

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

Charge and Discharge Planning Technique for Multipurpose Utilization of Storage Batteries of Electricity Users

村井 雅彦 MURAI Masahiko 坂本 龍朗 SAKAMOTO Tatsuro

電力市場では、アグリゲーターが需要家側に導入されたエネルギーリソースをバーチャルパワープラント(VPP)やデマンドレスポンス(DR)などのサービスとして提供し、電力システムに活用するエネルギーリソースアグリゲーションビジネス(ERAB)への期待が高まっている。需要家側の蓄電池は柔軟に運用できるので、ERABでの活用が期待されている。

東芝グループは、需要家側蓄電池を有効活用するため、非常時の事業継続計画(BCP)対応や、需要予測に基づいたピークカット・ピークシフトなど個々の需要家向けサービスとともに、需要家全体を対象としたDR対応サービスを提供できる蓄電池群のマルチユース充放電計画作成手法を開発した。DR発動の可能性がある時間帯では、蓄電池群を利用して必要な放電余力を確保することで、DRを含む複合サービスが提供できることをシミュレーションにより確認した。

In electricity markets, the energy resource aggregation business (ERAB) is expected to contribute to the stability of electric power systems through utilization of the energy sources of electricity users controlled by aggregators by means of virtual power plants (VPPs) and demand response (DR) services. In particular, storage batteries with flexible operability are suitable for the ERAB.

To realize effective utilization of the storage batteries of electricity users, the Toshiba Group has developed a storage battery charge and discharge planning technique for multipurpose use. This makes it possible to not only provide individual electricity users with services featuring a business continuity plan (BCP) function in the event of an emergency as well as peak shaving and shifting functions based on demand forecasts, but also to offer optimal services at the time of DR targeting all electricity users. We have conducted simulation tests and confirmed that this technique offers multiple services including DR services by ensuring sufficient surplus power of aggregated storage batteries in a scheduled period of DR.

1. まえがき

地球温暖化の防止を目的とした二酸化炭素排出量の削減や、その他の環境への配慮を背景に、太陽光発電(PV)などの再生可能エネルギーの導入量が増加している。再生可能エネルギーは、天候などによる出力変動が大きく、導入が進むと電力系統の需給調整が難しくなる。これを解決する方策として、DRなどで需要家の受電量を削減して需給調整力を確保することへの期待が高まり、アグリゲーターが多数の需要家を集約して調整・制御する技術が必要になっている⁽¹⁾。

DRの需要調整力としては、空調や照明などの負荷の抑制や、需要家側で停止している発電機の起動などのほか、需要家側蓄電池の活用が有力な候補として挙げられる。蓄電池は、応答が速いことや、需要家の負荷を減らす必要がないなど、電力供給側と需要家の双方にとって好ましい特性を持っており、調整力として活用するメリットは大きい。

一方、需要家に蓄電池を設置する場合、一つの蓄電池を複数の用途に用いるマルチユースでの活用が、蓄電池の価

値を最大化する上で有効である。需要家側蓄電池の用途には、BCP対応や、ピークカット、ピークシフト、一般送配電事業者からのDR、小売事業者によるDRなどが考えられる。

蓄電池のマルチユース運用では、これらの異なる目的を協調させて制御する必要がある。例えば、ピークカットとDRの場合は、どちらも昼間の時間帯に蓄電池を放電することにより行われるため、一方の用途に放電し過ぎると、他方の用途に十分使えないといった問題が生じる。また、アグリゲーターが多数の需要家側蓄電池を制御する場合、BCP対応やピークカット・ピークシフトのような需要家ごとに実行する制御と、DRのような需要家全体に対する制御とを、協調させる必要がある。

東芝グループは、DR発動の可能性がある時間帯にアグリゲーターが蓄電池の余力を必要量確保することでDRへの安定な対応を可能にする、需要家側蓄電池群のマルチユース充放電計画作成手法を開発した^{(2), (3)}。

ここでは、開発した手法の概要を示すとともに、その有効性を、数値シミュレーションにより検証した結果について述べる。

2. アグリゲーターが提供するサービス

DR発動時にアグリゲーターが需要家側蓄電池を制御するシステムの概要を、**図1**に示す。アグリゲーターは、需要家の蓄電池を制御して、DRだけでなく、BCPのときの電力供給や、負荷平準化のためのピークカットなどのサービスを提供する。

