

(3) 竜巻発生数の解析

①適用データ

気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における1961年～2012年6月までの竜巻発生データを用いた。

②竜巻の発生頻度

気象庁の「竜巻等の突風データベース」は1961年以降のデータがデータベース化されているが、表1.4.1に示すとおり、観測体制は近年になるほど強化されており、年代により竜巻の発生確認数にばらつきがある。特に、観測体制が強化された2007年以降は、発生数が非常に多くなっており、海上竜巻の増加も顕著である。ただし、これら海上竜巻の多くは、その詳細が“不明”となっているのも特徴である。

観測体制の変遷や観測された竜巻の特徴を考慮し、ハザード評価に用いるデータの観測期間を以下のa～cの3期間に分けて設定した。

- a. 2007年～2012年6月 (5.5年間)
- b. 1991年～2012年6月 (21.5年間)
- c. 1961年～2012年6月 (51.5年間)

上記3つ(a～c)の観測期間について、泊発電所の竜巻検討地域における竜巻発生数、年間平均発生数及びその標準偏差をFスケール毎に調査した結果を表1.4.2に示す。同表の1～3段目までは、1961年～、1991年～、2007年～2012年6月の結果をそれぞれ示し、小計はF0からF3スケール竜巻の発生数の合計、総数は不明(陸上・海上)も含めた合計を表す。

1961年以降の51.5年間で、206個の竜巻が観測されているが、そのうちの約23%(47個)をF1竜巻が占め、不明は半数以上(116個)となっている。不明竜巻の多く(93個)は2007年以降の5.5年間に観測されており、全て海上竜巻である。F0竜巻についても、その9割弱が2007年以降の観測である。また、F1竜巻は、半数以上が1991年以降に観測されている。

一方、F2竜巻については、51.5年間で13個観測されているが、2007年以降の発生例は無く、観測体制の強化に伴う影響をそれほど受けていないことがわかる。また、F3竜巻の観測例が無いことも、本竜巻検討地域の特徴である。

以上の結果を踏まえ、各観測期間のデータを統合して、疑似的な51.5年間のデータや統計量をFスケール毎に作成した。その基本的な考え方は以下のとおりである。

- (a)被害が小さくて見過ごされやすいF0および不明竜巻は、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- (b)被害が比較的軽微なF1竜巻については、1991年以降の年間発生数がそれ以前の30年間の発生数を明らかに上回ることから、1991年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。
- (c)被害が比較的大きく見逃されることが少ないF2竜巻については、観測データが整備された1961年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。
- (d)51.5年間の発生数を、(a)～(c)の観測期間との比率からFスケール毎に推計する。

このようにして得られた結果を表1.4.2の4段目に示す。ここでの小計には、陸上での不明竜巻を含めた。その結果、51.5年間に発生した竜巻1193個のうち、不明も含む陸上竜巻が322個、海上竜巻は871個と推定された。

竜巻は、被害があつて初めてそのFスケールが推定されるため、海上のFスケール不明の竜巻については、そのFスケールを推定することは困難であるが、沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上で類似していると仮定し、Fスケール不明な海上竜巻の発生数を陸上竜巻のFスケール別発生比率で按分した。本仮定の妥当性について陸上発生竜巻と海上発生の上陸竜巻の特性から説明する。51.5年間に竜巻検討地域において206個の竜巻が観測されているが、陸上発生は61個、海上発生は145個で内、上陸竜巻が40個（海上発生竜巻の約28%）である。竜巻検討地域と国内全域における陸上発生竜巻および海上発生の上陸竜巻のFスケール毎の観測数と割合の比較を表1.4.3に示す。陸上発生竜巻と海上発生の上陸竜巻共に、Fスケールが小さい竜巻(F0, F1)は大きい竜巻(F2以上)より観測割合が多く、陸上発生竜巻と海上発生の上陸竜巻の発生特性は同じ傾向であると言える。更に、Fスケール毎の割合は、陸上発生竜巻と海上発生の上陸竜巻で割合は少し異なるがほぼ同等と見なせる。陸上発生竜巻は、観測数＝発生数と見なすことができるが、海上発生の上陸竜巻は観測数＝海岸線を通じた数を示し、単純に海上での発生数ではない。例えば海岸近傍で発生した竜巻はFスケールに拠らず海岸線を通じた数が発生数にほぼ等しくなると考えられる。一方、海岸から離れた位置で発生した竜巻の場合、Fスケールが大きくて移動距離の長い竜巻ほど海岸に到達し易いため、海岸線を通じた数と海上での発生数に乖離が生じると考えられる。これがFスケール毎の陸上発生と海上発生の上陸割合が少し異なる理由と言える。

以上より、年代による竜巻の発生確認数の違いやFスケール不明の竜巻を考慮した、本竜巻検討地域における疑似的な51.5年間の竜巻発生を表1.4.2の5段目に示す51.5年間の竜巻の発生総数は1195個、その8割弱がF0、約2割がF1と推定された。また、F2竜巻は、観測数は13個であったが、Fスケール不明の海上竜巻を考慮したため、49個に増加している。

今回は、年代により竜巻の発生確認数が異なるため疑似的なデータを作成したが、最も信頼できるデータは観測体制が強化された2007年以降のデータである。疑似的な51.5年間のデータが2007年以降のデータと比べて問題ないかをFスケール毎に2007年～2012年6月までの発生確認数の割合と比較し表1.4.4に示す。疑似的な51.5年間の方がFスケールの大きい竜巻の発生確認数の割合が多く、小さい竜巻の発生確認数の割合が少なく妥当な推定ができていると言える。

また、図1.4.3に示す日本における竜巻強度分布の変遷より、理想的な竜巻強度分布（縦軸：竜巻の発生率、横軸：風速の二乗）は直線状になることから、今回実施した疑似的な51.5年間のデータを作成したFスケール毎の観測期間は竜巻強度分布が直線となる期間を選定しており妥当であると言える。

表 1.4.1 年代による竜巻の発生確認数の違い

年代	竜巻の発生確認数
1961年～1990年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 当時から気象庁が竜巻として公表していたものに、災害報告、調査・研究報告、新聞などの資料からあらためて収集した事例のうち一定規模以上のものから、気象庁が竜巻と判定したものを加えた数。(当時存在が明らかでなかったダウンバーストも本事例に含まれている可能性がある)。 ・ <u>被害のない海上竜巻は含んでいない。</u>
1991年～2006年	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害報告、調査・研究報告、新聞などの資料からあらためて収集した全ての事例から、気象庁が竜巻と判定したものの数。 ・ <u>被害のない海上竜巻も含んでいるが、目撃情報のうち集約できているものは一部に限られている。</u>
2007年～	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>気象庁が突風事例の調査体制を強化し、評定の精度が向上。</u> ・ 報道や目撃情報等も含めた広範な情報源から収集した事例から、気象庁が竜巻と判定したものの数。 ・ <u>幅広く情報を入手していることから、海上竜巻の発生確認数が格段に増加。</u>

表 1.4.2 竜巻発生数の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 含む不明
			F0	F1	F2	F3	陸上	海上	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	90	30	47	13	0	3	113	206
	平均値 (年)	1.748	0.583	0.913	0.252	0	0.058	2.194	4.000
	標準偏差 (年)	2.526	2.003	1.020	0.522	0	0.309	5.862	7.687
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	60	30	27	3	0	3	112	175
	平均値 (年)	2.791	1.395	1.256	0.140	0	0.140	5.209	8.140
	標準偏差 (年)	3.467	2.956	1.124	0.356	0	0.473	8.294	10.683
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	32	26	6	0	0	0	93	125
	平均値 (年)	5.818	4.727	1.091	0.000	0	0	16.909	22.727
	標準偏差 (年)	6.087	4.814	1.337	0.000	0	0	10.661	14.700
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	322	244	65	13	0	0	871	1193
	平均値 (年)	6.236	4.727	1.256	0.252	0	0	16.909	23.145
	標準偏差 (年)	4.970	4.814	1.124	0.522	0	0	10.661	11.762
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	1195
	平均値 (年)	23.102	17.514	4.653	0.935	0	0	0	23.102
	標準偏差 (年)	9.567	9.265	2.163	1.004	0	0	0	9.567

注 1：切り上げの関係で総計数が一致していない箇所がある。

注 2：色塗り部分については、竜巻発生頻度の分析に用いるデータを示している。

表 1.4.3 陸上発生竜巻と海上発生の上陸竜巻の比較

		陸上 5km 以内で発生した竜巻				海上で発生して上陸した竜巻			
		F0*	F1	F2 以上	合計	F0	F1	F2 以上	合計
竜巻検討地域	観測数(個)	22	33	6	61	19	14	7	40
	割合(%)	36	54	10	—	48	35	18	—
国内全域	観測数(個)	72	110	37	219	39	55	29	123
	割合(%)	33	50	17	—	32	45	24	—

※ F スケール不明竜巻を含む

表 1.4.4 2007 年以降と疑似 51.5 年間の観測数の比較

		F0	F1	F2	合計
2007 年～2012 年 6 月 (5.5 年間)	観測数 (個)	26	6	0	32
	割合 (%)	91	19	0	—
疑似 51.5 年間 (全竜巻)	観測数 (個)	905	241	49	1195
	割合 (%)	76	20	4	—

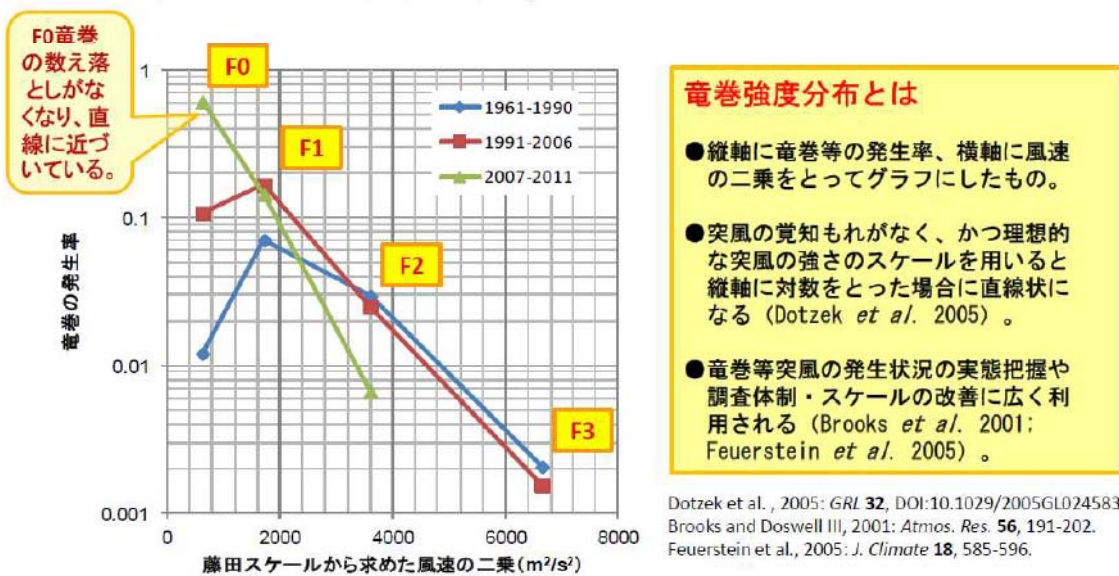


図1.4.3 日本における竜巻強度分布の変遷

出典：気象庁「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」平成 25 年 7 月 3 日

③年発生数の確率密度分布の設定

設定にあたっては、竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きい分布であることから、東京工芸大学委託成果にならってポリヤ分布により設定した。なお、ポリヤ分布は、竜巻影響評価ガイドにおいて推奨されているポアソン分布を一般化したものであり、年発生数の年々変動の実態をポアソン分布よりも適合性が高い形で表現できることを確認している。図1.4.4 に年平均値と標準偏差に対するポリヤ分布を示す。

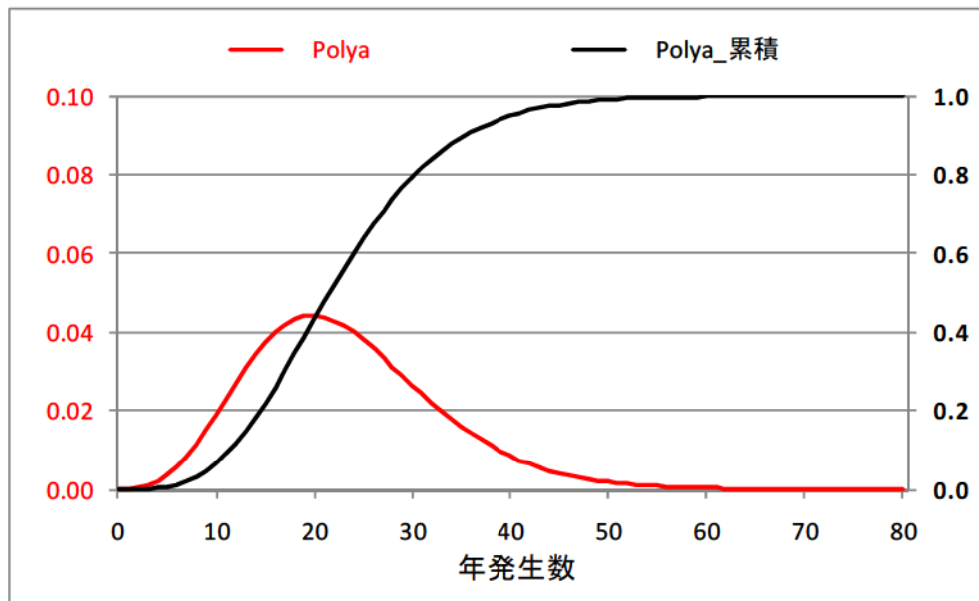


図 1.4.4 竜巻の年発生数をポリヤ分布で適合させた結果

なお、竜巻影響評価ガイドでは、少なくとも1km範囲毎に竜巻の年発生数の確率分布を算定することが求められている。しかし、1km範囲に分けると表1.4.5に示すとおり、各範囲における竜巻発生数が少なくなり、結果的にハザード曲線の算定精度の低下が懸念される。

さらに、竜巻の被害特性として、発生地点から数km以上離れた地点で最大風速に達するものもあるため、ある1km範囲の被害は他の1km範囲で発生した竜巻によりもたらされるといった齟齬が生じうる。

一方、本検討では、前述のとおり、今回採用したF スケール不明の海上竜巻に対する取扱いにより、陸上での観測でF2竜巻が5個であったのに対して49個として評価しており、評価結果の保守性を高めている。

以上を考慮した結果、竜巻検討地域を陸上5km範囲と海上5km範囲に分けて年発生数を求め、両者の総数をもとに確率密度分布を求めることが妥当であると判断した。竜巻風速の確率密度分布についても同様の扱いとする。

表 1.4.5 竜巻検討地域における 1km 範囲ごとの陸上竜巻年発生数

	F0	F1	F2	F3
0km～1km	10	16	5	0
1km～2km	4	7	1	0
2km～3km	4	3	0	0
3km～4km	0	7	0	0
4km～5km	1	1	0	0

(4) 竜巻被害幅、被害長さのデータ

竜巻発生数と同様に、被害幅の観測データを解析した結果を表 1.4.6 に示す。不明とは、被害幅と F スケールの両方もしくは片方が不明であることを表す。被害幅の解析に利用可能なデータ数は、64 個と少ない。

安定した統計値を算出するために、データ数を確保する必要がある。また、先に推定した 51.5 年間の擬似竜巻発生数との整合性も確保する必要がある。そこで、以下のよう
に 51.5 年間の被害幅の統計量を推定した。

- ① 1961 年以降の観測データを使用し、F スケール別に被害幅データを抽出する。このデータをもとに、F スケール別に被害幅のデータや平均値・標準偏差を求める（表 1.4.6 の上段）。
- ② 各スケール別の 51.5 年間の発生数(期間内総数)を、①で得られた観測値から、表 1.4.2 で推定した 51.5 年間の擬似発生数に置き換える。(F2 の場合、7 個を 49 個に置き換える。)
- ③ ①で抽出された F スケール別の被害幅データを大きい順に並び替え②で設定した 51.5 年間の擬似発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い、被害幅の疑似データを作成する。(例えば、F2 の場合、被害幅が観測されている 7 個のデータを大きい順に並べ、これを順に 49 個のデータに繰り返し当てはめデータを作成する。)
- ④ ③で作成した疑似データをもとに、平均値と標準偏差を求める。

竜巻被害長さについても、被害幅と同様の解析を行った。結果を表 1.4.7 に示す。

表 1.4.6 竜巻被害域幅の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	竜巻被害幅 の統計(m)	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	64	24	33	7	0	21	121	206
	平均値(m)	117.6	115.5	108.6	167.1	0			
	標準偏差(m)	144.7	123.8	101.7	324.4	0			
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	1195
	平均値(m)	117.7	116.2	113.5	167.1	0			
	標準偏差(m)	130.8	121.5	103.1	303.4	0			

表 1.4.7 竜巻被害域長さの解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	竜巻被害長さ の統計(km)	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	69	25	36	8	0	15	122	206
	平均値(km)	2.278	1.072	3.031	2.663	0			
	標準偏差(km)	3.729	1.443	4.730	3.054	0			
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	1195
	平均値(km)	1.572	1.084	3.156	2.812	0			
	標準偏差(km)	2.680	1.427	4.741	3.043	0			

(5) 竜巻風速、被害幅、被害長さの確率密度分布の設定及び相関係数の算定

ハザード曲線を算定するために、一つの竜巻が発生した際の竜巻風速、被害幅及び長さの確率密度分布が必要となる。このため表 1.4.8 に示す(3)及び(4)で求めた竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数、被害幅、被害長さのデータを用いて、それぞれの確率密度分布を求めた。

確率密度分布の設定にあたっては、竜巻影響評価ガイド及び東京工芸大学委託成果に示される対数正規分布に従う。

推定した竜巻被害幅、竜巻被害長さ、竜巻風速の確率密度分布は以下のとおり。

a. 竜巻風速の確率密度分布

超過確率を図 1.4.5 に示す。観測結果を適切に表現できる形となっており、風速の大きい領域でも不自然な形となっていない。

b. 被害幅の確率密度分布

確率密度分布を図 1.4.6 に示す。推定された分布形は、超過確率のグラフより適切に観測値を推定していると判断される。

c. 被害長さの確率密度分布

確率密度分布を図 1.4.7 に示す。推定された分布形は、超過確率のグラフより適切に観測値を推定していると判断される。

次に、ハザード曲線の算定において、2 変量あるいは 3 変量の確率分布関数を対象とするため、竜巻風速・被害幅・被害長さについての相関係数を求めた。本来ならば、これら 3 つが同時に観測されているデータを用いるのが望ましいが、十分なデータ数が確保されないため、1961 年以降の利用可能なデータ（風速と被害幅のみが観測されているデータ等、2 変量の比較が行える観測データ）を全て用いて相関を取った。また、風速、被害幅等の変数の確率密度分布の推定では、発生頻度が重要であるため繰り返しサンプリングを行ったデータを使用した。以下の理由から相関係数の推定ではそのような措置を行わず、観測の元データを使用した。

F スケール不明や F0 スケールの竜巻では、被害規模が小さいために被害幅や長さの観測データがより大きな F2 スケール竜巻に比べて得られる機会が少なく、ばらつきも大きいと考えられる。そのようなデータをサンプリングにより増やすと、F2 スケール竜巻で見られる相関の高さが反映されなくなることが懸念される。

表 1.4.9 に算定結果を示すが、泊発電所における竜巻検討地域では、風速-被害長さ間では 0.3 程度、被害幅-被害長さ間では 0.4 以上の相関が認められた。

表 1. 4. 8 竜巻検討地域における竜巻パラメータ (51.5年間の推定結果)

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
				F0	F1	F2	F3
竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数	期間内総数	1195	905	241	49	0
		平均値(年)	23.204	17.573	4.680	0.951	0
		標準偏差(年)	9.567	9.265	2.163	1.004	0
疑似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	1195	905	241	49	0
		平均値(m)	117.7	116.2	113.5	167.1	0
		標準偏差(m)	130.8	121.5	103.1	303.4	0
	被害長	期間内総数	1195	905	241	49	0
		平均値(km)	1.572	1.084	3.156	2.812	0
		標準偏差(km)	2.680	1.427	4.741	3.043	0

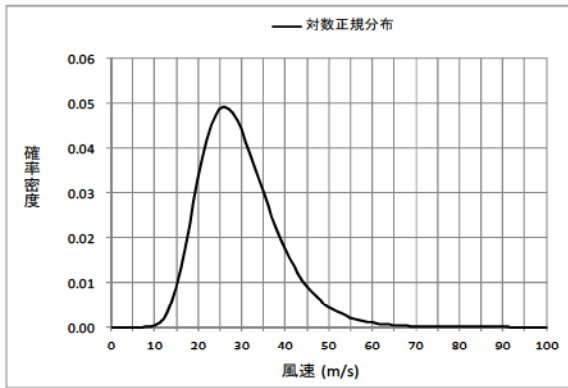


図1. 4. 5(1) 風速の確率密度分布

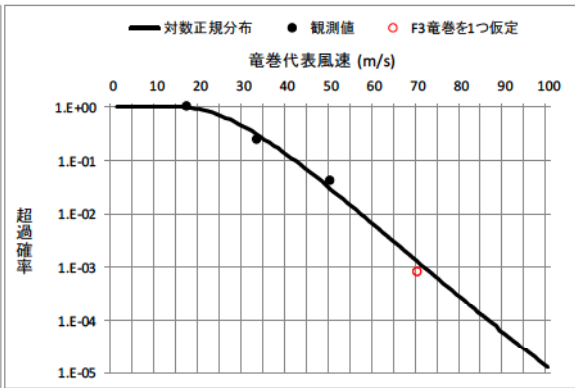


図1. 4. 5(2) 風速の超過確率

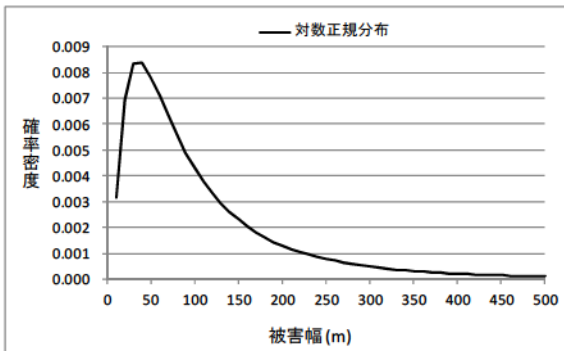


図1. 4. 6(1) 被害幅の確率密度分布

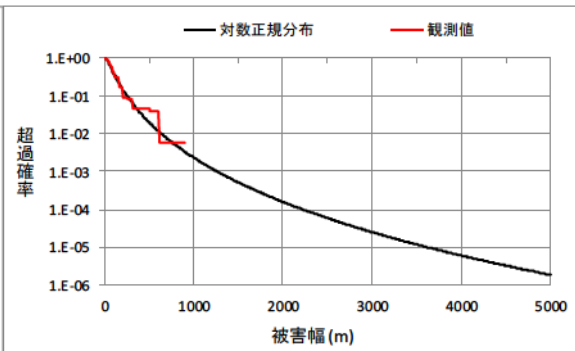


図1. 4. 6(2) 被害幅の超過確率

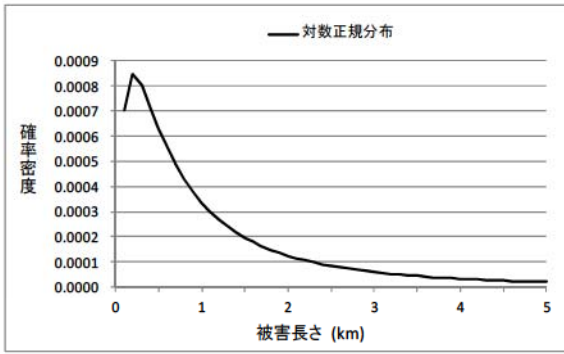


図1.4.7(1) 被害長さの確率密度分布

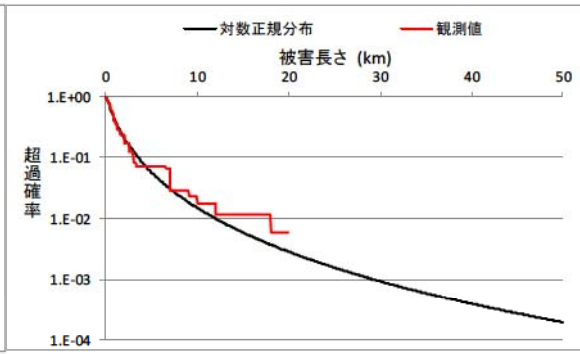


図1.4.7(2) 被害長さの超過確率

表 1.4.9(1) 相関係数算定に用いた竜巻風速, 被害幅, 被害長さのデータ数

データ数	風速 (個)	被害幅 (個)	被害長さ (個)
風速 (個)	90	64	69
被害幅 (個)	—	67	62
被害長さ (個)	—	—	70

表 1.4.9(2) 相関係数

相関係数(対数)	風速 (m/s)	被害幅 (m)	被害長さ (m)
風速 (m/s)	1.000	0	0.301
被害幅 (m)	—	1.000	0.458
被害長さ (m)	—	—	1.000

(6) 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響評価ガイドに従い、竜巻影響エリアの設定にあたり泊3号炉における評価対象設備の面積を設定する。なお、評価対象設備は、図 1.4.8 及び表 1.4.10 に示すとおり、竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設である。

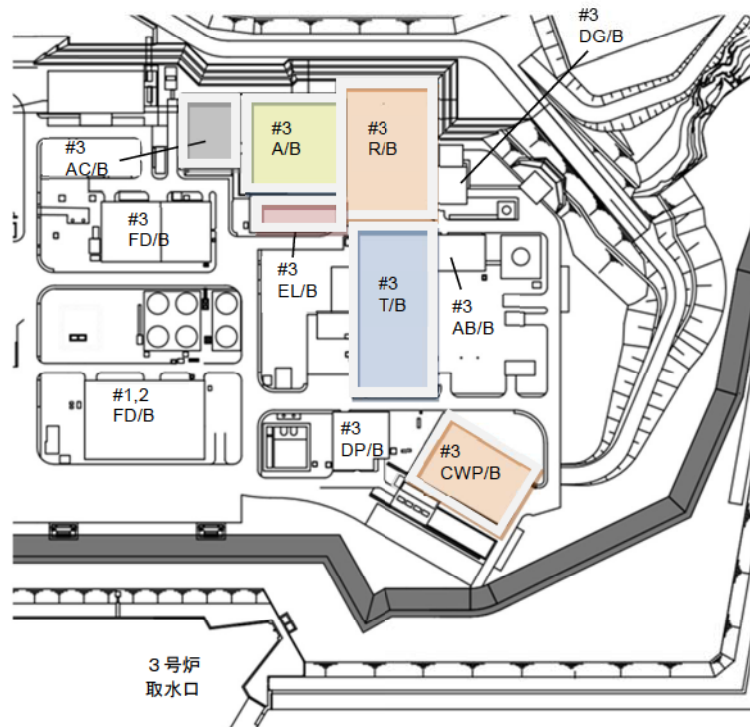


図 1.4.8 評価対象施設の設置位置概略図

表 1.4.10 評価対象施設の面積

評価対象施設	設置面積 (m ²)
原子炉建屋 (R/B)	4,889
原子炉補助建屋 (A/B)	3,689
ディーゼル発電機建屋 (DG/B)	493
タービン建屋 (T/B)	5,225
電気建屋 (EL/B)	1,214
出入管理建屋 (AC/B)	1,603
循環水ポンプ建屋 (CWP/B)	2,748
合計	19,861

泊3号炉における竜巻影響エリアを図1.4.9に示す。評価対象施設は、図1.4.8に示すとおり分散しているため、竜巻影響エリアは、保守性を考慮して3号炉施設全体を囲うように設定する。具体的には、原子炉建屋の端から循環水ポンプ建屋の端までの距離270mに余裕をみて、1辺を300mとする正方形を仮定し、更にこの正方形を囲む、直径($\sqrt{2} \times 300 \approx 425$)mの円形(面積:約142,000 m^2)の範囲とする。

なお、竜巻影響エリアを円形に設定するため、ハザード曲線は竜巻移動方向に対する依存性無しとして評価を行う。

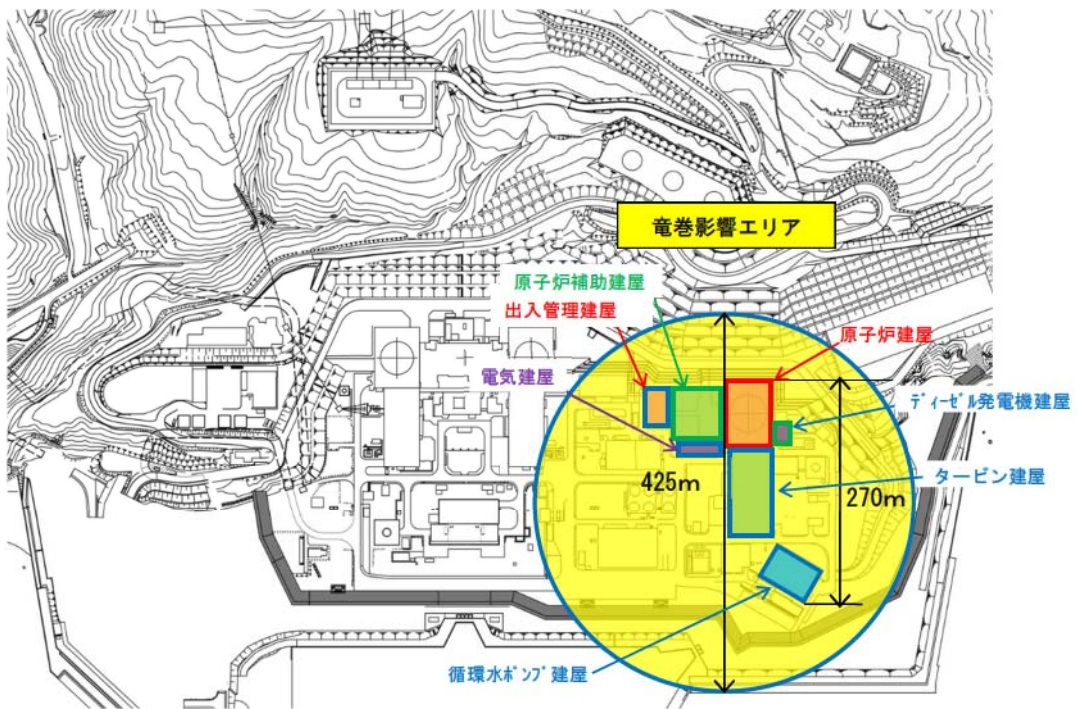


図1.4.9 泊3号炉の竜巻影響エリア

(7) ハザード曲線の算定

東京工芸大学委託成果によれば、Wen and Chu は、竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がある値以上となる確率モデルの推定方法を提案している。竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合、竜巻の年発生数の確率分布は、1.4.1式に示すポリヤ分布に適合するとしている。このため、本ハザード曲線の算定においては上記委託成果にならって、適合性の良いポリヤ分布を用いる。

$$\text{ポリヤ分布} : P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (1.4.1 \text{ 式})$$

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (1.4.2 \text{ 式})$$

ここで、

- N : 竜巻の年発生数
- v : 竜巻の年平均発生数
- T : 年数
- σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

評価対象とする建造物が1つの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ とした時、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し V_0 以上の竜巻風速に見舞われる確率 $P_{V_0,T}(D)$ は、1.4.1式から導き出された1.4.3式で表される。また、必要なハザード曲線は、1.4.4式を1.4.3式に代入することにより求めることができる。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (1.4.3 \text{ 式})$$

ここで、

- D : 対象とする建造物が風速 V_0 以上の竜巻風速に遭遇する事象
- $R(V_0)$: リスクの評価対象とする建造物が1つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (1.4.4 \text{ 式})$$

- $DA(V_0)$: 1個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積
- $E[DA(V_0)]$: $DA(V_0)$ の期待値
- A_0 : リスクの評価対象とする地域の面積 (竜巻検討地域の面積 38,895km²)

次に、面積期待値 $E[DA(V_0)]$ の算出の仕方について説明する。

1個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積 $DA(V_0)$ は1.4.5式のように表される。

$$\begin{aligned} DA(V_0) &= WL + HL + WG + AB & ; V_i \geq V_0 \\ DA(V_0) &= 0 & ; V_i < V_0 \end{aligned} \quad (1.4.5 \text{ 式})$$

ここで、 W は竜巻の被害域幅、 L は被害域長さ、 A 、 B は建造物の寸法、 H と G は竜巻の

被害域幅や長さ方向への構造物の投影長さである。

4.5 式の 4 つの項が表す面積部分の概念図を図 1.4.10 に示す。

WL (第 1 項) = ①, HL (第 2 項) = ②

WG (第 3 項) = ③, AB (第 4 項) = ④

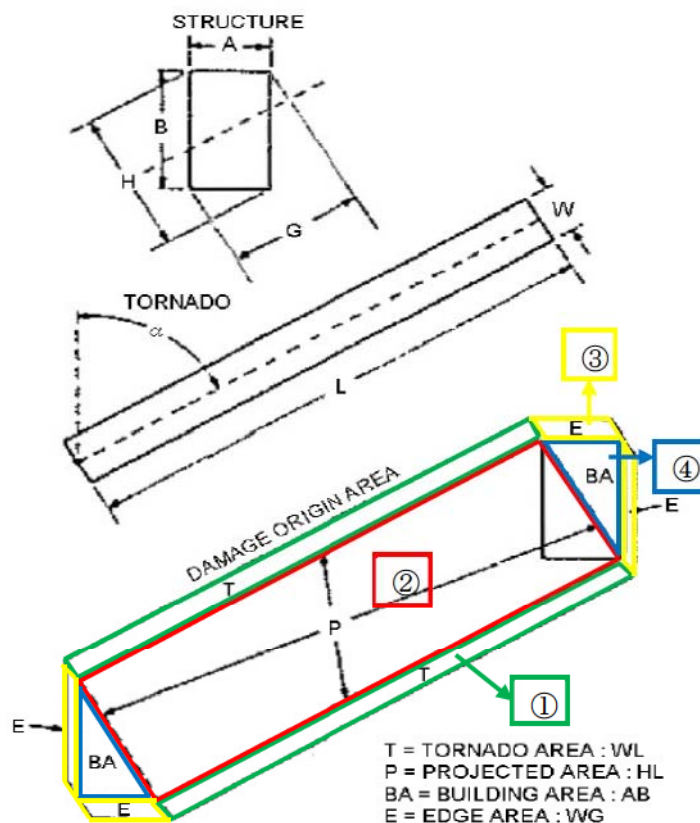


図 1.4.10 竜巻被害エリアの定義(東京工芸大学委託成果より)

