太陽光発電施設に関するリスク

顕在化したリスクの事例と対策

佐々木 亮 Ryo Sasaki
リスクマネジメント事業本部
リスクエンジニアリング開発部　企画グループ
主任コンサルタント

はじめに

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（以下「FIT[1]法」）の改正により、2017 年 4 月 1 日から固定価格買取制度が変わることとなった。新しい制度では、太陽光発電の設備認定[2]取得後の運転開始期限として 10kW 以上は 3 年、10kW 未満は 1 年が設定されている。運転開始期限を超過した場合には、調達価格の低減または調達期間の短縮の措置が取られる予定である。制度改正の背景として、転売やコスト低減などのために運転開始を遅らせる事業者の存在が指摘されており、特に 1MW 以上のいわゆるメガソーラーでは認定容量と導入（稼働）容量に大きな乖離がある（図 1）。

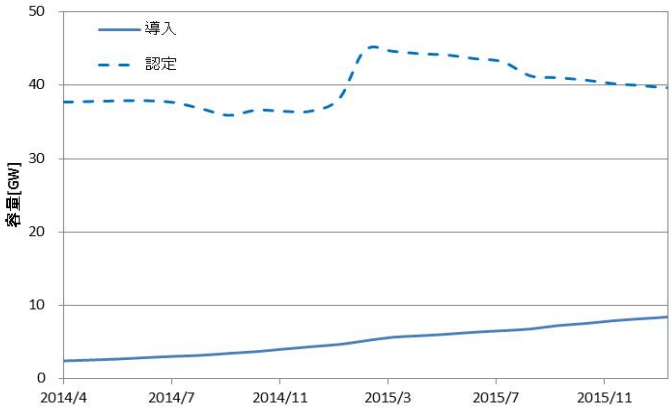

図 1　1MW 以上の認定容量と導入容量の推移[3]

こうした制度の改正に伴い、特に太陽光発電の 30 日等出力制御枠[4]に余裕のある地域では、太陽光発電施設の設置・稼働が一時的に増加する可能性がある（図 2）。

---

[1] Feed-in Tariff の略。
[2] 法令で定める要件に適合しているか国において確認する設備の認定。固定価格買取制度で売電するために必要。
[3] 固定価格買取制度　情報公表用ウェブサイト
http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html（アクセス日：2016 年 9 月 1 日）をもとに当社作成（累積、値は各月末時点、新規認定分）。
[4] 電力会社が年間 30 日、年間 360 時間（太陽光）、年間 720 時間（風力）の出力制御の上限を超えて出力制御を行わなければ追加的に受入不可能となる時の接続量。以前は接続可能量と呼ばれていたが、名称が変更された。超えた場合には、通常、指定ルール（指定電気事業者制度による無制限・無補償の出力制御）が適用される。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

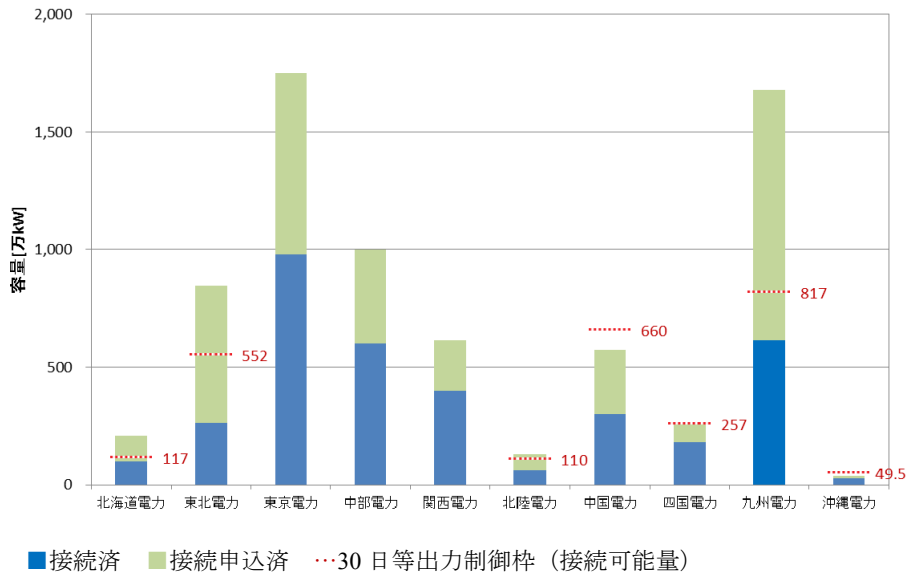

図 2　各電力会社管内の太陽光発電の接続状況[5]

