火砕物の荷重を短期に生じる荷重として扱う。また，降下火砕物による荷重と他の荷重を組み合せた状態に対する許容限界は次の通りとする。

・原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

原子炉建屋に要求されている気密性及び遮蔽性を担保する屋根スラブは，建築基準法の短期許容応力度を許容限界とする。また，屋根スラブとともに建屋の構造強度を担保する主トラスは，終局耐力に対して妥当な安全余裕を有する許容限界とする。

落下によって内包する外部事象防護対象施設が損傷することを防止する屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とする。また，複数部材で構成されている主トラスの崩壊によって内包する外部事象防護対象施設が損傷することを防止するため，主トラスは構造物全体として崩壊機構が形成されないことを許容限界とする。

・建屋を除く評価対象施設等

許容応力を「原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ4601-1987（日本電気協会）」等に準拠する。

（資料－４～６，９，１０）

(2)　粒子の衝突

評価対象施設等のうち，建屋及び屋外設備は，粒子の衝突に対して，「1.7.2　竜巻防護に関する基本方針」に基づく設計によって，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。

3.6.2　降下火砕物による荷重以外に対する設計方針

降下火砕物による荷重以外の影響は，構造物への化学的影響（腐食），水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食），電気系及び計測

制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）等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。

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計については，「3.6.3 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計方針」に示す。

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，降下火砕物による構造物への化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物の直接的な付着による影響が考えられる以下の施設である。

ａ．建屋

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

ｂ．屋外に設置されている施設

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口，中央制御室換気系冷凍機，非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)室ルーフベントファン，主排気筒，非常用ガス処理系排気筒

ｃ．降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器及び排気管

金属腐食研究の結果より，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食を生じないが，外装の塗装等によって短期での腐食により外

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。なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

（資料－４～６，９～１１　参考資料－５，６）

(2)　水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む海水の流路となる以下の施設である。

ａ．降下火砕物を含む海水の流路となる施設

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ及び下流設備，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ及び下流設備

ｂ．降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

海水取水設備（除塵装置）

降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはないが，当該施設については，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けることにより，海水の流路となる施設が閉塞しない設計とする。

内部における摩耗については，降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから摩耗による影響は小さい。また当該施設については，定期的な内部点検及び日常保守管理により，状況に応じて補修が可能であり，摩耗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。

化学的影響（腐食）については，金属腐食研究の結果より，降下火砕物

によって直ちに金属腐食を生じないが，耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって，腐食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。なお，長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

（資料－５～７，参考資料－５，６，１０）

(3)　電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，電気系及び計測制御系のうち屋外に設置されている以下の施設である。

ａ．屋外に設置されている施設

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

機械的影響（閉塞）については，残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの電動機本体は外気と遮断された全閉構造，空気冷却器の冷却管内径及び冷却流路は降下火砕物粒径以上の幅を設ける構造とすることにより，機械的影響（閉塞）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。

化学的影響（腐食）については，金属腐食研究の結果より，降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが，耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって，腐食により外部事象防護対象施設の安全機能を損なうことのない設計とする。なお，長期的な腐食の影響については，日常保守管

理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

（資料－５，参考資料－５，６）

(4)　絶縁低下及び化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，電気系及び計測制御系のうち外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する以下の施設である。

ａ．外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

計測制御設備（安全保護系）

当該施設の設置場所は中央制御室換気空調系にて空調管理されており，本換気空調設備の外気取入口にはバグフィルタを設置していることから，仮に室内に侵入した場合でも降下火砕物は微量であり，粒径は極めて細かな粒子である。

また，本換気空調設備については，外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより侵入を阻止することも可能である。

これらフィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること，また外気取入ダンパの閉止による侵入防止が可能な設計とすることにより，降下火砕物の付着に伴う絶縁低下及び化学的影響（腐食）による影響を防止し，計測制御設備（安全保護系）の安全機能を損なわない設計とする。

（資料－８）

3.6.3　外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計方針

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対して，以下のとおり安全機能を損

なわない設計とする。

(1) 機械的影響（閉塞）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（閉塞）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

ａ．降下火砕物を含む空気の流路となる施設

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口，換気空調設備（外気取入口），主排気筒，非常用ガス処理系排気筒

各施設の構造上の対応として，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，開口部を下向きの構造とすることにより，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。

主排気筒は，降下火砕物が侵入した場合でも，主排気筒の構造から排気流路が閉塞しない設計とする。非常用ガス処理系排気筒は，降下火砕物の侵入防止を目的とする構造物を取り付けることにより，降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。

また，外気を取り入れる換気空調設備（外気取入口）及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の空気の流路にそれぞれフィルタを設置することにより，フィルタメッシュより大きな降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とし，さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替又は清掃が可能な構造とすることで，降下火砕物により閉塞しない設計とする。

ディーゼル発電機機関は，フィルタを通過した小さな粒径の降下火砕

物が侵入した場合でも，降下火砕物により閉塞しない設計とする。

（資料－９～１１）

(2)　機械的影響（摩耗）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（摩耗）を考慮すべき施設は，外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する以下の施設である。

ａ．外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する施設

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）

降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから，摩耗の影響は小さい。

構造上の対応として，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，開口部を下向きとすることによりディーゼル発電機機関に降下火砕物が侵入しにくい設計とする。

また，仮にディーゼル発電機機関の内部に降下火砕物が侵入した場合でも耐摩耗性のある材料を使用することで，摩耗により非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

外気を取り入れる非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の空気の流路にフィルタを設置することにより，フィルタメッシュより大きな降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とし，摩耗により非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

（資料－１０）

(3)　化学的影響（腐食）

評価対象施設等のうち，外気取入口からの降下火砕物の侵入による化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

ａ．降下火砕物を含む空気の流路となる施設

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），換気空調設備（外気取入口），主排気筒，非常用ガス処理系排気筒

金属腐食研究の結果より，降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが，塗装の実施等によって，腐食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。なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

（資料－９～１１，参考資料－５，６）

(4)　大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

評価対象施設等のうち，大気汚染を考慮すべき中央制御室は，降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が，中央制御室空調装置の外気取入口を通じて中央制御室に侵入しないようバグフィルタを設置することにより，降下火砕物が外気取入口に到達した場合であってもフィルタメッシュより大きな降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とする。

また，中央制御室空調装置については，外気取入ダンパの閉止及び閉回路循環運転を可能とすることにより，中央制御室内への降下火砕物の

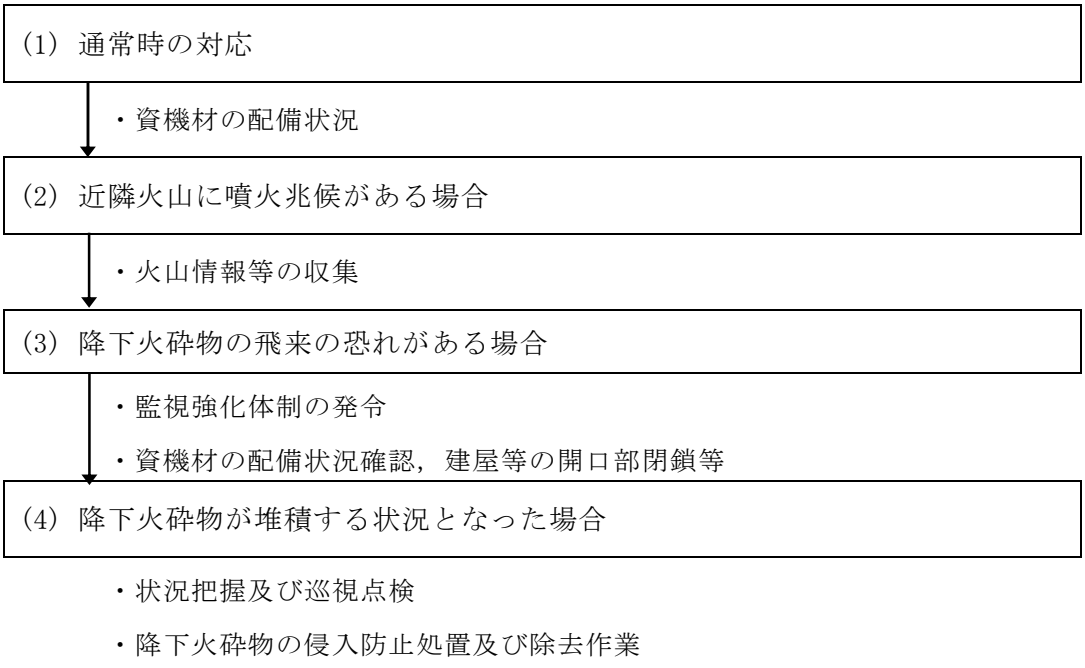
侵入を防止する。さらに外気取入遮断時において，酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施し，室内の居住性を確保する設計とする。

（資料－９）

3.7　降下火砕物の除去等の対策

3.7.1　降下火砕物に対応するための運用管理

降下火砕物に備え，手順を整備し，第 3.7.1－1 図のフローのとおり段階的に対応することとしている。その体制については，地震，津波，火山事象等の自然災害に対し，保安規定に基づく保安管理体制として整備し，その中で体制の移行基準，活動内容についても明確にする。なお，多くの火山では，噴火前に，震源の浅い火山性地震の頻度が急増し，火山性微動の活動が始まるため，事前に対策準備が可能である。



第 3.7.1－1 図　降下火砕物に対応するための運用管理フロー

(1)　通常時の対応

火山の噴火事象発生に備え，担当箇所は降下火砕物の除去等に使用する資機材等（シャベル，ゴーグル及び防護マスク等）については，定期的に配備状況を確認する。

(2)　近隣火山の噴火兆候がある場合

近隣火山で噴火警戒レベル３（入山規制），４（避難準備）となる引上げが発表され発電所において災害の発生のおそれがあると判断された場合，担当箇所は防災管理者の承認を得た上で，監視強化準備体制を発令し，発電所の保安管理体制下において，火山情報等を把握し，連絡体制を強化（要員の確認）する。

(3)　降下火砕物の飛来のおそれがある場合

近隣火山で噴火警戒レベル５（避難）が発表され発電所において災害の発生のおそれがあると判断された場合，防災管理者は監視強化体制を発令し，発電所の各マネージャーは，発電所の保安管理下において，資機材の配備状況確認等に必要な要員を招集する。

また，取水路前面にオイルフェンスを設置することで，取水路への降下火砕物の流入量を低減する，とともに屋外機器・建屋等の降下火砕物の除去のため，発電所内に保管しているスコップ，ほうき，マスク等の資機材の配備状況の確認を行う。

(4)　降下火砕物が堆積する状況となった場合

降下火砕物が確認され重要安全施設の安全機能を有する設備が損傷等により機能を失うおそれがある場合，防災管理者は発生事象の災害区分を「警戒事態」とし，発電所警戒本部を設置する。

発電所警戒本部の指揮の下，発電所及び屋外廻りの監視を強化する。また，屋外機器・建屋等の降下火砕物の除去を行うとともに，換気空調設備のフィルタを確認し，フィルタの取替，清掃を行う。

さらに，降下火砕物により重要安全施設の安全機能を有する設備が損傷等により機能を失った場合，災害区分を「非常事態」に移行し，発電所対策本部を設置してその指揮の下，必要な処置を行う。

3.7.2　手順

火山に対する防護については，降下火砕物に対する影響評価を行い，安全施設が安全機能を損なわないように手順を定める。

(1)　発電所内に降灰が確認された場合には，建屋や屋外の設備等に長期間降下火砕物による荷重を掛け続けないこと，また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために，評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去に係る手順を定める。

(2)　降灰が確認された場合には，状況に応じて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により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。

(3)　降灰が確認された場合には，換気空調設備の外気取入口のフィルタについて，フィルタ差圧又は流量を確認するとともに，状況に応じて清掃や取替を実施する手順を定める。

(4)　降灰確認後，放水路ゲートに損傷を発見した場合の措置について，放水路ゲートの駆動装置に損傷を発見した場合，安全機能を回復するために速やかな補修等を行う手順を整備し，的確に実施する。また，速やかな補修等が困難と判断された場合には，プラントを停止する手順を整備し，的確

に実施する。

(5) 降灰が確認された場合には，取水路前面にオイルフェンスを設置することで，取水路への降下火砕物の流入量を低減する手順を定める。

3.8 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源喪失及び発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象に対し，発電用原子炉の停止並びに停止後の発電用原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）及びそれぞれに必要な耐震Ｓクラスの軽油貯蔵タンク2基（400kL／基）により継続できる設計とすることにより，安全機能を損なわない設計とする。

4. まとめ

降下火砕物による直接的影響及び間接的影響のすべての項目について評価した結果，降下火砕物による直接的影響及び間接的影響はなく，発電用原子炉施設の安全機能を損なうことはないことを確認した。

降下火砕物の飛来のおそれがある場合は，火山事象対策を行うための体制を構築し，発電所及び屋外廻りの監視の強化，降下火砕物の除去等を実施する。

降下火砕物の特徴について

第１表　降下火砕物の特徴

特徴※1	影響モード	影響因子
マグマが噴火時に破砕･急冷したものであり，ガラス片・鉱物結晶からなる。※2	荷重 閉塞 摩耗	・堆積による構造物への静的負荷 ・粒子の衝突 ・水循環系の閉塞 ・水循環系の内部における摩耗 ・換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響
亜硫酸ガス（SO_2），硫化水素（H_2S），フッ化水素（HF）等の火山ガス成分が付着している。	腐食 大気汚染 水質汚染	・換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響 ・化学的腐食※3 ・発電所周辺の大気汚染 ・給水の汚染
水に濡れると硫酸イオン等が溶出する。		
乾燥した降下火砕物は絶縁体だが，水に濡れると酸性を呈し導電性を生じる。	絶縁低下	・開閉所の絶縁低下
溶出した硫酸イオンは降下火砕物に含まれるカルシウムイオンと反応し硫酸カルシウム（石膏）となるため，湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。	閉塞	・固結※4
降下火砕物粒子の融点は約1,000℃であり，一般的な砂に比べ低い。	閉塞	・高温部における溶融及び固着※5

※１　（参考資料）広域的な火山防災対策に係る検討会（平成２５年５月１６日）

※２　降下火砕物の主成分はガラスであり，粘性を生じさせるような鉱物は含まれていない。

※３　降下火砕物による金属腐食の研究報告では，４種類の金属材料（Ｚｎメッキ，Ａｌ，ＳＳ４１，Ｃｕ）に対して，桜島の降下火砕物による金属腐食の程度は，実際の自然条件より厳しい条件においても表面厚さに対して十数μmオーダーの腐食であり，設計時の腐食代（数mmオーダー）を考慮すると，構造健全性に影響を与えることはないと考えられる。

※４　流水等により除去が可能である。

※５　発電所内で1,000℃を超える所はないので，降下火砕物は溶融しない。

資料－２

評価すべき影響の要因と評価手法

降下火砕物による直接的影響の要因については，原子力発電所の構造物への静的負荷，粒子の衝突，水循環系の閉塞及びその内部における摩耗，換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的及び化学的影響，並びに原子力発電所周辺の大気汚染等の影響が挙げられるが，発電所で想定される降下火砕物の条件を考慮し，第１表に示す項目について評価を実施する。

(1)　直接的影響の要因の選定と評価手法

①　構造物への静的負荷

評価対象とした建屋構築物，屋外機器について，降下火砕物の静的な堆積を想定し，許容堆積荷重または許容応力値以下であることを確認する。荷重条件として，湿潤状態における降下火砕物に建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪荷重を重畳させ，弾性範囲内とする。なお，構造物の形状により降下火砕物が堆積し難い場合は，降下火砕物の影響はないと判断する。

②　粒子の衝突

想定する降下火砕物は微細な粒子である。粒子の衝突による影響については,「竜巻に対する防護」で評価している設計飛来物（0.04m×0.04m×0.04m）に包絡されており，衝突により建屋構築物，屋外機器に影響を与えないことを確認している。したがって，詳細検討は不要とする。

③　水循環系の閉塞

評価対象とした機器について，降下火砕物が内部流体中に混入する可能性を検討し，可能性のある機器に対し，狭隘部の寸法を明らかにし，降下火砕物の粒径との関係から流路閉塞の可能性を評価する。

④　水循環系の内部における摩耗

評価対象とした機器について，降下火砕物が内部流体中に混入する可能性を検討し，可能性のある機器に対し，狭隘部の寸法を明らかにし，接液面との材質等との関係から摩耗の可能性を評価する。

⑤　換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

評価対象とした機器について，屋外に連通する開口部の形状等から，降下火砕物が侵入する可能性とその影響程度について検討する。換気系のフィルタについては，清掃，取替え可能な構造となっていること，また閉塞の有無を点検できることを確認する。

さらに，必要に応じて換気系からの給気先への影響についても検討する。

⑥　換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響

評価対象とした機器について，降下火砕物の付着に伴う腐食により，その機能に影響がないことを内外面の材質，塗装の有無等によって評価する。

⑦　発電所周辺の大気汚染

汚染された大気が換気空調系を通じて中央制御室に侵入し，居住性を

阻害することがないか検討する。

⑧　化学的腐食

評価対象とした建屋・構築物，屋外機器について，降下火砕物が接触し，又は降下火砕物から溶出した成分によって腐食等が発生しないことを機器表面の材質，塗装の有無等によって評価する。

⑨　水質汚染（給水の汚染）

発電所では給水処理装置により水処理した給水を使用しており，降下火砕物の影響を受ける可能性のある海水及び淡水を直接給水として使用していない。また，給水は水質管理を行っており，給水の汚染が設備に影響を与える可能性はない。したがって，詳細検討は不要とする。

⑩　絶縁低下

電気系及び計測制御系の盤のうち屋内の空気を取り込む機構を有するものについては，影響がないことを評価する。

評価すべき直接的影響の要因については，その内容によりすべての評価対象施設等に対して評価する必要がない項目もあることから，各評価対象施設等と評価すべき直接的要因について，第2表のとおり整理し，評価対象施設の特性を踏まえて必要な評価項目を選定した。

評価対象施設等のうち放水路ゲートについては，津波の浸水を防止する機能を有している。火山の影響を起因として津波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，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。

なお，放水路ゲート以外の津波防護施設は「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，系統及び機器に該当はしないが，外部事象に対する防護方針について参考資料－１４に示す。

また，評価対象施設等のうち排気筒モニタについては，放射性気体廃棄物処理施設の破損の検出手段として期待している。外部事象を起因として放射性気体廃棄物処理施設の破損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，排気筒モニタ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。

第1表　降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子

Ｎｏ	影響を与える可能性のある因子	評価方法と詳細検討の要否	詳細検討すべきもの
①	構築物への静的負荷	建屋構築物，屋外機器において降下火砕物堆積荷重による影響を考慮する。なお，降雨，降雪などにより水を含んだ場合の負荷が大きくなるため，水を含んだ場合（湿潤状態）における負荷を考慮する。	○
②	粒子の衝突	想定する降下火砕物の粒径は8㎜と微細である。粒子の衝突については「竜巻に対する防護」で評価している設計飛来物（0.04m×0.04m×0.04m）に包絡されており，衝突により建屋構築物，屋外機器に影響を与えないことを確認している。	－
③	水循環系の閉塞	海水系において影響を考慮すべき要因であり，降下火砕物の粒径によって懸念される狭隘部等における閉塞への影響を考慮する。また，必要に応じて，海水を供給している下流の設備への影響についても考慮する。	○
④	水循環系の内部における摩耗	海水系において影響を考慮すべき要因であり，降下火砕物による設備内部における摩耗の影響を考慮する。また，必要に応じて，海水を供給している下流設備への影響についても考慮する。	○
⑤	換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響	屋外設備等において影響を考慮すべき要因である。なお，必要に応じて，換気系の給気を供給している範囲への影響についても考慮する	○
⑥	換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	屋外設備等において影響を考慮すべき要因である。なお，必要に応じて，換気系の給気を供給している範囲への影響についても考慮する。	○
⑦	発電所周辺の大気汚染	運転員が常時滞在する中央制御室において影響を考慮すべき要因である。	○
⑧	化学的腐食	・建屋構築物，屋外機器において降下火砕物の付着により懸念される腐食についての影響を評価する。 ・海水系において考慮すべき要因であり，降下火砕物が海水中に溶出した場合に懸念される腐食についての影響を評価する。また，必要に応じて，海水を供給している下流の設備への影響についても考慮する。	○
⑨	水質汚染（給水の汚染）	発電所では給水処理装置により水処理した給水を使用しており，降下火砕物の影響を受ける可能性のある海水及び淡水を直接給水として使用していない。また，給水は水質管理を行っており，給水の汚染が設備に影響を与える可能性はない。（参考資料－７）	－
⑩	絶縁低下	電気及び計測制御系の盤のうち屋内にある空気を取り込む機構を有するものについての影響を考慮する。	○

第2表　評価対象施設等と降下火砕物による直接的影響の要因対比（１／２）

評価対象施設等	直接的影響の要因							
	①構造物への静的負荷	③水循環系の閉塞	④水循環系の内部における摩耗	⑤換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響	⑥換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的腐食	⑩絶縁低下
・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	－ ※2	－ ※2	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○	－ ※5
・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	○	○ （ポンプ）	○ （ポンプ）	○ （モータ）	○ （モータ）	－ ※4	○ （ポンプ，電動機）	－ ※5
・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	○	○ （下流設備を含む）	○ （下流設備を含む）	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○ （下流設備を含む）	－ ※5
・海水取水設備	－ ※1	○	○	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○	－ ※5
・計測制御設備（安全保護系）	－ ※6	－ ※2	－ ※2	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○	○

○：影響因子に対する個別評価を実施

－：評価対象外

【除外理由】

※1　静的負荷の影響を受けにくい構造

※2　水循環系の機能と直接関連がない

※3　屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない

※4　中央制御室の居住性と直接関連がない

※5　絶縁低下と直接関連がない

※6　屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない

第2表　評価対象施設等と降下火砕物による直接的影響の要因対比（２／２）

評価対象施設等		直接的影響の要因							
		①構造物への静的負荷	③水循環系の閉塞	④水循環系の内部における摩耗	⑤換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響	⑥換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的腐食	⑩絶縁低下
・換気空調設備	屋内設備	－ ※6	－ ※2	－ ※2	○	○	○	－ （⑥で評価）	－ ※5
	屋外設備	○	－ ※2	－ ※2	○	－ （⑧で評価）	－ ※4	○	－ ※5
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）	屋内設備	－ ※6	○ （海水ポンプ下流側設備として評価）	○ （海水ストレーナ下流側設備として評価）	○	－ （⑧で評価）	－ ※4	○	－ ※5
	屋外設備	○	－ ※2	－ ※2	○	－ （⑧で評価）	－ ※4	○	－ ※5
・主排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒		－ ※1	－ ※2	－ ※2	○	－ ※3	－ ※4	○	－ ※5

○：影響因子に対する個別評価を実施

－：評価対象外

【除外理由】

※1　静的負荷の影響を受けにくい構造

※2　水循環系の機能と直接関連がない

※3　屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない

※4　中央制御室の居住性と直接関連がない

※5　絶縁低下と直接関連がない

※6　屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない

資料－３

直接的影響の評価結果

資料－２の第２表に基づき評価した結果，評価対象施設等において降下火砕物の直接的影響がないことを確認した。評価結果を第１表に示す。

なお，詳細な評価結果を資料－４～１１に示す。また，降下火砕物の影響を受ける可能性のある，その他の施設についての評価結果を参考資料－７～８に示す。

第1表　評価対象施設等の評価結果（1／2）

評価対象施設等	確認結果	確認結果	個別評価
・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	①降下火砕物等の堆積荷重は，各建屋の許容堆積荷重以下であることから，各建屋の健全性に影響を及ぼすことはない。 ⑧各建屋は，外装塗装及び屋上防水がなされていることから，降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－4
・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	①降下火砕物等の堆積荷重により発生する応力は，海水ポンプモータフレームの許容応力値以下であることから，海水ポンプ（モータ含む）の機能に影響を及ぼすことはない。 ③ポンプの狭隘部は降下火砕物の粒径より大きく，軸受には異物逃がし溝が設けられているため，流水部の閉塞，軸受部での軸固着はなく，機能に影響を及ぼすことはない。 ④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く，硬度が小さいが，これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ポンプの機能が喪失した事例はないことから，降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。 ⑤海水ポンプモータは外気を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であり，モータの冷却流路は降下火砕物の粒径より大きいことから，機能に影響を及ぼすことはない。 ⑥⑧海水ポンプ（モータ含む）は，外装塗装等を実施しており，降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－5
・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ	①降下火砕物の堆積荷重により発生する応力は，海水ストレーナの許容応力値以下であることから，海水ストレーナの健全性に影響を及ぼすことはない。 ③想定する降下火砕物の粒径は，ストレーナメッシュ径以下であり，ストレーナが閉塞することはない。また，下流設備であるディーゼル発電機用空気冷却器等の熱交換器伝熱管についても，降下火砕物の粒径以上の内径を確保することにより，伝熱管が閉塞することはない。 ④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く，硬度が小さいが，これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はないことから，降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。 ⑧海水ストレーナはステンレス製で内部に防食亜鉛を設ける等の対応を実施しており，海水と金属が直接接することはなく，化学的腐食により直ちに機器の機能に影響を及ぼすことはない。また，下流設備の熱交換器の伝熱管は耐食性のある材料を用いていることから，降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－6
・海水取水設備（除塵装置）	③想定する降下火砕物の粒径は海水取水設備のバーピッチ及び網枠メッシュ間隔より小さいため閉塞することはない。 ④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く，硬度が小さいが，これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はないことから，降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。 ⑧海水取水設備は防汚塗装がなされていることから，降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－7

※　確認結果内の丸数字は，資料－2 第1表記載 影響を与える可能性のある因子No．を示す

第1表　評価対象施設等の評価結果（2／2）

評価対象施設等	確認結果	確認結果	詳細評価
・計測制御設備（安全保護系）	⑧⑩計測制御設備（安全保護系）が設置されている部屋の空調系の外気取入口にはバグフィルタが設置されているため侵入する降下火砕物は微細なものに限られ，さらに，外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転が可能であることなどから，化学的腐食及び絶縁低下により計測制御設備（安全保護系）の機能に影響を及ぼすことはない。	○	資料－8
・換気空調設備（外気取入口）	①⑥⑧中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンについては，全体を防護する構造物を設置することで降下火砕物が直接堆積しない設計とすることから，堆積荷重及び化学的影響により機能に影響を及ぼすことはない， ⑤外気取入口にはガラリ及びフィルタが取り付けられており降下火砕物が侵入し難い構造となっており，フィルタは交換・清掃が可能であること等から，フィルタ及び流路が閉塞することはない。 ⑦中央制御室換気空調系は，外気取入ダンパを閉止した閉回路循環運転により中央制御室の居住性を維持することができるため，発電所周辺の大気汚染による短期的な影響はない。	○	資料－9
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）	①降下火砕物の堆積荷重により吸気口に発生する応力は許容応力値以下であることから，吸気口の健全性に影響を及ぼすことはない。また，排気消音器及び排気管は降下火砕物が堆積し難い形状になっているため，影響はない。 ⑤吸気口及び排気管は降下火砕物が侵入し難い構造であり，また，吸気フィルタにより降下火砕物が捕集されること，及びディーゼル機関に侵入した場合でも降下火砕物の硬度が低く破砕しやすいことから，機能に影響を及ぼすことはない。また，吸気フィルタは必要に応じて清掃及び交換することができる ⑧吸気口，排気消音器及び排気管は，外装塗装を実施しており，降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－10
・主排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒	⑤主排気筒は降下火砕物が侵入しても排気流路を閉塞されることはなく，機能に影響を及ぼすことはない。また，非常用ガス処理系排気筒については，降下火砕物に対して健全性を損なわない設計とすることから，機能に影響を及ぼすことはない。 ⑧主排気筒外面は外装塗装を実施しており，降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。	○	資料－11

※　確認結果内の丸数字は，資料－2 第1表記載 影響を与える可能性のある因子 No．を示す

資料－４

建屋構築物に係る影響評価

降下火砕物による原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への影響について，以下のとおり評価する。

(1)　評価項目及び内容

①　構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の健全性に影響がないことを評価する。なお，設置許可においては，MS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及びMS-2（放射性物質放出の防止機能）の機能を有する原子炉建屋と建屋自身がクラス1，2施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長く評価結果が厳しくなるタービン建屋を代表として評価概要及び評価結果を示す。

また，工事計画認可においては，原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋について屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性性能を確認し，各建屋に求められる機能設計上の性能目標を確保していることを計算書に示す。

②　構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の構造物への付着や堆積による化学的腐食により，構造物へ影響がないことを評価する。

(2)　評価条件

①　降下火砕物条件

ａ．堆積量：50cm

b．密度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

$0.5(m) \times 1,500(kg／m^3) \times 9.80665(m／s^2)=7,355(N／m^2)$

② 積雪条件

a．堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

b．単位荷重：堆積量1cmごとに20N／m^2（建築基準法より）

$10.5(cm) \times 20(N／m^2／cm)=210(N／m^2)$

③ 固定荷重

a．原子炉建屋：5,364N／m^2

b．タービン建屋：5,678N／m^2

④ 積載荷重

「建築構造設計規準の資料（国土交通省 平成27年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における980N／m^2を包絡するように，除灰時の人員荷重として1,000N／m^2とする。

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

a．評価対象部位の選定

以下の理由から各建屋の屋根スラブと主トラスを評価対象部位として選定する。

(a) 主要な部位のうち，梁間方向に配されている主トラスと，屋根スラブが主体構造として，降下火砕物の鉛直方向に対して抵抗している。

(b) 原子炉建屋の屋根スラブはMS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及びMS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を担保しているため。

b．許容限界の設定

(a) 原子炉建屋

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	構造強度を有すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※1
		主トラス		終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3
遮蔽性	遮蔽生体の損傷により遮蔽機能を損なわないこと	屋根スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3

※1 構造強度に対しては，「終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界」が許容限界となるが，気密性，遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから，「短期許容応力度」で評価

※2 弾性限耐力として，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005)」（以下「S 規準」という。）の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

※3 「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社) 日本建築学会，2005)」(以下「RC-N 規準」という。）の短期許容応力度で評価

(b) タービン建屋

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	構造強度を有すること	屋根スラブ	落下しないことを確認※1	終局耐力※3
		主トラス	崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと

※1 屋根スラブの落下により，内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから，機能維持のために落下しないことを確認

※2 機能に対しては終局耐力が許容限界となるが，「RC-N 規準」の短期許容応力度で評価

c．評価方法

(a)　屋根スラブ

RC-N 規準に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメント及び面外せん断応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

(b)　主トラス

S 規準に基づき，評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントが，許容限界を超えないことを確認する。

d．評価結果

降下火砕物の堆積荷重に対して，各建屋の許容限界を超えることはない。評価結果を第 1 表～第 7 表に示す。なお，一部の部材について座屈耐力で評価したタービン建屋については，工事計画認可において荷重増分解析を実施し，改めて屋根部が崩壊しないことを確認する。

第 1 表　原子炉建屋 屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果
（検定：短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm^2)		発生曲げモーメント（kN・m）		必要鉄筋量 (mm^2)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 64.08 (S1-1)	705.6	705.6	5.17	2.59	323.1	161.6	0.46	0.23
EL 64.08 (S1-2)	705.6	705.6	3.52	1.98	220.2	123.9	0.32	0.18

第 2 表　原子炉建屋 屋根スラブ（せん断力）評価結果
（検定：短期許容応力度）

部位	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	1.06	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	1.06	0.19

第 3 表　原子炉建屋　主トラス評価結果（検定：弾性限耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm²)	許容値 (N／mm²)	検定値
上弦材 (H-400×400×13×21)	(圧縮)	112.7	257.3	0.60
	(曲げ)	40.3	255.4	
下弦材 (H-400×400×13×21)	(引張)	157.6	258.5	0.79
	(曲げ)	44.9	195.9	
斜材 (2Ls-150×150×15)	(引張)	207.8	258.5	0.81
束材 (2Ls-150×150×15)	(圧縮)	152.0	158.2	0.97

第 4 表　タービン建屋 屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果
（検定：短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm²)		発生曲げモーメント (kN・m)		必要鉄筋量 (mm²)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 40.65	635.0	635.0	7.36	4.14	460.0	258.7	0.73	0.41

第 5 表　タービン建屋 屋根スラブ（せん断力）評価結果
（検定：短期許容応力度）

部位	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N／mm²)	許容値 (N／mm²)	検定比
EL 40.65	17.69	0.381	1.06	0.36

第６表　タービン建屋　主トラス評価結果（検定：弾性限耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値
上弦材 (H-428×407×20×35)	(圧縮)	179.9	250.0	0.96
	(曲げ)	59.9	258.0	
下弦材 (H-428×407×20×35)	(圧縮)	55.2	152.0	1.04※1
	(曲げ)	162.1	241.0	
斜材 (2Ls-200×200×20)	(引張)	201.7	258.0	0.79
束材 (2Ls-200×200×15)	(圧縮)	184.7	212.0	0.88

※1　検定値を超過した下弦材は，終局耐力に対して評価を行う。

第７表　タービン建屋　主トラス評価結果（検定：終局耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値
下弦材 (H-428×407×20×35)	(圧縮)	55.2	177.3	0.94
	(曲げ)	162.1	258.5	

評価の詳細は，参考資料－１２「原子炉建屋の健全性評価について」及び参考資料－１３「タービン建屋の健全性評価について」を参照。

② 構造物への化学的影響（腐食）

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は外壁塗装及び屋上防水がなされていることから，降下火砕物による化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

また，降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 8 表に示す。

第 8 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

資料－５

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（電動機含む）に係る影響評価

降下火砕物による残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（電動機含む）への影響について，以下のとおり評価する。

＜評価対象＞

・残留熱除去系海水系ポンプ
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

(1)　評価項目及び内容

①　構造物への静的負荷

降下火砕物が堆積した場合に堆積荷重が厳しい条件となる電動機フレームについて健全性に影響がないことを評価する。なお，堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

②　水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにより取水した場合でも，流水部，軸受部等が閉塞せず，機器の機能に影響がないことを評価する。

③　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにより取水した場合でも，降下火砕物と内部構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

④　換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

降下火砕物の電動機冷却空気への侵入により，地絡・短絡及び空気冷却器冷却管等への侵入による閉塞等，機器の機能に影響がないことを評価する。

⑤　化学的腐食（換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響を含む）

降下火砕物の付着，堆積による構造物の化学的腐食及び降下火砕物が混入した海水を取水したことによる構造物内部の化学的腐食により，機器の機能に影響がないことを評価する。

(2)　評価条件

①　降下火砕物条件

ａ．堆積量：50cm

ｂ．粒　径：8mm 以下

ｃ．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

ｄ．荷　重：7,355N／m^2

②　積雪条件

ａ．堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

ｂ．単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N／m^2（建築基準法より）

ｃ．荷　重：210N／m^2

(3)　評価結果

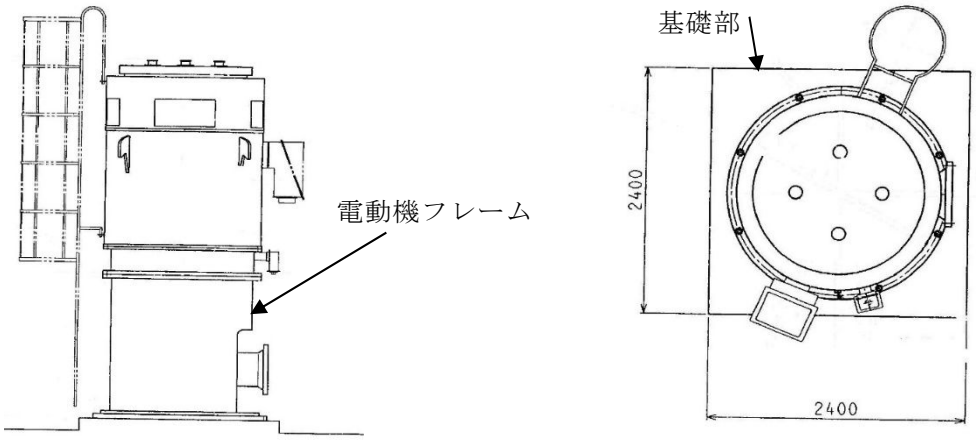
①　構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は，荷重の影響を受けや

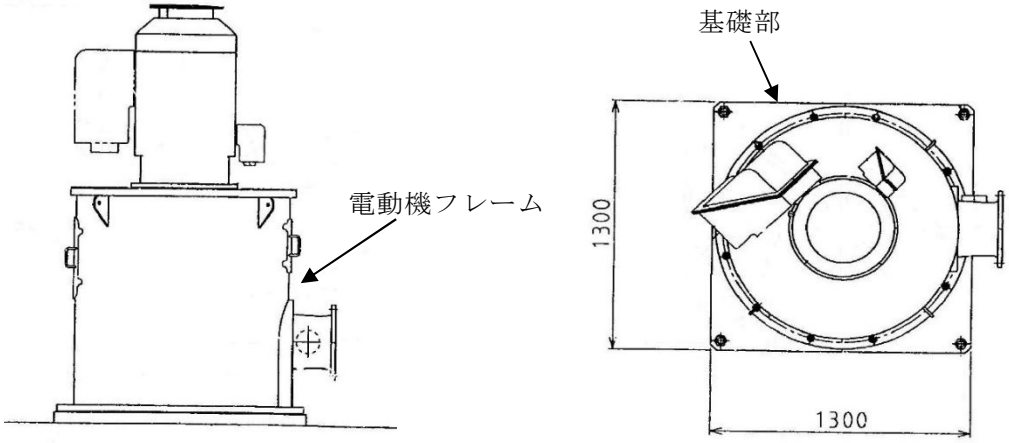
すい電動機フレームとし，堆積面積は保守的に基礎部面積とする。なお，海水ポンプ上部には降下火砕物が一様に堆積し，荷重の偏りは発生しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから，評価応力は圧縮応力のみとする。（第 1 表，第 1 図，第 2 図）

第 1 表　海水ポンプ電動機の評価条件

項目	評価条件	
	残留熱除去系海水系ポンプ	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む）用海水ポンプ
電動機荷重	13,700kg	630kg
ポンプロータ荷重	1,500kg	600kg
電動機フレーム外径D	1,680mm	1,100mm
電動機フレーム内径 d	1,648mm	1,076mm



第1図　残留熱除去系海水系ポンプ　評価部位概要図



第 2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）海水系ポンプ　評価部位概要図

【残留熱除去系海水系ポンプ】

ａ．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

電動機上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$A=2.4\times2.4=5.76(m^2)$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$F_1=7,355\times5.76=4.24\times10^4(N)$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$F_2=210\times5.76=1.21\times10^3(N)$

ｂ．電動機及びポンプロータによる軸方向荷重

軸方向荷重$F_3=(13,700+1,500)\times9.80665=1.49\times10^5(N)$

ｃ．フレームに生じる圧縮応力

電動機フレームの断面積 S は次のとおり。

$$S=\frac{\pi}{4}\times\left(D^2-d^2\right)=\frac{\pi}{4}\times(1,680^2-1,648^2)=8.36\times10^{-2}(m^2)$$

D：フレーム外径（mm）

d：フレーム内径（mm）

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma=\frac{F_1+F_2+F_3}{S}=\frac{4.24\times10^4+1.21\times10^3+1.49\times10^5}{8.36\times10^{-2}}=2.31MPa$$

d．評価結果

当該ポンプの許容応力σ_cは，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造物」における$Ⅲ_AS$の許容応力より，

$\sigma_c=229MPa$

よって，$\sigma<\sigma_c$となり，発生応力は許容応力を十分下回っており，残留熱除去系海水系海水ポンプの健全性を損なうことはない。

【非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ】

a．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

電動機上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$A=1.3\times1.3=1.69(m^2)$

よって，降下火砕物による鉛直荷重F_1は次のとおり。

$F_1=7,355\times1.69=12.43\times10^3(N)$

同様に，積雪による荷重F_2は次のとおり。

$F_2=210\times1.69=3.55\times10^2(N)$

b．電動機及びポンプロータによる軸方向荷重

軸方向荷重$F_3=(630+600)\times9.80665=1.21\times10^4(N)$

c．フレームに生じる圧縮応力

電動機フレームの断面積Sは次のとおり。

$$S=\frac{\pi}{4}\times\left(D^2-d^2\right)=\frac{\pi}{4}\times(1,100^2-1,076^2)=4.10\times10^{-2}(m^2)$$

D：フレーム外径（mm）

d：フレーム内径（mm）

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma=\frac{F_1+F_2+F_3}{S}=\frac{12.43\times10^3+3.55\times10^2+1.21\times10^4}{4.10\times10^{-2}}=0.61MPa$$

d．評価結果

当該ポンプの許容応力 σ_c は，ＪＥＡＧ4601の「その他の支持構造物」における$Ⅲ_AS$の許容応力より，

$\sigma_c=240MPa$

よって，$\sigma<\sigma_c$となり，発生応力は許容応力を十分下回っており非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプの健全性を損なうことはない。

②　水循環系の閉塞

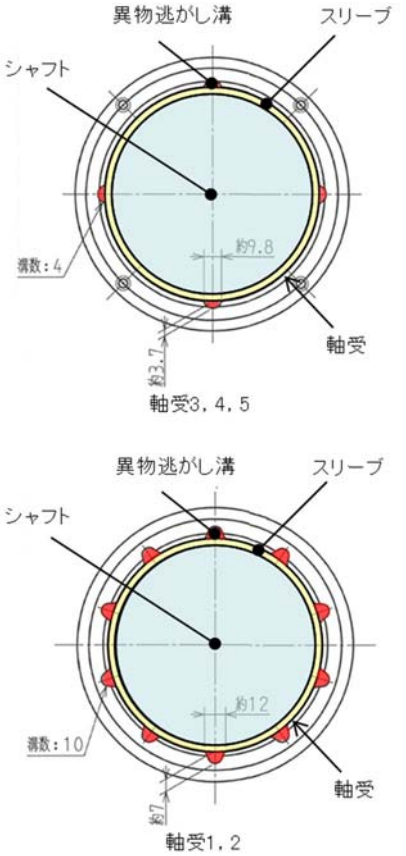
a．流水部の閉塞

海水ポンプ流水部の最も狭い箇所は，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプ流水部の約24mmであり，想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，閉塞には至らない。

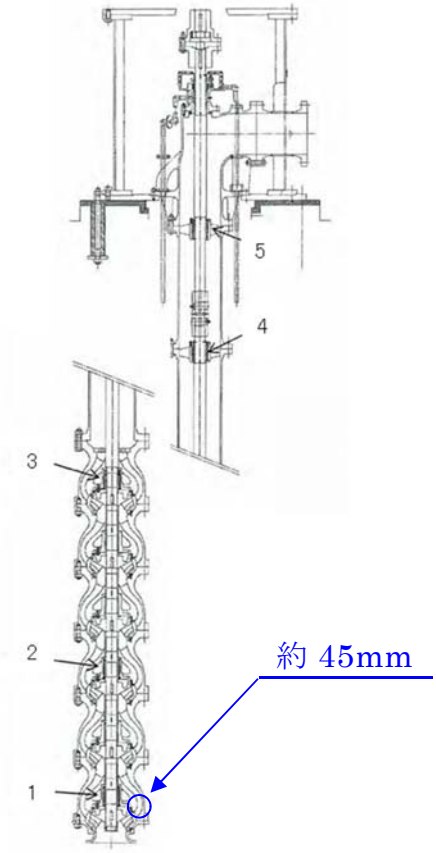
b．軸受部への影響

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心ス

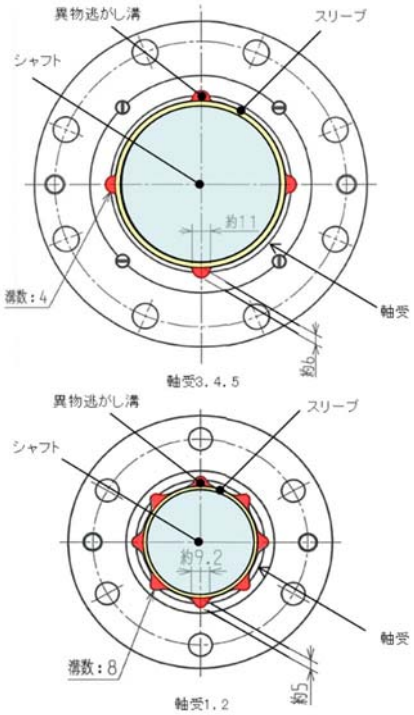
プレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの軸受の隙間は，約1.0mm の許容値で管理されている。一部の降下火砕物は，軸受けの隙間より，軸受け内部に侵入する可能性があるが，異物逃がし溝（最小約 3.7mm）が設けられており，軸受部の閉塞には至らない。また，異物逃がし溝より粒径の大きい降下火砕物は軸受隙間に入り込まずにポンプ揚水とともに吐出口へ流されるため閉塞することはない。



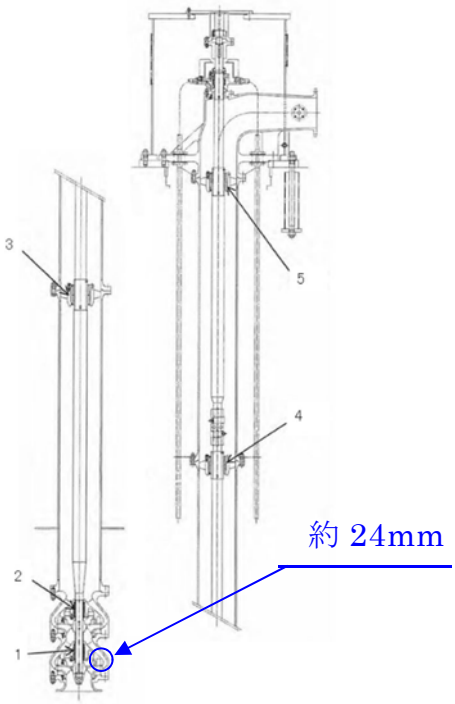
第 3 図　残留熱除去系海水系ポンプ軸受部



第 4 図　残留熱除去系海水系ポンプ断面図



第 5 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ軸受部



第 6 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ断面図

③　水循環系の摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破砕し易く※1，硬度が小さい※2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプの機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

※1　武若耕司(2004)：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状，コンクリート工学，Vol.42，No.3，p.38-47
※2　恒松修二・井上耕三・松田応作(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌84[6]，p.32-40

④　換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

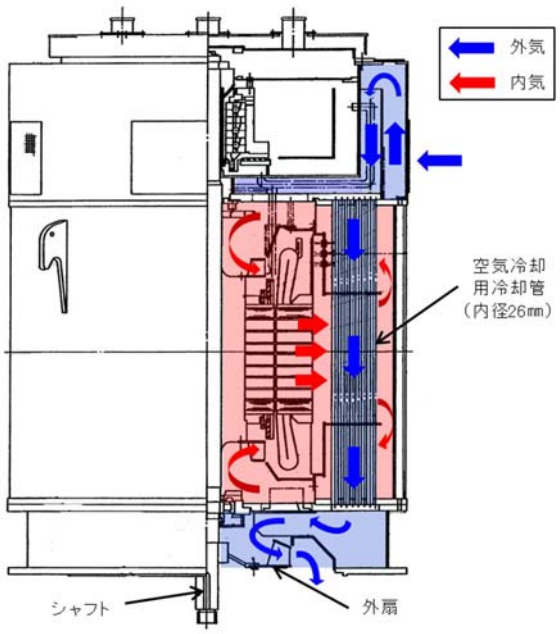
【残留熱除去系海水系ポンプ】

ａ．電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプ電動機は第7図に示すとおり電動機本体を全閉構造とし，空気冷却器を電動機側面に設置して外気を直接電動機内部に取り込まない全閉防まつ屋外型の冷却方式であり，降下火砕物が電動機内部に侵入することはない。

ｂ．空気冷却器冷却管への侵入による閉塞

図7に示すとおり，冷却管の内径（約26mm）は想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，降下火砕物が侵入としても冷却管が閉塞することはなく機能を損なうことはない。



第７図　残留熱除去系海水系ポンプ電動機の冷却方式

【非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ】

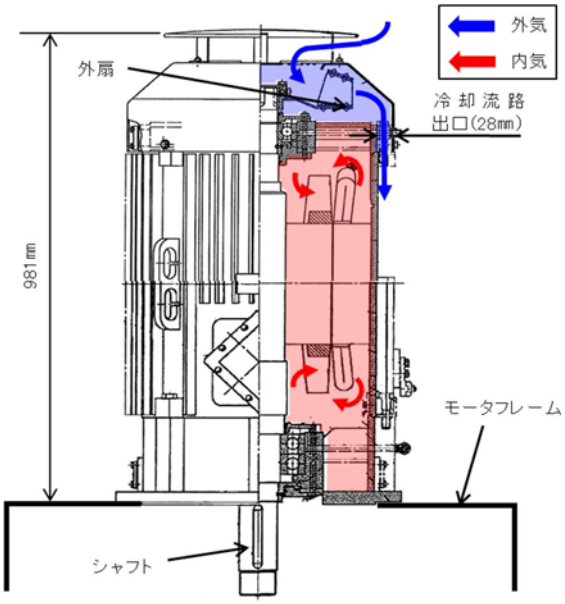
ａ．電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプ電動機は第８図に示すとおり電動機本体を全閉構造とし，電動機上端ファン（外扇）によりハウジングを冷却する構造のため外気を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であり，降下火砕物が電動機内部に侵入することはない。

ｂ．冷却流路への侵入による閉塞

図８に示すとおり電動機上端ファン（外扇）にはキャップが取り付けられており降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。

降下火砕物が侵入したとしても，冷却流路の出口径（約 28mm）は想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，冷却流路が閉塞することはなく機能を損なうことはない。



第８図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の冷却方式

⑤　化学的腐食（換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響を含む。）

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの接液部は，耐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼を採用していること，並びに連続通水状態であり，著しい腐食環境になることはなく，化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはない。

また，残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（電動機）についても外装塗装を実施しており，降下火砕物と金属が直接接触することはなく，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 2 表に示す。

第 2 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

資料－６

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ（下流設備含む）に係る影響評価

降下火砕物による残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ（下流設備含む）への影響について，以下のとおり評価する。

＜評価対象＞

・残留熱除去系海水系ストレーナ（下流設備含む）
・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ（下流設備含む）

(1)　評価項目及び内容

①　構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により海水ストレーナの健全性に影響がないことを評価する。なお，堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

②　水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を取水することにより，海水ストレーナ（下流設備含む）が閉塞しないことを評価する。

③　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することによる降下火砕物と構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

④　化学的影響

降下火砕物の付着による構造物の腐食及び降下火砕物が混入した海水を取水することによる構造物内部の腐食により，機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

a．堆積量：50cm

b．粒　径：8mm 以下

c．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

d．荷　重：7,355N／m^2

② 積雪条件

a．堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

b．単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N／m^2（建築基準法より）

c．荷　重：210N／m^2

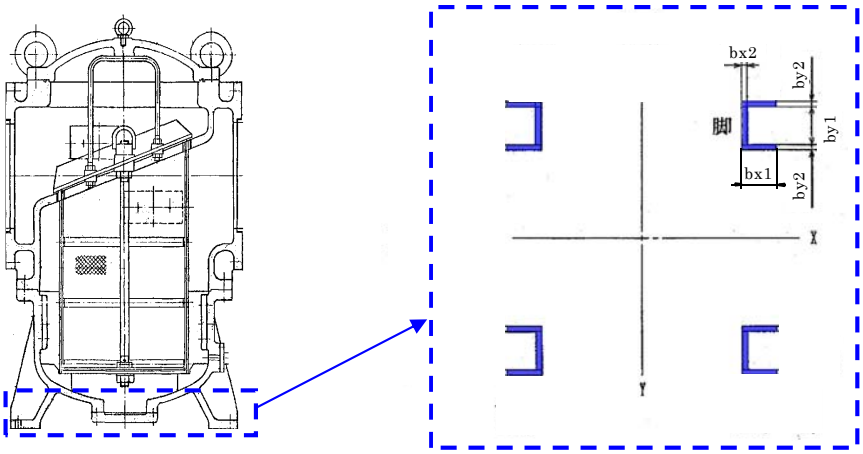
(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

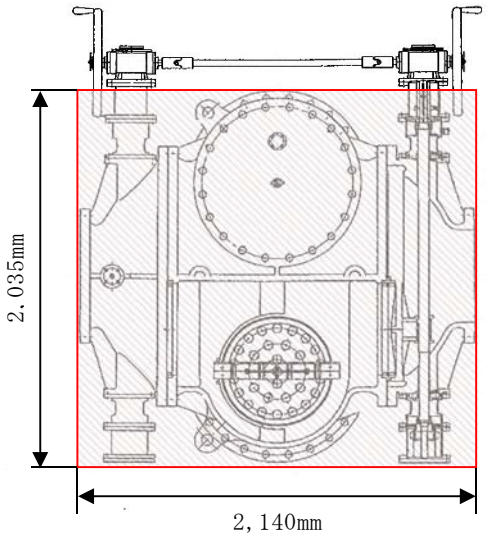
降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は，荷重の影響を受けやすい支持脚とし，堆積面積は保守的に基礎部面積とする。なお，海水ストレーナ上部には降下火砕物が一様に堆積し，荷重の偏りは発生しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから，評価応力は圧縮応力のみとする。（第 1 表，第 1 図～第 3 図）

第１表　海水ストレーナの評価条件

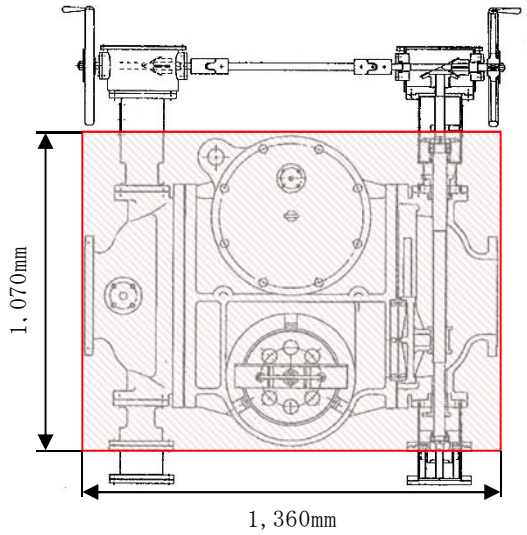
項目	評価条件			
	残留熱除去系海水系ストレーナ		非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む）用海水ストレーナ	
機器重量（運転質量）	9,850kg		2,030kg	
支持脚寸法	bx1	150mm	bx1	100mm
	bx2	25mm	bx2	15mm
	by1	174mm	by1	95mm
	by2	25mm	by2	15mm



第１図　海水ストレーナ評価部位概要図（共通）



第２図　海水ストレーナ堆積部分（残留熱除去系海水系ストレーナ）



第3図　海水ストレーナ堆積部分（非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ）

【残留熱除去系海水系ストレーナ】

ａ．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

ストレーナ上面の降下火砕物が堆積する面積Aは次のとおり。

$A=2.140\times2.035=4.35(m^2)$

よって，降下火砕物による鉛直荷重F_1は次のとおり。

$F_1=7,355\times4.35=3.20\times10^4(N)$

同様に，積雪による荷重F_2は次のとおり。

$F_2=210\times4.35=9.14\times10^2(N)$

ｂ．機器重量による鉛直荷重

機器重量荷重$F_3=9,850\times9.80665=9.66\times10^4(N)$

ｃ．支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積Sは次のとおり。

$S=(150\times25\times2+25\times174)\times4=4.74\times10^{-2}(m^2)$

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma=\frac{F_1+F_2+F_3}{S}=\frac{3.20\times10^{4}+9.14\times10^{2}+9.66\times10^{4}}{4.74\times10^{-2}}=2.74(\mathrm{MPa})$$

ｄ．評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力 σ_c は，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造物」における $\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ の許容応力より，

$\sigma_c=184\mathrm{MPa}$

よって，$\sigma<\sigma_c$ となり，発生応力は許容応力を十分下回っており残留熱除去系海水ストレーナの健全性を損なうことはない。

【非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ストレーナ】

ａ．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

ストレーナ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$A=1.360\times1.070=1.46(\mathrm{m}^2)$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$F_1=7,355\times1.46=10.74\times10^{3}(\mathrm{N})$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$F_2=210\times1.46=3.07\times10^{2}(\mathrm{N})$

ｂ．機器重量による鉛直荷重

機器重量荷重 $F_3=2,030\times9.80665=1.99\times10^{4}(\mathrm{N})$

ｃ．支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$S=(100\times15\times2+15\times95)\times4=1.77\times10^{-2}(\mathrm{m}^2)$

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma=\frac{F_1+F_2+F_3}{S}=\frac{10.74\times10^{3}+3.07\times10^{2}+1.99\times10^{4}}{1.77\times10^{-2}}=1.75(\mathrm{MPa})$$

ｄ．評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力 σ_c は，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造物」における $\mathrm{III}_A\mathrm{S}$ の許容応力より，

σ_c=184MPa

よって，$\sigma<\sigma_c$ となり，発生応力は許容応力を十分下回っており非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ストレーナの健全性を損なうことはない。

② 水循環系の閉塞

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ストレーナは粒径 8mm の降下火砕物に対して，ストレーナのメッシュ径を降下火砕物の粒径以上とすることで,降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ストレーナより下流の機器の伝熱管等は，第 2 表のとおり，降下火砕物の粒径以上の内径を確保することにより閉塞することがない設計とする。

また，降灰が確認された場合は，取水路内への降下火砕物の流入量を低減するために，取水路前面にオイルフェンスを設置する。

第2表　海水ストレーナより下流の機器の伝熱管

機　　器		伝熱管内径 （狭隘部）
非常用ディーゼル発電機 （高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機を含む。）用冷却器	空気冷却器	取替（8mm 以上）
	潤滑油冷却器	13.6mm
	清水冷却器	13.6mm
	燃料弁冷却油冷却器	13.6mm
残留熱除去系熱交換器		20.4mm
RCIC，RHR，LPCS，HPCS ポンプ室空調器		13.5mm
格納容器雰囲気モニタリング系冷却器		取替（8mm 以上）

③　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破砕し易く※1，硬度が小さい※2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

※1　武若耕司(2004)：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状，コンクリート工学，Vol.42，No.3，p.38-47
※2　恒松修二・井上耕三・松田応作(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌84[6]，p.32-40

④　化学的腐食

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナはステンレス製で内部に防食亜鉛を設けていること，並びに連続通水状態であり，著しい腐食環境になることはなく，化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはなく，下流設備（伝熱管）は耐食性のある材料を用いていることから，腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去

後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 3 表に示す。

第 3 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

資料－7

海水取水設備に係る影響評価

降下火砕物による海水取水設備への影響について，以下のとおり評価する。

(1)　評価項目及び内容

①　水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を取水することにより，除塵装置が閉塞しないことを評価する。

②　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することによる降下火砕物と構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

③　化学的腐食

降下火砕物の付着による構造物の腐食及び降下火砕物が混入した海水を取水することによる構造物内部の腐食により機器の機能に影響がないことを評価する。

(2)　評価条件

降下火砕物粒径：8mm 以下

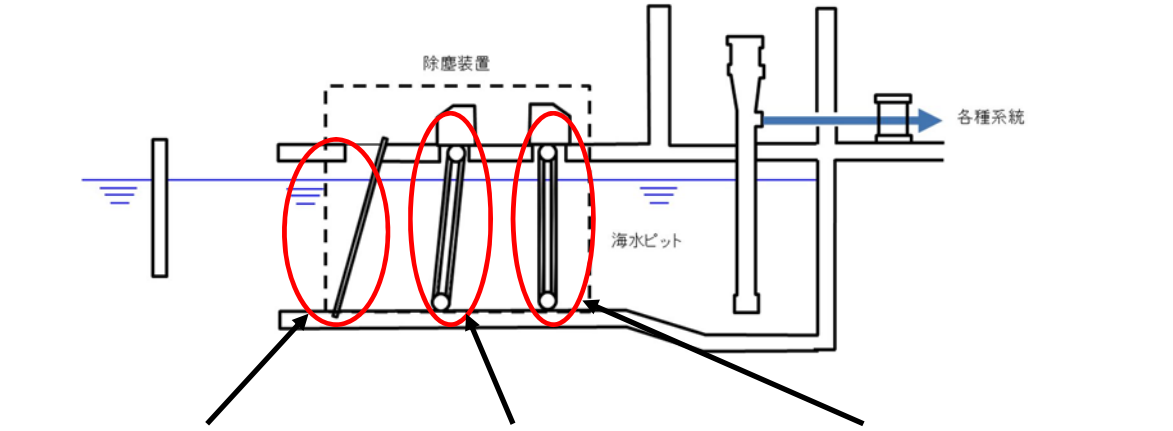
(3)　評価結果

①　水循環系の閉塞

第 1 図に示すとおり，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水系ポンプ前面には，バースクリーン，回転バースクリーン，トラベリングスク

リーンからなる海水取水設備（除塵装置）を設置している。

スクリーンにはそれぞれバー枠，網枠が設置されており，それらのバーピッチ及び網枠メッシュに対して，想定する降下火砕物の粒径は十分小さいこと及び粘性を生じさせる粘土鉱物等は含まれていないことから，海水取水設備（除塵装置）が閉塞することはなく，機能を損なうことはない。各海水取水設備のバーピッチ及びメッシュ間隔を第1表に示す。



第1図　海水取水設備概略図

第1表　海水取水設備のバーピッチ及びメッシュ間隔

設備	①バースクリーン	②回転バースクリーン	③トラベリングスクリーン
間隔	バーピッチ：140mm	バーピッチ：25mm	網枠メッシュ：10mm

②　水循環系の内部における摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破砕し易く※1，硬度が小さい※2。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，海水取水設備の機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能

性は小さい。

※1　武若耕司(2004)：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状，コンクリート工学，Vol.42，No.3，p.38-47
※2　恒松修二・井上耕三・松田応作(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌84[6]，p.32-40

③　化学的腐食

海水取水設備は防汚塗装等を施しており，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。また，電気，計装設備等の付帯設備については端子箱等に納入されており，降下火砕物の直接的影響は受けない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第2表に示す。

第2表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への堆積負荷	静的負荷の影響を受けにくい構造
換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

資料－８

計測制御設備（安全保護系）に係る影響評価

降下火砕物により電気系及び計測制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する計測制御設備（安全保護系）への影響について，以下のとおり評価する。

空気を取り込む機構の考え方については，資料－８（添付資料－１）に示す。

(1)　評価項目及び内容

①　化学的腐食

降下火砕物が盤内に侵入する可能性及び侵入した場合の計測制御設備（安全保護系）の腐食により機器の機能に影響がないことを評価する。

②　絶縁低下

降下火砕物が盤内に侵入する可能性及び侵入した場合の計測制御設備（安全保護系）の絶縁低下により機器の機能に影響がないことを評価する。

(2)　評価条件

降下火砕物粒径：8mm 以下

(3)　評価結果

①　化学的腐食

計測制御設備（安全保護系）については，その発熱量に応じて盤内に換気ファンを設置している場合があるため，換気に伴い降下火砕物が計測制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

計測制御設備（安全保護系）が設置されているエリアは，中央制御室換気空調系にて空調管理されており，外気取入口にはバグフィルタ（ＪＩＳ Ｚ 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されているため，室内に侵入する降下火砕物は微量で，微細な粒子と推定される。

このため，仮に室内に侵入する場合でも降下火砕物は微細なものに限られ，大量に盤内に侵入する可能性は小さいことから，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。さらに，降下火砕物が確認された場合は，外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより降下火砕物の侵入を阻止することが可能であることから，計測制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。

② 絶縁低下

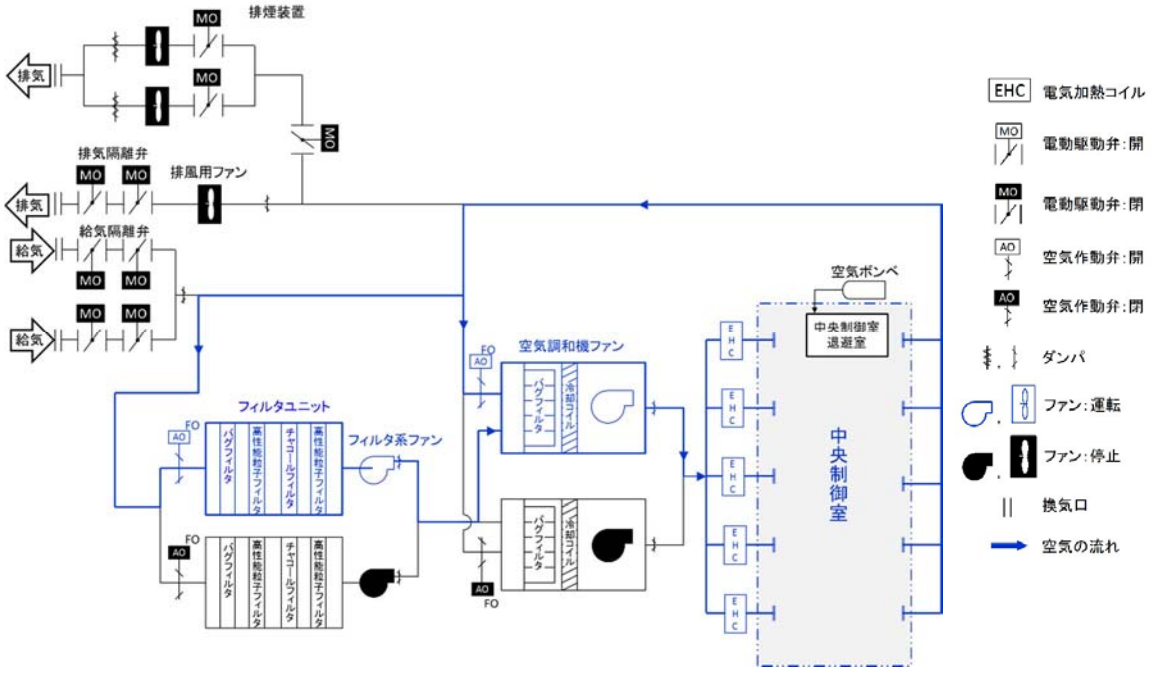
計測制御設備（安全保護系）については，その発熱量に応じて盤内に換気ファンを設置している場合があるため，換気に伴い降下火砕物が計測制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

計測制御設備（安全保護系）が設置されているエリアは，中央制御室換気空調系にて空調管理されており，外気取入口にはバグフィルタ（ＪＩＳ Ｚ 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されているため，室内に侵入する降下火砕物は微量で，微細な粒子と推定される。

微細な粒子が計測制御設備（安全保護系）の盤内に侵入した場合，その付着等により短絡等の影響が懸念される箇所は数μmの線間距離となっている集積回路の内部であり，これらはモールド（樹脂）で保護されているため降下火砕物が侵入することはないため，絶縁低下を発生させる

ことはない。

また，端子台等の充電部が露出している箇所については，端子間の距離が数 mm 程度あることから，降下火砕物の付着等により短絡等を発生させることはない。さらに，降下火砕物が確認された場合は，外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより侵入を阻止することが可能であることから，計測制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。中央制御室換気空調設備（閉回路循環運転）の概要図を第 1 図に示す。



第 1 図　中央制御室換気空調設備（閉回路循環運転）概要図

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第1表に示す。

第1表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

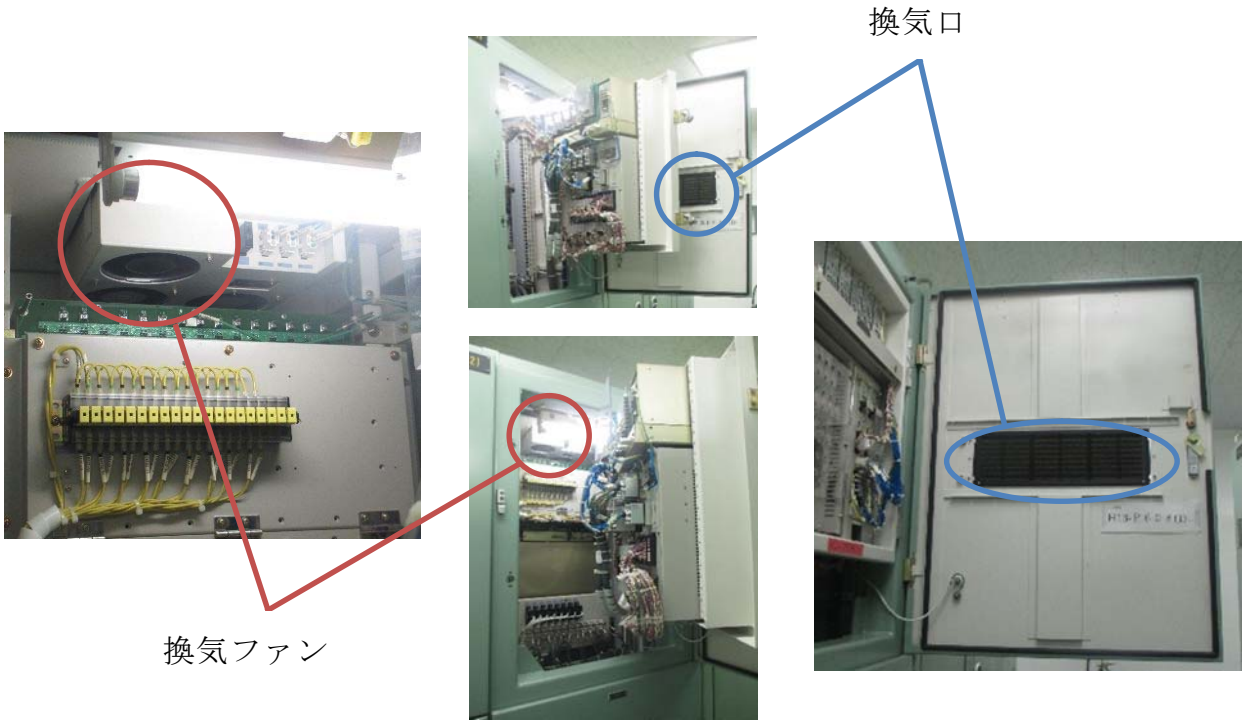
直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない

電気系及び計測制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する盤について

電気系及び計測制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する盤についての考え方を以下に示す。

○　外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する盤

屋内の空気を機器内に取り込む機構とは換気ファンのことであり，安全保護系盤への信号発生元であるロジック盤は発熱量が高いため，盤内に換気ファンが設置されている。（第１図）

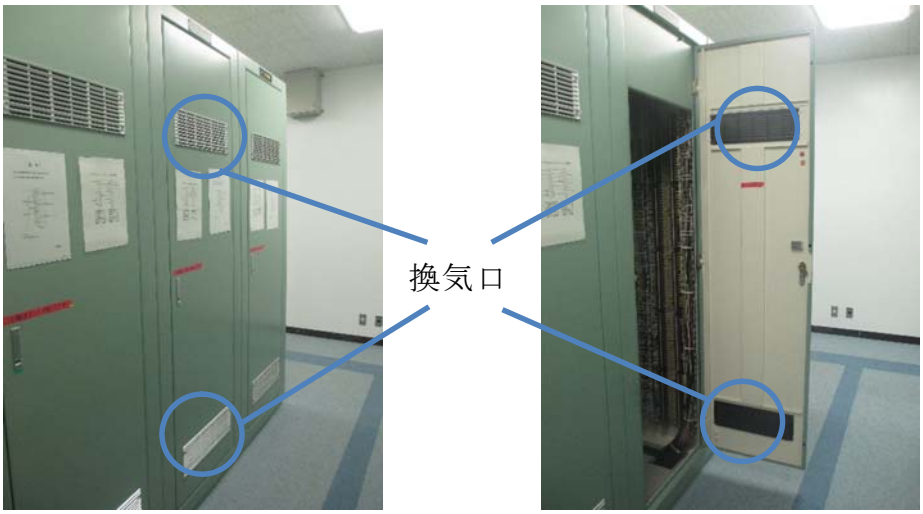


第１図　安全保護系ロジック盤

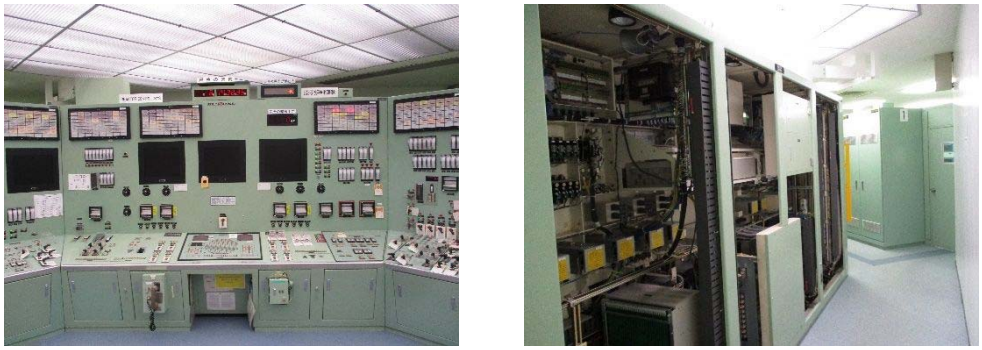
○　外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有しない盤

中央制御室に設置されている安全保護系盤はアナログリレー式のため，換気ファンは設置されていない。

また，原子炉制御盤等には換気口はなく，裏側が開放されているため換気ファンは設置されていない。（第 2 図～第 3 図）



第 2 図　安全保護系盤



第 3 図　原子炉制御盤（換気口無し）

資料－９

換気空調設備に係る影響評価

降下火砕物による換気空調設備への影響について，以下のとおり評価する。

＜評価対象＞

・中央制御室換気空調系（外気取入口・冷凍機）

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）（外気取入口・ルーフベントファン）

(1)　評価項目及び内容

①　構造物への静的負荷

屋外に設置されている中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンについては，降下火砕物の堆積を考慮した防護対策を実施する。

②　換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

降下火砕物が換気空調設備（給気系外気取入口）への侵入等により，機器の機能に影響がないことを評価する。

③　換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（化学的腐食を含む。）

降下火砕物の付着による構造物の腐食により，機器の機能に影響がないことを評価する。

④　大気汚染

降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が換気空調設備を経て運転員が常時居住している中央制御室へ侵入することがないことを評価

する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

ａ．堆積量：50cm

ｂ．粒　径：8mm 以下

ｃ．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

ｄ．荷　重：7,355N／m^2

② 積雪条件

ａ．堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

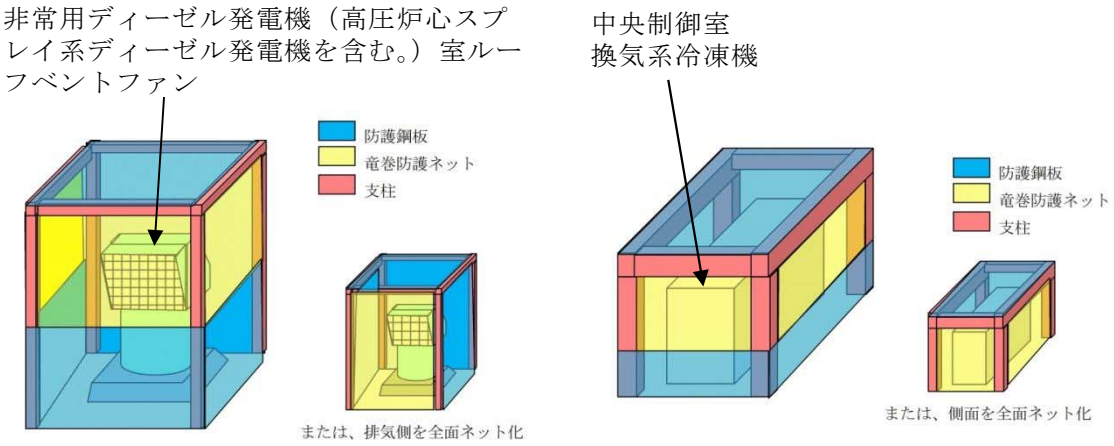
ｂ．単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N／m^2（建築基準法より）

ｃ．荷　重：210N／m^2

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンについては，降下火砕物が堆積にしくい設計若しくは第 1 図のように全体を防護する構造物を設置し，降下火砕物が直接堆積しない設計とする。又は構造物は降下火砕物の荷重を考慮し，降下火砕物荷重により健全性を損なわない設計とする。



第 1 図　換気空調設備　防護イメージ

② 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

中央制御室換気空調設備の外気取入口にはガラリが取り付けられており，降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。また，外気取入口にはバグフィルタ（ＪＩＳ Ｚ 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されることから，給気を供給する系統及び機器に対して，降下火砕物が与える影響は小さい。また，外気取入口は，地上面又は直下にある平面部から 50cm 以上の高さを確保していることから，堆積によって外気取入口が閉塞に至ることはない。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室換気系については，適切なバグフィルタを設置する。また，バグフィルタには差圧計を設置し，必要に応じて清掃及び取り替えることが可能な設計とする。非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）室換気系の概要図を第 2 図に示す。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含

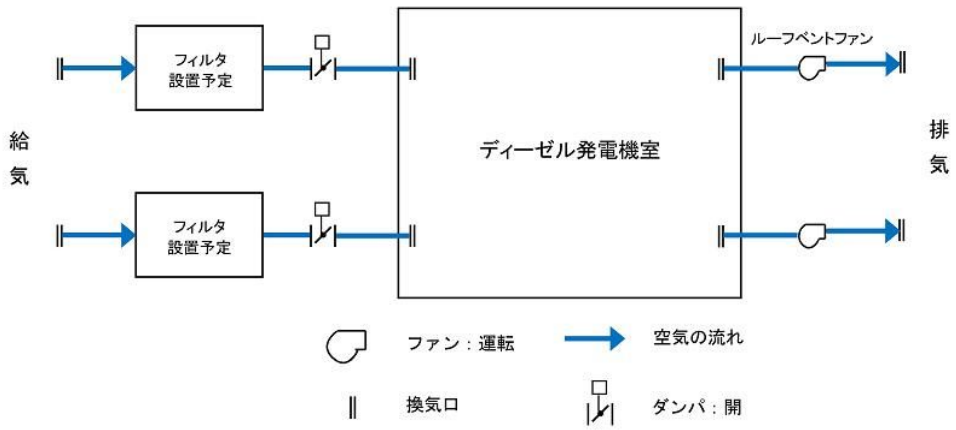
む。）室ルーフベントファンは，開口部が横方向を向いているため降下火砕物により閉塞することはない。

その他の換気空調設備（外気取入口）には，バグフィルタが設置されており，必要に応じて清掃及び取り替えることが可能な設計とする。

また，各換気空調設備（外気取入口）は，外気取入口の直近にある平面部から 50cm 以上を確保していることから，周囲に降下火砕物が堆積したとしても，閉塞に至ることは無い。中央制御室換気空調系の外気取入口を第 3 図，換気空調設備（外気取入口）の概要図を第 4 図に示す。

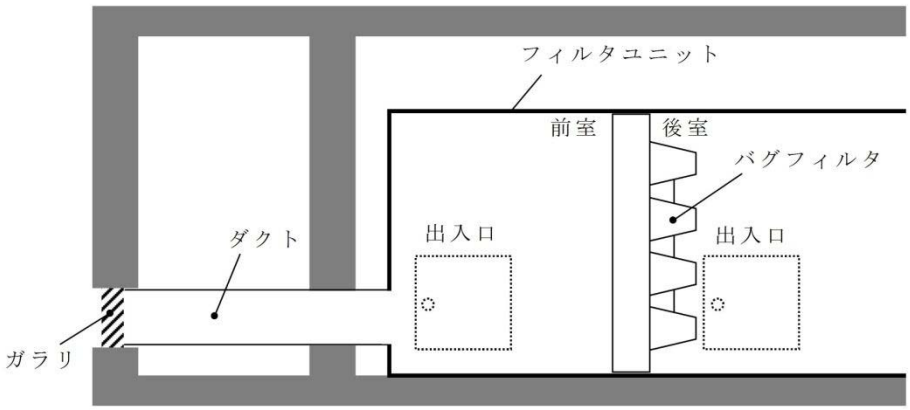
使用済燃料乾式貯蔵建屋の給気口については，給気口の直近にある平面部から 50cm 以上を確保していることから，周囲に降下火砕物が堆積したとしても，閉塞に至ることは無い。

また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の給気口にはガラリが取り付けられており，降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。



第 2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。）室換気系　概要図

第 3 図　外気取入口（中央制御室換気空調系）



第 4 図　換気空調設備（外気取入口）概要図

③　換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的腐食

中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンへの化学的影響については，第 1 図のように全体を防護する構造物を設置することにより，降下火砕物が直接堆積することはないため，直ちに化学的腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

④　大気汚染

運転員が常駐している中央制御室は，中央制御室換気空調設備によっ

て空調管理されており，外気取入口にはガラリが設置されている。ガラリにより空気を下方から吸い込む構造となっていることから，降下火砕物が侵入しにくい。また，外気取入口にはバグフィルタ（ＪＩＳ Ｚ 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されることから，降下火砕物が与える影響は少ない。

また，大気汚染による人に対する居住性の観点から，運転員が常駐する中央制御室については，外気取入口ダンパを閉止し，閉回路循環運転をすることにより，中央制御室の居住性を維持できる。

外気取入ダンパを閉止した場合の中央制御室の酸素濃度等の評価を以下に示す。又，中央制御室換気空調設備の通常運転及び閉回路循環運転の概要図を第 5 図及び第 6 図に示す。

ａ．酸素濃度

「空気調和・衛生工学便覧　第 13 版　第 5 編　空気調和設備設計」に基づき，酸素濃度について評価した。

【評価条件】

・在室人員は運転員定数に保守性を加え 11 人とする。

・中央制御室バウンダリ内体積：2,700m^3

・空気流入はないものとする。

・初期酸素濃度：20.95%

・１人あたりの呼吸量は，事故時の運転操作を想定し，歩行時の呼吸量を適用して，24L／min とする。

・１人あたりの酸素消費量は，呼気の酸素濃度 16.40%から 65.52L／h とする。

・管理濃度は 19%以上とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

上記評価条件から求めた酸素濃度は，第 1 表のとおりであり，72 時間外気取入を遮断したままでも，中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

第 1 表　中央制御室閉回路循環運転における酸素濃度

時間	12時間	24時間	48時間	73時間	管理値
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%	19.0%

b．二酸化炭素濃度

「空気調和・衛生工学便覧　第 13 版　第 5 編　空気調和設備設計」に基づき，二酸化炭素濃度について評価した。

【評価条件】

・在室人員は運転員定数に保守性を加え 11 人とする。

・中央制御室バウンダリ内体積：2,700m^3

・空気流入はないものとする。

・初期二酸化炭素濃度：0.03%

・１人あたりの二酸化炭素吐出量は，事故時の運転操作を想定し，中等作業での吐出量を適用して 0.046m^3／h とする。

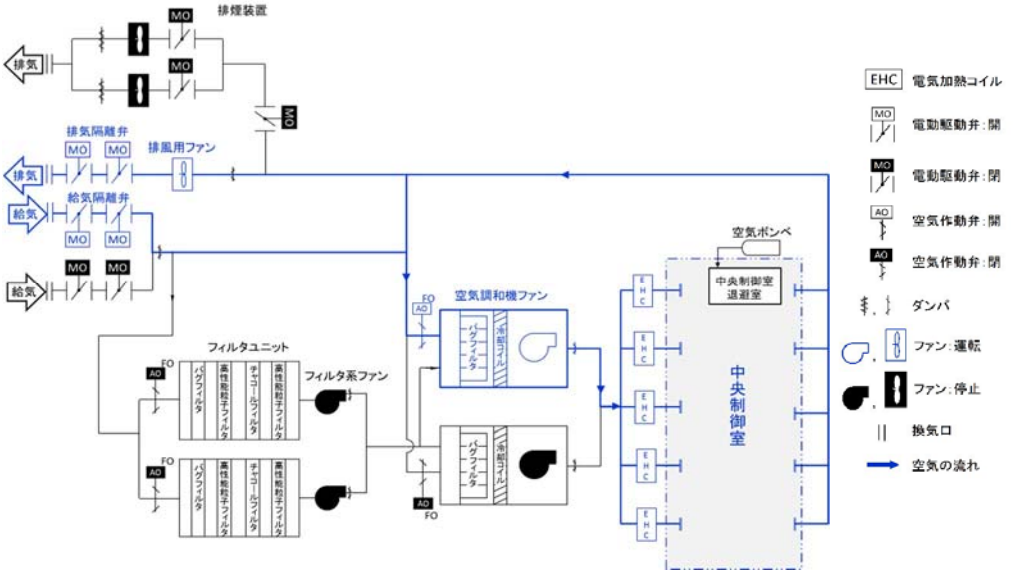
・管理濃度は 1.0%未満とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

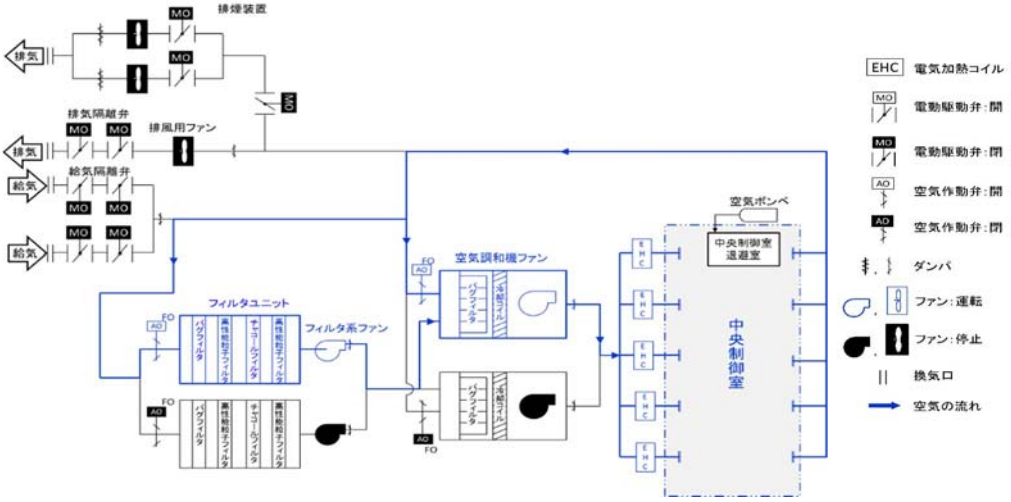
上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は，第 2 表のとおりであり，約 51.7 時間外気取入を遮断したままでも，中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

第 2 表　中央制御室閉回路循環運転における二酸化炭素濃度

時間	12時間	24時間	48時間	51.7時間	管理値
二酸化炭素濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%	1.00%



第 5 図　中央制御室換気空調設備（通常運転）概要図



第 6 図　中央制御室換気空調設備（閉回路循環運転）概要図

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 3 表に示す。

第 3 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
化学的影響	換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響として評価
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

添付資料－１

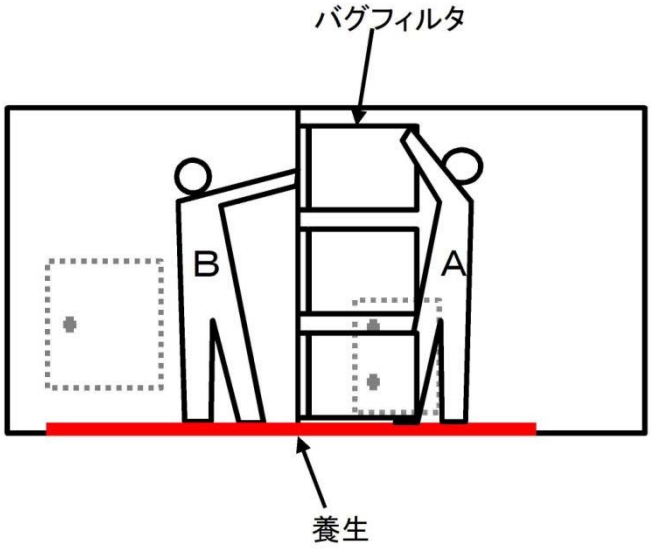
バグフィルタの取替手順について

換気空調系の外気取入口のバグフィルタの取替作業を行う際は，対象となる系統の運転を停止し，ダンパを閉め，系統を隔離してから行う。また，バグフィルタの取替作業は建屋（ガラリ）内で行うため，降下火砕物の影響を受けにくい。

バグフィルタ取替作業時は，作業前に建屋（ガラリ）内を養生し，作業後は清掃を行う。

これらに加え，バグフィルタの取り替えを行う場合，以下の対応を行う。

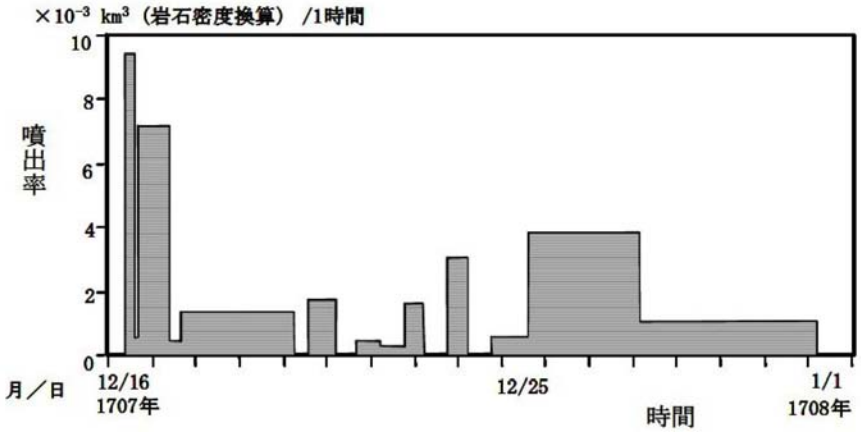
・フィルタの取替作業は建屋（ガラリ）内で行うが，降下火砕物の影響を考慮し保護具（マスク，めがね）を装備する。
・取替作業終了後は降下火砕物の再浮遊の影響を低減させるため，作業エリアの清掃を行う。



第1図　バグフィルタ取替作業イメージ

観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間について

富士山（宝永噴火1707年）の噴出は，断続的に16日間継続している。



第１図　富士山（宝永噴火 1707 年）の噴出率の推移（宮地　他（2002））

火山観測データが存在する最近の観測記録では，噴火の継続時間はほとんどが数時間程度であり，長いものでも 36 時間程度である。

第１表　観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間

噴　火　年　（地域名）	噴煙柱高度 (km)	噴 出 率 (m^3/s)	継続時間 (h)
Pinatubo 1991（フィリピン）	35	250,000	9
Bezymianny 1956（カムチャツカ）	36	230,000	0.5
Santa Maria 1902（グアテマラ）	34	17,000-38,000	24-36
Hekla 1947（アイスランド）	24	17,000	0.5
Soufriere 1979（西インド諸島）	16	6,200	9
Mt.St.Helens 1980（アメリカ合衆国）	18	12,600	0.23
伊豆大島 1986（伊豆）	16	1,000	3
Soufriere 1902（西インド諸島）	14.5-16	11,000-15,000	2.5-3.5
Hekla 1970（アイスランド）	14	3,333	2
駒ヶ岳 1929（北海道）	13.9	15,870	7
有珠山 1977-I（　〃　）	12	3,375	2
Fuego 1971（グアテマラ）	10	640	10
桜島 1914（九州）	7-8	4,012	36
三宅島 1983A-E（伊豆）	6	570	1.5
Heimaey 1973（アイスランド）	2-3	50	8.45
Ngauruhoe 1974（ニュージーランド）	1.5-3.7	10	14

資料－１０

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に係る影響評価

降下火砕物による非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への影響について，以下のとおり評価する。

＜評価対象＞

・非常用ディーゼル発電機

・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機

(1)　評価項目及び内容

①　構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重によりディーゼル発電機吸気口の健全性に影響がないことを評価する。なお，堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。また，風の影響を考慮し，曲げ応力に対する評価も行う。

また，屋外に設置されている排気消音器及び排気管は，降下火砕物が堆積し難い形状をしているため，荷重の影響を受けることはない。

②　換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

降下火砕物のディーゼル発電機への侵入等により，ディーゼル発電機の機能に影響がないことを評価する。

③　化学的腐食

降下火砕物の付着及び堆積による構造物の腐食により，機器の機能に影響がないことを評価する。

(2)　評価条件

①　降下火砕物条件

ａ．堆積量：50cm

ｂ．粒　径：8mm 以下

ｃ．密　度：1.5g／cm^3（湿潤状態）

ｄ．荷　重：7,355N／m^2

②　積雪条件

ａ．堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

ｂ．単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N／m^2（建築基準法より）

ｃ．荷　重：210N／m^2

③　風条件

ａ．風速：30m／s

(3)　評価結果

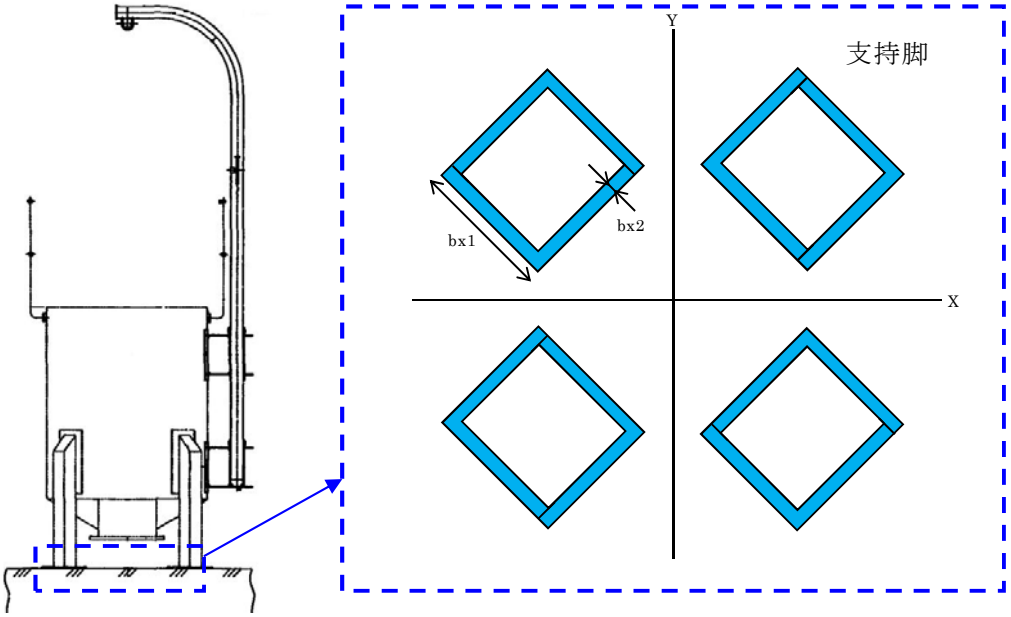
①　構造物への静的負荷

ａ．圧縮応力

堆積荷重の影響に係る評価部位は支持脚とする。なお，非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口は同形状，同寸法である。（第 1 表，第 1 図）

第 1 表　吸気口の評価条件

項目	非常用ディーゼル発電機及び 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用	
吸気口荷重	800kg	
支持脚寸法	bx1	150mm
	bx2	15mm



第１図　吸気口　評価部位概要図（共通）

(a)　降下火砕物と積雪による鉛直荷重

吸気口の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A=\frac{\pi}{4}\times 1.540^2=1.87\ (m^2)$$

よって，降下火砕物及び積雪による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$F_1=7,355\times 1.87=1.38\times 10^4$ (N)

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$F_2=210\times 1.87=3.93\times 10^2$ (N)

(b)　機器重量による鉛直荷重

機器重量荷重　$F_3=800\times 9.80665=7.85\times 10^3$ (N)

(c)　支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$S=\{(150\times 165)-(120\times 135)\}\times 4=3.42\times 10^{-2}\ (m^2)$

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1+F_2+F_3}{S} = \frac{1.38\times10^{4}+3.93\times10^{2}+7.85\times10^{3}}{3.42\times10^{-2}} = 0.65\ (\mathrm{MPa})$$

(d)　評価結果

当該吸気口支持脚の許容応力 σ_c は，ＪＥＡＧ4601 の「その他の支持構造物」における III_A Ｓの許容応力より，

$\sigma_c = 228\mathrm{MPa}$

よって，$\sigma < \sigma_c$ となり，発生応力は許容応力を十分下回っており，ディーゼル発電機吸気口の健全性を損なうことはない。

ｂ．曲げ応力

堆積荷重の影響に係る評価部位は平板，胴板及び支持脚とする。なお，非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口は同形状，同寸法である。

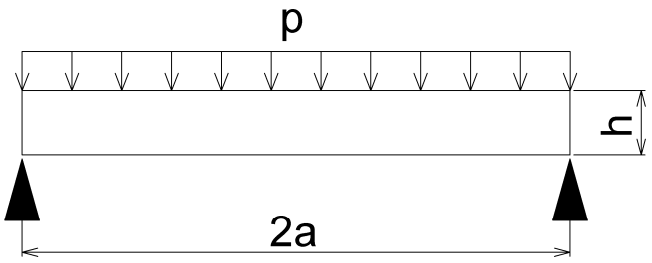
(a)　等分布荷重による評価

平板は等分布荷重による評価を行う。平板評価における荷重条件を第 2 表に示す。

第 2 表　平板評価における荷重条件

荷重条件	降下火砕物等堆積荷重
降下火砕物と積雪による鉛直荷重	7,565N／m^2

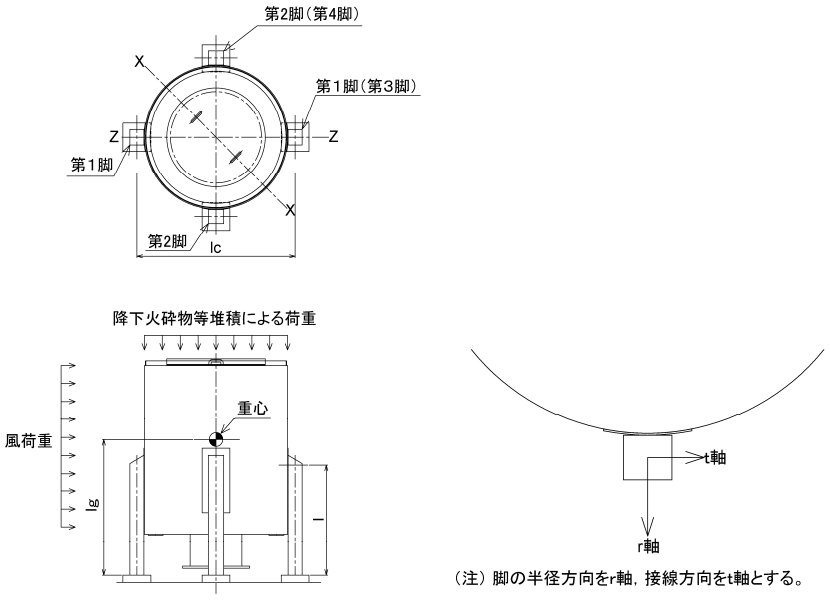
平板は円形であるため，等分布荷重は作用する周辺支持円盤として評価する。平板モデル図を第 2 図に示す。



第 2 図　平板モデル図

(b)　１質点系モデルによる評価

降下火砕物等堆積荷重，自重（鉛直荷重）及び風荷重（水平荷重）の影響に係る評価部位は，胴板，支持脚とする。ＪＥＡＧ 4601 の「四脚たて置円筒形容器」の応力評価を準用し，風荷重による応力を求める。ディーゼル発電機吸気口のモデル図を第 3 図に示す。



第 3 図　ディーゼル発電機吸気口　モデル図

(c)　評価結果

評価結果を第3表に示す。発生応力は許容応力を十分下回っており，ディーゼル発電機吸気口の健全性を損なうことはない。許容値は，平板については，弾性範囲である設計降伏点とし，胴板については，ＪＥＡＧ4601の「クラス２，３容器」における許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓから算出した許容応力，支持脚については，ＪＥＡＧ4601の「その他の支持構造物」における許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓから算出した許容応力を用いた。

第3表　降下火砕物等の荷重による健全性評価結果

評価部位	応力	許容応力 [MPa]	発生応力 [MPa]	評価結果
平板	曲げ	211	2	○
胴板	一次一般膜	236	2	○
	一次	354	5	○
	一次＋二次	482	9	○
支持脚	組合せ	241	5	○
	座屈（圧縮＋曲げ）	1※	0.02※	○

※　検定比（下式）による。

$\sigma_{sr}/f_{br}+\sigma_{st}/f_{bt}+\sigma_{sc}/f_{c}\leqq 1$

②　換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

ａ．ディーゼル発電機機関への影響評価

ディーゼル発電機の吸入空気は第4図に示すように吸気口下部から吸い込まれる流れとなっているため，降下火砕物が侵入し難い構造であり，吸気フィルタ（粒径5～75μｍ程度において約56％以上

捕集可能であり粒径が大きいほど捕集率が上がる）で比較的大粒径の降下火砕物は捕集される。想定する降下火砕物の粒径は 8mm 以下であり，粒径が数μm～数十μm 程度のものについては，第 4 図に示すように過給機及び空気冷却器に侵入するものの，機器の間隙は降下火砕物の粒径に比べて十分大きいことから閉塞することはない。

また，機関シリンダ内に降下火砕物が侵入した場合でも，粒径がシリンダライナとピストンリングの間隙（油膜厚さ相当：数μm～十数μm）と同程度のものは，当該間隙内に侵入し，摩耗発生が懸念されるが，降下火砕物は砂と比較しても破砕し易く※1，硬度が低い※2こと並びにシリンダライナ及びピストンリングはブリネル硬さで 230 程度（ＳＵＳ材 180 程度）の耐摩耗性を有する鋳鉄材であり，これまでの定期点検において有意な摩耗は確認されていないことから降下火砕物による摩耗が設備に影響を与える可能性は小さい。長期的な影響についても，シリンダライナとピストンリングの間隙内に侵入した降下火砕物は，シリンダとピストン双方の往復運動が繰り返されるごとに，更に細かな粒子に破砕され，破砕された粒子はシリンダライナとピストンリング間隙に付着している潤滑油により機関外へ除去される。また，潤滑油系にはフィルタが設置されているが，メッシュ寸法が約 100μm であり，取り込んだ降下火砕物によって閉塞することはなく，長期的な影響も少ないと考えられる。加えて，潤滑油に降下火砕物が混入した場合の影響については，吸気により侵入する降下火砕物はフィルタを通過する際に大部分が捕集され，その後は排気により機関外へ排出されるため，潤滑油に混入する降下火砕物は微細なものに限られ，なおかつ少量なの

で潤滑油への影響は少ないと考えられる。

また，シリンダから排出される排気ガスの温度は，約 500～600℃であることから，融点が約 1,000℃である降下火砕物の溶融による影響はない。

以上のことから，ディーゼル機関に降下火砕物が侵入した場合においても，運転を阻害するに至らない。なお，降下火砕物が確認された場合は，必要に応じて点検等を行う。

※1　武若耕司(2004)：シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状，コンクリート工学，Vol.42，No.3，p.38-47

※2　恒松修二・井上耕三・松田応作(1976)：シラスを主原料とする結晶化ガラス，窯業協会誌 84[6]，p.32-4

b．空気冷却器への影響評価

降下火砕物が混入した吸入空気が空気冷却器を通過する際に，冷却器内が結露することにより，冷却器伝熱管表面に水滴とともに降下火砕物が付着し，熱効率が低下することが考えられる。

結露の有無については吸気管吸気温度（冷却器出口温度）が目安となるが，吸気管吸気温度（冷却器出口温度）は，吸入空気の温度（外気温度）よりも常に高い状態で運転している。

したがって，空気冷却器内の結露により降下火砕物が付着する可能性は極めて低く，降下火砕物による空気冷却器への影響はない。

c．排気管への影響評価

排気管は第 5 図に示すとおり，横方向を向いており降下火砕物が侵入し難い構造となっている。また，運転中は排気していること，待機中であっても外気を吸い込む構造ではないため，降下火砕物が侵入することはない。

③　化学的腐食

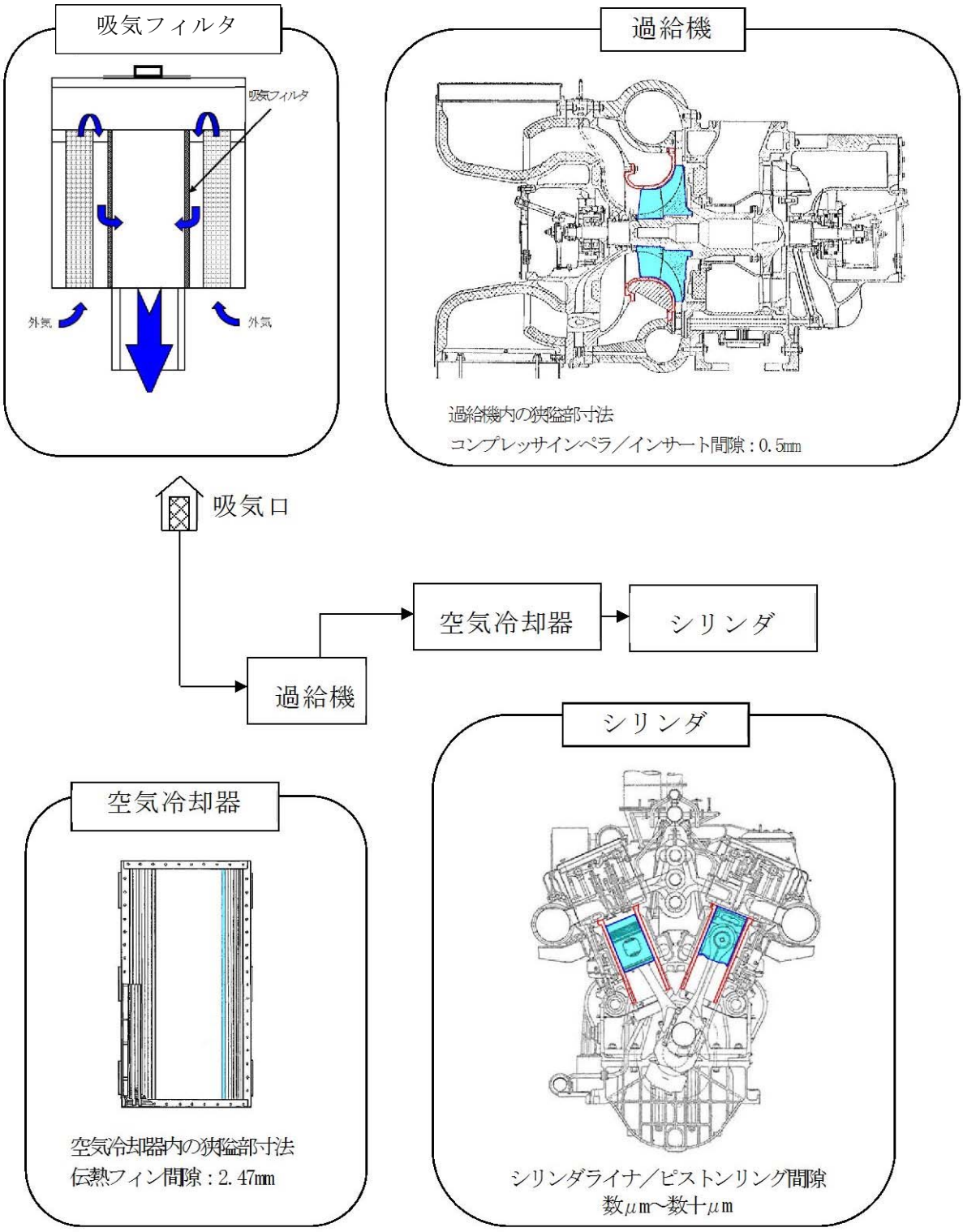
ディーゼル発電機吸気口，排気消音器及び排気管は，外装塗装を実施しており，降下火砕物と金属が直接接触することはなく，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。また，その内外面の腐食によりディーゼル発電機の機能に有意な影響を与えにくい構造である。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において必要に応じて補修作業を実施する。

④　関連設備

軽油貯蔵タンクは地下埋設化することにより，降下火砕物の影響により健全性を損なわない設計とする。また，燃料移送ポンプ等についても同様に地下埋設化とし降下火砕物の影響により健全性を損なわない設計とする。

ベント管は開口部を下向きにする等の降下火砕物が侵入し難い構造とし，地表からの吹き上がりによる侵入も考慮した位置にベント管の開口部を設置することにより降下火砕物の影響を受けない設計とする。



第 4 図　ディーゼル機関吸気系統構造図

第 5 図　ディーゼル発電機排気管

(4)　個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 4 表に示す。

第 4 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

添付資料－１

非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタの閉塞について

非常用ディーゼル発電機の吸気は吸気フィルタ（粒径 5～75μｍ程度において約 56%以上捕集可能であり粒径が大きいほど捕集率が上がる）を介して吸入しているため，降下火砕物の侵入による非常用ディーゼル発電機への影響は小さいと考えられる。なお，非常用ディーゼル発電機の吸気口は，下方から吸気する構造となっており，降下火砕物により容易に閉塞しないものであると考えられるが，万一閉塞した場合の影響について，以下のとおり評価する。

1.　閉塞までに要する時間について

非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタが閉塞するまでの時間を，米国セントヘレンズ火山噴火の濃度値（33,400 μg／m^3）を用いて試算した。

(1)　セントヘレンズの火山噴火データを用いた試算

第 1 表より，吸気フィルタの閉塞時間を試算した結果，約 7 時間となった。

第 1 表　吸気フィルタ閉塞までの時間

①非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ捕集容量[g／m^2]	1,580
②非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ表面積[m^2]	2.9
③非常用ディーゼル発電機吸気フィルタでのダスト捕集量[g] ＝①×②	4,582
④降下火砕物の大気中濃度[μg／m^3]	33,400※
⑤非常用ディーゼル発電機吸気流量[m^3／h]	19,200
⑥閉塞までの時間[h] ＝③／④／⑤	7.14

※　米国セントヘレンズ火山で発生（1980 年 5 月）した火山噴火地点から約 135km 離れた場所における大気中の火山灰濃度（1 日平均値）

2.　吸気フィルタ取替に必要な時間について

吸気フィルタ取替は下記に示すとおり，複雑な作業は必要はなく，フィルタ取替に要する時間は要員 4 名で 3 時間程度を見込んでいる。また，あらかじめフィルタを取り付けたフィルタ枠の予備品を持つことによりフィルタ清掃の手間を省くことができ，さらなる取替時間の短縮が可能である。なお，吸気フィルタは 1 系統につき 2 基設置されている。非常用ディーゼル発電機吸気口及び吸気フィルタの概要図を第 1 図に示す。

【吸気フィルタ取替手順：1 基あたり約 1.5 時間（90 分)】

ａ．フィルタエレメント吊上げ用治具を設置する（約 5 分）

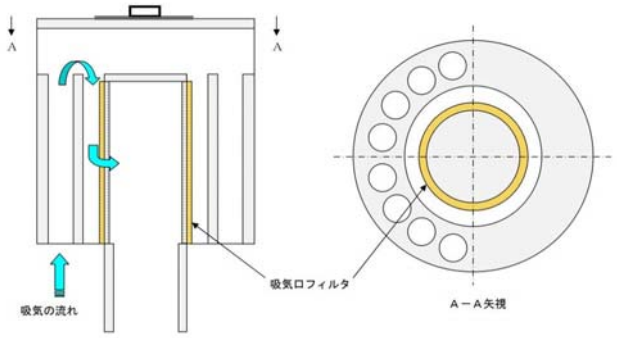
ｂ．フィルタケーシングの上蓋を開放する（約 10 分）

ｃ．フィルタケーシングからフィルタエレメントを抜き出す（約 25 分）

ｄ．フィルタエレメントの内部確認及び清掃を行う（約 30 分）

ｅ．フィルタエレメントを挿入する（約 15 分）

ｆ．フィルタケーシングの上蓋を復旧する（約 5 分）



第 1 図　非常用ディーゼル発電機吸気口及び吸気フィルタ 概略図

3.　非常用ディーゼル発電機切替に必要な時間について

非常用ディーゼル発電機切替に必要な時間は下記に示すとおり，負荷切替時間を考慮しても約 0.5 時間である。

【非常用ディーゼル発電機切替手順：約 0.5 時間（30 分)】

ａ．待機側の非常用ディーゼル発電機起動・並列（約 5 分）

ｂ．運転中のＲＨＲ停止時冷却モードを停止（約 2 分）

ｃ．計測制御系負荷切替（約 10 分）

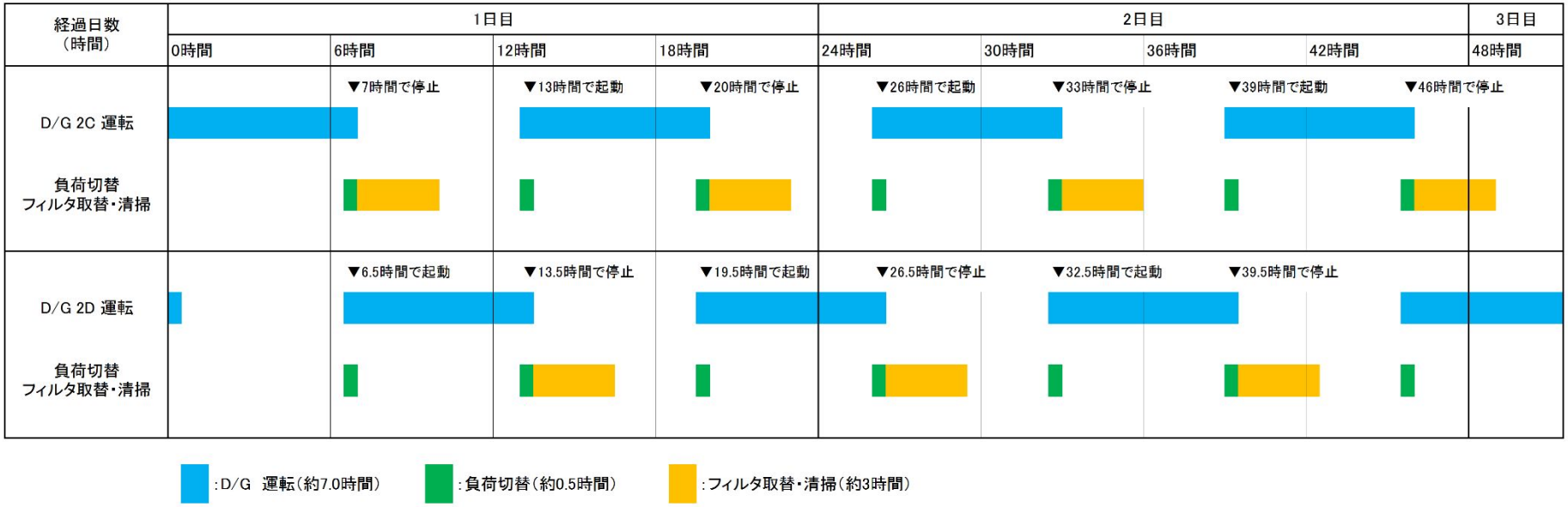
ｄ．待機側のＲＨＲ停止時冷却モード起動（約 3 分）

ｅ．運転中の非常用ディーゼル発電機解列・停止（約 10 分）

4.　まとめ

セントヘレンズ火山噴火の濃度におけるフィルタ閉塞時間（約 7.14 時間）に対して，フィルタ取替・清掃は約 3.0 時間，非常用ディーゼル発電機の切替は約 0.5 時間で対応可能であり，フィルタ閉塞前に，フィルタの取替・清掃は可能である。フィルタ取替のタイムチャートを第 2 図に示す。

