

高口雄介*
高坂一郎**
清水恒夫**

ハイブリッド蓄電システム

Hybrid Battery Energy Storage System

Yusuke Takaguchi, Ichiro Kosaka, Tsuneo Shimizu

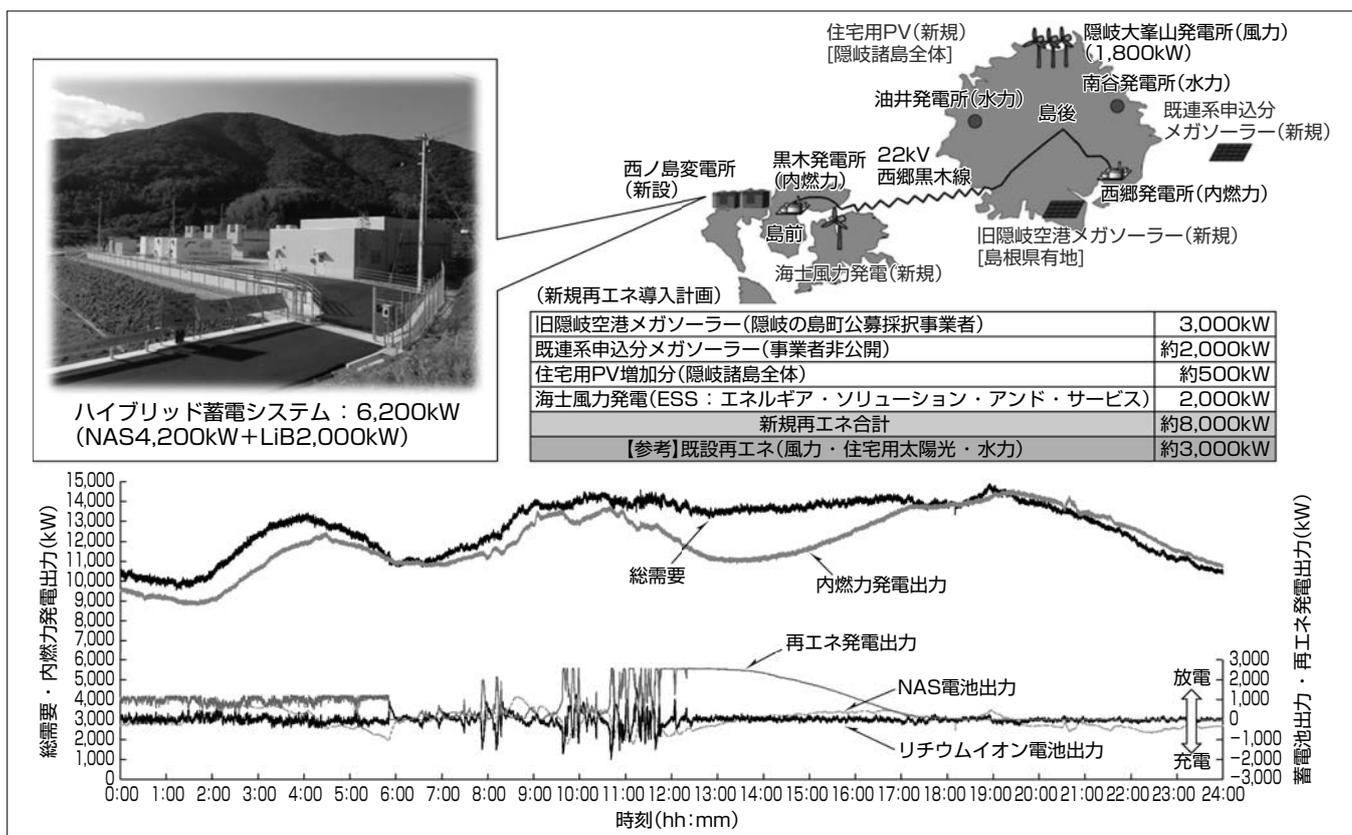
要旨

太陽光発電(PhotoVoltaic：PV)や風力発電など、環境への負荷が小さい再生可能エネルギー(以下“再エネ”という)の電力系統への導入が進んでいる。しかし、PVや風力発電は雲の位置や風の強さなど気象状況によって発電出力が変動するため、電力系統への導入量が拡大するに従ってこの出力変動対策が課題となる。特に、本土系統と接続されていない離島電力系統は電力系統の規模が小さいため、出力変動による系統への悪影響が大きくなる。再エネの更なる導入拡大のためには出力変動対策が必要となる。

今回、再エネ導入量の最大化を図るための対策として、異なる2種類の蓄電池を組み合わせた“ハイブリッド蓄電システム”を構築した。このシステムは、経済性向上を目的とした最適化演算によって既設内燃力発電機(以下“内燃

力発電機”という。)とNAS(ナトリウム・硫黄)電池充放電の計画を策定して内燃力発電用の燃料費削減を図るとともに、電力検出方式及び周波数検出方式の両手法を適用してリチウムイオン電池(LiB)とNAS電池、内燃力発電機をそれぞれ制御することによって系統周波数の安定化を実現するものである。

このシステムは島根県隠岐諸島に設置され、実証事業に用いられている。最小需要が約10,000kWである島内電力系統に約6,400kWの再エネ発電設備が導入されている状態でこのシステムを動作させた結果、リチウムイオン電池とNAS電池、内燃力発電機が適切に制御されて電力品質の安定化と経済性の両立が実現できることを確認した。



ハイブリッド蓄電システム

