

泊発電所3号機  
竜巻影響評価結果（その2）  
補足説明資料

平成25年12月24日

北海道電力株式会社

## 目 次

### I. 竜巻影響評価について

1. 基準竜巻の設定について
2. 相関係数の算出及び検定方法について
3. 総観係数の分布図
4. 襟裳岬から東側の海岸線等における竜巻発生数
5. 円形構造物に対する竜巻移動方向の依存性について
6. 竜巻発生個数の補正方法の妥当性について
7. 竜巻集中地域の評価について
8. ポアソン分布を用いたハザード曲線の評価
9. 地形効果による竜巻風速の増幅について
10. 竜巻防護施設の評価対象施設の抽出について
11. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について
12. 想定飛来物の抽出及び設計飛来物の設定について
13. 運転時荷重の組み合わせを考慮していない理由について
14. 雹を飛来物として想定した場合の影響評価について
15. 設計基準事故時荷重の組み合わせを考慮していない理由について
16. 建物・構築物等の構造健全性の確認内容について
17. 評価式の妥当性及び評価方法について
18. デッキプレート等によるコンクリート片の飛散防止について
19. 評価対象施設の評価実施項目および考え方について
20. 評価対象施設の評価方法について
21. BRL 式の妥当性および評価内容について
22. 使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件および評価式について
23. 新燃料貯蔵庫内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件等について
24. 燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンへの設計飛来物による影響評価について
25. 評価対象施設の評価結果について
26. 飛来物対策について
27. 竜巻襲来時において排気筒に求められる機能について

### II. 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドへの適合状況について

は前回ご説明箇所を示す（今回は添付しておりません）

は今回ご説明箇所を示す

## I. 竜巻影響評価について

## 9. 地形効果による竜巻風速の増幅について

### 1. はじめに

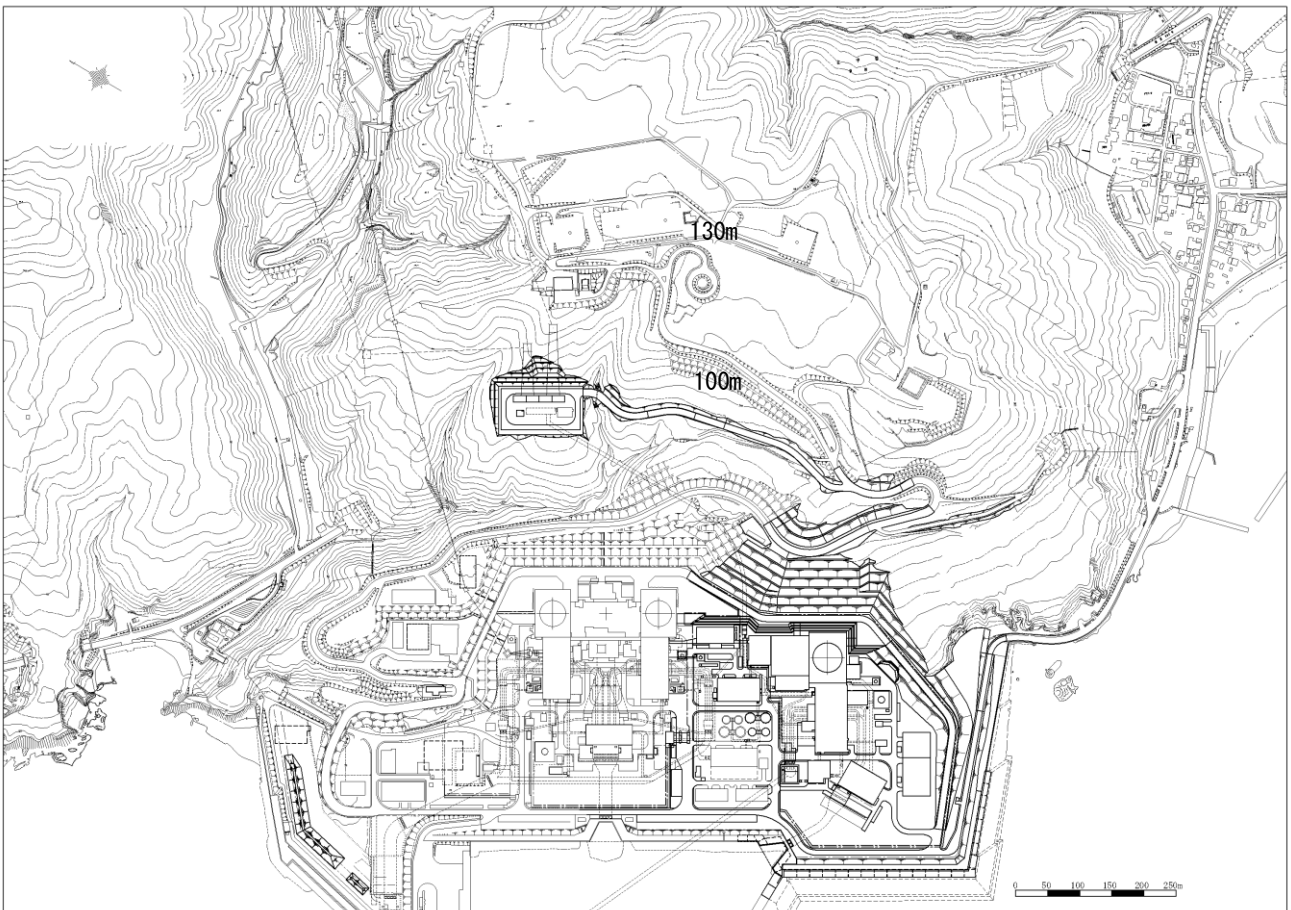
設計竜巻の設定にあたっては、丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから、原子力発電所が立地する地域において、設計対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速を設定することとされている。

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

### 2. 泊発電所周辺の地形

泊発電所周辺の地形図を第9-1図に示す。

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



第9-1図 泊発電所周辺地形図



### 3. 泊発電所における地形効果による竜巻風速の増幅の可能性

#### (1) 地形効果に関する既往の知見

地形効果による竜巻及び風速の増幅に関する知見として以下のものがある。

##### ① 建築物荷重指針・同解説<sup>※1</sup>

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

##### ② 佐々ほか (2007) <sup>※2</sup>

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

##### ③ Forbes (1998) <sup>※3</sup>

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

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

##### ④ Lewellen (2012) <sup>※4</sup>

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

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

##### ⑤ Selvam et al. (2013) <sup>※5</sup>

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

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

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

(2) 泊発電所の竜巻検討地域における竜巻の移動方向

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

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

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

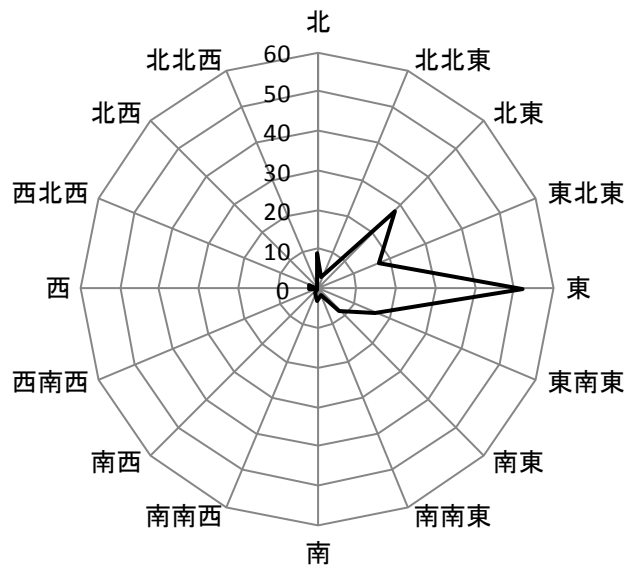
特に、泊発電所が位置する北海道後志支庁沿岸部の発生竜巻については、全て東側（北東～南東までの範囲）方向への移動が確認されている。

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

第 9-1 表 移動方向別の竜巻発生個数

[個]

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



第 9-2 図 移動方向別の竜巻発生個数

#### 4. まとめ

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

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

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

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

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

---

※1：建築物荷重指針・同解説，日本建築学会，2004

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

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

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

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

泊発電所周辺の地形を考慮した数値シミュレーションについて

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

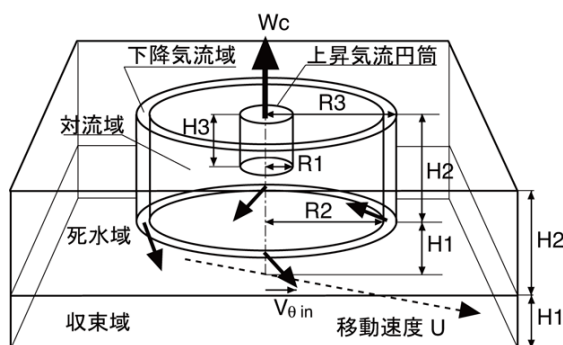
上記文献の手法を参考に、竜巻状旋回気流を泊発電所周辺の地形を模擬した領域に発生させ、最大瞬間風速の変化から地形効果の影響を確認する。

### 1. 数値流体計算の概要

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

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

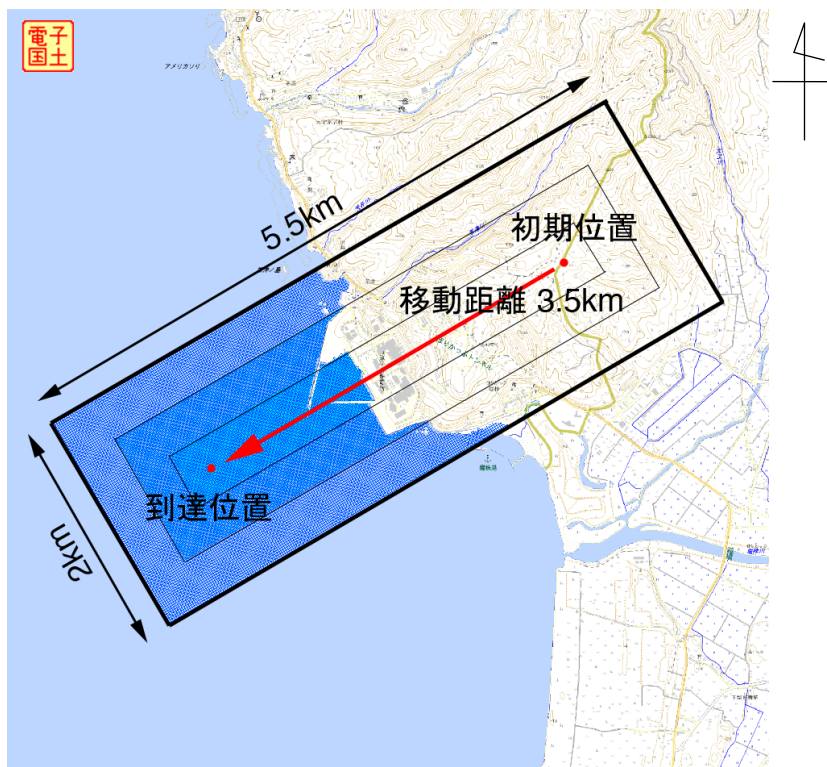
計算領域は、竜巻の移動方向に沿った泊発電所を含む矩形領域とし、進行方向を 5.5km、進行直交方向を 2km、高さを 810m とした。山側ケース及び海側ケースの計算領域を第9-4図に、計算領域内の地形モデルと初期条件を第9-5図に示す。



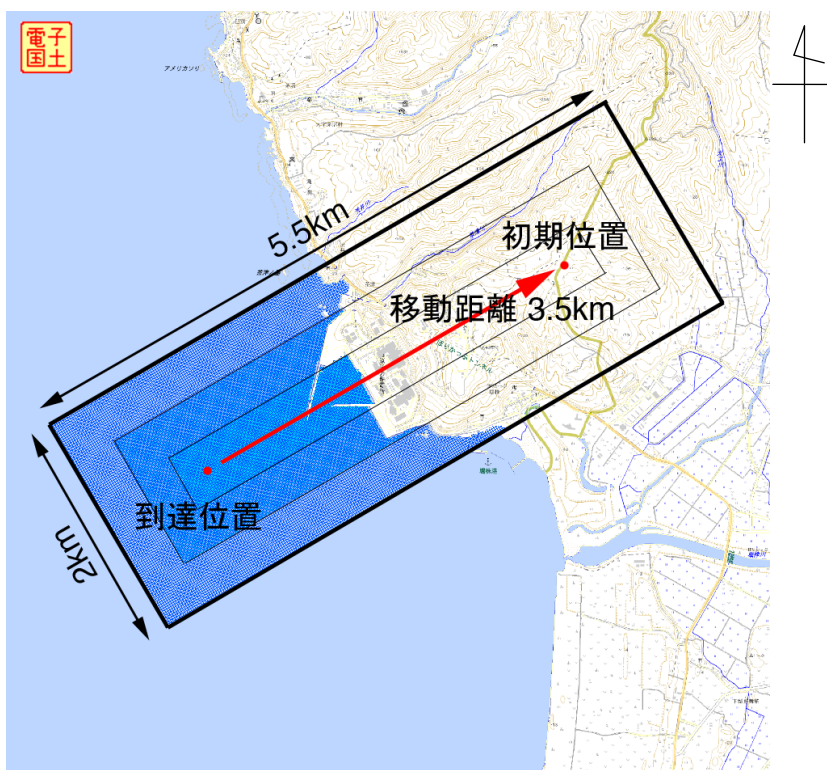
第9-3図 竜巻状旋回気流の解析モデル

第9-2表 竜巻状旋回気流発生機構の形状及び速度パラメータ

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

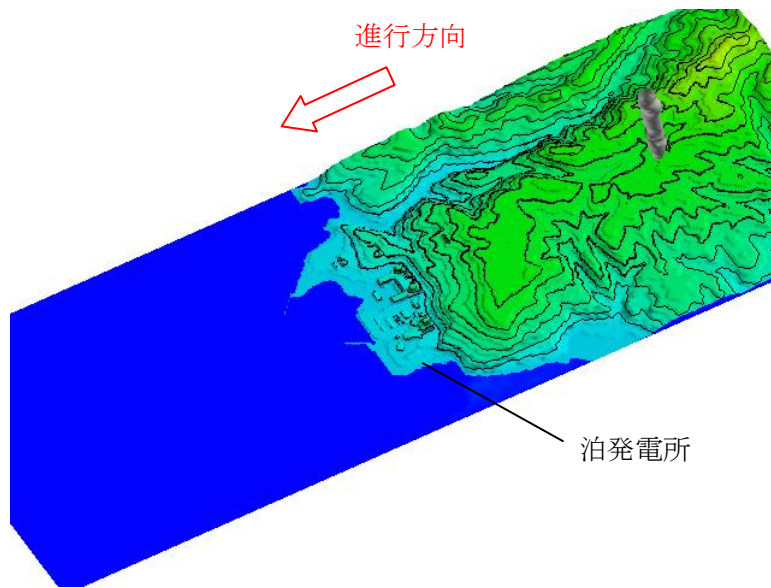


第9-4図(1) 計算領域※(山側ケース)

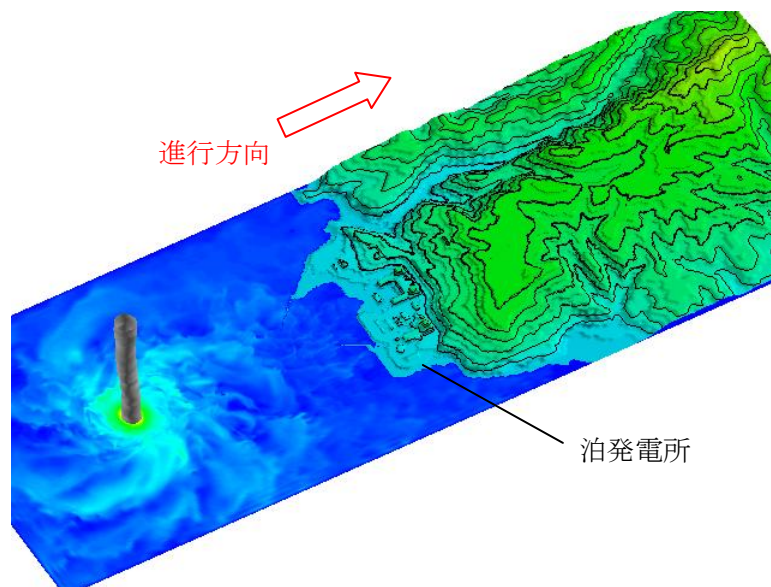


第9-4図(2) 計算領域※(海側ケース)

※地形図は、国土地理院地図閲覧サービスより引用



第9-5図(1) 計算領域内の地形モデルと初期条件(山側ケース)



第9-5図(2) 計算領域内の地形モデルと初期条件(海側ケース)

## 2. 計算結果

### (1) 平坦ケースの場合

平坦ケースにおける最大瞬間風速分布を、第9-6図に示す。

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

### (2) 山側ケースの場合

山側ケースにおける最大瞬間風速分布を、第9-7図に示す。

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

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

### (3) 海側ケースの場合

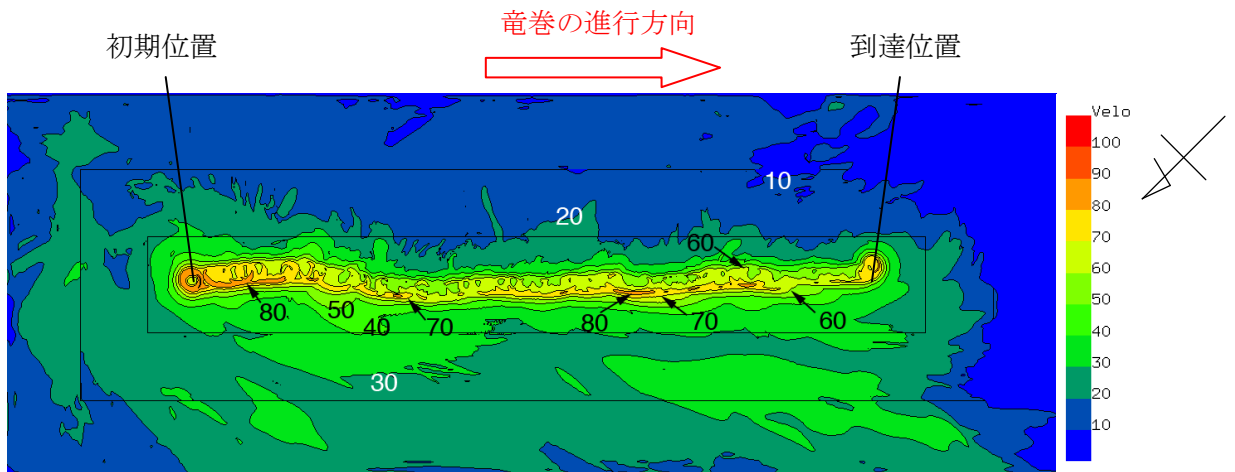
海側ケースにおける最大瞬間風速分布を、第9-8図に示す。

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

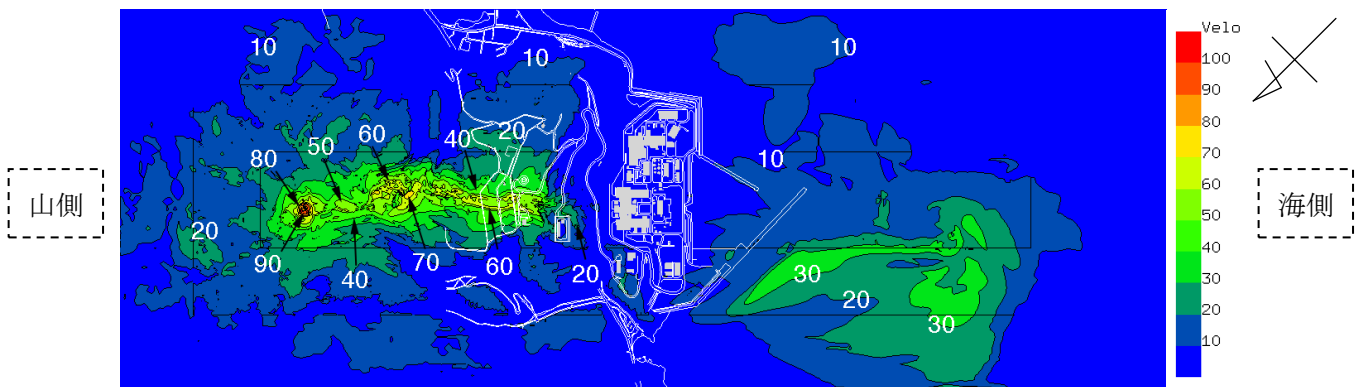
その後、発電所後背地にある斜面を上るに従い再び最大瞬間風速が増加し、斜面上端の標高130m付近で、初期位置の速度と同程度の80m/s程度となっている。

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

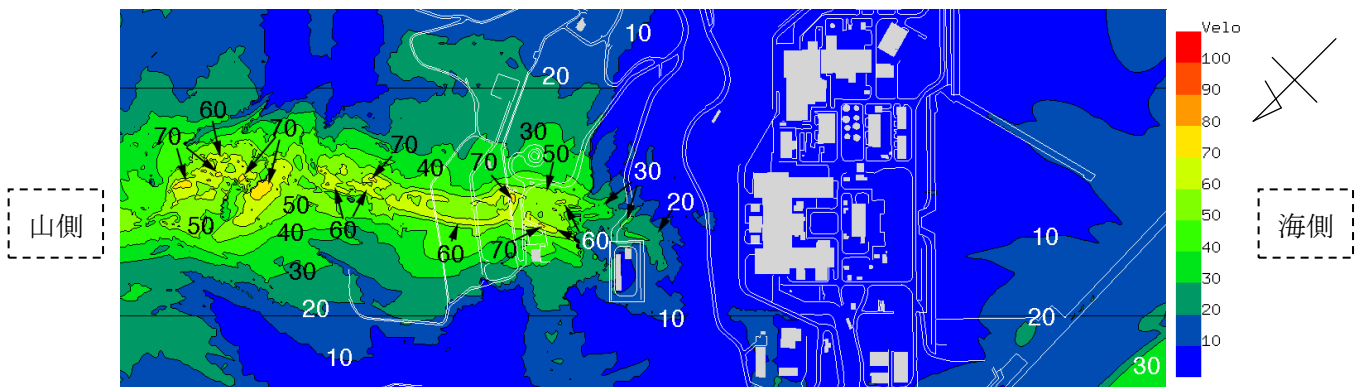




第9-6図 平坦ケースの最大瞬間風速分布（計算領域全体）

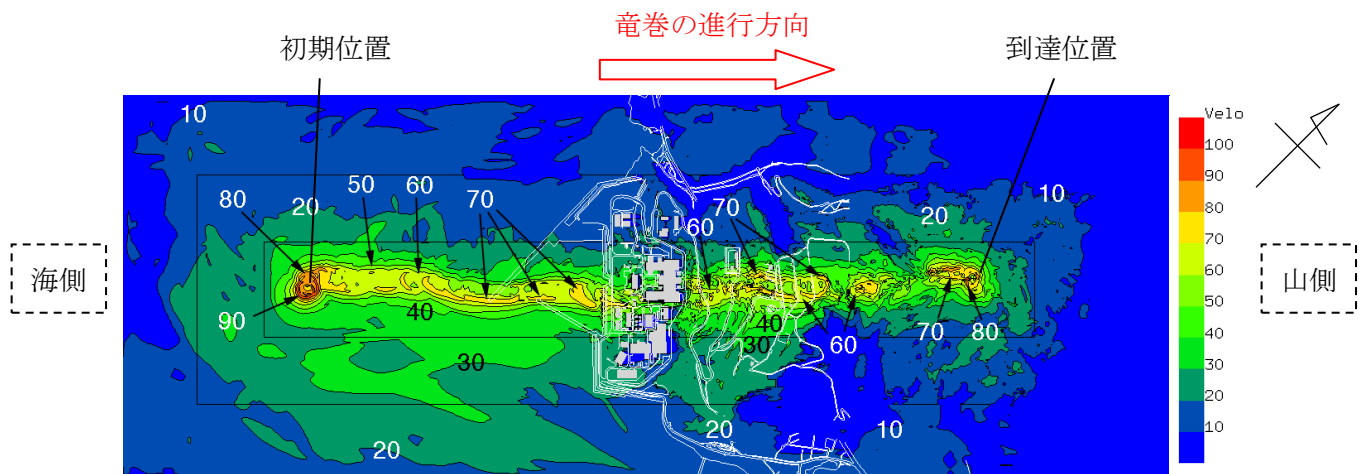


第9-7図（1） 山側ケースの最大瞬間風速分布（計算領域全体）

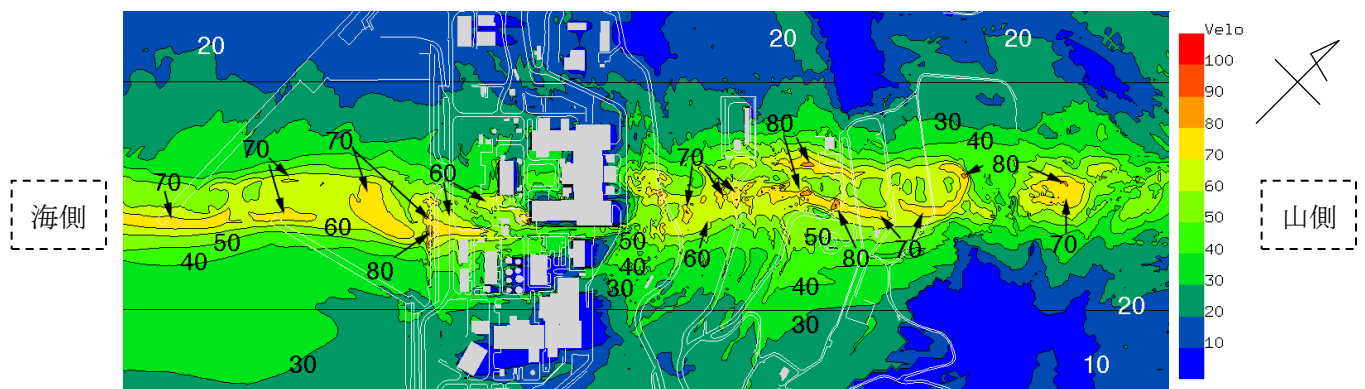


第9-7図（2） 山側ケースの最大瞬間風速分布（発電所近傍）





第9-8図(1) 海側ケースの最大瞬間風速分布(計算領域全体)



第9-8図(2) 海側ケースの最大瞬間風速分布(発電所近傍)

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

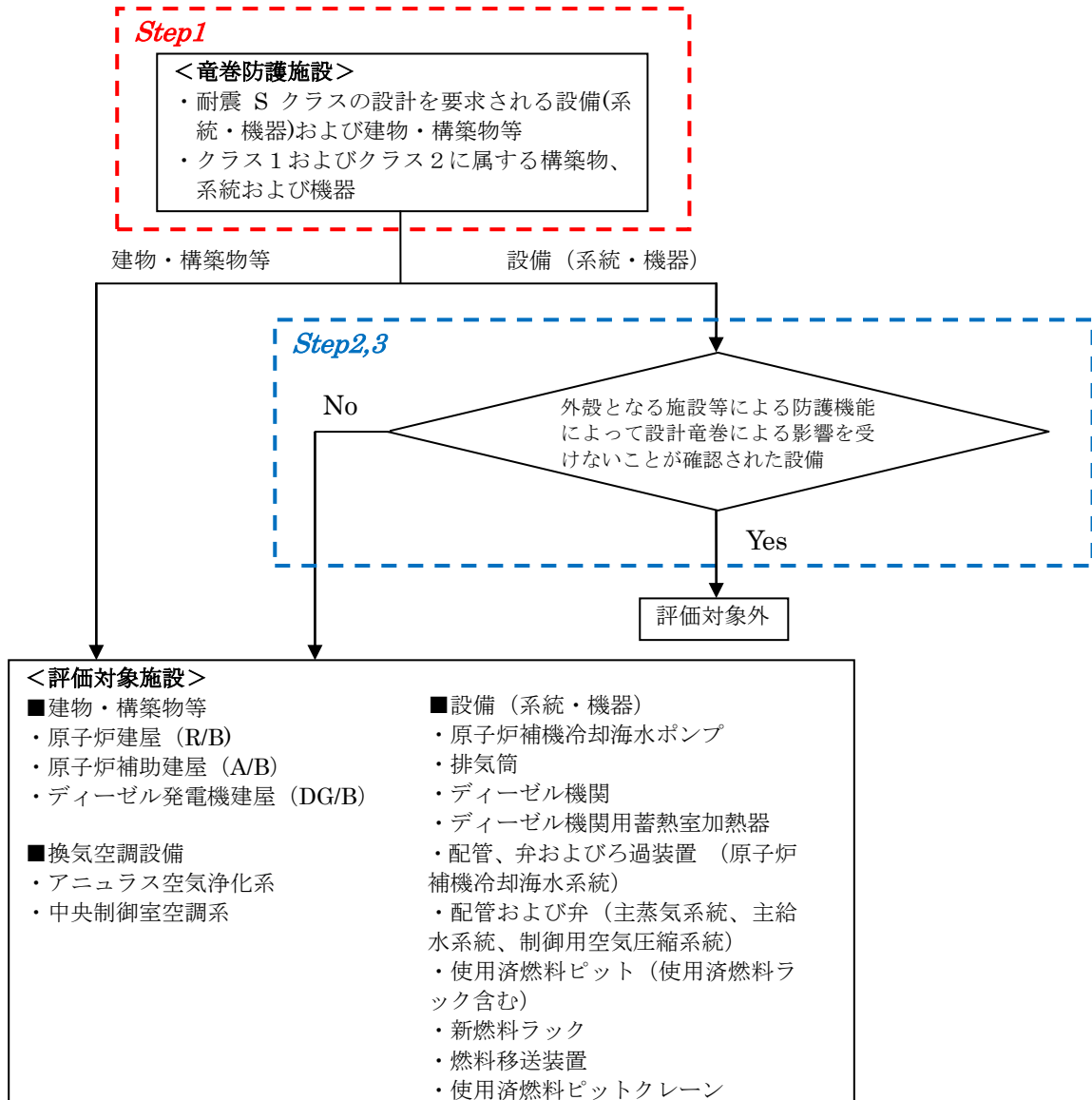
## 10. 竜巻防護施設の評価対象施設の抽出について

### (1) 抽出方法について

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」において、竜巻防護施設は「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備(系統・機器)及び建屋・構築物等とされている。また、同ガイドの解説2.1では、竜巻防護施設の外殻となる施設等(竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等)による防護機能によって、設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については、設計対象から除外できる旨記載されている。

さらに、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第6条において、「安全施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。」とされていることから、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に基づくクラス1およびクラス2に属する構築物、系統および機器についても竜巻防護施設とする。

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



具体的には、次の Step にて評価対象施設を抽出しており、抽出結果を別紙－ 1 に示す。

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

Step2 : 上記 Step1 で抽出した設備の設置場所を確認

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

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

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

## （2）重大事故等対処設備の取り扱いについて

重大事故等対処設備については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」の規定（下記）から、竜巻防護施設には当たらないが、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第 6 条第 1 項に「第 6 条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。」旨規定されているため、設計飛来物による影響評価にあたっては、重大事故等対処設備も想定飛来物として抽出し、設計飛来物の設定を行っている。

< 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（抜粋） >  
（外部からの衝撃による損傷の防止）

第六条 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

第二条 この規則において使用する用語は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「法」という。）において使用する用語の例による。

2 この規則において、次に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。  
八 「安全施設」とは、設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものをいう。

### 竜巻防護施設の評価対象施設の抽出結果

1. 抽出方法

次のStepにて評価対象施設を抽出した。

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

Step2: 上記Step1で抽出された設備の設置場所を確認

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

2. 抽出結果

(1) 建屋・構築物等(Step1)

① R/B(O/S, E/B, FH/B)

② A/B

③ DG/B

(2) 設備(系統・機器)

a. 耐震Sクラス

第1回工認

設備名称	Step1 Sクラス設備	屋内		Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)						Step3			
				R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
原子力設備													
1.原子炉冷却系統設備													
(1)冷却材貯蔵槽	燃料取替用水ピット	✓			✓						可	①	×
2.燃料設備													
(1)燃料取扱設備	なし												
(2)使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ピット	✓			✓						否	⑨	○
3.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する給水設備	補助給水ピット	✓			✓						可	①	×

第2回工認

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

第4回工認

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

【凡例】

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

【考え方】

①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響を受けないため除外する。

②当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。

③当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。

④当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。



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

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.原子炉本体													
(1)炉心	炉心支持構造物	✓		✓							可	①	x
(2)原子炉容器	原子炉容器 原子炉容器内部構造物のうち制御棒クラスター案内管 原子炉容器内部構造物 熱遮へい材	✓		✓							可	①	x
2.原子炉冷却系統設備													
(1)一次冷却材の循環設備	蒸気発生器 1次冷却材ポンプ 加圧器 加圧器ヒータ 配管 弁	✓		✓							可	①	x
(2)主蒸気・主給水設備	配管	✓		✓							可	①	x
(3)余熱除去設備	配管 弁	✓		✓							可	①	x
(4)非常用炉心冷却設備	蓄圧タンク 配管 弁	✓		✓							可	①	x
(5)化学体積制御設備	再生熱交換器 配管 弁	✓		✓							可	①	x
(6)原子炉補機冷却水設備	配管 弁	✓		✓							可	①	x
(7)原子炉補機冷却海水設備	配管	✓			✓		✓				可	①	x
(8)原子炉格納容器内の一次冷却材の漏れを監視する装置	なし												
3.計測制御系統設備													
(1)制御材	制御棒クラスター バーナブルボイズン	✓		✓							可	①	x
(2)制御棒駆動装置	制御棒駆動装置	✓		✓							可	①	x
(3)ほう酸注入機能を有する設備	ほう酸ポンプ ほう酸タンク ほう酸フィルタ 配管	✓		✓		✓					可	①	x
(4)計測装置	運転コンソール 安全系FDPプロセッサ 安全系マルチプレクサ 原子炉安全保護盤 工学的安全施設作動盤 原子炉トリップ遮断器盤 安全系現場制御監視盤 1次冷却材圧力検出器 1次冷却材温度(広域)(高温側)検出器 1次冷却材温度(広域)(低温側)検出器 加圧器水位検出器 蒸気発生器水位(広域)検出器 蒸気発生器水位(狭域)検出器 主蒸気ライン圧力検出器 水平方向加速度検出器 鉛直方向加速度検出器 原子炉安全保護盤(炉外核計装信号処理部) 1次冷却材ポンプ母線計測器 炉外核計測装置(中性子源領域中性子束検出器) 炉外核計測装置(中間領域中性子束検出器) 炉外核計測装置(出力領域中性子束検出器) 1次冷却材温度(狭域)(高温側)検出器 1次冷却材温度(狭域)(低温側)検出器 1次冷却材流量検出器 加圧器圧力検出器 格納容器圧力検出器	✓		✓		✓					可	①	x
(5)制御用空気設備	制御用空気圧縮装置制御用空気圧縮機 制御用空気圧縮装置制御用空気ため 制御用空気除湿装置除湿塔 配管 弁	✓		✓		✓					可	①	x
4.廃棄設備													
(1)気体、液体又は固体廃棄物処理設備													
a.液体廃棄物処理設備	なし												
附帯設備													
1.非常用予備発電装置													
(1)非常用ディーゼル発電設備	ディーゼル機関 (蓄熱室加熱器) ディーゼル発電機空気ため 弁 ディーゼル発電機燃料油サービスタンク ディーゼル発電機 ディーゼル発電機励磁装置 ディーゼル発電機保護継電器	✓		✓		✓		✓			否	⑩	○
		✓		✓		✓		✓			否	③	○
		✓		✓		✓		✓			可	①	x
		✓		✓		✓		✓			可	①	x
		✓		✓		✓		✓			可	①	x
		✓		✓		✓		✓			可	①	x
		✓		✓		✓		✓			可	①	x

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

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.蒸気タービン	なし												

【凡例】  
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋  
【考え方】  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けなため除外する。  
③当該設備はディーゼル発電機建屋の塔屋部に設置されている。ディーゼル発電機建屋は鉄筋コンクリート造であるため、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は塔屋部の外壁を貫通するとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。  
⑧当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑩当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画の排気フードを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.燃料設備													
(1)燃料取扱設備	なし												
(2)新燃料貯蔵設備	なし												
(3)使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ラック 破損燃料保管容器ラック	✓			✓					否	④	○	
(4)燃料取替用水設備	燃料取替用水ポンプ 配管	✓			✓					可	①	×	
2.放射線管理設備													
(1)放射線管理用計測装置	原子炉安全保護盤(放射線監視設備信号処理部)	✓				✓				可	①	×	
a.プロセスモニタリング設備	なし												
b.エリアモニタリング設備	格納容器高レンジエリアモニタ(低レンジ) 格納容器高レンジエリアモニタ(高レンジ)	✓		✓						可	①	×	
(2)換気設備	中央制御室給気ファン	✓				✓				否	⑤	○	
	中央制御室循環ファン	✓				✓				否	⑤	○	
	中央制御室非常用循環ファン	✓				✓				否	⑤	○	
	アニュラス空気浄化ファン	✓			✓					否	⑤	○	
	中央制御室非常用循環フィルタユニット	✓				✓				否	⑤	○	
	アニュラス空気浄化フィルタユニット	✓			✓					否	⑤	○	
3.排気筒	排気筒	✓			✓					否	⑤	○	
			✓							否	⑥	○	
4.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する管等	配管	✓			✓					可	①	×	

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

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
新規制基準で工認対象に変更となった設備													
その他発電用原子炉の附属施設	ディーゼル発電機燃料油貯油槽	✓								✓	可	⑦	×
	配管	✓								✓	可	⑦	×

【凡例】  
R/B:原子炉建屋、O/S:外部しゃへい建屋、A/B:原子炉補助建屋、DG/B:ディーゼル発電機建屋、CWP/B:循環水ポンプ建屋  
【考え方】  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
④当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。(当該設備に貯蔵される燃料集合体を含む)  
⑤当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調系等は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受けるため除外不可。(換気設備については、アニュラス空気浄化系および中央制御室空調系として評価する)  
⑥当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けることから除外不可。  
⑦ディーゼル発電機燃料油貯油槽は地下に埋設されたコンクリート躯体の中に設置されており、躯体上部のコンクリート厚さは70cmである。また、配管はトレンチ内に敷設されているが、トレンチ上部には厚さ27cmのコンクリート蓋があり、いずれのコンクリートも設計飛来物が貫通しないコンクリートの必要最小厚さ(設計飛来物の中で必要最小厚さが最も厚い鋼製材で21cm(鉛直)必要)以上の厚さが確保されていることから、設計飛来物は貫通しない結果となった。

以上より当該設備は設計竜巻による影響は受けないと考えるため除外する。  
⑧当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。

竜巻防護施設の評価対象施設の抽出結果

b. クラス1およびクラス2  
分類:PS-1

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step1		Step2							Step3					
			屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							除外可否	考え方	評価対象施設			
					R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他						
その損傷又は故障により発生する事象によって、 (a)炉心の著しい損傷、又は (b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する以下の機器・配管系(計装等の小口径配管・機器は除く)															
		原子炉容器	✓		✓									可	①	×	
		蒸気発生器	✓		✓									可	①	×	
		1次冷却材ポンプ(原子炉冷却材圧力バウンダリになる範囲)	✓		✓									可	①	×	
		加圧器	✓		✓									可	①	×	
		配管及び弁(範囲はJEAC4602Iによる)	✓		✓									可	①	×	
		隔離弁(範囲はJEAC4602Iによる)	✓		✓	✓								可	①	×	
		制御棒駆動装置圧力ハウジング	✓		✓									可	①	×	
	炉内計装引出管	✓		✓									可	①	×		
	2)過剰反応度の印加防止機能	制御棒駆動装置圧力ハウジング	✓		✓									可	①	×	
		炉心支持構造物															
	3)炉心形状の維持機能	炉心槽	✓		✓									可	①	×	
		上部炉心支持板	✓		✓									可	①	×	
		上部炉心支持柱	✓		✓									可	①	×	
		上部炉心板	✓		✓									可	①	×	
		下部炉心板	✓		✓									可	①	×	
		下部炉心支持柱	✓		✓									可	①	×	
		下部炉心支持板	✓		✓									可	①	×	
燃料集合体(燃料は除く)	✓		✓									可	①	×			

【凡例】  
R/B:原子炉建屋、O/S:外部しゃへい建屋、A/B:原子炉補助建屋、DG/B:ディーゼル発電機建屋、CWP/B:循環水ポンプ建屋

【考え方】  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。

分類:MS-1

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step1		Step2							Step3						
			屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							除外可否	考え方	評価対象施設				
					R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他							
1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	1)原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒クラスター及び制御棒駆動装置(トリップ機能))																
		制御棒	✓		✓									可	①	×		
		制御棒クラスター案内管	✓		✓									可	①	×		
		制御棒駆動装置(トリップ機能)	✓		✓									可	①	×		
	2)未臨界維持機能	燃料集合体の制御棒案内シムル	✓		✓									可	①	×		
		原子炉停止系																
		制御棒	✓		✓									可	①	×		
		制御棒駆動装置	✓		✓									可	①	×		
		制御棒駆動装置圧力ハウジング	✓		✓									可	①	×		
		(化学体積制御設備)																
		充てんポンプ	✓				✓							可	①	×		
		ほう酸ポンプ	✓				✓							可	①	×		
		ほう酸タンク	✓				✓							可	①	×		
		ほう酸フィルタ	✓				✓							可	①	×		
		再生熱交換器	✓		✓									可	①	×		
		配管及び弁(ほう酸タンクからほう酸ポンプ、再生熱交換器を経て1次冷却系までの範囲)	✓		✓	✓	✓							可	①	×		
		非常炉心冷却設備																
		燃料取替用水ピット	✓				✓							可	①	×		
高圧注入ポンプ	✓				✓							可	①	×				
ほう酸注入タンク	✓				✓							可	①	×				
配管及び弁(燃料取替用水ピットから高圧注入ポンプを経て1次冷却系低温側までの範囲)	✓		✓	✓	✓							可	①	×				
3)原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	加圧器安全弁(開機能)	✓		✓									可	①	×			
	残留熱を除去する系統																	
	(余熱除去設備)																	
	余熱除去ポンプ	✓				✓							可	①	×			
	余熱除去冷却器	✓				✓							可	①	×			
	配管及び弁(余熱除去運転モードのルートとなる範囲)	✓		✓	✓	✓							可	①	×			
	(補助給水設備)																	
	電動補助給水ポンプ	✓				✓							可	①	×			
	タービン動補助給水ポンプ	✓				✓							可	①	×			
	補助給水ピット	✓				✓							可	①	×			
	配管及び弁(補助給水ピットから補助給水ポンプを経て主給水配管との合流部までの範囲)	✓				✓							可	①	×			
	4)原子炉停止後の除熱機能	蒸気発生器	✓		✓									可	①	×		
(蒸気発生器から主蒸気隔離弁までの主蒸気設備)																		
主蒸気隔離弁		✓				✓							否	②	○			
主蒸気安全弁		✓				✓							否	②	○			
主蒸気逃がし弁(手動逃がし機能)		✓				✓							否	②	○			
配管及び弁(蒸気発生器から主蒸気隔離弁の範囲)		✓		✓	✓								可	①	×			
(蒸気発生器から主給水隔離弁までの主蒸気設備)																		
主給水隔離弁		✓				✓							否	②	○			
配管及び弁(蒸気発生器から主給水隔離弁の範囲)		✓		✓	✓								可	①	×			
非常炉心冷却設備																		
(低圧注入系)																		
燃料取替用水ピット	✓				✓							可	①	×				
余熱除去ポンプ	✓				✓							可	①	×				
余熱除去冷却器	✓				✓							可	①	×				
配管及び弁(燃料取替用水ピット及び格納容器再循環サンプから余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器を経て1次冷却系までの範囲)	✓		✓	✓	✓							可	①	×				
(高圧注入系)																		
燃料取替用水ピット	✓				✓							可	①	×				
高圧注入ポンプ	✓				✓							可	①	×				
配管及び弁(燃料取替用水ピット及び格納容器再循環サンプから高圧注入ポンプを経て1次冷却系までの範囲)	✓		✓	✓	✓							可	①	×				
格納容器再循環サンプ	✓		✓									可	①	×				
(蓄圧注入系)																		
蓄圧タンク	✓				✓							可	①	×				
配管及び弁(蓄圧タンクから1次冷却系低温側配管合流部までの範囲)	✓		✓	✓								可	①	×				

