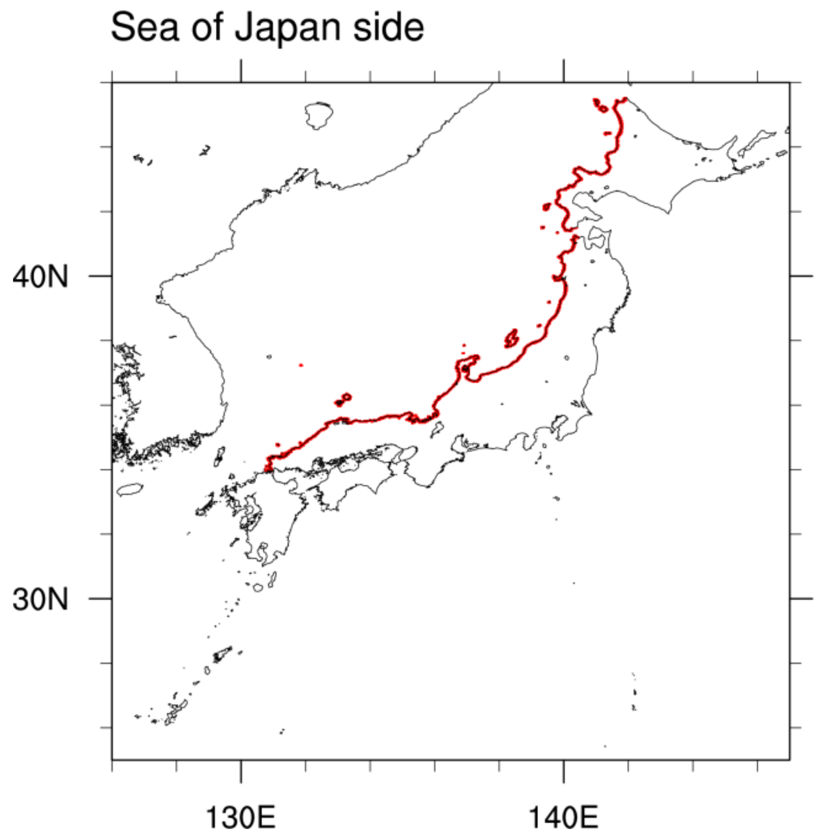
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料 2.3 2.3 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方 「ガイド」に基づき，竜巻に遭遇し，かつ竜巻がある風速以上になる確率モデルの推定法（Wen and Chu 及び Garson et al.）に基づいて竜巻最大風速のハザード曲線を算定し，V_{B2} を算定した。具体的には，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果（以下「東京工芸大学委託成果」という）も参考とし以下のとおり算定した。 (1) 評価フロー 本評価は，竜巻の発生頻度の分析，竜巻風速・被害幅・被害長さの確率密度分布及び相関係数の算定，並びにハザード曲線の算出によって構成されている。評価フローを図 1.1 に示す。	添付資料 5 ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について 1. 評価フロー 「竜巻影響評価ガイド」[1]の解説 3.3.2 に例示された Wen & Chu[2]及び Garsonet al.[3][4]による方法に沿って，竜巻最大風速のハザード曲線を算定し，ハザード曲線による最大風速V_{B2}を算定する。具体的な算定方法については，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[5]を参考とする。 第１－１図に算定フローを示す。	添付資料 2.3 2.3 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方 「ガイド」に基づき，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（Wen and Chu 及び Garson et. al）により，竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）を算定した。なお，V_{B2} の具体的な算定方法については，独立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）が東京工芸大学に委託した研究の成果を参考とした。 2.3.1 V_{B2} の評価手順 竜巻検討地域は，山陰地方から北海道にかけての日本海沿岸の海岸線から陸側に 5km，海側に 5km の範囲内（面積 33,395km²）である（図 2.3.1）。これらの地域を対象として，円形構造物（直径 450m）に対する竜巻ハザードの評価を行う。ハザードの評価手順を図 2.3.2 に示す。  図 2.3.1　竜巻検討地域	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉は，竜巻検討地域を記載している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

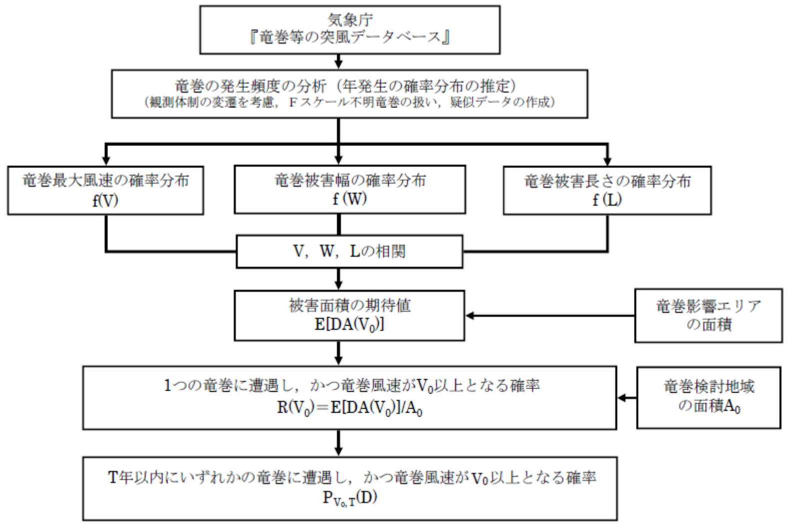
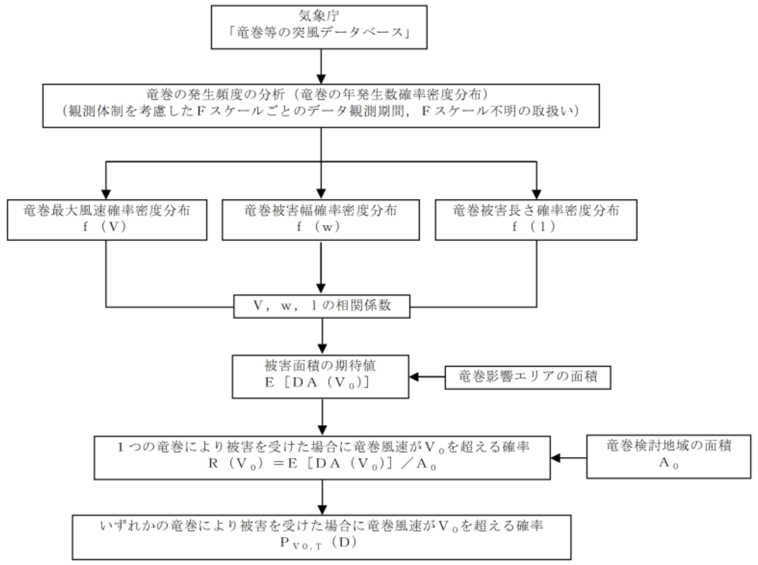
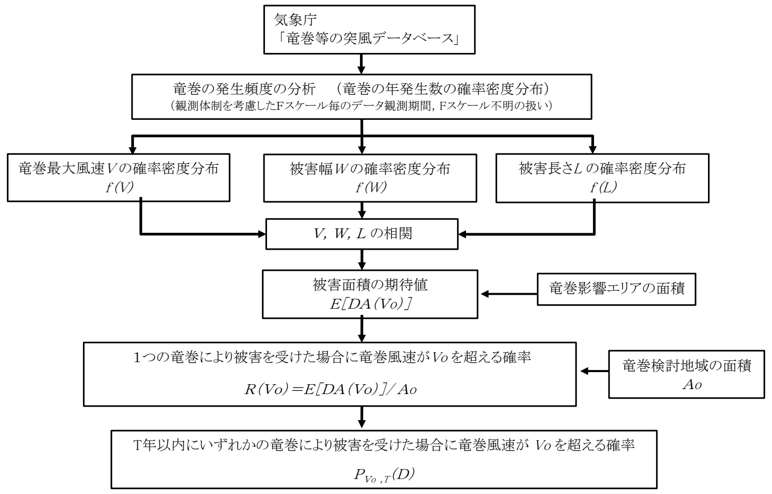

		

図 1.1 竜巻最大風速ハザード曲線の算定フロー	第１－１図　ハザード曲線の算定フロー	図 2.3.2　竜巻ハザードの算定フロー	
(2) 竜巻の発生頻度の分析	2.　竜巻の発生頻度の分析 竜巻についての過去の観測データは少なく，また，観測年代によって精度が異なる。そこで，下記のとおり，観測データの補正を行い，年発生数の確率分布に供する統計データを推定する。	2.3.2 竜巻の発生頻度	
①適用データ 気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における 1961 年 1 月～2012 年 6 月までの竜巻発生データを用いた。	(1)　適用データ 気象庁「竜巻等の突風データベース」[(6)]より，竜巻検討地域における 1961 年 1 月～2012 年 6 月の竜巻のデータを用いる。	竜巻発生数の平均値や標準偏差を評価するために，気象庁「竜巻等の突風データベース」を使用する。	
②竜巻の発生頻度 気象庁「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，観測体制は近年になるほど強化されており，年代により観測値の質にばらつきがある。観測体制が強化された 2006 年あるいは 2007 年以降は，発生数が非常に多くなっており，海上竜巻の増加が特に顕著である。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。	(2)　竜巻の発生頻度の補正 「竜巻等の突風データベース」は 1961 年以降に観測された竜巻がデータベース化されているが，観測体制が段階的に強化された結果，特に 2007 年以降のデータにおいては発生数が非常に多く，海上竜巻の増加も顕著である。そこで，観測体制が強化されたことによる補正を以下のとおり行い，疑似 51.5 年間の統計量を評価する。	これには 1961 年以降のデータがデータベース化されているが，観測体制は近年になるほど強化されており，年代により観測値の質にばらつきがある。観測体制が強化された 2006 年あるいは 2007 年以降は，発生数が非常に多くなっており，海上竜巻の増加が特に顕著である。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て，解析に用いるデータの観測期間を以下のように設定した。	ａ．ハザード曲線評価に用いるデータの観測期間を以下の(a)～(c)の３期間に分ける。	そこで本評価では，観測体制の変遷や観測された竜巻の特徴を考慮して，解析に用いるデータの観測期間を以下のように設定した。	
✓　観測体制が強化された 2007～2012/6（5.5 年間） ✓　観測体制が整備された 1991～2012/6（21.5 年間） ✓　観測記録が整備された 1961～2012/6（51.5 年間）	(a)　2007 年 1 月～2012 年 6 月（5.5 年間） (b)　1991 年 1 月～2012 年 6 月（21.5 年間） (c)　1961 年 1 月～2012 年 6 月（51.5 年間）	✓　観測体制が強化された 2007～2012/6（5.5 年間） ✓　観測体制が整備された 1991～2012/6（21.5 年間） ✓　観測記録が整備された 1961～2012/6（51.5 年間）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
上記３つの観測期間について，竜巻発生数，年間平均発生数及びその標準偏差を F スケールごとに調査した結果を表 2.1 に示す。同表の 1～3 段目までは，1961～，1991～，2007～2012/6 の結果をそれぞれ表し，小計は F0 から F3 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，192 個の竜巻が観測されているが，このうち 5 つの竜巻は海側の 5km 以遠から竜巻検討地域に入ってきた海上竜巻である。陸側 5km 以遠から当該領域に進入した竜巻は無い。ここでは，ガイド等に基づき，竜巻検討地域に進入あるいは通過した竜巻も発生と見なして解析を行う。 192 個の竜巻のうちの約 21%（40 個）を F1 竜巻が占め，不明は半数以上（118 個）となっている。不明竜巻の多く（98 個）は 2007 年以降の 5.5 年間に観測されており，それらの殆ど（91 個）が海上竜巻である。F0 竜巻についても，その 9 割以上（24 個中 22 個）が 2007 年以降の観測である。 一方，F2 竜巻については，51.5 年間で 10 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示唆される。また，F3 竜巻の観測例が無いのも，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，擬似的な 51.5 年間のデータや統計量を F スケールごとに作成した。その基本的な考え方は以下のとおりである。 i. 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F 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。 ii. 被害が比較的軽微な F1 竜巻については，観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。	b．次に，各年代においてＦスケールごとに，統計量（竜巻発生数，年間平均発生数，標準偏差）を算定する。 c．Ｆ０及びＦスケール不明の竜巻については，観測体制が強化される以前は見過ごされた可能性が大きいことから，観測体制が強化された 2007 年以降の統計量を基にする。 d．Ｆ１の竜巻については，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 年以降の統計量を基にする。	また，解析範囲は，ガイドに基づき，竜巻検討地域（面積 33,395km^2）とした。 上記３つの観測期間について，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 2.3.1 に，解析フローを図 2.3.3 に示す。同表では，1961～，1991～，2007～2012/6 の結果をそれぞれ示しており，小計は F0 から F3 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。気象庁「竜巻等の突風データベース」では，竜巻の発生地点区別は「陸上」，「水上（その後上陸）」，「水上（上陸せず）」の３つに分類されている。ここでは，「陸上」及び「水上（その後上陸）」をまとめて一つの区分として扱った。以下では，特段断らない限り，陸上竜巻と上陸竜巻を“陸上竜巻”と呼ぶ。 1961 年以降の 51.5 年間で，192 個の竜巻が観測されているが，このうち 5 つの竜巻は海側の 5km 以遠から本検討領域に入ってきた海上竜巻である。陸側 5km 以遠から当該領域に進入した竜巻は無い。ここでは，ガイド等に基づき，本検討領域に進入あるいは通過した竜巻も発生と見なして解析を行う。 192 個の竜巻のうちの約 21%（40 個）を F1 竜巻が占め，不明は半数以上（118 個）となっている。不明竜巻の多く（98 個）は 2007 年以降の 5.5 年間に観測されており，それらの殆ど（91 個）が海上竜巻である。F0 竜巻についても，その 9 割以上（24 個中 22 個）が 2007 年以降の観測である。 一方，F2 竜巻については，51.5 年間で 10 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示唆される。また，F3 竜巻の観測例が無いのも，本検討地域の特徴である。 以上の結果を踏まえ，擬似的な 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。 ① 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F 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。 ② 被害が比較的軽微な F1 竜巻については，観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
iii. 被害が比較的大きく見逃されることが少ないF2,3 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。 iv. 51.5 年間の発生数を，ⅰ～ⅲの観測期間との比率からＦスケールごとに推計する。 このようにして得られた結果（以下，疑似データと呼ぶ）を表 2.1 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 1187 個のうち，不明も含む陸上竜巻が 333 個，海上竜巻は 853 個と推定された。 竜巻は，被害があって初めてそのＦスケールが推定されるため，陸上での不明竜巻（上陸竜巻のＦ 不明を含む）は被害が少ない F0 竜巻に分類するのが合理的である。その一方，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は類似していると考えられる【参考資料 1】。そこで，以下のような仮定の下に，検討地域の竜巻発生数を推計した。 v. 陸上で発生あるいは上陸したＦ 不明竜巻は F0 に含める。これにより，全ての陸上竜巻を F0～F3 に分類する。 vi. 沿岸部近傍での海上竜巻の発生特性は，陸上竜巻の発生特性と類似しているとの仮定の下，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する。 このようにして得られた結果を表 2.1 の 5 段目に示す。検討領域における 51.5 年間の竜巻の発生総数は 1187 個，その 8 割以上が F0，1 割強が F1 と推定された。また，F2 竜巻は，実際の観測数は 51.5 年間で 10 個であったが，海上竜巻を考慮したため，疑似データでは 36 個に増加している。 また，図 2.1 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）は直線上になる。今回の実施した疑似データ作成方法においても，直線となる期間から Ｆ スケールごとの使用データを選定しており，適切な方法と考えられる。	ｅ．Ｆ２以上の竜巻については，見逃されることが少なかったとして，1961 年以降の全期間の統計量を基にする。 ｆ．51.5 年間の発生数を，(a)～(c)の観測期間との比率から Ｆスケールごとに推計する。 ｇ．海上竜巻でＦスケール不明の場合，被害痕跡等が残っていないため，そのＦスケールを推定することは難しい。そこで，沿岸部近傍では竜巻の発生状況については陸上と海上で変わらないと仮定し，「海岸線から海上 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が，海岸線から内陸 5km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という仮定に基づいて，陸上竜巻（上陸竜巻含む）でのＦスケール別発生比率で按分し，各Ｆスケールで発生した竜巻に加える。【添付資料 5 別紙 1】 一方，Ｆ スケール不明の陸上竜巻は，痕跡等が残らないほど小さかったとし，Ｆ０相当の竜巻であったとする。 竜巻検討地域について，発生数に関する統計量の分析結果を第２－１表に示す。竜巻検討地域において 51.5 年間に 300 個の竜巻が観測されたことに対し，1188 個の竜巻が発生したと推定した。	③　被害が比較的大きく見逃されることが少ない F2,F3 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。 ④　51.5 年間の発生数を，①～③の観測期間との比率からＦスケール毎に推計する。 竜巻は，被害があって初めてそのＦスケールが推定されるため，陸上での不明竜巻（上陸竜巻のＦ不明を含む）は被害が少ない F0 竜巻に分類するのが合理的である。その一方，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は類似していると考えられる。そこで，以下のような仮定の下に，検討地域の竜巻発生数を推計した。 ⑤　陸上で発生したＦ不明竜巻は F0 に含める。これにより，全ての陸上竜巻を F0～F3 に分類する。 ⑥　沿岸部近傍での海上竜巻の発生特性は，陸上竜巻の発生特性と類似しているとの仮定の下，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する。（按分後の期間内発生数は切り上げて整数化する） このようにして得られた結果を表 2.3.2 に示す。検討領域における 51.5 年間の竜巻の発生総数は 1187 個，その 8 割以上が F0，1 割強が F1 と推定された。また，F2 竜巻は，実際の観測数は 51.5 年間で 10 個であったが，海上竜巻を考慮したため，擬似データでは 36 個に増加している。	 ・竜巻検討地域の違いによる相違 【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		図 2.3.4 は，求められた発生数の平均値（23.05 個）と標準偏差（8.97 個）に対するポアソン分布とポリヤ分布である。ポアソン分布（破線）は平均値のみで決まるが，ポリヤ分布（実線）は標準偏差の影響を受けるため，かなり幅の広い分布形となっている。なお，これらの分布形に関しては 2.3.5 で述べる（式(1)，(2)参照）。 さらに，擬似データを作成した時の基本的な考え方に則り，発生数のシミュレーションを行い，どのような竜巻発生数の推移を想定しているかを検討した。 具体的には，F スケール毎に採用した期間内の観測値及び不明な陸上・海上竜巻が，繰り返しランダムに現れるものとして，各年の発生数をシミュレーションし，52 年間の発生数データを作成する。そのデータを観測値と見なした場合に，関数形を推定し図 2.3.4 の結果と比較する。 例えば F0 の場合，信頼できるデータは最近 5～6 年間のデータしかないため，この内の一個のデータを乱数により抽出し，その年の F0 の発生数のデータとする。F0 に加えるべき陸上の不明や，海上竜巻についても，乱数を発生させて毎年の発生数をシミュレーションする。F1～F3 についても同様であり，これら全ての発生数を合算し，その年の発生数とする。 図 2.3.5(a)は，このようにして作成した 52 年間の発生数時系列の一例である。F0 や不明竜巻に関する最近の増加特性を反映させている。同図(b)(c)は，シミュレーションされた発生数の確率分布を推定した結果である。この結果は，図 2.3.4 の結果と非常に類似していることがわかる。また，ポアソン分布に比べて，ポリヤ分布の方が発生数への適合度は高いと言える。	（ポアソン分布については，柏崎 6/7 は「2.3(2)③」及び「参考資料２」で，東海第二は「別紙 5-2」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉

表 2.1 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 F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	74	24	40	10	0	13	105	192
	平均値（年）	1.44	0.47	0.78	0.19	–	0.25	2.04	3.73
	標準偏差（年）	2.25	1.75	0.90	0.49	–	0.71	5.92	7.81
	CV（年）	1.56	3.76	1.16	2.52	–	2.83	2.90	2.09
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	46	24	21	1	0	12	105	163
	平均値（年）	2.14	1.12	0.98	0.05	–	0.56	4.88	7.58
	標準偏差（年）	3.11	2.61	0.91	0.22	–	1.02	8.49	11.07
	CV（年）	1.45	2.34	0.93	4.64	–	1.83	1.74	1.46
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	27	22	5	0	0	7	91	125
	平均値（年）	4.91	4.00	0.91	–	–	1.27	16.55	22.73
	標準偏差（年）	5.55	4.32	1.24	–	–	1.69	11.41	15.10
	CV（年）	1.13	1.08	1.36	–	–	1.33	0.69	0.66
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	333	206	51	10	0	66	853	1186
	平均値（年）	6.44	4.00	0.98	0.19	–	1.27	16.55	22.99
	標準偏差（年）	4.75	4.32	0.91	0.49	–	1.69	11.41	12.36
	CV（年）	0.74	1.08	0.93	2.52	–	1.33	0.69	0.54
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	1187
	平均値（年）	23.05	18.82	3.53	0.70	–	–	–	23.05
	標準偏差（年）	8.97	8.76	1.72	0.92	–	–	–	8.97
	CV（年）	0.39	0.47	0.49	1.32	–	–	–	0.39

東海第二発電所

第２－１表　竜巻発生数の分析結果

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	6	41	100	46	193	20	87	300
		平均値（個／年）	0.12	0.80	1.94	0.89	3.75	0.39	1.69	5.83
		標準偏差（個／年）	0.32	0.94	1.96	2.17	3.25	0.69	4.35	7.26
	1991.1-2012.6 21.5 年間	期間内個数	1	15	72	46	134	15	86	235
		平均値（個／年）	0.05	0.70	3.35	2.14	6.23	0.70	4.00	10.93
		標準偏差（個／年）	0.22	0.78	2.03	2.96	3.24	0.84	6.08	8.81
	2007.1-2012.6 5.5 年間	期間内個数	0	1	12	31	44	9	63	116
		平均値（個／年）	0.00	0.18	2.18	5.64	8.00	1.64	11.45	21.09
		標準偏差（個／年）	0.00	0.43	1.99	4.17	4.16	0.97	8.32	11.75

			F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	6	41	173	376	596
		平均値（個／年）	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57
		標準偏差（個／年）	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（個／年）	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差（個／年）	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42

島根原子力発電所　２号炉

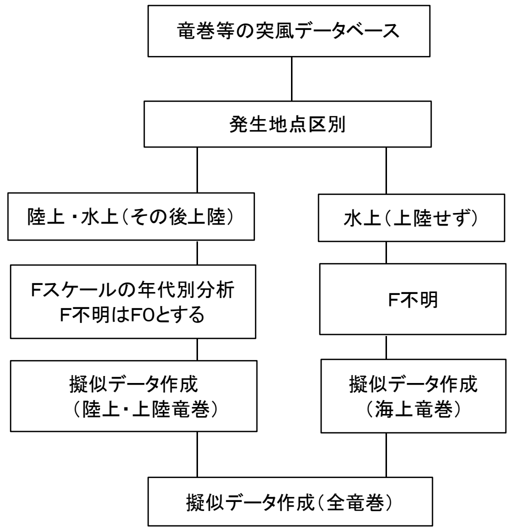


図 2.3.3　竜巻発生数の解析フロー

表 2.3.1　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 F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	74	24	40	10	0	13	105	192
	平均値（年）	1.44	0.47	0.78	0.19	—	0.25	2.04	3.73
	標準偏差（年）	2.25	1.75	0.90	0.49	—	0.71	5.92	7.81
	CV（年）	1.56	3.76	1.16	2.52	—	2.83	2.90	2.09
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	46	24	21	1	0	12	105	163
	平均値（年）	2.14	1.12	0.98	0.05	—	0.56	4.88	7.58
	標準偏差（年）	3.11	2.61	0.91	0.22	—	1.02	8.49	11.07
	CV（年）	1.45	2.34	0.93	4.64	—	1.83	1.74	1.46
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	27	22	5	0	0	7	91	125
	平均値（年）	4.91	4.00	0.91	—	—	1.27	16.55	22.73
	標準偏差（年）	5.55	4.32	1.24	—	—	1.69	11.41	15.10
	CV（年）	1.13	1.08	1.36	—	—	1.33	0.69	0.66

表 2.3.2 竜巻発生数の推計結果（擬似 51.5 年間）

日本海（沿岸±5km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3
擬似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	1187	969	182	36	0
	平均値（年）	23.05	18.82	3.53	0.70	—
	標準偏差（年）	8.97	8.76	1.72	0.92	—
	CV（年）	0.39	0.47	0.49	1.32	—

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

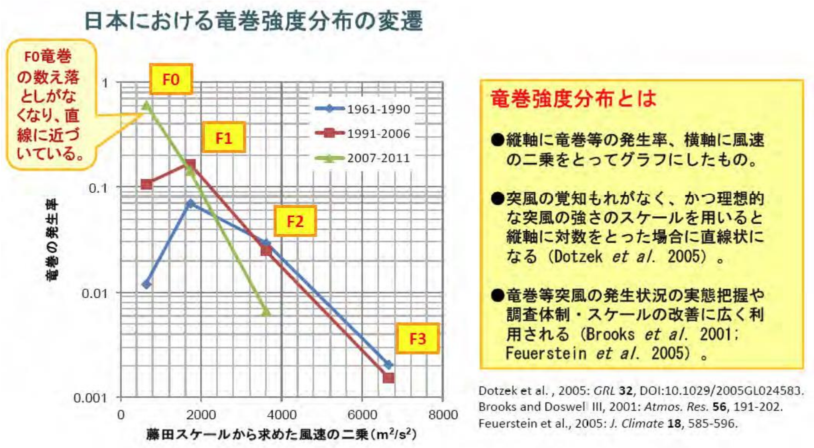


図 2.1 日本における竜巻強度分布の変遷
（出典：気象庁「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」第一回資料 3）

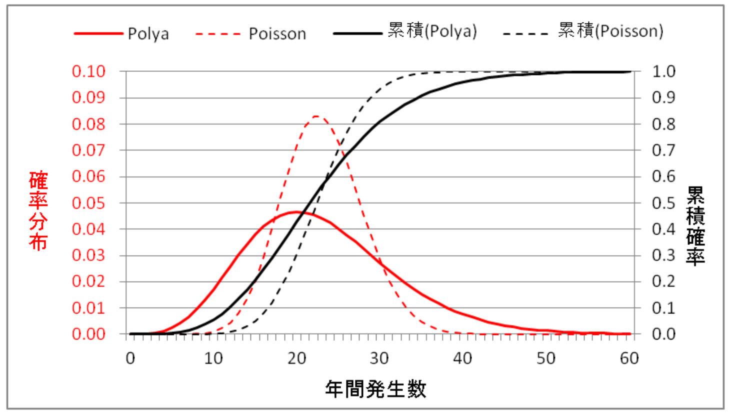
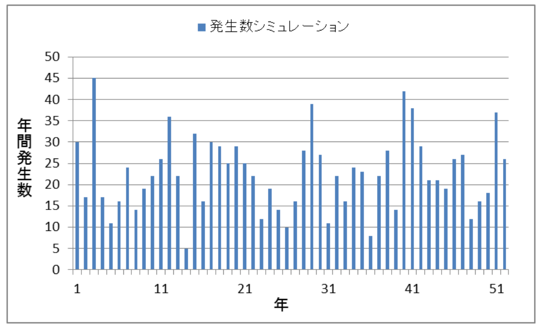
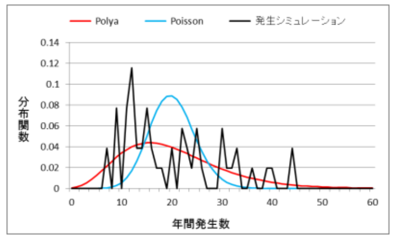
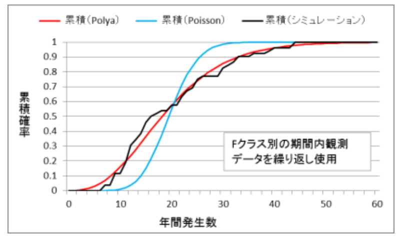
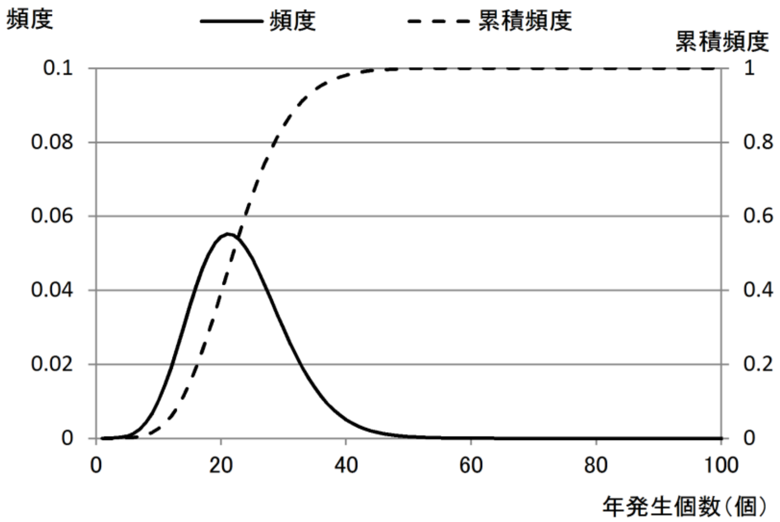


図 2.3.4　竜巻発生数の確率分布（赤）と累積分布（黒）



(a)　発生数の時系列

（ポアソン分布については，柏崎 6/7 は「2.3(2)③」及び「参考資料２」で，東海第二は「別紙 5-2」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		  （b）分布関数の比較　（c）累積確率 図 2.3.5　発生数シミュレーションの結果	
③年発生数の確率密度分布の設定 設定に当たっては，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。【参考資料 2】	(3)　年発生数の確率密度分布の設定 竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては，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）が大きいことから，竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づき平均値と標準偏差を評価し，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の成果を参考とし，第２－１図に示すポリヤ分布とした。  第２－１図　竜巻の年発生数の確率密度分布（ポリヤ分布）		（島根２号炉は，確率密度分布の設定について「2.3.2」で記載）
(3)　竜巻の被害幅，被害長さの分析 竜巻発生数と同様にして，3 つの観測期間を対象にして，被害幅の観測データを解析した結果を表 3.1 に示す。ここで記載した F 不明とは，被害幅と F スケールの両方若しくは片方が不明であることを表す。また，気象庁のデータベース上で，被害幅が 0m と記録されている竜巻も不明扱いとし，解析対象からは除外した。	3.　竜巻の被害幅及び被害長さの分析 被害幅及び被害長さについても発生数と同様に疑似 51.5 年間の統計量を基にする。	2.3.3 竜巻被害幅・長さの統計 竜巻発生数と同様にして，3 つの観測期間を対象にして，被害幅の観測データを解析した。 解析のフローを図 2.3.6 に，その結果を表 2.3.3 に示す。ここでの不明とは，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。また，気象庁「竜巻等の突風データベース」上で，被害幅が 0m と記録されている竜巻も不明扱いとし，	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		解析対象からは除外した。	
本竜巻検討地域では，51.5 年間に 192 個の竜巻が観測されているが，F スケールが分かっているものが 74 個（表 2.1 の 1 段目の小計），F スケールと幅の両方が分かっているものが 55 個（表 3.1 の 1 段目の小計）である。被害幅の解析に利用可能なデータ数は，発生数のデータ数に比べてかなり少ないことが分かる。先に推定した F スケールごとの発生数（表 2.1）との整合性も確保する必要がある。そこで，以下のようにして 51.5 年間の被害幅の統計量を推定した。	被害幅及び被害長さの分析に利用可能なデータ数は，竜巻発生数評価時のデータ数に比べて少ない。 そこで，先に作成した疑似 51.5 年間の竜巻発生数と対応した被害幅及び被害長さの統計量の分析は，以下の手順で行った。	本竜巻検討地域では，51.5 年間に 192 個の竜巻が観測されているが，F スケールが分かっているものが 74 個（表 2.3.1 の 1 段目の小計），F スケールと幅の両方が分かっているものが 55 個（表 2.3.3 の 1 段目の小計）である。被害幅の解析に利用可能なデータ数は，発生数のデータ数に比べてかなり少ないことが分かる。 安定した統計値を算出するためには，データ数を確保する必要がある。また，先に推定した F スケール毎の発生数との整合性も確保する必要がある。そこで，以下のようにして 51.5 年間の被害幅の統計量を推定した（図 2.3.6 参照）。	
① 統計量を確保するために，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 3.1 の上段）。	Step1：基となる観測データ数を確保するために，1961 年以降の被害幅及び被害長さのデータを基にする。そのデータを F スケールごとに仕分ける。	① 統計量を確保するために，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。F スケール別のデータから，被害幅の発生数や平均値・標準偏差を求める（表 2.3.3 の上段）。	
② 各スケール別の 51.5 年間のデータ数は，①で得られる観測値ではなく，表 2.1 で推定された 51.5 年間の疑似データの発生数とする。		② 各スケール別の 51.5 年間のデータ数は，①で得られる観測値ではなく，表 2.3.1 で推定された 51.5 年間の擬似データの発生数とする。	
③ 具体的には，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 年間の発生数分だけ繰り返し集積し，51.5 年間の疑似データ（幅のデータ）を作成する。	Step2：各 F スケールに対し，上記で抽出された被害幅や被害長さのデータを大きい順に並び替え，51.5 年間の発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い，疑似 51.5 年間のデータとする。例えば，被害幅が観測されている 7 個のデータを大きい順から並べたものを 7 回繰り返し，計 49 個のデータを作成する。	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 年間の発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い，51.5 年間の擬似データ（幅のデータ）を作成する。	
④ 作成された疑似データの平均値や標準偏差を求める。 ※：51.5 年間の発生数分だけ繰り返し集積する際に，より大きな被害幅データを集積することで保守的なデータとなるように，大きい順に並べ替えた。	Step3：疑似 51.5 年間のデータについて，統計量（平均値及び標準偏差）を求める。	④ 作成された擬似データの平均値や標準偏差を求める。	
このようにして求めた結果を表 3.1 の最下段に示す。F スケール別の平均値や標準偏差は，繰り返しサンプリングを行っている関係で，最上段の観測値とは若干異なっている（若干大きい）。以上により，F スケールごとの被害幅の発生特性を保持しつつ，発生数との整合性を確保することができる。 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	第 3－1 表，第 3－2 表に，疑似 51.5 年間のデータを基に評価した被害幅及び被害長さの統計量を示す。	このようにして求めた結果を表 2.3.3 の最下段に示す。F スケール別の平均値や標準偏差は，繰り返しサンプリングを行っている関係で，最上段の観測値とは若干異なっている。以上により，F スケール毎の被害幅の発生特性を保持しつつ，発生数との整合性を確保した。 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	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉

3.2 に示す。

表 3.1 竜巻の被害幅の解析結果

竜巻検討地域（沿岸±5km）	竜巻幅の統計（m）	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	55	23	26	6	0	32	105	192
	平均値（m）	124	120	113	190	－			
	標準偏差（m）	151	125	104	349	－			
	CV	1.22	1.04	0.92	1.84	－			
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	42	23	18	1	0	16	105	163
	平均値（m）	123	120	128	100	－			
	標準偏差（m）	117	125	116	0	－			
	CV	0.96	1.04	0.91	0.00	－			
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125
	平均値（m）	127	126	132	－	－			
	標準偏差（m）	116	129	54	－	－			
	CV	0.91	1.03	0.41	－	－			
疑似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	1187
	平均値（m）	121	120	113	190	－			
	標準偏差（m）	131	123	102	323	－			
	CV	1.08	1.02	0.90	1.70	－			

東海第二発電所

第 3－1 表　被害幅の統計量

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間 観測値	期間内個数	6	36	84	37	163
	平均値（m）	525	206	115	55	137
	標準偏差（m）	741	367	173	45	265
疑似 51.5 年間	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値（m）	525	250	124	56	94
	標準偏差（m）	706	408	187	45	179

島根原子力発電所　２号炉

果を表 2.3.4 に示す。擬似データの竜巻長さの平均値は約 1.6km であり，F0～F2 の平均値はそれぞれ 1.1km，3.8km，3.0km 程度である。

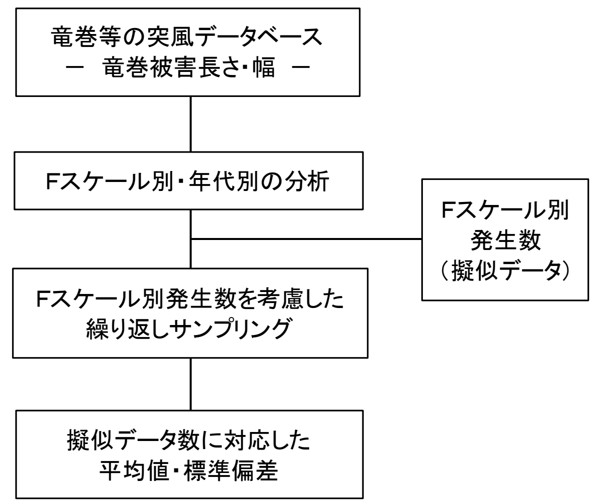


図 2.3.6 竜巻被害長さ・幅の分析フロー

表 2.3.3　竜巻被害幅の解析結果

日本海（沿岸±5km）	竜巻幅の統計（m）	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	55	23	26	6	0	32	105	192
	平均値（m）	124	120	113	190	－			
	標準偏差（m）	151	125	104	349	－			
	CV	1.22	1.04	0.92	1.84	－			
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	42	23	18	1	0	16	105	163
	平均値（m）	123	120	128	100	－			
	標準偏差（m）	117	125	116	－	－			
	CV	0.96	1.04	0.91	－	－			
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125
	平均値（m）	127	126	132	－	－			
	標準偏差（m）	116	129	54	－	－			
	CV	0.91	1.03	0.41	－	－			
擬似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	0
	平均値（m）	121	120	113	190	－			
	標準偏差（m）	123	102	323	－				
	CV	1.08	1.02	0.90	1.70	－			

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
表 3.2 竜巻の被害長さの解析結果	第 3－2 表　被害長さの統計量	表 2.3.4　竜巻被害長さの解析結果	・竜巻検討地域の違いによる相違 【東海第二】

表 3.2 竜巻の被害長さの解析結果

竜巻検討地域（沿岸±5km）	被害長さの統計(km)	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	57	23	28	6	0	30	105	192
	平均値（km）	2.516	1.139	3.550	2.967	–			
	標準偏差（km）	4.039	1.486	5.243	3.462	–			
	CV	1.61	1.30	1.48	1.17	–			
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	41	23	17	1	0	17	105	163
	平均値（km）	1.502	1.139	2.024	1.000	–			
	標準偏差（km）	1.943	1.486	2.467	0.000	–			
	CV	1.29	1.30	1.22	0.00	–			
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125
	平均値（km）	1.800	1.219	4.240	–	–			
	標準偏差（km）	2.300	1.533	3.618	–	–			
	CV	1.28	1.26	0.85	–	–			
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	1187
	平均値（km）	1.607	1.149	3.780	2.967	–			
	標準偏差（km）	2.697	1.466	5.287	3.205	–			
	CV	1.68	1.28	1.40	1.08	–			

第 3－2 表　被害長さの統計量

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間 観測値	期間内個数	6	38	88	38	170
	平均値（km）	14	5.02	2.38	1.17	3.11
	標準偏差（km）	15	4.55	3.03	0.98	4.70
疑似 51.5 年間	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値（km）	14	5.63	2.43	1.18	1.98
	標準偏差（km）	14	4.94	3.03	0.97	3.10

表 2.3.4　竜巻被害長さの解析結果

日本海（沿岸±5km）	被害長さの統計(km)	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	57	23	28	6	0	30	105	192
	平均値（km）	2.516	1.139	3.550	2.967	―			
	標準偏差（km）	4.039	1.486	5.243	3.462	―			
	CV	1.61	1.30	1.48	1.17	―			
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	41	23	17	1	0	17	105	163
	平均値（km）	1.502	1.139	2.024	1.000	―			
	標準偏差（km）	1.943	1.486	2.467	―	―			
	CV	1.29	1.30	1.22	―	―			
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125
	平均値（km）	1.800	1.219	4.240	―	―			
	標準偏差（km）	2.300	1.533	3.618	―	―			
	CV	1.28	1.26	0.85	―	―			
擬似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	0
	平均値（km）	1.607	1.149	3.780	2.967	―			
	標準偏差（km）	2.697	1.466	5.287	3.205	―			
	CV	1.68	1.28	1.40	1.08	―			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉	東海第二発電所	島根原子力発電所　２号炉	備考
(4) 竜巻風速，被害幅，被害長さの確率分布，相関係数 竜巻ハザードを評価するためには，一つの竜巻が発生した際の，竜巻風速・被害幅・被害長さの確率分布が必要となる。そこで，本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（表 4.1）を用いて各確率密度分布を求める。その際，竜巻影響評価ガイド並びに東京工芸大学委託成果を参照して，確率密度関数が対数正規分布にしたがうものとした。	4.　竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布及び相関係数	2.3.4 竜巻風速・被害幅・長さの確率分布 2.3.4.1 対数正規分布 後述するように，竜巻ハザードを評価するためには，一つの竜巻が発生した際の，竜巻風速・被害幅・長さの確率分布が必要となる。本章では，これらの確率密度関数を求める。（対数正規分布についての概説を付録１に示す。） 2.3.2 と 2.3.3 の結果から，51.5 年間の竜巻パラメータは表 2.3.5 のようにまとめられる。この表を基に，それぞれの竜巻パラメータの確率密度分布関数 f(x)を求める。 JNES の報告書によれば，竜巻の風速・幅・長さに関する分布形は，対数正規分布への適合度が良いことが示されている。この成果及びガイドに基づき，本報告でも対数正規分布を用いるものとする。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，対数正規分布の概説を「付録１」に記載している
①竜巻風速の確率密度分布 F スケールの竜巻風速には幅があるため，具体的な風速の設定方法には任意性があり，F スケールの範囲内のある値（中央値等）に設定する方法や F スケールの風速範囲内で一様に分布すると仮定する方法などが考えられる。 図 4.1 に竜巻風速が中央値に集中した場合（黒い実線）及び一様に分布するとした場合（赤い実線）について，風速の分布形（超過確率）を推定した結果を示す。●印は，各 F スケール下限値における観測値（疑似 51.5 年間データ）の超過確率を表しており，例えば F1 の下限値（33m/s）以上となる確率は約 0.2 である。また，○印は，F3 が 1 個観測された場合を仮定してプロットをし	(1)　最大風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布	2.3.4.2 竜巻速度の確率分布	（島根２号炉は，竜巻風速の確率密度分布について「付録 4」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
た。 ハザード解析においては，特定の風速以上となる確率が重要であることから，●印で表された観測値ベースの超過確率と適合度が高い分布形が望ましい。図 4.1(a)の○印も含めて評価すると，一様分布の方が中央値の場合よりも適合度が良いと言える。 また，後述のハザード解析において，竜巻風速が中央値に集中した場合及び一様に分布するとした場合で計算した結果，図 4.2 のとおり風速設定を一様分布とした方が中央値で代表させる場合よりも厳しいハザード曲線となっている。			
以上より，ハザードを保守的に評価するとの観点から，風速分布としては一様分布を採用した。風速分布を一様分布とした場合の竜巻風速の確率密度分布，年超過確率分布の算定結果を図 4.3 に示す。	最大風速，被害幅及び被害長さは，前記で評価した統計量を有する対数正規分布に従うものとする。第 4－1 表に統計量を示す。それぞれが独立であるとした場合の確率密度分布について，第 4－1 図～第 4－6 図に示す。 最大風速の超過確率は，観測結果がトレースでき，風速の大きいエリアにおいても不自然な形となっていないことが確認できる。竜巻の被害幅及び長さの超過確率からは，観測結果をおおむねトレースしていることが確認できる。	表 2.3.5 のＦスケール別の発生数から，竜巻風速の確率分布を求める。竜巻風速の確率分布の算定結果を図 2.3.7 に示す。観測結果を適切に表現できる形となっており，風速の大きいエリアにおいても不自然な形となっていない。	
②竜巻の被害幅の確率密度分布 竜巻の被害幅は，竜巻風速とは異なり具体的な値が直接観測されていることから，任意性はなく，観測値から作成した疑似データに基づき，確率密度分布を推定する。竜巻の被害幅の確率密度分布，年超過確率分布の算定結果を図 4.4 に示す。算定結果は，年超過確率の図より観測結果を適切に推定できていることがわかる。		2.3.4.3 被害幅の確率分布 竜巻風速と同様に，竜巻被害幅の確率分布を推定する。竜巻被害幅の確率分布の推定結果を図 2.3.8 に示す。推定された分布形は，被害幅の小さな竜巻に加え，ごく希に見られる被害幅の非常に大きい確率も適切に評価しているといえる。	(島根２号炉は，確率密度分布を「別添 2-1」2.3.5）で記載)
③竜巻の被害長さの確率密度分布 竜巻の被害長さは，竜巻風速とは異なり具体的な値が直接観測されていることから，任意性はなく，観測値から作成した疑似データに基づき，確率密度分布を推定する。竜巻の被害長さの確率密度分布，年超過確率分布の算定結果を図 4.5 に示す。算定結果は，年超過確率の図より観測結果を適切に推定できていることがわかる。		2.3.4.4 被害長さの確率分布 被害長さについても，被害幅と同様の方法で確率分布を推定した。図 2.3.9 によると，被害長さが 10～20km に達する竜巻が観測されているが，推定された分布形はこれも含めて適切に評価していることが分かる。	(島根２号炉は，確率密度分布を「別添 2-1」2.3.5）で記載)
ハザード曲線を算定する際，2 変量又は 3 変量の確率分布関数	(2)　最大風速，被害幅及び被害長さの相関係数 相関係数は，過去に発生した竜巻の最大風速，被害幅及び被害	2.3.4.5 相関係数 後述するように，竜巻のハザードの計算においては，2 変量	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

を対象とするため，竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数の検討を実施した。相関係数は，1961 年以降の観測データで，3 変量が同時に観測されているデータを用いるのが理想的であるが，十分なデータ数を確保するため，風速と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も併せて用いて相関係数を算定した。なお，竜巻風速，被害幅，被害長さの確率密度分布の推定では，発生頻度が重要であるために繰り返しサンプリングを行ったデータを用いたが，以下の理由により，相関係数の推定ではそのような措置を行わず，観測の元データをもとに推定した。

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

表 4.2 に示す算定結果によれば，本竜巻検討地域では，竜巻風速と被害長さには相関係数 0.31 程度，被害幅と被害長さには，0.46 程度の相関が認められた。相関を求めた際のデータ数，平均値，標準偏差及び相関係数を表 4.2 に示す。

表 4.1 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
疑似 51.5年間 (全竜巻)	発生数	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	－
		標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	－
		CV(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	－
	被害幅	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値 (m)	121	120	113	190	－
		標準偏差 (m)	131	123	102	323	－
		CV	1.08	1.02	0.90	1.70	－
	被害長	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値 (km)	1.607	1.149	3.780	2.967	－
		標準偏差 (km)	2.697	1.466	5.287	3.205	－
		CV	1.68	1.28	1.40	1.08	－

東海第二発電所（2018.9.18 版）

長さの関係を評価することから，繰り返しサンプリングを行った推定 51.5 年間ではなく，観測データを基に，その対数値の相関係数を算出した。観測データのみを用いるのは，Ｆスケール不明やＦ０の竜巻では，被害規模が小さいために，被害幅や被害長さの観測データがＦ２，Ｆ３の竜巻と比べ観測値として示されている場合が少なく，そのようなデータを繰り返しサンプリングにより増やすと，Ｆ２，Ｆ３の竜巻で見られる相関性が反映されない結果が懸念されるためである。

また，相関係数を算出する際には，竜巻の最大風速，被害幅及び被害長さの 3 変量が同時に観測されているデータを用いるのが理想であるが，3 変量が揃っているデータは少ないので，データ数を極力確保することを目的として，例えば最大風速と被害幅のみが観測されている等，少なくとも 2 変量の比較が行えるデータを用いた。

相関係数の算出結果を，第４－２表に示す。

第４－１表　発生数，被害幅及び被害長さの統計量

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（個／年）	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差(個／年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（m）	525	250	124	56	94
		標準偏差（m）	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（km）	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差（km）	14	4.94	3.03	0.97	3.10

島根原子力発電所　２号炉

あるいは 3 変量の確率分布を対象とするため，竜巻風速・被害幅・被害長さについての相関係数が必要となる。（2 変量の確率分布関数についての概説を付録 2 に示す。）

竜巻風速，被害幅，被害長さの相関を求めるには，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を全て用いて相関を取ることにする。ただし，幅や長さが 0m のデータは解析対象外とした。

また，それぞれの変数の確率分布の推定では，データ総数の整合性を確保したが，相関係数の推定ではそのような補正は行わない。これは，相関の高い（と思われる）F2 以上のデータを重視するためである。

相関を求めた際のデータ数及び相関係数を表 2.3.6 に示す。ここに，相関係数は ln(x)に対する相関係数である。

本竜巻検討地域では，竜巻風速と竜巻被害幅の間に相関は認められない。計算上は負値となっているが，ここでは無相関（＝0）とする。

表 2.3.5　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
日本海 (沿岸±5km) 擬似 51.5年間 (全竜巻)	発生数	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	―
		標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	―
		CV(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	―
	被害幅	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値 (m)	121	120	113	190	―
		標準偏差 (m)	131	123	102	323	―
		CV	1.08	1.02	0.90	1.70	―
	被害長	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値 (km)	1.607	1.149	3.780	2.967	―
		標準偏差 (km)	2.697	1.466	5.287	3.205	―
		CV	1.68	1.28	1.40	1.08	―

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

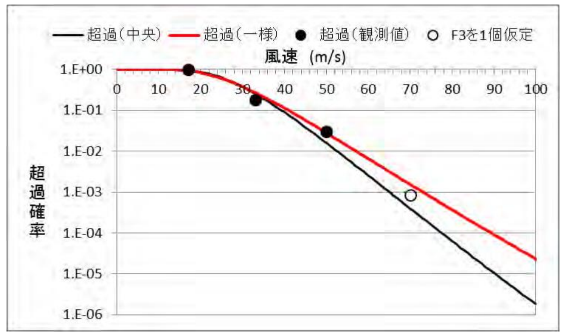
表 4.2(1)　相関係数算定に用いた竜巻風速，被害幅，被害長さのデータ数（単位：個）

データ数	風速	被害幅	被害長さ
風速	74	55	57
被害幅	55	59	54
被害長さ	57	54	59

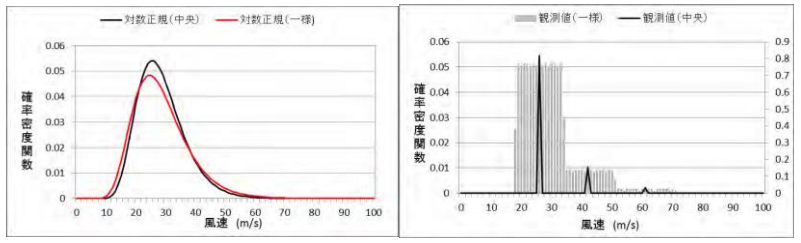
表 4.2(2)　竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数（単位なし）

相関係数	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.050*	0.312
被害幅	-0.050*	1.000	0.462
被害長さ	0.312	0.462	1.000

*風速と被害幅は無相関との知見が得られたため，ハザード算定の際には，相関係数 0 として計算



(a) 超過確率



(b) 確率密度関数（左：推定値，右：観測値）

図 4.1　竜巻風速の確率分布の推定結果と観測値の比較

（島根２号炉は，竜巻風速の確率密度分布について「付録 4」で記載）

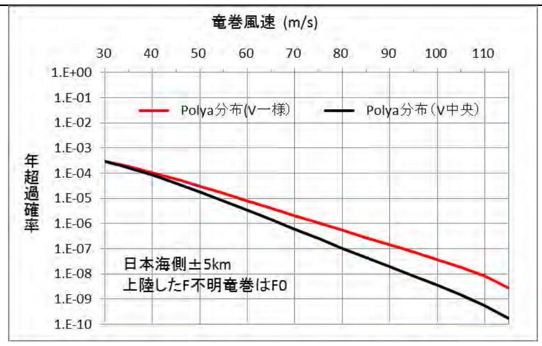
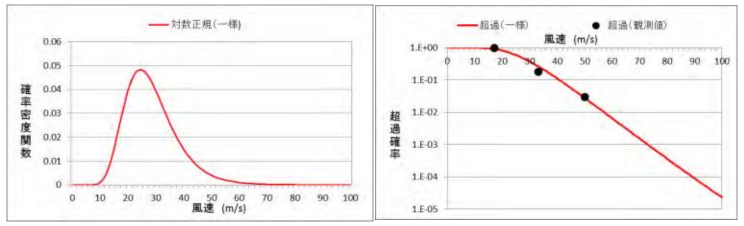
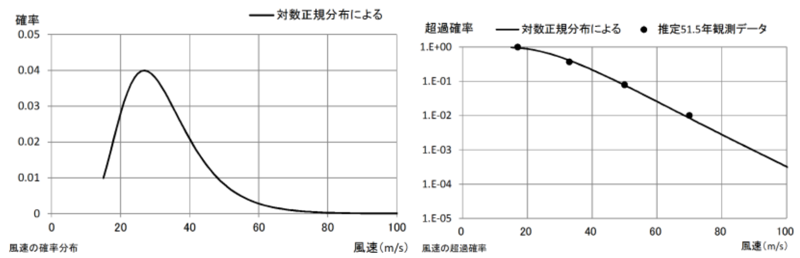
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>

図 4.2 風速設定の違いによる竜巻最大風速のハザード曲線の比較（海側，陸側 5km 範囲）</td><td></td><td></td><td>（島根２号炉は，竜巻風速の確率密度分布について「付録 4」で記載）</td></tr>
<tr><td>
図 4.3(1) 竜巻風速の確率密度分布 図 4.3(2) 竜巻風速の年超過確率分布</td><td>

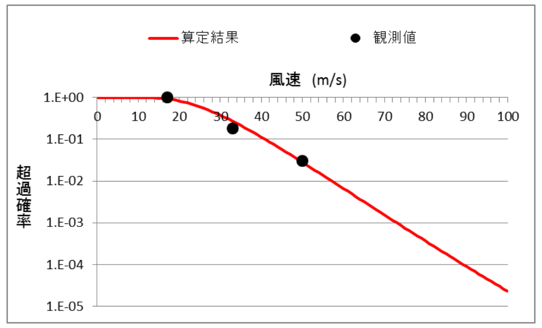
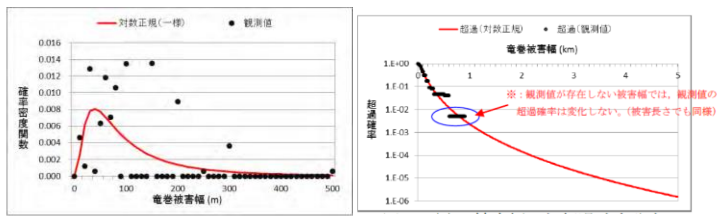
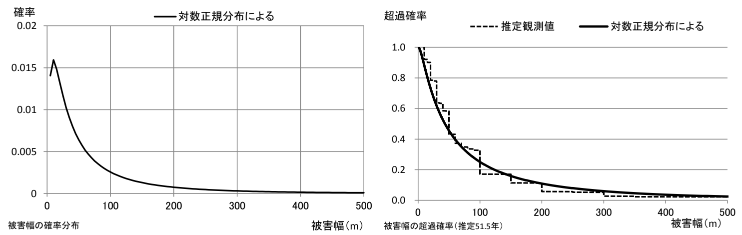
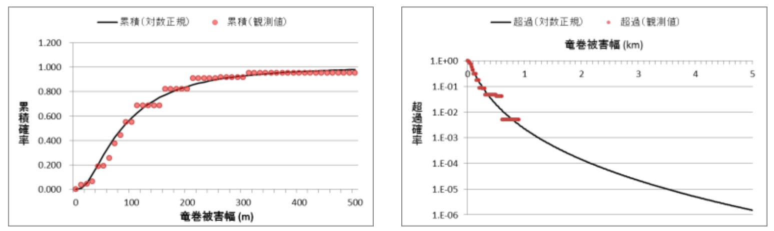
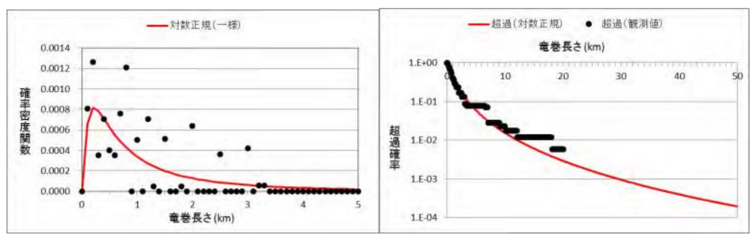
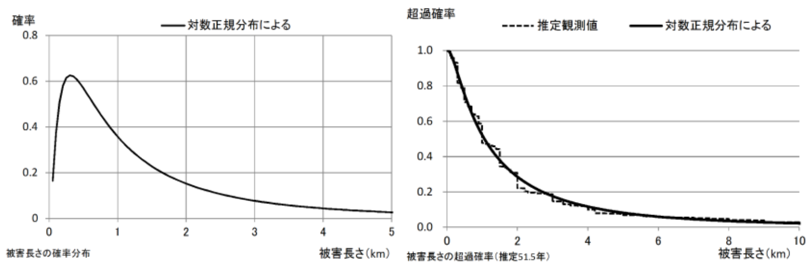
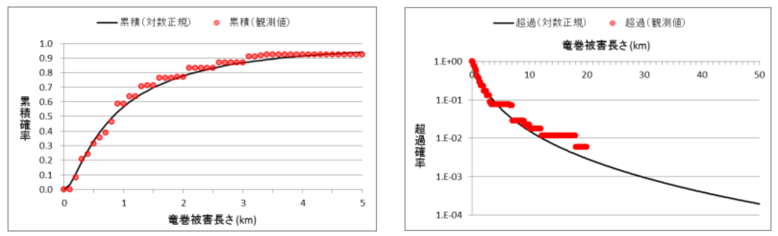
第４－１図　最大風速の確率密度分布　第４－２図　最大風速の超過確率</td><td>

図 2.3.7　竜巻風速の確率分布の推定結果と観測値との比較</td><td></td></tr>
<tr><td>
図 4.4(1) 被害幅の確率密度分布　図 4.4(2) 被害幅の年超過確率分布</td><td>

第４－３図　被害幅の確率密度分布　第４－４図　被害幅の超過確率</td><td>
（a）累積確率　（b）超過確率
図 2.3.8　竜巻被害幅の確率分布の推定結果と観測値との比較</td><td></td></tr>
<tr><td>
図 4.5(1) 被害長さの確率密度分布　図 4.5(2) 被害長さの年超過確率分布</td><td>

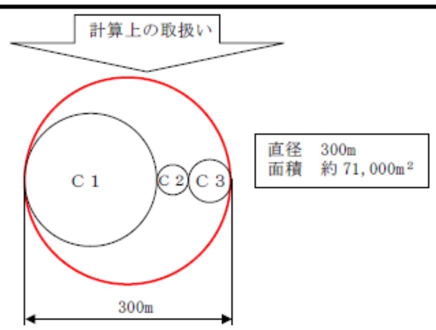
第４－５図　被害長さの確率密度分布　第４－６図　被害長さの超過確率</td><td>
（a）累積確率　（b）超過確率
図 2.3.9　竜巻被害長さの確率分布の推定結果と観測値との比較</td><td>（島根２号炉は，確率密度分布を「別添 2-1 2.3.5」で記載）</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18版）</th><th>島根原子力発電所　2号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>第4－2表　最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

<table>
<tr><th>相関係数の値</th><th>最大風速</th><th>被害幅</th><th>被害長さ</th></tr>
<tr><td>最大風速</td><td>1.000</td><td>0.381</td><td>0.452</td></tr>
<tr><td>被害幅</td><td>－</td><td>1.000</td><td>0.381</td></tr>
<tr><td>被害長さ</td><td>－</td><td>－</td><td>1.000</td></tr>
</table></td><td>表2.3.6　風速，幅，長さのデータ数と相関係数

<table>
<tr><th>データ数</th><th>V(m/s)</th><th>Width(m)</th><th>Len(m)</th></tr>
<tr><td>V (m/s)</td><td>74</td><td>55</td><td>57</td></tr>
<tr><td>Width (m)</td><td>55</td><td>59</td><td>54</td></tr>
<tr><td>Len (m)</td><td>57</td><td>54</td><td>59</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>相関_LN</th><th>V (m/s)</th><th>Width (m)</th><th>Len (m)</th></tr>
<tr><td>V (m/s)</td><td>1.000</td><td>−0.050</td><td>0.312</td></tr>
<tr><td>Width (m)</td><td>−0.050</td><td>1.000</td><td>0.462</td></tr>
<tr><td>Len (m)</td><td>0.312</td><td>0.462</td><td>1.000</td></tr>
</table></td><td>・竜巻検討地域の違いによる相違
【東海第二】</td></tr>
<tr><td>(5) 竜巻影響エリア
　竜巻影響エリアは，柏崎刈羽原子力発電所の号炉ごとに設定する。号炉ごとのすべての評価対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域(被害幅，被害長さから設定)に基づいて，竜巻影響エリアを設定する。
　図 5.1 に柏崎刈羽原子力発電所6号炉の竜巻影響エリア，図 5.2 に7 号炉の竜巻影響エリアを示す。竜巻影響エリアは，柏崎刈羽原子力発電所6号又は7号炉の評価対象施設を含む長方形エリアの対角線長さが約 260m であることを考慮して，各号炉の評価対象施設を包絡する円形のエリア（直径 300m，面積約 7.1×10⁴m²）として設定する。なお，竜巻影響エリアを円形とするため，竜巻の移動方向には依存性は生じない。</td><td>5.　竜巻影響エリアの設定
　発電所の構築物，系統及び機器のうち，外部事象防護対象施設のうち評価対象施設を包絡する円形領域を竜巻影響エリアとして設定した。竜巻影響エリアを第5－1図に示す。

　なお，竜巻影響エリアは，原子炉建屋周辺，海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため，それぞれをまず直径 188m，直径 44m 及び直径 60m の円形領域に包絡させ，さらにこれらの領域を包絡させた直径 300m の円形領域(面積 約 71,000m²)として設定した。
　また，竜巻影響エリアを円形としたため，ハザード計算において竜巻の移動方向に対する依存性は生じない。</td><td></td><td>（島根2号炉は，竜巻影響エリアについて「別添 2-1　2.3.6」で記載）</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
図5.1 6号炉 竜巻影響エリア 図5.2 7号炉 竜巻影響エリア	 第5－1図　竜巻影響エリア		
(6) ハザード曲線の算定	6.　ハザード曲線の算定方法 前記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び最大風速の確率分布をもとに，以下に示すとおり「竜巻影響評価ガイド」の解説3.3.2に例示されたWen & Chu及びGarson et al. の方法に沿って，ハザード曲線を算定する。	2.3.5 竜巻最大風速のハザード評価結果 2.3.5.1 竜巻ハザードの評価法	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
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になる確率モデルの推定法を提案している。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，(6.1)式に示すポリヤ分布の適合性が良いとされている。本ハザード曲線の算定においても，東京工芸大学委託成果にならって適合性の良いポリヤ分布により設定した。 $$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-N-1/\beta}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$$ (6.1) ここで， N ：竜巻の年発生数 ν ：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 $$\beta=\left(\frac{\sigma^2}{\nu}-1\right)\times\frac{1}{\nu}$$ (6.2)	(1)　評価方法 Dを評価対象構造物が風速V_0以上の竜巻に遭遇する事象とし，ある竜巻が評価対象構造物を襲い，その竜巻の風速がV_0以上となる確率を$R(V_0)$とする。また，ある竜巻の風速がV_0以上となる面積を$DA(V_0)$とする。また，その期待値を$E[DA(V_0)]$にて表す。 e．前述のとおり，竜巻の年発生数の確率密度分布としては，ポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は次式で示される。 $$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}\left(1+\beta\nu T\right)^{-(N+1/\beta)}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$$ ここで，　N：竜巻の年発生数 ν：竜巻の年平均発生数 T：年数 β：分布パラメータであり次式で示される。 $$\beta=\left(\frac{\sigma^2}{\nu}-1\right)\times\frac{1}{\nu}$$ σ：竜巻の年発生数の標準偏差 発生数がポリヤ分布に従うものとし，年超過確率P_{V_0}を以下の式により算出する。なお，年超過確率P_{V_0}は，年被災確率が	竜巻最大風速のハザード曲線は，いずれかの竜巻により被害を受けた場合に，竜巻風速がV_0を越える確率として評価する。被害面積の期待値 E[DA(Vo)]の評価方法については，付録3で詳述する。 竜巻の発生頻度が以下のポアソン分布あるいはポリヤ分布で表されると仮定する。 ポアソン分布：$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}\exp(-\nu T)$　(1) ポリヤ分布　：$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-N-1/\beta}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$　(2) $$\beta=\left(\frac{\sigma^2}{\nu}-1\right)\times\frac{1}{\nu}$$ (3) ここに， N：竜巻の年発生数 ν：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	（ポアソン分布については，柏崎6/7は「2.3(2)③」及び「参考資料2」で，東海第二は「別紙5-2」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	十分小さいことより，Garson et al.が示す近似式を用いて表すことができる。 $P_{V_0}=1-[1+\beta\nu R(V_0)]^{-1/\beta}=1-[1-\frac{1}{\beta}(\beta\nu R(V_0))+\cdots]$ $\approx \nu R(V_0)=\frac{\nu}{A_0}E[DA(V_0)]=pE[DA(V_0)]$ ここで，　p　：単位面積当たりの年被災確率 以上のことから，竜巻のように被災確率が非常に小さな現象に対しては，年超過確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し，発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることがわかる。【添付資料 5 別紙 5-2】 (2)　ハザード曲線		
対象とする構造物が，T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，その竜巻の風速が V_0 以上となる確率は式(6.1)から導出され以下の式(6.3)となる。	前項で示した評価方法に基づいて，竜巻影響評価の対象構造物が，T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率 $P_{V_0,T}$ を次式によって算出し，ハザード曲線を算定する。	T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，V_0 以上の竜巻風速に遭遇する確率 $P_{v0,T}(D)$は，次式で表される（Wen and Chu）。	
$P_{V_0,T}(D)=1-[1+\beta\nu R(V_0)T]^{-1/\beta}$	$P_{V_0,T}(D)=1-[1+\beta\nu R(V_0)T]^{-1/\beta}$	ポアソン分布：$P_{V_0,T}(D)=1-\exp[-\nu R(V_0)T]$　　(4) ポリヤ分布　：$P_{V_0,T}(D)=1-[1+\beta\nu R(V_0)T]^{-1/\beta}$　　(5)	（ポアソン分布については，柏崎 6/7 は「2.3(2)③」及び「参考資料２」で，東海第二は「別紙 5-2」で記載）
	また，ハザード曲線の算定において，風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m／s に設定する。		
D ：対象とする構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象 $R(V_0)$：リスク評価対象構造物が１つの竜巻に増遇し，竜巻風速が V_0 以上となる確率 $R(V_0)=\frac{E[DA(V_0)]}{A_0}$　(6.3) $DA(V_0)$：竜巻による構造物の被害面積	d．竜巻検討地域の面積 A_0（約 57,000km²）及び上記の被災面積期待値 $E[DA(V_0)]$から，評価対象構造物が竜巻による被害を受け，その竜巻の風速が V_0 以上となる確率 $R(V_0)$ を次式にて算定する。	ここに， D：対象とする構造物が風速 V_0以上の竜巻に遭遇する事象 $R(V_0)$：リスク評価対象構造物が１つの竜巻に遭遇し，竜巻風速が V_0以上となる確率 $R(V_0)=\frac{E[DA(V_0)]}{A_0}$　　(6) $DA(V_0)$：竜巻による構造物の被害面積 A_0：リスクの評価対象とする地域の面積	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
$E[DA(V_0)]$：$DA(V_0)$の期待値 A_0　：リスクの評価対象とする地域の面積 次に，$E[DA(V_0)]$の求め方を説明する。 １個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積 $DA(V_0)$は以下のように表される。 $DA(Vo) = WL + HL + WG + AB$　; Vi ≥ Vo $DA(Vo) = 0$　; Vi < Vo　(6.4) ここで，W は竜巻の被害幅，L は被害長さ，A,B は構造物の寸法，H と G は竜巻の被害幅や被害長さ方向への構造物の投影長さである。 上記の関係を，竜巻風速・被害幅・被害長さ・竜巻移動方向の確率分布を用いると，式(6.5)のように表すことができる。 $E[DA(V_0)] = \int_0^\infty\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\, l\, f(V,w,l)\, dV\, dw\, dl$ $+ \int_0^{2\pi}\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty H(\alpha)\, l\, f(V,l,\alpha)\, dV dl\, d\alpha + \int_0^{2\pi}\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha)\, f(V,w,\alpha)\, dV dw\, d\alpha$ $+ AB\int_{V_0}^\infty f(V) dV$ (6.5) ここで， V：竜巻最大風速 w：竜巻の被害幅 l　：竜巻の被害長さ α：竜巻の移動方向 f（・）：確率密度分布 $H(\alpha) = B\|\sin\alpha\| + A\|\cos\alpha\|$ $G(\alpha) = A\|\sin\alpha\| + B\|\cos\alpha\|$	$R(V_0) = \dfrac{E[DA(V_0)]}{A_0}$ c．得られた平均と分散共分散行列を基に，竜巻影響エリアの代表幅 D_0 を考慮し，次式にて，被災面積期待値 $E[DA(V_0)]$を算定する。 $E[DA(V_0)] = \int_0^\infty\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\, l\, f(V,w,l) dV\, dw\, dl + \int_0^{2\pi}\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty H(\alpha)\, l\, f(V,l,\alpha) dV\, dl\, d\alpha$ $+ \int_0^{2\pi}\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V,w,\alpha) dV\, dw\, d\alpha + S\int_{V_0}^\infty f(V) dV$ ここで，$H(\alpha)$及び$G(\alpha)$は，それぞれ竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。 $H(\alpha) = B\|\sin\alpha\| + A\|\cos\alpha\|$ $G(\alpha) = A\|\sin\alpha\| + B\|\cos\alpha\|$ ここで，　α　：竜巻の移動方向	式(6)は，式(付 3.2)を積分することで評価できる。式(6)を式(4)もしくは式(5)に代入すれば，ハザード曲線を求めることができる。	(島根２号炉は，期待値について「付録３」で記載)

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
$W(V_0)=\left(\frac{V_{min}}{V_0}\right)^{1/1.6} w$　(6.6) 式(6.5)の右辺第 1 項は，被害幅と被害長さの積，即ち被害面積を表しており，いわゆる点構造物に対する被害，第 2 項と第 3 項は，被害幅・被害長さと構造物寸法の積，即ち面構造物あるいは線状構造物の被害面積を表す。竜巻の幅は長さに比べて短いため，第 3 項の寄与は第 2 項に比べて 1 オーダー小さい。第 4 項は建物面積 AB に依存する項である。 $W(V_0)$は，竜巻の被害幅のうち風速が V_0 以上となる部分の幅であり，式(6.6)により算出される。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。V_{min} は，竜巻被害が発生する最小風速であり，Garson は gale intensity velocity と呼んでいる（Gale とは非常に強い風の意）。米国の気象局（National Weather Service）では，34～47 ノット（17.5～24.2m/s）とされている。日本の気象庁では，気象通報にも用いられている風力階級において，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。以上より，これらの風速を包括するよう，V_{min}=25m/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，この値よりも小さな V_{min}（例えば，F0 の最小風速 17m/s）を用いると，風速 V_0 以上となる被害面積は小さくなる。			
また，H(α)及び G(α)はそれぞれ，竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影したときの長さである。5 節にて竜巻影響エリアを円形（直径 D_0）で設定しているため，竜巻の移動方向には依存せず，一定値となる。 $H(\alpha)=G(\alpha)=D_0$　(6.7)	竜巻影響エリアを円形で設定しているため，H 及び G ともに竜巻影響エリアの直径で一定（竜巻の移動方向に依存しない。）となる。		
したがって，式(6.5)は式(6.5’)と表すことができる。	S は竜巻影響エリアの面積（約71,000m²）を表わす。円の直径を D_0 とした場合は，以下の式にて表わされる。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
$E[DA(V_0)]=\int_0^\infty\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,l\,f(V,w,l)\,dV\,dw\,dl$ $+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty l\,f(V,l)\,dVdl+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,f(V,w)\,dVdw$ $+(D_0{}^2\pi/4)\int_{V_0}^\infty f(V)dV$　(6.5’)	$E[DA(V_0)]=\int_0^\infty\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,l\,f(V,w,l)dV\,dw\,dl+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty l\,f(V,l)dV\,dl$ $+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,f(V,w)dV\,dw+S\int_{V_0}^\infty f(V)dV$ ここで，$f(V,l)$，$f(V,w)$，$f(V)$ は $f(V,w,l)$ をもとに各成分を抽出した関数 b．被災領域内には，竜巻の被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅を与える次式を考慮する。 $W(V_0)=\left(\frac{V_{\min}}{V_0}\right)^{1/1.6}w$ ここで，$V_{\min}$ は，Gale intensity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づけられる。米国気象局ＮＷＳ（National Weather Service）では，34ノット～47ノット（17.5m／s～24.2m／s）とされ，また，気象庁が使用している風力階級では，風力9は大強風（strong gale：20.8m／s～24.4m／s）と分類され，「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされていることを参考に，$V_{\min}$ ＝25m／sとした。なお，この値はＦ０（17m／s～32m／s）のほぼ中央値に相当する。		
2 変量，3 変量の対数正規分布は，以下の式(6.8)又は式(6.9)のように表される。 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，本評価では 4 節にて求めた竜巻風速，被害幅，被害長さの確率密度分布の平均値，標準偏差及び相関係数をμ，σ並びにρに適用して，同時確率密度関数ｆ を定めた。 $f(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}}\frac{1}{xy}\exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left\{\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2-2\rho\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right)+\left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right\}\right]$　(6.8)	a．前記に基づき，竜巻の最大風速 V，被害幅 w 及び被害長さ l の統計値から，次式の対数正規分布型の確率密度分布を与える。 $f(V,w,l)=\frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3\lvert\boldsymbol{\Sigma}\rvert^{1/2}}\frac{1}{Vwl}\exp\left(-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T\boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})\right)$ ここで，$\mathbf{x}=\begin{Bmatrix}\ln(V)\\ \ln(w)\\ \ln(l)\end{Bmatrix}$，$\boldsymbol{\mu}=\begin{Bmatrix}\mu_V\\ \mu_w\\ \mu_l\end{Bmatrix}$，$\boldsymbol{\Sigma}=\begin{bmatrix}\sigma_V{}^2 & \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} & \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl}\\ \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} & \sigma_w{}^2 & \sigma_w\sigma_l\rho_{wl}\\ \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl} & \sigma_w\sigma_l\rho_{wl} & \sigma_l{}^2\end{bmatrix}$		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
$$f(x,y,z)=\frac{1}{(2\pi)^{3/2}\begin{vmatrix}\sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz}\\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz}\\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2\end{vmatrix}^{1/2}}\times\frac{1}{xyz}\times\exp\left[-\frac{1}{2}\begin{pmatrix}\ln(x)-\mu_x & \ln(y)-\mu_y & \ln(z)-\mu_z\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz}\\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz}\\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2\end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix}\ln(x)-\mu_x\\ \ln(y)-\mu_y\\ \ln(z)-\mu_z\end{pmatrix}\right] \quad (6.9)$$	$\mathbf{X}$ は最大風速，被害幅及び被害長さの対数値 $\ln(V)$，$\ln(w)$，$\ln(l)$ によるベクトル，$\boldsymbol{\mu}$ は各統計値から評価した最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の平均からなるベクトル，$\boldsymbol{\Sigma}$ は $\ln(V)$，$\ln(w)$，$\ln(l)$ から評価した標準偏差 σ_V，σ_w，σ_l と相関係数 ρ_{Vw}，ρ_{wl}，ρ_{Vl} からなる分散共分散行列である。		
(7) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2}) 以上より，ハザード曲線の算定結果を図 7.1 に示す。竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V_{B2} は，ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻風速は，59m/s とする。 また，使用した竜巻の統計データの不確実性については検討を実施しており，F スケール不明の海上竜巻の発生数は，陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分して取り扱っているが，竜巻検討地域を「北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸」にすることに伴う竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性（日本海側は F スケール不明の海上竜巻が多い）を踏まえ，参照する年超過確率を 10^{-5} から一桁下げた年超過確率 10^{-6} における風速である 76m/s を V_{B2} とする。 なお，ガイドで要求されている，1km ごとの短冊領域でのハザード曲線による最大風速 V_{B2} 算定については，評価を実施したものの，その技術的説明性が乏しいと考え，V_B の設定には使用しないものとした。【参考資料 3】	7.　竜巻最大風速のハザード曲線 算定した竜巻最大風速のハザード曲線を，第 7－1 図に示す。 得られたハザード曲線より，年超過確率 10^{-5} での風速を読み取り，ハザード曲線による最大風速は，以下のとおりとする。 竜巻検討地域全域（10 km幅）でのハザード曲線による最大風速：73m／s	2.3.5.2 本竜巻検討地域のハザード 本竜巻検討地域を対象に，ポリヤ分布を仮定したハザード算定結果を図 2.3.10 に示す。ここでは構造物直径 450m 及び検討地域の面積は 33,395km² としている。 表 2.3.7 は，年超過確率に相当する竜巻風速である。年超過確率が 10^{-5} となる風速は約 61m/s である。	・竜巻影響エリアの相違 【柏崎 6/7，東海第二】 （島根２号炉は，V_{B2} の設定について「2.3.7」で記載） ・算定結果の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 ・V_{B2} の設定方法の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は V_{B2} の設定において，ガイドに従い，不確実性及び保守性の考慮をして 1km 範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線についても考慮している。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

また，不確実さ要素のハザード算定結果への影響を検討した。【参考資料 5】

図 7.2(a)に示した，データ，確率分布形選択及びデータ量が少ないことによる不確実さを表したハザード曲線により，これらの不確実さが十分小さいことを確認した。さらに，疑似データに F3 竜巻を 4 個追加した感度解析結果を図 7.2(b)に示す。この場合の年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻風速は 62.2m/s となり，かなり保守的な仮定をおいてもハザードへの影響は限定的であることから，データの高い安定性を確認した。

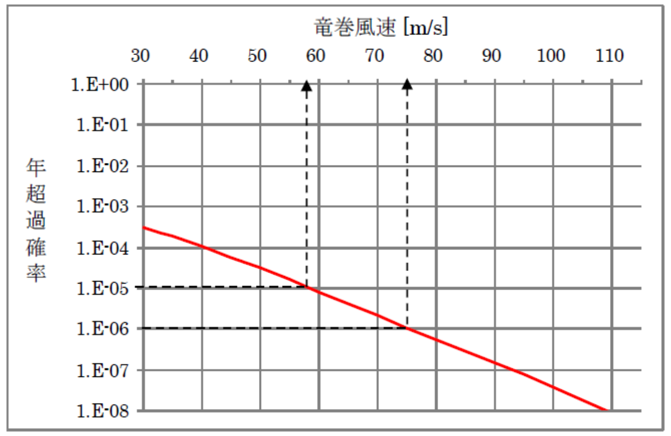
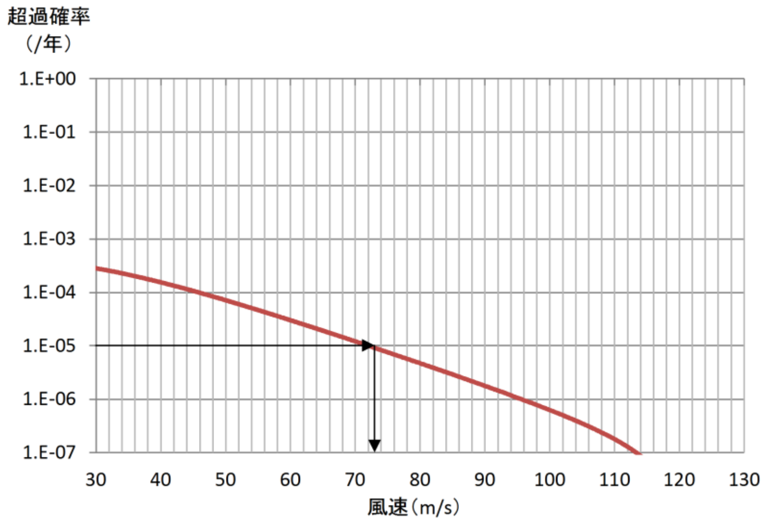


図 7.1 竜巻最大風速のハザード曲線（海側，陸側 5km 範囲）

東海第二発電所（2018.9.18 版）



第 7－1 図　竜巻検討地域全域（10 km幅）でのハザード曲線

島根原子力発電所　２号炉

ポアソン分布を仮定した算定結果は，ここに示したポリヤ分布の結果とほとんど変わらない。これは，被害確率 R(Vo)が非常に小さい場合，遭遇確率は平均値 ν のみに依存し，分布形には無関係になるためである。

$$P_{Vo}(D) \approx \nu\, R(Vo) \qquad (7)$$

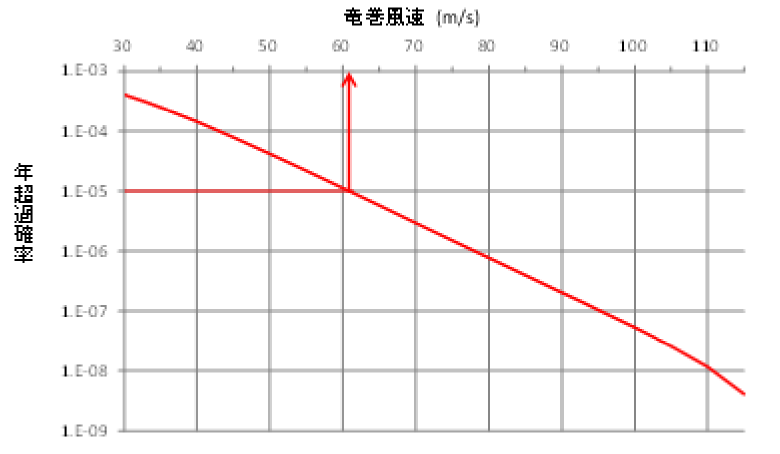


図 2.3.10　竜巻ハザードの算定結果

表 2.3.7　年超過確率に相当する竜巻風速(m/s)の算定結果

構造物寸法(m)	年超過確率				
	1.E-4	1.E-5	1.E-6	1.E-7	1.E-8
450	43.0	60.8	78.0	95.3	110.7

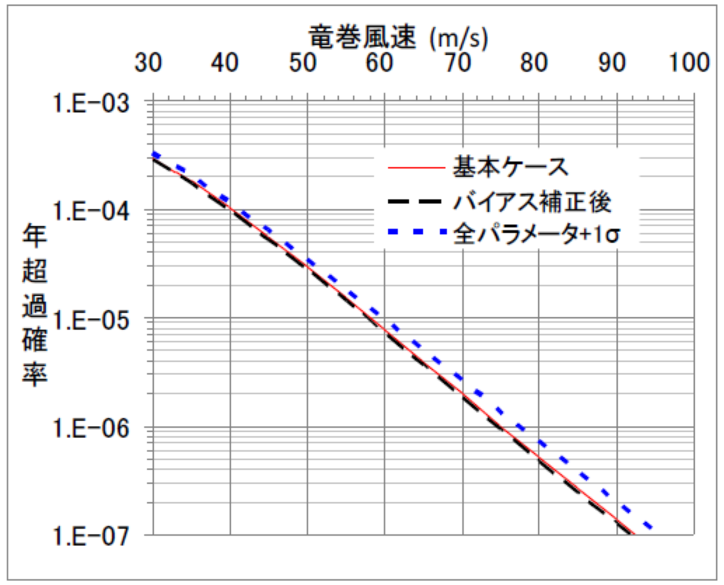
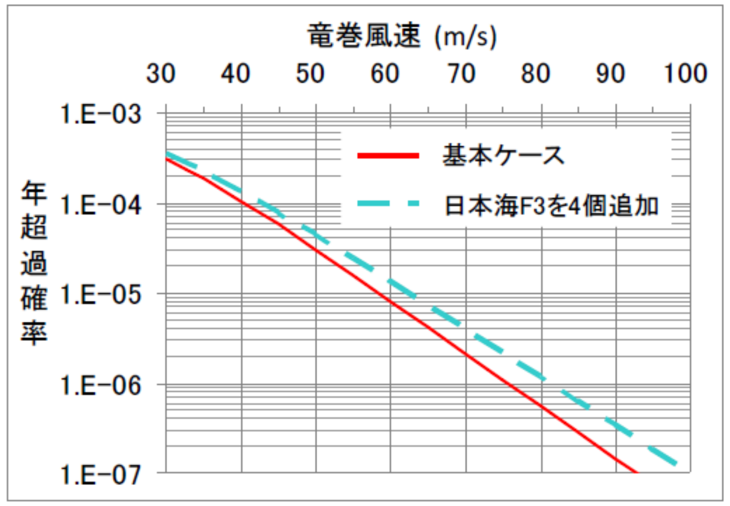
備考

