

ハイブリッド化でライフサイクルコスト低減を実現する SCiB™ 系統用定置型蓄電池システム

Integration Methods for Hybrid Systems to Reduce Life-Cycle Costs Using High-Power Battery Equipped with SCiB™ Batteries for Electric Power Systems

山崎 修司 YAMAZAKI Shuji 門田 行生 MONDEN Yukitaka 小林 武則 KOBAYASHI Takenori

電力系統に再生可能エネルギーが多数連系されることで、系統周波数の安定性に影響を及ぼしつつあるため、周波数調整を行う蓄電池システムや発電機が利用されている。しかし、再生可能エネルギーの短周期変動に応答することで、電池の劣化や発電機の燃料消費量の増加などにより、ライフサイクルコストが増加する傾向にある。このため、有効な対策の一つとして、短時間充放電に適した蓄電池システムを組み合わせたハイブリッド蓄電池システムが検討されている。

そこで東芝グループは、周波数調整用として、蓄電池システムや発電機に東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™ を使用した蓄電池システムを組み合わせるハイブリッド蓄電池システムのインテグレーション手法を開発した。SCiB™ の高入出力・長寿命特性を活用して機器構成や制御方式を最適化し、ハイブリッド運用を行うことでシステム全体のライフサイクルコスト低減が可能になる。

Battery energy storage systems and generators have been attracting attention in recent years as a means of regulating the frequency of power grids to which a number of renewable energy systems are connected. However, the short-term frequency fluctuations that tend to occur in such power grids shorten the lifetime of the batteries due to frequent charging and discharging cycles and increase the fuel consumption of the generators, leading to higher life-cycle costs. Hybrid systems combining a high-power battery specialized for frequency regulation with conventional high-energy batteries and generators have therefore been considered as a countermeasure against these problems.

The Toshiba Group has developed integration methods for hybrid systems applying a high-power battery equipped with its SCiB™ lithium-ion rechargeable batteries for frequency regulation, which have notable features such as long life and high power input/output performance, to conventional high-energy batteries and generators. These hybrid systems make it possible to reduce life-cycle costs through optimization of the equipment configuration and control method, taking advantage of the features of SCiB™ batteries.

1. まえがき

持続可能な社会を実現するため、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が世界各地で推進されている一方で、これら再生可能エネルギーの不安定性が及ぼす影響を低減することが課題となっている。これは、再生可能エネルギーが自然現象に由来した電源なので、一般に発電出力の制御が不可能であり、それらが電力系統に多数連系されると、発電出力の変動による系統周波数への影響が顕著になるためである。

この課題に対応する周波数調整力を提供するサービスとして、主に2通りのアプローチが考えられる。一つは、蓄電池システムを導入し、蓄電池の充放電により電力系統の変動を抑制する方法である。系統用定置型蓄電池システムは、再生可能エネルギーとの親和性が高い電源として導入が進んでいる。もう一つは、発電機を使用する従来の方法である。化石燃料を必要とし、再生可能エネルギー導入の流れとは逆行するものの、既存の設備の活用が可能で導入も容

易である。

周波数調整力として短周期変動に応答し、長期間にわたって運用するという側面から考えると、蓄電池システムは頻繁に充放電が繰り返されることから、電池が早く劣化するという問題がある。また、発電機も、頻繁に発電出力が増減され発電効率が低下することから、燃料消費量（以下、投入エネルギーと呼ぶ）が増加するといった問題がある。これらの問題は、運用コストに多大な影響を与えるため、事業者が周波数調整力を導入する上で、大きな阻害要因となっている。

ハイブリッド蓄電池システムとは、ある蓄電池システムを特性の異なる蓄電池システムや発電機などのほかの電源と組み合わせたシステムのことをいう。ハイブリッド蓄電池システムについては、既に電池寿命の延伸効果に関する報告⁽¹⁾や、発電機の起動回数の削減効果に関する報告⁽²⁾などがあり、システムの設置から運用までを含めたライフサイクルコストの低減が見込まれている。ハイブリッド蓄電池システムを周波数調整力として適用すると、前述のシステム導入上の

問題に対して、以下の効果が期待できる。

- (1) 長時間の充放電に適した容量重視型の蓄電池（以下、容量型蓄電池と呼ぶ）に短時間の充放電に適した出力重視型の蓄電池（以下、出力型蓄電池と呼ぶ）を組み合わせ（以下、蓄電池ハイブリッドと呼ぶ）、周波数調整指令を各々の蓄電池で適切に分担することにより、容量型蓄電池の劣化を抑制し、寿命の延伸が可能となる。
- (2) 発電機に出力型蓄電池を組み合わせ（以下、発電機ハイブリッドと呼ぶ）、発電機の応答遅れの補償、及び発電出力の高効率化を図ることにより、発電機の投入エネルギーの削減が可能となる。

