

PV 出力予測誤差推定に応じた機械学習型所要 LFC 容量動的決定手法

学生員 西田 啓人^{*a)} 正員 重信 颯人^{**} 上級会員 伊藤 雅一^{**}
上級会員 金尾 則一^{***} 正員 杉本 仁志^{***}

Dynamic Determination Method for Required LFC Capacity Using Machine Learning According to PV Output Forecast Error Estimation

Keito Nishida^{*a)}, Student Member, Ryuto Shigenobu^{**}, Member, Masakazu Ito^{**}, Senior Member
Norikazu Kanao^{***}, Senior Member, Hitoshi Sugimoto^{***}, Member

キーワード : 所要 LFC 容量, PV 出力予測誤差, 機械学習, 動的決定手法, 周波数安定性, PV 導入可能量

Keywords : required LFC capacity, PV output forecast error, machine learning, dynamic determination method, system frequency stabilization, maximum PV capacity

1. 背景

太陽光発電 (PV) が大量導入された電力系統において, PV 出力変動・予測誤差を補償する LFC 容量の不足が懸念されている。しかし, PV 導入量や出力変動・予測誤差に対する LFC 容量を定量的に評価している研究は少ない。現運用での LFC 容量は, 日間を通して予測需要に対して一定割合で確保されているが, PV 出力変動の時間帯に適切な量を確保することが望ましい⁽¹⁾。一方, LFC 容量は LFC 機で確保される⁽²⁾が, 時々刻々と変化する PV 出力変動に対して, リアルタイムで LFC 容量を変更することは困難⁽³⁾である。

そこで本稿では, 発電機起動停止計画 (UC) において PV 出力予測誤差を推定し, それに対する LFC 容量の決定に機械学習であるガウス過程回帰を適用することで, 系統安定性を保ちつつ PV 導入量増加を可能とする手法を提案する。

2. PV 出力予測誤差推定に応じた 機械学習型所要 LFC 容量動的決定手法

〈2・1〉 PV 出力予測誤差推定モデル ステージ A では, PV 出力予測誤差を学習し, 予測 PV 出力に応じて予測

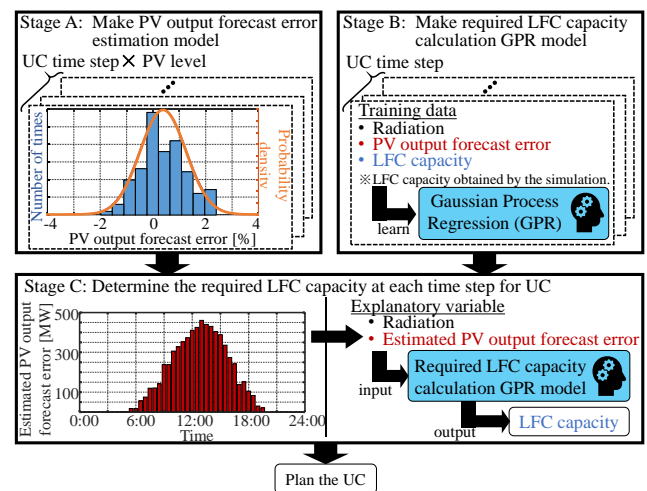


Fig. 1. Flow chart of the proposed method.

誤差を推定するモデルを作成する。

A-1: 過去1年分のPV出力予測誤差の分類 PV出力予測誤差は時刻, 気象状況などの要素に応じて発生量が異なる。そこで, 各要素を考慮するために時刻断面, 予測PV出力レベルでPV出力予測誤差を分類する。

A-2: 予測PV出力レベル毎でのPV出力予測誤差学習 前日計画断面で分類されたデータからPV出力予測誤差を学習し, 予測PV出力レベルに応じた予測誤差を推定する。

〈2・2〉 機械学習型所要LFC容量算出モデル ステージBでは, PV出力予測誤差に対する所要LFC容量を算出するモデルを作成する。

B-1: 学習用データの集計 学習用データは予測日射量, PV出力予測誤差, 所要LFC容量とする。予測日射量は気象庁発行メソ数値データより取得, PV出力予測誤差と所要LFC容量は需給・周波数シミュレーションにより集計する。

a) Correspondence to: Keito Nishida.