（島根２号は，不確実さについて「別添 2-1 2.3.8」で記載）

（ポアソン分布については，柏崎 6/7 は「参考資料２」で，東海第二は「別紙 5-2」で記載）

・算定結果の相違
【東海第二】

・算定結果の相違
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 (a) バイアス補正後及び全パラメータ＋1σのハザード  (b) 竜巻風速の年超過確率分布 図 7.2 ハザード不確実さ検討結果			（島根２号は，不確実さについては「別添 2-1 2.3.8」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
【参考資料 2】 竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響 1. 竜巻発生確率とハザード曲線 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の推定法を提案している。それによれば，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若しくはポリヤ分布に適合する。 ポアソン分布：$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}\exp(-\nu T)$ (1) ポリヤ分布：$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-(N+1/\beta)}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$ (2) ここで，N は竜巻の年発生数，ν は竜巻の年平均発生数，T は年数である。 また，T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，V_o 以上の竜巻風速に見舞われる確率 $P_{Vo,T}$ (D)は次式で表される。 ポアソン分布：$P_{Vo,T}(D)=1-\exp\left[-\nu R(Vo)T\right]$ (3) ポリヤ分布：$P_{Vo,T}(D)=1-\left[1+\beta\nu R(Vo)T\right]^{-1/\beta}$ (4) ここで，R(Vo)は，検討対象とする構造物が，ある一つの竜巻に遭遇し，竜巻風速が Vo 以上となる確率である。 2. ポアソン分布とポリヤ分布 ポアソン過程とは，ある現象がランダムに起こる場合に，今までの発生状況がそれ以降の発生に影響を与えず，かつ発生が時間的に一様に推移する現象を表す数学的モデルであり，以下のような仮定に基づいている。 ① 事象は時間・空間のいかなる場所でもランダムに発生する ② 与えられた時間・空間の区間内で，事象の発生は他の任意の区間に対して独立である ③ 微小区間Δt における事象発生確率はΔt に比例する。Δt の間に事象が 2 回以上発生する確率は無視できる	別紙 5-2 竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）が ハザード結果に及ぼす影響について 1. 竜巻発生確率とハザード曲線 Wen & Chu[1]は，竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がある値以上となる確率の推定法を対案している。それによれば，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密度分布はポアソン分布若しくはポリヤ分布に適合する。 ポアソン分布：$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}\exp(-\nu T)$ (1) ポリヤ分布：$P_T(N)=\frac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-(N+1/\beta)}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$ (2) ここで，N は竜巻の年発生数，ν は竜巻の年平均発生数，T は年数である。 また，T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，Vo 以上の竜巻風速に見舞われる確率 $P_{Vo,T}(D)$ は次式で表される。 ポアソン分布：$P_{Vo,T}(D)=1-\exp[-\nu R(Vo)T]$ (3) ポリヤ分布：$P_{Vo,T}(D)=1-[1+\beta\nu R(Vo)T]^{-1/\beta}$ (4) ここで，$R(Vo)$ は，評価対象とする構造物が，ある一つの竜巻に遭遇し，竜巻風速が Vo 以上となる確率である。 2. ポアソン分布とポリヤ分布 ポアソン過程とは，ある現象がランダムに起こる場合に，今までの発生状況がそれ以降の発生に影響を与えず，かつ発生が時間的に一様に推移する現象を表す数学的モデルであり，以下のような仮定に基づいている。 ① 事象は時間・空間のいかなる場所でもランダムに発生する。 ② 与えられた時間・空間の区間内で，事象の発生は他の任意の区間に対して独立である。 ③ 微小区間 Δt における事象発生確率は Δt に比例する。Δt の間に事象が 2 回以上発生する確率は無視できる。		（島根２号炉は，ポアソン分布について「2.3.2」及び「2.3.5」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
ポアソン分布に従う現象例としては，交通事故件数，大量生産の不良品数，火災件数，遺伝子の突然変異等数多くある。ポアソン分布の分散は平均値に等しいが，観測される現象の中には，その分散が平均値から外れている現象もある。 ポリヤ分布は，分散と平均値が異なるような現象への適合度が高く，βが大きい場合は分散の大きな分布形を表し，$\beta\to0$ のときにはポアソン分布に近づく。Thom(1963)は，米国中部を対象とした竜巻発生数の分析を行い，ポアソン過程が実態と乖離する場合があることを指摘するとともに，ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。また，東京工芸大学委託成果では，陸上竜巻（含む上陸竜巻）及び水上竜巻のいずれに対しても，ポリヤ分布の適合度が高いことを示した。 ポリヤ分布は，疫病の流行，ある単語を含む文書数を数える文書頻度等の言語処理等に活用されており，ある事象が起こった場合に，それによって周囲にも現象が起こりやすくなる現象（弱い伝播性）が考慮されている。竜巻の場合では，前線や台風により竜巻が発生した場合，同時多発的に複数の竜巻が発生する（tornado outbreak と呼ばれる）状況が考えられる（Wen and Chu, 1973)。 3. 確率論から見た近似式 式(3)(4)に基づき，ポアソン分布とポリヤ分布に基づく竜巻ハザードを実際に計算すると，両者にほとんど違いが見られない。以下では，その理由について考察する。 ある一つの竜巻に遭遇し，竜巻風速が Vo 以上となるような被害を受ける確率を R(Vo) 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。 $$(\text{被害を受けない確率})=1-R(V_0) \quad (5)$$ 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)。 $$(\text{N個の竜巻で被害を受けない確率})=[1-R(V_0)]^N \quad (6)$$	ポアソン分布に従う現象例としては，交通事故件数，大量生産の不良品数，火災件数，遺伝子の突然変異など数多くある。ポアソン分布の分散は平均値に等しいが，観測される現象の中には，その分散が平均値から外れている現象もある。 ポリヤ分布は，分散と平均値が異なるような現象への適合度が高く，βが大きい場合は分散の大きな分布形を表し，$\beta\to0$ のときにはポアソン分布に近づく。Thom (1963) [(2)]は，米国中部を対象とした竜巻発生数の分析を行い，ポアソン過程が実態と乖離する場合があることを指摘するとともに，ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。また，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[(3)]成果では，陸上竜巻（含む上陸竜巻）及び海上竜巻のいずれに対しても，ポリヤ分布の適合度が高いことを示した。 ポリヤ分布は，疫病の流行，ある単語を含む文書数を数える文書頻度などの言語処理などに活用されており，ある事象が起こった場合に，それによって周囲にも現象が起こりやすくなる現象（弱い伝播性）が考慮されている。竜巻の場合では，前線や台風により竜巻が発生した場合，同時多発的に複数の竜巻が発生する（tornado outbreak と呼ばれる）状況が考えられる。（Wen & Chu, 1973）[(1)] 3.　確率論から見た近似式 1.　にて示した(3) (4) 式に基づき，ポアソン分布とポリヤ分布に基づく竜巻ハザードを実際に計算すると，両者にほとんど違いが見られない。以下では，その理由について考察する。 ある一つの竜巻に遭遇し，竜巻風速がVo以上となるような被害を受ける確率を$R(Vo)$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。 $$(\text{被害を受けない確率}) = 1-R(Vo) \quad (5)$$ 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)。 $$(N\text{ 個の竜巻で被害を受けない確率}) = [1-R(Vo)]^N \quad (6)$$		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　(2017.12.20 版)	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
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。 $(\text{N個のいずれかの竜巻で　被害を受ける確率}) = 1-[1-R(V_0)]^N$ (7) したがって，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， $\left\{1-\left[1-R(V_0)\right]^N\right\}P(N)$ (8) となる。R(Vo)が十分小さければ，上式は次のように近似できる。 $\left\{1-\left[1-R(V_0)\right]^N\right\}P(N) \approx R(V_0)\times N\times P(N)$ (9) ここで，次の近似を用いている。 $\left[1-R(V_0)\right]^N \approx 1-N\times R(V_0)$ (10) 竜巻被害の場合，R(Vo)は通常 10-3 以下であるから，式(10)の近似は非常に良い精度で成り立つ。 以上のことから，式(9)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。 $P_{V_0}(D) \approx \sum_{N=1}^{\infty}[R(V_0)\times N\times P(N)] = R(V_0)\sum_{N=1}^{\infty}[N\times P(N)] = \nu R(V_0)$ (11) 即ち，被害確率は竜巻発生数の平均値νのみに依存し，標準偏差は勿論，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ことが理解できる。 4. ポアソン分布とポリヤ分布のハザードの近似式 3.では，確率論的な観点だけで近似式を誘導したが，ここでは式(3)(4)の近似式を直接求め，上記の結果を検証する。 式(8)の P(N)としてポアソン分布を仮定し， $\left\{1-\left[1-R(V_0)\right]^N\right\}P(N) = P(N)-\left[1-R(V_0)\right]^N P(N)$ $= P(N)-\left[1-R(V_0)\right]^N \frac{\nu^N}{N!}\exp(-\nu) = P(N)-\frac{(\nu-\nu R(V_0))^N}{N!}\exp(-\nu)$ (12)	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 個のいずれかの竜巻で被害を受ける確率） $= 1-[1-R(Vo)]^N$ (7) したがって，一年間に 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， $\{1-[1-R(Vo)]^N\}P(N)$ (8) となる。$R(Vo)$ が十分小さければ，上式は次のように近似できる。 $\{1-[1-R(Vo)]^N\}P(N) \approx R(Vo)\times N\times P(N)$ (9) ここで，次の近似を用いている。 $[1-R(Vo)]^N \approx 1-N\times R(Vo)$ (10) 竜巻被害の場合，は通常 10^{-3} 以下であるから，式の近似は非常に良い精度で成り立つ。 以上のことから，式より 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。 $P_{Vo}(D) \approx \sum_{N=1}^{\infty}[R(Vo)\times N\times P(N)] = R(Vo)\sum_{N=1}^{\infty}\{N\times P(N)\} = \nu R(Vo)$ (11) すなわち，被害確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し，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ことが理解できる。 4.　ポアソン分布とポリヤ分布のハザードの近似式 3.では，確率論的な観点だけで近似式を誘導したが，ここでは，(3) (4) の近似式を直接求め，上記の結果を検証する。 式 (8) の $P(N)$ としてポアソン分布を仮定し， $\{1-[1-R(Vo)]^N\}P(N) = P(N)-[1-R(Vo)]^N P(N)$ $= P(N)-[1-R(Vo)]^N \frac{\nu^N}{N!}\exp(-\nu) = P(N)-\frac{(\nu-\nu R(Vo))^N}{N!}\exp(-\nu)$ (12)		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
となることを考慮すると，式(11)の厳密な式は以下のとおりである。 $P_{Vo}(D)=\sum_{N=1}^{\infty}\left\{P(N)-\frac{(\nu-\nu R(V_0))^N}{N!}\exp(-\nu)\right\}$ $=1-\exp\left(\nu-\nu R(V_0)\right)\exp(-\nu)$ $=1-\exp(-\nu R(V_0))$ (13) 即ち，ポアソン分布によるハザード評価の式(3)が導かれる。ここで，次の関係式を用いている。 $\exp(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^n}{n!}$ (14) したがって，式(3)（あるいは式(13)）は，式(14)を用いると， $P_{Vo}(D)=1-\exp(-\nu R(V_0))=1-\left(1+\frac{(-\nu R(V_0))}{1!}+\frac{(-\nu R(V_0))^2}{2!}+\cdots\right)$ (15) と表され，R(Vo)が小さい場合は，次式で近似できる。 $P_{Vo}(D)\approx\nu R(V_0)$ (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。 $P_{Vo}(D)=1-\left[1+\beta\nu R(Vo)\right]^{-1/\beta}=1-(1+\left(\frac{-1}{\beta}\right)\beta\nu R(Vo)+\cdots)$ $\approx\nu R(V_0)$ (17) 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ことが分かる。	となることを考慮すると，(11) 式の厳密な式は以下のとおりである。 $P_{Vo}(D)=\sum_{N=1}^{\infty}\{P(N)-\frac{(\nu-\nu R(Vo))^N}{N!}\exp(-\nu)\}$ $=1-\exp(\nu-\nu R(Vo))\exp(-\nu)$ $=1-\exp(-\nu R(Vo))$ (13) すなわち，ポアソン分布によるハザード評価の (3) 式が導かれる。ここで，次の関係式を用いている。 $\exp(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^n}{n!}$ (14) したがって，式(3)（あるいは式(13)）は，式(14) を用いると， $P_{Vo}(D)=1-\exp(-\nu R(Vo))=1-\left[1+\frac{(-\nu R(Vo))}{1!}+\frac{(-\nu R(Vo))^2}{2!}\right]+\cdots\}$ (15) と表され， $R(Vo)$ が小さい場合は，次式で近似できる。 (16) $P_{Vo}(D)\approx\nu R(Vo)$ ポリヤ分布の場合も同様に，一般の二項定理を用いると，次式で近似できる。 $P_{Vo}(D)=1-\left[1+\beta\nu R(Vo)\right]^{-1/\beta}=1-(1+\left(\frac{-1}{\beta}\right)\beta\nu R(Vo)+\cdots)$ (17) $\approx\nu R(Vo)$ 以上のことから，竜巻のように１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，発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることがわかる。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
【参考資料 3】 1km ごとの領域での竜巻ハザード曲線について	竜巻検討地域全域（10 ㎞幅）に加え，「竜巻影響評価ガイド」解説 3.3.2 では，少なくとも 1km 幅ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定するとしている。ここでは，ハザード曲線の保守性を持たせるために，竜巻検討地域を 1 ㎞幅に細分化した場合について算定した。 なお，海側の 1km 以遠については，全てが F スケール不明であるため，ハザード曲線の算定は不可能である。	2.3.6 竜巻最大風速のハザード評価結果（1km 範囲毎に細分化した評価） 2.3.6.1 はじめに 竜巻検討地域は，山口県から北海道にかけての日本海沿岸であり，海岸線から陸側に 5km，海側に 5km の範囲内（面積 33,395 km²）である。これらの地域を対象として，円形構造物（直径 450 m）に対する竜巻ハザードの評価を行ったが，ここでは 1km 範囲毎に細分化した場合（以下，「1km 短冊」という。）の竜巻最大風速のハザード評価を行う。検討ケースを表 2.3.8 に示す。 CASE2 は 1km 短冊の評価ケースであり，竜巻移動経路が短冊を横切る長さ（被害長さ）を基にハザードを評価した。ただし，海上竜巻に対する発生・消滅位置の誤差は概ね±30 秒～±1 分程度と大きく，竜巻の発生数・被害長さを特定するという観点において，1km 毎の分析に耐えられない。また，実際の発生地点ではなく，視認された陸上箇所の緯度・経度情報がデータベースに登録されている竜巻が存在するのも位置特定ができない一因となっている。さらに，海上竜巻の場合は被害幅の情報も得られない。この傾向は，海岸線から遠方に行くほど顕著になる。一方，海上で発生しその後上陸した上陸竜巻は，海側 0-1km で発生または通過しており，陸上での被害状況等から竜巻特性を得ることが可能である。そこで，海側の評価では，このような上陸竜巻が含まれる 0-1km の範囲のみを対象に評価することとした。 表 2.3.8　検討ケース一覧 日本海沿岸（33,395km²） ケース名 ／ 領域 基本ケース ／ ±5km CASE 2-1 ／ 陸側 0-1km CASE 2-2 ／ 陸側 1-2km CASE 2-3 ／ 陸側 2-3km CASE 2-4 ／ 陸側 3-4km CASE 2-5 ／ 陸側 4-5km CASE 2-6 ／ 海側 0-1km	・検討内容の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，1km 範囲毎の評価を V_B に考慮しているため詳細に記載している

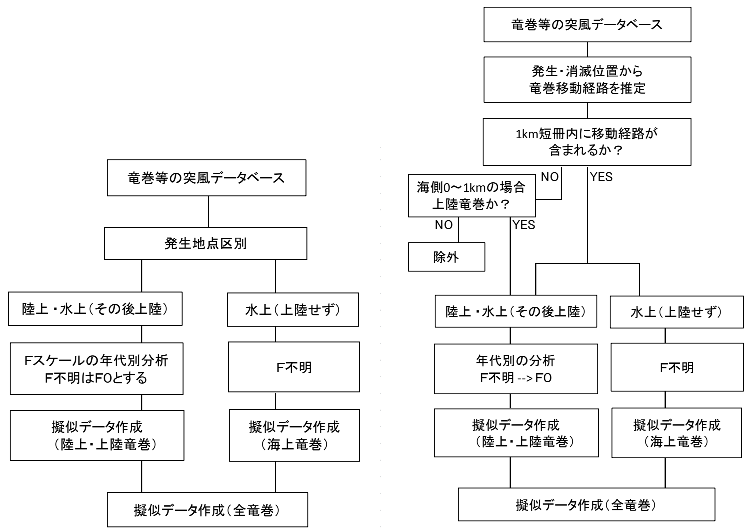
表 2.3.8　検討ケース一覧

日本海沿岸（33,395km²）	
ケース名	領域
基本ケース	±5km
CASE　2-1	陸側 0-1km
CASE　2-2	陸側 1-2km
CASE　2-3	陸側 2-3km
CASE　2-4	陸側 3-4km
CASE　2-5	陸側 4-5km
CASE　2-6	海側 0-1km

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
1. 保守性を考慮したハザード曲線の算定 竜巻発生確認数のばらつきや F スケールの偏りがあることから，ハザード曲線に保守性を持たせるために，以下のような条件で算定を行った。計算に使用するパラメータは表 1.1 に示す。 ・ 竜巻発生数は，竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻である通過竜巻もカウント ・ 被害幅及び被害長さは，それぞれ 1km 範囲内の被害幅及び被害長さを用いる ・ 海側の竜巻発生位置は不明な場合が多く，竜巻移動経路が短冊を横切る長さを精度良く求められないため，海側 0-1km のセグメント長さの評価に陸側 0-1km 短冊の値を代用する方法を用いる		2.3.6.2 1km 短冊での発生数等の解析 気象庁「竜巻等の突風データベース」においてデータベース化されている以下の項目を本検討の解析に用いる。 1. 発生場所：　緯度・経度，誤差範囲 2. 消滅場所：　緯度・経度，誤差範囲 3. 藤田スケール 4. 被害幅(m) 5. 被害長さ(km) 6. 発生地点区別：　陸上｜水上（上陸せず）｜水上（その後上陸） 沿岸域を 1km 毎の短冊領域で評価する場合，発生・消滅場所の緯度・経度から竜巻の移動経路を求め，その移動経路が対象とする短冊内に含まれるか，もしくは横切るかを判断し，発生数（通過数を含む）及び短冊内の被害長さを求める。 図 2.3.11 に，基本ケース（±5km）及び短冊ケースでの発生数の解析フローを示す。発生地点区別で“水上（その後上陸)”とされている竜巻の場合，その発生場所の緯度・経度は陸上を指す場合が多く，上陸地点もしくは被害の発生地点（陸上部）がデータベースに記されていると考えられる。図 2.3.12 に，1975 年 5 月 31 日に島根県簸川郡大社町で発生した（F2）竜巻の発生位置と消滅位置を示す。この竜巻は，気象庁「竜巻等の突風データベース」の発生地点区別では，“水上発生（その後上陸)”とされているが，データベース上の発生位置は内陸部となっている。 そこで，1km 短冊内に移動経路が含まれない竜巻であっても，発生地点区別から上陸竜巻か否かを判断することにより，緯度・経度情報だけでは捕捉できない上陸竜巻の発生・通過数を考慮した（図 2.3.11 (b))。 図 2.3.11(b)のフローにより上陸竜巻の発生数や通過数は考慮できるが，本当の発生位置を特定することは難しく，海側での被害長さを 1km 毎に評価することができない。被害長さが得られる上陸竜巻があったとしてもその数は少なく，長さの推定結果の信頼度はかなり低下する。 被害長さは，評価する短冊の幅，平均的な竜巻長さ，及び移	（柏崎 6/7 号炉は，海側 0-1km ケースの評価方法について「参考資料４」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

動方向などの幾何学的要因により決まると考えられる。従って，海側 0-1km の被害長さは，竜巻特性が最も類似している隣接する陸側 0-1km 短冊での値で代用するのが合理的であると考え，この評価も検討に加えることとする。また，検討に必要な竜巻風速，被害長さ，被害幅の相関係数については，基本ケースの領域“±5km”の値を全てのケースで用いる。以上のことを踏まえた検討ケースを表 2.3.9 に示す。



(a)　基本ケース（±5km）　　　　(b)　短冊ケース

図 2.3.11　竜巻発生数の解析フロー

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 1.1 保守的なハザード曲線算定に用いるパラメータ

竜巻検討地域（1km ごとエリア）	統計量	発生数（個）	風速（m/s）	幅（m）	長さ（m）	相関係数 U～W	相関係数 U～L	相関係数 W～L
陸 0-1km	平均値	4.41	28.5	128	632	（検討地域±5kmの値を代用）		
	標準偏差	3.40	9.7	154	448			
陸 1-2km	平均値	1.90	29.4	197	766			
	標準偏差	2.17	8.6	173	434			
陸 2-3km	平均値	1.98	28.1	174	684			
	標準偏差	1.58	8.8	180	366			
陸 3-4km	平均値	1.09	30.6	213	861			
	標準偏差	0.79	8.6	216	310			
陸 4-5km	平均値	0.87	31.3	299	1029			
	標準偏差	0.99	9.0	247	132			
海 0-1km	平均値	8.99	28.0	100	632			
	標準偏差	4.93	9.3	120	448			

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 1.1 に示す。

図 1.1 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 範囲での 58.4m/s であった。

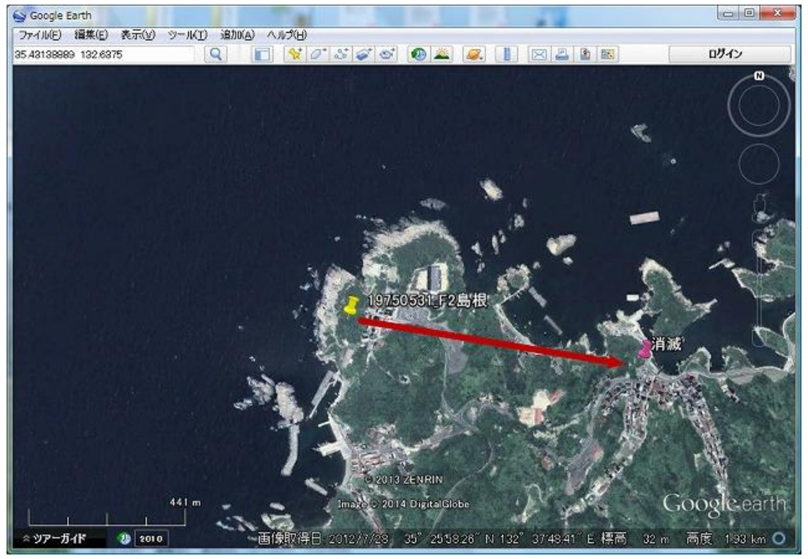


図 2.3.12　上陸竜巻のデータベース上の発生・消滅位置の一例（1975/05/31 の竜巻）

表 2.3.9　検討ケース一覧

ケース名	日本海沿岸（33,395km^2） 領域	竜巻長さ	竜巻幅	相関係数
基本ケース	±5km	全長	全幅	±5km
CASE　2-1	陸側 0-1km	短冊	全幅	±5km
CASE　2-2	陸側 1-2km	短冊	全幅	±5km
CASE　2-3	陸側 2-3km	短冊	全幅	±5km
CASE　2-4	陸側 3-4km	短冊	全幅	±5km
CASE　2-5	陸側 4-5km	短冊	全幅	±5km
CASE　2-6A	海側 0-1km	短冊	全幅	±5km
CASE　2-6B	海側 0-1km	陸側 0-1km	全幅	±5km

（柏崎 6/7 号炉は，海側 0-1km ケースの評価方法について「参考資料４」で記載）

（島根２号炉は，詳細なパラメータについて「表 2.3.11」で記載）

（島根２号炉は，算定結果を「2.3.6.4」で記載）

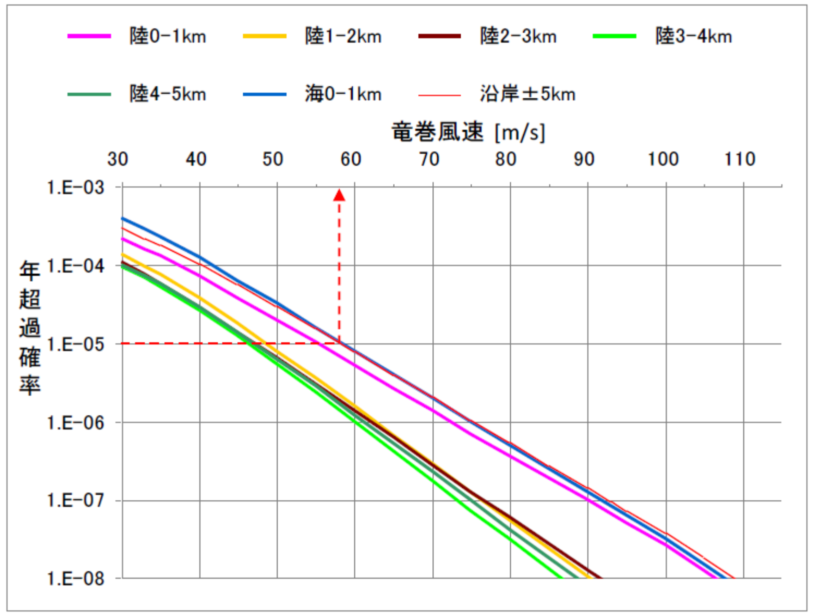
<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td>


図 1.1 1km 範囲ごとのハザード曲線と±5km 範囲のハザード曲線

表 1.2 年超過確率 10^{-5} に対応した竜巻風速
<table>
<tr><th>短冊ケース</th><th>竜巻風速[m/s]</th></tr>
<tr><td>陸0-1km</td><td>55.2</td></tr>
<tr><td>陸1-2km</td><td>48.7</td></tr>
<tr><td>陸2-3km</td><td>47.2</td></tr>
<tr><td>陸3-4km</td><td>46.4</td></tr>
<tr><td>陸4-5km</td><td>47.1</td></tr>
<tr><td>海0-1km</td><td>58.4</td></tr>
<tr><td>（参考）海側及び陸側各±5km</td><td>58.3</td></tr>
</table>

参考に陸側 0～1km，1～2km，2～3km，3～4km，4～5km，海側 0～1km の竜巻発生・通過数を表 1.3～1.8 に示す。
</td>
<td>
算定に用いた諸元を第 7－1 表から第 7－6 表に示す。相関係数は，全て竜巻検討地域全域（10 km幅）内で発生した竜巻で評価した第 4－2 表の値とする。
算定したハザード曲線を，竜巻検討地域全域（10 km幅）でのハザード曲線と重ね，第 7－2 図に示す。
得られたハザード曲線において，年超過確率 10^{-5} での風速値を読み取り，第 7－7 表にあわせて示す。
</td>
<td>
2.3.6.3 竜巻パラメータの推定結果
表 2.3.10 に，1km 短冊での発生数の推定結果を示す。ここでは，1km 短冊の通過数も竜巻の発生数に加えて推定している。短冊内での擬似データの作り方は，基本ケース（±5km 幅）と同じ方法を使用した。
表 2.3.11 に，1km 短冊での竜巻パラメータ（発生数，被害幅，被害長さ）の推定結果を示し，図 2.3.13 に，竜巻検討地域の 1 km 短冊毎の被害長さの分布形と，全国の海岸線から陸側 5km，海側 5km の竜巻データを用いた 1km 短冊毎の被害長さの分布形を併せて示す。図 2.3.13 の(a)と(b)を比較すると，データ数の少ない(a)の陸側 4-5km の結果を除き同様な形状を示している。
</td>
<td>（柏崎 6/7 号炉は，竜巻パラメータについて「参考資料３　１」で記載）</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

表 1.3 陸側 0-1km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸0-1km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	47	15	23	9	0	12	0	59
	平均値（年）	0.91	0.29	0.45	0.17	−	0.23	−	1.15
	標準偏差（年）	1.51	1.13	0.61	0.43	−	0.71	−	1.90
	CV（年）	1.65	3.89	1.37	2.47	−	3.03	−	1.66
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	28	15	12	1	0	11	0	39
	平均値（年）	1.30	0.70	0.56	0.05	−	0.51	−	1.81
	標準偏差（年）	2.03	1.69	0.60	0.22	−	1.02	−	2.63
	CV（年）	1.56	2.43	1.08	4.64	−	2.00	−	1.45
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	17	14	3	0	0	6	0	23
	平均値（年）	3.09	2.55	0.55	−	−	1.09	−	4.18
	標準偏差（年）	3.63	2.81	0.88	−	−	1.77	−	4.70
	CV（年）	1.17	1.11	1.62	−	−	1.62	−	1.12
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	227	132	29	9	0	57	0	227
	平均値（年）	4.37	2.55	0.56	0.17	−	1.09	−	4.37
	標準偏差（年）	3.40	2.81	0.60	0.43	−	1.77	−	3.40
	CV（年）	0.78	1.11	1.08	2.47	−	1.62	−	0.78
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	227	189	29	9	0	0	0	227
	平均値（年）	4.37	3.64	0.56	0.17	−	−	−	4.37
	標準偏差（年）	3.40	3.32	0.60	0.43	−	−	−	3.40
	CV（年）	0.78	0.91	1.08	2.47	−	−	−	0.78

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第７－２表　陸側０－１kmでの統計量

(a)　発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	34	75	33	146	16	0	162
		平均値（個／年）	0.08	0.66	1.46	0.64	2.83	0.31	0.00	3.15
		標準偏差（個／年）	0.27	0.93	1.71	1.58	2.47	0.65	0.00	2.86
	1991.1-2012.6 21.5 年間	期間内個数	0	11	55	33	99	14	0	113
		平均値（個／年）	0.00	0.51	2.56	1.53	4.60	0.65	0.00	5.26
		標準偏差（個／年）	0.00	0.81	1.88	2.17	2.45	0.79	0.00	2.92
	2007.1-2012.6 5.5 年間	期間内個数	0	0	10	23	33	8	0	41
		平均値（個／年）	0.00	0.00	1.82	4.18	6.00	1.45	0.00	7.45
		標準偏差（個／年）	0.00	0.00	1.87	2.70	2.79	0.98	0.00	3.63

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	4	34	132	291	461
		平均値（個／年）	0.08	0.66	2.56	5.65	8.95
		標準偏差（個／年）	0.27	0.93	1.88	3.13	3.78
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	34	132	291	**461**
		平均値（個／年）	0.08	0.66	2.56	5.65	8.95
		標準偏差（個／年）	0.27	0.93	1.88	3.13	3.78

(b)　被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	29	66	27	126
	平均値（m）	613	116	126	62	114
	標準偏差（m）	926	106	190	49	207
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	34	132	291	461
	平均値（m）	613	143	126	63	92
	標準偏差（m）	926	126	190	48	148

(c)　被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	31	67	28	130
	平均値（km）	3	1.54	1.02	0.76	1.18
	標準偏差（km）	3	1.43	0.93	0.59	1.16
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	34	132	291	461
	平均値（km）	3	1.84	1.03	0.78	0.95
	標準偏差（km）	3	1.75	0.93	0.59	0.93

※　被害長さの統計量は，各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに１km幅に掛かる長さをもとに評価

島根原子力発電所　２号炉

一方，海側 0-1km の分布形は，全国の竜巻データを用いた場合でも，被害長さが極端に短い分布形となっており，その被害長さの推定精度に疑問が残ることから，海側 0-1km のケースでは，竜巻特性が最も類似していると考えられる陸側 0-1km での値を代用した評価も行った。

表 2.3.10　短冊領域での発生数＋通過数の分析結果

(a) 陸側 0-1km

日本海（陸0-1km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	47	15	23	9	0	12	0	59
	平均値（年）	0.91	0.29	0.45	0.17	―	0.23	―	1.15
	標準偏差（年）	1.51	1.13	0.61	0.43	―	0.71	―	1.90
	CV（年）	1.65	3.89	1.37	2.47	―	3.03	―	1.66
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	28	15	12	1	0	11	0	39
	平均値（年）	1.30	0.70	0.56	0.05	―	0.51	―	1.81
	標準偏差（年）	2.03	1.69	0.60	0.22	―	1.02	―	2.63
	CV（年）	1.56	2.43	1.08	4.64	―	2.00	―	1.45
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	17	14	3	0	0	6	0	23
	平均値（年）	3.09	2.55	0.55	―	―	1.09	―	4.18
	標準偏差（年）	3.63	2.81	0.88	―	―	1.77	―	4.70
	CV（年）	1.17	1.11	1.62	―	―	1.62	―	1.12
擬似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	227	189	29	9	0	0	0	0
	平均値（年）	4.37	3.64	0.56	0.17	―	―	―	―
	標準偏差（年）	3.40	3.32	0.60	0.43	―	―	―	―
	CV（年）	0.78	0.91	1.08	2.47	―	―	―	―

備考

（柏崎 6/7 号炉は，海側 0-1km ケースの評価方法について「参考資料４」で記載）

・竜巻検討地域の違いによる相違
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

表 1.4 陸側 1-2km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸 1-2 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	竜巻スケール F1	竜巻スケール F2	竜巻スケール F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	29	9	17	3	0	1	0	30
	平均値（年）	0.56	0.17	0.33	0.06	–	0.02	–	0.58
	標準偏差（年）	1.13	0.76	0.59	0.24	–	0.14	–	1.13
	CV（年）	2.01	4.37	1.78	4.06	–	7.18	–	1.94
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	18	9	8	1	0	0	0	18
	平均値（年）	0.84	0.42	0.37	0.05	–	–	–	0.84
	標準偏差（年）	1.58	1.15	0.59	0.22	–	–	–	1.58
	CV（年）	1.89	2.76	1.58	4.64	–	–	–	1.89
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	12	8	4	0	0	0	0	12
	平均値（年）	2.18	1.45	0.73	–	–	–	–	2.18
	標準偏差（年）	2.84	2.08	0.86	–	–	–	–	2.84
	CV（年）	1.30	1.43	1.19	–	–	–	–	1.30
疑似 51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	98	75	20	3	0	0	0	98
	平均値（年）	1.88	1.45	0.37	0.06	–	–	–	1.88
	標準偏差（年）	2.17	2.08	0.59	0.24	–	–	–	2.17
	CV（年）	1.15	1.43	1.58	4.06	–	–	–	1.15
疑似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	98	75	20	3	0	0	0	98
	平均値（年）	1.88	1.45	0.37	0.06	–	–	–	1.88
	標準偏差（年）	2.17	2.08	0.59	0.24	–	–	–	2.17
	CV（年）	1.15	1.43	1.58	4.06	–	–	–	1.15

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 7－3 表　陸側 1－2 kmでの統計量

(a)　発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	19	42	16	81	3	0	84
		平均値（個／年）	0.08	0.37	0.82	0.31	1.57	0.06	0.00	1.63
		標準偏差（個／年）	0.27	0.63	1.01	1.17	1.60	0.24	0.00	1.62
	1991.1-2012.6 21.5 年間	期間内個数	0	6	30	16	52	1	0	53
		平均値（個／年）	0.00	0.28	1.40	0.74	2.42	0.05	0.00	2.47
		標準偏差（個／年）	0.00	0.46	1.13	1.74	1.85	0.22	0.00	1.85
	2007.1-2012.6 5.5 年間	期間内個数	0	0	6	13	19	1	0	20
		平均値（個／年）	0.00	0.00	1.09	2.36	3.45	0.18	0.00	3.64
		標準偏差（個／年）	0.00	0.00	0.57	2.99	2.88	0.43	0.00	2.80

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	4	19	72	132	227
		平均値（個／年）	0.08	0.37	1.40	2.56	4.41
		標準偏差（個／年）	0.27	0.63	1.13	3.11	3.38
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	19	72	132	**227**
		平均値（個／年）	0.08	0.37	1.40	2.56	4.41
		標準偏差（個／年）	0.27	0.63	1.13	3.11	3.38

(b)　被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	19	40	14	77
	平均値（m）	613	163	140	54	155
	標準偏差（m）	926	234	233	42	297
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	19	72	132	227
	平均値（m）	613	163	153	56	105
	標準偏差（m）	926	234	241	41	205

(c)　被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	19	40	12	75
	平均値（km）	1	1.29	0.94	0.85	1.03
	標準偏差（km）	0	1.00	0.89	0.50	0.86
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	19	72	132	227
	平均値（km）	1	1.29	1.03	0.85	0.95
	標準偏差（km）	0	1.00	0.89	0.48	0.70

※　被害長さの統計量は，各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに１km幅に掛かる長さをもとに評価

島根原子力発電所　２号炉

(b)　陸側　1-2km

日本海（陸 1-2 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	竜巻スケール F1	竜巻スケール F2	竜巻スケール F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	29	9	17	3	0	1	0	30
	平均値（年）	0.56	0.17	0.33	0.06	—	0.02	—	0.58
	標準偏差（年）	1.13	0.76	0.59	0.24	—	0.14	—	1.13
	CV（年）	2.01	4.37	1.78	4.06	—	7.18	—	1.94
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	18	9	8	1	0	0	0	18
	平均値（年）	0.84	0.42	0.37	0.05	—	—	—	0.84
	標準偏差（年）	1.58	1.15	0.59	0.22	—	—	—	1.58
	CV（年）	1.89	2.76	1.58	4.64	—	—	—	1.89
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	12	8	4	0	0	0	0	12
	平均値（年）	2.18	1.45	0.73	—	—	—	—	2.18
	標準偏差（年）	2.84	2.08	0.86	—	—	—	—	2.84
	CV（年）	1.30	1.43	1.19	—	—	—	—	1.30
擬似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	98	75	20	3	0	0	0	0
	平均値（年）	1.88	1.45	0.37	0.06	—	—	—	—
	標準偏差（年）	2.17	2.08	0.59	0.24	—	—	—	—
	CV（年）	1.15	1.43	1.58	4.06	—	—	—	—

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違

【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

表 1.5 陸側 2-3km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸 2-3 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	25	10	13	2	0	0	0	25
	平均値（年）	0.49	0.19	0.25	0.04	-	-	-	0.49
	標準偏差（年）	1.00	0.66	0.56	0.20	-	-	-	1.00
	CV（年）	2.07	3.41	2.21	5.02	-	-	-	2.07
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	16	10	6	0	0	0	0	16
	平均値（年）	0.74	0.47	0.28	-	-	-	-	0.74
	標準偏差（年）	1.37	0.97	0.56	-	-	-	-	1.37
	CV（年）	1.84	2.09	2.00	-	-	-	-	1.84
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	-	-	-	-	2.18
	標準偏差（年）	2.22	1.46	0.88	-	-	-	-	2.22
	CV（年）	1.02	0.89	1.62	-	-	-	-	1.02
疑似 51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	102	85	15	2	0	0	0	102
	平均値（年）	1.95	1.64	0.28	0.04	-	-	-	1.95
	標準偏差（年）	1.58	1.46	0.56	0.20	-	-	-	1.58
	CV（年）	0.81	0.89	2.00	5.02	-	-	-	0.81
疑似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	102	85	15	2	0	0	0	102
	平均値（年）	1.95	1.64	0.28	0.04	-	-	-	1.95
	標準偏差（年）	1.58	1.46	0.56	0.20	-	-	-	1.58
	CV（年）	0.81	0.89	2.00	5.02	-	-	-	0.81

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 7－4 表　陸側 2－3 kmでの統計量

(a)　発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	3	14	25	8	50	2	0	52
		平均値（個／年）	0.06	0.27	0.49	0.16	0.97	0.04	0.00	1.01
		標準偏差（個／年）	0.24	0.63	0.76	0.42	1.07	0.20	0.00	1.09
	1991.1-2012.6 21.5 年間	期間内個数	0	4	15	8	27	0	0	27
		平均値（個／年）	0.00	0.19	0.70	0.37	1.26	0.00	0.00	1.26
		標準偏差（個／年）	0.00	0.40	0.84	0.59	1.01	0.00	0.00	1.01
	2007.1-2012.6 5.5 年間	期間内個数	0	0	3	4	7	0	0	7
		平均値（個／年）	0.00	0.00	0.55	0.73	1.27	0.00	0.00	1.27
		標準偏差（個／年）	0.00	0.00	0.55	0.83	0.68	0.00	0.00	0.68

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	3	14	36	38	91
		平均値（個／年）	0.06	0.27	0.70	0.74	1.77
		標準偏差（個／年）	0.24	0.63	0.84	0.83	1.36
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	14	36	38	**91**
		平均値（個／年）	0.06	0.27	0.70	0.74	1.77
		標準偏差（個／年）	0.24	0.63	0.84	0.83	1.36

(b)　被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	3	14	24	7	48
	平均値（m）	750	327	177	41	237
	標準偏差（m）	1083	550	277	49	445
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	14	36	38	91
	平均値（m）	750	327	218	44	180
	標準偏差（m）	1083	550	307	47	360

(c)　被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	3	14	24	7	48
	平均値（km）	1	1.82	1.20	0.69	1.32
	標準偏差（km）	1	1.94	0.85	0.30	1.26
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	14	36	38	91
	平均値（km）	1	1.82	1.39	0.71	1.18
	標準偏差（km）	1	1.94	0.87	0.28	1.03

※　被害長さの統計量は，各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに１km幅に掛かる長さをもとに評価

島根原子力発電所　２号炉

(c)　陸側 2-3km

日本海（陸 2-3 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不　明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	25	10	13	2	0	0	0	25
	平均値（年）	0.49	0.19	0.25	0.04	—	—	—	0.49
	標準偏差（年）	1.00	0.66	0.56	0.20	—	—	—	1.00
	CV（年）	2.07	3.41	2.21	5.02	—	—	—	2.07
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	16	10	6	0	0	0	0	16
	平均値（年）	0.74	0.47	0.28	—	—	—	—	0.74
	標準偏差（年）	1.37	0.97	0.56	—	—	—	—	1.37
	CV（年）	1.84	2.09	2.00	—	—	—	—	1.84
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	—	—	—	—	2.18
	標準偏差（年）	2.22	1.46	0.88	—	—	—	—	2.22
	CV（年）	1.02	0.89	1.62	—	—	—	—	1.02
擬似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	102	85	15	2	0	0	0	0
	平均値（年）	1.95	1.64	0.28	0.04	—	—	—	—
	標準偏差（年）	1.58	1.46	0.56	0.20	—	—	—	—
	CV（年）	0.81	0.89	2.00	5.02	—	—	—	—

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違

【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

表 1.6 陸側 3-4km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸 3-4 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	竜巻スケール F1	竜巻スケール F2	竜巻スケール F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	20	4	15	1	0	0	0	20
	平均値（年）	0.39	0.08	0.29	0.02	–	–	–	0.39
	標準偏差（年）	0.66	0.27	0.57	0.14	–	–	–	0.66
	CV（年）	1.71	3.48	1.97	7.18	–	–	–	1.71
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	11	4	7	0	0	0	0	11
	平均値（年）	0.51	0.19	0.33	–	–	–	–	0.51
	標準偏差（年）	0.75	0.40	0.57	–	–	–	–	0.75
	CV（年）	1.46	2.15	1.77	–	–	–	–	1.46
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	7	4	3	0	0	0	0	7
	平均値（年）	1.27	0.73	0.55	–	–	–	–	1.27
	標準偏差（年）	1.04	0.55	0.88	–	–	–	–	1.04
	CV（年）	0.82	0.75	1.62	–	–	–	–	0.82
疑似 51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	56	38	17	1	0	0	0	56
	平均値（年）	1.07	0.73	0.33	0.02	–	–	–	1.07
	標準偏差（年）	0.79	0.55	0.57	0.14	–	–	–	0.79
	CV（年）	0.74	0.75	1.77	7.18	–	–	–	0.74
疑似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	56	38	17	1	0	0	0	56
	平均値（年）	1.07	0.73	0.33	0.02	–	–	–	1.07
	標準偏差（年）	0.79	0.55	0.57	0.14	–	–	–	0.79
	CV（年）	0.74	0.75	1.77	7.18	–	–	–	0.74

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第７－５表　陸側３－４kmでの統計量

(a)　発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	5	12	16	2	35	0	0	35
		平均値（個／年）	0.10	0.23	0.31	0.04	0.68	0.00	0.00	0.68
		標準偏差（個／年）	0.30	0.55	0.51	0.20	0.84	0.00	0.00	0.84
	1991.1-2012.6 21.5 年間	期間内個数	1	5	10	2	18	0	0	18
		平均値（個／年）	0.05	0.23	0.47	0.09	0.84	0.00	0.00	0.84
		標準偏差（個／年）	0.22	0.43	0.51	0.30	0.85	0.00	0.00	0.85
	2007.1-2012.6 5.5 年間	期間内個数	0	1	4	1	6	0	0	6
		平均値（個／年）	0.00	0.18	0.73	0.18	1.09	0.00	0.00	1.09
		標準偏差（個／年）	0.00	0.43	0.49	0.43	0.57	0.00	0.00	0.57

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	5	12	24	10	51
		平均値（個／年）	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99
		標準偏差（個／年）	0.30	0.55	0.51	0.43	0.91
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	5	12	24	10	**51**
		平均値（個／年）	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99
		標準偏差（個／年）	0.30	0.55	0.51	0.43	0.91

(b)　被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	5	12	14	2	33
	平均値（m）	590	363	149	15	285
	標準偏差（m）	809	590	99	7	484
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	5	12	24	10	51
	平均値（m）	590	363	166	15	224
	標準偏差（m）	809	590	95	5	402

(c)　被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	5	12	13	2	32
	平均値（km）	2	1.38	0.94	0.84	1.33
	標準偏差（km）	3	0.64	0.49	0.71	1.23
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	5	12	24	10	51
	平均値（km）	2	1.38	1.01	0.84	1.20
	標準偏差（km）	3	0.64	0.43	0.53	1.02

※　被害長さの統計量は，各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに１km幅に掛かる長さをもとに評価

島根原子力発電所　２号炉

(d)　陸側 3-4km

日本海（陸 3-4 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	竜巻スケール F1	竜巻スケール F2	竜巻スケール F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	20	4	15	1	0	0	0	20
	平均値（年）	0.39	0.08	0.29	0.02	—	—	—	0.39
	標準偏差（年）	0.66	0.27	0.57	0.14	—	—	—	0.66
	CV（年）	1.71	3.48	1.97	7.18	—	—	—	1.71
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	11	4	7	0	0	0	0	11
	平均値（年）	0.51	0.19	0.33	—	—	—	—	0.51
	標準偏差（年）	0.75	0.40	0.57	—	—	—	—	0.75
	CV（年）	1.46	2.15	1.77	—	—	—	—	1.46
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	7	4	3	0	0	0	0	7
	平均値（年）	1.27	0.73	0.55	—	—	—	—	1.27
	標準偏差（年）	1.04	0.55	0.88	—	—	—	—	1.04
	CV（年）	0.82	0.75	1.62	—	—	—	—	0.82
擬似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	56	38	17	1	0	0	0	0
	平均値（年）	1.07	0.73	0.33	0.02	—	—	—	—
	標準偏差（年）	0.79	0.55	0.57	0.14	—	—	—	—
	CV（年）	0.74	0.75	1.77	7.18	—	—	—	—

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違

【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

表 1.7 陸側 4-5km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（陸 4-5 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	15	2	12	1	0	1	0	16
	平均値（年）	0.29	0.04	0.23	0.02	－	0.02	－	0.31
	標準偏差（年）	0.64	0.20	0.62	0.14	－	0.14	－	0.65
	CV（年）	2.20	5.02	2.65	7.18	－	7.18	－	2.08
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	8	2	6	0	0	1	0	9
	平均値（年）	0.37	0.09	0.28	－	－	0.05	－	0.42
	標準偏差（年）	0.74	0.30	0.71	－	－	0.22	－	0.74
	CV（年）	1.98	3.20	2.55	－	－	4.64	－	1.78
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	6	2	4	0	0	1	0	7
	平均値（年）	1.09	0.36	0.73	－	－	0.18	－	1.27
	標準偏差（年）	1.16	0.55	1.28	－	－	0.43	－	1.04
	CV（年）	1.06	1.50	1.76	－	－	2.37	－	0.82
疑似51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	45	19	15	1	0	10	0	45
	平均値（年）	0.84	0.36	0.28	0.02	－	0.18	－	0.84
	標準偏差（年）	0.99	0.55	0.71	0.14	－	0.43	－	0.99
	CV（年）	1.18	1.50	2.55	7.18	－	2.37	－	1.18
疑似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	45	29	15	1	0	0	0	45
	平均値（年）	0.84	0.55	0.28	0.02	－	－	－	0.84
	標準偏差（年）	0.99	0.69	0.71	0.14	－	－	－	0.99
	CV（年）	1.18	1.27	2.55	7.18	－	－	－	1.18

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第７－６表　陸側４－５kmでの統計量

(a)　発生数

	期間	統計	F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	10	14	2	30	1	0	31
		平均値（個／年）	0.08	0.19	0.27	0.04	0.58	0.02	0.00	0.60
		標準偏差（個／年）	0.27	0.53	0.53	0.20	0.87	0.14	0.00	0.87
	1991.1-2012.6 21.5 年間	期間内個数	1	4	7	2	14	0	0	14
		平均値（個／年）	0.05	0.19	0.33	0.09	0.65	0.00	0.00	0.65
		標準偏差（個／年）	0.22	0.40	0.57	0.30	0.96	0.00	0.00	0.96
	2007.1-2012.6 5.5 年間	期間内個数	0	0	1	1	2	0	0	2
		平均値（個／年）	0.00	0.00	0.18	0.18	0.36	0.00	0.00	0.36
		標準偏差（個／年）	0.00	0.00	0.43	0.43	0.53	0.00	0.00	0.53

	期間	統計	F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	4	10	17	10	41
		平均値（個／年）	0.08	0.19	0.33	0.19	0.80
		標準偏差（個／年）	0.27	0.53	0.57	0.43	0.93
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	10	17	10	**41**
		平均値（個／年）	0.08	0.19	0.33	0.19	0.80
		標準偏差（個／年）	0.27	0.53	0.57	0.43	0.93

(b)　被害幅

期間	統計	F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	10	12	1	27
	平均値（m）	713	391	118	50	305
	標準偏差（m）	879	610	85	0	518
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	10	17	10	41
	平均値（m）	713	391	142	50	236
	標準偏差（m）	879	610	86	0	431

(c)　被害長さ

期間	統計	F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	4	10	12	1	27
	平均値（km）	3	1.28	0.93	0.20	1.34
	標準偏差（km）	1	0.48	0.41	0.00	0.93
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	4	10	17	10	41
	平均値（km）	3	1.28	1.03	0.20	1.08
	標準偏差（km）	1	0.48	0.40	0.00	0.89

※　被害長さの統計量は，各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに１km幅に掛かる長さをもとに評価

島根原子力発電所　２号炉

(e)　陸側 4-5km

日本海（陸 4-5 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3	不明（陸上）	不明（海上）	総数（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	15	2	12	1	0	1	0	16
	平均値（年）	0.29	0.04	0.23	0.02	—	0.02	—	0.31
	標準偏差（年）	0.64	0.20	0.62	0.14	—	0.14	—	0.65
	CV（年）	2.20	5.02	2.65	7.18	—	7.18	—	2.08
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	8	2	6	0	0	1	0	9
	平均値（年）	0.37	0.09	0.28	—	—	0.05	—	0.42
	標準偏差（年）	0.74	0.30	0.71	—	—	0.22	—	0.74
	CV（年）	1.98	3.20	2.55	—	—	4.64	—	1.78
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	6	2	4	0	0	1	0	7
	平均値（年）	1.09	0.36	0.73	—	—	0.18	—	1.27
	標準偏差（年）	1.16	0.55	1.28	—	—	0.43	—	1.04
	CV（年）	1.06	1.50	1.76	—	—	2.37	—	0.82
擬似51.5年間（全竜巻）	期間内総数	45	29	15	1	0	0	0	0
	平均値（年）	0.84	0.55	0.28	0.02	—	—	—	—
	標準偏差（年）	0.99	0.69	0.71	0.14	—	—	—	—
	CV（年）	1.18	1.27	2.55	7.18	—	—	—	—

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違

【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017. 12. 20 版）

表 1. 8 海側 0-1km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域（海 0-1 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	25	8	12	5	0	9	38	72
	平均値（年）	0.49	0.16	0.23	0.10	–	0.17	0.74	1.40
	標準偏差（年）	0.90	0.75	0.43	0.30	–	0.62	2.52	3.35
	CV（年）	1.86	4.86	1.83	3.08	–	3.55	3.41	2.40
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	15	8	6	1	0	8	38	61
	平均値（年）	0.70	0.37	0.28	0.05	–	0.37	1.77	2.84
	標準偏差（年）	1.23	1.15	0.46	0.22	–	0.91	3.71	4.86
	CV（年）	1.76	3.09	1.65	4.64	–	2.45	2.10	1.71
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	9	8	1	0	0	5	34	48
	平均値（年）	1.64	1.45	0.18	–	–	0.91	6.18	8.73
	標準偏差（年）	2.19	2.08	0.43	–	–	1.69	5.79	7.50
	CV（年）	1.34	1.43	2.37	–	–	1.86	0.94	0.86
疑似 51.5年間（陸上竜巻）	期間内総数	142	75	15	5	0	47	319	461
	平均値（年）	2.74	1.45	0.28	0.10	–	0.91	6.18	8.92
	標準偏差（年）	2.73	2.08	0.46	0.30	–	1.69	5.79	6.40
	CV（年）	1.00	1.43	1.65	3.08	–	1.86	0.94	0.72
疑似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	463	397	49	17	0	0	0	463
	平均値（年）	8.89	7.67	0.91	0.32	–	–	–	8.89
	標準偏差（年）	4.93	4.83	0.83	0.54	–	–	–	4.93
	CV（年）	0.55	0.63	0.92	1.71	–	–	–	0.55

東海第二発電所（2018. 9. 18 版）

第 7－1 表　海側 1－0 kmでの統計量

(a)　発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961. 1-2012. 6 51. 5 年間	期間内個数	1	12	30	10	53	8	28	89
		平均値（個／年）	0. 02	0. 23	0. 58	0. 19	1. 03	0. 16	0. 54	1. 73
		標準偏差（個／年）	0. 14	0. 47	1. 04	0. 63	1. 48	0. 37	1. 55	2. 79
	1991. 1-2012. 6 21. 5 年間	期間内個数	0	5	24	10	39	7	27	73
		平均値（個／年）	0. 00	0. 23	1. 12	0. 47	1. 81	0. 33	1. 26	3. 40
		標準偏差（個／年）	0. 00	0. 53	1. 31	0. 92	1. 88	0. 48	2. 22	3. 65
	2007. 1-2012. 6 5. 5 年間	期間内個数	0	0	5	7	12	3	18	33
		平均値（個／年）	0. 00	0. 00	0. 91	1. 27	2. 18	0. 55	3. 27	6. 00
		標準偏差（個／年）	0. 00	0. 00	1. 37	1. 50	2. 57	0. 55	3. 74	5. 91

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51. 5 年間の竜巻	疑似 51. 5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	1	12	58	95	166
		平均値（個／年）	0. 02	0. 23	1. 13	1. 84	3. 22
		標準偏差（個／年）	0. 14	0. 47	1. 31	1. 80	2. 28
	疑似 51. 5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	25	118	192	**338**
		平均値（個／年）	0. 06	0. 49	2. 29	3. 73	6. 56
		標準偏差（個／年）	0. 24	0. 68	1. 87	2. 55	3. 25

(b)　被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961. 1-2012. 6 51. 5 年間	期間内個数	1	11	27	6	45
	平均値（m）	2000	133	100	38	142
	標準偏差（m）	0	77	124	38	303
疑似 51. 5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	25	118	192	338
	平均値（m）	2000	145	108	38	88
	標準偏差（m）	0	79	129	35	203

(c)　被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961. 1-2012. 6 51. 5 年間	期間内個数	1	12	29	9	51
	平均値（km）	8	0. 91	0. 59	0. 24	0. 75
	標準偏差（km）	0	1. 71	0. 67	0. 33	1. 43
疑似 51. 5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	25	118	192	338
	平均値（km）	8	1. 09	0. 61	0. 25	0. 51
	標準偏差（km）	0	1. 88	0. 69	0. 31	1. 02

※　被害長さの統計量は，各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに１km幅に掛かる長さをもとに評価

島根原子力発電所　２号炉

（f）海側 0-1km

日本海（海 0-1 km）	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数
			F0	F1	F2	F3	（陸上）	（海上）	（含む不明）
1961～2012/6（51.5年間）	期間内総数	25	8	12	5	0	9	38	72
	平均値（年）	0.49	0.16	0.23	0.10	—	0.17	0.74	1.40
	標準偏差（年）	0.90	0.75	0.43	0.30	—	0.62	2.52	3.35
	CV（年）	1.86	4.86	1.83	3.08	—	3.55	3.41	2.40
1991～2012/6（21.5年間）	期間内総数	15	8	6	1	0	8	38	61
	平均値（年）	0.70	0.37	0.28	0.05	—	0.37	1.77	2.84
	標準偏差（年）	1.23	1.15	0.46	0.22	—	0.91	3.71	4.86
	CV（年）	1.76	3.09	1.65	4.64	—	2.45	2.10	1.71
2007～2012/6（5.5年間）	期間内総数	9	8	1	0	0	5	34	48
	平均値（年）	1.64	1.45	0.18	—	—	0.91	6.18	8.73
	標準偏差（年）	2.19	2.08	0.43	—	—	1.69	5.79	7.50
	CV（年）	1.34	1.43	2.37	—	—	1.86	0.94	0.86
擬似 51.5年間（全竜巻）	期間内総数	463	397	49	17	0	0	0	0
	平均値（年）	8.89	7.67	0.91	0.32	—	—	—	—
	標準偏差（年）	4.93	4.83	0.83	0.54	—	—	—	—
	CV（年）	0.55	0.63	0.92	1.71	—	—	—	—

備考

・竜巻検討地域の違いによる相違

【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 2.3.11　短冊領域での竜巻パラメータの分析結果

（a）陸側 0-1km（CASE 2-1）

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
				F0	F1	F2	F3
日本海（陸 0-1km） 擬似 51.5年間（全竜巻）	発生数	期間内総数	227	189	29	9	0
		平均値（年）	4.41	3.67	0.56	0.17	－
		標準偏差（年）	3.40	3.32	0.60	0.43	－
		CV（年）	0.77	0.91	1.07	2.47	－
	被害幅	期間内総数	227	189	29	9	0
		平均値（m）	128	123	124	241	－
		標準偏差（m）	154	141	121	375	－
		CV	1.21	1.15	0.97	1.55	－
	被害長	期間内総数	227	189	29	9	0
		平均値（km）	0.632	0.540	1.088	1.108	－
		標準偏差（km）	0.448	0.279	0.855	0.288	－
		CV	0.71	0.52	0.79	0.26	－

（b）陸側 1-2km（CASE 2-2）

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
				F0	F1	F2	F3
日本海（陸 1-2 km） 擬似 51.5年間（全竜巻）	発生数	期間内総数	98	75	20	3	0
		平均値（年）	1.90	1.46	0.39	0.06	－
		標準偏差（年）	2.17	2.08	0.59	0.24	－
		CV（年）	1.14	1.43	1.51	4.06	－
	被害幅	期間内総数	98	75	20	3	0
		平均値（m）	197	202	155	350	－
		標準偏差（m）	173	164	133	477	－
		CV	0.88	0.81	0.86	1.36	－
	被害長	期間内総数	98	75	20	3	0
		平均値（km）	0.766	0.685	1.112	0.482	－
		標準偏差（km）	0.434	0.348	0.548	0.500	－
		CV	0.57	0.51	0.49	1.04	－

（c）陸側 2-3km（CASE 2-3）

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
				F0	F1	F2	F3
日本海（陸 2-3 km） 擬似 51.5年間（全竜巻）	発生数	期間内総数	102	85	15	2	0
		平均値（年）	1.98	1.65	0.29	0.04	－
		標準偏差（年）	1.58	1.46	0.56	0.20	－
		CV（年）	0.80	0.89	1.91	5.02	－
	被害幅	期間内総数	102	85	15	2	0
		平均値（m）	174	162	206	475	－
		標準偏差（m）	180	167	162	601	－
		CV	1.04	1.04	0.79	1.27	－
	被害長	期間内総数	102	85	15	2	0
		平均値（km）	0.684	0.610	0.988	1.566	－
		標準偏差（km）	0.366	0.298	0.424	0.433	－
		CV	0.54	0.49	0.43	0.28	－

・竜巻検討地域の違いによる相違
【東海第二】

（竜巻パラメータについては，柏崎 6/7 は「参考資料３　表 1.1」で，東海第二は「表 7-1」～「表 7-6」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所 6／7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考

(d) 陸側 3-4km (CASE 2-4)

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3
日本海 (陸 3-4 km) 擬似 51.5年間 (全竜巻)	発生数	期間内総数	56	38	17	1	0
		平均値(年)	1.09	0.74	0.33	0.02	—
		標準偏差(年)	0.79	0.55	0.57	0.14	—
		CV(年)	0.73	0.74	1.74	7.18	—
	被害幅	期間内総数	56	38	17	1	0
		平均値 (m)	213	224	147	900	—
		標準偏差 (m)	216	228	78	—	—
		CV	1.01	1.02	0.53	—	—
	被害長	期間内総数	56	38	17	1	0
		平均値 (km)	0.861	0.809	0.961	1.129	—
		標準偏差 (km)	0.310	0.252	0.401	—	—
		CV	0.36	0.31	0.42	—	—

(e) 陸側 4-5km (CASE 2-5)

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3
日本海 (陸 4-5 km) 擬似 51.5年間 (全竜巻)	発生数	期間内総数	45	29	15	1	0
		平均値(年)	0.87	0.56	0.29	0.02	—
		標準偏差(年)	0.99	0.69	0.71	0.14	—
		CV(年)	1.14	1.23	2.44	7.18	—
	被害幅	期間内総数	45	29	15	1	0
		平均値 (m)	299	359	145	900	—
		標準偏差 (m)	247	254	63	—	—
		CV	0.83	0.71	0.44	—	—
	被害長	期間内総数	45	29	15	1	0
		平均値 (km)	1.029	1.003	1.095	0.807	—
		標準偏差 (km)	0.132	0.001	0.212	—	—
		CV	0.13	0.00	0.19	—	—

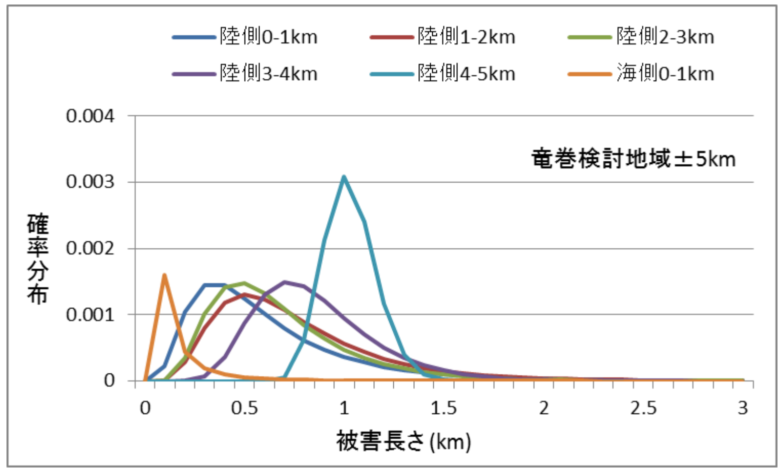
(f) 海側 0-1km (CASE 2-6A)

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール F0	F1	F2	F3
日本海 (海 0-1 km) 擬似 51.5年間 (全竜巻)	発生数	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値(年)	8.99	7.71	0.95	0.33	—
		標準偏差(年)	4.93	4.83	0.83	0.54	—
		CV(年)	0.55	0.63	0.87	1.63	—
	被害幅	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値 (m)	100	83	145	368	—
		標準偏差 (m)	120	62	148	406	—
		CV	1.20	0.74	1.02	1.10	—
	被害長	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値 (km)	0.065	0.010	0.517	—	—
		標準偏差 (km)	0.183	0.009	0.273	—	—
		CV	2.80	0.89	0.53	—	—

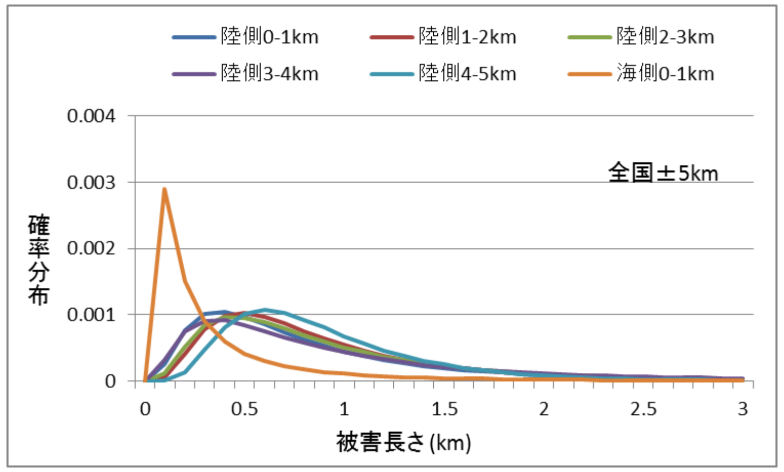
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

（g）海側 0-1km（陸側 0-1km 被害長さ考慮）（CASE 2-6B）

	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
				F0	F1	F2	F3
日本海 （海 0-1 km） （陸0-1km考慮） 擬似 51.5年間 （全竜巻）	発生数	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値（年）	8.99	7.71	0.95	0.33	—
		標準偏差（年）	4.93	4.83	0.83	0.54	—
		CV（年）	0.55	0.63	0.87	1.63	—
	被害幅	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値（m）	100	83	145	368	—
		標準偏差（m）	120	62	148	406	—
		CV	1.20	0.74	1.02	1.10	—
	被害長	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値（km）	0.632	0.540	1.088	1.108	—
		標準偏差（km）	0.448	0.279	0.855	0.288	—
		CV	0.71	0.52	0.79	0.26	—



(a) 竜巻検討地域



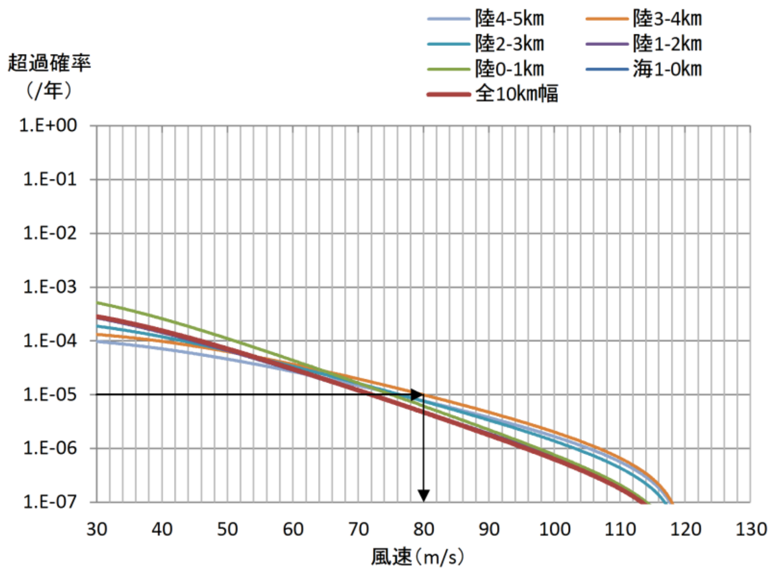
(b) 全国

図 2.3.13　被害長さの分布形

・資料構成の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
島根２号炉は，竜巻検討地域と全国の被害長さの分布形の比較のため，被害長さの分布形を記載している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18 版）



第７－２図　竜巻検討地域を１km幅ごとに細分化した場合のハザード曲線

（10 km幅でのハザード曲線もあわせて記載）

島根原子力発電所　２号炉

2.3.6.4 竜巻ハザードの算定結果

ハザードの計算条件を表 2.3.12 に示す。また，ハザードの算定結果を図 2.3.14 及び表 2.3.13 に示す。1km 短冊の面積は，10km 幅の面積を短冊幅の比率で等分している。

算定結果によると，1km 短冊の結果は基本ケースと同等あるいはそれを下回る値となっており，年超過確率が 10^{-5} となる風速については，陸側 0-1km の被害長さを考慮した海側 0-1km のケース（CASE 2-6B）が最も大きく，61.4m/s である。

表 2.3.12　竜巻ハザードの計算条件

検討ケース	日本海側±5km	統計量	発生数 (個)	風速(V) m/s	幅(W) m	被害長さ(L) m	相関係数※1 V ～ W	V ～ L	W ～ L
基本ケース	±5km	平均値	23.05	28.6	121	1607	(0.05)	0.31	0.46
		標準偏差	8.97	9.4	131	2697			
CASE 2-1	陸側 0-1km	平均値	4.41	28.5	128	632	同上（検討地域±5kmの値を代用）		
		標準偏差	3.40	9.7	154	448			
CASE 2-2	陸側 1-2km	平均値	1.90	29.4	197	766			
		標準偏差	2.17	8.6	173	434			
CASE 2-3	陸側 2-3km	平均値	1.98	28.1	174	684			
		標準偏差	1.58	8.8	180	366			
CASE 2-4	陸側 3-4km	平均値	1.09	30.6	213	861			
		標準偏差	0.79	8.6	216	310			
CASE 2-5	陸側 4-5km	平均値	0.87	31.3	299	1029			
		標準偏差	0.99	9.0	247	132			
CASE 2-6A	海側 0-1km	平均値	8.99	28.0	100	65			
		標準偏差	4.93	9.3	120	183			
CASE 2-6B	海側 0-1km（陸側0-1km被害長さ考慮）	平均値	8.99	28.0	100	632			
		標準偏差	4.93	9.3	120	448			

※１：相関係数の赤字は負の相関を表す。負の相関の場合は，無相関（=0）とする。

1km 短冊の相関係数は，±5km 領域での値を代用。

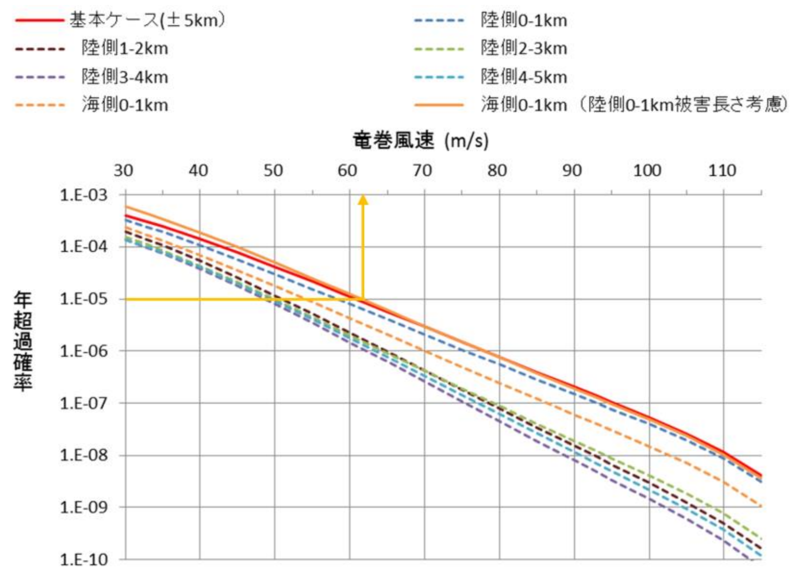


図 2.3.14　短冊領域におけるハザードの算定結果

備考

（柏崎 6/7 号炉は，算定結果について「参考資料３　１」で記載）

・算定結果の相違

【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉

2. 1km ごとの領域で竜巻ハザードを求める際の問題点

ガイドでは，以下のように述べられている。

- ✓ 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を目安に竜巻検討地域を設定する
- ✓ 上記の場合，少なくとも 1km 範囲ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定し，そのうちの V_{B2} が最も大きな値として設定される確率分布を設計で用いること
- ✓ 竜巻最大風速の確率密度分布の設定に当たっては，竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに区切ってそれぞれの範囲の確率分布を算定し，そのうちの V_{B2} が最も大きな値として設定される確率分布を設定する等，配慮すること

また，2013 年 10 月出された JNES の『原子力発電所の竜巻影

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第７－７表　評価結果のまとめ

領域	10 km幅	海 1-0 km	陸 0-1 km	陸 1-2km	陸 2-3km	陸 3-4km	陸 4-5 km
10^{-5}／年での最大風速※（m／s）	73	73	76	72	77	**80**	77

※　太字下線ありの値は最大値

8.　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

前記の第７－７表に示すとおり，竜巻検討地域全域（10 km幅）及び１km幅ごとのハザード曲線において，年超過確率 10^{-5} での風速の最大値は 80m／s であり，これを最大風速 V_{B2} とする。最大風速評価結果を第８－１表に示す。

第８－１表　ハザード曲線による最大風速評価結果

ハザード曲線の算定範囲	年超過確率 10^{-5} での最大風速
竜巻検討地域全域（10 km幅）	73m／s
１km幅ごとの最大	80m／s（陸側３－4km）

島根原子力発電所　２号炉

表 2.3.13　年超過確率に対応した竜巻風速

検討ケース	日本海側	超過確率に対応する風速(m/s) 1.E-04	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-08
基本ケース	±5km	43.0	60.8	78.0	95.3	110.7
CASE 2-1	陸側 0-1km	40.6	58.3	75.5	93.0	109.2
CASE 2-2	陸側 1-2km	35.6	51.0	64.9	78.6	92.6
CASE 2-3	陸側 2-3km	33.7	49.8	64.4	79.1	94.2
CASE 2-4	陸側 3-4km	32.7	48.7	62.2	75.5	88.8
CASE 2-5	陸側 4-5km	33.0	49.3	63.4	77.1	90.9
CASE 2-6A	海側 0-1km	37.2	54.0	70.0	86.3	102.7
CASE 2-6B	海側 0-1km（陸側0-1km被害長さ考慮）	44.8	61.4	78.0	94.8	110.2

2.3.7 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）の設定

Ｆスケール不明の海上竜巻の発生数は，陸上竜巻のＦスケール別発生比率で按分して取り扱っているが，竜巻検討地域を「北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸」にすることに伴う竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性（日本海側はＦスケール不明の海上竜巻が多い）を踏まえ，参照する年超過確率を 10^{-5} から一桁下げた年超過確率 10^{-6} における風速とすると，表 2.3.7 及び表 2.3.13 のとおり，陸側及び海側 5km 全域での評価，1km 範囲ごとに細分化した評価ともに 78m/s となる。以上より，竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} は 78m/s とする。

備考

・算定結果の相違

【東海第二】

（柏崎 6/7 号炉は，V_{B2} の設定について「(7)」で記載）

・V_{B2} の設定方法の相違

【柏崎 6/7】

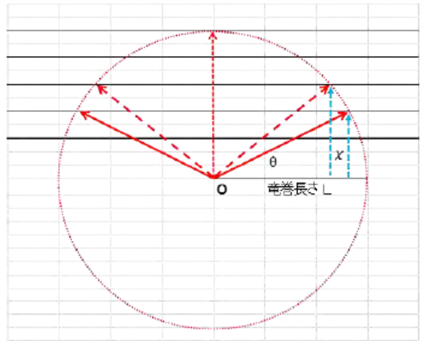
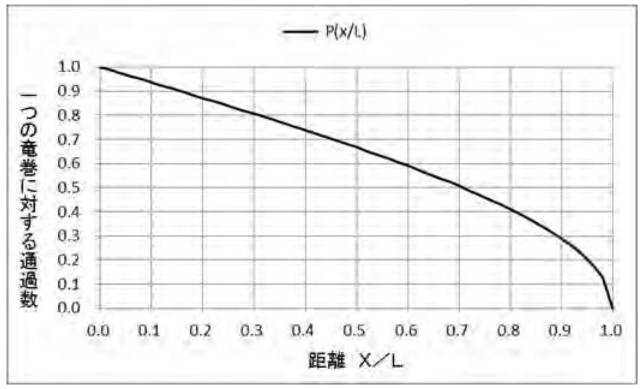
島根２号炉は V_{B2} の設定において，ガイドに従い，不確実性及び保守性の考慮をして 1km 範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線についても考慮している。

【東海第二】

島根２号炉はデータの不確実性を踏まえ年超過確率 10^{-6} を参照している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
響評価ガイド(案)及び解説』には，以下のような記述がある。 ✓　【発生数】データ数確保の観点から，それぞれの竜巻の発生地点と消滅地点の 2 点を直線で結び，直線が複数の細分化した地域に跨る場合は全ての細分化地域で竜巻が発生したとする。 ✓　【竜巻風速・幅・長さ・移動方向】確率分布は，データ数確保の観点から，竜巻検討地域全体で評価する。竜巻の発生地点と消滅地点が竜巻検討地域外であっても,その 2 点を結ぶ直線が竜巻検討地域を通過するあるいは接する場合は，竜巻検討地域に属するものとする。 このようなガイドや解説の考え方に基づき，竜巻検討地域（±5km 範囲）を通過する竜巻も発生数にカウントするだけではなく，1.では 1km ごとの短冊領域についても通過数を発生数にカウントして評価を行っている。 通過数を発生数と見なす方法や，1km ごとの短冊領域でハザードを求める考え方には問題点が多い。ここでは，以下の 3 つの視点からその問題点を考察する。 1. Wen and Chu モデルの理論的仮定との不整合 2. 発生数と通過数の関係 3. 竜巻データベースの質 2.1 Wen and Chu モデルの物理的な意味 Wen and Chu の確率論的なモデルでは，直径 D_0 の円形構造物に対して，1 つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積 $DA(V_0)$ の期待値 $E[DA(V_0)]$ は以下で表される。 $$E[DA(V_0)]=\int_0^\infty\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,l\,f(V,w,l)\,dV\,dw\,dl + D_0\int_0^{2\pi}\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty l\,f(V,l,\alpha)\,dVdld\alpha + D_0\int_0^{2\pi}\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,f(V,w,\alpha)\,dVdwd\alpha + (D_0^2\pi/4)\int_{V_0}^\infty f(V)dV \quad (1)$$ ここで，V，w，l，αは，それぞれ竜巻の最大風速，幅，長さ及び移動方向である。また，f(x,y,z)は x,y,z の同時確率密度分布，			

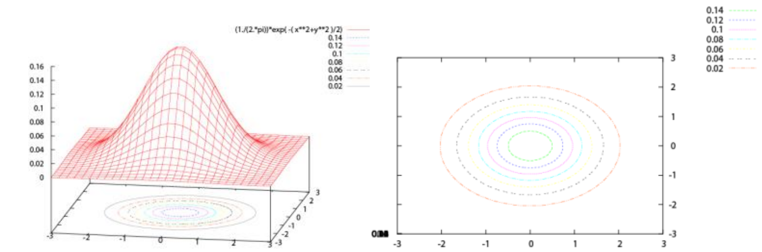
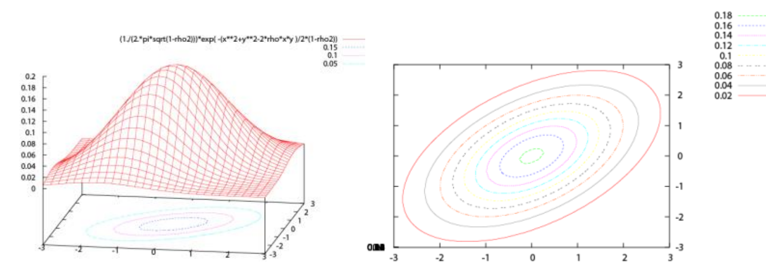
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
$W(V_0)$は幅方向の補正率である。 式(1)において竜巻長さ L を 0～∞まで積分していることから分かるように，Wen andChu のモデルでは，面的に一様な竜巻パラメータ（同時確率密度分布）を持つ無限に広い領域を想定している。ただし，出現確率が非常に低ければ寄与率は無視できるため，無限に広い領域あるいは無限大の長さの竜巻を考える必要はない。しかし，結果に影響を与える竜巻の長さの範囲内では場の均一性を確保しておく必要がある。 海岸線から 1km ごとの短冊に区切って竜巻パラメータを求めハザードを計算することは，そのパラメータ特性が陸側・海側の両方に広い範囲で続いていることを想定していることになる。 竜巻長さの評価は，風速とともに，ハザードの評価に最も大きな影響を与えるため，非常に狭い範囲で評価された竜巻パラメータを使用する事は問題が大きい。 2.2 発生数と通過数の関係 無限に広い領域を帯状に区切った図 2.1 のような領域を想定し，点０ で発生した長さＬの竜巻の移動を考える。それぞれの方向（θ＝0 度の方向（海岸線を想定）は帯状の領域に平行，θ=90 度の方向（図の上向き）にｘ軸）へ移動する確率は一様であると仮定した場合，x 軸方向への移動距離 x/L について示した結果を図 2.2 に示す。竜巻長さが 1.6km 程度（沿岸±5km での竜巻長さ平均値（疑似データ））であれば，海岸線から 1km 以上離れた場所に到達する確率は 0.5 程度，0.5km 離れた場所に到達する確率は 0.8 程度もある。図 2.1 は竜巻移動方向が半円内で一様とした場合であるが，θ＝90 度の方向に移動方向が集中していれば，通過確率は更に高くなる。また区間を短くすればするほど，移動距離の長い竜巻ほど，見かけの発生密度の増加は顕著になり，ハザードを必要以上に過大に評価することにつながる。			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 2.1 竜巻の発生と移動の概念図  図 2.2 帯状領域での竜巻の通過数 2.3 竜巻データベースの質 上陸竜巻（水上で発生し，その後上陸した竜巻）の場合，その発生場所の緯度・経度は陸上を指す場合が多く，上陸地点若しくは被害の発生地点（陸上）がデータベースに記されているものと考えられる。即ち，上陸竜巻の多くは，本当の発生位置（海上）を特定することは難しい。このような竜巻に関しては，海岸から 1km 以内の海側 [1] で発生したものとするとともに，上陸後の竜巻パラメータ（F スケール，被害長さ，被害幅）を解析に用いている。 一方，沿岸域を 1km ごとの短冊領域で評価する場合は，発生・消滅場所の緯度・経度情報から短冊内での発生数と通過数及び短冊内の竜巻長さ（セグメントの長さ）を解析することになる。上陸竜巻の緯度・経度情報は，多くの場合，海側を指していないため，陸側の F スケールや竜巻幅は分かっていても，海側のセグメントの長さを評価することができない。			

