

スマートPV蓄電システム

Smart PV Battery System with Combination of Photovoltaic Power Generation and Battery System

片山 恭介

鮫田 芳富

長谷川 義朗

■KATAYAMA Kyosuke

■SAMEDA Yoshito

■HASEGAWA Yoshiaki

災害などによって社会エネルギーインフラに障害が発生した際にも給電できる分散型電源として、太陽光発電 (PV) システムへの注目度が増している。

東芝は、PVと蓄電池を組み合わせた電源システムとして、電力系統と連系する、しないに関わらず安定的に給電できる、スマートPV蓄電システムを提案する。スマートPV蓄電システムは、電力系統との連系状態や天候などの外的要因を判断し、みずからのふるまいを制御する仕組みを持つことが特長である。

今回、スマートPV蓄電システムに求められる機能と課題について分析し、課題に対する解決策として、スマートPV蓄電システムが備えるべき機能に対する要求定義を考察した。今後、スマートPV蓄電システムの実現に向け、開発と実証を進める。

Photovoltaic (PV) power generation systems are currently attracting attention as a decentralized form of power supply that is useful during outages of the social energy infrastructure in the event of disasters and so on.

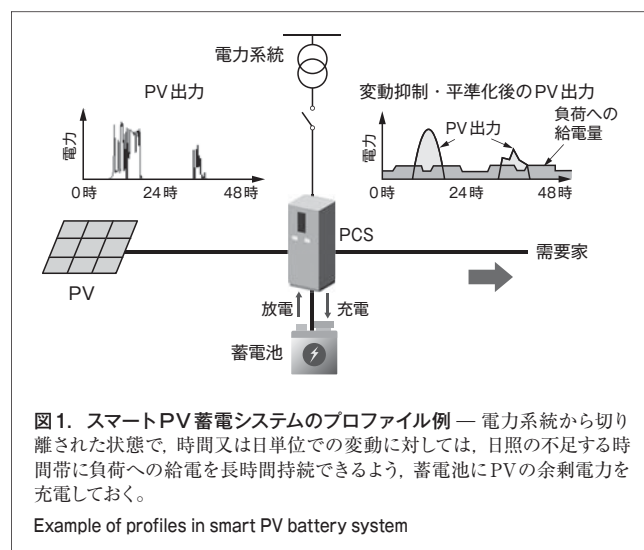
Toshiba is proposing a "smart PV battery system" comprising a PV power generation system and a battery system, which is able to supply stable power regardless of the grid connection. The smart PV battery system features an autonomous control mechanism associated with external conditions such as grid connection of power systems, the weather, and so on. We are making efforts to develop and verify the related technologies in order to realize the smart PV battery system.

1 まえがき

災害などによって社会エネルギーインフラに障害が発生した際にも給電できる分散型電源として、PVシステムへの注目度が増している。以前は、主に低炭素社会の実現手段としてPVが注目されていた。しかし、東日本大震災後は、電力系統の障害や燃料の供給停止においてもとぎれることなく給電できるという、PVの利点に新たな期待が寄せられている。

PVは、日照条件が変化すると出力が変動する。今までは、PVの出力を制御するパワーコンディショナ (PCS) が電力系統と連系することで、PVの出力が急変しても安定した交流電力を負荷に供給できた。しかし、送電・配電網が未整備の地域や非常用電源が必要な停電時などに、電力系統と連系せずにPVを電源として活用するためには、出力を安定的に取り出すための手段が必要になる。例えば、PV出力が低下した際には、蓄電池を放電して給電しなければならない。

このように、PVと蓄電池を組み合わせて給電するシステムでは、電力系統と連系する場合と連系しない場合に必要な機能が異なる。東芝は、電力系統と連系する、しないに関わらず安定的に給電できる、スマートPV蓄電システムを提案する。ここでは、スマートPV蓄電システムに求められる機能、それらを実現するための技術、及び得られる効果について述べる。



