

TDR

Technology Development Report

2014.10



快適以上を、世の中へ。

TOEVEC



vol.30 記念号

C O N T E N T S

はじめに

- TDレポート30号記念号に寄せて 3
取締役社長 久米 雄二

特別寄稿

- 太陽光発電システムの安全について 4
独立行政法人 産業技術総合研究所
太陽光発電工学研究センター 主任研究員 大関 崇

技術報告

- 劣化・故障診断機能を搭載した太陽光発電設備用遠隔監視システムの開発 12
技術開発室 研究開発グループ/西戸 雄輝・井上 泰宏・小林 浩
- ケーブル巻付ハンガの開発 16
配電本部 配電統括部 技術グループ/ニ之タ 弘
- げっ歯類被害対策用通信ケーブルプロテクタの評価 20
長野支店 情報通信グループ/宮沢 正明
情報通信本部 ネットワークエンジニアリング部 技術グループ/井上 雅司
- 地中通信ケーブル用エアシールの評価 22
三重支店 情報通信グループ/林崎 真也
情報通信本部 ネットワークエンジニアリング部 伝送システムグループ/岡本 慎也
情報通信本部 ネットワークエンジニアリング部 技術グループ/井上 雅司
- 電波伝搬路調査ツールの開発 24
情報通信本部 ネットワークエンジニアリング部 技術グループ/井上 雅司
- 遠隔監視データを用いた空調熱源異常検知ツールの開発 26
技術開発室 研究開発グループ/成瀬 仁・中井 一夫
- 豊洲キュービックガーデンの設計コンセプトとその検証 30
(一社)電気設備学会 第25回部門別学会賞 技術部門 施設奨励賞 受賞施設
東京本部 工事部 工事第二グループ/矢吹 治久
- 縦型両面発光導光板照明の採用について 34
(一社)照明学会 照明デザイン賞 最優秀賞 受賞施設
長野支店 工事グループ/會澤 達也

技術開発室だより

- 38

編集後記

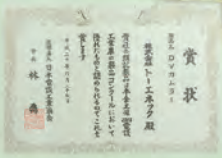
T D R

Technology Development Report



2014.10

TOENEC



TDレポート30号記念号に寄せて

取締役社長

久米 雄二



今年、当社は創立70周年を迎えました。この間に先人が築いた地歩を見れば感慨深いものがあります。この先も、お客さまの事業活動と日々の生活に貢献する歴史を重ねていくことは、我々の大切な務めです。

しかし、今後、電事法改正案が成立し、エネルギー間の垣根が取り払われていくことで、これまでとは違った新しい総合エネルギー産業への流れとなることが予想されます。一般市場における厳しい受注・価格競争の継続など、当社が置かれている状況を見れば、こういった大きな変化にきめ細かく対応していく努力なくしてその務めを果たすことは困難です。

中期経営計画は、「現状からの脱却と明日への挑戦」を基本方針に掲げています。従来からの延長思考ではなく、厳しい企業環境に打ち勝つ強靱さと、変化の中にチャンスを見出し、新たな可能性を追求できる柔軟さを発揮し、「お客さまに信頼される企業」として将来にわたりお客さまに貢献し続けることを我々は目指しているのです。

それを実現するためには、従業員一人ひとりの能力を高める努力と、従業員間の協力やコミュニケーションが欠かせないことは言うまでもありません。しかし、なによりも新たな発想への転換が肝要です。まずは従来の慣例に縛られることなく、なにをどうやるべきかを、新たな目でしっかりと見直してください。

ところで、企業として強靱さと柔軟さを養うためには、技術の果たす役割を見逃すことはできません。これまでの仕事のやり方の見直しも、事業内容の見直しも、新規事業への進出も、技術のバックボーンなくしては果たせません。

常に新しい技術を取り入れ、広く社内で共有し、業務の効率化と安全性の向上を図るとともに、独自性を持った開発技術を保有することで、当社ならではの付加価値をお客さまに提供することが大切です。

まずは技術者一人ひとりがそのことを理解し、常に新しい技術の習得に励んでください。お客さまと日頃接する立場の者は、お客さまのニーズを的確に技術者に伝え、技術者と一体となって当社の技術力向上に努めてください。

また、技術開発に携わる者は、これからの技術の動向を常に注視し、現場と営業から最前線の声を聞き、お客さまニーズ、社内ニーズに適った技術を遅れることなく提供するとともに、我々が将来持つべき技術に挑戦してください。

それぞれの分野の連携と継続によって、長期にわたりお客さまのニーズに的確に対応し、ご信頼をいただく企業となることができるのです。

このことはまさに経営理念のひとつ、「未来をみつめ独自性を誇りうる技術の展開をめざす」の本質であると思います。

このように考えると、TDレポートを毎年発行し、30号まで重ねることができたことには深い意義があります。本書は各部門の新しい技術の活用例や新たに開発した技術を紹介しており、経営理念を体現する一翼を担っています。