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
一方，水上（上陸せず）の竜巻は，緯度・経度情報からセグメントの長さを求めることは可能であるが，逆にFスケールや幅等のパラメータは不明である。さらに，目撃情報をもとにした発生・消滅位置の緯度経度から求めた竜巻長さと，陸上での実際の被害域から求めた竜巻長さとは質的に異なるデータである。 また，海上竜巻の緯度・経度情報の精度についても，陸上竜巻の場合，その誤差は±1 秒と非常に小さいが，海上竜巻の場合には±10～±30 秒程度のものが多く，竜巻によっては±1 分というものもある。一般に，沖合になればなるほど誤差範囲は大きくなり，沖合 5km では±2～±3 分の誤差範囲と記されたデータも少なくない。 [1] 海岸線を通過した竜巻と位置づけるのが正しいが，沿岸部を発生位置としている。沿岸部での発生数が多い一因とも言える。 2.4 発生数・同時確率密度分布・ハザードの関係 竜巻の(年平均)発生数 ν，同時確率密度分布 f(x,y,z)，及び竜巻ハザード（1 年間にいずれかの竜巻により V_0 以上の被害を受ける確率 $P_{V0}(D)$）の関係について整理する。竜巻のハザード $P_{V0}(D)$ は，竜巻の年平均発生数 ν と次の関係にある。 $$P_{Vo}(D) \approx \nu R(V_0) = \nu \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (2)$$ 即ち，竜巻の場合，ハザードは年平均発生数 ν，$E[DA(V_0)]$に比例し，竜巻検討地域の面積 A_0 に反比例する。 1km 幅の短冊では A_0 が 1/10 になるため，($E[DA(V_0)]$は一定とすると) ν が 1/10 近くにならない限りかなり大きなハザードを与える。 被害面積期待値 $E[DA(V_0)]$ は，竜巻風速，被害幅，被害長さ及び移動方向がそれぞれ無相関だと仮定すると，次式で近似できる。 $$E[DA(V_0)] \approx (1-F(v_0)) \times \left[\overline{w}\,\overline{l} + \mathrm{D}_0\overline{l} + \overline{w}\mathrm{D}_0 + (\pi \mathrm{D}_0{}^2/4)\right] \quad (3)$$ 即ち，被害面積期待値は，風速の超過確率（$1-F(V_0)$）に比例する。また，上式の第 1 項，第 2 項の寄与度が大きいので，平均被害長さ l にもほぼ比例する。1km 幅の短冊の場合，被害長さ l を			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
全長で取ると，（式(2)も考慮すると）非常に大きなハザードとなる。 　同時確率密度分布 f(x,y,z)は，竜巻パラメータが x,y,z となる一つの竜巻の出現確率を表している。したがって，N 個の竜巻があった場合，それらの竜巻のパラメータの出現割合（N 個に対する割合）のみが確率分布に反映され，個数 N は平均値ν を通じてハザードに反映される（式(2)参照)。 　日本の場合，沿岸部で竜巻の発生数（含む上陸数）は多いが，比率的には F スケールの小さなものが支配的である。一方，内陸部（例えば陸側 4～5km）では発生数は少ないが，相対的に F スケールの大きな竜巻の比率が大きい。しかも，F スケールの大きな竜巻は沿岸部から移動してくるため，通過竜巻も考慮したハザードは予想以上に厳しくなることがある。 2.5 まとめ 　1km ごとの短冊でハザードを求めることは，Wen and Chu の数学的モデルが仮定している条件を満足していない。また，Wen and Chu のモデルは，一つの竜巻の出現確率（同時確率密度分布）に基づくものであり，竜巻パラメータに応じた通過数は必然的に満足されている。したがって，通過数を発生数と見なすことは，発生数を過剰に評価することになる。 短冊の区間を短く取れば取るほど，あるいは竜巻長さが長くなればなるほど，通過数を考慮した発生数の密度は高くなるという不合理性を有している。通過数は，定常な状態では一定値になることから，場の均一性を確認するために使用すべきであり，発生数と混同してはならない。 　海上竜巻の緯度・経度情報をもとに，1km 刻みで海上竜巻を精度良く解析することは困難である。一方で，近年，海上竜巻が数多く観測・目撃されていることを考えると，その影響は考慮すべきと考える。観測精度やデータの質等を勘案すると，海域 5km 程度の範囲内での海上竜巻の発生数を考慮しつつ，海上竜巻の特性を陸上竜巻の特性で代用する手法は妥当なものであると考える。 また，海岸線から±5km の範囲は，F2 クラスの竜巻長さの平均値及びばらつき（平均値 2.967km，標準偏差 3.205km）を考慮しても，Wen and Chu のモデルの適用範囲内にあると考える。			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		付録１　対数正規分布について 平均値μ，標準偏差σの正規分布は次式で表される。 $$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}\right)\right] \quad (付1.1)$$ ここで，確率変量Ｘの自然対数を取った変量が，正規分布で表されるとき，Ｘは対数正規分布に従うと言う。 $$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\ln}{}^2}}\frac{1}{x}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{(\ln(x)-\mu_{\ln})^2}{\sigma_{\ln}{}^2}\right)\right] \quad (付1.2)$$ 上式中の$\mu_{\ln}$，$\sigma_{\ln}$は$\ln(x)$の平均値と標準偏差であり，変数xの平均値μや標準偏差σとは以下の関係にある。 $$\sigma_{\ln}^2=\ln\left(CV^2+1\right) \quad (付1.3)$$ $$\mu_{\ln}=\ln(\mu)-\frac{\sigma_{\ln}^2}{2} \quad (付1.4)$$ ここに，CV は変動係数（＝σ/μ）である。 即ち，対数正規分布とは，変数xを対数変換したものが正規分布で表される場合に使用され，大きな値が希に出現するような現象を表す場合に適合度が良くなる。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉は，「2.3.4.1」の内容を補足するため，対数正規分布鵜について記載している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		付録２　２変量の確率分布関数について 確率変量 X,Y があり，それぞれの確率分布が f(x)，f(y)で表されるとする。また，X，Y の同時確率分布を f(x,y)とする。例えば x を竜巻風速，y を竜巻幅とすると，同時確率分布 f(x,y)とは，風速 50m/s，幅 100m の竜巻が発生する確率などを表す。 風速と竜巻幅の間に相関が無い場合は，同時確率分布はそれぞれの分布形の積で表すことができる。 $f(x,y)=f(x)\times f(y)$　（付 2.1） 一方，両者の間に相関がある場合，例えば，風速が大きいほど（F スケールが大きいほど）竜巻の被害幅も大きくなるような場合には，相関係数を考慮する必要がある。この相関関係の有無により，同時確率分布は付図 1 のように変化する。なお，同時確率分布を x あるいは y について積分した結果は，以下のようになる。 $\int f(x,y)dx=f_1(y)$ $\int f(x,y)dy=f_2(x)$　（付 2.2） $\iint f(x,y)dxdy=1$ ここに，$f_1(y)$，$f_2(x)$は x，y の 1 変量確率分布である。  (a) ２変量の正規分布（無相関の場合）  (b) ２変量の正規分布（相関がある場合） 付図１　２変量確率分布に関する説明図	・資料構成の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉は，「2.3.4.5」の内容を補足するため，２変量の確率分布関数について記載している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
【参考資料 4】 短冊ケース海側 0-1km の評価方法について 1. はじめに 海側の竜巻発生位置は不明な場合が多く，セグメント長さが精度良く求められないため，海側 0-1km のセグメント長さの評価に陸側 0-1km 短冊の値等を代用する方法を用いて評価した。 2. 海側 0-1km 短冊でのセグメント長さの設定 海側 0-1km のセグメント長さは，竜巻特性が最も類似している隣接する陸側 0-1km 短冊での値で代用するのが合理的であると考えられる（CASE 2-6B～6D)。 一方，図 2.1 の上陸竜巻の発生位置から推察されるように，陸側 0-1km 短冊のセグメント長さは過小評価されている可能性がある。そこで，発生位置が海側あるいは海岸線にない上陸竜巻については，その発生位置を海岸線にまで外挿し，陸側 0-1km のセグメント長さ（表 2.1 の右端の欄参照）を保守的に評価し（CASE 3-1)，それを用いて海側 0-1km のハザードを評価した（CASE 3-2)。 上陸竜巻の場合，海側の発生位置は明確ではないが，全ての上陸竜巻が海側 0-1km 短冊を通過したとする極端な場合を想定し，移動経路を海側 1km まで外挿した場合のセグメント長さも参考のために求め，海側に発生位置がある上陸竜巻はその発生位置を真とし，陸側に発生位置がある場合のみ海側 1km を発生位置とした場合を，外挿混合と呼び，セグメント長さの比較を行った（表 3.1 の参考欄を参照)。			（島根２号炉は，短冊ケースの評価方法について「2.3.6.2」及び「2.3.6.3」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

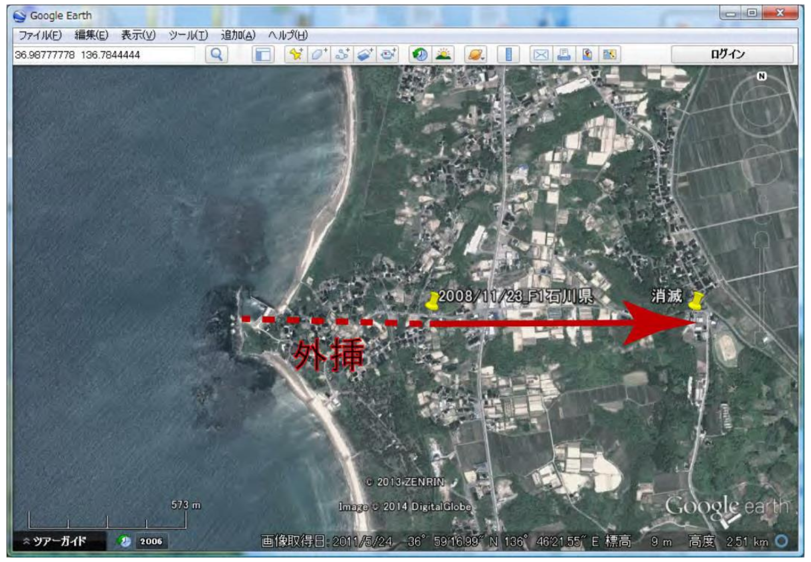


図 2.1 上陸竜巻のデータベース上の発生・消滅位置の一例
(2008/11/23 の竜巻)

表 2.1 竜巻検討地域の竜巻データ一覧と 1km 短冊でのセグメント長さ

日本海	発生日時		発生場所		発生位置		F Scale	被害長 (km)	被害幅 (m)	竜巻区分	海側1km短冊のセグメント長さ (km)					陸側1km短冊のセグメント長さ (km)					上陸竜巻の外挿		
	年月日	時刻	都道府県	市町村	緯度	経度					4-5km	3-4km	2-3km	1-2km	0-1km	0-1km	1-2km	2-3km	3-4km	4-5km	海1まで	混合	陸0まで
1	19750531	18:10	島根県	簸川郡大社町	35.433	132.628	2	1.8	50	OL						0.842					1.139	1.139	0.906
2	19890316	19:20	島根県	簸川郡大社町	35.4	132.667	2	-999	-999	OL					-999						-999	-999	
3	19900406	2:55	石川県	羽咋郡富来町	37.203	136.682	2	10	900	OL					0	1.023	1.053	1.259	1.129	0.807	1.301	0	1.023
4	19741003	19:05	北海道	奥尻郡奥尻町	42.189	139.517	1.5	-999	-999	OL					-999						-999	-999	
5	19991125	15:40	秋田県	八森町	40.347	140.027	1.5	1	100	OL						0.896	0.123				1.024	1.024	1.000
6	19680108	9:50	新潟県	中頸城郡大潟	37.23	138.323	1	-999	-999	OL						1.151	1.164	1.161	1.173	1.173	1.182	1.182	1.201
7	19690622	9:00	山口県	阿武郡須佐町	34.625	131.603	1	6.5	200	OL						2.873	2.383				3.087	3.087	5.095
8	19721121	17:05	富山県	黒部市	36.891	137.416	1	-999	-999	OL					0						0	0	
9	19920917	9:05	北海道	増毛町	43.847	141.499	1	-999	20	OL					-999						-999	-999	
10	20010601	13:20	青森県	西津軽郡岩崎	40.535	139.946	1	0.8	150	OL						0.189					1.108	1.108	0.217
11	20040815	12:10	北海道	礼文郡礼文町	45.456	141.034	1	-999	-999	OL					0						0	0	
12	19730521	16:30	石川県	羽咋郡押水町	36.832	136.746	0.5	2	30	OL						1.084	0.978				1.088	1.088	1.090
13	19750531	18:10	島根県	簸川郡大社町	35.435	132.633	0.5	1.3	50	OL					0.361	0.133					1.539	0.361	0.133
14	19791031	13:00	石川県	羽咋郡富来町	37.139	136.684	0.5	-999	20	OL					0.243	3.1	1.123	0.081			1.881	0.243	3.1
15	20020923	14:30	富山県	下新川郡朝日	36.971	137.554	0.5	2	500	OL					0.945	1.028	1.021	0.14			1.021	0.945	1.028
16	20081123	10:20	石川県	羽咋郡志賀町	36.988	136.774	0.5	1	150	OL						0.528	0.437				1.224	1.224	1.139
17	20081015	13:48	新潟県	新潟市	37.86	138.916	0	2	70	OL						0.558	1.001	1.004	0.78		1.006	1.006	1.000
18	20081030	12:38	鳥取県	岩美郡岩美町	35.584	134.293	0	0.8	3	OL					0.018	0.802					1.268	0.018	0.802
19	20091030	7:26	青森県	西津軽郡深浦	40.505	139.999	0	0.1	30	OL					0						0	0	
20	20100917	10:55	新潟県	長岡市	37.634	138.76	0	2.5	150	OL					0.001	1.041	1.13	0.412			1.040	0.001	1.041
21	20101015	4:30	石川県	羽咋郡志賀町	37.168	136.676	0	0.1	30	OL						0.049					1.115	1.115	0.104
22	20101015	17:00	新潟県	胎内市	38.056	139.323	0	0.8	200	OL						0.819					1.123	1.123	0.889
23	20101017	12:40	秋田県	山本郡八峰町	40.381	139.995	0	0.5	100	OL						0.475					1.507	1.507	0.489
24	20101227	1:30	石川県	羽咋郡志賀町	37.018	136.744	0	0.7	80	OL						0.606					1.037	1.037	0.744
25	19780814	10:40	北海道	豊富町	45.083	141.633	-999	1.2	20	OL						0.962	0.135				1.126	1.126	1.092
26	19930926	15:52	北海道	留萌市	43.955	141.615	-999	0	0	OL				0.435	2.436	0.556					2.436	2.436	0.556
27	19960905	10:20	秋田県	由利郡金浦町	39.255	139.9	-999	0	0	OL					1.013						1.092	1.013	
28	20090823	18:37	山形県	鶴岡市	38.61	139.574	-999	-999	-999	OL					0						0	0	
29	20090823	18:51	山形県	鶴岡市	38.624	139.585	-999	-999	-999	OL					0						0	0	
30	20091004	12:50	秋田県	秋田市	39.665	140.074	-999	-999	-999	OL					0						0	0	
31	20091027	13:10	新潟県	糸魚川市	37.035	137.821	-999	-999	-999	OL					0						0	0	
32	20101026	7:10	北海道	石狩市	43.394	141.431	-999	0.1	20	OL					0.009	0.182					1.858	0.009	0.182

3. 竜巻パラメータの推定結果及び竜巻ハザードの推定結果

ハザードの計算条件を表 3.1 に示す。また，ハザードの推定結果を図 3.1 及び表 3.2 に示す。陸側 0-1km の長さで代用した場合（CASE 2-6B）は，ハザードの風速は 58.4m/s と±5km ケースとほぼ同じとなる。

海側 0-1km のハザードは，不確実性が最も大きな短冊であり，そのセグメント長さの取り方によって結果が 59〜62m/s の範囲となるが，いずれにおいても V_B(=76m/s)を上回らない。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

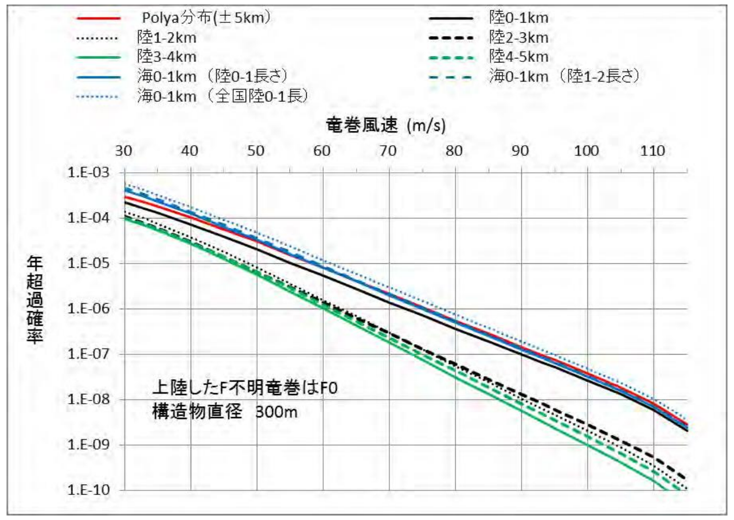
表 3.1 竜巻ハザードの計算条件

検討ケース	竜巻検討地域（日本海側±5km）	統計量	発生数（個）	風速（m/s）	幅（m）	長さ（m）	相関係数 U ～ W	相関係数 U ～ L	相関係数 W ～ L
CASE 1A-1	±5km （V一様分布）	平均値	23.05	28.6	121	1607	(0.05)	0.31	0.46
		標準偏差	8.97	9.4	131	2697			
CASE 2-1	陸 0-1km	平均値	4.41	28.5	128	632	同上（検討地域±5kmの値を代用）		
		標準偏差	3.40	9.7	154	448			
CASE 2-2	陸 1-2km	平均値	1.90	29.4	197	766			
		標準偏差	2.17	8.6	173	434			
CASE 2-3	陸 2-3km	平均値	1.98	28.1	174	684			
		標準偏差	1.58	8.8	180	366			
CASE 2-4	陸 3-4km	平均値	1.09	30.6	213	861			
		標準偏差	0.79	8.6	216	310			
CASE 2-5	陸 4-5km	平均値	0.87	31.3	299	1029			
		標準偏差	0.99	9.0	247	132			
CASE 2-6A	海 0-1km	平均値	8.99	28.0	100	65			
		標準偏差	4.93	9.3	120	183			
CASE 2-6B	海 0-1km（陸0-1km長さ）	平均値	8.99	28.0	100	632			
		標準偏差	4.93	9.3	120	448			
CASE 2-6C	海 0-1km（陸1-2km長さ）	平均値	8.99	28.0	100	766			
		標準偏差	4.93	9.3	120	434			
CASE 2-6D	海 0-1km（全国陸0-1km長さ）	平均値	8.99	28.0	100	896			
		標準偏差	4.93	9.3	120	810			
CASE 3-1	陸 0-1km（外挿）	平均値	4.41	28.5	128	703			
		標準偏差	3.40	9.7	154	582			
CASE 3-2	海 0-1km（陸0-1km外挿長さ）	平均値	8.99	28.0	100	703			
		標準偏差	4.93	9.3	120	582			
参考	海側 0-1km 外挿混合	平均値	8.99	28.0	100	874			
		標準偏差	4.93	9.3	120	574			

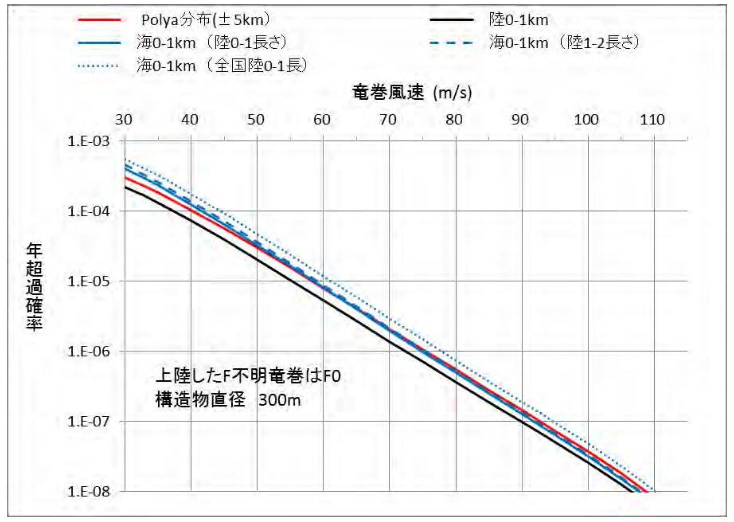
(注)風速のゴシックは，風速を F スケール内の一様分布で推定。
その他は中央値。

(注)相関係数の赤字は負の相関を表す。負の相関の場合は，無相関（=0）とする。
1km 短冊の相関係数は，±5km 領域での値を代用。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



（a）短冊領域のハザード比較



（b）海岸線付近のハザード比較

図 3.1 短冊領域におけるハザードの推定結果

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 3.2 超過確率に対応した竜巻風速

検討ケース	柏崎刈羽原子力発電所【建物直径 300m】	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
CASE 1A-1	±5km （V一様分布）	40.3	58.3	75.4	92.7	108.7
CASE 1A-2	±5km （V 中央値）	38.8	53.6	67.1	80.4	93.9
CASE 2-1	陸側 0-1km	37.2	55.2	72.4	89.9	106.6
CASE 2-2	陸側 1-2km	32.7	48.7	62.6	76.4	90.3
CASE 2-3	陸側 2-3km	30.6	47.2	62.0	76.6	91.6
CASE 2-4	陸側 3-4km	---	46.4	60.1	73.3	86.5
CASE 2-5	陸側 4-5km	30.1	47.1	61.2	74.9	88.6
CASE 2-6A	海側 0-1km	32.1	49.7	65.8	82.0	98.6
CASE 2-6B	海 0-1km（陸0-1km長さ）	41.6	58.4	74.9	91.7	107.7
CASE 2-6C	海 0-1km（陸1-2km長さ）	42.4	59.0	75.4	92.1	108.0
CASE 2-6D	海 0-1km（全国陸0-1km長）	44.3	61.1	77.8	94.7	110.2
CASE 3-1	陸 0-1km（外挿）	38.1	56.0	73.2	90.6	107.2
CASE 3-2	海 0-1km（陸0-1km外挿）	42.6	59.5	76.0	92.9	108.7

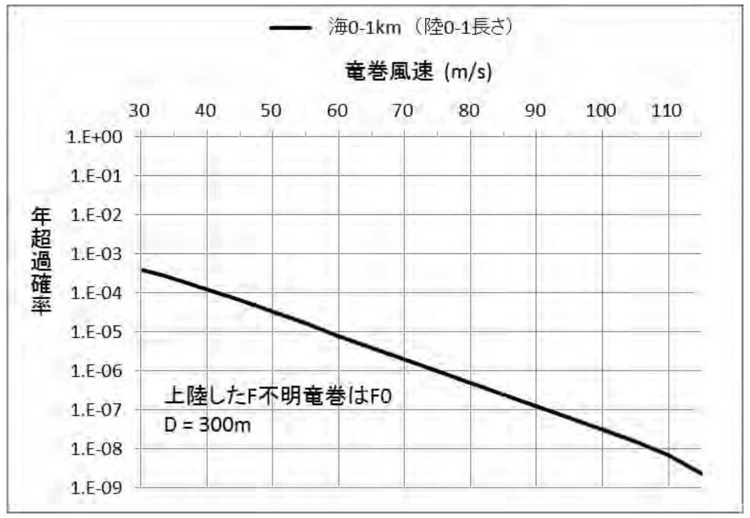


図 3.2 竜巻検討地域における海側 0-1km のハザード（CASE 2-6B）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
【参考資料 5】 竜巻ハザードの推定幅（推定誤差）に関する考察 1. はじめに 自然現象評価では，不確実さの存在を認識することが重要であるため，竜巻ハザードに関わる不確実さ要素について以下のとおり整理した。 ① 確率分布形選択に伴う不確実さ（認識論的不確実さ） 確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ ⇒2.1 節で検討 ② データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ） データ収集期間が 51.5 年間分であることから，地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確実さ ⇒2.1 節，2.2 節で検討 ③ データの不確実さ（偶然的不確実さ） 今後データ収集が進み，疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る，データそのものの不確実さ ⇒2.1 節で検討 これらの不確実さ要素がハザード評価に及ぼす影響について検討する。 2. 不確実さ要素の影響検討 2.1 竜巻パラメータとハザードの推定誤差（①，②，③） 疑似データ 1187 個の竜巻データに対して，Jackknife 法を適用した。Jackknife 法は水文統計分野で広く使用される手法で，国土交通省が定める河川行政の技術分野に関する基準である「河川砂防技術基準」においても，確率分布モデルのバイアスを補正するとともに，その安定性を評価する手法として挙げられている。母集団分布を仮定しないノンパラメトリックな方法であり，高い適用性をもつ。Jackknife 法は大きさ n 個の標本のうち i 番目の	9.　竜巻ハザードの不確かさの検討 竜巻検討地域は竜巻についての過去観測データが少なく，統計処理として必ずしも十分ではない可能性も考えられることから，竜巻ハザードの不確かさ要素について，以下の検討を実施した。 ①　確率分布形選択に伴う不確実さ（認識論的不確実さ） 確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ …Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討 ②　データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ） データ収集期間が 51.5 年間分であることから，地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確実さ …Ｆ３竜巻が１つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへ与える影響の検討 ③　データの不確実さ 今後データ収集が進み，疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る，データそのものの不確実さ …疑似データ無しの場合の解析 (1)　Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討 ａ．**Jackknife** 法について Jackknife 法は母集団分布を仮定しないノンパラメトリックな方法であり，高い適用性をもつ。また，国土交通省が定める河川行政の技術分野に関する基準である「河川砂防技術基準」においても，確率分布モデルのバイアスを補正するのに用いられている。 Jackknife 法は大きさ n 個の標本のうち i 番目の１データのみを欠いたデータ数 n−1 個の標本を全ての i について作		（島根２号炉は不確実さの評価について「別添 2-1　2.3.8」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　(2017.12.20 版)	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
1 データのみを欠いたデータ数 n-1 個の標本を全ての i について作成し（n セット作成することになる），これらの標本から求めた統計量をもとに不偏推定値及びそのまわりの推定誤差を算定する手法である。（具体的な計算方法は後述） n 個の全データを使って求められた再現期待値（例えば風速平均値の場合，n セットの風速平均の平均）を P_0 とすると，バイアス補正した推定値（以下，Jackknife 推定値という）P*とその標準偏差の推定値（以下，Jackknife 推定幅という）ΔP*は次式で与えられる。 $P^* = P_0 + \underline{(n-1)(P_0 - \overline{P})}$ (1) $\Delta P^* = \sqrt{n-1}\,\Delta P$ (2) ここで，P は分布を仮定した場合の推定値（以下，単に推定値という），ΔP は n セットの風速平均データの標準偏差，式(1)の下線部がバイアスと呼ばれ，母数の真の値と推定値の差である。 本検討で得られた結果を表 1 に示す。 例えば風速の平均値の場合，Jackknife 推定値は 28.622m/s であり，対数正規分布を仮定した場合の推定値 28.591m/s とほぼ同じである。また，Jackknife 推定幅は 0.236m/s と推定される[1]。 これらの平均値と標準偏差，及びそれぞれの推定幅をもとに，全てのパラメータを＋1σ とした場合のハザードを計算した。計算条件の一覧を表 2 に示す。また，ハザードの推定結果を図 1，図 2，及び表 3 に示す。 図 1 よりデータの変動に伴うバイアス誤差は小さいことが確認できる。(①，②の不確実さ推定) ハザードについては表 3 より，サンプリング誤差に伴う不確実	成し，これらの標本から求めた統計量をもとに不偏推定値及びそのまわりの推定誤差を算定する手法である。算定式を以下に示す。 $P^* = P_0 + \underline{(n\text{-}1)\ (P_0\text{-}\overline{P})}$　(1) $\Delta P^* = \sqrt{n\text{-}1}\,\Delta P$　(2) ・P_0　：n 個の全データを使って求められた再現期待値（例えば風速平均値の場合 n セットの風速平均の平均） ・P＊　：バイアス補正した推定値（以下「Jackknife 推定値」という。） ・ΔP＊　：P＊の標準偏差の推定値（以下「Jackknife 推定幅」という。） ・$\overline{P}$　：分布を仮定した場合の推定値（以下「推定値」という。） ・ΔP　：n セットの風速平均データの標準偏差 ・(1) 式の下線部：バイアス（母数の真の値と推定値の差） b．検討結果 Jackknife 法を適用した特性値及びこれらの平均値と標準偏差及びそれぞれの推定幅を基に全てのパラメータを＋1σとした場合のハザードを計算した。特性値の評価結果を第 9－1 表に，また，ハザードの推定結果を第 9－2 表及び第 9－1 図に示す。 ここで，標準ケースとは，ここまでに評価した 10 ㎞幅のハザード評価結果を示す。 ハザード評価の結果，年超過確率 10^{-5}に相当する風速は，Jackknife 法によるバイアス補正後で 73m／s となり，		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

さについて信頼度 84%をカバーする値として，年超過確率 10^{-5} において 59.72m/s であると言える。(③の不確実さを考慮)

表 1 Jackknife 法により得られた竜巻パラメータの特性

日本海 疑似データ1187個	風速(U)		幅(W)		長さ(L)		相関係数		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	U～W	U～L	W～L
平均	28.591	9.391	123.0	130.3	1607.1	2697.4	0.0210	0.2892	0.4928
標準偏差	0.007	0.008	0.1	0.2	2.3	5.5	0.0009	0.0008	0.0007
全データ	28.591	9.391	123.0	130.3	1607.1	2697.4	0.0210	0.2892	0.4928
バイアス	−0.031	−0.042	0.2	0.0	−0.5	−6.3	0.0404	0.0332	0.0200
Jackknife 推定値	28.622	9.433	122.8	130.3	1607.6	2703.7	−0.0194	0.2560	0.4728
Jackknife 推定幅	0.236	0.270	3.8	6.7	78.3	188.3	0.0321	0.0284	0.0235

表 2 ハザードの計算条件

ケース名	統計量	発生数	風速(U)	幅(W)	長さ(L)	U～W	U～L	W～L
基本(全データ)	平均	23.049	28.591	122.977	1607.077	0.0210	0.2892	0.4928
	標準偏差	8.972	9.391	130.320	2697.369			
バイアス補正後	平均	23.049	28.622	122.807	1607.573	−0.0194	0.2560	0.4728
	標準偏差	8.972	9.433	130.350	2703.693			
風速・幅・長さ・相関 (＋1σ)	平均	23.049	28.858	126.591	1685.861	0.0128	0.2844	0.4964
	標準偏差	8.972	9.703	137.088	2891.977			

注)　発生数の平均と標準偏差は，疑似データの値を使用。

注)　負の相関係数は 0 と置く。

[1] 疑似データの場合，F スケールの小さな竜巻の割合が多く，幅や長さの変動が小さくなる。

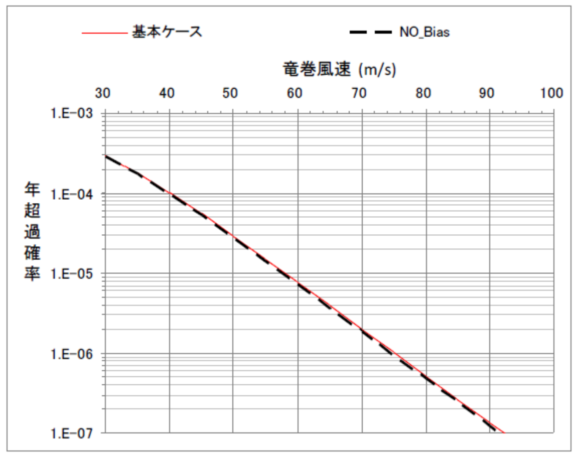


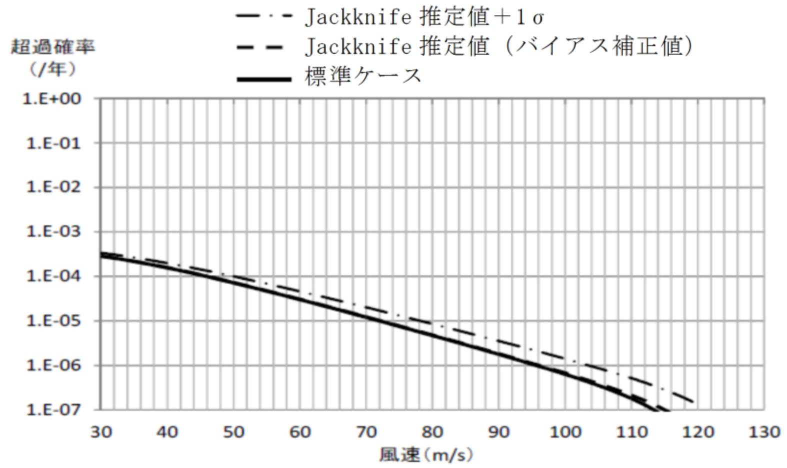
図 1 基本ケースとバイアス補正後ケースのハザード算定結果比較

東海第二発電所（2018.9.18 版）

標準ケースの 73m／s と同じ風速になった。また，サンプリング誤差に伴う不確実さについては（バイアス補正値＋1σ），年超過確率 10^{-5}において 79m／s となった。

第 9－1 表　Jackknife 法による特性値の評価結果

項目	平均値			標準偏差			相関係数		
	最大風速 V（m／s）	被害幅 W（m）	被害長さ L（km）	最大風速 V（m／s）	被害幅 W（m）	被害長さ L（km）	V-W	V-L	W-L
サンプル数	1188	1188	1188	1188	1188	1188	163	170	161
全データによる値 P_0	32.28	93.8	1.98	11.63	179.1	3.10	0.381	0.452	0.381
標本を一つ抜いた平均値 ΔP	32.28	93.8	1.98	11.63	179.1	3.10	0.381	0.452	0.381
バイアス値	0.00	0.0	0.00	-0.01	-1.4	-0.02	-0.002	-0.001	-0.003
Jackknife 推定値 P^*（バイアス補正値）	32.28	93.8	1.98	11.64	180.5	3.12	0.382	0.453	0.385
Jackknife 推定幅 ΔP^*	0.34	5.2	0.09	0.36	21.8	0.34	0.065	0.057	0.077
$P^* + \Delta P^*$（バイアス補正値＋1σ）	32.62	99.0	2.07	12.00	203.0	3.47	0.447	0.510	0.462



第 9－1 図　標準ケースと Jackknife 推定値ケース，Jackknife 推定値＋1σケースのハザード算定結果の比較

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第９−２表　ハザードの推定結果の比較表

ケース	標準ケース	Jackknife 推定値 P* （バイアス補正値）	P*＋ΔP* （バイアス補正値＋σ）
領域面積（km^2）	57000	57000	57000
想定総数（個）	1188	1188	1188
被災確率（個／年／km^2）	4.05E-04	4.05E-04	4.05E-04
風速平均値（m／s）	32.28	32.28	32.62
風速標準偏差（m／s）	11.64	11.64	12.00
被害幅平均（km）	0.094	0.094	0.099
被害幅標準偏差（km）	0.179	0.181	0.203
被害長さ平均（km）	1.98	1.98	2.07
被害長さ標準偏差（km）	3.10	3.12	3.47
相関係数　V-W	0.381	0.382	0.447
相関係数　V-L	0.452	0.453	0.510
相関係数　W-L	0.381	0.385	0.462
10^{-5}年での最大風速（m／s）	73	73	79

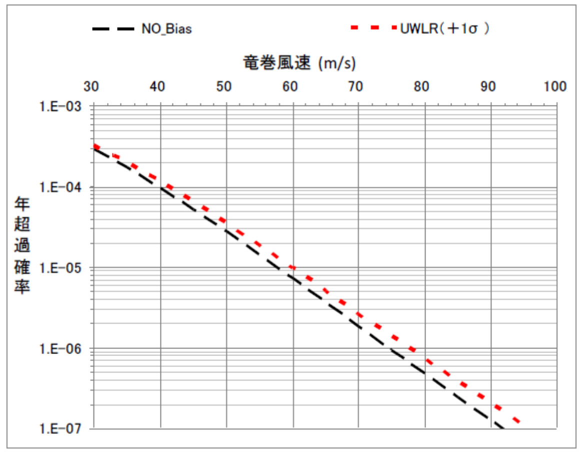


図２ バイアス補正後ケースと全パラメータ＋1σ ケースのハザード算定結果比較

(2)Ｆ３竜巻の見落としを仮定した場合のハザードに与える影響

竜巻検討地域で，Ｆ３竜巻が １ つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへの影響を検討した。

データに，竜巻検討地域内で観測されたＦ３竜巻のうち最も被害幅，被害長さの大きい竜巻（被害幅 2000m，被害長さ 42 ㎞：1978 年川崎市）を１つ加えて疑似データを作成した。これを基にハザードを推定したところ，年超過確率 10^{-5}に相当する風速は 76m／s となった。

ハザードの推定結果を，第９−２図に示す。

標準ケースと比較して，年超過確率 10^{-5}に相当する風速との差は 3m／s であり，２つのケースに対して，有意な差は認められない。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

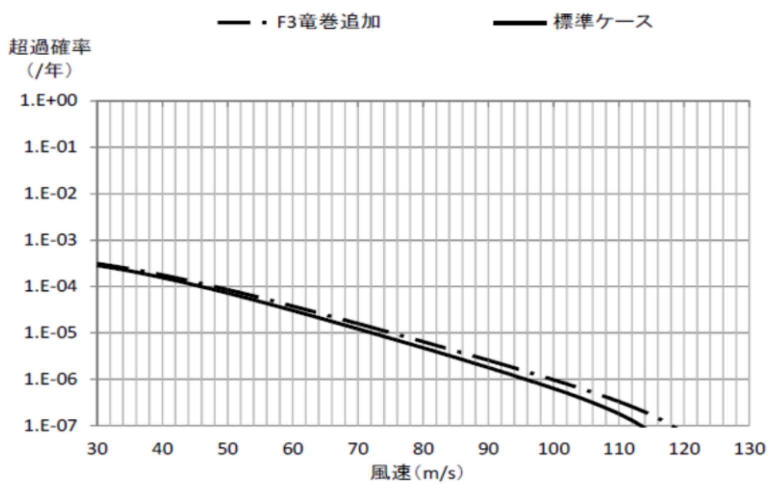
表 3 ハザード推定結果

ケース名	超過確率に対応する竜巻風速				バイアス補正後の竜巻風速との差			
	1.E−04	1.E−05	1.E−06	1.E−07	1.E−04	1.E−05	1.E−06	1.E−07
基本（全データ）	40.15	58.02	75.06	92.25	0.47	0.56	0.61	0.64
バイアス補正後	39.68	57.46	74.45	91.61	−	−	−	−
風速・幅・長さ・相関（+1σ）	41.16	59.72	77.56	95.49	1.48	2.26	3.11	3.88

＜疑似データ無しの場合の解析＞

疑似データの場合，F スケールの小さな竜巻の割合が多く，幅や長さの変動が小さくなる傾向がある。そのため，3 種類の竜巻パラメータがすべて判明している 52 個の竜巻観測データのみを用いて同様の検討を実施した。即ち，観測データは均質なデータから成り，疑似データは存在しない。パラメータの推定結果を表 4，計算条件の一覧を表 5，ハザードの推定結果を図 3，図 4，及び表 6 に示す。疑似データの場合と比較して，Jackknife 推定幅は大きくなっていることがわかる。したがってハザードの推定幅についても大きくなる傾向があるものの，発生数の違い [2] を考慮し年超過確率 10^{-6} の最大風速を見ても，幅は 10m/s 程度であることが確認できる。

東海第二発電所（2018.9.18 版）



第 9－2 図　標準ケースとＦ３竜巻発生を仮定した場合の
ハザード算定結果の比較

(3)　疑似データ無しの場合の解析

疑似データ有とした場合，F スケールの小さな竜巻の割合が多くなり，幅や長さの変動が小さくなる傾向がある。そのため，3 種類の竜巻パラメータ（最大風速，被害幅及び被害長さ）が全て判明している 161 個の竜巻観測データのみを用いて同様の検討を実施した。

特性値の評価結果を第 9－3 表，ハザードの推定結果を第 9－4 表及び第 9－3 図に示す。疑似データ無し竜巻での年超過確率 10^{-5} に相当する風速は，72m／s となり，標準ケースの 73m／s と有意な差は認められない。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 4 Jackknife 法により得られた竜巻パラメータの特性（疑似データ無し）

日本海 生データ52個	風速		幅		長さ		相関係数		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	U～W	U～L	W～L
平均	36.337	11.655	129.8	154.8	1815.4	2227.7	0.0023	0.3210	0.4399
標準偏差	0.226	0.143	3.0	6.5	43.3	59.7	0.0090	0.0168	0.0171
全データ	36.337	11.656	129.8	154.9	1815.4	2228.5	0.0000	0.3210	0.4399
バイアス	0.002	−0.045	0.0	−7.0	0.0	−40.7	0.1154	−0.0022	0.0006
Jackknife 推定値	36.335	11.700	129.8	162.0	1815.4	2269.3	−0.1154	0.3232	0.4393
Jackknife 推定幅	1.616	1.021	21.5	46.7	309.0	426.1	0.0645	0.1198	0.1221

表 5 ハザードの計算条件（疑似データ無し）

ケース名	統計量	発生数	風速	幅	長さ	U～W	U～L	W～L
基本(全データ)	平均	1.010	36.3365	129.769	1815.385	0.0023	0.3210	0.4399
	標準偏差		11.6550	154.791	2227.749			
バイアス補正後	平均	1.010	36.3346	129.759	1815.400	−0.1154	0.3232	0.4393
	標準偏差		11.7004	161.961	2269.288			
風速・幅・長さ・相関（＋1σ）	平均	1.010	37.9509	151.243	2124.444	−0.0510	0.4429	0.5614
	標準偏差		12.7212	208.638	2695.378			

[2] 発生数が少なくなるため，最大風速の年超過確率自体は小さくなる。

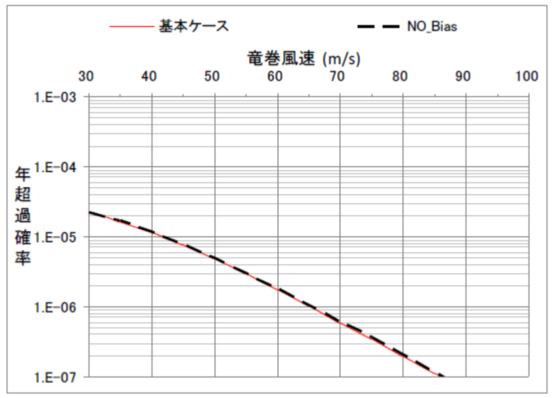


図 3 基本ケースとバイアス補正後ケースのハザード算定結果比較（疑似データ無し）

第 9－3 表　Jackknife 法による特性値の評価結果（疑似データ無し）

項目	平均値			標準偏差			相関係数		
	最大風速 V（m／s）	被害幅 W（m）	被害長さ L（km）	最大風速 V（m／s）	被害幅 W（m）	被害長さ L（km）	V-W	V-L	W-L
サンプル数	161	161	161	161	161	161	161	161	161
全データによる値 P_0	42.94	137.9	3.22	13.90	265.7	4.79	0.381	0.467	0.381
標本を一つ抜いた平均値 ΔP	42.94	137.9	3.22	13.90	265.6	4.78	0.381	0.467	0.381
バイアス値	0.00	0.0	0.00	-0.07	-9.0	-0.15	-0.002	-0.001	-0.003
Jackknife 推定値 P*（バイアス補正値）	42.94	137.9	3.22	13.97	274.6	4.94	0.382	0.468	0.385
Jackknife 推定幅 ΔP*	1.10	21.0	0.38	0.83	65.8	1.14	0.066	0.057	0.077
P*＋ΔP*（バイアス補正値＋1σ）	44.04	158.9	3.60	14.81	340.4	6.08	0.448	0.525	0.462

第 9－4 表　ハザードの推定結果の比較表

	不明竜巻含む	疑似データ無し竜巻		
ケース	標準ケース	バイアス補正無し	Jackknife 推定値 P*（バイアス補正値）	P*＋ΔP*（バイアス補正値＋σ）
領域面積（km²）	57000	57000	57000	57000
想定総数（個）	1188	161	161	161
被災確率（個／年／km²）	4.05E-04	5.48E-05	5.48E-05	5.48E-05
風速平均値（m／s）	32.28	42.94	42.94	44.04
風速標準偏差（m／s）	11.64	13.95	13.97	14.81
被害幅平均（km）	0.094	0.138	0.138	0.159
被害幅標準偏差（km）	0.179	0.266	0.275	0.340
被害長さ平均（km）	1.98	3.22	3.22	3.60
被害長さ標準偏差（km）	3.10	4.80	4.94	6.08
相関係数　V-W	0.381	0.381	0.382	0.448
相関係数　V-L	0.452	0.467	0.468	0.525
相関係数　W-L	0.381	0.381	0.385	0.462
10^{-5}年での最大風速（m／s）	73	72	72	82

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

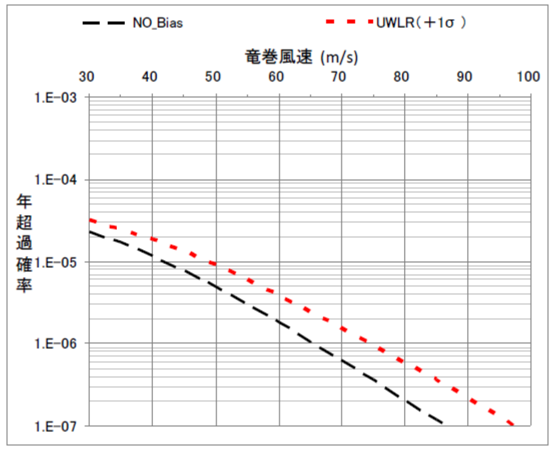


図 4 バイアス補正後ケースと全パラメータ＋1σ ケースのハザード算定結果比較
（疑似データ無し）

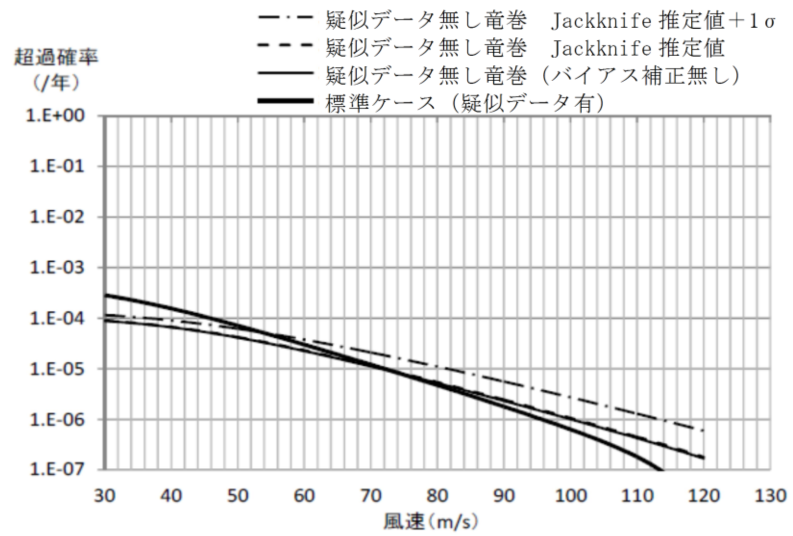
表 6 ハザード推定結果（疑似データ無し）

ケース名	超過確率に対応する竜巻風速			バイアス補正後の竜巻風速との差		
	1.E−05	1.E−06	1.E−07	1.E−05	1.E−06	1.E−07
基本（全データ）	41.77	65.26	85.98	−0.11	−0.25	−0.39
バイアス補正後	41.88	65.51	86.37	−	−	−
風速・幅・長さ・相関(＋1σ)	48.42	74.45	97.32	6.54	8.94	10.95

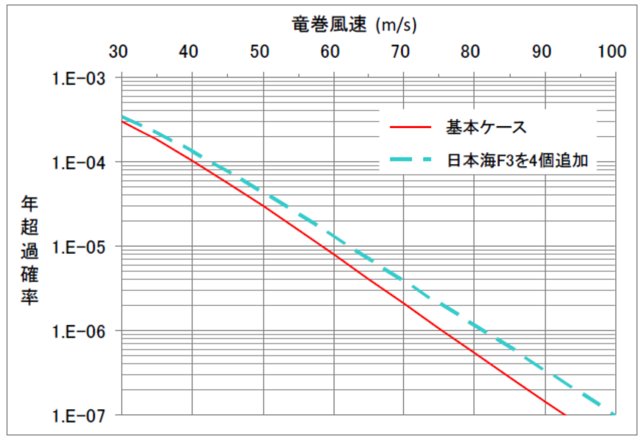
2.2 日本海側での F3 竜巻がハザードに与える影響（②）

日本海側では F3 竜巻の観測事例は無いが，F3 竜巻が 1 つあったと仮定した場合（明日，F3 竜巻が発生した場合，あるいは F3 竜巻が 1 つ見逃されていた場合を考慮）のハザードへの影響を検討した。

データに，1999 年 9 月 24 日に豊橋で観測された F3 竜巻（長さ 18km，幅 550m） を一つ加えて疑似データを作成した[3]。日本海に多く見られる海上不明竜巻を陸上竜巻の F スケール比率で按分する影響で，F3 竜巻は疑似データ上 4 個となった。これをもとにハザードを推定したところ，年超過確率 10^{-5} に相当する風速は，62.2m/s に増加した。



第 9−3 図　標準ケース（疑似データ有）と疑似データ無し竜巻のバイアス補正無しと Jackknife 推定値（バイアス補正値），Jackknife 推定値＋１σのハザード算定結果の比較

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 5 F3 竜巻発生を仮定した場合の竜巻風速の年超過確率分布 [3] 太平洋側沿岸±5km において，F3 竜巻は豊橋の事例のみであり，その他の F3 竜巻は F2～F3 を F3 として扱っている。また，竜巻長さも 18km と長く，かなり厳しい竜巻を対象としている。 3. まとめ 不確実さ要素のハザード算定への影響について以下のような結果が得られた。 ① 確率分布形選択に伴う不確実さ（認識論的不確実さ） ⇒バイアス補正を実施してもハザードは年超過確率 10^{-5} において 1m/s 以下の変化であったことから，影響は限定的である。 ② データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ） ⇒①同様，バイアス補正を実施してもハザードは年超過確率 10^{-5} において 1m/s 以下の変化であったことから，安定した標本となっており，母集団の確率特性をよく表現できていると考えられる。また仮に，データに F3 竜巻を 4 個追加した場合も，年超過確率 10^{-5} において竜巻風速は 62.2m/s となった。 ③ データ（疑似データ）の不確実さ（偶然的不確実さ） ⇒データの不確実さを考慮したハザード評価により，サンプ			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
リング誤差の不確実さについて信頼度 84%をカバーする値として，年超過確率 10^{-5} において 59.72m/s であると言える。 以上より，V_B=76m/s は高い信頼度を持った数値と推測されることから，合理的に望ましい対策を検討するために使用可能な数値と判断できる。 Jackknife 法の具体的な手順 大きさ n の標本の各データを $X_1, X_2, \cdots, X_n$ とする。これを用いて求める母集団の特性を推定する統計量（竜巻ハザードの場合，各パラメータの平均及び分散）を $\hat{\psi} = \psi(X_1, X_2, \cdots, X_n)$ とする。大きさ n 個の標本のうち i 番目の 1 データのみを欠いたデータ数 n-1 個の標本を用いた統計量を $\hat{\psi}_{(i)} = \psi(X_1, X_2, \cdots, X_{i-1}, X_{i+1}, \cdots, X_n)$ とする。$\hat{\psi}_{(i)}$の平均値を $\hat{\psi}_{(\bullet)} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\hat{\psi}_{(i)}$ (3) により求める。バイアス値は次式で与えられる。 $\hat{BIAS} = (n-1)(\hat{\psi}_{(\bullet)} - \hat{\psi})$ (4) これを用いて統計量のバイアスを補正した Jackknife 推定値は次式で与えられる。 $\tilde{\psi} = \hat{\psi} - \hat{BIAS} = n\hat{\psi} - (n-1)\hat{\psi}_{(\bullet)}$ また，Jackknife 法による推定幅は， $\hat{V}^2 = \frac{n-1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{\psi}_{(i)} - \hat{\psi}_{(\bullet)})^2$ (5) で求められる。	以上のことから，竜巻ハザードの不確かさについて，確率分布形の選択，データ量が少ないこと及びデータの不確実さによる，ハザードへの影響はほとんどないことから，データの高い安定性を確認した。		

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		付録3　被害面積の期待値E[DA(Vo)]の評価方法について (1) 竜巻風速Vo以上となる面積の期待値 1個の竜巻の風速がVo以上となる面積DA(Vo)は以下のように表される。 $DA(Vo) = WL + HL + WG + AB \quad ; \mathrm{Vi} \geq \mathrm{Vo}$ （付3.1） $DA(Vo) = 0 \quad ; \mathrm{Vi} < \mathrm{Vo}$ ここに，Wは竜巻の被害幅，Lは被害長さ，A，Bは矩形構造物の寸法，HとGは竜巻の被害幅や長さ方向への構造物の投影長さである。 上記の関係を，竜巻風速V・幅w・長さl・竜巻移動方向αの確率分布を用いて表すと以下のようになる。 $E\left[DA(V_0)\right] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)\, l\, f(V,w,l)\, dV\, dw\, dl$ $+ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha)\, l\, f(V,l,\alpha)\, dV dl\, d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha)\, f(V,w,\alpha)\, dV dw\, d\alpha$ $+ AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV$ $W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w$ （付3.3） $H(\alpha) = B\lvert\sin\alpha\rvert + A\lvert\cos\alpha\rvert$ $G(\alpha) = A\lvert\sin\alpha\rvert + B\lvert\cos\alpha\rvert$ （付3.4） ここに，E[・]は期待値を表し，V_{min}は被害が発生する最小風速，H(α)とG(α)は竜巻の幅・長さ方向への構造物の投影長さである。また，3変量の対数正規分布は以下で表される。 $f(x,y,z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{vmatrix}^{1/2}} \times \frac{1}{xyz}$ $\times \exp\left[-\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \ln(x)-\mu_x & \ln(y)-\mu_y & \ln(z)-\mu_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \ln(x)-\mu_x \\ \ln(y)-\mu_y \\ \ln(z)-\mu_z \end{pmatrix} \right]$ （付3.5） ここに，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る。 式(付3.2)の右辺第1項は，竜巻長さと幅の積，即ち被害面	（期待値について，柏崎6/7号炉は「(6)」で，東海第二は「6.(1)c.」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		（下記参照）	

積を表しており，いわゆるポイント構造物に対する被害に対応する。第 2 項と第 3 項は，竜巻長さ・幅と構造物寸法の積，即ち面構造物あるいは線状構造物の被害面積を表す。竜巻の幅は長さに比べて短いため，第 3 項の寄与は第 2 項に比べて 1 オーダー小さい。第 4 項は建物面積 AB に依存する項であり，一般には第 3 項よりも小さい。従って，式(付 3.2)の右辺第 1 項と第 2 項の寄与が支配的となる（NUREG の方法では，この 2 つの項のみを考慮している）。

(2) 竜巻移動方向

ガイドでは，竜巻の移動方向に配慮するよう求めている。ここでは，竜巻の移動特性を考慮した場合について考察する。

竜巻の移動方向をα，移動方向の確率分布を p(α)，建物寸法を A，B とすると，被害面積の期待値に関する項は以下で与えられる。

$$\int_0^{2\pi} H(\alpha)\,p(\alpha)\,d\alpha = \int_0^{2\pi}\left(B|\sin(\alpha)| + A|\cos(\alpha)|\right)p(\alpha)\,d\alpha$$

（付 3.6）

竜巻の移動に方向性が無い（一様分布の）場合は，p(α)=1/(2π)であるから，上式は以下のようになる。

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} H(\alpha)d\alpha = \frac{1}{2\pi}\left[2B[-\cos\alpha]_0^{\pi} + 2A[\sin\alpha]_{-\pi/2}^{\pi/2}\right] = \frac{2(A+B)}{\pi}$$

（付 3.7）

従って，A=B の場合（正方形の構造物）には，4A/π（≒1.273A）となることがわかる。

一方，構造物を円形構造物（直径 D_0）とした場合，竜巻の幅や長さ方向に構造物を投影した長さ H(α)や G(α)は，竜巻の移動方向には依存せず，一定値となる。

$H(\alpha)=G(\alpha)=D_0$　;円形構造物　　　　（付 3.8）

従って，たとえ竜巻の移動方向に方向依存性があり，p(α)に分布があったとしても，全方向について積分した式(付 3.7)の結果は D_0 となる。上記の議論は，αと V，W，l の間が無相関である場合に成り立つ。

以上のことから，建物として円形構造物を仮定する限り（長方形や方向性のある線状構造物を対象としない限り），竜巻の移動方向の特性を考慮する必要はないことがわかる。

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		（以下本文）	

従って，円形構造物に対しては，式(付 3.2)は次のように簡単になる。

$$E\left[DA(V_0)\right]=\int_0^\infty\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,l\,f(V,w,l)\,dV\,dw\,dl$$
$$+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty l\,f(V,l)\,dVdl+D_0\int_0^\infty\int_{V_0}^\infty W(V_0)\,f(V,w)\,dVdw$$
$$+(D_0{}^2\pi/4)\int_{V_0}^\infty f(V)dV$$

（付 3.9）

また，2 変量の対数正規分布は以下のように書ける。

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

（付 3.10）

本検討では，①竜巻移動方向 α とその他の竜巻パラメータは無相関，②直径 D_0 の円形構造物を対象とするため，式(付 3.9)を基礎式とする。

(3) 被害幅の補正

式(付 3.3)の W(Vo)の項は，風速が Vo 以上となる被害幅の比率を表しており，いわゆる被害面積補正の一種（幅方向の補正）である。今，竜巻としてランキン渦を仮定すると，風速 V と被害域半径 r は次式で表される。

$$\frac{r}{r_c}=\frac{V_{\max}}{V(r)}\quad ;\quad r\geq r_c$$

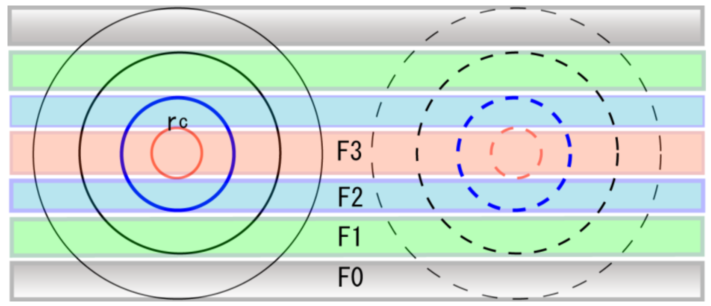
$$\frac{r}{r_c}=\frac{V(r)}{V_{\max}}\quad ;\quad r<r_c$$

（付 3.11）

ここに V_{max} は F スケールに対応する最大風速，r_c は最大風速半径である。

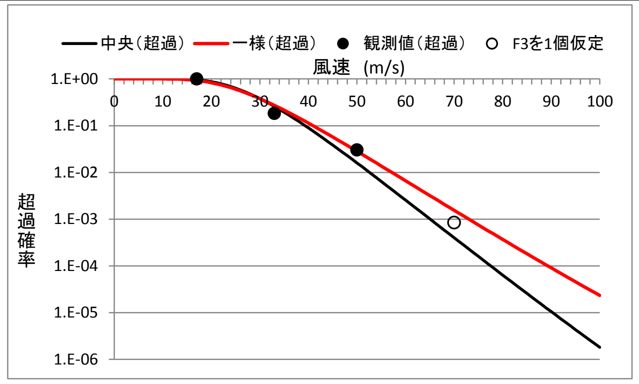
ランキン渦が変形せずにゆっくりと移動した場合を想定すると，竜巻中心付近の風速は弱いが，移動に伴い最大風速 V_{max} が通過するため，半径 r_c 以内の領域の最大風速は一定値 V_{max} となる。従って，被害域内の最大風速の面的分布は長さ方向に対して平行となり，幅方向の速度分布は竜巻幅方向（r 方向）の速度分布に一致する（付図 2)。

以上のことから，最大風速 V_{max} を持つ竜巻の場合，被害域内

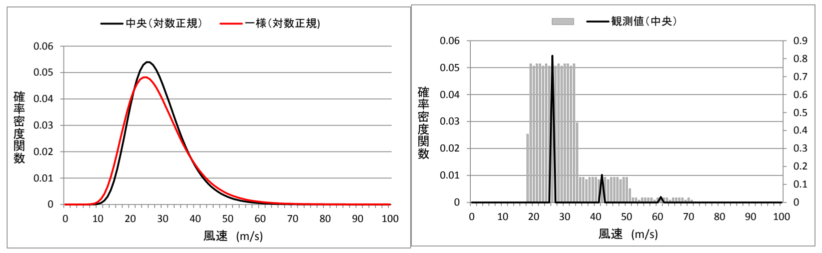
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		の風速別の被害面積率は，被害域の幅で表すことができる。 式(付 3.3)では，Hoecker による観測値から，風速は距離の 1.6 乗に反比例するものと仮定している。V_{min}は，竜巻被害が発生する最小風速であり，付図２のエッジ部分の風速に相当する。Garson(1975, No.101)は，このV_{min}を gale intensity velocity と呼んでいる。gale とは非常に強い風のことで，米国の気象局（National Weather Service）では，34～47 ノット（17.5～24.2 m/s）とされている。 日本の気象庁では，気象通報にも用いられている風力階級では，風力８が疾強風（gale，17.2～20.7 m/s），風力９は大強風（strong gale，20.8～24.4 m/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。これらのことを参考にして，本評価では $$V_{min} = 25.0 \text{ m/s} \quad (付 3.12)$$ を被害が発生する最小風速とした。この値は，F0（17～32m/s）のほぼ中央値に相当する。なお，この値よりも小さなV_{min}（例えば，F0 の最小風速 17m/s）を用いると，風速V_0以上となる被害面積は小さくなる。  付図２　ランキン渦と竜巻被害域内の風速分布の模式図 参考文献 (1) Wen, Y.K. and Chu, S.L. (1973)：Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American society of Civil Engineering, Journal of Structural Dvision, Vol.99, No.ST12, 2409-2421. (2) Garson, R.C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A.(1975)：Tornado risk evaluation using wind speed profiles, Journal of Structural Division, Proceedings of American Society of Civil	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		Engineering, Vol.101, No.St5, 1167-1171. (3) Garson, R.C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk, Journal of Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, Vol. 101, No.ST9, 1883-1897. (4) Reinhold T.A. and Ellingwood B. (1982) : Tornado damage risk assessment, NUREG CR2944, 55p. (5) 東京工芸大学(2010)：平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（その１）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 256p. (6) 東京工芸大学(2011)：平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 424p. (7) Ramsdell, J.V., and Rishel J.P. (2007) : Tornado Climatology of the Contiguous United States, NUREG/CR-4461, Rev.1.	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		付録4　竜巻風速の確率密度分布について F スケールの竜巻風速には幅があるため，具体的な風速の設定方法には任意性があり，F スケールの範囲内のある値（中央値等）に設定する方法やF スケールの風速範囲内で一様に分布すると仮定する方法などが考えられる。 図1 に竜巻風速が中央値に集中した場合（黒い実線）及び一様に分布するとした場合（赤い実線）について，風速の分布形（超過確率）を推定した結果を示す。●印は，各F スケール下限値における観測値（擬似51.5 年間データ）の超過確率を表しており，例えばF1 の下限値（33m/s）以上となる確率は約0.2 である。また，○印は，F3 が 1 個観測された場合を仮定してプロットをした。 ハザード解析においては，特定の風速以上となる確率が重要であることから，●印で表された観測値ベースの超過確率と適合度が高い分布形が望ましい。図1(a)の○印も含めて評価すると，一様分布の方が中央値の場合よりも適合度が良いと言える。 また，ハザード解析において，竜巻風速が中央値に集中した場合及び一様に分布するとした場合で計算した結果，図2 のとおり風速設定を一様分布とした方が中央値で代表させる場合よりも厳しいハザード曲線となっている。 以上より，ハザードを保守的に評価するとの観点から，風速分布としては一様分布を採用した。	（柏崎6/7は，竜巻風速の確率密度分布について「2.3(4)①」で記載）

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>


（a）超過確率



（b）確率密度関数（左：推定値，右：観測値）

図1　竜巻風速の確率分布の推定結果と観測値の比較

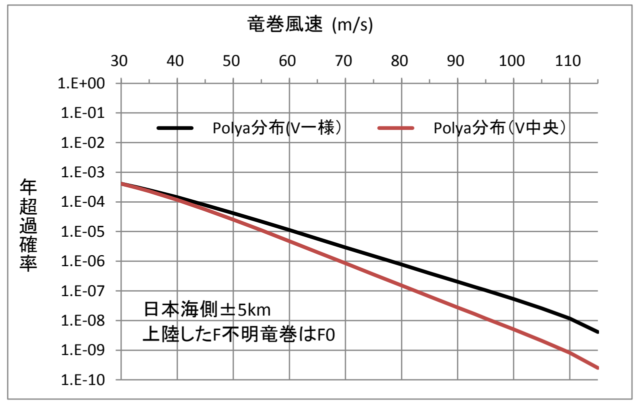


図2　風速設定の違いによる竜巻最大風速のハザード曲線の比較
（海側，陸側 5km 範囲）
</td><td></td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
【参考資料１】 海上のＦスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について 51.5 年間の疑似データを推定する際に，海上で発生したＦスケール不明竜巻（非上陸竜巻）を，Ｆスケールが判明している陸上竜巻（含む上陸竜巻）のＦスケールごとの発生比率で按分している。そこでは，沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している，と仮定している。他の合理的な按分方法も無いのが実情ではあるが，観測結果をもとに，この仮定の妥当性について考察する。 ここでは，陸上で発生した竜巻（以後，陸上竜巻と呼ぶ）と，水上で発生しその後上陸した竜巻（以後，上陸竜巻と呼ぶ）を区別して考える。 表１及び図１は，陸上竜巻，上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して，F0，F1，F2 以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合，Ｆスケールごとの割合はそれぞれ 30，45，24%となっており，陸上竜巻との間に大きな差は無い（数%以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから，海上でのＦスケール不明竜巻のＦスケールごとの発生割合は，上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。 上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは，海側と陸側のＦスケールごとの発生割合が類似していることを示唆している。従って，海上でのＦ不明竜巻を，陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。 一方，日本海側の上陸竜巻の場合，Ｆスケールごとの割合はそれぞれ 50，34，16%であり，陸上竜巻の値と 10～20%程度異なる。日本海側の場合，F0 の割合が全国の値に比べて大きく，逆にＦスケールの大きな竜巻の割合が同程度少なくなっており，地域的な特性が見られる。上陸竜巻と陸上竜巻の割合の差が，地域特性によるものかデータ数が少ないことによるものか判断できないが，（陸上＋上陸）竜巻の割合は，全国の値に比較的近くなる（F0 の数が多いという地域特性は残る）。したがって，（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は，データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。	別紙 5-1 海上の**Ｆ**スケール不明竜巻の按分方法の妥当性について 51.5 年間の疑似データを推定する際に，海上で発生した**Ｆ**スケール不明竜巻（非上陸竜巻）を**Ｆ**スケールが判明している陸上竜巻（上陸竜巻含む）の**Ｆ**スケールごとの発生比率で按分している。そこでは，「沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している」と仮定している。他の合理的な按分方法もないのが実情ではあるが，観測結果を基に，この仮定の妥当性について考察する。 ここでは，陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）と海上で発生しその後上陸した竜巻（以下「上陸竜巻」という。）を区別して考える。 別表１－１及び別図１－１は，陸上竜巻，上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して，Ｆ0，Ｆ1，Ｆ2 以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合，**Ｆ**スケールごとの割合はそれぞれ 30，45，24%となっており，陸上竜巻との間に大きな差はない（数%以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから，海上での**Ｆ**スケール不明竜巻の**Ｆ**スケールごとの発生割合は，上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。 上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは，海側と陸側の**Ｆ**スケールごとの発生割合が類似していることを示唆している。したがって，海上での**Ｆ**スケール不明竜巻を，陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。 一方，発電所の上陸竜巻の場合は，**Ｆ**スケールごとの割合はそれぞれ，26，49，25%であり，全国と同様，陸上竜巻との間に大きな差は無い。また，陸上竜巻，上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のいずれにおいても，全国沿岸竜巻の発生数の割合と大きな差はない（5%以内）。以上より，全国沿岸と発電所の竜巻検討地域との間には地域特性による影響はないことが確認できた。 したがって，海上の**Ｆ**スケール不明竜巻を（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は，データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。	付録５　海上のＦスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について 51.5 年間の擬似データを推定する際に，海上で発生したＦ不明竜巻（非上陸竜巻）を，Ｆスケールが判明している陸上竜巻（含む上陸竜巻）のＦスケール毎の発生比率で按分している。そこでは，沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している，と仮定している。他の合理的な按分方法も無いのが実情ではあるが，観測結果をもとに，この仮定の妥当性について考察する。 ここでは，陸上で発生した竜巻（以後，陸上竜巻と呼ぶ）と，水上で発生しその後上陸した竜巻（以後，上陸竜巻と呼ぶ）を区別して考える。 表１及び図１は，陸上竜巻，上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して，F0，F1，F2 以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合，Ｆスケール毎の割合はそれぞれ 30，45，24%となっており，陸上竜巻との間に大きな差は無い（数%以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから，海上でのＦ不明竜巻のＦスケール毎の発生割合は，上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。 上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは，海側と陸側のＦスケール毎の発生割合が類似していることを示唆している。従って，海上でのＦ不明竜巻を，陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。 一方，日本海側の上陸竜巻の場合，Ｆスケール毎の割合はそれぞれ 50，34，16%であり，陸上竜巻の値と 10～20%程度異なる。日本海側の場合，F0 の割合が全国の値に比べて大きく，逆にＦスケールの大きな竜巻の割合が同程度少なくなっており，地域的な特性が見られる。上陸竜巻と陸上竜巻の割合の差が，地域特性によるものかデータ数が少ないことによるものか判断できないが，（陸上＋上陸）竜巻の割合は，全国の値に比較的近くなる（F0 の数が多いという地域特性は残る）。したがって，（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は，データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。	・竜巻検討地域の違いによる相違 【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

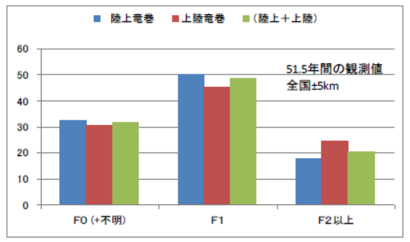
表１ Ｆスケールごとの竜巻発生数の割合

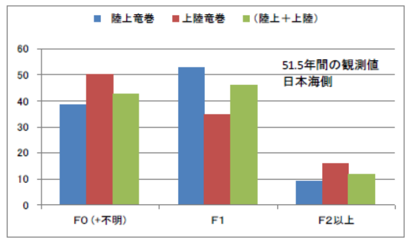
（a）全国沿岸±5km

発生数の割合（%）	Ｆ０（+不明）	Ｆ１	Ｆ２以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
（陸上＋上陸）	32	48	20

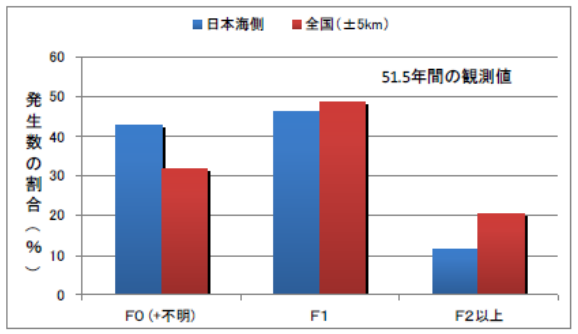
（b）日本海側

発生数の割合（%）	Ｆ０（+不明）	Ｆ１	Ｆ２以上
陸上竜巻	38	53	9
上陸竜巻	50	34	16
（陸上＋上陸）	43	46	11





（a）全国±5km　　（b）日本海側



（c）（陸上＋上陸）竜巻

図１ Ｆスケールごとの発生数の割合

東海第二発電所（2018.9.18 版）

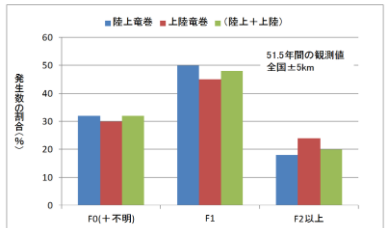
別表１－１　Ｆスケールごとの竜巻発生数の割合

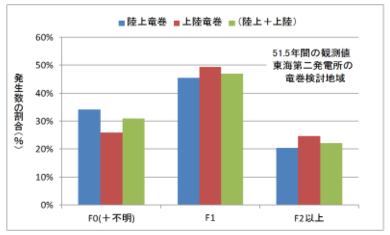
①　全国沿岸±5km

発生数の割合（%）	Ｆ0（+不明）	Ｆ1	Ｆ2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
（陸上＋上陸）	32	48	20

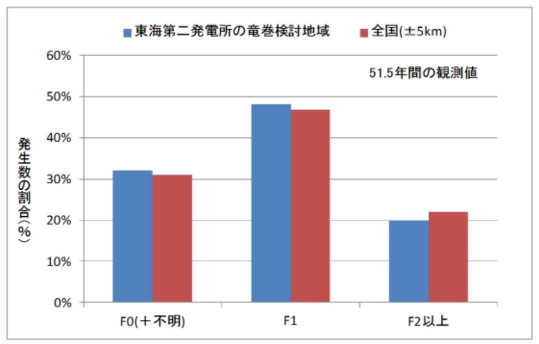
②　発電所の竜巻検討地域

発生数の割合（%）	Ｆ0（+不明）	Ｆ1	Ｆ2以上
陸上竜巻	34	45	21
上陸竜巻	26	49	25
（陸上＋上陸）	31	47	22





①　全国沿岸±5km　　②　発電所の竜巻検討地域



②　（陸上＋上陸)竜巻

別図１－１　Ｆスケールごとの発生数の割合

島根原子力発電所　２号炉

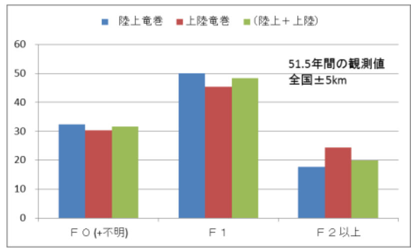
表１ Ｆスケールごとの竜巻発生数の割合

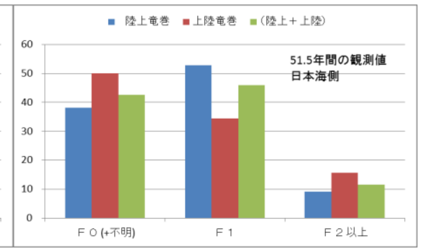
（a）全国沿岸±5km

発生数の割合(%)	F0（+不明）	F1	F2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
（陸上＋上陸）	32	48	20

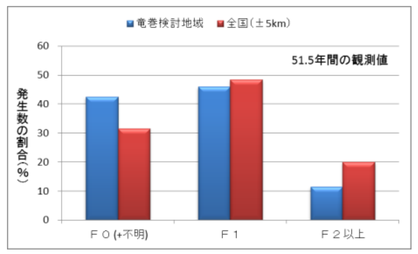
（b）日本海側

発生数の割合(%)	F0（+不明）	F1	F2以上
陸上竜巻	38	53	9
上陸竜巻	50	34	16
（陸上＋上陸）	43	46	11





（a）全国±5km　　（b）日本海側

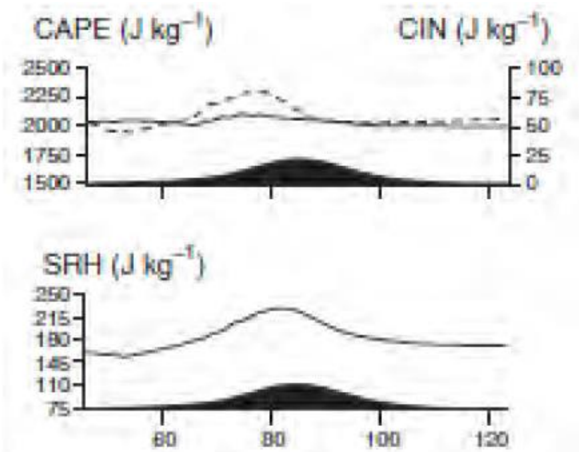


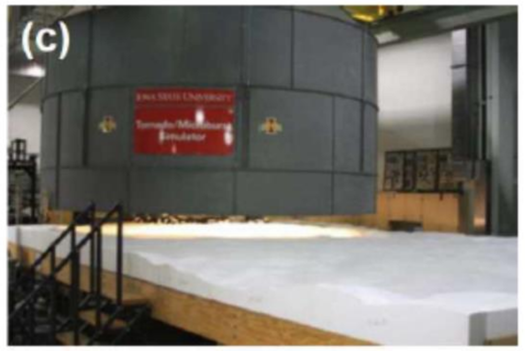
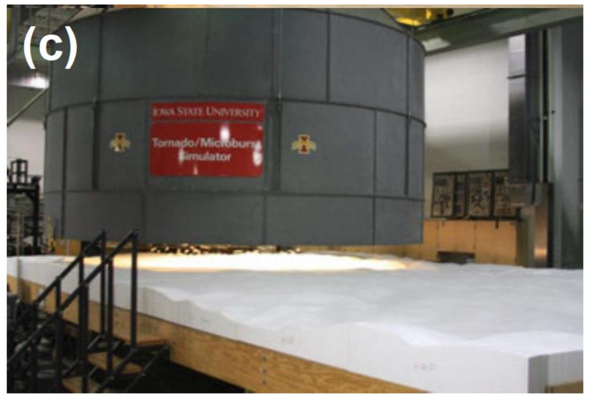
（c）（陸上＋上陸）竜巻

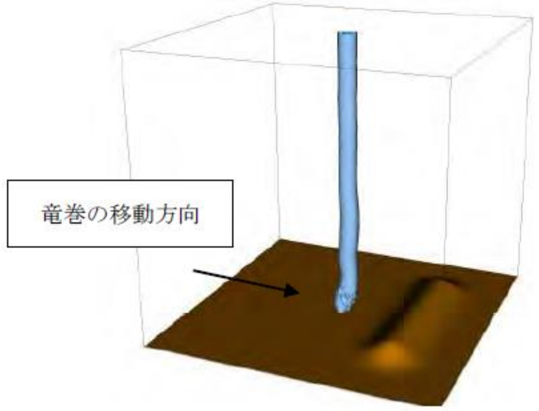
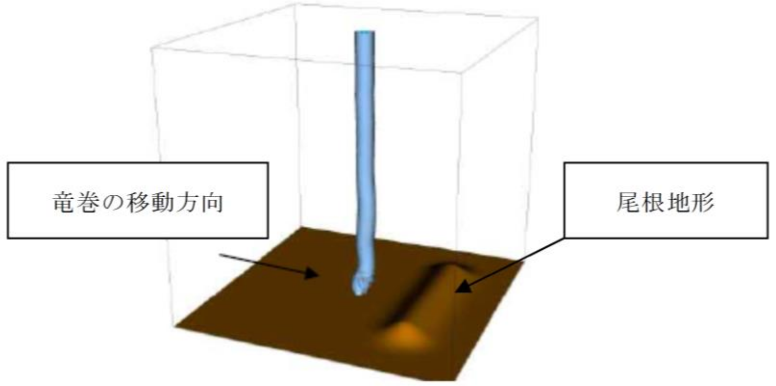
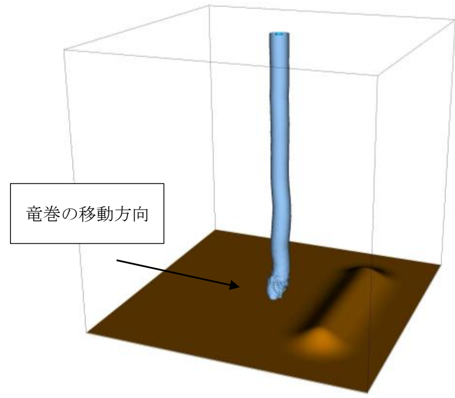
図１ Ｆスケールごとの発生数の割合

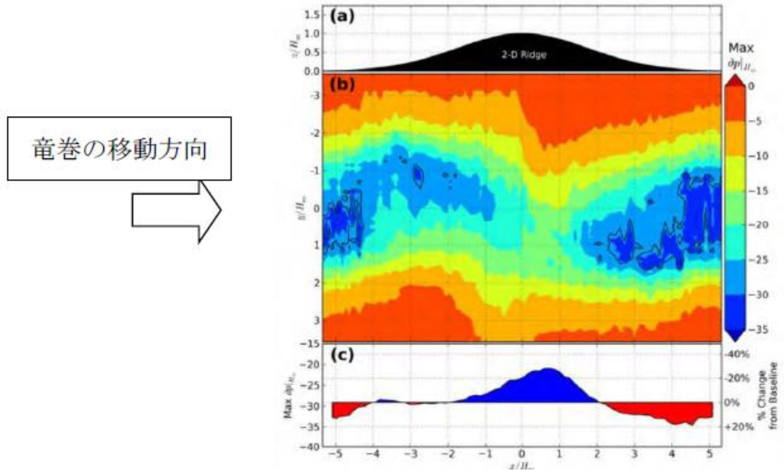
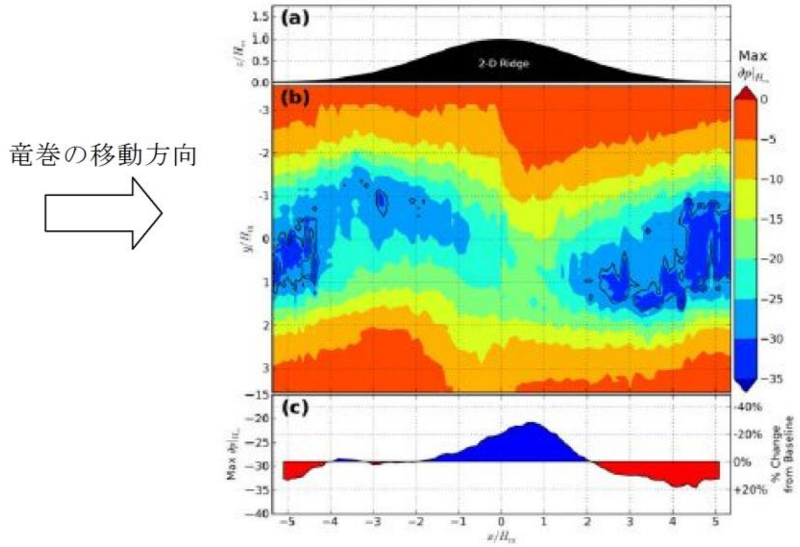
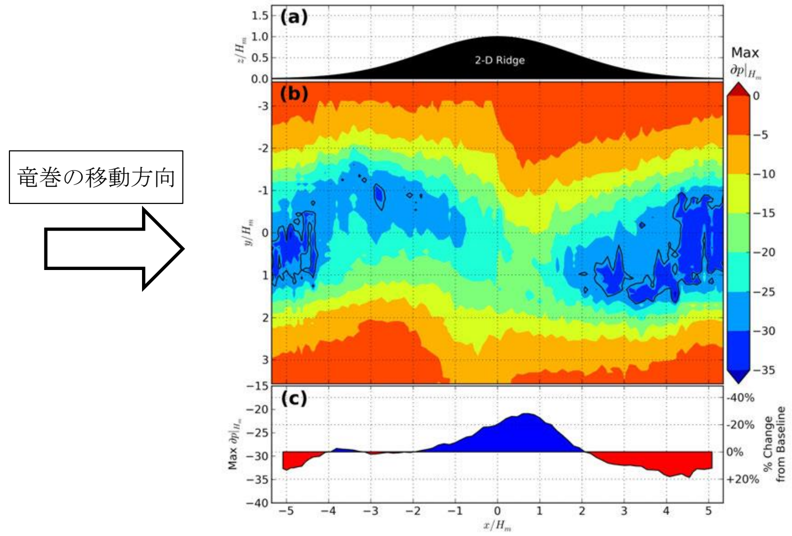
備考

