

## 日射量変動およびデマンドレスポンスを考慮した系統用蓄電池容量の検討

古梶 雅裕\* 千住 智信\*\*  
(\*琉球大学大学院, \*\*琉球大学)

## 1 まえがき

近年、再生可能エネルギー固定価格買取制度により再生可能エネルギー発電設備(特に太陽光発電設備)が大量導入されている。太陽光発電設備(PV)の出力は日射量の変動に大きく左右される電源であり、系統の需給調整に大きく影響を与える。この対策として負荷電力の調整(デマンドレスポンス)や大容量の蓄電池が要求される。しかし、日射量予測誤差とデマンドレスポンスを考慮した発電機起動停止計画における蓄電池容量に関する研究はこれまでほとんど検討されていない。そこで、本論文ではPVの比率を変化した場合における日射量予測誤差を考慮した発電機起動停止計画に基づくデマンドレスポンスや蓄電池の最適容量の検討を行う。

## 2 問題の定式化

## 2.1 目的関数

目的関数は(1)式の各PV出力のシナリオに対する運用コストの期待値を最小化することである。

$$TC = \sum_{s=0}^S p^s \left[ \sum_{i=1}^{NG} \sum_{t=1}^{24} F_i(P_{i,t}^s) X_{i,t} + \sum_{t=1}^{24} (C_{ens} * Ens_t^s) \right] + \sum_{i=1}^{NG} \sum_{t=1}^{24} SUC_{i,t} \quad (1)$$

ただし、 $p^s$ :シナリオ  $s$  の発生確率、 $F_i(\cdot)$ :発電機  $i$  の燃料費、 $P_{i,t}^s$ :シナリオ  $s$  の時刻  $t$  における発電機  $i$  の出力、 $X_{i,t}$ :時刻  $t$  における発電機  $i$  の状態(0/1)、 $C_{ens}$ :電力不足ペナルティ料金、 $Ens_t^s$ :シナリオ  $s$  の時刻  $t$  における不足電力、 $SUC_{i,t}$ :時刻  $t$  における発電機  $i$  の起動費、 $S$ :シナリオ数(0はベースケース)、 $NG$ :発電機台数。

## 2.2 制約条件

(i) 電力需給バランス制約, (ii) 発電機出力制約, (iii) 発電機出力変化率制約, (iv) 最小連続停止・運転時間制約, (v) 蓄電池充放電制約, (vi) 蓄電池SOC制約, (vii) 線路潮流制約,

(viii) 日負荷率制約

$$\text{日負荷率} = \frac{1 \text{ 日における平均電力}}{1 \text{ 日の最大電力}} \geq 0.85 \quad (2)$$

(ix) デマンドレスポンス制約

$$|L_{j,t}^{bef} - L_{j,t}^{aft}| \leq L_{j,t}^{bef} \times 0.1 \times DR \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^{24} L_{j,t}^{aft} = \sum_{t=1}^{24} L_{j,t}^{bef} \quad (4)$$

ただし、 $L_{j,t}^{bef}$ :母線  $j$  の時刻  $t$  における変動前の負荷需要、 $L_{j,t}^{aft}$ :変動後の負荷需要、 $DR$ :デマンドレスポンス参加率。

## 3 シミュレーション

## 3.1 シミュレーション条件

本論文で想定する電力系統を図1、負荷需要を図2に示す<sup>[1]</sup>。需要予測は高精度であるとし、PVの発電量のみを予測する。発電電力予測誤差から標準偏差を求め、信頼区