E-mail: nishida.keito@pws.fuee.u-fukui.ac.jp

* 福井大学大学院工学研究科安全社会基盤工学専攻

** 福井大学学術研究院工学系部門工学領域

〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

University of Fukui

3-9-1, Bunkyo, Fukui, Fukui 910-8507, Japan

*** 北陸電力(株)新価値創造研究所

〒930-0848 富山県富山市久方町 2-54

Innovation Laboratory, Hokuriku Electric Power Company

2-54, Hisakata-cho, Toyama, Toyama 930-0848, Japan

(Gauss Process Regression, GPR)でPV 予測出力誤差に対する所要 LFC 容量を学習する。このモデルは予測値に対してその分散まで考慮でき、PV 出力予測誤差推定値と予測日射量の入力により、ロバストな所要 LFC 容量を算出できる。

〈2・3〉 UC 時刻断面毎に所要 LFC 容量決定 ステージ C

では、PV 出力予測誤差推定モデルにより、予測 PV 出力レベルに応じた予測誤差を推定する。さらに、予測日射量と予測誤差推定値を機械学習型所要 LFC 容量算出モデルに入力し、所要 LFC 容量を UC 時刻断面毎に決定する。

3. 提案手法の有効性検証

〈3・1〉 シミュレーション条件

PV 導入可能量[%]を、周波数管理目標値 ($\pm 0.2\text{Hz}$ 以下, $\pm 0.1\text{Hz}$ 以下に 95%以上) を満たす最大需要に対する最大 PV 導入可能量とし、(1) 式で定義する。

$$PV_{poss} = \frac{\max(PV_m^{0.1} \cap PV_m^{0.2})}{\max(D_t)} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $PV_m^{0.1}$, $PV_m^{0.2}$ は周波数管理目標値を満たす

PV 導入量 [MW], D_t は需要 [MW]を表す。

解析対象日は、day1 が PV 出力上振れ、day2 が PV 出力下振れ、day3 が時間帯で振れ方向が異なる、かつ予測誤差が小さい日とする (Fig. 2)。また、PV 導入可能量を評価するため、Fig. 2 を基準として PV 導入量を変化させる。

〈3・2〉 シミュレーション結果

従来手法として一定 LFC 容量 2% (予測需要ベース) 適用時と提案手法適用時の PV 導入可能量を Fig. 3 に示す。これより、day1 は 66.5% から 75.4% (+8.9 pts), day2 は 50.8% から 86.1% (+35.3 pts), day3 は 78.5% から 101.2% (+22.7 pts) に増加し、PV 下振れ日である day2 での PV 導入可能量増加効果が顕著である。

次に、day2 に PV を 52.0%導入時の PV 出力予測誤差推定値と実測値を Fig. 4 に示す。これより、PV 出力予測誤差を適切に推定されている。さらに、両手法における全 LFC 対象機計の UC 計画出力と発電機出力、LFC 容量を含む出力上限を Figs. 5, 6 に、周波数偏差を Fig. 7 に示す。Fig. 5 より、PV 出力予測誤差に応じた LFC 容量で電力を供給することで、電力システムの周波数安定性が維持された (Fig. 7)。一方 Fig. 6 より、従来手法では 12:00 に LFC 対象機 1 機の停止計画 (①) に伴い、PV 出力予測誤差に対する LFC 容量が不足し (②)、周波数が許容範囲を逸脱した (Fig. 7)。

4. まとめ

本稿では、UC 断面において PV 出力予測誤差を推定し、これを用いたガウス過程回帰により所要 LFC 容量を決定する手法を提案した。提案手法により、PV 出力下振れの場合、PV 導入可能量が 50.8%から 86.1%に増加した。さらに、PV 出力予測誤差に対して LFC 容量で電力供給を行うことによる電力システムの周波数安定性も確認した。今後は、より長期間での検討と、近年普及が進みつつある両面受光型太陽光モジュールを導入した際の対策を検討する。

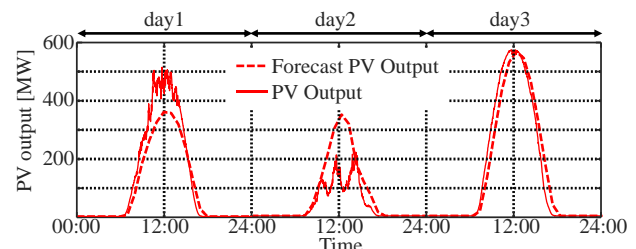


Fig. 2. The profile of actual PV output and forecasted PV output.