一方で、すでに稼働中の太陽光発電施設では様々なリスクが顕在化してきており、長期の稼働停止に至る事例も少なくない。

本稿では、太陽光発電事業において注意を要するリスクについて、事例をもとに考察する（なお、本稿では、太陽光発電事業を便宜的にモジュールの製造、基礎・架台の設計、輸送、施工、稼働に分類した）。また、本稿に記載されている以下の用語およびその定義は、次の通りである。

・セル：光のエネルギーを電気エネルギーに変換する太陽電池セル。

・モジュール：セルを複数接続し、ガラスやアルミフレームなどで保護したモジュール（パネルともいう）。

・ストリング：モジュールを複数接続した回路。

・アレイ：ストリングを複数接続した架台単位の回路。

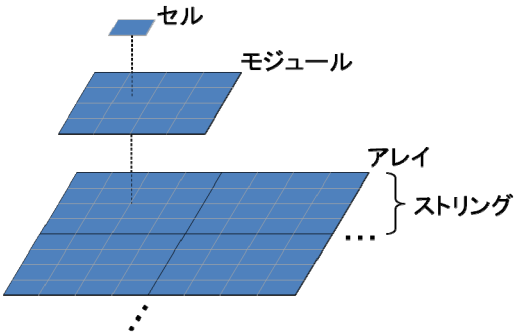

図 3　セル、モジュール、アレイおよびストリング[6]

・建物設置：屋上、屋根など、建物への太陽光発電設備の設置。

・地上設置：地上への設置。野立て設置とも呼ばれる。

---

[5] 各電力会社ウェブサイト（アクセス日：2016 年 9 月 1 日）の情報をもとに当社作成。電力会社によってデータの時点が異なる。また、端数処理によって数値が一致しない場合がある。なお、電力会社によって用語が異なるが、接続申込済から接続済の間の段階は接続申込済として整理した。

[6] 当社作成。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

1. モジュールの製造

1.1. はんだ不良

インターコネクタ（セル同士を接続する導体）やバスバー（セル上の金属配線）は、はんだにより接続されている。はんだ付けの不良やその進行などによって接触面積が小さくなったり断線したりすると、抵抗の上昇により発熱し、ホットスポット（周囲より高温となる部分）が発生する可能性がある（写真 1)。現在最も普及しているといわれている結晶シリコン系の太陽電池では、影や断線などによってセルの出力電流が低下すると、モジュール全体の出力が低下する。また、電力を熱として消費することで過熱されホットスポットが発生し、モジュールの損傷につながる。こうした不具合を避けるため、電流を迂回させるバイパスダイオードが設置されている。なお、バイパスダイオードによって迂回されない程度の場合でもホットスポットが発生する可能性がある。

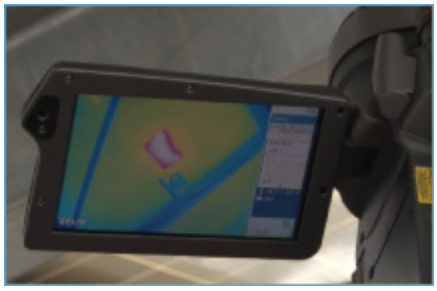

写真 1　赤外線カメラによるホットスポットの点検[7]

1.2. ガラスのマイクロクラック

モジュールに使用される強化ガラスは、製造時にごく稀にマイクロクラックが発生するという。このマイクロクラックは、温度変化に伴う伸縮などによってクラックに発展する場合がある。表面に衝撃を受けた形跡が無いクラックの場合には、こうしたマイクロクラックが発展して発生した可能性がある。

1.3. セルのマイクロクラック

セルは非常に薄い[8]ため、製造時を含む各段階でマイクロクラックが生じる可能性がある。このマイクロクラックが発展してクラックとなる場合がある（セルのクラックについては、「5.5」を参照)。