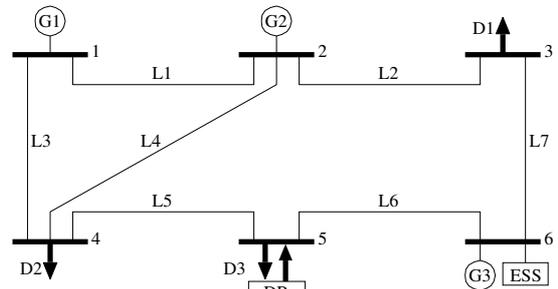


図1: 電力系統モデル

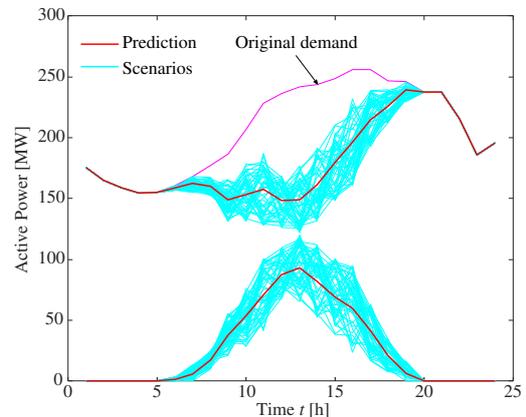


図2: 負荷需要 (PV 導入率 12.9%)

表1: シミュレーション条件

Case	日負荷率制約	デマンドレスポンス	蓄電池
I	なし	なし	なし
II	あり	あり	あり

間99%に基づくPV出力シナリオを生成した。蓄電池1ユニットあたりの定格出力を1.2MW、定格容量を8.64MWh、SOC上下限値は10%から90%とする。最適化手法として混合整数線形計画法(MATLAB Optimization Toolbox: intlinprog)を用いた。表1にシミュレーション条件を示す。

## 3.2 シミュレーション結果 (Case I)

図3から図5はPV導入率(=PV電力量/負荷電力量)が4.3%の場合のシミュレーション結果である。図3,4はシナリオを考慮しない場合の不足電力と運用コスト、図5はシナリオを考慮した場合の運用コストをそれぞれ示す。また、図6から図8はPV導入率12.9%の場合のシミュレーション結果である。図9に各PV導入率における日負荷率を示す。図3,6よりPV導入率が増加することで不足電力が増加することが分かる。図5,8よりシナリオを考慮した発電機起動停止計画によって運用コストの期待値の低減を達成した。また、シナリオを考慮した場合において、PV導入率が増加することで運用コストの期待値は減少した。図9より、日負荷率を考慮しない場合、各PV導入率において日負荷率は0.85以下である。PV導入率が増加することで1日の負荷需要の最大電力と最小電力の差が広がり、日負荷率が低下していることが確認できる。

## 3.3 シミュレーション結果 (Case II)

図10,11はPV導入率4.3%の場合、図12,13はPV導入率12.9%の場合のシミュレーション結果である。

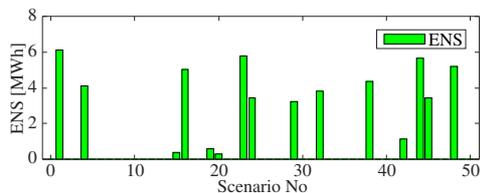


図 3: 不足電力 (PV 導入率 4.3%)

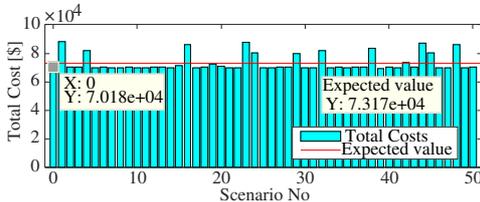


図 4: 運用コスト (PV 導入率 4.3%)

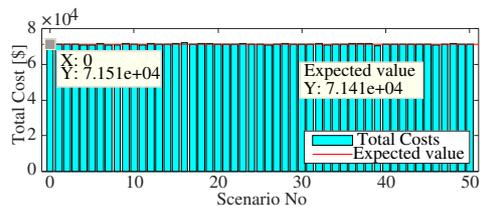


図 5: 運用コスト (シナリオ考慮)

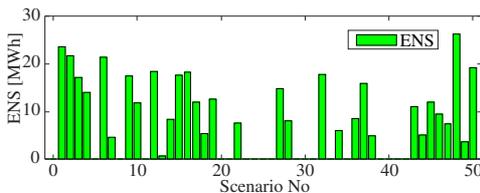


図 6: 不足電力 (PV 導入率 12.9%)

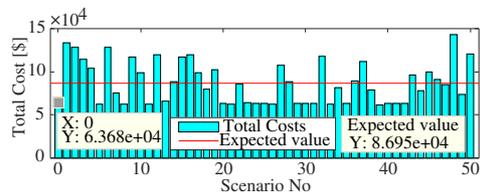


図 7: 運用コスト (PV 導入率 12.9%)