2 スマートPV蓄電システムとは

スマートPV蓄電システムのもっとも重要な機能は、PVと蓄電池を組み合わせた電源システムで、電力系統との連系状態や天候などの外的要因を判断し、給電対象負荷の選択及び複数の蓄電池に対する充放電や充電状態 (SOC) の目標値設定など、みずからのふるまい (以下、プロファイルと言う) を制御する仕組みである。スマートPV蓄電システムのプロファイル

の例を図1に示す。例えば、日照条件の変化としては、雲の通過でPVパネルに影が差すなどして秒又は分単位で出力の変動が発生する場合と、夜間と昼間の違いや晴天時と雨天時など天候の違いで時間又は日単位で出力が変動する場合がある。スマートPV蓄電システムは、電力系統から切り離された状態で秒又は分単位のPV出力の変動があった場合、即座に蓄電池を充放電して変動を抑制する⁽¹⁾。また、時間又は日単位での変動に対しては、負荷への給電を長時間持続できるように蓄電池にPV余剰電力を充電しておき、日照の不足する時間帯に放電してPV出力の平滑化を行う⁽²⁾。

3 スマートPV蓄電システムの課題

3.1 分散型電源の一般的な利用シーンと機能分析

PVや蓄電池など分散型電源に求められる機能を表1に示す。蓄電池は、変電所など電力系統に設置する系統用蓄電池と、ビルや家庭に設置する需要家内蓄電池に分けている。また、利用シーンは、電力系統と連系して用いる場合、自立して用いる場合、及びその両方で用いる場合、の三つの中から主要と考えられるものを記載した。

PVはもっとも普及の進んだ有望な分散型電源であるが、天候すなわち日射量に左右されるため、給電の持続性は必ずしも期待できない。系統用蓄電池は、PVなど自然エネルギーが大量に連系した場合に、電力系統の安定化、すなわち系統の電圧や周波数を維持するために、PV出力の変動抑制や負荷の平滑化に使用されることが主な目的であった。一方、需要家内蓄電池は、一部で系統安定化に資するための研究もされつつあるが、多くは需要家の経済的メリットを向上させるために、受電電力の平滑化、すなわち夜間電力を充電して昼間の電力需要ピーク時に放電するなど、主に電力料金削減のために、活用が期待されていた。

それに対しスマートPV蓄電システムは、災害時又は計画停電時に、PV出力を活用しながら、無停電電源システム(UPS)のように電力系統から自立して安定した給電を持続することが求められる。また、本来電力系統と連系することで維持さ

れていた安定性がなくなるため、PV出力の変動抑制機能が不可欠になる。更に通常の系統連系時には、先に述べた需要家内蓄電池としてのプロファイルを発揮することも期待される。

3.2 PV及び蓄電池の容量検討事例

ここでは、前節で述べた分散型電源に期待される機能の中で、まず給電の持続性に焦点を当て、PVと蓄電池を組み合わせた電源容量の評価事例を述べる。給電対象は、サーバの消費電力の定格値が約96kWのモジュール型データセンターの補機動力である。補機動力とは、冷却用空調設備や照明及びその監視機器などの消費電力と、UPSなどの電源設備における電力ロス分である。ここでは、電力系統とは連系可能であり、サーバそのものの電力負荷は完全に商用受電とした。評価に用いた電力需要の例を図2に示す。評価は、PV容量と蓄電池容量を以下の範囲で変化させながら、蓄電池の充放電を図3のように制御した場合の稼働率を求めた。

- (1) 設計パラメータの変化範囲
 - (a) PV容量 20, 40, 60, 80, 100 kW
 - (b) 蓄電池容量 30, 60, 90, 120, 150 kWh
- (2) 評価指標 稼働率(自立電源として、買電なしで動作可能な割合(%))

自立電源としての稼働率を表2に示す。現実的な設備容量は、モジュール型データセンターの場合、PVが5~20kW、蓄電池が10~30kWh程度と考えられる。その場合でも、補機動力全体の65%を再生可能エネルギーでカバーできている点で、有用なシステムといえる。