ここでは、容量型蓄電池や発電機に、出力型蓄電池として東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™ を採用した蓄電池システムを組み合わせる、ハイブリッド蓄電池システムの概要について述べる。また、SCiB™ の高入出力・長寿命特性を活用し、機器構成（出力や容量の分担）や制御方式を最適化することによる、システム全体でのライフサイクルコストの低減効果についても述べる。

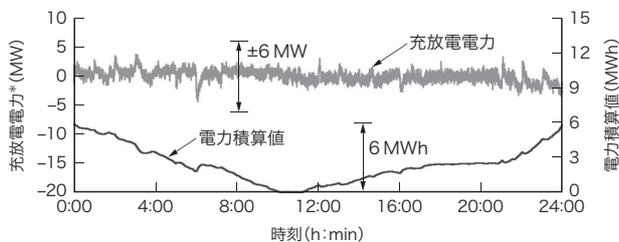
2. 蓄電池ハイブリッド

2.1 検討対象の周波数調整指令

検討対象とした周波数調整指令の例を、図1に示す。周波数調整指令は、周波数低下時に放電、周波数上昇時に充電する充放電電力で、最大充放電電力が ± 6 MW、電力積算値の最大は6 MWhとなる。

2.2 機器構成と制御方式

機器構成を、図2に示す。ハイブリッド化のパターンとして、既設の容量型蓄電池に新たに別の出力型蓄電池を追加設置する場合と、新規に蓄電池ハイブリッドを設置する場合の二つが考えられるが、ここでは前者を想定する。出力



*正の値が放電、負の値が充電

図1. 周波数調整指令の例

周波数調整指令に相当する充放電電力、及びそれを積算した電力積算値の、各々1日分の変化である。

Example of frequency regulation signals for conventional high-energy battery operation

型蓄電池の有無によらず容量型蓄電池は常に同一の機器仕様であり、その定格電力、電池容量は、2.1節で示した周波数調整指令を単独でカバー可能な6 MW、6 MWhとした。

出力型蓄電池の定格電力と電池容量について述べる。定格電力は、図3に示す周波数調整指令の電力分布例のように、積算電力が最も大きくなる指令値0.9 MWが最も高頻度で使用されると想定し、この指令値を設定した。また、電池容量は、図4に示す周波数調整指令の周波数分析例のように、周期が30 min以下となる出力型蓄電池に適した動作領域において周期ごとの必要容量を積算した結果から、0.4 MWhと導出した。

制御ブロック図を、図5に示す。出力型蓄電池をより高入出力・高頻度で動作させるため、周波数調整指令を出力型蓄電池の定格電力でリミットする以外は、出力型蓄電池

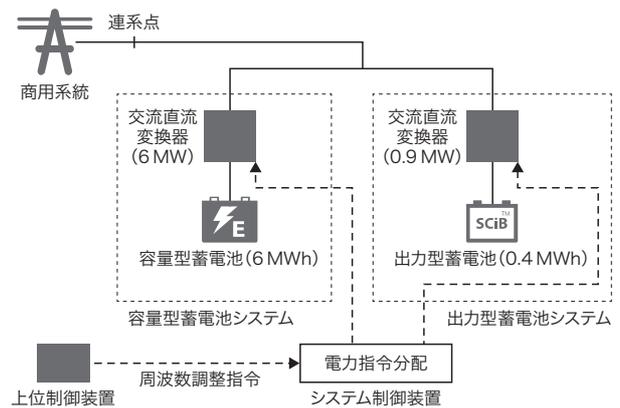


図2. 蓄電池ハイブリッドの機器構成

容量型蓄電池と出力型蓄電池が並列接続され、上位制御装置の周波数調整指令がシステム制御装置により分配される。

Configuration of hybrid system combining high-power battery with conventional high-energy battery

