

3.5 架台及びブラケットの構造設計

3.5.1 基本設計

竜巻防護ネットの架台は、設計飛来物の衝突において貫通が発生しない設計とする。

また、ネットやすり抜け防止用鋼材で受けた設計飛来物による衝撃荷重等が伝達されることから、荷重条件に対して上載するネット、すり抜け防止用鋼材を支持可能な構造強度を有する設計とする。設計飛来物の衝突位置により各部材に加わる荷重が異なることから、設計飛来物衝突位置の影響を考慮した設計を実施する。

地震に対しては、耐震Cクラスの静的地震力に耐えるとともに、基準地震動 S_s による地震力によって崩壊及び落下せず、原子炉補機冷却海水ポンプ等への波及的影響を与えることのない設計とする。

竜巻防護ネットのブラケットは、ネットやすり抜け防止用鋼材で受けた設計飛来物による衝撃荷重等が架台を介して伝達されることから、荷重条件に対して上載する架台を支持可能な構造強度を有する設計とする。

3.5.2 構造設計

ネット及び架台で発生した荷重は、循環水ポンプ建屋床面及びブラケットに伝達する構造とする。

ブラケット部の架台で発生した荷重は、ブラケットを介して海水ポンプエリア壁面に伝達する構造とする。

海水ポンプエリア開口部周囲の床面のうち、原子炉補機冷却海水ポンプエリアの南側の一部については、架台を設置するスペースが十分に確保できないため、海水ポンプエリア壁面にブラケットを取付け、ネット及び架台を支持する。

3.6 すり抜け防止用鋼材の構造設計

3.6.1 基本設計

竜巻防護ネットのうち、すり抜け防止用鋼材は、ネット（鋼製枠）間の隙間から設計飛来物の侵入を防ぐために、防護板を設置する。

3.6.2 構造設計

すり抜け防止用鋼材は、設計飛来物である鋼製材（縦 4.2m×横 0.3m×高さ 0.2m）が通過しない構造とする。

竜巻防護ネットの損傷モードを整理した結果を表8に示す。

表8 竜巻防護ネットの損傷モード整理表 (1/2)

評価対象	作用荷重	損傷モード	評価項目	構造強度上の評価方針
ネット (金網部)	衝撃荷重 竜巻風荷重 自重	ネットの破断による設計飛来物の防護対象施設への衝突	【吸収エネルギー評価】	ネットに設計飛来物が衝突した場合に、限界吸収エネルギーが作用荷重によるエネルギー以上であることを確認する（電中研報告 ^{※1} による評価）
		ネットがたわむことによる設計飛来物の防護対象施設への衝突	【破断評価】	ネットに設計飛来物が衝突した場合に、作用する荷重がネットの素材の持つ破断強度以下であることを確認する（電中研報告 ^{※1} による評価）
ワイヤ ロープ	衝撃荷重 竜巻風荷重 自重	ネットがたわむことによる設計飛来物の防護対象施設への衝突	【たわみ評価】	ネットに設計飛来物が衝突した場合に、防護対象施設までの離隔距離が作用荷重によるワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量以上であることを確認する
		部材の破断による設計飛来物の防護対象施設への衝突	【破断評価】	
		部材の破断による設計飛来物の防護対象施設への衝突	【破断評価】	ネットに設計飛来物が衝突した場合に、作用する荷重が素材の持つ破断強度以下であることを確認する
ターン バックル シヤックル 接続治具	衝撃荷重	部材の破断による設計飛来物の防護対象施設への衝突	【貫通評価】 ひずみ量	設計飛来物が支持部材に衝突した場合に、衝突箇所が発生する衝撃荷重によって貫通が生じないように、ネット（鋼製枠）の鋼材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認する
ネット (鋼製枠)		部材の破断による設計飛来物の防護対象施設への衝突	【破断評価】	
		部材の破断による設計飛来物の防護対象施設への衝突	【破断評価】	

※1:竜巻設計飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案(電力中央研究所報告 N13014, 平成26年3月), 電力中央研究所報告書O01「高強度金網を用いた竜巻設計飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」

表8 竜巻防護ネットの損傷モード整理表(2/2)

評価対象	作用荷重	損傷モード	評価項目	構造強度上の評価方針
すり抜け防止用鋼材	衝撃荷重 竜巻風荷重 自重	防護板を貫通することによる設計飛来物の防護対象施設への衝突 架台を貫通することによる設計飛来物の防護対象施設への衝突 ネット(金網部)が破断することによる	【貫通評価】 ひずみ量	衝突箇所に発生する衝撃荷重によって貫通が生じないように、終局状態に至るようひずみを生じないことを確認する
			【貫通評価】 ひずみ量	設計飛来物が支持部材に衝突した場合に、衝突箇所 に発生する衝撃荷重によって貫通が生じないように、架台の鋼材が終局状態に至るようひずみを生じないことを確認する
支持部材	衝撃荷重 竜巻風荷重 ネット荷重	架台に設計飛来物が衝突すること、破断・落下し防護対象施設に衝突	【支持機能評価】 ひずみ量	竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するネットを支持するため、架台の鋼材が終局状態に至るようひずみを生じないことを確認する
			【支持機能評価】 せん断応力 曲げ応力 引張応力	竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するネットを支持するため、ブラケットの鋼材が終局状態に至るようひずみを生じないことを確認する
ブラケット	衝撃荷重 竜巻風荷重 ネット荷重 架台荷重 自重	破断による架台の落下		

4. 竜巻防護に対する評価方針

4.1 強度評価

4.1.1 ネット（金網部）

ネット（金網部）の強度評価は「3.2.1 荷重条件」で設定した荷重及び荷重の組合せを踏まえて、評価対象部位に作用する応力等について確認するものである。

(1) 評価項目

設計荷重に対してネットは、設計飛来物を捕捉し原子炉補機冷却海水ポンプ等へ衝突させないために、破断が生じない強度を有すること及びたわみが生じても、設計飛来物が原子炉補機冷却海水ポンプ等と衝突しないよう原子炉補機冷却海水ポンプ等との離隔が確保できることを確認する。

破断が生じないことの確認として、ネットが設計飛来物のエネルギーを吸収できること及び設計飛来物の衝突箇所において、ネットの破断が生じない強度を有することを評価する。また、防護ネットが設計飛来物を捕捉可能であることを確認するために、設計荷重に対してネットを支持するワイヤロープ、ターンバックル、シャックル及び接続用の治具に破断が生じない強度を有することを評価する。

設計飛来物の衝突位置の影響として、中央位置からずれたオフセット位置に衝突する場合の影響を考慮する。

(2) 評価対象部位

ネット（金網部）の強度評価においては、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

① ネット

ネットには設計竜巻荷重が直接作用するため、評価対象部位とする。

② ワイヤロープ、ターンバックル及びシャックル

ネットに作用した荷重は、ワイヤロープを介してターンバックル及びシャックルに作用するため、ワイヤロープ、ターンバックル及びシャックルを評価対象部位とする。

③ 接続用の治具

接続用の治具及びワイヤロープ固定部には、ワイヤロープを介して伝達された荷重が作用するため、接続用の治具である隅角部固定ボルト、ワイヤロープ固定部を評価対象部位とする。

図9にネット（金網部）の評価対象部位、図10に設計飛来物衝突時の荷重伝達を示す。

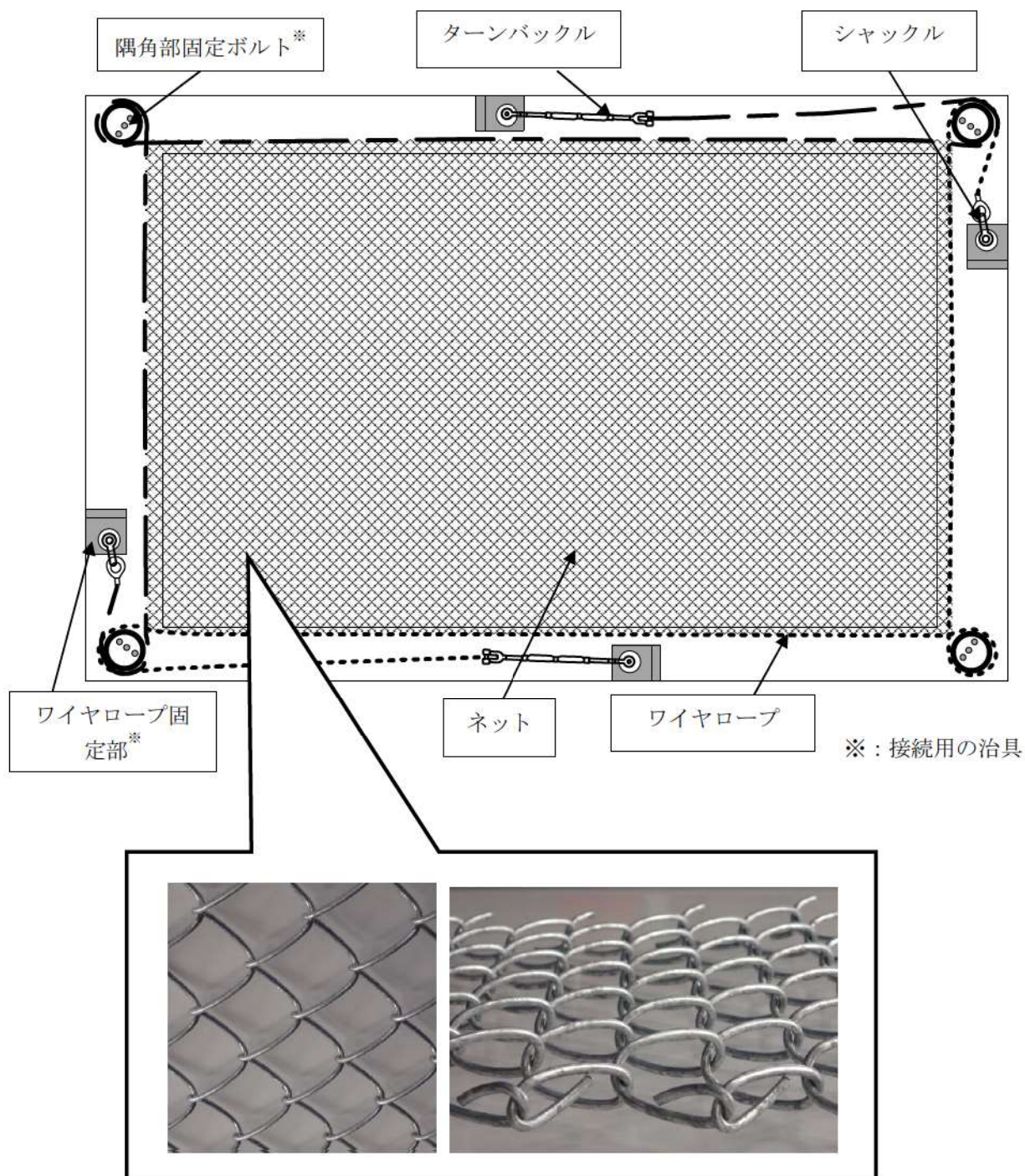
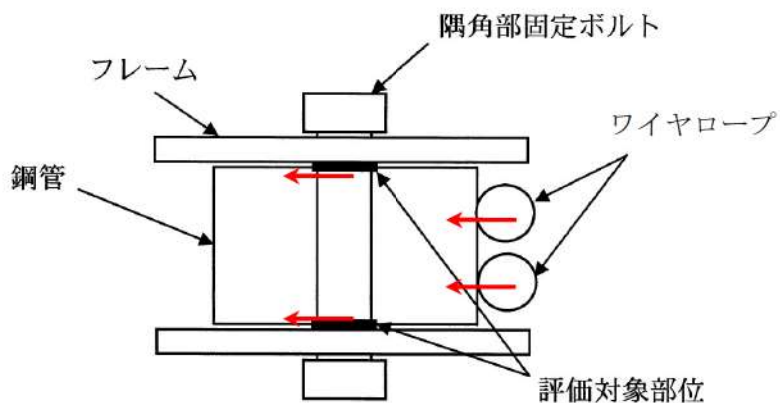
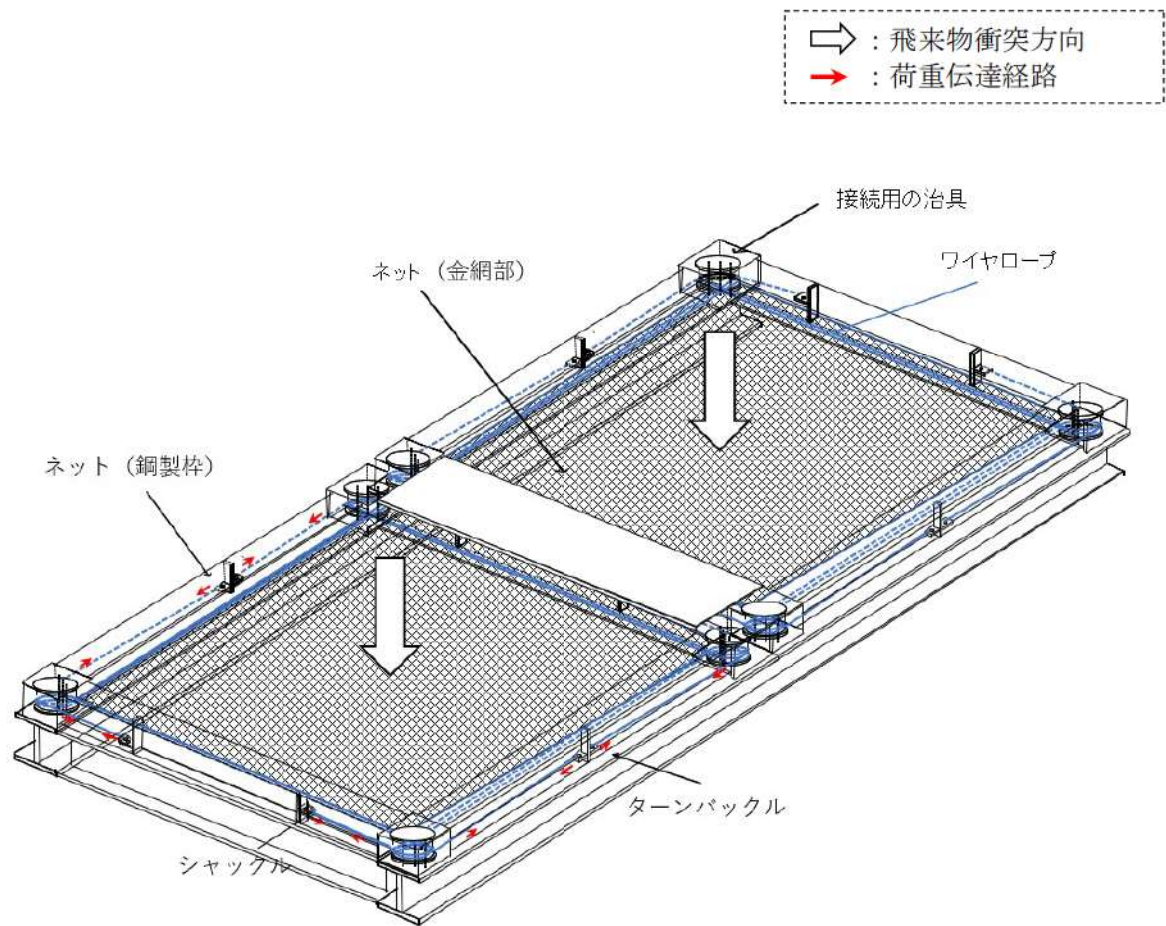


図9 ネット（金網部）の評価対象部位



接続用の治具を構成する隅角固定ボルトの荷重状態

図 10 設計飛来物衝突時の荷重伝達図 (ネット (金網部))

(3) 許容限界

① 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用するエネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。

② 破断評価

ネット（金網部）の破断評価においては、計算により算出するネットに作用する荷重がネットの素材の持つ破断強度以下であることにより、ネットに破断が生じない強度を有することを確認する。

ワイヤロープは、ネットと一体となって設計飛来物を捕捉するため、ネットと同様に塑性変形を許容することから、破断荷重を許容限界とする。

ターンバックル及びシャックルは、破断しなければネットを設置位置に保持することができ、設計飛来物を捕捉可能である。したがって、ワイヤロープの張力に対し、破断しないことを確認する。

接続用の治具の破断評価は、計算により算出する応力により接続用の治具を破断しない強度を許容限界とする。

③ たわみ評価

竜巻防護ネット本体は、自重、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、計算により算出する竜巻防護ネット本体の最大たわみ量がネットと原子炉補機冷却海水ポンプ等の離隔距離未満であることを確認するため、ネットと原子炉補機冷却海水ポンプ等の最小離隔距離を許容限界として設定する。

4.1.2 ネット（鋼製棒）

ネット（鋼製棒）の強度評価は、「3.2.1 荷重条件」にて設定した荷重及び荷重の組合せを踏まえて、評価対象部位に作用する応力等について確認するものである。

(1) 評価項目

設計荷重に対してネット（鋼製棒）は、設計飛来物が貫通せず原子炉補機冷却海水ポンプ等への到達を阻止できること（貫通評価）、また、原子炉補機冷却海水ポンプ等へ波及的影響を与えないよう落下が生じないこと（支持機能評価）を衝突解析により確認する。

評価においては、飛来物の衝突位置により各部材に発生する応力が変わることから、各部材に対し最も条件の厳しい衝突箇所を考慮し評価を実施する。

(2) 評価対象部位

ネット（鋼製棒）の強度評価においては、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

4.1.3 架台及びブラケット

架台の強度評価は、「3.2.1 荷重条件」にて設定した荷重及び荷重の組合せを踏まえて、評価対象部位に作用する応力等について確認するものである。

(1) 評価項目

設計荷重に対して架台は、設計飛来物が貫通せず原子炉補機冷却海水ポンプ等への到達を阻止できること（貫通評価）、また、原子炉補機冷却海水ポンプ等へ波及的影響を与えないよう落下が生じないこと（支持機能評価）を衝突解析により確認する。

ブラケットは、架台で受けた荷重が伝達されるため、衝突解析によって算出した荷重によって落下が生じないこと（支持機能評価）を確認する。

評価においては、飛来物の衝突位置により各部材に発生する応力が変わることから、各部材に対し最も条件の厳しい衝突箇所を考慮し評価を実施する。

(2) 評価対象部位

支持部材の強度評価においては、その構造を踏まえて、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、鋼製棒、架台、ブラケットを評価対象として選定する。

また、図11～図13に各衝突方向からの設計飛来物衝突時の荷重伝達の例を示す。

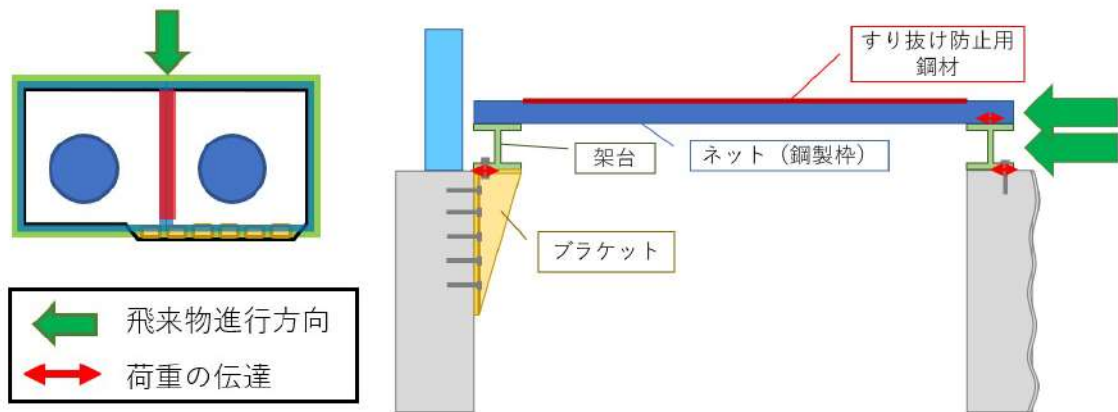


図 11 設計飛来物衝突時の荷重伝達例
(水平方向 (北から南) から衝突した場合)

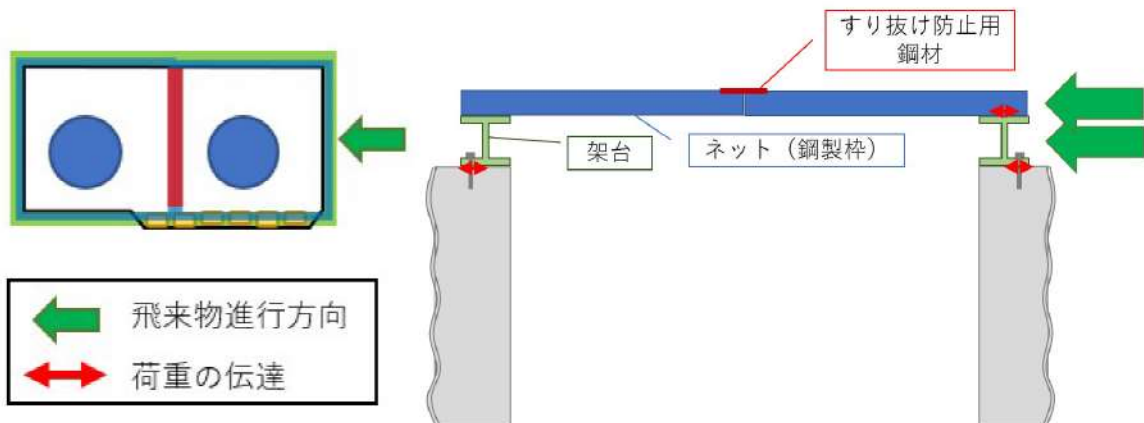


図 12 設計飛来物衝突時の荷重伝達例
(水平方向 (東から西) から衝突した場合)

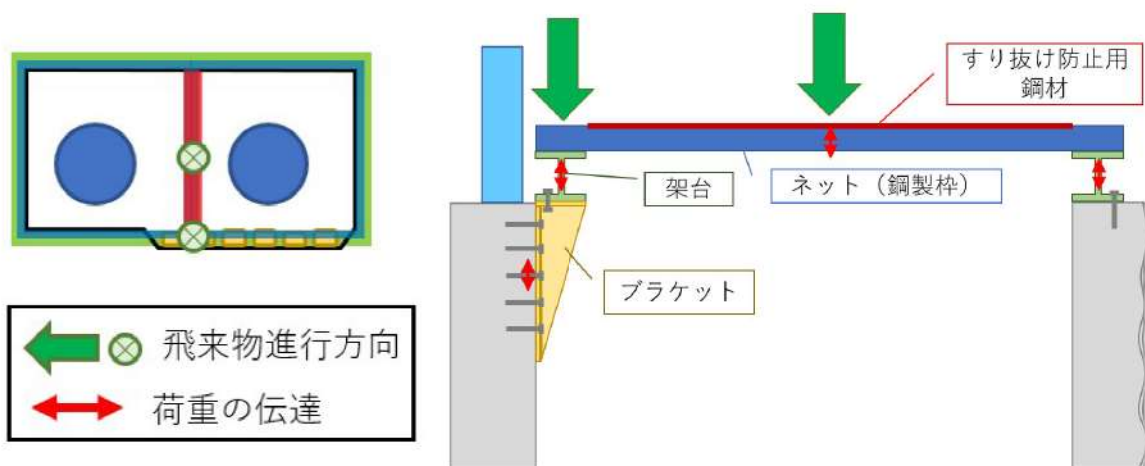


図 13 設計飛来物衝突時の荷重伝達例
(鉛直方向から衝突した場合)

(3) 許容限界

架台は、評価対象部位に発生する最大ひずみが「NEI07-13」に基づく破断ひずみの範囲内であることを確認する。最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し、全断面に発生しないことにより、貫通及び落下が生じないことを確認する。

(4) 支持部材に対する性能目標と評価方針

(1) ～ (3) を踏まえ、支持部材に対する構造強度上の性能目標と評価方針を表 9 に整理する。

表 9 支持部材に対する構造強度上の性能目標と評価方針

評価対象	支持部材の設計方針	構造強度上の性能目標	構造強度上の評価方針	評価部材	主な機能損傷モード		許容限界
					作用荷重	限界状態	
竜巻防護ネット (支持部材)	<p>支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が原子炉補機冷却海水ポンプ等へ衝突することを防止するため、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及びすり抜け防止鋼材を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、原子炉補機冷却海水ポンプ等に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落をしない設計とする。</p>	<p>【貫通】 設計飛来物の支持部材への衝突に対して、衝突箇所を貫通させない。</p>	<p>設計飛来物が支持部材に衝突した場合に、衝突箇所が発生する衝撃荷重によって貫通が生じないよう、ネット(鋼製枠)の鋼材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認する。</p>	ネット (鋼製枠)	<ul style="list-style-type: none"> 自重 上載荷重 (ネット (金網部)) 竜巻風荷重 衝撃荷重 	(衝突面の) 全断面欠損	<p>破断ひずみ以下。 最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し、全断面に発生しないこと</p>
		<p>【支持機能】 支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する。</p>	<p>竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、鋼製枠の鋼材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認する。</p>	架台	<ul style="list-style-type: none"> 自重 上載荷重 (ネット, すり抜け防止鋼材) 竜巻風荷重 衝撃荷重 	終局状態	発生する応力が JEAG 4601 の IV _{AS} 以下
		<p>ブラケット 本体</p> <p>ブラケット アンカー ボルト</p>	<ul style="list-style-type: none"> 自重 上載荷重 (ネット, すり抜け防止鋼材, 架台) 竜巻風荷重 衝撃荷重 				

(4) 評価結果

評価結果については詳細設計段階で整理する。

詳細設計段階で、仕様変更等の対応を行うことで、許容値を満足させる方針とする。

4.1.4 すり抜け防止用鋼材

すり抜け防止用鋼材の強度評価は、「3.2.1 荷重条件」にて設定した荷重及び荷重の組合せを踏まえて、評価対象部位に作用する応力等の評価方針について確認するものである。

(1) 評価項目

原子炉補機冷却海水ポンプ等が安全機能を損なうことのないことの確認として、設計飛来物が防護板に衝突した場合の貫通に対する評価(以下「貫通評価」という)を実施し、原子炉補機冷却海水ポンプ等に到達しないことを確認する。

(2) 評価対象部位

すり抜け防止用鋼材は設計飛来物の衝突に対し、原子炉補機冷却海水ポンプ等を防護するための設備であることから評価対象部位とする。

(3) 許容限界

すり抜け防止用鋼材の貫通評価における許容限界は、破断ひずみの範囲内であることを確認する。最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し、全断面に発生しないことにより、貫通及び落下が生じないことを確認する。

5. 竜巻以外の自然現象（地震、津波含む）に対する評価方針

5.1 竜巻以外の自然現象に対する評価

(1) 竜巻以外の自然現象の影響抽出

竜巻防護ネットは、竜巻以外の自然現象によって原子炉補機冷却海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

竜巻防護ネットに対する竜巻以外の自然現象（地震、津波含む）の影響を表10に示す。

竜巻防護ネットを設置する取水ピットポンプ室（コンクリート壁含む）及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室（コンクリート壁含む）の竜巻防護ネットの耐震評価方針については、設置許可基準規則第4条に対する適合状況説明資料『設置許可基準規則等への適合状況について（設計基準対象施設等）第4条 地震による損傷の防止』で説明する。

表 10 竜巻防護ネットに対する竜巻以外の自然現象（地震，津波含む）の影響

事象	確認結果	考慮の 要否
風（台風）	・建屋内に設置するため風（台風）の影響を受けない	—
凍結	・設備構造上，凍結の影響を受けない	—
降水	・構内排水施設により排水することで設備が浸水することはない	—
積雪	・建屋内に設置するため積雪の影響を受けない	—
落雷	・電気設備を持たないことから電气的影響を受けない	—
地滑り	・地滑り地形から離隔距離を確保した位置に設置するため，地滑りの影響を受けない	—
火山の影響	・建屋内に設置するため降下火砕物の荷重の影響を受けない ・腐食に対しては金属材料を用い，亜鉛メッキや外装塗装を実施していることから短期的な影響は小さい ・設備構造上，降下火砕物による閉塞・摩耗・電气的影響を受けない	—
生物学的事象	・設備構造上，生物学的事象の影響を受けない	—
森林火災	・防火帯により，森林から約 300m の離隔がある ・設備構造上，ばい煙による影響を受けない	—
地震	・地震の荷重を考慮する (第 4 条 地震による損傷の防止)参照	○ (荷重)
津波	・基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないため，荷重・浸水の影響を受けない (第 5 条 津波による損傷の防止)	—

(2) 設計条件

竜巻以外の自然現象による波及的影響の評価の条件を以下に示す。

a. 荷重条件

(a) 地震荷重

波及的影響の評価は基準地震動 S_s による地震力に対して実施する。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せは「泊発電所 3 号炉外部事象の考慮について」に示す自然現象の組合せの方針に従い，以下のとおりとする。

(a) 地震荷重＋風荷重

地震と風については，ともに最大荷重の継続時間が短く，同時に発生する確率は低い。また，竜巻防護ネットは風荷重の影響が大きいと考えられるような構造や形状の施設でないため，地震荷重と風荷重との組合せは考慮しない。

6. 竜巻随件事象に対する評価

(1) 火災

竜巻随件事象として，建屋外については，発電所敷地内の屋外にある危険物貯蔵施設等の火災がある。火災源と竜巻防護ネットの位置関係を踏まえて火災の影響を評価（「6 条（外部火災）」により評価）した上で，竜巻防護ネット

が原子炉補機冷却海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

また、竜巻防護ネットは発火性、引火性のある物質を使用しないため、火災の原因とはならない。

(2) 溢水

建屋外については、設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンク等の破損に伴う溢水を想定されるが、竜巻防護ネットは構造上、溢水により機能を損なわないため、溢水により竜巻防護ネットが原子炉補機冷却海水ポンプ等に波及的影響を及ぼすことはない。

また、竜巻防護ネットは液体を内包する構造でないため、溢水の原因とはならない。

(3) 外部電源喪失

設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により外部電源喪失が想定されるが、竜巻防護ネットは、電源を用いておらず、外部電源喪失の影響を受けないため原子炉補機冷却海水ポンプ等に波及的影響を及ぼすことはない。また、竜巻防護ネットは飛来物化せず、送電網に関する施設等を損傷させることはないから、外部電源喪失の原因とならない。

7. 竜巻防護ネットの維持管理について

竜巻防護ネットは、原子炉補機冷却海水ポンプ等を竜巻による飛来物から防護する機能及び、原子炉補機冷却海水ポンプ等に波及的影響を与えないための設備であることから、設置環境や部材の劣化、故障モード等を踏まえた管理基準を定め、保全計画を策定し、点検を実施することにより、適切に設備の維持管理を実施する。

原子炉補機冷却海水ポンプ等の点検時には、竜巻防護ネットの取外し、取付けを実施することから、接続部の健全性を確認して据付を実施する。

また、予備品の確保等により、部材が損傷した場合であっても、速やかに補修が行えるようにする。

8. 設置許可段階と工認段階における説明内容

設置許可段階では、竜巻防護ネットの構造成立性に係る設計方針を説明した。詳細設計段階では、設置許可断面の設計方針を踏まえて詳細設計を行い、竜巻防護ネットの強度計算結果を説明する。

竜巻防護ネットの吸収エネルギーの評価

1. 竜巻防護ネット

(1) 金網の設置方法及び吸収エネルギーの評価方針

海水ポンプ室の開口部周囲に口状に架台を設置し、その上に防護ネットを設置する。竜巻防護ネットはH形鋼等を用いたフレームに取付け、フレームへの金網の取付け部については、金網の4辺をワイヤロープで支持し、ワイヤの両端をフレームにボルトで締結する構造とする。

金網の吸収エネルギーの評価に当たっては、金網が捕捉可能な飛来物のエネルギーの最大値(限界吸収エネルギー)を算定し、飛来物や風荷重等によりネットに作用するエネルギーが限界吸収エネルギーを超えないことを確認する。

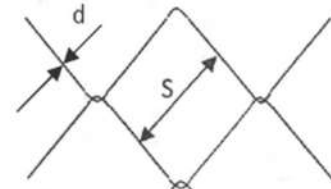
(2) 金網の諸元

H形鋼による鉄骨構造物の上面に海水ポンプエリア上部開口部には主金網として 50mm 目合の高強度金網を 2 枚重ねで設置し、補助金網として 40mm 目合の高強度金網を 1 枚重ねで設置する。

海水ストレナエリア上部開口部には主金網として 40mm 目合の高強度金網を 2 枚重ねで設置し、補助金網として 40mm 目合の高強度金網を 1 枚重ねで設置する。

本構造により直径 50mm の鋼製パイプ及び鋼製材が竜巻飛来物防護対策設備内部に侵入することを防止する。

- ・名称：高強度金網
- ・材質：JIS G3506 硬鋼線材 (SWRH62A)
- ・素線径 d ：4 mm
- ・素線の目合い (網目の大きさ) S ：40mm または 50mm
- ・素線の引張強さ：1400N/mm²
- ・耐火性：材料として鋼材使用により耐火性あり
- ・耐食性：亜鉛メッキ



(3) 防護対象飛来物

防護対象飛来物は、設計飛来物の内、鋼製材と鋼製パイプを想定するが、強度設計に当たっては、最もエネルギーの大きい鋼製材とする。

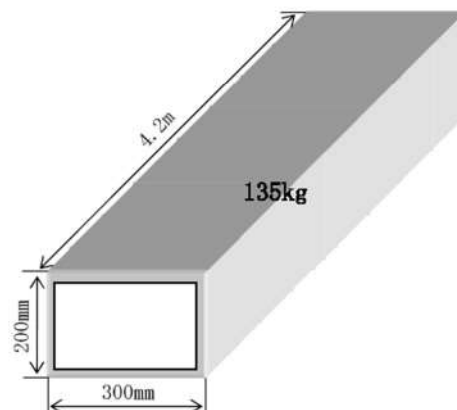
鋼製材の諸元は以下のとおり。

鋼製材

- ・飛来物形状：0.2m × 0.3m × 4.2m
- ・飛来物質量 M ：135kg
- ・衝突速度 水平速度 V_H ：57m/s
鉛直速度 V_V ：38m/s
- ・衝突エネルギー

$$\text{水平方向：} E_H = \frac{1}{2} \times M \times V^2 = 219.4 \text{ kJ}$$

$$\text{鉛直方向：} E_H = \frac{1}{2} \times M \times V^2 = 97.5 \text{ kJ}$$



(4) 金網の強度設計

a. 金網のたわみ量算定

金網の目合い寸法(S)が50mmの場合は、対角距離は71mmとなり、金網1m当たりの目合い数は14個となる。

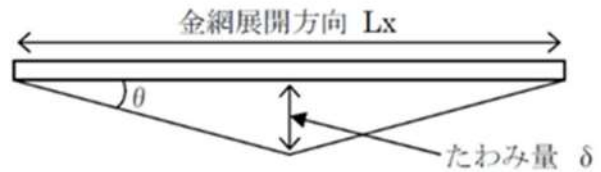
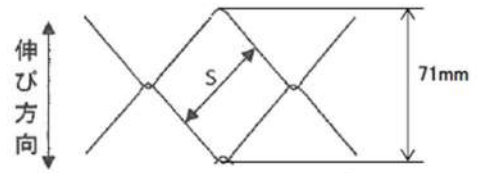
図1に示す1400N級金網の荷重試験の交点/荷重-伸び曲線より、金網の破断荷重は15kN、破断時の1目合い当たりの金網の伸び量は

20mmとなる。このとき、最大たわみ量 δ_{max} は、

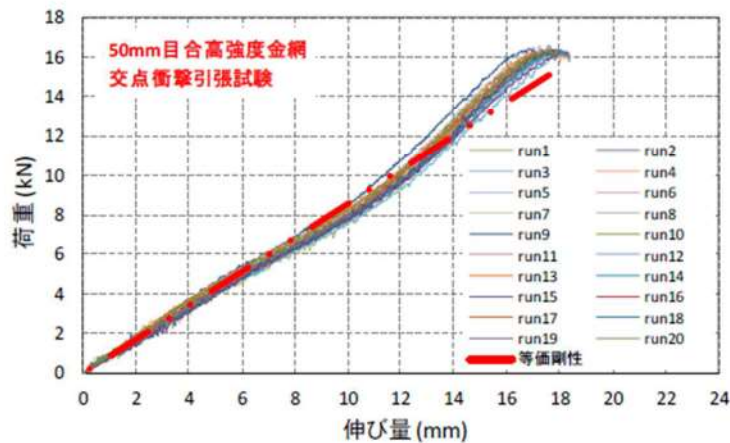
$$\delta_{max} = \frac{Lx}{2} \cdot \tan(\theta_{max})$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1}\left(\frac{71}{71+20}\right) = 38.8 \text{ deg}$$

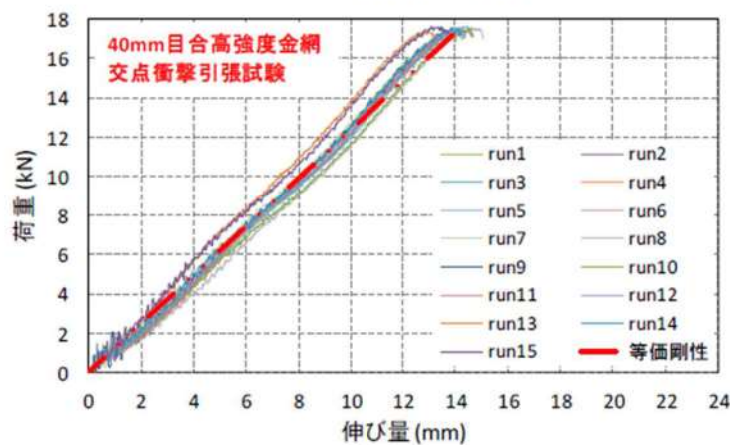
で求められる。



b. 金網の吸収エネルギーの検討



(50mm 目合金網)



(40mm 目合金網)

電中研における引張試験のうち有効な試験となった試験結果の平均値で設定。

図1 金網の荷重-伸び曲線

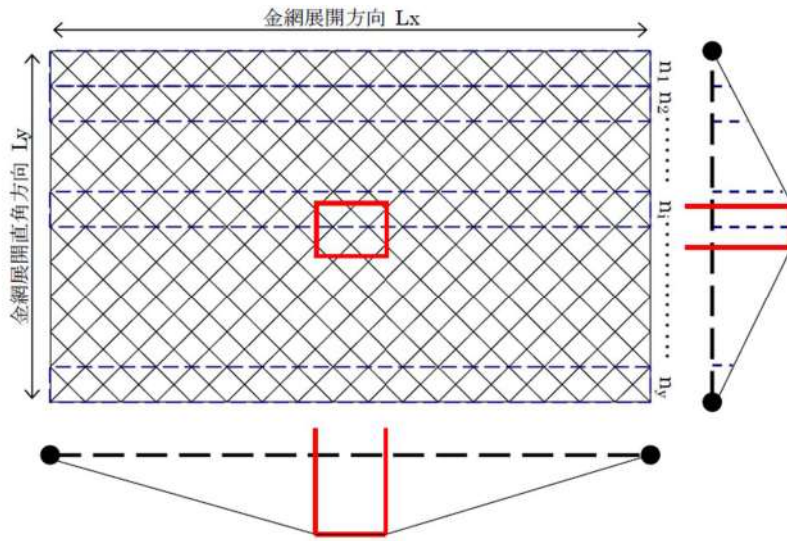


図2 金網の評価モデル

図2に示すように、金網を展開直角方向に1目合いごと [] に で囲った形に帯状に分割し、 n_1 から n_y までの各列が分担するエネルギーを、各列のたわみ量から算定し、それらを積算することにより金網の吸収するエネルギーを評価する。

各列の吸収するエネルギーは、図1の荷重-伸び曲線から、50mm目合いの金網は1目合い毎に等価剛性 858kN/m、40mm目合いの金網は1目合い毎に等価剛性 1239kN/mを持つばねを $N_x (=L_x/71\text{mm})$ 個直列につなげた状態と模擬できる。

このとき50mm目合いネット1つの列の剛性(金網展開剛性 K_x)は、
 金網展開剛性 $K_x = 858/N_x$

となる。I番目の列における張力 P_i は、

$$P_i = 2K_x \cdot \left(\frac{X_i}{2}\right) = K_x \cdot X_i$$

となり、従って作用力 F_i は、

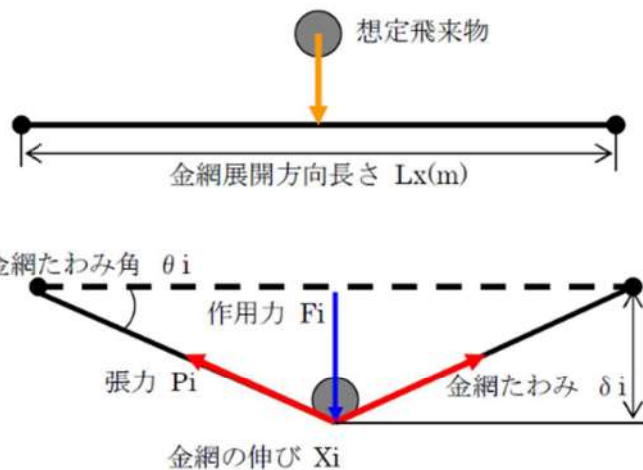
$$\begin{aligned} F_i &= 2P_i \cdot \sin(\theta_i) \\ &= 2K_x \cdot X_i \cdot \sin(\theta_i) \\ &= 2K_x \cdot X_i \cdot (\tan(\theta_i) - \sin(\theta_i)) \\ &= 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}}\right) \end{aligned}$$

となる。

i番目の列における吸収エネルギー E_i は、

$$\begin{aligned} E_i &= \int F_i d\delta_i = \int 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}}\right) d\delta \\ &= 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x\right) \end{aligned}$$

となり、限界吸収エネルギー E は、各列の吸収エネルギー E_i を第1列から第 n_y 列まで積算することにより求められる。



$$E = \sum_{i=1}^{n_y} E_i$$

金網は2枚重ねで使用することから、2枚重ねの金網により吸収できるエネルギーは上記を2倍したものとなる。また、防護対象物と金網の離隔距離を金網の最大たわみ量以上確保することにより、金網と防護対象物との接触を防止する。

c. 風による影響の検討

竜巻襲来時には、竜巻防護ネットも風圧力の影響を受けた状態で飛来物を受け止める必要がある。そのため、風速 V_D (=100m/s) の風圧力により防護ネットが受ける影響を以下のとおり評価する。

金網の吸収エネルギーの評価と同様に、金網を展開直角方向に1目合い毎に帯状に分割し、その1つの列に作用する風圧力を考える。分割された1列における金網の素線の投影面積 A は、素線径 d : mm, 素線の目合い(網目の大きさ) S : 50mm であることから、分割された1列に作用する風圧力 P_D は、次の式で求められる。

$$P_D = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2\right) \cdot G \cdot C \cdot A = 62.12Lx \text{ [N/m]}$$

空気密度 $\rho = 1.22\text{kg/m}^3$

ガスト影響係数 $G = 1.0$

風力係数 $C = 0.9$

$$\text{投影面積 } A = \frac{4}{1000} \cdot \left(4 \cdot \frac{50}{1000}\right) \cdot \frac{1000Lx}{50\sqrt{2}}$$

この風圧力 P_D がすべて金網展開方向 Lx の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式及びネットの吸収エネルギーの式を用いて、1列あたりの風荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が風荷重により受けるエネルギーを算出する。

$$F = P_D = 4Kx \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{Lx}{\sqrt{4\delta^2 + Lx^2}}\right)$$

$$E = 2Kx \cdot \delta^2 - Kx \cdot Lx \left(\sqrt{4\delta^2 + Lx^2} - Lx\right)$$

d. 金網の最大たわみ量及び限界吸収エネルギー算定結果

海水ポンプエリア上部開口部と海水ストレーナエリア上部開口部の防護対策の平面図を図3に示す。竜巻防護ネットの寸法と最大たわみ量及び限界吸収エネルギーは、以下のとおり。

表1 竜巻防護ネットのたわみ量と限界吸収エネルギー

ネット	海水ポンプエリア 上部開口部		海水ストレーナエリア上部 開口部	
	A トレン	B トレン	海側	山側
展開方向	5.02[m]	5.01[m]	4.440[m]	4.435[m]
直角方向	4.635[m]	4.635[m]	2.62[m]	2.62[m]
限界吸収エネルギー	324 [kJ]	327 [kJ]	252[kJ]	251[kJ]
自重と風荷重によるエネルギー	9.4[kJ]	9.2[kJ]	4.1[kJ]	4.1[kJ]
設計飛来物の衝突エネルギー (鋼製材：135kg, 速度 38m/s)	98 [kJ]			
作用する全エネルギー	107.4[kJ]	107.2[kJ]	102.1[kJ]	102.1[kJ]
限界たわみ量	1.88[m]	1.87[m]	1.65[m]	1.65[m]
最小離隔距離	3.5[m]	3.5[m]	4.6[m]	4.6[m]

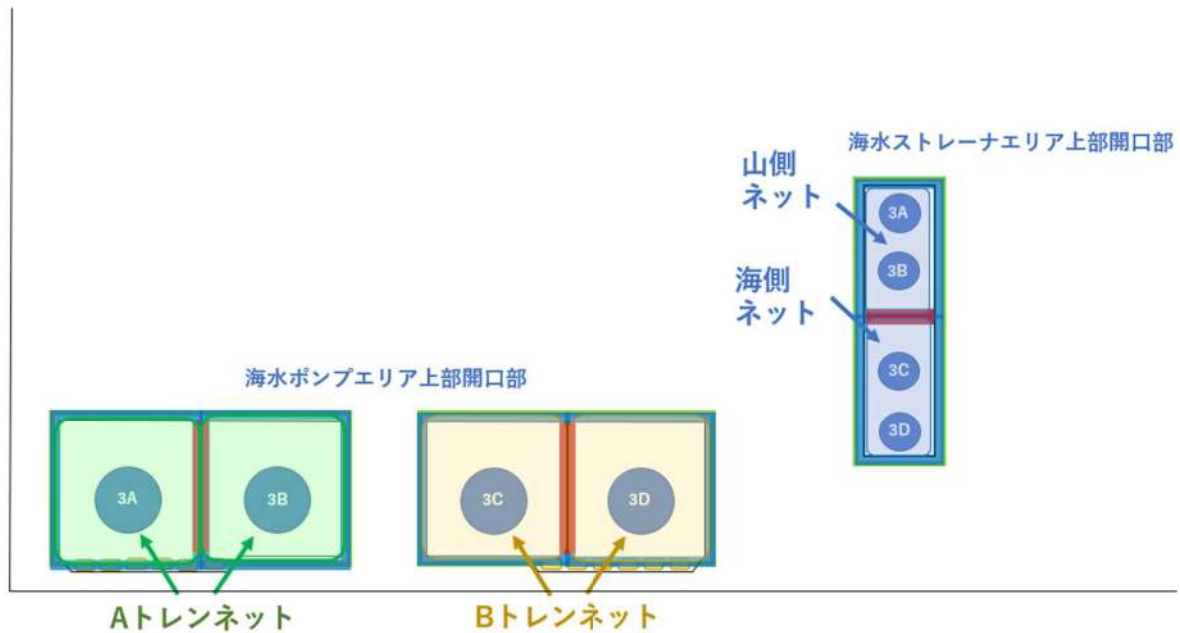


図3 竜巻防護ネット 平面図

電中研における金網強度評価試験結果

1. 試験方法

竜巻飛来物から外部事象防護対象施設を防護するためのネットに使用する金網について、図1に示す装置を用いて重錘を防護ネットに自由落下させて防護ネットの吸収エネルギーの確認を行った。

試験は1 m×1 mの金網による予備試験と、より実機形状に近い4 m×3 mの金網2枚を展開方向が直角になるように重ねた試験体による大型自由落下試験を実施した。

予備試験は、防護ネットの候補材選定も兼ねて実施し、1 m×1 mの防護ネットにおいて要求される吸収エネルギー(12kJ~13kJ)を、試験装置の最大落下高さ約40mからの自由落下で模擬するため、φ210mm、質量37.8kgの鉄球を用いて実施した。

大型自由落下試験においては、4 m×3 mの金網2枚で算定される吸収エネルギー(約250kJ)を20m程度の自由落下で模擬するため、φ500mm、質量1500kgの重錘を用いて実施した。

想定飛来物である、鋼製材、鋼製パイプが防護ネットに衝突した際には、飛来物の衝突面がネットに包み込まれ防護ネットによりエネルギーが吸収されると同時に、飛来物側もネットへの衝突の衝撃で変形しエネルギーの一部を吸収することとなるが、本試験ではネットに包み込まれる部分が球状の錘を用いて実施することにより飛来物側に変形が生じないことから、飛来物のエネルギーをすべて防護ネットで吸収させてネットの性能を確認している。

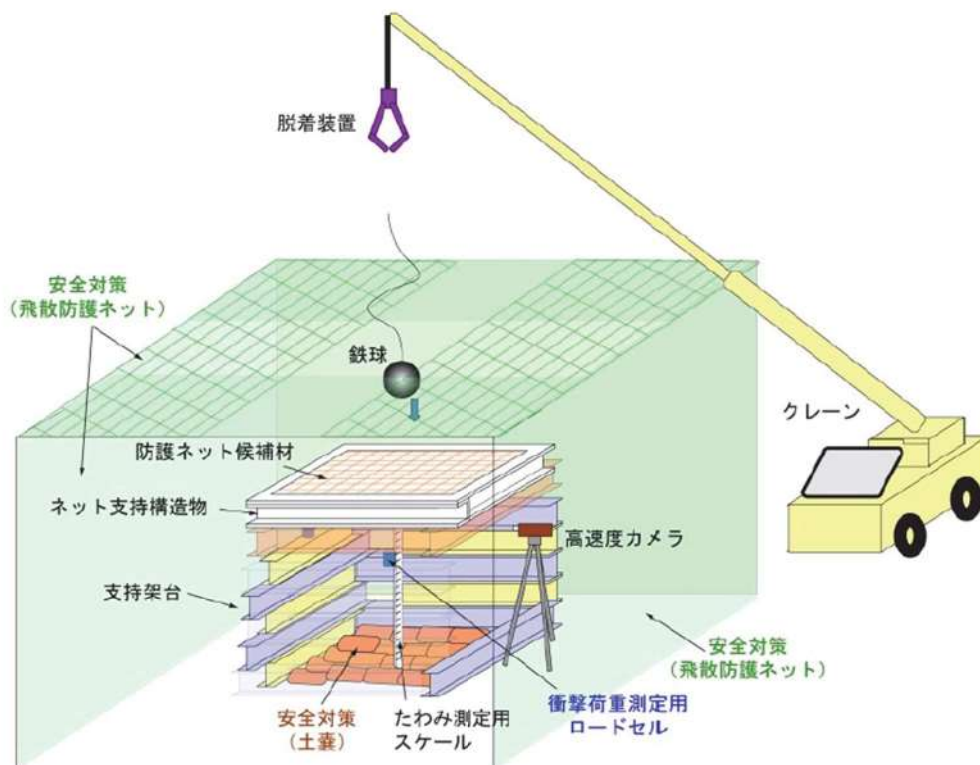


図1 自由落下試験装置

2. 予備試験条件

- ・金網緒元：名称：高強度金網
 材料：JIS G3506 硬鋼線材 (SWRH62A)
 素線径 d : 4 mm
 素線の目合い (網目の大きさ) S : 50mm
 素線の引張強さ : 1,400N/mm²
 寸法 : 1 m × 1 m
 ワイヤ支持条件 : 固定支持 (緩衝装置なし) , 可動支持 (緩衝装置なし)
- ・重錘緒元：形状 : ϕ 210mm 鉄球
 質量 : 37.8kg
 落下高さ (エネルギー) : 21m (7.8kJ) ~ 41m (15.2kJ)

3. 予備試験結果及び吸収エネルギー評価式との比較

予備試験結果と限界吸収エネルギー評価式との比較を図2に示す。限界吸収エネルギーの算定値は12.1kJとなる。試験結果では、固定支持の条件では12.6kJまで貫通しないことが確認され、可動支持の条件では15.2kJまで貫通しないことが確認されたことから、限界吸収エネルギーの評価方法は妥当であると考えられる。

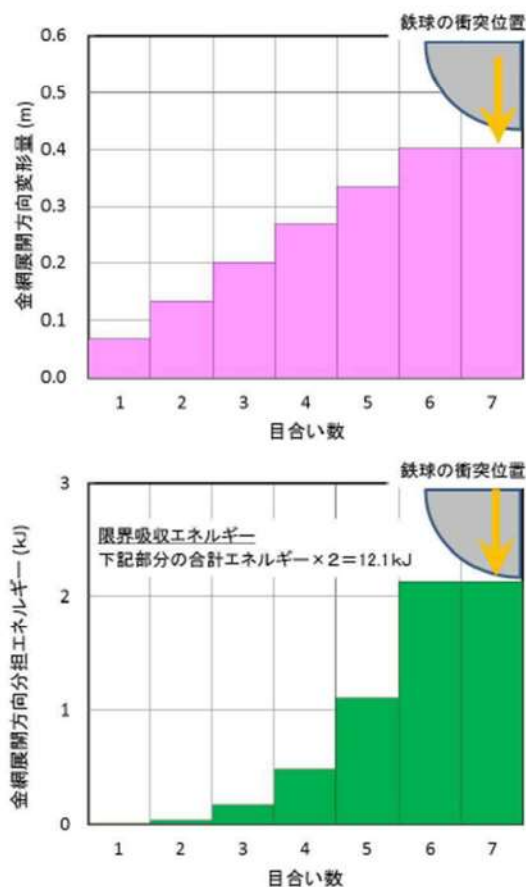


図2 予備試験結果と吸収エネルギー評価式との比較

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

4. 大型自由落下試験条件

- ・金網緒元：名称：高強度金網

 - 材料：JIS G3506 硬鋼線材 (SWRH62A)

 - 素線径 d : 4 mm

 - 素線の目合い (網目の大きさ) S : 50mm

 - 素線の引張強さ : 1,400N/mm²

 - 寸法 : 4 m × 3 m 及び 3 m × 4 m の 2 枚重ね

 - ワイヤ支持条件 : 可動支持 (緩衝装置あり)

- ・重錘緒元：形状：φ500mm 円柱 (先端半球)

 - 質量 : 1500kg

 - 落下高さ (エネルギー) : 15.4m (252kJ) ~17m (279kJ)

5. 大型自由落下試験結果及び吸収エネルギー評価式との比較

図3に4 m×3 mの金網の限界吸収エネルギー算定の模式図を，図4に3 m×4 mの金網の限界吸収エネルギー算定の模式図を，図5に大型自由落下試験結果を示す。

4 m×3 mの金網の限界吸収エネルギーは 112.6kJ， 3 m×4 mの金網の限界吸収エネルギー 103.7kJ となり，これらの金網を重ね合わせて設置したときの限界吸収エネルギーは 216.3kJ となる。大型試験では，参考に示す緩衝材を4体設置して実施しており，この緩衝材による吸収エネルギーが 38.4kJ となるので，限界吸収エネルギーはこれらを合計した 254.7kJ と算定される。試験では，257kJ まで貫通しないことが確認されたことから，限界吸収エネルギーの評価方法は妥当であると考えられる。

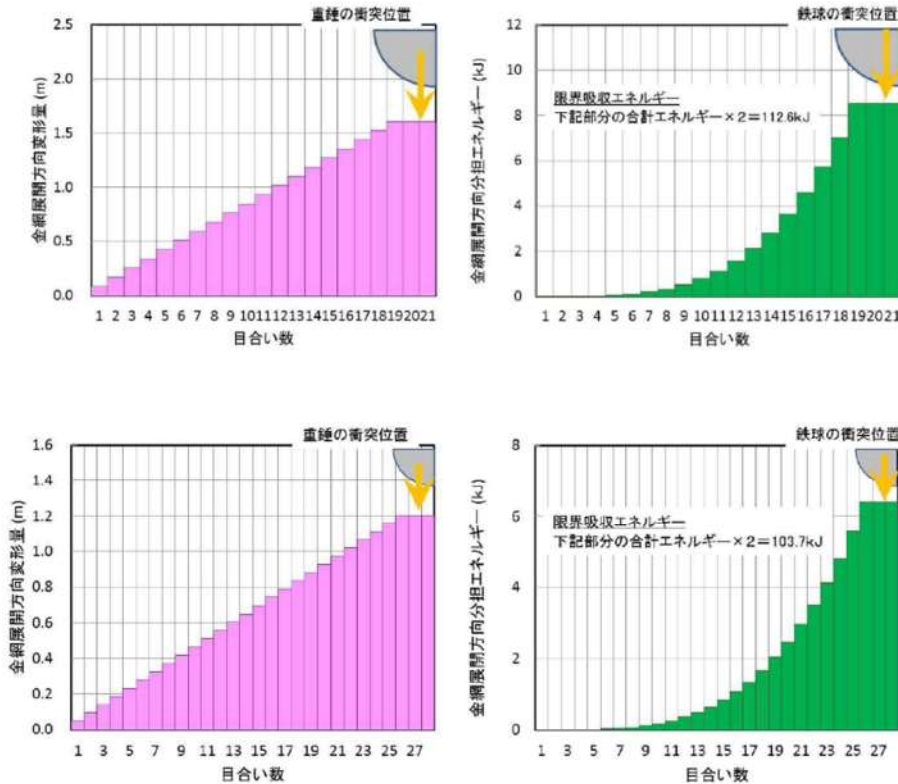


図4 3 m×4 m金網の限界吸収エネルギー算定模式図

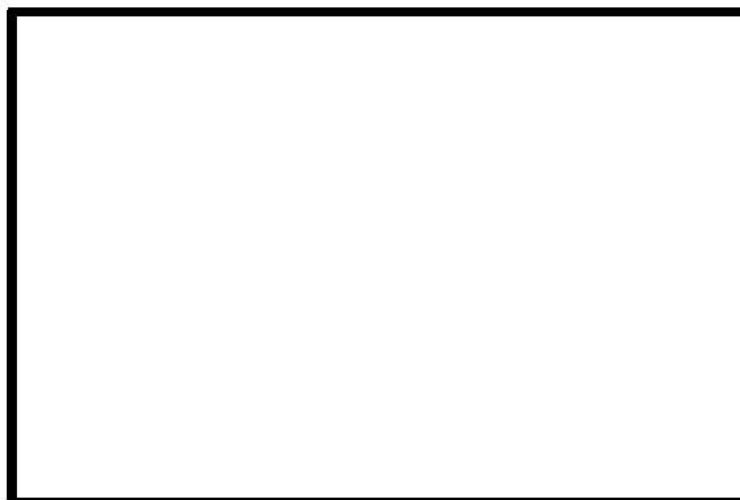


図5 大型自由落下試験結果

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

6. まとめ

1 m×1 mの高強度金網を用いて実施した予備試験，及び3 m×4 mの高強度金網を用いて実施した大型自由落下試験の錘の落下エネルギー (E_{Drop}) と，金網の限界吸収エネルギーの評価式を用いて算定した金網の吸収エネルギー (E_{Design}) との比較を図6に示す。

$E_{\text{Design}} > E_{\text{Drop}}$ の領域においては，予備試験，大型自由落下試験のいずれの試験においてもネットの貫通はなく錘を捕捉できていることから，金網の限界エネルギーの評価式は妥当であると考えられる。



図6 E_{Design} と E_{Drop} の比較結果

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

緩衝材の原理と吸収エネルギー

1. 緩衝材の構造及び設置方法

図1に示すように、金網を固定するフレームの4隅に緩衝材を設置し、金網を固定するワイヤを緩衝材に沿わせて設置することにより、緩衝材内部の部材の塑性変形によりエネルギーを吸収する。

緩衝材1体当たり 約 9.62kJ の吸収エネルギーを有しており、4体で 約 38.4kJ のエネルギーを吸収することが出来る。図2に金網、ワイヤロープ及び緩衝材の取り付けイメージ図を示す。

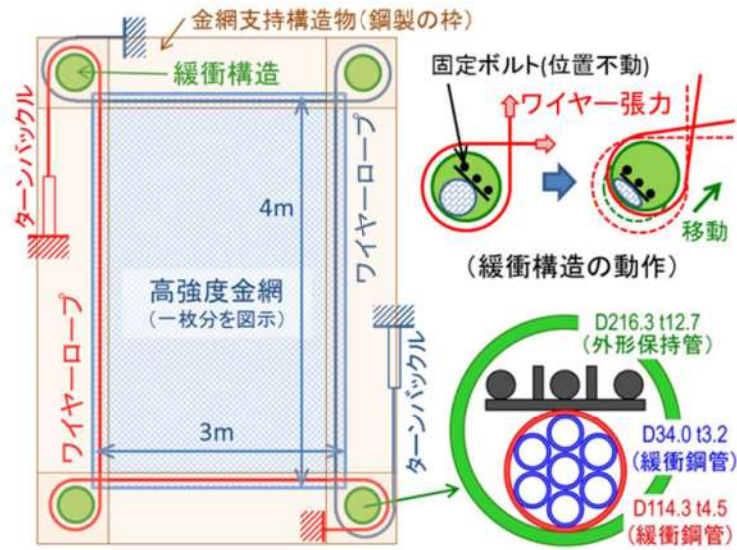


図1 緩衝材の構造及び設置方法



図2 金網、ワイヤロープ及び緩衝材の取り付けイメージ図

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

2. 緩衝材による地震時の影響

緩衝材を設置することにより、飛来物衝突時の金網の吸収エネルギーに余裕を与えることができるが、地震時に金網に作用する地震力により緩衝材が塑性変形すると、金網を固定しているワイヤにたるみが生じ、金網が大きく揺れることにより原子炉補機冷却海水ポンプ等に影響を及ぼす可能性がある。

緩衝材が塑性変形し動作したとき外形保持管は斜め方向に 70mm 移動するため、保守的に金網展開方向、金網展開直角方向の各々について、ワイヤ支持間隔が両側で 70mm ずつ短くなったものとして金網のたわみ量を評価した。金網展開方向長さ 5.01m、金網展開直角方向長さ 4.635 m の金網について、地震時に緩衝材が塑性変形しワイヤにたるみが生じたときの金網展開方向のたわみ量は 0.42m、展開直角方向のたわみ量は 0.40m となり、保守的にこれらのたわみ量を足し合わると 0.82m となる。防護ネットと原子炉補機冷却海水ポンプ等との離隔距離は約 2.6 m あるため、地震時に緩衝材が動作してワイヤにたるみが生じ金網が大きく揺れる状態になったとしても原子炉補機冷却海水ポンプ等に影響を与える恐れはない。

なお、地震等による緩衝材の塑性変形が確認された場合には、緩衝材の取替えを実施する。

飛来物のオフセット衝突時の影響評価

1. 展開方向オフセット衝突時の飛来物の挙動を検討する仮定

オフセット衝突による影響検討においては、衝突時の飛来物と高強度金網の挙動を以下のように仮定する。

- 1) 高強度金網展開方向の交点列の張力は常に均一である。
- 2) 衝突後の飛来物と金網は衝突点で一体となって挙動する。
- 3) 最大変形時の金網全長は破断時展開長とする。

以上の仮定から、破断時の金網の全長は飛来物の衝突位置に因らず、破断時展開長で一定となり、最大変形時の衝突点 P' の軌跡は楕円形状となる。

以下の設定条件におけるオフセットの影響を試算する。

- ・ 金網諸元：50mm 目合い，素線径 4mm，破断強度 1400N/mm² 級
- ・ 破断ひずみ：0.283
- ・ 展開長：4000mm
- ・ 破断時展開長さ 513mm

2. 展開方向オフセット衝突時の吸収エネルギー評価

金網の中央部から展開方向にずれた位置に飛来物が衝突した場合に、金網の最大変形時の飛来物の衝突点の軌跡は楕円状となると考えられる。金網の展開方向長さ 4 m のときの例を図 1 に示す。