【凡例】  
R/B:原子炉建屋、O/S:外部しゃへい建屋、A/B:原子炉補助建屋、DG/B:ディーゼル発電機建屋、CWP/B:循環水ポンプ建屋

【考え方】  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。



分類:MS-1

定義	機能	Step1		Step2							Step3					
		構築物、系統又は機器		屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							除外可否	考え方	評価対象施設	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外			A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他						
1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	6)放射線物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器	✓		✓								可	①	×	
		原子炉格納容器貫通部	✓		✓								可	①	×	
		エアロック	✓		✓	✓							可	①	×	
		機器搬入口	✓		✓	✓							可	①	×	
		アニュラス	✓		✓								可	①	×	
		原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管系(範囲はJEAC4602による)	✓		✓	✓								可	①	×
		原子炉格納容器スプレイ設備														
		燃料取替用水ピット	✓			✓								可	①	×
		格納容器スプレイポンプ	✓				✓							可	①	×
		格納容器スプレイ冷却器	✓				✓							可	①	×
		よう素除去薬品タンク	✓				✓							可	①	×
		スプレイエダクタ	✓				✓							可	①	×
		スプレイリング	✓			✓								可	①	×
		スプレイノズル	✓			✓								可	①	×
		配管及び弁(燃料取替用水ピット及び格納容器再循環タンクから格納容器スプレイポンプ、格納容器スプレイ冷却器を経てスプレイリングヘッダーまでの範囲、よう素除去薬品タンクからスプレイエダクタを経て格納容器スプレイ配管までの範囲)	✓			✓	✓	✓						可	①	×
アニュラス空気浄化設備																
アニュラス空気浄化フィルタユニット	✓				✓							否	③	○		
アニュラス空気浄化ファン	✓				✓							否	③	○		
ダクト、ダンパ及び弁	✓				✓	✓						否	③	○		
排気筒	✓				✓							否	④	○		
				✓												
1)工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	2)安全上特に重要な関連機能	安全保護系														
		原子炉保護設備及び工学的安全施設作動設備(範囲はJEAG4611による)	✓		✓	✓	✓	✓					可	①	×	
		非常用所内電源系														
		ディーゼル機関	✓						✓				否	⑤	○	
		ディーゼル発電機	✓						✓				可	①	×	
		非常用所内電源設備(ディーゼル発電機から非常用負荷までの範囲)	✓			✓	✓	✓			✓		可	①	×	
		中央制御室及び中央制御室遮へい	✓					✓					可	①	×	
		中央制御室空調装置														
		中央制御室給気ユニット	✓					✓					否	③	○	
		中央制御室給気ファン	✓					✓					否	③	○	
		中央制御室循環ファン	✓					✓					否	③	○	
		中央制御室非常用循環フィルタユニット	✓					✓					否	③	○	
		中央制御室非常用循環ファン	✓					✓					否	③	○	
		ダクト及びダンパ	✓					✓					否	③	○	
		原子炉補機冷却水設備														
		原子炉補機冷却水ポンプ	✓					✓						可	①	×
		原子炉補機冷却水冷却器	✓					✓						可	①	×
		配管及び弁(MS-1関連補機への冷却水ラインの範囲)	✓			✓	✓	✓						可	①	×
		原子炉補機冷却海水設備														
		原子炉補機冷却海水海水ポンプ	✓							✓			否	⑥	○	
		原子炉補機冷却海水海水ポンプ出口ストレーナ	✓							✓			否	⑥	○	
		原子炉補機冷却水冷却器入口ストレーナ	✓					✓					可	①	×	
		原子炉補機冷却水冷却器	✓					✓					可	①	×	
		配管及び弁(MS-1関連補機への海水供給ラインの範囲)	✓					✓		✓			可	①	×	
		取水設備(取水路)	✓							✓	✓		可	⑦	×	
直流電源設備																
蓄電池	✓					✓					可	①	×			
直流電源設備(蓄電池から非常用負荷までの範囲)(MS-1関連)	✓			✓	✓	✓	✓				可	①	×			
計測制御用電源設備																
計測制御用電源設備(電源装置から非常用計測制御装置までの範囲)(MS-1関連)	✓			✓	✓	✓	✓				可	①	×			
制御用圧縮空気設備																
制御用空気圧縮装置	✓					✓					可	①	×			
配管及び弁(MS-1関連補機(主蒸気逃がし弁、アニュラス空気浄化系及び中央制御室空調系、試料採取室排気系のMS-1の空気作動弁)への制御用空気供給ラインの範囲)	✓			✓		✓					可	①	×			
												否	②	○		

分類:PS-2

定義	機能	Step1		Step2							Step3				
		構築物、系統又は機器		屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							除外可否	考え方	評価対象施設
		R/B O/S(C/V)	O/S以外			A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他					
1)その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射線物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材を内蔵する機能(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く)	化学体積制御設備の抽出ライン、浄化ライン													
		再生熱交換器	✓			✓							可	①	×
		余剰抽出冷却器	✓			✓							可	①	×
		非再生冷却器	✓				✓						可	①	×
		冷却材湿床式脱塩塔	✓					✓					可	①	×
		冷却材陽イオン脱塩塔	✓					✓					可	①	×
		冷却材脱塩塔入口フィルタ	✓					✓					可	①	×
		冷却材フィルタ	✓					✓					可	①	×
		体積制御タンク	✓					✓					可	①	×
		充電ポンプ	✓					✓					可	①	×
		封水注入フィルタ	✓					✓					可	①	×
		封水ストレーナ	✓					✓					可	①	×
		封水冷却器	✓					✓					可	①	×
		配管及び弁	✓			✓	✓	✓					可	①	×
		2)原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射線物質を貯蔵する機能	気体廃棄物処理設備												
ガスサージタンク	✓						✓					可	①	×	
活性炭式ガスホールドアップ装置	✓						✓					可	①	×	
使用済燃料ピット	✓						✓					否	⑧	○	
使用済燃料ラック	✓						✓					否	⑨	○	
新燃料貯蔵庫(臨界を防止する機能)															
新燃料ラック	✓					✓					否	⑨	○		

【凡例】  
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋  
【考え方】  
① 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
② 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
③ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調系等は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受けるため除外不可。(換気設備については、アニュラス空気浄化系および中央制御室空調系として評価する)  
④ 当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けることから除外不可。  
⑤ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画の排気フードを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。  
⑥ 当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑦ 当該設備はコンクリート構造物であり地下に埋設されていること、またコンクリート厚さは100cmあり設計飛来物が貫通しないコンクリートの必要最小厚さ(設計飛来物の中で必要最小厚さが最も厚い鋼製材で21cm(鉛直)必要)以上の厚さが確保されていることから、設計飛来物は貫通せず、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
⑧ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。  
⑨ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。(当該設備に貯蔵される燃料集合体を含む)



分類:PS-2		Step1	Step2							Step3				
定義	機能	構築物、系統又は機器	屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							除外可否	考え方	評価対象施設
					R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他			
					O/S(C/V)	O/S以外								
1)その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	3)燃料を安全に取り扱う機能	燃料取替クレーン	✓		✓							可	①	×
		燃料移送装置	✓		✓							可	①	×
		使用済燃料ピットクレーン	✓			✓						否	⑧	○
			✓			✓						否	⑧	○
2)通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1)安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	加圧器安全弁(吹き止まり機能)	✓		✓							可	①	×
		加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	✓		✓							可	①	×

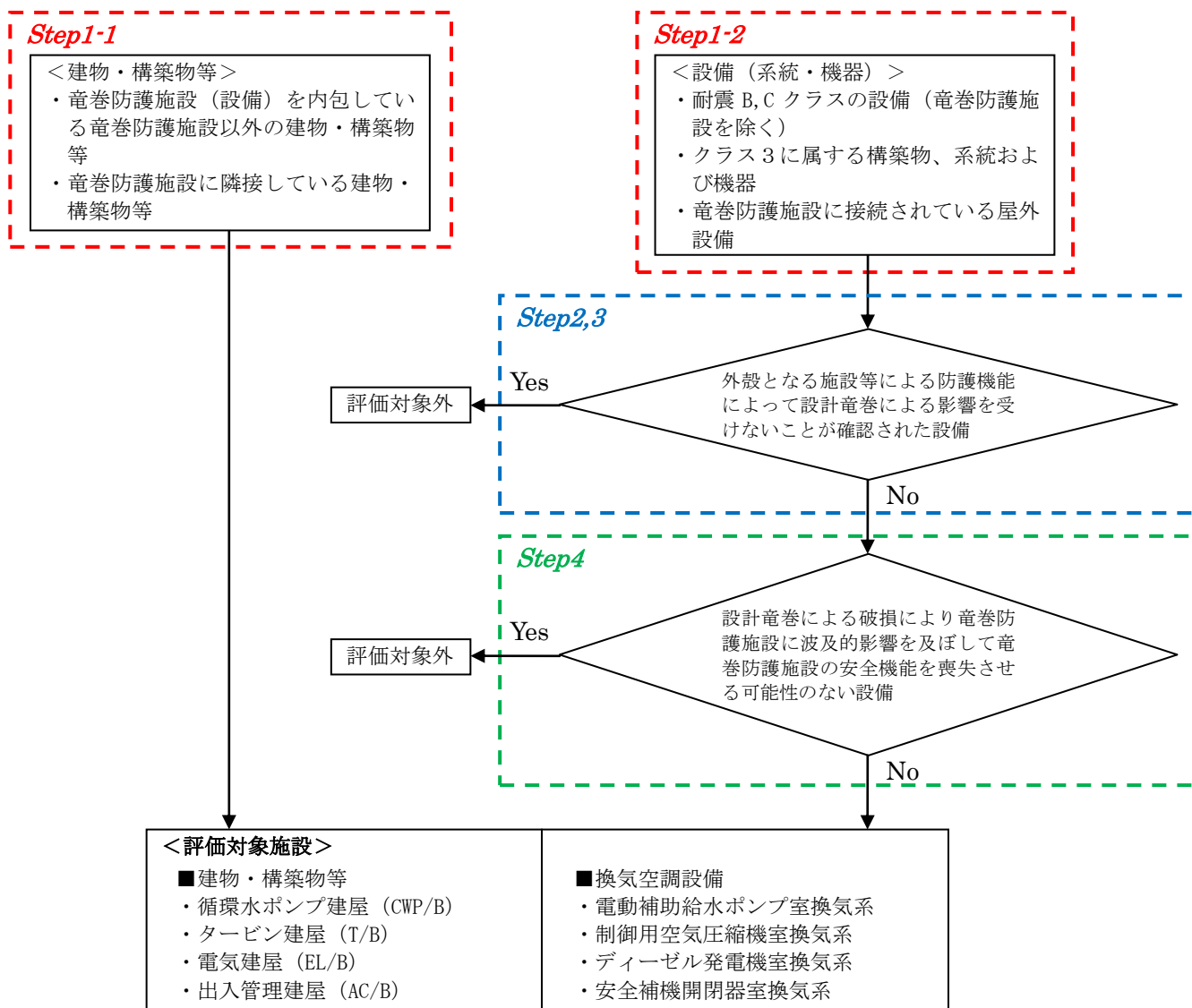
分類:MS-2		Step1	Step2							Step3				
定義	機能	構築物、系統又は機器	屋内	屋外	屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							除外可否	考え方	評価対象施設
					R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他			
					O/S(C/V)	O/S以外								
1)PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	1)燃料プール水の補給機能	燃料取替用水ピットからの使用済燃料ピット水補給ライン												
		燃料取替用水ピット	✓			✓						可	①	×
		燃料取替用水ポンプ	✓			✓						可	①	×
		配管及び弁(燃料取替用水ピットから燃料取替用水ポンプを経て使用済燃料ピットまでの範囲)	✓			✓						可	①	×
2)放射性物質放出の防止機能	2)放射線物質放出の防止機能	気体廃棄物処理設備の隔離弁	✓			✓						可	①	×
			✓		✓		✓				可	①	×	
2)異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	2)異常状態の緩和機能	1)事故時のプラント状態の把握機能	原子炉計装の一部(範囲はJEAG4611による)	✓		✓		✓				可	①	×
		プロセス計装の一部(範囲はJEAG4611による)	✓		✓		✓			✓		可	①	×
		加圧器逃がし弁(手動開閉機能)	✓		✓							可	①	×
		加圧器後備ヒータ	✓		✓							可	①	×
		加圧器逃がし弁元弁(閉機能)	✓		✓							可	①	×
3)制御室外からの安全停止機能	3)制御室外からの安全停止機能	中央制御室外原子炉停止装置(安全停止に関連するもの)(範囲はJEAG4611による)	✓			✓					可	①	×	

【凡例】  
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋  
【考え方】  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けなため除外する。  
⑧当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

## 1.1. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について

### (1) 抽出方法について

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



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

**Step1-1: 竜巻防護施設（耐震 S クラス設備）を内包している竜巻防護施設以外の建屋および竜巻防護施設（建屋）に隣接している建屋を抽出<sup>※1</sup>**

※1: 設計竜巻により建屋は倒壊することが考えられるため、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設として当該建屋を抽出した。

Step1-2 : 工事計画認可申請書の耐震重要度分類における耐震 B, C クラス設備（竜巻防護施設を除く）<sup>※2</sup> および設置許可申請書の安全上の機能別重要度分類よりクラス 3（PS-3, MS-3）に属する構築物、系統および機器<sup>※3</sup>ならびに竜巻防護施設に接続されている屋外設備<sup>※4</sup>を抽出

※2 : 竜巻防護施設は工事計画認可申請書の耐震 S クラス設備とされていることから、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設として当該設備を抽出した。

※3 : 竜巻防護施設は設置許可申請書の安全上の機能別重要度分類クラス 1, 2 に属する構築物、系統および機器とされていることから、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設として当該設備を抽出した。

※4 : 設計竜巻により屋外設備は破損することが考えられるため、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設として当該設備を抽出した。

Step2 : 上記 Step1-2 で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記 Step1-2 で抽出した設備のうち、設置建屋による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を除外

Step4 : 上記 Step3 で除外されなかった設備のうち、設計竜巻による破損<sup>※5</sup>により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性のない設備を除外

※5 : 当該設備の破損による飛散物は設計飛来物による影響評価に包絡されると考えられる。

## (2) 共用設備の取り扱いについて

固体廃棄物貯蔵庫等の共用設備<sup>※6</sup>については、3号機の竜巻防護施設に隣接していない建屋や、3号機の竜巻防護施設を内包している建屋以外の場所に設置されている設備であり、設計竜巻によって当該設備が破損等した場合でも竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性はないため、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない。表-1 に共用設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない理由を示す。

※6 : 工事計画認可申請書から抽出した。

表-1 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない理由

建屋・設備名	設置場所	竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出していない理由
固体廃棄物貯蔵庫	図-1 参照	当該建屋は3号機の竜巻防護施設（建屋）に隣接している建屋ではない。また、竜巻防護施設を内包している建屋でもないことから、設計竜巻により当該建屋が倒壊した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。

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

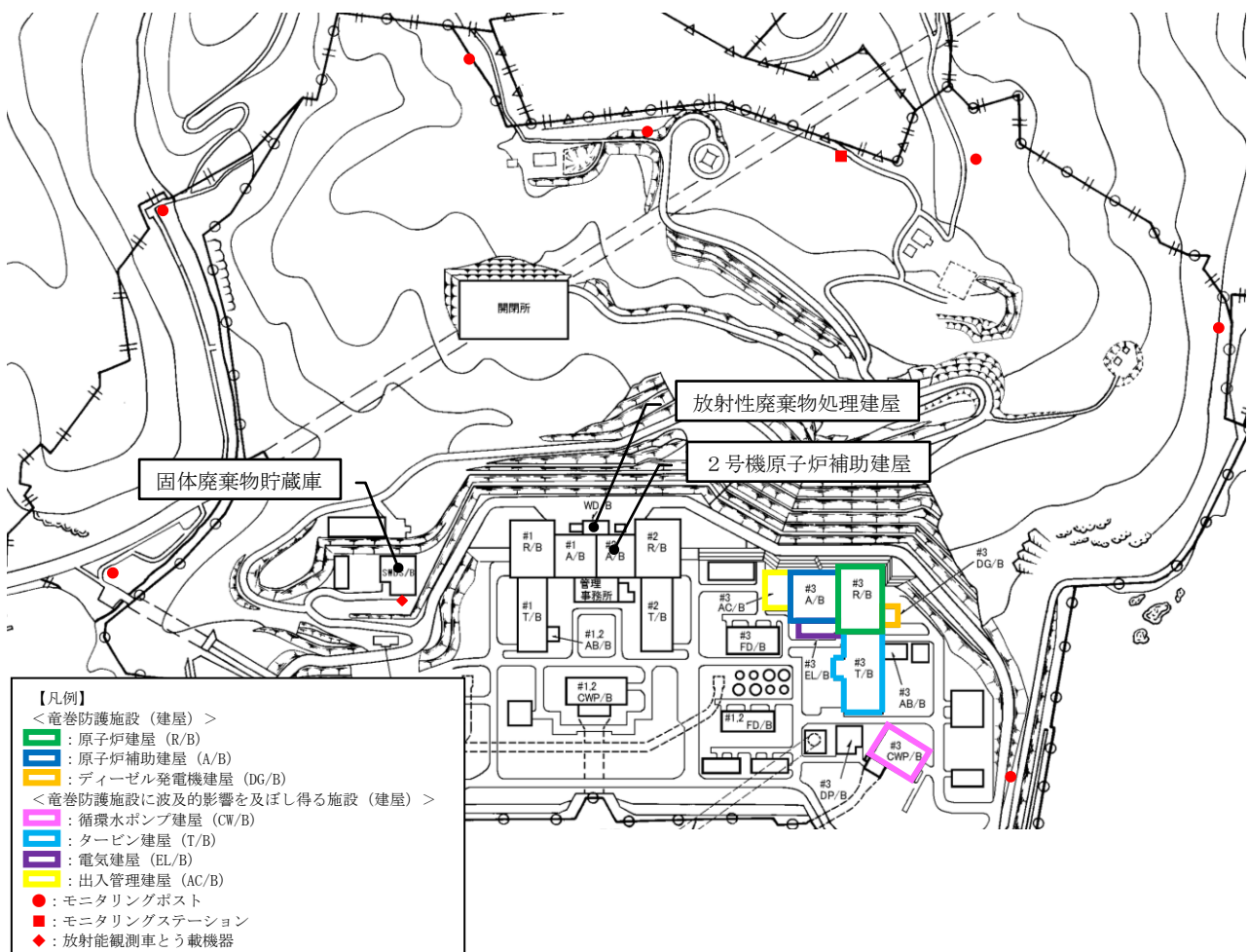


図-1 共用設備等の設置場所

### 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

1. 抽出方法

次のStepにて竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出した。

Step1-1: 竜巻防護施設(耐震Sクラス設備)を内包している竜巻防護施設以外の建屋および竜巻防護施設(建屋)に隣接している建屋を抽出

Step1-2: 工事計画認可申請書の耐震重要度分類における耐震B,Cクラス設備(竜巻防護施設を除く)および設置許可申請書の安全上の機能別重要度分類よりクラス3(PS-3,MS-3)に属する構築物、系統および機器ならびに竜巻防護施設に接続されている屋外設備を抽出

Step2 : 上記Step1-2で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記Step1-2で抽出した設備のうち、設置建屋による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を除外

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

2. 抽出結果

(1) 建屋・構築物等(Step1-1)

a. 竜巻防護施設(耐震Sクラス設備)を内包している竜巻防護施設以外の建屋

①CWP/B

b. 竜巻防護施設(建屋)に隣接している建屋

②T/B

③EL/B

④AC/B

(2) 設備(系統・機器)

a. 耐震Bクラス

第1回工認

設備名称	Step1-2 Bクラス設備	Step2 設置場所								除外可否	考え方	除外可否	考え方	竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外								
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
原子力設備		O/S(C/V)	O/S以外											
1.原子炉冷却系統設備														
(1)冷却材貯蔵槽	なし													
2.燃料設備														
(1)燃料取扱設備	燃料取扱キャナル(原子炉格納容器外)		✓								可	①		×
(2)使用済燃料貯蔵設備	キャスクビット		✓								可	①		×
3.放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	外部遮へい 補助遮へい(原子炉格納容器外燃料移送遮へい) 補助遮へい(周辺補機棟) 補助遮へい(燃料取扱棟)		✓ ✓ ✓ ✓								可 可 可 可	① ① ① ①		×
4.原子炉格納施設														
(1)原子炉格納施設の基礎	なし													
(2)外部遮へい建屋	なし													
5.蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する給水設備	なし													

第2回工認

設備名称	Step1-2 Bクラス設備	Step2 設置場所								除外可否	考え方	除外可否	考え方	竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外								
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
原子力設備		O/S(C/V)	O/S以外											
1.原子炉冷却系統設備														
(1)原子炉補機冷却海水設備	なし													
2.放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	補助遮へい(原子炉補助建屋)			✓							可	①		×
3.廃棄設備														
(1)廃棄物貯蔵設備														
a.固体廃棄物貯蔵設備	使用済み樹脂貯蔵タンク			✓							可	①		
(2)廃棄物処理設備														
a.気体廃棄物処理設備	ガス圧縮装置ガス圧縮機 ガス圧縮装置気水分離器 ガス圧縮装置封水冷却器 ガス圧縮装置封水循環ポンプ 廃ガス除湿装置除湿塔 廃ガス除湿装置廃ガス水分分離器 廃ガス除湿装置廃ガス冷却器		✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓								可 可 可 可 可 可 可	① ① ① ① ① ① ①		×
	活性炭式希ガスホールドアップ装置ホールドアップ塔 ガスサージタンク													
	配管		✓	✓							可	①		×
	ほう酸回収装置蒸発器			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置精留塔			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置脱ガス塔			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置予熱器			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置ベントコンデンサ			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置濃縮液ポンプ			✓							可	①		×
	廃液蒸発装置蒸発器			✓							可	①		×
	廃液蒸発装置精留塔			✓							可	①		×
	廃液蒸発装置加熱器			✓							可	①		×
	廃液蒸発装置濃縮液ポンプ			✓							可	①		×
	冷却材貯蔵タンク			✓							可	①		×
	補助建屋サンプタンク			✓							可	①		×
	廃液貯蔵ピット			✓							可	①		×
	酸液ドレンタンク			✓							可	①		×
	濃縮廃液タンク			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置給水ポンプ			✓							可	①		×
	補助建屋サンプポンプ			✓							可	①		×
	廃液給水ポンプ			✓							可	①		×
	酸液ドレンポンプ			✓							可	①		×
	濃縮廃液ポンプ			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置混床式脱塩塔			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置陽イオン脱塩塔			✓							可	①		×
	ほう酸回収装置脱塩塔フィルタ			✓							可	①		×
	廃液フィルタ			✓							可	①		×
	配管		✓	✓							可	①		×
c.固体廃棄物処理設備	配管			✓							可	①		×
d.堰その他の設備	なし													
e.漏えいの検出装置及び自動警報装置	なし													

第4回工認

設備名称	Step1-2 Bクラス設備	Step2 設置場所								除外可否	考え方	除外可否	考え方	竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外								
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
原子力設備		O/S(C/V)	O/S以外											
1.原子炉本体														
(1)原子炉容器	なし													
2.原子炉冷却系統設備														
(1)主蒸気・主給水設備	なし													
(2)余熱除去設備	なし													
(3)非常用炉心冷却設備	なし													
(4)化学体積制御設備	非再生冷却器 封水冷却器 体積制御タンク 冷却材混床式脱塩塔 冷却材陽イオン脱塩塔 冷却材フィルタ 冷却材脱塩塔入ロフィルタ													
	配管		✓	✓							可	①		×
	弁		✓	✓							可	①		×
(5)原子炉補機冷却水設備	なし													

【凡例】

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

【考え方】

<Step3>

①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。

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

設備名称	Bクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
<b>原子力設備</b>														
<b>1.原子炉本体</b>														
(1)炉心	なし													
(2)原子炉容器	なし													
<b>2.原子炉冷却系統設備</b>														
(1)一次冷却材の循環設備	なし													
(2)主蒸気・主給水設備	なし													
(3)余熱除去設備	なし													
(4)非常用炉心冷却設備	なし													
(5)化学体積制御設備	余剰抽出冷却器													
	配管	✓								可	①	—		×
	弁	✓								可	①	—		×
(6)原子炉補機冷却水設備	なし													
(7)原子炉補機冷却海水設備	なし													
(8)原子炉格納容器内の一次冷却材の漏れを監視する装置	なし													
<b>3.計測制御系統設備</b>														
(1)制御材	なし													
(2)制御棒駆動装置	なし													
(3)ほう酸注入機能を有する設備	配管			✓						可	①	—		×
(4)計測装置	なし													
(5)制御用空気設備	なし													
<b>4.廃棄設備</b>														
(1)気体、液体又は固体廃棄物処理設備														
a.液体廃棄物処理設備	配管	✓								可	①	—		×
<b>非常用予備発電装置</b>														
(1)非常用ディーゼル発電設備	なし													

設備名称	Bクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
<b>原子力設備</b>														
<b>1.蒸気タービン</b>														
	なし													

設備名称	Bクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
<b>原子力設備</b>														
<b>1.燃料設備</b>														
(1)燃料取扱設備	燃料取扱クレーン													
	燃料移送装置													
	使用済燃料ピットクレーン													
	燃料取扱棟クレーン		✓							否	②	可	a	×
	燃料仮置ラック	✓								可	①	—		×
(2)新燃料貯蔵設備	なし													
(3)使用済燃料貯蔵設備	なし													
(4)燃料取扱用水設備	なし													

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

【考え方】  
<Step3>  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受ける可能性があるため除外不可。  
<Step4>  
a 当該クレーンは竜巻防護施設である使用済燃料ピットの上部を走行する設計とはなっていないため、設計飛来物により当該クレーンが破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。



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

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

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

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

b. 耐震Cクラス  
第1回工認

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

第2回工認

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

第4回工認

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

第5回工認

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

【凡例】  
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋  
【考え方】  
<Step3>  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。  
<Step4>  
a 当該設備は原子炉補機冷却海水系統の放水配管であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。



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

設備名称	Step1-2 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B						屋外
原子力設備														
1.蒸気タービン	蒸気タービン						✓			否	③	可	c	×
	復水器						✓			否	③	可	c	×
	復水器真空ポンプ						✓			否	③	可	c	×
	復水ポンプ						✓			否	③	可	c	×
	循環水ポンプ					✓				否	③	可	c	×
	グランド蒸気復水器						✓			否	③	可	c	×
	湿分離加熱器						✓			否	③	可	c	×
	第1段湿分離加熱器ドレンタンク						✓			否	③	可	c	×
	第2段湿分離加熱器ドレンタンク						✓			否	③	可	c	×
	湿分離器ドレンタンク						✓			否	③	可	c	×
	配管						✓			否	③	可	c	×
弁						✓			否	③	可	c	×	

設備名称	Step1-2 Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B						屋外
原子力設備														
1.燃料設備														
(1)燃料取扱設備	新燃料エレベータ		✓							否	④	可	d	×
(2)新燃料貯蔵設備	新燃料貯蔵庫		✓							否	④	可	d	×
	新燃料ラック									竜巻防護施設(安全上の機能別重要度分類PS-2)として抽出				
(3)使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ピット水位計		✓							否	④	可	e	×
(4)燃料取替用水設備	なし													
2.放射線管理設備														
(1)放射線管理用計測装置	1次系制御監視盤(放射線監視設備信号処理部)			✓						可	①	—	×	
a.プロセスモニタリング設備	高感度型主蒸気管モニタ		✓							可	⑤	可	f	×
	主蒸気管モニタ		✓							可	⑤	可	f	×
	格納容器じんあいモニタ		✓							可	①	—	×	
	格納容器ガスモニタ		✓							可	①	—	×	
	蒸気発生器ブローダウン水モニタ		✓							可	①	—	×	
	復水器排気ガスモニタ						✓			否	③	可	f	×
	1次冷却材モニタ		✓							可	①	—	×	
	排気筒ガスモニタ		✓							可	①	—	×	
	廃棄物処理設備排水モニタ			✓						可	①	—	×	
	排気筒高レンジガスモニタ(低レンジ)		✓							可	①	—	×	
	排気筒高レンジガスモニタ(高レンジ)		✓							可	①	—	×	
b.エリアモニタリング設備	中央制御室エリアモニタ			✓						可	①	—	×	
	使用済燃料ピットエリアモニタ		✓							否	④	可	f	×
	エアロックエリアモニタ	✓								可	①	—	×	
	放射化学室エリアモニタ			✓						可	①	—	×	
	充てんポンプ室エリアモニタ			✓						可	①	—	×	
	原子炉系試料採取室エリアモニタ			✓						可	①	—	×	
	炉内核計装区域エリアモニタ	✓								可	①	—	×	
	廃棄物処理室エリアモニタ			✓						可	①	—	×	
(2)換気設備	格納容器給気ファン			✓						否	⑥	可	h	×
	試料採取室給気ファン			✓						否	⑥	可	h	×
	補助建屋給気ファン			✓						否	⑥	可	h	×
	格納容器再循環ファン	✓								否	⑥	可	h	×
	格納容器空気浄化ファン	✓								否	⑥	可	h	×
	格納容器空気浄化フィルタユニット	✓								否	⑥	可	h	×
	(電動補助給水ポンプ室換気系)**		✓							否	⑥	否	i	○
	(制御用空気圧縮機室換気系)**		✓							否	⑥	否	i	○
(ディーゼル発電機室換気系)**		✓			✓				否	⑥	否	i	○	
(安全補機閉閉器室換気系)**		✓	✓						否	⑥	否	i	○	
3.排気筒														
(1)排気筒	なし													
4.蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する管等	なし													

\*: 当該設備にて供給される空気は竜巻防護施設の冷却に使用されており、設計竜巻による気圧差の影響により当該設備が破損した場合は、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性があることから合わせて検討した。

- 【凡例】  
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
- 【考え方】  
<Step3>  
① 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
② 当該設備が設置されている建屋は鉄筋造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
③ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。  
④ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備を設置している区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑤ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備を設置している区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑥ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調系は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受ける可能性があるため除外不可。  
<Step4>  
b 設計飛来物により当該設備が破損した場合でも原子炉トリップ機能に影響を与えないため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
c 当該設備の周囲に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
d 当該設備が設置されている区画(ピット形状)内に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
e 当該設備(検出器)は竜巻防護施設である使用済燃料ピット上部に設置されているが、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも代替の水位確認手段があるため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
f 当該設備は監視系であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
h 当該設備を含めた換気空調系にて供給される空気は竜巻防護施設の冷却には使用されていないため、気圧差により当該設備を含めた換気空調系が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外不可。  
i 当該設備にて供給される空気は竜巻防護施設の冷却に使用されているため、気圧差により当該換気空調系が破損した場合は竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性があることから除外不可。

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

設備名称	Oクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
竜巻防護施設に接続されている屋外設備														
-	主蒸気安全弁排気管								✓	否	⑦	可	j	x
	主蒸気逃がし弁消音器								✓	否	⑦	可	k	x
	排気消音器								✓	否	⑦	可	l	x
	燃料油貯油槽ベント配管								✓	否	⑦	可	m	x
	タービン動補助給水ポンプ排気管								✓	否	⑦	可	n	x

【凡例】  
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋  
【考え方】  
<Step3>  
③ 当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑦ 当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
<Step4>  
c 当該設備の周囲に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
j 当該設備はR/B屋上に貫通した配管であるが、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。  
k 当該設備はR/B屋上に設置されており、設計飛来物が架台に衝突した場合は転倒する可能性があるが、架台が転倒した場合、当該設備に接続されている配管は破断して閉塞することはないと考えられる。また、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。  
l 当該設備は耐震性を有するDG/B屋上にボルトで固定する設計となっており、設計竜巻(風荷重)によって転倒することはないと考えられる。また、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。  
m 当該設備はベント配管であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
n 当該設備はT/B屋上に貫通した配管であるが、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

c. クラス3  
分類:PS-3

定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2 設置場所										Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
			竜巻防護施設を内包している建屋					左記以外					除外可否	考え方	除外可否	考え方	
			R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	AB/B	屋外						
			O/S(C/V)	O/S以外													
1)原子炉冷却材保持機能(PS-1,PS-2以外のもの)	計装配管及び弁		✓	✓									可	①	—		×
	試料採取設備の配管及び弁	✓											可	①	—		×
2)原子炉冷却材の循環機能	1次冷却材ポンプ	✓											可	①	—		×
	化学体積制御設備の封水注入ライン																
	封水注入系	✓											可	①	—		×
	1次冷却材ポンプスタンドパイプ	✓											可	①	—		×
3)放射性物質の貯蔵機能	配管及び弁	✓	✓	✓									可	①	—		×
	1次冷却材ポンプパージ水ヘッドタンク	✓											可	①	—		×
	加圧器逃がしタンク	✓											可	①	—		×
	液体廃棄物処理設備(貯蔵機能を有する範囲)																
	格納容器サンプ	✓											可	①	—		×
	廃液貯蔵ピット			✓									可	①	—		×
	冷却材貯蔵タンク			✓									可	①	—		×
	格納容器冷却材ドレンタンク	✓											可	①	—		×
	補助建屋サンプタンク			✓									可	①	—		×
	洗浄排水タンク			✓									可	①	—		×
	洗浄排水蒸留水タンク			✓									可	①	—		×
	廃液蒸留水タンク			✓									可	①	—		×
	洗浄排水濃縮廃液タンク			✓									可	①	—		×
	酸液ドレンタンク			✓									可	①	—		×
	濃縮廃液タンク			✓									可	①	—		×
	固体廃棄物処理設備(貯蔵機能を有する範囲)																
	使用済樹脂貯蔵タンク			✓									可	①	—		×
	固体廃棄物貯蔵庫											✓	否	②	可	a	×
	新燃料貯蔵庫		✓										否	③	可	b	×
	4)電源供給機能(非常用を除く)	発電機及び励磁機設備(発電機負荷開閉器含む)															
発電機									✓				否	④	可	c	×
励磁装置									✓				否	④	可	c	×
発電機負荷開閉器									✓				否	④	可	c	×
蒸気タービン設備																	
主タービン									✓				否	④	可	c	×
主蒸気設備(主蒸気隔離弁以後)																	
主要弁及び配管			✓										否	⑤	可	d	×
給水設備(主給水隔離弁以前)										✓			否	④	可	c	×
電動主給水ポンプ									✓				否	④	可	c	×
タービン動主給水ポンプ									✓				否	④	可	c	×
給水加熱器									✓				否	④	可	c	×
配管及び弁			✓										否	⑤	可	d	×
復水設備(復水器及び循環水ラインを含む)										✓			否	④	可	c	×
(復水系)																	
復水器										✓			否	④	可	c	×
復水ポンプ										✓			否	④	可	c	×
配管及び弁										✓			否	④	可	c	×
(循環水系)																	
循環水ポンプ										✓			否	④	可	c	×
配管及び弁									✓			否	④	可	c	×	
所内電源系統(MS-1以外)													否	②	可	c	×
所内電源設備(発電機又は外部電源系から所内負荷までの範囲)	✓	✓	✓	✓					✓				可	①	—		×
直流電源設備(MS-1以外)													否	⑥	可	c	×
蓄電池			✓										否	②	可	c	×
直流電源設備(蓄電池から常用負荷までの範囲)	✓	✓	✓						✓				否	⑥	可	c	×
計測制御用電源設備(MS-1以外)													否	②	可	c	×
計測制御用電源設備(電源装置から常用計測制御装置までの範囲)	✓	✓	✓						✓				可	①	—		×
制御棒駆動装置用電源設備		✓											否	④	可	c	×
送電線設備												✓	否	②	可	e	×
変圧器設備												✓	否	②	可	e	×
開閉所設備												✓	否	②	可	e	×
5)プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く)	原子炉制御系の一部(範囲はJEA4611による)	✓		✓									可	①	—		×
	原子炉計装の一部(範囲はJEA4611による)	✓		✓									可	①	—		×
	プロセス計装の一部(範囲はJEA4611による)	✓	✓	✓					✓				可	①	—		×
6)プラント運転補助機能	補助蒸気設備																
	蒸気供給系配管及び弁	✓	✓	✓									可	①	—		×
	補助蒸気ドレンタンク			✓									否	④	可	c	×
	補助蒸気ドレンポンプ			✓									可	①	—		×
	スチームコンバータ								✓				否	④	可	c	×
	スチームコンバータ給水ポンプ								✓				否	④	可	c	×
	スチームコンバータ給水タンク								✓				否	④	可	c	×
	制御用圧縮空気設備(MS-1以外)	✓	✓	✓									可	①	—		×
	原子炉補機冷却水設備(MS-1以外)																
	配管及び弁	✓	✓	✓									可	①	—		×
	軸受冷却設備																
	軸受冷却水ポンプ									✓			否	④	可	c	×
熱交換器									✓			否	④	可	c	×	
配管及び弁									✓			否	④	可	c	×	
給水処理設備																	
配管及び弁												✓	否	④	可	c	×
2次系純水タンク												✓	否	②	可	f	×

【凡例】  
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋、AB/B: 補助ボイラー建屋

【考え方】  
<Step3>  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けたいため除外する。  
②当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
③当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受ける可能性があるため除外不可。  
④当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑤当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のプロアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑥当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。  
<Step4>  
a 当該建屋は3号機の竜巻防護施設(建屋)に隣接している建屋ではない。また、竜巻防護施設を内包している建屋でもないため、設計竜巻により当該建屋が倒壊した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
b 当該貯蔵庫内には竜巻防護施設である新燃料ラックが貯蔵されているが、設計飛来物により当該貯蔵庫が破損して飛散物が生じた場合でも、新燃料ラックに対する設計飛来物による影響評価に包絡されると考えられるため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。  
c 当該設備の周囲に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
d 当該設備は竜巻防護施設である主蒸気(主給水)配管及び弁と接続されているが、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも破損箇所の隔離が可能であるため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
e 設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設であるディーゼル発電機による原子炉等の冷却に必要な電源の供給に影響を与えないため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
f 設計飛来物により当該設備が破損して水の流出が生じた場合でも、屋外タンクからの溢水影響評価に包絡されると考えられるため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。

分類:PS-3

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

分類:MS-3

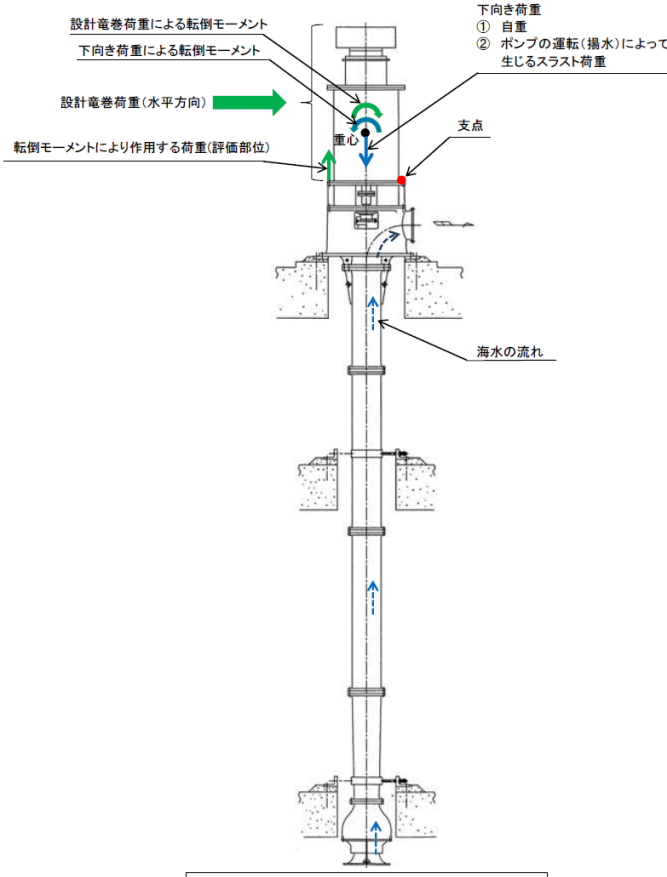
定義	機能	構築物、系統又は機器	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設			
			竜巻防護施設を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方				
			R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	AB/B						屋外		
1)運転時の異常な過渡変化があっても、MS-1,MS-2とあわせて、事象を緩和する構築物、系統及び機器	1)原子炉圧力の上昇の緩和機能	加圧器逃がし弁(自動操作)	✓									可	①	-		x		
		タービンランバックインターロック(範囲はJEAG4611による)	✓		✓						✓		可	①	-		x	
	2)出力上昇の抑制機能	制御棒引抜阻止インターロック(範囲はJEAG4611による)	✓		✓								否	⑥	可	c	x	
		化学体積制御設備の充てんライン及びほう酸補給ライン											可	①	-		x	
	3)原子炉冷却材の補給機能	ほう酸補給タンク			✓								可	①	-		x	
		ほう酸混合器			✓								可	①	-		x	
		ほう酸補給設備配管及び弁	✓	✓	✓								可	①	-		x	
		給水処理設備の1次系補給水ライン											可	①	-		x	
		1次系純水タンク		✓									可	①	-		x	
	4)タービントリップ機能	タービン保安装置										✓	否	⑥	可	c	x	
主蒸気止め弁(閉機能)							✓					否	④	可	c	x		
2)異常状態への対応に必要な構築物、系統及び機器	1)緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所			✓							可	①	-		x		
		蒸気発生器ブローダウンライン(サンプリング機能を有する範囲)											可	①	-		x	
		配管及び弁	✓	✓									可	①	-		x	
		試料採取設備(事故時に必要な1次冷却材放射性物質濃度及び原子炉格納容器雰囲気放射性物質濃度のサンプリング分析機能を有する範囲)											可	①	-		x	
		配管及び弁	✓	✓	✓								可	①	-		x	
		通信連絡設備											否	⑦	可	g	x	
		放射線監視設備の一部(範囲はJEAG4611による)	✓		✓								可	①	-		x	
		原子炉計装の一部(範囲はJEAG4611による)	✓		✓								可	①	-		x	
		プロセス計装の一部(範囲はJEAG4611による)	✓	✓	✓								可	①	-		x	
		消火設備	✓	✓	✓	✓							可	①	-		x	
		水消火設備									✓			否	④	可	c	x
												✓		否	⑥	可	c	x
ろ過水タンク											✓	否	②	可	f	x		
											✓	否	②	可	c	x		
泡消火設備											可	①	-		x			
二酸化炭素消火設備				✓							可	①	-		x			
安全避難通路										✓		否	④	可	c	x		
非常用照明												否	⑦	可	g	x		