マルチユース充放電計画作成手法を開発するにあたり、考慮するアグリゲーターのサービスを、**表1**に示す。アグリゲーターは、これらのサービスを安定に提供できるように、蓄電池の充放電を制御する必要がある。

3. マルチユース充放電計画作成手法

充放電計画は、30分単位で1～数日間分を作成する。全てのサービスに目的関数や制約条件を設定し、各需要家の蓄電池の充放電電力及び蓄電量を変数として最適化することにより、計画を作成する。

蓄電池は十分短い時間で起動・停止や出力変更が可能

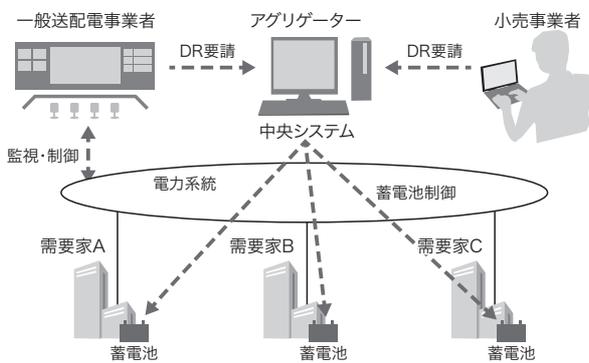


図1. DR発動時のアグリゲーターによる需要家側蓄電池の制御

アグリゲーターは一般送配電事業者や小売事業者からのDR要請を受け、需要家側蓄電池を制御する。

Aggregator to control storage batteries of electricity users at time of DR

表1. 需要家側蓄電池を利用したサービス

Services utilizing storage batteries of electricity users

サービス	内容
BCP対応	非常時の電力供給
ピークカット	ピーク電力を低減することによる電力基本料金の低減
小売事業者からのDR要請	電力需要を電力単価の高い時間帯から低い時間帯へシフトすることによる電力量料金の低減
PVの余剰電力の吸収	PV余剰電力を蓄電池に充電することによる出力抑制（逆潮流）の防止
一般送配電事業者からのDR要請	需要家全体の受電電力をベースライン電力より一定量削減

であると仮定し、変数は全て連続変数とする。また、目的関数及び制約条件はいずれも線形の範囲で表現し、線形計画問題として定式化して解を求める。

実際には、DRが発動されるかどうかは直前まで分からないため、DRがいつ発動されても対応できるように、DR発動準備計画をまず作成し、DRが発動されたら、DR発動時計画を作成する。

3.1 各サービスの定式化

表1の五つのサービスを目的関数及び制約条件として、**表2**のように定式化した。BCP対応は、蓄電池の蓄電量の下限制約として、ピークカットやPVの余剰電力の吸収は、それぞれ受電電力の上限制約や非負制約（逆潮流の禁止制約）として定式化した。また、小売事業者からのDRは、目的関数において電力コストの最小化として定式化した。一般送配電事業者からのDRは、前述のとおり、DR発動準備計画とDR発動時計画で2通りの定式化を行い、適宜切り替えて使用した。ここで、DR発動準備計画では、DRの発動に備えて、蓄電池の放電余力を必要量確保する制約とした。これについて、3.2節で説明する。

3.2 サービス間の協調方法

複数のサービスを協調させて提供するため、DR発動準備計画で確保する放電余力は、ほかのサービスで必要となる放電量も含めるようにした。

一例として、ピークカットとDRを1件の需要家に行う場合について、**図2**を用いて説明する。BCP対応電力量、ピークカット電力量、及びDR電力量を加えた蓄電量を保持していないと、DRが発動された場合に対応できない。そこで、DR発動に確実に対応するため、この蓄電量をDR可能時間帯の全てで、確保することを制約とした。

表2. 各サービスの定式化方法

Objective function and constraints of each service

サービス	分類	定式化の方法
BCP対応	制約条件	蓄電量（残エネルギー量）として常時一定量を確保
ピークカット	制約条件	受電電力の上限値を制限
小売事業者からのDR要請	目的関数	電力コストの最小化
PVの余剰電力の吸収	制約条件	受電電力 ≥ 0 （逆潮流の禁止）
一般送配電事業者からのDR要請	制約条件	【DR発動準備】全蓄電池の放電余力 ^{*1} の合計 \geq 受電電力削減量（継続時間を考慮） ^{*2} 【DR発動時】全需要家の受電電力合計 \leq 電力需要合計 - DR削減量