展開方向長さ 4 m の金網の中央を原点にして、金網固定点を座標 (-2000, 0)，(2000, 0) としたときの、Y 軸方向に飛来した飛来物により金網が最大変形したときの飛来物停止位置 P' の軌跡このときの点 P' の軌跡は楕円となり、次の式で表される。

$$\text{点 P' の軌跡} \quad \frac{x^2}{2566^2} + \frac{y^2}{1607^2} = 1$$

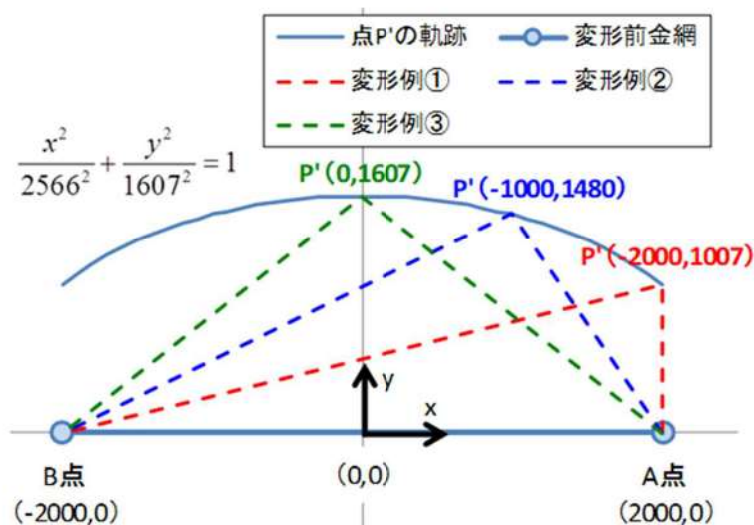


図 1 展開方向長さ 4m の金網における衝突点の軌跡

図1において、y軸方向に進行する飛来物がオフセット位置で金網に衝突し、金網がたわみ始めると、衝突位置左右の金網のx軸方向張力の差分により飛来物は金網の中心離れる方向に横方向の力を受け、図2のように飛来物は金網の中心から外れる方向に向かい、図1で示した金網が最大変形した楕円軌道上で停止する。4mの展開方向長さの金網の場合、中央に衝突したときにはy軸方向の最大たわみは1.6mであるが、オフセット長1.2mの場合には最大たわみは1.0mとなる。

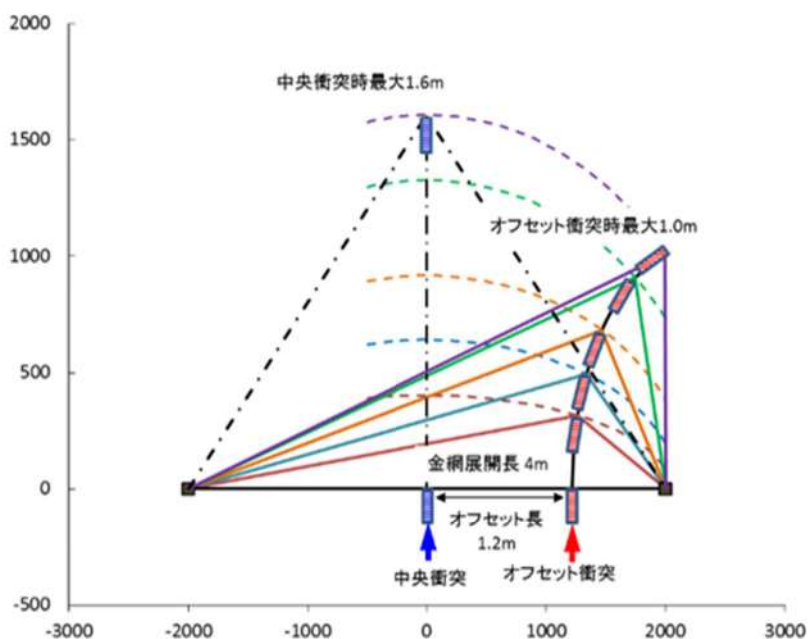


図2 オフセット衝突した飛来物の軌跡

飛来物がオフセット位置に衝突した場合、飛来物のエネルギーは、垂直方向と水平方向に分解され、その各々が金網の吸収エネルギーに変換されることとなる。オフセット衝突時の水平方向寄与分、垂直方向寄与分の各々についての金網の吸収エネルギーを4mの金網について算定し、たわみ量を横軸にとりグラフ化したものを図3に示す。

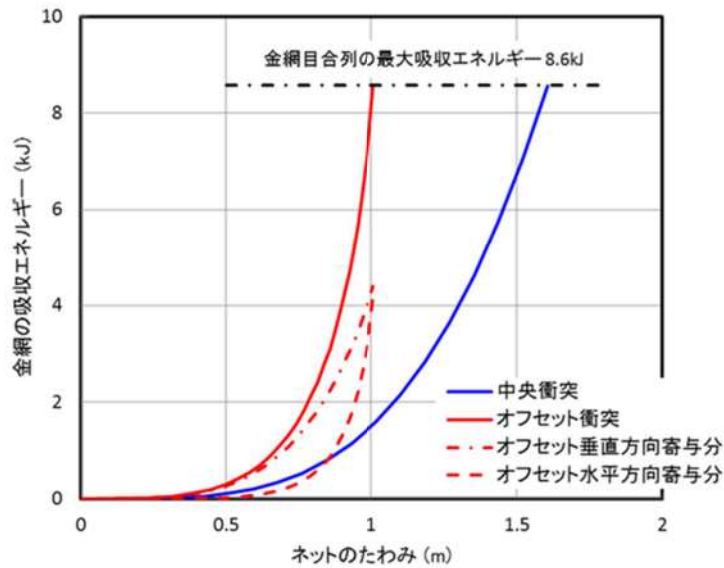


図3 オフセット衝突時の吸収エネルギー

図3から、飛来物が展開方向にオフセット位置に衝突した場合には、最大たわみ量はオフセット位置から短い側の金網の最大伸び量に制限されるが、金網の最大吸収エネルギーは、飛来物が垂直方向に金網を引っ張ることによるエネルギーと、水平方向に引っ張ることによるエネルギーとの合計となり、その値は中央部に衝突した場合の吸収エネルギーと等価になると考えられる。

3. 展開直角方向オフセット衝突時の吸収エネルギー評価

飛来物が金網展開直角方向にオフセットして衝突した場合の金網の吸収エネルギーへの影響について検討した。

検討は、金網展開方向長さ4 m、展開直角方向長さ3 mの金網について、図4に示すように金網中央に衝突した場合(①)をベースとして、展開直角方向端部(②)展開直角方向1/4オフセット(③)の3ケースを比較することで行った。

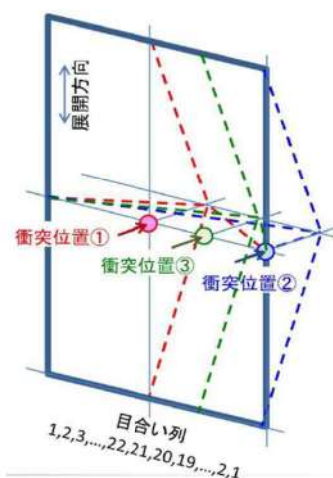
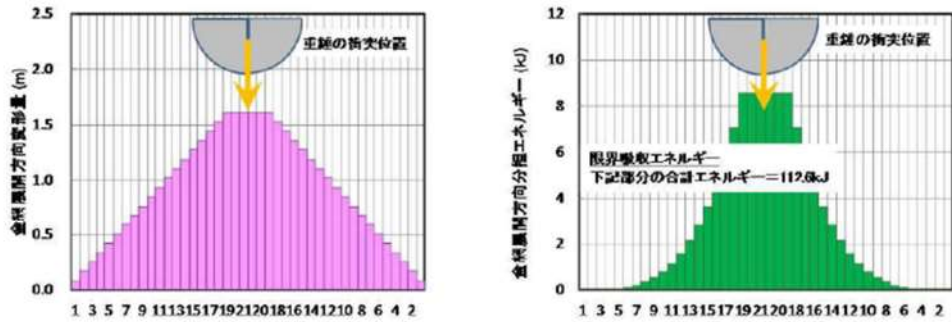
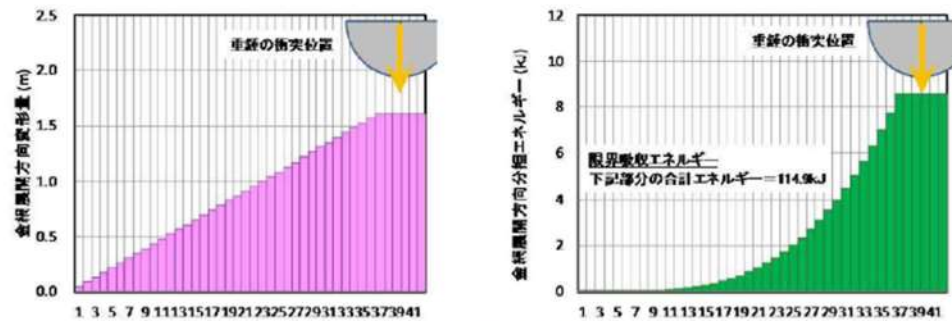


図4 金網展開直角方向オフセットの検討ケース

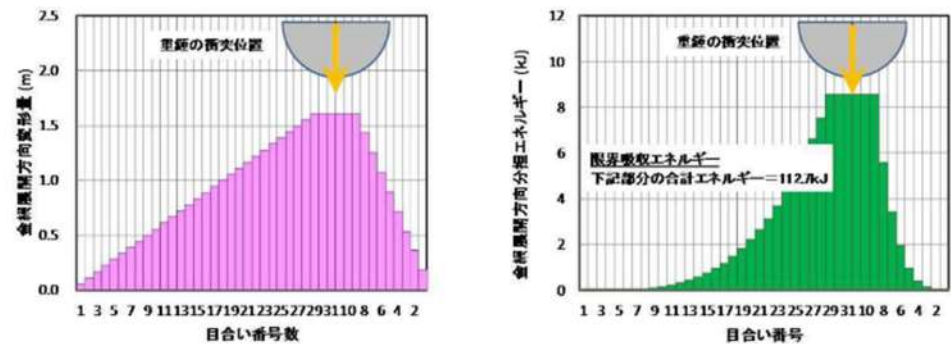
各ケースにおける金網の限界吸収エネルギーの算定結果を以下に示す。



衝突位置①（中央）



衝突位置②（端部）



衝突位置③（1/4 オフセット）

各衝突位置における金網の限界吸収エネルギーの算定の結果、僅かではあるが中央に衝突した場合より端部に衝突した場合のほうが限界吸収エネルギーは大きくなる結果となった。これは中央からオフセットしたことで、衝突位置からオフセットとは反対側の金網の固定位置（図5の赤く塗った部分）までの距離が長くなり、飛来物の衝突により金網が大きく変形する範囲が増えるため吸収エネルギーが大きくなったものと考えられる。したがって、展開直角方向のオフセットに関しては、金網の中央部が最も保守的な限界吸収エネルギーの評価値となる。

衝突位置	限界吸収エネルギー（1枚分）
①中央	112.6kJ
②端部	114.9kJ
③1/4 オフセット	112.7kJ

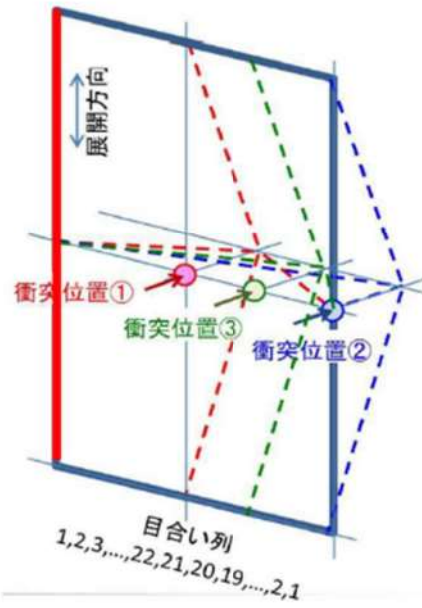


図5 衝突位置と金網固定位置の関係

飛来物衝突部における金網の局部貫通評価

竜巻防護ネット（以下、防護ネットと言う）に飛来物が衝突した際に、飛来物により金網に局部貫通が生じないことを次の手順で確認した。

- ① 飛来物衝突による衝突荷重の算定
- ② 衝突部の金網から素線一本あたりの荷重を算出
- ③ 素線一本あたりの荷重が破断荷重以下であることを確認

① 飛来物衝突による衝突荷重の算定

鋼製材が 4 m × 3 m の防護ネットに衝突したときの衝撃荷重を次のように算定した。

金網の吸収エネルギーの評価式と同様にネットをバネが直列につながったものとモデル化し、飛来物が防護ネットに衝突する際の速度を、飛来物の水平速度 57m/s を切り上げて 60m/s、飛来物の質量を m とすると、衝突後に飛来物に作用する衝撃荷重 F 、時間 t 秒後の飛来物の速度 v 及び変位量 d は以下の式で表される。

$$F = Qt$$

$$v = -\frac{1}{m} \int Qt = -\frac{Qt^2}{2m} + 60$$

$$d = \int \left(-\frac{Qt^2}{2m} + 60 \right) dt = -\frac{Qt^3}{6m} + 60t$$

ここで、最大変異 d_{max} に到達したときの飛来物の速度 $v=0$ であるから、

$$-\frac{Qt^2}{2m} + 60 = 0$$

より

$$Qt^2 = 120m$$

$$d_{max} = -\frac{Qt^3}{6m} + 60t = -\frac{120mt}{6m} + 60t = -20t + 60t = 40t$$

したがって

$$t = \frac{d_{max}}{40} \quad F = Qt = \frac{120m}{t}$$

となる

鋼製材の質量 $m = 135 \text{ kg}$ 、

4 m × 3 m の金網における最大たわみ量

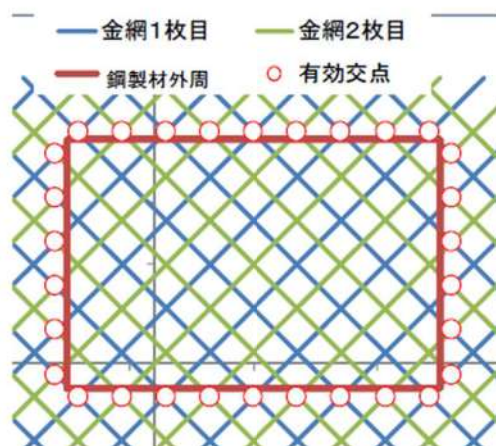
$$d_{max} = \frac{4}{2} \tan(38.8^\circ) = 1.608 \text{ [m]}$$

衝突時間： $t = 0.040 \text{ [sec]}$ ， 衝撃荷重： $F = 405 \text{ [kN]}$

② 衝突部の金網から素線一本あたりの荷重を算出

鋼製材の寸法は $0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 4.2\text{m}$ 、防護ネットは目合い長さ 50mm の金網を目合いが交互になるように2枚重ねて設置することから、右の図のように鋼製材が防護ネットに衝突したときの鋼製材外周近傍の金網交点は30点となるので、衝撃荷重を受け止める金網の素線本数は、30本となる。

従って、素線1本あたりの荷重は、 13.5kN となる。



③ 素線一本あたりの荷重が破断荷重度以下であることを確認

防護ネットに使用する金網の素線の破断荷重は、荷重試験の交点/荷重-伸び曲線より 15kN であるので、素線1本あたりの荷重 < 破断荷重となり、鋼製材による金網の局所的な貫通は発生しない。

網目より小さい飛来物の対策

飛来物は飛散防止対策を行うことから飛来の可能性は低いですが、設計飛来物のうち鋼製パイプについては、工事等の足場材として使用されており、飛散の可能性を否定しきれない。鋼製パイプは直径 50mm であるため、50mm 目合いの網目をすり抜ける可能性がある。そのため、40mm 目合い寸法の金網を設置し、鋼製パイプが竜巻飛来物防護対策設備内部に侵入することを防止する。

また、極小飛来物の設計飛来物として考えている砂利（0.04m×0.04m×0.04m）が竜巻防護施設に衝突してもその衝突時間は非常に短いため、設備に有意な応力は生じないことを確認していることから、設計飛来物より小さい砂利が衝突しても外部事象防護対象施設に影響は与えない。

竜巻防護ネットの点検、管理方法について

竜巻防護ネットは、ネットの1目合いにおける荷重－伸び曲線の試験結果を直線で近似し、ネットを1目合い毎のバネが連結したものと仮定し吸収エネルギーの評価を実施している。このため、たわみ等によるネットの大きな変形、ネットの傷、腐食があると、飛来物の衝突のエネルギーを吸収できなくなるおそれがある。このため、防護ネットの点検、管理方法について以下に検討した。

1. 防護ネットの劣化要因

ネットの飛来物捕捉性能を低下させるような劣化として、ネットの変形による吸収エネルギーの低下と、素線の傷、腐食による素線強度の低下が考えられる。

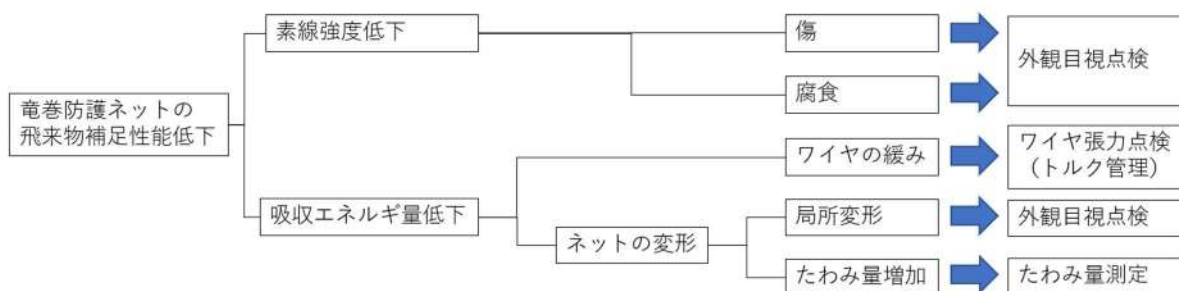
このうちのネットの変形に関しては、強風により異物が当たる等の要因で、ネットの一部に力が加わることによる局所的な変形と、ネットを固定しているワイヤの緩み、ネット自身の経年劣化によるたわみの増加が考えられる。

2. 防護ネットの点検、保守方法

素線の傷、腐食及び局所的な変形に対する点検として、定期的を目視によるネットの外観点検を実施し、素線の凹み傷や断線、腐食及び変形が見られた場合にはネットの取替えを検討する。

さらに、地震、火災によってもネットに傷、局所的な変形が生じる可能性がある。そのため、地震、火災のあとには損傷等、各部の異常の有無を点検し、素線の凹み傷や断線、局所的な変形等の異常があった場合には取替えを検討する。

ネットのたわみの増加に関しては、その要因としてネットを固定しているワイヤの緩み、ネット自身の経年劣化が考えられることから、定期的、防護ネットを固定しているワイヤの張力の点検、ネットのたわみ量の測定を実施し、管理基準を逸脱した場合にはワイヤの再緊張やネットの取替えを検討する。



3. 管理基準の検討

(1) ワイヤ張力の管理基準

ワイヤの張力に関しては、ネット設置時にワイヤロープの張力調整金具（ターンバックル）の締付けトルクをメーカー標準管理値の 20～25N・m で管理して設置することから、点検時においても管理基準値を 20～25 N・m で管理する。



ターンバックルの例

(2) ネットたわみ量の管理基準

a. 通常時にネットに作用する荷重

通常時においてネットには自重が作用することから、水平に張られたネットには自重によるたわみが発生する。

水平に張られたネットの自重によるたわみは、管理基準の検討においてネットの吸収エネルギーを低下させる要因として考慮する。

b. 竜巻襲来時にネットに作用する荷重

竜巻襲来時にネットに作用する荷重としては、竜巻の風速による荷重と飛来物の衝突による荷重が考えられる。

竜巻の風速による荷重によってネットがたわむことにより、ネットの吸収エネルギーの低下が考えられることから、風荷重によるたわみは、管理基準の検討においてネットの吸収エネルギーを低下させる要因として考慮する。

飛来物の衝突による荷重に関しては、発電所内の仮置き資材等について、できる限り発電所外での保管もしくは屋内での保管を実施すると共に、発電所内において屋外での保管が必要なものについては飛来物とならないように固縛を実施し、竜巻襲来時において、できる限り飛来物が発生しないようにすることとしている。このため、発電所に竜巻が襲来し、飛来物が防護ネットに2つ以上衝突する確率は極めて低いと考えられるが、管理基準の検討においては、水平に張られたネットについては、1つの飛来物がネットに衝突しネット上に残った状態で、2つ目の飛来物が衝突することを考慮する。

以上より、水平に張られたネットについては、自重、竜巻襲来時の風荷重、1つ目の飛来物の衝突荷重及び重量と2つ目の飛来物の衝突荷重の合計のエネルギーに相当するたわみ量を、ネットの最大たわみ量から差し引いた値を管理限界たわみ量とする。

ネットのたわみ量の管理は、ネットを設置した時点の初期たわみ量を測定し、初期たわみ量からの増分がネットの管理限界たわみ量を超えないように適切な管理基準を定めて管理する計画である。

表1 竜巻防護ネットの管理限界たわみ量の評価結果

ネット	ネット寸法 (m)		限界たわみ量 (m)	限界吸収エネルギー (kJ)	①風荷重によるエネルギー (kJ)	②自重によるエネルギー (kJ)	③衝突エネルギー [鉛直] (kJ)	④飛来物重量に相当するエネルギー (kJ)	⑤合計 ①+②+③+④ (kJ)	⑤に相当するたわみ量 (m)	管理限界たわみ量 (m)
	展開方向	× 直角方向									
海水ポンプエリア (Aトレン)	5.020	× 4.635	1.88	324	8.9	0.5	98×2	0.01	205.41	1.390	0.49
海水ポンプエリア (Bトレン)	5.010	× 4.635	1.87	327	8.8	0.4		0.01	205.21	1.388	0.48
海水ストレーナーエリア (海側)	4.440	× 2.620	1.65	252	3.9	0.2		0.01	200.11	1.334	0.31
海水ストレーナーエリア (山側)	4.435	× 2.620	1.65	251	3.9	0.2		0.01	200.11	1.335	0.32

解析コードについて

「竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) の評価」及び「竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価」に当たっては、以下の解析コードを用いているため、次ページ以降に解析コードの概要及び検証と妥当性確認の内容を記す。

表 1 使用した解析コード

使用目的	解析コード名
(1) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) の評価	竜巻ハザード評価プログラム
(2) 竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価	TOMBOS

(1) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2}) の評価

項目	コード名	竜巻ハザード評価プログラム
開発機関		一般財団法人 電力中央研究所
開発時期		2014 年
使用したバージョン		Ver. 1.2 選定理由：解析時の最新バージョン
使用目的		竜巻最大風速ハザード曲線作成
コードの概要		<p>一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。</p> <p>所定の地域における竜巻の発生数、竜巻風速、被害長さ・幅の確率分布を解析できるとともに、発電所等の構造物が所定の風速以上の竜巻に遭遇する確率等のハザード評価が実施できる。</p>
検証及び妥当性確認の内容		<p>竜巻ハザード評価プログラムは、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速の算定に使用している。</p> <p>【検証の内容】 本解析コードの検証の内容は次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・統計量や確率分布について、他機関の算定例と同等の数値や分布形が得られることでコードの検証を行っている。 ・ハザード曲線について、理論解と同等の分布形が得られること、及び他機関が算定したハザード曲線と同傾向の曲線が得られることでコードの検証を行っている。 <p>【妥当性確認】 本解析コードは、竜巻最大風速のハザード曲線の算定を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。また、竜巻最大風速 110m/s 程度の範囲において算定結果が妥当であることを確認している。以上より、本計算機コードを用いることは妥当である。</p>
その他（工認実績等）		<p>既工認での使用実績はない。</p> <p>なお、最新バージョンまでに解析に影響のある変更がないことを確認している。</p>

計算機コードの概要及び検証と妥当性確認の内容説明

竜巻ハザード評価プログラム

1. 一般事項

本書は、一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されている計算機コード「竜巻ハザード評価プログラム」の概要である。

竜巻ハザード評価プログラムは、竜巻最大風速のハザード曲線を算定することを目的として、今回初めて使用する解析コードである。

2. 本計算機コードの特徴

- (1) 気象庁「竜巻等の突風データベース」を基に、所定の地域における竜巻の発生数、竜巻風速、被害長さ・幅の確率分布を解析できるとともに、気象庁のデータを統合して疑似データを作成し、ハザード評価に用いることができる。なお、竜巻については、竜巻の観測数のデータ数が少ないこと、観測体制が年代により変遷していること、また竜巻の直接的な観測が現状困難であるため竜巻後の被害状況を調査・分析して観測結果としていることや観測の内容（Fスケール、被害長さ、被害幅、移動方向）が部分的に揃っていないことを考慮して、保守的な取扱いを行っている。
- (2) 構造物寸法等を与えることで、その構造物が所定の風速以上の竜巻に遭遇する確率等のハザード評価が実施できる。

3. 理論式

3. 1 統計解析

発生数、竜巻風速、被害長さ、被害幅の平均値 μ 、標準偏差 σ 、共分散 s 、相関係数 ρ は、次式により求める。

$$\begin{aligned}\mu_x &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i & \sigma_x &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} = \sqrt{s_{xx}} \\ s_{xy} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) & \rho_{xy} &= \frac{s_{xy}}{\sqrt{s_{xx} \times s_{yy}}}\end{aligned}\quad (1)$$

ここで、竜巻の観測数の少なさと、観測体制が年代により変遷していることを考慮して、観測データを基に疑似的な51.5年間のデータを作成しているが、疑似データの作成に当たっては、確率分布の再生性を利用している。即ち、独立な2つの確率変数 X 、 Y があった場合、確率変数の和 $X+Y$ はそれぞれのパラメータ（例えば平均値や分散）の和をパラメータに持つ同型の分布形に従うことを利用する。ポアソン分布、ポリヤ分布、正規分布ではこの再生性が成り立つ。

$$P(\mu_x, \sigma_x^2), P(\mu_y, \sigma_y^2) \Rightarrow P(\mu_x + \mu_y, \sigma_x^2 + \sigma_y^2)$$

なお、疑似データの作成に当たっては、Fスケール不明竜巻を次のとおり取り扱い保守性を高

めている。陸上で発生した竜巻及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてそのFスケールが推定されるため、陸上でのFスケール不明竜巻は、被害が少ないF0竜巻と見なしている。一方、Fスケール不明の海上竜巻（水上で発生しその後上陸しなかった竜巻）については、その竜巻のスケールを推定することは困難である。そこで、「海岸線から海上5kmの範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸5kmの範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という考え方にもとづいて各Fスケールに配分することで、例えば、F3竜巻等規模が大きな竜巻が観測数より多くなる取扱いとしている。

また、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅・長さの情報がない竜巻には、被害幅・長さを有する竜巻の観測値を与えているが、その際は、被害幅・長さが大きいほうから優先的に用いることで、被害幅・長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに、被害幅・長さ0のデータについては計算に用いない取扱いとしている。

次に、竜巻特性のそれぞれの確率分布は次式により求める。

(1) 発生数の確率分布

$$\text{ポアソン分布} : P_T(N) = \frac{(\mu T)^N}{N!} \exp(-\mu T) \quad (2)$$

$$\text{ポリヤ分布} : P_T(N) = \frac{(\mu T)^N}{N!} (1 + \beta \mu T)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (3)$$

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

ここに、Nは竜巻の年発生数、 μ は竜巻の年平均発生数、Tは年数、 σ は竜巻の年発生数の標準偏差である。今回は、東京工芸大学委託成果等に基づき、ポリヤ分布を採用している。

(2) 竜巻風速、竜巻被害長さ、竜巻被害幅の確率分布

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「ガイド」という。）やガイドに参照されている上記の東京工芸大学委託成果に従い、対数正規分布を用いる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\ln}^2}} \frac{1}{x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu_{\ln}}{\sigma_{\ln}} \right)^2 \right] \quad (4)$$

ここに、 μ_{\ln} 、 σ_{\ln} は $\ln(x)$ の平均値と標準偏差であり、変数xの平均値 μ や標準偏差 σ とは以下の関係にある。

$$\sigma_{\ln}^2 = \ln \left(\left(\frac{\sigma}{\mu} \right)^2 + 1 \right) \quad (5)$$

$$\mu_{\ln} = \ln(\mu) - \frac{\sigma_{\ln}^2}{2} \quad (6)$$

3. 2ハザードの評価

(1) 被害面積の期待値

1個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積 $DA(V_0)$ の期待値は以下のように表される。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 &+ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\
 &+ S \int_{V_0}^\infty f(V) dV
 \end{aligned} \tag{7}$$

ここに、 w は竜巻の被害幅、 W は風速が V_0 以上となる被害幅、

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \tag{8}$$

V_{\min} は被害が発生する最小風速 (=25m/s)、 l は被害長さ、 α は竜巻の移動方向、 $H(\alpha)$ と $G(\alpha)$ は竜巻の被害幅や長さ方向への竜巻影響エリア（あるいは構造物）の投影長さ、 S は竜巻影響エリアの面積である。

竜巻影響エリアを直径 D_0 の円形とした場合、 $H(\alpha)$ や $G(\alpha)$ は竜巻の移動方向には依存せず、一定値となる。

$$H(\alpha) = G(\alpha) = D_0 \tag{9}$$

さらに、 α と V, W, l の相関係数は $-0.09 \sim 0.01$ の範囲内にあり、ほとんど相関が認められないと言う参考文献1の研究成果を考慮すると、 $DA(V_0)$ の期待値は以下ようになる。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 &+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
 &+ (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV
 \end{aligned} \tag{10}$$

ここに、2変量・3変量の対数正規分布は次式で表される。

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \frac{1}{xy} \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left(\frac{\ln(x) - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{\ln(x) - \mu_x}{\sigma_x} \right) \left(\frac{\ln(y) - \mu_y}{\sigma_y} \right) + \left(\frac{\ln(y) - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right\} \right] \tag{11}$$

$$f(x,y,z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{vmatrix}^{1/2}} \times \frac{1}{xyz} \times \exp \left[-\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x & \ln(y) - \mu_y & \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} \\ \sigma_x\sigma_y\rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} \\ \sigma_x\sigma_z\rho_{xz} & \sigma_y\sigma_z\rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x \\ \ln(y) - \mu_y \\ \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \right] \quad (12)$$

(2) 遭遇確率 (ハザード曲線)

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、 V_0 以上の竜巻風速に遭遇する確率は、竜巻の発生分布に応じて次式で表される。

$$\text{ポアソン分布} : P_{V_0,T} = 1 - \exp[-\mu R(V_0)T] \quad (13)$$

$$\text{ポリヤ分布} : P_{V_0,T} = 1 - [1 + \beta \mu R(V_0)T]^{-1/\beta} \quad (14)$$

ここに、 $R(V_0)$ は竜巻影響エリアが1つの竜巻に遭遇し、そのときの竜巻風速が V_0 以上となる確率であり、竜巻検討地域の面積を A_0 とすると、次式で表される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (15)$$

(3) 被害面積期待値の数値積分

式(10)の数値積分に際しては、合成台形則を用いる。合成台形則は、関数 $f(x)$ を区間 $[a, b]$ を m 個の小区間に等分し、小区間ごとに面積の台形近似を行う。

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{h}{2} \left(f(a) + f(b) + 2 \sum_{j=1}^{m-1} f(x_j) \right) - \frac{(b-a)}{12} h^2 f''(\mu) \quad (16)$$

$$h = \frac{(b-a)}{m} \quad (17)$$

$$x_j = a + jh$$

式(10)の幅・長さの積分については、有限な範囲で打ち切らざるを得ないため、誤差に注意しながら、既往最大値及び相関係数も勘案して、 $3 \sim 4 \sigma_{\ln}$ を目安に積分範囲を設定する。

なお、風速については、F4竜巻(93~116m/s)を考慮して、120m/sを積分上限としている。ただし、風速110m/s以上ではハザード曲線の傾向が変化する場合があることから、概ね110m/s程

度がハザード評価の適用範囲と考えられる。

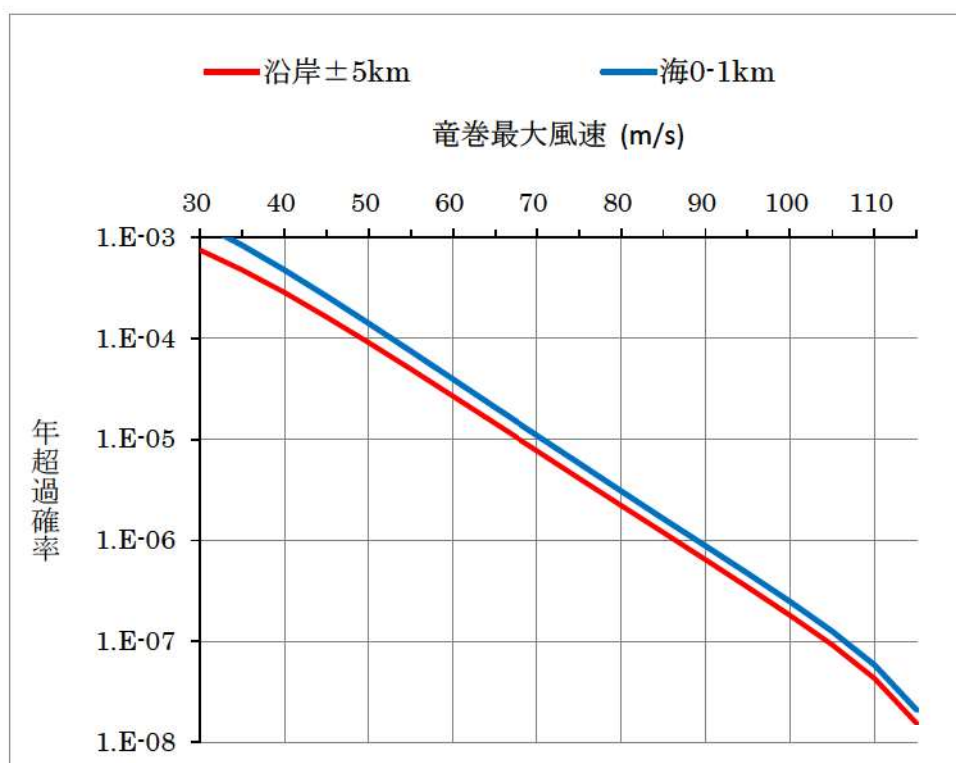


図1 竜巻最大風速のハザード曲線（泊）

(参考) 誤差に関する考察

今回の評価において、被害長さは $3.71\sigma_{ln}$ を積分範囲に設定している。被害長さの積分範囲を $4\sigma_{ln}$ とした場合、被害面積の期待値は約1.8%大きくなる。仮に $4.5\sigma_{ln}$ とした場合でも、被害面積の期待値は約3.1%大きくなる程度であり、 $3.71\sigma_{ln}$ とすることで概ねカバーできていることが分かる。

この被害面積の期待値の変動が、竜巻風速のハザード曲線に与える影響（感度）を分析した。その結果、被害面積の期待値が仮に2%変わったとしても、ハザード（風速）は0.2m/s変動する程度であり、求めている風速値に対する影響はごく小さいと考えられる。

なお、竜巻最大風速のハザード曲線算定に関する保守性については、疑似データ作成におけるFスケール不明竜巻の取扱いにより、例えばF2スケールの竜巻の発生数について、観測実績のおよそ3.5倍に見積もっている。

また、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅・長さの情報がない竜巻には、被害幅・長さを有する竜巻の観測値を与えているが、その際は、被害幅・長さが大きいほうから優先的に用いることで、被害幅・長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに、被害幅・長さ0のデータについては計算に用いない等、保守性を高めた評価としている。

4. 解析フローチャート

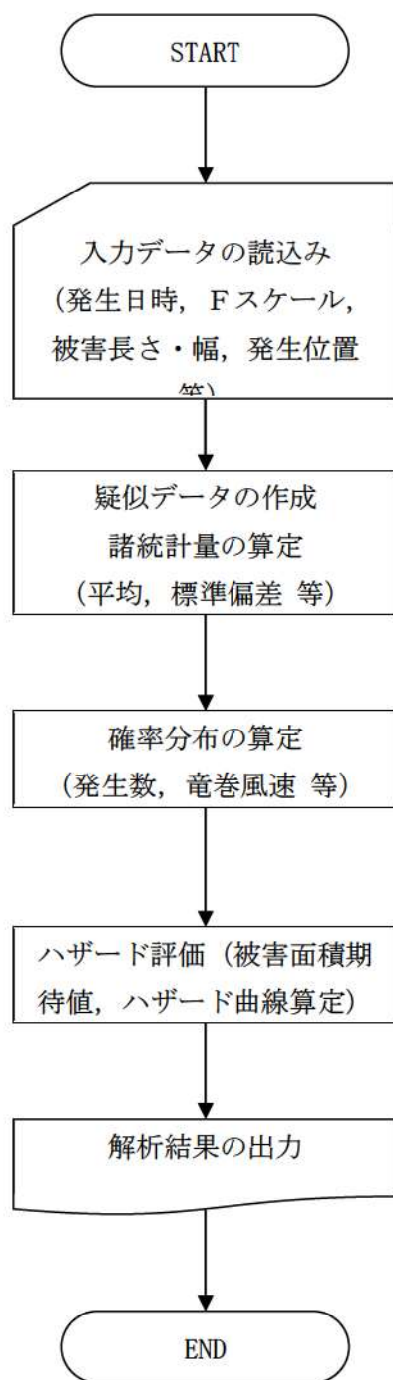


図2 解析フローチャート

5. コード検証

5. 1 統計解析

(1) 諸統計量

竜巻最大風速のハザード曲線の算定に当っては、式(11)、(12)に示したように、竜巻風速、被害長さ、被害幅それぞれの平均値と標準偏差、及び竜巻風速と被害長さ、竜巻風速と被害幅、被害長さ と被害幅の相関係数が必要となる。そこで、本解析コードにおいて、これらの統計量が正しく算定されることを下記のとおり確認する。

参考文献2（豊川・柳井編著「医学・保健学の例題による統計学」現代数学社）には、実験用ハツカネズミに与えた催眠剤と睡眠時間の関係として、図3のデータが示されている。

このデータをサンプルとして、本解析コードによる平均値、共分散、相関係数を求め、参考文献2の結果と比較した結果を表2に示す。本解析コードの結果は、文献の結果と一致することを確認した。

個体	催眠剤 ($\mu\text{g}/\text{体重g}$)	睡眠時間 (hrs)
A	1	1
B	2	6
C	5	3
D	7	7
E	8	10
F	11	6
G	12	10
H	12	7
I	13	9
J	15	15

表 4・1 催眠剤と睡眠時間

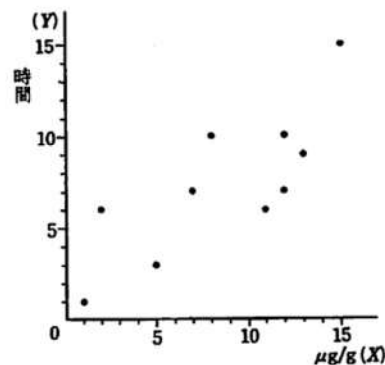


図 4・1 催眠剤投与量と睡眠時間の散布図

図 3 参考文献 2 における睡眠剤投与量と睡眠時間の関係

表2 統計処理の検証結果

統計量	参考文献2		本解析コード	
	催眠剤 ($\mu\text{g}/\text{体重g}$)	睡眠時間 (hrs)	催眠剤 ($\mu\text{g}/\text{体重g}$)	睡眠時間 (hrs)
平均値	8.6	7.4	8.60	7.40
分散	22.93	15.38	22.933	15.378
共分散	14.73		14.733	
相関係数	0.785		0.7846	

(2) 確率分布

参考文献2には、ある都市の1年間(365日)の交通事故死亡者の分布(架空の例)を、ポアソン分布とポリヤ分布(文献では、ポリア型の負の二項分布と記載)に当てはめた例が示されているため、これをサンプルデータとして計算コードの検証を行った(表3参照)。なお、前述のとおり竜巻影響評価ではポリヤ分布を採用しているが、参考文献2にはポアソン分布のデータも記載されているため、ポリヤ分布と合わせてポアソン分布の検証も行う。

表3に示す実測数の平均値2.989と分散3.759(参考文献2に記載)を用いて、ポリヤ分布(式(3))及びポアソン分布(式(2))を本解析コードで求めた。結果を表4及び表5に示す。また、参考文献2に示されたグラフを図4、本解析コードで求めたグラフを図5に示す。表4と表5及び図4と図5の比較より、両者は概ね一致していることが分かる。

表3 ある都市の交通事故死亡者数の分布(参考文献2の表5.3より)

死亡者数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9以上	計
実測数	27	61	77	71	54	35	20	11	6	3	365
ポアソン分布	18.4	54.9	82.1	81.8	61.1	36.5	18.2	7.8	2.9	1.3	365
ポリア型 負の2項分布	25.5	60.7	78.4	72.8	54.4	34.8	19.7	10.2	4.8	3.7	365

表4 ポリヤ分布の検証結果

上表掲載	死亡者数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9以上	計
	実測数		27	61	77	71	54	35	20	11	6	3
	ポリア(①)	25.5	60.7	78.4	72.8	54.4	34.8	19.7	10.2	4.8	3.7	365
	本解析コード(②)	25.54	60.71	78.36	72.79	54.43	34.79	19.72	10.16	4.84	3.66	365
	差(②/①)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	0.99	1.00

表5 ポアソン分布の検証結果

上表掲載	死亡者数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9以上	計
	実測数		27	61	77	71	54	35	20	11	6	3
	ポアソン(①)	18.4	54.9	82.1	81.8	61.1	36.5	18.2	7.8	2.9	1.3	365
	本解析コード(②)	18.37	54.92	82.07	81.77	61.11	36.53	18.20	7.77	2.90	1.36	365
	差(②/①)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.00

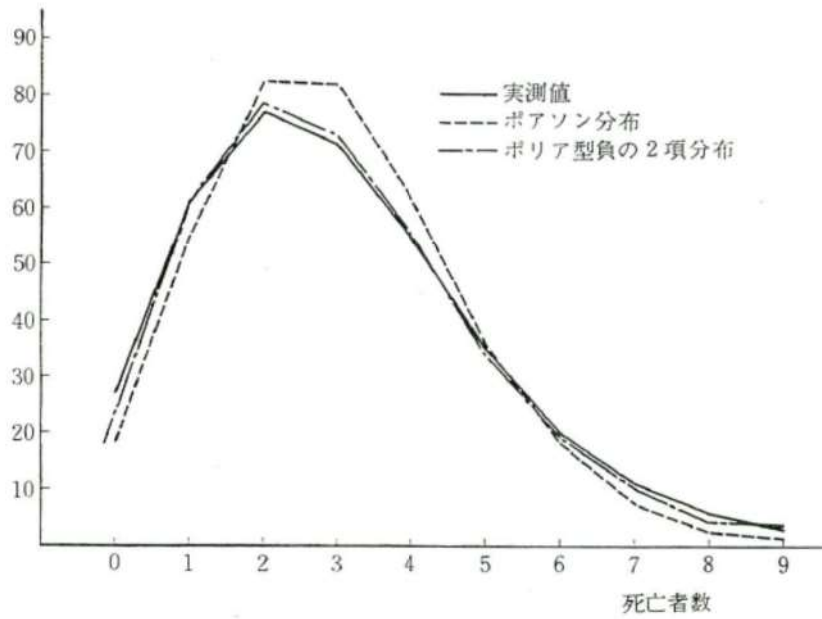


図4 分布形 (参考文献2)

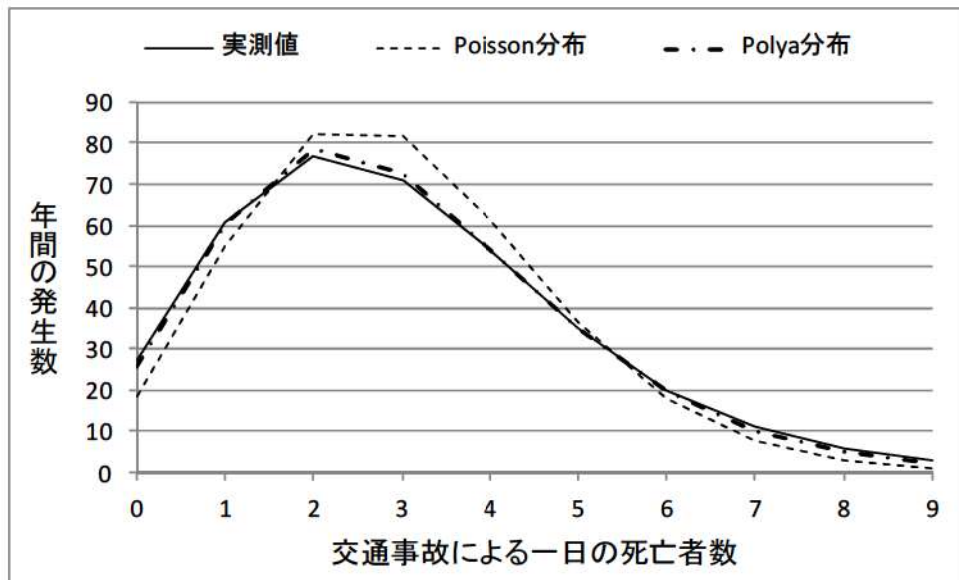


図5 分布形 (本解析コード)

5. 2ハザード評価

(1) 簡略化した条件での検証

竜巻風速、被害幅、被害長さ、及び移動方向はそれぞれ無相関だと仮定し、理論解と本解析コードの計算結果を比較する。

この場合、竜巻被害面積の期待値 $E[DA(V_0)]$ は、式(10a)のように近似できる。

$$E[DA(V_0)] \approx (1-F(V_0)) \times \left[W \bar{w} \bar{l} + D_0 \bar{l} + W \bar{w} D_0 + (D_0^2 \pi / 4) \right] \quad (10a)$$

ここに、 $(1-F(V_0))$ は風速の超過確率、 \bar{w} 、 \bar{l} は平均被害域幅及び平均被害域長さ、 W' は幅補正に関する項 $(= (V_{\min}/V_0)^{1/1.6})$ である。なお、 $F(V_0)$ は対数正規分布で表されるため、次式のとおりとなる。

$$F(V_0) = \int_0^{V_0} f(v) dv = \int_0^{V_0} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \frac{1}{v} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(v)-\mu_v}{\sigma_v}\right)^2\right] dv \quad (10b)$$

日本海側の海岸線から海側・陸側各5km範囲で発生した竜巻を対象として、式(10a)の近似式から被害面積期待値を求めた結果と、本解析コードにおいて無相関として数値積分を実施した結果を図6に示す。なお、図6の実線で示した式(10a)の近似は、竜巻風速を1m/s間隔で離散的に求めた面積期待値を結んだものである。この図より、両者は概ね一致していることが分かる。

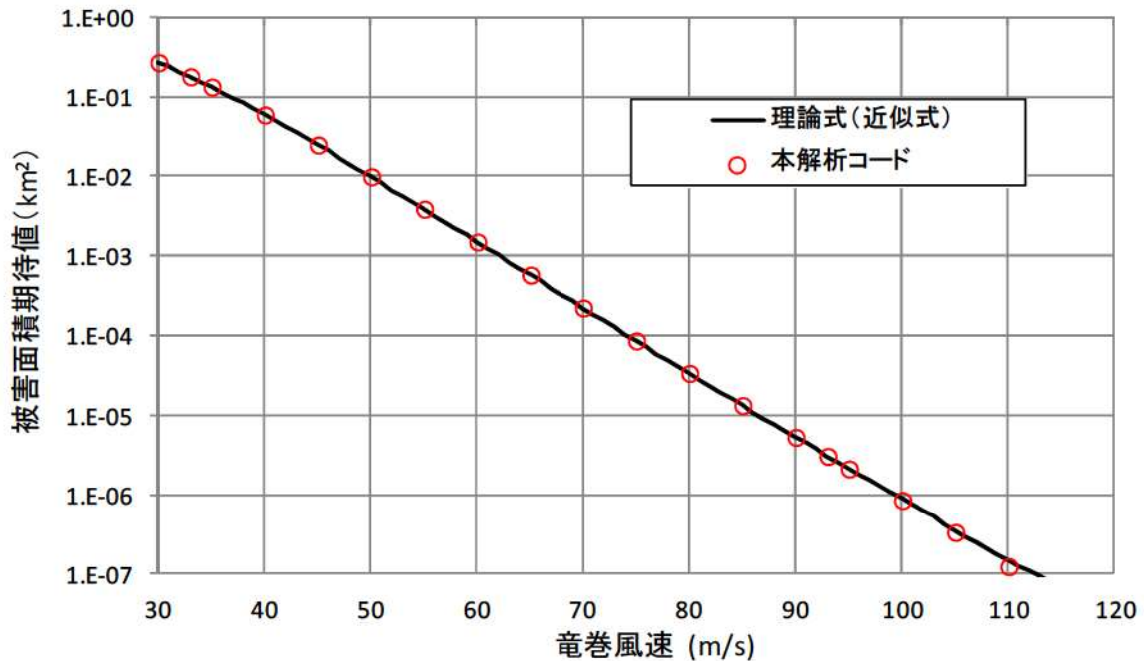


図6 被害面積の期待値の比較

(2) ハザード曲線

参考文献1では、全国のデータ（1961年1月～2009年12月）を用いて海岸からの距離別のハザード曲線を算定しており、その結果が同報告書の図2.1.2.14-15（92頁）に掲載されている。なお、ポリヤ分布を採用して計算を行っている。

本検証では、海岸から1 km以内の陸地（CASE-A）と海岸から5 km以上離れた陸地（CASE-B）の2ケースについて検証計算を行った。なお、参考文献1では、式(8)の V_{min} の値が不明であるため、ここでは25.0m/sを用いる。

参考文献1では、竜巻の移動方向に関して4～5次のフーリエ級数で近似するのが妥当（p. 47）と指摘すると共に、i)北東の頻度が高い、ii)海岸からの距離による違いは見られない（p. 89）、と述べられているだけで、具体的な数値の記載は無い。本検証では、移動方向と風速・幅・長さ等との相関はほとんど無いことから、方向は一樣だと仮定した。

発電所施設の規模は、参考文献1の表2.1.2.1（p. 65）（表6参照）に記載されているが、具体的な設定方法に関する記述は見当らない。そこで同表を参考に、建屋の総面積（約11万 m^2 ）程度となる一辺333mの正方形構造物とした（参考文献1では、原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換機建屋はそれぞれ4棟、コントロール建屋は2棟としている）。

なお、参考文献1では、風速積分範囲を116.2m/sまでとして後に示す図5-5を求めている。一方、本解析コードでは120m/sまでを積分範囲としている。

これらのハザード計算に関する条件を表7に示す。

表6 施設の寸法（参考文献1）

表 2.1.2.1 竜巻リスクの計算に用いた代表的な原子力発電所の主要施設の寸法

	平面寸法 (m)			平面寸法 (m)	
	南北	東西		南北	東西
原子炉建屋	80	79	活性炭式希ガス・ホール ドアップ装置建屋	39	38
タービン建屋	109	66	500kV 超高压開閉所	105	126
コントロール建屋	39	66	事務本館	48	108
サービス建屋	25	73	事務本館（厚生棟）	17	83
海水熱交換器建屋	97	40	事務本館（情報棟）	18	49
排気筒	49	49	高放射性固体廃棄物貯 蔵庫設備建屋	40	27
固体廃棄物貯蔵庫	29	120	使用済燃料輸送容器保 管設備建屋	56	19
廃棄物処理建屋	104	41			

表7 ハザード計算に関する条件

項目	CASE-A		CASE-B		備考	
	参考文献	本コード	参考文献	本コード		
元データ	気象庁「竜巻等の突風データベース」					
期間	1962年1月～2009年12月					
年発生数 (個)	平均	11.0	11.0	7.6	7.6	
	標準偏差	7.3	7.3	2.6	2.6	
風速 (m/s)	平均	31.5	31.5	33.7	33.7	
	標準偏差	10.4	10.4	12.1	12.1	
被害長さ (km)	平均	2.83	2.83	4.61	4.61	
	標準偏差	4.39	4.39	5.49	5.49	
被害幅 (m)	平均	101.8	101.8	161.8	161.8	
	標準偏差	158.8	158.8	205.5	205.5	
相関係数	風速と被害長さ	0.323	0.323	0.268	0.268	
	風速と被害幅	0.183	0.183	0.223	0.223	
	被害長さ と被害幅	0.471	0.471	0.363	0.363	
確率分布	発生数	ポリヤ	ポリヤ	ポリヤ	ポリヤ	
	風速	対数正規	対数正規	対数正規	対数正規	
	被害長さ	対数正規	対数正規	対数正規	対数正規	
	被害幅	対数正規	対数正規	対数正規	対数正規	
竜巻検討地域面積(km ²)	17,185.3	17,185.3	316,267.2	316,267.2		
移動方向	不明	一様	不明	一様	※	
施設規模	不明	333m四方 の 正方形	不明	333m四方 の正 方形	※	
V _{min} (m/s)	不明	25	不明	25	※	
積分範囲	風速	116.2m/s	120m/s	116.2m/s	120m/s	※
	被害長さ	不明	60km	不明	60km	
	被害幅	不明	6km	不明	6km	

参考文献1に示された結果を図7に、検証ケース CASE-A、-Bの結果を図8に示す。また、表8に年超過確率 10^{-5} に相当する風速値を整理した。図7、8及び表8より、参考文献1の詳細な計算条件には不明な点もあることを考慮すると、ハザード曲線の傾向は概ね一致している。

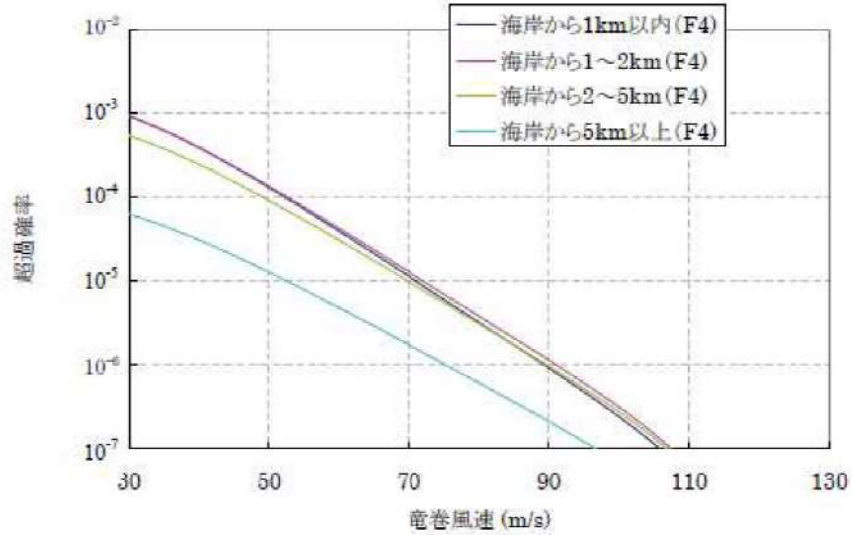


図7 ハザード算定結果 (参考文献1)

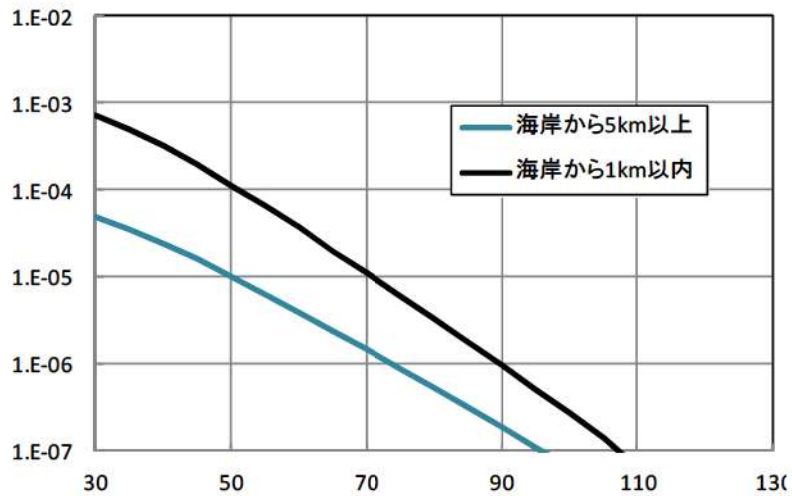


図8 ハザード算定結果 (本解析コード)

表8 検証結果の比較

ケース		年超過確率 10^{-5} 相当風速		差 (②/①)
		①参考文献1	②本解析コード	
CASE-A	海岸から1km以内	70.9m/s	70.7m/s	0.997
CASE-B	海岸から5km以上	52.0m/s	50.1m/s	0.963

ただし、表7に示すとおり、計算条件の一部は不明であることから、検証結果の妥当性について考察する。

まず、移動方向については、例えば移動方向と竜巻風速に相関があるとすると、ある特定の方向から移動してくる竜巻は強い（風速が大きい）傾向にあるということになるが、実際には参考文献1に記載のとおり、移動方向との相関は見受けられない。したがって、移動方向の取扱いの差異がハザードに与える影響はほとんど無いと考えられる。

次に、ハザードへの寄与という観点で、竜巻パラメータの評価を行う。移動方向を考慮しない場合の被害面積の期待値の算定式が、上述した式(10)であり再掲する。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 & + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
 & + (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\text{第1項} : \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl$$

$$\text{第2項} : D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl$$

$$\text{第3項} : D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw$$

$$\text{第4項} : (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV$$

として、泊発電所の竜巻影響評価における、被害面積期待値の算定結果を図9に示す。この図より、例えば、竜巻風速70m/sのところを見ると、第1～4項に対応する面積がそれぞれ、 $1.01 \times 10^{-4} \text{km}^2$ 、 $9.87 \times 10^{-3} \text{km}^2$ 、 $1.37 \times 10^{-4} \text{km}^2$ 、 $1.60 \times 10^{-3} \text{km}^2$ 、第1～4項を足し合わせて $1.26 \times 10^{-2} \text{km}^2$ 、となっており、第1項が支配的な要因であることがわかる。

これは、第1項と第2項には被害長さが関係していることに起因している。被害長さはkm単位

の数値であり、第3項及び第4項に関係する被害幅や施設規模等100m単位の数値とオーダーが異なるため、寄与度に差が生じている。したがって、表7において条件の整合が確認できない V_{min} （被害幅のパラメータの一つ）や施設規模の差異がハザードに与える影響は小さいと考えられる。

以上より、風速と被害長さに関する条件は合致していることから、ハザード計算は一定の再現性は有していると考えられる。

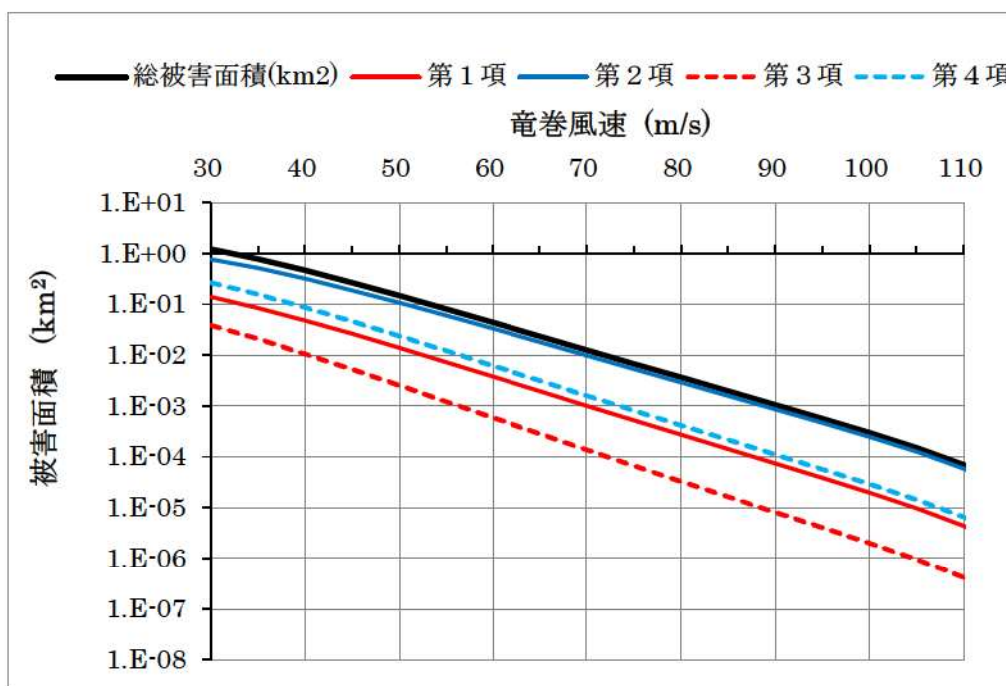


図9 被害面積期待値（海岸線から陸側海側それぞれ5 kmを対象としたケース）

（参考）当社竜巻影響評価に基づく V_{min} と施設規模の影響度について

V_{min} と施設規模の影響度について、当社の竜巻影響評価を基に評価すると、泊発電所の竜巻影響評価では、 V_{min} を25m/sにて検討しているが、 V_{min} を17m/sとした場合に例えば、海岸線から陸側海側それぞれ5 kmを対象としたケースでは、ハザード曲線の 10^{-5} 相当風速は、67.7m/s ($V_{min}=17$ m/sの場合)、67.9m/s ($V_{min}=25$ m/sの場合)であり、 V_{min} の8m/sの差異がハザードでは0.2m/s程度の影響を与えている。

施設規模の影響については、泊発電所は $D_0=920$ mで評価を行っているが上記と同様に例えば $D_0=940$ mとした場合、海岸線から陸側海側それぞれ5 kmを対象としたケースのハザード曲線の 10^{-5} 相当風速と比較すると、67.9m/s ($D_0=920$ mの場合)、68.1m/s ($D_0=940$ mの場合)であり、 D_0 の20mの差異がハザードでは0.2m/s程度の影響を与えている。

V_{min} と施設規模の差異を定量的に評価することは困難であるものの、これらの評価結果から類推すると、 10^{-5} 相当風速で数m/s程度の差異が生じる可能性があると考えられる。

6. 妥当性確認

「竜巻ハザード評価プログラム」は、竜巻最大風速のハザード曲線を算定するために使用している。

本解析コードは、竜巻最大風速のハザード曲線の算定を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。また、竜巻最大風速110m/s程度の範囲においては算定結果が妥当であることを確認している。以上より、本計算機コードを用いることは妥当である。

参考文献

- (1) 東京工芸大学(2011)：平成21～22年度原子力安全基盤調査研究（平成22年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究
- (2) 豊川裕之・柳井晴夫編著：医学・保健学の例題による統計学，現代数学社，1982

(2) 竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価

項目	コード名 TONBOS
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2013年
使用したバージョン	Ver.3 選定理由：解析時の最新バージョン
使用目的	竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価
コードの概要	<p>一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。</p> <p>空気中の物体が受ける抗力による運動を計算することで、竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を解析することができる解析コードであり、飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ等の算出が実施できる。</p> <p>仮定する風速場は、鉛直方向には構造が変化しないランキン渦としている。</p>
検証及び妥当性確認の内容	<p>TONBOSは、竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価に使用している。</p> <p>【検証の内容】</p> <p>本解析コードの検証の内容は次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Simiu & Scanlan[※]による解析結果と同じ条件下で、竜巻風速場での飛来物軌跡の解析を実施し、概ね一致した結果を得ていることから、本解析コードの妥当性を確認した。 <p>※：E. Simiu & R.H. Scanlan: Wind Effect on Structures, Wiley, 1977</p> <p>【妥当性確認】</p> <p>TONBOSを、竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価に使用することは、次のとおり妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ等の評価を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。 ・ 評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。
その他（工認実績等）	<p>既工認での実績はない。</p> <p>なお、最新バージョンまで算出に影響のある変更がないことを確認している。</p>

