

太陽光発電・電力需要の予測信頼区間を考慮した 電力系統のセキュリティ評価に関する研究

申請中 広島大学 *兼岡 新司 KANEOKA Shinji
 広島大学 餘利野直人 YORINO Naoto
 05000239 広島大学 佐々木 豊 SASAKI Yutaka
 広島大学 造賀 芳文 ZOKA Yoshifumi
 一般社団法人 MIRAI・未来 奥本 芳治 OKUMOTO Yoshiharu

1. はじめに

再生可能エネルギー、特に太陽光発電(Photovoltaic Power Generation: PV)への関心は、世界的に高まりを見せており、電力系統へのPV大量導入がさらに進むと予想される^[1]。一方、気象条件に依存するため、PV発電量が電力系統に大量導入された場合に起こる問題が指摘されている^[2,3]。著者らは従来から用いられているN-1信頼度を不確定環境下で適用できるロバスト信頼度を提案し、ロバスト信頼領域の大きさをを用いたセキュリティの定量化を行ってきた。本稿ではPVや電力需要の予測信頼区間を考慮したロバスト信頼度解析結果を示す。

2. ロバスト信頼度の概念^[4,5,6]

2.1 N-1 信頼度

電力系統におけるセキュリティを図る尺度として、世界的にN-1信頼度が採用されている。これは系統運用において、設備N個の内いかなる1つの設備故障に対しても供給支障を発生させないための確定論的な基準である。本稿では、N-1信頼度を満たす発電機の実行可能領域を静的信頼領域(SS領域: Static Security Region)と呼び、特定の時間断面で定義する。

2.2 RSS 領域と RDF 領域

時刻 t における変動パラメータ $p(t)$ の存在領域を予測値 $\hat{p}(t)$ の周りで不確定性 Δ を指定すると、
 $R_p(t) = \{p \mid p = \hat{p}(t) + \Delta, \text{ for all } \Delta \in R_\Delta(dt)\}$ (1)
 で表される。ここで、 $R_p(t)$ をパラメータ変動領域と呼び、予測値 $\hat{p}(t)$ の周りで不確定性 Δ の領域 R_Δ を想定するが、 Δ は予測先行時間 dt が長いほど、大きくなる点も考慮して指定する。この変動パラメータ p の不確定性が存在しても信頼度が満たされる運用領域をロバスト静的信頼領域(RSS領域: Robust Static Security Region)と定義する。

次に、将来の複数時刻において不確定性を考慮して、運用計画を策定する状況を想定する。時刻 t の運用計画を、隣接する時刻 $t+1$ の供給信頼度を考慮しながら決定

する。時刻 t から始まり時刻 $t+1$ で到達可能な発電機の出力領域を動的実行可能領域と呼ぶ。この領域に不確定性の概念を導入したものをロバスト動的実行可能領域(RDF領域: Robust Dynamic Feasible region)と定義する。

3. RDF 領域の評価指標

3.1 RDF 領域導出のための制約条件

電力系統における経済負荷配分問題において、一般的に用いられる需給バランス制約(2式)、ネットワーク潮流制約(3式)、発電機、負荷上下限制約(4および5式)、発電機出力変化速度制約(6式)、PV予測誤差制約(7式)、負荷予測誤差制約(8式)、PV、電力需要予測信頼区間(変化率)制約(9)-(13式)を考慮し、次のように記述する。

$$e^T \cdot (u + p) = 0, e = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T \dots\dots\dots (2)$$

$$\underline{P}_{TL} \leq S^{(n)} \cdot (u + p) \leq \bar{P}_{TL} \dots\dots\dots (3)$$

$$\underline{u} \leq u \leq \bar{u}, u = [P_G \ P_{slack}] \dots\dots\dots (4)$$

$$R_p = \{p \mid \underline{p} \leq p \leq \bar{p}\}, p = [P_{PV} \ P_D] \dots\dots\dots (5)$$

$$-\delta \leq u(t) - u(t-1) \leq \delta \dots\dots\dots (6)$$

$$-\Delta_{PV}(t) = \bar{\Delta}_{PV}(t) = \sigma_{PV}(t) \cdot \hat{P}_{PV}(t) \dots\dots\dots (7)$$

