

性能の異なる蓄電池やPVパネルでハイブリッド構成が可能な定置型50 kW高機能スマートバッテリー

High-Performance 50 kW Smart Battery Capable of Utilizing Various Batteries and Operating with PV Systems

遠藤 保 戸原 正博 稲葉 祐貴

■ ENDO Tamotsu ■ TOHARA Masahiro ■ INABA Yuki

近年、太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの導入拡大に伴う配電システムの安定化、防災意識の高まりによる停電時の電力供給、及び電気自動車（EV）や急速充電設備の普及に伴う電力負荷の変動抑制など電力系統安定化への対応が求められている。更に、近い将来、EV使用済み蓄電池の再利用による環境負荷低減への対応も必要になると考えられる。

東芝は、複数のDC（直流）/DC変換器を独自の制御技術で組み合わせることにより、これらのニーズに対応した定置型蓄電池システムとして、50 kWの高機能“スマートバッテリー”を開発し、様々なユーザーへの提供を実現した。

In recent years, demand has arisen for the stabilization of electricity distribution systems accompanying the expansion of renewable energy systems such as photovoltaic (PV) power generation and wind turbine systems, the reinforcement of disaster-prevention measures including the securing of electricity supplies during wide-area blackouts, and the need to suppress power fluctuations caused by the dissemination of electric vehicles (EVs) and EV rapid charging stations. Another emerging trend is the development of battery reuse as an environmental measure accompanying the increasing number of used EVs on the market.

In response to these diverse requirements, Toshiba has developed a high-performance 50 kW smart battery as one of its stationary battery systems. This smart battery, incorporating our proprietary technologies for controlling multiple DC/DC converters, can be connected with a variety of batteries and operate in conjunction with PV power generation systems.

1 まえがき

近年、CO₂（二酸化炭素）排出量の削減、多様な発電システムによる電力供給、及び電力の地産地消を目的とした再生可能エネルギーの導入拡大により、配電系統安定化への対応、防災意識の高まりによる停電時電力供給への対応、短距離走行のシティーカー用途を手始めとした電気自動車（EV）や急速充電設備の普及に伴う負荷変動抑制への対応、更に、近い将来においては、EV販売台数の急増による大量の使用済み蓄電池の処理問題が考えられ、再利用による環境対応などが求められている。

東芝は、これら全てのニーズに対応することをコンセプトとする定置型で高機能の50 kW蓄電池システム“スマートバッテリー”（図1）を開発した⁽¹⁾。

このスマートバッテリーは、例えば、まれに発生する災害時停電への対応では充放電サイクル寿命が短い満充電待機状態での寿命特性が良い鉛蓄電池を採用し、長期停電への対応では太陽光発電（PV）パネルを組み合わせた電力の地産地消体制を作り、無瞬断への対応ではDC電源の出力機能を付加できる。また、配電系統の弱い地域にもEV急速充電器などを設置できるようにするDCバス接続システムを提供し、毎日のピークカットなど配電系統の頻繁な負荷変動への対応では、サイクル寿命が長いリチウムイオン電池を追加してシステムを構築す

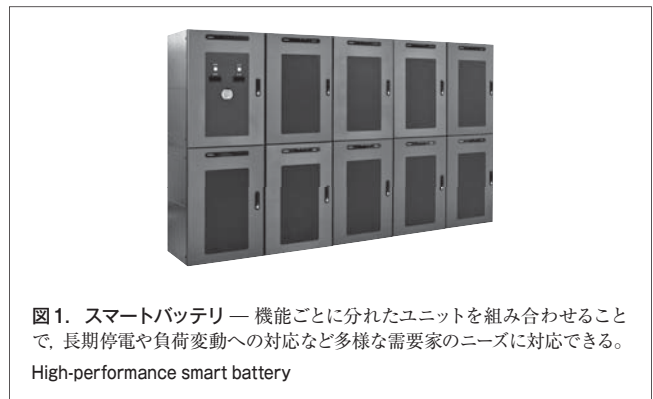


図1. スマートバッテリー — 機能ごとに分れたユニットを組み合わせることで、長期停電や負荷変動への対応など多様な需要家のニーズに対応できる。
High-performance smart battery

表1. スマートバッテリーの基本仕様

Basic specifications of high-performance smart battery

項目		仕様
AC/DC変換器	定格出力-電圧-周波数	3相 50 kW - 200 V _{AC} - 50/60 Hz
DC/DC変換器	定格電流	60 A _{DC}
DCバス	電圧変動幅	DC365 V ± 15 V
ユニット寸法	幅×奥行き×高さ	650×600×950 mm

