70      | 65.08     | 59.88     | 0.94       |
| 曲げ半径 3200mm/<br>凹曲面設置 | 2.047      | 48.02      | 1.742      | 36.52      | 64.74     | 63.63     | 0.99       |
| 曲げ半径 3200mm/<br>凸曲面設置 | 1.997      | 48.16      | 1.697      | 36.78      | 64.91     | 62.42     | 0.98       |

※ 相対値は、平面状態(試験前)での発電量を1.00とした時の各曲面での発電量の比率を示す。  
Isc : 短絡電流[A]、Voc : 開放電圧[V]、Ipm : 最大出力動作電流[A]、Vpm : 最大出力動作電圧[V]、  
FF : 曲線因子[%]、Pm : 最大出力[W]

両モジュール共に、凹曲面設置に対して凸曲面設置の方が低くなる傾向が観られた。その原因として、ソーラーシミュレータの光源はモジュール表面の中心から離れると広がり角度を伴って照射される構造のためであり、モジュール表面両端部分の入射角度は、凸曲面設置の方が凹曲面設置より大きくなるためと推測される。上記のソーラーシミュレータの特性は、凸曲面設置において、曲げ半径の小さい R3200mm の発電量が曲げ半径の大きい R1600mm より大きい値となったことでも確認された。いずれにしても各設置条件での発電量の差は僅かであるため、照度ムラなどの誤差要因を含めた検証が必要である。

### 1.3.1-2 ベンディング試験

2 種類のフレキシブルモジュールについて、IEC61215-1-1, MQT 22 を参照したベンディング試験を行い、その性能を評価した。試験写真を図 2-1 から図 2-2 に、試験結果を表 5 に示す。

Sunman 製モジュールでは、EL 画像において軽微にマイクロクラックの発生が確認された。Filsom 製モジュールでは、ベンディング試験による断線、クラック、絶縁不良などの異常は起こらなかった。



図 2-1 ベンディング試験写真  
Sunman製、最小曲げ半径450mm



図 2-2 曲面での発電量測定写真  
Filsom製、最小曲げ半径250mm

表5 ベンディング試験結果

| タイプ             | 最小曲げ半径 | 結果   |                  |    |      |
|-----------------|--------|------|------------------|----|------|
|                 |        | 目視検査 | EL 検査            | WL | 導通確認 |
| Sunman 製単結晶シリコン | 450 mm | OK   | OK<br>(マイクロクラック) | OK | OK   |
| Filsom 製 CIGS   | 250 mm | OK   | OK               | OK | OK   |

WL: 湿潤リーク電流試験

### 1.3.1-3 ホットスポット試験

フレキシブルモジュールは両面を樹脂で挟まれた構造をしており、熱の影響による不具合が起こることが懸念される。本試験では、フレキシブルモジュールのホットスポット試験を行い、その耐ホットスポット性能を確認する。またバイパスダイオードのオープン故障を想定し、ダイオード端子の切断を行い、さらに高温となった状態での検証も行った。

試験の結果、バイパスダイオードを切り離した場合、遮光セル近辺が焼損し、セルの最大温度は 400 度を越えたことがわかった(表 6)。試験後の EL 画像でも焼損に伴う暗部の形成が確認できたが、発電量への影響はほぼ見られなかった。両面を樹脂で挟まれた製品としての、高温耐性が懸念されることが確認できた。製品特性にあった設置場所やモジュール内のセルストリング配線などに検討が必要であると考えられる。

表6 ホットスポット試験結果

|   | 結果   |       |       |                  |
|---|------|-------|-------|------------------|
|   | 目視検査 | IV 測定 | EL 検査 | 遮光セル<br>最大温度[°C] |
| フレキシブルモジュール<br>結晶系 60セル、薄型フレーム付<br>表裏面、樹脂 | OK   | OK    | OK    | 132              |
| フレキシブルモジュール<br>(バイパスダイオードなし影①)            | OK   | N/A   | N/A   | 155              |
| フレキシブルモジュール<br>(バイパスダイオードなし影②)            | NG   | OK    | 暗部発生  | 446              |



### 1.3.2 大型モジュールのホットスポット

建築物の窓に設置されるモジュールは両面ガラスモジュールとなる。ホットスポットによりセルの温度上昇は、ガラスの割れなどの危険を引き起こす可能性がある。本試験では、大型両面ガラスモジュールについて、耐ホットスポット性能を検証した。

表 7 に示す両面ガラスモジュールについて、IEC61730-2, MST 22 を参照したホットスポット試験を行った。

表7 両面ガラスモジュール仕様

| タイプ                         | メーカー        | サイズ            |
|-----------------------------|-------------|----------------|
| 両面ガラス<br>6 インチ多結晶シリコン 60 直列 | カナディアンソーラー製 | 1658×991×35 mm |

BIPV ではダブルガラスの大型モジュールを利用することが多いが、建築物に設置しているため、ホットスポットの温度上昇によるガラスの破損、それに伴うガラスの落下などの可能性を避けなければならない。そこで、ダブルガラス大型モジュールに対し、耐ホットスポット性能試験を実施したが、通常のホットスポット試験後に実施したバイパスダイオード取り外し試験においても、発電量、EL 画像などに顕著な劣化は確認されなかった。遮光セルは、最高温度で約 260 度であり、表裏面に樹脂を用いた製品に比べても高温にならなかった。ダブルガラスモジュールにおいてはホットスポットは重大な問題につながらないと考えられるが、本モジュールは 60 直多結晶型であり、多結晶型や大判セルを使ったモジュール、72 セルモジュールなどについては更なる検討が必要である。

### 1.3.3 屋根用融雪 PV

積雪地帯の建築物に太陽電池モジュールを積載しようとするとき、問題となるのは屋根への過剰な荷重負荷である。日本では豪雪地帯を有する都道府県が 24 有り、国土の全面積の 51%、総人口の 15%を擁している。平成 24 年に国土交通省によって制定された豪雪地帯対策基本計画においても除排雪体制の整備、空家に係る除排雪体制などの管理の確保など、除雪対策が重視されている。一方、屋根からの落雪による事故、雪下ろしに伴う事故は当該期間の交通事故の 10%に達しており、社会問題になりつつある。これは高齢化と共にますます深刻化していくと懸念される。また再エネ普及、低炭素化という観点でも雪の影響による発電量の低下、融雪への化石燃料の利用などの課題がある。これらを解決する一つの方法は雪国に融雪型の太陽光発電を普及させ、夏や冬の晴天日の発電エネルギーで融雪エネルギーを賄うとともに人力による除雪作業を回避し、それに伴う事故を防止することである。

これまでもいくつかの企業が融雪型太陽電池を開発してきたが、いまだ市場での普及率は低い。その一つの原因が適切な製品規格の欠如である。太陽電池として製品規格は IEC や JIS で規定されているが、融雪型太陽電池の製品規格は明確には存在しない。今後、そのような規格を策定することも必要であるが、当面現存する規格の運用と解釈で対応することが望ましいと考えられる。そこで、どのような可能性があるか認証機関である VDE と連携して調査した。

その結果以下の結論を得た。

- 1) 当該製品には固有の製品規格が存在しないため、当該製品の試験は以下の PV モジュール (IEC61215 と IEC61730) およびヒーターの規格 (IEC60335-1, IEC60335-2-83) を PV とヒーターを統合した製品という観点からの専門的知見を加えて調整し適用すべきと判断する。
- 2) ヒーターの回路は、PV モジュールの表面に積雪があった場合、スイッチが入る。安全にかかわる最も危険な状況は、ヒーター制御装置が何らかの理由で故障し、PV が発電時にヒーターが動作する場

合と判断する。

- 3) ヒーターとPVが40度の気温で同時に作動するような場合でも、ヒーターの回路とPVの回路の間の電氣的絶縁が、熱に対して問題のない安全関連規格が設定されているかどうかを試験する方法が妥当である。

具体的には IEC61730 における項目 5.6.3 および 5.6.4 でそれぞれ絶縁距離および DTI が PV 充電部とヒーター回路の間で確保されていること、項目 10.12~14 で絶縁試験を PV 充電部とヒーター充電部の間で行なうこと、IEC60335-2-83 における項目 3.1.9 でヒーター回路において表面が熱伝導率  $1.25\text{m}^2\text{K}/\text{W}$  が確保されていることが新たに必要とされる試験項目となる。

今後対象となる製品をこの方法で試験して安全性を確認すれば、関係各位の認定が得られると期待される。

#### 1.4 建築物用 PV の評価のための試験

建築物へ設置する太陽電池モジュールは、建築物の一部としてデザイン性も考慮する必要がある。特に建築物との調和には色は重要な要素であり、市場で色付きモジュールも多くみられる。ここでは色付きモジュールについて実証試験を行い、その特性と問題点を検証する。