また，閉塞時間の試算においては，非常用ディーゼル発電機吸気口は下方向から吸気することにより降下火砕物を吸い込みにくい構造としている点を考慮せず，大気中濃度のまますべて吸い込まれてフィルタに補集されることを前提とした計算をしているため，実際にはフィルタが閉塞するまでの時間にはさらに余裕があると考えられる。



第２図　非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ取替のタイムチャート

資料－１１

主排気筒及び非常用ガス処理系排気筒に係る影響評価

降下火砕物による主排気筒及び非常用ガス処理系排気筒への影響について，以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

① 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

降下火砕物の主排気筒への侵入により，その機能に影響がないことを評価する。具体的には，降下火砕物が侵入したとしても流路が閉塞しないことを確認する。

② 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（化学的腐食を含む。）

降下火砕物の付着に伴う構造物の腐食により，機器の機能に影響がないことを確認する。

(2) 評価条件

① 堆積量：50cm

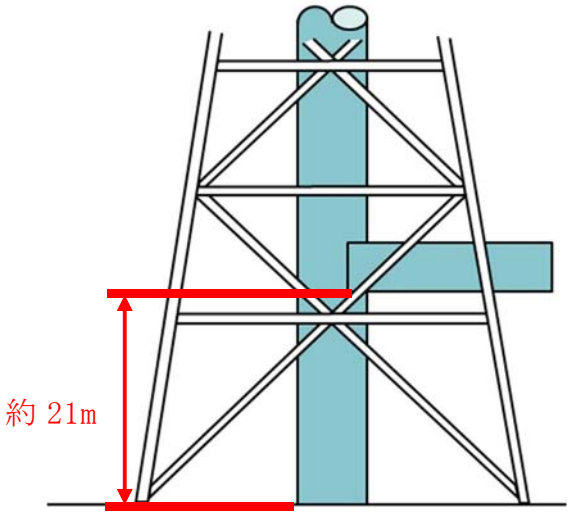
(3) 評価結果

① 換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響

ａ．主排気筒

降下火砕物が主排気筒に侵入した場合，第1図に示すとおり主排気筒の底部から流路まで約21mあり，降下火砕物が50cm堆積した場合でも流路が閉塞することはなく，主排気筒の機能を損なうことはな

い。



第 1 図　主排気筒下部の構造

b．非常用ガス処理系排気筒

非常用ガス処理系排気筒は第 2 図に示すとおり，降下火砕物の侵入防止を目的とする構造物を取り付けることにより，降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。また，取り付ける構造物は降下火砕物が堆積し難い形状とすることにより，降下火砕物の影響に対して健全性を損なわない設計とする。

第 2 図　非常用ガス処理系排気筒　概略図

② 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（化学的腐食含む）

主排気筒及び非常用ガス処理系排気筒は，外装塗装を実施しており，降下火砕物による化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を第 1 表に示す。

第 1 表　個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	静的負荷の影響を受けにくい構造
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計測制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

資料－１２

間接的影響の評価結果

間接的影響について，以下のとおり評価する。

(1)　評価項目及び内容

降下火砕物による間接的影響は，広範囲にわたる送電網の損傷による 7 日間の外部電源喪失及び発電所外の交通の途絶によるアクセス制限に対する評価を行う。

(2)　評価結果

外部電源の喪失に対して，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）及び耐震 S クラスの燃料貯蔵タンク（2 基：800kL 以上）を有する設計とする。

これにより，7 日間の外部電源喪失及び外部との交通の途絶に対して，発電用原子炉の停止，停止後の発電用原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が継続できることから影響はない。

参考資料－１

発電用原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備について

降下火砕物に起因する外部電源喪失事象により，発電用原子炉の停止が想定されることから，発電用原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な機能を以下のとおり抽出した。

(1) 原子炉停止　　：原子炉停止系（制御棒による系）
(2) 崩壊熱除去　　：残留熱除去系，原子炉隔離時冷却系，高圧炉心スプレイ系，逃がし安全弁（安全弁開機能）
(3) 放射能放出防止　：原子炉格納容器隔離弁，非常用再循環ガス処理系，非常用ガス処理系
(4) 上記系統の関連系（安全保護系，非常用所内電源系，中央制御室換気空調系，残留熱除去系海水系，非常用ディーゼル発電機海水系，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系，直流電源系等）

以上の機能を達成するために必要な設備は，第１表に示すとおり「1.2　追加要求事項に対する適合性（手順等含む。）」にて抽出した構築物，系統又は機器に含まれていることを確認した。

第１表　発電用原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象（1/2）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		高温停止及び冷温停止に必要な機能
	定義	機能	構築物，系統又は機器	建屋内設置※	屋外設備等	
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって， (a) 炉心の著しい損傷 又は (b) 燃料の大量の破損 を引き起こすおそれのある構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構築する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。） ・原子炉圧力容器，原子炉再循環ポンプ，配管・弁，隔離弁　等	○	－	
		2）過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング ・制御棒カップリング，制御棒駆動機構カップリング	○	－	
		3）炉心形状の維持機能	炉心支持構造物 ・炉心シュラウド，シュラウドサポート，上部格子板，炉心支持板，制御棒案内管　等	○	－	
			燃料集合体（ただし，燃料を除く。） ・上部タイプレート，下部タイプレート，スペーサ	○	－	
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，原子炉冷却材バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	1）原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能）） ・制御棒，制御棒案内管，制御棒駆動機構	○	－	原子炉停止
		2）未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系，ほう酸水注入系） ・制御棒，制御棒駆動機構カップリング，ほう酸水注入系　等	○	－	原子炉停止
		3）原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁開機能）	○	－	
		4）原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統 ・残留熱除去系（ポンプ，熱交換器，原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管，弁），原子炉隔離時冷却系（ポンプ，サプレッション・プール，タービン，サプレッション・プールから注水先までの配管，弁），高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ）　等	○	－	崩壊熱除去
		5）炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 ・低圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ），残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールから注水先までの配管，弁（熱交換器バイパスライン含む），注水ヘッダ）　等	○	－	
		6）放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器 ・格納器本体，貫通部　等	○	－	
			原子炉格納容器隔離弁	○	－	放射能放出防止
			原子炉格納容器スプレイ冷却系 ・ポンプ，熱交換器，サプレッション・プール　等	○	－	
			原子炉建屋	○	－	
			非常用再循環ガス処理系 ・排風機　等	○	－	放射能放出防止
			非常用ガス処理系 ・排風機　等	○	－	放射能放出防止
			非常用ガス処理系 ・排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能）	－	○ （屋外）	放射能放出防止
			可燃ガス濃度制御系	○	－	

※　原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

第１表　発電用原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象（2/2）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		高温停止及び冷温停止に必要な機能
	定義	機能	構築物，系統又は機器	建屋内設置※	屋外設備等	
MS-1	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	1）工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	○	－	関連系
		2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系（MS－１関連のもの） ・ディーゼル機関，発電機　等	○	－	関連系
			非常用所内電源系（MS－１関連のもの） ・非常用ディーゼル発電機燃料移送系 ・軽油貯蔵タンク	－	○ （屋外）	関連系
			制御室及びその遮蔽・非常用換気空調系（MS－１関連のもの） ・中央制御室及び中央制御室遮蔽，中央制御室換気空調系　等	○	－	関連系
			非常用補機冷却水系（MS－１関連のもの） ・残留熱除去系海水系，非常用ディーゼル発電機海水系，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系　等	－	○ （屋外）	関連系
			直流電源系（MS－１関連のもの） ・蓄電池　等	○	－	関連系
PS-2	1）その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし，原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	主蒸気系（格納容器隔離弁の外側のみ）	○	－	
			原子炉冷却材浄化系（格納容器隔離弁の外側のみ）	○	－	
		2）原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能	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）	○	－	
			使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	○	－	
			使用済燃料乾式貯蔵容器	○	－	
		3）燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備 ・燃料交換機，原子炉建屋クレーン　等	○	－	
	2）通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって，その故障により，炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物，系統及び機器	1）安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	○	－	
MS-2	1）ＰＳ－２の構築物，系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物，系統及び機器	1）燃料プール水の補給機能	非常用補給水系 ・残留熱除去系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールから燃料プールまでの配管，弁）	○	－	
		2）放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁	－	－	
			排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	－	○ （屋外）	
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系 ・原子炉建屋（原子炉棟），非常用再循環ガス処理系及び非常用ガス処理系	○	－	
	2）異常状態への対応上特に重要な構築物，系統及び機器	1）事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部	○	－	
		2）制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）	○	－	

※　原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

参考資料－２

降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1 の適用について

降下火砕物の堆積荷重に対する評価に，材料強度（以下Ｆ値という。）×1.1 を適用することが可能であると判断した理由について以下に示す。

１．Ｆ値×1.1 を適用可能な理由

Ｆ値×1.1 を適用可能であると判断した理由を以下に示す。また，理由の詳細について２．以降に示す。

・降下火砕物の堆積荷重と同種の荷重である，極めて稀な積雪荷重に対して，Ｆ値×1.1 を適用可能なことが，建築基準法等に定められている。

２．降下火砕物の堆積荷重と積雪荷重について

・積雪荷重は，鉛直方向の短期荷重として各応力度を超えないことを建築基準法にて要求されている。

・降下火砕物の堆積荷重は，鉛直方向の短期荷重※として各強度を超えないことを確認する。

※　降灰作業を行うことにより，短期荷重として取り扱う。

・降下火砕物及び積雪は共に，敷地に一様に堆積される荷重である。

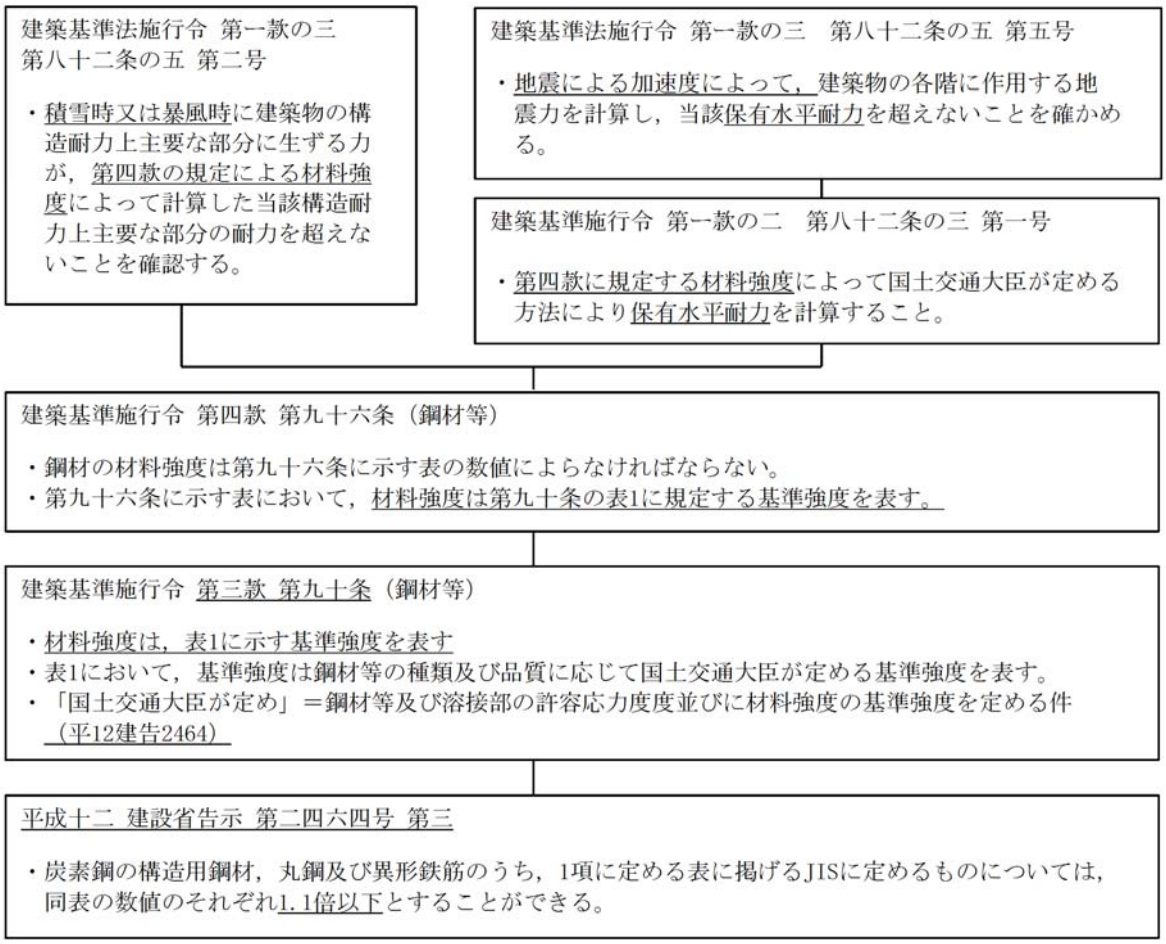
・発電所に 50cm の堆積をもたらすような火山事象も極めて稀な事象である。

３．積雪への適用及び適用事例

積雪時の評価について記載されている建築基準法施行令第 82 条の 5 第 2 号から，平成 12 年建設省告示 2464 号第 3 が導かれることを確認し，材料強度×1.1 倍が適用可能であると判断した。また，建築基準法施行令第 82 条の

5 は地震，積雪時又は暴風時に適用される。地震及び暴風時に該当する事例として，既許可プラントの耐震評価及び竜巻影響評価において，材料強度×1.1 倍を適用していることを確認している。

建築基準法施行令と平成 12 年建設省告示 2464 号の概略を第 1 図に示す。



第 1 図　建築基準法施行令と平成 12 年建設省告示 2464 号の概要

4．指針類の扱い

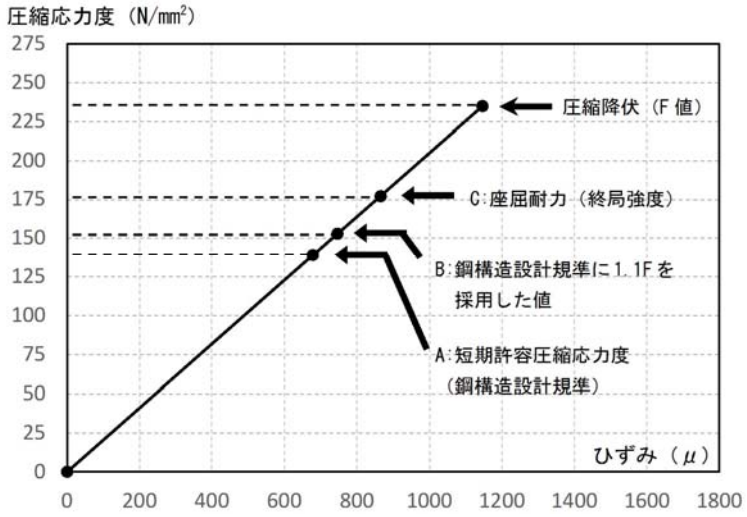
「建築物の構造関係技術基準解説書（建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会)」において，JIS 適合品は，材料強度の数値を 1.1 倍以下の数値をとることができることを平成 12 年建設省告示 2464 号の解説として記載している。

また，「鋼構造塑性設計指針（日本建築学会)」において，適用する荷重（地

震時・暴風時・積雪時等）に対して，主要な構造用鋼材の降伏応力度 σ_y を 1.1 倍することができると記載されており，参考文献として「建築物の構造関係技術基準解説書」を挙げている。

指針類には，積雪荷重への F 値の 1.1 倍を使用した事例は確認できなかったが，建築基準法施行令第 82 条の 5 は極めて稀である地震，積雪時又は暴風時に適用される。地震及び暴風時に該当する事例として，既許可プラントの耐震評価及び竜巻影響評価において，材料強度の 1.1 倍を適用していることを確認している。

第 2 図に圧縮強度の算出例を示す。



第 2 図　F 値×1.1 を適用し算定した強度と座屈耐力の比較例

第 2 図に示した圧縮強度の算出方法を以下に示す。

A : 鋼構造設計規準から求めた短期許容圧縮応力度は 以下の式※1 を用いて算出する。

※1　短期許容応力度は，fc を 1.5 倍した強度

$$f_c = \frac{\left\{1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\times F}{\nu} \quad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき}) \qquad \nu = \frac{3}{2}+\frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

f_c ：許容圧縮応力度　λ ：圧縮材の細長比

Λ ：限界細長比　　ν ：安全率

B：鋼構造設計規準にF値×1.1を適用して求めた圧縮強度は，Aで使用した式※2に対して，F値のみ1.1倍する。

※2　終局強度に対する評価で算定する圧縮強度は，f’cを1.5倍とする。

$$f_c' = \frac{\left\{1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\times 1.1F}{\nu} \quad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき}) \quad \nu = \frac{3}{2}+\frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

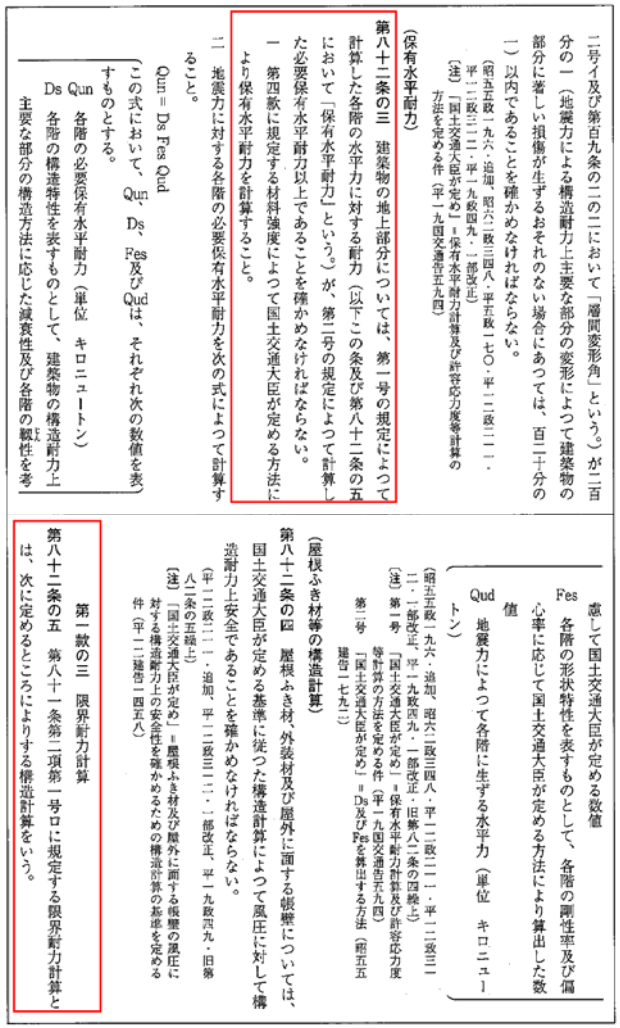
f_c' ：圧縮強度　　λ ：圧縮材の細長比

Λ ：限界細長比　　ν ：安全率

C：座屈耐力として求めた圧縮強度は，初期座屈耐力を求める式において，Aで使用した式において,分母に記載されているν＝1とした式と同様。

$$n_o = 1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき}) \qquad n_o : \text{無次元化初期座屈耐力}$$

【建築基準法施行令 第八十二条の三及び五（抜粋）】



二号イ及び第百九条の二の二において「層間変形角」という。）が二百分の一（地震力による構造耐力上主要な部分の変形によつて建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのない場合にあつては、百二十分の一）以内であることを確かめなければならない。

（昭五五政一九六・追加、昭六二政三四八・平五政一七〇・平一二政二一一・平一二政三二二・平一九政四九・一部改正）

〔注〕「国土交通大臣が定め」＝保有水平耐力計算及び許容応力度等計算の方法を定める件（平一九国交通告五九四）

（保有水平耐力）

第八十二条の三 建築物の地上部分については、第一号の規定によつて計算した各階の水平力に対する耐力（以下この条及び第八十二条の五において「保有水平耐力」という。）が、第二号の規定によつて計算した必要保有水平耐力以上であることを確かめなければならない。

一 第四款に規定する材料強度によつて国土交通大臣が定める方法により保有水平耐力を計算すること。

二 地震力に対する各階の必要保有水平耐力を次の式によつて計算すること。

$$Qun = Ds\,Fes\,Qud$$

この式において、Qun、Ds、Fes及びQudは、それぞれ次の数値を表すものとする。

Qun 各階の必要保有水平耐力（単位 キロニュートン）

Ds 各階の構造特性を表すものとして、建築物の構造耐力上主要な部分の構造方法に応じた減衰性及び各階の靱性を考慮して国土交通大臣が定める数値

Fes 各階の形状特性を表すものとして、各階の剛性率及び偏心率に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

Qud 地震力によつて各階に生ずる水平力（単位 キロニュートン）

（昭五五政一九六・追加、昭六二政三四八・平一二政二一一・平一二政三二二・一部改正、平一九政四九・一部改正・旧第八二条の四繰上）

〔注〕第一号「国土交通大臣が定め」＝保有水平耐力計算及び許容応力度等計算の方法を定める件（平一九国交通告五九四）

第二号「国土交通大臣が定め」＝Ds及びFesを算出する方法（昭五五建告一七九二）

（屋根ふき材等の構造計算）

第八十二条の四 屋根ふき材、外装材及び屋外に面する帳壁については、国土交通大臣が定める基準に従つた構造計算によつて風圧に対して構造耐力上安全であることを確かめなければならない。

（平一二政二一一・追加、平一九政四九・旧第八二条の五繰上）

〔注〕「国土交通大臣が定め」＝屋根ふき材及び屋外に面する帳壁の風圧に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件（平一二建告一四五八）

第八十二条の五 第八十一条第二項第一号ロに規定する限界耐力計算とは、次に定めるところによりする構造計算をいう。

【建築基準法施行令 第八十二条の五（抜粋）】

6条(火山)-1-参考 2-6

一 地震時を除き、第八十二条第一号から第三号まで（地震に係る部分を除く。）に定めるところによること。

二 積雪時又は暴風時に、建築物の構造耐力上主要な部分に生ずる力を次の表に掲げる式によって計算し、当該構造耐力上主要な部分に生ずる力が、それぞれ第四款の規定による材料強度によって計算した当該構造耐力上主要な部分の耐力を超えないことを確かめること。

荷重及び外力について想定する状態			備考
一般の場合		第八十六条第二項ただし書の規定により特定行政庁が指定する多雪区域における場合	
積雪時	G + P + 1.4S	G + P + 1.4S	
暴風時	G + P + 1.6W	G + P + 1.6W	建築物の転倒、柱の引抜き等を検討する場合においては、Pについては、建築物の実況に応じて積載荷重を減らした数値によるものとする。
	G + P + 0.35S + 1.6W		

この表において、G、P、S及びWは、それぞれ次の力（軸方向力、曲げモーメント、せん断力等をいう。）を表すものとする。

G 第八十四条に規定する固定荷重によって生ずる力
P 第八十五条に規定する積載荷重によって生ずる力
S 第八十六条に規定する積雪荷重によって生ずる力
W 第八十七条に規定する風圧力によって生ずる力

三 地震による加速度によって建築物の地上部分の各階に作用する地震力及び各階に生ずる層間変位を次に定めるところによって計算し、当該地震力が、損傷限界耐力（建築物の各階の構造耐力上主要な部分の断面に生ずる応力度が第三款の規定による短期に生ずる力に対する許容応力度に達する場合の建築物の各階の水平力に対する耐力をいう。以下この号において同じ。）を超えないことを確かめるとともに、層間変位の当該各階の高さに対する割合が二百分の一（地震力による構造耐力上主要な部分の変形によって建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのない場合にあつては、百二十分の一）を超えないことを確かめること。

イ 各階が、損傷限界耐力に相当する水平力その他のこれに作用す

る力に耐えている時に当該階に生ずる水平方向の層間変位（以下この号において「損傷限界変位」という。）を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

ロ 建築物のいずれかの階において、イによって計算した損傷限界変位に相当する変位が生じている時の建築物の固有周期（以下この号及び第七号において「損傷限界固有周期」という。）を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

ハ 地震により建築物の各階に作用する地震力を、損傷限界固有周期に応じて次の表に掲げる式によって計算した当該階以上の各階に水平方向に生ずる力の総和として計算すること。

Td＜0.16の場合	$Pdi=(0.64+6Td)mi \quad Bdi \quad Z \quad Gs$
0.16≦Td＜0.64の場合	$Pdi=1.6mi \quad Bdi \quad Z \quad Gs$
0.64≦Tdの場合	$Pdi=\frac{1.024mi}{Td} \quad Bdi \quad Z \quad Gs$

この表において、Td、Pdi、mi、Bdi、Z及びGsは、それぞれ次の数値を表すものとする。

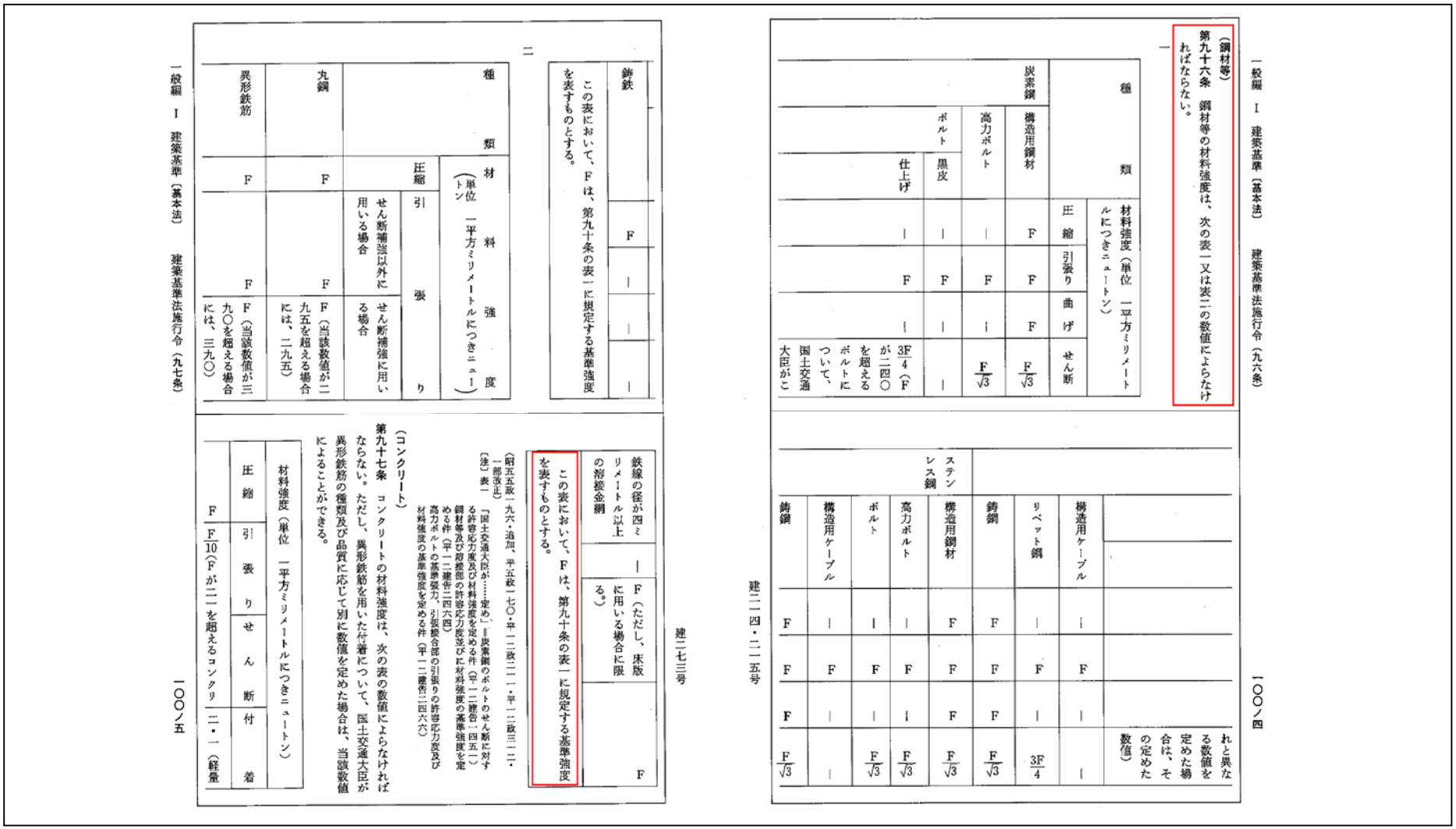
Td 建築物の損傷限界固有周期（単位 秒）
Pdi 各階に水平方向に生ずる力（単位 キロニュートン）
mi 各階の質量（各階の固定荷重及び積載荷重との和（第八十六条第二項ただし書の規定によって特定行政庁が指定する多雪区域においては、更に積雪荷重を加えたものとする。）を重力加速度で除したもの）（単位 トン）
Bdi 建築物の各階に生ずる加速度の分布を表すものとして、損傷限界固有周期に応じて国土交通大臣が定める基準に従つて算出した数値
Z 第八十八条第一項に規定するZの数値
Gs 表層地盤による加速度の増幅率を表すものとして、表層地盤の種類に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

ニ 各階が、ハによって計算した地震力その他のこれに作用する力に耐えている時に当該階に生ずる水平方向の層間変位を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

四 第八十八条第四項に規定する地震力により建築物の地下部分の構造耐力上主要な部分の断面に生ずる応力度を第八十二条第一号及び第二号の規定によって計算し、それぞれ第三款の規定による短期に生ずる力に対する許容応力度を超えないことを確かめること。

五 地震による加速度によって建築物の各階に作用する地震力を次に定めるところによって計算し、当該地震力が保有水平耐力を超えないことを確かめること。

【建築基準法施行令 第九十六条（抜粋）】



（鋼材等）
第九十六条　鋼材等の材料強度は、次の表一又は表二の数値によらなければならない。

一

種類		材料強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）	
		圧縮	F
		引張り	F
炭素鋼	構造用鋼材	曲げ	F
		せん断	$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	高力ボルト		—
ボルト	黒皮		F
	仕上げ		—

種類		材料強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）	
		圧縮	—
		引張り	F
		曲げ	—
		せん断	$\frac{F}{\sqrt{3}}$
			$\frac{3F}{4}$（Fが二四〇を超えるボルトについて、国土交通大臣がこれと異なる数値を定めた場合は、その定めた数値）
ステンレス鋼	構造用ケーブル		—
	リベット鋼		$\frac{3F}{4}$
	鋳鋼		$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	構造用鋼材		$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	高力ボルト		$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	ボルト		$\frac{F}{\sqrt{3}}$
	構造用ケーブル		—
	鋳鋼		$\frac{F}{\sqrt{3}}$

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

種類			材料強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）	
鉄筋				F
鉄線の径が四ミリメートル以上の溶接金網				—
鉄線の径が四ミリメートル未満の溶接金網				F（ただし、床版に用いる場合に限る。）
丸鋼				F
異形鉄筋				F

二

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

種類		材料強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）	
鉄筋			F
丸鋼		圧縮	F
		引張り	F（当該数値が二九五を超える場合には、二九五）
	せん断補強以外に用いる場合		F
	せん断補強に用いる場合		F（当該数値が三九〇を超える場合には、三九〇）
異形鉄筋			F

（コンクリート）
第九十七条　コンクリートの材料強度は、次の表の数値によらなければならない。ただし、異形鉄筋を用いた付着について、国土交通大臣が異形鉄筋の種類及び品質に応じて別に数値を定めた場合は、当該数値によることができる。

材料強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）			
	圧縮	引張り	せん断付着
F	$\frac{F}{10}$（Fが二一を超えるコンクリートについては、二一）		

（昭五五政一九六・追加、平五政一七〇・平一二政二一一・平一三政三一二・一部改正）
〔注〕表一　「国土交通大臣が……定め」＝炭素鋼のボルトのせん断に対する許容応力度及び材料強度を定める件（平一二建告一四五一）
鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件（平一二建告二四六四）
高力ボルトの基準張力、引張接合部の引張りの許容応力度及び材料強度の基準強度を定める件（平一二建告二四六六）

【建築基準法施行令 第九十条（抜粋）】

6条(火山)-1-参考 2-8

2　かた木で特に品質優良なものをしやち、込み栓の類に使用する場合においては、その許容応力度は、それぞれ前項の表の数値の二倍まで増大することができる。

3　基礎ぐい、水槽、浴室その他これらに類する常時湿潤状態にある部分に使用する場合においては、その許容応力度は、それぞれ前二項の規定による数値の七十パーセントに相当する数値としなければならない。

（昭三四政三四四・昭五五政三三三・昭五五政一九六・昭六二政三四八・平一二政二一一・平一三政三一二・一部改正）

（注）第一項「国土交通大臣が定め」―木材の基準強度Fc、Ft、Fb及びFsを定める件（平一二建告一四五二）

（鋼材等）

第九十条　鋼材等の許容応力度は、次の表一又は表二の数値によらなければならない。

一

種類 ＼ 許容応力度	長期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）						短期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）					
	圧縮	引張り	曲げ	せん断	圧縮	引張り	曲げ	せん断	圧縮	引張り	曲げ	せん断
炭素鋼材	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	長期に生ずる力に対する圧縮、引張り、曲げ			

第三款　許容応力度

（木材）

第八十九条　木材の繊維方向の許容応力度は、次の表の数値によらなければならない。ただし、第八十二条第一号から第三号までの規定によつて積雪時の構造計算をするに当たつては、長期に生ずる力に対する許容応力度は同表の数値に一・三を乗じて得た数値と、短期に生ずる力に対する許容応力度は同表の数値に〇・八を乗じて得た数値としなければならない。

長期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）		短期に生ずる力に対する許容応力度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）	
圧縮	$\frac{1.1Fc}{3}$	圧縮	$\frac{2Fc}{3}$
引張り	$\frac{1.1Ft}{3}$	引張り	$\frac{2Ft}{3}$
曲げ	$\frac{1.1Fb}{3}$	曲げ	$\frac{2Fb}{3}$
せん断	$\frac{1.1Fs}{3}$	せん断	$\frac{2Fs}{3}$

この表において、Fc、Ft、Fb及びFsは、それぞれ木材の種類及び品質に応じて国土交通大臣が定める圧縮、引張り、曲げ及びせん断に対する基準強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）を表すものとする。

	ボルト黒皮	仕上げ	構造用ケーブル	リベット鋼
	—	—	—	—
	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$
	—	—	—	—
	—	$\frac{F}{2}$（Fが二四〇を超えるボルトについて、国土交通大臣がこれと異なる数値を定めた場合は、その定めた数値）	—	$\frac{F}{2}$

又はせん断の許容応力度のそれぞれの数値の一・五倍とする。

	鋳鋼	ステンレス鋼	ボルト	構造用ケーブル	鋳鋼	鋳鉄
	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	—	—	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$
	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	—
	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	—	—	$\frac{F}{1.5}$	—
	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	—	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	—

この表において、Fは、鋼材等の種類及び品質に応じて国土交通大臣が定める基準強度（単位　一平方ミリメートルにつきニュートン）を表すものとする。

【平成 12 建設省告示第 2464 号 3（抜粋）】

6 条(火山)-1-参考 2-9

○鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

（平一二・一二・二六建告二四六四）

改正　平一二・一二・二六建告二四六五
平一三・一一・一五国交告一六三九
平一四・七・三同　六六五
平一九・五・一八同　六二三

建築基準法施行令（昭和二十五年政令第三百三十八号）第九十条、第九十二条、第九十六条及び第九十八条の規定に基づき、鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに鋼材等及び溶接部の材料強度の基準強度を次のように定める。

鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

第一　鋼材等の許容応力度の基準強度

一　鋼材等の許容応力度の基準強度は、次号に定めるもののほか、次の表の数値とする。

鋼材等の種類及び品質		基準強度（単位一平方ミリメートルにつきニュートン）
炭素鋼 構造用鋼材 SS四〇〇 SM四〇〇A SM四〇〇B SM四〇〇C SM四〇〇AW SM四〇〇AP SM四〇〇BW SM四〇〇BP SM四〇〇CW SM四〇〇CP SN四〇〇A SN四〇〇B SN四〇〇C SN四〇〇AW SN四〇〇BW SN四〇〇CW SS四〇〇M SHK四〇〇M SHK四〇〇	鋼材の厚さが四十ミリメートル以下のもの	二三五
	鋼材の厚さが四十ミリメートルを超え百ミリメートル以下のもの	二一五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四〇〇A SMC四〇〇B SMC四〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四〇〇 SWH四〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四九〇A SMC四九〇B SMC四九〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四九〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四九〇 SWH四九〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五〇〇A SMC五〇〇B SMC五〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五〇〇 SWH五〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五五五A SMC五五五B SMC五五五C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五五五		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五五五 SWH五五五L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC六〇〇A SMC六〇〇B SMC六〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC六〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH六〇〇 SWH六〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC六五五A SMC六五五B SMC六五五C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC六五五		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH六五五 SWH六五五L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC七〇〇A SMC七〇〇B SMC七〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC七〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH七〇〇 SWH七〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC七五五A SMC七五五B SMC七五五C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC七五五		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH七五五 SWH七五五L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC八〇〇A SMC八〇〇B SMC八〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC八〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH八〇〇 SWH八〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC八五五A SMC八五五B SMC八五五C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC八五五		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH八五五 SWH八五五L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC九〇〇A SMC九〇〇B SMC九〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC九〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH九〇〇 SWH九〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC九五五A SMC九五五B SMC九五五C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC九五五		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH九五五 SWH九五五L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一〇〇〇A SMC一〇〇〇B SMC一〇〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一〇〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一〇〇〇 SWH一〇〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一〇五〇A SMC一〇五〇B SMC一〇五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一〇五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一〇五〇 SWH一〇五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一一〇〇A SMC一一〇〇B SMC一一〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一一〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一一〇〇 SWH一一〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一一五〇A SMC一一五〇B SMC一一五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一一五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一一五〇 SWH一一五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一二〇〇A SMC一二〇〇B SMC一二〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一二〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一二〇〇 SWH一二〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一二五〇A SMC一二五〇B SMC一二五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一二五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一二五〇 SWH一二五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一三〇〇A SMC一三〇〇B SMC一三〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一三〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一三〇〇 SWH一三〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一三五〇A SMC一三五〇B SMC一三五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一三五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一三五〇 SWH一三五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一四〇〇A SMC一四〇〇B SMC一四〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一四〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一四〇〇 SWH一四〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一四五〇A SMC一四五〇B SMC一四五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一四五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一四五〇 SWH一四五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一五〇〇A SMC一五〇〇B SMC一五〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一五〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一五〇〇 SWH一五〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一五五〇A SMC一五五〇B SMC一五五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一五五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一五五〇 SWH一五五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一六〇〇A SMC一六〇〇B SMC一六〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一六〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一六〇〇 SWH一六〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一六五〇A SMC一六五〇B SMC一六五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一六五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一六五〇 SWH一六五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一七〇〇A SMC一七〇〇B SMC一七〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一七〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一七〇〇 SWH一七〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一七五〇A SMC一七五〇B SMC一七五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一七五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一七五〇 SWH一七五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一八〇〇A SMC一八〇〇B SMC一八〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一八〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一八〇〇 SWH一八〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一八五〇A SMC一八五〇B SMC一八五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一八五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一八五〇 SWH一八五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一九〇〇A SMC一九〇〇B SMC一九〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一九〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一九〇〇 SWH一九〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC一九五〇A SMC一九五〇B SMC一九五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC一九五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH一九五〇 SWH一九五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二〇〇〇A SMC二〇〇〇B SMC二〇〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二〇〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二〇〇〇 SWH二〇〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二〇五〇A SMC二〇五〇B SMC二〇五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二〇五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二〇五〇 SWH二〇五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二一〇〇A SMC二一〇〇B SMC二一〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二一〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二一〇〇 SWH二一〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二一五〇A SMC二一五〇B SMC二一五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二一五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二一五〇 SWH二一五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二二〇〇A SMC二二〇〇B SMC二二〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二二〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二二〇〇 SWH二二〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二二五〇A SMC二二五〇B SMC二二五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二二五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二二五〇 SWH二二五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二三〇〇A SMC二三〇〇B SMC二三〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二三〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二三〇〇 SWH二三〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二三五〇A SMC二三五〇B SMC二三五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二三五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二三五〇 SWH二三五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二四〇〇A SMC二四〇〇B SMC二四〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二四〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二四〇〇 SWH二四〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二四五〇A SMC二四五〇B SMC二四五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二四五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二四五〇 SWH二四五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二五〇〇A SMC二五〇〇B SMC二五〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二五〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二五〇〇 SWH二五〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二五五〇A SMC二五五〇B SMC二五五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二五五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二五五〇 SWH二五五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二六〇〇A SMC二六〇〇B SMC二六〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二六〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二六〇〇 SWH二六〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二六五〇A SMC二六五〇B SMC二六五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二六五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二六五〇 SWH二六五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二七〇〇A SMC二七〇〇B SMC二七〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二七〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二七〇〇 SWH二七〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二七五〇A SMC二七五〇B SMC二七五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二七五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二七五〇 SWH二七五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二八〇〇A SMC二八〇〇B SMC二八〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二八〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二八〇〇 SWH二八〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二八五〇A SMC二八五〇B SMC二八五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二八五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二八五〇 SWH二八五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二九〇〇A SMC二九〇〇B SMC二九〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二九〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二九〇〇 SWH二九〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC二九五〇A SMC二九五〇B SMC二九五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC二九五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH二九五〇 SWH二九五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三〇〇〇A SMC三〇〇〇B SMC三〇〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三〇〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三〇〇〇 SWH三〇〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三〇五〇A SMC三〇五〇B SMC三〇五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三〇五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三〇五〇 SWH三〇五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三一〇〇A SMC三一〇〇B SMC三一〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三一〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三一〇〇 SWH三一〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三一五〇A SMC三一五〇B SMC三一五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三一五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三一五〇 SWH三一五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三二〇〇A SMC三二〇〇B SMC三二〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三二〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三二〇〇 SWH三二〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三二五〇A SMC三二五〇B SMC三二五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三二五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三二五〇 SWH三二五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三三〇〇A SMC三三〇〇B SMC三三〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三三〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三三〇〇 SWH三三〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三三五〇A SMC三三五〇B SMC三三五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三三五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三三五〇 SWH三三五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三四〇〇A SMC三四〇〇B SMC三四〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三四〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三四〇〇 SWH三四〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三四五〇A SMC三四五〇B SMC三四五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三四五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三四五〇 SWH三四五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三五〇〇A SMC三五〇〇B SMC三五〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三五〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三五〇〇 SWH三五〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三五五〇A SMC三五五〇B SMC三五五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三五五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三五五〇 SWH三五五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三六〇〇A SMC三六〇〇B SMC三六〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三六〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三六〇〇 SWH三六〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三六五〇A SMC三六五〇B SMC三六五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三六五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三六五〇 SWH三六五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三七〇〇A SMC三七〇〇B SMC三七〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三七〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三七〇〇 SWH三七〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三七五〇A SMC三七五〇B SMC三七五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三七五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三七五〇 SWH三七五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三八〇〇A SMC三八〇〇B SMC三八〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三八〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三八〇〇 SWH三八〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三八五〇A SMC三八五〇B SMC三八五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三八五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三八五〇 SWH三八五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三九〇〇A SMC三九〇〇B SMC三九〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三九〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三九〇〇 SWH三九〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC三九五〇A SMC三九五〇B SMC三九五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC三九五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH三九五〇 SWH三九五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四〇〇〇A SMC四〇〇〇B SMC四〇〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四〇〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四〇〇〇 SWH四〇〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四〇五〇A SMC四〇五〇B SMC四〇五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四〇五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四〇五〇 SWH四〇五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四一〇〇A SMC四一〇〇B SMC四一〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四一〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四一〇〇 SWH四一〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四一五〇A SMC四一五〇B SMC四一五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四一五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四一五〇 SWH四一五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四二〇〇A SMC四二〇〇B SMC四二〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四二〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四二〇〇 SWH四二〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四二五〇A SMC四二五〇B SMC四二五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四二五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四二五〇 SWH四二五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四三〇〇A SMC四三〇〇B SMC四三〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四三〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四三〇〇 SWH四三〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四三五〇A SMC四三五〇B SMC四三五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四三五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四三五〇 SWH四三五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四四〇〇A SMC四四〇〇B SMC四四〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四四〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四四〇〇 SWH四四〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四四五〇A SMC四四五〇B SMC四四五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四四五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四四五〇 SWH四四五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四五〇〇A SMC四五〇〇B SMC四五〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四五〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四五〇〇 SWH四五〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四五五〇A SMC四五五〇B SMC四五五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四五五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四五五〇 SWH四五五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四六〇〇A SMC四六〇〇B SMC四六〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四六〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四六〇〇 SWH四六〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四六五〇A SMC四六五〇B SMC四六五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四六五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四六五〇 SWH四六五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四七〇〇A SMC四七〇〇B SMC四七〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四七〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四七〇〇 SWH四七〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四七五〇A SMC四七五〇B SMC四七五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四七五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四七五〇 SWH四七五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四八〇〇A SMC四八〇〇B SMC四八〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四八〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四八〇〇 SWH四八〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四八五〇A SMC四八五〇B SMC四八五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四八五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四八五〇 SWH四八五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四九〇〇A SMC四九〇〇B SMC四九〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四九〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四九〇〇 SWH四九〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC四九五〇A SMC四九五〇B SMC四九五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC四九五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH四九五〇 SWH四九五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五〇〇〇A SMC五〇〇〇B SMC五〇〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五〇〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五〇〇〇 SWH五〇〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五〇五〇A SMC五〇五〇B SMC五〇五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五〇五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五〇五〇 SWH五〇五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五一〇〇A SMC五一〇〇B SMC五一〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五一〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五一〇〇 SWH五一〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五一五〇A SMC五一五〇B SMC五一五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五一五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五一五〇 SWH五一五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五二〇〇A SMC五二〇〇B SMC五二〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五二〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五二〇〇 SWH五二〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五二五〇A SMC五二五〇B SMC五二五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五二五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五二五〇 SWH五二五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五三〇〇A SMC五三〇〇B SMC五三〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五三〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五三〇〇 SWH五三〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五三五〇A SMC五三五〇B SMC五三五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五三五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五三五〇 SWH五三五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五四〇〇A SMC五四〇〇B SMC五四〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五四〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五四〇〇 SWH五四〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五四五〇A SMC五四五〇B SMC五四五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五四五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五四五〇 SWH五四五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五五〇〇A SMC五五〇〇B SMC五五〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五五〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五五〇〇 SWH五五〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五五五〇A SMC五五五〇B SMC五五五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五五五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五五五〇 SWH五五五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五六〇〇A SMC五六〇〇B SMC五六〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五六〇〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五六〇〇 SWH五六〇〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五六五〇A SMC五六五〇B SMC五六五〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五六五〇		二三五
溶接構造用圧延鋼材 SWH五六五〇 SWH五六五〇L		二三五
溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMC五七〇〇A SMC五七〇〇B SMC五七〇〇C		二三五
溶接構造用耐候性圧延鋼材 SPAC五七〇〇		二三

【建築物の構造関係技術基準解説書 9.2.1 許容応力度及び材料強度の数値（抜粋）】

(3) 平12建告第2464号第1は令第90条の規定に基づき，同告示第3は令第96条の規定に基づき，それぞれ鋼材等の許容応力度及び材料強度の基準強度 F の数値を定めたものである。鋼材等の許容応力度及び材料強度については，法第37条第二号の規定に基づく大臣の認定を受けたものは，大臣が指定する数値とすることとしている。JIS 適合品の基準強度 F については，鋼材等の種類及び品質に応じて定められた数値とし，炭素鋼の構造用鋼材等については，材料強度の数値を計算する際には規定された数値の1.1倍以下の数値をとることができることとしている。

いずれの鋼材等の場合においても，それらを加工する場合は，告示第1第三号イからハまでに該当する場合を除き，加工後の機械的性質等の品質が加工前の品質と同等以上であることを確かめなければならないことが規定されている。加工の影響を受ける部分の品質が加工前と同等以上であることが確かめられない場合には，法第37条第二号に基づく大臣の認定を受けた上で，基準強度 F については，第3第二号に基づき大臣が指定した数値を用いる必要がある。

【鋼構造塑性設計指針（抜粋）】

1.7 降伏応力度

塑性設計に用いる主要な構造用鋼材の降伏応力度 σ_Y および引張強さ σ_u は，表C1.7.1～C1.7.5に示す値を用いる．なお，同表に掲げる降伏応力度 σ_Y は，同表の数値の1.1倍以下とすることができる[1.13]．

参考資料－３

降下火砕物の残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ基礎部堆積による影響評価について

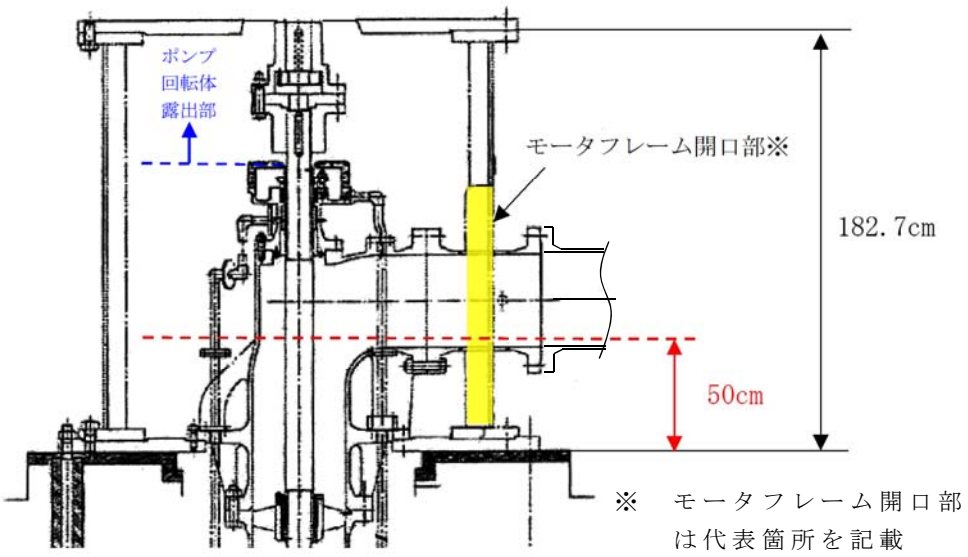
１．評価内容

降下火砕物が海水ポンプ基礎部に堆積し，モータフレーム開口部から降下火砕物が侵入，堆積することにより，海水ポンプの運転を阻害する可能性について評価する。

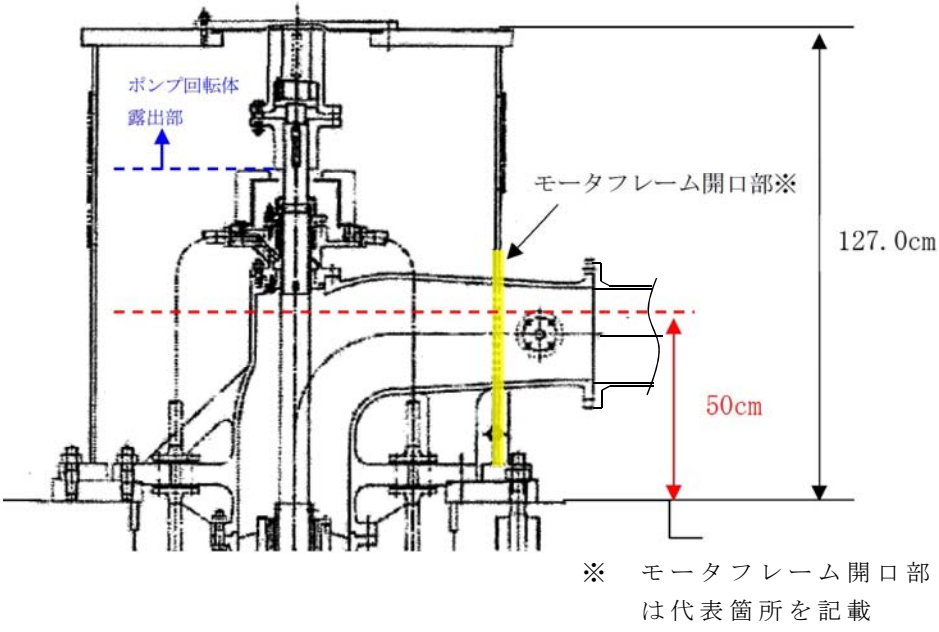
２．評価結果

第１図，第２図に示すとおり，仮にモータフレーム内に降下火砕物が 50cm 堆積した場合でも，ポンプ回転体露出部まで到達することはなく，海水ポンプの運転を阻害することはない。

また，屋外にポンプを停止させるインターロック機能を持つ計器類もないため，海水ポンプの運転に影響はない。



第１図　残留熱除去系海水系ポンプ



第２図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

参考資料－４

降下火砕物と積雪の重ね合わせの考え方について

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」では，降雨・降雪などの自然現象は，降下火砕物等堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性があるとしており，降下火砕物による荷重評価では降下火砕物荷重が保守的となるよう湿潤状態を考慮している。また，冬季には積雪により湿潤状態以上の荷重が生じる可能性があることから，湿潤状態の降下火砕物に積雪を重ね合わせた評価を実施している。

重ね合わせる降雪量については自然現象の重ね合わせを考慮している建築基準法を参考とすると，同法では添付資料－１のとおり多雪区域※1においては暴風時あるいは地震時の荷重評価を実施する際，積雪の重ね合わせた評価を求めているが,多雪区域以外の区域においては積雪の重ね合わせを要求していない。

また，荷重を評価する際，風圧力や地震力を主たる荷重，重ね合わせる積雪荷重を従の荷重とし，従の荷重は稀に起こる積雪荷重ではなく平均的な積雪荷重としており，平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の 0.35 倍としている。

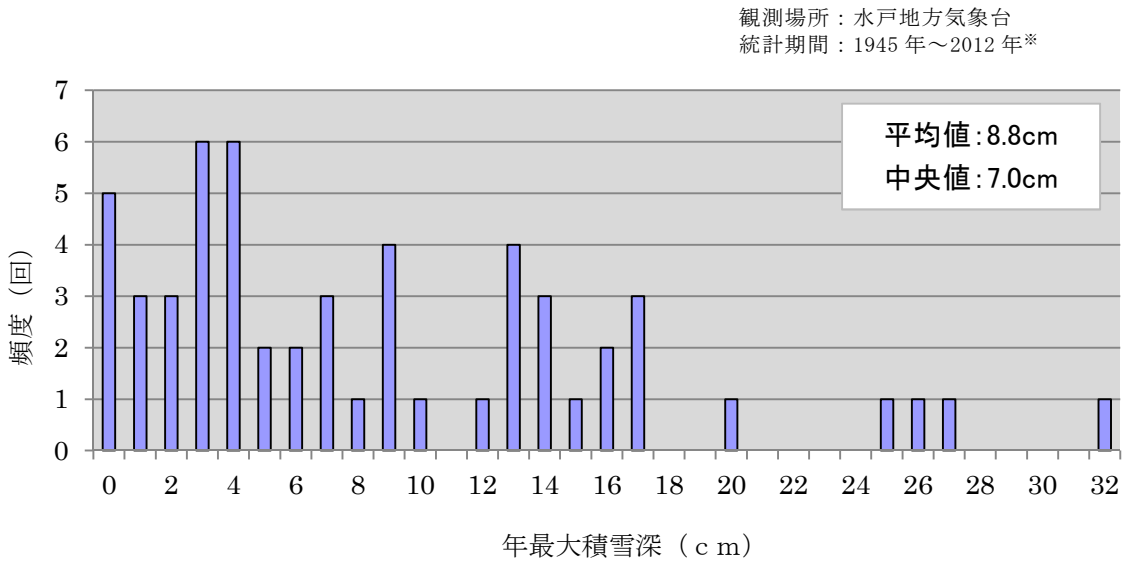
同法を参考とすると東海第二発電所は多雪区域ではないことから積雪との重ね合わせを考慮する必要はなく，また，降下火砕物及び積雪はともに予見性があり緩和措置を講じる十分な時間猶予がある事象であるが，積雪により湿潤状態の降下火砕物以上の荷重の負荷が生じる可能性があることを踏まえ，同法の考え方（主と従の考え方）を参考として評価を実施する。

降下火砕物と積雪の重ね合わせにおいて，降下火砕物の荷重条件は積雪の荷重条件より厳しく，発生した際の荷重が比較的大きいことから，降下火砕物が主荷重となる。したがって，今回の評価においては降下火砕物を主の荷重，積

雪を従の荷重として評価を実施する。

従の荷重となる東海村における平均的な積雪量は，茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）による東海村の垂直積雪量 30cm に 0.35 を乗じた 10.5cm となる。また，平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を適用することは平均的な値として保守性を有していることを添付資料－２に示す。

10.5cm は水戸地方気象台の年最大積雪深の平均値（1945 年～2012 年）と同等の値である。参考として積雪量のヒストグラムを第 1 図に示す。



※　観測を行っていない年については統計から除外

第 1 図　積雪量ヒストグラム

※1　垂直積雪量が 1m を超える場合又は 1 年ごとの積雪の継続期間が 30 日を超える場合で，管轄の特定行政庁が規則で指定した区域（建築基準法より）

添付資料－１

建築基準法における自然現象の組み合わせによる荷重の考え方

「建築物荷重指針・同解説(2004)」によると，建築基準法における組み合わせは，基本的にはTurkstraの経験則※1と同様の考え方であり，同経験則に従えば，考慮すべきは主たる荷重が最大を取る時点の荷重の組み合わせであり，従たる荷重の値としては，その確率過程的な意味での平均的な値を採用することができるとしている。

組み合わせは，一般には短期においてのみであり，固定荷重と積載荷重に組み合わせる自然現象による荷重は単独の「積雪」,「風」及び「地震」である。

また，それらを組み合わせることはない。建築基準法における荷重の考え方を第1表に示す。

第1表　建築基準法施行令からの抜粋

力の種類	荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	第86条第2項ただし書の規定により特定行政庁が指定する多雪区域における場合
長期に生ずる力	常時	G＋P	G＋P
	積雪時		G＋P＋0.7S
短期に生ずる力	積雪時	G＋P＋S	G＋P＋S
	暴風時	G＋P＋W	G＋P＋0.35S＋W
	地震時	G＋P＋K	G＋P＋0.35S＋K

ここで，　G：第84条に規定する固定荷重によって生ずる力
　　P：第85条に規定する積載荷重によって生ずる力
　　S：第86条に規定する積雪荷重によって生ずる力
　　W：第87条に規定する風圧力によって生ずる力
　　K：第88条に規定する地震力によって生ずる力

東海第二発電所は該当しないが，建築基準法では，その地方における垂直積雪量が1mを超える場合又は1年ごとの積雪の継続時間が30日を超える場合は，管轄の特定行政庁が規定でその地方を多雪区域に指定するとともに，その地方における積雪荷重を規定している。一方，東海第二発電所が存在する多雪区域指定のない地域においては，暴風時及び地震時の積雪荷重に関する組み合わせを考慮する必要はないとされている。

構築物の構造計算に当たって考慮すべき積雪荷重として，次の4つの状態が設定されている。※2

① 短期に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は，短期積雪荷重と呼ばれており，冬季の最大積雪としておおむね3日程度の継続期間を想定した50年再現期待値として設定される値である。

$S = d \cdot \rho$

ここで，

S：短期積雪荷重（N/m^2）

d：垂直積雪量※3（cm）

ρ：積雪の単位荷重※4（$N/cm/m^2$）

② 長期に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は，長期積雪荷重と呼ばれ，おおむね3か月程度の継続期間を想定したものである。この荷重は多雪区域における建築物の構造計算を行うときにのみ用いられる荷重であり，その値は短期積雪荷重の0.7倍である。

③　冬季の平均的な積雪状態

この状態は，多雪区域において積雪時に強い季節風等の暴風又は地震に襲われたときに想定するものである。この場合の荷重・外力を「主の荷重」と「従の荷重」に区分すると，風圧力又は地震力を「主の荷重」，積雪荷重を「従の荷重」とみなすことができる。「従の荷重」として想定する積雪はその地方における冬季の平均的な積雪で，①項の短期積雪荷重の 0.35 倍である。

④　極めて稀に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は，構築物が想定すべき最大級の荷重として，①項の短期積雪荷重の 1.4 倍である。

※1　基準期間中の最大値はある荷重（主荷重）の最大値とその他の荷重（従荷重）の任意時刻における値との和によって近似的に評価できるとするもの
※2　「2007 年版　建築物の構造関係技術基準解説書」
※3　東海村における垂直積雪量は 30cm（茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）より）
※4　積雪量 1cm 当たり 20N/m^2（建築基準法より）

添付資料－２

建築基準法における平均的な積雪量について

建築基準法において従の荷重として積雪を重ね合わせる場合,その積雪量(荷重）は，その地方における冬季の平均的な積雪量であり，短期積雪荷重の 0.35 倍としている。

平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 については,有識者によりその妥当性が考察されており,それらの結果を踏まえ,「建築物荷重指針･同解説(2004)」では，暴風時又は地震時において組み合わせるべき雪荷重の値として，第 1 表のとおり積雪期間 3 か月以上の地点では 0.3 を推奨しており，積雪期間が 1 か月以上 3 か月未満の場合は,積雪期間に応じて直線補正すればよいとしている。

第 1 表　組み合わせ荷重のための係数

積雪期間	1 か月未満	1 か月以上 3 か月未満	3 か月以上
係数	0	積雪期間に応じて直線補正	0.3

上記考察の一例として神田[※1]により，積雪深の推移過程を矩形と仮定して，許容応力度設計下で風荷重または地震荷重と組み合わせる時の荷重係数が試算されている。そこでは，積雪期間を 3 か月，平年の積雪深（年最大積雪深の平均値）を 50 年期待値の 1／2（年最大積雪深の平均値＝0.5）としたときの荷重係数は，0.2～0.36 になることが得られており，比較的積雪深が大きく積雪期間が長い場合には 0.35 を用い，積雪深，期間に応じて 0.1 以下程度まで低減して用いることが合理的であるとされている。

神田の評価手法に水戸地方気象台の観測データ等（積雪期間を1か月※2，平年の積雪深を50年期待値の0.35※3）を当てはめてみると，荷重係数は0.05～0.19となる。

※1　神田 順：雪荷重用荷重組合せ係数に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集B,pp,127-128,1990
※2　気象庁HPより，雪日数（雪が降った日）の最大値は32日であり，保守的に積雪期間として設定
※3　年最大積雪深の平均値（10.5cm）／50年期待値（30cm）＝0.35
なお，30cmは茨城県建築基準法施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）における東海村の垂直積雪量

参考資料－５

原子力発電所で使用する塗料について

炭素鋼，低合金鋼及びステンレス鋼の機器，配管，制御盤及びダクト等の屋外設備の外表面に対する塗装には，耐食性等を考慮した塗料を使用している。

屋外設備については，海塩粒子等の腐食性有害物質が付着しやすく，厳しい腐食環境にさらされるため，エポキシ樹脂系等の塗料が複数層で塗布されている。エポキシ樹脂系は，耐薬品性※が強く，酸性物質を帯びた降下火砕物が付着，堆積したとしても，直ちに金属表面等の腐食が進むことはない。

また，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ及び残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系配管等の海水と直接接する系統については，ポリエチレン系やゴム系等のライニングが施されている。

したがって，降下火砕物の屋外設備への付着や堆積及び海水系等への混入により，直ちに金属表面の腐食が進むことはない。

※　塗装ハンドブック（石塚末豊，中道敏彦 編集）によると，「酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装には，フェノール樹脂塗料，塩化ゴム系塗料，エポキシ樹脂塗料，タールエポキシ樹脂塗料，ウレタン樹脂塗料，シリコーンアルキド樹脂塗料，フッ素樹脂塗料などの耐薬品性のある塗料が使用される。」と記載あり。

第1表　使用塗料の例

設備名称	塗料の種類		
	下塗り	中塗り	上塗り
原子炉建屋 タービン建屋	変性エポキシ樹脂系	ウレタンゴム系	ポリウレタン樹脂系
使用済燃料乾式貯蔵建屋	ウレタンゴム系	ウレタンゴム系	ウレタンゴム系
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタ	－	－	フタル酸樹脂系
残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水系ポンプ	変性エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系
残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水系ストレーナ	変性エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系

参考資料－６

降下火砕物の金属腐食研究について

桜島降下火砕物による金属腐食研究成果を降下火砕物による金属腐食の影響評価に適用する考え方について，以下に示す。

1. 適用の考え方

降下火砕物による金属腐食については,主として火山ガス（SO_2）が付着した降下火砕物の影響によるものである。

降下火砕物による腐食影響において引用した研究文献「火山環境における金属材料の腐食」では，実降下火砕物である桜島降下火砕物を用いて，実際の火山環境に近い状態を模擬するため，高濃度の亜硫酸ガス（SO_2）雰囲気を保った状態で金属腐食試験を行なったものであり，降下火砕物の腐食成分濃度を高濃度で模擬した腐食試験結果であることから，発電所で考慮する火山についても本研究結果が十分適用可能と考える。

2. 研究文献「火山環境における金属材料の腐食」の概要

(1) 試験概要

「火山環境における金属材料の腐食（出雲茂人，末吉秀一他），防食技術 Vol.39,pp.247-253，1990」によると，降下火砕物を水で洗浄し，可溶性の成分を除去した後，金属試験片に堆積させ，高濃度のSO_2ガス雰囲気（150ppm～200ppm）で，加熱（温度 40℃，湿度 95％を 4 時間），冷却（温度 20℃，湿度 80％を 2 時間）を最大 18 回繰り返すことにより，結露，蒸発を繰り返し金属試験片の

腐食を観察している。

(2)　試験結果

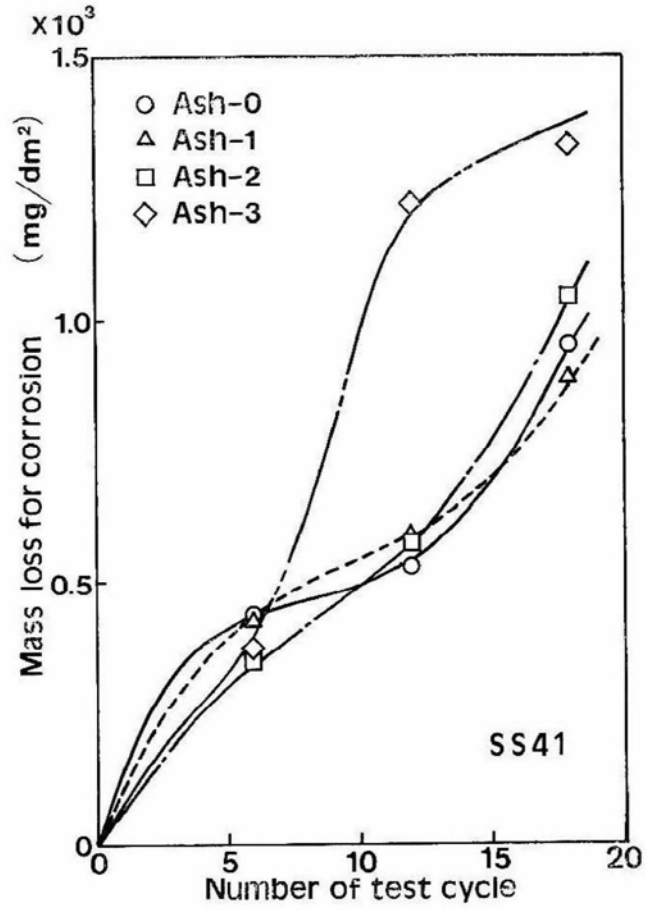
第1図に示すとおり，降下火砕物の堆積量が多い場合は，降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して，金属試験片の腐食が促進されるが,腐食量は表面厚さにして十数μm程度との結果が得られ，降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

(3)　試験結果からの考察

降下火砕物による腐食については，主として火山ガスが付着した降下火砕物の影響によるものであり，本研究においては，金属試験片の表面に降下火砕物を堆積させ，実際の火山環境を模擬して高濃度のSO_2雰囲気中で暴露し，腐食実験を行っている。

腐食の要因となる火山ガスを常に高濃度の雰囲気に保った状態で行っている試験であり，自然環境に存在する降下火砕物よりも高い腐食条件※で金属腐食量を求めており,発電所で考慮する降下火砕物についても十分適用可能である。

※　・三宅島火山の噴火口付近の観測記：20～30ppm（「三宅島火山ガスに関する検討会報告書」より）
・桜島火山上空の噴煙中火山ガスの観測記録：17～68ppm（「京大防災研究年報」より）



Ash-０：降下火砕物のない状態
Ash-１：表面が見える程度に積もった状態
Ash-２：表面が見えなくなる程度に積もった状態
Ash-３：約 0.8mm の厚さに積もった状態

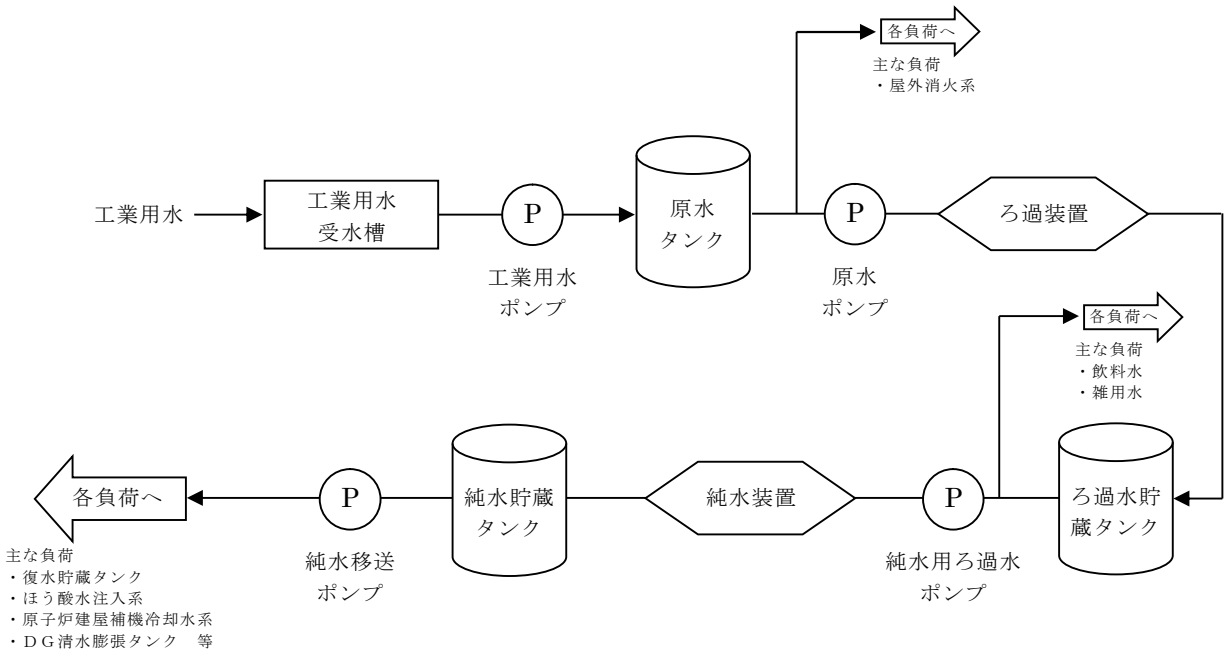
第１図　ＳＳ４１の腐食による質量変化

給水処理設備に係る影響評価について

水質汚染については，工業用水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられる。

第１図に示すとおり，給水に使用する工業用水はろ過装置，純水装置を経て純水貯蔵タンクに供給される。ろ過水貯蔵タンクに貯留された水は飲料水及び雑用水に供給されるが，降下火砕物襲来時に必要な構築物，系統及び機器は含まれていない。

純水貯蔵タンクに貯留された純水は補給水系に供給され，復水貯蔵タンク及びほう酸水注入系等へ給水されるが，いずれも，点検時の水張りや系統内でリークが生じた際に補給等が必要になるもので，降下火砕物襲来時に補給が必要ではなく，水質汚染はプラントの安全機能に影響を及ぼさない。



第１図　外部から供給される水源の概略系統図

参考資料－８

降下火砕物のその他の設備への影響評価について

降下火砕物のその他設備への影響について，以下のとおり評価する。

1.　評価対象設備

降下火砕物の影響を受ける可能性のあるその他設備について評価を実施する。

(1)　モニタリング設備

(2)　消火設備

(3)　通信連絡設備

(4)　緊急時対策所

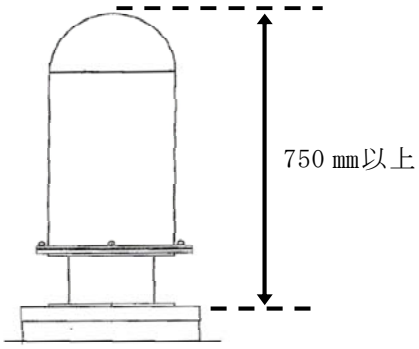
(5)　屋外海水系配管

2.　評価結果

(1)　モニタリング設備

モニタリングポストの検出器は，第１図のとおり半球型の構造であり降下火砕物が堆積し難い構造であること，検出器の高さが確保されていることから，降下火砕物の堆積による鉛直荷重によって設備が損傷することはない。

また，検出器が降下火砕物によって囲まれることによって，監視・測定が不能となった場合でも，除灰又は可搬型モニタリングポストを設置することで監視・測定は可能である。

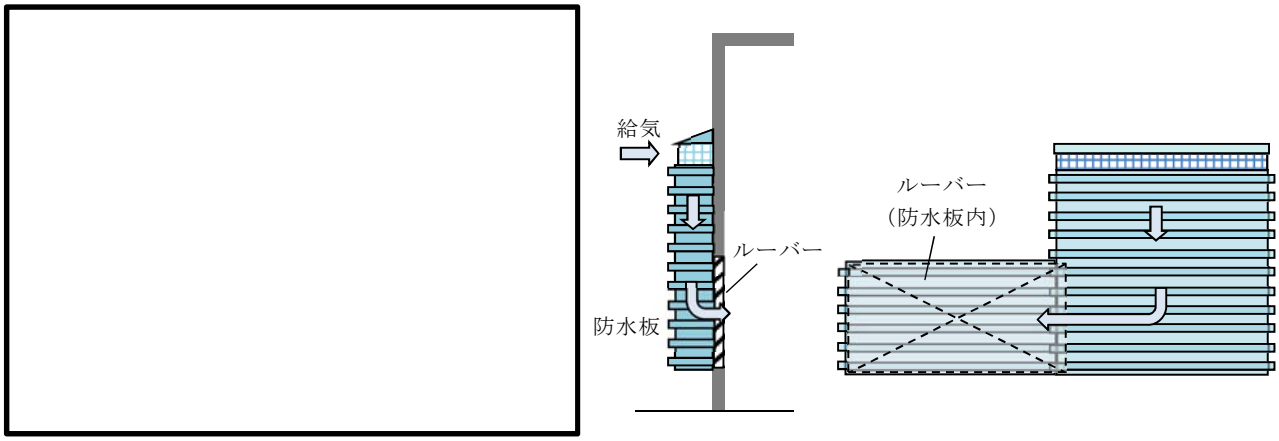


第１図　モニタリングポスト検出器

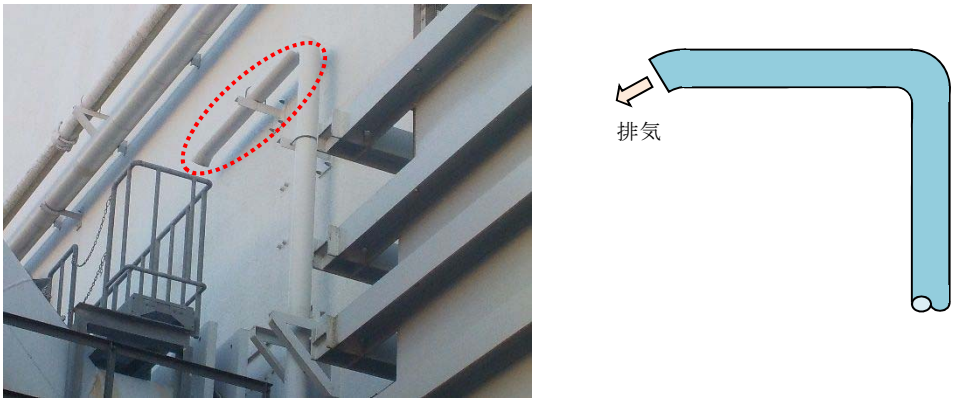
(2)　消火設備

電動消火ポンプ及びディーゼル駆動消火ポンプは屋内（タービン建屋）に設置されている。それらが設置されている部屋の給気設備は第２図のとおり空気が曲がりながら流れる構造となっており，建屋壁面にはルーバーも設置されているため，多量の降下火砕物が侵入する可能性は小さいと考えられるが，適宜現場の状況を確認し，必要に応じルーバーを閉止もしくは換気空調系を停止することで，降下火砕物の侵入を防止する。

ディーゼル駆動消火ポンプの排気管は，第３図のとおり，開口部が横方向であり，降下火砕物は侵入し難い構造となっている。また，運転中は排気していること，待機中であっても外気を吸い込む構造ではないため，降下火砕物が侵入することはない。



第 2 図　ディーゼル駆動消火ポンプ室給気口



第 3 図　ディーゼル駆動消火ポンプ排気管

(3)　通信連絡設備

通信連絡設備は，第1表のとおり多様化を図っており，降下火砕物の影響によりすべての通信機能を喪失することは考え難い。

第1表　主な通信設備

発電所外通信連絡設備	発電所内通信連絡設備
・電力保安通信用電話設備 ・衛星電話設備 ・加入電話 ・テレビ会議システム ・統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	・電力保安通信用電話設備 ・衛星電話設備 ・無線連絡設備 ・運転指令設備 ・携行型有線電話設備

(4)　緊急時対策所

緊急時対策所については，降下火砕物等の荷重に対して，健全性を損なわない設計とする。

また，大気汚染に対する居住性の観点から，外気取入遮断時の緊急時対策所の居住環境について,「空気調和・衛生工学便覧　第13版　第5編　空気調和設備設計」に基づき,酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価した。

ａ．酸素濃度

【評価条件】

・在室人数：100人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

・緊急時対策所バウンダリ内体積：2,900m^3（基本設計値）

・空気流入はないものとする。

・初期酸素濃度：20.95%

・１人あたりの呼吸量は，歩行時の呼吸量を適用して，24L／minとする。

・１人あたりの酸素消費量は，呼気の酸素濃度 16.40％から 65.52L／h とする。

・管理濃度は 19%以上とする。（鉱山保安法施行規則）

【評価結果】

第 2 表　緊急時対策所における酸素濃度の時間変化

時間	2時間	4時間	6時間	8.6時間	管理値
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%	19.0%

ｂ．炭酸ガス濃度

【評価条件】

・在室人数：100 人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

・緊急時対策所バウンダリ内体積：2,900m^3（基本設計値）

・空気流入はないものとする。

・初期二酸化炭素濃度　0.03％

・１人あたりの二酸化炭素吐出量は，中等作業での吐出量を適用して 0.046m^3／h とする。

・管理濃度は 1.0%未満とする。（鉱山保安法施行規則）

【評価結果】

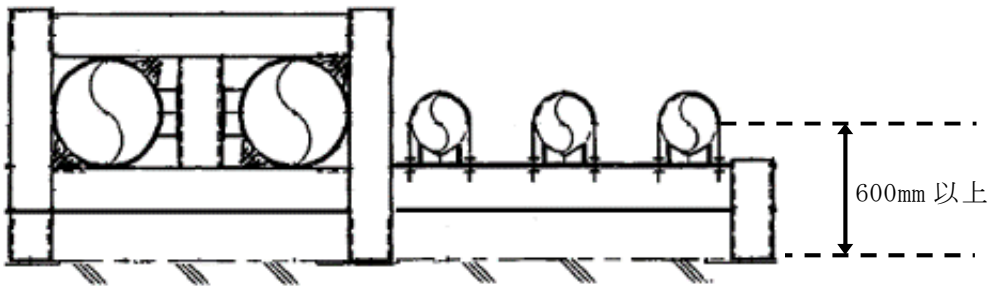
第 3 表　緊急時対策所における炭酸ガス濃度

時間	1時間	2時間	4時間	6.1時間	管理値
二酸化炭素濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%	1.00%

以上の結果から，緊急時対策所において，外気取入を遮断した場合においても 6 時間程度の居住性が確保される結果となった。なお，本評価は保守的に外気取入を遮断して評価しているが，間欠して外気を取り入れることで，緊急時対策所の居住性がより長時間維持される。

(5)　屋外海水系配管

地上に設置されている屋外海水系配管は円形断面であり降下火砕物が堆積し難い構造である。また，配管中央部は地上部から 600mm 以上の位置に布設されており，降下火砕物の堆積による鉛直荷重によって配管が損傷することはない。



第 4 図　屋外海水系配管

降下火砕物の除去に要する時間及び灰置場について

1. 降下火砕物の除去に要する時間

降下火砕物の除去に要する時間について，土木工事の人力掘削作業を参考に評価した結果を以下に示す。

(1) 評価条件

堆積面積 1m^2 あたりの作業人工等の評価条件を第 1 表に示す。

第 1 表　降下火砕物の除去に要する時間の評価条件

項目		評価値
①堆積面積（m^2）	原子炉建屋（付属棟含む）	約4,490
	タービン建屋	約7,320
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	約1,400
	合計	約13,210
②堆積厚さ（m）		0.5
③堆積量＝①×②（m^3）		6,605
④１m^{3}当たりの作業人工※		0.39

※　「国土交通省土木工事積算基準（Ｈ２４）」における人力掘削での人工

(2) 評価結果

降下火砕物の除去に要する作業量は以下のとおり。

0.39 人日/m^3 ×6,605m^3=約 2,576 人日

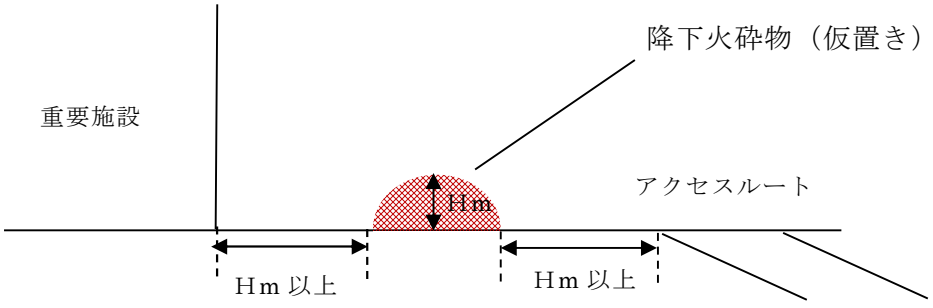
以上の結果から，降下火砕物の除去に人員を約 120 人動員した場合，3 週間程度で降下火砕物を除去できる。また，人員を増やすことによりさらに期間の短縮が可能である。

2.　灰置場について

灰置場については，積んだ降下火砕物が崩れることにより発電所の重要施設に想定外の荷重が負荷されないよう，また，重大事故等対応時に必要なアクセスルートの通行に影響を及ぼすことがないよう，それらから十分に離れた場所に降下火砕物を集積する運用とする。

仮に，一時的に発電所設備の近傍に降下火砕物を積む場合は，降下火砕物が崩れることにより重要施設に想定外の荷重が負荷されないよう，また，重大事故等対応時に必要なアクセスルートの通行に影響を及ぼさない離隔距離を確保する運用とする。

第 1 図　灰置場の候補地



第 2 図　降下火砕物仮置時のイメージ

参考資料－１０

降水による降下火砕物の固結の影響について

降下火砕物は，湿ったのちに乾燥すると固結する特徴を持っており，影響モードとして閉塞が考えられるが，一般的に流水等で除去可能である。

降下火砕物が固結した場合の評価対象施設等に対する影響モードとしては，水循環系の閉塞及び換気系，電気系及び計測制御系に対する閉塞が考えられるが，水循環系においては大量の海水が通水しているため，固結による影響はない。

換気系，電気系及び計測制御系に対する閉塞としては，換気空調系のフィルタの閉塞が考えられるが，換気空調系の外気取入口はガラリ等が設置されており下方向から吸い込む構造となっていることから，平時に比べ降水の際は降下火砕物の侵入は減少すると考えられる。なお，侵入した降下火砕物は外気取入口のフィルタによって除去されるが，湿った降下火砕物がフィルタに付着し固結した場合においても，フィルタ部の取替が可能なことから，固結による影響はない。

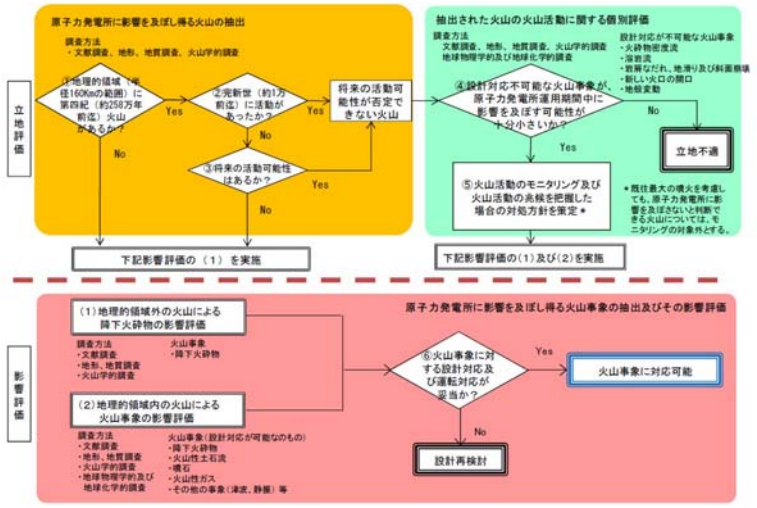
一方，評価対象施設等に対して間接的な影響を与え得る事象としては，降下火砕物による排水路の閉塞時の降水事象が考えられるが，評価対象施設等に有意な影響を及ぼし得る大雨に対しては，雨水が排水路に流れ込むことで，降下火砕物は除去されるため影響はない。なお，少量の降水に対しては有意な影響を及ぼさないと考えられる。

参考資料－１１

火山影響評価ガイドとの整合性について

原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物に対する設備影響の評価の整合性について，以下の表に示す。

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所　火山影響評価
１．　総則 本評価ガイドは、原子力発電所への火山影響を適切に評価するため、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出、抽出された火山の火山活動に関する個別評価、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価のための方法と確認事項をとりまとめたものである。 １．１　一般 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ないとしており、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、火山の影響を挙げている。 火山の影響評価としては、最近では使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査において評価実績があり、2009 年に日本電気協会が「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEAG4625-2009）を制定し、2012 年にIAEA がSafety Standards “Volcanic Hazardsin Site Evaluation for Nuclear Installations”(No. SSG-21)を策定した。近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山システムの観察と複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展しており、これらの知見を基に、原子力発電所への火山影響を適切に評価する一例を示すため、本評価ガイドを作成した。 本評価ガイドは、新規制基準が求める火山の影響により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の評価方法の一例である。また、本評価ガイドは、火山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。 １．２ 適用範囲 本評価ガイドは、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。 １．３ 関連法規等 本評価ガイドは、以下を参考としている。 （１）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） （２）使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査における「自然環境」の考え方について （平成20 年10 月27 日 原子力安全委員会了承） （３）日本電気協会 「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEAG4625-2009） （４）IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)	１．はじめに 原子力規制委員会の定める「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 6 月 28 日原子力規制委員会規則第五号)」第六条において，外部からの衝撃による損傷防止として，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ないとしており，敷地周辺の自然現象を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。 火山の影響により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するための「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し，以下のとおり火山影響評価を行い，安全機能が維持されることを確認した。 ・立地評価 ・影響評価

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所　火山影響評価
2．原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ 火山影響評価は、図1に従い、立地評価と影響評価の2段階で行う。 立地評価では、まず原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、影響を及ぼし得る火山が抽出された場合には、抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。即ち、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。(解説-1) 影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、火山活動のモニタリングと火山活動の兆候把握時の対応を適切に行うことを条件として、個々の火山事象に対する影響評価を行う。一方、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所運用期間中に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価されない場合は、原子力発電所の立地は不適と考えられる。 影響評価では、個々の火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について評価を行う。 解説-1．IAEA SSG-21では、火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊、新しい火道の開通及び地殻変動を設計対応が不可能な火山事象としており、本評価ガイドでも、これを適用する。  	2．原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ （ガイドどおり）

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所　火山影響評価
【立地評価】（項目名のみ記載） ３．原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出 ３．１　文献調査 ３．２　地形・地質調査及び火山学的調査 ３．３　将来の火山活動可能性 ４．原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価 ４．１　設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価 ４．２　地球物理学的及び地球化学的調査 ５．火山活動のモニタリング ５．１　監視対象火山 ５．２　監視項目 ５．３　定期的評価 ５．４　火山活動の兆候を把握した場合の対処	【立地評価】 立地評価及び原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出の結果，降下火砕物のみが東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山事象であるという結果となった。 よって，以降の評価は降下火砕物による影響評価について記す。

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所　火山影響評価
６．原子力発電所への火山事象の影響評価 原子力発電所の運用期間中において設計対応不可能な火山事象によって原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された火山について、それが噴火した場合、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象を表１に従い抽出し、その影響評価を行う。 ただし、降下火砕物に関しては、火山抽出の結果にかかわらず、原子力発電所の敷地及びその周辺調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火砕物が降下するものとする。なお、敷地及び敷地周辺で確認された降下火砕物で、噴出源が同定でき、その噴出源が将来噴火する可能性が否定できる場合は考慮対象から除外する。 また、降下火砕物は浸食等で厚さが低く見積もられるケースがあるので、文献等も参考にして、第四紀火山の噴火による降下火砕物の堆積量を評価すること。（解説-14） 抽出された火山事象に対して、4 章及び5 章の調査結果等を踏まえて、原子力発電所への影響評価を行うための、各事象の特性と規模を設定する。（解説-15） 以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。 解説-14. 文献等には日本第四紀学会の「日本第四紀地図」を含む。 解説-15. 原子力発電所との位置関係について 表1 に記載の距離は、原子力発電所火山影響評価技術指針（JEAG4625）から引用した。JEAG4625 では、調査対象火山事象と原子力発電所との距離は、わが国における第四紀火山の火山噴出物の既往最大到達距離を参考に設定している。また、噴出中心又は発生源の位置が不明な場合には、第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離と噴出物の分布を参考にしてその位置を想定する。 例えば、噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があると考えられる。	【影響評価】 ６．原子力発電所への火山事象の影響評価 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について，運用期間中の噴火規模を考慮し，敷地において考慮する火山事象として，降下火砕物の堆積量を評価した。 考慮すべき降下火砕物の層厚は，地質調査，文献調査及び降下火砕物シミュレーション結果から総合的に判断し 50cm とした。

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所　火山影響評価
6．1　降下火砕物 （1）降下火砕物の影響 (a) 直接的影響 降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。降下火砕物により、原子力発電所の構造物への静的負荷、粒子の衝突、水循環系の閉塞及びその内部における磨耗、換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的及び化学的影響、並びに原子力発電所周辺の大気汚染等の影響が挙げられる。 降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性がある。火山灰粒子には、化学的腐食や給水の汚染を引き起こす成分（塩素イオン、フッ素イオン、硫化物イオン等）が含まれている。 (b) 間接的影響 前述のように、降下火砕物は広範囲に及ぶことから、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼす。この中には、広範囲な送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。 （2）降下火砕物による原子力発電所への影響評価 降下火砕物の影響評価では、降下火砕物の堆積物量、堆積速度、堆積期間及び火山灰等の特性などの設定、並びに降雨等の同時期に想定される気象条件が火山灰等特性に及ぼす影響を考慮し、それらの原子炉施設又はその付属設備への影響を評価し、必要な場合には対策がとられ、求められている安全機能が担保されることを評価する。（解説-16、17、18）	6．1　降下火砕物 （1）降下火砕物の影響 (a) 直接的影響 降下火砕物は，最も広範囲に及ぶ火山事象で，ごくわずかな火山灰の堆積でも，原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。原子力発電所の構造物への静的負荷（降雨等の影響を含む。），粒子の衝突等，降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子を網羅的に抽出・評価し，その中から詳細に検討すべき影響因子を選定した。 影響評価において必要となる降下火砕物の粒径及び密度については，地質調査及び文献調査を基に設定した。なお、降下火砕物の密度については，降雨の影響を考慮した。 (b) 間接的影響 降下火砕物は広範囲に及ぶことから，広範囲にわたる送電網の損傷による長期の外部電源喪失の可能性や原子力発電所への交通の途絶の可能性も考慮し，間接的影響を確認した。 （2）降下火砕物による原子力発電所への影響評価 降下火砕物の影響評価を考慮すべき施設（評価対象施設等）としては，外部事象防護施設のうち，屋内設備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，屋外に設置されている施設，降下火砕物を含む海水の流路となる施設，降下火砕物を含む空気の流路となる施設，外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設に分類し抽出した。また，降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設も評価を行った。 抽出した評価対象施設について影響を評価し，原子炉施設の安全性を損なわないことを確認した。

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所　火山影響評価
（３）確認事項 （a）直接的影響の確認事項 ① 降下火砕物堆積荷重に対して、安全機能を有する構築物、系統及び機器の健全性が維持されること。 ② 降下火砕物により、取水設備、原子炉補機冷却海水系統、格納容器ベント設備等の安全上重要な設備が閉塞等によりその機能を喪失しないこと。 ③ 外気取入口からの火山灰の侵入により、換気空調系統のフィルタの目詰まり、非常用ディーゼル発電機の損傷等による系統・機器の機能喪失がなく、加えて中央制御室における居住環境を維持すること。 ④ 必要に応じて、原子力発電所内の構築物、系統及び機器における降下火砕物の除去等の対応が取れること。 （b）間接的影響の確認事項 原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。 解説-16. 原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合は、次の方法により堆積物量を設定する。 ✓ 類似する火山の降下火砕物堆積物の情報を基に求める。 ✓ 対象となる火山の噴火量、噴煙柱高、全体粒度分布、及びその領域における風速分布の変動を高度及び関連パラメータの関数として、原子力発電所における降下火砕物の数値シミュレーションを行うことより求める。数値シミュレーションに際しては、過去の噴火履歴等の関連パラメータ、並びに類似の火山降下火砕物堆積物等の情報を参考とすることができる。 解説-17. 堆積速度、堆積期間については、類似火山の事象やシミュレーション等に基づいて、原子力発電所への間接的な影響も含めて評価する。 解説-18. 火山灰の特性としては粒度分布、化学的特性等がある。	（３）降下火砕物の影響の確認結果 （a）直接的影響の確認事項 ① 降下火砕物堆積荷重に対して，原子炉建屋，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水系ポンプ等の健全性が維持されることを確認した。 ② 降下火砕物により，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水系ポンプ，残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水系ストレーナ，残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水系ストレーナ，取水設備等が閉塞等によりその機能を喪失しないことを確認した。 ③ 降下火砕物が外気取入口に侵入した場合であっても，フィルタによって大部分の降下火砕物は除去されることから，給気を供給する系統及び機器の機能喪失がなく，加えて，中央制御室換気空調系については，外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転をすることにより，中央制御室の居住性に影響を及ぼさないことを確認した。 ④ 必要に応じて，構築物，系統及び機器における降下火砕物の除去，換気空調系フィルタの清掃・取替が可能な設計であることを確認した。 （b）間接的影響の確認事項 原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮した場合においても，発電所内に貯蔵されている燃料油等により，７日間は原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れることを確認した。

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所　火山影響評価
【立地評価の結果を考慮し評価する項目】（項目名のみ記載） ６．２　火砕物密度流 ６．３　溶岩流 ６．４　岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊 ６．５　火山性土石流、火山泥流及び洪水 ６．６　火山から発生する飛来物（噴石） ６．７　火山ガス ６．８　新しい火口の開口 ６．９　津波及び静振 ６．１０　大気現象 ６．１１　地殻変動 ６．１２　火山性地震とこれに関連する事象 ６．１３　熱水系及び地下水の異常 ７．　附則 この規定は、平成２５年７月８日より施行する。 評価方法は、本評価ガイドに掲げるもの以外であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その方法を用いることを妨げない。また、本評価ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するように見直して行くものとする。	原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について，運用期間中の噴火規模を考慮し，敷地において考慮する火山事象を評価した結果，降下火砕物以外の火山事象については，原子炉施設の安全機能に影響を及ぼすことはないと評価した。 以　上

参考資料－１２

原子炉建屋の健全性評価について

1. 基本方針

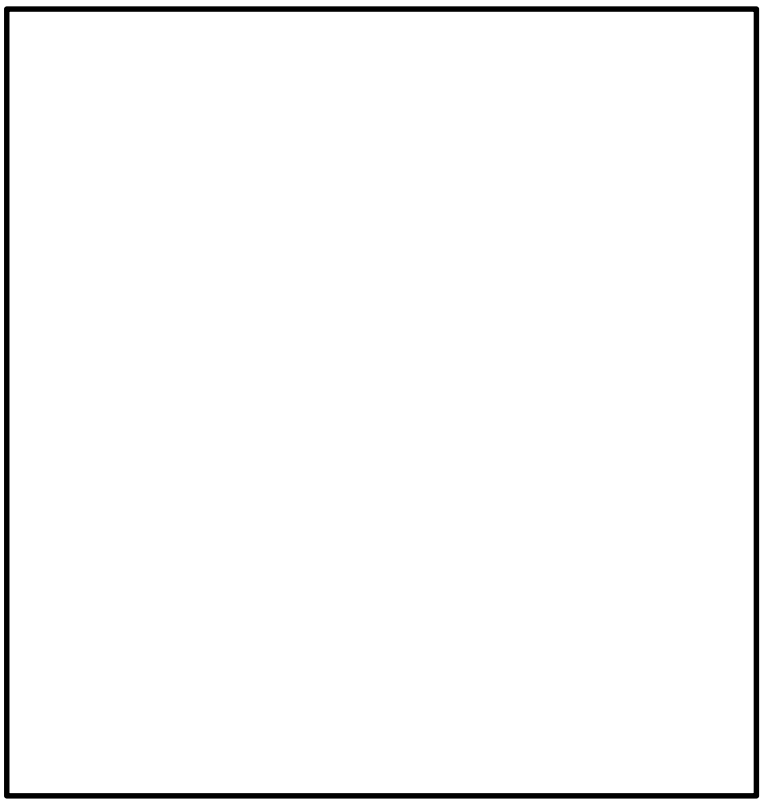
(1) 概要

降下火砕物の堆積荷重に対して各建屋が健全性を有することを，応力解析による評価によって確認する。設置許可においては，自身が MS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及び MS-2(放射性物質放出の防止機能)の安全機能を有する原子炉建屋と，自身がクラス 1 及び 2 施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長いタービン建屋を代表として,評価内容及び評価結果を示す。工事計画認可においては，屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性能を確認し，建屋に求められる機能設計上の性能目標を満足していることを示す。参考資料－１２では，原子炉建屋について評価内容及び評価結果を示す。

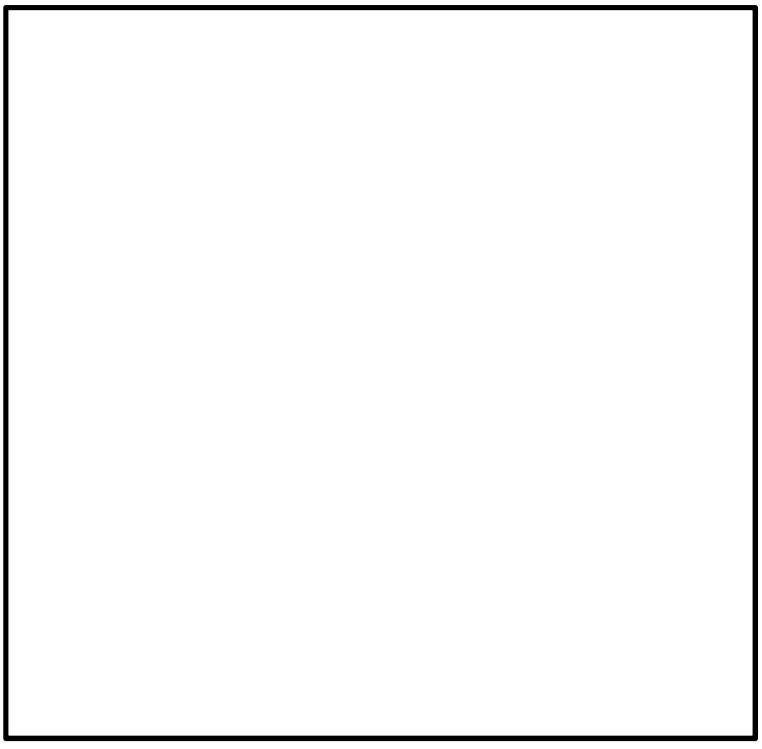
(2) 構造概要

原子炉建屋は，地上 6 階，地下 2 階建で，平面が約 67 m（南北方向）×約 67 m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。

原子炉建屋の概略平面図を第 1-1 図に，原子炉建屋の概略断面図を第 1-2 図に示す。



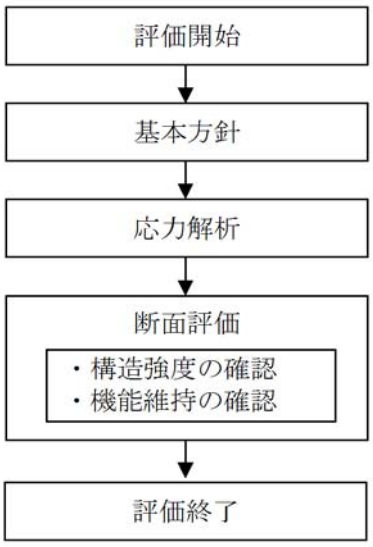
第 1-1 図　原子炉建屋の概略平面図（EL.＋46.5 m）



第 1-2 図　原子炉建屋の概略断面図（ＥＷ方向）

(3)　評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して，応力解析による断面の評価を行うことで，建物の構造強度及び機能維持の確認を行う。第 1-3 図に建屋の評価フローを示す。



第 1-3 図　建屋の評価フロー

(4)　適用規格・基準等

本評価において，準拠する規格基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・平成 12 年建設省告示第 2464 号

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会）

・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）

・2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

2.　応力解析による評価方法

原子炉建屋の応力解析による評価対象部位は屋根スラブ及び主トラスとする。

(1)　評価対象部位及び評価方針

評価対象部位は，以下の理由から屋根スラブと主トラスを選定する。

・主要な部位のうち，梁間方向に配されている主トラスと，屋根スラブが主体構造として，降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため。

・原子炉建屋の屋根スラブはMS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及びMS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を担保しているため。

降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が屋根スラブについては「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC-N規準」という。），主トラスについては「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（以下「S規準」という。）を参考に，各々設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2)　荷重及び荷重の組合せ

ａ．荷重

(a)　固定荷重（DL）

固定荷重を第2-1表に示す。

第2-1表　固定荷重

固定荷重（DL）
5,364N／m^2

(b)　積載荷重（LL）

積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表　積載荷重（LL）

積載荷重（LL）
1,000N／m^2

(c)　積雪荷重（SNL）

積雪荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表　積雪荷重（SNL）

積雪荷重（SNL）
210N／m^2

(d)　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重を第 2-4 表に示す。

第 2-4 表　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重（VAL）
7,355N／m^2

(e)　荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-5 表に示す。

第 2-5 表　荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL＋LL＋SNL＋VAL

(3) 許容限界

応力評価解析における原子炉建屋の許容限界を第 2-6 表に示す。また，鋼材の基準強度及び評価基準値を第 2-7 表，コンクリート及び鉄筋の評価規準値を第 2-8 表，第 2-9 表に示す。

第 2-6 表 応力評価解析における許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	構造強度を有すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※1
		主トラス		終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界※2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3
遮蔽性	遮蔽体の損傷により射影機能を損なわないこと	屋根トラス	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度※3

※1 構造強度に対しては，「終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界」が許容限界となるが，気密性，遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから，短期許容応力度で評価

※2 弾性限耐力として「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

※3 「RC-N 規準」の短期許容応力度で評価

以上より，屋根スラブは短期許容応力度，主トラスは終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界（以下「弾性限耐力」という。）を用いて評価を行う。

第 2-7 表　鋼材の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N／mm^2)	評価基準値 (N／mm^2)	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t≦40	235	258.5	258.5

第 2-8 表　コンクリートの評価基準値

Fc (N／mm^2)	評価基準値 (N／mm^2)	
	圧縮	せん断
22.1	14.7	1.06

第 2-9 表　鉄筋の評価基準値

鉄筋種類	評価基準値 (N／mm^2)	
	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD345 (SD35)	345	345

3.　解析モデル及び緒元

屋根スラブ及び主トラスの解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1)　屋根スラブ　モデル化の基本方針

「RC-N 規準」に基づいて，屋根スラブは一方向版として曲げモーメント及びせん断力を算出し，応力比を算出する。屋根スラブの検討条件を第 3-1 表に，使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-1 表　屋根スラブの検討条件

位置	厚さ (mm)	短辺長さ (m)	長辺長さ (m)	配筋			
				短辺		長辺	
				端部	中央部	端部	中央部
EL 64.08m (S1-1)	100	2.27	7.30	D13@180	D13@180	D13@200	D13@200
EL 64.08m (S1-2)	100	1.53	7.30	D13@180	D13@180	D13@200	D13@200

位置	配筋量			
	短辺		長辺	
	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)
EL 64.08m (S1-1)	705.6	705.6	635.0	635.0
EL 64.08m (S1-2)	705.6	705.6	635.0	635.0

第 3-2 表　使用材料の物性値

使用材料	単位体積重量 γ	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0kN／m^3	22.1kN／mm^2	9.21kN／mm^2	0.2

(2)　主トラス モデル化の基本方針

ａ．応力解析モデルの概要

・主トラス上・下弦材は，軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材と束材は軸剛性だけのトラス要素とする。

・各部材長さは部材芯位置でモデル化する。

・オペレーティングフロアより上部構造を 3 次元の立体架構でモデルする。

原子炉建屋断面図及び立体架構モデルを第 3-1 図に示す。

第 3-1 図　原子炉建屋断面図（ＥＷ側）及び立体架構モデル

ｂ．解析コード

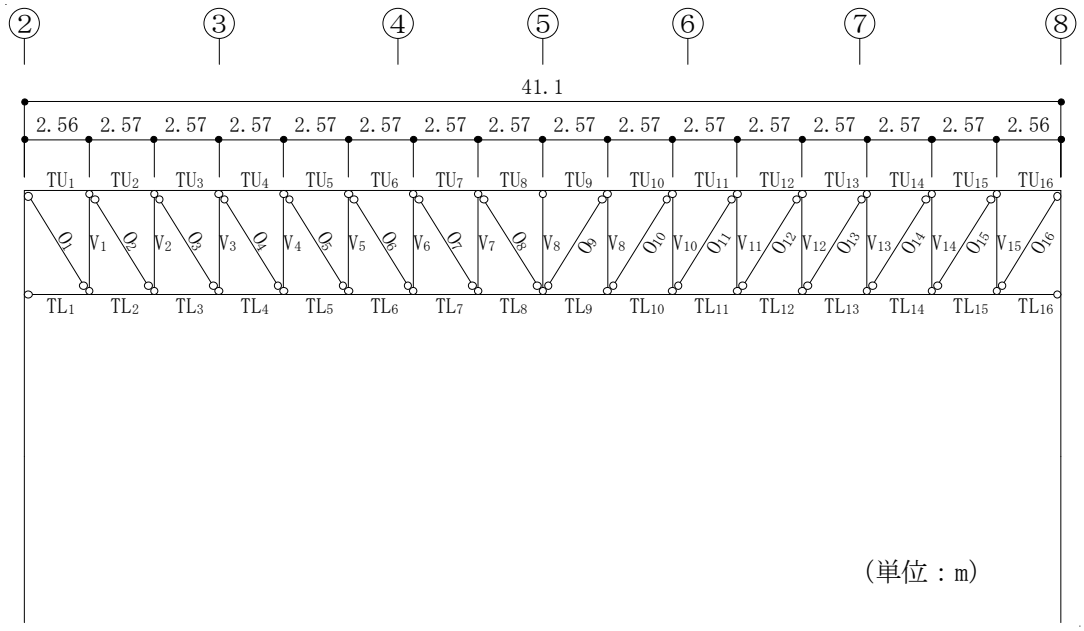
ＤＹＮＡ２Ｅ Ver.8.0

c．検討部材の形状・寸法

検討部材の形状及び寸法を第 3-3 表に示す。また，部材位置図を第 3-2 図に示す。

第 3-3 表　検討部材の形状及び寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	TU_1～TU_{16}	H-400×400×13×21	SS400 (SS41)
下弦材	TL_1～TL_{16}	H-400×400×13×21	
斜材	O_1, O_2, O_{15}, O_{16}	2Ls-200×200×15	
	O_3, O_4, O_{13}, O_{14}	2Ls-150×150×15	
	O_5～O_{12}	2Ls-150×100×12	
束材	V_1, V_2, V_{14}, V_{15}	2Ls-200×200×15	
	V_3, V_{13}	2Ls-150×150×15	
	V_4, V_{12}	2Ls-150×150×15	
	V_5～V_7, V_9～V_{11}	2Ls-150×100×12	
	V_8	2Ls-150×100×12	



第 3-2 図　部材位置図

d．使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-4 表に示す。

第 3-4 表　使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量	77.0kN／m^3
ヤング係数	205.0kN／mm^2
せん断弾性係数	79.0kN／mm^2

(3)　評価方法

a．屋根スラブの評価方法

「RC-N 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が許容応力度を超えないことを，配筋量を基に確認する。

$$M = a_t f_t j$$

M　：許容曲げモーメント　　a_t　：引張鉄筋断面積

j　：応力中心間距離（7/8）d　　d　：有効せい

f_t　：鉄筋の短期許容引張応力度

また，「RC-N 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，許容面外せん断応力度（評価基準値）を超えないことを確認する。

$$Q_A = bj\{\alpha f_s + 0.5_w f_t(p_w - 0.002)\}$$

ただし，　$\alpha = \dfrac{4}{\dfrac{M}{Qd}+1}$　　$1 \leqq \alpha \leqq 2$

b　：幅

j　：応力中心間距離7/8）d

d　：有効せい

p_w：せん断補強筋比 $p_w = \dfrac{a_w}{bx}$

a_w：せん断補強筋の断面積

x　：せん断補強筋の間隔

f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度

${}_w f_t$　：せん断補強筋の短期許容引張応力度

α　：せん断スパン比 $\dfrac{M}{Qd}$ による割増係数

M　：設計する梁の最大曲げモーメント

Q　：設計する梁の最大せん断力

b．主トラスの評価方法

「S 規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

(a)　軸力のみを負担する部材の評価方法

軸力のみを負担するトラス要素（斜材，束材等）に発生する応力度 σ_c、σ_tが，以下の式による応力度比は 1 以下となることを確認する。

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{f_c}, \frac{\sigma_t}{f_t}\right) \leqq 1$$

f_c，f_tは以下の式により求める。

$$f_t = \frac{F}{1.5}$$

$$f_c = \frac{\left\{1-0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}F}{\nu} \qquad (\lambda \leqq \Lambda \text{のとき})$$

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2} \qquad (\lambda > \Lambda \text{のとき})$$

f_c ：許容圧縮応力度（N／mm²）　　Λ ：限界細長比　　$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

f_t ：許容引張応力度（N／mm²）　　E ：ヤング係数

λ ：圧縮材の細長比　　$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$

(b)　軸力と曲げを負担する部材の評価方法

軸力と曲げを負担する梁要素（上・下弦材等）は，軸力により生じる軸応力度 σ_c，σ_t と曲げモーメントにより生じる曲げ応力度 σ_b の組合せに対して，以下の式により応力度比が 1 以下となることを確認する。

【圧縮と曲げにより生じる応力度の確認】

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

【引張りと曲げにより生じる応力度の確認】

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$$

f_c，f_t は軸力を負担する場合と同じ。 f_b は以下の式により求める。

$$f_b = \frac{F}{\nu} \quad (\lambda_b \leqq {}_p\lambda_b)$$

$$f_b = \frac{\left\{1 - 0.4\left(\frac{\lambda_b - {}_p\lambda_b}{{}_e\lambda_b - {}_p\lambda_b}\right)\right\}}{\nu} F \quad ({}_p\lambda_b < \lambda_b \leqq {}_e\lambda_b)$$

$$f_b = \frac{1}{2.17\lambda_b{}^2} F \quad ({}_e\lambda_b < \lambda_b)$$

ここに,

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \quad {}_e\lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

i）補剛区間内で曲げモーメントが直線的に変化する場合

$${}_p\lambda_b = 0.6 + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right) \quad C = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 \leq 2.3$$

ii）補剛区間内で曲げモーメントが最大となる場合

$$M_e = C\sqrt{\frac{\pi^4 EI_Y \cdot EI_w}{l_b{}^4} + \frac{\pi^2 EI_Y \cdot GJ}{l_b{}^2}}$$

f_b ：許容曲げ応力度　　λ_b ：曲げ部材の細長比

l_b ：圧縮フランジの支点間距離　　${}_e\lambda_b$ ：弾性限界細長比

${}_p\lambda_b$ ：塑性限界細長比　　C ：許容曲げ応力度の補正係数

M_e ：弾性横座屈モーメント　　Z ：断面係数

I_Y ：弱軸まわりの断面2次モーメント

I_w ：曲げねじり定数　　G ：せん断弾性係数

J ：サンブナンのねじり定数　　M_y ：降伏モーメント（$F \cdot Z$）

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda_b}{{}_e\lambda_b}\right)^2$$