る。更には、EV搭載の再利用可能な蓄電池が市場に出てくれば、それを活用することも可能である。開発したスマートバッテリーは、このように様々なニーズに対応したハイブリッドシステムを提供できる。スマートバッテリーの基本仕様を表1に示す。

ここでは、スマートバッテリーの特長である、AC(交流)/DC変換器と複数のDC/DC変換器で構成される共通DCバスでの制御技術と、性能の異なる蓄電池のハイブリッドシステムの制御技術について、それぞれの概要を述べる。

2 スマートバッテリーのシステム構成及び特長

2.1 システム構成

スマートバッテリーは、AC/DC変換器1台に対して複数のDC/DC変換器をDCバスに並列接続する構成で、比較的小容量の蓄電池盤ごとに独立したDC/DC変換器を介して共通DCバスに接続し、制御を行う(図2)。AC/DC変換器は、系統連系機能及び自立運転機能を備えており、制御は、内部制御コントローラである“スマートバッテリーEMS (Energy Management System)”が行う。また、BEMS (Building EMS) など上位システムからの系統電力指令に対し、各DC/DC変換器の充放電量をコントロールすることで、各蓄電池の特性と状態に応じた最適な充放電を行う。

2.2 特長

前述の構成によるスマートバッテリーの特長は次のとおりである。

(1) 蓄電池の複合利用 蓄電池盤ごとに独立したDC/DC変換器を介して接続することで、蓄電池盤ごとの電圧を合わせる必要がなくなり、鉛蓄電池やリチウムイオン電池など様々な特性を持つ異種の蓄電池を統合して大容量化することが可能である。例えば、劣化特性の異なるEV使用済み蓄電池を組み合わせることで定置型の蓄電池として再利用することができ、スマートバッテリー1システムで、当社製二次電池SCiB™だけなら最大330 kWh、鉛蓄電池と組み合わせると1 MWh級にも対応可能である。

また、個々の蓄電池の充放電を独立して管理しながら同時利用が可能である。例えば、1番目の蓄電池を充電

しながら2番目の蓄電池を放電し、3番目の蓄電池を電圧維持に利用する、といった複合的な制御が可能である。

- (2) ユニット化設計 容量や出力の要求仕様に応じて、DC/DC変換器や蓄電池のユニット単位での増設が容易であり、拡張性と柔軟性に優れている。また、設置環境の制約が少なくコンパクトな設備設計が可能である。
- (3) PV連携機能 DC/DC変換器にはMPPT (Maximum Power Point Tracking) 制御機能を備えており、PVとの連携が可能である。

独立したDC/DC変換器により制御するので、蓄電池の充放電によらず常に高効率な発電制御が可能である。また、DCバスに接続することで、PVの変動抑制やPCS (Power Conditioning System) の共通化もできる。更に、PVによる蓄電池への充電は、AC/DC変換が不要な分、変換効率の改善が可能となる。

- (4) DC給電機能 DC/DC変換器をDC電源として用いることで、安全性を考慮した過電流や漏電に対する保護機能を備えたDC給電システムとして使用でき、系統連系保護の必要がないため、停電時も無瞬断で給電を継続できる。DC/DC変換器の蓄電池側にDC照明などのDC負荷を接続でき、DCバスにはEV用急速充電器が接続できる。

3 共通DCバス制御

複数のDC/DC変換器を接続する構成においては、上位システムからの充放電指令に対して、PVの発電電力やDC負荷の消費電力を加味しながら、系統及び複数の蓄電池の充放電をコントロールする必要がある。また、通信だけの制御では時間遅れによりDCバスが不安定となり、特にDCバスへの放電量が過大となる場合にはその電圧が装置の耐圧を超え、過電圧トリップによりシステムが停止する可能性がある。

このため、DC/DC変換器がスマートバッテリーEMSからの指令で充放電制御している状態で、DCバス電圧の整定範囲を逸脱しようとする、自主的に安定化制御に切り替わる機能を備えている(図3)。また、DC/DC変換器のDCバス電圧の整定範囲値を調整することで、抑制の順序を決めることができ、PVの発電量を優先して蓄電池の放電を抑制するといった制御も可能である。

DC電圧安定化制御機能を用いて、二つのDC/DC変換器が充電と放電をしているときに、充電電力量が急激に減少し、AC/DC変換器の放電能力を超過した場合をシミュレーションした結果を図4に示す。AC/DC変換器の制御不能によりDCバスの電圧が上昇して上限に達した場合、放電していたDC/DC変換器1がAVR(定電圧制御)動作に移行し、出力を抑制することで、DCバス電圧は整定値に維持される。その後、DC/DC変換器2の充電電力量が上昇するに伴い、AC/DC変換器が