##### 1.4.1 色付きモジュールの発電量測定

Issol 製色付きモジュール 4 色について、IEC61730-2, MST 02(STC における最大出力測定)に基づく発電量測定を行い、各色の性能を比較した結果を表 8 に示す。透明ガラスを用いたモジュールの出力を 100 とすると、グレー、テラコッタ、ブラウンの出力の仕様は 79、白は 58 とのことである。

表8 色付きモジュールでの発電量測定結果

| サンプルの色  | Isc<br>[A] | Voc<br>[V] | I <sub>pm</sub><br>[A] | V <sub>pm</sub><br>[V] | FF<br>[%] | P <sub>m</sub><br>[W] | P <sub>m</sub> 平均値<br>[W] | P <sub>m</sub><br>相対値※ |
|---------|------------|------------|------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------|------------------------|
| グレー 1   | 5.870      | 22.48      | 5.491                  | 18.68                  | 77.72     | 102.6                 | 103.5                     | 1.00                   |
| グレー 2   | 5.869      | 22.54      | 5.572                  | 18.71                  | 78.80     | 104.3                 |                           |                        |
| 白 1     | 5.508      | 22.51      | 5.215                  | 18.78                  | 79.00     | 97.93                 | 97.9                      | 0.95                   |
| 白 2     | 5.565      | 14.98      | 5.284                  | 12.13                  | 76.87     | 64.09                 |                           |                        |
| テラコッタ 1 | 5.879      | 22.55      | 5.614                  | 18.75                  | 79.41     | 105.3                 | 105.3                     | 1.02                   |
| テラコッタ 2 | 6.075      | 14.72      | 5.746                  | 12.13                  | 77.95     | 69.69                 |                           |                        |
| ブラウン 1  | 5.230      | 22.45      | 4.951                  | 18.75                  | 79.09     | 92.86                 | 93.3                      | 0.90                   |
| ブラウン 2  | 5.205      | 22.59      | 4.954                  | 18.92                  | 79.71     | 93.72                 |                           |                        |

※ 相対値は、グレーの発電量を1.00とした時の各色の発電量の比率を示す。

サンプル白 2 とテラコッタ 2 は他サンプルと比較して、Voc の数値が低く、モジュールの故障(クラスタの断線、バイパスダイオードの開放など)が疑われるため、表 8 の P<sub>m</sub> 平均値は故障が疑われるサンプルを除いた数値で計算を行った。

##### 1.4.2 色付きモジュールのホットスポット試験

色付きモジュールのホットスポット試験を表 9 に示される 3 種類のモジュールで行った。色付きモジュールの表面の色むらによって、モジュール温度にムラが生じるか模擬太陽光を照射し裏面からサーモグラフィーにより確認した。

サーモグラフィー画像において、温度ムラが確認できたが、各色類似したムラの傾向がみられたこ

とからモジュールの色ムラによるものではなく光源の照度ムラによるものが強いと考えられる。3種類のモジュールのホットスポット試験の結果を表10および表11に示す。

表9 試験に使用したモジュール

|                 | セルタイプ  | サイズ        | 色  | 出力   |
|-----------------|--------|------------|----|------|
| Solaxess 製モジュール | 結晶シリコン | 1300x720mm | 白  | 76W  |
| Issol 製モジュール    | 結晶シリコン | 1050x990mm | 茶色 | 130W |
| Avancis 製モジュール  | CIGS   | 1587x664mm | 緑  | 130W |

\*ISSOL モジュール出力は仕様書の値

\*Avancis モジュールは、試験サンプルのため、ラベルに出力の記載なし。カタログ値を記載。

表10 ホットスポット試験結果

| タイプ                | 結果   |      |      |    |                  |
|--------------------|------|------|------|----|------------------|
|                    | 目視検査 | IV測定 | EL検査 | WL | 遮光セル<br>最大温度[°C] |
| Solaxess 製モジュール    | OK   | OK   | OK   | OK | 65.7             |
| Issol 製モジュール(ブラウン) | OK   | OK   | OK   | OK | 75.9             |
| Avancis 製モジュール     | OK   | OK   | OK   | OK | 59.1             |

WL: 湿潤リーク電流試験

I-V 測定の詳細を表11に示す。2種類の結晶シリコンモジュールについてはホットスポット試験に伴う出力の減少及びEL画像の変化は確認されなかった。(透明ガラスモジュールでは短絡電流は、約9Aである。)一方CIGS色付きモジュールについては、ホットスポット試験後のEL画像に遮光を行った部分に暗部発生が見られた。この暗部は部分的なシャント抵抗の低下によりその部分に電流が流れないことに起因すると解釈される。また、試験後の出力は3%程度低下した。

表11 ホットスポット試験前後の発電量測定結果

| タイプ                | 測定<br>タイミング | Isc<br>[A] | Voc<br>[V] | I <sub>pm</sub><br>[A] | V <sub>pm</sub><br>[V] | FF<br>[%] | P <sub>m</sub><br>[W] | P <sub>m</sub><br>相対値※ |
|--------------------|-------------|------------|------------|------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|
| Solaxess 製モジュール    | 試験前         | 4.720      | 20.59      | 4.540                  | 17.29                  | 80.77     | 78.48                 | 1.00                   |
|                    | 試験後         | 4.729      | 20.51      | 4.541                  | 17.23                  | 80.68     | 78.24                 | 1.00                   |
| Issol 製モジュール(ブラウン) | 試験前         | 5.205      | 22.59      | 4.954                  | 18.92                  | 79.71     | 93.72                 | 1.00                   |
|                    | 試験後         | 5.216      | 22.49      | 4.974                  | 18.76                  | 79.55     | 93.32                 | 1.00                   |
| Avancis 製モジュール     | 試験前         | 2.235      | 81.57      | 2.036                  | 64.92                  | 72.50     | 132.2                 | 1.00                   |
|                    | 試験後         | 2.243      | 79.99      | 2.029                  | 63.16                  | 71.42     | 128.1                 | 0.97                   |

※相対値は、試験前の発電量を1.00とした時の試験後の発電量の比率を示す。

## 1.5 建築物用 PV の発電量

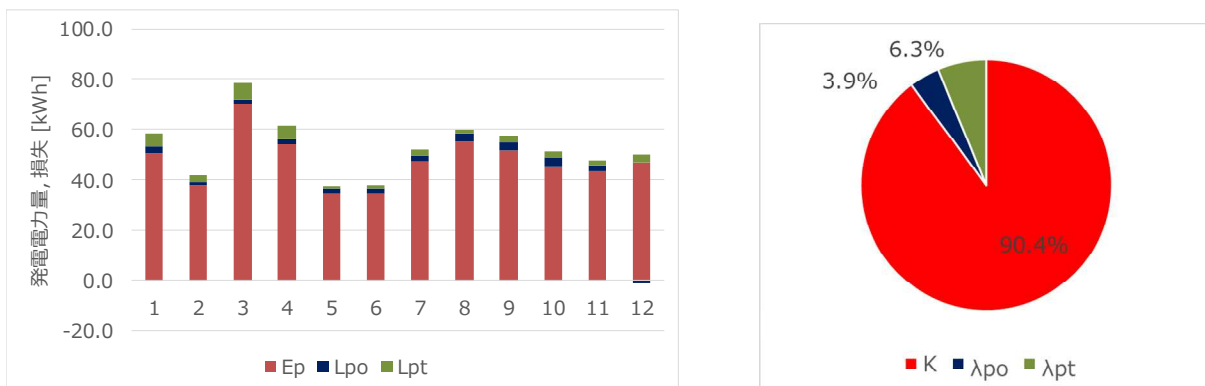
### 1.5.1 実測データを用いた発電量推定方法の検討

国内で入手可能な壁面設置 PV の発電電力量データとして、兵庫県豊岡市に設置されている（株）カネカ BIPV 実証事業サイトの発電電力量データを対象にし、その発電電力量推定手法について検討を行った。

#### 1.5.1-1 発電特性分析

発電電力量の推定方法の検討においては、どのような要因が発電特性に影響を与えているかが重要であるため、実測データより発電特性の分析を行った。発電特性の分析として、日射量を基準としたシステム出力係数(今回は IV 測定を直接行っているため、正確にはアレイ出力係数)とモジュール裏面温度から求めた温度損失、およびその他の損失を分析した。なお、最大電力の温度特性は、 $-0.4\%/^{\circ}\text{C}$ とした。

図 3 に結果を示す。システム出力係数が約 90%、温度による影響が約 6%、その他が約 4%である。このシステムは日影の影響がほとんどないことから、考慮する損失は大きくないが、損失の中では温度による影響が重要であることがわかる。