このレポートが、自部門以外の技術に触れ、興味を持ち、他部門の仲間の努力を知るきっかけとなることを、そして明日に向かい日々挑戦する皆さんへの一助となることを期待しています。

太陽光発電システムの安全について



独立行政法人 産業技術総合研究所
太陽光発電工学研究センター
主任研究員 大関 崇

1. はじめに

固定買取制度導入後、我が国の太陽光発電（以下、PV）システムの導入は加速的に進んでいる。昨年度の各国の導入量を図1に示すが、中国に次いで2番目の単年度導入量になり、世界の市場が欧州からアジアに移ってきている¹⁾。この市場の拡大、導入の加速は、歓迎される声がある一方で、不安視する声もある。PVシステムが今後エネルギーの一翼を担うためには、発電コストの低減が大命題であるが、それと同時に、今後のPVシステムの健全な普及において大きく二つの課題があると考えている。

一つ目の課題は、大量導入時におけるエネルギーネットワークとの協調である。すでに各処で顕在化しているように、配電系統での電圧問題、需給制御における周波数問題など、単純に発電コストが低減しても、そのままのエネルギーネットワーク（多くは電力ネットワーク）に繋ぐことは有効ではない。今後さらに配電の局所的な問題から、全系の需給バランスの問題まで、PVシステムはネットワークの中での役割を明確にし、必要な機能や責任を持ってエネルギーを供給する必要がある。無効電力制御やFault Ride Through等の機能が付与された現在、今後は全系に

おける発電予測や変動抑制などを利用して需給バランス制御にどう貢献できるかを考える必要がある。二つ目の課題は、システムの信頼性向上である。本稿では、特にシステムの信頼性に特化して現状の課題、今後必要なことを中心に述べる。

2. PVシステムの信頼性

ここで「信頼性」とは大きく3つを含んだ意味で用いている。「社会的受容性」「安全特性」「発電特性」の3つである。

「社会的受容性」は、PVシステムが社会の中で受容されていくかどうかである。PVシステムの一般的なイメージはクリーンであり、悪いものが無いように思われている。PVシステムにも一般的な工業製品や発電設備と同じく、デメリットや問題点も当然ある。真正面から現実を見せることでPVシステムの本当の受容性が問われる時がくるだろうと筆者は考えている。

「安全特性」については、以下「構造」「電気」「労働環境」の3つを考える必要がある。PVシステムを考えると、その設備の目的が発電であるために多くの人は「電気」について考えるが、建物に設置することが多いPVシステムにおける構造安全は、忘れられがちであるが電気よりも重要なファクターである。電気安全は、一般的な電気工作物と同様に、感電、火災を考える必要がある。特にPVシステムは直流電気であることから、交流と異なる切れにくい特性がある。特徴的なことは太陽光が照射される限りは発電を継続することにある。一般的に事故等が起きたときにはエネルギーの供給元を止めることを最初に行うが、PVシステムの場合、光を遮ることが容易でないことから、発電が続いてしまうことが他の電気工作物と異なる点である。労働環境安全は、施工者がいかに安

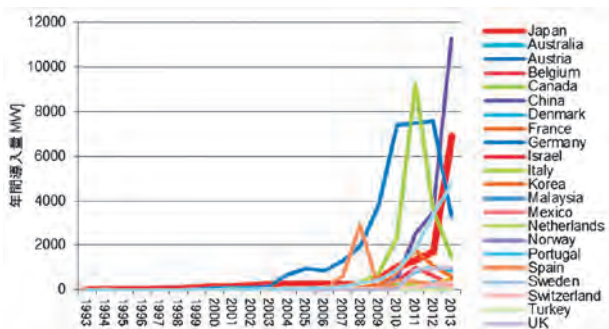


図1 太陽光発電の各国の単年導入量¹⁾

全に施工できるかであり、屋根の上での作業、十数kgのモジュール運搬、何より前述の太陽光照射での発電状態であるための活線作業である。PVシステムの施工作业は他の工事と比較して簡単なように考えられるが、安全な環境を確保されていなければこそである。

「発電特性」については、PVシステムの本分である。研究・開発や市場での関心事も発電特性の劣化率などである。研究開発としては、長期発電特性に関する試験方法の開発の歴史は長いですが、まだ加速係数を求めるまでの成果は得られていない。そのため、実暴露での実績が重視されてきたが、20年、30年の年数をターゲットにした技術であるため、実際のデータは多くない。米国のNRELの報告が最も良くまとめられているが²⁾、系統的な研究は母数や年数の長さを理由に一般解を得られてはいない。また、モジュール暴露での実績データが多く実システムでの実証データが得られるのはこれからである。住宅用を中心に世界に先駆けて導入数が多い国は1994年に補助金を開始した日本であり、今年で20年となる。また、NEDOフィールドテストでは1992年から開始されている。これらシステムが継続的な発電モニタリングを進めていないことは残念の極みである(安全性もしかり)。そのため、本来であれば実システムの実績が多く得られていたはずであるが、実際のところは今後市場の声の中でわかっていくことが多いということになる。その中でもPV ResQ!とPV-NETが報告した例では、設置後10年以内でも初期よりも10%以上発電特性が低下しているサイトが複数確認されており、発電特性に関しても設置後の対応が重要であることがわかってきている³⁾。またNEDOが1996年から計測しているPVシステム50件の結果も報告されている⁴⁾。問題がないものは良く持ち、あるものは持たないという当然の結果が出ており、それはシステムの差別化ができることを示している。