計算機コードの概要及び検証と妥当性確認の内容説明

TONBOS

目 次

1. 概要	添付資料3.14-23
2. 本計算機コードの特徴	添付資料3.14-23
3. 解析手法	添付資料3.14-24
3. 1 基礎方程式	添付資料3.14-24
3. 2 飛来物運動方程式の時間積分法	添付資料3.14-25
3. 3 評価条件	添付資料3.14-27
3. 4 適用範囲	添付資料3.14-28
4. 解析フローチャート	添付資料3.14-29
5. コードの検証	添付資料3.14-29
5. 1 移動する竜巻での検証	添付資料3.14-30
5. 2 国内最大級相当条件での比較	添付資料3.14-31
5. 3 飛散距離及び飛散高さについて	添付資料3.14-32
6. 妥当性確認	添付資料3.14-32
7. その他	添付資料3.14-34
7. 1 飛来物の速度及び飛散距離等の評価について	添付資料3.14-34
8. 参考文献	添付資料3.14-36
9. 付録	添付資料3.14-37

1. 概要

本資料は、一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されている計算機コード「TONBOS」の概要である。

TONBOSは、新規制基準で新たに評価を要することとなった竜巻影響評価のうち、飛来物の速度及び飛散距離等を算出することを目的として使用する解析コードである。

本解析は、新規制基準で新たに評価を要することとなった竜巻影響評価のうち、飛来物の速度及び飛散距離等の評価を行うものであり、竜巻による風速場は鉛直方向には構造が変化しないランキン渦が移動するものとして定め、飛来物を質点系モデルとして、飛来物が（流体）抗力と重力を受けて運動する軌跡に対する運動方程式を解くことが可能な計算機コードを適用したものである。

2. 本計算機コードの特徴

TONBOS は、竜巻による風速場は鉛直方向には構造が変化しないランキン渦が移動するものとして定め、飛来物を質点系モデルとして、飛来物が（流体）抗力と重力を受けて運動する軌跡に対する運動方程式を解くことにより、飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ等を算定する計算機コードである。

3. 解析手法

3. 1 基礎方程式

(a) 竜巻の風速場

竜巻の風速場は x 軸方向に一定速度 V_{tr} で移動するランキン渦でモデル化する。ランキン渦の接線風速（周方向風速） V_θ ，径方向（中心方向）風速 V_r ，上昇風速 V_z は E. Simiu and M. Cordes⁽¹⁾ と同様に以下の式で定義する（図1）。

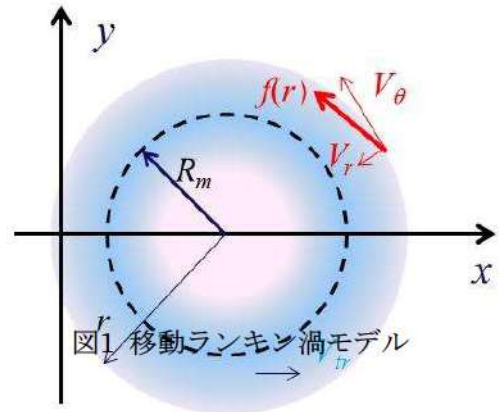
$$V_r = af(r) \quad (1a)$$

$$V_\theta = bf(r) \quad (1b)$$

$$V_z = cf(r) \quad (1c)$$

ただし、 $a=1/\sqrt{5}$ ， $b=2/\sqrt{5}$ ， $c=4/3\sqrt{5}$ と定義し、周方向風速 V_θ と径方向風速 V_r を合成した渦の水平速度 $f(r)=(V_\theta^2+V_r^2)^{1/2}$ は、以下の式で定義される。

$$f(r) = \begin{cases} \frac{r}{R_m} V_m & \text{if } 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{R_m}{r} V_m & \text{if } R_m \leq r \end{cases} \quad (2)$$



ここで、 r は渦中心からの距離、 R_m は最大風速半径（渦の水平風速が最大となる半径）、 V_m は渦の最大水平風速である。

時刻 $t=0$ で竜巻中心は原点に位置するものとし、竜巻の風速場は飛来物の影響を受けないと仮定すると、時刻 t における竜巻の風速場 V_w の各風速成分 (u, v, w) は式(1a)-(1c)、(2)等から以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{f(r)}{r} \begin{pmatrix} -a(x - V_{tr}t) - by \\ -ay + b(x - V_{tr}t) \\ cr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_{tr} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ただし、渦中心からの距離 r は以下で与えられる。

$$r = \sqrt{(x - V_{tr}t)^2 + y^2} \quad (4)$$

なお、静止する観測者からみた最大風速 V_D は、以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_{tr} \quad (5)$$

(b) 飛来物の運動

飛来物の運動は、既往研究⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾と同様に方向性がない平均的な抗力（抗力係数一定）と重力のみが外力として作用すると仮定する。この場合の飛来物の運動方程式は以下のようになる。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - g\mathbf{k} \quad (6)$$

ここで、各変数は以下で定義する。

\mathbf{V}_M : 飛来物の速度ベクトル

\mathbf{V}_w : 風速ベクトル（ランキン渦風速と移動速度の和）

ρ : 空気密度

C_D : 飛来物の平均抗力係数

A : 飛来物の代表見附面積

m : 飛来物の質量

g : 重力加速度

\mathbf{k} : 鉛直上向き単位ベクトル

3. 2 飛来物運動方程式の時間積分法

時刻 t における竜巻の風速場 $\mathbf{V}_w = (u, v, w)$ は式(3)で与えられるので、式(6)を時間積分することによって、飛来物の速度と位置の時刻歴を求めることができる。

線形加速度法では、時刻 τ から時刻 $\tau + \Delta\tau$ における加速度が線形に変化するものと仮定する。つまり、式(6)において、以下の式が成立する。

$$\frac{d\mathbf{V}_M(t)}{dt} = -\mathbf{A}(\tau) \frac{t - \tau - \Delta\tau}{\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{t - \tau}{\Delta\tau} \quad (7)$$

ここで、ベクトル $\mathbf{A}(\tau)$ は式(6)の右辺を表す。

式(7)を時間積分すると、以下を得る。

$$\mathbf{V}_M(t) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} - \mathbf{A}(\tau) \frac{(t - \tau - \Delta\tau)^2}{2\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{(t - \tau)^2}{2\Delta\tau} \quad (8)$$

さらに、式(8)を時間積分すると、以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(t) = & \mathbf{X}_M(\tau) - \mathbf{A}(\tau) \frac{(\Delta\tau)^2}{6} \\ & + \left[\mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} \right] (t - \tau) \\ & - \mathbf{A}(\tau) \frac{(t - \tau - \Delta\tau)^3}{6\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{(t - \tau)^3}{6\Delta\tau} \end{aligned} \quad (9)$$

したがって、時刻 $t = \tau + \Delta\tau$ における速度と位置は以下で与えられる。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \frac{\Delta\tau}{2} [\mathbf{A}(\tau) + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)] \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = & \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \Delta\tau \\ & + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau^2}{3} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{\Delta\tau^2}{6} \end{aligned} \quad (11)$$

式(10),(11)の右辺は以下の時刻 $\tau + \Delta\tau$ における加速度 $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$ を含んでいる。

$$\begin{aligned} \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) = & k |\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)| \\ & \times \{ \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) \} - \mathbf{gk} \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 $k = \rho C_D A / 2m$ を表す。

このため、非線形式(12)では竜巻風速場も未知であるので、これも同時に連成させる必要がある。これらの方程式をNewton-Raphson法で求解し、時間積分を実施する。

時刻 $\tau + \Delta\tau$ において飛来物速度 $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$ とその位置 $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = (X_M, Y_M, Z_M)$ を求めるために満足すべき式は、式(10),(11),(12)及び以下の竜巻の風速場のモデル方程式である。

$$\mathbf{V}_w = \frac{f(r_M)}{r_M} \begin{pmatrix} -a\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} - by_M \\ -ay_M + b\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} \\ cr_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_r \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$r_M = \sqrt{\{x_M - (\tau + \Delta\tau)V_r\}^2 + y_M^2} \quad (14)$$

3. 3 評価条件

以下の初期条件を設定する。

- 竜巻風速場 (図3.1)

竜巻の最大水平風速 (V_m) が85m/sとなる風速場を設定する。

竜巻移動速度 (V_{tr}) は15m/sとする。

最大風速半径 (R_m) は30mとする。

高さ40mに51×51ヶの物体を配置する。

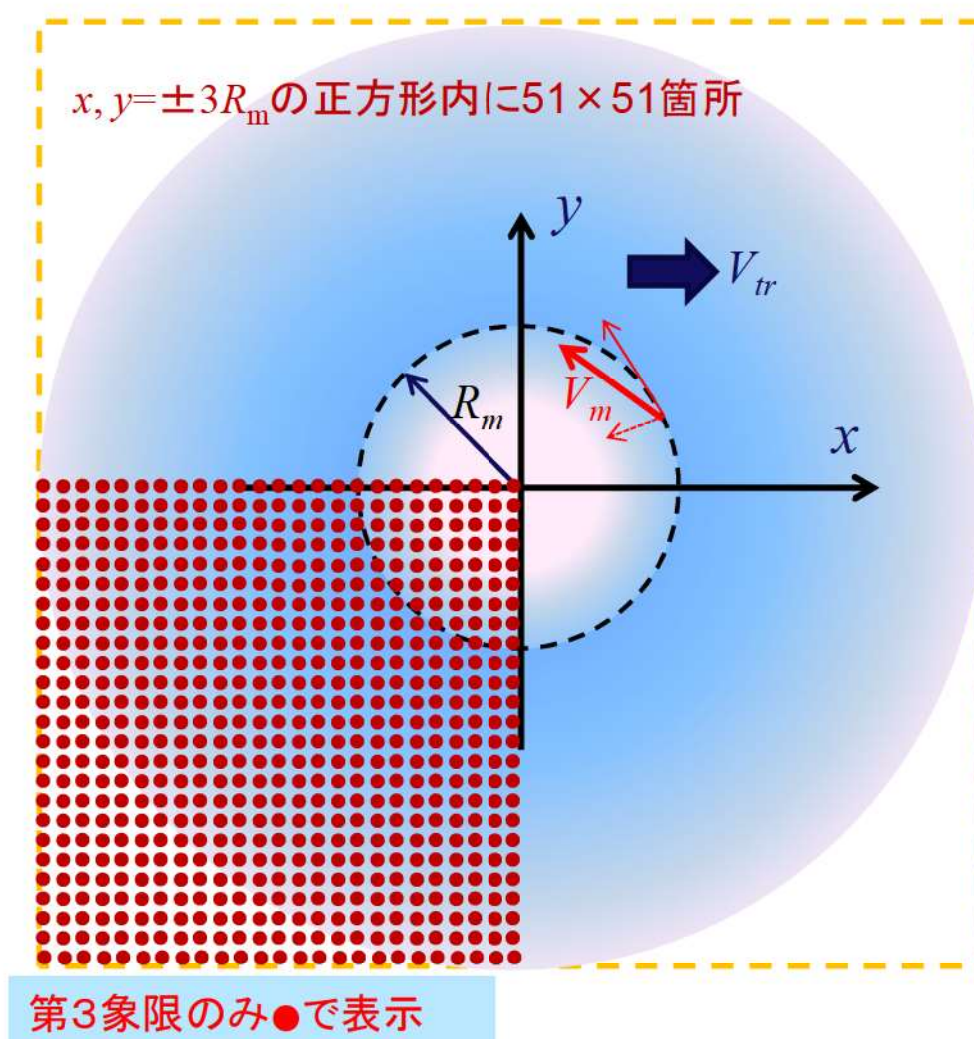


図3.1 竜巻の風速場及び初期物体位置

・飛散距離及び飛散高さ

図3.2に示すとおり、飛散距離は初期位置からの距離とし、飛来物が地表面に落ちた場合は、それ以上移動しないものとする。飛散高さは40m以上の位置に上がる場合は40mからの相対高さとし、40mより上がらない場合は0mとする。

2,601ヶ (51×51) の算出結果のうち、飛来物の速度及び飛散距離の最大値を解析結果として採用する。

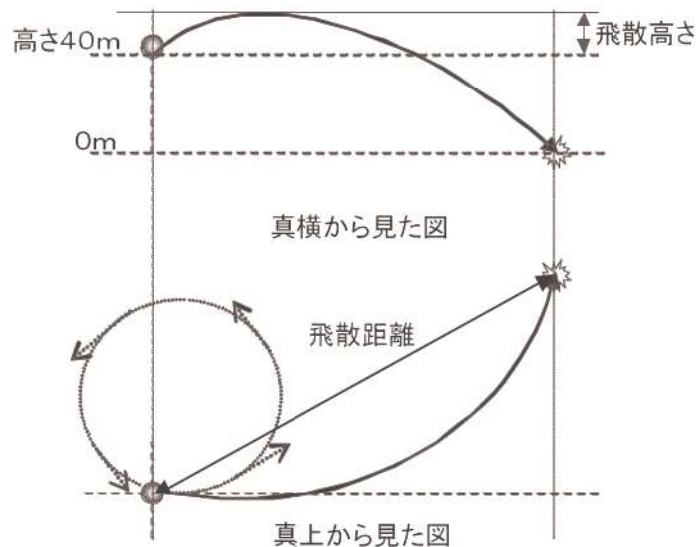


図3.2 飛散距離及び飛散高さ

3. 4 適用範囲

解析は以下の条件で実施することとする。

- ・最大風速：150m/sを原則とする。
- ・最大水平風速：本解析では最大風速との比を0.85とする。(これに限定する必要はない。)
- ・竜巻中心の移動速度：本解析では最大風速の比を0.15とする。(これに限定する必要はない。)
- ・最大風速半径：本解析では30mとする。(これに限定する必要はない。)
- ・空力パラメータ：制限はない。
- ・解析時間刻み：0.01秒以下
- ・重力加速度：9.8m/s²
- ・空気密度：1.22kg/m³

4. 解析フローチャート

図4.1に解析フローチャートを示す。

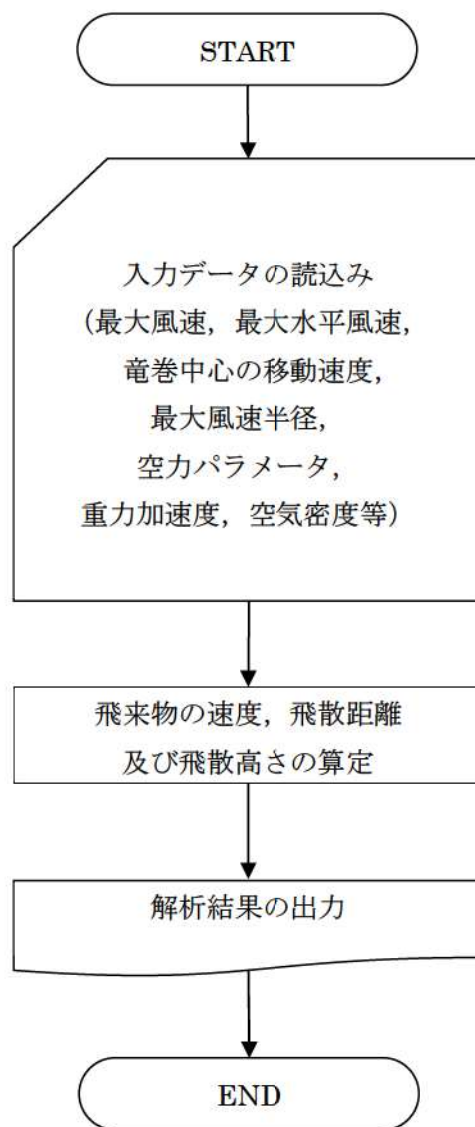


図4.1 解析フローチャート

5. コードの検証

5.1 移動する竜巻での検証

Simiu and Scanlan⁽²⁾は、初速ゼロの飛来物が座標($R_m, 0, 40$)[単位：m]に位置するものとして飛来物の運動を計算し、飛来物が地上に落下するまでに達した最大の水平速度を「飛来物最大水平速度」と定義して数値解析結果を得ている。そこで、これと同様に表5.1に示す3種類の竜巻条件 (Tornado Type-I, -II, -III) を与えて、TONBOSによって「飛来物最大水平速度」 V_{hmax} を求めた。

なお、表5.1の各条件は文献(2)のTable 3.5.1(p.127)に記載されている値を[mph]から[m/s]へ、[ft]から[m]に換算したものである。

物体特性値 $C_D A/m$ については、文献(2)のTable 16.3.1 (p.565)に掲載されている値 ($C_D A/m=0.0033, 0.0040, 0.0043, 0.0052, 0.0070, 0.0270[m^2/kg]$) 及びTable 16.3.2 (p.567, Tornado Type-I)のケース(a)に掲載されている値 ($C_D A/m=0.001, 0.01[m^2/kg]$) を選定して検証した。なお、全ケースで時間ステップ $\Delta\tau$ を0.01[s]に設定した。また、空気密度 ρ は $1.226[kg/m^3]$ 、重力加速度 g は $9.8[m/s^2]$ とした。

図5.1に物体特性 $C_D A/m$ の各値に対する「飛来物最大水平速度」 V_{hmax} を文献(2)の結果と比較して示す。本数値解析の V_{hmax} の結果は文献(2)よりもやや大きい傾向^{*}にある。評価においては保守側となる。

表5.1 3種類の竜巻条件 (Tornado Type-I, -II, -III)

竜巻条件	最大水平風速 V_m [m/s]	竜巻中心の移動速度 V_{tr} [m/s]	最大風速半径 R_m [m/s]
Tornado Type-I	129.6	31.3	45.7
Tornado Type-II	107.3	26.8	45.7
Tornado Type-III	84.9	22.4	45.7

※：数値解析法の違いによる相違と考えられる。

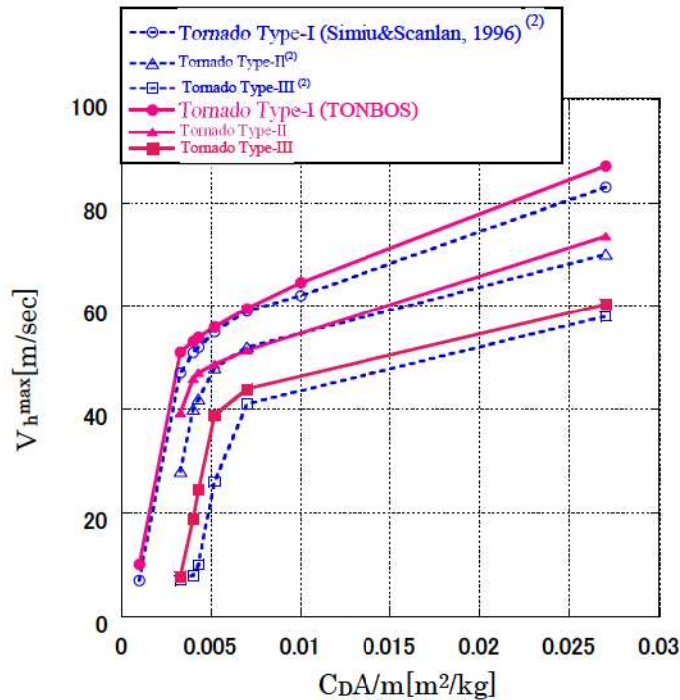


図5.1 Simiu&Scanlanとの比較

5. 2 国内最大級相当条件での比較

『東京工芸大学，“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．（以下，「文献(4)」という。）』のp.237に示されている竜巻条件に相当する計算条件（表5.2）をTONBOSに与えて，「飛来物最大水平速度」 V_h^{\max} を求めた。文献(4)の竜巻風速場の生成方法は文献(3)と同様にLES解析結果に基づくものであるが，高さ40[m]のx, y方向に $\pm 3R_m$ の正方形の25×25箇所から飛来物を複数回，放出して V_h^{\max} を求めている。TONBOSでも，同様の位置から飛来物を放出して V_h^{\max} を計算した。図5.2に物体特性 $C_D A/m$ の各値に対する V_h^{\max} を文献(4)の結果と比較して示す。物体特性 $C_D A/m$ が小さい条件では，文献(4)の V_h^{\max} は本数値解析の V_h^{\max} の結果よりも小さい傾向にあるが，物体特性 $C_D A/m$ が大きい条件では逆の傾向となる。しかしながら，両者は良く整合することが分かる。

物体特性 $C_D A/m$ の大小によって V_h^{\max} の相対的な大小が逆転する理由としては， $C_D A/m$ が小さい場合は，LES解析の風速場の上昇速度がランキン渦に比べ小さく，水平方向に十分加速される前に早く落下するが， $C_D A/m$ が大きい場合は，物体が飛散しやすいため気流中の滞在時間が長くなり，LES解析の風速場の乱れの影響を受けて大きな飛来物速度とな

るためと考えられる。

表5.2 竜巻条件

最大接線風速 [m/s]	竜巻移動速度 V_{tr} [m/s]	最大風速半径 R_m [m/s]
84	16	30

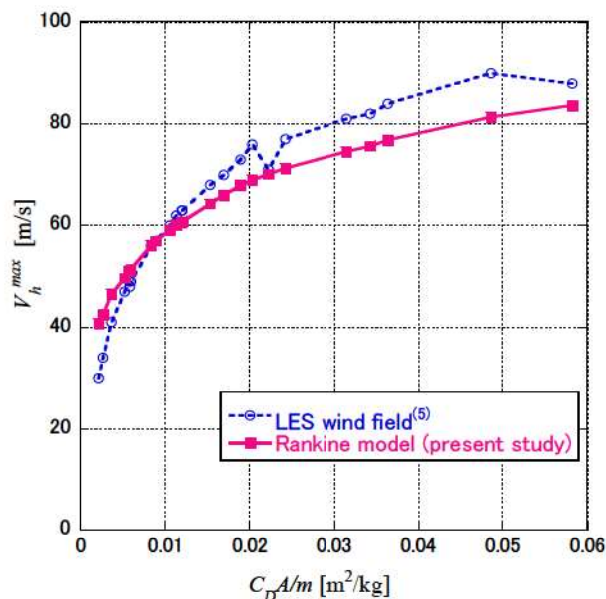


図5.2 文献(4)との比較

(備考) 「日本流体力学会年会，江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸：移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物の速度の評価，2013。」より抜粋。

5. 3 飛散距離及び飛散高さについて

飛散距離及び飛散高さについては，米国の解析結果では示されていないが，飛来物速度を積分することによりそれぞれの位置（飛散距離及び飛散高さ）が算出できる。飛来物速度が5.1及び5.2項で妥当であると検証していることから，飛散距離及び飛散高さについても妥当であると考えられる。

6. 妥当性確認

TONBOSを竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価に使用することは次のとおり妥当である。

- ・本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の速度，飛散距離及び飛散高さの評価を目的に開発されたコードであり，使用目的が合致している。
- ・評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。

7. その他

7. 1 飛来物の速度及び飛散距離等の評価について

TONBOSを用いた解析により、空力パラメータと飛来物が地上に落下するまでに達した最大の水平速度 V_{h-max} 、最大飛散距離（x-y平面での初期位置と落下位置の距離で最大のもの）、最大高さ（全飛来物のうちで上昇量が最大のもの）の相関を算出している。（図7.1～7.2(a),(b)）

この相関を用いて発電所構内にある物品の飛来物の速度及び飛散距離等の評価を実施している。

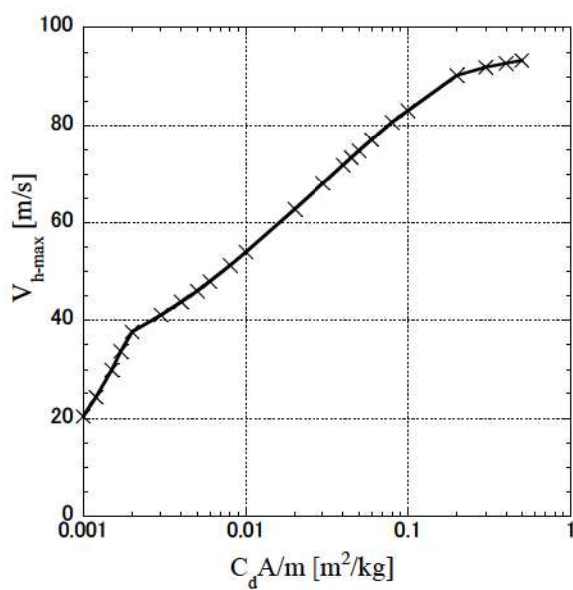
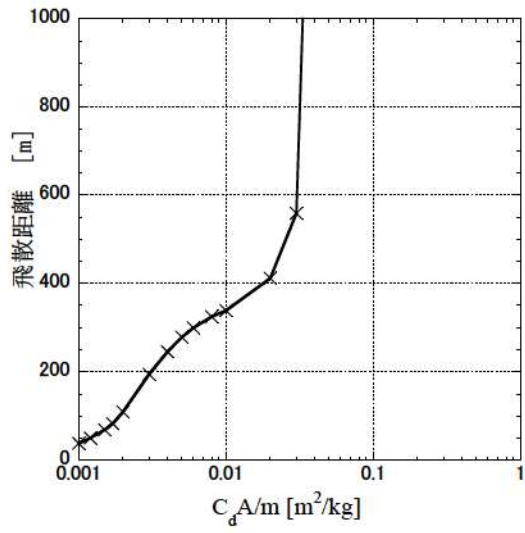
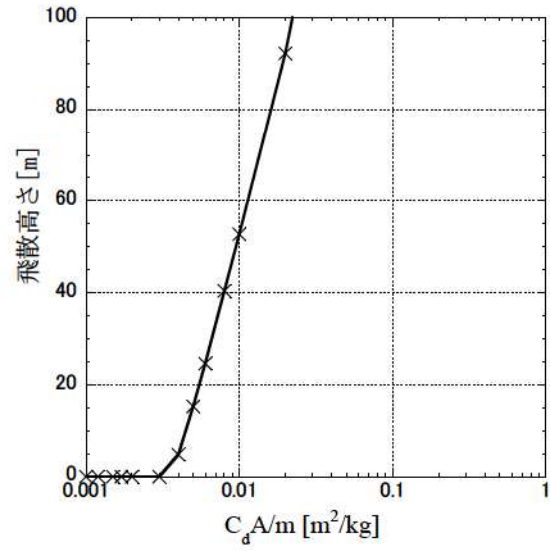


図7.1 100m/s竜巻条件での飛来物最大水平速度



(a)最大飛散距離



(b)最大飛散高さ

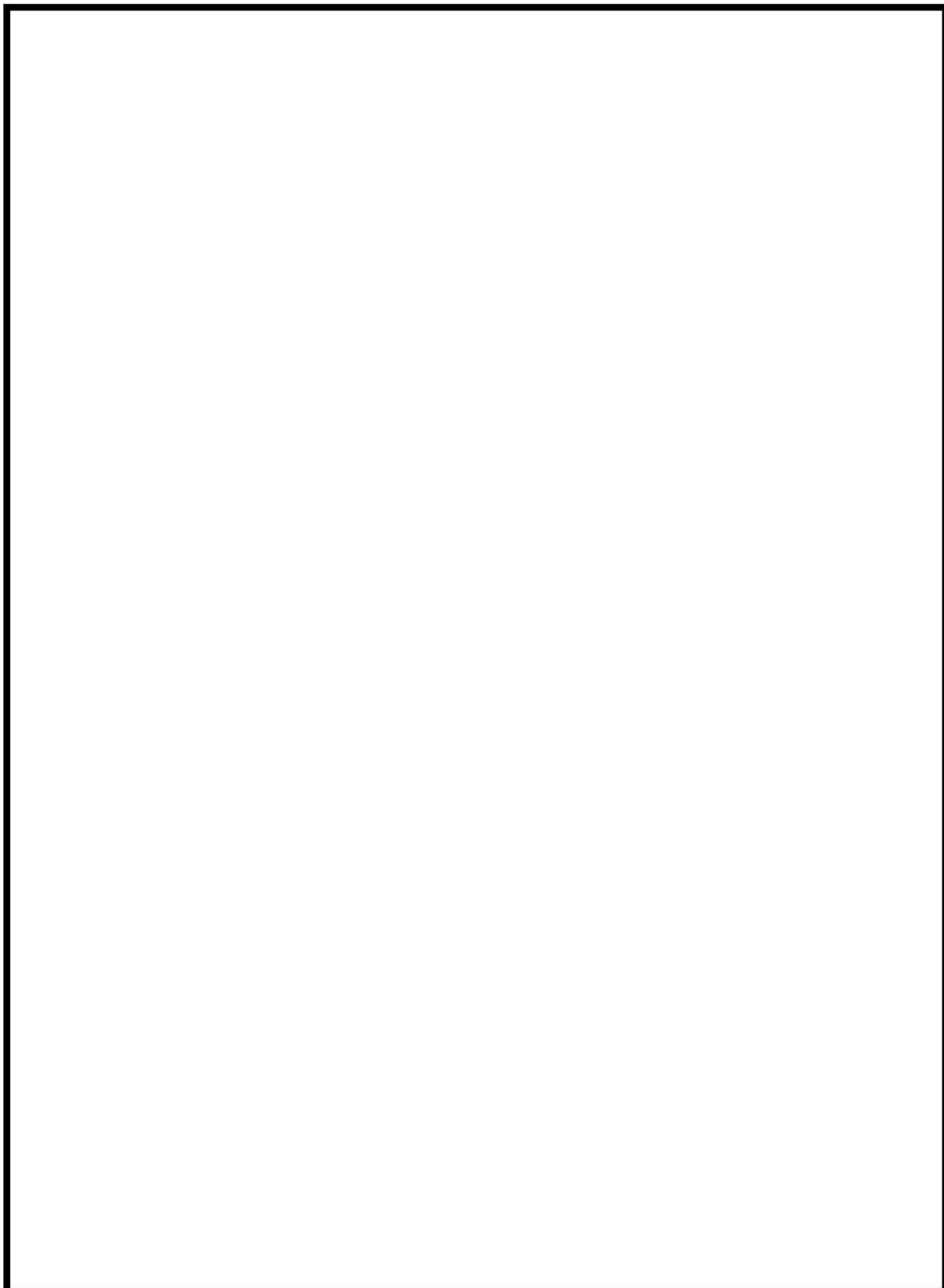
図7.2 100m/s竜巻条件でのx-y平面上での最大飛散距離と最大飛散高さ

8. 参考文献

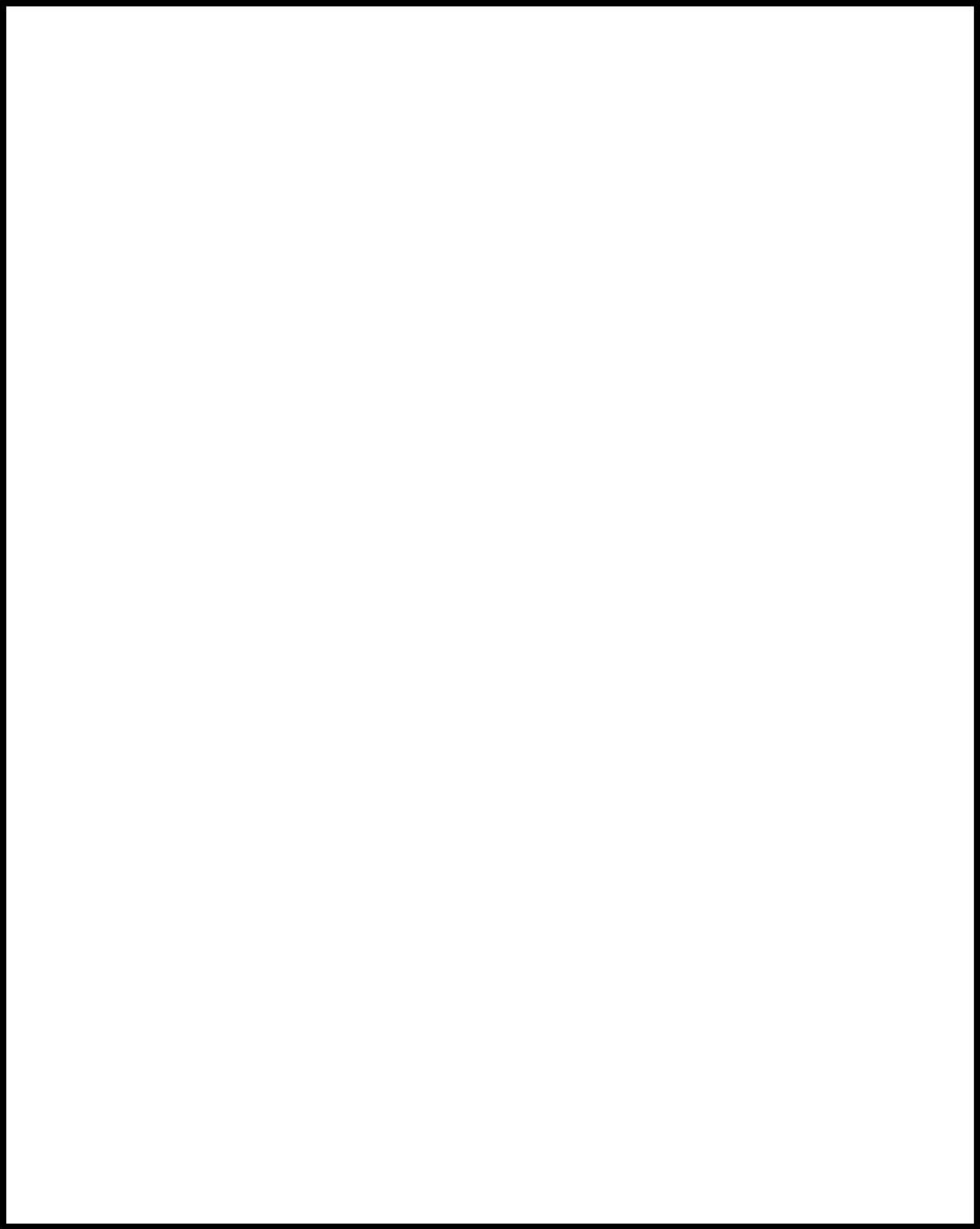
- (1) Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976.
- (2) Simiu, E. and Scanlan, R. H., Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.
- (3) Maruyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.99(4), pp.249-256, 2011.
- (4) 東京工芸大学, “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.
- (5) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.
- (6) 丸山敬, “数値的に生成された竜巻状の渦の性質”, 京都大学防災研究所年報, 第53号B, 平成22年6月.


9. 付録

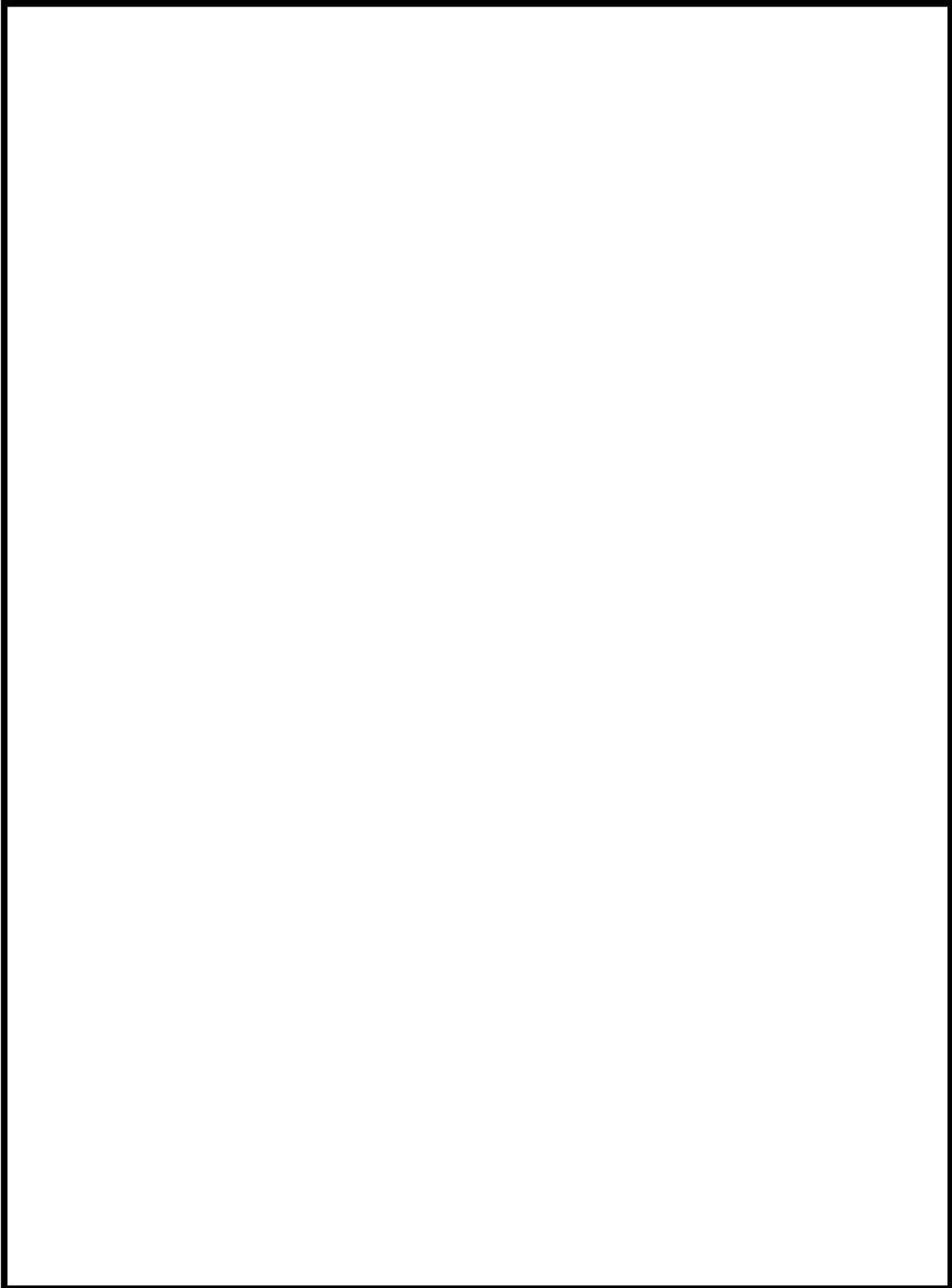
- (付録1) E. Simiu & R.H. Scanlan: Wind Effects on Structures, Wiley, 1977, (3rd. Edition 1996).
- (付録2) 東京工芸大学, “平成21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書, 平成23 年2 月
- (付録3) 日本流体力学学会年会, 江口讓, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸: 移動ランキン渦モデルによる飛来物の速度の評価, 2013




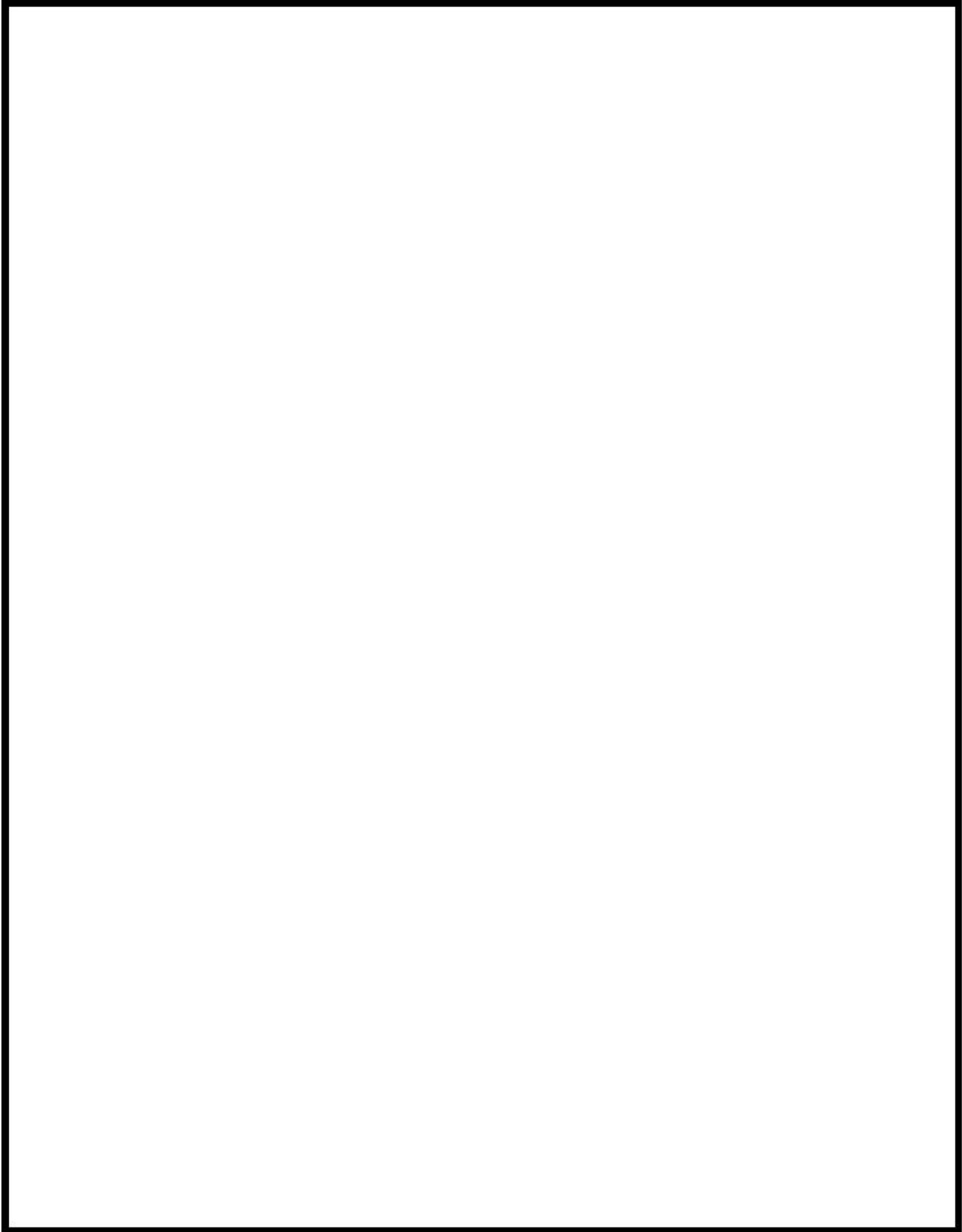
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




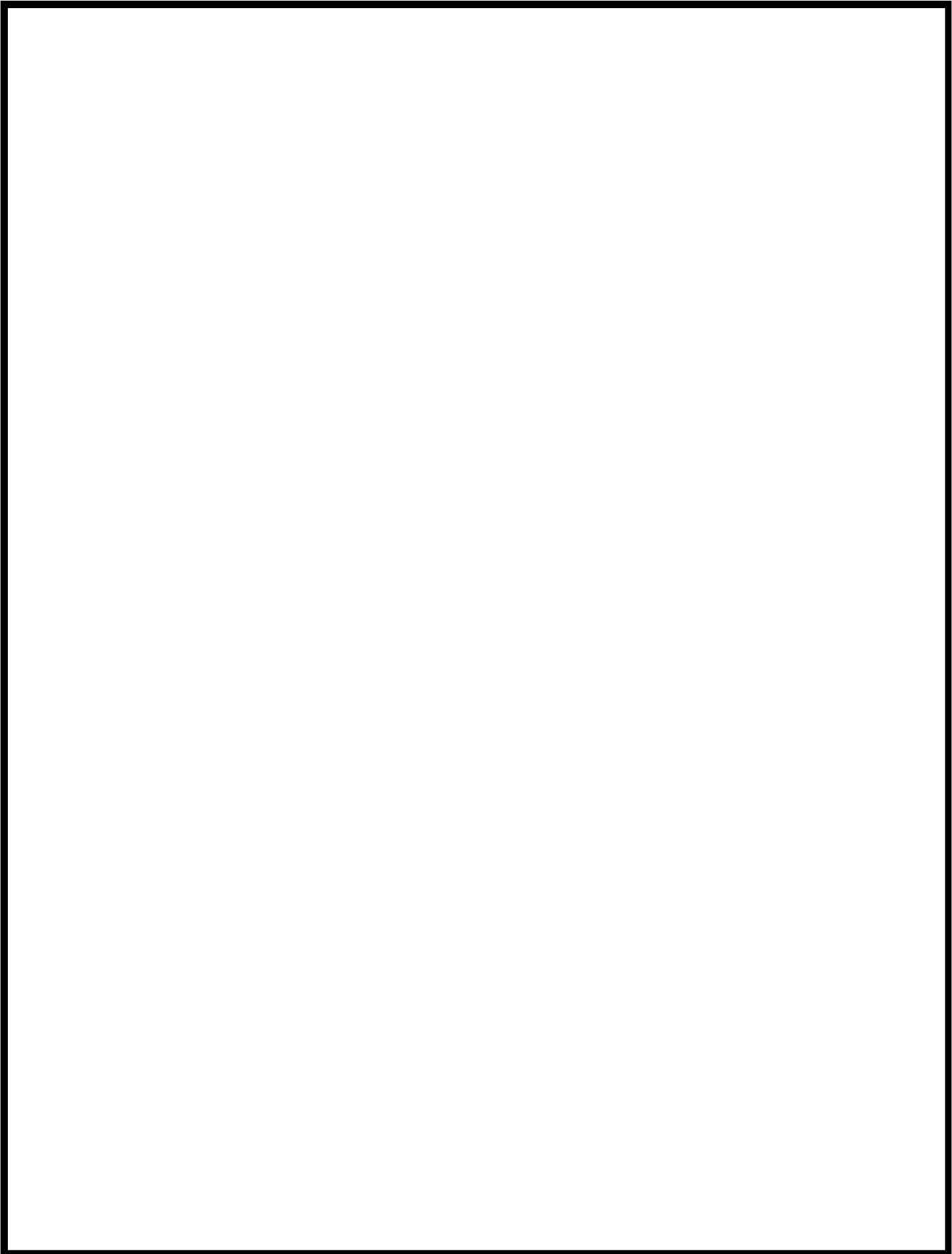
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




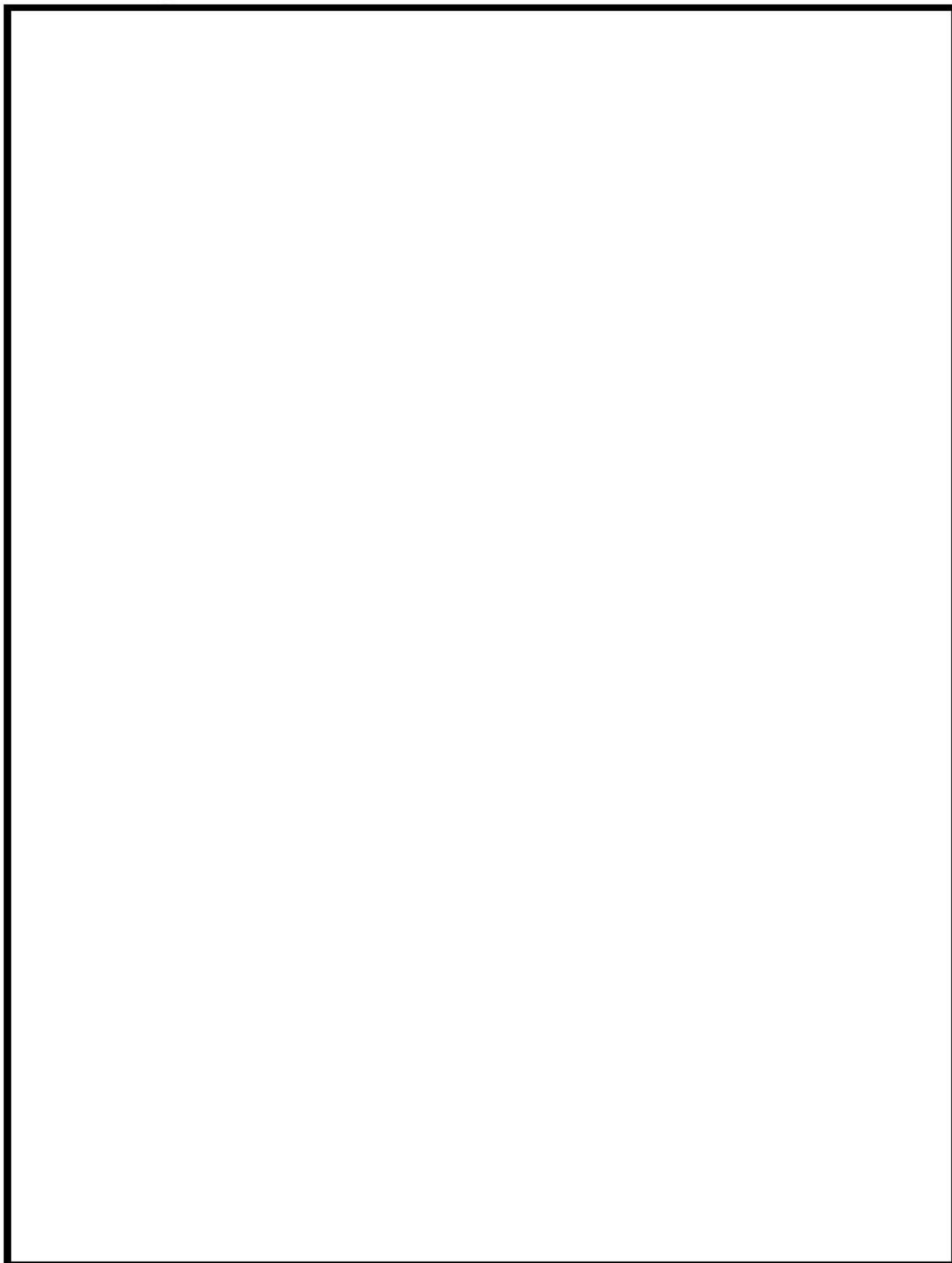
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




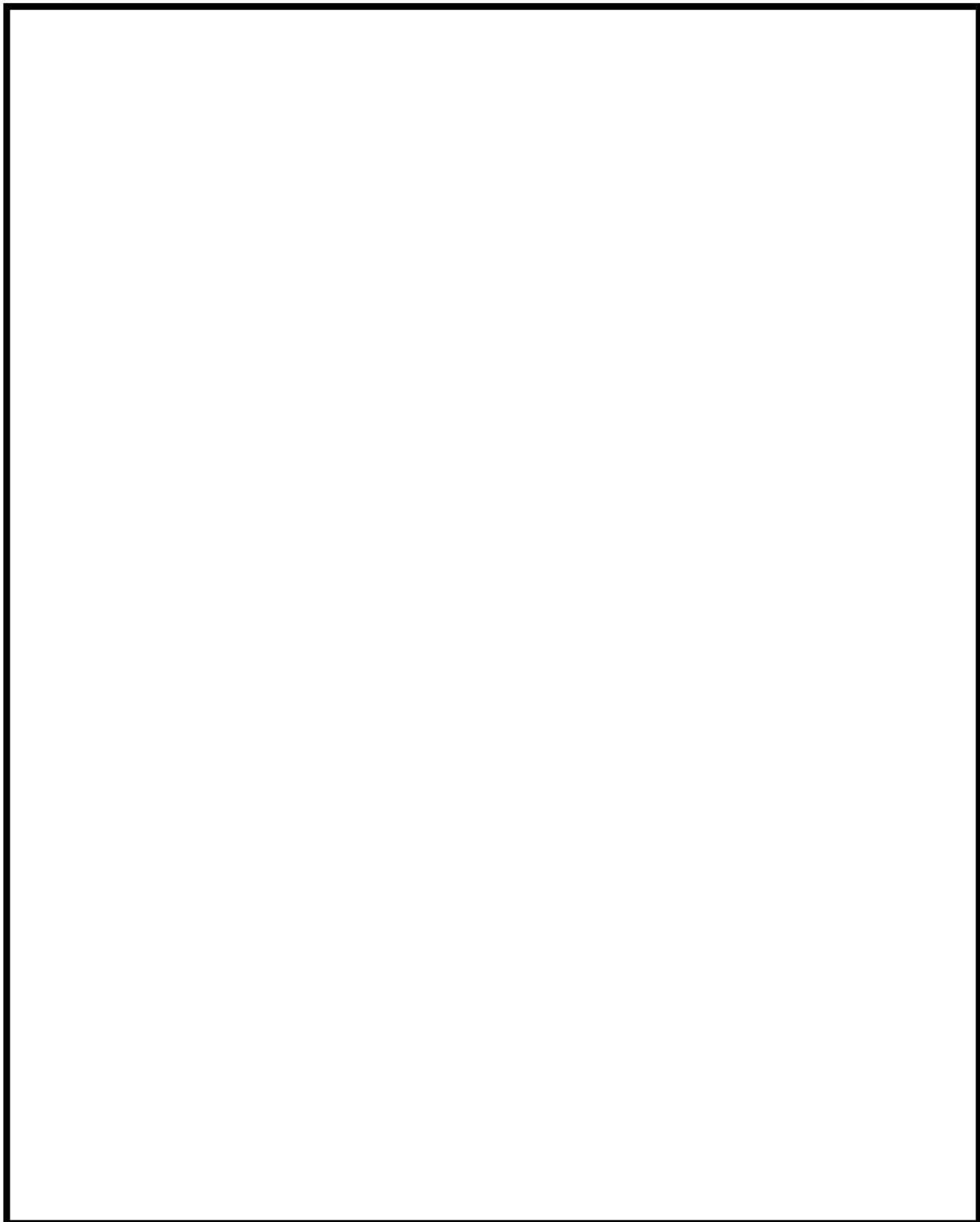
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




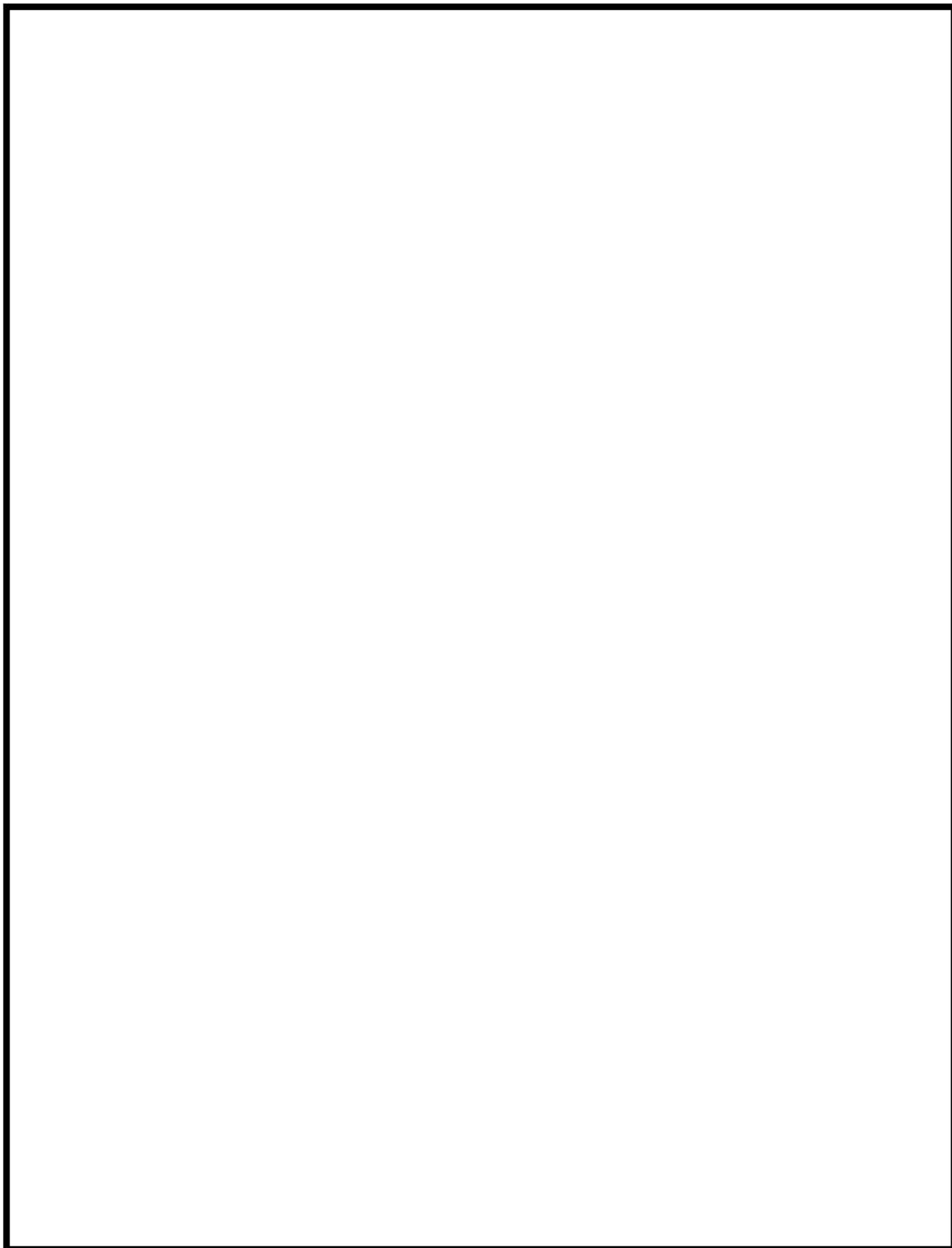
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



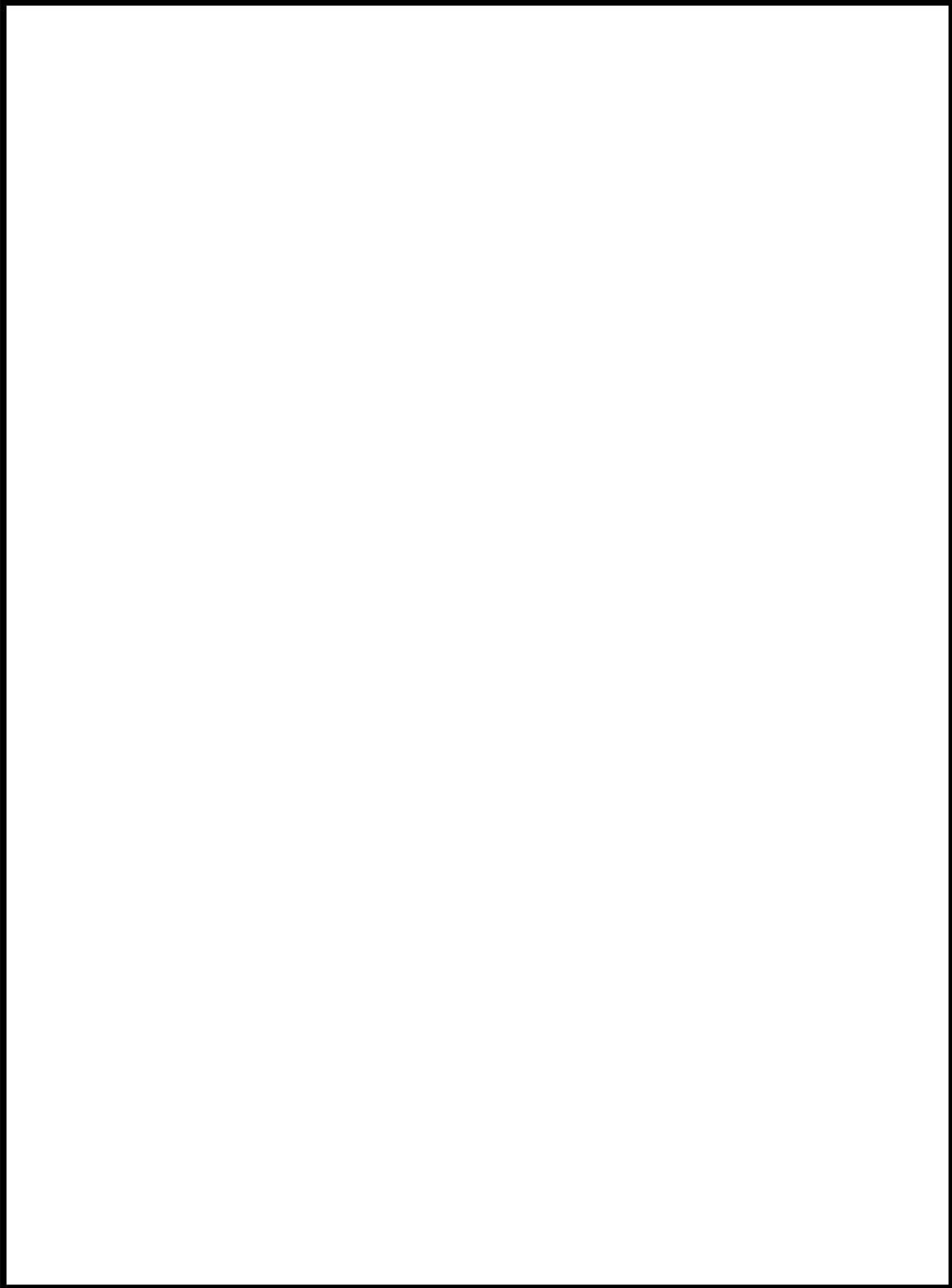
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




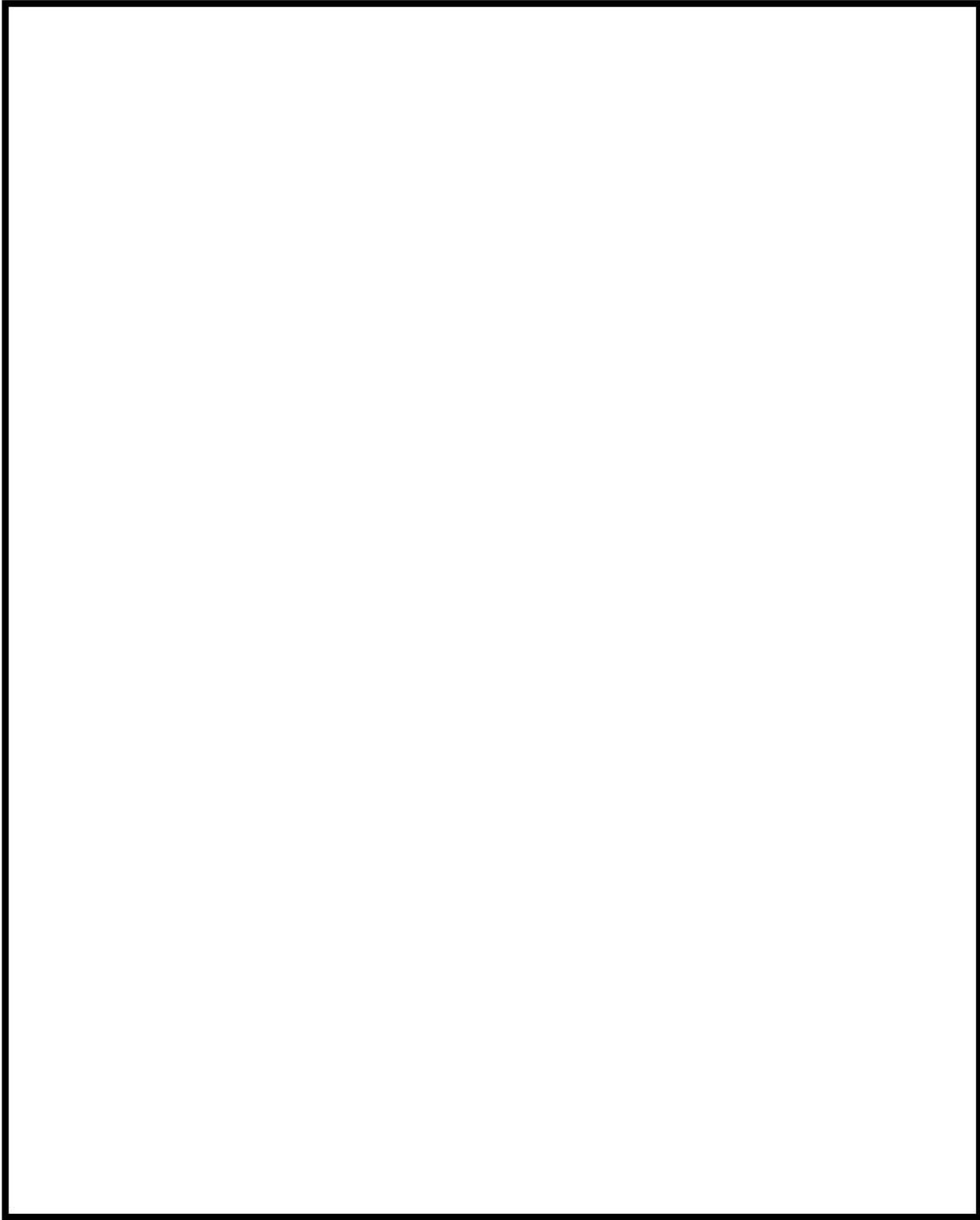
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(付録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

