

再生可能エネルギー導入拡大を支える蓄電池制御技術とその適用事例

小島康弘*
Yasuhiro Kojima
清水恒夫†
Tsuneo Shimizu
熊野純一†
Junichi Kumano

Battery Control Technologies for Renewable Energy Penetration and their Application Cases

1. ま え が き

近年、低炭素社会実現に向けたエネルギー供給力の一つ、また国内のエネルギー安全保障を担うエネルギー供給力の一つとして、太陽光発電(PV: Photo Voltaic)、風力発電(WT: Wind Turbine)などの再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の系統連系が加速している。一方、再エネは天候の影響を受けやすく発電量の変動が大きいいため、電力品質の低下が懸念されている。図1にPV導入量の推

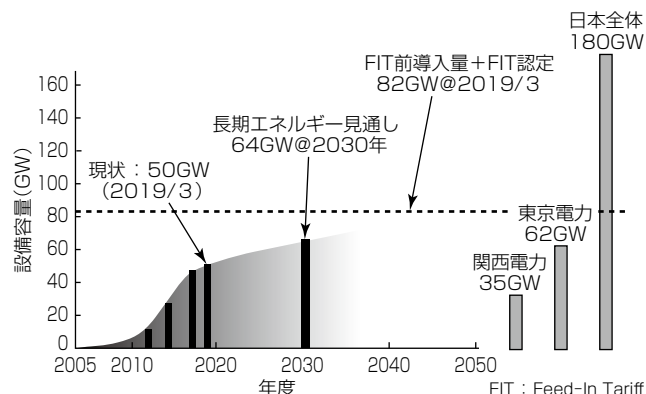


図1. PV導入量の推移

表1. 再エネ導入時に発生する電力品質課題

項目	イメージ	現象と課題
変動		出力は天候次第で出力調整が困難 ↓ 需給アンバランスの発生 周波数変動
余剰・不足		軽負荷時にPVが高出力 発電予測は精度が低い ↓ PV発電の余剰 予測外れ時の供給力不足
電圧		需要家から系統に電力 が逆流 ↓ 配電系統電圧の変動 電圧上限値を超過

移と、表1に再エネ導入時に発生する電力品質課題を示す。

本稿では、電力品質課題のうち、周波数変動や余剰・不足への対策として、再エネ導入拡大を支える蓄電池制御技術について述べる。需給運用は、系統全体の需要と供給のバランスを制御するもので、中長周期の需給計画で需給バランスを保つための制御対象機器の運転を決定し、短周期の需給制御によって系統の周波数を一定に保つ。また、実際の電力系統への適用事例として、令和元年度の新エネ大賞(資源エネルギー庁長官賞、新エネルギー財団会長賞)を受賞した二件について述べる。

2. 需給運用での蓄電池制御技術

2.1 需給運用システム

需給運用では、需要変動に対して火力発電・揚水発電など制御可能な発電機の運転台数と発電量を決定する。これによって需要と供給をバランスさせ、周波数の変動を適正範囲に維持している。需給運用システムは、大きく分けると需要予測機能、需給計画機能、需給制御機能で構成される。需要予測は、気象・地域特性に基づいた実績から回帰分析モデル等によって翌日の需要を予測する。この予測情報に基づいて、需給計画で一日を通じた発電機の起動停止を決定、さらに時々刻々と変化する需要に基づいてリアルタイムの需給制御が行われる。

しかし、電力系統に発電出力が不安定なPVやWTが大量に連系した状況では、需要の予測・監視に加え、PVやWTに対する発電出力の予測・監視、これらの変動に備えた需給制御が必要になる。再エネの出力変動には、瞬時の短周期の成分と、一日を通じた長周期の成分がある。このような不確定な需給バランスへの対策として、蓄電システムは蓄電池そのものの低コスト化という課題があるものの、建設候補地の確保のしやすさ、着工から運用開始までのリードタイムの短さ等から、揚水発電機の代替として期待される。

