

電気技術者



《連載》

交流・直流相互変換と直流利用技術の進歩(5)



日本製鉄(株)室蘭製鉄所全景 写真提供:日本製鉄(株)棒線事業部室蘭製鉄所

2019-8

《連載》 交流・直流相互変換と直流利用技術の進歩 (5)

太陽光発電設備の安全の実態と課題

国立研究開発法人産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター かとう かずひこ
加藤 和彦

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災と福島第一原子力発電所の過酷事故を契機として、極めて短期間で成立した「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（再エネ特措法）」（通称：固定価格買取制度、略称：FIT法）の施行により、2012年7月以降、皮相的には太陽光発電設備（以下「PVS」）の導入が急速である。第1表（左）は経済産業省が公表した2018年末現在におけるPVSの導入実績（出力容量ベース）を示したものである。「移行認定分」をFIT法施行以前の導入量とみなすならば、FIT法施行前には全体で約5GWであり、かつそのほとんどが10kW未満の住宅用PVSで占められていた。しかし、2018年末の導入量はその10倍に相当する約48GWに達し、かつ住宅用PVSの占める割合は20%程度

に低下している。

他方、第1表（右）は上述の導入実績を設備件数で示したものである。2018年末現在でわが国には約300万件のPVSが稼働しており、そのうち電気事業法第43条にもとづいて保安監督のために主任技術者を選任する必要がある自家用電気工作物（出力50kW以上）のPVSは約2.9万件（全体の約1%）である。（住宅用PVSを含む一般用電気工作物としてのPVSが全体の99%を占めていることの問題は後述する。）

FIT法が施行されてから6年間という短期間にこれだけのPVSの導入が実現したという事実はこの法律の功の一つといえる。他方で、この法律は無意識に「PVSに関係する人々の倫理観を奪う」という罪を犯した。上述のとおり、この法律以前の5GWのPVSのほとんどは住宅用であった。当時はPVSを購入・設置しても採算がとれるような時代ではなかった

第1表 わが国の太陽光発電設備の導入容量及び件数（2018年12月末時点）

	導入容量 [MW]			導入件数 [千件]		
	移行認定	新規認定	合計	移行認定	新規認定	合計
一般用電気工作物						
<10 kW	4,716	5,828	10,545 (22%)	1,199	1,263	2,461 (81%)
<50 kW	147	13,479	13,626 (28%)	9	532	541 (18%)
自家用電気工作物						
<500 kW	86	3,813	3,899 (8%)	0.78	16	16 (0.5%)
<2,000 kW	22	13,137	13,159 (27%)	0.02	12	12 (0.4%)
≥2,000 kW	9	6,792	6,800 (14%)	0.002	0.5	0.5 (0.02%)
合計	4,979	43,049	48,029 (100%)	1,208	1,822	3,031 (100%)

（出所：経済産業省資源エネルギー庁）

が、設置者には「エネルギー・環境問題への貢献」という高い「社会規範」意識に拠る動機があったと推測できる。だが、この法律はPVSをはじめとする再生可能エネルギー発電による「金儲け」を国家が保証した。金儲けそれ自体は背徳行為ではない。しかし、PVSに関係する人々の意識は「市場規範」に支配され、憲法が認める「経済活動の自由権」を行使し、その一方で憲法が課す「公共の福祉への適合義務」は蔑ろにされ、PVSの安全確保は疎かにされている。

2. 太陽光発電設備の安全上の特徴と事事例

2.1 太陽光発電設備の安全上の特徴

PVSは、導入段階以前の研究開発の時期から「メンテナンス・フリーな技術」と喧伝され、また、安全面における問題には注意が払われていなかった。しかし、PVSには以下のような安全に関わる本質的な特徴がある。

- ① 可動部分がなくまた音もないため、設備に異常や不具合があっても、ヒトの五感では気づきにくい（ヒトが気づいたときには重故障や事故に至っている場合が多い）。
- ② 太陽電池に光があたっている日中において、直流電圧の発生を止めることができない。したがって、常に火災や感電のリスクがある。
- ③ パワーコンディショナ（PCS）で交流に変換されるまでの電路は直流であるため、この部分でアークが発生すると（交流に比べて）消弧しにくい。
- ④ 太陽電池アレイは支持構造物（架台・基礎）の上に設置されるため、支持構造物の事故が発生すれば上部の太陽電池アレイの電気事故に進展する蓋然性が高い。

これらのことを考慮に入れてPVSを正しく設計・施工し適切な保安を行うならば、PVSはヒトにとって有益であり、未来へ継承される技術となるだろう。しかし、このような当為論とは裏腹に、近年はPVSの事故やモラル・ハザード事案が増加している。

