

遮断可能負荷を考慮した再生可能エネルギーシステムにおける設備容量の検討

桃原翔太* 千住智信**
(*琉球大学大学院 **琉球大学)

1 はじめに

我が国には、独立した電力システムを持つ離島が多数存在しているが、発電単価が高いことから再生可能エネルギーによる自給自足が求められている。しかしながら、再生可能エネルギー発電設備 (RES) である太陽光発電設備 (PV) や風力発電設備 (WG) の発電出力は、予測が非常に困難であるため、蓄電池設備 (BESS) の導入が進められている。BESS は、RES の出力変動を充放電によって抑制することができるため、非常に有効な設備である [1]。

また、電気事業者が需要家の消費電力を制御するデマンドレスポンス (DR) プログラムが注目されている [2]。DR プログラムは、電気料金ベースとインセンティブベースに大きく分類される [3]。本研究では、電気料金ベースのリアルタイムプライシング (RTP)、インセンティブベースの遮断可能負荷 (IL) を考慮する。RTP は、電力需給状況に応じて電気料金を変化させることにより、需要家に消費電力を増加または節約するように促す手法のことである。一方で IL は、電力需給の切迫時に、消費電力を低減あるいは遮断することに予め同意する需要家のことである。適切な DR を行い、需要家と協力することにより、RES の発電電力変動に対応することができる。

そこで本研究では、RES の導入率 100% の離島電力システムにおける PV、WG および BESS のそれぞれの設備容量の最適化手法を示す。また、RTP 及び IL を考慮したシステムにおいて設備容量を検討することにより、DR の有効性を示す。

2 電力システムモデルと評価指標

本研究では、図 1 に示されるように、ユニット化された PV、WG および BESS の設置台数が変動する電力システムモデルを想定する。ここで、PV、WG の設置台数が増加すると発電出力も比例して増加すると想定する。

● 評価指標

本研究において、電力システムの設備構成は、設備コストおよび電力量不足確率 (LOEP) を用いて評価される [4][5]。これらの算出式をそれぞれ (1)、(2) 式に示す。

$$EC = \sum_{npv=1}^{NPV} \sum_{nwg=1}^{NWG} \sum_{nbs=1}^{NB} (PVC_{npv} + WGC_{nwg} + BC_{nbs}) \quad (1)$$

$$LOEP = \frac{\sum_{t=1}^T (P_L(t) - P_{sp}(t))}{\sum_{t=1}^T P_L(t)}, \quad P_L(t) > P_{sp}(t) \quad (2)$$

ここで、 EC :総設備コスト [円]、 PVC_{npv} : npv 台目の PV 設備コスト [円]、 WGC_{nwg} : nwg 台目の WG 設備コスト [円]、 BC_{nbs} : nbs 台目の BESS 設備コスト [円]、 $LOEP$:LOEP[%]、 $P_L(t)$:時刻 t における総負荷電力 [kW]、 $P_{sp}(t)$:時刻 t における供給電力 [kW] をそれぞれ示している。

3 デマンドレスポンス (DR)

本研究では、2 種類の DR プログラムを考慮しており、本節では、RTP における最適電力価格および IL に要求される最適な負荷削減量の決定手法を示す。ここで IL の契約形態が全体 10% の場合、RTP は 90% の負荷に適用されるものとしている。

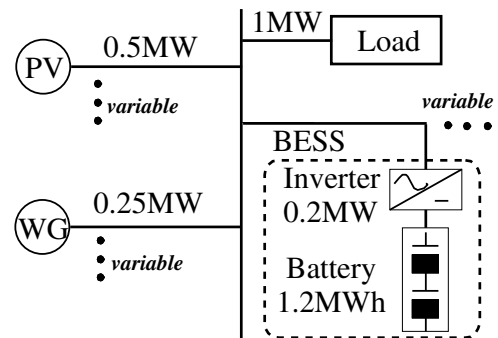


図 1: 電力システムモデル

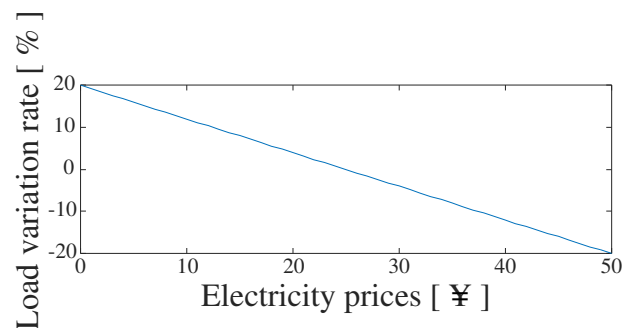


図 2: DR モデル (RTP)