このように、従来の制御対象である発電機を新たなエネルギー貯蔵装置と協調を取りながら、PVやWTの発電を最大限活用する高度な需給制御の実現が求められている。

図2に蓄電池を活用した需給制御技術の概念図を示す。次に、再エネ大量導入に対応するための、蓄電池制御技術を述べる(1)(2)(3)(4)。

2.2 再エネ導入拡大に対応した中長期需給計画

需給計画では、一日分の需要予測・再エネ発電予測に合わせて発電機の起動停止状態と出力を最適化する。

(1) PV発電出力予測技術

需給計画を立案するには翌日の需要予測が重要だが、PV導入の拡大を受け、翌日の再エネ発電量の予測も重要になりつつある。図3にPV発電出力予測の概念図を示す。図のように、大気外での日射量は緯度経度・日時を与えることで算出が可能である。一方PV出力に大きく影響を及ぼすのは地表面での日射量となる。気象事業者から提供される数kmメッシュ・1時間の分解能で将来の雲量の数値を用いて、地表面の日射量を予測し、対象地点・地域でのPV導入量を考慮することで、対象地点・地域のPV発電量予測値を得ることができる。

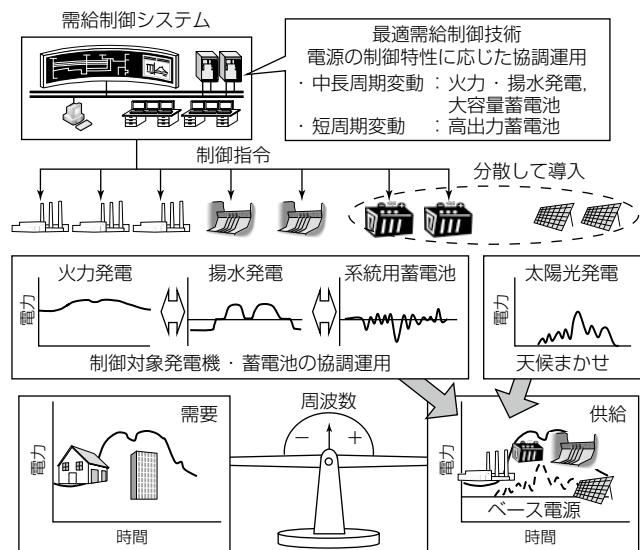


図2. 需給運用での蓄電池の活用

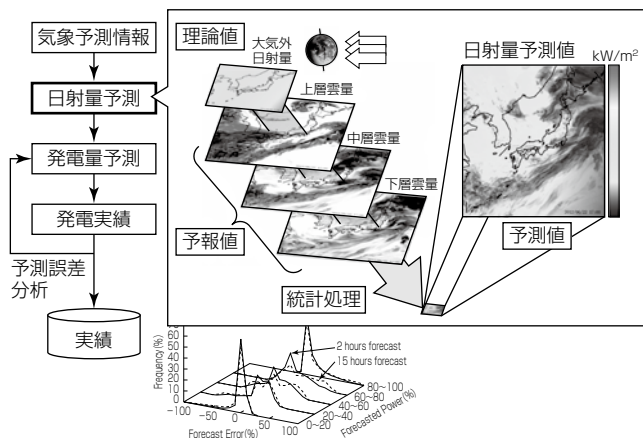


図3. PV発電出力予測

一般にPV発電量のような自然変動電源の予測値は需要予測値に比べて予測誤差が大きい。したがって、再エネ予測情報と合わせて、過去の予測と実績を統計分析することで、どの程度の信頼度の予測なのか、予測外れの場合は最大どこまで外れるかという情報を合わせて提供することにした。このような仕組みは需要予測でも同様に重要になる。

(2) 需給計画・需給制御技術

需要や再エネの一日を通じた大きな変動には中長期の需給計画・需給制御で対応する。需要・再エネ出力の予測結果に基づき、制御対象である複数の効率特性の異なる内燃力発電機と蓄電池の出力を最適配分する。この問題は、図4に示すように内燃力発電機の運転状態を決定する離散値最適化問題に、内燃力発電機の起動停止を既知として内燃力発電機と蓄電池の出力配分を決定する連続値最適化問題が内包されている。

