

# ガウス過程回帰による LFC 容量動的決定手法

西田 啓人\*, 重信 颯人, 伊藤 雅一 (福井大学)

金尾 則一, 杉本 仁志 (北陸電力株式会社)

Determination Method of LFC Capacity Using Gaussian Process Regression

Keito Nishida, Ryuto Shigenobu, Masakazu Ito (University of Fukui)

Norikazu Kanao, Hithoshi Sugimoto (Hokuriku Electric Power Company)

## 1. はじめに

2030 年再生可能エネルギー（再エネ）電源構成比率 36～38%目標の達成には、再エネ出力変動・出力予測誤差を補償する LFC 容量が不足することへの対応が必要である。しかし、再エネ導入量、再エネ出力変動・出力予測誤差などに対してどれほどの LFC 容量が必要であるか定量的に評価している研究は少ない。LFC 容量を決定する方法として、日間を通して系統容量に対して一定の割合で LFC 容量を確保する方法が一般的であるが、太陽光発電（PV）が出力する時間帯は限られているため、その時間帯に適切な LFC 容量を確保することが望ましい。ここで、LFC 容量は起動している発電機を活用<sup>(1)</sup>するが、LFC 対象機が十分でない場合は、新たに発電機を起動する必要がある。そこで著者らは、PV 出力予測誤差を発電機起動停止計画（UC）時に推定し、LFC 容量を決定する手法を報告した<sup>(2)</sup>。この PV 出力予測誤差に対する LFC 容量決定手法（既存手法）は、気象予測データならびに電力需給・周波数シミュレーションを基に集計したデータを利用した点では、PV 出力予測誤差を統計的に扱うアプローチとして信頼性が得られる。

そこで本稿では、PV 出力予測誤差に対する LFC 容量の決定に機械学習手法であるガウス過程回帰を適用することで余裕分 LFC 容量を削減する手法を提案する。提案手法は、PV 導入量、PV 出力予測誤差に対してどれほどの LFC 容量が必要であるかを明らかにでき、従来の LFC 容量決定手法と比べて、電力系統安定性を維持した上での PV 導入可能量増加効果、LFC 容量削減効果を明らかにする。

## 2. ガウス過程回帰による LFC 容量動的決定手法

<2・1>学習モデルの概要 提案手法では、予測需要と気象庁発行メソ数値予報モデルの気象予測データ（日射量、下層雲量、相対湿度、東西風速）および電力需給・周波数シミュレーションから得られる電力系統データを学習の訓練データとする。これらの訓練データを学習に利用することで、学習後は説明変数として気象予測データと予測需要を入力するだけで、目的変数である LFC 容量をガウス過程回帰モデルにより UC 時刻断面毎に決定できる。学習期間は、2018 年 4 月、8 月、11 月、2019 年 1 月の 4 カ月間とした。

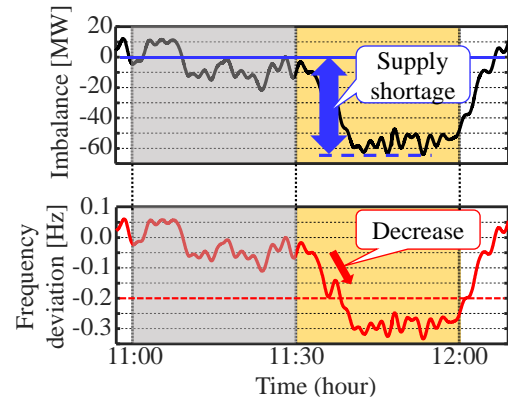


図 1 需給インバランスと周波数偏差の例

Fig. 1. Imbalance and frequency.

<2・2>目的変数：LFC 容量の定義式 Fig.1 に、電力供給不足および LFC 容量不足により周波数偏差が周波数管理目標値（① $\pm 0.2\text{Hz}$ 、② $\pm 0.1\text{Hz}$ ：95%以上）を満たさない場合の例を示す。この周波数低下を回避するための LFC 容量は (1)式を用いて定め、需給インバランスに対して必要な LFC 容量として学習することで、UC 立案時に PV 出力予測誤差を考慮した LFC 容量が得られる。管理目標値②基準での LFC 容量の定義も同様の考え方で行うが紙面の都合上割愛し、本稿では管理目標値①基準での定義式のみ記載する。