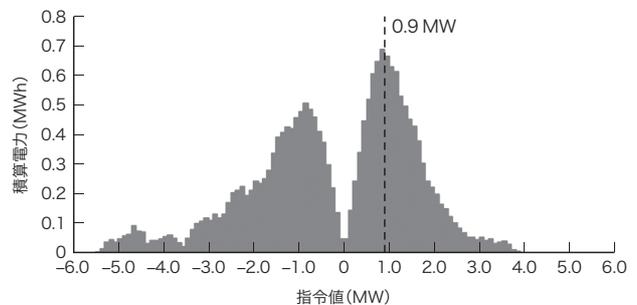


図3. 周波数調整指令の電力分布例

周波数調整指令の指令値ごとに、発生頻度と指令値を乗算することにより、積算電力（指令値の積算値）を算出する。

Example of power distribution of frequency regulation signals

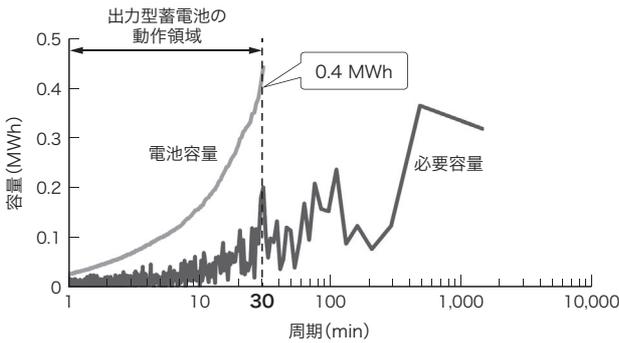


図4. 周波数調整指令の周波数分析例

周期30 min以下を出力型蓄電池の動作領域とし、周波数調整指令の周期ごとの必要容量を積算し電池容量とする。

Example of frequency analysis of frequency regulation signals

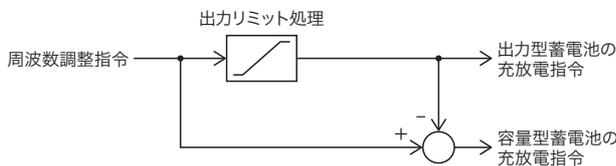


図5. 蓄電池ハイブリッドの制御ブロック図

周波数調整指令から出力型蓄電池の充放電指令を減算して、容量型蓄電池の充放電指令とする。

Control block diagram of hybrid system combining high-power battery with conventional high-energy battery

が容量型蓄電池よりも優先的に充放電を行う制御方式を採用した。

2.3 導入効果

蓄電池ハイブリッドの運用評価を、表1に示す。容量型蓄電池の1日平均の充放電サイクル数は、単独運用した場合は1.5回であったが、ハイブリッド運用とすることで0.7回とほぼ半減した。

電池の劣化は主に、電池容量が低下する容量劣化と、電池の内部抵抗が上昇する抵抗劣化の2種類に分類され、どちらか一方が既定値に到達した時点で寿命と判断されることが多い。ここでは、電池容量が初期状態から30%低下、又は内部抵抗が初期状態から50%上昇のいずれか早く到

表1. 蓄電池ハイブリッドの運用評価

Evaluation of operations of single and hybrid battery combining high-power battery with conventional high-energy battery

項目	単独運用	ハイブリッド運用	
	容量型蓄電池	容量型蓄電池	出力型蓄電池
充放電サイクル数(1日平均)(回)	1.5	0.7	11.8
寿命到達時期(容量劣化)(年)	2.4	13.9	17.9
寿命到達時期(抵抗劣化)(年)	3.9	5.6	19.8

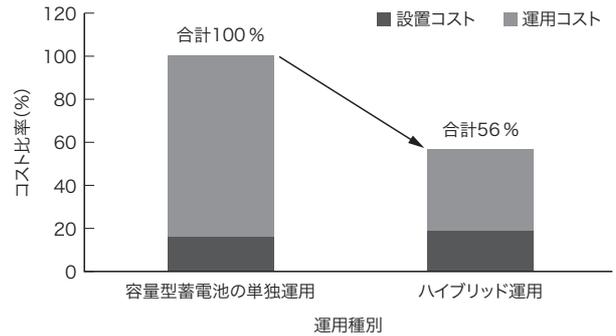


図6. 蓄電池ハイブリッドのライフサイクルコスト比較

ハイブリッド運用は、容量型蓄電池の単独運用と比較して、ライフサイクルコストを56%に低減可能との結果が得られた。

Comparison of life-cycle costs of single high-energy battery and hybrid battery with high-energy battery

達する時点を、電池寿命と仮定した。容量型蓄電池は、単独運用では容量劣化により2.4年で寿命に到達するのに対し、ハイブリッド運用では抵抗劣化により5.6年で寿命に到達し、約2.3倍に寿命が延伸することが分かった。一方、出力型蓄電池は、充放電サイクル数による劣化が相対的に少なく、長寿命である結果となった。