昨今では、モニタリングサービスも多くできており、ドイツのSMA社ではデフォルトでモニタリングを付与している。すでにモニタリングの件数は世界に10万件以上であり、数年分のデータの蓄積があると考えられる。国内が海外システムとの優位性を持つには、機器、設計、維持管理のデータと実績のデータをしっかりと継続的に集めることが何よりの早道である。

ここで重要なこととして、優先順位は、「社会的受容性」>「安全特性」>「発電特性」であることである。特に現在「安全特性」が見直されてきていることや、

社会的受容性、発電特性への両面への影響度が高いことから、本稿では「安全特性」についてさらに掘り下げて述べる。ただし、紙面の都合もあり、構造安全と電気安全の一部の紹介であり、本稿ですべてがカバーできていないことに留意されたい。

3. PVシステムの安全について

3.1 構造安全について⁵⁾

PVシステムの構造設計が適正になされていないれば、長期にわたる発電設備としての安全な運用は実現できない。そのことを吉富が図2によってわかりやすく示している⁶⁾。文献では、「PVシステムの発電性能は『構造設計』『電気設計』『施工』『保全』という四要素を経由してはじめて発揮することができる」のであり、「電気設計が失敗したとき、構造部を巻き込むケースは珍しい」が「構造設計が失敗すると確実に電気性能を損なう」ことから、「構造安全は全てに先んじて確保されるべき」と指摘している。また、これは設計が施工・保全よりも重要であることも示している。ここで構造事故の一例を紹介する。

2013年10月、国内某所で住宅用PVシステムの太陽電池アレイ(以下「アレイ」)落下事故が発生した。同年2月に二階建家屋の陸屋根に設置されたアレイが強風下で飛散し、約20メートル離れた道路に落下したのである。さらなる現実には、この被害者が加害者にもなっているという事実である。つまり、飛散したアレイが敷地外にある電柱を損壊し、さらに道路を走行中の自動車に落下してそれを損壊しているのである。幸い人的被害に波及しなかったものの、関係者が蒙った経済的被害および精神的苦痛は決して看過で

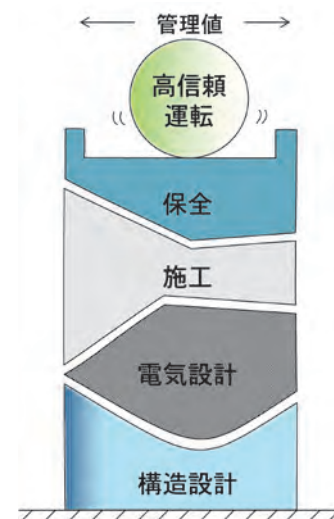


図2 工程の順序制約と優先順位要求⁶⁾

きるものではない。このようなモジュールやアレイの構造事故を公式統計などから探すことはきわめて困難であるが、現実の事故事例は決して少なくない⁷⁾。積雪による構造破壊もその類例である。昨冬は平年を上回る積雪が記録された地域が多く、雪によるモジュールの破損や架台の破壊といった事故が発生している。これらも自然災害と判断される場合が多いと聞かすが、法定積雪荷重に対し必要な耐力を満足していたか否かの十分な分析が必要である。

構造安全において何よりも重要なことは設計である。外力の代表は「風」「雪」「地震」である。国内ではこの中で「風」が最も重要な設計項目となる。現行法には、PVシステムに係る風荷重算定式が3つある⁸⁾。建基法告示1458号の式は外装材用算定式（外装材式）であり、平均速度圧に対してピーク風力係数と面積を掛け合わせた基本構造をしている。これに対し、建基法告示1454号とJISC8955の式は構造骨組用算定式（構造骨組式）であり、速度圧に対して風力係数と面積を掛け合わせた基本構造をしている。外装材式と構造骨組式との間には、その構成において、平均速度圧と速度圧の違い、ピーク風力係数と風力係数の違い、という二つの違いがある。また、構造骨組式のみがガスト影響係数という変数を持つ。この変数は風の乱れや風の変動といった、風の時空間的変動に対する建物全体の挙動を表す係数である。構造骨組式では、風力変動による部分的荷重効果が梁を通じて全体に分配するために工作物全体の弾性的挙動を前提にすることが出来る。この様相を表すことを目的に構造骨組式では、風向毎に一定な風力係数とガスト影響係数の積で特徴づけられている。これに対し外装材（モジュール等の小面積部材）では、個々の部材が局所的な風力変動の影響を直接的に受けるため、建物表面での配置ごとに最大の風力が異なる。この様相を表すことを目的に外装材式では、風の局所変動の影響をピーク風力係数中に取り込んでいる。結果として、構造骨組式と外装材式の最大の荷重効果は、大きく異なる。例えば、屋根一体型では、強風を受ける棟の角部付近（超局部）において両式の算定結果には1：2（構造骨組式：外装材式）もの荷重差がある。そのため、外装材式を適用されるべき「モジュール」に対し、JISC8955などの構造骨組式を誤用すると、設計用風荷重を半分しか見積もっていないことになる。電気設備技術基準解釈は、PVシステムへの外力計算、中でも風荷重に関しJISC8955を参照し、これを法規として準用している。しかしこのJISはモジュール全てと架台の大半を範疇外とし

