

出力変動抑制機能付き太陽光発電システムの実証試験

Verification Tests on Photovoltaic Power Generation System with Output Fluctuation Suppression Function

直井 伸也 野呂 康宏 奥田 靖男

■ NAOI Shinya ■ NORO Yasuhiro ■ OKUDA Yasuo

太陽光発電 (PV) は導入量が増えると予想されているが、太陽光など再生可能エネルギーによる発電は天候の影響を受けて出力が大きく変動する。そのため導入が進むと、電力系統の電圧変動や周波数変動が発生する可能性がある。

東芝は、この課題を解決するため、PVの出力変動抑制機能の確立を目的に、大容量のPVシステムと蓄電池システムを組み合わせ、出力変動を抑制するシステムを構築し、実証試験を行っている。これまでの試験結果では、出力変動抑制機能が正常に動作し、PVの出力変動が顕著な日でも問題なく変動抑制効果があることを確認している。

The dissemination of large-scale photovoltaic (PV) power generation systems is expected to significantly expand in the future. However, as PV power and other renewable energy sources are affected by weather conditions, their output tends to be unstable. The introduction of large quantities of PV power into an electricity system will therefore cause fluctuations in the output voltage and the frequency.

As a solution to this issue, Toshiba has developed a large-scale PV power generation system equipped with an output fluctuation suppression function using a battery energy storage system. We are now conducting verification tests and have confirmed the effectiveness of the fluctuation suppression function even in the case of large fluctuations in PV output.

1 まえがき

近年、発電時に二酸化炭素 (CO₂) を排出しないエネルギー源として太陽光発電 (PV) や風力発電など再生可能エネルギーの導入が活発化している。これら再生可能エネルギーを使った発電は天候の影響を受けて出力が大きく変動する。そのため大量に導入された場合、電力系統の電圧変動や周波数変動といった電力品質への悪影響を与えることが懸念されており、蓄電池を併設して発電出力の変動を抑制する技術が検討されている。

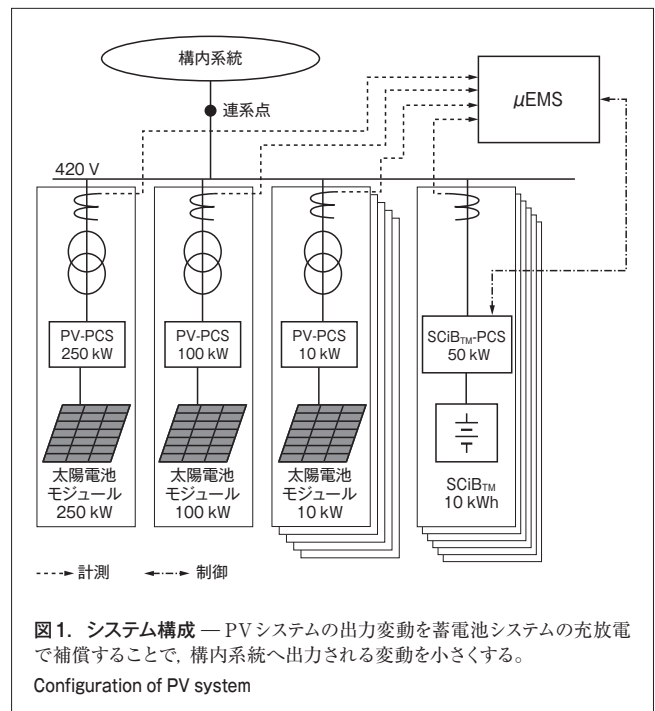
これらの電源に蓄電池を併設するとき、蓄電池の設置スペースと導入コストが課題として挙げられる。それらは、蓄電池の最大充放電電力 (以下、W容量と記す) や最大蓄電容量 (以下、Wh容量と記す) に依存するので、これらを可能な限り小さくすることが求められる。

東芝は、このような懸念と課題を解決するため、大容量のPVシステムと必要最小限のW容量及びWh容量の蓄電池システムを組み合わせ、出力変動抑制機能の効果を検証している。