2. 基礎・架台の設計

2015 年 8 月の台風 15 号では、各地の太陽光発電設備に多くの被害があり、経済産業省九州産業保安監督部は被害状況を調査(3,162 件)した。当該調査によれば、発電設備に被害のあった 79 件のうち、約 7 割(54/79)で構造面での問題が発生し、約 4 割（35/79）でモジュールの脱落・飛散が生じた。また、構造設計については、「強度計算未実施」「設計基準風速不足」が全体の約 2 割（16/79）あった（図 4、写真 2、図 5)。風に

[7] 出典：資源エネルギー庁ウェブサイト
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/ohisama_power/tv/index.html（アクセス日：2016 年 9 月 1 日）
[8] 一般的な結晶シリコン系のセルの厚さは 0.2mm 程度といわれている。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

よってモジュールが飛散した場合には、感電や周囲の建物の損傷なども懸念されることから、経済産業省では安全性確保に向けた対策を呼びかけている[9]。

なお、設計時にはモジュールの固定方式も検討しておく必要がある。固定方式はねじ止めが一般的であるが、嵌合式やレール式も普及してきている。嵌合式の場合、固定にズレが生じると強風で外れやすくなるとの意見もあり、注意が必要である。

計７９件 ※重複被害があるものは、より重大な原因に計上（重複計上はなし）	①基礎の損壊、杭の引抜け、架台の倒壊など	②架台のゆがみ・変形、接合部の外れ	③飛来物による破損	パネルの脱落・飛散があった件数 （①～③のカッコ内の件数の合計）
2000kW～（７件）	３（１）	３（１）	１（０）	（２）
500～2000kW（４9件）	７（６）	２６（１６）	１６（０）	（２２）
50～500kW （２３件）	３（２）	１２（９）	８（０）	（１１）
合計	１３（９）	４１（２６）	２５（０）	（３５）

※いずれも軽微な異常（杭の僅かな浮上がり等）を含む。
なお、カッコ内はパネルの脱落・飛散があった重大な被害のあった件数

図 4　設備規模別の損壊状況[10]

写真 2　台風 15 号の被害[10]

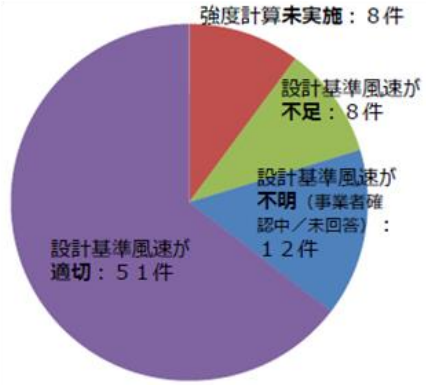

図 5　構造設計の状況（被害があった 79 件）[11]

[9] 出典：経済産業省ウェブサイト
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anzen/pdf/012_01_00.pdf（アクセス日：2016 年 9 月 1 日）
[10] 出典：同上
[11] 出典：前掲脚注 9。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

また、雪の重みでモジュールや架台が損傷した事例も多い。主な積雪対策を表 1 に示す。雪下ろしの実施の有無は、その他の対策にも関連するため、計画当初から検討しておくことが望ましい。

表 1　主な積雪対策[12]

項目	概要
モジュールの傾斜角	一般的な年間最適傾斜角は 15～40°程度。角度が大きいほど雪が落ちやすい（45～60°以上程度）が、影が大きくなってしまう。
地上高[13]	架台の前面（地面）に落ちた雪が積もり、モジュールにかかると重みで損傷しやすい。高いほど雪がモジュールにかかりにくいが、影が大きくなってしまう。
モジュール表面のコーティング	モジュール表面にコーティングを施すことで、雪を落ちやすくする。埃などが付着しづらいコーティング剤もある。コーティング剤の選定には、劣化や透過率なども含めた検討が必要であると考える。
隙間や段差の解消	モジュール上の隙間や段差に雪が溜まると、積もりやすくなる。コーキング材で埋めるのが一般的な対策であるが、数年で劣化するので定期的に実施する必要がある。
融雪設備の導入[14]	ヒーターによって融雪する（ヒーター分の発電コストがかかる）。
雪下ろし	作業によるセルのクラック発生が懸念される。雪下ろしの可否をパネルメーカーに相談したほうがよい。