Ep:発電電力量、LPO:その他損失、LPT:温度損失 K:システム(アレイ)出力係数、 $\lambda$ :損失率

図3 発電特性分析結果

#### 1.5.1-2 モジュール温度推定の検討

発電電力量の推定には、温度特性の影響が大きいいため、モジュール温度推定について検討を行った。比較として以下のモデルについて比較を行った。図 4 にモジュール温度推定結果(月平均;夜間も含む)、図 5 にモジュール温度推定誤差の結果を示す。

温度推定誤差は、JIS 方式の風速利用した場合(TC1)が最も推定精度が良い結果となった。温度としては年間平均では $3^{\circ}\text{C}$ 以下、損失率にすると風速を考慮する TC1、TC2、TC3 において $\pm 2\%$ となった。温度損失が 6%であるため、数%の推定誤差を考える場合にはモデルの選択が重要といえる。今回は、TC1 が最も良い結果となったが、他のシステムでの検証が必要である。

- TC1 : JIS 方式(JQA モデル、風速利用;屋根一体型)
- TC1' : JIS 方式(荷重平均モデル、風速利用なし)
- TC2 : Faiman model(風速利用)
- TC2' : Faiman model(風速未利用;PV syst デフォルト)
- TC3 : Sandia model

TC1, TC1' : 出典: JIS C8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法

TC2, TC2' : 出典: PVPoromance: <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/2-dc-module-iv/module-temperature/faiman-module-temperature-model/>

Faiman, D. (2008). "Assessing the outdoor operating temperature of photovoltaic modules." Progress in Photovoltaics 16(4): 307-315.

TC3: 出典: PVPerformance: <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/2-dc-module-iv/module-temperature/sandia-module-temperature-model/>

| yyyy | mm    | 外気温[°C] | 実測TC[°C] | Tc1  | Tc1' | Tc2  | Tc2' | Tc3  |
|------|-------|---------|----------|------|------|------|------|------|
| 2018 | 8     | 30.8    | 33.0     | 34.1 | 33.5 | 34.5 | 36.6 | 37.1 |
| 2018 | 9     | 24.5    | 26.3     | 26.2 | 26.3 | 27.1 | 28.4 | 28.8 |
| 2018 | 10    | 19.1    | 23.5     | 23.5 | 22.3 | 23.6 | 25.8 | 26.5 |
| 2018 | 11    | 13.6    | 17.1     | 16.8 | 16.1 | 17.2 | 18.9 | 19.4 |
| 2018 | 12    | 8.8     | 10.7     | 10.1 | 10.4 | 11.1 | 12.3 | 12.6 |
| 2019 | 1     | 5.1     | 7.8      | 6.9  | 7.0  | 7.8  | 9.1  | 9.5  |
| 2019 | 2     | 6.7     | 10.3     | 9.3  | 9.0  | 9.9  | 11.6 | 12.0 |
| 2019 | 3     | 9.6     | 12.6     | 12.1 | 11.9 | 12.8 | 14.6 | 15.0 |
| 2019 | 4     | 13.7    | 16.9     | 17.2 | 16.4 | 17.5 | 19.5 | 20.1 |
| 2019 | 5     | 21.5    | 23.1     | 24.4 | 24.0 | 24.9 | 26.7 | 27.2 |
| 2019 | 6     | 24.3    | 25.7     | 26.2 | 26.2 | 27.0 | 28.4 | 28.8 |
| 2019 | 7     | 27.8    | 29.6     | 29.7 | 29.7 | 30.5 | 31.9 | 32.3 |
| 総計   | Total | 18.2    | 20.8     | 20.8 | 20.5 | 21.4 | 23.1 | 23.5 |

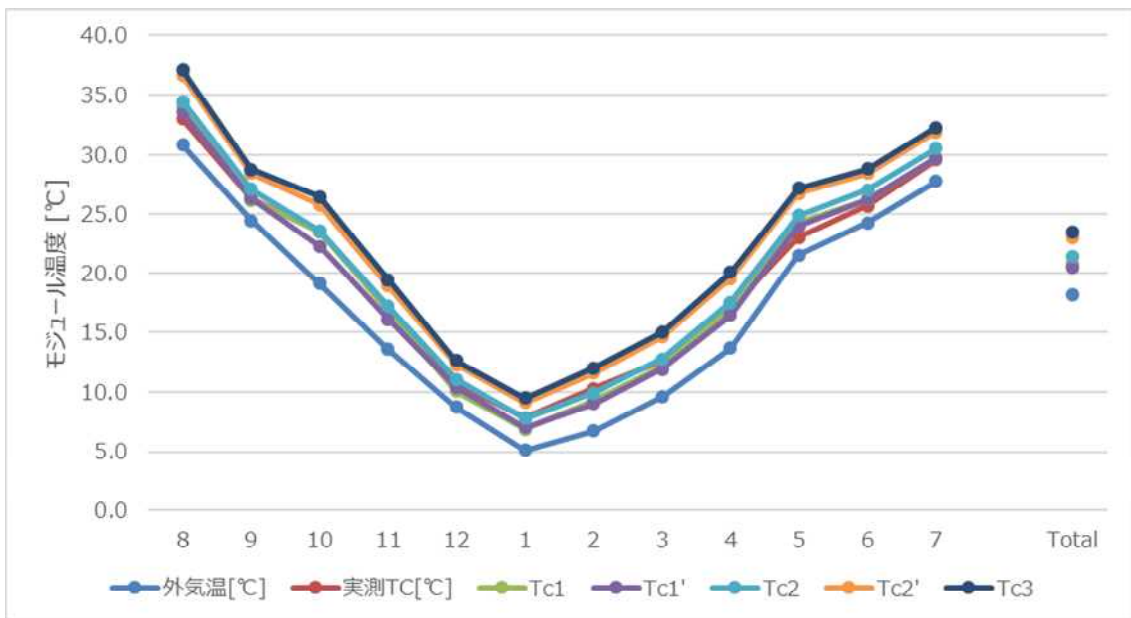


図4 モジュール温度推定結果(月平均 ; 夜間も含む)

| yyyy | mm    | Error Tc1 | Error Tc1' | Error Tc2 | Error Tc2' | Error Tc3 |
|------|-------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| 2018 | 8     | 1.7       | 3.4        | 2.8       | 3.7        | 4.1       |
| 2018 | 9     | 1.1       | 2.9        | 2.3       | 2.3        | 2.6       |
| 2018 | 10    | 1.8       | 4.9        | 3.7       | 2.8        | 3.2       |
| 2018 | 11    | 1.7       | 4.6        | 3.6       | 2.6        | 2.7       |
| 2018 | 12    | 1.6       | 3.2        | 2.7       | 2.3        | 2.4       |
| 2019 | 1     | 1.7       | 3.5        | 2.9       | 2.1        | 2.2       |
| 2019 | 2     | 1.9       | 3.9        | 3.1       | 2.1        | 2.2       |
| 2019 | 3     | 1.7       | 3.6        | 3.0       | 2.5        | 2.7       |
| 2019 | 4     | 1.7       | 4.1        | 3.2       | 2.8        | 3.2       |
| 2019 | 5     | 1.9       | 3.5        | 3.0       | 3.7        | 4.1       |
| 2019 | 6     | 1.4       | 2.5        | 2.1       | 2.8        | 3.1       |
| 2019 | 7     | 1.2       | 2.6        | 2.1       | 2.4        | 2.7       |
|      |       |           |            |           |            |           |
| 総計   | Total | 1.6       | 3.5        | 2.9       | 2.7        | 2.9       |

