

需要家側蓄電池の有用性を最大化する BCP 対応蓄電量の最適値逐次計算手法

Technique to Sequentially Optimize Electric Power Charging in Demand-Side Rechargeable Battery Systems for BCP Functions

村井 雅彦 MURAI Masahiko 坂田 将典 SAKATA Masanori

近年、電力の需要家が、非常時の事業継続計画（BCP）対応や、太陽光発電（PV）の自家消費などのために蓄電池を設置するケースが増えている。この蓄電池をBCP対応だけでなく複数の目的に利用する場合、BCPに必要な蓄電量（以下、BCP蓄電量と呼ぶ）を確保すれば、残りの蓄電量をピークカットや、ピークシフト、デマンドレスポンス（DR）などに利用できる。BCP対応時にPVを利用できる場合、PVでは不足する分だけを蓄電すれば、残った蓄電量の有効活用で平常時の電気料金を最小化することも可能になる。

そこで東芝グループは、PV発電量の予測データを基に、最適化手法を適用してBCP蓄電量の最適値を逐次計算する手法を独自に開発した。従来の一定量での運用に比べてBCP蓄電量を減らし、より多くの蓄電容量をほかの目的に活用できる。ピークカットにより、一定量での運用に比べて電気料金削減額が最大10倍になることも確認した。

Electricity markets are experiencing an increasing tendency toward the installation of rechargeable battery systems by electricity consumers in order to enhance their business continuity plan (BCP) functions in the event of an emergency and to utilize renewable energy generation including photovoltaic (PV) power generation for self-consumption. The capacity of such rechargeable battery systems allows them to be used not only for BCP functions but also for multiple purposes including peak shaving and shifting functions, as well as demand response (DR) when the residual capacity is available. In the case of PV power generation systems, attention is being focused on the effective utilization of battery capacity for the reduction of electricity costs by compensating only for any insufficiency in the PV power generation capacity to cover the BCP functions.

With this as a background, the Toshiba Group has developed a calculation technique to sequentially optimize the amount of electric power charged in the rechargeable battery system to cover the BCP functions. We have conducted simulation experiments using actual solar radiation data and confirmed that this technique can suppress the peak value of power demand received from the commercial power system and cut electricity costs for the day-to-day operations to as little as one-tenth compared with the conventional style of operation assigning a fixed amount of capacity to BCP functions.

1. まえがき

近年、自然災害の増加に対応した非常用電源の確保や、固定価格買取制度（FIT）の廃止に対応したPVによる電力の自家消費など、様々な観点から蓄電池を導入する需要家が増加している。需要家は、導入した蓄電池をできるだけ有効に利用したいと考えており、一つの蓄電池を多目的に利用するマルチユースでの活用が求められている。

東芝グループは、蓄電池のマルチユースとして、BCP対応、ピークカット、及びDRを同時に行うための手法を開発している^{(1), (2)}。図1に、需要家側蓄電池をクラウドサービスで制御するVPP（Virtual Power Plant）システムのイメージを示す。VPPシステムは、需要家のPV発電量や需要電力量の予測に基づき、平常時にはピークカットやDR、非常時にはBCP対応など、マルチユースに対応する蓄電池の充放電制御を行う。

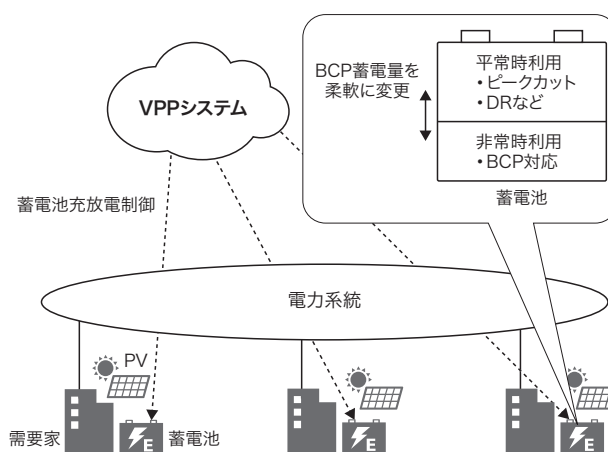


図1. 需要家側蓄電池を制御するVPPシステム

VPPシステムは、需要家に設置された蓄電池などの分散電源を、あたかも一つの発電所のように統合制御する仕組みである。

Virtual power plant (VPP) system controlling rechargeable batteries of electricity users