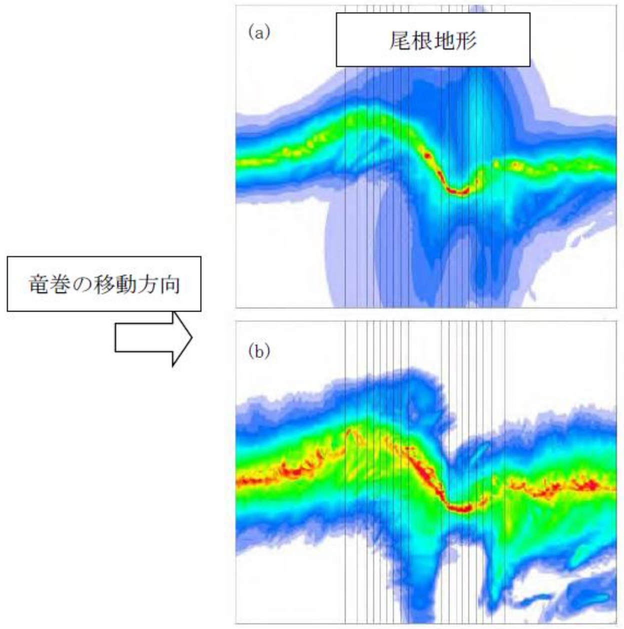
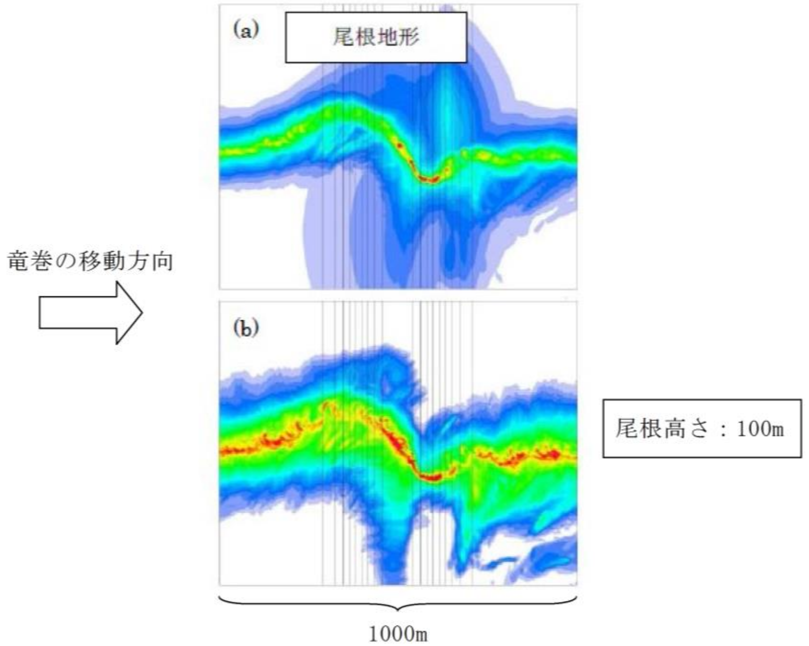
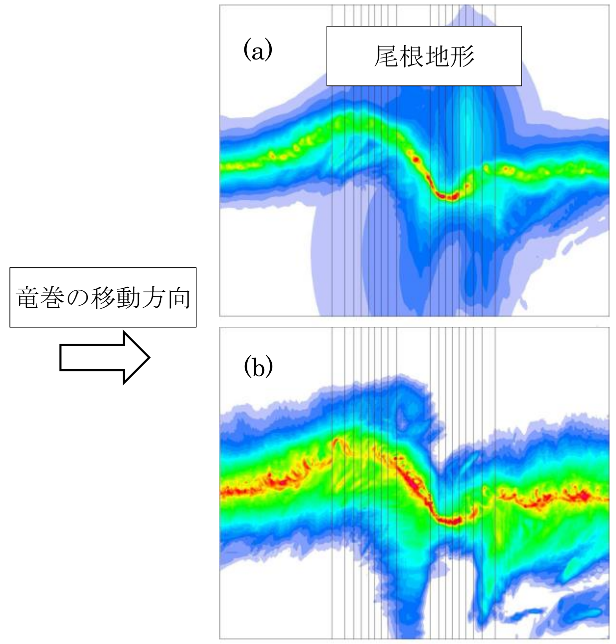
・竜巻検討地域の違いによる相違
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
添付資料2.4 地形効果による竜巻風速への影響について 1. はじめに ガイドにおいて，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(V_D)を設定することが求められている。 ここでは，既往の研究に基づく地形起伏の竜巻の風速への影響に関する知見を取りまとめる。 2. 対象とする地形起伏スケールの整理 竜巻に対する地形の効果は，スーパセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」等への影響と，渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」等への影響とに大別される。 前者への言及として，例えば，Markowsk and Dotezk(2011)による数値気象モデル（CM1）を用いた検討等がある。ここでは，メソスケールの地形（尾根幅数十km程度）が，CAPEやSRHといった，竜巻の発生要因を支配するパラメータに与える影響が論点となる。加藤らによる佐呂間竜巻への分析もこれに相当すると考えられる。  図1 メソスケール尾根地形に起因するCAPE，SRH等のパラメータの変化を調べた例	添付資料6 地形効果による竜巻の増幅の可能性について 1.　概要 「竜巻影響評価ガイド」では，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，評価対象施設等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（V_D）を設定することが求められている。 ここでは，既往の研究に基づく地形の竜巻風速への影響に関する知見を取りまとめ，発電所における，地形効果による竜巻増幅の可能性について検討した。 2.　考慮対象となる地形のスケール 竜巻に対する地形の効果は，スーパーセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」などへの影響と，渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」などへの影響とに大別できる。	添付資料2.4 2.4 地形効果による竜巻風速への影響について 2.4.1 地形起伏による竜巻風速の増幅特性について 2.4.1.1 概要 本資料において，既往の研究に基づく地形起伏の竜巻の風速への影響に関する知見を取りまとめる。 2.4.1.2 対象とする地形起伏スケールの整理 竜巻に対する地形の効果は，スーパーセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」への影響と，渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」への影響とに大別される。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
一方，竜巻風速 V_D に対する地形影響には，後者が相当する。ここでは，タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流及びそれに随伴して生じる強風への地形影響が論点となる。ここで考慮すべき地形の規模としては，前述のメソスケールのものと比べて小さく数百ｍ規模と考えられる（Karstens 2012，Lewellen 2012）。	このうち，設計竜巻の最大風速 V_D を設定する際には，タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流及びそれに随伴して生じる強風への地形影響を検討すべきであり，マイクロスケール（数百ｍ）規模の地形の起伏を考慮すべきと考えられる[(1)(2)]。	竜巻風速 V_D を求める際に検討すべき地形影響は，後者が相当し，タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流，及びそれに随伴して生じる強風への地形影響が論点となる．ここで考慮すべき地形の規模としては，前述のメソスケールのものと比べて小さく数百メートル規模と考えられる（Karstens 2012，Lewellen 2012）。	
3. マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響 マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響の定量的評価は，いまだ，研究課題である（Karstens 2012）。しかしながら，定性的な知見を与える関連研究は存在する。そこで用いられている主な手法は，①被害状況調査，②風洞実験，③数値シミュレーションとなる。 ①被害状況調査（Forbes 1998，Karstens 2012）では，実際の竜巻の被害を精査し，被害状況と地形特性との関係を調べる。これにより，被害が発生しやすい地形特性を分析し，そこから旋回強度及び風速の強弱を類推することになる。 ②風洞実験（Karstens 2012）では，風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形模型を入れ，その上部に竜巻発生装置を設置し，それを移動させたときの，地表面近傍の圧力・風速分布を調べる。  図２ 風洞実験の様子（Karstens 2012） ③数値シミュレーション（Lewellen 2012）では，竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析コードによる，数値実験を行い，旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。	3.　マイクロスケールの地形起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響 マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響について，定性的な知見を与える研究で用いられる主な手法としては，以下の３つが挙げられる。 (1)　被害状況調査[(1)(3)] 実際の竜巻の被害を精査し，被害状況と地形特性との関係を調べることにより，被害が発生しやすい地形特性を分析し，そこから旋回流強度及び風速の強弱を類推する。 (2)　風洞実験[(1)] 風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形模型を入れ，その上部に竜巻発生装置を設置し，それを移動させたときの，地表面近傍の圧力及び風速の分布を調べる。  第３−１図　風洞実験の様子(Karstens 2012)[(1)] (3)　数値シミュレーション[(2)] 竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析により，旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。	2.4.1.3 マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響 マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響の定量的評価は，いまだ，研究課題である（Karstens 2012）。しかしながら，定性的な知見を与える関連研究は存在する。そこで用いられている主な手法は，①被害状況調査，②風洞実験，③数値シミュレーションとなる。 ①被害状況調査（Forbes 1998，Karstens 2012）では，実際の竜巻の被害を精査し，被害状況と地形特性との関係を調べる。これにより，被害が発生しやすい地形特性を分析し，そこから旋回流強度及び風速の強弱を類推することになる。 ②風洞実験（Karstens 2012）では，風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形模型を入れ，その上部に竜巻発生装置を設置し，それを移動させたときの，地表面近傍の圧力・風速分布を調べる。  図 2.4.1 風洞実験の様子（Karstens 2012） ③数値シミュレーション（Lewellen 2012）では，竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析コードによる，数値実験を行い，旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 3 数値シミュレーションのセットアップ これらを通じて，マイクロスケールの地形の起伏に起因する竜巻の旋回流や風速の強化に対する知見が得られている。被害状況調査により，竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている（Forbes 1998，Karstens 2012）。また，実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験・数値シミュレーションにおいても確認されている。2 次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験（ Karstens 2012 ） 及び数値シミュレーション（Lewellen2012）の結果をそれぞれ，図 4，図 5 に示す。風洞実験の結果である図 4 において，(a)に示す二次元尾根地形を図中左側から右側に竜巻を模擬した旋回流が移動するときに地表面で測定された圧力の最大値が(b)になる。ここで実験仕様の制約上，風速のデータは取得されておらず，風速に相当するものとして，圧力勾配（圧力の高いことろから低いところに流れる風の駆動力になり，風速に相当する）を(c)に示している。(c)の結果から， ① 圧力勾配（図 4(c)）が斜面において，正・負の値を持つこと（=旋回流が強弱する） ②斜面に比べ尾根の上・下流の平たん部ではほぼフラットとなること（=旋回流の強度が変化しない） を理解できる。	 第 3－2 図　数値シミュレーションのモデル例 被害状況調査によれば，竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている(1)(3)。 また，実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験及び数値シミュレーションにおいても確認されている。二次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験(1)及び数値シミュレーション(2)の結果を，それぞれ第 3－3 図及び第 3－4 図に示す。 風洞実験の結果である第 3－3 図においては，竜巻を模擬した旋回流が(a)に示す二次元尾根地形※を図の左から右に移動する時に地表面で測定された圧力の最大値を(b)に，圧力勾配（風の駆動力になり，風速に相当する）を(c)に示しており，(c) から以下のことが分かる。 ※　過去の竜巻被害を受けた斜面の傾斜等を考慮し，尾根高さ H に対し前後 5H の領域を模擬している。 ①　圧力勾配は，斜面において正及び負の値を持つ。（旋回流が強弱する） ②　圧力勾配は，尾根の上流及び下流の平坦部ではほぼフラットとなる。（旋回流の強度が変化しない）	 図 2.4.2 数値シミュレーションのセットアップ これらを通じて，マイクロスケールの地形の起伏に起因する竜巻の旋回流や風速の強化に対する知見が得られている。被害状況調査により，竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている（Forbes 1998，Karstens 2012）。また，実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験・数値シミュレーションにおいても確認されている。2 次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験（ Karstens 2012 ） 及び数値シミュレーション（Lewellen2012）の結果をそれぞれ，図 2.4.3，図 2.4.4 に示す。風洞実験の結果である図 2.4.3 において，(a)に示す二次元尾根地形を図中左側から右側に竜巻を模擬した旋回流が移動するときに地表面で測定された圧力の最大値が(b)になる。ここで実験仕様の制約上，風速のデータは取得されておらず，風速に相当するものとして，圧力勾配（圧力の高いことろから低いところに流れる風の駆動力になり，風速に相当する）を(c)に示している。(c)の結果から， ① 圧力勾配（図 2.4.3(c)）が斜面において，正・負の値を持つこと（=旋回流が強弱する） ②斜面に比べ尾根の上・下流の平たん部ではほぼフラットとなること（=旋回流の強度が変化しない） を理解できる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 4 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力及び圧力勾配（風速に相当） 数値シミュレーション結果である図 5 において，ピーク圧力が(a)，風速が(b)になる。シミュレーションは風速の取り扱いを可能としており，図 5 の(b)のような結果の議論を可能としている。図中の黒色実線が等高線を意味し，竜巻は，図 4 と同じく図中左側から右側へと移動している。この結果も，下記のとおり図 4 の知見と整合している。 ・上り斜面では圧力が増加し（緑色→赤色），下り斜面では圧力が減少（赤色→緑色）する（実験で得られた知見①を支持） ・ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され，平たん部の圧力は上流側と下流側とで同レベルとなる。(実験で得られた知見②を支持)	 第 3−3 図　尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力(b)及び圧力勾配(c)[1] 数値シミュレーションの結果である第 3−4 図においては，(a)にピーク圧力を，(b)に風速を示す。図中の黒色実線は等高線を意味し，以下に示すように，風洞実験の結果（第 3−3 図）と整合している。 ・上り斜面では圧力が増加し（緑色→赤色），下り斜面では圧力が減少（赤色→緑色）する。(前述の風洞実験の知見①に対応) ・ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され，平坦部の圧力は上流及び下流側と同レベルとなる。(前述の風洞実験の知見②に対応) また，これらの研究結果は，地形の起伏の影響範囲が，斜面，尾根，山の頂及び裾部に限定されることを示唆しており，地形の下流側の平坦部における風速や圧力の値は，地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。	 図 2.4.3 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力及び圧力勾配（風速に相当） 数値シミュレーション結果である図 2.4.4 において，ピーク圧力が(a)，風速が(b)になる。シミュレーションは風速の取り扱いを可能としており，図 2.4.4 の(b)のような結果の議論を可能としている。図中の黒色実線が等高線を意味し，竜巻は，図 2.4.3 と同じく図中左側から右側へと移動している。この結果も，下記のとおり図 2.4.3 の知見と整合している。 ・上り斜面では圧力が増加し（緑色→赤色），下り斜面では圧力が減少（赤色→緑色）する（実験で得られた知見①を支持） ・ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され，平たん部の圧力は上流側と下流側とで同レベルとなる。(実験で得られた知見②を支持)	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 5 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力及び風速	 第３－４図　尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力(a)及び風速(b)(2)	 図 2.4.4 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力及び風速	
ここで地形の規模として尾根高さ Hm に対して±5Hm を考慮していることにも留意を願いたい。これは，尾根高さが 100m の場合，±500m にわたる地形を対象としていることを意味する。 また，これらの研究が，地形の起伏の影響範囲が，斜面及び尾根・山の頂・裾部に限定されることを示唆していることを強調したい。図 4，5 にみられるとおり，地形の下流側の平たん部における風速や圧力の値は，地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。		ここで地形の規模として尾根高さ Hm に対して±5Hm を考慮していることにも留意が必要である。これは，尾根高さが 100m の場合，±500m にわたる地形を対象としていることを意味する。 また，これらの研究では，地形の起伏の影響範囲が，斜面及び尾根・山の頂・裾部に限定されることを示唆している。図 2.4.3，2.4.4 にみられるとおり，地形の下流側の平たん部における風速や圧力の値は，地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。	
	参考資料：地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈 ここでは，本資料で示した地形の起伏による竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈を示す。なお，ここで示す角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を，被害状況調査（Forbes 1998,Karstens 2012）や風洞実験（Karstens 2012）の結果も支持している。 一般的に，回転する流れでは，「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質（角運動量保存則）がある。角運動量保存則と Holton（1992）を参考に，竜巻旋回流が形成された後における，渦の伸長，収縮に伴う旋回風速の増速，減速機構を以下に導く。	2.4.1.4 地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈 ここでは，渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」への影響についての物理的解釈を示す。なお，ここで示す角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を，被害状況調査（Forbes 1998,Karstens 2012）や風洞実験（Karstens 2012）の結果も支持している。 系の外側から新たな角運動量の付与がない場合，回転する流れにおいては,「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。これは角運動量保存則と呼ばれるが，角運動量保存則と Holton（1992）を参考に，竜巻旋回流が形成された後における渦の伸長・収縮に伴う旋回流風	（柏崎 6/7 号炉は，地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈について「参考資料１」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	（下記参照）	（下記参照）	

東海第二発電所（2018.9.18 版）

竜巻のコア部分を 1 つの鉛直軸を有する気柱と仮定すると，上り坂を越える場合（第 1 図の渦 1 から渦 2 へ移動する場合）には渦の長さが短くなる。その際，角運動量の保存則は次式のように表される。

$$\int_0^{2\pi}\int_0^{r_1}\int_0^{h_1}(\rho r^2\omega_1)dh\cdot rdrd\varphi=\int_0^{2\pi}\int_0^{r_2}\int_0^{h_2}(\rho r^2\omega_2)dh\cdot rdrd\varphi \qquad ①$$

$$\frac{1}{4}r_1^4\omega_1h_1=\frac{1}{4}r_2^4\omega_2h_2 \qquad ②$$

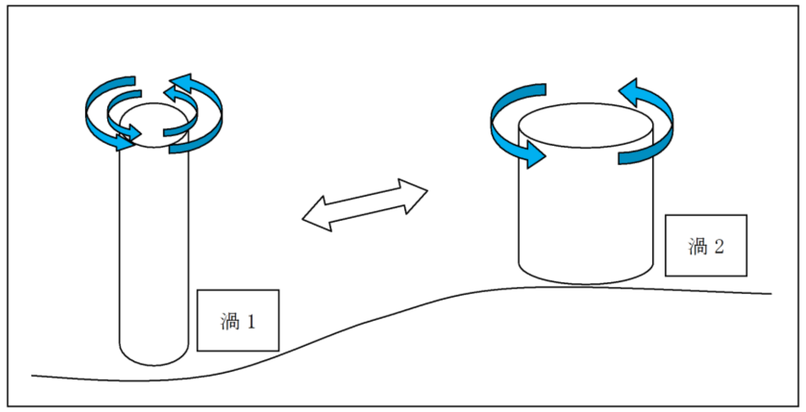
ここで，ωは角速度，r は渦コア（気柱）の半径，h は渦コア（気柱）の高さ，ρは空気密度であり，添字の 1 と 2 はそれぞれ渦 1 と渦 2 を示す。また，気柱の体積が保存されるので，式③が成立する。

$$\pi r_1^2h_1=\pi r_2^2h_2 \qquad \Rightarrow \qquad r_2^2=\frac{h_1}{h_2}r_1^2 \qquad ③$$

この関係を式②に代入すると，式④が得られる。

$$\frac{\omega_1}{h_1}=\frac{\omega_2}{h_2} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{d}{dt}\left(\frac{\omega}{h}\right)=0 \qquad ④$$

④の関係式は「渦位（ポテンシャル渦度）の保存式」に相当するものであり，角速度は地上高さ h に比例することが分かる。また，③より，渦の半径 r は $h^{1/2}$ に反比例するので，竜巻の最大接線風速（ω×r）は $h^{1/2}$ に比例する。そのため，竜巻の渦が上り斜面を移動する時，基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動する時には強まる。



第 1 図　竜巻の旋回流の地形影響に関する模式図

島根原子力発電所　２号炉

速の増速・減速機構を以下に導く。竜巻のコア部分を一つの鉛直軸を有する剛体運動の気柱と仮定すると，上り坂を越える場合（図 2.4.5 において渦 1 から渦 2 へ移動する場合）には渦の長さが短くなる。その際，角運動量の保存則は次式のように表される。

$$\int_0^{2\pi}\int_0^{r_1}\int_0^{h_1}(\rho r^2\omega_1)dh\cdot rdrd\varphi=\int_0^{2\pi}\int_0^{r_2}\int_0^{h_2}(\rho r^2\omega_2)dh\cdot rdrd\varphi \qquad (1.1)$$

$$\frac{1}{4}r_1{}^4\omega_1h_1=\frac{1}{4}r_2{}^4\omega_2h_2 \qquad (1.2)$$

ここで，ω は角速度，r は渦コア（気柱）の半径，h は渦コア（気柱）の高さ，ρは空気密度であり，添字の 1 と 2 はそれぞれ，渦 1 と渦 2 に対する値を表す。また，気柱の体積が保存されるので，式(1.3)が成立する。

$$\pi r_1{}^2h_1=\pi r_2{}^2h_2 \Rightarrow \quad r_2{}^2=\frac{h_1}{h_2}r_1{}^2 \qquad (1.3)$$

この関係を式(1.2)に代入すると，式(1.4)が得られる。

$$\frac{\omega_1}{h_1}=\frac{\omega_2}{h_2} \Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{\omega}{h}\right)=0 \qquad (1.4)$$

(1.4)の関係式は「渦位（ポテンシャル渦度）の保存式」に相当するものであり，角速度ωは地上高さ h に比例することがわかる。また，式(1.3)により，渦の半径 r は $h^{1/2}$ に反比例するので，竜巻の最大接線風速（$\omega\times r$）は $h^{1/2}$ に比例する。そのため，竜巻の渦が上り斜面を移動する時，基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動する時には強まる。

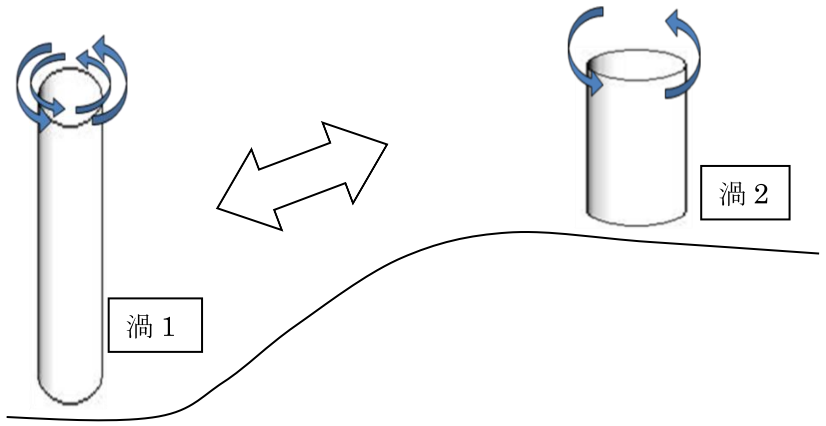
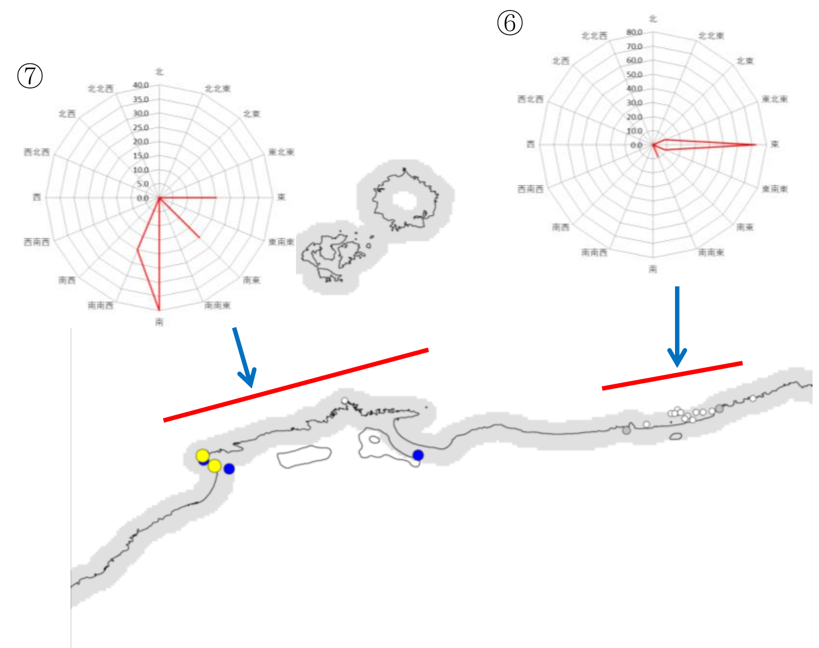
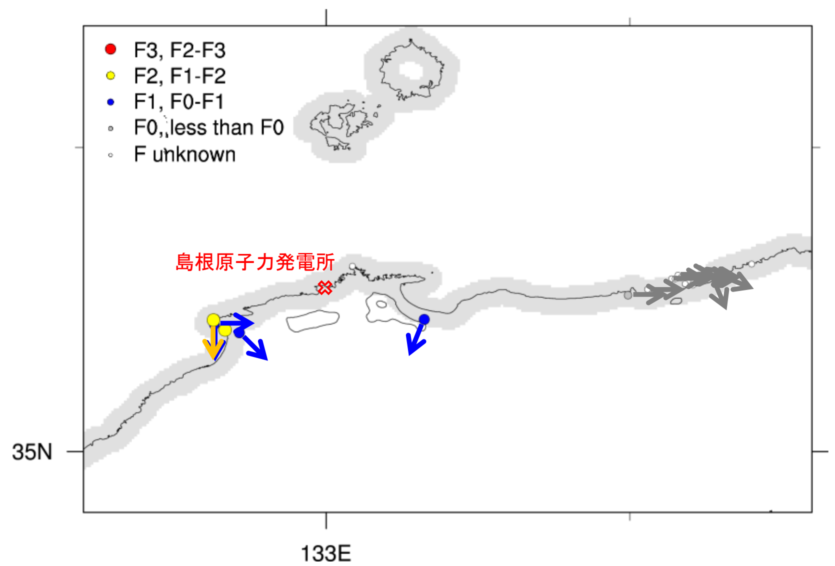
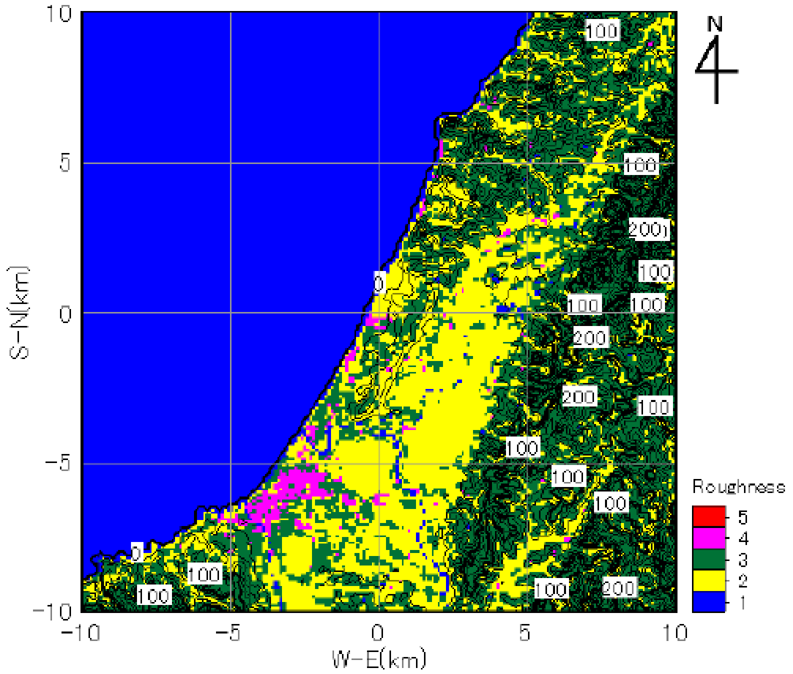
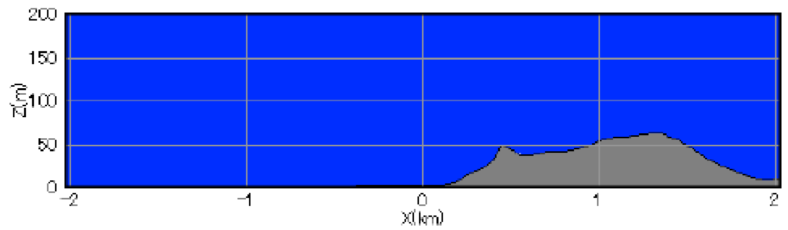
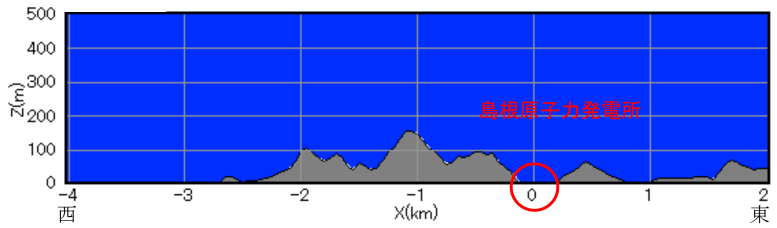
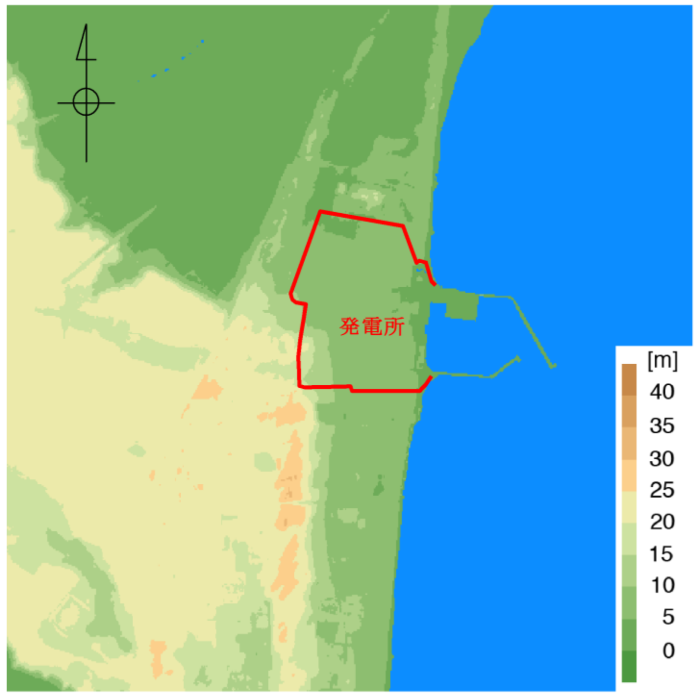


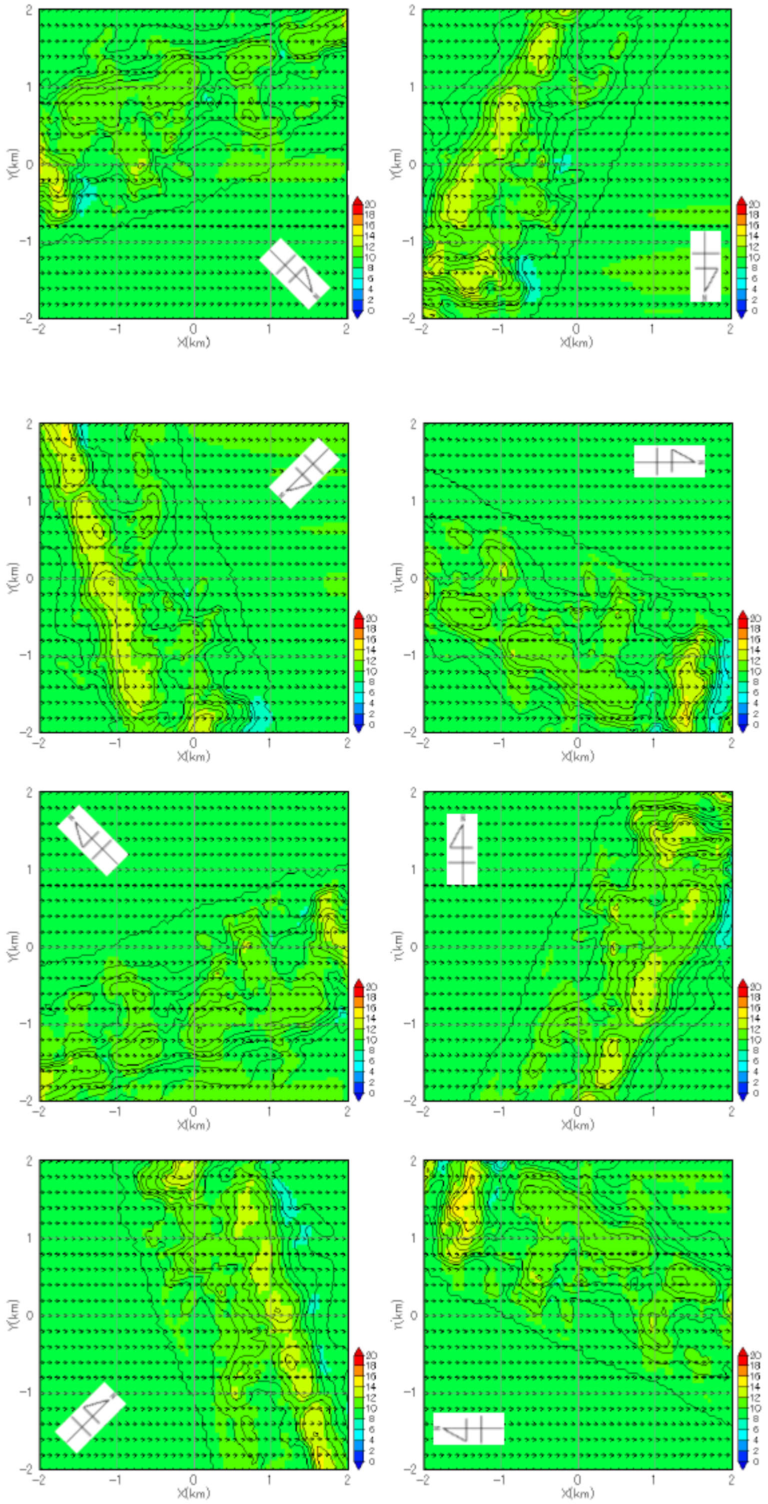
図 2.4.5　竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
4. 柏崎刈羽原子力発電所周辺での地形起伏の効果 竜巻集中地域と竜巻検討地域で発生した竜巻の移動経路の発生頻度を図６ に示す。北東から東南東に向かう竜巻が顕著であることを確認できる。すなわち，地形影響を議論する際には，特に，柏崎刈羽原子力発電所より西側に注視すればよいといえる。  図 ６ 竜巻の移動経路の発生頻度（左：竜巻集中地域，右：竜巻検討地域）	4.　発電所敷地周辺の地形効果の考慮要否	2.4.1.5 島根原子力発電所周辺での地形起伏の効果 竜巻集中地域⑥及び⑦で観察された竜巻の移動経路の発生頻度を図 2.4.6 に，その発生場所を図 2.4.7 に示す。島根原子力発電所周辺で観察された竜巻は，その大部分が海上又は沿岸部で発生しており，その移動方向は東に向かう頻度が高いことが確認できる。また，島根原子力発電所が立地する竜巻集中地域⑦では，発電所北方の海上から南（陸側）へ向かう頻度が高いことが確認できる。  図 2.4.6　島根原子力発電所周辺で発生した竜巻の移動経路の発生頻度  図 2.4.7　島根原子力発電所周辺で発生した竜巻の発生場所	・発電所立地場所による相違 【柏崎 6/7】 ・V_D の設定方法の相違 【東海第二】 島根２号炉は，竜巻の移動方向を踏まえた地形効果の影響を把握するため，竜巻の移動方向を考慮している

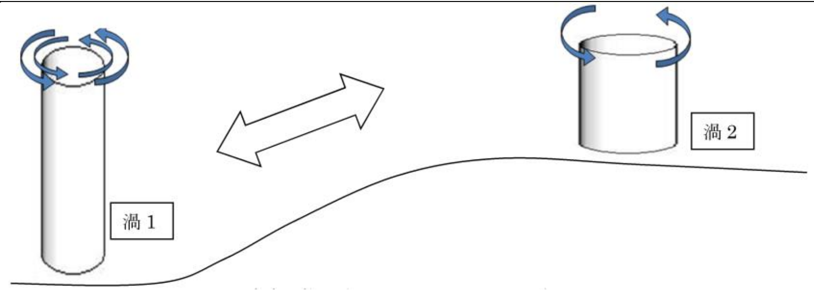
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
柏崎刈羽原子力発電所を含む周辺の地形状況を図７ に示す。図中において，地形の起伏を等値線から確認することができる。参考までに，粗度区分もカラーコンタで併記している。また，図８ には，東向きの移動経路を勘案して，東西方向の鉛直断面の地形起伏を示した。  図 7 柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形起伏  図 8 柏崎刈羽原子力発電所東西方向の鉛直断面での地形起伏 これらの結果から，柏崎刈羽原子力発電所周辺の数km領域において，「尾根高さ Hm に対して±5Hm」という既往の研究が示している影響範囲の大きさに該当する地形が存在しないことがわかる。特に，西側については，海が占有し，地形を平坦と判断し得ることを理解できる。		島根原子力発電所を含む東西の地形断面を図 2.4.8 に示す。島根原子力発電所に襲来しうる竜巻の経路上の地形の起伏として，発電所西側の地形特性に着目すると，約 2.5 km 西側の 0 m 標高地域から約 1 km 西側の 130 m 標高地域を越えて，発電所周辺の 0 m 標高地域にわたる起伏を確認できる。この起伏の傾斜は上り斜面・下り斜面とも 1/10 程度となる。  図 2.4.8 島根原子力発電所を含む東西の地形断面 すなわち，島根原子力発電所周辺で観察される竜巻が東進し，発電所に到達する場合，以下のようになる。 ・竜巻は上り斜面・下り斜面の影響をほぼ同程度受ける ・竜巻は，周囲の丘の麓から少し離れたほぼ平坦な地点において発電所に到達する	（島根２号炉は，地形状況（地表面粗度含む）について「2.4.2.4」で記載） ・発電所立地場所による相違 【柏崎 6/7】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
さらに，地形の起伏に伴う風速の増減について，数値シミュレーションによる検討も行った。図９に，８風向に対する増減速率（流入風速に対する比）の計算結果を示す。なお，実際の風況シミュレーションでは地形の起伏と粗度の影響とを重畳させることが一般的であるが，ここでは地表面粗度を一様（粗度区分Ⅱ）とした結果を示している。これは，地形効果への議論を明確に示すことを意図したものである（別途，地表面粗度の影響を考慮したシミュレーション結果も実施し，ここで提示した結論との整合を核にしている）。 この数値シミュレーションでは，直線的な風（straight wind）に対する計算を行ったが，上記で取りまとめた竜巻に関する知見とは異なり，下り坂で減速する特徴があるため，発電所付近において風速の顕著な減速がないという観点で確認した。図中のカラーコンタが増減速の度合い（比）を 10 倍したものを示す。原点位置が該当地点（柏崎刈羽原子力発電所）となる。図６に示す竜巻の主な移動方向に対する計算結果において，発電所付近においてカラーコンタが緑色（比として１前後）から明確な変化はしていないことから，地形による風速の顕著な変調は見られず，風の場に対する地形の起伏の影響は小さいと判断される。	発電所敷地周辺の地形を第４－１図に示す。敷地周辺は最大でも標高 40m 程度のなだらかな地形であり，地形効果の影響の研究において想定するようなマイクロスケール（数百 m）規模の起伏は認められないことから，地形効果による竜巻の増幅の可能性は低く,考慮不要と判断した。  第４－１図　発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形標高（国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆）	このことから，地形起伏に対する竜巻の旋回流・強風の強化に対する知見である「竜巻の渦が上り斜面を移動する時，基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動する時には強まる。」ことを勘案すると，島根原子力発電所における竜巻の風速評価において，地形の起伏による風速の増減は小さいものと判断できる。 また，竜巻が島根原子力発電所の北方で発生し南方向（陸側）へ移動する場合には，地形が平坦な海側から発電所敷地に進入することとなり，発電所敷地も平坦であるため竜巻が増幅することはないと考えられる。	・検討内容の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は,竜巻経路や発電所周辺地形を考慮して地形起伏による影響はないと判断したため数値シミュレーションは実施していない ・発電所立地場所による相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　(2017.12.20 版)	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参考文献 Forbes GS (1998) Topographic influences on tornadoes in Pennsylvania. 19th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Minneapolis, MN, 269-272. Karstens CD (2012) Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions. Graduate theses and dissertations of Iowa State Univ.,paper12778. Lewellen DC (2012) Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Nashville, TN, 4B.1.	＜参考文献＞ (3) Forbes, G. S. Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, Proc 19th Conf Severe local storms American Meteorolical Society, pp.269-272, 1998 (1) Karstens, C.D. Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions, Graduate theses and dissertations of Iowa state univ, paper12778, 2012 (2) Lewellen, D. C., Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, 4B.1., 2012	参考文献 Forbes, G. S., 1998: Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, Proc 19th Conf Severe local storms Amer Meteorol Soc,Mineapolis,MN, pp.269-272 Karstens C. D., 2012: Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions. Graduate theses and dissertations of Iowa state Univ., paper 12778. Lewellen, D. C., 2012: Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conference on Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., Nashville, TN, 4B.1. Holton, J. R., 1992: An Introduction to Dynamic Meteorology, 3rd Edition, Academic Press.	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 9 柏崎刈羽原子力発電所周辺の風速の増減速率分布（8 風向） （流入風速に対する比を 10 倍にして表示）			・検討内容の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，竜巻経路や発電所周辺地形を考慮して地形起伏による影響はないと判断したため数値シミュレーションは実施していない

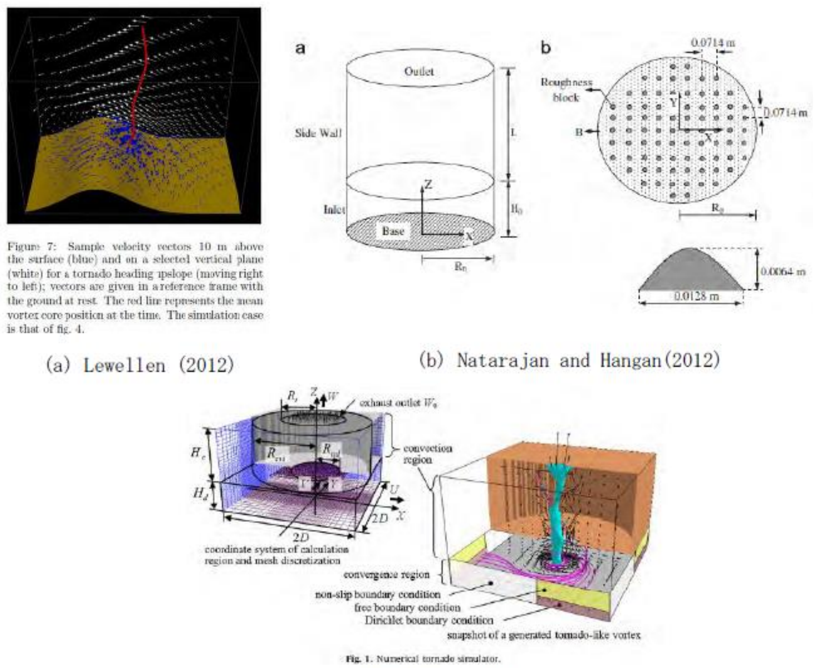
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参考資料 1：地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈 　ここでは，本資料で示した地形の起伏による竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈を示す。なおここで示す，角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を，被害状況調査（Forbes 1998，Karstens 2012）や風洞実験（Karstens 2012）も支持している。 　一般的に，回転する流れでは，「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。これは角運動量保存則と呼ばれるが，角運動量保存則と Holton（1992)を参考に，竜巻旋回流が形成された後における渦の伸長・収縮に伴う旋回流風速の増速・減速機構を以下に導く。竜巻のコア部分を一つの鉛直軸を有する剛体運動の気柱と仮定すると，上り坂を越える場合（図の渦 1 から渦 2 へ移動する場合）には渦の長さが短くなる。その際，角運動量の保存則は次式のように表される。 $\int_0^{2\pi}\int_0^{r_1}\int_0^{h_1}(\rho r^2\omega_1)dh\cdot rdrd\varphi = \int_0^{2\pi}\int_0^{r_2}\int_0^{h_2}(\rho r^2\omega_2)dh\cdot rdrd\varphi$　① $\frac{1}{4}r_1^4\omega_1 h_1 = \frac{1}{4}r_2^4\omega_2 h_2$　② ここで，ωは角速度，r は渦コア（気柱）の半径，h は渦コア（気柱）の高さ，ρは空気密度であり，添字の 1 と 2 はそれぞれ，渦 1 と渦 2 に対する値を表す。また，気柱の体積が保存されるので，式③が成立する。 $\pi r_1^2 h_1 = \pi r_2^2 h_2 \Rightarrow \quad r_2^2 = \frac{h_1}{h_2}r_1^2$　③ この関係を式②に代入すると，式④が得られる。 $\frac{\omega_1}{h_1} = \frac{\omega_2}{h_2} \Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{\omega}{h}\right) = 0$　④ 　④の関係式は「渦位（ポテンシャル渦度）の保存式」に相当するものであり，角速度ωは地上高さ h に比例することがわかる。また，③より，渦の半径 r は $h^{1/2}$ に反比例するので，竜巻の最大接線風速（ω×r）は $h^{1/2}$ に比例する。そのため，竜巻の渦が上り斜面を移動するとき，基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動するときには強まる。			（島根２号炉は，地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈について「2.4.1.4」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図１ 竜巻の旋回流の地形影響に関する模式図 <u>参考資料２：竜巻による旋回流を対象とした数値シミュレーションへのレビュー</u> ガイド及びその解説に記載されている参考文献において，地形影響による旋回流の強化の評価技術として，数値シミュレーションの援用が例示されている。ここでは，ラージエディシミュレーション（LES）という技法が用いられている。LES では，風の運動を支配する方程式系を数値的に解くことにより，風の三次元分布の非定常な変化を求める。計算自体には仮定が少ないのが長所であるが，膨大な計算資源が必要であること，計算の初期・境界条件の設定が難しいこと，が欠点である。竜巻の実際の流れ場を対象とした場合，より難しいものとなる。 具体的には，LES では，風の変動を大規模なものと小規模なものとに分離し，前者を数値シミュレーションの中で直接的に再現し，後者を物理法則から妥当性を類推できる仮定にもとづくモデル（サブグリッドモデル）で表現する。そのため，計算精度が格子解像度，計算手法やサブグリッドモデルの現象再現性に強く依存する。一方，表１に示すように，近年の竜巻数値流体計算に用いられている格子解像度や計算手法には，様々なものが用いられており，適切な手法として統一的な知見が得られていないのが現状といえる。 このことを勘案して，本資料では，数値シミュレーションの結果を援用して，旋回流の増減への定性的評価及びその挙動への物理的解釈を与えることとし，定量的な数値の取り扱いは行わないこととした。			・検討内容の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，竜巻経路や発電所周辺地形を考慮して地形起伏による影響はないと判断したため数値シミュレーションは実施していない

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表１ 近年の竜巻数値流体計算の主要仕様

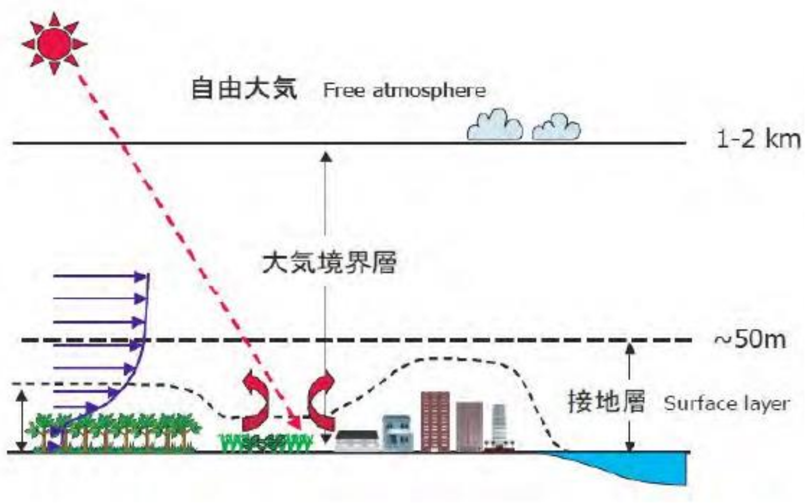
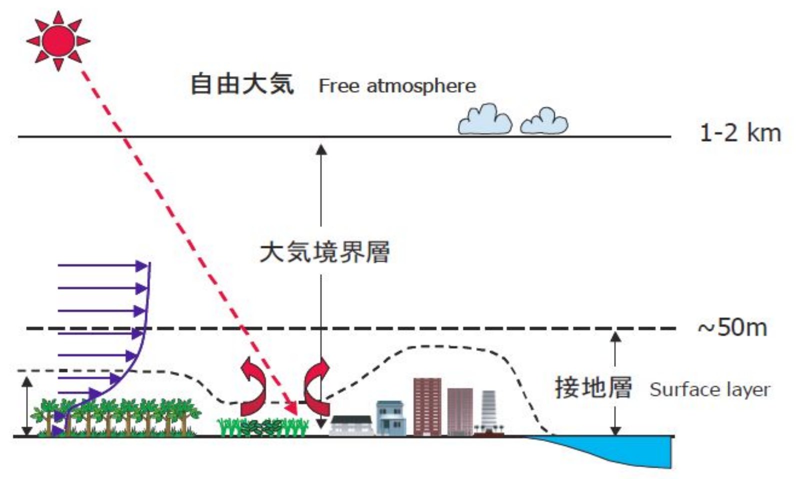
文献	解析体系	地表面境界条件	乱流モデル	解析手法	格子解像度	解析領域
Lewellen (2012)	複雑地形上実スケール竜巻	空力的粗度	LES（TKE 型）	Lewellen(2007)と同じ（IB 法を付加）	5m 以下	2x2x2km
Natarajan and Hangan (2012)	実験スケール竜巻	不明（ノンスリップ？）	LES（動的スマゴリンスキ型）	商用コード Fluent ベース（2 次精度中心差分 hexahedral grid）	不明（セル数は 2.5e6）	実験サイズ(半径=0.4m)
Maruyama(2011)	実験スケール竜巻	ノンスリップ	LES（標準スマゴリンスキ型）	RIAM-COMPACT（Kajishima Sheme）	最大風速半径の 1/8	実験サイズ
Lewellen et al. (2008)	飛散物を含む実スケール竜巻	空力的粗度	LES（TKE 型）	Lewellen(2007)と同様（2 流体モデルを付加）	不明	不明
Lewellen and Lewellen (2007)	実スケール竜巻	空力的粗度	LES（TKE 型）	2 次精度中心差分	不明	不明



(a) Lewellen (2012)　　(b) Natarajan and Hangan(2012)

(c) Maruyama (2011)

図１ 近年の竜巻数値流体計算の解析モデル

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参考資料３ 地表面粗度について 1. 概要 本資料において，既往の研究に基づく地表面粗度の物理的意味及び竜巻等の暴風時の風速への影響に関する知見を取りまとめる。 2. 地表面粗度の定義 大気の運動（風）は，地表面の影響を受けるが，地表面に近いほどその影響は強い。影響を受ける範囲は 1-2 km に及ぶことが一般的で，その範囲を大気境界層と呼ぶ。その中でも表面から数十メートルまでの領域は特にその影響が著しく，「接地層」といわれる（竹内・近藤 1981）。  図１ 大気の鉛直構造の模式図 風速は，地表面において０ となり上空に向かうにつれて増加する。強風状態において，この風速の鉛直分布は対数分布と合致する。この対数分布の性状は，地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗により定まる。この摩擦抵抗による風速分布への効果を示す指標を「粗度長」（地表面粗度）と定義する（塩谷 1992；近藤 2000）。 接地層内の風速 U は，地表面からの高さ z に対して，粗度長 zo を用いて U(z) = c ln(z/zo)　(1) により整理される（ここで，c は係数）。		2.4.2 地表面粗度による竜巻風速の増幅特性について 2.4.2.1 概要 本資料において，既往の研究に基づく地表面粗度の物理的意味及び竜巻などの暴風時の風速への影響に関する知見を取りまとめる。 2.4.2.2 地表面粗度の定義 大気の運動（風）は，地表面の影響を受けるが，地表面に近いほどその影響は強い。影響を受ける範囲は 1–2 km に及ぶことが一般的で，その範囲を大気境界層と呼ぶ。その中でも表面から数十メートルまでの領域は特にその影響が著しく，「接地層」といわれる（竹内・近藤 1981）。  図 2.4.9　大気の鉛直構造の模式図 風速は，地表面において 0 となり上空に向かうにつれて増加する。強風状態において，この風速の鉛直分布は対数分布と合致する。この対数分布の性状は，地表面の細かな凹凸が与える摩擦抵抗により定まる。この摩擦抵抗による風速分布への効果を示す指標を「粗度長」（地表面粗度）と定義する（塩谷 1992；近藤 2000）。 接地層内の風速 U は，地表面からの高さ z に対して，粗度長 z_o を用いて $U(z) = c\ln(z/z_o)$　(2.1) により整理される（ここで，c は係数）。	・地形効果による影響の検討方法の相違 【東海第二】 島根２号炉は既往の知見を踏まえて，地形効果として地形起伏に加えて地表面粗度の影響を考慮している

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）

3. 粗度長の値

粗度長の値は，既往の研究において，様々な地表面状態に対して示されている。そこで得られている概略値を以下に示す。

地表面	粗度長［m］
水（広くて静かな面）	10^{-6} － 10^{-5}
砂・砂漠	0.0003
土	0.001 － 0.01
草（草丈 0.02 － 0.1 m）	0.003 － 0.01
草（草丈 0.25 － 1.0 m）	0.04 － 0.10
農地	0.04 － 0.20
果樹園	0.5 － 1.0
森林	1.0 － 6.0
大都市（東京）	2.0

竹内・近藤 1981 より

地表面	粗度長［m］
湖や海面	10^{-3} － 10^{-5}
水田	0.01 － 0.05
草（草丈 0.1 m）	0.01 － 0.03
草（草丈 1.0 m）	0.1 － 0.3
田園集落	0.2 － 0.5
森林	0.3 － 1.0
大都市	1 － 3

近藤 2000 より

粗度長が地表面の細かな凹凸の度合いに呼応し増減することを確認できる。

4. 粗度長を加味した風速の算定

この粗度長を考慮した建築物の耐風設計（強風を対象とした建築物の風荷重設定）手順を日本建築学会が取りまとめている（日本建築学会 2004）。ここでは，地表面の状況に応じた粗度長の変化を5 つの区分に分類して取り扱うことにしている。

粗度区分	評価地点及び風上側地域の地表面の状況
Ⅰ	海面又は湖面のような，ほとんど障害物のない地域
Ⅱ	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域，樹木，低層建築物等が散在している地域
Ⅲ	樹木・低層建築物が多数存在する地域，あるいは中層建築物（4 － 9階）が散在している地域
Ⅳ	中層建築物（4 － 9階）が主となる市街地
Ⅴ	高層建築物（10階以上）が密集する市街地

島根原子力発電所　2号炉

2.4.2.3 粗度長を加味した風速の算定及び竜巻の風速に対する粗度長の効果

この粗度長さを考慮した建築物の耐風設計（強風を対象とした建築物の風荷重設定）手順を日本建築学会が取りまとめている（日本建築学会 2004）。ここでは，地表面の状況に応じた粗度長さの変化を 5 つの区分に分類して取り扱うことにしている。

粗度区分	評価地点及び風上の地表面の状況
Ⅰ	海面または湖面のような，ほとんど障害物のない地域
Ⅱ	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域，樹木，低層建築物などが散在している地域
Ⅲ	樹木・低層建築物が多数存在する地域，あるいは中層建築物（4 － 9階）が散在している地域
Ⅳ	中層建築物（4 － 9階）が主となる市街地
Ⅴ	高層建築物（10階以上）が密集する市街地

備考

（島根2号炉は，粗度長の値について「付録1」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）

そして，式(1)の対数分布を近似するものとして，次式で示される分布とともに，各粗度区分に対して式中のパラメータとして下表の値を提示している。

$$U(z) = c\ (z/z_G)^{\alpha} \qquad (zb < z \leq z_G) \qquad (2)$$

粗度区分	I	II	III	IV	V
zb (m)	5	5	10	20	30
z_G (m)	250	350	450	550	650
α	0.1	0.15	0.2	0.27	0.35

地表面の凹凸が大きくなるほど，zb，z_G，α（べき指数）の値も大きくなる。

粗度区分Ⅰ－Ⅴに対して，式(2)から得られる風速の鉛直分布を図2に示す。

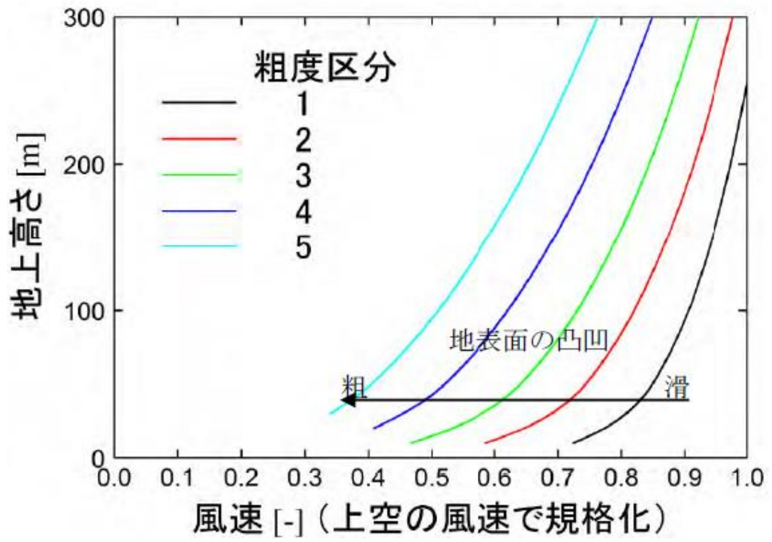


図2 粗度区分と風速の鉛直分布との関係

ここで，地表面の凹凸による地表面近傍における風速の減速を議論するため，同一の上空風速（z = z_G の風速）に対する分布を提示している。すなわち，横軸の数字は地表面粗度の影響に起因する減速の度合いを意味する。地上に近づくにつれて・粗度区分が大きくなるにつれて，地表面近傍の風速が小さくなることを確認できる。例えば，地上高さ 10 m の風速は，粗度区分がⅠからⅡに変化することで20%程度低下し，Ⅲに変化することで35%程度低下する。

東海第二発電所（2018.9.18版）

島根原子力発電所　2号炉

そして，式(2.1)の対数分布を近似するものとして，次式で示されるべき分布とともに，各粗度区分に対して式中のパラメータとして下表の値を提示している。

$$U(z) = c(z/z_G)^{\alpha} \quad (z_b < z < z_G) \qquad (2.2)$$

粗度区分	I	II	III	IV	V
z_b (m)	5	5	10	20	30
z_G (m)	250	350	450	550	650
α	0.1	0.15	0.2	0.27	0.35

地表面の凹凸が大きくなるほど，z_b，z_G，α（べき指数）の値も大きくなる。

粗度区分Ⅰ－Ⅴに対して，式(2.2)から得られる風速の鉛直分布を図2.4.10に示す。

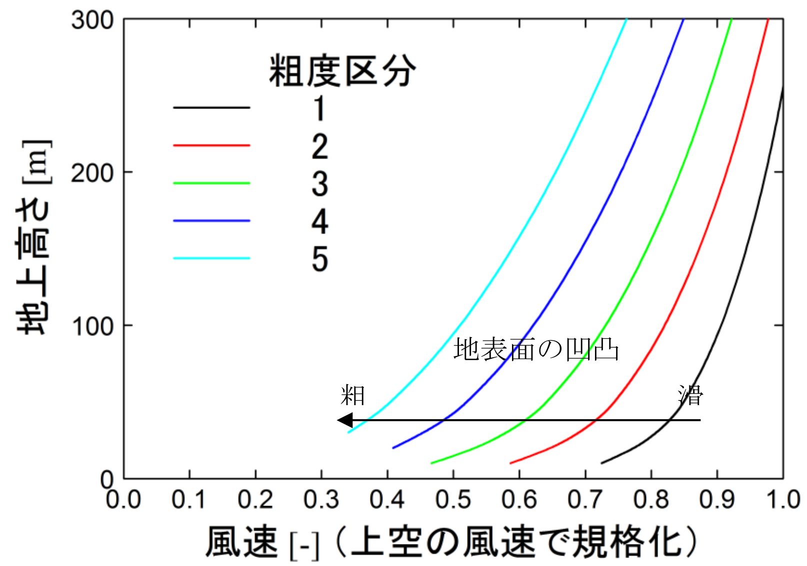
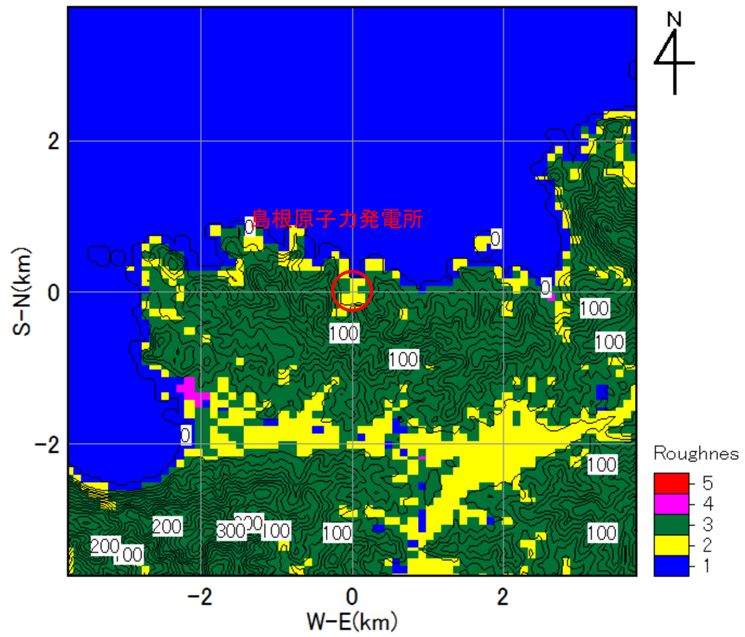


図2.4.10 粗度区分と風速の鉛直分布との関係

図2.4.10は，同一の上空風速（$z = z_G$の風速）に対する分布を示している。すなわち，横軸の数字は地表面粗度の影響に起因する減速の度合いを意味する。地上に近づくにつれ，又，粗度区分が大きくなるにつれて，地表面近傍の風速が小さくなる。例えば，地上高さ10ｍの風速は，粗度区分がⅠからⅡに変化することで20 %程度低下し，Ⅲに変化することで35 %程度低下する。

備考

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
5. 竜巻の風速に対する粗度長の効果 　4章に示した風速の算定手順は，強風を対象としたものであり，地表面状態が森林等柔なものからビルなどの剛なものまでを包括して，地表面の凹凸が，強風の減衰をもたらすことを示唆するものである。 　なお，竜巻は通常の強風と異なり，強い渦（旋回流）構造を有する。地表面粗度は，この竜巻の旋回流を減衰させる効果を有する（例えば，Dessens 1972, Leslie 1977, Lewellen and Sheng 1979, Rostek and Snow 1985, Church 1993, Natarajan and Hangan 2012）。また，地表面粗度の構成物が飛来物として運動することも竜巻の風速を大きく減少させることも示唆されている（Lewellen et al. 2008）。 　これらの知見から，表面の凹凸，すなわち地表面粗度，の増加とともに竜巻に起因する強風の風速が低下するといえる。		なお，竜巻は通常の強風と異なり，強い渦（旋回流）構造を有する。地表面粗度は，この竜巻の旋回流を減衰させる効果を有するとされている（例えば，Leslie 1977, Lewellen and Sheng 1979, Rostek and Snow 1985, Church 1993, Natarajan and Hangan 2012）。また，地表面粗度の構成物が飛来物として運動することも竜巻の風速を大きく減少させると示唆されている（Lewellen et al. 2008）。 　これらの知見から，表面の凹凸，すなわち粗度の増加とともに竜巻に起因する風速を低下させると考えられる。 2.4.2.4 島根原子力発電所周辺での地表面粗度の効果 　島根原子力発電所周辺の地表面粗度区分のカラーコンタを図2.4.11に示す。図の原点が島根原子力発電所位置となる。北側には海などに相当する粗度区分Ⅰの領域（図中青色）が拡がるが，そのほかの三方は森林などに相当する粗度区分Ⅲの領域（図中緑色）に囲まれている。 　島根原子力発電所周辺で観察された竜巻の移動経路の発生頻度及び発生場所は，2.4.1.5の図2.4.6及び図2.4.7に示したとおり，その大部分が海上または沿岸部で発生しており，その移動方向は，東に向かう頻度が高い。 　図2.4.11によると，島根原子力発電所西方においては，森林などに相当する粗度区分Ⅲの領域が2㎞以上にわたり存在している。 　以上のことから，島根原子力発電所における竜巻の風速評価においては，地表面粗度に起因する風速の減衰が見込めると判断できる。	（柏崎6・7号炉は，地形状況（地表面粗度含む）について「４.」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 図 2.4.11　島根原子力発電所周辺の地表面粗度	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)

参考文献

近藤（2000）　地表面に近い大気の科学 324pp

塩谷（1992）　強風の性質 開発社 201pp

竹内・近藤（1981）　大気科学講座 1 地表に近い大気 東大出版 226pp

日本建築学会（2004）　建築物荷重指針・同解説 丸善 651pp

Church, C. R., J. T. Snow (1993) Laboratory models of tornadoes. The tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards, Geophysical Monograph 79, Amer. Geophy. Union, 277-295.

Hattori Y et al. (2010) Wind-tunnel experiment on logarithmic-layer turbulence under the influence of overlying detached eddies. Bound.-Layer Meteor., 134, 269-283.

島根原子力発電所　2号炉

付録１　粗度長の値

粗度長の値は，既往の研究において，様々な地表面状態に対して示されている。そこで得られている概略値を以下に示す。

地表面	粗度［m］
水（広くて静かな面）	10^{-6} – 10^{-5}
砂・砂漠	0.0003
土	0.001 – 0.01
草（草丈 0.02 – 0.1 m）	0.003 – 0.01
草（草丈 0.25 – 1.0 m）	0.04 – 0.10
農地	0.04 – 0.20
果樹園	0.5 – 1.0
森林	1.0 – 6.0
大都市（東京）	2.0

竹内・近藤 1981 より

地表面	粗度［m］
湖や海面	10^{-3} – 10^{-5}
水田	0.01 – 0.05
草（草丈 0.1 m）	0.01 – 0.03
草（草丈 1.0 m）	0.1 – 0.3
田園集落	0.2 – 0.5
森林	0.3 – 1.0
大都市	1 – 3

近藤 2000 より

上記から粗度長が地表面の細かな凹凸の度合いに呼応し増減することを確認できる。

参考文献

近藤純正，2000：地表面に近い大気の科学－理解と応用．東京大学出版会，324pp.

塩谷正雄，1992：強風の性質－構造物の耐風設計に関連して．開発社，201pp.

竹内清秀，近藤純正，1981：大気科学講座１　地表に近い大気．東京大学出版会，226 pp.

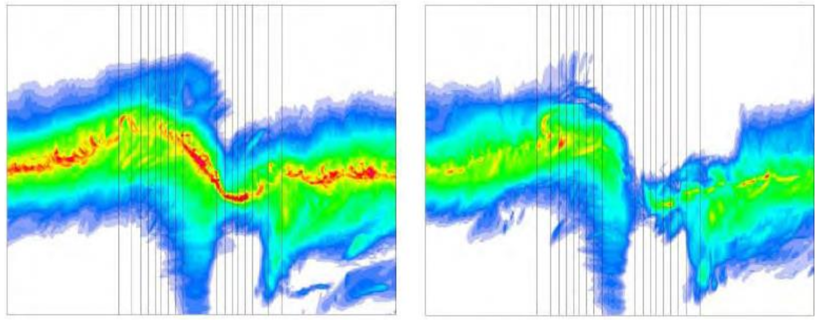
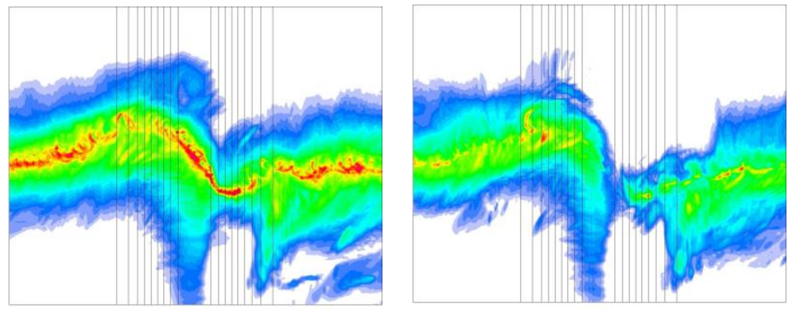
日本建築学会，2004：　建築物荷重指針・同解説．丸善出版，651pp.

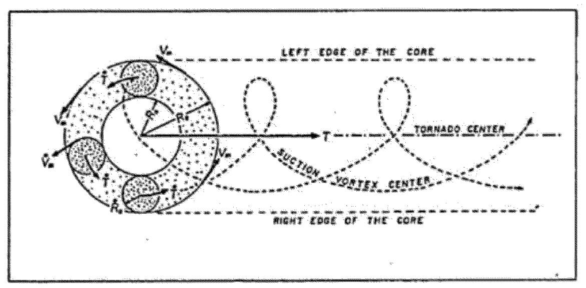
Church, C. R., 1993: The tornado: Its structure, dynamics, prediction and hazards. Geophysical Monograph, Vol. 79, American Geophysical Union.

備考

（柏崎 6/7 号炉は，粗度長の値について「参考資料３ 3」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
James R. Holton (1992) An Introduction to Dynamic Meteorology, pp.511.			
Dessens, J., Jr. (1972) Influence of ground roughness on tornadoes : A Laboratory Simulation. J. Appl. Meteor., 11, 72-75.			
Leslie F W (1977) Surface roughness effects on suction vortex formation : A Laboratory Simulation. J. Atmos. Sci., 34, 1022-1027.		Leslie, F. W., 1977: Surface roughness effects on suction vortex formation. J. Atmos. Sci., 34, 1022-1027.	
Lewellen WS, Sheng YP (1979) Influence of surface conditions on tornado wind distributions. 11th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Kansas City,MO, 375-381.		Lewellen, W. S., and Y. P. Sheng, 1979: Influence of surface conditions on tornado wind distribution. Proc. 11th Conf. Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., 375-378.	
Lewellen DC, Gong B, Lewellen WS (2008) Effects of finescale debris on near-surface tornado dynamics. J. Atmos. Sci., 65, 3247-3262.		Lewellen, D. C., B. Gong, W. S. Lewellen, 2008: Effects of finescale debris on near-surface tornado dynamics. J. Atmos. Sci., 65, 3247-3262.	
Natarajan D, Hangan H (2012) Large eddy simulations of translation and surface roughness effects on tornado-like vortices. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 104-106,577-584.		Natarajan, D., and H. Hangan, 2012: Large eddy simulations of translation and surface roughness effects on tornado-like vortices. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 104-106, 577-584.	
Maruyama, T. (2011) Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 99, 249-256.			
Lewellen, D. C., and W. S. Lewellen (2007) Near-surface intensification of tornado vortices. J. Atmos. Sci., 64, 2176-2194.			
Rostek WF, Snow JT (1985) Surface roughness effects on tornado like vortices. 14th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Indianapolis, IN, 252-255.		Rostek, W. F., and J. T. Snow, 1985: Surface roughness effects on tornado like vortices. Proc. 15th Conf. Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., 252-255.	
		Lewellen, D. C. (2012) Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conference on Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., Nashville, TN, 4B.1.	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙：地形と粗度との重畳について ここでは，本資料で示した粗度による竜巻の減衰について，別資料で示した地形効果との重畳について言及する。地表面粗度と地形効果との重畳について，Lewellen（2012）により実施されたLES が一つの知見を与えている。このLES では，高さ 100m の尾根を越える竜巻の減衰を 2 種類の地表面粗度（zo = 2 cm と 20 cm）に対して調べている。それにより得られた最大風速のカラーコンタを以下に示す。  地表面粗度 zo=2cm の場合　　地表面粗度 zo=20cm の場合 図 1 最大風速のカラーコンタ 地表面粗度の値によらず，地形の起伏に伴う竜巻進路は蛇行している。竜巻の移動に伴う，最大瞬間風速の値の強弱は，地表面粗度に伴い異なる挙動を呈するが，地表面粗度の増加は，最大風速の低下に寄与していることを確認できる。 この結果は，本資料が説明した地表面粗度による竜巻風速の減衰について，地形の起伏が重畳する場合も同様の結論となることを示唆する。 参考文献： Lewellen DC (2012) Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Nashville, TN, 4B.1.		付録２　地形と粗度との重畳について ここでは，粗度による竜巻の減衰について，地形効果との重畳について言及する。地表面粗度と地形効果との重畳について，Lewellen（2012）により実施された LES が一つの知見を与えている。この LES では，高さ 100m の尾根を越える竜巻の減衰を 2 種類の地表面粗度（zo = 2 cm と 20 cm）に対して調べている。それにより得られた最大風速のカラーコンタを以下に示す。  地表面粗度 zo=2cm の場合　　地表面粗度 zo=20cm の場合 図 1 最大風速のカラーコンタ 地表面粗度の値によらず，地形の起伏に伴う竜巻進路は蛇行している。竜巻の移動に伴う，最大瞬間風速の値の強弱は，地表面粗度に伴い異なる挙動を呈するが，地表面粗度の増加は，最大風速の低下に寄与していることを確認できる。 この結果は，地表面粗度による竜巻風速の減衰について，地形の起伏が重畳する場合も同様の結論となることを示唆する。 参考文献 Lewellen, D. C., 2012: Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conference on Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., Nashville, TN, 4B.1. Holton, J. R., 1992: An Introduction to Dynamic Meteorology, 3rd Edition, Academic Press.	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料2.5 設計竜巻の特性値の設定 当社の竜巻影響評価においては，フジタの竜巻工学モデルDBT-77（DBT: Design Basis Tornado）を適用していることから，設計竜巻の特性値を以下のとおり設定する。 1. フジタモデルDBT-77 について フジタモデルには，Fujita Work Book[1]の6 章に記載されているフジタモデルDBT-77 と7 章に記載されているフジタモデルDBT-78 があり，フジタモデルDBT-77は単一渦型のモデル，フジタモデルDBT-78 はフジタモデルDBT-77 で模擬した大きな竜巻の中に小さな吸込渦（suction vortices）を加えた多重渦型のモデルである。（図１） 米国NRC ガイド[2]に記載されているフジタモデルは，「内側のコアと外側のコアの間にある環には，強い竜巻の吸引渦が形成され，親竜巻の中心の回りで回転する（In the annulus between the inner core radius and the outer core radius,suction vortices form in strong tornadoes and rotate around the center of the parent tornado）」とあるように，多重渦型のフジタモデルDBT-78のことを述べている。  Figure 8.2 Fujita's latest model of multiple-vortex tornadoes for engineering applications. The design-basis tornado model in Chapter 6 developed in 1977 was identified as "DBT-77". Design-basis suction-vortex parameters in Chapter 7 were added to the DBT-77 in constructing this latest analytical model, to be idetified as "DBT-78". 図 1 DBT-78 モデルの模式図[1]			（島根２号炉は設計竜巻の特性値のうち，設計竜巻の移動速度，最大接線風速，最大接線風速半径の設定については「別添 2-2 別紙 2」で記載。最大気圧低下量及び最大気圧低下率の設定については「別添 2-1 2.5」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所(2018.9.18版)	島根原子力発電所　2号炉	備考
米国NRC ガイドでは，フジタモデルDBT-78 の中の小さな吸込渦は半径が小さく，圧力の時間変化率が半径に反比例して大きくなることを考慮して，同ガイドで採用したランキン渦モデルでも保守的に圧力の時間変化率が大きくなるように，改訂前(2007 年以前)の同ガイドで採用されていた最大接線風速半径45.7m を選択している。 また，米国ローレンス・リバモア国立研究所報告書[(3)]では，「多重渦型のフジタモデルDBT-78 で考慮されている吸込渦はすぐに減衰することから，大多数の専門家は竜巻被災の重要因子ではないと考えている」と述べており，単一渦型のフジタモデルDBT-77 を飛来物評価の竜巻風速場として選定している。 フジタモデルDBT-78 モデルは，Fujita Work Book[(1)]において，最大風速や発生率がモデル化されているのみであり，飛散解析に必要となる風速場に関する数式が完全には定義されていない。また，仮にDBT-78 モデルを適用した場合，竜巻半径が東京工芸大報告書[(4)]に示されている日本で観測された被害幅に基づく竜巻半径と整合が取れなくなるといった点が挙げられる。 以上を踏まえ，当社の竜巻影響評価ではフジタモデルDBT-77 を適用している。 DBT-77 モデルの入力パラメータは移動速度，最大接線風速及び最大接線風速半径であり，これらについて制限はFujita Work Book[(1)]では記載されておらず，特に制限はないものと考えられることを踏まえ，以下のとおり設計竜巻の特性値を設定する。 (1) 設計竜巻の移動速度(V_T) ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて移動速度(V_T)は，下記の式にて設定される。 $V_T = 0.15 \cdot V_D$ (ガイドの3.1 式)　(1) 一方，この式は日本の竜巻観測記録(気象庁データベース)に基づいた竜巻移動速度(平均値)と最大風速との関係[(4)]を参照して設定されており，風速場モデルに関わらず用いることができることから，フジタモデルでも適用できる。 また，参考に，V_D=92m/s の際のランキン渦モデルとフジタモデルDBT-77 での移動速度を以下に示す。			

柏崎刈羽原子力発電所 6／7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所 2号炉	備考
表1 設計竜巻の移動速度(V_T)の比較			

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
移動速度(V_T)	14m/s	14m/s

(2) 設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大接線風速(V_{Rm})は，竜巻の最大風速から移動速度(V_T)を引いた値として，下記の式にて設定される。

$V_{Rm}=V_D-V_T$（ガイドの3.2 式） (2)

一方，上記式は，風速場によらないのでフジタモデルでも適用できる。

また，参考に，V_D=92m/s の際のランキン渦モデルとフジタモデルDBT-77 での最大接線風速を以下に示す。

表2 設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大接線風速(V_{Rm})	78m/s	78m/s

(3) 設計竜巻の最大接線風速半径(R_m)

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大接線風速半径(R_m)については，観測された被害幅を用いて推定している。

竜巻によって被害が生じる風速をV_0とした場合，R_m を超えた範囲では，風速$V=V_{Rm}\cdot(R_m/r)$と表せるため，被害が生じる風速V_0と，被害幅r_0，及び最大接線風速V_{Rm}が分かれば最大接線風速半径R_m を得ることができる。（図2）

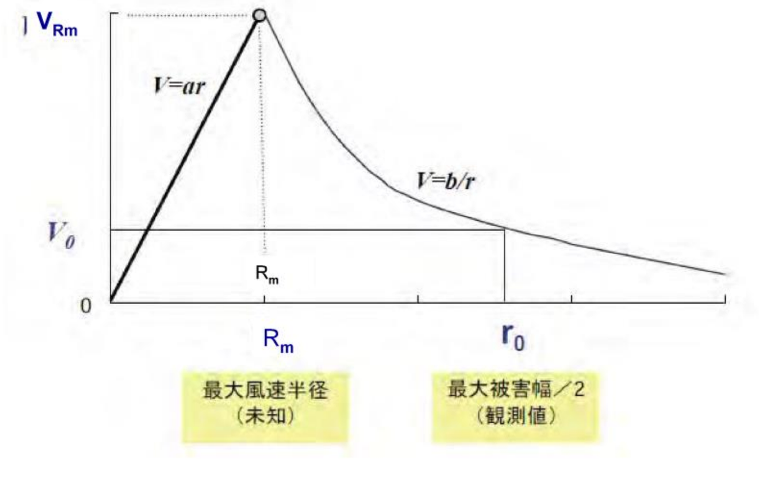


図2 竜巻半径と風速との関係

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
例えば，東京工芸大報告書[4]p.163 の仮定2より，最大風速 V_{Rm}=70m/s（F3 あるいはF3に近いF2 竜巻），被害幅250m の1/2 である r_0 = 125m，被害が生じる風速 V_0 = 17m/s，とするとこれをもとに設定する最大接線風速半径(R_m)は，下記のとおり。 $R_m = r_0 \cdot V_0/V_{Rm}$ $R_m = 125 \cdot 17/70$　(3) $R_m \fallingdotseq 30.36(m)$ 一方，フジタモデルの水平風速V は接線風速と径方向風速を合成したものであるので，外部コア半径の外側では水平風速V は以下で与えられる。 $V = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} = F_r(r)F_h(z)V_m\sqrt{1+\tan^2\alpha_0}$　(4) ここで，$F_r(r) = \frac{R_m}{r}$，$F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z<1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$　(5) $\tan\alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z<1) \\ B\{1-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$　(6) フジタモデルでは，ランキン渦モデルと異なり高さによって風速が変化するが，外部コア半径の内側ではr に比例して風速が大きくなり，外部コア半径の外側ではr に反比例して小さくなる点ではランキン渦モデルと同様である。（ランキン渦モデルと同様に，竜巻半径と風速の関係は図2 のとおりとなる） また，接線風速V が最大となるのは，流入層の上端（z=1）であるが，このとき，$F_h(z)=1, \tan\alpha_0=0$ となるので，外部コア半径の外側ではランキン渦モデルと同様に $V=V_mR_m/r$ が成立する。 したがって，被害幅から最大接線風速半径を推定する際に，ランキン渦モデルと同様に求めることができると考えられるため，本検討においてはガイドを参照して最大接線風速半径 R_m = 30m を設定する。 また，参考に，V_D=92m/s の際のランキン渦モデルとフジタモデルDBT-77 での最大接線風速半径を以下に示す。			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 3 設計竜巻の最大接線風速半径（R_m）の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大接線風速半径(R_m)	30m	30m

(4)設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})・最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$) ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大気圧低下量（ΔP_{max}）・最大気圧低下率（$(dp/dt)_{max}$）は，それぞれρV_{Rm}^2，$(V_T/R_m)\cdot\Delta P_{max}$ と設定される。

一方，フジタモデルにおける設計竜巻の最大気圧低下量・最大気圧低下率については，速度分布が既知である場合，流れの連続式と運動量保存式から導出される以下の圧力ポアソン方程式を解くことにより，圧力を求めることができる。

$$\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2}\right)=-\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\frac{\partial}{\partial x_i}\left(U_j\frac{\partial U_i}{\partial x_j}-\nu\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j\partial x_j}\right) \quad (7)$$

ここで，x_i は座標(x,y,z)を，U_i 及びp は風速ベクトル及び圧力を表す。また，ν は動粘性係数を，ρ は空気密度を表す。なお，添え字i，j は1 から3 までの整数とする。

式(7)を解くために有限要素法（計算方法の詳細は参考文献(5)，(6)を参照）を用い，一辺300m($10R_m$)の立方体を解析領域として，この領域を１辺100 個の有限要素に分割した。竜巻（最大接線風速V_{Rm}=78m/s，半径R_m=30m）の中心が解析領域の角部に位置するものとして，各節点にFujita モデルの風速値を与えた。移動速度V_tは圧力分布には影響しないため，ここでの計算ではV_t=0 とした。

図3 にFujita モデルの圧力分布（空気密度で除したもの）を示す。空気密度で除した最大圧力差は5149.8m^2/s^2 であるので，これに空気密度1.226kg/m^3 を乗じて最大圧力差を求めた。ただし，この結果は一辺300m($10R_m$)の立方体を解析領域とした有限領域での数値解析結果であるので，これを無限領域における最大気圧低下量とするために,更に補正係数1.0066 を乗じた（表4）。なお，この補正係数1.0066 は，ランキン渦に対する最大圧力差の有限領域での数値解析結果と無限領域での理論値の比から求めた。

図4 にFujita モデルの圧力（空気密度で除したもの）のx-方向空間微分値を示す。x-方向空間微分値（絶対値）の最大値は240.2 m/s^2 であり，最大気圧変化率はこの値に移動速度を乗じることに

備考

・設定方法の相違
【柏崎 6/7】
島根２号炉は，設計竜巻の特性値うち気圧低下については，容易に算出ができ，保守的な設定ができるガイドの算出式を使用

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

より，式(8)のように求められる。ただし，数値解析誤差を考慮するため，更に補正係数1.0096 を乗じて最大気圧低下率とした（表5）。なお，この補正係数1.0096 は，ランキン渦に対する最大気圧変化率の有限領域での数値解析結果と無限領域での理論値の比から求めた。

$$\frac{\partial p}{\partial t}=V_T\frac{\partial p}{\partial \chi} \qquad (8)$$

また，参考として，図5 に有限領域での数値解析より求めたランキン渦の圧力分布と圧力のx-方向空間微分値を示す（圧力は空気密度で除したもの）。

表 4 最大気圧低下量

最大風速	最大接線風速	空気密度で除した最大圧力差	最大気圧低下量
92m/s	78m/s	5149.8m^2/s^2	6355Pa

表 5 最大気圧低下率

最大風速	最大接線風速	移動速度	空気密度で除した最大圧力低下率	最大気圧低下率
92m/s	78m/s	14m/s	240.2m/s^2	4163Pa/s

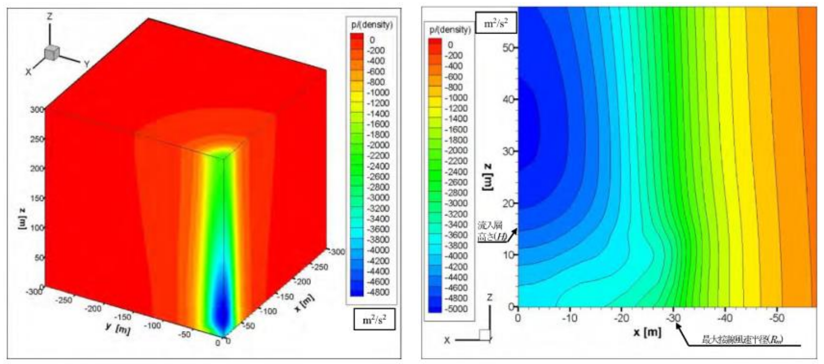
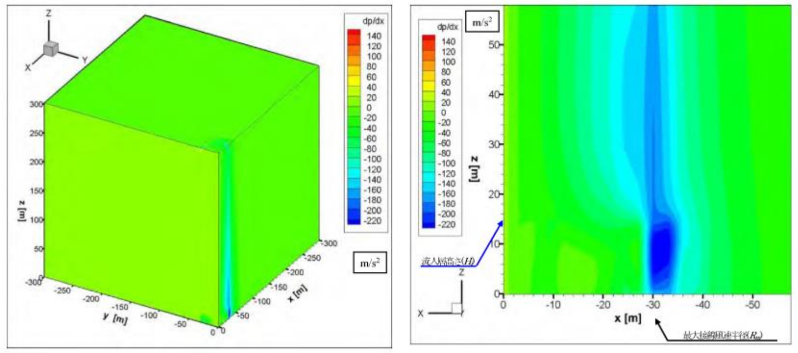
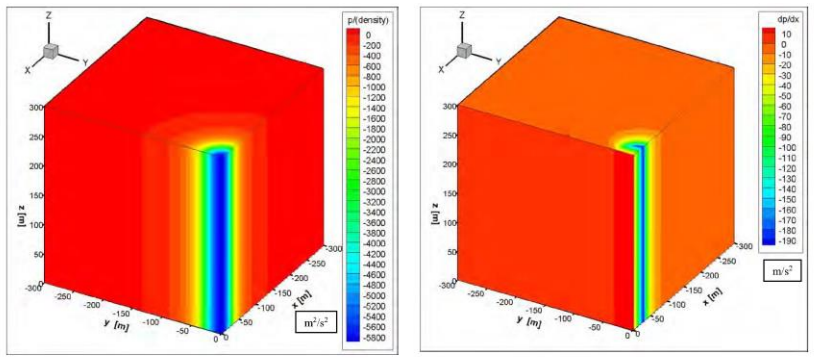