*1 放電余力には、出力（kW）とエネルギー（kWh）をともに考慮

*2 DRだけでなくピークカットなど、ほかのサービスへの提供分を含む

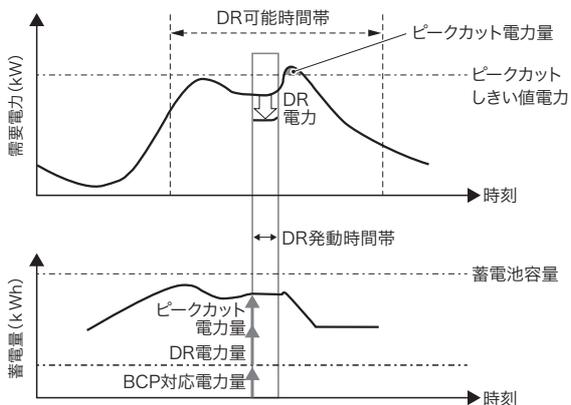


図2. ピークカットとDRの協調に必要な蓄電量

ピークカットとDRを同時に実行可能にするためには、DR開始時点の蓄電量として、DR量とピークカット量の合計分が必要になる。

Amounts of charge necessary for simultaneous control of peak shaving and DR

4. 充放電計画作成のシミュレーション

3章で述べた手法を用いて、3件の需要家を持つアグリゲーターを想定し、2日間の充放電計画作成するシミュレーションを実施した。一般社団法人 環境共創イニシアチブの「平成23年度エネルギー管理システム導入促進事業費補助金 (BEMS)」の実績報告データの中から、東日本地域の温暖地にある事務所ビルのうち、契約電力が100 kW規模の需要家3件の需要電力量データを用いた。需要電力量が最大の日のデータを、2日間繰り返して使用した。

シミュレーションに使用した条件を表3に、30分ごとの需要電力量データを図3に示す。ここでは、ピークカットとDRに対する有効性を検証するため、PVは設置しないものとした。また、ピークカットに対する蓄電池制御の効果を明確にするため、ピークカットは需要家Cだけに対して行った。蓄電池は3需要家とも同一の蓄電池を設置する。DR可能時間帯は9～20時、DR発動時間帯は13～14時の1時間とした。

DR可能時間帯では、DR電力量12 kWhと3需要家分のBCP対応電力量(3.9 kWh×3)の合計である約24 kWhを、蓄電量として確保しておく必要がある。また、ピークカットの直前には、ピークカット電力量分の5 kWhを追加で確保しなければならない。

図4にDR発動準備計画のシミュレーション結果を示す。図4(a)は需要家ごとの蓄電池の充放電電力量と蓄電量であり、DR可能時間帯である9～20時において、合計蓄電量

表3. シミュレーションに使用したデータ

Past actual operation data for simulation

項目		需要家A	需要家B	需要家C
需要	ピーク電力量* (kWh)	48	51	44.5
	ピークカットしきい値電力量* (kWh)	-	-	42
蓄電池	定格容量 (kWh)	9.9	9.9	9.9
	定格出力 (kW)	10	10	10
	充放電効率 (%)	95	95	95
	BCP対応電力量 (kWh)	3.9	3.9	3.9
DR	DR可能時間帯 (時:分)	9:00～20:00		
	DR発動時間帯 (時:分)	13:00～14:00		
	DR電力量 (kWh)	12		