【凡例】  
R/B:原子炉建屋、O/S:外部しゃへい建屋、C/V:原子炉格納容器、A/B:原子炉補助建屋、DG/B:ディーゼル発電機建屋、CWP/B:循環水ポンプ建屋、T/B:タービン建屋、EL/B:電気建屋、AB/B:補助ボイラー建屋

【考え方】  
<Step3>  
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。  
②当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
④当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。  
⑥当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。  
⑦当該設備は発電所全域に設置されており、一部の建屋では設計飛来物の進入が想定されることなどから、当該設備は設計竜巻による影響を受ける可能性があるため除外不可。  
<Step4>  
c 当該設備の周囲に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。  
f 設計飛来物により当該設備が破損して水の流出が生じた場合でも、屋外タンクからの溢水影響評価に包絡されると考えられるため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。  
g 当該設備はサポート設備であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

### 1.3. 運転時荷重の組み合わせを考慮していない理由について

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として、評価対象施設に常時作用する荷重（自重）および運転時荷重を適切に組み合わせしており、以下に運転時荷重の組み合わせを考慮していない理由を示す。

評価対象施設	考慮していない理由
原子炉補機冷却海水ポンプ	<p>評価部位（ボルト）には、ポンプ（縦型）の運転（揚水）によって生じる下向きスラスト荷重によるモーメントと、設計竜巻による複合荷重によって生じる転倒モーメント（上向き）が作用する。これらのモーメントは、お互いに打ち消す方向に作用するため、保守的に運転時荷重（ポンプの揚水によって生じる下向きスラスト荷重）との組み合わせは考慮していない。</p> 

評価対象施設	考慮していない理由						
排気筒	<p>当該設備に繋がる換気空調設備（評価対象施設）については、設計竜巻による気圧差の影響を回避するため、泊発電所が立地する後志地方を含むエリア（石狩・空知・後志地方）に竜巻注意情報が発表され、泊発電所周辺の竜巻発生確度<sup>※1</sup>が2および雷活動度<sup>※2</sup>が3以上となった場合（現在検討中）はこれに必要なダンパ・弁を閉止して外気と隔離する手順とする。これに伴って当該設備に繋がるファンを停止する手順とするため、運転時荷重（ファン静圧）は作用しないことから考慮していない。</p>						
換気空調設備	<table border="1" data-bbox="379 656 587 1256"> <tr> <td data-bbox="379 656 587 728">ダンパ</td> <td data-bbox="587 656 1415 1256" rowspan="5"> <ul style="list-style-type: none"> <li>当該設備のうち、下記以外の換気空調系については、設計竜巻による気圧差の影響を極力回避するため、泊発電所が立地する後志地方を含むエリア（石狩・空知・後志地方）に竜巻注意情報が発表され、泊発電所周辺の竜巻発生確度<sup>※1</sup>が2および雷活動度<sup>※2</sup>が3以上となった場合（現在検討中）はこれに必要なダンパ・弁を閉止して外気と隔離する手順とする。これに伴って必要なファンを停止する手順とするため、運転時荷重（ファン静圧）は作用しないことから考慮していない。</li> <li>ディーゼル発電機室換気系、電動補助給水ポンプ室換気系、制御用空気圧縮機室換気系については、ディーゼル発電機設備等の冷却の観点からファンは停止しないが、ファンの運転によってダクト等に生じる圧力は、竜巻による気圧低下を打ち消す方向に作用するため、保守的に運転時荷重（ファン静圧）との組み合わせは考慮していない。</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="379 728 587 799">バタフライ弁</td> </tr> <tr> <td data-bbox="379 799 587 871">ダクト</td> </tr> <tr> <td data-bbox="379 871 587 943">ファン</td> </tr> <tr> <td data-bbox="379 943 587 1256">空調ユニット</td> </tr> </table>	ダンパ	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該設備のうち、下記以外の換気空調系については、設計竜巻による気圧差の影響を極力回避するため、泊発電所が立地する後志地方を含むエリア（石狩・空知・後志地方）に竜巻注意情報が発表され、泊発電所周辺の竜巻発生確度<sup>※1</sup>が2および雷活動度<sup>※2</sup>が3以上となった場合（現在検討中）はこれに必要なダンパ・弁を閉止して外気と隔離する手順とする。これに伴って必要なファンを停止する手順とするため、運転時荷重（ファン静圧）は作用しないことから考慮していない。</li> <li>ディーゼル発電機室換気系、電動補助給水ポンプ室換気系、制御用空気圧縮機室換気系については、ディーゼル発電機設備等の冷却の観点からファンは停止しないが、ファンの運転によってダクト等に生じる圧力は、竜巻による気圧低下を打ち消す方向に作用するため、保守的に運転時荷重（ファン静圧）との組み合わせは考慮していない。</li> </ul>	バタフライ弁	ダクト	ファン	空調ユニット
ダンパ	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該設備のうち、下記以外の換気空調系については、設計竜巻による気圧差の影響を極力回避するため、泊発電所が立地する後志地方を含むエリア（石狩・空知・後志地方）に竜巻注意情報が発表され、泊発電所周辺の竜巻発生確度<sup>※1</sup>が2および雷活動度<sup>※2</sup>が3以上となった場合（現在検討中）はこれに必要なダンパ・弁を閉止して外気と隔離する手順とする。これに伴って必要なファンを停止する手順とするため、運転時荷重（ファン静圧）は作用しないことから考慮していない。</li> <li>ディーゼル発電機室換気系、電動補助給水ポンプ室換気系、制御用空気圧縮機室換気系については、ディーゼル発電機設備等の冷却の観点からファンは停止しないが、ファンの運転によってダクト等に生じる圧力は、竜巻による気圧低下を打ち消す方向に作用するため、保守的に運転時荷重（ファン静圧）との組み合わせは考慮していない。</li> </ul>						
バタフライ弁							
ダクト							
ファン							
空調ユニット							

※1：気象庁が発表する防災気象情報の一つである「竜巻発生確度ナウキャスト」において、気象ドップラーレーダーなどから、10km間隔で竜巻などの激しい突風が発生する可能性の程度を推定した指標（10分毎に更新）。中央制御室に設置している気象端末装置（MICOS）等にて確認可能であり、竜巻などの激しい突風が発生する可能性の低い方から発生確度1→2の2つに区分されている。

※2：気象庁が発表する防災気象情報の一つである「雷ナウキャスト」において、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雷の激しさや雷の可能性を1km間隔で予測した指標（10分毎に更新）。中央制御室に設置している気象端末装置（MICOS）等にて確認可能であり、雷活動度の低い方から雷活動度1→4の4つに区分されている。

## 16. 建物・構築物等の構造健全性の確認内容について

建物・構築物の評価対象施設は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に基づいた以下の評価方針により構造健全性を確認している。

### 1. 評価対象施設が終局耐力等の許容限界に対して妥当な安全余裕を有する。

⇒基準地震動 $S_s$ による耐震評価位置に地震荷重と同様に設計竜巻荷重を作用させて、その発生値と許容値との比較により、評価対象施設が設計竜巻荷重に耐えられることを確認する。

(竜巻防護施設) 複合荷重によるせん断力から算出されるせん断ひずみ及び層間変形角について、基準地震動 $S_s$ に対する許容限界もしくは建築基準法等に基づく許容限界との比較により安全余裕を確認する。

(波及的影響を及ぼし得る施設) 複合荷重によるせん断力が建築基準法等に基づき算定した保有水平耐力以下であることを確認する。

### 2. 設計飛来物が竜巻防護施設を内包する区画に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。

⇒(鉄筋コンクリート造) 屋根スラブ及び外壁等に対する貫通・裏面剥離評価を実施する。貫通及び裏面剥離が生じる結果となった場合には、内包する竜巻防護施設に対する評価を実施する。

(鉄骨造) 設計飛来物の進入があるものとみなして、建屋外殻部への評価は実施せず、内包する竜巻防護施設に対する評価を実施する。

### 3. 竜巻防護施設を内包する区画を構成する部材のうち、気圧差による圧力の影響を受けると想定される部位について検討を行う。

⇒気圧差による圧力の影響を受けて破損等のおそれがある部位としては、開口部に設置される扉、薄い鋼板等で構成されている鉄骨造の屋根スラブ及び外壁材が想定されることから、これらの部位について、発生する応力と部材強度との比較により健全性を確認する。

評価方針を踏まえた建屋ごとの評価項目及び評価部位等を第16-1表に、評価対象施設を含む敷地平面図を第16-1図に示す。



第 16-1 表 評価項目及び評価部位

区 分	建屋名 <sup>※1</sup>		構造 <sup>※3</sup>	複合荷重 <sup>※4</sup> による 建屋の構造健全性評価		局部（部材）評価	
				$W_{T1}$	$W_{T2}$	飛来物評価	気圧差評価
竜巻防護施設	R/B <sup>(※2)</sup>	O/S	RC造	○	○	○（ドーム部，円筒部）	—
		E/B	RC造	○	○	○（屋根，外壁，扉）	○（扉）
		FH/B	S造	○	○	— <sup>※5</sup>	○（屋根，外壁，扉）
	A/B	RC造	○	○	○（屋根，外壁，扉）	○（扉）	
	DG/B	RC造	○	○	○（屋根，外壁，扉）	○（扉）	
波及的影響を 及ぼし得る施設	CWP/B	S造	○	○	— <sup>※6</sup>	—	
	T/B	S造	○	○	—	—	
	EL/B	RC造	○	○	—	—	
	AC/B	RC造	○	○	—	—	

※ 表内の「○」印は評価を実施している項目

※1 R/B：原子炉建屋，O/S：外部遮へい建屋，E/B：周辺補機棟，FH/B：燃料取扱棟  
A/B：原子炉補助建屋，DG/B：ディーゼル発電機建屋

CWP/B：循環水ポンプ建屋，T/B：タービン建屋，EL/B：電気建屋，AC/B：出入管理建屋

※2 原子炉建屋の概略断面図と各建屋の構成及び評価部位については第 16-2 図参照

※3 RC造：鉄筋コンクリート造，S造：鉄骨造

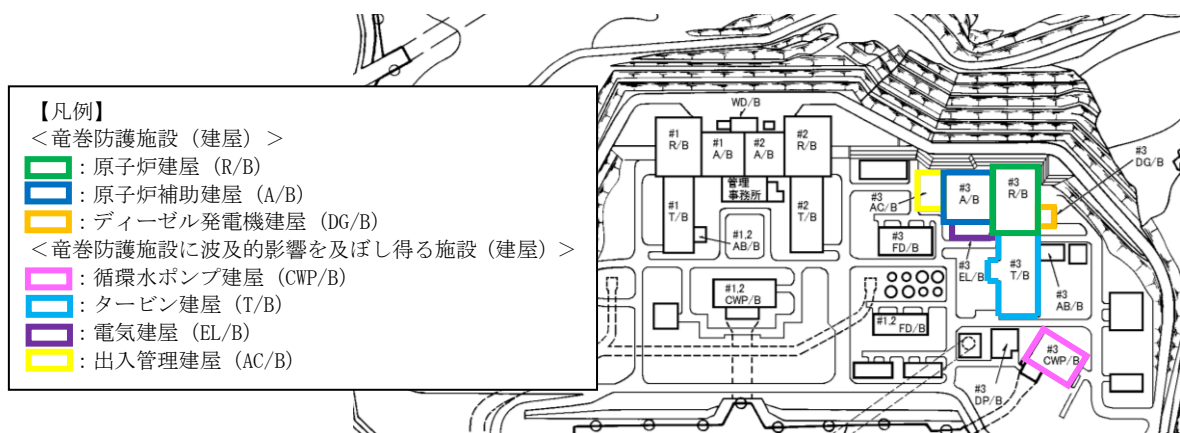
※4  $W_{T1} = W_P$ ， $W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$

$W_W$ ：設計竜巻の風圧力による荷重， $W_P$ ：設計竜巻の気圧差による荷重， $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

※5 内包する竜巻防護施設である使用済燃料ピットへの評価は実施

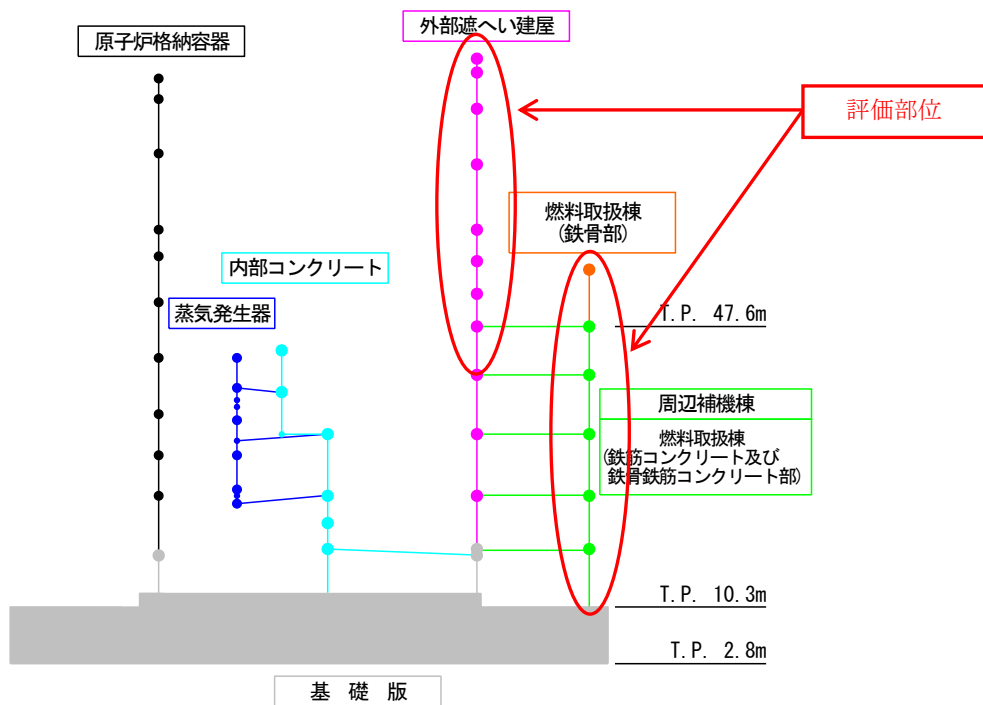
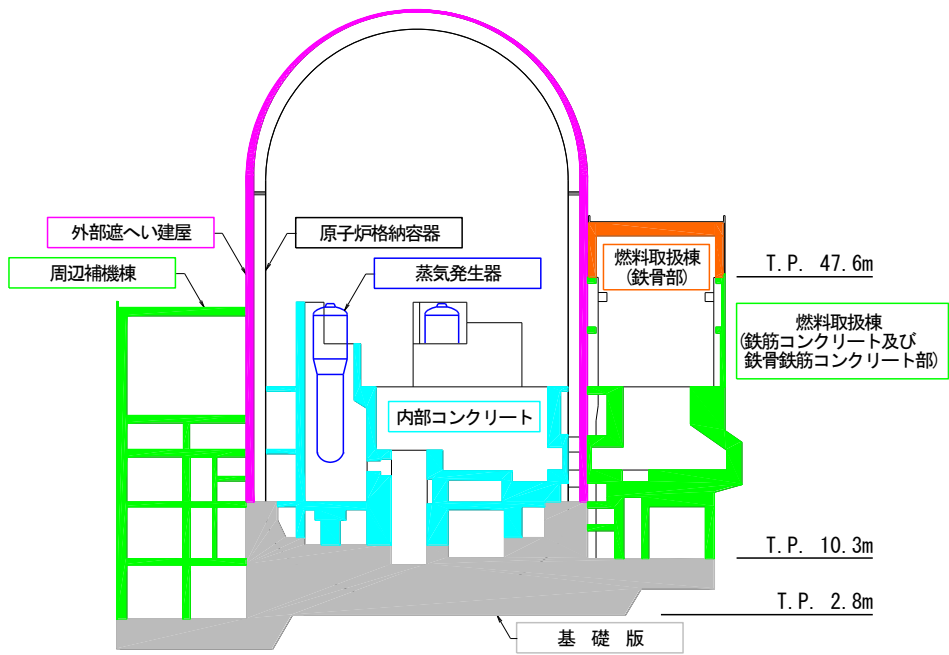
なお，主要構造部に設計飛来物が衝突した場合においても，構面を構成するフレーム全体で荷重を負担することから，複合荷重による構造健全性評価で代表できる。

※6 内包する竜巻防護施設である原子炉補機冷却海水ポンプへの評価は実施



第 16-1 図 敷地平面図





第 16-2 図 原子炉建屋の概略断面図と評価部位

## 17. 評価式の妥当性及び評価方法について

泊発電所における設計飛来物のコンクリート構造物への衝突による影響は、以下の「修正 NDRC 式」(①式)、「Degen 式」(②式)及び「Chang 式」(③式)に基づいて評価している。

このうち、貫通評価は①式に示す修正 NDRC 式を用いて貫入深さ  $x_c$  を求め、Degen による②式により貫通限界厚さを求めている。裏面剥離評価は Chang による③式により裏面剥離限界厚さを求めている。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left( \frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} \leq 1.52 \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left\{ \frac{200}{V} \right\}^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(D/12)^{0.2} (144Fc)^{0.4}} \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

ここで、

$x_c$ : 貫入深さ (in)	$\alpha_c$ : 飛来物低減係数	$K : 180/\sqrt{Fc}$
$W$ : 飛来物重量 (lb)	$N$ : 形状係数	$D$ : 飛来物直径 (in)
$V$ : 衝突速度 (ft/s)	$Fc$ : コンクリート強度 (psi)	
$t_p$ : 貫通厚さ (in)	$\alpha_p$ : 飛来物低減係数	
$t_s$ : 裏面剥離厚さ (ft)	$\alpha_s$ : 飛来物低減係数	$M$ : 質量 (lb/ (ft/s <sup>2</sup> ))

### 1. 評価式の妥当性

これらの評価式については、NEI07-13<sup>※1</sup>に記載されている。また、竜巻による飛来物の取り扱いに関して、米国 NRC の基準類<sup>※2</sup>では、修正 NDRC 式等の実験式によってコンクリートへの貫入深さ、必要防護厚さを算定することができると記載されている。

また、これらの評価式は、飛来物を受けるコンクリート構造物の局部的損傷評価式として国内でも認知されており、「構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)においても、裏面剥離限界厚さの評価式としては Chang 式の適用性が高く、貫通限界厚さの評価式としては Degen 式が比較的適用性が高いとされている。

以上のことから、設計飛来物のコンクリート構造物への衝突による影響評価において、上記の評価式を適用することは妥当であると考えられる。

※1 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs

※2 : STANDARD REVIEW PLAN, 3.5.3 BARRIER DESIGN PROCEDURES

## 2. 評価方法

泊発電所における設計飛来物の諸元を第 17-1 表に示す。この諸元のうち鋼製材が原子炉建屋に水平に衝突した場合の評価について、評価式に基づく計算過程を以降に示す。

第 17-1 表 設計飛来物の諸元

飛来物の種類	棒状物		塊状物
	鋼製パイプ	鋼製材	コンテナ
サイズ (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6
質量 (kg)	8.4	135	2300
水平速度 (m/s)	49	57	60
鉛直速度 (m/s)	33	38	40

### <飛来物評価諸元の設定>

設定が必要な各定数は、以下に基づいて設定している。設定した評価諸元を第 17-2 表に示す。

- ・低減係数：考慮しない (=1.0)
- ・コンクリート強度：原子炉建屋のコンクリート強度である  $F_c=24 \text{ N/mm}^2$
- ・飛来物直径：飛来物の衝突評価にあたっては、衝突面積が小さいほど貫入深さは大きくなるため、設計飛来物の最小面積となる部分が衝突するものとして評価する。  
鋼製材の場合は、幅 30cm×奥行き 20cm=600cm<sup>2</sup> となることから、これと等面積の円となる直径を算出すると 27.6cm となる。
- ・形状係数：「構造工学シリーズ 6 建造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会) に記載されている形状係数 (0.72~1.14) のうち、先端の形状が非常に鋭いもの (=1.14) として評価する。

第 17-2 表 飛来物評価諸元

低減係数 $\alpha_c, \alpha_p, \alpha_s$	コンクリート強度 $F_c$	飛来物重量 $W$	形状係数 $N$	飛来物直径 $D$	衝突速度 $V$
1.0	24 (N/mm <sup>2</sup> ) ↓ 3480 (psi)	135 (kg) ↓ 298 (lbf)	1.14	27.6 (cm) ↓ 10.9 (in)	57 (m/s) ↓ 187 (ft/s)

<貫通評価>

$$x_c = 1.0 \sqrt{4 \times \frac{180}{\sqrt{3480}} \times 298 \times 1.14 \times 10.9 \left( \frac{187}{1000 \times 10.9} \right)^{1.8}}$$

$$= 5.48 \text{ (in)}$$

$$t_p = 1.0 \times 10.9 \left\{ 2.2 \left( \frac{5.48}{1.0 \times 10.9} \right) - 0.3 \left( \frac{5.48}{1.0 \times 10.9} \right)^2 \right\}$$

$$= 11.23 \text{ (in)}$$

$$= 28.52 \text{ (cm)} \Rightarrow 29 \text{ (cm)}$$

<裏面剥離評価>

$$t_s = 1.0 \times 1.84 \left( \frac{200}{187} \right)^{0.13} \frac{(9.26 \times 187^2)^{0.4}}{\left( \frac{10.9}{12} \right)^{0.2} (144 \times 3480)^{0.4}}$$

$$= 1.589 \text{ (ft)}$$

$$= 48.44 \text{ (cm)} \Rightarrow 49 \text{ (cm)}$$

計算過程を示した鋼製材を含む設計飛来物の評価結果を第17-3表に示す。

第17-3表 原子炉建屋のコンクリートの必要最小厚

	鋼製パイプ		鋼製材		コンテナ	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
貫通 (cm)	12	9	29	21	27	19
裏面剥離 (cm)	21	16	49	37	59	45

※小数点以下は切り上げている。

## 18. デッキプレート等によるコンクリート片の飛散防止について

### 1. 検討方針

設計飛来物に対して、裏面剥離を生じさせないために必要な屋根スラブのコンクリート最小厚さを周辺補機棟、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋では45cm以上と、外部遮へい建屋では42cm以上と評価している。

周辺補機棟、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋の屋根スラブには、防水押えコンクリート（厚さ8cm）を施工しているため、実質のコンクリート厚さは第18-1表の通りであり、周辺補機棟は裏面剥離がないものと評価できる。一方、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び外部遮へい建屋は、防水押えコンクリートを考慮しても裏面剥離を生じるコンクリート厚さであることから、デッキプレート等によるコンクリート片の飛散防止効果を確認する。

第18-1表 各建屋の屋根スラブのコンクリート厚さ

建屋名	コンクリート厚さ		評価	必要スラブ厚
	屋根スラブ	防水押え考慮		
周辺補機棟	40 (cm)	48 (cm)	>	45 (cm)
原子炉補助建屋	30 (cm)	38 (cm)	<	
ディーゼル発電機建屋	18 (cm)	26 (cm)	<	
外部遮へい建屋	30 (cm)	—	<	42 (cm)

### 2. 検討結果

コンクリートの裏面剥離は、応力波の伝播・反射によって生じる引張応力が原因とされているため、この応力波の反射を抑制する等により引張応力を小さくすることが必要であり、この対策としては、衝突面裏面に鋼製ライナーを取り付ける方法が有効であることが各種検討※1※2において確認されている。

#### 【原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋】

- ・屋根スラブに施工されているデッキプレートは、厚さが1.6mmの鋼板であり、鋼製ライナーとほぼ同等な性能を有していると考えられることから、裏面剥離発生を抑止効果が期待できる。
- ・また、デッキプレートは、1,500～2,200mm程度の間隔で鉄骨梁に支持されていることから、裏面剥離が生じた場合にも鉄骨梁に支持されたデッキプレートでコンクリート片の飛散を抑える効果が期待できる。（屋根スラブの概略図を第18-1図に示す。）

これらのことから、デッキプレートによる効果を定量的に評価することは難しいものの、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋の屋根スラブに施工されたデッキプレートは、裏面剥離に対して十分な効果を発揮するとともに、コンクリート片の飛散防止に寄与するものと考えられる。

※1：「飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の対衝撃補強工法」コンクリート工学年次論文報告集

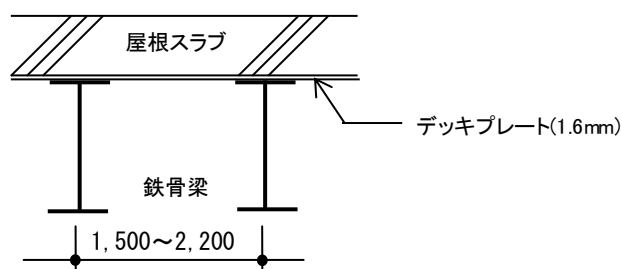
※2：「飛来物の高速衝突を受ける鋼製ライナー付き鉄筋コンクリート板の局部損傷評価法」日本建築学会構造系論文集

### 【外部遮へい建屋のドーム部】

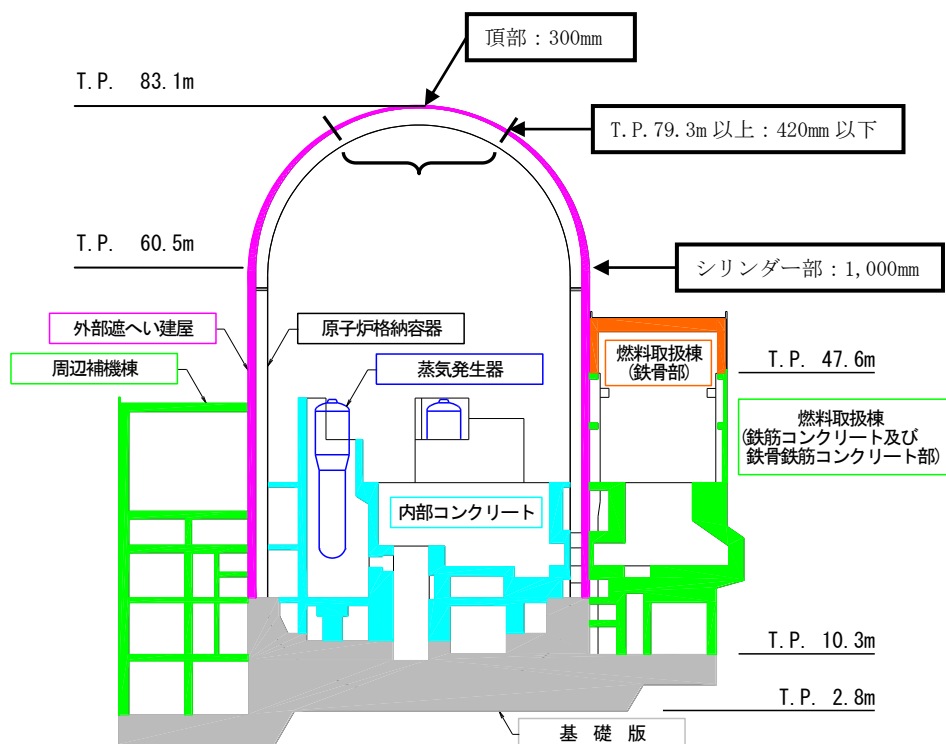
- ・ 頂部からシリンダー部にかけて 300mm～1,000mm と徐々にコンクリートが厚くなっている。(原子炉建屋の概略断面図を第 18-2 図に示す。)
- ・ コンクリート厚さが薄いドーム部の頂部付近には、厚さ 12mm の鋼板を施工している。
- ・ また、これ以外の部分は、他の建屋同様に厚さ 1.6mm のデッキプレート施工しており、かつドーム部全体はトラス梁に支持されている。

これらのことから、外部遮へい建屋のドーム部の屋根スラブに施工された鋼板及びデッキプレートは、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋と同様に裏面剥離及びコンクリート片の飛散防止に対して十分な効果を発揮するものと考えられる。

なお、仮にコンクリート片の飛散が発生し、直下の原子炉格納容器に当たったとしても、その範囲は限定的であり、かつ厚さは 22.5mm の鋼板であることから、原子炉格納容器への影響はないものと考えられる。



第 18-1 図 屋根スラブの概略図



第 18-2 図 概略断面図

19. 評価対象施設の評価実施項目および考え方について

設備の構造健全性の確認にあたっては、表-1の考え方に基づいて評価を実施している。

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (1/6)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	$\frac{W_{T1}}{(W_P)}$	$\frac{W_{T2}}{(W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M)}$		
1. 竜巻防護施設				
原子炉補機冷却海水ポンプ（モータ含む）	○	○ <sup>*</sup>	○	① ・当該設備は循環水ポンプ建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄骨造であるため、設計竜巻により当該建屋外壁の外装材等は損傷することも考えられる。 ・当該建屋外壁の外装材等が損傷した場合は、当該設備に設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備が転倒する（モータは構造健全性が維持されない）可能性が考えられる。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備の据付面基礎ボルト、電動機取合ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。
				② ・当該設備が設置されている循環水ポンプ建屋の天井（コンクリート）および外壁（外装材）の厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
排気筒（建屋外）	○	○ <sup>*</sup>	○	① ・当該設備は屋外に設置されているため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備（角ダクト、丸ダクト）の鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。
				② ・当該設備は屋外に設置されているため、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※：設計飛来物による影響評価より貫通等の損傷が生じるとの結果が得られたことから、飛来物対策（発生防止対策、損傷防止対策）を実施するため、 $W_M$ については考慮しない。

<凡例>

$W_W$ ：設計竜巻の風圧力による荷重、 $W_P$ ：設計竜巻による気圧差による荷重、 $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (2/6)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	$W_{T1}$ ( $W_p$ )	$W_{T2}$ ( $W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$ )		
ディーゼル機関	—	—	○	<p>① ・当該設備はディーゼル発電機建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。</p> <p>② ・当該設備が設置されている区画の排気フードの厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。</p>
蓄熱室加熱器	—	—	○	<p>① ・当該設備はディーゼル発電機建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。</p> <p>② ・当該設備が設置されているのはディーゼル発電機建屋の屋上に突き出した塔屋部である。 ・当該設備が設置されている部位の外壁（コンクリート）は設計飛来物が貫通するとの結果が得られた。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。</p>

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

<凡例>

$W_w$ ：設計竜巻の風圧力による荷重、 $W_p$ ：設計竜巻による気圧差による荷重、 $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重



表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (3/6)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	$W_{T1}$ ( $W_p$ )	$W_{T2}$ ( $W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$ )		
配管および弁 (原子炉補機冷却海水系統)	○	○*	○	① <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備は循環水ポンプ建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄骨造であるため、設計竜巻により当該建屋外壁の外装材等は損傷することも考えられる。</li> <li>・当該建屋外壁の外装材等が損傷した場合は、当該設備に設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。</li> <li>・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備（配管（弁は配管の評価に包絡））に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</li> </ul>
				② <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備が設置されている循環水ポンプ建屋の天井（コンクリート）および外壁（外装材）の厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。</li> <li>・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。</li> </ul>
ろ過装置（原子炉補機冷却海水系統）	○	○*	○	① <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備は循環水ポンプ建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄骨造であるため、設計竜巻により当該建屋外壁の外装材等は損傷することも考えられる。</li> <li>・当該建屋外壁の外装材等が損傷した場合は、当該設備に設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備が転倒する可能性が考えられる。</li> <li>・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備の胴板、基礎ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</li> </ul>
				② <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備が設置されている循環水ポンプ建屋の天井（コンクリート）および外壁（外装材）の厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。</li> <li>・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。</li> </ul>

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※：設計飛来物による影響評価より貫通等の損傷が生じるとの結果が得られたことから、飛来物対策（発生防止対策、損傷防止対策）を実施するため、 $W_M$ については考慮しない。

<凡例>

$W_w$ ：設計竜巻の風圧力による荷重、 $W_p$ ：設計竜巻による気圧差による荷重、 $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (4/6)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	$W_{T1}$ ( $W_P$ )	$W_{T2}$ ( $W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )		
配管および弁 (主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統)	○	○*	○	① <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。</li> <li>・ただし、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放されるため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。</li> <li>・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備（配管（弁は配管の評価に包絡））に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</li> </ul>
				② <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルの厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。</li> <li>・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。</li> </ul>
使用済燃料ピット（使用済燃料ラック含む）	-	-	○	① <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。</li> <li>・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。</li> </ul>
				② <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は、外壁（外装材）の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。</li> <li>・以上より、当該設備（使用済燃料ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）への設計飛来物による影響を評価する。</li> </ul>

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※：設計飛来物による影響評価より貫通等の損傷が生じるとの結果が得られたことから、飛来物対策（発生防止対策、損傷防止対策）を実施するため、 $W_M$ については考慮しない。

<凡例>

$W_W$ ：設計竜巻の風圧力による荷重、 $W_P$ ：設計竜巻による気圧差による荷重、 $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (5/6)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	$W_{T1}$ ( $W_p$ )	$W_{T2}$ ( $W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$ )		
新燃料ラック	—	—	○	① ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。
				② ・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は、外壁（外装材）の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備（当該設備に貯蔵される燃料集合体を含む）への設計飛来物による影響を評価する。
燃料移送装置	—	—	○	① ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。
				② ・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は、外壁（外装材）の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
使用済燃料ピットクレーン	—	—	○	① ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。
				② ・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は、外壁（外装材）の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して進入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

<凡例>

$W_w$ ：設計竜巻の風圧力による荷重、 $W_p$ ：設計竜巻による気圧差による荷重、 $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (6/6)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②気圧差による影響評価	考え方
	$W_{T1}$ ( $W_p$ )	$W_{T2}$ ( $W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$ )	$W_p$	
排気筒（建屋内） 換気空調設備	—	—	○	② <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備は原子炉建屋、原子炉補助建屋内に設置されているが、これらの建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持され、かつ設計飛来物は貫通しない。</li> <li>・ただし、当該設備は外気と繋がっているため、設計竜巻による気圧差が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。</li> <li>・当該設備が損傷した場合は、竜巻防護施設（冷却を必要とする耐震Sクラス設備）に影響を与える可能性がある。</li> <li>・以上より、設計竜巻による気圧差により外気との隔離箇所であるダンパのケーシングやバタフライ弁の弁体等、外気と繋がるダクトの鋼板（外気との隔離箇所までの範囲）に発生する応力を算定し、許容値との比較（バタフライ弁は気圧差により生じる内圧と許容値との比較）により安全余裕を確認する。</li> </ul>
2. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設				
換気空調設備 （冷却を必要とする耐震Sクラス設備を内包する区画の換気空調設備）	—	—	○	② <ul style="list-style-type: none"> <li>・当該設備は原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋内に設置されているが、これらの建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持され、かつ設計飛来物は貫通しない。</li> <li>・ただし、当該設備は外気と繋がっているため、設計竜巻による気圧差が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。</li> <li>・当該設備が損傷した場合は、竜巻防護施設（冷却を必要とする耐震Sクラス設備）に影響を与える可能性がある。</li> <li>・以上より、設計竜巻による気圧差により外気との隔離箇所であるダンパのケーシング等、外気と繋がるダクトの鋼板（外気との隔離箇所までの範囲）、外気との隔離箇所までに設置されているファンのケーシングおよび空調ユニットの外板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</li> </ul>

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

<凡例>

$W_w$ ：設計竜巻の風圧力による荷重、 $W_p$ ：設計竜巻による気圧差による荷重、 $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

## 20. 評価対象施設の評価方法について

設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1}, W_{T2}$ ) および気圧差 ( $W_p$ ) による影響評価ならびに設計飛来物による影響評価の方法を以下に示す。

### (1) 設計竜巻による複合荷重による影響評価

評価対象施設	評価方法
＜竜巻防護施設＞	
原子炉補機冷却海水ポンプ (モータ含む)	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1}, W_{T2}$ ) により原子炉補機冷却海水ポンプおよびモータの据付面基礎ボルト、電動機取合ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。
排気筒 (建屋外)	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1}, W_{T2}$ ) により排気筒 (角ダクト、丸ダクト) の鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。
配管およびろ過装置 (原子炉補機冷却海水系統)	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1}, W_{T2}$ ) により配管およびろ過装置の胴板、基礎ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。
配管および弁 (主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統)	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1}, W_{T2}$ ) により配管 (弁は配管の評価に包絡) に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。

＜凡例＞

$$W_{T1}=W_p, W_{T2}=W_w+0.5\cdot W_p$$

$W_w$  : 設計竜巻の風圧力による荷重、 $W_p$  : 設計竜巻による気圧差による荷重

### (2) 設計飛来物による影響評価

評価対象施設	評価方法
＜竜巻防護施設＞	
原子炉補機冷却海水ポンプ (モータ含む)	設計竜巻に対して、設計飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さと評価対象施設の最小板厚を比較することで、飛来物の貫通有無を確認する。鋼板の必要最小厚さはBRL式を用いて求める。(補足説明資料21.参照)
排気筒 (建屋外)	
ディーゼル機関	
蓄熱室加熱器	
配管およびろ過装置 (原子炉補機冷却海水系統)	
配管および弁 (主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統)	

評価対象施設	評価方法
<p data-bbox="151 309 367 340">&lt; 竜巻防護施設 &gt;</p> <p data-bbox="151 846 531 913">使用済燃料ピット (使用済燃料ラック含む)</p>	<p data-bbox="531 347 798 378">&lt; 使用済燃料ラック &gt;</p> <p data-bbox="531 383 694 414">① 鋼製パイプ</p> <p data-bbox="531 418 1437 584">鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルに衝突した場合の貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部 (許容貫入量) に達しないことを確認する。</p> <p data-bbox="531 622 646 654">② 鋼製材</p> <p data-bbox="531 658 1437 860">鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量から、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する場合は、燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルの貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部 (許容貫入量) に達しないことを確認する。</p> <p data-bbox="531 898 670 929">③ コンテナ</p> <p data-bbox="531 934 1437 1135">コンテナは直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量から、コンテナがラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する場合は、燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルの貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部 (許容貫入量) に達しないことを確認する。</p> <p data-bbox="531 1173 798 1205">&lt; 使用済燃料ピット &gt;</p> <p data-bbox="531 1209 1437 1375">設計竜巻に対して、設計飛来物の貫通を生じないために必要な最小厚さ (コンクリート・鋼板) と評価対象施設 (コンクリート躯体・ライニング) の最小板厚を比較することで、飛来物の貫通有無を確認する。コンクリートの必要最小厚さは修正 NDRC 式、Degen 式を、鋼板の必要最小厚さは BRL 式を用いて求める。(補足説明資料 1 7. および 2 1. 参照)</p> <p data-bbox="1109 1379 1428 1411">(補足説明資料 2 2. 参照)</p>

評価対象施設	評価方法
新燃料ラック	<p>①鋼製パイプ 鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルに衝突した場合の貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部（許容貫入量）に達しないことを確認する。</p> <p>②鋼製材 鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量から、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する場合は、燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルの貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部（許容貫入量）に達しないことを確認する。</p> <p>③コンテナ コンテナは直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量から、コンテナがラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する場合は、燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルの貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部（許容貫入量）に達しないことを確認する。</p> <p style="text-align: right;">（補足説明資料 2 3. 参照）</p>
燃料移送装置	<p>当該設備にて燃料集合体を取扱い（移送）中に設計飛来物が当該設備に衝突することが考えられるため、燃料集合体の健全性が維持できるよう措置等が取られていることを確認する。</p> <p style="text-align: right;">（補足説明資料 2 4. 参照）</p>
使用済燃料ピットクレーン	<p>当該設備にて燃料集合体を取扱い中に設計飛来物が当該設備に衝突することが考えられるため、燃料集合体の健全性が維持できるよう措置等が取られていることを確認する。</p> <p style="text-align: right;">（補足説明資料 2 4. 参照）</p>

(3) 気圧差による影響評価

評価対象施設	評価方法
< 竜巻防護施設 >	
排気筒 (建屋内) 換気空調設備	<p>外気との隔離箇所であるダンパおよびバタフライ弁、排気筒、外気と繋がるダクト (外気との隔離箇所までの範囲) について、気圧差 (<math>W_p</math>) に対する健全性を評価する。</p> <p>①ダンパ 気圧差によってケーシングに生じる最大曲げ応力、ベーンに生じる最大曲げ応力、シャフト断面に生じる最大せん断応力を算定し、それぞれ許容値との比較により安全余裕を確認する。</p> <p>②バタフライ弁 気圧差によってバタフライ弁に生じる内圧と許容値との比較により安全余裕を確認する。</p> <p>③排気筒、ダクト 気圧差によってダクトの鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</p>
< 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設 >	
換気空調設備	<p>冷却が必要となる耐震 S クラス設備を内包する区画の換気空調設備のうち、外気との隔離箇所であるダンパ、外気と繋がるダクト (外気との隔離箇所までの範囲)、外気との隔離箇所までに設置されているファンおよび空調ユニットについて、気圧差 (<math>W_p</math>) に対する健全性を評価する。</p> <p>①ダンパ 気圧差によってケーシングに生じる最大曲げ応力、ベーンに生じる最大曲げ応力、シャフト断面に生じる最大せん断応力を算定し、それぞれ許容値との比較により安全余裕を確認する。</p> <p>②ダクト 気圧差によってダクトの鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</p> <p>③ファン 気圧差によってケーシングに生じる周応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</p> <p>④空調ユニット 気圧差によってユニット外板に生じる最大曲げ応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</p>



## 2 1. BRL 式の妥当性および評価内容について

### (1) 妥当性について

設計飛来物が評価対象施設（鋼板部分）に衝突した場合の影響については、以下の「BRL 式」に基づいて貫通評価を行っている。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

ここで、

T : 鋼板貫通厚さ (in)                      M : ミサイル質量 (lb・s<sup>2</sup>/ft)                      V : ミサイル速度 (ft/s)  
D : ミサイル直径 (in)                      K : 鋼板の材質に関する定数=1

本評価式については、(旧) 原子炉安全専門審査会においてタービンミサイル評価の判断基準等を決定することを目的として設置されたタービンミサイル検討会にて纏められた報告書「タービンミサイル評価について」の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式として使用する旨規定されていることから<sup>\*1</sup>、設計飛来物の設備への衝突による貫通評価において、本評価式を適用することは妥当であると考えます。

※1：本報告書において、BRL 式については、「ISES7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 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）」を引用している。

### (2) 評価内容について

設計飛来物の諸元を表-1 に示す。この諸元のうち鋼製材が水平に衝突した場合の貫通評価について、上記 (1) 項の「BRL 式」に基づく計算過程を以下に示す。

表-1 設計飛来物の諸元

飛来物の種類	棒状物		塊状物
	鋼製パイプ	鋼製材	コンテナ
サイズ (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行き 2.4×2.6×6
質量 (kg)	8.4	135	2300
最大水平速度 (m/s)	49	57	60
最大鉛直速度 (m/s)	33	38	40

#### < 貫通評価に係る諸元の設定 >

貫通評価にあたっては、衝突面積が小さいほど鋼板の貫通厚さは大きくなるため、設計飛来物の最小面積となる部分が衝突するものとし、ミサイル直径については、以下のとおり設定している。

