

# 太陽光発電システムの技術動向と東芝の取り組み

Trends in Photovoltaic Power Generation Systems and Toshiba's Approach

稲葉 道彦 渡辺 憲治

■ INABA Michihiko ■ WATANABE Kenji

近年、再生可能エネルギーへの期待が高まっており、特に太陽光発電システムの導入が国内外で急速に拡大している。その普及拡大には、国の適切な支援策が必要であるが、システムの高効率化やコスト低減も重要である。

東芝は、2009年1月1日に太陽光発電システム事業を推進する専門組織を立ち上げ、国内だけでなく、海外においても事業の展開を進めている。システムを構成する主要機器の開発とともに、蓄電池による変動抑制技術と、HEMS (Home Energy Management System) やスマートグリッドにおける太陽光発電システムの役割が重要になってきている。

Expectations for renewable energy have recently been rising. In particular, the introduction of photovoltaic (PV) power generation systems is expanding both in Japan and overseas. The development of high-efficiency, low-cost PV systems is essential for their widespread dissemination, in addition to the appropriate economic support measures.

Toshiba is promoting the system integrator business for PV systems not only in Japan but also in overseas markets through its Photovoltaic Systems Promotion Division, which was established on January 1, 2009. We offer main components consisting of PV systems, secondary batteries for the stabilization of output fluctuations, maintenance tools, and technologies for interactive operation between PV systems and home energy management systems (HEMS) or smart grid systems.

## 太陽光発電導入時の課題

国内では、電気事業連合会が2020年までに140 MWの太陽光発電システム（以下、PV (Photovoltaic Power Generation) システムと略記）を導入する目標を設定し、各電力会社が各地で大容量のPVシステム（以下、メガソーラーシステムと呼ぶ）の建設を進めている<sup>(1)</sup>。東芝は、これまでに7か所のメガソーラーシステムを受注し、2011年12月現在、全てが営業運転を開始している。

また、2009年には、住宅向けPVシステムへの補助金制度の復活及び余剰電力の高額買取りが開始されたことで、住宅向けの市場が着実に拡大してきている。当社も2010年4月から、世界トップレベルの性能を持つ太陽電池モジュールを採用し、住宅向けPVシステム事業にも参入している。

更に、2010年8月には、再生可能エネルギー特別措置法案が成立した。今後、買取りの金額や期間について検討が行われ、全量買取制度が2012年7月

から施行される予定である。これまで、産業向けPVシステムの市場の伸びが小さかったが、この制度により、多くのメガソーラーシステムの導入が期待される。

しかし、PVシステムの普及拡大においては、システムコストの低減や、大量導入に伴う系統への影響（配電電圧の上昇、周波数の変動、余剰電力の発生など）、停電時の自立運転システムへの要求といった、解決していかなければならない課題がある。

## 要素技術とその応用

PVシステムは主に、太陽電池モジュール、架台、パワーコンディショナ (PCS)、受変電機器、及び監視装置で構成され、蓄電池の応用とその周辺技術により電力品質が保持されている。以下に、それぞれの動向と当社の取り組みについて述べる。

### ■太陽電池モジュール

システムコストの半分を占める太陽電

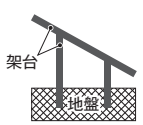
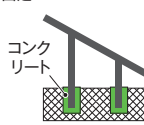
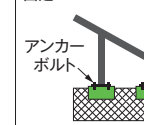
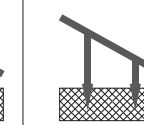
池モジュールは、近年、中国メーカーの台頭や、シリコン (Si) の需給逼迫（ひっばく）の緩和、円高などの影響により、Si結晶系の太陽電池のコストが低下してきている。Si逼迫時は材料使用量の少ないSi薄膜や化合物系の太陽電池のコスト低下が期待されたが、それ以上にSi結晶系のコストが下がっており、今後は薄膜系の性能向上などによる競争力の改善が期待されている。

