

風力発電への RBM の導入の検討

- リスクマトリックスの作成 -

日大生産工(院) ○安福 紗英
日大生産工 三友 信夫

1. 緒言

国際社会共通の目標であるSDGsにおいても再生可能エネルギーが注目されており、風力発電は、現在注目されている再生可能エネルギーの1つである。この風力発電が発電インフラとして普及するためには、安定した運転や電力供給が必須であり、そのためには保全が重要な役割を果たす。

しかしながら、風力発電は多くがアクセスしづらい場所に設置されており、保全を行う回数を合理的に減らす必要がある。このような事故や故障を未然に防ぐ手法として、リスク評価手法がある。

化学プラントではリスク評価の結果に基づいて、保全や検査を優先的に行うべき部位を決定する手法として RBM (Risk-Based Maintenance) が導入されている¹⁾。このRBMの導入により、最適な検査やメンテナンス、コストの削減が可能になる。しかしながら、RBMを風力発電に導入した例はない。

そこで、本研究では風力発電を発電インフラとして導入するために必要な安定した運転のために、風力発電へのRBMの導入の検討を行った。

2. 方法

図1にRBMの一般的な手順を示す。本研究では、リスクアセスメントの部分について検討を行った。

2.1 事故データ

化学プラントでRBMを適用する際、機器や材料に関するデータ、事故データを用いるが、風力発電では、機器や材料に関するデータベース等は確認できていない。一方、事故データに関しては、NEDO(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)の風力発電の事故データ(2008年度～2018年度)³⁾が確認されたため、このデータを用いて検討を行った。

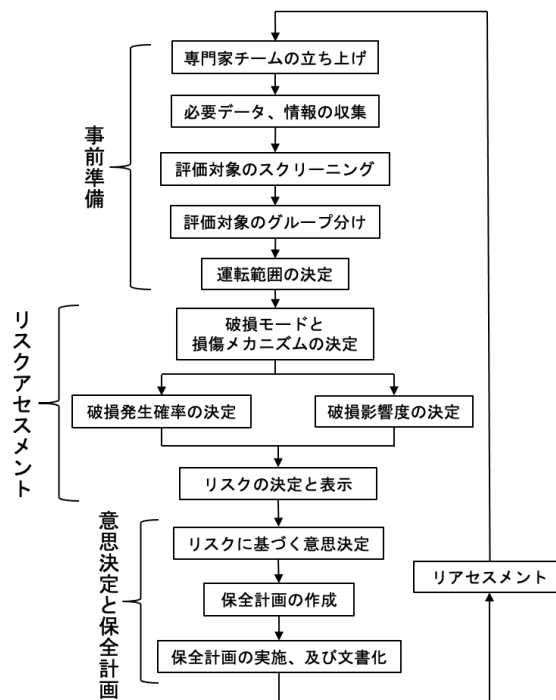


図1 RBMの一般的な手順²⁾

しかしながら、NEDOの事故データは、風力発電事業者(メーカー、代理店等)へ、故障・事故に関するデータを任意で情報収集を行っているため、記載されている情報の統一が行われていない。そのため、故障部位の名称の統一等を行い、データを整理し、事故事例について検討を行った。

2.2 リスク

工学分野では、リスクは「事故発生頻度」と「被害の大きさ」の組み合わせで表される。

本研究では、「事故発生頻度」を「風力発電1基で1年あたりに発生する事故の件数」、「被害の大きさ」を「1件の事故あたりに風車が停止した時間」として扱った。

2.3 事故発生頻度

事故データを用いて故障部位ごとに事故件数を整理し、次の式で算出した。

$$\text{事故発生頻度[件/(基・年)]} = \frac{\text{発生した事故件数(件)}}{\text{2008年度~2018年度の調査協力基数の合計(基)×11(年)}}$$

なお、1件の事故で複数の故障部位があった場合、故障部位を独立して考え、風車停止時間の不明な事故は除外した。また、分母にあたる「2008年度~2018年度の調査協力基数の合計」は9396基³⁾であったため、この値を用いて算出を行った。

2.4 被害の大きさ

事故データを用いて故障部位ごとに時間として風車停止時間を整理し、次の式で算出した。

$$\text{被害の大きさ[時間/件]} = \frac{\text{事故によって風車が停止した時間の合計(時間)}}{\text{発生した事故件数(件)}}$$

2.3、2.4で示した2つの算出結果からリスクが得られるが、保全の対象となる部位を抽出するためにはリスクの順位づけが必要であり、そのためにリスクマトリックスを作成した。

2.5 リスクマトリックス

リスクの分布を知る上で有効な手法として、リスクマトリックスがある(図2)。縦軸は事故発生頻度、横軸は被害の大きさを示し、各軸は複数のカテゴリに分割され、結果を該当部位にプロットする。また、リスクマトリックスを作成する際、各軸の区分と数値を対応づける必要がある。