ているため、現実のPVシステムに適用出来る場面はまず存在しない。傾斜屋根を例にとると、JISC8955の工学モデルは、格子型のような構造骨組モデルにのみ有効であって、現在主流の縦梁型や直接固定型といった外装材型モデルに用いると、設計用風荷重を過小に見積もることになる。これは、「外力計算をしたものの誤っている」という遂行エラーの典型の一つである。また、国土交通省は、国住指4936号において地上設置PVシステムを建基法から除外し所轄を電事法に移管する一方で、国住指1152号を通じて、建物上のPVシステムを建基法の規制下に置いている。建基法は、構造モデルすべてをカバーしている。これは外力計算だけでなく、耐力の見積もりについても同様である。ただし、PVシステムの風力係数を完備しているわけではない。今後風洞実験を重ね風力係数の充実を図る必要がある。

構造に掛かる事故の主要因は設計エラーである。設計エラーが発生する要因には、前述の法規類が非常に複雑であり、未整備な点がまず挙げられる。それに加えて、うっかりミスによる「遂行エラー」と最初から取り組んでいない「省略エラー」という二つの人的側面があると考えられている⁹⁾。「遂行エラー」の例には、先述の通り、外装材モデルを構造骨組モデルと取り違えるなどして強度不足となる、事故予備軍が挙げられる。これらは法令の難解や設計者の不注意を背景とするものであるから、よくある失敗事例を整理し公開するだけで予防できる可能性が高い。一方、「省略エラー」には最初から構造計算をしないという不作為がある。遂行エラーにはしばしば「ミス」のラベル語が当てられ厳しく糾弾される。しかしながら、ミスは努力により減らすことは出来ても、本質的に根絶出来ないものであるため、罰を与えてはならない。これに対し省略エラーは故意の違反であり不正であり、今後の改善を考慮するうえでは、これら二つは明確に区別する必要がある。

設計エラーを改善するために、法規類、ガイドラインの整備、設計者の教育、設計の検査体制などさまざまなことが考えられる。しかしながら、特に遂行エラーは、記述的理論における、行為者に帰責するばかりでなく、行為者を取り巻く環境をも考慮に入れて考える必要がある。この点から設計省略を促す環境要因として、補助金政策が要因の一つであることも推定されており⁹⁾、本質はより複雑である。

3.2 電気安全性について⁹⁾

PVシステムの導入が先行する欧州や米国では、すでにPVシステムを出火原因とする複数の火災事例が報告されている。たとえば、ドイツの研究機関の調査¹⁰⁾によれば、表1に示すように1995年から2012年の間にドイツにおいてPVシステムに関わる火災事故が約400件発生している。そのうち、PVシステムが出火原因ではないがPVシステムが何らかの被害を受けたものが220件、PVシステムが出火原因とされているものが約180件あったと報告されている。一方、日本でもこれまで住宅用PVシステムを中心にPCSや接続箱からの出火事故が報告されていたが、2011年9月に千葉県でモジュールが出火原因と疑われる住宅火災事故が初めて報告され¹¹⁾¹²⁾、また、2013年にはやはりモジュールを焼損する火災事故が京都府¹³⁾および新潟県¹⁴⁾で発生している。火災事故においては、出火元がPVシステムか否かによらず、PVシステムが付帯している建築物で日中火災が発生した場合には、PVシステムの運転を停止したとしても、モジュールが発生する電圧により、消火活動や残火確認中などの消防隊員が感電するリスクが存在するということである。実際に近年、国内において複数名の消防隊員の感電が報告されている¹²⁾¹⁵⁾。

海外ではUL¹⁶⁾の実験や欧州のプロジェクトにおいて消防活動における感電リスクに関して各種検討が行われている¹⁷⁾。その中では、以下のような観点で検討が行われている。

- ・放水時における感電リスク
- ・ケーブル等による導体切断における感電リスク
- ・夜間照明による発電特性と感電リスク
- ・火災による発電特性と感電リスク
- ・残火処理における再出火防止と遮光方法

また、その中で欧米の消防は、暫定的に感電防止策を提案している。例えば、消防隊員の手袋や靴等の防具に電気絶縁性を持たせることや、放水ルールとして、スプレーとフルウォーターそれぞれの近接可能距離の算出をしている。また、消火開始前に活線区間を最小化するために、太陽電池アレイに近い位置での直流電路開放方法なども策定している。さらに、PVシステム所有者に対して、建物へのPVシステムの標識掲示や、配線経路情報として、消防へ配線図を提出することも定められている。

