

(101) 電力工学

太陽光発電量予測の信頼区間を用いたマイクログリッド運用計画法

Day-ahead Microgrid Generation Scheduling Considering the Confidence Intervals of Photovoltaic Power Generation Forecasting Data

今西 一就[†] 上島 李樹[†] 佐々木 豊[†] 造賀 芳文[†] 餘利野 直人[†]

Kazunari Imanishi[†] Riki Ueshima[†] Yutaka Sasaki[†] Yoshifumi Zoka[†] Naoto Yorino[†]

[†]広島大学 大学院工学研究科 システムサイバネティクス専攻

1 はじめに

低炭素社会実現のために、太陽光発電 (Photovoltaic power generation: PV) や風力発電 (Wind-turbine power generation; WT) の導入量が急速に拡大している。一方、これら再生可能エネルギー電源 (Renewable Energy Source: RES) の高精度な発電量予測は困難であり、突発的な気象変化に依る予測外れ時には電力システムの需給調整に大きな影響を及ぼすことが懸念されている。そのため、既存の火力発電による最大限の需給調整法や新規設備となる蓄電池 (Storage Battery; BT) 導入運用による柔軟性の確保が要求されている。以上の背景から、発電量予測に基づく高度な火力発電機の需給制御手法について、著者らも、RES 等の不確実性に対応可能な電力需給制御マネージャ (図 1) を開発している [1]-[3]。本稿では、3機6母線系統における、PV、WT および BT が導入された環境における火力発電機群の起動停止計画 (Unit Commitment: UC) 部に焦点を当て、事前に作成された電力需要および RES 発電量予測の情報を基に、各種運転制約を満足させながら、予測信頼区間内で火力発電機の期間毎の運転計画を策定する方法を提案する。なお、本稿で取り扱う予測信頼区間とは、RES 発電量予測まわりの変動分を意味し、本稿では、信頼区間をパラメータとして変化した際の UC への影響および BT 運用について考察する。

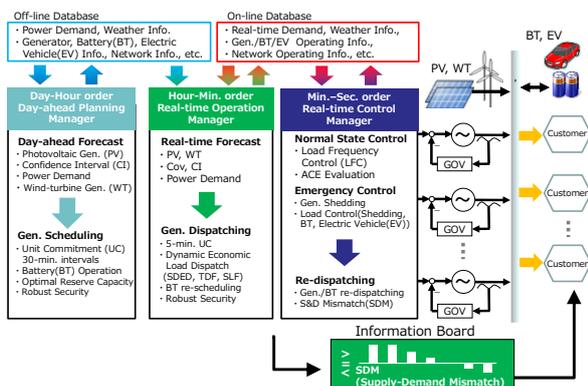


図 1 開発中の電力需給制御マネージャ

2 マイクログリッド運用計画法

2.1 定式化

事前に作成された電力需要予測および RES 発電量予測の情報を基に、各種の運転制約を満足させながら、発電機の期間毎の運転計画を策定する。本稿で提案するオフラインの UC (30分毎 48 時点) は、系統内に存在する発電機の燃料費最小化問題として、次式のように定式化する。

Minimize:

$$f = \sum_{k=1}^{N_G} \sum_{t=1}^T u_{kt} (a_k P_{Gkt}^2 + b_k P_{Gkt} + c_k) + \sum_{k=1}^{N_G} (u_{kt_p} - u_{kt_n}) \cdot SUC_k \dots \dots \dots (1)$$

Subject to:

- (i) 電力需給バランス制約, (ii) 発電機出力上下限制約, (iii) 発電機出力変化率制約, (iv) 発電機最小連続停止時間制約, (v) 発電機最小連続運転時間制約, (vi) BT 充放電出力上下限制約, (vii) BT 貯蔵容量制約, (viii) ノード間線路潮流制約, (ix) 発電機予備力制約

ここで、 P_{Gkt} : 時刻 t における発電機 k の出力 [MW] (決定変数), a_k, b_k, c_k : 発電機 k の燃料費係数, N_G : 発電機の総数 [台], T : 計画期間 [min], u_{kt} : 時刻 t での発電機 k の起動停止変数 (決定変数), T_p : 最大需要時点 [min], T_n : 最小需要時点 [min], SUC_k : 発電機 k の起動費 [円/回] である。

2.2 予測信頼区間

RES の発電量は、自然状況に大きく左右されるため発電量予測と実際の発電量に差が生じやすい。本稿では、PV 予測結果の信頼性を示した信頼区間を考慮した UC を策定する。得られた予測誤差の標準偏差 σ を求め、PV 発電量予測値を平均値としてそこから $\pm \sigma$ (68%), $\pm 2\sigma$ (95%) の範囲を信頼区間 (CI) と定義する。この PV 予測の信頼区間の上限値を \bar{P}_{PVt} , 下限値を \underline{P}_{PVt} とする (図 2)。さらに、式 (2) に示す P_{it} (元の需要値 P_{Dt} から RES 発電量を差し引いた需要値) をネット電力需要値と呼び、この変動上下限値を式 (3), (4) のように表す。このときの上限值 \bar{P}_{it} をネット電力需要値の上限値とし、下限値 \underline{P}_{it} をネット電力需要値の下限値とする。