このとき、BCP対応向けに必要な以上に多くの蓄電量を常時確保すると、ほかの目的のために使用できる容量が低下し、蓄電池の運用効率が低下する懸念がある。従来は、いつ起こるか分からない災害に備えて、非常時に想定する負荷（以下、BCP負荷と呼ぶ）の総電力量を常に確保しておく運用を行っている場合が多く、平常時に蓄電池の能力を十分活用できていなかった。

そこで、蓄電池とともにPVを導入している需要家を対象に、非常時にもPVを利用できることを前提に、BCP負荷を賄うために必要なBCP蓄電量を最適化手法の適用により時々刻々と算出する、BCP蓄電量の最適値逐次計算手法を独自に開発した。

ここでは、BCP蓄電量の最適値逐次計算手法の概要と、算出したBCP蓄電量の最適値に基づいて蓄電池を運用した場合の電気料金削減効果のシミュレーション結果について述べる。

2. BCP蓄電量の最適値の計算

非常時には、BCP負荷に対し、PVと蓄電池の充放電により電力を供給する。BCP負荷の想定継続時間内に電力が不足しない範囲で、停電開始時の蓄電量を最小化する。

2.1 BCP対応時の電力供給

図2に、BCP継続時間が24時間で、15時に停電が発生した場合の電力供給の様子を示す。15～17時の間はPV

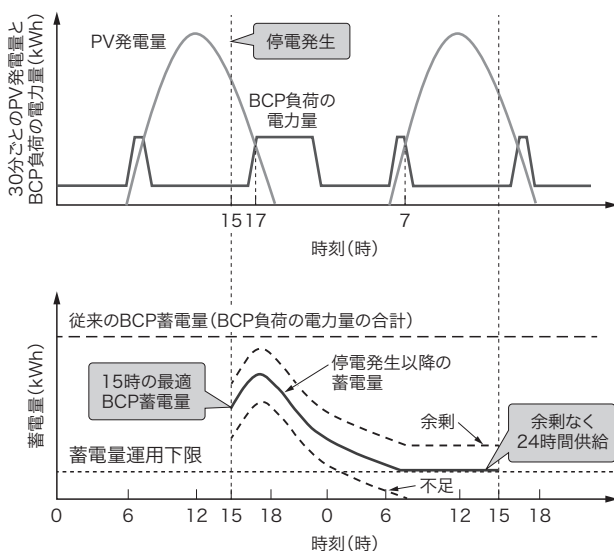


図2. BCP蓄電量の最適化

非常時には、想定するBCP負荷に電力を供給する必要があるため、PVでは足りない電力は蓄電池に充電しておく。

Optimization of electric power charged in rechargeable battery system for BCP functions

発電量が十分にあり、BCP負荷が小さいので、PVから電力を供給し、余剰電力は蓄電池に充電する。17時を過ぎるとPV発電量が減り、BCP負荷は増加するので、PVだけでは電力が不足するため、蓄電池から不足分を供給する。翌日7時以降は、再びPVにより電力を供給するが、BCP対応が終了する15時までPVだけで電力供給は可能なため、図2中に図示はしていないが、余剰電力は蓄電池には充電せずにPVを抑制する。