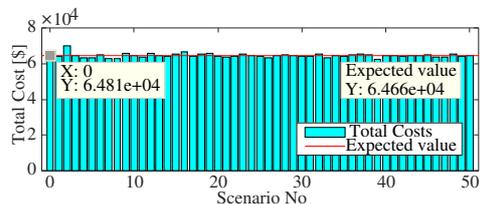


図 8: 運用コスト (シナリオ考慮)

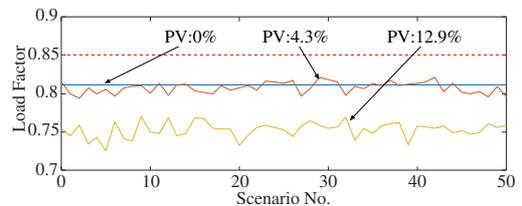


図 9: 日負荷率

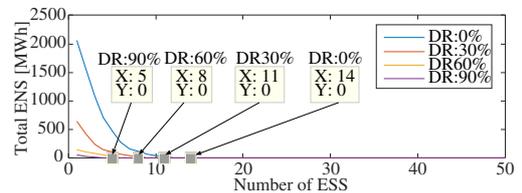


図 10: 蓄電池に対する不足電力 (PV 導入率 4.3%)

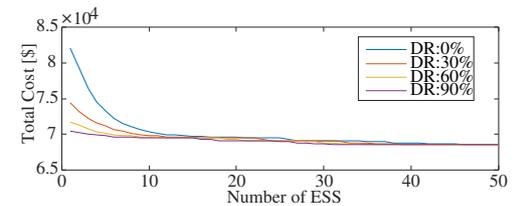


図 11: 蓄電池に対する運用コスト (PV 導入率 4.3%)

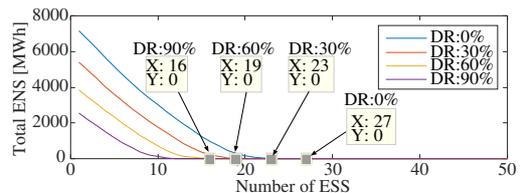


図 12: 蓄電池に対する不足電力 (PV 導入率 12.9%)

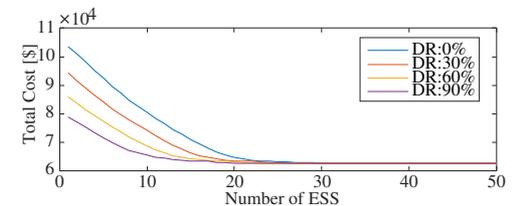


図 13: 蓄電池に対する運用コスト (PV 導入率 12.9%)

場合におけるデマンドレスポンスや蓄電池の最適容量の検討を行った。シミュレーション結果より、PV 大量導入による日負荷率の低下を蓄電池、デマンドレスポンスにより解消し、シナリオを考慮した発電機起動停止計画により、運用コストの期待値を低減できることを確認した。また、デマンドレスポンスを導入することで、設備コストの高い蓄電池台数を削減できることを示した。

#### 参考文献

- [1] 古梅雅裕, 千住智信, "電圧安定度およびデマンドレスポンスを考慮した多目的最適運用方法", 電気学会研究会資料 電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会, PE-16-019/PSE-16-039/SPC-16-058, March, 2016.
- [2] H. Quan, D. Srinivasan, A.M. Khambadkone, and A. Khosravi, "A computational framework for uncertainty integration in stochastic unit commitment with intermittent renewable energy sources", Applied Energy, Vol. 152, pp. 71-82, August, 2015.

図 10, 11 は蓄電池に対する不足電力, 運用コストをそれぞれ示す。図 10, 12 より不足電力が 0 となる際の蓄電池ユニット数は PV 導入率が増加することで、多くなることが確認できる。デマンドレスポンスの参加率が増加することで、不足電力が 0 となる際の蓄電池ユニット数を削減できるがわかる。また、デマンドレスポンスを導入することで運用コストの期待値の低減も達成した。

#### 4 まとめ

本論文では混合整数線形計画法によるシナリオ手法を用いた発電機起動停止計画により、日射量変動による PV 出力の不確実性を考慮した。また、PV 導入率を変化させた