外側の問題は発電機の起動停止状態(離散値)を制御変数として、各種の運用制約のもとで発電コストが最小になる運転状態を決定する。内包される問題は運転中とされた各発電機出力を制御変数として、需要と供給のバランスを保つという制約条件の下で発電コスト最小になる出力(連続値)を決定する。再エネ拡大対策としては、再エネ出力予測が外れた場合にも供給支障を発生させないための適切な予備力・下げ代の確保と、短周期変動に対する調整力確保を、需給計画段階で考慮することが必要になる。

2.3 蓄電池制御による系統安定化

離島などの小規模系統では、本土系統に比べて発電機の慣性力が小さいこと、再エネのならし効果が期待できないことから、再エネ導入時に周波数問題が発生しやすい。

このため、離島の周波数を運用目標値内に維持するための蓄電池の有効電力制御として、周波数変動を検出するΔF方式に追加して、新たに連系線潮流変動を検出するΔP

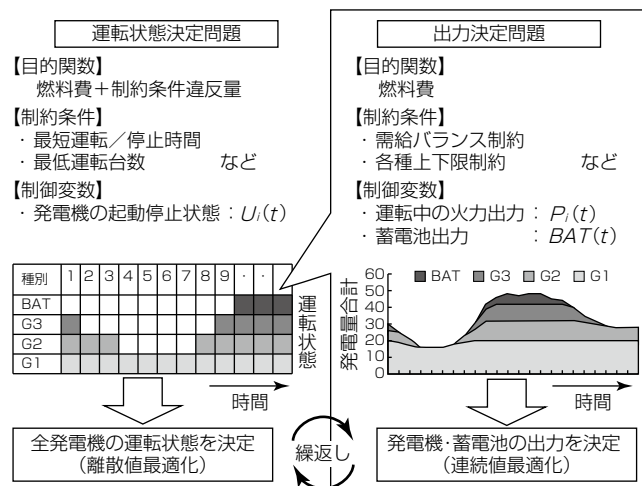
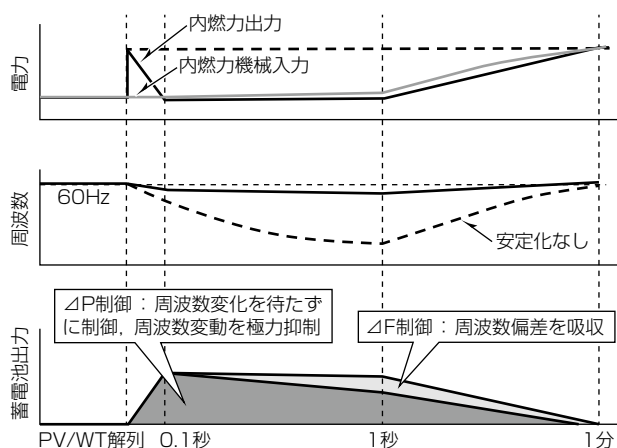


図4. 蓄電池を考慮した需給最適化

図5. 蓄電池による ΔF 制御+ ΔP 制御

制御を開発した。これらは単独でも使えるが、図5のように ΔF 制御+ ΔP 制御として組み合わせることも可能である。

(1) ΔF 制御

基準周波数との偏差に応じたフィードバック制御であり、従来の制御手法である。この方式は、周波数偏差が需給アンバランスによって発生することに基づいている。どのようなケースでも正しく動作するというメリットがあるものの、周波数偏差が発生しなければ制御できないため、 ΔP 制御に比べると制御動作は遅くなる課題があった。

(2) 連系線 ΔP 制御

離島系統では、再エネの出力変動は、離島系統の供給力である内燃力発電機の出力を変化させる。一方、発電機の燃料供給量は即座には変化しないため、内燃力発電機では機械入力と電気出力のアンバランスが発生して回転速度が変化し、その結果、周波数変動が発生する。 ΔP 制御は、発電機が接続する送電線潮流を計測することでアンバランス量を直接とらえ、その短周期変動成分を蓄電池で分担することで、周波数変動を抑制する。