容量型蓄電池の単独運用と、容量型蓄電池及び出力型蓄電池のハイブリッド運用におけるライフサイクルコストの比較を、図6に示す。システムを20年間運用し、かつ蓄電池は寿命到達の度に交換するものと想定して、運用コストに反映した。容量型蓄電池については、単独運用の電池寿命が2.4年であることから、運用末期の交換なしでの使用継続を仮定すると、20年間で7回の電池交換が発生するが、ハイブリッド運用とすることで電池寿命が5.6年に伸び、3回の電池交換となった。出力型蓄電池については、電池寿命が17.9年であることから20年間で1回の電池交換が必要となるが、容量型蓄電池の電池容量6 MWhに対して、出力型蓄電池の電池容量は0.4 MWhと小さいため、コストへの影響も相対的に小さく、ハイブリッド運用とすることにより、単独運用と比較してライフサイクルコストを56%に低減可能との検討結果を得た。

3. 発電機ハイブリッド

3.1 機器構成と制御方式

機器構成を、図7に示す。発電機は高頻度の起動/停止が可能な内燃力発電機を想定し、定格出力で効率40%と仮定した。

蓄電池ハイブリッドと同様に、2.1節に示した周波数調整指令で検討を行った。発電機は、設備を小型化しつつ、出力型蓄電池との併用で周波数調整指令を制御可能な、定

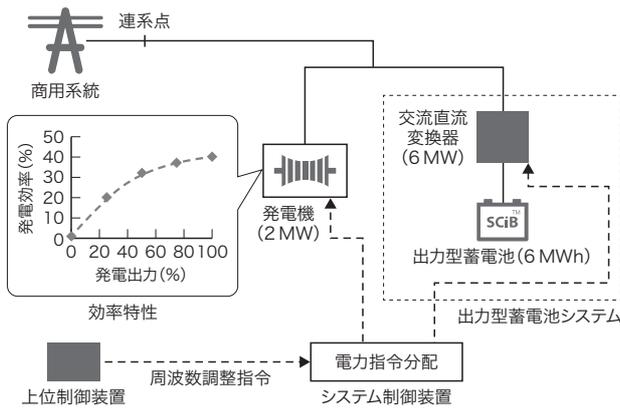


図7. 発電機ハイブリッドの機器構成

発電機と出力型蓄電池が並列接続され、上位制御装置の周波数調整指令がシステム制御装置により分配される。

Configuration of hybrid system combining high-power battery with generator

格出力2 MWを検討対象とした。周波数調整指令が充電方向の場合は出力型蓄電池で制御するため、出力型蓄電池の定格電力は周波数調整指令の最大充放電電力である6 MW、電池容量は周波数調整指令の電力積算値の最大から6 MWhとした。ここで、発電機の定格出力を2 MWよりも小さくすると、後述する制御方式では、出力型蓄電池の電池容量が6 MWhよりも多く必要となる。

制御ブロック図を、図8に示す。発電効率を最大化するため、発電機の運転時は常に定格出力とする。出力型蓄電池のSOC (State of Charge：充電状態)を監視し、SOCが起動条件の設定値まで低下した場合に発電機を起動し、その後、停止条件の設定値まで上昇した場合に発電機を停止する。ここでは、起動条件のSOCを10%、停止条件

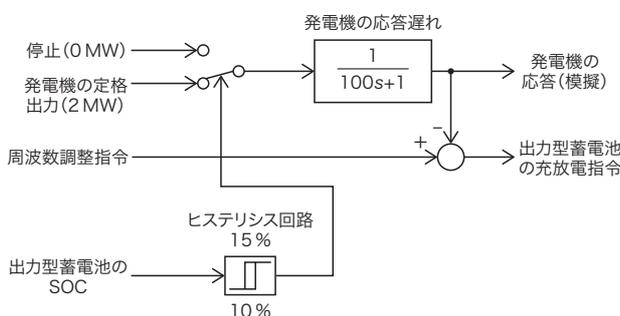


図8. 発電機ハイブリッドの制御ブロック図

周波数調整指令から発電機の応答(模擬)を減算して、出力型蓄電池の充放電指令とする。

Control block diagram of hybrid system combining high-power battery with generator