表-2, 3 に設定した貫通評価に係る諸元を示す。

➤ ミサイル直径

① 竜巻防護対象設備

安全機能を有する設備本体への貫通評価であることを踏まえ、ミサイル直径については、保守的に衝突面積が小さくなるよう以下のとおり設定する。

・ 鋼製材の場合

最小面積は幅 300mm×奥行き 200mm=60000mm<sup>2</sup>となるため、これと等面積の円となる直径を算出すると 276.40mm となるが、「原子力発電所の影響評価ガイド」において参照されている東京工芸大学の委託研究成果\*2の中で記載されている鋼製材の板厚 5mm を参考にして最小面積を 300mm×200mm-290mm×190mm=4900mm<sup>2</sup> とし、これと等面積の円となる直径 78.99mm をミサイル直径とする。

※2：「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委託研究成果報告書、平成 23 年 2 月（東京工芸大学）

表-2 貫通評価に係る諸元

ミサイル質量 M	ミサイル速度 V	ミサイル直径 D
13.77 (kg・s <sup>2</sup> /m)	57 (m/s)	78.99 (mm)
↓	↓	↓
9.25 (lb・s <sup>2</sup> /ft)	187.01 (ft/s)	3.11 (in)

② 竜巻防護対象設備以外の施設（建屋開口部等）

建屋開口部である扉、ブローアウトパネル等への貫通評価であり、ミサイル直径は以下のとおり設定する。

・ 鋼製材の場合

最小面積は幅 300mm×奥行き 200mm=60000mm<sup>2</sup>となるため、これと等面積の円となる直径 276.40mm をミサイル直径とする。

表-3 貫通評価に係る諸元

ミサイル質量 M	ミサイル速度 V	ミサイル直径 D
13.77 (kg・s <sup>2</sup> /m)	57 (m/s)	276.40 (mm)
↓	↓	↓
9.25 (lb・s <sup>2</sup> /ft)	187.01 (ft/s)	10.88 (in)

< 貫通評価 >

① 竜巻防護対象設備

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

$$T = \sqrt[3]{\left(\frac{0.5 \times 9.25 \times 187.01^2}{17400 \times 1^2 \times 3.11^{3/2}}\right)^2}$$

$$= 1.42... \text{ (in)}$$

$$= 36.10... \text{ (mm)} \Rightarrow 37 \text{ (mm)}^{*3}$$

※3：飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さ

表-4 に計算過程を示した鋼製材を含む設計飛来物の評価結果を示す。

表-4 鋼板の必要最小厚さ

	鋼製パイプ		鋼製材		コンテナ	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
最大飛来物速度 (m/s)	49	33	57	38	60	40
必要最小厚さ (mm)	18	11	37	22	8	5

注：必要最小厚さは計算結果を切り上げた値

②竜巻防護対象設備以外の施設（建屋開口部等）

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

$$T = \sqrt[3]{\left(\frac{0.5 \times 9.25 \times 187.01^2}{17400 \times 1^2 \times 10.88^{3/2}}\right)^2}$$

$$= 0.40... \text{ (in)}$$

$$= 10.32... \text{ (mm)} \Rightarrow 11 \text{ (mm)}^{*3}$$

表-5 に計算過程を示した鋼製材を含む設計飛来物の評価結果を示す。

表-5 鋼板の必要最小厚さ

	鋼製パイプ		鋼製材		コンテナ	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
最大飛来物速度 (m/s)	49	33	57	38	60	40
必要最小厚さ (mm)	8	5	11	7	8	5

注：必要最小厚さは計算結果を切り上げた値

## 2.2. 使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件等について

### (1) 使用済燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）

#### a. はじめに

使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合、使用済燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）への影響が考えられるため、以下の評価条件および評価式にて、①設計飛来物が直接燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管に生じる応力および②設計飛来物が使用済燃料ラック（ラックセル）に衝突した場合のラックセル貫入量を評価する。

#### b. 評価条件

- ✓ 燃料集合体に直接衝突する場合は最も厳しい評価となるため、設計飛来物の進入方向は鉛直方向とする。
- ✓ 使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られたが保守的に考慮しない。
- ✓ ラックセルは近接して設置されているため（図-1 参照）、設計飛来物は複数のラックセルに同時に衝突することが考えられるが、保守的に1体のラックセルに集中して衝突するものとする（図-2 参照）。
- ✓ コンテナは使用済燃料ピット着水により浮力が作用することで一旦浮き上がり、その後内部に水が浸入して自由落下によりラックセルに衝突するものとする。

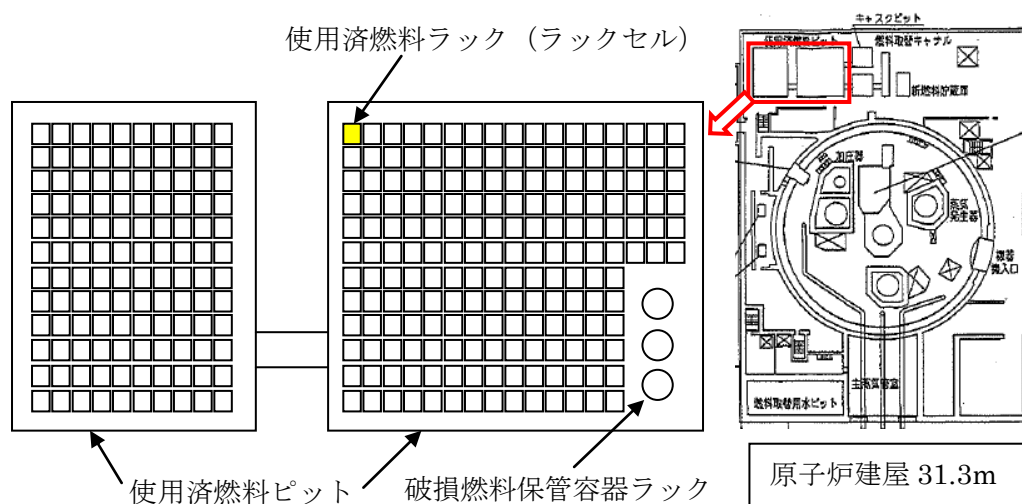


図-1 使用済燃料ラックの配置イメージ

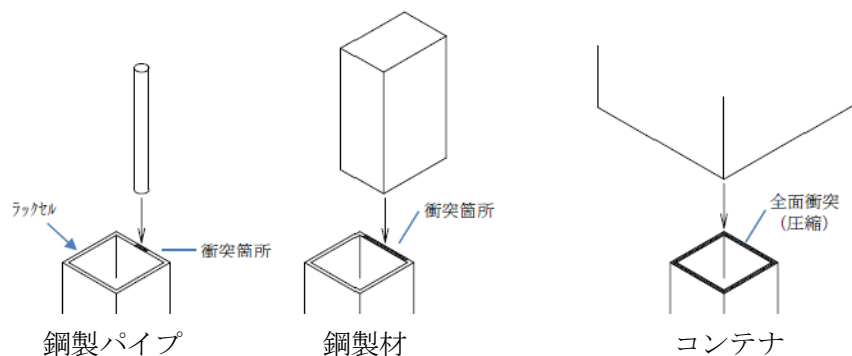


図-2 ラックセルの衝突箇所

c. 評価式

(a) 燃料被覆管に生じる応力

$$\sigma_d = k_d \cdot \sigma_s$$

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_s}}$$

$\sigma_d$  : 衝撃荷重による応力

$\sigma_s$  : 静的荷重による応力

$k_d$  : 動負荷係数

$h$  : 等価落下高さ

$\lambda_s$  : 静的荷重負荷の変位

(b) ラックセル貫入量

設計飛来物がラックセルに衝突すると、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーは、ラックセルの変形によって吸収される<sup>※1</sup>ことになる。

このため、設計飛来物の衝突によるラックセルの貫入量（変形量）については、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーとラックセルの変形による吸収エネルギーが等しくなるときの貫入量となるため、以下のとおり算出している。

※1 : 保守的な評価となるよう、飛来物は剛体と考えて、飛来物の変形によるエネルギー吸収は考慮しない。

<算出式>

設計飛来物の運動エネルギー  $W$  (N・m) は、ラックセルの圧縮エネルギー  $E_c$  (N・m) (圧縮破壊による吸収エネルギー) とせん断エネルギー  $E_s$  (N・m) (せん断破壊による吸収エネルギー) により吸収されるため<sup>※2</sup>、次の式で与えられる。

※2 : 飛来物衝突時にラックセルに発生する圧縮応力は、ラックセルの細長比を考慮した許容圧縮応力よりも小さく座屈は発生しないことから、座屈によるエネルギー吸収は考慮していない。

$$W = E_c + E_s$$

$$W = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

$m$  : 飛来物の質量 (kg)、 $v$  : 飛来物の衝突速度 (m/s)

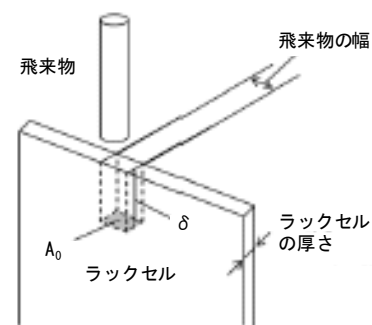
ここで、ラックセルの圧縮エネルギー  $E_c$  (N・m) とせん断エネルギー  $E_s$  (N・m) は次の式で与えられる。

①ラックセルの圧縮エネルギー  $E_c$

$$E_c = e \cdot V$$

$$V = A_0 \cdot \delta$$

$e$  : 単位体積当たりの吸収エネルギー (N/m<sup>2</sup>) = ラックセルの引張強さ × ラックセルの伸び



圧縮エネルギー

V : 貫入体積 (m<sup>3</sup>)

$$A_0 = \text{飛来物の幅} \times \text{ラックセルの厚さ}$$

$\delta$  : ラックセルの貫入量 (m)

②ラックセルのせん断エネルギー (コンテナは全面圧縮のためせん断エネルギーは考慮しない)

$$E_s = 1/2 \cdot (A_s \cdot \tau) \cdot \delta = t \cdot \tau \cdot \delta^2$$

$A_s$  : ラックセルのせん断断面積 (m<sup>2</sup>) = 2面  $\times$  t  $\times$   $\delta$

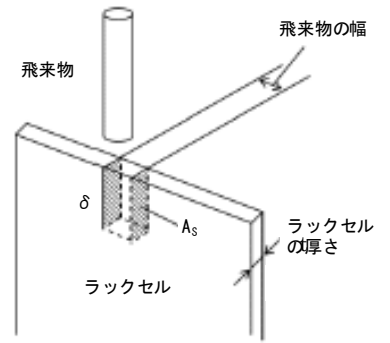
$\tau$  : 最大せん断応力 (N/m<sup>2</sup>) = ラックセルの引張強さ  $\div$   $\sqrt{3}$

$\delta$  : ラックセルの貫入量 (m)

t : ラックセルの厚さ (m)

以上より、下式を満足するラックセルの貫入量  $\delta$  を求める。

$$e \cdot A_0 \cdot \delta + t \cdot \tau \cdot \delta^2 - W = 0$$



せん断エネルギー

#### d. 評価結果

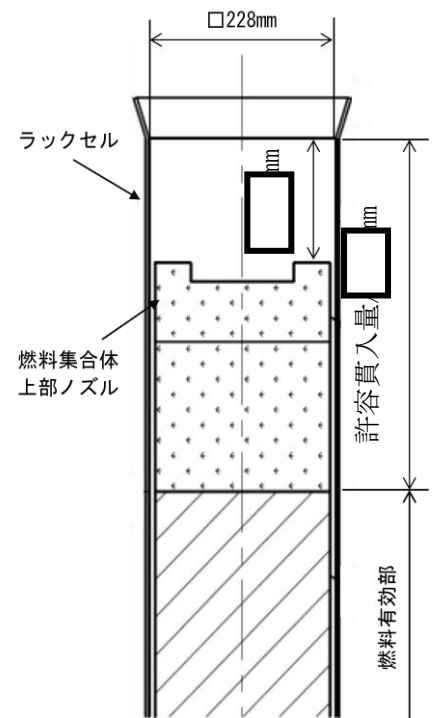
##### (a) 鋼製パイプ

鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料被覆管に発生する応力を評価した結果、燃料被覆管の許容引張強さ 680MPa に対して、発生応力は 140MPa であり、燃料被覆管は破損しないため健全性は維持される。

なお、ラックセルに衝突した場合は、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離  mm に対して、28mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはなく、未臨界性は維持される。

##### (b) 鋼製材

鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量を実評価した結果、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離  mm に対して、149mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはなく、未臨界性は維持されるが、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する。その際に燃料被覆管に発生する応力は 80MPa であり、燃料被覆管の許容引張強さ 680MPa を下回るため、燃料被覆管は破損せず健全性は維持される。



ラックセル概要図

##### (c) コンテナ

コンテナは直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量を実評価した結果、コンテナは着水により浮力が作用することで一旦浮き上がり、その後自由落下によりラックセルに衝突することになる。ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離  mm に対して、16mm の貫入となり、コンテナが燃料集

合体に衝突することはない。また、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはないため未臨界性は維持される。

e. コンテナが使用済燃料ピットに斜めに着水した場合の水中落下距離評価について

コンテナが使用済燃料ピットに着水した場合、コンテナには浮力、形状抵抗および摩擦抵抗（以下「水中での抵抗」という）が作用するため、落下物に作用する力は下記の運動方程式で表されることから、運動方程式により落下物に作用する加速度を求め、初速度と加速度から速度を評価し、速度を積分することで飛来物の移動量  $x$  を算出して、水中での落下距離を評価した。

なお、評価にあたっては、コンテナが斜めに着水した場合は、鉛直に着水した場合に比べ、水中での抵抗が減少すると考えられるため、保守的に形状抵抗および摩擦抵抗を 0 とした。

(落下物に作用する力) = (重力) - (浮力) - (形状抵抗) - (摩擦抵抗)

$$\rho_s V \frac{dv}{dt} = \rho_s V g - \rho_w V g - \frac{1}{2} C_D \rho_w A v^2 - \frac{1}{2} \rho_w C_F A_S v^2$$

形状抵抗、摩擦抵抗の項を 0 とする。

$$\frac{dv}{dt} = a = \frac{M - \rho_w V}{M} g$$

$$v(t) = v_0 + at$$

$$x = \int v(t) dt = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

ここで、

$v$	:	飛来物速度（初速度は $v_0$ と表記する）
$a$	:	飛来物の加速度
$\rho_s$	:	飛来物の密度
$\rho_w$	:	水の密度 at 65°C (980.57kg/m <sup>3</sup> )
$V$	:	体積
$M$	:	飛来物重量 = $\rho_s V$
$g$	:	重力加速度
$C_D$	:	形状による抵抗係数
$C_F$	:	摩擦による抵抗係数
$A$	:	投影面積
$A_S$	:	流速方向の表面積

を表す。

水中での落下距離を評価した結果、コンテナが斜めに着水した場合でも、コンテナはラックセルに衝突する前に浮き上がり直接ラックセルに衝突することはない。

評価結果を図-4 に示す。



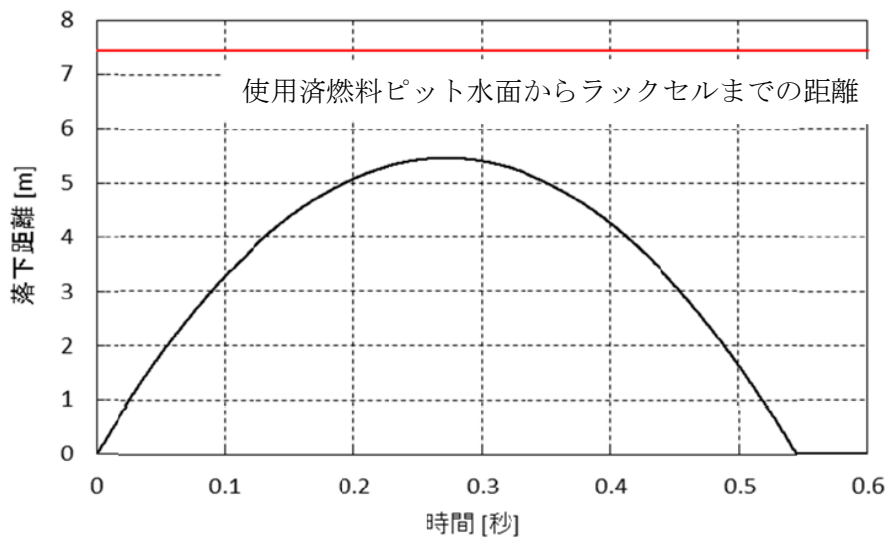


図-4 落下距離時刻履歴

f. 斜め方向から進入した設計飛来物が燃料集合体に衝突した場合の影響について

使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られているが、上記のとおり、燃料集合体に直接衝突する場合は最も厳しい評価となるため、屋根は考慮せずに、設計飛来物は鉛直方向から進入するものとして評価している。実際には、燃料取扱棟の壁から進入して燃料集合体に衝突すると考えられ、使用済燃料ピット水面到達時の速度は鉛直方向からの進入に比べ上昇するものの、使用済燃料ラックに衝突した後に燃料集合体に衝突すると考えられるため、燃料集合体に生じる応力は直接衝突する場合に比べて緩和され、燃料被覆管の破損は生じないと考えられるが、現在、検討を行っている。

g. 燃料被覆管の許容引張応力について

評価において、燃料被覆管の許容引張強さは新燃料（未照射燃料）に対する許容引張強さである 680MPa としている。使用済燃料ラックに貯蔵される燃料は照射燃料であり、照射燃料の方が許容引張強さは増加するものの、その適用性等について、現在、検討を行っている。

(2) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合、使用済燃料ピットへの影響が考えられるため、設計飛来物が使用済燃料ピットに衝突した場合の貫通評価を実施した。評価は使用済燃料ピットのコンクリート躯体および使用済燃料ピット内面に内張りされているステンレス製のライニングについて実施した。

a. 評価条件

- ✓ 使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られたが保守的に考慮しない。
- ✓ 保守的に飛来物は使用済燃料ピット内に水平または鉛直に進入して当該ピットの側面または底面に衝突するものとする。
- ✓ 保守的に飛来物は使用済燃料ピット内の保有水により減速することなく衝突するものとする。
- ✓ 保守的に飛来物は剛体と考えて、飛来物の変形によるエネルギー吸収は考慮しない。

b. 評価結果

(a) ライニング

飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さとライニングの最小板厚を比較した結果、飛来物が貫通することを確認した。評価結果を表-1に示す。

表-1 ライニングに対する貫通評価結果

飛来物の種類		鋼製パイプ	鋼製材	コンテナ
最大水平速度 (m/s)		49	57	60
最大鉛直速度 (m/s)		33	38	40
水 平	鋼板の必要最小厚さ (mm)	18	37	8
	ライニング最小板厚 4.5mm に対する評価	貫通する	貫通する	貫通する
鉛 直	鋼板の必要最小厚さ (mm)	11	22	5
	ライニング最小板厚 4.5mm に対する評価	貫通する	貫通する	貫通する

(b) コンクリート躯体

飛来物の貫通を生じないために必要なコンクリートの最小厚さとコンクリート躯体の最小板厚を比較した結果、飛来物は貫通しないことを確認した（使用済燃料ピット内面のライニング厚さは保守的に考慮していない）。評価結果を表-2に示す。

表-2 コンクリート躯体に対する貫通評価結果

飛来物の種類		鋼製パイプ	鋼製材	コンテナ
最大水平速度 (m/s)		49	57	60
最大鉛直速度 (m/s)		33	38	40
水 平	コンクリートの必要最小厚さ (mm)	120	290	270
	コンクリート躯体最小板厚 1800mm に対する評価	貫通しない	貫通しない	貫通しない
鉛 直	コンクリートの必要最小厚さ (mm)	90	210	190
	コンクリート躯体最小板厚 1800mm に対する評価	貫通しない	貫通しない	貫通しない

c. 安全機能への影響

上記b. 項の評価結果から、設計飛来物により使用済燃料ピット内面のライニングは貫通等の損傷を受ける可能性があるが、コンクリート躯体は貫通せず、コンクリートの必要最小厚さ 290mm（最大）に対して、コンクリート躯体の最小板厚は 1800mm あることから損傷の程度は小さく、直ちに使用済燃料ピットの保有水が漏えいすることはない。また、ライニングが損傷することにより、使用済燃料ピットから漏えいした保有水はライニング背面の漏えい検知溝を通り漏えい検知管から排水されるが、使用済燃料ピットの水位低警報 (NWL-0.08m) 等により漏えいを検知でき、その後水張り等の処置を行う手順としていること、また、使用済燃料ピット内面のライニングが無い状態を仮定し、漏えい検知溝（直径 8mm の半円状でありライニングの溶接線に沿って設置されている）全 78 本 (A, B ピット合計) を通り使用済燃料ピット保有水が漏えいしたとしても、漏えい量は約 28m<sup>3</sup>/h (A, B ピット合計) であり、使用済燃料ピットへの給水量 46 m<sup>3</sup>/h（ポンプ定格流量）を下回っていることから、使用済燃料ピット保有水の有意な消失は生じず、使用済燃料ピットの冷却および遮へい機能は維持されることから、安全機能に影響を与えない。

なお、設計飛来物により使用済燃料ピット内面のライニングに貫通等の損傷を受けた場合

は補修を実施することになるが、国内におけるライニングの補修実績としては、日本原燃の使用済燃料受入れ・貯蔵施設燃料貯蔵プールにおいて、当該プール内に仮設補修用ダクトを設置し、ダクト内を排水して気中環境とした上でライニングの補修を行った事例がある。

### (3) まとめ

前述のとおり、使用済燃料ピットが設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は設計飛来物が貫通して進入してくることが想定されるため、①使用済燃料ラック、②使用済燃料ラックに貯蔵される燃料集合体、および③使用済燃料ピットへの設計飛来物による影響を評価した結果、当該設備に設計飛来物が衝突したとしても、①ラックセルの損傷範囲は燃料有効部に達することなく未臨界性は維持されること、②燃料被覆管は破損せず健全性は維持されること、および③使用済燃料ピット内面のライニングは損傷しても保有水の有意な消失は生じず、使用済燃料ピットの冷却および遮へい機能は維持され安全機能が維持できることを確認した。

また、設計飛来物が上屋を貫通して進入してくることから、発電所周辺の公衆に対する被ばく影響が懸念されるが、上記のとおり安全機能は維持できるため、放射性物質が大量に放出される事態にはならない。

以上から、設計飛来物が上屋を貫通して進入してきた場合でも、使用済燃料ラック等の安全機能は維持されるため、発電所周辺の公衆に対する被ばく影響は小さいと考える。

## 2.3. 新燃料貯蔵庫内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件等について

### (1) 新燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）

#### a. はじめに

新燃料貯蔵庫内へ設計飛来物が進入した場合、新燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）への影響が考えられるため、以下の評価条件および評価式にて、①設計飛来物が直接燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管に生じる応力および②設計飛来物が新燃料ラック（ラックセル）に衝突した場合のラックセル貫入量を評価する。

#### b. 評価条件

- ✓ 使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られたが保守的に考慮しない。
- ✓ 燃料集合体に直接衝突する場合は最も厳しい評価となるため、設計飛来物の進入方向は鉛直方向とする。
- ✓ コンテナの断面寸法は2.4m×2.6mと大きく、新燃料ラックの上部に設けたプラットホームの格子状の架構を破断した後、新燃料ラックに衝突するため、16体のラックセルがコンテナの衝突荷重を均等に受けるものとする（図-2参照）。

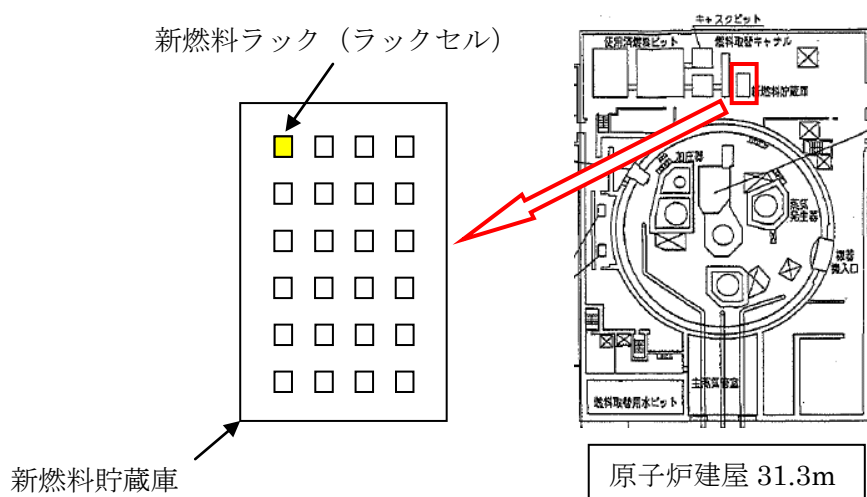


図-1 新燃料ラックの配置イメージ

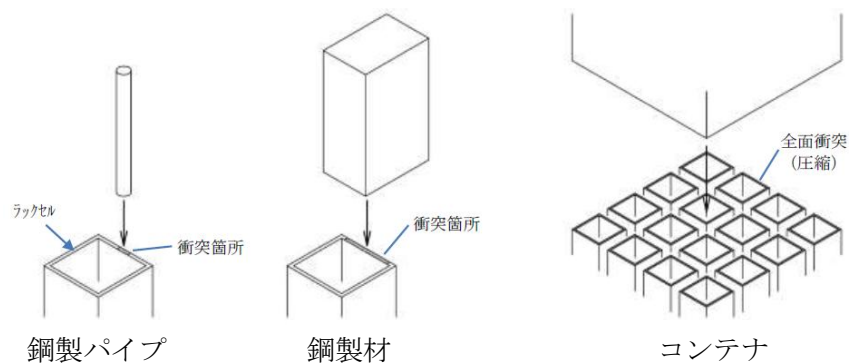


図-2 ラックセルの衝突箇所

c. 評価式

(a) 燃料被覆管に生じる応力

$$\sigma_d = k_d \cdot \sigma_s$$

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_s}}$$

$\sigma_d$  : 衝撃荷重による応力

$\sigma_s$  : 静的荷重による応力

$k_d$  : 動負荷係数

$h$  : 等価落下高さ

$\lambda_s$  : 静的荷重負荷の変位

(b) ラックセル貫入量

設計飛来物がラックセルに衝突すると、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーは、ラックセルの変形によって吸収される<sup>※1</sup>ことになる。

このため、設計飛来物の衝突によるラックセルの貫入量（変形量）については、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーとラックセルの変形による吸収エネルギーが等しくなるときの貫入量となるため、以下のとおり算出している。

※1 : 保守的な評価となるよう、飛来物は剛体と考えて、飛来物の変形によるエネルギー吸収は考慮しない。

<算出式>

設計飛来物の運動エネルギー  $W$  (N・m) は、ラックセルの圧縮エネルギー  $E_c$  (N・m) (圧縮破壊による吸収エネルギー) とせん断エネルギー  $E_s$  (N・m) (せん断破壊による吸収エネルギー) により吸収されるため<sup>※2</sup>、次の式で与えられる。

※2 : 飛来物衝突時にラックセルに発生する圧縮応力は、ラックセルの細長比を考慮した許容圧縮応力よりも小さく座屈は発生しないことから、座屈によるエネルギー吸収は考慮していない。

$$W = E_c + E_s$$

$$W = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

$m$  : 飛来物の質量 (kg)、 $v$  : 飛来物の衝突速度 (m/s)

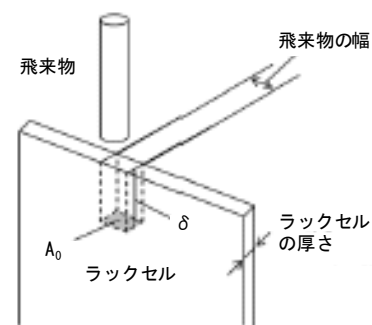
ここで、ラックセルの圧縮エネルギー  $E_c$  (N・m) とせん断エネルギー  $E_s$  (N・m) は次の式で与えられる。

①ラックセルの圧縮エネルギー  $E_c$

$$E_c = e \cdot V$$

$$V = A_0 \cdot \delta$$

$e$  : 単位体積当たりの吸収エネルギー (N/m<sup>2</sup>) = ラックセルの引張強さ × ラックセルの伸び



圧縮エネルギー

V : 貫入体積 (m<sup>3</sup>)

A<sub>0</sub> = 飛来物の幅 × ラックセルの厚さ

δ : ラックセルの貫入量 (m)

② ラックセルのせん断エネルギー (コンテナは全面圧縮のためせん断エネルギーは考慮しない)

$$E_s = 1/2 \cdot (A_s \cdot \tau) \cdot \delta = t \cdot \tau \cdot \delta^2$$

A<sub>s</sub> : ラックセルのせん断断面積 (m<sup>2</sup>) = 2 面 × t × δ

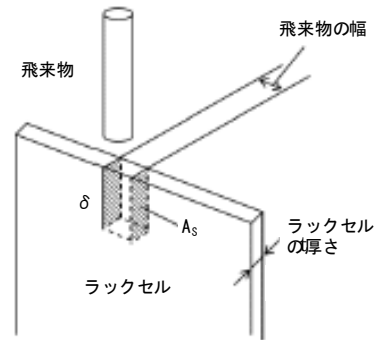
τ : 最大せん断応力 (N/m<sup>2</sup>) = ラックセルの引張強さ ÷ √3

δ : ラックセルの貫入量 (m)

t : ラックセルの厚さ (m)

以上より、下式を満足するラックセルの貫入量 δ を求める。

$$e \cdot A_0 \cdot \delta + t \cdot \tau \cdot \delta^2 - W = 0$$



せん断エネルギー

#### d. 評価結果

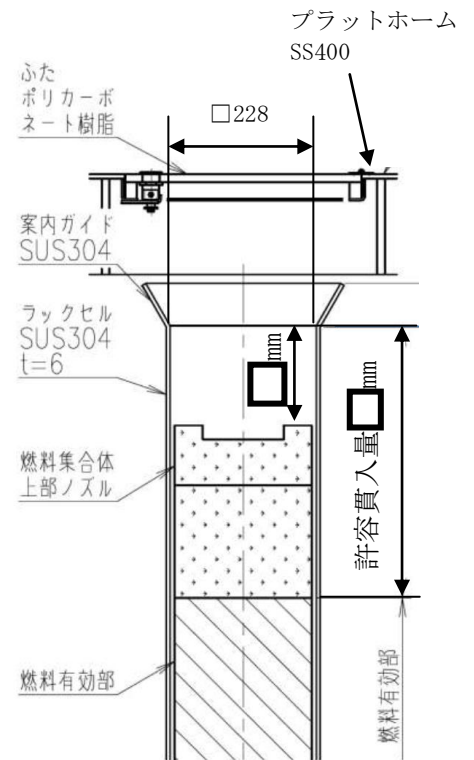
##### (a) 鋼製パイプ

鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料集合体への影響を評価した結果、鋼製パイプは当該ノズルを貫通すると考えられるため、燃料被覆管は破損する可能性があることから、鋼製パイプが直接燃料集合体に衝突しないように防護対策を実施する計画である。

なお、ラックセルに衝突した場合は、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離  mm に対して、36mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはなく、未臨界性は維持される。

##### (b) 鋼製材

鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量を評価した結果、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離  mm に対して、174mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはなく、未臨界性は維持されるが、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する。その際に燃料被覆管に発生する応力は 230MPa であり、燃料被覆管の許容引張強さ 680MPa を下回るため、燃料被覆管は破損せず健全性は維持される。



ラックセル概要図

##### (c) コンテナ

コンテナは直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量を評価した結果、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離  mm に対して、99mm の貫入となり、コンテナが燃料集合体に衝突することはない。また、燃

料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはないため未臨界性は維持される。

## (2) まとめ

前述のとおり、新燃料貯蔵庫が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は設計飛来物が貫通して進入してくることが想定されるため、「新燃料ラック」および「新燃料ラックに貯蔵される燃料集合体」への設計飛来物による影響を評価した結果、当該設備に設計飛来物が衝突した場合、「新燃料ラック」については、ラックセルの損傷範囲は燃料有効部に達することなく未臨界性は維持されることを確認した。一方、「新燃料ラックに貯蔵される燃料集合体」については、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルを貫通すると考えられるため、燃料被覆管は破損する可能性があることから、鋼製パイプが直接燃料集合体に衝突しないように防護対策を実施する計画である。



## 2.4. 燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンへの設計飛来物による影響評価について

### (1) 評価結果

#### a. 燃料移送装置

原子炉容器から取り出された燃料集合体については、燃料移送装置により使用済燃料ピット側に移送され、使用済燃料ピットクレーンにて使用済燃料ピット内の使用済燃料ラックに貯蔵される。

燃料移送装置は安全上の機能別重要度分類 PS-2 に該当し、燃料を安全に取り扱う機能を有しているが、使用済燃料ピット側にて当該装置により燃料集合体を移送中に設計飛来物が燃料コンテナに衝突した場合、当該コンテナが貫通等の損傷を受けることにより燃料集合体の損傷が想定されることから、当該装置が有する安全機能を損なう恐れがある。

#### b. 使用済燃料ピットクレーン

使用済燃料ピットクレーンは、使用済燃料ピット内の使用済燃料ラックに燃料集合体を貯蔵する、あるいは使用済燃料ラックから原子炉容器に燃料を装荷する等の際に使用される。

当該クレーンは安全上の機能別重要度分類 PS-2 に該当し、燃料を安全に取り扱う機能を有しているが、当該クレーンにて燃料集合体を取扱い中に設計飛来物が当該クレーンのホイストや燃料保持機構に衝突した場合、ホイスト等が破損することにより燃料集合体の落下が想定されることから、当該クレーンが有する安全機能を損なう恐れがある。

### (2) 竜巻襲来時における燃料集合体の取扱い作業について

燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンが設置されている建屋内において、燃料集合体の取扱い作業を行っている際に竜巻が襲来する恐れが生じた場合は、当該作業を一時中断して、使用済燃料ピットクレーンにて取扱い中の燃料集合体は所定の位置に戻す、燃料移送装置にて移送中の燃料集合体は設計飛来物の影響を受けない原子炉格納容器（原子炉建屋）内に移動する旨マニュアルに反映することとしている。

### (3) 安全機能への影響

上記のとおり燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンにて燃料集合体の取扱い作業を行っている際に、設計飛来物が当該設備に衝突した場合は、当該設備が有する安全機能（燃料を安全に取り扱う機能）を損なう恐れがあるが、竜巻が襲来する恐れが生じた場合は、当該作業を一時中断して燃料集合体の健全性が維持できるよう対処することとしていることから、当該設備に設計飛来物が衝突して貫通等の損傷を受けたとしても、安全機能（発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能）に影響を与えない。

以上から、当該設備への飛来物対策としては、屋外に保管されている各種資機材等に十分な重さのウェイトを取付ける等の飛散防止対策を実施するとともに、竜巻の襲来に備えて必要な対策を定めたマニュアルの整備を行う。

＜実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（抜粋）＞

第二条

2

五 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であつて、次に掲げるものをいう。

イ その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能

ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所（以下「工場等」という。）外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

## 2.5. 評価対象施設の評価結果について

設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) および気圧差による評価対象施設への影響評価結果を以下に示す。いずれの評価対象施設についても構造健全性が維持され、安全機能が維持できることを確認した。

### (1) 設計竜巻による複合荷重による影響評価結果

#### a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

評価部位	材質	発生応力	応力値 (MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価
			$W_{T1}$	$W_{T2}$		$W_{T1}$	$W_{T2}$	
電動機取合ボルト	SS400 (M30)	引張	22	29	175	7.9	6.0	○
電動機支え台取合ボルト	SS400 (M30)	引張	30	39	172	5.7	4.4	○
据付面取合ボルト	SUS304 (M36)	引張	18	24	153	8.5	6.3	○
据付面基礎ボルト	SUS304 (M36)	引張	24	31	153	6.3	4.9	○
電動機フレーム	SS400 (t12)	曲げ	2	3	282	141.0	94.0	○
端子箱取付ボルト	SS400 (M10)	引張	12	22	183	15.2	8.3	○
空気冷却器取付ボルト	SUS304 (M12)	引張	10	14	153	15.3	10.9	○
外扇カバー接続箱取付ボルト	SUS304 (M12)	引張	7	14	153	21.8	10.9	○
外扇カバー取付ボルト	SUS304 (M12)	引張	2	4	153	76.5	38.2	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

$$W_{T1}=W_P, W_{T2}=W_B+0.5W_P$$

#### b. 排気筒

設計竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による複合荷重）による応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認した。

##### (a) 角ダクト

ダクトサイズ (mm)	ダクト材質	長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻による複合荷重）による面外荷重により発生する曲げ応力 (MPa)			気圧差による面内荷重により発生する座屈応力 (MPa)			長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻による複合荷重）による面内荷重に対する制限 (kN・mm)			評価
		発生応力	許容値	裕度	発生応力	許容値	裕度	発生曲げモーメント	許容値	裕度	
2300×2300×4.0t	SUS304	110.6	165	1.4	11.5	165	14.3	76387.8	486747.3	6.3	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

##### (b) 丸ダクト

ダクトサイズ (mm)	ダクト材質	気圧差による周方向応力 (MPa)			長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻による複合荷重）に対する制限			評価
		発生応力	許容値	裕度	発生値※	許容値	裕度	
φ 2300×4.0t	SUS304	2.6	21.1	8.1	0.2	0.9	4.5	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

※：発生値＝周方向応力/許容値＋曲げモーメント/許容値

c. 配管（原子炉補機冷却海水系統）

材質	口径	支持間隔 (m)	応力値 (MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価
			W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>		W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>	
STPY400	22B	8.3	25	41	216	8.6	5.2	○
STPG370	18B	7.9	24	39	174	7.2	4.4	○
STPG370	6B	4.7	17	49	174	10.2	3.5	○
STPG370	2B	2.7	15	66	174	11.6	2.6	○
STPG370	1・1/2B	2.6	15	70	174	11.6	2.4	○
STPG370	1B	2	14	68	174	12.4	2.5	○
STPG370	3/4B	1.6	21	74	205	9.7	2.7	○
STPG370	3/4B	1.8	15	82	205	13.6	2.5	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

d. ろ過装置（原子炉補機冷却海水系統）

機器名称	評価部材	発生応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
原子炉補機冷却海水ポンプ 出口ストレーナ	胴板	組合せ一次	30	220	7.3	○
		座屈	0.04	1	25	○
	スカート	組合せ	28	240	8.5	○
		座屈	0.12	1	8.3	○
	基礎ボルト	引張/組合せ	45	175	3.8	○
		せん断	12	135	11.2	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

注：応力値は裕度の小さいW<sub>T2</sub>に対する評価結果を示す。

e. 配管（主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統）

系統	材質	口径	支持間隔 (m)	応力値 (MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価
				W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>		W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>	
主蒸気系統	SGV410	30B	6.6	46	49	169	3.6	3.4	○
	STPT370	6B	9.1	55	120	160	2.9	1.3	○
	STPT370	4B	2.4	28	37	160	5.7	4.3	○
	STPT370	2B	4.1	53	154	160	3.0	1.03	○
	STPT370	3/4B	1.7	31	90	160	5.1	1.7	○
主給水系統	STPA24	16B	4.1	45	47	184	4.0	3.9	○
	STPA24	16B	3.2	38	40	184	4.8	4.6	○
	STPT370	3B	2.9	30	49	160	5.3	3.2	○
	STPT370	3B	4.9	52	106	200	3.8	1.8	○
	STPT370	3/4B	1.7	27	76	160	5.9	2.1	○
	STPT370	3/4B	2.0	31	99	200	6.4	2.0	○
制御用空気圧縮系統	SUS304TP	2B	4.3	18	139	178	9.8	1.2	○
	SUS304TP	1B	3.0	16	150	178	11.1	1.1	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

(2) 気圧差による影響評価結果

a. 換気空調設備等

(a) 評価対象施設

竜巻防護施設または竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の換気空調設備等	評価対象設備
排気筒	排気筒（建屋内）
アニュラス空気浄化系 （以下の系統のアニュラス空気浄化系排気ラインのバウンダリ部を含む） ・格納容器排気系 ・補助建屋排気系 ・試料採取室排気系 ・安全補機室冷却系	ダンパ、ダクト バタフライ弁（アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁）
電動補助給水ポンプ室換気系	ダンパ、ダクト ファン（電動補助給水ポンプ室給気ファン）
制御用空気圧縮機室換気系	ダンパ、ダクト ファン（制御用空気圧縮機室給気ファン）
ディーゼル発電機室換気系	ダンパ、ダクト ファン（ディーゼル発電機室給気ファン）
安全補機開閉器室換気系	ダンパ、ダクト ファン（安全補機開閉器室給気ファン、安全補機開閉器室排気ファン、蓄電池室排気ファン） 空調ユニット（安全補機開閉器室給気ユニット）
中央制御室空調系	ダンパ、ダクト



角ダクト



丸ダクト



ファン



バタフライ弁



空調ユニット

## (b) ダンパ

種類	ダンパ名称	フランジ内寸 W×H	ケーシング			ペーン			シャフト			評価
			応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	
空気作動 ダンパ	3-補助建屋非管理 区域排気・補助建 屋給気連絡ダンパ	805 × 805	34	217	6.3	50	217	4.3	3	141	47	○
	3-補助建屋排気風 量制御ダンパ	2310 × 2610	60	217	3.6	25	217	8.6	3	141	47	○
高気密ダ ンパ	3A-安全補機室給気 第1隔離ダンパ	805 × 805	27	274	10.1	16	274	17.1	3	117	39	○
	3B-安全補機室給気 第1隔離ダンパ	805 × 805	27	274	10.1	16	274	17.1	3	117	39	○
	3A-安全補機室給気 第2隔離ダンパ	805 × 805	27	274	10.1	16	274	17.1	3	117	39	○
	3B-安全補機室給気 第2隔離ダンパ	805 × 805	27	274	10.1	16	274	17.1	3	117	39	○
逆止ダン パ	3A-電動補助給水ポ ンプ室排気逆止ダ ンパ	755 × 755	45	217	4.8	116	217	1.8	4	135	33.7	○
	3B-電動補助給水ポ ンプ室排気逆止ダ ンパ	755 × 755	45	217	4.8	116	217	1.8	4	135	33.7	○
	3A-安全補機開閉器 室給気ファン出口 逆止ダンパ	1510 × 2510	69	217	3.1	122	217	1.7	4	135	33.7	○
	3B-安全補機開閉器 室給気ファン出口 逆止ダンパ	1510 × 2510	69	217	3.1	122	217	1.7	4	135	33.7	○
風量調整 ダンパ	3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパA	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパB	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパC	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパD	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパE	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパF	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパG	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入 口手動ダンパH	1010 × 1410	45	217	4.8	—*			—*			○
	3A-補助建屋給気ガ ラリ出口手動ダン パ	2705 × 2705	179	217	1.2	—*			—*			○
	3B-補助建屋給気ガ ラリ出口手動ダン パ	2705 × 2705	179	217	1.2	—*			—*			○
	3A-安全補機開閉器 室排気ファン入口 手動ダンパ	φ 498	89	217	2.4	—*			—*			○
	3B-安全補機開閉器 室排気ファン入口 手動ダンパ	φ 498	89	217	2.4	—*			—*			○