2.2 最適BCP蓄電量の計算手法

これら一連の動作を、蓄電量が運用下限を下回らないように行える15時（停電発生時）における最小の蓄電量を、最適BCP蓄電量とする。停電発生時の蓄電量が最適BCP蓄電量より大きい場合には、BCP対応終了時に蓄電量が余剰となる。反対に、小さい場合には、BCP継続中に蓄電量が運用下限を下回り、BCP負荷に十分な電力を供給できない。最適BCP蓄電量を30分ごとに計算することで、BCP対応時に十分な電力を確保しながら、蓄電池を有効に活用できる。

そこで、PV発電量の予測値と、BCP負荷の想定値を入力とし、各時刻での最適BCP蓄電量を計算する最適化問題として定式化し、解くことにした。目的関数を停電開始時点での蓄電量とし、これを、想定するBCP継続時間の間、BCP負荷への電力需給バランスを保つなどの制約条件の下で、最小化した。

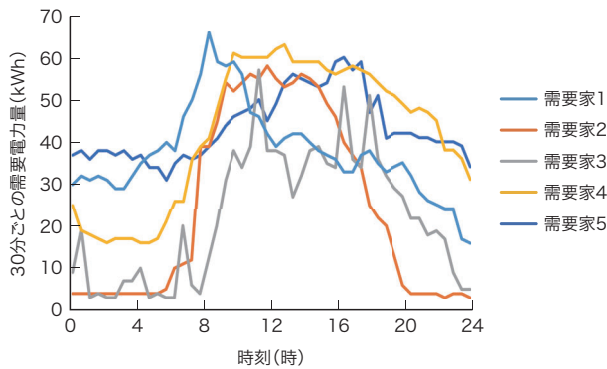
2.3 最適BCP蓄電量のシミュレーション

最適BCP蓄電量の算出を、シミュレーションで実施した。表1にシミュレーション条件を示す。5件の異なる需要家に10 kWのPVと15.4 kWhの蓄電池を設置し、BCP負荷として、例えば防災拠点や避難所の照明やテレビなどへの電力量を、24時間で合計13.8 kWhと想定した。また、PV発

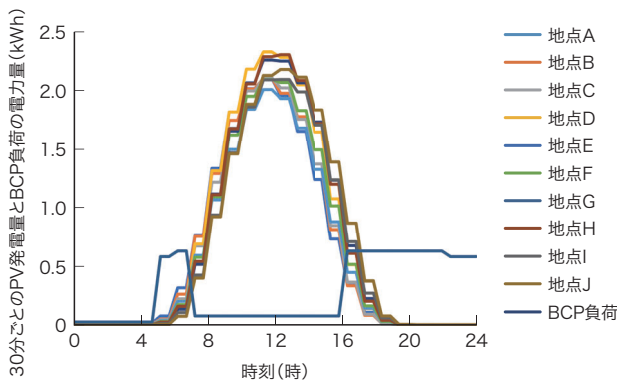
表1. シミュレーション条件

Simulation conditions

項目		需要家				
		1	2	3	4	5
需要電力	ピーク電力 (kW)	120	116	114	126	132
	負荷率 (%)	58	16	21	54	38
	BCP負荷の電力量 (24時間) (kWh)	13.8				
PV	定格容量 (kW)	10				
	パネル傾斜角	最適なパネル傾斜角				
	発電パターン	国内10地点				
蓄電池	定格容量 (kWh)	15.4				
	充放電電力 (kW)	10				
	充放電効率 (%)	95				
	蓄電量運用上下限 (kWh)	1.0～15.4				
その他	シミュレーション期間	1年間(4月1日～3月31日)				



(a) ピーク需要日の需要電力量



(b) 年平均PV発電パターンとBCP負荷データ

図3. 需要電力量、PV発電パターン、及びBCP負荷データ

需要パターンの異なる5件の需要家の需要電力量、国内10地点のPV発電パターン、及び想定するBCP負荷データを用いて、シミュレーションを行った。

Data on electricity demand by electricity users, amounts of PV power generated, and BCP load used in simulation

