

ネガワットアグリゲーションにおける需要家の組み合わせを最適化するポートフォリオ管理技術

Portfolio Management Technology to Select Optimal Combination of Electricity Users for Negawatt Aggregation Services

草清 和明 KUSAKIYO Kazuaki 大槻 知史 OTSUKI Tomoshi 松澤 茂雄 MATSUZAWA Shigeo

近年、再生可能エネルギーの導入拡大や、気候の変化による電力の需給ひっ迫が起こり、電力供給の安定運用に影響が出ている。我が国では、電力会社の要請に応じて、工場やビルなどの需要家が電力負荷を削減するデマンドレスポンス(DR)が、2017年に導入された。ネガワット(削減できる電力)は、季節や、時間帯、設備の稼働状況などで変化するため、需要家からネガワットを集めて電力会社に提供するネガワットアグリゲーションでは、状況に応じて複数の需要家を適切に組み合わせる必要がある。

東芝グループは、需要家のネガワットを予測することで、最適な組み合わせを選び、安定したネガワット提供を実現する需要家ポートフォリオ管理技術を開発した。過去のDRの実績データを基にシミュレーションを行い、この技術を用いることでより多くのネガワットが得られることを確認した。

The tightening of the electricity supply and demand has become a matter of serious concern in recent years due to power fluctuations of renewable energy systems such as solar photovoltaic (PV) power systems and climate changes such as intense heat of summer. In this context, negawatt aggregation services have been introduced in Japan to balance electricity supply and demand by trading the electricity shaved by electricity users, or so-called negawatts, in response to the requirements of electric power companies. In order to maximize the effect of negawatt trading, it is essential for aggregators to select the optimal combination of multiple electricity users taking into consideration seasonal and daily variations and the operating conditions of their equipment.

The Toshiba Group has developed a portfolio management technology to select the optimal combination among a plurality of electricity users by precisely grasping the amount of negawatt power of individual users. We have evaluated the effect of our technology by using data that we have accumulated from past demand response (DR) events and confirmed that this technology achieves an increase in the amount of negawatt power.

1. まえがき

電力会社からの要請に応じ、需要家が電力負荷を調整するDRの実運用が、2017年から開始された。電力使用を抑えることで得られるネガワットは、発電された電力と同じように、市場で取り引きされたり、電力系統の需給バランスを維持するための調整力として活用されたりしている。

DRを遂行する上で重要な役割を果たすのが、ネガワットアグリゲーションを実行するアグリゲーターである。大規模需要家であるビルや工場では、大きなネガワット提供の可能性のあるものの、需要家個別の状況によって提供可能な時間やネガワット量が大きく異なる。一方、ネガワットは需給バランスを維持するための調整力として活用されるため、常に安定したネガワット量を集めることが求められる。そのため、アグリゲーターは、各需要家の調整力に応じて、需要

家の中から最適な組み合わせを選ぶことで、安定したネガワット提供を行う役割を担っている。

東芝グループは、「横浜スマートシティプロジェクト」に参画してDRの実証を2012年度から開始し、アグリゲーターとして必要な技術の開発を続けている。特に、需要家の調整力に応じて、最適な組み合わせを選択する需要家ポートフォリオ管理技術の開発に取り組んできた⁽¹⁾。2017年度からは、東京電力エナジーパートナー(株)(以下、東電EPと略記)と協業で需要家にDRサービスを提供し、ネガワットアグリゲーションを実施して、一般送配電事業者が募集する厳気象対応調整力(電源I')に対応している(図1)。アグリゲーターは、一般送配電事業者や需要家と、それぞれ削減余力に基づくDR契約を締結し、一般送配電事業者からの要請に応じ、需要家からネガワットを集めて一般送配電事業者に提供する。需要家は、契約しているネガワット(kW)