国内では、総務省消防庁消防研究センターが、欧米における検討項目の追試的な実験を行っている。また、可燃性ガスの分析や、モジュール落下のリスクとして火災の熱で太陽電池モジュールのガラスが大きい

表2 独におけるPV関連火災の調査事例¹⁰⁾
(1995年~2012年)

PVS以外の出火原因でPVが被災		220件
PVが出火原因	建築物倒壊	10件
	建築物が被災	65件
	PVSが被災	49件
	PVS構成機器が被災	55件



図3 2011年9月に発生した住宅用PVの火災事故
(写真提供: 船橋市消防局)

な破片や鋭利な破片となる可能性など、新たな知見も示している。これら各種実験結果から得られた消防活動時の注意事項が報告書にまとめられている¹⁸⁾。特に「太陽光発電システム火災に関する消防活動上の注意事項・留意点一覧(住宅火災編)」として消防活動開始前、消火活動中、火災鎮圧後の3項目にわたって具体的な留意事項がまとめられている。また、東京消防庁も消防隊員のリスクに関する調査を行っており、「太陽光発電設備に係る防火安全対策検討部会」の検討結果の報告書を公表している。その中では、具体的な燃焼実験も行っており、太陽電池モジュール間の延焼性については、通電状態ではないが、延焼のリスクが低いことを示している。また、PVシステムの設置場所の留意やPVシステムの存在を示すための表示を推奨することにも言及している。これらの検討結果は「太陽光発電設備に係る防火安全対策の指導基準について」として具体的な基準を定めている¹⁹⁾。現状は、本基準は義務的な扱いではなく、指導となっているが、消防サイドから提示された具体的な基準としては国内初の文書である。

3.2.1 PVシステムの火災要因²⁰⁾²¹⁾

PVシステムの火災要因はモジュール由来とモ

ジュール以外に分けられる。モジュール由来では「バイパス回路 (Bypass Route。以下「BPR」)の開放故障」であり、モジュール以外では「DCアーク」が要因である。

モジュール由来のBPRの開放故障とは、以下の事象である。

太陽電池モジュールのセルの一部が出力低下した場合、一定のセルストリングに対してダイオードが並列接続されている (この単位をクラスタと呼ぶ)。これは部分的なセルの出力低下により、そのセルに逆バイアス電圧が印加される状態により致命的な故障をさけるために接続されており、このダイオードをバイパスダイオード、回路全体をBPRと呼んでいる。このBPRが開放された場合には、セルに致命的な逆バイアス電圧が印加し、それにより局所的な高温、部材の融解や損傷、アーク発生による燃焼も考えられる²⁰⁾。さらに太陽電池モジュールはその1枚での延焼性は小さいと考えられているが、屋根置き等太陽電池モジュールの裏面に木の葉など可燃物があることを想定することは容易であり、裏面の可燃物への延焼により故障から事故に発展するリスクが推測されている。

図4は産総研で発生したモジュールの深刻なトラブルの一例である。このモジュールでは、まずセルの相互接続部に何らかの接触不良が発生した。やがてその部分が導通不良状態となり、当該回路に並列に用意されているBPRに電流が迂回する状態へと移行した。その状態が約4年程度経過したのちBPRが開放故障となったため、セルが逆バイアス状態となり、やがて発生した直列アークによる急激な発熱が、図4に示すようなバックシートの焼損と表面ガラスの全損をもたらした。なお、この状態になっても日照下にあるモジュールは発電を続け、摂氏500度以上に達する部分がおよそ半年にわたって観察され、最終的には当該モジュールの電気回路は完全断線し発電を停止した。BPRは安全性能の観点から重要な「安全弁」の役割を果たしており、BPRの開放故障は、事故に発展するリスクがあるため、本事象を発見する方法の開発、また発見した場合には速やかな交換が必要である。

モジュール以外における「DCアーク」には「地絡アーク」「直列アーク」「並列アーク」の3種類がある。

地絡アークは名称の通り、地絡を起点に発生するアークであり、直列はケーブルやコネクタ等、電気回路の直列上に発生するアークである。並列アークとは、正負極間の短絡事故やストリング間の短絡事故な



図4 産総研で発生したモジュールの深刻なトラブルの例
(モジュール裏面のインターコネクタ接続部が激しく焼損し、その一部は日中500℃以上になっていた。表面ガラスは全損している)

