

特 集 論 文

太陽光発電システム導入拡大と 顕在化する技術課題

Technical Issues of the Photovoltaic Systems Revealed with
the Rapid Increase in the Number of Installation

後藤 則 泰* 井筒 達 也*
N. Goto T. Izutsu

概要

再生可能エネルギーの固定価格買取制度の施行とともに太陽光発電システムの導入量が飛躍的に増大し、システム品質に対する事業者からの要求の多様化とともに系統連系上の問題が顕在化しつつあり、パワーコンディショナで対処すべき課題が多くなっている。本稿では、これら太陽光発電システムに求められる要件、系統連系上の問題およびパワーコンディショナメーカーとしての課題への取り組みについて紹介する。

Synopsis

As the number of installed photovoltaic systems increases rapidly with the enforcement of the feed-in tariff, the problem in the grid connection and the various demands of the business operator for quality of the system are revealed. Therefore, the technical issues to deal with by a power conditioner are increasing. In this report, we present a description of the requirements for photovoltaic system, the problem in the grid connection and action to the technical issues as a power conditioner maker.

1. 太陽光発電システム導入量の拡大

再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下FIT）の施行に伴い、太陽光発電の導入量が急増しており特に専用の連系設備を備え全量売電する発電所の増加が目覚ましい。図1に太陽光発電設備の国内累積導入量を示す。

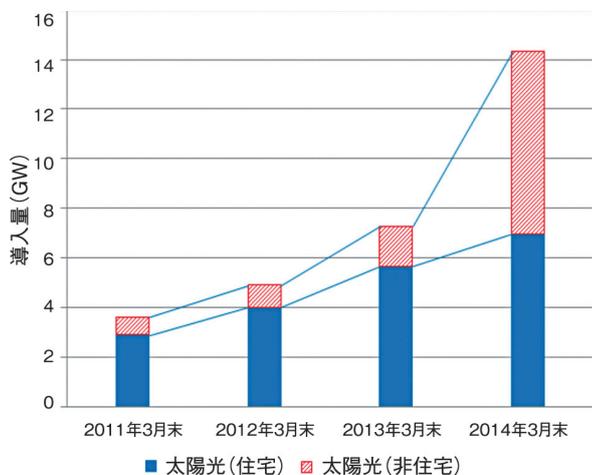


図1 太陽光発電設備の国内累積導入量 (1,2)

*新エネルギー・環境事業本部

FIT施行前は助成制度を活用し、温室効果ガスの排出抑制や省エネなどの環境貢献を目的として導入されるケースが一般的だったが、FIT施行後は発電事業目的のものが大半を占めるようになった。それに伴い、市街地の施設に自家消費を主とした小規模なシステムを設置するケース



図2 株式会社エネコープ殿
コープ・市民ソーラーとかち川西発電所 (750kW)



図3 丸住製紙株式会社殿
梅ノ木倉庫太陽光発電設備 (1750kW)

が主流であったものが、郊外の遊休地や工場・倉庫などの屋根に大規模なシステムを設置するケースが主流へと変化している。

図2、図3に各々遊休地および工場への太陽光発電システム導入事例を示す。FITで導入される太陽光発電システムには事業性の観点から高効率で信頼性の高い設備構築とその運用が重要となる。また、システムの末端付近に容量の大きな太陽光発電設備が設置される場合は、システムの電力品質へ悪影響を及ぼさないように対策が求められることがある。

当社では1980年代半ばに太陽光発電用パワーコンディショナ（以下PCS）を製品化して以来、「系統連系技術」「電力変換技術」をベースに太陽光発電事業に取り組んでいる。FIT施行後は多様な市場ニーズに迅速に対応することによって、PCS納入量は図4に示すように急速な伸びを示している。