基礎・架台の設計不良は、稼働中に自然災害などが発生するまで検知されにくく、風と雪以外にも、大雨による土砂災害・地盤沈下など、自然災害によってモジュールや架台が損傷した事例は数多くある。設計に当たっては、立地環境（地上設置で斜面かどうか）や地盤（盛土の状況なども含む）などをよく考慮し、適切に調査・設計し、またそれらについて確認する必要がある。

3. 輸送

工場等から太陽光発電施設までの輸送で発生した振動や荷重などによって、セルにマイクロクラックが発生する可能性がある。輸送後（施工前）の EL（Electro Luminescence）検査[15]を実施することが理想的であるが、基本的には梱包方法や走行ルートを検討するなど、予防策に注力すべきであろう。

4. 施工

4.1. モジュール設置の不備

架台の歪み、ねじの締付け不良などによって継続的に応力がかかり、稼働中にガラスのクラック発生に至った事例がある。施工中・施工後の検査などによって、設置状態を確認する必要があるだろう。

4.2. モジュール取扱いの不備

作業者の踏付けや、落下などによってモジュールが損傷する事例がある。高所からモジュールが落下した場合には、労働災害や賠償などの発生も懸念される。目視ではわからなくてもセルにクラックが入る場合があり、稼働中に検知されることも多い。施工方法や管理に注意が必要である。

[12] 当社作成。
[13] 地面からモジュール下部までの高さ。屋根設置の場合には、屋根の傾斜で雪が地上に落ちやすい。
[14] 屋根設置用が多く、地上設置用はあまり見受けられない。
[15] 逆電圧を印加し、発光させた赤外線を撮影することで短絡などの判別を行う検査。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

4.3. 屋根・屋上の損傷による雨漏り

建物設置の場合、施工ミスによって建物が損傷し、雨漏りにつながる事例が多数ある。施工からある程度の期間が経過してから発覚する場合が多く、雨水が徐々に浸透した場合には、被害が大きくなる可能性がある。施工方法に注意が必要である。

4.4. 仮置き中の自然災害

施工期間中に、屋外の工事現場に資材が長期間に渡って保管され、台風や土砂崩れなどの自然災害によってモジュールが損傷した事例がある。

太陽光発電施設の標準的な施工期間を設備容量ごとに示す（表 2)。設備容量が大きくなるほど施工期間は長くなることから、メガソーラーなどの大規模な発電施設の場合は、特に、仮置き場所の適切な選定、屋外での保管期間の短縮および一時保管場所の確保などの対策が必要である。

表 2　太陽光発電施設の施工期間[16]

設備容量	標準的施工期間
10 kW	2～5 日
50 kW	6～10 日
500 kW	2～3 か月
1,000 kW	4～5 か月

4.5. 機材の損傷

施工時、配線接続ミスによりパワーコンディショナーなどの機材が損傷した事例が数多くあるほか、保管方法の不備などによって水濡れしケーブルやコネクターが腐食した事例もある。施工・保管方法に注意が必要である。

4.6. 盗難

地上設置の太陽光発電施設は、市街地から離れた場所に位置する場合が多く、盗難のリスクが高い。盗難にかかる手間が省けるため、稼働前で屋外の工事現場に長期間・大量に保管される場合に発生しやすい。近年、日本国内では、部品が盗難に遭う事例が発生している（表 3)。

表 3　太陽光発電施設の盗難事例[17]

発生年	盗難品	被害額	備考
2014 年	銅線	約 260 万円	－
2014 年	銅線	約 150 万円	－
2014 年	銅線	約 430 万円	－
2014 年	銅線	約 300 万円	－
2015 年	銅線	約 130 万円	工事現場からの盗難
2015 年	モジュール	不明	工事現場からの盗難
2015 年	銅線	1,000 万円超の可能性	－
2016 年	モジュール	約 30 万円	工事現場からの盗難
2016 年	銅線	約 630 万円	－

[16] 自然エネルギー財団「日本とドイツにおける太陽光発電のコスト比較」
https://www.renewable-ei.org/images/pdf/20160113/JREF_Japan_Germany_solarpower_costcomparison.pdf（アクセス日：2016 年 9 月 1 日）表 3 ドイツの標準的施工期間の「参考：日本」をもとに当社作成。

[17] 各種報道をもとに当社作成。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

日本国内における盗難品の多くは銅線である。銅は導電率が高く、耐久性・加工性に優れているため、太陽光発電施設の送電用ケーブルとして使用されている。銅の価格は 2011 年をピークに下落傾向が続いているが（図 6）、日本国内では金属スクラップ業者が多く、換金性が高いことから盗難のターゲットになりやすいと考えられる。