1.4.5 式の右辺第 1 項は、竜巻被害長さ・竜巻被害幅の積で被害面積を表しており点構造物に対する被害に対応する。第 2 項と第 3 項は、竜巻被害長さ・被害幅と構造物寸法の積で構造物の被害面積を表す。第 4 項は建物面積 AB に依存する項である。

上記から、竜巻風速、被害幅、被害長さの同時確率密度分布を用い、また、建物面積を直径 L の円形構造物として $DA(V_0)$ の期待値を表すと 1.4.6 式になる。

$$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl + L \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl + L \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw + S \int_0^\infty f(V) dV \quad (1.4.6 \text{ 式})$$

V : 竜巻最大風速, w : 被害域幅, l : 被害域長さ

α : 竜巻の移動方向, $f(\cdot)$: 確率密度分布

L : 円形構造物の直径, S : 円形構造物の面積

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \quad (1.4.7 \text{ 式})$$

W : 竜巻の被害域幅の観測値

V_{\min} : 被害域幅 W 内の最小竜巻風速

ここで、1.4.7式は、竜巻被害幅のうち風速が V_0 以上となる幅であり、この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布があることが考慮されている。1.4.7式の V_{\min} は、gale intensity velocity と呼ばれ(Gale は「非常に強い風」という意味)、被害が発生し始める風速に位置付けられる。米国の気象庁(National Weather Service)では、34~47 ノット(17.5~24.2m/s)とされている。また、日本の気象庁が使用している風力階級では風力 8 が疾強風(Gale, 17.2~20.7m/s)、風力 9 は大強風(Strong gale, 20.8~24.4m/s)と分類されており、風力 9 では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされている。以上を参考に、 $V_{\min}=25\text{m/s}$ とした。この値は F0(17~32m/s)のほぼ中央値に相当する。

なお、1.4.6式の風速の上限については、F4 竜巻(93m/s~116m/s)を考慮して、120m/sを積分上限としている。但し、風速 110m/s 以上ではハザード曲線の傾向が変化する場合があることから、概ね 110m/s 程度がハザード評価の適用範囲と考えられる。〈参考 4 参照〉

また、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ は構造物の投影長さであるが、竜巻影響エリアを円形で設定していることから、直径 425m で一定(竜巻の移動方向に依存しない)となる。(補足説明資料 5. 参照)

AB は先に説明したとおり建物面積 AB に依存する項であり、具体的には竜巻影響エリアの面積を表す。

ここで、1.4.6式中の同時確率密度分布 f は、以下の 2 変量及び 3 変量の対数正規分布で表される。

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \frac{1}{xy} \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x} \right) \left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y} \right) + \left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right\} \right] \quad (1.4.8 \text{ 式})$$

$$f(x,y,z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{vmatrix}^{1/2}} \times \frac{1}{xyz} \times \exp \left[-\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x & \ln(y) - \mu_y & \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x \\ \ln(y) - \mu_y \\ \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \right]$$

(1.4.9式)

μ, σ, ρ は $\ln(x), \ln(y), \ln(z)$ の平均値, 標準偏差及び相関係数であり, (5) で求めた竜巻風速, 被害幅, 被害長さの確率密度分布の平均値, 標準偏差ならびに相関係数を用いる。

(8) ハザード曲線

以上より, ハザード曲線の算定結果を図1.4.11に示す。年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻風速 V_{B2} は59m/sである。

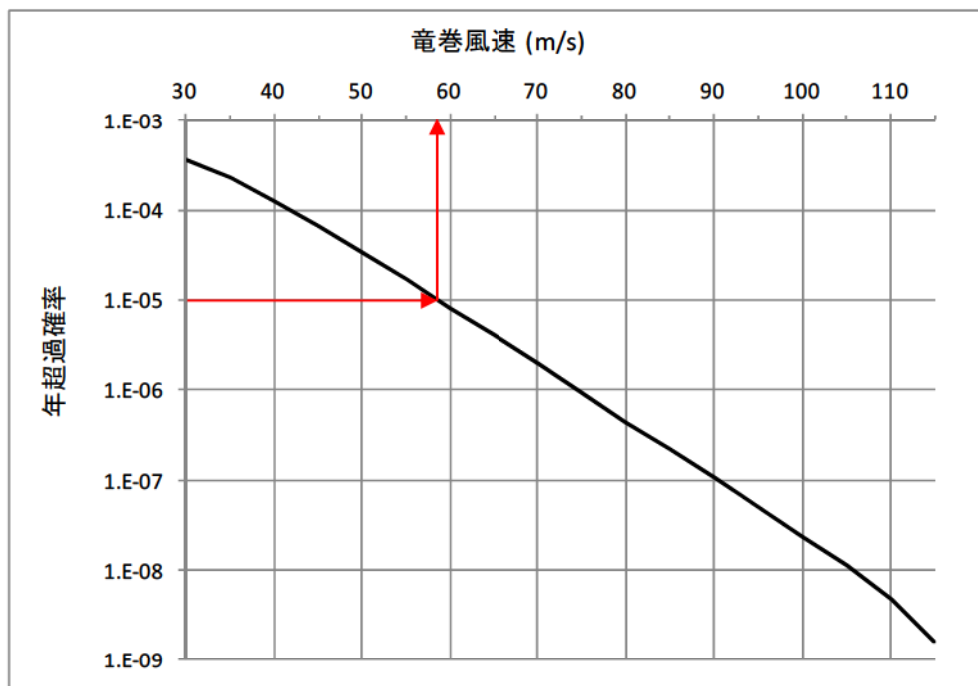


図1.4.11 竜巻最大風速のハザード曲線

(9) 保守性を考慮したハザード曲線の算定

①1km 範囲毎のデータを用いた検討

気象庁の「竜巻等の突風データベース」は1961年以降のデータがデータベース化されているが、先に述べたとおり、観測体制は近年になるほど強化されており、年代により竜巻の発生確認数にばらつきがある。また、泊発電所の竜巻検討地域における発生竜巻は、海上発生 of Fスケール不明の竜巻が半数以上を占める偏った発生となっている。竜巻発生確認数のばらつきや、発生の偏りがあることから、ハザード曲線に保守性をもたせるために、先に実施した海側、陸側5km範囲内でのハザード曲線の算定に加え、ハザード曲線の検討範囲を1km範囲の短冊状に細かく区切り、竜巻の発生数を発生数に通過数を加えた表1.4.11に示す解析条件で算定を行った。計算条件は表1.4.12に示す。なお、先に実施した海側、陸側5km範囲内でのハザード曲線の算定は、泊発電所の竜巻検討地域における大きい竜巻であるF2竜巻の被害長さの平均値が約2.6km、標準偏差が約3kmであることから、竜巻の特性を適切に考慮出来る方法である。〈参考2参照〉

表1.4.11 保守的なハザード曲線の解析条件

①面積	<ul style="list-style-type: none"> ・ 竜巻検討地域の内、海側、陸側それぞれ5km範囲内を1kmの範囲に分けて検討を行う。 ・ 但し、海側1km以遠の海上竜巻については、全てFスケールが不明であるため、ハザード曲線の算定は不可能。
②竜巻発生数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各1km範囲で発生した竜巻 ・ 各1km範囲からの進入竜巻 ・ 5km以遠からの進入竜巻 ・ 5km範囲内での評価と同様に観測年代の考慮のため観測期間51.5年間の擬似データを作成する。
③竜巻風速、被害幅、被害長さ	<p>(竜巻被害面積期待値)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1kmエリア内での風速、被害幅、被害長さ (相関係数) ・ 5km範囲内での評価に用いたものと同じ
④その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 竜巻風速、被害幅、被害長さの確率密度分布は、ガイドに従い対数正規分布にて推定する。

表 1.4.12 保守的なハザード曲線算定のための計算条件

竜巻検討地域 (1km 毎エリア)	統計量	発生数	風速(U)	幅(W)	長さ(L)	相関係数 LN (検討地域全域)		
		(個)	m/s	m	m	U ~ W	U ~ L	W ~ L
陸側 0~1km	平均値	4.84	29.27	120.1	633	0.000	0.301	0.459
	標準偏差	3.95	9.15	146.7	472			
陸側 1~2km	平均値	2.37	30.76	185.5	944	0.000	0.301	0.459
	標準偏差	2.13	9.44	174.3	1,378			
陸側 2~3km	平均値	2.06	28.97	179.8	790	0.000	0.301	0.459
	標準偏差	1.59	8.65	192.6	331			
陸側 3~4km	平均値	1.24	32.28	214.1	882	0.000	0.301	0.459
	標準偏差	0.95	9.42	224.0	933			
陸側 4~5km	平均値	0.80	34.76	395.1	1,082	0.000	0.301	0.459
	標準偏差	0.94	9.99	257.4	447			
海側 0~1km	平均値	9.67	28.63	91.7	1,512	0.000	0.301	0.459
	標準偏差	5.36	8.69	117.3	2,245			

以上の条件で算定したハザード曲線を、海側、陸側5km範囲内でのハザード曲線と併せて図1.4.12に示す。

図1.4.12より、年超過確率 10^{-5} に相当する風速が最も大きく評価されたのは、海側0~1km範囲で65m/sであった。

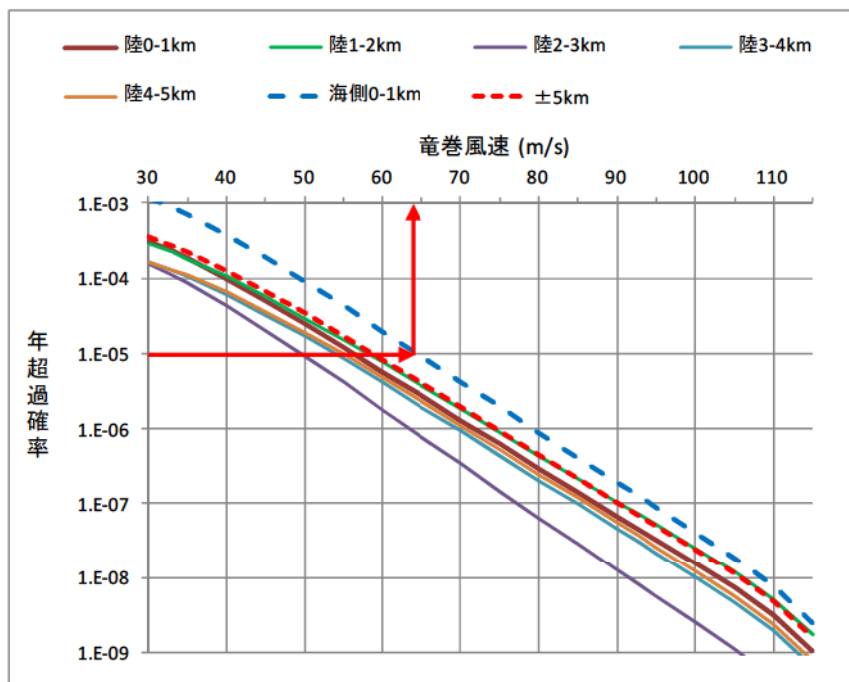


図1.4.12 1km範囲毎のハザード曲線と±5km範囲のハザード曲線

参考に、海側0～1km範囲、陸側0～1km、1～2km、2～3km、3～4km、4～5kmの竜巻発生・通過数を表1.4.13～1.4.18に示す。

表1.4.13 海側0-1km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (海0-1km)	発生・通過数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	32	11	14	7	0	10	43	85
	平均値(年)	0.62	0.21	0.27	0.14	0.00	0.19	0.83	1.65
	標準偏差(年)	1.11	0.90	0.53	0.35	0.00	0.63	2.63	3.54
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	22	11	8	3	0	9	43	74
	平均値(年)	1.02	0.51	0.37	0.14	0.00	0.42	2.00	3.44
	標準偏差(年)	1.53	1.35	0.67	0.36	0.00	0.92	3.83	4.99
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	12	10	2	0	0	4	36	52
	平均値(年)	2.18	1.82	0.36	0.00	0.00	0.73	6.55	9.45
	標準偏差(年)	2.59	2.38	0.86	0.00	0.00	1.72	5.96	7.73
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	159	94	20	7	0	38	338	497
	平均値(年)	3.05	1.82	0.37	0.14	0.00	0.73	6.55	9.60
	標準偏差(年)	3.03	2.38	0.67	0.35	0.00	1.72	5.96	6.69
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	498	413	63	22	0	0	0	498
	平均値(年)	9.54	7.96	1.16	0.42	0.00	0.00	0.00	9.54
	標準偏差(年)	5.36	5.19	1.18	0.61	0.00	0.00	0.00	5.36

表1.4.14 陸側0-1km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸0-1km)	発生・通過数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	61	20	29	12	0	11	0	72
	平均値(年)	1.18	0.39	0.56	0.23	0.00	0.21	0.00	1.40
	標準偏差(年)	1.80	1.38	0.73	0.47	0.00	0.64	0.00	1.96
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	39	20	16	3	0	10	0	49
	平均値(年)	1.81	0.93	0.74	0.14	0.00	0.47	0.00	2.28
	標準偏差(年)	2.46	2.05	0.78	0.36	0.00	0.92	0.00	2.63
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	21	17	4	0	0	4	0	25
	平均値(年)	3.82	3.09	0.73	0.00	0.00	0.73	0.00	4.55
	標準偏差(年)	4.32	3.44	1.09	0.00	0.00	1.72	0.00	4.56
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	249	160	39	12	0	38	0	249
	平均値(年)	4.80	3.09	0.74	0.23	0.00	0.73	0.00	4.80
	標準偏差(年)	3.95	3.44	0.78	0.47	0.00	1.72	0.00	3.95
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	249	198	39	12	0	0	0	0
	平均値(年)	4.80	3.82	0.74	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
	標準偏差(年)	3.95	3.85	0.78	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00

表 1.4.15 陸側 1-2km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 1-2km)	発生・通過数 の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	39	11	23	5	0	2	0	41
	平均値 (年)	0.76	0.21	0.45	0.10	0.00	0.04	0.00	0.80
	標準偏差 (年)	1.21	0.78	0.67	0.30	0.00	0.20	0.00	1.22
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	26	11	13	2	0	1	0	27
	平均値 (年)	1.21	0.51	0.61	0.09	0.00	0.05	0.00	1.26
	標準偏差 (年)	1.64	1.16	0.74	0.30	0.00	0.22	0.00	1.65
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	13	9	4	0	0	0	0	13
	平均値 (年)	2.36	1.64	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36
	標準偏差 (年)	2.71	1.98	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	122	85	32	5	0	0	0	122
	平均値 (年)	2.34	1.64	0.61	0.10	0.00	0.00	0.00	2.34
	標準偏差 (年)	2.13	1.98	0.74	0.30	0.00	0.00	0.00	2.13
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	122	85	32	5	0	0	0	122
	平均値 (年)	2.34	1.64	0.61	0.10	0.00	0.00	0.00	2.34
	標準偏差 (年)	2.13	1.98	0.74	0.30	0.00	0.00	0.00	2.13

表1.4.16 陸側2-3km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 2-3km)	発生・通過数 の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	29	10	15	4	0	1	0	30
	平均値 (年)	0.56	0.19	0.29	0.08	0.00	0.02	0.00	0.58
	標準偏差 (年)	1.04	0.66	0.58	0.27	0.00	0.14	0.00	1.06
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	18	10	7	1	0	1	0	19
	平均値 (年)	0.84	0.47	0.33	0.05	0.00	0.05	0.00	0.88
	標準偏差 (年)	1.38	0.97	0.57	0.22	0.00	0.22	0.00	1.41
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	12	9	3	0	0	0	0	12
	平均値 (年)	2.18	1.64	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	2.18
	標準偏差 (年)	2.22	1.46	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	2.22
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	106	85	17	4	0	0	0	106
	平均値 (年)	2.04	1.64	0.33	0.08	0.00	0.00	0.00	2.04
	標準偏差 (年)	1.59	1.46	0.58	0.27	0.00	0.00	0.00	1.59
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	106	85	17	4	0	0	0	106
	平均値 (年)	2.04	1.64	0.33	0.08	0.00	0.00	0.00	2.04
	標準偏差 (年)	1.59	1.46	0.58	0.27	0.00	0.00	0.00	1.59

表 1. 4. 17 陸側 3-4km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 3-4km)	発生・通過数 の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	24	4	18	2	0	1	0	25
	平均値 (年)	0.47	0.08	0.35	0.04	0.00	0.02	0.00	0.49
	標準偏差 (年)	0.76	0.27	0.66	0.20	0.00	0.14	0.00	0.78
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	14	4	10	0	0	1	0	15
	平均値 (年)	0.65	0.19	0.47	0.00	0.00	0.05	0.00	0.70
	標準偏差 (年)	0.91	0.40	0.75	0.00	0.00	0.22	0.00	0.96
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	8	4	4	0	0	0	0	8
	平均値 (年)	1.46	0.73	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46
	標準偏差 (年)	1.45	0.55	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	64	38	24	2	0	0	0	64
	平均値 (年)	1.23	0.73	0.47	0.04	0.00	0.00	0.00	1.23
	標準偏差 (年)	0.95	0.55	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00	0.95
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	64	38	24	2	0	0	0	64
	平均値 (年)	1.23	0.73	0.47	0.04	0.00	0.00	0.00	1.23
	標準偏差 (年)	0.95	0.55	0.75	0.20	0.00	0.00	0.00	0.95

表1. 4. 18 陸側4-5km範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 4-5km)	発生・通過数 の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	19	2	15	2	0	1	0	20
	平均値 (年)	0.37	0.04	0.29	0.04	0.00	0.02	0.00	0.39
	標準偏差 (年)	0.66	0.20	0.64	0.20	0.00	0.14	0.00	0.69
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	10	2	8	0	0	1	0	11
	平均値 (年)	0.47	0.09	0.37	0.00	0.00	0.05	0.00	0.51
	標準偏差 (年)	0.75	0.30	0.74	0.00	0.00	0.22	0.00	0.81
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	6	2	4	0	0	0	0	6
	平均値 (年)	1.09	0.36	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
	標準偏差 (年)	1.16	0.55	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	41	19	20	2	0	0	0	41
	平均値 (年)	0.78	0.36	0.37	0.04	0.00	0.00	0.00	0.78
	標準偏差 (年)	0.94	0.55	0.74	0.20	0.00	0.00	0.00	0.94
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	41	19	20	2	0	0	0	41
	平均値 (年)	0.78	0.36	0.37	0.04	0.00	0.00	0.00	0.78
	標準偏差 (年)	0.94	0.55	0.74	0.20	0.00	0.00	0.00	0.94

②竜巻の被害長さおよび幅を国内全域のデータとした検討

国内全域（沿岸±5km）の竜巻被害長さ・幅の確率分布および相関係数を用い、その他の竜巻計算条件（風速や発生頻度）は、竜巻検討地域のデータを用いてハザード曲線を算定した。泊発電所の竜巻検討地域では、F3（F2～F3、F3）の竜巻が発生していないことから、国内全域のデータからF3を除いた場合についても検討を行った。計算条件を表1. 4. 19に示す。

表1. 4. 19 国内全域の竜巻被害長さ・幅考慮のハザード曲線の計算条件

竜巻検討地域 (±5km)	統計量	発生数	風速(V)	幅(W)	長さ(L)	相関係数 LN		
		(個)	m/s	m	m	U ~ W	U ~ L	W ~ L
竜巻検討地域(疑似 51.5 年)	平均値	23.204	29.763	117.729	1572.469	0.0000	0.3013	0.4585
	標準偏差	9.567	9.084	130.847	2679.794			
国内全域(W,L)	平均値	23.204	29.763	106.779	1889.184	0.2884	0.4151	0.3998
	標準偏差	9.567	9.084	173.950	2968.306			
国内全域(F3 無し W,L)	平均値	23.204	29.763	103.673	1805.165	0.2403	0.3690	0.3610
	標準偏差	9.567	9.084	160.752	2549.810			

算定したハザード曲線を、竜巻検討地域の被害長さ・幅の確率分布および相関係数を用いたハザード曲線と併せて図1. 4. 13に示す。

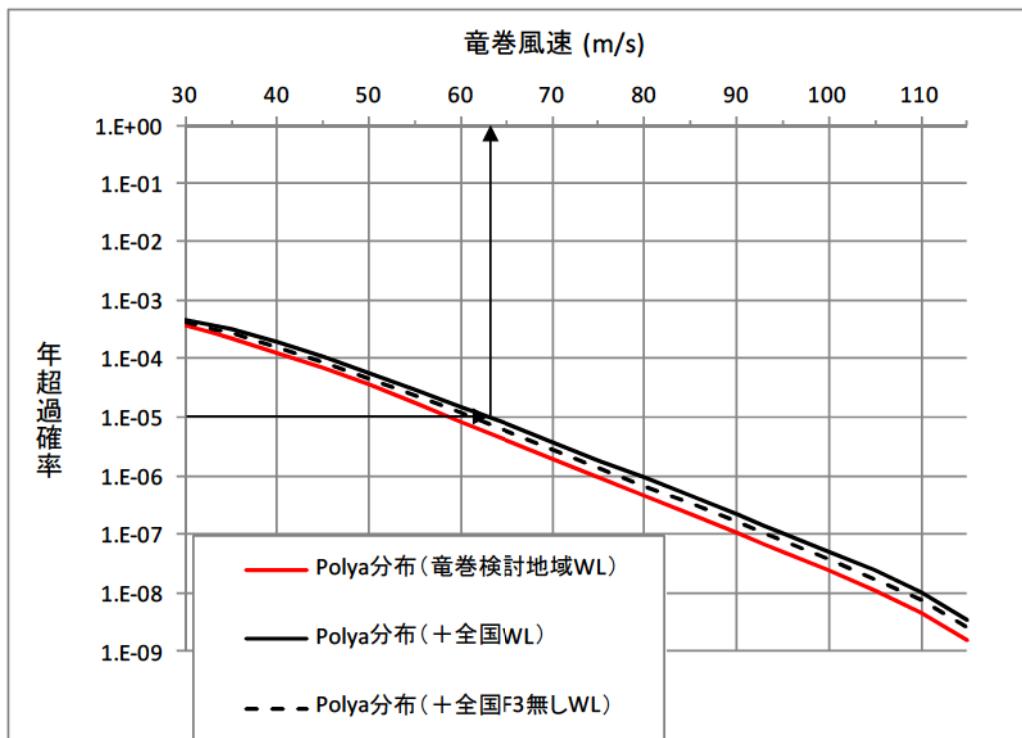


図1. 4. 13 国内全域WLと竜巻検討地域WLのハザード曲線

(10) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})

ハザード曲線の算定結果をまとめて表1.4.20に示す。

以上の検討を実施したが、竜巻発生ハザード曲線の算出にあたっては竜巻発生総観場の特徴を踏まえ、竜巻発生気象条件を観点とした類似地域として設定された竜巻検討地域でのデータを用いて算出するべきであるとする。

これは原子力発電所の竜巻影響評価ガイドにある、データには一貫性を持たせるように配慮するという考え方にも合致している。

したがって、泊発電所の竜巻最大風速ハザード曲線による V_{B2} は、竜巻検討地域のデータを用いて海側・陸側5km範囲ハザード曲線、1km範囲短冊状に区切って算出したハザード曲線より、風速が最も大きく算出された65m/sとする。

表1.4.20 ハザード曲線の算定結果

ハザード曲線検討範囲	年超過確率 10^{-5} 風速
海側・陸側5km範囲	59m/s
(保守的条件) 海側0～1km範囲	65m/s
(保守的条件) 国内全域WL	63m/s

<参考1>ポリヤ分布について

ポアソン過程は、ランダムに起きる事象を表す基本的な確率過程で、ある一定の時間内の店への来客数や1時間に特定の交差点を通過する車両の台数など様々な現象のモデル化に使われている。式(1)に示すポアソン分布はポアソン過程に関連して発生する。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} \exp(-vT) \quad (1)$$

ここで、 N は竜巻の年発生数、 v は竜巻の年平均発生数、 T は年数とする。このように、ポアソン分布では、基本的に年平均発生数のみを考慮して年発生数を表現している。

一方、ポリヤ分布は、 β を分布パラメータとして、以下の式で表される (Wen and Chu 1973)。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (2)$$

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (3)$$

ここに、 σ は竜巻の年発生数の標準偏差である。 β を限りなくゼロに近づけるとポアソン分布に近づく。そのため、ポリヤ分布は年発生数の変動を考慮できるようにポアソン分布を拡張したものと解釈できる。

Thom(1963)は、米国中部を対象とした分析を行い、ポアソン過程が実態と乖離する場合があると指摘した。その上で、ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。Wen and Chu(1973)は、この文献を引用するとともに、一つのストームで複数の竜巻が発生する (Tornado Outbreakと呼ばれる) 事象はよく起こるため、年発生数の平均値だけでなく、時間変動を考慮するポリヤ分布の方がより適合性が高くなると述べている。ポリヤ分布は、極めて稀にしか起きない事象に対して弱い伝播性 (ある事象が生ずるとその周囲にもその事象が生じやすくなる性質) が考慮されており、これもTornado Outbreakのような事象への表現性が高まることにつながっているものと考えられる。

国内を対象とした分布の適合性に関する検討結果は、東京工芸大学委託成果では、ポアソン分布よりもポリヤ分布の適合性が良いと示されている。

参考に、海側、陸側5km範囲内でのポアソン分布を適合させた竜巻の年発生数を参考図1.1、ポアソン分布による竜巻最大風速のハザード曲線をポリヤ分布によるものと比較する形で参考図1.2に示す。今回の算定では、ポアソン分布とポリヤ分布でほとんど差異が見られなかった。

この理由について、確率論から説明する。

ある一つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となるような被害を受ける確率を $R(V_0)$ とすると、このような竜巻被害を受けない確率は次式で表される。

$$(\text{被害を受けない確率}) = 1 - R(V_0) \quad (4)$$

同様に、 N 個の竜巻が発生したときに、いずれの竜巻に対しても被害を受けない確率は次式で表される（独立性を仮定する）。

$$(N\text{個の竜巻で被害を受けない確率}) = [1 - R(V_0)]^N \quad (5)$$

逆に、 N 個の竜巻が発生したときに、いずれかの竜巻により被害（最低1回、最大 N 回）を受ける確率は次式となる。

$$(N\text{個のいずれかの竜巻で被害を受ける確率}) = 1 - [1 - R(V_0)]^N \quad (6)$$

従って、1年間に N 個の竜巻が発生する確率を $P(N)$ とすると、これによる被害確率は、

$$\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \quad (7)$$

となる。 $R(V_0)$ が十分小さければ、上式は次のように近似できる。

$$\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \approx R(V_0) \times N \times P(N) \quad (8)$$

ここで、次の近似を用いている。

$$[1 - R(V_0)]^N \approx 1 - N \times R(V_0) \quad (9)$$

竜巻被害の場合、 $R(V_0)$ は十分小さいため（泊発電所の竜巻検討地域では最大で 10^{-5} 程度）であるから、式(9)の近似は非常に良い精度で成り立つ。

以上のことから、式(8)より、1年間にいずれかの竜巻により被害を受ける確率は次式で近似できる。

$$P_{V_0}(D) \approx \sum_{N=1}^{\infty} [R(V_0) \times N \times P(N)] = R(V_0) \sum_{N=1}^{\infty} [N \times P(N)] = \nu R(V_0) \quad (10)$$

従って、被害確率は竜巻発生数の平均値 ν のみに依存し、標準偏差はもちろん、確率分布にも無関係であり、ポリヤ分布とポアソン分布によるハザードの結果は一致すると言える。

さらに、 $P(N)$ としてポアソン分布またはポリヤ分布を仮定し確認する。

式(7)の $P(N)$ をポアソン分布と仮定し、

$$\begin{aligned} \{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) &= P(N) - [1 - R(V_0)]^N P(N) \\ &= P(N) - [1 - R(V_0)]^N \frac{\nu^N}{N!} \exp(-\nu) = P(N) - \frac{(\nu - \nu R(V_0))^N}{N!} \exp(-\nu) \end{aligned} \quad (11)$$

となることを考慮すると、式(10)の厳密な式は式(12)となる。

$$\begin{aligned} P_{V_0}(D) &= \sum_{N=1}^{\infty} \left\{ P(N) - \frac{(\nu - \nu R(V_0))^N}{N!} \exp(-\nu) \right\} \\ &= 1 - \exp(\nu - \nu R(V_0)) \exp(-\nu) \\ &= 1 - \exp(-\nu R(V_0)) \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、次の関係式を用いている。

$$\exp(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \quad (13)$$

式(12)はWen and Chuの推定法における、竜巻の年発生数の確率分布をポアソン分布とした場合、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、 V_0 以上の竜巻風速に見舞われる確率、 $P_{V_0,T}(D)$ に一致する。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - \exp[-\nu R(V_0)T] \quad (14)$$

従って、式(12)（あるいは式(14)）は

$$P_{V_0}(D) = 1 - \exp(-\nu R(V_0)) = 1 - \left(1 + \frac{(-\nu R(V_0))}{1!} + \frac{(-\nu R(V_0))^2}{2!} + \dots\right) \quad (15)$$

と表され、 $R(V_0)$ が小さい場合は、次式で近似できる。

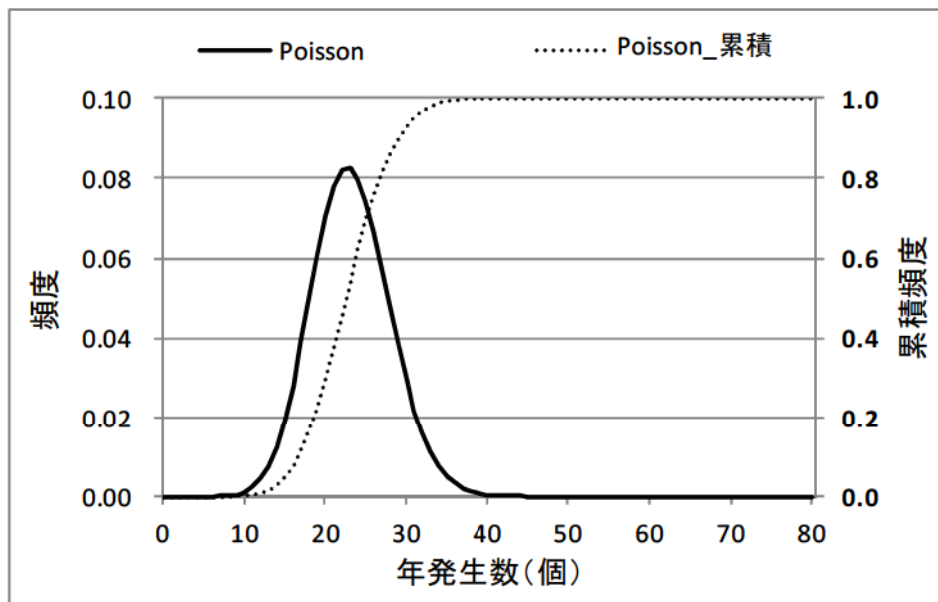
$$P_{V_0}(D) \approx \nu R(V_0) \quad (16)$$

ポリヤ分布の場合も同様に、一般の2項定理を用いると、次式で近似できる。

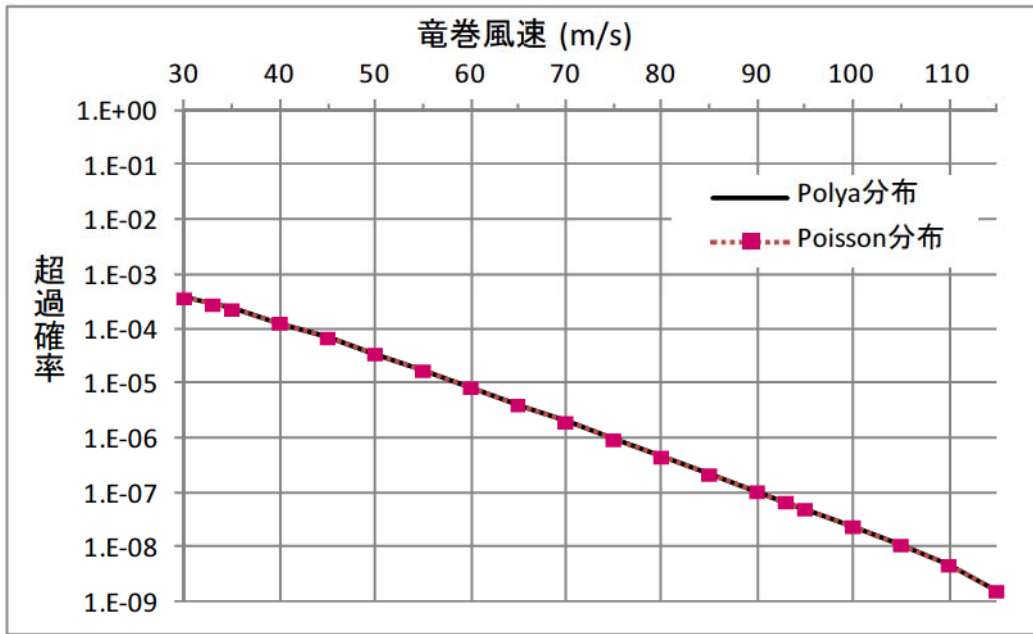
$$P_{V_0}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - \left(1 + \left(\frac{-1}{\beta}\right) \beta \nu R(V_0) + \dots\right) \quad (17)$$

$$\approx \nu R(V_0)$$

以上のことから、竜巻のように一つの竜巻に対する被害確率が非常に小さな現象に対しては、年被害確率は竜巻発生数の平均値にのみ依存し、発生数の確率分布形状にはほとんど無関係であると言える。