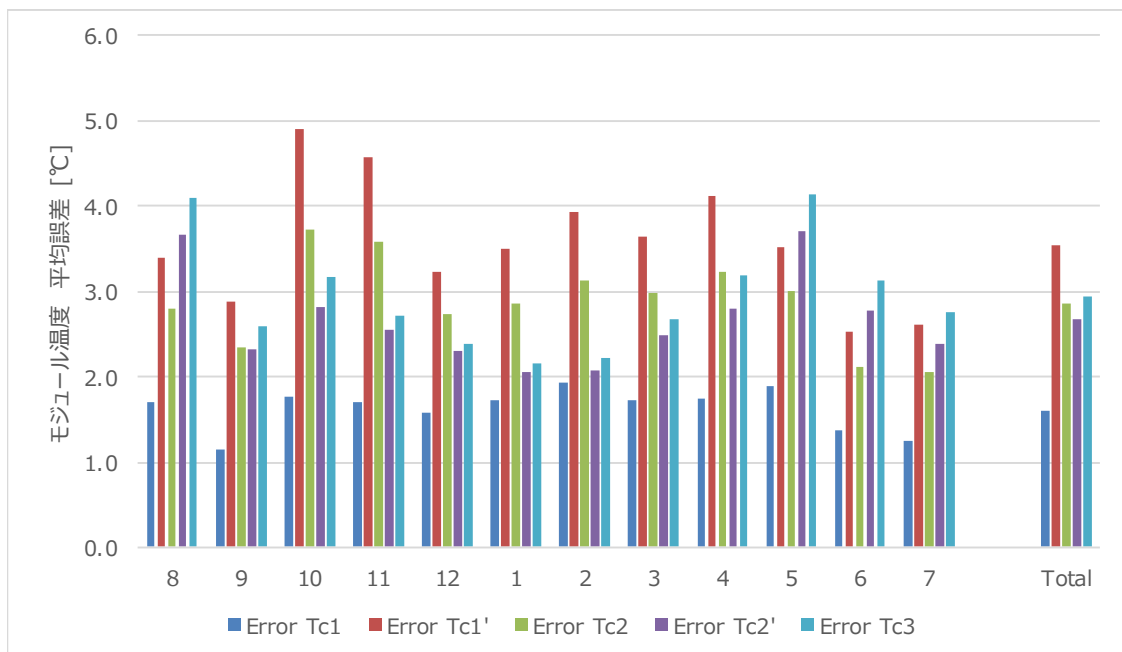


図5 モジュール温度推定誤差

### 1.5.2 都市部の発電量

前項では、郊外に立地したビル、つまり周囲に建物等が近接しておらず、それらにより生じる影や反射光の影響を考慮しなくても良い環境におけるビルに設置した PV システムの発電量推定および実データとの比較について議論を行った。しかしながら、現実的にはそのようなビルは数少なく、別の構造物や樹木が周囲に存在する場合が多い。特に都市部に立地したビルにおいては、近隣建物により生じる日影や反射光はビルへの日射量に大きく影響する。都市部ビルの ZEB 化に向けては、こうした日射量変化を加味した発電量推定(シミュレーション)をできる限り正確に行うことは重要である。

そこで本項においては、都市部におけるビルの発電量シミュレーションの現状について調査を行い、課題の抽出を試みた。

上記現状で述べたように、BIPV 用発電量シミュレーションツールはまだ開発途上であり、都市部ビルの ZEB 化促進に資するためにはまだ時間がかかると考えられる。加えて、太陽電池自体の進歩やトレンドの変化(例えば両面受光型などの普及)あるため、その時々に合わせてツールのアップデートは継続する必要がある。

個別の要素技術に目を向けると、日射量推定についてはすでに建築業界での実績もある ray-tracing 法(例：Radiance)が標準となる見込みが高い。しかし、日射量推定に必要な環境モデリングには周囲建築物のデジタルデータ化が必要であり、現状では測量や各建物の原本図面からのデータを手入力することが求められる。LiDAR(Light Detection and Ranging)技術等を活用した簡便な 3 次元測量方法の実用化が進むとともに、建築業界における BIM(Building Information Modeling)の動きとも合わせたデータ整備も進めていくことが必要であろう。

日射量推定以外の要素技術(セル・モジュールの温度推定、最適レイアウト・電気回路設計、IV 推定、出力推定)については、標準的と言えるプログラムはまだ出現していない。しかしながら、ベース技術自体は揃っているとも言える段階にはあり、時間と労力をいとわなければ高精度なシミュレーションは可能である。今後は実績値との比較を重ね精度を高めていくと同時に、手順の単純化や余分な機能の削除など時間と労力の短縮につなげていくことが重要である。

各要素技術プログラム間のデータ連携(読み込みの互換性、データベース化)については課題が多く残されている。例えば、建物の BIM データを Radiance プログラムに読み込む際には多くのエラーが発生することがあり、マニュアル的に修正が必要となる。気象・地形データは世界各地で様々なフォーマットで提供されており、読み込みが不可能な場合も多くある。また、特に気象データは、観測スポットが限られている関係で建築予定地そのもののデータを得ることは困難という問題もある。データベースの充実とデータ間・プログラム間の連携性の向上(または標準化)は国際的かつ BIPV にかかる様々なステークホルダーの協調の元取り組むべき課題と言える。IEA PVPS Task 15 や IEC TC82 を中心とした取り組みが期待される。

発電量推定のその先にも課題がある。ビルの ZEB 化においては、PV の発電量推定は入口の一部に過ぎず、総合的な経済性・環境メリットの評価まで行うことが求められる。したがって、BIPV 用発電量シミュレーションツールは、その後の評価ツールとの連携も可能(または一体化)したものが理想である。考慮すべき項目としては、建築後の運用・メンテナンス・廃棄に係るコスト、利用可能な各種インセンティブ情報(電力固定買取価格、導入補助金等)、CO<sub>2</sub>削減効果、ヒートアイランド抑制効果などが挙げられる。また、これらを包括的に取り扱うことができる人材の育成も進めていくことが必要である。

#### 1.6 環境性能評価(窓ガラスの代替として建築物用 PV を採用した場合の省、創エネ効果)

AGC (株) では学校における開口部の断熱性の向上効果についてシミュレーションを発表している。ここではある特定のケースに BIPV を導入したときのエネルギー収支の改善効果について概算した。

表12 壁面条件

|    | 熱貫流率<br>(W/m <sup>2</sup> K) | 日射吸収率 | 有効熱容量<br>(KJ/m <sup>3</sup> K) | 面積(m <sup>2</sup> ) |      |
|----|------------------------------|-------|--------------------------------|---------------------|------|
|    |                              |       |                                | 教室                  | 廊下   |
| 床  | 0.53                         | 80%   | 74.2                           | 56.3                | 21   |
| 天井 | 断熱                           |       |                                | 56.3                | 21   |
| 外壁 | 0.75                         | 80%   | 92.7                           | 6.4                 | 18.4 |
| 内壁 | 2.55                         | 80%   | 3.9                            | 60.8                | 18.4 |

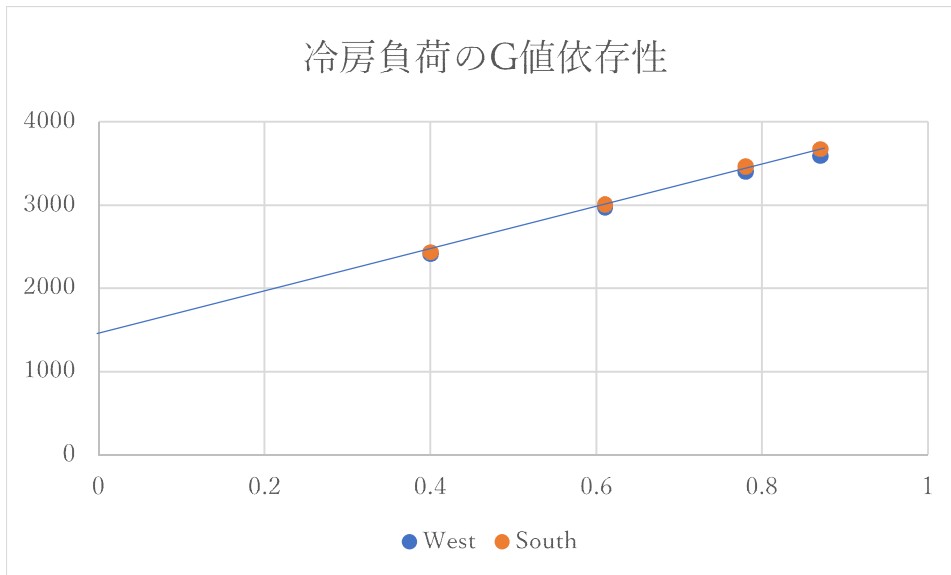


図6 冷房負荷のSHGC依存性 年間冷房負荷とSHGCの関係

図6において、冷房負荷はほぼSHGC（Solar Heat Gain Coefficient；熱貫流率）に対して線型であり、方位に寄らないので単純な近似として冷房負荷はSHGCによってユニークに決まると仮定した。そこでBIPV開口部のSHGCから冷房負荷を見積もったところ、Low-Eダブルグレーディングでは冷房負荷はFL4単板に比べて60%程度と予想された。一方発電量は南面で180%、西面でも140%程度あるため、冷房負荷はBIPVの導入によって十分カバーできることが分かった。

暖房負荷はLow-Eダブルグレーディングでは冷房負荷に比べて方位、断熱型遮熱型に多少依存はするものの割合としては2-30%と十分小さい。したがって年間空調負荷を考えると遮熱型として夏季の冷房負荷を低減する方が省エネ効果は高いことが示唆される。また、BIPV(40%透過、全面積での効率10%)によって100%以上をカバーできることが示された。言い換えると、単板ガラスの窓ではBIPVを導入しても屋内空調負荷を100%カバーすることは出来ない。

詳細な計算については次年度以降の課題としたい。また、この例では学校の教室を想定しており、夜間の使用が無い、夏休みや休日を想定しているなどオフィスビルとは消費パターンが異なっている。ある意味最も空調負荷が少ないケースである。様々なユースケースにおける詳細なシミュレーションが今後必要となる。