どを含む、電気回路上の並列関係に発生するアークを示している。地絡、各短絡が発生する要因はさまざまであり、例えばこれまでの事例では、ケーブルが架台に挟みこまれる事例や、集電箱やパワーコンディショナの配線部分で端子間の短絡、モジュール裏面と金属部の接触、ケーブルの金属管へのはさみこみなどがある²²⁾。これまでのDCアーク事故事例からの教訓において重要なことは、事故点の発見ができなかったことがある。米国のベーカーズフィールドの事故では1点目の地絡を発見できなかったことにより、2点目の地絡時には停止が容易でない閉回路が構成され、それにより火災事故を止めることができなると要因分析されている²¹⁾。事故点の早期発見は何より重要である。なお、短絡的にこのトラブルの原因を施工不良とみなす人々も多いが、施工の問題を疑う前に、ヒューマンエラーを誘発するような設計になっていないかを考える客観的視点が必要である。例えば、事例が多いとされる接続箱やパワーコンディショナの端子間短絡や締め付け強度不足に関して、ガタスペースや端子台の位置など、施工性の観点を考慮した設計になっていなければ、施工不良でなく設計不良であるためである。

4. PVシステムの火災リスク低減²³⁾

PVシステムの直流電気による火災リスクを低減する方法として考慮する点は以下の4つである。

- ①故障・事故の防止設計
- ②故障・事故箇所の早期検知・発見
- ③故障・事故状態の停止・除去

④故障・事故箇所・状態の拡大防止

第一義的には、故障・事故を発生させないための設計である。信頼性の高いBPRを利用すること、DCアークの事故にならないような接続機器、接続方法、施工性の良い設計をすること等がある。故障・事故を完全になくすことはできないが、②～④は事故が発生した後の対策であるため、優先順位としては、設計の次に考慮するものであることを忘れてはいけない。

発生時の保護として②の故障・事故箇所を早期に検知する手法が必要である。BPRに関しては、現状ではオンサイトで発見する手法については、例えば、IVカーブの特性曲線による判定や、被影と配線探査機などが提案されている³⁾。DCアークに関しては、地絡検知装置やArc fault circuit interrupter (AFCI) などがある。これらは、技術的にも課題は残しつつも一定の検知・発見は可能なレベルである。しかし、あくまで検知・発見技術であるため、その後の③の停止、除去のステップを同時に考える必要がある。③の停止・除去は、②の検知・発見より技術課題が多い。一般的には遮断器を利用してシステム停止を行うのであるが、どの単位(モジュール、ストリング等)、どの箇所で遮断、切り離しを行うかについて課題が残されている。

最後に③までの停止、除去ができない場合、故障・事故が拡大するのを防止することを考える必要がある。例えば、ケーブルを伝って導火線のように延焼するケース、接続箱が樹脂製であったため隣接する他の接続箱へ延焼したケースなどが報告されている。もし各種部材が不燃性のものであれば、事故状態を除去できない最悪の場合においても、事故を最小限の範囲におさえることができる。ただし、難燃性部材については、難燃性の定義が業界により異なることもあるため、燃焼材料の確認試験方法の条件も今一度確認する必要がある。

また、BPR開放から発生する太陽電池モジュール由来の火種が、屋根と太陽電池モジュールの隙間にある部材による延焼リスクも存在する。近年ULが、太陽電池モジュールと模擬屋根の間に火種を入れた場合の燃焼性の試験を提案し、UL認証において追加要求されている。この試験が追加された背景は、屋根の耐火等級が良いものでも、太陽電池の耐火等級が低いものを屋根に設置した場合、その屋根の耐火等級が落ちる可能性があることが確認され、建築関連規制から要請があったことも要因のひとつである²⁴⁾。

5. 国内外プロジェクト等の動向

国内外のプロジェクト等の動向として代表的なものを紹介する。欧州では2011年2月～2014年1月まで、Fraunhofer ISEとTUV Rheinlandが中心に実施したプロジェクトがある。最終の報告書はまだ公表されていないが、Webよりワークショップの発表資料がダウンロード可能である¹⁷⁾。米国では、Solar ABCsにおいて中心的に実施されている。こちらでもWebから各White paperがダウンロード可能である²⁵⁾。また、米国ではNational electrical code; NECも連動して改定作業が進んでおり(最新はNEC 2014)、例えば地絡検知機能の強化や直並列アークの検知機能であるAFCIを義務化などが明文化されている。

国内では、2012年度より2014年度まで、経済産業省から三菱総合研究所が受託した「新エネルギー等共通基盤整備促進事業」の中で²⁶⁾、「太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備」のプロジェクトを産業技術総合研究所、関電工株式会社、JX日鉱日石エネルギー、日本電機工業会、みずほ情報総研株式会社にて共同実施している。本プロジェクトでは、PVシステムの直流電気安全設計ガイドライン作成を目的としおり、国内外の事例・動向調査、国際標準化の調査を中心に実施し、現在のPVシステムのリスク評価を踏まえて、設計基準の策定を検討している。現状システムのリスク評価に関しては、実証設備にて模擬地絡、短絡を発生させて、どのような挙動を示すか等の実験も実施している。特に逆流防止素子(ブロッキングダイオード)に関しては、効果や仕様、信頼性を実証試験により明確化し、IEC62548に対して、使用義務付けを提案することも検討している。また、地絡に関しては、既存対策技術の一つとして、現状のパワーコンディショナがもつ地絡検知機能の評価を行い、ブラインドスポットの有無の確認を行っている。これまでの取り組みを踏まえて、今後国内において重要なディスカッションポイントは以下であると考えている。