$$LFC_{t,\text{day}} = \begin{cases} LFC_{t,\text{day}}^{UC} & (T_{t,\text{day}}^{devi} \leq 0) \\ LFC_{t,\text{day}}^{UC} + P_{t,\text{day}}^{imb} & (T_{t,\text{day}}^{devi} > 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $t$ は UC 時刻断面 ( $t = 1, \dots, 48$ )、 $\text{day}$ は学習期間における日付、 $LFC_{t,\text{day}}^{UC}$ は日付 $\text{day}$ における時刻断面 $t$ で確保された LFC 容量、 $P_{t,\text{day}}^{imb}$ は日付 $\text{day}$ における時刻断面 $t$ での最大需給インバランス、 $T_{t,\text{day}}^{devi}$ は日付 $\text{day}$ における時刻断面 $t$ において周波数が $-0.2\text{Hz}$ を逸脱した秒数を表す。

管理目標値①、②基準で LFC 容量を算出し、大きいほうの値を目的変数とする。

## 3. 提案手法の有効性検証

<3・1>シミュレーション条件 解析対象エリアは北陸エリア、解析対象日は 2019 年 11 月 26 日とする。また、2019 年 11 月時点での北陸 3 県の PV 導入量合計値である 1010 MW<sup>(3)</sup>を基準 PV 導入量とし、PV 導入量は基準 PV 導入量から 20 MW 刻みで増加させる。Fig. 2 に基準 PV 導入

量での予測 PV 出力, PV 発電出力, 需要を示す。評価指標として PV 導入可能量を「周波数管理目標値を満たす最大需要に対する最大 PV 導入量」とし, (2)式で定義する。また, 余裕分 LFC 容量を(3)式で定義する。

$$PV_i^{\text{poss}} = \frac{PV_i^{\text{max}}}{L^{\text{max}}} \times 100 \quad (2)$$

$$PV_i^{\text{max}} = \{PV_i^{\text{max}} \mid \max(PV_i^{0.1} \cap PV_i^{0.2})\}$$

$$LFC_t^{\text{margin}} = LFC_t^{\text{UC}} - LFC_t^{\text{used}} \quad (3)$$

ここで,  $i$ は LFC 容量決定手法,  $PV_i^{\text{poss}}$ は手法*i*における PV 導入可能量,  $PV_i^{\text{max}}$ は手法*i*において周波数管理目標値を満たす最大 PV 導入量,  $PV_i^{0.1}$ ,  $PV_i^{0.2}$ は手法*i*においてそれぞれの周波数管理目標値を満たす PV 導入量,  $L^{\text{max}}$ は最大需要を表す。 $LFC_t^{\text{margin}}$ は時刻*t*における余裕分 LFC 容量,  $LFC_t^{\text{UC}}$ は時刻断面*t*で確保された LFC 容量,  $LFC_t^{\text{used}}$ は時刻断面*t*で使用した LFC 容量を表す。

<3・2>シミュレーション結果及び考察 LFC 容量 5%, 既存手法, 提案手法を用いた場合の PV 導入可能量を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より, LFC 容量 5%の場合と比較すると, 提案手法を用いることで PV 導入可能量が 36.8%から 43.7%に増加し, 既存手法と同等である 18.8%の PV 導入可能量増加効果が見られた。さらに, PV 導入量 43.7%時に, UC で確保された LFC 容量を Fig. 4 に, 余裕分 LFC 容量を Fig. 5 に示す。Fig. 4 より PV が出力する時間帯において, 確保する LFC 容量を削減できた。また, Fig. 5 より, PV 出力予測誤差に LFC 容量で対応することで, 余裕分 LFC 容量の削減が見られた。余裕分 LFC 容量の 1 日の合計量は, 約 10900 MWh から約 8200 MWh に減少し, 既存手法に対し 24.8%の LFC 容量削減効果が見られた。

次に提案手法を用いることによる電力系統安定性について考察を行う。PV 導入量 43.7%時の周波数偏差を Fig. 6,  $\pm 0.1\text{Hz}$ の累積逸脱時間を Fig. 7 に示す。Fig. 6 より, 最大周波数偏差は $-0.13\text{Hz}$ から $-0.14\text{Hz}$ に増加したが, 管理目標値①は満たしている。Fig. 7 より, 提案手法を用いることで累積逸脱時間は増加しているが, 管理目標値②は満たしている。すなわち, ガウス過程回帰により PV 出力予測誤差に対して LFC 容量を決定することで, 系統安定性を維持しつつ, 既存手法と同等の PV 導入可能量増加効果, 既存手法以上の LFC 容量削減効果が見られた。