$$-\Delta_D(t) = \bar{\Delta}_D(t) = \sigma_D(t) \cdot \hat{P}_D(t) \dots\dots\dots (8)$$

$$\dot{p} = \hat{p}(t+1) - \hat{p}(t), \hat{p} = [\hat{P}_{PV} \ \hat{P}_D] \dots\dots\dots (9)$$

$$\bar{\underline{p}} = \bar{\underline{p}}(t+1) - \hat{p}(t) \dots\dots\dots (10)$$

$$\underline{\underline{p}} = \underline{\underline{p}}(t+1) - \hat{p}(t) \dots\dots\dots (11)$$

$$\underline{\underline{p}} \leq \dot{p} \leq \bar{\underline{p}} \dots\dots\dots (12)$$

$$\underline{\underline{p}}(t+1) \leq p(t) + \dot{p} \cdot dt \leq \bar{\underline{p}}(t+1) \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 u : 制御変数(発電機出力), p : 不確定パラメータ(PV出力: P_{PV} , 負荷: P_D), \bar{u}, \underline{u} : 発電機出力上下限, \bar{P}, \underline{P} : 不確定パラメータ上下限, $S^{(n)}$: 潮流分係数(故障 n に対する行列, $n=0$ は平常状態), $\bar{P}_{TL}, \underline{P}_{TL}$: ネットワーク潮流上下限, δ : 制御変数出力変化率, \hat{P}_{PV}, \hat{P}_D : PV/負荷予測値, σ_{PV}, σ_D : PV/負荷の予測偏差, $\Delta_{PV}, \bar{\Delta}_{PV}, \Delta_D, \bar{\Delta}_D$: PV出力, 負荷の予測誤差上下限, \dot{p} : p の時間変化率, \hat{p} : p の予測値, $\bar{\underline{p}}, \underline{\underline{p}}$: \dot{p} の上下限, $\bar{\underline{p}}, \underline{\underline{p}}$: \hat{p} の上下限, dt : t と $t+1$ の間隔。

3.2 RDF の空間的広がり

(14式)に示す法線ベクトル c と垂直な超平面 α は、

$$c^T u = \alpha \dots\dots\dots(14)$$

RDF に対する α の上下限値を $\bar{\alpha}_{RDF}$, $\underline{\alpha}_{RDF}$ とすると,

$$\bar{\alpha}_{RDF} = \min_u \{ \max_p \{ c^T u \} \} \dots\dots\dots(15)$$

Subject to Eq. (2)-(13).

$$\underline{\alpha}_{RDF} = \max_p \{ \min_u \{ c^T u \} \} \dots\dots\dots(16)$$

Subject to Eq. (2)-(13).

(15), (16)式の解として求めた 2 つの超平面は, RDF を c 方向(法線方向)の平面について両側から挟み込んだものである。このとき, 平面間の距離 d_{RDF} は, 直線 c 方向の RDF の径を意味し, RDF の大きさとなる。

$$d_{RDF} = \frac{1}{\|c\|} (\bar{\alpha}_{RDF} - \underline{\alpha}_{RDF}) \dots\dots\dots(17)$$

4. シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

図 1 に示す West30 機電力系統モデルの電力需要が最大となる Peak 断面を用いた。図 2 が日負荷曲線および PV 総出力予測値とその予測信頼区間である。PV の日本全国の総容量は 38GW, 64GW とした。本稿では, 3 つの天候シナリオ(Case 1:雨から曇り, Case 2:晴れから曇り, Case 3:終始晴れ)を設定した。電力需要の予測信頼区間はどのシナリオでも図 2 のように存在すると設定した。シミュレーションでは, 時刻 0:30 から時刻 23:30 まで 30 分毎に d_{RDF} を計算した。

4.2 シミュレーション結果

結果を図 3 に示す。PV が 38GW よりも 64GW の方が 6 時から 18 時 30 分までの間, d_{RDF} の値が全体的に減少している。これは電力システムのセキュリティ低下を意味している。Case1 の 15:00 や Case2 の 12:00-13:00 といった PV の出力予測変動が激しい時間帯については d_{RDF} の値に対してその影響が顕著である。以上から, PV の急激な出力変動が d_{RDF} の値に影響を与えていることがわかる。