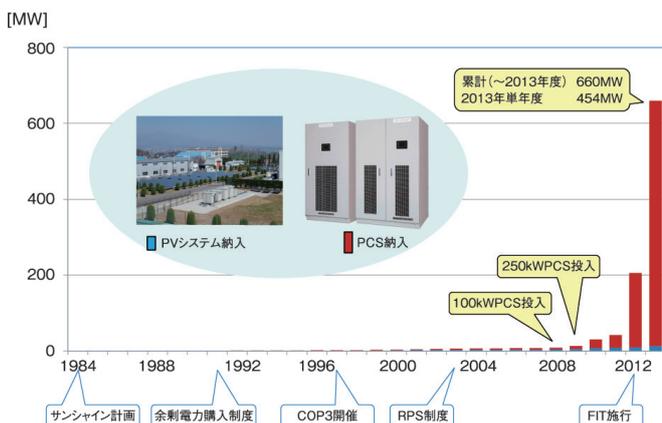


図4 当社PCSの累積納入量

2. 太陽光発電システムに求められる要件

FIT施行以降、導入が急拡大した太陽光発電システムについて、市場が抱える事業性向上及び系統連系課題克服の観点から当社のPCSを中心とした技術対応について述べる。

2. 1 システム設計上の技術課題

2. 1. 1 高効率

システムの総合的な発電効率の評価指数として、システム出力係数（＝年間発電量/定格容量/年間日射量）がよく用いられる。この値が大きいほど同じ日射条件下での年間の発電量が高くなることを示しており、直流および交流の線路損失の低減、PCSや変圧器等の機器損失の低減がシステム設計上重要となる。特にPCSには定格出力時だけでなく部分負荷時でも高い変換効率を発揮することが求められる。

2. 1. 2 高信頼性

固定価格買取期間である20年間、所定の発電性能を維持すること、安定して運転し続けることが発電事業にとって非常に重要となる。前者は太陽電池の経時変化による出力性能に大きく依存し、太陽電池メーカーから20年間ないし25年間の出力保証が付帯されることが標準的となっている。後者はPCS等の機器自体の長期信頼性と適切な維持管理、定期的な保守による異常の未然防止と不具合時の早期復旧が重要となっており、機器メーカー等と保守契約を結ぶ例も増えてきている。

2. 1. 3 多様な設置環境

太陽光発電の導入量が増えるとともに、塩害地域、強風地域、多雪地域など特殊な環境条件下へ設置するケースが増えている。従って設置環境に適した太陽電池モジュールおよび架台の選定が欠かせない状況である。また、PCSも屋外に設置されるのが一般的になっており、屋内仕様のPCSを強制換気方式、塩害地域等ではエアコンを内蔵した密閉方式の屋外盤に収納されることが多いが、当社では屋外仕様のPCSを国内他社に先駆けて製品化し、高い評価を得ている。

2. 1. 4 低コスト、コンパクト化

太陽電池を地上設置する場合、その地点の緯度に応じて年間発電量が最大となる傾斜角を試算することができる。一方、傾斜角が小さいほどアレイ間隔を詰めて設置面積を減らすことができ、地代や施工コストを低減できる。このため総合的に発電コストが最小となるような傾斜角を選定することが重要となる。また配線コストを最小化するための機器の配置、架台については地盤の条件、風圧条件などを考慮して必要十分な強度の基礎・架台を選定する必要がある。

2. 2 系統連系上の技術課題

2. 2. 1 電圧上昇対策

系統に太陽光発電を連系し逆潮流した場合は配電線の電圧が上昇する。図5に示すように連系点から見た系統側のインピーダンスを $r+jx$ (%)とし、太陽光発電所から系統に逆潮流した有効電力を P 、無効電力を Q とすると、連系点の電圧上昇 ΔV は、 $\Delta V = rP-xQ$ の

式で表される。このため系統側が軽負荷時に発電量が増えた場合等に系統電圧が上昇し規定値を上回る可能性があり、その際はPCSから無効電力Qを供給することによって電圧上昇を抑制する機能が標準的にPCSに備えられている。

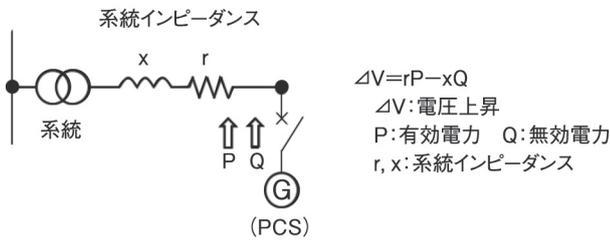


図5 配電線の電圧上昇

2. 2. 2 系統擾乱時における運転継続性 (FRT)

PCSは系統側の停電等の異常を検出した際には運転を停止する機能を有するが、図6に示すように上位の基幹系統に起因する瞬時の電圧低下を検知して運転を停止した場合、系統に繋がる太陽光発電が一斉に停止し電力品質に大きな影響を与えてしまうことになる。これを防ぐために、一定の条件の範囲の電圧低下や周波数変動の場合には運転を継続する機能をFRT機能と呼び、2014年4月から、PCSに搭載することが系統連系規程において要求されている。(4)