大規模な電力系統と接続されていない離島電力系統で、再エネ発電設備(メガソーラー、住宅用PV、風力発電)の導入時に課題となる短周期及び長周期の出力変動問題を解決するため、異なる2種類の蓄電池を組み合わせたハイブリッド蓄電システムを開発した。この製品はリチウムイオン電池とNAS電池、内燃力発電機を協調制御することによって、島内電力の安定供給と経済性の両立を実現する。

1. ま え が き

近年、電力系統への太陽光発電(PV)や風力発電などの再エネの導入が進んでいる。PVや風力発電は気象状況によって発電出力が変動するため、電力系統への導入量が拡大するに従ってこの出力変動対策が課題となる。特に、送電線などによって本土と接続されていない離島電力系統では、電力系統の規模が小さいため出力変動による影響が大きくなることから、再エネの更なる導入拡大のためには出力変動対策が必要となる。

そこで、再エネ導入量の最大化を図るための対策として、異なる2種類の蓄電池を組み合わせたハイブリッド蓄電システムを構築した。このシステムは島根県隠岐諸島に設置され、実証事業に用いられている。

本稿では、ハイブリッド蓄電システムの蓄電池の選定、制御手法、運用実績について述べる。

2. 実証事業の概要と目的

再エネの出力変動には、雲の移動に伴う日射量の変化や風速の変化などによる短周期の変動と、太陽の高度及び方向の変化などによる長周期の変動が含まれており、それぞれに対応した対策が必要となる。

この実証事業では、主に短周期変動に対して高出力のリチウムイオン電池を、長周期変動に対して大容量のNAS電池をそれぞれ対応させて協調制御するハイブリッド蓄電システムを構築し、蓄電池と内燃力発電機の協調制御や蓄電池の効率的な充放電管理、制御手法などに関する実証事業を実施している⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

実証事業の概要を図1に、再エネ導入目標量を表1に示す。ハイブリッド蓄電システムによる蓄電池の活用によって、新たに約8,000kWの再エネ設備の受入れを目指しており、既設分を合わせた再エネ設備容量の合計は、隠岐諸