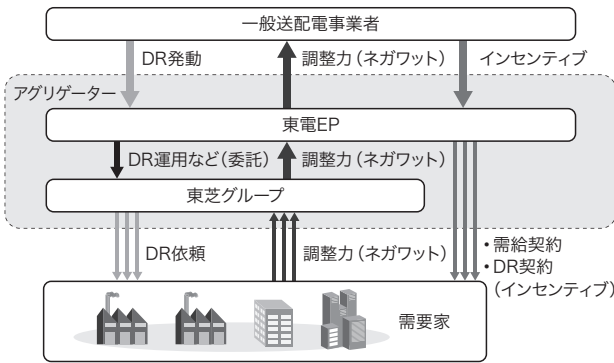


図1. DRサービス事業のスキーム

東電EPとの協業により、需要家にDRサービスを提供し、ネガワットアグリゲーションを実施して需要家から集めたネガワットを、一般送配電事業者に提供する。

Scheme of negawatt aggregation service

及び一般送配電事業者からの要請に応じて提供したネガワット量 (kWh) の実績に対する報酬を得ることができる。

ここでは、ネガワットアグリゲーションにおいて、安定してネガワットを集めるための、需要家ポートフォリオ管理技術について述べる。

2. ネガワットアグリゲーションの概要

2.1 ネガワットの仕組み

図2にネガワット概念図を示す。ネガワットは、DRをしなかった場合に推定される、使用電力であるベースラインからの削減電力として定義される。ベースラインは推定値であり、その推定方法には公平性や透明性が求められることから、資源エネルギー庁の「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネスに関するガイドライン」^[2]に、標準的な計算手法が定められている。ベースラインは需要家ごとに算出され、これを基に各需要家のネガワットが算出される。ア

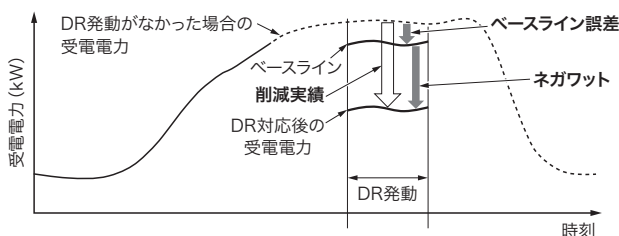


図2. ネガワットの定義

ネガワットは、推定値であるベースラインからの削減電力と定義され、需要家の削減実績のばらつきとベースラインの推定誤差の影響を受ける。

Definition of negawatt power

グリゲーターは、各需要家のネガワットを束ねて、電力会社に提供する。

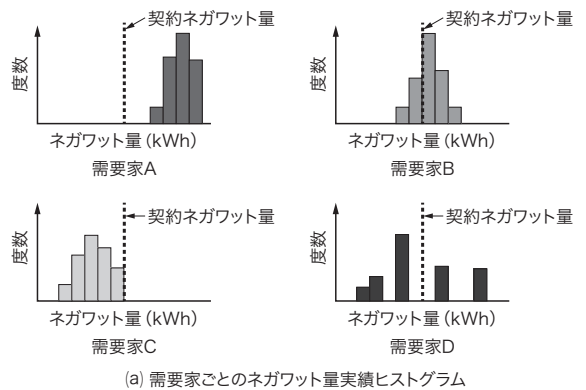
需要家からは、常に同じネガワット量が提供されるわけではなく、発動の度に变化する。その要因は主に二つあり、ベースラインの誤差と、需要家による削減実績のばらつきである。

ベースラインは、過去の使用電力に基づいて算出される推定値であるため、誤差を含んでいる。日頃の使用電力にばらつきがあると、その分、誤差も大きくなる。

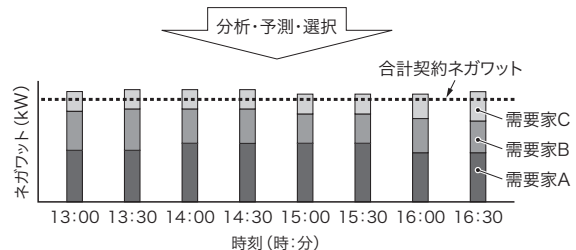
需要家が使用電力を削減する手段は、生産設備の停止・出力調節や、空調・照明の調節、自家用発電機の稼働など様々あるが、削減できる電力は、需要家の状況や天候などによって変化するため、ばらつきが大きい。例えば、生産がひっ迫しているために停止できる生産設備が限られる場合や、猛暑・厳寒で空調を調整できない場合、調整できても同じ削減効果が得られない場合などがある。

2.2 需要家ポートフォリオ管理技術

東芝グループは、ネガワットアグリゲーションの確実性を高めるために、需要家の電力使用状況をモニタリングし、それを分析することで、需要家の最適な組み合わせを選択す



(a) 需要家ごとのネガワット量実績ヒストグラム



(b) 需要家ポートフォリオを考慮して一部の需要家を選択した結果

図3. 需要家のポートフォリオ管理

過去の実績などを分析することで、需要家ごとのネガワットを予測し、需要家の最適な組み合わせを決定する。

Portfolio management utilizing data of individual electricity users

る需要家ポートフォリオ管理技術を開発した(図3)。2.1節で述べたネガワットが変動する二つの要因をモデル化することで、季節・時間帯・天候・需要家の行動などを考慮した、ネガワットの予測を可能にした。この技術を用いた需要家の選択手法について、以下に示す。