3.1 リアルタイムプライシング (RTP)

電気事業者によって決定された電力価格に対する需要家の電力応答を図 2 および (3) 式のように模擬した。本モデルにより、電力価格が高い場合は負荷電力を減少させ、電力価格が低い場合は負荷電力を増加させるように模擬している。

$$lvr(t) = -a \cdot ep(t) + b \quad (3)$$

$$\Delta P_{RTP}(t) = lvr(t) \cdot P_{RTP}(t) \quad (4)$$

$$P_{RTPm}(t) = P_{RTP}(t) + \Delta P_{RTP}(t) \quad (5)$$

ここで、 $lvr(t)$:負荷変化率、 P_{RTP} :RTP が適用される負荷電力、 $\Delta P_{RTP}(t)$:電力応答量 [kW]、 $P_{RTPm}(t)$:RTP 後の負荷電力をそれぞれ示しており、 a 、 b は、関数調整用パラメータである。また、 $ep(t)$ は時刻 t における電力価格であり、LOEP の最小化を目的関数とする最適化問題を解くことにより決定している。RTP に関する制約条件として、次の項目を考慮に入れた。

- (i) 電力価格上下限制約
- (ii) 電力価格上昇率制約
- (iii) 負荷変動制約

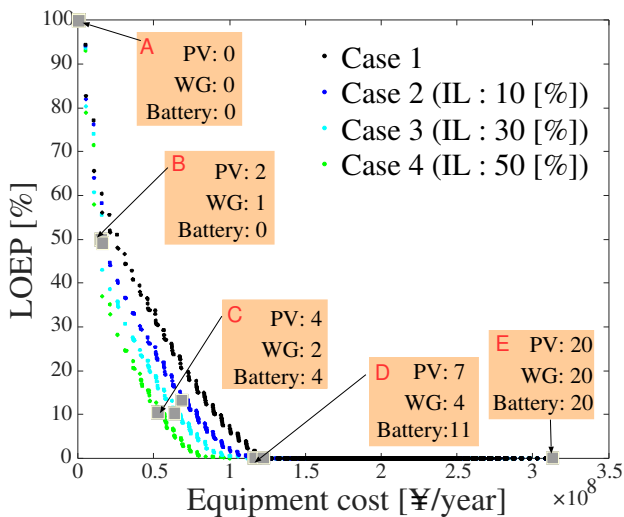


図 3: 設備コストに対する LOEP

表 1: シミュレーション結果の比較

	ケース 1	ケース 2	ケース 4
個体記号	C	C	C
RTP	なし	あり	あり
IL	なし	あり (10%)	あり (50%)
PV(500kW/台)	5	5	4
WG(250kW/台)	3	2	2
BESS (200kW/1200kWh)/台)	7	6	4
合計設置台数 (台)	15	13	10
負荷電力量 (万 kWh)	13.12	12.66	10.53
余剰電力量 (万 kWh)	2.19	1.64	0.96
設備コスト (億円/年)	0.79	0.69	0.53
LOEP (%)	15.10	13.33	10.47

3.2 遮断可能負荷 (IL)

IL に要求される最適な負荷削減量は, RTP による電力応答後の負荷を考慮し, LOEP が最小化されるように決定される. IL に関する制約条件として次の項目を考慮した.

- 負荷変動制約
- 負荷削減可能量制約

4 シミュレーション結果

本研究では, PV, WG および BESS の設置台数をそれぞれ 1~20 台の間で変化させることによって設備容量の評価を行った. PV, WG および BESS の設置台数のみを検討するケース 1, ケース 1 に 2 種類の DR プログラム (IL:10%, IL:30%, IL:50%) をそれぞれ考慮したケース 2~ケース 4 のシミュレーション結果を図 3 に示す. ここでは, 図 3 における個体 C について考察する. 個体 C は, 原点からの距離が最小となる個体である.