## 1.7 建築物用PVの安全性 - 電気安全に関して

### 1.7.1 太陽光発電システムの直流電気安全に関するハザード

建物設置の太陽光発電を考える場合、近隣の建物や人との距離等が近いことから、安全性を十分に考慮する必要がある。図7には太陽光発電の直流電気安全に関するハザードをまとめたものである。火災、感電が重大なハザードしてあげられる。

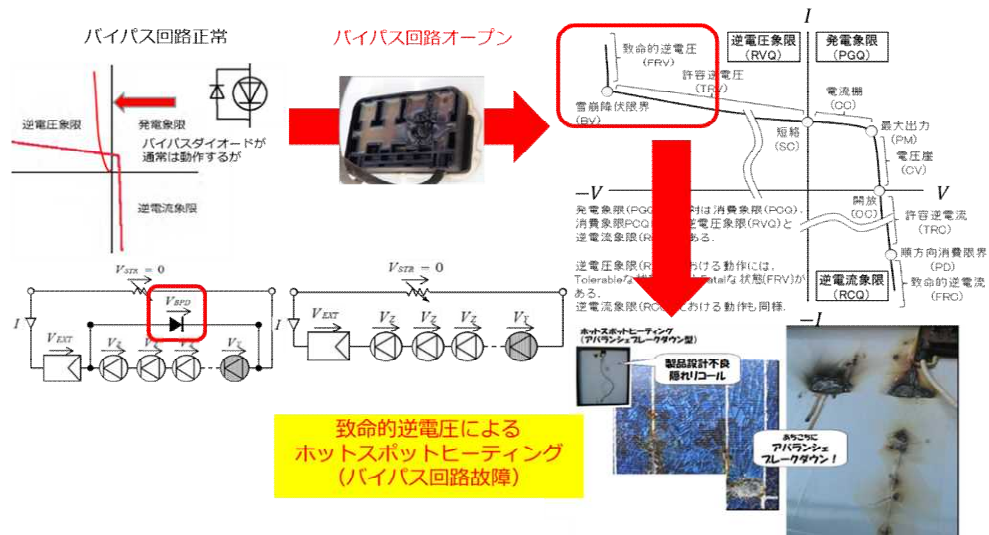
火災・感電の要因として大きく、太陽電池モジュール由来とそれ以外の電気設備由来とに分類できる。

太陽電池モジュールが要因となるのは、太陽電池モジュール内に何かしらの不具合が発生し、バイパス回路が動作、その後バイパス回路がオープン故障になった場合に致命的になる。バイパス回路は太陽電池セルや接続部の不具合がある場合に逆バイアスがかかわらないような保護素子として働くが、開放となった場合にはその機能を果たせずに、不具合箇所システム電圧が印加される場合がある。このような場合には、アーキングが発生したり、部分的に非常に高温状態となる場合があり、発火の要因となる。図8 太陽電池モジュールからの火災要因の概要を示す。

モジュール以外の電気設備に関しては、ケーブル、接続箱など接点が存在するような箇所であーク



が発生している。また、地絡、短絡、断線によりそれぞれアークは発生し、地絡によるものを地絡アーク、直列回路の途中で発生するものを直列アーク、極間短絡で発生するものを並列アークと分類することもある。



### 1.7.2 太陽光発電システムの直流電気安全に課題

一般的な電気安全において、事故発生時にはその検知と遮断が重要となる。太陽光発電の場合図 9 に示す通り、遮断器や断路器(ヒューズを含む)は回路的には存在するが、太陽電池アレイ内において事故が発生した場合には、それらは開路状態にすることはできるが、アレイ回路においては引き続き活線状態になる。そのため、電圧は印加されたままであり、事故様相によっては電流も継続的に流れることになる。事故の検知方法は、技術的にはアーク検出方法、地絡検出方法は存在している。ただし、直列アークの検出がほとんどあることや、アークの種類によっては回路を短絡、開放と選択することが本来望ましいため、分離して検知できることが安全性向上のためには望ましい。また、遮断方



# Potential UL3741 Enhanced Protection Measures

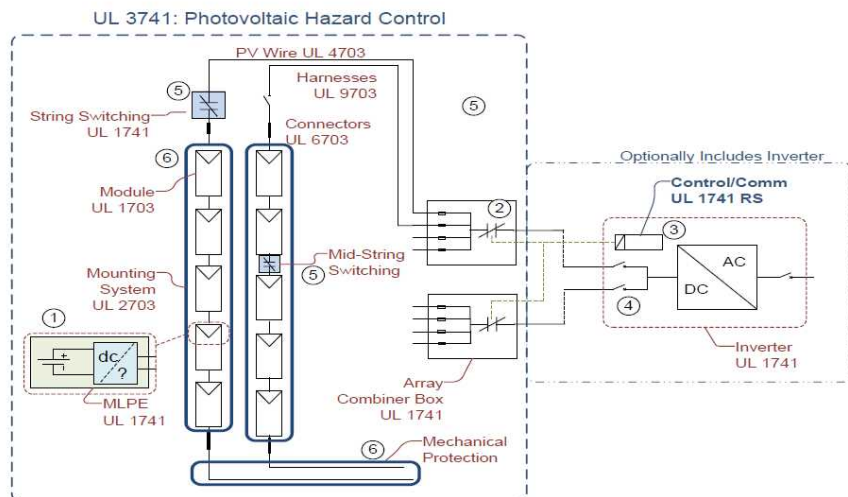


Figure 1: PV Hazard Control Standard Functional Diagram

Note: Examples of systems, equipment and components include:

PVHCS: e.g. combination of specific mounting system (6), use of switching and array segmenting devices (5), and inverter control (3)(4).

PVHCE: e.g. Array combiner box with internal switching (2)

PVHCC: e.g. Switching component located mid string (5)

出典：UL 資料

図10 太陽光発電の事故発生における遮断方法

## 1.7.3 建築物用 PV の安全性に関するまとめ

建物設置における安全性に関する課題などは以下の通り。

### ① リスクレベルの考え方の整理が必要

建物設置の場合において、どの故障モードまで想定するかが最も重要である。例えば、致命的なホットスポットが発生した場合におけるモジュールガラスが割れた場合の絶縁性など。

### ② システム設計要件の決定

①にあわせて、安全性を考慮した機器設計、事故が発生しにくいシステム設計(配管保護など)、事故が発生した場合の検知、遮断技術の決定が必要である。それぞれに技術が存在するため、それらの性能を確保できるプロダクト、インストール、システムという一連の試験方法や竣工試験、定期点検方法を検討することが重要である。

## 1.8 建築物用 PV の変褪色

コペンハーゲン・インターナショナルスクールの壁面太陽電池(図11)に代表されるように、BIPVの普及と共に建築物の意匠性の観点から、太陽電池モジュール表面が着色された色付きモジュールの需要が高まってきている。この表面色加工の方法としては、光学多層膜フィルターによる方法、スクリーンでのカラードット印刷による方法、bionic background を活用したナノテクによる方法等が用いられている。なお、ヨーロッパではカラフルな色の需要も多いとのことだが、基本的には無彩色(黒、白、灰色)といった需要が多い。これらの普及に

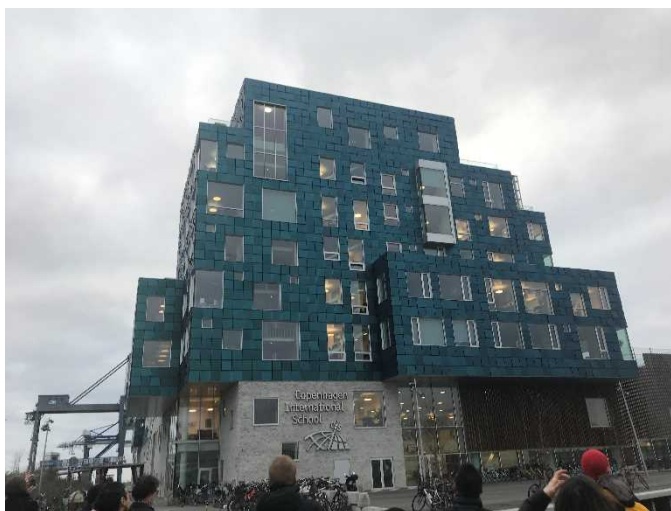


図11 コペンハーゲンインターナショナルスクール

に伴い、モジュールの色ムラや変退色が利用上の新たな問題となる可能性があるが、基本的に色やデザインは官能的な評価が中心となるので、その基準や目標仕様はメーカーと顧客間で調整されるべき案件である(そもそも、色は照射される色によっても変化し、即ち屋外設置の場合、朝、昼、夕方また晴天時、曇天時によって見え方が変わってくる)。ただし、この変退色やそれによる色ムラの発生が、発電性能の著しい低下や安全性を損なうといった問題を生じる場合、そのメカニズムの解明と対策が必要となってくる。色付きモジュールに関しては、技術的にも市場的にも現在発展途上にある分野であるため、この様な観点での基礎的評価は重要であると考えられる。