ステップ1 各需要家のネガワット予測値を算出

ステップ2 各需要家をネガワット予測値に基づき優先順位付け

ステップ3 目標のネガワットになるように、需要家選択の最適な組み合わせをアグリゲーターが決定

この技術では、日々のDR発動に備え、常に最新のデータを反映している。

3. 2017年度及び2018年度のDR発動結果

2017年度にDRが導入され、一般送配電事業者により公募で調達された調整力電源の実運用が始まった。ネガワットは、電源I'として、主に厳気象(猛暑及び厳寒)などによる需給ひっ迫時に活用されている。2018年度のネガワットは、電源I'落札量132.2万kWのうち96.1万kWを占めている⁽³⁾。

東芝グループは、東電EPと協業し、アグリゲーターとして2017年度からDR運用サービスを開始した。東京電力パワーグリッド(株)の管内で、2017年度は1月と2月に合計11回、2018年度上半期(4～9月)は8月に合計4回のDR発動があり、それぞれに対応した。

図4に、2017年度及び2018年度上半期の、東芝グループが東電EPから受託している範囲内における、アグリゲーター削減目標達成率の平均値と標準偏差を示す。アグリゲーター削減目標達成率は、式(1)で算出される。

$$\begin{aligned} & \text{アグリゲーター削減目標達成率}(\%) \\ &= \frac{\text{全需要家の合計実績ネガワット}}{\text{アグリゲーター削減目標値}} \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

2017年度及び2018年度上半期の平均達成率はそれぞれ約80%、約114%となっている。また、標準偏差はそれぞれ約69%、約34%であり、2018年度上半期の方が、平均達成率、標準偏差ともに良い結果が得られた。この要因としては、2017年度は、海外でも事例のない連日かつ1日2回のDR発動が実施されて対応できない需要家が増えたこと、需要家数が2017年度の9件から2018年度の32件に増加し、ならし効果が現れたことなどが挙げられる。

図5に、各需要家の需要家削減目標達成率の平均値と標準偏差を示す。需要家削減目標達成率は、式(2)で算出

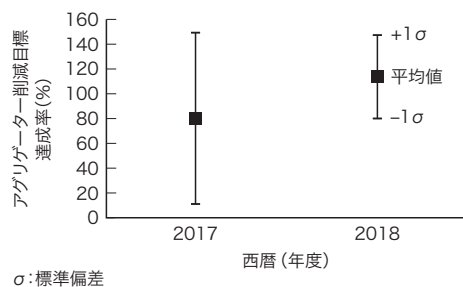


図4. アグリゲーター削減目標達成率

2017年度は連日のDR発動が実施されたことなどにより、アグリゲーターの削減目標達成率は平均約80%で、標準偏差も非常に大きかった。一方、2018年度上半期は比較的安定した結果が得られた。

Results of demonstration tests in FY 2017 and 2018 showing rates of achievement of power reduction targets imposed on aggregator

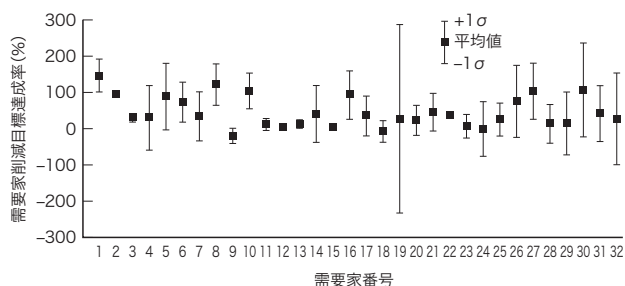


図5. 需要家削減目標達成率の比較

同じ需要家でも毎回の結果にばらつきがあり、需要家によって、削減実績の傾向が大きく異なる。

Results of simulations of rates of achievement of power reduction targets imposed on individual electricity users

される。

$$\begin{aligned} & \text{需要家削減} \\ & \text{目標達成率}(\%) = \frac{\text{実績ネガワット}}{\text{契約ネガワット}} \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

需要家削減目標達成率は、需要家間でばらついており、同じ需要家でも毎回の結果にばらつきがあることが分かる。また、需要家によっては使用電力がベースラインを上回る(需要家削減目標達成率がマイナスになる)場合もある。

4. 需要家ポートフォリオ管理技術の評価

開発した需要家ポートフォリオ管理技術を用いて、3章で示した2017年度及び2018年度上半期のDR発動結果について、需要家の優先順位付けを行って需要家を選択した場合に、アグリゲーターとしての合計ネガワットがどのように変化するかを評価した。