注：代表したダンパの評価結果を示す。

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

※：当該ダンパは通常時「開」であり、ペーン、シャフトには竜巻による負圧は作用しない。

種類	ダンパ名称	フランジ内寸 W×H	ケーシング			ベーン			シャフト			評価
			応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	
防火ダン パ(防火 兼風量調 整ダンパ を含む)	3-電動補助給水ボ ンプ室排気系A制御 用空気圧縮機出口 防火ダンパ	1005 × 1005	65	217	3.3	—※	—※	—※	—※	—※	○	
	3-電動補助給水ボ ンプ室排気系B制御 用空気圧縮機出口 防火ダンパ	1005 × 1005	65	217	3.3	—※	—※	—※	—※	—※	○	
	3-安全補機開閉器 室循環系電気建屋 連絡ダクト防火兼 風量調節ダンパ	1005 × 1005	65	217	3.3	—※	—※	—※	—※	—※	○	
	3A-ディーゼル発電 機室排気系防火ダ ンパ	2405 × 2405	55	217	3.9	—※	—※	—※	—※	—※	○	
	3B-ディーゼル発電 機室排気系防火ダ ンパ	2405 × 2405	55	217	3.9	—※	—※	—※	—※	—※	○	
	3-安全補機開閉器 室循環系1次系補機 操作室入口第2防火 兼風量調節ダンパ	φ 355	21	217	10.3	—※	—※	—※	—※	—※	○	
	3-ディーゼル発電 機室給気系Aディー ゼル発電機補機室 防火兼風量調節ダ ンパ	φ 455	34	217	6.3	—※	—※	—※	—※	—※	○	
3-ディーゼル発電 機室給気系Bディー ゼル発電機補機室 防火兼風量調節ダ ンパ	φ 455	34	217	6.3	—※	—※	—※	—※	—※	○		

注：代表したダンパの評価結果を示す。

※：当該ダンパは通常時「開」であり、ベーン、シャフトには竜巻による負圧は作用しない。

### (c) バタフライ弁

アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁の弁体は、圧力標準 JIS10k の規定を満足していることから、弁体の負圧に対する許容値は 10kgf/cm<sup>2</sup> (=980.65hPa (1kgf/cm<sup>2</sup>=980.665hPa)) であり、設計竜巻により生じる気圧差 (89hPa) の負圧に対して裕度は 110.1 倍であることから、設計竜巻により生じる気圧差に対して、構造健全性が維持され安全機能が維持できることを確認した。

### (d) 丸ダクト

設計竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重 (自重) + 短期荷重 (設計竜巻による内外差圧) による応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認した。

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	気圧差による周方向応 力 (MPa)			長期荷重 (自重) + 短 期荷重 (竜巻による内 外差圧) に対する制限			評価
				発生応力	許容値	裕度	発生値※	許容値	裕度	
アニュラス空 気浄化系	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 650×2.3t	SS400	1.3	6.1	4.6	0.3	0.9	3.0	○
	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 500×2.3t	SS400	1	7	7.0	0.2	0.9	4.5	○
	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 400×2.3t	SS400	0.8	9.9	12.3	0.1	0.9	9.0	○
	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 300×2.3t	SS400	0.6	11.6	19.3	0.1	0.9	9.0	○

※：発生値=周方向応力/許容値+曲げモーメント/許容値



系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	気圧差による周方向応 力 (MPa)			長期荷重 (自重) + 短期 荷重 (竜巻による内外 差圧) に対する制限			評価
				発生応力	許容値	裕度	発生値*	許容値	裕度	
安全補機開閉 器室換気系	低压丸ダクト(溶 接) - 保温有	φ 250×1.2t	SGCC	1	7.7	7.7	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル中圧丸 ダクト - 保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	4.8	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 500×1.6t	SGCC	1.5	49.1	32.7	0.1	0.9	9.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 500×1.2t	SGCC	1.9	8	4.2	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	4.7	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	6.8	2.3	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 450×0.6t	SGCC	3.4	9.7	2.8	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 450×0.6t	SGCC	3.4	6.4	1.8	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 400×0.6t	SGCC	3	6.5	2.1	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 400×0.6t	SGCC	3	5.9	1.9	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 400×0.6t	SGCC	3	5.1	1.7	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 350×0.6t	SGCC	2.6	5.4	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 300×0.6t	SGCC	2.3	4.7	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 250×1.6t	SGCC	0.8	30.7	38.3	0.1	0.9	9.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 250×1.2t	SGCC	1	9	9.0	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.1	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	4.8	2.5	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	6.8	3.5	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	6.2	5.1	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	3.1	2.5	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	4.9	4.0	0.3	0.9	3.0	○
スパイラル低压丸 ダクト - 保温有	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	4.8	4.0	0.3	0.9	3.0	○	
スパイラル低压丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	5.3	4.4	0.3	0.9	3.0	○	
ディーゼル発 電機室換気系	スパイラル中圧丸 ダクト	φ 450×0.6t	SGCC	3.4	6.4	1.8	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル中圧丸 ダクト	φ 1100×1.0t	SGCC	4.9	8	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 650×0.8t	SGCC	3.7	15	4.0	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 300×0.6t	SGCC	2.3	4.7	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 200×0.6t	SGCC	1.5	6	4.0	0.3	0.9	3.0	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

※：発生値 = 周方向応力 / 許容値 + 曲げモーメント / 許容値

(e) 角ダクト

設計竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認した。

イ. 排気筒（建屋内）

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	長期荷重（自重）＋ 短期荷重（竜巻による 内外差圧）による 面外荷重により発生 する曲げ応力 (MPa)			気圧差による面内 荷重により発生す る座屈応力 (MPa)			長期荷重（自重）＋短期荷 重（竜巻による内外差圧） による面内荷重に対する制 限 (kN・mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
排気筒	排気筒	2300×2600× 4.0t	SUS304	76.8	165	2.1	13	165	12.6	1110.9	468014.8	421.2	○
	排気筒	2300×2300× 4.0t	SUS304	76.5	165	2.1	11.5	165	14.3	8454.6	486747.3	57.5	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

ロ. 換気空調設備

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	長期荷重（自重）＋ 短期荷重（竜巻による 内外差圧）による 面外荷重により発生 する曲げ応力 (MPa)			気圧差による面内 荷重により発生する座 屈応力 (MPa)			長期荷重（自重）＋短期荷 重（竜巻による内外差圧） による面内荷重に対する制 限 (kN・mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
アニュラス 空気浄化系	低圧角ダクト(溶 接)	2300×2600× 4.5t	SS400	85.8	216	2.5	11.5	216	18.7	2825.2	711579	251.8	○
	低圧角ダクト(溶 接)－保温有	700×1350× 3.2t	SS400	80.8	216	2.6	3.6	216	60.0	1719.4	103658.6	60.2	○
	低圧角ダクト(溶 接)	600×1200× 3.2t	SS400	80.8	216	2.6	2.8	216	77.1	468	88881.8	189.9	○
電動補助給 水ポンプ室 換気系	ハゼ折中圧角ダ クト	1000×1000× 0.8t	SGCC	107.3	189	1.7	56	189	3.3	104.3	7065.8	67.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	750×750× 1.2t	SGCC	97.1	189	1.9	14	189	13.5	316.2	15726.7	49.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	750×750× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	31.5	189	6.0	506.6	6280.6	12.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	77	6012.1	78.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト－保温有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	146.4	5389.3	36.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×600× 0.8t	SGCC	120.3	189	1.5	20.2	189	9.3	42.6	5389.3	126.5	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	750×1050× 0.8t	SGCC	140.6	189	1.3	44.1	189	4.2	23.6	5364.1	227.2	○
制御用空気 圧縮機室換 気系	ハゼ折中圧角ダ クト－保温有	700×700× 1.2t	SGCC	98	189	1.9	12.2	189	15.4	474	14834.3	31.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト－保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	283.6	6012.1	21.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト－保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	459.4	6012.1	13.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×600× 0.8t	SGCC	120.3	189	1.5	20.2	189	9.3	10.7	5389.3	503.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	500×500× 0.8t	SGCC	112.5	189	1.6	14	189	13.5	20.2	4659.7	230.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト－保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	292.8	2273.6	7.7	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	700×700× 0.6t	SGCC	108.8	189	1.7	48.8	189	3.8	16.3	2933.3	179.9	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	500×500× 0.6t	SGCC	95.9	189	1.9	24.9	189	7.5	11.9	2454.9	206.2	○

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	長期荷重（自重）＋ 短期荷重（竜巻による 内外差圧）による 面外荷重により発生 する曲げ応力 (MPa)			気圧差による面内荷 重により発生する座 屈応力 (MPa)			長期荷重（自重）＋短期荷 重（竜巻による内外差圧） による面内荷重に対する制 限 (kN・mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
ディーゼル 発電機室換 気系	低圧角ダクト(溶 接)	900×1300× 1.6t	SS400	88.7	189	2.1	16.4	189	11.5	34.4	30547.5	888.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1400×1400× 1.0t	SGCC	116.6	189	1.6	70.3	189	2.6	6.6	13791.1	2089.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1400×1400× 1.0t	SGCC	116.6	189	1.6	70.3	189	2.6	371	13791.1	37.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1400×1400× 1.0t	SGCC	116.1	189	1.6	70.3	189	2.6	378.9	13791.1	36.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1200×1600× 1.0t	SGCC	118.5	189	1.5	68.8	189	2.7	410	11224.3	27.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1100×1100× 0.8t	SGCC	116.6	189	1.6	67.8	189	2.7	58.4	7081.3	121.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1050×1050× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	61.8	189	3.0	125.5	7094.8	56.5	○
安全補機開 閉器室換気 系	低圧角ダクト(溶 接)ー保温有	2000×2800× 4.5t	SS400	87.5	245	2.8	11.3	245	21.6	1815.5	643242.3	354.3	○
	低圧角ダクト(溶 接)ー保温有	1500×2500× 3.2t	SGCC	91.7	189	2.0	13.2	189	14.3	798.9	202402.1	253.3	○
	低圧角ダクト(溶 接)ー保温有	1500×1900× 3.2t	SGCC	89.3	189	2.1	10	189	18.9	2516.8	217010.1	86.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	2100×2600× 1.6t	SGCC	102.6	189	1.8	76.5	189	2.4	824.2	47780.2	57.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	2000×2500× 3.2t	SGCC	88.3	189	2.1	17.5	189	10.8	1570.5	277577.8	176.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	2000×2500× 2.3t	SGCC	93.3	189	2.0	33.9	189	5.5	1504.1	129518.8	86.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1500×1650× 1.0t	SGCC	119.5	189	1.5	88.7	189	2.1	1777.7	12199.6	6.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1500×1500× 1.0t	SGCC	118	189	1.6	80.7	189	2.3	1383	13479.7	9.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1500×1500× 1.0t	SGCC	117.5	189	1.6	80.7	189	2.3	605.8	13479.7	22.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1500×1500× 1.0t	SGCC	117.5	189	1.6	80.7	189	2.3	605.8	13479.7	22.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1300×1500× 1.0t	SGCC	117.5	189	1.6	69.9	189	2.7	263.2	12422	47.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1300×1300× 1.0t	SGCC	114.8	189	1.6	60.6	189	3.1	1473.8	13854.8	9.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1150×1500× 1.0t	SGCC	118	189	1.6	61.8	189	3.0	900.3	11435	12.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1150×1150× 0.8t	SGCC	121.3	189	1.5	74.1	189	2.5	290.2	7017.7	24.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1150×1150× 0.8t	SGCC	120.7	189	1.5	74.1	189	2.5	1289.2	7017.7	5.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1000×1400× 1.6t	SGCC	97.6	189	1.9	19.6	189	9.6	1245.8	33495.4	26.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1000×1400× 1.0t	SGCC	116.6	189	1.6	50.2	189	3.7	626.1	10702.8	17.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	1000×1000× 0.8t	SGCC	107.8	189	1.7	56	189	3.3	592.5	7065.8	11.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1000×1000× 0.8t	SGCC	107.3	189	1.7	56	189	3.3	579.4	7065.8	12.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	950×950× 0.8t	SGCC	109.6	189	1.7	50.6	189	3.7	85.6	6986	81.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	900×900× 1.2t	SGCC	93.8	189	2.0	20.2	189	9.3	496.8	18188.9	36.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	900×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	45.4	189	4.1	666	6867.9	10.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	900×900× 0.8t	SGCC	111.6	189	1.6	45.4	189	4.1	254.2	6867.9	27.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	900×1000× 0.8t	SGCC	107.8	189	1.7	50.4	189	3.7	187.6	6462.6	34.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	800×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	40.4	189	4.6	587.3	6143.4	10.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	800×900× 0.8t	SGCC	111.6	189	1.6	40.4	189	4.6	102.4	6143.4	59.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	800×800× 1.6t	SGCC	87.4	189	2.1	9	189	21.0	135.1	30711.4	227.3	○
ハゼ折中圧角ダ クト	800×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	35.9	189	5.2	52	6510.8	125.2	○	

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	長期荷重（自重）＋ 短期荷重（竜巻による 内外差圧）による 面外荷重により発生 する曲げ応力(MPa)			気圧差による面内荷 重により発生する座 屈応力(MPa)			長期荷重（自重）＋短期荷 重（竜巻による内外差圧） による面内荷重に対する制 限(kN・mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生 モーメント	許容値	裕度	
安全補機開 閉器室換気 系	ハゼ折中圧角ダ クト	800×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	35.9	189	5.2	290.1	6510.8	22.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	800×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	35.9	189	5.2	514.8	6510.8	12.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	800×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	35.9	189	5.2	556.1	6510.8	11.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	283.6	6012.1	21.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	41.4	6012.1	145.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	268.2	6012.1	22.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	520.2	6012.1	11.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	700×1200× 0.8t	SGCC	125	189	1.5	47.1	189	4.0	403.5	4730.3	11.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	650×650× 1.2t	SGCC	98	189	1.9	10.6	189	17.8	846.8	13904.9	16.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	650×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	23.7	189	7.9	368.8	5715.6	15.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	650×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	23.7	189	7.9	491	5715.6	11.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	650×650× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	23.7	189	7.9	326.4	5715.6	17.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	600×1500× 1.0t	SGCC	118	189	1.6	32.3	189	5.8	1048.5	6645.3	6.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×1500× 1.0t	SGCC	117.5	189	1.6	32.3	189	5.8	646.1	6645.3	10.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	600×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	26.9	189	7.0	358	4850.6	13.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	26.9	189	7.0	412.5	4850.6	11.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	600×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	23.6	189	8.0	176.8	5091.4	28.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	600×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	23.6	189	8.0	288.6	5091.4	17.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	291.7	5389.3	18.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×600× 0.8t	SGCC	120.3	189	1.5	20.2	189	9.3	184.7	5389.3	29.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	550×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	24.7	189	7.6	346	4432.8	12.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	550×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	24.7	189	7.6	118.4	4432.8	37.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	550×550× 0.8t	SGCC	116.5	189	1.6	17	189	11.1	27.3	5035.6	184.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	500×850× 0.8t	SGCC	113.7	189	1.6	23.8	189	7.9	101.6	3943.8	38.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	500×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	18.2	189	10.3	328.2	4284.2	13.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	500×500× 0.8t	SGCC	112.5	189	1.6	14	189	13.5	224	4659.7	20.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	450×450× 1.2t	SGCC	96.6	189	1.9	5.1	189	37	29.5	9947.6	337.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	89.2	2273.6	25.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	34.9	2273.6	65.1	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	700×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	48.8	189	3.8	171.6	2933.3	17.0	○
ハゼ折低圧角ダ クト	700×700× 0.6t	SGCC	152.5	189	1.2	48.8	189	3.8	48.5	2933.3	60.4	○	
ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	650×650× 0.6t	SGCC	147.5	189	1.2	42.1	189	4.4	239.2	2854.5	11.9	○	
ハゼ折低圧角ダ クト	600×800× 0.8t	SGCC	132.8	189	1.4	26.9	189	7.0	34.3	4850.6	141.4	○	

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

系統	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	長期荷重（自重）＋ 短期荷重（竜巻による 内外差圧）による 面外荷重により発生 する曲げ応力 (MPa)			気圧差による面内荷 重により発生する座 屈応力 (MPa)			長期荷重（自重）＋短期荷 重（竜巻による内外差圧） による面内荷重に対する制 限 (kN・mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生 モーメント	許容値	裕度	
安全補機開 閉器室換気 系	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 1.2t	SGCC	104.8	189	1.8	9	189	21.0	143	12956.3	90.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	600×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	35.9	189	5.2	358.5	2746.7	7.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	35.9	189	5.2	131	2746.7	20.9	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	35.9	189	5.2	253.6	2746.7	10.8	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	35.9	189	5.2	269.7	2746.7	10.1	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	550×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	30.2	189	6.2	121.6	2612.3	21.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	450×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	24.7	189	7.6	55.5	2112	38.0	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	139.3	2273.6	16.3	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	400×500× 1.6t	SGCC	92.8	189	2.0	2.8	189	67.5	193.4	15171.5	78.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	400×500× 1.2t	SGCC	99.4	189	1.9	5	189	37.8	243.9	8409.2	34.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	400×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	20	189	9.4	78.4	1922.7	24.5	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	200×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	12	189	15.7	20.5	885.8	43.2	○
中央制御室 空調	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	99.3	5389.3	54.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	245.1	5389.3	21.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	500×500× 1.2t	SGCC	98.4	189	1.9	6.3	189	30.0	855.2	10972	12.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	500×500× 0.8t	SGCC	113	189	1.6	14	189	13.5	225.1	4659.7	20.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	500×500× 0.8t	SGCC	113	189	1.6	14	189	13.5	95.8	4659.7	48.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	500×500× 0.8t	SGCC	113	189	1.6	14	189	13.5	225.1	4659.7	20.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	500×500× 0.8t	SGCC	113	189	1.6	14	189	13.5	225.1	4659.7	20.7	○

(f) ファン

機器名称	ケーシング		応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
	内径 (mm)	板厚 (mm)				
電動補助給水ポンプ室給気ファン	691	4.5	0.7	240	342.8	○
制御用空気圧縮機室給気ファン	691	4.5	0.7	240	342.8	○
ディーゼル発電機室給気ファン	1088	6	0.9	240	266.6	○
安全補機開閉器室給気ファン	4138	6	3.1	240	77.4	○
安全補機開閉器室排気ファン	493.6	3.2	0.7	240	342.8	○
蓄電池室排気ファン	591	4.5	0.6	240	400	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

(g) 空調ユニット

機器名称	ユニット外板		応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
	長さ (mm)	板厚 (mm)				
安全補機開閉器室給気ユニット	2000×690	3.2	207	360	1.7	○

## 26. 飛来物対策について

泊発電所構内には、屋外に保管されている各種資機材、車両等、飛来物になり得るものが存在している。設計竜巻によりこれら飛来物が竜巻防護施設に衝突した場合は、貫通等の損傷により安全機能の維持に影響を与えることも考えられることから、以下の対策を実施する。

### (1) 基本方針

#### a. 飛来物発生防止対策

飛来物になり得るものを極力減らすことが重要であるため、次の事項を遵守し飛散防止を図る。

##### (a) 作業等で使用しないもの

- ・ 発電所構内に置かない（撤去する）。

##### (b) 作業等で使用するもの

- ・ アンカーにより建屋等堅牢な構造物等へ固縛する。
- ・ 十分な重さのウエイト取付ける、または複数纏めて固縛する。
- ・ 業務車両は竜巻が襲来する恐れが生じた場合に速やかに移動できる体制を取る。
- ・ 業務車両以外の車両は構内への入構を禁止する。
- ・ 重大事故等対処設備は必要時の利用可能性を確保しつつ、十分な重さのウエイトを取付ける、またはアンカーにより地面へ固縛する。
- ・ 飛散および横滑りを考慮して、竜巻防護施設から十分な離隔距離を確保する。

#### b. 飛来物防護対策


上記1. 項の飛来物発生防止対策を実施したとしても、作業のために設置している仮設足場等、飛来物になり得るものをゼロにするのは困難と考えられるため、竜巻防護施設に対する設計飛来物による構造健全性等への影響を評価し、設計飛来物が衝突した場合に安全機能を喪失する可能性のある竜巻防護施設（設備）については、安全機能の維持に影響を与えないよう、防護ネット、防護板等を設置し飛来物から防護する。


### (2) 飛来物発生防止対策

上記基本方針に基づき、想定飛来物に対して飛散防止対策を実施する。

表-1 に主な想定飛来物の飛散防止対策方法を示す。

表-1 主な想定飛来物の飛散防止対策方法

No.	想定飛来物	飛散防止対策方法
1	コンテナ※	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 十分な重さのウエイトを取付ける。</li> <li>・ ウエイトの重量については、コンテナの自重+ウエイトの重量により空力パラメータが0.0026以下となる重量とする。</li> </ul>  <p>コンテナの飛散防止対策例</p>

2	鋼製パイプ※	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 単品で置かず複数本を束にして固縛する。</li> <li>• 束にする本数については、空力パラメータが 0.0026 以下となる本数とする。</li> </ul>  <p style="text-align: center;">鋼製パイプの飛散防止対策例</p>
3	鋼製材※	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 単品で置かず複数本を重ねて固縛する、または十分な重さのウェイトを取付ける。</li> <li>• 重ねる本数については、空力パラメータが 0.0026 以下となる本数とする。</li> <li>• ウェイトの重量については、鋼製材の自重+ウェイトの重量により空力パラメータが 0.0026 以下となる重量とする。</li> </ul>
4	仮設足場材	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 単品で置かず複数枚を重ねて固縛し、十分な重さのウェイトを取付ける、またはアンカーにより建屋等堅牢な構造物へ固縛する。</li> <li>• ウェイトの重量については、仮設足場材の重量+ウェイトの重量により空力パラメータが 0.0026 以下となる重量とする。</li> </ul>
5	鋼板	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 単品で置かず複数枚を重ねて固縛する。</li> <li>• 重ねる枚数については、空力パラメータが 0.0026 以下となる枚数とする。</li> </ul>
6	マンホール蓋	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 容易に飛散しないよう高さ方向への飛散防止対策を行う（マンホール蓋上面からの固定、マンホール蓋へのチェーン接続など）。</li> </ul>
7	車両（重大事故等対処設備含む）	<p>&lt;高さ方向へ飛散する車両&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 車両の飛散距離（表-2 参照）を考慮し、竜巻防護施設から 350m の範囲内（図-1 参照）について下記の対策を実施する。</li> <li>• 十分な重さのウェイトを取付ける。</li> <li>• ウェイトの重量については、車両の自重+ウェイトの重量により空力パラメータが 0.0026 以下となる重量とする。</li> <li>• 作業中の業務車両については、竜巻が襲来する恐れが生じた場合に速やかに竜巻防護施設から 350m の範囲外に退避できる体制を取る旨マニュアルに反映することとしており固縛不要とする（別紙-1 参照）。</li> <li>• 業務車両以外の車両については、構内への入構を禁止する。</li> </ul> <p>&lt;高さ方向へは飛散しないが横滑りする車両&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 車両の移動距離（表-3 参照）を考慮し、竜巻防護施設から 170m の範囲内（図-1 参照）について下記の対策を実施する。</li> <li>• アンカーにより地面へ固縛する（対策の計算例を別紙-2 に示す）。</li> </ul>

※：設計飛来物であり評価対象施設への影響評価を実施しているが飛散防止対策を実施する。



竜巻が襲来する恐れが生じた場合の作業中業務車両の退避について（検討中）

## 1. はじめに

竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えないよう、作業中の業務車両については、竜巻が襲来する恐れが生じた場合に速やかに竜巻防護施設から 350m の範囲外に退避することとしている。退避にあたっては、運転手（作業員）の安全確保の観点も非常に重要なことから、より速やかに退避できるよう連絡手段および退避場所について、現在、検討を行っている。

## 2. 検討事項

### （1）連絡手段

ページングにより屋外の作業員等に対して退避を指示することを考えているが、ページングのみでは屋外全域をカバーできないため、下記について検討する。

- ・ 屋外全域をカバーできるサイレンの設置
- ・ ページングの屋外スピーカーの増設
- ・ 上記以外（今後の検討進捗により追加されるもの）

### （2）退避場所

現状、作業中の業務車両は竜巻防護施設から 350m の範囲外に退避することとしているが、車両退避後、運転手は竜巻の影響を受けない場所に退避する必要があるため、下記について検討する。

- ・ 発電所構内の竜巻防護施設から 350m の範囲外に複数の退避場所を設定
- ・ 作業場所近傍に車両固縛用のアンカーを設置し作業中の業務車両を固縛する
- ・ 発電所構外に退避
- ・ 上記以外（今後の検討進捗により追加されるもの）

表-2 高さ方向へ飛散する車両の飛散距離一覧

名称	長さ (m)	幅 (m)	厚さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータCDA/m (m <sup>2</sup> /kg)	飛散距離 (m)
自動車	4.60	1.80	1.70	1600	0.0079	323
自動車	4.90	1.87	1.87	2230	0.0065	307
自動車	4.83	1.79	1.91	2140	0.0066	308
自動車	4.63	1.79	1.68	1500	0.0084	328
自動車	4.42	1.69	1.48	1200	0.0091	333
自動車	4.53	1.69	1.43	1130	0.0097	337
自動車	3.39	1.47	1.76	740	0.0121	346
可搬型大型送水ポンプ車	8.79	2.50	2.88	12450	0.0029	187
可搬型中型送水ポンプ車	7.63	2.30	2.75	10050	0.0029	187
可搬型注水ポンプ車	8.45	2.50	2.75	12510	0.0027	174
シルトフェンス車 (4t車)	8.20	2.46	2.30	7000	0.0042	254
SWPモータ運搬用トラック (11tユニック車)	12.00	2.50	1.60	12000	0.0029	187
4tユニック車	8.17	2.37	1.50	8000	0.0029	187
モニタリングカー	5.50	1.90	2.90	2800	0.0075	319
代替非常用発電機 (48G) 付属品車	11.00	2.50	3.55	14600	0.0034	219
可搬型モニタリングポスト等運搬車輛	3.40	1.48	1.98	2200	0.0061	302

表-3 高さ方向へ飛散しないが横滑りする車両の移動距離一覧

名称	長さ (m)	幅 (m)	厚さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータCDA/m (m <sup>2</sup> /kg)	移動距離 (m)
トラック	5.00	1.90	1.30	4750	0.0026	158
クレーン車	12.00	6.30	4.99	102500	0.0011	46
重機	8.82	2.80	3.15	23000	0.0018	92
電源車	10.00	2.49	3.38	24620	0.0018	92
代替海水取水ポンプ車 (HS900)	13.37	2.50	3.27	22700	0.0025	158
代替海水取水ポンプ車 (HS1200)	13.37	2.50	3.27	24860	0.0023	139
ホース延長・回収車 (送水車用)	9.00	2.50	3.25	15420	0.0026	166
ホース延長・回収車 (放水砲用)	8.73	2.50	3.13	21930	0.0017	83
可搬型代替電源車 (コーラー)	17.05	2.50	4.20	37000	0.0022	130
代替非常用発電機 (1号用)	12.00	2.50	3.40	26000	0.0020	110
代替非常用発電機 (2号用)	17.60	3.00	4.10	47000	0.0019	101
代替非常用発電機 (3号用)	15.00	2.50	3.80	35000	0.0020	110
タンクローリー (18k1)	11.00	2.50	2.95	25000	0.0018	92
タンクローリー (4k1)	6.00	2.20	2.20	8000	0.0026	166
シルトフェンス車 (10t車)	11.90	2.50	2.30	15800	0.0026	166
屋外ルート軽油汲み上げ資機材搬送車輛	6.20	2.20	1.40	6600	0.0025	158
ホイールローダ	6.60	2.50	1.60	9500	0.0022	130
バックホウ	9.50	2.80	3.00	20000	0.0021	121
ブルドーザ	5.70	4.00	3.25	21700	0.0017	83

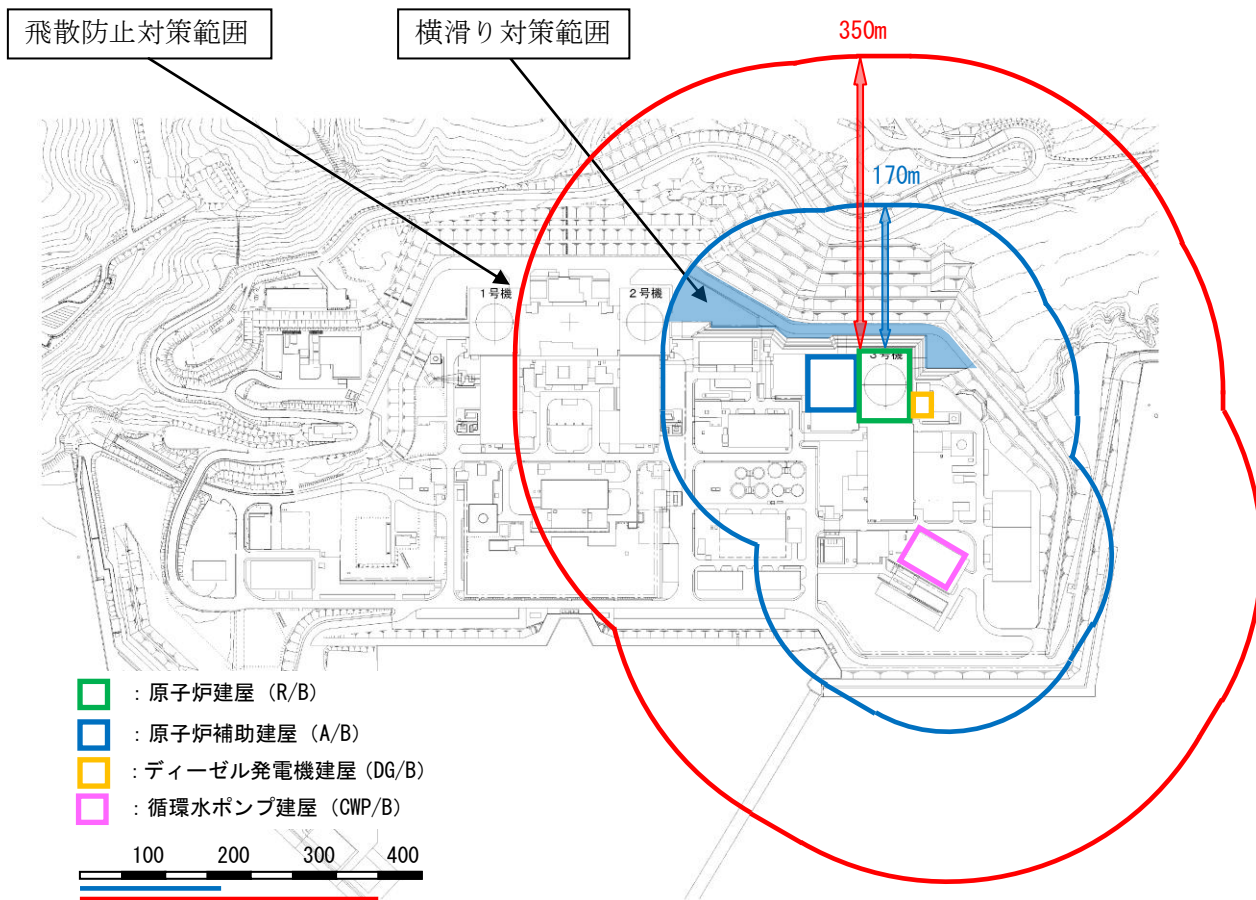


図-1 泊発電所における車両の飛散防止対策範囲および横滑り対策範囲

■飛散防止対策の計算例

<可搬型代替電源車の場合>

(可搬型代替電源車の諸元)

全長：17.05m、高さ：4.2m、幅：2.5m

重量：m=37,000kg



(空力パラメータの確認)

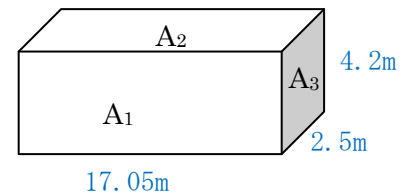
$$C_D A/m = c \times (C_{D1} \times A_1 + C_{D2} \times A_2 + C_{D3} \times A_3) / m$$

$$= 0.33 \times (2.0 \times 71.61 + 2.0 \times 42.625 + 2.0 \times 10.5) / 37000$$

$$= 82.326 / 37000$$

$$= 0.0022$$

空力パラメータ ( $C_D A/m$ ) が、0.0026 未満であることから可搬型代替電源車は、高さ方向に飛散しない。



空力パラメータ算出上のモデル  
( $C_{D1} = C_{D2} = C_{D3} = 2.0$ )

(水平方向風荷重)

$$\text{風荷重} = q_H \times C_D \times G_D \times A$$

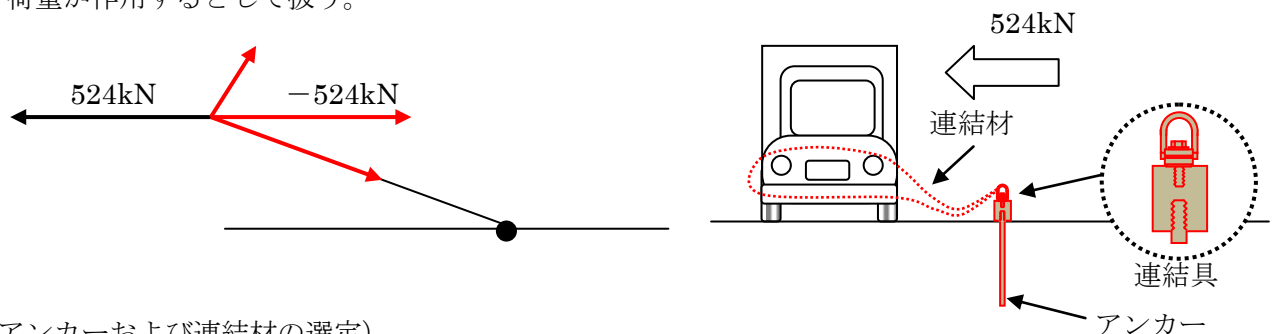
$$= 1.22 \times 100^2 / 2 \times 1.2 \times 1.00 \times 71.61$$

$$= 524 \text{ kN}$$

$q_H$  : 速度圧 ( $= \rho \times V^2 / 2$ )  
 $\rho$  : 空気密度 ( $= 1.22 \text{ kg/m}^3$ )  
 $V$  : 設計竜巻の最大風速 ( $= 100 \text{ m/s}$ )  
 $C_D$  : 風力係数 ( $= 1.2$ )  
 $G_D$  : 風方向ガスト係数 ( $= 1.00$ )  
 $A$  : 受圧面積 (車輻の側面積の最大値)

(横滑り防止のための連結材に作用する荷重)

可搬型代替電源車については、高さ方向の荷重は自重が勝り、下方向に作用していることから、水平方向風荷重により横滑りした際の荷重は、下図のとおりとなるが、連結材の張力として水平方向風荷重が作用するとして扱う。



(アンカーおよび連結材の選定)

固定する連結材 (スリング) の扱い易さを考慮し、可搬型代替電源車の固定に必要な張力 524kN を受けるアンカーは 3 本とし、1 本あたり 200kN の水平・垂直荷重に耐えうるよう  $\phi 50 \text{ mm} \times$  埋込長 2000mm (SUS304) を設置する。この場合、1 本あたり定格 200kN のスリング (200mm 幅以下の製品が選択可能) を使用する。スリングとアン

カーの接続は、連結具（汎用吊冶具とアンカー頂部を丸鋼で一体化）にシャックルを取り付けて使用する。

○アンカーのせん断に対する検討

ステンレスアンカーの許容せん断力は、建築基準法施行令第90条「鋼材の短期許容応力度」より

$$\tau_s = F \times 1.5 \div (1.5\sqrt{3})$$

SUS304 の JIS G4303 (ステンレス鋼棒) に示されている以下に記載の耐力を用いる。

$$F = 205 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s = 205 \times 1.5 / 1.5\sqrt{3} \approx 118 \text{ N/mm}^2$$

アンカーに求められるせん断耐力は 200kN であるから、アンカー鋼の必要断面積 A は、

$$A = 200,000 / 118 = 1,695 \text{ mm}^2$$

上記を満足するステンレス丸鋼として  $\phi 50$  を選定する (断面積  $A=1,964 \text{ mm}^2$ )

○アンカーの必要長さの検討

可搬型代替電源車設置場所 (T.P.31m) の岩盤は硬岩と考えられるが、余裕を考慮し、周面摩擦抵抗は、「軟岩」相当の下限値である  $1.0 \text{ N/mm}^2$ \*を使用する。

(※：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（地盤工学会編）より)

アンカーの引抜きに対する摩擦抵抗力は、次のとおり。

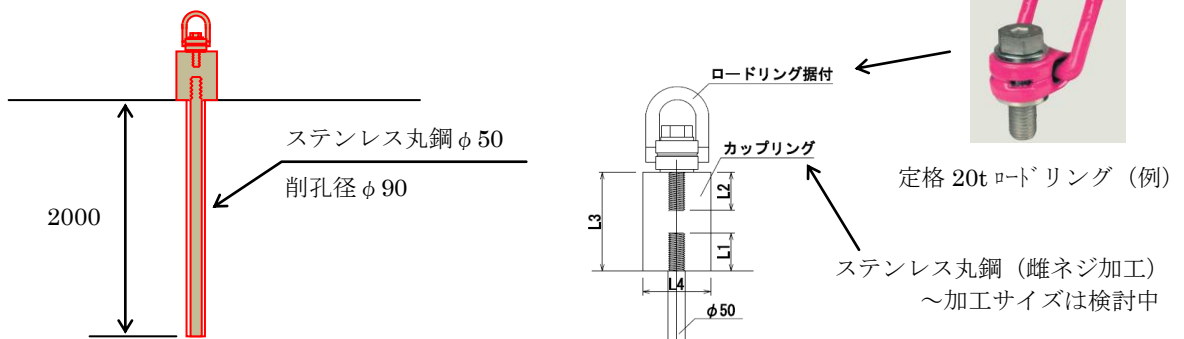
$$L = F \times P / (L1 \times \mu)$$

L : 必要アンカー長
F : 安全率=1.5
P : 引抜き力
L1 : アンカー周長 = $50 \times \pi = 157.1 \text{ mm}$
$\mu$ : 周面摩擦抵抗 = $1.0 \text{ N/mm}^2$

アンカーに求められる引抜き耐力は 200kN であるから、アンカーの必要長さ L は、

$$L = 1.5 \times 200,000 / 157.1 \times 1.0 = 1,910 \text{ mm}$$

上記を満足するアンカー長として 2,000mm を選定する。



なお、アンカーについては、グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（地盤工学会編）に基づき、引抜き試験を実施する計画である。

## (2) 飛来物防護対策

上記基本方針に基づき、以下の飛来物防護対策を実施する。

なお、設計飛来物のうち鋼製パイプおよび鋼製材については、作業のために設置する仮設足場等を使用されており、確実に飛散を防止することが困難と考えられることから、飛来物防護対策にあたっては、両者のうち運動エネルギーが大きく、飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さが厚い（貫通しやすい）鋼製材を飛来物として想定する。

### a. 飛来物防護対策の概要

設計飛来物が衝突した場合に安全機能を喪失する可能性のある竜巻防護施設（以下「防護対象設備」という）については、安全機能の維持に影響を与えないよう、防護ネットまたは防護板を設置し飛来物から防護することとしており、防護対象設備毎の防護対策の概要を以下に示す。

#### (a) 原子炉補機冷却海水ポンプ（配管、弁およびろ過装置含む）

当該設備が設置されている循環水ポンプ建屋は鉄骨造であり飛来物は天井（コンクリート）・外壁（外装材）を貫通して進入してくることが想定されるため、当該設備設置エリア上部の開口部（循環水ポンプ建屋床面（T.P. 10.3m））に防護ネットを設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-2 に示す。

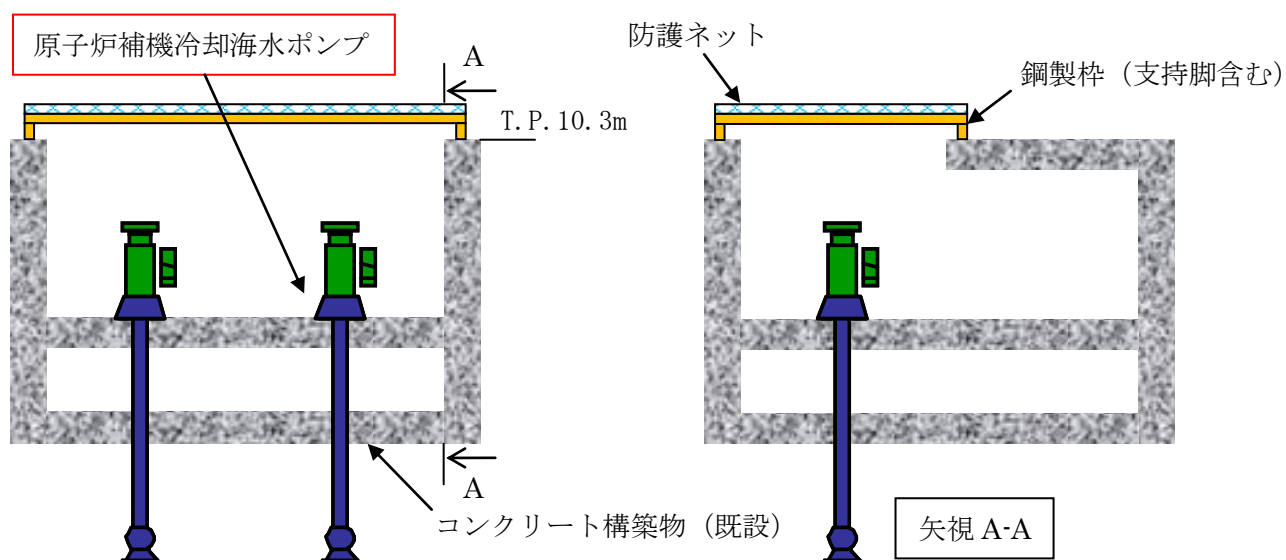


図-2 原子炉補機冷却海水ポンプの飛来物防護対策イメージ図

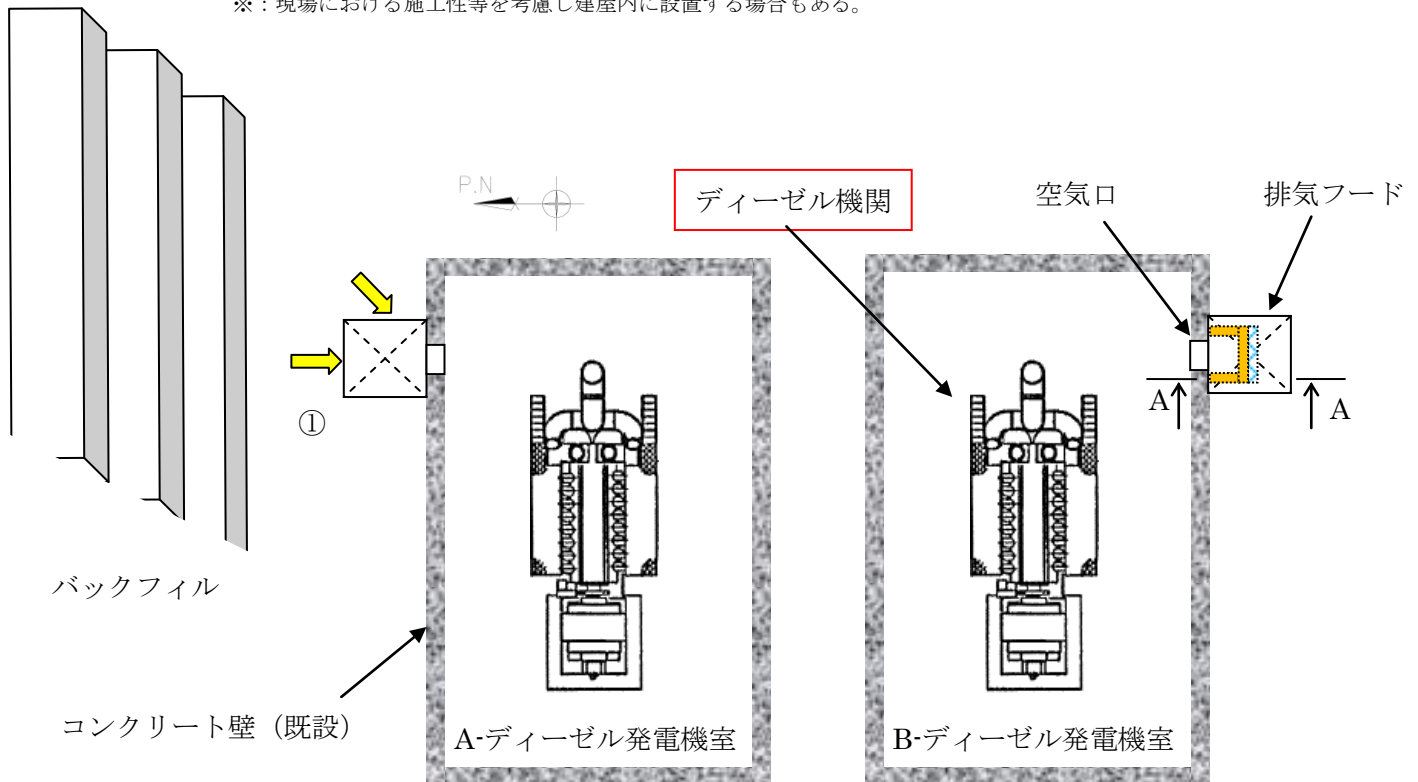


(b) ディーゼル機関

当該設備はディーゼル発電機建屋のディーゼル発電機室に設置されているが、飛来物は当該区画の排気フードを貫通して空気口から進入してくることが想定されるため、当該区画の排気フードに繋がる空気口の前面（排気フード内※）に防護ネットを設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-3 に示す。