参考図 1.1 竜巻の年発生数をポアソン分布で適合させた結果



参考図 1.2 ポリヤ分布とポアソン分布によるハザード曲線

<参考2>ハザード曲線を求めるための確率的な竜巻モデルについて

竜巻最大風速のハザード曲線は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」が推奨している「構造物が竜巻に遭遇し、かつ竜巻がある風速以上になる確率モデルの推定法」としてWen and Chu(1973)および Garson et al. (1975)の提案手法を用いて算出している。

この推定法では、ハザード曲線は、竜巻による被害面積の期待値を基に算出され、面積期待値は、全ての竜巻風速、被害長さ、被害幅、竜巻の移動方向を考慮し、それらの出現頻度から計算される。

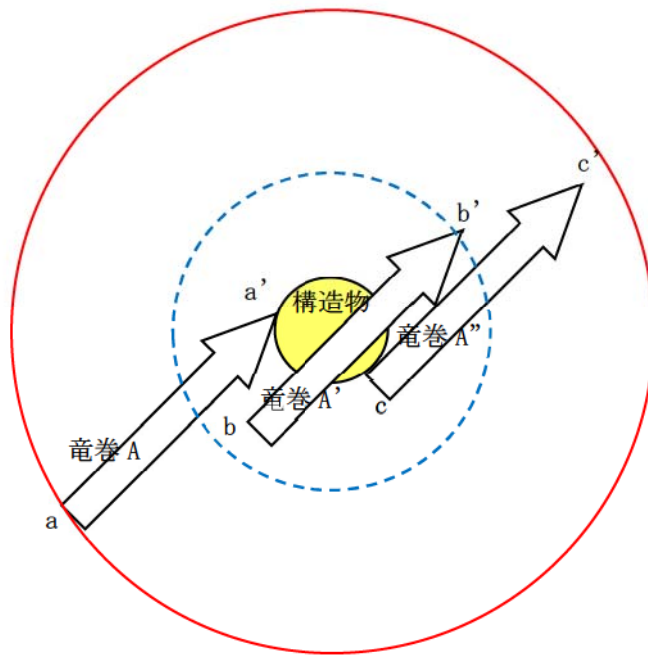
構造物を襲う竜巻の特性（Fスケール、被害長さL1、被害幅W1、移動方向）は等しいが、発生・消滅地点が異なる3つの竜巻（A、A'、A''）を考える。それぞれの竜巻の発生、消滅地点は、参考図2.1に示すとおり、竜巻Aはa点で発生し、ちょうど構造物にかかるa'点で消滅、竜巻A'はb点で発生し、b'点で消滅、竜巻A''はc点で発生、c'点で消滅しているとする。

竜巻A、A'、A''は同じ竜巻特性を有しているため、同一の構造物を襲う場合、同じ被害を与えるため、その被害面積は式(1)で評価される。

$$\text{(被害長さL1)} \times \text{(構造物幅)} \quad (1)$$

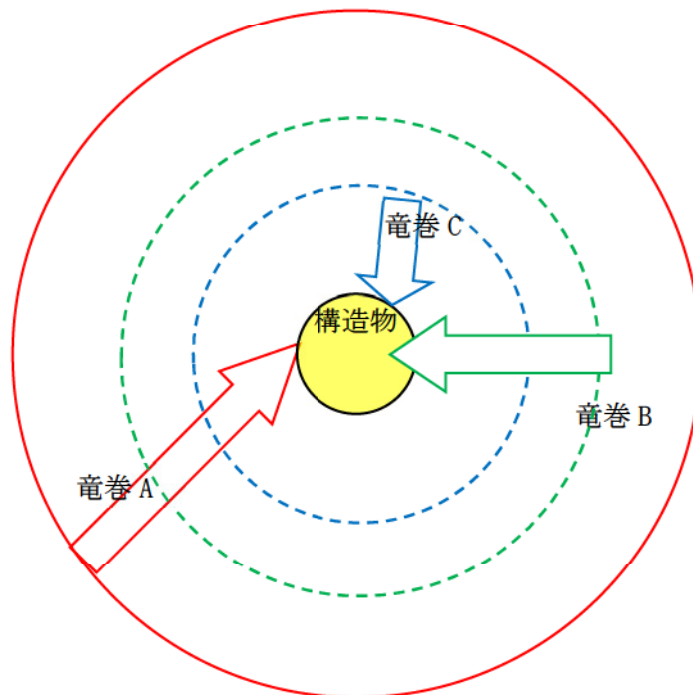
このことは、少なくとも、最も構造物から離れた地点で発生している竜巻Aの被害長さL1の円内（赤丸）では竜巻の発生数や特性は同一でなければ、正しく竜巻の特性を反映した被害面積を算定できないことを示している。

例えば、参考図2.1の青点線丸の範囲内で、同一の構造物を襲う場合の被害面積の期待値を算定すると仮定すると、竜巻Aが発生しておらず、発生数は3個から2個へ減少、モデルの中では、竜巻A、竜巻A'、竜巻A''の被害長さを考慮することになり、場を代表している算定を行っていると言えない。



参考図2.1 確率的な竜巻モデルの概念図 (その1)

次に竜巻AとFスケールおよび被害幅は等しいが、被害長さ、移動方向が異なる竜巻B, Cを考えるその概念図を参考図2.2に示す。



参考図2.2 確率的な竜巻モデルの概念図 (その2)

竜巻B、竜巻Cについても、竜巻Aの場合と同様に、ハザード曲線に用いる被害面積を正しく求めるためには、竜巻Bと同一の特性をもつ竜巻は緑点線の円、竜巻Cと同一の特性をもつ竜巻は青点線の円の範囲で発生数や特性は同一とした評価を行わなければならない。つまり、竜巻の被害長さは様々であり、竜巻の発生数や特性を同一と考えなければならない範囲も様々であることを示している。

被害面積の期待値を求めるモデル式においても、長短様々な被害長さを有する竜巻を考えており、均一的な竜巻特性を持つ無限に広い領域を想定している。逆に、上記で説明したように、十分広い領域を想定しなければ、様々な被害長さの竜巻特性を正確に考慮することができない。また、ある領域内（竜巻検討地域内）で算定した竜巻風速、被害長さ、被害幅の確率密度分布が無限に広い領域で均一であると考えられるからこそ、（実際には竜巻検討地域では観測されていない）長い被害長さを有するF3～F5クラスの竜巻が竜巻検討地域内外から構造物に襲来することを確率論的に考慮できるのである。

このように、本推定法により被害面積の期待値を理論的に正しく算定するためには、発電所を中心とした十分広い範囲で考える必要がある。

泊発電所の竜巻検討地域における大きい竜巻であるF2竜巻の被害長さの平均値は約2.6km、標準偏差が約3kmであるため、竜巻検討地域を考えている海岸線から陸側、海側5kmの範囲内で、被害面積を求めることは妥当である。

<参考文献>

- Thom, H. C. S., 1963: Tornado probabilities. Mon. Wea. Rev., 91, 730-736.
- Sukhatme, B. V., 1957: On certain two-sample nonparametric tests for variances. Ann. Math. Statist. 28, 188-194.
- Wen, Y.-K., and S.-L. Chu, 1973: Tornado risks and design wind speed. J. Structural Div., Proc. of Amer. Soc. Civil Eng., 99, 2409-2412.
- 東京工芸大学, 2011: 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究. 平成21~22年度原子力安全基盤調査研究(平成22年度), 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究報告書, 424pp.

<参考 3>ハザード曲線の算出において、風速と被害幅の相関を 0 としていることの妥当性、及び、統計処理方法について

泊発電所の竜巻検討地域（日本海側+北海道南西）の竜巻パラメータのうち、風速と竜巻被害幅の相関は弱い負の相関（-0.057）を示している。

（1）相関の算定法の妥当性について

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（以下、竜巻評価ガイド）の解説3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速（ V_{B2} ）の算定には、「竜巻による被害域幅、被害域長さ及び移動方向は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。」とある。

また、東京工芸大学委託成果にも、「3変量対数正規分布によって評価することが妥当である」と記載されている。

上記の前提を元に、竜巻ハザードの計算においては、以下に示す2変量および3変量の対数正規分布を用いている。

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \frac{1}{xy} \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left\{\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right\}\right]$$

$$f(x,y,z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{vmatrix}^{1/2}} \times \frac{1}{xyz} \times \exp\left[-\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \ln(x)-\mu_x & \ln(y)-\mu_y & \ln(z)-\mu_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \ln(x)-\mu_x \\ \ln(y)-\mu_y \\ \ln(z)-\mu_z \end{pmatrix}\right]$$

ここに、 μ 、 σ 、 ρ は $\ln(x)$ 、 $\ln(y)$ 、 $\ln(z)$ の平均値、標準偏差および相関係数である。

多変量の相関の強さを調べる方法としては、母集団が正規分布することを仮定したパラメトリックな積率相関係数と、分布形や直線関係などを仮定しないノンパラメトリックな順位相関係数があるが、前述のように対数正規分布による評価を行うためには、パラメトリックな積率相関係数を用いて評価することが妥当であると考えられる。

（2）風速と被害幅の相関係数を0としたことの妥当性について

例えば、3変量の相関係数を推定する場合、これら3つが同時に観測されているデータを用いるのが望ましい。本竜巻検討地域では、206個の竜巻が観測されているが、Fスケールや長さ・幅が不明な竜巻も多い。そこで、解析に必要なデータ数を確保するため、1961年以降の利用可能なデータを全て用いて次式により相関係数を求めた。

$$\rho_{xy} = \frac{\sum (\log(x_i) - \mu_x)(\log(y_i) - \mu_y)}{\sqrt{\sum (\log(x_i) - \mu_x)^2 \sum (\log(y_i) - \mu_y)^2}}$$

解析に用いたデータ数を参考表3.1(a)に、相関係数の推定結果を参考表3.1(b)に示す。また、相関係数を求めた際の風速・幅・長さの散布図を参考図3.1に示す。なお、突風データベースの幅や長さには、値が0mと記されたデータもあるが、これらは解析からは除外し、保守性を確保した。

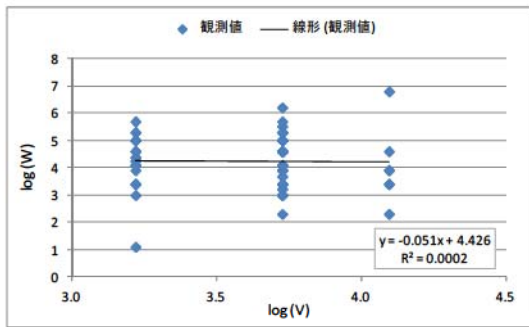
相関係数の計算に利用できるデータは観測数の1/3程度（62～69個）である。風速と幅の相関は-0.057と負値となっている。

参考表3.1(a) 相関の算定に用いたデータ数

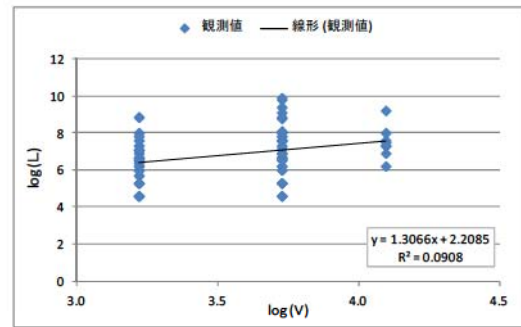
データ数	風速	幅	長さ
風速	90	64	69
幅	—	67	62
長さ	—	—	70

参考表3.1(b) 相関係数の算定結果

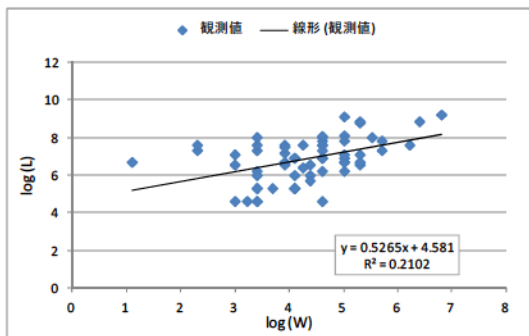
対数の相関係数	風速	幅	長さ
風速	1.000	-0.057	0.301
幅	—	1.000	0.458
長さ	—	—	1.000



(a) 風速～幅



(b) 風速～長さ



(c) 幅～長さ

参考図3.1 本竜巻検討地域の相関係数

この風速と被害幅の相関係数，すなわち，積率相関係数を0とすることの妥当性を検定を行うことにより，確認する。

前述のとおり，±5kmの竜巻データ206個のうち，Fスケールと竜巻被害幅の両方が分かっているデータ64個を対象に，積率相関係数を求めると $r = -0.057$ であった。このデータに関して，母相関係数が0であるかどうかを検定する。

母相関係数が0であるという帰無仮説を立てる。検定統計量は次式で表される。

$$t_0 = \frac{|r| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = 0.4503$$

有意確率を $P = \Pr\{|t| \geq t_0\}$ とすると，t分布の両側確率は，

$$P = \Pr\{|t| \geq 0.4503\} = 0.6540$$

となる。自由度62のt分布において，

$$\Pr\{|t| \geq 1.9990\} = 0.05$$

であるから，

$$P = \Pr\{|t| \geq 0.4503\} = 0.6540 > 0.05$$

となる。有意水準5%で検定を行うとすると， $P > 0.05$ であるから，帰無仮説を採択する。

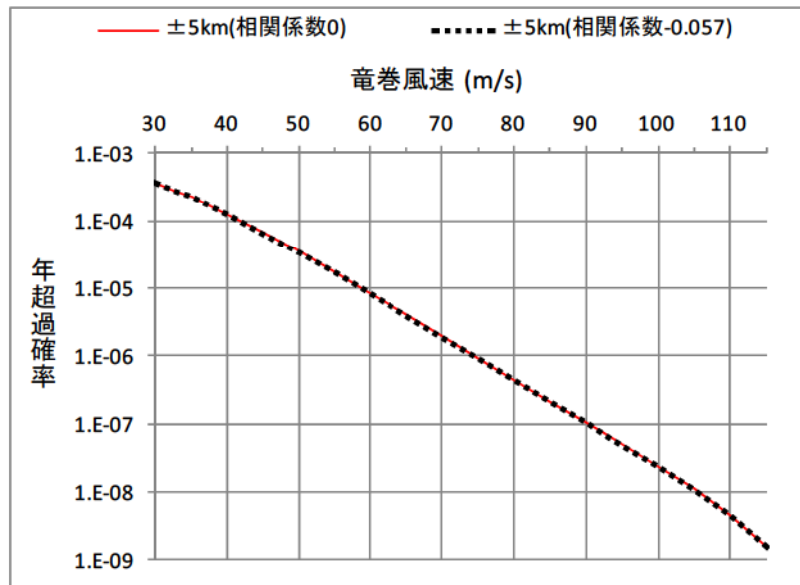
即ち、母相関係数は0で無いとは言えない。

つまり、本相関係数 $r=-0.057$ を無相関とすることは否定されない。

負の相関は、風速が大きくなるほど竜巻の被害幅が狭くなることを意味する。よって、負の相関をそのまま使用することはせず、実際のハザードの計算では無相関（相関係数=0）とおき、保守性を確保した。

参考表3.2 相関係数によるハザード推定結果比較

竜巻検討地域	超過確率 (Polya) に対応する風速				
	1. E-04	1. E-05	1. E-06	1. E-07	1. E-08
±5km (相関係数0)	41.82	58.70	74.49	90.27	105.60
±5km (相関係数-0.057)	41.68	58.53	74.31	90.08	105.43



参考図3.2 相関係数によるハザード曲線の比較

<参考 4> 竜巻風速の積分範囲（～120m/s）について

竜巻ハザードの計算では、下記の式を数値積分して、一つの竜巻が発生したときに、風速 V_0 以上となる被害面積の期待値を求める。風速に関しては、 $V_0 \sim \infty$ までが積分範囲（ V_0 以上の超過確率）であるが、実際には無限大まで積分できないため、ある風速（ V_{\max} ）で打ち切らざるを得ない。その場合、 $V_{\max} \sim \infty$ の超過確率が打ち切りに伴う誤差になる。

$$E[DA(V_0)] = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_{V_0}^{\infty} W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\ + L \int_0^{\infty} \int_{V_0}^{\infty} l f(V, l) dV dl + L \int_0^{\infty} \int_{V_0}^{\infty} W(V_0) f(V, w) dV dw + S \int_{V_0}^{\infty} f(V) dV$$

東京工芸大学委託成果では、この積分の打ち切り風速をF3の上限（92.6m/s）とした場合と、F4の上限（116.2m/s）とした場合のハザードが比較されている（参考図4.1参照）。参考図4.1から分かるように、打ち切り風速により、高風速域でのハザードに違いが見られる。

東京工芸大学委託成果では、日本で発生する竜巻の風速が100m/s程度と見積もり、積分の上限も100m/s程度が妥当であろうとしている。一方、米国のガイドによる風速を踏まえ、日本で起こりうる竜巻最大風速を103m/sと想定し、積分の上限を92.5m/sとした場合と116.2m/sとした場合のハザードの竜巻風速を加重平均している（参考図4.2参照）。

一方で、大きな打ち切り風速を設定すると、数値積分上の誤差が蓄積し、ハザードの推定精度に影響を及ぼすことが懸念される。

ここで、風速の対数正規分布の超過確率評価における積分精度を確認するために、現行評価の計算結果と別の計算手法を用いた計算結果との比較を行うことで、現行評価手法の妥当性を確認した。現行評価では超過確率を求めるために、積分手法として一般的に用いられる台形公式を使用した数値積分を行っている。また、対数正規分布の積分式は、数学的手法により特定の関数形に置換することで近似解が得られることから、精度確認の比較計算として、この近似解を求める計算を行った。両計算によって得られる超過確率の比較を行うことで、現行評価の積分精度に問題がないことを確認している。（参考図4.3参照）

参考図4.3より、風速の対数正規分布（風速のみの1次元分布）は、120m/s程度までは正確に積分できることを確認した上で、ハザードの積分の上限を120m/sに設定し、110～115m/s程度までのハザードを評価対象とした。

竜巻影響評価ガイドでは、「竜巻最大風速の確率密度分布の積分の上限値を設定する場合は、竜巻最大風速の評価を行うハザード曲線が不自然な形状にならないように留意する」と記されているが、本検討で得られたハザード曲線は、参考図4.1に示されたような問題点はほとんど無いものとする。

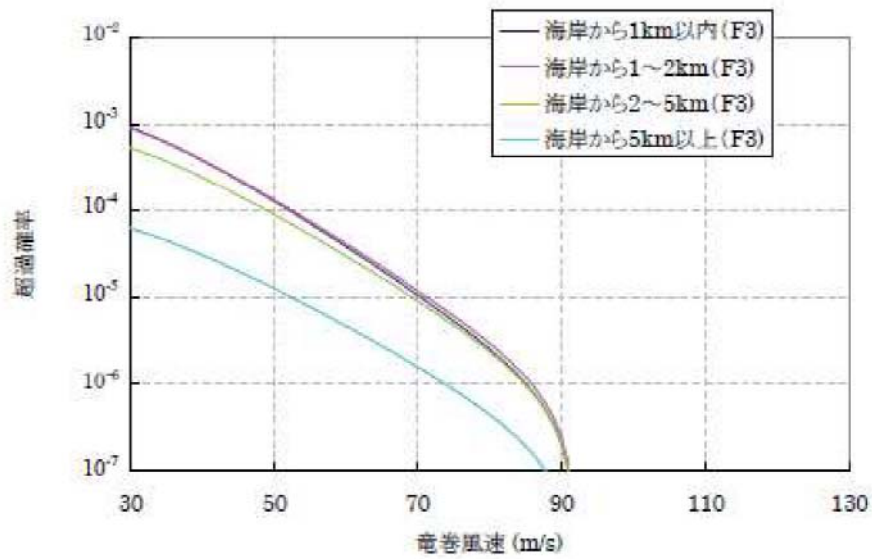


図 2.1.2.14 竜巻風速の確率密度の積分の上限を 92.6m/s (F3 の上限値) にした場合の竜巻リスクの計算結果 (全国平均)

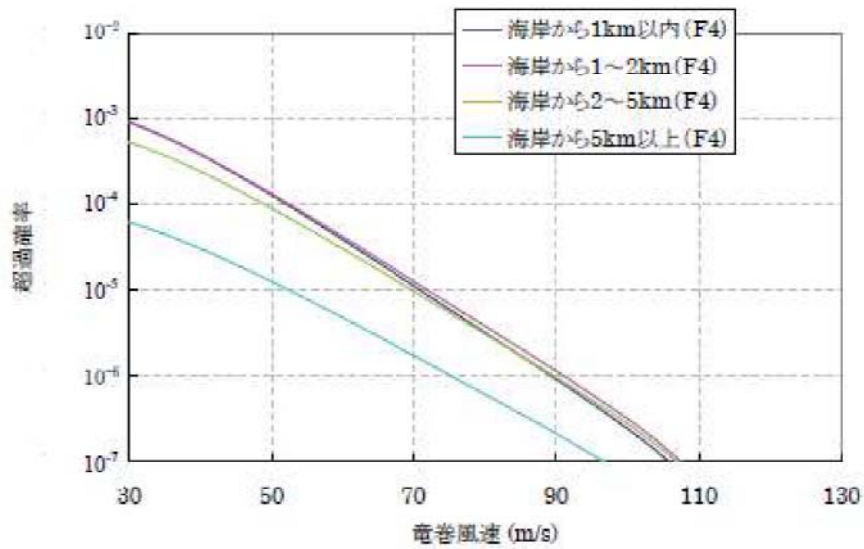


図 2.1.2.15 竜巻風速の確率密度の積分の上限を 116.2m/s (F4 の上限値) にした場合の竜巻リスクの計算結果 (全国平均)

気象庁の突風データベースに残されている最大の竜巻は F3 である。しかし、1990 年 12 月 11 日に千葉県茂原市で発生した竜巻の最大竜巻風速は 100m/s と予想され、F4 と判定すべきではないかという見解もある。そのため、本節で示した竜巻リスクの計算を行う場合、竜巻風速の確率密度分布を積分する上限値も 100m/s 程度にするのが妥当と思われる。

一方、米国の Regulatory Guide [12]では、超過確率が 10^{-7} に相当する竜巻風速を原子力施設のガイドラインとして設定しており、その値は下記の通りである。

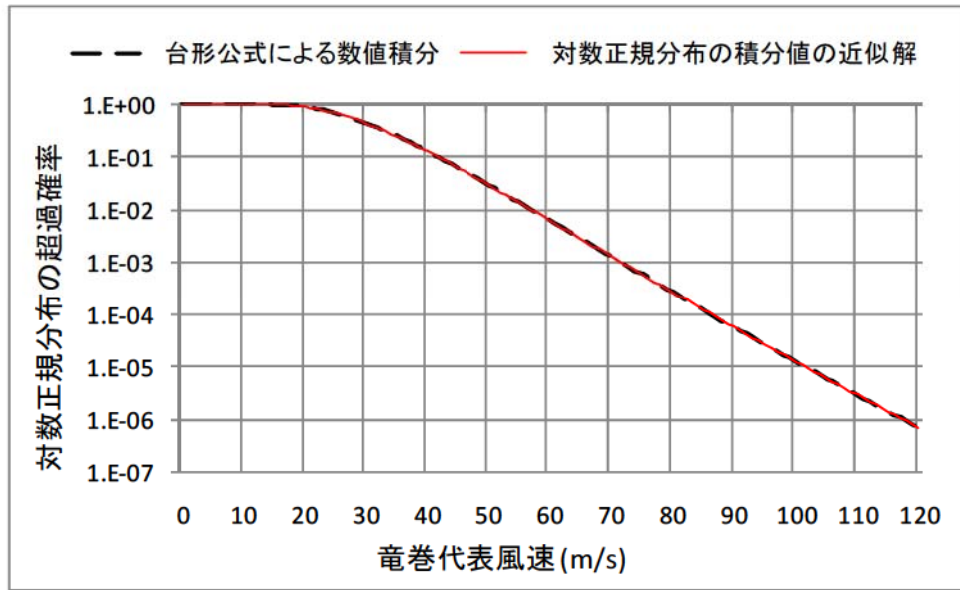
- i) Region I (アメリカ中央部) : 103m/s (230mph)
- ii) Region II (東海岸、北部国境およびグレートプレーンズの西部) : 89m/s (200mph)
- iii) Region III (合衆国西部) : 72m/s (160mph)

米国の Regulatory Guide [12]に設定されている竜巻風速は、Region I では F4 に相当し、Region II および Region III では F3 に相当する。

この傾向を踏まえ、日本で起こりうる竜巻風速の最大値を 103m/s と想定し、竜巻風速の確率密度分布を積分する上限を 92.5m/s とした場合と 116.2m/s とした場合の竜巻風速を加重平均化した。そうして計算した超過確率が 10^{-5} 、 10^{-6} 、および 10^{-7} に相当する竜巻風速（全国平均）を表 2.1.2.22 および図 2.1.2.20 に示す。Regulatory Guide と同じ超過確率が 10^{-7} に相当する竜巻風速は、海岸から 5km 以内の陸地では 98m/s 程度で海岸から 5km 以上離れた陸地では 91m/s となり、米国の場合と大きな違いが見られない結果となっている。

図 2.1.2.1 に示した 7 個の地域の場合も、発生しうる最大の竜巻風速が 103m/s を想定した場合の超過確率が 10^{-5} 、 10^{-6} 、および 10^{-7} に相当する竜巻風速を、加重平均によって計算した。その結果を表 2.1.2.23 および図 2.1.2.21 に示す。海岸から 5km 以内の地域では、地域④の一部と地域⑤を除いて全て F4 の竜巻に相当する風速である。前述したように、地域④と地域⑤では人口密度が小さいため竜巻の単位面積あたりの観測数が実際よりも小さい可能性がある。その点を考慮すると、海岸から 5km 以内の超過確率が 10^{-7} に相当する竜巻風速は日本全国全ての地域で 100m/s 程度になるとと思われる。海岸から 5km 以上離れた地域では、地域に関係なく 10^{-7} に相当する竜巻風速は 80 から 90m/s である。

図 2.1.2.2 に示した 19 個の地域では、竜巻の発生頻度が顕著に高くなっている(図 2.1.2.5)。この 19 個の地域の 92.5m/s と 116.2m/s を積分の上限とした場合の竜巻リスクを計算した。その結果から超過確率が 10^{-5} 、 10^{-6} 、および 10^{-7} に相当する竜巻風速を取り出し、上記と同様の加重平均化した竜巻風速を計算した。その結果を表 2.1.2.24～表 2.1.2.26 および図 2.1.2.22～図 2.1.2.24 に示す。図 2.1.2.1 に示した 7 個の地域に分けた場合に比べて、図 2.1.2.2 に示した 19 個の地域の竜巻風速が大きくなる傾向にある。その傾向は超過確率が 10^{-6} と 10^{-5} の場合に、よりはっきりと表れている。特に、高知県南部 (②-2)、静岡県 (③-3)、北海道南部 (④-1)、鳥取県の一部 (⑤-4)、秋田県 (⑦-2) の海岸地域のリスクは高い傾向にある。



参考図4.3 風速の確率分布の積分精度の検証（近似解との比較）

1.5 基準竜巻の最大風速(V_B)の設定

これまでに評価した、竜巻の最大風速の結果は以下のとおり。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1}) \Rightarrow 92m/s

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2}) \Rightarrow 65m/s

竜巻影響評価ガイドに従い、基準竜巻の最大風速(V_B)は V_{B1} と V_{B2} のうち大きい方とし、92m/sとする。

基準竜巻の最大風速(V_B) 92 m/s

なお、1.4で求めたハザード曲線より、基準竜巻の最大風速92m/sの年超過確率を求めると、約 1.4×10^{-7} /年となる。

2. 相関係数の算出及び検定方法について

相関係数の算出及び相関係数の検定方法は、下記のとおりである。

i) 相関係数の算出

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1 \text{ 式})$$

r	: 相関係数
$\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$: 資料 x と資料 y の共分散
$\sum (x_i - \bar{x})^2$: 資料 x の分散
$\sum (y_i - \bar{y})^2$: 資料 y の分散
x, y	: 地域区分 (16 区分)
i	: 総観場 (21 種類)

ii) 相関係数の検定方法 (無相関検定)

母集団の相関係数 ($\rho = 0$) を帰無仮説として、相関係数 r を用いて以下の統計量を計算したとき、この値は自由度 $n-2$ (n は標本数) の t 分布に従うことが知られている。

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2 \text{ 式})$$

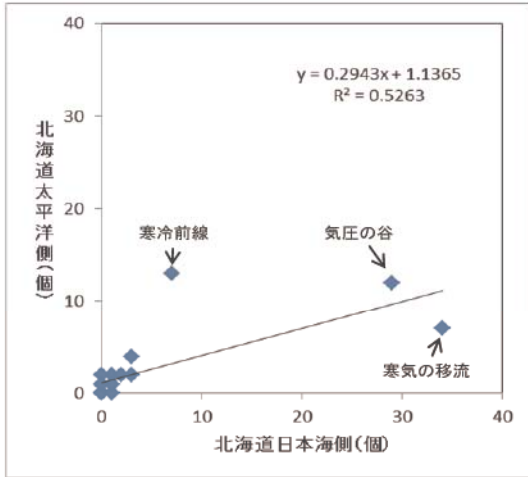
有意水準 α のときの t 値を t_α とすれば、そのときの相関係数 r_α は次式で与えられる。

$$r_\alpha = \frac{t_\alpha}{\sqrt{n-2+t_\alpha^2}} \quad (3 \text{ 式})$$

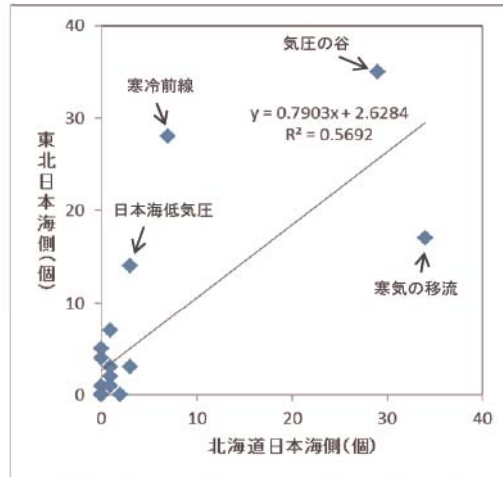
有意水準 $\alpha = 0.01$ (1%) としたとき、 $r > r_{0.01}$ であれば、「母集団の相関係数 ($\rho = 0$) の仮説」が棄却され、危険率 1% で有意な相関があるといえる (無相関であるという仮説は棄却せざるを得ない)。

3. 総観場の分布図

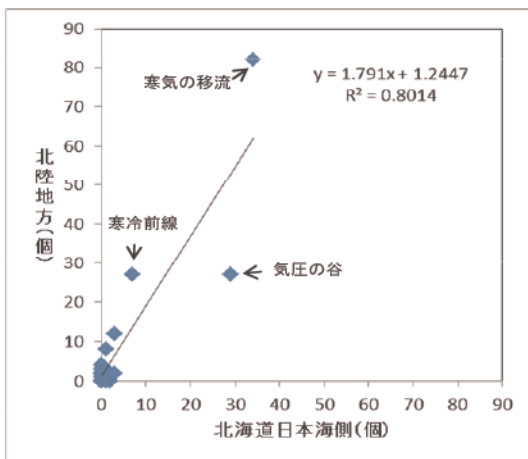
(1) 相関の優位性が認められた地域の分布図



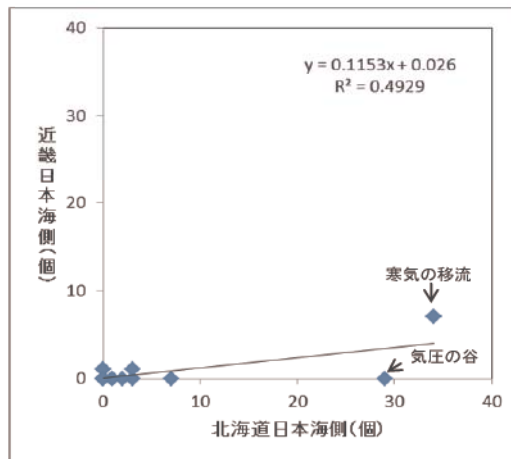
(北海道日本海側⇔北海道太平洋側)