以下の三つの手法で需要家に優先順位を付けて、それぞ

れ需要家を選択した場合のネガワットを比較した。

手法① 契約ネガワットの大きい順に優先順位付けする。

手法② ネガワット予測値の大きい順に優先順位付けする
(需要家ポートフォリオ管理技術)。

手法③ 実績ネガワットの大きい順に優先順位付けする。

手法①で優先順位付けに用いる契約ネガワットは、本来は需要家が削減すべき電力を表し、実績ネガワットとは乖離(かいり)がある。しかし、削減実績がない場合に、ネガワットを予測するときの参考にするため、比較対象として採用した。手法②は、開発した需要家ポートフォリオ管理技術を用いた手法である。手法③は、予測時点では分からない実績ネガワットに基づいて優先順位を付けるため、実際には使用できない手法であるが、正解データ(理論限界)として示した。

図6は、2018年2月22日17:00～20:00のDR発動時に、手法①～③で需要家を優先順位付けして選択した場合の合計実績ネガワットを比較した結果である。横軸は選択した需要家の数を、縦軸は選択した需要家の合計実績ネガワットを示す。

各手法で需要家の優先順位が異なるため、合計実績ネガワットも異なるが、全需要家を選択した場合は、どの手法も100となる。グラフの曲線が上方にあるほど順位付けが適切であることを表している。

図6の例では、手法②が手法①より上方にあり、常に合計実績ネガワットが多いことを示している。また、手法②では1～58位までの需要家を選択した場合に、合計実績ネガワットが最大になると予測された。これは、全需要家を選

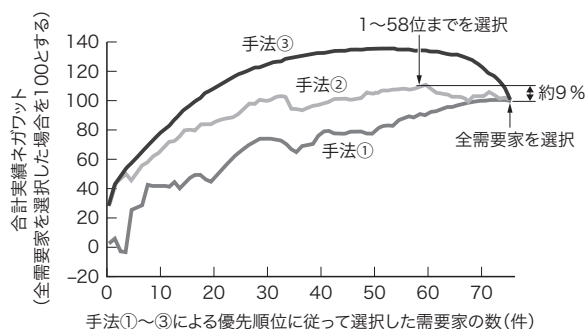


図6. 需要家の選択手法の違いによる合計実績ネガワットの比較

需要家ポートフォリオ管理技術を用い、各需要家のネガワットを予測して優先順位を付けて需要家を選択することで、全需要家を選択する場合に比べ、合計実績ネガワットが約9%多く得られる。

Relationship between number of electricity users and proportion of total amount of negawatt power

択した場合よりも約9%多く、需要家ポートフォリオ管理技術によるネガワット予測の効果が確認できた。

同様に、全てのDR実施日に対してシミュレーションを行い、需要家ポートフォリオ管理技術を用いた手法による合計実績ネガワットを評価した。その結果、2017年度と2018年度上半期のDR発動では、需要家ポートフォリオ管理技術を用いて需要家を選択した場合、全需要家を選択する場合よりも合計実績ネガワットが平均約9%多く得られることが分かった。

5. あとがき

ネガワットアグリゲーションを安定に実施するための需要家ポートフォリオ管理技術を開発し、その効果を確認した。

今後も、需要家のネガワット予測精度を向上させるために、ネガワット変動要因のモデルを最適化するなどの改良を行い、アグリゲーターとして、より安定したネガワットの提供を実現していく。

文献

- (1) Honda, K. et al. Experiences of demand response in Yokohama demonstration project. 24th International Conference on Electricity Distribution (CIRED2017). CIRED-Open Access Proceedings Journal. 2017, 2017, 1, p.1759-1762. <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/oap-cired.2017.0789>, (accessed 2018-10-22).
- (2) 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・ビジネスに関するガイドライン. 経済産業省, 2017, 29p. <http://www.meti.go.jp/press/2017/11/20171129001/20171129001-1.pdf>, (accessed 2018-10-22).
- (3) 一般送配電事業者による調整力の公募調達結果等について. 電力・ガス取引監視等委員会 第26回 制度設計専門会合, 経済産業省, 2018, 資料4, 17p. <http://www.emsc.meti.go.jp/activity/emsc_system/pdf/026_04_00.pdf>, (accessed 2018-10-22).



草清 和明 KUSAKIYO Kazuaki
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.



大槻 知史 OTSUKI Tomoshi, Ph.D.
研究開発本部 研究開発センター
システム技術ラボラトリー 博士(情報理工学)
日本オペレーションズ・リサーチ学会会員
System Engineering Lab.



松澤 茂雄 MATSUZAWA Shigeo
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.