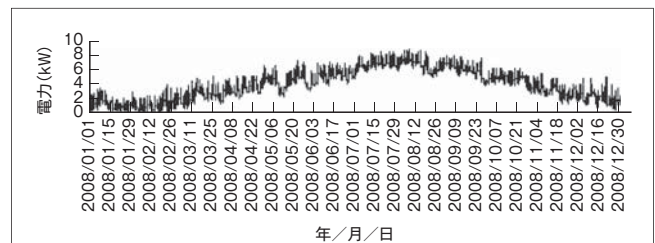


図2. 年間電力需要の想定例 — 冷却用空調設備の負荷増大により7~8月にピークを迎える。

Example of annual power demand

表1. 分散型電源に求められる機能

Functions required for distributed power source

電源種別	機能			利用シーン
	給電持続性	平滑化	変動抑制	
PV	○			連系・自立
系統用蓄電池		○	◎	連系
需要家内蓄電池(ビル, 家庭)		◎	△	連系
UPS	○			自立
スマートPV蓄電システム		◎	△	連系
	◎	◎	◎	自立

◎: 期待度大 ○: 期待 △: あればよい

負荷 = PV出力 + 蓄電池放電量 + 買電量
 If PV出力 > 負荷 then 蓄電池への充電量
 = (PV出力 - 負荷) × (1 - 変換ロス - 蓄電池充電ロス)
 If 充電量 = 満充電 then 余剰電力を売電
 If PV出力 < 負荷 then 蓄電池からの放電量
 = (負荷 - PV出力) ÷ (1 - 変換ロス - 蓄電池放電ロス)
 If 充電量 = 完全放電 then 不足電力を買電

図3. 評価用蓄電池の制御ロジック — PV出力を負荷の大きさと比べ、余剰分は充電し、不足分は放電する。満充電時は売電し、完全放電時は買電する。

Battery control logic of battery for evaluation

表2. 自立電源としての稼働率試算結果

Results of availability assessment of independent power supplies

		PV容量 (kW)				
		20	40	60	80	100
蓄電池容量 (kWh)	30	65	75	77	80	81
	60	72	92	94	95	96
	90	73	97	99	99	100
	120	73	98	99	100	100
	150	74	98	100	100	100

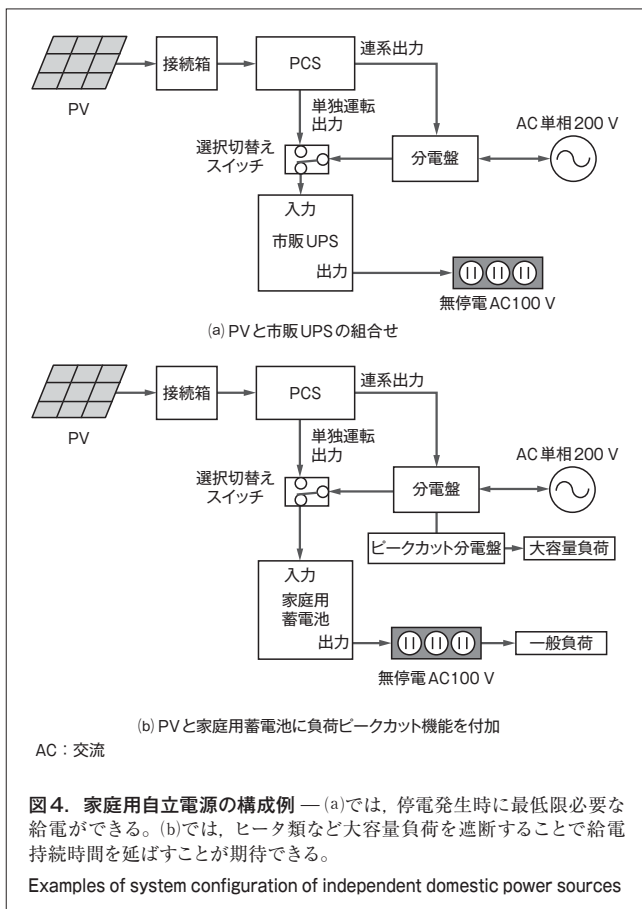
(稼働率：%)