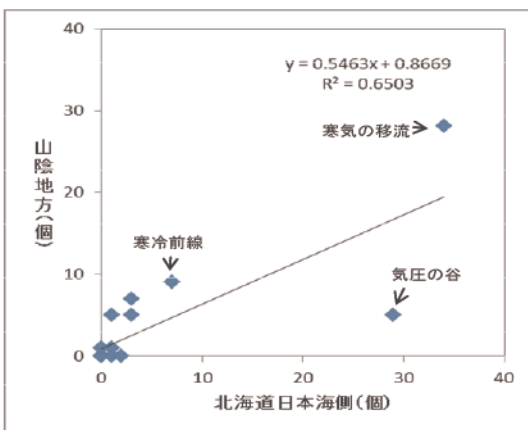
(北海道日本海側⇔東北日本海側)



(北海道日本海側⇔北陸地方)

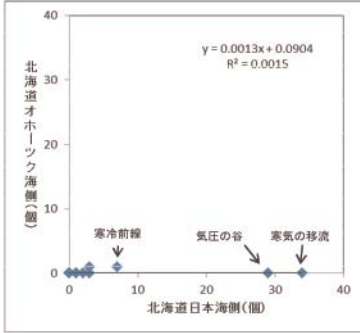


(北海道日本海側⇔近畿日本海側)

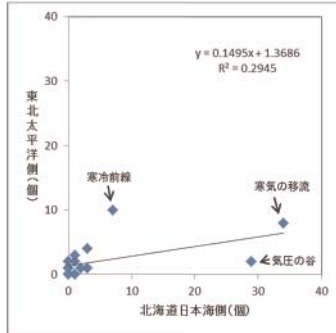


(北海道日本海側⇔山陰地方)

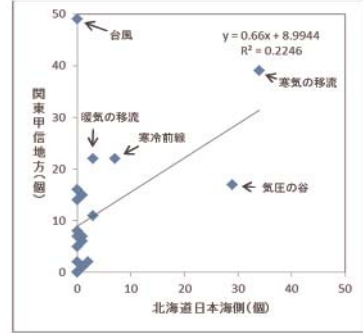
(2) 相関の優位性が認められない地域の分布図



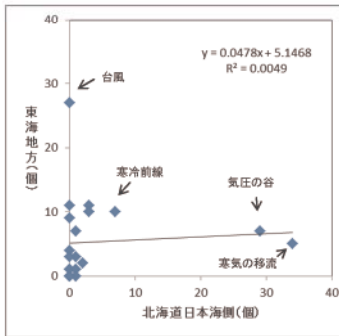
(北海道日本海⇔オホーツク)



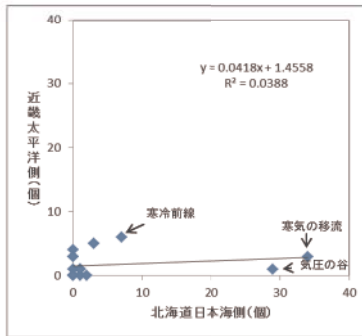
(北海道日本海⇔東北太平洋)



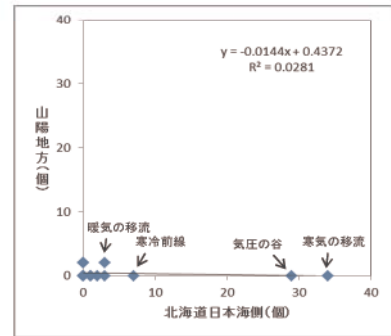
(北海道日本海⇔関東甲信)



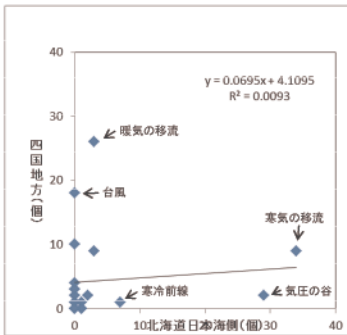
(北海道日本海⇔東海地方)



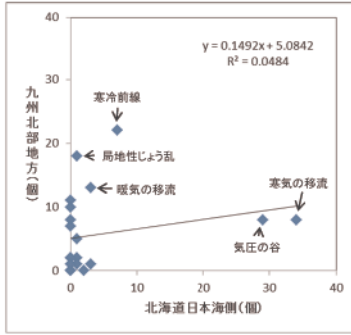
(北海道日本海⇔近畿太平洋)



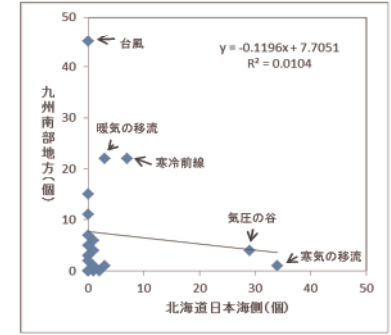
(北海道日本海⇔山陽地方)



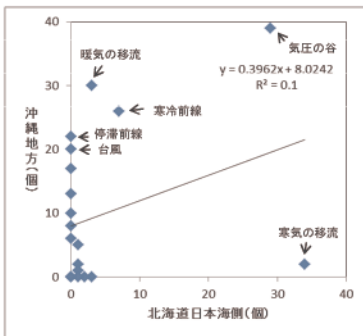
(北海道日本海⇔四国地方)



(北海道日本海⇔九州北部)



(北海道日本海⇔九州南部)



(北海道日本海⇔沖縄地方)

4. 襟裳岬から東側の海岸線等における竜巻発生数

- ・ 襟裳岬から知床半島までの海岸線における竜巻の発生実績

番号	発生日時	発生場所	藤田スケール
1	1969/10/11 09:25	北海道根室支庁(海上)	不明

- ・ 竜飛岬までの陸奥湾西側海岸線における竜巻の発生実績

番号	発生日時	発生場所	藤田スケール
1	1966/10/05 16:02	青森県 青森市	—

※詳細な発生場所データがないことから、海岸線 10km 範囲での発生かどうか不明。

(出典：気象庁 HP 竜巻等の突風データベース (2013 年 9 月))

5. 円形構造物に対する竜巻移動方向の依存性について

原子力発電所の竜巻影響評価ガイドでは、竜巻の移動方向を考慮するよう求めている。竜巻移動方向と、竜巻風速、長さ、幅に相関がない場合には、竜巻の移動方向を α 、移動方向の確率分布を $p(\alpha)$ 、建物寸法を A 、 B とすると、例えば、1 個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積の期待値 $E[DA(V_0)]$ に関する式の、第 2 項内の方向に関する項は、以下で与えられる。

$$\int_0^{2\pi} H(\alpha) p(\alpha) d\alpha = \int_0^{2\pi} (B|\sin(\alpha)| + A|\cos(\alpha)|) p(\alpha) d\alpha \quad (1 \text{ 式})$$

ここで、建物を直径 D の円形構造物と考える。円形構造物の場合、被害域長さ方向に沿った面への構造物の投影長さ $H(\alpha)$ は、次式で与えられる。

$$H(\alpha) = D \quad (2 \text{ 式})$$

即ち、竜巻の移動方向によらず常に定数となる。従って、1 式も定数となり、竜巻移動方向がどのような分布形でも方向依存性は生じない。これは、下記 3 式より、移動方向の確率分布 $p(\alpha)$ を 2π まで積分した場合に 1 となることから説明できる。

$$\int_0^{2\pi} H(\alpha) p(\alpha) d\alpha = D \int_0^{2\pi} p(\alpha) d\alpha = D \quad (3 \text{ 式})$$

以上のことは、 $E[DA(V_0)]$ に関する式の第 3 項の $G(\alpha)$ についても成り立つ。

6. 竜巻発生個数の補正方法の妥当性について

ハザード曲線の評価にあたっては、竜巻発生個数は、気象庁の各年代の調査業務の精度の違いを考慮し、各年代の発生数と観測期間を基に補正を行っている。補正結果を表1に示す。

各年代の竜巻調査方法の特徴は以下のとおりであり、1991年と2007年を基点に2度にわたり竜巻等突風の評定の改善を図っている。このため、近年スケールの小さい竜巻の観測精度が上がっている。これは、表1に示すとおり、F0スケールの竜巻の約90%が2007年以降に、また、F1スケールの竜巻の約60%が1991年以降に確認されていることから類推される。

【日本におけるこれまでの竜巻等突風の評定の改善】

- 1961～1990年
 - ✓一定規模・被害以上の突風について収集
 - ✓被害のない海上竜巻は含まない
- 1991～2006年
 - ✓竜巻等突風の発生に関する情報収集を強化
 - ✓被害のない海上竜巻も区別して収集
- 2007年以降
 - ✓竜巻等突風の現地調査を強化
 - ✓海上竜巻の確認数が格段に増加

(出典：気象庁 竜巻等突風の強さの評定に関する検討会第1回資料)

表1 竜巻発生数の補正結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 含む不明
			F0	F1	F2	F3	陸上	海上	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	90	30	47	13	0	3	113	206
	平均値 (年)	1.748	0.583	0.913	0.252	0	0.058	2.194	4.000
	標準偏差 (年)	2.526	2.003	1.020	0.522	0	0.309	5.862	7.687
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	60	30	27	3	0	3	112	175
	平均値 (年)	2.791	1.395	1.256	0.140	0	0.140	5.209	8.140
	標準偏差 (年)	3.467	2.956	1.124	0.356	0	0.473	8.294	10.683
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	32	26	6	0	0	0	93	125
	平均値 (年)	5.818	4.727	1.091	0.000	0	0	16.909	22.727
	標準偏差 (年)	6.087	4.814	1.337	0.000	0	0	10.661	14.700
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	322	244	65	13	0	0	871	1193
	平均値 (年)	6.236	4.727	1.256	0.252	0	0	16.909	23.145
	標準偏差 (年)	4.970	4.814	1.124	0.522	0	0	10.661	11.762
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	1195
	平均値 (年)	23.102	17.514	4.653	0.935	0	0	0	23.102
	標準偏差 (年)	9.567	9.265	2.163	1.004	0	0	0	9.567

ここで、補正を全く行わない観測期間 51.5 年間の発生個数 90 個の竜巻のデータ (F スケールがわかっているもののみ：表 1 の 1 段目のデータ) を用いてハザード曲線进行评估する。結果、先に述べたとおり観測精度の違いから F0, F1 の小さなスケールの竜巻の個数が最近の観測結果を反映して評価されておらず、F スケールの大きい竜巻の割合が相対的に高い出現頻度を持つため、風速の大きい領域で年超過確率が大きく評価される。

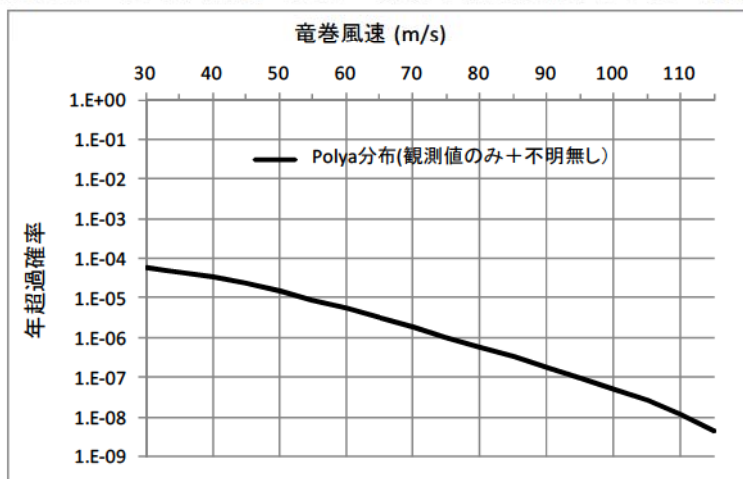


図 1 発生個数 90 個で評価したハザード曲線

次に、観測精度の違いを考慮し、各観測年代(1961～2012 年, 1991～2012 年, 2007～2012年)の竜巻発生数と観測期間を基に補正を行った擬似発生数 322 個の竜巻データ (表 1 の 4 段目のデータ) を用いて評価したハザード曲線を図 2 に示す。なお、不明竜巻については按分補正していない。

F0, F1 の発生個数を補正したことから、風速の大きいエリアの年超過確率が図 1 と比較し小さく評価されている。最近の観測精度の向上を考慮した評価という観点からは、図 2 の結果の方が実態に即しているものと考えられる。

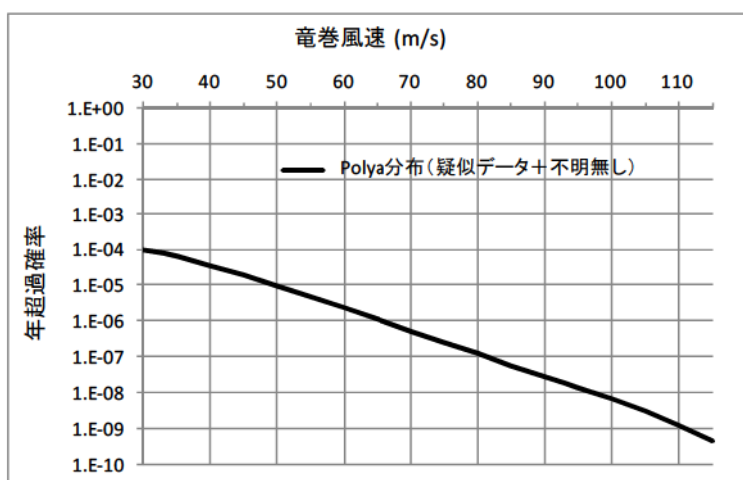


図 2 擬似発生個数 322 個で評価したハザード曲線

F0, F1 スケールの竜巻発生個数の補正方法を以下に示す。

①F0 スケール竜巻の補正

- ・先に述べたとおり観測精度の向上により、F0 スケールの竜巻の約 90%が 2007 年以降に確認されていると考えられる。このため、2007 年以降の年平均発生数が現実に近いものと類推されることから、この期間の発生数と観測期間から補正する。

$$(26 \text{ 個} \times 51.5 \text{ 年} / 5.5 \text{ 年} \approx 244 \text{ 個})$$

②F1 スケール竜巻の補正

- ・F0 スケールと同様の理由から、F1 スケールの竜巻の約 60%が 1991 年以降に確認されていると考えられる。このため、1991 年以降の年平均発生数が現実に近いものであると類推されることから、この期間の発生数と観測期間から補正する。

$$(27 \text{ 個} \times 51.5 \text{ 年} / 21.5 \text{ 年} \approx 65 \text{ 個})$$

なお、F2 スケール竜巻については、被害が大きく見逃されることが少ないため、1961 年以降の全期間の発生数 13 個のままとする。

最後に、今回のハザード評価で行った F スケール不明の竜巻を按分補正した場合の、擬似発生数 1195 個の場合(表 1 の 5 段目のデータ)のハザード曲線を図 3 に示す。補正にあたっては、最近の観測で著しく増加している F スケール不明の海上竜巻の発生数を、F スケールが分かっている竜巻の比率で按分した。具体的には、F スケール不明の竜巻を、最近の F スケール毎の陸上竜巻の発生割合を用いて按分補正した。結果、表 2 に示すとおり、観測値のみから評価したケースと比較し、年超過確率が 10^{-5} オーダーでほぼ同程度の竜巻風速を示している。以上より、当該ハザードを用いることは問題ないものと考えられる。

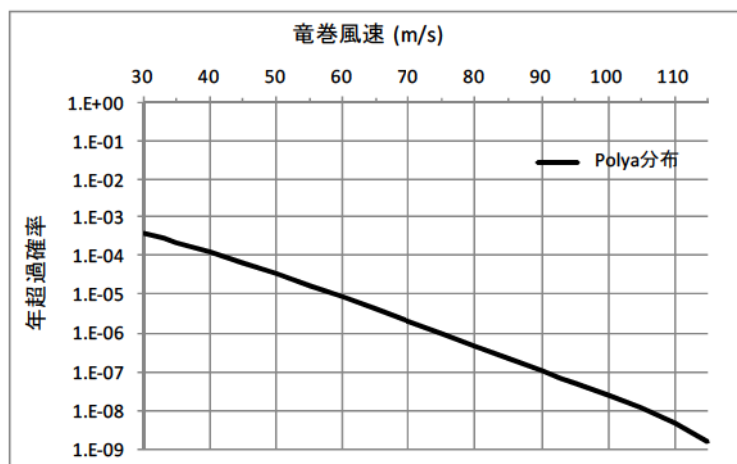


図 3 擬似発生個数 1195 個で評価したハザード曲線

表 2 に、各評価ケースにおける、各超過確率に対する風速を示す。

表 2 各超過確率に対する風速(m/s)

竜巻検討地域	超過確率 (Polya)に対応する風速(m/s)			
	1. E-05	1. E-06	1. E-07	1. E-08
観測値のみ(不明補正無し)	54.1	75.3	94.6	110.9
(疑似 322 個)	49.6	65.7	81.3	97.0
(疑似 1195 個)	58.7	74.5	90.3	105.6

7. 竜巻集中地域の評価について

独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」においては、竜巻集中地域に原子力発電所が立地している場合、当該地域の竜巻の年発生頻度（単位面積当たりの年発生数）を調査し、総観スケールの気象条件から設定した地域の年発生頻度と比較し、発生頻度の高い方を竜巻検討地域とする、としている。

泊発電所は、図1に示すように、竜巻集中地域に位置していることから、この地域の竜巻の年発生頻度を、今回、総観スケールの気象条件から設定した竜巻検討地域の年発生頻度と比較する。

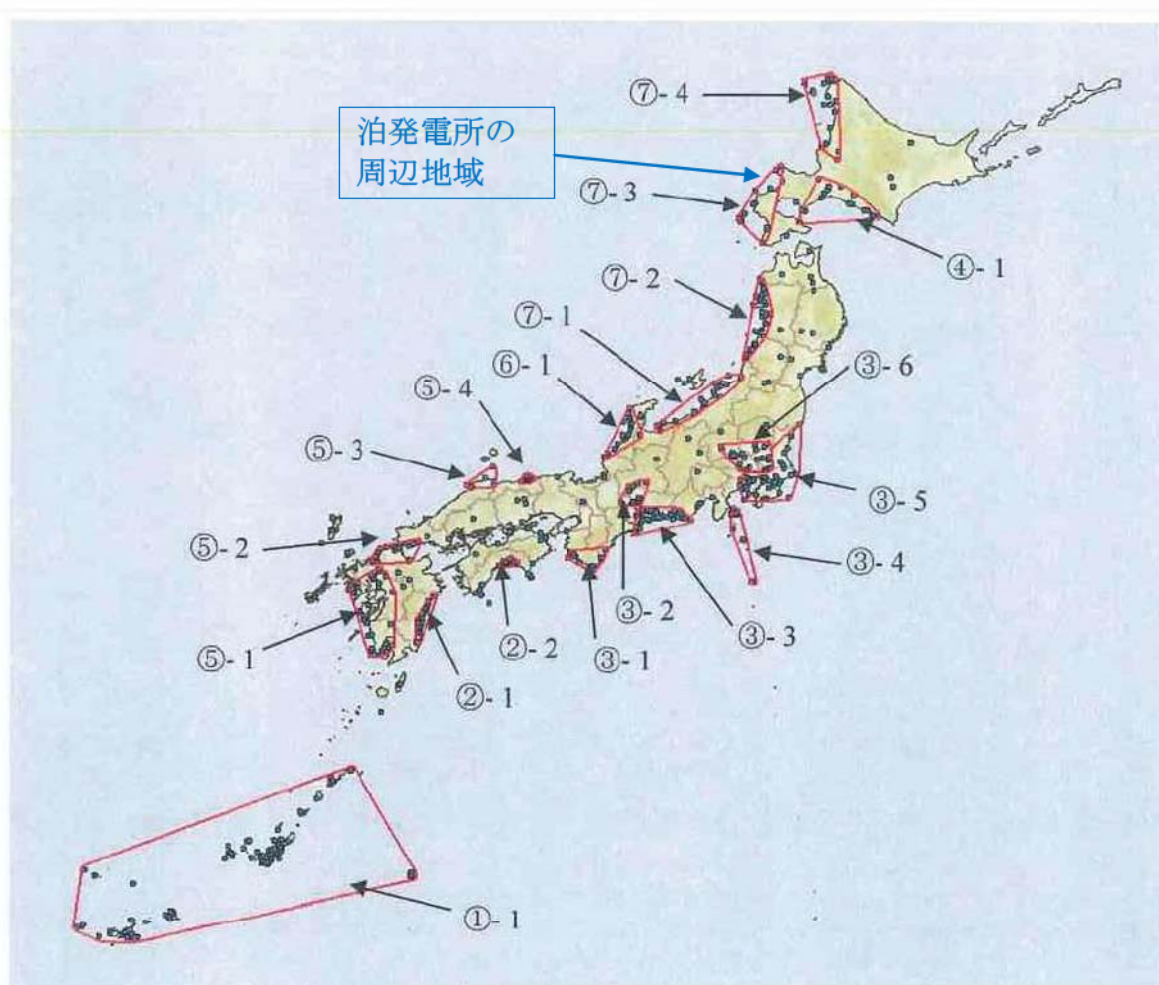


図1 竜巻の発生地点と竜巻が集中する19個の地域※

※出典：東京工芸大学，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究（平成22年度）」，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究

竜巻集中地域と竜巻検討地域候補地それぞれの、発生頻度を表 1 に示す。結果、両地域の竜巻発生頻度は同一と見なせる。このため、竜巻発生個数を多く確保できる、総観スケールの気象条件から設定した地域を竜巻検討地域とすることは妥当であると判断される。

表 1 竜巻集中地域及び竜巻検討地域候補地の竜巻発生頻度の比較

	対象面積 (km ²)	竜巻発生個数 (個) (観測期間 51.5 年)	発生頻度 (個/km ² /年)
竜巻集中地域	3,850	19	9.6×10^{-5}
竜巻検討地域候補地	38,895	206	1.1×10^{-4}

8. ポアソン分布を用いたハザード曲線の評価

竜巻影響評価ガイドに、 V_{B2} 算定の参考になるとされている東京工芸大学委託成果によれば、Wen and Chu が竜巻に遭遇しかつ竜巻風速がある値以上となる確率モデルの推定法を提案し、竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合、竜巻の年発生数の確率分布はポアソン分布もしくはポリヤ分布に従うとしている。

東京工芸大学委託成果によれば、国内を対象とした竜巻発生個数の分布の適合性に関する検討結果としては、海上及び陸上竜巻ともポリヤ分布の方が優れているとしているが、比較を行うためにポアソン分布についてもハザード曲線を評価した。

評価は、陸側 5km から海側 1km までの 1km 刻みの 6 つのエリアと竜巻検討地域全域について実施した。評価結果を図 1 に示す。

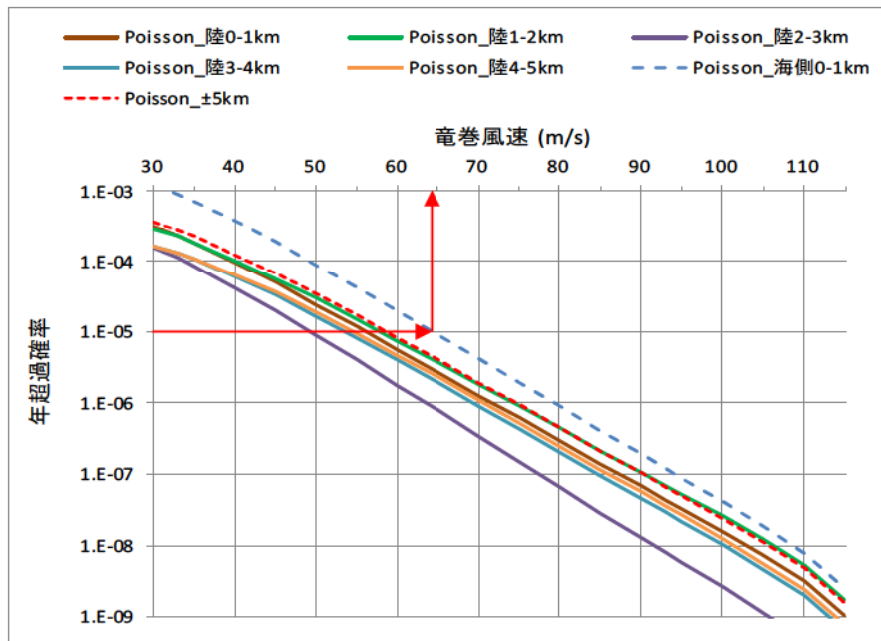


図 1 ポアソン分布によるハザード曲線

上記ハザード曲線から求めた、各エリアの年超過確率 10^{-5} /年における竜巻風速を表 3 に示す。合わせて、ポリヤ分布のハザード曲線から求めた、竜巻風速についても記載する。結果、ポアソン分布及びポリヤ分布とも有効数字 2 桁目を切り捨てた値であるが、両者とも同じ評価値となった。

表 1 年超過確率 10^{-5} /年の場合の竜巻風速

竜巻検討地域	竜巻風速 (m/s) 年超過確率 1. E-05	
	ポリヤ分布	ポアソン分布
±5km 範囲内	58.7	58.7
陸側 0～1km	56.2	56.2
陸側 1～2km	57.9	57.9
陸側 2～3km	49.4	49.4
陸側 3～4km	53.7	53.7
陸側 4～5km	54.6	54.6
海側 0～1km	64.4	64.4

9. 地形効果による竜巻風速の増幅について

1. はじめに

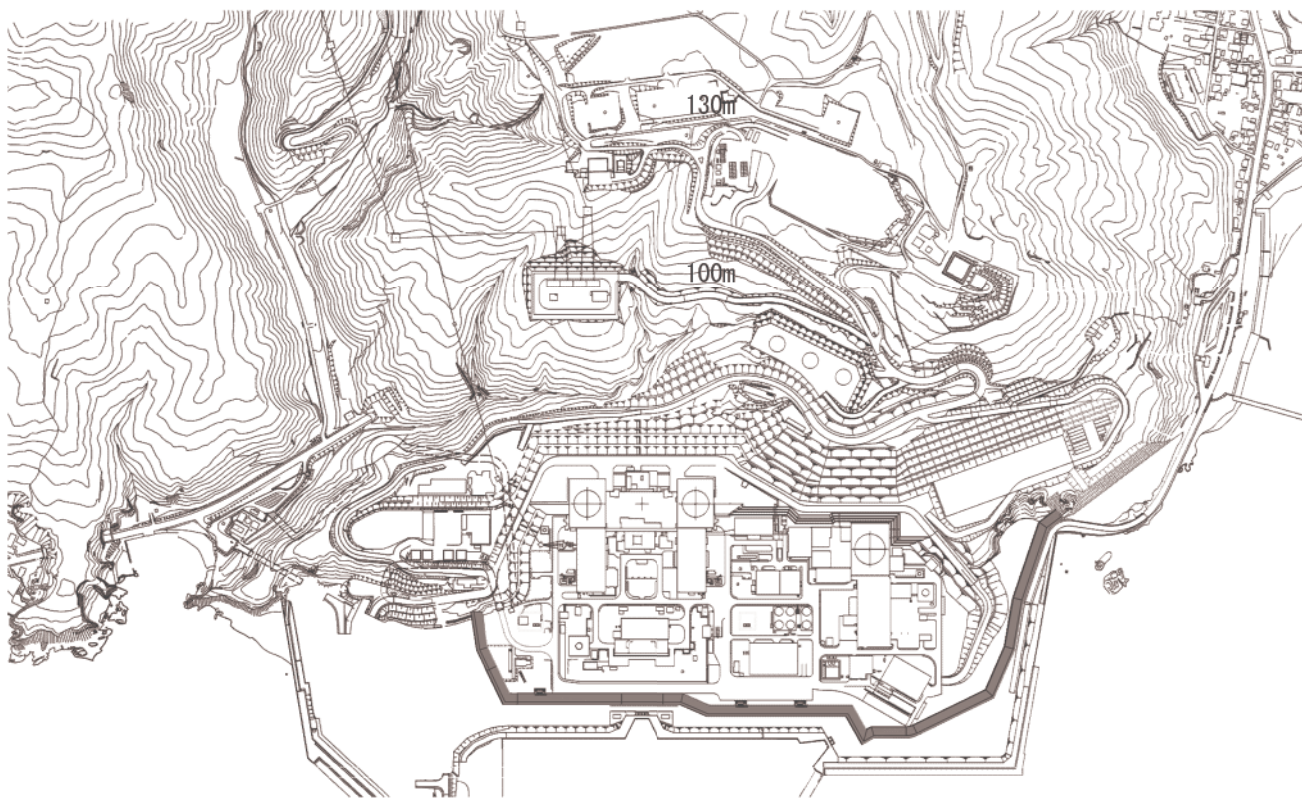
設計竜巻の設定にあたっては、丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから、原子力発電所が立地する地域において、設計対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速を設定することとされている。

これを踏まえ、泊発電所における地形効果による竜巻風速の増幅の可能性について検討する。

2. 泊発電所周辺の地形

泊発電所周辺の地形図を第9-1図に示す。

泊発電所敷地の形状は、おおむね半円状であり、敷地前面（北西～南西方向）は日本海に面し、背後は積丹半島中央部の山嶺に続く標高40mから130mの丘陵地である。



第9-1図 泊発電所周辺地形図

3. 泊発電所における地形効果による竜巻風速の増幅の可能性

(1) 地形効果に関する既往の知見

地形効果による竜巻及び風速の増幅に関する知見として以下のものがある。

① 建築物荷重指針・同解説^{※1}

傾斜地や尾根状地形を風が流れるとき、傾斜地や尾根状地形の風上側では、風は傾斜地や尾根状地形によってせき止められ、平均風速は平坦な地形上よりも小さくなるが、風は斜面を上がるにつれて加速するため、斜面の中程よりも上の地表面付近の平均風速は平坦な地形よりも大きくなるとしている。

② 佐々ほか (2007) ^{※2}

2006年11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻の地形効果に関する模型実験を行っており、この竜巻の発生には、南西側丘陵の存在と、南風や西からのガスト（突風）に伴い生じた正の鉛直渦度が上昇気流により伸張されて発達したものであるとしている。

③ Forbes (1998) ^{※3}

米国で発生した竜巻に関する被害調査を行い、地形による影響を以下のとおり整理している。

- ・竜巻による被害の痕跡は下り斜面で幅が狭まるとともに強さが増すことが、たびたび確認されている。
- ・たまに、非常に強い旋回が下り斜面や山のかげの特定の地点で生じる。
- ・上り斜面で竜巻の強度は弱められる。
- ・しばしば、強い竜巻のコアが後ろに続く高台の上に再出現する。

④ Lewellen (2012) ^{※4}

竜巻における地形効果を把握するため、山及び谷を単純モデル化したシミュレーションを行い、地形による影響を以下のとおり整理している。

- ・上り斜面で渦の強度が増し、下り斜面で渦の強度が弱まる。
- ・尾根の頂部で強い痕跡が渦の再構成に伴って現れる傾向を示す。

⑤ Selvam et al. (2013) ^{※5}

米国で発生した竜巻に関する被害調査を行い、地形による影響を以下のとおり整理している。

- ・上り斜面ではより大きな被害をもたらす、下り斜面では被害が少ない。
- ・竜巻は、標高の低い所よりも、高い場所へと移動する傾向にある。
- ・丘に囲まれた場所では被害が小さい、もしくは、ないことが認められるが、周辺の丘の上では被害が大きい。

上記のとおり様々な知見が存在しており、地形効果による竜巻風速の増幅についても、上り斜面及び下り斜面で竜巻の強度が弱まる場合と増す場合の両方の知見がみられる。

(2) 泊発電所の竜巻検討地域における竜巻の移動方向

泊発電所の竜巻検討地域における過去の発生竜巻について、移動方向の傾向を整理した。

観測されている発生竜巻の実績は全 206 個であり、そのうち 143 個の竜巻について移動方向が判明しており、これらを整理した結果を第 9-1 表及び第 9-2 図に示す。

その結果、東側方向に向けて移動する竜巻が大半を占めており、北東～南東までの範囲に 121 個が集中している。これは全個数のおよそ 85%である。

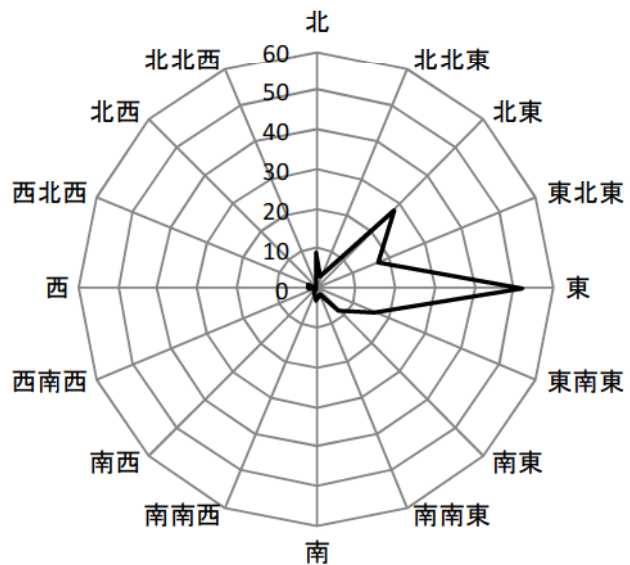
特に、泊発電所が位置する北海道後志支庁沿岸部の発生竜巻については、全て東側（北東～南東までの範囲）方向への移動が確認されている。

これらを踏まえると、泊発電所における竜巻の到来方向の傾向としては、海側から進入してくる可能性が高く、山側から進入してくる可能性は低いと考えられる。

第 9-1 表 移動方向別の竜巻発生個数

[個]

北	9
北北東	3
北東	28
東北東	17
東	52
東南東	16
南東	8
南南東	2
南	3
南南西	1
南西	0
西南西	0
西	2
西北西	2
北西	0
北北西	0
計	143



第 9-2 図 移動方向別の竜巻発生個数

4. まとめ

竜巻が傾斜地を通過する場合には風速が増幅する可能性があるものの、泊発電所は背後に急峻な傾斜地をもつ地形に立地しており、海側から進入する竜巻については、発電所を含む敷地が平坦なため地形効果による風速の増幅条件には当てはまらないものと考えられる。