### 1.8.1 BIPV 用色付きカラーモジュールの現状

#### 1.8.1-1 色と太陽電池の種類について

色付きモジュールについては、欧州を中心に、各種太陽電池に対して様々な色の提案と販売が行われており、例えば、結晶シリコン太陽電池モジュールに対しては、白色モジュールを提案している Solaxess や緑色太陽電池を提案している AGC (株)、緑や紫色などを特注品対応している AxSun をはじめ、SUNAGE、Kameleon solar、Fraunhofer などが複数の色を提案している。また、CIGS 系太陽電池モジュールに対しては、AVANCIS、Hanergy、NICE が複数の色について提案を行っており、Swiss inso の様に結晶シリコンおよび CIGS 系太陽電池モジュールの両方に対応しているところもある。更には、薄膜シリコン太陽電池モジュールで複数色を提案しているカネカ(株)や、2019 年の InterSolar で展示されていた CdTe 系太陽電池の色付きモジュールを提案している CTFsolar がある。また更には、単色だけでなく、木目調や表面の質感にもこだわった太陽電池モジュールも開発されている。ところで、同じ屋外使用でも BIPV ではなく車載用途目的ではあるが、トヨタ自動車等も様々な色の太陽電池モジュールを提案している。このように、BIPV をはじめとする太陽電池の活用シーンの増大に伴い、意匠性の観点からのニーズに応えるべく色付きモジュールも市場に浸透しつつある状況となっている。なお、本報告において詳細は割愛するが、太陽電池の色と理論効率の相関については、J. Halme らによって報告されている。

#### 1.8.1-2 AVANCIS の報告例

29thPVSEC(2019.11.4~8 西安(中国))にて、AVANCIS 社が自社の CIGS 色付きモジュールに関する報告を行っており、そこでは色ムラについて以下の報告があった。

(i) 500 hours at 95°C/ 85% rel humidity with 21 cycles down to -40°C試験

青色モジュールを 11X11 エリア分割した各部分について before/after で色評価を実施。

(ii) 青色モジュール試験片への粒度や繰り返し回数を変化させた sand paper abrasion 試験

- ・評価方法：CIE DE2000 色差式による色差評価 ( $\Delta E_{2000}$ ,  $\Delta E_{00}$ )。
- ・評価指標：表 13 に示す指標を示していた。

表 13 AVANCIS 報告での  $\Delta E_{2000}$  色差指標

| $\Delta E_{2000}$ | rating of colour difference     |
|-------------------|---------------------------------|
| <0.5              | imperceptible                   |
| 0.5...1           | perceivable for the trained eye |
| 1...2             | small                           |
| 2...4             | perceivable                     |
| 4...5             | substantial, hard to tolerated  |

結果として(i)については、一部について  $\Delta E_{2000}$  が ~3 になる程度でほとんど変化が無く、同じ試験

を行った着色アルミ合金板の  $\Delta E_{2000}$  が部分的に 18 を超えたのと比較すると、一般建材より変退色が起こり難いという結果であった。また、(ii)に関しては、 $\Delta E_{2000}$  が 0.2~2.0 と、これについても色変化が小さいことが報告されていた。結論として、AVANCIS の報告としては、変退色よりも色ムラの方が問題となっているという報告であった。

### 1.8.2 色差評価方法

この色付きモジュールを一般建材と考えた場合、国内においては、一般社団法人日本塗料工業会の「塗膜の変退色の色差測定および算出方法」が参考になると考えられる。また、1-8-1-2 で紹介した CIE DE2000 色差式による色差評価も有効であると考えられる。実は、いずれの色差評価も国際照明委員会 (International Commission on Illumination, Commission Internationale de l'Éclairage; CIE) で定められた標準によるものであり、よって最新の ISO/CIE11664-6 に則った評価が望ましいものと考えられる。

### 1.8.3 色評価の予備試験

色の評価方法については CIE/ISO(JIS)によって定められており、照射光源のスペクトル、分光反射率および等色関数から評価するとされている。一方、色付き太陽電池モジュールの一般的な課題の一つとして、見る方向により色が変わるといった点も指摘されている。そこで、今回、色評価の予備的な検討として、旭光通商 (株) の光学校正試験室の御協力を得て、AVANCIS 製のグレー(無彩色)およびグリーン(彩色)の太陽電池モジュールについて、ハロゲンランプ光をモジュール正面より斜め 45 度の方向から入射させた条件における、モジュール真正面からの反射光、および、ハロゲンランプと反対側のモジュール正面より斜め 45 度方向の反射光についての分光計測を行った。この反射光の分光測定については、モジュール内の直径約 5cm のエリアについて 2 箇所計測を行い、色は  $L^*$ (明度),  $a^*$ (色度 赤—緑),  $b^*$ (色度 黄—青) 値により評価を行った。また更に、メーター角サイズを有する太陽電池モジュールの色むら等を評価するには、モジュール面内において反射分光測定を多数点計測するよりも、CCD カメラによって撮影した全体画像から面内部分の色評価を行う方が、その色評価自体はカラーフィルター仕様に依存するものの、検査等の工業的な利用に対しては極めて簡便となることが予想される。よって、この CCD 方式による色評価と反射分光計測方式による色評価の比較についての予備検討についても行った。

この結果、もともと見た目で色ムラの見られないモジュールであったため、分光方式で計測した 2 か所について、グレー色、グリーン色とも正面反射計測、45 度反射計測の何れにおいて  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  値の差はほとんど見られなかった。また、分光方式と CCD 方式での計測評価比較においては、凡そ同じ様な値が得られていることが確認できた。なお、光源に対する観測位置の角度を変えた色の見え方差については、正面反射計測に比べ斜め 45 度反射計測では、光源の正反射成分が増えることによる  $L^*$  値の増大と  $a^*$ ,  $b^*$  値の変化が見受けられたが、 $L^*$  値の増大についてはグレー色が特に顕著であった。

今回は、予備的試験ということで、今後、標準規格に則った光源や拡散板を用いた精度を上げた評価を実施するとともに、CCD 方式の可能性については、その誤差要因や色差における精度について検討を行う必要がある。

## 1.9 課題の整理と対策・提案

### 1.9.1 普及阻害要因の特定

#### 1.9.1-1 普及阻害要因の検討

調査委員会において、ZEB 化達成のための PV (BIPV/BAPV) の普及を阻害する原因について検討するため、各委員による調査・試験に加え、調査票を使用して委員からの普及阻害要因の指摘を整理した

1.2 で述べた通り、建築物への PV の設置可能性を、建築側の観点から検討した。検討において、設置時の課題が多く指摘された。本章では、設置を含めた(BI)PV 側の「普及阻害要因」と考えられる課題を調査した。本調査においても、建築業界から多くの指摘を得た。

既存建築物への PV の設置の場合、建築物と PV のサイズの不整合から設置のための加工、施工に追加作業・コストを生じることが普及阻害要因の大きなものである。本調査では、1-2 で検討された壁・窓・CW(カーテンウォール)といった設置部位別の課題も普及を阻害するとして挙げられた。

電気製品として必要な配線の内部への引き込みは建築当初想定していなかったものであるため、追加コストの発生、また、気密水密の確保が懸念事項となっている。

建築物としてのデザインの観点からは、既存建築物の大きさにあわせた PV モジュールの割り付けが難しい、また、一般的 PV モジュールは景観の点からも導入が進まない。

既存建築物に PV を後付けする場合、その重量も課題として指摘されている。軽量化を試みた場合は、風対策が課題となる。建築物のメンテナンスの観点からは、PV が後付けされていることで清掃、壁や貫通部分のシールの打ち替えなどが困難になる。

PV としては、壁・窓面への垂直設置、南面以外への設置などで発電量の低下が生じることが多く、普及阻害要因として指摘されている。近年建築物用に作成されている色付きの PV はセルを目立たせない効果があるが、発電量の低下、フィルムフィルターの耐候性の課題がある。

建築物への設置の場合、周辺にも同様の建築物があることが一般的なため、周辺からの影による発電量低下が考えられる。発電量低下時の対応、例えば、バイパスダイオードが故障した時の交換などが困難であることは普及阻害要因の一つであろう。建築物に設置しているということで、電気的エラーが原因となる火災、そのことによる破損や落下のリスクが生じることも課題の一つとして指摘された。