平成23年2月

東京工芸大学

2.2.3 竜巻等による飛散物

(1) 飛散物の衝撃速度に関する研究のレビュー

1) はじめに

竜巻中の飛散物の速度に関する研究は種々あるが、建物の壁を貫通するなど、高速の飛散物の速度をビデオ映像などの実際の飛散の様子から求めたものはほとんどない。いずれも被害の状況からの推定値であったり、飛散物を球や平板などの単純な形状と仮定した上で運動方程式をたて、物体が受ける空気力をモデル化して計算で求められたものである。その場合、飛散物の速度は物体の形状、重さ、物体の飛散開始位置（地面からの高さ、竜巻の渦に対する相対的な位置）、初期速度、また、竜巻の渦の移動速度や竜巻中の気流性状の違いによって様々に変化する。文献[1]の第16章3節には、これらについて過去の研究結果や観測結果を調べ、竜巻中の飛散物の速度の算出方法やその結果がよくまとめられているので、以下にその和訳を示す（一部省略、改変を行っている）。

2) 竜巻による飛散物の飛散速度、距離の導出方法

竜巻による空気力の作用のもとで移動する物体の速度を推定する際には、以下の点について幾つかの仮定を用いる。

- ・物体の空気力特性に関して。
- ・気流場の詳細な性状に関して。
- ・地面からの高さや竜巻中心からの物体の初期位置、および、物体の初期速度に関して。

原子力発電施設の設計に際して一般的に飛散物となる可能性のある物体は、木の厚板や綱棒、綱管、ポールや自動車などである。以下では、竜巻による飛散物の運動を数値シミュレーションに基づいて解く場合の問題に関する研究をレビューする。

3) 運動方程式と空気力学的モデル化

物体の運動は、通常3つの運動量の釣り合い式と3つのモーメントの釣り合い式を解くことによって記述することができる。非流線型物体（ブラフボディ）の場合、これらの6つの式を記述する際に主に問題となるのは、空気力をどのように与えればよいか判らないことである。

静的な条件下で物体に作用する空気力やモーメントを、風洞実験で平均風向に対して十分細かく風向を変えて測定することは可能である。そのような測定結果に基づき、風向角による空気力やモーメントの変化と対応する空気力係数が得られる。そして、翼理論で用いられるよく知られた方法に従って、空気力やモーメントを計算することができる。たとえば、一様流中で速度 V と風向角 α が一定で、翼が時間変化する鉛直方向の動きを $h(t)$ と

すれば、揚力係数は

$$C_L = \frac{dC_L}{d\alpha} \left(\alpha + \frac{1}{V} \frac{dh}{dt} \right) \quad (2.2.3.1)$$

と表される。空気力とモーメントを計算するこの方法は、対象となる物体の動きが小さいときに有効であると考えられるが、物体が拘束されずに気流中で運動するときにも、この方法が有効であることを示しておく必要がある。

飛散物を6自由度の剛体として空気力学的に記述するモデルとして満足できるものがないため、通常、次式で示される抗力に基づいた質点として飛散物を記述する方法がとられる。

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D A |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) \quad (2.2.3.2)$$

ここで、 ρ は空気密度、 \mathbf{V}_w は風速、 \mathbf{V}_M は飛散物の速度、 A は適切に選ばれた面積、 C_D は対応する抗力係数である。これは飛散物が運動している間、(1)相対的な速度ベクトル $\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M$ に対して、一定か、ほぼ一定な姿勢を保つこと、あるいは、(2)抗力 D の表現の中で、大きな誤差を伴わないで、 $C_D A$ の値としてある平均値が使えるような tumbling (回転しながら落下する) 運動をするときに適切なモデルとなる。竜巻の気流中にある非流線型物体では以下を仮定することは残念ながらほとんど無理であるが、空気力が常に物体の重心に正確に作用するか重心に対してゼロでない空力モーメントによって引き起こされる物体の回転が、物体一流体系に備わっている空気力によって抑制されるならば、流れに対して一定の姿勢を保つことが保証される。したがって、そのような力が作用するかどうかの問題となる。種々の文献をみると、この疑問に対する研究はこれまで徹底的にはなされていない。しかし、簡単な実験によると、ブラフボディの場合、空力的な減衰力は不安定化の効果をもっていることがうかがえ、文献[2]の風洞実験でもこの傾向が確かめられている。したがって、竜巻によって生じる可能性のある飛散物は tumbling 運動をするとみなしてよいであろう。

式(2.2.3.2)が成り立ち、tumbling 運動をしているときに平均的に流れ直角方向の力がないとすると、飛散物の運動は3自由度系となり以下の関係に支配される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - g\mathbf{k} \quad (2.2.3.3)$$

ここで、 g は重力加速度、 \mathbf{k} は鉛直方向の単位ベクトル、 m は飛散物の質量である。流れ場と初期条件を与えると式(2.2.3.3)により物体の運動はパラメータ $C_D A/m$ のみに依存する。tumbling 運動をしている物体に対してはこのパラメータの値は、原理的に実験で決定することができるが、残念ながらこれに関して現在のところ使える情報はあまりない。文

献[3]には音速 0.5 から 3.5 の気流中の tumbling 運動に関する情報が含まれている。文献[3]のデータは文献[4]で、より低い亜音速領域に外挿されている。それによると、ランダムに tumbling 運動をしている立方体に対して $C_D A$ の値は、ほぼ、“確率的に取りうる可能性のある全ての姿勢に対する投影面積と、対応する静的な抗力係数の積の平均値に等しい”と仮定できる（文献 4）。実験的な情報がこれ以上ないので、 $C_D A$ の実効的な値が次式のように表されるとしてもよいであろう。

$$C_D A = c(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3) \quad (2.2.3.4)$$

$C_D A = c(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)$ ここで、 $C_{Di} A_i$ ($i=1,2,3$) は物体の主軸がベクトル $\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M$ に平行なときに各軸方向の投影面積と対応する静的な抗力係数の積、 c は係数で、厚板、ロッド、パイプ、ポールに対する値としては 0.50、自動車に対しては 0.33 の値をとるとしているが、棒、パイプ、ポールなどの円筒形物体に対する $c=0.50$ は明らかに小さい。

4) 計算結果

竜巻による飛散物の軌跡と速度を計算し描画する計算プログラムが文献 5) に述べられている。このプログラムは竜巻の風速場のモデルとレイノルズ数の関数として変化する抗力係数を組み込んだサブルーチンを含んでいる。入力文は関連するパラメータと飛散物の運動の初期条件を含んでいる。

式(2.2.3.3)において \mathbf{V}_M と \mathbf{V}_w は絶対座標系で与える。風速 \mathbf{V}_w は通常 2 つの速度の和として与えられる。第 1 は、定常的な竜巻の渦による風速で円筒座標系で表される。第 2 は、基準となる絶対座標系に対する竜巻の渦の移動速度である。絶対座標系において \mathbf{V}_w を記述する変換は文献[5]で導かれており、計算プログラムに含まれている。

表 2.2.3.1 (文献[6]と表 2.2.3.2 に与えられたパラメータを使って、図 2.2.3.1 に示されるアメリカ合衆国における年間超過確率 10^{-7} に相当する竜巻強さの領域分け I, II, III (文献 6) に対応する、タイプ I, II, III (表 1 参照) の竜巻に対して、飛散物の最大水平速度 V_{Hmax} が計算され、図 2.2.3.2 にパラメータ $C_D A/m$ の関数として与えられている。

表 2.2.3.1 設計基準竜巻の特性 (文献[9]より)

領域	最大風速m/s (mph)	移動速度 m/s (mph)	最大回転風 速 m/s (mph)	最大回転風 速半径m (ft)	気圧下降mb (psi)	気圧下降率 mb/s (psi/s)
I	103 (230)	21 (46)	82 (184)	45.7 (150)	83 (1.2)	37 (0.5)
II	89 (200)	18 (40)	72 (160)	45.7 (150)	63 (0.9)	25 (0.4)
III	72 (160)	14 (32)	57 (128)	45.7 (150)	40 (0.6)	13 (0.2)

表 2.2.3.2 選ばれた飛散物の特性と最大水平速度

	大きさ	重さ (lb/ft)	重さ (kg/m)	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}	$C_{DA/w}$ (ft ² /lb)	$C_{DA/m}$ (m ² /kg)	V_{Hmax} 竜巻タイプ		
									Type I	Type II	Type III
1 木の棒	3 $\frac{1}{2}$ " × 1 $\frac{1}{2}$ " × 12' (0.092 m × 0.289 m × 3.66m)	8.2 to 11 (e.g. 9.6)	12.2 to 16.3 (e.g. 14.3)	2.0	2.0	2.0	0.132	0.0270	272 ft/s (83 m/s)	230 ft/s (70 m/s)	190 ft/s (58 m/s)
2 鉄パイプ	6.625" (diam) × 15' length (0.168 m × 4.58 m)	18.97	28.18	0.7	2.0	0.7	0.0212	0.0043	171 ft/s (52 m/s)	138 ft/s (42 m/s)	33 ft/s (10 m/s)
3 自動車	16.4' × 6.6' × 4.3' (5 m × 2 m × 1.3m)	4000 lb (total wt)	1810 kg (total mass)	2.0	2.0	2.0	0.0343	0.0070	193 ft/s (59 m/s)	170 ft/s (52 m/s)	134 ft/s (41 m/s)
4 鋼棒	1" (diam) × 3' (length) (0.0254 m × 0.915 m)	2.67	4.0	1.2	2.0	1.2	0.0190	0.0040	167 ft/s (51 m/s)	131 ft/s (40 m/s)	26 ft/s (8 m/s)
5 鉄パイプ	13.5" (diam) × 35' (length) (0.343 m × 10.68 m)	27.5-36.5 (e.g. 32)	40.8-54.2 (e.g. 47.5)	0.7	2.0	0.7	0.0254	0.0052	180 ft/s (55 m/s)	157 ft/s (48 m/s)	85 ft/s (26 m/s)
6 鉄パイプ	12.75" (diam) × 15' (length) (0.32 m × 4.58 m)	49.56	73.6	0.7	2.0	0.7	0.016	0.0033	154 ft/s (47 m/s)	92 ft/s (28 m/s)	23 ft/s (7 m/s)

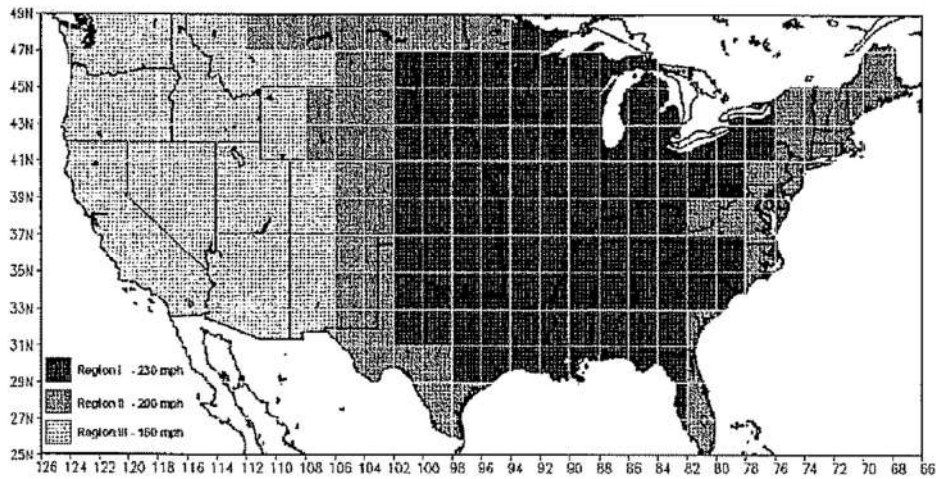


図 2.2.3.1 文献[6]よりアメリカ合衆国における年間超過確率 10^{-7} に相当する竜巻強さの領域に相当する 3 つの風速の分布を示す。横軸は経度(西経 66~126 度), 縦軸は緯度(北緯 25 ~49 度)

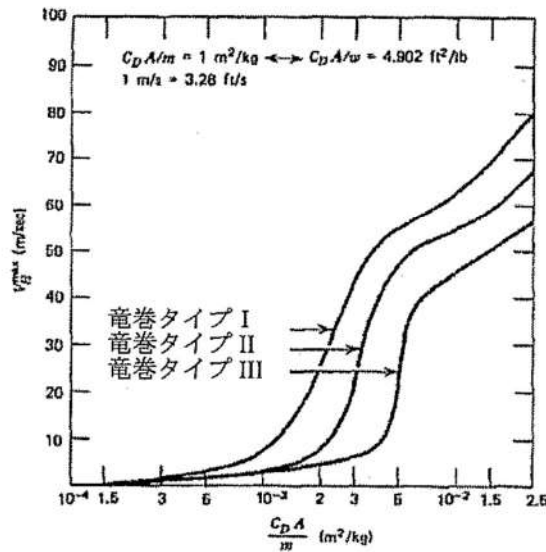


図 2.2.3.2 種々の竜巻のタイプに対して $C_D A/m$ の関数として与えられた飛散物の最大水平速度の変化.

これらの計算では以下の仮定が使われている.

- ・ 竜巻の接線方向風速 V_t は式(2.2.3.5)と(2.2.3.6)で記述される.

$$V_t = \frac{r}{R_m} V_m \quad (0 \leq r \leq R_m) \quad (2.2.3.5)$$

$$V_t = \frac{R_m}{r} V_m \quad (R_m < r < \infty) \quad (2.2.3.6)$$

- ・ 径方向風速 V_r と鉛直方向風速 V_z は次のように与える[文献 7]

$$V_r = 0.50 V_t \quad (2.2.3.7)$$

$$V_z = 0.67 V_t \quad (2.2.3.8)$$

- ・ 径方向成分は図 2.2.3.3 のように渦の中心方向を正とし鉛直方向成分は上方を正とする.
- ・ 竜巻の渦の移動速度 V_v は図 2.2.3.3 のように x 軸の正方向にとる.
- ・ 時刻 $t=0$ における初期条件は $x(0) = R_m$, $y(0) = 0$, $z(0) = 40\text{m}$, $V_{Mx}(0) = V_{My}(0) = V_{Mz}(0) = 0$ ここで, x, y, z は飛散物の重心を通る座標軸で, V_{Mx}, V_{My}, V_{Mz} はそれぞれ x, y, z 軸に沿う飛散物の速度である. $t=0$ における竜巻の中心は座標軸の原点にある. タイプ I の竜巻中で $C_D A/m=0.1$ の飛散物で計算された軌跡の水平投影図を図 2.2.3.4 に示す. 表 2.2.3.2 には選ばれた飛散物の推定される特性を挙げてある. また, 図 2.2.3.2 から得られた対応する水平速度 V_{Hmax} も示す.

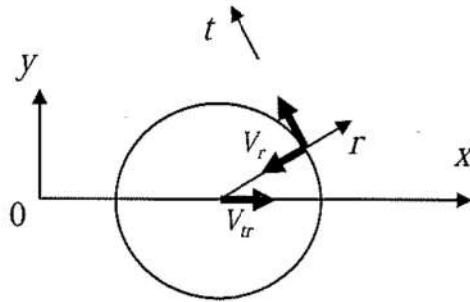


図 2.2.3.3 竜巻の風速の水平成分

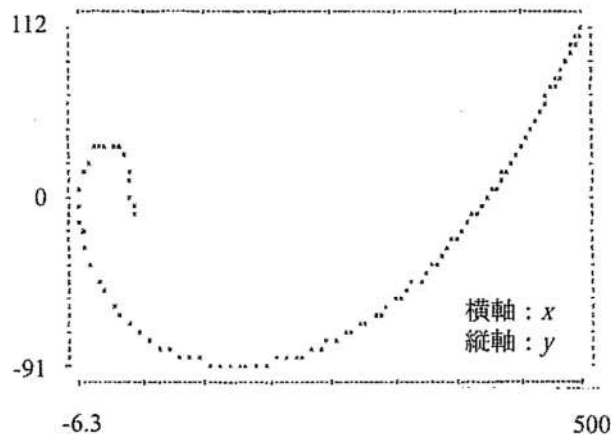


図 2.2.3.4 計算された飛散物の軌跡の水平投影図 (軸の表示は m)

5) 飛散物の最大水平速度の感度解析

運動モデルには不確実性が含まれるので、表に示された推定値の範囲で飛散物の最大水平速度 V_{Hmax} の感度を調べることは興味のあることである。以下で考察する各ケースにおいて、全ての仮定は図 2.2.3.2 の竜巻のタイプ I に対して用いられたものと同じである。

(a) 初期条件 $x(0)$ と $y(0)$

$C_D A/m=0.001$ と $C_D A/m=0.1$ で初期条件 $x(0)$, $y(0)$ に対して得られた結果を 3 種類、表 2.2.3.3 に示す。表中の矢印は接線方向と竜巻の移動方向の風速の方向を示す。 V_H^{max} の計算された最大値に対応する初期位置は $C_D A/m$ により変化し、 $C_D A/m=0.001$ では位置(c), $C_D A/m=0.1$ では位置(b)となる。

表 2.2.3.3 種々の初期条件 $x(0), y(0)$ に対する飛散物の最大水平速度 V_{Hmax} (m/s)

		$x(0)$	$y(0)$	$C_D A/m$	
		(m)	(m)	$= 0.001$	$= 0.01$
(a)		46	0	7	62
(b)		23	0	15	89
(c)		0	-46	51	67

(b) 初期高さ $x(0)$

計算によると、パラメータ $C_D A/m$ が図 2.2.3.2 の中央の S 型曲線に対応している場合には V_{Hmax} は初期高さが低くなるとともに小さくなる。しかし、飛散物が相対的に軽くてパラメータ $C_D A/m$ が左側の S 型曲線に対応している場合には V_{Hmax} は $x(0)$ には依存しない。

(c) 飛散物の初期速度

たとえば、爆発などによって飛散物が流の中に取り込まれた場合、初期速度がゼロという仮定は成り立たなくなる。他の条件が全て同じ場合、初期速度がゼロに対応した計算結果よりも初期速度がゼロでない場合が速くなることはない。表 2.2.3.4 に $V_{My}(0)=0, V_{Mz}(0)=0$ として、 $V_{Mx}(0)=0, 10, 20\text{m/s}$ の場合の結果を示す。これによると、 $C_D A/m=0.001$ では $V_{Mx}(0)=10\text{m/s}$ の方が $V_{Mx}(0)=20\text{m/s}$ の場合よりも V_{Hmax} は速くなっている。

(d) 竜巻の渦の移動速度 V_r

初期位置 $x(0), y(0)$ に対して、竜巻の渦の移動速度 V_r が減少するにつれて V_{Hmax} は増加したり減少したりする。たとえば、 $x(0)=46\text{m}, y(0)=0, C_D A/m=0.001$ の場合 $V_r=0$ ならば $V_{Hmax}=25\text{m/s}$ となり、表 2.2.3.3 にある $V_{Hmax}=7\text{m/s}$ (このとき $V_r=31\text{m/s}$) よりも速くなる。しかし、 $x(0)=0, y(0)=-46\text{m}, C_D A/m=0.001$ の場合 $V_{Hmax}=25\text{m/s}$ となり、表 2.2.3.3 にある $V_{Hmax}=51\text{m/s}$ よりも遅くなる。

表 2.2.3.4 種々の初期速度に対する飛散物の最大水平速度 V_{Hmax} (m/s)

		$x(0)$	$y(0)$	$C_D A/m = 0.001$			$C_D A/m = 0.01$		
				$V_{Mx}(0)$			$V_{Mx}(0)$		
				0	10	20	0	10	20
(a)		46	0	8	9	20	62	58	53
(b)		0	-23	35	45	35	63	59	59

(e) 渦の流のモデル

文献[8]と文献[9]に提案されている渦のモデルは、ここで使った半径 R_m が一定となるモデルとは異なっており、基本的に地面からの高さとともに直線的に半径 R_m は増加すると

仮定している。もし、このモデルが使われるならば、対応する飛散物の速度の計算結果はほとんどの場合、図 2.2.3.2 よりも速くなるということが文献[5]に示されている。

何人かの気象学者たちは、式(2.2.3.5)で示される速度よりもほとんどの竜巻の風速場において実際の竜巻の径方向の速度 V_r はかなり遅くなるという見解を示している。したがって、飛散物が多く運動量を獲得する高風速領域内の軌跡を計算するための径方向の抗力係数は相対的に小さくなり、飛散物の速度は図 2.2.3.2 の値よりもかなり遅くなる。実際の鉛直方向の風速は式(2.2.3.6)で得られるよりも遅いと考えられているので、飛散物はこの式に基づいて計算されたものより速く地面に落下しやすい。その結果として飛散物の速度も減少する(文献[5])。

竜巻による飛散物の速度の決定論的研究に関しては文献[10]から文献[16]を参照されたい。ANSI/ANS-2.3-1983 基準(文献[17])に明記された飛散物の速度を表 2.2.3.5 に示す。

表 2.2.3.5 ANSI/ANS-2.3-1983 基準(文献[17])に示された飛散物の最大水平速度を挙げる。

飛散物	重さ (pounds)	風速							
		320 mph	260 mph	250 mph	200 mph	180 mph	150 mph	140 mph	100 mph
自動車	4,000	115 mph	100 mph	95 mph	75 mph	65 mph	50 mph	45 mph	20 mph
ワイドフランジ	750	1,100 ft	850 ft	800 ft	600 ft	450 ft	200 ft	180 ft	100 ft
(W 14 × 30 か同等品)		100 mph	75 mph	70 mph	50 mph	45 mph	30 mph	25 mph	0 mph
		700 ft	440 ft	400 ft	200 ft	180 ft	100 ft	80 ft	0 ft

Source: Extracted from American National Standard ANSI/ANS-2.3-1983 with permission of the publisher, the American Nuclear Society.

移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物速度の評価

Evaluation of Tornado-borne Missile Speed using a Translating Rankine Vortex Model

○ 江口 譲, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, eguchi@criepi.denken.or.jp
 杉本 聡一郎, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, soichiro@criepi.denken.or.jp
 服部 康男, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, yhattori@criepi.denken.or.jp
 平口 博丸, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, hiromaru@criepi.denken.or.jp
 Yuzuru Eguchi, Soichiro Sugimoto, Yasuo Hattori, and Hiromaru Hirakuchi.

Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko 1646, Abiko-shi, Chiba-ken, 270-1194 JAPAN

We have developed a numerical model to evaluate velocity of tornado-borne objects or missiles where wind of tornado is modeled with translating Rankine vortex and an object is assumed to be subject to drag and gravity forces in a manner similar to E. Simiu and M. Cordes (1976). In this study, effects of time integration scheme and time increment on accuracy are numerically examined and discussed. Furthermore, the results of tornado-borne missile speed are compared with those of the previous studies where tornado wind fields were defined by scaling an LES result obtained for a small experimental apparatus, to discuss the effect of the tornado wind features on the missile speed.

1. 序論

原子力発電所の安全審査においては、竜巻やその随伴事象が発生したとしても原子力発電所の安全性が維持されることが求められる。竜巻発生時には強風により浮上した物体が原子力発電施設に衝突する可能性があるため、竜巻に伴う飛来物の設計速度を定める必要がある。この竜巻飛来物評価方法として、米国の原子力規制委員会の規制ガイド⁽¹⁾では、E. Simiu⁽²⁾らの方法と同様に、竜巻をランキン渦で簡易的にモデル化する方法が用いられている。一方、国内では、小規模な竜巻発生実験装置を対象とした非定常乱流解析で得られた数値解析結果に基づき、スケール則によって実規模竜巻の風速場に変換した非定常風速場を用いる方法が検討されている⁽³⁾。そこで、本研究では、まず E. Simiu and M. Cordes⁽²⁾と同様の竜巻風速モデルに基づいて飛来物速度を求めるための数値解析プログラム TONBOS を作成し、数値積分法や時間ステップ幅が飛来物速度に与える影響を明らかにする。次に、非定常風速場を用いる既往研究⁽³⁾で数値解析結果が提示されている問題を対象として、TONBOS を用いた数値解析を行い、これらの数値解析結果の比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について議論する。

以下、2章では、本研究で開発した竜巻飛来物速度評価プログラム TONBOS の物理モデル（基礎方程式）とその数値解析スキームについて説明する。3章では、時間積分法や解析条件等が数値解析結果に与える影響について議論する。4章では、既往研究の数値解析結果⁽⁴⁾⁽⁵⁾との比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について議論する。

2. 数値解析の物理モデルと計算スキーム

2.1 基礎方程式

(a) 竜巻の風速場

竜巻の風速場はx軸方向に一定速度 V_x で移動するランキン渦でモデル化する。ランキン渦の周方向風速 V_θ 、径方向(中心方向)風速 V_r 、上昇風速 V_z は E. Simiu and M. Cordes⁽²⁾と同様に以下の式で定義する (Fig.1 参照)。

$$V_r = af(r), \quad V_\theta = bf(r), \quad V_z = cf(r) \quad (1a), (1b), (1c)$$

ただし、 $a=1/\sqrt{5}$, $b=2/\sqrt{5}$, $c=4/3\sqrt{5}$ と定義し、周方向風速 V_θ と径方向風速 V_r を合成した渦の水平速度 $f(r)=(V_\theta^2+V_r^2)^{1/2}$ は、以下の式で定義される。

$$f(r) = \begin{cases} \frac{r}{R_m} V_m & \text{if } 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{R_m}{r} V_m & \text{if } R_m \leq r \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 r は渦中心からの距離、 R_m は渦コア半径(渦の水平風速が最大となる半径)、 V_m は渦の最大水平風速である。なお、文献(3)では渦の周方向風速 V_θ の最大値[最大径方向風速]として V_m が定義されているので、この場合は、式(1a)-(1c)で $a=1/2$, $b=1$, $c=2/3$ に設定し、 $f(r)$ は渦の周方向(接線方向)速度とみなす。

時刻 $t=0$ で竜巻中心は原点に位置するものとし、竜巻の風速場は飛来物の影響を受けないと仮定すると、時刻 t における竜巻の風速場 \mathbf{V}_w の各風速成分 (u, v, w) は式(1a)-(1c), (2)などから以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{f(r)}{r} \begin{pmatrix} -a(x - V_x t) - by \\ -ay + b(x - V_x t) \\ cr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ただし、渦中心からの距離 r は以下で与えられる。

$$r = \sqrt{(x - V_x t)^2 + y^2} \quad (4)$$

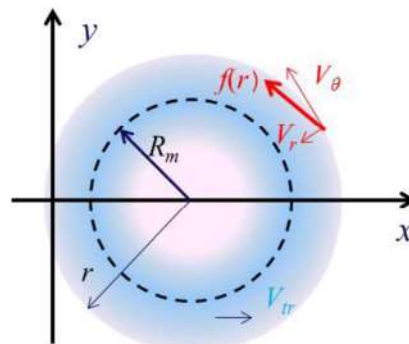


Fig. 1 Plan view of translating Rankine vortex

なお、静止する観測者からみた最大水平風速 V_D は、以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_r \quad (5)$$

(b) 飛来物の運動

飛来物の運動は、既往研究⁽²⁾⁽⁶⁾と同様に方向性がない平均的な抗力（抗力係数一定）と重力のみが外力として作用すると仮定する。この場合の飛来物の運動方程式は以下のようになる。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - g\mathbf{k} \quad (6)$$

ここで、各変数は以下で定義されるものである。

- \mathbf{V}_M : 飛来物の速度ベクトル
- \mathbf{V}_w : 風速ベクトル（ランキン型渦風速と移動速度の和）
- ρ : 空気密度
- C_D : 飛来物の平均抗力係数
- A : 飛来物の代表見附面積
- m : 飛来物の質量
- g : 重力加速度
- \mathbf{k} : 鉛直上向き単位ベクトル

2.2 飛来物運動方程式の時間積分法

時刻 t における竜巻の風速場 $\mathbf{V}_w=(u,v,w)$ は式(3)で与えられるので、式(6)を時間積分することによって、飛来物の速度と位置の時刻歴を求めることができる。ここでは、以下の2つの時間積分法を検討する。

(1) 一定加速度法（陽解法）

式(6)において、時刻 τ から時刻 $\tau+\Delta\tau$ における加速度が一定（時刻 τ の値で一定）と仮定する。つまり、

$$\frac{d\mathbf{V}_M(t)}{dt} = \mathbf{A}(\tau) \quad (7)$$

ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$ は以下で定義される加速度ベクトルである。

$$\mathbf{A}(\tau) = k |\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)| \{ \mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau) \} - g\mathbf{k} \quad (8)$$

なお、簡単のため $k = \rho C_D A / 2m$ とした。式(7)を時間積分すると、以下の速度式を得る。

$$\mathbf{V}_M(t) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau)(t - \tau) \quad (8)$$

さらに、式(9)を時間積分すると、以下の飛来物位置の時間変化式を得る。

$$\mathbf{X}_M(t) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau)(t - \tau) + \frac{\mathbf{A}(\tau)}{2}(t - \tau)^2 \quad (10)$$

ただし、 $\mathbf{X}_M(t)$ は飛来物の位置を表す。従って、式(9)、(10)より時刻 $t = \tau + \Delta\tau$ における飛来物の速度と位置は以下で与えられる。

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) &= \mathbf{V}_M(\tau) \\ &+ [k |\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)| (\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)) - g\mathbf{k}] \Delta\tau \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) &= \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \Delta\tau \\ &+ \frac{\Delta\tau^2}{2} [k |\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)| (\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)) - g\mathbf{k}] \end{aligned} \quad (12)$$

式(11)、(12)の右辺は時刻 $t = \tau$ における既知の速度・位置の関数であるので、陽解法として時間積分を行うことができる。

(2) 線形加速度法（陰解法）

線形加速度法では、時刻 τ から時刻 $\tau + \Delta\tau$ における加速度が線形に変化するものと仮定する。つまり、式(6)において、以下の式が成立する。

$$\frac{d\mathbf{V}_M(t)}{dt} = -\mathbf{A}(\tau) \frac{t - \tau - \Delta\tau}{\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{t - \tau}{\Delta\tau} \quad (13)$$

式(13)を時間積分すると、以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_M(t) &= \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} \\ &- \mathbf{A}(\tau) \frac{(t - \tau - \Delta\tau)^2}{2\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{(t - \tau)^2}{2\Delta\tau} \end{aligned} \quad (14)$$

さらに、式(14)を時間積分すると、以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(t) &= \mathbf{X}_M(\tau) - \mathbf{A}(\tau) \frac{(\Delta\tau)^2}{6} \\ &+ \left[\mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} \right] (t - \tau) \\ &- \mathbf{A}(\tau) \frac{(t - \tau - \Delta\tau)^3}{6\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{(t - \tau)^3}{6\Delta\tau} \end{aligned} \quad (15)$$

従って、時刻 $t = \tau + \Delta\tau$ における速度と位置は以下で与えられる。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \frac{\Delta\tau}{2} [\mathbf{A}(\tau) + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)] \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) &= \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \Delta\tau \\ &+ \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau^2}{3} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{\Delta\tau^2}{6} \end{aligned} \quad (17)$$

式(16)、(17)の右辺は以下の時刻 $\tau + \Delta\tau$ における加速度 $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$ を含んでいる。

$$\begin{aligned} \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) &= k |\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)| \\ &\times \{ \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) \} - g\mathbf{k} \end{aligned} \quad (18)$$

このため、非線形形式(18)では竜巻風速場も未知であるので、これも同時に連成させる必要がある。本研究では、これらの方程式を Newton-Raphson 法で求解し、時間積分を進めた。この Newton-Raphson 法に基づく求解法の詳細を以下に説明する。

時刻 $\tau + \Delta\tau$ において飛来物速度 $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$ とその位置 $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = (x_M, y_M, z_M)$ を求めるために満足すべき式は、式(16)、(17)、(18)および以下の竜巻の風速場のモデル方程式である。

$$\mathbf{V}_w = \frac{f(r_M)}{r_M} \begin{pmatrix} -a\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} - b y_M \\ -a y_M + b\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} \\ c r_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_r \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$r_M = \sqrt{\{x_M - (\tau + \Delta\tau)V_r\}^2 + y_M^2} \quad (20)$$

まず、式(16)、(17)から $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$ を消去すると以下のような $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$ と $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$ の線形関係式を得ることができる。

$$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \frac{\Delta\tau}{3} \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) + \mathbf{d}(\tau) \quad (21)$$

ただし、 $\mathbf{d}(\tau)$ は以下で定義する。

$$\mathbf{d}(\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \frac{2\Delta\tau}{3} \mathbf{V}_M(\tau) + \frac{\Delta\tau^2}{6} \mathbf{A}(\tau) \quad (22)$$

また、式(17)、(18)から $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$ を消去すると以下のような $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$ と $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$ の非線形関係式を得ることができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = & \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_w(\tau)\Delta\tau + \mathbf{A}(\tau)\frac{\Delta\tau^2}{3} - \frac{\Delta\tau^2}{6}g\mathbf{k} \\ & + \frac{k\Delta\tau^2}{6}|\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)|\{\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)\} \end{aligned} \quad (23)$$

また、式(21)を用いて、式(23)中の $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$ を消去すると以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = & \mathbf{h}(\tau) \\ & + \frac{k\Delta\tau^2}{6}|\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \frac{3}{\Delta\tau}[\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{d}(\tau)]| \\ & \times \left\{ \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \frac{3}{\Delta\tau}[\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{d}(\tau)] \right\} \end{aligned} \quad (24)$$

ただし、 $\mathbf{h}(\tau)$ は以下で定義する。

$$\mathbf{h}(\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_w(\tau)\Delta\tau + \mathbf{A}(\tau)\frac{\Delta\tau^2}{3} - \frac{\Delta\tau^2}{6}g\mathbf{k} \quad (25)$$

式(24)を満たす $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$ を求めるために以下の関数 $\mathbf{F}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))$ を定義する。

$$\begin{aligned} \mathbf{F}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)) = & \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{h}(\tau) \\ & - \frac{k\Delta\tau^2}{6}|\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))|\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)) \end{aligned} \quad (26)$$

ただし、 $\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))$ は以下で定義される。

$$\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)) = \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \frac{3}{\Delta\tau}[\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{d}(\tau)] \quad (27)$$

$\mathbf{F}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))=0$ を満たす $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$ を求めるために、以下のNewton-Raphson法による繰り返し計算を用いる。

$$\mathbf{X}_M^{(i+1)} = \mathbf{X}_M^{(i)} - \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}_M} \right)^{-1} \mathbf{F}(\mathbf{X}_M^{(i)}) \quad (28)$$

ここで、ヤコビアン行列は式(26)より以下のように求めることができる。

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}_M} = \mathbf{I} - \frac{k\Delta\tau^2}{6} \left\{ \frac{1}{|\mathbf{G}|} \mathbf{G} \otimes \left(\left[\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{X}_M} \right] \mathbf{G} \right) + |\mathbf{G}| \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{X}_M} \right\} \quad (29)$$

ここで、 \mathbf{I} は3x3の単位行列、 $\mathbf{a} \otimes \mathbf{b}$ は縦ベクトル \mathbf{a} と \mathbf{b} のテンソル積を表し、その(i,j)成分は $(\mathbf{a} \otimes \mathbf{b})_{ij} = a_i b_j$ と定義される。また、 $\mathbf{G}(\mathbf{X}_M)$ の \mathbf{X}_M に関する微分は以下のように求められる。

$$\frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{X}_M)}{\partial \mathbf{X}_M} = \frac{\partial \mathbf{V}_w}{\partial \mathbf{X}_M} - \frac{3}{\Delta\tau} \mathbf{I} \quad (30)$$

2.3 時間進展スキーム

竜巻の風速場を規定する条件である、渦コア半径（渦の水平風速が最大となる半径） R_m 、渦の最大水平風速 V_m および一定移動速度 V_s を与えて、以下のいずれかのスキームで時間進展させる。

(1) 一定加速度法（陽解法）

①初期条件の設定：時刻 $t=0$ における飛来物の初期速度と初期位置を与える。竜巻中心は原点に位置するものとする。

②時刻 $t=\tau$ の飛来物位置での竜巻風速を式(3)から求め、式(11)から時刻 $t=\tau+\Delta\tau$ の飛来物速度を、式(12)から飛来物位置を求める。

③ $\tau=\tau+\Delta\tau$ として、②に戻り時間積分を進める。（終了まで）

(2) 線形加速度法（陰解法）

①初期条件の設定：時刻 $t=0$ における飛来物の初期速度と初期位置を与える。竜巻中心は原点に位置するものとする。

②式(28)の繰り返し計算を収束させ、時刻 $t=\tau+\Delta\tau$ の飛来物位置を求め、次に、時刻 $t=\tau+\Delta\tau$ の飛来物速度を、式(21)から求める。

③ $\tau=\tau+\Delta\tau$ として、②に戻り時間積分を進める。（終了まで）

3. 数値解析コードの検証

3.1 一様風での検証

時刻 $t=0$ において初期速度ゼロで原点に静止する物体が x 方向の一様風 $\mathbf{V}_w=(V_w, 0, 0)$ によって発生する抗力のみを外力として受ける問題について、本研究で開発した解析コード TONBOS を検証する。この問題では、物体の運動に関しては理論解が存在し、時刻 t における物体位置は以下で記述される⁽⁹⁾。

$$x_M(t) = V_w t - \frac{1}{k} \ln(kV_w t + 1) \quad (31)$$

なお、前述と同様に $k=\rho C_D A/2m$ である。この問題を、前節で説明した2つの時間進展スキームで数値解析し、理論解と比較する。解析条件は $V_w=10[\text{m/s}]$ 、 $k=0.01[\text{m}^{-1}]$ とし、時間ステップ $\Delta\tau$ を0.01, 0.1, 1, 10[s]の4種類で計算した。時刻 $t=10[\text{s}]$ における物体位置および物体速度の相対誤差を”（計算値-理論値）÷理論値”で評価したところ、物体位置に関してはFig.2(a)に示す結果が、物体速度に関してはFig.2(b)に示す結果が得られた。

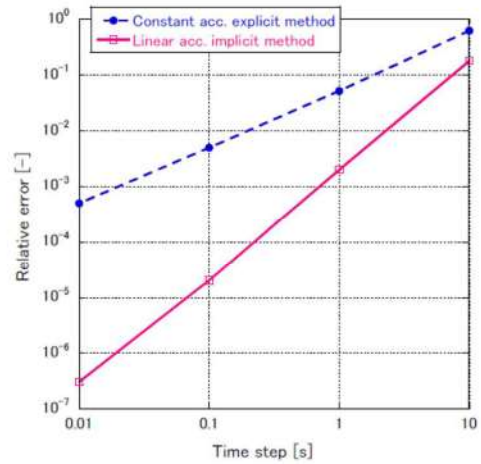


Fig.2(a) Relative error of position, $x_M(t)$, of an object subject to uniform wind at $t=10$ [s] in variation with time step

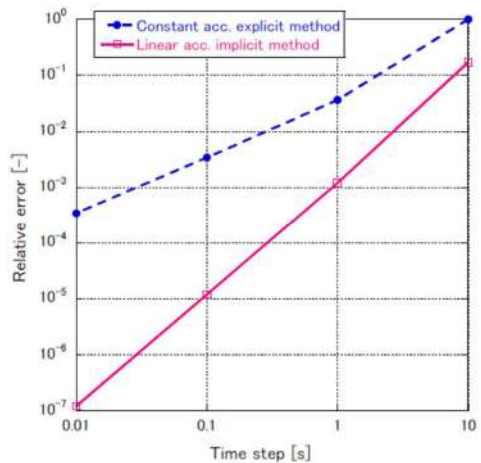


Fig.2(b) Relative error of velocity, $u_M(t)$, of an object subject to uniform wind at $t=10$ [s] in variation with time step

Fig.2(a)および Fig.2(b)より一定加速度法(陽解法)よりも線形加速度法(陰解法)の方が精度が良く、一定加速度法は時間ステップに関して1次精度、線形加速度法は2次精度を有することが確認された。なお、この例では一定加速度法(陽解法)を用いても時間ステップ Δt を0.1[s]以下に設定すれば、物体位置および物体速度の相対誤差は1%以下に抑えることができる。

3.2 移動する竜巻での検証

Simiu and Scanlan⁽³⁾は、初速ゼロの飛来物が座標($R_m, 0.40$)[単位:m]に位置するものとして飛来物の運動を計算し、飛来物が地上に落下するまでに達した最大の水平速度を「飛来物最大水平速度」と定義して数値解析結果を得ている。そこで、これと同様に Table 1 に示す3種類の竜巻条件(Tornado Type-I, -II, -III)を与えて、TONBOSによって「飛来物最大水平速度」 V_h^{max} を求めた。なお、Table 1 の各条件は文献(3)の Table 3.5.1(p.127)に記載されている値を[mph]から[m/s]へ、[ft]から[m]に換算したものである。

物体特性値 $C_D A/m$ については、文献(3)の Table 16.3.1 (p.565)に掲載されている値 ($C_D A/m=0.0033, 0.0040, 0.0043, 0.0052, 0.0070, 0.0270$ [m²/kg]) および Table 16.3.2 (p.567, Tornado Type-I)のケース(a)に記載されている値 ($C_D A/m=0.001, 0.01$ [m²/kg]) を選定して検証問題とした。なお、時間進展スキームには線形加速度法(陰解法)を用い、全ケースで時間ステップ Δt を0.01[s]に設定した。また、空気密度 ρ は1.226[kg/m³]、重力加速度 g は9.8[m/s²]とした。

Fig.3 に物体特性 $C_D A/m$ の各値に対する「飛来物最大水平速度」 V_h^{max} を文献(3)の結果と比較して示す。本数値解析の V_h^{max} の結果は文献(3)よりもやや大きい傾向にあるが、両者は整合する結果となっている。なお、一定加速度法(陽解法)を用いても、線形加速度法(陰解法)と同様の解が得られる。文献(3)との相違の原因としては、数値解析スキームの違いや空気密度などの物性値の違いが考えられるが、文献(3)などでは詳しい説明はなされていない。

Table 1 Computational condition of three types of tornadoes

	V_m [m/s]	V_p [m/s]	R_m [m]
Tornado Type-I	129.6	31.3	45.7
Tornado Type-II	107.3	26.8	45.7
Tornado Type-III	84.9	22.4	45.7

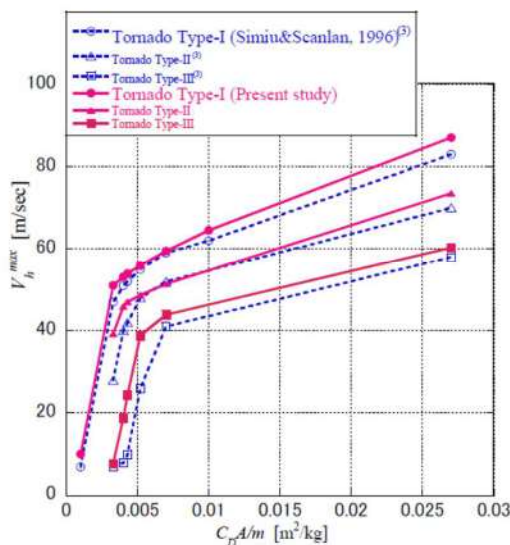


Fig.3 Maximum horizontal missile speed in variation with $C_D A/m$

4. 竜巻風速場の影響

4.1 米国竜巻相当条件での比較

Manuyama⁽⁴⁾は竜巻実験装置(時間および周方向に平均化した接線風速の最大値 V_{max} とその発生半径 R_{max} で定義される Re 数は760)を対象としたLES解析結果⁽⁴⁾⁽⁶⁾に基づき、一定速度 V_p で移動する実規模の竜巻風速場を生成して飛来物速度を求めている。その一例として $V_{max}=82$ [m/s], $R_{max}=45.7$ [m], $V_p=21$ [m/s]の竜巻条件に相当する非定常風速場を生成し、この非定常風速場の中の座標(0, $-R_{max}, 40$)[m]から初速ゼロの飛来物を放出する数値解析を多数(5100 ケース)行い、飛来物の「飛来物最大水平速度」 V_h^{max} の確率分布を求めている(文献(4)の Fig.11)。その結果によると、 V_h^{max} の平均値は48[m/s]、標準偏差は7[m/s]、最高値は62[m/s]となっている。この解析例に対応する問題を移動ランキン渦モデルで評価するために、TONBOSにおいて $R_m=45.7$ [m], $V_m=82$ [m/s], $V_p=21$ [m/s](時間積分法, ρ, g は3.2節と同様)の条件で初速ゼロの飛来物を座標(0, $-R_{max}, 40$)[m]から放出する数値解析を行った。なお、周方向風速 V_p の最大値を82[m/s]に設定するため、式(1a)-(1c)で $a=1/2, b=1, c=2/3$ とした。その結果、 $V_h^{max}=47.22$ [m/s]が得られ、Manuyama⁽⁴⁾が得た V_h^{max} の平均値48[m/s]と良く一致した。

さらに、文献(4)では米国規制ガイド⁽¹⁾を参考にして選定した3種類の竜巻条件について、高さ40[m]の位置から飛来物を広範囲かつ密に多数、放出して V_h^{max} を求めている。一方、本数値解析では、これに相当する条件(Table 2に示す Vortex Type-I, -II, -III)をTONBOSに与えて、飛来物を高さ40[m](x, y方向に $\pm 3R_m$ の正方形形状の範囲の51 \times 51箇所)から放出して「飛来物最大水平速度」を得た。Fig.4に物体特性 $C_D A/m$ の各値に対する V_h^{max} を文献(4)の結果と比較して示す。文献(4)の V_h^{max} は本数値解析で得られた V_h^{max} よりも大きい傾向にあるが、両者は良く整合することが分かる。

Table 2 Computational condition of three types of vortices

	V_m^* [m/s]	V_p [m/s]	R_m [m]
Vortex Type-I	82	21	45.7
Vortex Type-II	72	18	45.7
Vortex Type-III	57	14	45.7

* circumferential speed

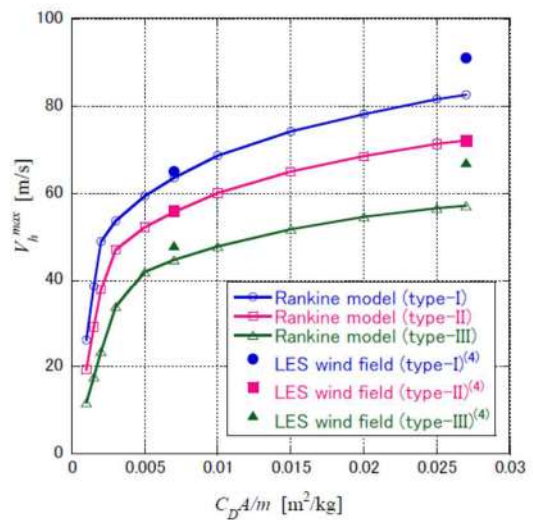


Fig.4 Maximum horizontal missile speed in variation with $C_D A/m$ for Vortex Types-I, II and III shown in Table 2

4.2 国内最大級相当条件での比較

文献(5)の p.237 に示されている竜巻条件に相当する計算条件 (Table3) を TONBOS に与えて、「飛来物最大水平速度」 V_h^{max} を求めた。文献(5)の竜巻風速場の生成方法は文献(4)と同様に LES 解析結果に基づくものであるが、高さ 40[m] の x, y 方向に $\pm 3R_m$ の正方形の 25×25 箇所から飛来物を複数回、放出して V_h^{max} を求めている。本研究でも、同様の位置から飛来物を放出して V_h^{max} を計算した。Fig.5 に物体特性 $C_D A/m$ の各値に対する V_h^{max} を文献(5)の結果と比較して示す。物体特性 $C_D A/m$ が小さい条件では、文献(5)の V_h^{max} は本数値解析の V_h^{max} の結果よりも小さい傾向にあるが、物体特性 $C_D A/m$ が大きい条件では逆の傾向となる。しかしながら、両者は良く整合することが分かる。

物体特性 $C_D A/m$ の大小によって V_h^{max} の相対的な大小が逆転する理由としては、 $C_D A/m$ が小さい場合は、LES 解析の風速場の上昇速度がランキン渦に比べ小さく、水平方向に十分加速される前に早く落下するが、 $C_D A/m$ が大きい場合は、物体が飛散しやすいため気流中の滞在時間が長くなり、LES 解析の風速場の乱れの影響を受けて大きな飛来物速度となるためと考えられる。

5. 結論

本研究では、竜巻の風速場をランキン渦で簡易的にモデル化し、飛来物速度の運動を求めるための数値解析スキームについて説明した。この数値解析スキームに基づく竜巻飛来物評価ソフト TONBOS を用いた計算結果等より以下の結論を得た。

- (1) 飛来物の運動方程式の数値積分法としては、同一の時間ステップ条件下では、線形加速度法 (陰解法) が一定加速度法 (陽解法) よりも高精度である。ただし、時間ステップ幅が十分に小さい場合は飛来物速度に与える影響は小さい。
- (2) LES 解析結果に基づく非定常風速場を用いる既往研究結果⁽⁵⁾との比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について評価したところ、物体特性 $C_D A/m$ の大小によって V_h^{max} の相対的な大小関係が逆転する傾向が見られるが、竜巻の風速場をランキン渦でモデル化した場合の結果は LES 解析結果に基づく結果と良く整合することが判明した。

謝辞

本研究の4章 (竜巻風速場の影響) をとりまとめるに当たり、京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門 耐風構造研究分野 丸山 敬 教授から貴重なご意見を頂きましたので、ここに謝意を表します。

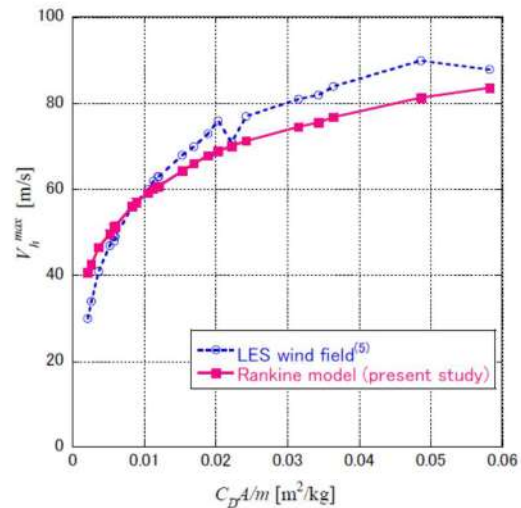
参考文献

- (1) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, Design-Basis Tomado and Tomado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.
- (2) Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050, Tomado-Bome Missile Speeds, 1976.
- (3) Simiu, E. and Scanlan, R. H., Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.
- (4) Manyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tomado-like vortex. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.99(4), pp.249-256, 2011.
- (5) 東京工芸大学, “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.
- (6) 丸山敬, “数値的に生成された竜巻状の渦の性質”, 京都大学防災研究所年報, 第 53 号 B, 平成 22 年 6 月.

Table 3 Computational condition of tomado assumed for a nuclear power plant site

V_m^* [m/s]	V_p [m/s]	R_m [m]
84	16	30

* circumferential speed

Fig.5 Maximum horizontal missile speed in variation with $C_D A/m$ for tomado assumed for a nuclear power plant site shown in Table 3.

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
<p>1. 総則</p> <p>1.1 目的</p> <p>原子力規制委員会の定める「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」第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、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ず、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、竜巻の影響を挙げている。本ガイドは、当該規定に関連して、原子炉施設の供用期間中に極めてまれに発生する突風・強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴現象^(注1)等によって原子炉施設の安全性を損なうことを目的とする。また、本評価ガイドは、竜巻影響評価の妥当性を審査官が判断する際に、参考とするものである。</p> <p>設置許可段階の安全審査においては、以下の2点について確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重^(注1.2)）が、本ガイドに示す基本的な方針を満足した上で適切に設定されていること。 ・設計荷重に対して、竜巻防護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>(注1.1) 竜巻及び竜巻と同時に発生する可能性のある雷、大雨、雹^{ひょう}等、あるいはダウンバースト等に伴って発生し得る事象</p> <p>(注1.2) 2.2.2 (2) 参照</p> <p>1.2 適用範囲</p> <p>本ガイドは、設計で想定する竜巻及びその随伴現象等によって原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを設置許可段階において確認する安全審査に適用する。</p> <p>1.3 関連法規等</p> <p>本ガイドは、以下の法律や基準類を参考としている。</p> <p>(1) 国内</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年6月10日法律第166号） ・ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令（昭和32年11月21日政令第324号） ・ 建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号） ・ 建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号） 	<p>1. 竜巻に対する防護</p> <p>1.1 概要</p> <p>原子力規制委員会の定める「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（以下「設置許可基準規則」という。）」第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、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ず、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、竜巻の影響を挙げている。</p> <p>発電用原子炉施設の供用期間中に極めてまれに突風・強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴現象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価・確認するため、原子力規制委員会の定める「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成25年6月19日原子力規制委員会決定）」（以下「ガイド」という。）を参照し、竜巻影響評価として以下を実施し、発電用原子炉施設の安全機能が維持されることを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定 ・泊発電所における飛来物に係る調査 ・飛来物防止対策 ・考慮すべき設計荷重に対する外部事象防護対象施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

- ・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（平成25年原子力規制委員会規則第5号）
- ・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（原規技発第1306193号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））
- ・基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（原管地発第1306192号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））

- ・日本産業規格
- ・日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987
- ・日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991追補版
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版） JSME S NCI-2008
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2009年追補版） JSME S NCI-2009
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2010年追補版） JSME S NCI-2010
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版） JSME S NCI-2012
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版） JSME S NJ1-2012
- ・日本建築学会：建築物荷重指針・同解説（2004）
- ・日本建築学会：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説（2005）
- ・日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説（2010年6月）
- ・日本建築学会：鋼構造設計規程-許容応力度設計法-（2005年9月）
- ・日本建築学会：鋼構造塑性設計指針（2010年2月）
- ・土木学会：構造工学シリーズ22 防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計-基準体系の指針-（2013年1月）

(2) 海外

- ・ IAEA : IAEA Safety Standards, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Guide No. SSG-18, 2011
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : Appendix A to Part 50-General Design Criteria for Nuclear Power Plants
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision 1, March 2007
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3.3.2 TORNADO LOADS, NUREG-0800, Revision 3 - March 2007
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3.5.1.4 MISSILES GENERATED BY TORNADOES AND EXTREME WINDS, NUREG-0800, Revision 3 - March 2007

ほか

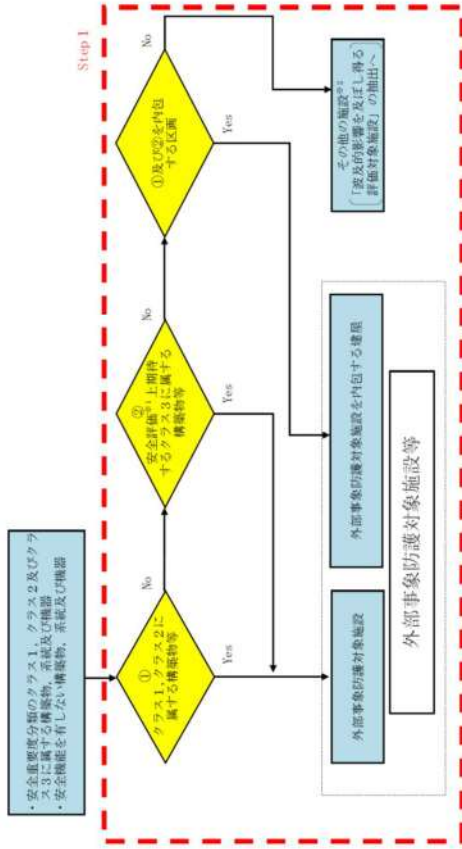
1.4 用語の定義

本ガイドで用いる用語の定義を以下に示す。

- ・竜巻防護施設：「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類におけるSクラスの設計を要求される設備（系統、機器）、建屋及び構築物等。

- ・安全機能：「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類におけるSクラスの施設に要求される機能。
- ・原子炉施設：発電用軽水型原子炉施設。
- ・設計対象施設：本ガイドで設計の対象とする原子炉施設。
- ・基準竜巻：設計対象施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、設計対象施設の安全性に影響を与えるおそれがある竜巻。
- ・設計竜巻：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に対して最大風速の割り増し等を行った竜巻。
- ・設計竜巻荷重：設計竜巻によって設計対象施設に作用する荷重。
- ・設計荷重：設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重。
- ・竜巻検討地域：原子力発電所が立地する地域及び竜巻発生を観点から気象条件等が類似の地域。
- ・藤田スケール：1971年にシカゴ大学の藤田哲也博士が考案した竜巻等の規模を表す指標。藤田スケールは、通常、F0～F5までの区分が用いられ、区分ごとに風速の範囲が定義されている。
- ・日本版改良藤田スケール：藤田スケールを改良した竜巻等の規模を表す指標。日本版改良藤田スケールは、JEF0～JEF5の階級が用いられ、当該階級は、被害指標ごとに設定された被害度に対応する風速のうち最大のものにより決定される。
- ・竜巻影響エリア：原子力発電所の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に基づいて設定されるエリア。
- ・設計飛来物：設計竜巻によって設計対象施設に衝突し得る飛来物。
- ・竜巻随伴事象：設計竜巻等に伴い発生が想定される事象。
- ・ダウンバースト：積乱雲等から強い下降気流が生じて、竜巻と同様に局地的に突風を発生させる自然現象。
- ・スーパースェル：上昇気流域における顕著な回転を伴う気流によって生じる巨大積乱雲。単一巨大積乱雲とも呼ばれ、竜巻、雹、大雨及びダウンバースト等を発生させる。

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
<p>2. 設計の基本方針</p> <p>2.1 設計対象施設 以下の(1)及び(2)に示す施設を設計対象施設とする。 (1) 竜巻防護施設 「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。 (2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設 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(注2.1)。</p> <p>解説2.1 設計対象施設 設計竜巻荷重は、基準地震動S_s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。 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>1.2 評価の基本方針</p> <p>1.2.1 竜巻から防護する施設の抽出 竜巻から防護する施設は、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「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」で規定される重要度分類（以下「安全重要度分類」という。）のクラス1、クラス2及びクラス3の設計を要求される構築物、系統及び機器とする。 その上で、上記構造物、系統及び機器の中から、発電用原子炉を停止するため、また停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価[※]上の機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし、機械的強度を有すること等により、安全機能を損なわない設計とする。 ※ 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析 また、外部事象防護対象施設を内包する建屋は、機械的強度を有すること等により、内包する外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計及び外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。ここで、外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設を内包する建屋を併せて、外部事象防護対象施設等という。 上記に含まれない構築物、系統及び機器は、竜巻及びその随伴事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>1.2.2 竜巻影響評価の対象施設 以下の(1)外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設及び(2)外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に示す施設を竜巻影響評価の対象施設（以下「評価対象施設等」という。）とする。 外部事象防護対象施設等の抽出フローを第1.2.2.1図に示す。 なお、「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施設についても、外部事象防護対象施設等として抽出すべきものがないことを確認した。【添付資料 1.2】</p>



※1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析
 ※2 竜巻及びその隣接事象に対して機能維持すること、竜巻及びその隣接事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること又は安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能であることを確認する。

第 1.2.2.1 図 外部事象防護対象施設等の抽出フロー

(1) 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設【添付資料1.2】
 外部事象防護対象施設として、屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する施設を含む。）、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び外殻となる施設（建屋、構築物）（以下「外殻となる施設」という。）による防護機能が期待できない施設を抽出する。
 なお、外殻となる施設による防護機能が踏まえ抽出する。
 防護機能の期待できる区画の構造健全性の確認結果を踏まえ抽出する。
 防護機能を期待できることが確認できた区画に内包される外部事象防護対象施設については、該当する外殻となる施設により防護されることから、個別評価は実施しない。
 第 1.2.2.2 図に、外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー及び抽出された評価対象施設を示す。

- a. 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）
 - (a) 排気筒（建屋外）
 - <以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>
 - (b) 原子炉建屋（外部遮へい建屋）（原子炉容器他を内包）
 - (c) 原子炉建屋（周辺補機棟）（主蒸気管他を内包）
 - (d) 原子炉建屋（燃料取扱棟）（使用済燃料ピット他を内包）
 - (e) 原子炉補助建屋（中央制御室他を内包）
 - (f) ディーゼル発電機建屋（ディーゼル発電機他を内包）

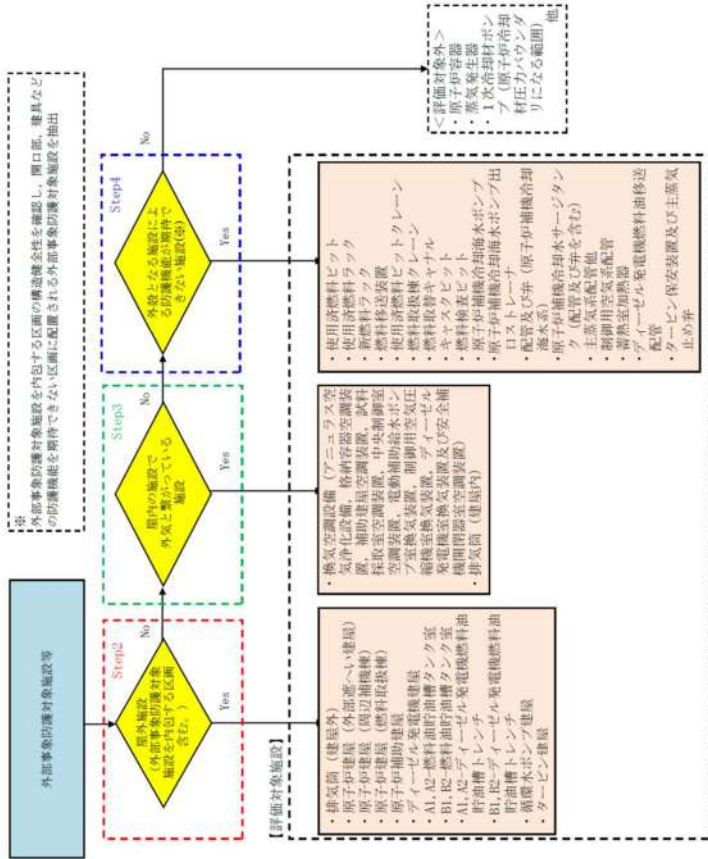
- (g) A1, A2-燃料油貯油槽タンク室 (A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包)
- (h) B1, B2-燃料油貯油槽タンク室 (B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包)
- (i) A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ (ディーゼル発電機燃料油移送配管を内包)
- (j) B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ (ディーゼル発電機燃料油移送配管を内包)
- (k) 循環水ポンプ建屋 (原子炉補機冷却海水ポンプ他を内包)
- (l) タービン建屋 (タービン保安装置他を内包)

b. 屋内の施設で外気と繋がっている施設

- (a) 換気空調設備 (アニュラス空気浄化設備, 格納容器空調装置, 補助建屋空調装置, 試料採取室空調装置, 中央制御室空調装置, 電動補助給水ポンプ室換気装置, 制御用空気圧縮機室換気装置, ディーゼル発電機室換気装置, 安全補機閉閉器室空調装置)
- (b) 排気筒 (建屋内)

c. 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

- (a) 使用済燃料ピット
- (b) 使用済燃料ラック
- (c) 新燃料ラック
- (d) 燃料移送装置
- (e) 使用済燃料ピットクレーン
- (f) 燃料取扱棟クレーン
- (g) 燃料取替キャナル
- (h) キャスクピット
- (i) 燃料検査ピット
- (j) 原子炉補機冷却海水ポンプ
- (k) 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ
- (l) 配管及び弁 (原子炉補機冷却海水系)
- (m) 原子炉補機冷却水サージタンク (配管及び弁含む)
- (n) 主蒸気系配管他
- (o) 制御用空気系配管
- (p) 蓄熱室加熱器
- (q) ディーゼル発電機燃料油移送配管
- (r) タービン保安装置及び主蒸気止め弁