4.　評価結果

屋根スラブの評価結果を第 4-1，4-2 表，主トラスの評価結果を第 4-3 表に示す。降下火砕物の堆積時において，発生応力度が検定値を超えないことを確認した。

第 4-1 表　屋根スラブ（曲げモーメント）　評価結果

（短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm^2)		発生曲げモーメント (kN・m)		必要鉄筋量 (mm^2)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 64.08 (S1-1)	705.6	705.6	5.17	2.59	323.1	161.6	0.46	0.23
EL 64.08 (S1-2)	705.6	705.6	3.52	1.98	220.2	123.9	0.32	0.18

第 4-2 表　屋根スラブ（せん断力）　評価結果

（短期許容度応力度）

部位	発生せん断力 (kN)	せん断応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	1.06	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	1.06	0.19

第 4-3 表　主トラス 評価結果

部材	発生応力	応力度 (N／mm²)	許容値 (N／mm²)	検定値	位置
上弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	112.7	257.3	0.60	P 通り TU8,TU9
	(曲げ)	40.3	255.4		
	(引張)	37.7	258.5	0.55	L 通り TU1,TU16
	(曲げ)	103.1	256.5		
下弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	78.9	248.9	0.46	Q 通り TL1
	(曲げ)	34.3	256.3		
	(引張)	157.6	258.5	0.79	P 通り TL8,TL9
	(曲げ)	44.9	195.9		
斜材 2Ls-150×150×15	(引張)	207.8	258.5	0.81	L 通り 03,014
束材 2Ls-150×150×15	(圧縮)	152.0	158.2	0.97	P 通り V13

参考資料－１３

タービン建屋の健全性評価について

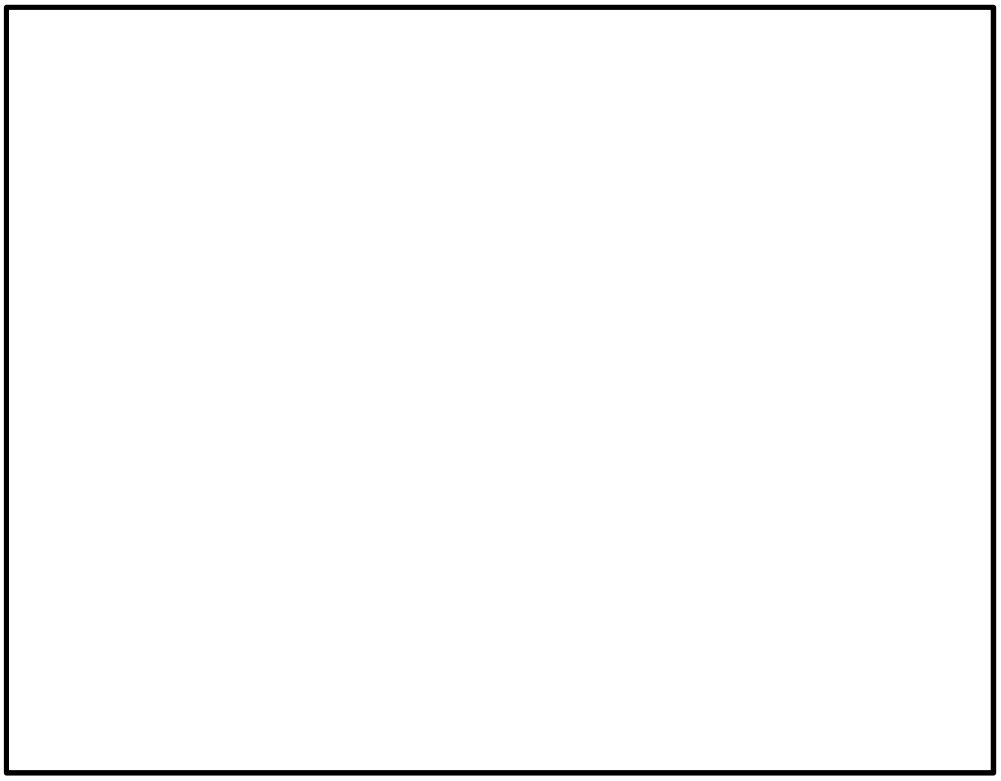
1. 基本方針

(1) 概要

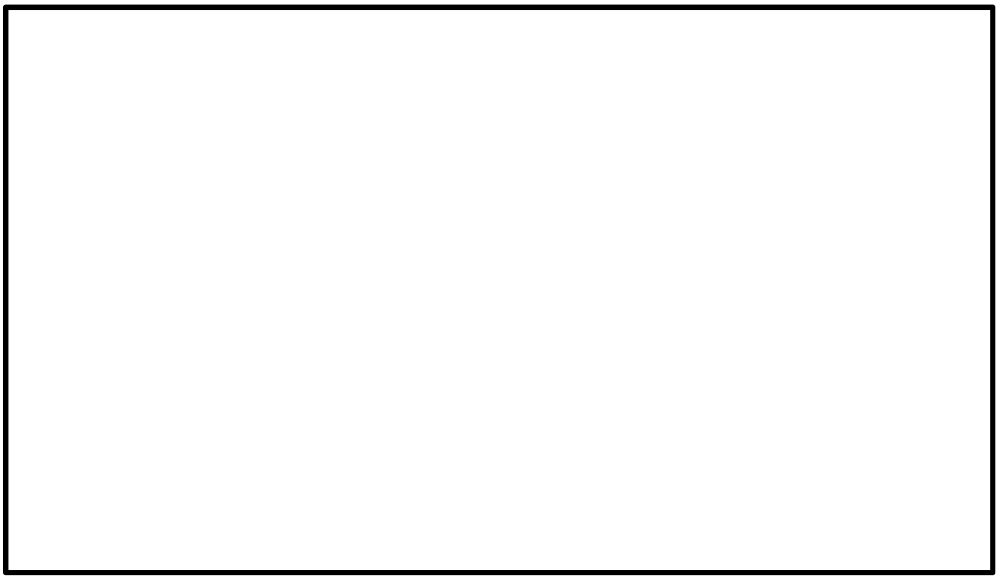
降下火砕物の堆積荷重に対して各建屋が健全性を有することを，応力解析による評価によって確認する。設置許可においては，自身が MS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及び MS-2(放射性物質放出の防止機能)の安全機能を有する原子炉建屋と，自身がクラス 1 及び 2 施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長いタービン建屋を代表として,評価内容及び評価結果を示す。工事計画認可においては，屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性能を確認し，建屋に求められる機能設計上の性能目標を満足していることを示す。参考資料－１３では，タービン建屋について評価内容及び評価結果を示す。

(2) 構造概要

タービン建屋は，地上 2 階，地下 1 階建で，平面が約 70 m（南北方向）×約 105m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。タービン建屋の概略平面図を第 1-1 図に，概略断面図を第 1-2 図に示す。



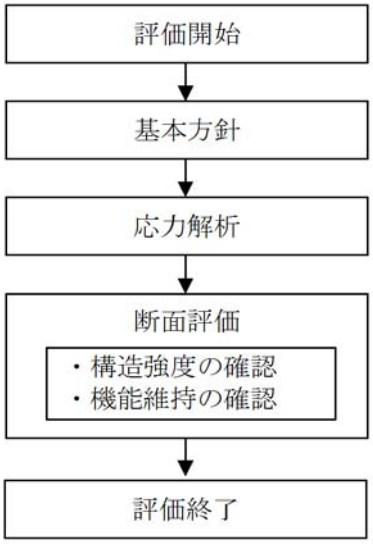
第 1-1 図　タービン建屋の概略平面図（EL.＋18.0 m）



第 1-2 図　タービン建屋の概略断面図（ＮＳ方向）

(3)　評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して，応力解析による断面の評価を行うことで，建物の構造強度及び機能維持（タービン建屋が内包するクラス 2 設備に波及的影響を及ぼさない）の確認を行う。第 1-3 図に建屋の評価フローを示す。



第 1-3 図　建屋の評価フロー

(4)　適用規格

本評価において，準拠する規格基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・平成 12 年建設省告示第 2464 号

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会）

・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）

・2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

2.　応力解析による評価方法

タービン建屋応力解析による評価対象部位は屋根スラブ及び主トラスとする。

(1)　評価対象部位及び評価方針

評価対象部位は，以下の理由から屋根スラブと主トラスを選定する。

・主要な部位のうち，梁間方向に配されている主トラスと，屋根スラブが主体構造として，降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が屋根スラブについては「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC-N 規準」という。），主トラスについては「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（以下「S 規準」という。）を参考に，各々設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2)　荷重及び荷重の組合せ

a．荷重

(a)　固定荷重（DL）

固定荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表　固定荷重

固定荷重（DL）
5,678N／m^2

(b)　積載荷重（LL）

積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表　積載荷重（LL）

積載荷重（LL）
1,000N／m^2

(c)　積雪荷重（SNL）

積雪荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表　積雪荷重（SNL）

積雪荷重（SNL）
210N／m^2

(d)　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重を第 2-4 表に示す。

第 2-4 表　降下火砕物の堆積荷重（VAL）

降下火砕物の堆積荷重（VAL）
7,355N／m^2

(e)　荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-5 表に示す。

第 2-5 表　荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL＋LL＋SNL＋VAL

(3)　許容限界

応力解析による評価におけるタービン建屋の許容限界を第 2-6 表に示す。また，鋼材の基準強度及び評価基準値を第 2-7 表，コンクリート及び鉄筋の評価規準値を第 2-8 表，第 2-9 表に示す。

第 2-6 表 応力解析評価における許容限界

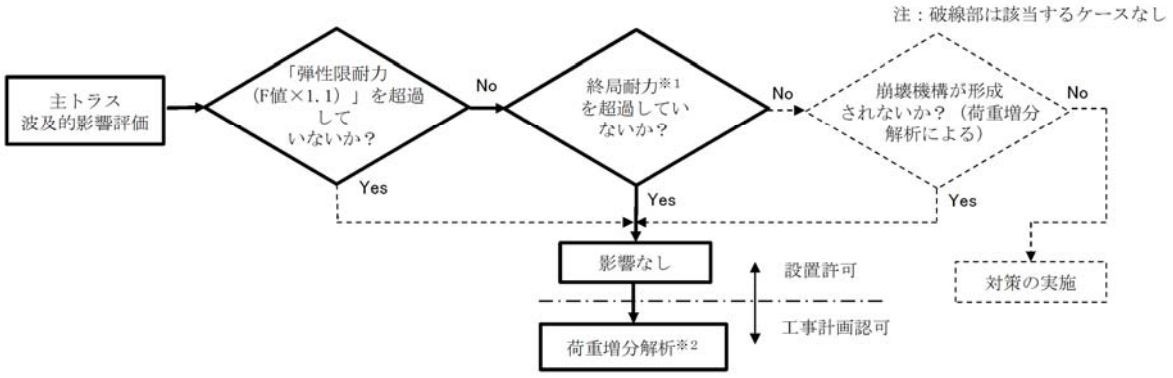
要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	上位クラス設備に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ	落下しないことを確認※1	終局耐力※2
		主トラス	崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと※3

※1　屋根スラブの落下により，内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから，機能維持のために落下しないことを確認

※2　機能に対しては終局耐力が許容限界となるが「RC-N 規準」の短期許容応力度で評価

※3　第 2-1 図のフローに基づき評価

主トラスの波及的影響評価のフローを第 2-1 図に示す。



※1　座屈耐力（修正若林式及び「鋼構造限界状態設計指針・同解説（日本建築学会）」

※2　一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，荷重増分解析により崩壊機構が形成されないことを確認する。

第 2-1 図　主トラス波及的影響評価フロー

第 2-7 表　鋼材の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N／mm²)	評価基準値（N／mm²）	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t≦40	235	258.5	258.5

第 2-8 表　コンクリートの評価基準値

Fc (N／mm^2)	評価基準値（N／mm^2）	
	圧縮	せん断
22.1	14.7	1.06

第 2-9 表　鉄筋の評価基準値

鉄筋種類	評価基準値（N／mm^2）	
	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD345 (SD35)	345	345

3.　応力解析モデル及び緒元

屋根スラブ及び主トラスの解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1)　屋根スラブ モデル化の基本方針

「RC-N 規準」に基づいて，スラブは一方向版として曲げモーメント及びせん断力を算出し，応力比を算出する。屋根スラブの検討条件を第 3-1 表，使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-1 表　屋根スラブの検討条件

位置	厚さ (mm)	短辺長さ (m)	長辺長さ (m)	配筋			
				短辺		長辺	
				端部	中央部	端部	中央部
EL 40.65m	100	2.08	11.60	D13@200	D13@200	D13@200	D13@200

位置	配筋量			
	短辺		長辺	
	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)	端部 (mm^2)	中央部 (mm^2)
EL 40.65m	635.0	635.0	635.0	635.0

第 3-2 表　使用材料の物性値

使用材料	単位体積重量 γ	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G	ポアソン比
鉄筋 コンクリート	24.0kN／m^3	22.1kN／mm^2	9.21kN／mm^2	0.2

(2)　主トラスモデル化の基本方針

ａ．応力解析モデルの概要

・主トラス上・下弦材は，軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材及び束材は，軸剛性だけのトラス要素とする。

・各部材長さは，部材芯位置でモデル化する。

・オペレーティングフロアより上部構造のうち，最も応力が厳しくなる 1 構面を取り出した 2 次元モデル※とする。

※　荷重増分解析を実施する場合は，3 次元モデルで実施する。

タービン建屋断面図及び主トラスの検討モデルを第 3-1 図に示す。

第 3-1 図　タービン建屋断面図（ＮＳ側）及び主トラス検討モデル

ｂ．解析コード

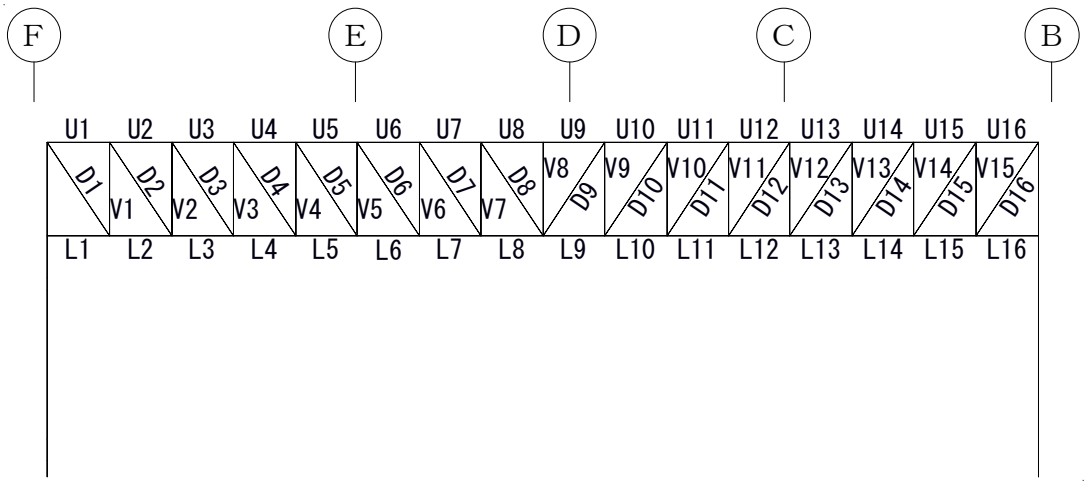
ＦＡＰ３ Ver.5.0

ｃ．検討部材の形状及び寸法

検討部材の形状及び寸法を第 3-3 表に示す。また，部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-3 表　検討部材の形状・寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	U_1～U_{16}	H-428×407×20×35	SS400 (SS41)
下弦材	L_1～L_{16}	H-428×407×20×35	
斜材	D_1～D_3 D_{14}～D_{16}	2Ls-200×200×20	
	D_4, D_5, D_{12}, D_{13}	2Ls-150×150×19	
	D_6, D_{11}	2Ls-130×130×12	
	D_7, D_8, D_9, D_{10}	2Ls-100×100×10	
束材	V_1, V_2, V_{14}, V_{15}	2Ls-200×200×20	
	V_3, V_4, V_{12}, V_{13}	2Ls-200×200×15	
	V_5, V_6, V_{10}, V_{11}	2Ls-150×150×15	
	V_7～V_9	2Ls-130×130×9	



第 3-2 図　部材位置図

d．使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-4 表に示す。

第 3-4 表　使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量 γ	77.0kN／m^3
ヤング係数 E	205.0kN／mm^2
せん断弾性係数 G	79.0kN／mm^2

(3)　評価方法

a．屋根スラブの評価方法

RC-N 規準に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が許容応力度を超えないことを，配筋量を基に確認する。また，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，許容面外せん断応力度（評価基準値）を超えないことを確認する。

評価式は，参考資料－１２「原子炉建屋の健全性評価について」に記載と同様。

b．主トラスの評価方法

S 規準に基づき，評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

評価式は，参考資料－１２「原子炉建屋の健全性評価について」に記載と同様。また，主トラスの崩壊機構が形成されないことを確認する終局耐力の評価は以下の式を用いる。

・軸力のみを負担する部材の評価方法

$$n_o = 1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad (\lambda \leqq \Lambda)$$

n_o ：無次元初期座屈耐力
λ ：圧縮材の細長比
Λ ：限界細長比　$\Lambda = \sqrt{\dfrac{\pi^2 E}{0.6F}}$
E ：ヤング係数

【修正若林力※1：圧縮側耐力曲線】

$$\frac{n}{n_0} = \frac{1}{\left(\overline{\zeta} - P_n\right)^{1/6}} \leq 1$$

$n = N / N_y$　N：軸力　N_y：降伏軸力
n_0：無次元化初期座屈耐力※2
$\overline{\zeta}$：無次元化圧縮側累積塑性歪

$$P_n = (n_E/4) - 5 \quad n_E = \frac{\pi^2 E}{{\lambda_e}^2 \sigma_y}$$

・軸力と曲げを負担する部材の評価方法※3

$$M_c = M_p \quad (\lambda_b \leqq_p \lambda_b)$$

$$M_c = \left(1.0 - 0.4\frac{\lambda_b - {}_p\lambda_b}{{}_e\lambda_b - {}_p\lambda_b}\right)M_p \quad ({}_p\lambda_b < \lambda_b \leqq_e \lambda_b)$$

$$M_c = \frac{1}{{\lambda_b}^2} M_p \quad (\lambda_b <_e \lambda_b)$$

$$M_e = C_b\sqrt{\frac{\pi^4 EI_Y \cdot EI_w}{{}_k l_b^{\,4}} + \frac{\pi^2 EI_Y \cdot GJ}{l_b^{\,2}}}$$

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 \leq 2.3$$

M_c：横座屈限界耐力

λ_b：横座屈細長比 $\lambda_b = \dfrac{M_p}{M_e}$

${}_e\lambda_b$：弾性限界細長比 ${}_e\lambda_b = 1/\sqrt{0.6}$

${}_p\lambda_b$：塑性限界細長比 ${}_p\lambda_b = 0.6 + 0.3\left(\dfrac{M_2}{M_1}\right)$

M_e：弾性横座屈モーメント

EI_y：弱軸まわりの曲げ剛性

EI_w：曲げねじり剛性

GJ：サンブナンねじり剛性

l_b：材長あるいは横座屈補剛間長さ

${}_k l_b$：横座屈長さ

M_p：全塑性モーメント $M_p = F_y \cdot Z_p$

F_y：降伏強さ

Z_p：塑性断面係数

※1　谷口，加藤，他「鉄骨 X ブレース架構の復元力特性に関する研究」日本建築学会 構造工学論文集　Vol.37B(1991 年 3 月)

※2　「鋼構造設計規準（日本建築学会：1973 年 5 月）」

※3　「鋼構造限界状態設計指針・同解説（日本建築学会：2010 年 2 月）」

4.　評価結果

屋根スラブの評価結果を第 4-1 表，第 4-2 表，主トラスの評価結果を第 4-3 表，第 4-4 表に示す。主トラスは，弾性限耐力を適用した評価において，一部の部材が検定値 1.0 を上回る結果となったが，当該部材は座屈耐力に対して検定値は 1.0 以下であり，構造体が崩壊することはない。

第 4-1 表　屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果
（検定：短期許容応力度）

部位	設計配筋量 (mm^2)		発生曲げモーメント (kN・m)		必要鉄筋量 (mm^2)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 40.65	635.0	635.0	7.36	4.14	460.0	258.7	0.73	0.41

第 4-2 表　屋根スラブ（曲げモーメント）評価結果
（検定：短期許容応力度）

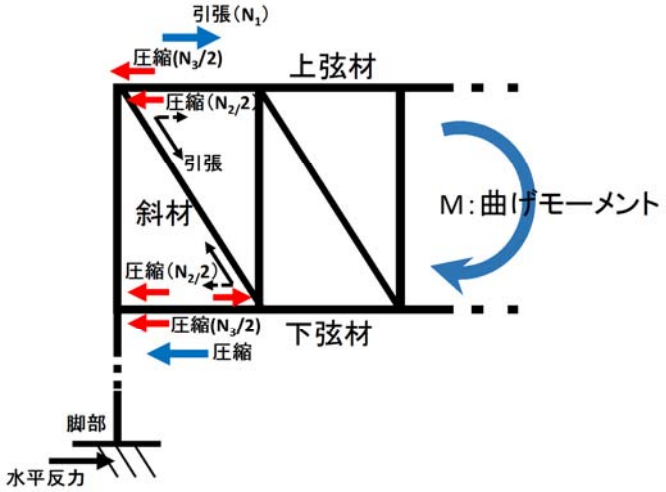
部位	発生せん断力 (kN)	せん断応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定比
EL 40.65	17.69	0.381	1.06	0.36

第 4-3 表　主トラスの評価結果（検定：弾性限耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm²)	許容値 (N／mm²)	検定値	位置
上弦材 H-428×407×20×35	（圧縮）	179.9	250.0	0.96	U8,U9
	（曲げ）	59.9	258.0		
	（引張）	0※1	258.0	0.53	U1,U16
	（曲げ）	136.0	258.0		
下弦材 H-428×407×20×35	（圧縮）	55.2	152.0	1.04※2	L1,L16
	（曲げ）	162.1	241.0		
	（引張）	160.3	258.0	0.90	L8,L9
	（曲げ）	70.8	219.0		
斜材 2Ls-200×200×20	（引張）	201.7	258.0	0.79	D2,D15
束材 2Ls-200×200×15	（圧縮）	184.7	212.0	0.88	V3,V13

※1　主トラスに作用する曲げモーメントは，上下弦材の軸力に置換され，トラス端部では上弦材に引張軸力が作用する。また，斜材に生じる引張軸力に対して釣り合うため，上弦材には圧縮軸力が作用し，門型フレーム脚部の水平反力に対して上弦材には圧縮軸力が作用する。従って，上弦材に生じる軸力は，曲げによる引張よりも圧縮が支配的となり，引張が 0 となる。（発生応力の概略を第 4-1 図に示す）

※2　検定値を超過した下弦材（L1，L16）は座屈耐力に対して評価を行う。



上弦材：（N2+N3）/2－N1
下弦材：（N2+N3）/2＋N1
N1：トラスに生じる曲げ応力
N2：斜材軸力の水平成分に対する軸力
N3：柱脚部の水平反力に対する圧縮力

第 4-1 図　発生応力の概略図

第 4-4 表　主トラスの評価結果（検定：終局耐力）

部材	発生応力	応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	検定値	位置
下弦材 H-428×407×20×35	(圧縮)	55.2	177.3	0.94	L1,L16
	(曲げ)	162.1	258.5		

参考資料－１４

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

1．概要

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

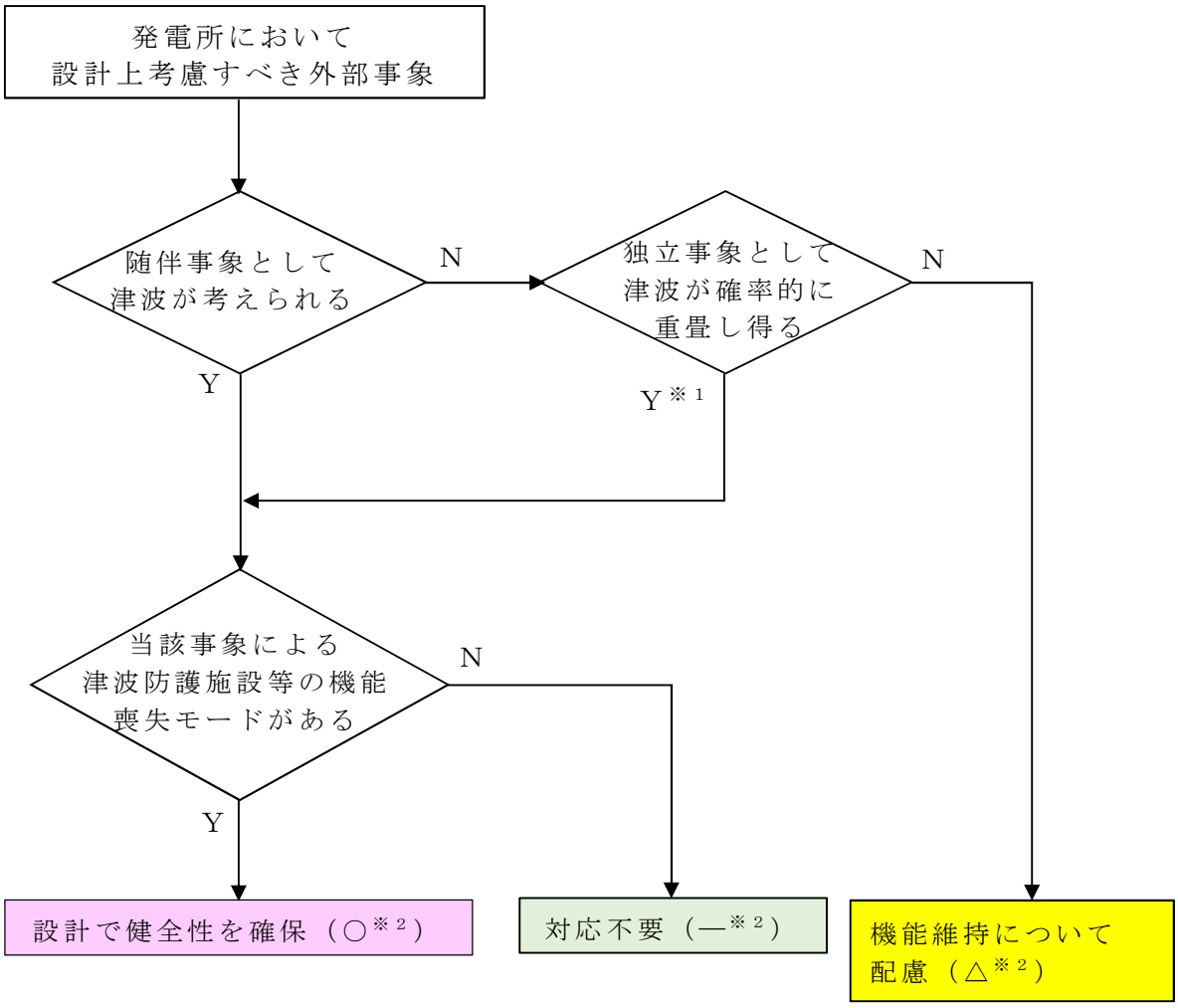
2．防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する，津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。（フローを別図 1－1 に示す。）

・設計上考慮すべき事象が，津波若しくは津波の随伴又は重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。

・津波の随伴又は重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。

・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，機能維持のための配慮を行う。



※1　定量的に評価できないものを含む
※2　「○」,「△」,「—」は，後掲の別表 1－1 における整理に対応している

別図 1－1　外部事象に対する津波防護施設等の
機能維持対応要否判断フロー

3．検討結果

上記検討フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を，以下に示す。（詳細は別表 1－1 のとおり）

3.1　津波の随伴又は重畳が否定できない事象※に対する防護方針

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

※　地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，生物学的事象，森林火災及び高潮

3.2　津波の随伴又は重畳が有意ではない事象（竜巻及び火山の影響）に対する防護方針

竜巻及び火山の影響の 2 つの外部事象に津波は随伴せず，また敷地高さを超える津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待出来るよう，以下の対応を実施する。

3.2.1　竜巻

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある残留熱除去系海水系ポンプ等の設置高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 3.8×10^{-8}（1／y）であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない飛来物による衝撃荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

3.2.2　「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある残留熱除去系海水系ポンプ等を内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 8.4×10^{-8}（1／y）であり，火山と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

別表 1－1　外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

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

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳しる	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	－	○	**あり** 地震荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Ｓクラス施設として基準地震動　Ｓ$_s$に対し健全性を維持し，津波に対する防護機能を維持する。 また，津波と余震（Ｓ$_d$－Ｄ１地震動）の組合せも考慮する。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波重畳がしる得	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
洪水	－	○	○	**<u>なし</u>** 基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても，発電所敷地へ侵入し得る高さには達しない。 国道 245 号線西側田畑への洪水高さ： ～T.P.10m（審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 国道 245 号線西側田畑への津波遡上分： ～＋4m（遡上解析結果より） ⇒合計 T.P.～14m＜EL.(=T.P.)15m(国道 245 号線（発電所入口))	－	－
風（台風）	－	○	○	**<u>あり</u>** 風荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重，津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは，風荷重を考慮した設計とする。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津重畳がしる波得	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
竜巻	－	－	－	**<u>なし</u>** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率 P1： 約 3.9×10^{-6}／y （補足1参照） 敷地高さ超津波（＞T.P.3m）の確率 P2： 約 9.6×10^{-3}／y※ ※ 飛来物による海水ポンプ室の壁の損傷を想定し，敷地の最低高とした。 ⇒重畳確率：p=約 3.8×10^{-8}／y ・・・目安値 $P_C=1\times10^{-7}$ 未満で，有意ではない。	△	防潮堤の設計においては，以下の配慮を行い，信頼性を高める。 ・風圧力に対しては，損傷しない様に構造強度を確保する。 ・飛来物については，防潮堤は鉄筋コンクリート等の堅牢な構造であり，大規模な損傷は生じないと考えられる。
凍結	－	○	○	**<u>あり</u>** 凍結により止水ジョイントが損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水	－	○	○	**<u>なし</u>** 降水による海水面の上昇の影響は無視し得る。	－	－

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波重畳がしる得	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
積雪	－	○	○	**あり** 積雪荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。
落雷	－	○	○	**あり** 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については，既設避雷設備の遮へい範囲内への設置又は避雷設備の設置，避雷設備の接地極を構内接地網と連接し接地抵抗の低減を行うとともに，ラインフィルタや絶縁回路を設置することにより，雷サージの侵入を防止する設計とする。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波重畳がし得る	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
火山の影響	－	－	－	**<u>なし</u>** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 想定する火山の確率：2.2×10^{-5}／y （審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 敷地高さ超津波（＞T.P.6m）の確率： 約 3.8×10^{-3}／y※ ※　海水ポンプ室の壁は損傷しないため，ポンプ室水密高さとする。 ⇒重畳確率：p=約 8.4×10^{-8}／y ・・・目安値 $P_C=1\times10^{-7}$ 未満で，有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。
生物学的事象	－	○	○	**<u>なし</u>** 生物による影響（閉塞，侵入）による機能喪失モードを有しない。	－	－

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波重畳がしる得	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
森林火災	－	○	○	**<u>あり</u>** 熱影響により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起こさない設計とする。 ・防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合は，速やかに予備品と交換する。 （機能喪失の可能性があるのは，全４台中２台のみ）
高潮	－	○	○	**<u>あり</u>** 高潮に起因する潮位上昇により防潮堤を越波した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	高潮と津波の組合せを考慮した設計とする。

参考資料－１５

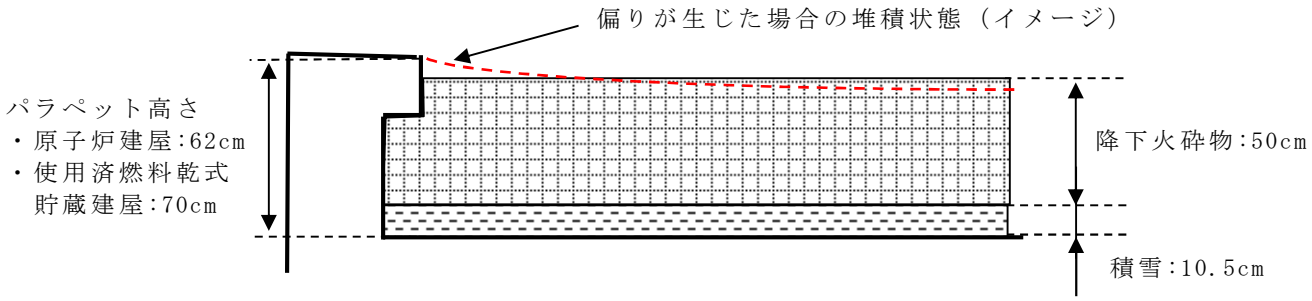
降下火砕物の偏りによる影響評価について

原子炉建屋及びタービン建屋には，屋上端部にパラペットが設置されているため，風向き等により降下火砕物の偏りが生じる可能性があることから，建屋発生応力への影響について評価する。

1．風向きによる偏り

(1)原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

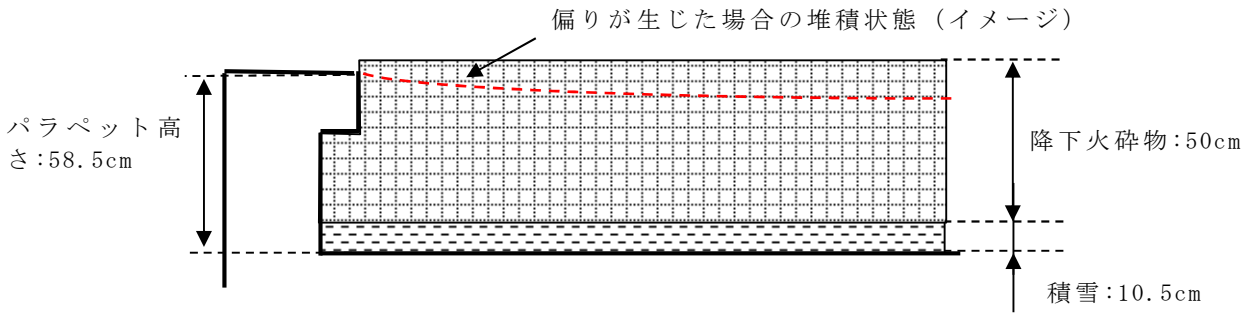
原子炉建屋のパラペット高さは屋上階から 62cm，使用済燃料乾式貯蔵建屋のパラペット高さは屋上階から 70cm であるのに対し，降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm となり，仮に風向きにより堆積厚さに偏りが生じた場合においても増加分は軽微であること及び屋上端部近傍以外の堆積量は相対的に減少することとなるため，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋における降下火砕物の堆積及び積雪状態を第 1 図に示す。



第 1 図　原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋における
降下火砕物の堆積及び積雪状態（イメージ）

(2)タービン建屋

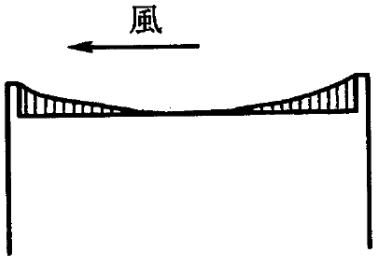
タービン建屋のパラペット高さは屋上階から 58.5cm であるのに対し，降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm であり，風による堆積の偏りを想定した場合，堆積厚さは減少することとなるため，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。タービン建屋における降下火砕物の堆積及び積雪状態を第 2 図に示す。



第 2 図　タービン建屋における降下火砕物の堆積及び積雪状態（イメージ）

なお，降下火砕物の堆積が 50cm より少ない場合は，風により屋上端部に偏る降下火砕物の割合は多くなることが考えられるが，屋上端部近傍以外の堆積量は相対的に減少することとなり，屋上中央部に発生する応力は小さくなることから，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。

第 3 図に積雪におけるパラペット付陸屋根の堆積イメージを示す。



第 3 図　カナダにおける屋上積雪に関する調査結果の概要
（建築物荷重指針・同解説（2004）図 5.4.1 抜粋）

2．降下火砕物除灰時の偏り

降下火砕物の除灰作業時の荷重の偏りを防止するため,以下のとおり運用することとする。

・屋上面の荷重を均等化するため，堆積した降下火砕物について部分的に掘り下げることはせず，可能な限り降下火砕物上面を平滑に削って除灰する。

・除灰した降下火砕物について屋上面で集積せず，速やかに地表に下ろす。

参考資料－１６

除灰時の人員荷重の考え方について

降下火砕物を除灰する際の人員の荷重については，建屋健全性評価において以下のとおり考慮している。

1．屋根スラブ

「建築構造設計基準の資料」（国土交通省　平成 27 年版）における「屋上（通常人が使用しない場合)」の床版計算用積載荷重における 980N／m^2を包絡するよう，除灰時人員荷重として 1,000N／m^2※を考慮し，健全性評価を行っている。

2．主トラス

「建築構造設計基準の資料」（国土交通省　平成 27 年版）における「屋上（通常人が使用しない場合)」（第 1 表）の大梁計算用積載荷重における 600N／m^2に対し，屋根スラブと同じ値で設定することとし，除灰時人員荷重として 1,000N／m^2※を考慮し，健全性評価を行っている。

なお，建屋屋上の除灰時はスコップ，土のう袋，集じんマスク，ゴーグル，ほうき等軽量な資機材を使用し，重機等の大きな荷重を伴う資機材は使用しない。

※　原子炉建屋頂部の場合，約 100kg の人員が約 1,800 人，1m^2毎に配置されているのと同様な荷重状態となる。

第 1 表　「建築構造設計規準の資料」（国土交通省　平成 27 年版）

表4.2 積 載 荷 重

（単位：N/m²）

室　名　等		床版又は小梁計算用	大梁、柱又は基礎計算用	地震力計算用	備　考
屋上	常時人が使用する場合（学校、百貨店の類を除く）	1,800	1,300	600	「令」第85条の屋上広場を準用。
	〃（学校、百貨店の類）	2,900	2,400	1,300	
	通常人が使用しない場合	980	600	400	
	鉄骨造体育館、武道場等	980	0	0	短期荷重とする（作業荷重を考慮）。積雪荷重及び風荷重との組合せは行わない。

参考資料－１７

気中降下火砕物対策に係る検討について

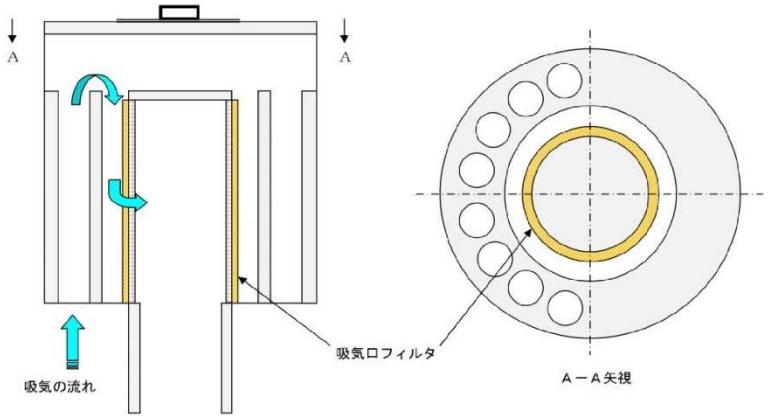
火山影響等発生時の体制整備等に係る措置に関する実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則（以下「実用炉規則」という。）の一部改正（平成 29 年 12 月 14 日）については，火山影響評価ガイドに記載の手法に基づき設定した気中降下火砕物濃度に対しては，設備対策に加え運用も加味した対応が合理的と判断していることから，保安規定認可までに対応を図る。現在の対応状況を第 1 表に示す。

第 1 表　実用炉規則の一部改正に関する対応状況

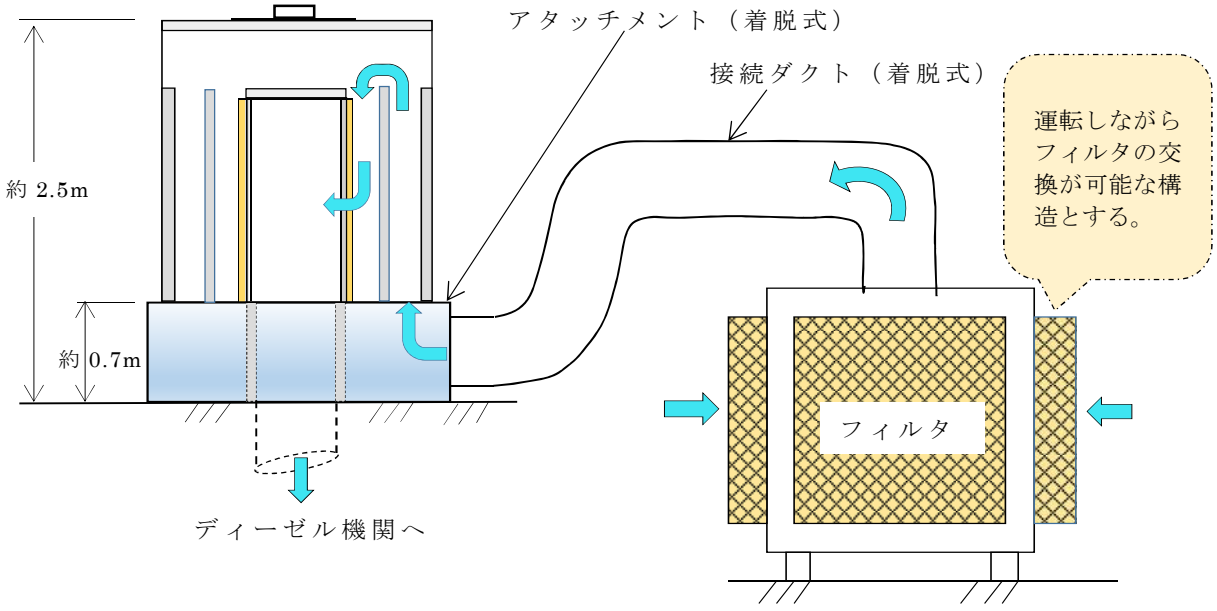
条項		規則	対応状況
第 84 条の 2 第 5 項	－	火山影響等発生時における発電用原子炉施設の保全のための活動を行うために必要な次に掲げる事項を定め，これを要員に守らせること	－
	イ	火山影響等発生時における非常用交流動力電源設備の機能を維持するための対策に関すること	設定した気中降下火砕物濃度の環境下において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）が機能維持できるように，各ディーゼル発電機の吸気フィルタに運転継続しながら取替可能となる着脱式のフィルタを設置する方針。
	ロ	イに掲げるもののほか，火山影響等発生時における代替電源設備その他の炉心を冷却するために必要な設備の機能を維持するための対策に関すること	除灰等の運用によって，必要な代替電源設備の機能維持を図る方針。
	ハ	ロに掲げるもののほか，火山影響等発生時に交流動力電源が喪失した場合における炉心の著しい損傷を防止するための対策に関すること	交流電源を必要としない原子炉隔離時冷却系ポンプ等を用いて，炉心冷却手段を確保する方針。

「実用炉規則第 84 条の 2 第 5 項イ」の対応としての着脱式フィルタについては，気中降下火砕物濃度を 3.5(g／m^3)と定めた上で，第 1 図のような構造のフィルタの検討を進めている。

今後，上述の気中降下火砕物濃度の環境下において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の機能を維持するために最適な構造を検討し，保安規定認可までに対応を図る。



非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタ（既設）



非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタ（既設）へ着脱式フィルタを取付け

第 1 図　着脱式改良型フィルタ案

気中降下火砕物濃度の算定について

1. 気中降下火砕物濃度の推定手法

ガイドにおいては，以下の２つの手法のうちいずれかにより気中降下火砕物濃度を推定することが求められている。

a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法

b. 数値シミュレーションにより気中降下火砕物濃度を推定する手法

これらの手法のうち，設置許可段階での降灰量（層厚）の数値シミュレーション（Tephra2）との連続性の観点から，「a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」により気中降下火砕物濃度を推定する。

「a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」については，粒形の大小に関わらず同時に降灰が発生すると仮定していること，粒子の凝集を考慮しないことから，保守的な手法となっている。また，気中降下火砕物濃度の算出に用いている降下火砕物（赤城鹿沼テフラ）の層厚 50 ㎝は，文献調査及び地質調査の結果では敷地付近において 20 ㎝程度であるものの，敷地周辺に 40 ㎝程度の降灰が認められること，補助的に実施したシミュレーション(Tephra2)の計算結果が 49 ㎝であること等を踏まえて保守的に評価した値であり，これを前提として算出する「a. 降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」による気中降下火砕物濃度は保守的である。

なお，「b. 数値シミュレーションにより気中降下火砕物濃度を推定

する手法」については，数値シミュレーション（3次元の大気拡散シミュレーション）で使用するパラメータ設定に必要な，想定する火山噴火（約4.4万年前に発生した赤城鹿沼テフラ噴火）における観測値に係る情報がないため、パラメータを設定することは困難であり、算出結果の科学的合理性を評価することが困難である。

2. 気中降下火砕物濃度の算出方法

ガイドに基づく気中降下火砕物濃度の算出方法を以下に示す。

① 粒径iの降灰量 $W_i = p_i W_T$

（p_i：粒径iの割合・ W_T：総降灰量）

② 粒径iの堆積速度 $\nu_i = W_i / t = p_i W_T / t$

（t：降灰継続時間 ）

③ 粒径iの気中濃度 $C_i = \nu_i / r_i = p_i W_T / (r_i t)$

（r_i：粒径iの降下火砕物の終端速度）

④ 気中降下火砕物濃度 $C_T = \Sigma_i C_i = \Sigma_i (p_i W_T / r_i t)$

3. 入力条件及び計算結果

気中降下火砕物濃度の算出条件を表1に，結果を表2に示す。

表2の計算結果より、東海第二発電所における気中降下火砕物濃度を3.5g／m^3とする。

表１　濃度算出条件

入力条件／計算結果	値	備考
設計層厚	50cm	
総降灰量W_T	4.0×10^5 g/m^2	設計層厚×降下火砕物密度(0.8g/cm^3)
降灰継続時間 t	24h	Carey and Sigurdsson(1989)参考
粒径ｉの割合p_i	表２参照	Tephra2による粒径分布の計算値
粒径ｉの降灰量W_i		前ページの式①
粒径ｉの堆積速度ν_i		前ページの式②
粒径ｉの終端速度r_i		Suzuki(1983)参考
粒径ｉの気中濃度C_i		前ページの式③

表２　濃度算出結果

気中降下火砕物濃度C_Tは，下表のとおり 3.5g/m^{3}となる。

粒径 ϕ（μm）	～-1	-1～0 (1414)	0～1 (707)	1～2 (354)	2～3 (177)	3～4 (88)	4～	合計
割合p_i(wt%)	(≒0)	1.9	69	22	6.2	0.43	(≒0)	100※
降灰量W_i (g/m^2)	—	7.60×10^3	2.76×10^5	8.80×10^4	2.48×10^4	1.72×10^3	—	4.0×10^5※ (=W_T)
堆積速度ν_i (g/s･m^2)	—	0.088	3.2	1.02	0.29	0.020	—	—
終端速度r_i (m/s)	—	2.5	1.8	1.0	0.5	0.35	—	—
気中濃度C_i (g/m^3)	—	0.04	1.78	1.02	0.58	0.06	—	**3.5(=C_T)**

※：端数処理の都合上，左欄の合計と一致しないことがある。

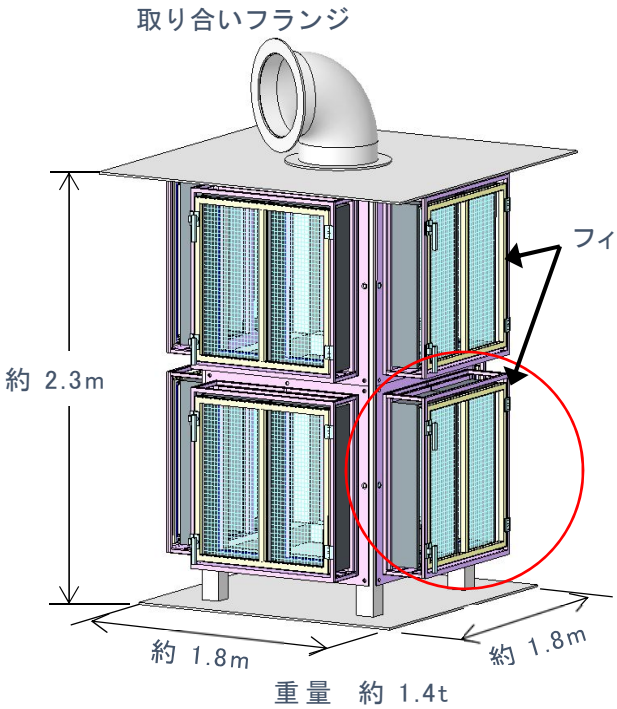
実用炉規則第84条の2第5項に関する対応スケジュール

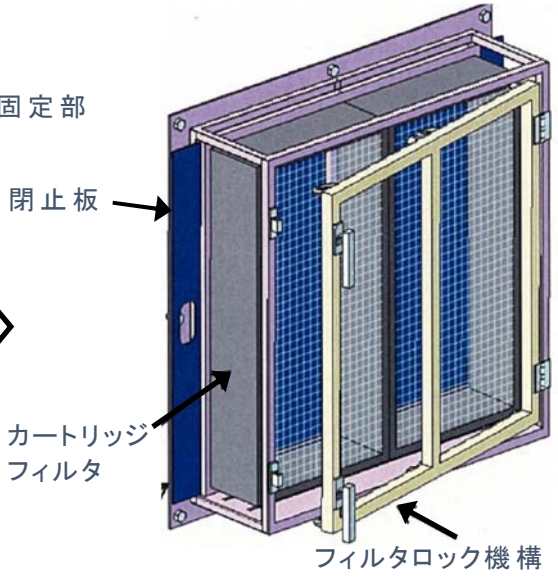
第84条の2第5項
火山影響等発生時における発電用原子炉施設の保全のための活動を行うために必要な次に掲げる事項を定め，これを要員に守らせること。

規則		対応状況	スケジュール
イ	火山影響等発生時における非常用交流動力電源設備の機能を維持するための対策に関すること	気中降下火砕物濃度の環境下において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）が機能維持できるように，各ディーゼル発電機の吸気フィルタに運転継続しながら取替可能となる着脱式のフィルタを設置する方針。	～H30.6 着脱式フィルタの配置，仕様
ロ	イに掲げるもののほか，火山影響等発生時における代替電源設備その他の炉心を冷却するために必要な設備の機能を維持するための対策に関すること	除灰等の運用によって，必要な代替電源設備の機能維持を図る方針。	～H30.10 ・イ項及びハ項の手段以外の，火山事象中のＳＢＯ対応手段※に対する，運用性確認及び追加対策 ※：ディーゼル駆動消火ポンプ若しくは常設高圧代替注水系ポンプを想定
ハ	ロに掲げるもののほか，火山影響等発生時に交流動力電源が喪失した場合における炉心の著しい損傷を防止するための対策に関すること	交流電源を必要としない原子炉隔離時冷却系ポンプ等を用いて，炉心冷却手段を確保する方針。	～H30.10 原子炉隔離時冷却系ポンプを用いた現有のＳＢＯ対応シナリオに対する，降灰時特有の追加考慮事項の抽出と対応策

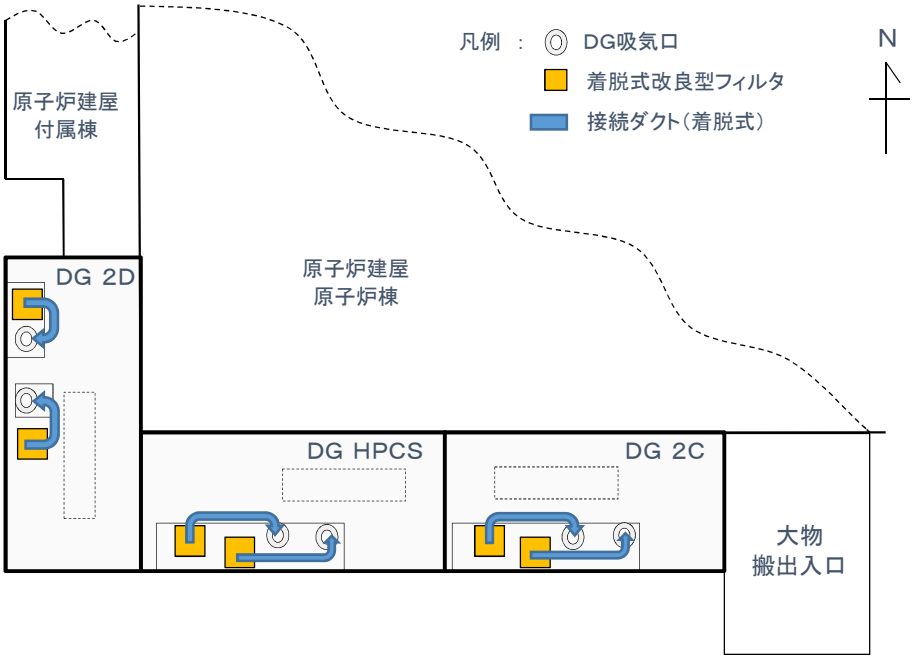
着脱式改良型フィルタの概要

1. 着脱式改良型フィルタ概略構造図

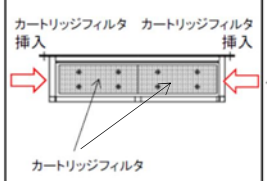
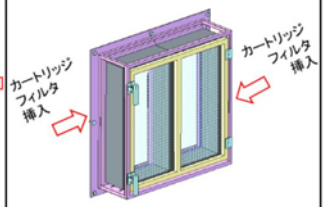
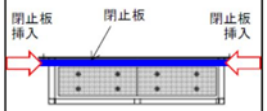
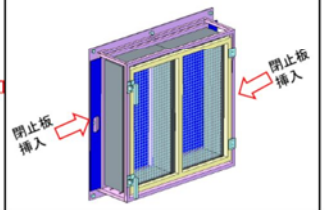
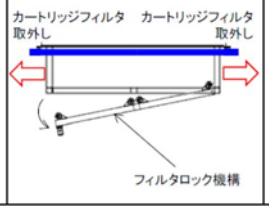
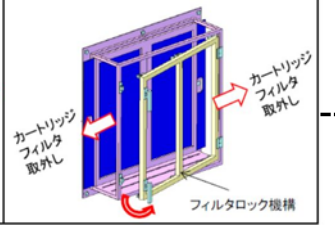


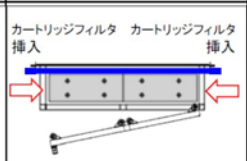
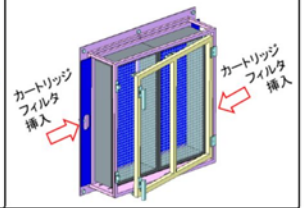
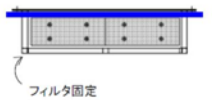
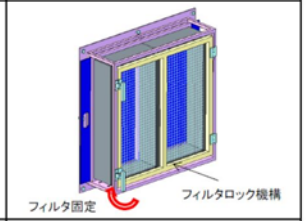
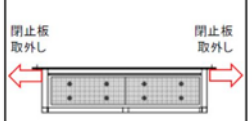
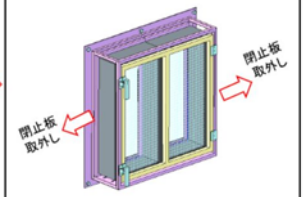


2. 現場配置図



3. フィルタ取替手順

操作手順 No.	作業内容	フィルタ固定部 概略図	
		上面図	鳥瞰図
⓪	**カートリッジフィルタをフィルタコンテナへ挿入（降下火砕物降下前の待機状態）**		
降下火砕物降下開始 → フィルタ圧損上昇			
①	**閉止板を挿入し、カートリッジフィルタを交換する箇所から降下火砕物が侵入しないように開口を隔離**		
②	**フィルタロック機構を開放して、カートリッジフィルタを取り外し**		

操作手順 No.	作業内容	フィルタ固定部 概略図	
		上面図	鳥瞰図
③	**清掃後のカートリッジフィルタを挿入**		
④	**フィルタ固定機構を操作し，カートリッジフィルタを固定**		
⑤	**閉止板を取外して、フィルタを有効にする**		
フィルター圧損上昇 → 手順No.1に戻る			

4. 仕様（非常用ディーゼル発電機 1 台当り）

・フィルタコンテナ台数：2 台
・カートリッジフィルタ個数：16 個（フィルタコンテナ 1 台当たり）
・カートリッジフィルタ外形寸法：800mm×400mm×150mm（有効面積：0.27m^2 以上）
・降下火砕物捕集容量：40,000g/m^2

なお，フィルタ面積には，上記閉止板 1 枚分の余裕を考慮し，運転中の取替においても，給気流量の不足が生じない設計とする。

別添資料 2

東海第二発電所

運用，手順説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

（火山）

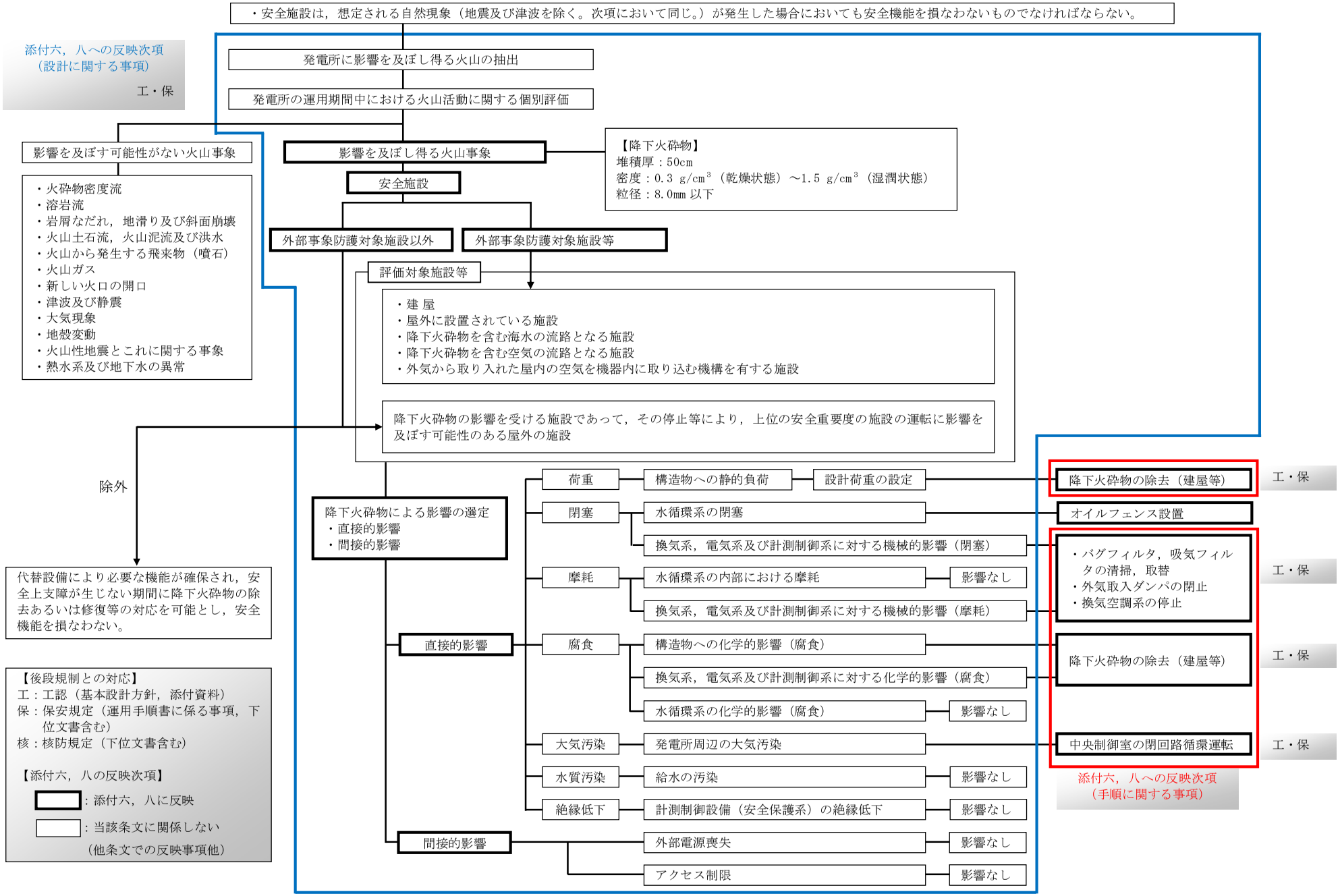
（第六条　火山）

安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項について同じ。）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。
添付六，八への反映次項
（設計に関する事項）
工・保
発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価
影響を及ぼす可能性がない火山事象
・火砕物密度流
・溶岩流
・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊
・火山土石流，火山泥流及び洪水
・火山から発生する飛来物（噴石）
・火山ガス
・新しい火口の開口
・津波及び静震
・大気現象
・地殻変動
・火山性地震とこれに関する事象
・熱水系及び地下水の異常
影響を及ぼし得る火山事象
【降下火砕物】
堆積厚：50cm
密度：0.3 g/cm3（乾燥状態）～1.5 g/cm3（湿潤状態）
粒径：8.0mm 以下
安全施設
外部事象防護対象施設以外
外部事象防護対象施設等
評価対象施設等
・建 屋
・屋外に設置されている施設
・降下火砕物を含む海水の流路となる施設
・降下火砕物を含む空気の流路となる施設
・外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設
降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設
除外
代替設備により必要な機能が確保され，安全上支障が生じない期間に降下火砕物の除去あるいは修復等の対応を可能とし，安全機能を損なわない。
降下火砕物による影響の選定
・直接的影響
・間接的影響
直接的影響
荷重
構造物への静的負荷
設計荷重の設定
降下火砕物の除去（建屋等）
工・保
閉塞
水循環系の閉塞
オイルフェンス設置
換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）
・バグフィルタ，吸気フィルタの清掃，取替
・外気取入ダンパの閉止
・換気空調系の停止
工・保
摩耗
水循環系の内部における摩耗
影響なし
換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（摩耗）
腐食
構造物への化学的影響（腐食）
降下火砕物の除去（建屋等）
工・保
換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）
水循環系の化学的影響（腐食）
影響なし
大気汚染
発電所周辺の大気汚染
中央制御室の閉回路循環運転
工・保
水質汚染
給水の汚染
影響なし
絶縁低下
計測制御設備（安全保護系）の絶縁低下
影響なし
添付六，八への反映次項
（手順に関する事項）
間接的影響
外部電源喪失
影響なし
アクセス制限
影響なし
【後段規制との対応】
工：工認（基本設計方針，添付資料）
保：保安規定（運用手順書に係る事項，下位文書含む）
核：核防規定（下位文書含む）
【添付六，八の反映次項】
：添付六，八に反映
：当該条文に関係しない
（他条文での反映事項他）

添付六，八への反映次項
（設計に関する事項）
工・保

・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。

発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価

影響を及ぼす可能性がない火山事象

・火砕物密度流
・溶岩流
・岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊
・火山土石流，火山泥流及び洪水
・火山から発生する飛来物（噴石）
・火山ガス
・新しい火口の開口
・津波及び静震
・大気現象
・地殻変動
・火山性地震とこれに関する事象
・熱水系及び地下水の異常

影響を及ぼし得る火山事象

【降下火砕物】
層厚：50cm
密度：0.3 g/cm^3（乾燥状態）～1.5 g/cm^3（湿潤状態）
粒径：8.0mm 以下

重要安全施設

安全重要度分類のクラス１，クラス２，安全評価上期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器のうち，自然現象の影響を受けやすい施設

評価対象施設

【クラス１，クラス２及び安全評価上期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器】
・建 屋
・屋外に設置されている施設
・降下火砕物を含む海水の流路となる施設
・降下火砕物を含む空気の流路となる施設
・外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

降下火砕物による影響の選定
・直接的影響

直接的影響 → 荷重 → 構造物への静的負荷 → 設計荷重の設定 → 降下火砕物の除去

工・保

添付六，八への反映次項
（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，添付資料）
保：保安規定（運用手順書に係る事項，下位文書含む）
核：核防規定（下位文書含む）

【添付六，八の反映次項】
：添付六，八に反映
：当該条文に関係しない
（他条文での反映事項他）

設置許可基準対象条文	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	降下火砕物の除去作業及び除去後における降下火砕物による静的荷重や腐食等の影響に対する保守管理	運用・手順	・降下火砕物が確認された場合には，建屋や屋外の設備等に長期間降下火砕物の荷重を掛け続けないこと，また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために，評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を実施する。 ・降下火砕物による影響がみられた場合，必要に応じて補修を行う。
		体制	（担当室による保守・点検の体制） （降下火砕物確認時の体制）
		保守・点検	・日常点検 ・定期点検 ・火山事象時及び火山事象後の巡視点検
		教育・訓練	・運用・手順・保守・点検に関する教育
	外気取入ダンパの閉止，換気空調系の停止，閉回路循環運転	運用・手順	・降下火砕物が確認された場合には，状況に応じて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により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する。
		体制	（運転員の当直体制） （降下火砕物確認時の体制）
		保守・点検	－
		教育・訓練	・運用・手順・体制・保守点検に関する教育

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第六条　外部からの衝撃による損傷の防止	バグフィルタ，吸気フィルタ取替・清掃作業	運用・手順	・降下火砕物が確認された場合には，換気空調設備の外気取入口のバグフィルタについて，差圧を確認するとともに，状況に応じて清掃や取替を実施する。 ・ディーゼル発電機運転時は，吸気フィルタの巡視点検を行い，必要に応じて取替・清掃を行う。
		体制	（運転員の当直体制） （降下火砕物確認時の体制）
		保守・点検	・火山事象時の巡視点検
		教育・訓練	・防護施設の保守・点検に関する教育

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

（外部火災）

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

2.　外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

（別添資料 1）　外部火災影響評価について

3.　運用，手順説明資料

（別添資料 2）　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

（別添資料 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にするとともに，それら要求に対する東海第二発電所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技術的能力（手順等）を抽出し，必要となる運用対策等を整理する。

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 第６条（外部からの衝撃による損傷の防止）	技術基準規則 第７条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
安全施設は，想定される自然事象（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。	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ない。	追加要求事項
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。		追加要求事項
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ない。	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ない。 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ない。	追加要求事項

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，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，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-9) 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。

【別添資料 1(1.1～1.2：1)】

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（6,278kW／m）から算出される防火帯（約 23m）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。

【別添資料 1(2.1.3.2：9～11)】

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。

【別添資料 1(2.1.3.3：12～15)】

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。

【別添資料 1(2.2：17～29)】

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，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で，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。

【別添資料 1(2.2.2.5～2.3：30～39)】

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。

【別添資料 1(2.4：40～46)】

森林火災による津波防護施設への熱影響については，最大火炎輻射強度による熱影響を考慮した離隔距離を確保するものとする。なお，津波

防護施設と植生の間の離隔距離を確保するために管理が必要となる隣接事業所敷地については，隣接事業所との合意文書に基づき，必要とする植生管理を当社が実施する。

(2)　安全設計方針

1.7.9　外部火災防護に関する基本方針

1.7.9.1　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。

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

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 1.7.9－1 表に示す。

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

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。

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

森林火災による津波防護施設への熱影響については，最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合において，離隔距離の確保等により津波防護機能を損なわない設計とする。

(1)　評価対象施設

外部事象防護対象施設のうち，屋内設備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，屋外設備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 1.7.9－2 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。

ⅰ）　原子炉建屋

ⅱ）　タービン建屋

ⅲ）　使用済燃料乾式貯蔵建屋

ⅳ）　排気筒モニタ建屋

(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）　主排気筒

ⅱ）　非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口」という。）

ⅲ）　残留熱除去系海水系ポンプ

ⅳ） 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ」という。）

ⅴ） 排気筒モニタ

ⅵ） 残留熱除去系海水系ストレーナ

ⅶ） 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ」という。）

ⅷ） 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン」という。）

ⅸ） 非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）」という。）

ⅹ） 非常用ガス処理系排気筒

ⅺ） 放水路ゲート

評価対象施設のうち放水路ゲートについては，津波の流入を防ぐための閉止機能を有している。航空機落下を起因として津波が発生することはないこと及び放水路ゲートは，大量の放射性物質を蓄えておらず，原子炉の安全停止（炉心冷却を含む。）機能を有していないため，航空機落下確率を算出する標的面積として抽出しないことから，航空

機墜落による火災は設計上考慮しない。

評価対象施設のうち，排気筒モニタについては，放射性気体廃棄物処理施設の破損の検出手段として期待している。外部火災を起因として放射性気体廃棄物処理施設の破損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，安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで，排気筒モニタ建屋も含め安全機能を損なわない設計とする。

また，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口，残留熱除去系海水系ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン及び非常用ガス処理系排気筒については，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。

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) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）

(b) 換気空調設備

(c) 計測制御設備（安全保護系）

(d) 残留熱除去系海水系ポンプ

(e) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

【別添資料 1(1.3：3～4)】

(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，火炎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，茨城県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，水戸地方気象台の過去 10 年間の気象データを調査し，茨城県における森林火災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，7 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で，火災の発生頻度が高いと想定される道路沿い，海岸等を選定する。

(d-2)　風向は卓越方向（北，西北西）及び最大風速記録時の方向（北東，南西）とし，火災規模に対する風向の影響を考慮し，発火点は，陸側方向（発電所の東側が海）の発電所の風上を選定する。

ⅰ）　発電所周辺のうち，卓越風向である西北西の風による延焼を考慮し，霊園における線香等の裸火の使用，残り火の不始末，国道２４５号線を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道２４５号線沿いの霊園（発電所敷地から約 20m の距離）を「発火点１」として設定する。

ⅱ）　発電所周辺のうち，卓越風向である北の風による延焼を考慮し，バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿い(発電所敷地から約 550m の距離)を「発火点２」として設定する。

ⅲ）　発電所周辺のうち，卓越風向である西北西の風による延焼を考慮し，火入れ・たき火等を想定し，県道２８４号線沿いの水田(発電所敷地から約 560m の距離)に，発火点１より遠方となる「発火点３」として設定する。

ⅳ）　発電所周辺のうち，卓越風向である北の風による延焼を考慮し，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，海岸沿い(発電所敷地から約 1,300m の距離)に発火点２より遠方となる「発火点４」として設定する。

ⅴ）　森林火災シミュレーションを保守的に行うため，最大風速記録時の風向の南西の風による延焼を考慮し，発電所南方向にある危険物貯蔵施設の屋外貯蔵タンク（発電所敷地から約 890m の距離）からの火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物施設の近くに「発火点５」として設定する。

ⅵ）　森林火災シミュレーションを保守的に行うため，最大風速記録

時の風向の南西の風による延焼を考慮し，交通量が多い交差点(発電所敷地から約 550m の距離)での交通事故による車両火災を想定し，国道２４５号線沿いに「発火点６」として設定する。

vii) 森林火災シミュレーションを保守的に行うため，最大風速記録時の風向の北東の風による延焼を考慮し，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿い（発電所敷地から約 60m の距離）に「発火点７」として設定する。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

(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。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

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，評価対象範囲は東側が海岸という発電所周辺の地形を考慮し，発電所から南側，北側及び西側に 12km 以内の範囲を対象に評価を行う。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

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（茨城県）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うえ植生区分を設定する。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

(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，「水戸地方気象台」の過去 10 年間の気象データにおける茨城県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12月～5月の気象条件（最多風向，最大風速記録時の風向，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。なお，最多風向については，より発電所周辺の状況を考慮するため，発電所の過去 10 年間の観測データも参照した。

【別添資料 1(2.1.2：4～7)】

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（0.45m／s「発火点１」）や火線強度（6,278kW／m「発火点３」）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，発火点から防火帯までの火炎到達時間（0.2 時間（約 12 分）「発火点１」）を算出する。

この発火点１の火災に対しては，熱感知カメラ及び警報による早期の火災覚知，防火帯近傍への消火栓の設置等の対策を講じることで，森林火災が防火帯に到達するまでの間に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，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。

【別添資料 1(2.1.3.1：8～9)】

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。

【別添資料 1(2.1.3.1：8～9)】

ｆ．防火帯幅の設定

ＦＡＲＳＩＴＥから出力される最大火線強度（6,278kW／m「発火点３」）により算出される防火帯幅 21.4m に対し，約 23m 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。

設置する防火帯について，第 1.7.9－1 図に示す。

【別添資料 1(2.1.3.2：9～11)】

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，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

最大の火炎輻射強度（444kW／m^2）となる「発火点５」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使用済燃料乾式貯蔵建屋（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，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℃[(1)] 以下とすることで，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)　主排気筒への熱影響

最大の輻射強度（0.07kW／m^2）となる「発火点３」に基づき算出する主排気筒表面の温度を，鋼材の強度が維持される温度である325℃[(1)] 以下とすることで，主排気筒の安全機能を損なわない設計

とする。

(d)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への熱影響

最大の輻射強度（0.07kW／m^2）となる「発火点３」に基づき算出する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）内への流入空気の温度を，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な温度である 53℃以下とすることで，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

(e)　残留熱除去系海水系ポンプへの熱影響

最大の輻射強度（0.08kW／m^2）となる「発火点３」に基づき算出する残留熱除去系海水系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 70℃以下とすることで，残留熱除去系海水系ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(f)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプへの熱影響

最大の輻射強度（0.08kW／m^2）となる「発火点３」に基づき算出する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ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 60℃以下とすることで，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(g)　放水路ゲートへの熱影響

最大の輻射強度（2.55kW／m^2）となる「発火点３」に基づき算出

する放水路ゲート駆動装置外殻表面温度を，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，放水路ゲートの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.3：12～15)】

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。また，津波防護施設についても，森林外縁からの離隔距離を最大の火炎輻射強度に基づき算出する危険距離以上確保することにより，津波防護機能を損なわない設計とする。

(a) 原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の危険距離の確保

最大の火炎輻射強度（444kW／m^2）となる「発火点５」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，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) 主排気筒，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ及び放水路ゲートの危険距離の確保

最大の輻射強度（主排気筒及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）は 0.07kW／m^2並びに残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは 0.08kW／m^2並びに放

水路ゲートは 2.55kW／m^2）となる「発火点３」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。

【別添資料 1(2.1.3.3：12～15)】

(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南約 50km の鹿島臨海地区である。

【別添資料 1(2.2.2：17)】

ｂ．危険物貯蔵施設の影響

(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（東海村全域及び日立

市の一部）に位置する危険物貯蔵施設※を第 1.7.9－2 図に示す。

※　石油コンビナートの大規模な危険物タンクを想定し危険距離 1,400m を火災影響が及ぶ可能性がある範囲と設定し，この範囲内の屋外貯蔵タンクを抽出した。

【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

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。

【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

ⅲ）　評価対象施設への熱影響

・原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

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（41m）以上確保することにより，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。

・主排気筒への熱影響

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主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，主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口までの離隔距離を必要とされる危険距離（17m）以上確保することにより，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

・残留熱除去系海水系ポンプへの熱影響

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残留熱除去系海水系ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（16m）以上確保することにより，残留熱除去系海水系ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプへの熱影響

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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（12m）以上確保することにより，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・放水路ゲートへの熱影響

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放水路ゲート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，放水路ゲートの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

(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。

発電所敷地外 10km 以内のうち，10km 以内で最大の高圧ガス貯蔵施設である日立ＬＮＧ基地を第 1.7.9－3 図に示す。

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

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（373m）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。

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

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（1,406m）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。

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

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。

【別添資料 1(2.2.2.3：25)】

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。

【別添資料 1(2.2.2.3：25)】

ⅲ） 評価対象施設への熱影響

・原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱

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。

・主排気筒への熱影響

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，燃料輸送車両から主排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（9m）以上確保することにより，主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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，燃料輸送車両から非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口までの離隔距離を必要とされる危険距離（14m）以上確保することにより，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

・残留熱除去系海水系ポンプへの熱影響

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，燃料輸送車両から残留熱除去系海水系ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（13m）以上確保することにより，残留熱除去系海水系ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプへの熱影響

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，燃料輸送車両から非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（11m）以上確保することにより，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・放水路ゲートへの熱影響

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，燃料輸送車両から放水路ゲートまでの離隔距離を必要とされる危険距離（9m）以上確保することにより，放水路ゲートの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：25)】

(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。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

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。

・輸送燃料は液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）とする。

・発電所敷地境界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。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

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（88m）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。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

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」等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（435m）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。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

d．漂流船舶の火災・爆発

(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す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。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

ⅰ） 火災の想定

・発電所から約 1,500m の位置で稼働中の日立ＬＮＧ基地の高圧ガス貯蔵施設に入港する燃料輸送船及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶（以下「定期船」という。）の火災を想定した。

・燃料輸送船は，日立ＬＮＧ基地に実際に入港する最大規模の船舶及び発電所港湾内に定期的に入港する最大規模の船舶を想定する。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

・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。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう漂流想定位置から評価対象施設までの直線距離とする。（第 1.7.9－4 図，第 1.7.9－5 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

漂流船舶は発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶を評価対象とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

ⅲ） 評価対象施設への熱影響

・原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

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（263m）以上，定期船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（85m）以上確保することにより，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。

・主排気筒への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から主排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（87m）以上，定期船から主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，主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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，燃料輸送船から非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口までの離隔距離を必要とされる危険距離（153m）以上，定期船から非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口までの離隔距離を必要とされる危険距離（50m）以上確保することにより，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

・残留熱除去系海水系ポンプへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から残留熱除去系海水系ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（142m）以上，定期船から残留熱除去系海水系ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（47m）以上確保

することにより，残留熱除去系海水系ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（111m）以上，定期船から非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（37m）以上確保することにより，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・放水路ゲートへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から放水路ゲートまでの離隔距離を必要とされる危険距離（87m）以上，定期船から放水路ゲート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，放水路ゲートの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

(b)　ガス爆発の影響

発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船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，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。

ⅰ） 爆発の想定

・燃料輸送船は，日立ＬＮＧ基地に実際に入港する最大規模の船舶を想定する。

・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。

・輸送燃料は液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）とする。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう想定位置から評価対象施設までの直線距離とする。（第 1.7.9－4 図，第 1.7.9－6 図）

・漂流船舶の高圧ガス漏えい，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

発電所周辺海域で航行する燃料輸送船を評価対象とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

ⅲ） 評価対象施設への影響

想定される燃料輸送船のガス爆発による爆風圧の影響に対して，漂流船舶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（ＬＮＧ輸送船（335m），ＬＰＧ輸送船（340m），内航船（165m））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。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

発電所周辺を航行する船舶として，日立ＬＮＧ基地に出入りする輸送船があるが，これらの船舶が停泊しているときに津波警報等が発表された場合には，荷役及び作業を中止した上で，緊急退避又は係留避泊する運用としており，実際に漂流し発電所に接近する可能性は低いこと等から，想定した漂流船舶の飛来物が発電所に影響を

及ぼすことはない。

【別添資料 1(2.2.2.4：27～29)】

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。

【別添資料 1(2.2.2.5：30)】

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 1.7.9－3 表及び第 1.7.9－7 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。

・変圧器の防火設備の消火機能等には期待しない。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

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溶融炉灯油タンク，主要変圧器，所内変圧器及び起動変圧器とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

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，常時「空」で運用する設備及び火災源となる設備から評価対象施設を直接臨まないものに関しては評価対象外とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

また，危険物を内包する車両等は，溶融炉灯油タンクに比べ貯蔵量が少なく，また溶融炉灯油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，評価対象とした溶融炉灯油タンク火災の評価に包絡される。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

ⅲ） 評価対象施設への熱影響

（ⅰ） 原子炉建屋，タービン建屋への熱影響

・溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油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（原子炉建屋：298W／m^2，タービン建屋：101W／m^2）で各建屋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℃以下とすることで，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。

・主要変圧器

主要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（タービン建屋：2,337W／m^2）でタービン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許容温度 200℃以下とすることで，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。

・所内変圧器

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（タービン建屋：3,479W／m^2）でタービン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。

・起動変圧器

起動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（タービン建屋：3,464W／m^2）でタービン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） 主排気筒への熱影響

・溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油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（1,343W／m^2）で鋼材が昇温されるものとして算出する主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，主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

（ⅲ） 残留熱除去系海水系ポンプへの熱影響

・溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油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（17W／m^2）で残留熱除去系海水系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70℃以下とすることで，残留熱除去系海水系ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

（ⅳ） 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプへの熱影響

・溶融炉灯油タンク

溶融炉灯油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（17W／m^2）で非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ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60℃以下とすることで，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

（ｖ） 放水路ゲートへの熱影響

・主要変圧器

主要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（19W／m^2）で外殻の鋼材が昇温されるものとして算出する放水路ゲート駆動装置外殻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，放水路ゲートの安全機能を損なわない設計とする。

・所内変圧器

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（4W／m^2）で外殻の鋼材が昇温されるものとして算出する放水路ゲート駆動装置外殻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，放水路ゲートの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等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。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

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 1.7.9－4 表及び第 1.7.9－7 図に示す。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

ｉ） 爆発の想定

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう想定位置から評価対象施設までの直線距離とする。

・爆発源は燃料を満載した状態を想定する。

・危険物貯蔵施設等の高圧ガス漏えい，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。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

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，屋外で爆発する可能性がある水素貯槽とする。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

ⅲ） 評価対象施設への影響

水素貯槽のガス爆発による爆風圧の影響に対して，水素貯槽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（7m）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。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

(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。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

ａ．対象航空機の選定方法

航空機落下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もとに，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，カテゴリごとに落下確率を求める。

ここで，対象となる飛行範囲等において落下事故の実績がないカテゴリのうち計器飛行方式民間航空機の「航空路を巡航時」等の全国において落下事故の実績がないカテゴリについては落下事故が保守的に 0.5 件発生したものとして評価した。一方，自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」については，百里基地－訓練空域間往復時の落下事故は発生していないが，全国の基地－訓練空域間往復時に 5 件の落下事故が発生していること及び百里基地－訓練空域間を飛行する際の自衛隊機の機種，飛行環境が全国と比較して大きな相違がないものであることを踏まえ，全国の各基地－訓練空域間往復時の落下事故件数及び想定飛行範囲の面積から算出した確率を参考にし，保守性を確保するため 2 倍にした値を用いることとした。

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（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））を第 1.7.9－5 表に，落下事故のカテゴリと対象航空機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）を第 1.7.9－6 表に示す。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

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落下確率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。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

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落下確率が 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。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

d．評価対象施設への熱影響

(a)　原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

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℃以下とすることで，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（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））を第 1.7.9－5 表に，各航空機の輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）を第 1.7.9－6 表に示す。

(b)　主排気筒への熱影響

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主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，主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への流入空気の温度を，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な温度 53℃以下とすることで，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

(d) 残留熱除去系海水系ポンプへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する残留熱除去系海水系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 70℃以下とすることで，残留熱除去系海水系ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(e) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ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 60℃以下とするこ

とで，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

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。

航空機墜落火災として想定する機種は，評価結果が最も厳しいＦ－１５とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は，Ｆ－１５の墜落火災想定位置近傍にある溶融炉灯油タンクと主要変圧器とする。

(a)　原子炉建屋及びタービン建屋への熱影響

Ｆ－１５の墜落火災と危険物貯蔵施設等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，一定の輻射強度で評価対象施設の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)　主排気筒への熱影響

Ｆ－１５の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し，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主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，主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c)　残留熱除去系海水系ポンプへの熱影響

Ｆ－１５の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し，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残

留熱除去系海水系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70℃以下とすることで，残留熱除去系海水系ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(d)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプへの熱影響

Ｆ－１５の墜落火災と危険物貯蔵施設等の重畳火災が発生した場合を想定し，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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ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60℃以下とすることで，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.3：34～39)】

(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1.7.9－7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。

【別添資料1(2.4：41～47)】

ａ．換気空調設備

外気を取り込む空調系統として，中央制御室換気系，電気室換気系，原子炉建屋換気系，非常用ディーゼル発電機室換気系及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室換気系」という。）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 2μm 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が可能である中央制御室の換気空調設備については，外気取入ダンパを閉止し，閉回路循環運転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。

また，それ以外の換気空調設備については，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。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

b．計測制御設備（安全保護系）

計測制御設備（安全保護系）は，中央制御室，原子炉建屋及び電気室に設置してある。この室内へ外気を取り入れる換気空調設備の外気取入口には，フィルタを設置することにより，粒径 2μm 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この室内に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，計測制御設備（安全保護系）は粒径 2μm 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，計測制御設備（安全保護系）の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

c．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含

む。）

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の吸気系統に付属するフィルタを設置し，粒径 5μm 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 数μm）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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

d．残留熱除去系海水系ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は，全閉防まつ型屋外形構造であり，下部に設置した外扇で外気を空気冷却器冷却管内に直接取り込み，冷却管壁で電動機内部空気と熱交換することで冷却を行う構造であり，冷却管内を通った空気は全て排気口に導かれるため，ばい煙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残留熱除去系海水系ポンプ電動機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

e．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，外扇から吸引した外気をファンカバーから下向きに本体放熱フィンに沿って流し，電動機本体を冷却する構造であり，ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また，ばい煙の粒径は，冷却流路出口幅に比べて十分に小さく，閉塞を防止することにより非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

ｆ．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，中央制御室換気系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が可能である中央制御室換気系については，外気取入ダンパを閉止し，閉回路循環運転を行う。また，それ以外の換気空調設備については，空調ファンを停止し，外気取入れを遮断する。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

1.7.9.2　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，通報連絡責任者，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 1.7.9－8 表に示す。

1.7.9.3　手順

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。また，津波防護施設と植生の間の離隔距離を確保するために管理が必要となる隣接事業所敷地については，当社による当該敷地の植生管理を可能とするための隣接事業所との合意文書に基づき，必要とする植生管理を当社が実施する。

(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，消防隊長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，消火栓及び消防自動車を使用し，継続して消防隊長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により，建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。

(5) 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に実施する。

(6) 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に実施する。

(7) 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に実施する。

(8) 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・訓練を定期的に実施する。

【別添資料 2(1～3)】

第 1.7.9－1 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森林火災
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
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落時の火災

【別添資料 1(1.1～1.2：1～2)】

第 1.7.9－2 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	・原子炉建屋 ・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ ・主排気筒 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口 ・排気筒モニタ ・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン ・非常用ガス処理系排気筒 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。） ・放水路ゲート
外部事象防護対象施設を内包する建屋 （外部事象防護対象施設である建屋を除く）	・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・排気筒モニタ建屋

【別添資料 1(1.3：3～4)】

第 1.7.9－3 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
（火災源）（１／２）

設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m^3）	詳細評価要否（○：対象，×：対象外）
油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.90	×（屋内設置）
			第四類	第二石油類	軽油・灯油	2.20	×（屋内設置）
			第四類	第三石油類	絶縁油	18.20	×（屋内設置）
			第四類	第四石油類	潤滑油	21.00	×（屋内設置）
			第四類	アルコール類	アルコール類	0.20	×（屋内設置）
重油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	500.00	×（地下式）
非常用ディーゼル発電機用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	800.00	×（地下式）
原子炉建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	33.20	×（屋内設置）
			第四類	第四石油類	潤滑油	16.50	
タービン建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.36	×（屋内設置）
			第四類	第三石油類	重油	1.90	×（屋内設置）
			第四類	第四石油類	潤滑油	185.23	×（屋内設置）
			第四類	第四石油類	第3ﾘﾝ酸ｴｽﾃﾙ油	7.93	×（屋内設置）
サービス建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	2.40	×（屋内設置）
溶融炉灯油タンク	**屋外タンク貯蔵所**	**屋外**	**第四類**	**第二石油類**	**灯油**	**10.00**	○
可搬型設備用軽油タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	210.00	×（地下式）
ディーゼル発電機用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.78	×（他評価に包絡）
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ラッカー等	0.10	×（屋内設置）
			第四類	第二石油類	軽油	4.00	×（屋内設置）
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	×（屋内設置）
No.2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	×（屋内設置）
緊急時対策室建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	5.76	×（屋内設置）
緊急時対策室建屋地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	20.00	×（地下式）
絶縁油保管タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	200.00	×（常時「空」）
常設代替高圧電源装置置場	一般取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	5.97	×（他評価に包絡）
			第四類	第四石油類	潤滑油	0.94	×（他評価に包絡）
緊急時安全対策用地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	90.00	×（地下式）
構内服洗濯用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第三石油類	重油	1.82	×（他評価に包絡）
廃棄物処理建屋廃油タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	廃油	1.90	×（屋内設置）
雑固体減容処理設備用バーナ	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	灯油	0.93	×（屋内設置）
緊急用エンジン発電機燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.80	×（常時「空」）
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	150.00	×（地下式）
オイルサービスタンク	少量危険物未満	屋外	第四類	第三石油類	重油	0.39	×（他評価に包絡）
変圧器用屋外消火ポンプ用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.70	×（他評価に包絡）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.7.9－3 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
（火災源）（２／２）

設備名	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m^3）	詳細評価要否（○:対象,×:対象外）
主要変圧器	**屋外**	**第四類**	**第三石油類**	**絶縁油**	**136.00**	○
所内変圧器 ２Ａ	**屋外**	**第四類**	**第三石油類**	**絶縁油**	**21.00**	○
所内変圧器 ２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	×（他評価に包絡）
起動変圧器 ２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	45.95	×（他評価に包絡）
起動変圧器 ２Ｂ	**屋外**	**第四類**	**第三石油類**	**絶縁油**	**46.75**	○
予備変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	35.90	×（他評価に包絡）
1号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	×（他評価に包絡）
2号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	×（他評価に包絡）
６６ｋＶ非常用変電所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	6.60	×（他評価に包絡）
中央制御室計器用エンジン発電機	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.03	×（常時「空」）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.7.9－4 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
（爆発源）

設備名	内容物	本数（本）	1本当たり容量	総容量	詳細評価要否（○:対象,×:対象外）
H_2, CO_2ボンベ庫	水素	20	7 m^3	140 m^3	×（屋内配置）
水素貯槽	**水素**	**―**	**―**	**6.7 m^3**	○
予備ボンベ庫①	水素	40	7 m^3	280 m^3	×（屋内配置）
予備ボンベ庫②	水素	20	7 m^3	140 m^3	×（屋内配置）
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50 kg	200 kg	×（屋内配置）
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500 kg	2500 kg	×（屋内配置）
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	7 kg	21 kg	×（屋内配置）
廃棄物処理建屋 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	7 kg	7 kg	×（屋内配置）
	ﾒﾀﾝ＋ｱﾙｺﾞﾝ	4	7 m^3	28 m^3	
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50 kg	900 kg	×（屋内配置）

網掛け箇所：評価対象となる設備

【別添資料 1(2.2.2.5：31～34)】

第 1.7.9－5 表　落下事故のカテゴリと対象航空機
（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））

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）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		Ｂ７３７－８００	245	57
	航空路を巡航時		Ｂ７４７－４００	1,873	×※1
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		Ｂ７４７－４００	229	416
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Ｄｏ２２８－２００	89	×※2
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	ＫＣ－７６７	217	311
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	Ｆ－１５	43	×※3
	基地－訓練空域間往復時		Ｆ－１５	22	3,095

※１　「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じＢ７４７－４００であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※２　「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料積載量が最大となるＤｏ２２８－２００であっても 3m^{3}と少量であることから，Ｄｏ２２８－２００よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」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　「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

第 1.7.9－6 表　落下事故のカテゴリと対象航空機
（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離（m）	輻射強度（W／m²）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		Ｂ７３７－８００	393	22
	航空路を巡航時		Ｂ７４７－４００	2,695	×※1
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		Ｂ７４７－４００	372	157
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Ｄｏ２２８－２００	175	×※2
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	ＫＣ－７６７	355	116
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	Ｆ－１５	111	×※3
	基地－訓練空域間往復時		Ｆ－１５	78	265

※１　「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じＢ７４７－４００であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※２　「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料積載量が最大となるＤｏ２２８－２００であっても 3m³と少量であることから，Ｄｏ２２８－２００よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」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　「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

【別添資料 1(2.3：35～36)】

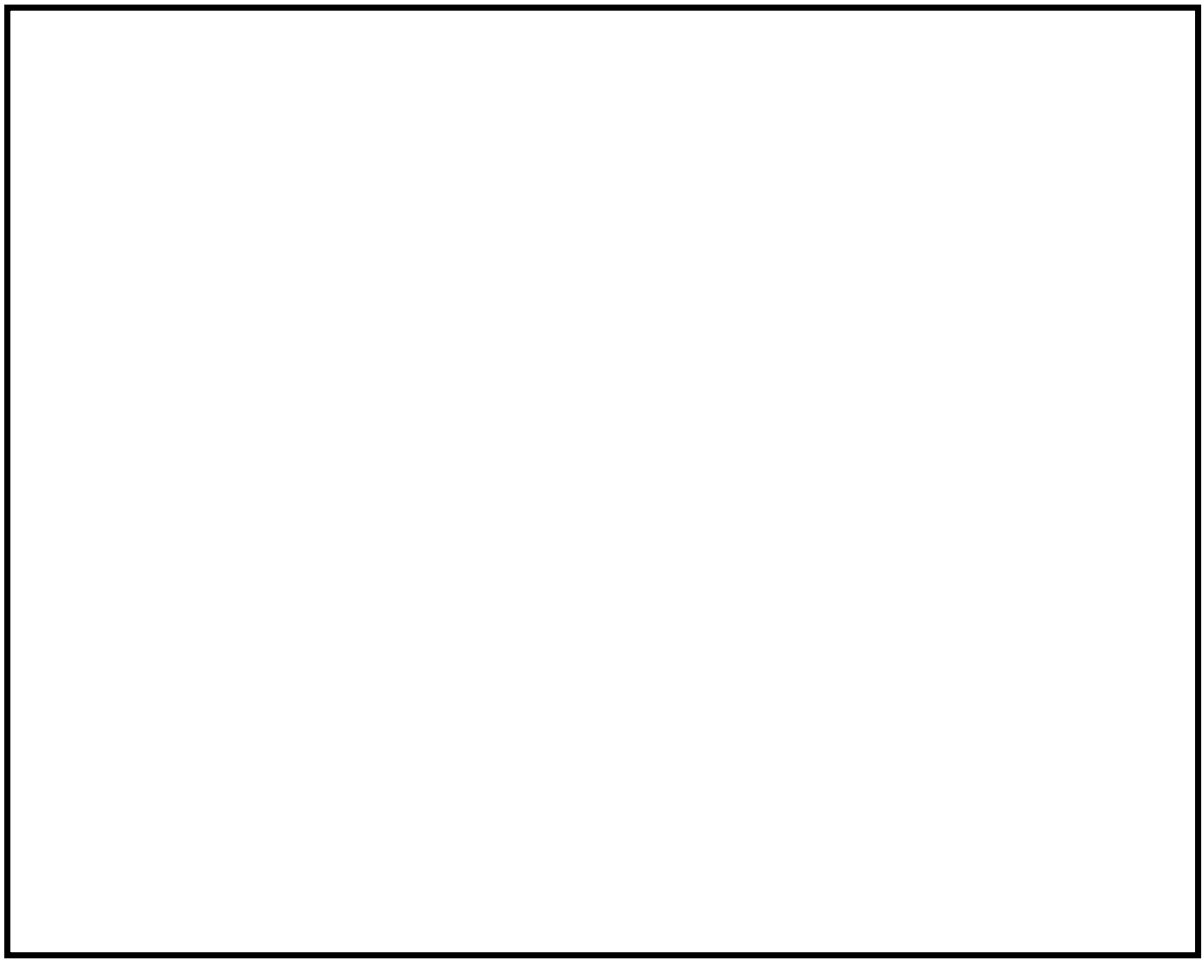
第 1.7.9－7 表　ばい煙等による影響評価

分　　類		評価対象設備
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
	外気を取り込む空調系統（室内の空気を取り込む機器を含む。）	・換気空調設備 ・計測制御設備（安全保護系）
	外気を取り込む屋外設置機器	・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ
居住性への影響	中央制御室	

【別添資料 1(2.4：41～42)】

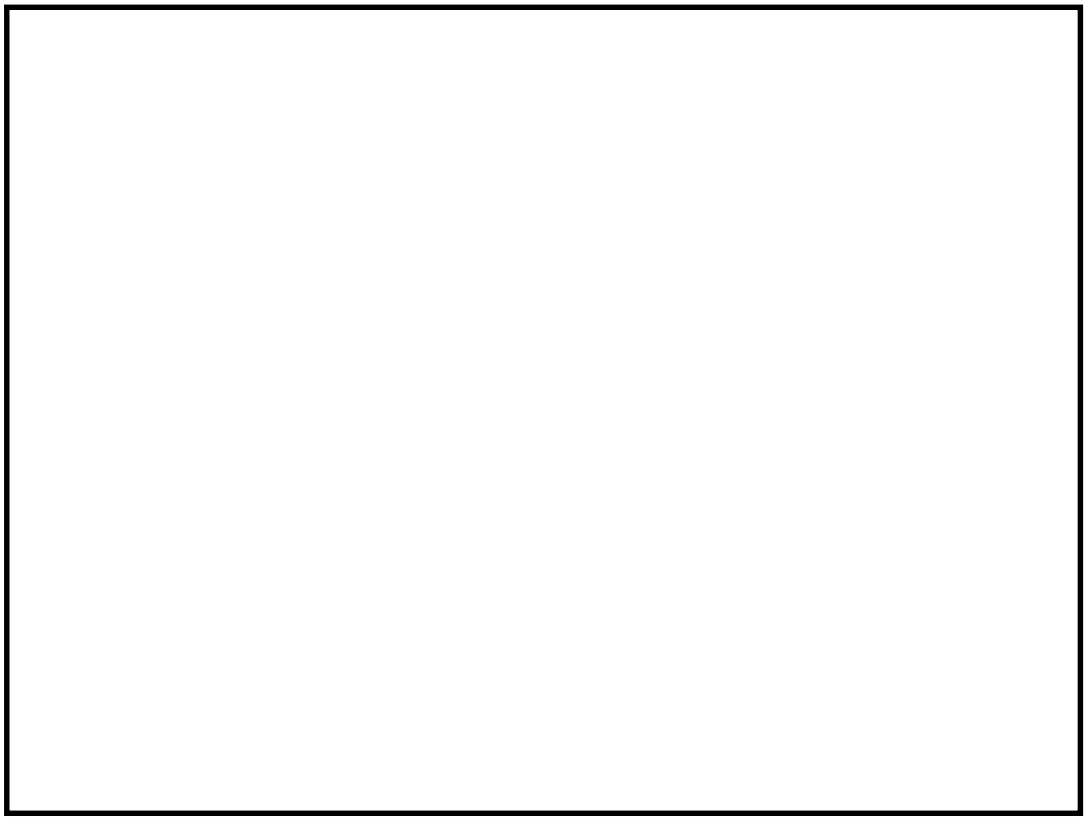
第 1.7.9－8 表　自衛消防組織のための要員

担当（人数）	対象者				主な役割
	東Ⅱ管理区域内及び周辺防護区域 (D/G室・電気室・S/B等，C/Pより中側の区域)		左記以外		
	休日・夜間	平日昼間	休日・夜間	平日昼間	
通報連絡責任者（１名）	当直発電長		社員守衛員		・消防機関への通報 ・所内関係者への連絡
連絡担当（１名）	当直運転員		社員守衛員		・火災現場への移動及び状況確認 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・可能な範囲での初期消火
現場指揮者（１名）	待機当番者１（技術系管理職）	技術系管理職	待機当番者１（技術系管理職）	技術系管理職	・出動の準備／火災現場への移動 ・火災状況の把握 ・火災現場での初期消火活動の指揮
現場連絡責任者（１名）	待機当番者２（管理職）	管理職	待機当番者２（管理職）	管理職	・消防機関への情報提供 ・消防機関の現場誘導
消火担当①（７名）	委託守衛員		委託守衛員		・出動の準備／火災現場への移動 ・消防自動車，消火器，消火栓等による初期消火活動
消火担当②	当直運転員 社員守衛員	当直運転員 社員守衛員 あらかじめ指名された所員	社員守衛員	社員守衛員 あらかじめ指名された所員	・出動の準備／火災現場への移動 ・消防自動車，消火器，消火栓等による初期消火活動



第 1.7.9－1 図　防火帯設置図

【別添資料 1(1.3：3～4)】

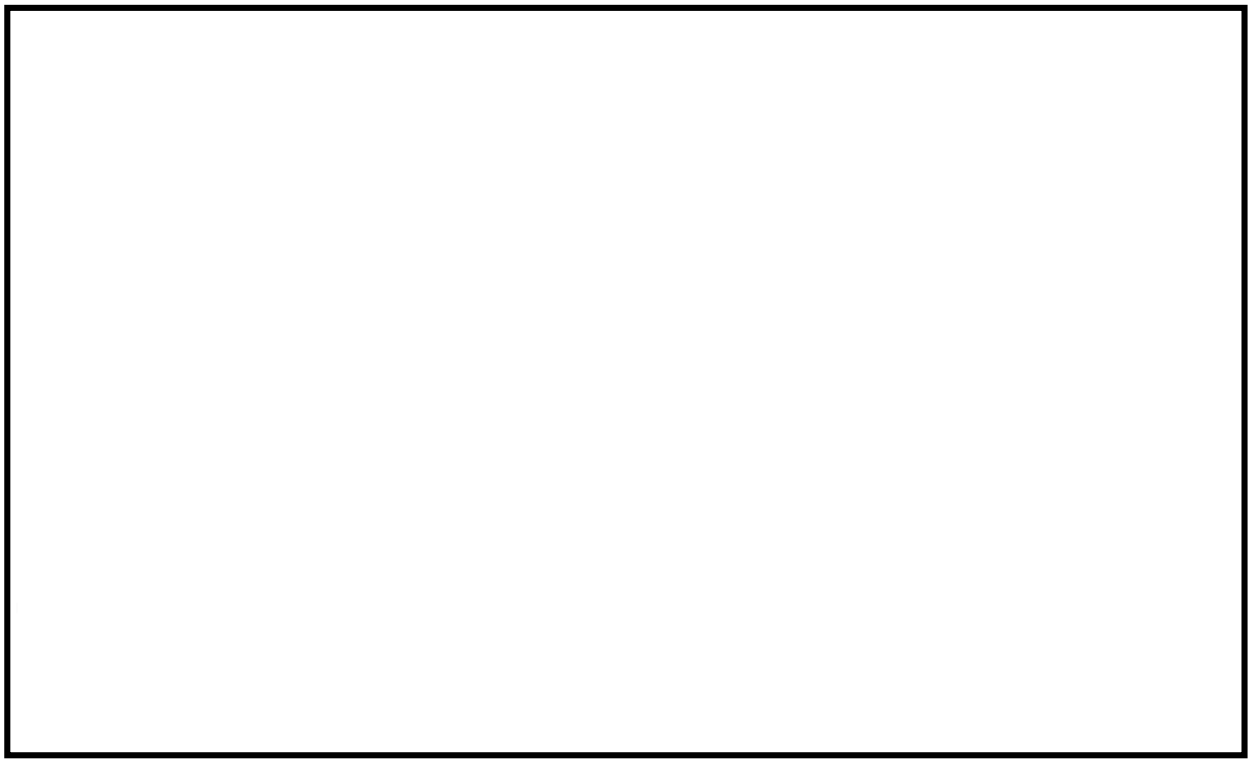


第 1.7.9－2 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する
危険物貯蔵施設（火災源）

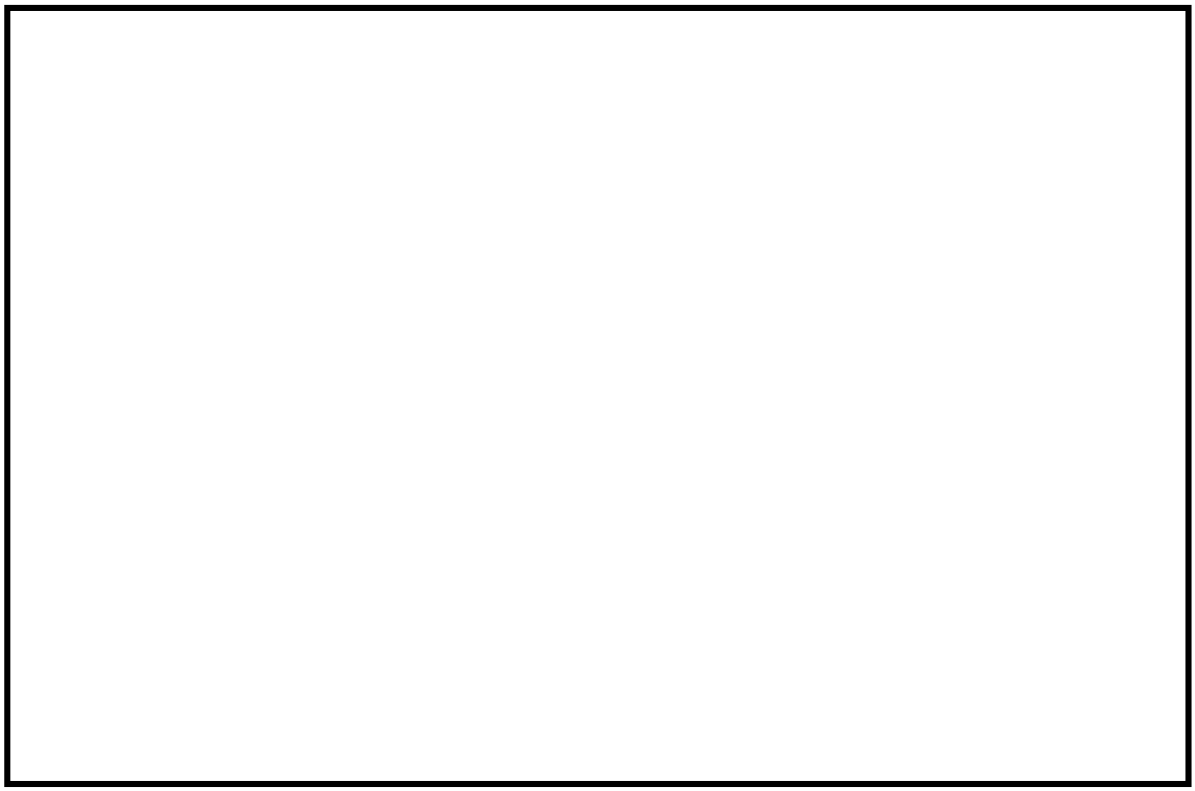
【別添資料 1(2.2.2.2：18～20)】

第 1.7.9－3 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係

【別添資料 1(2.2.2.2：21～24)】

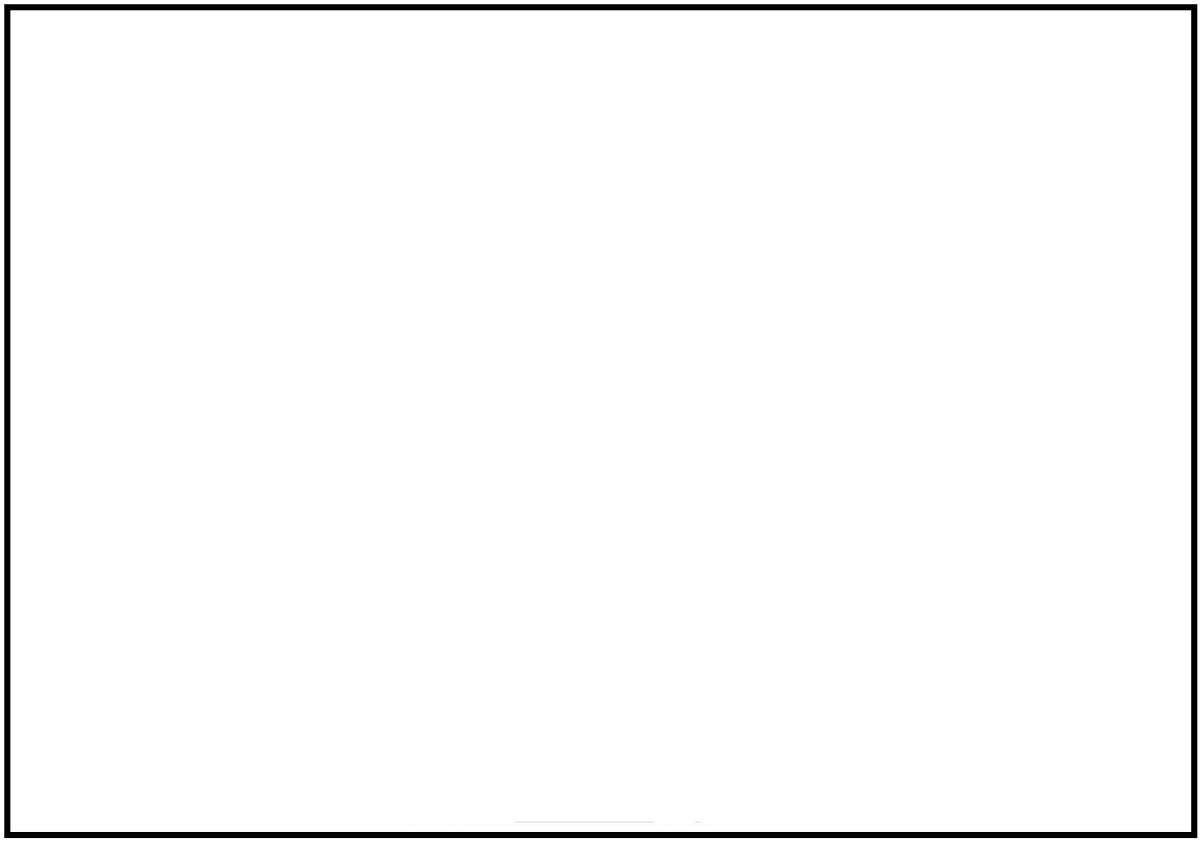


第 1.7.9－4 図　評価で想定する漂流船舶（燃料輸送船）



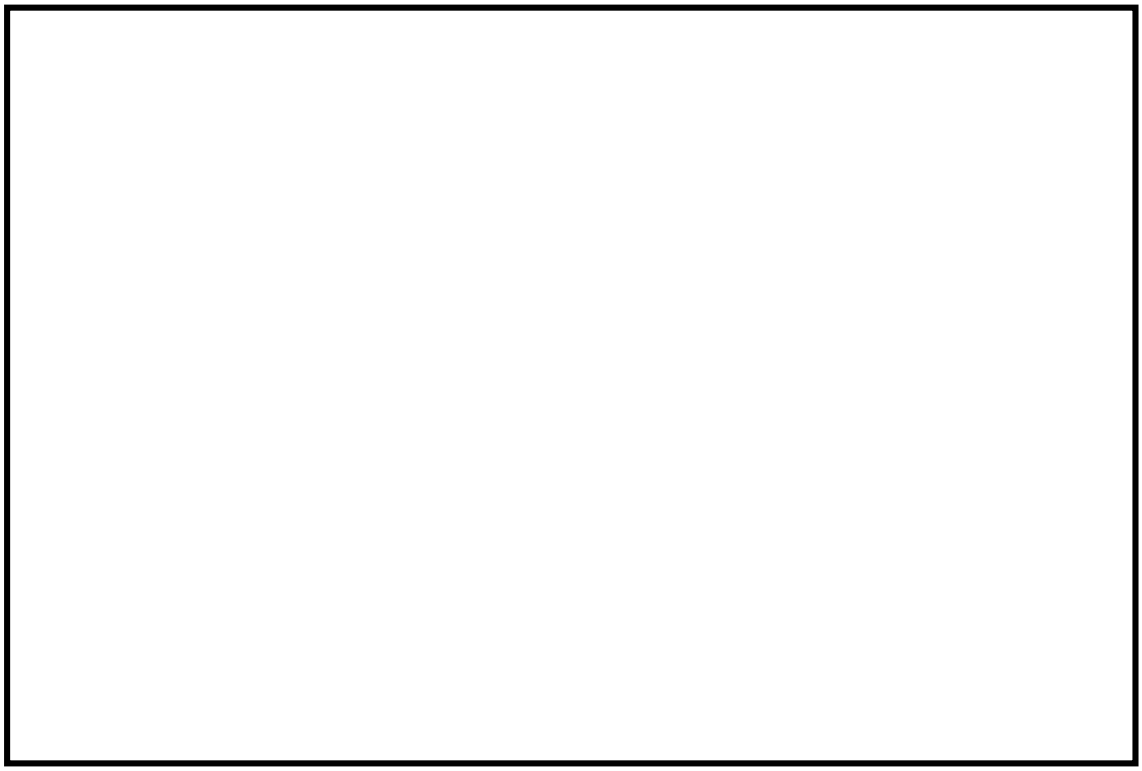
第 1.7.9－5 図　評価で想定する漂流船舶（定期船）

【別添資料 1(2.2.2.4：28～30)】

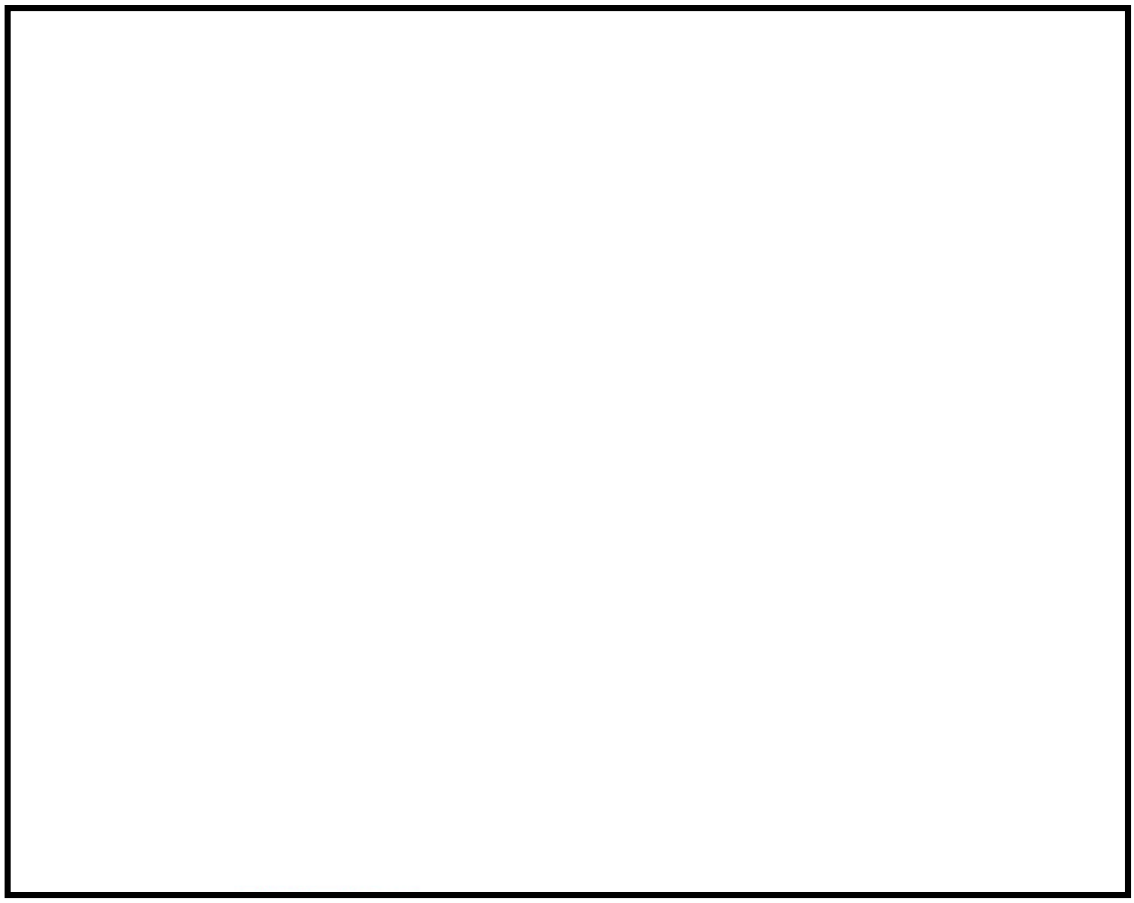


第 1.7.9－6 図　評価で想定する漂流船舶（内航船）

【別添資料 1(2.2.2.4：28～30)】



第 1.7.9－7 図　危険物貯蔵施設等配置図（１／２）



第 1.7.9－7 図　危険物貯蔵施設等配置図（２／２）

【別添資料 1(2.2.2.5：31～35)】

(3)　適合性説明

第六条　外部からの衝撃による損傷の防止

1　安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。 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，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東海村に対する規格・基準類による設定値及び東海村で観測された過去の記録等をもとに設定する。なお，東海村の最寄りの気象官署である水戸地方気象台で観測された過去の記録について設計への影響を確認する。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。