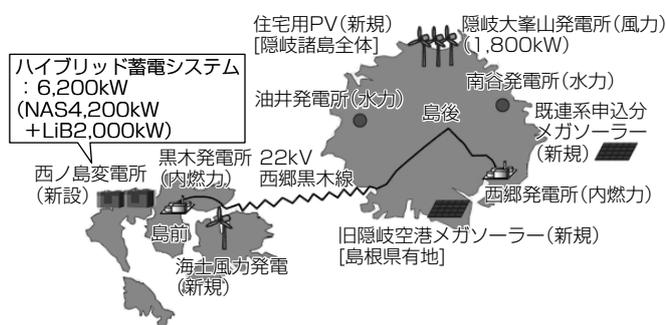


図1. 実証事業の概要

表1. 再エネ導入目標量

新設分	メガソーラー	1,500kW × 2 約2,000kW × 1
	住宅用PV	約500kW(見込み)
	風力発電	2,000kW
既設分	風力発電, 住宅用PV, 水力発電	約3,000kW
合計		約11,000kW

島の最小需要(約10,000kW)を上回る、約11,000kWとなる見込みである。

なお、この実証事業は、中国電力㈱が環境省の補助事業“平成26年度離島の再生可能エネルギー導入促進のための蓄電池実証事業”採択を受け、2015年9月30日から実施している。

3. 蓄電池の選定

短周期変動の対策として蓄電池を用いるためには、短時間で大きな出力の充放電が必要であり、経済的には出力あたりのコスト(kW単価)の低い電池が有利である。この実証事業では、小容量で高入出力が可能であり、kW単価が安く、かつ、コンパクトで高エネルギー密度という特長を持っているリチウムイオン電池を選定した。

長周期変動の対策として蓄電池を用いるためには、電池容量当たりのコスト(kWh単価)の低い電池が有利である。この実証事業では、大容量で長時間運転が可能であり、kWh単価が安く、かつ、コンパクトで高エネルギー密度という特長を持っているNAS電池を選定した。

このように蓄電池を組み合わせることで、1種類の蓄電池だけを使用する場合と比べて、必要な蓄電池容量をより低い導入コストで導入可能となる。

4. 制御手法

このシステムでは、リチウムイオン電池、NAS電池、及び、内燃力発電機を協調制御することによって、経済性を考慮しつつ、電力品質の維持と再エネ設備容量の拡大を両立させる必要がある。そこで、短周期変動対策として、電力検出方式(ΔP)と周波数検出方式(ΔF)の両手法によって系統周波数の安定化を図る。また、長周期変動対策として、NAS電池と内燃力発電機の出力分担を適切に行う最適化計算によって、再エネ導入量の最大化を図る。

蓄電池及び内燃力発電機の制御イメージを図2に示す。長周期及び中周期の最適化計算でNAS電池と内燃力発電機の運転台数や出力配分を決定し、これに短周期制御による制御量を合算したものを内燃力発電機及び各蓄電池に指令している。

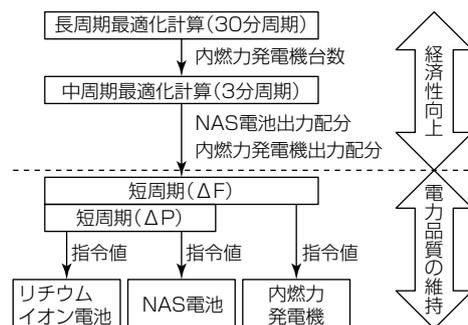


図2. 蓄電池及び内燃力発電機の制御イメージ

4.1 蓄電池と内燃力発電機の短周期協調制御

このシステムでは、短周期変動を抑制するため、電力検出方式(ΔP)と周波数検出方式(ΔF)を併用した。リチウムイオン電池、NAS電池、内燃力発電機のそれぞれの特性に合った制御量を配分することによって、系統周波数の安定化を図っている。図3にΔP+ΔF制御イメージを示す。また、このシステムでの短周期制御ロジックを図4に示す。