なお、今回は東京地区の気象や日照の条件を前提としたが、PVの発電条件が異なる他の地域での評価も必要である。

3.3 自立電源としての開発課題

ここでは、PVと蓄電池を組み合わせた家庭用の電源について、図4の構成例によって、系統から自立した状態で使用する際の課題を考える。

PVと市販UPSを組み合わせた構成(図4(a))では、停電発生時に一般住宅などで最低限必要な給電ができる。給電の持続時間や出力には制限を受けるが、低コストで迅速に導入できる。また、PVと家庭用蓄電池に負荷ピークカット機能を付加した構成(図4(b))では、ヒータ類など大容量負荷を遮断することで給電持続時間を延ばすことが期待できる。



しかし、これらのシステムの開発にあたっては、次のような視点で検討することが必要である。

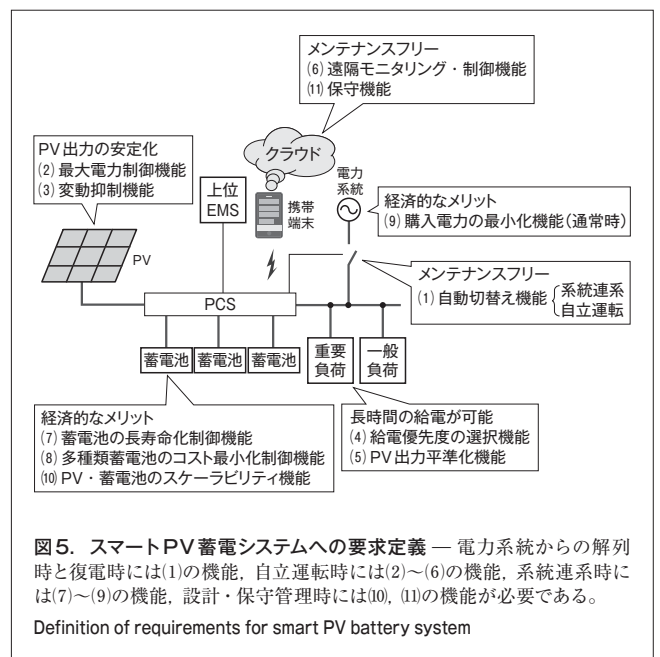
- (1) メンテナンスフリー 連系出力と単独運転出力とのつなぎ替えは人為的な操作で行うため、瞬断など不連続が生じるばかりでなく、ユーザーの在・不在や利便性を考慮し、自動で切り替えられることが望ましい。
- (2) PV出力の安定化 PV出力の変動を抑制するため、蓄電池は充放電を繰り返すので、蓄電池の余寿命は次第に低下していく。
- (3) 長時間給電 導入できる蓄電池の容量は限られるので、給電持続時間を延ばす工夫が必要である。
- (4) 経済的なメリット リチウムイオン電池など大容量で高性能の二次電池は一般需要家にとって高価であり、費用対効果が求められる。

4 スマートPV蓄電システムへの要求定義

これまでに挙げた課題に対する解決策として、スマートPV蓄電システムが備えるべき機能に対する要求定義を述べる。まず、スマートPV蓄電システムの概略構成、システムに求められる11の機能、及びそれらの機能によって得られるユーザーメリットを図5に記載する。次に、これらの機能の内容を各利用シーンに分けて述べるとともに、それぞれの機能を実現するための技術について述べる。

【系統からの解列時及び復電時】

- (1) 系統連系と自立運転の自動切替機能 配電系統の異常の有無や位相調整を行うために、単独運転検出機能や位相調節機能が必要になる。



[自立運転時]

計画停電などで電力系統が停止した場合や配電網がないへき地では自立運転を行い、蓄電池の充電電力とPV出力を用いて負荷に給電する。蓄電容量が十分あるときの短時間の自立運転では、全ての負荷に電力を供給する。長時間の自立運転では、PV出力と負荷パターンに応じて充放電を行い、重要負荷に給電する。安定した給電と、長時間の給電を可能にするために、次のような機能が必要になる。