ここでは、構築したシステムの概要と、実証試験の結果について述べる。

2 システムの概要

システムの全体構成を図1に示す。発電出力が変動する



太陽電池モジュールと電力変動を抑制するための蓄電池は、パワーコンディショナ (PCS: Power Conditioning System) を介して工場内の電力系統 (以下、構内系統と呼ぶ) に接続される。PVシステムで発電した電力は、蓄電池の充放電によってその変動が抑制され、連系点から構内系統へ出力される。この変動抑制制御にはスマートグリッド監視制御システム (μEMS:

Micro Energy Management System) を適用した。

2.1 PVシステム

発電出力が変動する太陽電池モジュールは合計400 kWであり、以下の構成である。

- (1) 250 kW (多結晶モジュール)
- (2) 100 kW (薄膜モジュール)
- (3) 10 kW × 3 (多結晶モジュール)
- (4) 10 kW × 2 (薄膜モジュール)

このように多種の容量構成としたのは、メガソーラーシステムなどの売電用途や、ビルなどに設置する自家発電用途といった、各種の用途での性能を評価するためである。

システムに適用したPCSの仕様を表1に示す。大容量の2機種(250 kW, 100 kW)のPCSは97%以上の電力変換効率を持ち、太陽光エネルギーを有効に活用できる。

項目	仕様		
	250 kW PCS	100 kW PCS	10 kW PCS
容量 (kW)	250	100	10
定格電圧 (V)	210	210	210
効率 (%)	97.5	97.3	92.5
サイズ (mm) (幅×奥行×高さ)	1,000×1,000×2,000	800×1,000×1,900	590×285×550

2.2 蓄電池システム

変動抑制用に蓄電池を使用する場合、蓄電池は短時間で頻繁に充放電を繰り返す。したがって蓄電池には、短時間での大電力の充放電性能、高い充放電効率、及び充放電の長サイクル寿命、が求められる。そこでこれらを満たす二次電池 SCiB_{TM}を採用した。SCiB_{TM}とは当社が開発した、6,000回を超えるサイクル寿命や、急速充電性能、高出力性能、低温動作などの優れた諸特性を持つリチウムイオン電池である。

システム容量を決定するにあたり、現時点ではPV出力の変動抑制に対して確立した指針は存在しないため、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の報告書⁽¹⁾を参照し、蓄電池のWh容量を小さく抑える観点から、短周期変動対策を目標とした。

蓄電池システム用PCSは1台当たり50 kWの容量とし、6台の合計で300 kWの容量とした。また事前の解析で蓄電池のWh容量は16.7 kWhが必要という試算から、1台当たり2.78 kWh (=16.7 kWh/6) を自由に使えることを必要条件とした。

システム構築では、蓄電池システムの経年劣化を含めて考えることは、長期間の使用を前提とした場合に重要である。20年相当の充放電を繰り返した場合の劣化を検討し、残存容量 (SOC : State of Charge) が80%以上確保できる容量を求めた。

表2. 蓄電池システムの仕様

Specifications of battery energy storage system

項目	仕様
最大出力	50 kW
最大充電容量	10 kWh
公称直流電圧	432 V
公称容量	24 Ah

SCiB_{TM}の特性を考えると、SOCの使用幅は30%と算定できるため、この結果を基に1台当たり10 kWh (= 2.78 kWh/30%) とした⁽²⁾。

ここで蓄電池単セルは公称電圧2.4 V、公称容量4.2 Ahであり、180セルを直列にしたものを6並列して10 kWhのシステムを構築している。蓄電池システムの主な仕様を表2に示す。