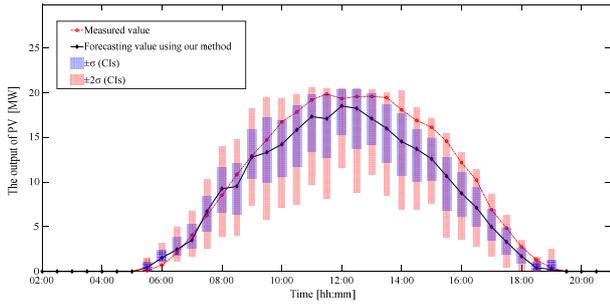


図2 PV 予測値と信頼区間

$$P_{it} = P_{Dt} - P_{PVt} \dots\dots\dots(2)$$

$$\dot{P}_{it} = P_{Dt} - \dot{P}_{PVt} \dots\dots\dots(3)$$

$$P_{it} = P_{Dt} - \dot{P}_{PVt} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、予測外れに対応するために以下2つの制約式を追加する。

$$\sum_{k=1}^{N_G} P_k^{\min} u_{kt} + B_{dt} - B_{ct} \leq P_{it} \dots\dots\dots(5)$$

$$\sum_{k=1}^{N_G} P_k^{\max} u_{kt} + B_{dt} - B_{ct} \geq \dot{P}_{it} + R_t \dots\dots\dots(6)$$

R_t : t 時点の予備力[MW], B_{dt} : t 時点の蓄電池放電電力[MW], B_{ct} : t 時点の蓄電池充電電力[MW]

上記の制約式を設けることで、PV 発電量の予測外れにも対応した計画の策定を行うことが出来る。

3 シミュレーション

3.1 シミュレーション条件

シミュレーション条件として、ディーゼル火力発電機3機からなるマイクログリッド(小規模で自立した電力システム)モデルを想定した。また、ある予測対象日に対して、予備力を各時間帯の負荷に対して3[%]と発電機に持たせるように設定した。PV 導入量について、25[MW]導入ケースを設定する(図2)。PV 予測について、2012年8月3日を快晴日として設定する。これらの条件で、信頼区間 σ , 2σ , 信頼区間を考慮しないときのUCを策定する。

3.2 シミュレーション結果

ここでは、一例として信頼区間 $CI_s (\pm 2\sigma)$ における前日 UC の計算結果を図3および図4に示す。信頼区間を変化させた際の総コストと一日を通して充電する総蓄電池充電量を表1に示す。結果より、信頼区間を広くすることで待機予備力が増え、総コストが増加したことがわかる。また、総蓄電池充電量が増加したことから蓄電池の稼働が増えたことがわかる。これは、PVの変動に対応するためだと考えられる。これらの結果より、信頼区間を広くすることで、PV 予測外れに対応することができるようになるが、コストが増加し、蓄電池の稼働も増加することがわかった。

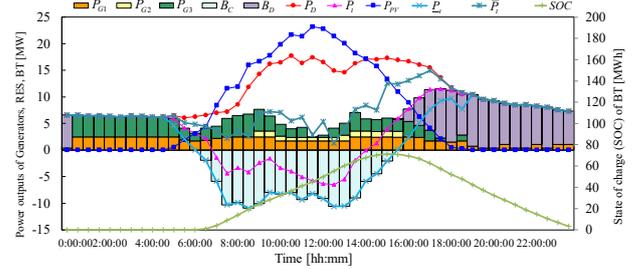


図3 マイクログリッド運用計画(全体の需給状態)

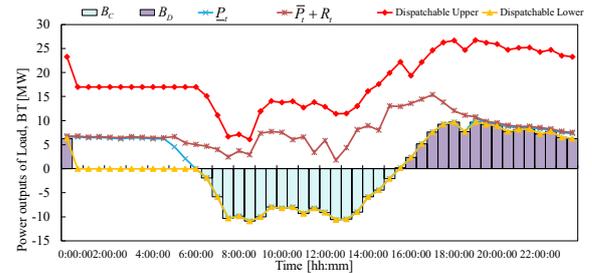


図4 マイクログリッド運用計画(蓄電池運用状態)

表1 総発電費用と蓄電池充放電量

	Cost [Yen]	Total Battery Charging [MWh]
CI _s ($\pm\sigma$)	2,261,289	107.52
CI _s ($\pm 2\sigma$)	2,339,515	145.56
W/o CI _s	2,206,301	57.95

4 おわりに

本稿では、電力需給制御マネージャにおけるUCの策定について、信頼区間を変えて行うことで、その影響を調べて考察した。今後の課題としては、大規模システムでのUCにおける信頼区間の影響を考察していくことが挙げられる。

参考文献

- [1] Y. Sasaki, N. Yorino, Y. Zoka, I.W Farid, "Robust Stochastic Dynamic Load Dispatch against Uncertainties," *IEEE Trans. on Smart Grid*, Vol. 9, No. 6, pp.5535-5542, Nov. 2018.
- [2] K. Imanishi, R. Ueshima, Y. Sasaki, Y. Zoka, N. Yorino, "Robust Generation Scheduling using Supply and Demand Manager against High PV Penetration," *Proc. of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2019)*, No.ICEE19J-112, pp.1-5, Jul. 2-6, 2019, Hong Kong.
- [3] R. Ueshima, Y. Sasaki, N. Yorino, Y. Zoka, "Robust Supply and Demand Controller under High PV Penetration," *Proc. of the Grand Renewable Energy 2018 Conference (GRE2018)*, PaperID.a90402, pp.1-4, Jun. 17-22, 2018, Yokohama.