

PV 出力ランプダウンを考慮した最適 LFC 容量決定手法

学生員 西田 啓人^{*a)} 正 員 重信 颯人^{*} 正 員 伊藤 雅一^{*}
上級会員 金尾 則一^{**}

Determination Method of Optimal LFC Capacity Considering Ramp Down Condition of PV Output
Keito Nishida^{*a)}, Student Member, Ryuto Shigenobu^{*}, Member, Masakazu Ito^{*}, Member,
Norikazu Kanao^{**}, Senior Member

キーワード : LFC 容量, PV 導入量, 発電機起動停止計画, 地域モデル, AGC モデル

Keywords : LFC Capacity, Massive PV Installation, Unit Commitment, Local Model, AGC Model

1. 背景

電力系統は、前日計画と当日運用により電力需給バランスを保つよう運用されている。一般的に、前日計画は発電機起動停止計画 (UC) と呼ばれ、需要・再生可能エネルギー (再エネ) 出力予測に基づき、発電機の運用は出力変化速度や予備力などの各種制約を満たすように計画される。一方、当日運用では、UC よりも短い周期 (数分~20 分程度) の変動に対し、負荷周波数制御 (LFC) ⁽¹⁾が行われ、需給バランスを維持するために予備力として LFC 容量が確保されている。これまでの系統では、LFC 容量は 2~3%が必要とされていたが、太陽光発電システム (PV) 導入下での電力系統において、再エネの出力変動率や導入量に応じた最適な LFC 容量は明確ではない。

そこで本稿では、PV 導入量に応じた最適な LFC 容量決定手法を提案する。提案手法では、前日計画および当日運用をシミュレーションにより評価し、PV 出力の予測はずれが系統へ大きな影響を与えるランプダウンケースを想定することで、必要となる最小の LFC 容量を算出する。これにより、PV 導入量に応じた最適な LFC 容量を定量的に評価することができる。

2. 地域モデルと最適 LFC 容量決定手法

〈2・1〉 モデルの構築 電気学会が提供する需給・周波数制御シミュレーションモデル (AGC30 モデル) ⁽²⁾を参考に、地域モデルを作成した。発電機構成を Table 1 に示す。

Table 1. Generators data.

発電機	LFC 対象機	定格出力 [MW]	最小出力 [MW]	出力変化速度 [MW/min]
Oil#1	○	250	40	3.0
Oil#2		250	75	3.0
Oil#3		500	75	12.5
Oil#4		250	35	3.0
Coal#1		250	60	5.0
Coal#2		250	60	5.0
Coal#3	○	500	100	15.0
Coal#4	○	700	140	28.0
Coal#5	○	500	100	10.0
Coal#6	○	700	140	28.0
GTCC	○	425	178	20.0

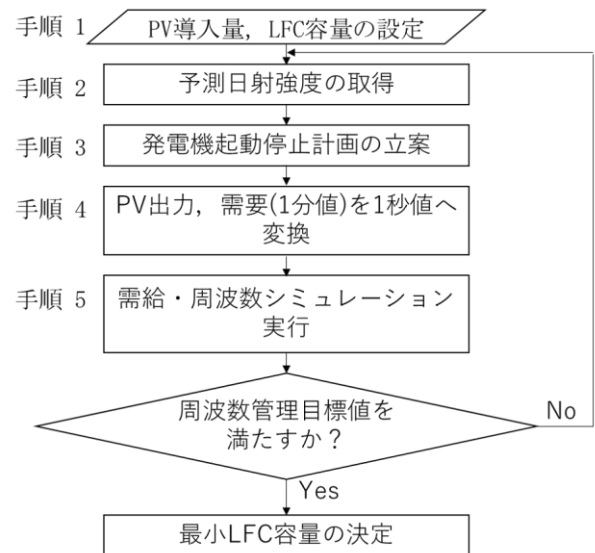


Fig. 1. Flow chart of proposed method.