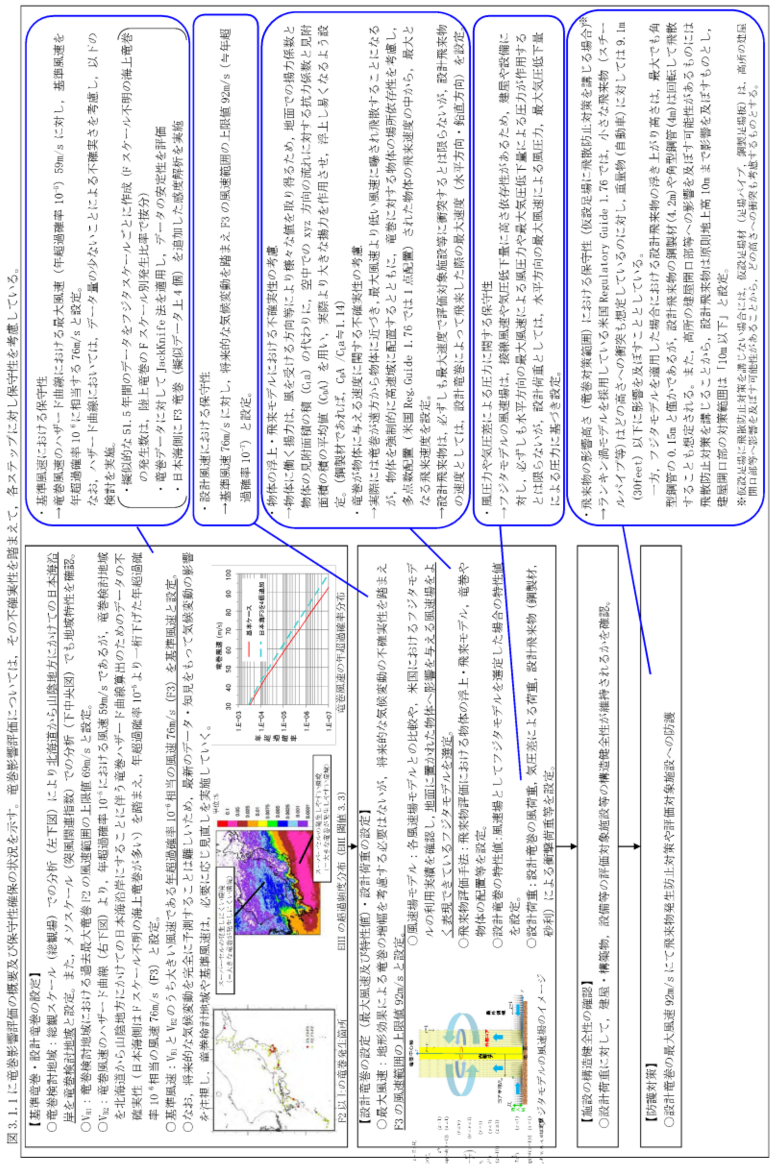
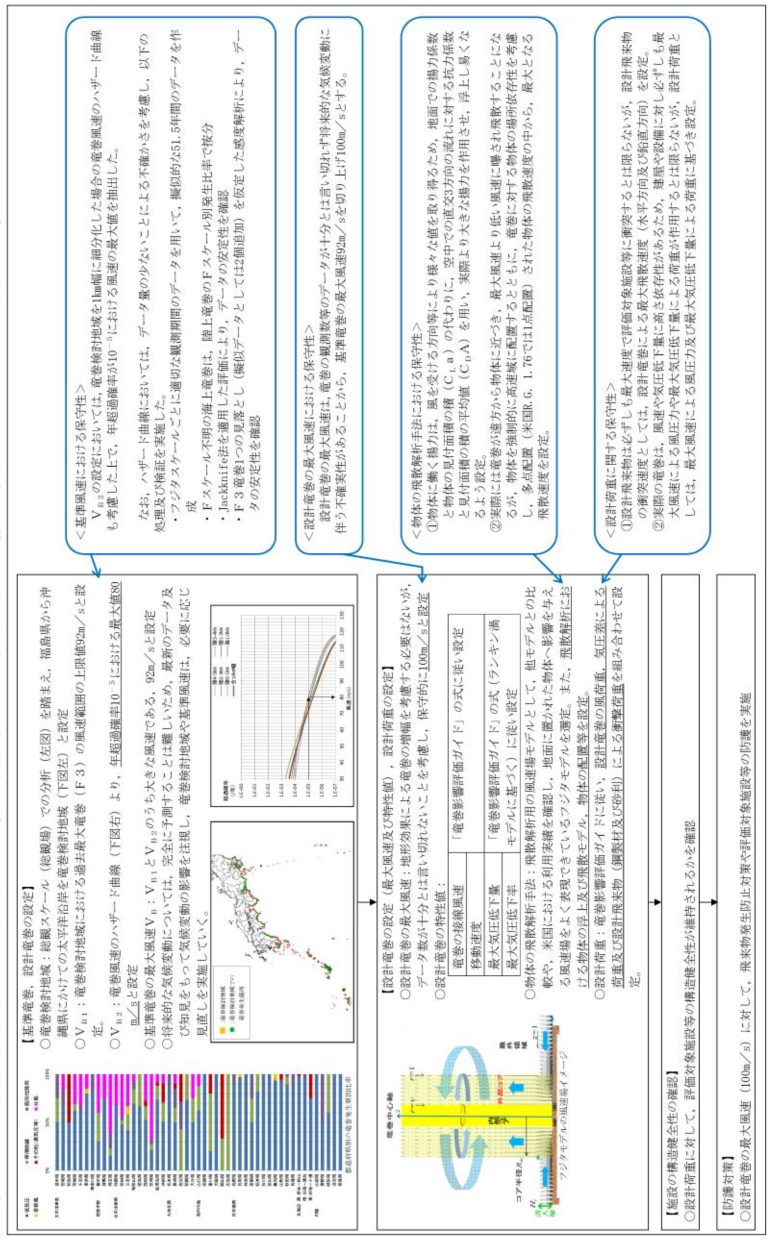
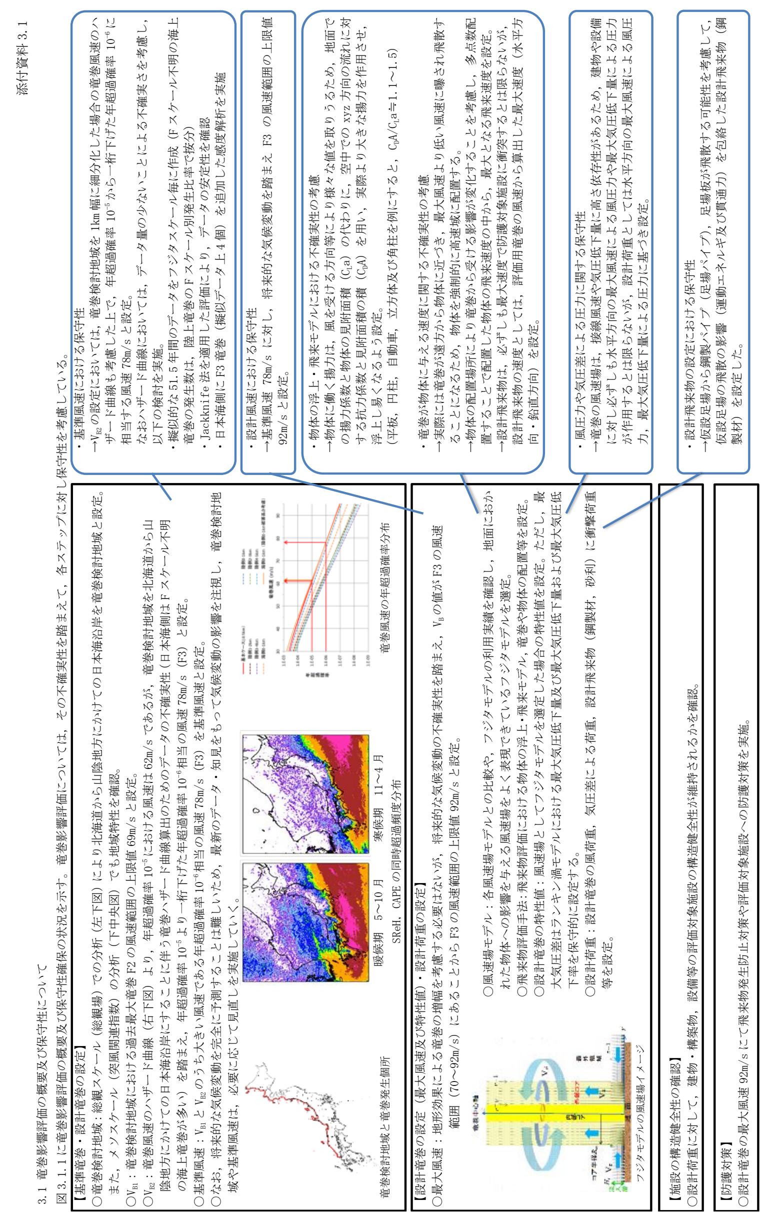
図 3 最大接線風速 V_{Rm}=78m/s における Fujita モデルの圧力分布
（左：全体図，右：y 方向からの拡大図，圧力は空気密度で除したもの，最大値 92.83m^2/s^2，最小値-5056.99m^2/s^2）

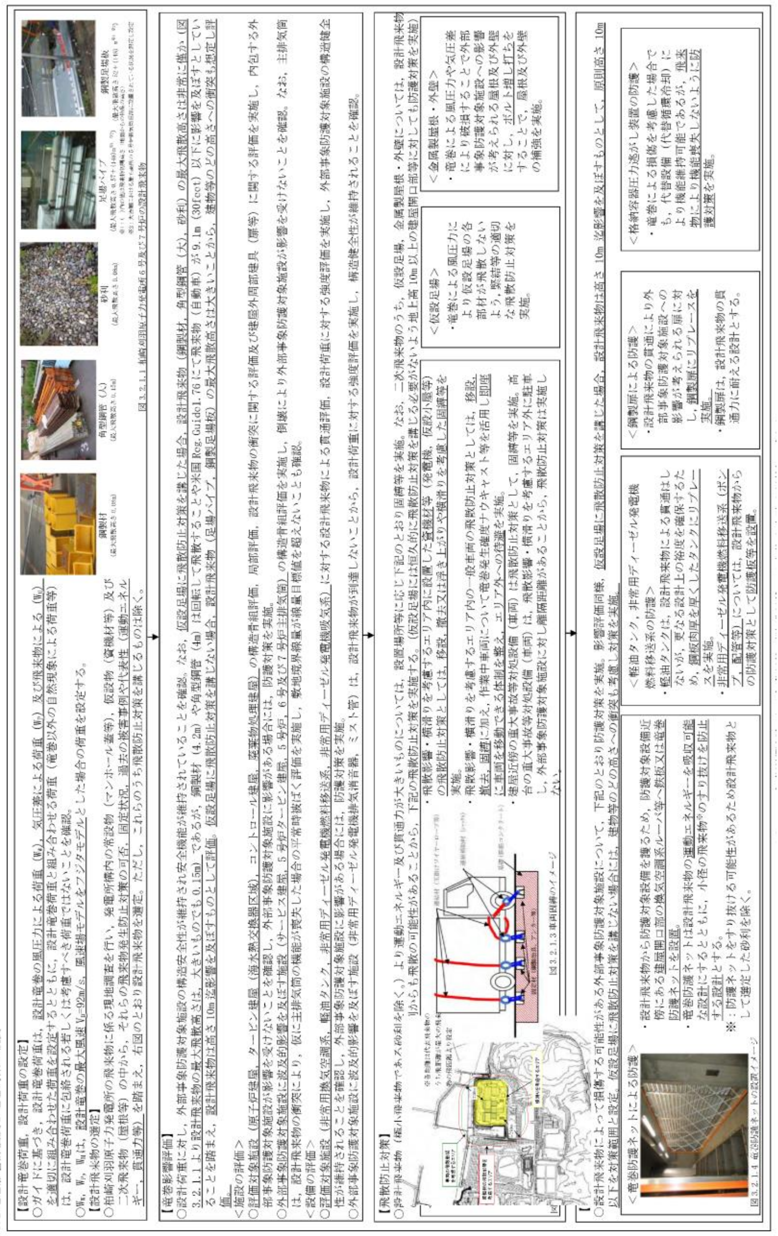
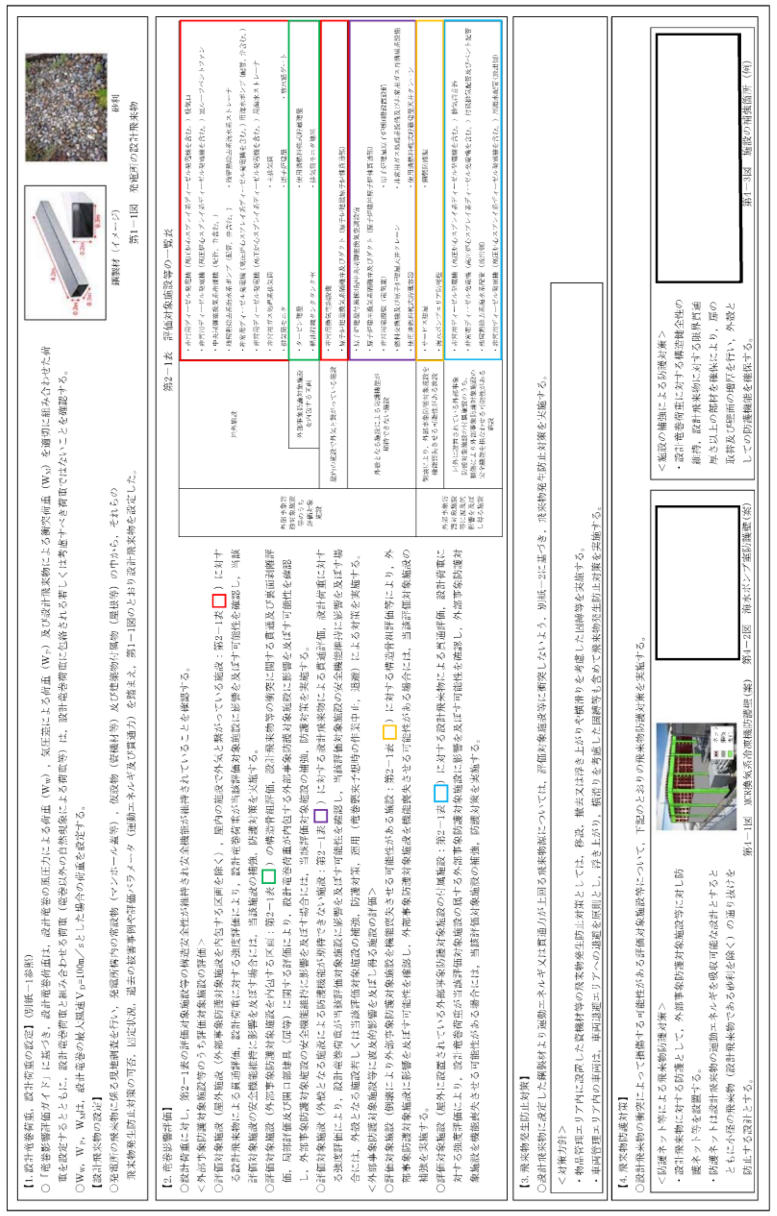
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 4 最大接線風速 V_{Rm}=78m/s における Fujita モデルの圧力（空気密度で除したもの）の x-方向空間 微分値（左：全体図，右：y 方向からの拡大図，最大値 163.3m/s^2，最小値 -240.2m/s^2）  図 5 最大接線風速 V_{Rm}=78m/s におけるランキン渦モデルの（左）圧力分布と（右）圧力の x-方向空間微分値 （本図は，図 3,4 同様，有限領域の数値解析により算出）			

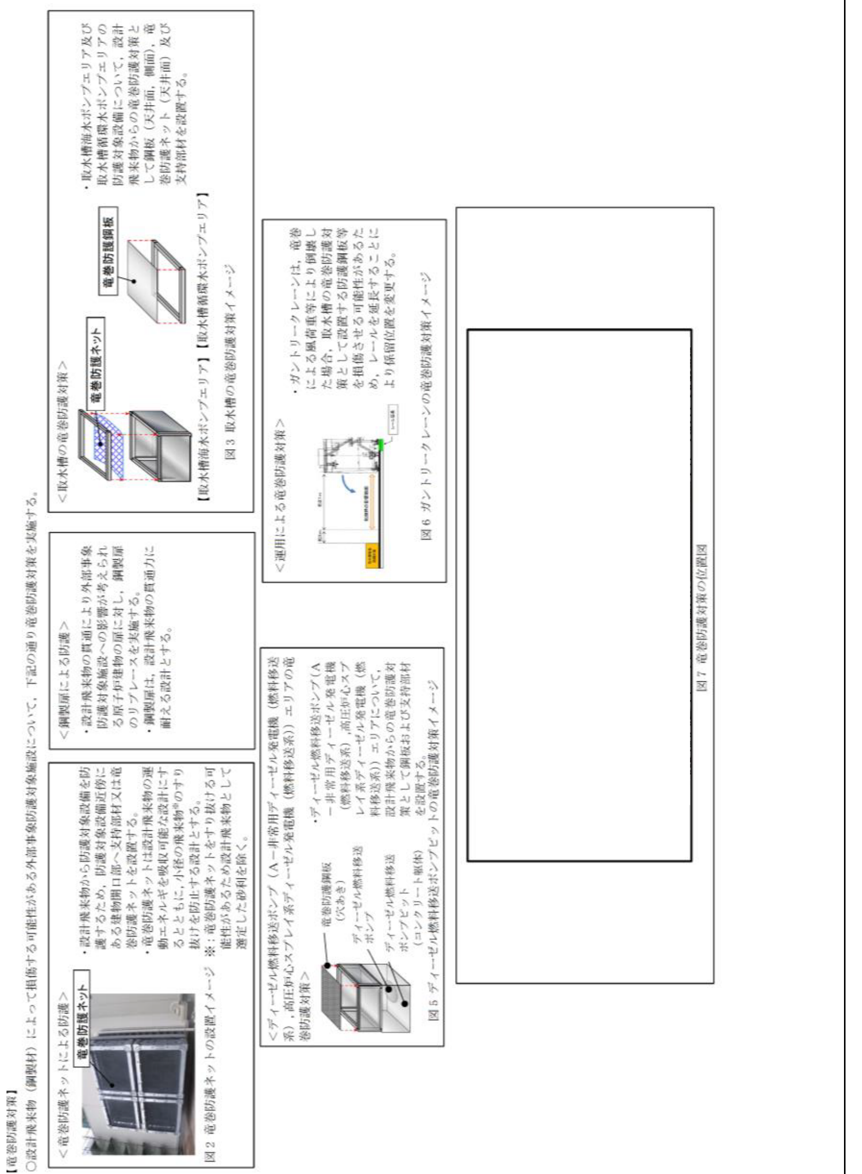
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
また，参考に，V_D=92m/s の際において，ガイドに基づき計算したランキン渦モデルの最大気圧低下量・最大気圧低下率と上記の数値解析により計算したフジタモデルDBT-77の最大気圧低下量・最大気圧低下率を以下に示す。 表６ 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})・最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$) の比較 （表は下記） フジタモデルは，地面との摩擦の影響を受けず回転するランキン渦に比べ，地面との摩擦の影響で回転が弱まり竜巻の中心付近が低圧になりにくい（図3 及び図5）。また，フジタモデルの流入層は，流体が竜巻中心方向に引き込まれることにより形成されることから，フジタモデルの最も低圧な領域は，竜巻中心において流入層高さの少し上の部分に存在し（図3 右図），同部分の圧力より求まる最大気圧低下量は，ランキン渦モデルの最大気圧低下量よりも小さくなる（表6）。 フジタモデルの圧力分布は複雑であり，上記の数値解析により求めている。そのため，フジタモデルにおける圧力の空間微分値は，局所的に大きな場所（外部コアと外周部の境界）が発生することから，最大気圧低下率がガイドの簡易な式で求めたランキン渦モデルの値より大きくなっている。			

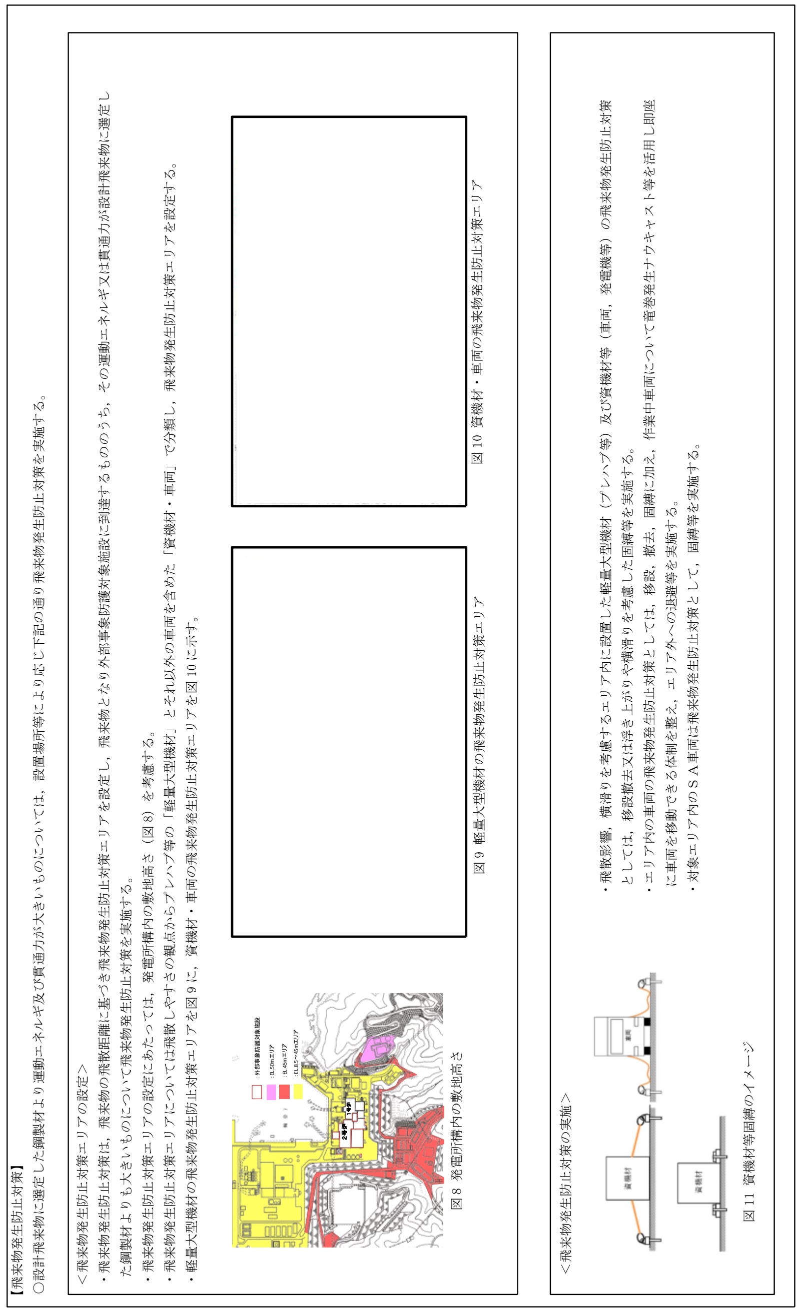
	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大気圧低下量(ΔP_{max})	7459Pa	6355 Pa
最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)	3481Pa/s	4163Pa/s

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参考文献 (1)Fujita, T. T. (1978) Workbook of tornadoes and high winds for engineeringapplications. SMRP Research Paper 165, Department of Geophysical Sciences,University of Chicago, 142pp. (2)U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007:Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plant, Revision1. (3)Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities,UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999 (4) 東京工芸大学 (2011): 平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構. (5)Y. Eguchi, S. Sugimoto, Y. Hattori and H. Hirakuchi, “Tornado PressureRetrieval from Fujita’s Engineering Model, DBT-77”, Proceedings of the6th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models (ICVFM Nagoya2014), November 17 - 20, 2014, Nagoya, Japan. (6) 江口 譲, 服部康男, 流速場情報に基づく圧力場計算法の提案, 第72 回ターボ機械協会 大分講演会(2014.10.3)			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 3.1.1 竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況	 第７－１図　竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況	 図 3.1.1 竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況	・V_Dの設定方法の相違 【東海第二】 島根２号炉はV_{B2}の設定においてデータの不確実性を考慮している ・設計飛来物の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は，設計飛来物をガイド記載の鋼製材としていることから，柏崎 6/7 の足場パイプ，鋼製足場板等は鋼製材に包含されている 島根２号炉は設計飛来物の浮き上がり高さは設定せず，保守的にどの高さにも到達することとしている

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策（防護対策，飛来物発生防止対策）の概要	 第８－１図　竜巻影響評価及び竜巻防護対策（飛来物発生防止対策，防護対策）の概要	 図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策（防護対策，飛来物発生防止対策）の概要(1/3)	・設計飛来物の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉は，設計飛来物をガイド記載の鋼製材としていることから，柏崎 6/7 の足場パイプ，鋼製足場板等は鋼製材に包含されている 島根２号炉は設計飛来物の浮き上がり高さは設定せず，保守的にどの高さにも到達することとしていることから，仮設足場を固縛対象としていない ・防護対策の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 外部事象防護対象施設の設置場所の違いによる防護対策の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策（防護対策，飛来物発生防止対策）の概要(2/3)	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 【飛来物発生防止対策】 ○設計飛来物に選定した鋼製材より運動エネルギ及び貫通力が大きいものについては，設置場所等により応じ下記の通り飛来物発生防止対策を実施する。 <飛来物発生防止対策エリアの設定> ・飛来物発生防止対策は，飛来物の飛散距離に基づき飛来物発生防止対策エリアを設定し，飛来物となり外部事象防護対象施設に到達するもののうち，その運動エネルギ又は貫通力が設計飛来物に選定した鋼製材よりも大きいものについて飛来物発生防止対策を実施する。 ・飛来物発生防止対策エリアの設定にあたっては，発電所構内の敷地高さ（図 8）を考慮する。 ・飛来物発生防止対策エリアについては飛散しやすさの観点からプレハブ等の「軽量大型機材」とそれ以外の車両を含めた「資機材・車両」で分類し，飛来物発生防止対策エリアを設定する。 ・軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアを図 9 に，資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアを図 10 に示す。 図 8 発電所構内の敷地高さ 図 9 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリア 図 10 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア <飛来物発生防止対策の実施> 図 11 資機材等固縛のイメージ ・飛散影響，横滑りを考慮するエリア内に設置した軽量大型機材（プレハブ等）及び資機材等（車両，発電機等）の飛来物発生防止対策としては，移設撤去又は浮き上がりや横滑りを考慮した固縛等を実施する。 ・エリア内の車両の飛来物発生防止対策としては，移設，撤去，固縛に加え，作業中車両について竜巻発生ナウキャスト等を活用し即座に車両を移動できる体制を整え，エリア外への退避等を実施する。 ・対象エリア内のＳＡ車両は飛来物発生防止対策として，固縛等を実施する。 図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策（防護対策，飛来物発生防止対策）の概要(3/3)	・飛来物発生防止対策エリアの相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	別紙8-1 <u>評価対象施設等の設計荷重について</u> 1.　概要 　設計竜巻に対し，評価対象施設等の構造健全性の安全機能が維持されることの確認を行った結果を整理する。 2.　評価結果 2.1　評価荷重の設定 　外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重について別表1－2－1に，外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重について別表1－2－2に整理する。		・資料構成の相違 【東海第二】 島根2号炉は，評価対象施設等の設計荷重について，「別添2-1　3.4 評価対象施設等の設計方針」に記載しており，表で整理していない

別表 1－2－1 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表（1／3）

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の評価荷重
	W_W，W_M，W_Pの選定※1				複合荷重の設定※2				
	設置場所	W_W	W_M	W_P	W_{T1}	W_{T2}			
					W_P	W_W	$W_W+0.5W_P$	$W_W+0.5W_P+W_M$	
＜屋外施設＞									
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	屋外	○	×	○	―	―	○	―	自重
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン	屋外	○	×	×	―	○	―	―	自重
中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）	屋外	○	×	×	―	○	―	―	自重，内圧
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）	屋外	○	×	○	○	―	○	―	自重，内圧
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）	屋外	○	×	○	○	―	○	―	自重
残留熱除去系海水系ストレーナ	屋外	○	×	○	―	―	○	―	自重
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	屋外	○	×	○	―	―	○	―	自重
非常用ガス処理系排気筒	屋外	○	×	○	○	―	○	―	自重，内圧
主排気筒	屋外	○	×	×	―	○	―	―	自重
排気筒モニタ	屋外	※3							
原子炉建屋	屋外	○	○	○	○	―	―	○	無し
放水路ゲート	屋外	※3							

注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない　，　その他の荷重は評価で使用するものを記載する。
※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。　○：実施ケース　―：該当しないケース
※3　損傷時には補修する方針とするため，外殻防護機能に関する詳細評価は実施しない。

別表 1－2－1 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表（2／3）

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の評価荷重
	W_W，W_M，W_Pの選定※1				複合荷重の設定※2				
	設置場所	W_W	W_M	W_P	W_{T1}	W_{T2}			
					W_P	W_W	$W_W+0.5W_P$	$W_W+0.5W_P+W_M$	
＜屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画）＞									
タービン建屋	屋外	○	○	○	○	―	―	○	無し
使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋外	○	○	○	○	―	―	○	無し
軽油貯蔵タンクタンク室	屋外（埋設）	×	○	×	―	―	―	―	無し
排気筒モニタ建屋	屋外	※4							
＜屋内の施設で外気と繋がっている施設＞									
非常用換気空調設備	屋内	×	×	○	○	―	―	―	自重
原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）	屋内	×	×	○	○	―	―	―	自重
＜外殻となる施設による防護機能が期待できない施設＞									
原子炉建屋付属棟３階中央制御室換気空調設備	屋内	×	×※3	○	○	―	―	―	自重
原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）	屋内	×	×※3	○	○	―	―	―	自重

注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない
※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。○：実施ケース　－：該当しないケース
※3　W_Mに対して，防護対策を実施するため，衝撃荷重は作用しない。
※4　損傷時には補修する方針とするため，外殻防護機能に関する詳細評価は実施しない。

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設	設計竜巻荷重								その他の評価荷重
	W_W，W_M，W_Pの選定※1				複合荷重の設定※2				
	設置場所	W_W	W_M	W_P	W_{T1}	W_{T2}			
					W_P	W_W	$W_W+0.5W_P$	$W_W+0.5W_P+W_M$	
＜外殻となる施設による防護機能が期待できない施設＞									
非常用電源盤（電気室）	屋内	×	×※3	×	―	―	―	―	無し
原子炉建屋原子炉棟6階設置設備	屋内	×	×※3	×	―	―	―	―	無し
燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン	屋内	×※4	×※3	×	―	―	―	―	無し
非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備	屋内	×※5	×※5	×※5	―	―	―	―	無し
使用済燃料乾式貯蔵容器	屋内	×	×※3	×	―	―	―	―	無し
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	屋内	×※4	×※3	×	―	―	―	―	無し

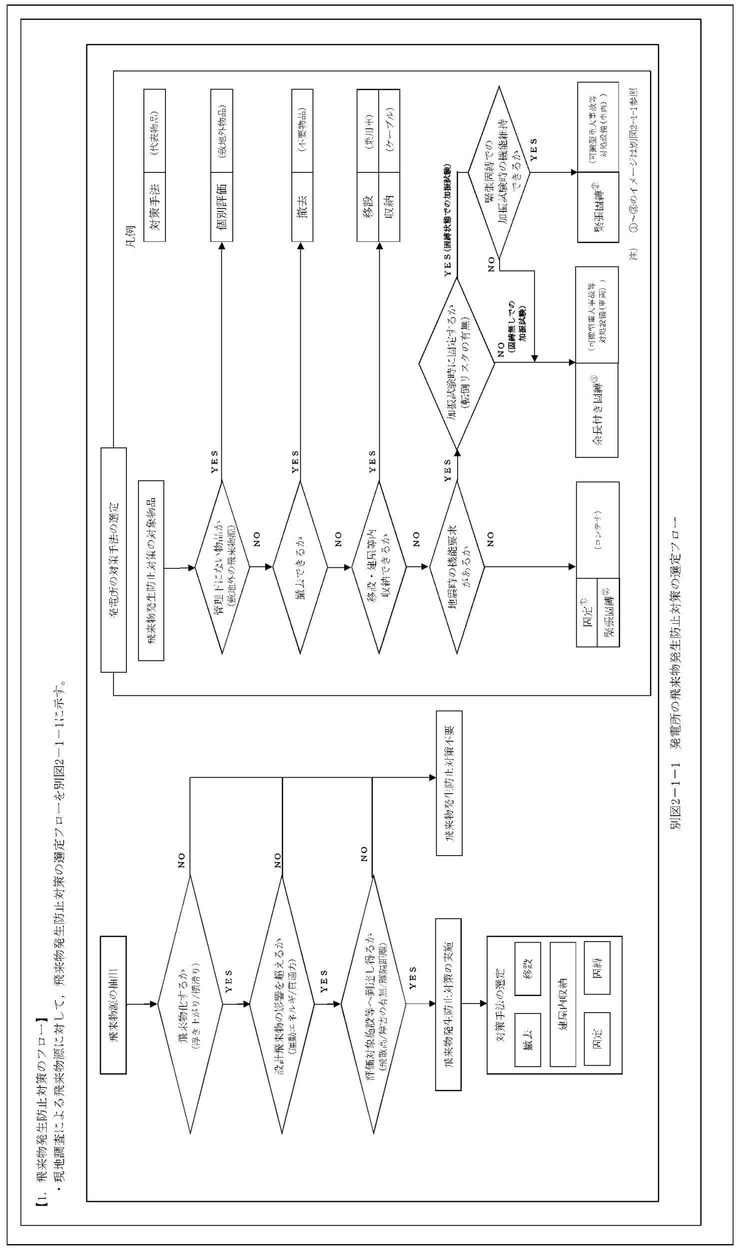
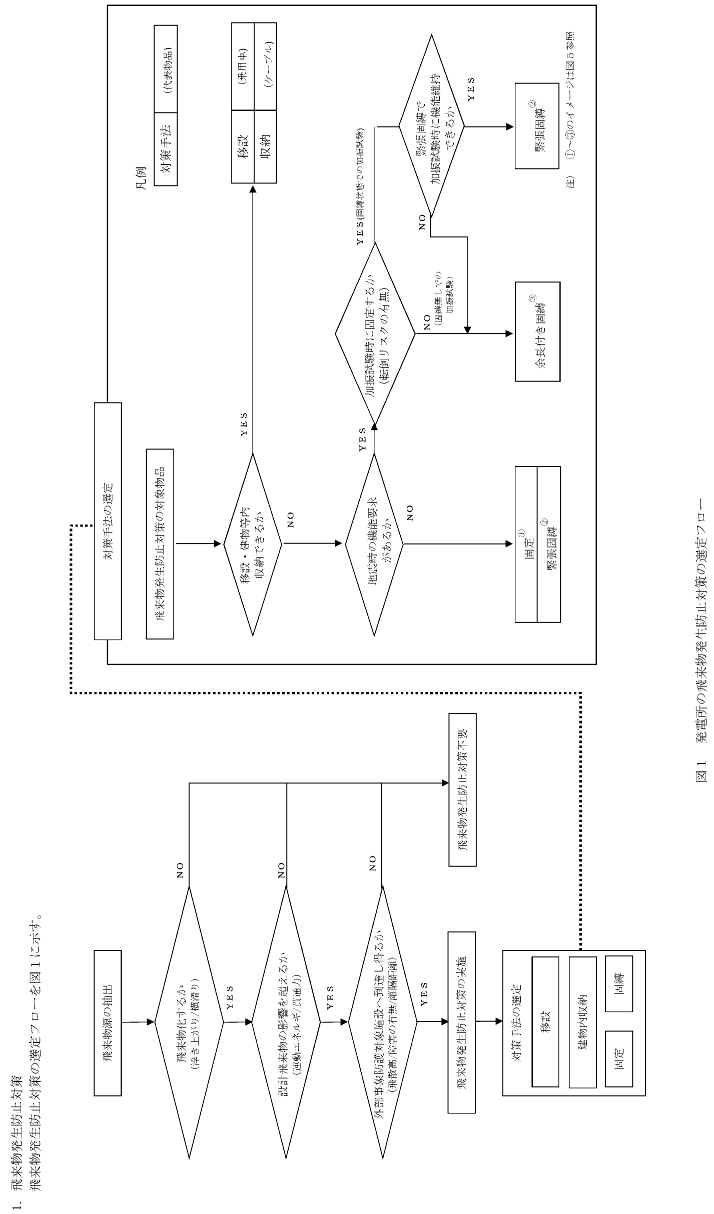
注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない
※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。○：実施ケース　―：該当しないケース
※3　W_Mに対して，防護対策を実施するため，衝撃荷重は作用しない。
※4　W_Wに対して，竜巻襲来が予想される場合，燃料取扱作業を中止するため，燃料を取り扱う機能に対して評価対象とならない。
※5　ブローアウトパネルの閉止により，設計竜巻荷重は作用しない。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(see below)		

別表 1－2－2 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重一覧表

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設	設計竜巻荷重								その他の評価荷重
	W_W，W_M，W_Pの選定※1				複合荷重の設定※2				
	設置場所	W_W	W_M	W_P	W_{T1}	W_{T2}			
					W_P	W_W	$W_W+0.5W_P$	$W_W+0.5W_P+W_M$	
＜機械的影響を及ぼし得る施設＞									
サービス建屋	屋外	○	○	○	○	－	－	○	無し
海水ポンプエリア防護壁	屋外	○	○	×	－	－	－	○	無し
鋼製防護壁	屋外	○	○	×	－	－	－	○	無し
＜機能的影響を及ぼし得る施設＞									
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器	屋外	○	×※3	×	×	○	－	－	自重
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管	屋外	○	×※3	○	○	－	○	－	自重，内圧
残留熱除去系海水系配管（放出側）	屋外	○	×※3	○	○	－	○	－	自重，内圧
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）	屋外	○	×※3	○	○	－	○	－	自重，内圧

注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない
※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。○：実施ケース　－：該当しないケース
※3　W_Mに対して，損傷時には補修する方針とするため，衝撃荷重は考慮しない。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別紙 8-2 竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について 	別紙-1 竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について 	・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は飛来物発生防止対策の概要について記載 ・立地条件の相違 【東海第二】 島根２号炉は敷地近傍に隣接事業所はない ・固縛方法の相違 【東海第二】 島根２号炉は，車両の固縛は余長付き固縛を実施する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18版）

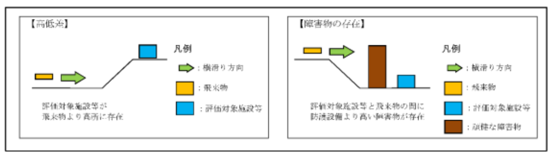
【2. 飛来物発生防止対策の基本方針】
・評価対象施設等に悪影響を及ぼす可能性のある飛来物源に対して飛来物発生防止対策を実施する。

飛来物発生防止対策の実施条件：①～③を全て満たす飛来物源
① 飛散（浮き上がり，横滑り）する。
② 設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ及び貫通力を上回る。
③ 評価対象施設等に到達する。

【3. 評価対象施設等への到達，離隔】
・評価対象施設等に到達しないケースを下記に示す。

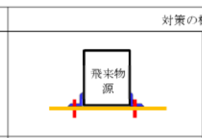
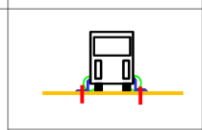
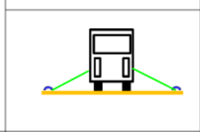
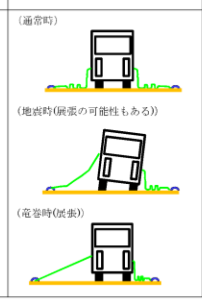
① 評価対象施設等に到達できない距離を確保した配置とする。（離隔距離の確保）
（別図2－3－1に車両の離隔（退避等）が必要な範囲を示し，当該範囲内には，作業に関係のない車両は，原則立入をさせない運用を行う。）
② 評価対象施設等に対して高低差や到達できない障害物が配置されている。
（別図2－3－2に，横滑りする飛来物に対して未到達となる例を示す。）

別図2－3－1　車両管理エリア



別図2－3－2　横滑りに対して未到達となる例

【4. 飛来物発生防止対策（固定，固縛）の手法の例】
・飛来物発生防止対策のうち，固定及び固縛の手法の例を別図2－4－1に示す。

手法	対策の概要図	
①固定		飛来物源に固定金具を取り付けて固定
②緊張固縛		飛来物源に車輪部を連結材と固定金具を用いて固定
		飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固定
③余長付き固縛		飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固縛【動き代がある】

別図2－4－1　飛来物発生防止対策（固定・固縛）の例

島根原子力発電所　２号炉

2. 飛来物発生防止対策の基本方針
外部事象防護対象施設に悪影響を及ぼす可能性のある飛来物源に対して飛来物発生防止対策を実施する。

飛来物発生防止対策の実施条件：①～③を全て満たす飛来物源
① 飛散（浮き上がり，横滑り）する。
② 設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ及び貫通力を上回る。
③ 評価対象施設等に到達する。

3. 外部事象防護対象施設への到達，離隔
外部事象防護対象施設に到達しないケースを下記に示す。

① 外部事象防護対象施設に到達できない距離を確保した配置とする。（飛来物発生防止対策エリア（図2，3）に示す離隔距離の確保。車両については，図３の範囲内に作業に関係のない車両を原則立入をさせない運用を行う。（飛来物発生防止対策エリアの詳細については，別紙-2参照。））
② 横滑りする飛来物と外部事象防護対象施設の間に高低差がある又は障害物が配置されている。
（図４に，横滑りする飛来物に対して未到達となる例を示す。）

図２ 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリア

図３ 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア

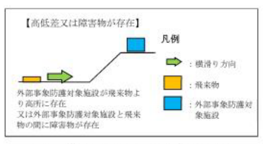


図４　横滑りに対して未到達となる例

4. 飛来物発生防止対策（固定，固縛）の手法の例
飛来物発生防止対策のうち，固定及び固縛の手法の例を図５に示す。

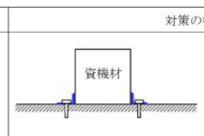
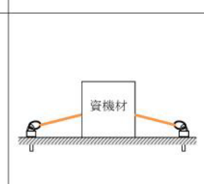
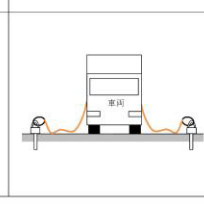
手法	対策の概要図	
①固定		飛来物源に固定金具を取り付けて固定
②緊張固縛		飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固縛
③余長付き固縛		飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固縛【動き代がある】

図５　飛来物発生防止対策（固定・固縛）の例

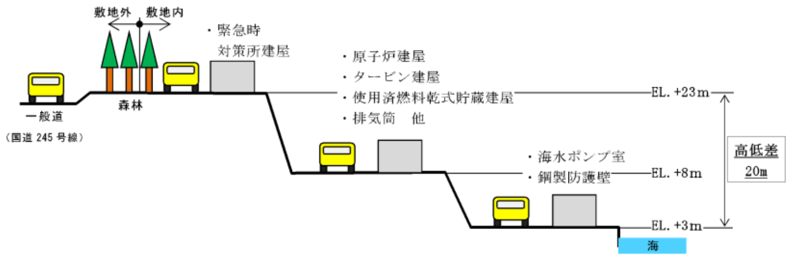
5. 飛来物発生防止対策の実施について
設計飛来物の選定に係る飛来物現地調査（平成25年7月）において確認した，飛来物発生防止対策エリア内で設計飛来物（鋼製材）の影響を超える物品に対して，図１の発電所の飛来物発生防止対策の選定フローに基づき，固定・固縛等の飛来物発生防止対策を実施する。
また，飛来物現地調査以降に発電所構内へ配置された物品（例：土嚢構築物（平成27年10月，平成29年2月に配置）等）についても，追加調査を行い同様に飛来物発生防止対策を実施する。

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	別紙 8-3 飛来物化する可能性がある物品の管理について 1. 概要 発電所内の飛来物となる可能性があるものについては，設計飛来物である鋼製材が設計竜巻により飛来した場合の運動エネルギ及び貫通力を基準として，鋼製材より運動エネルギ又は貫通力が大きい場合は対策を実施する。 2. 管理方針 2.1 用語の定義 竜巻襲来に対する準備体制の状態について，以下のとおり定義する。 （準備体制については，別紙 8-4 にまとめる） 通 常 時：竜巻準備体制が発令されていない時。 準備体制確認時：竜巻準備体制のアクションレベル１（準備体制の確認）が発令されている時。 準備作業開始時：竜巻準備体制のアクションレベル２（準備作業開始）が発令されている時。	別紙-2 飛来物化する可能性がある物品の管理について 1.　概要 発電所内の飛来物となる可能性があるものについては，設計飛来物である鋼製材が設計竜巻により飛散した場合の運動エネルギ及び貫通力を基準として，鋼製材より運動エネルギ又は貫通力が大きい場合は飛来物発生防止対策（運用管理）を実施する。 2. 運用管理方針 2.1　運用管理の基準 気象庁が発表する竜巻関連の気象情報を踏まえ，運用管理の基準（竜巻警戒レベル）を定める。竜巻運用対策の実施基準を以下のとおり定義する。（竜巻準備体制については，別紙-3 にまとめる。） 通常時：竜巻準備体制が発令されていない時 監視強化及び注意喚起：雷注意報（竜巻）又は竜巻注意情報又は竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度２」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度２以上」発令時 竜巻対応開始:竜巻発生確度ナウキャスト(予測(60 分先まで))「竜巻発生確度２」かつ雷ナウキャスト（予測（60 分先まで））「雷活動度２以上」発令時 2.2 運用管理の対象 運用管理の対象は,「資機材・車両」及び「軽量大型機材」とし,「資機材・車両」及び「軽量大型機材」を合わせて,「資機材・車両等」という。「資機材・車両」及び「軽量大型機材」の分類は飛散しやすさの観点から実施し，具体的には 150m を超えて飛散する「資機材・車両等」を「軽量大型機材」と定義する（2.2.1.1（2)参照)。	・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は飛来物化する可能性がある物品の管理について記載 ・記載方針の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は各対応の具体的な判断基準について記載 ・運用管理の対象の相違 【東海第二】 島根２号炉は,飛来物化する可能性がある物品を「資機材・車両」と「軽量大型機材」に分類している 東海第二は,「車両」と「車両以外の物品」に分類している

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	2.2 車両の管理 2.2.1 車両の管理に際し考慮する事項 車両については，速やかに固縛することが難しい場合も想定されるため，以下の管理を行う。 ・発電所構内での作業に関係のない車両については，原則として入構を禁止する。 ・発電所へ入構する車両については，以下のとおり，車両の飛散の可能性，車両が置かれている場所，車両の状態及び竜巻準備体制の発令の有無に応じて対策を行う。 (1) 車両の飛散の可能性 発電所に入構する予定のある車両については，原則として事前に車両サイズ，重量から空力パラメータを算出し飛散評価を行い，飛散の可能性の有無を評価し通知する。事前の確認がなされていない場合は，確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。 (2) 車両が置かれている場所 車両が飛散することによって評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）に衝突する可能性があるエリアを「車両管理エリア」と定め，車両が車両管理エリア内にある場合には，「2.2.2 管理方針」に示す管理を行う。 ＜車両管理エリアの考え方（具体的なエリアは別図3－3参照）＞ ・車両管理エリアの範囲設定には，各々の評価対象施設及び防護対策設備に対する必要離隔距離を定める必要があるが，評価対象施設及び防護対策設備と車両の位置の高さの関係によって車両の到達距離は異なることから，個別設定の煩雑さを避けるため，別図3－1に示す高さの関係を踏まえ以下のように設定する。 a．緊急時対策所建屋からの必要離隔距離 緊急時対策所建屋は，車両の存在が想定される周辺の地面に比べ高い位置に設置されるため，保守性も考慮し，同じ高さか	2.2.1 資機材・車両等の管理 2.2.1.1 資機材・車両等の管理に際し考慮する事項 資機材・車両等については，飛散の可能性，置かれている場所，竜巻襲来に対する体制の状態に応じて以下の(1)～(4)の対策を行う。 なお，車両については，速やかに固縛・固定することが難しい場合も想定されるため，以下の管理を行う。 ・発電所構内での作業に関係のない車両については，原則として入構を禁止する。 ・発電所へ入構する車両については，以下のとおり，車両の飛散の可能性，車両が置かれている場所，車両の状態及び竜巻警戒レベルの発令の有無に応じて対策を行う。 (1) 資機材・車両等の飛散の可能性 発電所に持ち込まれる予定のある資機材・車両等については，原則として事前にサイズ，重量から飛散評価を行い，飛散の可能性の有無を評価・通知する。事前の確認がなされていない場合は，確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。 (2) 資機材・車両等が置かれている場所 資機材・車両等が飛散することによって評価対象施設等及び竜巻防護対策設備（以下「評価対象施設等」という。）に衝突する可能性があるエリアを「飛来物発生防止対策エリア」と定め，資機材・車両等が飛来物発生防止対策エリア内にある場合には，「2.2.1.2 資機材・車両等の管理方針」に示す管理を行う。 ＜飛来物発生防止対策エリアの考え方（具体的なエリアは図1，図2参照）＞ 飛来物発生防止対策エリアの範囲設定は，資機材・車両等が飛散し，評価対象施設等に影響の与える範囲を保守的に設定する必要がある。そのため，各々の評価対象施設等に対する飛散影響を考慮して設定する。 評価対象施設等と資機材・車両等が置かれている敷地高さの関係および資機材・車両等の形状によって，飛散距離が異なることから，以下の観点で資機材・車両等の飛来物発生防止対策エリアを設定する。	・運用管理の対象の相違 【東海第二】 同上 ・評価対象施設等の相違 【東海第二】 島根2号炉は緊急時対

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	らの車両の最大飛散距離を丸めた値（190m）を必要離隔距離とする。 b．その他の評価対象施設及び防護対策設備からの必要離隔距離 各施設と車両の存在が想定される周辺の地面との高低差は一様ではないことから，下図に示す位置関係を包絡する，高さ 20m からの車両の最大飛散距離を丸めた値（230m）を必要離隔距離とする。 ・上記の離隔距離が当社敷地外に掛かる場合において，当該箇所が森林である場合は，車両は存在しないと考えられるため管理エリアから除外する。	① 発電所構内の敷地高さを考慮し，敷地高さ毎に資機材・車両等の飛来物発生防止対策エリアを設定する。 ②発電所構内の斜面に，資機材・車両等を設置する場合は，設置状況に応じた飛来物発生防止対策を行う。 ③資機材・車両及び軽量大型機材それぞれに対し，飛来物発生防止対策エリアを設定する。資機材・車両及び軽量大型機材の分類は飛散距離及び飛散高さにより実施し，飛散距離が 150m を超える資機材・車両等を軽量大型機材とし，飛散距離が 150m 以下の資機材・車両等を資機材・車両とする。 ④ 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアは，ウォークダウンで確認された資機材・車両のうち，最も飛散距離が大きい資機材・車両である「乗用車」の飛散距離から設定する。 ⑤ 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアは，ウォークダウンで確認された軽量大型機材のうち，最も飛散距離が大きい物品である「プレハブ小屋」の飛散距離から設定する。 ⑥ 発電所構内の敷地高さ（8.5m，15m，45m，50m）から乗用車及びプレハブ小屋をフジタモデルで飛散させた場合の飛散距離から，資機材・車両及び軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアを設定する。	策所を評価対象施設等としていない ・敷地高さの相違 【東海第二】 島根２号炉は，EL8.5m ～15m,45m,52m の高さの敷地があり，敷地高さ毎に飛来物発生防止対策エリアを設定している（図２，図３） ・対象外とするエリアの相違 【東海第二】 島根 2 号炉は飛来物発生防止対策エリア内の斜面を対象外としている ・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2 と同じ ・記載場所の相違 【東海第二】 島根２号炉は，飛来物発生防止対策範囲の設定方法を別紙-2 で記載している ・方針の相違 【東海第二】 2.2.1.1(2)①と同じ

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	・飛散しない車両であっても横滑りの検討が必要であるが，このときの移動距離は，飛散する車両の飛距離に包絡されると考えられ，車両が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切に設定した上で，設計飛来物の影響に包絡されることの確認が必要となるため，保守的に上記車両管理エリアを横滑り対策の検討対象とする。	⑦ 飛散しない資機材・車両等であっても横滑りの検討が必要であるが，ガードレール等の障害物により横滑りを防止できない範囲を横滑り対策の検討対象（横滑り対策エリア）とする。概念図を図3に示す。ガードレール等の障害物については，[redacted]により定めた点検に合わせ維持管理を実施する。 図1 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア 図2 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリア	・横滑り対策の範囲の相違 【東海第二】 島根2号炉はガードレール等の障害物により横滑りを防止できない範囲を横滑り対策エリアとしている ・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2と同じ ・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2と同じ

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 別図３－１ 評価対象施設及び防護対策設備と車両の存在場所との高さ関係	図３　横滑り対策エリア概念図	・記載場所の相違 【東海第二】 島根２号炉は，発電所構内の敷地高さを添付資料 3.2 に記載している ・横滑り対策の範囲の相違 【東海第二】 島根２号炉はガードレール等の障害物により横滑りを防止できない範囲を横滑り対策エリアとしている

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(3) 車両の状態 以下のとおり定義する。 停車：運転手が車両に乗っている（走行中を含む。）又は緊急時に車両に即座に駆けつけることができる状態。 駐車：停車時以外の状態。 (4) 竜巻襲来に対する体制の状態 「2.1 用語の定義」のとおり。 2.2.2 管理方針 上記の考慮事項に基づき，発電所への入構車両の管理方針を以下のとおり定める。 また，管理方針のまとめを別表 3－1，イメージを別図 3－2 にそれぞれ示す。 (2) 飛散する車両の場合 ・駐車状態の車両については，固縛する。 ・停車状態の車両については，通常時及び準備体制確認時では対策不要だが準備作業開始時には固縛する，若しくは車両退避エリアに退避する。 ただし，飛散しない車両と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。 ・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，車両管理エリア内の車両については，準備体制確認時の段階で，運転者が	(3) 車両の状態 停車：運転手が車両に乗っている（走行中含む），または緊急時に車両に即座に駆けつけることができる状態 駐車：停車時以外の状態 (4) 竜巻襲来に対する体制の状態 「2.1 運用管理の基準」に示す。 2.2.1.2 資機材・車両等の管理方針 上記の考慮事項に基づき，資機材・車両等の管理方針を以下のとおり定める。 また，管理方針のまとめを表２及び表３，管理イメージを図４に示す。 (1) 飛散する資機材・車両等の場合 ａ．飛散する車両 ・資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア内の駐車状態の車両については，固縛する。 ・資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアの停車状態の車両については，平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だがナウキャストの 60 分先の予測情報を判断基準としている「②竜巻対応開始」時には固縛又は退避の準備を実施し，退避を開始する。 ただし，評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に「①監視強化及び注意喚起」時以前より入域している場合は退避不要とする。 ・資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアの停車状態で作業を行っている工事車両の場合，平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが「②竜巻対応開始」時には速やかに作業を中止し，固縛又は退避の準備を実施し，資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア外に退避する。ただし，評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に「①監視強化及び注意喚起」時以前より入域している場合は退避不要とする。なお，作業中止及び車両，物品の固縛，離隔等行うために時間（60 分以上）を要する作業（クレーン車等による大型重量物の吊り上げ作業等）を実施する場合には，事前の気象予報等を踏まえて，作業可否を判断する運用を行う。 ・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア内の車両については，「①監視強化及	・記載方針の相違 【東海第二】 島根２号炉は，工事車両の管理方針について記載している

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	近くに待機する。 *【以下，比較のため再掲】* *2.3 車両以外の物品の管理* *2.3.2 管理方針* (2) 飛散する物品の場合 ・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なように，作業者が物品から離れないようにする。 ただし，飛散しない物品と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に 影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より搬入している場合は固縛又は固定は不要とする。 *【ここまで】* *【以下，比較のため再掲】* *2.3 車両以外の物品の管理* *2.3.2 管理方針* (1)　飛散しない物品の場合 ＜横滑りへの対策が不要となる場所＞ ②　物品車両管理エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部 ただし，準備体制確認時以前に，作業等で既に搬入している物品を対象とする。 *【ここまで】* (1) 飛散しない車両の場合 a．飛散も横滑りもしない車両 飛散も横滑りもしない車両は，車両管理エリアでの駐車時も停車時も対策不要とする。 b．飛散しないが横滑りする車両 横滑りによる悪影響を考慮し，以下のとおりとする。	び注意喚起」時の段階で，運転者が近くに待機する。 b．飛散する「資機材・車両」のうち資機材及び「軽量大型機材」 ・飛来物発生防止対策エリア内の常設の物品については，平時，「①監視強化及び注意喚起」及び「②竜巻対応開始」時のいずれにおいても原則として固定・固縛しておくが，作業等で一時的に固定・固縛を解除している物品は，「②竜巻対応開始」に移行した場合には速やかに再固定・再固縛が可能なように，作業者が物品から離れないようにする。 ・飛来物発生防止対策エリア内の仮設の物品は，平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが，「②竜巻対応開始」時には固縛・固定又は撤去を実施する。 ・評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に「①監視強化及び注意喚起」以前より搬入している場合は固縛・固定は不要とする。 ＜評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所＞ 飛来物発生防止対策エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された建物，構築物の内部（「①監視強化及び注意喚起」以前に，作業等で既に持ち込まれている資機材・車両等が対象） (2) 飛散はしないが横滑り（転がり含む）する資機材・車両等の場合 a．飛散はしないが横滑り（転がり含む）する車両 横滑り（転がり含む）による悪影響を考慮し以下のとおりと	・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2と同じ ・記載方針の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は仮設の物品についても管理方針を記載している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		する。	
	・駐車状態の車両は，通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても固縛する。	・横滑り対策エリア内の駐車状態の車両は，平時，「①監視強化及び注意喚起」及び「②竜巻対応開始」時のいずれにおいても固縛する。	
	ただし，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないとされた場所（下記の①）に駐車する車両の固縛は不要とする。	ただし，評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないとされた場所に駐車する車両の固縛は不要とする。	
	＜横滑りへの対策が不要となる場所＞ ①車両管理エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部。ただし，準備体制確認時以前に，作業等で既に入域している車両を対象とする。		（島根２号炉は「2.2.1.2 (1) b.」で記載）
	・停車状態の車両は，通常時及び準備体制確認時では対策不要だが，準備作業開始時には固縛する，若しくは車両退避エリアに退避する。ただし，駐車時と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。	・横滑り対策エリア内の停車状態の車両は，平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが，「②竜巻対応開始」時には固縛・退避の準備を実施し，横滑り対策エリア外に退避する。	
	・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，車両管理エリア内の車両については，準備体制確認時の段階で，運転者が近くに待機する。	・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，横滑り対策エリア内の車両については，「①監視強化及び注意喚起」時の段階で，運転者が近くに待機する。	
	【以下，比較のため再掲】 *2.3 車両以外の物品の管理* *2.3.2 管理方針* *(1)　飛散しない物品の場合*		
	b．飛散しないが横滑りする物品	b．飛散はしないが横滑り（転がり含む）する資機材・車両のうち資機材及び軽量大型機材	・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2 と同じ
	横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。	横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。	
	・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なよう，作業者が物品から離れないようにする。	・横滑り対策エリア内の常設の物品については，平時，「①監視強化及び注意喚起」及び「②竜巻対応開始」のいずれにおいても原則として固定・固縛しておくが，作業等で一時的に固定・固縛を解除している物品は，「②竜巻対応開始」時に移行した場合には速やかに再固定・再固縛が可能なよう，作業者が物品から離れないようにする。	
		・横滑り対策エリア内の仮設の物品は，平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが，「②竜巻対応開始」時には固縛・固定又は撤去を実施する。	・記載方針の相違 【東海第二】 島根２号炉は，仮設の物品の管理方針について記
	・評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所（下	・評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	記の①），評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所（下記の②）に置かれている物品については，固定又は固縛は不要とする。 【ここまで】	に置かれている物品については，固定・固縛は不要とする。	載している

東海第二発電所（2018.9.18版）

別表3－1 発電所への入構車両の管理方針

飛散及び横滑りの有無	配置場所	車両の状態	管理方針	
			通常時 準備体制確認時	準備作業開始時
飛散も横滑りもしない車両	車両管理エリア内外	駐車	対策不要	
		停車		
飛散しないが横滑りはする車両	車両管理エリア内	駐車	固縛※	
		停車	固縛又は退避の準備完了	固縛又は退避※
	車両管理エリア外	駐車	対策不要	
		停車		
飛散する車両	車両管理エリア内	駐車	固縛	
		停車	固縛又は退避の準備完了	固縛又は退避※
	車両管理エリア外	駐車	対策不要	
		停車		

※　竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に入域している車両は，退避不要とする。

島根原子力発電所　2号炉

表1　発電所への入構車両の管理方針

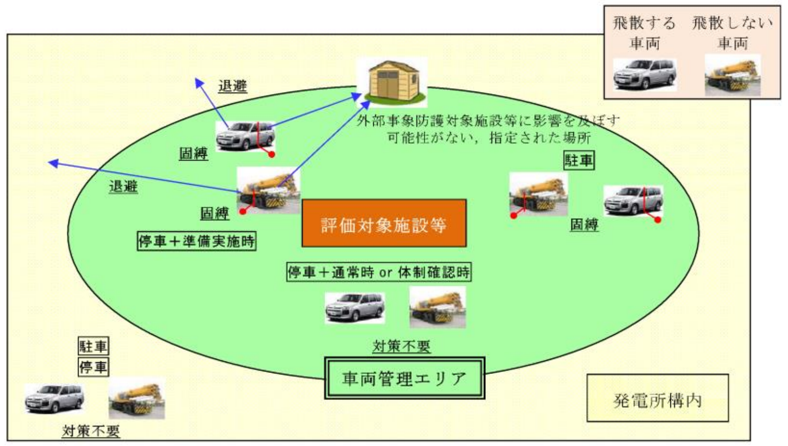
飛散の有無	配置場所	車両の状態	管理方法		
			平時	①監視強化及び注意喚起	②竜巻対応開始
飛散しないが横滑りはする車両	資機材・車両の飛来物発生防止エリア（横滑り対策エリア）内	駐車	固縛※1		
		停車	対策不要	固縛・退避手順の確認等	固縛又は退避※1
	資機材・車両の飛来物発生防止エリア（横滑り対策エリア）外	駐車	対策不要		
		停車			
飛散する車両	資機材・車両の飛来物発生防止エリア内	駐車	固縛※1		
		停車	対策不要	固縛・退避手順の確認等	固縛又は退避※1
	資機材・車両の飛来物発生防止エリア外	駐車	対策不要		
		停車			

※1　竜巻に対し構造健全性を維持することが確認された建物，構築物の内部に「①監視強化及び注意喚起」以前に入域している車両は対象外

表2　「資機材・車両」のうち資機材及び「軽量大型機材」の管理方針

飛散の有無	配置場所	物品の分類	管理方法		
			平時	①監視強化及び注意喚起	②竜巻対応開始
飛散しないが横滑りはする資機材・車両」のうち資機材及び「軽量大型機材」	飛来物発生防止対策エリア（横滑り対策エリア）内	常設	固縛・固定※1，2		固縛・固定※2
		仮設	対策不要	固縛・固定又は撤去手順の確認等	固縛・固定又は撤去※2
	飛来物発生防止対策エリア（横滑り対策エリア）外	常設	対策不要		
		仮設			
飛散する資機材・車両」のうち資機材及び「軽量大型機材」	飛来物発生防止対策エリア内	常設	固縛・固定※1，2		固縛・固定※2
		仮設	対策不要	固縛・固定又は撤去手順の確認等	固縛・固定又は撤去※2
	飛来物発生防止対策エリア外	常設	対策不要		
		仮設			

※1　作業等で必要な場合は解除可能とするが，速やかに再固定・再固縛が可能なよう，作業者が物品から離れないようにする
※2　竜巻に対し構造健全性を維持することが確認された建物，構築物の内部に「①監視強化及び注意喚起」以前に設置している物品は対象外

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18版）</th><th>島根原子力発電所　2号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>

別図3－2 発電所への入構車両の管理イメージ

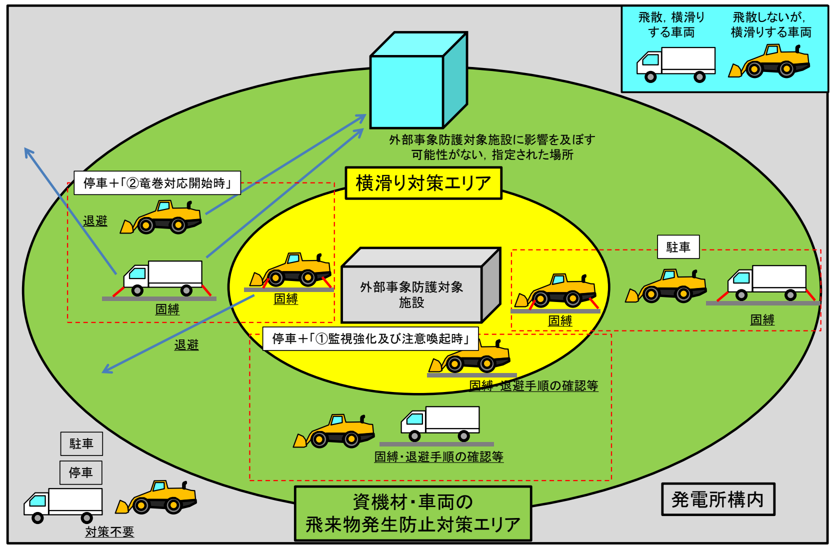
別図3－3 車両管理エリア及び車両退避エリア</td><td>

図4　発電所への入構車両の管理イメージ</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>2.2.3 車両の退避に要する時間
　退避エリア①への退避に要する時間については，現時点で実施可能な，別図3－3における最長退避ルートのゲート3までの実測（2017/9/21）の結果も踏まえ，別表3－2のように想定しており，竜巻襲来までの時間余裕として見込んでいる30分の中で，十分退避は可能と判断している。

　今後，関連設備の整備完了後に全体の成立性を確認する。</td><td>2.2.1.3 車両の退避場所
　車両の退避に要する時間について，退避エリア候補地a及びbへの退避に要する場合を図5で例示する。
　退避エリア候補地aの基点は，資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア内から退避エリア候補地 a までの距離が最も遠くなる原子炉建物南側エリア（図5中のA）とする。退避エリア候補地bの基点も同様の考え方でタービン建物北側（図5中のB）とする。
　退避エリア候補地a及びbへの車両の避難については表3のとおりであり，竜巻襲来までの時間余裕として見込んでいる60分の中で，退避は可能と判断している。

　今後，構内の道路状況や関連設備の整備状況を踏まえて運用面</td><td>・車両の退避に要する時間の設定方法の相違
【東海第二】
　島根2号炉は，車両の退避に要する時間を実測ではなく，車両の速度を保守的に徒歩の速度程度と想定して設定している</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18 版）

別表３－２ 最長ルートの退避に要する所要時間（[redacted] 実測値を基に設定）

要素	想定時間	備考
搭乗～発進	約1分	あらかじめ，竜巻準備体制を確立（運転手は車両近傍に待機）
出発～ゲート１到着	5.0分	車両6台による一斉走行（平均速度：16km/h）
ゲート１通過	0分	緊急時として，ゲートでの停止は「なし」とする。（後刻，通常時同様の退出時確認を実施）
ゲート１出発～ゲート３到着	1.5分	（平均速度：11km/h）
ゲート３通過	0分	ゲート1同様の扱いとする。
ゲート３出発～退避エリア①	3.8分※（10km/h）	※　想定値（施設整備後に確認）
駐車，運転手退避	約5分※	
その他裕度	約13.7分	その他不測の状況に対する裕度
	約30分	竜巻襲来までの設定裕度

2.3 車両以外の物品の管理

発電所内に持ち込まれる車両以外の物品は，以下のとおり管理する。

2.3.1 管理に際し考慮する事項

発電所内に持ち込まれる車両以外の物品については，以下のとおり，物品の飛散の可能性，物品の置かれている場所，竜巻襲来に対する体制の状態に応じて対策を行う。

(1) 物品の飛散の可能性

発電所に持ち込まれる予定のある物品については，原則として事前にサイズ，重量から空力パラメータを算出し飛散評価を行い，飛散の可能性の有無を評価する。事前の確認がなされていない場合は，確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。

島根原子力発電所　２号炉

の具体的な手順化を行っていく。

表３ 退避に要する所要時間

	基点からの距離	想定時間※1
退避エリア候補地a	約2.0km※2	約25分
退避エリア候補地b	約0.9km※2	約12分

※1　退避時の車両渋滞の可能性も考慮し，保守的に車両の移動速度を徒歩（80m/min）程度として算出した。

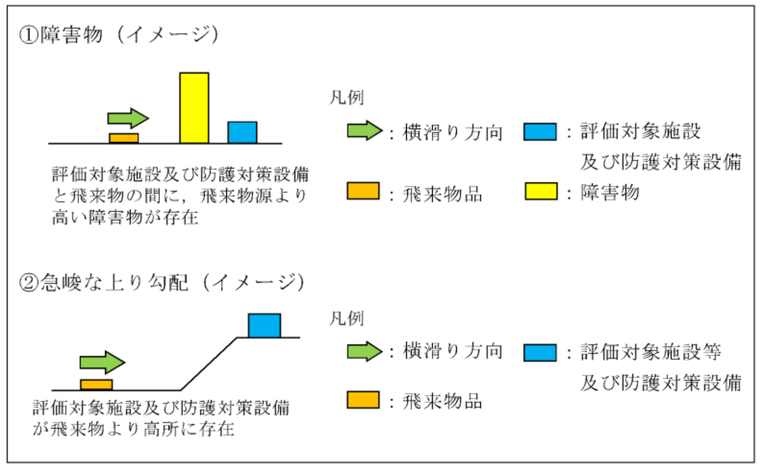
※2　退避エリア候補地aの基点は図5中のA，退避エリア候補地bの基点は図5中のBとして距離を設定した。

図５　資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア及び車両退避エリア候補地

備考

（島根２号炉は「2.2.1.2 (1) b.」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(2) 物品が置かれている場所 　物品が飛散することによって評価対象施設及び防護対策設備に衝突する可能性があるエリアを「物品管理エリア」と定め，物品が物品管理エリア内にある場合には，「2.3.2 管理方針」に示す管理を行う。 ＜物品管理エリアの考え方＞ 物品管理エリアの範囲は，以下の方針に基づき設定することとする。 ・地表の物品については，車両と同様に設定する。 ・車両以外の物品では，建屋の屋上等に置かれる場合も考えられるため，これらの高所においては，種々の飛来物源がその場所に相当する初期高さを有するとして飛散評価を行い，設計飛来物の影響を超え，かつ評価対象施設及び防護対策設備へ到達し得る物品の有無を確認する。物品の到達が想定される場合は，高所であっても物品管理エリアと位置づけ，物品の管理を行う。 ・飛散しない物品であっても横滑りの検討が必要であるが，このときの移動距離は，飛散する物品の飛距離に包絡されると考えられ，物品が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切に設定した上で，設計飛来物の影響に包絡されることの確認が必要となるため，保守的に上記物品管理エリアを横滑り対策の検討対象とする。 (3) 竜巻襲来に対する準備体制の状態 「2.1 用語の定義」のとおり。 2.3.2 管理方針 　上記の条件に基づき，車両以外の物品の管理方針を以下のとおり定める。 　また，管理方針のまとめを別表３－２に示す。 (1) 飛散しない物品の場合 ａ．飛散も横滑りもしない物品 　飛散も横滑りもしない物品は，物品管理エリアでの対策不要とする。 ｂ．飛散しないが横滑りする物品 　横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。 ・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なよう，作業者が物品		

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	から離れないようにする。 ・評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所（下記の①），評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所（下記の②）に置かれている物品については，固定又は固縛は不要とする。 ＜横滑りへの対策が不要となる場所＞ ① 評価対象施設及び防護対策設備との間に，物品に対し一定の高さを有する障害物（地形，建屋等）が存在する場所又は，物品が評価対象施設及び防護対策設備よりも低所にあり，横滑りにより上ることのできない急峻な上り勾配が認められる場所（別図3－4参照） ② 物品車両管理エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部 　ただし，準備体制確認時以前に，作業等で既に搬入している物品を対象とする。  別図3－4 横滑り対策不要の場所のイメージ図 (2) 飛散する物品の場合 ・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なように，作業者が物品から離れないようにする。ただし，飛散しない物品と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に 影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前よ り搬入している場合は固縛又は固定は不要とする。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

別表３－３ 車両以外の物品の管理方針

<table>
<tr><td rowspan="2">飛散及び横滑りの有無</td><td rowspan="2">配置場所</td><td colspan="2">管理方針</td></tr>
<tr><td>通常時
準備体制確認時</td><td>準備作業開始時</td></tr>
<tr><td>飛散も横滑りもしない物品</td><td>物品管理エリア内外</td><td colspan="2">対策不要</td></tr>
<tr><td rowspan="2">飛散しないが横滑りする物品</td><td>物品管理エリア内</td><td>固定又は固縛※1，2</td><td>固定又は固縛※2</td></tr>
<tr><td>物品管理エリア外</td><td colspan="2">対策不要</td></tr>
<tr><td rowspan="2">飛散する物品</td><td>物品管理エリア内</td><td>固定又は固縛※1</td><td>固定又は固縛※3</td></tr>
<tr><td>物品管理エリア外</td><td colspan="2">対策不要</td></tr>
</table>

※1　作業等で必要な場合は解除可能とするが，速やかに再固定又は再固縛が可能なよう，作業者が物品から離れないようにする。

※2　評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に搬入している物品は，対策不要とする。

※3　竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に搬入している物品は，対策不要とする。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18 版）

別紙 8-4

竜巻準備体制の発令の判断基準について

1. 基本方針

評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）の安全機能維持に影響を与えないよう，評価対象施設及び防護対策設備周辺に駐車及び停車している車両を固縛又は退避させる必要がある。

竜巻による評価対象施設及び防護対策設備への被害を防止するため，竜巻の兆候を早期に検知し，事前に準備を行うことが重要であり，兆候を早期に検知する方法として，気象庁から発表される「竜巻注意情報」及び「雷注意報」に加え，レーダーナウキャストによる予測を用いる。

気象庁による監視体制は 2013 年 3 月のドップラーレーダー化完了により強化され，さらに研究も進んでいることから，今後さらなる予測精度の向上が見込まれる。よって以下の判断基準等については，今後もデータ・知見等の収集に努め，より信頼度の高い判断基準となるよう検討を継続し，改善を図っていくものとする。

2. アクションレベルの定義

発電所での竜巻襲来時における体制（以下「竜巻準備体制」という。）の発令等の判断基準として，別表 4―1 に示す 3 段階のアクションレベルを設定する。

別表 4―1 竜巻準備体制の発令の判断基準

アクションレベル	定義
1	準備体制確認 （対応体制確認及び監視強化）
2	準備作業開始 （竜巻襲来準備作業（物品の固縛，車両の退避等）の実施）
3	人員の避難

島根原子力発電所　２号炉

別紙-3

竜巻準備体制の発令の判断基準について

１．基本方針

評価対象施設及び竜巻防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）の安全機能維持に影響を与えないよう，評価対象施設及び防護対策設備周辺に駐車及び停車している車両を固縛又は退避させる必要がある。

竜巻による評価対象施設及び防護対策設備への被害を防止するため，竜巻の兆候を早期に検知し，事前に準備を行うことが重要であり，兆候を早期に検知する方法として，気象庁から発表される「竜巻注意情報」及び「雷注意報」に加え，レーダーナウキャストによる予測を用いる。

気象庁による監視体制は 2013 年 3 月のドップラーレーダー化完了により強化され，さらに研究も進んでいることから，今後さらなる予測精度の向上が見込まれる。よって以下の判断基準等については，今後もデータ・知見等の収集に努め，より信頼度の高い判断基準となるよう検討を継続し，改善を図っていくものとする。

２．実施基準の定義

発電所での竜巻襲来時における体制（以下「竜巻準備体制」という。）の発令等の判断基準として，竜巻準備体制の実施基準（イメージ）を表 1 に，竜巻発生確度ナウキャスト，雷ナウキャストの監視範囲を図 1 に示す。

表１　竜巻準備体制の実施基準

対応	判断基準		監視範囲	運用対策案
①監視強化及び注意喚起	いずれかを満たした場合	雷注意報（竜巻）の発表	松江市，出雲市，雲南市，安来市，境港市，米子市	連絡体制の確認
		竜巻注意情報の発表	島根県東部，島根県西部，隠岐 鳥取県中・西部	
		竜巻発生確度ナウキャスト（実況） 「竜巻発生確度２」 かつ雷ナウキャスト（実況） 「雷活動度２以上」	発電所を中心に東西及び北方向に75km，南側は県境までを含む範囲 （図１の監視範囲A）	
②竜巻対応開始	竜巻発生確度ナウキャスト（予測（60分先まで）） 「竜巻発生確度２」 かつ雷ナウキャスト（予測（60分先まで）） 「雷活動度２以上」		・竜巻発生確度ナウキャスト 発電所を中心に南北方向20km×東西方向10kmの範囲 （図１の監視範囲B） ・雷ナウキャスト 発電所を中心に南北方向2km×東西方向2kmの範囲 （図１の監視範囲C）	資機材・車両等の固縛， 人・車両の退避， 排気筒モニタ損傷時の代替設備による対応等

備考

・資料構成の相違

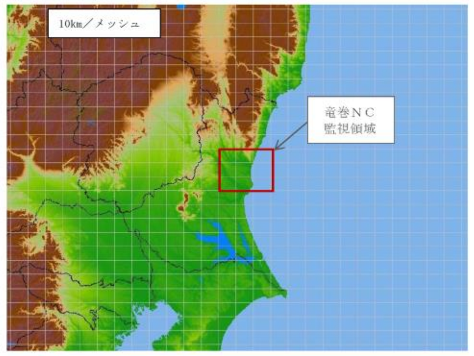
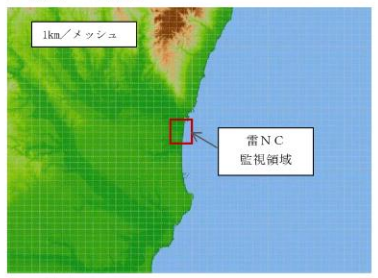
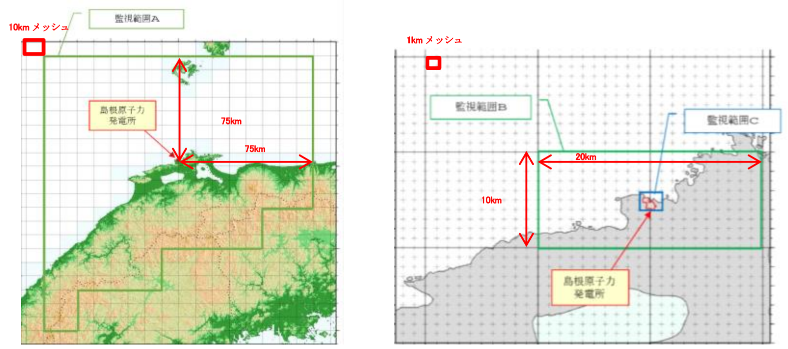
【柏崎 6/7】

島根２号炉は，竜巻準備体制の発令の判断基準について記載している

・記載場所の相違

【東海第二】

島根２号炉は，表１に各対応の判断基準及び対応を記載している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3．各アクションレベルにおける判断基準と対応 各アクションレベルの判断基準と対応の内容について，以下に示す。 (1)　レベル　1：準備体制確認 ＜判断基準＞ 以下の　2　つの状況の「or」条件とする。（これら情報の入手は，気象協会等の情報提供サービスを利用する。） ①　雷注意報（竜巻又は突風）の発報 ②　竜巻注意情報の発報 ＜対応＞ ・判断基準情報発出の所内周知（ページング） ・竜巻発生確度ナウキャスト（以下「竜巻ＮＣ」という。）及び雷ナウキャスト（以下「雷ＮＣ」という。）の監視開始（別図　4－1，別図　4－2　参照） ・準備作業（固縛，退避等）の対応体制確認 ・屋外作業の実施状況確認 ・外殻防護の障壁となる扉等の開閉状況確認 竜巻ＮＣの監視領域 「発電所を含むメッシュ＋周囲１メッシュ」の計９メッシュを，竜巻ＮＣの監視領域とする（別図 4-1 参照）。  別図４－１　竜巻ＮＣの監視領域 雷ＮＣの監視領域 「発電所を含む２メッシュ＋周囲１メッシュ」の計 12 メッシュを，雷ＮＣの監視領域とする（別図 4-2 参照）。  別図４－２　雷ＮＣの監視領域	 図１　竜巻発生確度ナウキャスト，雷ナウキャストの監視範囲	・記載場所の相違 【東海第二】 同上 ・ナウキャストの監視範囲の相違 【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	(2)　レベル　2：準備作業開始 ＜判断基準＞ 以下の　2　つの情報の「and」条件とする。 ①　竜巻ＮＣについて，発電所エリアに「発生確度　2」が認められる。 ②　雷ＮＣについて，発電所エリアに「活動度　2　以上」が認められる。 ＜対応＞ ・準備作業開始の所内指示（ページング） ・津波監視カメラ，目視等による上空の状況監視（補助的に，ＮＣの監視も継続） ・車両管理エリア内の車両の固縛若しくはエリア外への退避 ・固縛解除中物品の再固縛 ・外殻防護障壁となる扉等の閉止 (3)　レベル　3：人員の避難 ＜判断基準＞ 以下の①及び②の情報の「and」条件若しくは③の成立とする。 ①　竜巻ＮＣについて，発電所エリアに「発生確度　2」が認められる。 ②　雷ＮＣについて，発電所エリアに「活動度　3　以上」が認められる。 ③　上空の状況監視において，竜巻の兆候※が認められる ※　以下の様な状況 ・「空が急に暗くなる，激しい雨やひょうが降る，雷が鳴る」（＝発達した積乱雲が近づいている兆候） ・「竜巻の漏斗雲や突風により舞い上がる飛散物が見える」 ＜対応＞ ・人員の退避の所内指示（ページング） ・発電所内人員の屋内への避難		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18 版）

（気象庁「竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について」抜粋）

4.　各アクションレベルの判断基準に用いる気象情報の妥当性

（1）竜巻準備体制の確認の判断

気象情報：以下の　or　条件

①雷注意報（竜巻又は突風）

②竜巻注意情報

別表 4−2 に，藤田スケール 1 以上の竜巻に対し，上記条件が竜巻を捕捉した確率を調査した結果を示す。

別表 4−2 準備体制確認の判断基準による竜巻の捕捉率

（気象庁ＨＰ「竜巻注意情報の発表状況」より，2010 年～2017 年 8 月までのデータを調査）

時間余裕＼年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	合計	2013.3.14 以降※1	2016.12.15 以降※2
予見失敗	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
10分以内	1	1	0	3	0	0	2	0	7	5	0
10分超～30分以内	0	2	0	2	0	0	1	0	5	3	0
30分超～40分以内	2	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0
40分超～50分以内	1	0	0	0	2	1	0	0	4	3	0
50分超～60分以内	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0
60分超	4	1	8	16	4	8	10	5	56	41	6
計	8	5	10	21	6	9	14	5	78	53	6
全捕捉率	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	92.9%	100.0%	98.7%	98.1%	100.0%
猶予10分超での捕捉率	87.5%	80.0%	100.0%	85.7%	100.0%	100.0%	78.6%	100.0%	89.7%	88.7%	100.0%
猶予30分超での捕捉率	87.5%	40.0%	100.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	83.3%	83.0%	100.0%
猶予40分超での捕捉率	62.5%	40.0%	90.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	79.5%	83.0%	100.0%
猶予60分超での捕捉率	50.0%	20.0%	80.0%	76.2%	66.7%	88.9%	71.4%	100.0%	71.8%	77.4%	100.0%