※：現場における施工性等を考慮し建屋内に設置する場合もある。



①飛来物がA-ディーゼル発電機室（A-DG室）の排気フードを貫通してディーゼル機関に衝突する方向としては、北方向あるいは北東（北～東方向の間）方向が考えられるが、A-DG室北側にはバックフィルがあるため、飛来物はバックフィルの高さより高いところから斜め下向きに進入することになり、この場合は当該フードを貫通したとしても、飛来物がディーゼル機関に衝突することはないと考える。

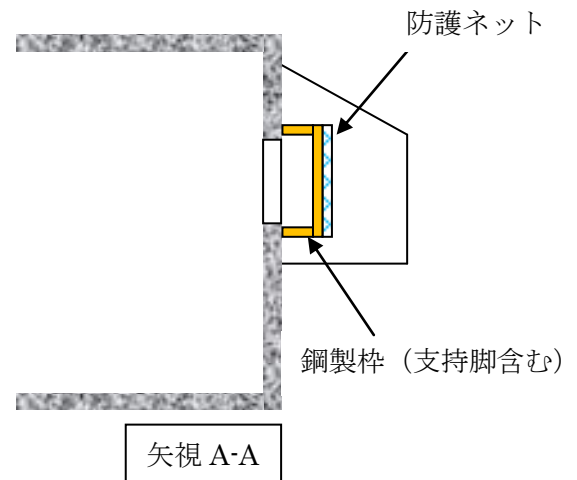
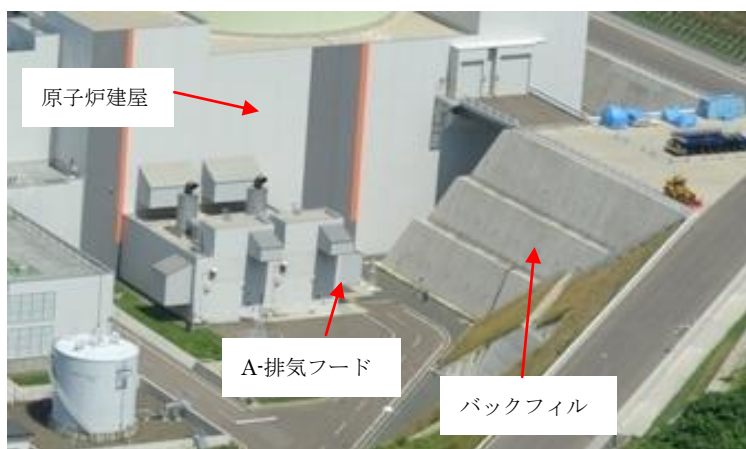


図-3 ディーゼル機関の飛来物防護対策イメージ図



(c) 蓄熱室加熱器

イ. 蓄熱室

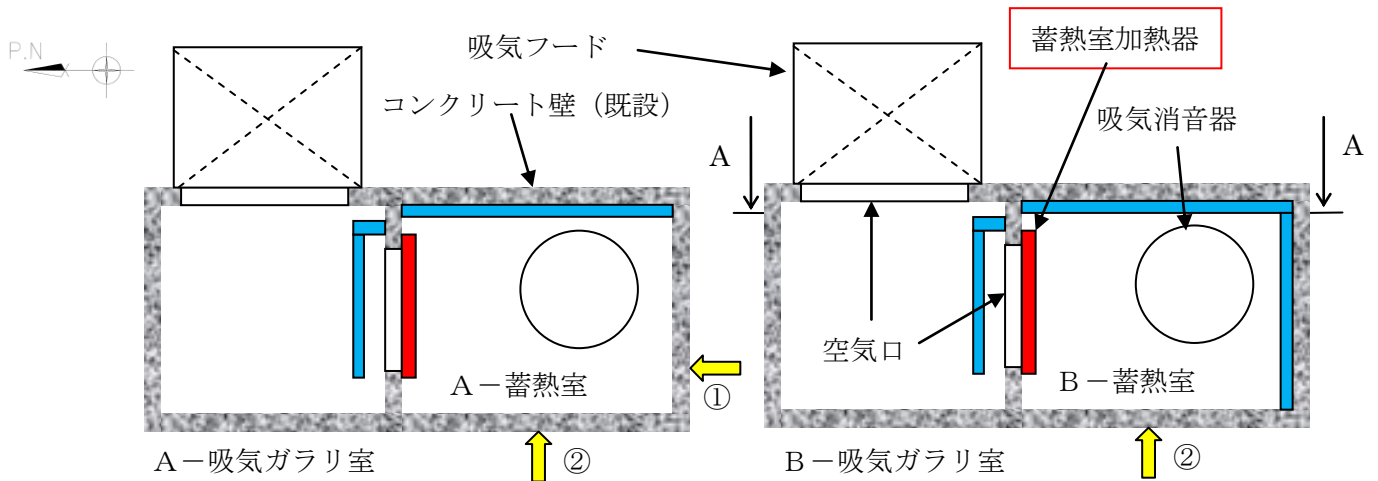
蓄熱室加熱器が設置されている蓄熱室はディーゼル発電機建屋の塔屋部にあり、飛来物は外壁（コンクリート）を貫通して進入してくるとの評価結果が得られたことから、蓄熱室の外壁に鋼板製の防護板を内張りし、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-4 示す。

ロ. 吸気ガ拉里室

蓄熱室加熱器が設置されている蓄熱室に隣接して吸気ガ拉里室があり、飛来物は当該ガ拉里室の吸気フードを貫通して空気口から進入し直接蓄熱室加熱器背面に衝突することが考えられることから、蓄熱室加熱器背面にある空気口の前面に鋼板製の防護板等を設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-4 に示す。



- ① A-蓄熱室に近接してB-吸気ガ拉里室があり、プラント南側から進入してきた飛来物はB側の塔屋部に当たると考えられるため、A-蓄熱室南側の壁面に飛来物が衝突することはないと考える。
- ② 当該塔屋部西側には原子炉建屋があり、プラント西側から進入してきた飛来物は原子炉建屋に当たると考えられるため、A、B-蓄熱室西側の壁面に飛来物が衝突することはないと考える。

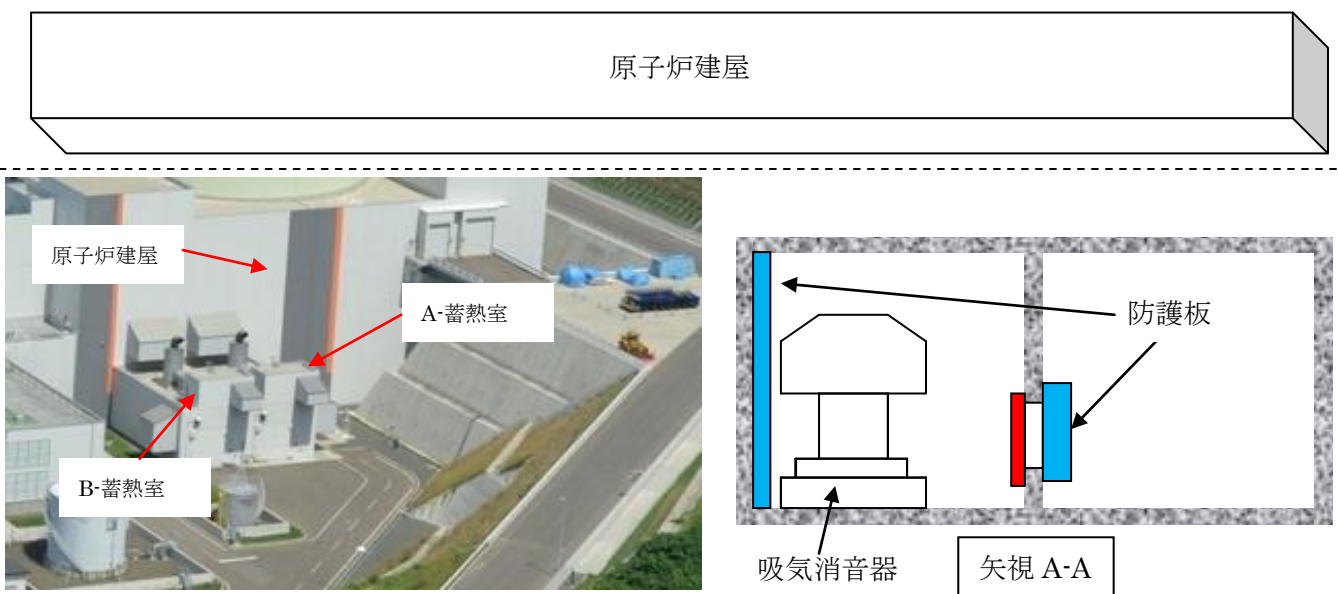


図-4 蓄熱室加熱器の飛来物防護対策イメージ図

(d) 配管および弁（主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統）

当該設備は原子炉建屋の主蒸気管室に設置されているが、飛来物は当該区画のブローアウトパネル（隣接建屋であるタービン建屋との境界部に設置）を貫通して進入してくることが想定されるため、当該ブローアウトパネルの前面（主蒸気管室外※）に防護ネットを設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-5 に示す。

※：現場における施工性等を考慮し主蒸気管室内に設置する場合もある。

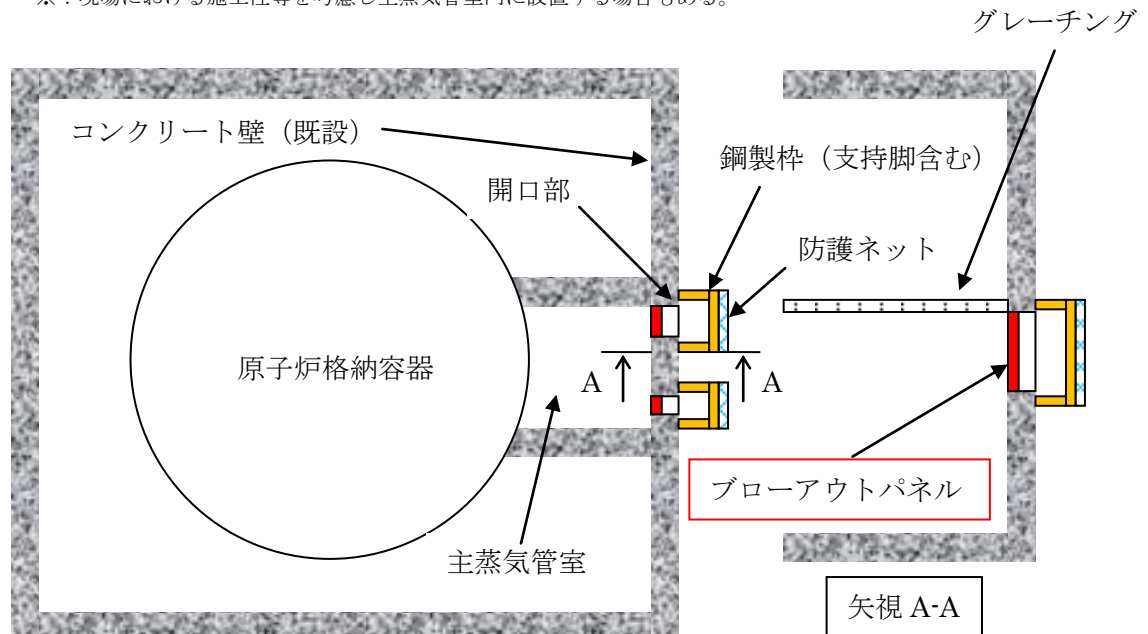


図-5 配管および弁（主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統）の飛来物防護対策イメージ図

b. 防護ネットの設計

防護ネットは設置箇所の既存建屋床もしくは壁（コンクリート）にアンカーボルトにて固定する。防護ネットは金網を2枚重ねとし、金網の四辺はワイヤーロープにて支持して、ワイヤーロープを鋼製枠に締結する構造としており、飛来物補足時に金網の変形を拘束しない設計としている。

このため、飛来物の衝突エネルギーは金網の変形として吸収し、金網に生じた荷重は四辺のワイヤーロープの変形として伝達され、ワイヤーロープの変形により生じた張力は鋼製枠にて支持される。

以下に金網、ワイヤーロープ、鋼製枠が設計飛来物を補足するのに十分な強度を有しているか検討した。

なお、今回使用する防護ネット（金網）については、落石防護用の金網として使用されているものであり、防護ネットの設計にあたっては、落石防護金網の設計において一般的に用いられている「落石対策便覧」を適用して行った。適用にあたっては、今回想定する飛来物は落石に比べて高速で防護ネットに衝突することを考慮し、衝突部の金網に発生する張力（強度）については、この張力を用いて算出される金網の吸収エネルギーを小さくして、より厳しい評価となるよう以下のとおり取扱ったが、高速飛来物への適用性等、不確実性があるため、現在、検討を行っている。

項目	今回の設計	落石対策便覧
衝突部の金網に発生する張力	$P=D \times Pa'$	$P=1.5D \times Pa'$

※：「落石対策便覧」を用いて算出すると、飛来物が金網に接触する長さは飛来物直径  $D[m]$  の 1.5 倍になるため、衝突部の金網に発生する張力  $P[kN]$  は大きくなることから、金網で吸収できるエネルギー  $E_n (=2P \sin \theta \cdot \delta)$   $[kJ]$  は増加する。  
 なお、今回の設計において飛来物直径  $D$  は鋼製材の形状  $0.2m \times 0.3m$  の平均値  $0.25m$  としており（等価円直径  $0.27m$  より小さいものとして選定）、「落石対策便覧」においては落石の直径を  $D$  としている。

防護ネットは設置箇所全てに共通仕様であり、設置箇所の開口部（面積）を十分カバーできる大きさを選定して設置する。今回、防護ネットを設置する箇所の開口寸法と設置する防護ネットの寸法を表-4 に示す。

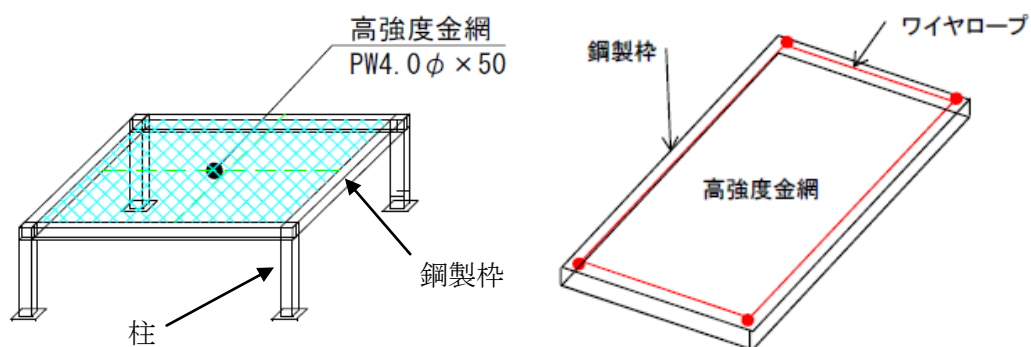


図-6 防護ネットの構造イメージ図

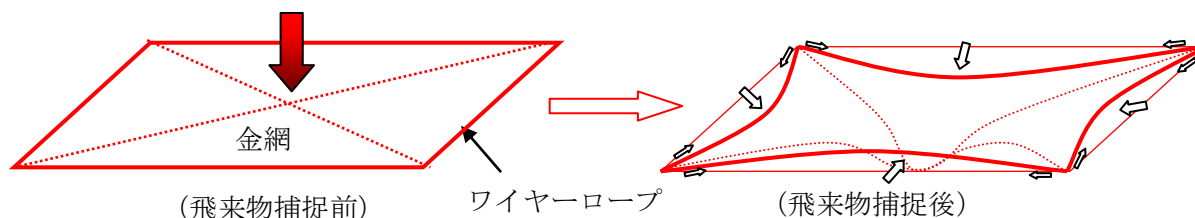


図-7 金網とワイヤロープの変形イメージ

表-4 防護ネット設置箇所の開口寸法と防護ネットの寸法一覧

防護対象設備	防護ネット設置箇所	開口寸法	防護ネット寸法
原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）	防護対象設備設置エリア上部開口部	9.5m×5.2m	10.5m×5.7m <sup>※</sup>
配管、弁およびろ過装置（原子炉補機冷却海水系統）	防護対象設備設置エリア上部開口部	9.5m×2.4m	10.2m×3.4m
ディーゼル機関	ディーゼル発電機室の壁面開口部	2.4m×2.4m	3.0m×3.0m
配管および弁（主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統）	ブローアウトパネル開口部（2箇所）	3.5m×1.75m	4.0m×2.5m
		1.5m×1.75m	

※：現場における施工性等を考慮し2組（5.3m×5.7m/組）設置する場合もある。

(a) 金網の強度評価

金網の強度評価は、次のとおり実施する。

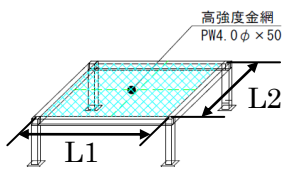
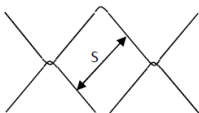
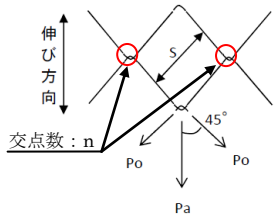
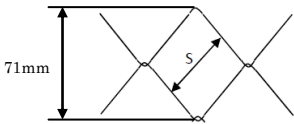
- ・ 金網の引張試験結果から 1/2 許容荷重 (安全率 2) の金網伸び量を設定する
- ・ 1/2 許容荷重 (安全率 2) における金網の許容強度を求める
- ・ 飛来物が衝突した際の金網に発生する張力を求める
- ・ 金網の伸び量から飛来物衝突時の金網変位量を求める
- ・ 金網に発生する張力と金網変位量から金網の吸収エネルギーを求める
- ・ 金網の吸収エネルギーが鋼製材の衝突エネルギーより大きいことを確認する

イ. 原子炉補機冷却海水ポンプ (配管、弁およびろ過装置含む)

(イ) 金網の諸元

金網の諸元を表-5 に示す。

表-5 金網の諸元

設置 寸法	材質	JIS G3506 硬鋼線材 (SWRH62A) JIS G3548 亜鉛めっき鋼線
金網物性 (形状・素線強度)	寸法	 <p>&lt;原子炉補機冷却海水ポンプの場合&gt; L1=10.5m、L2=5.7m &lt;ろ過装置の場合&gt; L1=10.2m、L2=3.4m</p>
	素線径	d=φ4mm
	金網の目合い	 <p>S=50mm</p>
	素線の引張強さ	1400N/mm <sup>2</sup>
	素線の許容引張応力度	$\sigma_s = 700\text{N/mm}^2$ (安全率 2)
	素線の許容線強度	$P_o = d^2/4 \times \pi \times \sigma_s = 8796\text{N}$
金網交点の強度	線交点強度	 <p><math>P_a = 2 \times P_o \times \cos 45^\circ = 12439\text{N}</math></p>
	金網の伸び方向 1m 当たりの交点数	 <p><math>n = 1000/71 = 14</math> 個</p>
	金網の許容強度	$P_a' = P_a \times n/1000 = 174.1\text{kN/m}$

金網の伸び	金網 1 目当たりの伸び量	L=21mm ※：金網メーカーの引張試験結果（図-8 参照）より設定（Po=8800N 相当の伸び量の最小値とする）
	金網の 1m 当たりの伸び量	$\Delta H=L \times n=294\text{mm}$
	伸び方向 1m 当たりの伸び比	$\varepsilon = \Delta H/1000=0.294$

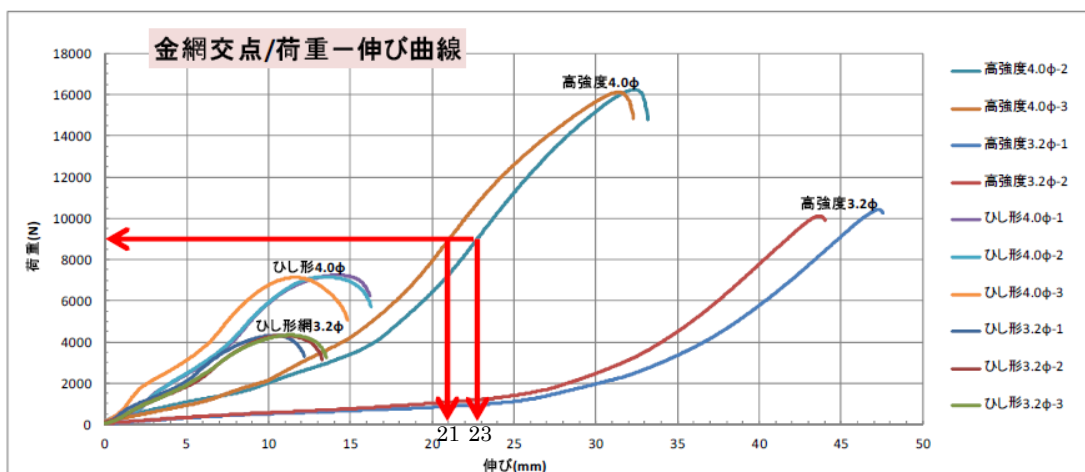


図-8 荷重と伸びの関係（引張試験結果）

(ロ) 飛来物の諸元

飛来物として想定する鋼製材の諸元を表-6 に示す。

表-6 鋼製材の諸元

サイズ	4.2m×0.3m×0.2m
質量	m=135kg
最大水平速度	Vh=57m/s
最大鉛直速度	Vv=38m/s
衝突速度	V=57m/s (Max(Vh, Vv)とする)
金網への衝突エネルギー	$E=1/2 \times m \times V^2/1000=219.3\text{kJ} \Rightarrow 220\text{kJ}$

(ハ) 金網に発生する張力

- ・衝突する飛来物の直径

$$D=0.25\text{m}^*$$

※：鋼製材の形状は短辺 0.2m×長辺 0.3m であり、短辺と長辺の平均値 0.25m の長さで線接触すると仮定

- ・衝突部の金網に発生する張力

$$P=D \times Pa' = 43.53\text{kN}$$

(ニ) 金網の吸収エネルギー

①長辺方向の場合（【 】内はろ過装置の場合を示す）

- ・金網の固定間隔（梁間隔）

$$L1=10.5\text{m} \text{【}10.2\text{m}\text{】}$$

- 衝突部の金網変位角

$$\theta = \cos^{-1}[L1/\{(L1+L') \times (1+\varepsilon)\}] = 39.4^\circ$$

ここで、 $L'$  : 固定間隔に対する余尺=0

- 金網の最大変位量

$$\delta 1 = L1/2 \times \tan \theta = 4.31\text{m} \text{【}4.19\text{m}\text{】}$$

- 金網の吸収エネルギー

$$En1 = 2 \times P \times \sin \theta \times \delta 1 = 238.2\text{kJ} \text{【}231.5\text{kJ}\text{】}$$

- ②短辺方向の場合 (【 】内はろ過装置の場合を示す)

- 金網の固定間隔 (梁間隔)

$$L2=5.7\text{m} \text{【}3.4\text{m}\text{】}$$

- 衝突部の金網変位角

$$\theta = \cos^{-1}[L2/\{(L2+L') \times (1+\varepsilon)\}] = 39.4^\circ$$

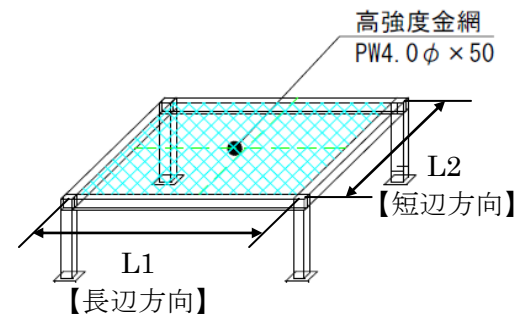
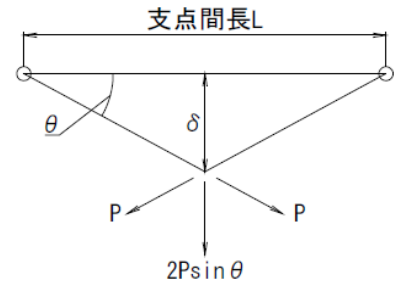
ここで、 $L'$  : 固定間隔に対する余尺=0

- 金網の最大変位量

$$\delta 2 = L2/2 \times \tan \theta = 2.34\text{m} \text{【}1.40\text{m}\text{】}$$

- 金網の吸収エネルギー

$$En2 = 2 \times P \times \sin \theta \times \delta 2 = 129.3\text{kJ} \text{【}77.4\text{kJ}\text{】}$$



- (ホ) 評価結果 (【 】内はろ過装置の場合を示す)

金網は2枚重ねて設置することから、金網2枚で吸収できるエネルギーは上記(ニ)項の①と②を足し合わせたものとなり 367.5kJ【308.9kJ】となる。これに対して、鋼製材の衝突エネルギーは 220kJ であるため、金網の吸収エネルギーの方が大きいことから、金網で鋼製材を受け止めることができることを確認した。また、金網の最大変位量  $\delta_{\max}$  ( $\delta 1$  と  $\delta 2$  の大きい方) は 4.31m【4.19m】であり、防護対象設備と金網の離隔距離は 4.31m【4.19m】以上確保することから、金網が防護対象設備に接触することはない。

- ロ. ディーゼル機関

- (イ) 金網の諸元

金網の寸法以外は上記イ. 項に同じ。

- ・金網の寸法

$$L1=3\text{m}, L2=3\text{m}$$

- (ロ) 飛来物の諸元

飛来物の諸元は上記イ. 項に同じ。

- (ハ) 金網に発生する張力

金網に発生する張力は上記イ. 項に同じ。

- (ニ) 金網の吸収エネルギー

- ①長辺方向の場合

- ・金網の固定間隔 (梁間隔)

$$L1=3\text{m}$$

- ・衝突部の金網変位角



$$\theta = \cos^{-1}[L1/\{(L1+L') \times (1+\varepsilon)\}] = 48.5^\circ$$

ここで、L' : 固定間隔に対する余尺=0.5m

- ・ 金網の最大変位量

$$\delta 1 = L1/2 \times \tan \theta = 1.70\text{m}$$

- ・ 金網の吸収エネルギー

$$En1 = 2 \times P \times \sin \theta \times \delta 1 = 110.8\text{kJ}$$

②短辺方向の場合

- ・ 金網の固定間隔 (梁間隔)

$$L2 = 3\text{m}$$

- ・ 衝突部の金網変位角

$$\theta = \cos^{-1}[L2/\{(L2+L') \times (1+\varepsilon)\}] = 48.5^\circ$$

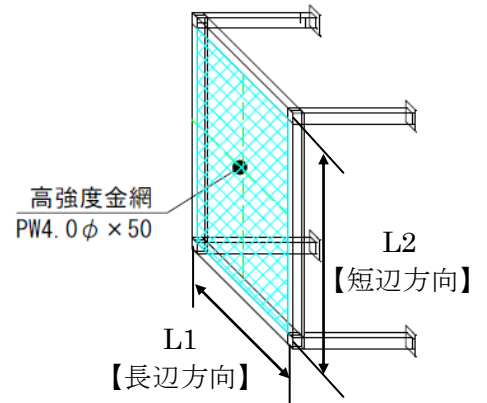
ここで、L' : 固定間隔に対する余尺=0.5m

- ・ 金網の最大変位量

$$\delta 2 = L2/2 \times \tan \theta = 1.70\text{m}$$

- ・ 金網の吸収エネルギー

$$En2 = 2 \times P \times \sin \theta \times \delta 2 = 110.8\text{kJ}$$



(ホ) 評価結果

金網は2枚重ねて設置することから、金網2枚で吸収できるエネルギーは上記(ニ)項の①と②を足し合わせたものとなり 221.6kJ となる。これに対して、鋼製材の衝突エネルギーは 220kJ であるため、金網の吸収エネルギーの方が大きいことから、金網で鋼製材を受け止めることができることを確認した。また、金網の最大変位量  $\delta_{max}$  ( $\delta 1$  と  $\delta 2$  の大きい方) は 1.70m であり、防護対象設備と金網の離隔距離は 1.70m 以上確保することから、金網が防護対象設備に接触することはない。

ハ. 配管および弁 (主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統)

(イ) 金網の諸元

金網の寸法以外は上記イ. 項に同じ。

- ・ 金網の寸法

$$L1 = 4\text{m}, L2 = 2.5\text{m}$$

(ロ) 飛来物の諸元

飛来物の諸元は上記イ. 項に同じ。

(ハ) 金網に発生する張力

金網に発生する張力は上記イ. 項に同じ。

(ニ) 金網の吸収エネルギー

①長辺方向の場合

- ・ 金網の固定間隔 (梁間隔)

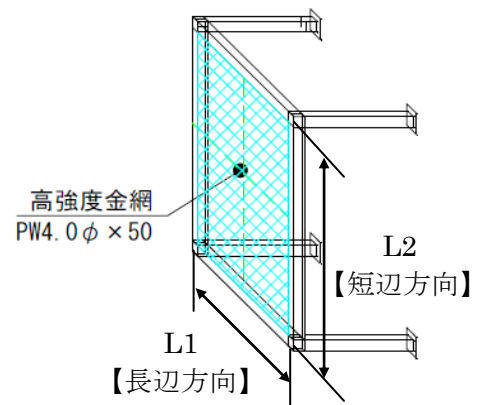
$$L1 = 4\text{m}$$

- ・ 衝突部の金網変位角

$$\theta = \cos^{-1}[L1/\{(L1+L') \times (1+\varepsilon)\}] = 46.6^\circ$$

ここで、L' : 固定間隔に対する余尺=0.5

- ・ 金網の最大変位量



$$\delta 1 = L1/2 \times \tan \theta = 2.11\text{m}$$

- ・金網の吸収エネルギー

$$En1 = 2 \times P \times \sin \theta \times \delta 1 = 133.5\text{kJ}$$

②短辺方向の場合

- ・金網の固定間隔（梁間隔）

$$L2 = 2.5\text{m}$$

- ・衝突部の金網変位角

$$\theta = \cos^{-1}[L2 / \{(L2 + L') \times (1 + \varepsilon)\}] = 49.9^\circ$$

ここで、L' : 固定間隔に対する余尺 = 0.5m

- ・金網の最大変位量

$$\delta 2 = L2/2 \times \tan \theta = 1.48\text{m}$$

- ・金網の吸収エネルギー

$$En2 = 2 \times P \times \sin \theta \times \delta 2 = 98.6\text{kJ}$$

(ホ) 評価結果

金網は2枚重ねて設置することから、金網2枚で吸収できるエネルギーは上記(ニ)項の①と②を足し合わせたものとなり 232.1kJ となる。これに対して、鋼製材の衝突エネルギーは 220kJ であるため、金網の吸収エネルギーの方が大きいことから、金網で鋼製材を受け止めることができることを確認した。また、金網の最大変位量  $\delta_{\max}$  ( $\delta 1$  と  $\delta 2$  の大きい方) は 2.11m であり、防護対象設備と金網の離隔距離は 2.11m 以上確保することから、金網が防護対象設備に接触することはない。

(b) ワイヤロープの強度評価

ワイヤロープの強度評価は、次のとおり実施する。

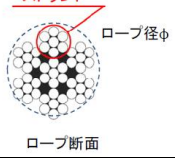
- ・ 金網の自重と飛来物捕捉時の荷重（変形量）からワイヤロープの張力（荷重）を求める
- ・ ワイヤロープに発生する荷重が許容荷重以内であることを確認する

以下に原子炉補機冷却水ポンプの強度評価例を示す。

イ. ワイヤロープの諸元

ワイヤロープの諸元を表-7 に示す。

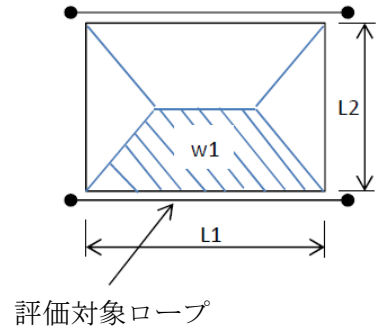
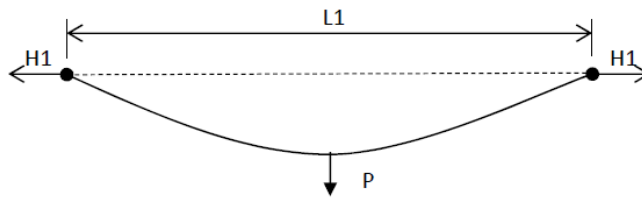
表-7 ワイヤロープの諸元

断面構成		7×7 鋼製
ロープ径		$\phi = 16\text{mm}$
断面積		$A_w = 125\text{mm}^2$
弾性係数		$E_w = 100\text{kN/mm}^2$
破断荷重		$T_b = 165\text{kN}$
許容荷重		$T_y = 82.5\text{kN}$ (安全率 2)



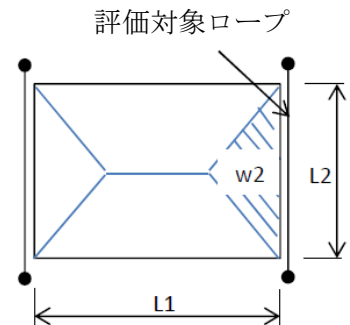
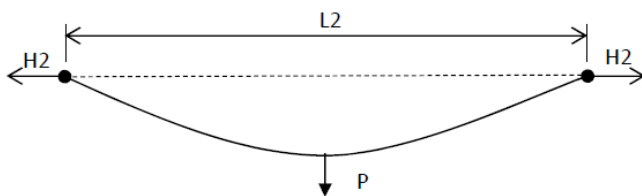
ロ. ワイヤロープに発生する張力（荷重）

①長辺方向の場合



- 金網の固定間隔（梁間隔）  
 $L1=10.5\text{m}$ 、 $L2=5.7\text{m}$
- 金網の自重  
 $w_0=4.6\text{kg/m}^2=0.05\text{kN/m}^2$
- ワイヤロープ 1 本にかかる金網の自重  
 $w_1=1/4 \times L_2 \times \{L_1 + (L_1 - 2 \times 1/2 \times L_2)\} \times w_0=1.09\text{kN}$
- ワイヤロープ 1 本にかかる金網の等分布荷重  
 $w_{p1}=w_1/L_1=0.10\text{kN/m}$
- ワイヤロープ 1 本にかかる飛来物衝撃による等分布荷重  
 $w_{p2}=P/L_1=4.15\text{kN/m}$
- 荷重によるワイヤロープのたわみ量  
 $f_1=0.2^* \times L_1=2.1\text{m}$   
※：金網メーカーの試験結果より固定間隔の 20%とする。（別紙-3 参照）
- ロープ発生荷重  
 $H_1=(w_{p1}+w_{p2}) \times L_1^2 / (8 \times f_1)=27.9\text{kN}$

②短辺方向の場合



- 金網の自重  
 $w_0=4.6\text{kg/m}^2=0.05\text{kN/m}^2$
- ワイヤロープ 1 本にかかる金網の自重  
 $w_2=1/2 \times L_2 \times 1/2 \times L_2 \times w_0=0.41\text{kN}$
- ワイヤロープ 1 本にかかる金網の等分布荷重  
 $w_{p1}=w_2/L_2=0.07\text{kN/m}$
- ワイヤロープ 1 本にかかる飛来物衝撃による等分布荷重  
 $w_{p2}=P/L_2=7.64\text{kN/m}$
- 荷重によるワイヤロープのたわみ量  
 $f_2=0.2^* \times L_2=1.14\text{m}$   
※：金網メーカーの試験結果より固定間隔の 20%とする。（別紙-3 参照）
- ロープ発生荷重

$$H2 = (wp1+wp2) \times L2^2 / (8 \times f2) = 27.5\text{kN}$$

ハ. 評価結果

鋼製材の衝突によりワイヤーロープに発生する荷重は、長辺方向が 27.9kN、短辺方向が 27.5kN であり、何れも許容荷重 82.5kN 以内であることを確認した。

(c) 鋼製枠の強度評価

ワイヤーロープを固定する鋼製枠は下図に示す反力  $R_p, N_p, M_p$  を外力として、この外力により鋼製枠に発生する応力度が許容応力度を満足することを確認する。

以下に原子炉補機冷却水ポンプの強度評価例を示す（ワイヤーロープ許容荷重での評価条件であり、他の鋼製枠設置箇所も同評価となる）。

イ. 鋼製枠の諸元

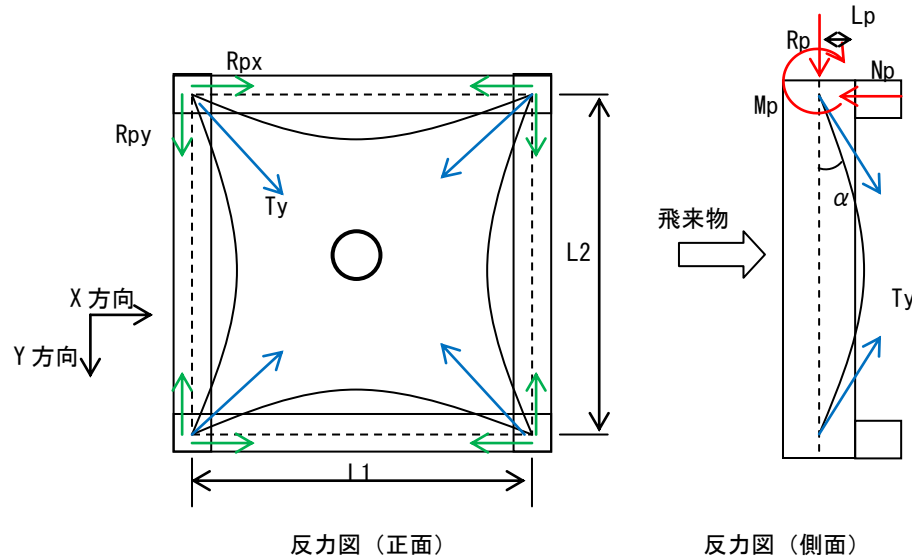
鋼製枠の諸元を表-8 に示す。

表-8 鋼製枠の諸元

サイズ	H-244×175×7×11
断面積	$A = 55.49\text{cm}^2$
断面係数	$Z_y = 112\text{cm}^3$ (弱軸)
断面二次モーメント	$I_y = 984\text{cm}^4$ (弱軸)
断面二次半径	4.21cm (弱軸)

ロ. 鋼製枠に発生する外力

鋼製材の衝突荷重は、金網およびワイヤーロープを介して鋼製枠に作用することから、鋼製枠への入力荷重は、ワイヤーロープ荷重 ( $T_y$ ) であり、ワイヤーロープの許容荷重を用いて評価する。



- ワイヤーロープ許容荷重  
 $T_y = 82.5\text{kN}$
- ワイヤーロープ変位角

$$\alpha = \tan^{-1}(4 \times f_i / L_i) = 38.7^\circ$$

ここで、 $f_i$  : ワイヤロープたわみ量 =  $0.2L_i$

・ 軸方向外力

$$N_p = (N_1 + N_2) \times T_y \times \sin \alpha = 103.2 \text{ kN}$$

ここで、 $N_1, N_2$  : 金網設置枚数 = 2 枚

・ 軸直角方向外力

$$R_p = (N_1 + N_2) \times T_y \times \cos \alpha = 128.8 \text{ kN}$$

・ 底面にかかるモーメント

$$M_p = R_p \times L_p = 15.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ここで、 $L_p$  : 鋼製枠定着面からロープ取付点までの距離 =  $0.122 \text{ m}$

・ 鋼製枠に作用する曲げ応力

$$M_p / Z_y = 0.14 \text{ kN/mm}^2$$

・ 軸直角方向 (x 成分、y 成分) 外力

$$R_{px} = R_{py} = R_p / \sqrt{2} = 91.1 \text{ kN}$$

・ 鋼製枠に作用する軸方向圧縮応力

$$R_{px} / A = 91100 / 5549 = 16.4 \text{ N/mm}^2$$

#### ハ. 評価結果

鋼製枠に発生する曲げ応力は  $0.14 \text{ kN/mm}^2$  であり、許容曲げ応力  $0.21 \text{ kN/mm}^2$  を満足することを確認した。ここで、鋼製枠は  $H-244 \times 175 \times 7 \times 11$  (弱軸断面係数  $Z_y = 112 \text{ cm}^3$ ) を使用し、発生モーメントにより弱軸方向の許容応力度に対して評価を行った。

軸直角方向外力により鋼製枠に発生する軸方向圧縮応力は  $16.4 \text{ N/mm}^2$  (X, Y 方向とも) であり、許容圧縮応力  $27.4 \text{ N/mm}^2$  を満足することを確認した。ここで、許容圧縮応力は鋼製枠の H 鋼長さに依存することから、最長となる  $10.5 \text{ m}$  にて評価を行った。

曲げ応力、圧縮応力とも許容値以下であり、ワイヤロープから伝達した荷重により、鋼製枠は変形しないことから、鋼製枠から支持脚へのモーメントは作用せず、支持点へは軸方向外力 ( $N_p$ ) が作用する。