- (2) 最大電力制御機能 従来のPV用PCSと同様に、PV発電時の最大電力を取り出す。
- (3) 変動抑制機能 雲の通過でPVパネルに影が差すなどして、秒又は分単位で出力の変動が発生する場合に、蓄電池の充放電でその変動を抑制する。PCS内のインバータと蓄電池の数十ms～数百msの協調制御によって安定した交流又は直流電力が得られる。
- (4) 給電優先度の選択機能 給電先負荷の優先度と給電可能な電力に応じて、コンセント単位で負荷遮断を行うことで、長時間給電できるようにする。
- (5) PV出力平準化機能 一般にPV出力が最大になる時間帯では、PV出力が電力需要を上回るため、SOCによっては充電できない場合がある。そこで、SOCの予測と管理を行い、充放電スケジュールを最適化してPVの余剰電力を有効に蓄電し、長時間給電できるようにする。
- (6) 遠隔モニタリング・制御機能 スマートPV蓄電システムのPV出力、蓄電池のSOC、及び負荷への供給電力のモニタリングや充放電スケジュールの制御を、災害時に強い携帯端末からもできるようにする。また、拡張機能として、負荷側の抑制とスケジューリングを行う。携帯端末は汎用のものを用い、必要なプログラムや制御プロファイルは、クラウドサービスによってダウンロードする。

[系統連系時]

系統と連携した運転では、負荷とPV出力に応じて、次に述べるようなプロファイルで蓄電池の充放電を制御する。

- (7) 蓄電池の長寿命化制御機能 蓄電池は、SOCや温度など使用条件によって劣化の度合いが異なる。そこで、蓄電池の劣化が少なくなるように、PV出力と電力需要に応じて複数の蓄電池の充放電をスケジューリングし、蓄電池の長寿命化を図る。
- (8) 多種類蓄電池のコスト最小化制御機能 蓄電池の種類によって価格や特性が異なるため、それらに応じた使用条件を決めて制御することで、蓄電池のライフサイクルコストを最小化する。
- (9) 購入電力の最小化機能 上位のエネルギーマネジメントシステム(EMS)と連携し、受電電力の平準化と負荷のシフトを行う。夜間電力や余剰電力の買取制度を積極的に利用し、購入電力の料金を最小化する。

[設計・保守管理時]

- (10) PV・蓄電池のスケラビリティ機能 家庭、中規模店舗、及びビルなどに適合する小規模から大規模までのシステムに対応するため、基本の構成単位になるシステムを組み合わせて複数接続し、容量を拡大する。
- (11) 保守機能 充放電を繰り返すと蓄電池を構成するセルにばらつきを生じる場合があり、各セルの充電バランスをとる必要がある。スマートPV蓄電システムでは、セルの状態に応じて、定期的に自動でセルのバランス調整を行う。また、クラウドサービスによって電池の劣化状態などのモニタリングや遠隔保守をすることで、ユーザーによるメンテナンスを不要にする。

5 あとがき

PVと蓄電池を組み合わせて構成する電源システムにおいて、電力系統と連系する、しないに関わらず安定的に給電できるスマートPV蓄電システムを提案し、このシステムに求められる機能と課題について分析した。今後、スマートPV蓄電システムの実用化に向け、開発と実証を進める。

また、このシステムは、エネルギー需給バランスの見える化など各種クラウドサービスとの連携が可能である。将来は地域全体のエネルギー需給調整への参加が可能になるよう、信頼性と即時性を高めたクラウドコンピューティング技術を活用して機能を拡張させていく。それによって、災害時や復興後の社会エネルギーインフラの維持及び安定化に貢献していく。

文献

- (1) 奥田靖男 他. 太陽光発電システムの出力変動抑制技術. 東芝レビュー. 65, 9, 2010, p.10-14.
- (2) 島田直人 他. 二次電池SCiB™を適用した出力変動抑制用50kW蓄電池システム. 東芝レビュー. 65, 9, 2010, p.15-18.



片山 恭介 KATAYAMA Kyosuke

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主務。制御システムの研究・開発に従事。情報処理学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



鮫田 芳富 SAMEEDA Yoshito

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主幹。制御装置の研究・開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



長谷川 義朗 HASEGAWA Yoshiaki

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グループ長。太陽光発電システムの開発に従事。電気学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.