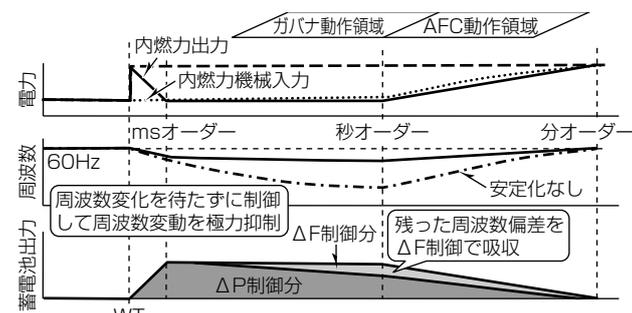
電力検出方式(ΔP)は、内燃力発電機出力変化を検出することによって島内全体の需給アンバランスを推定し、リチウムイオン電池に充放電制御を配分することによって周波数変動を抑制する。また、必要に応じてNAS電池へ配分する制御も行う。

周波数検出方式(ΔF)は、系統周波数の基準値からの偏差を検出することによって、内燃力発電機出力制御及び蓄電池の充放電制御を行うことで、系統周波数の偏差を補正する。

4.2 蓄電池と内燃力発電機の長・中周期協調制御

これまでに、再エネの系統接続量を拡大させる様々な技術が開発されている(4)(5)。このシステムでは、長周期の需給計画及び中周期の需給制御によって、経済的に電力品質を維持する蓄電池と内燃力発電機の協調制御を実現している。

長周期の需給計画は、図5に示すような二重構造の最適化問題として定式化している。外側の運転状態決定問題は内燃力発電機の起動停止状態(離散値)を制御変数として、需要予測結果、再エネ発電出力予測結果に基づいて、需給バランス、運転予備力、発電機下げ代、出力上下限、変化速度、LFC(Load Frequency Control)容量、蓄電池SOC(State Of Charge)及び島間連系線潮流などの制約を満足しつつ発電コストが最小となる運転状態を決定する。内側の出力決定問題は蓄電池の充放電量と内燃力発電機出力を



AFC : Automatic Frequency Control, WT : Wind Turbine

図3. ΔP+ΔF制御イメージ

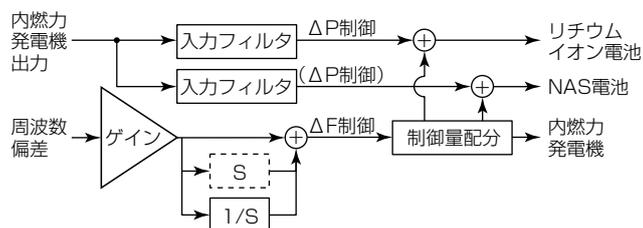


図4. 短周期制御ロジック

制御変数とし、発電コストが最小となる出力値(連続値)を決定する。具体的には、30分刻みで翌日の24時までの需給計画を作成する。

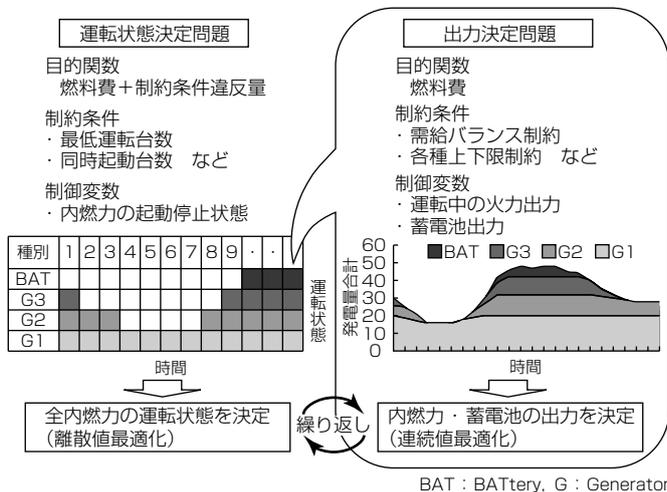
次に中周期の需給制御では、時々刻々と変わる系統全体の需給バランスをオンラインで制御する。需給計画で決められた内燃力発電機の起動停止と、至近の需要実績、数時間先までの最新の需要予測、再エネ発電出力予測結果に基づいて、需給計画と同様に最適化問題(内側の出力決定問題だけ)を解くことで、蓄電池の充放電量及び内燃力発電機出力を決定する。具体的には、3分刻みで5時間後までの需給制御内容を決定する。