太陽電池モジュールの選定は、設置環境条件や発電量優先などのニーズを考慮して行う。また、太陽電池モジュールの需給状況を考慮しながら、そのメーカーを選別しておくことは重要である。

採用した太陽電池モジュールのいくつかは、当社の府中事業所に設置した実証設備で発電能力などの性能や信頼性のデータを収集しており、収集したデータは顧客への予測発電量の提案に生かしている。また、長期的な信頼性については、第三者機関を活用し、規格値より更に厳しい試験条件でも評価を実施している。

表1. 架台の方式と特徴

Features of several types of solar module racking systems

項目	方式と特徴			
	ラミング方式	キャストイン方式	コンクリート方式	アーススクリュー方式
構造	地盤に直接くいを打つ 	地盤に穴を掘り、コンクリートを流し込んでくいを固定 	コンクリートの基礎とアンカーボルトでくいを固定 	ねじ形状になったくいを回転させて地盤に固定 
地盤条件	△十分な地耐力が必要	○様々な地盤に対応可	○様々な地盤に対応可	△十分な地耐力が必要
土壌との接触	× 直接触れる	○ 直接触れない	○ 直接触れない	× 直接触れる
コスト	◎ コンクリート不使用	○ コンクリート量少	△ コンクリート+アンカーボルト	× くい材が高価
工期	◎ 短い	○ 普通	△ 長い	◎ 短い
総合評価	◎ 土地の条件(地耐力、腐食)が合えば最適	◎ 材料の腐食がなく安価	○ 材料の腐食はないがやや高価、工期が長い	× 現状高価である

◎ 優れる ○ 普通 △ やや劣る × 劣る

### 架台

架台のコストは、システムのうちで太陽電池モジュールの次にコスト比率の高い工事、特に土木工事への影響が大きい。一方、メガソーラーシステムを設置する場合、ある程度広大な敷地(10,000 m<sup>2</sup>以上)が必要となるため、立地候補地としては遊休地などが対象となり、そのうちでも特に、海岸に近い地域となる可能性が高い。そのため、架台の方式を選定することは重要である。

架台の方式を分類し整理すると、表1に示す四つに分けることができる。

ラミング方式は、鉄製のくいを直接地盤に打つ方式であり、くいが容易に引き抜けないように、地盤の地耐力がある程度大きな値であることが必要である。また、くいと土壌が直接触れるため、腐食などに対して十分な検討が必要である。しかし、くいの打設と架台の組立てにかかる時間が少なく済むため、コスト的には有利であり、特に欧州などで適用されている事例が多い。

キャストイン方式は、地盤条件や腐食への対応力を高めるため、地中に埋まるくいの部分をコンクリートで保護し固定する構造になっている。

コンクリート方式は、地耐力が弱い場合、あるいは不等沈下の発生がある場

合に適用されるケースが多い。この方式は使用するコンクリートの量が多くなり、置き基礎でなく、べた基礎構造にするると特にコストが高くなる。

アーススクリュー方式は、地盤がある程度固い場合でも、地中に埋め込められるように、くいの先端部分の形状がねじになっている。ただし、くいのコストが高く、それほど普及はしていない。

地盤や環境などの条件を踏まえ、コストが最小になる方式をケースバイケースで選定していくことになるが、最近では、地震における液状化への対応策など、考慮しなければならない条件が増えつつある。

また、太陽電池モジュールを取り付ける際の部材点数や作業性を考慮し、最適な架台の方式を採用することで、工期短縮によるコスト削減が更に見込めると考えられる。

### PCS

PCSは、太陽電池モジュールで発電された直流電力を交流電力に変換する装置である。現状では、太陽電池モジュールの発電効率が20%未満と低く、高い変換効率の装置が求められる。当社はこれまでに、表2に示す産業・電力向けPCSを既に製品化している。どのタイプも効率は業界トップレベルであり、小型・軽量化も達成している。特に100 kW PCSは、自然冷却方式を採用している<sup>(2)</sup>。

PVシステムでは、PCSの定格容量の70%以上で運転する時間は限られているため、効率の改善には、最大効率と低負荷領域(負荷率:30%未満)における効率の両方の改善が非常に重要になる。