※1　全国の気象レーダーのドップラーレーダー化完了日。観測精度の向上が期待できる期間として設定。
※2　竜巻注意情報の単位領域の細分化開始

捕捉率はほぼ 100%であり，また，近年のデータからは猶予

島根原子力発電所　２号炉

３．　各実施基準の判断基準に用いる気象情報の妥当性

(1)　監視強化及び注意喚起の確認の判断

気象情報：以下の or 条件

①雷注意報（竜巻）

②竜巻注意情報

③竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度２」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度２以上」

表２に，藤田スケール１以上の竜巻に対し，上記条件のうち，①雷注意情報（竜巻），②竜巻注意情報が竜巻を捕捉した確率を調査した結果を示す。

表２　①雷注意報（竜巻）及び②竜巻注意情報による竜巻の捕捉率

（気象庁ＨＰ「竜巻注意情報の発表状況」より，2010 年～2018 年 12 月までのデータを調査）

時間的余裕＼年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	合計	2013. 3. 14 以降※1	2016. 12. 15 以降※2
予見失敗	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	1
10分以内	1	1	0	3	0	0	2	0	0	7	5	0
10分超～30分以内	0	2	0	2	0	0	1	0	1	6	4	1
30分超～40分以内	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0
40分超～50分以内	1	0	0	0	2	1	0	0	1	5	4	1
50分超～60分以内	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0
60分超	4	1	8	16	4	8	10	5	10	66	51	16
合計	8	5	10	21	6	9	14	5	13	91	66	19
全捕捉率	100. 0%	100. 0%	100. 0%	100. 0%	100. 0%	100. 0%	92. 9%	100. 0%	92. 3%	97. 8%	97. 0%	94. 7%
猶予10分超での補足率	87. 5%	80. 0%	100. 0%	85. 7%	100. 0%	100. 0%	78. 6%	100. 0%	92. 3%	90. 1%	89. 4%	94. 7%
猶予30分超での補足率	87. 5%	40. 0%	100. 0%	76. 2%	100. 0%	100. 0%	71. 4%	100. 0%	84. 6%	83. 5%	83. 3%	89. 5%
猶予40分超での補足率	62. 5%	40. 0%	90. 0%	76. 2%	100. 0%	100. 0%	71. 4%	100. 0%	84. 6%	80. 2%	83. 3%	89. 5%
猶予60分超での補足率	50. 0%	20. 0%	80. 0%	76. 2%	66. 7%	88. 9%	71. 4%	100. 0%	76. 9%	72. 5%	77. 3%	84. 2%

※1　全国の気象レーダーのドップラーレーダー化完了日。観測精度の向上が期待できる期間として設定。
※2　竜巻注意情報の単位領域の細分化開始日。

捕捉率はほぼ 100%であり，また，近年のデータからは猶予時

備考

・判断基準の相違

【東海第二】

島根２号炉は，監視強化及び注意喚起の判断基準に雷注意報（突風）を使用しておらず，竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度２」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度２以上」を使用している

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	時間 30 分以上での捕捉率についても改善傾向が認められる。したがって，「雷注意報（竜巻又は突風）」又は「竜巻注意情報」を判断基準とすることにより，竜巻準備体制を整えるための猶予時間は確保できると考える。	間 30 分以上での捕捉率についても改善傾向が認められる。したがって，「雷注意報（竜巻）」又は「竜巻注意情報」を判断基準とすることにより，竜巻準備体制を整えるための猶予時間は確保できると考える。 また，より信頼性が高い判断基準となるよう③竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度２」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度２以上」も考慮する。	・判断基準の相違 【東海第二】 同上
	【以下，比較のため再掲】 (2) 準備作業開始の判断 藤田スケール（Ｆスケール）の被害指標ではＦ３の場合に「自動車は持ち上げられて飛ばされる。」となっており，万一衝突した場合の影響が大きい車両が評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす竜巻のスケールはＦ３スケール以上と考えられるが，別表 4－3 のとおり，ナウキャスト運用開始後に発生したＦ３スケール以上の竜巻については竜巻発生確度 2 が事前に出されていることから，「竜巻発生確度 2」を用いることで，Ｆ３スケールの竜巻の予測は可能と考える。	藤田スケール(Ｆスケール)の被害指標ではＦ３の場合に「自動車は持ち上げられて飛ばされる。」となっており，万一衝突した場合の影響が大きい車両が評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす竜巻のスケールはＦ３スケール以上と考えられるが，表３のとおり，ナウキャスト運用開始後に発生したＦ３スケール以上の竜巻については竜巻発生確度 2 が事前に出されていることから，「竜巻発生確度 2」を用いることで，Ｆ３スケールの竜巻の予測は可能と考える。	
	別表 4－3 竜巻ＮＣによるＦ３竜巻の予測実績 <table><tr><td>発生時間</td><td>発生箇所</td><td>竜巻発生確度 及び発令時間</td></tr><tr><td>2012.5.6 12：35～12：53</td><td>茨城県常総市</td><td>確度 2（12：20）</td></tr></table>	表３　竜巻ナウキャストによるＦ３竜巻の予測実績 <table><tr><td>発生時間</td><td>発生箇所</td><td>竜巻発生確度 及び発令時間</td></tr><tr><td>2012.5.6 12：35～12：53</td><td>茨城県常総市</td><td>確度 2（12：20）</td></tr></table>	
	また，雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※１ことから，雷ＮＣも考慮に加えることとした。 強い竜巻は，スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻ＮＣの発生確度 2 は，メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧）の検出が条件となっているが，これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性があると判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって，発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。 積乱雲は成長期，成熟期及び衰退期の 3 段階のライフサイクルで形成，消滅する※２が，このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり，この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として，雷ＮＣを利用する。	また，雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※1ことから，雷ナウキャストも考慮に加えることとした。 強い竜巻は，スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻ナウキャストの発生確度２は，メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧）の検出が条件となっているが，これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性があると判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって，発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。 積乱雲は成長期，成熟期及び衰退期の３段階のライフサイクルで形成，消滅する※2が，このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり，この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として，雷ナウキャストを利用する。	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>雷ＮＣの活動度 2 は，上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており，竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生又は接近を予告する指標として活用できると考える。また，ナウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため，準備体制の確認の段階においてナウキャストを監視することにより，積乱雲の状況を確認することが可能である。
以上より，竜巻ＮＣの発生確度 2 に雷ＮＣの活動度 2 以上の組み合わせを，強い竜巻が発生するおそれが高まっていることの指標とすることは妥当であると判断した。
【ここまで】
(2) 準備作業開始の判断
気象情報：以下の and 条件
①竜巻ＮＣ「発生確度２」
②雷ＮＣ「活動度２以上」

藤田スケール（Ｆスケール）の被害指標ではＦ３の場合に「自動車は持ち上げられて飛ばされる。」となっており，万一衝突した場合の影響が大きい車両が評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす竜巻のスケールはＦ３スケール以上と考えられるが，別表 4−3 のとおり，ナウキャスト運用開始後に発生したＦ３スケール以上の竜巻については竜巻発生確度 2 が事前に出されていることから，「竜巻発生確度 2」を用いることで，Ｆ３スケールの竜巻の予測は可能と考える。

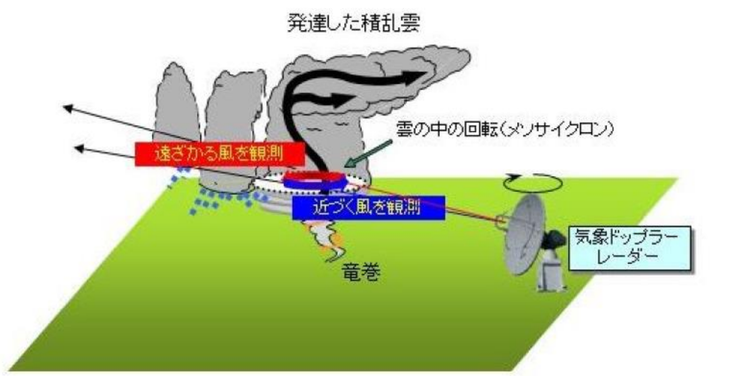
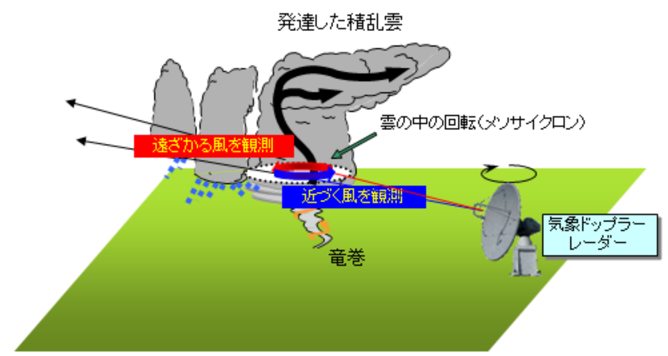
別表 4−3 竜巻ＮＣによるＦ３竜巻の予測実績
<table>
<tr><th>発生時間</th><th>発生箇所</th><th>竜巻発生確度
及び発令時間</th></tr>
<tr><td>2012.5.6
12：35～12：53</td><td>茨城県常総市</td><td>確度 2（12：20）</td></tr>
</table></td><td>雷ナウキャストの活動度２は，上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており，竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生又は接近を予告する指標として活用できると考える。また，ナウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため，準備体制の確認の段階においてナウキャストを監視することにより，積乱雲の状況を確認することが可能である。
以上より，竜巻ナウキャストの発生確度２に雷ナウキャストの活動度 2 以上の組み合わせを，強い竜巻が発生するおそれが高まっていることの指標とすることは妥当であると判断した。

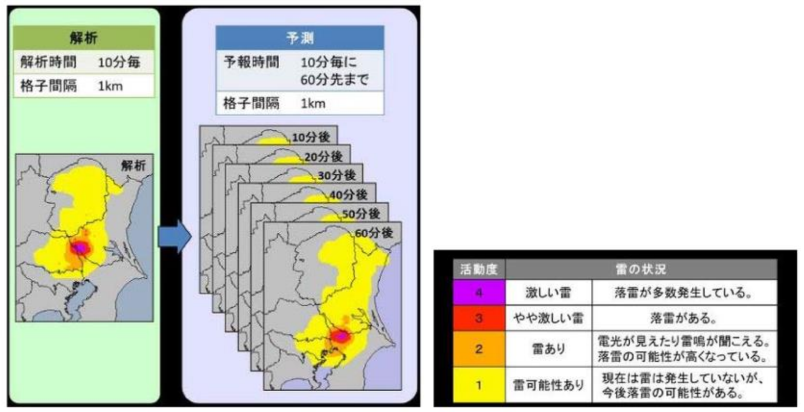
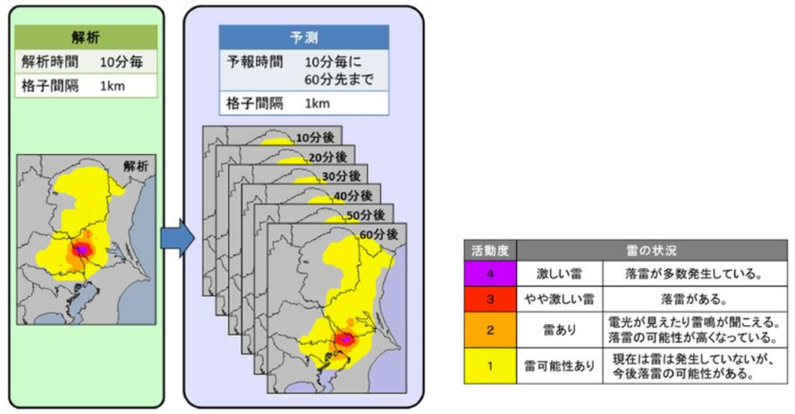
(2) 竜巻対応開始の判断
気象情報：以下の and 条件
① 竜巻発生確度ナウキャスト（予測（60 分先まで））
「竜巻発生確度２」
② 雷ナウキャスト（予測（60 分先まで））
「雷活動度２以上」</td><td>・判断基準の相違
【東海第二】
島根２号炉は，竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャストの予測情報も含めて判断基準にしている

（島根２号炉は「3.(1) 監視強化及び注意喚起の確認の判断」で記載）</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	また，雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※１ことから，雷ＮＣも考慮に加えることとした。 強い竜巻は，スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻ＮＣの発生確度 2 は，メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧）の検出が条件となっているが，これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性があると判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって，発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。 積乱雲は成長期，成熟期及び衰退期の 3 段階のライフサイクルで形成，消滅する※２が，このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり，この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として，雷ＮＣを利用する。 　雷ＮＣの活動度 2 は，上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており，竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生又は接近を予告する指標として活用できると考える。また，ナウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため，準備体制の確認の段階においてナウキャストを監視することにより，積乱雲の状況を確認することが可能である。 　以上より，竜巻ＮＣの発生確度 2 に雷ＮＣの活動度 2 以上の組み合わせを，強い竜巻が発生するおそれが高まっていることの指標とすることは妥当であると判断した。		
	(3) 人員の避難の判断 　気象情報：以下の and 条件 　　　①竜巻ＮＣ「発生確度２」 　　　②雷ＮＣ「活動度３以上」 （また，気象情報とは別に「③上空の状況監視において，竜巻の兆候が認められる」場合も判断基準としている。）		・判断基準の相違 【東海第二】 　島根２号炉は，人員の避難を(2) 竜巻対応開始で実施する。また，雷ナウキャストの活動度 3 以上を判断基準としていない。
	雷は積乱雲内の上昇気流によって発生するため，落雷が発生している場所（雷活動度 3 以上の地域）は強い上昇気流場であると言えるが，雷ＮＣの活動度 3 以上の場所は，既に対地放電が起きている強い放電密度を持った場所を表しており，強い雷雲の位置を示していることになる。		・判断基準の相違 【東海第二】 島根２号炉は，雷ナウキャストの活動度 3 以上を判断基準としていない。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	また，雷活動度の予測には盛衰傾向による補正が加えられており，現時点では成長期や成熟期初期にある積乱雲に対して継続時間を考慮した予測がなされている。すなわち，単純な積乱雲の移動による雷の発生の予測でなく，積乱雲の発達も考慮に加えられている※2。 以上より，竜巻ＮＣの発生確度 2 と雷ＮＣの活動度 3 以上の組み合わせを，強い竜巻の発生の指標とすることは妥当であると判断した。 なお，人員の避難はプラント運用面への負担が大きな対策であると考えられるため，ナウキャストの値だけでなく，現場の気象状況も加味して判断することが現実的と考えられる※３ことから，カメラ等を用いた上空の監視も判断基準に加えることとしている。 ※1 大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版） ※2 雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法（測候時報 78.3 2011） ※3 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について（H22.3 気象庁） 『竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストは，適中率が低く空振りが多くなるため，これらの発表と連動して負担（対策に要する時間や手間，及び対策の影響）の大きな対策を実施するのは難しいのが現状である。 したがって，「空の様子に注意する」など，なるべく負担の小さな対策から実施するのが適当であり，負担の大きな対策の実施については，発生確度 1 や 2 の発表に現場の気象状況を加味して判断するのが現実的な利用方法といえる。』	雷活動度の予測には盛衰傾向による補正が加えられており，現時点では成長期や成熟期初期にある積乱雲に対して継続時間を考慮した予測がなされている。すなわち，単純な積乱雲の移動による雷の発生の予測でなく，積乱雲の発達も考慮に加えられている※2。 以上より，予測を含む竜巻ナウキャストの発生確度 2 と雷ナウキャストの活動度２以上の組み合わせを，強い竜巻の発生の指標とすることは妥当であると判断した。 なお，人員の避難はプラント運用面への負担が大きな対策であると考えられるため，ナウキャストの値だけでなく，現場の気象状況も加味して判断することが現実的と考えられる※3ことから，カメラ等を用いた上空の監視も判断基準に加えることとしている。 ※1　大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版） ※2　雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法（測候時報 78.3 2011） ※3　竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について（H22.3 気象庁） 『竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストは，適中率が低く空振りが多くなるため，これらの発表と連動して負担（対策に要する時間や手間，及び対策の影響）の大きな対策を実施するのは難しいのが現状である。 したがって，「空の様子に注意する」など，なるべく負担の小さな対策から実施するのが適当であり，負担の大きな対策の実施については，発生確度 1 や 2 の発表に現場の気象状況を加味して判断するのが現実的な利用方法といえる。』	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	（参考） 竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャスト (1) 竜巻発生確度ナウキャストとは 10km 格子単位で「竜巻が発生する可能性の程度」を２つの階級（発生確度 1,2）で解析し，10 分ごとに１時間先までの予測を行うもの。 竜巻などの激しい突風は，規模が小さくレーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができないため，竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数キロのメソサイクロンの検出又は，大気環境，積乱雲の発生場所・発達状況から突風の発生可能性を表す指数「突風危険指数」が基準を持たした場合に発生確度の解析を開始し，降水強度の解析と重ねて降水強度が強い格子を発生確度 1,2 と判定する。 ・発生確度１ メソサイクロンの検出又は突風危険指数の基準を満たした（OR 条件）格子の周辺 100km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性がある」領域（発生確度１背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 1」と判定する。 ・発生確度２ メソサイクロンの検出及び突風危険指数の基準を満たした（AND 条件）格子の周辺 40km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性が発生確度１背景より高い」領域（発生確度２背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 2」と判定する。  出典：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について：平成22年3月気象庁	（参考） 竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャスト (1)　竜巻発生確度ナウキャストとは 10km 格子単位で「竜巻が発生する可能性の程度」を２つの階級（発生確度 1,2）で解析し，10 分ごとに１時間先までの予測を行うもの。 竜巻などの激しい突風は，規模が小さくレーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができないため，竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数キロのメソサイクロンの検出又は，大気環境，積乱雲の発生場所・発達状況から突風の発生可能性を表す指数「突風危険指数」が基準を満たした場合に発生確度の解析を開始し，降水強度の解析と重ねて降水強度が強い格子を発生確度 1,2 と判定する。 ・発生確度１ メソサイクロンの検出又は突風危険指数の基準を満たした（OR 条件）格子の周辺 100km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性がある」領域（発生確度 1 背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 1」と判定する。 ・発生確度２ メソサイクロンの検出及び突風危険指数の基準を満たした（AND 条件）格子の周辺 40km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性が発生確度１背景より高い」領域（発生確度２背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 2」と判定する。  出典：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について：平成 22 年 3 月気象庁	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	(2) 雷ナウキャストとは 　雷ナウキャストは，雷の激しさや雷の可能性を1km格子単位で解析し，その1時間後（10分先～60分先）までの予測を行うもので，10分ごとに更新して気象庁より提供される。 　雷の解析は，雷監視システムによる雷放電の検知及びレーダー観測などを基にして活動度1～4で表される。予測については，雷雲の移動方向に移動させるとともに，雷雲の盛衰の傾向も考慮している。 　雷ナウキャストでは，雷監視システムによる雷放電の検知数が多いほど激しい雷（活動度が高い）としており，雷放電を検知していない場合でも，雷雲の特徴から雷雲解析をするとともに，雷雲が発達する可能性のある領域も解析している。  出典：雷ナウキャストとは　気象庁ＨＰ	(2)　雷ナウキャストとは 　雷ナウキャストは，雷の激しさや雷の可能性を1km格子単位で解析し，その1時間後（10分先～60分先）までの予測を行うもので，10分ごとに更新して気象庁より提供される。 　雷の解析は，雷監視システムによる雷放電の検知及びレーダー観測などを基にして活動度1～4で表される。予測については，雷雲の移動方向に移動させるとともに，雷雲の盛衰の傾向も考慮している。 　雷ナウキャストでは，雷監視システムによる雷放電の検知数が多いほど激しい雷（活動度が高い）としており，雷放電を検知していない場合でも，雷雲の特徴から雷雲解析をするとともに，雷雲が発達する可能性のある領域も解析している。  出典：雷ナウキャストとは　気象庁ＨＰ	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18版）

別紙 8-5

原子炉建屋ブローアウトパネルに対する対応方針について

1. 概要

原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル（以下「ブローアウトパネル」という。）の竜巻に対する対応方針について整理した。

2. 竜巻によるブローアウトパネルの機能への影響と基本対応方針

竜巻襲来時にブローアウトパネルに想定される状態，プラントへの影響及び対応方針を整理した結果を別表 5－1 に示す。

飛来物によるブローアウトパネルの損傷（貫通）については，ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を行う方針とする。

また，設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差によるブローアウトパネルの開放に伴って生じる原子炉建屋原子炉棟外壁開口部への竜巻の影響及び防護方針については，3.にて整理する。

別表 5－1 竜巻襲来時のブローアウトパネル状態とプラントへの影響と対応

竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態	プラントへの影響	基本対応方針
気圧差による開放	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さいため，開放した場合は再閉止措置をする。
	開口部の発生による，建屋内部の外部事象防護対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用	各外部事象防護対象施設の配置状況等を踏まえて以下対策の実施 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止
飛来物による損傷（貫通）	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	ブローアウトパネルへの飛来物防護対策の実施
	飛来物の侵入による，建屋内部の外部事象防護対象施設の損傷	（上記対策により包含される）

島根原子力発電所　2号炉

別紙-4

原子炉建物ブローアウトパネルに対する対応方針について

1．概要

原子炉建物のブローアウトパネル（以下，「ブローアウトパネル」という。）の竜巻に対する対応方針について整理した。

2．竜巻によるブローアウトパネルの機能への影響と基本対応方針

竜巻襲来時にブローアウトパネルに想定される状態，プラントへの影響及び対応方針を整理した結果を表１に示す。

ブローアウトパネルは原子炉建物４階の北側２箇所の設置されている。

飛来物によるブローアウトパネルの損傷（貫通）については，ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を行う方針とする。

また，ブローアウトパネルが設計竜巻により生じる気圧差で開放した場合には安全上支障のない期間に補修（再閉止措置）を行う設計とする。

ブローアウトパネルが開放したときの外壁開口部への竜巻の影響及び防護方針については，３．にて整理する。

表１　竜巻襲来時のブローアウトパネル状態とプラントへの影響と対応

竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態	プラントへの影響	基本対応方針
気圧差による開放	原子炉建物の閉じ込め機能の喪失	設計基準事故と竜巻の重畳頻度は十分小さい。設計竜巻により生じる気圧差で開放した場合は安全上支障のない期間に補修（再閉止措置）をする。
	開口部の発生による，建物内部の評価対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用	各評価対象施設の配置状況等を踏まえ以下の対策を実施。 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止
飛来物による損傷（貫通）	原子炉建物の閉じ込め機能の喪失	（飛来物の侵入防止対策に包含される）
	飛来物の侵入による，建物内部の評価対象施設の損傷	

備考

・資料構成の相違

【柏崎 6/7】

島根２号炉は，原子炉建物ブローアウトパネルに対する対応方針について記載

・記載方針の相違

【東海第二】

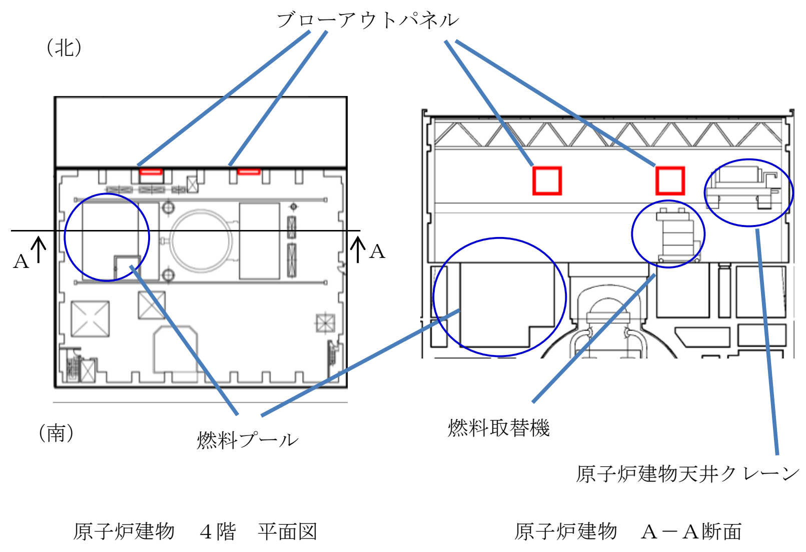
島根２号炉は，ブローアウトパネルの設置位置について記載している

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18版）</th><th>島根原子力発電所　2号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>3. 竜巻によるブローアウトパネルの開放に伴う影響評価及び防護方針
ブローアウトパネルは，設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差で開放する可能性があり，その際に原子炉建屋原子炉棟外壁には開口が生じた状態となることから，当該状態に対する竜巻による影響を評価し，防護方針を整理した。

3.1 竜巻によるブローアウトパネルの開放の影響を受ける原子炉建屋原子炉棟内の外部事象防護対象施設
ブローアウトパネルが設置されている原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の内部に配置される外部事象防護対象施設を別表 5－2 に，外部事象防護対象施設及びブローアウトパネルの配置を別図 5－1 に示す。
なお，原子炉建屋原子炉棟 5 階の東側エリアのブローアウトパネルは閉止する方針であることから，竜巻による影響評価の対象外とする。

別表 5－2 原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対象施設
<table><tr><th colspan="2">フロア</th><th>外部事象防護対象施設</th></tr><tr><td colspan="2">6階</td><td>・使用済燃料プール（①）
・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁（②）
・燃料交換機（③）
・原子炉建屋天井クレーン（④）</td></tr><tr><td rowspan="2">5階</td><td>東側</td><td>（ブローアウトパネル閉止により対象施設なし）</td></tr><tr><td>西側</td><td>・ほう酸水注入系設備（⑤）
（ポンプ，タンク，弁，配管等）</td></tr></table></td><td>３．竜巻によるブローアウトパネルの開放に伴う影響評価及び防護方針
ブローアウトパネルは設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差で開放する可能性があり，その際に原子炉建物外壁には開口が生じた状態となることから，当該状態に対する竜巻による影響を評価した。

3.1 ブローアウトパネルが開放した場合に竜巻の影響を受ける外部事象防護対象施設
ブローアウトパネルが開放した場合に，竜巻の影響を受ける外部事象防護対象施設は，オペレーティングフロア内に設置している燃料プール，燃料取替機，原子炉建物天井クレーン等がある。当該外部事象防護対象施設及びブローアウトパネルの配置を図１に示す。</td><td>・外部事象防護対象施設の示し方及び設備の相違
【東海第二】
島根 2 号炉はオペレーティングフロア内に設置している外部事象防護対象施設を表で示していない</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	別図 5－1 原子炉建屋原子炉棟 5，6 階におけるブローアウトパネル及び外部事象防護対象施設の配置図 3.2 外部事象防護対象施設に作用し得る荷重 ブローアウトパネルが設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差により開放した場合，当該開口部から原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対象施設に作用し得る竜巻に関連する荷重について，別表 5−3 のとおり整理した。その結果，風圧力による荷重（W_W）及び設計飛来物による衝撃荷重（W_M）が考慮すべき荷重として抽出された。	 図１　原子炉建物ブローアウトパネル配置図 3.2 外部事象防護対象施設に作用し得る荷重 ブローアウトパネルが設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差により開放した場合，当該開口部から原子炉建物の外部事象防護対象施設に作用し得る竜巻に関連する荷重について，表２の通り整理した。その結果，考慮すべき荷重として抽出されるものはない。	・考慮すべき荷重の有無の相違 【東海第二】 島根２号炉は，風圧力による荷重については，風の流路上に外部事象防護対象施設がないこと，設計飛来物による衝撃荷重については飛来物防護対策を実施することから考慮すべき荷重はない

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

東海第二発電所（2018.9.18 版）

別表 5−3 ブローアウトパネル開口部から原子炉建屋原子炉棟内部に作用し得る竜巻に関連する荷重

荷重		考慮の要否	評価
風圧力による荷重（W_W）		要	・同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されることから，考慮対象とする。 ・風速は，設計竜巻の最大風速 100m／s とする。
気圧差による荷重（W_P）		否	・開口部の近傍には密閉された設備が無いことから，考慮不要とする。
設計飛来物による衝撃荷重（W_M）		要	・開口部から飛来物が侵入する可能性は否定できないことから，考慮対象とする。 ・想定する飛来物は，設計飛来物（鋼製材）とする。
随伴が考えられる事象	雷	否	開口部からの雷の侵入は考え難いため，考慮しない。
	降水	否	雨の吹込みは開口部近傍に限られるとともに，重要設備は内部溢水対策による防水措置が施されていることから，影響はない。
	ひょう	否	施設への影響が無い設計飛来物である「砂利」と，寸法及び運動エネルギが同程度であり，施設への影響はないと考える。 【添付資料 10「竜巻時に発生するひょうの影響について」参照】

3.3 外部事象防護対象施設に対する影響評価と防護方針

各外部事象防護対象施設において要求される機能が，別表 5−3 で抽出された荷重（W_W，W_M）に対して，構造健全性が維持され，安全機能を損なわないことを評価するとともに，安全機能の維持が難しいと考えられる施設とその荷重に対する防護方針を検討し，その結果を別表 5−4 に示す。

島根原子力発電所　２号炉

表２　ブローアウトパネル開口部から原子炉建物内部に作用し得る竜巻に関連する荷重

荷重		評価	考慮の要否
風圧力による荷重（W_W）		同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されるが，ブローアウトパネルは同じ面に２箇所設置されており，流路が形成されないことから考慮不要。	否
気圧差による荷重（W_P）		開口部の付近には密閉された設備がないため考慮不要。	否
設計飛来物による衝撃荷重（W_M）		ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を実施することから考慮不要。	否
随伴事象が考えられる事象	雷	建物開口部から雷の侵入は考え難いため考慮不要。	否
	降水	雨の影響は開口部近傍に限られるとともに，安全施設は内部溢水対策が講じられていることから，考慮不要。	否
	ひょう	衝突した場合の影響が設計飛来物に包含できるため，考慮不要。 （「添付資料 3.3　別紙-3　竜巻時に発生するひょうの影響について」）	否

以　上

備考

・考慮すべき荷重の有無の相違
【東海第二】
同上

・考慮すべき荷重の有無の相違
【東海第二】
同上

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所　2号炉	備考
	別表 5－4 竜巻荷重に対する外部事象防護対象施設の機能維持評価及び機能維持のための防護方針		

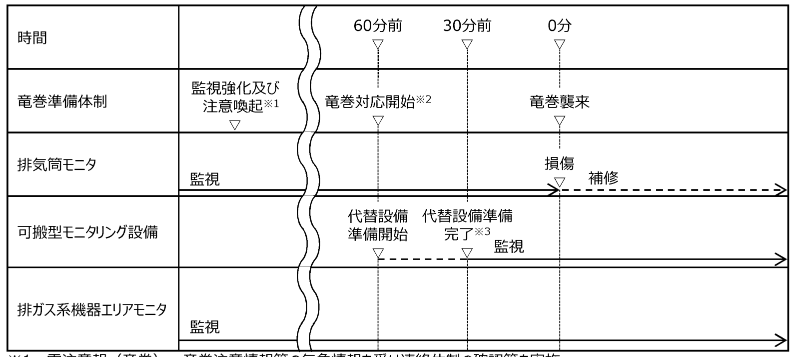
外部事象防護対象施設		要求される機能	竜巻荷重に対する機能維持評価		防護の要否	機能維持のための防護方針
			荷重	評価		
6階	使用済燃料プール	放射性物質を貯蔵する機能 (PS-2)	W_W	構造的に，風荷重の影響を受けない。	不要	—
			W_M	設計飛来物がプール内の使用済燃料に衝突した場合，燃料の損傷のおそれがある。	要	建屋内への飛来物侵入防止
	燃料プール冷却浄化系真空破壊弁	放射性物質放出の防止機能 (MS-2)	W_W	構造的に，風荷重の影響を受けない。	不要	—
			W_M	設計飛来物が当該施設に衝突した場合，損傷し機能を喪失するおそれがある。	要	建屋内への飛来物侵入防止
	燃料交換機	燃料を安全に取り扱う機能 (PS-2)	W_W	風荷重に対し損傷し，燃料取扱機能を喪失する可能性を否定できない。	要	竜巻の襲来が予想される場合，燃料取扱作業の中止
			W_M	設計飛来物が当該施設に衝突した場合，損傷し燃料取扱機能を喪失する可能性を否定できない。	要	
	原子炉建屋天井クレーン	波及的影響の防止機能	W_W	風荷重に対し損傷し，外部事象防護対象施設（使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁）へ波及的影響を及ぼす可能性を否定できない。	要	竜巻の襲来が予想される場合，外部事象防護対象施設に影響を及ぼさない（通常の待機）位置に退避する運用
			W_M	設計飛来物が当該施設に衝突した場合，損傷し外部事象防護対象施設（使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁）へ波及的影響を及ぼす可能性を否定できない。	要	
5階（西側）	ほう酸水注入系設備	未臨界維持機能 (MS-1)	W_W	ブローアウトパネルから離れた場所にあり，竜巻の風の主な流路（別図5－2参照）を考えると，風荷重の影響を受けない。	不要	—
			W_M	当該施設はブローアウトパネルの開口部から見通せない場所にあるため（別図5－2参照），飛来物が衝突することはない。	不要	—

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	別図 5－2 原子炉建屋原子炉棟 5 階の風の通過経路及び西側区画ブローアウトパネルからの飛来物の到達範囲図 <u>3.4 開口部の発生に対する防護方針</u> 別表 5－3 の整理に基づく，5 階，6 階それぞれの防護対策は以下のとおりであり，「竜巻飛来物防護対策設備の設置」を実施する。なお，竜巻飛来物防護対策設備については，ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策を包含する。 (1) 原子炉建屋原子炉棟 6 階の防護方針 ・開口部から侵入する風荷重に対する防護方針 なし（風荷重による影響を受けない） （竜巻襲来予想時の燃料取扱作業の中止及び外部事象防護対象施設へ影響を及ぼさない通常待機位置への退避） ・開口部から侵入する飛来物に対する防護方針 建屋内への飛来物の侵入防止 （竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）の設置） (2) 原子炉建屋原子炉棟 5 階の防護方針 ・開口部から侵入する風荷重に対する防護方針 なし（風荷重による影響を受けない） ・開口部から侵入する飛来物に対する防護方針 なし※（飛来物による影響を受けない） ※ ただし，ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策として，竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）を設置する。		・考慮すべき荷重の有無の相違 【東海第二】 同上

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		別紙－5 排気筒モニタ損傷時の代替設備による対応について 1.　概要 　排気筒モニタは設計飛来物の衝突により損傷が発生した場合，代替設備による監視及び安全上支障のない期間に補修を行うことで，安全機能を損なわない設計としている。 　ここでは，排気筒モニタ損傷時の代替設備による具体的な対応について以下に示す。 2.　排気筒モニタ損傷時の代替設備による対応 　竜巻発生確度ナウキャスト等を判断基準とした竜巻対応開始時に，排気筒モニタの代替設備（可搬型モニタリング設備及び排ガス系機器エリアモニタ）による監視の準備を開始することとし，排気筒モニタが竜巻により損傷した場合には代替設備にて監視を行う。排気筒モニタ損傷対応のタイムチャートを図1に示す。また，可搬型モニタリング設備の仕様等について以下に示す。 ➢　可搬型モニタリング設備はバックグラウンドレベルから測定可能なものとする。可搬型モニタリング設備の仕様を表1に示す。 ➢　安全評価における放射性気体廃棄物処理施設の破損に対して，排気筒モニタにより監視している空気抽出器から活性炭式希ガス・ホールドアップ塔の範囲の損傷を検知するため，測定箇所はタービン建物及び廃棄物処理建物内の建物換気系排気ファン出口ダクト付近とし，ダクト外部より内部流体の放射線を測定する。系統概要及び可搬型モニタリング設備による測定箇所例を図2に示す。 ➢　異常が検知された場合は現場監視員から中央制御室の運転員に連絡を行う。 　これらの対応により，放射性気体廃棄物処理系の破損に対し排気筒モニタと同等の監視が可能となる。	・資料構成の相違 【柏崎6/7，東海第二】 島根2号炉は，排気筒モニタ損傷時の対応について記載

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		表１　可搬型モニタリング設備仕様	

名称	保管場所	測定範囲	外観
可搬式エリア放射線モニタ	放射線管理室 （制御室建物２階）	0.1～999.9μSv/h	
ＮａＩシンチレーション・サーベイ・メータ	放射線管理室 （制御室建物２階）	0.00～30.0μSv/h （０～30ks⁻¹）	



※1：雷注意報（竜巻），竜巻注意情報等の気象情報を受け連絡体制の確認等を実施
※2：竜巻発生確度ナウキャスト（予測（60分先まで））「竜巻発生確度２」等の気象情報を受け対応開始
※3：30分程度で準備可能

図１　排気筒モニタ損傷対応のタイムチャート

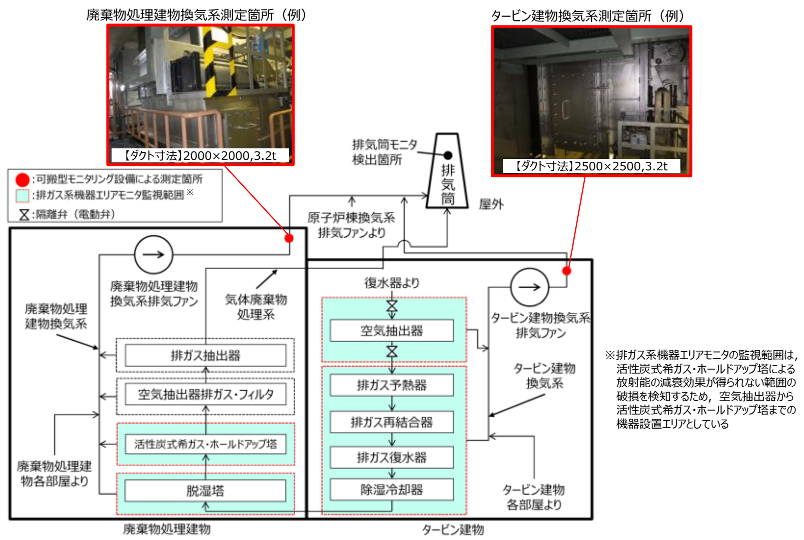
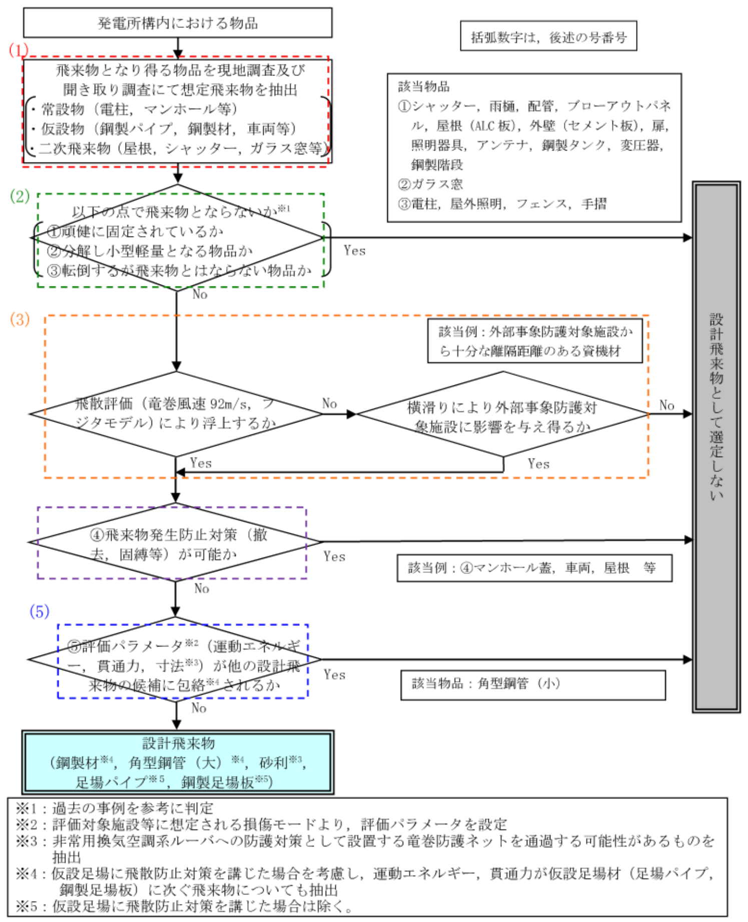


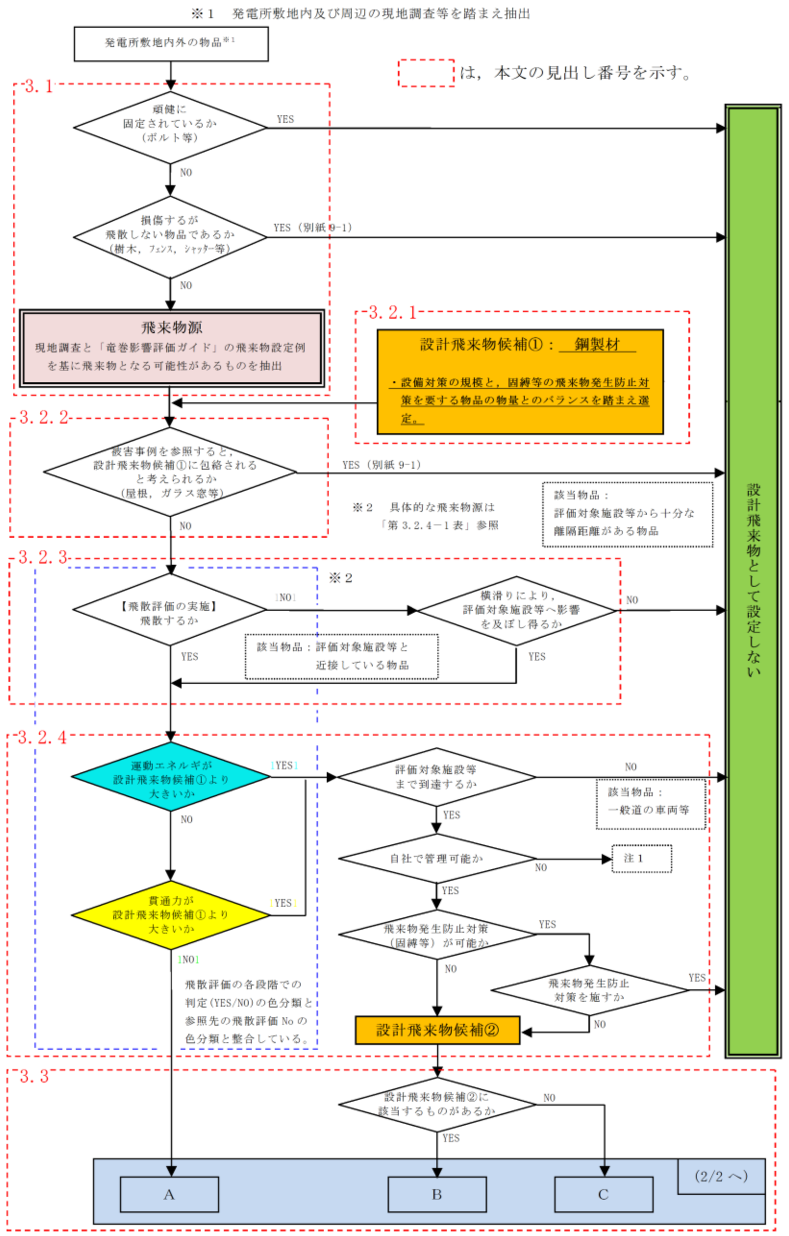
図２　系統概要及び可搬型モニタリング設備測定箇所例

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　(2017.12.20 版)	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料3.3 3.3 設計飛来物の選定について 発電所構内における竜巻飛来物となり得る物品を網羅的に調査し，それらの中から代表性 をもたせた設計飛来物を，図 3.3.1 のフローに基づき選定した。	添付資料9 設計飛来物の設定について 1.　設計飛来物の設定方針 発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物を，第1－1図に示すフローに基づき設定した。	添付資料３.３ 3.3 設計飛来物の選定について 3.3.1 設計飛来物設定の考え方 島根原子力発電所の竜巻影響評価対象施設に対する評価を実施するにあたって，現地調査及びガイドにおける設計飛来物の設定例を参考として設計飛来物を設定した。 島根原子力発電所構内において竜巻によって飛散し飛来物となり得る物体を現地調査により抽出し，サイズ，形状及び変形性状により分類・整理した上で，竜巻風速場における挙動を解析することにより浮き上がりの有無及び最大飛散速度を求めた。解析結果及びガイドに示されている設定例に基づき，竜巻影響評価対象施設への影響及び飛来物発生防止対策実施の有無を考慮して，設計飛来物を設定した。なお，設計飛来物の設定に当たっては，別紙－１に示す過去の主な竜巻事例も考慮した。 設計飛来物の設定フローを図 3.3.1 に示す。	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考



3.3.1 設計飛来物の選定フロー図



第1－1図　設計飛来物の設定フロー（1／2）

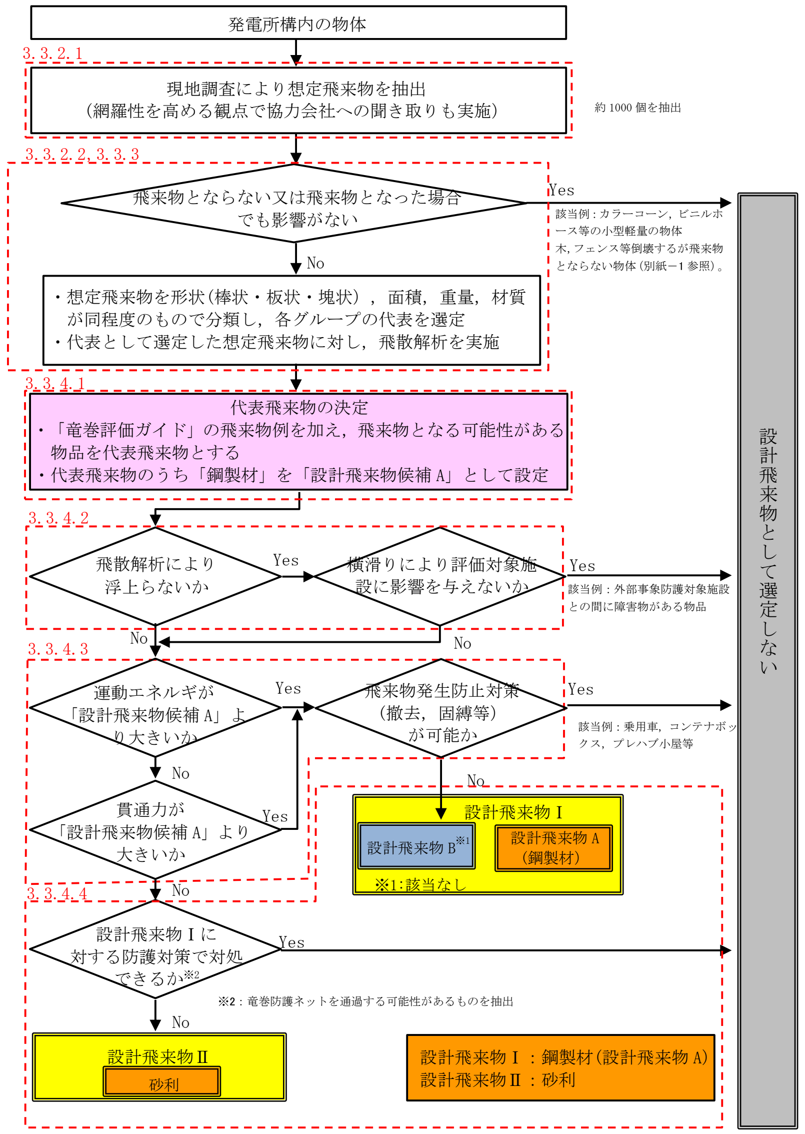


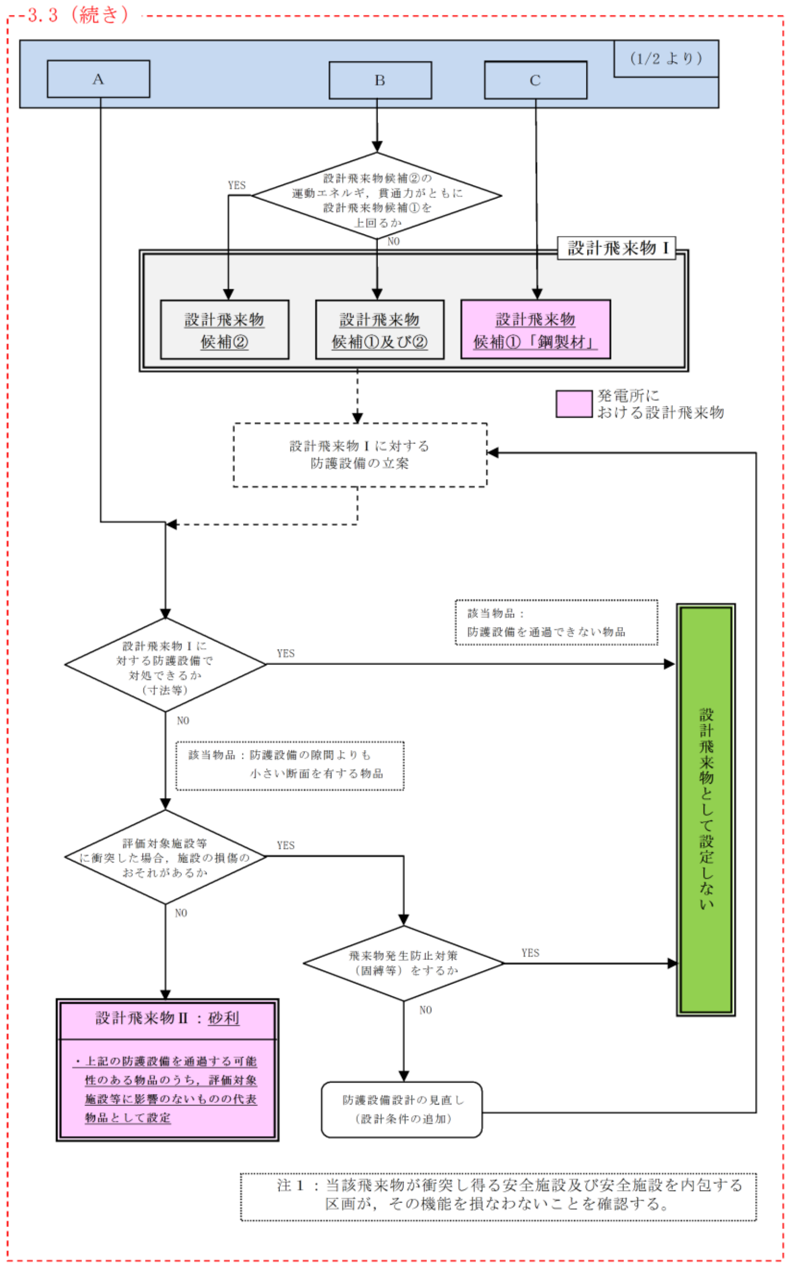
図3.3.1 設計飛来物の設定フロー

（島根2号炉は2次飛来物の抽出について「3.3.5 二次飛来物の確認」及び「別紙-3 二次飛来物の現地調査について」で記載）

・施設の相違

【東海第二】

島根2号炉は敷地近傍に隣接事業所はない

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>


第１－１図　設計飛来物の設定フロー(2／2)
</td><td></td><td></td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　(2017.12.20 版)	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(1) 飛来物調査 柏崎刈羽原子力発電所おける飛来物に関する現地調査は，平成25 年8 月20 日，8 月27日，9 月12 日，平成27 年3 月13 日に実施した。調査では，常設物，仮設物のうち飛来物になり得る物品，及び二次飛来物（設置状況等から風圧や飛散による被害を受けて飛来物となり得る物）を抽出した。調査範囲は，米国Regulatory Guide を参考にするとともに，後述の代表的な飛来物の飛散評価結果において，代表的な飛来物の飛散距離は最大でも400m程度であることを踏まえ，外部事象防護対象施設から半径800m の範囲（図3.3.2）とした。 また，持ち込み資機材等（夏場や冬場に屋外作業の準備等のために使用する休憩所（仮設小屋）や定期検査中に使用する仮設足場材等）の仮設物について，現地調査にて確認した結果の網羅性を高めることを目的に協力企業への聞き取りも実施し，現地調査で確認した飛来物源と大きな相違がないことを確認している。	2.　発電所構内の物品調査 2.1　調査範囲 発電所構内の物品調査は，1 回目を平成 26 年 1 月 15 日～16 日（発電所敷地内），及び 2 回目を平成 28 年 7 月 22 日に実施した。調査範囲は，米国 Regulatory Guide を参考に，第 2.1－1 図に示すとおり，原子炉建屋から半径 800m の範囲とした。なお，後述の代表的な飛来物源の飛散評価結果において，飛散距離は最大でも 400m 程度であることから，調査範囲は十分と考えられる。 2 回の調査において認められた物品の種類に有意な違いは認められなかったことから，定期検査の有無や季節性を加味しても，考慮すべき物品の種類としては，今回認められたものの中に包絡されるものと考えられる。 なお，今後も飛来物源について継続的に確認し，新たに考慮すべき物品の種類が認められた場合は，新たな飛来物源として評価する。	3.3.2 島根原子力発電所における飛来物現地調査 島根原子力発電所において，竜巻により飛来物となり得る物体（以下「想定飛来物」という。）を抽出するために，以下の通り現地調査を実施した。 3.3.2.1 現地調査 想定飛来物を抽出するため，島根原子力発電所構内において，平成25年7月9，10日に現地調査を実施した。主な調査対象を以下に示す。 ①原子炉建物・タービン建物等の主要建物及びその周辺（建物外周及び屋上） ②サイトバンカ建物，固体廃棄物貯蔵所等の周辺建物及びその周辺（建物外周及び屋上） ③取水槽・屋外タンク・開閉所等の屋外施設及びその周辺 （1）現地調査の観点 現地調査では，各分野の担当（電気，機械及び建築）が参加し，２班に分かれて，発電所構内を41のエリアに細分化した図3.3.2～3.3.4に示す各エリアについて，飛来物になる可能性のある物体（構内で固定されていないもの）を網羅的に抽出した。建物・構築物の外壁や地盤にボルト等により固定されているものは，飛来物になるとは考えにくいが，空調室外機や屋外照明などの一般産業品については，念のため想定飛来物として抽出した。 なお，調査においては，波及的影響を及ぼし得る施設の抽出の観点から施設の高さが外部事象防護対象施設までの距離より小さいものも含め抽出した。 （2）現地調査結果 現地調査の結果，図3.3.5に示す通り想定飛来物（約1000個）が抽出された。 また，発電所構外から持ち込む仮置き物品（夏場や冬場に屋外作業の準備等のために使用する休憩所等季節的な観点から抽出されるものも含める）について，現地調査で確認した結果の網羅性を高めることを目的に協力会社への聞き取りを実施し，現地調査で確認した想定飛来物以外に特別な物体等がないことを確認した。	・プラント配置等による相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉

防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為，公開できません

図3.3.2 調査範囲及び区分

表 3.3.1 調査エリア区分

エリア番号	エリア名称
①	5～7 号炉周辺エリア
②	大湊側高台周辺エリア
③	中央土捨場エリア
④	第二企業センター棟周辺エリア
⑤	固体廃棄物貯蔵庫周辺エリア
⑥	敷地北側エリア
⑦	取水口・放水口周辺エリア

東海第二発電所

第 2.1-1 図　物品調査エリア

第 2.1－1 表　調査エリア区分

エリア番号	エリア内の主な施設
①	東海発電所　タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋外開閉所，事務本館
②	資材置場，駐車場
③	東海発電所　取水口，放水口 資材倉庫
④	固体廃棄物貯蔵庫 東海第二発電所　取水口，放水口，海水ポンプ室
⑤	東海発電所　　　原子炉建屋 東海第二発電所　原子炉建屋，タービン建屋 廃棄物処理建屋

島根原子力発電所　２号炉

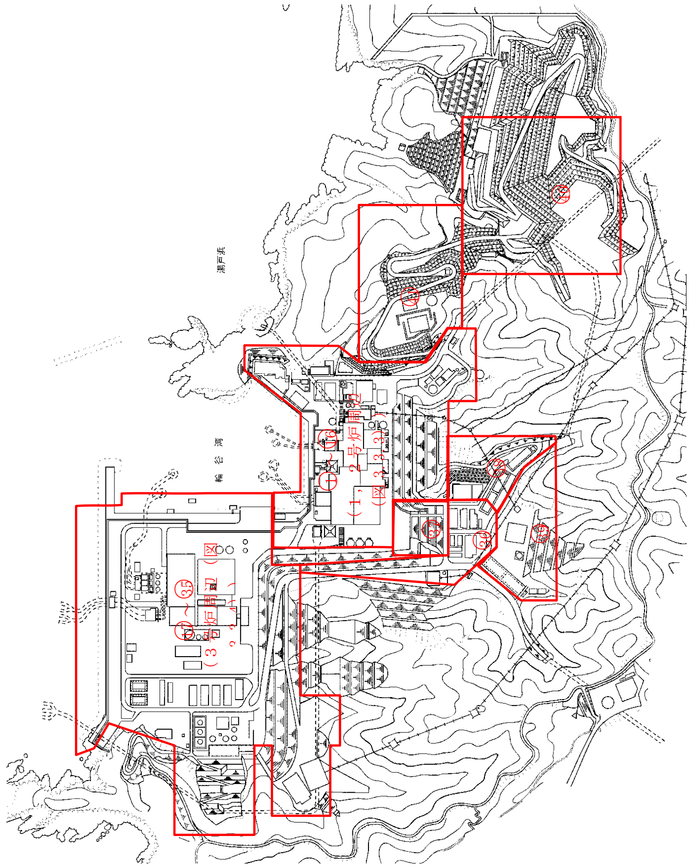
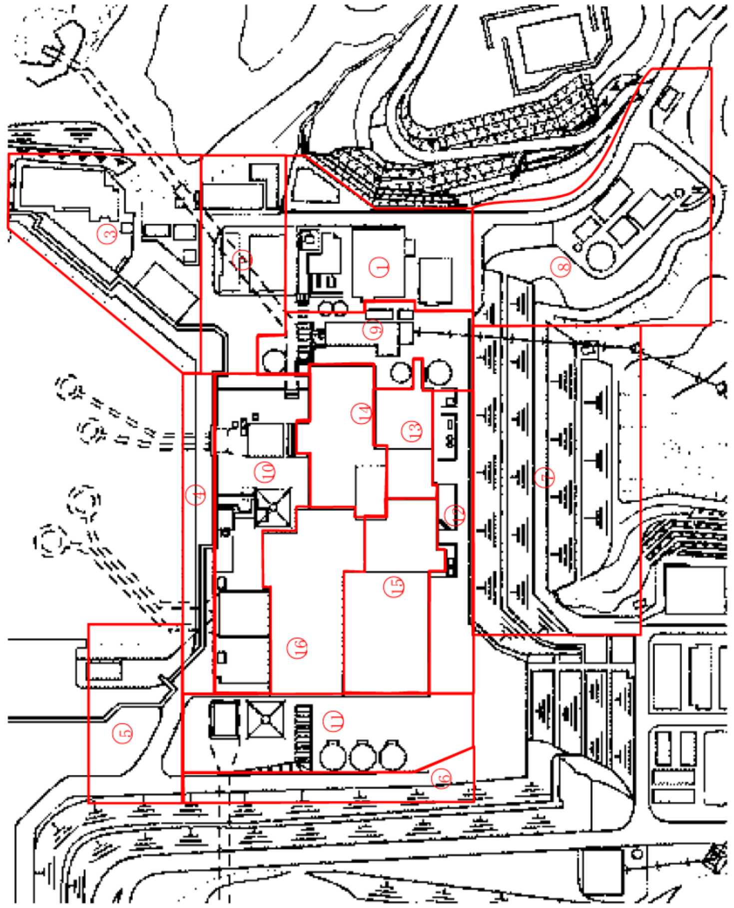


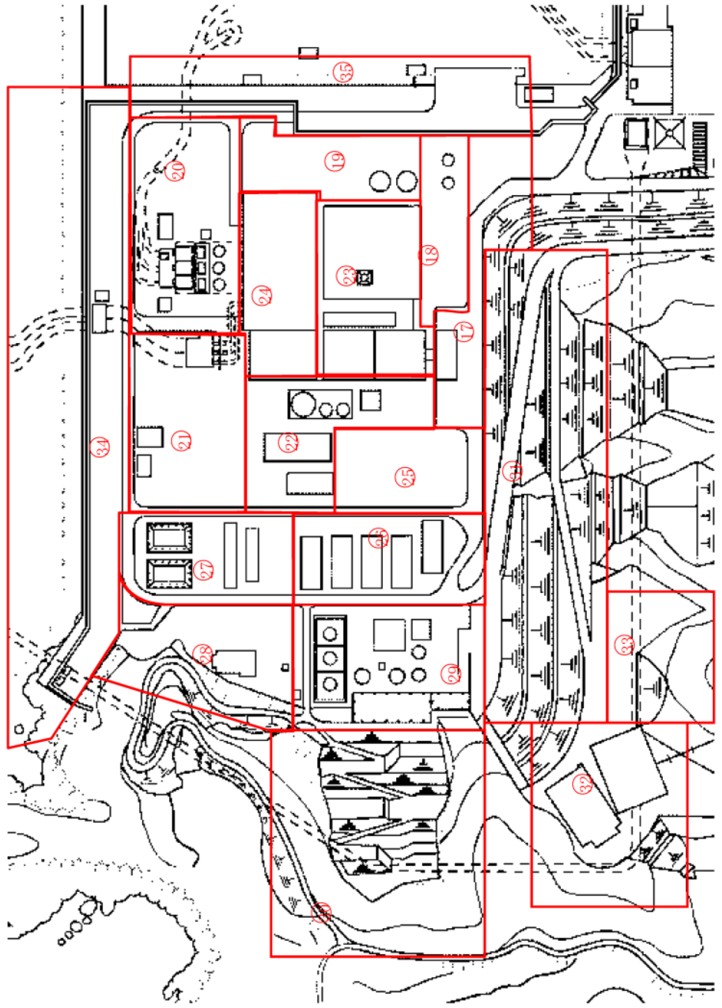
図 3.3.2 島根原子力発電所　竜巻飛来物現地調査区画図（全体図）

備考

・プラント配置等による相違

【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 図 3.3.3 島根原子力発電所　竜巻飛来物現地調査区画図（１，２号炉周辺）	・プラント配置等による相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 図3.3.4 島根原子力発電所　竜巻飛来物現地調査区画図（３号炉周辺）	・プラント配置等による相違 【柏崎6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
飛来物調査の結果として，次々頁より，柏崎刈羽原子力発電所において確認した飛来物源をエリアごとに示す。 また，表3.3.2 に，飛来物調査の結果を踏まえ，飛来物の形状（棒状，板状，塊状），サイズ（大，中，小）及び柔※1，剛※1 等の特徴を踏まえ飛来物源を詳細に分類した結果を示す。 ※1：柔（木製又は中空状，複数の材からなる），剛（コンクリート又は鋼製で密実，単体からなる）	2.2　発電所構内の物品の調査結果 調査の結果，第 2.2－1 表に示す種類の物品が発電所において確認された。調査エリアごとの主な物品を以降に示す。		（島根２号炉は「3.3.2.2 現地調査結果の整理」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

表 3.3.2 代表的な飛来物の抽出結果

		棒状			板状			塊状		
		大	中	小	大	中	小	大	中	小
常設物	剛	－	電柱	－	－	－	ﾏﾝﾎｰﾙ蓋	－	－	－
	柔	－	－	－	－	－	－	－	－	－
仮設物	剛	ｺﾝｸﾘｰﾄ柱	鉄骨 (ｶﾞｲﾄﾞ)鋼製材※ 角型鋼管（小,大） 鋼材	(ｶﾞｲﾄﾞ)鋼製ﾊﾟｲﾌﾟ※ 鋼製車止め ｶﾞｽﾎﾞﾝﾍﾞ	ﾄﾚｰﾗｰ荷台	ｸﾚｰﾝｳｪｲﾄ（2t） (ｶﾞｲﾄﾞ)ｺﾝｸﾘｰﾄ板※ ｺﾝｸﾘｰﾄ板 鋼矢板 鋼製架台 敷鉄板(薄,厚)	ｸﾚｰﾝｳｪｲﾄ（250kg, 500kg） 鋼製看板 仮設分電盤	－	鋼製ﾎﾞﾋﾞﾝ ｸﾚｰﾝｳｪｲﾄ（5t） 発電機(大)	ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ 砂利 発電機（小）
	柔	代替原子炉補機冷却系	－	－	－	－	－	乗用車 (ｶﾞｲﾄﾞ)ﾄﾗｯｸ※ ﾄﾗｯｸ 消防車 電源車 ﾊﾞｽ ﾄﾞﾗﾑ缶 ｸﾚｰﾝ車 ﾎｲｰﾙﾛｰﾀﾞ ﾌﾟﾚﾊﾌﾞ小屋 仮設小屋 (ｶﾞｲﾄﾞ)ｺﾝﾃﾅﾎﾞｯｸｽ※ 鋼製ﾀﾝｸ ﾌｫｰｸﾘﾌﾄ	木製ﾎﾞﾋﾞﾝ 軽乗用車 産廃ｺﾝﾃﾅ 自動販売機	空調室外機
二次飛来物	剛	－	仮設足場ﾊﾟｲﾌﾟ(4m)	仮設足場ﾊﾟｲﾌﾟ(2m)	屋根材（ALC板） 外壁(ｾﾒﾝﾄ板) ﾌﾞﾛｰｱｳﾄﾊﾟﾈﾙ	扉 仮設足場板(鋼製)	－	－	－	－
	柔	屋根材(鋼板)	雨樋	－	ｼｬｯﾀｰ 外壁(鋼板)	仮設足場板(ｱﾙﾐ)	－	－	－	照明器具

※：ガイドにおいてサイズ及び質量が記載されている物品

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 2.2－1 表　発電所における主な飛来物源の種類

棒状※	板状※	塊状※	
・バリケード ・ベンチ（常設） ・樹木（倒木，伐採木），材木 ・鉄骨 ・鋼管 ・ボンベ ・樹脂製パイプ	・樹脂製蓋 ・コンクリート製蓋 ・マンホール蓋 ・グレーチング ・カーブミラー ・看板，標識 ・鋼製敷板 ・鋼製スロープ ・鋼製蓋 ・ベンチ（仮設） ・足場板，足場枠 ・パレット（鋼製） ・パレット（木製，樹脂製） ・時計 ・仮囲い板，仮設フェンス	・ドラム缶 ・消防車 ・トラック ・社用バス ・乗用車 ・コンテナ ・物置 ・洗濯機 ・仮設電源 ・建設機械 ・運搬台車 ・鋼製ボックス ・下駄箱 ・カラーコーン ・消火器 ・消火設備格納箱	・フォークリフト ・バイク，自転車 ・土のう ・自動販売機 ・ケーブルドラム ・仮設トイレ ・オブジェ ・鋼製ブロック ・コンクリート製ブロック ・木片，木製品 ・プレハブ小屋 ・プラスチック容器 ・什器類 ・ホース，ケーブル類 ・空調室外機 ・鋼製ステップ

※　各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり，ジャンル内の物品全てが同一の形状となる訳ではない。

島根原子力発電所　２号炉

備考

・想定飛来物の設置状況の相違

【柏崎 6/7，東海第二】

・想定飛来物の分類方法の相違

【東海第二】

島根２号炉は，抽出した想定飛来物を剛・柔の観点でも分類している

（島根２号炉は，「3.3.2.2 現地調査結果の整理」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉

①5～7号建屋周辺エリア（常設・仮設物）


①-1 仮設小屋

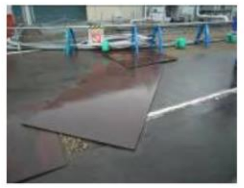

①-2 仮設小屋


①-3 発電機


①-4 鋼板


①-5 送水用配管蓋


①-6 仮設分電盤


①-7 敷鉄板


①-8 鋼製パイプ


①-9 仮設足場板


①-10 配電盤


①-11 仮設小屋


①-12 鋼製材

東海第二発電所

エリア①で確認された主な飛来物源


#1　乗用車

#2　プレハブ小屋


#6　パレット（木製又は樹脂製）


#8　鋼管


#9　ボンベ


#11　ドラム缶


#13　ケーブルドラム


#17　ケーブルドラム

島根原子力発電所　２号炉

【①：事務本館エリア】

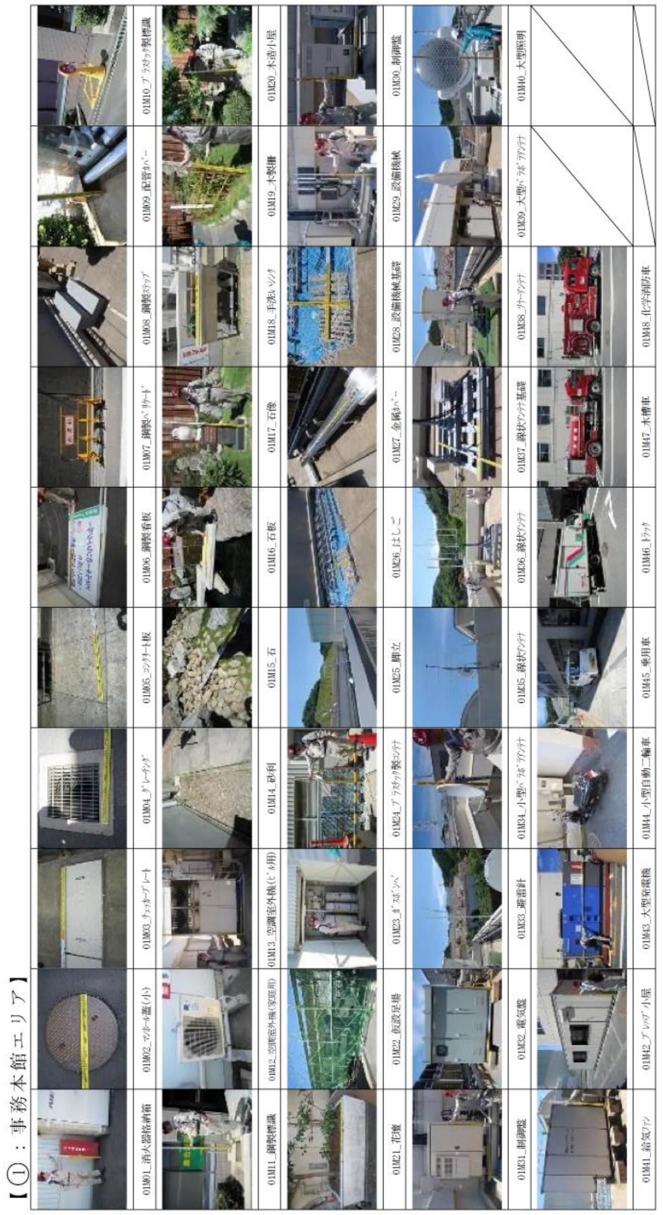


図3.3.5 現地調査結果（1/30）

備考

・想定飛来物の設置状況の相違

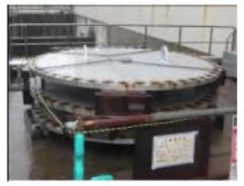
【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）


①-13 空調室外機


①-14 消火器箱（小），（大）


①-15 鋼製ボビン


①-16 マンホール蓋


①-17 マンホール蓋


①-18 グレーチング

①-19 ホース格納箱


①-20 分電盤


①-21 チェッカープレート


①-22 乗用車


①-23 鋼製架台


①-24 FRP タンク
(FRP=繊維強化プラスチック)

東海第二発電所（2018.9.18 版）

#19　物置

#20　物置


#21　コンテナ


#22　トラック


#27　フォークリフト

#28　乗用車


#32　消火器

#33　消火設備格納箱

島根原子力発電所　２号炉

【②：1，2号炉倉庫エリア】

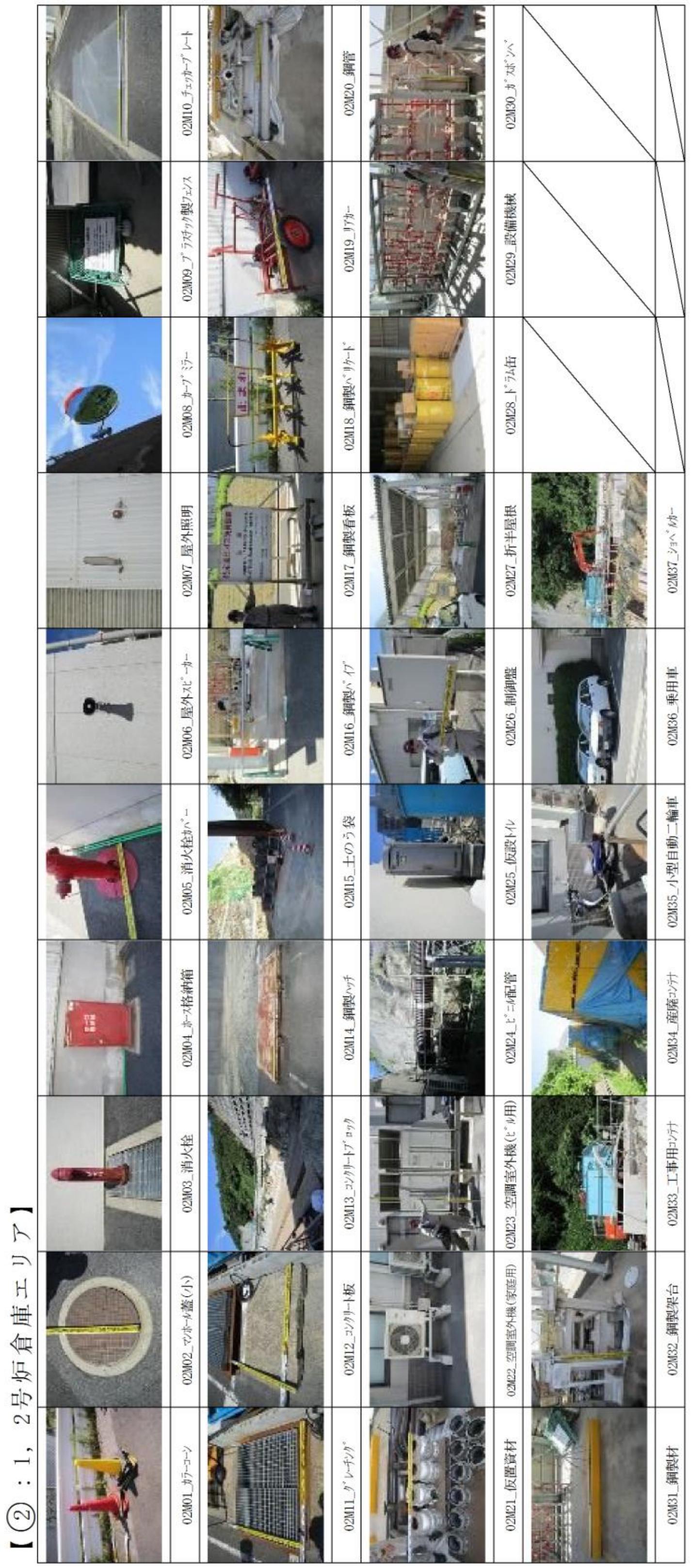
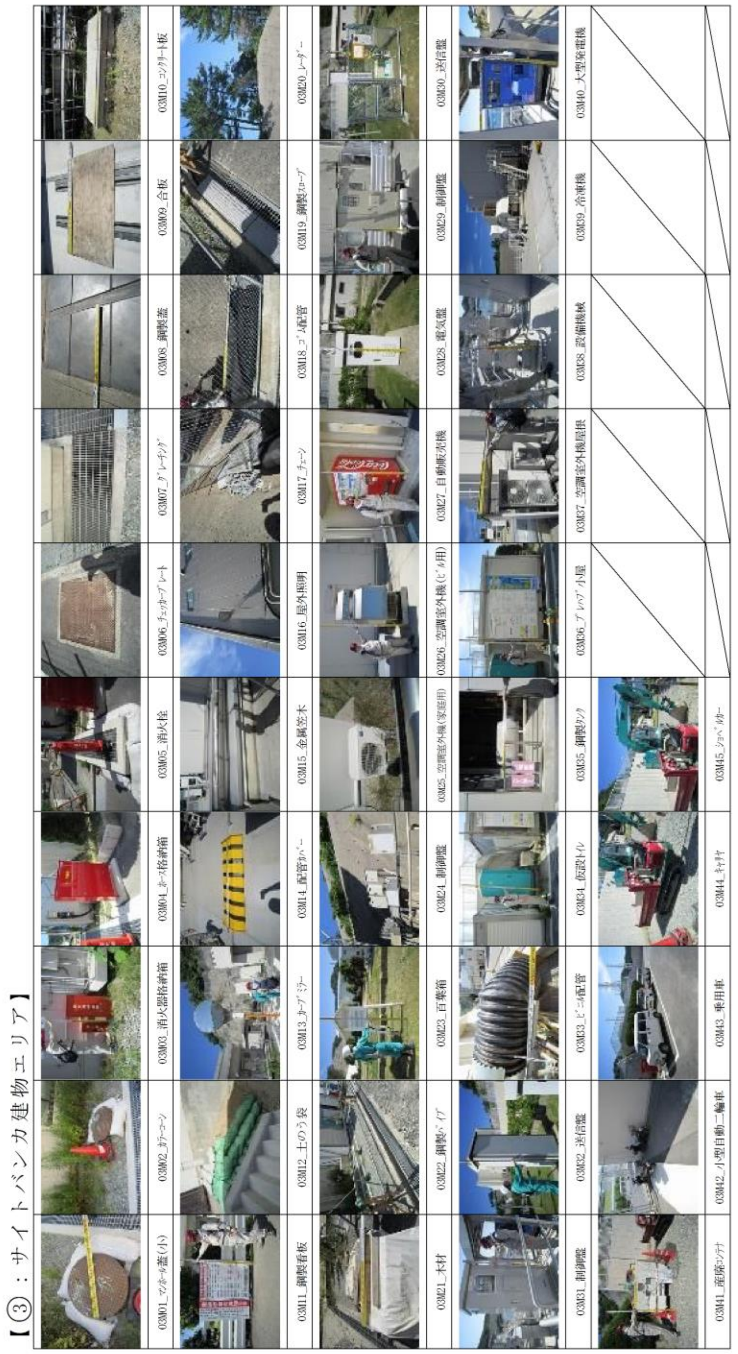


図3.3.5 現地調査結果 (2/30)

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 ①-25 カラーコーン  ①-26 消火器  ①-27 仮設小屋  ①-28 角型鋼管（小），（大）  ①-29 鋼製蓋  ①-30 鉄骨  ①-31 鋼製タンク  ①-32 工事看板  ①-33 工事看板  ①-34 鉄骨  ①-35 チェッカープレート  ①-36 変圧器  ①-37 変圧器  ①-38 常設代替交流電源設備 （ガスタービン発電機）  ①-39 軽自動車	 #34　鋼製スロープ  #46　洗濯機  #47　プラスチック容器  #49　マンホール蓋  #50　バイク，自転車  #51　カーブミラー  #53　看板，標識  #54　コンクリート製蓋	【③：サイトバンカ建物エリア】  図3.3.5 現地調査結果（3/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

（二次飛来物）


①-1 仮設足場


①-2 仮設足場


①-3 外壁


①-4 屋根（ポリカーボネー


①-5 屋根


①-6 屋根


①-7 猿梯子


①-8 シャッター


①-9 庇，猿梯子，扉


①-10 屋根


①-11 窓ガラス


①-12 屋根（ガラス）


①-13 シャッター
（大物搬入口）


①-14 屋根


①-15 ルーバ

東海第二発電所（2018.9.18 版）


#56　バリケード


#58　樹脂製蓋


#61　鋼製敷板


#62　鋼製ボックス


#63，#64　仮設電源


#65　フレコンバッグ入資材


#66　プレハブ小屋


#68　プラスチック容器

島根原子力発電所　２号炉

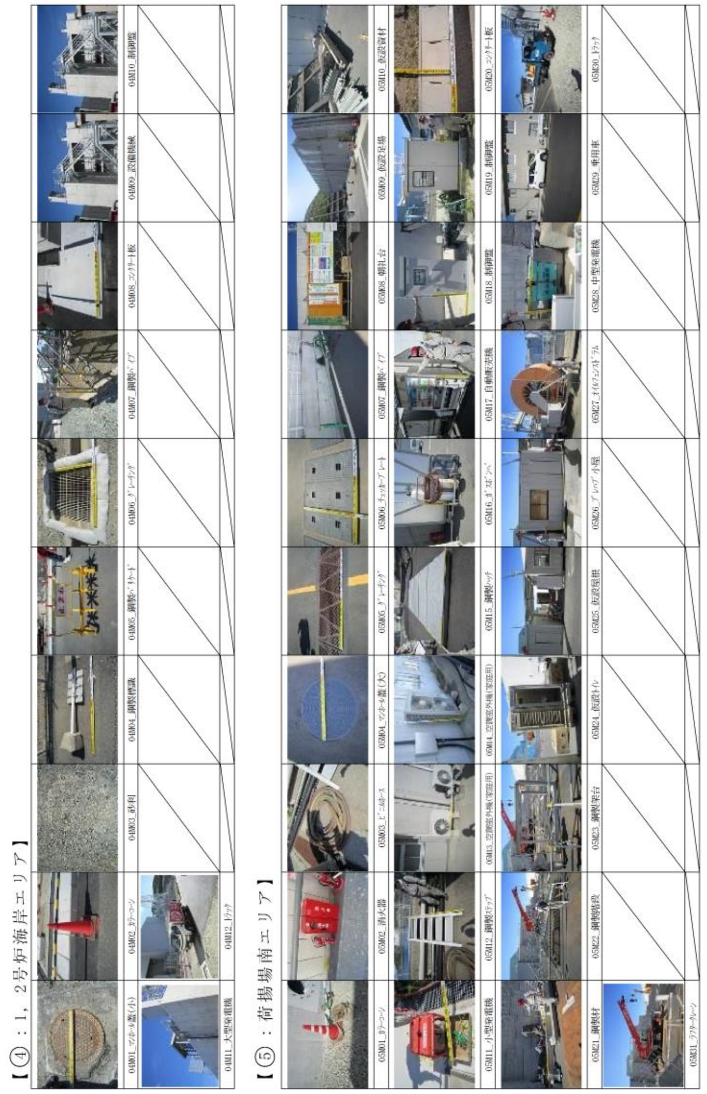


図3.3.5 現地調査結果（4/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考


①-16 屋根，シャッター


①-17 アンテナ


①-18 配管


①-19 ブローアウトパネル


①-20 扉，換気フード，猿梯子


①-21 拡声器


①-22 外壁


①-23 シャッター，配管


①-24 換気フード


①-25 配管


①-26 屋根


①-27 階段


①-28 階段


①-29 アンテナ


①-30 猿梯子


#69　鉄骨


#73　コンテナ


#74　空調室外機


#75　プレハブ小屋

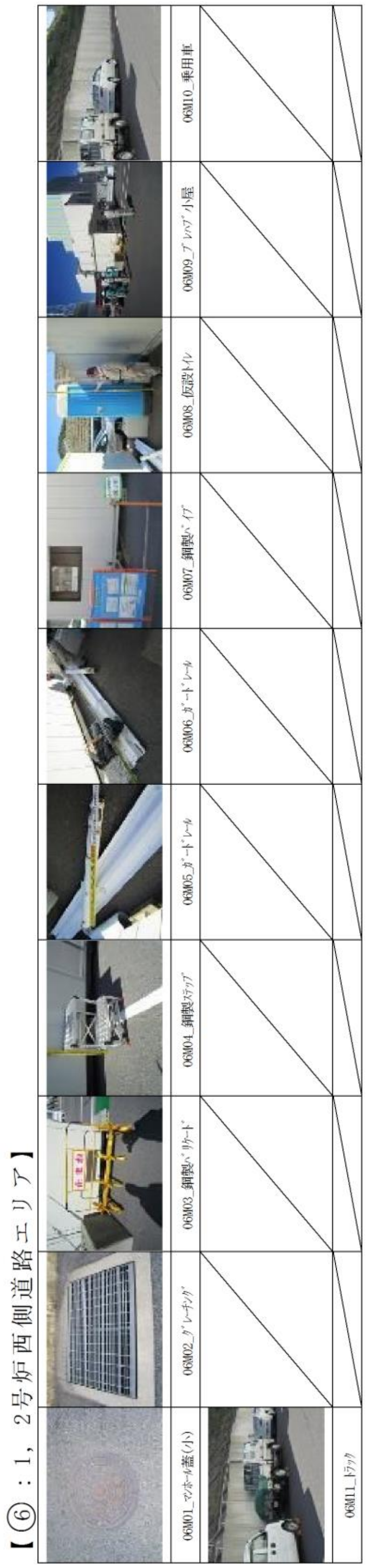

#76　ケーブルドラム


#77　建設機械


#79　消防車


#81　コンクリート製蓋

【⑥：1，2号炉西側道路エリア】



【⑦：1，2号炉南側道路エリア】

図 3.3.5 現地調査結果（5/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 ①-31 配管  ①-32 扉，手摺	 #121　コンクリート製ブロック  #122　コンクリートブロック	【⑧：1，2号炉駐車場エリア】  図3.3.5 現地調査結果（6/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