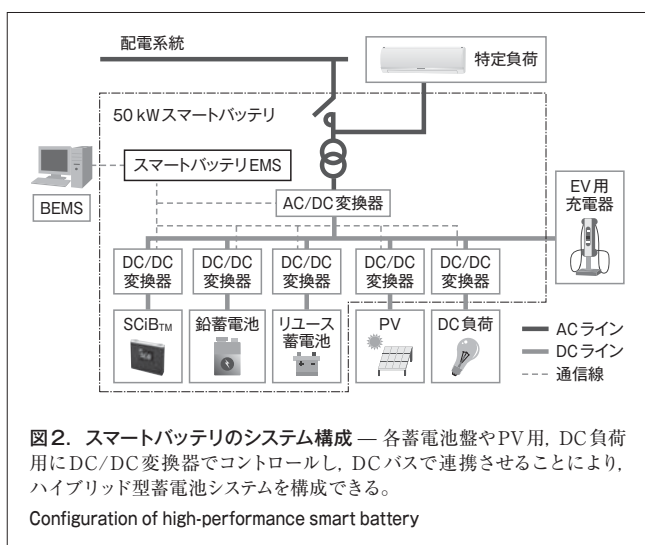
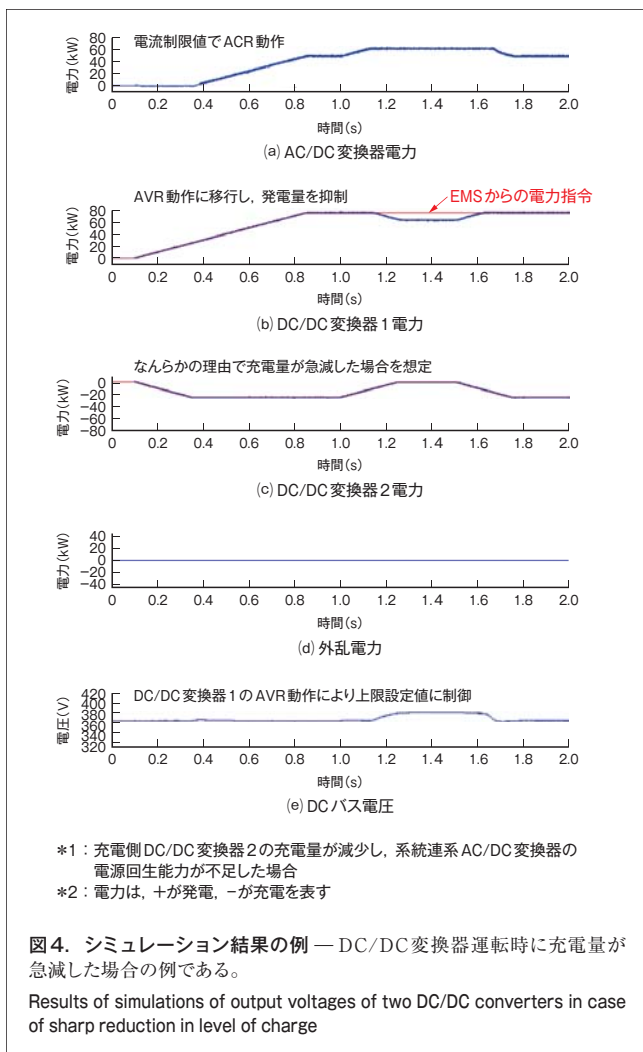
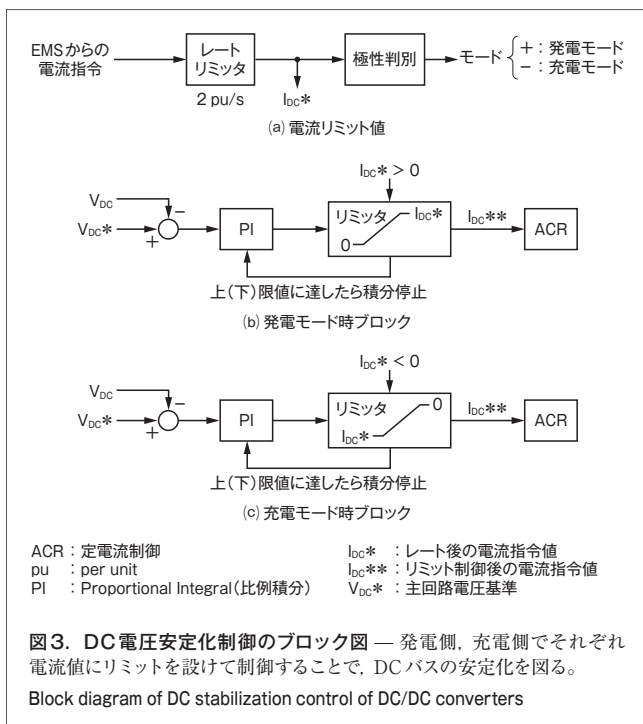