第 1.2.2.2 図 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー

(2) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設【添付資料 1.3】
 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、その他の施設 (外部事象防護対象施設以外の施設) のうち、倒壊により外部事象防護対象施設等を機能喪失させる (機械的影響) 可能性があるもの、屋外に設置される外部事象防護対象施設の付属設備のうち、設計竜巻の風圧力、気圧差及び設計飛来物等の衝突による損傷により外部事象防護対象施設を機能喪失させる (機能的影響) 可能性があるもの及び外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備 (機能的影響) とする。

なお、津波防護施設等は、基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。

第1.2.2.3 図に、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー及び抽出された施設を示す。

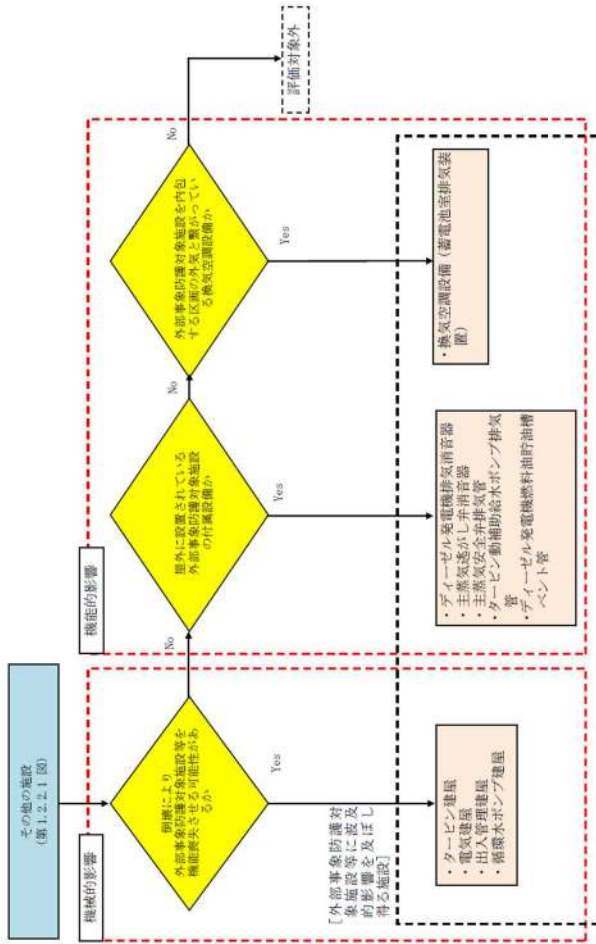
a. 外部事象防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設

- (a) タービン建屋
- (b) 電気建屋
- (c) 出入管理建屋
- (d) 循環水ポンプ建屋

b. 外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設

(外部事象防護対象施設の付属設備)

- (a) ディーゼル発電機排気消音器
 - (b) 主蒸気逃がし弁消音器
 - (c) 主蒸気安全弁排気管
 - (d) タービン動補給水ポンプ排気管
 - (e) ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管
- (外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備)
- (a) 換気空調設備 (蓄電池室排気装置)



第1.2.2.3 図 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

2.2 設計の基本的な考え方
2.2.1 設計の基本フロー

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。

(注2.1) 竜巻防護施設を内包する区画。

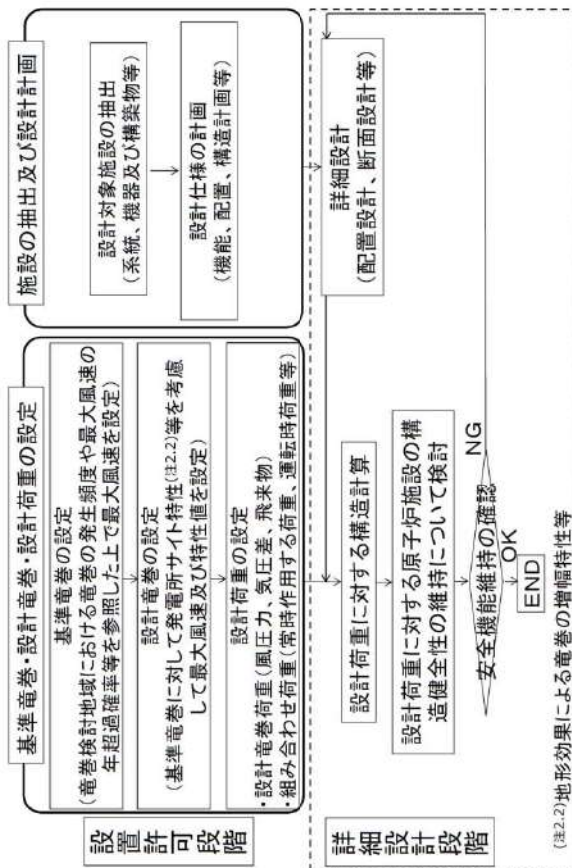


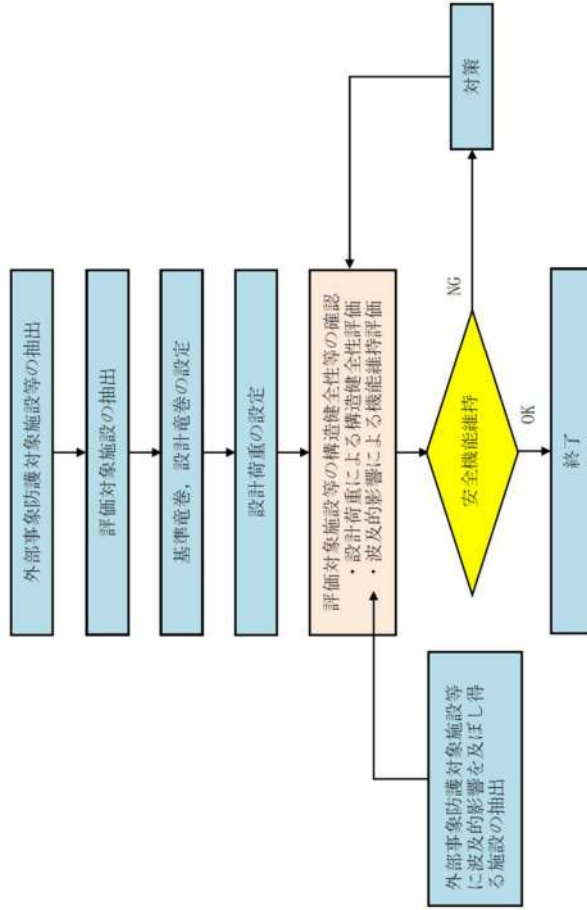
図2.1 設計の基本フロー

図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を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。

泊発電所3号機竜巻影響評価

1.3 評価の基本的な考え方
1.3.1 評価方法

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、評価対象施設等を抽出し、考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等の構造健全性等について評価を行い、必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されていることを確認する。
竜巻影響評価の基本フローを第1.3.1.1図に示す。



第1.3.1.1図 竜巻影響評価の基本フロー

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
<p>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。</p> <p>(1) 設計竜巻荷重 設計竜巻荷重を以下に示す。</p> <p>① 風圧力 設計竜巻の最大風速による風圧力</p> <p>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</p> <p>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</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 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（注2.3）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（注2.4）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>（注2.3）竜巻との同時発生が想定され得る雷、雪、雹^{ひょう}及び大雨等の自然現象を含む。 （注2.4）竜巻防護施設を内包する区画。</p>	<p>1.3.2 評価対象施設等に作用する荷重 以下に示す設計荷重を適切に設定する。</p> <p>(1) 設計竜巻荷重 設計竜巻荷重を以下に示す。</p> <p>a. 風圧力による荷重 設計竜巻の最大風速による風圧力</p> <p>b. 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等の内外の気圧差による圧力</p> <p>c. 飛来物の衝撃荷重 設計竜巻によって評価対象施設等に衝突し得る飛来物（設計飛来物）が評価対象施設等に衝突する際の衝撃荷重</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>a. 評価対象施設等に常時作用する荷重、運転時荷重等 b. 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 b. 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 a. 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考慮して判断する。 具体的な荷重については、「3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定」に示す。</p> <p>1.3.3 施設の安全性の確認方針 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、評価対象施設等、あるいはその特定の区画の構造健全性等の評価を行い、必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。</p>

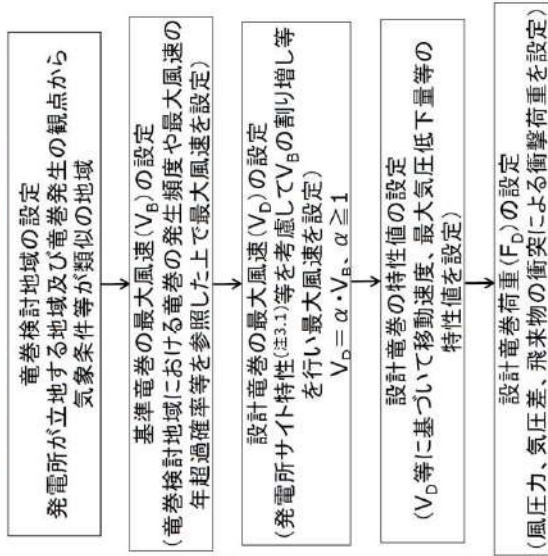
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

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

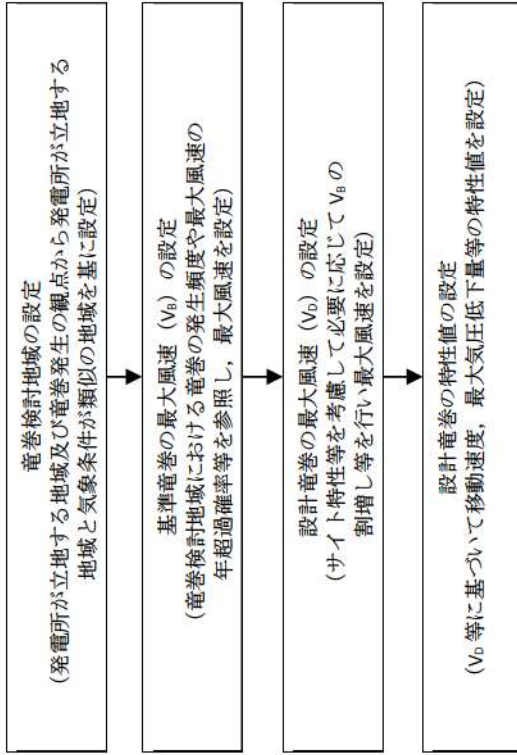
(注3.1) 地形効果による竜巻の増幅特性等

泊発電所3号機竜巻影響評価

2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

2.1 概要

基準竜巻及び設計竜巻の設定フローを第2.1.1図に示す。



第2.1.1図 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

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

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を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の地域から設定する。

2.2 竜巻検討地域の設定

竜巻検討地域は、泊発電所が立地する地域と気象条件が類似する地域を基に北海道から本州の日本海側及び北海道の襟裳岬以西の海岸に沿った海側5kmと陸側5kmの地域（面積38,895km²）とする。

第2.2.1図に竜巻検討地域、第2.2.2図に竜巻検討地域における竜巻の発生状況(1961年～2012年6月)を示す。

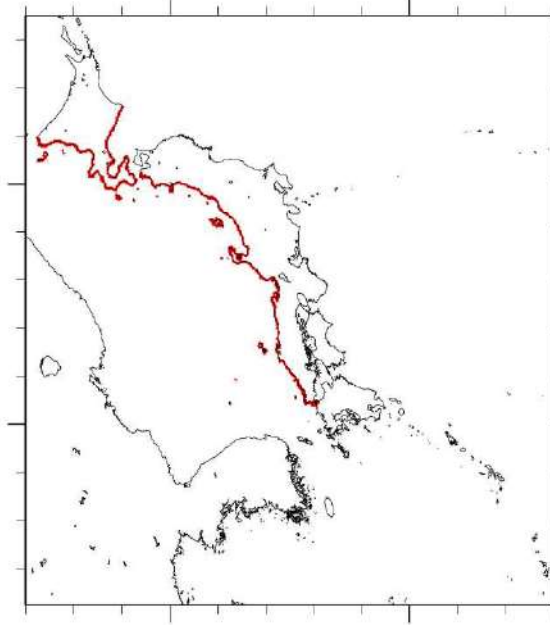
解説3.2 竜巻検討地域の設定

(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^(*)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km²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km²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km²に拘らずに、竜巻発生を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

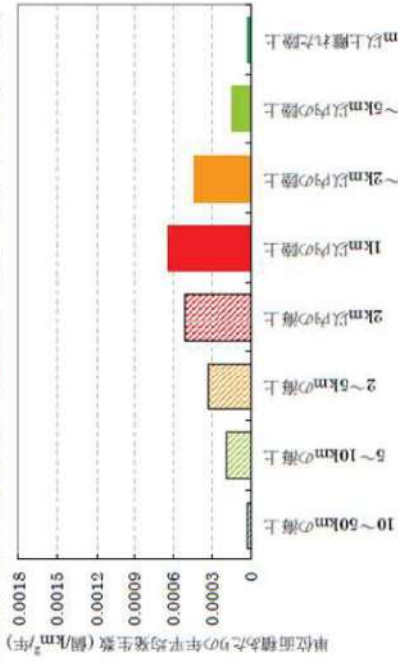
解説図3.2に日本における竜巻の発生分布^(**)を示す。解説図3.2より日本における竜巻の発生位置は、海岸線付近に集中している傾向が伺える。解説図3.3に日本の海岸線付近における竜巻の発生状況を示す。解説図3.3をみると、海岸線から1km以内の陸上では単位面積あたりの1年間の平均発生数は 6.0×10^{-4} (個/km²/年)を少し超える程度であり、海岸線から離れたら従って竜巻の発生数が減少する傾向が伺える。例えば、解説図3.3の陸上側のグラフの分布をみると、海岸線から5km以上離れた地域では、竜巻の発生数が急激に減少する傾向がみられる。以上の傾向を踏まえて、原子力発電所が海岸線付近に立地する場合は、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。



第2.2.1図 泊発電所における竜巻検討地域

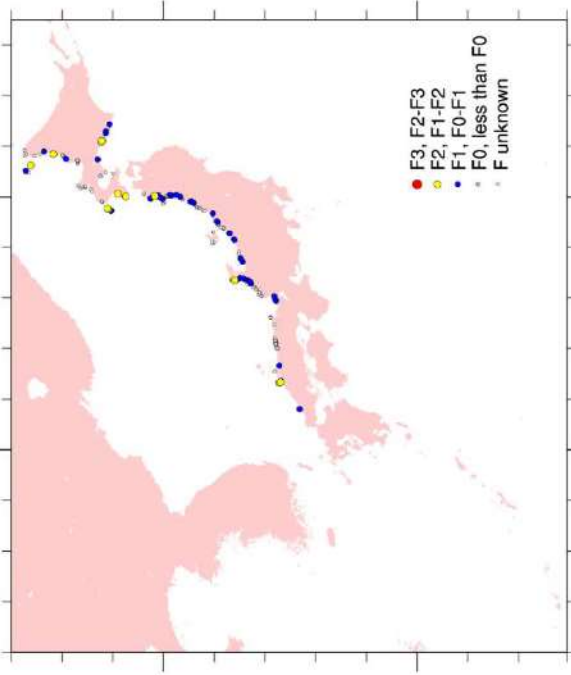


解説図3.2 日本における竜巻の発生分布 (1961～2011年, 気象庁作成) (※2)



解説図3.3 日本の海岸線付近における竜巻の発生状況 (※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。



- F3, F2-F3
- F2, F1-F2
- F1, F0-F1
- F0, less than F0
- F unknown

第2.2.2図 竜巻検討地域における竜巻の発生状況※
※気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

3.3 基準竜巻の設定

以下の基本的な方針に基づいて基準竜巻の最大風速 (V_B) を設定する。ここで、 V_{B1} は最大瞬間風速とする。

(1) 基準竜巻の最大風速 (V_{B1}) 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。

(2) 基準竜巻の最大風速 (V_B) は、下記に示す V_{B1} と V_{B2} のうちの大きな風速とする。

① 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

日本でも過去に発生した竜巻による最大風速を V_{B1} 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。

② 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

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 (P_{B2}) に対応する竜巻最大風速を V_{B2} とする。ここで、 P_{B2} は 10^{-5} (暫定値) を上回らないものとする。

また、竜巻検討地域において基準竜巻の最大風速 (V_B) が発生する可能性を定量的に確認するために、 V_B の年超過確率を算定することとする。なお、 V_B が V_{B1} から決定された場合 ($V_B = V_{B1}$ の場合) は、 V_{B2} の算定に用いた竜巻最大風速のハザード曲線を用いて、 V_B の年超過確率を算定する。ちなみに、米国NRCの基準類^(註4)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 10^{-7} の風速として設定されている。

解説3.3 基準竜巻の最大風速 (V_B) の設定

解説3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) の設定

本文に記載のとおり、日本でも過去に発生した竜巻による最大風速を V_{B1} として設定することを原則とする。

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

泊発電所3号機竜巻影響評価

2.3 基準竜巻の設定

基準竜巻の最大風速 (V_B) は以下の(1)、(2)より設定を行った。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

泊発電所が立地する北海道日本海側は、過去の発生実績及び突風関連指数を用いた分析結果から、大規模な竜巻は発生しにくいものと考えられる。

また、竜巻は観測の歴史が浅いこと及び気象庁における竜巻観測体制の変遷を踏まえると、他の気象観測データに比べ不確かさがあると考ええる。

上記を勘案し、日本で過去に発生した竜巻の最大風速を V_{B1} として設定する。

日本でも過去 (1961年から2012年6月) に発生した最大の竜巻は、気象庁の「竜巻等の突風データベース」によるとF3スケールである。Fスケールと風速の関係より、F3スケールの風速は70~92m/sであるため、過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} は、F3スケールの上限値である92m/sとする。

第2.3.1表に日本で過去に発生したF3竜巻を示す。

第2.3.1表 F3竜巻の竜巻発生リスト* (1961年~2012年6月)

Fスケール	発生日時	発生場所経度	発生場所緯度	発生場所
F3	1971年07月07日07時50分35秒	52度45分35秒	139度40分13秒	埼玉県浦和市
F3	1990年12月11日19時13分35秒	25分27秒	140度17分19秒	千葉県茂原市
F3	1999年09月24日11時07分34秒	42分4秒	137度23分5秒	愛知県豊橋市
F3	2006年11月07日13時23分43秒	58分39秒	143度42分12秒	北海道網走支庁 佐呂間町
F3	2012年05月06日12時35分36秒	6分38秒	139度56分44秒	茨城県常総市

*気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻の発生について統計的に評価を行うため、竜巻検討地域における竜巻の観測記録等に基づいてハザード曲線 (第2.3.1図) を算定した。ハザード曲線は、海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲全域 (竜巻検討地域) 及びガイドに従い、竜巻検討地域を1km範囲ごとに細分化した場合の計2通りで算定を行った。また、不確かさを要素のハザード算定結果への影響を検討し、不確かさが小さいことを確認した。算定したハザード曲線を第2.3.1図(1)、(2)、(3)に示す。

ガイドに従い、年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻最大風速を V_{B2} とした。

なお、竜巻の観測記録は、気象庁の竜巻等の突風データベースの情報に基づいた。

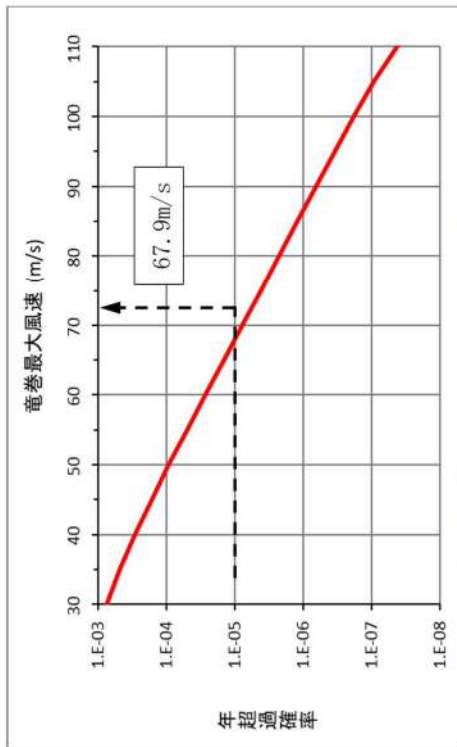
以上、(1)、(2)より算定した竜巻の最大風速 (V_B) を第2.3.2表に示す。

一ス、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。
 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 V_B 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。

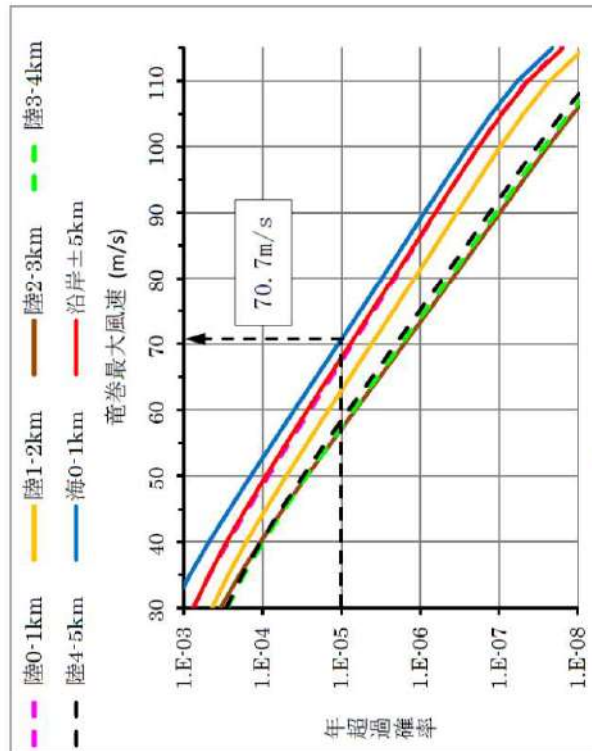
竜巻による被害状況から推定された最大風速を参照して設定された藤田スケールを用いて基準竜巻の最大風速を設定する場合^(※3)は、藤田スケールの各階級 (F0~F5) の最大風速を用いる。解説表3.1に藤田スケールと風速の関係を示す。なお、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

解説表3.1 藤田スケールと風速の関係 (※5)

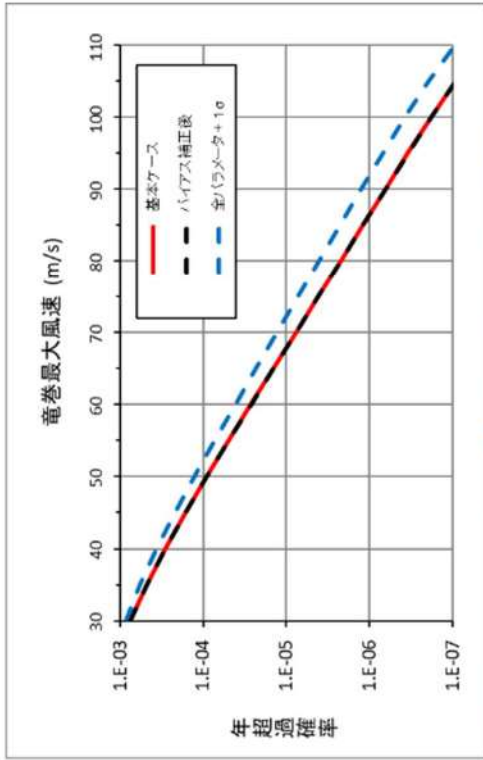
スケール	風速
F0	17~32m/s (約15 秒間の平均)
F1	33~49m/s (約10 秒間の平均)
F2	50~69m/s (約7 秒間の平均)
F3	70~92m/s (約5 秒間の平均)
F4	93~116m/s (約4 秒間の平均)
F5	117~142m/s (約3 秒間の平均)



第2.3.1図 (1) 竜巻最大風速のハザード曲線 (海側、陸側5km範囲内で算定)



第2.3.1図 (2) 竜巻最大風速のハザード曲線 (1km範囲)



第 2.3.1 図(3) 竜巻最大風速のハザード曲線 (ハザード不確かさ検討)

第 2.3.2 表 竜巻の最大風速の算定結果

項目	最大風速[m/s]
過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})	92 (F3)
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})	70.7

以上(1), (2)より, 泊発電所における基準竜巻の最大風速 V_B は92m/sとした。
 また, 竜巻検討地域における基準竜巻の最大風速 V_B が発生し, 被害を受ける年超過確率は, 第 2.3.1 図(2)より 6.9×10^{-7} である。

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_{R2}) の算定
 既往の算定方法 (Wen&Chu^(※6)及びGarson et. al^(※7, ※8)) に基づいて V_{R2} を算定する方法については、解説図3.4に示す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方法は、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_{R2} 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^(※9)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。
 (注3.3) 解説3.3.3参照

(1) 竜巻影響エリアの設定
 V_{R2} の算定にあたっては、まず始めに V_{R2} 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定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満たせることを原則とし、 V_{R2} の算定に使用するデータ等には一貫性を満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設定し、そのうちの V_{R2} が最も大きな値として設定される確率分布を用いることとする。

(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_{R2} 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^(注3.3)は、藤田スケールの各階級 (F0~F5) の最小風速から最大風速のうち、 V_{R2} 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。

(3) 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 (V_{R2}) の算定の仕方
 既往の算定方法 (Wen and Chu 及び Garson et. al) に基づいて、竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 V_{R2} を算定した。具体的な算定方法は、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^(※9)を参考とし、F4 竜巻の最大風速 116m/s 程度を考慮したハザード曲線とするため、竜巻最大風速の確率密度分布の積分の上限値 120m/s と設定した。
 詳細は添付資料 2.4：竜巻最大風速のハザード曲線の求め方にて説明する。

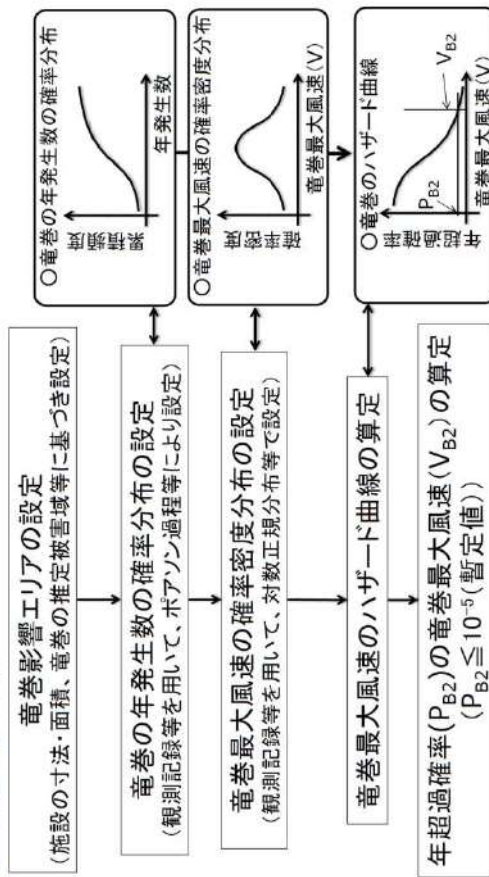
① 竜巻影響エリアの設定
 竜巻影響エリアは、泊発電所3号炉の評価対象施設等の面積及び設置位置を考慮して、評価対象施設等を十分に含む領域として直径 920m の円とした。
 竜巻の発生数データは気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における 1961 年～2012 年6月までのデータを用いて、観測体制の変遷やFスケール不明竜巻の取扱いを考慮した発生数とした。竜巻による被害幅、被害長さは竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録(気象庁「竜巻等の突風データベース」)に基づいて対数正規分布を仮定し設定した。

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、①で設定した竜巻の発生データに基づき、竜巻は気象事象の中でも極めてまれに発生する事象であり、発生数の変動(標準偏差)が大きいため分布であることからガイドで参照されている東京工芸大学委託成果にならいうりポリヤ分布により設定した。
 また、竜巻検討地域を1km範囲ごとに細分化した評価では、それぞれ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_{R2} が最も大きな値として設定される確率分布を求めた。竜巻風速の確率密度分布も同様とした。

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、①、②より対数正規分布を仮定し設定した。

(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。



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

解説3.3.3

日本版改良藤田スケールの適用について2015年12月に気象庁により策定され、2016年4月から竜巻等の突風の調査に使用されている日本版改良藤田スケール (以下「JEFスケール」という。) は、日本の建築物等の種類や特性を踏まえた被害指標及び被害度が用いられており、個別被害から求められる風速の精度の向上が図られている。一方で、2016年4月以降に蓄積されたJEFスケールにより評定された竜巻の風速等に関するデータのみで竜巻最大風速の大きさや発生頻度との関係を把握することは困難であることから、 V_0 の設定は、JEFスケールのデータではなく、2016年3月以前に藤田スケールにより評定された竜巻の風速等に関するデータを用いて行うものとする。ただし、藤田スケールの階級F3の最大風速92m/sに近い値又はそれを超える値がJEFスケールで評定された場合には、気象庁の評定等を踏まえ、その値の扱いを別途検討する。

④ 竜巻最大風速のハザード曲線の算定
 ①, ②, ③より竜巻最大風速のハザード曲線を算定した。

⑤ 年超過確率 (P_{B2}) に対応する竜巻最大風速 (V_{B2}) の算定
 ④で算定したハザード曲線を用いて、年超過確率 $P_{B2}=10^{-5}$ に相当する竜巻最大風速を V_{B2} 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

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。

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^(※9 ほか)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^(※10, ※11)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3.4.2 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 (VR_m)
- (3) 最大接線風速半径 (R_R)
- (4) 最大気圧低下量 (ΔP_{max})
- (5) 最大気圧低下率 (dp/dt)_{max}

(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。

2.4 設計竜巻の設定

設計竜巻の最大風速および特性値は以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の最大風速 (V_D)

竜巻検討地域で発生した竜巻は、海側から陸側に進入する可能性が高く、竜巻が増幅することはないと考えられる。竜巻が海上から発電所に進入してきた場合は、地表面粗度の影響を受けて竜巻は減衰した後、さらに防潮堤 (T.P. 16.5m) で減衰するため、竜巻による施設への影響は限定的になると考えられる。また、山側から発電所の敷地に移動してきた場合についても、発電所周辺は広い丘陵地に森林が存在しており、森林による粗度の影響を大きく受けるため減衰する。

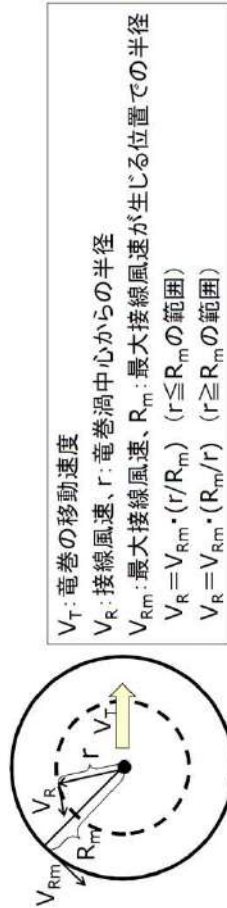
したがって、泊発電所において地形効果による竜巻の増幅の影響は受けられないものと考えられる。そのため、基準竜巻の割り増しは不要と考え、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、基準竜巻の92m/sを安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速 V_D は100m/sとする。

(2) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は、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する必要がある。泊では評価の保守性等も踏まえて、ガイドに示される方法に基づいて設定する。具体的には、ランキン渦モデルを仮定し、①～⑤に従い設定する。設定した結果を第2.4.1表に示す。

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^(※)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。



V_T : 竜巻の移動速度
 V_R : 接線風速、 r : 竜巻渦中心からの半径
 V_{Rm} : 最大接線風速が生じる位置での半径
 $V_R = V_{Rm} \cdot (r/R_m)$ ($r \leq R_m$ の範囲)
 $V_R = V_{Rm} \cdot (R_m/r)$ ($r \geq R_m$ の範囲)

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_b から V_T を算定する。

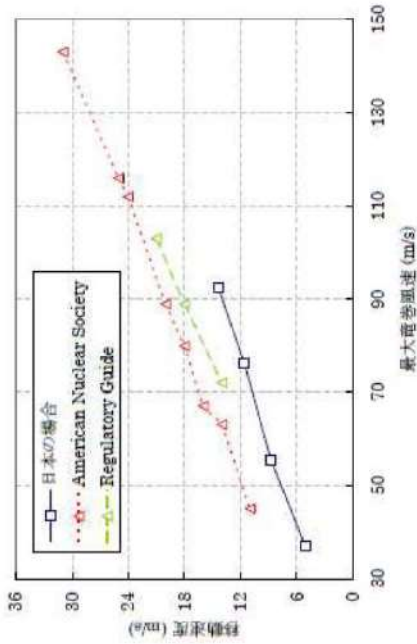
$$V_T = 0.15 \cdot V_b \dots (3.1)$$

① 設計竜巻の移動速度 (V_T)

$$V_T = 0.15 \cdot V_b$$

V_b (m/s): 設計竜巻の最大風速

ここで、 V_b (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^(※)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(参4)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階級 (F3, F2 及び F1) 及び F1 ~ F2, F0 及び F0 ~ F1 こと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_b) が一定の場合、移動速度が遅い方が、最大気圧低下 (ΔP_{max}) が大きな値になる(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(※)

(2) 設計竜巻の最大接線風速 (V_{\max}) の設定
 設計竜巻の最大接線風速 (V_{\max}) は、米NRCの基準類(※⁴)を参考として、以下の算定式を用いて V_{\max} を算定する。

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

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。

(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) の設定
 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) 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(※³)に準拠して以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)} \dots (3.3)$$

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{\max}) の設定
 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{\max}) は、米NRCの基準類(※⁴)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 (ΔP_{\max}) を設定する。

$$\Delta P_{\max} = \rho \cdot V_{D0}^2 \dots (3.4)$$

② 設計竜巻の最大接線風速 (V_{\max})

$$V_{\max} = V_D - V_T$$

V_D (m/s): 設計竜巻の最大風速, V_T (m/s): 設計竜巻の移動速度

③ 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

$$R_m = 30 \text{ (m)}$$

④ 設計竜巻の気圧低下量 (ΔP_{\max})

$$\Delta P_{\max} = \rho \cdot V_{D0}^2$$

ρ : 空気密度 (1.22 (kg/m³)), V_{D0} (m/s): 設計竜巻の最大接線風速

ここで、 ρ 及び V_{lm} は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。

(5) 設計竜巻の最大気圧低下率 $((dp/dt)_{max})$ の設定
 設計竜巻の最大気圧低下率 $((dp/dt)_{max})$ は、米国NRCの基準類(※9)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 (ΔP_{max}) 及び最大気圧低下率 $((dp/dt)_{max})$ を設定する。

$$(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max} \dots (3.5)$$

ここで、 V_T 及び R_m 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。

4. 施設的设计

4.1 概要

設置許可段階の安全審査において以下を確認する。

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)

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。

4.2 設計対象施設

「2.1 設計対象施設」に示したとおりとする。

4.3 設計荷重の設定

4.3.1 設計竜巻荷重の設定

「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。

⑤設計竜巻の最大気圧低下率 $((dp/dt)_{max})$
 $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$
 V_T (m/s): 設計竜巻の移動速度, R_m (m/s): 設計竜巻の最大接線風速半径

第2.4.1表 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動風速 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線風速半径 R_m (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

3. 竜巻影響評価

3.1 評価概要

評価の概要は以下のとおり。

- (1) 設計荷重 (設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重) の設定
- (2) 原子力発電所における飛来物に係る調査
- (3) 飛散防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等の構造健全性等の評価を行い、必要に応じた対策を行うことで安全機能が維持されることを確認

3.2 評価対象施設等

「1.2.2 竜巻影響評価の対象施設」に示すとおり。

3.3 設計荷重の設定

3.3.1 設計竜巻荷重の設定
 設計竜巻の最大風速 V_0 等に基づき、「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、以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻による風圧力の設定
 設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根を含む）に作用する風圧力 W_w は「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、下式により算定する。

なお、ガスト影響係数 G は、 $G=1.0$ 、風力係数 C は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数

(施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定)

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_0^2$$

ρ : 空気密度

V_0 : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対して弱い弱と考えられる評価対象施設等が存在する場合には、ランキン渦モデルの風速場により求めまる鉛直方向の風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

解説4.3.1 設計竜巻荷重の設定
 解説4.3.1.1 設計竜巻による風圧力の設定
 解説4.3.1.1.1 概要
 設計竜巻の最大風速 (V_0) 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。

解説4.3.1.1.2 基本的な考え方

(1) 風圧力の算定に用いる風力係数
 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。

(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力
 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。

よって、本ガイドでは、設計竜巻の水平方向の最大風速 (V_0) 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。
 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、 V_0 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。

解説4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定

設計竜巻の最大風速 (V_0) による風圧力 (P_b) の算定について以下に示す。
 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 (P_b) 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)」等を準拠して、下式により算定する。

なお、(4.2) 式の V_0 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。

$$P_b = q \cdot G \cdot C \cdot A \cdots (4.1)$$

ここで、 q は設計用速度圧、 G はガスト影響係数、 C は風力係数、 A は施設の受圧面積を表し、 q は下式による。

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdots (4.2)$$

ここで、 ρ は空気密度、 V_0 は設計竜巻の最大風速である。

(4.1)式に示すように、風圧力(P_0)は、(4.2)式で求められる設計用速度圧(q)に、ガスト影響係数(G)、風力係数(C)及び施設の受圧面積(A)を乗じて算定する。
ガスト影響係数 G 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(V_0)は、最大瞬間風速として扱うことから $G=1.0$ を基本とする。
風力係数(C)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。

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

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(ΔP_{max})及び最大気圧低下率 (dP/dt) max 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。

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(註12)を参考としている。

- 完全に開かれた建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のみなせる。
- 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、閉じた施設の障壁(建築物等の屋根・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。
- 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。

(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等の内外の気圧差による圧力の設定
設計竜巻による評価対象施設等の内外の気圧差による圧力は、最大気圧低下量 ΔP_{max} に基づき設定する。

a. 建屋・構造物等

建屋については、気圧差による圧力荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重 W_p を以下の式により設定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A: 施設の受圧面積

外部事象防護対象施設を内包する建屋・構造物について、影響評価を実施し、当該施設が破損した場合には安全機能維持について確認を行う。

b. 設備(系統、機器)

設備についても、上記と同様に圧力荷重WPを設定する。

なお、換気空調系のように外気と隔離されている区画の境界部等、気圧差による圧力影響を受ける設備について、圧力影響により作用する応力が許容値内であるか確認し、許容値を上回る場合には安全機能維持への影響について確認する。

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。

(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。

- ・ 建屋・構築物等の開口部に設置された窓、扉、シャッター等
- ・ 外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁等（天井等）

(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。

- ・ 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）
- ・ 圧力差の影響を受け得る計器類や空調装置等

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

解説4.3.1.3.1 概要

設計竜巻の最大風速(V₀)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。

解説4.3.1.3.2 基本的な考え方

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もある。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。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。

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(④)を参考とした。

(3) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設等に衝突する際の衝突荷重の設定

a. 泊発電所3号炉における設計飛来物等の選定【添付資料3.3】

泊発電所3号炉の竜巻影響評価における設計飛来物等については、泊発電所3号炉における飛来物源の現地調査結果及び「竜巻影響評価ガイド」の解説表4.1に示されている設計飛来物の設定例を参照して選定する。

第3.3.1.1表に発電所における設計飛来物を示す。

- ①大きな運動エネルギーをもつ飛来物（自動車等）
- 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）
- ③開口部等を通過することができなくなる程度に小さくて固い飛来物（砂利等）

解説4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定

(1) 基本的な考え方

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(mV_{Hmax})は、非定常な乱流場を数値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(V_0)を設計飛来物の最大水平速度として設定してもよい。

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(参4)を参考に設定した下式により算定してもよい。

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

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_0)=100(m/s)とした条件下で解析的に算定した結果(参3)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(参4)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。

b. 設計飛来物の速度の設定【添付資料 3.1】

設計竜巻の最大風速(100m/s)による設計飛来物の最大水平速度(mV_{Hmax})及び最大鉛直速度(mV_{Vmax})は、衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、ガイドに示される設計竜巻の最大風速(V_0)=100m/sの場合と同じ値とする。ガイドにおける鋼製材の最大水平速度及び最大鉛直速度については、平成26年9月17日に改正(最大水平速度が57m/sから51m/sに、最大鉛直速度が38m/sから34m/sに改正)されているが改正前の値とし、第3.3.1.1表のとおりとする。ただし、ガイドに記載のない設計飛来物である砂利の速度については、文献**を参考にして、ランキン渦を仮定し風速場の中での速度を算出した。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

解説表 4.1 飛来物及び最大速度の設定例 (V₀=100(m/s)の場合)

飛来物の種類	棒状物		塊状物	
	鋼製パイプ	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×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	540	2300	4750
最大水平速度 (m/s)	49	30	60	34
最大鉛直速度 (m/s)	33	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。

泊発電所3号機竜巻影響評価

第3.3.1.1表 泊発電所における設計飛来物

項目	飛来物の種類		
	砂利	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ[m]	長さ×幅×奥行 0.04×0.04×0.04 ^{※1}	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量[kg]	0.18	8.4	135
最大水平速度[m/s]	62 ^{※2}	49 ^{※1}	57 ^{※1}
最大鉛直速度[m/s]	42 ^{※3}	33 ^{※1}	38 ^{※1}

※1 砂利のサイズは、竜巻防護ネットの金網が目開き 5cm×5cm を 2枚重ね、4cm×4cm を 1枚重ねの構造、又は 4cm×4cm を 3枚重ねの構造となっていることを考慮して選定
 ※2 設計竜巻風速 100m/s、当社が実施するランキン渦モデルの風速場を用いた飛散評価手法による結果
 ※3 竜巻影響評価ガイドに基づき最大水平速度の 2/3 として算出
 ※4 衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、竜巻影響評価ガイドに示される竜巻の最大風速 (V₀) = 100m/s の場合と同じ値とする。また、鋼製材については、竜巻影響評価ガイド改正前の値とする。

※：竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究 (東京工芸大学)

E. Simiu and M. Cordes, NBS IR76-1050, Tornado-Borne Missile Speeds, 1976

- c. 設計飛来物の衝撃荷重の設定
 設計竜巻の最大風速 100m/s による設計飛来物の衝撃荷重は、運動エネルギーが最も大きくなる鋼製材の衝突方向及び衝突面積を考慮し、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向で算出する。
 鋼製材の最大速度は第 3.3.1.1 表のとおりであり、静的な構造評価を実施する場合の衝撃荷重は、重量分布を均一な直方体として、Riera の方法を踏まえた下式にて算出した。

$$W_w = F_{MAX} = MV^2 / L_{MIN}$$

M：飛来物の質量
 V：飛来物の衝突速度
 L_{MIN}：飛来物の衝突方向長さ

Riera の方法で衝撃荷重を算出する場合、衝撃荷重が最大となるのは第 3.3.1.2 図に示す向き
 の衝突となる。

なお、有限要素法による飛来物衝突評価を行う場合には、飛来物の衝突速度を初速度として入力し、衝突解析により衝撃荷重を算出する。衝突解析における鋼製材の衝突方向は、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向とする。

解説4.3.1.4 設計竜巻荷重の組み合わせ
 設計対象施設的设计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(W_w)、気圧差による荷重(W_p)、及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は、米国NRCの基準類(参12)を参考として設定した下式により算定する。

$$W_{T1} = W_p \dots (4.4)$$

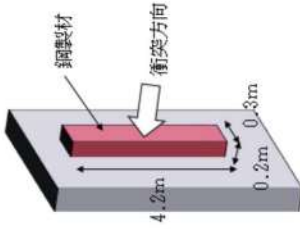
$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \dots (4.5)$$

ここで、(4.4)式及び(4.5)式の各変数は下記のとおり。

- W_{T1} , W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重
- 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

なお、設計対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定
 「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。



第3.3.1.2図 最大衝撃荷重となる鋼製材衝突方向 (Rieraの方法⁽¹⁾)

d. 設計竜巻荷重の組合せ
 評価対象施設等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 W_w 、気圧差による荷重 W_p 、及び設計飛来物による衝撃荷重 W_M を組み合わせた複合荷重として、以下の式により算出する。

$$W_{T1} = W_p$$

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

ここで、

- W_{T1} , W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重
- 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

ここで、竜巻襲来時のある瞬間において、各荷重の作用方向は必ずしも一様ではないが、WT2の算出においては W_w , W_p 及び W_M の作用方向を揃えることとし、保守性を考慮する。また、評価対象施設等には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定
 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

- (1) 評価対象施設等に常時作用する荷重、運転時荷重等
 評価対象施設等に自重等の常時作用する荷重、内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。
- (2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

なお、竜巻と同時に発生する自然現象については今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み、必要な事項については適切に反映を行う。

①雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による荷重は発生しない。

②雪

竜巻の作用時間は極めて短時間であること、積雪の荷重は冬季の限定された期間に発生し、積雪荷重の大きさや継続時間は除雪を行うことで低減できることから、発生頻度が極めて小さい設計竜巻の風荷重と積雪による荷重が同時に発生し、設備に影響を与えることは考えにくいため、組合せを考慮しない。また、雪が堆積した状態における竜巻の影響については、除雪により雪を長期間堆積状態にしない方針であることから、組合せを考慮しない。

冬季に竜巻が発生する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時は、竜巻通過前に積もった雪の大部分は、竜巻の風により吹き飛ばされ、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ひょう

ひょうは、積乱雲から直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大型のひょうを想定した場合、その重量は約0.5kgとなる。直径10cm程度のひょうの終端速度は59m/s、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④降水

竜巻と降水が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(3) 設計基準事故時荷重

外部事象防護対象施設は、当該外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該外部事象防護対象施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して、適切に組み合わせて設計する。

外部事象防護対象施設は、設計竜巻によって安全機能を損わない設計とするため、設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故等の設計基準事故の起因とはならないことから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象であり、因果関係はない。

時間的変化の観点からは、事故の影響が長期に及ぶことが考えられる設計基準事故である原子炉冷却材喪失の発生頻度は小さく、また、外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼす竜巻の発生頻度も小さい。よって設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいため、設計基準事故時荷重と設計竜巻の荷重を組み合わせる必要はなく、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。

また、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、外部事象防護対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ、外殻となる施設による防護機能が期待できないこ

とから、竜巻による風荷重等の影響を受ける可能性がある屋内施設としては原子炉補機冷却海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても原子炉補機冷却海水ポンプの圧力及び温度は変わらないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重を組み合わせる必要はないため、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。このため、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

4.4 施設の構造健全性の確認

4.4.1 概要

設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重（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^(注4.1)の構造健全性が維持される方針であることを確認する。

(注4.1) 竜巻防護施設を内包する区画。

3.4 評価対象施設等の設計方針

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設等については、設計荷重に対してその構造健全性を維持すること又は取替、補修が可能なこと、設計上の要求を維持することにより、安全機能を損なわない設計とする。また、外部事象防護対象施設等に波及影響を及ぼし得る施設については、竜巻及びその随伴事象に対して構造健全性を確保すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 許容限界

建屋及び構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）等

(2) 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

外部事象防護対象施設のうち屋外施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板等の設置又は運用による竜巻防護

対策を講じる方針とする。

なお、屋内に配置される施設のうち、外殻となる施設等による防護機能が期待できる施設の内
部に配置される施設は、その防護機能により設計荷重に対して影響を受けない設計とする。

また、設計飛来物は評価対象施設等の全面に影響を及ぼすものとして評価及び対策を行う。

a. 排気筒（建屋外）

排気筒（建屋外）は、設計飛来物の衝突により貫通し構造健全性が維持されないことを考慮し
て、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計と
する。さらに、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、
構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

<以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>

b. 原子炉建屋（外部遮へい建屋）

原子炉建屋（外部遮へい建屋）は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による
衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、
壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわな
い設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建
屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

c. 原子炉建屋（周辺補機棟）、原子炉建屋（燃料取扱棟）、原子炉補助建屋及びディーゼル発電
機建屋

原子炉建屋（周辺補機棟）、原子炉建屋（燃料取扱棟）、原子炉補助建屋及びディーゼル発電
機建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する
荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破
損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛
来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設
が安全機能を損なわない設計とする。

ただし、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する
荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内
の外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある場合には、当該建屋内の外部事象防護
対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛
来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

d. A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及びB1, B2-燃料油貯油槽タンク室

A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及びB1, B2-燃料油貯油槽タンク室は、地下埋設されていることを
考慮し、設計飛来物による衝撃荷重に対して、構造健全性が維持され、ディーゼル発電機燃料油
貯油槽が安全機能を損なわない設計とする。

e. A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及びB1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレ
ンチ

A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及びB1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレ

ンチは、設計飛来物の衝突による影響を受け、開口部（蓋）が損傷する可能性があるため、当該トレンチ内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板等の設置又は運用による竜巻防護対策を実施する。

f. 循環水ポンプ建屋

循環水ポンプ建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷する可能性があるため、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。

g. タービン建屋

タービン建屋は、竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重量の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 屋内の施設で外気と繋がっている施設

外殻となる施設に内包され防護される外部事象防護対象施設のうち、外気と繋がっている施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

a. 換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機閉閉器室空調装置）
換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機閉閉器室空調装置）は、原子炉建屋（外部遮へい建屋）、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）及び原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないことから、気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

b. 排気筒（建屋内）

排気筒（建屋内）は、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う原子炉建屋（周辺補機棟）に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないため、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

(4) 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設による防護機能が期待できない施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持さ

れる設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護ネット等の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

a. 使用済燃料ピット

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入する場合でも、設計飛来物の衝撃荷重により、使用済燃料ピットのライニング及びコンクリートの一部が損傷して、ピット水が漏えいすることはほとんどなく、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮蔽機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とする。

b. 使用済燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入し使用済燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

c. 新燃料ラック

設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し新燃料貯蔵庫に侵入し新燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、新燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物のうち鋼製パイプが新燃料ラックに衝突することがなく、新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突し、燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突することを防止し、燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

d. 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、燃料取扱キヤナル、キヤスクピット、燃料検査ピット

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、燃料取扱キヤナル、キヤスクピット、燃料検査ピットは、設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通し、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、燃料取扱キヤナル、キヤスクピット、燃料検査ピットに衝突し移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻襲来が予想される場合には、燃料取扱作業を中止し、移送中の燃料は燃料移送装置にて原子炉建屋（外部遮へい建屋）内に移動する又は取扱い中の燃料は使用済燃料ピットクレーンにて使用済燃料ラックに貯蔵することにより、移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

なお、使用済燃料ピットクレーンは、使用済燃料ラック及び使用済燃料ラックに貯蔵している燃料に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う。

e. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷

重、気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水ポンプに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

f. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水出口ストレーナに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

g. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水系）
配管及び弁（原子炉補機冷却海水系）は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び配管及び弁（原子炉補機冷却海水系）に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

h. 原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）
原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）は、設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）の開口部建具である扉を貫通し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）への衝突を防止し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

i. 主蒸気系配管他
主蒸気系配管他は、設計飛来物が原子炉建屋（周辺補機棟）又はディーゼル発電機建屋の開口部建具であるプロローアアウトパネル、扉又はガラリを貫通し、主蒸気系配管他に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等で開口部建具の竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の主蒸気系配管他への衝突を防止し、主蒸気系配管他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

j. 制御用空気系配管
制御用空気系配管は、設計飛来物が原子炉補助建屋の開口部建具である扉を貫通し、制御用空気系配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の制御用空気系配管への衝突を防止し、制御用空気系配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

k. 蓄熱室加熱器
蓄熱室加熱器は、設計飛来物がディーゼル発電機建屋の開口部建具である扉又はガラリを貫通し、蓄熱室加熱器に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の蓄熱室加熱器への衝突を防止し、蓄熱室加熱器の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

1. ディーゼル発電機燃料油移送配管
 ディーゼル発電機燃料油移送配管は、設計飛来物がA1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ及びB1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチの蓋を貫通し、ディーゼル発電機燃料油移送配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物のディーゼル発電機燃料油移送配管への衝突を防止し、ディーゼル発電機燃料油移送配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。
- m. タービン保安装置及び主蒸気止め弁
 タービン保安装置及び主蒸気止め弁は、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ機能）として期待している。竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重量の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とする。
- (5) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても外部事象防護対象施設等に影響を及ぼさないよう、必要に応じて施設の補強、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、外部事象防護対象施設等の安全機能を損なわない設計とする。
- a. 循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋
 循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、倒壊により外部事象防護対象施設等へ波及的影響を及ぼさない設計とする。
- b. ディーゼル発電機排気消音器
 ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機排気消音器が閉塞することがなく、ディーゼル発電機排気消音器が維持される設計とする。
 さらに、ディーゼル発電機排気消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機排気消音器に機能的影響を及ぼさない設計とする。
- c. 主蒸気逃がし弁消音器
 主蒸気逃がし弁消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気逃がし弁消音器が損傷して閉塞することはない、主蒸気逃がし弁の排気機能が維持される設計とする。
 さらに、主蒸気逃がし弁消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。
 以上より、主蒸気逃がし弁消音器が、外部事象防護対象施設である主蒸気逃がし弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気逃がし弁が安全機能を損なわない設計とする。

- d. 主蒸気安全弁排気管
主蒸気安全弁排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気安全弁排気管が損傷して閉塞することはない。主蒸気安全弁の排気機能が維持される設計とする。さらに、主蒸気安全弁排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。
- 以上より、主蒸気安全弁排気管が、外部事象防護対象施設である主蒸気安全弁に機能的影響を及ぼさず、主蒸気安全弁が安全機能を損なわない設計とする。
- e. タービン動補助給水ポンプ排気管
タービン動補助給水ポンプ排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、タービン動補助給水ポンプ排気管が損傷して閉塞することはない。タービン動補助給水ポンプの機関の排気機能が維持される設計とする。
- さらに、タービン動補助給水ポンプ排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。
- 以上より、タービン動補助給水ポンプ排気管が、外部事象防護対象施設であるタービン動補助給水ポンプに機能的影響を及ぼさず、タービン動補助給水ポンプが安全機能を損なわない設計とする。
- f. ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管
ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機燃料油貯油槽のベント機能が維持される設計とする。
- さらに、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機燃料油貯油槽に機能的影響を及ぼさない設計とする。
- g. 換気空調設備（蓄電池室排気装置）
換気空調設備が原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対しては、換気空調設備の構造健全性が維持される設計とする。
- 以上より、換気空調設備が、外部事象防護対象施設である蓄電池に機能的影響を及ぼさず、蓄電池が安全機能を損なわない設計とする。

4.4.2 建屋、構築物等の構造健全性の確認
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。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定
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^(注4.2)等に準拠して算定する。

(2) 構造健全性の確認

「(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。

① 竜巻防護施設（外設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）設計対象施設が終局耐力等の許容限界^(注4.2)に対して十分な安全余裕を有している。

② 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

1) 設計対象施設あるいはその特定の区画^(注4.3)が、終局耐力等の許容限界^(注4.2)に対して十分な安全余裕を有している。

2) 設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画^(注4.3)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。^(注4.4)

(注4.2) 建築基準法、日本産業規格、日本建築学会及び土木学会等の規準・指針類、並びに日本電気協会の原子力発電所耐震設計技術指針（JEA4601-1987）等に準拠する。

(注4.3) 竜巻防護施設を内包する区画。

(注4.4) 貫通及び裏面剥離（コンクリート等の部材に衝突物が衝突した際に、衝突面の裏側でせん断破壊等に起因した剥離が生じる破壊現象）に対して、施設の構造健全性を確認することを基本とする。

4.4.3 設備の構造健全性の確認

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。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定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^(注4.5)等に準拠して算定する。

(2) 構造健全性の確認

「(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。

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）設計対象施設が許容応力度等に基づく許容限界^(注4.5)に対して妥当な安全余裕を有している。

② 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

1) 設計対象施設あるいはその特定の区画^(注4.6)が、許容応力度等に基づく許容限界^(注4.5)に対して妥当な安全余裕を有している。
 2) 設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画^(注4.6)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。^(注4.7)

(注4.5) 日本産業規格、日本電気協会の原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）及び日本機械学会の規格・指針等に準拠する。

(注4.6) 竜巻防護施設を内包する区画。

(注4.7) 貫通及び裏面剥離（コンクリート等の部材に衝突物が衝突した際に、衝突面の裏側でせん断破壊等に起因した剥離が生じる破壊現象）に対して、施設の構造健全性を確認することを基本とする。

泊発電所3号機竜巻影響評価	原子力発電所の竜巻影響評価ガイド
<p>3.5 竜巻随伴事象に対する評価</p> <p>竜巻随伴事象は過去の竜巻被害事例及び泊発電所のプラント配置から、想定される事象である。火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生した場合の影響評価を行い、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないことを確認した。【添付資料 3.4】</p>	<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>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>(1) 火災</p> <p>竜巻随伴事象として、設計竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器に衝突する場合及び屋外の危険物貯蔵施設等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。</p> <p>建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、発電用原子炉施設の安全機能を損なわせる可能性のある発火性又は引火性物質を内包する機器は配置されておらず、火災防護計画により適切に管理することから、設計竜巻により建屋内に火災が発生することはなく、建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。</p> <p>建屋外については、発電所敷地内の屋外にある危険物貯蔵施設等の火災がある。火災源と外部事象防護対象施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.8.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。</p> <p>以上より、竜巻随伴事象としての火災に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>(2) 溢水</p> <p>竜巻随伴事象として、設計竜巻による気圧低下の影響や飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合及び屋外タンク等に飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。</p> <p>外部事象防護対象施設を内包する建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突して外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性はある溢水源が配置されておらず、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはない。また、建屋内は設計竜巻による気圧低下の影響を受けないことから建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。</p> <p>建屋外については、気圧低下の影響による屋外タンク等の破損は考え難いものの、設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンク等の破損に伴う溢水が想定されるが、「1.7 溢水防護に関する</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
<p>(3) 外部電源喪失</p> <p>設計竜巻、設計竜巻と同時に発生する雷・竜等、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>6. 附則 この規定は、平成25年7月8日より施行する。 本ガイドに記載されている以外の計算方法等を設計で使用する場合は、技術的見地等からその妥当性を示す必要がある。 また、竜巻等の発生頻度、特性及びメカニズム等に関する情報、並びに竜巻等による被害の実情に関する情報等が不足している現在の日本の状況では、竜巻等に係る最新情報の調査・入手に努めるとともに、本ガイドは、最新情報を反映して適宜見直しを行うものとする。 なお、将来に観測された竜巻の最大風速が、過去に観測された竜巻の最大風速を上回った場合は、本設計の妥当性について再度見直すこととする。</p>	<p>基本方針」にて、竜巻時の屋外タンク等の破損を想定し、溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計としており、竜巻に伴う屋外タンク等が損傷して発生する溢水により外部電源防護対象施設の安全機能を損なわない。</p> <p>以上より、竜巻に伴う屋外タンク等が損傷して発生する溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計とする。</p> <p>(3) 外部電源喪失</p> <p>設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により送電網に関する施設等が損傷して外部電源喪失が発生する場合は想定される。設計竜巻に対してディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく外部電源防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、ディーゼル発電機の付属設備について、安全機能を損なわないことを以下のとおり確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・吸排気については外気と繋がっているが、竜巻襲来時の短時間での圧力差による影響はない。 ・排気消音器出口に風圧力による荷重が作用して消音器内に大気が逆流した場合において、排気が阻害され系統内が閉塞気味になり、排気ガス温度が徐々に上昇し、通常運転時を超える温度となり出力制限となることが予想されるが、竜巻は長期間停滞することなく数秒～10数秒のオーダーで通過するため、この程度であれば排気ガス温度の急激な上昇はなくディーゼル発電機運転に支障を来すことはない。

竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業中止に係る運用について

1. 概要

原子炉建屋（燃料取扱棟）において、燃料取扱設備（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、燃料取替キャナル、キャスクピット、燃料検査ピット）による燃料取扱作業を実施中に竜巻が襲来した場合、設計飛来物が原子炉建屋（燃料取扱棟）の外壁（鉄骨造部分）や扉を貫通し、当該設備に衝突して移送中又は取扱い中の燃料の構造健全性が損なわれる可能性があることから、竜巻襲来が予測される場合には、燃料取扱作業を中止することとしている。

ここでは、燃料取扱作業中止に係る運用について以下に示す。

2. 燃料取扱作業中止に係る運用

- ① 気象庁が発表する竜巻関連の気象情報（竜巻注意情報等）を判断基準とした竜巻退避対応（STEP3）時に燃料取扱作業を中止する。

表1 竜巻運用管理基準

竜巻警戒レベル	発令条件	運用対策
竜巻監視対応 (STEP1)	<ul style="list-style-type: none"> 後志西部地方のうち岩内町、共和町、泊村、神恵内村の4町村のうち、いずれかに「雷注意報（竜巻）」又は「雷注意報（ひょう）」が発表された場合 又は <ul style="list-style-type: none"> 「竜巻注意情報（石狩・空知・後志地方）」が発表された場合 	<ul style="list-style-type: none"> レーダーナウキャストによる監視
竜巻退避準備対応 (STEP2)	<ul style="list-style-type: none"> レーダーナウキャストにより、発電所上空に「竜巻発生確度2」が発生したことを確認した場合、又は予測値からその恐れがある場合 又は <ul style="list-style-type: none"> レーダーナウキャストにより、発電所上空に「雷活動度2以上」が発生したことを確認した場合、又は予測値からその恐れがある場合 	<ul style="list-style-type: none"> 車両、人の退避準備等
竜巻退避対応 (STEP3)	<ul style="list-style-type: none"> レーダーナウキャストにより、発電所上空に「竜巻発生確度2」かつ「雷活動度3以上」が発生したことを確認した場合、又は予測値からその恐れがある場合 	<ul style="list-style-type: none"> 車両、人の退避 燃料取扱作業中止等