#### 4. まとめ

本稿では, ガウス過程回帰により PV 導入量, PV 出力予測誤差に対して LFC 容量を決定する手法を提案した。提案手法を用いたシミュレーションにより, 18.8%の PV 導入可能量増加効果, 24.8%の LFC 容量削減効果が示された。さらに, 既存手法に比べて周波数逸脱時間は増加するものの, 管理目標値を満たすため, 提案手法を用いることによる系統安定性が示された。今後は, ガウス過程回帰により算出される標準偏差を用いて, より柔軟な LFC 容量決定手法を検討する。

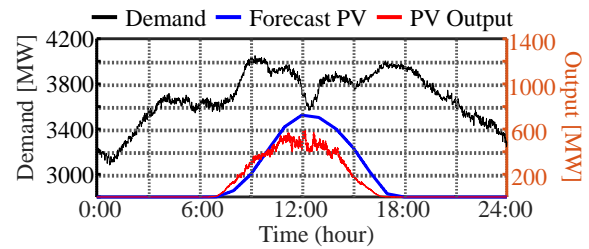


図2 需要, 予測 PV 出力, PV 発電出力  
Fig. 2. Profile of demand, forecast PV and PV output.

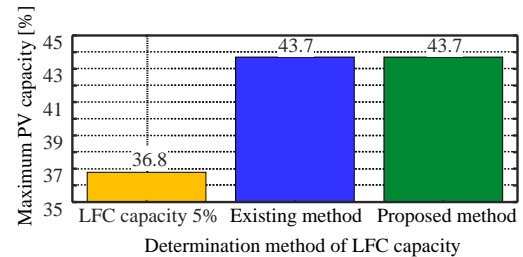


図3 各手法の PV 導入可能量  
Fig. 3. The maximum PV capacity of each method.

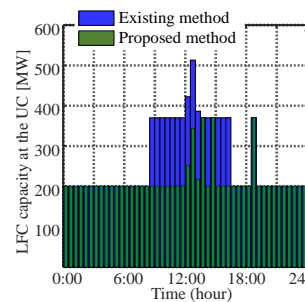


図4 UC で確保される LFC 容量  
Fig. 4. LFC capacity at the UC.

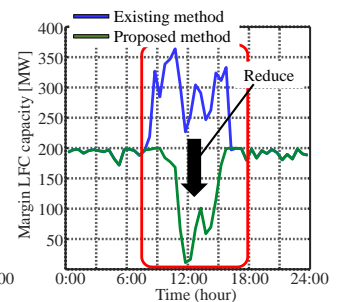


図5 余裕分 LFC 容量  
Fig. 5. Margin LFC capacity.

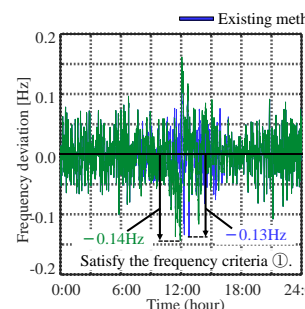


図6 周波数偏差  
Fig. 6. Frequency deviation.

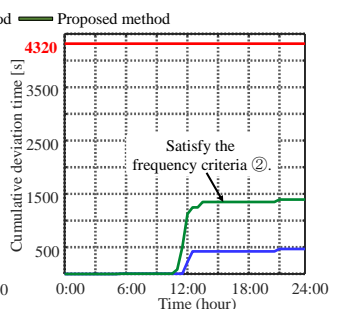


図7 累積逸脱時間  
Fig. 7. Cumulative deviation time.

#### 文 献

- (1)辻井祐樹・古川俊行・渡辺雅浩・山根憲一郎:「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, 2020.
- (2)西田啓人・重信颯人・伊藤雅一・金尾則一・杉本仁志:「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, (発表予定) .
- (3)資源エネルギー庁; 固定価格買取制度再生可能エネルギー電子申請 (閲覧日 2021.12.2) .