技術面以外では、買い取り価格・設置コスト・設置プランニング時のツール不足などが課題として指摘された。

#### 1.9.1-2 普及阻害を導く課題の整理と対応策

普及阻害を導く課題を「既存建築物への後付け」「デザイン・外観」「発電量低下の懸念」「PV の建築物取付」「費用・コスト」「設計ツール」に分けて整理し、右側には対応策を図示した(図 12)。

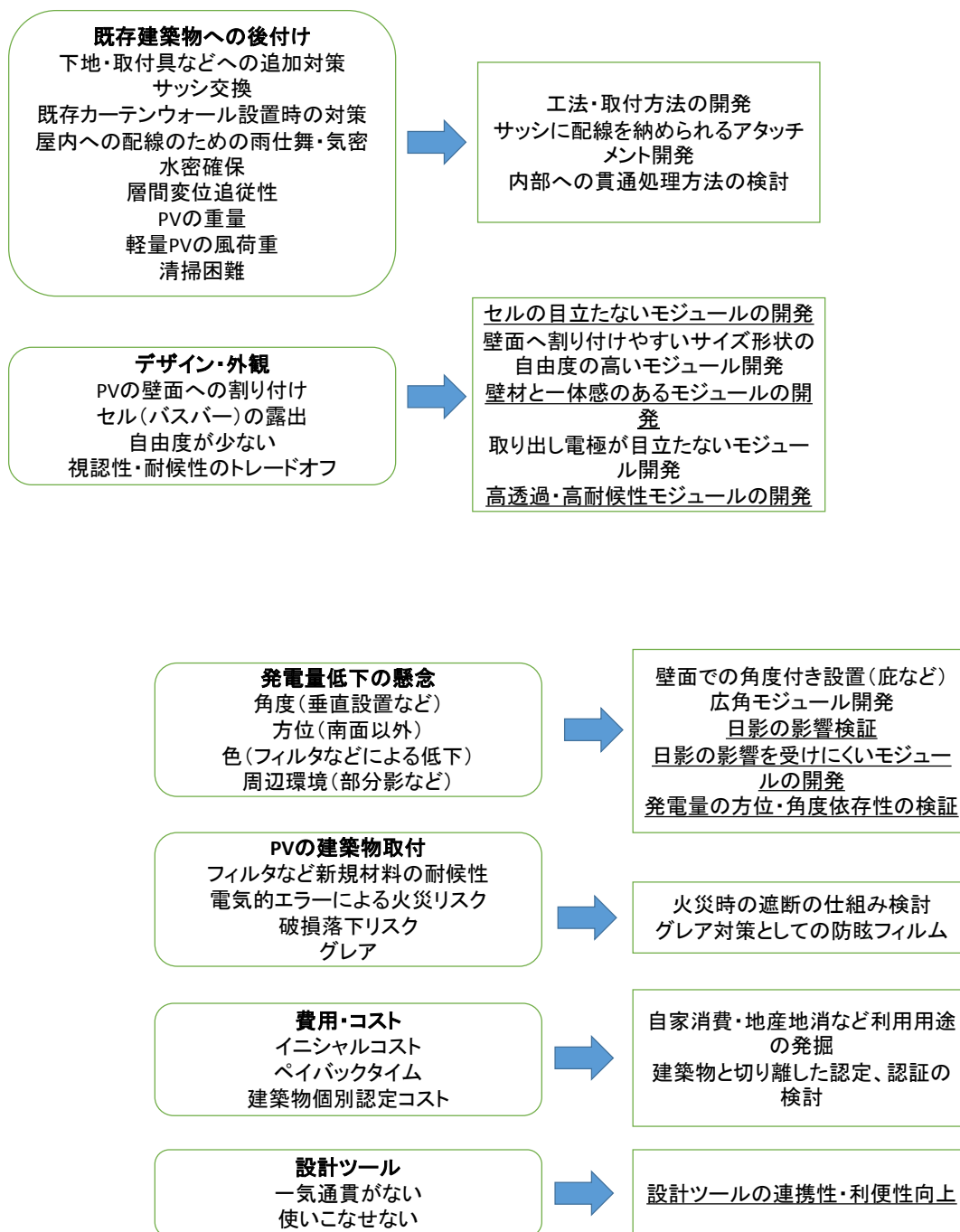


図12 普及阻害要因と対策の整理

対応策のうち、下線のあるものは、本調査事業で予備試験や調査を試み、本報告書で報告している。

- ◎セルの目立たないモジュールの開発 → 建築物用 PV 評価のための試験/建築物用 PV の変退色
- ◎壁面と一体感のあるモジュールの開発 → 建築物用 PV 評価のための試験/建築物用 PV の変退色
- ◎日影の影響検証 → 建築物用 PV 評価のための試験(IEC TS64140 部分影試験)
- ◎日影の影響を受けにくいモジュールの開発
- ◎発電の方位・角度依存性の検証 → 角度依存
- ◎設計ツールの連携性・利便性の向上 → 都市部の発電量

### 1.9.2 調査報告のまとめと提言

本事業では今後市場が大きく伸びることが期待されているゼロエネルギービル(ZEB)を実現するため、既設建築に対する BIPV の導入拡大に資する阻害要因の分析と課題解決の方策を調査、分析した。以下に各調査項目のまとめを記す。

#### 1) PV 設置可能な建築物の整理

既設建築物においては鉄骨建築(S 造)の割合が多く外皮がガラス CW(カーテンウォール)の場合は BIPV との親和性が高いことが示された。また ALC の外皮が用いられることも多いがこの場合、取り付け構造やモジュールの軽量化が課題であることが示された。

#### 2) 性能試験特定のための予備試験

BIPV 特有の性能試験としてフレキシブルモジュールを含め曲面設置の場合の性能評価を行った。ソーラーシミュレータの光源からの光束は完全に平行ではないため照射されるモジュール面の中心から離れると入射角度が凸面設置の方が凹面設置より鉛直からのずれが大きくなるため凸面設置の方が端部での照射強度が小さくなり、モジュール出力も小さくなることがしめされた。今回評価したフレキシブルモジュールの信頼性試験において、ベンディング試験は問題ないことが分かった。フレキシブルモジュールにおいてはガラスが用いられていないので高温耐性が劣ることが予想されたが、バイパスダイオードを外した結晶シリコンモジュールのホットスポット試験では焼損が顕著であった。発電量への影響はあまりなかった。一方、BIPV で標準的に用いられているダブルガラスモジュールではバイパスダイオード故障を起こさせたモジュールに対してもホットスポット試験でもその影響は軽微であった。

日本に特有の問題として積雪荷重による事故などがあげられるが、これを解決するための融雪型モジュールの標準化について検討した。このモジュールでは PV モジュールの内部にヒータが一体的に組み込まれているが、そのような製品に対する規格が世の中に存在しない。このことが普及の阻害要因であるとの観点から、既存の規格を活用してどのような試験をすれば製品としての安全性を担保できるかという検討を行い、試験方法のプロトコルの素案を提案した。

#### 3) 建築物用 PV の評価のための試験

BIPV ではデザイン性が重視されることから色付きモジュールが検討されている。しかしながら性能面、信頼性面でまだ不明な点が多い。様々な色のモジュール(結晶シリコン及び薄膜)に対して発電量、ホットスポット試験を行った。発電量については、色によって低下率が異なる。メーカーへのヒヤリングによると、グレイ、テラコッタ、ブラウンは、約 20%の低下、白色モジュールが最も低下率が高いということで、45%程度の低下がみられる。

信頼性についてはホットスポット試験、高温試験(IEC61730 の MST21)いずれも色付きモジュールの方が温度が低く影響を受けにくいことが分かった。

薄膜についての信頼性で最近のトピックスは部分影試験(IEC 63140 TS)であるが、これについては移動する部分影によって 2~3%程度の出力の低下がみられた。試験後の EL 測定では明らかなシャントの形成が確認された。

色付きモジュールでは色味の角度変化など一般モジュールより厳しい要件が課せられる。薄膜モジュールでは顕著な角度依存性が見られたが結晶シリコンモジュールでは角度依存性は目立たなかった。

BIPV の熱的性能の指標である日射取得率(SHGC)を簡便に低コストで測定する方法を考案し試作評価した。バンドパスフィルターと全天日射計を組み合わせた測定系が十分な精度を有していることが分かった。今後は様々な環境下での検討が必要である。

#### 4) 建築物用 PV の発電量

壁面設置 BIPV の発電量の評価は日射の角度依存性や対地反射の影響、街区での建築物同士による相



互干渉など複雑である。

ここでは実サイト(株)カネカ BIPV 実証サイト)での発電量のデータをもとに発電量推定の方法論を調査した。発電量を決定している因子はモジュール温度が最も重要であることを明らかにするとともに、モジュール温度の推定方法を検討した。ここでは JQA モデルの JIS 方式が最も推定誤差が小さいことが明らかになった。