第2表 太陽光発電設備の事故件数の推移

年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017
事業用	8	2	3	1	5	6
自家用	0	2	8	13	33	89
合計		4	11	14	38	95

（出典：平成29年度電気保安統計、経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課・独立行政法人製品評価技術基盤機構、2019年3月）

2.2 行政の事故統計にみる太陽光発電設備の事故

第2表は電気保安統計¹⁾による事業用電気工作物および自家用電気工作物としてのPVSの事故件数の推移を示したものである。2013年以降はFIT法認定のPVSが分類される「自家用」の事故件数が増加していることがわかる。なお、近年のPVSの事故増加への懸念からこの統計の根拠法令である「電気関係報告規則」が2016年9月に改正され、事故報告の対象とするPVSの出力要件が500kWから50kWに引き下げられた。したがって、今年度（2019年度）末に公表されるだろう平成30年度電気保安統計では、2019年のPVSの事故報告件数がさらに大幅に増加するであろう。

ただし、そうであっても報告対象は50kW以上のPVS（約2.9万件）に限られる。前出の表1からわかるようにその約20倍もある住宅用以外の一般用電気工作物としてのPVS（約54万件）は、依然として報告対象外である。このことを考えるならば、真の事故発生件数は行政の事故統計よりはるかに多いと認識しなければならない。

他方、第3表は住宅用PVSの火災事故統計である。これは消費者庁が運用する「事故情報データベースシステム」からPVSの構成機器（モジュール、ケーブル、接続箱、PCS）の「火災事故」および「危険情報（発煙・発火・過熱）」に分類される事故件数を暦年ごとに筆者が集計したものである。これによれば2009年からの10年間に住宅用PVSの火災事故は120件発生しており、特に最近では毎年20件超発生している。120件のうちのおよそ8割はPCS

第3表 事故情報データベースに登録されている住宅用PVSの火災事故等の件数(2018年まで)

年	事故情報 (火災事故)		危険情報(発煙・ 発火・過熱)*1		計
	Module*2	PCS*3	Module*2	PCS*3	
2009		4	2	7	13
2010				1	1
2011	1	8	2	5	16
2012		10	1	6	17
2013	3	8	1	6	18
2014	2	8		12	22
2015	3	12		3	18
2016	6	11	3	11	31
2017	1	21	3	10	35
2018	6	16	1	21	44
計	22	98	13	82	215

*1: 事故発生日が不明のため登録された年で分類
 *2: モジュール又はケーブルから発生
 *3: PCS又は接続箱から発生、および発生場所不明

や接続箱からの出火であるが、屋根の上のモジュールからの発火も20件を超えている。なおこの統計情報も、「火災事故」は消防が出動したものに限られ、また、「危険情報」は消費者自身が各自治体などの消費生活センターに積極的に通報した事案に限られることから、実態はこれらよりも多いと認識しておく必要がある。

2.3 太陽光発電設備の事故事例

(1) 風による事故

風によるPVSの構造事故は数年前から発生している。構造事故はモジュールやアレイ支持物のような重量部材の倒壊・飛散をとともうため、他者加害リスクがもっとも高い。第1図は、2015年8月に九州に上陸し九州各地にさまざまな被害をもたらした15号台風による福岡県でのPVSの飛散事故の様子である。工場屋根に設置されていた一般用電気工作物に分類される小規模PVSが、朝6時半頃に支持物ごと飛散し民家を直撃した。一部は住宅内にも飛



第1図 台風によるPVSの飛散事故例(2015年8月、福岡県)(写真提供:被害者)

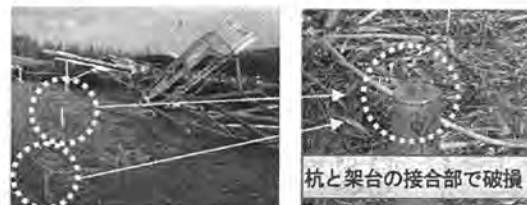


アルミ製の梁部材の折損



スロットを用いた接合部の破損

第2図 アルミ製架台の被害事例(2016年、鹿児島県)



杭と架台の接合部で破損

第3図 杭基礎の被害(2017年、岡山県)

び込んだが幸いにも家人は無事であった。この家人は報道の取材に対し「一部のパネルならまだしも、鉄骨ごと飛んできた。人災ではないか」とコメントしている。

第2図と第3図は、構造耐力評価機構の高森浩治氏が日本太陽エネルギー学会(JSES)に寄稿した事故事例である²⁾。第2図は2016年に鹿児島県で発生した16号台風の強風による