- ・ 火災発生・延焼のメカニズム解明
- ・ 対策技術開発
- ・ 対策技術の試験方法の開発
- ・ システム設計・運用方法のガイドライン作成
- ・ 安全基準の決定
- ・ 関連法令の整備；電気事業法、電気設備技術基準解釈

・ IEC、JISなどの標準、規格の整備

メカニズム解明から対策技術、そのガイドライン作成に加えて、安全については一定の義務化を考える場合、関連法令の整理、国際整合性も踏まえた標準化の整備、用語統一を含む整合性の確認も重要となる。また、安全基準を考える上では、感電レベル・事故発生電圧レベルをどこに抑えるかの議論が重要となる。感電においては、死傷レベル感電とそれ以外の感電とに大別することができ、それぞれ生理学的意味とリスクの性質が異なる。一般に感電事故といえ、皮膚経由の感電であるマクロショックのうち、ジュール熱由来の火傷や50 mA・sec程度の交流電流が引き起こす心室細動といった死傷レベルの感電を指す。このような、電流によって直接死に至る感電についてはIEC60479-1 4において戦前からの人体実験の成果が集約されている。同文献のグラフから直流は、150 mA・sec程度という、交流よりも安全側の心室細動しきい値を持つことが読み取れる。ただしこの値は脈動の無い純直流を前提とした値であり、日射に応じて電圧・電流が刻々と変化するPVシステムには必ずしも当てはまらないため、厳格側の交流しきい値を採用すべきかの議論が必要である。また、知覚レベル・不随意レベルの感電についても、不意の電撃に驚き体勢を崩した作業者は高所から滑落する恐れがあるため、PVシステムが屋根等に設置されていることを考えると、さまざまなケースで考慮すべき事象である。人体抵抗を500Ω程度に想定した場合、事故時にどの程度の電圧レベルまで低減することを要求するかと関連する。また、DCアークは20V程度でも発生することが報告されている。安全基準を考えるうえで、事故除去状態をどの電圧レベルとするか、言い換えればどの単位(例えば太陽電池モジュール単位)で切り離すことを要求するかと関連するため、十分な議論が必要である。

国際的な動きとしては、IECでの議論や、QAフォーラムなどが実施されている。機器としては、モジュール関係では、IEC61215(JIS C8990)(またはIEC61646(JIS C8991))、およびIEC61730(JIS C8992)が存在するが、これは20~25年といった長期耐久性を確認する試験方法ではなく、せいぜい5~10年を想定したものである²⁹⁾。最近では、IEC61730は新しいエディションに改訂されていることや、先のBPRを含むジャンクションボックスに関する新しい規格の動きもある。ただし、残念ながらBPRへ通電した電流サイクルなどはまだ未検討である。これらは最低限の基準とされてい

るが、現在の固定価格買取制度では、10kW未満のPVシステムの設備認定基準には、上記試験方法を含む第三者認証が要件として含まれているが、10kW以上の認定基準には、それすらも含まれていない現状がある³⁰⁾。パワコンに関してIEC62891や信頼性に関する議論、モジュールレベルの機器、いわゆるオプティマイザーやACモジュールなどの規格も議論されている。また、全体の認証関係の議論として従来のIECEEから、再生可能エネルギーに特化したIECREが設立され、PVも所属することになった。その中では機器認証からシステム認証への議論もなされている。IECREでのディスカッションにおいても、設計(62738、62548)、工事(現状なし)、竣工試験(62446、61829)、維持保全(61724、+α)それぞれについてIECでもシステム関連規格・標準の現状がまとめられているが、特に設計、竣工、維持保全が足りていないことが述べられている。また設計に関して、IECでは電気設計が基本のため、構造設計は構造側で見る必要がある。いわゆるメンテナンスと呼ばれる、竣工、維持保全関係では、IEC62446などがドキュメント化され、プラント認証に近い形が想定されているが、中身の議論はまだ十分とはいえない。

国内では、住宅用PVシステムなどに代表される50kW未満の一般用電気工作物については、保守・保安点検の法的義務がない。(一社)太陽光発電協会はこの範疇のPVシステムについて、JEM-TR228(小出力太陽光発電システムの保守・点検ガイドライン)をもとに保守点検ガイドライン²⁷⁾²⁸⁾を用意しているが、それが実施されるか否かは所有者次第である。一方、50kW以上の自家用電気工作物については、電気主任技術者による保安が義務付けられているが、実際にはPVシステムに精通した電気主任技術者は少なく、また技術的知識を習得する機会にも恵まれていない。このような実状から、特にモジュールを含むPVシステムの直流部分については運用の実態に関する情報が把握・共有されていないという問題がある。

PVシステムの安全を確保するためには、国内では、上記のような現状を整理し、IECなど国際整合性も見つめながらも、電気事業法、建築基準法など国内法体系の整理から実務レベルが活用できるガイドライン策定、教育といった国内における業界全体の体制構築を急務として行う必要がある。