②大湊側高台周辺エリア（常設・仮設物）


②-1 コンクリート柱


②-2 発電機


②-3 発電機


②-4 木製ボビン


②-5 鋼製ボビン


②-6 カーブミラー


②-7 木板


②-8 ホイールローダ


②-9 可搬型代替注水ポンプ（消防車）


②-10 可搬型代替交流電源設備（電源車）


②-11 分電盤


②-12 木材

エリア②で確認された主な飛来物源


#84　鋼製蓋


#87　グレーチング


#89　鋼製ステップ


#90　ケーブルドラム


#92　仮設電源


#93　ドラム缶


#97　鉄骨


#100　ケーブルドラム

【⑨：1，2号炉東エリア】

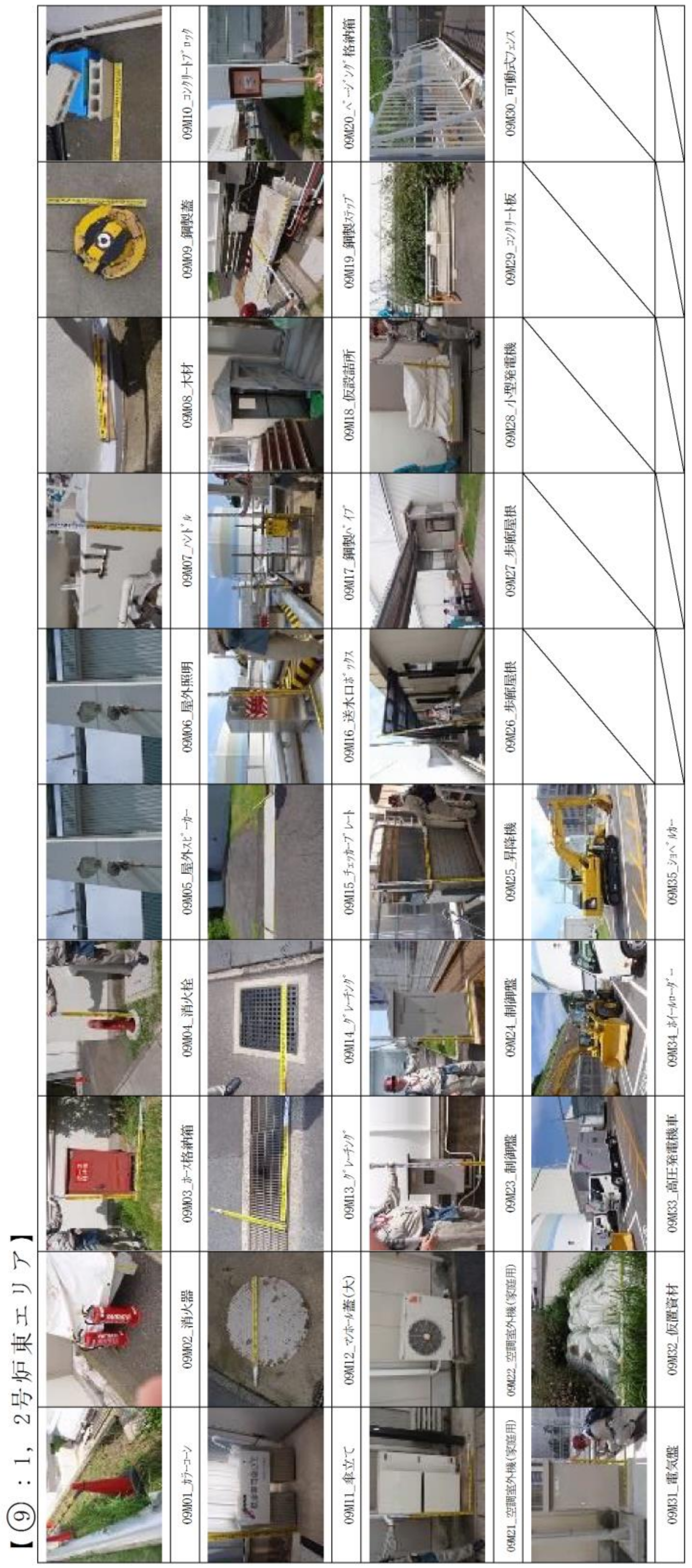


図3.3.5 現地調査結果（7/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 ②-13 鋼製ボビン  ②-14 ホース  ②-15 ホース  ②-16 金属容器  ②-17 鋼矢板  ②-18 鋼製コンテナ  ②-19 プレハブ小屋  ②-20 プレハブ小屋  ②-21 自動販売機  ②-22 鋼製倉庫  ②-23 大容量送水車  ②-24 泡原液搬送車  ②-25 放水砲  ②-26 代替原子炉補機冷却系  ②-27 タンクローリ（大）	 #101　ホース，ケーブル類  #102　鋼製ボックス  #106　コンテナ  #107　樹木（倒木，伐採木），材木  #110　鉄骨  #112　鋼管  #115　トラック  #117　バイク，自転車	【⑩：１．２号炉北エリア】  図3.3.5 現地調査結果 (8/30)	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考


②-28 タンクローリ（小）


②-29 放射能観測車


②-30 クレーン車

（二次飛来物）


②-1 シャッター


②-2 屋根


②-3 扉


②-4 排気フード

エリア③で確認された主な飛来物源


#131　コンテナ


#138　鋼管


#139　仮設電源


#141　建設機械


#142　仮設トイレ


#143　鋼管


#144　空調室外機


#145　空調室外機

【①：1，2号炉西エリア】

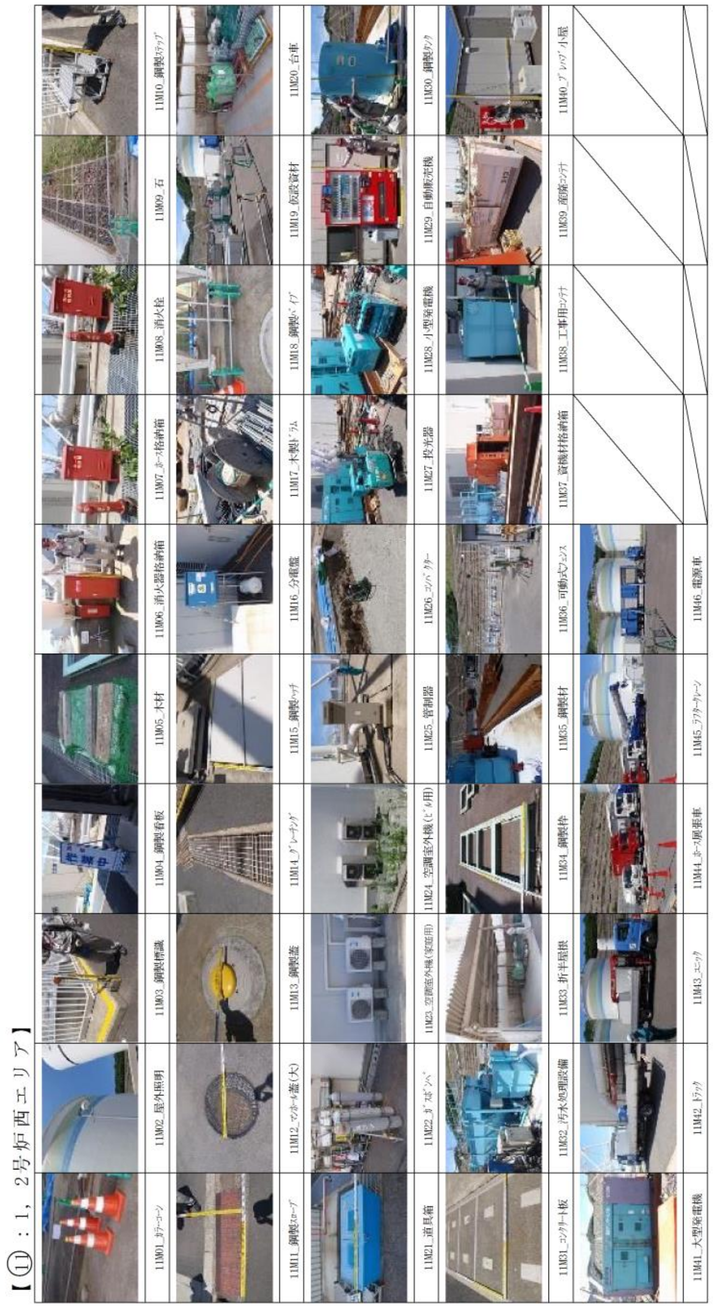


図 3.3.5 現地調査結果（9/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

③中央土捨場エリア（常設・仮設物）


③-1 ﾁｪｯｶｰﾌﾟﾚｰﾄ


③-2 鋼製車止め（単管バリケード）


③-3 仮設分電盤


③-4 消火器

③-5 クッションドラム


③-6 ｸﾞﾚｰﾁﾝｸﾞ


③-7 ｺﾝｸﾘｰﾄ板（排水溝蓋）


③-8 ｸﾞﾚｰﾁﾝｸﾞ


③-9 鋼製ﾌｪﾝｽ

③-10 消火栓蓋


③-11 ﾁｪｯｶｰﾌﾟﾚｰﾄ


③-12 鋼製ﾌｪﾝｽ


③-13 移動式投光器（バルーンライト）


③-14 建設重機（バックホー）


③-15 敷鉄板


#152　消火設備格納箱


#153　消火設備格納箱


#155　プレハブ小屋


#156　資機材類


#163　鉄骨


#164　鋼製蓋


#165　バリケード


#176　ドラム缶

図3.3.5 現地調査結果（10/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 ③-16 移動式投光器 (バルーンライト)  ③-17 発電機  ③-18 高圧洗浄機, 水タンク  ③-19 敷鉄板  ③-20 産廃ｺﾝﾃﾅ  ③-21 ﾌﾟﾚﾊﾌﾞ小屋  ③-22 仮設小屋  ③-23 プレハブ小屋  ③-24 プレハブ小屋  ③-25 梯子  ③-26 自動販売機  ③-27 ﾌﾟﾚﾊﾌﾞ小屋  ③-28 乗用車  ③-29 道路標識  ③-30 木材	 #177　鋼製ステップ	 図 3.3.5 現地調査結果（11/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017. 12. 20 版）	東海第二発電所（2018. 9. 18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考


③-31 カーブミラー


③-32 建設重機（バックホー）


③-33 工事看板


③-34 敷鉄板


③-35 鋼製パイプ


③-36 鉄塊


③-37 フレックス管


③-38 トラック


③-39 マンホール蓋


③-40 分電盤


③-41 仮設足場板


③-42 仮設足場枠組材


③-43 木材


③-44 テント


③-45 信号機

エリア④で確認された主な飛来物源

#181　バリケード


#182　消防車


#183　消防車


#186　マンホール蓋


#188　カラーコーン


#190　ベンチ（常設）


#194　看板，標識


#198　プラスチック容器

【⑱：3号炉南エリア】

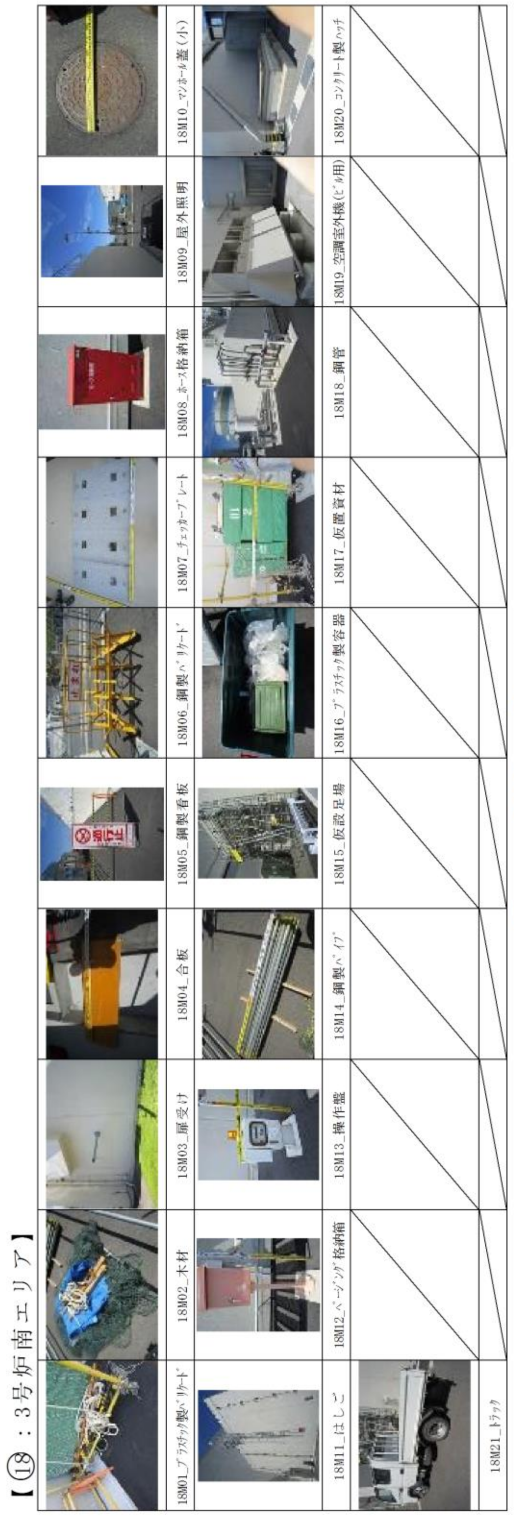

18M01_プラスチック製バリケード
18M02_木材
18M03_扉受け
18M04_合板
18M05_鋼製看板
18M06_鋼製バリケード
18M07_チェッカープレート
18M08_ホース格納箱
18M09_屋外照明
18M10_マンホール蓋（小）
18M11_はしご
18M12_ページング格納箱
18M13_操作盤
18M14_鋼製パイプ
18M15_仮設足場
18M16_プラスチック製容器
18M17_仮置資材
18M18_鋼管
18M19_空調室外機（ビル用）
18M20_コンクリート製ハッチ
18M21_トラック

図3.3.5 現地調査結果（12/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考


③-46 仮設ﾄｲﾚ


③-47 ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ


③-48 ベンチ


③-49 ドラム缶

（二次飛来物）


③-1 窓ガラス


③-2 階段，窓ガラス，扉


#199　オブジェ（タービン）


#201　コンクリート製ブロック


#203　ベンチ（常設）


#204　下駄箱


#205　自動販売機


#210　空調室外機


#215，#216　社用バス


#217　鋼製ステップ

【⑲：３号炉東エリア】

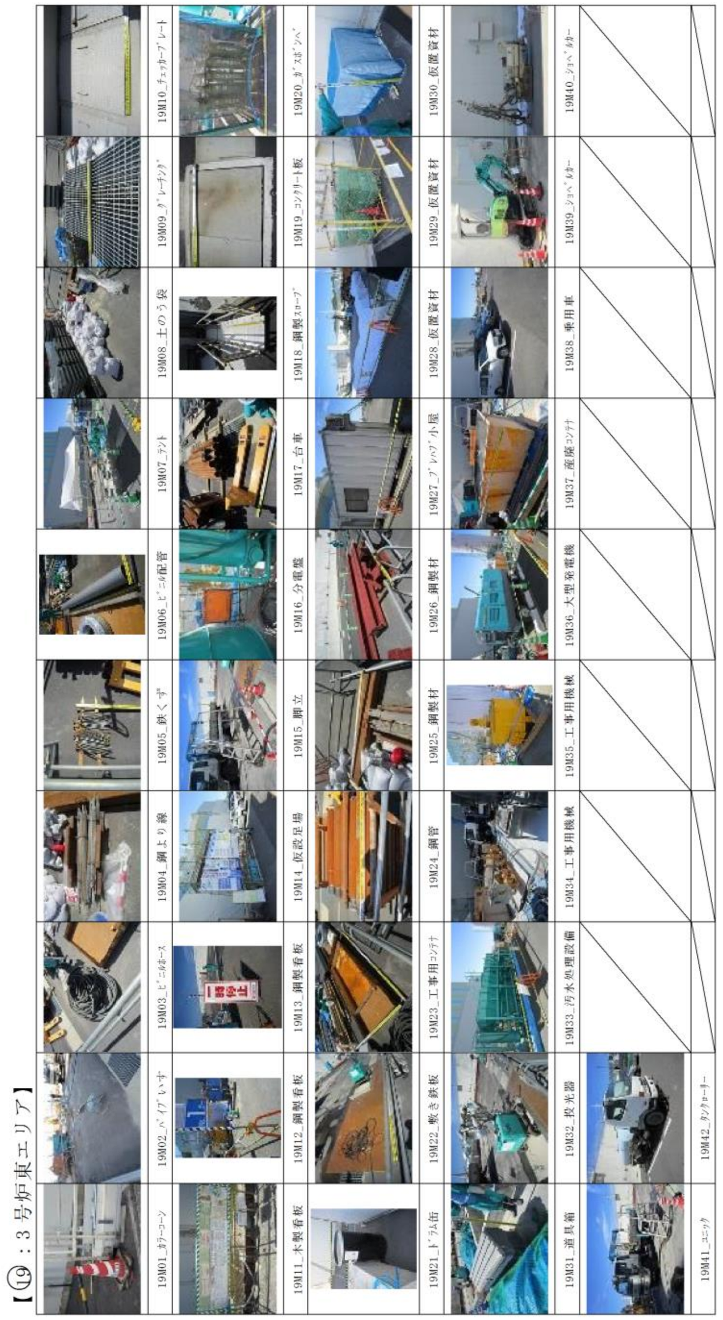


図3.3.5 現地調査結果（13/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
④第二企業センター棟周辺エリア（常設・仮設物）  ④-1 ﾏﾝﾎｰﾙ蓋  ④-2 ｸﾞﾚｰﾁﾝｸﾞ  ④-3 ｺﾝｸﾘｰﾄ板 （排水溝蓋）  ④-4 土のう袋  ④-5 分電盤  ④-6 屋外照明  ④-7 乗用車  ④-8 道路標識  ④-9 配電盤  ④-10 ﾌｪﾝｽ（単管柵）  ④-11 ｱﾝﾃﾅ  ④-12 砂利  ④-13 鋼製車止め  ④-14 空調室外機  ④-15 ﾁｪｯｶｰﾌﾟﾚｰﾄ	 #219　乗用車  #220　カーブミラー  #222　物置  #225　鋼製ステップ  #226　トラック  #228　プレハブ小屋  #347　物置  #350　鋼製ボックス	【⑳：3号炉北東エリア】  図 3.3.5 現地調査結果（14/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）


④-16 排水溝蓋


④-17 消火器箱（小）


④-18 ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ


④-19 ｸﾚｰﾝｳｪｲﾄ


④-20 FRP タンク
（FRP=繊維強化プラスチック）


④-21 制御盤


④-22 乗用車


④-23 鋼製看板


④-24 ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ


④-25 鋼管


④-26 ﾌﾟﾚﾊﾌﾞ小屋


④-27 ｽﾃｯﾌﾟ


④-28 自動販売機


④-29 ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ


④-30 仮設鉄骨

東海第二発電所（2018.9.18 版）


#351　木片，木製品


#352 鋼管


#370　プレハブ小屋


#371　物置


#372　フォークリフト


#373　物置


#376　鋼管


#379　パレット（木製又は樹脂製）

島根原子力発電所　２号炉

【㉑：3号炉北西エリア】

【㉒：3号炉西エリア】

図 3.3.5 現地調査結果（15/30）

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉


④-31 木製ﾎﾞﾋﾞﾝ


④-32 ﾄﾗｯｸ


④-33 ﾊﾞｽ


④-34 角型鋼管


④-35 産廃コンテナ


④-36 産廃コンテナ


④-37 屋外照明


④-38 鋼製架台


④-39 アミコンテナ


④-40 鋼製ﾌｪﾝｽ


④-41 鋼製車止め
(単管バリケード)


④-42 木材


④-43 H 鋼


④-44 鋼製ﾊﾟｲﾌﾟ


④-45 砂利

東海第二発電所


#380, #381　鋼製ブロック


#382　看板，標識


#383　物置


#388　コンクリート製蓋


#392　鋼製蓋


#394　鋼製敷板

#398　仮設トイレ


#400　鋼製ボックス

島根原子力発電所　２号炉

【㉒：3号炉原子炉建物屋上】
【㉑：3号炉タービン建物屋上】

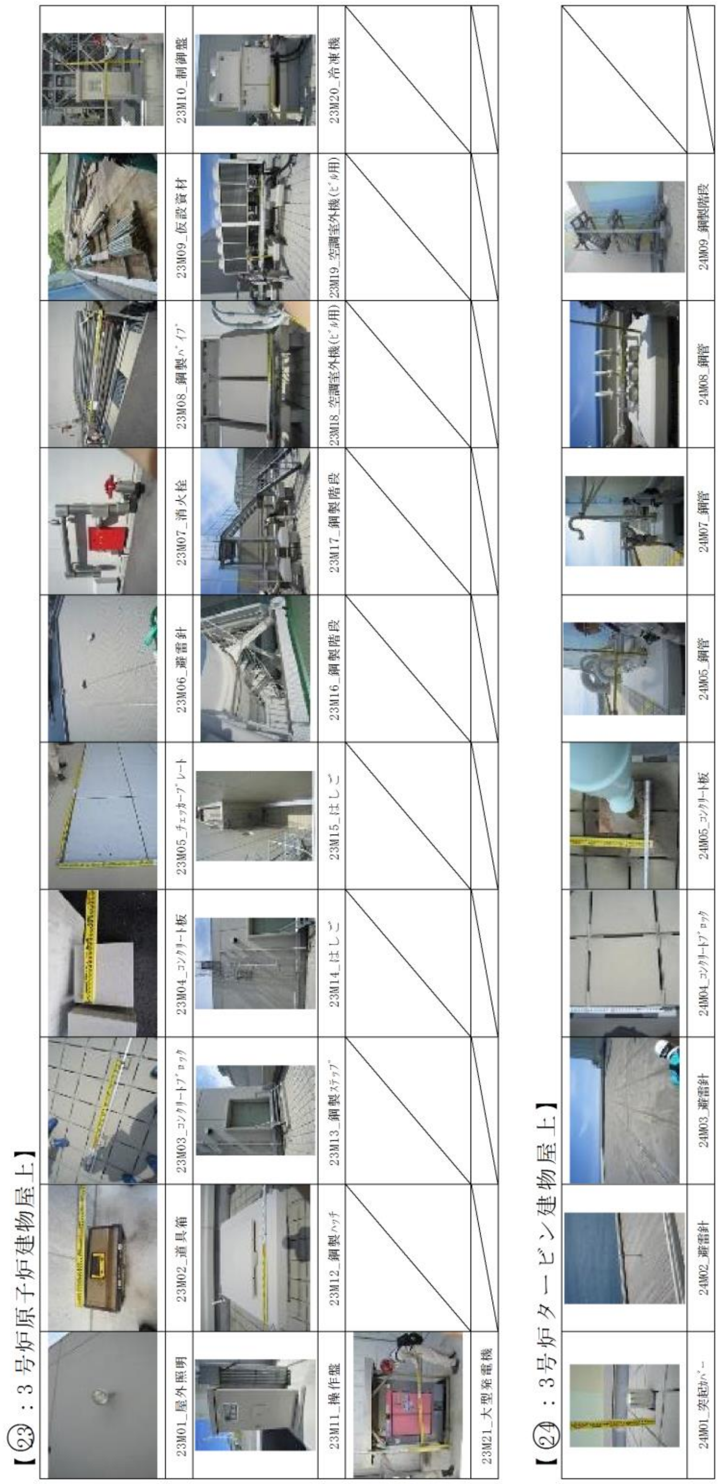


図 3.3.5 現地調査結果 (16/30)

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉

④-46 産廃ｺﾝﾃﾅ

④-47 自動販売機

④-48 ｵｲﾙ缶

④-49 ｶﾞｽﾎﾞﾝﾍﾞ

④-50 仮設小屋

④-51 乗用車

④-52 角型鋼管

④-53 ｱﾐｺﾝﾃﾅ

④-54 ﾌﾟﾚﾊﾌﾞ車庫

④-55 鋼製ﾌｪﾝｽ

④-56 ﾏﾝﾎｰﾙ蓋

④-57 鋼製ﾌｪﾝｽ

④-58 流し台

④-59 ﾄﾚｰﾗｰ

④-60 ﾄﾚｰﾗｰ荷台

東海第二発電所

#405　樹脂製パイプ

#409　倉庫，#410　自動販売機

#411　鋼製蓋

#412　鋼製蓋

#413　鋼製蓋

#414　プレハブ小屋

#417　コンクリート製ブロック

#418　コンクリート製蓋

島根原子力発電所　２号炉

【㉕：協力会社加工場エリア】

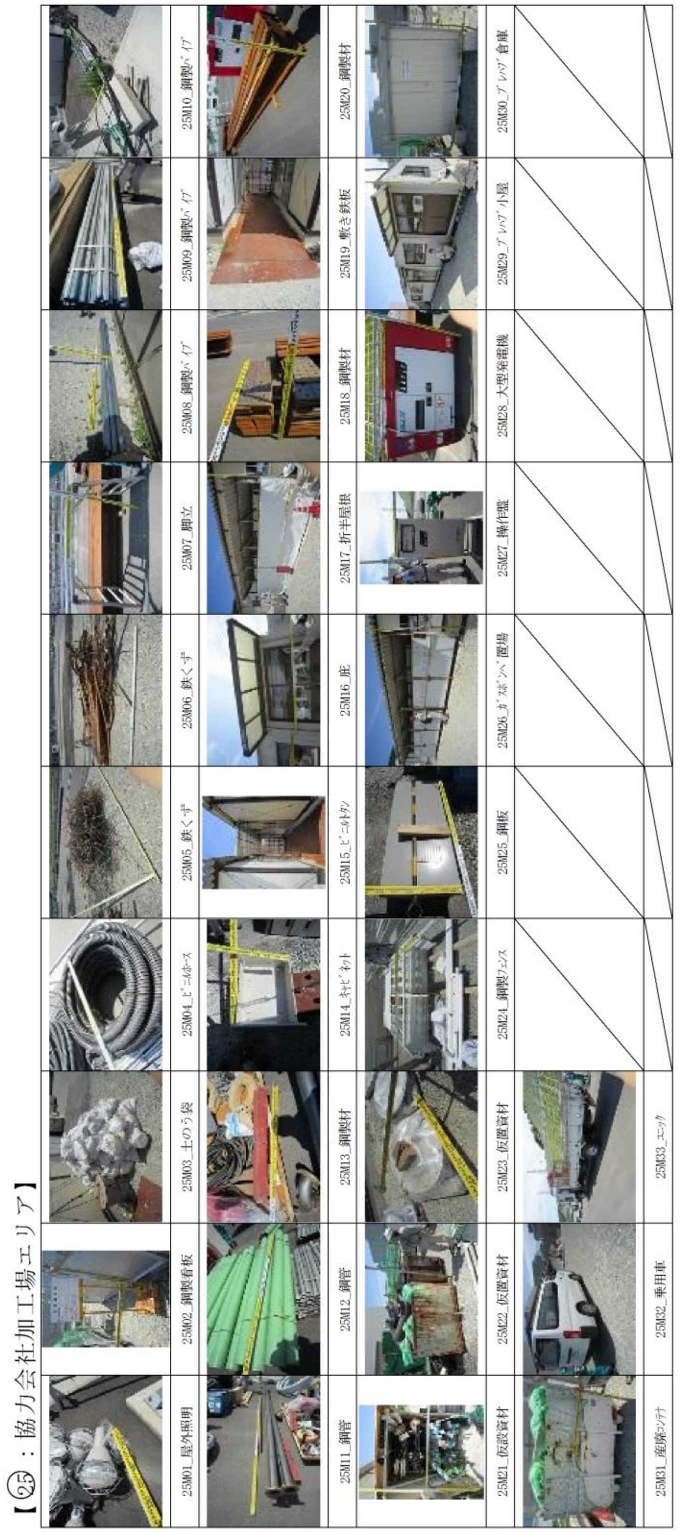


図3.3.5 現地調査結果（17/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

（二次飛来物）


④-1 屋根，外壁


④-2 窓ガラス


④-3 シャッター


④-4 雨樋


④-5 拡声器


④-6 配管


④-7 拡声器，換気フード


④-8 シャッター


④-9 照明器具


④-10 屋根，外壁


④-11 窓ガラス


④-12 窓ガラス


④-13 照明器具


④-14 ルーバ


④-15 猿梯子


#421　ケーブルドラム


#422　鋼製ボックス


#423　鋼製ステップ


#424　プレハブ小屋


#431　樹脂製蓋


#435　コンテナ


#436　鋼製ボックス


#437　鋼製ボックス

【㉖：３号炉倉庫エリア】

図 3.3.5 現地調査結果（18/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉


④-16 煙突


④-17 拡声器


④-18 拡声器


④-19 庇


④-20 換気フード


④-21 扉


④-22 換気フード


④-23 扉


④-24 屋根，外壁


④-25 屋根

東海第二発電所


#469　鋼管


#472　運搬台車


#475　鋼製ステップ


#478　物置


#479　プレハブ小屋


#483　ベンチ（仮設）


#485　樹木（倒木，伐採木），材木


#486　バイク，自転車

島根原子力発電所　２号炉

【㉗：３号炉西側協力会社事務所エリア（東側）】

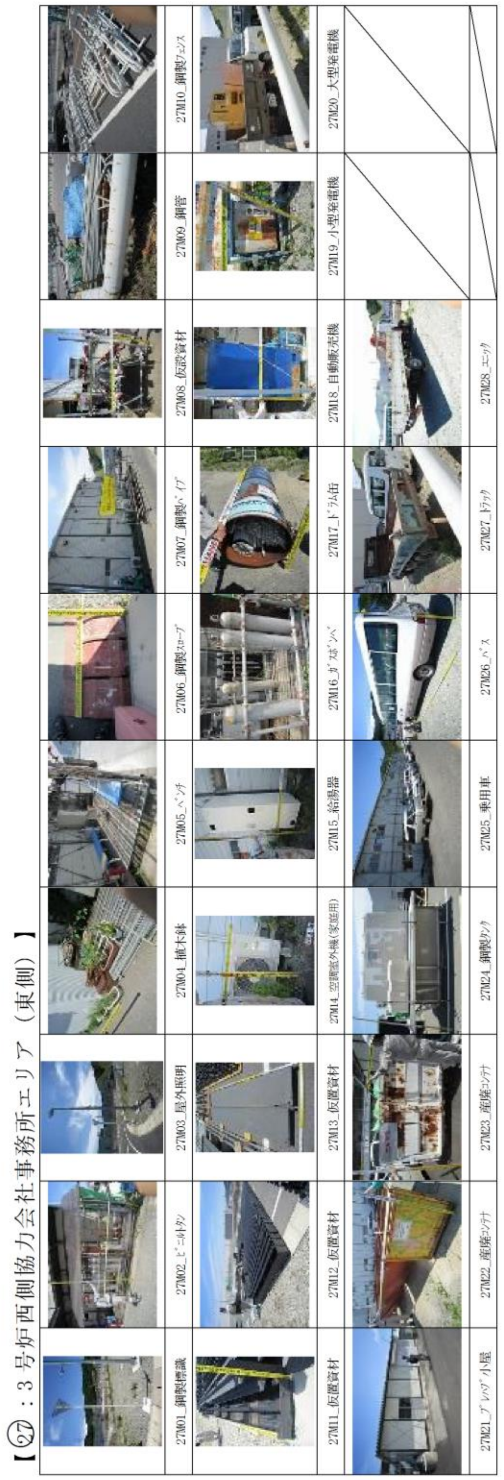


図 3.3.5 現地調査結果（19/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

⑤固体廃棄物貯蔵庫周辺エリア（常設・仮設物）


⑤-1 トラック（ユニック車）


⑤-2 モーター付き排気ファン


⑤-3 屋外照明


⑤-4 鋼製車止め
（単管バリケード）


⑤-5 コンクリート板


⑤-6 グレーチング


⑤-7 ガードレール


⑤-8 グレーチング


⑤-9 プレハブ小屋


⑤-10 鋼製フェンス


⑤-11 鋼板


⑤-12 防火標識


⑤-13 マンホール蓋


⑤-14 敷鉄板


⑤-15 制御盤


#487　バイク，自転車


#488　バイク，自転車


#490　空調室外機

【㉘：３号炉西側協力会社事務所エリア（西側）】

図 3.3.5 現地調査結果 (20/30)

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017. 12. 20 版）	東海第二発電所（2018. 9. 18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考


⑤-16 屋外照明


⑤-17 立て看板


⑤-18 ｺﾝﾃﾅﾎﾞｯｸｽ


⑤-19 ｺﾝﾃﾅﾎﾞｯｸｽ


⑤-20 鋼製ﾎﾞﾋﾞﾝ

（二次飛来物）


⑤-1 配管


⑤-2 シャッター，窓ガラス


⑤-3 換気フード


⑤-4 排気フード


⑤-5 シャッター


⑤-6 配管，雨樋


⑤-7 シャッター，扉


⑤-8 猿梯子


⑤-9 鋼製階段

エリア⑤で確認された主な飛来物源


#244　グレーチング


#246　マンホール蓋


#247　プレハブ小屋


#250　運搬台車


#251　ベンチ（仮設）

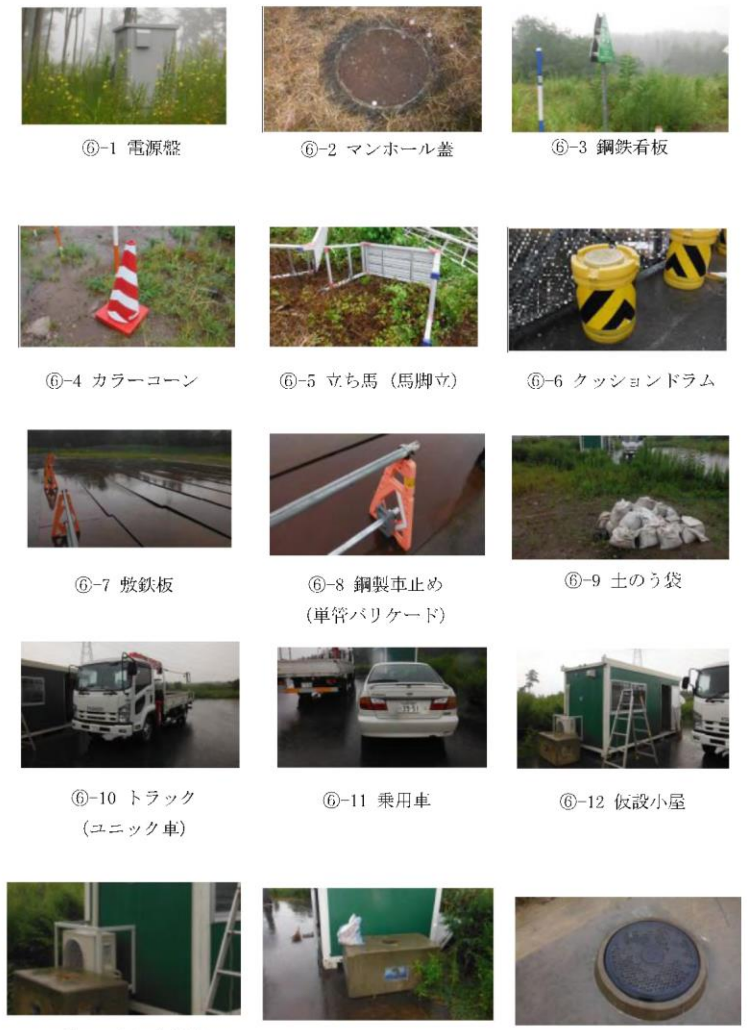
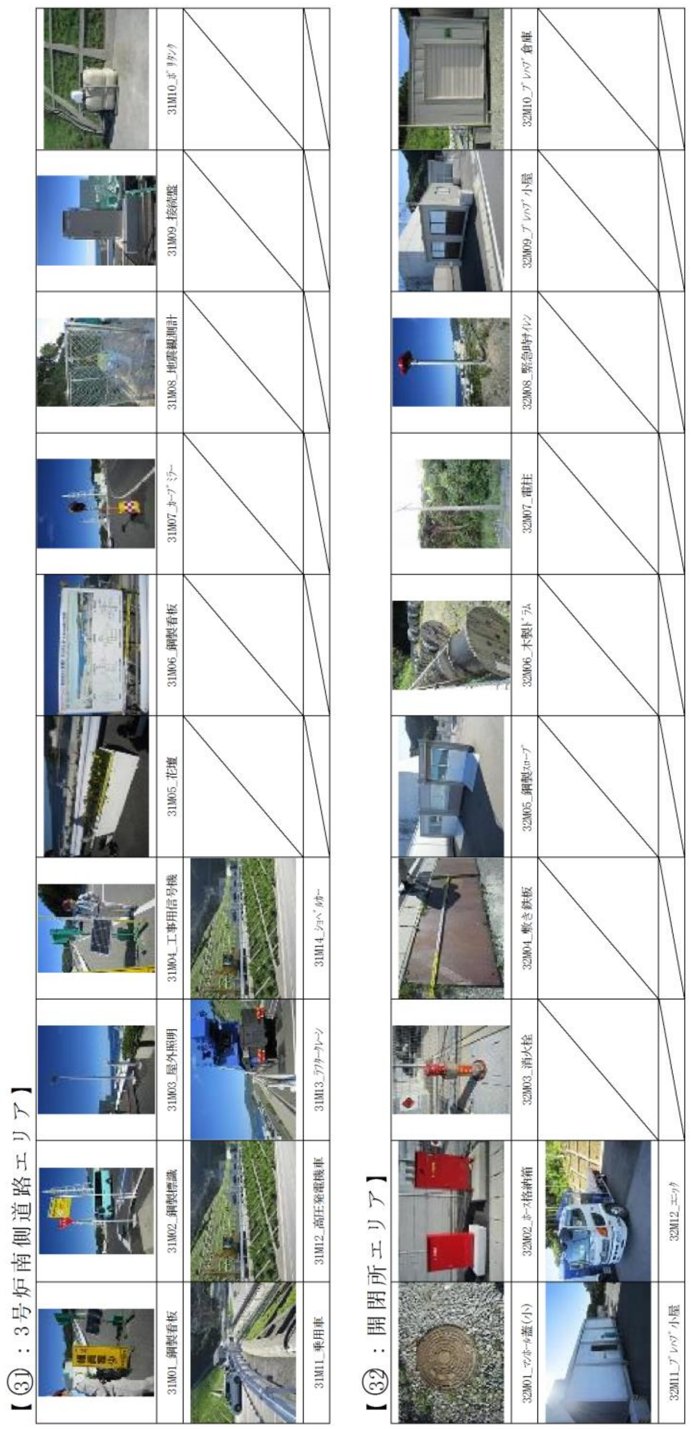

#252　トラック

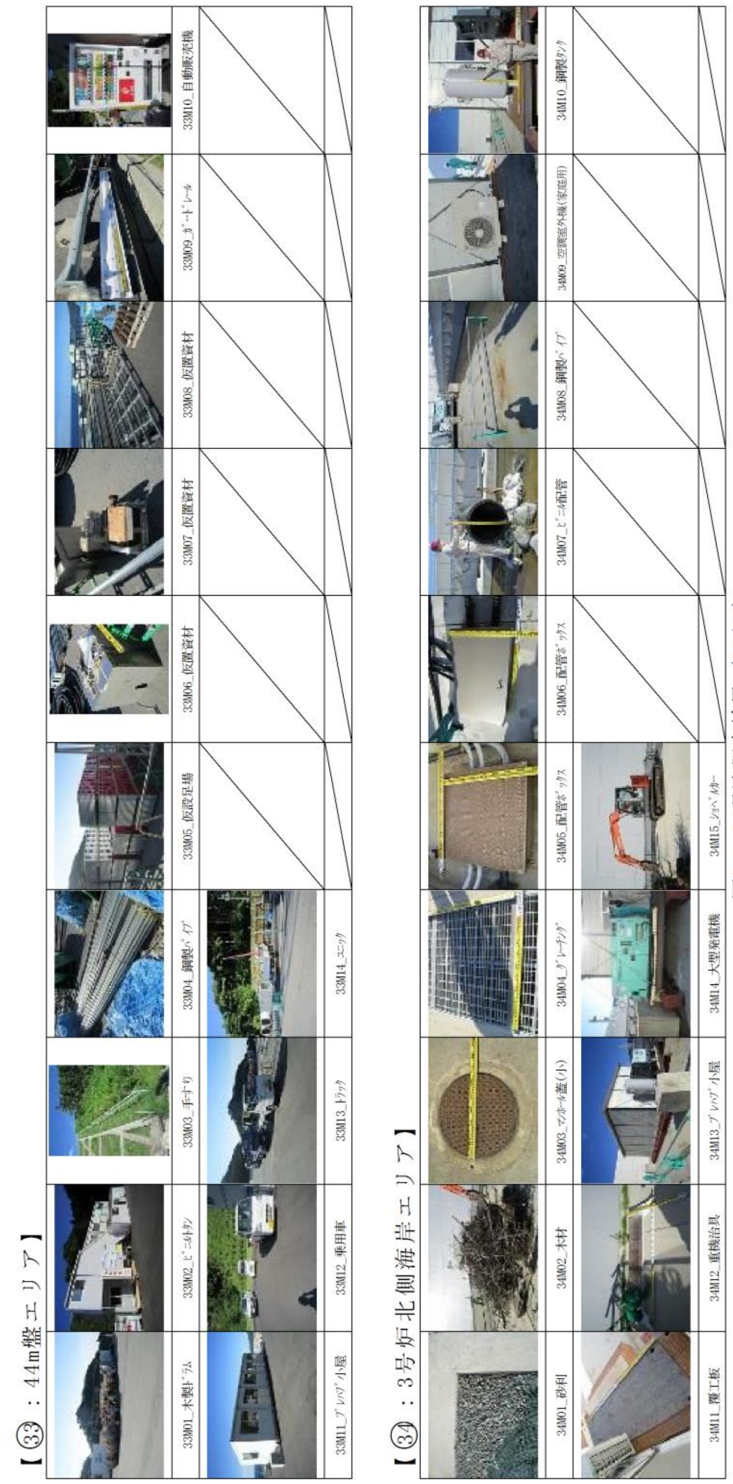

#253　鋼製蓋


#258　プラスチック容器

図 3.3.5 現地調査結果 (21/30)

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 ⑤-10 排気フード  ⑤-11 屋根，壁  ⑤-12 窓ガラス，屋根  ⑤-13 屋根，シャッター	 #259　物置  #260　プレハブ小屋  #262　仮設電源  #267　物置  #272　足場材，足場枠  #276　建設機械  #279　プレハブ小屋  #281　空調室外機	【㉚：西側法面事務所エリア】  図 3.3.5 現地調査結果（22/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
⑥敷地北側エリア（常設・仮設物）  ⑥-1 電源盤 ⑥-2 マンホール蓋 ⑥-3 鋼鉄看板 ⑥-4 カラーコーン ⑥-5 立ち馬（馬脚立） ⑥-6 クッションドラム ⑥-7 敷鉄板 ⑥-8 鋼製車止め（単管バリケード） ⑥-9 土のう袋 ⑥-10 トラック（ユニック車） ⑥-11 乗用車 ⑥-12 仮設小屋 ⑥-13 空調室外機 ⑥-14 コンクリートブロック ⑥-15 マンホール蓋	 #284　鋼製敷板 #286　鋼管 #287，#288　鋼製ボックス #289　空調室外機 #293　ボンベ #295　ホース，ケーブル類 #298　鋼製スロープ #301　足場板，足場枠	 図 3.3.5 現地調査結果（23/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 ⑥-16 グレーチング  ⑥-17 屋外照明  ⑥-18 消火器箱(大)  ⑥-19 樹木  ⑥-20 避雷器収納箱  ⑥-21 工事看板  ⑥-22 空調室外機  ⑥-23 チェッカープレート  ⑥-24 消火器箱（小）  ⑥-25 電話箱  ⑥-26 カラーコーン  ⑥-27 空調室外機  ⑥-28 車止めポール  ⑥-29 乗用車  ⑥-30 木製ボビン	 #305　鋼製敷板  #307　プレハブ小屋  #309　プラスチック容器  #314　コンクリートブロック  #316　マンホール蓋  #320　パレット（鋼製）  #330　物置  #335　鋼製スロープ	 図3.3.5 現地調査結果（24/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考


⑥-31 電柱


⑥-32 鋼材


⑥-33 鋼管


⑥-34 トラック


⑥-35 フォークリフト


⑥-36 乗用車


⑥-37 鋼製看板


⑥-38 コンクリート板

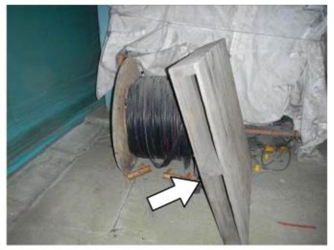
（二次飛来物）


⑥-1 扉，ルーバ


#336　什器類


#337　敷鉄板


#338　ケーブルドラム

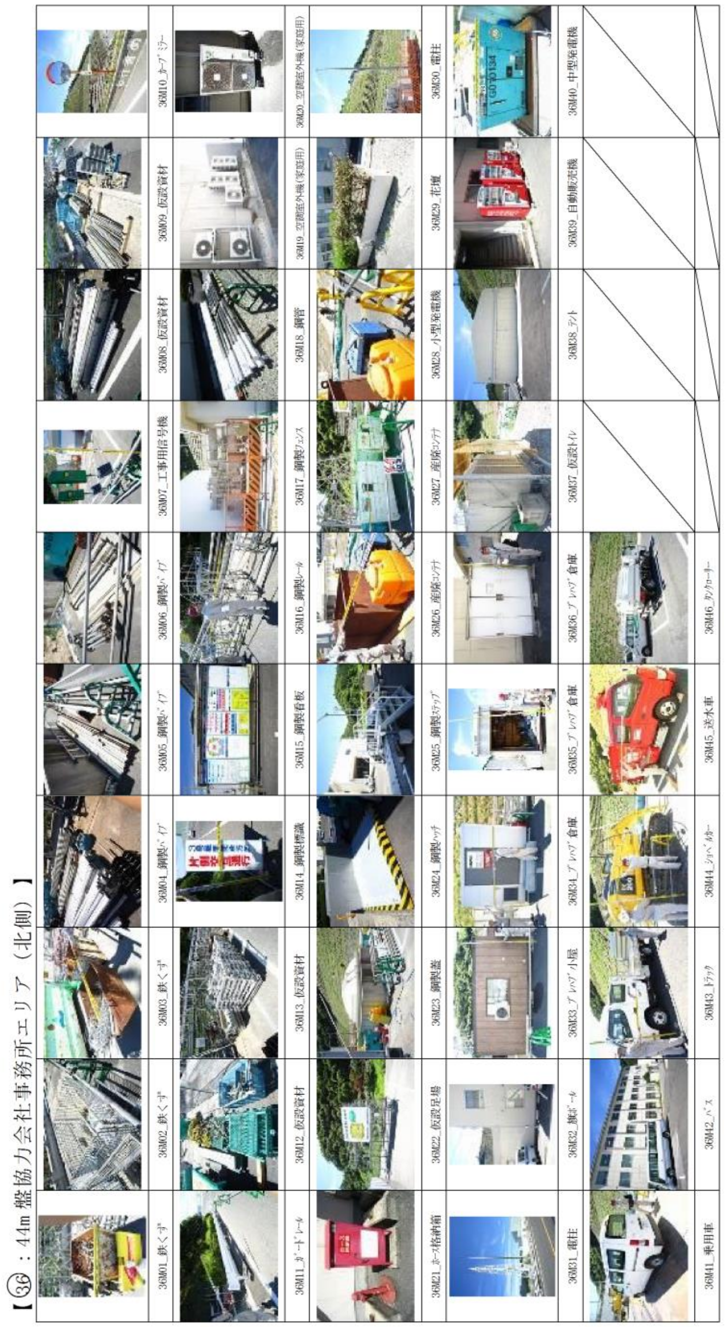

#339　パレット（木製又は樹脂製）


#340　プレハブ小屋


#495　仮設電源

【㉟：荷揚場南エリア】

図3.3.5 現地調査結果（25/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
⑦取水口・放水口周辺エリア（常設・仮設物）  ⑦-1 グレーチング　⑦-2 マンホール蓋　⑦-3 カラーコーン ⑦-4 空調室外機　⑦-5 排水溝蓋　⑦-6 鋼材 ⑦-7 鋼管　⑦-8 コンクリート板　⑦-9 発電機 ⑦-10 一輪車　⑦-11 仮設小屋　⑦-12 乗用車 ⑦-13 脚立　⑦-14 配電盤　⑦-15 砂利		【㊱：44m 盤協力会社事務所エリア（北側）】  図 3.3.5 現地調査結果（26/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考


⑦-16 テント


⑦-17 敷鉄板


⑦-18 鋼製車止め（単管バリケード）


⑦-19 工事看板

⑦-20 鋼製看板


⑦-21 屋外照明


⑦-22 マンホール蓋

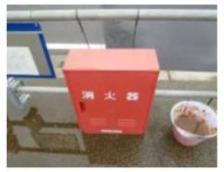

⑦-23 カラーコーン


⑦-24 鋼製ネット


⑦-25 フレックス管


⑦-26 木材


⑦-27 廃材コンテナ



⑦-28 消火器箱（大）


⑦-29 台車


⑦-30 仮設足場板

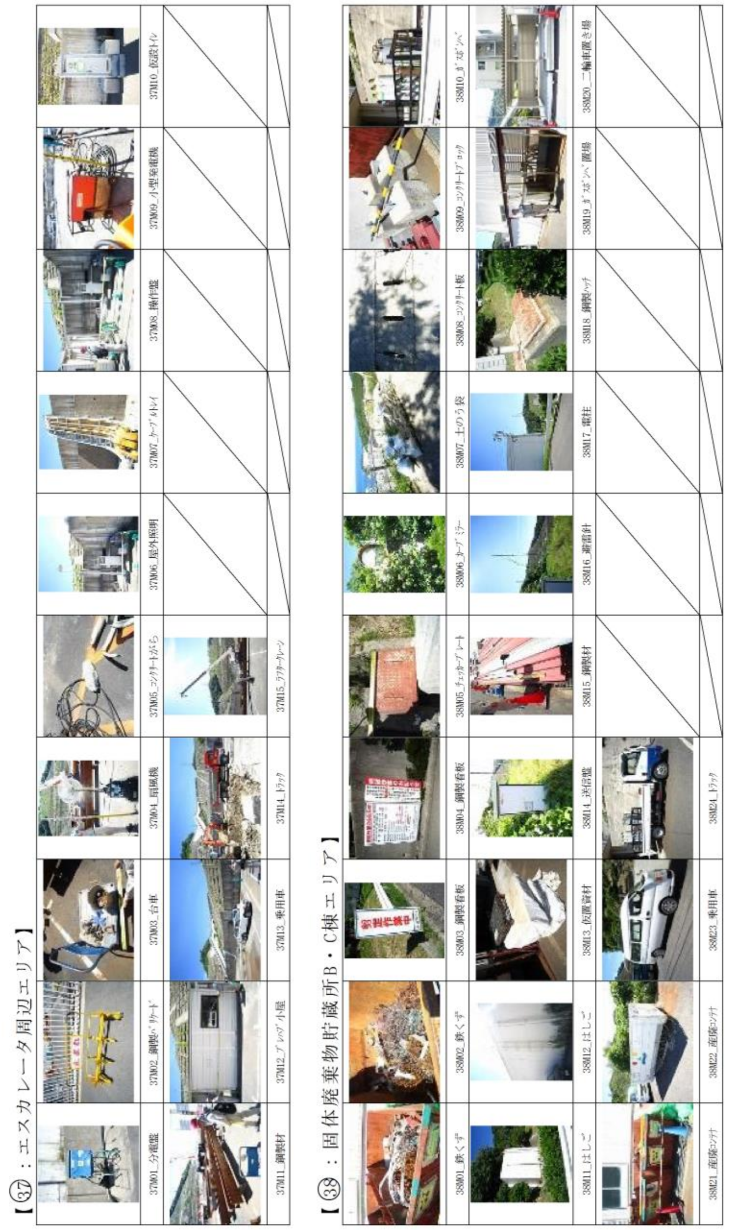
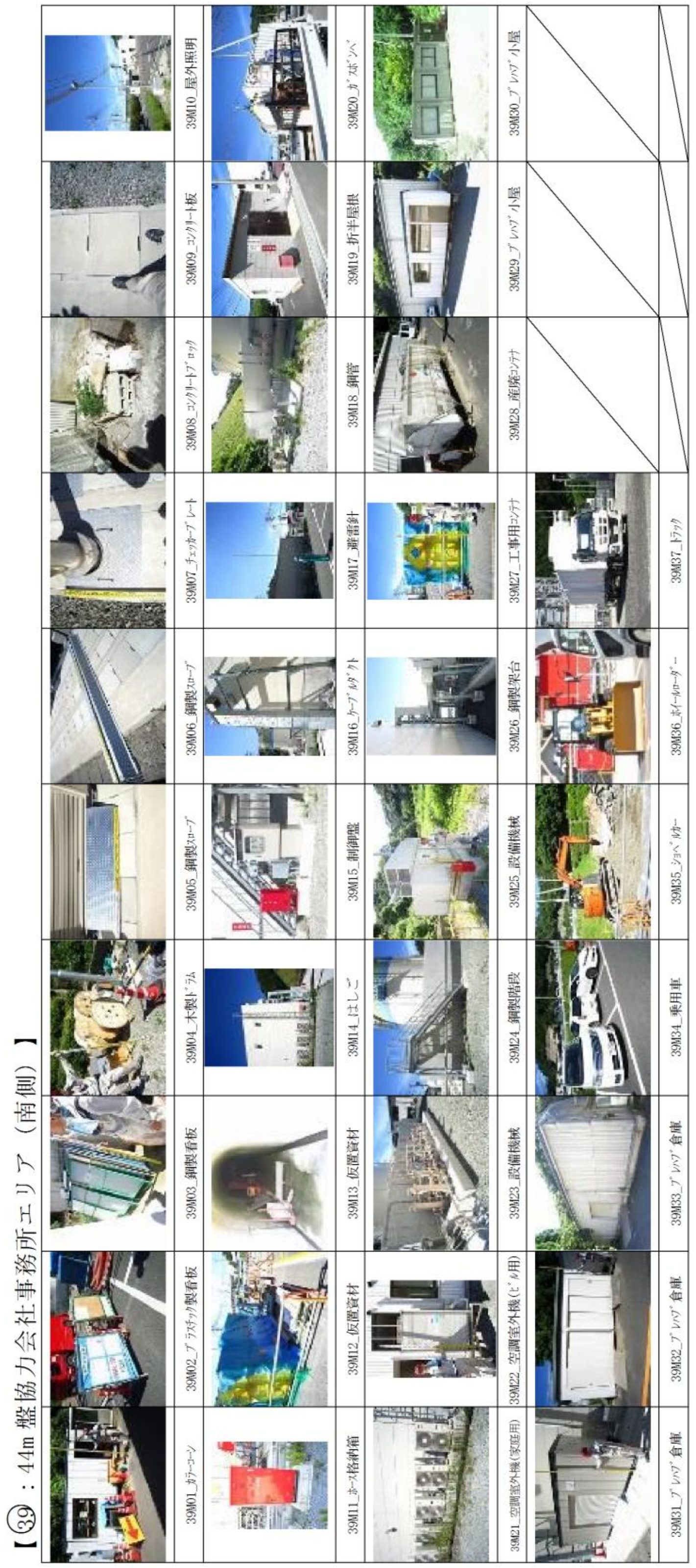
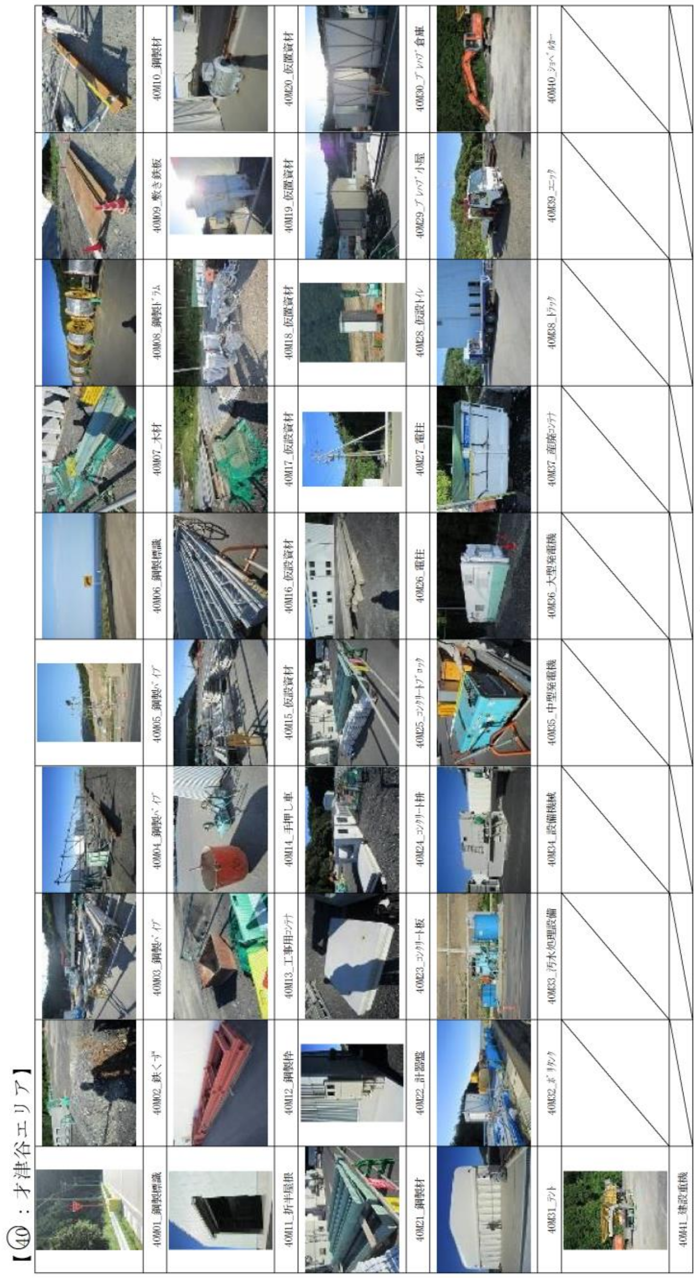
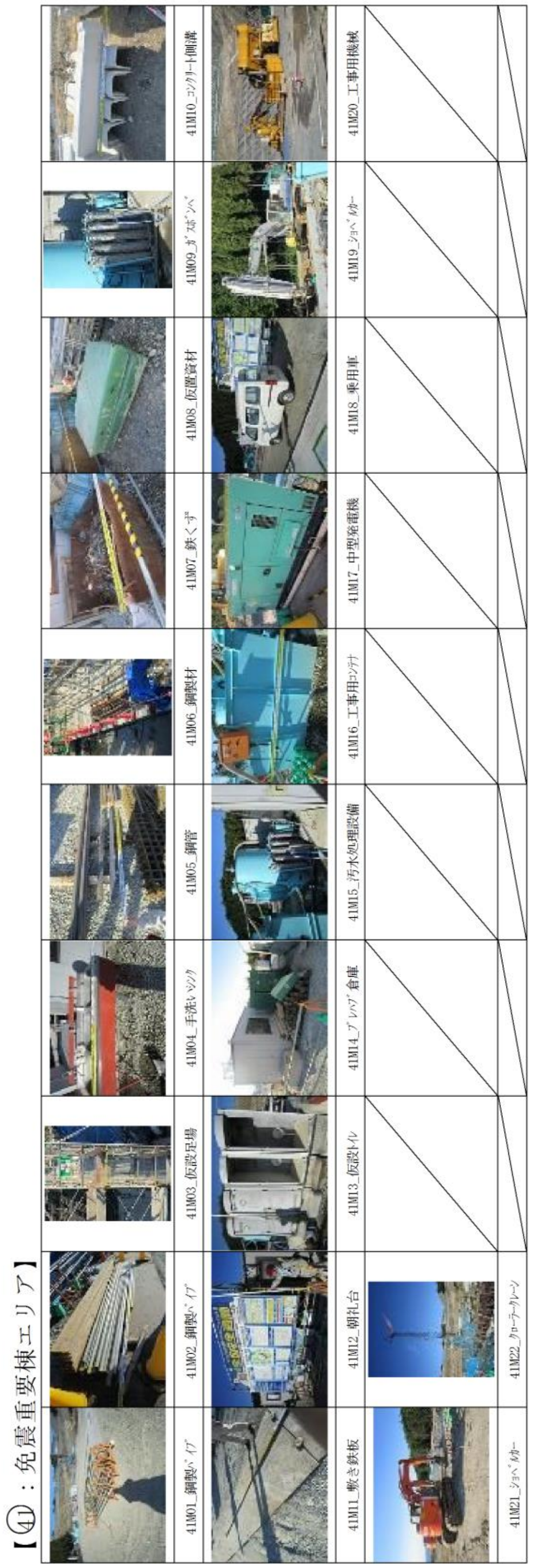


図3.3.5 現地調査結果（27/30）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
（二次飛来物）  ⑦-1 扉  ⑦-2 扉		【㊴：44m 盤協力会社事務所エリア（南側）】  図 3.3.5 現地調査結果（28/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		【㊵：才津谷エリア】  図 3.3.5 現地調査結果（29/30）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		【㊶：免震重要棟エリア】  図 3.3.5 現地調査結果（30/30）	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>3.　設計飛来物の設定

3.2.2　評価不要物品の抽出
　飛来物源のうち，過去の竜巻被害事例（添付資料９　別紙 9-1）を参考とし，設計飛来物候補である鋼製材の影響を下回ると判断した物品については，設計飛来物にならないものとして，飛散評価を不要とした。</td>
<td>3.3.2.2 現地調査結果の整理

　現地調査により抽出した想定飛来物から，小型軽量で竜巻影響評価対象施設に衝突した場合の影響が小さい物体及び損傷するが飛来物とならない物体を設計飛来物の選定候補から除外した。
　その他の想定飛来物について，表3.3.1に基づき形状，変形性状，サイズが同程度なものに分類し，グループ分けした。

表3.3.1 想定飛来物の分類基準
<table>
<tr><th></th><th>分　類</th><th>基　準</th></tr>
<tr><td rowspan="3">形状</td><td>棒状</td><td>―</td></tr>
<tr><td>板状</td><td>―</td></tr>
<tr><td>塊状</td><td>―</td></tr>
<tr><td rowspan="2">変形性状</td><td>柔</td><td>木製，ゴム製，中空状又は複数の材からなる。</td></tr>
<tr><td>剛</td><td>コンクリート又は鋼製で密実，単体からなる。</td></tr>
<tr><td rowspan="5">サイズ</td><td>極小</td><td>概ね0.01m²未満
概ね1kg未満</td></tr>
<tr><td>小</td><td>概ね0.01m²～0.5m²
概ね1kg～20kg</td></tr>
<tr><td>中</td><td>概ね0.5m²～2.0m²
概ね20kg～500kg</td></tr>
<tr><td>大</td><td>概ね2.0m²～10m²
概ね500kg～2,000kg</td></tr>
<tr><td>特大</td><td>概ね10m²以上
概ね2,000kg以上</td></tr>
</table>

　形状が棒状又は板状で変形性状が柔と分類されたものについては，評価対象施設に衝突した場合の影響が軽微であり，同形状の変形性状が剛なものに包絡され</td>
<td>（柏崎 6/7 は「3.3 (1) 飛来物調査」で記載）

・想定飛来物の分類方法の相違
【東海第二】
　島根２号炉は，抽出した想定飛来物を剛・柔の観点でも分類している</td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		ると考えられるため，設計飛来物の選定候補から除外した。 各グループにおいて，ガイドの設定例も参考にし，発電所構内に存在するもののうち，運動エネルギ又は貫通力が大きいと考えられるものを代表として選定した。想定飛来物の分類及び各グループを代表する想定飛来物の選定結果を表3.3.2に示す。	

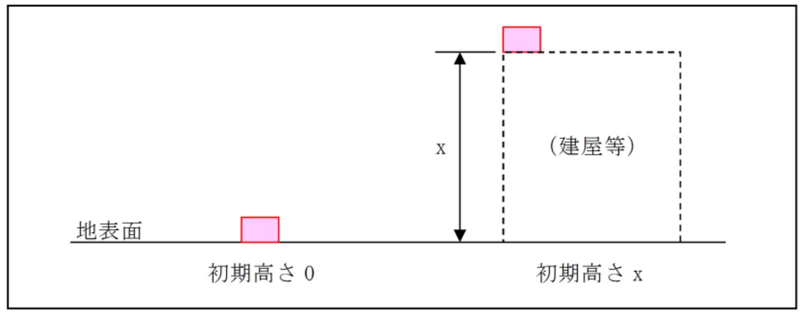
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		表 3.3.2 想定飛来物の分類結果	

	柔				柔（一部剛）			剛			
	小	中	大	特大	中	大	特大	極小	小	中	大
棒状	カラーコーン 木材 チェーン 鋼より線 有刺鉄線 ビニルホース	ビニル配管 ゴム配管	―	―	―	―	―	―	○**鋼製パイプ** はしご 脚立 スコップ ハンドル パイプいす テント 避雷針 線状アンテナ	○**鋼製材** 鋼製枠 庇フレーム 鋼製バリケード 鋼製ステップ 金属カバー 線状アンテナ基礎 消火栓 リアカー 鋼管 旗ポール 工事用信号機	○**電柱**
板状	プラスチック製標識 プラスチック製フェンス プラスチック製バリケード 木製台 布	プラスチック製看板 ビニルトタン 庇 木製看板 木製パレット 木製柵	折半屋根 合板 歩廊屋根 目隠し板 二輪車置き場	―	―	―	―	―	○**マンホール蓋（小）** 鋼製標識 小型パラボラアンテナ 消火栓カバー カーブミラー	○**マンホール蓋（大）** 鋼製蓋 グレーチング 鋼製看板 配管カバー	○**コンクリート板** ○**敷き鉄板** ○**仮設足場** 覆工板 チェッカープレート 鋼板 金属笠木 鋼製スロープ ベンチ 手押し車 鋼製ハッチ コンクリート製ハッチ 閉止板 止水板 鋼製フェンス 石板 大型パラボラアンテナ ガードレール
塊状	○**ドラム缶** プラスチック製容器 プラスチック製コンテナ 一斗缶 手洗いシンク 台車 消火器格納箱 屋外スピーカー 屋外照明 扇風機 メーターボックス 配線ドラム 土のう袋	○**ガスボンベ** ○**空調室外機（家庭用）** 百葉箱 大型照明 ソナーアンテナ ホース格納箱 送水口ボックス 配管ボックス ページング格納箱 分電盤 消火器 道具箱 台車 洗濯機	○**自動販売機** ○**空調室外機（ビル用）** 冷凍機 電気盤 制御盤 仮設トイレ 仮設詰所 給湯器 昇降機 鋼製タンク ポリタンク プラスチック製ゴミ箱 木製ドラム	○**コンテナボックス** ○**プレハブ小屋** プレハブ倉庫 工事用コンテナ 産廃コンテナ 木造小屋 資機材格納箱 防舷材	○**小型発電機** 投光器	○**中型発電機** ○**小型自動二輪車**	○**大型発電機** ○**乗用車** ○**トラック** ○**バス** ○**高圧発電機車** ○**フォークリフト** ○**ホイールローダー** ○**ショベルカー** ○**ラフタークレーン** 給気ファン オイルフェンスドラム ユニック クローラークレーン 水槽車 化学消防車 送水車 ホース展張車 タンクローリー 高所作業車	○**砂利**	○**コンクリートブロック** コンクリートがら 植木鉢 鉄くず 石	○**コンクリート側溝** 石像 記念碑	○**コンクリート枡** ○**鋼製ドラム** 花壇 岩 鋼製架台 鋼製階段

○:代表として選定するものを示す。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(2) 固定状況等を踏まえた抽出 (1)で抽出した結果を踏まえ，過去の被害事例等（別紙1）を参考に，以下の観点のいずれにも当てはまらない物品を設計飛来物候補として抽出した。（表3.3.3） ①溶接やボルトにより頑健に固定されているか ②分解し小型軽量となる物品か ③竜巻の影響により転倒はするが，飛来物とはならない物品か	3.1　固定状況等を踏まえた飛来物源の抽出 現地調査にて確認された物品のうち以下に示すもののうち，過去の竜巻被害事例（【添付資料９　別紙 9-1】）も参考とし，以下の観点のいずれにも当てはまらない物品を飛来物源として抽出した。 (1)　溶接やボルト等により頑健に固定されている物品 (2)　竜巻の影響により損傷はするが，飛散しない物品 3.2　飛来物源の飛散評価 3.2.1　設計飛来物候補の設定 設計飛来物候補は，現場調査結果を踏まえ，飛来物防護対策として設置する設備の規模と固縛等の飛来物発生防止対策を要する物品の物量のバランスを考えて設定した。（第 3.2.1－1 表参照） 発電所における現場調査結果，第 3.2.1－1 表に示すような，上記の竜巻防護対策（飛来物防護対策と飛来物発生防止対策）のバランス，先行プラントにおける設定実績並びに竜巻飛来物防護ネットの存在を踏まえ，「竜巻影響評価ガイド」に例示される鋼製材を，設計飛来物候補として設定した。		（島根２号炉は，「3.3.2.1(1)現地調査の観点」及び「別紙-1 過去の主な竜巻事例に基づく飛来物の検討について」に記載） （島根２号炉は，「3.3.4.1 設計飛来物の仮設定」に記載）

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td></td><td>第 3.2.1－1 表　設計飛来物候補と竜巻防護対策の関係
<table>
<tr><th rowspan="3">設計飛来物候補の例</th><th colspan="4">竜巻防護対策</th><th rowspan="3">採用</th></tr>
<tr><th colspan="2">飛来物防護対策</th><th colspan="2">飛来物発生防止対策</th></tr>
<tr><th>規模</th><th></th><th>物量</th><th></th></tr>
<tr><td>車両</td><td>大</td><td>配置，耐震面の制約が大きい可能性がある。
（建屋壁の増改築，小型の施設でも車両寸法をカバーする規模の設備が必要となる。）</td><td>少</td><td>対象と物品は少ない。
（多くの物品は車両の影響を下回る。）</td><td>－</td></tr>
<tr><td>鋼製材</td><td>中</td><td>先行プラント事例等から成立性が見通しやすい。
（竜巻飛来物防護対策設備の規模，鋼製材を念頭に置いた防護ネットの実績等，具体的なイメージが容易である。）</td><td>中</td><td>先行プラント事例等から対策が必要となる物品が見通しやすい。
（細々した物品についておおむね対策が不要と判断できる。）</td><td>○</td></tr>
<tr><td>木片</td><td>小</td><td>防護設備を必要とする施設は少ない。
（衝撃力，貫通力共に小さい。）</td><td>大</td><td>処置する物量が膨大かつ運用面の負担大きい。
（大多数の物品が木片の影響を超える。）</td><td>－</td></tr>
</table>
3.2.2　評価不要物品の抽出
飛来物源のうち，過去の竜巻被害事例（添付資料９　別紙 9-1）を参考とし，設計飛来物候補である鋼製材の影響を下回ると判断した物品については，設計飛来物にならないものとして，飛散評価を不要とした。</td><td></td><td>（島根２号炉は，「別紙-1　過去の主な竜巻事例に基づく飛来物の検討について」に記載）</td></tr>
<tr><td>(3) 代表的な飛来物の飛散評価
(2)で抽出をした代表的な飛来物に対し，設計竜巻の最大風速 92m/s，風速場モデルとしてフジタモデルを適用した場合における飛散評価を実施し，浮上する物品を抽出した結果を表3.3.3 に示す。飛来物の初期高さは，プラントウォークダウンにて確認した飛来物の設置場所と外部事象防護対象施設との高低差を踏まえ設定した。</td><td>3.2.3　飛来物源の飛散評価
3.2.2 にて抽出された飛来物源に対し，設計竜巻の最大風速 100m／s，風速場モデルとしてフジタモデルを適用した場合における飛散評価を実施した。</td><td>3.3.3 飛来物の運動エネルギ及び貫通力の算出
前項にて代表として選定した想定飛来物について，解析コード「TONBOS」を用いてフジタモデルの風速場における運動を解析することにより浮き上がりの有無及び最大速度を求めた。</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>なお，発電所は，敷地近傍に一般道や隣接事業所が存在することから，管理が困難な一般道（国道２４５号線）からの車両の飛散の影響を現実的に評価することとし，保守性を確保した上で，ランキン渦モデルに比べ物品の飛散挙動をより実現象に近く捉えることができるフジタモデルを，飛散評価の風速場モデルとして適用する。</td><td></td><td>・施設の相違
【東海第二】
島根２号炉は敷地近傍に隣接事業所はない</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
但し，仮設物のように設置場所の特定が困難な物品については，外部事象防護対象施設に到達する可能性のある初期高さのうち，最大の高さを飛来物の初期高さとして設定した。（別紙2） そのため，飛来物の飛散距離については，上記で設定した飛来物の初期高さから外部事象防護対象施設の高さまでに飛散した距離を設定した。（例えば，初期高さ30m における飛散評価であれば，初期高さ30m から0m 迄の飛散距離となる）	(1)　初期高さ フジタモデルを使用した飛散評価においては，第 3.2.3－1 図に示すように，評価対象物品の配置位置と敷地高さとの高低差を示す初期高さの設定が必要となる。評価対象物品の初期高さは，現地調査結果等を踏まえて設定するものとするが，仮設材のように設置場所が特定できず，高所に置かれる可能性を有する飛来物源に対しては，使用場所が地表高さであるか高所であるかを考慮の上，適切な初期高さを設定する。  第 3.2.3―1 図　初期高さのイメージ図 (2)　空力パラメータ 飛散評価に用いる空力パラメータは，物品の形状及び重量に応じて算出する。【添付資料 9　別紙 9-2】		・初期高さの設定対象の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 島根２号炉は足場パイプ，足場板に対して初期高さを設定して飛散解析を実施している （島根２号炉は，「3.3.4.1 設計飛来物の仮設定」に記載）
	(3)　飛散速度の選定と横滑りの考慮		
また，飛来物の速度については，ガイドに基づき，飛散評価により求まる飛散した際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。 なお，浮上しないが横滑りにより外部事象防護対象施設に影響を与え得る物品については，浮上する物品同様，(4)以降の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを確認する。	飛来物源の飛散速度については，「竜巻影響評価ガイド」に基づき，飛散評価により算出される際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。 なお，浮上しないが横滑りにより評価対象施設等に影響を与え得る物品については，浮上する物品同様，3.3 の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを判断する。	飛来物の飛散速度については，「竜巻影響評価ガイド」に基づき，飛散解析により算出される際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。 解析方法の詳細については別添2-2に示す。	（島根２号炉は，「3.3.4.2 横滑りの考慮」に記載）
(4) 飛来物発生防止対策の可否を踏まえた抽出 (3)で抽出した結果を踏まえ，固縛，撤去等の飛来物発生防止対策が可能かどうかを考慮し，設計飛来物の候補を抽出した。（表 3.3.3 右端欄参照）	3.2.4　飛来物発生防止対策の可否を踏まえた飛来物源のスクリーニング 飛散評価の結果を踏まえ，設計飛来物候補である鋼製材に対し，その影響（運動エネルギ又は貫通力）を上回るパラメータを有する飛来物源に対し，固縛あるいは離隔及び撤去等の飛来		（島根２号炉は，「3.3.4.3 飛来物発生防止対策の実施」に記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(5) 評価パラメータの代表性の確認 　(4)で抽出した結果に対し，竜巻及び飛来物により想定される評価対象施設の損傷モードより設定した評価パラメータ（運動エネルギー，貫通力，寸法）が，最大となる物品を（寸法については最小），設計飛来物として選定する。（表3.3.3 黄色箇所参照）	物発生防止対策の可否を考慮し，新たに設計飛来物候補とする必要の有無を評価した。 (1)　運動エネルギ 　飛来物源の運動エネルギ E は下式によって算出する。 $E=\frac{1}{2}M\cdot V^2$ M：飛来物の重量(kg) V　：飛来物の衝突速度(m／s) (2)　コンクリートに対する貫通力 　コンクリートに対する貫通力は，飛来物の衝突に対する評価として，ＮＥＩ07-13及び米国ＮＲＣの基準類に算定式として記載されている修正ＮＤＲＣ式（①式）を用いて貫入深さ x_c を求め，Ｄｅｇｅｎ式（②式）により貫通限界厚さ t_p を算定する。	また，現地調査の結果から代表として選定した飛来物に加えて，ガイドに設定例として示されている飛来物を考慮することとし，解析により求めた最大速度又はガイドに示された最大速度を用いて，運動エネルギ及び貫通力を算出した。貫通力については，BRL式を用いて鋼板に対する貫通厚さTを，鉄筋コンクリート版に対する貫入深さ x_c を修正NDRC式で算出し，Degen式を用いて鉄筋コンクリート版に対する貫通限界版厚 t_p を算出した。コンクリートの評価においては，kg/cm²単位系の値を使用する。 【BRL式】（鋼板に対する貫通厚さT）： $T^{3/2}=\frac{0.5MV^2}{1.4396\times10^9K^2D^{3/2}}$ T:鋼板貫通厚さ（m） M:ミサイル質量（kg） V:ミサイル速度（m/s） D:ミサイル直径（m） K:鋼板の材質に関する係数（≒1） 出典：ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関す	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>
$\frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2$ の場合　$\frac{x_c}{d} = 2\left\{\left(\frac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5}$
$\frac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2$ の場合　$\frac{x_c}{d} = \left(\frac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1$　・・・①

$\frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52$ の場合　$t_p = \alpha_p d \left\{2.2\left(\frac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\frac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\}$
$1.52 \leq \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42$ の場合　$t_p = \alpha_p d \left\{0.69 + 1.29\left(\frac{x_c}{\alpha_c d}\right)\right\}$　・・・②

t_p　：貫通限界厚さ(cm)
x_c　：貫入深さ(cm)
Fc　：コンクリートの設計基準強度(kgf／cm²)：250 kgf／cm²
d　：飛来物の直径(cm)
（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）
M　：飛来物の重量(kg)
V　：飛来物の最大水平速度(m／s)
N　：飛来物の先端形状係数：1.14
「構造工学シリーズ６ 構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)
を参考に設定。
保守的な評価となる，非常に鋭い場合の数値を一律使用した。

α_c：飛来物の低減係数：1.0
α_p：飛来物の低減係数：1.0
保守的な評価となる，剛の場合の数値を一律使用した。

(3)　鋼板に対する貫通力
鋼板に対する貫通力は，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日　原子炉安全専門審査会）」の中で，鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているＢＲＬ式(③式)を用いて貫通限界厚さTを算定する。
$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$　・・・・③
T　：鋼板貫通限界厚さ（m）
M　：飛来物の重量(kg)
V　：飛来物の最大水平速度(m／s)
d　：飛来物の直径(m)
（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）
K　：鋼板の材質に関する係数（≒1）
</td>
<td>
る調査　その３　ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（高温構造安全技術研究組合）

【修正 NDRC 式】（コンクリートに対する貫入深さx_c）：
$x_c = \alpha_c \left\{4\left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}}\right) WNd \left(\frac{V}{1000d}\right)^{1.8}\right\}^{0.5}$，但し，$\frac{x_c}{\alpha_c d} < 2$
【Degen 式】（コンクリートに対する貫通限界版厚t_p）：
$t_p = \alpha_p d \left\{2.2\left(\frac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\frac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\}$，但し，$\frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52$

t_p：貫通限界版厚（cm）
x_c：貫入深さ（cm）
d：飛来物直径（cm）
F_c：コンクリートの設計基準強度（kgf/㎠）(=240kgf/cm²)

W：飛来物重量（kgf）
V：衝突速度（m/s）
N：飛来物先端形状係数で，以下の値を使用する。
・棒状の物体，板状の物体：1.14
・塊状の物：0.72
α_c：貫入評価についての飛来物低減係数で，1.00 を使用する。
α_p：貫通評価についての飛来物低減係数で，1.00 を使用する。

なお，BRL式は「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日　原子炉安全専門審査会）」の中で，鋼板に対する貫通厚さの算出式として用いられているものである。

最大風速92m/sの竜巻によるフジタモデル（地上からの初期高さ0m）を用いた飛散解析による飛来物の浮き上がりの有無及び運動エネルギ，貫通力の算出結果を表3.3.3に示す。
</td>
<td></td>
</tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
	(4)　代表的な飛来物源の飛散評価結果及びスクリーニング 　現場調査によって確認された飛来物源に対して，初期高さを設定し，飛散評価を実施する。飛散評価結果とスクリーニングの結果の例として，第3.2.4―1表に示す。 　なお，飛来物源の特徴を考慮し，仮設材等の建屋屋上に配置されることが考えられる物品については，一例として初期高さ40mでの結果も並列して記載している。 　第3.2.4―1表における飛来物源は，初期高さ0mでの運動エネルギ及び貫通力の評価結果によって分類している。（表中のNo.のハッチング色） 　また，初期高さ40mの飛散評価結果による分類は，表中の飛来物発生要否の欄のハッチング色により示しており，初期高さの設定により分類が変更となるものは，ハッチング色により判別できる。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果（1/6）	第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例	表 3.3.3 想定飛来物の飛散解析結果（フジタモデル（地上からの初期高さ 0m），最大風速 92m/s）	・想定飛来物の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 抽出した想定飛来物の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果（1/6）

（常設・仮設物）

分類		名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ[m²/kg]	最大水平速度[m/s]	最大鉛直速度[m/s]	運動エネルギー[kJ]（水平）	運動エネルギー[kJ]（鉛直）	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 水平 t_{p_h}	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 鉛直 t_{p_v}	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 水平 $T_{\_h}$	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 鉛直 $T_{\_v}$	浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか※4 (4)飛来物発生防止対策（撤去，固縛等）が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか
剛飛来物	棒状	（ガイド）鋼製パイプ※1	2	0.05	0.05	8.4	0.0058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		鋼製車止め	1.3	0.217	0.217	90	0.0018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		ガスボンベ	1.515	0.232	0.232	95	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		鉄骨	2	0.34	0.25	156	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		（ガイド）鋼製材※1	4.2	0.3	0.2	135	0.0066	10	7	6	3	9	0.08	6	4	4	2	○	設計飛来物に選定する。
		角型鋼管（小）	4	0.06	0.06	12	0.0169	15	7	2	0.23	19	0.13	5	2	5	2	○	(5)角型鋼管（大）に包絡されることから，設計飛来物として選定しない。
		角型鋼管（大）	4	0.1	0.1	28	0.0118	16	7	4	0.55	20	0.15	6	3	6	2	○	設計飛来物に選定する。
		鋼材	6	0.3	0.3	558	0.0027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		コンクリート柱	12	0.252	0.252	900	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	

※1：ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品
※2：修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※3：発電用原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出
※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより，評価パラメータを設定