地上設置型 PVS の架台（アルミ合金製）の被害（左：押出成形された梁材の中央部での折損、右：アルミ合金部材の接合部に用いられるスロット部分での損傷）である。高森氏は「アルミ合金材は熱処理（焼入れと冷却）によって材料強度を向上させることができるため部材の肉厚を減らすことができるが、その反面、材料の靱性が低下することもある」と脆性的な破壊に注意喚起をしている。また、第3図は2017年に岡山県で発生した21号台風の強風による地上設置型 PVS の被害である。被害の主要因は杭と架台の接合部での破損であり、高森氏は「杭頭と架台を1本のボルトで接合する場合、架台が斜め方向に引き上げられると、杭外周部を支点とするテコの原理によってボルトの引張り力が増大するが、（このことが）設計上配慮されていないことが多い」ことを指摘している。

なお、2018年は三つの台風（21号、24号、25号）が上陸し全国各地で PVS の飛散・倒壊事故が多発した。

（2）積雪による事故

積雪地域は冬季にモジュールが雪で覆われてしまうため、これまで PVS は積雪地域には適していないと考えられてきた。したがって、アレイ支持物の構造設計における積雪荷重計算にはあまり注意が払われていなかった。しかし、FIT 法施行以降はそのような地域にも PVS が浸透しはじめるとともに、積雪による PVS の圧壊事故が発生するようになった。

第4図は、2017年2月に鳥取県で発生した豪雪で圧壊した約200kWのPVSの被害の様子である。電技省令はこの地域におけるアレイ



第4図 積雪によるPVSの圧壊事故例（2017年2月、鳥取県）

支持物の積雪荷重計算に100cmの最大積雪深を用いることを求めていたが、このPVSはそれを55cmとして設計していた。なお、この地域の当時の積雪は約90cmであった。

積雪による事故は、風による事故のような他者加害には直ちには波及しないが、破損・脱落したモジュールの融雪後の飛散事故や損傷した電気設備部分へのヒトの接触による感電事故、地絡による火災事故に進展する恐れがある。

なお、FIT法施行前に電技解釈第46条第2項が引用していたJIS C 8955（2004）「アレイ支持物設計標準」では、太陽電池アレイの勾配に応じて積雪荷重を割り引く勾配係数が設定されていたが、このJISは2017年に大幅に改訂され、積雪荷重の計算は原則としてアレイ勾配による積雪荷重の割り引きはしないこととなった。そして、2018年10月の電技解釈改正によりJIS C 8955も2017年版が引用された。また、北海道科学大学の千葉隆弘氏は太陽電池アレイ下端部の沈降荷重や積雪の降雨後重量を考慮した新しい積雪荷重算定方法を提案している³⁾。

（3）水害による事故

近年の気象の過激化により、PVSの水害による事故も発生し始めている。昨年に限って言えば、2018年7月の西日本豪雨で山陽新幹線の線路に面した斜面に設置された小規模PVSが土砂崩れとともに崩落して新幹線が一部区間で運転見合わせとなった。また、浸水被害があった岡山県倉敷市では複数の住宅で屋根上のモジュールから出火したとの報道もあった。消防研究センターの田村裕之氏らはこの被害の状況を調査している⁴⁾。それによれば、水害によりPCSが浸水し水が引いた後の晴天時にPCSから出火した事案が6件確認され、「1階浴室脱衣所に設置されていた住宅用PVSのPCSから火花及び白煙があがっているとの通報を受け、消防隊が確認すると断続的に放電の火花とパチパチ音を確認した。脱衣所内の分電盤の開閉器やPVS用ブレーカーを開いても放電は収まらず、屋外の昇圧器の開閉器を開くと放電は止った」ような事案もあったという。

さらに、田村氏らは2018年9月の21号台風で発生したPVSの火災事故も調査している⁴⁾。

それによれば、台風による高潮で海岸沿いに設置されていた地上設置型 PVS の敷地に海水が流入、浸水時と水がある程度引いた翌日にこの PVS の接続箱から出火したとのことである（接続箱 651 個のうち 65 個で発火やアーク痕を確認）。彼らの調査と実験によれば、この火災は接続箱内に浸入した海水の電気分解によって発生した水素ガスの爆発が原因と推定されている。

（４） 雷による火災事故

PVS の雷被害の機序や効果的な対策技術にはまだ不明な点が多くなお研究途上の段階であるが、国土の PVS 被覆率が高まれば、雷に遭遇する確率も高まるのは必然である。

茨城県にある大規模 PVS は、2016 年 7 月と 2017 年 6 月の二度にわたって落雷の被害に遭遇している。前者では 27 枚のモジュールでバイパス回路の短絡故障が発生し、うち 14 枚が焼損した（第 5 図は焼損したモジュールから脱落した端子箱の様子）。さらに 6 個のブロッキング・ダイオードも短絡故障を起こした。また後者では 32 枚のモジュールでバイパス回路の短絡故障が生じ、6 個のヒューズが溶断した。