(10) 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，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，安全上支障のない期間での修復等の対応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。

【別添資料 1(2.1：4～16)】

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，外気を取り込む空調系統，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。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

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。航行中の船舶が漂流し爆発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。

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，安全上支障のない期間での修復等の対応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。

【別添資料 1(2.2：17～22)】

(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。航行中の船舶が漂流し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。

【別添資料 1(2.2：17～20)】

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。

【別添資料 1(2.2.2.5：30～33)】

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である原子炉建屋等の周辺で落下確率が 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，安全上支障のない期間での修復等の対応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。

【別添資料 1(2.3：34～40)】

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，外気を取り込む空調系統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。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

(5)　有毒ガス

有毒ガスの漏えいについては固定施設（石油コンビナート施設等）と可動施設（陸上輸送，海上輸送）からの流出が考えられる。発電所周辺には

周辺監視区域が設定されているため，発電用原子炉施設と近隣の施設や周辺道路との間には離隔距離が確保されていることから，有毒ガスの漏えいを想定した場合でも，中央制御室の居住性を損なうことはない。また，敷地港湾の前面の海域を移動中の可動施設から有毒ガスの漏えいを想定した場合も同様に，離隔距離が確保されていることから，中央制御室の居住性を損なうことはない。

発電所敷地内に貯蔵している化学物質については，貯蔵施設からの漏えいを想定した場合でも，中央制御室の居住性を損なうことはない。

また，中央制御室換気系については，外気取入ダンパを閉止し，閉回路循環運転を行うことにより中央制御室の居住性を損なうことはない。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

1.9.3　参考文献

(1)　「建築火災のメカニズムと火災安全設計」原田和典　　財団法人　日本建築センター

4.　社会環境

4.1　産業活動

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。

5.　気　　象

5.2　最寄りの気象官署の資料による一般気象

5.2.5　その他の資料による一般気象

5.2.5.2　森林火災

森林火災検討に関係する東海第二発電所の最寄りの気象観測所（水戸地方気象台）の気象データ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最小湿度）（2007 年～2016 年）及び発電所の位置する茨城県の「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）について，第 5.2－53 表に示す。また，森林火災発生件数の多い 12 月～5 月における最寄りの気象観測所（水戸地方気象台）及び発電所の気象データ（卓越風向）について，第 5.2－54 表に示す。

第 5.2－53 表　気象データ（気温，風速及び湿度）及び森林火災件数

観測所	水戸地方気象台　気象観測データ（注1）					茨城県内の月別森林火災件数（注2）
月	最高気温（℃）	最大風速（m／s）	最大風速記録時の風向		最低湿度（%）	
			第1位	第2位		
1	16.9	17.5	北東	北東	17	79
2	24.3	17.5	北北東	北東	13	86
3	25.9	14.3	北東	北北東,南西	11	131
4	29.3	15.1	北北東	北東	13	126
5	30.8	13.5	北東	北北東	13	54
6	33.5	14.2	北北東	北北東	21	10
7	36.4	11.8	北北東	北北東	35	13
8	37.0	12.9	北東	北北東	35	24
9	36.1	13.9	北北東	南南西	29	23
10	31.4	17.4	北北東	北北東	22	11
11	24.5	11.8	北北東	北北東	18	4
12	23.8	10.6	北東	西	17	33

（注1）水戸地方気象台 観測記録（2007年 ～ 2016年）

（注2）「消防防災年報」（茨城県 2006年～2015年）より

第 5.2－54 表　気象データ（卓越風向）

風　向	最多風向（時間単位）の出現回数割合（%）（注1）	
	水戸地方気象台 気象観測データ	発電所 気象観測データ
北	15	3
北北西	17	3
北西	5	9
西北西	2	23
西	3	7
西南西	3	2
南西	4	1
南南西	6	3
南	3	4
南南東	1	5
南東	3	4
東南東	4	3
東	9	3
東北東	9	6
北東	7	14
北北東	7	9

（注1）観測記録（2007年 ～ 2016年）

9.　生物

9.1　海生生物

発電所の前面海域において，クラゲの発生がみられることはあるが，昭和 53 年 11 月の発電所の営業運転開始以降，大量のクラゲの襲来により安全施設の安全機能が損なわれた記録はない。

9.2　植生

発電所の周辺にはアカマツ，クロマツ等の植生が認められているが，昭和 53 年 11 月の営業運転開始以降，発電所周辺の森林火災が原因で安全施設の安全機能が損なわれた記録はない。

別添資料１

東海第二発電所

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

1.2　想定する外部火災 …… 1

1.3　防護対象施設 …… 3

2.　火災の影響評価

2.1　森林火災 …… 4

2.2　近隣の産業施設の火災・爆発 …… 19

2.3　航空機墜落による火災 …… 36

2.4　二次的影響 …… 45

添付資料

1. 外部事象防護対象施設と評価対象施設の考え方について

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貯蔵施設等の火災・爆発について

7. 原子力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，外部事象防護対象施設，評価対象施設を整理する。

2. において，想定する外部火災の影響評価結果について説明する。

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。）第六条において，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，外部火災により安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地内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六条において，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，飛来物（航空機墜落）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を第 1.2-1 表に示す。

第 1.2-1 表　外部火災影響評価で行う評価内容

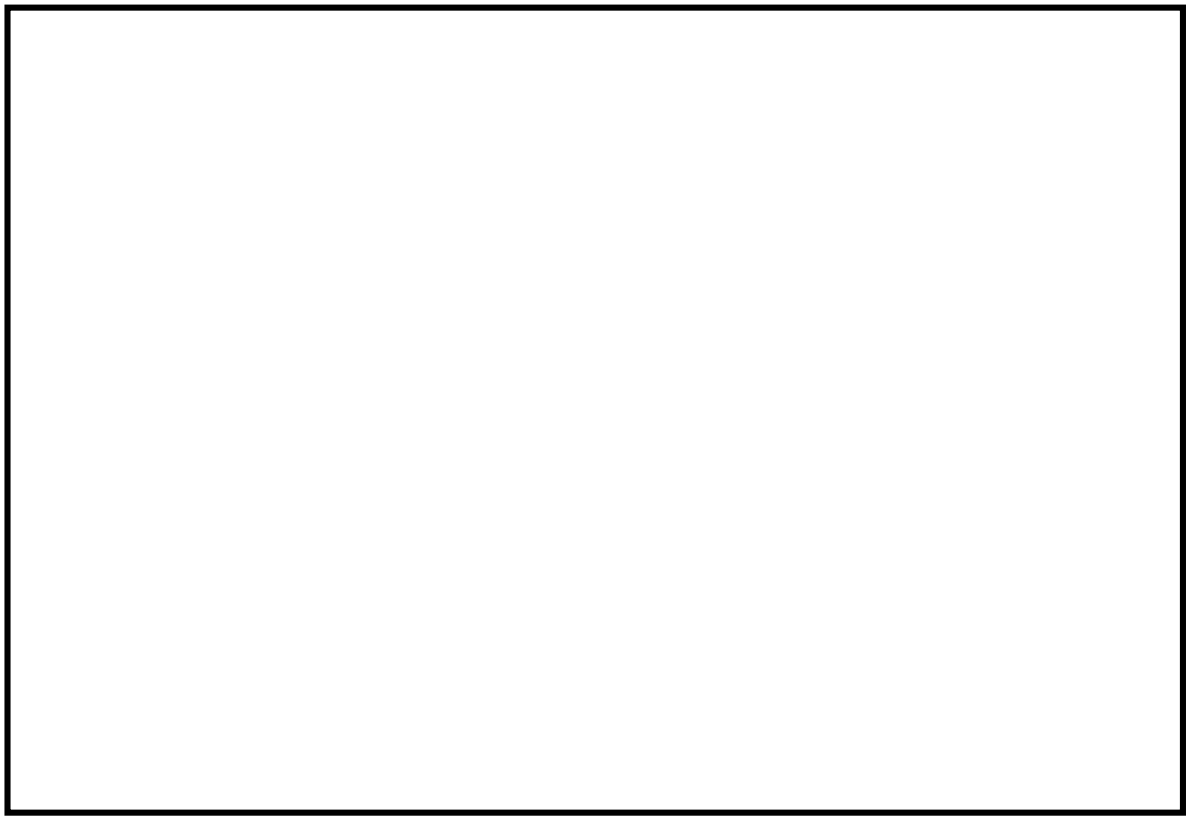
火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災	・森林火災シミュレーション解析コード（ＦＡＲＳＩＴＥ）を用いた森林火災評価 ・森林火災評価に基づく評価対象施設への影響評価	・火炎の到達時間 ・防火帯幅 ・熱影響 ・危険距離	二次的影響（ばい煙等，有毒ガス）
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油ｺﾝﾋﾞﾅｰﾄ等の火災・爆発	・発電所敷地外の石油コンビナート等について，発電所との距離を考慮した影響評価	・危険距離 ・危険限界距離	
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発	・発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発による影響評価	・熱影響 ・危険限界距離	
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落時の火災	・墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した評価対象施設の影響評価	・熱影響	

1.3　防護対象施設（添付資料-1）

設置許可基準規則の第六条においては，外部からの衝撃による損傷の防止として，安全機能を有する構築物，系統及び機器が，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。

したがって，「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」（以下「重要度分類指針」という。）において，安全機能を有する構築物，系統及び機器として定義されているクラス１，２及び３に属する構築物，系統及び機器を外部火災に対する防護対象とする。外部火災に対する評価対象施設配置図を第 1.3-1 図に示す。防護対象とする構築物，系統及び機器に対しては，外部火災発生時に安全機能に影響を与えることのないよう，消火活動等により防護を図ることとする。

また，クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器については，消火活動等の防護手段に期待しない条件のもと，想定される外部火災に対する影響評価を実施し，耐性が十分でない場合においては，対策を行うこととする。



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）

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以下の項目により評価した。

(1)　火炎の到達時間

(2)　防火帯幅

(3)　熱影響

(4)　危険距離

2.1.2　評価要領

評価ガイドに従い森林火災を想定し，発電所への影響について評価した。なお，森林火災の解析に当たっては，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を実施した。

(1)　土地利用データは，現地状況をできる限り模擬するため，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用いた。

(2)　森林の現状を把握するため，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入手し，その情報を基に植生調査を実施した。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して設定した。

(3)　地形データは，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。

(4)　気象条件は，過去 10 年間を調査し，茨城県で森林火災の発生件数が多い月（12 月～5 月）を考慮して，森林火災の延焼を拡大させる観点から，最高気温，最小湿度及び最大風速をＦＡＲＳＩＴＥ入力条件として設定した。

(5)　最大風速記録時の風向は 1 月～5 月の北東に加え，第 2 位の最大風速記録時の風向となる 3 月の南西を選定した。

卓越風向は，水戸地方気象台観測データの高い割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

(6)　発火点は以下の 7 地点を設定した。各発火点を第 2.1.2-1 図に示す。

発火点 1：卓越風向である西北西方向で，霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道２４５号線を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道２４５号線沿いの霊園に設定。

発火点 2：卓越風向である北方向で，バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿いに設定。

発火点 3：卓越風向である西北西方向で，火入れ・たき火等を想定し，発火点１より遠方となる県道２８４号線沿いの水田に設定。

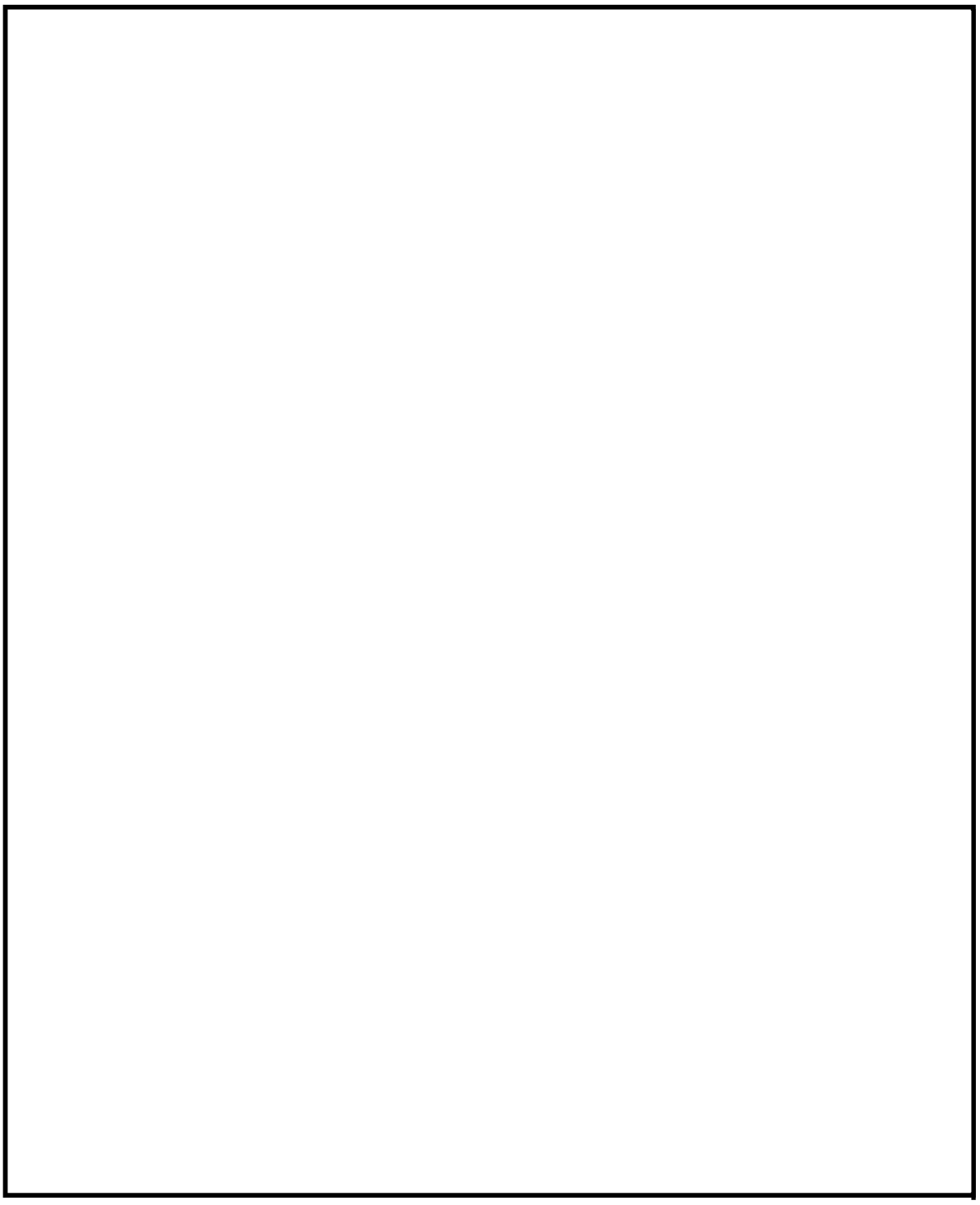
発火点 4：卓越風向である北方向で，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，発火点２より遠方となる海岸沿いに設定。

発火点 5：最大風速時の風向である南西方向で，発電所南方向にある危険物貯蔵施設の火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物施設の近くに設定。

発火点 6：最大風速時の風向である南西方向で，交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道２４５号線沿いに設定。

発火点 7：最大風速時の風向である北東方向で，釣り人によるたばこの投げ捨てを想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能な海岸沿いに設定。

(7) 評価対象範囲は，発電所から南北及び西側に 12km，東側は海岸線までとする。



第 2.1.2-1 図　発火点と発電所の位置関係

2.1.3　評価結果

2.1.3.1　火炎の到達時間の評価

(1)　火炎到達時間

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間を第 2.1.3.1-1 表に示す。

第 2.1.3.1-1 表　各発火点の火炎到達時間

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間（hr）	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7

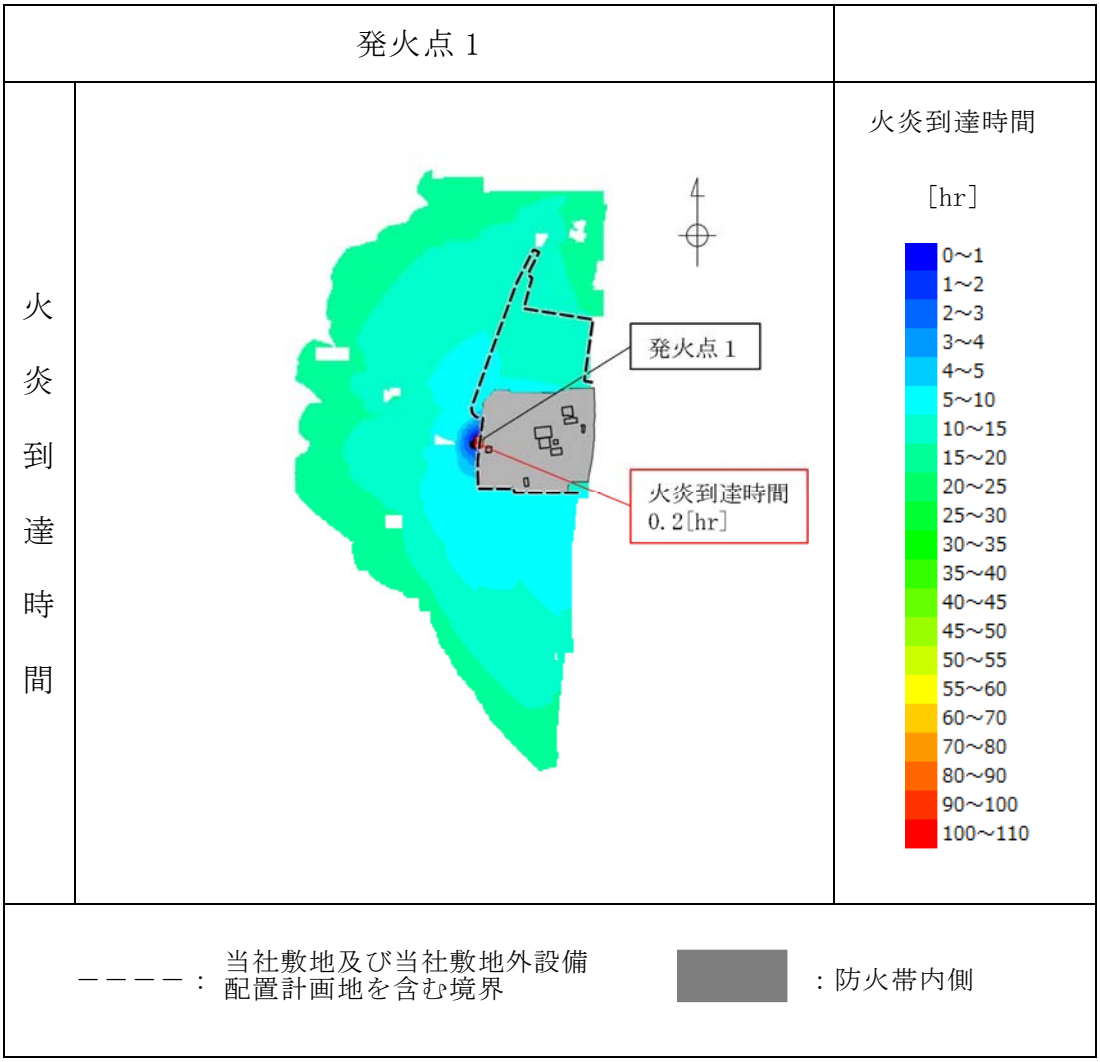
(2)　初期消火活動及び体制

発電所には自衛消防隊（初期消火活動要員 11 名）が 24 時間常駐しており，早期に初期消火活動体制を確立可能であることから，最短の火炎到達時間である 0.2 時間（約 12 分）以内に防火帯付近での予防散水が可能である。発火点 1 の火炎到達時間分布を第 2.1.3.1-2 表に示す。

また，自衛消防隊による予防散水は，外部電源喪失時においても，防火水槽を活動用水とした消防車による予防散水が可能である。

なお，防火帯外側に設置されているモニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は，防火帯内側に保管する可搬型モニタリングポストを設置し代替監視を行う。

第 2.1.3.1-2 表　発火点 1 の火炎到達時間分布



2.1.3.2　防火帯幅の評価

(1)　最大火線強度

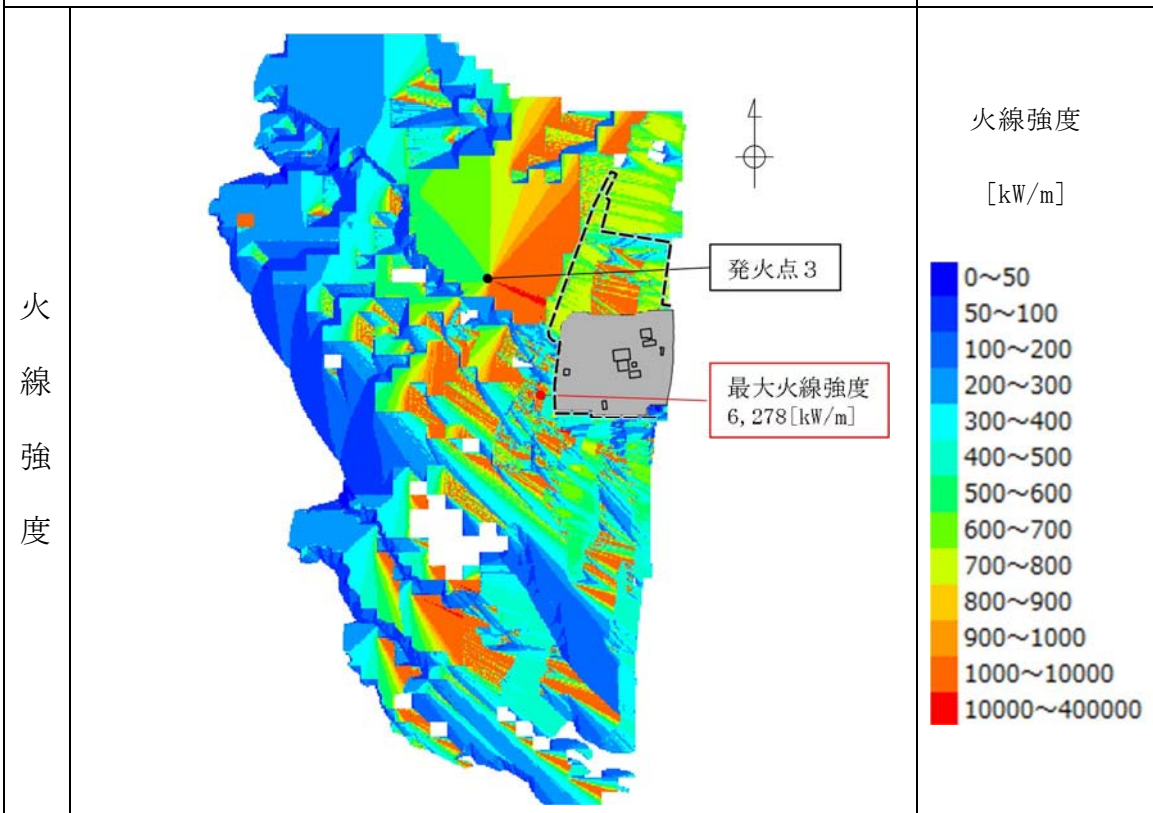
各発火点における防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度を第 2.1.3.2-1 表に示す。発火点 3 において火線強度（6,278kW／m）が最大となることを確認した。発火点 3 の火線強度分布を第 2.1.3.2-2 表に示す。

第 2.1.3.2-1 表　各発火点の最大火線強度

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
最大火線強度 (kW／m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391

第 2.1.3.2-2 表　発火点 3 の火線強度分布

発火点 3

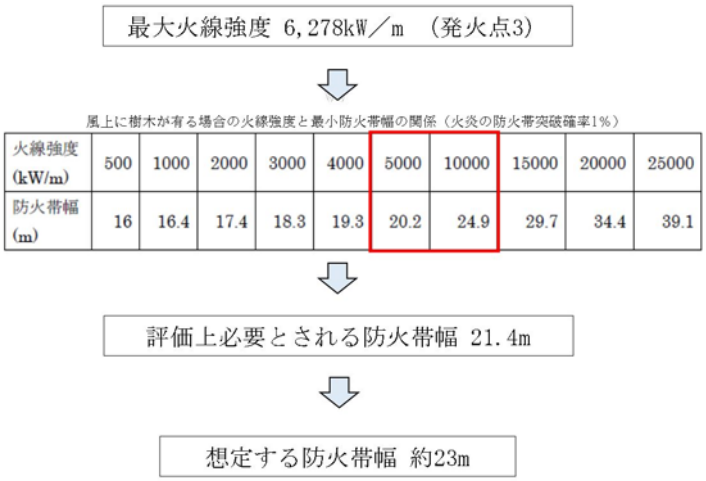


－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界

：防火帯内側

(2)　防火帯幅の設定

評価ガイドに基づき，最大火線強度（6,278kW／m）から「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が有る場合）」を用いて，必要な防火帯幅を算出した結果，評価上必要とされる防火帯幅 21.4m に対し，森林火災の延焼を防止するために，約 23m の防火帯を設定する。



第 2.1.3.2-1 図　防火帯幅の設定

(3)　防火帯の設定方針

- 防火帯は，防護対象設備（クラス１，クラス２，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むように設定する。
- 駐車場等，延焼の可能性があるものと干渉しないように設定する。

2.1.3.3　熱影響評価

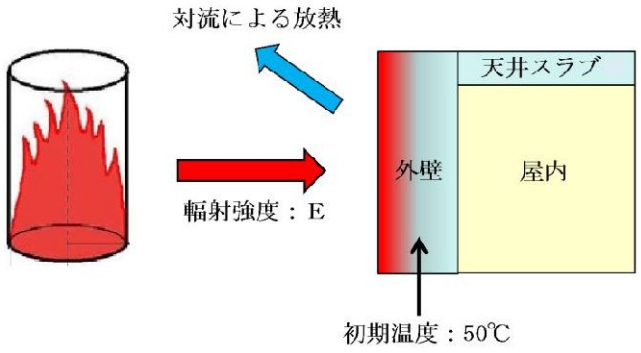
ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果である火炎到達時間，反応強度及び火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響がない事を確認した。

(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（℃）							許容温度（℃）
	発火点1	発火点2	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
原子炉建屋	53	52	53	53	53	53	53	＜200
使用済燃料乾式貯蔵建屋	96	87	93	94	99	91	92	
タービン建屋	54	53	53	53	54	53	53	



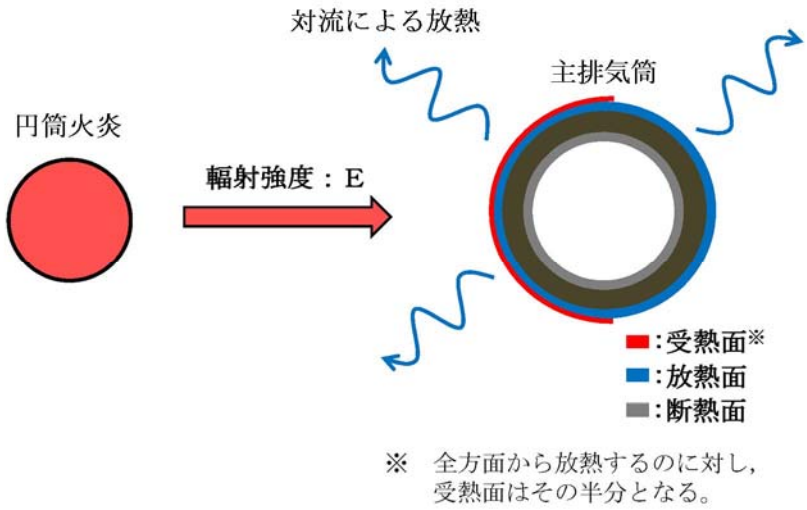
第 2.1.3.3-1 図　建屋外壁の評価概念図

(2)　主排気筒

森林火災によって上昇する主排気筒鉄塔表面温度が，許容温度 325℃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，主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　主排気筒の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
主排気筒	51	52	52	52	52	52	52	＜325



第 2.1.3.3-2 図　主排気筒の評価概念図

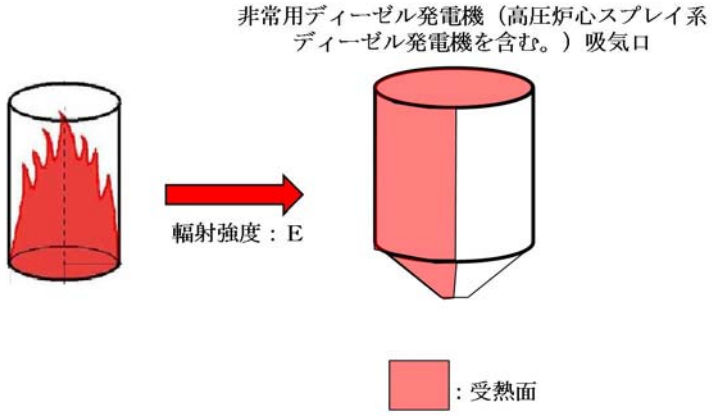
(3)　非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機

森林火災によって上昇する非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）」という。）に流入する空気の温度が，

許容温度53℃以下であることを確認した。評価結果を第2.1.3.3-3表に，空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図を第 2.1.3.3-3図に示す。

第2.1.3.3-3表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	45	45	45	45	45	45	45	＜53



第2.1.3.3-3図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図

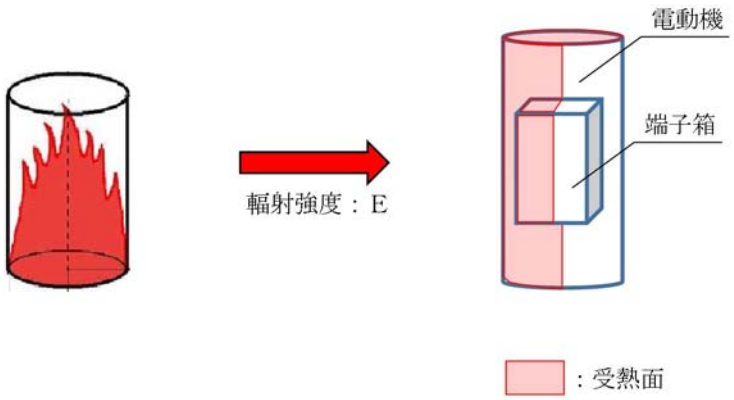
(4)　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの冷却空気の温度が，許容温度以下（残留熱除去系海水系ポンプ：70℃，非常用ディーゼル発電機

（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ：60℃）であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-4 表に，残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの評価概念図を第 2.1.3.3-4 図に示す。

第 2.1.3.3-4 表　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	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
残留熱除去系海水系ポンプ	45	45	45	45	45	45	45	＜70
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）用海水ポンプ	45	45	45	45	45	45	45	＜60



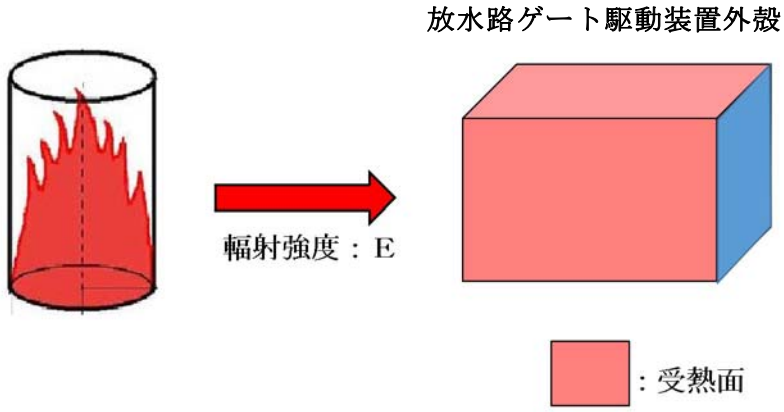
第 2.1.3.3-4 図　海水ポンプの評価概念図

(5)　放水路ゲート

放水路ゲート駆動装置の外殻の温度が，許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-5 表に，放水路ゲートの評価概念図を第 2.1.3.3-5 図に示す。

第 2.1.3.3-5 表　放水路ゲートの熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
放水路ゲート	85	93	126	99	121	125	119	＜325



第 2.1.3.3-5 図　放水路ゲートの評価概念図

2.1.3.4　危険距離の算出

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。また，津波防護施設についても，熱影響が最大となる発火点に対する危険距離を算出し，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 5 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	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	17	15	17	17	18	16	17	267
使用済燃料乾式貯蔵建屋	17	15	17	17	18	16	17	37
タービン建屋	17	15	17	17	18	16	17	221

(2)　主排気筒

熱影響が最大となる発火点 3 に対し，主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　主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	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
主排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

(3)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）

熱影響が最大となる発火点 3 に対し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル

発電機を含む。）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	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	18	21	28	22	28	28	27	267

(4)　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ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2.1.3.4-4表に示す。

第2.1.3.4-4表　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	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
残留熱除去系海水系ポンプ	17	19	27	21	26	27	26	242
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ポンプ	14	16	23	18	23	23	22	242

(5)　放水路ゲート

放水路ゲート駆動装置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2.1.3.4-5表に示す。

第 2.1.3.4-5 表　放水路ゲートに対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
放水路ゲート	12	14	20	15	19	20	19	41

2.2　近隣の産業施設の火災・爆発（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，危険物貯蔵施設，燃料輸送車両及び漂流船舶の火災・爆発が，評価対象施設に影響を及ぼさないことを評価した。

また，発電所敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発が，評価対象施設に影響を及ぼさないことを評価した。

2.2.2　評価結果

2.2.2.1　石油コンビナートの火災・爆発（添付資料-3）

「茨城県石油コンビナート等特別防災計画」（昭和 52 年 12 月 5 日 茨城県）により，茨城県内で石油コンビナート等特別防災区域に指定されている地区は，鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域のみであり，発電所からこの特別防災区域までは，約 50km の距離がある。以上から，発電所敷地外 10km 以内に石油コンビナートがないと判断した。発電所との位置関係を第 2.2.2.1-1 図に示す。

第 2.2.2.1-1 図　発電所と鹿島臨海地区石油コンビナートの位置

2.2.2.2　発電所敷地外の危険物貯蔵施設の火災・爆発

発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く。）に位置する危険物貯蔵施設のうち，評価対象施設に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し，その火災・爆発の影響を評価した。

(1)　火災の影響評価

a．対象貯蔵施設の抽出

発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く。）に，第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することから，以下のとおり抽出範囲を絞り込み，対象貯蔵施設の抽出を行った。

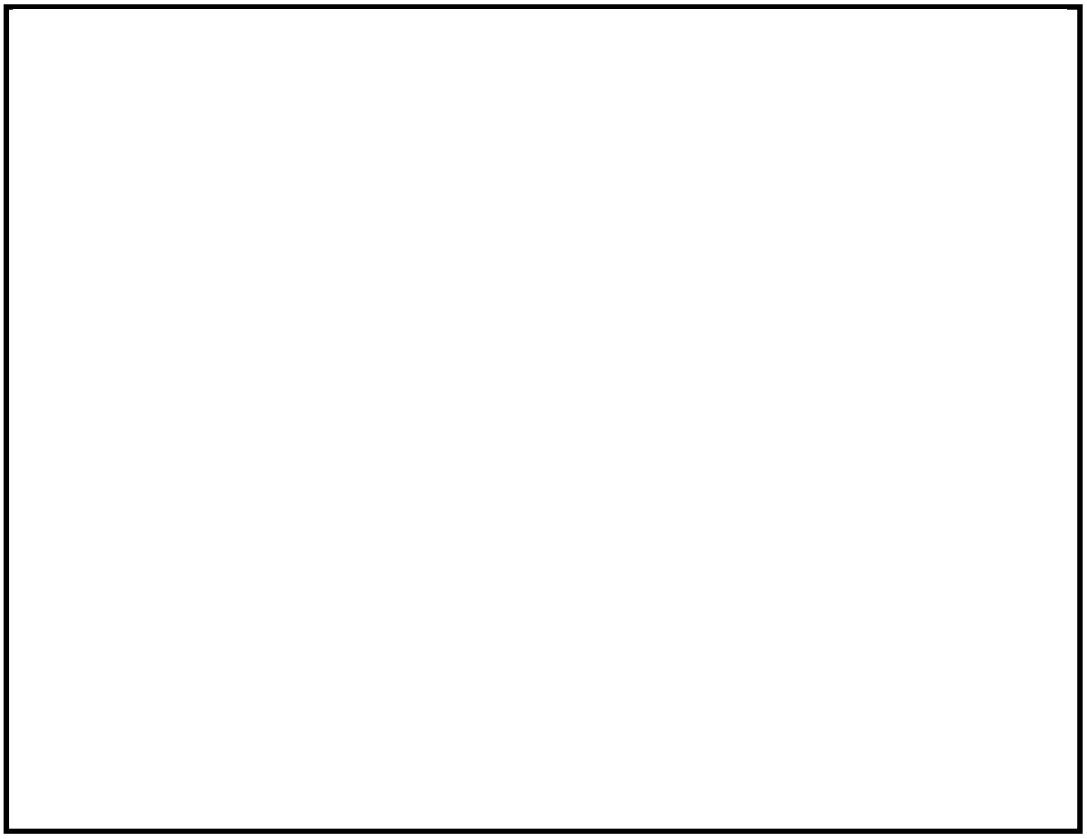
(a)　発電所敷地外半径 10km 以内に石油コンビナートはないことから，半径 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設の貯蔵容量は最大でも石油コンビナート相当の 10 万 kL※とした。ここで，第四類危険物のうち，最も輻射発散度が高い n-ヘキサンが 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し，その危険距離を算出した結果 1,329m となった。

※「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令第 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量

(b)　(a)項の結果を踏まえ，発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を

及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し，抽出範囲を発電所敷地から 1.4km 以内に絞り込んだ。発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設を第 2.2.2.2-1 図に示す。

(c)　(b)項の抽出範囲内を含む危険物貯蔵施設を調査し，屋外貯蔵である[redacted]について影響評価を実施した。



第 2.2.2.2-1 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する危険物貯蔵施設

b．火災の影響評価結果

抽出した危険物貯蔵施設について評価した結果，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2.2.2.2-1表に示す。

第2.2.2.2-1表　火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	燃料量 (m^3)	評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	41	1,100
			タービン建屋		1,200
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		800
			主排気筒	10	1,200
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	17	1,100
			残留熱除去系 海水系ポンプ	16	1,300
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ポンプ	12	1,300
			放水路ゲート	10	1,600

(2)　爆風圧の影響評価

a．対象貯蔵施設の抽出

爆発影響を及ぼす可能性のある高圧ガス貯蔵施設として，発電所より10km 以内で最大規模の高圧ガス貯蔵施設（東京ガス株式会社が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）を選定した。位置関係を第 2.2.2.2-2 図に示す。

第 2.2.2.2-2 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係

ｂ．爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設について評価した結果，危険限界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 2.2.2.2-2 表に示す。

第 2.2.2.2-2 表　抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
ＬＮＧタンク	メタン	97,704	373	1,500
ＬＰＧタンク	プロパン	31,000		

※　敷地境界までの距離

(3)　爆発飛来物の影響評価

ａ．評価対象施設の抽出

高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（ＢＬＥＶＥ：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は，可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが，加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し，タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため，ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵型のタンクについて爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

また，大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクは内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く，ＢＯＧ圧縮機※1等でタンク内圧を一定に制御しているため，加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く，ＢＬＥＶＥは発生し難いが※2，ＢＬＥＶＥ以外の爆発形態を想定し，発電所から 1,500m 先にある日立ＬＮＧ基地の低温貯蔵型タンクについて，爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

※１　タンクから発生するボイルオフガスを再液化し，タンク内圧を一定に制御する。
※２　出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」

ｂ．爆発飛来物の影響評価結果

「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，抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の飛散範囲を算出した。

高圧ガス貯蔵タンクについて飛来物の飛散距離を算出した結果，評価対象施設までの飛散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 2.2.2.2-3 表に示す。

第 2.2.2.2-3 表　爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※　敷地境界までの距離

また，低温貯蔵型タンクは，日立ＬＮＧ基地の大規模な低温貯蔵型タンクを想定しても，想定飛散距離は約 570m であり，発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離 900m を下回ることから，低温貯蔵型タンク爆発による飛来物の影響はないと評価できる。

2.2.2.3　燃料輸送車両の火災・爆発（添付資料-4）

発電所敷地外の国道２４５号線での燃料輸送車両による火災・爆発の影響を評価した。

(1)　火災の影響評価

ａ．対象車両

消防法令※で定められた公道を通行可能な上限量（30m^3）のガソリンが積載された燃料輸送車両について評価を行う。

※　危険物の規則に関する政令第 15 条第 1 項三号

ｂ．火災の影響評価結果

対象車両について評価した結果，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 2.2.2.3-1 表に示す。

第 2.2.2.3-1 表　火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	容量 (m^3)	評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
燃料輸送車両	ｶﾞｿﾘﾝ	30	原子炉建屋	23	510
			ﾀｰﾋﾞﾝ建屋		450
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		520
			主排気筒	9	610
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	14	510
			残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	13	760
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	11	760
			放水路ゲート	9	600

(2)　爆風圧の影響評価

ａ．対象車両

液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）が積載された最大クラスの燃料輸送車両（積載量：15.1t）について評価を行う。

ｂ．爆風圧の影響評価結果

対象車両について評価した結果，タービン建屋までの危険限界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 2.2.2.3-2 表に示す。

第 2.2.2.3-2 表　燃料輸送車両の爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
燃料輸送車両	ＬＮＧ (メタン)	15.1	81	450
	ＬＰＧ (プロパン)	15.1	88	

※　評価対象施設のなかで国道２４５号線から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

ｃ．爆発飛来物の影響評価結果

燃料輸送車両からの飛来物を想定した上での評価を実施したところ，最大飛散距離（435m）が評価対象施設までの離隔距離（450m）を下回る結果となったため，評価対象施設への影響はないことを確認した。

2.2.2.4　漂流船舶の火災・爆発（添付資料-5）

発電所の近くを航行する船舶による火災・爆発の影響を評価した。

(1)　火災の影響評価

ａ．対象船舶

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶について評価を行う。

ｂ．火災の影響評価結果

対象船舶について評価した結果，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 2.2.2.4-1 表に示す。

第 2.2.2.4-1 表　火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	燃料量 (m^3)	評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	263	1,100
			ﾀｰﾋﾞﾝ建屋		1,100
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
			主排気筒	87	1,100
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	153	1,100
			残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	142	940
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	111	
			放水路ゲート	87	1,050
			原子炉建屋	85	300
			ﾀｰﾋﾞﾝ建屋		280
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		530
			主排気筒	29	250
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	50	330
			残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	47	70
			非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	37	
			放水路ゲート	29	220

※１　ＬＰＧ輸送船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多いＬＮＧ輸送船の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※２　内航船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多い定期船の評価に包絡されるため評価対象外とした。

(2)　爆風圧の影響評価

ａ．対象船舶

発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設に定期的に入港する船舶の爆発を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

ｂ．爆風圧の影響評価結果

対象船舶について評価した結果，評価対象施設までの危険限界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 2.2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.2.4-2 表　爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
			335	1,100 以上
			340	
			165	390 以上

※　海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く，直接爆風圧の影響を受けることはないため，海水ポンプ室は影響評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室及び放水路ゲートを除いて最も近いタービン建屋までの距離とする。

ｃ．爆発飛来物の影響評価結果

日立ＬＮＧ基地に出入りする輸送船は，基地設置のタンクより小規模であるため，船舶爆発により想定される飛来物の飛散距離は，基地設置タンクの飛散距離以下であり，飛来物が発電所に到達することはない。

2.2.2.5　敷地内の火災・爆発（添付資料-6）

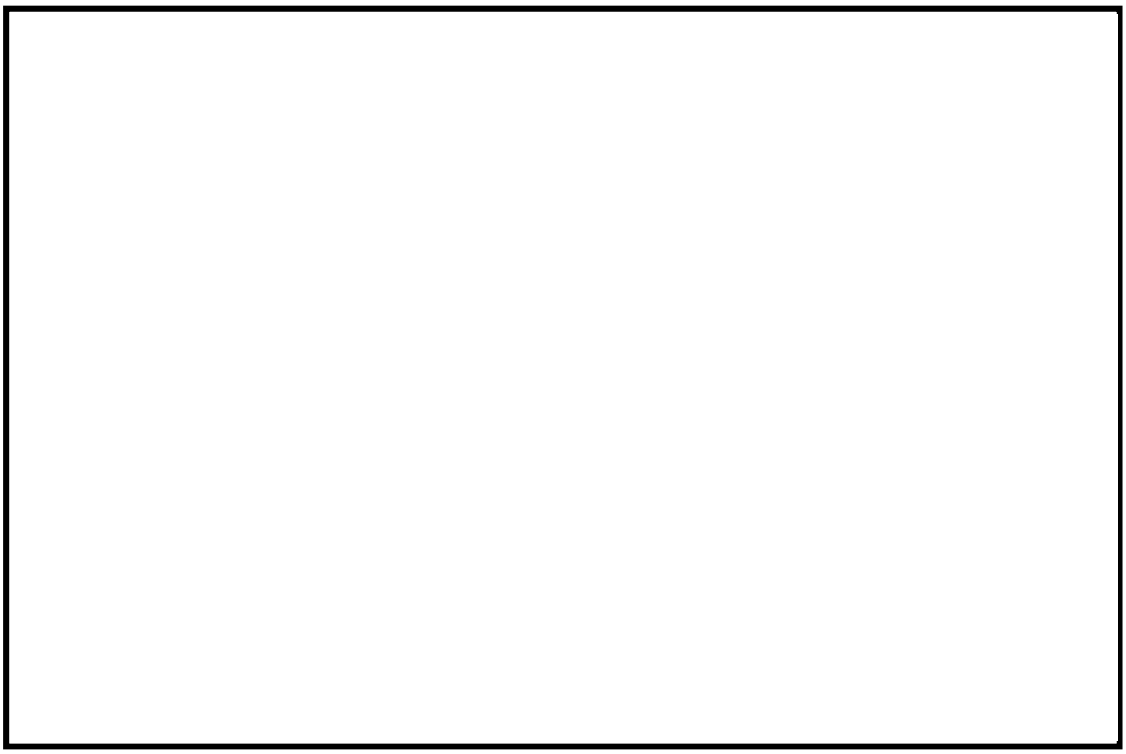
2.2.2.5.1　火災源又は爆発源となる設備の影響評価

発電所敷地内に設置している危険物貯蔵施設等の火災・爆発を想定し熱影響評価を実施した。熱影響評価を実施する危険物貯蔵施設は，溶融炉灯油タンクとした。

また，発電所敷地内に設置しているガス貯蔵施設の爆発を想定し爆発影響評価を実施した。爆発影響評価を実施するガス貯蔵施設は，水素貯槽とした。

なお，水素貯槽以外に，屋外に設置されているガス貯蔵設備はない。

第 2.2.2.5.1-1 図に火災と爆発を想定する施設と評価対象施設の位置を示す。



第 2.2.2.5.1-1 図　評価対象とする火災源又は爆発源となる設備及び評価対象施設の位置

(1)　外壁に対する熱影響評価

溶融炉灯油タンクの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 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.1-1 表に示す。

第 2.2.2.5.1-1 表　外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	70	＜200
	タービン建屋	57	

(2)　主排気筒に対する熱影響評価

溶融炉タンクの火災によって上昇する主排気筒鉄塔表面温度が，許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.1-2 表に示す。

第 2.2.2.5.1-2 表　主排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	主排気筒	90	＜325

(3)　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する熱影響評価

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの冷却空気の温度が，許容温度以下（残留熱除去系海水系ポンプ：70℃，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ：60℃）であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.1-3 表に示す。

第 2.2.2.5.1-3 表　海水ポンプに対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	45	＜70
	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	45	＜60

(4)　爆風圧の影響評価

水素貯槽の爆発による爆風圧について評価した結果，危険限界距離が水素貯槽に最も近いタービン建屋までの離隔距離以下となることを確認した。

評価結果を第 2.2.2.5.1-4 表に示す。

第 2.2.2.5.1-4 表　爆風圧の影響評価結果

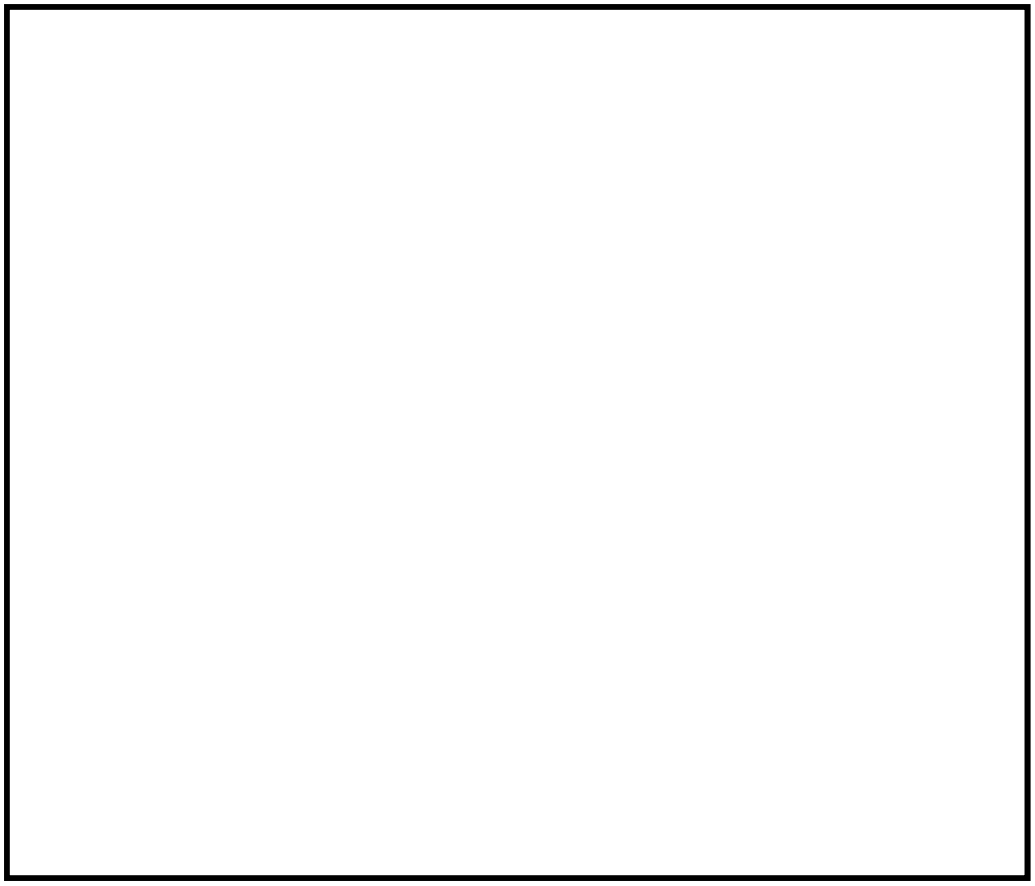
想定爆発源	評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
水素貯槽	タービン建屋	7	35

※　水素貯槽から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

2.2.2.5.2　敷地内の危険物貯蔵施設以外に対する影響評価

敷地内の変圧器の火災を想定し熱影響評価を実施した。熱影響評価を実施する施設は，主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂとした。なお，評価では防火設備の消火機能等には期待しない。

第 2.2.2.5.2-1 図に火災源となる変圧器と評価対象施設の位置を示す。



第 2.2.2.5.2-1 図　火災源となる変圧器及び評価対象施設の設置位置

(1)　外壁に対する熱影響評価

変圧器の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200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.2-1 表に示す。

第 2.2.2.5.2-1 表　外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
主要変圧器	タービン建屋	149	＜200
所内変圧器２Ａ		187	
起動変圧器２Ｂ		182	

(2)　放水路ゲートに対する熱影響評価

変圧器の火災によって上昇する放水路ゲート駆動装置外殻表面温度が，許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5.2-2 表に示す。

第 2.2.2.5.2-2 表　放水路ゲートに対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
主要変圧器	放水路ゲート	51	＜325
所内変圧器２Ａ		51	

2.3　航空機墜落による火災（添付資料-7）

2.3.1　評価内容

発電所の敷地内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，その火災が発電所の敷地内で起こったとしても評価対象施設に影響を及ぼさないことを確認した。

2.3.2　評価結果

2.3.2.1　評価方法

航空機落下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落下確率を求めている。また，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。したがって，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

<table>
<tr><td rowspan="2">1)計器飛行方式民間航空機</td><td colspan="2">①飛行場での離着陸時</td></tr>
<tr><td colspan="2">②航空路を巡航時</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2)有視界飛行方式民間航空機</td><td colspan="2">③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）</td></tr>
<tr><td colspan="2">④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3)自衛隊機又は米軍機</td><td rowspan="2">⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中</td><td>⑤-1 空中給油機等，
高高度での巡航が想定される大型固定翼機</td></tr>
<tr><td>⑤-2 その他の大型固定翼機，
小型固定翼機及び回転翼機</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑥基地－訓練空域間往復時</td></tr>
</table>

航空機落下確率が 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積より，航空機落下確率評価で標的面積として考慮している評価対象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評価対象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

評価対象施設として原子炉建屋，海水ポンプ室，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，主排気筒及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）を考慮し，落下確率 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積からカテゴリごとの離隔距離を算出した。各カテゴリの発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離及び輻射強度を第

2.3.2.2-1 表に，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離及び輻射強度を第 2.3.2.2-2 表に，自衛隊機の基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離を第 2.3.2.2-1 図に，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離を第 2.3.2.2-2 図に示す。

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
（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））

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)
1)計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時		B737-800	245	56.60
	②航空路を巡航中		B747-400	1,873	—※1
2)有視界飛行方式民間航空機	③大型機		B747-400	229	416.40
	④小型機		Do228-200	89	—※2
3)自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	217	311.08
		⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	43	—※3
	⑥基地－訓練空域間往復時		F-15	22	3,095.33

※1　計器飛行方式民間航空機の「②航空路を巡航中」の落下事故については，有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の落下事故の対象航空機と同じＢ７４７－４００であり，離隔距離の短い有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2　有視界飛行方式民間航空機の「④小型機」の落下事故の対象機種のうち，燃料積載量が最大となるＤｏ２２８－２００であっても 3m^3と少量であることから，Ｄｏ２２８－２００よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い自衛隊機又は米軍機の「⑥基地-訓練空域間往復時」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　自衛隊機又は米軍機の訓練空域外を飛行中の「⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」の落下事故については，「⑥基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象機種と同じＦ－１５であり，離隔距離の短い「⑥基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

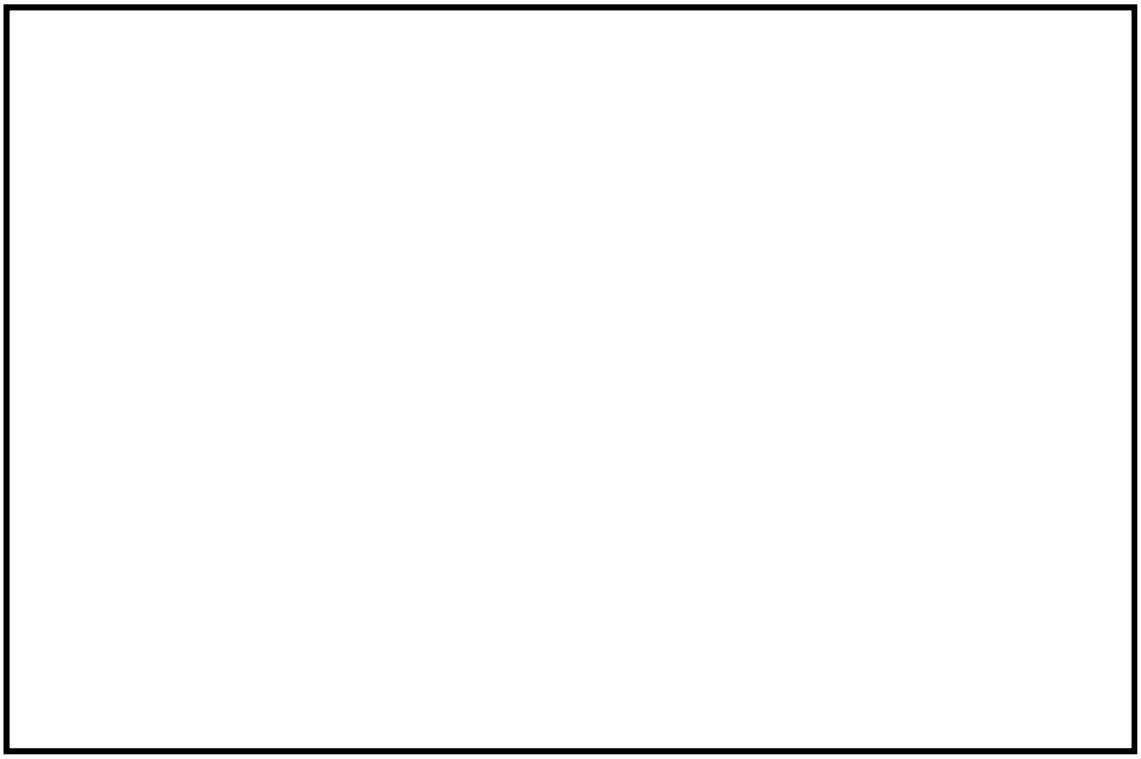
第 2.3.2.2-2 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離及び輻射強度
（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

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)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	393	21.89
	航空路を巡航時		B747-400	2,695	－※1
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	372	157.23
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Do228-200	175	－※2
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	355	115.58
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	111	－※3
	基地－訓練空域間往復時		F-15	78	264.85

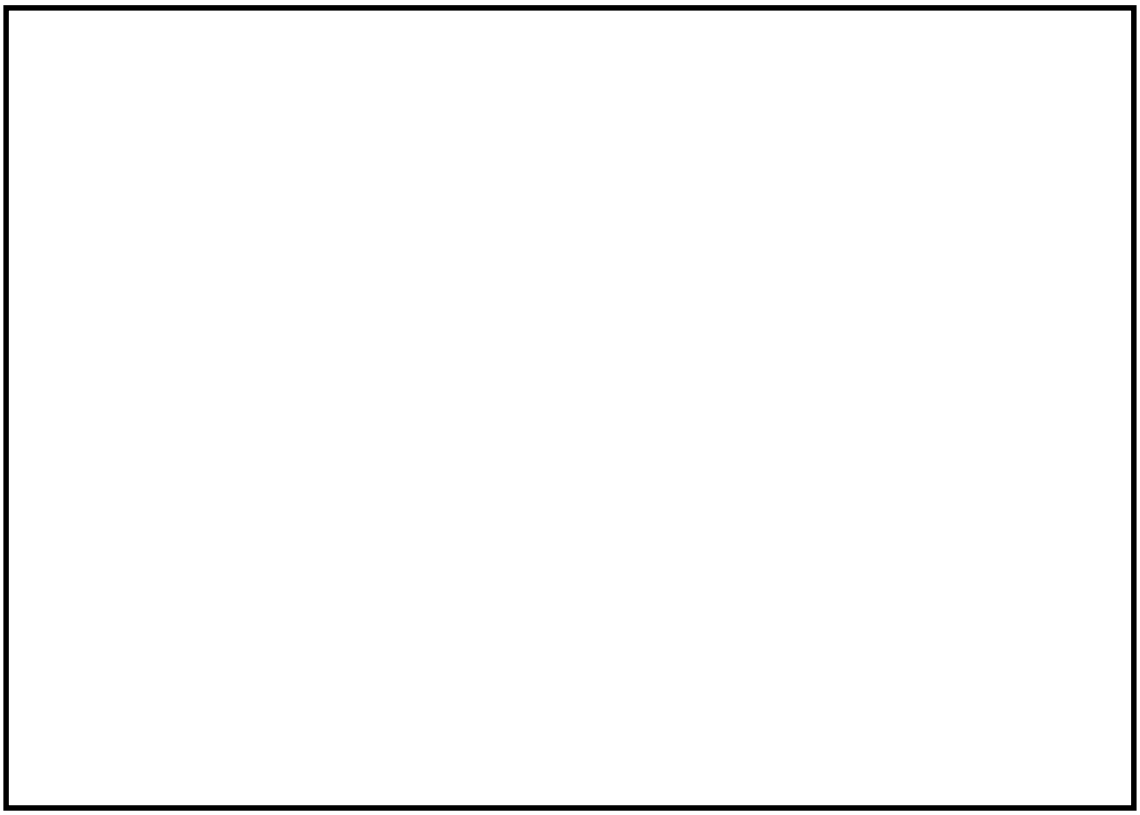
※1　「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じＢ７４７－４００であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2　「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料積載量が最大となるＤｏ２２８－２００であっても $3m^3$ と少量であることから，Ｄｏ２２８－２００よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」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　「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」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　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離



第 2.3.2.2-2 図　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

2.3.2.3　評価結果

(1)　外壁に対する熱影響評価

航空機墜落による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 200℃以下であることを確認した。評価結果（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））を第 2.3.2.3-1 表に，評価結果（使用済燃料乾式貯蔵建屋）を第 2.3.2.3-2 表に示す。

第 2.3.2.3-1 表　建屋表面の到達温度
（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射強度 [W／m²]	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	56.60	53	＜200
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	416.40	71	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	311.08	64	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	3,095.33	183	

※　半無限固体を想定した評価をしているため，離隔距離が同じとなる本評価では，原子炉建屋，タービン建屋及び海水ポンプ室は全て同じ評価結果となる。

第 2.3.2.3-2 表　建屋表面の到達温度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射強度 [W／m²]	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	21.89	51	＜200
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	157.23	58	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	115.58	56	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	264.85	62	

(2)　主排気筒に対する熱影響評価

航空機墜落による火災によって上昇する主排気筒鉄塔表面温度が，許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.2.3-3 表に示す。

第 2.3.2.3-3 表　主排気筒に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射強度［W／m²］	評価温度（℃）	許容温度（℃）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	56.60	52	＜325
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	416.40	63	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	311.08	60	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	3,095.33	142	

(3)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する熱影響評価

航空機墜落による火災によって上昇する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への流入空気の温度が，許容温度 53℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.2.3-4 表に示す。

第 2.3.2.3-4 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）へ流入する空気の到達温度

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射強度［W／m²］	評価温度（℃）	許容温度（℃）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	56.60	45	＜53
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	416.40	45	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	311.08	45	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	3,095.33	50	

(4)　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する熱影響評価

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの冷却空気の温度が，許容温度以下（残留熱除去系海水系ポンプ：70℃，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ：60℃）であることを確認した。評価結果を第 2.3.2.3-5 表及び第 2.3.2.3-6 表に示す。

第 2.3.2.3-5 表　残留熱除去系海水系ポンプの冷却空気の到達温度

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射強度［W／m²］	評価温度（℃）	許容温度（℃）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	56.60	45	＜70
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	416.40	46	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	311.08	46	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	3,095.33	59	

第 2.3.2.3-6 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの冷却空気の到達温度

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射強度［W／m²］	評価温度（℃）	許容温度（℃）
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	56.60	45	＜60
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	416.40	45	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	311.08	45	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	3,095.33	51	

2.3.2.4　危険物貯蔵施設等の火災と航空機墜落火災の重畳

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最も熱影響が大きい F-15 を想定した。重畳する危険物貯蔵施設等は溶融炉灯油タンク及び主要変圧器とした。

評価結果を第 2.3.2.4-1 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 2.3.2.4-1 図に示す。

第 2.3.2.4-1 表　重畳火災による熱影響評価結果

重畳評価の想定ケース	対象施設	評価温度（℃）	許容温度（℃）
溶融炉灯油タンク及び F-15	原子炉建屋	196	＜200
	タービン建屋	187	
	主排気筒	181	＜325
	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	59	＜70
	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	51	＜60
主要変圧器及び F-15	タービン建屋	195※	＜200

※　放熱なしの条件では許容温度を上回るため，放熱を考慮して評価を実施

第 2.3.2.4-1 図　航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置

2.4　二次的影響（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及び有毒ガスに対して，影響が想定される設備並びに居住性に与える影響について評価を実施した。

2.4.2　評価結果

ばい煙及び有毒ガスが，安全上重要な設備及び居住性に影響を及ぼさないことを確認した。

評価結果を第 2.4.2-1 表に示す。

第 2.4.2-1 表　ばい煙等による影響評価結果

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	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）	外気取入フィルタにより一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。それ以下のばい煙は機関内に送気されるが，機器の間隙は，ばい煙に比べて十分大きく，閉塞に至ることはない。通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが，定期的な点検において，ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。（第 2.4.2-1 図）
	外気を取り込む空調系統（室内の空気を取り込む機器を含む。）	・換気空調設備 ・計測制御設備（安全保護系）	外気取入運転を行っている換気空調設備は，外気取入口に設置されたフィルタにより，一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。また，中央制御室換気系は閉回路循環運転を行うことで，ばい煙の侵入を阻止可能である。 計測制御設備（安全保護系）においては，換気空調設備の外気取入口に，フィルタを設置することにより，ばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。ばい煙がこの室内に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。 （第 2.4.2-2 図，第 2.4.2-3 図，第 2.4.2-4 図，第 2.4.2-5 図）
	外気を取り込む屋外設置機器	・残留熱除去系海水系ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ	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。また，ばい煙の粒径は冷却流路及び冷却流路出口の口径と比べて十分小さいことから，閉塞することはない。 （第 2.4.2-6 図，第 2.4.2-7 図）
居住性への影響	中央制御室 緊急時対策所		閉回路循環運転により，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の侵入を阻止可能である。中央制御室給気口位置における航空機墜落火災で発生する有毒ガス濃度を求め，中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを確認した。 （第 2.4.2-2～6 表）

第 2.4.2-2 表　中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	73 時間
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%

第 2.4.2-3 表　中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%

第 2.4.2-4 表　緊急時対策所外気遮断時の酸素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8.6 時間
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%

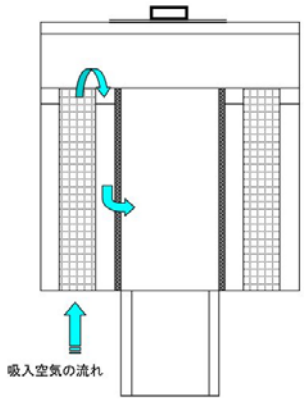
第 2.4.2-5 表　緊急時対策所外気遮断時の炭酸ガス濃度

時間	1 時間	2 時間	4 時間	6.1 時間
炭酸ガス濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%

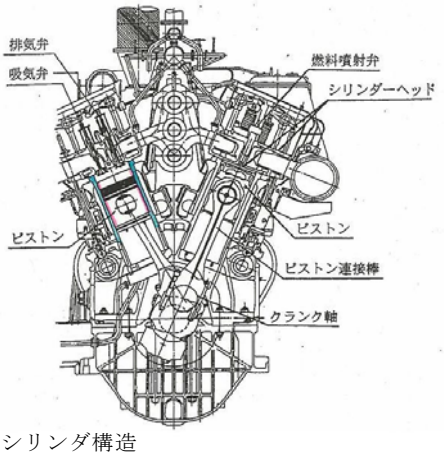
第 2.4.2-6 表　火災発生による有毒ガス濃度

想定火災源	影響評価対象	ガス濃度（ppm）			
		CO_2	CO	SO_2	NO_2
航空機墜落火災（Ｆ－１５）	中央制御室換気系給気口　Ｂ２－１９Ａ	7,883	116	3	15
判断基準：ＩＤＬＨ※		40,000	1,200	100	20

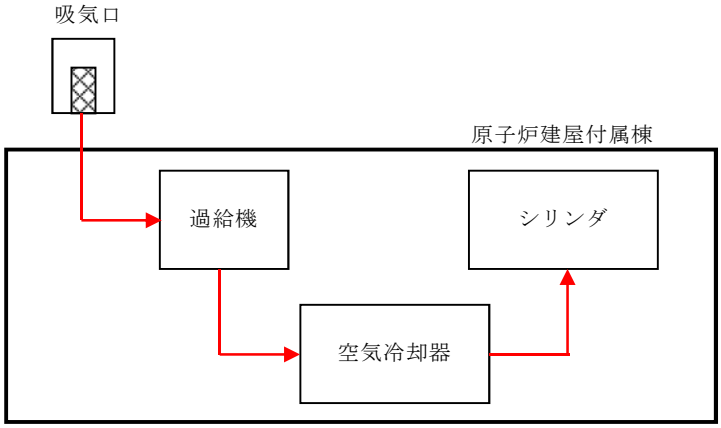
※　30 分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値

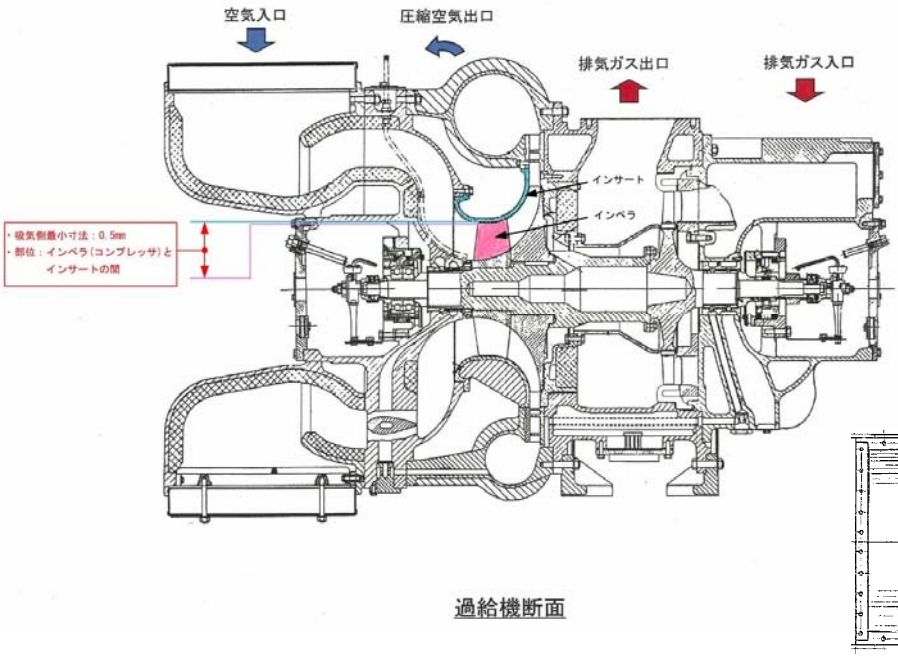


吸気口構造

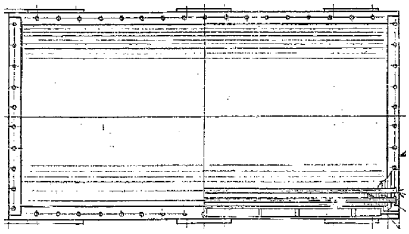


シリンダ構造
（シリンダ／ピストン間隙：数μm～数十μm）



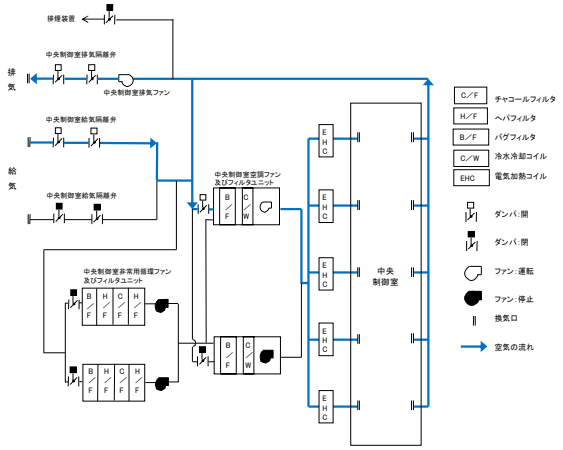


過給機断面

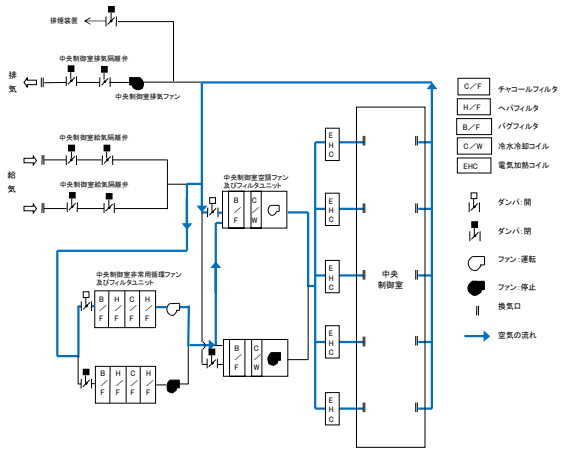


空気冷却器構造
（狭隘部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm）

第 2.4.2-1 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）機関系統構造図

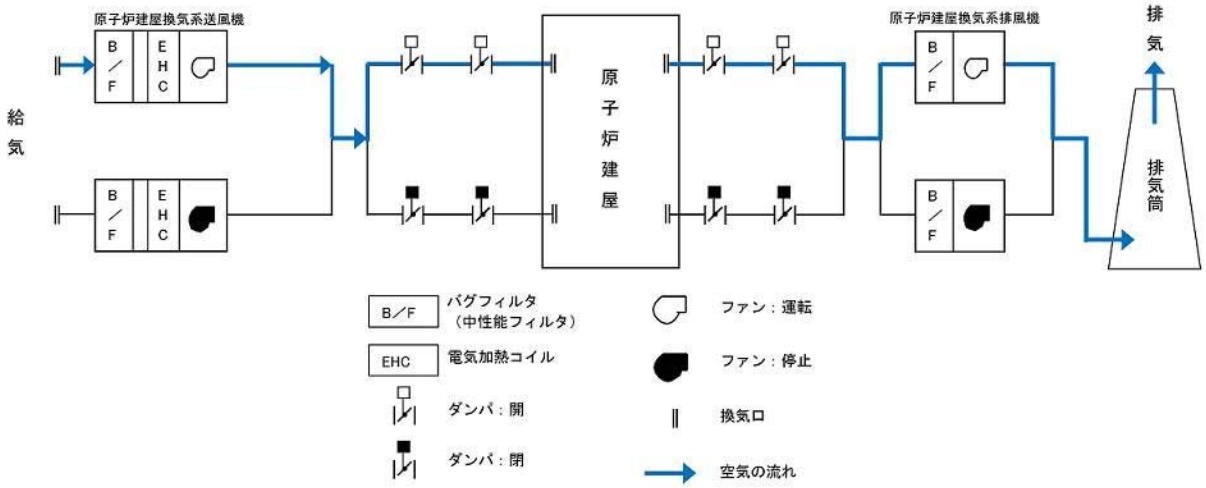


（通常時）

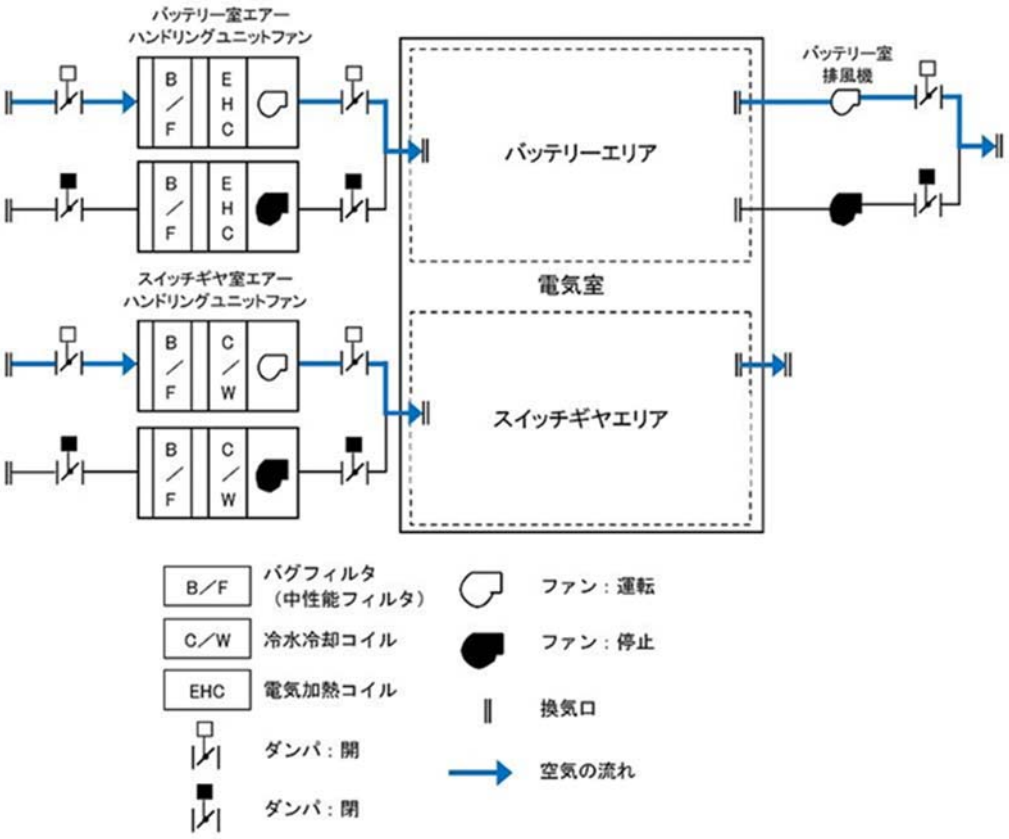


（閉回路循環運転時）

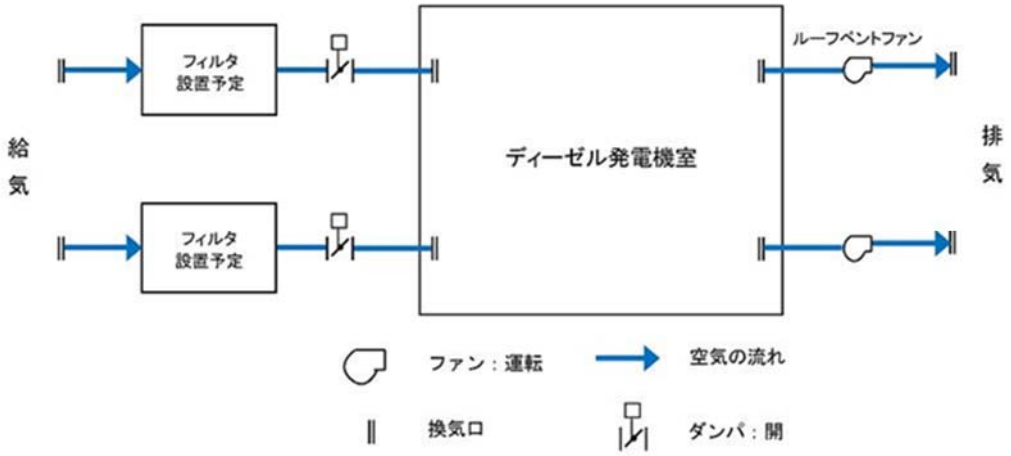
第 2.4.2-2 図　中央制御室換気系の系統概略図



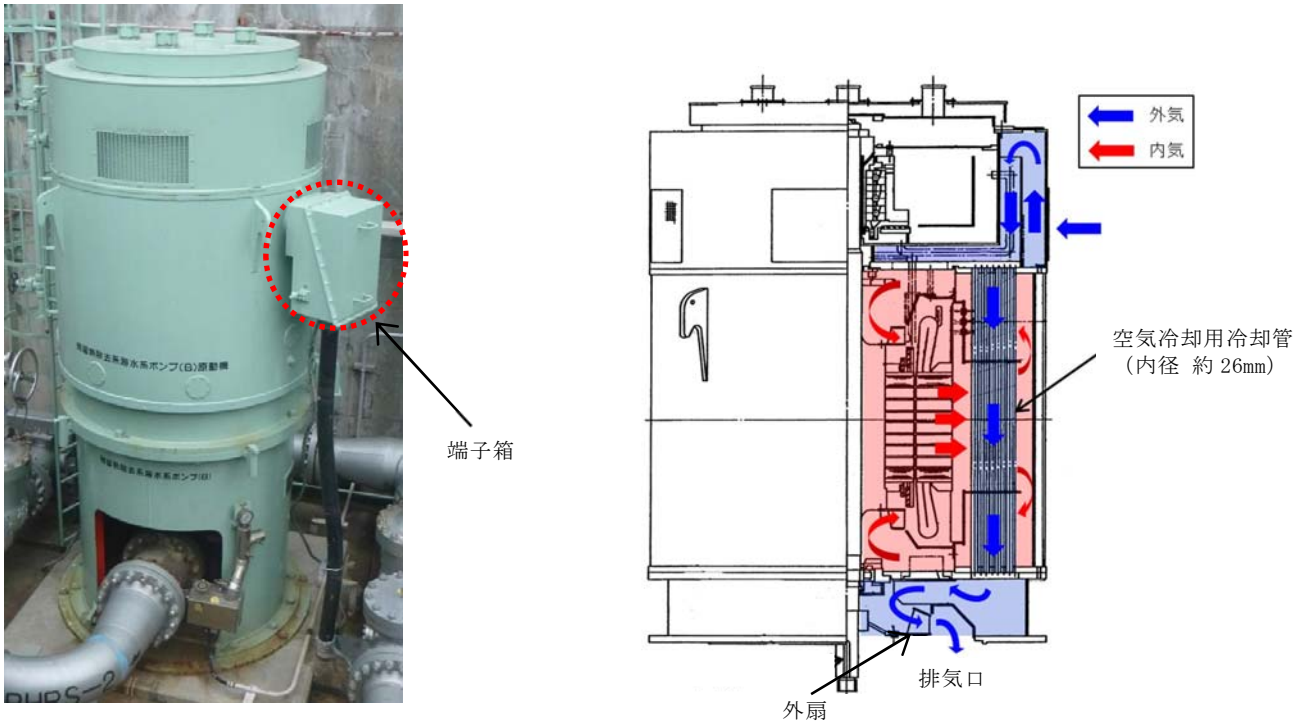
第 2.4.2-3 図　原子炉建屋換気系の系統概略図



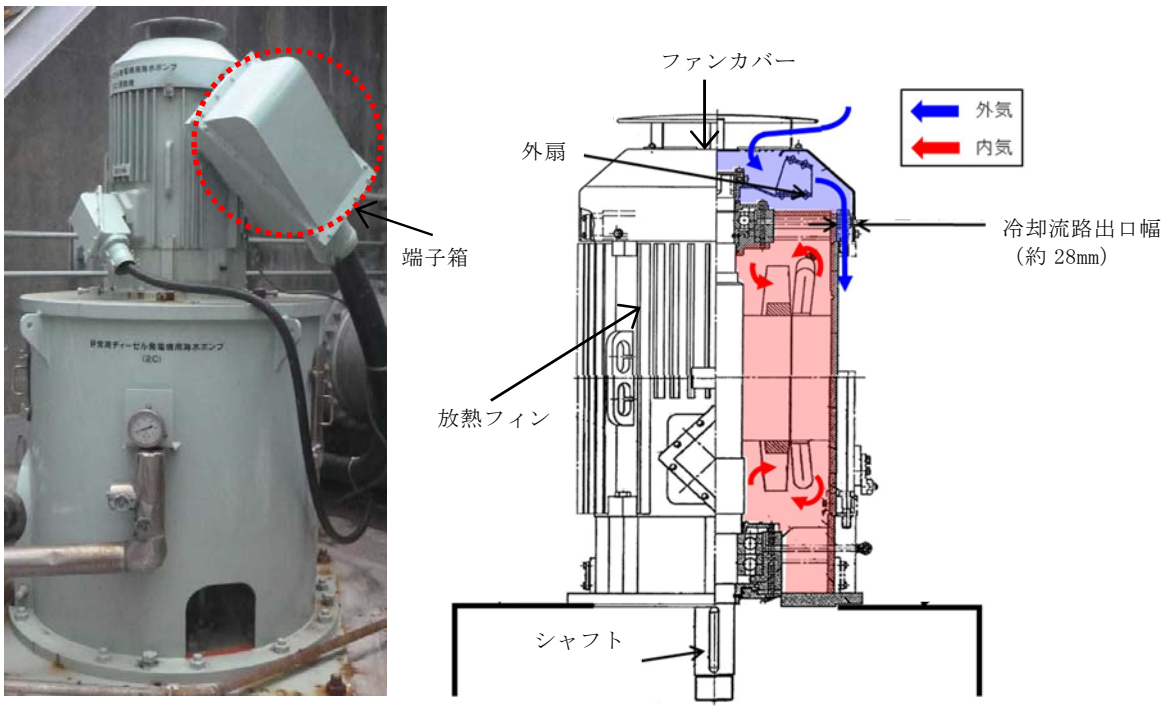
第 2.4.2-4 図　電気室換気系の系統概略図



第 2.4.2-5 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室換気系の系統概略図



第2.4.2-6図　残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図



第 2.4.2-7 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機 構造図

添付資料-1

外部事象防護対象施設と評価対象施設の考え方について

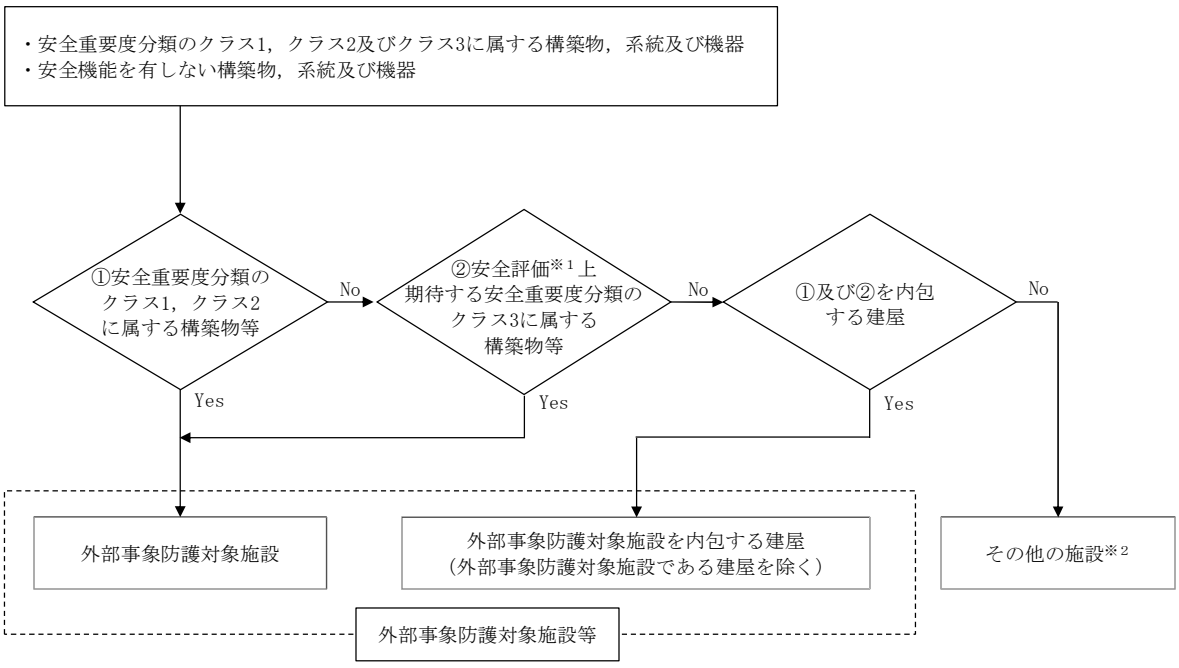
1. 外部火災に対する防護対象及び影響評価対象の考え方

原子力規制委員会が定める「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」の第六条においては，外部からの衝撃による損傷の防止として，安全機能を有する構築物，系統及び機器が，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は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ないとされている。

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，「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に属する構築物，系統及び機器とする。

1.1 外部事象防護対象施設等の抽出

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，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安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器）とする。また，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。外部事象防護対象施設等の抽出フローを第 1.1-1 図に，抽出結果を第 1.1-1 表に示す。



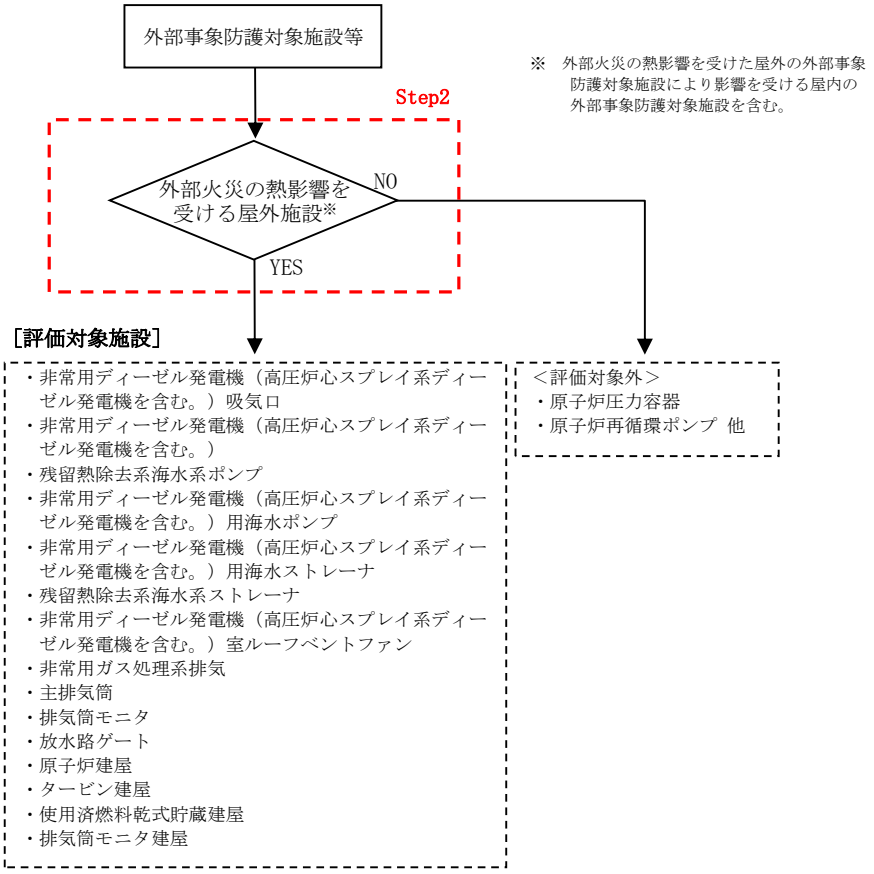
※1　運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析
※2　外部火災による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応が可能であることを確認する。

第 1.1-1 図　外部事象防護対象施設等の抽出フロー

1.2 評価対象施設の抽出

外部事象防護対象施設等のうち，屋内設備は内包する建屋により防護する設計とし，外部火災の影響を受ける屋外施設を評価対象施設とする。

評価対象施設の抽出フローを第 1.2-1 図に，抽出結果を第 1.1-1 表に示す。



第 1.2-1 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

1.3 その他の施設

その他の施設は，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，その安全機能を損なわない設計とする。

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(1/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＰＳ－１	その損傷又は故障により発生する事象によって， (a) 炉心の著しい損傷又は (b) 燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物，系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。）	・原子炉圧力容器 ・原子炉再循環ポンプ ・配管，弁 ・隔離弁 ・制御棒駆動機構ハウジング ・中性子束計装管ハウジング	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	・制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物（炉心シュラウド，シュラウドサポート，上部格子板，炉心支持板，制御棒案内管），燃料集合体（ただし，燃料を除く。）	・炉心シュラウド ・シュラウドサポート ・上部格子板 ・炉心支持板 ・燃料支持金具 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構ハウジング ・燃料集合体の下記部分 （上部タイプレート 下部タイプレート） ・燃料集合体（スペーサ）	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2へ）

第1.1-1表　評価対象施設の抽出結果(2/22)

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	1）原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能））	・制御棒 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		2）未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系，ほう酸水注入系）	・制御棒 ・制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング ・ほう酸水注入系 （ほう酸水注入ポンプ，注入弁，タンク出口弁，ほう酸水貯蔵タンク，ポンプ吸込配管及び弁，注入配管及び弁）	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		3）原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	・逃がし安全弁 （安全弁開機能）	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(3/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	4）原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉 停止時冷却モード），原子炉隔離時冷却系，高圧炉心スプレイ系，逃がし安全弁，（手動逃がし機能），自動減圧系（手動逃がし機能））	・残留熱除去系（ポンプ，熱交換器，原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管，弁）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・原子炉隔離時冷却系（ポンプ，サプレッション・プール，タービン，サプレッション・プールから注水先までの配管，弁）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・逃がし安全弁（手動逃がし機能）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・自動減圧系（手動逃がし機能）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第1.1-1表　評価対象施設の抽出結果(4/22)

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	5）炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイ系，低圧注水系，高圧炉心スプレイ系，自動減圧系）	・低圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールから注水先までの配管，弁（熱交換器バイパスライン含む），注水ヘッダ）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・自動減圧系（逃がし安全弁）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(5/22)

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	6）放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器，原子炉格納容器隔離弁，原子炉格納容器スプレイ冷却系，原子炉建屋，非常用ガス処理系，非常用再循環ガス処理系，可燃性ガス濃度制御系	・格納容器（格納容器本体，貫通部，所員用エアロック，機器搬入ハッチ）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・原子炉建屋原子炉棟	○	－※3	－※3	○	・原子炉建屋
				・格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・主蒸気流量制限器	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード）（ポンプ，熱交換器，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先（ドライウェル及びサプレッション・プール気相部）までの配管，弁，スプレイヘッダ（ドライウェル及びサプレッション・プール）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2 へ)

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(6/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	6）放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器，原子炉格納容器隔離弁，原子炉格納容器スプレイ冷却系，原子炉建屋，非常用ガス処理系，非常用再循環ガス処理系，可燃性ガス濃度制御系	・原子炉建屋ガス処理系（乾燥装置，排風機，フィルタ装置，原子炉建屋原子炉棟吸込口から主排気筒頂部までの配管，弁）	○	－※3	－※3	○（一部は原子炉建屋に内包）	・主排気筒 ・非常用ガス処理系排気筒（その他は原子炉建屋で評価）
				・可燃性ガス濃度制御系（再結合装置，格納容器から再結合装置までの配管，弁，再結合装置から格納容器までの配管，弁）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・遮蔽設備（原子炉遮蔽壁，一次遮蔽壁）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・遮蔽設備（二次遮蔽壁）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	1）工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	・原子炉緊急停止の安全保護回路	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2へ)

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(7/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＭＳ－１	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	1）工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	・非常用炉心冷却系作動の安全保護回路 ・原子炉格納容器隔離の安全保護回路 ・原子炉建屋ガス処理系作動の安全保護回路 ・主蒸気隔離の安全保護回路	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，ＭＳ-1関連のもの）	・非常用所内電源系（ディーゼル機関，発電機，発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）	○	－※3	－※3	○ （一部は原子炉建屋に内包）	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。） ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン （その他は原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(8/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
MS－1	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，MS-1関連のもの）	・非常用所内電源系（ディーゼル機関，発電機，発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・中央制御室及び中央制御室遮蔽	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・中央制御室換気空調系（放射線防護機能及び有毒ガス防護機能）（非常用再循環送風機，非常用再循環フィルタ装置，空調ユニット，送風機，排風機，ダクト及びダンパ）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(9/22)

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＭＳ－１	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，ＭＳ-1関連のもの）	・残留熱除去系海水系（ポンプ，熱交換器，配管，弁，ストレーナ）	○	－※3	－※3	○（一部は原子炉建屋に内包）	・残留熱除去系海水系ポンプ ・残留熱除去系海水系ストレーナ （その他は原子炉建屋で評価）
				・ディーゼル発電機海水系（ポンプ，配管，弁，ストレーナ）	○	－※3	－※3	○（一部は原子炉建屋に内包）	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ （その他は原子炉建屋で評価）
				・直流電源系（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））	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・計測・計装制御電源系（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）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
			その他	放水路ゲート	○	－※3	－※3	○	放水路ゲート

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。(Step2 へ)

第1.1-1表　評価対象施設の抽出結果(10/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
PS－2	1）その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし，原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	主蒸気系，原子炉冷却材浄化系（いずれも，格納容器隔離弁の外側のみ）	・原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・主蒸気系	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋及びタービン建屋に内包）	×（原子炉建屋及びタービン建屋で評価）
				・原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分であって外側隔離弁下流からタービン止め弁まで）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
		2）原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能	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），使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	・放射性気体廃棄物処理系（活性炭式希ガスホールドアップ装置）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・新燃料貯蔵庫（臨界防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(11/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＰＳ－２	1）その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	2）原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能	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），使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	・使用済燃料乾式貯蔵容器	○	－※3	－※3	× （使用済燃料乾式貯蔵建屋に内包）	× （使用済燃料乾式貯蔵建屋で評価）
		3）燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
				・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	○	－※3	－※3	× （使用済燃料乾式貯蔵建屋に内包）	× （使用済燃料乾式貯蔵建屋で評価）
	2）通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって，その故障により，炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物，系統及び機器	1）安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	・逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2 へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(12/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＭＳ－２	1）ＰＳ－２の構築物，系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物，系統及び機器	1）燃料プール水の補給機能	非常用補給水系	・残留熱除去系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールから燃料プールまでの配管，弁）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
		2）放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁，排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	・放射性気体廃棄物処理系（オフガス）隔離弁	○	－※3	－※3	×（タービン建屋に内包）	×（タービン建屋で評価）
				・主排気筒	○	－※3	－※3	○	・主排気筒
				・燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	・原子炉建屋原子炉棟	○	－※3	－※3	○	・原子炉建屋
				・原子炉建屋ガス処理系	○	－※3	－※3	○（一部は原子炉建屋に内包）	・非常用ガス処理系排気筒（その他は原子炉建屋で評価）
	2）異常状態への対応上特に重要な構築物，系統及び機器	1）事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部	・中性子束（起動領域計装） ・原子炉スクラム用電磁接触器の状態 ・制御棒位置	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉圧力	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）
				・原子炉格納容器圧力 ・サプレッション・プール水温度 ・原子炉格納容器エリア放射線量率（高レンジ）	○	－※3	－※3	×（原子炉建屋に内包）	×（原子炉建屋で評価）

※１　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※３　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2 へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(13/22)

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
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	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	[低温停止への移行] ・原子炉圧力 ・原子炉水位（広帯域） [ドライウェルスプレイ] ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉格納容器圧力 [サプレッション・プール冷却] ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・サプレッション・プール水温度 [可燃性ガス濃度制御系起動] ・原子炉格納容器水素濃度 ・原子炉格納容器酸素濃度	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		2）異常状態の緩和機能	BWRには対象機能なし	－	－			－	－
		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（安全停止に関連するもの）	・制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）の操作回路	○	－※3	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(14/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材保持機能（ＰＳ－１，ＰＳ－２以外のもの）	計装配管，試料採取管	・計装配管，弁 ・試料採取管，弁 ・ドレン配管，弁 ・ベント配管，弁	×	×	×	－	－
		2）原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	・原子炉再循環ポンプ，配管，弁，ライザー管（炉内），ジェットポンプ	×	×	×	－	－
		3）放射性物質の貯蔵機能	サプレッションプール水排水系，復水貯蔵タンク，放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの小さいもの）	・復水貯蔵タンク	×	×	×	－	－
				・液体廃棄物処理系（低電導度廃液収集槽，高電導度廃液収集槽）	×	×	×	－	－
				・固体廃棄物処理系（ＣＵＷ粉末樹脂沈降分離槽，使用済樹脂槽，濃縮廃液タンク，固体廃棄物貯蔵庫（ドラム缶））	×	×	×	－	－
				・給水加熱器保管庫	×	×	×	－	－

※１　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(15/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	3）放射性物質の貯蔵機能	サプレッションプール水排水系，復水貯蔵タンク，放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの小さいもの）	・セメント混練固化装置及び雑固体減容処理設備（液体及び固体の放射性廃棄物処理系）	×	×	×	－	－
			新燃料貯蔵庫	・新燃料貯蔵庫（新燃料貯蔵ラック）	×	×	×	－	－
		4）電源供給機能（非常用を除く）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	・発電機及びその励磁装置（発電機，励磁器）	×	×	×	－	－
				・蒸気タービン（主タービン，主要弁，配管）	×	×	×	－	－
				・復水系（復水器を含む）（復水器，復水ポンプ，配管／弁）	×	×	×	－	－
				・給水系（電動駆動給水ポンプ，タービン駆動給水ポンプ，給水加熱器，配管／弁）	×	×	×	－	－

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(16/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	4）電源供給機能（非常用を除く）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	・循環水系（循環水ポンプ，配管／弁）	×	×	×	－	－
				・常用所内電源系（発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路（ＭＳ-1関連以外））	×	×	×	－	－
				・直流電源系（蓄電池，蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路（ＭＳ-1関連以外））	×	×	×	－	－
				・計測制御電源系（電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路（ＭＳ-1関連以外））	×	×	×	－	－
				・送電線	×	×	×	－	－

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(17/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
PS－3	1）異常状態の起因事象となるものであってPS－1，PS－2以外の構築物，系統及び機器	4）電源供給機能（非常用を除く）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	・変圧器（所内変圧器，起動変圧器，予備変圧器，電路）	×	×	×	－	－
				・開閉所（母線，遮断器，断路器，電路）	×	×	×	－	－
		5）プラント計測・制御機能（安全保護機能を除く）	原子炉制御系，運転監視補助装置（制御棒価値ミニマイザ），原子炉核計装の一部，原子炉プラントプロセス計装の一部	・原子炉制御系（制御棒価値ミニマイザを含む） ・原子炉核計装 ・原子炉プラントプロセス計装	×	×	×	－	－
		6）プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	・補助ボイラ設備（補助ボイラ，給水タンク，給水ポンプ，配管／弁）	×	×	×	－	－
				・所内蒸気系及び戻り系（ポンプ，配管／弁）	×	×	×	－	－

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(18/22)

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
PS－3	1）異常状態の起因事象となるものであってPS－1，PS－2以外の構築物，系統及び機器	6）プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	・計装用圧縮空気設備（空気圧縮機，中間冷却器，配管／弁）	×	×	×	－	－
				・原子炉補機冷却水系（原子炉補機冷却ポンプ，熱交換器，配管／弁）	×	×	×	－	－
				・タービン補機冷却水系（タービン補機冷却ポンプ，熱交換器，配管／弁）	×	×	×	－	－
				・タービン補機冷却海水系（補機冷却海水ポンプ，配管／弁，ストレーナ）	×	×	×	－	－

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(19/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	6）プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	・復水補給水系（復水移送ポンプ，配管／弁）	×	×	×	－	－
	2）原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物，系統及び機器	1）核分裂生成物の原子炉冷却材中の放散防止機能	燃料被覆管	・燃料被覆管 ・上/下部端栓 ・タイロッド	×	×	×	－	－
		2）原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系，復水浄化系	・原子炉冷却材浄化系（再生熱交換器，非再生熱交換器，ＣＵＷポンプ，ろ過脱塩装置，配管／弁）	×	×	×	－	－
				・復水浄化系（復水脱塩装置，配管／弁）	×	×	×	－	－

※１　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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1.1-1表　評価対象施設の抽出結果(20/22)

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス1，2に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス3に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
MS－3	1）運転時の異常な過渡変化があってもMS－1，MS－2とあいまって，事象を緩和する構築物，系統及び機器	1）原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能），タービンバイパス弁	・逃がし安全弁（逃がし弁機能）	×	○	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
				・タービンバイパス弁	×	○	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		2）出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能），制御棒引抜監視装置	・原子炉再循環制御系 ・制御棒引抜阻止インターロック ・選択制御棒挿入系の操作回路	×	○	－※3	× （原子炉建屋に内包）	× （原子炉建屋で評価）
		3）原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系，原子炉隔離時冷却系	・制御棒駆動水圧系（ポンプ，復水貯蔵タンク，復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管及び弁）	×	×	×	－	－
				・原子炉隔離時冷却系（ポンプ，タービン）	×	×	×	－	－

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※3　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(21/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＭＳ－３	2）異常状態への対応上必要な構築物，系統及び機器	1）緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所，試料採取系，通信連絡設備，放射能監視設備，事故時監視計器の一部，消火系，安全避難通路，非常用照明	・緊急時対策所	×	×	×	－	－
				・試料採取系（異常時に必要な下記の機能を有するもの。原子炉冷却材放射性物質濃度サンプリング分析，原子炉格納容器雰囲気放射性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）	×	×	×	－	－
				・放射線監視設備（排気筒モニタ）	×	○	－※3	○（一部は排気筒モニタ建屋に内包）	・排気筒モニタ（その他は排気筒モニタ建屋で評価）
				・放射線監視設備（排気筒モニタ以外）	×	×	×	－	－

※１　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び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
※３　外部事象防護対象施設として抽出しているため本項目には該当しない。（Step2 へ）

第 1.1-1 表　評価対象施設の抽出結果(22/22)

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1			Step2	抽出結果
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	①安全重要度分類のクラス１，２に属する構築物等	②安全評価上※2期待する安全重要度分類のクラス３に属する構築物等	①及び②を内包する建屋	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
ＭＳ－３	2）異常状態への対応上必要な構築物，系統及び機器	1）緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所，試料採取系，通信連絡設備，放射能監視設備，事故時監視計器の一部，消火系，安全避難通路，非常用照明	・事故時監視計器の一部	×	×	×	－	－
				・消火系（水消火設備，泡消火設備，二酸化炭素消火設備，等）	×	×	×	－	－
				・消火系（中央制御室排煙装置）	×	×	×	－	－
				・安全避難通路	×	×	×	－	－
				・非常用照明	×	×	×	－	－

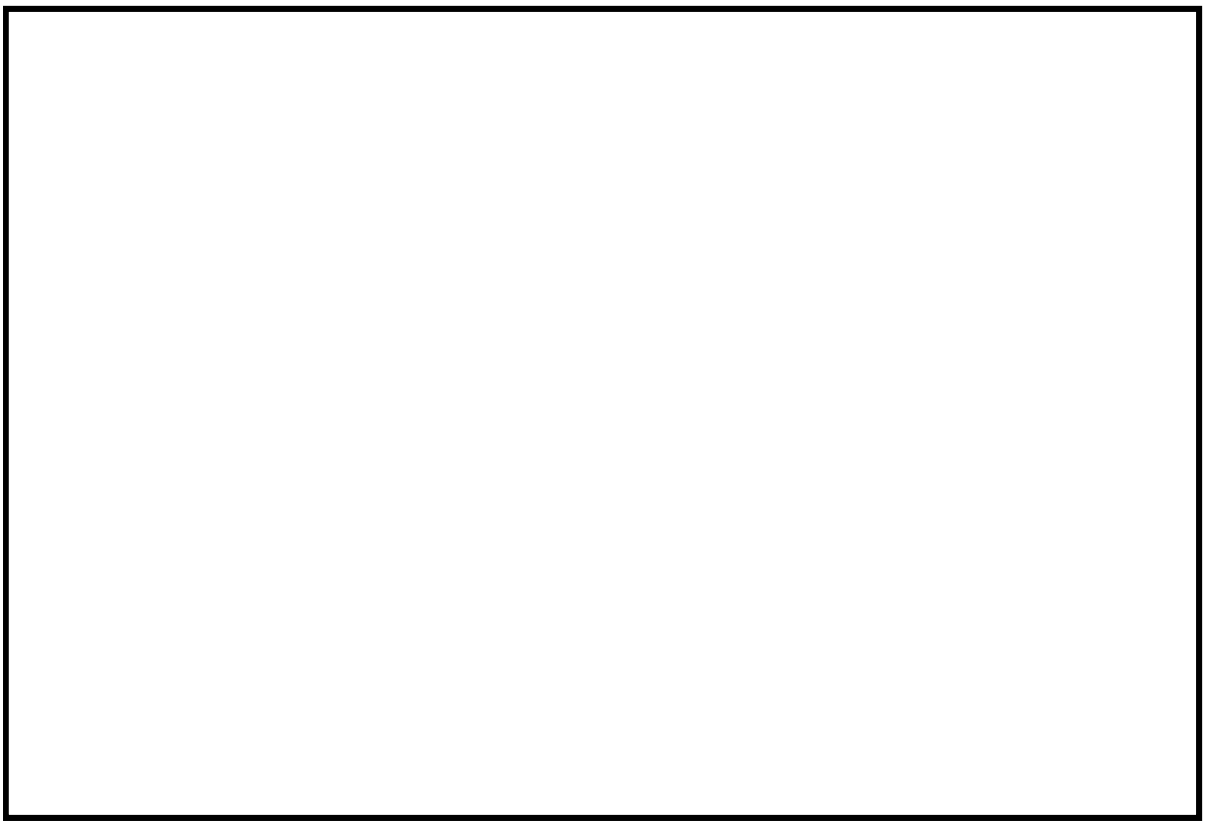
※１　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。
※２　運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

2. 影響評価内容

(1) 熱影響評価

評価対象施設のうち，原子炉建屋内，タービン建屋内及び使用済燃料乾式貯蔵建屋については,「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき，当該建屋の外側コンクリート壁の温度評価を実施し，コンクリートの健全性が確保されることを確認する。

また，評価対象施設のうち，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ，主排気筒，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）及び放水路ゲートについては，屋外に設置されていることから，これらの施設の設置状況等を考慮して熱影響を評価する。（第 2-1 図参照）



第 2-1 図　外部火災に対する評価対象施設配置図

(2)　二次的影響評価

外部火災の二次的影響評価として，ばい煙等による機器への影響評価を実施する。

ばい煙等による機器への影響として，外気を直接設備内に取り込む機器，外気を取り込む空調系統（室内の空気を取り込む機器を含む。）及び外気を取り込む屋外設置機器を評価対象設備として選定し評価する。