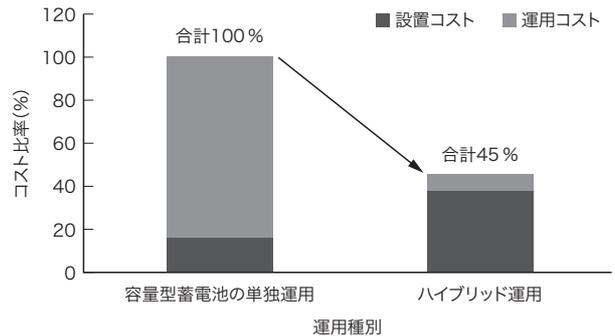


図9. 発電機ハイブリッドのライフサイクルコスト比較

ハイブリッド運用は、容量型蓄電池の単独運用と比較して、ライフサイクルコストを45%に低減可能との結果が得られた。

Comparison of life-cycle costs of single high-energy battery and hybrid battery with generator

のSOCを15%に設定し、発電機の出力特性として時定数100 sの応答遅れを仮定した。

3.2 導入効果

評価の結果、1日当たりの発電機の発電電力量1.7 MWhに対して投入エネルギーは5.2 MWhで、平均の発電効率は33%となった。容量型蓄電池の単独運用と、発電機及び出力型蓄電池のハイブリッド運用におけるライフサイクルコストの比較を、図9に示す。2章で述べた蓄電池ハイブリッドと同様に、システムを20年間運用すると想定し、発電機については、初期の設置コストに加えて、投入エネルギーを供給するための費用を運用コストとして考慮した。発電機ハイブリッドは、容量型蓄電池の単独運用に比べて設置コストは倍増するが、容量型蓄電池の寿命到達に伴う電池交換によるコスト増加よりも運用コストが少なく、ライフサイクルコストを45%に低減できる検討結果となった。

4. ハイブリッド蓄電池システムの運用事例

東芝グループ製の蓄電池システムをハイブリッド運用している事例として、フランスのエンジー社のエネルギーストレージパークプロジェクトについて述べる。このプロジェクトは、同社がベルギーのブリュッセルにあるドロゲンボス火力発電所で実施している、大型蓄電池システム実証プロジェクトである。

このプロジェクトの全体システムは、異なるサプライヤーから供給された5台の蓄電池システムから構成されている。当初導入された4台は容量型蓄電池で、合計で定格電力6 MW、電池容量6 MWhを持つ。その後、5台目の蓄電池システムとして、定格電力1 MW、電池容量0.25 MWhの東芝製リチウムイオン二次電池SCiB™を採用した出力型蓄電池が導入された。ドロゲンボス火力発電所に設置され



図10. ドロゲンボス火力発電所に設置された蓄電池システム

屋外用コンテナ内に、定格電力1 MWの交流直流変換器、及び電池容量0.25 MWhの東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™ を収容している。

Energy storage system using high-power battery installed at Drogenbos Gas-Fired Power Station, Belgium

た蓄電池システムを、図10に示す。この蓄電池システムは、2018年7月に現地調整試験が完了し、同年9月から周波数調整制御運転を開始している。

5. あとがき

ハイブリッド蓄電池システムが、システム全体としてライフサイクルコストを低減可能であることを二つのアプローチにより示した。

今後、再生可能エネルギーの導入が加速するにつれて、周波数調整力は必要不可欠になると考えられ、その提供手段として、特にライフサイクルコストの観点から、ハイブリッド蓄電池システムは非常に有効であると考えられる。東芝グループは、ここで述べたハイブリッド蓄電池システムのインテグレーション手法を活用し、東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™ による系統用定置型蓄電池システムの適用を拡大していく。

文献

- (1) 水谷麻美, ほか, “統合型スマートグリッド評価システムの拡張(4) –ハイブリッド電池システムにおける寿命延伸制御の検討–”. 平成24年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 札幌, 2012-09, 電気学会, 2012, 167, p.11-9-11-10. (CD-ROM).
- (2) 杉本圭太, ほか, “再生可能エネルギー電源が大量導入された離島系統における蓄電池と需要家機器の最適協調運転計画に関する一考察”. 平成29年電気学会全国大会講演論文集, 富山, 2017-03, 電気学会, 2017, 6-278, p.483-484. (DVD-ROM).



山崎 修司 YAMAZAKI Shuji
東芝エネルギーシステムズ(株) グリッド・アグリゲーション
事業部 蓄電・エネルギーマネジメント技術部
電気学会・情報処理学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



門田 行生 MONDEN Yukitaka
東芝インフラシステムズ(株) インフラシステム技術開発センター
電機応用・パワーエレシステム開発部
電気学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



小林 武則 KOBAYASHI Takenori, D.Eng.
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・アグリゲーション事業部
博士(工学) 電気学会・IEEE 会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.