図 3 より, 設備コストと LOEP はトレードオフの関係にあることがわかる. また, 2 種類の DR プログラムを考慮したケース 2~ケース 4 は, ケース 1 と比較して, LOEP と設備コストの原点方向にシフトする傾向があり, IL の割合が高いほど, その効果が大きいことが確認できる. これによって, 電力需要を満たす LOEP が 0 となる個体数が増加する.

各ケースにおける個体 C のシミュレーション結果に関するデータを表 1 に示す. 表 1 の各ケースを比較すると, DR プログラムを考慮したケース 2 およびケース 4 における設置台数が減少し, 設備コストが低減されていることが確認できる. また, IL の割合が増加するほど, 設備コストおよび LOEP が低減できることが確認できる. これは, IL の割合増加によって, 負荷需要の削減可能量が増加したた

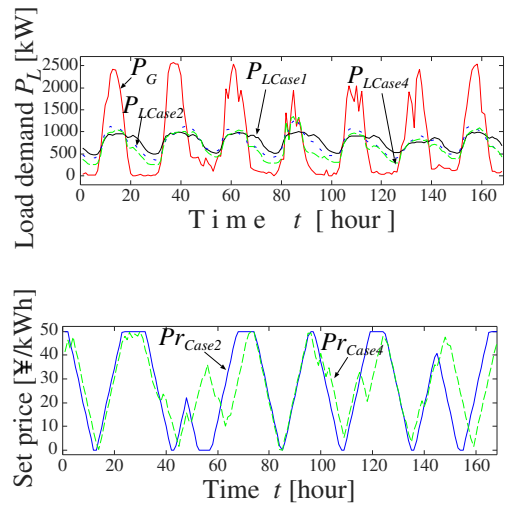


図 4: 運用結果

めである.

図 4 は, PV5 台, WG3 台, BESS7 台の電力システムにおける運用結果であり, 総発電量, 各ケースにおける総負荷電力および設定電力価格を示している. 昼間は, PV の発電状況に応じて余剰電力が発生するため, 電力価格が低下している. また, ケース 4 では IL が 50%含まれており, 負荷電力は, RES の発電電力変動に応じて適切に変化することが確認できる.

以上の結果より, 本研究で提案した設備容量の検討方法では, 需要家の契約形態に応じた運用の最適化と最適な設備容量を決定できる.

5 まとめ

本研究では, RES の導入率 100%の小規模電力システムを想定し, 各組み合わせに対する設備コストおよび LOEP を算出することで設備容量の検討を行った. また, 2 種類のデマンドレスポンスを考慮し, RES の発電電力の変動に対応して, 負荷需要を制御(運用の最適化)することにより, 設備コストおよび LOEP の低減を達成した. また, IL の割合が高いほどその効果が大きいことを示した.

参考文献

- [1] 比嘉翔太, 田原隼, 千住智信:「電力需給に関する予測誤差率の増加を考慮した複数地域電力システムの最適運用」, 平成 26 年度 電気学会九州支部沖縄支所講演会論文集, OKI-2014-40, pp. 148-153, Nov. 2014.
- [2] 享保亮祐, 下地翔, 田原隼, 千住智信:「リアルタイム電力取引市場を考慮した動的発電機起動停止法」, 電気学会研究資料 電力技術・電力システム技術合同研究会, PE-14-136/PSE-14-136, Sep. 2014.
- [3] H.A. Aalami, M. Parsa Moghaddam, and G.R. Yousefi: "Demand response modeling considering Interruptible/Curtailable loads and capacity market programs", Applied Energy, vol. 87, pp. 243-250 (2010).
- [4] 下地翔, 田原隼, 與那篤史, 千住智信:「独立型スマートハウスにおける設備容量の多目的最適化」, 平成 27 年度 電気学会九州支部支所講演会論文集, OKI-2015-44, pp. 102-109, Dec. 2015.
- [5] S. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche: "Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica island", Energy Policy, vol. 36, Iss. 2, pp. 743-754 (2008).