3. 蓄電池導入量の検討

2章で述べたように、再エネ導入に対して蓄電池制御技術の適用は有効である。一方で、その効果や経済性についての考慮も必要になる。

一般的に、蓄電池導入に関わる費用は、蓄電池の導入量に比例する。それに対して電力品質の向上や燃料費削減効果は蓄電池導入が低い場合は効果が導入量に比例するが、導入量がある程度増えるとその効果は飽和してくる。図6にその概念図を示す。図から、蓄電池の導入量には最適値が存在することが明らかである。

導入コストの算定には、必要になる制御要件や運用・保守条件から蓄電池の種別やメーカーの選定が重要である。また蓄電池の効果の算定には、導入時の制御仕上がりや経

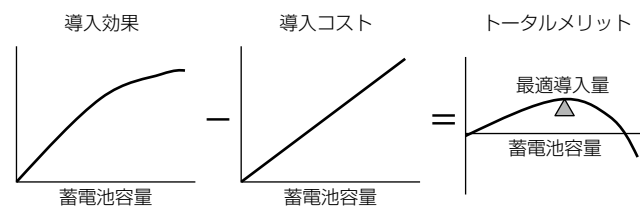


図6. 蓄電池導入メリットの考え方

済性など各種のシミュレーション結果を複合的に判断する必要がある。

4. 導入システム例

4.1 離島マイクログリッド用蓄電システム

電力系統が本土とつながらない離島では、天候によって出力が大きく変動する再エネ導入は電力品質の面で課題がある。この課題に対処するために、中国電力(株)の隠岐ハイブリッドプロジェクトでは、NaS(ナトリウム・硫黄)電池とリチウムイオン電池から構成されるハイブリッド蓄電システムが採用された。一日を通じたゆっくりとした大きな変動には時間容量の大きなNaS電池、再エネの早くて小さい出力変動には高出力が可能なりチウムイオン電池と、特性の異なる2種類の組合せによって設備導入コストの低減を図っている。図7に隠岐ハイブリッドプロジェクトの設備を示す。なお、このプロジェクトは平成26年度の環境省実証事業であり、2015年9月から3.5年間の実証運用期間を経て、現在も運用を継続している。

当社はこのプロジェクトの中で、最新の需給運用技術を適用したエネルギーマネジメントシステム(EMS)の開発及び納入と、2種類の蓄電システムの納入を担当した。このEMSでは、2.2節の中長周期需給計画並びに2.3節の蓄電池制御技術を採用し、ハイブリッド蓄電池と既存の内燃力発電機を制御対象にして、離島全体の需給の一体運用を実現した。ハイブリッド蓄電システムを用いた需給制御結果の一例を図8に示す。図から、再エネの短周期出力変動に対してはリチウムイオン電池が、日中のPV出力余剰に対してはNaS電池がそれぞれ動作し、既存内燃力発電機の出力は極度に低下することなく、また比較的緩やかに制御されていることが分かる。

この取組みによって、隠岐諸島では電力品質を確保しながら(周波数滞在率の向上)(図9)、最低需要約9MWに対して、再エネ導入量は約2.3MWから8.0MWまで拡大できた。またこの実績から、令和元年度の新エネ大賞では日本初の最新技術を活用して地域一体での再エネ導入拡大に貢献したとして導入活動部門で資源エネルギー庁長官賞を受賞している。