電量として、国内の異なる10地点の発電パターンを用いた。

需要家の需要電力量データとして一般社団法人 環境共創イニシアチブ(SII)のエネマネオープンデータを、PV発電データとして国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の日射量データベースのデータを用い、需要電力量とPV発電量は、誤差なく予測可能であるという仮定の下でシミュレーションを行った。また、シミュレーション期間は1年間とした。

図3(a)に、5件の需要家のピーク需要日における1日の需要電力量を示す。ピーク需要日は、各需要家で30分ごとの需要電力量が最大となった日のことである。表1のとおり、5件の需要家のピーク電力はいずれも120 kW程度と近いが、需要カーブの形状が異なるため、最大電力に対する平均電力の比である負荷率が異なる。また、図3(b)に、国内10地点の年平均のPV発電パターン、及びBCP負荷データを示す。各地点のPV発電量は、年平均の値としては大きな違いはない。

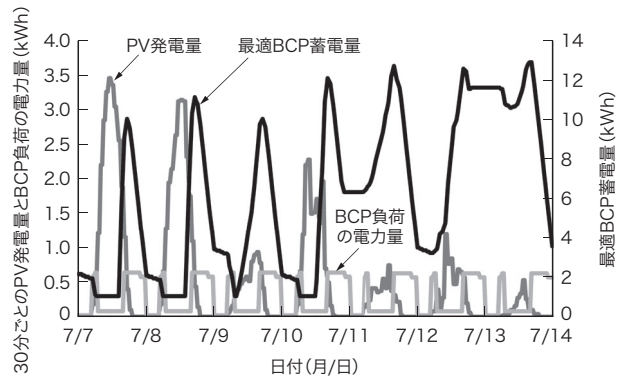


図4. 最適BCP蓄電量のシミュレーション結果

最適BCP蓄電量は、時刻やPV発電量によって変化する結果が得られた。

Results of simulation for optimization of electric power for BCP functions

図4に、最適BCP蓄電量のシミュレーション結果の1例を示す。例えば7月7日～7月8日のようにPV発電量が多い場合には、最適BCP蓄電量は夕方をピークに朝方に運用下限まで低下し、昼から夕方のピークに向けて再び増加するパターンとなる。しかし、7月11日や7月13日のようにPV発電量が少ない日には、夕方から朝方にかけての最適BCP蓄電量を余り小さくできないことが分かる。

3. 電気料金最小化シミュレーションによる評価

BCP蓄電量の最適化が平常時の運用に与える効果を、電気料金の削減額を指標として評価する。

平常時には、計算した最適BCP蓄電量を蓄電量の下限とし、需要予測値に基づいて、基本料金と従量料金から成る電気料金を最小化するように蓄電池の充放電計画を作成し、制御を行うものとした。

図5に平常時に電気料金を最小化するための蓄電池運用のイメージを示す。ピークカットにより基本料金を削減するとともに、PVの余剰電力はできるだけ蓄電池に充電して受電電力量を減らし、従量料金を削減する。

このような運用に従って電気料金最小化のシミュレーションを行い、最適BCP蓄電量の場合とBCP蓄電量が一定の場合とで、電気料金がどのように変わるかを比較した。

3.1 1日の運用に対する評価

図6は、ある需要家の電気料金最小化のシミュレーションで得られたピーク需要日の結果を示す。図には、BCP蓄電量を一定とする従来の場合と、最適BCP蓄電量の場合を比較して示した。