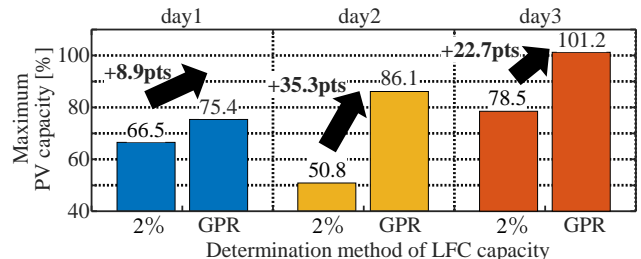


Fig. 3. A comparison of the maximum PV capacity of each day.

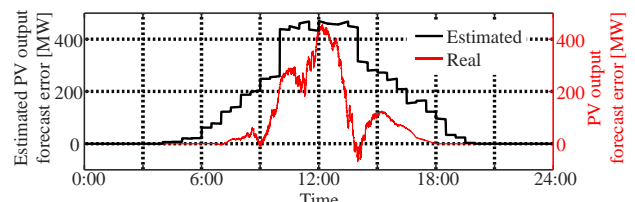


Fig. 4. Estimated PV output forecast error by proposed method.

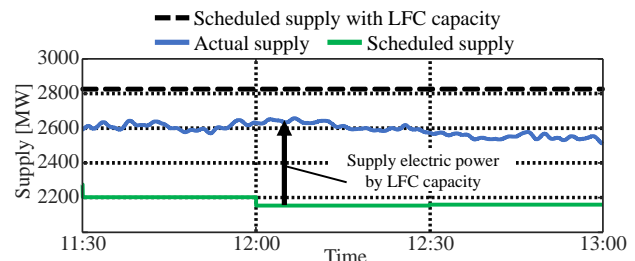


Fig. 5. The system condition by proposed method.

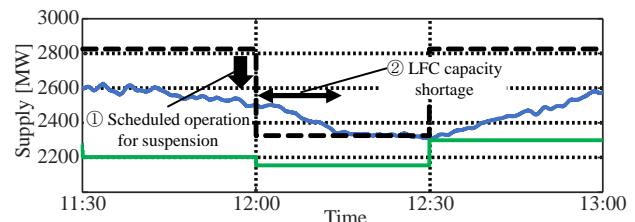


Fig. 6. The system condition by constant LFC capacity 2%.

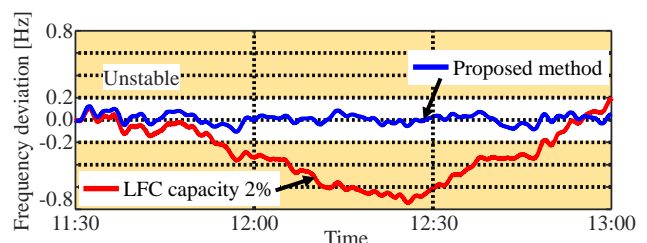


Fig. 7. Frequency deviation.

文 献

- (1) 西田ら：「PV 出力変動対応のための PV 出力予測誤差統計データに基づく LFC 容量動的決定手法」, 第 38 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演集, pp.349-357 (2022).
- (2) 辻井ら：「PV 出力のリアルタイムデータに応じた LFC 調整力の確保手法」, 電気論 B, Vol. 140, No. 7, pp.595-603 (2020).
- (3) 北陸電力株式会社：「2019 年度 電源 II 周波数調整力募集要綱」, (2019). (アクセス日：2022 年 4 月 27 日)

