電力供給リスク低減効果を考慮した分散型電源導入への自然災害の影響評価

中央大学 学生会員 ○佐貫 亮太 中央大学 本会員 佐藤 尚次

1. はじめに

我が国は、近年問題となっている地球温暖化への対策として、2018年に第5次エネルギー基本計画¹⁾を公表した。その中で、温室効果ガスの削減を目的として2030年までに我が国の電源構成比率に占める再生可能エネルギーの割合を22~24%にするという目標を設定している。2019年の我が国の再生可能エネルギーによる発電の割合は約18%であり、今後の更なる導入が望まれる。

しかしながら我が国は災害大国であり、地震や台風による構造物の被害が相次いでいる。電力系統設備も例外ではなく、被害を受けると我々の生活に必要な不可欠な電気の供給不足に陥ってしまう。特に、火力発電のような大規模集中型電源が被害を受けて運転を停止すると、広範囲に停電を引き起こす可能性がある。

分散型電源は、需要家との距離が近いため、導入することで大規模集中型電源が停止したときの電力供給リスクを低減できると考えられている。

自然災害には様々あり、導入する発電方式によってもそれぞれの災害に対する脆弱性が異なる。そこで本研究では、ベストミックスを構築するための脆弱性分析を災害ごと、発電方式ごとに行うことを目的とする。

2. 研究の対象

2.1 対象とする自然災害

本研究にて対象とする自然災害は、地震、台風、落雷とする。2011年の東日本大震災²⁾、2018年の北海道地震³⁾のように、地震は発生頻度が低いが、大規模電源に被害をもたらす、広域に影響を及ぼす可能性がある。台風や落雷は、頻度が比較的高く、送変電設備に被害を及ぼし、停電に至るケースが多い。

2.2 対象とする再生可能エネルギー

本研究で分散型電源として地域に導入する再生可能エネルギーは、太陽光と風力とする。表-1に2019年時点での再生可能エネルギーの導入量と2030年に向けた目標導入量を示す。この表からどちらのエネルギーも、全国的に導入ポテンシャルが高く、分散型電源に向いており、今後の再生可能エネルギー導入の中心となっていくと考えられるため、本研究の対象とした。また、2種類の電源を導入することにより、災害発生時に分散型電源が同時に被害を受ける確率を軽減できると期待できる。

なお、風力発電については、目標導入量1,000万kWのうち、918万kWを陸上風力発電が占めていることから、優先度が高いと考えたため、本研究では

表-1 再生可能エネルギーの2019年導入水準と2030年目標導入量

kW	導入水準 (2019年3月現在)	2030年度ミックス	導入進捗率
太陽光	5,020万	6,400万	約78%
風力	370万	1,000万	約37%
地熱	55万	140~155万	約37%
中小水力	970万	1,090~1,170万	約86%
バイオマス	400万	602~728万	約60%

陸上風力発電のみを考える。

3. 研究手法

本研究では、まず、過去の対象とした災害の事例を調べ、比較的被害が起りやすい電力系統設備について、設備の所在地における災害強さと被害の有無から、被害率曲線を作成する。次に、被害があった設備について、その際の停止期間を調べ、停止期間にばらつきのあるものに関して、運転再開までにかかった日数を関数として算出する。

4. 被害率曲線の作成

過去の災害発生事例を調べ、災害の強さと電力設備の被害状況から、設備の被害率曲線を作成した。ここでは、災害による運転停止など電力供給に支障があったものを被害ありとする。設備の被害率は対数正規分布に従うと仮定し、被害率曲線の作成方法については、最尤法を用いて対数正規分布のパラメータを推定する湯山らの方法⁴⁾を参考にした。災害強さが x_i のときに、設備が被害を生じる確率 $P_1(x_i)$ は、式(1)で表される。

$$P_1(x_i) = \int_0^{x_i} f(x) dx \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2)$$

また、設備に被害が生じない確率 $P_0(x_i)$ は、

$$P_0(x_i) = 1 - P_1(x_i) \quad (3)$$

ここから、尤度関数は、式(1)と(3)を用いて、次のように表される。

$$L(\mu, \sigma) = \prod_{i=1}^N P_0(x_i)^{\delta_{i0}} P_1(x_i)^{\delta_{i1}} \quad (4)$$

ただし、被害ありのとき $\delta_{i0} = 0, \delta_{i1} = 1$ であり、被害なしのとき $\delta_{i0} = 1, \delta_{i1} = 0$ である。また、Nはサンプル数を表す。

この尤度関数の対数値が最大となるように式(2)のパラメータ μ と σ を推定する。

被害率曲線を作成した項目は、地震、台風における強風と浸水である。過去の災害事例としては、地震に関しては2011年東日本大震災²⁾、2016年熊本地

キーワード 自然災害、分散型電源、電力設備被害率、運転停止期間推定

連絡先 〒131-0044 東京都墨田区文花 3-20-15 TEL : 080-3603-9314 E-mail : srgold265@i.softbank.jp

震⁵⁾、2018年北海道地震³⁾の被害状況を参照した。なお、東日本大震災においては、津波の影響により被害を受けた設備は除いて集計した。台風に関しては、設備ごとに2018年台風21号、2019年台風15号、台風19号による被害状況を参照し、浸水被害として2018年7月豪雨も参照した。