6. 最後に

本稿ではPVシステムの安全に関しては、現状の課題と今後必要なことについて概要を述べた（電気学会誌2014年10号の特集に詳細があるため参考にされたい）。

維持・保全技術（いわゆるメンテナンス）は確かに重要である。しかしながら、最初から悪いシステムを維持・保全・保守・管理することは意味をなさない。将来のPVシステムが、その本質であるエネルギー源として利用されるようになるために、本来の設計技術を再度見直し、それを正しく維持保全することが重要であると考えている。安全を基準とした設計と維持保全の技術はまだ確立されているとは言えない。この両輪の技術開発がPVシステムの将来を支え、その技術者が国内エネルギーを支えると確信している。本稿がその一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) IEA PVPS, PVPS Report Snapshot of Global PV 1992-2013, T1-24:2014
- 2) DC Jordan, et al."Photovoltaic Degradation Rates - An Analytical Review", Progress in Photovoltaics, Vol 21, Issue 1, 12- 29 (2013)
- 3) 加藤「太陽光発電システムの不具合事例ファイル」、日刊工業新聞社、p.92(2010)
- 4) 若林「住宅用太陽光発電システムの長期実運転データ分析」、平成26年電気学会B部門大会(2014)
- 5) 吉富「太陽光発電システムの耐風設計および事故防止に向けた戦略」、電気学会誌、134巻、10号、2014
- 6) 吉富「太陽光発電システムの耐風設計およびその基標準未整備の現状」、太陽エネルギー、Vol.40、No.1、pp.55-74(2014)
- 7) 吉富「PVシステムを取り巻く構造および電氣的課題」、日本太陽エネルギー学会太陽光発電部会第6回セミナー資料(2013)
- 8) 吉富「太陽光発電システムの構造設計とヒューマンファクター」、太陽エネルギー、Vol.40、No.2、pp.59-72(2014)
- 9) 加藤「太陽光発電システムの安全性の確立に向けて一特集に寄せて一」、電気学会誌、134巻、10号、2014
- 10) H.Laukamp, et al." PV FIRE HAZARD - ANALYSIS AND ASSESSMENT OF FIRE INCIDENTS", Proceedings of 28th EUPVSEC (2013)
- 11) 消費者庁「消費生活用製品の重大製品事故に係る公表について」、2012年4月3日
- 12) 柴田「太陽光発電システムからの出火事例について」、第61回全国消防技術者会議資料、pp.155-167(2013)
- 13) 消費者庁「消費生活用製品の重大製品事故に係る公表について」、2013年7月17日
- 14) 消費者庁「消費生活用製品の重大製品事故に係る公表について」、2013年7月5日
- 15) 田村「太陽光発電システムを設置した住宅火災と消防活動の問題点」、第16回消防防災研究講演会資料、pp.81-90(2013)
- 16) UL, Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project, 2011
- 17) www.pv-brandsicherheit.de/ (2014/8最終アクセス)
- 18) 消防庁消防研究センター、太陽光発電システム火災と消防活動における安全対策、消防研究技術資料83号、平成26(2014)年3月
- 19) 東京消防庁、太陽光発電設備にかかる防火安全対策の検討結果、2014
- 20) 池田「太陽光発電システムの直流電気事故対策- I (パイパス回路の点検)」、電気学会誌、134巻、10号、2014
- 21) 石井「太陽光発電システムの直流電気事故対策- II (地絡保護およびアーク保護)」、電気学会誌、134巻、10号、2014
- 22) 大関他「太陽光発電の火災リスクに関して」安全工学、Vol.52 No.3(2013)
- 23) 大関「太陽光発電システムの直流電気安全性の確立に向けた取り組み」、電気学会誌、134巻、10号、2014
- 24) Solar ABCs Fire Classification Rating Testing of Stand-Off Mounted Photovoltaic Modules and Systems (2013)
- 25) Solar America Board for Codes and Standards Web site; www.solarabcs.org/(2014/8最終アクセス)
- 26) 平成 25 年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業報告書2014/3
- 27) (一社) 太陽光発電協会：「太陽光発電システム保守・点検ガイドライン【住宅用】第1版」、太陽光発電協会資料(2012)
- 28) (一社) 太陽光発電協会：「太陽光発電システム保守点検ガイドライン【10kW以上の一般用電気工作物】第1版」、太陽光発電協会資料BU145001(2014)
- 29) 大林「日本での太陽光発電システムの信頼性・安全性の取り組み」、太陽／風力エネルギー講演論文集2013、pp.275-280(2013)
- 30) 経済産業省資源エネルギー庁：「再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック」(2013)

略歴

大関 崇(おおぜきたかし)

プロフィール

平成12年 名古屋工業大学 電気情報工学 卒業

平成17年 東京農工大学大学院工学研究科電気電子工学専攻 博士後期課程修了 博士(工学)

平成17年 (独)産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 研究員

平成22年 (独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 主任研究員