泊発電所3号炉

運用，手順説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）

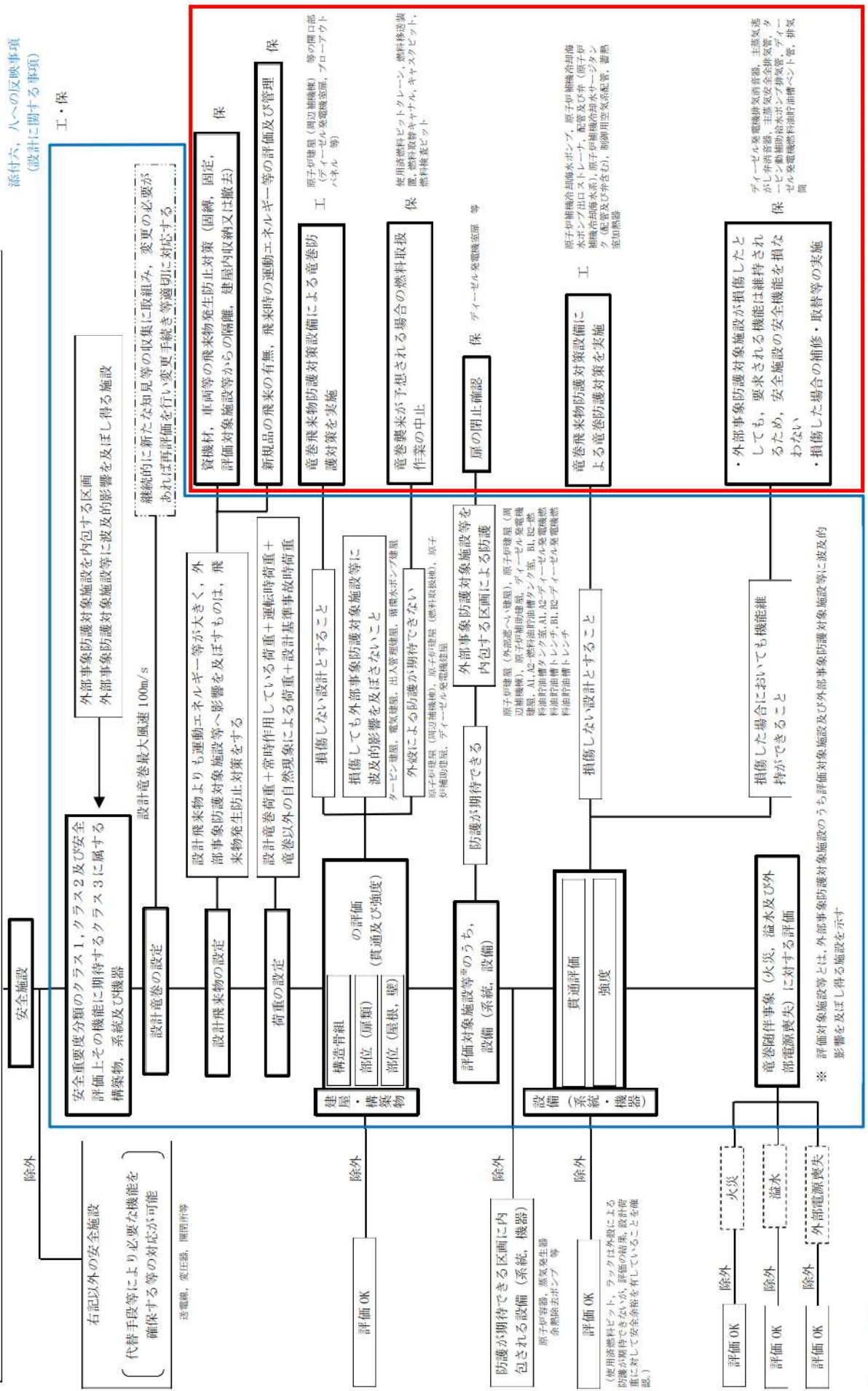
安全施設（兼用キヤスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

安全施設（兼用キヤスクを除く。）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。

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

安全施設（兼用キヤスクを除く。）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ければならない。



添付六、八への反映事項
(設計に関する事項)

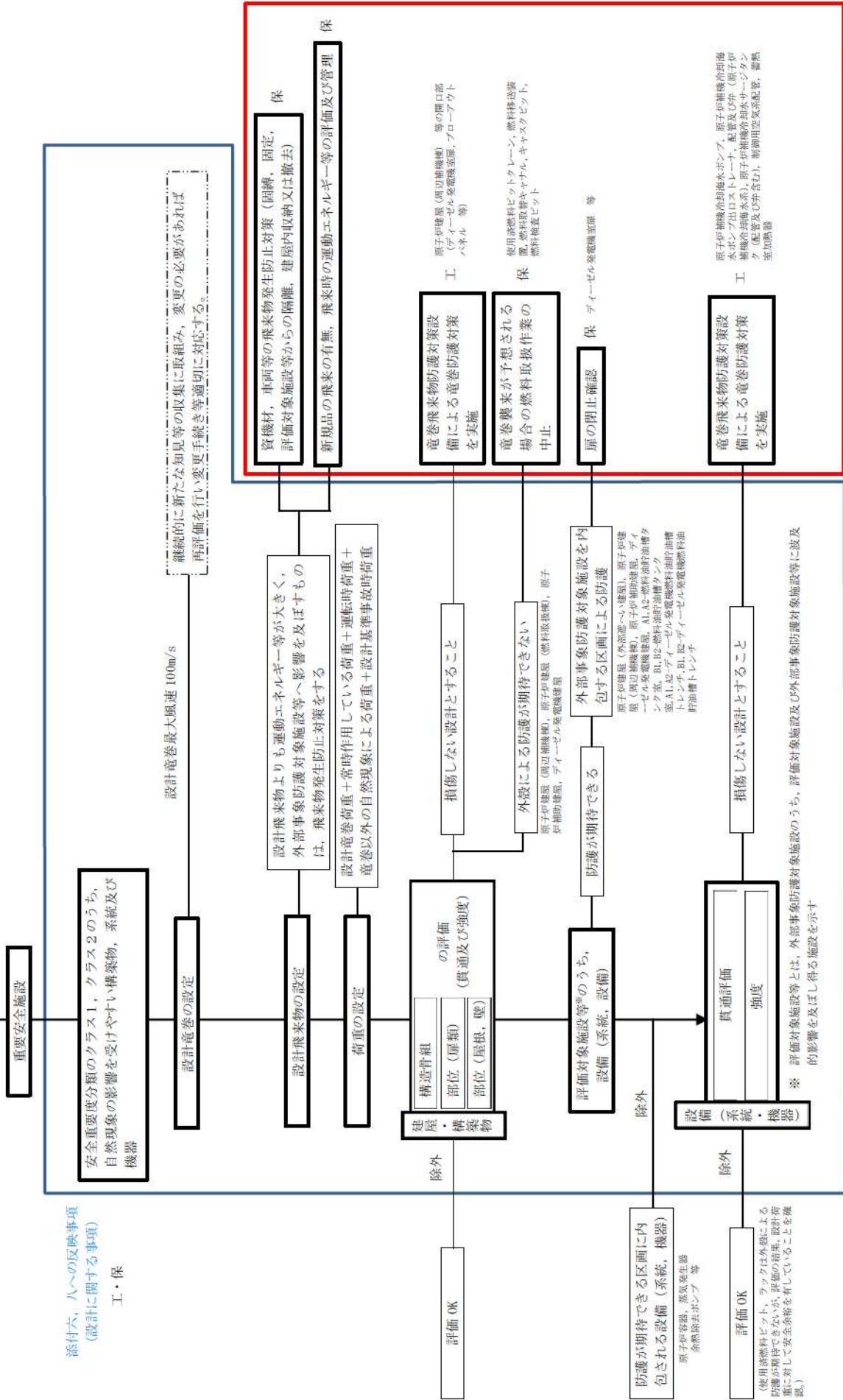
工・保

添付六、八への反映事項 (手順に関する事項)

【後段規制との対応】
 工：工認（基本設計方針，添付書類）
 保：保安規定（運用，手順に係る事項，下位文書含む）
 【添付六、八の反映事項】
 □：添付六、八に反映
 □：当該条文に關係しない
 (他条文での反映事項他)

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定されると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ

添付六、八への反映事項
(設計に関する事項)
工・保



添付六、八への反映事項
(手順に関する事項)

【後段規制との対応】
工：工認 (基本設計方針、添付書類)
保：保安規定 (運用、手順に係る事項、下位文書含む)

【添付六、八の反映事項】
：添付六、八に反映
：当該条文に開示しない
(他条文での反映事項他)

運用, 手順に係る対策等 (設計基準)

設置許可基準規則 対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの 衝撃による損傷の防 止	資機材, 車両等管理 資機材, 車両等の飛 来物発生防止対策 (固縛, 固定, 評価 対象施設等からの隔 離, 建屋内収納又は 撤去)	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外の飛散するおそれのある資機材, 車両等については, 飛来時の運動エネルギー等への影響を評価し, 評価対象施設等への影響の有無を確認する。評価対象施設等への影響を及ぼす資機材, 車両等については, 固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去の飛来物発生防止対策について手順等を定める ・資機材, 車両等の質量, 寸法, 形状から算出した飛来の有無, 飛来時の運動エネルギー等による飛来物発生防止対策 (固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去) の評価方法手順及び評価結果の管理 ・担当部署による保守・点検の体制
		体制	
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育

設置許可基準規則 対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの 衝撃による損傷の防 止	評価対象施設等を防 護するための操作・ 確認事項	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・ 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、評価対象施設等を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順等を定める [操作・確認事項] ・ 竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応 (情報の入手, 周知, 体制判断, 実施方法と手順) ・ 竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順 (竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等) ・ 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の中止についての運用, 手順 ・ 扉 (ディーゼル発電機室扉 等) の閉止確認手順 [補修] ・ 設備が損傷した場合の代替設備の確保及び補修, 取替等の運用, 手順
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 担当部署による作業中止等の実施体制 ・ 担当部署による扉閉止確認体制 ・ 竜巻襲来に備えた体制の構築, 実施及び解除の判断基準, 実施手順, 連絡方法等 ・ 担当部署による保守・点検の体制 ・ 担当部署による損傷箇所への補修体制
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日常点検 ・ 定期点検 ・ 損傷時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育

泊発電所3号炉審査資料	
資料番号	DB063F r. 14. 0
提出年月日	令和5年10月31日

泊発電所3号炉

設置許可基準規則等への適合状況について
(設計基準対象施設等)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

令和5年10月
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

<目次>

1. 基本方針
 1. 1 要求事項の整理
 1. 2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 1. 3 気象等
 1. 4 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
 - 別添1 外部火災影響評価について

3. 運用，手順説明資料
 - 別添2 泊発電所3号炉 運用，手順説明資料
外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

4. 現場確認プロセス
 - 別添3 森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

<概要>

1. において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する泊発電所3号炉における適合性を示す。
2. において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用について説明する。
3. において、追加要求事項に適合するための運用、手順等を抽出し、必要となる運用対策を整理する。
4. において、森林火災影響評価に必要な入力条件等の設定を行うため必要となる植生確認プロセスについて説明する。

1. 基本方針

1. 1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条において、追加要求事項を明確化する（表1）。

表 1 設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条 要求事項

設置許可基準規則	技術基準規則	備考
<p>第 6 条 (外部からの衝撃による損傷の防止)</p> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）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ぬ。</p>	<p>第 7 条 (外部からの衝撃による損傷の防止)</p> <p>設計基準対象施設が想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならぬ。</p>	<p>追加要求事項</p>
<p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p>		<p>追加要求事項</p>
<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合には、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならぬ。</p> <p>3 航空機の墜落により発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならぬ。</p>	<p>追加要求事項</p>

1. 2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設は、発電所敷地で想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせる。

また、安全施設は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により考慮する必要はない。

自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）の組合せについては、地震、津波、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等を考慮する。

事象が単独で発生した場合の影響と比較して、複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せを特定し、その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、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。）への措置を含める。

(a-10) 外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）

安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(1~2)】

想定される森林火災の延焼防止を目的として、発電所周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度(33,687kW/m)から算出される防火帯(20m以上)を敷地内に設ける。

ただし、火線強度があがりやすいササ草原を擁しかつ斜面に面する敷地北部は最大火線強度(114,908kW/m)から算出される防火帯(46m以上)を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

【別添1(2.1.3.2)】

また、森林火災による熱影響については、最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.1.3.3)】

発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）として、想定される近隣の産業施設の火災・爆発については、離隔距離の確保により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2)】

また、想定される発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災については、離隔距離を確保すること、その火災による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること又はそれらを適切に組み合わせること、その安全施設の安全機能を損なわない設計とする。外部火災による屋外施設への影響については、屋外施設の温度を許容温度以下とすることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2.2.5~2.3)】

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

(2) 安全設計方針

1.8.10 外部火災防護に関する基本方針

1.8.10.1 設計方針

安全施設が外部火災（火災・爆発（森林火災，近隣工場等の火災・爆発，航空機墜落火災等））に対して，発電用原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護，代替手段等によって，安全機能を損なわない設計とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス1，クラス2及びクラス3に属する構築物，系統及び機器とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち，外部事象防護対象施設は，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護等により安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(1.1～1.2)】

想定する外部火災として，森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発，発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第1.8.10.1表に示す。

【別添1(1.1～1.2)】

また，想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）に対して，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(1.1～1.2)】

(1) 評価対象施設

外部事象防護対象施設のうち，屋内施設は内包する建屋により防護する設計とし，評価対象施設を，建屋，屋外施設並びに外部火災の二次的影響を受ける構築物，系統及び機器に分類し，抽出する。

上記に含まれない構築物，系統及び機器は，原則として，防火帯により防護し，外部火災により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

評価対象施設を第1.8.10.2表に示す。

a. 外部火災の直接的な影響を受ける評価対象施設

外部事象防護対象施設等のうち，評価対象施設を以下のとおり抽出する。

(a) 屋内の評価対象施設

屋内設置の外部事象防護対象施設は、内包する建屋により防護する設計とし、以下の建屋を評価対象施設とする。

ただし、評価対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては、循環水ポンプ建屋に収納されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。評価対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては、他の評価対象施設の評価により、安全機能を損なわない設計であることを確認する。

- i) 原子炉建屋
- ii) 原子炉補助建屋
- iii) ディーゼル発電機建屋
- iv) 循環水ポンプ建屋
- v) タービン建屋

なお、タービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁は、以下の設計とすることにより、以降の評価対象施設には含めないものとする。

評価対象施設のうちタービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁については、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ）として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とする。

(b) 屋外の評価対象施設

屋外の評価対象施設は、以下の施設を対象とする。

- i) 排気筒

b. 外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設

外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設を以下のとおり抽出する。

- (a) ディーゼル発電機
- (b) 換気空調設備
- (c) 安全保護系
- (d) 制御用空気圧縮機
- (e) 原子炉補機冷却海水ポンプ

- (f) 主蒸気逃がし弁, 排気筒, 主蒸気安全弁及びタービン動補助給水ポンプ排気管

(2) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し, 発電所周辺の植生及び過去10年間の気象条件を調査し, 発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定し, 森林火災シミュレーション解析コード(以下「FARSITE」という。)を用いて影響評価を実施し, 森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け, 火災が防火帯外縁に到達するまでの時間, 評価対象施設への熱影響及び危険距離を評価し, 必要な防火帯幅, 評価対象施設との離隔距離を確保すること等により, 評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 森林火災の想定

- (a) 森林火災における各樹種の可燃物量は, 北海道から入手した森林簿データと現地調査等により得られた樹種を踏まえて補正した植生を用いる。また, 林齢は, 樹種を踏まえて地面草地の可燃物量が多くなるように保守的に設定する。
- (b) 気象条件は, 発電所内の気象観測設備の過去10年間の気象データを調査し, 北海道における森林火災の発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度, 最高気温及び最大風速の組合せとする。
- (c) 風向については, 最大風速記録時における風向及び卓越風向を調査し, 森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して, 最大風速記録時の風向を設定する。
- (d) 発火点については, 防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し, FARSITEより出力される最大火線強度及び反応強度を用いて評価するため, 発電所から直線距離10kmの間で風向及び人為的行為を考慮し, 2地点を設定する。
 - (d-1) 人為的行為を考慮し, 火を扱う可能性がある箇所を, 火災の発生頻度が高いと想定される居住地区, 道路沿い等を選定する。
 - (d-2) 風向は卓越方向(東, 北西)とし, 火災規模に対する風向の影響を考慮し, 発火点は泊発電所の風上を選定する。
 - (i) 発電所周辺のうち, 卓越風向である東方向の風による延焼を考慮し, 社員寮等の居住区及び道路沿いでの人為的行為を想定し, 道路脇畑(発電所敷地から約2,500mの距離)を「発火点1」として設定する。

(ii) 発電所周辺のうち、卓越風向である北西方向の風による延焼を考慮し、民家等の居住区及び道路沿いでの人為的行為を想定し、集落端と森林の境界部（発電所敷地から約 1,500m の距離）を「発火点 2」として設定する。

【別添 1(2.1.2)】

(e) 森林火災の発火時刻については、日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が変化することから、これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定する。

【別添1(2.1.2)】

b. 評価対象範囲

発電所近傍の発火想定地点を10km以内とし、評価対象範囲は泊発電所から東に13km、西に13km、南に13km、北に13kmの範囲を対象に評価を行う。

【別添1(2.1.2)】

c. 必要データ (FARSITE 入力条件)

(a) 地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の土地の標高、地形等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」（国土地理院データ）を用いる。

(b) 土地利用データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の建物用地、交通用地等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの「国土数値情報土地利用細分メッシュ」（国土交通省データ）を用いる。

(c) 植生データ

現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを地方自治体(北海道)より入手する。

森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化する。

発電所構内及び発電所周辺の植生データについては、現地調査し、FARSITE 入力データとしての妥当性を確認の上植生区分を設定する。

【別添1(2.1.2)】

(d) 気象データ

現地にて起こり得る最も厳しい条件を検討するため、発電所内の気象観測設備の過去10年間の気象データのうち北海道で発生した森林火災の実績を考慮し、比較的発生頻度が高い4月～6月の気象条件(最多風向, 最大風速, 最高気温及び最小湿度)の最も厳しい条件を用いる。

【別添1(2.1.2)】

d. 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度(3.11m/s(発火点2))や火線強度(114,908kW/m(発火点2))を算出する。

e. 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から火炎が防火帯に到達するまでの火炎到達時間(約0.8時間(発火点2))を算出する。

森林火災が防火帯に到達する時間までの間に泊発電所に常駐している自衛消防隊による防火帯付近の予防散水活動(飛び火を抑制する効果を期待)を行うことが可能であり、防火帯をより有効に機能させる。

また、万が一の飛び火等による火炎の延焼を確認した場合には、自衛消防隊による初期消火活動を行うことで、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.1.3.1)】

なお、外部からの情報により森林火災を認識し、防火帯に到達するまでに時間的な余裕がある場合には、発電所構内への延焼を抑制するために防火帯近傍への予防散水を行う。

【別添1(2.1.3.1)】

f. 防火帯幅の設定

FARSITEから出力される最大火線強度(33,687kW/m(発火点1))により算出される防火帯幅17.8mに対し、20m以上の防火帯幅を確保すること及び最大火線強度114,908kW/m(発火点2))により算出される防火帯幅45.3mに対し、46m以上の防火帯幅を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯及び樹木が無い領域を第1.8.10.1図に示す。

【別添1(2.1.3.2)】

g. 評価対象施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、影響評価に用いる火炎輻射強度は、FARSITEから出力される反応強度から求め、その値に対して安全側に余裕を考慮する。

(a) 火災の想定

- (i) 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し、離隔距離は最短距離とする。
- (ii) 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルとする。火炎の高さは燃焼半径の3倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出することにより火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。

(b) 原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋への熱影響

火炎輻射発散度 843kW/m^2 (火炎輻射強度 843kW/m^2) となる「発火点1」を安全側に余裕を考慮した $1,200\text{kW/m}^2$ に基づき算出する、防火帯の外縁(火炎側)から最も近くに位置する原子炉建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火炎の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度を、火災時における短期温度上昇を考慮した場合のコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200°C 以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 排気筒への熱影響

火炎輻射発散度 977kW/m^2 (火炎輻射強度 977kW/m^2) となる「発火点2」を安全側に余裕を考慮した $1,200\text{kW/m}^2$ に基づき算出する排気筒の温度を、鋼材の強度が維持される温度である 325°C 以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(d) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

火炎輻射発散度 977kW/m^2 (火炎輻射強度 977kW/m^2) となる「発火点2」を安全側に余裕を考慮した $1,200\text{kW/m}^2$ に基づき算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である 80°C 以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.1.3.3)】

h. 評価対象施設の危険距離の確保

森林火災の直接的な影響を受ける評価対象施設の危険距離について評価を実施し、防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を最大の火炎輻射強度を安全側に余裕を考慮した数値に基づき算出する危険距離以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋の危険距離の確保

火炎輻射発散度 843kW/m^2 (火炎輻射強度 843kW/m^2) となる「発火点 1」を安全側に余裕を考慮した $1,200\text{kW/m}^2$ に基づき危険距離を算出し、発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を危険距離以上確保し、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することにより、各建屋及び当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプの危険距離の確保

排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプが火炎輻射発散度 977kW/m^2 (火炎輻射強度 977kW/m^2) となる「発火点 2」を安全側に余裕を考慮した $1,200\text{kW/m}^2$ に基づき危険距離を算出し、発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を危険距離以上確保することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.1.3.3)】

(3) 近隣産業施設の火災・爆発

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外 10km 以内の産業施設を抽出した上で発電所との離隔距離を確保すること及び発電所敷地内で火災を発生させるおそれのある危険物貯蔵施設等を選定し、危険物貯蔵施設等の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受ける評価対象施設への熱影響評価を行い、離隔距離の確保等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は北東約 70km の石狩地区である。

【別添 1(2.2.2)】

b. 危険物貯蔵施設等の影響

(a) 火災の影響

発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地外 10km 以内のうち、発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設を第 1.8.10.2 図に示す。

【別添 1(2.2.2.2)】

(i) 火災の想定

- ・危険物貯蔵施設の貯蔵量は、危険物を満載した状態とする。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設の位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設及び高圧ガス貯蔵施設とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

(iii) 評価対象施設への熱影響

- ・原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（74m）以上確保し、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・排気筒への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（53m）以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯

蔵施設から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（109m）以上確保することにより，原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設の爆発による直接的な影響を受ける，評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保により安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

(i) 爆発の想定

- ・ 高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発とする。
- ・ 気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設とする。

(iii) 評価対象施設への影響

想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による爆風圧の影響に対し，高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（87m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

また，想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による飛来物の影響については，高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（1,217m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

c. 燃料輸送車両の影響

(a) 火災の影響

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(i) 火災の想定

- ・最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災を起こすものとする。
- ・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。
- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料はガソリンとする。
- ・発電所敷地周辺道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、最大規模の燃料輸送車両とする。

(iii) 評価対象施設への熱影響

- ・原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（23m）以上確保し、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・排気筒への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（10m）以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（21m）以上確保することにより、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の爆発による直接的な影響を受ける、評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

(i) 爆発の想定

- ・最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で爆発を起こすものとする。
- ・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。
- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- ・発電所敷地周辺の道路での高圧ガス漏えい、引火によるガス爆発を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

(iii) 評価対象施設への影響

想定される燃料輸送車両のガス爆発による爆風圧の影響に対して、発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（87m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

また、想定される燃料輸送車両のガス爆発による飛来物の影響に対して、発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（1,217m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

d. 漂流船舶の火災

(a) 火災の影響

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外で発

生ずる漂流船舶を選定し、船舶の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.4)】

(i) 火災の想定

- ・発電所前面の海域には主要航路がなく、30km 以上離れていることから、発電所内の港湾施設に入港可能な最大規模の船舶が火災を起こした場合を想定する。
- ・燃料輸送船は、発電所内の港湾施設に入港する船舶の中で燃料の積載量が最大である船舶を想定する。

【別添 1(2.2.2.4)】

- ・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・燃料は重油とする。

追而【基準津波審査の反映】
(下記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)

- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう岸壁位置から評価対象施設までの直線距離とする（第 1.8.10.3 図）。
- ・漂流船舶の全面火災を想定する。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

漂流船舶は発電所港湾内に入港する船舶の中で最大規模となる船舶を評価対象とする。

【別添 1(2.2.2.4)】

(iii) 評価対象施設への熱影響

- ・原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（90m）以上確保し、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設

計とする。

・排気筒への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（29m）以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送船から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（80m）以上確保することにより、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2.2.4)】

(b) ガス爆発の影響

泊発電所前面の海域には主要航路がなく 30km 以上離れていることから、泊発電所内の港湾施設には液化石油ガス輸送船舶の入港は想定されないため、発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船の爆発により評価対象施設の安全機能が損なわれることはない。

e. 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災・爆発

(a) 火災の影響

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2.2.5)】

発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等を第1.8.10.3表、第1.8.10.4図及び第1.8.10.5図に示す。

(i) 火災の想定

- ・危険物貯蔵施設等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量以下で、管理上定められた上限値とする。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設等の位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・危険物貯蔵施設等の破損等による防油堤内又は設備本体内での全面火災を想定する。

- ・火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。
- ・変圧器の防火設備の消火機能等には期待しない。

【別添1(2.2.2.5)】

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物貯蔵施設等のうち、離隔距離や危険物貯蔵量から発電用原子炉施設への熱影響が大きくなると想定される3号炉補助ボイラー燃料タンク及び一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器とする。

【別添1(2.2.2.5)】

なお、屋外に設置する危険物貯蔵施設等のうち、屋内設置の設備、地下設置の設備及び常時「空」で運用する設備に関しては評価対象外とする。

【別添1(2.2.2.5)】

また、危険物を内包する車両等は、3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べ貯蔵量が少なく、3号炉補助ボイラー燃料タンクと発電用原子炉施設の距離に比べ離隔距離が長いことから、評価対象とした3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡される。

【別添1(2.2.2.5)】

(iii) 評価対象施設への熱影響

i) 原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋への熱影響

・3号炉補助ボイラー燃料タンク

3号炉補助ボイラー燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度(2,990W/m²)に対し、ディーゼル発電機建屋に防護手段として設ける耐火性(断熱性)を有した鋼板及び断熱材から構成される障壁により輻射熱を防護した上で、ディーゼル発電機建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、障壁を設置しない火災源から最短距離の原子炉建屋については、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度

(1,863W/m²)で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・ 3号炉主変圧器・所内変圧器

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度(414W/m²)で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ii) 排気筒への熱影響

・ 3号炉補助ボイラー燃料タンク

3号炉補助ボイラー燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度(1,863W/m²)で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ 3号炉主変圧器・所内変圧器

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度(414W/m²)で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

iii) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

・ 3号炉補助ボイラー燃料タンク

3号炉補助ボイラー燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度(690W/m²)で原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして算出する冷却空気

の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である 80℃以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・ 3号炉主変圧器・所内変圧器

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度(276W/m²)で原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして算出する冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である80℃以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2.2.5)】

(b) ガス爆発の影響

泊発電所敷地内には屋外で爆発する可能性のある設備を設置していないことから、ガス爆発によって評価対象施設の安全機能が損なわれることはない。

(4) 航空機墜落による火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、航空機墜落による火災について落下カテゴリごとに選定した航空機を対象に、直接的な影響を受ける、評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、航空機墜落による火災と発電所敷地内の危険物貯蔵施設等による火災の重畳を考慮する設計とする。

【別添1(2.3)】

a. 対象航空機の選定方法

航空機墜落確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績を基に、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリごとに墜落確率を求める。

ここで、落下事故の実績がないカテゴリの事故件数は保守的に0.5件として扱う。

また、カテゴリごとの対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、訓練中の事故等、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ、かつ、民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。

これらを踏まえて選定した落下事故のカテゴリと対象航空機を第1.8.10.4表に示す。

【別添1(2.3)】

b. 航空機墜落による火災の想定

- (a) 航空機は、発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- (d) 気象条件は無風状態とする。
- (e) 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

【別添1(2.3)】

c. 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって発電用原子炉施設を中心にして墜落確率が 10^{-7} (回/炉・年)以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置する評価対象施設とする。

【別添1(2.3)】

d. 評価対象施設への熱影響

- (a) 原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋への熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして算出する各建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200°C 以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

各航空機の輻射強度を第1.8.10.4表に示す。

- (b) 排気筒への熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の温度を、鋼材の強度が維持される温度である 325°C 以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である 80℃以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.3)】

e. 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。重畳火災は、厳しい結果となるように航空機墜落火災は B747-400、危険物貯蔵施設の火災は 3 号炉補助ボイラー燃料タンクを選定し、組み合わせた火災を想定して評価している。

(a) 原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋への熱影響

B747-400の墜落火災と 3 号炉補助ボイラー燃料タンクの重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度に対し、ディーゼル発電機建屋に防護手段として設ける耐火性（断熱性）を有した鋼板及び断熱材から構成される障壁により輻射熱を防護した上で、ディーゼル発電機建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、障壁を設けない火災源から最短距離の原子炉建屋については、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である 200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 排気筒への熱影響

B747-400 の墜落火災と 3 号炉補助ボイラー燃料タンクの重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材

の強度が維持される温度である 325°C以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

B747-400 の墜落火災と 3 号炉補助ボイラー燃料タンクの重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である 80°C以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.3)】

(5) 二次的影響 (ばい煙等)

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、外気を取り込む評価対象施設を抽出した上で、第 1.8.10.5 表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.4)】

a. 換気空調設備

外気を取り込む換気空調設備として、安全補機開閉器室、中央制御室、原子炉補助建屋、格納容器、試料採取室、制御用空気圧縮機室、ディーゼル発電機室、電動補助給水ポンプ室、タービン動補助給水ポンプ室及び主蒸気配管室の空調装置がある。

これらの外気取入口には、フィルタを設置することにより、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、粒径 5 μm 以上の粒径のばい煙粒子については、フィルタにより侵入しにくい設計とすることにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転への切替えが可能である中央制御室空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転への切替えを行うことにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、それ以外の空調装置については、空調ファンを停止し、外気取入れを遮断することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.4)】

b. 安全保護系

安全保護系計装盤を設置している部屋は、安全補機開閉器室空調装置にて

空調管理しており、本空調装置の外気取入口には、フィルタを設置することにより、粒径 $5\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタを設置することにより、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。

フィルタにより侵入を阻止できなかったばい煙が侵入する可能性がある場合においても、空調ファンを停止すること等でばい煙の侵入を阻止することが可能である。

また、安全保護系計装盤は粒径 $2\mu\text{m}$ 以下のばい煙粒子に対し、短絡が生じないようにすることにより、安全保護系の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

c. ディーゼル発電機

ディーゼル発電機の吸気系統の吸気消音器に付属するフィルタを設置し、粒径 $120\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。フィルタを通過したばい煙粒子(数 μm ~ $10\mu\text{m}$ 程度)が過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の隙間は、ばい煙粒子に比べて十分大きく閉塞に至ることを防止することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

また、ディーゼル発電機は建屋外部に開口部(排気口)を有しているが、排気によりばい煙を掃気することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

d. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機は、空気冷却器を電動機側面に設置して内部通風の熱交換により冷却する構造であり、外気を直接電動機の内部に取込まない全閉構造であることから、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

また、ばい煙粒子の粒径は、空気冷却器冷却管の内径に比べて十分に小さく、閉塞を防止することにより原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

e. 主蒸気逃がし弁、排気筒、主蒸気安全弁及びタービン動補助給水ポンプ排気管

主蒸気逃がし弁は、建屋外部に排気管を有する設備であるが、ばい煙が排気管内に侵入した場合でも、主蒸気逃がし弁の吹出力が十分大きいいため、微小な

ばい煙粒子は吹き出されることにより主蒸気逃がし弁の安全機能を損なわない設計とする。

また、排気筒、主蒸気安全弁及びタービン動補助給水ポンプ排気管については、主蒸気逃がし弁と同様に、建屋外部の配管にばい煙が侵入した場合でも、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることにより排気筒及び主蒸気安全弁の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

f. 制御用空気圧縮機

制御用空気圧縮機を設置している部屋は、制御用空気圧縮機室空調装置にて空調管理しており、本空調装置の外気取入口にはフィルタを設置することにより、主として粒径5 μ m以上のばい煙粒子の侵入を防止している。

このフィルタの設置により、極めて細かな粒子のばい煙が侵入した場合においても、ばい煙の付着により機器内の損傷を可能な限り低減することにより制御用空気圧縮機の安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添1(2.4)】

g. 火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については、中央制御室空調装置における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転への切替えが可能である中央制御室空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転への切替えを行う。

また、それ以外の空調装置については、空調ファンを停止し、外気取入れを遮断する。

【別添1(2.4)】

1.8.10.2 体制

火災発生時の発電用原子炉施設の保全のための活動を行うため、連絡者、消火担当等が常駐するとともに、所員により編成する自衛消防組織を設置する。

自衛消防組織のための要員を、第1.8.10.6表に示す。

1.8.10.3 手順等

外部火災における手順については、火災発生時の対応、防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

- (1) 防火帯の維持・管理においては、定期的な点検等の方法を火災防護計画に定め、実施する。
- (2) 予防散水においては、手順を整備し、予防散水エリアごとに使用水源箇所を定め、消火栓及び消防自動車を使用し、現場指揮者の指揮のもと自衛消防隊が実施する。なお、万一、防火帯の内側に飛び火した場合は、自衛消防隊の活動を予防散水から防火帯内火災の初期消火活動に切り替え、消防自動車を使用し、継続して現場指揮者の指揮のもと初期消火活動・延焼防止活動を行う。
- (3) 外部火災によるばい煙発生時には、外気取入口に設置しているフィルタの交換、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止、又は、閉回路循環運転への切替えにより、建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転への切替えにより、建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。
- (5) 障壁の防護機能を維持するため、適切に保守管理を実施するとともに、必要に応じ補修を行う。
- (6) 外部火災による中央制御室へのばい煙等の侵入阻止に係る教育を定期的実施する。
- (7) 森林火災から評価対象施設を防護するための防火帯の点検等に係る火災防護に関する教育を定期的実施する。
- (8) 近隣の産業施設の火災・爆発から評価対象施設を防護するために、離隔距離を確保すること等の火災防護に関する教育を定期的実施する。
- (9) 外部火災発生時の予防散水に必要な消火対応力を維持するため、自衛消防隊を対象とした教育・訓練を定期的実施する。
- (10) モニタリングポスト及びモニタリングステーションが外部火災の影響を受けた場合は、代替設備を防火帯内側に設置する運用とし、手順を定め、訓練を定期的実施する。
- (11) 3号炉油計量タンクは常時空運用とし、3号炉補助ボイラー燃料タンクは貯蔵量の管理上限を定めるとともに、当該貯蔵量を上回らないよう管理する。

【別添2(1~3)】

第 1.8.10.1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内に存在する石油コンビナート等の火災・爆発
	発電所敷地内に存在する危険物貯蔵施設等の火災
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災

【別添 1 (1~2)】

第 1.8.10.2 表 評価対象施設

防護対象	評価対象施設
外部事象防護対象施設等	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・原子炉補助建屋 ・ディーゼル発電機建屋 ・循環水ポンプ建屋^{※1} ・タービン建屋 ・排気筒
外部火災の二次的影響を受ける構築物、系統及び機器	<ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼル発電機 ・換気空調設備 ・安全保護系 ・原子炉補機冷却海水ポンプ ・主蒸気逃がし弁、排気筒、主蒸気安全弁及びタービン動補助給水ポンプ排気管 ・制御用空気圧縮機

※1 原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては、循環水ポンプ建屋に収納されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

【別添 1(1~3)】

第1.8.10.3表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (1/4)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否	
			類	品名			
1号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	461.6 kL	× (地下設置)
2号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	461.6 kL	× (地下設置)
3号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽(A側)	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	295.88 kL	× (地下設置)
3号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽(B側)	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	295.8 kL	× (地下設置)
3号炉	燃料タンク(SA) 【設置予定】	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	60 kL	× (地下設置)
1, 2号炉	補助ボイラー燃料タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第3石油類	A重油	600 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	補助ボイラー燃料タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第3石油類	A重油	720 kL	○ (管理値で評価)
1号炉	油計量タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	70 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	油計量タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	110 kL	× (「空」運用)
1号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	58.9 kL 14.6 kL	× (屋内設置)
2号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	58.9 kL 14.6 kL	× (屋内設置)
3号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	75.3 kL 12 kL	× (屋内設置)
1号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	73 kL	× (屋内設置)
2号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	73 kL	× (屋内設置)
3号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	110 kL	× (屋内設置)
1, 2号炉	補助ボイラー燃料油装置	一般取扱所	4	第3石油類	A重油	96 kL	× (屋内設置)
3号炉	補助ボイラー燃料油装置	一般取扱所	4	第3石油類	A重油	114.6 kL	× (屋内設置)
1, 2号炉	油倉庫	屋内貯蔵所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	4 kL 24 kL	× (屋内設置)
3号炉	油庫	屋内貯蔵所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	4 kL 25.02 kL	× (屋内設置)
1号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
1号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
2号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
2号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.8.10.3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (2/4)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否	
			類	品名			
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)

第 1.8.10.3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (3/4)

号炉	施設名	危険物		数量	詳細評価要否
		類	品名		
1, 2号炉	エンジン消火ポンプ用燃料タンク	4	第2石油類 軽油	490 L	× (屋内設置)
3号炉	ディーゼル駆動消火ポンプ用燃料タンク	4	第2石油類 軽油	490 L	× (屋内設置)
1, 2号炉	循環水ポンプ油圧ユニット油タンク	4	第4石油類 潤滑油	1,600 L	× (屋内設置)
3号炉	循環水ポンプ油圧ユニット油タンク	4	第4石油類 潤滑油	1,310 L	× (屋内設置)
1号炉	1次冷却材ポンプ電動機油回収タンク	4	第4石油類 潤滑油	1,500 L	× (屋内設置)
2号炉	1次冷却材ポンプ電動機油回収タンク	4	第4石油類 潤滑油	1,500 L	× (屋内設置)
3号炉	1次冷却材ポンプ電動機油回収タンク	4	第4石油類 潤滑油	1,500 L	× (屋内設置)
3号炉	緊急時対策所用発電機	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	緊急時対策所用発電機	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型大容量海水送水ポンプ車	4	第2石油類 軽油	990 L	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型大容量海水送水ポンプ車	4	第2石油類 軽油	990 L	× (他評価に包絡)
その他	可搬型大容量海水送水ポンプ車	4	第2石油類 軽油	990 L	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)

第 1.8.10.3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (4/4)

号炉	施設名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
1号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	86.0 kL	×(他評価に包絡)
1号炉	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	41.0 kL	×(他評価に包絡)
1号炉	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	×(他評価に包絡)
2号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	77.0 kL	×(他評価に包絡)
2号炉	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	41.0 kL	×(他評価に包絡)
2号炉	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	×(他評価に包絡)
1, 2号炉	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	15.9 kL	×(他評価に包絡)
3号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	107.8 kL	○
	所内変圧器			
3号炉	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	31.8 kL	×(他評価に包絡)
3号炉	後備変圧器 【設置予定】	1種4号 鉱油 (重油相当)	15.9 kL	×(他評価に包絡)
1号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	945 m ³	×(屋内設置)
2号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	945 m ³	×(屋内設置)
3号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	1,120 m ³	×(屋内設置)
1, 2号炉	1次系水素ボンベ室	水素ガス (ボンベ)	420 m ³	×(屋内設置)
3号炉	1次系水素ボンベ室	水素ガス (ボンベ)	280 m ³	×(屋内設置)
共用	放射性廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	プロパンガス	2,000 kg	×(屋内設置)
1, 2号炉	補助ボイラー建屋	プロパンガス	180 kg	×(屋内設置)
3号炉	補助ボイラー建屋	プロパンガス	120 kg	×(屋内設置)

網掛け箇所：評価対象となる設備

【別添1(2.2.2.5)】

第 1.8.10.4 表 落下事故のカテゴリと対象航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離[m]	輻射強度 [W/m ²]	
有視界飛行方式 民間航空機	大型固定翼機 (固定翼機, 回転翼機)	B747-400	220	455	
	小型固定翼機 (固定翼機, 回転翼機)	Do228-200	120	—※1	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域内 で訓練中	その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	F-15	100	162.4
	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度での巡行が 想定される大型 固定翼機	KC-767	290	—※2
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	F-15	140	—※3

※1：燃料積載量が多く、離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 訓練空域内で訓練中 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：燃料積載量が多く、離隔距離が短い「有視界飛行方式民間航空機 大型固定翼機」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：対象航空機が同一で、離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 訓練空域内で訓練中 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

【別添 1(2.3)】

第 1.8.10.5 表 ばい煙等による影響評価

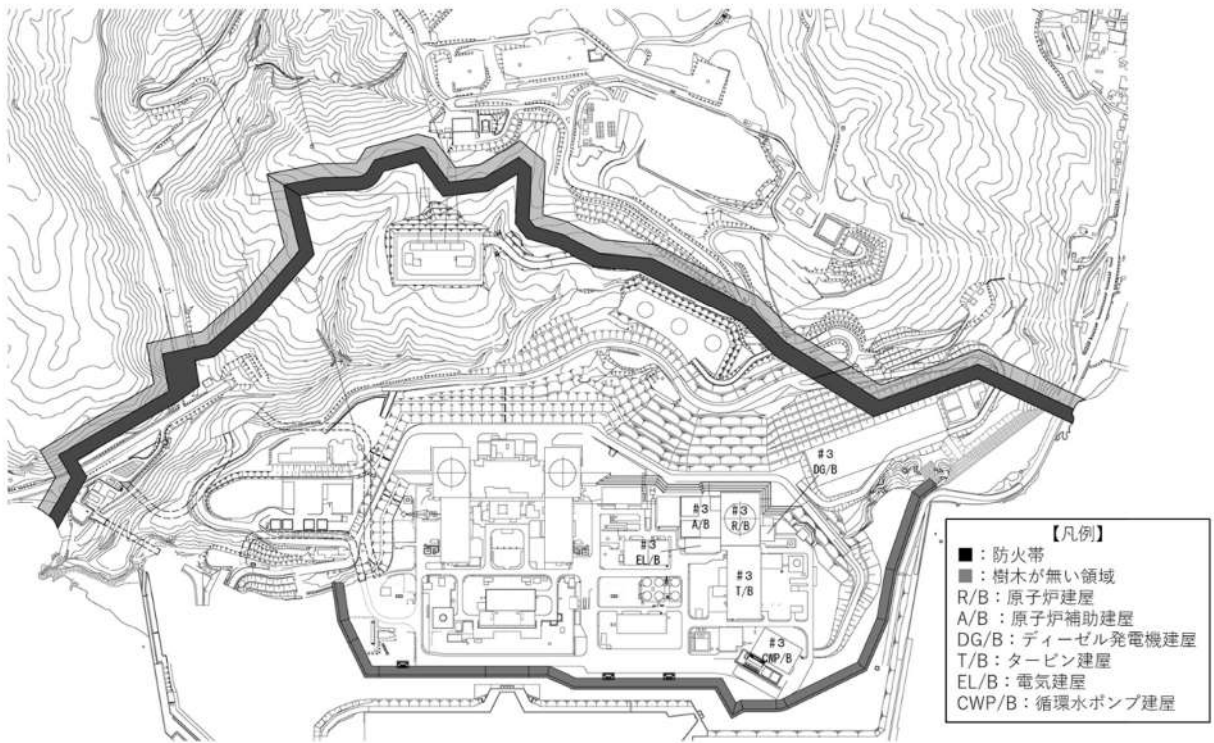
分類		影響評価設備
機器への影響	外気を取り込む設備	原子炉補機冷却海水ポンプ
	換気空調設備で給気されるエリアの設置機器	ディーゼル発電機
		安全保護系
		制御用空気圧縮機
建屋外部に開口部を有する設備	主蒸気逃がし弁，排気筒，主蒸気安全弁及びタービン動補助給水ポンプ排気管	
居住性への影響		中央制御室

【別添 1(2.4)】

第 1.8.10.6 表 自衛消防隊編成

構成	所属等	役割	
自衛消防隊長 (統括管理者)	発電所次長(1)	a. 自衛消防隊全体を指揮・統括 b. 公設消防との活動方針を統括	
自衛消防隊長代行者	運営課長(1)	a. 自衛消防隊長不在時の任務を代行	
初期 消火 要員	連絡者	発電課長(当直)(1)	a. 通報者及び関係箇所への通報連絡 b. 初期消火要員への出動要請 (平日夜間・休祭日)
	通報者	・平日昼間 運営課長(1) ・平日夜間・休祭日 事務系当番者(1)	a. 公設消防及び関係箇所への通報連絡 b. 初期消火要員への出動要請(平日昼間)
	現場指揮者	・平日昼間 机上社員(1) ・平日夜間・休祭日 当直員(1)	a. 初期消火活動の総括指揮 b. 火災状況等を公設消防先着隊へ情報伝達
	消火担当	委託員(3)	a. 消火器又は消火栓による消火活動 b. 消防自動車による消火活動(筒先) c. 消防用ホースの延長 d. 泡消火薬剤の化学消防自動車への補給
	消防車操作担当	委託員(2)	a. 消防自動車の運転 b. 化学消防自動車, 水槽付消防ポンプ自動車の機関員
	消火補助担当	委託員(2)	a. 泡消火薬剤の運搬及び補給補助 b. 消火補助 c. 伝令及び伝令補助
	案内誘導担当	委託員(1)	a. 公設消防を火災発生現場近傍へ誘導
本部指揮班	班長: 運営課長(1) 副班長: 運営課副長(1) 班員: 各グループ員	a. 隊長の指示を受け, 自衛消防隊各班を指揮 b. 各班からの通報・連絡を受けると共に, 情報を収集し隊長の判断を補佐	
消火班	班長: 運営課副長(1) 副班長: 教育センター副長(1) 班員: 各グループ員 初期消火要員 (連絡者, 通報者を除く)	a. 消火器又は消火栓による消火活動 b. 火災状況等の情報収集	
業務支援班 (避難誘導担当)	班長: 総務課副長(1) 副班長: 総務課副長(1) 班員: 各グループ員	a. 避難場所への避難誘導	
業務支援班 (救護担当)	班長: 労務安全課副長(1) 副班長: 労務安全課主任(1) 班員: 各グループ員	a. 被災者への応急処置 b. 公設消防救急隊との連携 c. 被災者発生状況報告	
放管班	班長: 安全管理課副長(1) 副班長: 安全管理課員(1) 班員: 各グループ員	a. 線量当量率, 汚染レベルの測定 b. 公設消防隊員の誘導(管理区域内) c. 自衛消防隊員及び公設消防隊員の除染措置	

()内は人数



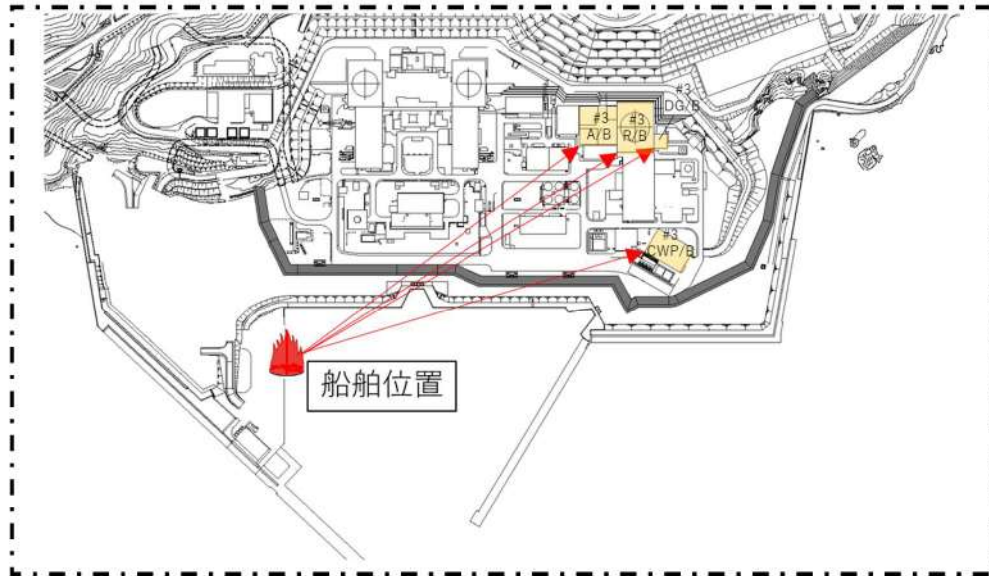
第1.8.10.1図 防火帯配置図

【別添1(1~3)】



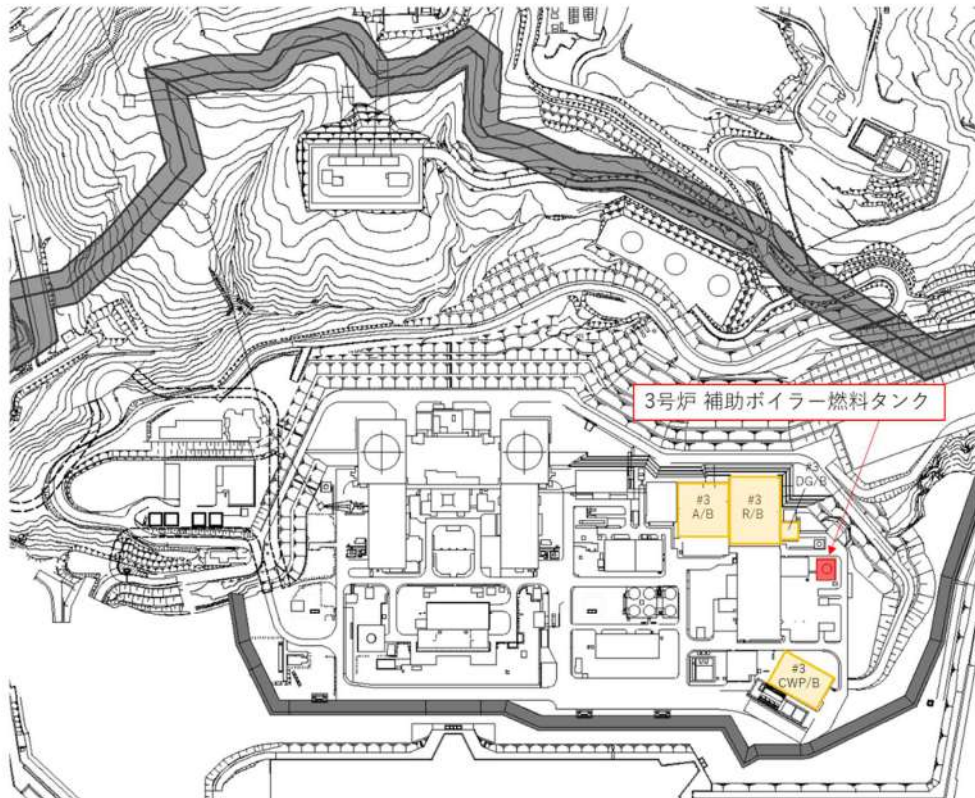
第1.8.10.2図 発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設等

【別添1(2.2.2.2)】

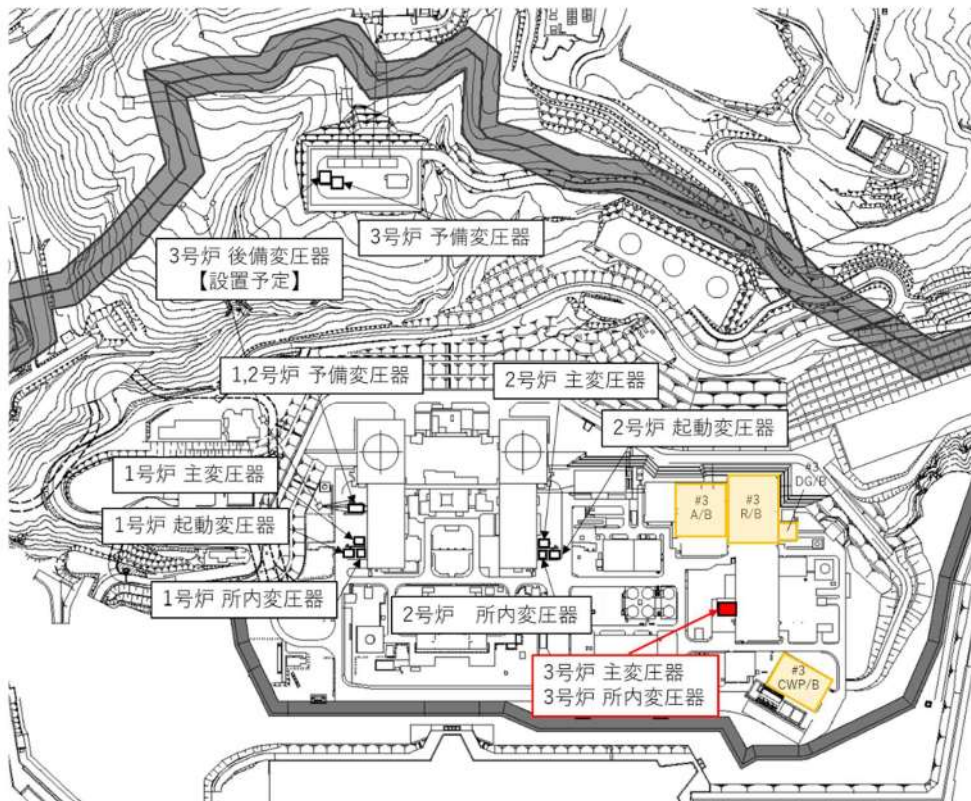


第1.8.10.3図 評価で想定する漂流船舶

追而【基準津波審査の反映】
 (上記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)



第1.8.10.4図 危険物貯蔵施設等配置図 (危険物タンク)



第1.8.10.5図 危険物貯蔵施設等配置図 (変圧器)

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）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。

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

第1項について

発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）については、敷地及び敷地周辺の自然環境を基に洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮を選定し、設計基準を設定するに当たっては、発電所の立地地域である泊村に対する規格・基準類による設定値及び発電所の最寄りの気象官署である「寿都特別地域気象観測所」で観測された過去の記録並びに「小樽特別地域気象観測所」で観測された過去の記録を基に設定する。また、これらの自然現象ごとに関連して発生する可能性がある自然現象も含める。

安全施設は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

ここで、発電所敷地で想定される自然現象に対して、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。）への措置を含める。

また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として安全施設で生じ得る環境条件を考慮する。

発電用原子炉施設のうち安全施設は、以下のとおり条件を設定し、自然現象によって発電用原子炉施設の安全機能を損なわない設計とする。

(11) 森林火災

敷地外の森林から出火し、敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は、自衛消防隊が出動し、予防散水等の延焼防止措置を行う。また、敷地内の植生へ延焼した場合であっても、森林火災シミュレーション（FARSITE）による影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、安全施設が安全機能を損なわれることはない。

また、上記以外の安全施設については、建屋による防護、消火活動、代替設備による必要な

機能の確保又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.1)】

森林火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響に対して、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む換気空調設備及び屋外設置機器に分類し、影響評価を行い、必要な場合は対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

第3項について

発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）は、発電所及びその周辺での発生の可能性、安全施設への影響度、発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から、発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として、飛来物（航空機落下）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害を選定する。

安全施設は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、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。）への措置を含める。

(3) 爆発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による安全施設への影響については考慮する必要はない。

発電所敷地外10km以内の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から爆発が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保により、安全機能を損なわない設計とする。

発電所前面の海域には主要航路がなく、発電所から主要航路まで30km以上離れていることから、発電所内の港湾施設には液化石油ガス輸送船舶の入港は想定されないため、発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船の爆発により評価対象施設の安全機能が損なわれることはない。

また、上記以外の安全施設については、離隔距離の確保、代替設備による必要な機能の確保又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2)】

(4) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設等の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により評価対象施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による安全施設への影響については考慮する必要はない。

発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設以外の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から火災が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保等により、安全機能を損なわない設計とする。

発電所港湾内の船舶で火災が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保等により、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2)】

b. 発電所敷地内に存在する危険物貯蔵施設等の火災

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災発生時の輻射熱による評価対象施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2.2.5)】

c. 航空機墜落による火災

原子炉建屋周辺に航空機が墜落し、燃料火災が発生した場合、直ちに公設消防へ通報するとともに、自衛消防隊が出動し、速やかに初期消火活動を行う。

航空機が外部事象防護対象施設等である原子炉建屋等の周辺で墜落確率が 10^{-7} 回/炉・年以上になる地点へ墜落することを想定しても、火災の影響により安全機能を損なわない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、建屋による防護、消火活動、代替設備による必要な機能の確保又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.3)】

d. 二次的影響（ばい煙等）

石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響に対して、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む換気空調設備及び屋外設置機器に分類し、影響評価を行い、必要な場合は対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

1. 3 気象等

2. 気象

2. 2 最寄りの気象官署の資料による一般気象

2. 2. 4 その他の資料による一般気象

(1) 森林火災

森林火災検討に係る泊発電所の気象観測設備の気象データ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最多風向及び最小湿度）（2003～2012 年）及び発電所の位置する北海道の「林野火災被害統計書」（1993～2012 年）について，第 2. 2. 20 表に示す。

また，森林火災発生件数の多い 4 月～6 月における泊発電所の気象観測設備の気象データ（卓越風向）について，第 2. 2. 21 表に示す。

第 2. 2. 20 表 気象データ（気温，風速，風向及び湿度）（2003～2012 年）
及び北海道の森林火災発生状況（1993～2012 年）

月	泊発電所（観測期間：2003～2012 年）					北海道 1993-2012 年 月別 火災発生 頻度 ^{注1}
	気温 (°C)	風速 (m/s)		最多 風向	湿度 (%)	
	最高 気温	最大 風速	最大風速 記録時の 風向		最小 湿度	
4 月	22.6	29.7	西	東	13	227
5 月	24.7	29.2	東	東	14	231
6 月	30.0	24.4	東南東	東	18	57

注 1：「林野火災被害統計書（平成 24 年度版）北海道水産林務部」

第 2.2.21 表 気象データ（卓越風向）注1

風向	風向出現回数（時間単位）			計
	4 月	5 月	6 月	
北	401	536	524	1461
北北東	371	443	299	1113
北東	699	753	591	2043
東北東	1753	1512	1431	4696
東	4058	4392	4389	12839
東南東	2251	2580	2174	7005
南東	1063	1072	767	2902
南南東	539	566	384	1489
南	375	361	256	992
南南西	203	156	136	495
南西	274	267	246	787
西南西	1003	777	560	2340
西	2775	2039	1686	6500
西北西	2866	2733	2990	8589
北西	2134	2743	3446	8323
北北西	781	1319	1660	3760

注 1：泊発電所 観測記録（2003～2012 年）

6. 社会環境

6.3 産業活動

泊村とその周辺の神恵内村、共和町及び岩内町（以下泊村を含め「周辺町村」という。）の総面積⁽³⁾は、約 6 0 6 km² で、そのうち 7 0 %程度が山林であり、8 %程度が原野である。

平成 7 年の国勢調査⁽¹⁾によると、周辺町村の就業者数は約 1 4, 6 0 0 人であってそのうち農林水産業就業者が約 1 5 %、鉱業、建築業及び製造業就業者が約 3 2 %、残り約 5 3 %が卸売・小売業、飲食店、サービス業等に従事している。

各町村の産業別就業者数を第 6.3.1 表に示す。

主たる農作物⁽⁶⁾は牧草であり、次いで春植えばれいしょ、米となっている。

海産物⁽⁸⁾としては、ほっけ、するめいか、さけが最も多く水揚げされている。なお、発電所周辺の海域は、泊村、盃、神恵内村及び岩内郡漁業協同組合の漁場となっている。

主な工業⁽⁴⁾は、食料品製造業、窯業、出版等である。

周辺町村の主要農作物の収穫量（平成 8, 9 年）⁽⁵⁾⁽⁶⁾及び飼育家畜頭数、戸数（平成 8, 9 年）⁽⁵⁾⁽⁶⁾並びに漁業地区別の漁獲量（平成 7, 8 年）⁽⁷⁾⁽⁸⁾を第 6.3.2 表、第 6.3.3 表及び第 6.3.4 表に示す。

また、発電所周辺の土地利用状況を第 6.3.1 図に示す。

発電所の近くには、爆発、火災及び有毒ガスにより発電用原子炉施設の安全性を損な

うような石油コンビナート等の施設はない。したがって、産業活動に伴う爆発、火災及び有毒ガスによって、安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

第 6.3.1 表 産業別就業者数

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.1表産業別就業者数」の記載内容に同じ。

第 6.3.2 表 主要農作物種類別統計

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.2表主要農産物種類別統計」の記載内容に同じ。

第 6.3.3 表 主要飼育家畜種類別統計

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.3表主要飼育家畜種類別統計」の記載内容に同じ。

第 6.3.4 表 魚種別漁獲量統計

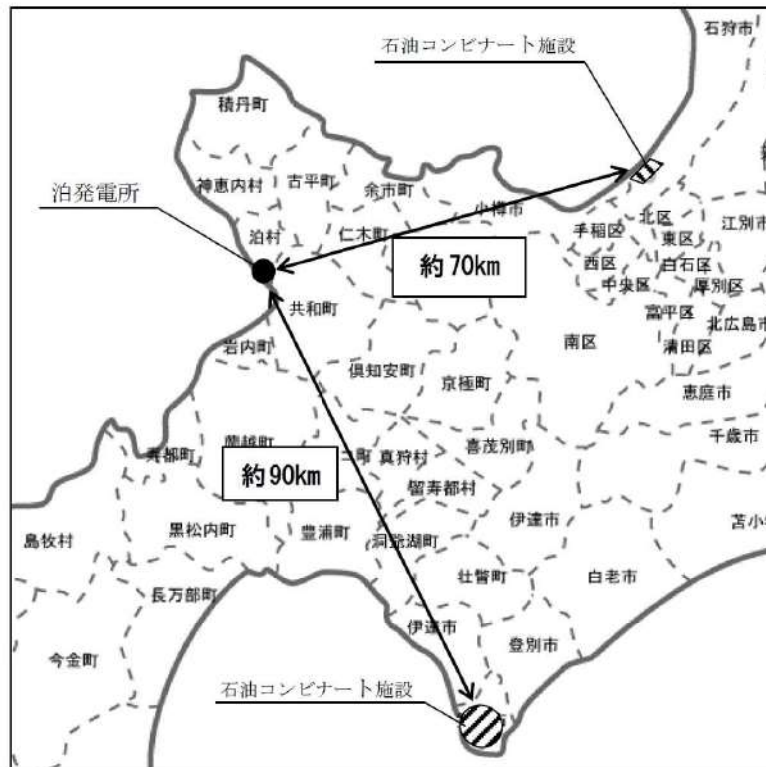
泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.4表魚種別漁獲量統計」の記載内容に同じ。

第 6.3.1 図 発電所敷地周辺の土地利用状況図

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.1図発電所敷地周辺の土地利用状況図」の記載内容に同じ。

6. 5 外部火災影響施設

発電所から約 70km 離れた所に石狩地区の石油コンビナート施設、約 90km 離れた所に苫小牧地区の石油コンビナート施設がある。また、発電所周辺の石油コンビナート施設以外の主な産業施設として、共和町にガソリンスタンドがある。発電所周辺の石油コンビナート施設の位置を第 6. 5. 1 図に示す。



第 6. 5. 1 図 発電所周辺の石油コンビナート施設の位置

10. 生物

10. 2 植生

泊発電所3号炉増設に伴う環境影響調査において、植生に関する調査を実施している。その結果は以下のとおりである。

発電所周辺地域は、ほとんどが落葉広葉樹を主体とするミズナラープナクラス域に属しており、雷電山山腹、ニセコ山彙尾根等は亜寒帯・亜高山帯に、雷電山、ニセコアンヌプリ及びイワオヌプリ山頂部は寒帯・高山帯に属している。

自然植生として、ミズナラープナクラス域では下部針広混交林、エゾイタヤーシナノキ群落、ヤナギ低木群落、自然草原、風衝草原が、亜寒帯・亜高山帯ではアカエゾマツ群集、エゾマツーダケカンバ群落、ササーダケカンバ群落、ササ自然草原が、寒帯・高山帯ではコケモモーハイマツ群集、高山ハイデ及び風衝草原がみられる。また、海岸部の砂丘地、断崖部に砂丘植生、海岸断崖植生がみられる。

代償植生として、ミズナラープナクラス域ではササ草原、ススキ草原、伐跡群落がみられる。また、植林地・耕作地植生として常緑針葉樹植林、トドマツ植林、アカエゾマツ植林、落葉針葉樹植林、落葉広葉樹植林、落葉果樹園、畑地、耕作放棄地雑草群落、牧草地、ゴルフ場、水田がみられる。

1. 4 設備等

該当なし

泊発電所 3 号炉
外部火災影響評価について

目次

1. 基本方針
 1. 1 基本事項
 1. 2 想定する外部火災
 1. 3 防護対象設備

2. 火災の影響評価
 2. 1 森林火災
 2. 2 近隣の産業施設の火災・爆発及び二次的影響（飛来物）
 2. 3 航空機墜落による火災
 2. 4 二次的影響（ばい煙及び有毒ガス）の評価