また、竜巻が山側から進入した場合には、泊発電所背後の傾斜地を竜巻が下ってくることにより竜巻風速が増幅する可能性はあるものの、泊発電所で考えられる到来方向の傾向を踏まえると山側から進入する可能性は低いと考えられる。

以上より、泊発電所では地形による影響は小さいことから、風速の割り増しは行わない。

なお、念のため実施した、泊発電所周辺の地形を考慮した数値シミュレーションにおいては、発電所敷地内に竜巻が進入した場合で竜巻風速が増幅する傾向はみられなかった。(別紙-1)

今後も継続的に地形効果による竜巻風速の増幅に関する新たな知見や情報の収集に取り組み、必要な事項については適切に対応していく。

※1：建築物荷重指針・同解説，日本建築学会，2004

※2：佐々浩司・山下賢介，佐呂間竜巻の地形効果に関する模擬実験，日本気象学会大会講演予稿集 92 号，2007

※3：Forbes, G. S., Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, 19th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Sep. 14-18, 1998

※4：Lewellen, D. C., Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Nov. 5-8, 2012

※5：Selvam R. P. and Ahmed, N., The Effect of Terrain Elevation on Tornado Path, The 12th Americas Conference on Wind Engineering (12AVWE), June 16-20, 2013

泊発電所周辺の地形を考慮した数値シミュレーションについて

片岡ほか (2013) ※⁶では、地形を単純化したモデルを用いて、数値流体計算により竜巻状気流を再現して移動させ、地形を通過する際の渦構造の変化や最大瞬間風速分布等を評価している。

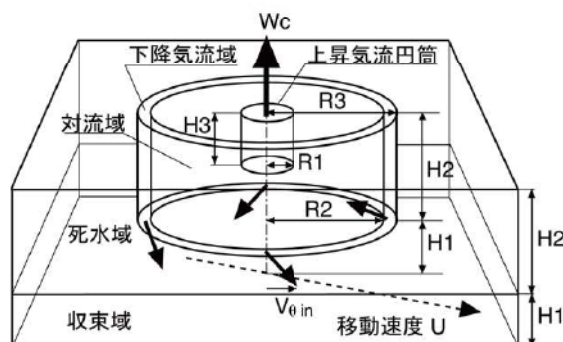
上記文献の手法を参考に、竜巻状旋回気流を泊発電所周辺の地形を模擬した領域に発生させ、最大瞬間風速の変化から地形効果の影響を確認する。

1. 数値流体計算の概要

竜巻状旋回気流の発生機構の解析モデルを第9-3図に、同機構の形状及び速度パラメータを第9-2表に示す。

検討ケースは、竜巻が発電所東側の山側から斜面を下ってくるケース（以下、「山側ケース」）及び発電所西側の海側から進入してくるケース（以下、「海側ケース」）の2ケースとする。なお、比較のため平坦な地形を移動するケース（以下、「平坦ケース」）についても結果を確認している。

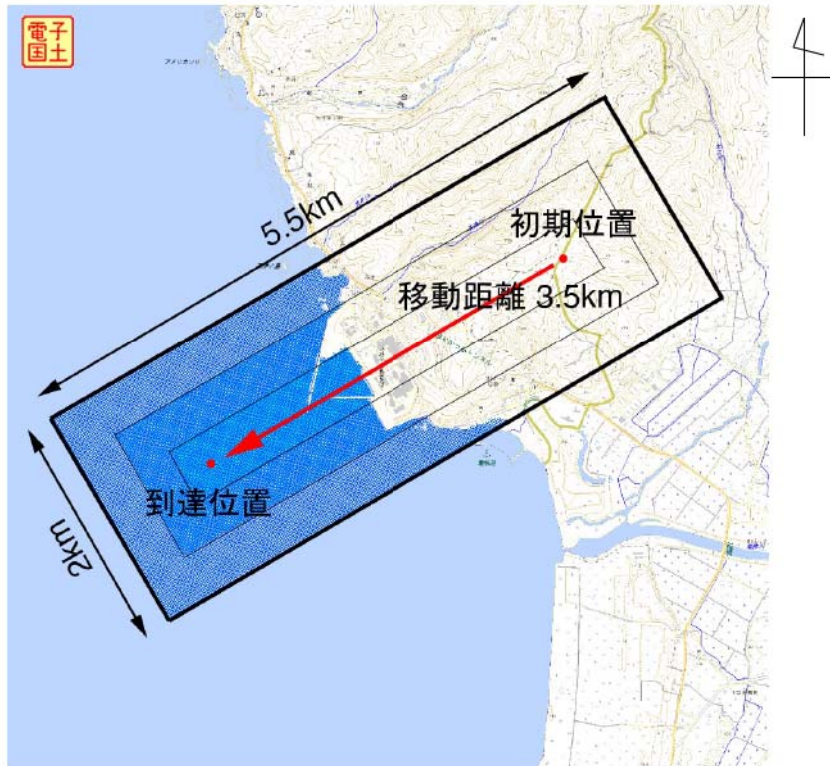
計算領域は、竜巻の移動方向に沿った泊発電所を含む矩形領域とし、進行方向を 5.5km、進行直交方向を 2km、高さを 810m とした。山側ケース及び海側ケースの計算領域を第9-4図に、計算領域内の地形モデルと初期条件を第9-5図に示す。



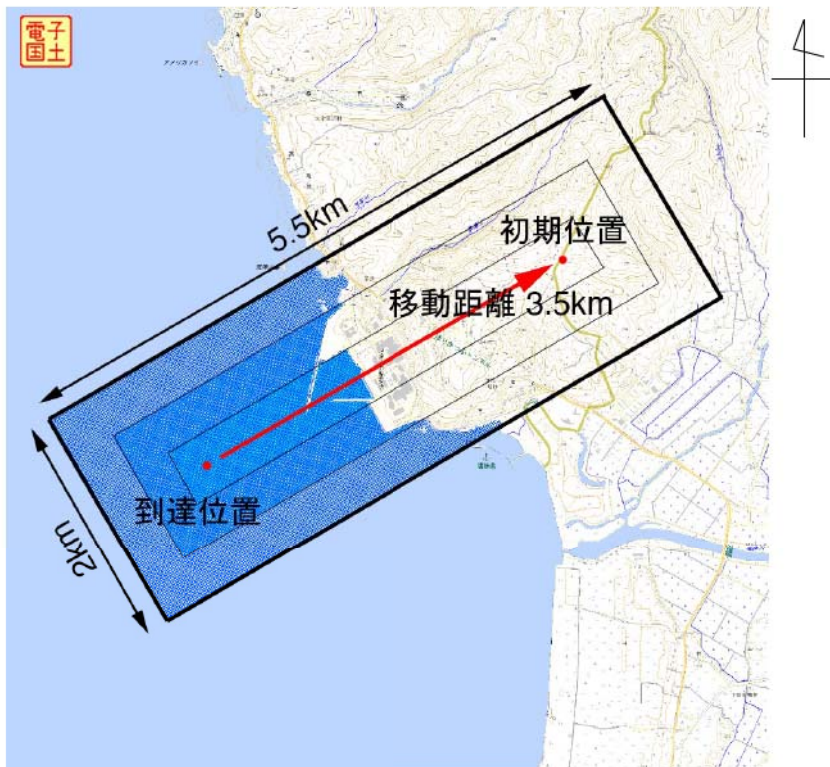
第9-3図 竜巻状旋回気流の解析モデル

第9-2表 竜巻状旋回気流発生機構の形状及び速度パラメータ

形状パラメータ						速度パラメータ		
R1	R2	R3	H1	H2	H3	$V_{\theta in}$	W_c	U
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
250	620	740	730	80	60	11.4	28.5	20

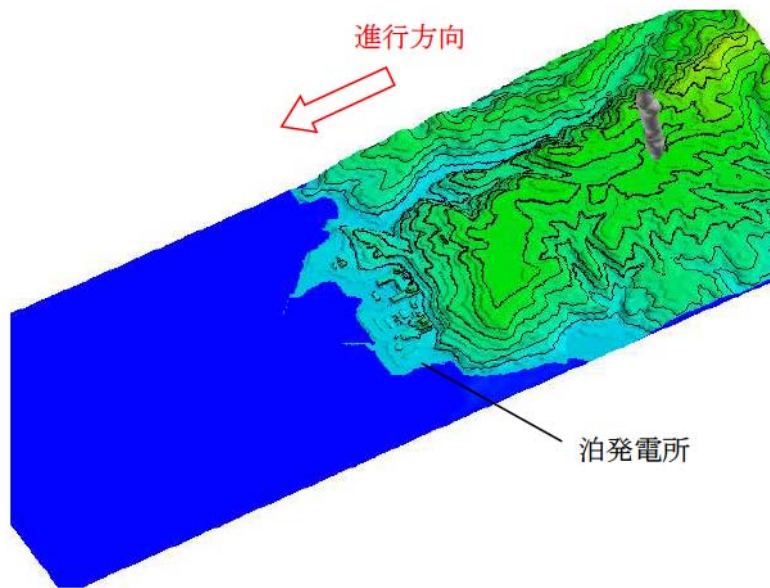


第9-4図(1) 計算領域※(山側ケース)

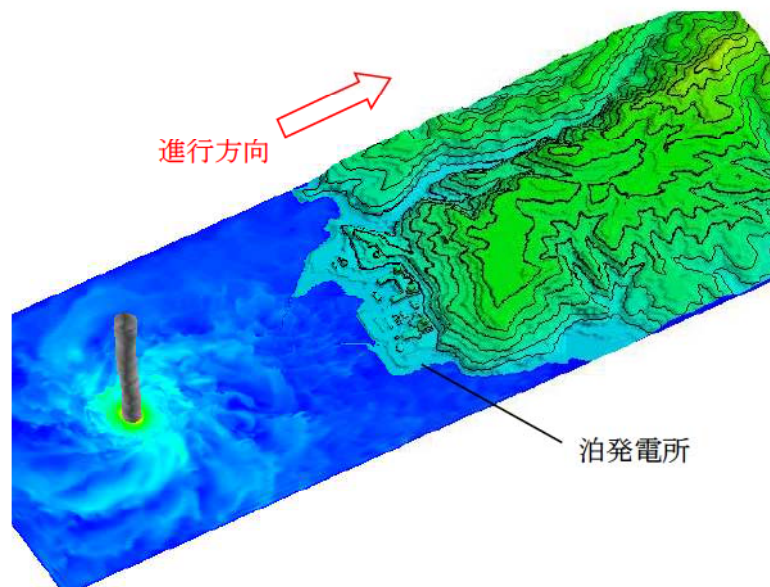


第9-4図(2) 計算領域※(海側ケース)

※地形図は、国土地理院地図閲覧サービスより引用



第9-5図(1) 計算領域内の地形モデルと初期条件(山側ケース)



第9-5図(2) 計算領域内の地形モデルと初期条件(海側ケース)

2. 計算結果

(1) 平坦ケースの場合

平坦ケースにおける最大瞬間風速分布を、第9-6図に示す。

移動中の最大瞬間風速は約80m/sであり、渦中心の進行方向右側にライン上に現れる。また、経路に沿った最大瞬間風速の分布は明瞭であり、竜巻は多少の蛇行はあるものの初期位置からそのまま到達位置に至っている。

(2) 山側ケースの場合

山側ケースにおける最大瞬間風速分布を、第9-7図に示す。

尾根の上では地形の影響により、平坦地形を進行する平坦ケースと比べると強風域の分布が乱れがちで、移動後の最大瞬間風速は約70m/sとなる。

一方、発電所後背地の斜面を下る際に最大瞬間風速は低下しており、標高130m付近で30m/s程度、敷地レベルである標高10m付近では10m/s程度まで低下する。

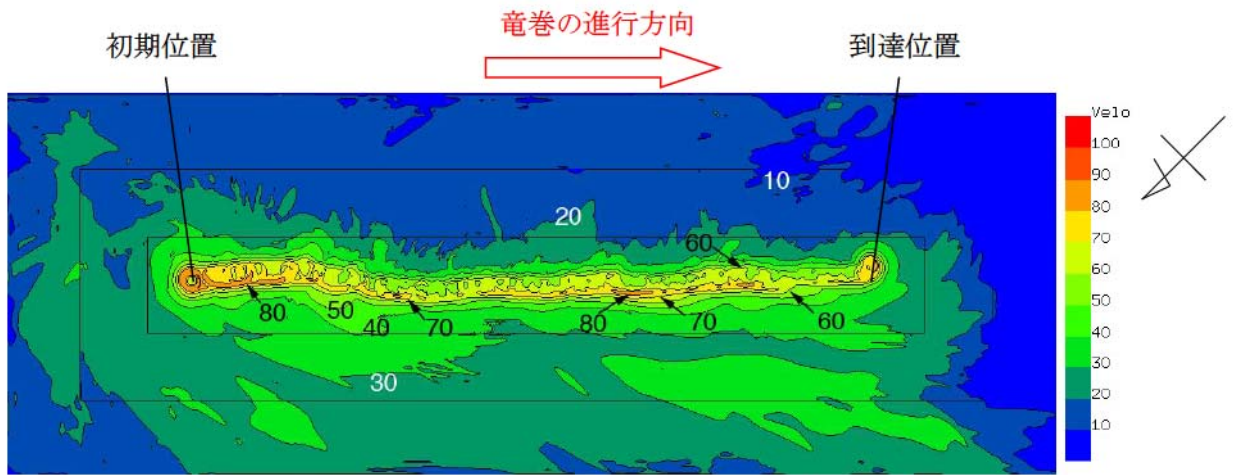
(3) 海側ケースの場合

海側ケースにおける最大瞬間風速分布を、第9-8図に示す。

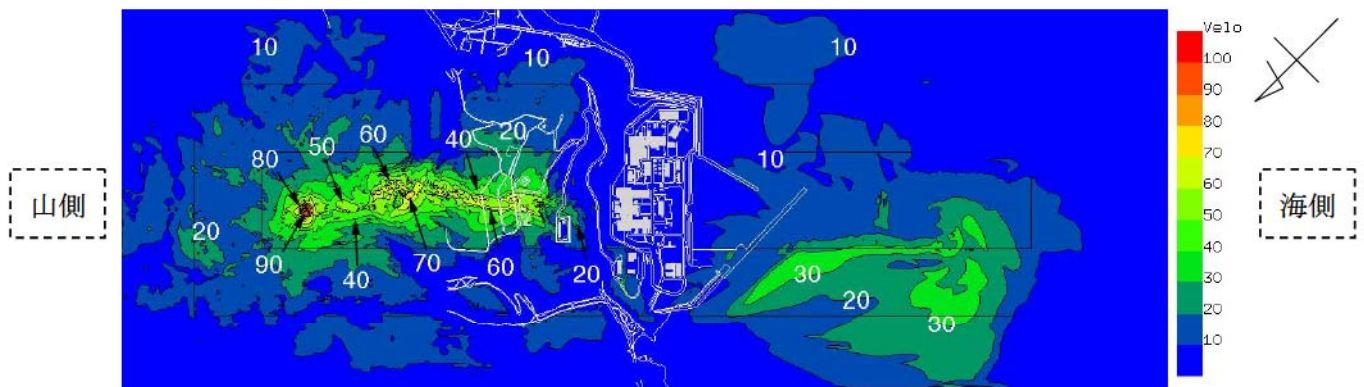
海上では、平坦ケースと同様の最大瞬間風速分布となるが、発電所敷地に上陸後、建屋周囲では風速が低下して60m/s以下となる。

その後、発電所後背地にある斜面を上るに従い再び最大瞬間風速が増加し、斜面上端の標高130m付近で、初期位置の速度と同程度の80m/s程度となっている。

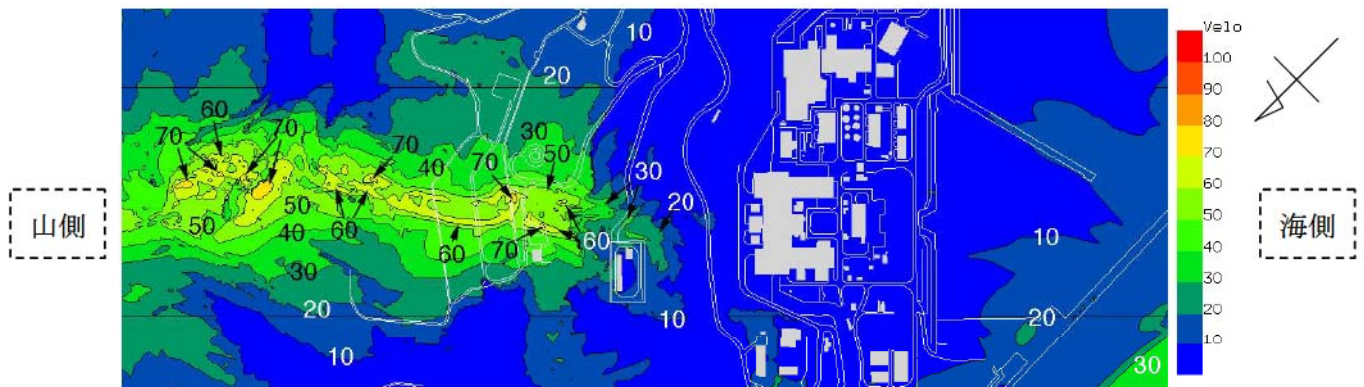
以上の結果より、本シミュレーションにおいては、発電所敷地内に竜巻が進入した場合で竜巻風速が増幅する傾向はみられなかった。



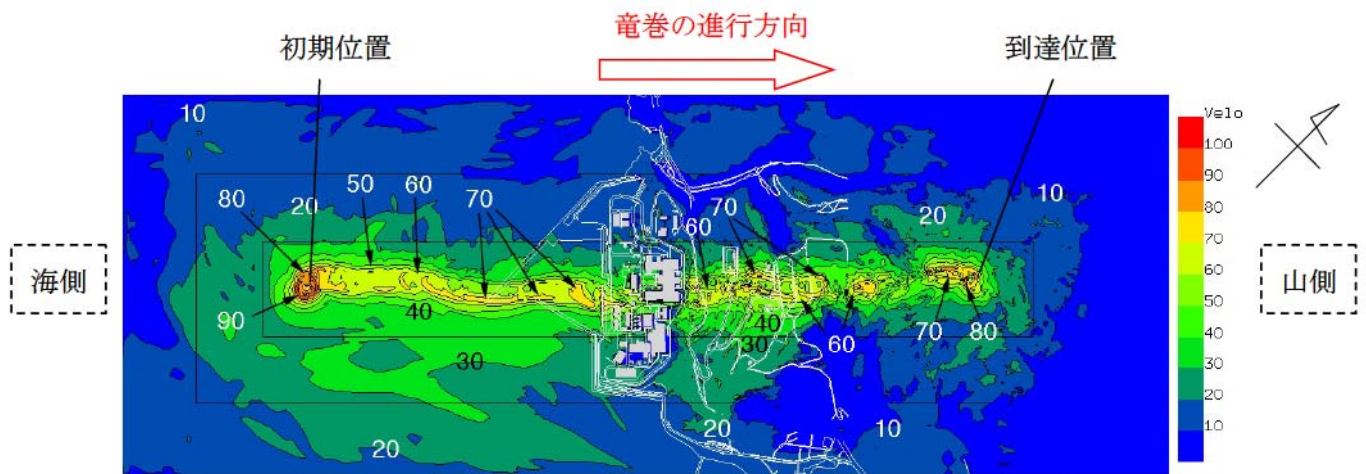
第9-6図 平坦ケースの最大瞬間風速分布（計算領域全体）



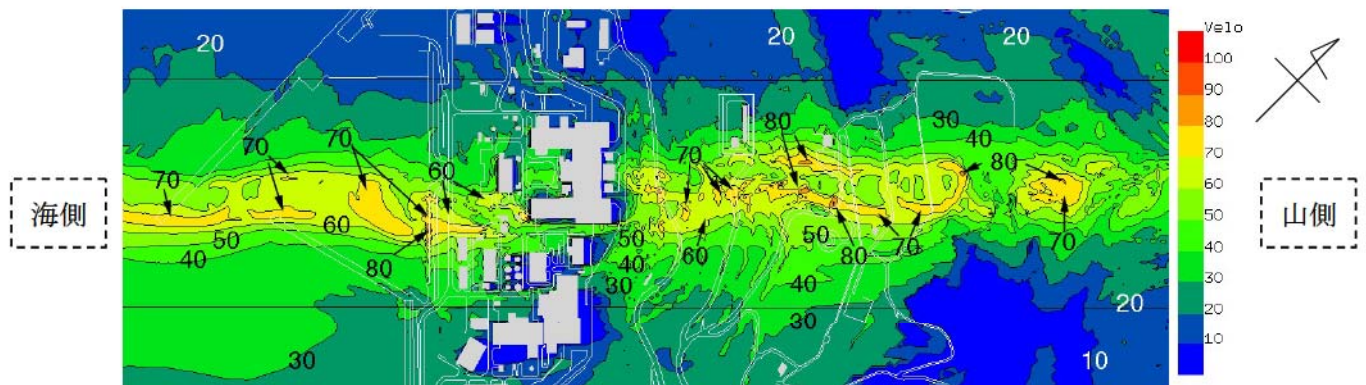
第9-7図（1） 山側ケースの最大瞬間風速分布（計算領域全体）



第9-7図（2） 山側ケースの最大瞬間風速分布（発電所近傍）



第9-8図(1) 海側ケースの最大瞬間風速分布(計算領域全体)



第9-8図(2) 海側ケースの最大瞬間風速分布(発電所近傍)

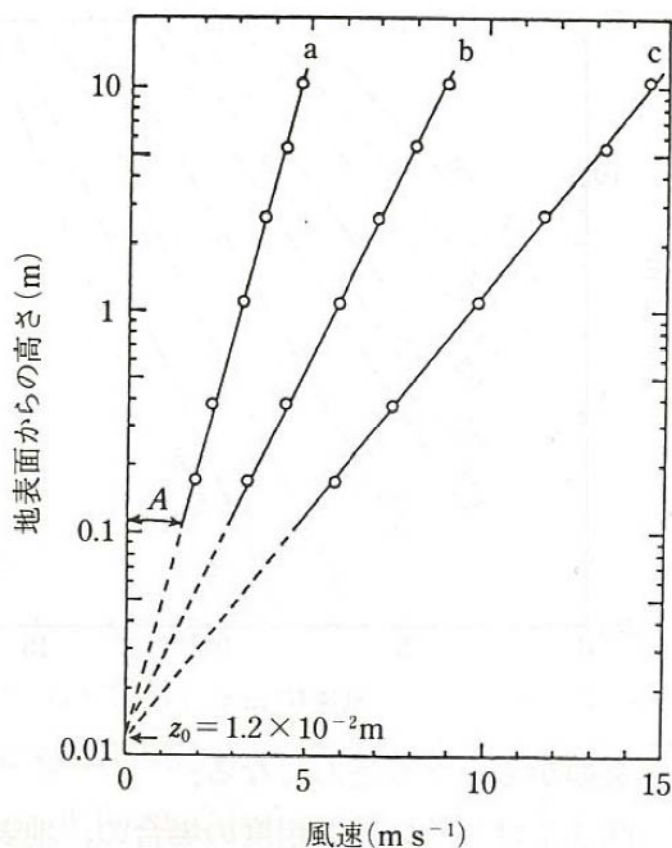
※6：片岡浩人・足立高雄・吉田伸一・橋本尚之，数値流体計算による狭隘地形が竜巻状旋回気流に与える影響の評価，日本建築学会大会講演予稿集，2013

地表面粗度について

風は地表面上を流れるうちに地表面の粗さや建物群から摩擦抵抗を受けて減速させられる。これが空気力学的粗度（地表面粗度）による効果である。一般に、接地境界層においては、地表面に近づくほど空気抵抗が働くため風速 U は小さくなる。

横軸を風速、縦軸を対数軸とした場合の地上面からの高度としたときに、風速観測値を直線で結んで地面の方に延長した際に、風速がゼロとなる地表面の高さが空気力学的粗度である。（第1図参照）

なお、地表面粗度が大きいほど、風の減速に対する影響が大きくなる。



第1図 観測された風速の鉛直分布例*

※：『「地表面に近い大気科学」近藤純正（東京大学出版会：2000年）』からの抜粋。この例では、地表面の粗度は1.2cmである。

10. 竜巻防護施設の評価対象施設の抽出について

想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器並びに使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2に属する構築物、系統及び機器を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし、機械的強度を有すること等により、安全機能を損なわない設計とする。

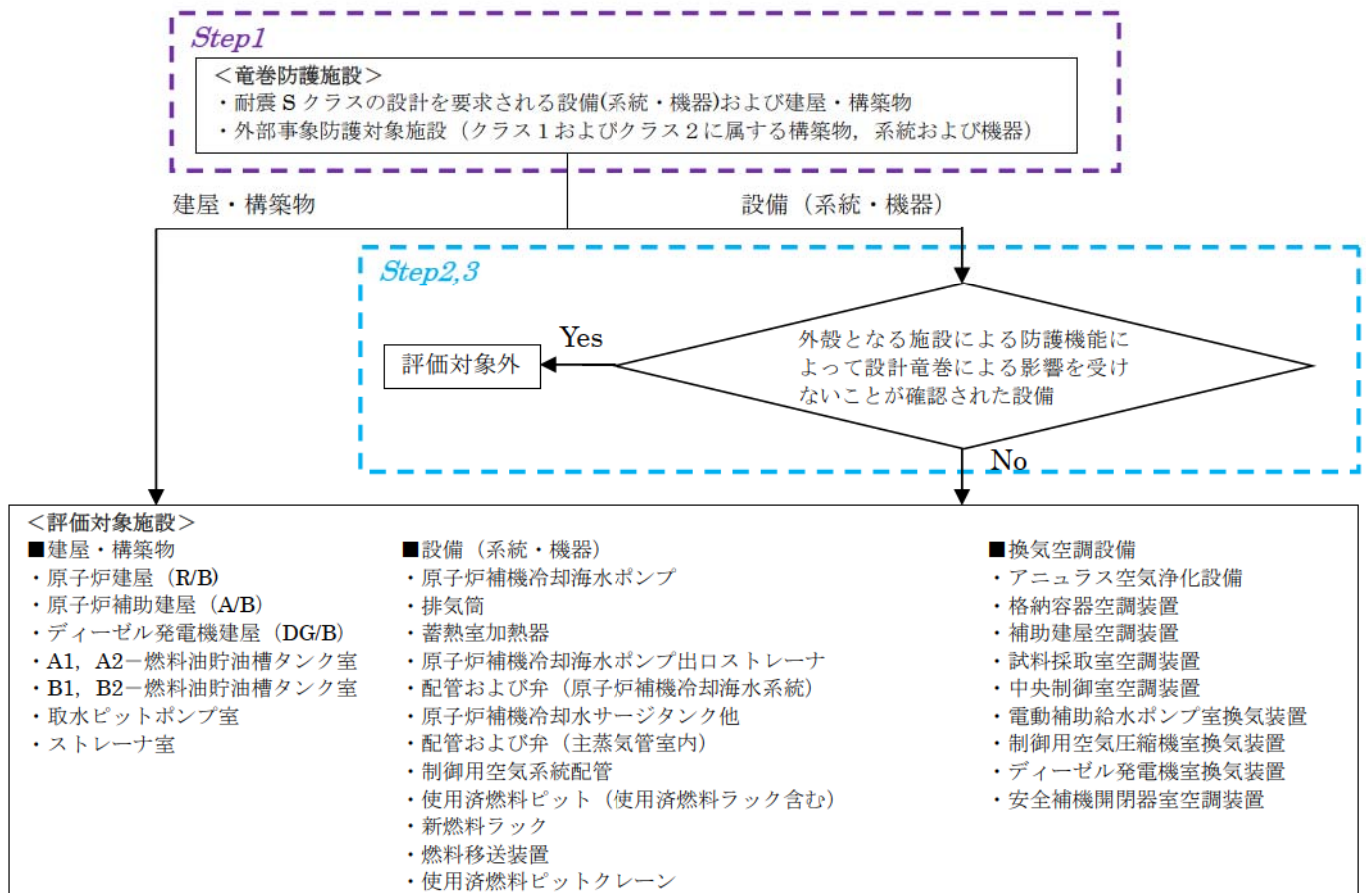
竜巻に対する防護として、評価ガイドにおいて、竜巻防護施設は「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統、機器）、建屋及び構築物等とされている。

以上を踏まえ、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統、機器）、建屋及び構築物に加え、外部事象防護対象施設を竜巻防護施設とする。

なお、クラス3に属する構築物、系統及び機器については、設計竜巻により損傷したとしても、代替設備により必要な機能を確保する、安全上支障のない期間に修復する等の対応が可能とすることにより、安全機能を損なわない設計としていることから、竜巻防護施設として抽出しない。

また、耐震Sクラスの設計を要求される設備である津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備については、竜巻は気象現象、津波は地震、地滑り等を原因とする事象であり、同時に発生することは考えられず、事象の組合せは考慮しないことから、竜巻防護施設として抽出しない。なお、当該施設等が設計竜巻により損傷した場合については、代替設備により必要な機能を確保する、安全上支障のない期間に修復する等の対応を行う。

以上を踏まえ、竜巻防護施設の評価対象施設については、以下のフローに基づき抽出する。



Step1 : 工事計画認可申請書 (新規制基準で工認対象に変更となった設備を含む) の耐震重要度分類より耐震 S クラスの設備およびこれらの間接支持構造物 (竜巻防護施設の外殻となる建屋・構築物) ならびに設置許可申請書の安全上の機能別重要度分類よりクラス 1 (PS-1, MS-1) およびクラス 2 (PS-2, MS-2) に属する構築物, 系統および機器を抽出

Step2 : 上記 Step1 で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記 Step1 で抽出した設備のうち, 設置建屋等による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を評価対象施設から除外

なお, 配管・弁の支持構造物については, 以下の理由により, 設計竜巻に対して構造健全性は維持されることから, 評価対象施設としては抽出していない。

- ・ 設計竜巻と地震による発生応力 (配管に発生する応力) を比較した結果, 一部の小口径配管を除き, 設計竜巻による発生応力は地震による発生応力以下であった。
- ・ 上記から設計竜巻による反力 (支持構造物に作用する反力) は地震による反力よりも小さくなる。
- ・ 支持構造物は地震による反力を考慮して設計されているため, 設計竜巻による反力に対して構造健全性は維持される。
- ・ 一部の小口径配管においては, 設計竜巻による発生応力が地震による発生応力より大きくなったが, 発生応力のオーダーに大きな差はないことから, 支持構造物は設計竜巻による反力に対して十分な強度を有している。

竜巻防護施設の評価対象施設の抽出結果

1. 抽出方法

次のStepにて評価対象施設を抽出した。

Step1: 工事計画認可申請書(新規基準で工事対象に変更となった設備を含む)の耐震重要度分類より耐震Sクラスの設備およびこれらの間接支持構造物(竜巻防護施設の外殻となる建屋・構築物)ならびに設置許可申請書の安全上の機能別重要度分類よりクラス1(PS-1,MS-1)およびクラス2(PS-2,MS-2)に属する構築物、系統および機器を抽出

Step2: 上記Step1で抽出された設備の設置場所を確認

Step3: 上記Step1で抽出した設備のうち、設置建屋等による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を評価対象施設から除外

2. 抽出結果

- (1) 建屋・構築物 (Step1)
- ① R/B (O/S, E/B, FH/B)
- ② A/B
- ③ DG/B
- ④ 燃料油貯油槽 (既設、新設)
- ⑤ 取水ビットポンプ室
- ⑥ ストレーナ室

(2) 設備(系統・機器)

a. 耐震Sクラス

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2		Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ビットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外									
原子力設備														
1. 原子炉冷却系統設備														
(1) 冷却材貯蔵槽	燃料取扱用水ビット											可	①	x
2. 燃料設備														
(1) 燃料取扱設備	なし													
(2) 使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ビット											否	⑨	○
3. 蒸気タービン														
(1) 蒸気タービンに附属する給水設備	補助給水ビット											可	①	x

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2		Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ビットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外									
原子力設備														
1. 原子炉冷却系統設備														
(1) 原子炉補機冷却海水設備	原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却水冷却器海水入口ストレーナ 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ 配管 弁											否	②	○
2. 放射線管理設備	(1) 生体遮へい装置											可	①	x
3. 廃棄設備	(1) 廃棄物貯蔵設備													
a. 固体廃棄物貯蔵設備	なし													
(2) 廃棄物処理設備	a. 気体廃棄物処理設備											可	①	x
b. 液体廃棄物処理設備	配管 弁											可	①	x
c. 固体廃棄物処理設備	なし													
d. 廃その他の設備	なし													
e. 漏えいの検出装置及び自動警報装置	なし													

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2		Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ビットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外									
原子力設備														
1. 原子炉本体														
(1) 原子炉容器	原子炉容器支持構造物											可	①	x
2. 原子炉冷却系統設備														
(1) 主蒸気・主給水設備	配管 弁											否	⑧	○
(2) 余熱除去設備	余熱除去冷却器 余熱除去ポンプ 配管 弁											可	①	x
(3) 非常用炉心冷却設備	高圧注入ポンプ ほうろく注入タンク 格納容器再循環サブ 配管 弁											可	①	x
(4) 化学体積制御設備	充てんポンプ 封水注入フィルタ 配管 弁											可	①	x
(5) 原子炉補機冷却水設備	原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水ポンプ 原子炉補機冷却水サージタンク 配管 弁											可	①	x
3. 燃料設備	(1) 燃料取扱設備													
(2) 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	配管											可	①	x
4. 放射線管理設備	(1) 生体遮へい装置													
5. 廃棄設備	(1) 廃棄物処理設備													
a. 1次冷却設備	なし													
b. 液体廃棄物処理設備	配管 弁											可	①	x
c. 固体廃棄物処理設備	なし											可	①	x
6. 原子炉格納施設														
(1) 原子炉格納容器	原子炉格納容器 機器搬入口 エアロック 伸縮式配管貫通部 固定式配管貫通部 電線貫通部											可	①	x
(2) 二次格納施設	アニュラスシール											可	①	x