*ピーク電力量、ピークカットしきい値電力量は、それぞれピーク電力(kW)、ピークカットしきい値電力(kW)を30分継続したときの電力量

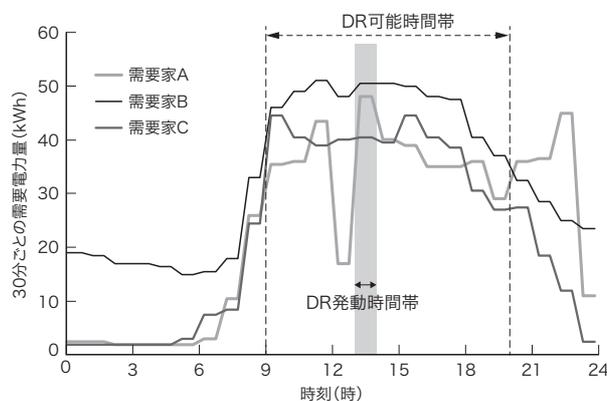


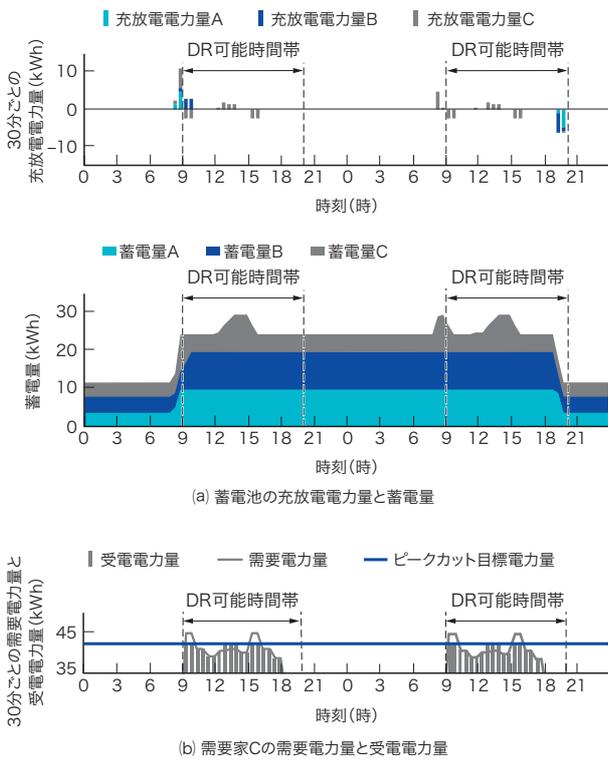
図3. 需要データ

パターンの異なる3需要家の需要電力量データを用いて、シミュレーションを行った。

Data showing changes in electricity demand by user

が、DRに対応可能な量を超えていることが分かる。12～14時に需要家Cの蓄電量が増えているのは、15～16時のピークカットに備えて充電したためである。また、図4(b)は需要家Cの需要電力量と受電電力量であり、ピークカットが実施されていることが分かる。

図5にDR発動時計画のシミュレーション結果を示す。図5(a)に示すとおり、DRが発動された1日目の13～14時に、6 kWhの放電を2回行い、合計12 kWhのDRに対応していることが分かる。また、需要家A、Bの蓄電池が主に放電し、需要家Cの蓄電池は、すぐ後の15～16時のピークカットに備えてほとんど放電していない。図5(b)に示すとおり、需要家Cの蓄電池は、DRの後、需要電力量がピークカット目標値を下回った際に一旦蓄電池に充電を行い、その後ピークカットのため放電を行っており、蓄電池を有効に



(a) 蓄電池の充放電電力量と蓄電量

(a) 蓄電池の充放電電力量と蓄電量

(b) 需要家Cの需要電力量と受電電力量

(b) 需要家Cの需要電力量と受電電力量

図4. DR発動準備計画作成のシミュレーション結果

DRが発動されるまでは、いつ発動されても対応可能な計画を作成しておく。
Results of simulations of charge and discharge planning schedules in preparation for DR

図5. DR発動時計画作成のシミュレーション結果

DRが発動されたら、需要電力量からDR量を削減するような蓄電池の充放電計画を作成する。
Results of simulations of charge and discharge planning schedules at time of DR

活用している様子が分かる。DR発動時間帯に、ピークカットに備えて蓄電池に蓄えた蓄電量は、DRには使用できないため、ピークカットを行わない場合に比べて、DRに対応できる電力量は減少する点には注意が必要である。

5. あとがき

需要家側蓄電池の有効活用に向けた、マルチユース充放電計画作成手法について述べた。この技術は、まず横浜市によるVPP構築事業で、ピークカットとDRの協調から適用をはじめ、順次適用範囲を拡大していく。

需要家側蓄電池は、BCP対応や、ピークカット、ピークシフト、一般送配電事業者からのDR、小売事業者によるDRなど多様な活用方法が期待されており、その中でマルチユースを実現する技術は、付加価値最大化の鍵として更に開発を進め、活用を進めていく。

文献

- (1) 資源エネルギー庁. エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス

- ハンドブック. 経済産業省. 14p. <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/files/erab_handbook.pdf>, (参照2018-10-09).
- (2) Murai, M. et al. "Optimal Scheduling of Aggregated Demand-side Multipurpose Batteries for Demand Response". Grand Renewable Energy 2018 Proceedings. Yokohama, 2018-06, 2018, O-En-4-6.
- (3) 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". 平成30年 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OR学会・IEEE 会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



坂本 龍朗 SAKAMOTO Tatsuro
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーアグリゲーション統括部
エネルギーIoT推進部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.