盗難防止のためには、施工の段階から、フェンスだけでなく、フラッシュライト、各種センサーなどの防犯設備を設置することが望ましい。また、屋外の資材を保管する期間を短くする等を検討する必要がある。

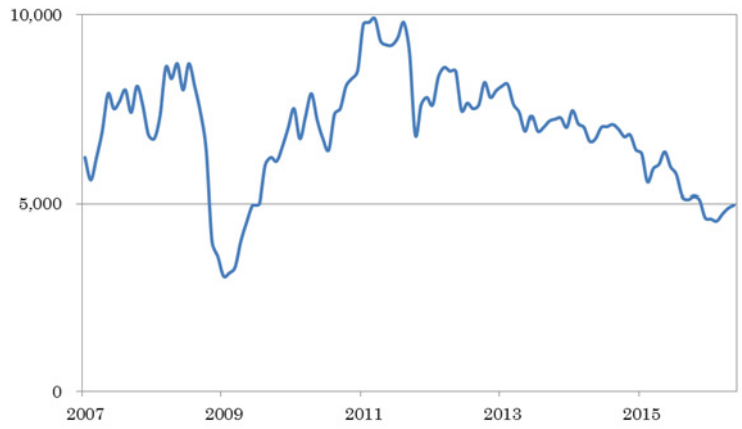

図 6　銅価格の推移（US ドル/トン）[18]

5. 稼働

5.1. ガラスのクラック

ガラスのクラック（写真 3）は、水の侵入やセルのクラック発生、ホットスポットの発生につながる可能性がある。また、クラックが生じた場合には強度が低下するので、自然災害の影響を受けやすい。

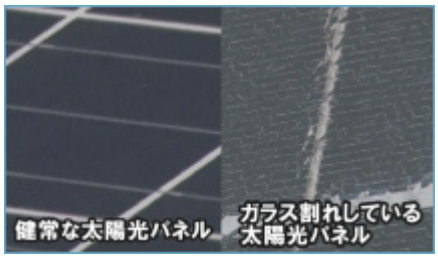

写真 3　ガラスのクラック[19]

5.1.1. 稼働前の要因で発生するガラスのクラック

稼働前にガラスのクラックが発生する可能性がある（「1.2」や「4.1」などの項を参照されたい）。

[18] ロンドン金属取引所（LME）の情報（Cash Seller & Settlement）をもとに当社作成。
[19] 前掲脚注 7

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

5.1.2. カラスによる石落とし、周囲からのボールの飛来、投石など

カラスが空から石を落とし、ガラスが損傷する事例がある。地上設置の場合、敷地を確保するために山間部に敷地が位置し、施設の近くに畜舎が所在する場合もある。周囲の畜舎におけるエサの管理状況によっては、カラスなどが集まる場合もあるので注意が必要である。カラス（鳥害）対策としては、聴覚的な対策（爆音器など）や視覚的な対策（模型など）など、様々な対策がある。また、敷地の周囲に空き地やゴルフ場、運動場などがある場合には、ボールが飛来する可能性があるほか、悪意によって石などを投げ込まれる可能性もある。施設の周囲の状況を考慮し、設置位置やフェンスなどについて検討すべきであろう。

ガラスのクラックが発生しただけで、すぐに発電量が落ちるわけではないため、早期に発見することは難しい。現地での目視点検の周期を短く設定する必要があるだろう。

5.2. 基礎の機能低下

市街地から離れた地上設置の太陽光発電施設では、猪などが敷地内に侵入する事例がある。基礎付近を掘られた場合には、適切に機能しなくなる可能性があるため注意が必要である。柵の仕様など、動物の侵入防止策についても検討が必要であろう。

5.3. 影

5.3.1. 雑草

特に地上設置の場合には、伸びた雑草によって影がかかる場合がある。雑草対策には様々な種類があるので、コストを考慮し、適切な対策を選定することが必要となる（表 4）。設計時に検討することはもとより、現地の定期的な見回りや発電量のモニタリング等も雑草の影の影響を把握するのに役立つ。

表 4　雑草対策[20]