4.3 その他機能

4.3.1 島間連系線潮流制御機能

隠岐諸島はハイブリッド蓄電システム及び黒木発電所(小規模発電所)がある“島前”と、西郷発電所(主要発電所)がある“島後”で構成されており、これらの島間を22kV送電線で連系している。一方、再エネを含む供給力の多くが島後の電力系統に接続していることから、連系線潮流は島後から島前に流れている時間帯が多い。ただし、連系線潮流は連系線の運用可能範囲内に維持する必要があることから、両発電所の内燃力発電機出力及び蓄電池の充放電量を制御して連系線潮流を運用範囲内に維持する機能を持っている。

また、落雷や台風による強風などによって連系線の事故が予見される場合には、事故時の供給支障を最小化するための予防運転として、連系線潮流を抑制する機能を持って



BAT : BATtery, G : Generator

図5. 需給計画(最適化問題)

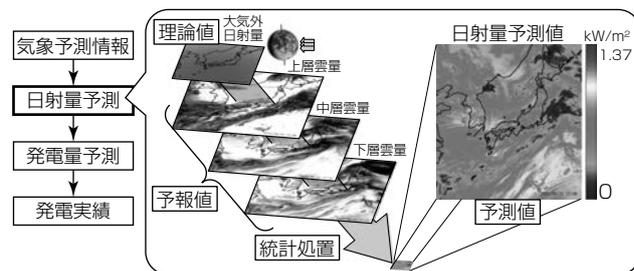


図6. PV出力予測機能

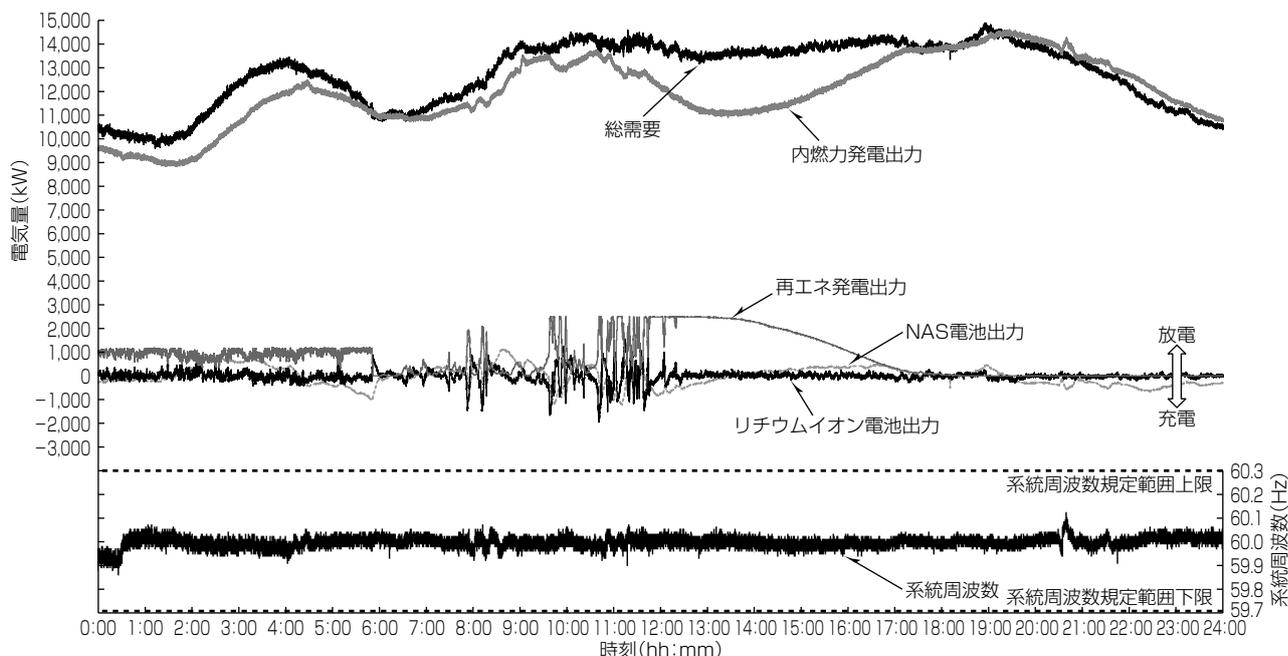


図7. ハイブリッド蓄電システムによる運用動作実績(2016年8月31日)

いる。具体的には、連系線潮流が島後から島前に流れている場合は、島後の内燃力発電機の出力を抑制し、島前の内燃力発電機及び蓄電池の出力を増加させ、それぞれの島内で需給バランスを維持するように制御を行う。

4.3.2 太陽光・風力発電出力予測機能

雲量や風速などの気象予測情報、気象実績情報、及び、発電出力実績を基に予測モデルを算出する。図6にPV出力予測機能を示す。これら予測モデルを用いて、PV出力及び風力発電出力の予測を行う。また、必要に応じて、各種予測モデルを学習・更新して予測精度の向上を図る機構も備えている。

4.3.3 需要予測機能

気温などの気象予測情報と曜日などの予測日区分を基に、実績データ(気温実績、需要実績など)を活用して需要予測を行う。ここでは、長周期の需給計画演算に用いる30分値、及び、中周期の需給制御演算に用いる3分値の予測値を算出している。

5. 運用実績

