

リスク鋭感的価値尺度を応用した電力系統の供給信頼度指標

宮内 肇 (熊本大学) ・ 三澤哲也 (名古屋市立大学)

1. はじめに

電力系統の供給信頼度とは、発電・送配電設備や需要家を含む電力系統全体の頑健性を測る尺度である。その指標としては、停電の発生頻度や継続時間などの確率分布を求め、その期待値として表すことが一般的である。例えば、そのような供給信頼度指標の一つ、LOLE (停電時間期待値) は、「1 年間における、供給力不足が発生する時間の期待値」と定義されている⁽¹⁾。

これまで、電源は主として同期発電機であり、容量や慣性の大小はあっても、個々の発電機の故障特性などに大きな違いはないものと考えられる。そのため、異なる系統の供給信頼度を、期待値で表された供給信頼度指標を用いて比較することも可能である。そこへ昨今、地球温暖化防止の点から、太陽光発電や風力発電など従来の同期発電機とは異なるタイプの電源の割合が急激に増加している。これら太陽光発電や風力発電は、従来の同期発電機とは異なる故障特性をもつため、停電の発生頻度や継続時間などの確率分布が大きく変えつつある。かねてより著者の一人三澤は、応用数理を専門とする立場から、確率分布全体のもつ意味を捨て、期待値だけで表現することには疑問を呈してきた。この点については、従来は故障特性に大きな違いがないことから問題視していなかったが、昨今の電源構成を考えると、もはやこの疑問を無視することはできない。

一方、著者らは、リスク鋭感的価値尺度 (RSVM : Risk Sensitive Value Measure)⁽²⁾を用いて、発電事業投資の評価を行ってきた⁽³⁾。RSVM は、期待効用無差別理論に基づいて不確実性を含んだ確率変量の価値評価を行うリスク評価尺度である。ある意味で、RSVM は効用関数を介して確率分布に重み付けを行うことで、確率分布全体を評価しているものとも考えられる。

RSVM が確率分布を評価するものであることから、停電の発生頻度や継続時間などの確率分布を評価させてもよいことに気付いたことから、我々は、RSVM を供給信頼度指標として用いることを提案している⁽⁴⁾。本稿では、RSVM を用いた供給信頼度指標の概要について述べた後、簡単な系統を用いたシミュレーション結果を示し、従来からの供給信頼度指標との対応について述べる。

2. リスク鋭感的価値尺度

事業の可否を判断する簡便な手法として、正味現在価値 (NPV : Net Present Value) 法がよく用いられる。これは、毎期のキャッシュフロー CF_i を割引率 r で現在価値に割り、その総和と事業への投資額 I の差で価値を測るものである。すなわち、NPV は式(1)で表される。

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I \quad (1)$$

ここで、NPV が正であれば投資を実行する。

NPV 法では、キャッシュフロー CF_i に不確実性 (リスク) を伴うが、現実の市場と乖離のあるようなものを評

価する場合、NPV 法ではリスクを正當に評価できない。RSVM は、必ずしも市場をベースとしないリスク回避的事業家の内部的な事業価値評価法として考案されたリスク評価尺度であり、これまで様々な投資の価値評価に応用されており、不動産投資への適用例なども報告されている⁽⁵⁾。

RSVM は、式(1)の NPV を確率変数 X で表し、指数型の効用関数を用いると、式(2)のように書ける。

$$RSVM(X) = -\frac{1}{\beta} \log E[e^{-\beta X}] \quad (2)$$

ここで、 β は事業主体のリスク回避度を表し、 $\beta > 0$ で、この値が大きいほど事業主体はリスク回避志向である。また、 $E[\cdot]$ は期待値を表す。

3. シミュレーション結果

3.1 モデル系統

モデル系統として、世帯数 4 万、人口 10 万人程度で夏季の最大需要平均値が 100MW の離島を想定する。本稿では、電源アデカシーのみを議論することとし、離島内の系統構成や送配電系統での故障・損失は考慮しない。この系統で、需要、発電機出力、故障を確率変数として表し、モンテカルロシミュレーションにより停電日数の確率分布を求める。

需要は、1 年を 1~2 月と 12 月の冬季 (90 日間)、3~5 月と 10~11 月のオフピーク期 (153 日間)、6~9 月の夏季 (122 日間) の 3 期間に分けて考える。夏季最大需要の平均値を 100MW とし、冬季の最大需要の平均値は夏季最大需要の平均値の 90%、オフピーク期の最大需要の平均値は夏季最大需要の平均値の 70% とする。日々の需要は、各季節の最大需要の平均値を中心に、標準偏差 5% の正規分布で変動させる。なお、簡単のため平日と土日祝は区別しない。

電源としては、内燃力発電機 (ディーゼル発電機) と太陽光発電設備の 2 種類を考える。内燃力発電機は、単機容量 10MW とし、燃料は十分に供給されているものとする。故障確率は年 1% とし、表 1 に示すように大中小 3 種の故障を想定する。

太陽光発電設備は、単機容量を 200kW とし、故障確率は年 1% とし、表 1 に示すように大中小 3 種の故障を想定する。出力は、設備容量 × 日射量 × 設備係数 × 天候係数で計算する。ここで、設備係数は 0.7 と設定した。また日射量については、図 1 のように各月の平均日射量を設定し、毎日の日射量は標準偏差 15% で変動させて決

表 1 各電源の想定故障種別

電源	故障種別	小	中	大
内燃力 発電機	故障継続時間	1 日	7 日	30 日
	故障発生確率	60%	30%	10%
太陽光 発電	故障継続時間	3 日	7 日	30 日
	故障発生確率	60%	30%	10%