添付資料

1. 外部火災影響評価対象の考え方について
2. 森林火災による影響評価について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 燃料輸送車両の火災・爆発について
5. 漂流船舶の火災・爆発について
6. 敷地内における危険物施設の火災について
7. 泊発電所の敷地内への航空機墜落による火災について
8. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

<概要>

1. において、想定する外部火災及び評価内容を整理するとともに、外部火災からの防護対象設備を整理する。
2. において、想定する外部火災の影響評価結果及び発電用原子炉施設の安全機能を維持するための運用対策を整理する。

1. 基本方針

1. 1 基本事項

原子力規制委員会の定める「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」（以下，「設置許可基準規則」という。）第6条において，外部からの衝撃による損傷の防止として，安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して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。

このため，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下，「外部火災影響評価ガイド」という。）に基づき，外部火災影響評価を行い，外部火災により，安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

1. 2 想定する外部火災

設置許可基準規則第6条において，敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発，航空機墜落による火災を挙げている。このことから，想定する外部火災は以下のとおりとする。

- (1) 森林火災
- (2) 近隣の産業施設の火災・爆発
- (3) 航空機墜落による火災

また，具体的な評価内容等については，次のとおりである。

第 1.2-1 表 外部火災評価内容

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目
森林火災	発電所敷地外 10km 以内を発火点とした発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) を用いた森林火災評価 森林火災評価に基づく発電用原子炉施設の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 火炎到達時間評価 防火帯幅評価 熱影響評価 危険距離評価
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地外の石油コンビナート等について発電所との距離等を考慮した危険距離及び危険限界距離評価 	<ul style="list-style-type: none"> 危険距離評価 危険限界距離評価
	発電所敷地内の危険物施設の火災	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地内の危険物施設火災による熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災	<ul style="list-style-type: none"> 墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した防護対象設備の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価

二次的影響
(ばい煙,
有毒ガス)
評価

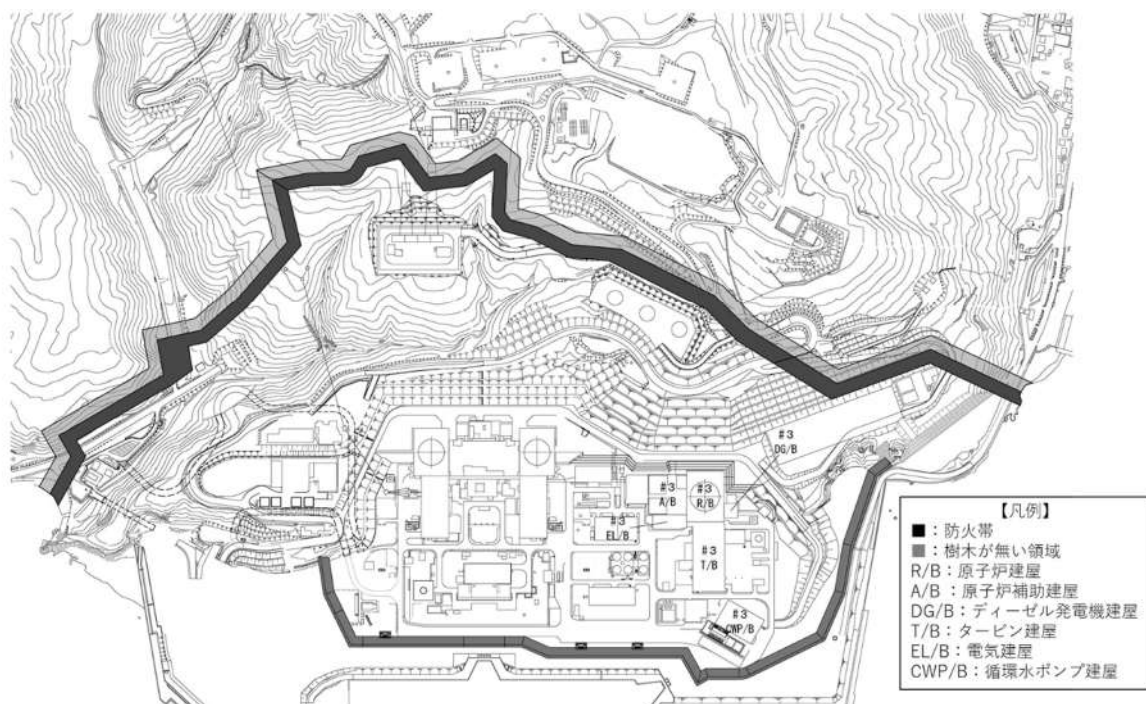
1. 3 防護対象設備 (添付資料-1 参照)

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に係る防護対象とする。

設置許可基準規則第 6 条における安全施設とは、「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」で規定されているクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器 (以下「安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器」という。) とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設等は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器 (発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料ピットの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及び安全評価上その機能に期待するクラス 3 に属する構築物、系統及び機器。) に加え、それらを内包する建屋とする。

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に対し安全機能を損なわない設計とする。



第 1.3-1 図 発電所構内全体図

2. 火災の影響評価

2. 1 森林火災 (添付資料-2 参照)

2. 1. 1 評価内容

発電所敷地外で発生する森林火災が、発電所へ迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

- (1) 火炎到達時間の評価
- (2) 防火帯幅の評価
- (3) 熱影響の評価
- (4) 危険距離の評価

2. 1. 2 評価要領

森林火災の解析にあたっては、外部火災影響評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) を使用し、以下の設定により解析した。

第2.1.2-1表 森林火災評価のための入力データ

データ種類	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	国土数値情報（国土交通省）の100mメッシュの土地利用データを使用した。
植生データ	北海道より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に発電所周辺の植生調査を実施した。 その結果から、保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢により細分化した。
地形データ	基盤地図情報（国土地理院）の10mメッシュの標高データを使用した。
気象データ	北海道において森林火災の発生件数が多い4月から6月における過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。 なお、風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。

10年間の気象観測データで確認された森林火災発生件数の多い4月から6月の卓越風向は東及び北西の2つのグループに分けられる。よって、卓越風向グループの2方向ごとに人為的行為を想定した発火点を設定した。

発火点は以下の2地点を設定した。

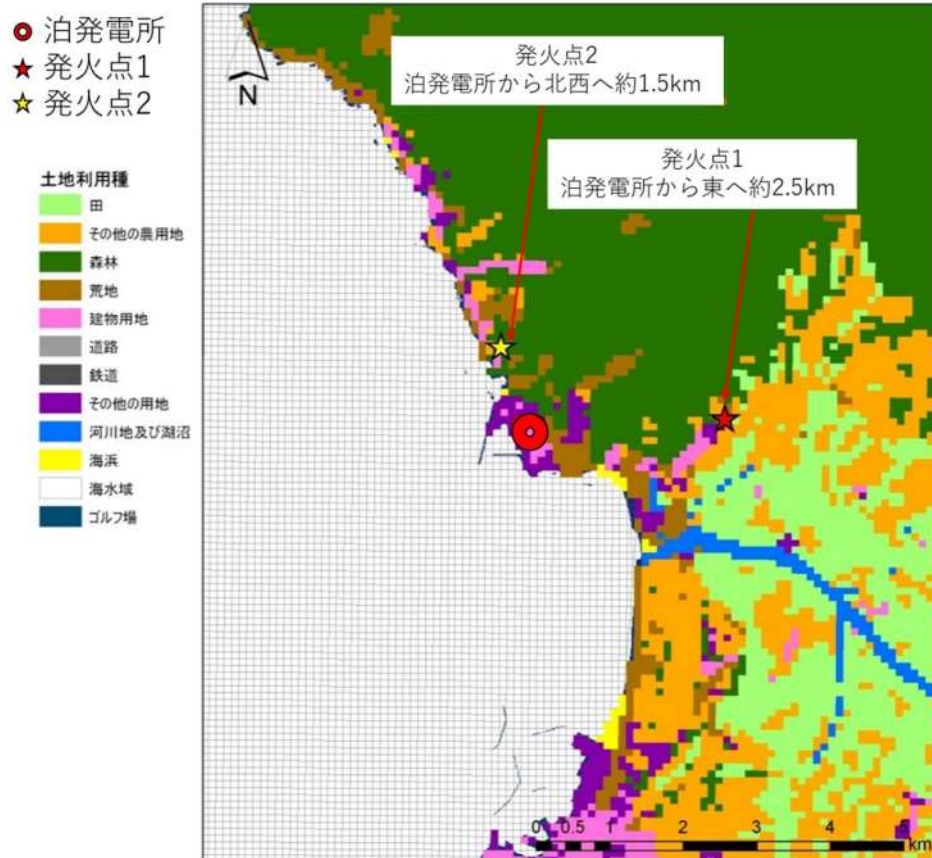
（発火点1）

卓越風向の東方向において、社員寮等の居住区が存在する道路脇畑に発火点を選定する（3号炉原子炉炉心の中心から約2.5km）。

（発火点2）

卓越風向の北西方向において、民家等の居住区が存在する集落端と森林の境界部に発火点を選定する（3号炉原子炉炉心の中心から約1.5kmの距離）。

発電所を含む南、北、東及び西側へ13kmとし、東西26km、南北26kmの範囲を評価対象範囲として設定した。



第 2. 1. 2-1 図 発火点位置

2. 1. 3 評価結果

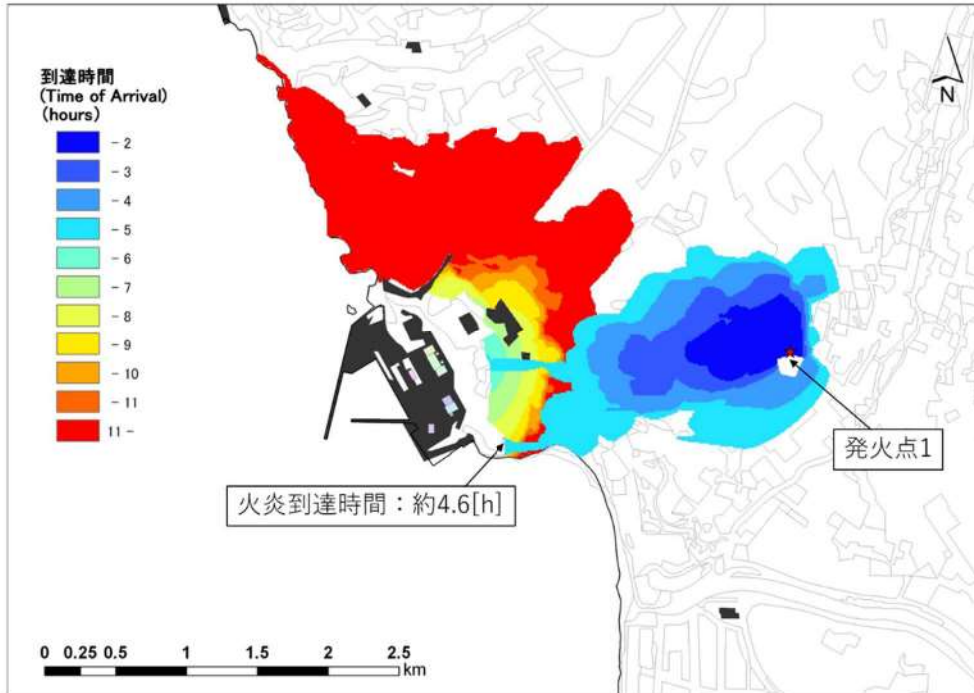
2. 1. 3. 1 火炎到達時間の評価

(1) 火炎到達時間

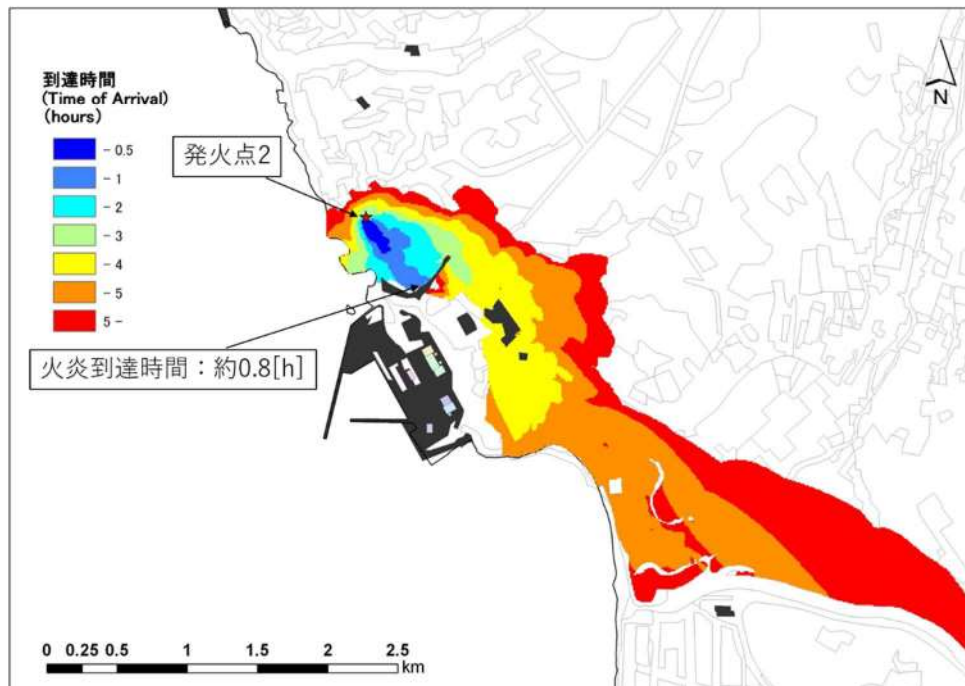
想定した森林火災による防火帯境界までの火炎到達時間は、最も到達時間が短い発火点 2 のケースで約 0.8 時間であることを確認した。

第2. 1. 3. 1-1表 火炎到達時間

発火点位置	火炎到達時間[h]
発火点 1	約 4.6
発火点 2	約 0.8



第 2. 1. 3. 1-1(a) 図 発火点 1：東（道路脇畑）の火炎到達時間



第 2. 1. 3. 1-1(b) 図 発火点 2：北西（集落端と森林の境界部）の火炎到達時間

(2) 予防散水活動及び体制

自衛消防隊の初期消火要員（11 名）が 24 時間常駐しており、早期に予防散水活動の実施体制を確立することが可能であることから、火炎到達時間内での予防散水（周辺の樹木や防火帯等）が可能である。

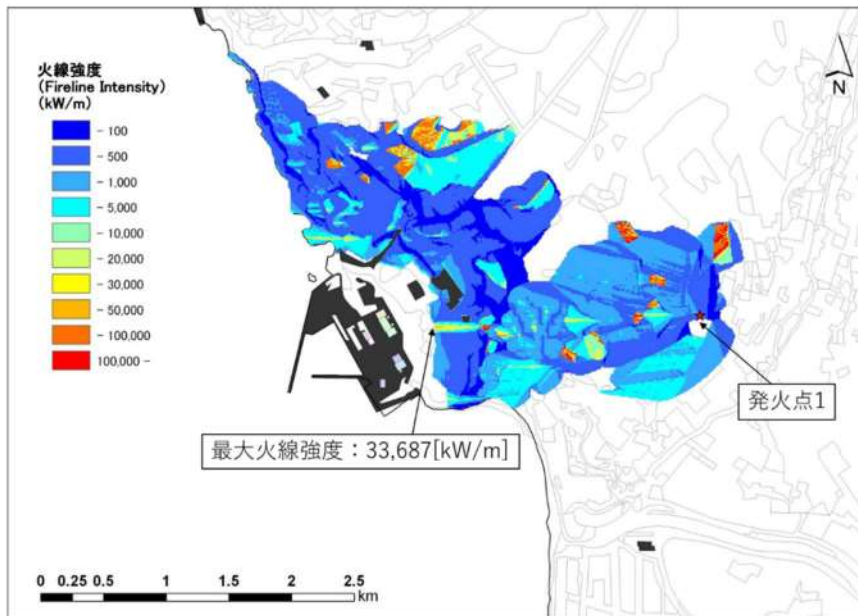
なお、防火帯の外側に設置されているモニタリングポスト及びモニタリングステーション（クラス 3）については、森林火災の進展により可搬型モニタリングポスト（防火帯の内側に保管）による代替測定を実施する。

2. 1. 3. 2 防火帯幅の評価
 (1) 最大火線強度

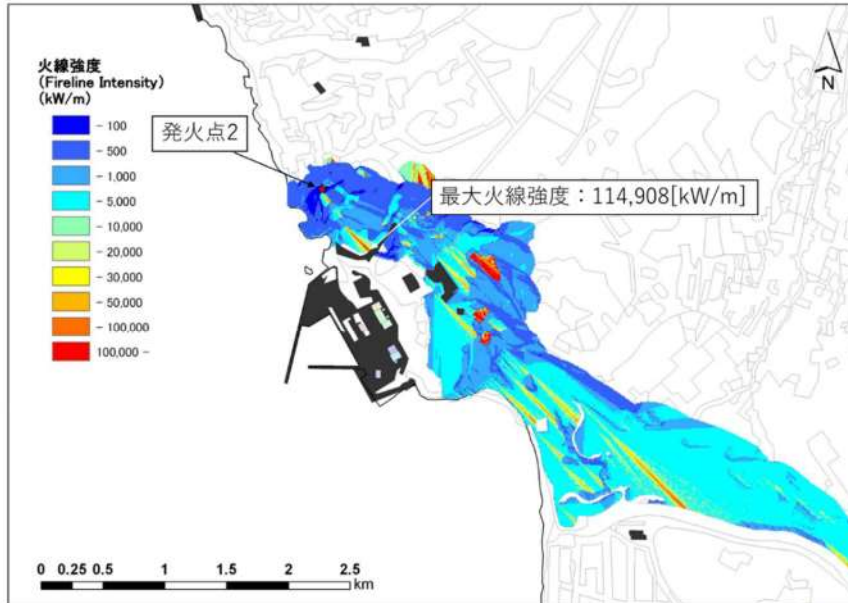
防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度は以下のとおりとなり、最も火線強度が高かった発火点 2 の結果から最大の防火帯幅を決定する。

第2. 1. 3. 2-1表 各発火点の最大火線強度

発火点位置	最大火線強度 [kW/m]
発火点 1	33,687
発火点 2	114,908



第 2. 1. 3. 2-1 (a) 図 発火点 1 : 東 (道路脇畑) の火線強度



第 2.1.3.2-1(b) 図 発火点 2：北西（集落端と森林の境界部）の火線強度

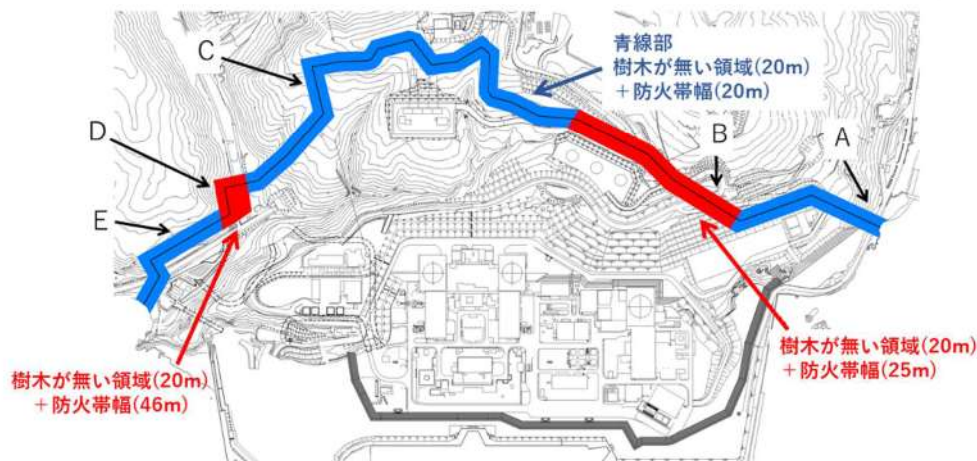
(2) 防火帯幅の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度から「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が無い場合）」を用いて、防火帯幅（火炎の防火帯突破確率 1% の値）を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅が 17.8m（発火点 1）であるため、20m の防火帯幅、45.3m（発火点 2）であるため、46m の防火帯幅を確保することにより延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。

ただし、20m の防火帯幅とする敷地東部の防火帯の一部は、植生等による影響を考慮し、自主的に 25m の防火帯幅を確保する（第 2.1.3.2-2 図の地点 B）。

地点	火線強度[kW/m]		評価上必要とされる防火帯幅[m]		防火帯幅[m]
	発火点1	発火点2	発火点1	発火点2	
A	20,738	960	13.4	6.4	20
B	33,687	720	17.8	6.3	25*
C	1,229	1,540	6.5	6.6	20
D	783	114,908	6.4	45.3	46
E	1,642	6,931	6.6	8.5	20

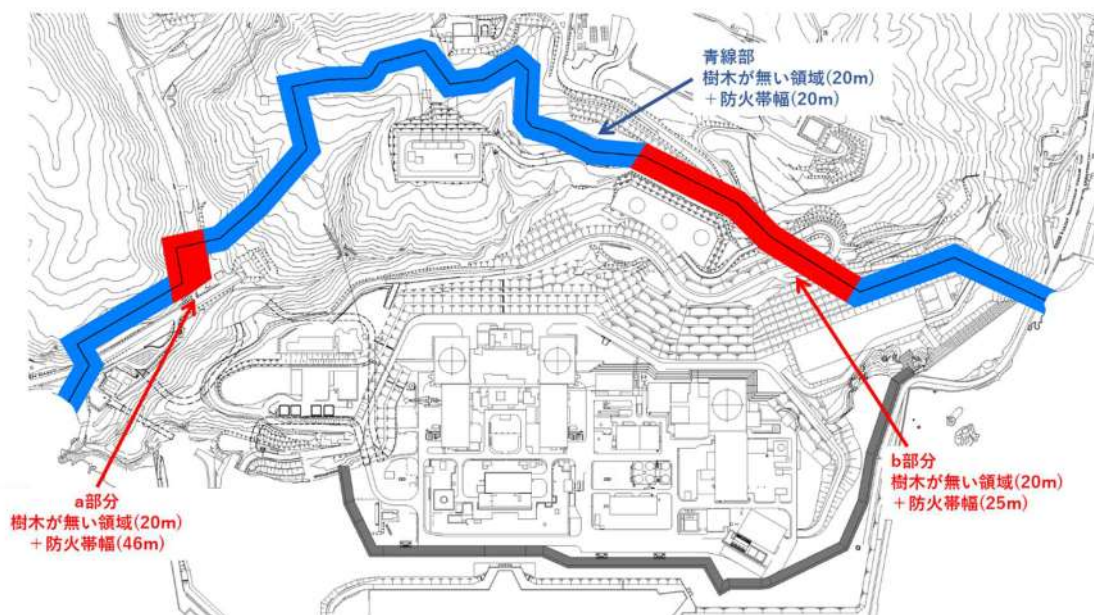
※防火帯幅については火線強度、風向、植生を考慮して自主的に設定（添付資料2 別紙2-12）



第 2.1.3.2-2 図 防火帯幅の設定

(3) 防火帯設定の考え方

- a. 森林火災の延焼を防止するために、森林側から樹木が無い領域及び防火帯を設定する。
- b. 防火帯は防護対象設備（クラス1，クラス2及びクラス3のうち防火帯の確保により防護する設備）及び重大事故等対処設備を囲うように設定する。
- c. 防火帯は発電所設備及び駐車場の配置状況を考慮し，干渉しないように設定する。
- d. 防火帯及び樹木が無い領域の設定に当たっては，草木を伐採する等，可燃物を排除する。その後，防火帯及び一部の樹木が無い領域についてはモルタル吹付けを行い，草木の育成を抑制し，可燃物がない状態を維持する。また，防火帯及び樹木が無い領域の管理（定期的な点検等）の方法を火災防護計画に定める。



第 2.1.3.2-3 図 防火帯設定図

2. 1. 3. 3 熱影響の評価

FARSITE 解析結果である火炎到達時間，反応強度及び火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響がないことを確認した。

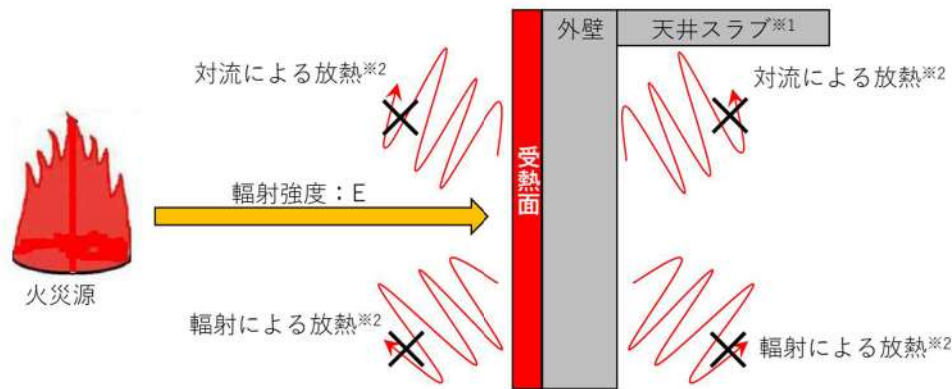
(1) 評価対象施設外壁

森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度である 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-1 表に，建屋外壁の評価概念図を第 2.1.3.3-1 図に示す。

第 2.1.3.3-1 表 外壁表面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度[°C]		許容温度[°C]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉建屋	約 62	約 60	<200
原子炉補助建屋	—※	—※	
ディーゼル発電機建屋	—※	—※	
循環水ポンプ建屋	—※	—※	

※：各評価対象施設の火災源からの距離が、原子炉建屋(200m)に比べて遠い（原子炉補助建屋(230m)、ディーゼル発電機建屋(230m)及び循環水ポンプ建屋(300m)）ことから、原子炉建屋の評価に包絡される。



※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、外壁の評価に包絡される。
 ※2：コンクリート表面温度評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

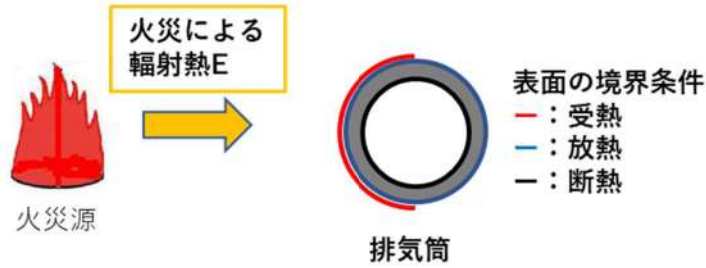
第 2.1.3.3-1 図 建屋外壁の評価概念図

(2) 排気筒

森林火災によって上昇する排気筒表面温度が、許容温度 325°C以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-2 表に、排気筒の評価概念図を第 2.1.3.3-2 図に示す。

第 2.1.3.3-2 表 排気筒の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度[°C]		許容温度[°C]
	発火点 1	発火点 2	
排気筒	約 60	約 71	<325



第2.1.3.3-2図 排気筒の評価概念図

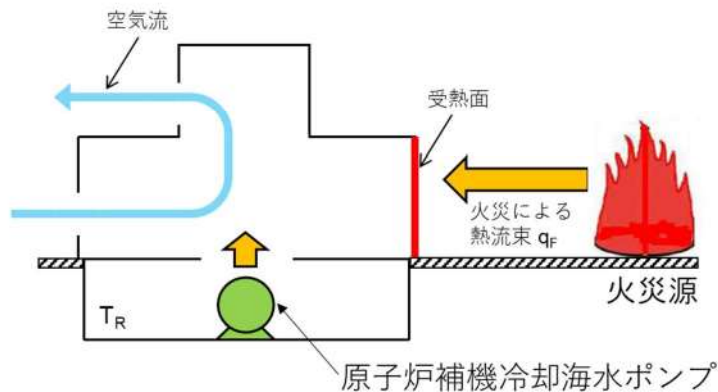
(3) 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受 80℃）であることを確認した。

評価結果を第 2.1.3.3-3 表に、原子炉補機冷却海水ポンプの評価概念図を第 2.1.3.3-3 図に示す。

第 2.1.3.3-3 表 原子炉補機冷却海水ポンプの熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度[℃]		許容温度[℃]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 44	約 46	<80



第2.1.3.3-3図 原子炉補機冷却海水ポンプの評価概念図

2.1.3.4 危険距離の評価

熱影響が最大となる発火点に対し、評価対象施設が許容温度を超えない危険距離を算出し、離隔距離が確保されていることを確認した。

(1) 評価対象施設外壁

熱影響が最大となる発火点 1 に対し、各評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.1.3.4-1 表に示す。

第 2.1.3.4-1 表 評価対象施設に対する危険距離

評価対象施設	危険距離[m]		離隔距離[m]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉建屋	34.0	24.7	200
原子炉補助建屋			230
ディーゼル発電機建屋			230
循環水ポンプ建屋			300

(2) 排気筒

熱影響が最大となる発火点 2 に対し、排気筒までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.1.3.4-2 表に示す。

第 2.1.3.4-2 表 排気筒に対する危険距離

評価対象施設	危険距離[m]		離隔距離[m]
	発火点 1	発火点 2	
排気筒	35.4	54.0	200

(3) 原子炉補機冷却海水ポンプ

熱影響が最大となる発火点 2 に対し、原子炉補機冷却海水ポンプまでの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.1.3.4-3 表に示す。

第 2.1.3.4-3 表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する危険距離

評価対象施設	危険距離[m]		離隔距離[m]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉補機冷却海水ポンプ	62.0	75.3	300

2.2 近隣の産業施設の火災・爆発及び二次的影響（飛来物）（添付資料-3, 4, 5, 6）

2.2.1 評価内容

発電所敷地外 10km 以内に設置されている石油コンビナート及び危険物貯蔵施設、燃料輸送車両及び漂流船舶の火災、ガス爆発が泊発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

また、発電所敷地内における危険物施設の火災が、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

2.2.2 評価結果

2.2.2.1 石油コンビナート等の影響評価

石油コンビナート等災害防止法で規制される北海道内の特別防災区域は、釧路地区、苫小牧地区、石狩地区、室蘭地区、北斗地区及び知内地区の六箇所存在するが、これらは、それぞれ泊発電所から約 70km 以上離れており、いずれも泊発電所から 10km 以遠である（第 2.2.2.1-1 図）。

また、泊発電所から 10km 圏内に LPG 基地がないことを確認している。なお、泊発電所から最短距離にあるガスパイプラインは小樽地区であり、泊発電所から約 40km 離れていることを確認した。以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



※緑破線部の拡大図を下記に示す



第 2. 2. 2. 1-1 図 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

2. 2. 2. 2 敷地外危険物貯蔵施設等の影響評価

(1) 危険物施設の影響評価

泊発電所から半径 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設を消防法に基づき抽出した。

泊発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）に仮想危険物貯蔵施設（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を設定し熱影響評価を実施した結果より、発電所から 1,500m 圏内に存在する危険物貯蔵施設に対して、熱影響評価を実施する。



第 2.2.2.2-1 図 泊発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設

a. 火災の影響評価

発電所敷地外 1,500m 圏内の危険物施設において評価を行ったところ、評価上必要とされる危険距離に対し、最短距離の危険物貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

第 2.2.2.2-1 表 危険物貯蔵施設における危険距離の評価結果

評価対象施設	燃料油種	貯蔵数量 [kL]	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	灯油	[]	1,450	74
原子炉補助建屋			1,500	
ディーゼル発電機建屋			1,500	
循環水ポンプ建屋			1,600	
排気筒	ガソリン	[]	1,450	53
原子炉補機冷却海水ポンプ			1,600	109

(2) 高圧ガス貯蔵施設の影響評価

泊発電所から半径 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は [] であり、泊発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離は約 5,700[m]であった。

最短離隔距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 [] があったとして、評価を行ったところ、評価上必要とされる危険距離に対し、最短距離の高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 2. 2. 2. 2-2 表 高圧ガス貯蔵施設における危険距離の評価結果

評価対象施設	燃料油種	貯蔵数量 [t]	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	プロパン	[]	5,850	22
原子炉補助建屋			5,900	
ディーゼル発電機建屋			5,800	
循環水ポンプ建屋			5,700	
排気筒			5,850	16
原子炉補機冷却海水ポンプ			5,700	30

(3) 二次的影響（飛来物）の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月消防庁特
殊災害室）に基づき、高圧ガス貯蔵施設における飛来物飛散範囲を確認す
る。

当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行ったところ、
発電用原子炉施設（循環水ポンプ建屋）までの離隔距離が飛来物到達距離
以上あり、発電用原子炉施設への影響がないことを確認した。

よって、発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災・爆発が発生し
た場合においても発電所への影響はないことを確認した。

第 2. 2. 2. 2-3 表 高圧ガス貯蔵施設からの飛来物到達距離と離隔距離

ガス種類	貯蔵数量[t]	飛来物到達距離[m]	離隔距離[m]
液化石油ガス	[]	1,217	5,700

2. 2. 2. 3 燃料輸送車両の影響評価

燃料を搭載した燃料輸送車両が発電所敷地外の公道において発電用原子炉施
設に最も近い場所（想定される輸送ルート上）で火災・爆発を起こした場合を
想定して、発電用原子炉施設への熱影響を評価する。

(1) 燃料輸送車両の火災影響評価

燃料積載量は消防法（危険物の規制に関する政令第 15 条第 1 項三号）に
おいて定められている移動タンク貯蔵所の上限量（=30kL）のガソリンが満
載されているものとする。

熱影響評価の結果、評価上必要とされる危険距離に対し、火災源から発
電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離を上回っており、発電用原子炉
施設への影響はない。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 2. 2. 2. 3-1 表 燃料輸送車両による火災の危険距離と離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	750	23
原子炉補助建屋	700	
ディーゼル発電機建屋	800	
循環水ポンプ建屋	850	
排気筒	750	10
原子炉補機冷却海水ポンプ	850	21



第 2. 2. 2. 3-1 図 燃料輸送車両火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

(2) 燃料輸送車両のガス爆発影響評価

また、高圧ガスを輸送する車両による影響として、発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である [] のプロパンを積載した車両による影響評価を実施したところ、評価上必要とされる危険限界距離に対し、火災源から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離を上回っており、発電用原子炉施設への影響はない。

第 2. 2. 2. 3-2 表 高圧ガス輸送車両の爆発の危険距離と離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]	危険限界距離[m]
原子炉建屋	4,400	87
原子炉補助建屋	4,450	
ディーゼル発電機建屋	4,350	
循環水ポンプ建屋	4,300	
排気筒	4,400	
原子炉補機冷却海水ポンプ	4,300	

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第 2. 2. 2. 3-2 図 高圧ガス輸送車両火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

2. 2. 2. 4 漂流船舶の影響評価

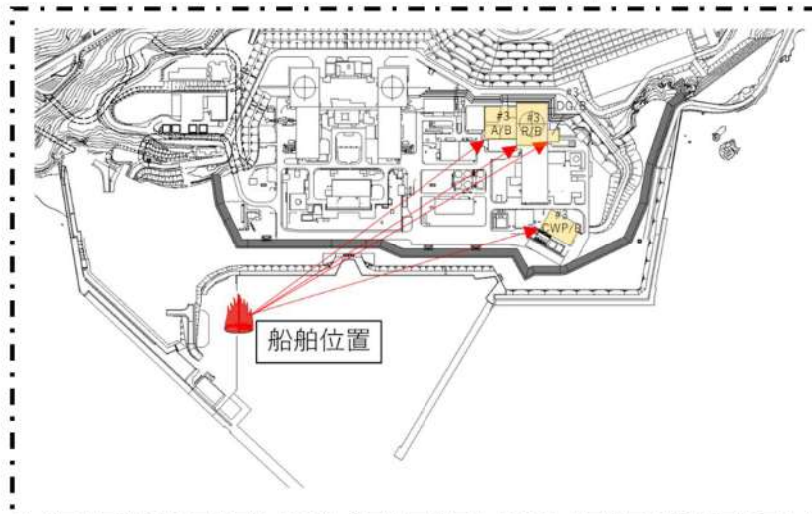
泊発電所周辺には石油コンビナートが無く、大型タンカー等の主要航路が発電所から 30km 以上離れていることから、発電所港湾施設に入港する船舶の中で燃料の積載量が最大の船舶である燃料等輸送船の火災を想定する。

熱影響評価の結果、評価上必要とされる危険距離に対し、港湾から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離を上回っており、発電用原子炉施設への影響はない。

なお、熱影響評価に当たっては防潮堤がないものとして評価している。

第 2. 2. 2. 4-1 表 船舶による火災の危険距離と離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	624	90
原子炉補助建屋	587	
ディーゼル発電機建屋	673	
循環水ポンプ建屋	587	
排気筒	624	29
原子炉補機冷却海水ポンプ	587	80



第 2. 2. 2. 4-1 図 船舶火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

追而【基準津波審査の反映】
 (上記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)

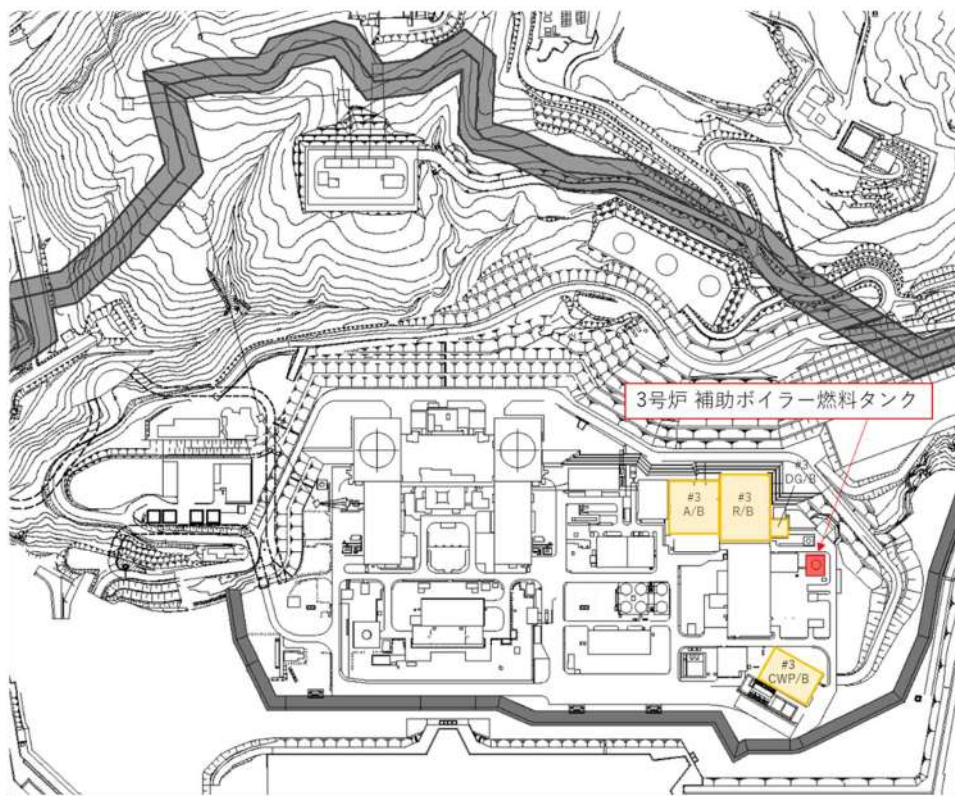
2. 2. 2. 5 敷地内危険物施設等の影響評価

(1) 敷地内危険物施設の火災影響評価

発電所敷地内に位置している屋外の危険物施設の火災を想定し、発電用原子炉施設の熱影響評価を実施する。

熱影響評価を実施する危険物施設は、3号炉補助ボイラー燃料タンクとする。

なお、敷地内危険物施設の内、直接輻射熱を受けない建屋内に設置している設備、地下貯蔵タンク等については、評価対象外とする。



第 2. 2. 2. 5-1 図 発電所敷地内における危険物施設等の位置

a. 外壁に対する熱影響評価

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で評価対象施設外壁が昇温されるものとして、コンクリート表面温度を評価した結果、評価対象施設外壁のコンクリート表面温度が許容温度200℃（火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度）以下であることを確認した。評価結果を第2.2.2.5-1表に示す。ただし、ディーゼル発電機建屋外壁のコンクリート表面温度の評価にあたっては外壁に設置した障壁（断熱材）の効果を加味した。

第2.2.2.5-1表 外壁に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉補助ボイラー燃料タンク	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
原子炉建屋	約 157	<200
原子炉補助建屋	—※1	
ディーゼル発電機建屋	約 140	
循環水ポンプ建屋	—※1	

※1：原子炉補助建屋及び循環水ポンプ建屋の評価は原子炉建屋の評価に包絡される。

b. 排気筒に対する熱影響評価

排気筒について温度上昇を評価した結果、排気筒の温度は約105℃となり、許容温度325℃以下であることを確認した。評価結果を第2.2.2.5-2表に示す。

第2.2.2.5-2表 排気筒に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉補助ボイラー燃料タンク	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
排気筒	約 105	<325

c. 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

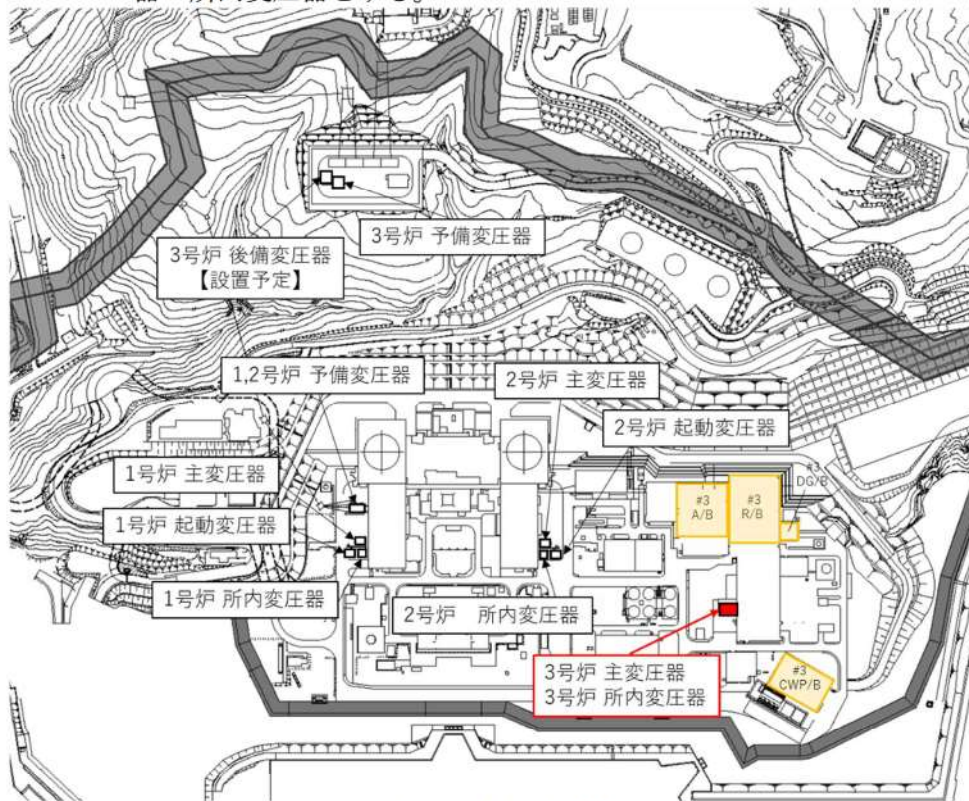
原子炉補機冷却海水ポンプについて温度上昇を評価した結果、冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受80℃）であることを確認した。評価結果を第2.2.2.5-3表に示す。

第2.2.2.5-3表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉補助ボイラー燃料タンク	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 53	<80

(2) 変圧器の火災影響評価

発電所敷地内の変圧器火災を想定し、発電用原子炉施設の熱影響評価を実施する。熱影響評価を実施する変圧器は、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器とする。



第 2.2.2.5-2 図 変圧器の位置

a. 外壁に対する熱影響評価

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器について、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で建屋外壁が昇温されるものとして、コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃（火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度）以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5-4 表に示す。

第 2.2.2.5-4 表 外壁に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉主変圧器・所内変圧器	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
原子炉建屋	約 88	<200
原子炉補助建屋	—※1	
ディーゼル発電機建屋	—※1	
循環水ポンプ建屋	—※1	

※1：原子炉補助建屋(75m)、ディーゼル発電機建屋(90m)及び循環水ポンプ建屋(81m)は原子炉建屋(64m)よりも火災源からの距離が遠いことから、原子炉建屋の評価に包絡される。

b. 排気筒に対する熱影響評価

排気筒について温度上昇を評価した結果、許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5-5 表に示す。

第 2.2.2.5-5 表 排気筒に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉主変圧器・所内変圧器	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
排気筒	約 63	<325

c. 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受 80℃）であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5-6 表に示す。

第 2.2.2.5-6 表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉主変圧器・所内変圧器	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 46	<80

2.3 航空機墜落による火災（添付資料-7）

2.3.1 評価内容

発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が泊発電所の敷地内で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを確認する。

2.3.2 評価結果

2.3.2.1 評価方法

航空機墜落確率評価については、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて墜落確率を求めている。

評価において考慮する航空機落下事故については、航空機の機種によって、装備、飛行形態等が同一ではなく、落下事故件数及び火災影響の大きさに差があることから、これらを考慮したカテゴリごとに航空機墜落による火災の影響評価を実施する。

落下事故のカテゴリを第 2.3.2.1-1 表に示す。

第 2.3.2.1-1 表 落下事故のカテゴリ

1) 計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	—※1
	航空路を巡行中	—※2
2) 有視界飛行方式民間航空機		大型民間航空機
		小型民間航空機
3) 自衛隊機又は米軍機	訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡行が想定される大型固定翼機※3, 4
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機※3, 4
	基地－訓練空域間往復時	—※5

※1：泊発電所は，札幌空港及び新千歳空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外。

※2：泊発電所上空に航空路は存在しないため対象外。

※3：泊発電所周辺上空は自衛隊機の訓練空域であるため，自衛隊機は訓練中の落下事故を評価対象とする。

※4：泊発電所周辺上空は米軍機の訓練空域がないため，米軍機は訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

※5：泊発電所は基地－訓練空域間の往復の想定範囲内にはないため対象外。

航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年] に相当する面積より，航空機墜落確率評価で標的面積として考慮している発電用原子炉施設からの離隔距離（墜落地点）を求め，そこで発生する火災による発電用原子炉施設の表面温度を評価し，許容温度を超えないことを確認する。

2.3.2.2 離隔距離の算出

防護対象となる発電用原子炉施設（原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋）を考慮し，墜落確率 10^{-7} [回/炉・年] に相当する面積より，カテゴリごとの離隔距離を算出する。

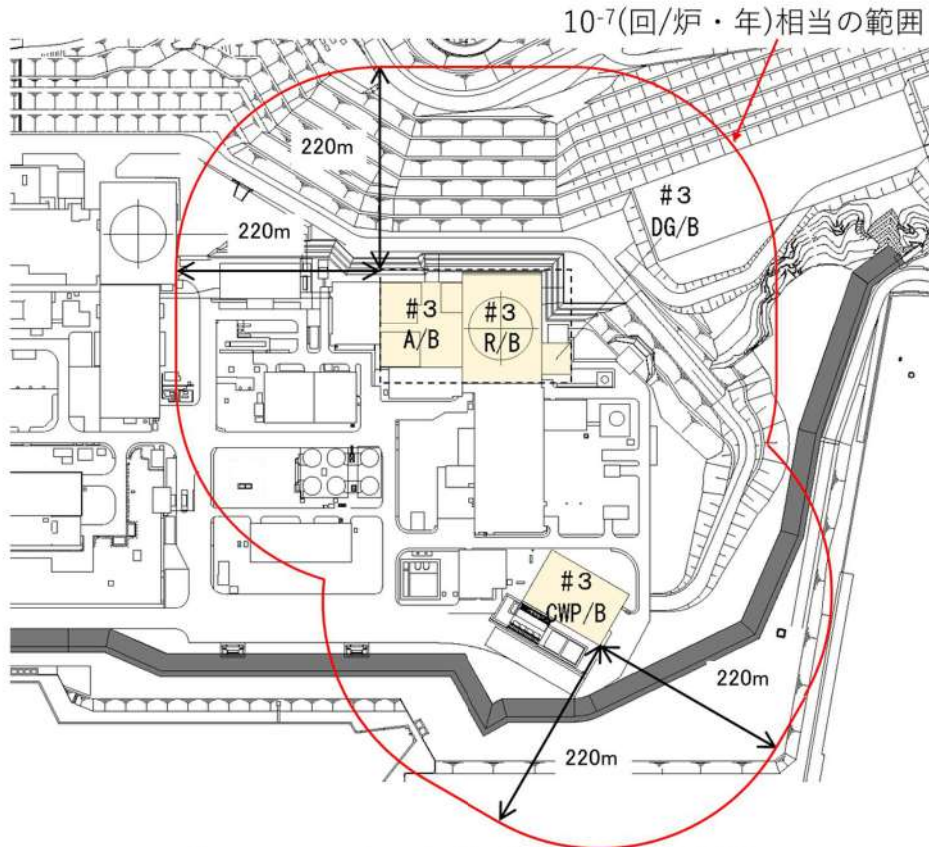
第 2.3.2.2-1 表 落下事故のカテゴリごとの離隔距離及び輻射強度

分類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	小型民間航空機	訓練空域内	訓練空域外	
			その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	空中給油機等，高高度での巡行が想定される大型固定翼機	その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400	Do228-200	F-15	KC-767	F-15
離隔距離 L[m]	220	120	100	290	140
輻射発散度 [W/m ²]	50,000	50,000	58,000	58,000	58,000
輻射強度 [W/m ²]	455	—※1	162.4	—※2	—※3

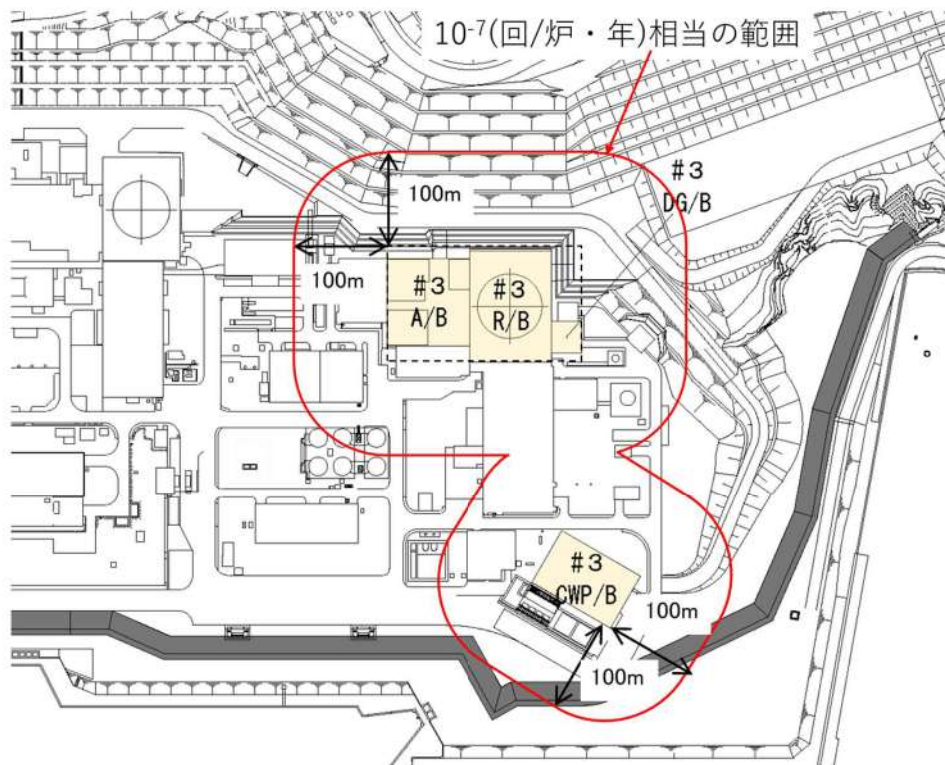
※1：燃料積載量が多く，離隔距離が短い自衛隊機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：燃料積載量が多く，離隔距離が短い大型民間航空機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：対象航空機が同一で，離隔距離が短い自衛隊機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。



第 2.3.2.2-1 図 大型民間航空機の離隔距離

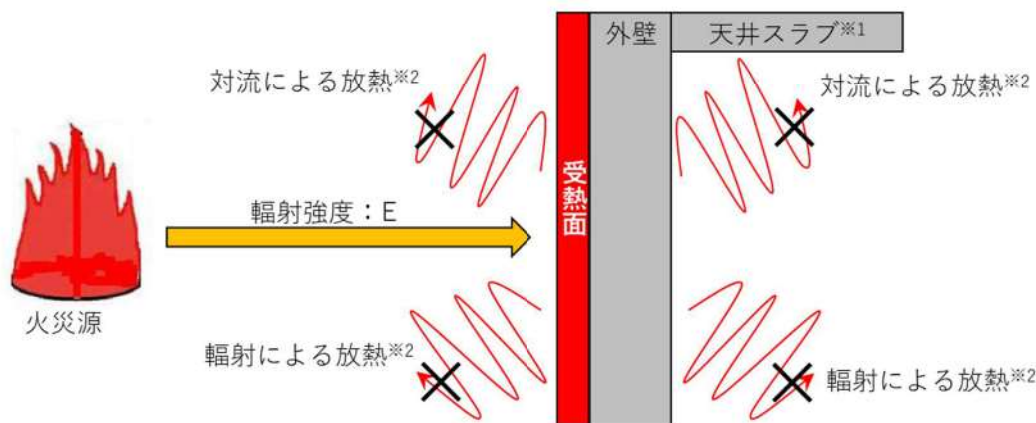


第 2.3.2.2-2 図 自衛隊機又は米軍機（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）の離隔距離

2. 3. 2. 3 火災影響評価結果

(1) 建屋外壁面温度評価

航空機墜落により泊発電所の敷地内で火災が発生した場合を想定したとしても、発電用原子炉施設外壁の温度が許容温度 200℃（火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度）を超えないことを確認した。



- ※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、外壁の評価に包絡される。
 ※2：コンクリート表面温度評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

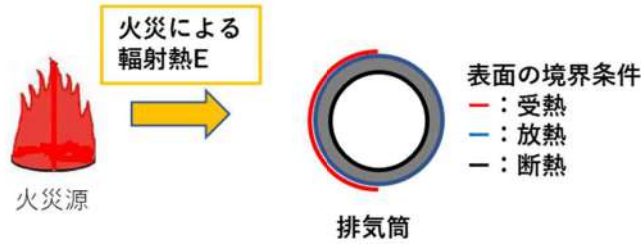
第 2. 3. 2. 3-1 図 建屋外壁の評価概念図

第 2. 3. 2. 3-1 表 航空機墜落による火災時の建屋外壁温度評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機、小型 固定翼機及び回転翼機
燃料タンク面積[m ²]	700	44.6
輻射強度[W/m ²]	455	162.4
燃焼継続時間[s]	6,660	4,968
評価温度[℃]	約 71	約 57
許容温度[℃]	200	200

(2) 排気筒に対する熱影響評価

排気筒について温度上昇を評価した結果、排気筒の温度は約 84℃となり、排気筒鋼材の許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2. 3. 2. 3-2 表に示す。



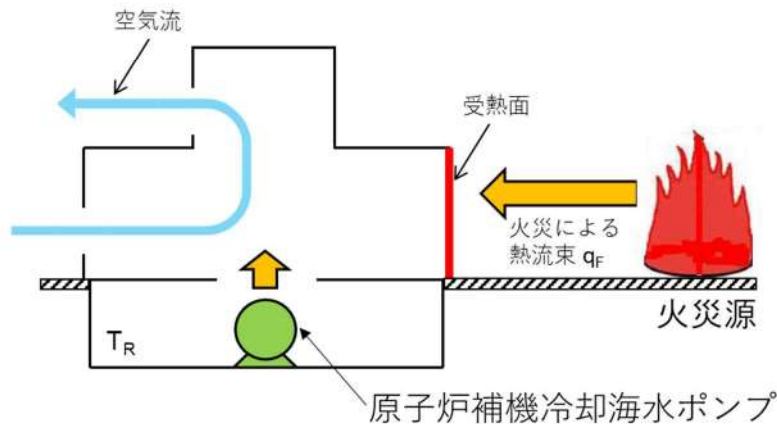
第2.3.2.3-2図 排気筒の評価概念図

第2.3.2.3-2表 排気筒に対する熱影響評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機, 小型 固定翼機及び回転翼機
評価温度[°C]	約 64	約 55
許容温度[°C]	325	325

(3) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受 80°C）であることを確認した。評価結果を第2.3.2.3-3表に示す。



第2.3.2.3-3図 原子炉補機冷却海水ポンプの評価概念図

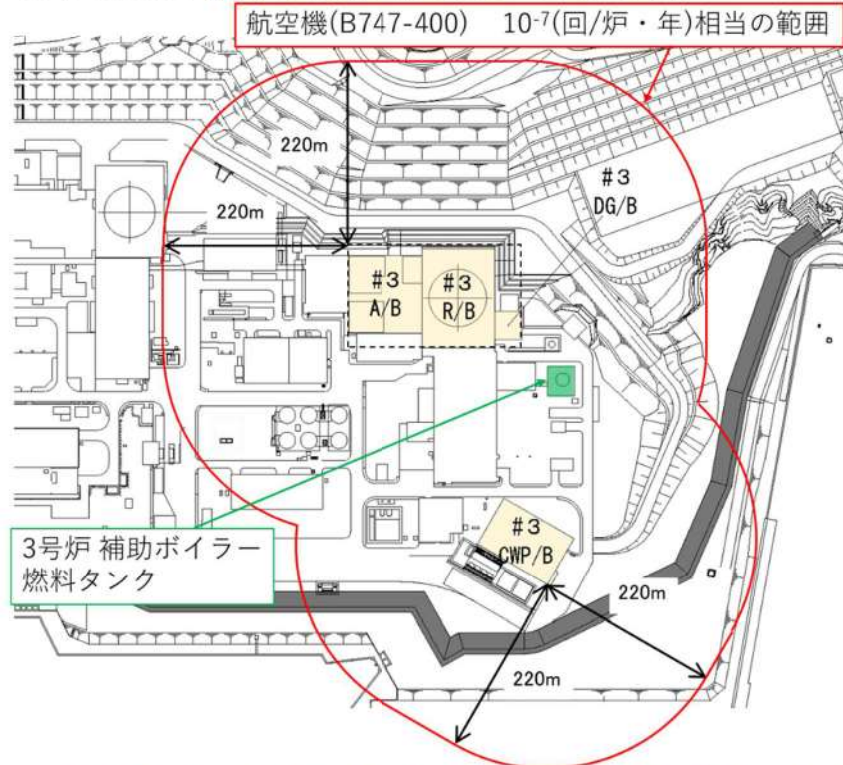
第2.3.2.3-3表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機, 小型 固定翼機及び回転翼機
評価温度[°C]	約 49	約 44
許容温度[°C]	80	80

(4) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳について

危険物貯蔵施設等と航空機墜落火災との重畳を想定し、熱影響評価を実施した。想定する航空機は対象航空機の中で熱影響が大きい B747-400 を想定した。重畳する危険物貯蔵施設等は 3 号炉補助ボイラー燃料タンクとした。また、ディーゼル発電機建屋外壁のコンクリート表面温度の評価にあたっては外壁に設置した断熱材の効果を加味した。

評価結果を第 2.3.2.3-4 表に、航空機墜落位置と敷地内の危険物貯蔵施設等の重畳を考慮する位置を第 2.3.2.3-4 図に示す。



第 2.3.2.3-4 図 航空機墜落位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置

第 2.3.2.3-4 表 重畳火災による熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
B-747-400 及び 3 号炉補助 ボイラー燃料タ ンク	原子炉建屋	約 163	200
	原子炉補助建屋	—※1	
	ディーゼル発電機建屋	約 151	
	循環水ポンプ建屋	—※1	325
	排気筒	約 119	
	原子炉補機冷却海水ポンプ	約 59	

※1：原子炉補助建屋及び循環水ポンプ建屋の評価は原子炉建屋の評価に包絡される。

2. 4 二次的影響（ばい煙及び有毒ガス）の評価（添付資料-8）

2. 4. 1 評価内容

森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙等に対して、影響が想定される機器及び施設について評価を実施する。