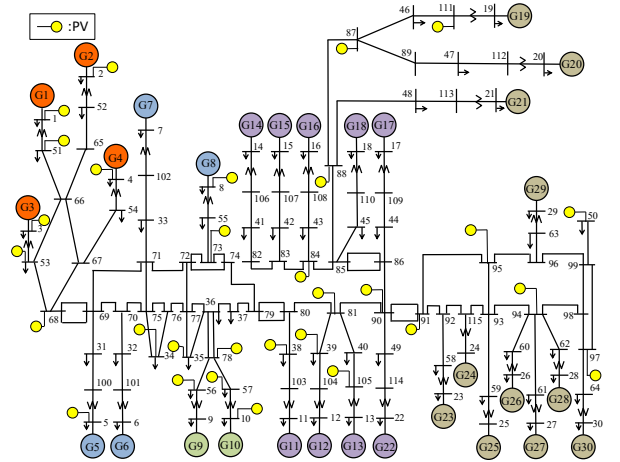


Fig. 1. IEEJ West 30-machine system model with PV

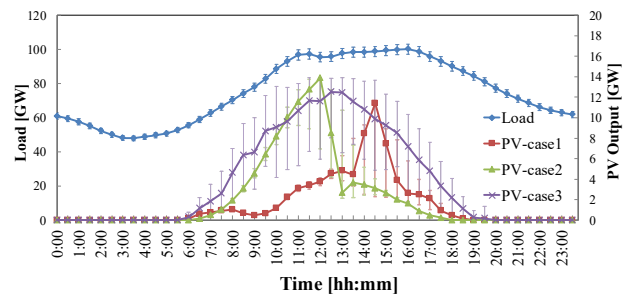


Fig. 2. Forecast data, load \hat{P}_D and PV output \hat{P}_{PV} .

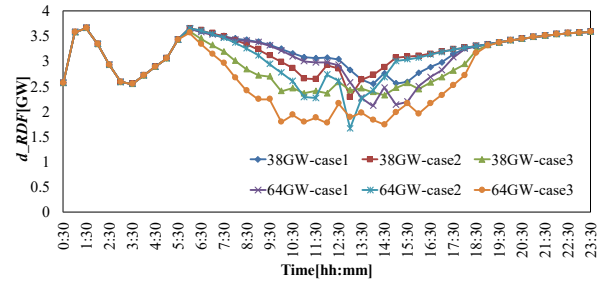


Fig. 3. The index of robust dynamic feasible region d_{RDF} .

5. まとめ

本稿ではロバスト信頼指標を用いたセキュリティ評価について, PV と電力需要の予測信頼区間を考慮した。PV 導入量が大きくなると, PV 発電時間帯では電力システムのセキュリティが低下していく, すなわち d_{RDF} の値が小さくなることを示した。今後, リアルタイム運用への適用のため, 短い時間断面でのロバスト信頼領域指標計算や計算時間の高速化を行う予定である。

参考文献

- [1] 資源エネルギー庁, 低炭素電力供給システムに関する研究会資料, 「低炭素電力供給システム構築に向けて」(2009)
- [2] S. Eftekhamejad, V. Vittal, G. T. Heydt, B. Keel, J. Loehr, "Impact of increased penetration of photovoltaic generation on power systems," *IEEE Trans. on Pow. Syst.*, vol.28, no.2, pp.893-901, 2012.
- [3] P. B. Eriksen, T. Ackermann, H. Abildgaard, P. Smith, W. Winter, J. M. R. Garcia, "System Operation with High Wind Penetration," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 3, no. 6, pp. 65-74, 2005.
- [4] 奥本, 餘利野, 佐々木, 造賀, 山中, 秋吉, "不確定環境下におけるロバスト信頼度の適用とその評価-将来断面における N-1 信頼度の検討-, " *電学論 B*, vol.133, no.1, pp.56-63, 2013.
- [5] N. Yorino, M. Abdillan, Y. Sasaki, Y. Zoka, "Robust power system security assessment under uncertainties using bi-level optimization," *IEEE Trans. on Pow. Syst.*, vol.33, no.1, pp.352-362, 2018.
- [6] S. Kaneoka, Y. Sasaki, N. Yorino, Y. Okumoto, Y. Zoka, "Robust power system security assessment under uncertainties of PV penetration," *The Grand Renewable Energy 2018*, 17-22 Jun. 2018.