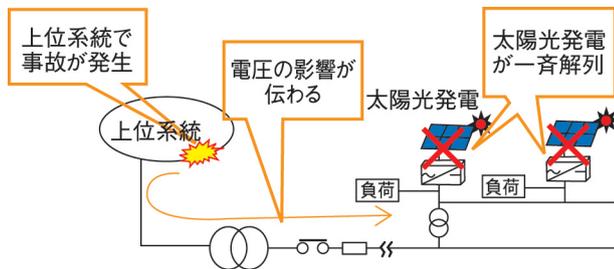


図6 系統擾乱時の不要解列(3)

2. 2. 3 電圧フリッカ対策

単独運転検出として受動的方式および能動的方式の二通りの方式がPCSに内蔵されており、後者の代表的な方式の一つに無効電力変動方式がある。その原理の概念図を図7に示すが、無効電力を周期的に変動させるためフリッカ値に影響を及ぼす。無効電力変動量および系統インピーダンスが大きいほど影響が大きくなるため、発電出力の大きな発電所を系統の弱い地域に設置する場合には規定値を上回る可能性がある。その場合は無効電力変動量の低減やフリッカへの影響の無い次数間高調波注入方式の単独運転検出装置設置など

により対応する必要がある。

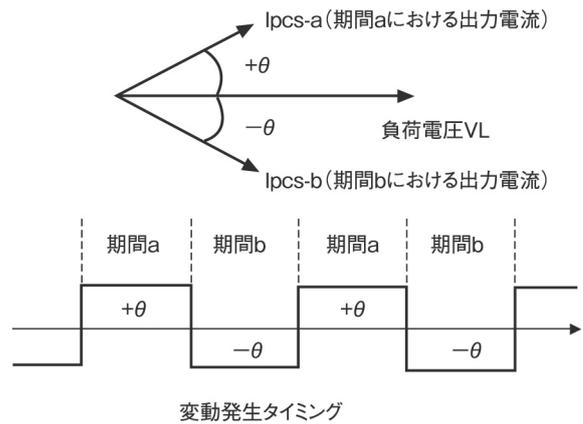


図7 無効電力変動方式による単独運転検出

3. 多様な技術課題への当社PCSの対応

前章に述べたようにPCSには様々な要求事項や技術課題があるが、当社ではそれらにのニーズに対応して表1に示すラインアップを拡充してきた。100kW、250kW、500kWともに屋外仕様を取り揃え、FRT機能にも対応済みとしている。

表1 当社PCSの製品ラインアップ

項 目	100 kW	250 kW	500 kW
型 式	SPM100-CS1B	SPM250-CS1B	SPM500-CS1B
設 置 場 所	屋内/屋外	屋内/屋外	屋外
入力運転電圧範囲	DC320~750V		
変 換 効 率 (定格出力時)	94.5%以上	95.0%以上	97.0%以上
変 換 効 率 (最大効率)	95.9%以上	96.0%以上	98.0%以上
出力基本波力率	0.95以上		
出力電流歪率	総合5%以下、各次3%以下		
絶 縁 方 式	商用周波絶縁方式		外付けの昇圧絶縁変圧器にて対応
交 流 出 力 電 圧	三相3線 50/60Hz		
	AC202/420/440V	AC420/440V	AC 210V
連 系 保 護	過電圧 (OVR) 不足電圧 (UVR) 周波数上昇 (OFR) 周波数低下 (UFR)		
単 独 運 転 検 出 (受動的方式)	電圧位相跳躍検出方式		
(能動的方式)	無効電力変動方式		
通 信 方 式	RS-485		
周 囲 温 度	-10~40℃ (40~45℃までは出力を制限して運転)		
相 対 湿 度	30~90% (結露なきこと)		
標 高	1,000m以下		
外 形 寸 法 <幅・奥行き・高さ> [mm]	屋内: 1,000×900×2,000 屋外: 1,250×1,630×2,600	屋内: 1,200×1,200×2,000 屋外: 1,850×1,730×2,600	2,550×1,500×2,800 (室外機、昇圧絶縁変圧器は含まず)
質 量	屋内: 1,100kg 屋外: 1,650kg	屋内: 2,200kg 屋外: 2,850kg	ハイブリッド冷却方式: 3,150kg オールエアコン冷却方式: 3,200kg (昇圧絶縁変圧器は含まず)

3. 1 システム設計上の課題への対応

3. 1. 1 入力電圧範囲の拡大

国内向けPCSの直流上限電圧はこれまで太陽電池、ケーブル、周辺機器と同じくDC600Vが一般的だった。一方、システム設計の点では電圧を上げて電流を下げた方が接続箱や配線コストを低減できるメリットがあるため、低圧区分の上限であるDC750に対応したPCSが主流になりつつある。またさらなる高電圧化へのニーズに応えるためDC1000Vへの拡大も検討中である。