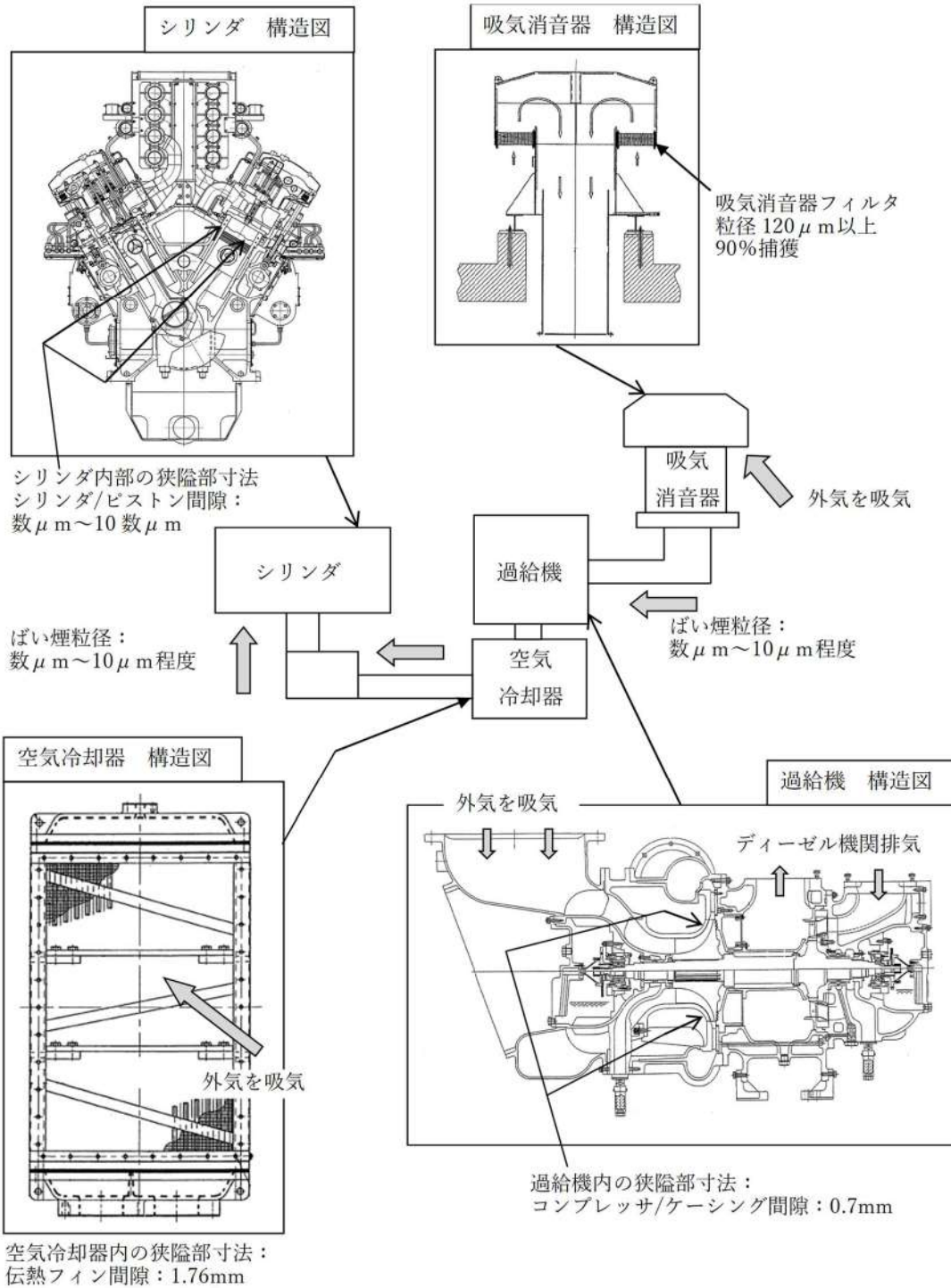
2. 4. 2 評価結果

ばい煙等による評価対象施設に対する影響及び居住性に影響を及ぼさないことを以下のとおり確認する。

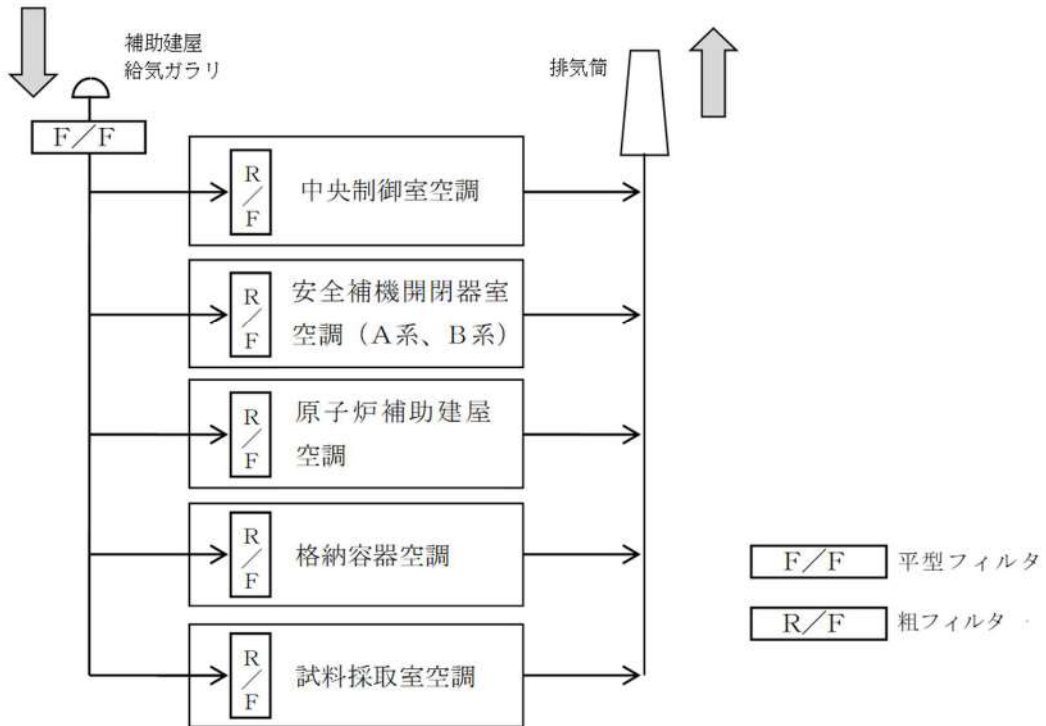
第 2. 4. 2-1 表 評価対象施設に対する影響評価結果

分類	対象設備	評価結果
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	<p>ディーゼル発電機</p> <ul style="list-style-type: none"> 当該設備の運転時において、ばい煙を機関内に吸い込むおそれがあるが、シリンダまでの通気経路の間隔よりばい煙の粒径が小さいため、通気経路が閉塞することなく、運転に影響はない(第 2. 4. 2-1 図)。 通常運転においても燃料油(軽油)の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、機関に損傷を与えることや運転機能を阻害することはない。
	外気を取り込む換気空調設備	<p>換気空調設備</p> <ul style="list-style-type: none"> 外気取り入れ運転を行っている換気空調設備は、外気取入口には平型フィルタ(主として粒径が 5 μm より大きい粒子を除去)を設置しているため、一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに、外気取入ダンパを閉止又は換気空調設備停止や閉回路循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止することが可能である(第 2. 4. 2-2(a) 図)。 室内の空気を機器内に取り込む安全保護系計装盤を設置している空調装置には、平型フィルタに加えて粗フィルタ(主として粒径が 2 μm より大きい粒子を除去)を設置しているため、更に細かい粒子を捕集することが可能であり、ばい煙に対して高い防護性能を有している(第 2. 4. 2-2(b) 図)。
	外気を取り込む機器	<p>原子炉補機冷却海水ポンプ</p> <ul style="list-style-type: none"> 外気を電動機内部に取り込まない構造であり、電動機内部にばい煙が侵入することはない。 ばい煙の粒径は空気冷却器冷却管径と比べて十分小さいことから閉塞することはない(第 2. 4. 2-3 図)。
	建屋外部に開口部を有する機器	<p>主蒸気逃がし弁等</p> <ul style="list-style-type: none"> ばい煙が内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響はない(第 2. 4. 2-4 図)。
	居住性への影響	<p>中央制御室</p> <ul style="list-style-type: none"> 外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転への切替えにより、酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙侵入を阻止することが可能である(第 2. 4. 2-5 図)。 外気取入口での有毒ガス濃度が判定基準(IDLH 値[※])以下であることから、中央制御室の居住性に影響はない。

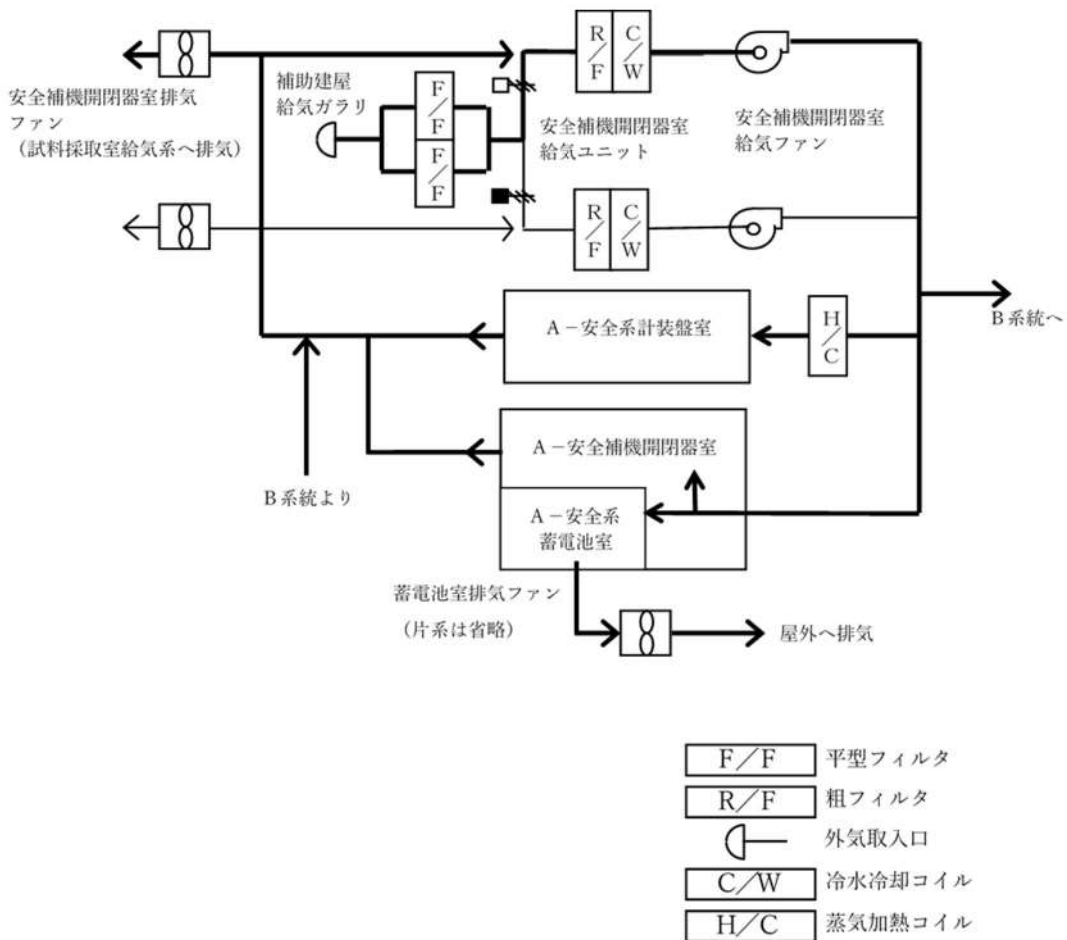
※：30 分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値



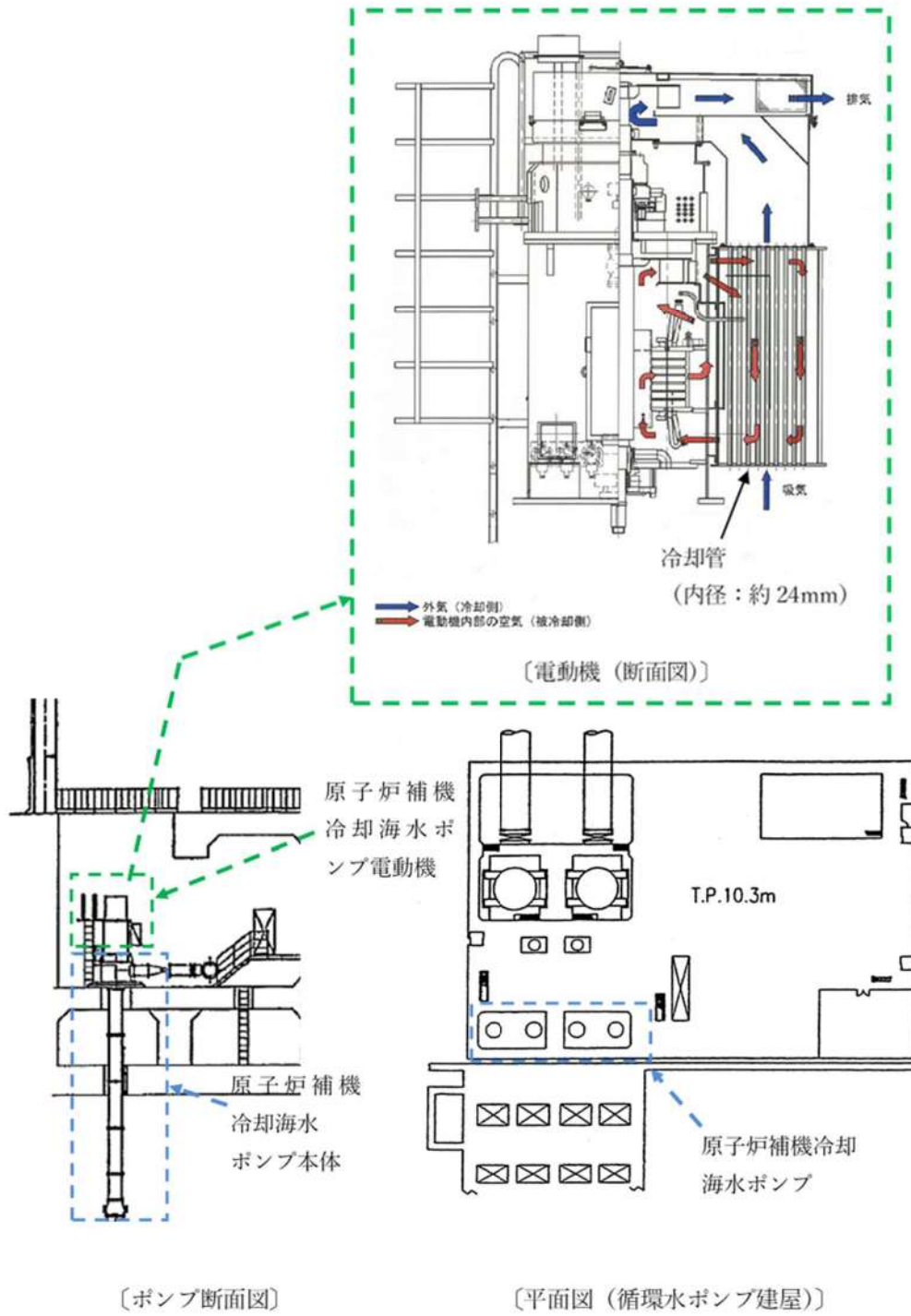
第 2.4.2-1 図 ディーゼル発電機関



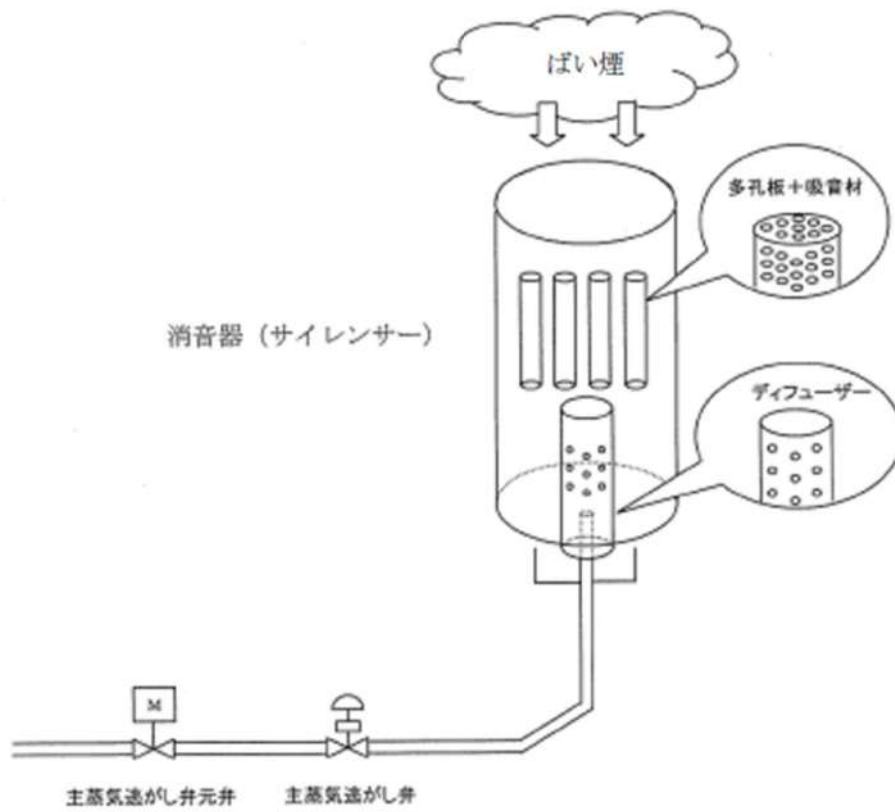
第 2. 4. 2-2(a) 図 原子炉補助建屋換気空調設備



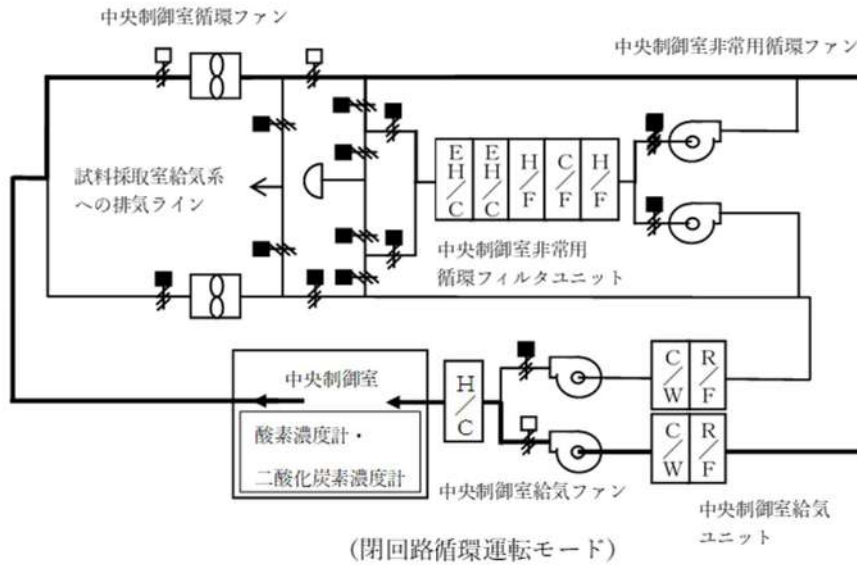
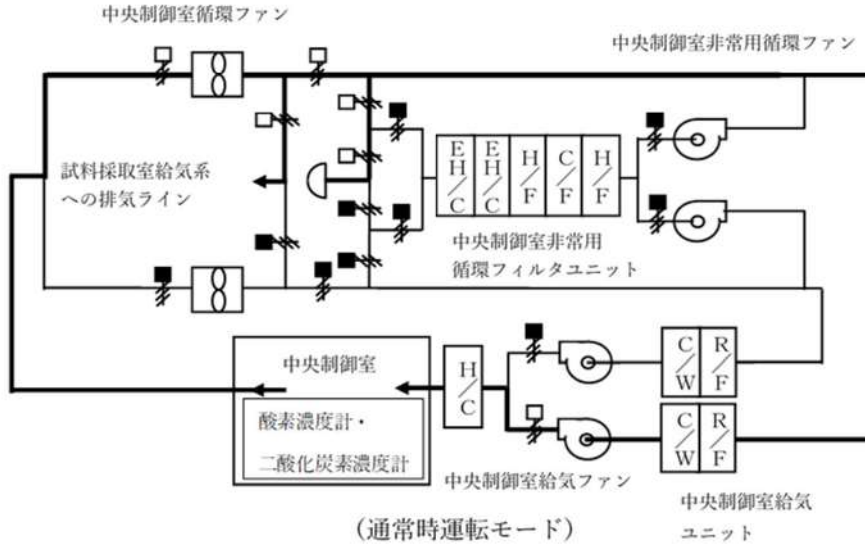
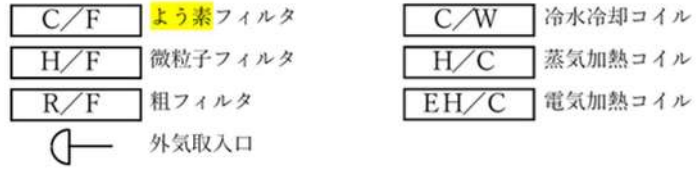
第 2. 4. 2-2(b) 図 安全補機開閉器室空調装置



第 2.4.2-3 図 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機外形図



第 2. 4. 2-4 図 主蒸気逃がし弁出口配管形状及び消音器の構造



第 2.4.2-5 図 中央制御室空調装置運転モード (通常時・閉回路循環)

第 2.4.2-2 表 外気遮断時の中央制御室の酸素・二酸化炭素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8 時間	10 時間	12 時間	許容濃度
二酸化炭素濃度[%]	0.06	0.09	0.11	0.14	0.17	0.19	1.0
酸素濃度[%]	20.91	20.87	20.83	20.80	20.76	20.72	19

以上

外部火災影響評価対象の考え方について

1. 外部火災影響評価対象の考え方

原子力規制委員会の定める「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（以下「設置許可基準規則」という。）」第6条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第7条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して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。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（以下「評価ガイド」という。）」に基づき、外部火災影響評価を行い、外部火災により、発電用原子炉施設へ影響を与えないこと及び二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求事項を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、防護対象は「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」において安全機能を有する安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。今回、防護対象とした構築物、系統及び機器については、外部火災発生時には、原則防火帯の内側で防護し、建屋による防護等により影響を及ぼさないよう防護する。

(1) 外部事象防護対象施設

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設等は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料ピットの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器）に加え、それらを内包する建屋とする。その上で、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔で防護するため、想定される外部火災に対して熱影響評価、ばい煙等による影響評価を実施する（第1-1図、第1-3表）。

(2) その他の安全施設

その他の安全施設は、原則として、防火帯により防護し、外部火災で損傷した場合であっても、代替手段があること等により、その安全機能を損なわない設計とする。

2. 影響評価内容

(1) 熱影響評価について

外部事象防護対象施設のうち、外部火災の影響を受ける評価対象施設については、評価ガイドに基づき、建屋の外側（コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁）の熱影響に対する耐性評価を実施する。選定フロー（第 1-2 図）に基づき抽出する施設のうち、屋内設置の外部事象防護対象施設については、内包する建屋により防護することとし、評価対象施設として抽出された建屋側面のコンクリート壁の温度評価を実施し、建屋内の外部事象防護対象施設に影響を及ぼさないことを確認する。

ただし、評価対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは、循環水ポンプ建屋に収納されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

なお、評価対象施設のうちタービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁については、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ）として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とすることから、熱影響評価は実施しない。また、屋外の評価対象施設については、各機器について熱影響評価を実施する（第 1-1 表）。

(2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設については、ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響評価として、ディーゼル発電機等について影響評価を実施する。

選定フロー（第 1-3 図）に基づき、ばい煙等による影響評価の評価対象施設を抽出し、評価を実施する。

a. 外気を取り込む設備

- ・原子炉補機冷却海水ポンプ

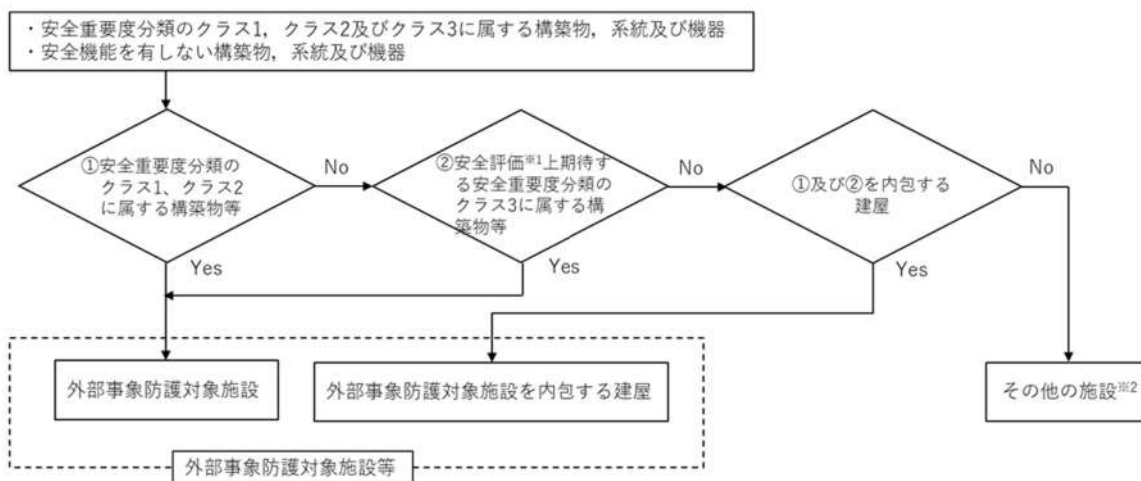
b. 換気空調設備で給気されるエリアの設置機器

- ・ディーゼル発電機
- ・安全保護系
- ・制御用空気圧縮機

c. 建屋外部に開口部を有する設備

- ・主蒸気逃がし弁
- ・主蒸気安全弁
- ・排気筒
- ・タービン動補助給水ポンプ排気管

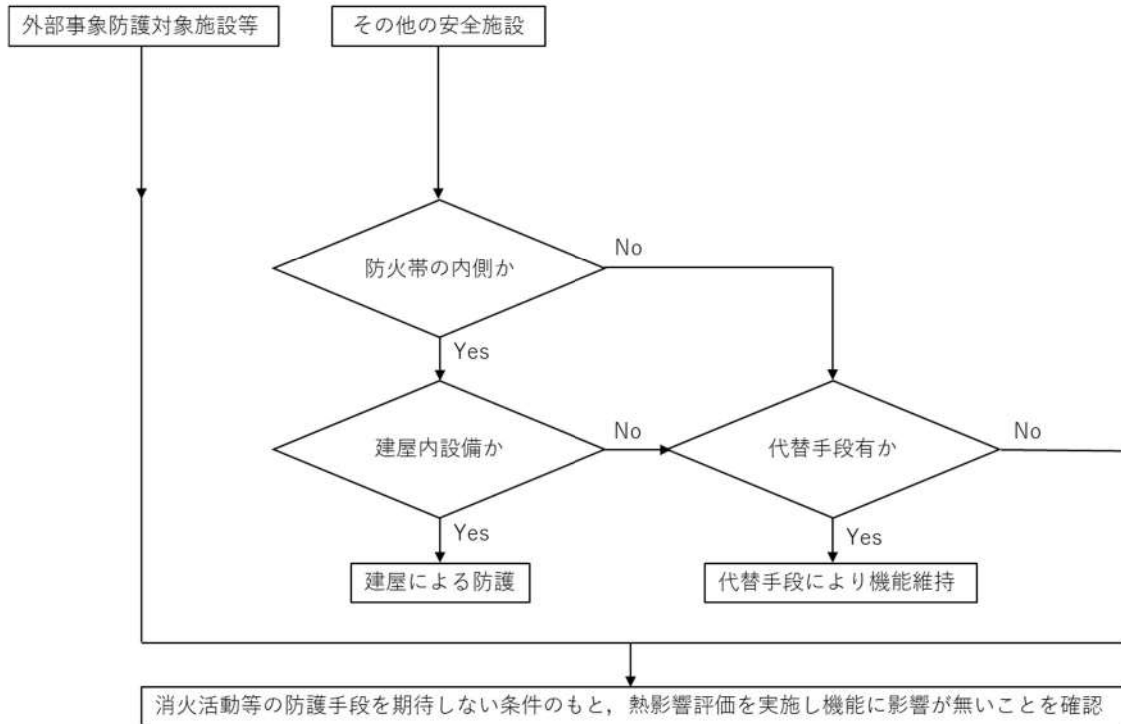
また、外部火災発生時のばい煙等による居住性の評価の観点から中央制御室及び緊急時対策所の影響評価を実施し、煙や埃に対して脆弱な設備として安全保護系について影響評価を実施する。



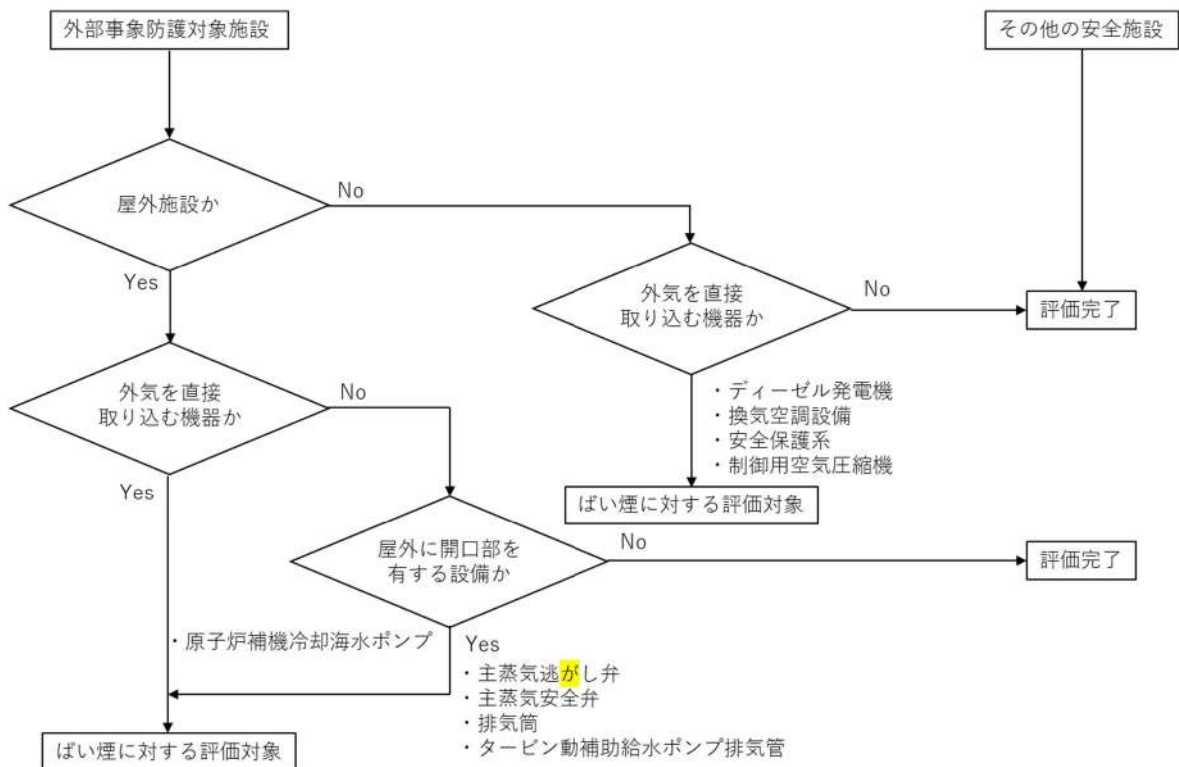
※1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

※2 その他の施設のうち安全施設は、機能を維持すること、若しくは損傷を考慮して代替設備、修復等でその機能を確保

第 1-1 図 外部事象防護対象施設の抽出フロー



第 1-2 図 熱影響評価を実施する施設の選定フロー図



第 1-3 図 ばい煙に対する影響評価を実施する施設の選定フロー図

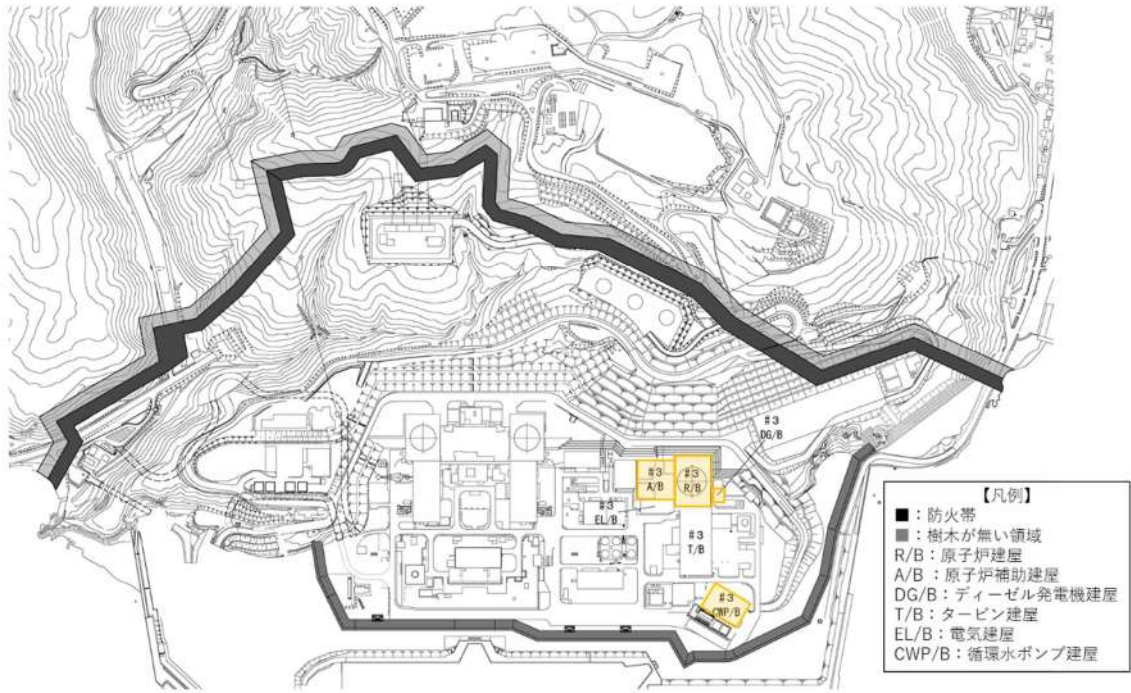
第 1-1 表 防護対象及び防護方法

防護対象		防護方法	評価対象施設等 ^{※1}
外部事象防護 対象施設等	<ul style="list-style-type: none"> 外部事象に対して必要な構築物，系統及び機器 外部事象防護対象施設を内包する建屋 	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと，防火帯の設置，火元からの離隔距離の確保，建屋及び障壁で防護（熱影響評価を実施）	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉補助建屋 ディーゼル発電機建屋 循環水ポンプ建屋^{※2} タービン建屋^{※3}
	外部事象に対して必要な構築物，系統及び機器に属する屋外施設		<ul style="list-style-type: none"> 排気筒
その他の安全施設		防火帯の内側に原則設置 屋内施設は，建屋による防護 屋外施設は，代替手段で安全機能に影響が無いことを確認	<ul style="list-style-type: none"> 開閉所 固体廃棄物貯蔵庫 放射線監視設備（モニタリングポスト・ステーション）ほか

※1 破線内は熱影響評価対象施設である。

※2 原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては，循環水ポンプ建屋に収納されており，直接火災の影響を受けることはないが，周囲空気の温度上昇により，冷却機能への影響が懸念されることから，原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

※3 タービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁については，蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ）として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが，独立事象としての重畳の可能性を考慮し，タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで，安全機能を損なわない設計とすることから，熱影響評価は実施しない。



第 1-4 図 外部火災に対する評価対象施設配置図

3. 設備を防護する建屋の離隔距離

外部事象防護対象施設を内包する各建屋について、防火帯外縁からの離隔距離を下表に示す。

この離隔距離は想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離(34m)以上あることから、外部事象防護対象施設等に対して、森林火災が熱影響を及ぼすことはないと評価できる(添付資料-2 参照)。

第 1-2 表 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離

設備を防護する建屋	離隔距離[m]※
原子炉建屋	200
原子炉補助建屋	230
ディーゼル発電機建屋	230
循環水ポンプ建屋	300

※防火帯外縁から建屋までの最短距離

第1-3表 外部事象防護対象施設の抽出結果 (2/9)

分類	定義	機能	重要度分類審査指針		重要度分類 のクラス1,2 に属する構 築物等	安全評価上 ^{※2} 期待 する重要度分類の クラス3に属する構 築物等	外部火災の 影響を受け る屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施 設	二次的 影響評 価対象 施設		
			機器	設備							
MS-1	1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パワ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造物、系統及び機器 4)原子炉停止後の除熱機能 5)炉心冷却機能	残留熱を除去する系統 (余熱除去系、補助給水系、蒸気発生器2次側隔離弁までの主蒸気系・給水系、主蒸気安全弁、主蒸気逃がし弁(手動逃がし機能) 非常用炉心冷却系(低圧注入系、高圧注入系、蓄圧注入系)	余熱除去設備 (余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器、配管及び弁 (余熱除去運転モードのルートとなる範囲))	・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	×	×	×		
			直接配管系 (余熱除去設備)								
			補助給水設備 (電動補助給水ポンプ、タービン動機補助給水ポンプ、補助給水ピット、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))								
			直接配管系 (補助給水設備)								
			主蒸気設備 (蒸気発生器、主蒸気隔離弁、主蒸気安全弁、主蒸気逃がし弁 (手動逃がし機能)、配管及び弁 (主蒸気発生器から主蒸気隔離弁までの範囲))								
			直接配管系 (補助給水設備)								
			給水設備 (蒸気発生器、主給水隔離弁、配管及び弁 (蒸気発生器から主給水隔離弁までの範囲))								
			低圧注入系 (余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器、燃料取替用水ピット、格納容器再循環サンプ、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次冷却設備までの範囲))								
			直接配管系 (低圧注入系)								
			高圧注入系 (燃料取替用水ピット、高圧注入ポンプ、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次冷却設備までの範囲)、格納容器再循環サンプ)								
直接配管系 (高圧注入系)											
蓄圧注入系 (蓄圧タンク、配管及び弁 (蓄圧タンクから1次冷却設備低温側配管合流部までの範囲))											

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

第1-3表 外部事象防護対象施設の抽出結果 (4/9)

分類	定義	機能	重要度分類番号指針	施設名		重要度分類 のクラス1,2 に属する構 築物等	安全評価上 ^{※2} 期待 する重要度分類の クラス3に属する構 築物等	外部火災の 影響を受け る屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施設	二次的 影響評価 対象 施設	
				施設名	施設名						
MS-1	<p>2) 安全上必要な他の構築物、系統及び機器</p>	<p>非常用所内電源系、制御室及びその連へい・換気空調系・原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、直流電源系、制御用圧縮空気設備(いずれも、MS-1関連のもの)</p>	<p>非常用交流電源設備(ディーゼル機関、ディーゼル発電機、ディーゼル発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路)</p>	<p>建築物、系統又は機器</p>	<p>泊電所3号炉</p>	○	-	<p>× (ディーゼル発電機建屋、原子炉建屋、原子炉補機建屋に内包)</p>	<p>× (ディーゼル発電機建屋、原子炉補機建屋、原子炉補機建屋で評価)</p>	○	
											<p>直接関連系(非常用交流電源設備)^{※3}</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料系 ・吸気系 ・始動用空気系 ・冷却水系 ・潤滑油系
											<p>中央制御室及び中央制御室連へい</p>
											<p>中央制御室換気空調設備(放射線防護機能及び有毒ガス防護機能)(中央制御室非常用循環ファン、中央制御室非常用循環ファンユニット、中央制御室給気ユニット、中央制御室給気ファン、中央制御室循環ファン、ダクト及びダンパ)</p>
											<p>原子炉補機冷却水設備(原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、配管及び弁(MS-1関連補機への冷却ラインの範囲))</p>
											<p>直接関連系(原子炉補機冷却水設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水サージタンク
											<p>原子炉補機冷却水設備(原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ出口ストレーナ、原子炉補機冷却水冷却器海水入口ストレーナ、原子炉補機冷却水冷却器、配管及び弁(MS-1関連補機への海水供給ラインの範囲))</p>
											<p>直接関連系(原子炉補機冷却水設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水ポンプ出口ストレーナ (異物除去機能を司る部分) ・取水路(屋外トレンチ含む)
											<p>非常用直流電源設備(蓄電池、蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連))</p>
											<p>計測制御用電源設備(蓄電池から非常用計測制御装置までの配電設備及び電路(MS-1関連))</p>
<p>制御用圧縮空気設備(制御用空気圧縮装置、配管及び弁(MS-1関連補機への制御用空気供給ラインの範囲))</p>											

※1 電気、機械装置のうち主たる施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過速度変化及び設計基準事故解析
 ※3 ディーゼル発電機燃料油移送配管は屋外地下埋設構造であり、外部火災による火災からの放射熱が直接到達することのない構造のため評価対象外
 ※4 原子炉補機冷却水ポンプ及び原子炉補機冷却水ポンプ出口ストレーナは、循環水ポンプ建屋に取柄されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却機能冷却水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

第1-3表 外部事象防護対象施設の抽出結果 (5/9)

分類	重要度分類審査指針		重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	外部火災の影響を受ける屋外施設	外部事象防護対象施設のうち対象施設	二次的影響評価対象施設		
	定義	機能							
PS-2	<p>1) その構造物は、地震による発生する炉心損傷の発生に起因する炉心の損傷が、炉心の破損を直ちに引き起こすおそれがあるが、地震発生時の放射性物質の放出のおそれがある構造物及び機器</p> <p>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、炉心に冷却が損なわれ、可能性の高い構造物、系統及び機器</p>	<p>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針差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。)</p> <p>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、使用済燃料ピットであって、放射性物質を貯蔵する機能</p> <p>3) 燃料を安全に取り扱う機能</p>	<p>化学体積制御設備の抽出系・浄化系</p> <p>放射性廃棄物処理施設(放射能インベントリの大きいもの、使用済燃料ピット(使用済み燃料貯蔵ラックを含む。))</p> <p>燃料取扱設備</p>	<p>化学体積制御設備(再生熱交換器、余熱抽出冷却器、非再生冷却器、冷却材湿床式脱塩塔、冷却材陽イオン脱塩塔、冷却材脱塩塔入口フィルタ、冷却材フィルタ、体積制御タンク、充てんポンプ、封水注入フィルタ、封水ストレータ、封水冷却器、配管及び弁)</p>	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉補助建屋、原子炉建屋に内包)</p>	×	
		放射性気体廃棄物処理設備(活性炭式希ガスホルドアップ装置、ガスサージタンク)	放射線防護設備(放射能インベントリの大きいもの、使用済燃料ピット(使用済み燃料貯蔵ラックを含む。))	放射線防護設備(活性炭式希ガスホルドアップ装置、ガスサージタンク)	放射線防護設備(活性炭式希ガスホルドアップ装置、ガスサージタンク)	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×
		燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	燃料取扱設備	○	×	<p>×</p> <p>(原子炉建屋に内包)</p>	×

※1 電気、機械系以外の主要な施設の記事は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

第1-3表 外部事象防護対象施設の抽出結果 (6/9)

分類	定義	重要度分類審査指針		重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上2種期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	外部火災の影響を受ける屋外施設	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	二次的影響評価対象施設
		機能	泊発電所3号炉 構造物、系統又は機器					
MS-2	1) PS-2の構造物及びシステム機器の損傷又は故障に由来する放射線の影響を小さくする構造物及び機器 2) 異常状態への対応に必要な構造物及び機器	1) 燃料プールの補給機能	燃料取替用ピペット 燃料取替用水ポンプ 配管及び弁（燃料取替用水ピペットから燃料取替用水ポンプを経て、使用済燃料ピペットまでの範囲）	○	—	×	×	×
		2) 放射性物質放出の防止機能	放射性気体種亜物処理系の隔離弁、燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系、排気筒（補助建屋）	放射性気体種亜物処理設備の隔離弁	○	—	×	×
		1) 事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部 ・中性子源領域中性子束 ・原子炉トリップ遮断器の状態 ・ほう素濃度（サンプリング分析） ・1次冷却材圧力 ・1次冷却材高温側温度（広域）及び1次冷却材低温側温度（広域） ・加圧器水位 ・原子炉格納容器圧力 ・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） 【低温停止への移行】 ・1次冷却材圧力 ・1次冷却材高温側温度（広域）及び1次冷却材低温側温度（広域） ・加圧器水位 ・ほう素タンク水位 【蒸気発生器隔離】 ・蒸気発生器水位（広域） ・蒸気発生器水位（狭域） ・補助給水ライン流量 【蒸気発生器2次側除熱】 ・蒸気発生器水位（広域） ・蒸気発生器水位（狭域） ・補助給水流ライン量 ・主蒸気ライン圧力 ・補助給水ピペット水位 【再循環モードへの切替】 ・燃料取替用水ピペット水位 ・原子炉格納容器再循環サンプ水位（狭域） ・格納容器再循環サンプ水位（広域）	○	—	×	×	×

※1 電氣、機械装置のうち主な機器の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

第1-3表 外部事象防護対象施設の抽出結果 (7/9)

分類	定義	重要度分類審査指針		泊発電所3号炉		重要度分類 のクラス1,2 に属する構 築物等	安全評価上 ^{※2} 期待 する重要度分類の クラス3に属する構 築物等	外部火災の 影響を受け る屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施設	二次的 影響評 価対象 施設
		機能	構造物、系統又は機器	機能	構造物、系統又は機器					
MS-2	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	加圧器透かし弁(手動閉鎖機能)	加圧器透かし弁(手動閉鎖機能)	○	○	×	×	×	×
		3)制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置(安全停止に關連するもの)	制御室外原子炉停止装置(安全停止に關連するもの)	○	○	×	×	×	×
		1)原子炉冷却材保持機能(PS-1、PS-2以外のもの)	計表配管、試験採取管	計表配管、弁 ドレン配管、弁 ベント配管、弁	×	×	×	×	×	×
PS-3	1)異常事態の起因となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器	2)原子炉冷却材の循環機能	1次冷却材ポンプ及びその関連系	1次冷却材ポンプ 化学体積制御取組 (封水注入系、1次冷却材ポンプスタントバイパス、配管、弁)	×	×	×	×	×	×
		3)放射性物質の貯蔵機能	放射性廃棄物処理施設(放射能インベントリ <small>の小さいもの</small>)	液体廃棄物処理系(加圧器透かしタンク、格納容器タンク、廃液貯蔵ピット、冷却貯蔵タンク、格納容器冷却材ドレンタンク、補助建屋サブタンク、洗浄排水タンク、洗浄排水蒸発装置、洗浄排水蒸留タンク、洗浄排水濃縮液タンク、洗浄排水濃縮液移送容器、廃液蒸留水タンク、乾気ドレンタンク、濃縮液タンク) 固体廃棄物処理設備(使用済特種貯蔵タンク、固体廃棄物貯蔵庫、ベイラ、雑固体焼却設備) 新燃料貯蔵庫 新燃料ラック 発電機及びその励磁機設備(発電機、励磁装置)	×	×	×	×	×	×
		4)電源供給機能(非常用を除く。)	主蒸気系(隔離弁以後)、給水系(隔離弁以前)、送電線、変圧器、開閉所	蒸気タービン(主タービン、主要弁、配管) 直接関連系(発電機及びその励磁装置) 復水設備(復水器、復水ポンプ、循環水ポンプ、配管、弁) 直接関連系(復水設備) 給水設備(電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、給水加熱器、配管、弁) 直接関連系(給水設備)	×	×	×	×	×	×

※1 電気、機械装置のうち主要な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

※2 運転時の異常な過渡気化及び設計基準事事故発生

第1-3表 外部事象防護対象施設の抽出結果 (9/9)

分類	定義	機能	重要度分類審査指針		評価電所3号炉		外部火災の影響を受ける屋外施設	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	二次的影響評価対象施設
			重要度分類審査指針	審査対象	重要度分類審査指針	審査対象			
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化が、MS-1、MS-2とあいまわって、事象を緩和する建築物、系統及び機器	1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能 2) 出力上昇の抑制機能 3) 原子炉冷却材の補給機能	加圧器がし弁 (自動操作)	加圧器がし弁 (自動操作)	×	×	—	—	—
			直接関連系 (加圧器がし弁 (自動操作))	直接関連系 (加圧器がし弁 (自動操作))	×	×	—	—	—
			タービンランバック	タービンランバックインターロック	×	×	—	—	—
			制御棒引抜防止インターロック	制御棒引抜防止インターロック	×	×	—	—	—
			ほう酸補給タンク	ほう酸補給タンク	×	×	—	—	—
			ほう酸混合器	ほう酸混合器	×	×	—	—	—
			ほう酸補給設備配管、弁	ほう酸補給設備配管、弁	×	×	—	—	—
			1次系冷却水タンク、配管、弁	1次系冷却水タンク、配管、弁	×	×	—	—	—
			1次系補給水ポンプ	1次系補給水ポンプ	×	×	—	—	—
			直接関連系 (1次系補給水ポンプ)	直接関連系 (1次系補給水ポンプ)	×	×	—	—	—
2) 異常事態への対応に必要な建築物、系統及び機器	—	—	タービン保安装置※3	タービン保安装置※3	×	○	×	○※3	—
			主蒸気止め弁 (閉機能) ※3	主蒸気止め弁 (閉機能) ※3	×	×	—	—	—
			原子炉発電所緊急時対策所	原子炉発電所緊急時対策所	×	×	—	—	—
			直接関連系 (原子炉発電所緊急時対策所)	直接関連系 (原子炉発電所緊急時対策所)	×	×	—	—	—
			情報収集設備 ・通信連絡設備 ・着材及び器材	情報収集設備 ・通信連絡設備 ・着材及び器材	×	×	—	—	—
			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)	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)	×	×	—	—	—
			試料採取設備 (異常時に必要な機能を有する貯蔵弁 (原子炉冷却材放射線物質濃度サンプリング分析、原子炉格納容器雰囲気放射線物質濃度サンプリング分析))	試料採取設備 (異常時に必要な機能を有する貯蔵弁 (原子炉冷却材放射線物質濃度サンプリング分析、原子炉格納容器雰囲気放射線物質濃度サンプリング分析))	×	×	—	—	—
			通信連絡設備 (1つの専用回路を含む複数の回路を有する通信連絡設備)	通信連絡設備 (1つの専用回路を含む複数の回路を有する通信連絡設備)	×	×	—	—	—
			放射線監視設備	放射線監視設備	×	×	—	—	—
			事故時監視器の一部	事故時監視器の一部	×	×	—	—	—
消火設備 (水消火設備、泡消火設備、二酸化炭素消火設備)	消火設備 (水消火設備、泡消火設備、二酸化炭素消火設備)	×	×	—	—	—			
直接関連系 (消火設備)	直接関連系 (消火設備)	×	×	—	—	—			
安全避難通路	安全避難通路	×	×	—	—	—			
直接関連系 (安全避難通路)	直接関連系 (安全避難通路)	×	×	—	—	—			
非常用照明	非常用照明	×	×	—	—	—			
非常用照明	非常用照明	×	×	—	—	—			

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時

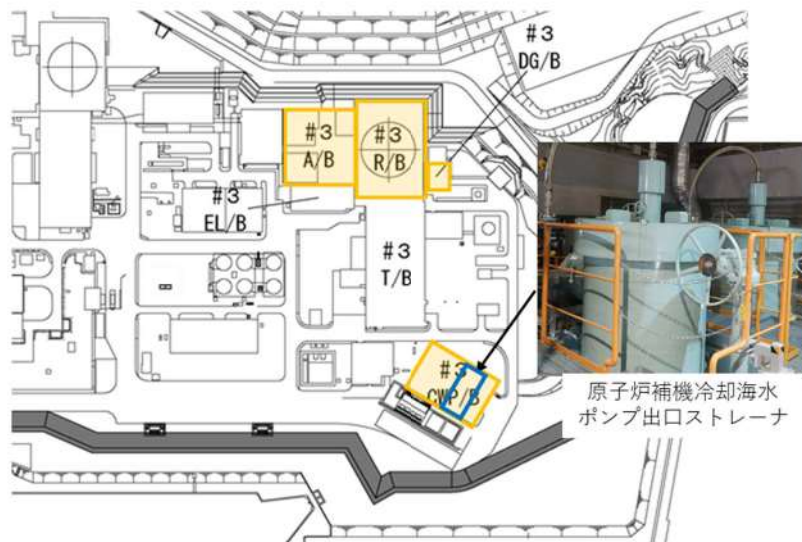
※3 添付書類中の「運転時の異常な過渡変化」のうち「蒸気発生器への過剰給水」の解析において「タービン建屋」の解析において「タービン保安装置及び主蒸気止め弁 (閉機能) (タービン建屋) を影響緩和のための安全機能として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とするところから、熱影響評価は実施しない。

(1) その他の別の評価対象施設に包絡される評価対象施設について

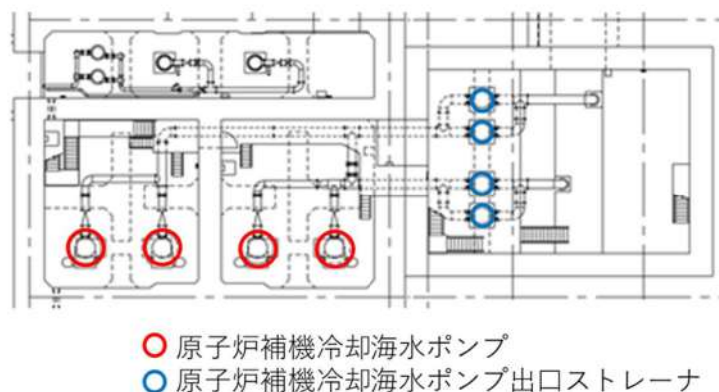
a. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについて

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは以下の理由により同じ循環水ポンプ建屋内にあり動的機器である原子炉補機冷却海水ポンプの評価に包絡される。

- ・循環水ポンプ建屋内にある機器の評価では、火災源から対象までの離隔距離を一律循環水ポンプ建屋外壁までとしているため、離隔距離が同じとなる。原子炉補機冷却海水ポンプと原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの位置を第 1-5 図及び第 1-6 図に示す。
- ・動的機器である原子炉補機冷却海水ポンプは、冷却空気への評価を行っており、この熱影響の評価は、同様の材質である原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナに対しても同じ結果となる。



第 1-5 図 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの配置



第 1-6 図 原子炉補機冷却海水ポンプと原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの位置

4. 重大事故等対処設備について

評価対象施設を外部火災から防護することにより，外部火災によって重大事故等の発生に至ることはない。

また，重大事故等対処設備は，防火帯幅の確保，建屋外壁等により防護する。

5. タービン保安装置及び主蒸気止め弁について

タービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁は，防火帯の内側及び航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年] 未満の範囲に設置されており，発電所敷地内危険物施設等の火災で損傷した場合であっても，安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで，安全機能を損なわない設計とする。

森林火災による影響評価について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地外で発生する火災に対して安全性向上の観点から、森林火災が泊発電所に迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。2章にて火炎の到達時間及び防火帯幅の評価、3章にて危険距離及び温度影響評価を実施する。

2. 火炎の到達時間及び防火帯幅の評価

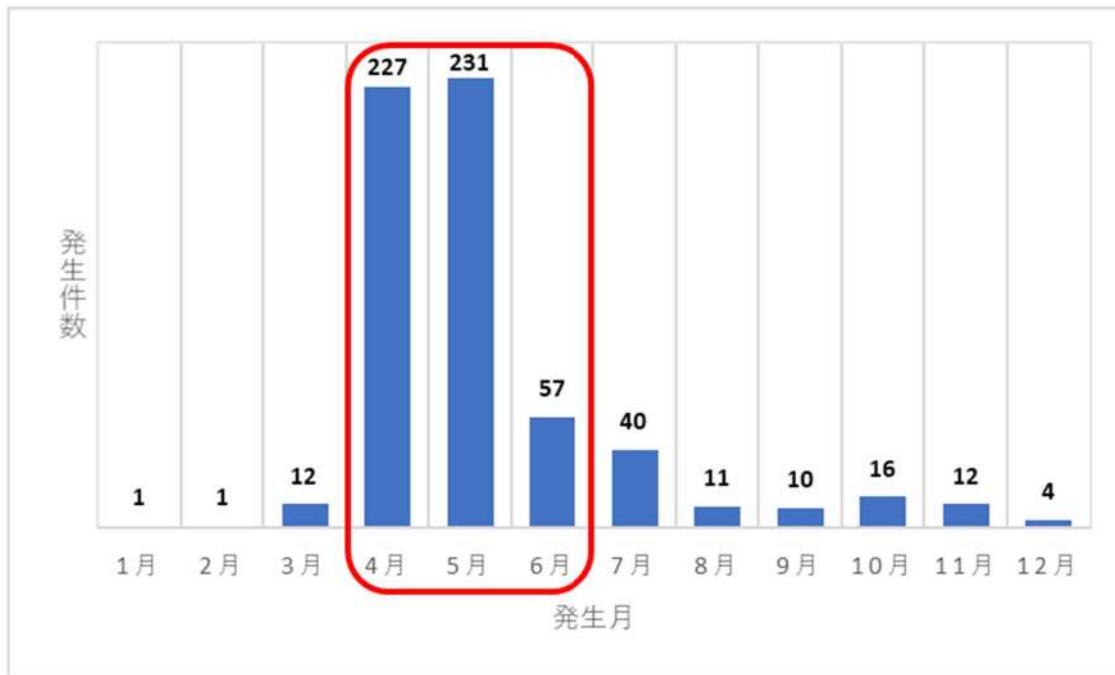
2.1 森林火災の想定

森林火災の想定は以下のとおりである。

- ・植生データは、森林の現状を把握するため、森林簿を入手し、その情報を元に防火帯周辺の植生調査を実施する。その結果から、保守的な可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。
- ・気象条件は過去10年間(2003～2012年)を調査し、森林火災の発生件数の多い4～6月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組み合わせとする。(第2-1図)
- ・風向は卓越方向とし、泊発電所の風上に発火点を設定する。
気象条件を第2-1表に示す。
- ・泊発電所からの直線距離10kmの間で設定する。
- ・発火源は最初に人為的行為を考え、居住地区及び道路沿いを発火点とする。発火点位置を第2-3図～第2-6図に示す。
- ・放水等による消火活動は期待しない。

第2-1表 気象条件

	風向[16方位]	最大風速[m/s]	最大気温[°C]	最小湿度[%]
発火点1	東	29.7	30.0	13
発火点2	北西	29.7	30.0	13



第 2-1 図 森林火災の月別発生件数 (1993~2012 年)

(1) 発火点の設定方針

- ・ 泊発電所からの直線距離 10km の間に設定する。
- ・ 発電所風上を選定する。
- ・ 風向は、卓越風向の風である東及び北西を選定する。(第 2-2-1 表~第 2-2-3 表)
- ・ 人為的行動を考え、居住地区及び道路沿いを選定する。

なお、1993 年~2012 年度の北海道の林野火災の主な発生原因は、第 2-2 図に示すとおり、割合の多い順でごみ焼 20.6%、たばこ・マッチ 11.4%、たき火 6.7%、火遊び 5.4%となっている。いずれの発生原因も、民家、田畑周辺あるいは道路沿いで発生する人為的行動となっている。

第2-2-1表 発電所内気象観測所A点における卓越風向 (2003~2012年)

風向	4月			5月			6月			合計
	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数
北	88	4	8.4	89	2	9.3	59	0	6.8	236
北北東	109	3	7.9	131	3	8.3	65	3	8.7	305
北東	169	5	8.0	193	7	10.0	114	3	7.4	476
東北東	401	4	17.2	338	6	20.5	326	4	12.0	1065
東	1840	85	25.2	2061	100	29.2	2111	110	19.5	6012
東南東	624	18	23.3	704	24	23.4	607	15	24.4	1935
南東	270	3	21.8	283	2	18.0	201	2	17.1	754
南南東	135	4	14.3	149	3	13.8	103	1	9.6	387
南	118	2	9.9	111	0	10.9	62	1	10.4	291
南南西	55	3	11.1	51	0	11.5	32	0	7.3	138
南西	113	1	23.7	88	1	24.2	77	1	7.7	278
西南西	390	29	29.6	275	19	25.1	179	6	21.2	844
西	984	56	29.7	728	41	24.8	596	26	21.6	2308
西北西	1041	57	23.6	1037	53	20.2	1166	65	15.0	3244
北西	715	21	19.4	974	46	13.8	1230	60	12.9	2919
北北西	116	2	10.7	174	0	10.4	258	2	8.2	548

風向の出現回数：1時間値

最大風速の出現回数：1時間値，1日の欠測が4時間以内，同値の場合は出現時間が遅い時間

風速の最大値：1時間値

 最多頻度

 2番目に多い頻度

第2-2-2表 発電所内気象観測所C点における卓越風向 (2003~2012年)

風向	4月			5月			6月			合計
	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数
北	93	2	4.7	105	1	4.8	87	0	4.1	285
北北東	84	2	3.8	100	1	4.4	59	0	4.4	243
北東	288	1	4.5	237	3	5.2	197	1	4.1	700
東北東	830	12	14.2	714	14	18.0	804	13	9.8	2148
東	1539	75	20.8	1791	85	22.9	1805	105	18.4	5135
東南東	527	23	23.1	584	29	21.0	494	23	21.5	1805
南東	271	9	22.0	314	13	17.5	208	4	10.0	793
南南東	94	4	12.1	100	2	12.0	80	0	7.7	254
南	95	1	8.1	88	0	11.0	58	0	5.5	237
南南西	70	2	8.4	54	0	8.9	47	0	5.2	171
南西	87	0	11.0	85	1	18.2	68	1	4.4	220
西南西	341	15	24.0	272	10	20.2	207	2	10.4	820
西	1144	80	24.7	868	60	18.1	739	44	15.0	2751
西北西	1091	88	18.5	1102	89	15.8	1220	73	14.5	3413
北西	549	8	13.5	849	21	10.2	1078	32	8.4	2474
北北西	131	0	7.1	172	0	8.8	281	1	5.8	584

風向の出現回数：1時間値

最大風速の出現回数：1時間値，1日の欠測が4時間以内，同値の場合は出現時間が遅い時間

風速の最大値：1時間値

 最多頻度

 2番目に多い頻度

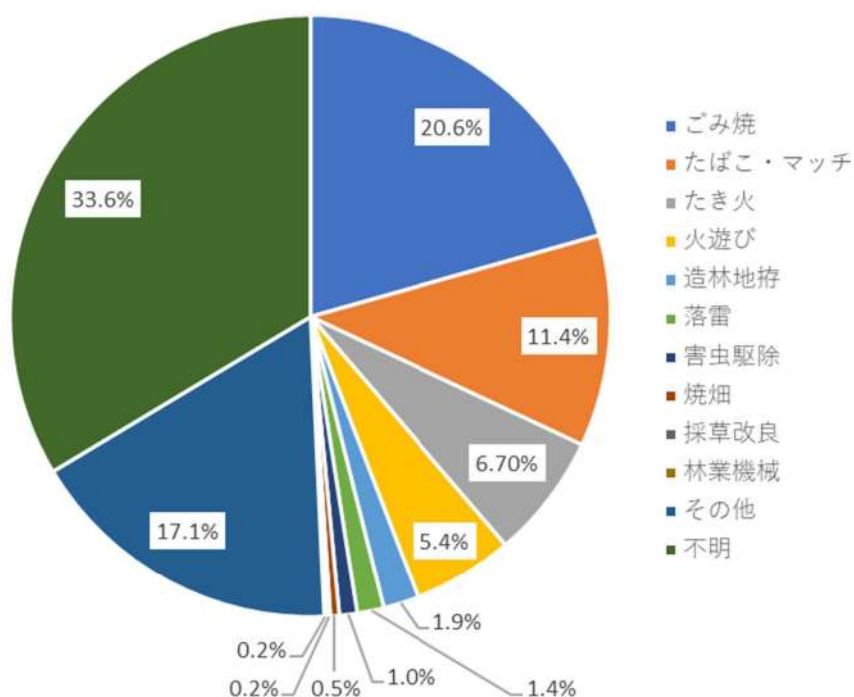
第2-2-3表 発電所内気象観測所Z点における卓越風向 (2003~2012年)

風向	4月			5月			6月			合計
	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数
北	220	2	7.2	342	4	7.1	378	2	6.8	940
北北東	178	8	8.8	212	8	8.1	175	1	8.0	565
北東	284	3	6.1	323	2	6.7	280	2	7.5	867
東北東	522	4	8.0	460	0	9.8	501	2	6.0	1483
東	879	3	11.5	540	5	10.5	473	5	9.4	1892
東南東	1100	70	14.5	1262	75	14.5	1073	63	12.3	3465
南東	522	14	19.3	475	20	14.0	358	12	13.8	1355
南南東	310	10	17.0	317	10	11.9	221	8	9.5	848
南	182	2	9.7	164	1	14.9	138	1	8.2	464
南南西	78	2	9.3	51	0	7.4	57	0	4.7	188
南西	84	2	15.8	84	3	18.9	101	2	5.8	289
西南西	272	18	18.1	230	12	16.3	174	5	10.5	678
西	647	43	18.7	443	25	14.0	351	14	12.1	1441
西北西	734	34	17.0	594	28	17.1	604	29	10.2	1932
北西	870	59	21.2	920	69	17.5	1140	78	11.9	2930
北北西	534	29	12.6	973	51	10.8	1141	74	14.4	2648

風向の出現回数：1時間値

最大風速の出現回数：1時間値，1日の欠測が4時間以内，同値の場合は出現時間が遅い時間

風速の最大値：1時間値



(出典：林野火災被害統計書 (平成24年度版) 北海道水産林務部)

第2-2図 火災の出火原因割合(1993年~2012年)

(2) 立地条件を考慮した発火点の設定

(発火点 1)

卓越風向の東方向において、社員寮等の居住区が存在する道路脇畑に発火点を選定する。(3号炉原子炉炉心の中心から約 2.5km)

(発火点 2)

卓越風向の北西方向において、民家等の居住区が存在する集落端と森林の境界部に発火点を選定する。(3号炉原子炉炉心の中心から約 1.5km)

(3) 森林火災評価における発火点の妥当性

(発火点 1)

当該地点付近の畑地には保守的に Tall grass を設定していること並びにまわりは森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても、当該地点より評価結果が厳しくなることはない。また、火災規模が大きくなる登り斜面になることを考慮している。

よって、卓越風向の方向で人為的行為を想定し道路脇畑を発火点として設定した。

(発火点 2)

当該地点付近は森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても、当該地点より評価結果が厳しくなることはない。また、火災規模が大きくなる登り斜面になることを考慮している。

よって、卓越風向の方向で人為的行為を想定し集落端と森林の境界部を発火点として設定した。

(4) 発火時刻の設定

日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が増大することから、これらを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定する。