a) Correspondence to: Keito Nishida
E-mail: nishida.keito@pws.fuee.u-fukui.ac.jp

^{*} 福井大学 工学部
〒910-8507 福井県福井市文京 3 丁目 9-1
University of Fukui
3-9-1, Bunkyou, Fukui, Fukui910-8507, Japan

^{**} 北陸電力 (株) 技術開発研究所
〒930-0848 富山県富山市久方町 2-54
Engineering Research & Development center, Hokuriku Electric Power Company2-54, Hisakata-cho, Toyama, Toyama930-0848, Japan

〈2・2〉 最適 LFC 容量決定手法 提案手法のフローチャートを Fig. 1 に示す。手順 1~3 は前日計画、手順 4, 5 は当日運用を模擬するための需給・周波数シミュレーションとして大別される。手順 1 では、PV 導入量と LFC 容量を設定する。手順 2 では、予測誤差を考慮するため、気象庁発行のメソ数値予報データより予測日射強度を取得し、予測 PV 出力に変換する。手順 3 では、経済負荷配分を考慮した UC を立案する。手順 4 では、高速フーリエ変換により、実績値

(1 分値) を 1 秒値へ変換することで、短周期変動を含めた PV 出力を模擬する。手順 5 では、需給・周波数シミュレーションを実行し、系統状態を確認する。ここで、周波数管理目標値は ± 0.1 Hzでの滞在率 95%以上(制約 1) かつ ± 0.2 Hz 以内(制約 2)とした。この周波数管理目標値を満たす最小 LFC 容量を算出することで、最適な LFC 容量が決定される。

3. シミュレーション条件

前日計画において快晴日として PV 出力が予測されたが、当日運用では天候の急変により PV 出力が低下し、予測誤差による深刻な電力不足を引き起こすランプダウンケースを想定した。また、1 日の最大需要が 3650 MW の軽負荷期を想定し、運転予備力は最大需要の 8%とした。一例として、PV 導入量 1190 MW での需要、残余需要、PV 出力を Fig. 2 に示す。

4. シミュレーション結果

PV 導入可能量を最大需要に対する割合とし、各 LFC 容量での PV 導入可能量を Fig. 3 に示す。制約 1 では、LFC 容量と PV 導入可能量に線形関係が見られるが、制約 2 では、LFC 容量を 7%から 8%へ増加させた場合、PV 導入可能量は 45.8%から 32.1%へ減少した。また、PV 導入量に対する必要 LFC 容量を Fig. 4 に示す。制約 1 では、1 日のうち 72 分(5%)の逸脱が許されるが、制約 2 では一瞬の逸脱も許されないため、ランプダウンケースでは制約 2 がより厳しい条件となる。したがって、制約 2 の必要 LFC 容量を表す直線は、制約 1 の左側にシフトする。実運用では、制約 1,2 の両方を満たす必要があるため、必要 LFC 容量は制約 2 の条件下での線形近似を表す式 (1) を用いて、PV 導入量に応じた LFC 容量を決定できる。

$$\text{必要 LFC 容量}[\%] = a \times \text{PV 導入量}[\%] + b \quad \cdots (1)$$

ここで、 a は 0.869、 b は -19.6 である。

5. 考察

本稿では、LFC 容量不足による周波数低下と LFC 容量超過による周波数上昇が確認された。LFC 容量不足による周波数低下の考察は紙面の都合上割愛し、LFC 容量過剰による周波数上昇のみを Fig. 5 に示す。一例として、PV 導入量 33.4%での系統周波数 (a)、発電機 Coal#3 (b)、発電機 Coal#1 (c) の出力、UC による計画出力をそれぞれ示す。LFC 容量 8%の時に周波数が逸脱する 13:42 付近の発電機の応動を確認する。Coal#3 は周波数調整のため出力を減少させている。一方で、Coal#1 は LFC 容量確保のため、早めに起動していることが確認できる。つまり、PV 出力は減少方向にあるにも関わらず、LFC 容量確保による発電機早期起動のため、電力超過供給となり、結果として周波数が上側 (+0.2 Hz) に逸脱したと考えられる。