3. 1. 2 売電電力量の増大

年間を通じて売電電力量を最大化するには定格時の効率だけでなく部分負荷時の効率が高いこと、エアコン等の補機損失が小さいことが重要となる。当社の屋外形500kW PCSではエアコンによる冷却方式と強制換気方式とを併用して消費電力の低減を実現している。(図8)

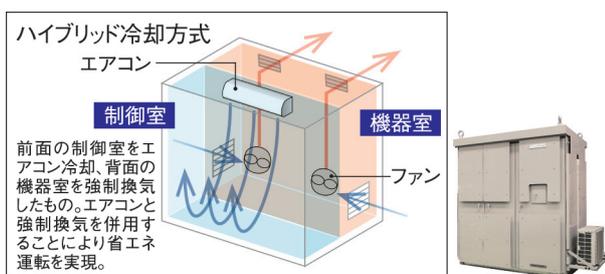


図8 屋外形500kW PCSの冷却方式と外観写真

3. 1. 3 出力抑制

太陽電池の発電出力はパネルの温度上昇、線路損失、PCSの変換損失等のため、快晴日での最大発電電力は定格容量の80%程度に留まり、100%近い発電電力となるのは雲による乱反射が生じた時など極めて短時間のみである。このため太陽電池の定格容量をPCSの定格容量の例えば1.2倍程度まで増やす設計がしばしば用いられる。その場合は気温の低い快晴日には発電電力がPCS定格容量を上回る可能性が生じてくるが、PCSの定格容量を太陽光発電所の定格出力としている場合はそれ以上の発電電力を逆潮流することは認められないため、PCSで出力を抑制制御する機能が必要となる。この制御をできる限りきめ細かく行い過剰な抑制損失が生じないようにしている。

3. 1. 4 片極接地

太陽電池の正極および負極は非接地とするのが一般的だが、太陽電池によってはPID (Potential-Induced Degradation) 対策の一つとして、ストリングの負極

または正極の何れかを接地することが必要とされる場合がある。これに対応するため、PCS側で直流の片極を接地しかつ他方の極で地絡が生じた場合はPCSを停止させる機能をオプションとして用意している。

3. 1. 5 自立運転対応

系統連系された太陽光発電設備は、系統側が停電した場合は単独運転検出機能によって発電を停止させなければならないが、その後系統から切り離して独立系統で運転することが認められている。この用途に供するため、当社では100kW及び250kWの屋内形において自立運転機能をオプションとして用意している。自立運転によって賄える電力は日射強度に依存すること、始動電流が大きい負荷の場合等はPCS定格容量の数%以下の容量しか接続できないことに留意が必要である。

3. 2 系統連系上の課題への対応

3. 2. 1 SVC (力率一定制御)

前述のように連系点の電圧上昇 ΔV は、 $\Delta V = rP/xQ$ の式で表され、有効電力Pが大きい場合またはrが大きい場合(変電所からの距離が遠い場合など)は電圧上昇が大きくなるが、有効電力Pに応じて無効電力 $Q=rP/x$ を出力すれば電圧上昇が生じないことが分かる。

PCSでは通常時に無効電力を出力しないのが一般的だったが、電圧上昇対策のため上述のようにQ/Pを系統条件に応じた所定の値となるよう、すなわち力率一定運転を要求されることが多くなっており、当社PCSでは標準的にこのSVC機能を搭載している。

3. 2. 2 FRT機能

系統連系規程で14年度からFRT機能が要求されているが、14年度は暫定要件が適用され、17年度から正規の要件が適用される。表1に示した当社PCSラインアップは全て17年度からのFRT要件に対応済みとなっている。

3. 3 運用上の課題への対応

3. 3. 1 リモート監視

遊休地等に設置された無人の太陽光発電所では、発電電力量、機器の運転状態、異常の有無を監視するため、現場の監視計測機器をインターネットに接続して事務所で把握できる遠隔監視システムを導入することが一般的になっている。但し設備に異常が発生した場合は、保安全管理者による状況確認、機器メーカーへの連絡、機器メーカーによる原因調査・修繕と、復旧まで何日もの発電停止が続く恐れがある。このため遠隔でも故障原因の分析が可能のように、PCSの状態の詳細情報や故障前後の電力品質等を通信で収集できるリ