メガソーラーシステムでは、PCSの初期費用を抑えるために、更なる単機大容量機種の開発が有効なのか、あるいは、多数台のPCSを連結し、システムとして効率的に運転する方法を開発して経済性の改善を進めることが有効なのか、検討が必要と思われる。

PCSは電力システムへの連系に必要な機能を備えている。今後、PVシステムが広く普及しシステムに大量に連系されるようになると、その発電量が増えてくることに伴って、更に、以下に述べるような機能を強化しなければならない。

配電電圧の上昇に対しては、既に住宅向けPCSなどでは自動電圧調整機能により対策されているが、今後、大容量PCSにおいても、無効電力を積極的に制御する機能へのニーズが高まると思われる。

表2. 東芝の産業・電力向けPCSの製品ラインアップ

Toshiba power conditioning system (PCS) lineup for industrial and power usage

定格容量 (kW)	仕向先	最高効率 (%)	質量 (トランスレスタイプ) (kg)	寸法 (幅×高さ×奥行) (mm)
100	国内	97.3	700	800×1,950×1,000
250	国内	97.5	900	1,000×2,100×1,000
250	海外 (IEC)	98.2	1,000	1,200×1,900×900
500	国内	97.7	1,300	1,900×2,025×700
500	海外 (IEC)	98.5	1,300	1,900×2,075×700

IEC: 国際電気標準会議規格に準拠

また、系統周波数が上昇した場合にPCSの有効電力を絞り、系統の安定化に寄与する機能の可能性を検討することも重要である。電力需要が少なく、系統において余剰電力が発生するほどPVシステムが普及した場合にも、出力の抑制を行う必要がある。この場合、ゴールデンウィークや年末年始といった大幅な余剰電力が発生する期間に、カレンダー機能をPCSに内蔵させる方法が検討されている。

更に、電力系統において、落雷や機器の故障などにより系統の電圧が瞬時に低下した場合でも、発電を継続するためのFRT (Fault Ride Through) 機能の強化が必要となっている。

### ■監視装置

監視は、通常、PCSの出力状況のモニタリングにより行われる。住宅向けシステムでは、室内の小型ディスプレイで出力状態が“見える化”されているが、メガソーラーシステムは発電所としての機能を持つため、現場及び遠方の制御所における監視が行えるようになっている。

最近では、単にPCSからの出力情報を基にした出力状態の監視や故障表示だけでなく、システムの発電効率向上を目指した異常動作や最適動作のモニタリングにも注目が集まりつつある。後述

するように、住宅向けではスマートメータを介し、PVシステムと家庭内負荷側の電力需給状況を一部で把握できるようになっている。メガソーラーシステムでは、米国のSunEdison社が、ゲートウェイを通じての電流と電圧の情報をストリング単位で取得し、システムの状態監視を行うサービスを行っている<sup>(3)</sup>。

特に、太陽電池モジュールは初年度に1~3%、2年度からは年0.5~1%劣化するという見解が得られており、これの保守も含めた長期間の運用効率の向上が重要となっている。対策の一つに、マイクロインバータやマイクロコンバータをモジュールごとに導入するなどして、電圧のばらつきを構造的に減らす方法がある。しかし、導入コストが増加するのに加え、構成要素の増大に伴いシステムの故障率が増加するため、日影の多い環境などでしか有効性は示されていない。

当社は、発電能力をモニタリングするアクティブセンシングモニタシステムや、異常部位を発電データから速やかに見つける高精度の異常診断アルゴリズム、異常箇所や要因を特定する画像診断、保守管理を支援する最適計画技術など、PVシステムの長期的な運用効率向上を可能にする技術を、総合的に提供することを志向している。特にFIT (Feed in Tariff) をはじめとして投資家