なお、当所が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から受託した事業において、これまでに上記を含む 3 件の雷害被害 PVS の調査を実施したが、そのすべてでモジュールの



第 5 図 雷害で焼損・脱落した端子箱（2016 年 7 月、茨城県）（写真提供：被害者）

バイパス回路ならびにブロッキング・ダイオードの短絡故障を確認している。また、（一社）九州電気管理技術者協会宮崎県支部の金丸義男氏や東京電気管理技術者協会の鈎裕之氏からもこれと同様な雷被害が報告されている⁵⁾⁶⁾。

私の知る限りでは、雷害被害を受けた PVS では比較的迅速に被害が調査され、必要な改修が進められている。ただし、その多くは外観でわかる被害を受けたもののみが交換・改修対象となっている。そのため外観上の変化を覚知できない「裏面端子箱内のバイパス回路のみが短絡故障しているモジュール」や「接続箱内のブロッキング・ダイオード」が、交換対象とならずにそのまま使用される。その結果、改修後も逆電流などの発生により被害が収束せず「原因不明の不具合」に悩まされる状況になっている。

（５） 住宅用太陽光発電設備の火災事故

住宅用 PVS は主任技術者の保安管理対象ではないが、参考として住宅用 PVS の火災事故事例を紹介しておく。

第 6 図は 2011 年 9 月に関東某所で発生した日中の住宅火災である。事故情報データベースの記録によれば、屋根建材型モジュールからの出火と推定されている。また、この火災事故では、消火作業中ならびに残火確認中の消防隊員各 1 名が感電したことが明らかになっている。昨今、ZEH（Zero Energy House）の普及が推進される中で、一般住宅への PVS の搭載率が高まっていくであろうが、このことは、住宅火災時における消防隊員の感電リスクを高めることにもなる。米国や独などが早くから PVS による消防隊員の感電リスク対策を進



第 6 図 モジュールが出火原因とされている住宅火災事故（写真提供：被害者）

めているのに対して、わが国の取り組みは鈍重である。

このような状況において、内閣府の消費者安全調査委員会は、消費者安全法第23条第1項の規定にもとづき、2016年10月に「住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等」の調査に着手し、2019年1月28日に報告書を公開した⁷⁾。調査委員会は、事故件数は少ないものの住宅火災に至る可能性が高いと考えられるモジュール又は配線からの発火等の原因の調査を重点的に実施し、製品瑕疵によるモジュールの局所的な異常過熱や直流地絡によるアークの発生を火災の原因として推定するとともに、ルーフィングや野地板といった可燃物にモジュールや配線が接触あるいは近接する施工方式の建材一体型の火災リスクに警鐘を鳴らしている。

筆者がこの調査報告書の事故事例の中で特に注目しているのが、PCSが地絡検知機能を有しているにも関わらず直流地絡が原因で火災に至った二つの事例である。これらの事故は「小動物の囓害^{こうがい}」「ケーブルの挟み込み」と火災の端緒は異なるものの、事故発生前に絶縁低下や直流地絡検出といった予兆が捉えられていた。それにもかかわらず、どちらも火災発生まで当該不良ストリングの断路という応急措置にとどまっていた。断路器の上流（ストリング）側で地絡回路が形成された場合の「断路」がなんら有効な事故回避策にならないことは全てのPVSに共通する盲点である。調査委員会が提言している「断路器による切り離し操作に加えて地絡が発生したストリングを遮光する等、地絡が発生した際の適切な対処方法を整備し、徹底させること」は自家用PVSにも必要なリスク対策である。

なお、この調査報告書に関する論考については、文献（8）を参考にされたい。

3. 太陽光発電設備による環境破壊の問題

FIT法によるPVSの急拡大と発電電力の調達価格の低下によりPVS建設の適地が減少していく中で、いよいよPVSは自然環境や生活環境を脅かす領域にまで進出しはじめている。



第7図 大雨の度に浸水する住宅

たとえば、「山岳景観日本一」を謳って観光行政に力をいれるとともに、豊かな自然を求める人々のための移住を積極的に進めている山梨県北杜市は、日照時間の長さが日本屈指でもあることから、FIT法施行とともに県外さらには海外からも開発事業者がなだれ込こんだ。彼らは森林を伐採して50kW未満のPVSを大量に建設した。周辺住民は環境や景観の悪化を嘆き、さらには土壌の保水力の低下による土砂災害リスクの不安に襲われた（たとえば第7図）。北杜市太陽光発電を考える市民ネットワークの弘田由美子氏によれば「資源エネルギー庁の認定の基準とされている事業計画認定ガイドラインには、計画の初期段階から地域の理解を得るよう努めること、地域住民に十分配慮して事業を実施することが明記された。しかし、遵守事項ではなく推奨事項は、ほとんど守られていないという厳しい現実」があり、また「『合法』を盾に住宅に迫る設置を強行し、PVSを傷つけた場合には損害賠償請求すると迫り、既存住宅の敷地内の樹木を伐採させる」事業者もいるという⁹⁾。