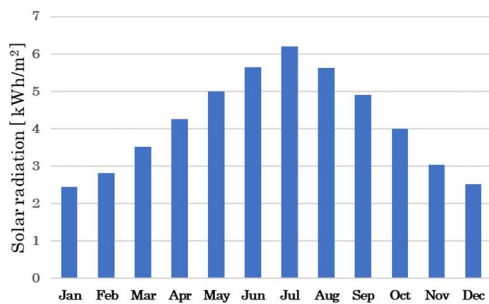


図1 想定する月別の平均日射量

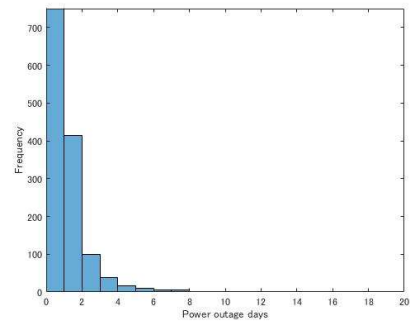


図2 内燃力発電機が主のA系統の場合

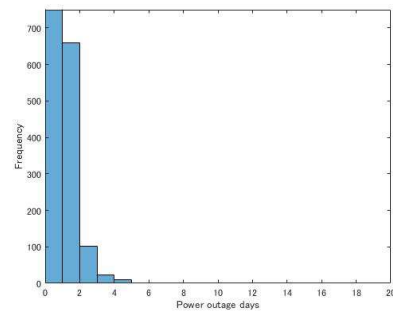


図3 太陽光発電が主のB系統の場合

定する。天候係数は、晴のときを1とし、曇りのときを0.5、雨のときを0.1とした。

3.2 シミュレーション方法

予備力として、需要の8%または内燃力発電機1機分の容量である10MWのどちらか大きい方の値を採用する。毎日の需要を決定し、予備力を加えた値を、必要需要電力とする。内燃力発電機と太陽光発電からの供給力が必要需要電力を下回れば、供給力の不足日数1日としてカウントする。これを365回(日)繰り返して年間の供給力不足日数を求め、1試行とする。

本稿では、10,000試行のモンテカルロシミュレーションを行い、供給力不足日数の確率分布 X を得る。第2節で述べたように、RSVMは確率分布 X に対して式(2)を適用して求めるが、供給力不足日数、すなわち、停電は事業者にとってはネガティブな価値を表すことから、負、すなわち、 $-X$ に対して式(2)を適用する。なお、本稿ではリスク回避度 $\beta = 0.5$ と設定して計算した。

3.3 シミュレーション結果

系統の電源構成を2ケース想定して検討を行った。A系統は、内燃力発電機の割合が容量ベースで84%と多いのに対し、B系統は太陽光発電の割合が74%と多い。なお、この割合は、期待値で表される供給信頼度指標であるLOLPがほぼ同じ値0.10日/年となるように設定したものである。

図2に内燃力発電機が主のA系統の供給力不足日数分布を、図3に太陽光発電が主のB系統の供給力不足日数分布を示す。表2に、供給力不足日数分布の統計情報をまとめる。図2及び表2より、内燃力発電機の割合の高いA系統は供給力不足日数が10日を越える場合があり、分布の裾が長く伸びている。これは、内燃力発電機の単機容量が太陽光発電設備よりも大きく、1機の故障による発電量の低下が大きく影響するためと考えられる。

一方、太陽光発電が主のB系統の場合は、A系統と比べて供給力不足日数が年1日となる頻度は高いが、年10日を超えることはなく、分布の裾は短い。

このように、太陽光発電の割合が高い系統では、従来の同期発電機を主とする系統とは、供給力不足日数の分

布が異なるが、どちらも従来の供給信頼度指標であるLOLPで評価すれば、0.1日/年と同じ値である。一方、確率分布全体を評価するRSVMで評価すると、表2に示すように、A系統は-0.81、B系統は-0.15と異なる評価が下される。RSVMは小さいほど良いと評価するため、この場合、A系統では年10日を越えるケースがあることをリスクが高いと評価している。

4. まとめ

本稿では、我々が提案しているRSVMを用いた新しい供給信頼度指標とその有効性について説明した。リスク回避度 β の設定法や、さらに大規模への系統への適用など様々な課題があり、引き続き検証を進めていく。最後に、本稿の計算結果は、熊本大学博士前期課程2年次廣山康貴氏による。また、本研究は科学研究費補助金19K04330の支援を受けている。ここに記して感謝する。

参考文献

- (1) 電力広域的運営推進機関：「確率的必要供給予備力算定手法(EUE算定)について」、https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2019/files/chousei_40_03.pdf (2019).
- (2) 宮原孝夫：「リスク鋭感的価値尺度法」、日本リアルオプション学会研究叢書、第1号(2017).
- (3) H. Miyauchi, D. Yoshimoto, T. Koga, H. Izutsu, T. Misawa, "Evaluation of Renewable Energy Project by Risk Sensitive Value Measurement", IFAC-PapersOnLine, 2020, Vol.53, Issue 2, pp.12201-12206 (2020).
- (4) 古川義英・宮内肇・三澤哲也：「リスク鋭感的価値尺度を用いた供給信頼度指標」、電気学会論文誌、Vol.139, No.5, pp.356-362 (2019)
- (5) L. Ban, T. Misawa, Y. Miyahara, "Valuation of Hong Kong REIT Based on Risk Sensitive Value Measure Method", International Journal of Real Options and Strategy, Vol.4, pp.1-33 (2016)

表2 供給力不足日数分布の統計情報

(単位：日/年)	平均値 (LOLP)	最大値	RSVM
A系統(内燃力主)	0.10	16	-0.81
B系統(太陽光主)	0.10	5	-0.15