発電量のシミュレーションについても検討した。この場合日射量の推定が最も重要である。都市部においては日陰の影響などによりシミュレーションが複雑化する。しかしながら現実には日陰の影響のない BIPV はほとんど存在しないためいかに現実的な環境下で精度の高いシミュレーションを行うかがポイントとなる。国内外のいくつかのシミュレーションソフトのそれぞれの特徴を調査した。Ray-Tracing に基づく Radiance が建築業界では広く用いられているがデバイスの選択やシステムの構成による影響は避けられず、他のソフトも併せて決定打となるものがないというのが現状である。

#### 5) 環境性能評価(窓ガラスの代替として建築物用 PV を採用した場合の省、創エネ効果)

ここでは特定のケースについてはあるが窓の様々な構造による省エネ効果について比較し、その BIPV 導入の効果と併せて比較した。その結果、年間の空調エネルギーを窓に設置した BIPV で 100%賄うことが可能であることが示された。

#### 6) 建築物用 PV の安全性

昨今住宅用 PV などでも問題になっている直流電気安全性について火災の事例やその要因分析の結果などについて調査した。リスクレベルの整理とシステムとしての設計要件の決定が重要であることが示された。

#### 7) 建築物用 PV の変褪色

色付きモジュールの場合、角度依存性のようなデザイン性に加えて色味の経時変化も重要である。しかしながら色を定量的に評価するのは容易ではない。ここでは分光特性の角度依存性とカラーフィルターによる評価法を比較した。分光特性を測る方法は精緻な計測が可能であるが大面積を一括して評価することはできない。一方カラーフィルターによる方法は精度は劣るが迅速に大面積を一括して評価できる。用途に応じて使い分けることが重要であると結論された。今後は様々な開発品や製品に対して知見を蓄積していくことが重要である。

#### 8) 国内外の事例調査

海外での学会(EUPVSEC、Advanced Building Skins)に出席するとともに現地調査を行った。ヨーロッパでは意匠性に対する意識が高く日本と比べて様々な新しい試みがなされている点が興味深い。例えば色付きモジュールの効率低下を最小化するフォトリソ技術の開発などは日本と比べて優位にある。また、実証レベルでも古いビルをリノベートして意匠性にも優れた BIPV を導入している例があった。

国内でも ZEB に向けた取り組みが企業で行われており、AGC(株)、(株)カネカの二つの事例について見学調査を行った。特に窓部のシースルータイプの BIPV(結晶シリコン)が注目される。

#### 9) 課題の整理と対策・提案

建設業界へのヒアリングをふくむ市場調査を行い、市場ニーズにの抽出を行い、整理した。その結果、性能、コストだけでなくデザイン性、施工性、設計ツールの必要性などが求められていることが分かった。また、ビル特有の日陰の問題などに対する関心も高かった。

これらの調査に基づいて普及促進のための要件として以下の項目の検討が必要である。

- ①建築物・街並みとの一体感のある PV の開発(色・透過性・サイズの自由度・防眩加工などテクスチャ)
- ②設置・交換・メンテナンスの容易な PV モジュールと施工方法(軽量フレキシブルモジュールを含む)
- ③多様な設置場所に適合した PV モジュールの開発 (窓：視認性)
- ④所与の色・デザイン・設置角度(垂直)・部分影環境で最大の発電量を得られる PV システムの開発
- ⑤建築物として必要な安全性と信頼性に配慮した PV モジュール・システムの開発
- ⑥単純な価格競争に陥らない高付加価値製品としての BIPV システムの開発
- ⑦様々な設置環境で発電量を簡便にかつ必要十分な精度で推定するシミュレーションソフト
- ⑧多様な業界に技術的要件をわかりやすく、正しく伝えるための標準化を視野に入れたガイドライン作成

## 2. 実用化・事業化見通し

「1.9.2 調査報告のまとめと提言」に記載の今後の提言に基づき、太陽光発電技術研究組合は2020年度のNEDO公募「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の新市場創造技術開発／壁面設置太陽光発電システム技術開発」に応募し、採択された。この事業により、2020年度より2022年度までの3年間(中間評価を経て2024年度まで)の計画で壁面設置太陽光発電の普及に向けた研究開発を行う。事業名は「壁面設置太陽光発電システム技術開発(壁面設置太陽光発電システム市場拡大のための共通基盤技術の開発とガイドライン策定)」となり、その概要(提案時点)を以下に示す。

**【研究開発目標】**「太陽光発電主力電源化推進技術開発」／(I)「太陽光発電の新市場創造技術」／「壁面設置太陽光発電システム技術開発」  
壁面設置基盤技術開発(壁面設置太陽光発電システム市場拡大のための共通基盤技術の開発とガイドライン策定)  
最終年度目標:ガイドライン3件、報告書2件

### 【研究開発概要】

- 1. 課題の整理** 壁面設置PVシステムは低炭素化、レジリエンスの強化、高付加価値化などから期待されているが市場はまだまだ限定的である。この課題に対して建物壁面に設置するメリットを定量化、可視化し、ユーザの理解と社会受容性を高める必要がある。
- 2. 重要度の順位** 1) 壁面PVの性能評価技術の確立とその普及 2) 建築業界、PV業界の相互理解 3) 壁面PVの安全性に対する認知度 4) 国際連携の強化  
順位は技術的ハードルの高さや市場に与えるインパクトの強さで決定。
- 3. 開発計画** 1) 最初の3年間でより高精度で低コストな環境性能(日射取得率)評価装置ならびに評価技術を世界に先駆けて開発、確立し、後半2年間で試験運用による技術の完成度を高め、商用に資する技術の確立とガイドライン化を行う。また実環境での壁面設置PVの発電量を簡便にかつ必要十分な精度で推定する技術を開発し、ガイドライン化によってユーザの理解を促進する。  
2) 設置・施工、意匠性など建築的要件とPVデバイス・システム技術など電気的要件を建築業界と電気業界で相互に理解を深めるためのわかりやすいガイドブック(ガイドライン)を策定する。  
3) 建築物において人と太陽電池が近接していることに起因する火災、火傷、感電などのリスクを回避するための指針を報告書として発行し、広く周知する。  
4) 海外の専門家と情報、意見交換を行い、国際的な壁面PV、BIPVなどへの認知度を高め国際市場を進展させる。また国際連携で日本がリーダーシップを発揮し、国際競争でも主導権をとることを目指す。
- 4. 役割分担**  
PVTECは組合員を中心とした委員会を設置し、テーマごとに委員が分担して取り組む。技術的な課題は再委託と外注を活用して取り組み、委員会ではプロジェクトの企画・立案、アウトソースした技術課題の結果分析、ガイドライン化を担当する。プロジェクト期間中は民間機関に評価装置を設置して評価技術を委員会として共同開発、試験運用を行う。産総研は再委託において太陽電池の評価技術に対する高度な知見をもって技術的な助言と指導を行う。また、将来の商用化に備えた人材育成も併せて行う。
- 5. 技術的な困難性の理解** 本開発テーマの最大の難関は、縦割り業界の中で横断的連携を推進し、建築物の機能と創エネルギー機能を併せ持つ多機能型製品とその市場を創生していくところにある。そのためにはハード的困難だけでなくソフト的な困難さを克服する必要がある。PVTECの長年の業界横断的委員会活動の経験がこの困難を克服していくためには必須と考える。ハード的な困難は壁面設置という必ずしも発電量の面では最適とは言えない設置条件の中で低コスト、高安全、意匠性を同時に達成する必要がある点である。また変動の多い自然に対する応答を正確に評価するという曖昧性と精度の両立は太陽光発電共通の困難性であるといえる。
- 6. リソースへの手当て** PVTECだけでは目標を達成することは困難であるので、組合員を中心に委員会を組織し、それぞれの組合員企業、団体の得意分野を持ち寄って一つの大きな目標を達成する。設備、費用については再委託先の既存の設備と知見を活用しながら予算の有効活用に努める。

## 3. 波及効果

本研究では、既設建築物へのZEBをターゲットとして調査を行ったが、発電量評価技術、信頼性評価技術、安全技術などの成果は、建築物設置の太陽光発電に限定せず、多くの太陽光発電に適用されるものである。

## 4. 今後の展開

上述の通り、本事業の成果(提言)をベースにした後継事業にて技術開発、ガイドライン策定を進め、壁面設置太陽光発電システムの普及に貢献していく。

### 3. 成果発表の件数

各研究開発項目の成果発表件数を表Ⅲ-3-1に示す。

表Ⅲ-3-1 成果発表の件数

|           | 2019年度 | 計 |
|-----------|--------|---|
| 特許        | 2      | 2 |
| 論文        | 3      | 3 |
| 研究発表・講演   | 2      | 2 |
| 新聞雑誌等への掲載 | 1      | 1 |
| 展示会への出典   | 0      | 0 |

2020年7月末現在