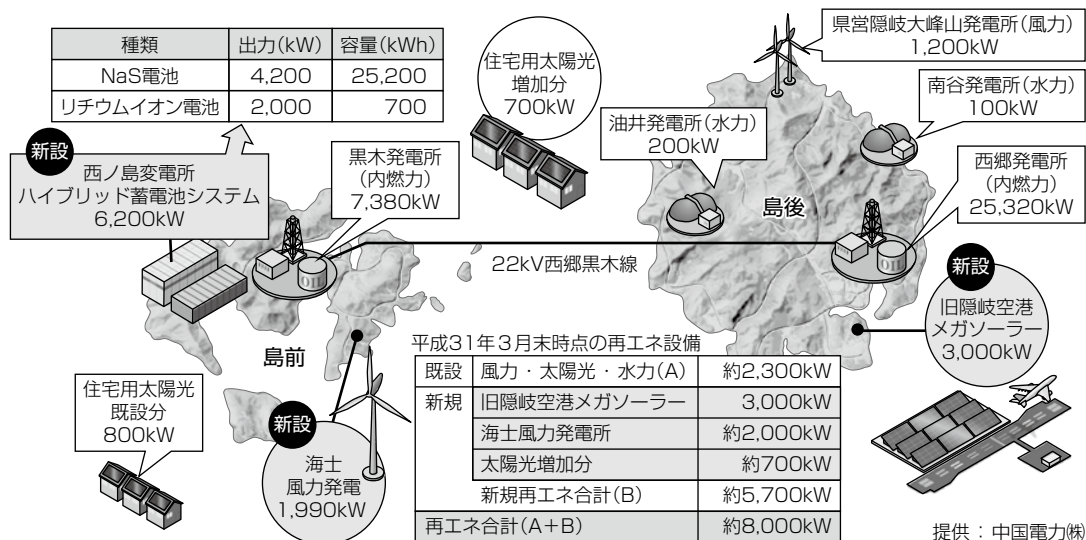


図7. 隠岐ハイブリッドプロジェクトの設備

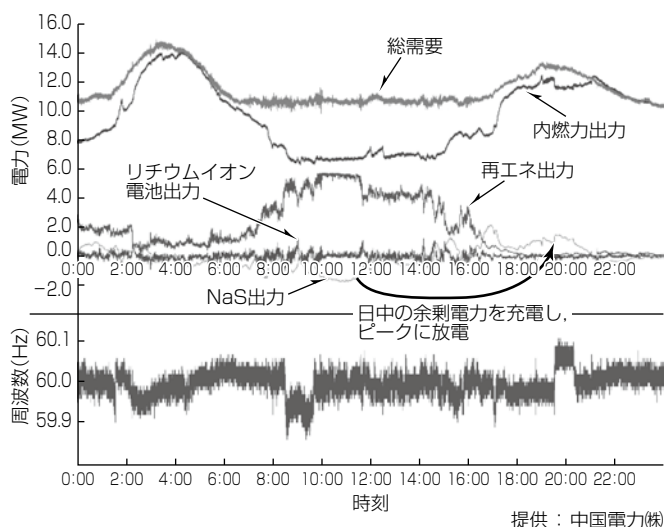


図8. ハイブリッド蓄電システムの需給制御結果例

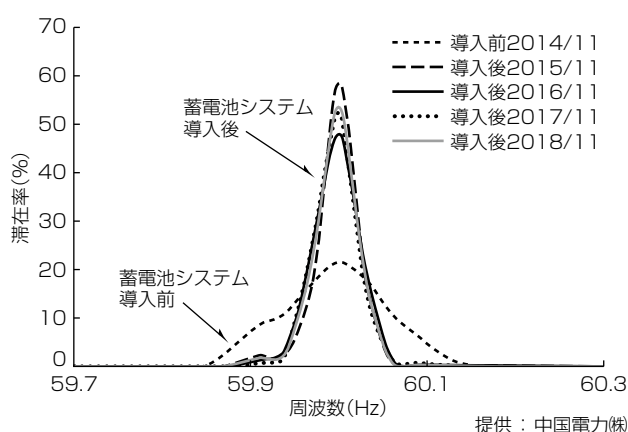


図9. 蓄電システム導入前後の周波数滞在率

4.2 再エネ系統連系用蓄電システム

北海道では、再エネの潜在的導入可能量に対して系統

容量が小さいため、2,000kW以上のPV発電所に対しては、系統との受電点での電力変化の1分間当たりの変化量を、PV定格の1%以内に抑えるという系統連系要件がある。㈱大林組取りまとめた系統連系用蓄電システムでは、17.9MWのメガソーラー(インバータ出力は14.5MW)に対し、リチウムイオン電池(10MW、6.75MWh)による連系用蓄電システムを構築した(図10)。この中で当社は最適な蓄電池容量の算定、系統連系協議支援、並びに系統連系用蓄電池制御システムと蓄電池用インバータ納入を担当した。