6. まとめ

本稿では、PV 導入量に応じた最適な LFC 容量決定手法を

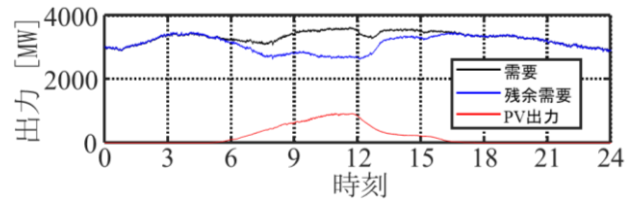


Fig. 2. Profile of Load, Net Load, PV output.

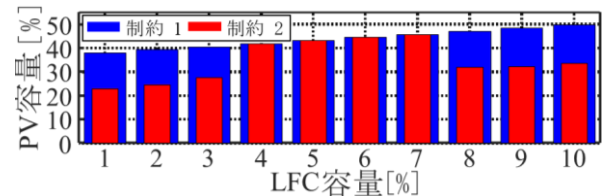


Fig. 3. Maximum PV capacity with LFC capacity.

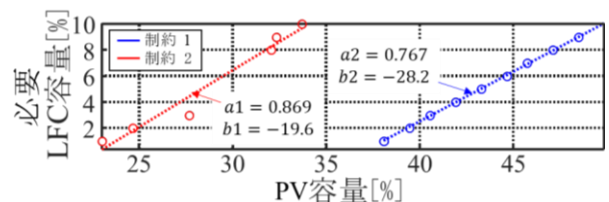


Fig. 4. Required LFC capacity for the PV installation.

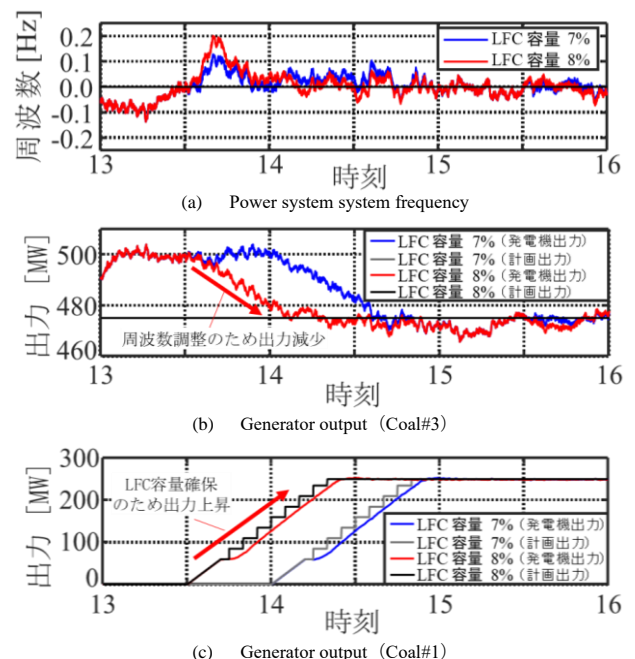


Fig. 5. The situation at PV capacity 1190 MW (33.4%).

提案した。提案手法では、前日計画および当日運用をシミュレーションにより評価することで、PV 出力がランプダウンケースでの必要 LFC 容量を決定することができた。必要 LFC 容量は PV 導入量に対して線形関係にあり、PV 導入量が明確な場合、複雑なシミュレーションを行わず、最適な LFC 容量を決定できることが分かった。

文 献

- (1) A. M. Ersdal, L. Imsland and K. Uhlen, "Model Predictive Load-Frequency Control," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 31, no. 1, pp. 777-785, Jan. 2016
- (2) 電力需給解析モデル標準化調査専門委員会; 「電力需給・周波数シミュレーションの標準解析モデル」 電気学会技術報告 第 1386 号, 2016-12