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ(m)	最大水平速度(m／s)	最大飛散距離(m)	最大浮上高さ(m)	質量(kg)	運動エネルギ 最大運動E(kJ)	運動エネルギ 鋼製材超(E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ(cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超(tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ(mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超(T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
＜運動エネルギが鋼製材より大きいもの＞																	
340	プレハブ小屋	2.2	6	10	0.0115	0	56	185.1	15.786	5500	8624	○	64.4	○	9	×	○
19	物置	2.3	3.2	6.5	0.0057	0	43	88.5	4.726	5000	4623	○	54.4	○	8	×	○
252	トラック	2.24	2.445	7.54	0.0073	0	48	120.2	6.56	3700	4263	○	54.7	○	8	×	○
260	プレハブ小屋	2.6	2.86	6.05	0.0090	0	52	172.2	13.803	3000	4056	○	49.9	○	7	×	○
216	社用バス	2.34	2.96	8.99	0.0037	0	28	37.3	1.675	9910	3885	○	52.7	○	7	×	○
414	プレハブ小屋	2.3	2.7	5.5	0.0075	0	49	146.8	7.625	3000	3602	○	49	○	7	×	○
115	トラック	2.22	3.16	7.56	0.0040	0	30	42.1	1.97	7970	3587	○	50.2	○	7	×	○
182	消防車	2.49	3.04	8	0.0033	0	25	30.7	1.216	10620	3319	○	48.4	○	6	×	○
155	プレハブ小屋	2.5	3.6	5	0.0145	0	59	210.8	21.932	1800	3133	○	41.8	○	5	×	○
215	社用バス	2.08	2.82	6.99	0.0041	0	30	41.3	1.907	6605	2973	○	47.3	○	6	×	○
183	消防車	2.28	2.8	7.15	0.0033	0	23	26.6	1.008	8635	2284	○	42	○	5	×	○
20	物置	2.3	3.05	3.05	0.0103	0	54	176.9	14.187	1500	2187	○	37.1	○	5	×	○
66	プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	0.0225	0	65	227.2	27.502	1000	2113	○	36.3	○	5	×	○
75	プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	0.0225	0	65	227.2	27.502	1000	2113	○	36.3	○	5	×	○
247	プレハブ小屋	2.3	2.8	4.4	0.0191	0	63	220.3	24.49	1000	1985	○	35.4	○	5	×	○
2	プレハブ小屋	2.3	2.6	4.6	0.0189	0	63	219.9	24.347	1000	1985	○	35.9	○	5	×	○
237	プレハブ小屋	2	3	4	0.0172	0	61	209.6	20.915	1000	1861	○	34.8	○	5	×	○
373	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	2836	1838	○	39.1	○	6	×	○
259	物置	1.9	2.2	4.4	0.0052	0	36	53.4	2.951	2836	1838	○	39.1	○	6	×	○
228	物置	2.4	2.65	3.5	0.0159	0	60	213.9	22.626	1000	1800	○	33.9	○	5	×	○
479	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	0	60	211.9	22.074	1000	1800	○	34.6	○	5	×	○
370	プレハブ小屋	2.4	2.4	3.6	0.0153	0	60	211.9	22.074	1000	1800	○	34.6	○	5	×	○
28	乗用車	1.69	1.81	4.39	0.0067	0	43	73.9	3.801	1825	1688	○	39.1	○	6	×	○

島根原子力発電所　２号炉

表 3.3.3 想定飛来物の飛散解析結果（フジタモデル（地上からの初期高さ 0m），最大風速 92m/s）

形状	名称	長さ(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	質量(kg)	飛散の有無	最大速度(m/s)	運動エネルギ(kJ)	コンクリートの貫通限界厚さ※1(cm)	鋼板の貫通限界厚さ※2(mm)
棒状	鋼製パイプ［ガイド］	2000	50	50	8.4	○	7	1	3	2
	鋼製パイプ 1	4000	50	50	16.8	○	7	1	3	2
	鋼製材［ガイド］	4200	300	200	135.0	○	8	5	6	3
	鋼製材 1	5500	100	100	95.0	－	－	－	－	－
	鋼製材 2	5500	150	150	174.0	－	－	－	－	－
	電柱	10000	257	257	690.0	－	－	－	－	－
板状	マンホール蓋（小）	650	650	50	33.5	○	6	1	3	1
	マンホール蓋（大）	975	975	60	88.0	○	4	1	3	1
	コンクリート板［ガイド］	1500	1000	150	540.0	－	－	－	－	－
	コンクリート板 1	2700	1000	200	1300.0	－	－	－	－	－
	敷き鉄板 1	3000	1400	12	400.0	－	－	－	－	－
	敷き鉄板 2	3000	1500	22	802.0	－	－	－	－	－
	敷き鉄板 3	6100	1500	25	1820.0	－	－	－	－	－
	仮設足場	4000	250	40	13.2	○	40	11	10	4
塊状	砂利	40	40	40	0.2	○	14	1	1	1
	コンクリートブロック	390	190	150	14.3	○	9	1	3	1
	コンクリート側溝	2100	380	340	132.0	○	8	4	5	1
	コンクリート枡	1200	1200	1200	1300.0	－	－	－	－	－
	鋼製ドラム	3000	3000	2000	6000.0	－	－	－	－	－
	ドラム缶	600	600	900	24.0	○	65	50	10	2
	ガスボンベ	1500	230	230	57.0	○	5	1	3	1
	空調室外機（家庭用）	800	250	300	10.0	○	48	12	7	2
	空調室外機（ビル用）	1400	940	320	134.0	○	21	29	9	2
	自動販売機	740	1362	1830	365.0	○	46	372	24	4
	コンテナボックス［ガイド］	6000	2400	2600	2300.0	○	50	2810	44	6
	プレハブ小屋 1	3700	2000	2600	800.0	○	58	1304	31	4
	プレハブ小屋 2	7300	2300	2600	1400.0	○	58	2350	40	6
	プレハブ小屋 3	7300	6900	2600	4200.0	○	54	5927	52	6
	プレハブ小屋 4	27000	7200	3400	7500.0	○	63	14496	74	9
	小型発電機	1330	630	1650	354.0	○	39	262	21	4
	中型発電機	2550	1080	1500	1770.0	○	3	5	3	1
	大型発電機	5380	1650	2100	7220.0	－	－	－	－	－
	小型自動二輪車	1855	725	1045	89.0	○	61	166	16	3
	乗用車 1	3395	1475	1610	840.0	○	47	899	31	5
	乗用車 2	4360	1695	1460	1140.0	○	44	1074	33	5
	乗用車 3	4790	1780	1535	1510.0	○	40	1192	35	5
	乗用車 4	5230	1880	2285	1890.0	○	48	2089	41	6
	トラック［ガイド］	5000	1900	1300	4750.0	－	－	－	－	－
	トラック 1	8445	2230	2465	3790.0	○	46	3869	53	8
	バス 1	6990	2010	2645	3880.0	○	43	3462	51	7
	バス 2	11990	2490	3750	12100.0	○	38	8537	72	10
	高圧発電機車	6825	2150	3260	7680.0	○	27	2759	45	6
	フォークリフト	3200	1520	2240	6920.0	－	－	－	－	－
	ホイールローダー	6130	2250	3035	9350.0	○	10	433	20	2
	ショベルカー	9425	2800	3040	19500.0	－	－	－	－	－
	ラフタークレーン	11000	2600	3500	26500.0	－	－	－	－	－

※1：修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※2：BRL 式を用いて算出

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果（2/6）

（常設・仮設物）

分類		名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ[m²/kg]	最大水平速度[m/s]	最大鉛直速度[m/s]	運動エネルギー[kJ]（水平）	運動エネルギー[kJ]（鉛直）	最大飛散距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 水平 t_{p_h}	鉛直 t_{p_v}	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 水平 $T_{\_h}$	鉛直 $T_{\_v}$	浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか※4 (4)飛来物発生防止対策（撤去，固縛等）が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか
剛飛来物	塊状	コンクリートブロック	0.65	0.65	0.65	660	0.0013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		クレーンウェイト 5t	1.5	1.28	0.4	5000	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		鋼製ボビン	2.6	2.6	1.6	900	0.0101	46	23	938	227	180	5	26	14	4	2	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから，設計飛来物として選定しない。
		発電機（大）	4	1.8	1.4	4920	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		発電機（小）	0.91	0.53	0.7	125	0.008	27	7	43	3	36	2	10	3	2	1	○	
		砂利	0.04	0.04	0.04	0.2	0.016	14	7	0.02	0.004	18	0.08	1	1	1	1	○	設計飛来物に選定する。

※1：ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品
※2：修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※3：発電用原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出
※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより，評価パラメータを設定

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m²／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが"○"】
22	トラック	1.695	1.9	4.69	0.0057	0	37	55.2	3.007	2340	1602	○	38.3	○	6	×	○
106	コンテナ	1.8	1.8	3.7	0.0116	0	55	170.1	12.251	950	1437	○	34.9	○	5	×	○
73	コンテナ	1.5	2.1	3.7	0.0115	0	54	163.1	8.195	950	1386	○	34.5	○	5	×	○
219	乗用車	1.39	1.86	4.615	0.0074	0	42	63.4	3.28	1570	1385	○	36.7	○	6	×	○
307	プレハブ小屋	1.85	2.6	3.65	0.0193	0	62	211.5	21.333	720	1384	○	31.4	○	4	×	○
1	乗用車	1.6	2	4.5	0.0052	0	33	44.3	2.293	2500	1362	○	35.8	○	5	×	○
424	プレハブ小屋	1.7	2.5	2.6	0.0147	0	59	186.9	15.804	685	1193	○	30	○	4	×	○
383	物置	1.9	1.9	2.25	0.0101	0	53	165.3	10.111	801	1126	○	30.4	○	4	×	○
371	物置	2	2	2.3	0.0137	0	58	194.1	17.348	640	1077	○	28.9	○	4	×	○
347	物置	1.9	2.05	2.4	0.0177	0	61	208.6	20.542	500	931	○	26.9	○	4	×	○
330	物置	1.9	2.3	2.9	0.0304	0	69	222.9	30.192	360	857	○	24.9	×	4	×	○
177	鋼製ステップ	1	1.3	4.3	0.0185	0	60	164.2	9.74	400	720	○	29.3	○	5	×	○
						40	55	257.5	28.913		605	○	27.1	○	5	×	○
409	物置	1.4	2.1	3	0.0296	0	68	212.9	24.183	300	694	○	24.3	×	4	×	○
222	物置	1.8	2	3	0.0367	0	71	220.9	33.633	270	681	○	23	×	3	×	○
21	コンテナ	1	1.4	3.2	0.0134	0	54	141.3	4.521	450	657	○	27.9	○	5	×	○
85	物置	2	2.1	3.5	0.0583	0	78	※		210	639	○	21.5	×	3	×	○
79	消防車	2.5	2.5	8	0.0025	0	10	4.9	0.068	12500	625	○	24.1	×	3	×	○
63	仮設電源	1.68	2.12	3.69	0.0034	0	19	17.8	0.574	3460	625	○	25.2	×	3	×	○
145	空調室外機	1	2.1	2.9	0.0074	0	35	40.3	2.065	1000	613	○	26	○	4	×	○
						40	45	183.8	3.092		1013	○	32.5	○	5	×	○
435	コンテナ	1.2	1.712	3.7	0.0044	0	23	23.2	0.886	1960	519	○	25.1	×	4	×	○
398	仮設トイレ	0.9	1.4	2.5	0.0133	0	52	128.8	3.795	350	474	○	24.3	×	4	×	○
279	プレハブ小屋	1.3	2.2	2.4	0.0477	0	74	210.3	33.081	156	428	○	19	×	3	×	○

※　評価計算上，設定時間（30 秒）では運動が終了しないため、数値なし。
（運動エネルギ評価にて飛来物発生防止対策要否判断可能）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　(2017.12.20 版)	東海第二発電所 (2018.9.18 版)	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (3/6)

（常設・仮設物）

分類		名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ[m²/kg]	最大水平速度[m/s]	最大鉛直速度[m/s]	運動エネルギー[kJ]（水平）	運動エネルギー[kJ]（鉛直）	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 水平 t_{p_h}	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 鉛直 t_{p_v}	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 水平 T_h	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 鉛直 T_v	浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか※4 (4)飛来物発生防止対策（撤去，固縛等）が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか
剛飛来物	板状	鋼製着板	1.4	1	0.05	40	0.0246	20	7	8	0.78	28	0.16	6	3	2	1	○	
		マンホール蓋	0.65	0.65	0.05	54	0.0046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから，設計飛来物として選定しない。
		仮設分電盤	1	0.2	1.5	60	0.02	57	21	98	13	223	15	15	6	4	1	○	
		敷鉄板(薄)	6	1.5	0.02	1404	0.0044	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		敷鉄板(厚)	6.1	1.53	0.03	2200	0.0029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーンウェイト 2t	1.5	1.1	0.22	2000	0.0007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーンウェイト 250kg	1.1	0.9	0.07	250	0.0029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		（ガイド）コンクリート板※1	1.5	1	0.15	540	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーンウェイト 500kg	1.3	1.1	0.1	500	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		鋼矢板	2	2	0.2	960	0.0032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		鋼製架台	3.8	1.8	0.2	10670	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		コンクリート板	3.95	0.98	0.15	1400	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		トレーラー荷台	9	2.5	0.25	4500	0.0036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	

※1：ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品
※2：修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※3：発電用原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出
※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより，評価パラメータを設定

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ(m)	最大水平速度(m／s)	最大飛散距離(m)	最大浮上高さ(m)	質量(kg)	運動エネルギ 最大運動 E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ(cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ(mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが"○"】
485	樹木(倒木，伐採木)，材木	1	1	14.2	0.0471	0	73	202.3	28.145	151	403	○	23.7	×	5	×	○
217	鋼製ステップ	1	1	4	0.0192	0	61	161.3	10.533	200	373	○	22.2	×	4	×	○
286	鋼管	0.8	1	3.4	0.0092	0	38	40.3	2.005	500	361	○	23.9	×	4	×	○
						40	48	205.6	6.080		576	○	29.4	○	6	×	○
143	鋼管	0.65	0.65	8	0.0138	0	46	98.7	2.467	320	339	○	25.6	×	6	×	○
						40	52	242.3	16.496		433	○	28.5	○	7	×	○
437	鋼製ボックス	1.05	1.35	1.35	0.0154	0	57	157.9	6.793	200	325	○	19.6	×	3	×	○
262	仮設電源	1.05	1.2	1.5	0.0153	0	57	157.2	6.695	200	325	○	20	×	3	×	○
478	物置	1.1	1.3	2	0.0288	0	67	200.3	19.881	143	321	○	19.1	×	3	×	○
89	鋼製ステップ	1	1.8	2.4	0.0469	0	73	202.3	28.025	120	320	○	18.1	×	3	×	○
90	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0165	0	56	151.9	5.244	199	313	○	19.4	×	3	×	○
421	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0183	0	59	163.7	7.113	179	312	○	19.3	×	3	×	○
210	空調室外機	0.9	1.3	1.8	0.0100	0	42	53.2	2.69	340	300	○	20.1	×	3	×	○
						40	49	214	7.485		409	○	23.1	×	4	×	○
486	バイク，自転車	0.76	1.2	2.1	0.0160	0	53	128.8	3.615	209	294	○	20.4	×	4	×	○
142	仮設トイレ	0.876	1.598	2.572	0.0458	0	72	207.1	25.417	112	291	○	18.1	×	3	×	○
17	ケーブルドラム	0.8	1.5	1.5	0.0218	0	61	164.4	8.387	141	263	○	18	×	3	×	○
144	空調室外機	1	1	1.3	0.0114	0	50	126.7	3.592	210	263	○	19.1	×	3	×	○
						40	50	227.1	10.210		263	○	19.1	×	3	×	○
350	鋼製ボックス	0.98	1.65	1.8	0.0420	0	72	201.5	25.554	100	260	○	16.7	×	3	×	○
84	ケーブルドラム	0.8	1.5	1.5	0.0218	0	61	164.4	8.387	141	263	○	18	×	3	×	○
488	バイク，自転車	0.74	1.09	1.915	0.0219	0	61	160.7	6.681	130	242	○	18.7	×	4	×	○
487	バイク，自転車	0.725	1.07	2.04	0.0146	0	49	111.2	3.049	201	242	○	19.3	×	4	×	○

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果（4/6）

（常設・仮設物）

分類		名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ[m²/kg]	最大水平速度[m/s]	最大鉛直速度[m/s]	運動エネルギー[kJ]（水平）	運動エネルギー[kJ]（鉛直）	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 水平 $t_{p\,h}$	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 鉛直 $t_{p\,v}$	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 水平 T_h	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 鉛直 T_v	浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか※4 (4)飛来物発生防止対策（撤去，固縛等）が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか
非飛来物	棒状	代替原子炉補機冷却系	15.1	2.49	1.565	35450	0.0008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
	塊状	ドラム缶	0.8	0.8	1.3	40	0.0431	67	18	89	6	235	26	12	4	2	1	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから，設計飛来物として選定しない。
		木製ボビン	2	2	1.2	305	0.0174	54	21	441	67	217	8	20	9	3	1	○	
		産廃コンテナ	2.915	1.6	0.925	650	0.0091	34	23	367	164	107	2	21	15	3	2	○	
		仮設小屋	5.81	2.34	2.45	1300	0.0173	56	22	2039	307	247	21	35	15	5	2	○	
		乗用車	4.9	1.88	1.87	2150	0.0068	39	24	1568	576	143	4	35	23	5	3	○	
		軽乗用車	3.395	1.475	1.625	800	0.0108	48	23	913	200	212	6	28	15	5	2	○	
		（ガイド）コンテナボックス※1	6	2.6	2.4	2300	0.0106	50	23	2795	591	220	12	41	21	6	2	○	
		フォークリフト	3.69	1.15	1.995	2500	0.0038	21	7	529	53	30	0.6	24	9	3	1	○	
		プレハブ小屋	5	5	3	4400	0.0084	47	24	4765	1201	204	11	45	24	6	2	○	
		トラック	8.445	2.23	2.465	3790	0.008	46	24	3883	1025	188	7	49	27	8	3	○	

※1：ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品
※2：修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※3：発電用原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出
※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより，評価パラメータを設定

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m²／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが"○"】
422	鋼製ボックス	0.9	1	1.9	0.0082	0	36	39.3	2.041	366	238	○	19.1	×	3	×	○
						40	47	194.2	4.291		405	○	24.2	×	5	×	○
205	自動販売機	0.9	1.2	1.8	0.0064	0	30	30	1.438	508	229	○	18.5	×	3	×	○
225	鋼製ステップ	0.6	1.2	2.2	0.0155	0	47	101.4	2.478	200	221	○	18.8	×	3	×	○
475	鋼製ステップ	0.6	1.2	2.2	0.0155	0	47	101.4	2.478	200	221	○	18.8	×	3	×	○
						40	54	249.8	22.517		292	○	21.2	×	4	×	○
287	鋼製ボックス	0.75	1.3	1.6	0.0094	0	37	38	1.887	300	206	○	17.5	×	3	×	○
						40	48	207.8	6.397		346	○	22	×	4	×	○
410	自動販売機	0.7	1.4	1.8	0.0090	0	34	32.5	1.638	350	203	○	17.5	×	3	×	○
258	プラスチック容器	0.9	1.2	1.2	0.0238	0	63	163.9	12.946	100	199	○	16	×	3	×	○
138	鋼管	0.65	0.65	5	0.0116	0	40	52.1	2.007	247	198	○	20	×	4	×	○
						40	50	229.1	10.664		309	○	24.3	×	5	×	○
165	バリケード	1.1	1.1	1.4	0.0354	0	70	205	23.884	80	196	○	15.4	×	3	×	○
436	鋼製ボックス	0.8	1.05	1.38	0.0112	0	43	58.5	2.565	200	185	○	16.8	×	3	×	○
						40	50	225.5	9.769		250	○	19.3	×	4	×	○
236	仮設トイレ	0.8	1.1	2	0.0436	0	71	200.7	22.91	71	179	○	15.6	×	3	×	○
76	ケーブルドラム	0.8	1.12	1.12	0.0210	0	61	161.8	7.538	96	179	○	15.8	×	3	×	○
77	建設機械	0.99	1.65	2.63	0.0037	0	15	10.1	0.26	1570	177	○	16.1	×	2	×	○
＜運動エネルギは鋼製材を下回るが，貫通力が鋼製材より大きいもの＞　…該当なし																	
＜飛散するが，鋼製材の影響を超えないため，設計飛来物として考慮不要なもの＞																	
102	鋼製ボックス	0.8	1.1	1.4	0.0293	0	66	167.4	14.694	80	175	×	15.5	×	3	×	×
						40	60	268.8	44.981		144	×	14.3	×	3	×	×
288	鋼製ボックス	0.75	0.8	4.3	0.0061	0	25	22.2	1.011	500	157	×	17.4	×	3	×	×
						40	44	166.3	0.896		484	○	28.7	○	6	×	○

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果（5/6）

（常設・仮設物）

分類		名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ[m²/kg]	最大水平速度[m/s]	最大鉛直速度[m/s]	運動エネルギー[kJ]（水平）	運動エネルギー[kJ]（鉛直）	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 水平 t_{p_h}	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 鉛直 t_{p_v}	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 水平 $T_{\_h}$	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 鉛直 $T_{\_v}$	浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか※4 (4)飛来物発生防止対策（撤去，固縛等）が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか
柔飛来物	塊状	（ガイド）トラック※1	5	1.9	1.3	4750	0.0026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		電源車	6.88	2.2	3.04	7960	0.0036	25	24	2427	2211	86	2	40	39	5	5	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから，設計飛来物として選定しない。
		消防車	7.11	2.28	2.74	9210	0.0031	17	24	1321	2561	53	0.27	31	42	4	6	○	
		バス	11.99	2.49	3.75	12100	0.0047	38	24	8647	3464	161	5	67	45	10	6	○	
		ホイールローダ	11.15	3.19	3.25	24000	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが，外部事象防護対象施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		クレーン車	12.29	3	3.74	39635	0.0016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		自動販売機	0.73	1.83	1.36	365	0.0088	41	23	296	94	142	3	20	12	4	2	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから，設計飛来物として選定しない。
		空調室外機	0.8	0.3	0.6	40	0.015	40	22	31	10	165	2	9	6	2	1	○	

※1：ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品
※2：修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※3：発電用原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出
※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより，評価パラメータを設定

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m²／kg)	初期高さ(m)	最大水平速度(m／s)	最大飛散距離(m)	最大浮上高さ(m)	質量(kg)	運動エネルギ 最大運動E(kJ)	運動エネルギ 鋼製材超(E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ(cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超(tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ(mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超(T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが"○"】
423	鋼製ステップ	0.6	0.9	1.8	0.0264	0	62	157.2	6.077	81	156	×	16.2	×	3	×	×
						40	59	267.9	41.786		141	×	15.5	×	3	×	×
281	空調室外機	0.75	0.9	1.4	0.0104	0	40	43.8	2.185	190	152	×	16.1	×	3	×	×
						40	49	218.3	8.195		229	○	19.2	×	4	×	○
62	鋼製ボックス	1	1.5	1.6	0.0040	0	18	13.6	0.428	923	150	×	14.8	×	2	×	×
						40	40	129	0		739	○	30	○	5	×	○
74	空調室外機	0.7	1.2	1.3	0.0078	0	31	28	1.362	283	136	×	14.9	×	3	×	×
						40	46	189.4	3.710		300	○	21.2	×	4	×	○
121	コンクリートブロック	0.6	1.2	1.2	0.0381	0	69	173.4	14.715	50	120	×	13.3	×	2	×	×
56	バリケード	0.635	0.82	6.5	0.1301	0	86	244.3	37.614	31.4	117	×	13.7	×	3	×	×
						40	77	310.5	57.827		94	×	12.4	×	2	×	×
53	看板，標識	0.2	0.85	4.85	0.0318	0	48	149.6	1.121	100	116	×	17.8	×	4	×	×
						40	61	268.9	47.221		187	○	22	×	6	×	○
101	ホース，ケーブル類	0.4	1.5	1.5	0.0456	0	68	197.2	10.441	50	116	×	13.6	×	3	×	×
						40	65	272.9	54.162		106	×	13.1	×	3	×	×
472	運搬台車	0.765	0.9	1.215	0.0407	0	70	195	20.842	44	108	×	12.8	×	2	×	×
						40	63	269.8	52.463		88	×	11.6	×	2	×	×
117	バイク，自転車	0.5	0.55	1.915	0.0159	0	45	114.4	1.983	95	97	×	15	×	3	×	×
490	空調室外機	0.6	0.7	1.45	0.0102	0	35	31.3	1.545	150	92	×	13.9	×	3	×	×
						40	49	216.3	7.848		181	○	18.7	×	4	×	○
376	鋼管	0.55	0.55	2.4	0.0233	0	58	142.6	3.317	53.7	91	×	14	×	3	×	×
						40	58	264.8	37.449		91	×	14	×	3	×	×
267	物置	0.75	1.08	1.5	0.0047	0	18	14	0.484	500	81	×	12.3	×	2	×	×

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果（6/6）

（二次飛来物）

分類		名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ[m²/kg]	最大水平速度[m/s]	最大鉛直速度[m/s]	運動エネルギー[kJ]（水平）	運動エネルギー[kJ]（鉛直）	最大飛距離[m]	最大飛散高さ※1[m]	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 水平 t_{p_h}	コンクリートの貫通限界厚さ※2[cm] 鉛直 t_{p_v}	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 水平 $T_{\_h}$	鋼板の貫通限界厚さ※3[mm] 鉛直 $T_{\_v}$	浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか※4 (4)飛来物発生防止対策（撤去，固縛等）が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか
剛飛来物	棒状	鋼製パイプ（足場用2m）	2	0.05	0.05	6	0.0088	42	38	5	4	262	0.64+(148)	8	7	11	9	○	(5)鋼製パイプ（足場用4m）に包絡されることから，設計飛来物として選定しない。
		鋼製パイプ（足場用4m）	4	0.05	0.05	11	0.0087	42	38	10	8	261	0.57+(148)	11	10	17	15	○	設計飛来物として選定する。※6
	板状	足場板（鋼製）	4	0.25	0.04	14	0.0525	55	18	21	3	373	52+(148)	12	5	6	2	○	設計飛来物として選定する。※6
柔飛来物	棒状	屋根材（5号炉循環水ポンプ建屋：鋼板）※5	13.18	0.519	0.2	90	0.0431	61	18	165	14	237	48-(22)	22	8	7	2	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから，設計飛来物として選定しない。
	板状	足場板（アルミ）	4	0.24	0.029	11	0.0683	54	16	15	2	394	57+(148)	11	4	5	1	○	(5)足場板（鋼製）に包絡されることから，設計飛来物として選定しない。
		外壁　（5号炉循環水ポンプ建屋）※5	0.035	0.32	9.12	36	0.0578	69	15	85	5	271	59+(0)	22	6	13	2	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから，設計飛来物として選定しない。

※1：() 内の値は飛来物初期高さ（地面からの物品の高さ）
※2：修正 NDRC 式及び Degen 式を用いて算出
※3：発電用原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出
※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより，評価パラメータを設定
※5：屋根，外壁は，外部事象防護対象施設に届き得る範囲のなかで飛散評価結果値が最大である５号炉循環水ポンプ建屋を使用
※6：仮設足場に飛散防止対策を講じた場合は除く。

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m²／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
194	看板，標識	0.6	0.6	1.4	0.0449	0	71	202.9	18.726	30	76	×	12.1	×	3	×	×
						40	65	272.4	53.966		64	×	11.2	×	2	×	×
68	プラスチック容器	0.6	0.7	1.3	0.0481	0	72	238.9	20.237	29	76	×	11.7	×	2	×	×
						40	65	274	54.848		62	×	10.7	×	2	×	×
382	看板，標識	0.1	1.8	2	0.0351	0	45	147	0.533	72	73	×	14.2	×	3	×	×
						40	62	269.8	49.605		139	×	18.8	×	5	×	×
164	鋼製蓋	0.15	2.3	2.3	0.0086	0	17	12.5	0.193	441	64	×	12.9	×	2	×	×
495	仮設電源	0.6	0.9	1.1	0.0067	0	24	19.8	0.867	216	63	×	11.3	×	2	×	×
						40	45	175.2	1.869		219	○	19.8	×	4	×	○
152	消火設備格納箱	0.5	0.5	1.2	0.0192	0	49	132.9	2.372	50	61	×	12	×	3	×	×
						40	56	259.6	30.281		79	×	13.6	×	3	×	×
13	ケーブルドラム	0.5	0.9	0.9	0.0093	0	29	24.1	1.096	122	52	×	10.5	×	2	×	×
11	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0472	0	72	214	19.804	20	52	×	10.1	×	2	×	×
						40	65	273.6	54.608		43	×	9.2	×	2	×	×
93	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0460	0	71	210.3	19.251	20.5	52	×	10.1	×	2	×	×
						40	65	273	54.296		44	×	9.3	×	2	×	×
131	コンテナ	1	2.1	3.4	0.0031	0	6	1.4	0.017	2746	50	×	8.9	×	1	×	×
253	鋼製蓋	0.1	1.3	3.7	0.0141	0	20	15.4	0.24	241	49	×	13.4	×	3	×	×
181	バリケード	0.5	0.5	1.1	0.0446	0	70	196.3	14.822	20	49	×	10.5	×	2	×	×
						40	66	272.3	53.877		44	×	10	×	2	×	×
338	ケーブルドラム	0.7	0.95	0.95	0.0049	0	18	14.7	0.495	302	49	×	10	×	2	×	×
153	消火設備格納箱	0.3	0.7	1.2	0.0233	0	47	143.4	1.442	40	45	×	10.8	×	2	×	×
						40	58	265	37.449		68	×	12.9	×	3	×	×

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ (品目に則った整理)	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが"○"】
201	コンクリートブロック	0.5	0.8	0.8	0.0096	0	30	24.6	1.139	100	45	×	10	×	2	×	×
46	洗濯機	0.5	0.5	0.8	0.0148	0	43	84.2	1.855	47	44	×	10.4	×	2	×	×
203	ベンチ(常設)	0.4	0.6	0.9	0.0195	0	47	119.9	1.786	38.7	43	×	10.3	×	2	×	×
392	鋼製蓋	0.055	1.5	3.5	0.0127	0	17	12.3	0.099	283	41	×	13.6	×	3	×	×
190	ベンチ(常設)	0.4	0.4	1.2	0.0193	0	46	119.5	1.769	38.4	41	×	10.9	×	3	×	×
320	パレット(鋼製)	0.17	1.3	1.3	0.0382	0	49	144.7	1.06	33.8	41	×	10.2	×	2	×	×
						40	63	269.9	51.322		68	×	12.7	×	3	×	×
139	仮設電源	0.598	0.687	0.713	0.0066	0	24	19.8	0.84	134	39	×	9.5	×	2	×	×
						40	45	173.8	1.699		136	×	16.5	×	3	×	×
92	仮設電源	0.3	0.7	0.9	0.0194	0	44	113.6	1.227	37.8	37	×	9.9	×	2	×	×
						40	56	260.2	30.654		60	×	12.2	×	3	×	×
122	コンクリートブロック	0.45	0.5	0.8	0.0131	0	38	71.5	1.394	50	37	×	9.8	×	2	×	×
483	ベンチ(常設)	0.5	0.75	1.8	0.1733	0	86	268.8	38.374	10	37	×	8.3	×	2	×	×
204	下駄箱	0.4	0.6	1	0.0108	0	30	21.3	0.979	76	35	×	9.7	×	2	×	×
6	パレット(木製又は樹脂製)	0.15	1.1	1.1	0.0282	0	45	144.1	0.723	33	34	×	9.9	×	2	×	×
						40	60	269	43.851		60	×	12.7	×	3	×	×
339	パレット(木製又は樹脂製)	0.14	1.1	1.1	0.0279	0	44	139.6	0.661	33	32	×	9.8	×	2	×	×
						40	59	268.9	43.534		58	×	12.7	×	3	×	×
301	足場板，足場枠	0.24	0.36	3	0.0136	0	32	41.4	0.66	57	30	×	10.8	×	3	×	×
						40	52	241.5	15.824		78	×	16.5	×	5	×	×
379	パレット(木製又は樹脂製)	0.13	1.1	1.1	0.0385	0	48	146.7	0.774	23.7	28	×	9.1	×	2	×	×
						40	63	270	51.491		48	×	11.6	×	3	×	×
251	ベンチ(仮設)	0.3	0.42	1.8	0.0395	0	57	147.5	2.329	15.1	25	×	8.7	×	2	×	×

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例		

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
298	鋼製スロープ	0.12	0.5	1.5	0.0213	0	39	103.2	0.439	27.7	22	×	9.6	×	3	×	×
						40	57	263.5	34.643		45	×	13.4	×	4	×	×
176	ドラム缶	0.6	0.6	0.89	0.0045	0	14	9.1	0.259	211	21	×	7.5	×	1	×	×
						40	41	139.7	0		178	○	19.5	×	4	×	○
220	カーブミラー	0.084	1	1	0.0369	0	44	148.7	0.453	19.7	20	×	8.5	×	2	×	×
47	プラスチック容器	0.6	0.6	0.7	0.1584	0	87	256.7	39.584	5	19	×	6	×	1	×	×
						40	79	323.9	57.649		16	×	5.5	×	1	×	×
405	樹脂製パイプ	0.3	0.3	6	0.0059	0	14	8.1	0.21	150	15	×	8.7	×	2	×	×
						40	44	163.7	0.596		146	×	23.4	×	8	×	×
33	消火設備格納箱	0.3	0.3	0.7	0.0337	0	54	147.3	1.997	10	15	×	7.2	×	2	×	×
						40	61	269.4	48.653		19	×	8.1	×	2	×	×
272	足場板，足場枠	0.04	0.25	4	0.0582	0	43	126.1	0.278	12.5	12	×	9.8	×	4	×	×
						40	68	278.5	56.577		29	×	14.3	×	7	×	×
188	カラーコーン	0.4	0.4	0.7	0.1584	0	86	283.2	34.391	3	12	×	5.4	×	1	×	×
						40	79	324.1	57.649		10	×	5	×	1	×	×
351	木片，木製品	0.26	0.26	0.77	0.0119	0	29	35	0.632	26	11	×	7	×	2	×	×
						40	51	231.8	11.316		34	×	11.6	×	3	×	×
87	グレーチング	0.065	1	1	0.0113	0	15	8.8	0.101	63.3	8	×	6.1	×	2	×	×
295	ホース，ケーブル類	0.35	0.6	0.6	0.0052	0	12	7	0.169	100	8	×	5	×	1	×	×
						40	42	152.2	0.047		89	×	15.3	×	4	×	×
51	カーブミラー	0.05	0.6	0.6	0.0297	0	38	102.4	0.21	8.8	7	×	6.1	×	2	×	×
107	樹木（倒木，伐採木），材木	0.1	0.1	4	0.0162	0	22	17.5	0.277	20	5	×	6.9	×	3	×	×

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外	寸法(m) 高さ以外	C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
58	樹脂製蓋	0.02	1	1	0.0188	0	15	9.2	0.046	36	5	×	5.8	×	2	×	×
						40	55	258.9	29.521		55	×	17.6	×	8	×	×
34	鋼製スロープ	0.05	0.55	1.1	0.0203	0	21	17.1	0.152	21.4	5	×	5.7	×	2	×	×
						40	56	262.1	33.14		34	×	13.4	×	5	×	×
198	プラスチック容器	0.7	0.7	0.9	0.0034	0	5	1.2	0.013	346	5	×	3.6	×	1	×	×
						40	38	114.3	0		250	○	21.9	×	4	×	○
32	消火器	0.153	0.154	0.5	0.0117	0	22	19.7	0.324	10	3	×	4.2	×	1	×	×
						40	50	230.3	10.886		13	×	8.6	×	3	×	×
50	バイク，自転車	0.05	0.51	0.54	0.0163	0	19	14	0.122	12.5	3	×	4.1	×	1	×	×
431	樹脂製蓋	0.015	0.5	0.67	0.0253	0	16	11.3	0.045	9	2	×	3.8	×	1	×	×
						40	61	267.3	40.355		17	×	11.7	×	6	×	×
336	什器類	0.06	0.36	0.36	0.0227	0	25	25	0.207	4.5	2	×	3.3	×	1	×	×
						40	57	264.5	36.482		8	×	6.7	×	2	×	×
244	グレーチング	0.1	0.9	1	0.0059	0	5	1.2	0.016	115	2	×	2.9	×	1	×	×
305	鋼製敷板	0.005	0.5	0.9	0.0181	0	8	2.9	0.007	16.6	1	×	3.4	×	1	×	×
316	マンホール蓋	0.006	0.65	0.65	0.0181	0	9	3.6	0.009	15.6	1	×	3.4	×	1	×	×
232	コンクリート製蓋	0.03	0.5	0.6	0.0102	0	9	3.3	0.026	20.7	1	×	3	×	1	×	×
233	グレーチング	0.1	0.5	0.6	0.0063	0	7	2	0.03	38.4	1	×	2.6	×	1	×	×
110	鉄骨	0.15	0.2	6	0.0048	0	2	0.1	0	179	1	×	2	×	1	×	×
						40	42	145.6	0	179	158	×	27.7	○	12	○	○
418	コンクリ製蓋	0.022	0.26	0.26	0.0144	0	12	6.3	0.035	3.4	1	×	1.9	×	1	×	×
250	運搬台車	0.29	0.49	0.77	0.0041	0	3	0.3	0.001	120	1	×	1.8	×	1	×	×
						40	40	131.8	0		96	×	17.2	×	4	×	×
81	コンクリート製蓋	0.05	0.2	0.5	0.0070	0	5	0.9	0.01	11.5	1	×	1.5	×	1	×	×

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超（E＞176kJ）【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超（tp＞25.9cm）【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超（T＞9mm）【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが"○"】
246	マンホール蓋	0.045	0.75	0.75	0.0063	0	1	0	0	64	1	×	0.7	×	1	×	×
＜浮上しないもの＞　…初期高さ0mで最大浮上高さ0mである物品（初期高さが0を超えると初期位置が空中となり、最大浮上高さ0mでも落下時に竜巻影響によって水平速度が発生する）																	
8	鋼管	0.17	0.17	5.5	0.0042	0	0	0	0	109	—	—	0	×	0	×	×
						40	40	134	0		88	×	22.1	×	10	○	○
9	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0038	0	0	0	0	52	—	—	0	×	0	×	×
						40	39	125	0		40	—	13.5	×	4	×	×
27	フォークリフト	1.19	1.38	1.38	0.0011	0	0	0	0	3320	—	—	0	×	0	×	×
49	マンホール蓋	0.05	1	1	0.0058	0	0	0	0	122	—	—	0	×	0	×	×
54	コンクリート製蓋	0.13	0.7	1	0.0027	0	0	0	0	209	—	—	0	×	0	×	×
61	鋼製敷板	0.019	1.55	6	0.0045	0	0	0	0	1387	—	—	0	×	0	×	×
64	仮設電源	1.3	1.75	3.7	0.0022	0	0	0	0	4190	—	—	0	×	0	×	×
65	フレコンバッグ入資材	1.1	1.1	1.1	0.0024	0	0	0	0	1000	—	—	0	×	0	×	×
						40	34	81.2	0		578	○	28.2	○	5	×	○
69	鉄骨	0.15	0.15	1	0.0043	0	0	0	0	31.1	—	—	0	×	0	×	×
						40	41	136.1	0		27	×	12.6	×	5	×	×
97	鉄骨	0.125	0.125	4.5	0.0043	0	0	0	0	106	—	—	0	×	0	×	×
						40	41	136.1	0		90	×	23.3	×	12	○	○
100	ケーブルドラム	0.9	1.5	1.5	0.0024	0	0	0	0	1399	—	—	0	×	0	×	×
112	鋼管	0.15	0.15	4	0.0034	0	0	0	0	86	—	—	0	×	0	×	×
						40	38	114.7	0		63	×	19.7	×	9	○	○
141	建設機械	2.2	2.69	2.69	0.0016	0	0	0	0	8000	—	—	0	×	0	×	×
163	鉄骨	0.1	0.1	5.4	0.0048	0	0	0	0	91.3	—	—	0	×	0	×	×
						40	42	145.6	0		81	×	23.2	×	14	○	○

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例		

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外	寸法(m) 高さ以外	C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが“○”】
186	マンホール蓋	0.05	1	1	0.0058	0	0	0	0	122	—	—	0	×	0	×	×
199	オブジェ	2	2	4	0.0006	0	0	0	0	22000	—	—	0	×	0	×	×
226	トラック	1.695	2.15	5.14	0.0021	0	0	0	0	7635	—	—	0	×	0	×	×
231	マンホール蓋	0.045	0.7	0.7	0.0062	0	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
234	マンホール蓋	0.045	0.7	0.7	0.0062	0	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
276	建設機械	0.72	1.2	2.39	0.0016	0	0	0	0	2250	—	—	0	×	0	×	×
284	鋼製敷板	0.019	1.5	6	0.0045	0	0	0	0	1342	—	—	0	×	0	×	×
289	空調室外機	0.4	0.8	0.95	0.0020	0	0	0	0	500	—	—	0	×	0	×	×
						40	30	66	0		225	○	23	×	5	×	○
293	ボンベ	0.25	0.25	1.4	0.0035	0	0	0	0	57	—	—	0	×	0	×	×
						40	39	117.4	0		44	—	14.2	×	4	×	×
309	プラスチック容器	0.68	0.87	1.07	0.0029	0	0	0	0	516	—	—	0	×	0	×	×
						40	36	99.2	0		335	○	24.5	×	5	×	○
314	コンクリートブロック	0.15	0.25	0.6	0.0036	0	0	0	0	51.8	—	—	0	×	0	×	×
335	鋼製スロープ	0.15	0.5	1.6	0.0041	0	0	0	0	180	—	—	0	×	0	×	×
						40	40	131.9	0		144	×	23.3	×	7	×	×
337	鋼製スロープ	0.18	1.6	3.3	0.0038	0	0	0	0	1011	—	—	0	×	0	×	×
						40	39	125	0		769	○	41.4	○	11	○	○
372	フォークリフト	1.48	2.07	2.23	0.0010	0	0	0	0	7400	—	—	0	×	0	×	×
380	鋼製ブロック	0.4	0.4	0.75	0.0006	0	0	0	0	942	—	—	0	×	0	×	×
381	鋼製ブロック	0.4	0.5	0.75	0.0005	0	0	0	0	1178	—	—	0	×	0	×	×
388	コンクリート製蓋	0.25	1.25	5	0.0029	0	0	0	0	1655	—	—	0	×	0	×	×
394	鋼製敷板	0.016	1.53	6	0.0053	0	0	0	0	1153	—	—	0	×	0	×	×
400	鋼製ボックス	1.5	2.1	2.1	0.0019	0	0	0	0	3800	—	—	0	×	0	×	×

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3.2.4-1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

No.	カテゴリ（品目に則った整理）	寸法(m) 高さ	寸法(m) 高さ以外		C_DA/m (m^2／kg)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m／s)	最大飛散距離 (m)	最大浮上高さ (m)	質量 (kg)	運動エネルギ 最大運動E (kJ)	運動エネルギ 鋼製材超 (E＞176kJ)【条件①】	貫通力(コンクリート) 貫通限界厚さ (cm)	貫通力(コンクリート) 鋼製材超 (tp＞25.9cm)【条件②】	貫通力(鋼板) 貫通限界厚さ (mm)	貫通力(鋼板) 鋼製材超 (T＞9mm)【条件③】	飛来物発生防止対策の検討が必要【①,②,③のいずれかが"○"】
411	鋼製蓋	0.07	1.2	3.7	0.0026	0	0	0	0	1220	―	―	0	×	0	×	×
412	鋼製蓋	0.03	2.1	2.1	0.0037	0	0	0	0	816	―	―	0	×	0	×	×
413	鋼製蓋	0.07	0.4	1.1	0.0014	0	0	0	0	242	―	―	0	×	0	×	×
						40	23	41.3	0		65	×	19.6	×	7	×	×
417	コンクリートブロック	0.15	0.16	0.6	0.0042	0	0	0	0	33.1	―	―	0	×	0	×	×
469	鋼管	0.3	0.6	5.5	0.0028	0	0	0	0	745	―	―	0	×	0	×	×
						40	36	96.2	0		483	○	36.2	○	11	○	○

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		3.3.4 設計飛来物の設定 3.3.4.1 設計飛来物候補Ａの設定 フジタモデルによる飛散解析においては，物体の地上からの初期高さを高く設定したほうが地表面から解析した場合に比べて最大水平速度は高くなり，最大水平速度に依存するパラメータである運動エネルギ及び貫通力も大きくなる。 よって，前項にて算出した想定飛来物の飛散解析結果に加え，工事に伴い組み上げた仮設足場から鋼製パイプ（足場パイプ），足場板が飛散する可能性を考慮し，鋼製パイプ等が地上からの初期高さ 40m から飛散した場合を想定し，フジタモデルにより最大水平速度を求め，運動エネルギ及び貫通力を算出した。算出結果を表 3.3.4 に示す。 また，ガイドにおいて例示されている棒状飛来物の最大水平速度を参照し，運動エネルギ及び貫通力を算出した。算出結果を表 3.3.5 に示す。 表 3.3.3～3.3.5 の結果を踏まえ，運動エネルギおよび貫通力の観点から表 3.3.4 の算出結果に対して保守性を考慮し，表 3.3.5 の鋼製材［ガイド］を設計飛来物候補Ａとして設定した。 ＜鋼製材を選定した理由＞ ・鋼製材は，想定飛来物の中で大きな運動エネルギを有しているコンテナボックスやプレハブ小屋，車両等に固定・固縛が容易なものを除き，比較的大きな運動エネルギおよび最大の貫通力を有している。 ・コンテナボックス，プレハブ小屋等は鋼製材を超える運動エネルギを有しているが，固定・固縛対策が容易である。車両等については，避難が可能である。	
		表 3.3.4 想定飛来物の飛散解析結果（フジタモデル（地上からの初期高さ 40m），最大風速 92m/s）	・条件の相違 【柏崎 6/7，東海第二】 設計飛来物選定にかかる条件の相違

形状	名称	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	飛散の有無	最大速度 (m/s)	運動エネルギ (kJ)	ｺﾝｸﾘｰﾄの貫通限界厚さ※1 (cm)	鋼板の貫通限界厚さ※2 (mm)
棒状	鋼製パイプ［ガイド］	2000	50	50	8.4	○	45	9	11	14
	鋼製パイプ 1	4000	50	50	16.8	○	45	17	14	22
板状	仮設足場	4000	250	40	13.2	○	62	25	14	6

※１：修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※２：BRL 式を用いて算出

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

(6) 設計飛来物の選定結果

(1)～(5)より，柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物は，表3.3.4 のとおりとする。

仮設足場材（足場パイプ，鋼製足場板）については，設計飛来物候補の中で，足場パイプがコンクリートに対する貫通力（鉛直）及び鋼板に対する貫通力が最大であり，鋼製足場板が，運動エネルギー及びコンクリートに対する貫通力（水平）が最大であるが，仮設足場に飛散防止対策を講じた場合を考慮し，運動エネルギー，貫通力が仮設足場材（足場パイプ，鋼製足場板）に次ぐ飛来物についても抽出する。

仮設足場材（足場パイプ，鋼製足場板）に次ぐ飛来物として，鋼製材については，設計飛来物候補の中で，運動エネルギー，コ

東海第二発電所（2018.9.18 版）

3.3　設計飛来物の設定

3.2 におけるスクリーニングの結果，鋼製材の影響を上回る飛来物源については，飛来物発生防止対策を施すことが可能であると判断したため，鋼製材を設計飛来物として決定した。

また，設計飛来物に対する竜巻飛来物防護対策設備として設置する防護ネットを通過する可能性があり，鋼製材にて包含できないものとして，砂利も設計飛来物に設定した。

第 3.3－1 表に，発電所における設計飛来物の仕様を示す。

島根原子力発電所　２号炉

表 3.3.5 想定飛来物の飛散解析結果（ガイド）

形状	名称	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	質量 (kg)	飛散の有無	最大速度 (m/s)	運動ｴﾈﾙｷﾞ※1 (kJ)	ｺﾝｸﾘｰﾄの貫通限界厚さ※2 (cm)	鋼板の貫通限界厚さ※3 (mm)
棒状	鋼製パイプ［ガイド］	2000	50	50	8.4	○	49	11	11	18
	鋼製材［ガイド］	4200	300	200	135	○	51	176	27	34

※１：ガイドの飛散速度から算出
※２：ガイドの飛散速度から修正 NDRC 式及び，Degen 式を用いて算出
※３：ガイドの飛散速度から BRL 式を用いて算出

3.3.4.2 横滑りの考慮

浮上しないが横滑りにより評価対象施設等に影響を与え得る物品については，浮上する物品同様，3.3.4.3 以降の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを判断する。

3.3.4.3 飛来物発生防止対策の実施

竜巻影響評価対象施設への影響の大きさが設計飛来物として仮設定した鋼製材を超過する想定飛来物については，風荷重を考慮した固定・固縛等の飛来物発生防止対策を実施することから設計飛来物としない。また，鋼製材は地上からの初期高さ 40m から飛散した場合を想定していることから，仮設足場の飛散の影響を包絡できていると考え，仮設足場に対する固縛・固定等は実施しない。

3.3.4.4 設計飛来物の設定結果

前項の飛来物発生防止対策を実施する想定飛来物を除外した上で，運動エネルギおよび貫通力が最大である「鋼製材」を設計飛来物Ｉとする。

また，設計飛来物に対する竜巻防護対策設備として設置する竜巻防護ネットを通過する可能性があり，鋼製材にて包含できないものとして，砂利も設計飛来物に設定した。砂利等の極小飛来物が外部事象防護対象施設に与える影響について，別紙-2 に示す。

以上の結果により設定した設計飛来物を表 3.3.6 に示す。

備考

（柏崎6/7は「(3) 代表的な飛来物の飛散評価」で記載）

（東海第二は「3.2.3 (3) 飛散速度の選定と横滑りの考慮」で記載）

・条件及び運用の相違
【柏崎 6/7，東海第二】
設計飛来物設定時に考慮する条件及び運用の相違

・設計飛来物の相違
【柏崎 6/7】
島根 2 号炉は，設計飛来物をガイド記載の鋼製材としていることから，柏崎 6/7 の足場パイプ，鋼製足場板等は鋼製材に包含されている

・資料構成の相違
【柏崎 6/7，東海第二】

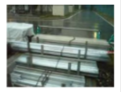
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

ンクリートに対する貫通力が最大であり，角型鋼管（大）については，鋼板に対する貫通力が最大である。

また，砂利については，非常用換気空調系ルーバへの防護対策として設置する竜巻防護ネットを通過する可能性があり，鋼製材，角型鋼管（大），足場パイプ及び鋼製足場板にて包含できないことから，設計飛来物として選定する。

表 3.3.4 柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物選定結果

飛来物の種類	砂利	鋼製材	角型鋼管（大）	足場パイプ	鋼製足場板
					
サイズ（m）	長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行き 4×0.1×0.1	長さ×幅×奥行き 4×0.05×0.05	長さ×幅×奥行き 4×0.25×0.04
質量（kg）	0.2	135	28	11	14
最大水平速度（m/s）	14	10	16	42	55
最大鉛直速度（m/s）	7	7	7	38	18
浮き上がり高さ（m）	0.08	0.08	0.15	0.57+(148)※1，※2	52+(148)※1，※2
飛散距離（m）	18	9	20	261	373

※1：（　）内の値は飛来物初期高さ（地面からの物品の高さ）

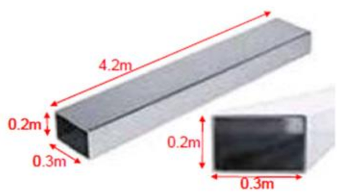
※2：大湊側における最も高所の５号炉主排気筒頂部に設置されている状況を想定し設定

なお，表 3.3.4 に示した鋼製材，角型鋼管（大），砂利，足場パイプ及び鋼製足場板の水平，鉛直速度については，竜巻風速場をフジタモデルとし飛来物の最大速度を求めた値を用いることとする。

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第 3.3−1 表　発電所における設計飛来物

名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータ (m^2／kg)	速度 (m／s)	運動エネルギ (kJ)
砂利	0.04	0.04	0.04	0.18	0.0176	62	0.35
鋼製材	4.2	0.3	0.2	135	0.0065	51	176



（鋼製材のイメージ）


（砂利）

鋼製材の水平，鉛直速度については，竜巻風速場をＬＥＳ（非定常乱流渦モデル）による乱流場とし飛来物速度を求めた「竜巻影響評価ガイド」の値を用いる。

また，砂利については，「竜巻影響評価ガイド」に記載がないことから，竜巻風速場をランキン渦モデルとした場合の水平速度を求め，鉛直速度については「竜巻影響評価ガイド」に基づき水平速度の 2／3 とした。

島根原子力発電所　２号炉

表 3.3.6 設計飛来物

飛来物	砂利	鋼製材
寸法(m)	長さ×幅×奥行 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	0.2	135
最大水平速度 (m/s)	54	51
最大鉛直速度 (m/s) ※1	36	34

※１：ここではガイドに基づき最大水平速度の２／３の値を記載。施設の構造健全性評価等では最大水平速度の２／３の値又はフジタモデルによる飛散解析結果による値を用いる。

備考

島根２号炉は砂利等の極小飛来物の衝突に対する影響を記載

（砂利の影響について再掲）

・設計飛来物の相違

【柏崎 6/7】

（同上）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		3.3.5 二次飛来物の確認 竜巻による風圧力や飛来物によって破損して飛来物となり得る物体（以下「二次飛来物」という。）について，過去の竜巻事例（別紙－１）に基づき，平成 26 年８月に現地調査を実施した。 （１）現地調査の観点 風圧力や飛来物による被害を受けると考えられる設備及び建物・構築部（固定状況等含む）を調査し，二次飛来物となり得る部位を抽出した。 （２）現地調査結果 現地調査の結果，建物の金属製屋根・外壁，シャッター，ガラス窓及び給排気用格子を二次飛来物として抽出した。これらの二次飛来物について，設計飛来物の影響を超過するものはないことを確認した。 詳細は別紙－２「二次飛来物の現地調査について」に示す。	（柏崎6/7は「(1) 飛来物調査」及び「別紙1(2) 固定状況等を踏まえた抽出」で記載） （東海第二は「2.　発電所構内の物品調査」及び「3.1　固定状況等を踏まえた飛来物源の抽出」で記載）

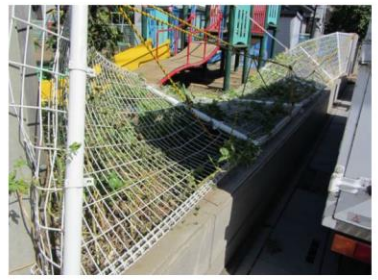
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙１ 分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品等について 設計飛来物の選定フローにおいて，「分解し小型軽量となる物品」及び「倒壊するが飛来物とはならない物品」は設計飛来物として選定しないこととしている。これは，過去の主な竜巻の被害概要の調査結果から，分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品について検討を行った結果より確認をしている。 以下に平成2 年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った結果を示す。「分解し小型軽量となる物品」，「倒壊するが飛来物とはならない物品」は柏崎刈羽原子力発電所における調査結果を念頭に被害状況を示す。	別紙 9-1 分解され小型軽量となる物品 及び損傷するが飛来物とならない物品について 設計飛来物の抽出フローにおいて，「分解され小型軽量となる物品」は設計飛来物のうち鋼製材に包絡されること，また「損傷するが飛散しない物品」は飛散しないことから，いずれも設計飛来物として選定しないとしている。これは，過去の主な竜巻の被害概要の調査結果等から，このような物品の状況について検討を行った結果より判断した。 以下に，平成２年以降の主な竜巻による被害概要の調査結果等に基づく検討結果を示す。	別紙－１ 過去の主な竜巻事例に基づく飛来物の検討について 島根原子力発電所における設計飛来物の設定にあたり，「損傷するが飛来物とならない物品」及び「分解して小型軽量となる物体」について，過去の主な竜巻による被害概要を調査した文献を用いて検討を行った。検討の結果，「樹木，フェンスについては，竜巻時に損傷するが飛来物とならない」，「建物の金属製屋根・外壁，シャッター，ガラス窓等については，竜巻時に飛散するが，分解され小型軽量となるため，設計飛来物に包含される」と判断した。検討内容を以下に示す。	
		（１）損傷するが飛来物とならない物体 ①樹木 樹木の被害状況を図１～７に示す。 樹木については，被害状況より幹の折損，根の引き抜き等が見られるが，折損した場合，引き抜かれた場合どちらにおいてもその場で損傷しているのみであることが確認できる。これは竜巻の風荷重により，樹木が損傷した後，竜巻が既に通過しているためであると考えられ，樹木が折損，引き抜かれた後，さらに竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考え難い。  写真１　天神寺外観（南から見る）  写真３　倒木（北西からみる） 図１　平成 14 年 7 月 10 日群馬県境町にて発生した F2 竜巻による樹木の被害状況※1	（柏崎6/7は「(3) 倒壊するが飛来物とならない物品（確認対象：樹木，フェンス）」で記載） （東海第二は「(3)　損傷するが飛散しない物品（樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル）」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
		  写真16　樹木の転倒　　写真38　樹木の転倒(緑ヶ丘) 図2　平成18年9月17日宮崎県延岡市にて発生したF2竜巻による樹木の被害状況※2  写真47　樹木の折損 図3　平成20年5月25日米国アイオワ州にて発生したEF5竜巻による樹木の被害状況※3  写真25　倒木(火打谷地区) 図4　平成21年7月19日岡山県美作市にて発生したF2竜巻による樹木の被害状況※4	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 写真 44　樹木の被害 図５　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻による樹木の被害状況[※5]   写真 3.5-15　樹木の折損　写真 3.5-16　樹木の折損と鳥居の被害   写真 3.5-17　樹木の倒木　写真 3.5-18　倒木による社の倒壊 図６　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻による樹木の被害状況[※6]	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 写真 5.1.12　樹木の倒壊 写真 5.1.13　樹木の倒壊による小屋組の被害 写真 5.2.14　樹木の被害 写真 5.2.15　樹木の被害 写真 5.2.16　樹木の被害 写真 5.2.17　樹木の被害 図７　平成 25 年９月２日埼玉県にて発生した F2 竜巻による樹木の被害状況※7 ②フェンス フェンスの被害状況を図８～10 に示す。 フェンスについては，被害状況より，傾き，損傷等が見られるが樹木と同様にその場で損傷しているのみであり，損傷した後，竜巻はすでに通過していると考えられ，竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考え難い。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 写真20　フェンスの著しい変形　　写真31　フェンスの変形 図８　平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市にて発生した F1(F2)竜巻によるフェンスの被害状況※8  写真 3.5-10　フェンスの被害状況 図９　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻によるフェンスの被害状況※6	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 写真 4.1.9　フェンスの倒壊  写真 4.1.14　フェンスの倒壊  写真 4.1.15　支柱部の破断  写真 5.1.16　フェンスの被害  写真 5.2.19　フェンスの被害（工事中の構築物）  写真 5.2.20　フェンスの被害 図 10　平成 25 年 9 月 2 日埼玉県にて発生した F2 竜巻によるフェンスの被害状況※7 ③原子炉建物外側ブローアウトパネル 　原子炉建物外側ブローアウトパネルには開放時の落下を防止する機構が付けられており，竜巻によって外れた場合でも，落下時の挙動は通常の開放時と変わりないと考えられることから，落下防止機構が破断して飛来物となることはないと考えられる。また，原子炉建物外側ブローアウトパネルの開放後には竜巻は速やかに遠ざかっていくと考えられることから，開放した原子炉建物外側ブローアウトパネルが強風に煽られ，落下防止機構が破断し飛来物化する可能性も小さいと考えられる。	（東海第二は「（3） d．原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル」で記載） ・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 　島根２号炉はブローアウトパネルの飛来物化について検討している

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>(1) 分解し小型軽量となる物品（確認対象：屋外屋根，シャッター，ガラス窓，仮設足場）

竜巻の被害概要調査結果において分解し小型軽量となる物品として，柏崎刈羽原子力発電所に設置の類似品として屋外屋根，シャッター，ガラス窓，仮設足場を確認した。屋外屋根，シャッター，ガラス窓，仮設足場の被害状況は以下のとおり。

a. 屋外屋根の被害状況
図1～5 に屋外屋根の被害状況を示す。これらより，屋外屋根については，F0～F3 の被害状況において形を保ったままではなく，分解された状態で飛来していることが分かる。また，厚みが薄く，受風面積が大きいため風の影響を受けやすいことから形状が変形（柔飛来物）しており，剛飛来物に比べ，貫通等の影響が小さくはなるが，外部事象防護対象施設への影響が考えられる屋根については，飛散防止対策を実施する。</td>
<td>(1)　分解され小型軽量となる物品（屋外屋根及びガラス窓）

竜巻の被害概要調査結果において，分解され小型軽量となる物品として屋外屋根及びガラス窓が確認できた。これらの被害状況を以下に示す。

a．屋外屋根
別図１－１～5 に屋外屋根の被害状況を示す。これらより，屋外屋根については，Ｆ０～Ｆ３の竜巻において，形を保ったままではなく，分解された状態で飛来していることが分かる。また，厚みが薄いことから形状が変形しており柔飛来物と見なせると考えられることから，衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については，設計飛来物である鋼製材の評価に包絡されると考えられる。</td>
<td>（２）分解され小型軽量となる物体

①建物の金属製屋根・外壁
建物の金属製屋根・外壁の被害状況を図 11～15 に示す。
建物の金属製屋根・外壁については， F0～F3 の被害状況において形を保ったままではなく，分解された状態で飛来しており，また，厚さが極めて薄い柔飛来物であるため，飛散した場合大きく形状が変形していることが分かる。
発電所構内の資機材等のうち，運動エネルギ及び貫通力が設計飛来物を超過するものは飛散防止対策を実施することとしているが，建物の金属製屋根・外壁は柔飛来物であり，設計飛来物に比べ貫通の影響は小さい。発電所構内の建物の金属製屋根・外壁が飛散した場合，運動エネルギは表１に示すとおり最大でも 103kJ であり，設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギよりも十分に小さいことから，発電所構内の建物の金属製屋根・外壁については飛散防止対策の対象としない。

表１　設計飛来物（鋼製材）と金属製屋根の飛散速度と運動エネルギ
<table><tr><th></th><th>寸法</th><th>重量</th><th>飛散速度</th><th>運動
エネルギ</th></tr><tr><td>金属製屋根</td><td>5,000×700×1.0t</td><td>42kg</td><td>70m/s</td><td>103kJ</td></tr><tr><td>設計飛来物
（鋼製材）</td><td>4,200×300×200×4.2t</td><td>135kg</td><td>51m/s</td><td>176kJ</td></tr></table></td>
<td>・対策方針の相違
【柏崎 6/7】
島根２号炉は設計飛来物をガイド記載の鋼製材にしており，金属製屋根・外壁が飛散した場合の運動エネルギを包絡していることから，金属製屋根・外壁に飛散防止対策は実施しない</td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 牛舎の屋根東方向，柱・トタン板は西方向に飛散している 図 1 平成 16 年 6 月 27 日佐賀県にて発生した F2 竜巻による野外屋根の被害状況(1)	 別図１－１　平成 16 年６月 27 日佐賀県で発生したＦ２竜巻による屋外屋根の被害状況(1)	 牛舎の屋根東方向，柱・トタン板は西方向に飛散している 図11　平成16 年6 月27 日佐賀県にて発生したF2 竜巻による野外屋根の被害状況※9	

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
 カーボード屋根の飛散及び骨組の損傷  カーボード屋根の破損  屋外トイレ屋根の損傷 図2 平成18 年9 月17 日宮崎県延岡市で発生したF2 竜巻による屋外屋根の被害状況(2)  折板の損傷  カーボードの被害 図3 平成21 年10 月8 日茨城県土浦市で発生したF1 竜巻による屋外屋根の被害状況(3)  周囲の田に散乱した屋根ふき材 図4 平成24 年2 月1 日島根県出雲市にて発生したF0 竜巻による屋外屋根の被害状況(4)	 屋外トイレ屋根の損傷  カーボート屋根の飛散及び骨組の損傷  カーボート屋根の損傷 別図1－2　平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻による屋外屋根の被害状況(2)  折板の損傷  カーボートの被害 別図1－3　平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻による屋外屋根の被害状況(3)  周囲の田に散乱した屋根ふき材 別図1－4　平成24年2月1日島根県出雲市で発生したＦ０竜巻による屋外屋根の被害状況(4)	 カーボード屋根の飛散及び骨組の損傷  カーボード屋根の破損  屋外トイレ屋根の損傷 図12　平成18 年9 月17 日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻による屋外屋根の被害状況※2  折板の損傷  カーボードの被害 図13　平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻による屋外屋根の被害状況※5  周囲の田に散乱した屋根ふき材 図14　平成24年2月1日島根県出雲市にて発生したF0竜巻による屋外屋根の被害状況※10	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 飛散した鋼板製屋根材  飛散した折板屋根の状況  電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材） 図５ 平成 24 年５ 月６ 日茨城県つくば市で発生したF3 竜巻による屋外屋根の被害状況(5)	 電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材）  飛来物（鋼板製屋根材）の衝突  飛散した飛来物（鋼板製屋根材）  飛散した折板屋根の損傷状況  ガソリンスタンドの折板屋根の脱落  駐車場の折板屋根の著しい変形 別図１－５　平成24年５月６日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻による屋外屋根の被害状況(5)	 飛散した鋼板製屋根材  飛散した折板屋根の状況  電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材） 図 15　平成 24 年５ 月６ 日茨城県つくば市で発生したF3 竜巻による屋外屋根の被害状況※6	
b. シャッター 図６～10 にシャッターの被害状況を示す。これらより，シャッターについては，F1～F3，EF5 の竜巻において形状は変形しているが，固定部が外れていないことが確認できる。		②シャッター シャッターの被害状況を図 16～20 に示す。 シャッターについては，被害状況より，F1(F2)，F3，EF5 の竜巻において形状は変形しているが，固定部が外れていないことが確認できる。	（東海第二は「(3)　損傷するが飛散しない物品（樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル）」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図６ 平成 20 年５ 月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻によるシャッター被害状況[6]  シャッターの破損 図７ 平成21 年10 月８ 日茨城県土浦市にて発生したF1 竜巻によるシャッターの被害状況[3]  シャッターの外れ 図８ 平成21 年７ 月 27 日群馬県館林市で発生した F1(F2)竜巻によるシャッターの被害状況[7]  消防団施設のシャッターの被害状況 図９ 平成 24 年５ 月６ 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻によるシャッターの被害状況[5]		 写真 31 図 16　平成 20 年５月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻によるシャッターの被害状況[※3]  写真 10　シャッターの破損 図 17　平成 21 年 10 月８日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻によるシャッターの被害状況[※5]  写真 22　シャッターの外れ 図 18　平成 21 年７月 27 日群馬県館林市にて発生した F1(F2)竜巻によるシャッターの被害状況[※8]  写真 3.4-37　消防団施設のシャッターの被害状況 図 19　平成 24 年５月６日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻によるシャッターの被害状況[※6]	

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>
シャッターの被害
図10 平成25 年9 月2 日埼玉県発生したF2 竜巻によるシャッターの被害状況(8)</td><td></td><td>
写真 4.1.30　シャッターの変形
図 20　平成 25 年 9 月 2 日埼玉県にて発生した F2 竜巻によるシャッターの被害状況※7</td><td></td></tr>
<tr><td>c. ガラス窓
図 11～16 にはガラス窓の被害状況を示す。これより，ガラス窓については，F0～F3，EF5 の竜巻において損壊し，分解されていることが確認できる。分解された状態では，小型軽量となっており，設計飛来物である鋼製材若しくは砂利等に包含されると考えられる。</td><td>ｂ．ガラス窓
別図１－６～11 にガラス窓の被害状況を示す。これらより，ガラス窓については，Ｆ０～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において損壊し，分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており，その影響は設計飛来物である鋼製材若しくは砂利に包絡されると考えられる。</td><td>③ガラス窓
ガラス窓の被害状況を図 21～26 に示す。
ガラス窓については，被害状況より，F0～F3，EF5 の竜巻において損壊し，分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており，設計飛来物に包含されると考える。</td><td></td></tr>
<tr><td>
エントランスの窓ガラスの破損

破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり
図 11 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F2 竜巻によるガラス窓の被害状況(2)</td><td>
エントランスの窓ガラスの損壊

破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり
別図１－６　平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻によるガラス窓の被害状況(2)</td><td>
写真 8　エントランスの窓ガラスの破損

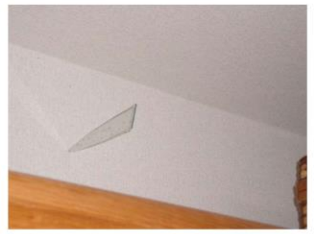



写真 25　破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり [山下町]
図 21　平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市にて発生した F2 竜巻によるガラス窓の被害状況※2</td><td></td></tr>
<tr><td>
バスの窓ガラス破損
図 12 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した EF5 竜巻によるガラス窓の被害状況(6)</td><td>
バスの窓ガラス損壊
別図１－７　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻によるガラス窓の被害状況(6)</td><td>
写真 44　バスの窓ガラス破損
図 22　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻によるガラス窓の被害状況※3</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>
 
窓ガラスの損壊　窓ガラスの飛来物衝突痕
図13 平成21 年7 月27 日群馬県館林市でのF1(F2)竜巻によるガラス窓の被害状況(7)

 
エントランスのガラス破損　倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況

窓ガラスの破損
図14 平成21 年10 月8 日茨城県土浦市にて発生したF1 竜巻によるガラス窓の被害状況(3)

体育館窓ガラスの破損

(a) 教室　(b) 廊下　(c) 屋外に面した窓ガラス
本館４階の廊下と教室内のガラス破片の散乱状況
図 15 平成24 年2 月1 日島根県出雲市にて発生したF0 竜巻によるガラス窓の被害状況(4)
</td><td>
 
窓ガラスの損壊　窓ガラスの飛来物衝突痕
別図１－８　平成21年７月27日群馬県館林市でのＦ１（Ｆ２）竜巻によるガラス窓の被害状況(7)

 
倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況　窓ガラスの損壊
 
出窓部の窓ガラスの損壊　エントランスのガラス損壊
別図１－９　平成21年10月８日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻によるガラス窓の被害状況(3)

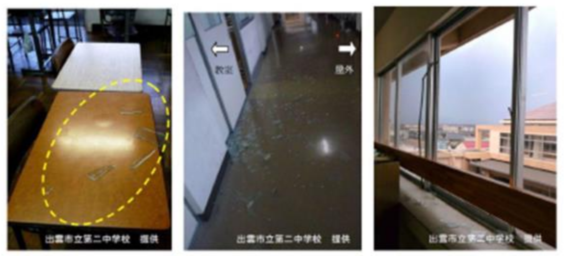
体育館窓ガラスの損壊

教室　廊下　屋外に面した窓ガラス
別図１－10　平成24年２月１日島根県出雲市で発生したＦ０竜巻によるガラス窓の被害状況(4)
</td><td>
 
写真 19　窓ガラスの損壊　写真 27　窓ガラスの飛来物衝突痕
図 23　平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市にて発生した F1(F2)竜巻によるガラス窓の被害状況※8

 
写真 8　倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況　写真 16　窓ガラスの破損

写真 30　出隅部の窓ガラスの被害
図 24　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻によるガラス窓の被害状況※5

写真 3　体育館窓ガラスの破損

図 25　平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市にて発生した F0 竜巻によるガラス窓の被害状況※9
</td><td></td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 店舗の窓ガラスの被害状況  ガラスへの飛来物の衝突痕 図 16 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F3 竜巻によるガラス窓の被害状況(5)	  店舗の窓ガラスの被害状況　店舗の窓ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）   ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）　ガラスの被害状況（飛来物衝突痕） 別図１－11　平成 24 年５月６日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるガラス窓の被害状況(5)	  写真 3.4-21　店舗の窓ガラスの被害状況　写真 3.4-22　店舗の窓ガラスの被害状況   写真 3.4-35　ガラスへの飛来物の衝突痕　写真 3.4-36　ガラスへの飛来物の衝突痕 図 26　平成 24 年５月６日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻によるガラス窓の被害状況※6	
<u>ｄ．仮設足場</u> 図 17 には仮設足場の被害状況を示す。これらより，仮設足場については，F2 の竜巻において倒壊していることが確認できる。仮設足場材が飛散した場合を想定し，設計飛来物に選定する。ただし，飛散防止対策を講じた場合を除く。  仮設足場の倒壊 図 17 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F2 竜巻による仮設足場の被害状況(9)			・設計飛来物の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉は仮設足場を包絡する飛来物としてガイドの鋼製材を設計飛来物としている

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　(2017.12.20版)	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
(2) 柏崎刈羽原子力発電所の屋外屋根，シャッター，ガラス窓，仮設足場の状況 柏崎刈羽原子力発電所における屋外屋根の状況を図18，シャッターの状況を図19，ガラス窓の状況を図20，仮設足場の状況を図21 に示す。柏崎刈羽原子力発電所におけるこれらの物品の構造については，上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になると考えられる。 そのため，上記の被害状況からこれらの物品については，飛散をしていないシャッターを除き，二次飛来物となる可能性がある。仮設足場材については，飛散を想定し，設計飛来物に選定する。ただし，飛散防止対策を講じた場合を除く。また，ガラス窓については設計飛来物に包含されるが，屋外屋根については設計飛来物に包含されないことから，飛散防止対策を実施する。  図 18　柏崎刈羽原子力発電所における屋外屋根の状況	(2)　発電所の屋外屋根及びガラス窓の状況 発電所における屋外屋根の状況を別図1－12,ガラス窓の状況を別図1－13に示す。発電所におけるこれらの物品の構造については，上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には同様の被害状況になると考えられ，飛来物としては設計飛来物の影響に包絡されると考えられる。  別図1－12　発電所における屋外屋根の状況		（島根2号炉は「別紙-3 二次飛来物の現地調査について」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 19 柏崎刈羽原子力発電所におけるシャッターの状況  図 20 柏崎刈羽原子力発電所におけるガラス窓の状況  図 21 柏崎刈羽原子力発電所における仮設足場の状況	 別図１－13　発電所におけるガラス窓の状況		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(3) 倒壊するが飛来物とならない物品（確認対象：樹木，フェンス） 竜巻の被害概要調査結果において倒壊するが飛来物とならない物品で，柏崎刈羽原子力発電所に存在する類似品として樹木，フェンスを確認した。樹木，フェンスの被害状況は以下のとおり。	(3)　損傷するが飛散しない物品（樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル） 竜巻の被害概要調査結果等における「損傷するが飛散しない物品」に関し，発電所に存在する物品としてシャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが確認できた。これらの被害状況を以下に示す。 ａ．シャッター 別図１－14～18 にシャッターの被害状況を示す。これらより，シャッターについては，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において形状は変形しているが，固定部は外れていないことが確認できる。なお，外れて飛来物となったとしても，衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については，上記の屋外屋根と同様，設計飛来物である鋼製材の評価で包絡されると考えられる。  シャッターの外れ 別図１－14　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻によるシャッター被害状況[(6)]  シャッターの変形 別図１－15　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻によるシャッターの被害状況[(3)]		（島根２号炉は「別紙-1 (1) 損傷するが飛来物とならない物体」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 シャッターの外れ 別図１－16　平成 21 年７月 27 日群馬県館林市で発生したＦ１（Ｆ２）竜巻によるシャッターの被害状況(7)  消防団施設のシャッターの変形 別図１－17　平成 24 年５月６日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるシャッターの被害状況(5)  シャッターの外れ 別図１－18　平成 25 年９月２日埼玉県発生した F2 竜巻によるシャッターの被害状況(8)		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
a．樹木 図22～28 には樹木の被害状況を示す。これらより，樹木については，F1～F3 及びEF5の被害状況において幹の折損，根の引き抜き等が見られるが折れた場合，引き抜かれた場合どちらにおいてもその場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは竜巻の風荷重により，樹木が損壊を受けたあと，竜巻がすでに通り過ぎているためであると考えられ，樹木が折損，引き抜かれた後，更に竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考え難い。  倒木（南から見る） 倒れなかった樹木も点在している。  倒木（北西から見る） 図 22 平成14 年7 月10 日群馬県境町で発生したF2 竜巻による樹木被害状況[10]  樹木の転倒  樹木の転倒（緑ヶ丘） 図 23 平成18 年9 月17 日宮崎県延岡市で発生したF2 竜巻による樹木被害状況[2]	ｂ．樹木 別図１－19～25 に樹木の被害状況を示す。これらより，樹木については，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において幹の折損，根の引き抜き等が見られるが，折れた場合若しくは引き抜かれた場合のいずれにおいても，その場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは，竜巻の風荷重により樹木が損壊を受けた後では，竜巻が既に通り過ぎているためと考えられ，樹木が折損若しくは引き抜かれた後，さらに竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考えにくい。  倒木（南から見る） 倒れなかった樹木も点在している。  倒木（北西から見る） 別図１－19　平成14年7月26日群馬県境町で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況[9]  樹木の転倒  樹木の転倒 別図１－20　平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況[2]		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 樹木の折損 図 24 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻による樹木被害状況(6)	 樹木の折損 別図１－21　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻による樹木被害状況（6）		
 倒木（火打谷地区） 図 25 平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市にて発生した F2 竜巻による樹木被害状況(11)	 倒木 別図１－22　平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況（１０）		
 倒木の被害 図 26 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻による樹木被害状況(3)	 倒木 別図１－23　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻による樹木被害状況（3）		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 倒木の折損  倒木の折損と鳥居の被害  樹木の倒木  倒木による社の倒壊 図 27 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻による樹木被害状況(5)	 樹木の折損  樹木の折損と鳥居の被害  樹木の倒木  倒木と社の被害 別図１－24　平成 24 年５月６日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻による樹木被害状況（5）		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 樹木の倒壊  樹木の倒壊による小屋組の被害  樹木の被害  樹木の被害  樹木の被害  樹木の被害 図 28 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻による樹木被害状況(8)	 樹木の被害  樹木の倒壊による小屋組の被害  樹木の被害  樹木の被害  樹木の被害  樹木の被害 別図１－25　平成 25 年９月２日埼玉県で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況(８)		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
b. フェンス 図29～31 にはフェンスの被害状況を示す。これらよりフェンスについては，F1～F3 の被 害状況において傾き，倒壊等が見られるが樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり， 倒壊した後，竜巻はすでに通り過ぎていると考えられ，竜巻により巻き上げられ，飛来物と なることは考え難い。   フェンスの著しい変形　フェンスの変形 図 29 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F1(F2)竜巻によるフェンスの被害状況(7)  フェンスの被害状況 図 30 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻によるフェンスの被害状況(5)	c．フェンス 別図 1－26～28 にフェンスの被害状況を示す。これらより，フェンス類については，Ｆ１～Ｆ３の竜巻において傾き，倒壊等が見られるが，樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり，倒壊した後では，竜巻は既に通り過ぎていると考えられることから，竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考えにくい。   フェンスの著しい変形　フェンスの変形 別図 1－26　平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生したＦ１（Ｆ２）竜巻によるフェンスの被害状況（7）   フェンスの変形　道路標識の倒壊 別図 1－27　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるフェンス類の被害状況（5）		

<table>
<tr><th>柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）</th><th>東海第二発電所（2018.9.18 版）</th><th>島根原子力発電所　２号炉</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>
フェンスの倒壊

屋上フェンスの被害

フェンスの倒壊

支柱部の破断

フェンスの被害（工事中の建築物）

フェンスの被害

図 31 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻によるフェンスの被害状況(8)</td><td>
フェンスの倒壊

屋上フェンスの変形

フェンスの変形

フェンス支柱部の破損

フェンスの変形（工事中の建築物）

フェンスの倒壊

電柱の倒壊

看板の変形

別図１−28　平成 25 年９月２日埼玉県で発生したＦ２竜巻によるフェンス類の被害状況(8)</td><td></td><td></td></tr>
</table>

柏崎刈羽原子力発電所　6／7号炉　（2017.12.20版）	東海第二発電所（2018.9.18版）	島根原子力発電所　2号炉	備考
(4) 柏崎刈羽原子力発電所の樹木，フェンスの状況 a. 樹木 柏崎刈羽原子力発電所における樹木の状況を図32 に示す。上記にて示した被害にあった 樹木と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり，幹の折損，根 の引き抜きによりその場で倒壊すると考えられる。	d．原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル 原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルには開放時の落下を防止する機構が付けられており，竜巻によって外れた場合でも，落下時の挙動は通常の開放時と変わりないと考えられることから，落下防止機構が破断して飛来物となることはないと考えられる。また，原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放後には竜巻は速やかに遠ざかっていくと考えられることから，開放した原子炉建屋外側ブローアウトパネルが強風に煽られ，落下防止機構が破断し飛来物化する可能性も小さいと考えられる。 (4)　発電所のシャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルの状況 発電所におけるシャッターの状況を別図1－29に，樹木の状況を別図1－30に示す。上記の被害実績に示された樹木と大きく変わらないと考えられることから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり，幹の折損若しくは根の引き抜きによりその場で倒壊するのみと考えられる。 別図1－29　発電所におけるシャッターの状況		（島根2号炉は「(1)③原子炉建物外側ブローアウトパネル」で記載）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 図 32 柏崎刈羽原子力発電所における樹木の状況 b. フェンス 柏崎刈羽原子力発電所におけるフェンスの状況を図33 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり変形若しくは倒壊すると考えられる。  図 33 柏崎刈羽原子力発電所におけるフェンスの状況 以上より，樹木及びフェンスは，竜巻により倒壊するが，飛来しないことから，設計飛来物 として選定しない。	 別図 1－30　発電所における樹木の状況 発電所におけるフェンスの状況を別図 1－31 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり変形若しくは倒壊すると考えられる。  別図 1－31　発電所におけるフェンスの状況 発電所における原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルの設置状況を別図 1－32 に示す。原子炉建屋外側ブローアウトパネルには 4 本のチェーンが落下防止機構として取り付けられており，これらは落下時の衝撃荷重に対して破断しないと考えられる。また，竜巻が遠ざかるまでの短時間に 4 本のチェーンが全て破断する可能性も小さいと考えられる。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	  別図１－32　発電所における原子炉建屋原子炉棟外壁の 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの設置状況 以上より，シャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルは，竜巻により損傷若しくは脱落するが，飛散せず設計飛来物として選定が不要と判断した。		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
参考文献 (1) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」（平成16 年7 月13 日） (2) 「2006 年台風13 号被害調査報告－延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害－」 （平成18 年10 月10 日） (3) 「平成21 年10 月8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」（平成21 年10 月13 日） (4) 「平成24 年2 月1 日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」(平成24 年2 月14日) (5) 「平成24 年（2012 年）5 月6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査 報告(ISSN1346-7328 国総研資料第703 号ISSN0286-4630 建築研究資料第141 号平成25 年1 月） (6) 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」（平成20 年6 月9 日） (7) 「平成21 年7 月27 日群馬県館林市竜巻被害調査報告（平成21 年8 月17 日 一部修正） (8) 「平成25 年9 月2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市，北葛飾郡松伏町及び千葉県 野田市での建築物等被害（速報）」（国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法 人建築研究所 平成25 年9 月10 日 一部修正） (9) 「2006 年台風13 号に伴って発生した竜巻による延岡市の建物被害」 (10) 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」（平成14 年7 月26 日独 立行政法人建築研究所） (11)「平成21 年7 月19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」(平成21 年8 月4 日)	＜参考文献＞ (1) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」（平成16 年7 月13 日） (2)「2006 年台風13 号被害調査報告 -延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害-」（平成18 年10 月10 日） (3) 「平成21 年10 月8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」（平成21 年10 月13 日） (4) 「平成24 年2 月1 日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」（平成24 年2 月14 日） (5) 「平成24 年（2012 年）5 月6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」（ISSN 1346-7328 国総研資料第703 号 ISSN 0286-4630 建築研究資料第141 号 平成25 年1 月） (6) 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」（平成20 年6 月9 日） (7) 「平成21 年7 月27 日群馬県館林市竜巻被害調査報告」（平成21 年8 月17 日一部修正） (8) 「平成25 年9 月2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市，北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害（速報）」（国土交通省国土技術政策総合研究所独立行政法人建築研究所平成25 年9 月10 日一部修正） (9) 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」（平成14 年7 月26 日独立行政法人建築研究所） (10) 「平成21 年7 月19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」（平成21 年8 月4 日）	※１：「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」（平成14 年7 月26 日独立行政法人建築研究所） ※２：「2006 年台風13 号被害調査報告延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害-」（平成18 年10 月10 日） ※３：「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」（平成20 年6 月9 日） ※４：「平成21 年7 月19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」（平成21 年8 月4 日） ※５：「平成21 年10 月8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」（平成21 年10 月13 日） ※６：「平成24 年(2012 年)5 月6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」(ISSN1346-7328 国総研資料第703 号 ISSN0286-4630 建築研究資料第141 号平成25 年1 月） ※７：「平成25 年9 月2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市、北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害（速報）」(国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所平成25 年9 月10 日一部修正） ※８：「平成21 年7 月27 日群馬県館林市竜巻被害調査報告」（平成21 年8 月17 日一部修正） ※９：「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」（平成 16 年 7 月 13 日） ※１０：「平成24 年2 月1 日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」（平成24 年2 月14 日）	