対策例	主な特徴
定期的な草刈り	定期的に実施することが必要である（ランニングコストがかかる）。
除草剤	定期的に散布することが必要（ランニングコストがかかる）。また、周辺への配慮が必要である。
防草シート	遮蔽効果の低い防草シートもあるため、選定には注意が必要である。シートの隙間から雑草が伸びる可能性もある。また、猪などの侵入により破られる可能性もある。
砂利、ウッドチップなど[21]の敷詰め	風などによって周辺へ飛散し、効果が減る可能性がある。雑草が生えた場合、草刈り時に飛散するので注意が必要である。
クローバーなどの植付け	効果が出るまでに時間がかかる場合がある。想定よりも伸びる可能性がある。
ヤギ・羊などの放牧	水や柵など、放牧用の環境が必要である。
コンクリート舗装など	最も効果が高いとされるが、初期コストが高い。施工に時間がかかる。

5.3.2. 建物、電柱、電線など

建物、電柱、電線などによって影がかかる可能性がある。基本的には設計段階で考慮されるが、稼働後に周囲の状況が変化する場合もあるので、注意が必要である。

[20] 当社作成。
[21] 焼却灰から製造される人工砂などもある。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

5.3.3. 鳥の糞・埃などの汚れ、雪など

鳥の糞や土・砂埃の堆積、雪などによっても影が発生する。これらによる影の影響については、定期的な洗浄、モジュール表面のコーティング、雪下ろしなどの対応方法がある。ただし、モジュールへの人的作業は、セルのクラックなどにつながる可能性もあるので、注意が必要である。

5.4. 盗難

地上設置の太陽光発電施設では、稼働段階であっても、発電していない夜間に侵入され盗難される事例が多い（表 3)。施設周囲に設置された金網を切断し侵入された事例もあることから、出入口だけでなく全周で警戒が必要である。

銅線については、露出していると盗難されやすいため、埋設して設置するのが望ましい。また、モジュールについては、ねじ式の場合には取外しに時間がかかることから、一定の抑止効果が見込まれる。ただし、近年普及してきているレール設置方式では、ねじを外す手間がかからないことから、盗難されやすい可能性もある。設置部を施錠する等の対策が必要であろう。

5.5. セルのクラック

前述の通り、各段階でセルのマイクロクラック発生が懸念される。衝撃によってクラックが発生する場合もあれば、こうしたマイクロクラックが発展してクラックとなる場合もある。稼働中に、セルのクラックによって、スネイルトレイル[22]と呼ばれる線状の模様が発生する場合もある。すぐ大幅に発電量が低下するわけではないが、こうしたセルのクラックの発生は、ホットスポットの発生など将来の損害につながる可能性がある。発生を抑制するためには、不要な荷重や衝撃が加わらないように取扱いに気を配る必要があるだろう。モジュール裏面の構造は耐候性フィルム[23]が多いが、近年では耐久性が高いとされる両面ガラス製（裏面もガラス製）のモジュールも普及が進んでいる。セルのクラックへの影響も考慮して、使用するモジュールを検討すべきであろう。

5.6. PID（Potential Induced Degradation）

PID とは、劣化によって発電量（出力）が大幅に低下する現象である。メカニズムは完全に解明されているわけではないが、一般的な結晶シリコン（p 型）のモジュールでは、高電圧によって生じた電位差によってガラスからナトリウムイオンが拡散し、セルに到達して電子の流れを妨げることが原因と考えられている。高温・高湿の環境下では現象が促進されるとの実験結果があり、設置場所の選定には注意が必要である。近年ではガラスや封止材の改良などにより、PID が発生しにくいモジュールも登場している。特に高電圧の場合には、モジュールの選定に注意が必要である。

[22] カタツムリが移動した跡のように見えることから。「スネイルトラック」などとも呼ばれる。
[23] バックシートなどとも呼ばれる。

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

おわりに

太陽光発電の普及が進んでいる現在では様々なリスクが顕在化し、発電停止に至るような大規模な被害も増えてきている。

自然災害および盗難では大きな被害が懸念されるほか、今後はセルのクラックや PID などによる劣化も懸念される。これらに関するリスクマネジメント上のポイントを以下に示す。

- 自然災害
  - 基礎や架台において耐風力などの設計が適切かどうか、第三者に確認してもらうことが望ましい。
  - 降雪のある地域では、雪の重みによってパネルが損傷しないようあらかじめ設計段階で考慮する必要がある。