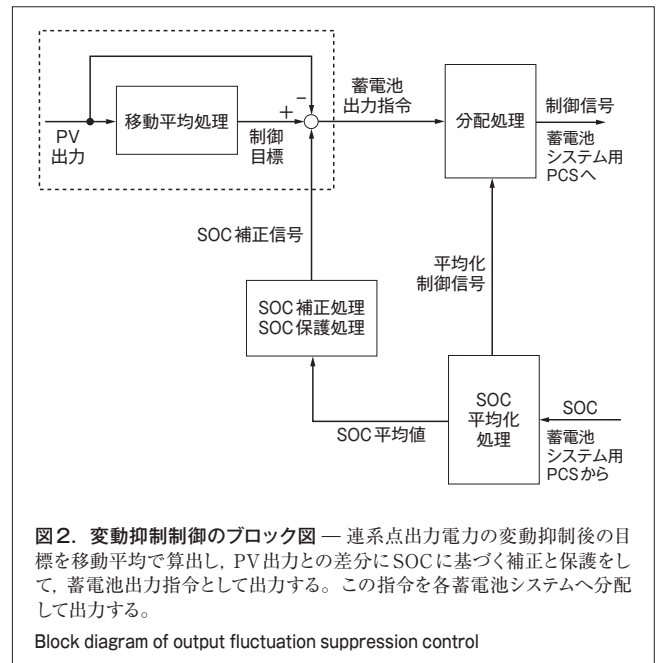
2.3 μEMS

1秒周期でPVシステムの発電出力を取り込み、変動抑制のための制御量を演算し、各蓄電池システムに充放電電力の指令を与える。その監視制御の対象は図1に示したように、複数のPVシステム、複数の蓄電池システムであるため、PVの規模が大きくなってもそのまま適用できる。

2.4 出力変動抑制制御の方法

変動抑制制御のブロック図を図2に示す。変動抑制の方式は連系点の制御目標をPV出力の過去の一定時間の平均値(移動平均)により算出する方式を採用した。これは図2の破線で囲まれた部分に相当する。制御目標と実際のPV出力の差分を蓄電池の出力電力指令として与え、変動分を補償する。移動平均の平均化時間は5分とした。

一方、前述したように、蓄電池のWh容量はW容量に対して



極端に小さいため、定格電力で充放電すると、短時間で満充電又は放電末に達してしまう。したがってSOCを正確に把握しつつ、SOCが適正範囲に収まるように制御する必要がある。このシステムでは、SOCは蓄電池システム側に備えられている管理基板から通信で取得して正確に把握できるようにした。また、このSOCが適正範囲に収まるように、目標範囲である50～70%を超過した場合には緩やかに目標範囲に引き戻す補正処理を行うようにした。このほか目標範囲を大幅に逸脱すると強制的に目標範囲まで充放電する保護処理など、各種の処理でSOCが適正に維持されるように配慮している。

更に蓄電池システムを6台並列構成としたことにより、次の二つの制御を適用した。

- (1) 蓄電池システムの運転台数に応じた指令値配分制御
- (2) 複数台の蓄電池システム間のSOC平均化制御

(1)は、図2の蓄電池出力指令を複数台の蓄電池システムに対し、1台ごとに適切な出力に配分する制御である。(2)は、蓄電池システム間でSOCのばらつきがなくなるようにする制御である。

3 変動抑制効果の検証

3.1 変動抑制試験の結果

実証システムは、2010年9月に構築を完了し、調整試験を経て同年11月から稼働している。

PV出力の変動が顕著に現れた例として、2011年5月18日の変動抑制前出力電力(PV出力電力)と変動抑制後出力電力(連系点出力電力)、及び蓄電池システムの出力電力を図3に示す。

PV出力の短時間の変動に対して、蓄電池が逆方向に動作し、その結果、連系点への出力電力の変動が小さくなっていることがわかる。また、SOCの変化範囲は6台の平均で53.0～70.7%となり、ほぼ目標範囲での運転を確認した。更にSOCのばらつきの最大幅は3.27%で、SOCの使用目標幅30%に対して小さな値となっており、SOC管理の運用上問題がないことを確認した。2011年8月まで検証を継続し、運用上問題ないことを確認している。

3.2 変動抑制効果の評価指標

変動抑制効果を評価する指標には様々なものがあるが、今回は次に挙げる二つの評価指標を用いた。

- (1) 最大出力変動幅⁽³⁾
- (2) 変動抑制率(FRR: Fluctuation Reduction Rate)⁽⁴⁾

出力変動幅とは、評価時間窓での、最大出力と最小出力の差である。その概念を図4にしたものが図4である。評価時間窓の開始時刻を1秒ずつ遅らせ、全期間の出力変動幅を算出し、その最大値を最大出力変動幅と呼ぶ。この値が小さいほど、変動抑制効果が大きいことを表す。