図2. スマートバッテリーのシステム構成 — 各蓄電池盤やPV用、DC負荷用にDC/DC変換器でコントロールし、DCバスで連携させることにより、ハイブリッド型蓄電池システムを構成できる。
Configuration of high-performance smart battery



放電すべき電力が能力許容範囲内に戻るため、AVR動作していたDC/DC変換器1はまた上位システムの指令に従い放電運転に戻っており、DCバス電圧を所定の値に制御できていることがわかる。

4 多様な蓄電池群への充放電電力配分

4.1 適切な充放電電力配分の必要性

多様な特性の蓄電池を備え、個別に充放電制御可能なスマートバッテリーにおいては、システム全体として充放電すべき電力をいかに個々の蓄電池に配分するかが課題となる。この充放電電力配分を適切に行わないと、充放電に伴うエネルギー効率の低下や各蓄電池の早期劣化を招くおそれがある。

例えば、システム全体の充放電電力が定格電力の数%レベルであるときに全蓄電池に均等に配分すると、全蓄電池が負荷率数%で稼働することになる。電力変換器を含めた蓄電池の効率特性は、一般に図5のようになり、低負荷側で大きく低下するため効率が極めて低くなる。一方、特定の一部の蓄電池だけに配分し続けた場合、その蓄電池だけが満充電や完放電に至り、早期劣化を招くことも想定される。これは、蓄電池の劣化速度が滞在するSOC (State of Charge: 残量) に依存し、かつ蓄電池の種類によって特性も様々なためである。

これらの課題に対し、各蓄電池の効率及び劣化特性を踏まえ、エネルギー効率と電池寿命に配慮した充放電電力配分アルゴリズム⁽²⁾を適用している。

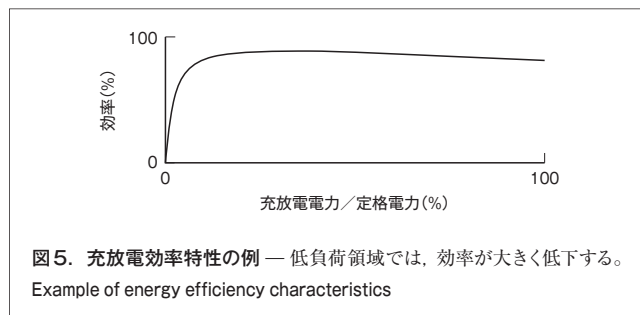
4.2 充放電電力配分アルゴリズム

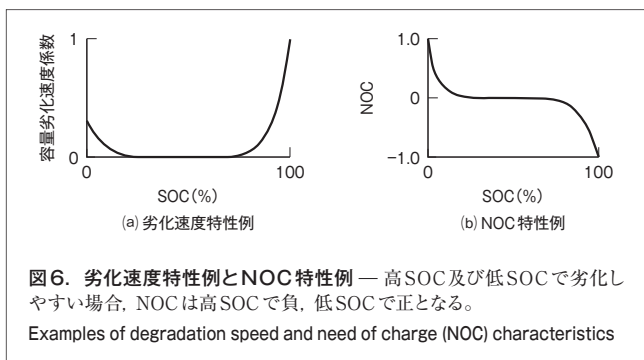
開発したアルゴリズムは、蓄電池の優先順位付けと配分量決定の二つのステップから成り、定周期 (例えば1分) 及び上位EMSから充放電電力指令値が変更されたときに実行される。

優先順位付けにおいて、新たな概念として“充電ニーズ特性” (Need of Charge: NOC) を定義した。これは、各蓄電池の劣化抑制の観点から、滞在中のSOCをもとに充電の必要度を相対評価した指標である。SOCに対する容量劣化速度特性とそれに基づくNOC特性の例を図6に示す。