未来の世代に残すべき森林を伐採して景観を破壊するとともに地域住民を水害リスクに曝し、あるいは海岸沿いの傾斜地森林の伐採による土砂流出の懸念が漁民を不安に駆り立て、あるいは一般住宅が巨大なPVSが取り囲まれる。前世紀には「クリーンで環境にやさしかった」はずのPVSは、もはや社会の「嫌われ者」になろうとしている。そして、前出の北杜市を含む多くの地方自治体がPVSの設置規制条例を制定し、これを排除しようと動き始めている。

4. 太陽光発電設備の保安点検について

さて、ここで話題の PVS の保安点検の事柄に転じる。

4.1 これまでに整備されている太陽光発電設備を網羅する保守点検に関する資料

FIT 法の有無によらず、電気事業法は電気工作物としての PVS が電技省令に適合することを要請している（自家用電気工作物は法第 39 条および第 40 条、一般用電気工作物は法第 56 条）。そして、2017 年 4 月の FIT 法改正により、FIT 法の認定を受けた PVS は「安定的かつ効率的に再生可能エネルギー発電事業を行うために発電設備を適切に保守点検及び維持管理すること」への同意が求められることになった。これは 2009 年 11 月以降に設置され FIT 法に移行した住宅用 PVS にも適用されている。FIT 法改正に合わせて資源エネルギー庁が策定した「事業策定ガイドライン（太陽光発電）」は、通常運転時において民間機関のガイドラインを参考にすることを推奨している。

そして、その第一号として整備されたのが（一社）日本電機工業会（JEMA）と（一社）太陽光発電協会（JPEA）の技術資料「太陽光発電システム保守点検ガイドライン（JM16Z001）」である。この技術資料は比較的小規模の PVS を対象に整備されてきた JEMA や JPEA の保守点検ガイドラインと 2016 年委員会原案として発行された IEC 62446-2Ed. 1 (Photovoltaic (PV) systems—Requirements for testing, documentation and maintenance—Part 2: Grid connected systems—Maintenance of PV systems) を元に作成されたもので 2016 年 12 月に公表された。豊富な項目からなりそれぞれの内容も充実しているが、点検手順の実用性にやや欠ける部分がある。

その後、2019 年 2 月に日本電気技術規格委員会が「自家用電気工作物保安管理規程（JEAC 8021-2018）」（以下「保安管理規程」）を改定し、「設計の確認」や「工事中の巡視、点検」「竣工検査」「日常巡視」「定期点検」の各項において PVS に関する項目が大幅に拡充

され、また、PV の電気事故事例が追加された。ただし、PVS の検査や点検の内容は項目と簡単な説明にとどまっており、具体的な手順や使用する計測器あるいは判断基準などに関する記述に乏しい。

4.2 産総研が整備した太陽光発電設備（直流側）の安全に関する技術情報と保安点検手順

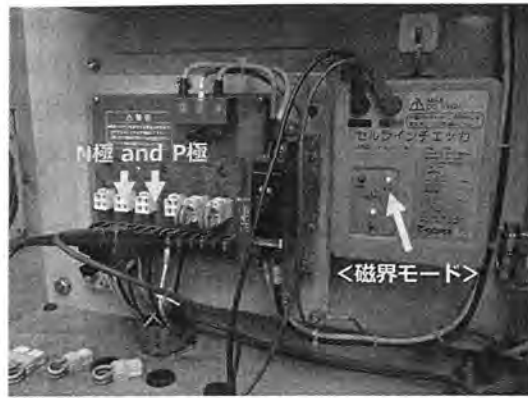
筆者が所属する産業技術総合研究所（AIST）では、2016 年度から 2018 年度に NEDO から受託した事業において、過去に作成し公開した技術資料「太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報（第 1 版）」（2015 年 3 月 31 日¹⁰⁾を改定し第 2 版を作成した（おそらくこの雑誌が発刊される頃には AIST の太陽光発電研究センターの website で公開されているであろう）。この AIST 技術情報第 2 版では、PVS の雷害被害の実態調査やそのメカニズム等に関する最新の研究成果、そして、PVS の直流側電気安全に関する保安点検手順およびそれを適用したさまざまな PVS の測定調査事例が盛り込まれている。