災害強さを表す指標は地震では計測震度、強風では最大風速、浸水では1時間降水量の最大値とした。以上のことから、推定した電力系統設備とパラメータを表-2に示す。

5. 落雷による被害

落雷の被害を考える電力設備は、太陽光発電所、風力発電所、送電設備とする。送電設備に関しては、電力中央研究所が発表した送電線耐雷設計ガイド⁶⁾にて、雷事故率予測プログラムを用いて算出された数値を用いる。太陽光発電と風力発電について落雷による年間設備被害率 N (回)を、式(5)に表す。

$$N = N_g AP \tag{5}$$

ここで、 N_g (回/年・km²)は大地雷撃密度、 A (km²)は設備の等価受雷面積、 P は設備の落雷被害確率であり、それぞれ次の式で表す。

$$N_g = 0.1 \times IKL \tag{6}$$

$$A = L \times W + 6H(L + W) + 9\pi H^2 \tag{7}$$

$$P = \int_{Ic}^{\infty} f(i)di / \int_0^{\infty} f(i)di \tag{8}$$

IKL (日)は地域ごとの年間雷雨日数、 L 、 W (km)は設備の長さ、 H (km)は設備の高さ、 $f(i)$ は雷撃電流分布、 Ic (kA)は設備に被害が生じる電流閾値である。

6. 電力設備の停止期間の検討

これまで作成してきた被害率曲線は、被害が起こる確率を表しているが、実際に被害が生じた際の停止期間は考慮されていない。そこで本節では、比較的運転開始までにかかる期間のばらつきが大きい電力設備について、電力設備の運転停止期間を復旧関数として求めていく。関数は生存時間解析のパラメトリック・モデルの考え方をを用いて推計する。発電所の停止期間を T とし、 T がある時点 t 以下となる確率、つまり時点 t における運転開始確率を $F(t)$ とすると、 $F(t)$ は式(9)で表される。

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \tag{9}$$

$f(x)$ によく使われる確率分布には、指数分布、ワイブル分布、対数正規分布がある。それぞれの分布形を以下に示す。

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \tag{10}$$

$$f(x) = \lambda p(\lambda x)^{p-1} e^{-(\lambda x)^p} \tag{11}$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \tag{12}$$

本研究では、過去の電力設備の停止期間の実績から、最尤法を用いてこれら3つの分布へのあてはめを行い、AICを用いてそれぞれの適合度を比較し、最も適合度の高い確率分布を $f(x)$ とする。

なお、災害の強さによって運転停止期間が変化することも考えられるが、ここでは簡単のため、災害

表-2 パラメータ推定結果

地震	μ	σ	強風	μ	σ
火力	1.97	0.37	送電	13.55	3.26
水力	2.09	0.26	太陽光	4.32	0.82
送電	2.34	0.21	風力	5.1	0.81
変電	2.26	0.24	浸水	μ	σ
太陽光	2.22	0.24	変電	4.86	0.43
			水力	4.27	0.92
			太陽光	6.41	1.31

表-3 停止日数の確率分布とパラメータ

災害	設備	確率分布	パラメータ	
地震	火力	対数正規	$\mu = 1.83$	$\sigma = 1.86$
	水力	指数	$\lambda = 0.0054$	
	送電	指数	$\lambda = 0.014$	
暴風	風力	指数	$\lambda = 0.0045$	
	浸水	水力	$\lambda = 0.0019$	
落雷	風力	対数正規	$\mu = 3.19$	$\sigma = 1.20$

強さにかかわらず、被害を受けた設備はこの確率分布に従うものとする。また、送電設備については、地震と強風による被害から復旧までの流れが似ているため、同一の関数とした。

表-3に各災害、設備の停止期間について、適合度の高かった確率分布と、そのパラメータを示す。

7. おわりに

本稿では、過去の災害事例と電力系統設備の被害状況から、最尤法を用いて設備の被害率曲線を推計し、被害を受けた際の停止期間についての確率分布に当てはめ、関数として算出した。

今後は、これらの電力設備の自然災害に対する被害率等のデータを用いて、電力系統の災害発生時における供給不能電力量などの信頼性指標を算出し、分散型電源を導入することによる電力供給リスクを求めることを課題とする。

参考文献・出典

- 1) 経済産業省・資源エネルギー庁 エネルギー基本計画 平成30年7月
- 2) 土木学会エネルギー委員会 新技術・エネルギー小委員会報告書(最終報告) 東日本大震災におけるエネルギー施設(火力・水力・送変配電・ガス)の被害状況と今後への展開について
- 3) 電力広域的運営推進機関 平成30年度北海道胆振東部地震に伴う大規模停電に関する検証院解最終報告
- 4) 湯山安由美, 梶谷義雄 2011年東日本大震災のデータに基づく火力発電所の被害・復旧関数の推計 土木学会論文集 A1, Vol. 70, No.4, I_664-I677, 2014
- 5) 九州電力株式会社 電気設備被害の状況分析と地震対応の評価について
- 6) 送電線耐雷設計ガイド 電力中央研究所 平成15年