【凡例】
 R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋
【考え方】
 ① 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。
 ② 当該設備が設置されている取水ビットポンプ室・ストレーナ室の上屋(循環水ポンプ建屋)は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
 ③ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルおよび上部換気口周りのガラリーを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
 ④ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
 ⑤ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であるため、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画の扉を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外									
(3)圧力低減設備 その他の安全設備														
a.格納容器スプレイ設備	格納容器スプレイ冷却器 格納容器スプレイポンプ ほう素除去薬品タンク ほう素除去薬品タンク の調整剤貯蔵タンク 配管 弁	✓			✓							可	①	x
b.真空逃がし装置	真空逃がし装置 配管 弁	✓	✓		✓							可	①	x
c.圧力逃がし装置	配管 弁	✓	✓		✓							可	①	x

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外									
原子力設備														
1.原子炉本体														
(1)炉心	炉心支持構造物 原子炉容器 原子炉容器内部構造物のうち制御棒クラスタ室内管 原子炉容器内部構造物 熱導へい材	✓	✓									可	①	x
(2)原子炉容器		✓	✓									可	①	x
2.原子炉冷却系統設備														
(1)一次冷却材の循環設備	蒸気発生器 1次冷却材ポンプ 加圧器 加圧器ヒータ 配管 弁	✓	✓									可	①	x
(2)主蒸気・主給水設備	配管 弁	✓	✓									可	①	x
(3)余熱除去設備	配管 弁	✓	✓									可	①	x
(4)非常用炉心冷却設備	蓄圧タンク 配管 弁	✓	✓									可	①	x
(5)化学体積制御設備	再生熱交換器 配管 弁	✓	✓									可	①	x
(6)原子炉補機冷却水設備	配管 弁	✓	✓									可	①	x
(7)原子炉補機冷却海水設備	配管	✓			✓							可	①	x
(8)原子炉格納容器内の一次冷却材の漏れを監視する装置	なし													
3.計測制御系統設備														
(1)制御材	制御棒クラスタ バーナブルポイズン	✓	✓									可	①	x
(2)制御棒駆動装置	制御棒駆動装置	✓	✓									可	①	x
(3)ほう酸注入機能を有する設備	ほう酸ポンプ ほう酸タンク ほう酸フィルタ 配管	✓			✓							可	①	x
(4)計測装置	運転コンソール 安全系FDPプロセッサ 安全系マルチプレクサ 原子炉安全保護盤 工学的安全施設作動盤 原子炉トリップ遮断器盤 安全系現場制御監視盤 1次冷却材圧力検出器 1次冷却材温度(広域)(高温側)検出器 1次冷却材温度(広域)(低温側)検出器 加圧器水位検出器 蒸気発生器水位(広域)検出器 蒸気発生器水位(狭域)検出器 主蒸気ライン圧力検出器 水平方向加速度検出器 鉛直方向加速度検出器 原子炉安全保護盤(炉外核計装信号処理部) 1次冷却材ポンプ母線計測盤 炉外核計測装置(中性子源領域中性子束検出器) 炉外核計測装置(中間領域中性子束検出器) 炉外核計測装置(出力領域中性子束検出器) 1次冷却材温度(狭域)(高温側)検出器 1次冷却材温度(狭域)(低温側)検出器 1次冷却材流量検出器 加圧器圧力検出器 格納容器圧力検出器 制御用空気圧縮装置制御用空気圧縮機 制御用空気圧縮装置制御用空気ため 制御用空気除湿装置除湿塔 配管 弁	✓	✓		✓							可	①	x
(5)制御用空気設備		✓	✓		✓							可	①	x
4.廃棄設備														
(1)気体、液体又は固体廃棄物処理設備														
a.液体廃棄物処理設備	なし													
附帯設備														
1.非常用予備発電装置														
(1)非常用ディーゼル発電設備	ディーゼル機関 蓄熱室加熱器 ディーゼル発電機空気ため 弁 ディーゼル発電機燃料油サーバスタック ディーゼル発電機 ディーゼル発電機励磁装置 ディーゼル発電機保護継電器	✓	✓		✓			✓				可	①	x
		✓	✓		✓							可	③	○
		✓	✓		✓							可	①	x
		✓	✓		✓							可	①	x
		✓	✓		✓							可	①	x
		✓	✓		✓							可	①	x

※:寒冷地におけるディーゼル機関の急速始動対策として、吸入空気加温用の蓄熱室加熱器が設置されており、当該加熱器は耐震Sクラス設備であることから、当該加熱器も含めて検討した。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外									
原子力設備														
1.蒸気タービン	なし													

R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋

- 【考え方】
- ①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物に貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。
 - ②当該設備はディーゼル発電機建屋の塔屋部に設置されている。ディーゼル発電機建屋は鉄筋コンクリート造であるため、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている蓄熱室に隣接する吸気ガリ室の吸気フードまたは扉を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
 - ③当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画の扉、ブローアウトパネルおよび上部換気口周りのガリを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.燃料設備													
(1)燃料取扱設備	なし												
(2)新燃料貯蔵設備	なし												
(3)使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ラック 破損燃料保管容器ラック	✓			✓					否	(4)	○	
(4)燃料取替用水設備	燃料取替用水ポンプ 配管	✓			✓					可	(1)	x	
2.放射線管理設備													
(1)放射線管理用計測装置	原子炉安全保護盤(放射線監視設備信号処理部)	✓			✓					可	(1)	x	
a.プロセスモニタリング設備	なし												
b.エリアモニタリング設備	格納容器高レンジエリアモニタ(低レンジ) 格納容器高レンジエリアモニタ(高レンジ)	✓	✓							可	(1)	x	
(2)換気設備	中央制御室給気ファン 中央制御室循環ファン 中央制御室非常用循環ファン アンユラス空気浄化ファン 中央制御室非常用循環フィルタユニット アンユラス空気浄化フィルタユニット 配管 弁	✓			✓					否	(5)	○	
3.排気筒													
(1)排気筒	排気筒	✓			✓					否	(5)	○	
4.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する管等	配管	✓			✓					可	(1)	x	

※:当該ラックには破損燃料保管容器が収納されており、設計飛来物は当該容器に衝突することになるが、当該容器の断面積は使用済燃料ラックより大きく、発生する応力および変形は使用済燃料ラックよりも小さくなるため、使用済燃料ラックの評価に包絡されること、また、現状当該容器には破損燃料は保管されていないことから、評価対象施設として抽出していない。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する熱交換器	なし												
(2)蒸気タービンに附属する給水ポンプ及び貯水設備並びに給水処理設備	タービン動補給給水ポンプ 電動補給給水ポンプ	✓			✓					可	(1)	x	
(3)蒸気タービンに附属する管等	配管	✓			✓					否	(8)	○	
2.非常用予備発電装置													
(1)その他の電源装置													
a.無停電電源装置	計装用インバータ	✓			✓					可	(1)	x	
b.蓄電池	蓄電池	✓			✓					可	(1)	x	

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
その他発電用原子炉の附属施設	ディーゼル発電機燃料油貯油槽 配管	✓			✓					可	(7)	x	
		✓								可	(7)	x	
		✓			✓					可	(1)	x	

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋
【考え方】
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けたいため除外する。
④当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。(当該設備に貯蔵される燃料集合体を含む)
⑤当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備を含めた換気空調設備および排気筒は外気と繋がっていることから、設計竜巻(気圧差)による影響を受けるため除外不可。(換気設備については、アンユラス空気浄化設備および中央制御室空調装置として評価する)
⑥当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けることから除外不可。
⑦ディーゼル発電機燃料油貯油槽は地下に建設された燃料油貯油槽(コンクリート製)の上部に設置されているが、貯油槽上部コンクリートの厚さは10cmである。また、燃料油貯油槽の配管は「レンガ」内に敷設されているが、「レンガ」上部には厚さ27cmのコンクリート蓋があり、いずれのコンクリートも設計飛来物が貫通しないコンクリートの必要最小厚さ(設計飛来物の中で必要最小厚さが最も厚い鋼製材で21cm(鉛直)必要)以上の厚さが確保されていることから、設計飛来物は貫通しない。また、地表面にあるプロテクター蓋は、防護強化蓋で覆われており、設計飛来物は貫通しない。
以上より当該設備は設計竜巻による影響は受けたいため除外する。
⑧当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルおよび上部換気口周りのガラリーを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。

竜巻防護施設の評価対象施設の抽出結果

b. クラス1およびクラス2
分類:PS-1

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2								Step3		評価対象施設		
			屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレナ室	その他		除外可否	考え方
					O/S(C/V)	O/S以外									
その損傷又は故障により発生する事象によって、 (a)炉心の著しい損傷、又は (b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材圧力パウンドリ機能	原子炉冷却材圧力パウンドリを構成する以下の機器・配管系(計装等の小口径配管・機器は除く)													
		原子炉容器	✓		✓								可	①	x
		蒸気発生器	✓		✓								可	①	x
		1次冷却材ポンプ(原子炉冷却材圧力パウンドリになる範囲)	✓		✓								可	①	x
		加圧器	✓		✓								可	①	x
		配管及び弁(範囲はJEAC4602による)	✓		✓	✓							可	①	x
		隔離弁(範囲はJEAC4602による)	✓		✓	✓							可	①	x
	2)過剰反応度の印加防止機能	制御棒駆動装置圧力ハウジング	✓		✓								可	①	x
		炉心支持構造物													
	3)炉心形状の維持機能	炉心槽	✓		✓								可	①	x
		上部炉心支持板	✓		✓								可	①	x
		上部炉心支持柱	✓		✓								可	①	x
		上部炉心板	✓		✓								可	①	x
		下部炉心板	✓		✓								可	①	x
		下部炉心支持柱	✓		✓								可	①	x
下部炉心支持板		✓		✓								可	①	x	
燃料集合体(燃料は除く)	✓		✓								可	①	x		

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋
【考え方】
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。

分類:MS-1

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2								Step3		評価対象施設			
			屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレナ室	その他		除外可否	考え方	
					O/S(C/V)	O/S以外										
1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パウンドリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	1)原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒クラスター及び制御棒駆動装置(トリップ機能))														
		制御棒	✓		✓								可	①	x	
		制御棒クラスター案内管	✓		✓								可	①	x	
		制御棒駆動装置(トリップ機能)	✓		✓								可	①	x	
		燃料集合体の制御棒案内シムル	✓		✓								可	①	x	
	2)未臨界維持機能	原子炉停止系														
		制御棒	✓		✓								可	①	x	
		制御棒駆動装置	✓		✓								可	①	x	
		制御棒駆動装置圧力ハウジング	✓		✓								可	①	x	
		(化学体積制御設備)														
		充電ポンプ	✓		✓								可	①	x	
		ほう酸ポンプ	✓		✓								可	①	x	
		ほう酸タンク	✓		✓								可	①	x	
		ほう酸フィルタ	✓		✓								可	①	x	
		再生熱交換器	✓		✓								可	①	x	
3)原子炉冷却材圧力パウンドリの過圧防止機能	配管及び弁(ほう酸タンクからほう酸ポンプ、再生熱交換器を経て1次冷却系までの範囲)	✓		✓	✓							可	①	x		
	非常炉心冷却設備															
	燃料取替用水ピット	✓		✓								可	①	x		
	高圧注入ポンプ	✓		✓								可	①	x		
	ほう酸注入タンク	✓		✓								可	①	x		
	配管及び弁(燃料取替用水ピットから高圧注入ポンプを経て1次冷却系低温側までの範囲)	✓		✓	✓							可	①	x		
	加圧器安全弁(開機能)	✓		✓								可	①	x		
	残留熱を除去する系統															
	(余熱除去設備)															
	余熱除去ポンプ	✓		✓								可	①	x		
余熱除去冷却器	✓		✓								可	①	x			
配管及び弁(余熱除去運転モードのルートとなる範囲)	✓		✓	✓							可	①	x			
4)原子炉停止後の除熱機能	(補助給水設備)															
	電動補助給水ポンプ	✓		✓								可	①	x		
	電動補助給水ポンプ室換気装置 [※]	✓		✓								否	⑤	○		
	タービン動補助給水ポンプ	✓		✓								可	①	x		
	補助給水ピット	✓		✓								可	①	x		
	配管及び弁(補助給水ピットから補助給水ポンプを経て主給水配管との合流部までの範囲)	✓		✓								可	①	x		
	蒸気発生器	✓		✓								可	①	x		
	(蒸気発生器から主蒸気隔離弁までの主蒸気設備)															
	主蒸気隔離弁	✓		✓								否	②	○		
	主蒸気安全弁	✓		✓								否	②	○		
主蒸気過がし弁(手動過がし機能)	✓		✓								否	②	○			
配管及び弁(蒸気発生器から主蒸気隔離弁の範囲)	✓		✓	✓							可	①	x			
(蒸気発生器から主給水隔離弁までの主蒸気設備)																
主給水隔離弁	✓		✓								否	②	○			
主給水安全弁	✓		✓								否	②	○			
配管及び弁(蒸気発生器から主給水隔離弁の範囲)	✓		✓	✓							可	①	x			

※: 当該換気空調設備にて供給される空気は竜巻防護施設(設備)である電動補助給水ポンプの冷却に使用されていることから合わせて検討した。

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋
【考え方】
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。
②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画のプロアウトパネルおよび上部換気口周りのガラリを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
⑤当該換気空調設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該換気空調設備は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受けるため除外不可。

分類:MS-1	定義	機能	Step1		Step2								Step3							
			構築物、系統又は機器		屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置棟屋等)								除外可否	考え方	評価対象施設			
					R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	燃料油 貯油槽	取水ビットポンプ 室・ストレーナ室	その他								
1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力カバリングの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	5)炉心冷却機能	非常炉心冷却設備 (低圧注入系) 燃料取替用水ビット 余熱除去ポンプ 余熱除去冷却器 配管及び弁(燃料取替用水ビット及び格納容器再循環サンパから余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器を経て1次冷却系までの範囲)																		
															可	①	x			
																可	①	x		
																可	①	x		
																可	①	x		
				(高圧注入系) 燃料取替用水ビット 高圧注入ポンプ 配管及び弁(燃料取替用水ビット及び格納容器再循環サンパから高圧注入ポンプを経て1次冷却系までの範囲) 格納容器再循環サンパ												可	①	x		
															可	①	x			
																可	①	x		
																可	①	x		
																可	①	x		
	6)放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器 原子炉格納容器貫通部 エアロック 機器搬入入口 アニュラス 原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管系(範囲はJEA C4602による) 原子炉格納容器スプレイ設備 燃料取替用水ビット 格納容器スプレイポンプ 格納容器スプレイ冷却器 よう素除去薬品タンク スプレイエクタ スプレイリング スプレインズル																		
				配管及び弁(燃料取替用水ビット及び格納容器再循環サンパから格納容器スプレイポンプ、格納容器スプレイ冷却器を経てスプレイリングヘッダーまでの範囲、よう素除去薬品タンクからスプレイエクタを経て格納容器スプレイ配管までの範囲)													可	①	x	
				アニュラス空気浄化設備 アニュラス空気浄化フィルタユニット アニュラス空気浄化ファン ダクト、ダンパ及び弁 排気筒																
		2)安全上必要なその他の構築物、系統及び機器	1)工学的な施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系																
				原子炉保護設備及び工学的な施設作動設備(範囲はJEA G4611による)													可	①	x	
				非常用所内電源系 ディーゼル機関 ディーゼル発電機 蓄熱室加熱器 ^{※3}													可	①	○	
				ディーゼル発電機室換気装置 ^{※2}													可	①	○	
				非常用所内電源設備(ディーゼル発電機から非常用負荷までの範囲)													可	①	x	
			2)安全上特に重要な関連機能	中央制御室及び中央制御室遮へい 中央制御室空調装置 中央制御室給気ユニット 中央制御室給気ファン 中央制御室循環ファン 中央制御室非常用循環フィルタユニット 中央制御室非常用循環ファン ダクト及びダンパ																
				原子炉補機冷却水設備 原子炉補機冷却水ポンプ 原子炉補機冷却水冷却器 原子炉補機冷却水サージタンク ^{※4} 配管及び弁(MS-1関連補機への冷却水ラインの範囲)																
				原子炉補機冷却海水設備 原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ 原子炉補機冷却水冷却器入口ストレーナ 原子炉補機冷却水冷却器 配管及び弁(MS-1関連補機への海水供給ラインの範囲) 取水設備(取水路)																
				直流電源設備 蓄電池 安全補機閉塞室空調装置 ^{※2} 直流電源設備(蓄電池から非常用負荷までの範囲)(MS-1関連)																
				計測制御用電源設備 計測制御用電源設備(電源装置から非常用計測制御装置までの範囲)(MS-1関連)																
				制御用圧縮空気設備 制御用空気圧縮装置 制御用空気圧縮機室換気装置 ^{※2} 配管及び弁(MS-1関連補機(主蒸気透かし弁、アニュラス空気浄化系及び中央制御室空調系、試料採取室排気系のMS-1の空気作動弁)への制御用空気供給ラインの範囲)																
				制御用空気圧縮機室換気装置 ^{※2} 配管及び弁(MS-1関連補機(主蒸気透かし弁、アニュラス空気浄化系及び中央制御室空調系、試料採取室排気系のMS-1の空気作動弁)への制御用空気供給ラインの範囲)																
				制御用空気圧縮機室換気装置 ^{※2} 配管及び弁(MS-1関連補機(主蒸気透かし弁、アニュラス空気浄化系及び中央制御室空調系、試料採取室排気系のMS-1の空気作動弁)への制御用空気供給ラインの範囲)																
制御用空気圧縮機室換気装置 ^{※2} 配管及び弁(MS-1関連補機(主蒸気透かし弁、アニュラス空気浄化系及び中央制御室空調系、試料採取室排気系のMS-1の空気作動弁)への制御用空気供給ラインの範囲)																				
制御用空気圧縮機室換気装置 ^{※2} 配管及び弁(MS-1関連補機(主蒸気透かし弁、アニュラス空気浄化系及び中央制御室空調系、試料採取室排気系のMS-1の空気作動弁)への制御用空気供給ラインの範囲)																				

※1:排気筒に繋がる当該換気空調設備(アニュラス空気浄化設備除く)も含めて検討した。
 ※2:当該換気空調設備にて供給される空気は電巻防護施設(設備)の冷却に使用されていることから合わせて検討した。
 ※3:寒冷地におけるディーゼル機関の急速始動対策として、吸入空気加温用の蓄熱室加熱器が設置されており、当該加熱器はクラス1(MS-1)であることから、当該加熱器も含めて検討した。
 ※4:当該タンクはクラス1(MS-1)であることから合わせて検討した。

【凡例】
R/B:原子炉建屋、O/S:外部しゃへい建屋、A/B:原子炉補助建屋、DG/B:ディーゼル発電機建屋
【考え方】
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。
②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画の扉、ブローアウトパネルおよび上部換気口周りのガラリを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
③当該換気空調設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該換気空調設備および排気筒は外気と繋がっていることから、設計竜巻(気圧差)による影響を受けるため除外不可。
④当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けることから除外不可。
⑤当該換気空調設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該換気空調設備は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受けるため除外不可。
⑥当該設備が設置されている取水ビットポンプ室・ストレーナ室の上屋(循環水ポンプ建屋)は鉄筋造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
⑦当該設備はコンクリート構造物かつ地下に建設されていることから、またコンクリート床には防振設計飛来物(設計飛来物)が貫通しないコンクリート製基礎が設けられており設計飛来物の影響を受ける可能性が極めて低いと考えられることから、設計飛来物による影響は受けないため除外する。
⑧当該設備はディーゼル発電機建屋の塔屋部に設置されている。ディーゼル発電機建屋は鉄筋コンクリート造であるため、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている蓄熱室に隣接する吸気ガラリ室の吸気フードまたは扉を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
⑨当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であるため、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画の扉を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

分類:PS-2

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2							Step3						
			屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)					除外可否	考え方	評価対象施設				
					R/B O/S(G/V)	O/S以外	A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)				燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	
1)その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材を内蔵する機能(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く)	化学種制御設備の抽出ライン、浄化ライン														
		再生熱交換器	✓											可	①	×
		余熱抽出冷却器	✓											可	①	×
		非再生冷却器	✓											可	①	×
		冷却材凝床式脱塩塔	✓											可	①	×
		冷却材陽イオン脱塩塔	✓											可	①	×
		冷却材脱塩塔入口フィルタ	✓											可	①	×
		冷却材フィルタ	✓											可	①	×
		体積制御タンク	✓											可	①	×
		弁ポンプ	✓											可	①	×
		封水注入フィルタ	✓											可	①	×
		封水ストレーナ	✓											可	①	×
		封水冷却器	✓											可	①	×
	配管及び弁	✓											可	①	×	
	2)原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	気体廃棄物処理設備												可	①	×
		ガスサージタンク	✓											可	①	×
		活性炭式ガスホールドアップ装置	✓											可	①	×
		使用済燃料ピット	✓											否	⑧	○
	3)燃料を安全に取り扱う機能	使用済燃料ラック	✓											否	⑨	○
		新燃料貯蔵庫(臨界を防止する機能)														
新燃料ラック		✓											否	⑨	○	
燃料取替クレーン		✓											可	①	×	
2)通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1)安全弁及び逃げ弁の吹き止まり機能	燃料移送装置	✓										可	①	×	
		使用済燃料ピットクレーン	✓											否	⑧	○
		加圧器安全弁(吹き止まり機能)	✓											可	①	×
	加圧器逃げ弁(吹き止まり機能)	✓											可	①	×	

分類:MS-2

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2							Step3						
			屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)					除外可否	考え方	評価対象施設				
					R/B O/S(G/V)	O/S以外	A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)				燃料油 貯油槽	取水ピットポンプ 室・ストレーナ室	その他	
1)PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	1)燃料プール水の補給機能	燃料取替用水ピットからの使用済燃料ピット水補給ライン														
		燃料取替用水ピット	✓											可	①	×
		燃料取替用水ポンプ	✓											可	①	×
		配管及び弁(燃料取替用水ピットから燃料取替用水ポンプを経て使用済燃料ピットまでの範囲)	✓											可	①	×
		気体廃棄物処理設備の隔離弁	✓											可	①	×
2)異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	1)事故時のプラント状態の把握機能	原子炉計装の一部(範囲はJEA4611による)	✓											可	①	×
		プロセス計装の一部(範囲はJEA4611による)	✓											可	①	×
		加圧器逃げ弁(手動閉鎖機能)	✓											可	①	×
	3)制御室外からの安全停止機能	加圧器後備ヒータ	✓											可	①	×
		加圧器逃げ弁元弁(閉機能)	✓											可	①	×
		中央制御室外原子炉停止装置(安全停止に関連するもの)(範囲はJEA4611による)	✓											可	①	×

【凡例】

R/B:原子炉建屋、O/S:外部しゃへい建屋、A/B:原子炉補助建屋、DG/B:ディーゼル発電機建屋

【考え方】

- ①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けたいため除外する。
- ⑧当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取替棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
- ⑨当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取替棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。(当該設備に貯蔵される燃料集合体を含む)

外部からの衝撃より防護する対象施設の範囲について

(１) 設置許可基準規則の要求事項について

「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（以下，「設置許可基準規則」という。）」第６条及び「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈（以下「解釈」という。）」においては，安全施設が自然現象等によりその安全性を損なわないことが要求されている。この要求を満足させるためには，通常運転時だけではなく，運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時においても発電用原子炉施設の安全性を確保する必要がある。

設置（変更）許可申請書添付十において，「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」に基づき行った運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時の安全評価（以下「安全評価」という。）では，運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故として想定される事象に対して解析を行い，いずれの事象についても炉心の著しい損傷等の判断基準に至らず事象を収束させることができ，発電用原子炉施設の安全性が確保されることを確認している。

従って，安全評価において考慮する安全機能が自然現象等により損なわれなければ，運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時においても発電用原子炉施設の安全性を確保することができ，設置許可基準規則第６条及びその解釈における要求を満足させることができる。

(２) 外部から衝撃より防護すべき施設の範囲

安全施設が外部からの衝撃により安全性を損なうことがないように，外部からの衝撃より防護すべき施設は，安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に属する施設とする。

(３) 安全評価において考慮する安全機能

安全評価では，表１及び表２に示す安全機能を考慮して解析を行った結果，発電用原子炉施設の安全性が確保されることを確認している。安全評価において期待する安全機能は，原則として「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」で規定されているMS-1又はMS-2に属するものであるが，MS-3に属する安全機能のうち，タービントリップ機能については，信号の多重化等により作動系に高い信頼性を有するものとして考慮している。

(４) クラス３の安全機能が損なわれた場合の影響について

安全評価においては，原子炉トリップによるタービントリップ機能に期待しているが，仮にタービントリップが作動しなかった場合は，蒸気放出が継続されることになり，以下の影響が考えられる。

原子炉トリップ直後の蒸気放出の継続は，１次系の除熱を促進するため，１次系

圧力のピーク等を緩和する方向に作用すること、及び原子炉トリップにより原子炉出力は速やかに低下するため、炉心の除熱性能はタービントリップ失敗による影響を受けないことから、安全評価の結果より厳しくならない。その後は、蒸気放出の継続により1次系が過冷却になることが考えられるが、「主蒸気流量高と主蒸気圧力低の一致」信号による主蒸気隔離により、蒸気放出は停止することから、事象は収束する。

一方、運転時の異常な過渡変である「蒸気発生器への過剰給水」では、蒸気発生器水位が上昇し、「蒸気発生器水位異常高」信号によるタービントリップ及び主給水隔離が行われ、タービントリップによる原子炉トリップに至る。ここで、タービントリップが作動しなかった場合を想定しても、タービントリップ作動前に過冷却に伴う原子炉出力の上昇は制定しており、最小DNBRは解析結果(約2.03)から変わらない。また、1次系圧力に関しては、1次系の除熱が促進されることから、安全評価の結果より厳しくならない。その後、主給水は隔離されるため、蒸気発生器水位は低下し、「蒸気発生器水位異常低」信号により原子炉トリップに至り、その後は上述と同様に主蒸気隔離が生じ事象は収束する。

以上より、MS-3及びPS-3すなわち、クラス3に属する安全機能が損なわれたとしても、MS-1及びMS-2の安全機能により運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時においても発電用原子炉施設の安全性を確保することができる。

(5) 外部からの衝撃より防護する対象施設

安全施設が外部からの衝撃よりその安全性を損なわないための防護対象施設は、発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器並びに使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器を有する安全重要度分類クラス1及びクラス2に属する施設である。

ただし、クラス3に属する施設は、その損傷によりクラス1及びクラス2に属する施設の安全機能に波及的影響を及ぼす可能性を、クラス1及びクラス2に属する施設の防護設計において考慮する。

第1表 解析において影響緩和のため考慮する主要な安全機能—運転時の異常な過渡変化

	安全機能	系統及び機器
MS-1	原子炉の緊急停止機能	制御棒クラスタ及び制御棒駆動装置 (トリップ機能)
	未臨界維持機能	制御棒 非常用炉心冷却設備 (ほう酸水注入機能)
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過 圧防止機能	加圧器安全弁 (開機能)
	原子炉停止後の除熱機能	補助給水設備 主蒸気安全弁
	工学的安全施設及び原子炉停止系 への作動信号の発生機能	安全保護系
	安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系
MS-3	タービントリップ機能	タービン保安装置及び主蒸気止め弁 (閉機能)

第2表 解析において影響緩和のため考慮する主要な安全機能—事故

	安全機能	系統及び機器
MS-1	原子炉の緊急停止機能	制御棒クラスタ及び制御棒駆動装置 (トリップ機能)
	未臨界維持機能	制御棒 非常用炉心冷却設備 (ほう酸水注入機能)
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過 圧防止機能	加圧器安全弁 (開機能)
	原子炉停止後の除熱機能	補助給水設備 主蒸気安全弁 主蒸気隔離弁 主蒸気逃がし弁 (手動逃がし機能)
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却設備
	放射性物質の閉じ込め機能 放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器 アニュラス 原子炉格納容器隔離弁 原子炉格納容器スプレイ設備 アニュラス空気浄化設備
	工学的安全施設及び原子炉停止系 への作動信号の発生機能	安全保護系
	安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系
MS-2	異常状態の緩和機能	加圧器逃がし弁 (手動開閉機能)
MS-3	タービントリップ機能	タービン保安装置及び主蒸気止め弁 (閉機能)

外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備
の防護方針について

1. 概要

津波防護施設，津波防止設備及び津波監視設備（「以下「津波防護施設等」という。」の外部事象に対する防護方針を以下に示す。

2. 防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，泊発電所において外部事象に対する津波防護施設等の機能維持のための対応要否について整理した。

外部事象に対する津波防護施設等の機能維持対応要否判断フローを図1に示す。

- (1) 設計上考慮すべき事象が，津波若しくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的に影響を考慮する。
- (2) 津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。
- (3) 津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，泊発電所の津波防護施設については，基準津波高さや防護対象の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。

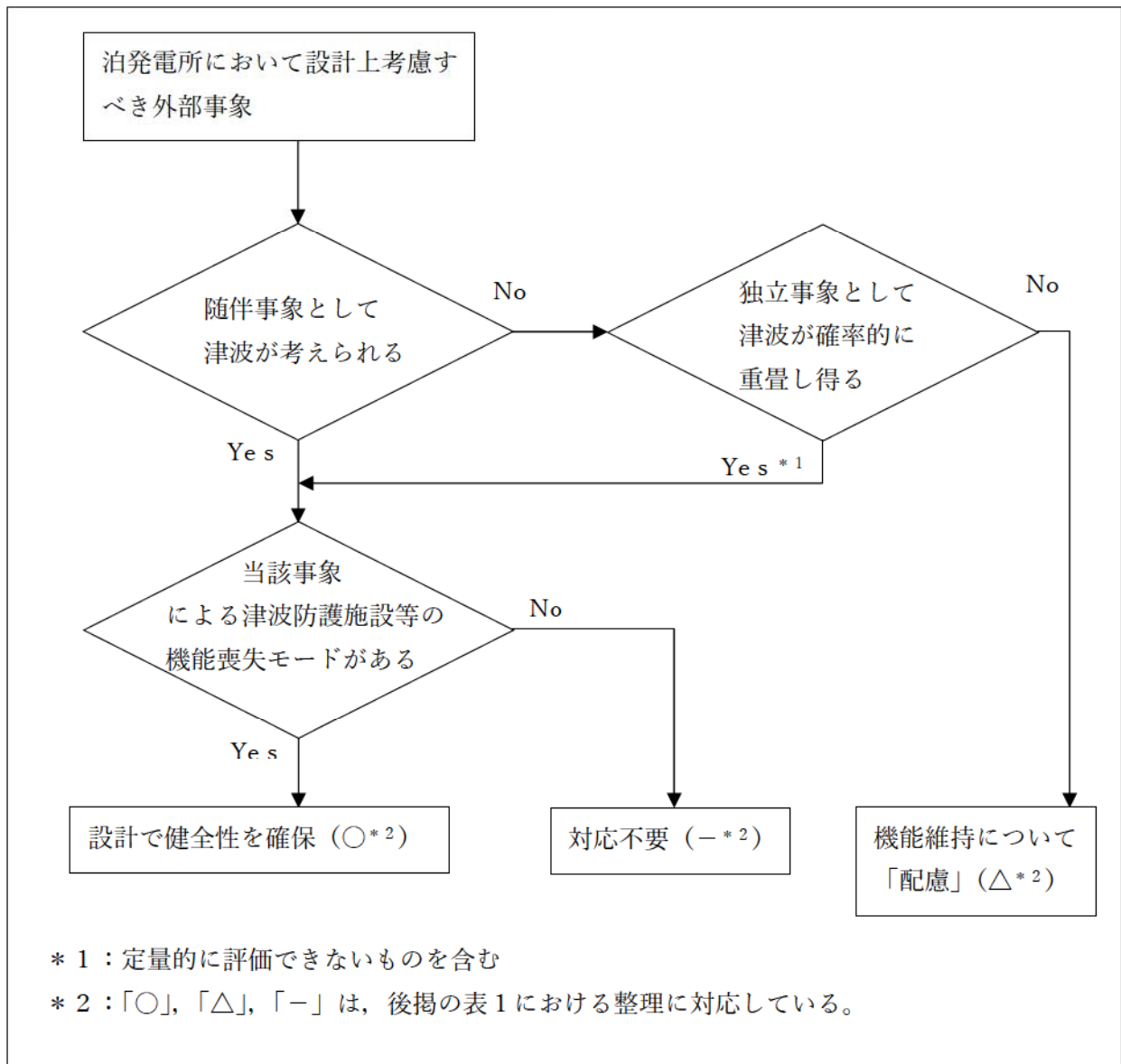


図 1 外部事象に対する津波防護施設等の機能維持対応要否判断フロー

3. 検討結果

上記フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を以下に示す。

(詳細は表1にとおり)

(1) 津波の随伴, 重畳が否定できない事象*¹に対する防護方針

これらの外部事象に対しては, 津波との随伴若しくは重畳の可能性を否定できないため, 荷重の重ね合わせのタイミングを考慮した上で設計への反映の要否を検討し, 津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては, 津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