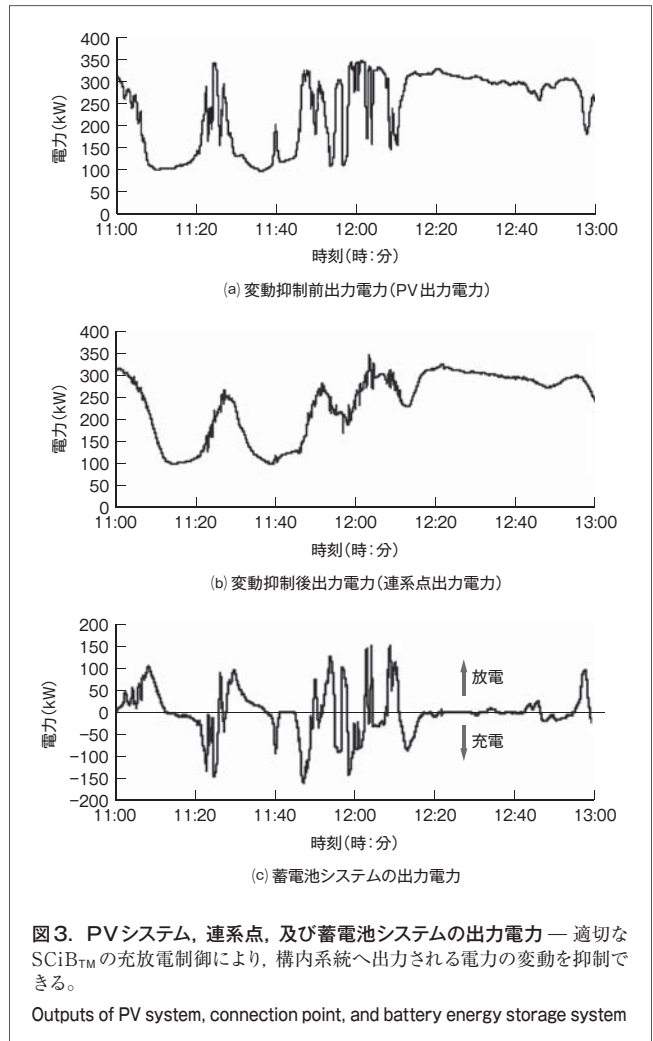


図3. PVシステム、連系点、及び蓄電池システムの出力電力 — 適切なSCiB™の充放電制御により、構内系統へ出力される電力の変動を抑制できる。

Outputs of PV system, connection point, and battery energy storage system

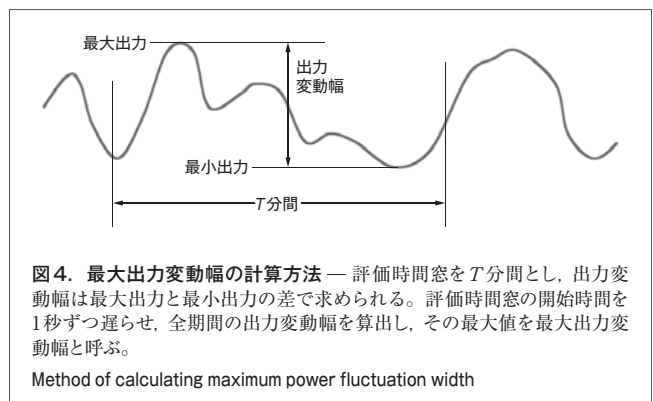


図4. 最大出力変動幅の計算方法 — 評価時間窓をT分間とし、出力変動幅は最大出力と最小出力の差で求められる。評価時間窓の開始時刻を1秒ずつ遅らせ、全期間の出力変動幅を算出し、その最大値を最大出力変動幅と呼ぶ。