次に、各ステップでの処理を示す。

ステップ1 その時点における各蓄電池のNOC値を求め、充電時はNOCの大きい順、放電時はNOCの小さい順に





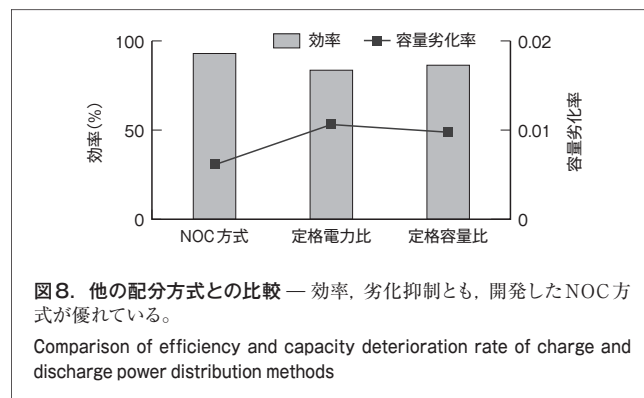
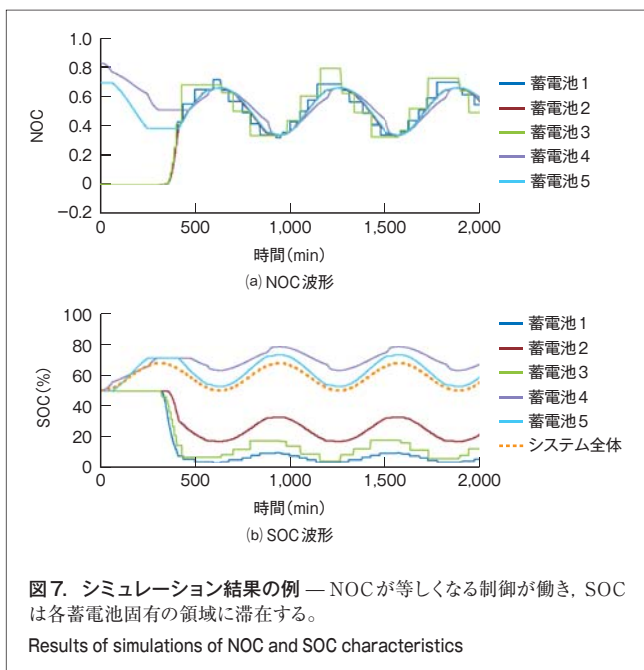
各蓄電池に優先順位を付与する。

ステップ2 優先順位に従い, 各蓄電池の充放電効率特性をもとに最高効率電力を配分する。

4.3 シミュレーション評価結果

特性の異なる五つの蓄電池から成るシステムに対し, 周期が約10時間の正弦波状の充放電電力指令値を与えた場合の, 配分シミュレーションの結果を図7に示す。初期のSOCは全蓄電池とも50%としたため初期のNOC値は蓄電池ごとに異なるが, 時間の経過とともにNOCが等しくなるよう配分制御が行われ, それとともにSOCは各蓄電池固有の領域に分かれて, その範囲で変動しているようすが認められる。すなわち, 劣化速度に基づくNOCが同等になるよう各蓄電池のSOCが調整されている。

効率と劣化量について, このNOC方式と, 各蓄電池の定格電力 (W) 比及び定格容量 (Wh) 比で配分した場合を比較した結果を図8に示す。NOC方式が, 効率面でも劣化抑制面でも優れていることがわかる。このアルゴリズムはスマートバッテリーEMSに実装されており, 今後, 実機により効果の検証を進めていく予定である。



5 あとがき

需要家向け蓄電池システムとして当社が開発したスマートバッテリーと, その特徴であるマルチDC/DC変換方式の利点及び制御方法の概要について述べた。

既に2012年7月に, スマートバッテリーのプロトタイプを検証用として大成建設(株)技術実証センターに納めており, 蓄電池を用いた効率的なエネルギー運用や, DC給電による変換ロスの削減など省エネに貢献していることが評価され, エコプロダクツ大賞推進協議会特別賞(節電優秀賞)を2012年12月に受賞した。

今後, この蓄電池システムが普及し, わが国の電力不足や地球環境対策に貢献するとともに, 合理的なエネルギー利用を実現するスマートな社会の構築に役だっていくことが期待される。

文献

- 小林武則 他. SciB™を適用した定置型蓄電池システム. 東芝レビュー. 67, 6, 2012, p.48-51.
- 戸原正博 他. “複数電池に対する充放電電力配分アルゴリズム”. 平成25年電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集. 新潟, 2013-08, 電気学会, 131. (CD-ROM).



遠藤 保 ENDO Tamotsu

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 系統ソリューション技術部参事。スマートグリッド及び蓄電システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.



戸原 正博 TOHARA Masahiro

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技術主幹。蓄電システムの研究・開発に従事。計測自動制御学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



稲葉 祐貴 INABA Yuki

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 系統ソリューション技術部。スマートグリッド及び蓄電システムのエンジニアリング業務に従事。

Transmission & Distribution Systems Div.