へのリターンが重要視されるため、メンテナンスと適切な収支の報告にも欠かせない技術である。

### ■変動抑制と蓄電

太陽光のような再生可能エネルギーの利用が多くなり、電力系統への逆流が増えてくると、出力変動や余剰電力などの悪影響が出てき始め、系統の制御が複雑になってくる。ドイツでは、この電力品質の悪化を嫌い、PVシステムの自己消費電力分に対してボーナスを与えるなど、FIT奨励の動きと異なる試みも出てきている。このため、分散型電源や蓄電池をネットワーク上で連系し、相互補完により基幹電源と系統に対する影響を最小化する必要がある(囲み記事参照)。

変動を吸収する方法として、複数地点のPVシステムが互いに変動を補完しあう、いわゆる“ならし効果”が一般的であるが、大量の導入が必要なことや発電量の予測が難しいことが欠点である。一方、蓄電池の充放電を用いてPVシステムの変動分を補償する試みが活発であるが、現状では蓄電池のコストが高い。蓄電池には、NaS(ナトリウム硫黄)電池や、鉛蓄電池、リチウムイオン電池などがあり、その特性と価格に合わせて柔軟に使い分ける必要がある。

## 太陽光発電と蓄電池の併用による電力の品質維持と需給制御

PVシステムが安定的に発電所の役割を果たすために、天候による電圧や周波数の変動を蓄電池の充放電制御で補償し、電力

品質を維持するよう制御が行われる。

また、将来、電力が余剰となる時間帯も発生することが考えられるが、蓄電池の充

放電制御により、バランスの取れた需給状態が保たれる。

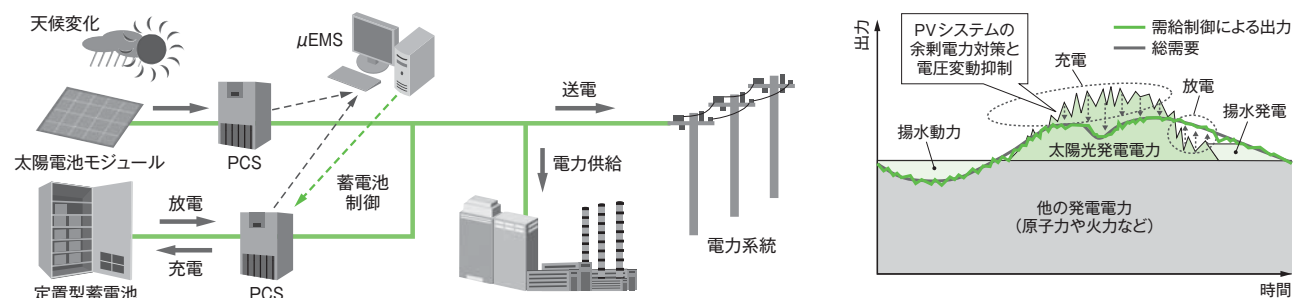


図. PVシステムと蓄電池を系統連系させたシステムの構成及び需給制御

現状の蓄電池付きPVシステムの構成は、PVシステムと蓄電池がそれぞれPCSを持ち、交流で接続されているが、DC/DCコンバータ（直流電源変換器）を用い、直流バスラインを共通化して一つのPCSで動作するシステムを作製中である。また、蓄電池には災害時のバックアップ電源や電力ピークシフト対策などの効果もあり、最近では住宅向けとしても多数出回っている。

配電系統とのバランスを考え、システムコストがミニマムになる蓄電容量や、システムのどの位置に配置するかなどのシミュレーションも多数行われている。一般に、個別のPVシステムに蓄電池を取り付けるより、配電系統の適切な位置に設置して配電電圧を管理するほうがよいとされている。一方、配電系統で電圧を制御するにはSVR (Step Voltage Regulator) や送り出し電圧の制御などが検討されるが、急激な変動の抑制に対しては蓄電池併用への期待が大きい。

当社は、PVシステムと蓄電池の組合せで、蓄電池の充放電制御によって系統へ出力される電力の変動を抑制するシステムを構築し、実証試験を実施中である。実証試験では、蓄電池の容量を極力小さくしてシステムを構築し、蓄電池の残存容量 (SOC) が適切な値を維持できているか確認するとともに、変動抑制効果の指標であるFRR (Fluctuation Reduction Rate) を用いて、その効果を検証した。システムは2010年11月から本格運用を開始し、SOCを適切な値に維持しながら、変動抑制効果が得られていることを確認している。