また，ばい煙等による中央制御室に対する居住性への影響を評価する。

(3)　放水路ゲートについて

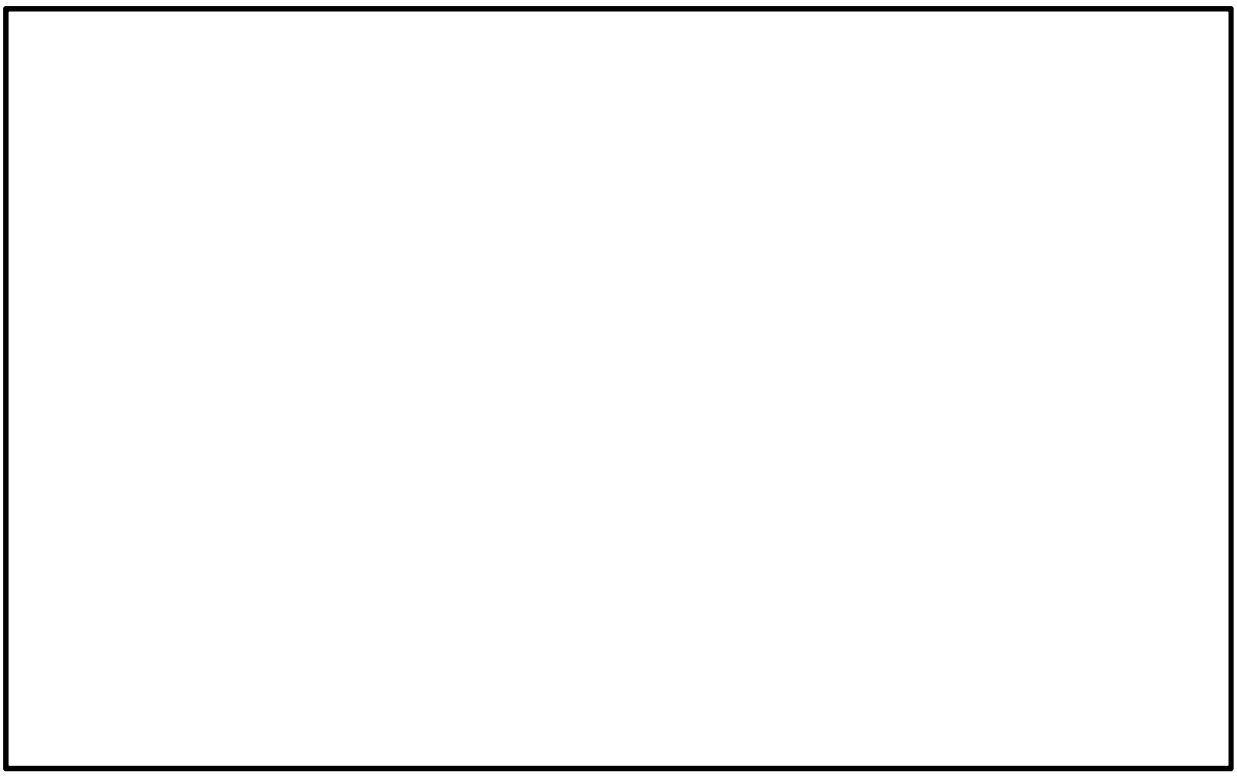
評価対象施設のうち放水路ゲートについては，津波の流入を防ぐための閉止機能を有している。航空機落下を起因として津波が発生することはないこと及び放水路ゲートは，大量の放射性物質を蓄えておらず，原子炉の安全停止（炉心冷却を含む。）機能を有していないため，航空機落下確率を算出する標的面積として抽出しないことから，航空機墜落による火災は設計上考慮しない。

(4)　排気筒モニタ及び排気筒モニタ建屋について

評価対象施設のうち排気筒モニタについては，放射性気体廃棄物処理施設の破損の検出手段として期待している。外部火災を起因として放射性気体廃棄物処理施設の破損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，安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで，排気筒モニタ建屋も含め安全機能を損なわない設計とするため，排気筒モニタ及び排気筒モニタ建屋の詳細検討は不要とする。

(5)　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

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン及び非常用ガス処理系排気筒については，他の評価対象施設の評価に包絡されるため，詳細検討は不要とする。包絡される根拠を以下に示す。また，各対象の位置を第 2-2 図に示す。



第 2-2 図　他の評価対象施設に包絡される対象の位置

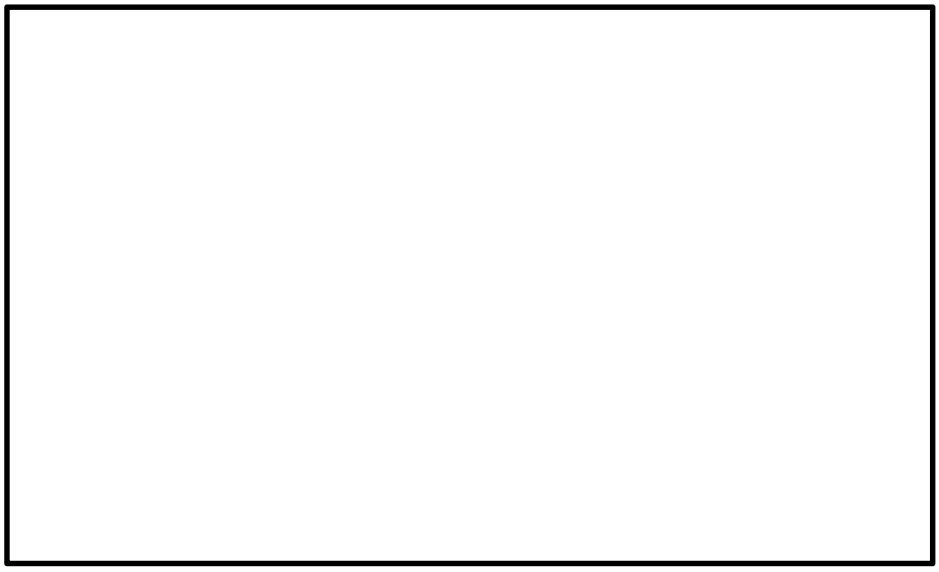
a.　残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレ

ーナは以下の理由により同じ海水ポンプ室内にあり動的機器である残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの評価に包絡される。

・海水ポンプ室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海水ポンプ室外壁までとしているため，離隔距離が同じとなる。海水ポンプとストレーナの位置を第 2-3 図に示す。

・動的機器である残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプは，受ける熱の躯体及び冷却空気への影響度を踏まえ，より影響が大きい冷却空気への評価を行っており，この躯体への熱影響の評価は，同じ材質であるストレーナに対しても同じ結果となる。



第 2-3 図　海水ポンプとストレーナの位置

b.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発

電機を含む。）吸気口及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，以下の理由により，主排気筒の評価に包絡される。

・同じ鋼材である主排気筒の方が，吸気口及びルーフベントファンより火災源からの離隔距離が短く熱影響が大きい。敷地内の火災源から各対象までの離隔距離を第 2-1 表に示す。

・ルーフベントファンは，ディーゼル発電機室の排気を行う設備であり，熱影響を受けた排気が他の設備に影響を及ぼすことはない。

第 2-1 表 敷地内の火災源から各対象までの離隔距離

分類	火災源	火災源までの離隔距離	
		吸気口及び ルーフベントファン※1	主排気筒
森林火災	森林火災	267m	266m
敷地内火災	溶融炉灯油タンク	—※2	21m
	主要変圧器	—※2	—※2
	所内変圧器	—※2	—※2
	起動変圧器	—※2	—※2
航空機火災	Ｆ－１５	22m	22m

※１　火災源から，吸気口及びルーフベントファンが位置する原子炉建屋までの離隔距離

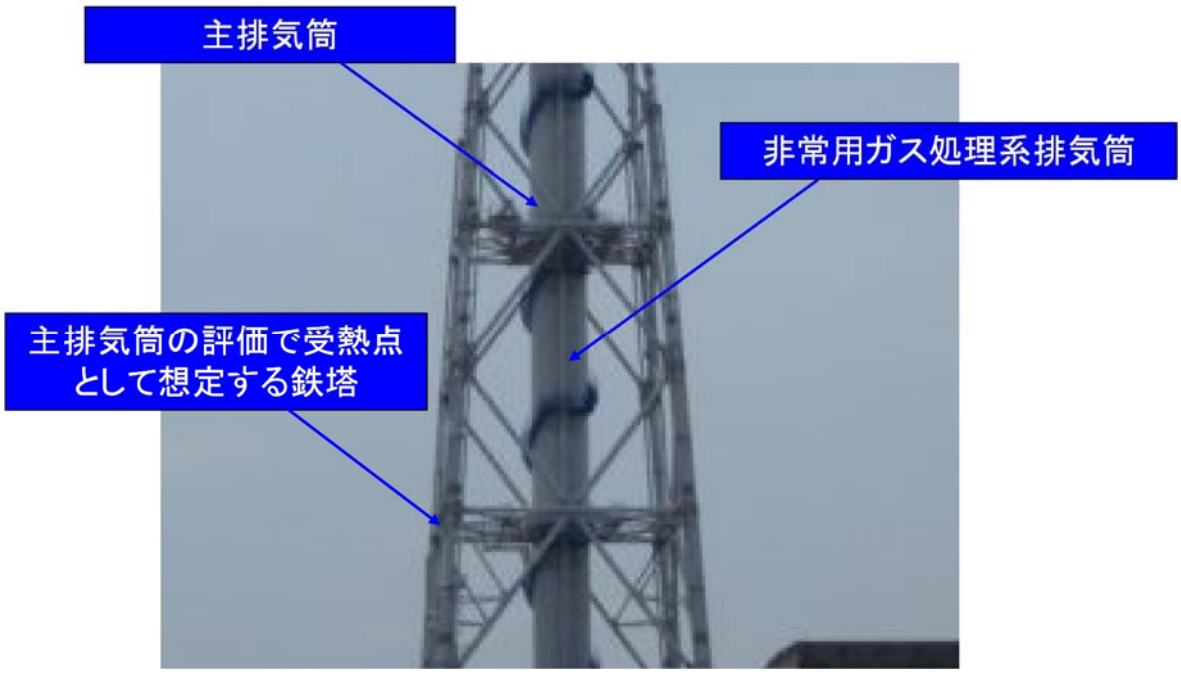
※２　火災源から対象が臨まない

c.　非常用ガス処理系排気筒

非常用ガス処理系排気筒は，以下の理由により主排気筒の評価に包絡される。

・主排気筒の評価は，主排気筒周囲の鉄塔を評価点としているため，非常用ガス処理系排気筒より火災源からの離隔距離が短く，熱影響が大きい。主排気筒と非常用ガス処理系排気筒の位置を第 2-4 図に示す。

・主排気筒及び非常用ガス処理系排気筒の熱影響の評価は，同じ材質である非常用ガス処理系排気筒の方が，離隔距離が長いため低い結果となる。



第 2-4 図　非常用ガス処理系排気筒と主排気筒の位置

3. 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，防火帯幅の確保及び建屋外壁等により防護する。

4. 津波防護施設について

以下の対応を行い，津波防護施設の機能維持を図る。

・森林火災に対しては，離隔距離を確保する。

・可燃物火災に対しては，散水を行い津波防護施設の温度上昇を抑制し，万が一，津波防護施設に熱影響が及んでいる可能性がある場合は，当該箇所の健全性を評価し，機能に支障がある場合は，プラントを停止し速やかに強度を保つよう補修を行う。

添付資料-2

森林火災による影響評価について

1. 目 的

発電所敷地外で発生する森林火災が，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以下の項目により評価した。

(1) 火炎の到達時間

(2) 防火帯幅

(3) 熱影響

(4) 危険距離

2. 森林火災の影響評価要領

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ａ 森林火災の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に従い森林火災を想定※し，発電所への影響について評価した。

なお，森林火災の解析に当たっては，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を使用し解析を実施した。

※森林火災の想定（評価ガイドより）
（１） 森林火災における各樹種の可燃物量は現地の植生から求める。
（２） 気象条件は過去 10 年間を調査し，森林火災の発生件数の多い月の最小湿度，最高気温，及び最大風速の組合せとする。
（３） 風向は卓越方向とし，発電所の風上に発火点を設定する。ただし，発火源と発電所の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は，風向データ等から適切に設定できるものとする。
（４） 発電所からの直線距離 10km の間で設定する。
（５） 発火源は最初に人為的行為を考え，道路沿いを発火点とする。さらに，必要に応じて想定発火点を考え評価する。

2.1　ＦＡＲＳＩＴＥ評価に用いたデータ

(1)　各種入力データ

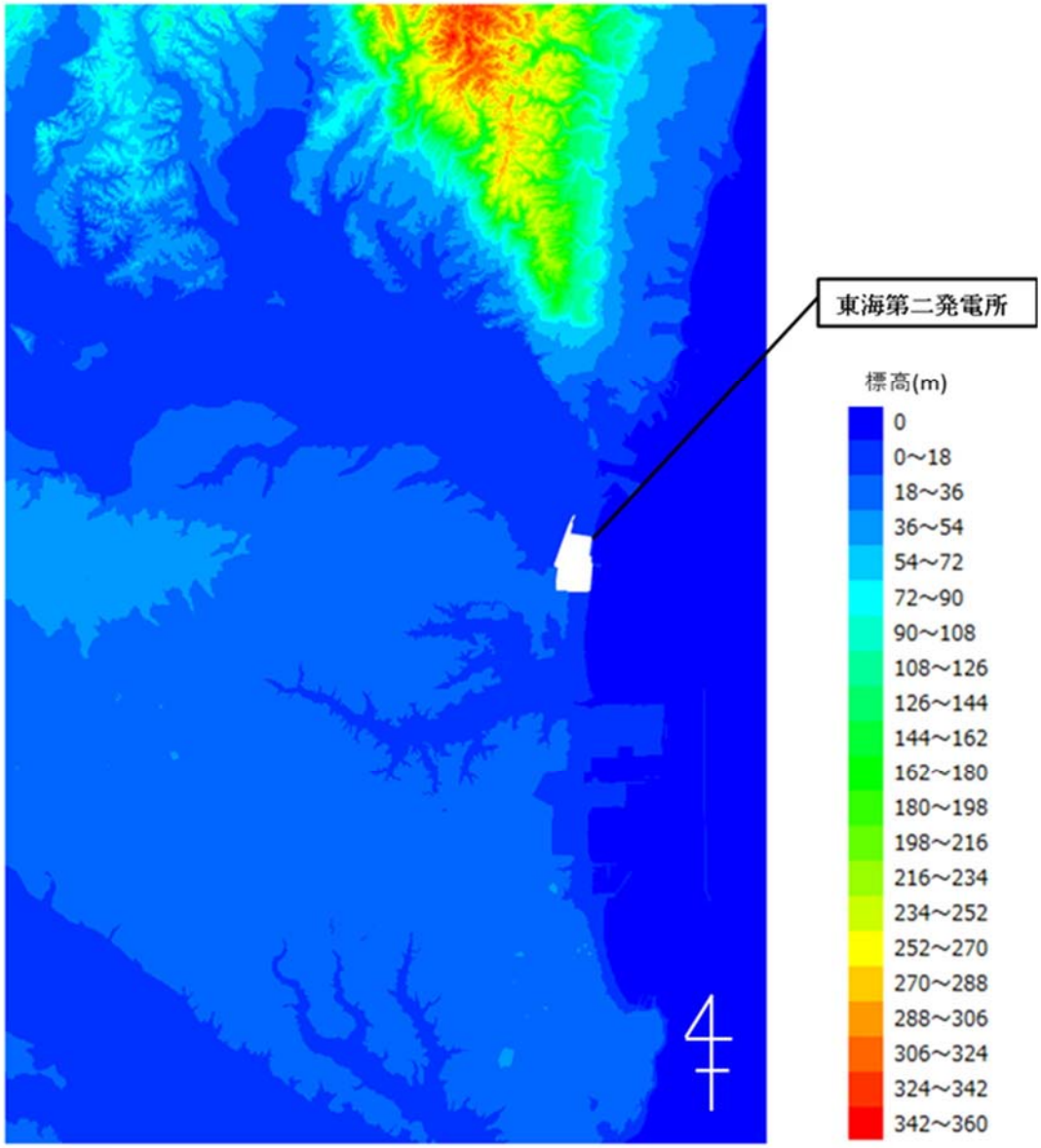
ＦＡＲＳＩＴＥに入力したデータは評価ガイド記載に対し第 2.1-1 表のとおりとした。

第 2.1-1 表　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ

データ種類	入力データ
地形データ	公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。
土地利用データ	公開情報の中でも高い空間解像度である「国土数値情報土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。
植生データ	茨城県より受領した森林簿（東西南北 12km）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・林齢にて細分化し 10m メッシュで入力した。 発電所敷地内は，植生調査を実施し，入力データに反映した。
気象データ	茨城県に森林火災の発生件数の多い１２月～５月の過去 10 年間の気象条件を調査し，最大風速，最高気温，最小湿度，卓越風向及び最大風速時の風向を用いた。

(2)　地形データの設定

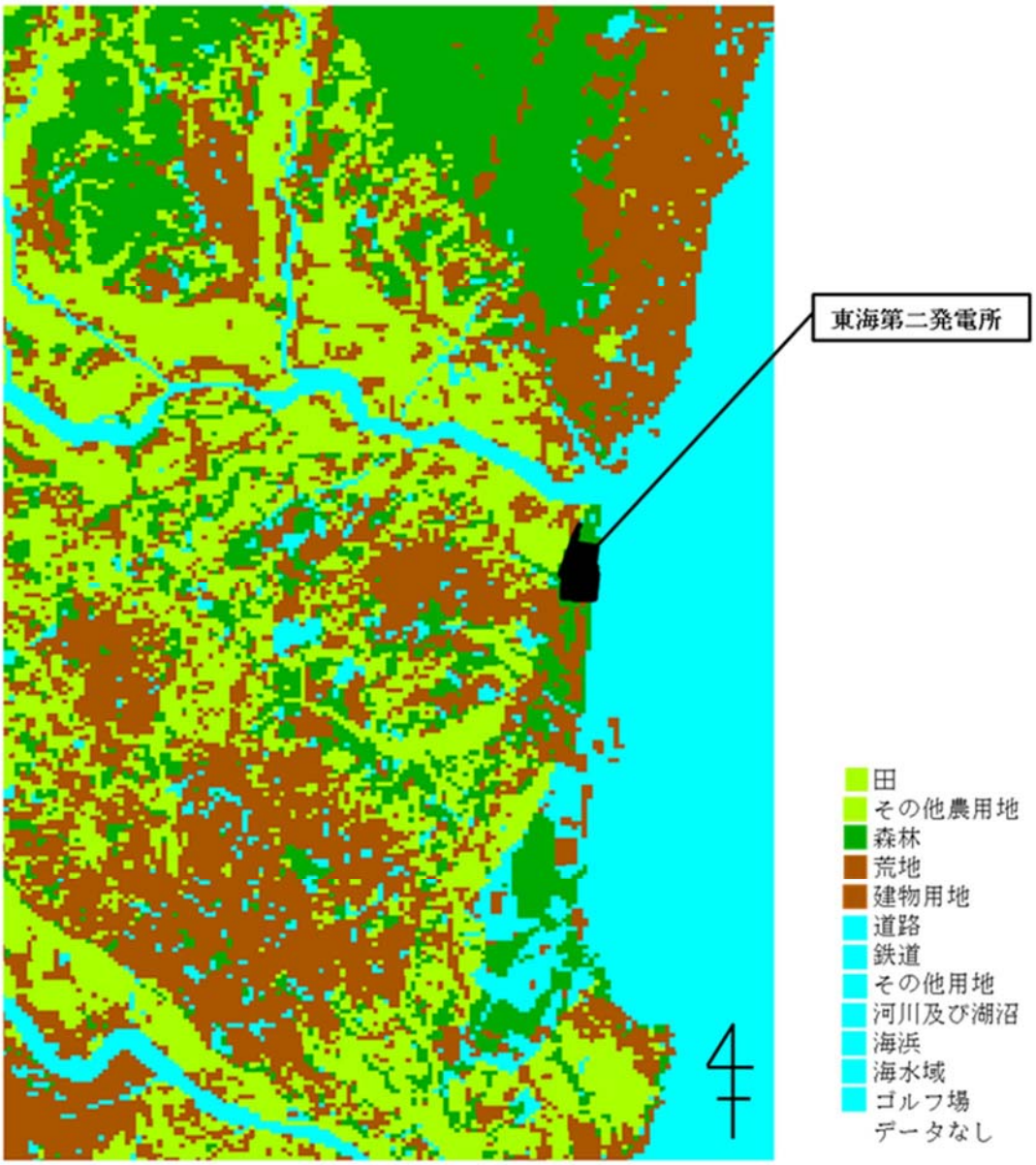
公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。設定した地形データを第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図　地形データ

(3)　土地利用データの設定

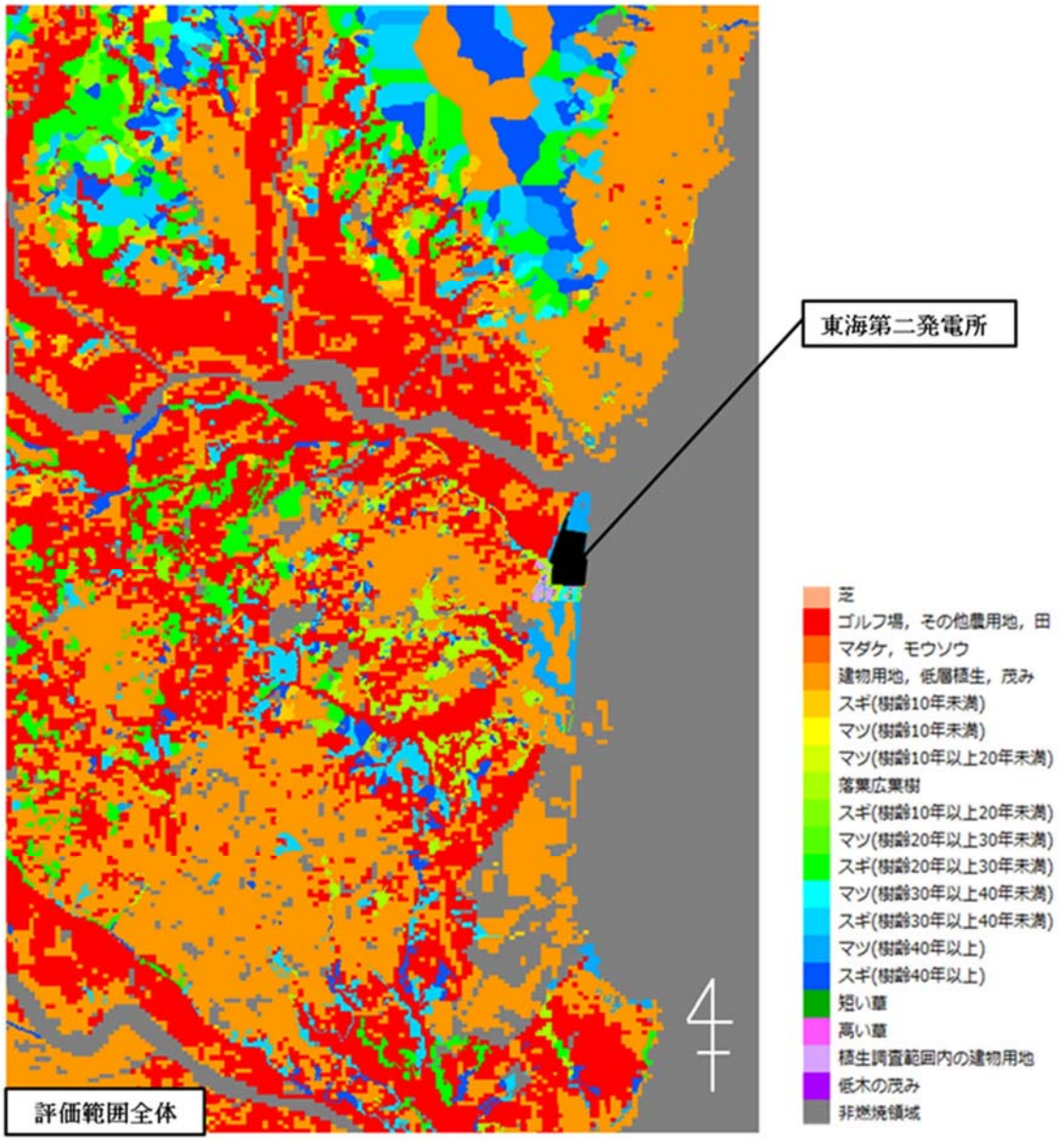
公開情報の中でも高い空間解像度である「国土数値情報　土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。設定した土地利用データを第 2.1-2 図に示す。



第 2.1-2 図　土地利用データ

(4)　植生データの設定

茨城県より受領した森林簿（東西南北 12km）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・林齢にて細分化し 10m メッシュで入力した。発電所敷地周辺は，植生調査を実施し，入力データに反映した。設定した植生データを第 2.1-3 図に示す。



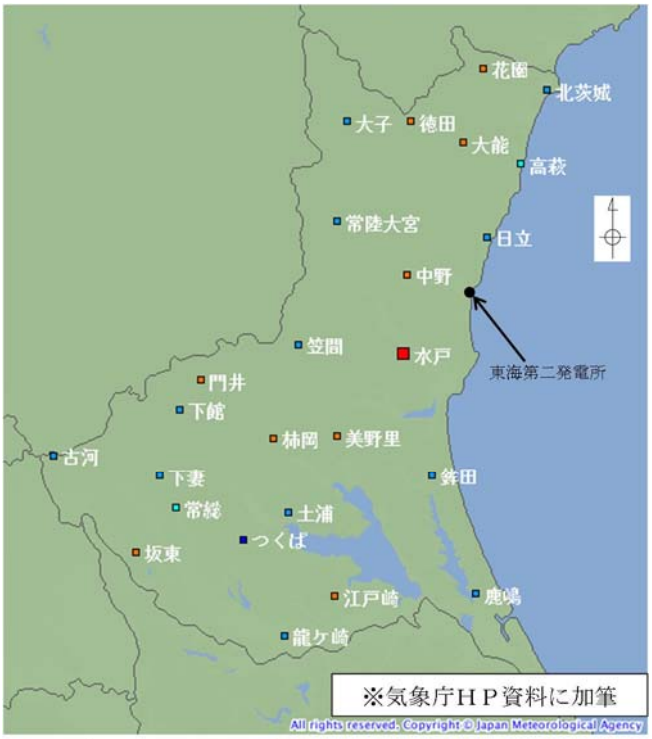
第 2.1-3 図　植生データ

(5)　気象条件の設定

a．気象データの整理

気象データは気象庁が公開している気象統計情報を用い，第 2.1-2 表に示すＦＡＲＳＩＴＥ入力に必要なデータ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最小湿度）を全て観測・記録している観測所のうち，東海第二発電所に最も近い距離（約 15km）にある水戸地方気象台の気象観測データをそれぞれ過去 10 年間（2007 年～2016 年）の月別データから第 2.1-2 表のとおり抽出・整理した。

茨城県内における気象庁気象観測所位置を第 2.1-4 図に示す。



シンボル	観測所の種類	観測要素
■	気象台	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	地域気象観測所(アメダス)	降水量
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深

〈出典〉気象庁ＨＰ
http://www.jma.go.jp/jp/amedas_h/map26.html

第 2.1-4 図　茨城県内の気象観測所位置

卓越風向は，水戸地方気象台と発電所の過去 10 年間（2007 年～2016 年）の観測データから第 2.1-5 図，第 2.1-6 図のとおり抽出・整理した。

b．森林火災発生件数の整理

「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）により，茨城県内の月別森林火災件数を第 2.1-2 表のとおり抽出・整理した。

c．気象データの選定

森林火災件数の多い 12 月～5 月の最高気温（30.8℃），最大風速（17.5m／s）及び最小湿度（11%）を選定した。

最大風速記録時の風向は第１位の北東に加え，第２位の最大風速記録時の風向となる 3 月の南西を選定した。

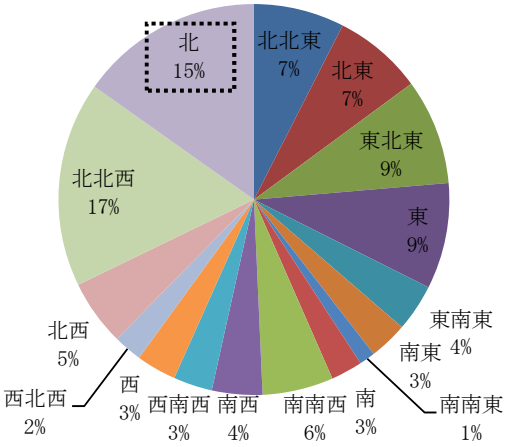
卓越風向は，水戸地方気象台観測データの高い割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

上記で選定したデータを第 2.1-2 表に赤枠で示す。

第 2.1-2 表　気象観測データと月別火災発生件数（過去 10 年間）

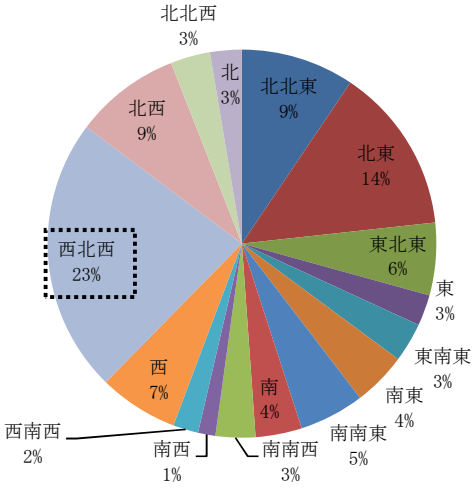
月	水戸地方気象台　気象観測データ					茨城県内の月別森林火災件数※
	最高気温（℃）	最大風速（m／s）	最大風速記録時の風向		最小湿度（%）	
			第 1 位	第 2 位		
1	16.9	17.5	北東	北東	17	79
2	24.3	17.5	北北東	北東	13	86
3	25.9	14.3	北東	北北東，南西	11	131
4	29.3	15.1	北北東	北東	13	126
5	30.8	13.5	北東	北北東	13	54
6	33.5	14.2	北北東	北北東	21	10
7	36.4	11.8	北北東	北北東	35	13
8	37.0	12.9	北東	北北東	35	24
9	36.1	13.9	北北東	南南西	29	23
10	31.4	17.4	北北東	北北東	22	11
11	24.5	11.8	北北東	北北東	18	4
12	23.8	10.6	北東	西	17	33

※　「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）より



第 2.1-5 図　卓越風向割合

（水戸地方気象台：2007 年～2016 年）



第 2.1-6 図　卓越風向割合

（発電所：2007 年～2016 年）

(6)　発火点の設定

a．発火点の設定方針

評価ガイドにある森林火災の想定に基づき，発火点の設定は以下の方針とした。

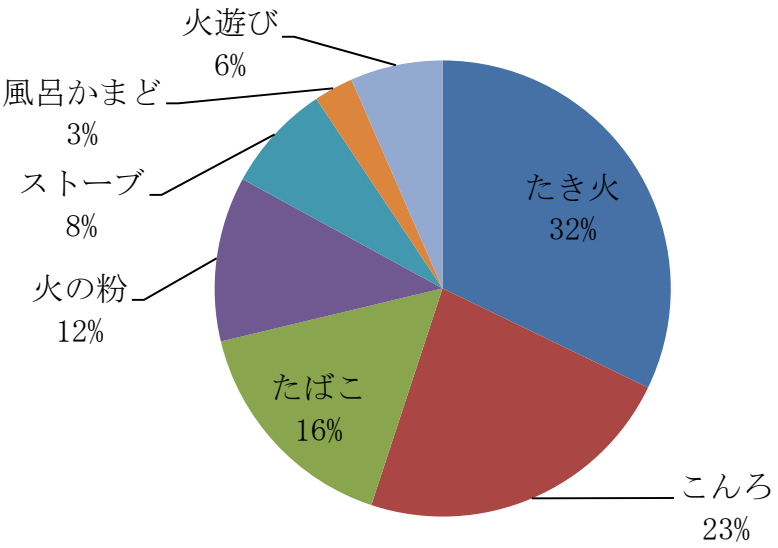
・卓越風向及び最大風速記録時の風向が発電所の風上になる地点

・たき火等の人為的な火災発生原因が想定される地点

なお，茨城県内での主な火災発生原因は，「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）によると，たき火，こんろ，たばこである。

第 2.1-7 図に出火原因割合を示す。

この結果に加え，発電所周囲の地理的状況等を考慮し，人為的な火災発生原因を想定した。



「消防防災年報」（茨城県 2006 年～2015 年）より

第 2.1-7 図　出火原因割合

b．立地条件を考慮した発火点の設定

発電所周囲の特徴としては，以下の４点が挙げられる。

・発電所周囲は平坦な地形であり，住宅街や水田が多い。

・発電所のすぐ脇を国道が通る。

・発電所近傍に砂浜海岸がある。

・発電所に産業施設が隣接する。

このため，上記を踏まえ，卓越風向及び最大風速記録時の風向として抽出した 4 方向（西北西，北，南西，北東）に対し，発火点を以下のとおり設定した。設定した発火点を第 2.1-8 図，発火点と植生データの関係を第 2.1-9 図，発火点と標高データとの関係図を第 2.1-10 図に示す。

(a)　西北西方向（発火点 1，3）

霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道２４５号線を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道２４５号線沿いの霊園に発火点 1 を設定した。

火入れ・たき火等を想定し，県道２８４号線沿いの水田に，発火点 1 より遠方となる発火点 3 を設定した。

(b)　北方向（発火点 2，4）

バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿いに発火点 2 を設定した。

釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，海岸沿いに発火点 2 より遠方となる発火点 4 を設定した。

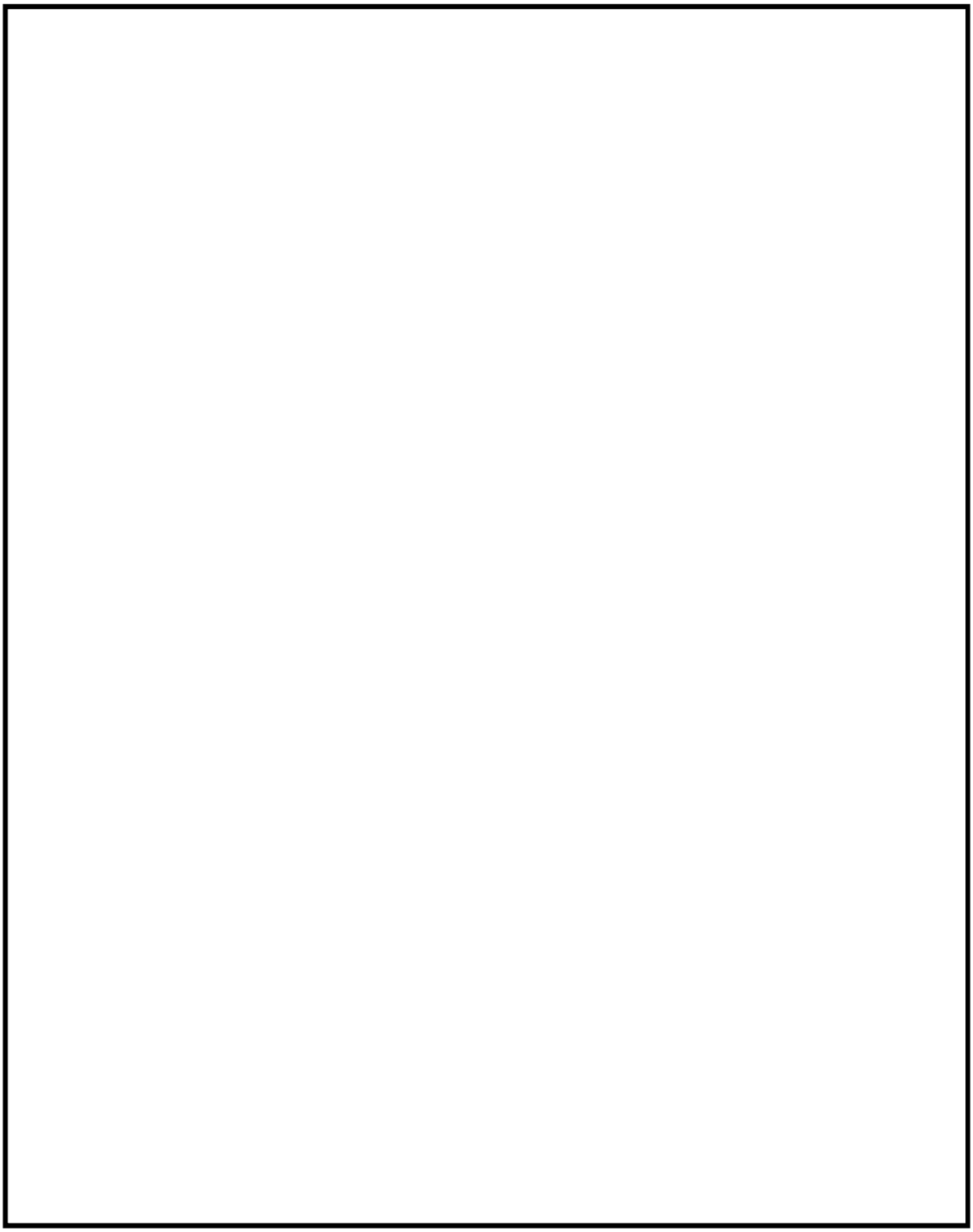
(c)　南西方向（発火点 5，6）

発電所南方向にある危険物貯蔵施設の屋外貯蔵タンクからの火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物貯蔵施設の近くに発火点 5 を設定した。

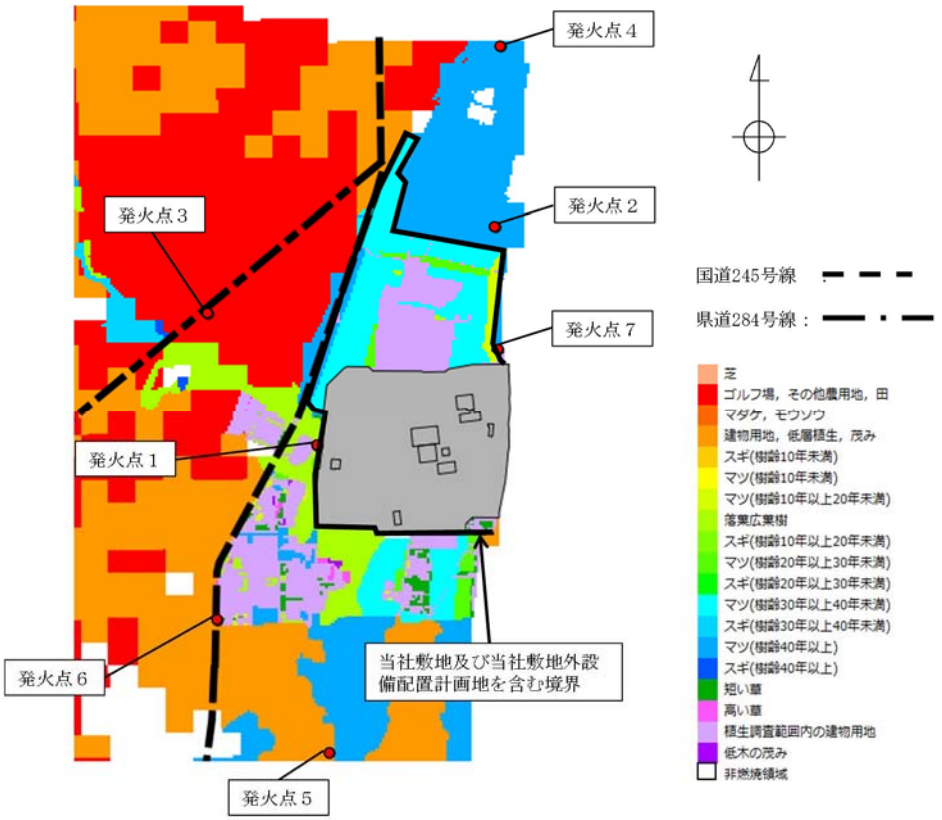
交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道２４５号線沿いに発火点 6 を設定した。

(d)　北東方向（発火点７）

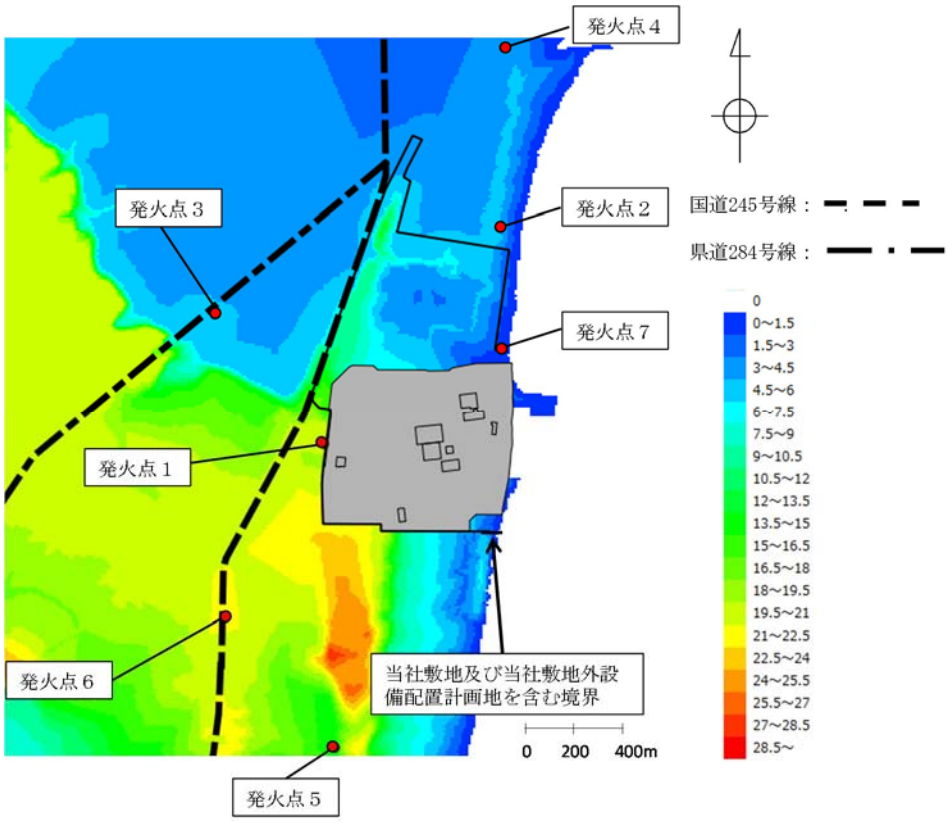
釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿いに発火点７を設定した。



第 2.1-8 図　発火点と発電所の位置関係



第 2.1-9 図　発火点位置と植生データ



第 2.1-10 図　発火点位置と標高データ

c．森林火災評価における発火点の妥当性

(a)　発火点 1，3 の妥当性

発火点 1 の周辺はマツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）と広葉樹の森林，発火点 3 の周辺は水田（評価では Tall grass を入力）である。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生・標高差に大きな違いはないことから，風が発電所に向う発火点 1，3 の評価結果に包絡される。また，同じ風向で評価を行う発火点 1，3 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(b)　発火点 2，4，7 の妥当性

発火点 2，4，7 の周辺は，マツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）の植生が支配的である。北側森林内で発火点を移動させたとしても，植生・標高差に違いはないことから，評価結果は発火点 2，4，7 の結果に包絡される。また，同じ風向・同じ植生で評価を行う発火点 2，4 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(c)　発火点 5，6 の妥当性

発火点 5 は，発電所に影響を及ぼすおそれのある危険物貯蔵施設がある地点に設定した。

発火点 6 は，最大風速記録時の風向を考慮し，発火点 1 と発火点 5 から比較的離れた間の地点を補間するよう設定した。

(d)　発火点 1～7 以外の火災について

設定した発火点以外の火災については，発火点 1～7 の評価結果に包絡される。以下の 2 か所において，評価結果が包絡される理由を示す。

・北西方向の居住地域

北西方向の居住地域で発生した火災が発電所へ延焼する場合，まず発電所北側森林に延焼する。北側森林の火災は風が発電所に向う発火点 2，3，4，7 の評価結果に包絡される。

・ガソリンスタンド及び周辺居住区域

発電所に最も近いガソリンスタンド（県道２８４号線沿い）及び周辺居住区で発生した火災が発電所へ延焼する場合，まず発電所西側森林が火災になる。西側森林の火災は風が発電所に向う発火点 1，3，6 の結果に包絡される。

ｄ．出火時刻の設定

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出火時刻を設定する。

ｅ．評価対象範囲

評価対象範囲は発電所から南北及び西側に12km，東側は海岸線までとする。

2.2　ＦＡＲＳＩＴＥ入出力データについて

(1)　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ

ＦＡＲＳＩＴＥ入力データとして気象，位置，時刻等に関するデータを第 2.2-1 表，土地利用に関するデータを第 2.2-2 表，植生に関するデータを第 2.2-3 表，植生入力に関するフローを第 2.2-1 図に示す。

第 2.2-1 表　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ（地形・気象等）

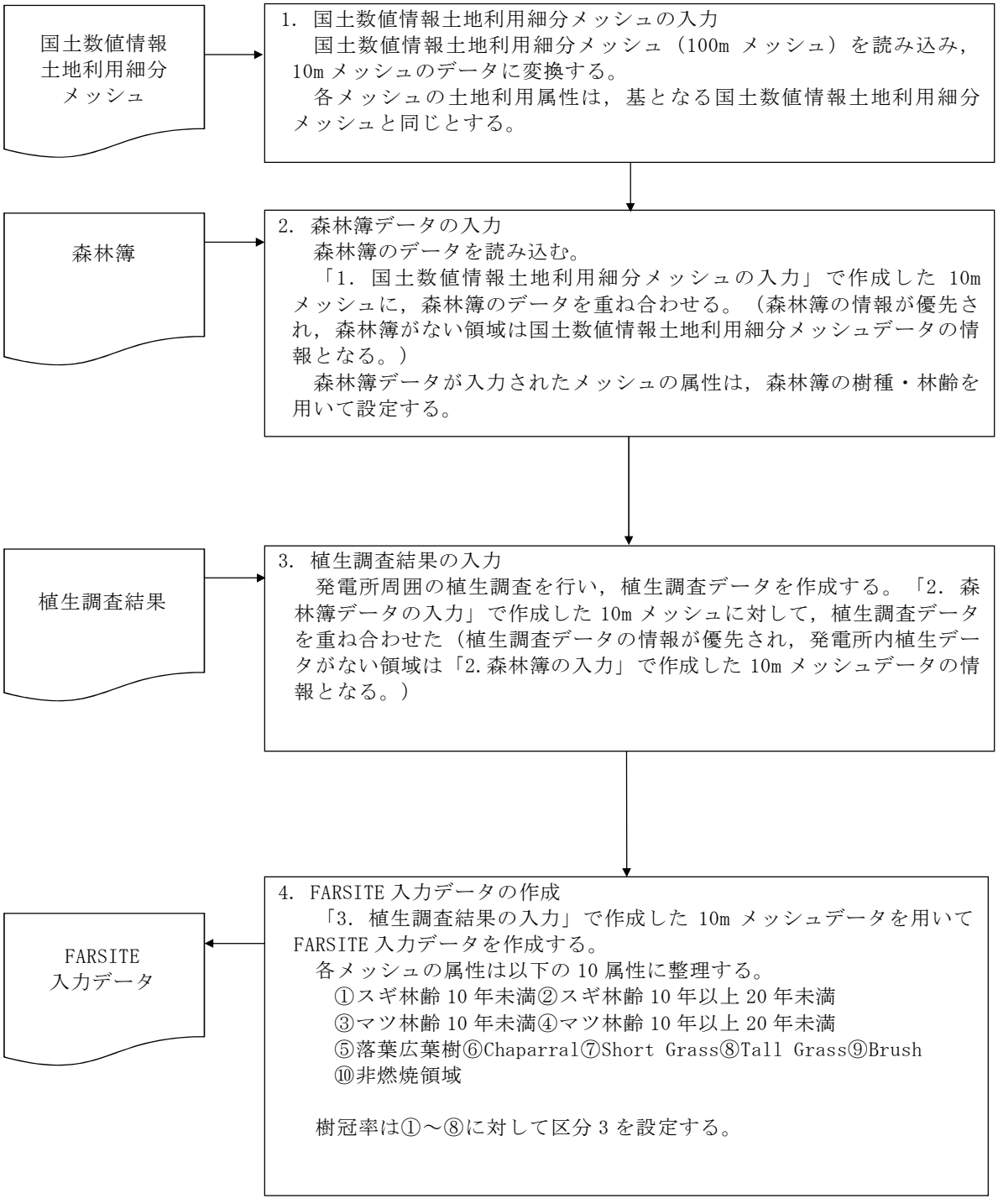
項目		入力データ	備　　考
地形	標高 傾斜，傾斜方位	第 2.1-1 図参照	「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データ及び標高データから算出した傾斜，傾斜方位を入力（評価ガイドどおり）
気象	風速（km/hr）	63	評価ガイドに基づき，茨城県内で森林火災発生件数が多い（12 月～5 月）の水戸地方気象台で観測された最大風速（17.5m/s）に相当する 63km/hr を入力（評価ガイドどおり）
	風向（deg）	293（西北西） 0（北） 225（南西） 45（北東）	評価ガイドに基づき，茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月～5 月）の卓越風向と最大風速記録時の風向を入力（評価ガイドどおり）
	最高気温（℃）	31	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月～5 月）の最高気温（30.8℃）に対して，小数点以下を切り上げた 31℃を最高気温・最低気温として入力。最低気温に対しても 31℃を入力することで保守的に気温の変化を考慮しない。（評価ガイドどおり）
	最低気温（℃）	31	
	最高湿度（%）	11	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月～5 月）の最小湿度（11%）を入力。最高湿度に対しても 11%を入力することで，保守的に湿度の変化を考慮しない。（評価ガイドどおり）
	最小湿度（%）	11	
	降水量（mm）	0	降水が無い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなるため，保守性を考慮して，降水量は 0 を入力
	雲量（%）	0	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなるため，保守性を考慮して，雲量は 0 を入力
位置	緯度（deg）	0	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなることから，保守性考慮して，日射強度の高い赤道に設定
	発火点位置	第 2.1-8 図参照	航空写真から位置を確認し，発電所から 10km 以内の当座標位置に設定（評価ガイドどおり）
時刻	発火日時	3 月	茨城県内で森林火災発生件数が最も多い 3 月に設定
	発火時刻	10 時～14 時に火災が到達する時刻	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなり燃えやすくなることから，日射が多い時刻（10 時～14 時）に発電所に火災が到達するように設定
樹冠	樹冠率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し，植生調査結果を踏まえ保守性考慮して，樹冠率区分 3（一般的な森林）を入力
	樹高（m）	15	評価結果への寄与が大きい発電所周囲の植生調査結果（平均樹高 13.4m）を踏まえた場合でも保守的となる，デフォルト値を一律に適用した。
	樹冠下高さ（m）	4	
	樹冠かさ密度（kg／m^3）	0.2	

第 2.2-2 表　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ（土地利用データ）

土地利用 区分	入力データ	備　　考
田	Tall Grass （高草：2.5ft）	森林火災の多い 12 月～5 月に田の可燃物量は少ないが保守的に Tall Grass を入力
その他農用地		草地・畑が多いが保守的に Tall Grass を入力
ゴルフ場		ゴルフ場の芝生は管理されているが，保守的に Tall Grass を入力
森林	森林簿及び植生調査結果に従い，樹種・林齢ごとに設定	第 2.2-3 表 FARSITE 入力データ（植生データ）参照
荒地	Brush （茂み：2.0ft）	草の繁殖を考慮し，Brush を入力
建物用地		コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが，街路樹・庭等を考慮して Brush を入力
道路	非燃焼領域	FARSITE 内蔵値を設定
鉄道		
その他用地		
河川 及び湖沼		
海浜		
海水域		

第 2.2-3 表　ＦＡＲＳＩＴＥ入力データ（植生データ）

	樹種・林齢 区分	入力データ	備　　考
森林簿・植生調査結果	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 10 年未満	スギ林齢 10 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 10 年以上 20 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 20 年以上 30 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用 20 年以上のスギに対しては保守性を考慮して全て「林齢 10 年以上 20 年未満」を入力
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 30 年以上 40 年未満		
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 40 年以上		
	マツ・クロマツ林齢 10 年未満	マツ林齢 10 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	マツ・クロマツ林齢 10 年以上 20 年未満	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	マツ・クロマツ林齢 20 年以上 30 年未満	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用 20 年以上のマツに対しては保守性を考慮して全て「林齢 10 年以上 20 年未満」を入力
	マツ・クロマツ林齢 30 年以上 40 年未満		
	マツ・クロマツ林齢 40 年以上		
	広葉樹 （クヌギ，サクラ等）	落葉広葉樹	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用
	竹林	Chaparral （低木の茂み：6ft）	竹林は直径が細く，密集度が高いことから可燃物量・可燃物厚さが大きい Chaparral を設定。なお，Chaparral は，低層植生の中で最も保守的なパラメータである。
	芝，観葉植物	Short Grass （低草：1ft）	発電所構内は管理が可能なため，Short Grass を入力
		Tall Grass （高草：2.5ft）	敷地外は Tall Grass を入力
	植生が存在しない 範囲	Brush （茂み：2.0ft）	コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが，保守性を考慮して Brush を入力
	津波防護施設の火災防護のため管理が必要となる 敷地外の範囲	非燃焼領域	定期的に管理を行い，植生がない状態を維持するため非燃焼領域を入力



第 2.2-1 図　ＦＡＲＳＩＴＥ植生データ入力フロー

(2)　発電所周囲の植生調査

発電所周囲の森林に対して植生調査を行い，樹種，林齢等の状況を確認し，ＦＡＲＳＩＴＥ入力データに反映する。

ａ．植生調査期間

平成 28 年 8 月 1 日～8 月 3 日

ｂ．植生調査者の力量

植生調査に適した資格・経験年数を有している 3 名で実施した。調査者の所有資格・経験年数を第 2.2-4 表に示す。

第 2.2-4 表　植生調査実施者　所有資格・経験年数

	資　格	経験年数
A	技術士（森林部門），林業技士，森林情報士	10 年以上
B	林業技士	10 年以上
C	―	5 年

c．植生調査結果

(a)　植生調査ポイント

植生調査は当社敷地内及び発電所に隣接する日本原子力研究開発機構敷地を調査範囲とする。調査ポイントを第 2.2-2 図に示す。

第 2.2-2 図　植生調査ポイント

(b)　植生調査結果

植生調査結果とＦＡＲＳＩＴＥ入力データを第 2.2-5 表に示す。発電所周囲のマツは植生調査から 20 年生以上であることを確認したが下草及び保守性を考慮しマツ 10 年以上 20 年未満を入力する。代表的な植生の写真を第 2.2-3 図に示す。

第 2.2-5 表　植生調査結果（1／3）

ポイント No.	植生区分	特　徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
1	クロマツ 40 年以上	海岸植生の特徴として強風の影響により矮性化している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
2	クロマツ 40 年以上	強風の影響化にあり，一般的な成長と比較して樹高は低めである。常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
3	クロマツ 20 年以上	造成後に植栽された林分であり，一般的な成長を示している。立木密度が高く，低木は見られない。	1980 年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
4	－	開発されて植生なし（2017 年現在）	－	－	－
5	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に，クロマツが一部補植されている。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○

第 2.2-5 表　植生調査結果（2／3）

ポイント No.	植生区分	特　徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
6	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に，クロマツが自然発生している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
7	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層には常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてアカマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
8	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層は低木を取り払い管理されている。	1975 年（空中写真から判読）においてアカマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
9	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に落葉広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
10	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に，自然に発生したと見られるアカマツが生育している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
11	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
12	常緑 広葉樹林	アカマツの下層低木であった常用広葉樹が生育し支配的となった。	－	落葉広葉樹	－
13	アカマツ 10 年以上	極地的にアカマツが植栽されている。植生図に反映するほどの面積はない。	節の数。	落葉広葉樹	－

第 2.2-5 表　植生調査結果（3／3）

ポイント No.	植生区分	特　徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
14	クロマツ 20 年以上	1986 年以前に植栽された林分であり，一般的な成長を示している。低木は見られない。	1980 年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
15	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）において森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上20 年未満	○
16	落葉広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	－	落葉広葉樹	－
17	落葉広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	－	落葉広葉樹	－
18	低草地	雑草等の 0.3m低草地。	－	Short Grass （低草：1ft）	－
19	高草地	セイタカ等の 1.0m程度の草地。	－	草刈りを行いBrush 管理とする。	－
20	建物用地	－	－	コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが，保守性を考慮して Brush を入力	－

ポイントNo.	植生区分	植生写真
1	クロマツ 40年以上 強風の影響により矮性化している。	
11	アカマツ 40年以上 アカマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	
12	常緑 広葉樹林 アカマツ林の下層低木であった常用広葉樹が生育し支配的となった。	

第2.2-3図　代表植生写真（1／2）

<table>
<tr><th>ﾎﾟｲﾝﾄNo.</th><th>植生区分</th><th>植生写真</th></tr>
<tr><td rowspan="2">18</td><td>低草地</td><td rowspan="2"> </td></tr>
<tr><td>雑草等の 0.3m 程度の低草地。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">19</td><td>高草地</td><td rowspan="2"> </td></tr>
<tr><td>セイタカ等の 1.0m 程度の草地。</td></tr>
</table>

第 2.2-3 図　代表植生写真（2／2）

(c)　樹種・林齢が混在しているエリアのデータ入力について

樹種・林齢が混在しているエリアについては，単位面積当たりの材積割合から入力データを決定した。マツ 40 年生の下層に細いマツ・広葉樹が存在したとしても，材積割合からみれば微量であるため，材積割合が支配的な樹種・林齢を選択する。下層に広葉樹の侵入・クロマツの補植等がみられたポイント No.2，5，6，7，9，10，11，12，15 の材積割合を第 2.2-6 表に示す。

第 2.2-6 表　各プロットの材積割合

ﾎﾟｲﾝﾄ No.	ha 当たりの材積（m^3／ha）				支配的な樹種とその材積割合
	マツ 胸高直径		広葉樹 胸高直径		
	8cm 以上	8cm 未満	8cm 以上	8cm 未満	
2	196	0	9	0	マツ 8cm 以上 95%
5	166	0	2	1	マツ 8cm 以上 98%
6	103	4	0	0	マツ 8cm 以上 96%
7	443	0	11	1	マツ 8cm 以上 97%
9	287	0	0	2	マツ 8cm 以上 99%
10	342	1	0	0	マツ 8cm 以上 99%
11	232	0	0	1	マツ 8cm 以上 99%
12	60	0	236	0	広葉樹 8cm 以上 79%
15	55	0	3	1	マツ 8cm 以上 93%

(d)　今後の植生管理について

植生管理については火災防護計画に定め，設定した防火帯幅が変わることがないよう，定期的に植生調査を実施し植生の管理を行う。また，津波防護施設と植生の間の離隔距離を確保するために管理が必要となる隣接事業所敷地については，隣接事業所が有する当該箇所の敷地において，当社が必要とする植生管理を当社が実施（維持・管理）する。

(3)　針葉樹，広葉樹の可燃物データ設定について

マツ，スギ，落葉広葉樹等の可燃物パラメータは「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」（独立行政法人原子力安全基盤機構）で使用されているデータを使用した。

ａ．針葉樹の設定

発電所周囲の植生はほとんどが林齢 40 年以上のマツ・クロマツであるが，保守性を考慮して，林齢 20 年以上のマツ・クロマツの林齢を一律に 10 年以上 20 年未満としてＦＡＲＳＩＴＥに設定した。

針葉樹（スギ，ヒノキ，カイズカイブキ，マツ，クロマツ）については，人工林であり，森林簿において，樹木の生長状況を示す林齢が記載されている。

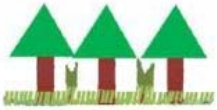
ＦＡＲＳＩＴＥ入力データとして針葉樹の設定については，実際の森林状況を可能な限り反映するため，針葉樹の地面下草等の可燃物量を林齢に基づき区分している。なお，林齢が増えると，地面下草が減少する。第 2.2-7 表に針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違いを示す。

ｂ．広葉樹の設定

広葉樹は多くが天然林であるため，林齢は一般に高齢で正確には把握

されていない状況にある。広葉樹については，林齢によって地面下草は大きく変化しないことから，保守性を考慮して，針葉樹（林齢 10 年未満）と同じ設定にした。

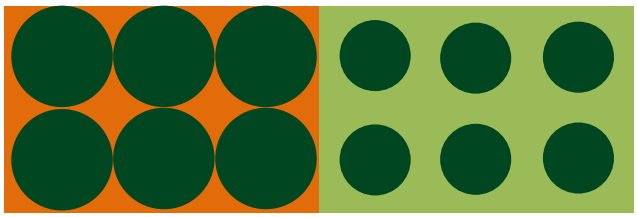
第 2.2-7 表　針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違い（イメージ）

樹種/林齢	10 年生未満の場合	10～20 年生の場合	30 年生以上の場合
針葉樹	日照が入りやすい	日照が少し入りやすい 	日照が入りにくい
広葉樹	日照が入りやすい		

(4)　樹冠率の設定について

樹冠率は，上空から森林を見た場合の平面上の樹冠が占める割合をいう。イメージ図は第 2.2-4 図に示す。ＦＡＲＳＩＴＥでは，実際の森林状況による自然現象を可能な限り反映するため，樹冠率の割合が高くなると，風速の低減，地面下草への日照が低減（水分蒸発量が減ることで燃えにくくなる）する。具体的には，ＦＡＲＳＩＴＥでは樹冠率を 4 つに区分し，いずれかを設定するようになっている。各区分の説明を第 2.2-8 表，樹冠率区分によるＦＡＲＳＩＴＥ上の効果を第 2.2-9 表に示す。

今回の評価においては，東海第二発電所周囲の森林は現地調査において，樹冠率（樹冠疎密度）が 60%～90%であることを確認したため，区分 3 を選択した。



第 2.2-4 図　樹冠率イメージ図（上から見た図）

第 2.2-8 表　ＦＡＲＳＩＴＥ上の樹冠率設定

FARSITE 区分	樹冠率%	備考
1	～20	－
2	21～50	森林を含む区分
3	51～80	一般的な森林
4	81～100	原生林等

第 2.2-9 表　ＦＡＲＳＩＴＥ上の樹冠率区分による効果

	区分 3 の場合	区分 4 の場合
風速低減効果	風速が弱まりにくい	風速が弱まる
日照低減効果	地面下草が燃えやすい	地面下草が燃えにくい

3.　ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果

3.1　ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果

(1)　火炎到達時間と最大火線強度について

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間と防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度を第 3.1-1 表に示す。

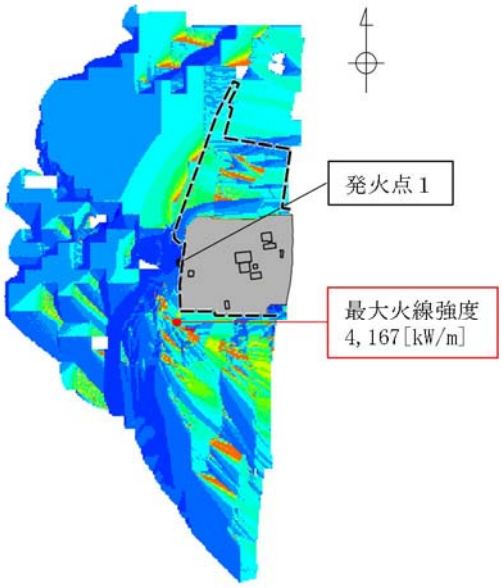
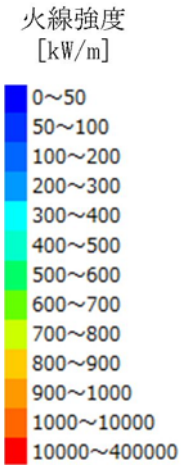
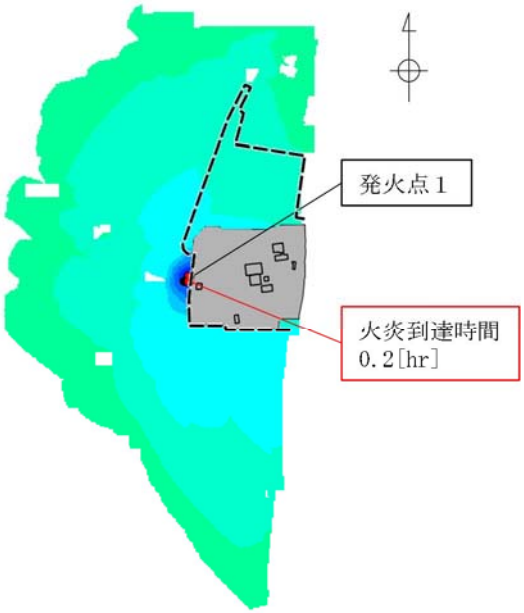
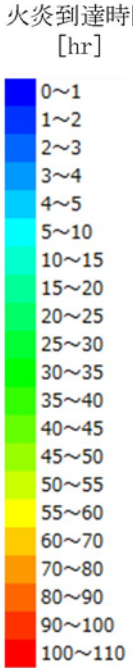
第 3.1-1 表　解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
延焼速度 (m／s)	0.45	0.52	0.69	0.65	0.64	0.67	0.37
最大火線強度 (kW／m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7

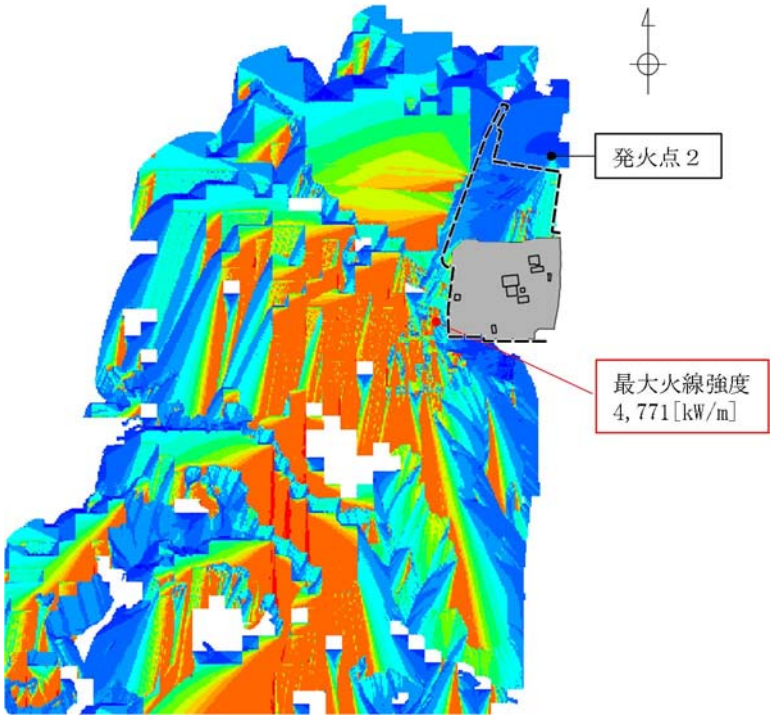
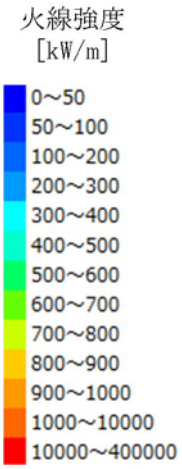
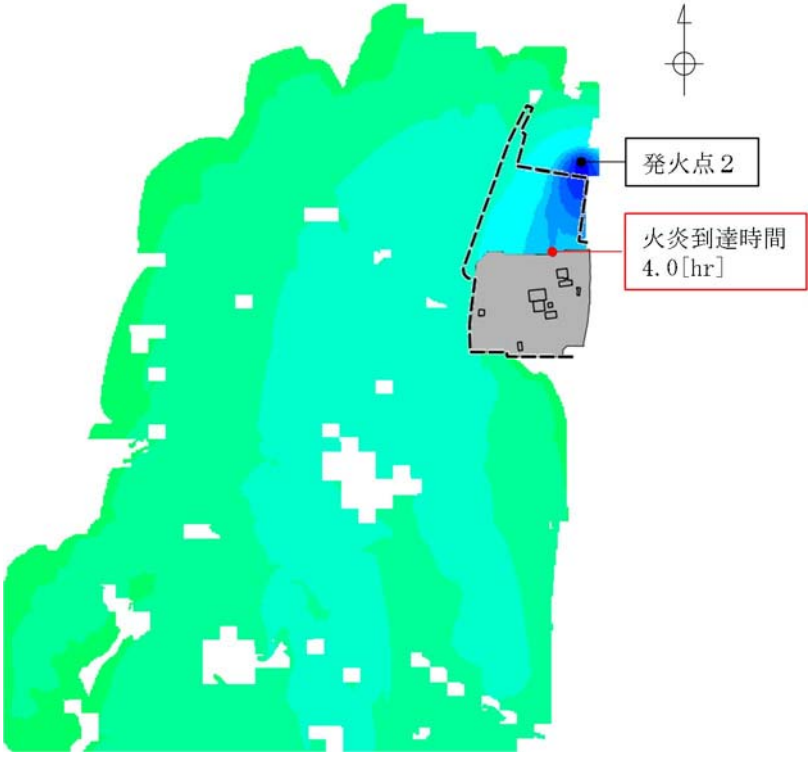
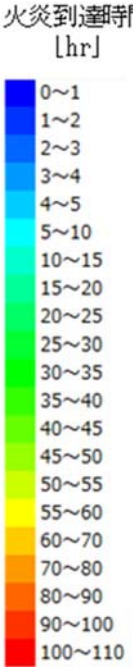
(2)　延焼状況

各発火点の延焼状況を第 3.1-2 表から第 3.1-8 表に示す。

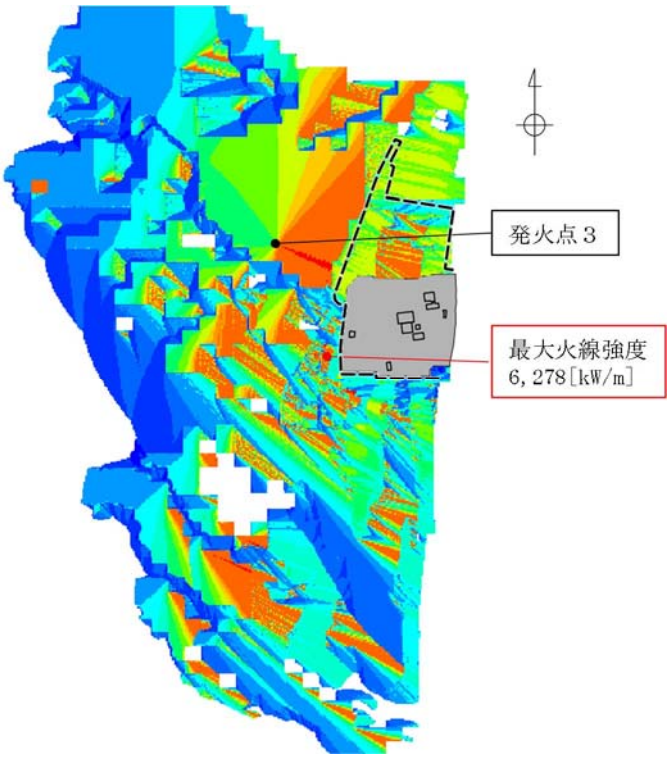
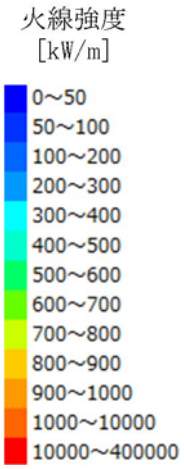
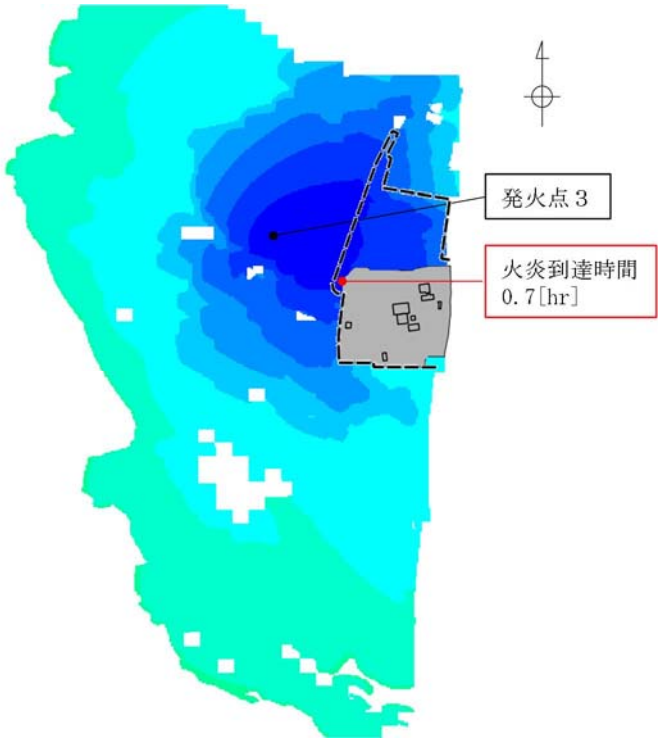
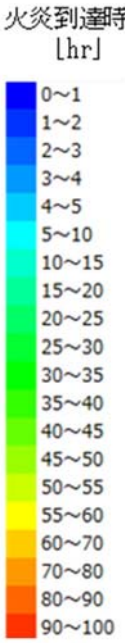
第 3.1-2 表　発火点 1 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 1</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備
配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

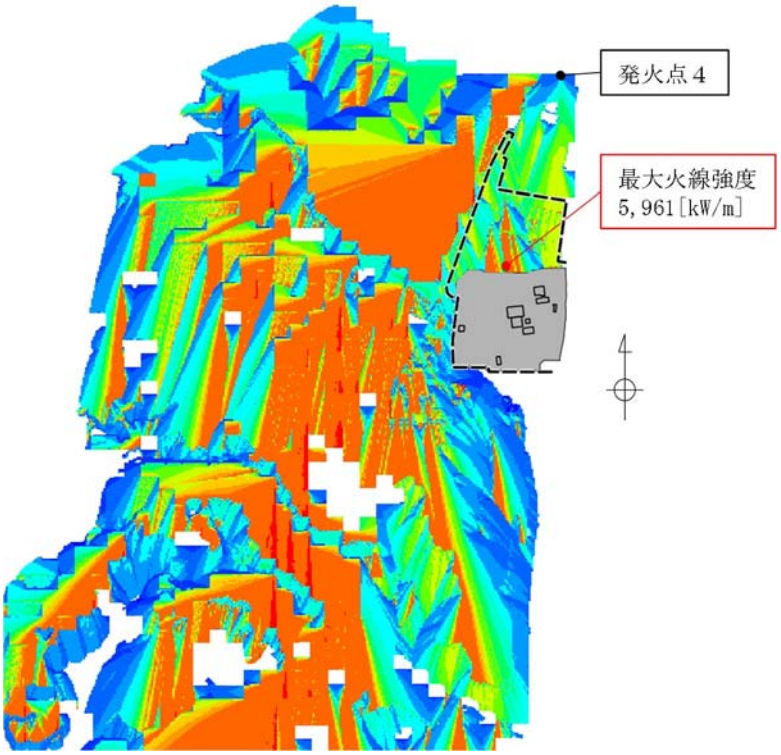
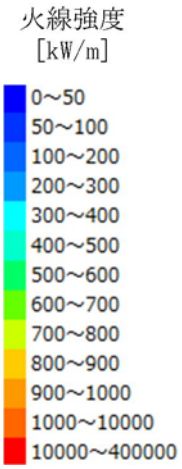
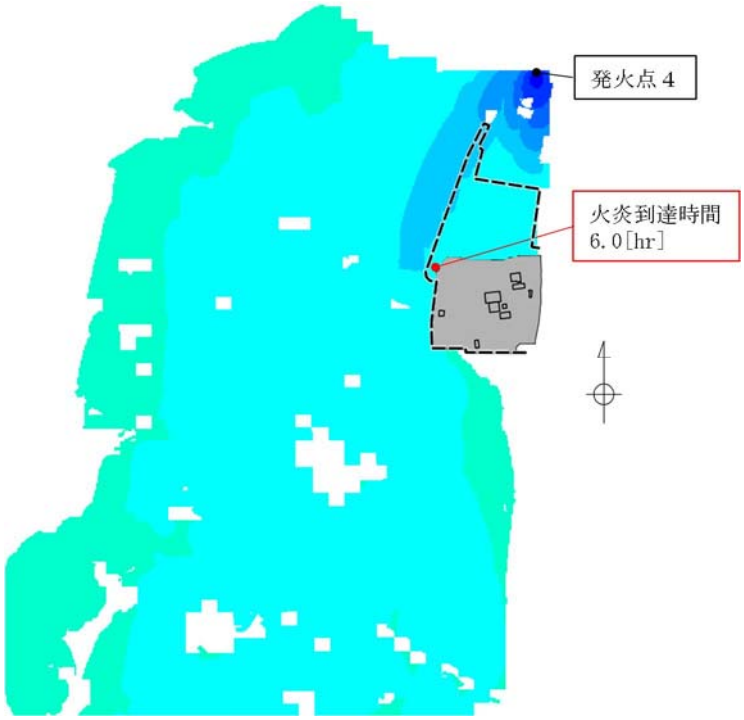
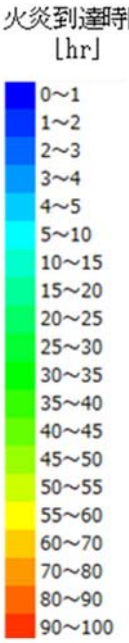
第 3.1-3 表　発火点 2 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 2</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

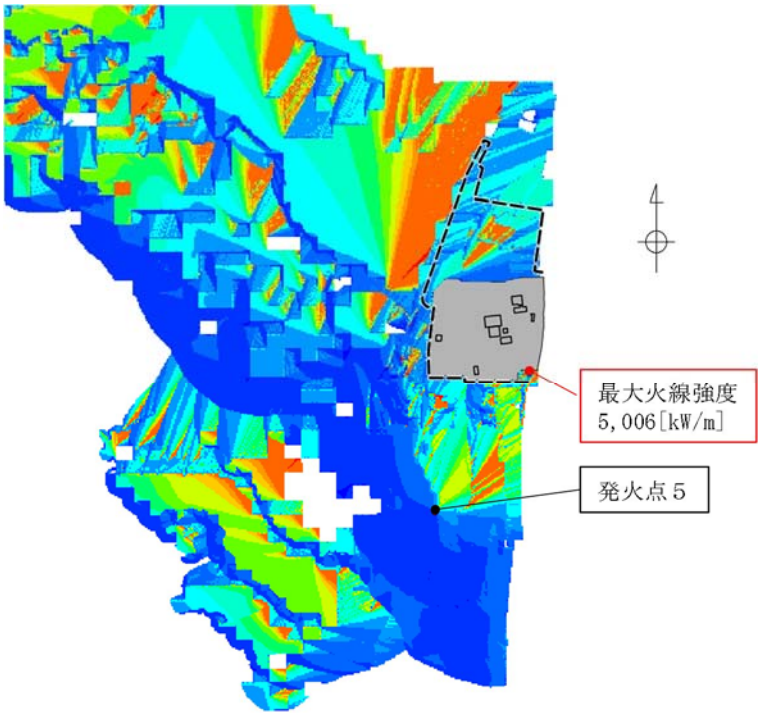
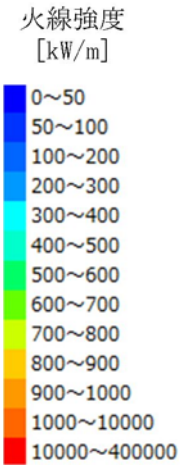
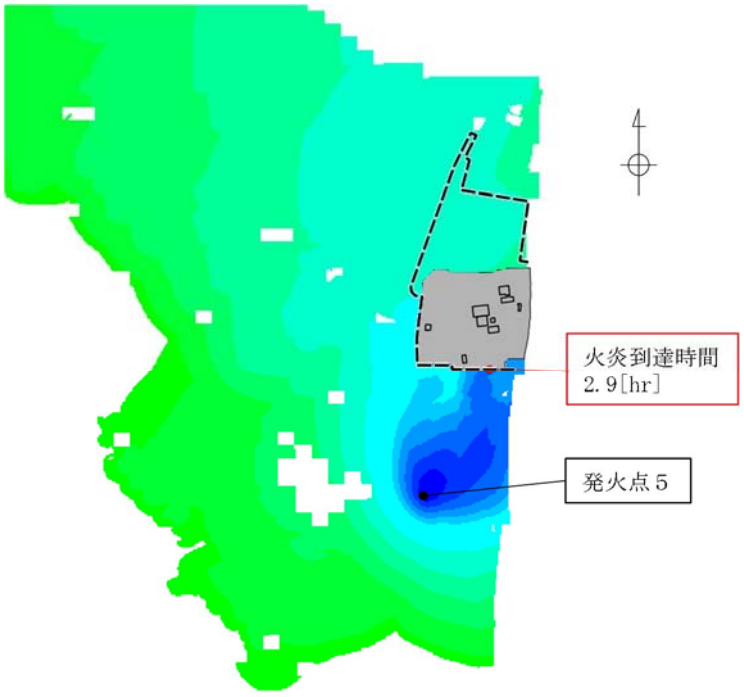
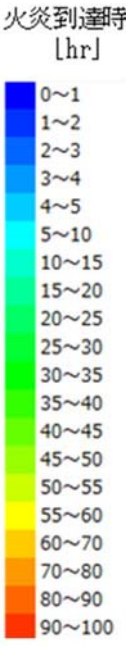
第 3.1-4 表　発火点 3 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 3</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：　当社敷地及び当社敷地外設備
配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

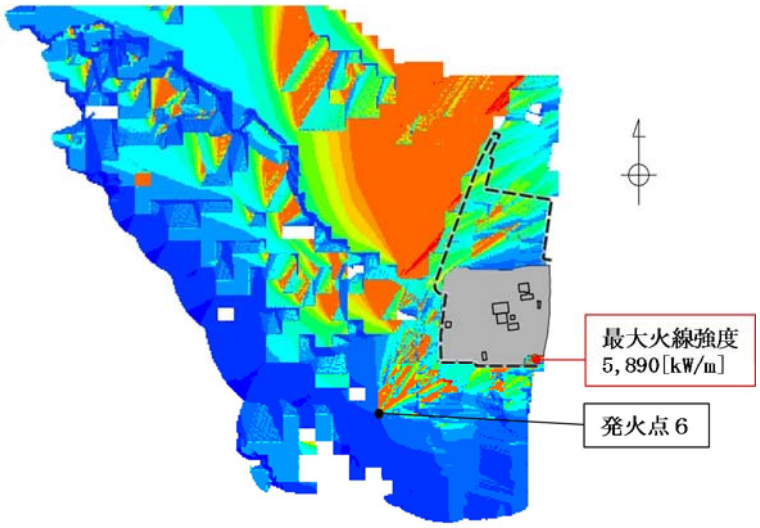
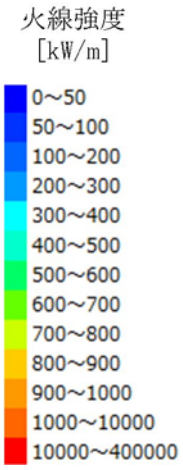
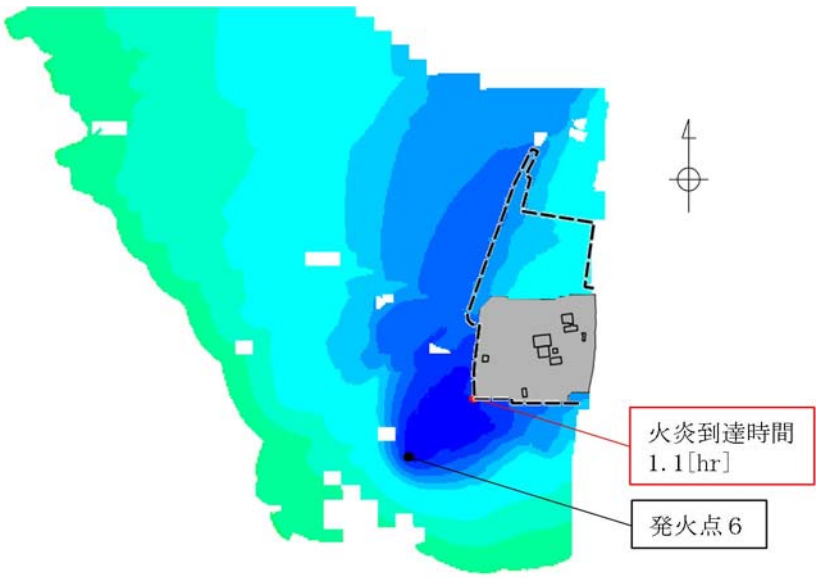
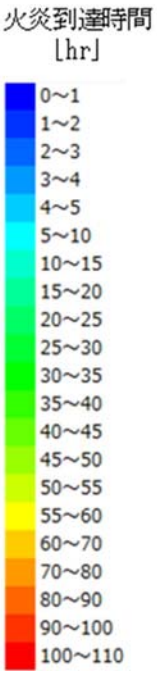
第 3.1-5 表　発火点 4 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 4</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備
配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

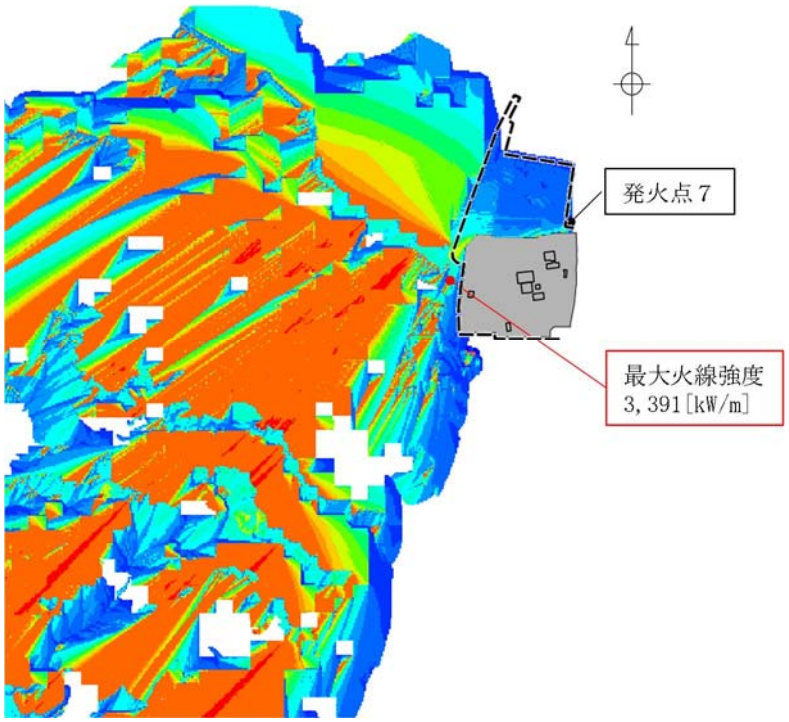
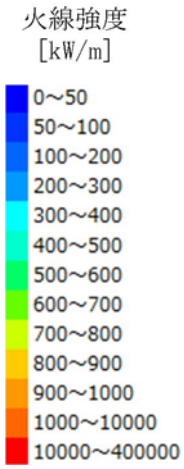
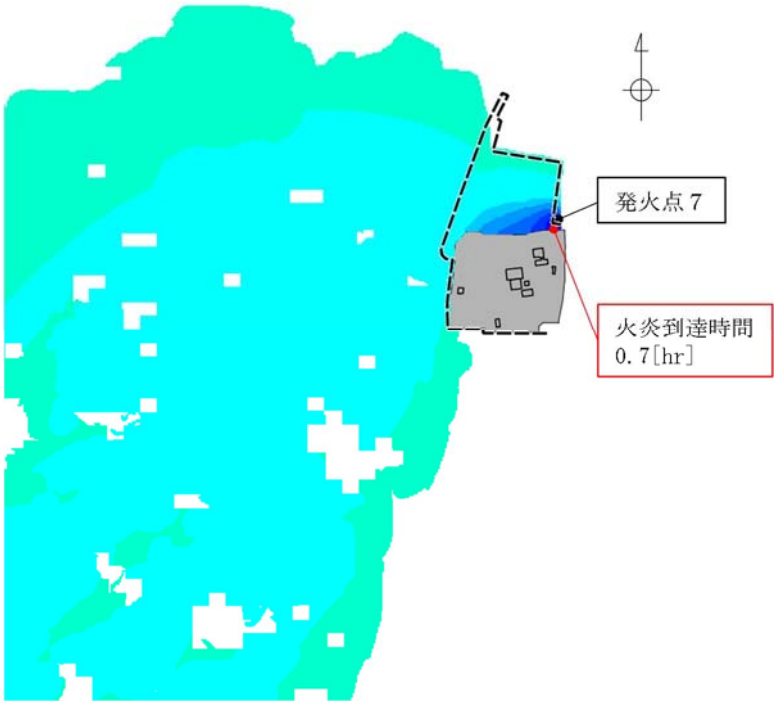
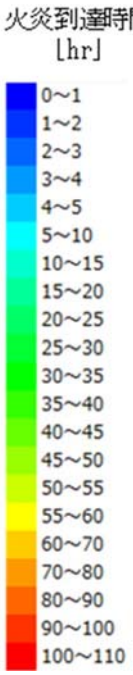
第 3.1-6 表　発火点 5 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 5</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

第 3.1-7 表　発火点 6 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 6</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：　当社敷地及び当社敷地外設備
配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

第 3.1-8 表　発火点 7 の延焼状況

<table>
<tr><td colspan="2">発火点 7</td><td></td></tr>
<tr><td>火線強度</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>火炎到達時間</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">－－－－：当社敷地及び当社敷地外設備
配置計画地を含む境界　　：防火帯内側</td></tr>
</table>

4.　森林火災の影響評価結果

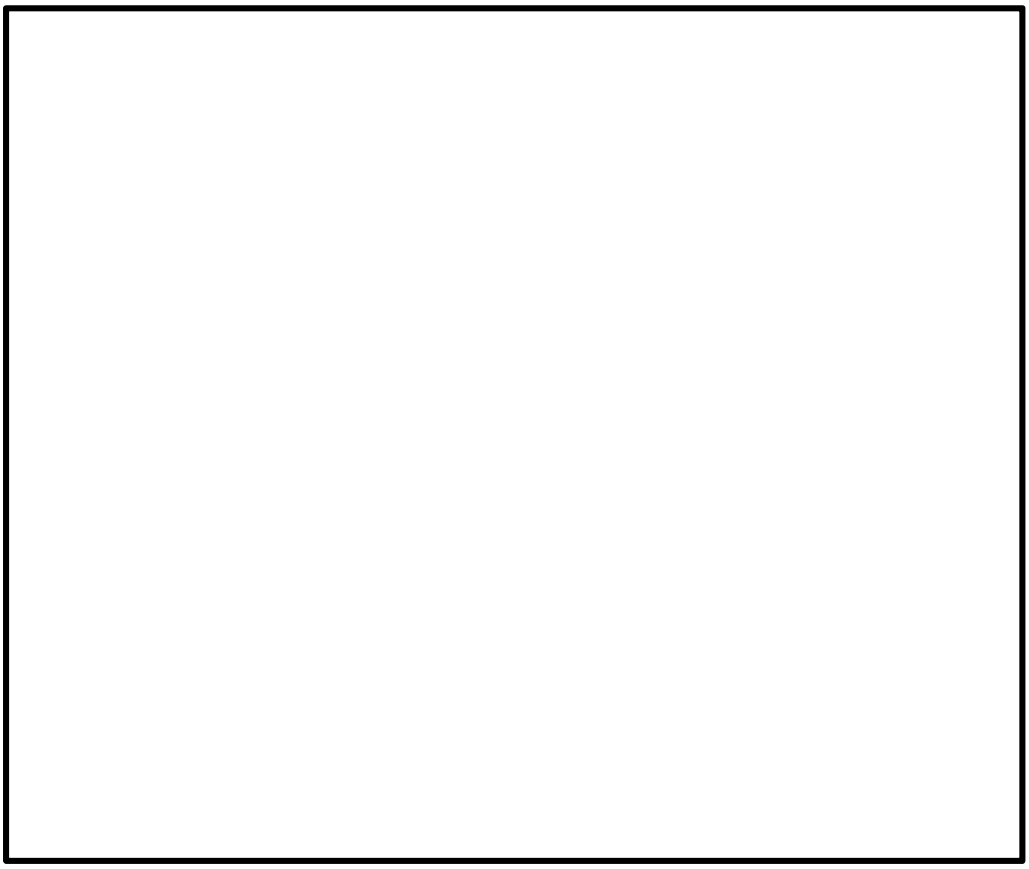
4.1　火炎到達時間の評価結果

(1)　火炎到達時間

防火帯を設置することで，森林火災が発電用原子炉施設へ延焼する可能性は低いが，森林火災の状況に応じて防火帯付近にて散水を行い，万が一の飛び火による延焼を防止する。

ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果より，発火点１の火災が防火帯外縁に到達する最短時間は 0.2 時間（約 12 分）であるため，この時間以内で予防散水が可能であることを確認する。

発火点１の位置関係を第 4.1-1 図に示す。



第 4.1-1 図　発火点１との位置関係

(2)　火災の覚知

発電所敷地及び敷地境界付近における火災については，以下の方法で早期覚知が可能である。

ａ．発電所構内で作業を行う者に対し，火災を発見した場合，当直守衛員に速やかに通報する事を社内規程で定めている。通報を受けた通報連絡責任者は現場指揮者，消火担当及び所内関係者に連絡するとともに，消防機関（119 番）に連絡を行う。

ｂ．想定される自然現象等の影響について，昼夜にわたり発電所周辺の状況を把握する目的で設置する津波・構内監視カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。津波・構内監視カメラは，発電所周辺の森林火災を監視できる位置に設置し，24 時間要員が常駐する中央制御室及び守衛所からの監視が可能な設計とする。

ｃ．熱感知カメラを設けることで早期覚知が可能な設計とする。熱感知カメラが火災を感知した場合，中央制御室及び守衛所に警報がなる設計とすることに加え，中央制御室及び守衛所から可視カメラで現場の状況が瞬時に確認でき，速やかに火災現場に向かえる設計とする。

ｄ．下記の火災が発生した場合，消防機関から発電所へ連絡が入る。

・発電所周辺で発生した森林火災

・発電所へ迫る可能性があると消防機関が判断した火災

(3)　消火活動

ａ．初期消火活動体制及び消防訓練

発電所の初期消火活動要員を，発電所の防火帯内に 24 時間常駐させる。自衛消防組織のための要員を第 4.1-1 表，消防訓練の実績と頻度を第 4.1-2 表，消防訓練の状況を第 4.1-2 図に示す。なお，消火担当 7 名のうち一部は委託員となるが，社員同様の教育，訓練を実施しており，

必要となる力量を有している。

第 4.1-1 表　自衛消防組織のための要員

担当（人数）	対象者				主な役割
	東Ⅱ管理区域内及び周辺防護区域（D/G室・電気室・S/B等，C/Pより中側の区域）		左記以外		
	休日・夜間	平日昼間	休日・夜間	平日昼間	
通報連絡責任者（1名）	当直発電長		社員守衛員		・消防機関への通報 ・所内関係者への連絡
連絡担当（1名）	当直運転員		社員守衛員		・火災現場への移動及び状況確認 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・可能な範囲での初期消火
現場指揮者（1名）	待機当番者1（技術系管理職）	技術系管理職	待機当番者1（技術系管理職）	技術系管理職	・出動の準備／火災現場への移動 ・火災状況の把握 ・火災現場での初期消火活動の指揮
現場連絡責任者（1名）	待機当番者2（管理職）	管理職	待機当番者2（管理職）	管理職	・消防機関への情報提供 ・消防機関の現場誘導
消火担当①（7名）	委託守衛員		委託守衛員		・出動の準備／火災現場への移動 ・消防自動車，消火器，消火栓等による初期消火活動
消火担当②	当直運転員 社員守衛員	当直運転員 社員守衛員 あらかじめ指名された所員	社員守衛員	社員守衛員 あらかじめ指名された所員	・出動の準備／火災現場への移動 ・消防自動車，消火器，消火栓等による初期消火活動

第 4.1-2 表　消防訓練実績と頻度（平成 27 年度）

訓練項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消火訓練	4 回/年	実績無し	自衛消防隊	油火災（タンク火災等）を想定した消火訓練
消防自動車放水訓練他	1 回以上/月	99 回	自衛消防隊	建物火災を想定した消火訓練
消防機関との合同訓練	1 回/年	H27.10.28	自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡，消火訓練
海上災害防止センター消防訓練	4 回/年	H27.9.24～25 H27.11.26～27 H27.12/14～18 H28.2.1～2	自衛消防隊	外部施設（横須賀）による実火訓練
総合火災訓練	1 回/年	H27.10.28	発電所全体自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡，避難，消火訓練
防火訓練	2 回/年	H27.9.19 H28.3.9	一般所員 協力会社	初期消火の基本動作訓練
森林火災 散水訓練	－	実績無し	自衛消防隊	森林火災を想定した散水訓練

第 4.1-2 図　消防訓練状況

b．散水開始までの所要時間

(a) 防火帯への散水

ⅰ） 火炎到達時間が最短となる発火点1から出火した森林火災が，最短で発電所に到達する散水地点Ａにおいて散水活動を行う。散水位置を第4.1-3図に示す。

ⅱ） 水源は散水地点に最も近い屋外消火栓※を使用する。なお，屋外消火栓の水源は原水タンクであり，このタンクの水源は工業用水より自動補給されるため，連続散水が可能である。原水タンクは防火帯の内側に設置されているため，森林火災の影響は受けない。

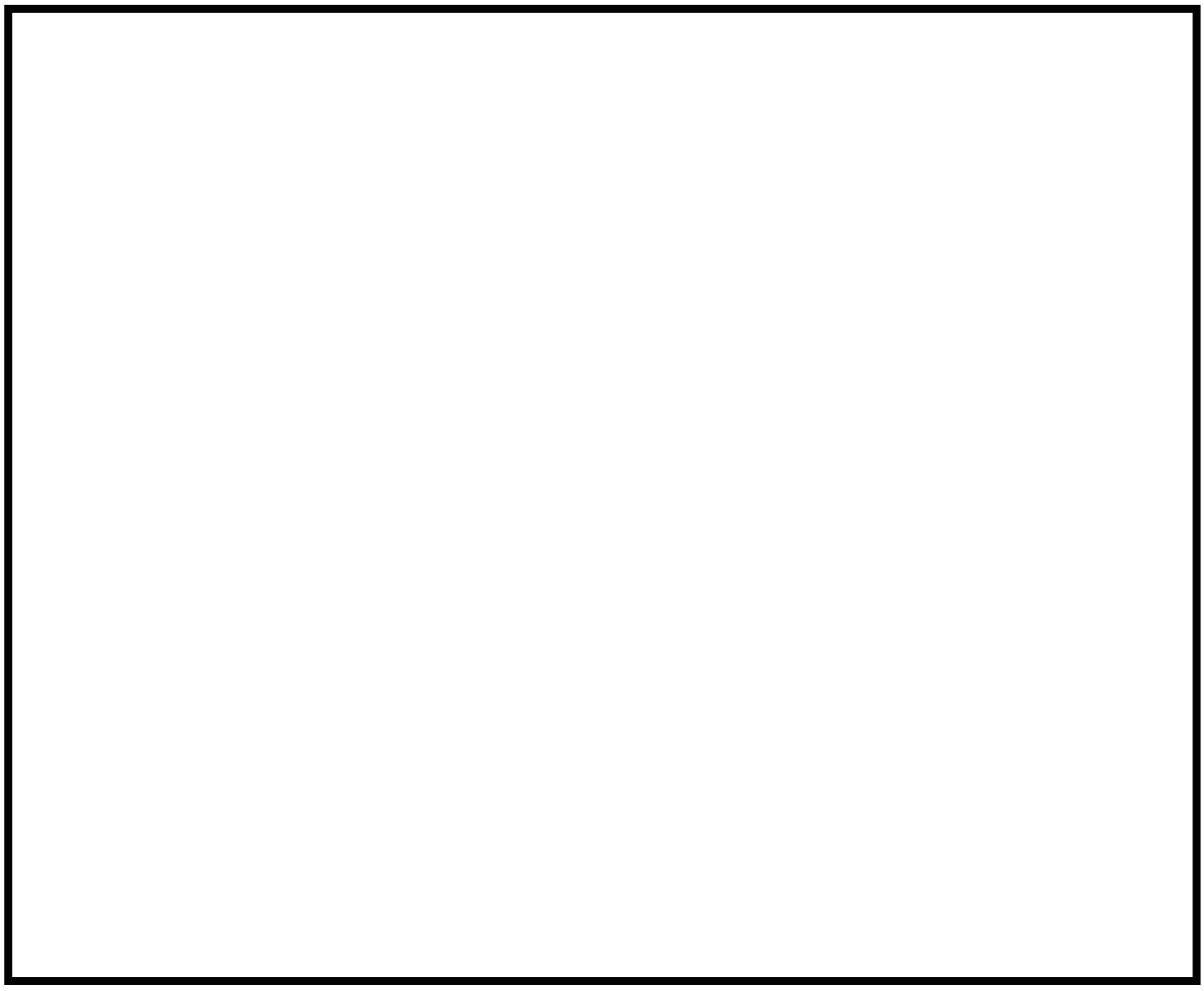
ⅲ） 消防自動車1台を使用したときの対応人数を第4.1-3表に，消防自動車仕様を第4.1-4表に示す。

ⅳ） 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。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。

※ 外部電源喪失により屋外消火栓の駆動ポンプである構内消火用ポンプが使用不能となった場合には，防火水槽を水源とし，消防自動車を用いて散水する。なお，消防自動車のポンプ圧力性能（約2.1MPa）は，防火水槽から最も遠い防火帯外縁への散水を想定した最大の損失圧力（約1.2MPa）を上回るため，防火帯外縁の全ての箇所について散水可能である。

第 4.1-3 表　散水地点及び対応人数（防火帯）

散水地点	発電所西側 散水地点Ａ
消火栓位置	屋外消火栓（設置予定）
ホース展張距離	約 100m
消防自動車台数	1 台
対応人数	現場指揮者　：1 名　現場連絡責任者　：1 名 散水筒先　：2 名　ホース展張　：3 名 ホース監視　：1 名　燃料補給　：1 名 連絡責任者　：1 名　連絡担当　：1 名 合計　：11 名



第 4.1-3 図　散水位置（防火帯）

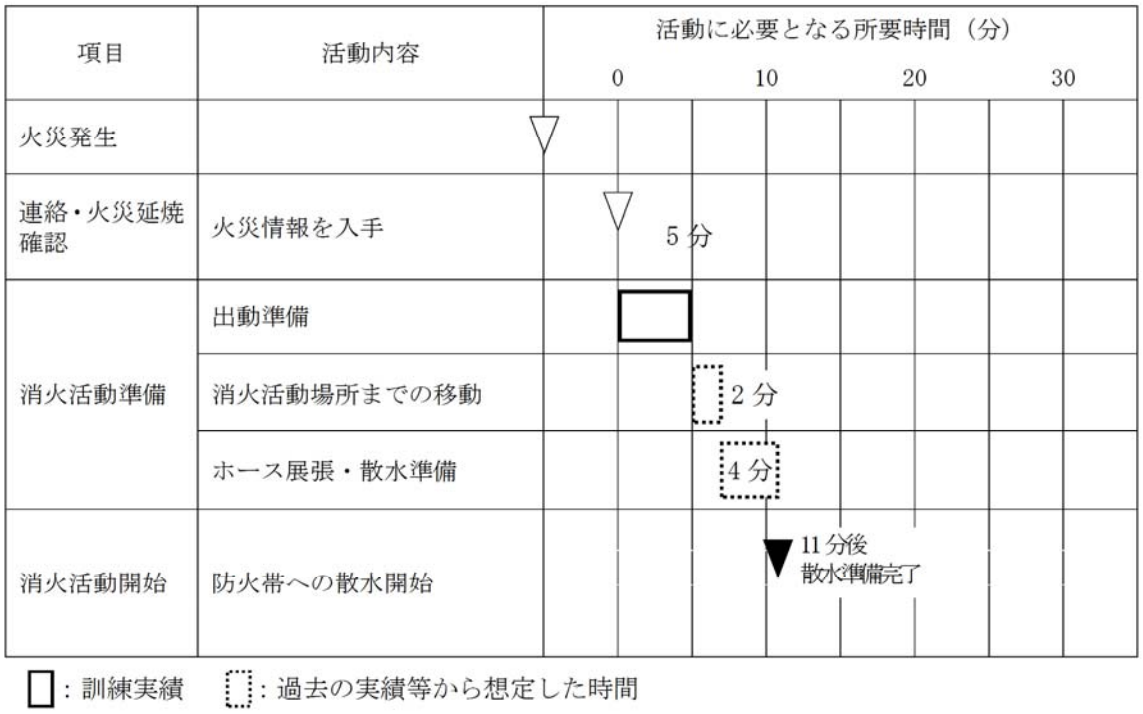
第 4.1-4 表　消防自動車仕様

設備	数量 （台）	水槽容量 （L）	薬液槽容量 （L）
化学消防自動車	1	1,500	300
水槽付消防ﾎﾟﾝﾌﾟ自動車	1	2,000	－

(b)　所要時間

第 4.1-5 表に示すとおり，火災情報入手後，11 分で散水活動を開始可能である。

第 4.1-5 表　散水開始までの所要時間（防火帯）



(c)　評価結果

発火点 1 の火炎到達時間 0.2 時間（約 12 分）以内で散水が可能である。なお，発火点 1 と防火帯の間は幅 7m の道路があり，解析モデルへは保守的に周囲と同じ植生※を入力し，火炎到達時間を算出している。実際には非燃焼領域であるこの道路があることによって，火炎到達時間はより長くなると考えられる。

※　解析上は，道路周囲と同じ植生（落葉広葉樹）を入力

(4)　森林火災時のモニタリングポストへの対応

モニタリングポストについては，発電所周辺監視区域付近における空間線量率の監視を行うために発電所敷地境界付近（防火帯の外側）に 4 箇所設置している。

モニタリングポストは防火帯外側に設置されているため，森林火災による影響を確実に防止できるとは考えていない。

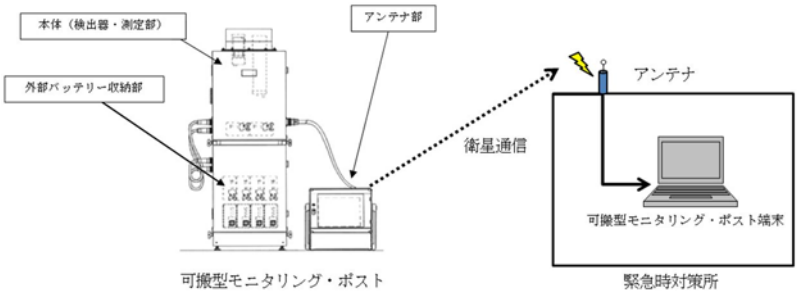
モニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は，防火帯内側に保管してある可搬型モニタリングポストを設置し，代替監視を行う。可搬型モニタリングポストはモニタリングポスト用として 4 台準備する。また，電源は外部バッテリーを適時交換することで連続供給可能であり，データ伝送は衛星回線による通信機能を有しており，中央制御室及び緊急時対策所にて，常時監視が可能である。

なお，可搬型モニタリングポストを配置場所まで運搬・設置し，監視・測定を開始するまでの所要時間は，1 台当たり約 50 分を想定（10 台設置する場合は，約 8 時間 10 分を想定）。

可搬型モニタリングポストのイメージ図を第 4.1-4 図，配置図を第 4.1-5 図に示す。

森林火災が発生した場合，防火帯内側にある発電用原子炉施設の防護を第一に考える。ただし，風向き等から森林火災が発電用原子炉施設へ影響を与えないと判断した場合は，モニタリングポスト付近への散水を行う。

モニタリングポスト付近への散水開始までの所要時間を訓練にて測定した。



第 4.1-4 図　可搬型モニタリングポストのイメージ

a．散水開始までの所要時間

(a)　モニタリングポストへの散水訓練

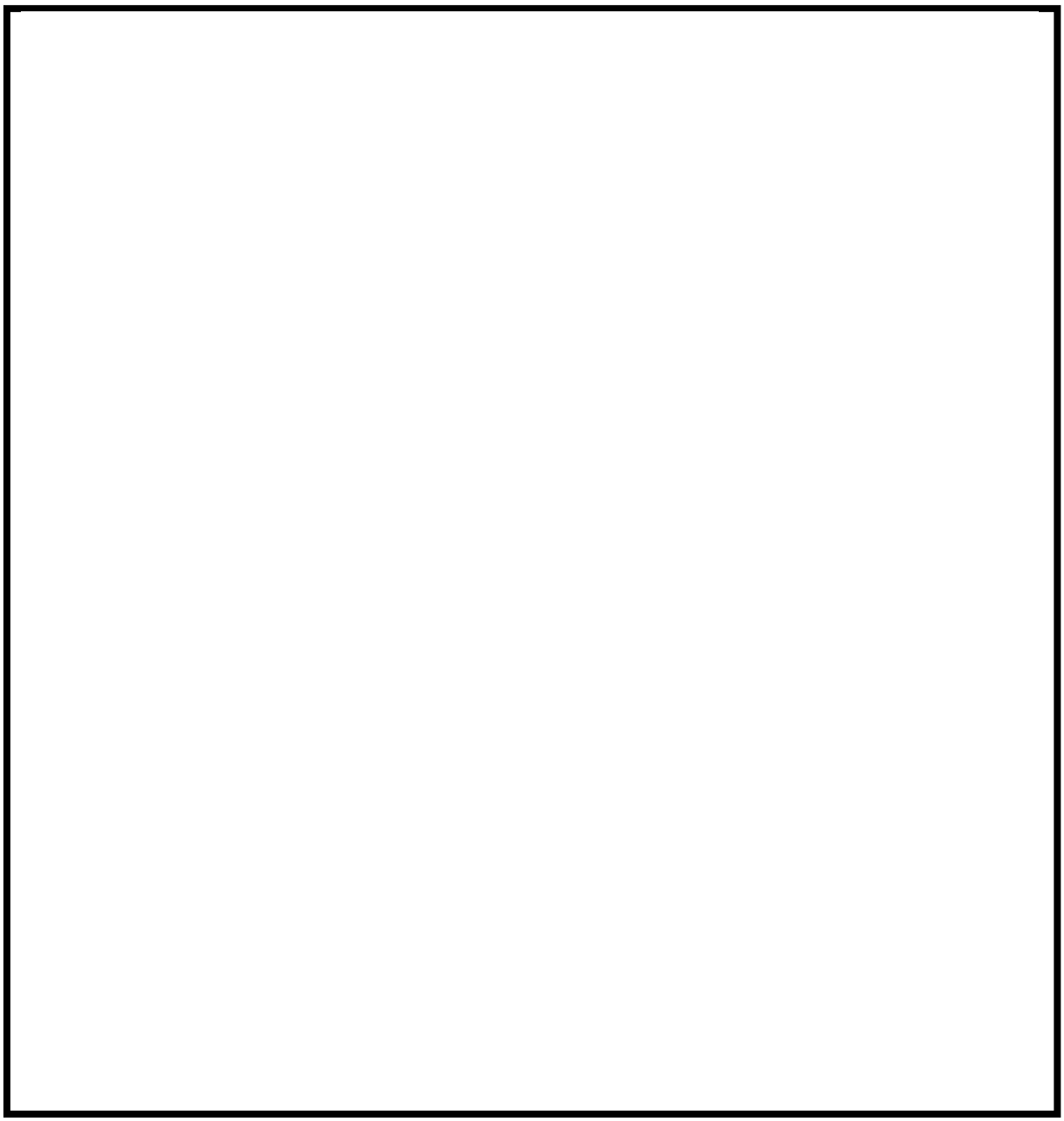
ⅰ）　消防自動車待機位置，初期消火活動要員集合場所から遠いモニタリングポスト D において散水活動を行う。散水位置を第 4.1-5 図に示す。

ⅱ）　水源は，散水地点に一番近い北地区防火水槽（北側）（保有水量：40m^3）を使用。

ⅲ）　消防自動車 1 台を使用したときの対応人数を第 4.1-6 表に示す。

第 4.1-6 表　散水地点及び対応人数（モニタリングポスト）

散水地点	モニタリングポスト D
防火水槽位置	北地区防火水槽（北側）
ホース展張距離	150m
消防自動車台数	1 台
対応人数	現場指揮者　：1 名　　現場連絡責任者　：1 名 散水筒先　：2 名　　ホース展張　：3 名 ホース監視　：1 名　　燃料補給　：1 名 連絡責任者　：1 名　　連絡担当　：1 名 合計　：11 名

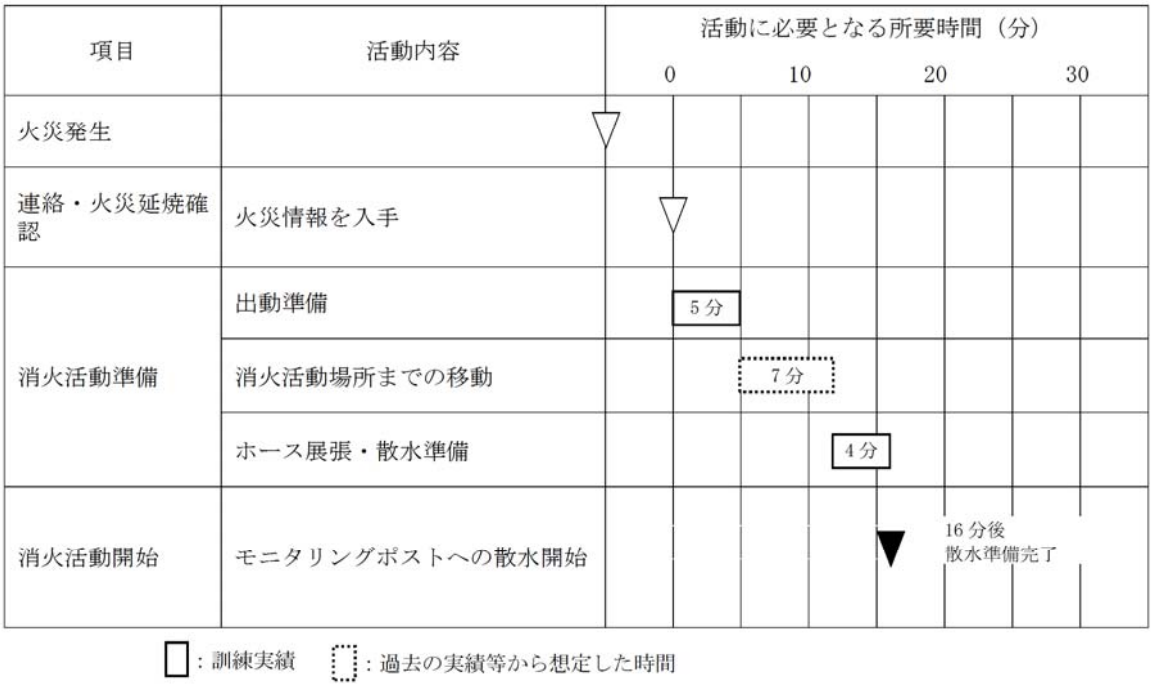


第 4.1-5 図　モニタリングポスト位置及び可搬型モニタリングポスト設置位置

(b)　訓練結果

第 4.1-7 表に示すとおり，火災情報入手後，約 16 分で散水活動を開始可能である。ただし，この結果は津波防護施設を考慮していないため，津波防護施設設置後に再訓練を実施し，散水開始までの所要時間を確認する。