モート監視機能の搭載について準備を進めている。

3. 3. 2 メンテナンス体制

長期にわたり安定した性能で安全に運転維持するために日常点検、法定点検、詳細点検等のメンテナンスが必要不可欠となる。

日常点検では、外観（汚損、損傷）、異音・異臭や運転状況の確認、吸気ガラリ、フィルタの清掃等を、法定点検では保安規定に基づいて半年に1回、機器、配線の目視点検、絶縁抵抗測定等を、詳細点検では主回路の絶縁抵抗測定、シーケンス動作試験、リレー試験等を行なう。

このうち詳細点検についてはメーカーへの委託が必要なこともあり定期的には実施されていないケースが多かったが、今後は予防保全の観点から必要性が高まるものと考えられる。当社では定期的な詳細点検、部品交換、故障発生時の迅速な復旧に向けた緊急出向、さらに上述のリモート監視等のメンテナンスサービス体制を構築して上記ニーズへの対応を進めている。

4. さらなる導入拡大に向けた課題と対応

4. 1 本州以外の系統、離島の単独系統等への導入

電力系統では電力供給と需要（負荷消費電力）とが常にバランスするように調整されており、万一このバランスが崩れると周波数変動が生ずる。本州では電力会社間で柔軟な電力融通が可能なのに対して北海道、沖縄あるいは離島などの単独系統では需給調整力が小さいため、電力品質への影響の点から太陽光等の変動電源の受入可能量の制限を受けやすい。この対策の一つとして蓄電池を並列して太陽光発電所の出力変動を吸収する方策が考えられている。但し蓄電池の導入には多大なコストがかかるため、その低減が大きな課題となっている。蓄電池のさらなるコスト低減が望まれるが、同時に充放電制御方法を工夫して必要な蓄電池容量を低減するシステム検討を進めている。

4. 2 単独運転の干渉防止、フリッカ対策

能動的方式の単独運転検出の場合、例えば無効電力変動方式では無効電力を一定周期で変動させその際の位相変化を検出する方式のため、複数のPCSを設置する場合は干渉しないように変動周期を同期させる必要がある。しかし同じ系統の近隣発電所に他メーカーのPCSが設置されている場合は、干渉によって検出に影響が生じる可能性がある。当社では次数間高調波方式の単独運転検出装置エネリンクを販売しているが⁵⁾、この方式の場合は他の検出方式と干渉することがなく、さらにフリッカへの影響もない。この次数間高調波による検出方式をPCSに内蔵させる技術検討を進めているところである。

4. 3 双方向通信による出力抑制機能

FIT制度下で電力会社と締結する特定契約において、供給が需要を上回ることが見込まれる場合は年間30日以内に限り、500kW以上の太陽光発電所の出力を補償措置無く抑制できると規定されている。従来の標準的なPCSには任意の出力に抑制できる機能はなく運転または停止によって台数制御する方法となるため、出力抑制の指令が出た場合は、過剰な抑制による損失が生じる懸念がある。

今後導入量が増えるに従って出力抑制の指令が発動される機会が増えると予想され、その場合に円滑に対応できるよう、双方向通信によって遠隔から所定の値に出力抑制できるような制御機能搭載の準備を進めているところである。

5. 結び

FIT制度施行によって太陽光発電の導入量が飛躍的に増大し、発電事業者および系統側からのシステムに対する要求は多岐にわたっており、それに応えるべくPCSのラインアップを拡充してきた。更なる導入量拡大と共に系統連系上の多様な課題が顕在化してきており、当社はPCSメーカーとしてそれら課題に対応した技術開発により新エネルギー市場の継続拡大に努め、エネルギーセキュリティの向上および地球温暖化対策に貢献して行きたいと考える。

参考文献

- (1) 資源エネルギー庁「平成25年度エネルギー白書」(2014.6)
- (2) 経済産業省「再生可能エネルギー発電設備の導入状況」(2014.6)
- (3) 経済産業省「次世代送配電ネットワーク研究会報告書」(2010.4)
- (4) JEAC 9701-2012「系統連系規程」(2013.3)
- (5) 西村、他：「系統連系のコストダウンに役立つ単独運転検出装置－その役割と技術開発の流れ－」、日新電機技報、Vol.50、pp.25-35(2005.2)

執筆紹介



後藤 則泰 Noriyasu Goto
新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部 エンジニアリング部
システムグループ長



井筒 達也 Tatsuya Izutsu
新エネルギー・環境事業本部
新エネルギー事業部
エンジニアリング部長