当社の開発した系統連系用蓄電池制御システムでは、PV出力変動によって変化する受電点電力を高速で計測・制御演算し、蓄電池の充放電制御によって平滑化する。系統連系要件の実現は、蓄電池容量(kWh)が大きいほど容易であるが、事業性の面では蓄電池容量を抑える必要がある。このため、蓄電池が満充電に近い場合は太陽光発電の出力抑制も併用することで、必要蓄電池容量を削減している。このような制御ロジックを年間シミュレーションで確認し、蓄電池容量の最適化を行っている。トータルメリットの評価の一例を図11に示す。この結果から導入する蓄電池容量、インバータ容量ともメリットの最適点が存在することが分かる。なお、実際の蓄電池容量選択には制御特性の制約条件も考慮している。

このシステムは、2017年4月から運用を開始し、現地天候の傾向や運用結果を反映して、制御パラメータを適宜チューニングすることによって、制御性能の改善を図っている。図12に制御結果の一例を示す。図に示すとおり、PVの急激な出力変動に対して、蓄電池を高速に充放電制御することで、発電所合計電力の変化率を規定の範囲(定格の1%以内/1分)に抑えられていることが分かる。

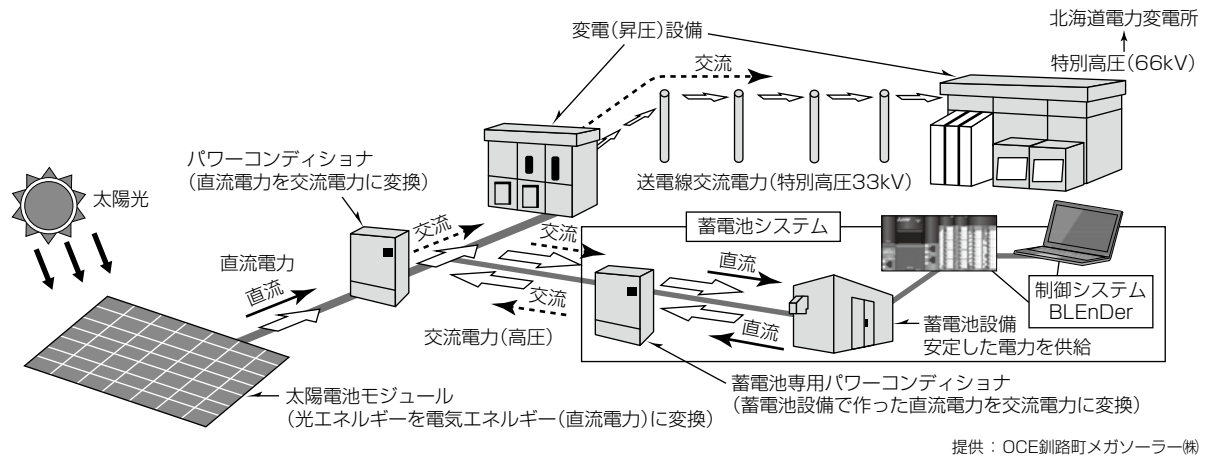


図10. システム連系用蓄電システムの全体像

発電可能電力量と蓄電池導入コストの差分で10年間のメリットを評価
 →蓄電池容量増加はすぐに効果が飽和するが、インバータ容量はある程度増やしても導入効果が持続する