Method of calculating maximum power fluctuation width

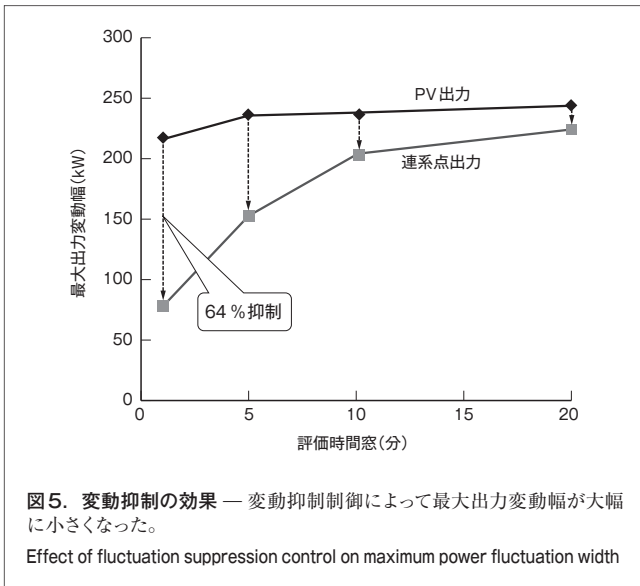
FRRは、特定範囲の周期変動を抑制できているかを表す指標で、式(1)で得られる。

$$FRR = (S_{PV} - S_0) / S_{PV} \times 100 \quad (1)$$

S_{PV} : PV出力の周波数スペクトル区間合計

S_0 : 連系点出力の周波数スペクトル区間合計

この値が大きいほど、変動抑制効果が大きいことを表して



いる。

3.3 変動抑制効果の評価

最大出力変動幅について評価する。評価時間窓を1分、5分、10分、20分としたときの、PV出力と連系点出力の最大出力変動幅を図5に示す。

PV出力よりも連系点の出力の最大出力変動幅が小さくなっており、変動抑制効果があることがわかる。特に評価時間窓が移動平均の平均化時間である5分より短いときに効果が大きいことが確認できる。変動抑制効果をもっとも高かったのは評価時間窓を1分とした場合であり、最大出力変動幅が216 kWから78 kWへと縮小され、PV出力の変動を64%抑制できている。

次にFRRについて評価する。

図3のPVの出力電力と連系点の出力電力に、FRRを求める式(1)の周期の区間を20秒～5分として算出した場合、FRRは74.6%となった。これは20秒～5分のスペクトル成分の合計に対し、約3/4が抑制されたことを表しており、この周期の変動を抑制できていることがわかる。

これらの結果から、電力システムの周波数変動などへの影響を軽減することが期待される。

4 あとがき

大容量のPVシステムと蓄電池システムを組み合わせた出力変動抑制機能付きPVシステムを構築した。その特徴は、変動抑制用の蓄電池に当社のSCiB_{TM}を採用し、蓄電池のW容量に対してWh容量が小さいこと、及びμEMSを使用した汎用性の高いシステムであることが挙げられる。このシステムで変動抑制の実証試験を行い、2011年6月までの期間でPV出力の変動が顕著であった日に、最大出力変動幅は64%、FRR

は74.6%改善し、変動抑制効果があることを確認できた。

今後は更に実証試験を継続し、変動抑制効果を高めるよう改善を図っていく。

文献

- (1) NEDO. 「系統連系円滑化蓄電池システム技術開発」共通基盤研究 第1回ワークショップ資料. 2007. <<http://www.nedo.go.jp>>, (参照2011-12-13).
- (2) 島田直人 他. 二次電池SCiB_{TM}を適用した出力変動抑制用50 kW蓄電池システム. 東芝レビュー. 65, 9, 2010, p.15-18.
- (3) NEDO. 平成12年度調査報告書「蓄電池併設風力発電導入可能性調査」. 2000. 70p.
- (4) NEDO. 「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究(稚内サイト)」成果報告会資料. 2008. <<http://www.nedo.go.jp>>, (参照2011-12-13).



直井 伸也 NAOI Shinya

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力蓄電ソリューション・配電システム開発部主務。電力系統解析及び変換器システムの開発に従事。電気学会, CIGRE会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center



野呂 康宏 NORO Yasuhiro, Ph.D.

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力蓄電ソリューション・配電システム開発部主幹。工博。電力系統解析及び変換器応用システムの開発に従事。電気学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center



奥田 靖男 OKUDA Yasuo

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参事。太陽光発電システムのエンジニアリング業務に従事。Transmission & Distribution Systems Div.