#### (d) 鋼製パイプ対策

設計飛来物のうち鋼製パイプについては、作業のために設置する仮設足場等に使用されており、確実に飛散を防止することは困難と考えられる。鋼製パイプの直径は  $50 \text{ mm}$  であり、 $50$  目合いの防護ネット (金網) をすり抜ける可能性があることから、 $50$  目合いの金網を下図のように互い違いに設置し、すり抜けを防止する。

表-9 に金網の網目寸法のメーカー規格値を示す。金網の網目寸法の許容差は  $\pm 1.5 \text{ mm}$ 、金網の素線径は  $\phi 4 \text{ mm}$  であることから、2 枚のネットが完全に重なって鋼製パイプがすり抜けることは考え難いが、現地据付段階においては完全に重なる箇所がないか確認し、万一、鋼製パイプがすり抜ける箇所があれば、金網の設置位置を調整する。

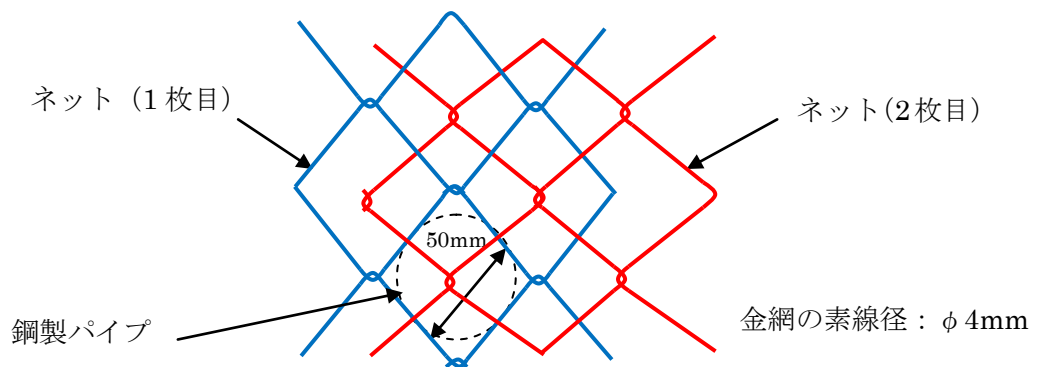


表-9 金網の網目寸法のメーカー規格値

網目寸法 (mm)	許容差 (%)	メーカー規格値 (mm)
50	±3%	48.50～51.50mm

(e) まとめ

以上より、防護対象設備を飛来物から防護するために設置する防護ネット（金網）については、飛来物防護対策にあたって想定する飛来物である鋼製材の衝突エネルギーを吸収でき、防護対象設備と防護ネットとの離隔を適切に取ることにより、防護対象設備への飛来物の衝突を防止できることを確認した。

なお、防護ネットを支える支持脚の設計にあたっては、支持脚に飛来物が衝突することを想定し、防護ネットの落下により防護対象設備に影響を与える場合においては、支持脚への飛来物衝突評価を行い、防護ネットが落下しないことを確認する計画である。

表-10 防護対象設備の評価結果一覧

防護対象設備	吸収エネルギー (kJ) ( $\geq 220$ kJ 以上)	最大変位量 (m)	ワイヤーロープ張力 (kN) ( $\leq 82.5$ kN)	
			長辺方向	短辺方向
原子炉補機冷却海水ポンプ (配管および弁含む)	367.5	4.31	27.9	27.5
ろ過装置 (配管および弁含む)	308.9	4.19	27.7	27.3
ディーゼル機関	221.6	1.70	27.3	27.3
配管および弁 (主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統)	232.1	2.11	27.3	27.3

c. 防護板の設計

防護板は蓄熱室加熱器が設置されている蓄熱室および隣接する吸気ガラリ室の既存建屋床もしくは壁（コンクリート）にアンカーボルトにて固定する。

以下に防護板が鋼製材の貫通を防止できる強度を有しているか検討した。

(a) 防護板の強度評価

イ. 蓄熱室

鋼製材は蓄熱室のコンクリート壁を貫通して防護板に衝突することになるため、防護

板の板厚はコンクリート壁の厚さを考慮して算出する。

蓄熱室のコンクリート壁厚さは18cmであるため、コンクリートの貫通評価に用いている「修正 NDRC 式」(①式)、「Degen 式」(②式) から、衝突速度  $V$  を仮定して、貫通厚さ  $t_p$  を算出すると、衝突速度  $V=33\text{m/s}$  の時に貫通厚さ  $t_p=18\text{cm}$  となる。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8}}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} \leq 1.52 \quad \dots \textcircled{2}$$

ここで、

$x_c$ : 貫入深さ (in)	$\alpha_c$ : 飛来物低減係数	K : $180/\sqrt{F_c}$
W : 飛来物重量 (lb)	N : 形状係数	D : 飛来物直径 (in)
V : 衝突速度 (ft/s)	F <sub>c</sub> : コンクリート強度 (psi)	
$t_p$ : 貫通厚さ (in)	$\alpha_p$ : 飛来物低減係数	

表-11 コンクリート貫通評価諸元

低減係数 $\alpha_c, \alpha_p$	コンクリート強度 F <sub>c</sub>	飛来物重量 W	形状係数 N	飛来物直径 D	衝突速度 V
1.0	24 (N/mm <sup>2</sup> ) ↓ 3480 (psi)	135 (kg) ↓ 298 (lbf)	1.14	27.6 (cm) ↓ 10.9 (in)	33 (m/s) ↓ 108.3 (ft/s)

<貫通評価>

$$x_c = 1.0 \sqrt{4 \times \frac{180}{\sqrt{3480}} \times 298 \times 1.14 \times 10.9 \left( \frac{108.3}{1000 \times 10.9} \right)^{1.8}}$$

$$= 3.35 \text{ (in)}$$

$$t_p = 1.0 \times 10.9 \left\{ 2.2 \left( \frac{3.35}{1.0 \times 10.9} \right) - 0.3 \left( \frac{3.35}{1.0 \times 10.9} \right)^2 \right\}$$

$$= 7.07 \text{ (in)}$$

$$= 17.95 \text{ (cm)} \Rightarrow 18 \text{ (cm)}$$

鋼製材が蓄熱室のコンクリート壁に衝突する際の運動エネルギーは、鋼製材の最大水平速度  $V_1=57\text{m/s}$  から下記のとおり算出される。

$$\bullet WV_1^2/2/1000=220\text{kJ}$$

また、鋼製材が蓄熱室のコンクリート壁を貫通する際に吸収される運動エネルギー

は、上記で算出した衝突速度  $V=33\text{m/s}$  から下記のとおり算出される。

$$\cdot WV^2/2/1000=73\text{kJ}$$

以上より、鋼製材が蓄熱室のコンクリート壁を貫通した後の鋼製材の速度  $V_2$  は下記のとおり算出される。

$$\cdot V_2 = \sqrt{2 \times \frac{(220 - 73)}{135} \times 1000} = 46.7\text{m/s}$$

上記で算出したコンクリート壁貫通後の速度  $V_2$  から、鋼板の貫通評価で用いている BRL 式 (下式) により、鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さを算出すると 8mm となる。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

ここで、

T : 鋼板貫通厚さ (in)

M : ミサイル質量 ( $\text{lb}\cdot\text{s}^2/\text{ft}$ )

V : ミサイル速度 (ft/s)

D : ミサイル直径 (in)

K : 鋼板の材質に関する定数=1

表-12 鋼板貫通評価に係る諸元

ミサイル質量 M	ミサイル速度 V	ミサイル直径 D
13.77 ( $\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}$ )	46.7 (m/s)	276.40 (mm)
↓	↓	↓
9.25 ( $\text{lb}\cdot\text{s}^2/\text{ft}$ )	153.3 (ft/s)	10.9 (in)

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

$$T = \sqrt[3]{\left(\frac{0.5 \times 9.25 \times 153.3^2}{17400 \times 1^2 \times 10.9^{3/2}}\right)^2}$$

$$= 0.31... \text{ (in)}$$

$$= 7.90... \text{ (mm)} \Rightarrow 8 \text{ (mm)}$$

以上より、防護板の板厚は必要最少厚さ 8mm 以上確保することから、鋼製材の貫通を防止できる。

ロ. 吸気ガラリ室

鋼製材は吸気フードを貫通して直接防護板に衝突すると考えられるため、鋼製材の最大水平速度 57m/s (=187.01ft/s) から、上記同様、鋼板の貫通評価で用いている BRL 式により、鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さを算出すると 11mm となる。

以上より、防護板の板厚は必要最少厚さ 11mm 以上確保することから、鋼製材の貫通を防止できる。

(b) まとめ

以上より、防護対象設備を飛来物から防護するために設置する防護板については、飛来物防護対策にあたって想定する飛来物である鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さ以上の板厚を確保することにより、防護対象設備への飛来物の衝突を防止できることを確認した。

d. 飛来物防護対策による防護対象設備の安全機能への影響

飛来物防護対策として今回設置する防護ネット（支持脚含む）および防護板（支持部材含む）（以下「防護ネット等」という）については、防護対象設備近傍に設置するため、防護対象設備の安全機能に影響を与える可能性があることから、防護対象設備の安全機能に影響を与える恐れがないか以下に検討した。

(a) 防護ネット等の損傷等により防護対象設備に及ぼす波及的影響

防護ネット等を防護対象設備近傍に設置する場合、防護ネット等の損傷により防護対象設備に波及的影響を与える可能性がある。

イ. 地震による防護ネット等の落下・転倒

地震により防護ネット等が落下もしくは転倒すると、防護対象設備の安全機能に悪影響を与える可能性がある。

ロ. 防護ネット等の腐食

防護ネット等を支える支持脚、支持部材等が腐食により破損すると、防護対象設備に波及的影響を与える可能性も考えられるが、防護ネットの構成部材である金網、ワイヤーロープは亜鉛メッキが施されており、鋼製枠は防食塗装を施すこととしている。また、防護板の鋼製部材である防護板（鋼製）、支持部材（鋼材）は防食塗装を施すこととしており耐食性を有していることから、防護ネット等の腐食による波及的影響はないものと考えている。

ハ. 火災

防護ネット等が燃え火災となれば防護対象設備に波及的影響を与える恐れがあるが、防護ネットの構成部材である金網（硬鋼線）、鋼製枠（鋼製）、ワイヤーロープ（鋼線）、および防護板の構成部材である防護板（鋼製）、支持部材（鋼材）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護ネット等に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。

(b) 防護ネット等の設置により防護対象設備の周辺環境が変化することによる悪影響

防護ネット等の設置により防護対象設備の冷却、アクセス性などの周辺環境が変わる

ことにより、防護対象設備の安全機能に影響を与える可能性がある。

イ. 冷却空気等の流路阻害

防護ネット等は飛来物の進入が想定される建屋開口部や防護対象設備を収めるピット開口部に設置するケースがあるが、これらは防護対象設備にとって必要な冷却空気等の流路でもあり、防護ネット等がこれを阻害し防護対象設備の安全機能に悪影響を及ぼす可能性がある。

ロ. 消火活動への悪影響

防護ネット等が防護対象設備周辺で発生した火災の消火活動の妨げになり、防護対象設備の安全機能に悪影響を及ぼす可能性がある。

(c) 評価結果

上記 (a)、(b) 項から、防護対象設備に影響を与える可能性のある①地震による防護ネット等の落下・転倒、②冷却空気等の流路阻害、③消火活動への悪影響による防護対象設備の安全機能への影響について評価した結果、①防護ネット等は基準地震動に対して耐震性を確保すること、②防護ネット等が開口部を閉塞することはないこと、③防護ネット等が消火あるいは消火活動の妨げになることはないことから、防護対象設備の安全機能に影響を与えないことを確認した。評価結果を表-13に示す。

(d) その他

防護対象設備の安全機能への影響はないが、防護ネット等の設置により防護対象設備のメンテナンス性に影響を与える可能性が考えられる。

防護対象設備のうち、原子炉補機冷却海水ポンプの点検にあたっては、当該ポンプ設置エリア上部開口部に設置している防護ネットを取り外す必要があるが、防護ネットはアンカーボルトにて固定されており、また当該ポンプ点検用クレーンにて容易に取り外し可能なことから、当該ポンプのメンテナンス性に影響を与えることはない。一方、当該ポンプ以外の防護対象設備の点検にあたっては、防護ネット等の取り外しは不要であり、これら防護対象設備のメンテナンス性に影響を与えることはない。

なお、防護ネット等の点検項目は外観目視点検であり、取り付け状態のまま点検が可能である（必要の際にはアンカーボルトで固定されていることから取り外し可能）。



表-13 飛来物防護対策による防護対象設備の安全機能への影響評価結果一覧

項目	防護対象設備への影響内容	評価結果				
		原子炉補機冷却海水ポンプ (配管、弁およびろ過装置含む)	ディーゼル機関	蓄熱室加熱器	配管および弁（主蒸気系統、主給水系統、制御用空気圧縮系統）	
防護ネット等の損傷等により防護対象設備に及ぼす波及的影響	地震による防護ネット等の落下・転倒	地震により防護ネット等が落下もしくは転倒すると、防護対象施設の安全機能に悪影響を与える可能性がある。	防護ネット及び支持脚は基準地震動に対して耐震性を確保するため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	<p>&lt;排気フード内（建屋外）設置の場合&gt; 防護ネット及び支持脚は基準地震動に対して耐震性を確保すること、仮にこれらが落下しても排気流路は確保されることから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。</p> <p>&lt;建屋内設置の場合&gt; 防護ネット及び支持脚は基準地震動に対して耐震性を確保するため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。</p>	<p>&lt;蓄熱室&gt; 防護板の設置に当っては基準地震動に対する耐震性を確保するため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。</p> <p>&lt;吸気ガラリ室&gt; 防護板は基準地震動に対して耐震性を確保すること、仮に転倒しても吸气流路を閉塞させること考えがたいことから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。</p>	<p>&lt;主蒸気管室外設置の場合&gt; 防護ネット及び支持脚は基準地震動に対して耐震性を確保すること、仮に落下してもタービン建屋内であり防護対象設備がないことから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。</p> <p>&lt;主蒸気管室内設置の場合&gt; 防護ネット及び支持脚は基準地震動に対して耐震性を確保するため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。</p>
	防護ネット等の腐食	防護ネット等を支える支持脚、支持部材等が腐食により破損すると、防護対象施設に波及的影響を与える可能性がある。	防護ネットの構成部材である金網、ワイヤーロープは亜鉛メッキが施されており、鋼製枠は防食塗装を施すこととしている。また、防護板の鋼製部材である防護板（鋼製）、支持部材（鋼材）は防食塗装を施すこととしており耐食性を有していることから、防護ネット等の腐食による波及的影響はないものと考えている。			
	火災	防護ネット等が燃え火災となれば防護対象設備に波及的影響を与える恐れがある。	防護ネットの構成部材である金網（硬鋼線）、鋼製枠（鋼製）、ワイヤーロープ（鋼線）、および防護板の構成部材である防護板（鋼製）、支持部材（鋼材）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護ネット等に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。			
防護ネット等の設置により防護対象設備の周辺環境が変化することによる悪影響	冷却空気等の流路阻害	防護ネット等は飛来物の進入が想定される建屋開口部や防護対象設備を収めるピット開口部に設置するケースがあるが、これらは防護対象設備にとって必要な冷却空気流路でもあり、防護ネット等がこれを阻害し防護対象設備の安全機能に悪影響を及ぼす可能性がある。	防護ネット（金網）が開口部を閉塞することではなく、冷却空気流路は十分に確保できるため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護ネット（金網）が開口部を閉塞することではなく、冷却空気流路は十分に確保できるため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護板は既給気開口面積を上回るよう設置するため、開口部を閉塞することではなく、吸气流路は十分に確保できることから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護ネット（金網）が開口部を閉塞することではなく、蒸気排出流路は十分に確保できるため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。
	消火活動への悪影響	防護ネット等が防護対象設備周辺で発生した火災の消火活動の妨げになり、防護対象設備の安全機能に悪影響を及ぼす可能性がある。	海水ポンプエリアの消火が必要な場合においても防護ネットと床との間には十分な離隔を確保すること、ネット自体も水を通すことから、消火活動に悪影響を与えることはない。防護ネット設置後においても、開口部を閉塞することはないため、消火活動の妨げになることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	当該エリアはCO2消火自動設備を備えており、排気口付近にCO2放出口はないこと、防護ネット設置により密閉することを阻害しないことから、防護ネットが消火の妨げになることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	壁面の防護板が消火活動の妨げになることはなく、蓄熱室加熱器との離隔も十分にとることから、消火活動の妨げになることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。なお、当該エリアには可燃物等はなく火災発生の可能性はない。	設置箇所は壁面近傍であり消火活動に影響を与えることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。

ワイヤーロープのたわみ量の設定について

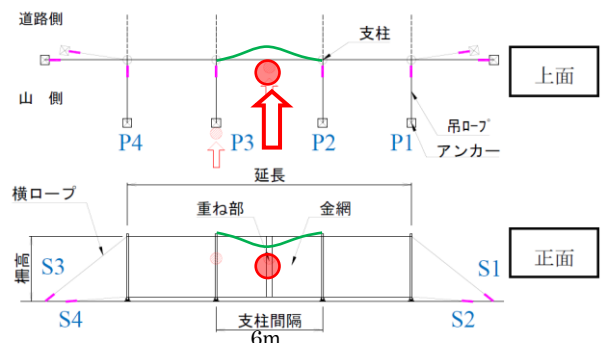
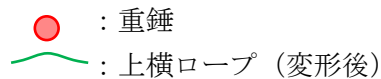
防護ネットの設計において、金網を支持するワイヤーロープの設計条件として、たわみ量を固定間隔の20%としている根拠は次のとおりである。

(メーカー確認試験)

硬鋼線網を使用した防護ネットについて衝撃吸収装置の有効性を確認した試験において、従来ワイヤーロープを使用した比較対象ケースの試験結果が、今回、設置する防護ネットと同様、高強度金網+ワイヤーロープの組合せを使用している。

名称	寸法・規格
高強度金網	φ4.0×50
上横ロープ	3×7 φ18

(防護ネットのロープは、7×7 φ16)



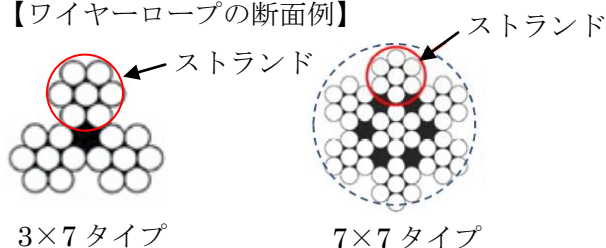
【試験装置 概要図】

当該試験の結果、および防護ネット設計に適用するロープたわみ量の考え方は次のとおり。

- ✓ 重錘の衝突エネルギー137.8kJを受けてネット変位量は最大2.4mに達し、上横ロープは破断した。上横ロープが破断する直前のネット変位量は2.0mであることから、画像により判断したところ1.2mのたわみ量を計測した。
- ✓ 上横ロープの固定間隔は支柱間隔と同じ6.0mであり、破断前のロープたわみ量1.2mから、ロープのたわみ量と固定間隔の比は、 $1.2\text{m}/6.0\text{m}=0.2$
- ✓ よって、ネットに衝突した際のネットを固定しているロープのたわみ量fは固定間隔の20%と設定した。

上記試験で使用されているワイヤーロープは3×7タイプ(7本よりで1本にしたストランドを3本よりにした製品)であるが、今回使用するワイヤーロープは7×7タイプであり、ロープ径はφ18とφ16でほぼ同じである。同一径のロープでは、一般にストランド数が増加するほどストランド径は細くなり、ロープは柔軟性を増してよりたわみやすいことから、上記試験結果を適用することは妥当と考える。

【ワイヤーロープの断面例】



試験状況を次ページに示す。

(試験状況)

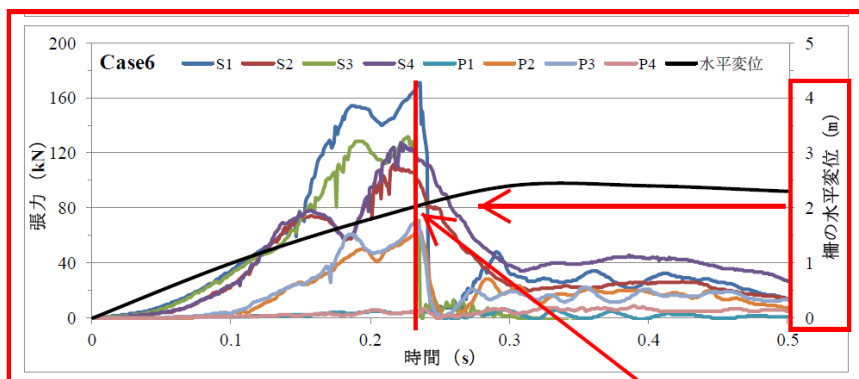
1. 重錘衝突前のネット状況



2. 重錘衝突位置のネット変位量が 2.0m に達した状況 (ワイヤー健全状態での伸び位置)



3. 上横ロープが部分破断し、重錘衝突位置のネット変位量が最大 2.4m に達した状況



重錘先端（網位置）の変位（黒線）から 2.0m 時点（2.時点）では各部張力が働いておりワイヤーロープは破断していないが、その後破断（3. 時点）し、張力が低下している。

## 27. 竜巻襲来時において排気筒に求められる機能について

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第6条において、『安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。』旨規定されており、同規則第2条第2項第5号において、「安全機能」とは次のとおり定義されている。

＜実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（抜粋）＞

第二条

2

五 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であつて、次に掲げるものをいう。

イ その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能

ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所（以下「工場等」という。）外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

排気筒は「事故時における環境への放射線影響軽減機能」と、「平常時における環境への放射線影響軽減機能」を有しており、このうち竜巻防護施設（耐震Sクラス施設）として求められる機能は「事故時における環境への放射線影響軽減機能」であるが、この機能は上記第2条第2項第5号ロに該当する。

しかしながら、竜巻が原因で排気筒にその安全機能を期待する放射性物質の放出を伴う事故（LOCA等）は発生しないため、竜巻襲来時において排気筒に求められる安全機能要求はないと考える。

以上から、排気筒への飛来物対策としては、屋外に保管されている各種資機材等に十分な重さのウェイトを取付ける等の飛散防止対策を実施するとともに、排気筒が損傷した場合は応急処置を行う。

飛来物による排気筒の損傷を確認した場合は、放射性物質の放出低減機能喪失（アニュラス空気浄化系が2系統とも動作不能）となることから、泊発電所原子炉施設保安規定に則り、速やかにプラントを停止する。その後応急処置を行うこととなるが、仮に鋼製材が長手方向に衝突し排気筒上部に全周破断が生じたケースを想定した場合（鋼製材のサイズは0.2×0.3mであることから破断幅は0.3mを想定）の応急処置方法の例を下記に示す。

＜応急処置方法の例＞

- ①-1\* 材料手配、当て板製作・・・約2週間
- ①-2\* 排気筒上部まで足場設置・・・約2週間
- ※：①-1と①-2は並行して実施
- ②当て板溶接・・・約1週間

応急処置期間：①+②＝約3週間

なお、排気筒の損傷により本来排気筒を通して高所から放出される放射性物質が低所から放出

されることになるため、保守的に放射性物質の全量が地上放出されるとして、平常時の敷地等境界外における実効線量を評価した。また、参考に事故時（原子炉冷却材喪失（設計基準事故）を想定）の敷地等境界外における実効線量も合わせて評価した。

#### <評価結果>

##### ①平常時

解析条件および評価結果の比較を、それぞれ表-1 および表-2 に示す。

飛来物による排気筒の損傷により、放射性物資の全量が地上放出されとした場合の敷地等境界外における実効線量は年間約  $8.1 \mu\text{Sv}$  であり、排気筒放出時の実行線量は年間約  $7.9 \mu\text{Sv}$  であること、また、線量目標値である年間  $50 \mu\text{Sv}$  に対しても十分な裕度があることから、排気筒損傷による被ばく影響は小さいと考える。

なお、排気筒上部の全周破断（破断幅  $0.3\text{m}$ ）を想定した場合の応急処置期間は約 3 週間であり、応急処置箇所数によって応急処置期間が長くなる可能性はあるが、実際の被ばく影響は更に小さくなると考える。

##### ②事故時【参考】

解析条件および評価結果の比較を、それぞれ表-3 および表-4 に示す。

飛来物による排気筒の損傷により、放射性物資の全量が地上放出されとした場合の敷地等境界外における最大の実効線量は約  $0.23\text{mSv}$  であり、排気筒放出時の実行線量と同等であること、また、判断基準である  $5\text{mSv}$  に対しても十分な裕度があることから、排気筒損傷による被ばく影響は小さいと考える。

表1 平常時被ばく解析条件の比較

項 目	設置許可添付9章の解析条件	影響評価における解析条件
気象データ (拡散)	排気筒風 (1, 2, 3号機とも)	排気筒風(1, 2号機) 地上風(3号機)
放出源高さ	排気筒放出 (1, 2, 3号機とも)	排気筒放出(1, 2号機) 地上放出: 0 m (3号機)

※ どちらの解析も建屋拡散を考慮していない。

※ その他評価条件については、設置許可申請書添付9と同様。

表2 平常時被ばく評価結果の比較

項 目	設置許可添付9章の評価結果	影響評価における評価結果
希ガスの $\gamma$ 線からの外部 被ばくによる実効線量	約3.6 $\mu$ Sv/y	約3.7 $\mu$ Sv/y
液体廃棄物中の放射性物質 摂取に伴う内部被ばくによ る実効線量	約2.6 $\mu$ Sv/y	同 左
よう素の摂取に伴う内部 被ばくによる実効線量	約1.7 $\mu$ Sv/y	約1.8 $\mu$ Sv/y
合 計	約7.9 $\mu$ Sv/y	約8.1 $\mu$ Sv/y

※ 上記の値は、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」に示される線量目標値の年間50  $\mu$ Svを下回る。

表3 事故時被ばく解析条件の比較

項目	設計基準事故(原子炉冷却材喪失)の解析条件	影響評価における解析条件
環境への放射性物質の放出	排気筒放出で評価	地上放出で評価
環境に放出された放射性物質の大気中の拡散条件	1997年1月～1997年12月の気象データに基づき「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従って評価された相対濃度及び相対線量  <排気筒放出> 相対濃度 ( $\chi/Q$ ) $4.3 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$ 相対線量 ( $D/Q$ ) $3.1 \times 10^{-19} \text{ Gy/Bq}$	1997年1月～1997年12月の気象データに基づき「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従って評価された相対濃度及び相対線量  <地上放出> 相対濃度 ( $\chi/Q$ ) $4.5 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$ 相対線量 ( $D/Q$ ) $3.1 \times 10^{-19} \text{ Gy/Bq}$

※ 解析条件の異なっている項目について記載。

表4 事故時被ばく評価結果の比較

項目		設計基準事故(原子炉冷却材喪失)の評価結果	影響評価結果
環境に放出されるよう素量 (I-131等価量－小児実効線量係数換算)	現行評価経路(排気筒放出)	約 $2.7 \times 10^{11}$ Bq	—
	排気筒破損により地上放出とした場合	—	約 $2.7 \times 10^{11}$ Bq
環境に放出される希ガス量 ( $\gamma$ 線エネルギー0.5MeV換算)	現行評価経路(排気筒放出)	約 $6.1 \times 10^{13}$ Bq	—
	排気筒破損により地上放出とした場合	—	約 $6.1 \times 10^{13}$ Bq
実効線量 <sup>(注1)</sup>		0.23mSv	0.23mSv

(注1) 直接線量及びスカイシャイン線量 約0.086mSvを含む

## Ⅱ. 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドへの適合状況について



原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>2. 設計の基本方針</p> <p>2.1 設計対象施設</p> <p>以下の（１）及び（２）に示す施設を設計対象施設とする。</p> <p>（１）竜巻防護施設</p> <p>「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震 S クラスの設計を要求される設備（系統・機器）及び建屋・構築物等とする。</p> <p>（２）竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、又はその施設の特定の区画<sup>(注2.1)</sup>。</p> <p>解説 2.1 設計対象施設</p> <p>設計竜巻荷重は、基準地震動 Ss による地震荷重と同様に施設に作用するものと捉え、設計対象施設は、耐震設計上の重要度分類を引用して、耐震 S クラス施設及び耐震 S クラス施設に波及的影響を及ぼし得る施設とした。ただし、竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって、設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については、設計対象から除外できる。</p> <p>竜巻防護施設の例としては、原子炉格納容器や安全機能を有する系統・機器（配管を含む）等が考えられる。外殻となる施設等による防護機能が期待できる設計対象施設の例としては、原子炉格納容器に内包された安全機能を有する設備等が考えられる。</p> <p>2.2 設計の基本的な考え方</p> <p>2.2.1 設計の基本フロー</p> <p>図 2.1 に設計の基本フローを示す。設置許可段階では、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重が適切に設定されていること、並びに設計荷重に対して、機能・配置・構造計画等を経て抽出された設計対象施設の安全機能が維持される方針であることを確認する。ただし、設計荷重については、設置許可段階において、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。</p>	<p>2. 評価の基本方針</p> <p>2.1 評価対象施設</p> <p>評価ガイドに基づき、以下の（１）及び（２）に示す施設を評価対象施設とする。</p> <p>（１）竜巻防護施設</p> <p>「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震 S クラスの設計を要求される設備（系統・機器）及び建屋・構築物等。</p> <p>（２）竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、又はその施設の特定の区画。</p> <p>解説 2.1 評価対象施設</p> <p>評価ガイドどおり。</p> <p>竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって、設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については、評価対象から除外する。</p> <p>2.2 評価の基本的な考え方</p> <p>2.2.1 評価の基本フロー</p> <p>評価ガイドに基づき、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定するとともに評価対象施設を抽出し、設計荷重に対する評価対象施設の構造健全性について検討することにより、安全機能が維持されていることを確認する。</p>

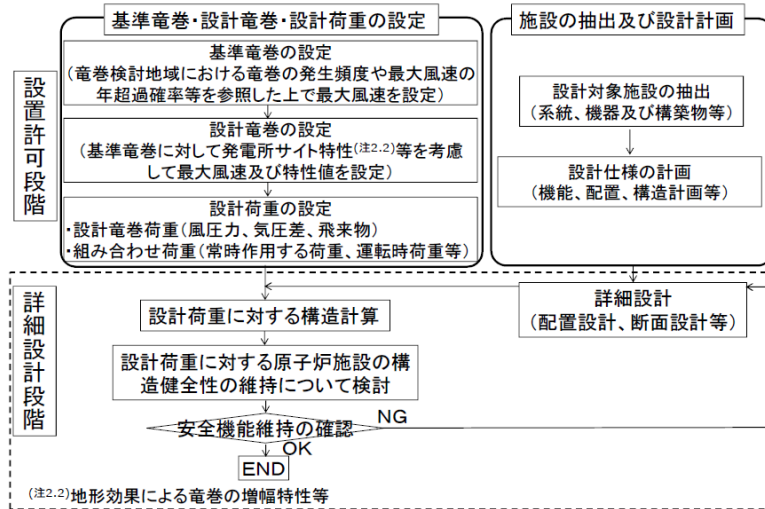


図 2.1 設計の基本フロー

解説 2.2.1 設計の基本フロー

詳細設計段階においては、配置・断面設計等を経て詳細な仕様が設定された施設を対象に、設計荷重の詳細を設定し、設計荷重に対する構造計算等を実施し、その結果得られた施設の変形や応力等が構造健全性評価基準を満足すること等を確認して、安全機能が維持されることが確認されることを想定している。

2.2.2 設計対象施設に作用する荷重

以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

①風圧力

設計竜巻の最大風速による風圧力

②気圧差による圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる設計対象施設内外の気圧差による圧力

③飛来物の衝撃荷重

設計竜巻によって設計対象施設に衝突し得る飛来物（以下、「設計飛来物」という）が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重

2.2.2 評価対象施設に作用する荷重

評価ガイドに基づき、以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

①風圧力

設計竜巻の最大風速による風圧力

②気圧差による圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による圧力

③飛来物の衝撃荷重

設計竜巻によって評価対象施設に衝突し得る飛来物（以下、「設計飛来物」という）が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。</p> <p>①設計対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等 ②竜巻以外の自然現象<sup>(注2,3)</sup>による荷重、設計基準事故時荷重等</p> <p>なお、上記(2)の②の荷重については、竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して、上記(2)の①の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を判断する。</p> <p>2.2.3 施設の安全性の確認 設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重(常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等)を適切に組み合わせた設計荷重に対して、設計対象施設、あるいはその特定の区画<sup>(注2,4)</sup>の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。</p>	<p>(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。</p> <p>①評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等 ②竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等</p> <p>なお、上記(2)の②の荷重については、竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して、上記(2)の①の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を判断する。</p> <p>2.2.3 施設の安全性の確認 評価ガイドに基づき、設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重(常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等)を適切に組み合わせた設計荷重に対して、評価対象施設、あるいはその特定の区画の構造健全性等が維持されて安全機能が維持されることを確認する。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

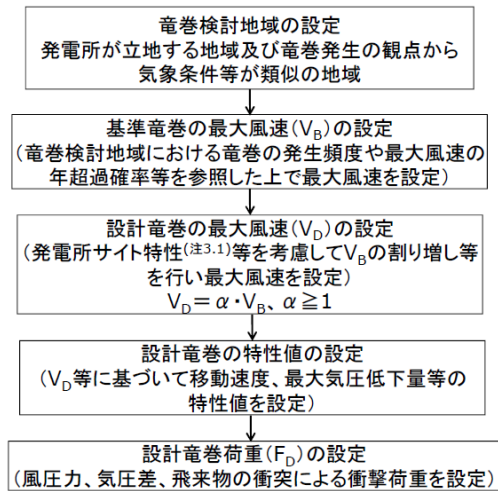
3. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3.1 概要

設置許可段階の安全審査において、基準竜巻及び設計竜巻が適切に設定されていることを確認する。

解説 3.1 基準竜巻・設計竜巻の最大風速の設定

設計竜巻荷重を設定するまでの基本的な流れは解説図 3.1 に示すとおりである。



解説図 3.1 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

(注 3.1) 地形効果による竜巻の増幅特性等

3. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3.1 概要

評価ガイドどおり。  
評価ガイドに基づき、評価ガイド解説図 3.1 に示された基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フローに従い、基準竜巻及び設計竜巻を評価した。

## 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

### 3.2 竜巻検討地域の設定

竜巻検討地域は、原子力発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似する地域から設定する。

#### 解説 3.2 竜巻検討地域の設定

##### (1) 基本的な条件

竜巻検討地域の設定にあたっては、IAEA の基準<sup>(\*)</sup>が参考になる。IAEA の基準では、ある特定の風速を超過する竜巻の年発生頻度の検討にあたって竜巻の記録を調査する範囲として、およそ 10 万 km<sup>2</sup> を目安にあげている。この IAEA の基準を参考として、竜巻検討地域の目安を、原子力発電所を中心とする 10 万 km<sup>2</sup> の範囲とする。しかしながら、日本では、例えば日本海側と太平洋側とで気象条件が異なる等、比較的狭い範囲で気象条件が大きく異なる場合があることから、必ずしも 10 万 km<sup>2</sup> に拘らずに、竜巻発生の観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似する地域を調査した結果に基づいて竜巻検討地域を設定することを基本とする。

##### (2) 原子力発電所が海岸線付近に立地する場合の竜巻検討地域の設定

解説図 3.2 に日本における竜巻の発生分布<sup>(\*)</sup>を示す。解説図 3.2 より日本における竜巻の発生位置は、海岸線付近に集中している傾向が伺える。解説図 3.3 に日本の海岸線付近における竜巻の発生状況を示す。解説図 3.3 をみると、海岸線から 1km 以内の陸上では単位面積あたりの 1 年間の平均発生数は  $6.0 \times 10^{-4}$  (個/km<sup>2</sup>/年) を少し超える程度であり、海岸線から離れるに従って竜巻の発生数が減少する傾向が伺える。例えば、解説図 3.3 の陸上側のグラフの分布をみると、海岸線から 5km 以上離れた地域では、竜巻の発生数が急激に減少する傾向がみられる。以上の傾向を踏まえて、原子力発電所が海岸線付近に立地する場合は、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こととする。なお、原子力発電所がこの範囲（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲）を逸脱する地域に立地する場合は、海岸線付近で竜巻の発生が増大する特徴を踏まえつつ竜巻検討地域の範囲を別途検討する必要がある。

## 泊発電所 3 号機竜巻影響評価結果

### 3.2 竜巻検討地域の設定

評価ガイドどおり。

竜巻検討地域は、評価ガイド 3.2 のとおり、泊発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から泊発電所が立地する地域と気象条件が類似する地域から設定した。

具体的には、泊発電所が位置する北海道日本海側と、その他国内 15 地域間の総観場の出現数に関する相関係数を求め、その結果から発生する総観場の種類及び発生頻度の関連性の強い地域を選定し竜巻検討地域とした。具体的には、北海道から本州にかけての日本海側及び北海道の襟裳岬以西を選定した。

また、泊発電所が海岸線付近に立地することから、評価ガイド解説 3.2 (2) に従い、海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を竜巻検討地域とした。(面積約 38,895km<sup>2</sup>)

図 3.1 に竜巻検討地域を示す。

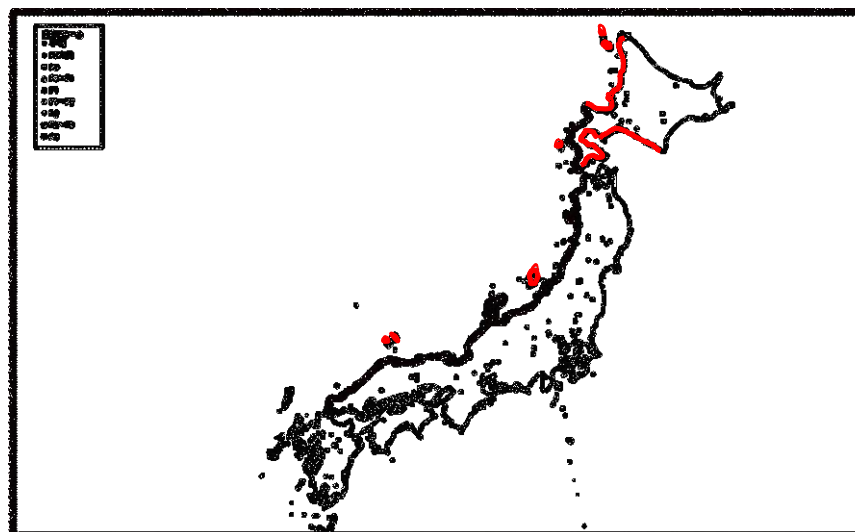
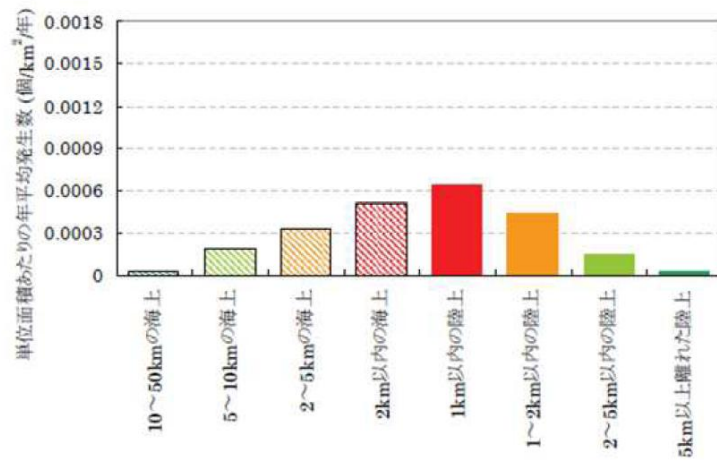


図 3.1 泊発電所における竜巻検討地域



解説図 3.2 日本における竜巻の発生分布 (1961~2011年、気象庁作成) (注2)



解説図 3.3 日本の海岸線付近における竜巻の発生状況 (注3) (注3.2)  
(1961~2009年12月、規模:F0以上)

(注 3.2) 被害の痕跡が残りにくい海上竜巻は、単位面積あたりの年平均発生数が、実際の発生数より特に少ない可能性が考えられる。



原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>3.3 基準竜巻の設定</p> <p>以下の基本的な方針に基づいて基準竜巻の最大風速(<math>V_B</math>)を設定する。ここで、<math>V_B</math>は最大瞬間風速とする。</p> <p>(1)基準竜巻の最大風速(<math>V_B</math>)は、竜巻検討地域において、過去に発生した竜巻の規模や発生頻度、最大風速の年超過確率等を考慮して適切に設定する。</p> <p>(2)基準竜巻の最大風速(<math>V_B</math>)は、下記に示す <math>V_{B1}</math> と <math>V_{B2}</math> のうちの大きな風速とする。</p> <p>①過去に発生した竜巻による最大風速(<math>V_{B1}</math>)</p> <p>日本で過去に発生した竜巻による最大風速を <math>V_{B1}</math> として設定することを原則とする。ただし、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できる場合においては、「日本」を「竜巻検討地域」に読み替えることができる。</p> <p>②竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(<math>V_{B2}</math>)</p> <p>竜巻検討地域における竜巻の観測記録等に基づいて作成した竜巻最大風速のハザード曲線上において、年超過確率(<math>P_{B2}</math>)に対応する竜巻最大風速を <math>V_{B2}</math> とする。ここで、<math>P_{B2}</math> は <math>10^{-5}</math> (暫定値) を上回らないものとする。</p> <p>また、竜巻検討地域において基準竜巻の最大風速(<math>V_B</math>)が発生する可能性を定量的に確認するために、<math>V_B</math> の年超過確率を算定することとする。なお、<math>V_B</math> が <math>V_{B1}</math> から決定された場合 (<math>V_B = V_{B1}</math> の場合) は、<math>V_{B2}</math> の算定に用いた竜巻最大風速のハザード曲線を用いて、<math>V_B</math> の年超過確率を算定する。ちなみに、米国 NRC の基準類<sup>(*)</sup>では、設計に用いる竜巻 (設計基準竜巻: Design-basis tornado) の最大風速は、年超過確率 <math>10^{-7}</math> の風速として設定されている。</p> <hr/> <p>解説 3.3 基準竜巻の最大風速 (<math>V_B</math>) の設定</p> <p>解説 3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速(<math>V_{B1}</math>)の設定</p> <p>本文に記載のとおり、日本で過去に発生した竜巻による最大風速を <math>V_{B1}</math> として設定することを原則とする。</p> <p>また、過去に発生した竜巻による最大風速は、竜巻による被害状況等に基づく既往のデータベース、研究成果等について十分に調査・検討した上で設定する必要がある。</p> <p>日本における過去最大級の竜巻としては、例えば、1990年12月に千葉県茂原市で発生した竜巻、2012年5月に茨城県常総市からつくば市で発生した竜巻等があげられる。竜巻検討地域の観測記録等に基づいて <math>V_{B1}</math> を設定する場合において、これら過去最大級の竜巻を考慮しない場合には、その明確な根拠を提示する必要がある。</p> <p>竜巻による被害状況から推定された最大風速を参照して設定された藤田スケールを用いて基準竜巻の最大風速を設定する場合は、藤田スケールの各区分 (F0～F5) の最大風速を用いる。解説表 3.1 に藤田スケールと風速の関係を示す。なお、風速計等によって観測</p>	<p>3.3 基準竜巻の設定 (1)</p> <p>評価ガイドどおり。</p> <p>評価ガイド 3.3 に示された基本的な方針に基づき、気象庁の「竜巻等の突風データベース」をもとに、過去に発生した竜巻による最大風速 <math>V_{B1}</math> 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 <math>V_{B2}</math> を評価した上で、両者のうち大きい方を、基準竜巻の最大風速 <math>V_B</math> として設定した。</p> <p>3.3 基準竜巻の設定 (2)</p> <p>①過去に発生した竜巻による最大風速 (解説 3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 (<math>V_{B1}</math>) の設定) 評価ガイドどおり。</p> <p>評価ガイド解説 3.3.1 に沿い、日本国内で 1961 年～2012 年 6 月の間に発生したと気象庁が公表した竜巻のうち、過去最大の竜巻は F3 スケールであった。F3 スケールにおける風速は 70～92m/s であることから、その最大風速をもとに、過去に発生した竜巻による最大風速 (<math>V_{B1}</math>) を 92m/s とした。</p> <p>②竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (解説 3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 (<math>V_{B2}</math>) の算定) 評価ガイドどおり。</p> <p>竜巻最大風速のハザード曲線は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に従い、既往の算定方法に基づき、具体的には、独立行政法人原子力安全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」を参照して算定した。</p> <p>なお、竜巻検討地域における竜巻の観測記録に基づいて作成した竜巻最大風速のハザード曲線上において年超過確率(<math>P_{B2}</math>)<math>10^{-5}</math> に対応する竜巻最大風速を <math>V_{B2}</math> として評価した。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