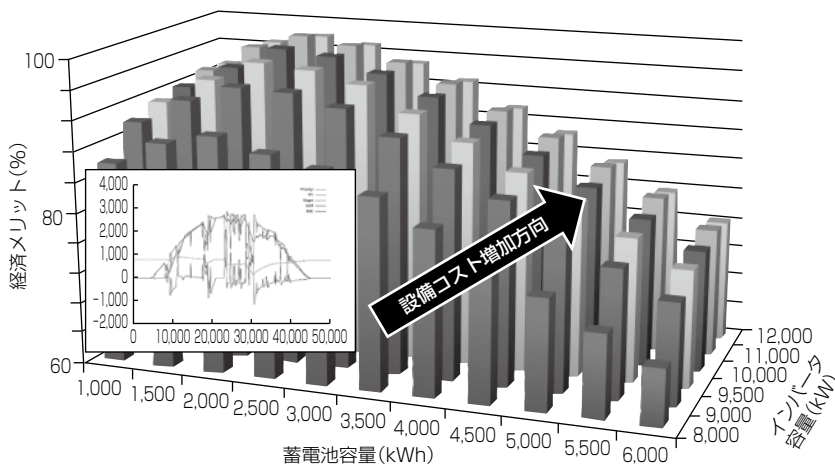


図11. 経済性評価シミュレーション結果例

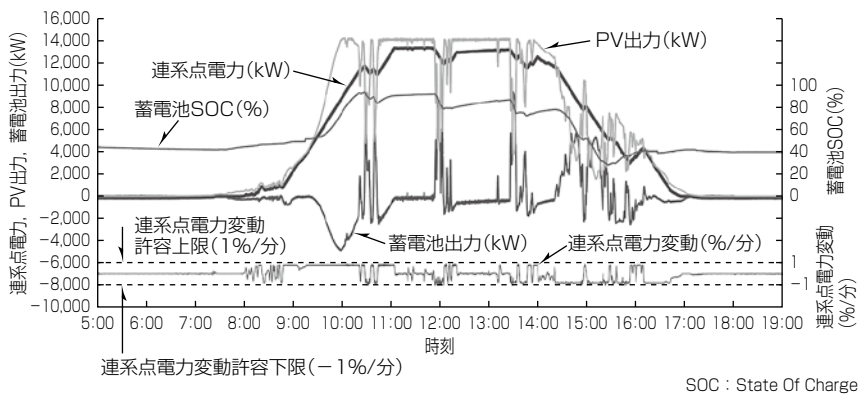


図12. システム連系用蓄電池制御システムの制御例

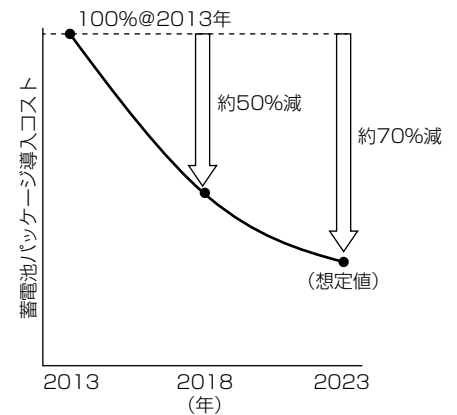


図13. 蓄電池パッケージ導入コストの想定推移

再エネの大量導入時にも電力網を安定に制御でき、安心・安全な電力供給の維持と低炭素化社会の実現に貢献できると考えている。

また、今後の蓄電池ビジネスの発展にはシステム構築費用の低減が重要である。図13に蓄電池パッケージの導入コストの想定推移を示す。EV(Electric Vehicle)導入拡大を受け、この10年間で約70%のコスト低減が見込まれており、今後は蓄電システムを含めた再エネ事業がビジネスとして成立することを示唆するものである。

5. む す び

再エネの系統接続によって発生する系統運用上の課題に対し、特に需給運用面での対策として蓄電池を活用した制御技術について述べた。どれも所望の結果が得られており、

参 考 文 献

- (1) 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)
- (2) 小島康弘、ほか：再生可能エネルギー導入のための系統用蓄電池システム、日本電機工業会機関誌「電機」、771, 11～14 (2014)
- (3) 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)
- (4) 小島康弘：再生エネルギー導入を支える蓄電池制御技術、計測と制御、55, No.7, 609～612 (2016)