- 盗難
  - 輸送後、保管時から対策が必要である。
  - フェンスだけでなく、各種センサーの設置など複合的な対策が望ましい。

- 劣化
  - 各段階で検査を実施する（EL 検査によるセルのクラック把握など）。
  - 定期的なモニタリングにより劣化状況を把握する。

継続的かつ安定的に発電事業を行うためには、地域の特性などに応じてリスクを考慮した上で、包括的な計画を立てて不具合を予防することが重要である。例えば、フェンスを設置する際には、感電に対する安全面だけでなく、盗難や動物の侵入なども合わせて考慮する必要があるだろう。

また、不具合については、早期に検知することが重要である。現地で定期的に点検・検査することが望ましいが、施設が遠方であったり、大規模であったりする場合には、発電量の遠隔監視（図 7）を導入するなどのモニタリングが効果的である。

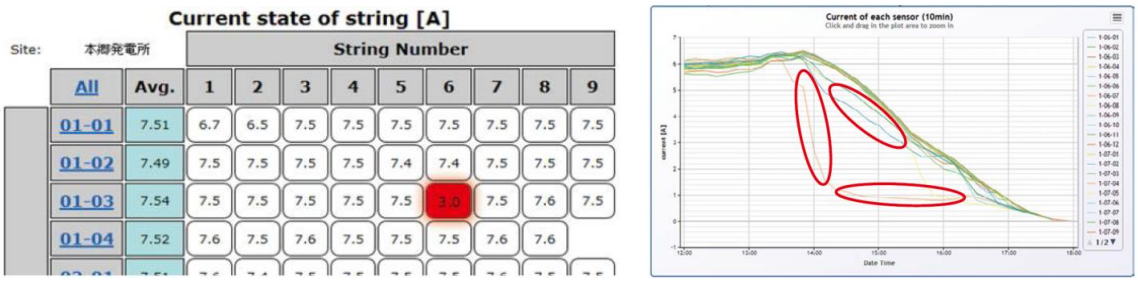

図 7　ストリングの遠隔監視例[24]

改正された FIT 法では設備の適切な処分についても言及されており、官公庁や研究機関ではモジュールのリユースやリサイクルについての検討も活発化してきている。将来的な売却などの出口戦略を考慮した場合、発電施設の適切な運営が、経済面・環境面で大きなメリットとなることだろう。

[24] 提供：太陽誘電株式会社

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.

太陽光発電事業の開始に当たっては、早期の収益化に向けて初期コストを抑えようとする傾向がある。しかし、事業全体のライフサイクルを見据えて計画時に対策を立案するほうが、最終的には事故や故障の減少につながり、収益の安定化につながると考える。

参考文献

- 黒川浩助．田中良．伊藤雅一．中規模・大規模太陽光発電システム －基礎・計画・設計・施工・運転管理・保守点検－，2016
- 一般社団法人　太陽光発電協会．太陽光発電システムの設計と施工 改訂 5 版，2015
- 加藤和彦．太陽光発電システムの不具合事例ファイル ―PVRessQ！からの現地調査報告，2010
- 経済産業省資源エネルギー庁．太陽光発電チャンネル．http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/ohisama_power/tv/index.html，（アクセス日:2016 年 9 月 1 日）

執筆者紹介

佐々木 亮　Ryo Sasaki

リスクマネジメント事業本部 リスクエンジニアリング開発部 企画グループ
主任コンサルタント

ＳＯＭＰＯリスケアマネジメントについて

ＳＯＭＰＯリスケアマネジメント株式会社は、損保ジャパン日本興亜グループのグループ会社です。「健康指導・相談事業」「メンタルヘルスケア事業」「リスクマネジメント事業」を展開し、特定保健指導・健康相談、メンタルヘルス対策、健康経営、全社的リスクマネジメント（ERM）、事業継続（BCM・BCP）などのソリューション・サービスを提供しています。

本レポートに関するお問い合わせ先

ＳＯＭＰＯリスケアマネジメント株式会社
経営企画部　広報担当
〒160-0023 東京都新宿区西新宿 1-24-1 エステック情報ビル
TEL：03-3349-5468（直通）

Copyright © 2016 Sompo Risk Management & Health Care Inc. All rights reserved.