第 4.1-7 表　散水開始までの所要時間（モニタリングポスト）



(5) ホース展張距離を踏まえた散水可能範囲

これまでのホース展張検証により，約 900m のホース展張が可能であることを確認している。防火帯内の屋外消火栓から防火帯周辺までの離隔距離は，最長でも 300m 未満であるため，防火帯内の散水は可能である。（別紙 2.9）

4.2　防火帯幅

(1)　防火帯幅の設定

ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果から算出された，防火帯外縁から 100m の範囲における最大火線強度は，発火点 3 の 6,278kW／m であり，「Ａｌｅｘａｎｄｅｒ　ａｎｄ　Ｆｏｇａｒｔｙの手法（風上に樹木が有る場合）」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 21.4m に対して，約 23m 幅の防火帯を設定する。火線強度に対する防火帯の相関図を第 4.2-1 図に示す。

最大火線強度 6,278kW／m　(発火点3)

⇩

風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係（火炎の防火帯突破確率1%）

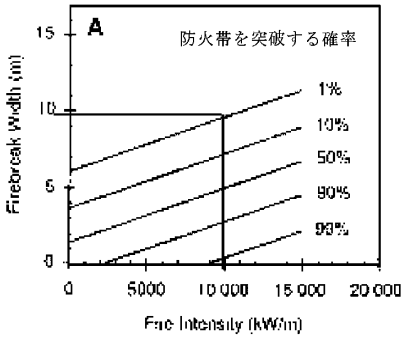
火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

⇩

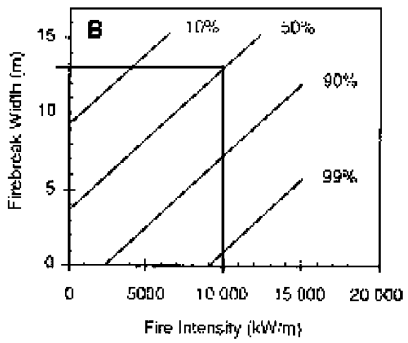
評価上必要とされる防火帯幅 21.4m

⇩

想定する防火帯幅 約23m



A：防火帯幅と防火帯の風上20m内に樹木が存在しない場合



B：防火帯幅と防火帯の風上20m内に樹木が存在する場合

第 4.2-1 図　火線強度に対する防火帯の相関図

(2)　火線強度抽出範囲の設定について

防火帯幅は，防火帯外縁に存在する植生からの延焼を考慮して，防火帯外縁の最大火線強度に基づき算出するが，防火帯外縁から離れた地点でより大きい火線強度が存在する可能性を考慮して，防火帯外縁から 100m 範囲の火線強度を確認している。この結果から得られた最大火線強度 6,278kW／m に基づく防火帯幅 21.4m に保守性を持たせた約 23m の防火帯を設定する。なお，防火帯外縁から 100m より遠くに存在するメッシュについて，必要な防火帯幅が 100m 以上となるものはないことを確認しているため，防火帯幅の決定において考慮する必要はない。

(3)　出火時刻の違いによる感度解析について

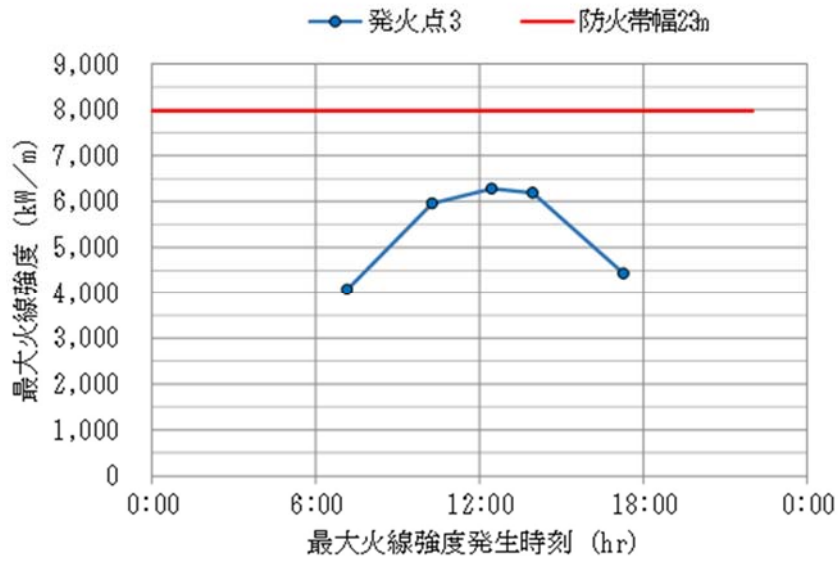
ＦＡＲＳＩＴＥでは日射量が可燃物の水分量に影響を与えるため，日射量が多くなる日中時間帯に火線強度が高くなる。同じ発火点からの火災であっても，出火時刻によって最大火線強度に違いが生じるため，全発火点のうち最も高い最大火線強度となった発火点 3 に対して 4 パターンの出火時刻を設けて，感度解析を行った。解析結果を第 4.2-1 表に示す。

第 4.2-1 表　感度解析結果

発火点位置	発火点3				
最大火線強度発生時刻	7:09	10:16	12:27	13:57	17:17
最大火線強度(kW／m)	4,080	5,959	6,278	6,193	4,436

設定する防火帯幅約 23m に相当する火線強度 7,978kW／m は，第 4.2-2 図に示すとおり，感度解析から算出された火線強度を十分に上回ることを

確認した。



第 4.2-2 図　感度解析結果と防火帯 23m の火線強度

(4)　防火帯の設定

a．防火帯の設定方針

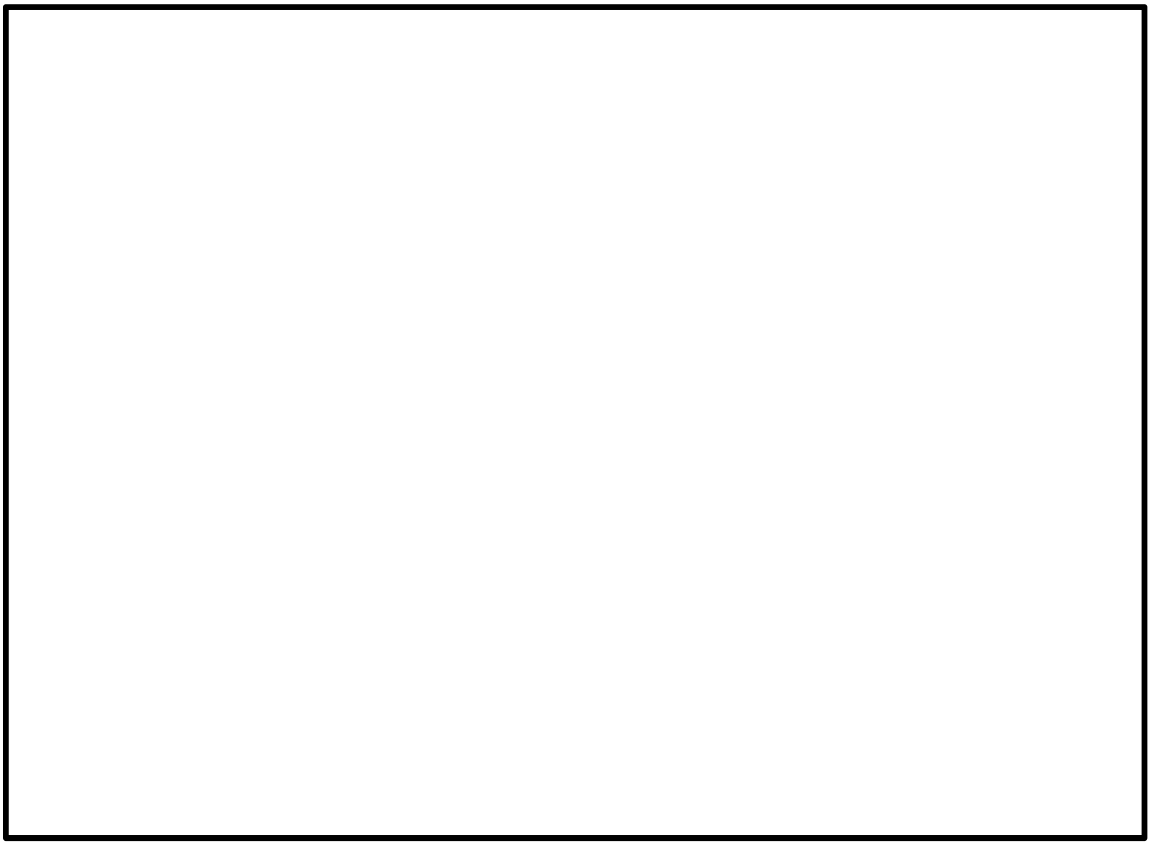
(a)　防火帯幅は，防護対象設備（安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３のうち防火帯幅の確保により防護する設備）を囲むように設定する。

(b)　駐車場等，延焼の可能性があるものと干渉しないように設定する。

b．防火帯の設定方法

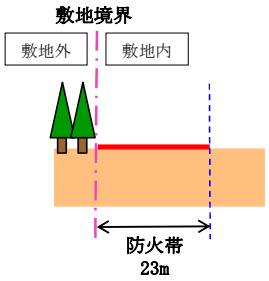
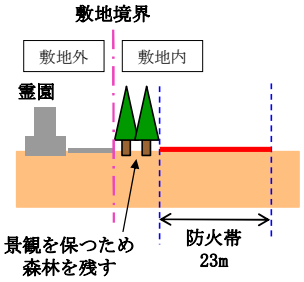
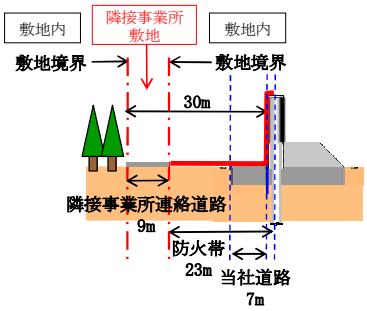
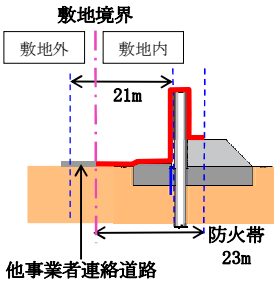
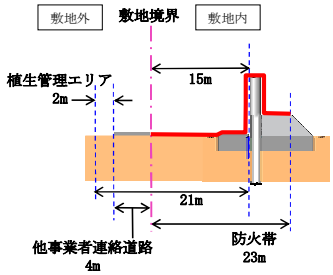
防火帯の配置図を第 4.2-3 図に示す。

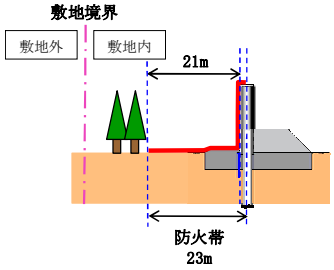
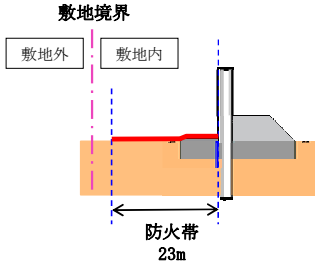
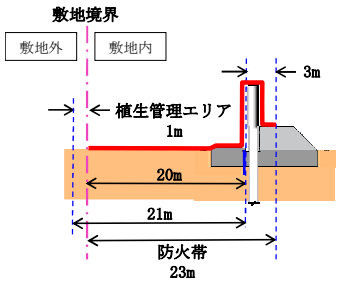
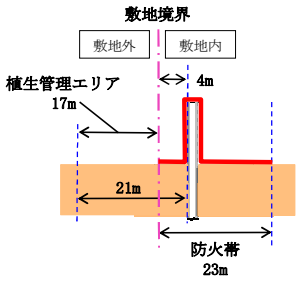
なお，防火帯を 9 のエリアに分割し，設定方法の違いと特徴について第 4.2-2 表に示す。



第 4.2-3 図　防火帯の配置図

第 4.2-2 表　エリア別防火帯の設定方法

①		【津波防護施設がないエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。
②		【津波防護施設がないエリア】 霊園付近は，霊園からの景観を考慮し，敷地境界内側に幅 10m 程度の森林を残し，その内側に防火帯を設定する。
③		【津波防護施設から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 他事業者連絡道路と津波防護施設の間に 21m の離隔距離をもたせ，21m のラインに接するように防火帯を設定する。
④		【津波防護施設から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，他事業者連絡道路を含めて津波防護施設に対する 21m の離隔距離を確保する。
⑤		【津波防護施設から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，植生管理エリアを設定し，他事業者連絡道路を含めて津波防護施設に対する 21m の離隔距離を確保する。

⑥		【津波防護施設から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 津波防護施設のある領域については，防火帯外側のラインが津波防護施設外側から 21m のラインに接するように防火帯を設定する。 津波防護施設と接していない領域については，23m の幅で東側の海に到達させる。
⑦		【津波防護施設から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 津波防護施設のある領域については，防火帯内側が津波防護施設外側のラインに接するように防火帯を設定する。 津波防護施設と接していない領域については，23m の幅で東側の海に到達させる。
⑧		【津波防護施設から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，植生管理エリアを設定し，津波防護施設に対する 21m の離隔距離を確保する。
⑨		【津波防護施設から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防火帯の外側のラインが敷地境界に接するように防火帯を設定する。 なお，植生管理エリアを設定し，津波防護施設に対する 21m の離隔距離を確保する。

ｃ．防火帯の管理

防火帯の管理については火災防護計画に定め，駐車車両等の可燃物及び消火活動に支障となるものは原則として配置しない管理を行う。（別紙 2.6）

4.3　熱影響と危険距離の評価

評価対象施設に対して，森林火災による熱影響評価を行った。

4.3.1　パラメータの算出

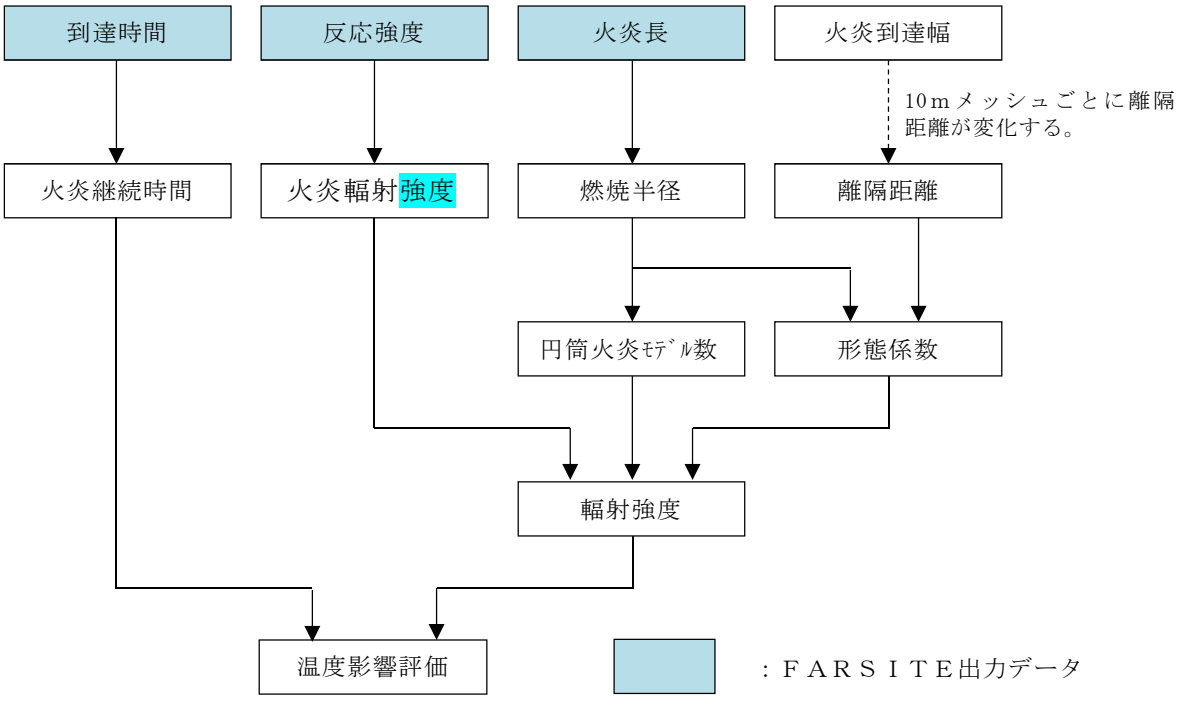
ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を第4.3.1-1表，ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果及び算出データを第4.3.1-2表，温度評価の流れを第4.3.1-1図に示す。

第4.3.1-1表　温度評価に用いたデータ内容

項　　目		内　　容
FARSITE 解析結果	火炎到達時間 (hr)	出火から火炎の前線が該当地点に到達するまでの時間。火炎継続時間の算出に使用する。
	反応強度 (kW/m^2)	単位面積当たりの熱放出速度であり，火炎輻射強度の根拠となる火災規模。火炎輻射強度の算出に使用する。
	火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ。円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
FARSITE 解析結果 より算出 したデータ	火炎継続時間 (hr)	到達時間から算出され，円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	火炎輻射強度 (kW/m^2)	反応強度に米国NFPAの係数0.377を乗じて算出され，円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	燃焼半径 (m)	火炎長に基づき算出され，円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
	火炎到達幅 (m)	防火帯外縁における火炎到達セル数×セル幅（10m）

第 4.3.1-2 表　ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果及び算出データ

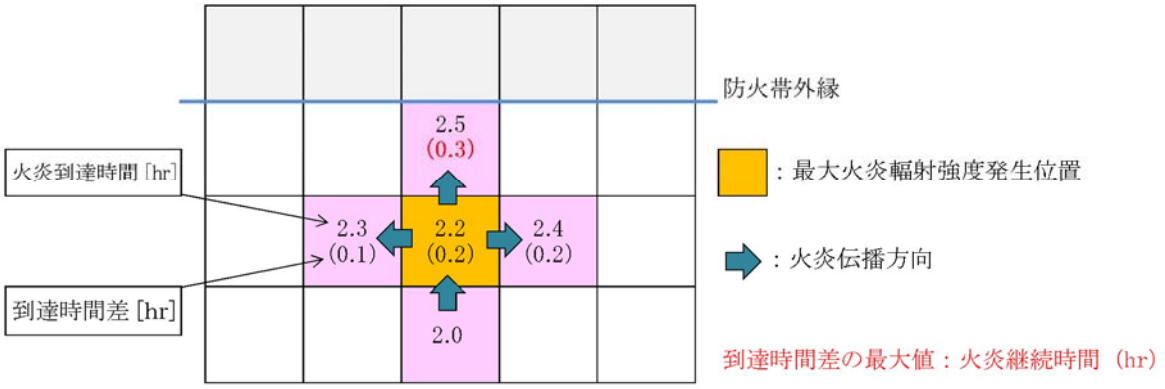
項　目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7
火炎長 (m)	0.7	0.9	1.6	1.1	1.5	1.6	1.5
火炎継続時間 (hr)	0.36	0.16	0.07	0.16	0.10	0.06	0.08
火炎輻射強度 (kW/m^2)	442	441	442	440	444	443	439
燃焼半径 (m)	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
火炎到達幅 (m)	1,960	1,550	1,960	1,460	1,960	1,960	1,330



第 4.3.1-1 図　温度評価流れ図

(1)　火炎継続時間

最大火炎輻射強度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差を火炎継続時間とする。2 つ以上の伝播方向がある場合は，最大時間を選択する。火炎継続時間の概念図を第 4.3.1-2 図に示す。



第 4.3.1-2 図　火炎継続時間の概念図

(2)　火炎輻射強度

火炎輻射強度はＦＡＲＳＩＴＥ出力データである反応強度から算出する。

反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギと，火炎・煙として対流放出される熱エネルギの和から求められることから，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を求めることで，反応強度から火炎輻射強度を算出する。「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」から各樹木の発熱量を引用し，反応強度に対する火炎輻射強度の割合を算出する。

東海第二発電所の周囲は，針葉樹で囲まれていることから，針葉樹の係数 0.377 を使用する。火炎輻射強度と反応強度の発熱量の関係を第 4.3.1-3 表に示す。

反応強度（W／m^2）＝火炎輻射強度（W／m^2）＋火炎対流発散度（W／m^2）

第 4.3.1-3 表　火炎輻射強度と反応強度の発熱量

発熱量（⊿H）	火炎輻射強度 （⊿Hrad）	火炎対流発散度 （⊿Hcon）	反応強度 （⊿Hch）	係数 （⊿Hrad/⊿Hch）
レッドオーク 発熱量 （落葉広葉樹の代表種）	4.6kJ／g	7.8kJ／g	12.4kJ／g	0.371
米松 発熱量 （針葉樹の代表種）	4.9kJ／g	8.1kJ／g	13.0kJ／g	0.377

※：「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」
（SFPE:米国防火技術者協会）より

(3)　燃焼半径

燃焼半径は，火炎長から算出する。

$$R = \frac{H}{3}$$

R ：燃焼半径(m)　　H ：火炎長(m)

(4)　火炎到達幅

発電所周囲の森林境界に到達した火炎のセル数×10m（セル幅）を火炎到達幅 W として算出する。

(5)　円筒火炎モデル数

円筒火炎モデル数及び 10m メッシュ内の円筒火炎モデル数を，火炎到達幅，燃焼半径から算出する。

$$F = \frac{W}{2R} \qquad F' = \frac{10}{2R}$$

F　：円筒火炎モデル数　　W ：火炎到達幅(m)

F’　：円筒火炎モデル数(10m メッシュ)　　R ：燃焼半径(m)

(6)　形態係数の算出

外部火災の影響評価ガイドに基づき形態係数を算出する。各円筒モデルから受熱面までの距離が異なるため，各円筒火炎モデルにおける形態係数を算出する。

$$\emptyset_i = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left[\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right) - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right)\right]$$

$$m = \frac{H}{R},\quad n = \frac{L_i}{R},\quad A = (1+n)^2 + m^2,\quad B = (1-n)^2 + m^2$$

$\emptyset_i$：円筒火炎モデルの形態係数

L_i：離隔距離(m)，H：火炎長(m)

R ：燃焼半径(m)

(7)　輻射強度の算出

10m メッシュ内には燃焼半径から算出した F’ 個の火炎が存在するものとして，受熱面への輻射強度を算出する。

$E_0 = \emptyset_0 \times F' \times R_f$　　（中心火炎の場合）

$E_i = \emptyset_i \times F' \times R_f \times 2$　（中心以外の火炎の場合）

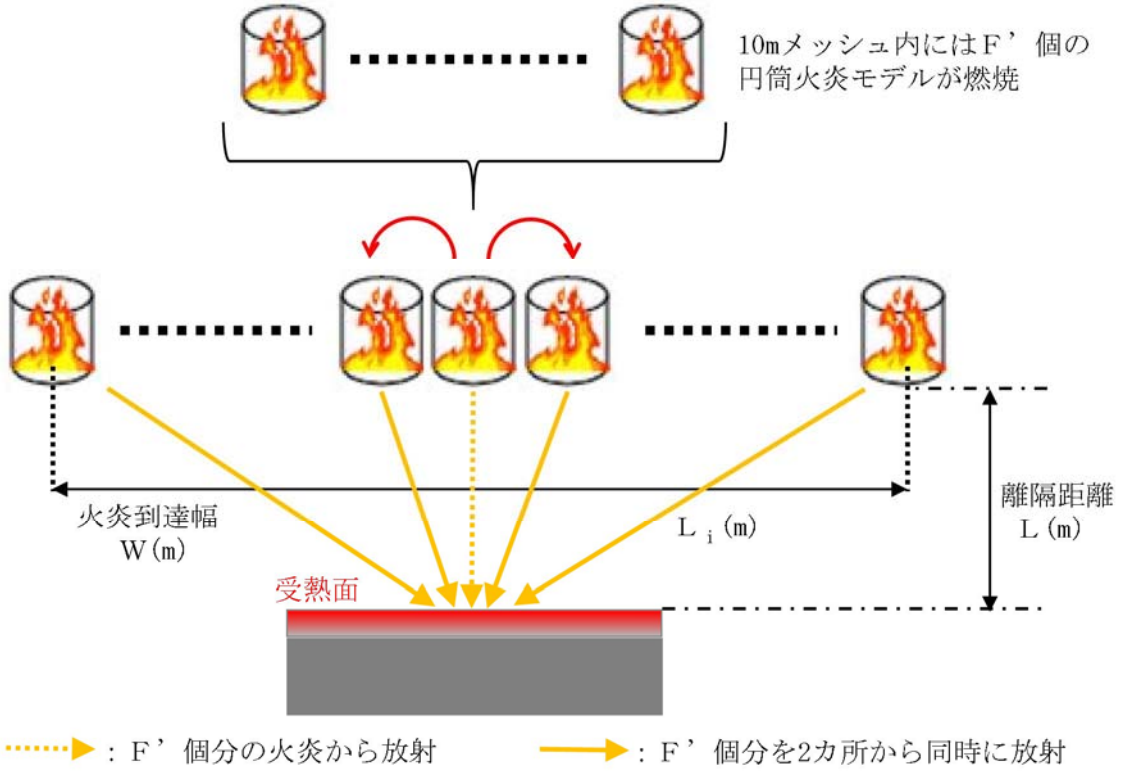
$\emptyset_i$：形態係数

R_f：最大火炎輻射強度(kW／m^2)

F’ ：円筒火炎モデル数（10m メッシュ）

(8)　温度評価条件

受熱面への輻射強度は，円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べて，各々の輻射強度を積算し評価した。火炎輻射強度は各々の位置で強度の違いがあるが，本評価では保守的に最大火炎輻射強度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間である。円筒火炎モデルの概念図を第 4.3.1-3 図に示す。



第 4.3.1-3 図　円筒火炎モデルの概念図

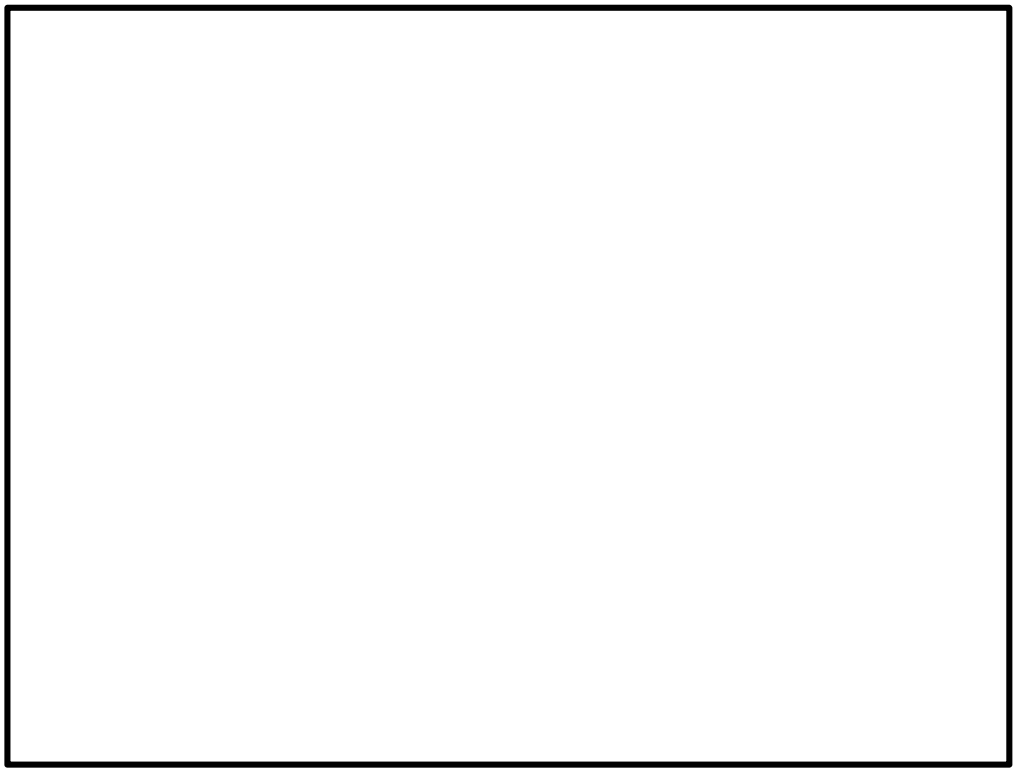
4.3.2　熱影響評価

4.3.2.1　建屋外壁の熱影響評価

(1)　影響評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を用いて評価を行う。評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.1-1 図，第 4.3.2.1-1 表に示す。



第 4.3.2.1-1 図　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

第 4.3.2.1-1 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	原子炉建屋	海水 ポンプ室	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	タービン 建屋	放水路 ゲート
離隔距離 (m)	267	242	37	221	41

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

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 200℃以下とする。なお，外壁にはガラリ，配管貫通部等が存在するが，これらに対する火災影響は敷地内火災に包絡されるため本評価では対象外とした。

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで，外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \qquad \text{（式 1）}$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E \qquad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad (x=L)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T	：初期温度（50℃）※	E	：輻射強度(W／m^2)
ρ	：密度（2,400kg／m^3）	k	：熱伝導率（1.63W／m／K）
C_p	：比熱（880J／kg／K）	L	：厚さ[m]

※　水戸地方気象台で観測された過去高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad (式\ 3)$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

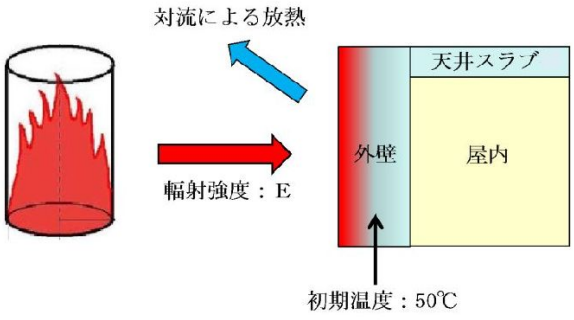
Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

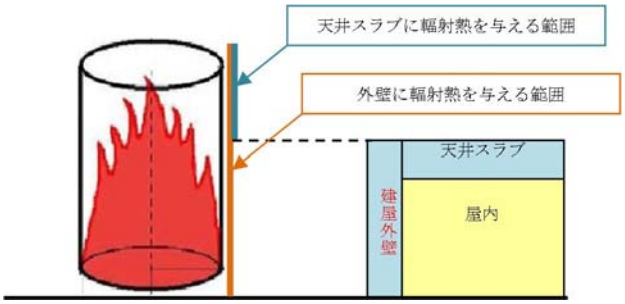
上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.3.2.1-2 図，天井スラブへの輻射熱の影響の概念図を第 4.3.2.1-3 図に示す。

・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。



第 4.3.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図



第 4.3.2.1-3 図　天井スラブへの輻射熱の影響概念図

c．評価結果

評価対象施設の外壁外面温度，外壁内面温度及び外壁外面温度が200℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。また，津波防護施設の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁については，建屋と同じコンクリートであることから，同式により危険距離を評価し，津波防護施設に対しても離隔距離が確保されていることを確認した（別紙 2.5）。外壁外面温度の評価結果を第 4.3.2.1-2 表，外壁内面温度の評価結果を第 4.3.2.1-3 表に，危険距離の評価結果を第 4.3.2.1-4 表に示す

第 4.3.2.1-2 表　外壁外面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	53	52	53	53	53	53	53	＜200
使用済燃料乾式貯蔵建屋	96	87	93	94	99	91	92	
タービン建屋	54	53	53	53	54	53	53	

第 4.3.2.1-3 表　外壁内面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	53	52	51	52	52	51	51	＜200
使用済燃料乾式貯蔵建屋	62	57	56	58	57	55	56	
タービン建屋	52	51	51	52	51	51	51	

第 4.3.2.1-4 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	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	17	15	17	17	18	16	17	267
使用済燃料乾式貯蔵建屋	17	15	17	17	18	16	17	37
タービン建屋	17	15	17	17	18	16	17	221

4.3.2.2　建屋内部の室内温度評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設に対し，室内で人員の活動が必要な中央制御室について，森林火災を想定し，室内温度を評価した。

(2)　判断の考え方

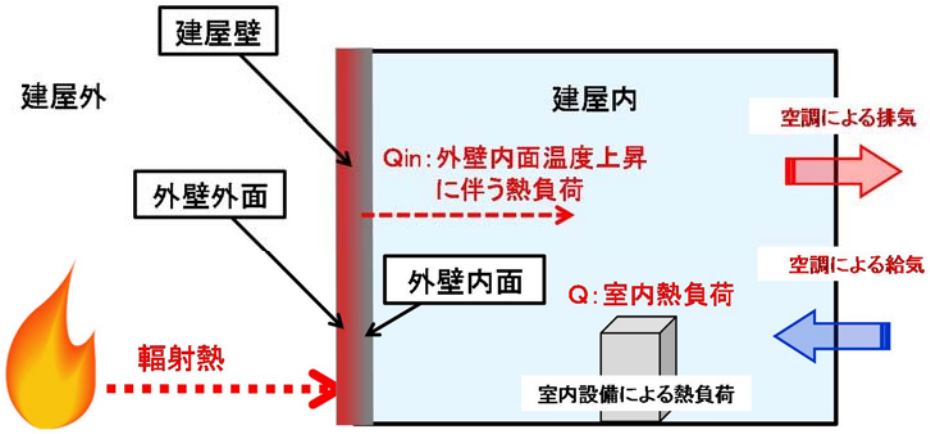
a．許容温度

中央制御室の設計室温から 40℃とする。

b．評価方法

4.3.2.1 の原子炉建屋の評価結果より，外壁内面温度は 53℃を想定した。なお，4.3.2.1 の外壁外面の評価結果は，原子炉建屋南側の壁であり，中央制御室のある東側の壁とは異なるが，保守的に南側の壁の評価結果を想定することとした。

室内温度評価の概念図を第 4.3.2.2-1 図，室内温度評価の評価条件を第 4.3.2.2-1 表に示す。



第 4.3.2.2-1 図　室内温度評価の概念図

第 4.3.2.2-1 表　室内温度評価の評価条件

評価条件項目		中央制御室 (原子炉建屋)
壁面寸法	壁面 表面積 (m^2)	188
熱負荷情報	室内熱負荷(W)	210,579
	風量(m^3／h)	42,504
	空調給気温度(℃)	15.5
室内許容温度	室内許容温度(℃)	40

4.3.2.1 の一次元非定常熱伝導方程式を用いて算出した第 4.3.2.2-2 表の外壁内面温度より，下式を用いて室内温度評価を算出した。

第 4.3.2.2-2 表　熱評価結果

火災源	評価対象	外壁内面温度[℃]
森林火災 (発火点 1)	中央制御室 (原子炉建屋)	53

$$Q_{in} = h_{in} A \left(T_{in} - T_{room} \right)$$

Q_{in}：外壁内面温度上昇に伴う熱負荷(W)
h_{in}：外壁内面熱伝達率(8.29W／m^2／K)
A　：受熱壁の表面積 (m^2)
T_{in}：外壁内面最高温度(℃)，T_{room}：室温(℃)

室内温度の評価は，森林火災による外壁内面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び空調による除熱を考慮し算出した。

$$T_{room} = \frac{Q + Q_{in}}{m \rho C_p} + T_a$$

Q：室内熱負荷(210,579W)，m：風量(42,504m^3／h)
ρ：空気密度 (1.2kg／m^3)
C_P：空気比熱(1,007 J／kg／K)，T_a：空調給気温度 (℃)

ｃ．評価結果

森林火災を想定した中央制御室の室内温度を算出した結果，室内温度は許容温度以下であることを確認した。

室内温度評価結果を第 4.3.2.2-3 表に示す。

第 4.3.2.2-3 表　室内温度評価結果

火災源	評価対象	建屋内部の到達温度 (℃)	許容温度 (℃)
森林火災 (発火点 1)	中央制御室 (原子炉建屋)	33	＜40℃

4.3.2.3　主排気筒に対する熱影響評価と危険距離の算出

(1)　評価対象範囲

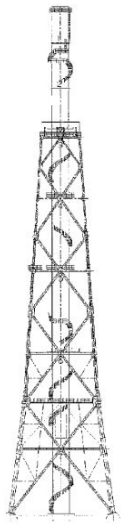
主排気筒について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒の仕様を第 4.3.2.3-1 表に，主排気筒の外形図を第 4.3.2.3-1 図に示す。

第 4.3.2.3-1 表　評価対象施設の仕様

名称		主排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個　数		1



第 4.3.2.3-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.3-2 表に示す。

第 4.3.2.3-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	離隔距離 (m)
主排気筒	266

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。評価において対流による放熱を考慮している。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最小となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

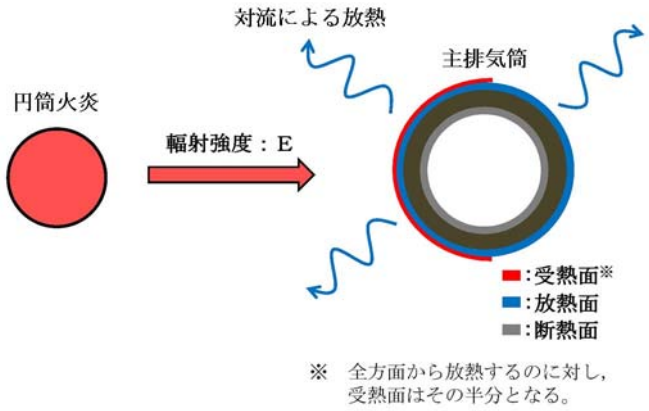
ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

なお，主排気筒は鉄塔と筒身で構成されるが，鉄塔は筒身よりも火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身は SS400 であり物性値がともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。主排気筒の評価概念図を第 4.3.2.3-2 図に示す。



第 4.3.2.3-2 図　主排気筒の評価概念図

c．評価結果

森林火災によって上昇する主排気筒鉄塔表面温度及び，主排気筒鉄塔表面温度が 325℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。また，津波防護施設の止水ジョイント部の鋼製防護部材については，主排気筒と同じ鋼材であることから，同式により危険距離を評価し，津波防護施設に対しても離隔距離が確保されていることを確認した（別紙 2.5）。主排気筒の熱影響評価結果を第 4.3.2.3-3 表に，主排気筒に対する危険距離を第 4.3.2.3-4 表に示す。

第 4.3.2.3-3 表　主排気筒の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
主排気筒	51	52	52	52	52	52	52	＜325

第 4.3.2.3-4 表　主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	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
主排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

4.3.2.4　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する熱影響評価と危険距離の算出

(1)　評価対象範囲

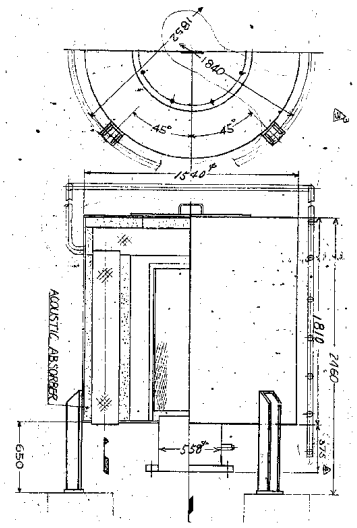
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様及び外形

空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口仕様を第 4.3.2.4-1 表に，外形図を第 4.3.2.4-1 図に示す。

第 4.3.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)吸気口
種　類	円筒縦形
主要寸法	外径　　：1.54m 円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 4.3.2.4-1 図　吸気口の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.4-2 表に示す。

第 4.3.2.4-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)
離隔距離 (m)	267

(4)　判断の考え方

a．許容温度

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（＝危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad \text{（式 1）}$$

Ｔ：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(40℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，

Ｇ：重量流量(4kg／s)※2，Ａ：輻射を受ける面積(7.8m^2)

C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)※3

ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　ディーゼル発電機の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機吸気流量（228m^3／min）×空気密度（1.17kg／m^3）÷60

※３　日本機械学会 伝熱工学資料

※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

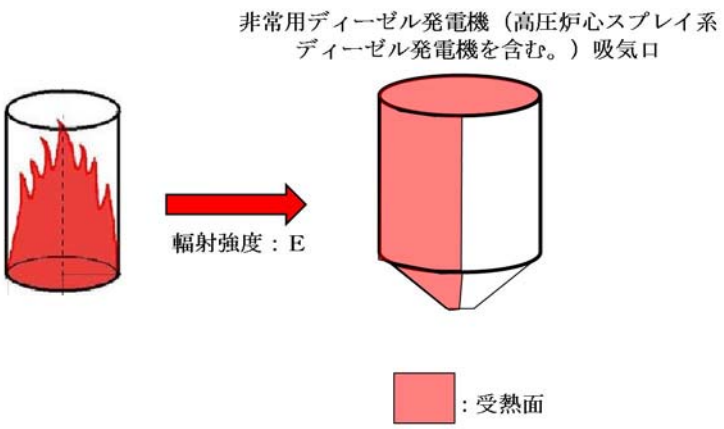
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，森林火災によって上昇する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度が，許容温度 53℃以下であるか評価を実施した。また，危険距離が離隔距離以下となるか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図を第 4.3.2.4-2 図に示す。



第 4.3.2.4-2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図

c．評価結果

森林火災によって上昇する非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）を通して流入する空気の温度及び，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口を通して流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の熱影響評価結果を第 4.3.2.4-3 表に，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する危険距離を第 4.3.2.4-4 表に示す。

第 4.3.2.4-3 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	45	45	45	45	45	45	45	＜53

第 4.3.2.4-4 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	18	21	28	22	28	28	27	267

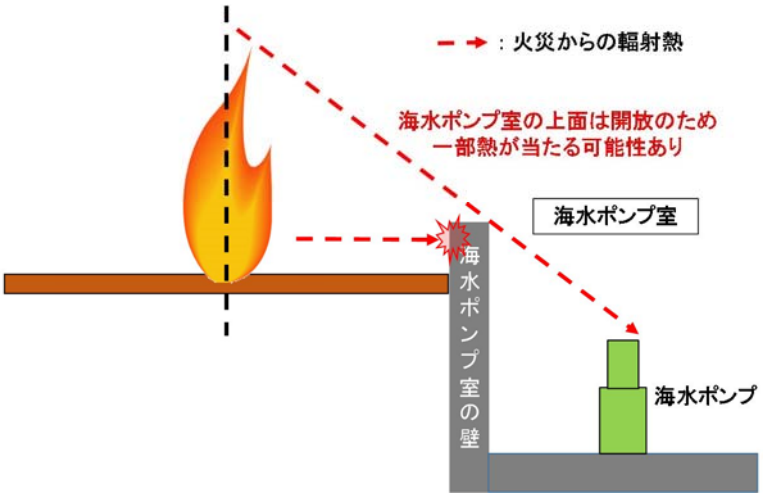
4.3.2.5　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する熱影響評価と危険距離の算出

(1)　評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉

外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，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，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 4.3.2.5-1 図に示す。

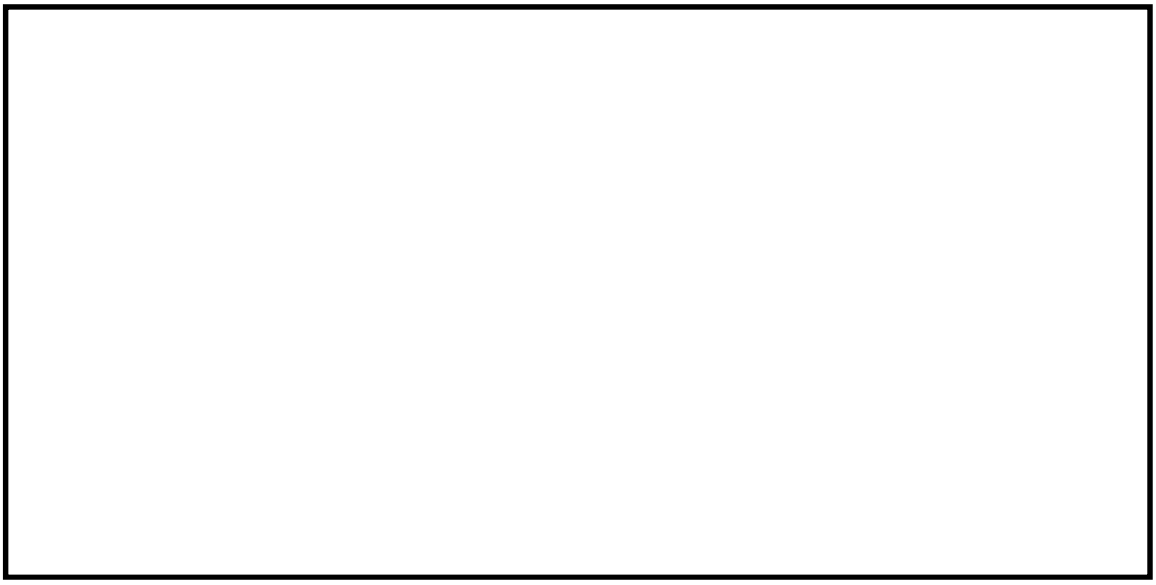
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。



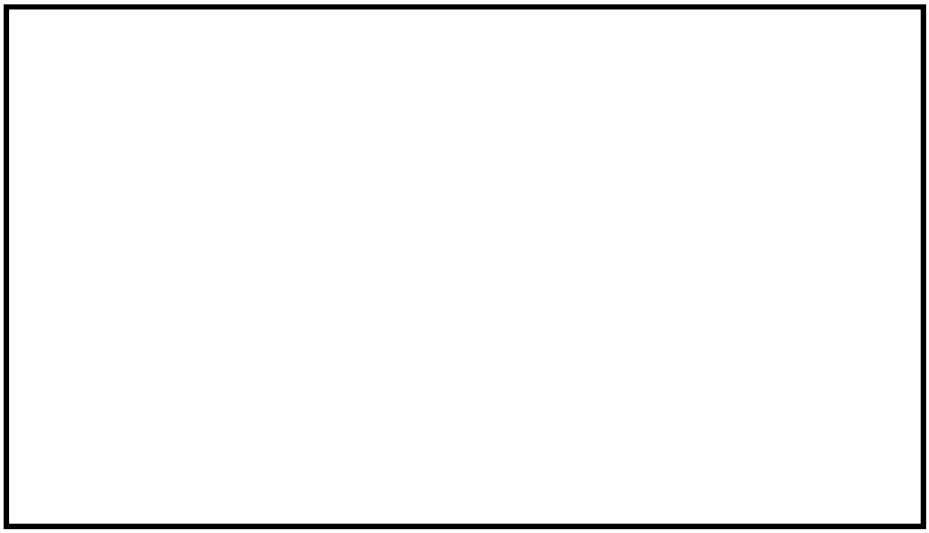
第 4.3.2.5-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(2) 評価対象施設の仕様

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 4.3.2.5-2 図，外形図を第 4.3.2.5-3 図に示す。仕様を第 4.3.2.5-1 表に示す。



第 4.3.2.5-2 図 海水ポンプの配置図



第 4.3.2.5-3 図 海水ポンプの外形図

第 4.3.2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400, SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.5-2 表に示す。

第 4.3.2.5-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	海水ポンプ室
離隔距離 (m)	242

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 4.3.2.5-3 表に示す。

第 4.3.2.5-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 4.3.2.5-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 4.3.2.5-4 表に，評価概念図を第 4.3.2.5-4 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad \text{（式 1）}$$

T：評価温度(℃)，T_0：初期温度(39℃)※1，E：輻射強度(W／m^2)，

G：重量流量(kg／s)，A：輻射を受ける面積(m^2)

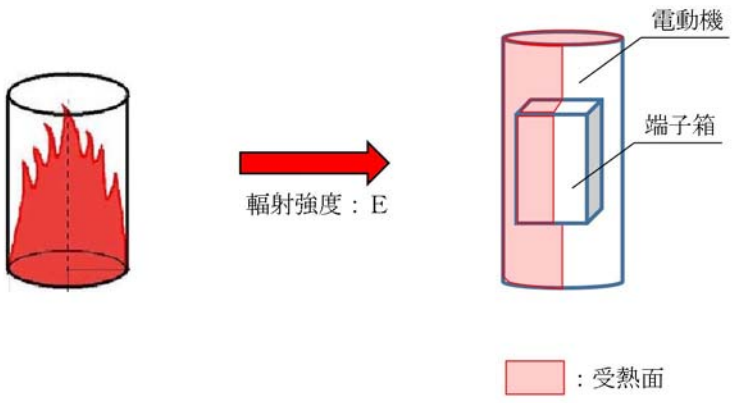
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔT：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※2　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔTb＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

第 4.3.2.5-4 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
G：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
A：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6



第 4.3.2.5-4 図　評価概念図

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad (式２)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad (式３)$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

c．評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 4.3.2.5-5 表，第 4.3.2.5-6 表に示す。

第 4.3.2.5-5 表　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	発火点3	発火点4	発火点5	発火点6	発火点7	
残留熱除去系海水系ポンプ	45	45	45	45	45	45	45	＜70
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ポンプ	45	45	45	45	45	45	45	＜60

第 4.3.2.5-6 表　危険距離の評価結果

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
残留熱除去系海水系ポンプ	17	19	27	21	26	27	26	242
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ポンプ	14	16	23	18	23	23	22	242

4.3.2.6　放水路ゲートに対する熱影響評価と危険距離の算出

(1)　評価対象範囲

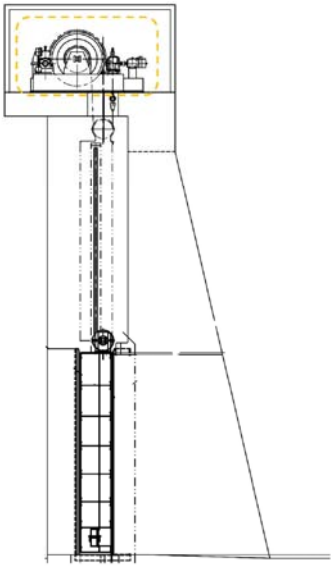
放水路ゲートについて，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様及び外形

放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 4.3.2.6-1 表に，外形図を第 4.3.2.6-1 図に示す。

第 4.3.2.6-1 表　評価対象施設の仕様

名称	放水路ゲート駆動装置
床面高さ	T.P.＋11.0m
外殻材料	炭素鋼
個　数	3



第 4.3.2.6-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 4.3.2.6-2 表に示す。

第 4.3.2.6-2 表　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	放水路ゲート
離隔距離 (m)	41

(4)　判断の考え方

a．許容温度

放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。評価において対流による放熱を考慮している。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最小となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

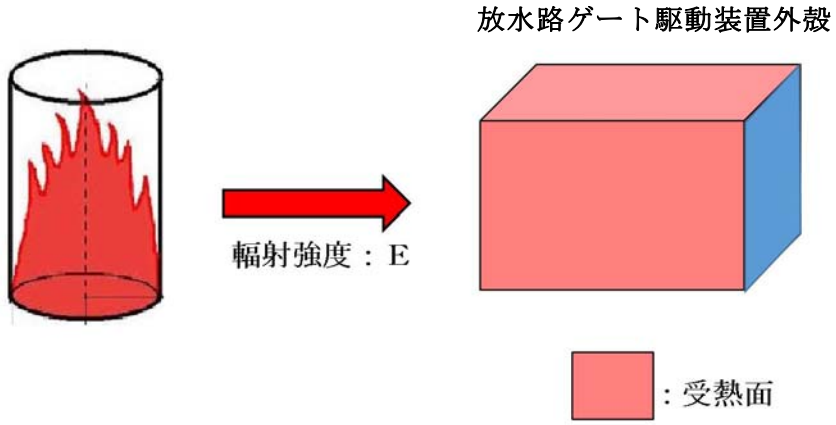
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第 4.3.2.6-2 図に示す。



第 4.3.2.6-2 図　放水路ゲートの評価概念図

ｃ．評価結果

森林火災によって上昇する放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度及び，放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が 325℃となる危険距離を評価した結果，各評価結果が許容値以下であることを確認した。熱影響評価結果を第 4.3.2.6-3 表に，危険距離を第 4.3.2.6-4 表に示す。なお，放水路ゲート駆動装置は津波防護施設が障壁となり，森林火災の影響を受ける可能性は低いが，外殻内面への熱影響防止のため，外殻裏面に断熱材

を設置し，内部の放水路ゲート駆動装置へ熱影響がない設計とする。

（別紙 2.11）

第 4.3.2.6-3 表　放水路ゲートの熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度（℃）							許容温度（℃）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
放水路ゲート	85	93	126	99	121	125	119	＜325

第 4.3.2.6-4 表　放水路ゲートに対する危険距離

評価対象施設	危険距離（m）							離隔距離（m）
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
放水路ゲート	12	14	20	15	19	20	19	41

許容温度について

1. コンクリート及び鋼材の許容温度

「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」に基づき，常温時の強度が維持される保守的な温度（コンクリートは 200℃，鋼材は 325℃）を許容温度とする。

以下に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

コンクリートの許容温度に係る抜粋

（1）素材の高温強度

常温時のコンクリートの圧縮強度低下率を図 14 に示す。圧縮強度は 200℃程度までは常温と殆ど変わらないか，むしろ上昇する。しかし，その後は徐々に低下して 500℃で常温強度の 2／3 に，800℃では殆ど零となる。2／3 はコンクリートの短期許容応力に相当するので，500℃が素材としての限界温度と考えられる。また，図 15 に示すように高温から冷却した後の残存強度は，高温時の強度よりもさらに低下する。長期許容応力度を加熱前強度の 1／3 相当と考えると，火災後の残存強度を確保する場合には 450℃が限界となる。

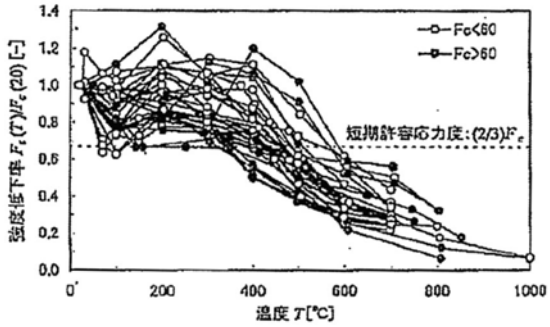


図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）
（参考文献 18）～23)のデータより作成

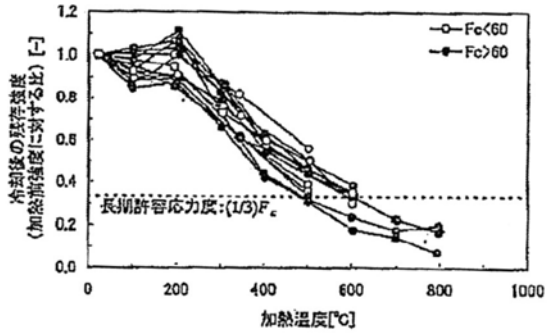


図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）
（参考文献 24）～26)）のデータより作成

(1) 鋼材の高温耐力

図 4 は，各種温度における構造用鋼材（SM490A，基準強度[2]325N／mm[2]）の応力―ひずみ曲線の測定例である。常温での応力―ひずみ関係は，よく知られたように 0.2%程度まで弾性変形し，その後は耐力がほぼ 1 定のままひずみが増加する領域（ひずみ硬化域）がある。

高温での応力―ひずみ曲線の形は常温とことなる。降伏棚が消滅し，曲線は全体的に丸みを帯びる。耐力値そのものは，300℃では常温よりも上昇し，400℃を超えると急激に低下し始める。600℃以上ではひずみが増加しても耐力が減少する領域（ひずみ軟化域）がある。この領域に入ってしまうと，変形が歯止めなく進行して崩壊に向かう。

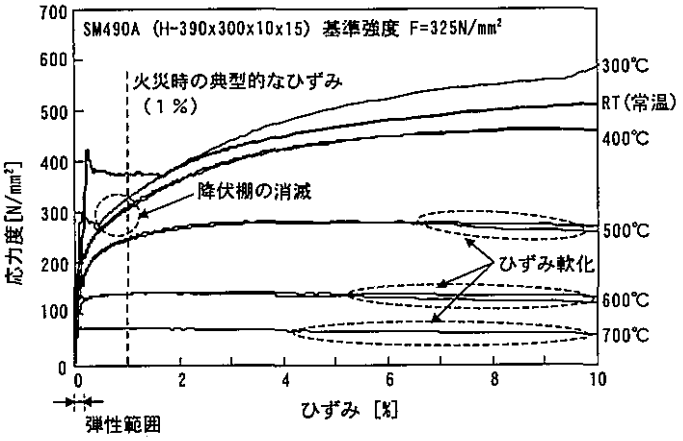


図 4　構造用鋼材の応力ー歪曲線の例[2)]
(出典：「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院)

このような鋼材の特性を踏まえ，高温時の構造計算には 1%ひずみ時の耐力を用いる。図 5 に，各種鋼材の 1%ひずみ時耐力の測定結果を示す。縦軸の値は，各温度での測定値を常温の基準強度（Ｐ値）で割ったものであり，これを鋼材の強度低下率と呼ぶ。構造耐火設計のためには，測定値の下限をとり次式で強度低下率が定義されている[2)]。

$$\kappa(T)=\frac{\sigma_y(T)}{F}=\begin{cases}1 & (T\le 325)\\ \dfrac{700-T}{375} & (325<T\le 700)\end{cases} \qquad (4)$$

強度が変わらない最高温度である 325℃を許容温度に設定

これを用いると，素材としての限界温度を求めることができる。例えば，鋼材の長期許容応力度は基準強度の 2/3 なので，長期許容応力度一杯で設計された部材では，

$$0.667=\frac{700-T}{375} \qquad (5)$$

より，450℃が許容鋼材温度となる。

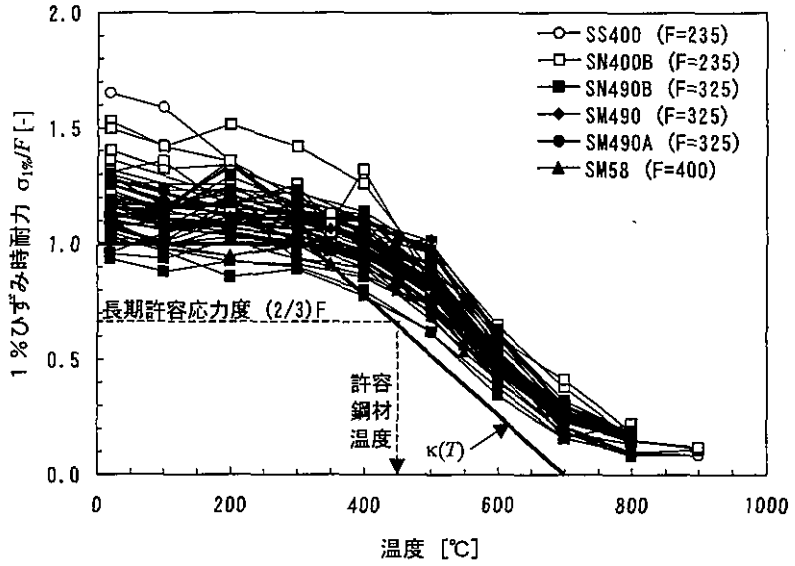


図５　各種鋼材の高温時の１％歪時耐力（参考文献[2)~6)] のデータから作成）

2. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の許容温度

過給機効率η_cの算出式①より，流入空気温度を求める式②に変換し，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な流入空気温度53℃を算出し許容温度に設定した。

$$\eta_c = T_0 \times \{ (P_1 / P_0)^{0.286} - 1 \} / (t_1 - t_0) \quad \cdots ①$$

$$t_1 = T_0 \times \{ (P_1 / P_0)^{0.286} - 1 \} / \eta_c + t_0 \quad \cdots ②$$

T_0：流入空気温度（K）（$=t_0+273$）
t_1：ｼﾘﾝﾀﾞへの必要空気量を確保するための過給機出口最高温度（142℃）※1
t_0：流入空気温度（℃），P_0：過給機入口圧力（0.101MPa）※2
P_1：過給機出口圧力（0.186MPa）※2，η_c：過給機効率（0.7）※3
※1　空気冷却器での冷却が可能な最高温度
※2　試験記録より
※3　製品仕様より

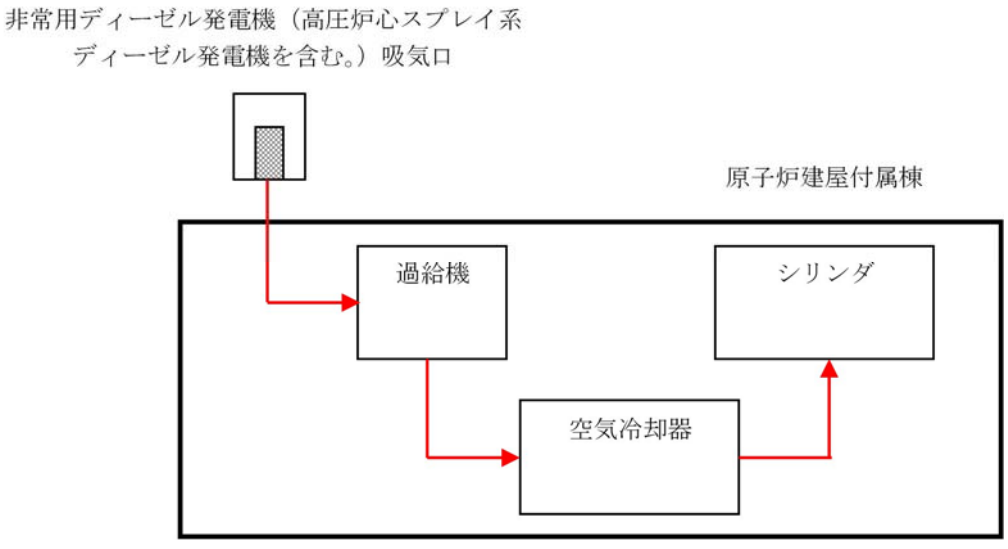


図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）概略図

初期温度の考え方について

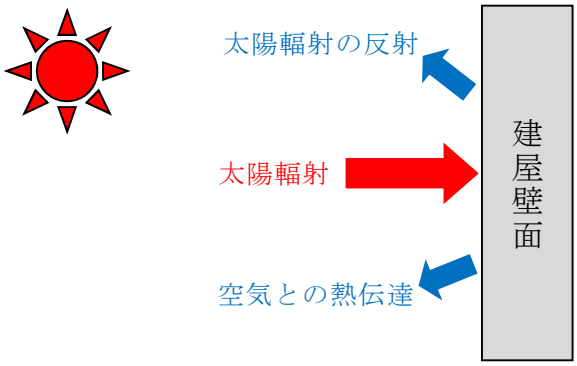
1. 外壁の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に，外気温度に日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げ，評価対象の初期温度として設定した。

水戸地方気象台の過去最高気温 38.4℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15 時）の日射量とコンクリートの日射吸収率 0.7 を考慮すると，外壁面の相当外気温の最大値は 45.5℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。

なお，原子炉建屋内で最も室温が高いのは，主蒸気管トンネル室（設計温度：60℃）であり，外壁面の初期温度 50℃より高いものの，その外壁は原子炉建屋とタービン建屋の間に位置しており，外部火災による輻射の影響を受けない。

次に室温が高いのは，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室（設計温度：40℃）となるが，外壁面の初期温度 50℃未満であることから，初期温度の設定は妥当なものと考えられる。

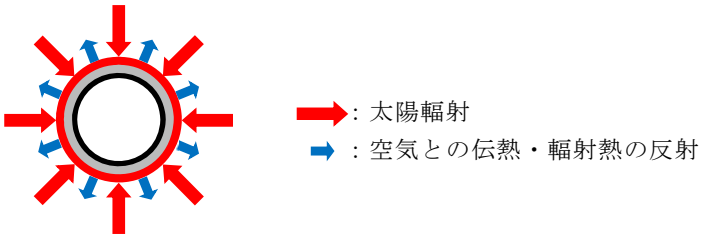


第 1 図　外壁の評価概念図

2.　主排気筒の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に，外気温度に日射の影響を考慮した相当外気温を求め，その値を切り上げ，評価対象の初期温度として設定した。なお，受熱面は主排気筒の側面とした。

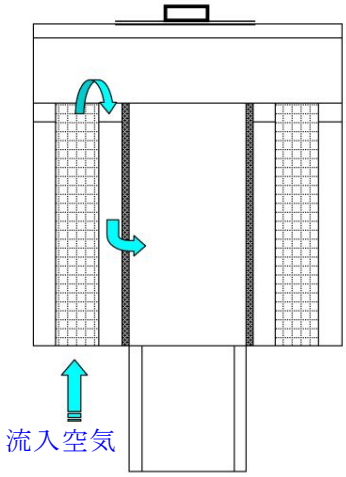
水戸地方気象台の過去最高気温 38.4℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15 時）の日射量と主排気筒の日射吸収率 1.0 を考慮すると，主排気筒の相当外気温の最大値は 48.6℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。



第 2 図　主排気筒の評価概念図

3.　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ内への流入空気の初期温度

水戸地方気象台の過去最高気温 38.4℃を切り上げた 39 ℃を流入空気の初期温度とした。



第 3 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の評価概念図

防火帯内植生による評価対象施設への火災影響について

防火帯内の植生調査結果（平成 28 年 8 月現在）を基に作成した防火帯内植生図を下図に示す。

発電所敷地内で，現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は，社内文書に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱うことから，敷地内植生に火が延焼することはなく，火災が発生することはない。万が一火災が発生した場合でも，防火帯内の発電用原子炉施設周囲の主な植生は，火線強度が低い，マツ（樹齢 10 年以上）や短い草であり，道路（幅約 10m）や非植生のエリアも多くあることに加え，防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認しており，迅速に消火対応が可能であるため発電用原子炉施設への影響はない。

図　防火帯内植生図

斜面に設定している防火帯の地盤安定性について

斜面に設定する防火帯範囲を下図に示す。この斜面については，基準地震動を想定した地盤安定性評価を実施しており，崩落しないことを確認している。このため，斜面に設定している防火帯が斜面の崩落により機能を喪失することはない。

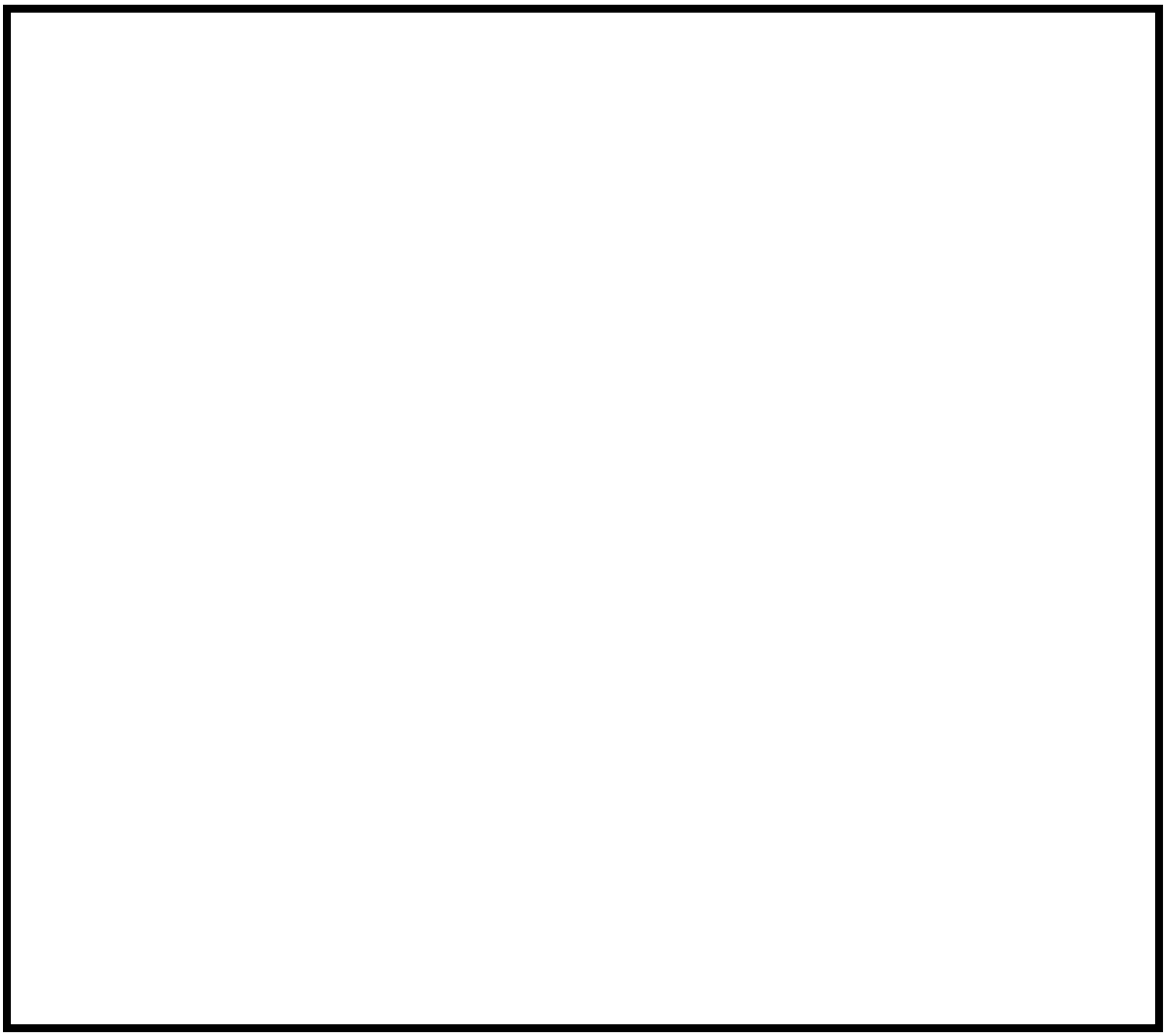


図　崩落評価の実施箇所と防火帯位置の関係

津波防護施設等に対する森林火災影響について

1. 評価対象の検討

津波防護施設のうち森林火災の影響を受ける対象を表 1，各対象の設置箇所を図 1 に示す。

表 1　森林火災の影響を受ける対象

対象名	設置箇所	構造概要
鋼管杭鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ防潮壁	全体	・丸ﾊﾟｲﾌﾟ形状の鋼管を地下に埋設 ・地上部は厚さ 70cm のｺﾝｸﾘｰﾄ被覆 ・地上高さ（上端）：T.P.+18m～T.P.20m
止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部	鋼管杭鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ防潮壁のうち一定間隔の施工ﾌﾞﾛｯｸの境界	・鋼製ｱﾝｶｰ，止水ｺﾞﾑ，鋼製防護部材等から構成される。 ・地上高さ（上端）：T.P.+18m～T.P.20m
防潮扉	敷地南側境界付近	・鋼材製 ・地上高さ（上端）：T.P.+17m

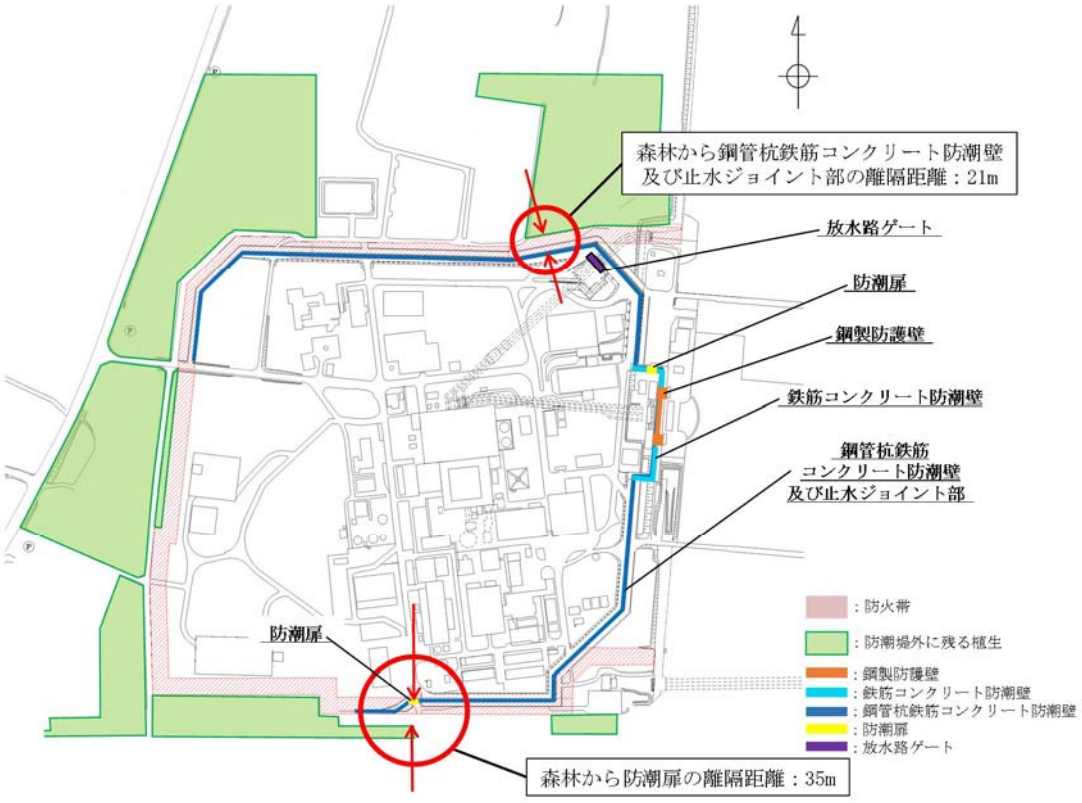


図 1　津波防護施設における森林火災の評価対象施設

2.　津波防護施設等に対する影響評価

2.1　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に対する熱影響評価

(1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の概要図

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（以下「防潮壁」という。）は，地上部表面は鉄筋コンクリート製であるため，評価対象は鉄筋コンクリートとして熱影響評価を実施した。

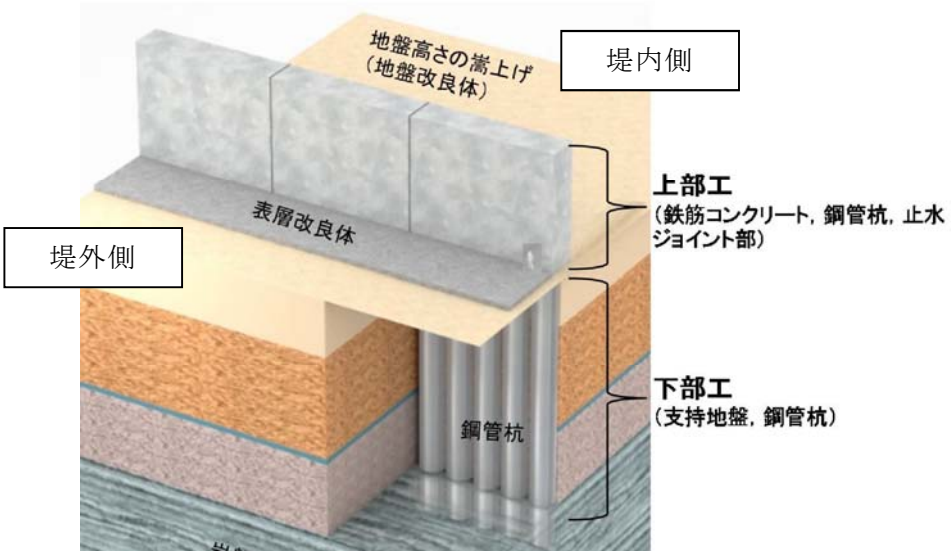


図 2　防潮壁の概要図

(2)　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を表 2 に示す。

表 2　評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	防潮壁
離隔距離 (m)	21

(3)　判断の考え方

a．許容温度

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 200℃以下とする。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで，外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \qquad \text{（式１）}$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E \qquad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad (x=L)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T　：初期温度（50℃）※　　E　：輻射強度(W／m^2)

ρ　：密度（2,400kg／m^3）　　k　：熱伝導率（1.63W／m／K）

C_p　：比熱（880J／kg／K）　　L　：厚さ(m)

※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$E = R_f \cdot \Phi$ （式２）

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

防潮壁の危険距離を算出した結果，森林からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。防潮壁の評価結果を表 3 に示す。

表 3　防潮壁の評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
防潮壁	18	21

2.2　止水ジョイント部及び防潮扉に対する熱影響評価

(1) 止水ジョイント部及び防潮扉の概要図

止水ジョイント部は鋼製防護部材で表面を覆っているため，鋼製防護部材を熱影響対象として評価を実施した。

防潮扉は鋼製の防潮扉を熱影響対象として評価を実施した。

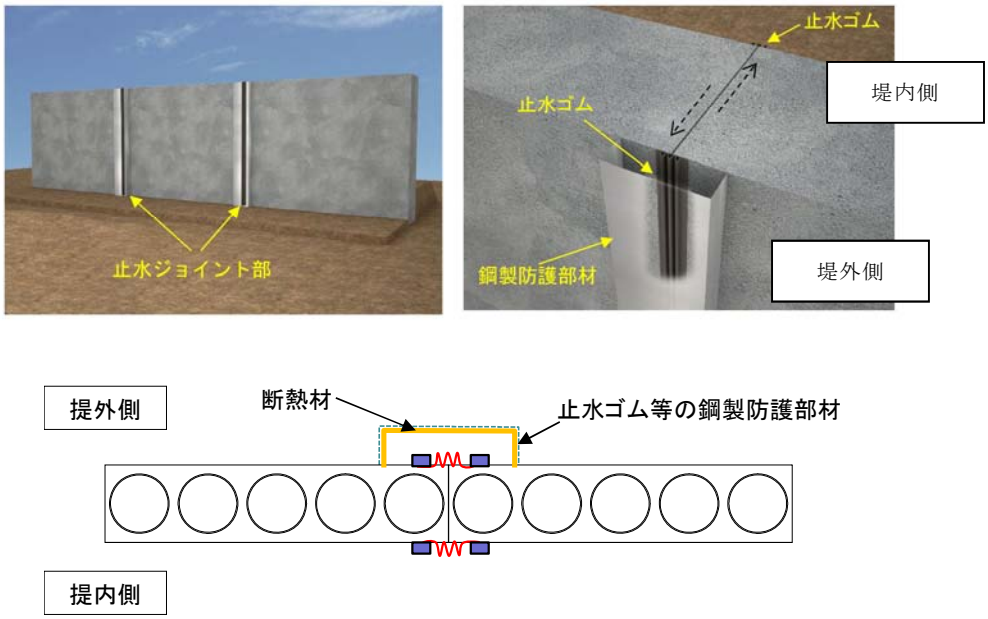


図 3　止水ジョイント部の概要図

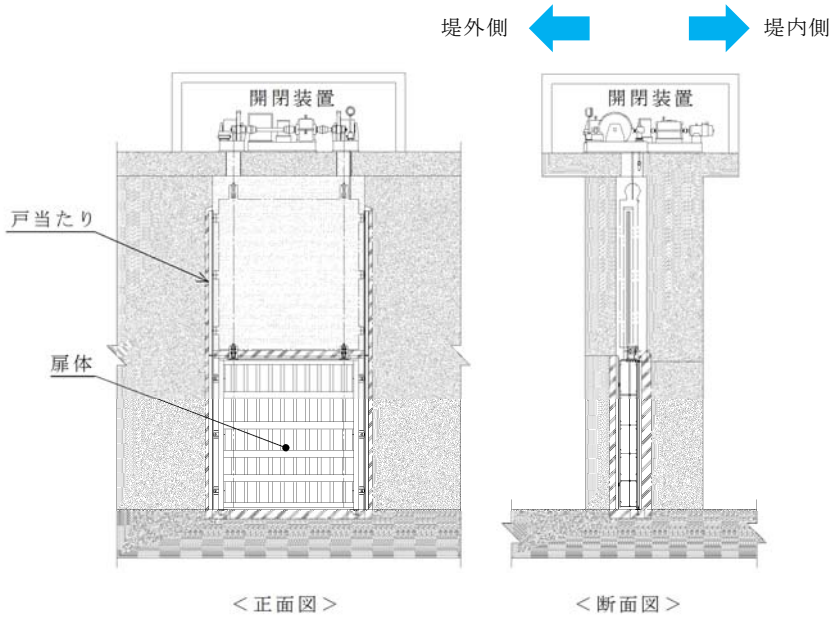


図 4　防潮扉の概要図

(2)　各評価対象施設から最も近い森林火災位置までの離隔距離

各評価対象施設から最も近い森林火災位置までの離隔距離を表 4 に示す。

表 4　各対象から最も近い森林火災位置までの離隔距離

評価対象施設	止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部	防潮扉
離隔距離 (m)	21	35

(3)　判断の考え方

a．許容温度

鋼製防護部材及び防潮扉の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で鋼製防護部材及び防潮扉が昇温されるものとして，

表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により鋼製防護部材及び防潮扉の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad （式１）$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計 財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　「空気調和ハンドブック」に記載されている表面熱伝達率のうち，保守的に最小となる垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）を採用

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad （式２）$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射強度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad （式３）$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い森林火災位置から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

c．評価結果

止水ジョイント部は，止水ゴム等を防護する鋼製防護部材の危険距離を算出した結果，森林火災位置からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。また，止水ゴム等を防護する鋼製防護部材の裏面には不燃性の断熱材を設置するため，止水ジョイント部への影響はない。（別紙2.10）

防潮扉は，鋼製の扉に対して危険距離を算出した結果，森林火災位置からの離隔距離が危険距離を上回ることを確認した。また，防潮扉には水密ゴムがあるが，直接火災の影響を受けることはなく，周囲に火災が迫った際は必要に応じ散水し温度上昇を抑制する。また万が一，防潮扉からの熱により水密ゴムの機能が喪失した場合には，速やかに取り替え等の対応を図る。

表5　止水ジョイント部及び防潮扉の評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部 （鋼製防護部材で評価）	20	21
防潮扉	20	35

(4) その他の設備

その他の設備として津波監視設備がある。津波防護施設上部に設置している④北西側及び⑦南西側の津波・構内監視カメラは森林から近い位置にあるため，火災の影響を受け機能を喪失する可能性があるが，他の津波・構内監視カメラを用いて監視することで対応は可能である。また，状況を確認し速やかに予備品と交換する対応をとる。各津波・構内監視カメラの位置を図5に，主な監視範囲を表6に示す。

図5　津波・構内監視カメラの配置図

表6　津波・構内監視カメラの主な監視範囲

設置場所		主な監視範囲							
		敷地				津波防護施設			放水路ｹﾞｰﾄ等
		東側	西側	南側	北側	東側	南側	北側	
原子炉建屋屋上	① 北東側	○			○				
	② 北西側		○		○				
	③ 南東側	○		○					
津波防護施設上部	④ 北西側		○		○			○	
	⑤ 北東側	○			○	○		○	○
	⑥ 南東側	○		○		○	○		○
	⑦ 南西側		○	○			○		○

以　上

防火帯の管理方針について

1. はじめに

森林火災評価結果に基づき，森林火災による発電用原子炉施設への延焼防止対策として，発電所構内道路及び地形を考慮し，約 23m 幅の防火帯を設定する。

防火帯内に他の法令要求等による可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とし，防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする。防火帯の管理方針について以下に示す。

2. 防火帯の管理方針

防火帯の設定に当たっては，樹木を伐採する等，可燃物を排除し，モルタル吹付け等を行う。また，防火帯は表示板等で明確に区別するとともに，構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については，駐車禁止の措置等により，原則的に可燃物がない状態を維持する。

防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器等は，原則的に設置しない方針であるが，防火帯の位置設定においては構内道路等の条件を考慮して設定するため，他の法令要求等により標識等を設置する場合は，延焼防止効果への影響の有無を評価し，必要な対策を講じる設計とする。

表 1 に防火帯内に設置される機器等の例について示す。

表１　防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針の例

分類		対象例	評価及び管理方針
不燃性の機器等		・送電線 ・津波防護施設 ・防潮扉 ・ｹｰﾌﾞﾙ	火災により燃焼しない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，当該対象に対して対策は不要である。
可燃性を含む機器等	局所的な設置機器	・標識 ・津波・構内監視カメラ	局所的な火災に留まるため防火帯の機能に影響はない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，当該対象に対して対策は不要である。
	防火帯を横断して設定	・道路	道路上に設定される防火帯内は車両の駐車禁止，可燃物を配置しない管理を行うことで，延焼防止効果に影響を与えない。

以　上

特定の安全重要度分類のクラス３施設に対する熱影響評価

放射性物質を内包する施設及び人員が長時間居住する可能性がある安全重要度分類のクラス３施設に対して，森林火災により上昇する外壁表面温度が許容温度 200℃以下であることを確認した。各外壁表面温度を下表，該当する施設の位置と離隔距離を下図に示す。

表　該当する安全重要度分類のクラス３施設の外壁表面温度

該当する施設	評価温度 (℃)
固体廃棄物貯蔵庫※	60
廃棄物処理建屋	54
緊急時対策所建屋	89

※：防火帯外縁からの距離が近く火災影響が大きいＢ棟を代表として評価

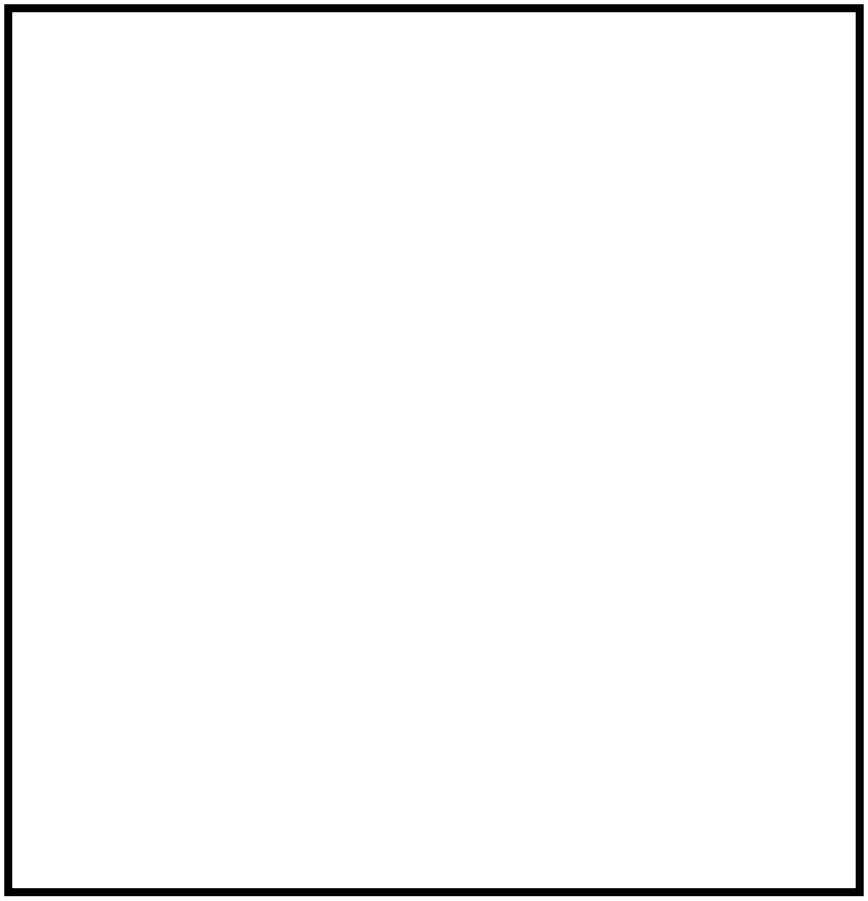


図　該当する施設の位置と離隔距離

可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートへの熱影響について

1. 概要

森林火災の延焼による影響を防止するため，可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートは防火帯の内側に配備している。

このうち，防火帯近傍に配備する可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについては，森林外縁からの必要な離隔距離を確保しており，森林火災による熱影響を受けることはない。

2. 森林火災の熱影響評価

ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果に基づき，防火帯外縁において最も高い火炎輻射強度が，一様に防火帯外縁に存在すると保守的に仮定し，一定の離隔距離において物体が受ける輻射強度を算出した。離隔距離と輻射強度の関係を図 1 に示す。

図１より，防火帯外縁から 53m 以上の離隔距離を確保することにより，輻射強度は，「人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度」とされる 1.6kW／m^2以下となり，森林火災による熱影響を受けるおそれがないことを確認した。放射熱（＝輻射強度）の影響に関する知見を表 1 に示す。

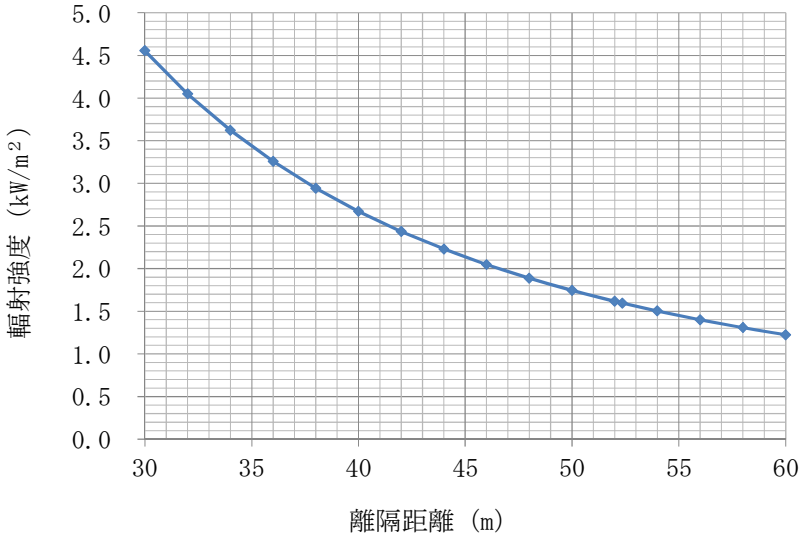


図１　離隔距離と輻射強度の相関図

表１　輻射強度の影響（石油コンビナートの防災アセスメント指針より抜粋）

表 5.17 放射熱の影響

放射熱強度 (kW/m²)	放射熱強度 (kcal/m²h)	状況および説明	出典
0.9	800	太陽（真夏）放射熱強度	*1)
1.3	1,080	人が長時間暴露されても安全な強度	*2)
1.6	1,400	長時間さらされても苦痛を感じない強度	*5)
2.3	2,000	露出人体に対する危険範囲（接近可能） 1 分間以内で痛みを感じる強度 **現指針（平成 13 年）に示されている液面火災の基準値**	*3)
2.4	2,050	地震時の市街地大火に対する避難計画で用いられる許容限界	*4)
4.0	3,400	20 秒で痛みを感じる強度。皮膚に水疱を生じる場合があるが、致死率 0%	*5)
4.6	4,000	10～20 秒で苦痛を感じる強度 古い木板が長時間受熱すると引火する強度 フレアスタック直下での熱量規制（高圧ガス保安法他）	*2)
8.1	7,000	10～20 秒で火傷となる強度	*2)
9.5	8,200	8 秒で痛みの限界に達し、20 秒で第 2 度の火傷（赤く斑点ができ水疱が生じる）を負う	*5)
11.6	10,000	**現指針（平成 13 年）に示されているファイヤーボールの基準値（ファイヤーボールの継続時間は概ね数秒以下と考えられることによる）**	*3)
11.6～	10,000～	約 15 分間に木材繊維などが発火する強度	*2)
12.5	10,800	木片が引火する、あるいはプラスチックチューブが溶ける最小エネルギー	*5)
25.0	21,500	長時間暴露により木片が自然発火する最小エネルギー	*5)
37.5	32,300	プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度	*5)

*1) 理科年表
*2) 高圧ガス保安協会：コンビナート保安・防災技術指針（1974）
*3) 消防庁特殊災害室：石油コンビナートの防災アセスメント指針（2001）
*4) 長谷見雄二,重川希志依:火災時における人間の耐放射限界について,日本火災学会論文集,Vol.31,No.1(1981)
*5) Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques, ed.P.J.Kayes. Washington, DC: Office of Environmental and Scientific Affairs, World Bank. (1985)

3.　森林火災による熱影響評価結果

保管場所に近接した場所で森林火災が発生し，火炎が防火帯外縁まで到達した場合，輻射強度が 1.6kW／m^2※以下となる森林からの離隔距離は 53m となるが，西側及び南側保管場所の可搬型重大事故等対処設備保管スペースは，森林から 53m 以上の離隔を確保しているため，熱影響を受けない。また，熱影響を受けないアクセスルートを確保していることから，可搬型設備の走行及び運搬に影響はない。輻射強度が 1.6kW／m^2以上となる範囲を図 2 に示す。

※　人が長時間さらされても苦痛を感じない強度（出典：石油コンビナートの防災アセスメント指針）

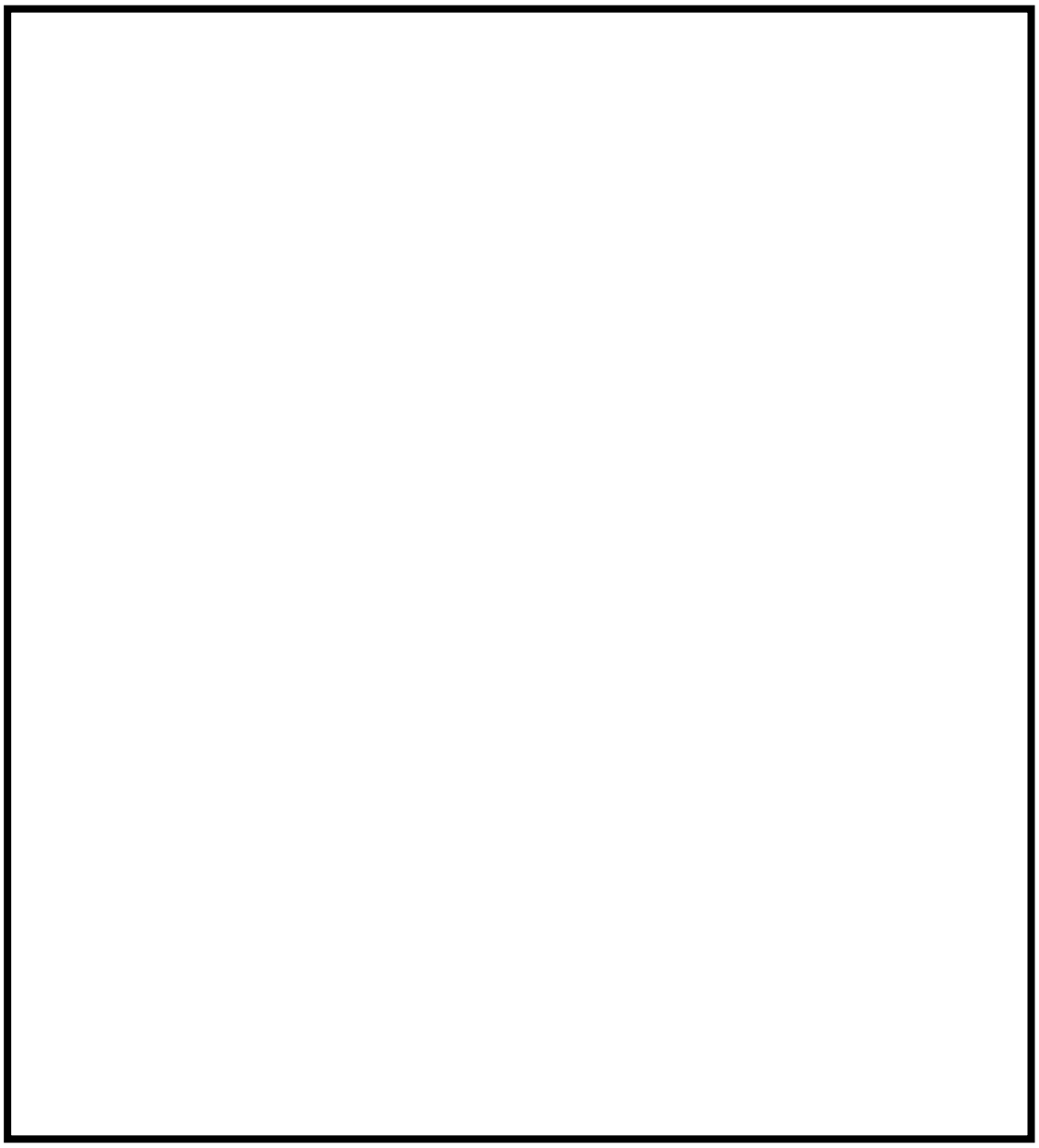


図２　輻射強度が 1.6kW／m^2以上となる範囲

外部火災を想定したモニタリングポストＡへのホース展張検証

1. ホース展張距離が長いケース

(1) 検証日時，場所

日時：平成 26 年 11 月 18 日(火) 14:00～15:00

場所：モニタリングポストＡエリア

(2) 検証内容

水槽付消防ポンプ自動車及び化学消防自動車を連結させ，約 900m のホース展張検証を行い，自衛消防隊が集合した時点から 20 分で展張可能であることを確認した。

(3) 検証結果の分析

防火帯内の屋外消火栓から防火帯周辺までの最も離隔距離が長い敷地北西側は，300m 程度のホース展張が必要となる。この敷地南西側に，最も早く到達する発火点３の結果（火炎到達時間 0.7 時間（約 40 分））を考慮しても，検証結果はホース展張 900m を 20 分で実施しているため，長いホース展張が必要となる箇所であっても火炎到達前に散水活動を行うことは可能である。

図１　検証概要図（モニタリングポストＡ消火）

2.　火炎到達時間が短いケース

(1)　検証日時，場所

日時：平成 26 年 10 月 23 日(木) 14:30～15:30

場所：モニタリングポストＤエリア

(2)　検証内容

水槽付消防ポンプ自動車及び化学消防自動車を用いて，約 150m のホース展張検証を行い，自衛消防隊が集合した時点から 10 分で移動からホース展張までが可能であることを確認した。

(3)　検証結果の分析

防火帯外縁に最も早く到達する発火点１の結果（火炎到達時間 0.2 時間（約 12 分））を考慮しても，検証結果はホース展張 150m を 10 分で実施しているため，防火帯外縁に最も早く到達する火災であっても火炎到達前に散水活動を行うことは可能である。

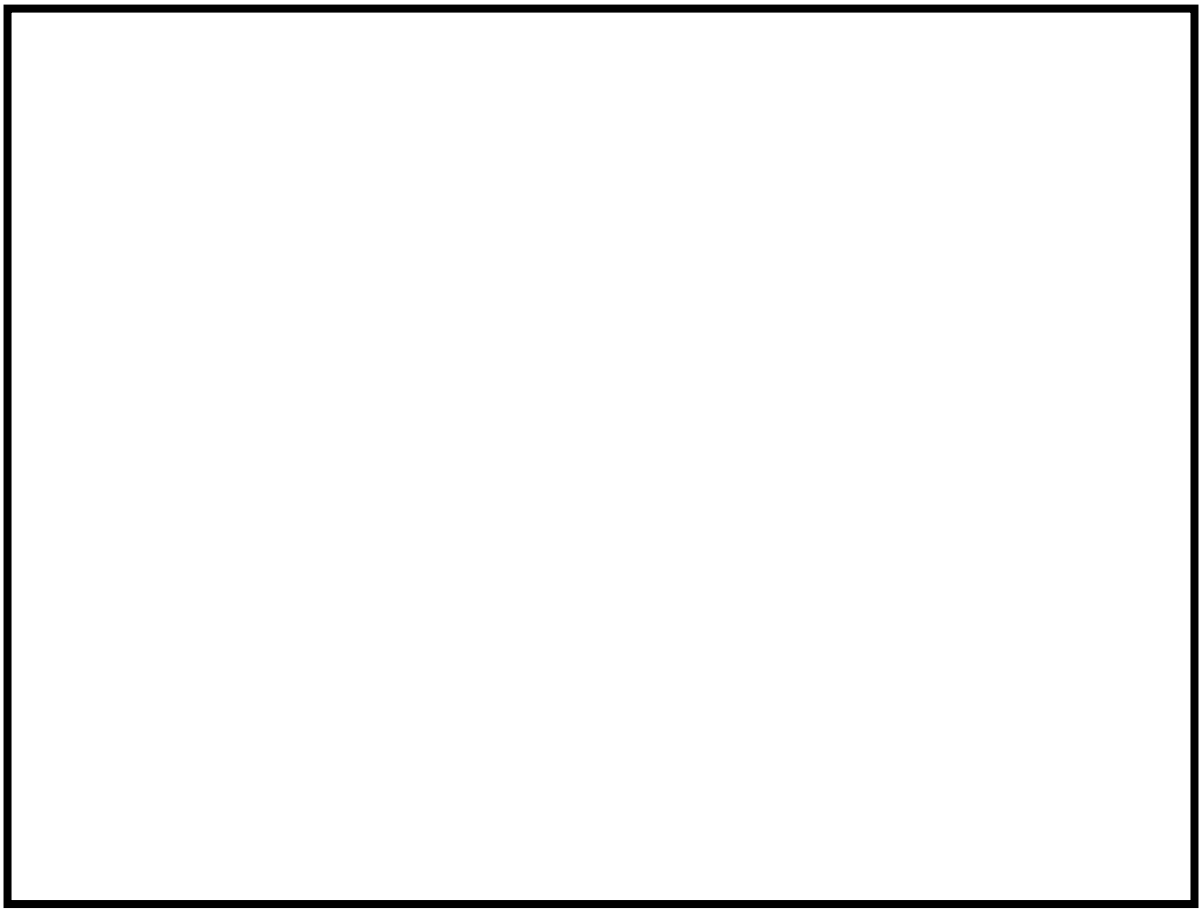


図２　検証概要図（モニタリングポストＤ消火）

止水ゴム等を防護する鋼製防護部材について

1. 鋼製防護部材の裏面に設置する断熱材

鋼製防護部材が火災影響になり高温になると，裏面にある止水ゴム等に影響を与える可能性があるため，鋼製防護部材の裏面に断熱材を設置する。

断熱材は一般的なグラスウールを想定した場合，断熱材厚さが約 1cm 程度で，裏面の止水ゴム等に影響を与えないことを確認した。評価概念図と評価結果を以下に示す。

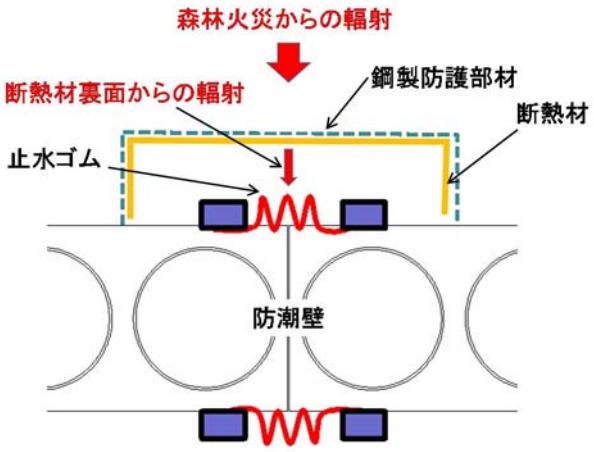


図 1 鋼製防護部材と断熱材の概念図

$$d = \frac{\lambda \times (T_{out} - T_{in})}{h \times (T_{in} - T)} = 0.015m$$

（出典：JIS 9501 2016）

d ：断熱材の厚さ（m）
λ ：断熱材の熱伝導率（0.034W／(m・K)）※1
T_{out}：断熱材表面（鋼製部材側）温度(325℃)※2
T_{in} ：断熱材裏面（止水ゴム側）温度(100℃)※3
T ：周囲空気温度(37℃)※4
h：熱伝達率（8.29W／(m^2・K)）※5

※1 伝熱工学資料（グラスウールの値）
※2 短期温度上昇時において鋼材の強度が維持される温度
※3 裏面への放熱が太陽輻射熱強度（0.9kW／m^2）未満となる温度（100℃）
※4 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温
※5 空気調和･衛生工学便覧（静止空気に対する垂直表面の値）

2.　鋼製防護部材の構造

鋼製防護部材は，止水ジョイント部の側面を防護するよう設置する。ＦＡＲＳＩＴＥ解析の結果，津波防護施設周囲で発生する森林火災の最長の火炎長 1.6m であり，津波防護施設の地上高さは約 3m 以上で火炎長よりも高くなるため，津波防護施設上部が熱影響を受ける可能性は低い。万一，火炎長が高い森林火災が発生した際には，必要に応じ，地上高さが低い敷地北西側の津波防護施設を優先して散水活動により温度上昇を抑制する。

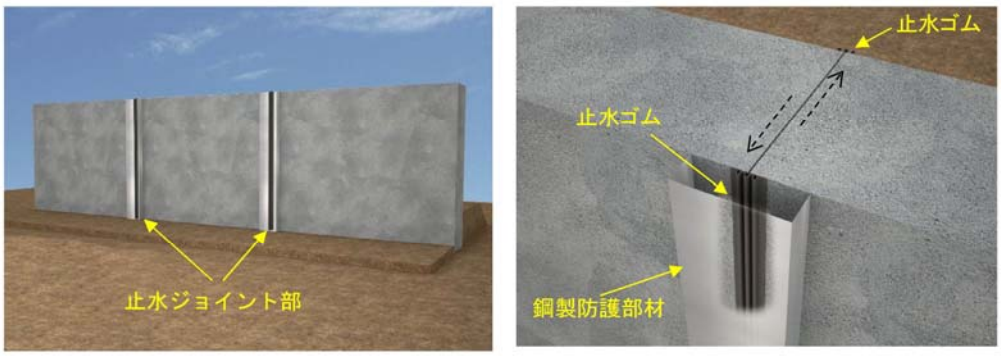


図 2　止水ジョイント部と鋼製防護部材

放水路ゲート駆動装置外殻への断熱材設置について

放水路ゲート駆動装置外殻が火災影響になり高温になると，内部にある駆動装置に影響を与える可能性があるため，裏面に断熱材を設置する。

断熱材は一般的に使用されている硬質ウレタンフォームを想定し，断熱材厚さが約27cm程度で，放水路ゲート駆動装置外殻裏面の温度上昇は1℃未満となり内部への熱影響を与えないことを確認した。評価概念図と評価結果を以下に示す。

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{\left(\frac{1}{h} + \frac{\delta}{\lambda}\right)}$$

$$t' = \frac{Q}{h} + T_2$$

Q　：放散熱量（W/m^2）
λ　：断熱材の熱伝導率（0.021W／m／K）※1
T_1：外殻表面温度(126℃)※2
T_2：内気温度(20℃)
t'：断熱材表面温度(℃)
h　：熱伝達率（8.29W／m^2／K)）※3

※1　硬質ウレタンフォーム断熱材の熱伝導率
※2　森林火災の熱影響を受けた場合の到達温度
※3　空気調和･衛生工学便覧（静止空気に対する垂直表面の値）

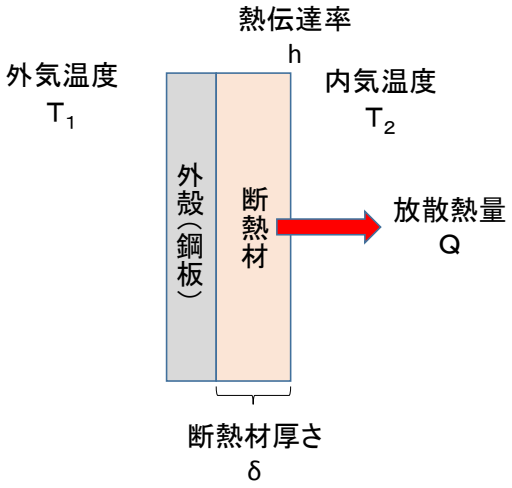


図　評価概念図

添付資料-3

石油コンビナート等の火災・爆発について

1.　目　　的

発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2.　危険物貯蔵施設等の抽出の考え方

発電所周辺 10km 以内の石油コンビナートの有無を確認した。また，石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設及び高圧ガス貯蔵施設については，周辺自治体に資料開示請求を行い，必要に応じてこれらの施設を有する事業者への聞き取り調査を行い確認し，ガスパイプラインについては周辺事業者への聞き取り調査を行い確認した。

3.　石油コンビナート等に対する評価

3.1　評価対象範囲

評価対象は，発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する石油コンビナート等とする。

茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されているのは以下の区域である。

石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令【別表抜粋】

十三　鹿島臨海地区
イ　茨城県鹿嶋市大字国末字北浜山，字南浜山及び字海岸砂地，大字泉川字北浜山，字南浜山，字浜屋敷及び字沢東，大字新浜並びに大字粟生字海岸の区域　同市大字光字光並びに大字粟生字東山及び字浜の区域のうち主務大臣の定める区域　これらの区域に介在する道路の区域
ロ　茨城県神栖市光，居切字海岸砂地並びに深芝字海辺，字藤豊及び字原芝の区域　同市北浜，奥野谷字浜野及び字東和田，東和田並びに東深芝の区域のうち主務大臣の定める区域

3.2　評価結果

第 3.2-1 図に示すとおり，茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されている鹿島臨海地区は東海第二発電所から約 50km 離れており，評価対象範囲の 10km 以上離れていることから，評価対象となる石油コンビナートは存在しないことを確認した。

第 3.2-1 図　鹿島臨海地区と発電所の位置関係

4.　石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設に対する評価

発電所から 10km 以内に位置する危険物貯蔵施設のうち，評価対象施設に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し，その火災影響又は爆発影響を評価した。

4.1　危険物貯蔵施設

4.1.1　評価対象施設の抽出

発電所から 10km 以内（敷地内を除く）に，第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することを自治体への聞き取り調査から確認した。

第一類から第六類の危険物のうち，周辺での取扱量が多く，引火性液体であるため広範囲に漏えいし大規模火災発生の可能性がある第四類危険物貯蔵施設を火災源と想定する。ここで，発電所 10km 以内には多数の第四類危険物貯蔵施設が存在するため，影響評価を行う第四類危険物貯蔵施設の絞り込みを以下の方法で行った。

ⅰ）　発電所敷地外半径 10km 以内に石油コンビナートはないことから，半径 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設の貯蔵容量は最大でも石油コンビナート相当の 10 万 kL※1 とした。ここで，第四類危険物のうち，最も輻射発散度が高い n-ヘキサン※2 が 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し，その危険距離を算出した結果 1,329m※2 となった。

※1　「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量
※2　算出方法は別紙 3.1 参照

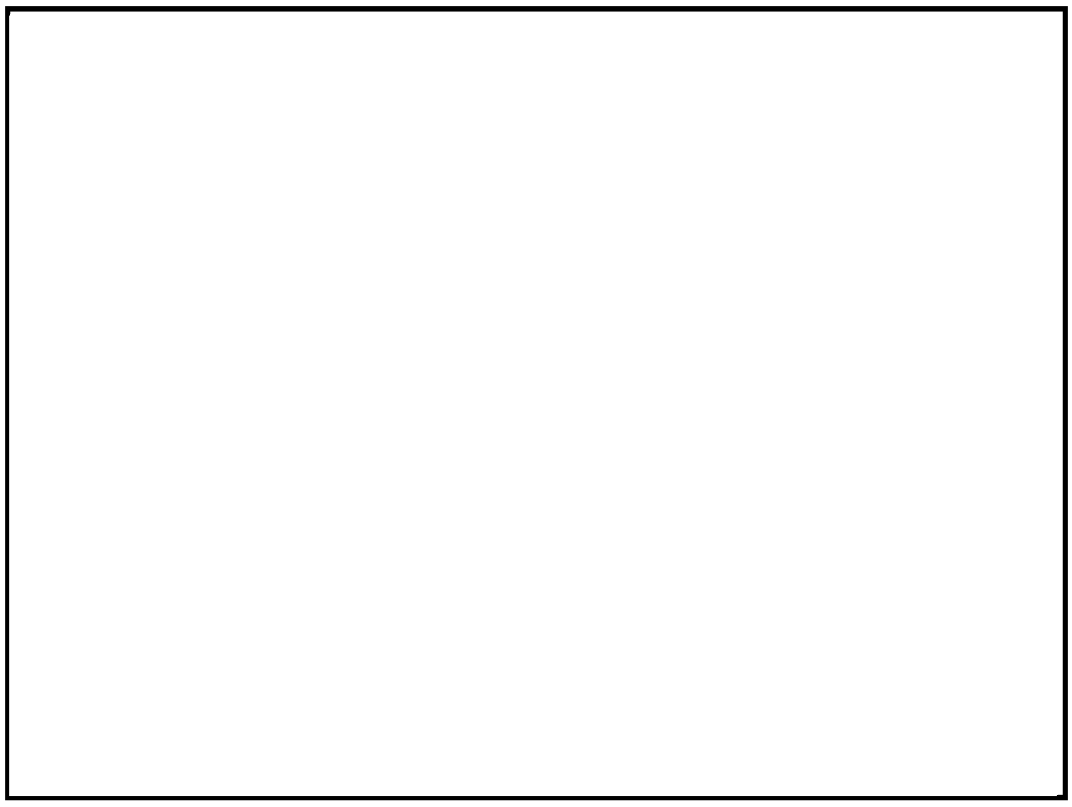
ⅱ）　ⅰ）項の結果と別紙 3.1 の評価結果を踏まえ，発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し，発電所から 1.4km 以内に存在する第四類危険物貯蔵施設に対して影響評

価を行う。発電所周辺に存在する第四類危険物貯蔵施設を第 4.1.1-1 表に，発電所との位置関係を第 4.1.1-1 図に示す。

第 4.1.1-1 表　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に存在する第四類危険物貯蔵施設

施設区分	No.	事業所名	油種	数量(L)	位置が1.4km以内 ○：1.4km以内 ×：1.4km以遠
屋外タンク貯蔵所又は屋外貯蔵所					
給油取扱所					

第 4.1.1-1 表の 1.4km 以内に存在する危険物貯蔵施設のうち，屋外貯蔵である　　について，影響評価を実施した。なお，　　の危険物貯蔵施設は地下貯蔵であるため，評価対象外とした。



第 4.1.1-1 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に
位置する危険物貯蔵施設

4.1.2　火災の影響評価

4.1.2.1　評価条件

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定の条件

ａ．評価対象とする危険物貯蔵施設は 4.1.1 で抽出した[redacted]を想定した。

ｂ．評価対象とする危険物貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。

ｃ．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，ａ．で想定した危険物貯蔵施設位置から評価対象施設までの直線距離とした。

ｄ．危険物貯蔵施設の破損等により危険物が流出しても，防油堤内に留まるものとする。

ｅ．気象条件は無風状態とした。

ｆ．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

ｇ．火災の形態はタンク内及び防油堤内の全面火災とした。

(2)　輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

4.1.2.2　共通データの算出

各外壁，主排気筒，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ及び放水路ゲートに対する危険距離評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータを第 4.1.2.2-1 表に示す。