前掲の保安管理規程とこの AIST 技術情報第 2 版の双方を参考にすることにより、より適切で実践的な PVS の直流側の保安点検が可能になるだろう。

そこで以下では、AIST 技術情報第 2 版の内容を援用しながら、保安管理規程の中でも特に重要な点検項目を解説する。

（1）作業安全

保安管理規程では作業安全は共通事項として記述されているが、PVS が他の受電設備などと異なるのは「活線作業」が不可避なことである。したがって、PVS の保安作業者は感電により一層注意する必要がある。しかし、筆者らの知る限りでは主任技術者でさえこのリスクに対する認知が低い場合があり、検電や絶縁抵抗測定などによる安全確認前にもかかわらず、接続箱やモジュールフレームを素手で触る場面を幾度となく目にしている。そこで、AIST 技術情報第 2 版では、絶縁手袋・長靴（直流高圧・直流低圧）やヘルメットの着用の徹底のほか、絶縁シートの使用、直流検電器による作業領域



(a) 送信器の設定



(b) 受信器の設定



(c) モジュール表側からの探査



(d) モジュール裏側からの探査

第8図 配線経路の確認

周辺の導体の検電の励行を促している（ただし、直流検電では、検電対象が適切に接地されていない場合には正しい検電結果を示さない可能性も指摘されているので、注意が必要である）。

なお、これらの保安用具の選び方や適切な使い方については、PVResQ!/(株)島電気商会の北川孝太郎氏の文献(11)も有用である。

(2) 直流電路の確認

保安全管理規程では、PVSの竣工点検時の試験項目に直流電路の確認が追加された(p.68、「設計図どおりに太陽電池モジュールが結線されているか」)。

筆者らの現地測定調査などでは、完成図書に接続箱内の各断路器と太陽電池モジュールの間の配線に関する図面がなかったり(それどころか、完成図書自体がなかったり)、あるいは配線図面があっても実態はそのとおりに配線され

ていなかったり、という場面に幾度か遭遇している。点検作業者がこの情報をもっていない(もたされていない)場合、点検で異常な物理量を取得した際にその原因箇所の探索に多大な労力を要するばかりか、点検作業者が不安全な状況に曝される恐れがある。

したがって、竣工点検時や大掛かりな配線変更時、あるいは点検作業者自らが初めて関わるPVSであるような場合には、必ず直流電路の確認を行うべきである。地上設置架台などでモジュール裏面のケーブル配線状況の視認性がよい場合は目視による確認も可能かもしれないが、複数のケーブルが結束バンドで束ねられているケースが多いため、目視確認は現実的ではない。そこで、AIST技術情報第2版では、配線路探査器による直流電路の確認方法を紹介している(第8図)。

なお、配線路探査器の技術解説や使用方法に

については、(株)戸上電機製作所の片渕健氏¹²⁾の文献も参考になる。

(3) 逆流防止素子（ブロッキング・ダイオード：BLD）の機能確認

BLDの機能確認も保安全管理規程の竣工点検および定期点検に追加された項目である（p. 68 および p. 97）。過電流保護素子であるヒューズと同様に逆電流による太陽電池モジュールの発火を防止するBLDは、PVSの直流部分の重要な保護素子であり、ヒューズ以上に目視による異常（短絡故障や開放故障）確認が難しいため、電気測定によりその機能が保持されていることを定期的に確認することが肝要である。

AIST技術情報第2版では、テストのダイオード測定モードと抵抗測定モードによる測定（第9図）とその判定方法を紹介している。

(4) 太陽電池モジュール内のバイパス回路（BPC：Bypass Circuit）の機能確認

太陽電池モジュール内に装着されているBPCの短絡故障は発電損失に直結し、かつ、PVSの運転停止時にも局所的に電流が流れ続けるため安全阻害要因となる。また、開放故障はセル回路に電気的不具合（たとえば直列抵抗増）を生じた場合の異常過熱やアーク発生のリスクを惹起する。したがって、AIST技術情報第2版では、竣工時（理想的には太陽電池モジュールの検品時）はもちろん定期点検時にもBPCの機能確認を実施することを推奨している。保安全管理規程でも竣工時と定期点検時の試験項目に追加されている。

とはいえ、太陽電池モジュール1枚ごとにこれを行うことは能率的ではない。一方、短絡故障の有無の確認はストリング単位の開放電圧測定によってもその存在可能性を推定ことができ、原因モジュールの特定には赤外線カメラを用いる方法（第10図）や配線路探索器を使う方法がある。後者についてはアイテス(株)の池田輝雄氏の詳しい解説¹³⁾がある。