図6(a)に、需要電力量からPV発電量を差し引いた正味の需要電力量に対する受電電力量を、ピーク付近を拡大し

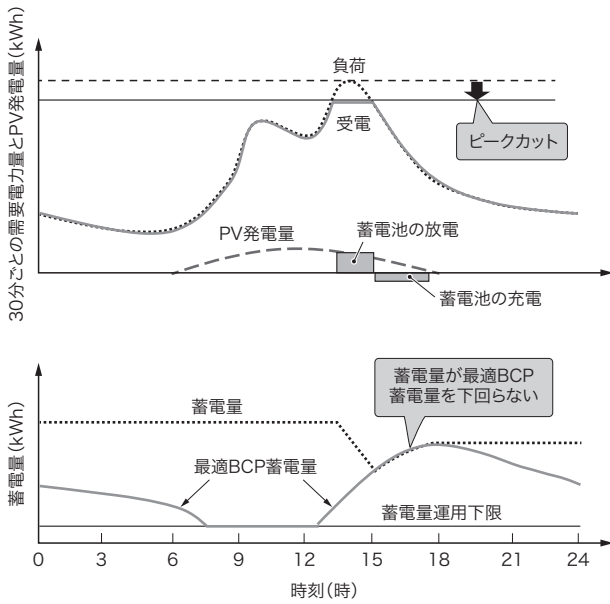


図5. 平常時の電気料金最小化

平常時には、蓄電池を適切に充放電することで、ピーク電力によって決まる基本料金と使用電力量によって決まる従量料金の合計を最小化することが求められる。

Minimization of cost of electricity to users during normal period

て示す。最適BCP蓄電量を使うことにより、受電電力量をより削減できていることが分かる。これは、BCP蓄電量を一定とする場合には、BCP蓄電量が蓄電池の定格容量に近い場合、ピークカットに利用できる蓄電池容量がごく僅かであったのに対し、BCP蓄電量を最適化したことで、全体にBCP蓄電量が低下し、ピークカットなどに使える蓄電池の放電余力が拡大したためである(図6(b))。これにより、最適BCP蓄電量での運用では、ピーク時刻(8時過ぎ)には、蓄電池を30分当たり5kWhの出力上限まで放電させて、適切にピークカットを行えるようになった(図6(c))。

3.2 1年間の運用に対する評価

BCP蓄電量が一定の場合と最適BCP蓄電量の場合について、需要家ごとに国内10地点における1年間の電気料金削減額をシミュレーションした結果の比較を、図7に示す。地点ごとにPV発電量が異なるため、各需要家の電気料金削減額に幅があるが、BCP蓄電量が一定の場合には年間2万円程度であったのに対し、最適BCP蓄電量の場合には5~20万円と、削減額に最大で約10倍の差異が生じることが分かった。

また、図8に示すように、需要家の年間負荷率とピークカット電力(全地点の平均値)には負の相関があり、年間負荷率の低い需要家ほど電気料金削減額が大きくなる傾向が把握できた。

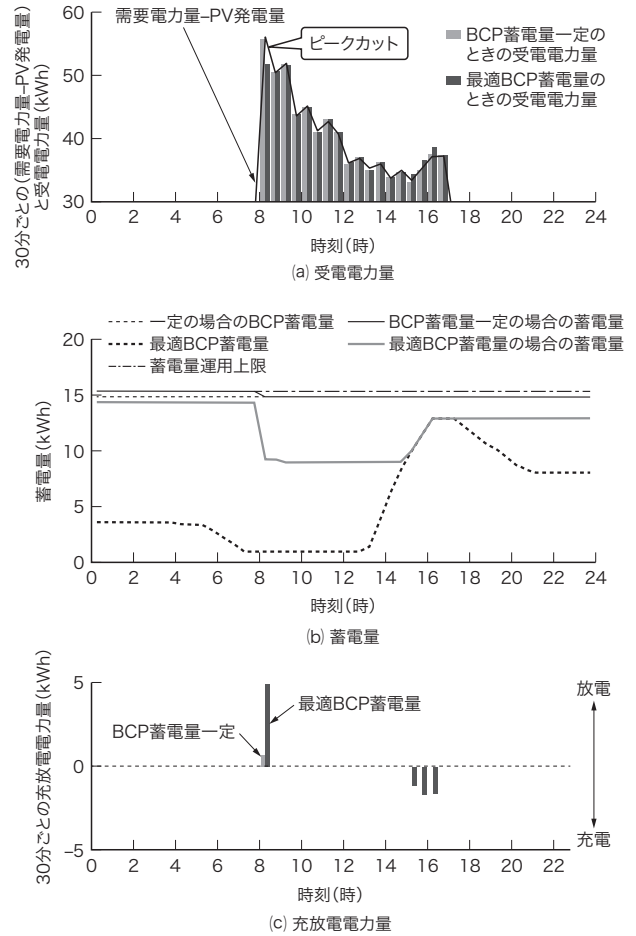
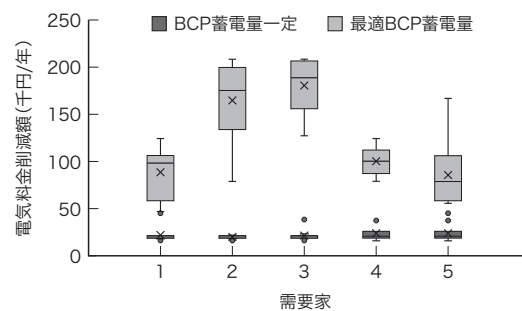