第 4.1.2.2-1 表　危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	防油堤面積 (m^2)

※1　評価ガイド 記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５ 記載値
※3　ＭＳＤＳ（製品安全データシート） 記載値

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 4.1.2.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

第 4.1.2.2-2 表　危険物貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 4.1.2.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m^3)

R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ (m／s)

M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 4.1.2.2-3 表　危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)

4.1.2.3　外壁に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

(2)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.3-1 表に示す。

第 4.1.2.3-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	1,200	800

(3)　判断の考え方

a．許容温度

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200℃以下とする。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right] \quad （式１）$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T：許容温度(200℃)，T_0：初期温度(50℃)※，E：輻射強度(W／m^2)

κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×10^{-7}m^2／s)

ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度(2,400kg／m^3)，C_p：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱(880J／kg／K)

λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率(1.63W／m／K)，t：燃焼継続時間(28,701s)

x：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad （式２）$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

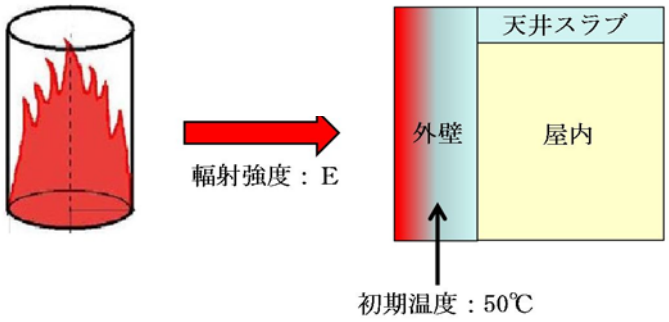
（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.1.2.3-1 図に示す。

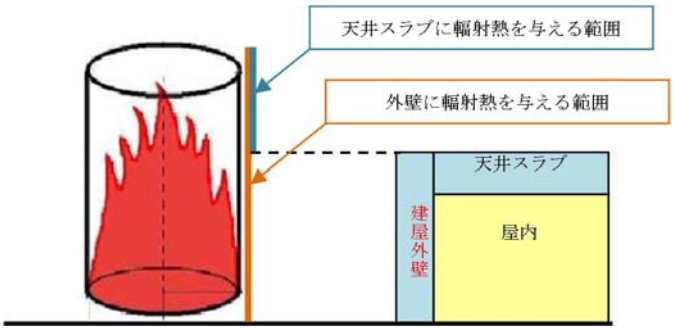
・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 4.1.2.3-2 図に示す。

・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。



第 4.1.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 4.1.2.3-2 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.3-2 表に示す。

第 4.1.2.3-2 表　外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	41	1,100
タービン建屋		1,200
使用済燃料乾式貯蔵建屋		800

4.1.2.4　主排気筒に対する危険距離評価

(1)　影響評価対象範囲

主排気筒について，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

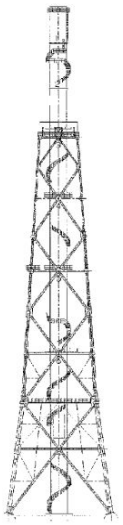
なお，主排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 4.1.2.4-1 表に，主排気筒外形図を第 4.1.2.4-1 図に示す。

第 4.1.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称		主排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 4.1.2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.4-2 表に示す。

第 4.1.2.4-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	主排気筒(m)
	1,200

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad （式１）$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad （式２）$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

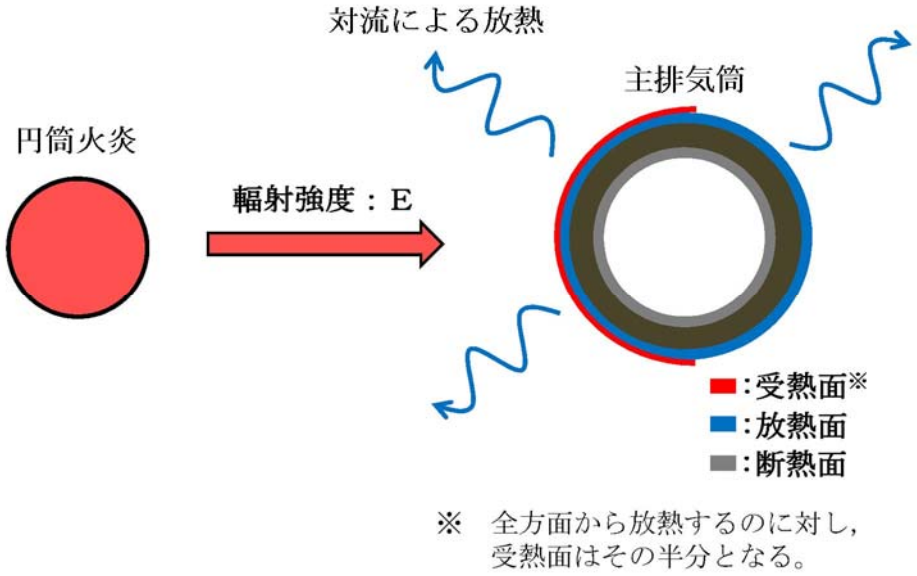
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が危険物貯蔵施設との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。主排気筒の評価概念図を第 4.1.2.4-2 図に示す。



第 4.1.2.4-2 図　主排気筒の評価概念図

ｃ．評価結果

主排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，主排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.4-3 表に示す。

第 4.1.2.4-3 表　主排気筒への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
主排気筒	10	1,200

4.1.2.5　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

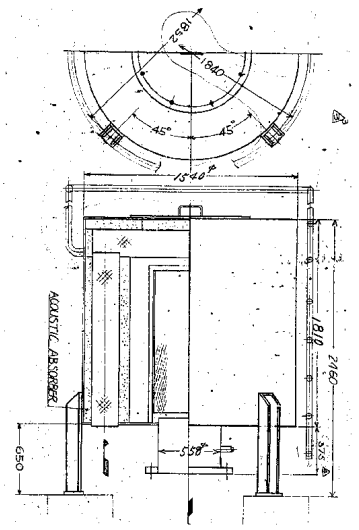
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の仕様を第 4.1.2.5-1 表に，外形図を第 4.1.2.5-1 図に示す。

第 4.1.2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)吸気口
種　類	円筒縦形
主要寸法	外径　　：1.54m 円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 4.1.2.5-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.5-2 表に示す。

第 4.1.2.5-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)(m)
	1,100

(4)　判断の考え方

a．許容温度

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad （式１）$$

Ｔ：許容温度(53℃)，Ｔ$_0$：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，

Ｇ：重量流量(4kg／s)※2，Ａ：輻射を受ける面積(7.8m^2)

Ｃ$_p$：空気比熱(1,007J／kg／K)※3，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　ディーゼル発電機の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機吸気流量（228m^3／min）×空気密度（1.17kg／m^3）÷60

※３　日本機械学会 伝熱工学資料

※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad （式２）$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

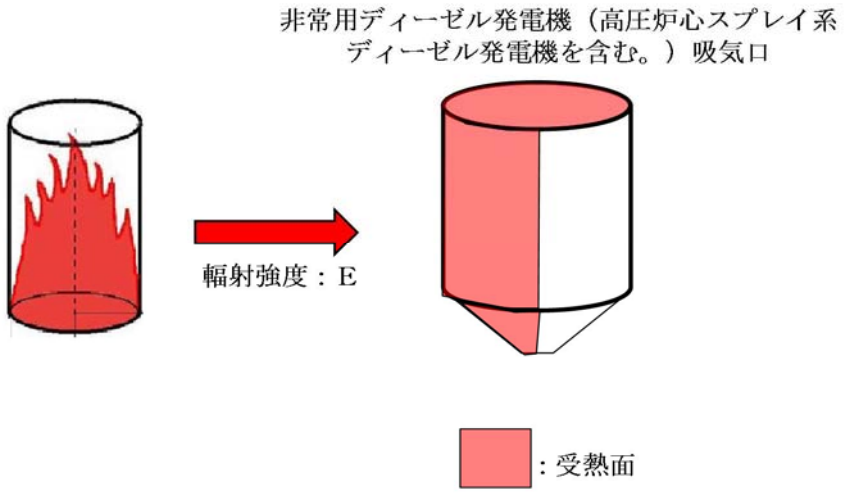
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad （式３）$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図を第 4.1.2.5-2 図に示す。



第 4.1.2.5-2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図

c．評価結果

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口を通して流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.5-3 表に示す。

第 4.1.2.5-3 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

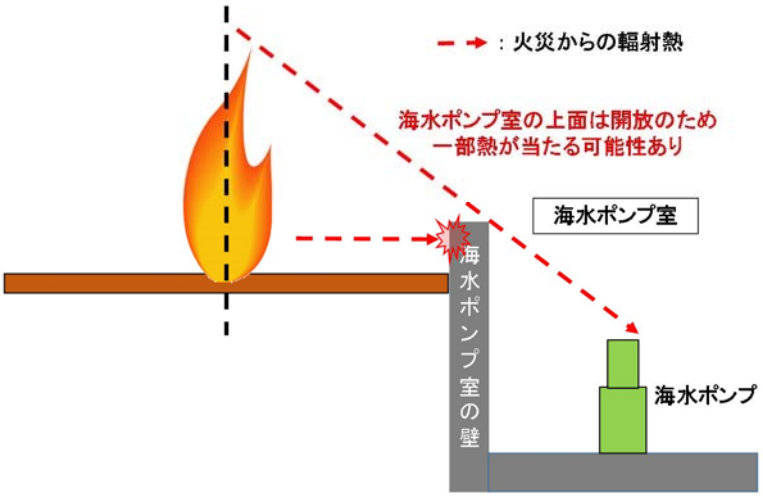
評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	17	1,100

4.1.2.6　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，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，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第4.1.2.6-1 図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。

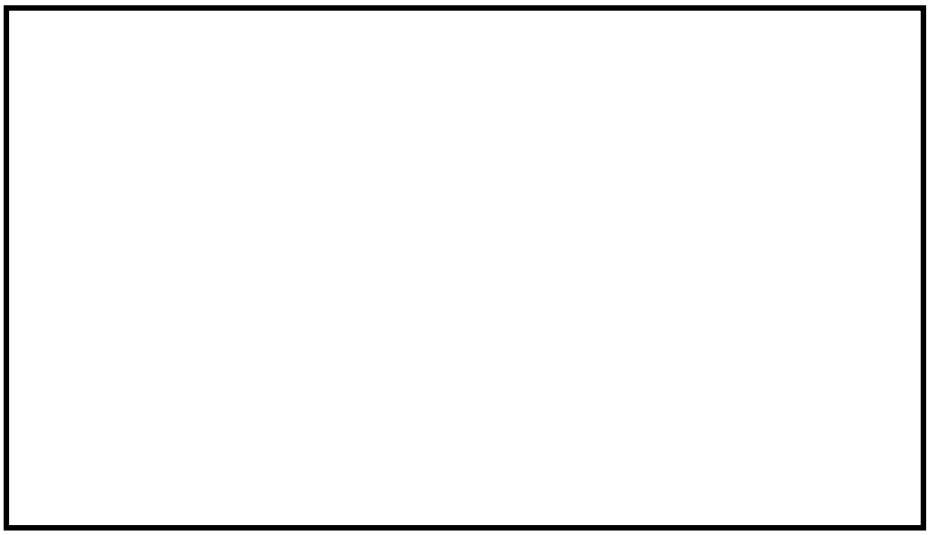


第 4.1.2.6-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(2) 評価対象施設の仕様

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 4.1.2.6-2 図，外形図を第 4.1.2.6-3 図に示す。仕様を第 4.1.2.6-1 表に示す。

第 4.1.2.6-2 図 海水ポンプの配置図



第 4.1.2.6-3 図 海水ポンプの外形図

第 4.1.2.6-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 4.1.2.6-2 表に示す。

第 4.1.2.6-2 表　評価対象施設から火災源までの離隔距離

評価対象施設	海水ポンプ室
離隔距離 (m)	1,300

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 4.1.2.6-3 表に示す。

第 4.1.2.6-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 4.3.2.5-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 4.1.2.6-4 表に，評価概念図を第 4.1.2.6-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad (式１)$$

Ｔ：評価温度(℃)，Ｔ$_0$：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，
Ｇ：重量流量(kg／s)，Ａ：輻射を受ける面積(m^2)

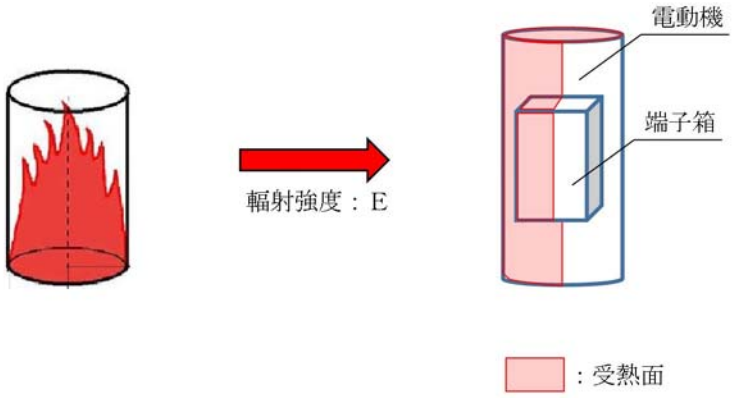
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔＴｂ＝2.2℃）を包絡する5℃に設定

第 4.1.2.6-4 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
Ｇ：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
Ａ：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6



第 4.1.2.6-4 図　評価概念図

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad (式２)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad (式３)$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

ｃ．評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.6-5 表に示す。

第 4.1.2.6-5 表　危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	16	1,300
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	12	1,300

4.1.2.7　放水路ゲートに対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

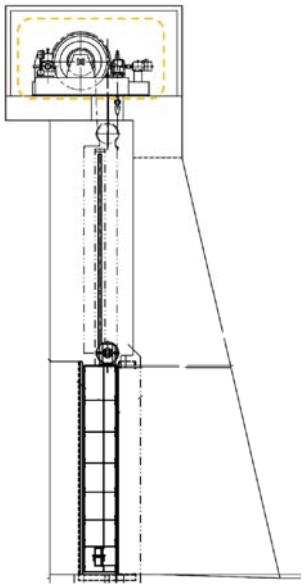
放水路ゲートについて，危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 4.3.2.7-1 表に，外形図を第 4.1.2.7-1 図に示す。

第 4.1.2.7-1 表　評価対象施設の仕様

名称	放水路ゲート駆動装置
床面高さ	T.P.＋11.0m
外殻材料	炭素鋼
個　数	3



第 4.1.2.7-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4.1.2.7-2 表に示す。

第 4.1.2.7-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	放水路ゲート(m)
	1,600

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式１）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値
※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

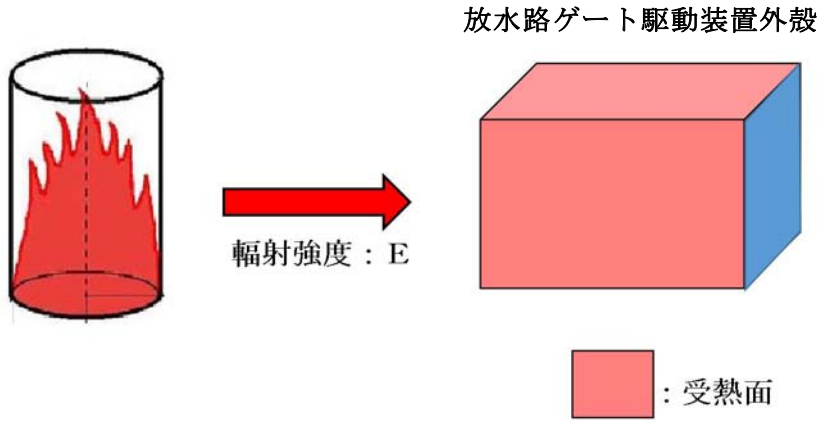
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から影響評価対象までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第 4.1.2.7-2 図に示す。



第 4.1.2.7-2 図　放水路ゲートの評価概念図

ｃ．評価結果

放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，放水路ゲートまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.1.2.7-3 表に示す。

第 4.1.2.7-3 表　放水路ゲートへの危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
放水路ゲート	10	1,600

4.2　高圧ガス貯蔵施設

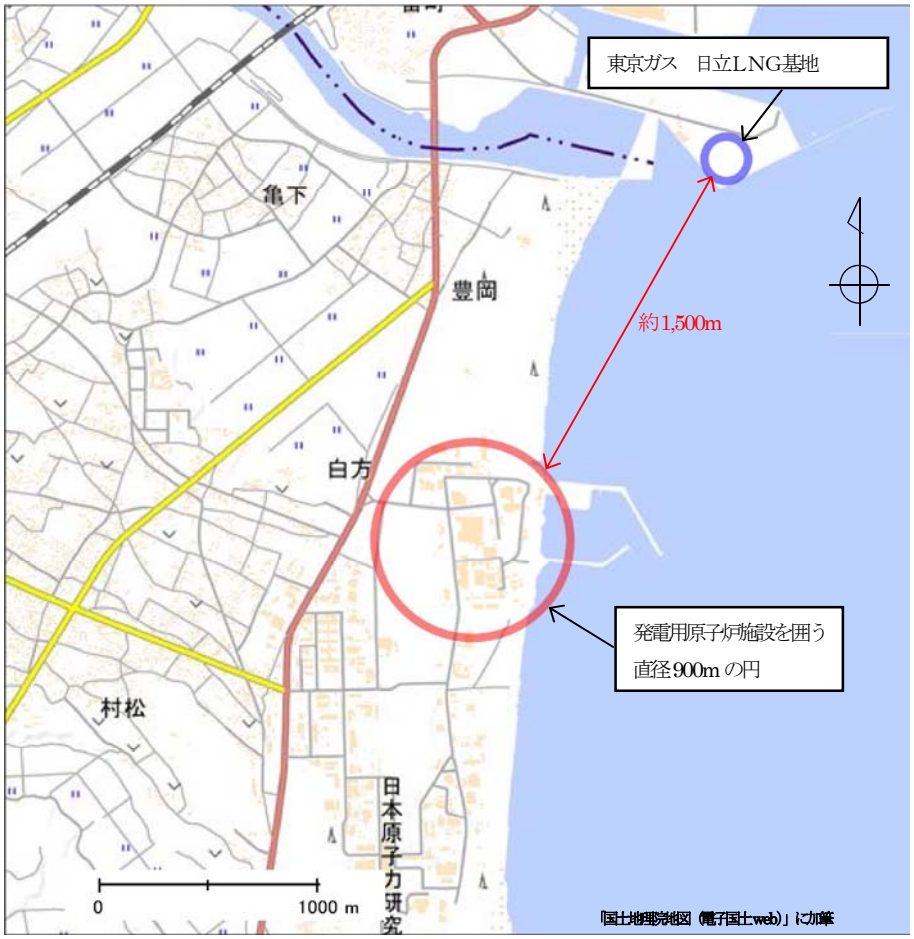
4.2.1　爆風圧の影響評価

(1)　評価対象施設の抽出及び評価に係るデータ

東海第二発電所から 10km 以内（敷地内を除く）には高圧ガス貯蔵施設が多数存在することから，以下のとおり抽出範囲を絞り込み，評価対象施設の抽出を行った。

ⅰ）　発電所から約 1,500m の位置に，10km 以内（敷地内を除く）で最大の高圧ガス貯蔵施設が稼働中であるため，この高圧ガス貯蔵施設（東京ガス株式会社が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）を選定した。位置関係を第 4.2.1-1 図に示す。

ⅱ）　当該ＬＮＧ基地に設置されるＬＮＧタンク及びＬＰＧタンクについて危険限界距離を算出し，この危険限界距離の範囲内に位置する高圧ガス貯蔵施設を評価対象として抽出した。評価条件を第 4.2.1-1 表に示す。



第 4.2.1-1 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係

第 4.2.1-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件

	日立ＬＮＧ基地※1	
	ＬＮＧタンク	ＬＰＧタンク
貯蔵ガス	液化天然ガス （メタン）	液化石油ガス （プロパン）
貯蔵量(m^3)	230,000	50,000
貯蔵量(t)	97,704	31,000
密度(t／m^3)	0.4248※2	0.62※3
貯蔵ガスＫ値※4	714	888
貯蔵設備Ｗt 値※5	358.753	

※１　2016 年 3 月より稼働中
※２　伝熱工学資料第５版記載値
※３　ＪＩＳ Ｋ 2240-2013 記載値
※４　コンビナート等保安規則第 5 条別表第二記載値
※５　合計貯蔵量が 1t 以上となるため，合計貯蔵量の平方根の数値

日立ＬＮＧ基地にはＬＮＧタンク及びＬＰＧタンクの２種類が設置されるため，評価ガイドに基づき，以下のとおり危険限界距離を算出した。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド【一部抜粋】

貯蔵設備内に２つ以上のガスがある場合においては、それぞれのガスの量（単位　トン）の合計量の平方根の数値にそれぞれのガスの量の当該合計量に対する割合を乗じて得た数値に、それぞれのガスに係るＫを乗じて得た数値の合計により、危険限界距離を算出する。また、処理設備内に２以上のガスがある場合においては、それぞれのガスについてＫ・Ｗを算出し、その数値の合計により、危険限界距離を算出する。

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

$$X = 0.04\lambda\sqrt[3]{K \times W}$$

X:危険限界距離[m]、λ:換算距離 14.4[m･$kg^{-1/3}$]、K: 石油類の定数[-]、W:設備定数[-]

上記のとおり，ガス量の当該合計量に対する割合は，

ＬＮＧタンク：A＝97,704 ÷ (97,704＋31,000)＝0.759

ＬＰＧタンク：B＝31,000 ÷ (97,704＋31,000)＝ 0.241

$$Wt = \sqrt{97,704 + 31,000} = 358.753$$

第 4.2.1-1 表の評価条件より

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(714\times1,000\times A\times Wt)+(888\times1,000\times B\times Wt)}=373$$

以上より，危険限界距離は 373m となる。発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設は，発電所から 900m の位置にある[redacted]であり，発電所敷地から 400m 以内に，高圧ガス貯蔵施設が存在しないことを確認した。これにより発電所より 10km 以内において，日立ＬＮＧ基地の爆発影響を超える高圧ガス貯蔵施設はないことを確認した。

発電所に最も近いパイプラインは，日立ＬＮＧ基地内のパイプラインであり，日立ＬＮＧ基地内のパイプラインの影響はタンクの影響に包絡される。また，日立ＬＮＧ基地構外へ延びるパイプラインは埋設され，発電所から遠ざかるため影響はない。

(2)　爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発における危険限界距離は 373m であり，敷地境界までの危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.2.1-2 表に，位置関係を第 4.2.1-2 図に示す。

第 4.2.1-2 表　抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
ＬＮＧタンク	メタン	97,704	373	1,500
ＬＰＧタンク	プロパン	31,000		

※　敷地境界までの距離

第 4.2.1-2 図　発電所敷地から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設

4.2.2　爆発飛来物の影響評価

(1)　評価対象施設の抽出

高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（ＢＬＥＶＥ：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は，可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが，加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し，タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため，ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵型のタンクについて爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

また，大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクは内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く，ＢＯＧ圧縮機※1等でタンク内圧を一定に制御しているため，加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く，ＢＬＥＶＥは発生し難いが※2，ＢＬＥＶＥ以外の爆発形態を想定し，発電所から 1,500m 先にある日立ＬＮＧ基地の低温貯蔵型タンクについて，爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

※１　タンクから発生するボイルオフガスを再液化し，タンク内圧を一定に制御する。
※２　出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」

(2)　爆発飛来物の影響評価結果

「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，抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の飛散範囲を以下の式にて算出した。

$L = 90M^{0.333}$　（容積 $5m^3$ 未満の容器）

$L = 465M^{0.10}$　（容積 $5m^3$ 以上の容器）

Ｌ：破片の最大飛散範囲，Ｍ：破裂時の貯蔵物質量

飛来物の飛散距離を算出した結果，飛散距離は離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4.2.2-2 表に示す。

また，低温貯蔵型タンクは，日立ＬＮＧ基地の大規模な低温貯蔵型タンクを想定しても，想定飛散距離は約 570m であり，発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離 900m を下回ることから，低温貯蔵型タンク爆発による飛来物の影響はないと評価できる。（別紙 3.3）

第 4.2.2-2 表　爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※　敷地境界までの距離

以下に，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の抜粋を示す。

（６）飛散物

容器の破損による破片の飛散範囲は，破裂エネルギーのほか，破片の数，重量や形状，射出角度や初速度によって異なってくる。文献 11)には飛散物に関するいくつかの推定式が示されているが，防災アセスメントのような事前評価において，これらの飛散条件を考慮して評価を行うことは事実上困難といえる。ただし，ＬＰＧ容器のＢＬＥＶＥに伴う破片の飛散範囲に関しては，次のような簡易式が示されている[11)]。

$$L = 90M^{0.333}$$ （容積 5m³未満の容器）

$$= 465M^{0.10}$$ （容積 5m³以上の容器）　（式 31）

ただし，Ｌ：破片の最大飛散範囲(m)

Ｍ：破裂時の貯蔵物質量(kg)

この式を東日本大震災のＬＰＧ爆発火災（Ｍ＝300,000kg）に適用すると次のようになる。

$$L = 465 \times 300000^{0.10} = 1640\text{m}$$

この事故では，タンク破片が最大約 1,300m，板金が最大約 6,200m まで飛散している。板金は厚さ 0.5mm の薄板であり，揚力によって遠方まで達したものと考えられる。一方，タンク本体の破片や付属重量物が飛散した場合には，落下・衝突による被害が懸念されるが，この事故によるタンク破片の飛散距離最大約 1,300m と照らし合わせると，式 31 により大まかな推定は可能と考えられる。なお，プラントの異常反応に伴う容器破裂に関しては式 31 は適用できないため，過去の事故事例などをもとに推定することになる。

別紙 3.1

仮想危険物貯蔵施設の危険距離の算出について

1. 評価条件

(1) 想定の条件

ａ．評価対象とする危険物貯蔵施設は熱影響が最大となる仮想危険物貯蔵施設（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を想定した。

ｂ．評価対象とする危険物貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。

ｃ．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，ａ．で想定した危険物貯蔵施設位置から評価対象施設までの直線距離とした。

ｄ．消防法で定める最大の防油堤（80,000m^2）内の全面火災を想定した。

ｅ．気象条件は無風状態とした。

ｆ．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

(3) 危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータを第 1 表に示す。

第 1 表　危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)※1	質量低下速度 M (kg／m^2／s)※2	燃料密度 ρ (kg／m^3)※2	防油堤面積 S (m^2)
仮想危険物貯蔵施設	n-ヘキサン	100,000	85	0.074	650	80,000

※1　評価ガイド記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５記載値

2.　評価結果

(1)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

第 2 表　危険物貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
仮想危険物貯蔵施設	80,000	160

(2)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^{2}\times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)
Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ (m／s)
Ｍ：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ ：燃料密度(kg／m^3)

第 3 表　危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

想定 火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
仮想 危険物 タンク	100,000	160	0.074	650	10,984

(3)　危険距離の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より求まるコンクリート表面の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を，評価ガイドに基づく形態係数の算出式に代入し，危険距離について解くと結果は 1,329m となるため，保守的に 1.4km を抽出範囲とした。

なお，外壁以外の評価対象施設は以下の理由により，外壁の評価に包絡される。評価結果を第 4 表に示す。

・主排気筒は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ内の空気は流れており，熱が蓄積される効果が小さいため，外壁の方が評価上厳しい。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$

Ｔ：許容温度(200℃)，T_0：初期温度(50℃)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)

κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)

ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)，C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，ｔ：燃焼継続時間(10,984s)

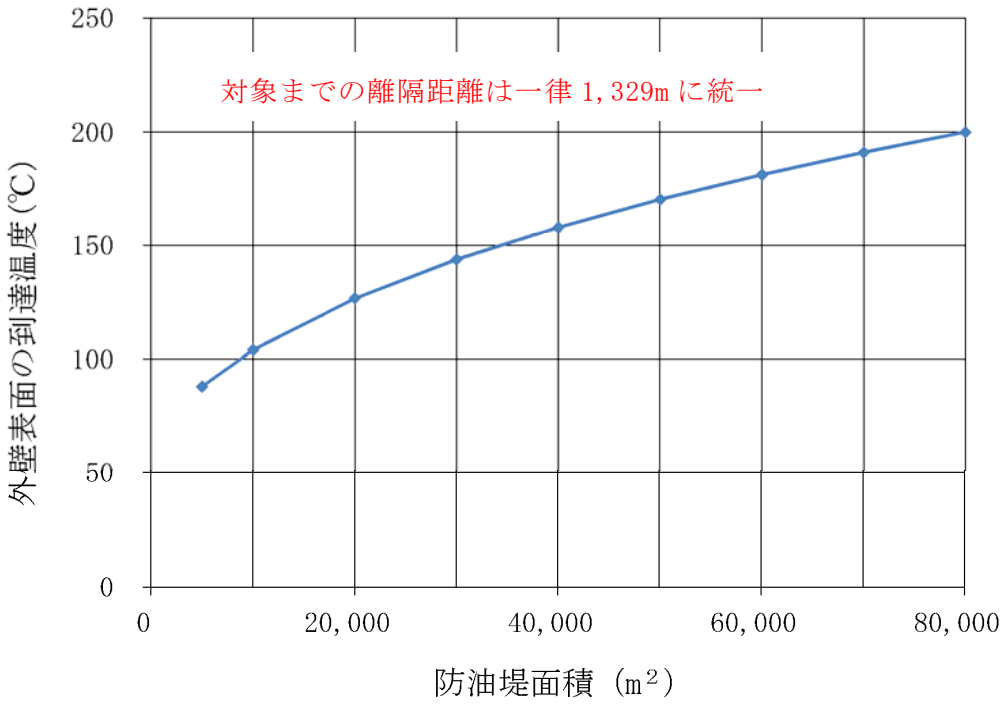
ｘ：コンクリート壁表面深さ(0m)

第 4 表　外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)
仮想危険物貯蔵施設	1,329

(4)　想定した防油堤面積の保守性について

下図に示すとおり，防油堤面積は大きいほど外壁表面の到達温度が上昇することから，消防法で定める最大の防油堤面積を評価で用いることは保守的である。



第 1 図　防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係

主排気筒の評価結果 10m の妥当性について

主排気筒の許容温度 325℃に到達する危険輻射強度は以下のとおりとなる。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) = 2 \times 17 \times (325 - 50) = 9,350$$

T：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

h：熱伝達率(17W／m^2／K)※2，E：輻射強度(W／m^2)

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

上記で算出した輻射強度は［　　］に対するものであるため，評価ガイドに基づく算出式より，この火災の形態係数は以下の通り算出される。

$E = R_f \times \Phi \quad \Rightarrow \quad \Phi = R_f \div E =$［　　］$\div 9,350 = 0.00245989$

評価ガイドには形態係数の算出式は下式のとおりとあり，この式に形態係数を代入し，離隔距離Ｌを逆算する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

この結果より離隔距離は 10m となり，評価ガイドに基づき算出されている。また，軽油等の他の燃料と比較すると［　　］は同じ離隔距離での輻射強度が低い。比較結果を下図に示す。

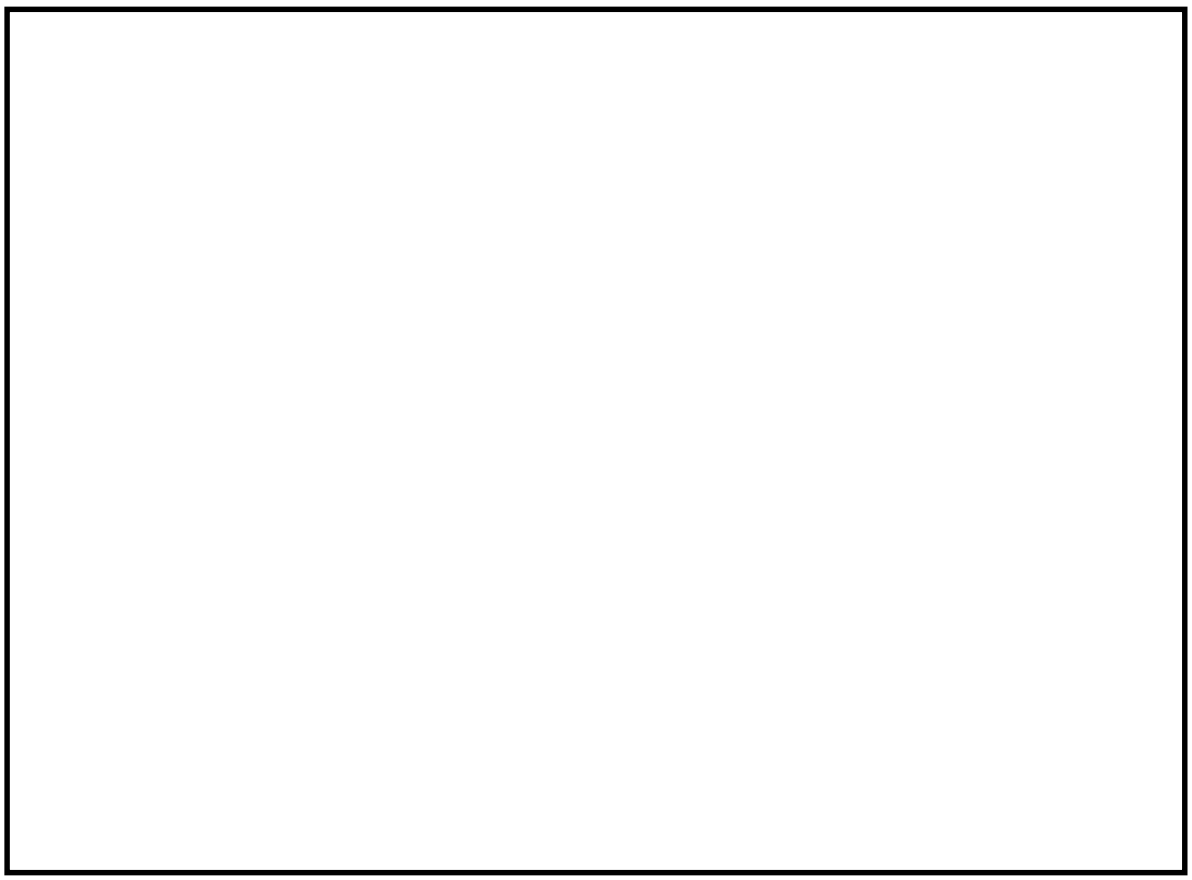


図　離隔距離と輻射強度の関係

地上設置の低温貯蔵タンク爆発による飛来物影響評価について

1. 評価の概要

添付 3 の 4.2 で示した低温貯蔵タンクの爆発により発生する飛来物の最高速度を評価し，この最高速度を初速度とした場合の最大飛散距離を評価した。この最大飛散距離が爆発地点から発電用原子炉施設までの離隔距離より短いことを確認し，評価対象施設への影響はないことを示す。

2. 評価結果

容量が大きいタンクほど飛来物の最大飛散距離は長くなる。このため，発電用原子炉施設の近くに位置する貯蔵タンクのうち，容量が最大となるものを評価対象候補として抽出した。抽出した対象は第 1 表のとおり。

第 1 表　添付 3 の 4.2 で抽出した評価対象候補

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m^3)	発電用原子炉施設からの離隔距離 (m)
ＬＮＧ貯蔵タンク	ＬＮＧ	230,000	1,500
ＬＰＧ貯蔵タンク	ＬＰＧ	50,000	1,500

2.1　タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出

低温貯蔵タンクの評価では，「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn)」に基づき，飛来物の速度を爆発エネルギから求めた。以下に抜粋を示す

Step 3a2 Calculate the liberated energy, E_{av}

Calculate the liberated energy in accordance with the method for blast effects, see paragraph 7.5.2.

Step 3a3 Calculate initial velocity, v_i

This initial velocity of a fragment can be calculated by using of the following equation:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad \text{(m/s)} \qquad (7.15)$$

where
E_{av} = liberated energy [J]
M_v = total mass of empty vessel [kg]
A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation.
Upper limit $A_{ke} = 0.6$
Rough estimate $A_{ke} = 0.2$
BLEVE $A_{ke} = 0.04$

(1) 評価対象タンクのデータ

評価対象タンクのデータは第 2 表のとおり。なお，タンク材重量については，保守的に評価を行うため，各タンクを球状タンクと仮定して算出した。

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \Rightarrow \quad r = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$S = 4 \pi r^2$$

$$M = S t \rho$$

V：タンクの体積(m^3)，S：タンクの表面積(m^2)
r ：球状タンクと仮定した場合のタンクの半径(m)
M：タンクの質量(kg)，t ：タンク外層の厚さ(m)
ρ ：タンク材密度（kg／m^3），

第2表　評価対象タンクのデータ

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m^3)	タンク体積※1 (m^3)	タンク材密度※2 (kg／m^3)	比熱比 (-)	タンク壁厚※3 (m)	タンク材重量※4 (kg)
ＬＮＧ貯蔵タンク	ＬＮＧ	230,000	253,000	7,850	1.3	0.01	7.6×10^6
ＬＰＧ貯蔵タンク	ＬＰＧ	50,000	55,000	7,850	1.1	0.01	2.7×10^6

※1　消防法に基づき空間容積を10%として算出
※2　合金鋼の密度
※3　多層構造となっているが，保守的に内槽側板の平均厚さを設定
※4　タンク材重量＝タンク表面積×タンク材質密度×タンク壁厚

(2)　飛来物の最高速度の算出

爆発により発生するエネルギが，ある割合で飛来物に移行すると仮定して最高速度を算出した。算出に用いた式は以下，評価結果は第3表のとおり。

$$E=\frac{(\rho_1-\rho_2)V}{\gamma-1}$$

$$v=\sqrt{\frac{2AE}{M}}$$

ｖ：飛来物の最高速度（m／s）
Ｍ：タンクの質量(kg)，Ｅ：タンク爆発により発生するエネルギ(Ｊ)
ρ_1：タンク内の圧力（0.2MPa※1），ρ_2：大気圧力（0.1MPa）
Ｖ：タンクの体積（m^3），γ：比熱比（-）
Ａ：爆発エネルギの飛来物への移行係数（0.2※2）

※1　代表とした日立ＬＮＧ基地のＬＮＧ貯蔵タンクの値を設定
※2　Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第3表　飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギ (J)	飛来物の最高速度 (m／s)	発電用原子炉施設までの離隔距離 (m)
ＬＮＧ貯蔵タンク	8.2×10^{10}	66	1,500
ＬＰＧ貯蔵タンク	5.3×10^{10}	89	1,500

飛来物の最高速度の評価結果より，発電用原子炉施設までの離隔距離が同じであれば，最高速度が速いほど遠くまで飛散する。このため，同じ離隔距離にあるタンクのうち最高速度が速い，ＬＰＧ貯蔵タンクを対象に以下で最大飛散距離の算出を実施する。

2.2　最大飛散距離の算出

大気圧に近い低圧・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクでは大規模な爆発は発生し難いが,小規模な爆発は発生するおそれがあるため評価を行った。

飛来物の想定に当たり，日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク構造図を参考とした。飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ，タンク本体及び配管(鋼製パイプ)を抽出した。ステージなどタンク屋根部に位置する部品は，鋼板で構成されており，その大きさからタンク本体の評価に包絡される。抽出した飛来物に対して，第1図のとおりの日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンクより推定したＬＰＧタンク構造図を基に,「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から，包絡的な飛来物を設定した。なお，低温貯蔵型のタンクは，低圧貯蔵であるため破裂エネルギが小さいことから飛散距離は短く，また，外部事象防護対象施設等に衝突する水平方向の飛散角度は数度程度の範囲に限られるため，飛来物が外部事象防護対象施設等に衝突する可能性は低い。

タンク高さは13m程度である。棒状の物体は長くなるほど飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価として配管(鋼製パイプ)についてはタンク高さの13mでの評価を実施する。また，タンク本体の破片としてはタンク側面部分の破損を想定し 13m×22m 程度が最大と考えられ，平板状の物体は幅，長さが長くなるほど，飛距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてタンク屋根部分を包絡する破片を想定する。厚さについては，ＬＮＧタンクの構造から0.01mとする。ＬＰＧタンク概要図を第1図に示す。

空中では物体はランダムに回転すると仮定し，外力としては重力及び平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし，放出角は感度解析の結果，最も遠くまで到達する角度とした。

水平方向：$m\frac{dv_x}{dt}=F\frac{v_x}{V(t)}$

鉛直方向：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$

$F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$

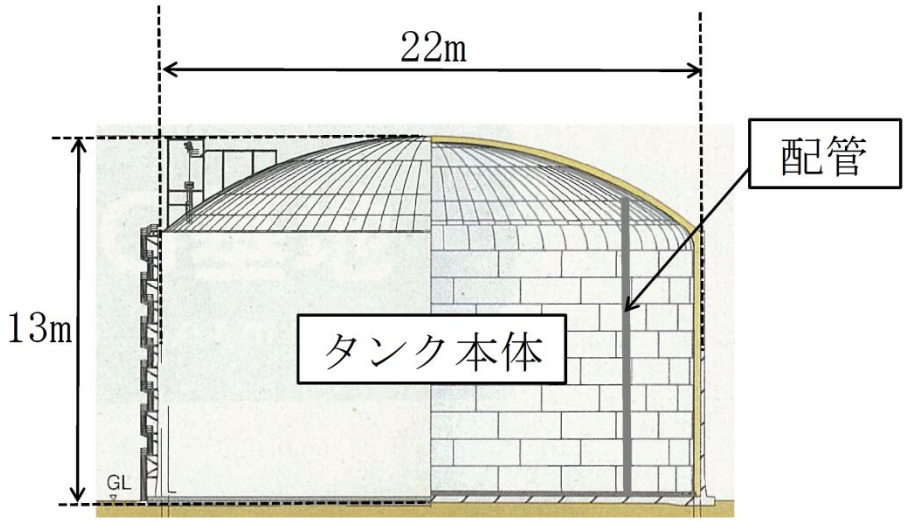
$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

m：飛来物の質量(kg)， F：空気抵抗による外力(-)
g：重力加速度（m／s^2），C_D：流体抗力係数（－）
A：飛来物の速度方向に対する投影面積（m^2）
V：飛来物の速度(m／s)， ρ：空気密度(kg／m^3)

想定飛来物の諸元及び飛散距離の計算結果を第 4 表に示す。離隔距離1,500mは，最大飛散距離である鋼製パイプの 557m を上回ることから，飛来

物が発電用原子炉施設に到達することはなく，影響はない。

以上より，地上設置の低温貯蔵タンク爆発飛来物が発電所に到達することはない。



第１図　ＬＰＧタンク概要図

第４表　想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ （配管）	コンクリート板 （タンク本体）
サイズ（m）	長さ×直径 （13×1）	長さ×幅×厚さ （13×22×0.01）
質量（t）	5※1	22※2
放出角（°）	40	35
飛散距離（m）	557	244
離隔距離（m）	1,500 （日立ＬＮＧ基地から発電所敷地境界までの距離）	

※1　鋼製パイプの質量は，厚さ 15.9mm の配管を参考に設定した。
※2　実際のＬＮＧタンクを参考に設定した。

添付資料-4

燃料輸送車両の火災・爆発について

1. 目　　的

発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2. 燃料輸送車両の火災影響評価

発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

燃料輸送車両は，消防法令（危険物の規則に関する政令第 15 条第 1 項三号）において，移動タンク貯蔵所の上限量が定められており，公道を通行可能な上限量（＝30m^3）のガソリンが積載された状況を想定した。

また，火災発生場所としては，発電所敷地外の近隣の国道２４５号線上の評価対象施設に最も近い場所を想定した。

2.1 共通データの算出

各外壁，主排気筒及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ及び放水路ゲートに対する影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1) 燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

燃料輸送車両及び燃料に係るデータを第 2.1-1 表に示す。

第 2.1-1 表　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	燃焼面積 (m^2)
燃料輸送車両	ガソリン	30	58	0.055	783	28.8

※1　評価ガイド 記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５ 記載値
※3　ＭＳＤＳ(製品データ安全シート)

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は延焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.1-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：燃焼面積(m^2)

第 2.1-2 表　燃料輸送車両の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
燃料輸送車両	28.8※	3.029

※　28kL タンクローリのトレーラ全長（11.57m）と全幅（2.49m）の積

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.1-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)
Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ(m／s)

M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 2.1-3 表　燃料輸送車両火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
燃料輸送車両	30	3.029	0.055	783	14,826

2.2　評価結果

2.2.1　外壁に対する危険距離評価

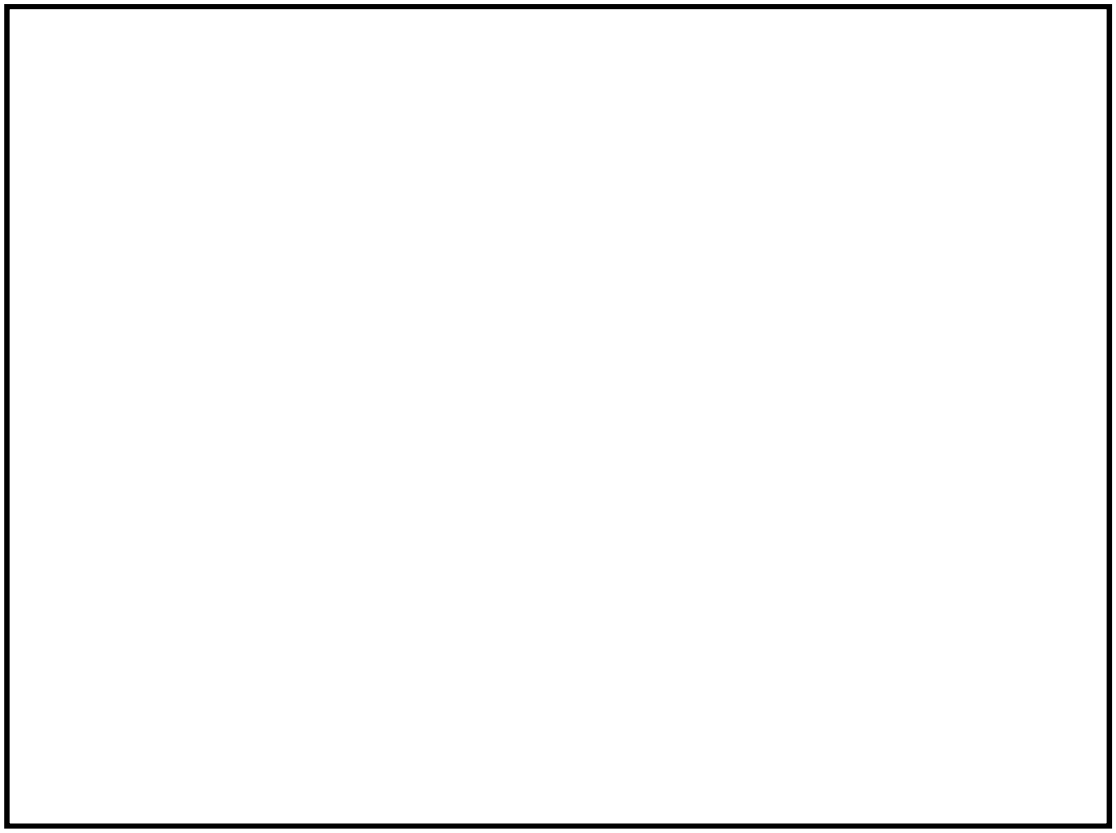
(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.1-1 表に，位置関係を第 2.2.1-1 図に示す。

第 2.2.1-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式貯蔵建屋(m)
燃料輸送車両	510	450	520



第 2.2.1-1 図　火災発生場所と評価対象施設の位置関係

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

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 200℃以下とする。

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式１の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を算出する。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right] \quad （式１）$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

Ｔ：ｺﾝｸﾘｰﾄ許容温度(200℃)　　Ｔ$_0$：初期温度(50℃)※1

ａ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率(=λ／ρＣ$_p$)　(7.7×10^{-7}m^2／s)

ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度(2,400kg／m^3)　　Ｃ$_p$：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱(880J／kg／K)

λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率(1.63W／m／K)　Ｅ：輻射強度(W／m^2)

ｔ：燃焼継続時間(14,826s)

ｘ：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ　　（式２）

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$　（式３）

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

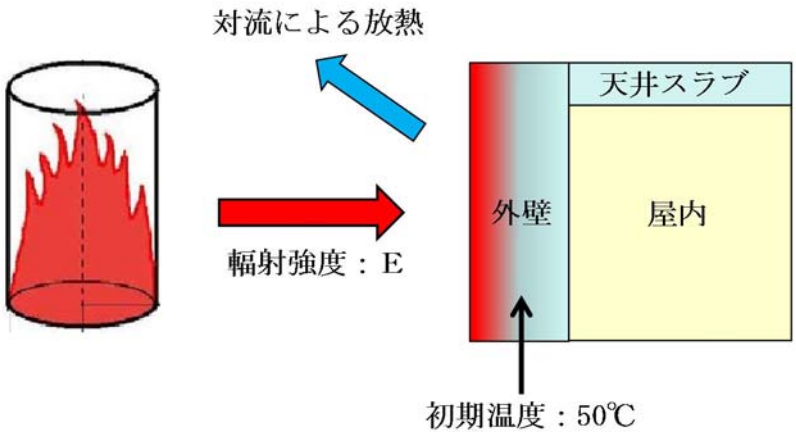
上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から各評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

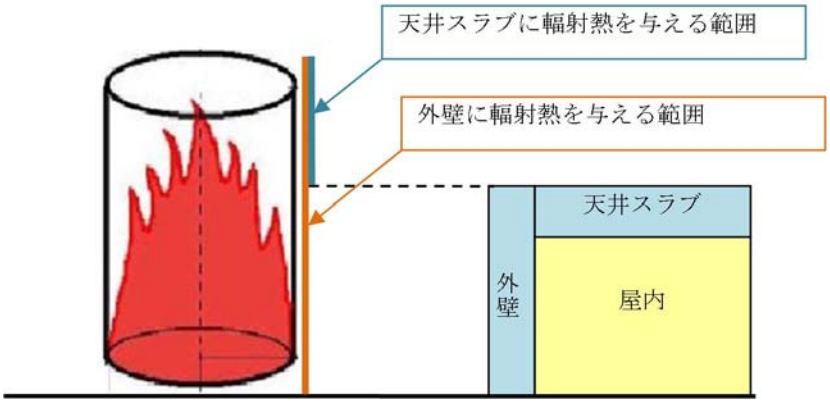
・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

建屋外壁の評価概念図を第 2.2.1-2 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2.1-3 図に示す。



第 2.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図



第 2.2.1-3 図　天井スラブの評価概念図

ｃ．評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

評価結果を第 2.2.1-2 表に示す。

第 2.2.1-2 表　外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	23	510
タービン建屋		450
使用済燃料乾式貯蔵建屋		520

2.2.2　主排気筒に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

主排気筒について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

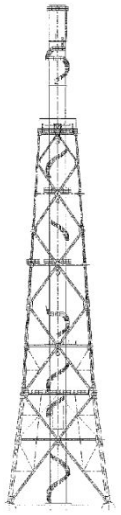
なお，主排気筒の評価にあたっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 2.2.2-1 表に，主排気筒外形図を第 2.2.2-1 図に示す。

第 2.2.2-1 表　評価対象施設の仕様

名称		主排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 2.2.2-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.2-2 表に示す。

第 2.2.2-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	主排気筒 (m)
燃料輸送車両	610

(4)　判断の考え方

a．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表

した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※１
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※２

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

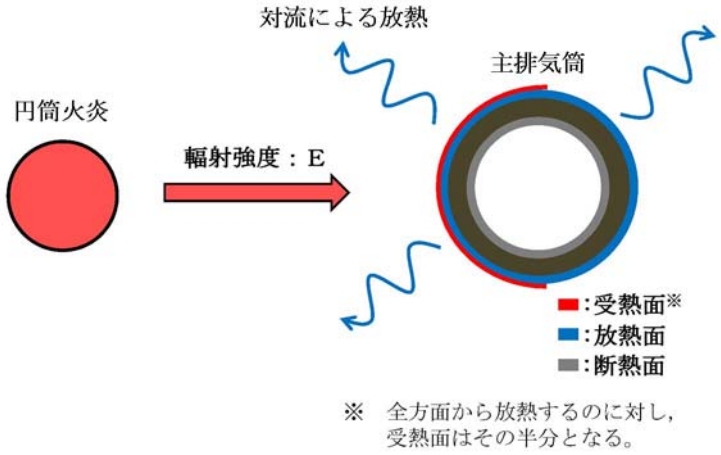
Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって主排

気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が燃料輸送車両との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

主排気筒の評価概念図を第 2.2.2-2 図に示す。



第 2.2.2-2 図　主排気筒の評価概念図

c．評価結果

主排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，主排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2-3 表に示す。

第 2.2.2-3 表　主排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
主排気筒	9	610

2.2.3　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する危険距離評価

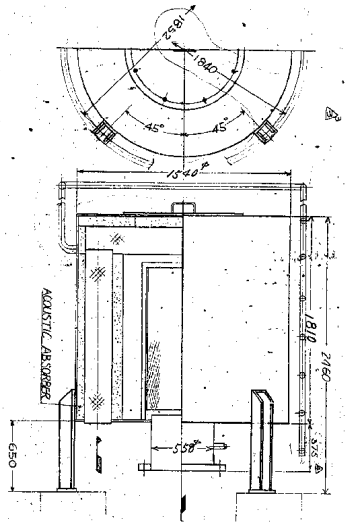
(1)　評価対象範囲

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2)　空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の仕様を第 2.2.3-1 表に，外形図を第 2.2.3-1 図に示す。

第 2.2.3-1 表　評価対象施設の仕様

名称	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)吸気口
種　類	円筒縦形
主要寸法	外径　　：1.54m 円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 2.2.3-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.3-2 表に示す。

第 2.2.3-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。) (m)
燃料輸送車両	510

(4) 判断の考え方

a．許容温度

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な温度53℃以下※とする。

※ 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により流入する空気の温度が53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad (式1)$$

Ｔ：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，

Ｇ：重量流量(4kg／s)※2，Ａ：輻射を受ける面積(7.8m^2)

C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)※3，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4

※１ 水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値

※２ ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3／min）×空気密度（1.17kg／m^3）÷60

※３ 日本機械学会 伝熱工学資料

※４ 最高到達温度を想定した場合の温度上昇

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad (式2)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

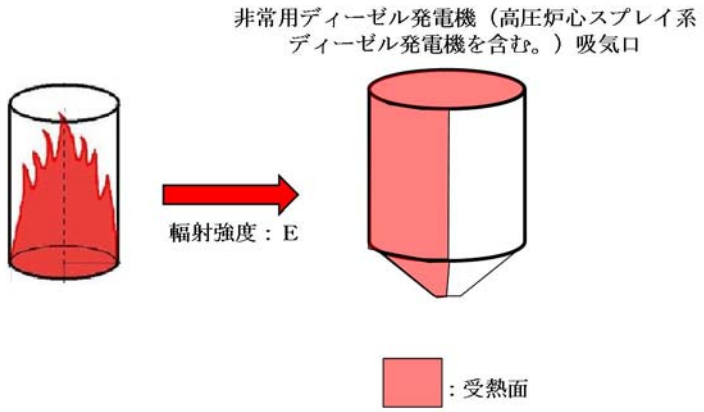
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。



第 2.2.3-2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図

ｃ．評価結果

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.3-3 表に示す。

第 2.2.3-3 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)	14	510

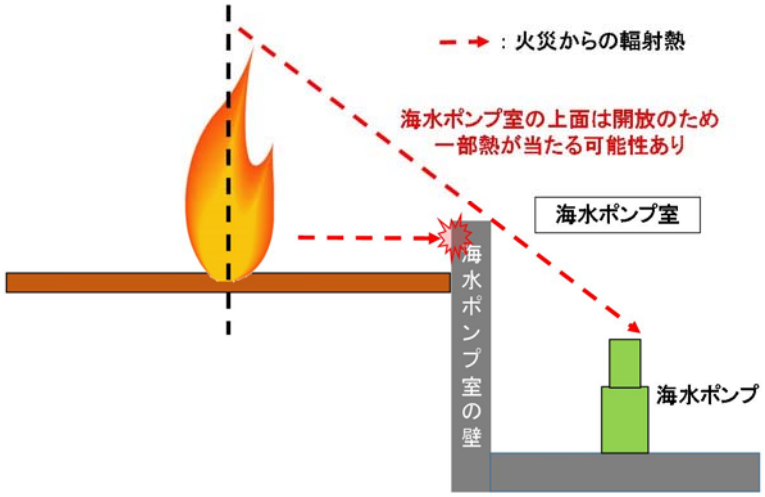
2.2.4　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，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，冷却空気の温

度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 2.2.4-1 図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。

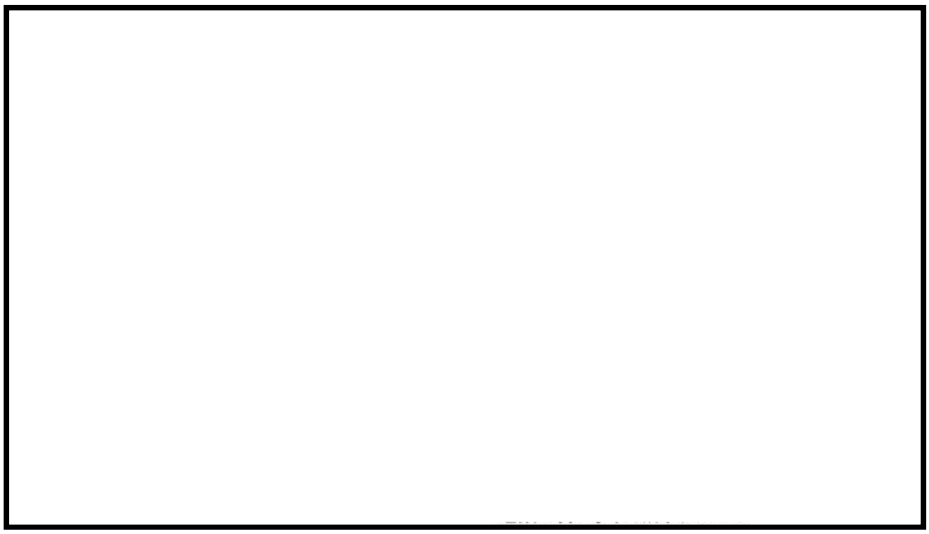


第 2.2.4-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(2) 評価対象施設の仕様

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 2.2.4-2 図，外形図を第 2.2.4-3 図に示す。仕様を第 2.2.4-1 表に示す。

第 2.2.4-2 図 海水ポンプの配置図



第 2.2.4-3 図 海水ポンプの外形図

第 2.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400, SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.4-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	海水ポンプ室
燃料輸送車両	760

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 2.2.4-3 表に示す。

第 2.2.4-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 2.2.4-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギーの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 2.2.4-4 表に，評価概念図を第 2.2.4-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad （式１）$$

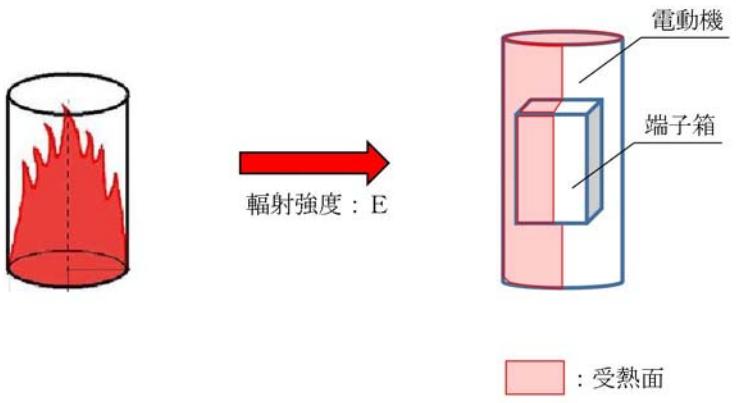
T：評価温度(℃)，T_0：初期温度(39℃)※1，E：輻射強度(W／m^2)，
G：重量流量(kg／s)，A：輻射を受ける面積(m^2)
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔT：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔTb＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

第 2.2.4-4 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
G：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
A：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6



第 2.2.4-4 図　評価概念図

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ　　（式２）

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$　（式３）

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

ｃ．評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.4-5 表に示す。

第 2.2.4-5 表　燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	13	760
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	11	760

2.2.5　放水路ゲートに対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

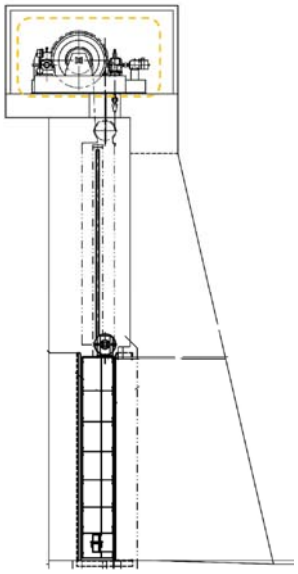
放水路ゲートについて，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 2.2.5-1 表に，外形図を第 2.2.5-1 図に示す。

第 2.2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	放水路ゲート駆動装置
床面高さ	T.P.＋11.0m
外殻材料	炭素鋼
個　数	3



第 2.2.5-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.5-2 表に示す。

第 2.2.5-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	放水路ゲート (m)
燃料輸送車両	600

(4) 判断の考え方

a．許容温度

放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

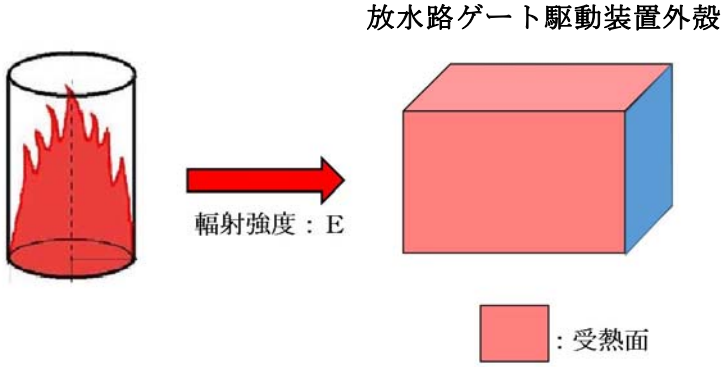
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$ （式３）

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第 2.2.5-2 図に示す。



第 2.2.5-2 図　放水路ゲートの評価概念図

ｃ．評価結果

放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，放水路ゲートまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.5-3 表に示す。

第 2.2.5-3 表　放水路ゲートへの燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
放水路ゲート	9	600

3.　燃料輸送車両の爆発影響評価

(1)　燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両の爆発を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

可燃性ガスを輸送する燃料輸送車両は，最大クラスの燃料輸送車両（積載量：15.1t）に液化天然ガス（ＬＮＧ）及び液化石油ガス（ＬＰＧ）が積載された状況を想定した。評価条件を第 3-1 表に示す。

また，爆発発生場所としては，発電所敷地外の近隣の国道２４５号線上の評価対象施設に最も近い場所を想定した。

第 3-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件

	燃料輸送車両	
貯蔵ガス	液化天然ガス (メタン)	液化石油ガス (プロパン)
貯蔵量(t)	15.1	15.1
貯蔵ガスＫ値※1	714	888
貯蔵設備Ｗ値※2	4	4

※１　評価ガイド 記載値
※２　貯蔵量は 1t 以上となるため，貯蔵量の平方根の数値

(2)　危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 3-2 表に示す。

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$$

X:危険限界距離(m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-)

第 3-2 表　外壁への燃料輸送車両爆発影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
燃料輸送車両	メタン	15.1	81	450
	プロパン	15.1	88	

※　防護対象施設のなかで国道２４５号線から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

4.　燃料輸送車両の爆発飛来物影響評価

4.1　飛来物の最大飛散距離の簡易評価

国道２４５号線を通る加圧貯蔵の燃料輸送車両について，「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，下式よりタンクの破損による破片の飛散範囲を算出した。

$L = 465M^{0.10}$　（容積 5m^{3}以上の容器）

Ｌ：破片の最大飛散範囲，Ｍ：破裂時の貯蔵物質量

算出したタンク破片の飛散距離は 1,218m であり発電所敷地に到達することを確認した。このため，より現実的な飛来物形状等の想定を踏まえた詳細評価を実施することとした。

4.2　飛来物の最大飛散距離の詳細評価

上記「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づく飛散範囲の推定式によると，飛来物が発電用原子炉施設に到達するおそれがあることから，燃料輸送車両（第 4.2.2-1 図参照）から発生すると考えられる飛来物を想定した上での評価を行った。

飛来物の想定に当たり，ＢＬＥＶＥを引き起こす可能性がある加圧貯蔵の燃料輸送車両のうち積載量が国内最大クラスの構造図を基に，飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ，タンク本体（鋼板）及びはしご（鋼製パイプ）を抽出した。

台車部などタンク下部に位置する部品は，爆発力の方向を踏まえると，発電用原子炉施設に到達せず，また横転した場合を考えても，タンク下部の部品の飛散方向は発電所周辺道路の地形の高まりや森林の樹木に干渉し発電用原子炉施設に到達しないことから影響はない。

抽出した飛来物に対して，第 4.2.2-1 図のとおり燃料輸送車両の構造図，車両制限令に定められる限界値，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から，包絡的な飛来物を設定した。なお，現実的には以下に示す車両の部品は存在しないが，飛散距離を保守的に評価するため，存在すると仮定して評価を実施する。

トラクターについては，鋼板で構成されており，その大きさからタンク本体の評価に包絡される。

はしご（鋼製パイプ）の長さは 2.5m 程度である。棒状の物体は長くなるほど飛散距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてはしご（鋼製パイプ）については車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 17.0m での評価を実施する。

また，タンク本体（鋼板）の破片としては鏡板部分の破損を想定し 2.5m ×2.5m 程度が最大と考えられるが，平板状の物体は幅，長さが長くなるほど，飛散距離が長くなる傾向にあることから，保守的な評価としてタンクの半分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限度の 2.5m，長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 17.0m の平板での評価を実施する。厚さについては，構造図※から 0.01m とする。

※　高圧ガスタンクローリーの事故防止について（高圧ガス保安協会）

4.2.1　タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出

タンク爆発により発生する飛来物の最高速度の算出は，別紙 3.3 と同様に「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn)」に基づき求めた。以下に抜粋を示す。

Step 3a2　Calculate the liberated energy, E_{av}

Calculate the liberated energy in accordance with the method for blast effects, see paragraph 7.5.2.

Step 3a3　Calculate initial velocity, v_i

This initial velocity of a fragment can be calculated by using of the following equation:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad \text{(m/s)} \qquad (7.15)$$

where
E_{av} = liberated energy [J]
M_v = total mass of empty vessel [kg]
A_{ke} is the fraction of the liberated energy that goes into kinetic energy of the fragments. It depends on the situation.
Upper limit $A_{ke} = 0.6$
Rough estimate $A_{ke} = 0.2$
BLEVE $A_{ke} = 0.04$

なお，タンク材重量については，タンク体積が最大の 33m^3 となる円筒型のタンク形状を想定して算出した。評価条件を第 4.2.1-1 表に示す。

$$V = \pi r^2 L \Rightarrow L = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$M = 2 \pi r L t \rho + 2 \pi r^2 t \rho$$

Ｖ：タンクの体積(33m^3)，Ｌ：タンク長さ(m)

ｒ：円筒状タンク底面の半径(1.25m)※1

Ｍ：タンクの質量(kg)，ｔ：タンク外層の厚さ(0.01m)※2

ρ：タンク材密度（7,850kg／m^3）※3

※1　車両制限令（積載物），道路運送車両の保安基準（車両）により制限される最大幅 2.5m を直径と想定した場合の半径

※2　高圧ガスタンクローリーの事故防止について（高圧ガス保安協会）に記載のタンク厚さ（0.012m）を参考に，薄いほど評価上保守的になるため，厚さを 0.01m に設定

※3　合金鋼の密度

第 4.2.1-1 表　評価対象タンクの評価条件

タンクの種類	内容物	貯蔵容量 (m^3)	タンク体積※1 V (m^3)	タンクの質量※2 M (kg)
燃料輸送車両	ＬＰＧ	30	33	4.9×10^3

※1　消防法に基づき空間容積を 10%として算出

※2　タンク体積が 33m^{3}となる円筒形状タンクを想定

爆発により発生するエネルギが，ある割合で飛来物に移行すると仮定して最高速度を算出した。算出に用いた式は以下，評価結果は第 4.2.1-2 表のとおり。

$$E=\frac{(\rho_1-\rho_2)V}{\gamma-1}$$

$$v=\sqrt{\frac{2AE}{M}}$$

ｖ：飛来物の最高速度（m／s），Ｍ：タンクの質量(kg)

Ｅ：タンク爆発により発生するエネルギ(Ｊ)

ρ_1：タンク内の圧力（3.4MPa※1），ρ_2：大気圧力（0.1MPa）

Ｖ：タンクの体積（33m^3），γ：比熱比（1.1）

Ａ：爆発エネルギの飛来物への移行係数（0.04※2）

※1　高圧ガス例示基準を参考とし，安全弁設定圧力×1.2 と設定

※2　Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1),3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings

第 4.2.1-2 表　飛来物の最高速度の評価結果

タンクの種類	爆発エネルギ E (J)	飛来物の最高速度 v (m／s)
燃料輸送車両	1.1×10^{9}	133

4.2.2　最大飛散距離の算出

空中では物体はランダムに回転すると仮定し，外力としては重力及び，平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとし，放出角は感度解析の結果，最も遠くまで到達する角度とした。

水平方向：$m\frac{dv_x}{dt}=F\frac{v_x}{V(t)}$

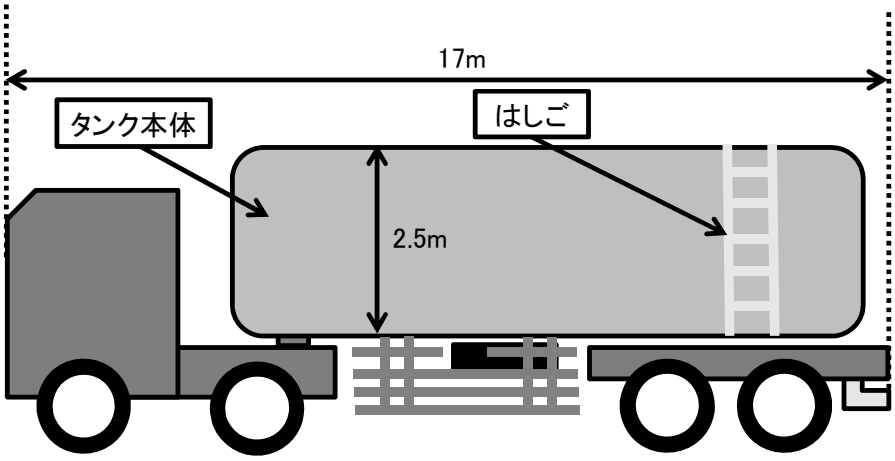
鉛直方向：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$

$F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$

$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

m：飛来物の質量（kg），F：空気抵抗による外力（-）
g：重力加速度（9.8m／s^2），C_D：流体抗力係数（-）
A：飛来物の速度方向に対する投影面積（m^2）
V：飛来物の速度(m／s)，ρ：空気密度(1.2kg／m^3)

燃料輸送車両概要図を第 4.2.2-1 図に，想定飛来物の諸元及び，飛散距離の計算結果を第 4.2.2-1 表に示す。



第 4.2.2-1 図　燃料輸送車両概要図

第 4.2.2-1 表　想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ （はしご）	鋼板 （タンク本体）
サイズ（m）	長さ×直径 （17.0※1×0.05※2）	長さ×幅×厚さ （17.0※1×2.5※1×0.01※4）
質量（kg）	71※2	3,336※3
飛散距離（m）	435	330
離隔距離（m）	450 （国道２４５号線から最も近い発電用原子炉施設（タービン建屋）までの距離）	

※１　車両制限令第 3 条 3 項及び通達で定められた指定道路を通行できるセミトレーラー車両の最大限度（長さ 17.0m，幅 2.5m）
※２　鋼製パイプの直径及び，質量については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。直径 0.05m は，構造図上のはしごの直径約 0.04m を包絡する。
※３　鋼板の質量については，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。
※４　「高圧ガスタンクローリーの事故防止について」（高圧ガス保安協会）の構造図よりタンク板厚 0.01m と設定した。

鋼製パイプの評価結果である最大飛散距離 435m は，離隔距離 450m を下回ることから，燃料輸送車両の爆発飛来物により評価対象施設の安全機能を喪失することはない。

添付資料-5

漂流船舶の火災・爆発について

1. 目　　的

発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災やガス爆発により，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書Ｂ 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2. 漂流船舶の火災影響評価

発電所敷地周辺に漂流物を想定した軌跡解析を実施した結果，いずれの評価点においても最初の地点の近辺に留まるか，発電所から離れていく結果となったことから，発電所敷地外で発生する漂流物は発電所へ接近してくることはないが，本評価では保守的に対象船舶の喫水位置から火災発生位置を特定し評価することとした。

ａ．発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス株式会社が所有する日立ＬＮＧ基地のＬＮＧタンク及びＬＰＧタンク）にＬＮＧ及びＬＰＧを輸送する輸送船（以下「ＬＮＧ輸送船」及び「ＬＰＧ輸送船」という。），内航船及び発電所港湾内に定期的に入港する燃料等輸送船（以下「定期船」という。）の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

ｂ．輸送船の喫水は[redacted]であり，[redacted]である発電所岸壁から[redacted]の位置までしか近づけないことから，[redacted]のポイントから評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

ｃ．内航船及び定期船のうち火災影響が最大となる船舶の火災を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。内航船及び定期船は満載時でも喫水が[redacted]と浅く，発電所岸壁まで接近可能であるため，発

電所岸壁から評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

2.1　共通データの算出

各外壁，主排気筒及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。），非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ及び放水路ゲートに対する影響評価に必要となる共通データを算出する。

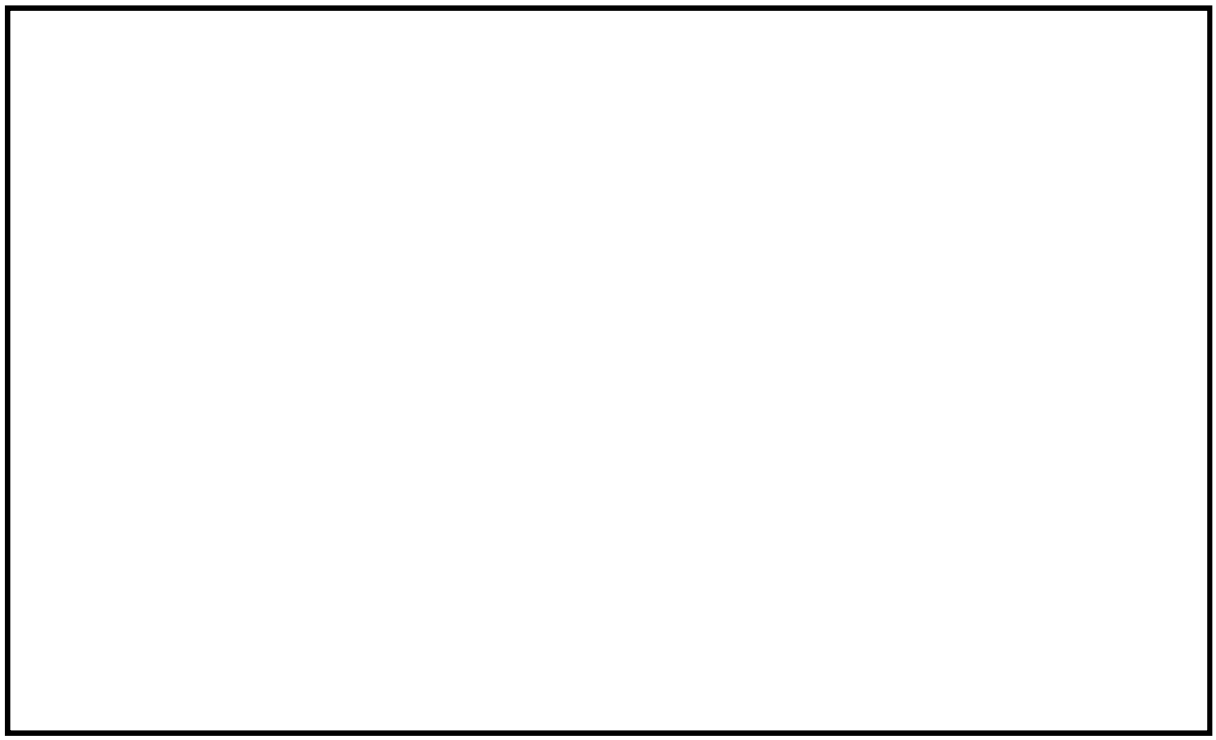
(1)　船舶及び燃料に係るデータ

船舶及び燃料に係るデータを第 2.1-1 表に，各対象との位置関係を第 2.1-1 図，第 2.1-2 図に示す。

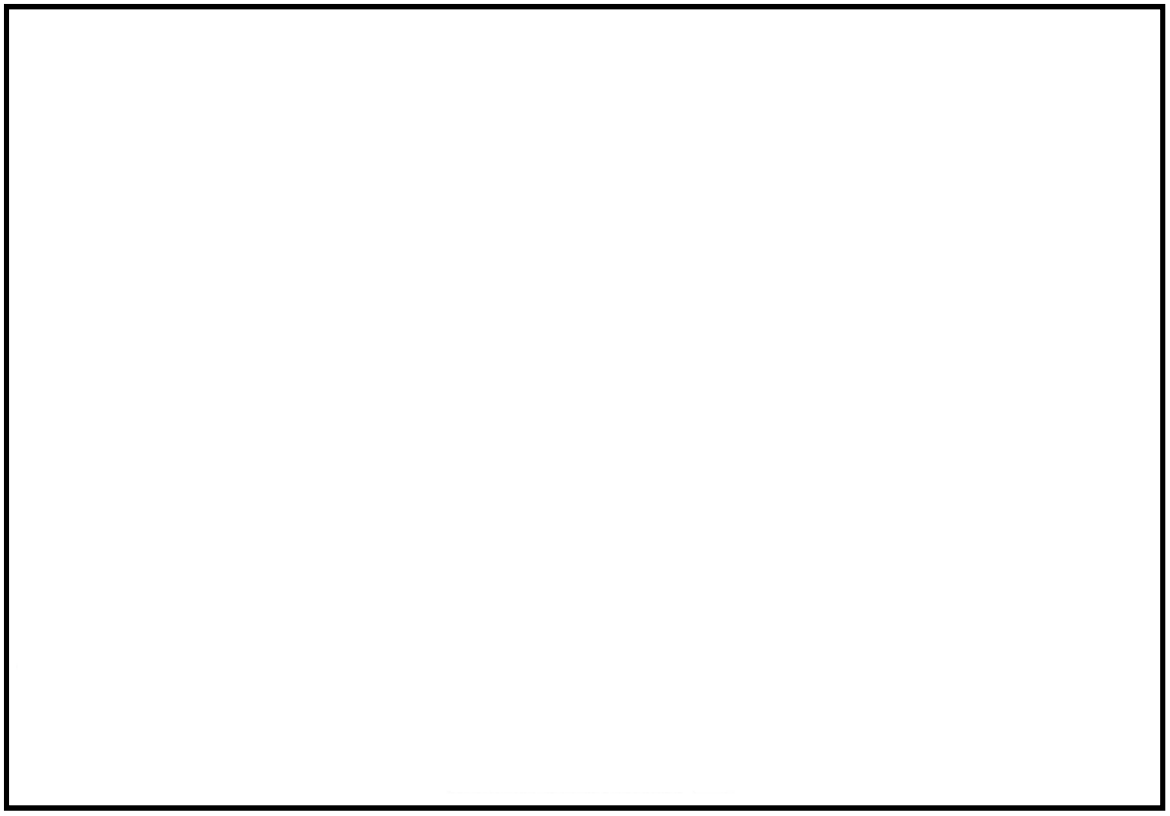
第 2.1-1 表　船舶及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	燃焼面積 (m^2)

※１　評価ガイド 記載値
※２　NUREG-1805 記載値
※３　ＭＳＤＳ(製品データ安全シート)
※４　ＬＰＧ輸送船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多いＬＮＧ輸送船に包絡されるため評価対象外とした。
※５　内航船は燃料の種類が同じであることから，燃料量が多い定期船に包絡されるため評価対象外とした。



第 2.1-1 図　ＬＮＧ輸送船火災と評価対象施設の位置関係



第 2.1-2 図　定期船火災と評価対象施設の位置関係

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

なお，船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定し、燃焼面積は船舶の全長と船幅より四角形として算出している。

算出結果を第 2.1-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：燃焼面積(m^2)

第 2.1-2 表　船舶の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.1-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^{2}\times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)
Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ(m／s)
Ｍ：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 2.1-3 表　船舶火災の燃焼継続時間

想定 火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$)	燃料密度 ρ (kg/m^3)	燃焼継続時間 t (s)

2.2　外壁に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2)　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.2-1 表に示す。

第 2.2-1 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	1,100	1,300
	300	280	530

(3)　判断の考え方

a．許容温度

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 200℃以下とする。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面（x=0）の温度が 200℃となる輻射強度（=危険輻

射強度）を算出する。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right] \quad (式1)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

Ｔ：表面からｘ(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※

α：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率(=λ／ρ C_p)($7.7\times10^{-7}m^2$／s)

ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度(2,400kg／m^3)，C_p：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱(880J／kg／K)

λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率(1.63W／m／K)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)

ｔ：燃焼継続時間(s)，ｘ：温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面：0m)

※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \quad (式2)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad (式3)$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

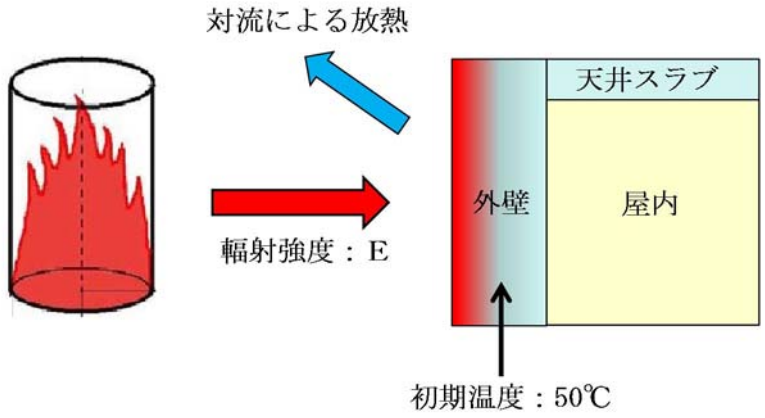
上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

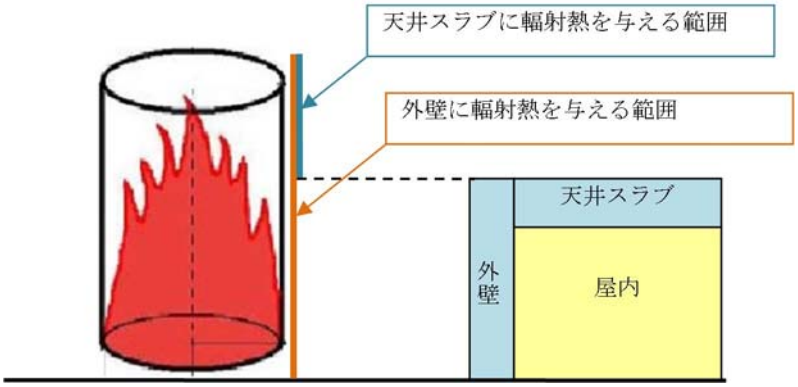
・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

建屋外壁の評価概念図を第 2.2-1 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2-2 図に示す。



第 2.2-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 2.2-2 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

なお，ＬＮＧ輸送船について積載量が 0m^{3}の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は 1,100m（原子炉建屋）であり危険距離以上であるため，積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 2.2-2 表に示す。

第 2.2-2 表　外壁への船舶火災影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	原子炉建屋	263	1,100
	タービン建屋		1,100
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
	原子炉建屋	85	300
	タービン建屋		280
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		530

2.3　主排気筒に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

主排気筒について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

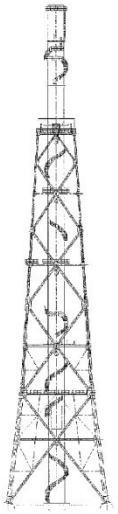
なお，主排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 2.3-1 表に，主排気筒外形図を第 2.3-1 図に示す。

第 2.3-1 表　評価対象施設の仕様

名称		主排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 2.3-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.3-2 表に示す。

第 2.3-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	主排気筒 (m)
	1,100
	250

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

b．評価方法

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により主排気筒鉄塔表面の温度が325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値
※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

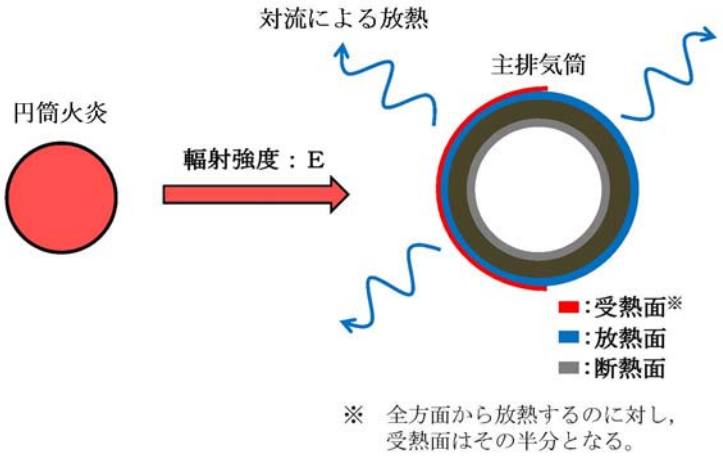
ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が当該船舶との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

主排気筒の評価概念図を第 2.3-2 図に示す。



第 2.3-2 図　主排気筒の評価概念図

ｃ．評価結果

主排気筒鉄塔の表面温度が 325℃となる危険距離を算出した結果，主排気筒の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。なお，ＬＮＧ輸送船について積載量が 0m^3の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離

は 850m であり危険距離以上であるため，積載量が少ない場合の火災位置を想定しても危険距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 2.3-3 表に示す。

第 2.3-3 表　主排気筒への船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	87	1,100
	29	250

2.4　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

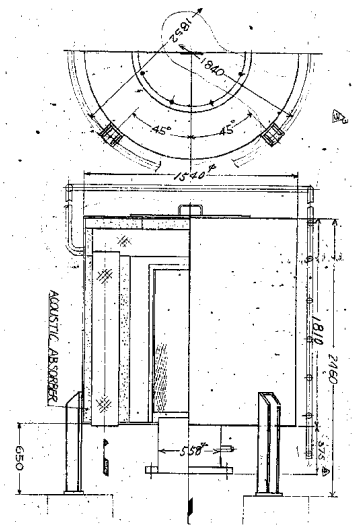
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の仕様を第 2.4-1 表に，外形図を第 2.4-1 図に示す。

第 2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)吸気口
種　類	円筒縦形
主要寸法	外径　　：1.54m 円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.4-2 表に示す。

第 2.4-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)(m)
	1,100
	330

(4)　判断の考え方

a．許容温度

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した式１により，流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad \text{(式 1)}$$

Ｔ：許容温度(53℃)，Ｔ$_0$：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，

Ｇ：重量流量(4kg／s)※２，Ａ：輻射を受ける面積(7.8m^2)

Ｃ$_p$：空気比熱(1,007J／kg／K)※３，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※４

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60

※３　日本機械学会 伝熱工学資料

※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ　　（式２）

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

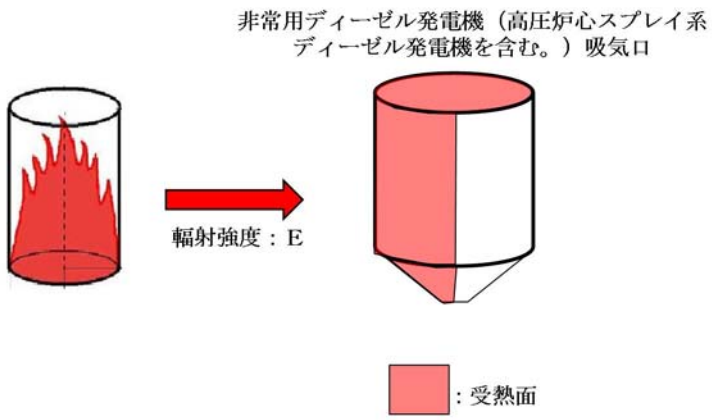
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$　（式３）

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図を第 2.4-2 図に示す。



第 2.4-2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図

c．評価結果

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.4-3 表に示す。

第 2.4-3 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への船舶火災影響評価結果

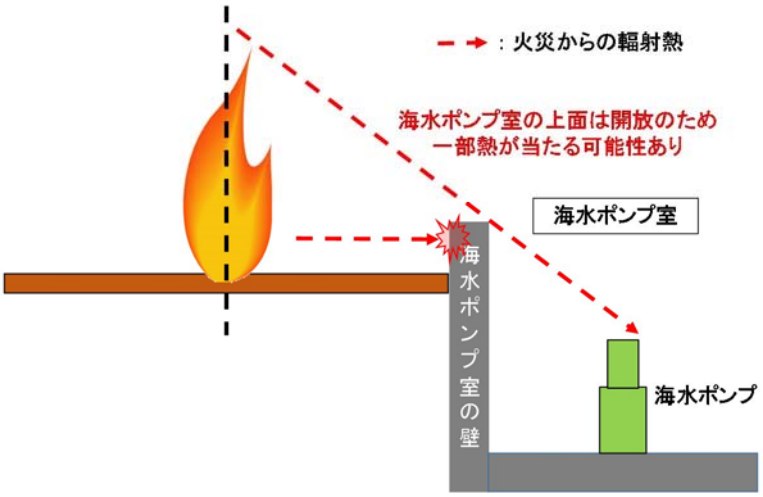
想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	153	1,100
	50	330

2.5　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，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，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 2.5-1 図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。

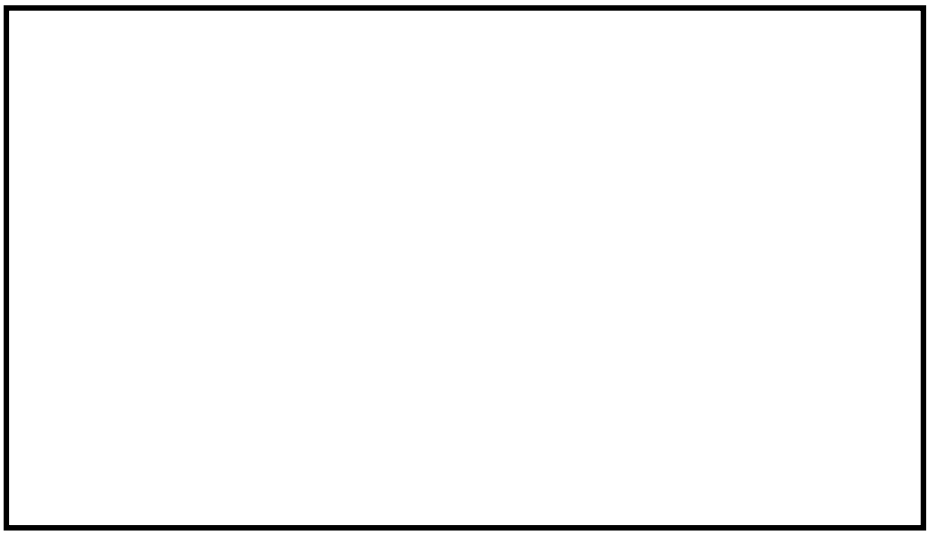


第 2.5-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(2) 評価対象施設の仕様

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 2.5-2 図，外形図を第 2.5-3 図に示す。仕様を第 2.5-1 表に示す。

第 2.5-2 図 海水ポンプの配置図



第 2.5-3 図 海水ポンプの外形図

第 2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　評価対象施設までの離隔距離

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から各火災源までの離隔距離を第 2.5-2 表に示す。

第 2.5-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	海水ポンプ室 (m)
	940
	70

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 2.5-3 表に示す。

第 2.5-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 2.5-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギーの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 2.5-4 表に，評価概念図を第 2.5-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad (式１)$$

Ｔ：評価温度(℃)，Ｔ$_0$：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，
Ｇ：重量流量(kg／s)，Ａ：輻射を受ける面積(m^2)

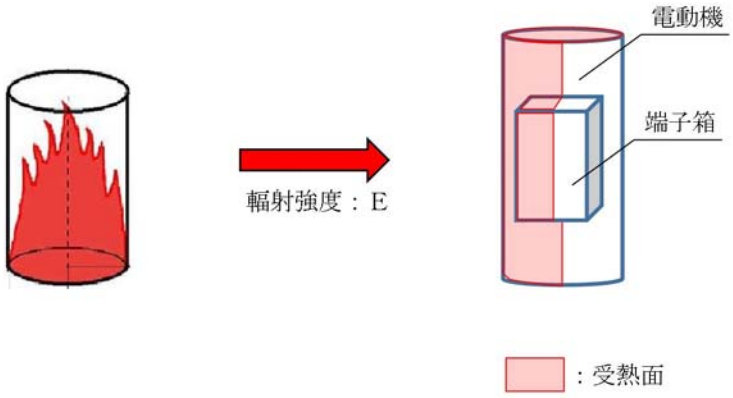
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔＴｂ＝2.2℃）を包絡する5℃に設定

第 2.5-4 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
Ｇ：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
Ａ：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6



第 2.5-4 図　評価概念図

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad (式２)$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad (式３)$$

ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

ｃ．評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 2.5-5 表に示す。

第 2.5-5 表　船舶火災影響評価結果

想定火災源	想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	142	940
	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	111	
	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	47	70
	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	37	

2.6　放水路ゲートに対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

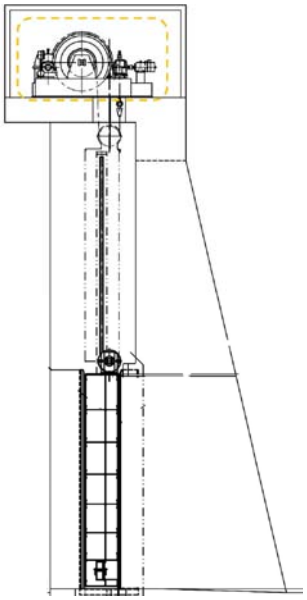
放水路ゲートについて，船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 2.6-1 表に，外形図を第 2.6-1 図に示す。

第 2.6-1 表　評価対象施設の仕様

名称	放水路ゲート駆動装置
床面高さ	T.P.＋11.0m
外殻材料	炭素鋼
個　数	3



第 2.6-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 2.6-2 表に示す。

第 2.6-2 表　想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	放水路ゲート (m)
	1,050
	220

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

ｂ．評価方法

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式１により外殻表面の温度が325℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求める。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h} \qquad \text{（式 1）}$$

（出典：建築火災のﾒｶﾆｽﾞﾑと火災安全設計，財団法人日本建築ｾﾝﾀｰ）

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である17W／m^2／Kを用いる。）

式１で求めた危険輻射強度Ｅとなる形態係数Φを，式２より算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

（出典：評価ガイド）

式２で求めた形態係数Φとなる危険距離Ｌを，式３より算出する。

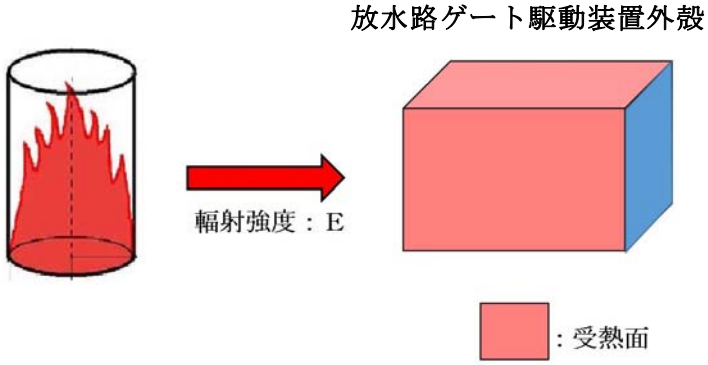
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。放水路ゲートの評価概念図を第2.6-2図に示す。



第2.6-2図　放水路ゲートの評価概念図

ｃ．評価結果

放水路ゲート駆動装置外殻の表面温度が325℃となる危険距離を算出した結果，放水路ゲートまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第2.6-3表に示す。

第2.6-3表　放水路ゲートへの船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	87	1,050
	29	220

3.　漂流船舶の爆発影響評価

(1)　評価対象船舶の抽出

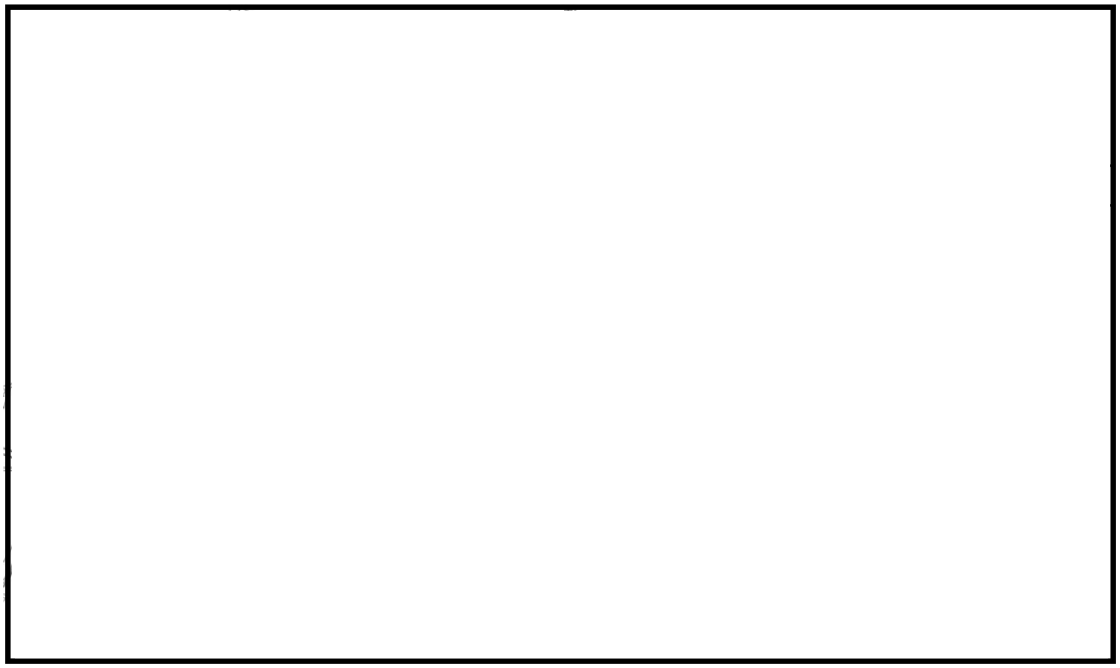
発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス株式会社が所有する日立ＬＮＧ基地）にＬＮＧ及びＬＰＧを輸送する輸送船（内航船含む）の爆発を想定し，評価対象施設に対する影響評価を行った。

爆発地点は，火災発生と同じ場所を想定した。評価条件を第 3-1 表に，各対象との位置関係を第 3-1 図，第 3-2 図に示す。

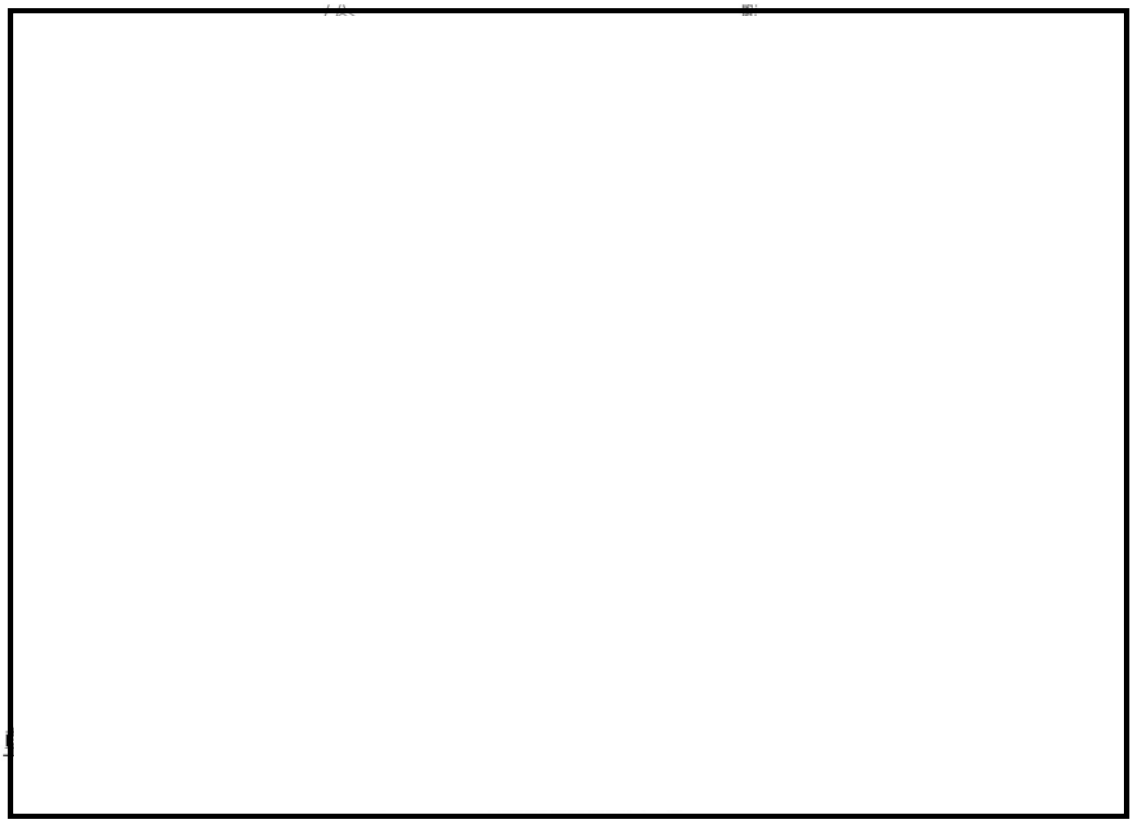
第 3-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件

貯蔵ガス	
貯蔵量(m^3)	
貯蔵量(t)	
密度(t／m^3)	
喫水(m)	
貯蔵ガスＫ値※3	
貯蔵設備Ｗ値※4	

※１　伝熱工学資料第５版記載値
※２　ＪＩＳ　K2240-2013 記載値
※３　評価ガイド 記載値
※４　貯蔵量は 1t 以上となるため，貯蔵量の平方根の数値



第 3-1 図　発電所とＬＮＧ，ＬＰＧ輸送船の位置関係



第 3-2 図　発電所と内航船の位置関係

(2)　危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。

なお，それぞれの輸送船について積載量が 0m^{3}の場合の喫水を考慮しても最短の離隔距離は，ＬＮＧ輸送船で 680m，ＬＰＧ輸送船で 560m となり危険距離以上となるため，積載量が少ない場合の爆発位置を想定しても危険限界距離が離隔距離を上回ることはない。評価結果を第 3-2 表に示す。

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$$

X:危険限界距離(m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-)

第 3-2 表　船舶の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
			335	1,100 以上
			340	
			165	390 以上

※　海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く，直接爆風圧の影響を受けることはないため，海水ポンプ室は評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室及び放水路ゲートを除いて最も近いタービン建屋までの距離とする。

4.　漂流船舶の爆発飛来物影響評価

発電所周辺を航行する船舶として，日立ＬＮＧ基地に出入りする輸送船があるが，これらの船舶が停泊しているときに津波警報等が発表された場合には，荷役及び作業を中止した上で，緊急退避又は係留避泊する運用としており，実際に漂流し発電所に接近する可能性は低いこと等から，想定した漂流船舶の飛来物が発電所に影響を及ぼすことはない。

5.　漂流船舶の二次的影響

発電所港湾内で漂流船舶が出火し油が流出したとしても，港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており，深層取水していることから発電用原子炉施設（海水ポンプ）への影響はない。

なお，発電所港湾外で船舶の油が流出した場合は，油の流出を確認し次第，速やかにオイルフェンスを設置し，発電用原子炉施設への影響がないよう対応する。

添付資料-6

敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発について

1.　目的

東海第二発電所敷地内の危険物貯蔵設備の火災・爆発が，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書Ｂ石油コンビナート火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」及び，「附属書Ｃ「原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」（ともに以下「評価ガイド」という。）に基づき，評価を実施する。

2.　火災源又は爆発源となる設備の影響評価

2.1　評価対象の考え方

評価ガイドに基づき，発電所敷地内の火災源又は爆発源となる石油類等の危険物貯蔵設備について，火災・爆発の影響評価を実施する。第 2.1-1 図のフローに基づき評価対象を抽出した。火災源の抽出結果を第 2.1-1 表に，爆発源の抽出結果を第 2.1-2 表に示す。

・屋内貯蔵所は評価対象外とした。

・地下タンク貯蔵所については，地表面で火災が発生する可能性は低いことから，評価対象外とした。

・常時「空」状態で運用する設備については，評価対象外とした。

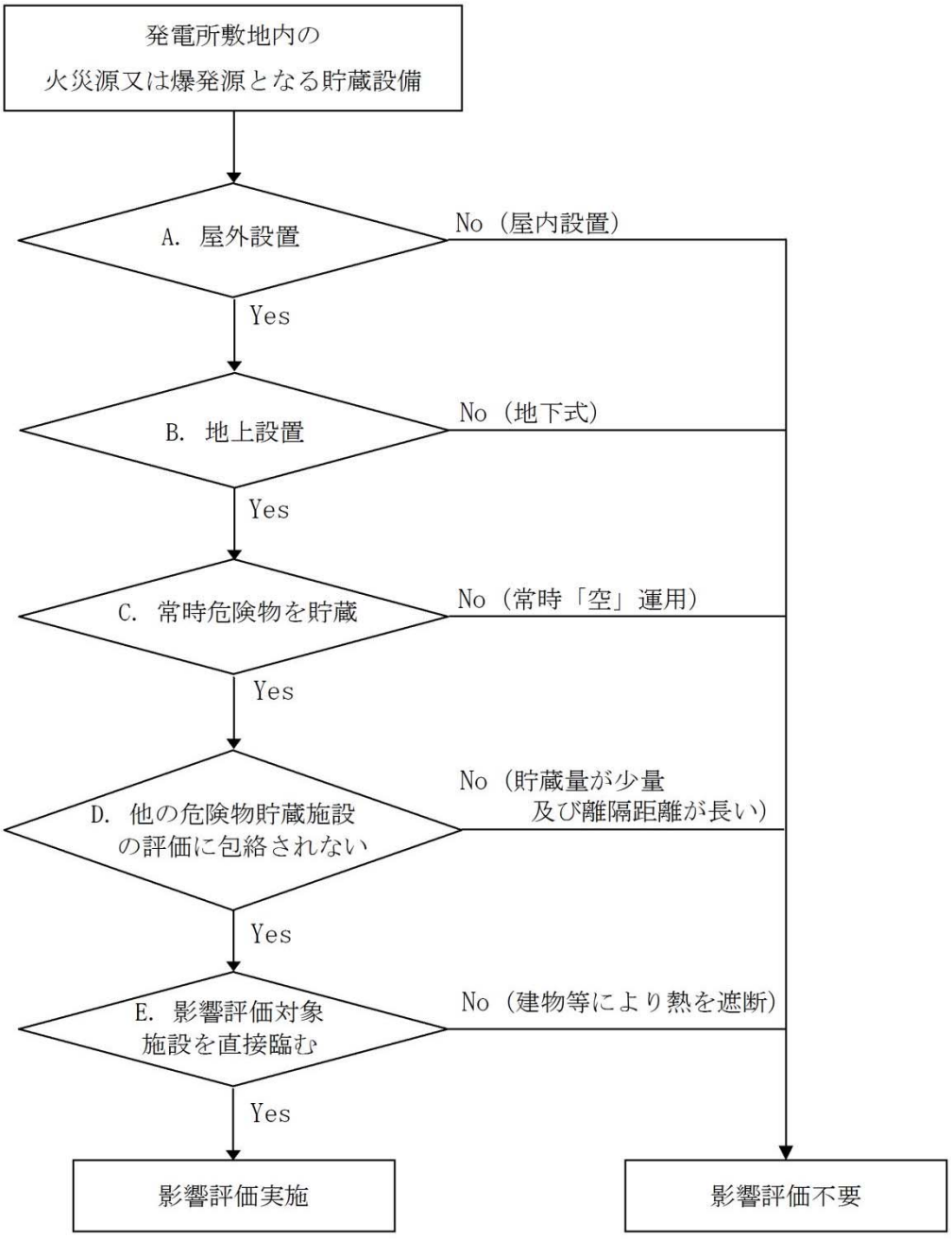
・貯蔵燃料の種類が同じ場合，貯蔵量が少なくかつ評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため，評価対象外とした。

・火災源となる設備から評価対象施設を直接臨まないものについては，当該危険物貯蔵設備において火災・爆発が発生しても，その影響が及ばないため，評価対象外とした。

・発電所構外より入所してくるタンクローリについては，燃料補給時は監

視人が立会を実施し，万が一の火災発生時は速やかに消火活動が可能であることから，評価対象外とした。

敷地内の火災源及び爆発源となる設備及び評価対象施設の位置を第 2.1-2 図に示す。



第 2.1-1 図　敷地内の火災及び爆発評価対象抽出フロー

第 2.1-1 表　敷地内の火災源となる設備一覧

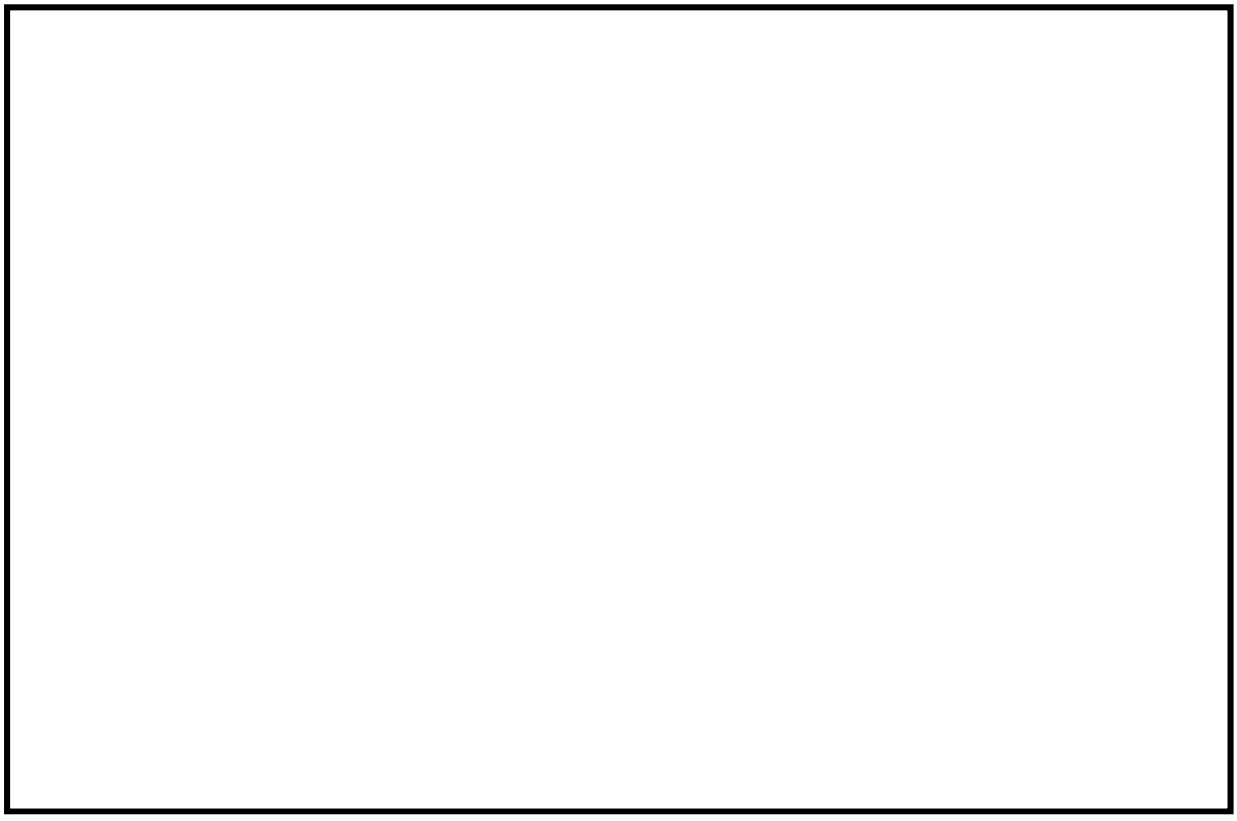
設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m^3)	詳細評価要否 (○:対象,×:対象外)
油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.90	× (屋内設置 → A)
			第四類	第二石油類	軽油・灯油	2.20	× (屋内設置 → A)
			第四類	第三石油類	絶縁油	18.20	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	21.00	× (屋内設置 → A)
			第四類	アルコール類	アルコール類	0.20	× (屋内設置 → A)
重油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	500.00	× (地下式 → B)
非常用ディーゼル発電機用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	800.00	× (地下式 → B)
原子炉建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	33.20	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	16.50	
タービン建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.36	× (屋内設置 → A)
			第四類	第三石油類	重油	1.90	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	185.23	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	第3リン酸エステル油	7.93	× (屋内設置 → A)
サービス建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	2.40	× (屋内設置 → A)
溶融炉灯油タンク	**屋外タンク貯蔵所**	**屋外**	**第四類**	**第二石油類**	**灯油**	**10.00**	**○**
可搬型設備用軽油タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	210.00	× (地下式 → B)
ディーゼル発電機用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.78	× (他評価に包絡 → D)
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ラッカー等	0.10	× (屋内設置 → A)
			第四類	第二石油類	軽油	4.00	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	× (屋内設置 → A)
No.2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	× (屋内設置 → A)
緊急時対策室建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	5.76	× (屋内設置 → A)
緊急時対策室建屋地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	20.00	× (地下式 → B)
絶縁油保管タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	200.00	× (常時「空」→C)
常設代替高圧電源装置置場	一般取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	5.97	× (他評価に包絡 → D)
			第四類	第四石油類	潤滑油	0.94	× (他評価に包絡 → D)
緊急時安全対策用地下タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	90.00	× (地下式 → B)
構内服洗濯用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第三石油類	重油	1.82	× (他評価に包絡 → D)
廃棄物処理建屋廃油タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	廃油	1.90	× (屋内設置 → A)
雑固体減容処理設備用バーナ	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	灯油	0.93	× (屋内設置 → A)
緊急用エンジン発電機燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.80	× (常時「空」→C)
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	150.00	× (地下式 → B)
オイルサービスタンク	少量危険物未満	屋外	第四類	第三石油類	重油	0.39	× (他評価に包絡 → D)
変圧器用屋外消火ポンプ用燃料タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.70	× (他評価に包絡 → D)