他方、ストリング単位での開放故障の有無の探査には、バイパス回路検査専用の測定器が利用可能である。AIST技術文書第2版で検査原理と具体的商品を紹介しているほか、日置電機(株)の樋口昌男氏や日本カーネルシステム(株)



(a) 測定箇所



(b) マルチメータの抵抗測定



(c) マルチメータのダイオード測定モード

第9図 ブロッキングダイオード（BLD）の測定

の長畑賢氏の文献（14）（15）も参考になる。

(5) スtringの絶縁抵抗の測定

Stringの絶縁抵抗の測定は今回の保安全管理規程の改定前からある試験項目であるから、本項で改めて解説する必要はないであろう。あえて最近の情報に触れるならば、JIS C 1322「絶縁抵抗計」が2018年2月に改正され、日中において停電（無電圧）状態にできないStringの正確な絶縁抵抗測定のために開発・製品化された日置電機(株)の絶縁抵抗計（IR4053 および IR4055）が当該規格の認証品となったことである。なお、AIST技術情報第2版は、PVRessQI/(有)吉富電気の吉富政宜氏が考案したテスト測定による対地電圧から絶縁抵抗を求



(a) モジュールの表面温度分布



(b) 端子箱の表面温度分布

第10図 中央クラスタのBPCが短絡故障状態のモジュールのIRカメラ観察例(解列時)



(a) 延長リールの例(50m、1Ω程度)



(b) 低抵抗計の接続と設定

める「自己バイアス法」¹⁶⁾も紹介している。

(6) 等電位ボンディングの問題

感電防止や雷害対策の観点では、モジュールフレームや架台の等電位ボンディング設計が重要である。実際にも前出の金丸義男氏の雷害被害調査⁵⁾によれば、近傍に落雷のあった二つの類似したPVSにおいて、適正に等電位ボンディングがされていた一方のPVSには雷害被害がなく、そうでなかった他方のPVSには大きな雷害被害があったことが紹介されている。

FIT法施行以前の往時のPVSは接地線による集中接地がなされていたと聞くと、FIT法施行以降の比較的小規模のPVSでは杭基礎が多用され始めたこともあり、接地線によらない「モジュールフレーム—架台—杭基礎」の直接接地の事例も数多くあり、筆者らの現地測定調査でも等電位ボンディングに少なからず問題があるPVSにも遭遇した。

等電位ボンディングの確認については、



(c) 接続箱の接地極と各モジュールのフレームとの間の抵抗値の測定

第11図 等電位ボンディング・接地の等電位性の測定

AIST技術文書第2版では、低抵抗計とテストリードの延長リールを用いて「モジュールフレーム—接地極」間の抵抗を測定する方法を紹介している(第11図)が、これはなかなか骨



第12図 プリーダ抵抗器 (10 kΩ) の例

の折れる作業ではある。これについては簡便に等電位ボンディングが確認できる技術の開発が必要と感じている。

(7) モジュールの出力低下を調べる簡便な方法～「プリーダ抵抗法」

モジュールの出力低下を調べることはPVSの保安点検に直接の関係はないが、セル回路の直列抵抗の増加などによりBPCの常時通電に至る可能性があるモジュールを簡便に見つけることには相応の意味がある。PVS専用の電流-電圧特性測定装置はそのことを可能にするが、これは決して安価な測定装置ではない。そこで、AIST技術文書第2版ではプリーダ抵抗とテスタを利用した「プリーダ抵抗法」を紹介している。

作業としては、ストリング両極間にプリーダ抵抗 (抵抗値=ストリング開放電圧 [V]/0.1 [A] 程度) を挿入し、その両端の電位差を測定する。正常であれば、開放電圧とほぼ同程度の電圧が得られるはずであるが、単クラスタ^{※1}の開放電圧分をおおまかな単位として、ストリング開放電圧と差がある場合には、クラスタの部分脱落 (セルストリングの導通不良) を有するモジュールがストリング内に含まれている蓋然性が高い。出力低下分を単クラスタの開放電圧値で割り算することで、脱落しているクラスタの数を概算できる場合もある。なお、第12図はわれわれが用いている10 kΩのプリーダ抵抗器であるが、ストリング開放電圧が

※1 クラスタ：セルストリングの両端をバイパス回路により終端した太陽電池モジュール内の最小発電ユニットのこと

400 V程度までで、3 kΩ程度のプリーダ抵抗モードを備えているテスタ (たとえばFLUKE 289) であれば、テスタのみでの測定も可能である。

5. おわりに—太陽光発電設備の保安点検の今後—

ここまで、わが国におけるこれまでのPVSの導入実績や事故の実態、保安点検の方法などを述べてきた。

そして問題は「これからどうなるか？」である。

政府の第五次エネルギー基本計画における再生可能エネルギーの位置づけ、すなわち「2030年：主力電源化への布石」「2050年：主力電源化を目指す」という論調からすれば、今後もPVSは堅調に増加していくことが想像できる。その一方で、FIT法に関しては、附則第2条第3項のとおり、経済産業省がこの法律の抜本的な見直しに着手し (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/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会)、PVSの安全面への懸念や地域との共生における課題が「適正な事業規律」という論点で議論され始めている。