* 1 : 地震, 風 (台風), 凍結, 降水, 積雪, 落雷, 地滑り, 生物学的事象, 森林火災

(2) 津波の随伴, 重畳が有意ではない事象 (竜巻, 火山の影響) に対する防護方針「竜巻」, 「火山の影響」の2つの外部事象で津波は随伴せず, また, 基準津波との重畳の確率も有意ではないため, 津波防護施設を防護対象とはしないものの, 津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待できるように以下の対応を自主的に実施する。

a. 「竜巻」

設計竜巻と基準津波が重畳する年超過率は約●/年であり, 竜巻と津波の重畳は有意でないと評価されるが, 竜巻が襲来した場合には必ず作用する風圧力に対しては, 津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。

b. 「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の噴火と基準津波が重畳する年超過確率は約●/年*²であり, 火山の影響と基準津波の重畳は有意ではないと評価されるが, 降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに, 降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

* 2 : 敷地で確認された降下火砕物の層厚は●cm と評価しており, この降下火砕物噴出年代は約●万年前であることを考慮

追而【地震津波側審査の反映】
(上記の●については, 地震津波側審査結果を受けて反映のため)

表 1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮要	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要 (①か②が○)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	-	○	<u>あり</u> 地震荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震 S クラスとして基準地震動 Ss に対し健全性を維持し、津波に対する防護機能を維持する。 また、津波と余震の組み合わせも考慮する。
風 (台風)	-	○	○	<u>あり</u> 風荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	・ 風荷重、津波荷重を考慮した設計とする。 ・ 津波監視カメラは、風荷重を考慮した設計とする。
竜巻	-	-	-	<u>なし</u> 以下のとおり、重畳の頻度は無視し得る。 ・ 設計竜巻の確率：約 1.4×10^{-7} ・ 基準津波の年超過率：●/年*3 ⇒ 重畳確率：●/年 年超過率が 1×10^{-7} /年未満であり、有意ではない。	△	・ 防潮堤及び溢水防止壁については、自主的に風圧力による荷重に対して、倒壊せず安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物により損傷が生じた場合には、損傷状況を踏まえ、必要に応じて、プラントを停止して修復する。 ・ 津波監視カメラは、竜巻の風荷重 (100m/s) による荷重を考慮した設計とする。

* 3 : 設置変更許可申請書添付書類六を考慮 「●・● 超過確率の参照」を考慮

追而 【地震津波側審査の反映】
(上記●については、地震津波側審査結果を受けて反映のため)

- : 津波の随伴、重畳が否定できないため、設計で健全性を確保する事象 (○)
- : 津波の随伴、重畳は有意ではないが、機能維持については設計上配慮する事象 (△)
- : 対応が不要な事象 (-)

表 1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮する要	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要(①か②が○)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映の要否	機能維持のための対応方針
凍結	-	○	○	あり 凍害により止水目地が損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	止水目地は最低気温を考慮した設計とする。
降水	-	○	○	なし 降雨による海水面上昇は無視し得る。	-	-
積雪	-	○	○	あり 積雪荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。
落雷	-	○	○	あり 落雷による津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については、既設避雷設備の遮へい範囲内への設置を行う。

: 津波の随伴、重畳が否定できないため、設計で健全性を確保する事象 (○)
 : 津波の随伴、重畳は有意ではないが、機能維持については設計上配慮する事象 (△)
 : 対応が不要な事象 (-)

表1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮要	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要(②か②が○)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
火山の影響	-	-	-	なし 以下のおおりに、重畳の頻度は無視し得る。 ・想定する火山の確率：●/年*2 ・基準津波の年超過率：●/年*3 ⇒重畳確率：●/年* 年超過率が 1×10^{-7} /年未満であり有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに、降灰後に降下火砕物を適時除去可能な設計とする。
地滑り	-	○	○	なし 地滑りにより津波防護施設が機能喪失に至ることはない。	-	-
生物的事象	-	○	○	なし 生物による影響(閉塞、侵入)による機能喪失モードを有しない。	-	-
森林火災	-	○	○	なし 防火帯により森林との離隔距離が確保されるため、熱影響を受けることはない。	-	-

* 2 : 敷地で確認された降下火砕物の層厚は●cmと評価しており、この降下火砕物噴出年代は約●万年前であることを考慮

* 3 : 設置変更許可申請書添付書類六「●、●超過確率の参照」を考慮

追而【地震津波側審査の反映】
(上記●については、地震津波側審査結果を受けて反映のため)

- : 津波の随伴、重畳が否定できないため、設計で健全性を確保する事象 (○)
- : 津波の随伴、重畳は有意ではないが、機能維持については設計上配慮する事象 (△)
- : 対応が不要な事象 (-)

クラス3に属する構築物，系統および機器の竜巻防護について

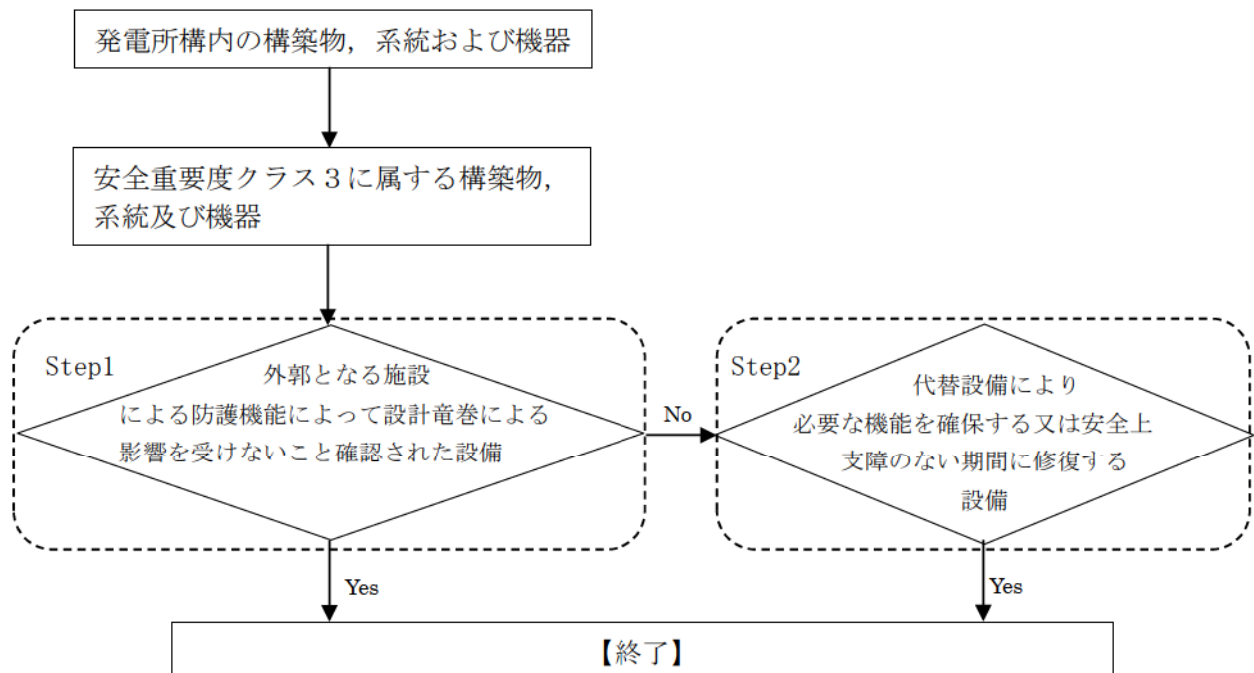
想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して，発電用原子炉を停止するため，また，停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器並びに使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス1，クラス2に属する構築物，系統及び機器を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし，機械的強度を有すること等により，安全機能を損なわない設計とする。

竜巻に対する防護として，評価ガイドにおいて，竜巻防護施設は「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統，機器），建屋及び構築物等とされている。

以上を踏まえ，「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統，機器），建屋及び構築物に加え，外部事象防護対象施設を竜巻防護施設とする。

クラス3に属する構築物，系統及び機器が設計竜巻により損傷した場合については，代替設備により必要な機能を確保する，安全上支障のない期間に修復する等の対応を行うことから，竜巻防護施設としていない。

本資料では，クラス3に属する構築物，系統及び機器の竜巻防護に関して，外郭となる施設による防護機能によって設計竜巻による影響を受けない又は代替設備により必要な機能を確保する等の具体的な対応を下記のフローに基づいて確認する。



第1図 クラス3に属する構築物，系統及び機器の竜巻防護フロー

Step1：クラス3に属する構築物，系統及び機器のうち，設置場所を確認し，竜巻襲来時に風圧，気圧差及び飛来物衝突の影響を受けない屋内設置であることを確認する。

Step2：クラス3に属する構築物，系統及び機器のうち，代替設備により必要な機能を確保すること，必要に応じプラントを停止し，安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能であることを確認する。

上記の Step に基づき，確認した結果を表1に示す。

第1表 クラス3に属する構築物、系統及び機器の竜巻防護の確認

分類 PS-3

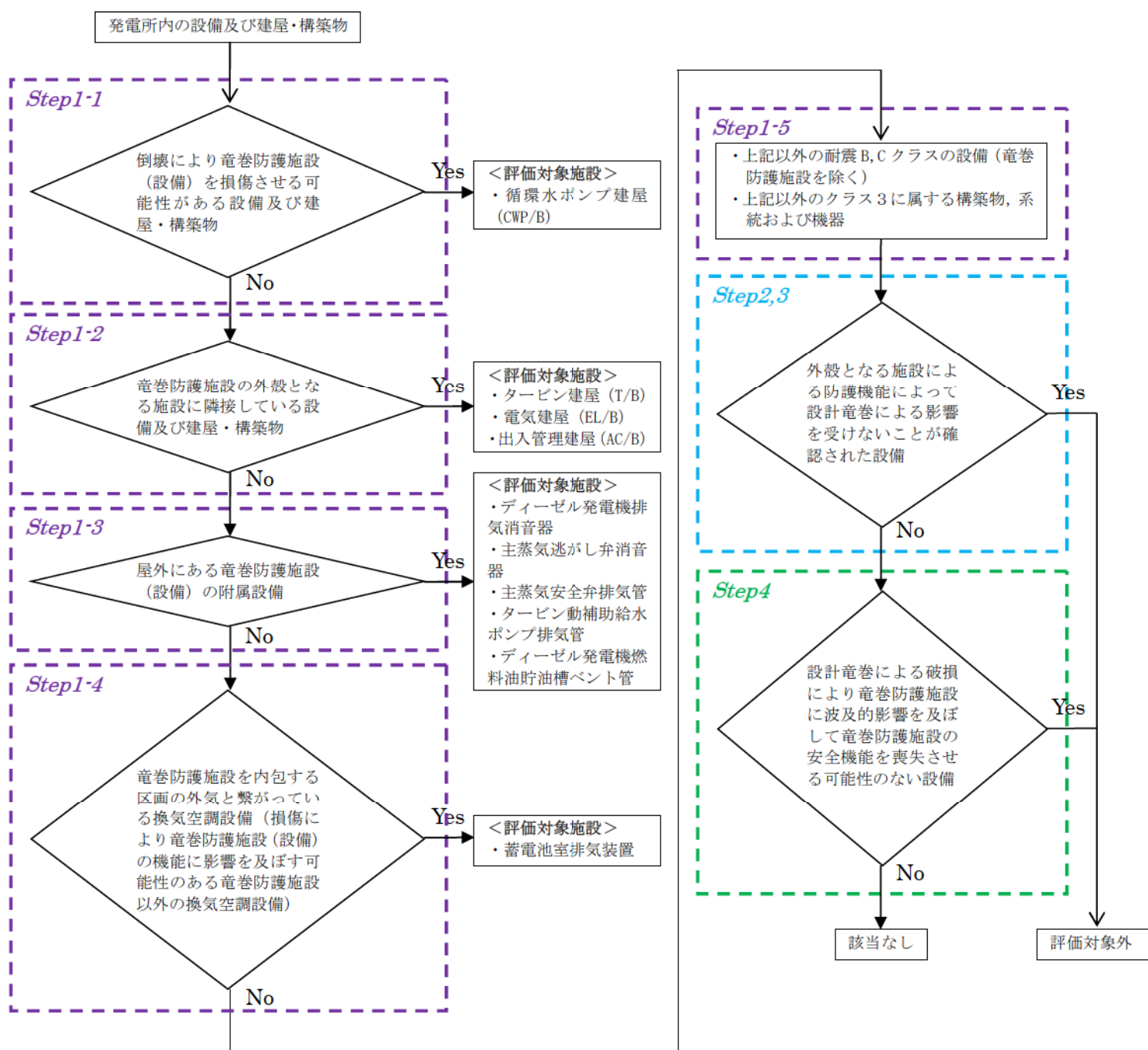
定義	機能	構築物、系統又は機器	Step1	設置場所								Step2	備考						
				竜巻防護施設を内装している部屋				左記以外											
				R/B	D/S(G/V)	D/S以外	A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレート室	T/B	EL/B			AB/B	屋外				
1)原子炉冷却材保持機能 (PS-1,PS-2以外のもの)	計装配管及び井 燃料採取設備の配管及び井	計装配管及び井	○		✓														
		燃料採取設備の配管及び井	○	✓															
		1次冷却材ポンプ	○	✓															
		化学体積制御設備の排水注入ライン	○																
		2)原子炉冷却材の循環機能	排水注入系	○	✓														
		1次冷却材ポンプスタンドパイプ	○	✓															
		1次冷却材ポンプヘッドタンク	○	✓	✓														
		加圧器及びタンク	○	✓															
		3)放射性物質の貯蔵機能	液体廃棄物処理設備(貯蔵機能を有する範囲)	精製容器サンフ	○	✓													
				濃縮貯蔵タンク	○	✓													
精製容器冷却ドレンタンク	○			✓															
補助濃縮サンフタンク	○			✓															
洗浄排水タンク	○			✓															
洗浄排水蒸留水タンク	○			✓															
濃縮蒸留水タンク	○			✓															
前液ドレンタンク	○			✓															
濃縮廃液タンク	○			✓															
固体廃棄物処理設備(貯蔵機能を有する範囲)	使用済燃料貯蔵タンク			○	✓														
4)電源供給機能(非常用を除く)	発電機及び励磁機設備(発電機負荷閉路を含む)	発電機	×							✓				○		補修を実施			
		励磁機	×							✓				○		補修を実施			
		発電機負荷閉路	×								✓				○		補修を実施		
		蒸気タービン設備	×								✓				○		補修を実施		
		タービン	×								✓				○		補修を実施		
		主蒸気設備(主蒸気隔離弁以後)	○	✓															
		主要弁及び配管	×								✓								
		給水設備(主給水隔離弁以前)	×								✓								
		電動主給水ポンプ	×								✓								
		タービン駆動主給水ポンプ	×								✓								
5)プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く)	計測制御用電源設備(MS-1以外)	計測制御用電源設備(電源装置から常用計測制御装置までの範囲)	○	✓	✓	✓	✓			✓									
		蓄電池	○	✓	✓	✓	✓												
		直流電源設備(蓄電池から常用負荷までの範囲)	×								✓								
		計測制御用電源設備(MS-1以外)	×																
		計測制御用電源設備(電源装置から常用計測制御装置までの範囲)	×								✓								
		制御機駆動装置用電源設備	×								✓								
		送電線設備	×								✓								
		変圧器設備	×								✓								
		開閉所設備	×								✓								
		原子炉計測の一部(範囲はJEA46111による)	○	✓	✓	✓	✓												
6)プラント運転補助機能	補助蒸気設備	原子炉計装の一部(範囲はJEA46111による)	○	✓	✓	✓	✓												
		プロセス計装の一部(範囲はJEA46111による)	×							✓									
		補助蒸気設備	○	✓	✓	✓	✓												
		蒸気供給系配管及び弁	○	✓	✓	✓	✓												
		補助蒸気ドレンタンク	○																
		補助蒸気ドレンポンプ	×																
		蒸気コンバータ	×								✓								
		蒸気コンバータ給水ポンプ	×								✓								
		蒸気コンバータ給水タンク	×								✓								
		制御用圧縮空気設備(MS-1以外)	○	✓	✓	✓	✓												
7)原子炉冷却材中の放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	2)原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材中の放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	○	✓															
		燃料被覆管及び増設	○	✓															
		化学体積制御設備の浄化ライン(浄化機能)	○																
		体積制御タンク	○	✓	✓														
		再生熱交換器(再生)	○	✓	✓														
		非再生冷却器(管束)	○																
		冷却材循環式脱塩塔	○																
		冷却材膜イオン脱塩塔	○																
		冷却材脱塩塔入口フィルタ	○																
		冷却材フィルタ	○	✓	✓	✓	✓												
抽出設備関連配管及び弁	○	✓	✓	✓	✓														

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step1	設置場所							Step2	備考					
				電装防護施設を内引している建屋				左記以外									
				R/B	O/S/G/V1	O/S以外	A/B	DG/B	TSC	T/B			EL/B	AB/B	屋外		
1)運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1,MS-2とあわせて、事象を緩和する構築物、系統及び機器	1)原子炉圧力の上昇の緩和機能	加圧器過し弁(自動操作)	○	✓									—				
		タービンバックインターロック(範囲はJEA6111による)	○	✓		✓								—			
	2)出力上昇の抑制機能	制御棒引抜阻止インターロック(範囲はJEA6111による)	○	✓		✓								○	補修を実施		
		化学体積制御設備の充てんライン及びほう酸補給ライン	○												—		
	3)原子炉冷却材の補給機能	ほう酸補給タンク	○			✓									—		
		ほう酸混合槽	○			✓									—		
		ほう酸補給設備配管及び弁	○	✓	✓	✓									—		
		給水処理設備の1次系補給水ライン	○												—		
		1次系給水タンク	○		✓										—		
		配管及び弁	○		✓										—		
		1次系補給水ポンプ	○		✓										—		
	4)タービントリップ機能	タービン保安装置	×								✓			○	補修を実施		
		主蒸気止め弁(閉機能)	×									✓		○	補修を実施		
	2)異常状態への対応に必要な構築物、系統及び機器	1)緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所	×						✓					○	補修を実施	
			蒸気発生器ブローダウンライン(サンプリング機能を有する範囲)	○												—	
			配管及び弁	○	✓	✓										—	
			試料採取設備(事故時に必要な1次冷却材放射性物質濃度及び原子炉格納容器内気放射性物質濃度のサンプリング分析機能を有する範囲)	○													—
配管及び弁			○	✓	✓	✓									—		
通信連絡設備			×												○	補修を実施	
放射線監視設備の一部(範囲はJEA6111による)			○	✓		✓									—		
原子炉計装の一部(範囲はJEA6111による)			○	✓		✓									—		
プロセス計装の一部(範囲はJEA6111による)			○	✓	✓	✓									—		
消火設備			○		✓	✓	✓								—		
水消火設備			×								✓		✓		○	補修を実施	
			×									✓			○	補修を実施	
			×										✓		○	補修を実施	
ろ過水タンク			×										✓		○	補修を実施	
泡消火設備			×										✓		○	補修を実施	
二酸化炭素消火設備			○				✓								—		
安全避難通路			×								✓				○	補修を実施	
非常用照明	×												○	補修を実施			

1.1. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について

(1) 抽出方法について

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」において、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は「当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、又はその施設の特定の区画(竜巻防護施設を内包する区画)」とされていることを踏まえ、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設(評価対象施設)については、以下のフローに基づき抽出する方針としている。



具体的には、次の Step にて竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出しており、抽出結果を別紙-1 に示す。

Step1-1：倒壊により竜巻防護施設（設備）を損傷させる可能性がある設備及び建屋・構築物を抽出^{※1}

Step1-2：竜巻防護施設の外殻となる施設に隣接している設備及び建屋・構築物を抽出^{※1}

※1：設計竜巻により当該設備及び建屋・構築物が倒壊した場合、竜巻防護施設（設備）を損傷させる可能性が考えられるため、竜巻防護施設（設備）への機械的影響の観点から設けた。「倒壊により竜巻防護施設を損傷させる可能性がある設備及び建屋・構築物」（竜巻防護施設（設備）を内包している竜巻防護施設以外の建屋・構築物含む）および「竜巻防護施設の外殻となる施設に隣接している設備及び建屋・構築物」については、3号機周辺の設備及び建屋・構築物の高さで竜巻防護施設（設備）または竜巻防護施設の外殻となる施設までの最短距離を考慮して抽出した（表-1 参照）。

表-1 3号機周辺の設備又は建屋・構築物の高さで竜巻防護施設（設備）または竜巻防護施設の外殻となる施設までの最短距離

設備又は建屋・構築物	高さ	近接の竜巻防護施設（設備）または竜巻防護施設の外殻となる施設 ^{※2} までの最短距離		評価結果	評価対象施設
		近接の設備または建屋	最短距離		
循環水ポンプ建屋 (CWP/B)	—	原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ 配管および弁 (原子炉補機冷却海水系統)	建屋内設置	当該建屋は、竜巻防護施設（設備）が設置されている取水ピットポンプ室およびストレーナ室の上屋であり、波及的影響を及ぼす可能性がある。	○
タービン建屋 (T/B)	—	R/B	隣接	隣接しており、波及的影響を及ぼす可能性がある。	○
電気建屋 (EL/B)	—	R/B, A/B	隣接	同上	○
出入管理建屋 (AC/B)	—	A/B	隣接	同上	○
総合管理事務所	約 25m	A/B	約 57m	当該建屋・構築物の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×
給排水処理建屋	約 14m	R/B	約 75m	同上	×
ろ過水タンク	約 15m	A/B	約 55m	当該設備の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×
2次系純水タンク	約 15m	A/B	約 83m	同上	×
ろ過水タンク（1, 2号機）	約 15m	A/B	約 83m	同上	×
給排水処理建屋（1, 2号機）	約 14m	CWP/B ^{※3}	約 140m	当該建屋・構築物の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×

設備又は建屋・構築物	高さ	近接の竜巻防護施設（設備） または竜巻防護施設の外設と なる施設 ^{※2} までの最短距離		評価結果	評価対象施設
		近接の設備または建屋	最短距離		
給排水補助建屋（1，2号機）	約16m	CWP/B ^{※3}	約122m	同上	×
1号倉庫	約10m	CWP/B ^{※3}	約116m	同上	×
2号倉庫	約10m	CWP/B ^{※3}	約181m	同上	×
主変圧器・所内変圧器	約10m	R/B	約57m	当該設備の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×
海水淡水化設備建屋	約15.4m	CWP/B ^{※3}	約16.8m	当該建屋・構築物の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×
3号倉庫	約8m	CWP/B ^{※3}	約23m	当該建屋・構築物の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×
発電機ガスボンベ貯蔵庫	約6m	CWP/B ^{※3}	約41m	同上	×
油庫	約4m	CWP/B ^{※3}	約72m	同上	×
泡消火設備建屋	約5m	CWP/B ^{※3}	約106m	同上	×
補助ボイラー建屋	約13m	DG/B	約16m	同上	×
補助ボイラー煙突	約38m	DG/B	約44m	同上	×
補助ボイラー燃料タンク	約11m	DG/B	約38m	当該設備の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×
油計量タンク	約6m	DG/B	約20m	同上	×
送電鉄塔 No. 7（最も距離が近いもの）	約29m	A/B	約400m	当該建屋・構築物の高さ以上の離隔距離が確保されているため、倒壊したとしても波及的影響を及ぼす可能性はないと考える。	×
溢水防止壁	基準津波高さや防護対象範囲の広さ等を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。				×
防潮堤	基準津波高さや防護対象範囲の広さ等を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う				×

※2：原子炉建屋(R/B)，原子炉補助建屋(A/B)，ディーゼル発電機建屋(DG/B)

※3：原子炉補機冷却海水ポンプ，原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ，配管および弁（原子炉補機冷却海水系統）が設置されている取水ピットポンプ室およびストレーナ室の上屋

Step1-3：屋外にある竜巻防護施設（設備）の附属設備を抽出^{※4}

※4：屋外に露出している竜巻防護施設（設備）に繋がる排気管等については，設計竜巻により損傷した場合，竜巻防護施設（設備）の機能に影響を及ぼす可能性が考えられるため，竜巻防護施設（設備）への機能的影響の観点から設けた。

Step1-4: 竜巻防護施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備（損傷により竜巻防護施設（設備）の機能に影響を及ぼす可能性のある竜巻防護施設以外の換気空調設備）を抽出^{※5}

※5: 換気空調設備は外気と繋がっているため、竜巻防護施設を内包する区画の換気空調設備（損傷により竜巻防護施設（設備）の機能に影響を及ぼす可能性のある竜巻防護施設以外の換気空調設備）のうち、竜巻防護施設（設備）の冷却等に必要設備については、設計竜巻により損傷した場合、竜巻防護施設（設備）の機能に影響を及ぼす可能性が考えられるため、竜巻防護施設（設備）への機能的影響の観点から設けた。損傷により竜巻防護施設（設備）の機能に影響を及ぼす可能性のある換気空調設備の抽出結果を表-2 に示す。

表-2 損傷により竜巻防護施設（設備）の機能に影響を及ぼす可能性のある換気空調設備の抽出結果

竜巻防護施設を内包する区画の換気空調設備（竜巻防護施設を除く）	評価結果	評価対象施設
タービン動補助給水ポンプ室換気装置	タービン動補助給水ポンプ室の雰囲気温度維持機能を有しているが、竜巻防護施設の冷却には必須な設備ではないため、設計竜巻により損傷したとしても、竜巻防護施設の機能に影響を与えない。	×
主蒸気管室換気装置	主蒸気管室の雰囲気温度維持機能を有しているが、竜巻防護施設の冷却には必須な設備ではないため、設計竜巻により損傷したとしても、竜巻防護施設の機能に影響を与えない。	×
蓄電池室排気装置	竜巻防護施設である安全系蓄電池等の冷却機能および当該蓄電池から発生する水素の換気機能を有しており、設計竜巻により損傷した場合、竜巻防護施設の機能に影響を与える可能性がある。	○

Step1-5: 上記以外の工事計画認可申請書の耐震重要度分類における耐震 B, C クラス設備（竜巻防護施設を除く）および設置許可申請書の安全上の機能別重要度分類よりクラス 3（PS-3, MS-3）に属する構築物、系統および機器を抽出^{※6}

※6: 竜巻防護施設（設備）を工事計画認可申請書の耐震重要度分類における耐震 S クラス設備および設置許可申請書の安全上の機能別重要度分類クラス 1, 2 に属する構築物、系統および機器としていることを踏まえ、Step1-1~1-4 で抽出した設備以外に竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設がないことを確認する観点から設けた。

Step2 : 上記 Step1-5 で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記 Step1-5 で抽出した設備のうち、設置建屋による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を除外

Step4 : 上記 Step3 で除外されなかった設備のうち、設計竜巻による損傷により竜巻防護施設（設備）に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性のない設備を除外

(2) 共用設備の取り扱いについて

固体廃棄物貯蔵庫等の共用設備^{※3}については、3号機の竜巻防護施設に隣接していない建屋や、3号機の竜巻防護施設を内包している建屋以外の場所に設置されている設備であり、設計竜巻によって当該設備が破損等した場合でも竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性はないため、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない。表-3に共用設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない理由を示す。

※3：工事計画認可申請書から抽出した。

表-3 共用設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない理由

建屋・設備名	設置場所	竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない理由
固体廃棄物貯蔵庫	図-1 参照	当該建屋は3号機の竜巻防護施設（建屋）に隣接している建屋ではない。また、竜巻防護施設を内包している建屋でもないことから、設計竜巻により当該建屋が倒壊した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。
雑固体焼却設備	放射性廃棄物処理建屋 (図-1 参照)	当該設備は3号機の竜巻防護施設を内包している建屋以外の場所に設置しているため、設計竜巻により当該設備が破損した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。
ベイラ	2号機原子炉補助建屋 (図-1 参照)	当該設備は3号機の竜巻防護施設を内包している建屋以外の場所に設置しているため、設計竜巻により当該設備が破損した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。
モニタリングポスト	図-1 参照	同上
モニタリングステーション	図-1 参照	同上
放射能観測車とう載機器	放射能観測車内 (図-1 参照)	同上

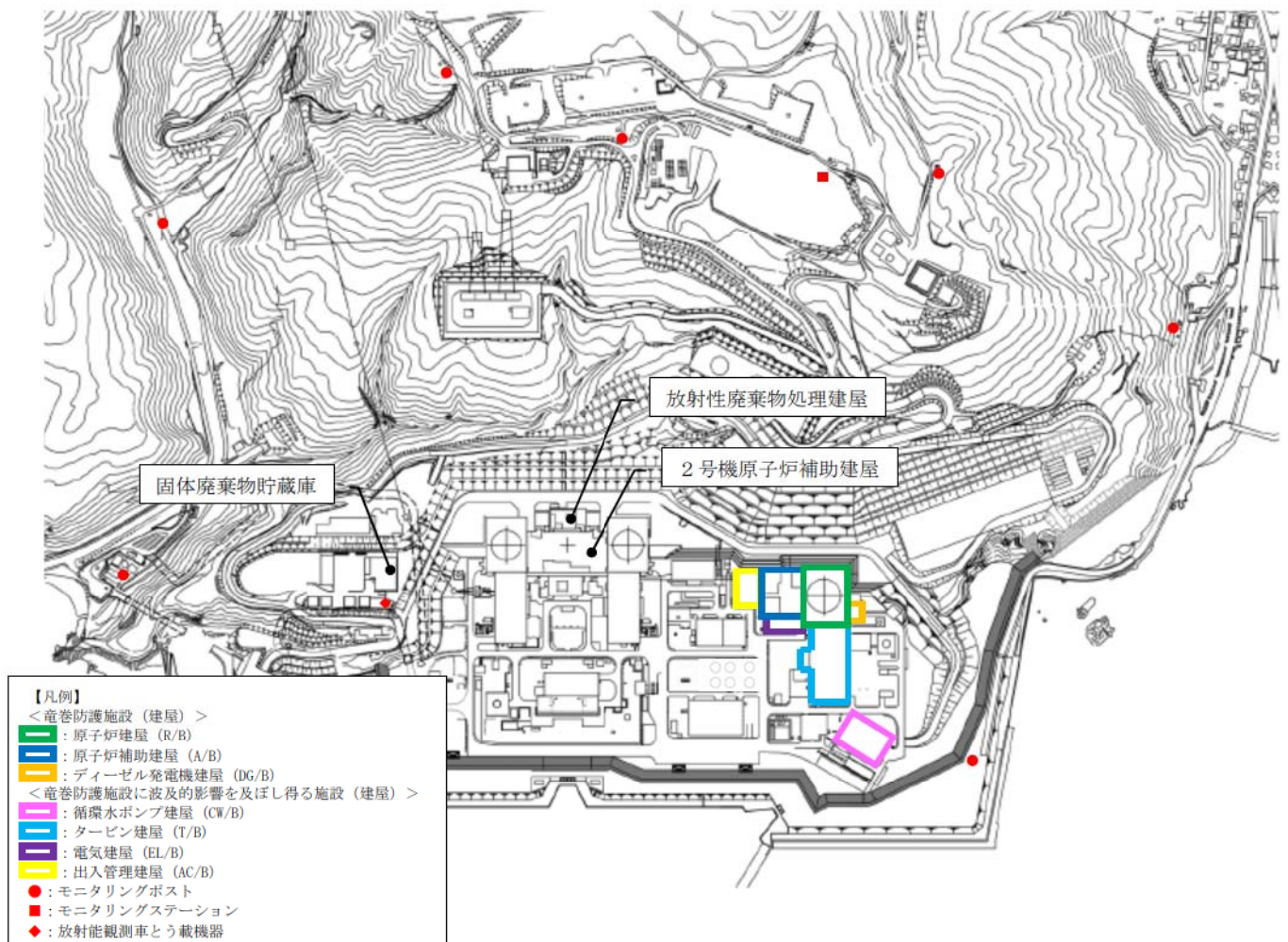


図-1 共用設備等の設置場所

(3) 今回設置する竜巻飛来物防護対策設備の取扱いについて

評価対象施設（竜巻防護計施設または竜巻防施設に波及的影響を及ぼし得る施設）への設計飛来物による影響を評価した結果、設計飛来物の衝突により竜巻防護施設（設備）の安全機能を損なう可能性のある設備のうち、防護対象設備については、安全機能の維持に影響を与えないよう、防護ネット、防護鋼板等の竜巻飛来物防護対策設備を設置して、飛来物から防護することとしている（表-4 参照）。

竜巻飛来物防護対策設備については、防護対象設備近傍に設置するため、防護対象設備（竜巻防護施設）の安全機能への影響を評価し、安全機能の維持に影響を与えないよう、基準地震動に対して耐震性を確保する等の対応を行うこととしていることから（補足説明資料 2 6. 参照）、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない。

表-4 防護対象設備毎の飛来物防護対策内容一覧

防護対象設備	対策内容
原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されている取水ピットポンプ室の上部開口部に防護ネット（金網）を設置する。
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ（配管および弁含む）	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されているストレーナ室の上部開口部に防護ネット（金網）を設置する。
蓄熱室加熱器	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されている蓄熱室に隣接する吸気ガラリ室の壁面開口部（当該加熱器背面の空気口）に防護鋼板を設置する。
原子炉補機冷却水サージタンク他	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されている原子炉建屋（原子炉補機冷却水サージタンク・空調用冷水膨脹タンク室）の壁面開口部（扉）前面（建屋内）に防護壁を設置する。
配管および弁（主蒸気管室内）	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されている原子炉建屋（主蒸気管室）の壁面開口部（ブローアウトパネル（2箇所）および上部換気口（3箇所））前面（原子炉建屋外壁）に防護鋼板を設置する。
制御用空気系統配管	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されている原子炉補助建屋（トラックアクセスエリア（2））の当該設備設置場所前面に防護壁を設置する。
新燃料ラック（貯蔵している燃料集合体）	<ul style="list-style-type: none"> 新燃料ラック内上部に防護鋼板を設置する。（当該ラックに燃料集合体を貯蔵した場合に設置）