解説表 3.1 藤田スケールと風速の関係<sup>(※5)</sup>

スケール	風速
F0	17~32m/s (約 15 秒間の平均)
F1	33~49m/s (約 10 秒間の平均)
F2	50~69m/s (約 7 秒間の平均)
F3	70~92m/s (約 5 秒間の平均)
F4	93~116m/s (約 4 秒間の平均)
F5	117~142m/s (約 3 秒間の平均)

解説 3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 (V<sub>B2</sub>) の算定

既往の算定方法 (Wen&Chu<sup>(※6)</sup>及び Garson et. al<sup>(※7, ※8)</sup>) に基づいて V<sub>B2</sub> を算定する方法について、その基本的な考え方を以下に例示する。竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、解説図 3.4 に示す算定フローに沿って実施する。なお、本ガイドに示す V<sub>B2</sub> 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が東京工芸大学に委託した研究の成果<sup>(※9)</sup>が参考になる。

また、竜巻最大風速のハザード曲線の算定方法については、技術的見地等からその妥当性を示すことを条件として、いずれの方法を用いてもよいが、竜巻影響エリアの設定の基本的な考え方は、以下の「(1) 竜巻影響エリアの設定」に従うことを原則とする。

(1) 竜巻影響エリアの設定

V<sub>B2</sub> の算定にあたっては、まず始めに V<sub>B2</sub> の発生エリアである竜巻影響エリアを設定する。竜巻影響エリアは、原子力発電所の号機ごとに設定する。号機ごとのすべての設計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、移動方向等から設定)に基づいて、竜巻影響エリアを設定する。

竜巻による被害域幅、被害域長さ及び移動方向は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。また、竜巻による被害域幅、被害域長さ及び移動方向の設定に使用する竜巻の観測記録や仮定条件等は、後述する竜巻の最大風速の確率密度分布の設定に用いる観測記録や仮定条件等との整合性を持たせることを原則とし、V<sub>B2</sub> の算定に使用するデータ等には一貫性を持たせるように配慮する。

(2) 竜巻の年発生数の確率分布の設定

竜巻の年発生数の確率分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいてポアソン過程等により設定することを基本とする。具体的には、竜巻検討地域を海岸線か

解説 3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 (V<sub>B2</sub>) の算定

(1) 竜巻影響エリアの設定

評価ガイドどおり。

竜巻影響エリアは、評価対象設備である竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の面積(約 19,900m<sup>2</sup>)及び設置位置を考慮して設定する。具体的には、3号機設備全体を包絡する円形のエリア(半径 425m、面積約 142,000m<sup>2</sup>)として設定した。

また、竜巻による被害域幅、被害域長さは、竜巻検討地域で過去に設定した竜巻の記録に基づいて対数正規分布を仮定して設定した。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。

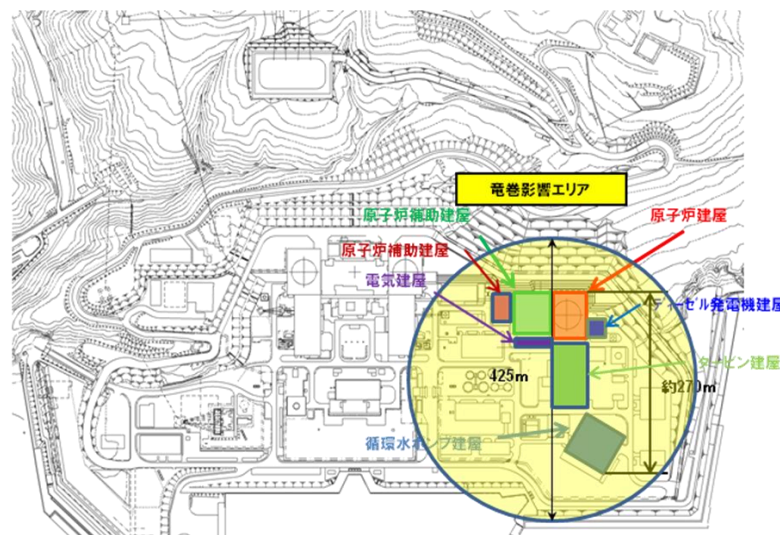


図 3.2 竜巻影響エリア

(2) 竜巻の年発生数の確率分布の設定

評価ガイドどおり。

竜巻の年発生数の確率分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいてポアソン過程(ポリア分布)により設定した。



原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

ら陸側及び海側それぞれ5kmの範囲に設定した場合は、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とする。

(3) 竜巻最大風速の確率密度分布の設定

竜巻最大風速の確率密度分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたっては、竜巻の年発生数の確率分布の設定と同様に、竜巻検討地域を1km範囲ごとに区切ってそれぞれの範囲で確率分布を算定し、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。

竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたって使用する観測された竜巻の最大風速を藤田スケールに基づいて評価する場合は、藤田スケールの各区分(F0~F5)の最小風速から最大風速のうち、 $V_{B2}$ が最も大きくなる風速を用いる。ただし、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

(4) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

上記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び竜巻最大風速の確率密度分布を用いて、竜巻最大風速のハザード曲線を算定する。

なお、竜巻最大風速のハザード曲線の算定において、竜巻最大風速の確率密度分布の積分の上限値を設定する場合は、竜巻最大風速の評価を行うハザード曲線が不自然な形状にならないように留意する。

(5) 年超過確率( $P_{B2}$ )に対応する竜巻最大風速( $V_{B2}$ )の算定

上記で算定した竜巻最大風速のハザード曲線において年超過確率が $P_{B2}$ ( $\leq 10^{-5}$ (暫定値))の竜巻最大風速を $V_{B2}$ とする。

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

(3) 竜巻最大風速の確率分布の設定

評価ガイドどおり。

竜巻最大風速の確率分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいて対数正規分布を仮定して設定した。

(4) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

評価ガイドどおり。

(1) ~ (3) の設定より、図 3.3 のとおり竜巻最大風速のハザード曲線を算定した。

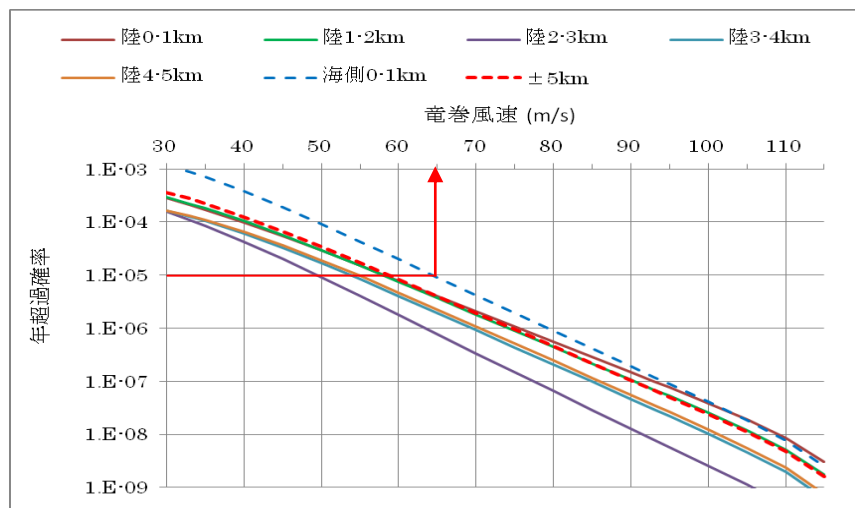


図 3.3 竜巻最大風速のハザード曲線

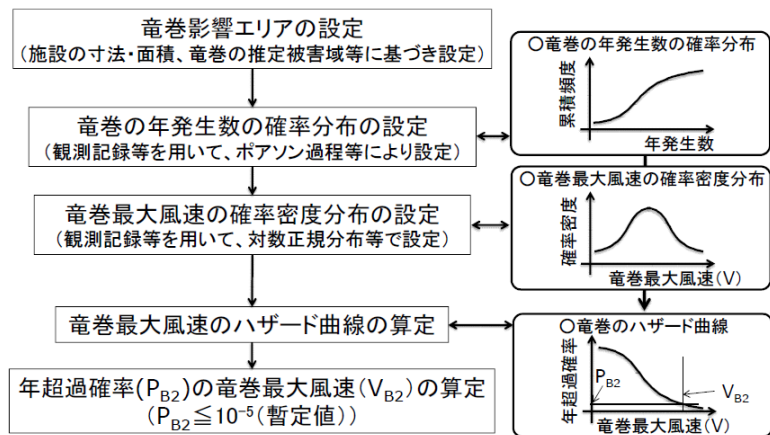
(5) 年超過確率に対応する竜巻最大風速  $V_{B2}$  の算定

評価ガイドどおり。

竜巻最大風速  $V_{B2}$  は、(4) で算定した竜巻最大風速のハザード曲線より、評価ガイド 3.3 を参考に年超過確率  $10^{-5}$  に相当する  $65\text{m/s}$  とした。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所 3号機竜巻影響評価結果



解説図 3.4 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速( $V_{B2}$ )の算定フロー

以上より、竜巻の最大風速 ( $V_{B1}$ )、( $V_{B2}$ ) は下記のとおりである。

- ・過去に発生した竜巻による最大風速  $V_{B1}$  : 92m/s
- ・竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速  $V_{B2}$  : 65m/s

評価ガイド 3.3 に従い、基準竜巻の最大風速  $V_B$  は、 $V_{B1}$  と  $V_{B2}$  のうち大きな風速とすることから、泊発電所 3号機に対する基準竜巻の最大風速は 92m/s とした。

3.4 設計竜巻の設定

以下の基本的な方針に基づいて設計竜巻の最大風速( $V_D$ )及び特性値を設定する。ここで、 $V_D$ は最大瞬間風速とする。

- (1) 設計竜巻の最大風速( $V_D$ )は、原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して、科学的見地等から基準竜巻の最大風速( $V_B$ )の適切な割り増し等を行って設定されていること。なお、 $V_D$ は、 $V_B$ を下回らないものとする。
- (2) 設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速( $V_D$ )、並びに竜巻検討地域において過去に発生した竜巻の特性等を考慮して適切に設定する。

3.4 設計竜巻の設定

評価ガイドに基づき、以下の基本的な方針に基づいて設計竜巻の最大風速( $V_D$ )及び特性値を設定した。ここで、 $V_D$ は最大瞬間風速とした。

- (1) 設計竜巻の最大風速( $V_D$ )は、原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して設定した。なお、 $V_D$ は、 $V_B$ を下回らないものとした。
- (2) 設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速( $V_D$ )等を考慮して適切に設定した。

解説 3.4 設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) 及び特性値の設定

解説 3.4.1 設計竜巻の最大風速( $V_D$ )の設定で考慮する地形効果による竜巻の増幅特性

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<sup>(※9ほか)</sup>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。

なお、竜巻が丘陵や段差等の上空を通過した際には、竜巻が減衰する可能性が指摘されている<sup>(※10、※11)</sup>が、 $V_D$ の設定においては、そのような減衰の効果は考慮しない。

解説 3.4 設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) 及び特性値の設定

解説 3.4.1 設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) の設定で考慮する地形効果による竜巻の増幅特性

評価ガイドに基づき、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、泊発電所が立地する地域において、評価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 ( $V_D$ ) を設定した。

なお、竜巻が丘陵や段差等の上空を通過した際には、竜巻が減衰する可能性が指摘されているが、 $V_D$ の設定においては、そのような減衰の効果は考慮しなかった。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

解説 3.4.2 設計竜巻の特性値の設定

解説 3.4.2.1 概要

竜巻検討地域で観測された竜巻に関する情報、並びに設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) 等に基づいて、下記(1)~(5)に示す設計竜巻の各特性値を設定する。

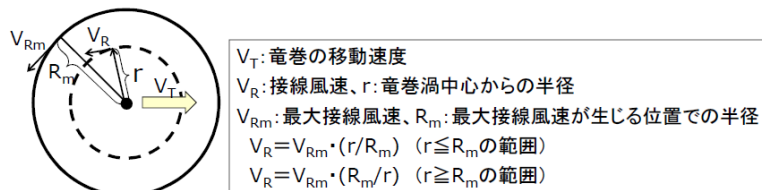
- (1) 移動速度 ( $V_T$ )
- (2) 最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )
- (3) 最大接線風速半径 ( $R_m$ )
- (4) 最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )
- (5) 最大気圧低下率 ( $dp/dt$ )<sub>max</sub>

(1)~(5)の各特性値については原則として、十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定したものを、その根拠の明示を条件として用いる。ただし、設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等がない場合には、解説 3.4.2.2 及び 3.4.2.3 に示す方法で各特性値を設定することができる。

解説 3.4.2.2 設計竜巻の特性値の設定に係る基本的な考え方

竜巻に関する観測データが不足している等の理由により、観測データ等に基づいた十分に信頼できる数学モデルの構築が困難な場合は、米国 NRC の基準類<sup>(\*)</sup>を参考として、ランキン渦モデルを仮定して竜巻特性値を設定する。解説図 3.5 にランキン渦モデルの概要を示す。ランキン渦では、高さ方向によって風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定している。

なお、ランキン渦モデルに比べてより複雑な竜巻渦を仮定した数学モデル等を使用して竜巻特性値を設定する場合は、その技術的な妥当性を示す必要がある。



解説図 3.5 ランキン渦モデルの概要

解説 3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定

(1) 設計竜巻の移動速度( $V_T$ )の設定

設計竜巻の移動速度( $V_T$ )は、以下の算定式を用いて  $V_D$  から  $V_T$  を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \quad \dots \quad (3.1)$$

解説 3.4.2 設計竜巻の特性値の設定

解説 3.4.2.1 概要

評価ガイドに基づき、設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) 等に基づいて、下記(1)~(5) に示す設計竜巻の各特性値を設定した。

- (1) 移動速度 ( $V_T$ )
- (2) 最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )
- (3) 最大接線風速半径 ( $R_m$ )
- (4) 最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )
- (5) 最大気圧低下率 ( $dp/dt$ )<sub>max</sub>

(1)~(5) の各特性値については設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等がないことから、解説 3.4.2.2 及び 3.4.2.3 に示す方法で各特性値を設定した。

解説 3.4.2.2 設計竜巻の特性値の設定に係る基本的な考え方

評価ガイドに基づき、ランキン渦モデルを仮定して竜巻特性値を設定した。ランキン渦では、高さ方向によって風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定している。

解説 3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定

評価ガイドに基づき設定した。

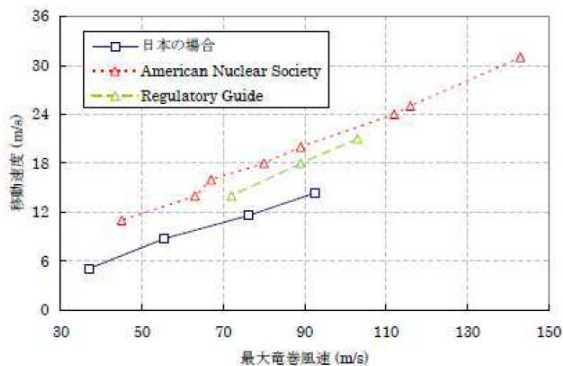
(1) 設計竜巻の移動速度( $V_T$ )の設定

設計竜巻の移動速度( $V_T$ )は、以下の算定式を用いて算定した。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

ここで、 $V_D$ (m/s)は設計竜巻の最大風速を表す。(3.1)式は、解説図 3.6 に示される日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度と最大風速との関係<sup>(\*)</sup>を参考として設定したものである。解説図 3.6 をみると、青線で示す日本の竜巻による移動速度は、米国 NRC の基準類等<sup>(\*)</sup>による移動速度と比べて、同じ最大竜巻風速に対して小さい。解説図 3.6 に示される日本の竜巻に対する移動速度は、藤田スケールに基づいた区分 (F3、F2 及び F2~F3、F1 及び F1~F2、F0 及び F0~F1) ごとの平均値であるが、日本で発生する竜巻を個別にみれば、スーパーセルに伴って発生する竜巻等、米国の竜巻に比べて移動速度が速いものも存在すると考えられる。

本ガイドでは、設計竜巻の最大速度( $V_D$ )が一定の場合、移動速度が遅い方が、最大気圧低下量( $\Delta P_{max}$ )が大きくなる ((3.2)式、(3.4)式) ことを考慮して、スーパーセルに伴って発生する竜巻等の移動速度が速い竜巻の特性は採用せずに、観測記録の平均値に基づいた解説図 3.6 の日本の竜巻における移動速度と最大竜巻風速の関係に基づく(3.1)式を採用することにした。



解説図 3.6 竜巻の移動速度と最大風速の関係<sup>(\*)</sup>

(2) 設計竜巻の最大接線風速( $V_{Rm}$ )の設定

設計竜巻の最大接線風速( $V_{Rm}$ )は、米国 NRC の基準類<sup>(\*)</sup>を参考として、以下の算定式を用いて  $V_{Rm}$  を算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \quad \dots \quad (3.2)$$

ここで、 $V_D$ (m/s)及び  $V_T$ (m/s)は、設計竜巻の最大風速及び移動速度である。

(2) 設計竜巻の最大接線風速( $V_{Rm}$ )の設定

設計竜巻の最大接線風速( $V_{Rm}$ )は、以下の算定式を用いて算定した。

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

ここで、 $V_D$ (m/s) 及び  $V_T$ (m/s) は、設計竜巻の最大風速及び移動速度である。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所 3号機竜巻影響評価結果
<p>(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(<math>R_m</math>)の設定 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(<math>R_m</math>)は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデル<sup>(※3)</sup>に準拠して以下の値を用いる。</p> $R_m = 30 \text{ (m)} \quad \dots \quad (3.3)$ <p>(4) 設計竜巻の最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)の設定 設計竜巻の最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)は、米国 NRC の基準類<sup>(※4)</sup>を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)を設定する。</p> $\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2 \quad \dots \quad (3.4)$ <p>ここで、<math>\rho</math> 及び <math>V_{Rm}</math> は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。</p> <p>(5) 設計竜巻の最大気圧低下率(<math>(dp/dt)_{max}</math>)の設定 設計竜巻の最大気圧低下率(<math>(dp/dt)_{max}</math>)は、米国 NRC の基準類<sup>(※4)</sup>を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量 (<math>\Delta P_{max}</math>)及び最大気圧低下率 (<math>(dp/dt)_{max}</math>)を設定する。</p> $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max} \quad \dots \quad (3.5)$ <p>ここで、<math>V_T</math> 及び <math>R_m</math> は、それぞれ設計竜巻の移動速度及び最大接線風速が生じる位置での半径を表す。</p>	<p>(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(<math>R_m</math>)の設定 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(<math>R_m</math>)は、以下の値を用いた。</p> $R_m = 30 \text{ (m)}$ <p>(4) 設計竜巻の最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)の設定 設計竜巻の最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)は、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定した。</p> $\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$ <p>ここで、<math>\rho</math> 及び <math>V_{Rm}</math> は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。</p> <p>(5) 設計竜巻の最大気圧低下率(<math>(dp/dt)_{max}</math>)の設定 設計竜巻の最大気圧低下率(<math>(dp/dt)_{max}</math>)は、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定した。</p> $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$ <p>ここで、<math>V_T</math> 及び <math>R_m</math> は、それぞれ設計竜巻の移動速度及び最大接線風速が生じる位置での半径を表す。</p> <p>評価ガイド 3.4 に従い、泊発電所の設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) は、92m/s とした。 なお、竜巻影響評価にあたっては、設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) を、<math>V_D=100\text{m/s}</math> とした。</p>



原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>4. 施設的设计</p> <p>4.1 概要</p> <p>設置許可段階の安全審査において以下を確認する。</p> <p>①設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）が適切に設定されていること。 ただし、設置許可段階においては、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。（設計対象施設の各部位に作用させる設計荷重の詳細は、詳細設計段階において確認する）</p> <p>②設計荷重に対して、設計対象施設の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であること。</p> <p>4.2 設計対象施設</p> <p>「2.1 設計対象施設」に示したとおりとする。</p> <p>4.3 設計荷重の設定</p> <p>4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「(1) 設計竜巻荷重」で示した「風圧力」、「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重を設定する。</p> <p>解説 4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.1 設計竜巻の最大風速による風圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.1.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)等に基づいて、設計竜巻によって設計対象施設に作用する風圧力を設定する。</p> <p>解説 4.3.1.1.2 基本的な考え方</p> <p>(1) 風圧力の算定に用いる風力係数</p> <p>竜巻によって生じた被害状況と対応する最大風速は、一般的には、竜巻等の非定常な流れ場の気流性状を考慮した風力係数を用いるのではなく、いわゆる通常の強風等を対象とした風力係数を用いて、逆算により推定されることから、本ガイドにおける風圧力の算定には、通常の強風等を対象とした風力係数を用いることを基本とする。</p>	<p>4. 施設的设计</p> <p>4.1 概要</p> <p>評価ガイドに基づき以下を確認した。</p> <p>①設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）が適切に設定されていること。</p> <p>②設計荷重に対して、評価対象施設の構造健全性等が維持されて安全機能が維持されること。</p> <p>4.2 評価対象施設</p> <p>評価ガイドに基づき、「2.1 評価対象施設」に示した評価対象施設を抽出した。</p> <p>4.3 設計荷重の設定</p> <p>4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>評価ガイドに基づき、「2.2.2 評価対象施設に作用する荷重」の「(1) 設計竜巻荷重」で示した「風圧力」、「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重を設定した。</p> <p>解説 4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.1 設計竜巻の最大風速による風圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.1.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)等に基づいて、設計竜巻によって評価対象施設に作用する風圧力を設定した。</p> <p>解説 4.3.1.1.2 基本的な考え方</p> <p>(1) 風圧力の算定に用いる風力係数</p> <p>本評価における風圧力の算定には、通常の強風等を対象とした風力係数を用いた。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力</p> <p>竜巻による最大風速は、一般的には、竜巻によって生じた被害状況と対応する水平方向の風速として算定される。しかしながら、実際の竜巻によって生じた被害は、少なからず鉛直方向の風速の影響も受けていると考えられる。</p> <p>よって、本ガイドでは、設計竜巻の水平方向の最大風速(<math>V_D</math>)には、鉛直方向の風速の影響も基本的には含まれているとみなす。</p> <p>ただし、鉛直方向の風圧力に対して特に脆弱と考えられる設計対象施設が存在する場合は、<math>V_D</math>を入力値とした竜巻の数値解析結果等から推定される鉛直方向の最大風速等に基づいて算定した鉛直方向の風圧力を考慮した設計を行う。</p> <p>解説 4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)による風圧力(<math>P_D</math>)の算定について以下に示す。</p> <p>設計竜巻の水平方向の最大風速によって設計対象施設（屋根を含む）に作用する風圧力(<math>P_D</math>)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を準用して、下式により算定する。</p> <p>なお、(4.2)式の <math>V_D</math> は最大瞬間風速であり、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」の最大風速と定義が異なることに留意する。</p> $P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A \quad \dots (4.1)$ <p>ここで、<math>q</math> は設計用速度圧、<math>G</math> はガスト影響係数、<math>C</math> は風力係数、<math>A</math> は施設の受圧面積を表し、<math>q</math> は下式による。</p> $q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2 \quad \dots (4.2)$ <p>ここで、<math>\rho</math> は空気密度、<math>V_D</math> は設計竜巻の最大風速である。</p> <p>(4.1)式に示すように、風圧力(<math>P_D</math>)は、(4.2)式で求められる設計用速度圧(<math>q</math>)に、ガスト影響係数(<math>G</math>)、風力係数(<math>C</math>)及び施設の受圧面積(<math>A</math>)を乗じて算定する。</p> <p>ガスト影響係数 <math>G</math> は、風の乱れによる建築物の風方向振動の荷重効果を表すパラメータであり、強風中における建築物の最大変位と平均変位の比で定義される。本ガイドの最大竜巻風速(<math>V_D</math>)は、最大瞬間風速として扱うことから <math>G=1.0</math> を基本とする。</p> <p>風力係数(<math>C</math>)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を参考として、施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて適切に設定する。</p>	<p>(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力</p> <p>本評価では、設計竜巻の水平方向の最大風速(<math>V_D</math>)には、鉛直方向の風速の影響も基本的には含まれているとみなした。</p> <p>解説 4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)による風圧力(<math>P_D</math>)の算定について以下に示す。</p> <p>設計竜巻の水平方向の最大風速によって評価対象施設（屋根を含む）に作用する風圧力(<math>P_D</math>)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会建築物荷重指針・同解説(2004)」等を準用して、下式により算定した。</p> $P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A \quad \dots (4.1)$ <p>ここで、<math>q</math> は設計用速度圧、<math>G</math> はガスト影響係数 (1.0)、<math>C</math> は風力係数、<math>A</math> は施設の受圧面積を表し、<math>q</math> は下式による。</p> $q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2 \quad \dots (4.2)$ <p>ここで、<math>\rho</math> は空気密度、<math>V_D</math> は設計竜巻の最大風速である。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>解説 4.3.1.2 設計竜巻における気圧低下によって生じる設計対象施設内外の気圧差による圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.2.1 概要 前記において設定した設計竜巻による最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)及び最大気圧低下率 <math>(dP/dt)_{max}</math> に基づいて設計対象施設に作用する気圧差による圧力を設定する。</p> <p>解説 4.3.1.2.2 基本的な考え方 設計竜巻によって引き起こされる最大気圧低下量及び最大気圧低下率によって設計対象施設に作用する圧力を算定する際の基本的な考え方を以下に示す。なお、以下の考え方は、米国 NRC 基準類<sup>(*)12)</sup>を参考としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・完全に開かれた構築物等の施設が竜巻に曝されたとき、施設の内圧と外圧は竜巻通過中に急速に等しくなる。したがって、施設の内外の気圧の変化はゼロに近づくとみなせる。</li> <li>・閉じた施設（通気がない施設）では、施設内部の圧力は竜巻通過以前と以後で等しいとみなせる。他方、施設の外側の圧力は竜巻の通過中に変化し、施設内外に圧力差を生じさせる。この圧力差により、閉じた施設の隔壁（構築物等の屋根・壁及びタンクの頂部・胴部等）に外向きに作用する圧力が生じるとみなせる。</li> <li>・部分的に閉じた施設（通気がある施設等）については、竜巻通過中の気圧変化により施設に作用する圧力は複雑な過程により決定される。また、部分的に閉じた設計対象施設への圧力値・分布の精緻な設定が困難な場合は、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるように作用する圧力を設定することとする。</li> </ul> <p>解説 4.3.1.2.3 気圧差による圧力を作用させる施設の設定 気圧差による圧力を作用させる対象は、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。</p> <p>(1) 建屋・構築物等 建屋・構築物等の主要な部材（壁、屋根等）に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の施設については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該施設が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行うこととする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・建屋・構築物等の開口部に設置された窓、扉、シャッター等</li> <li>・外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁等（天井等）</li> </ul> <p>(2) 設備 設備の主要な部材に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による</p>	<p>解説 4.3.1.2 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.2.1 概要 前記において設定した設計竜巻による最大気圧低下量(<math>\Delta P_{max}</math>)及び最大気圧低下率 <math>(dP/dt)_{max}</math> に基づいて評価対象施設に作用する気圧差による圧力を設定した。</p> <p>解説 4.3.1.2.2 基本的な考え方 設計竜巻によって引き起こされる最大気圧低下量によって評価対象施設に作用する圧力を算定する際には、閉じた施設を想定した。</p> <p>解説 4.3.1.2.3 気圧差による圧力を作用させる施設の設定 気圧差による圧力を作用させる対象は、泊発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定した。</p> <p>(1) 建屋・構築物等 建屋・構築物等の主要な部材（壁、屋根等）、開口部及び外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁について、圧力の影響について検討を行い、当該施設が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行った。</p> <p>(2) 設備 気圧差による圧力の影響を受けることが想定される以下の設備について、気圧差による圧力の影響を評価し、安全機能維持に影響を与えないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・外気と隔離されているとみなせる区画の境界部（空調系ダクト類等）</li> <li>・圧力差の影響を受け得る計器類</li> </ul>



原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の設備については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該設備が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行うこととする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・外気と隔離されているとみなせる区画の境界部（空調系ダクト類等）</li> <li>・圧力差の影響を受け得る計器類や空調装置等</li> </ul> <p>解説 4.3.1.3 設計竜巻による飛来物が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.3.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)及び特性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、それら設計飛来物の飛来速度を設定する。そして、設計飛来物が設定した飛来速度で設計対象施設に衝突することを想定して、飛来物の衝突による設計対象施設への衝撃荷重を設定する。</p> <p>解説 4.3.1.3.2 基本的な考え方</p> <p>竜巻等の突風による被害は、風圧力によって引き起こされるだけでなく、飛来物による被害もかなりの部分を占める。また、竜巻による飛来物は上昇気流の影響もあって比較的遠方まで運ばれる可能性がある。これらの事項に留意して、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物について検討を行った上で、設計飛来物を選定あるいは設定する。</p> <p>一般的には、遠方からの飛来物は相対的に重量が軽いものが多く、仮に衝突した場合でも衝撃荷重は相対的に小さいと考えられることから、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物を検討する範囲は、原子力発電所の敷地内を原則とする。ただし、原子力発電所の敷地外からの飛来物による衝撃荷重が、原子力発電所の敷地内からの飛来物による衝撃荷重を上回ると想定され得る場合は、原子力発電所の敷地外からの飛来物も考慮する。</p> <p>また、設計飛来物として、最低限以下の①～③を選定あるいは設定することとする。なお、以下の①～③の設定にあたっては、米国 NRC の基準類<sup>(*)13)</sup>を参考とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①大きな運動エネルギーをもつ飛来物（自動車等）</li> <li>②施設の貫入抵抗を確認するための固い飛来物（鉄骨部材等）</li> <li>③開口部等を通過することができる程度に小さくて固い飛来物（砂利等）</li> </ul> <p>解説 4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定</p> <p>(1) 基本的な考え方</p> <p>設計飛来物に設定する速度は、設計竜巻によって飛来した際の最大速度とする。設計飛来物の最大水平速度(<math>MV_{Hmax}</math>)は、非定常な乱流場を数值的に解析できる計算手法等による計算結果等に基づいて設定することを基本とする。ただし、安全側の設計になるように、設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)を設計飛来物の最大水平速度として設定してもよい。</p>	<p>解説 4.3.1.3 設計竜巻による飛来物が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.3.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(<math>V_D</math>)及び特性値等に基づいて、設計飛来物を設定し、それら設計飛来物の飛来速度を設定した。そして、設計飛来物が設定した飛来速度で評価対象施設に衝突することを想定して、飛来物の衝突による評価対象施設への衝撃荷重を設定した。</p> <p>解説 4.3.1.3.2 基本的な考え方</p> <p>評価対象施設に到達する可能性がある飛来物について検討を行った上で、設計飛来物を設定した。評価対象施設に到達する可能性がある飛来物を検討する範囲は、泊発電所の敷地内とした。</p> <p>解説 4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定</p> <p>(1) 基本的な考え方</p> <p>(2) 設計飛来物の設定例</p> <p>設計飛来物は、泊発電所における調査結果に基づき設定した。設計飛来物の最大速度は、解説表 4. 1 の最大速度とした。</p>

設計飛来物の最大鉛直速度( $MV_{Vmax}$ )は、最大水平速度と同様に計算等により求めても良いし、米国 NRC の基準類<sup>(\*)</sup>を参考に設定した下式により算定してもよい。

$$MV_{Vmax} = (2/3) \cdot MV_{Hmax} \quad \dots \quad (4.3)$$

ここで、 $MV_{Hmax}$  は、設計飛来物の最大水平速度を表す。

(2) 設計飛来物の設定例

設計飛来物の選定あるいは設定、並びに設計飛来物の最大速度を設定する際の参考として、解説表 4.1 に飛来物及びその最大速度の設定例を示す。解説表 4.1 の棒状物、板状物及び塊状物の最大水平速度( $MV_{Hmax}$ )は、設計竜巻の最大風速( $V_D$ )=100(m/s)とした条件下で解析的に算定した結果<sup>(\*)</sup>である。また、解説表 4.1 の最大鉛直速度( $MV_{Vmax}$ )は、米国 NRC の基準類<sup>(\*)</sup>を参考として設定した(4.3)式を用いて算定した結果である。

なお、解説表 4.1 に示した飛来物よりも小さな開口部を飛来物が通過することの影響等を確認する場合は、さらに小さな飛来物を設定する必要がある。

解説表 4.1 飛来物及び最大速度の設定例 ( $V_D=100$ (m/s)の場合)

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
サイズ (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量 (kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度 $MV_{Hmax}$ (m/s)	49	57	30	60	34
最大鉛直速度 $MV_{Vmax}$ (m/s)	33	38	20	40	23

解説 4.3.1.3.4 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲及び衝撃荷重の設定

設計飛来物が設計対象施設に衝突する方向は、安全側の設計になるように設定する。

設計飛来物が到達する範囲について解析結果等から想定される場合は、その技術的根拠を示した上で設計飛来物が到達しない範囲を設定することができる。

各設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物の形状及び剛性等の機械的特性を適切に設定した衝撃解析等の計算結果に基づいて設定するか、あるいは、安全側の設計となるように配慮して設計飛来物を剛体と仮定して設定してもよい。

解説 4.3.1.3.4 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲及び衝撃荷重の設定

設計飛来物が評価対象施設に衝突する方向は、安全側の評価になるように設定した。

設計飛来物の評価においては、設計飛来物を剛体と仮定した。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>解説 4.3.1.4 設計竜巻荷重の組み合わせ</p> <p>設計対象施設の設計に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重(<math>W_w</math>)、気圧差による荷重(<math>W_p</math>)、及び設計飛来物による衝撃荷重(<math>W_M</math>)を組み合わせ合わせた複合荷重とし、複合荷重 <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> は、米国 NRC の基準類 (※12)を参考として設定した下式により算定する。</p> $W_{T1} = W_p \quad \dots (4.4)$ $W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \quad \dots (4.5)$ <p>ここで、(4.4)式及び(4.5)式の各変数は下記のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>W_{T1}</math>、<math>W_{T2}</math>：設計竜巻による複合荷重</li> <li><math>W_w</math>：設計竜巻の風圧力による荷重</li> <li><math>W_p</math>：設計竜巻による気圧差による荷重</li> <li><math>W_M</math>：設計飛来物による衝撃荷重</li> </ul> <p>なお、設計対象施設には <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> の両荷重をそれぞれ作用させる。</p> <p>4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定</p> <p>「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重」に示した各荷重について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重として設定し、設計竜巻荷重と組み合わせる。</p> <p>4.4 施設の構造健全性の確認</p> <p>4.4.1 概要</p> <p>設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重（常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせ設計荷重に対して、設計対象施設、あるいはその特定の区画(註4.1)の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。</p>	<p>解説 4.3.1.4 設計竜巻荷重の組み合わせ</p> <p>評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重(<math>W_w</math>)、気圧差による荷重(<math>W_p</math>)、及び設計飛来物による衝撃荷重(<math>W_M</math>)を組み合わせ合わせた複合荷重とし、複合荷重 <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> は、下式により算定した。</p> $W_{T1} = W_p \quad \dots (4.4)$ $W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \quad \dots (4.5)$ <p>ここで、(4.4) 式及び(4.5) 式の各変数は下記のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>W_{T1}</math>、<math>W_{T2}</math>：設計竜巻による複合荷重</li> <li><math>W_w</math>：設計竜巻の風圧力による荷重</li> <li><math>W_p</math>：設計竜巻による気圧差による荷重</li> <li><math>W_M</math>：設計飛来物による衝撃荷重</li> </ul> <p>なお、評価対象施設には <math>W_{T1}</math> 及び <math>W_{T2}</math> の両荷重をそれぞれ作用させた。</p> <p>4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定</p> <p>評価ガイドに基づき、「2.2.2 評価対象施設に作用する荷重」の「(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重」に示した各荷重について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重として設定し、設計竜巻荷重と組み合わせる。</p> <p>4.4 施設の構造健全性の確認</p> <p>4.4.1 概要</p> <p>評価ガイドに基づき、設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重（常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせ設計荷重に対して、評価対象施設、あるいはその特定の区画の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認した。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>4.4.2 建屋、構築物等の構造健全性の確認</p> <p>設計荷重に対して、建屋・構築物等の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定</p> <p>建屋・構築物等の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって設計対象施設に生じる変形や応力等を算定する方針である。設計対象施設に生じる変形や応力等は、その技術的な妥当性を確認した上で、原則として、現行の法律及び基準類<sup>(注4.2)</sup>等に準拠して算定する。</p> <p>(2) 構造健全性の確認</p> <p>「(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定」で算定される変形・応力等に基づいて、設計対象施設(建屋・構築物等)が以下の構造健全性評価基準を満足する方針であることを確認する。</p> <p>①竜巻防護施設(外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く)</p> <p>設計対象施設が終局耐力等の許容限界<sup>(注4.2)</sup>に対して妥当な安全余裕を有している。</p> <p>②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>1)設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.3)</sup>が、終局耐力等の許容限界<sup>(注4.2)</sup>に対して妥当な安全余裕を有している。</p> <p>2)設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.3)</sup>に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。<sup>(注4.4)</sup></p>	<p>4.4.2 建屋、構築物等の構造健全性の確認</p> <p>評価ガイドに基づき、設計荷重に対して、建屋・構築物等の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認した。</p> <p>(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定</p> <p>建屋・構築物等の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって評価対象施設に生じる変形や応力等を、その技術的な妥当性を確認した上で、原則として、現行の法律及び基準類等に準拠して算定した。</p> <p>(2) 構造健全性の確認</p> <p>「(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定」で算定される変形・応力等に基づいて、評価対象施設(建屋・構築物等)が以下の構造健全性評価基準を満足することを確認した。</p> <p>①竜巻防護施設(外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く)</p> <p>評価対象施設が終局耐力等の許容限界に対して妥当な安全余裕を有している。</p> <p>②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>1) 評価対象施設あるいはその特定の区画が、終局耐力等の許容限界に対して妥当な安全余裕を有している。</p> <p>2) 設計飛来物が評価対象施設あるいはその特定の区画に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>4.4.3 設備の構造健全性の確認</p> <p>設計荷重に対して、設備（系統・機器）の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>（1）設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定</p> <p>設備の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって設計対象施設に生じる変形や応力等を算定する方針である。設計対象施設に生じる変形や応力等は、その技術的な妥当性を確認した上で、原則として、現行の法律及び基準類<sup>(注4.5)</sup>等に準拠して算定する。</p> <p>（2）構造健全性の確認</p> <p>「（1）設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定」で算定される変形・応力等に基づいて、設計対象施設（設備）が以下の構造健全性評価基準を満足する方針であることを確認する。</p> <p>①竜巻防護施設（外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く）</p> <p>設計対象施設が許容応力度等に基づく許容限界<sup>(注4.5)</sup>に対して適切な安全余裕を有している。</p> <p>②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>1)設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.6)</sup>が、許容応力度等に基づく許容限界<sup>(注4.5)</sup>に対して適切な安全余裕を有している。</p> <p>2)設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.6)</sup>に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。<sup>(注4.7)</sup></p>	<p>4.4.3 設備の構造健全性の確認</p> <p>評価ガイドに基づき、設計荷重に対して、設備（系統・機器）の構造健全性が維持されて安全機能が維持されていることを確認した。</p> <p>①竜巻防護施設（外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く）</p> <p>設計荷重によって評価対象施設に生じる応力を算定し、許容値に対して安全余裕を有していることを確認した。</p> <p>②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>1) 設計荷重によって評価対象施設に生じる応力を算定し、許容値に対して安全余裕を有していることを確認した。</p> <p>2) 設計飛来物が評価対象施設に衝突した場合、飛来物が貫通することを確認したため、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないよう、発電所構内の屋外に保管されている資機材等に十分な重さのウェイトを取付ける等の飛来物発生防止対策を実施するとともに、飛来物から防護する対策として防護ネット等を設置する。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>4.5 その他の確認事項</p> <p>4.4 に示す以外の確認事項については、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。例えば、中央制御室等の重要な区画等や非常用発電機等の重要な設備等に繋がる給排気ダクト類へ作用する風圧力が安全機能維持に与える影響等、安全機能維持の観点から重要と考えられる確認事項を設定する。そして、それぞれの項目について検討を行い、安全機能が維持される方針であることを確認する。</p>	<p>4.5 その他の確認事項</p> <p>評価ガイドに基づき、4.4 に示す以外の確認事項として、非常用ディーゼル発電機の吸排気口へ作用する気圧差による運転への影響について確認し、安全機能が維持されることを確認した。</p>



原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>5. 竜巻随伴事象に対する考慮</p> <p>5.1 概要</p> <p>竜巻随伴事象に対して、竜巻防護施設の安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>5.2 基本的な考え方及び検討事項</p> <p>検討対象とする竜巻随伴事象は、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。</p> <p>ただし、竜巻随伴事象として容易に想定される以下の事象については、その発生の可能性について検討を行い、必要に応じてそれら事象が発生した場合においても安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>(1) 火災</p> <p>設計竜巻等により燃料タンクや貯蔵所等が倒壊して、重油、軽油及びガソリン等の流出等に起因した火災が発生した場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。</p> <p>(2) 溢水等</p> <p>設計竜巻による気圧低下等に起因した使用済燃料プール等の水の流出、屋外給水タンク等の倒壊による水の流出等が発生した場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。</p> <p>(3) 外部電源喪失</p> <p>設計竜巻、設計竜巻と同時発生する雷・雹等、あるいはダウンバースト等により、送電網に関する施設等が損傷する等して外部電源喪失に至った場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。</p>	<p>5. 竜巻随伴事象に対する考慮</p> <p>5.1 概要</p> <p>評価ガイドに基づき、竜巻随伴事象に対して、竜巻防護施設の安全機能が維持されていることを確認した。</p> <p>5.2 基本的な考え方及び検討事項</p> <p>評価ガイドに基づき、竜巻随伴事象として想定される火災、溢水および外部電源喪失事象が発生した場合においても安全機能が維持されることを確認した。</p>