つまり、これからは、これまで以上にPVSの保安点検が必要となることは必然である。そして、第1章で述べた「数」では圧倒的な (現行電気事業法では主任技術者の選任が不要な) 一般用電気工作物の安全確保の問題があり、また、そもそもPVSの敷地は広大である。このPVSの「数」と「量」を考えるとヒトだけに頼った保安確保には限界があり、(性能ではなく) 安全の遠隔監視技術を確立していかなければならない。しかし、それを実現するためには「どの物理量」を「どう測り」「どう判断するか」という方法論を確立しなければならない。そのためには、まずヒトの経験知を蓄積する必要がある。できうれば、PVSの保安に携わる技術者個々の経験を皆で共有していただきたい (できれば、筆者もそこに加えていただきたい)。

私が理事を務める(一社)日本太陽エネルギー学会(JSES)でも臨機にPVSの安全確保を話題とするセミナーを開催したり、学会誌で特集を組むような取り組みをしている。当学会の活動に関心のある方は、一度当学会のホームページ(<https://www.jses-solar.jp/>)をご覧ください。

参 考 文 献

- 1) 経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課・独立行政法人製品評価技術基盤機構：平成29年度電気保安統計、2019年3月
- 2) 高森浩治：強風被害にみる太陽電池発電設備の構造的弱点と耐風設計の要点、太陽エネルギー、Vol.45、No.3、pp.59-64(2019)
- 3) 千葉隆弘：太陽光発電設備の積雪荷重の評価、平成31年電気学会全国大会講演論文集、pp.S6(9)-S6(12)、北海道札幌市(2019年)
- 4) 田村裕之、松崎崇史：洪水・高潮等の水害時に発生した太陽光発電設備の火災、太陽エネルギー、Vol.45、No.3、pp.53-58(2019)
- 5) 金丸義男、鳥原亮：太陽光発電所の雷害事例よりその調査方法と対策を考える、太陽エネルギー、Vol.45、No.3、pp.65-68(2019)
- 6) 鈎裕之：太陽光発電システム“まさか”のトラブル事例—落雷後、無傷だった多数のPVモジュールが日ごとに焼損、電設資材、2019年3月号~6月号
- 7) 消費者安全調査委員会：消費者安全法第23条第1項の規定に基づく事故等原因調査報告書—住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等(2019年1月28日)
- 8) 加藤和彦：住宅用太陽光発電システムの火災事故—消費者安全調査委員会報告書の論考—、Vol.45、No.3、pp.89-95(2019)
- 9) 弘田由美子：北杜市における太陽光発電設備設置の実状と自治体の対応、太陽エネルギー、Vol.45、No.3、pp.69-75(2019)
- 10) 独立行政法人産業技術総合研究所 太陽光発電研究センターシステムチーム：太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報(第1版) (2015年3月31日)
[https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/service/PV_Electrical_Safety\(AIST2015\)/Technical_Information_on_PV_Electrical_Safety\(AIST2015\)v2.pdf](https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/service/PV_Electrical_Safety(AIST2015)/Technical_Information_on_PV_Electrical_Safety(AIST2015)v2.pdf)
- 11) 北川孝太郎：太陽光発電設備の保安点検に係る電気作業安全について、太陽エネルギー、Vol.45、No.3、pp.81-88(2019)
- 12) 片淵健：PVドクターシリーズの技術解説、太陽エネルギー、Vol.44、No.3、pp.45-51(2018)
- 13) 池田輝雄：「ソラメンテシリーズ」の技術解説、太陽エネルギー、Vol.44、No.3、pp.59-63(2018)
- 14) 樋口昌男・山崎明、電流-電圧特性測定機器および保安点検用測定機器の技術解説/電気事業法施行規則におけるPV絶縁抵抗測定の議論、太陽エネルギー、Vol.44、No.3、pp.71-80(2018)
- 15) 長畑賢、PVアナライザとバイパスダイオードチェッカーの技術解説、太陽エネルギー、Vol.44、No.3、pp.41-44(2018)
- 16) 吉富政宣：太陽光発電システム向け各種絶縁抵抗測定法の得失検討—適切な点検手順導出のための論点抽出、太陽エネルギー、Vol.40、No.3、pp.105-118、2014