図6. BCP蓄電量一定と最適BCP蓄電量のときの電気料金最小化シミュレーション結果の比較

最適BCP蓄電量を使うことで、BCP蓄電量が一定の場合と比べて、蓄電池の運用範囲が広がり、ピーク電力をより削減できる。

Comparison of results of simulations of electricity cost minimization with conventional constant BCP electric power and optimized BCP electric power



*各需要家のデータの四分位範囲(小さい方から並べて、25~75%までの区間)に相当する範囲を、最適BCP蓄電量としている

図7. 電気料金削減額の比較

BCP蓄電量が一定の場合には、電気料金削減額は年間2万円程度であるのに対し、最適BCP蓄電量の場合には、年間5~20万円の電気料金削減効果があるという結果が得られた。

Comparison of results of electricity cost suppression with constant BCP electric power and optimized BCP electric power

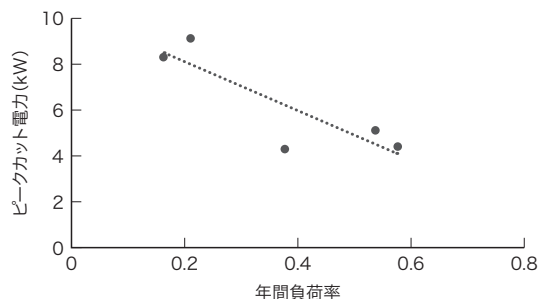


図8. 年間負荷率とピークカット量の関係

需要家のピークカット量は、年間負荷率と負の相関があることが分かった。

Relationship between annual load factor (Average electric power consumption in 30 minutes / Maximum electric power consumption in 30 minutes) and amount of peak load reduction

4. あとがき

需要家側蓄電池の有効利用に向けた、最適BCP蓄電量の逐次計算手法を開発し、蓄電池の有効活用に貢献でき、電気料金も削減できることを確認した。BCP向けに蓄電池を導入している需要家に対し、この技術を、平常時の蓄電池活用のソリューションとして、積極的に提案していく。

文献

- (1) 村井雅彦, 坂本龍朗. 需要家側蓄電池を有効活用するマルチユース充放電計画作成手法. 東芝レビュー, 2019, 74, 1, p.22-25. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2019/01/74_01pdf/a06.pdf>, (参照 2020-03-03).
- (2) 村井雅彦, ほか. “デマンドレスポンスに対応した需要家蓄電池群のマルチユース充放電計画作成手法”. 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会資料分冊1. 名古屋, 2018-09, 電気学会, 2018, PE-18-096, PSE-18-072, p.47-52.



村井 雅彦 MURAI Masahiko

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 システム制御・ネットワーク開発部 電気学会・計測自動制御学会・システム制御情報学会・日本オペレーションズ・リサーチ学会・IEEE 会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



坂田 将典 SAKATA Masanori

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 エネルギー IoT 推進部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.