## ■PVシステムの応用

PVシステムを導入する場合、その地域が広範囲で、容量も数kW～数十MWにわたり、更に、天候による出力へのじょう乱効果が大きいいため、これをうまく使いこなすことが必要である。そのためには、出力計画の基になる正確な発電量予測、周辺システムとの協調、及び需要側とのリアルタイムでの電力融通が

必要となってくる。

発電量予測は発電計画のベースとなるもので、入力データとしては、天気予報や過去の平均的日射量のデータなどがある。また、予測モデルとして物理モデルや統計パラメータ法がある。当社も、一日の出力予測と実際の出力の整合性を確認し、出力計画に役だてられる予測技術を持っている。

次に、他のエネルギー源との協調運転がある。住宅向けでは燃料電池やヒートポンプなどの電源や熱源との連携運転があり、ガス会社などからのサービスもある。配電系統に必要な制御手法として、当社はスマートグリッド監視制御システム ( $\mu$ EMS: Micro Energy Management System) を開発した。 $\mu$ EMSは、従来の基幹系統側にあった給電技術 (需給計画や需給制御) と配電系統側にあった配電線自動化技術を融合し、PVシステムなどの分散型電源や蓄電池を監視し制御するシステムである。特に、リアルタイムの双方向通信による、地域内の電力需給バランスと電力品質の最適運用や、デマンドレスポンスのサポートなどが行えるもので、宮古島で実証実験中である。

最後にHEMS (Home Energy Management System) であるが、当社は、いくつかの関連技術を保有し、かつ開発している。その一つは、“スマートグリッド開発シミュレータ”で、これは、配電系統と需要家、更にPVシステムなどの分散型電源を模擬して、実際の $\mu$ EMSとメータデータ管理システムを用いて動作させるものである。また、空調や照明などを扱える“BEMS (Building Energy Management System) 評価システム”や、一般家庭向けとして、各種家電機器やPVシステム及び蓄電池を備えた“HEMS検証システム”を開発済みである。将来に向けた“宅内直流給電システム”では、洗濯機や、冷蔵庫、ヒートポンプなど、実際の直流家電機器を備えた構成となっており、PVシステムからの直流電源を直接利用することができる。

このように、PVシステムの周辺技術も開発されており、PVシステムを使いこなしていく条件はそろいつつある。当社は、PVシステムそのものだけでなく、未来のスマートコミュニティを作る重要な電源としてPVシステムを組み入れる技術も開発している。

## 今後の動向

PVシステムのトレンドをシステム自体とその周辺技術についてまとめた。PVシステムは、FITの影響から低コスト化路線をたどり、このための技術が中心となっているが、一方で、PVシステムを使いこなすための技術の開発も進められている。この両輪がうまく回ることで、PVシステムが重要な再生可能エネルギーとして社会に受け入れられていくものと考えられる。

## 文 献

- (1) 電気事業連合会. “メガソーラー発電計画”. <[http://www.fepc.or.jp/future/new\\_energy/megasolar/index.html](http://www.fepc.or.jp/future/new_energy/megasolar/index.html)>. (参照2011-09-18).
- (2) 安保達明 他. 太陽光発電用パワーコンディショナ. 東芝レビュー. 66, 1, 2011, p.45-48.
- (3) SunEdison. “SOLAR MONITORING”. <<http://www.sunedison.com/solar-monitoring--solar-monitoring-services-company.php>>. (参照2011-09-18).



稲葉 道彦  
INABA Michihiko, D.Eng.

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 技監, 工博. 太陽光発電及び蓄電池応用システムのエンジニアリング業務に従事。廃棄物資源循環学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.



渡辺 憲治  
WATANABE Kenji

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 太陽光発電システム推進部部長。太陽光発電のエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.