現在、再エネ設備容量は合計で約6,400kWとなっており、目標設備容量の約6割に達している。この状況での、ある1日(2016年8月31日)の運用動作実績を図7に示す。8~12時頃に再エネ出力が大きく変動しているが、リチウムイオン電池が動きの速い短周期の変動を吸収し、NAS電池がゆっくりと比較的長周期の変動を吸収していることが確認できる。また、12~16時頃は安定した再エネ出力があり、ここでは内燃力発電機の出力を減少させることによって適切に再エネ出力を活用できていることが確認できる。

6. むすび

離島の小規模電力システムでの再エネ設備容量拡大を目指して、再エネ出力変動対策の1つとして開発した、2種類の蓄電池と内燃力発電機を協調制御するハイブリッド蓄電システムとその制御内容について述べた。蓄電池の価格は低下傾向にあるが、電力システムには大容量の蓄電池が必要であり、またシステムの運用開始後も蓄電池の劣化や寿命によって利用が制限されることも予想される。今後は蓄電池の劣化や寿命も考慮した制御方法を開発することによって、電力システムの品質維持とシステムのライフサイクルコスト最小化の実現を検討する。

参考文献

- (1) MIKAWA, M., et al.: Demonstration Project Utilizing Hybrid Battery Energy Storage System with High Penetration of Renewable Energy Sources in the Oki-Islands, CIGRE symposium Dublin 2017 (2014)
- (2) 松村昌昭, ほか: 隠岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要, 電気学会電力系統技術研究会資料, PSE-16, No.1-4.6-20, 7~10 (2016)
- (3) 中国電力(株): 隠岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の開始について, プレスリリース (2015年9月30日)
- (4) 小島康弘: スマートグリッド/スマートコミュニティを支えるEMS技術, 計測と制御, 53, No.1, 56~61 (2014)
- (5) 小島康弘, ほか: 再生可能エネルギーの系統接続技術, 三菱電機技報, 88, No.12, 773~776 (2014)