事故発生頻度	6	7	8	9	10	11	12
	5	6	7	8	9	10	11
	4	5	6	7	8	9	10
	3	4	5	6	7	8	9
	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7
	被害の大きさ(風車停止時間)						

図2 リスクマトリックス⁴⁾

今回は既往の浮体式風力発電施設のリスク評価⁴⁾において、図2に示した6×6のリスクマトリックスが報告されているため、このリスクマトリックスを用いて検討を行った。

2.6 カテゴリの指標

リスクマトリックスの各軸におけるカテゴリの指標を説明する。

まず、事故発生頻度のカテゴリの指標について説明する。

風力発電の事故発生頻度の指標として、表1が報告されている⁴⁾。本研究では、表1の「発生確率」の値を用いて事故発生頻度のカテゴリ区分を行った。

表1 風車1基当たりの発生頻度の指標⁴⁾

カテゴリ(F1)	頻度	頻度の定義	発生確率(Per Ship Year)
1	ほぼ発生無し	1基あたり100,000年に1回以下 全国10,000基で10年に1回以下発生	~10 ⁻⁵
2	発生し難い	1基あたり10,000年に1回以下 10,000基で1年に1回以下発生	10 ⁻⁴
3	発生しうる	1基あたり1,000年に1回以下 10,000基で1ヶ月に1回発生	10 ⁻³
4	稀に発生	1基あたり100年に1回以下 10,000基で数日に1回発生	10 ⁻²
5	たびたび発生	1,000基で数日に1回発生	10 ⁻¹
6	日常的に発生	100基で数日に1回発生	1

次に、被害の大きさのカテゴリの指標について説明する。

大規模海上浮体施設の影響度の指標として、表2が報告されている⁴⁾。洋上風力発電は大規模海上施設の1つであるため、この指標の「影響の出る期間」を用いて被害の大きさのカテゴリ区分を行った。

表2 浮体1基当たりのビジネスに関する影響の指標⁴⁾

カテゴリ(S1)	影響	想定される事例	影響の出る期間	被害額(補修+発電停止損失)
1	軽微	軽微な故障	1時間以下	~4万
2	中程度	中程度の故障	数時間	~40万
3	重大	局所的損傷	1日	~400万
4	かなり重大	修理を要する損傷	10日	~4000万
5	非常に重大	大規模な修理を要する損傷	100日	~4億
6	大惨事	全損・沈没	1年	~40億

2.7 算出結果とカテゴリ区分結果

2.3、2.4の式を用いて算出を行った結果を表3、算出結果から2.5のカテゴリの区分を行った結果を表4に示す。

表3 算出された事故発生頻度と風車停止時間

故障部位	事故発生頻度	風車停止時間
制御装置	0.00421843	632.7110092
主軸/ベアリング	0.000686946	1933.15493
ブレード	0.002438175	1353.37619
全般	0.000367661	3986.1
ハブ	0.000764348	874.1050633
送電線	4.83765E-05	268.8
ナセル	9.6753E-06	2088
メインスイッチ	9.6753E-06	2592
⋮	⋮	⋮

表4 各軸の指標で区分されたカテゴリー

故障部位	事故発生頻度	風車停止時間
制御装置	4	5
主軸/ベアリング	3	5
ブレード	4	5
全般	3	6
ハブ	3	5
送電線	2	5
ナセル	1	5
メインスイッチ	1	6
⋮	⋮	⋮

3. 結果

2.6のカテゴリーの区分結果から、図3のリスクマトリックスが得られた。なお、リスクマトリックスにおける数字は、該当する故障部位の件数を示している。

事故発生頻度	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	11	0
	3	0	0	0	0	8	1
	2	0	0	0	2	5	0
	1	1	0	0	6	13	4
	1	2	3	4	5	6	
	被害の大きさ(風車停止時間)						

図3 作成したリスクマトリックス

しかしながら、このリスクマトリックスからは、得られたリスクの優先順位がわかりにくい。

リスクを受容可能あるいは不可能な領域へと分類する考え方として、ALARP領域がある。ALARPはAs Low As Reasonably Practicableの略で、リスクが受容されない領域と広く受容される領域の中間領域がALARP領域であり、「合理的な努力を前提とし、我慢し得る領域」を指す。評価されたリスクは、許容基準値を設定することで重要度が決定される。リスクが受容可能であれば、そのまま保有し、許容基準値を超えるリスクについては低減や緩和措置を講じる。

本研究では、リスクマトリックスの許容基準値を経済的な損失で考慮し、最も大きな被害を浮体1基が完全に失われることとした。この経済的な損失は、損傷発生前の状態に復旧するためのコストとして、次の式で表すこととした。なお、逸失利益とは、浮体式風力発電施設1基が復旧されるまで本来得られるはずだった利益のことを指す。

$$\text{経済的な損失} = \text{初期建造費} + \text{逸失利益}$$

また、売電価格を15円/kWh⁴⁾、年間の総発電量を35040000 kWh⁴⁾と仮定すると、1年間で得られる利益は5.256億円となる。また、浮体式風力発電施設1基のコスト⁴⁾を表5に示す。