設備名称	Step1-5 Bクラス設備	Step2 設置場所						Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		電巻防護施設を内包している建屋			左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ビットポンプ 室・ストレナ室	T/B					
3.燃料設備												
(1)燃料取扱設備	原子炉キャビティ 燃料取扱キャナル(原子炉格納容器内)	✓							可	(1)	—	x
(2)使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	使用済燃料ピット冷却器			✓					可	(1)	—	x
	使用済燃料ピットポンプ			✓					可	(1)	—	x
	使用済燃料ピット脱塩塔			✓					可	(1)	—	x
	使用済燃料ピットフィルタ 配管			✓	✓				可	(1)	—	x
4.放射線管理設備												
(1)生体遅へい装置	1次遅へい	✓							可	(1)	—	x
	2次遅へい 補助遅へい(原子炉格納容器内燃料移送遅へい)	✓							可	(1)	—	x
5.廃棄設備												
(1)廃棄物処理設備												
a.1次冷却設備	配管	✓							可	(1)	—	x
	格納容器冷却材ドレンポンプ	✓							可	(1)	—	x
	格納容器サンプ	✓							可	(1)	—	x
b.液体廃棄物処理設備	格納容器冷却材ドレンタンク	✓							可	(1)	—	x
	格納容器サンプ	✓							可	(1)	—	x
	配管	✓							可	(1)	—	x
c.固体廃棄物処理設備	セメント固化装置乾燥機復水器				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置濃縮廃液供給ポンプ				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置濃縮廃液前処理タンク				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置濃縮廃液供給タンク				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置ヘッドタンク				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置粉体受ホップ				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置粉体計量器				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置酸液ドレン計量タンク				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置乾燥機				✓				可	(1)	—	x
	セメント固化装置混練機				✓				可	(1)	—	x
6.原子炉格納施設												
(1)原子炉格納容器	なし											
(2)二次格納施設	なし											
(3)圧力低減設備												
その他の安全設備												
a.格納容器スプレイ設備	なし											
b.真空逃がし装置	なし											
c.圧力逃がし装置	なし											

設備名称	Step1-5 Bクラス設備	Step2 設置場所						Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		電巻防護施設を内包している建屋			左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ビットポンプ 室・ストレナ室	T/B					
原子力設備												
1.原子炉本体												
(1)炉心	なし											
(2)原子炉容器	なし											
2.原子炉冷却系統設備												
(1)一次冷却材の循環設備	なし											
(2)主蒸気・主給水設備	なし											
(3)余熱除去設備	なし											
(4)非常用炉心冷却設備	なし											
(5)化学体積制御設備	蒸餾抽出冷却器											
	配管	✓							可	(1)	—	x
(6)原子炉種機冷却水設備	なし								可	(1)	—	x
(7)原子炉種機冷却海水設備	なし											
(8)原子炉格納容器内の一次冷却材の漏えいを監視する装置	なし											
3.計測制御系統設備												
(1)制御材	なし											
(2)制御種駆動装置	なし											
(3)ぼう戻し注入機能を有する設備	配管				✓				可	(1)	—	x
(4)計測装置	なし											
(5)制御用空気設備	なし											
4.廃棄設備												
(1)気体、液体又は固体廃棄物処理設備												
a.液体廃棄物処理設備	配管	✓							可	(1)	—	x
非常用電源装置												
(1)非常用ディーゼル発電設備	なし											

設備名称	Step1-5 Bクラス設備	Step2 設置場所						Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		電巻防護施設を内包している建屋			左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ビットポンプ 室・ストレナ室	T/B					
原子力設備												
1.蒸気タービン	なし											

設備名称	Step1-5 Bクラス設備	Step2 設置場所						Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		電巻防護施設を内包している建屋			左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ビットポンプ 室・ストレナ室	T/B					
原子力設備												
1.燃料設備												
(1)燃料取扱設備	燃料取扱クレーン											
	燃料移送装置											
	使用済燃料ピットクレーン											
	燃料取扱クレーン 燃料仮置ラック				✓							
(2)新燃料貯蔵設備	なし											
(3)使用済燃料貯蔵設備	なし											
(4)燃料取扱用水設備	なし											

【凡例】

R/B:原子炉建屋、O/S:外部シャフト建屋、O/V:原子炉格納容器、A/B:原子炉補助建屋、DG/D:ディーゼル発電機建屋、T/D:タービン建屋、EL/D:電気建屋

【考え方】

＜Step3＞
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計電巻による影響は受け得ないため除外する。
②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋（燃料取扱棟）は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計電巻（設計飛来物）による影響を受ける可能性があるため除外不可。

＜Step4＞

a 設計飛来物により当該クレーン（待機位置）が破損した場合でも、当該クレーンが設置されているR/B（燃料取扱棟）壁面の鉄骨部材に支持されるため、落下する可能性は小さい。仮に落下したとしても、電巻防護施設と当該クレーンは、ある程度離れているため、電巻防護施設の機能に影響を及ぼさないと考え除外する。

設備名称	Step1-5 Bクラス設備	Step2 設置場所						Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設		
		電巻防護施設を内包している建屋			左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方			
		R/B O/S(C/V)	A/B O/S以外	DG/B	取水ピットポンプ 室・ストレナ室	T/B	EL/B						屋外	
2.放射線管理設備														
(1)放射線管理用計測装置	なし													
a.プロセスモニタリング設備	なし													
b.エリアモニタリング設備	なし													
(2)換気設備	格納容器排気ファン		✓							否	③	可	b	x
	燃料採取室排気ファン			✓						否	③	可	b	x
	補助建屋排気ファン			✓						否	③	可	b	x
	燃料採取室排気フィルタユニット		✓							否	③	可	b	x
3.排気筒	補助建屋排気フィルタユニット			✓						否	③	可	b	x
	(1)排気筒	なし												
4.蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する管等	なし													

設備名称	Step1-5 Bクラス設備	Step2 設置場所						Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設		
		電巻防護施設を内包している建屋			左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方			
		R/B O/S(C/V)	A/B O/S以外	DG/B	取水ピットポンプ 室・ストレナ室	T/B	EL/B						屋外	
原子力設備														
(1)蒸気タービンに附属する熱交換器	なし													
(2)蒸気タービンに附属する給水ポンプ及び貯水設備並びに給水処理設備	なし													
(3)蒸気タービンに附属する管等	なし													
附属設備														
1.非常用予備発電装置														
(1)その他の電源装置														
a.無停電電源装置	なし													
b.蓄電池	なし													

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
【考え方】
<Step3>
③当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調設備は外気と繋がっているため、設計電巻（気圧差）による影響を受ける可能性があるため除外不可。
<Step4>
b 当該設備を含めた換気空調設備にて供給される空気は電巻防護施設の冷却には使用されていないため、気圧差により当該設備を含めた換気空調系が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

b. 耐震Cクラス

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		電巻防護施設を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ヒットポンプ 室・ストレナ室	T/B	EL/B					
原子力設備													
1原子炉冷却系統設備													
(1)冷却材貯蔵槽	なし												
2燃料設備													
(1)燃料取扱設備	なし												
(2)使用済燃料貯蔵設備	なし												
3放射線管理設備													
(1)生体遮へい装置	なし												
4原子炉格納施設													
(1)原子炉格納施設の基礎	なし												
(2)外部遮へい建屋	なし												
5蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する給水設備	なし												

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		電巻防護施設を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ヒットポンプ 室・ストレナ室	T/B	EL/B						屋外
原子力設備														
1原子炉冷却系統設備														
(1)原子炉補機冷却海水設備	配管		✓						✓	可 否	(1) (2)	— 可	a	x x
2放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	なし													
3廃棄設備														
(1)廃棄物貯蔵設備														
a 固体廃棄物貯蔵設備	なし													
(2)廃棄物処理設備														
a 気体廃棄物処理設備	なし													
ほう酸回収装置コンデンサ			✓							可	(1)	—		x
ほう酸回収装置蒸留水冷却器			✓							可	(1)	—		x
ほう酸回収装置蒸留水ポンプ			✓							可	(1)	—		x
廃液蒸発装置コンデンサ			✓							可	(1)	—		x
廃液蒸発装置蒸留水冷却器			✓							可	(1)	—		x
廃液蒸発装置ベントコンデンサ			✓							可	(1)	—		x
廃液蒸発装置蒸留水ポンプ			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置蒸発器			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置種留槽			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置加熱器			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置コンデンサ			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置蒸留水冷却器			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置ベントコンデンサ			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置濃縮液ポンプ			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸発装置蒸留水ポンプ			✓							可	(1)	—		x
廃液蒸留水タンク			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水タンク			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水濃縮廃液タンク			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸留水タンク			✓							可	(1)	—		x
廃液蒸留水ポンプ			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水ポンプ			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水蒸留水ポンプ			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水濃縮液ポンプ			✓							可	(1)	—		x
廃液蒸留水脱塩塔			✓							可	(1)	—		x
洗浄排水フィルタ			✓							可	(1)	—		x
配管			✓							可	(1)	—		x
c 固体廃棄物処理設備	なし													
d 環その他の設備	環		✓	✓	✓					可	(1)	—		x
e 漏えいの検出装置及び自動警報装置	漏えいの検出装置及び自動警報装置		✓	✓	✓					可	(1)	—		x

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		電巻防護施設を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ヒットポンプ 室・ストレナ室	T/B	EL/B						屋外
原子力設備														
1原子炉本体														
(1)原子炉容器	なし													
2原子炉冷却系統設備														
(1)主蒸気・主給水設備	なし													
(2)余熱除去設備	なし													
(3)非常用炉心冷却設備	なし													
(4)化学体積制御設備	なし													
(5)原子炉補機冷却水設備	配管 弁		✓							可 可	(1) (1)	— —		x x
3燃料設備														
(1)燃料取扱設備	なし													
(2)使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	なし													
4放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	なし													
5廃棄設備														
(1)廃棄物処理設備														
a 1次冷却設備	なし													
b 液体廃棄物処理設備	なし													
c 固体廃棄物処理設備	なし													
6原子炉格納施設														
(1)原子炉格納容器	なし													
(2)二次格納施設	なし													
(3)圧力低減設備														
その他の安全設備														
a 格納容器スプレイ設備	なし													
b 真空逃がし装置	なし													
c 圧力逃がし装置	なし													

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		電巻防護施設を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ヒットポンプ 室・ストレナ室	T/B	EL/B						屋外
原子力設備														
1原子炉本体														
(1)炉心	なし													
(2)原子炉容器	なし													
2原子炉冷却系統設備														
(1)一次冷却材の循環設備	なし													
(2)主蒸気・主給水設備	なし													
(3)余熱除去設備	なし													
(4)非常用炉心冷却設備	なし													
(5)化学体積制御設備	なし													
(6)原子炉補機冷却水設備	配管		✓							可	(1)	—		x
(7)原子炉補機冷却海水設備	配管		✓							可	(1)	—		x
(8)原子炉格納容器内の一次冷却材の漏えい監視する装置	短縮液量測定装置 格納容器サンプ水上昇率測定装置		✓							可	(1)	—		x

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋

【考え方】

- <Step3>
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計電巻による影響は受けないため除外する。
- ②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計電巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

<Step4>

a 当該設備は原子炉補機冷却海水系統の放水配管であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設				
		電巻防護施設を内包している建屋							左記以外		除外可否	考え方		除外可否	考え方		
		R/B	O/S(C/V)		D/S以外		A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレナ室	T/B						EL/B	屋外
		O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレナ室	T/B	EL/B	屋外								
3.計測制御系統設備																	
(1)制御材	なし																
(2)制御機駆動装置	なし																
(3)ほう酸注入機能を有する設備	1次系補給水ポンプ 1次系排水タンク 配管		✓									可	(1)	—	x		
(4)計測装置	1次系制御監視盤 格納容器内温度検出器 主蒸気ライン流量検出器 タービン非常遮断油圧検出器 主蒸気止め弁全閉位置検出器	✓		✓						✓		可	(1)	—	x		
(5)制御用空気設備	なし											可	(3)	可	b	x	
4.廃棄設備																	
(1)気体、液体又は固体廃棄物処理設備																	
a.液体廃棄物処理設備	なし																
非常用予備発電装置																	
(1)非常用ディーゼル発電設備	ディーゼル発電機空気圧縮機					✓						可	(1)	—		x	

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設				
		電巻防護施設を内包している建屋							左記以外		除外可否	考え方		除外可否	考え方		
		R/B	O/S(C/V)		D/S以外		A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレナ室	T/B						EL/B	屋外
		O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレナ室	T/B	EL/B	屋外								
1.蒸気タービン	蒸気タービン 復水器 復水器真空ポンプ 復水ポンプ 循環水ポンプ クラッド蒸気復水器 湿分分離加熱器 第1段湿分分離加熱器ドレンタンク 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク 湿分分離器ドレンタンク 配管 弁											否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	
												否	(3)	可	c	x	

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設				
		電巻防護施設を内包している建屋							左記以外		除外可否	考え方		除外可否	考え方		
		R/B	O/S(C/V)		D/S以外		A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレナ室	T/B						EL/B	屋外
		O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレナ室	T/B	EL/B	屋外								
1.燃料取扱設備	新燃料取扱設備 新燃料貯蔵庫 新燃料貯蔵設備 新燃料ラック 使用済燃料貯蔵設備 使用済燃料ピット水位計											否	(4)	可	d	x	
												否	(4)	可	d	x	
												否	(4)	可	e	x	
(4)燃料取扱用水設備	なし											否	(4)	可	e	x	
2.放射線管理設備																	
(1)放射線管理用計測装置	1次系制御監視盤(放射線監視設備信号処理部)					✓						可	(1)	—		x	
	高感度型主蒸気管モニタ		✓									可	(5)	可	f	x	
	主蒸気管モニタ		✓									可	(5)	可	f	x	
	格納容器じんあいモニタ		✓									可	(1)	—		x	
	格納容器ガスモニタ		✓									可	(1)	—		x	
	蒸気発生器ブローダウン水モニタ		✓									可	(1)	—		x	
	復水器排気ガスモニタ		✓						✓			可	(3)	可	f	x	
	1次冷却器モニタ		✓									可	(1)	—		x	
	排気筒ガスモニタ		✓									可	(1)	—		x	
	廃棄物処理設備排水モニタ					✓						可	(1)	—		x	
	排気筒高レンジガスモニタ(低レンジ)		✓									可	(1)	—		x	
	排気筒高レンジガスモニタ(高レンジ)		✓									可	(1)	—		x	
	中央制御室エリアモニタ					✓						可	(1)	—		x	
	使用済燃料ピットエリアモニタ					✓						否	(4)	可	f	x	
	エアロックエリアモニタ		✓									可	(1)	—		x	
	放射化学室エリアモニタ					✓						可	(1)	—		x	
	炉内格納容器エアリアモニタ					✓						可	(1)	—		x	
	炉内格納容器エアリアモニタ					✓						可	(1)	—		x	
	廃棄物処理室エアリアモニタ					✓						可	(1)	—		x	
	格納容器給気ファン					✓						否	(6)	可	h	x	
	燃料採取室給気ファン					✓						否	(6)	可	h	x	
	補助建屋給気ファン					✓						否	(6)	可	h	x	
	格納容器再循環ファン		✓									否	(6)	可	h	x	
	格納容器空気浄化ファン		✓									否	(6)	可	h	x	
	格納容器空気浄化ユニット		✓									否	(6)	可	h	x	
3.排気筒																	
(1)排気筒	なし																
4.高気タービン																	
(1)高気タービンに附属する管等	なし																

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
【考え方】
<Step3>
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計電巻による影響は受け得ないため除外する。
③当該設備が設置されている建屋または取水ピットポンプ室・ストレナ室の上層(循環水ポンプ建屋)は鉄骨造であり、設計電巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計電巻による影響を受けるため除外不可。
④当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上層(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計電巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
⑤当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備を設置している区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計電巻による影響を受けるため除外不可。
⑥当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調設備は外気と繋がっているため、設計電巻(気圧差)による影響を受ける可能性があるため除外不可。
<Step4>
b 設計飛来物により当該設備が破損した場合でも原子炉トリップ機能に影響を与えないため、電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
c 当該設備の周囲に電巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
d 当該設備が設置されている区画(ピット形状)内に電巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
e 当該設備(検出器)は電巻防護施設である使用済燃料ピット上部に設置されているが、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも代替の水位確認手段があるため、電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
f 当該設備は監視系であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
h 当該設備を含めた換気空調設備にて供給される空気が電巻防護施設の冷却には使用されていないため、気圧差により当該換気空調設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

設備名称	Step1-5 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		電巻防護施設を内包している建屋					左記以外		除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B		A/B	DG/B	取水ピットポンプ室・ストレナ室	T/B	EL/B						屋外
		O/S(C/V)	O/S以外											
原子力設備														
1.蒸気タービン														
(1) 蒸気タービンに附属する熱交換器	低圧第1給水加熱器						✓			否	③	可	c	x
	低圧第2給水加熱器						✓			否	③	可	c	x
	低圧第3給水加熱器						✓			否	③	可	c	x
	低圧第4給水加熱器						✓			否	③	可	c	x
	高圧第6給水加熱器						✓			否	③	可	c	x
	脱気器						✓			否	③	可	c	x
	脱気器タンク						✓			否	③	可	c	x
(2) 蒸気タービンに附属する給水ポンプ及び貯水設備並びに給水処理設備	タービン動主給水ポンプ						✓			否	③	可	c	x
	電動主給水ポンプ						✓			否	③	可	c	x
	給水ブースタポンプ						✓			否	③	可	c	x
	復水ブースタポンプ						✓			否	③	可	c	x
	2次系純水タンク								✓	否	⑦	可	g	x
	復水脱塩装置脱塩塔						✓			否	③	可	c	x
	復水器過器						✓			否	③	可	c	x
(3) 蒸気タービンに附属する管等	復水装置						✓			否	③	可	c	x
	低圧給水加熱器ドレンタンク						✓			否	③	可	c	x
	配管						✓			否	③	可	c	x
	井						✓			否	③	可	c	x
附属設備														
1.非常用予備発電装置														
(1) その他の電源装置														
a.無停電電源装置	なし													
b.蓄電池	なし													

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
【考え方】
<Step3>
③当該設備が設置されている建屋または取水ピットポンプ室・ストレナ室の上屋(循環水ポンプ建屋)は鉄骨造であり、設計電巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計電巻による影響を受けるため除外不可。
⑦当該設備は屋外に設置されており、設計電巻による影響を受けるため除外不可。
<Step4>
c 当該設備の周囲に電巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
g 設計飛来物により当該設備が破損して水の流出が生じた場合でも、屋外タンクからの溢水影響評価において、電巻防護施設の機能に影響を与えないことを確認する方針としていることから除外する。

電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

c. クラス3
分類:PS-3

定義	機能	構築物、系統又は機器	設置場所										Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設				
			電巻防護施設を内包している建屋					左記以外					除外可否	考え方	除外可否	考え方					
			R/B	O/S(C/V)	Q/S以外	A/B	DG/B	T/B	EL/B	AB/B	屋外										
1)原子炉冷却材保持機能 (PS-1,PS-2以外のもの)	計装配管及び弁	計装配管及び弁												可	①	—	—	x			
		試料採取設備の配管及び弁	✓												可	①	—	—	x		
		1次冷却材ポンプ	✓												可	①	—	—	x		
		化学体積制御設備の針水注入ライン	✓												可	①	—	—	x		
		針水注入	✓												可	①	—	—	x		
		1次冷却材ポンプスタンドパイプ	✓												可	①	—	—	x		
		配管及び弁	✓												可	①	—	—	x		
		1次冷却材ポンプバースヘッドタンク	✓												可	①	—	—	x		
		加圧蒸送がしタンク	✓												可	①	—	—	x		
		2)原子炉冷却材の循環機能	液体廃棄物処理設備(貯蔵機能を有する範囲)	格納容器サンプ	✓												可	①	—	—	x
廃液貯蔵ピット							✓								可	①	—	—	x		
冷却材貯蔵タンク							✓								可	①	—	—	x		
格納容器冷却材ドレタンク	✓														可	①	—	—	x		
補助建屋サンプタンク							✓								可	①	—	—	x		
洗浄排水タンク							✓								可	①	—	—	x		
洗浄排水滞留水タンク							✓								可	①	—	—	x		
廃液保管タンク							✓								可	①	—	—	x		
洗浄排水濃縮廃液タンク							✓								可	①	—	—	x		
濃縮ドレタンク							✓								可	①	—	—	x		
濃縮廃液タンク							✓								可	①	—	—	x		
固体廃棄物処理設備(貯蔵機能を有する範囲)																					
使用済樹脂貯蔵タンク								✓								可	①	—	—	x	
固体廃棄物貯蔵庫														✓		可	②	可	a	x	
新燃料貯蔵庫							✓									可	③	可	b	x	
3)放射線物質の貯蔵機能	発電機及び励磁機設備(発電機負荷開閉器含む)			発電機												否	(4)	可	c	x	
				励磁装置													否	(4)	可	c	x
				発電機負荷開閉器													否	(4)	可	c	x
				蒸気タービン設備													否	(4)	可	c	x
				主タービン													否	(4)	可	c	x
		主蒸気設備(主蒸気隔離弁以後)													否	(5)	可	d	x		
		主要弁及び配管													否	(4)	可	c	x		
		給水設備(主給水隔離弁以前)													否	(4)	可	c	x		
		電動主給水ポンプ													否	(4)	可	c	x		
		タービン動主給水ポンプ													否	(4)	可	c	x		
4)電源供給機能(非常用を除く)	給水加熱器	給水加熱器												否	(4)	可	c	x			
		配管及び弁													否	(5)	可	d	x		
		複水設備(復水器及び循環水ラインを含む)													否	(4)	可	c	x		
		(復水系)													否	(4)	可	c	x		
		復水器													否	(4)	可	c	x		
		復水ポンプ													否	(4)	可	c	x		
		配管及び弁													否	(4)	可	c	x		
		(循環水系)													否	(4)	可	c	x		
		復水ポンプ													否	(4)	可	c	x		
		配管及び弁													否	(4)	可	c	x		
5)プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く)	所内電源系統(MS-1以外)	所内電源設備(発電機又は外部電源系から所内負荷までの範囲)	✓	✓	✓	✓								可	(1)	—	—	x			
		直流電源設備(MS-1以外)													可	(1)	—	—	x		
		蓄電池													可	(1)	—	—	x		
		直流電源設備(蓄電池から常負荷までの範囲)													可	(4)	可	c	x		
		計測制御用電源設備(MS-1以外)													可	(2)	可	c	x		
		計測制御用電源設備(電源装置から常用計測制御装置までの範囲)	✓	✓	✓										可	(1)	—	—	x		
		制御種駆動装置用電源設備													可	(4)	可	c	x		
		送電線設備													可	(1)	—	—	x		
		変圧器設備													否	(2)	可	e	x		
		開閉器設備													否	(2)	可	e	x		
6)プラント運転補助機能	原子炉制御系の一部(範囲はJEA6411による)	原子炉計装の一部(範囲はJEA6411による)	✓				✓							可	(1)	—	—	x			
		プロセス計装の一部(範囲はJEA6411による)	✓				✓							可	(1)	—	—	x			
		補助蒸気設備													可	(1)	—	—	x		
		蒸気供給系配管及び弁	✓	✓	✓										可	(4)	可	c	x		
		補助蒸気ドレタンク													可	(1)	—	—	x		
		補助蒸気ドレポンプ													可	(1)	—	—	x		
		スチームコンバータ													否	(4)	可	c	x		
		スチームコンバータ給水ポンプ													否	(4)	可	c	x		
		スチームコンバータ給水タンク													否	(4)	可	c	x		
		制御用圧縮空気設備(MS-1以外)	✓	✓	✓										可	(1)	—	—	x		
原子炉補機冷却水設備(MS-1以外)													可	(1)	—	—	x				
7)その他	軸受冷却設備	軸受冷却水ポンプ												否	(4)	可	c	x			
		熱交換器													否	(4)	可	c	x		
		配管及び弁													否	(4)	可	c	x		
		給水処理設備													否	(4)	可	c	x		
		配管及び弁													否	(4)	可	c	x		
		2次系統水タンク													否	(2)	可	f	x		

[凡例]
 R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋、AB/B: 補助ボイラー建屋
 【考え方】
 <Step>
 ①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計電巻による影響は受け得ないため除外する。
 ②当該設備は屋外に設置されており、設計電巻による影響を受け得ないため除外不可。
 ③当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計電巻(設計飛来物)による影響を受け得る可能性があるため除外不可。
 ④当該設備が設置されている建屋または取水ピットポンプ室・ストレーナ室の上屋(循環水ポンプ建屋)は鉄骨造であり、設計電巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計電巻による影響を受け得るため除外不可。
 ⑤当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のプロアアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計電巻による影響を受け得るため除外不可。
 ⑥当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計電巻(設計飛来物)による影響を受け得るため除外不可。
 <Step4>
 a 当該建屋は3号機の電巻防護施設(建屋)に隣接している建屋ではない。また、電巻防護施設を内包している建屋でもないため、設計電巻により当該建屋が倒壊した場合でも、電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
 b 当該貯蔵庫内には電巻防護施設である新燃料ラックが貯蔵されているが、設計飛来物により当該貯蔵庫が破損して飛散物が生じた場合でも、新燃料ラックに対する設計飛来物による影響評価に包摂されると考えられるため、電巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。
 c 当該設備の周囲に電巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
 d 当該設備は電巻防護施設である主給水(配管及び弁と接続されている)が、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも破損箇所は隔離可能であるため、電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
 e 設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設であるディーゼル発電機等の冷却に必要な電源の供給に影響を与えないため、電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
 f 設計飛来物により当該設備が破損して水の流出が生じた場合でも、屋外タンクからの溢水影響評価において、電巻防護施設の機能に影響を与えないことを確認する方針としていることから除外する。

分類:PS-3

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2								Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設		
			設置場所								除外可否	考え方	除外可否	考え方			
			電巻防護施設を内包している建屋				左記以外										
			R/B	O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	TSC	T/B	EL/B	AB/B	屋外					
2)原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	2)原子炉冷却材の浄化機能	燃料被覆管及び端栓	✓										可	①	-	x	
		化学体積制御設備の浄化ライン(浄化機能)												可	①	-	x
		体積制御タンク				✓								可	①	-	x
		再生熱交換器(副熱)	✓											可	①	-	x
		非冷却液式脱塩塔			✓									可	①	-	x
		冷却材濾過式脱塩塔				✓								可	①	-	x
		冷却材濾過イオン脱塩塔				✓								可	①	-	x
		冷却材脱塩塔入口フィルタ				✓								可	①	-	x
		冷却材フィルタ				✓								可	①	-	x
		抽出設備関連配管及び弁	✓	✓											可	①	-

分類:MS-3

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2								Step3		Step4		電巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設			
			設置場所								除外可否	考え方	除外可否	考え方				
			電巻防護施設を内包している建屋				左記以外											
			R/B	O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	TSC	T/B	EL/B	AB/B	屋外						
1)運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1,MS-2とあいまって、現象を緩和する構築物、系統及び機器	1)原子炉圧力の上昇の緩和機能 2)出力上昇の抑制機能 3)原子炉冷却材の補給機能 4)タービンリップ機能	加圧器送がし弁(自動操作)	✓										可	①	-	x		
		タービンランバックインターロック(範囲はJEA46111による)	✓			✓								可	①	-	x	
		制御棒引抜阻止インターロック(範囲はJEA46111による)	✓			✓					✓			否	⑥	可	c	x
		化学体積制御設備の充てんライン及びほう酸補給ライン												可	①	-	x	
		ほう酸補給タンク				✓								可	①	-	x	
		ほう酸混合器				✓								可	①	-	x	
		ほう酸補給設備配管及び弁	✓	✓		✓								可	①	-	x	
		給水処理設備の1次系補給水ライン													可	①	-	x
		1次系給水タンク				✓									可	①	-	x
		配管及び弁				✓									可	①	-	x
2)異常状態への対応に必要な構築物、系統及び機器	1)緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	タービン保安装置												否	⑥	可	c	x
		主蒸気止め弁(閉機能)									✓	✓		否	④	可	c	x
		原子力発電所緊急時対策所						✓						否	②	可	c	x
		蒸気発生器フローダウンライン(サンプリング機能を有する範囲)												可	①	-	x	
		配管及び弁	✓	✓										可	①	-	x	
		試料採取設備(事故時に必要な1次冷却材放射性物質濃度及び原子炉格納容器雰囲気放射性物質濃度のサンプリング分析機能を有する範囲)												可	①	-	x	
		通信連絡設備												否	⑦	可	g	x
		放射線監視設備の一部(範囲はJEA46111による)	✓			✓								可	①	-	x	
		原子炉計装の一部(範囲はJEA46111による)	✓			✓								可	①	-	x	
		プロセス計装の一部(範囲はJEA46111による)	✓	✓		✓								可	①	-	x	
水消火設備	水消火設備	水消火設備	✓	✓	✓	✓							可	①	-	x		
										✓	✓		否	④	可	c	x	
											✓		否	⑥	可	c	x	
												✓	否	②	可	c	x	
												✓	否	②	可	f	x	
												✓	否	②	可	c	x	
													可	①	-	x		
ろ過水タンク	ろ過水タンク	ろ過水タンク										✓	否	②	可	f	x	
												✓	否	②	可	c	x	
泡消火設備	泡消火設備	泡消火設備										✓	否	②	可	c	x	
												✓	否	②	可	c	x	
二酸化炭素消火設備	二酸化炭素消火設備	二酸化炭素消火設備					✓						可	①	-	x		
												✓	否	④	可	c	x	
安全経路通路	非常用照明	安全経路通路											否	⑦	可	g	x	
		非常用照明												否	⑦	可	g	x

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、TSC: 緊急時対策所、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋、AB/B: 補助ボイラー建屋
【考え方】
<Step>
① 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計電巻による影響は受けなため除外する。
② 当該設備は屋外に設置されており、設計電巻による影響を受けるため除外不可。
③ 当該設備が設置されている建屋または取水ヒットポンプ室・ストレナ室の上層(循環水ポンプ建屋)は鉄骨造であり、設計電巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計電巻による影響を受けるため除外不可。
④ 当該設備は設計電巻による影響を受けるため除外不可。
⑤ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計電巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計電巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
⑥ 当該設備は発電所全域に設置されており、一部の建屋では設計飛来物の進入が想定されることなどから、当該設備は設計電巻による影響を受ける可能性があるため除外不可。
<Step>
c 当該設備の周囲に電巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
f 設計飛来物により当該設備が破損して水の流出が生じた場合でも、屋外タンクからの溢水影響評価において、電巻防護施設の機能に影響を与えないことを確認する方針としていることから除外する。
g 当該設備はサポート設備であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも電巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

12. 想定飛来物の抽出及び設計飛来物の設定について

1. はじめに

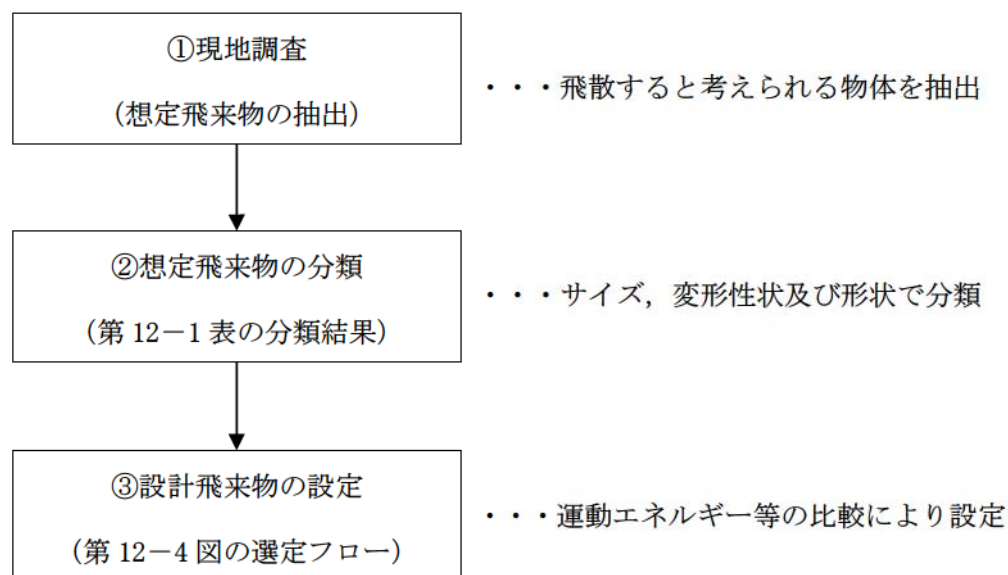
設計飛来物の設定にあたっては、泊発電所敷地内において現地調査を実施し、竜巻によって飛散し竜巻防護施設に影響を与えると想定される物体（想定飛来物）を抽出するとともに、これらの中から竜巻影響評価に用いる代表となる飛来物を選定している。ここでは、現地調査に基づく想定飛来物の抽出結果と選定方法及び設計飛来物の設定結果について示す。

2. 設計飛来物の設定フロー

泊発電所における設計飛来物は、以下の3段階の手順を踏まえて設定している。

- ① 現地調査（想定飛来物の抽出）
- ② 想定飛来物の分類
- ③ 設計飛来物の設定

設計飛来物の設定全般に係る概略フローを第12-1図に示す。なお、各手順の詳細については、以降の各項目において記載する。



第12-1図 設計飛来物の設定に係る概略フロー