表5 浮体式風力発電施設1基のコスト⁴⁾

浮体・風車	(億円)
初期コスト	35.79
運用費	4.02

よって、この浮体式風力発電施設が1基失われると、経済的な損失額は約40億円となる。ただし、浮体1基を建造し現場海域に設置するのに要する期間を1年と仮定した⁴⁾。この40億円を、被害の大きさのカテゴリー6の場合の期待損失とし、カテゴリーが小さくなるごとに10⁻¹を乗ずると、表2の「被害額」の値となる。

供用期間と、表1の「発生確率」の値、表2の「被害額」の積で、供用期間中の期待損失金額を求めることができる。なお、浮体式風力発電施設の供用期間は30年⁴⁾とした。その結果を図4に示す。

事故発生頻度	6	1200	12000	1.2E+05	1.2E+06	1.2E+07	1.2E+08
	5	120	1200	12000	1.2E+05	1.2E+06	1.2E+07
	4	12	120	1200	12000	1.2E+05	1.2E+06
	3	1.2	12	120	1200	12000	1.2E+05
	2	0.12	1.2	12	120	1200	12000
	1	0.012	0.12	1.2	12	120	1200
	1	2	3	4	5	6	
	被害の大きさ						

図4 浮体式風力発電施設の供用期間中の総損失額(千円)⁴⁾

この損失額を発電（売電）によって得られる利益で賄うとすると、損失を回復するのに要する時間は、図4の値を1年間で得られる利益である5.256億円で割ることで得られる。その結果を図5に示す。

事故発生頻度	6	0.0022831	0.022831	0.22831	2.2831	22.831	228.31
	5	2.28E-04	0.0022831	0.022831	0.22831	2.2831	22.831
	4	2.28E-05	2.28E-04	0.0022831	0.022831	0.22831	2.2831
	3	2.28E-06	2.28E-05	2.28E-04	0.0022831	0.022831	0.22831
	2	2.28E-07	2.28E-06	2.28E-05	2.28E-04	0.0022831	0.022831
	1	2.28E-08	2.28E-07	2.28E-06	2.28E-05	2.28E-04	0.0022831
	1	2	3	4	5	6	
被害の大きさ							

図5 浮体式風力発電施設の損失回復時間（年）⁴⁾

図5から、浮体の供用期間は30年としているため、損失の回復に2年を要する損傷は許容できないとした。また、数時間で損失を回復できる規模の損傷は許容できるとした。

以上のことから、図3にALARP領域を適用したリスクマトリックスを、図6に示す。赤色は許容できない領域、黄色はALARP領域、緑色は許容できる領域を表している。

事故発生頻度	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	11	0
	3	0	0	0	0	8	1
	2	0	0	0	2	5	0
	1	1	0	0	6	13	4
	1	2	3	4	5	6	
被害の大きさ(風車停止時間)							

図6 ALARP 領域を適用したリスクマトリックス

4. 考察

図6から、許容できない領域（赤色）に属している部位はないが、51の故障部位から29部位がALARP領域（黄色）に該当している。

これらの部位の中で許容できない領域（赤色）に近い部位は優先的にリスクを低減する必要がある。該当箇所は、事故発生頻度がカテゴリー4、被害の大きさがカテゴリー5の11部位、事故発生頻度がカテゴリー3、被害の大きさがカテゴリー6の「全般」である。

また、11部位に関しては、「電気装置」の事故発生頻度の値がカテゴリー5、「ギアボックス」の被害の大ききの値がカテゴリー6に近いことが確認された。

以上のことから、「電気装置」、「ギアボックス」、「全般」がリスク低減の優先順位が高いと考えられる。

5. まとめ

本研究では、風力発電を発電インフラとして導入するために、風力発電へのRBMの導入の検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・風力発電の事故発生頻度と風車停止期間の関係について検討を行い、リスクマトリックスの作成を行った。
- ・リスクマトリックスの作成においてALARP領域を定義した。
- ・ALARP領域に該当する部位から、「全般」、「電気装置」、「ギアボックス」がリスク低減の順位が高いと考えられた。

6. 参考文献

- 1) 日本学術振興会・産業連携第180委員会, リスクベースメンテナンス入門 -RBM-「リスクベース設備管理」テキスト編集分科会編, 養賢堂, 2017, p.2.
- 2) 日本高圧力技術協会, HPIS Z 106 (2018).
- 3) NEDO, 平成20年度成果報告書 次世代風力発電技術研究開発 (自然環境対応技術等(故障・事故対策)) 平成20年度 風力発電故障・事故調査結果など.
- 4) (社)日本船舶海洋工学会, 大規模海上浮体施設の構造信頼性および設計基準研究委員会 H21.10 最終報告書, pp.67~70.