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 2.1-2 表　敷地内の爆発源となる設備一覧

設備名	内容物	本数 (本)	1本当たり容量	総容量	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
H_2, CO_2ボンベ庫	水素	20	7 m^3	140 m^3	× (屋内配置→A)
水素貯槽	**水素**	**—**	**—**	**6.7 m^3**	○
予備ボンベ庫①	水素	40	7 m^3	280 m^3	× (屋内配置→A)
予備ボンベ庫②	水素	20	7 m^3	140 m^3	× (屋内配置→A)
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50 kg	200 kg	× (屋内配置→A)
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500 kg	2500 kg	× (屋内配置→A)
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	7 kg	21 kg	× (屋内配置→A)
廃棄物処理建屋 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	7 kg	7 kg	× (屋内配置→A)
	ﾒﾀﾝ＋ｱﾙｺﾞﾝ	4	7 m^3	28 m^3	
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50 kg	900 kg	× (屋内配置→A)

網掛け箇所：評価対象となる設備



第 2.1-2 図　火災源及び爆発源となる設備及び評価対象施設の位置

2.2　発電所敷地内危険物貯蔵設備の熱影響評価

2.2.1　火災源となる設備の火災の想定

火災源となる設備の火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定条件

ａ．火災源となる設備は 2.1 で抽出した溶融炉灯油タンクとした。

ｂ．火災源となる設備の燃料は満載した状態を想定した。

ｃ．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，a．で想定した火災源となる設備位置から評価対象施設までの直線距離とした。

ｄ．火災源となる設備の破損等による防油堤内の全面火災を想定した。

ｅ．気象条件は無風状態とした。

ｆ．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2)　評価対象施設

原子炉建屋，タービン建屋，海水ポンプ室（非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ），主排気筒を評価対象施設とし，直接臨まない使用済燃料乾式貯蔵建屋，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）及び放水路ゲートは対象外とする。

2.2.2　共通データの算出

各対象施設の外壁及び主排気筒に対する熱影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　火災源となる設備及び燃料に係るデータ

火災源となる設備及び燃料に係るデータを第 2.2.2-1 表に示す。

第 2.2.2-1 表　火災源となる設備及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW/m^2)※1	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 ρ (kg/m^3)※3	防油堤面積 S (m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	10	50	0.039	830	19.36

※1　評価ガイド附録Ｂ 記載値
※2　ＮＵＲＥＧ－１８０５記載値
※3　ＭＳＤＳ（製品安全データシート）記載値

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 2.2.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

第 2.2.2-2 表　火災源の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
溶融炉 灯油タンク	19.36	2.483

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 2.2.2-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)

R：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝M／ρ(m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 2.2.2-3 表　火災源となる設備の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
溶融炉 灯油タンク	10	2.483	0.039	830	11,008

2.2.3　外壁に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2)　火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離

火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離を第 2.2.3-1 表に示す。

第 2.2.3-1 表　火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)		
	原子炉建屋	タービン建屋	使用済燃料 乾式貯蔵建屋
溶融炉 灯油タンク	45	77	－※

※　直接臨まないため評価対象外とした。

(3)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.3-2 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 2.2.3-2 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	45 （原子炉建屋）	2.483	5.9639×10^{-3}
	77 （タービン建屋）	2.483	2.0248×10^{-3}

(4)　輻射強度の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.3-3 表に示す。

$E=Rf\cdot\Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.3-3 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	離隔距離 L (m)	輻射発散度 Rf (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	45 (原子炉建屋)	50	5.9639×10^{-3}	298.20
		77 (タービン建屋)		2.0248×10^{-3}	101.24

(5)　判断の考え方

ａ．許容温度

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 200℃以下とする。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。

なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 2.2.3-1 図に示す。

・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。

・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※

κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)

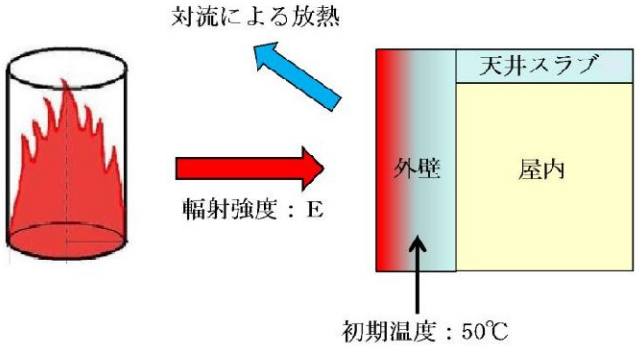
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)

C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)

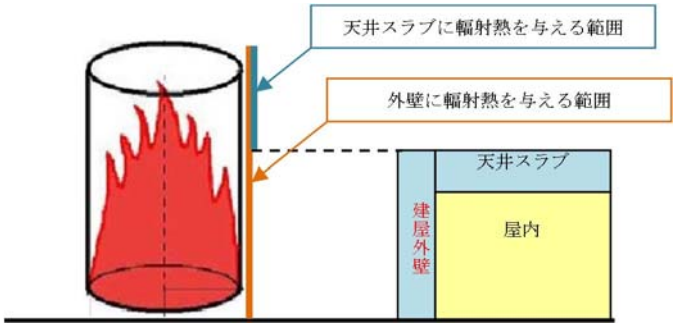
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，E：輻射強度(W／m^2)

t：燃焼継続時間(11,008s)，x：コンクリート壁表面深さ(0m)

※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値



第 2.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図

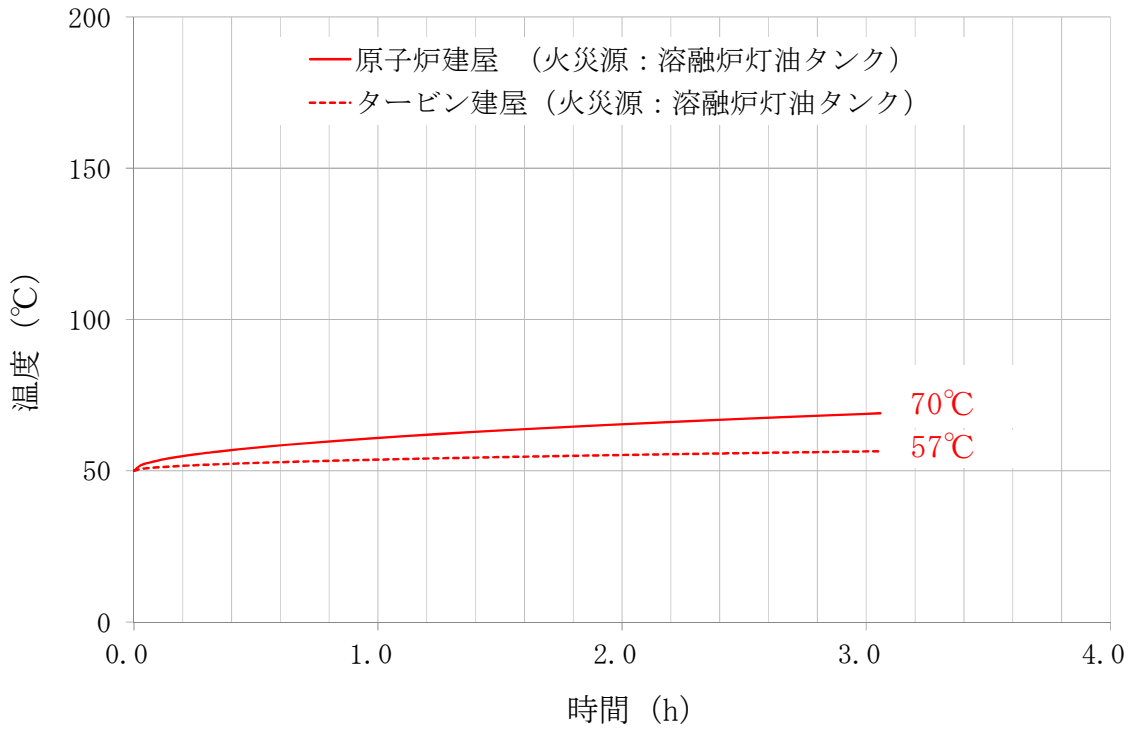


第 2.2.3-2 図　天井スラブへの輻射熱の影響

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℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.3-4 表，第 2.2.3-4 図に示す。

第 2.2.3-4 表　外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	70	＜200
	タービン建屋	57	



第 2.2.3-4 図　評価対象施設外壁表面の到達温度

2.2.4　主排気筒に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

主排気筒について，溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

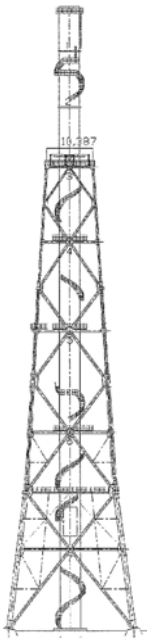
なお，主排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 2.2.4-1 表に，主排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

第 2.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称		主排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 2.2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離

火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離を第 2.2.4-2 表に示す。

第 2.2.4-2 表　火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉灯油タンク	21

(4)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.4-3 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

第 2.2.4-3 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	21	2.483	2.6826×10^{-2}

(5)　輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.4-4 表に示す。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.4-4 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 Ｅ (W／m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	50	2.6826×10^{-2}	1343.13

(6)　判断の考え方

ａ．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ｂ．評価結果

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により主排気筒鉄塔表面の温度上昇を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。主排気筒の評価概念図を第 2.2.4-2 図に示す。

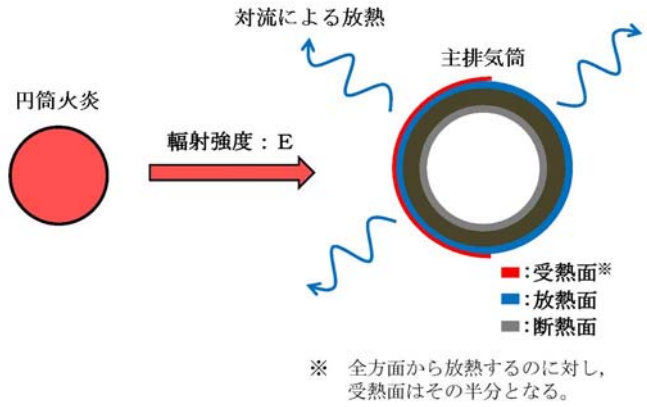
$$T = T_0 + \frac{E}{2h}$$

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）



第 2.2.4-2 図　主排気筒の評価概念図

主排気筒鉄塔表面の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 2.2.4-5 表に示す。

第 2.2.4-5 表　評価対象施設に対する熱影響評価結果

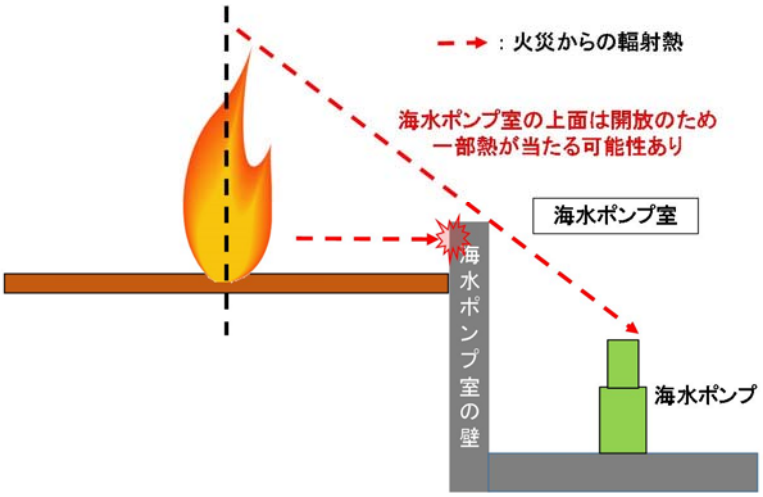
評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
主排気筒	90	＜325

2.2.5　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，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，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 2.2.5-1 図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。

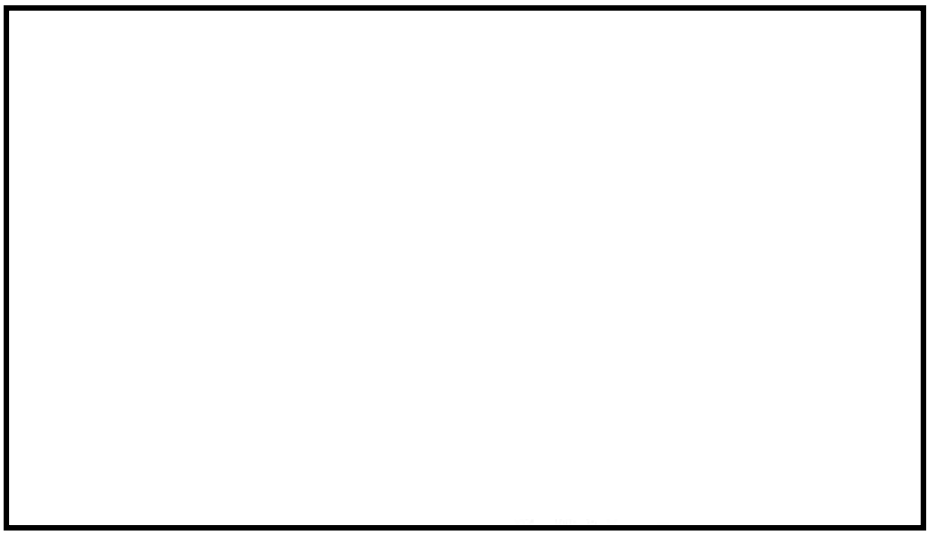


第 2.2.5-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(2) 評価対象施設の仕様

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 2.2.5-2 図，外形図を第 2.2.5-3 図に示す。仕様を第 2.2.5-1 表に示す。

第 2.2.5-2 図 海水ポンプの配置図



第 2.2.5-3 図 海水ポンプの外形図

第 2.2.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　火災源となる設備から主排気筒までの離隔距離

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 2.2.5-2 表に示す。

第 2.2.5-2 表　火災源となる設備から海水ポンプ室までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉灯油タンク	185

(4)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 2.2.5-3 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

第 2.2.5-3 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	185	2.483	3.473×10^{-4}

(5)　輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 2.2.5-4 表に示す。

Ｅ＝Ｒｆ・Φ

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 2.2.5-4 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 Ｅ (W／m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	50	3.473×10^{-4}	17.37

(6)　判断の考え方

ａ．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 2.2.5-5 表に示す。

第 2.2.5-5 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 2.2.5-5 表に示す許容温度を下回るか

を熱エネルギの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 2.2.5-6 表に，評価概念図を第 2.2.5-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T \qquad (式１)$$

Ｔ：評価温度(℃)，Ｔ$_0$：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，

Ｇ：重量流量(kg／s)，Ａ：輻射を受ける面積(m^2)

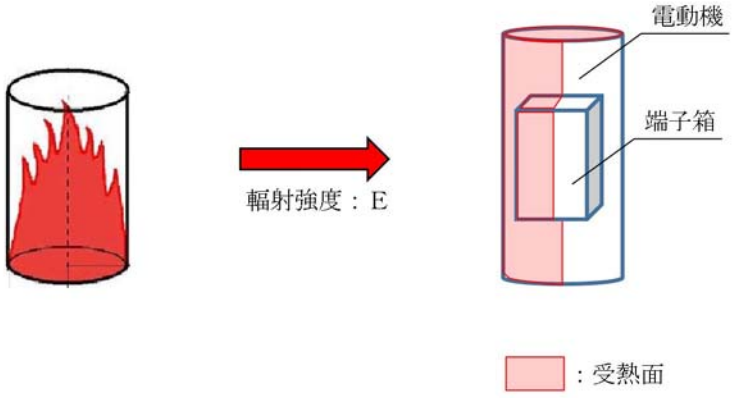
Ｃ$_p$：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　航空機火災による構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔＴ$_b$＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

第 2.2.5-6 表　評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
Ｇ：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
Ａ：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6



第 2.2.5-4 図　評価概念図

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.5-7 表に示す。

第 2.2.5-7 表　評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	45	＜70
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	45	＜60

2.3　爆風圧影響評価

2.3.1　想定事象

(1)　評価対象とする爆発源となる設備は 2．1 で抽出した，水素貯槽とした。

(2)　水素貯槽は，ガスを満載した状態を想定した。

2.3.2　爆発源となる設備及びガスに係るデータ

爆発源となる設備及びガスに係るデータを第 2.3.2-1 表に示す。

第 2.3.2-1 表　爆発源となる設備及びガスに係るデータ

	水素貯槽
貯蔵ガス	水素
貯蔵量(m^3)	6.7
密度(kg／m^3)	0.08988※1
貯蔵ガスＫ値※2	2,860
貯蔵設備Ｗ値	0.0006

※1　一般社団法人 水素エネルギー協会 記載値
※2　コンビナート等保安規定第 5 条別表第二記載値

2.3.3　危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距

離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 2.3.3-1 表に示す。

$$X=0.04\times14.4\sqrt[3]{(K\times1,000\times W)}$$

X:危険限界距離(m), K：石油類の定数(-), W：設備定数(-)

第 2.3.3-1 表　爆発源となる設備と評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
タービン建屋	7	35

※　評価対象施設のなかで水素貯槽から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

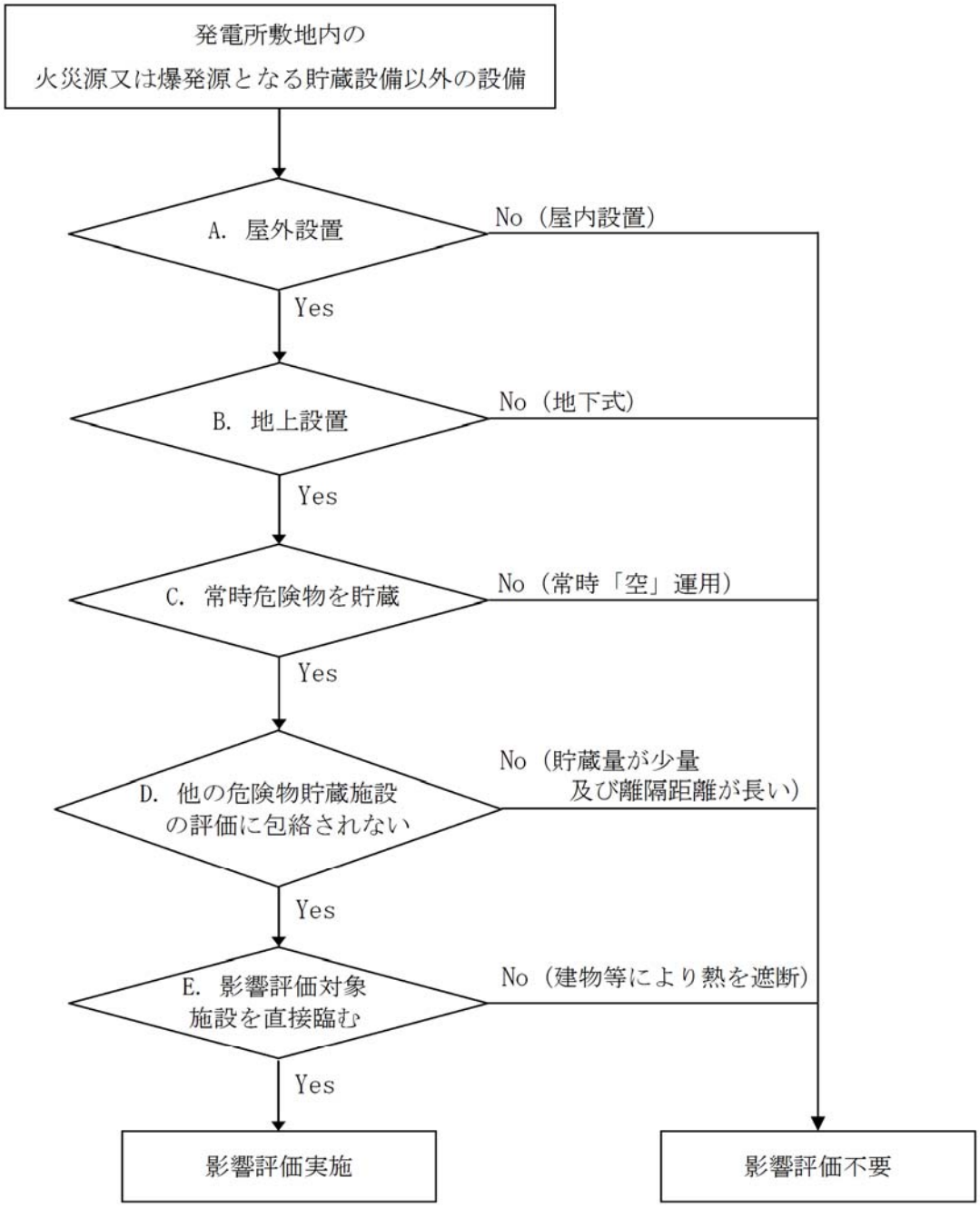
3.　敷地内貯蔵設備以外の影響評価

3.1　評価対象範囲

敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備を，第 3.1-1 図のフローに基づき抽出した。抽出結果を第 3.1-1 表に示す。

・貯蔵燃料の種類が同じ場合，貯蔵量が少なくかつ評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため，評価対象外とした。可搬型重大事故等対処設備及び自主設備（第 3.1-2 表）についても，同じフローに基づき評価対象を抽出した。

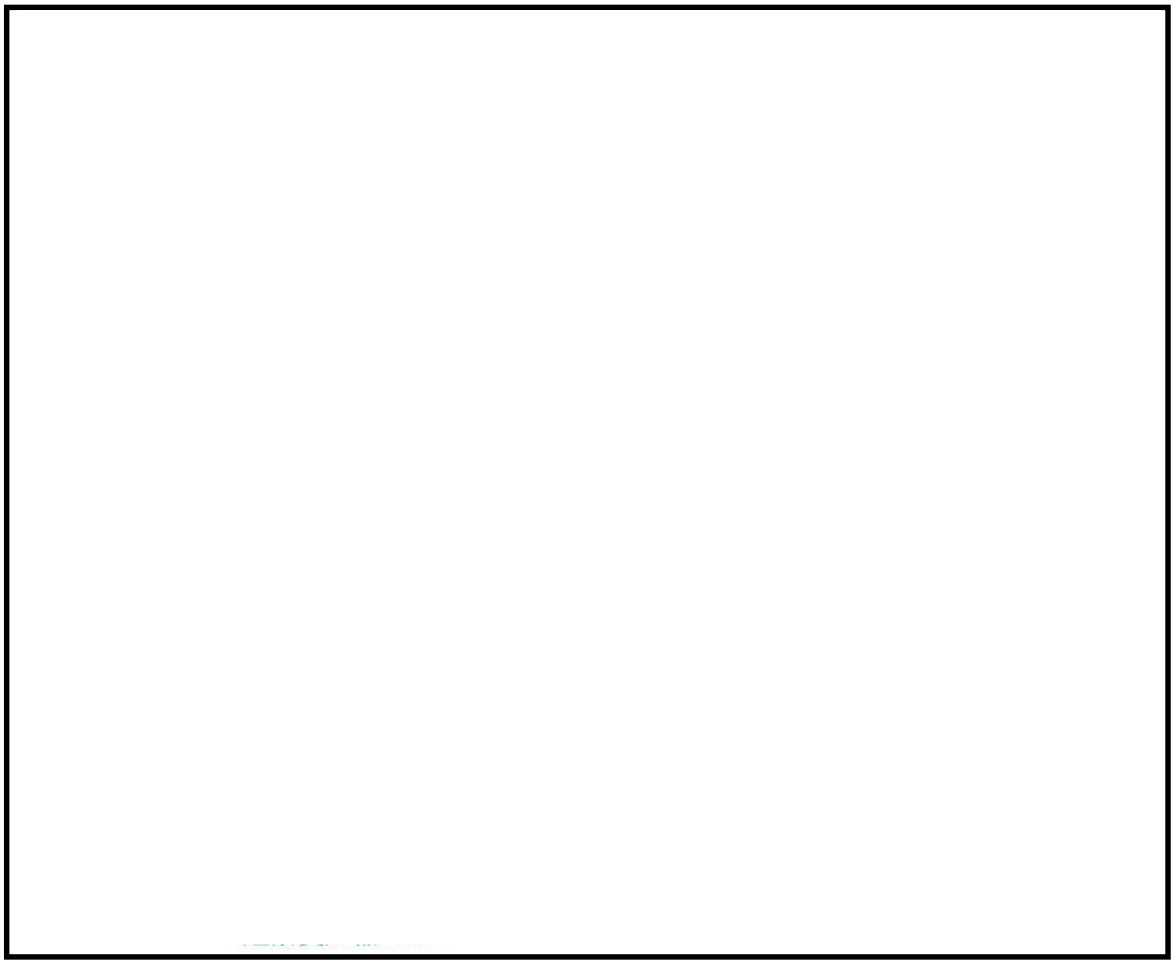
敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備及び評価対象施設の位置を第 3.1-2 図に，可搬型重大事故等対処設備及び自主設備の保管位置を第 3.1-3 図に示す。



第 3.1-1 図　敷地内貯蔵設備以外の設備の対象抽出フロー

第 3.1-1 表　敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備一覧

設備名	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m^3)	詳細評価要否 (○：対象，×：対象外)
主要変圧器	**屋外**	**第四類**	**第三石油類**	**絶縁油**	**136**	○
所内変圧器　２Ａ	**屋外**	**第四類**	**第三石油類**	**絶縁油**	**21.00**	○
所内変圧器　２Ｂ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	× （他評価に包絡　→　Ｄ）
起動変圧器　２Ａ	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	45.95	× （他評価に包絡　→　Ｄ）
起動変圧器　２Ｂ	**屋外**	**第四類**	**第三石油類**	**絶縁油**	**46.75**	○
予備変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	35.90	× （他評価に包絡　→　Ｄ）
1号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× （他評価に包絡　→　Ｄ）
2号エステート変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	1.10	× （他評価に包絡　→　Ｄ）
６６ｋＶ非常用変電所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	6.60	× （他評価に包絡　→　Ｄ）
中央制御室計器用エンジン発電機	屋外	第四類	第二石油類	軽油	0.026	× （常時「空」　→　Ｃ）

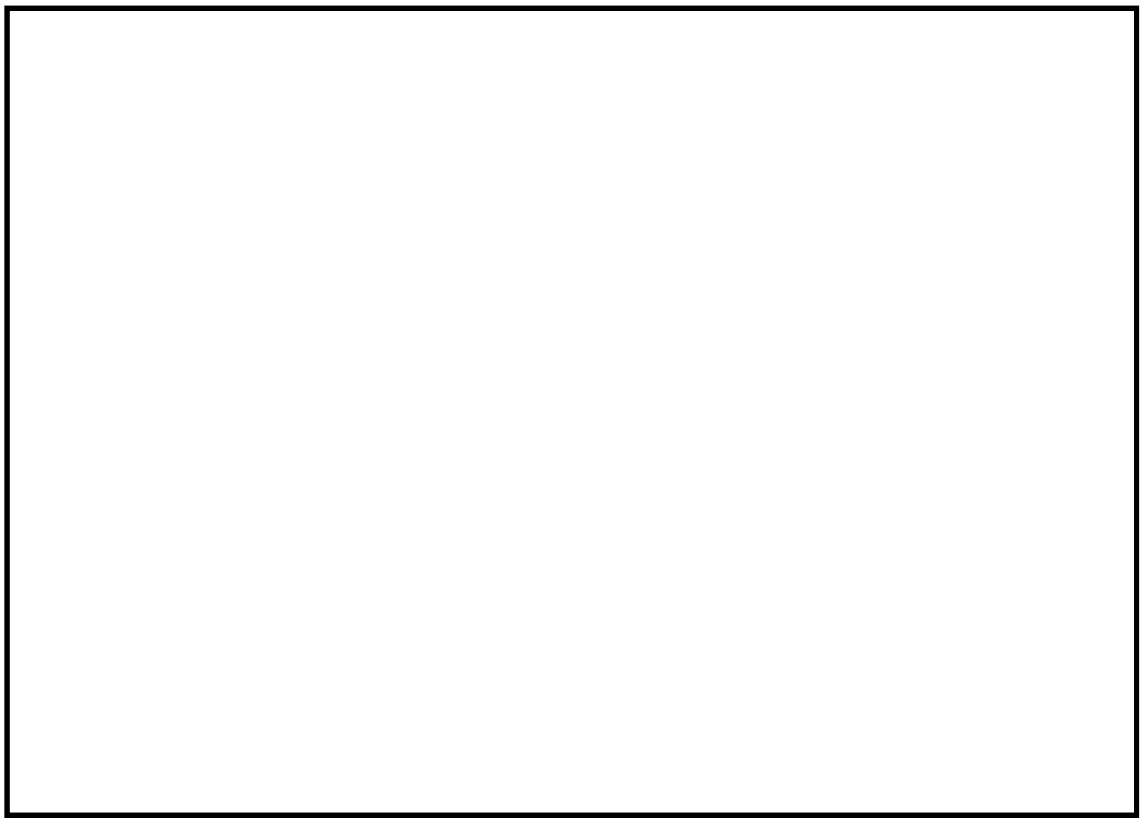


第 3.1-2 図　火災源となる変圧器及び評価対象施設の設置位置

第 3.1-2 表　可搬型重大事故等対処設備及び自主設備一覧

設備名	数量	危険物の類		品名	燃料量[L] (1数量あたり)	配備位置	詳細評価要否 (○:対象,×:対象外)
可搬型代替注水大型ポンプ※1※3	7台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 900（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
可搬型代替低圧電源車※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	250	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
タンクローリ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	100（車　両） 4,000（タンク）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
ホイールローダ※1※3	5台	第四類	第二石油類	軽油	177	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
窒素供給装置※1※3	4台	第四類	第二石油類	軽油	300（車両） 380（装置）	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
窒素供給装置用電源車※1※3	2台	第四類	第二石油類	軽油	250	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
油圧ショベル※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	65	南側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
ブルドーザ※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	470	南側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
ホース展張車※2	10台	第四類	第二石油類	軽油	130	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
可搬型ケーブル運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	100	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型整流器運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	70	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
放水砲／泡消火薬剤運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
汚濁防止膜運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
小型船舶運搬車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	南側保管場所 西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型代替注水中型ポンプ※1※2※3	6台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 125（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 西側保管場所 予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
ホース展張車（消火用）※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	130	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
水槽付消防ポンプ自動車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 100（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	西側保管場所 監視所付近	× （他評価に包絡 →D）
化学消防自動車※2	2台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 100（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	南側保管場所 監視所付近	× （他評価に包絡 →D）
予備電動機運搬用トレーラー※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	390	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
予備電動機交換用クレーン※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	500（車両） 300（ｸﾚｰﾝ）	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
可搬型高圧窒素供給装置（小型）※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	300（車両） 350（装置）	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）
放射能観測車※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	70	予備機置場	× （他評価に包絡 →D）

※1　可搬型重大事故等対処設備
※2　自主設備
※3　予備



第 3.1-3 図　可搬型重大事故等対処設備及び自主設備保管場所の設置位置

3.2　熱影響評価

3.2.1　変圧器火災の想定

変圧器火災の想定は以下のとおりとした。

(1)　想定条件

ａ．評価対象とする火災源は 3.1 で抽出した主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂとした。なお，隣接する変圧器間には耐火壁があるため，隣接変圧器への延焼は考慮しない。

ｂ．変圧器の防火設備の消火機能等※には期待しない。

ｃ．離隔距離は，評価上厳しくなるよう，a．で想定した変圧器設置位置から評価対象施設までの直線距離とした。

ｄ．変圧器の破損等による変圧器の全面火災を想定した。

ｅ．気象条件は無風状態とした。

ｆ．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

※ 変圧器の防火対策として，水噴霧の自動消火設備を設置していることに加え，耐震性向上対策を行っている。（別紙 6.4）

(2) 輻射強度の算定

油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため，火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

3.2.2 共通データの算出

各対象施設の外壁に対する熱影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1) 変圧器及び燃料に係るデータ

変圧器及び燃料に係るデータを第 3.2.2-1 表に示す。

第 3.2.2-1 表 火災源の輻射強度

想定火災源	油の種類	油量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW/m^2)※1	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 ρ (kg/m^3)※2
主要変圧器	絶縁油	136.00	23	0.035	900
所内変圧器２Ａ		21.00			
起動変圧器２Ｂ		46.75			

※１ 絶縁油は重油と同じ第３石油類であるため，重油の評価ガイド附録Ｂ記載値を採用
※２ ＮＵＲＥＧ－１８０５記載値

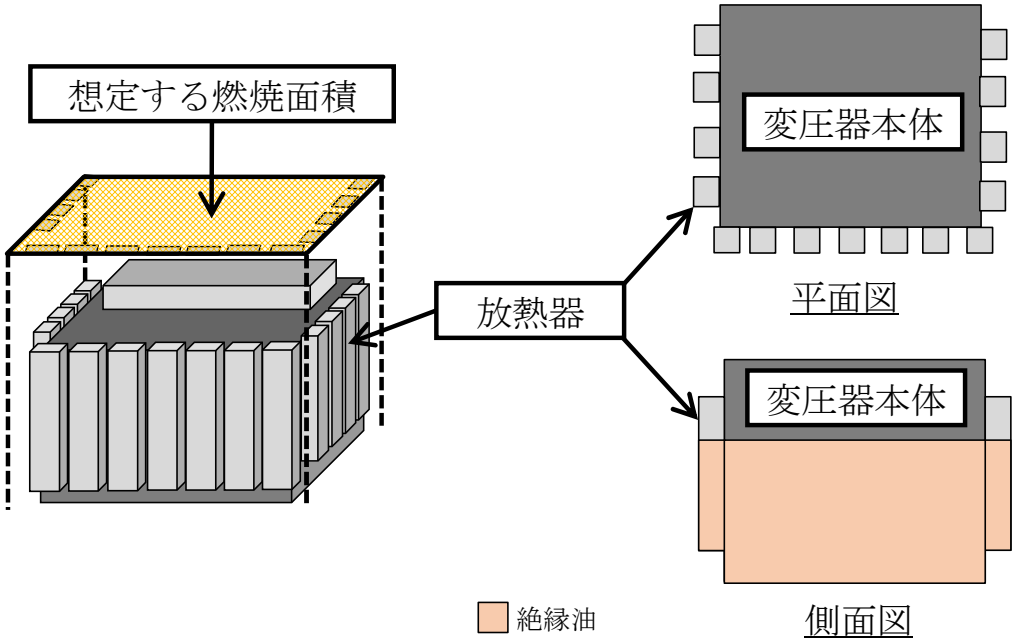
(2) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること及び漏えいした油を回収する地下タンクを設置していることから，防油堤の全面火災が生じることはない。したがって，変圧器本体の全面火災により円筒火炎を

生じることとし，燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとして燃焼半径を算出する。変圧器の投影面積を第 3.2.2-1 図に，算出結果を第 3.2.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)



第 3.2.2-1 図　変圧器の投影面積

第 3.2.2-2 表　火災源の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
主要変圧器	97.00	5.557
所内変圧器２Ａ	22.45	2.674
起動変圧器２Ｂ	58.91	4.331

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 3.2.2-3 表に示す。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t：燃焼継続時間(s)，V：燃料量(m^3)
R：燃焼半径(m)，v：燃焼速度＝M／ρ (m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第 3.2.2-3 表　各変圧器の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 t (s)
主要変圧器	136.00	5.557	0.035	900	36,131
所内変圧器２Ａ	21.00	2.674			24,094
起動変圧器２Ｂ	46.75	4.331			20,447

3.2.3　外壁に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

評価対象施設の外壁について，主要変圧器，所内変圧器２Ａ及び起動変圧器２Ｂの火災を想定して評価を実施した。

(2)　変圧器と評価対象施設までの離隔距離

変圧器と評価対象施設までの離隔距離を第 3.2.3-1 表に示す。

第 3.2.3-1 表　各変圧器と評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	影響対象	離隔距離 (m)
主要変圧器	タービン建屋	22
所内変圧器２Ａ	タービン建屋	8
起動変圧器２Ｂ	タービン建屋	13

(3)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 3.2.3-2 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^{2}-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^{2}+m^{2}$ ，$B=(1-n)^{2}+m^{2}$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 3.2.3-2 表　各変圧器の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
主要変圧器	22 (タービン建屋)	5.557	1.0160×10^{-1}
所内変圧器２Ａ	8 (タービン建屋)	2.674	1.5128×10^{-1}
起動変圧器２Ｂ	13 (タービン建屋)	4.331	1.5063×10^{-1}

(4)　輻射強度の評価

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 3.2.3-3 表に示す。

$E = R_f \cdot \Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 3.2.3-3 表　各変圧器の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 Ｅ (W／m^2)
主要変圧器	絶縁油	23	1.0160×10^{-1}	2,336.84
所内変圧器２Ａ	絶縁油		1.5128×10^{-1}	3,479.47
起動変圧器２Ｂ	絶縁油		1.5063×10^{-1}	3,464.49

(5)　判断の考え方

ａ．許容温度

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 200℃を許容温度とする。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。建屋外壁の評価概念図を第 3.2.3-1 図に示す。

・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 3.2.3-2 図に示す。

・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$

Ｔ：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρ C_p)(7.7×10^{-7} m^2／s)

ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)

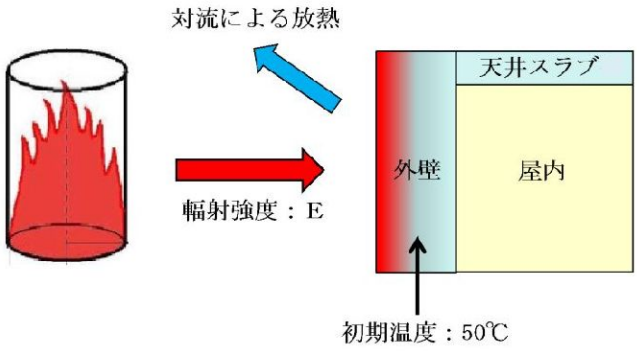
C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)

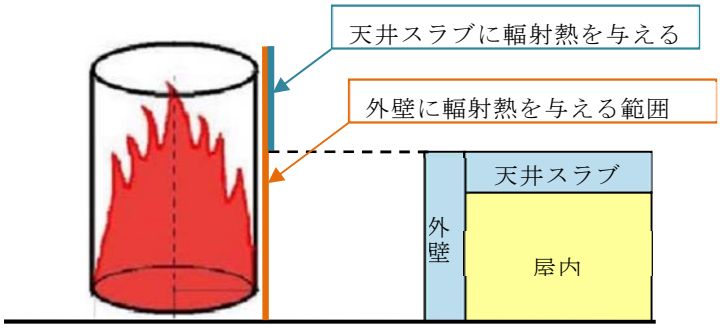
ｔ：燃焼継続時間(s)，ｘ：コンクリート壁表面深さ(0m)

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）



第 3.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 3.2.3-2 図　天井スラブの評価概念図

ただし，上式で算出した建屋表面温度が許容温度である 200℃を超える場合には，周囲への放熱を考慮した次式を用いて算出する。なお，現実的に起こり得る放熱量を上回ることがないよう，放熱量が低くなる保守的な条件を設定した。

$$T = T_0 + \frac{E}{h}\left[1 - \exp\left(\frac{h^2}{\lambda \rho C_p} t\right) \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2 t}{\lambda \rho C_p}}\right)\right]$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
h：熱伝達率(17W／m^2／K)※2
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)
C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，E：輻射強度(W／m^2)
t：燃焼継続時間(11,008s)，x：コンクリート壁表面深さ(0m)

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

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℃以下であることを確認した。評価結果を第 3.2.3-4 表に示す。

第 3.2.3-4 表　外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
主要変圧器	タービン建屋	149	＜200
所内変圧器２Ａ		187	
起動変圧器２Ｂ		182	

※　放熱なしの条件では許容温度を上回るため，放熱を考慮して評価を実施

3.2.4　放水路ゲートに対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

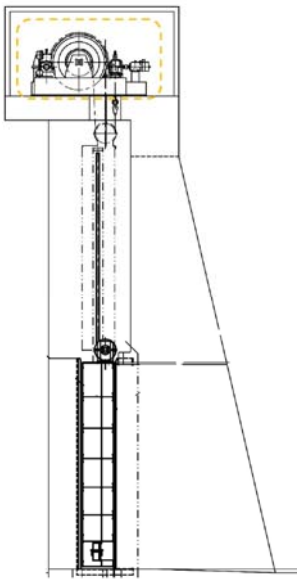
放水路ゲートについて主要変圧器及び所内変圧器２Ａの火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

放水路ゲート駆動装置の外殻となる放水路ゲート駆動装置外殻の仕様を第 3.2.4-1 表に，外形図を第 3.2.4-1 図に示す。

第 3.2.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称	放水路ゲート駆動装置
床面高さ	T.P.＋11.0m
外殻材料	炭素鋼
個　数	3



第 3.2.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　火災源となる設備から放水路ゲートまでの離隔距離

火災源となる設備から放水路ゲートまでの離隔距離を第 3.2.4-2 表に示す。

第 3.2.4-2 表　火災源となる設備から放水路ゲートまでの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
主要変圧器 所内変圧器２Ａ	270

(4)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 3.2.4-3 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

第 3.2.4-3 表　火災源となる設備の形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
主要変圧器	270	5.557	8.202×10^{-4}
所内変圧器２Ａ	270	2.674	1.887×10^{-4}

(5)　輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 3.2.4-4 表に示す。

$E = R_f \cdot \Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 3.2.4-4 表　火災源となる設備の輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 Ｅ (W／m^2)
主要変圧器	絶縁油	23	8.202×10^{-4}	19
所内変圧器２Ａ	絶縁油	23	1.887×10^{-4}	4

(6)　判断の考え方

ａ．許容温度

放水路ゲート駆動装置外殻の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度325℃以下とする。

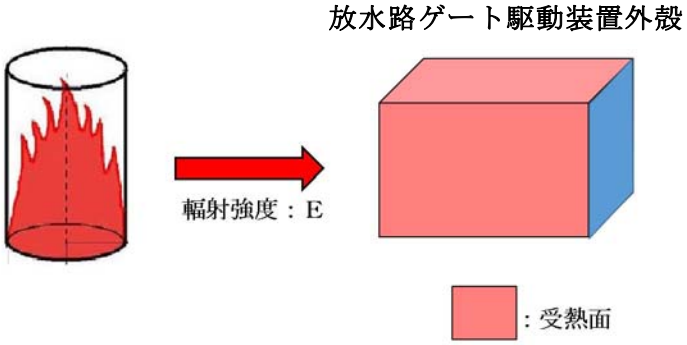
ｂ．評価結果

一定の輻射強度で放水路ゲート駆動装置外殻が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により放水路ゲート駆動装置外殻表面の温度上昇を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。放水路ゲートの評価概念図を第 3.2.4-2 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h}$$

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
Ｅ：輻射強度(W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）



第 3.2.4-2 図　放水路ゲートの評価概念図

放水路ゲート駆動装置外殻表面の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 3.2.4-5 表に示す。

第 3.2.4-5 表　評価対象施設に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度（℃）	許容温度（℃）
主要変圧器	放水路ゲート	51	＜325
所内変圧器２Ａ		51	

軽油貯蔵タンク及び重油タンクの地下化について

軽油貯蔵タンク及び重油タンクは，「危険物の規則に関する政令」第十三条第 1 項，第二十条第 3 項及び「危険物の規制に関する規則」第三十五条第 1 項第 1 号に適合する地下タンク貯蔵所のため，地表面で火災が発生する可能性は低い。

また，タンク地上部のマンホールも含め，地上で発生する火炎からの輻射熱の影響を受けない構造とする。

以上から，軽油貯蔵タンク及び重油タンクは，外部火災の火災源の対象から除外する。

「危険物の規則に関する政令」及び「危険物の規制に関する規則」の抜粋を以下に示す。

「危険物の規則に関する政令」【一部抜粋】

（地下タンク貯蔵所の基準）
第十三条　地下タンク貯蔵所（次項及び第三項に定めるものを除く。）の位置，構造及び設備の技術上の基準は，次のとおりとする。
一　危険物を貯蔵し，又は取り扱う地下タンク（以下この条，第十七条及び第二十六条において「地下貯蔵タンク」という。）は，地盤面下に設けられたタンク室に設置すること。

－略－

（消火設備の基準）
第二十条　消火設備の技術上の基準は，次のとおりとする。
三　前二号の総務省令で定める製造所等以外の製造所等にあっては、総務省令で定めるところにより、別表第五に掲げる対象物について同表においてその消火に適応するものとされる消火設備のうち、第五種の消火設備を設置すること。

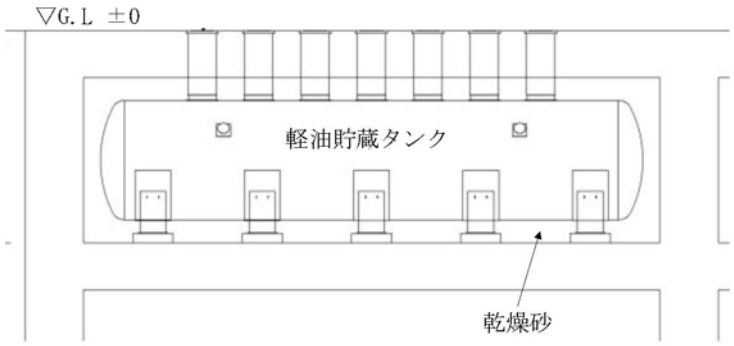
－略－

「危険物の規制に関する規則」【一部抜粋】

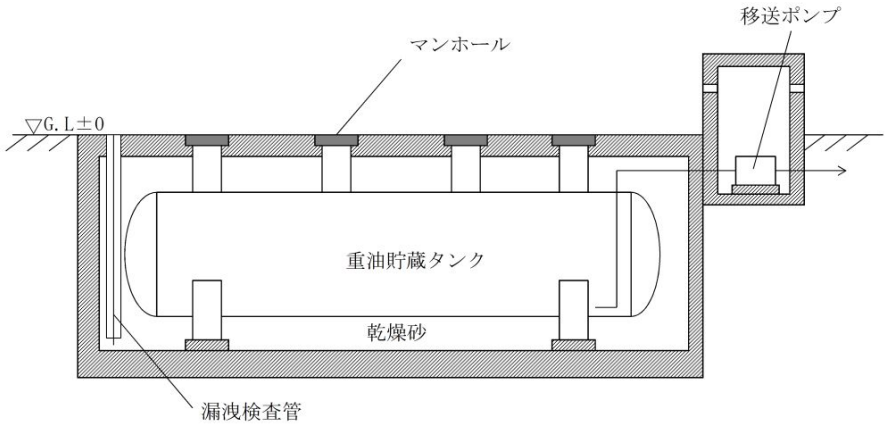
（その他の製造所等の消火設備）
第三十五条　令第二十条第一項第三号の規定により，第三十三条第一項及び前条第一項に掲げるもの以外の製造所等の消火設備の設置の基準は，次のとおりとする。
一　地下タンク貯蔵所にあっては，第五種の消火設備を二個以上設けること。

－略－

また，軽油貯蔵タンク及び重油タンクの地下化イメージを第１図及び第２図に示す。



第１図　軽油貯蔵タンクの地下化イメージ



p

第２図　重油タンクの地下化イメージ

薬品タンクの影響評価について

薬品タンクの影響評価については，森林火災発生時の消火活動の成立性という観点で評価を実施している。

森林火災発生時には，防火帯に沿った消火活動を実施することとしている。一方で，敷地内の屋外薬品タンクにおいて，防火帯付近には設置されていないため，森林火災の影響を受けて消火活動に影響を及ぼすことはない。また，森林火災の影響を受けて薬品がタンク外に漏れ出したとしても，タンク周辺には堰を設置しているため，薬品は堰内に収まり，消火活動中に劇薬の影響を受けることもない。なお，一部の薬品タンクは移設予定であるが，移設先は防火帯付近ではないことを確認している。

毒性ガスを発生する可能性のある屋外薬品タンクの位置を以下の図に示す。毒性ガスを発生する可能性のある屋外薬品タンクは防火帯から離れているため，薬品が漏えいし，毒性ガスを拡散する可能性は低いと考えられる。仮に薬品が漏洩したとしても，薬品を特定した後は防護具を着用し，安全を確保した上で通行及び作業を行うこととしている。評価結果を下表に示す。

以上より，森林火災発生時の消火活動に支障を及ぼすことはない。

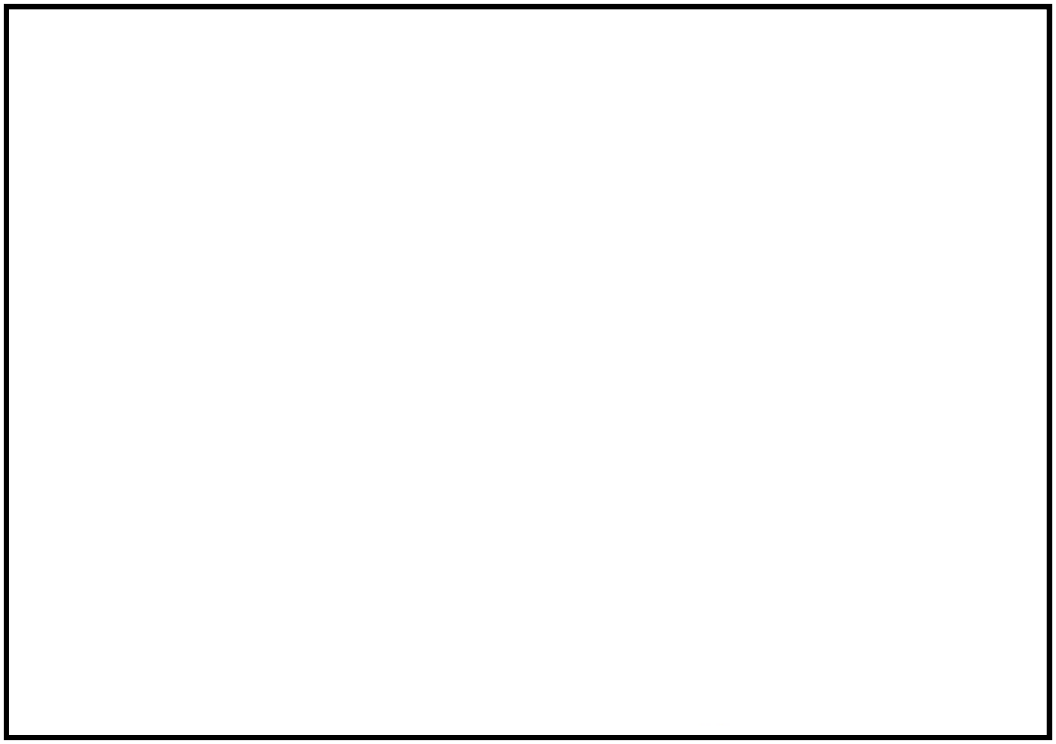


図　屋外薬品タンクの位置

表　屋外薬品タンクの火災時の影響

No.	屋外薬品タンク	薬品の種類	容量 （m^3）	火災時の 危険有害性
①	硫酸貯蔵タンク	硫酸	50.0	※１
②	苛性ソーダ貯蔵タンク	苛性ソーダ	50.0	※１
③	屋外硫酸タンク	硫酸	0.6	※１
④	硫酸貯槽	硫酸	3.0	※１
⑤	苛性ソーダ貯槽	苛性ソーダ	10.0	※１
⑥	硫酸希釈槽	硫酸	1.2	※１
⑦	希硫酸槽	硫酸	0.4	※１
⑧	PAC 貯槽	ポリ塩化アルミニウム	6.0	※２
⑨	薬品混合槽	ポリ塩化アルミニウム 希釈硫酸	8.4	※２
⑩	溶融炉アンモニアタンク	アンモニア	1.0	※３
⑪	溶融炉苛性ソーダタンク	苛性ソーダ	3.0	※１
⑫	硫酸第一鉄注入タンク	硫酸第一鉄	7.0	※３

※１　刺激性，腐食性又は毒性のガスを発生するおそれがある。
※２　塩化水素ガスを発生するおそれがある。
※３　刺激性又は毒性のガスを発生するおそれがある。

構内危険物タンク等における延焼の危険性について

1．溶融炉灯油タンクの火災

溶融炉灯油タンク近傍で危険物を保管している設備はなく，現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は，社内規程に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱っている。また，防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認している。

以上により，溶融炉灯油タンクの火災を想定したとしても周囲の可燃物への延焼の可能性は低い。

2．車両（可搬型重大事故等対処設備及び自主設備）の火災

2.1　車両（可搬型重大事故等対処設備及び自主設備）の延焼

可搬型重大事故等対処設備及び自主設備保管場所（以下「保管場所」という。）において，可搬型重大事故等対処設備及び自主設備（以下「車両」という。）の火災が起こったとしても周囲の車両に影響を及ぼさないことを評価する。

なお，保管場所の一部は防火帯に近接しているが，当該箇所における森林火災時の輻射強度が 1.6kw／m^2※以下となるように離隔距離を確保するため，車両が延焼するようなことはない。

※　人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度

(1)　車両火災の想定条件

ａ．周囲への熱影響を考慮し，コンテナにより燃料タンクが露出している車両と隔離する大型ポンプを除いて，燃料積載量が最大となる予備電動機用クレーンの走行用燃料タンク（以下「クレーン燃料タンク」と

いう。）の火災を想定した。

b．タンク内の燃料の温度上昇を評価するため，燃料が少ないほど温度上昇がし易く評価は保守的となることから，受熱側として，燃料タンクが露出している車両のうち，燃料積載量が最小となるユニック車を選定し，ユニック車底部に設置されている直方体構造の燃料タンク（100L）（以下「ユニック車燃料タンク」という。）が輻射熱を受ける状態を想定した。燃料タンクは直方体構造であり，一方の面が受熱した場合その反対面は影になるため，燃料タンクの受熱面は表面積の半分とし，全ての受熱面が火災源に最も近い表面と同等の輻射熱を受けるものとした。

c．発熱側となるクレーン燃料タンクは全燃料分（500L）を想定した。

d．積載している燃料は軽油とした。

e．タンク内での全面火災を想定した。

f．気象条件は無風状態とした。

g．火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は，保管場所で出火する車両とする。

(3) 必要データ

危険距離評価に必要となるデータを第 1 表に示す。

第１表　想定火災源及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	輻射発散度 Rf (kW/m^2)※1	質量低下速度 M ($kg/m^2/s$)※2	燃料密度 ρ (kg/m^3)※3	燃焼面積 S (m^2)
クレーン燃料タンク	軽油	0.5	42	0.044	870	1.1

※１　評価ガイド 記載値
※２　ＮＵＲＥＧ－１８０５記載値
※３　ＭＳＤＳ（製品安全データシート）記載値

(4)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，クレーン燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第２表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｒ：燃焼半径(m)，Ｓ：燃焼面積（＝燃焼面積）(m^2)

第２表　想定火災源の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
クレーン燃料タンク	1.1	0.6

(5)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第３表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^2\times v}$$

ｔ：燃焼継続時間(s)，Ｖ：燃料量(m^3)

Ｒ：燃焼半径(m)，ｖ：燃焼速度＝Ｍ／ρ(m／s)
Ｍ：質量低下速度(kg／m^2／s)，ρ：燃料密度(kg／m^3)

第３表　想定火災源の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 Ｖ (m^3)	燃焼半径 Ｒ (m)	質量低下速度 Ｍ (kg／m^2／s)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	燃焼継続時間 ｔ (s)
クレーン燃料タンク	0.5	0.6	0.044	870	8,754

(6)　危険距離の算出

ａ．許容温度

軽油の自然発火温度 240℃を許容温度とする。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で昇温されるものとして，下記の温度評価式によりユニック車燃料タンク（100L）が内包する軽油の温度が 240℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め，クレーン燃料タンクからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出した。

$$T - T_0 = \frac{E\ t\ A}{\rho_w C_{pw} V_w + \rho_s C_{ps} V_s}$$

Ｔ：許容温度(240℃)，T_0：初期温度(50℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，
ｔ：燃焼継続時間(8,754s)，Ａ：受熱面積(0.8m^2)
ρ_w：受熱側燃料密度(870kg／m^3)，C_{pw}：受熱側液体比熱(1.700J／kg／K)
V_w：受熱側液体体積(0.1m^3)，ρ_s：燃料タンク密度(7,860kg／m^3)
C_{ps}：燃料タンク比熱(473J／kg／K)，V_s：燃料タンク体積(0.003m^3)

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

軽油の温度が 240℃となる危険距離を算出した結果，危険距離は 2.4m であることを確認した。算出結果を第 4 表に示す。

第 4 表　火災影響評価結果

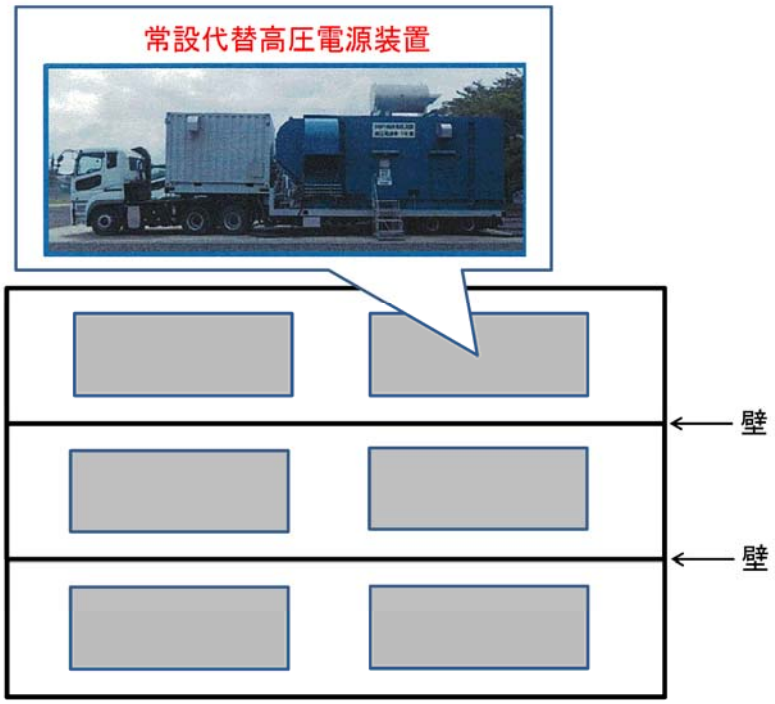
想定火災源	受熱対象	危険距離 (m)
クレーン燃料タンク	ユニック車燃料タンク	2.4

(7)　保管場所に保管する車両の配置設計

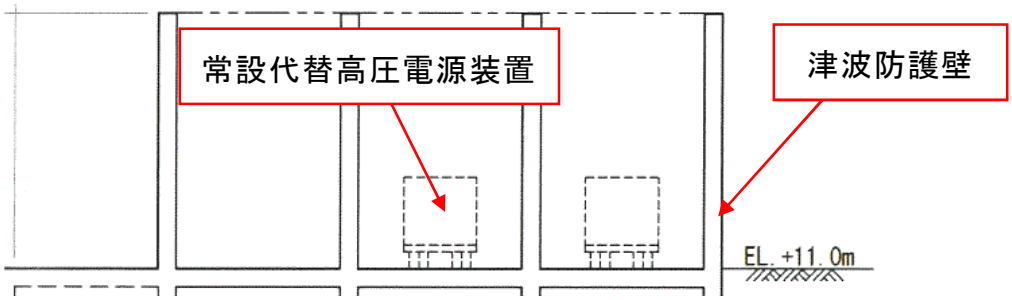
クレーン燃料タンクの火災を想定しても，車両同士の最低離隔距離 2.5m が危険距離 2.4m を上回ることから，周囲の車両に影響を及ぼすことはない。

2.2　常設代替高圧電源装置の火災

常設代替高圧電源装置の駆動燃料は，トレーラー上のコンテナ内にあるため，隣接する車両に影響を及ぼすことはない。配置を第 1 図に示す。また，第 2 図のとおり津波防護壁で四方を取り囲んだ構造となっており，周囲の可燃物への延焼の可能性もない。



第 1 図　常設代替高圧電源装置の配置



第 2 図　津波防護壁と常設代替高圧電源装置の位置関係

変圧器の防火対策について

1. 変圧器の防火対策を以下に示す。

(1) 熱感知により作動する水噴霧の自動消火設備を設置している。

(2) 変圧器には，内部圧力の上昇，又は電気回路の異常を検知すると，瞬時に電源を自動的に切る保護機能が備わっている。

(3) 金属躯体に覆われており火災が発生する可能性は低い。

(4) 万一油が漏えいした場合においても，地下の油水分離槽を経由して，廃油槽に溜まる構造となっている。変圧器の地下構造を第1図に示す。

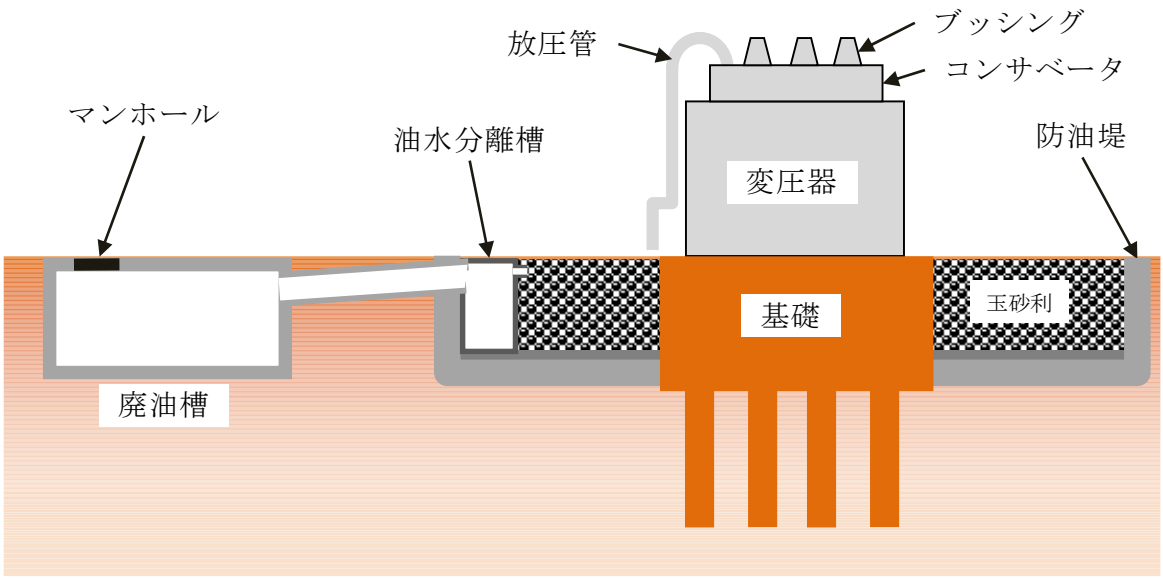
(5) 変圧器と二次側接続母線部ダクトの基礎は，建屋と同じ岩盤に支持されており，地震時の沈下量の差の発生を防止する構造となっていることから，相対変位が発生し難く，ブッシング部破損による漏油と，地絡，短絡によるアーク発生での火災が発生する可能性は低い。変圧器基礎の概要を第2図に示す。

(6) 相対変位による破損を防止するため，屋外消火配管を地上化した。地上化された屋外消火配管を第3図に示す。

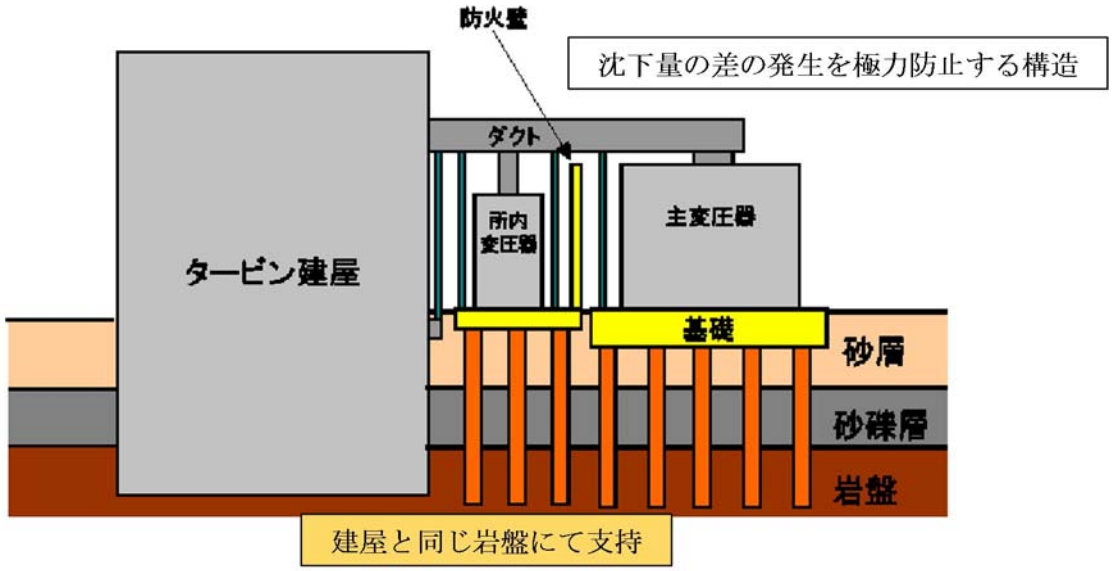
(7) 万一の火災発生に備え，変圧器には消火設備配管を設置している。変圧器の外観及び消火設備配管を第4図に示す。

(8) 平成19年に発生した新潟県中越沖地震による被害を踏まえ，耐震性向上対策を行っており，ＪＥＡＧ５００３－２０１０※に基づく静的水平加速度0.5Gに対して2倍程度の裕度を確保している。

※ 変電所等における電気設備の耐震設計指針

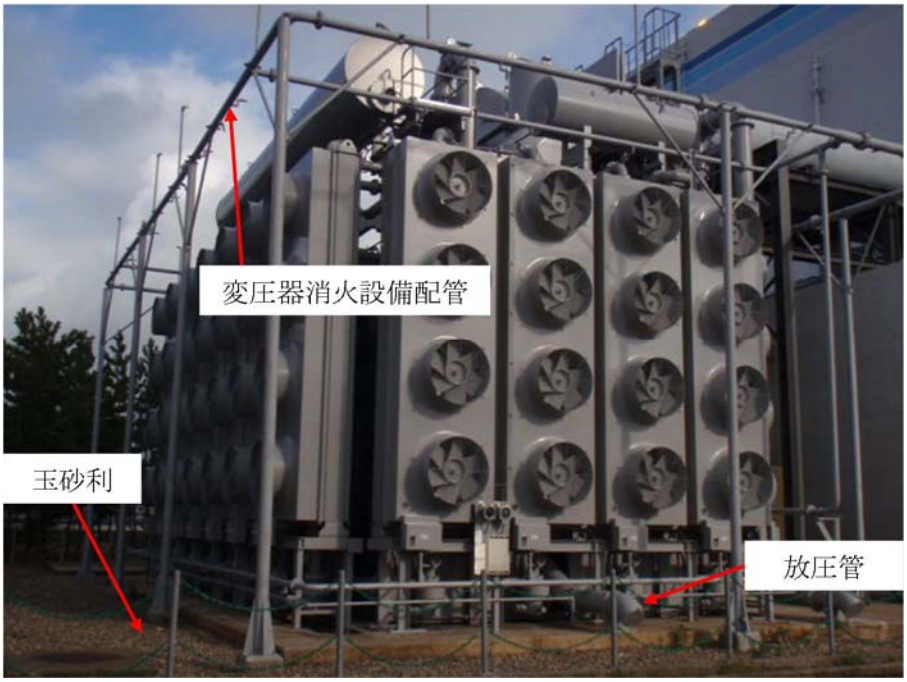


第 1 図　変圧器地下構造



第 2 図　変圧器基礎概要

第 3 図　屋外消火配管の地上化



第 4 図　変圧器外観

添付資料-7

原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について

1. 目　　的

本評価は，東海第二発電所の発電所敷地への航空機の墜落によって発生する火災が，添付資料-1 で選定した評価対象施設に影響を与えないことについて，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド　附属書Ｃ　原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」に基づき，評価を実施する。

2. 航空機墜落の火災影響評価

航空機墜落による火災の想定は以下のとおりとする。

(1) 航空機は，当該発電所における航空機落下確率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。

(2) 航空機は，燃料を満載した状態を想定する。

(3) 航空機の落下は発電所敷地内であって落下確率が 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地点で起こることを想定する。

(4) 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。

(5) 気象条件は無風状態とする。

(6) 火災は円筒火炎をモデルとし，火災の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

(7) 輻射強度の算出としては，油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるには，半径が 1.5m 以上の場合で火災の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用する。

3. 落下事故のカテゴリと対象航空機について

(1) 落下事故のカテゴリ

航空機落下確率評価では，評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落

下確率を求めている。

また，機種によって装備，飛行形態等が同一ではないため，落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。

したがって，これらを考慮して，下表に示す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。

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1)計器飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">①飛行場での離着陸時</td></tr>
<tr><td colspan="2">②航空路を巡航中</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2)有視界飛行方式
民間航空機</td><td colspan="2">③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）</td></tr>
<tr><td colspan="2">④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3)自衛隊機又は米軍機</td><td rowspan="2">⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中</td><td>⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機</td></tr>
<tr><td>⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑥基地－訓練空域間往復時</td></tr>
</table>

(2) カテゴリ別の対象航空機（別紙 7.1）

a．計器飛行方式民間航空機

計器飛行方式民間航空機の落下事故には，「①飛行場での離着陸時」における落下事故と「②航空路を巡航中」の落下事故がある。

①については，東海第二発電所から約 36km 離れた位置に茨城空港があり，茨城空港の最大離着陸地点（航空路誌（以下「ＡＩＰ」という。）に記載された離着陸経路において着陸態勢に入る地点又は離陸態勢を終える地点）までの直線距離（以下「最大離着陸距離」という。）を半径とし，滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域内に発電所が存在するため，評価対象とする。

（別紙 7.2，7.3）

②については，東海第二発電所上空に航空路が存在するため，評価対

象とする。

（別紙 7.4）

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。①の対象航空機は，茨城空港を離着陸する航空機が発電所に落下する事故を対象としていることから，茨城空港の定期便（B737 及び A320）※のうち燃料積載量が多い航空機（B737）を選定した。また，②については，評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

※茨城空港ホームページ（H29 年 7 月確認）

落下事故のカテゴリ		対象航空機
1)計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800
	②航空路を巡航中	B747-400

b．有視界飛行方式民間航空機

有視界飛行方式民間航空機の落下事故には，「③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）」の落下事故と「④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）」の落下事故がある。

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。有視界飛行方式民間航空機の落下事故においては，全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち，燃料積載量が最大の航空機を選定した。

（別紙 7.5）

落下事故のカテゴリ		対象航空機
2)有視界飛行方式民間航空機	③大型機	B747-400
	④小型機	Do228-200

c．自衛隊機又は米軍機

自衛隊機又は米軍機の落下事故には，「⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故がある。

⑤については，東海第二発電所周辺上空には，自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため，訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

⑥については，東海第二発電所周辺の太平洋沖合上空に自衛隊機の訓練空域があり，発電所は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲（基地と訓練空域間を往復時の飛行範囲として，想定される区域）内に位置することから，自衛隊機の落下事故を評価対象とする。

（別紙 7.4）

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。

⑤の対象航空機は，全国の自衛隊機及び米軍機のうち，用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定した。

⑥については，百里基地と訓練空域を往復時に発電所に落下することを想定するため，百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

（別紙 7.6）

落下事故のカテゴリ			対象航空機
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767
		⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15
	⑥基地－訓練空域間往復時		F-15

4.　カテゴリ別の離隔距離の評価

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（平成 21・06・25 原院第 1 号）の航空機落下確率評価式に基づき，カテゴリごとに落下確率が 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積を算出し，その結果を用いて評価対象施設に対する離隔距離を求める。

（別紙 7.7，7.8）

4.1　計器飛行方式民間航空機の落下事故

(1)　飛行場での離着陸時における落下事故

ａ．標的面積

$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$

$P_{d,a}$：対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回／年）

$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$：対象航空機の国内での離着陸時事故率（回／離着陸回）

$D_{d,a}$：国内での離着陸時事故件数（回）

$E_{d,a}$：国内での離着陸回数（離着陸回）

$N_{d,a}$：当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数（離着陸回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$：離着陸時の事故における落下地点確率分布関数（／km^2）

パラメータ ＼ 発電所名称	東海第二発電所
飛行場	茨城空港
$f_{d,a}$※1	約 1.43×10^{-7}（＝4/27,887,158）
$N_{d,a}$※2	4,210
$\Phi_{d,a}(r,\theta)$※3	約 2.98×10^{-4}
発電所からの距離	約 36km
滑走路方向に対する角度※4	約 9.60°
最大離着陸距離※5	約 56km（30nm）

※1　離着陸時の事故件数は，「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）より，平成 5 年～平成 24 年において離陸時に 1 件，着陸時に 3 件。

（別紙 7.9）

離着陸回数は，平成 5 年～平成 24 年の「航空輸送統計年報　第 1 表　総括表　1.輸送実績」における運航回数の国内の値及び国際の値の合計値。

（別紙 7.10）

※2　「数字でみる航空 2014」にある平成 24 年飛行場別着陸回数と同数を離陸回数とし，その和を飛行場別離着陸回数とした。

※3　別紙のとおり。

（別紙 7.11）

※4　別紙のとおり。

（別紙 7.3）

※5　ＡＩＰを参照した。

（別紙 7.2）

これらの式より，$P_{d,a}=10^{-7}$（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 $0.56km^2$となる。

b．離隔距離

a．で求めた標的面積より，評価対象施設である発電用原子炉施設（原子炉建屋，タービン建屋，海水ポンプ室※，主排気筒）の離隔距離 L は 245m とする（評価結果は，約 245.9m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 393m とする（評価結果は，約 393.4m）。（別紙

7.12)

※　評価対象施設である残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプについては，これらが設置されている海水ポンプ室を標的面積とする。

(2)　航空路を巡航中の落下事故

ａ．標的面積

$Pc = fc \cdot Nc \cdot A / W$

Pc：対象施設への巡航中の航空機落下確率（回／年）

fc＝Gc／Hc：単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率（回／（飛行回･km））

Gc：巡航中事故件数（回）

Hc：延べ飛行距離（飛行回･km）

Nc：評価対象とする航空路等の年間飛行回数（飛行回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

W：航空路幅（km）

発電所名称／パラメータ	東海第二発電所	
対象航空路※1	直行経路： IWAKI(IXE)－SWAMP IWAKI(IXE)－ KISARAZU(KZE)	広域航法経路： Y30（LOTUS－SWAMP）
fc※2	約 5.13×10^{-11}（＝0.5／9,740,013,768）	
Nc※3	365 （平成 24 年データ）	1,095 （平成 24 年データ）
W※4	14.816	18.52

※1　別紙のとおり。

（別紙 7.4）

※２　延べ飛行距離は，平成 5 年～平成 24 年の「航空輸送統計年報　第 1 表 総括表　1.輸送実績」における運航キロメートルの国内の合計値。

（別紙 7.10）

巡航中の事故件数は，「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）より，平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため，0.5 件発生したものとして評価した。

（別紙 7.9）

※３　国土交通省航空局への問い合わせ結果（ピークデイの値）を 365 倍した値。

（別紙 7.13）

※４　直行経路については，「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については，航法精度を航空路の幅とみなして用いた。（1nm＝1.852km として換算した。）

これらの式より，$Pc=10^{-7}$（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 $23km^2$ となる。

ｂ．離隔距離

ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離Ｌは 1,873m とする（評価結果は，約 1,873.5m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離Ｌは 2,695m とする（評価結果は，約 2,695.5m）。

4.2　有視界飛行方式民間航空機の落下事故

(1)　有視界飛行方式民間航空機（大型機）の落下事故

ａ．標的面積

$Pv = (fv / Sv) \cdot A \cdot \alpha$

Pv：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fv：単位年当たりの落下事故率（回／年）

Sv：全国土面積（km^2）

A：対象施設の標的面積（km^2）

α：対象航空機の種類による係数

パラメータ ＼ 発電所名称	東海第二発電所
fv※1	大型固定翼機　0.025（＝0.5／20） 大型回転翼機　0.05（＝1／20）
Sv※2	37.2 万
α※3	1

※１　「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）による。なお，大型固定翼機の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため，0.5 件発生したものとして評価した。
（別紙 7.14）

※２　「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）による。

※３　「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」による。

これらの式より，$Pv = 10^{-7}$（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 $0.50km^2$ となる。

ｂ．離隔距離

ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離Ｌは 229m とする（評価結果は，約 229.4m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 372m とする（評価結果

は，約 372.2m）。

(2) 有視界飛行方式民間航空機（小型機）の落下事故

a．標的面積

$Pv = (fv / Sv) \cdot A \cdot \alpha$

Pv：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fv：単位年当たりの落下事故率（回／年）

Sv：全国土面積（km^2）

A：対象施設の標的面積（km^2）

α：対象航空機の種類による係数

発電所名称 / パラメータ	東海第二発電所
fv※1	小型固定翼機 1.75（＝35／20） 小型回転翼機 1.20（＝24／20）
Sv※1	37.2 万
α※2	0.1

※1 「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）による。

※2 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」による。

これらの式より，$Pv = 10^{-7}$（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 $0.13km^2$となる。

b．離隔距離

a．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離 L は 89m とする（評価結果は，約 89.4m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 175m とする（評価結果は，約 175.4m）。

4.3　自衛隊機又は米軍機の落下事故

(1)　訓練空域外を飛行中の落下事故（空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機）

ａ．標的面積

Pso＝fso・A／So

Pso：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

fso：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

So：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（km^2）

パラメータ ＼ 発電所名称	東海第二発電所
fso※1	自衛隊機　0.025（＝0.5／20） 米軍機　0.05（＝1／20）
So※2	自衛隊機 29.5 万（＝約 37.2 万－約 7.72 万） 米軍機　37.2 万（＝約 37.2 万－約 0.05 万）

※１　「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）による。なお，自衛隊機の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため，0.5 件発生したものとして評価した。

（別紙 7.15）

※２　「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）による。

これらの式より，Pso＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.46km^2となる。

ｂ．離隔距離

ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離 L は 217m とする（評価結果は，約 217.8m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 355m とする（評価結果

は，約 355.97m）。

(2)　訓練空域外を飛行中の落下事故（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）

ａ．標的面積

Pso＝fso・A／So

Pso：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

fso：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

So：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（km^2）

発電所名称／パラメータ	東海第二発電所
fso※1	自衛隊機 0.35（＝7／20） 米軍機　0.20（＝4／20）
So※1	自衛隊機 29.5 万（＝約 37.2 万－約 7.72 万） 米軍機　37.2 万（＝約 37.2 万－約 0.05 万）

※1　「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）による。

（別紙 7.15）

これらの式より，Pso＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.058km^2となる。

ｂ．離隔距離

ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離 L は 43m とする（評価結果は，約 43.0m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 111m とする（評価結果は，約 111.2m）。

(3)　基地－訓練空域間を往復時の落下事故（想定飛行範囲内に発電用原子炉施設が存在する場合）

ａ．標的面積

Pse＝fse・A／Sse

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A：対象施設の標的面積（km^2）

Sse：想定飛行範囲の面積（km^2）

パラメータ ＼ 発電所名称	東海第二発電所 （自衛隊機の評価）
fse※1	0.25（＝5／20）
Sse※2	175,720
fse／Sse※3	3.00×10^{-6}

※１　「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月　原子力規制委員会）より，百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲内における自衛隊機の移動時の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であり，全国の基地－訓練空域間往復時の落下実績（5 件）を用いた。
（別紙 7.15，7.16）

※２　全国の基地－訓練空域間往復時の想定飛行範囲の面積。
（別紙 7.16）

※３　fse，Sse から算出された約 1.42×10^{-6}回／（年・km^2）を保守的に 2 倍にして丸めた値。

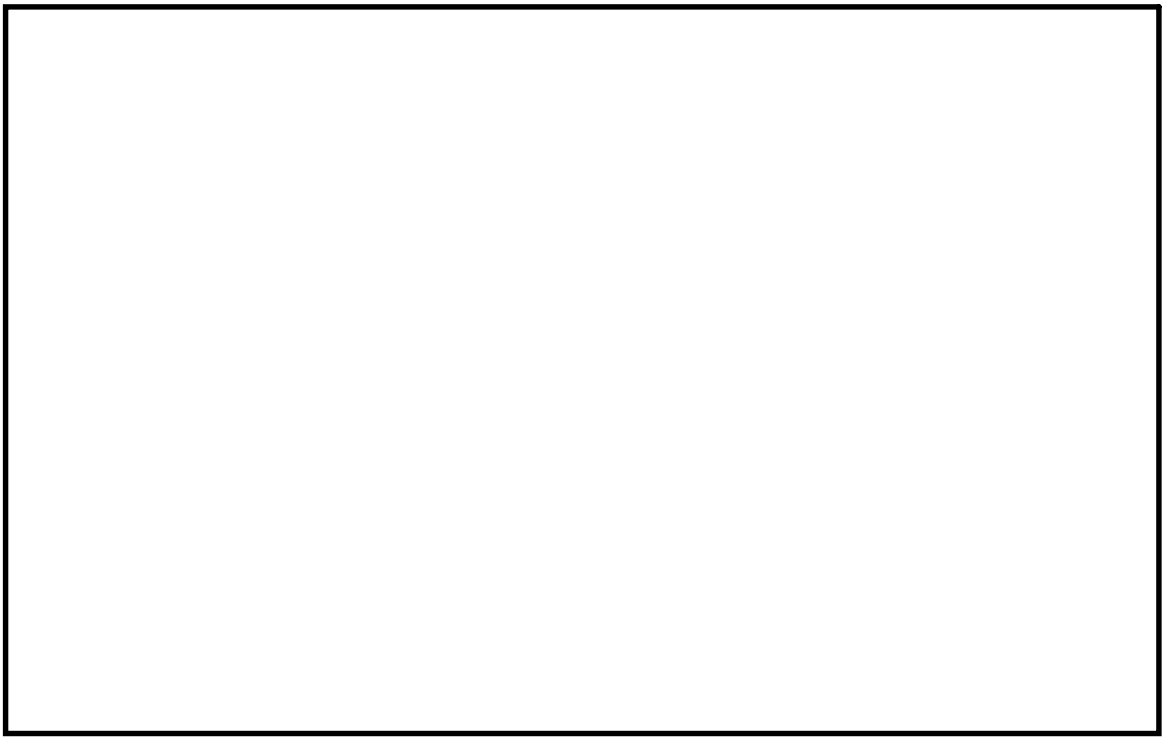
これらの式より，Pse＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.033km^2となる。

ｂ．離隔距離

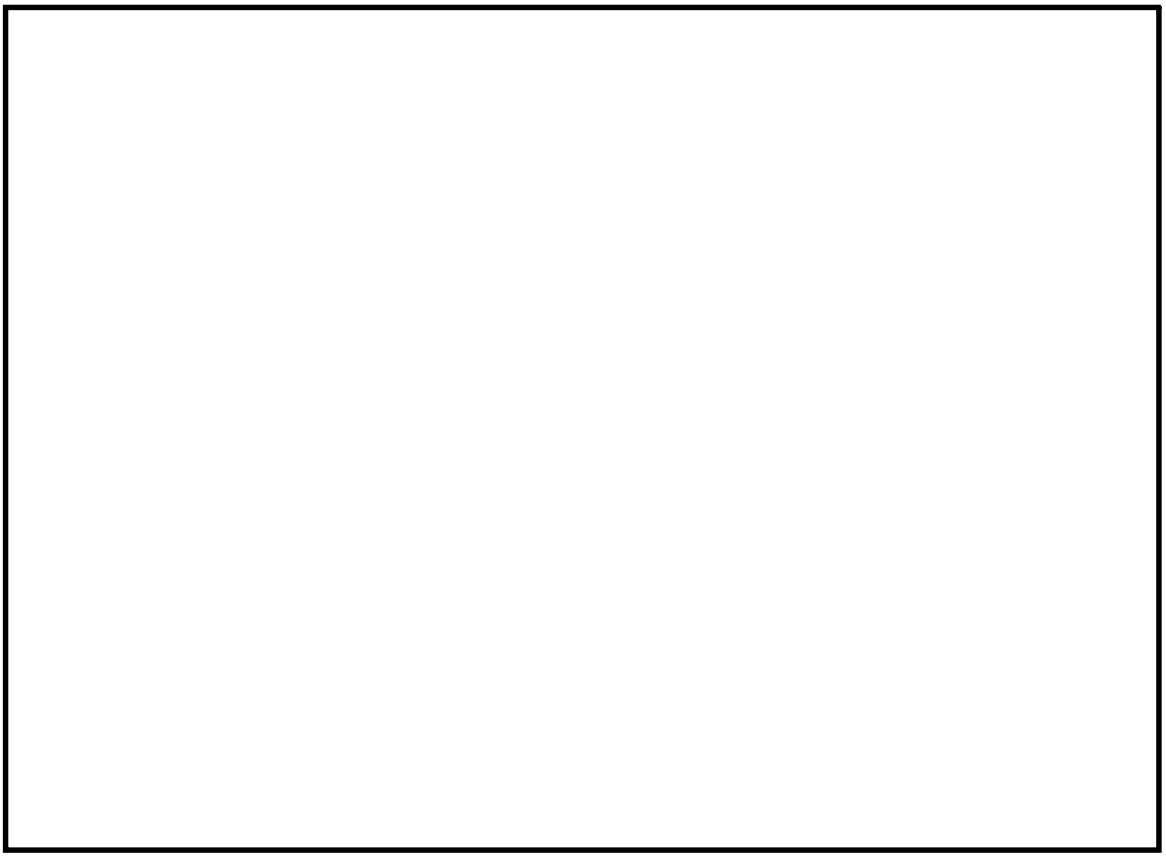
ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離 L は 22m とする（評価結果は，約 22.1m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 78m とする（評価結果は，

約 78.6m）。

自衛隊機の基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する離隔距離を第 4.3-1 図及び第 4.3-2 図に示す。



第 4.3-1 図　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）の離隔距離



第 4.3-2 図　基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

5.　熱影響評価結果

5.1　評価機種の選定

評価機種は「3.　落下事故のカテゴリと対象航空機について」で抽出した航空機より選定し，他のカテゴリの評価に包絡されるものは評価対象外とした。

第 5.1-1 表，第 5.1-2 表にカテゴリごとの離隔距離と評価機種を示す。

第 5.1-1 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種
（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離 (m)	評価機種 ○：評価対象 ×：評価対象外
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	245	○
	航空路を巡航時		B747-400	1,873	×※1
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	229	○
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Do228-200	89	×※2
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	217	○
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	43	×※3
	基地－訓練空域間往復時		F-15	22	○

※１　「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※２　「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料積載量が最大となる Do228-200 であっても 3m^{3}と少量であることから，Do228-200 よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」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　「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

第 5.1-2 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種
（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離 (m)	評価機種 ○：評価対象 ×：評価対象外
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	393	○
	航空路を巡航時		B747-400	2,695	×※1
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	372	○
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Do228-200	175	×※2
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	355	○
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	111	×※3
	基地－訓練空域間往復時		F-15	78	○

※1　「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2　「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料積載量が最大となる Do228-200 であっても 3m^{3}と少量であることから，Do228-200 よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」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　「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

5.2　共通データの算出

各建屋外壁，主排気筒及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する火災影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1)　各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータを第 5.2-1 表に示す。

第 5.2-1 表　各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃料の種類	燃料量 V (m^3)	燃料密度 ρ (kg／m^3)	質量低下速度 M (kg／m^2／s)	燃焼面積 S (m^2)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	JET A-1	26.02※3	840※2	0.039※1	110.0※4
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	JET A-1	216.84※3	840※2	0.039※1	700.0※5
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	JP-4	145.03※6	760※1	0.051※1	405.2※7
	基地－訓練空域間往復時		F-15	JP-4	14.87※8	760※1	0.051※1	44.6※9

※１　ＮＵＲＥＧ－１８０５　記載値

※２　ＪＩＳ－ｋ－２２０９－１９９１記載の１号の値

※３　ボーイングジャパン　ホームページ“７３７，７４７型機情報”

※４　ボーイング社ホームページ資料「737 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58325-6, July 2007)」の機体図面より，主翼・主翼と交差する胴体部面積が燃料タンク面積と同等と想定し，これらの面積を算出した値

※５　ボーイング社ホームページ資料「747 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58326-1, December 2002)」の機体図面より，主翼・主翼と交差する胴体部及び水平尾翼部面積が燃料タンク面積と同等と想定し，これらの面積を算出した値

※６　世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の値及び燃料密度から算出した値

※７　ボーイング社ホームページ資料「767 airplane Characteristics for Airport Planning (Document D6-58328, September 2005)」

※８　航空ジャーナル２月号増刊Ｆ－１５イーグル（航空ジャーナル社　昭和 55 年 2 月 5 日発行）

※９　※８記載の機体図面より，燃料タンクの配置及び大きさを想定し，これらの面積を算出した値

(2)　燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第 5.2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R ：燃焼半径(m)， S ：燃焼面積(m^2)

第 5.2-2 表　各航空機の燃焼半径

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	5.918
有視界飛行方式民間 航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	14.928
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	11.357
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3.768

(3)　燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第 5.2-3 表に示す。

$$t=\frac{V}{\pi R^{2}\times v}$$

t ：燃焼継続時間(s)， V ：燃料量(m^3)
R ：燃焼半径(m)， v ：燃焼速度＝M／ρ (m／s)
M：質量低下速度(kg／m^2／s)， ρ ：燃料密度(kg／m^3)

第 5.2-3 表　各航空機の燃焼継続時間

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	燃焼速度 v (m／s)	燃焼継続時間 t (s)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	26.02	5.918	4.64×10^{-5}	5,097 (約 1.4h)
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	216.84	14.928	4.64×10^{-5}	6,675 (約 1.9h)
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	145.03	11.357	6.71×10^{-5}	5,334 (約 1.5h)
	基地－訓練空域間往復時		F-15	14.87	3.768	6.71×10^{-5}	4,968 (約 1.4h)

(4)　形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第 5.2-4 表，第 5.2-5 表に示す。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

第 5.2-4 表　各航空機の形態係数

（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	245	5.918	1.1319×10^{-3}
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	229	14.928	8.3278×10^{-3}
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	217	11.357	5.3634×10^{-3}
	基地－訓練空域間往復時		F-15	22	3.768	5.3368×10^{-2}

第 5.2-5 表　各航空機の形態係数（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	393	5.918	4.3767×10^{-4}
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	372	14.928	3.1444×10^{-3}
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	355	11.357	1.9926×10^{-3}
	基地－訓練空域間往復時		F-15	78	3.768	4.5663×10^{-3}

(5)　輻射強度の評価

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 5.2-6 表，第 5.2-7 表に示す。

$E = Rf \cdot \Phi$

E：輻射強度(W／m^2)，Rf：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数(-)

第 5.2-6 表　各航空機の輻射強度

（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射発散度 Rf (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W／m^2)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	50	1.1319×10^{-3}	56.60
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	50	8.3278×10^{-3}	416.40
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	58	5.3634×10^{-3}	311.08
	基地－訓練空域間往復時		F-15	58	5.3368×10^{-2}	3,095.33

第 5.2-7 表　各航空機の輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	輻射発散度 Ｒｆ (kW／m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 Ｅ (W／m^2)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	50	4.3767×10^{-4}	21.89
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	50	3.1444×10^{-3}	157.23
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	58	1.9926×10^{-3}	115.58
	基地－訓練空域間往復時		F-15	58	4.5663×10^{-3}	264.85

5.3　建屋外壁に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

評価対象の建屋外壁について，前項で分類したカテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2)　判断の考え方

ａ．許容温度

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 200℃以下とする。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$

Ｔ：表面からｘ(m)の位置の温度(℃)，Ｔ$_0$：初期温度(50℃)※
κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρ Ｃ$_p$)(7.7×10^{-7}m^2／s)
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)
Ｃ$_p$：コンクリート比熱(880J／kg／K)
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)
ｔ：燃焼継続時間(s)，ｘ：コンクリート壁表面深さ(0m)

※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

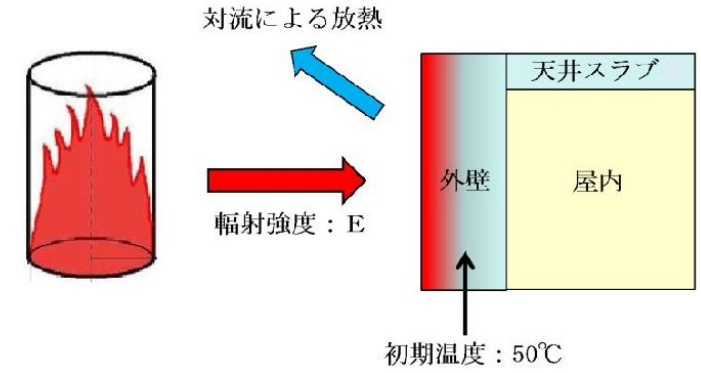
なお，天井スラブの評価は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

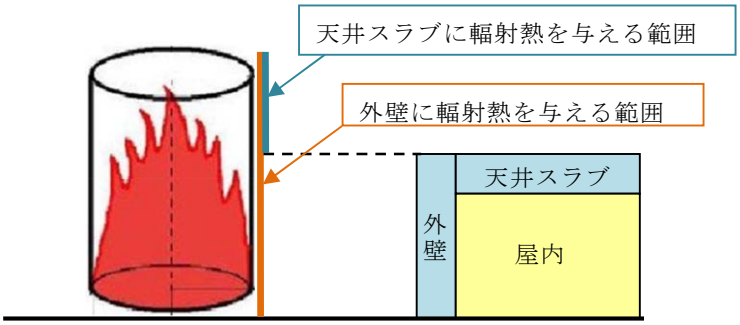
・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

建屋外壁の評価概念図を第 5.3-1 図に，天井スラブの評価概念図を第 5.3-2 図に示す。



第 5.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 5.3-2 図　天井スラブへの輻射熱の影響

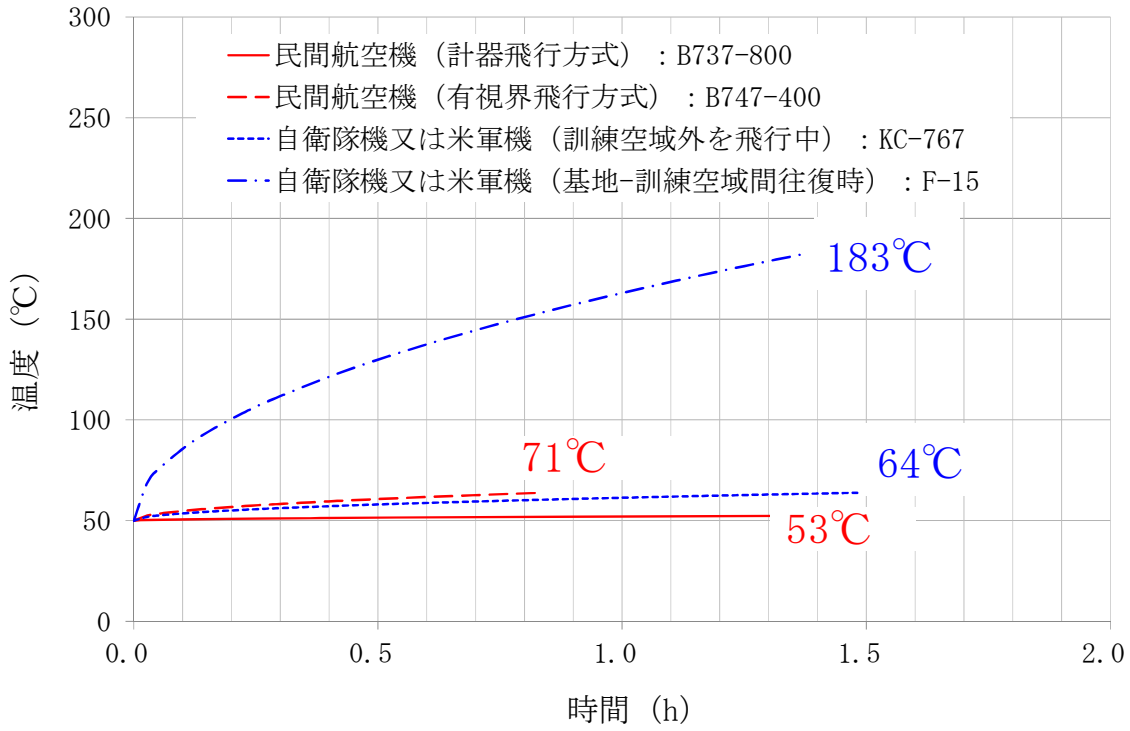
コンクリート表面の温度上昇を評価した結果，許容温度 200℃以下となることを確認した。評価結果を第 5.3-1 表，第 5.3-2 表に，温度変化を第 5.3-3 図，第 5.3-4 図に示す。

第 5.3-1 表　建屋表面の到達温度

（発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。））

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m^2]	輻射強度 E [W/m^2]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	56.60	5,097（約 1.4h）	53	＜200
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	416.40	6,675（約 1.9h）	71	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	311.08	5,334（約 1.5h）	64	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	4,968（約 1.4h）	183	

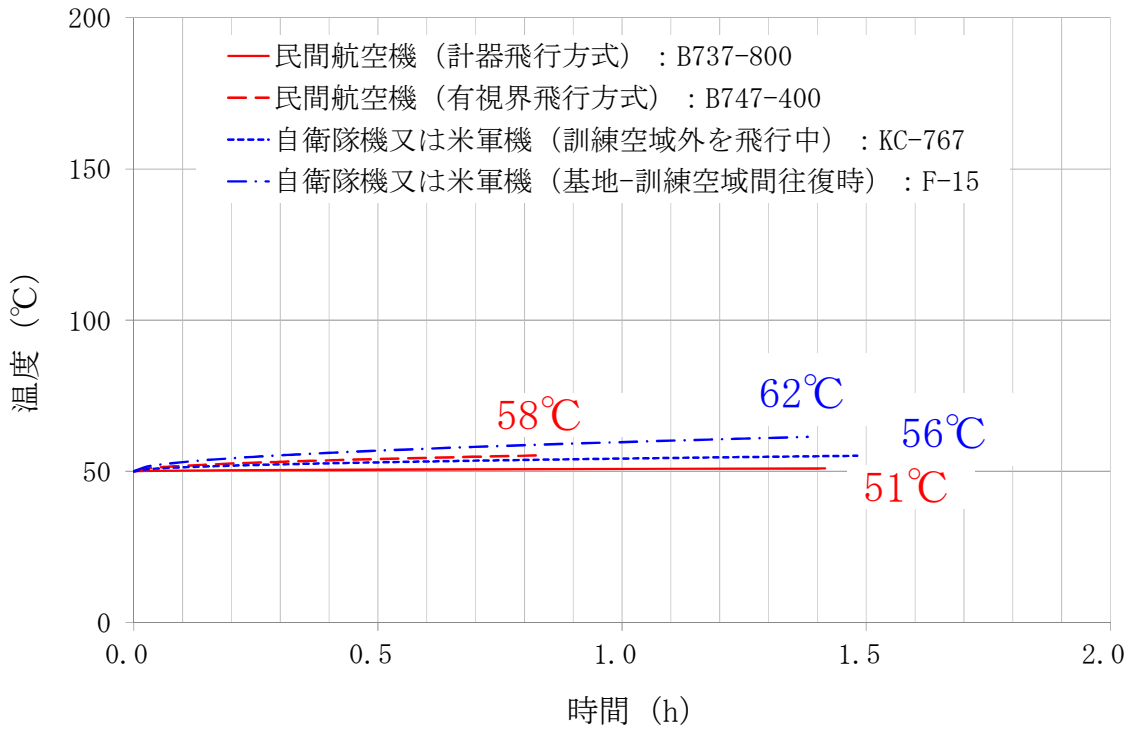
※　半無限固体を想定した評価をしているため，離隔距離が同じとなる本評価では，原子炉建屋，タービン建屋及び海水ポンプ室は全て同じ評価結果となる。



第 5.3-3 図　原子炉建屋外壁の温度変化

第 5.3-2 表　建屋表面の到達温度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m^2]	輻射強度 E [W/m^2]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	21.89	5,097 (約 1.4h)	51	＜200
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	157.23	6,675 (約 1.9h)	58	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	115.58	5,334 (約 1.5h)	56	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	264.85	4,968 (約 1.4h)	62	



第 5.3-4 図　使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁の温度変化

なお，使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁表面温度が上昇し，建屋表面からの熱伝達による建屋内の温度上昇を考える。

貯蔵建屋外壁は大きな熱容量を持っているため，建屋外壁表面での温度上昇が内表面の温度に変化をもたらすまでには大きな時間遅れが伴う。

建屋外壁表面温度評価で最も厳しい結果となったＦ－１５の評価においても，内表面の温度上昇はほとんど生じておらず，建屋外壁表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の温度上昇は無視できると考えられる。

このため，建屋外で発生する火災が使用済燃料の除熱，閉じ込め機能の監視に影響を与えることはない。

5.4　主排気筒に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

主排気筒について，カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

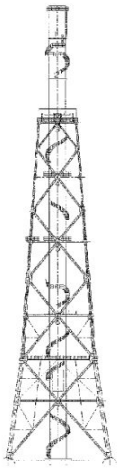
なお，主排気筒の評価に当たっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2)　評価対象施設の仕様

主排気筒仕様を第 5.4-1 表に，主排気筒外形図を第 5.4-1 図に示す。

第 5.4-1 表　評価対象施設の仕様

名称		主排気筒
種　類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400,STK400
個　数		1



第 5.4-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　判断の考え方

a．許容温度

主排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b．評価結果

一定の輻射強度で主排気筒鉄塔が昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により主排気筒鉄塔表面の最大温度を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h}$$

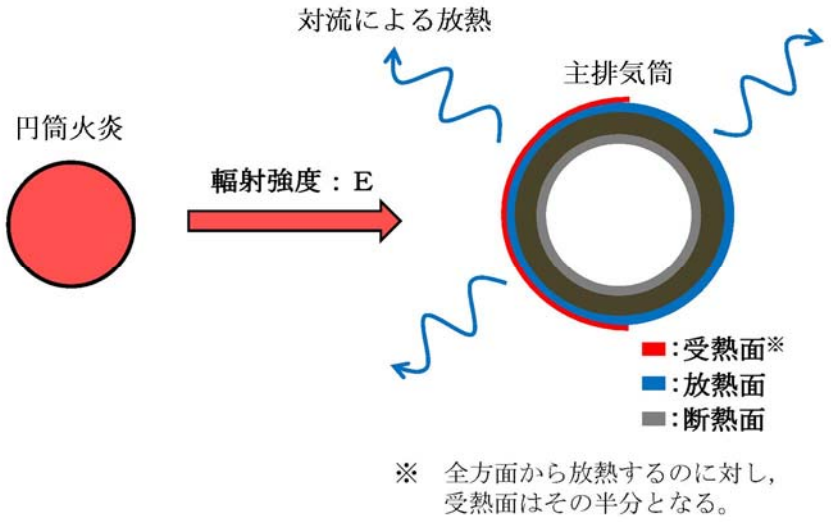
T：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

E：輻射強度(W／m^2)，h：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

なお，評価に当たって主排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。主排気筒の評価概念図を第 5.4-2 図に示す。



第 5.4-2 図　主排気筒の評価概念図

主排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.4-2 表に示す。

第 5.4-2 表　主排気筒鉄塔表面の到達温度

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m^2]	輻射強度 E [W/m^2]	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	56.60	52	＜325
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	416.40	63	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	311.08	60	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	142	

5.5　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

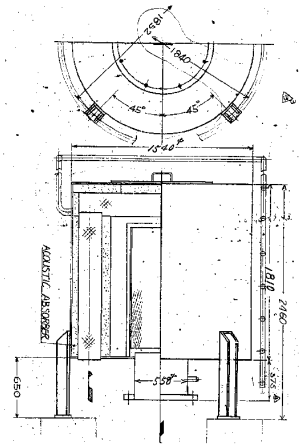
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度について，カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2)　評価対象施設の仕様

空気の流入口となり熱影響を受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の仕様を第 5.5-1 表に，外形図を第 5.5-1 図に示す。

第 5.5-1 表　評価対象施設の仕様

名称	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。) 吸気口
種　類	円筒縦形
主要寸法	外径　　：1.54m 円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 5.5-1 図　評価対象施設の外形図

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気の許容温度は，火災時における温度上昇を考慮した場合において，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の流入空気温度が上昇すると，空気冷却出口温度が上昇し，シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度による入熱が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度上昇に寄与することを表した下記の温度評価式により，流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め，当該火災源からの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し，当該火災源から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。空気の流入口となり熱影響を

受ける非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図を第 5.5-2 図に示す。

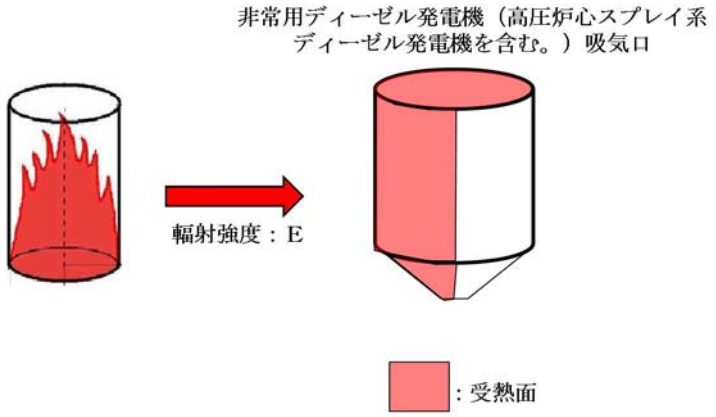
$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T$$

Ｔ：許容温度(53℃)，Ｔ$_0$：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，

Ｇ：重量流量(4kg／s)※2，Ａ：輻射を受ける面積(7.8m^2)

Ｃ$_p$：空気比熱(1,007J／kg／K)※3，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　ディーゼル発電機機関の内，給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
　　ディーゼル発電機機関吸気流量（228m^3/min）×空気密度（1.17kg/m^3）÷60
※３　日本機械学会 伝熱工学資料
※４　最高到達温度を想定した場合の温度上昇



第 5.5-2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口の評価概念図

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に流入する空気の温度が 53℃となる危険距離を算出した結果，危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 5.5-2 表に示す。

第 5.5-2 表　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）への火災影響評価結果

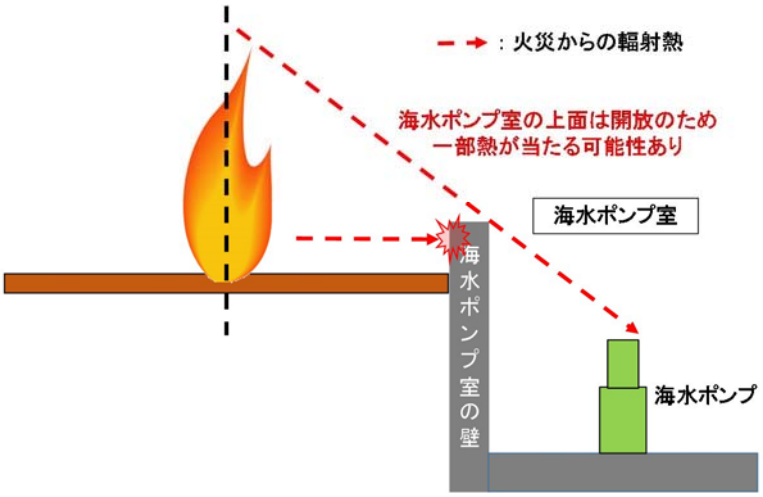
落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 [m^2]	輻射強度 [W/m^2]	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	56.60	45	＜53
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	416.40	45	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	311.08	45	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	50	

5.6　残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており，側面から直接火災の影響を受けることはないが，上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては，海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず，側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり，外部火災の影響を受けた場合には，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，冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 5.6-1 図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり，そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が，許容温度以下となることを確認する。

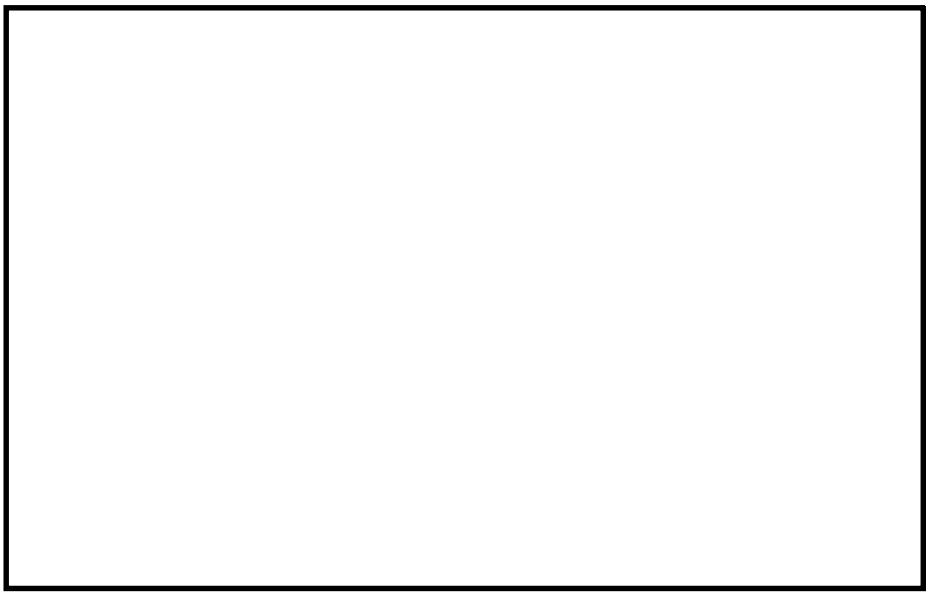


第 5.6-1 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(2) 評価対象施設の仕様

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 5.6-2 図，外形図を第 5.6-3 図に示す。仕様を第 5.6-1 表に示す。

第 5.6-2 図 海水ポンプの配置図



第 5.6-3 図 海水ポンプの外形図

第 5.6-1 表　評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
主要寸法	全　　幅：1.9 m 高　　さ：2.73m	全　　幅：0.51m 高　　さ：0.98m
材　料	SS400,SUS304	SS400
基　数	4	3

(3)　判断の考え方

a．許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は，上部及び下部軸受のうち，運転時の温度上昇が高い下部軸受の上昇温度を考慮し，軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 5.6-3 表に示す。

第 5.6-3 表　下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ電動機	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機
軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※1	60℃※2

※１　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※２　ポンプ運転により，下部軸受は最大で約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

ｂ．評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，残留熱除去系海水系ポンプ電動機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 5.6-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 5.6-4 表に，評価概念図を第 5.6-4 図に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

Ｔ：評価温度(℃)，Ｔ$_0$：初期温度(39℃)※1，Ｅ：輻射強度(W／m^2)，

Ｇ：重量流量(kg／s)，Ａ：輻射を受ける面積(m^2)

Ｃ$_p$：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※2

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔＴ$_b$＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

第 5.6-4 表　評価に用いた諸元

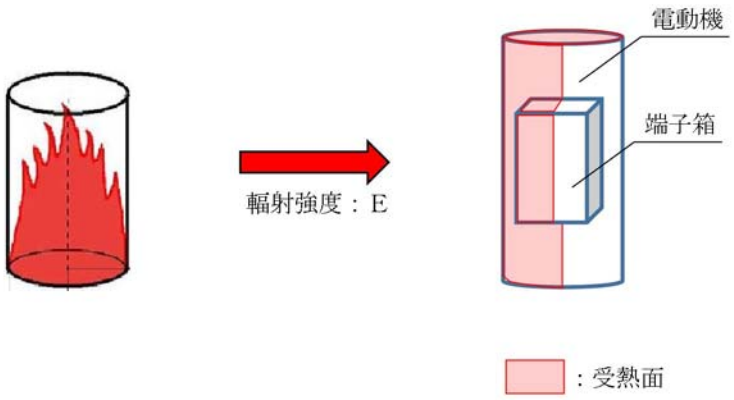
	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ電動機
G：重量流量（kg／s）	2.6	0.72
E：輻射強度（W／m^2）※1	3,095.33	3,095.33
t：燃焼継続時間（s）※1	4,968	4,968
A：輻射を受ける面積（m^2）	12	1.6
A_a：海水ポンプの表面積（m^2）	20	1.8
C：電動機の熱容量（kJ／K）	6,440	290
ΔT_α：輻射熱による構造物の温度上昇※2（℃）	29	85
h_{in}：内部への熱伝達率（W／m^2／K）※3	10	10
E_{in}：内部への輻射強度（W／m^2）	290	850
Cp：空気比熱(J／kg／K)	1,007	1,007
ΔT_b：構造物を介した温度上昇※4（℃）	2.2	2.1

※1　Ｆ－１５の値

※2　熱影響が最も厳しいＦ－１５を対象に，熱エネルギーの式より求まる式（$\Delta T_\alpha = E \times A \times t / C / 1000$）より算出

※3　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，垂直表面の値 8.29W／m^2／K を切上げた値）

※4　熱影響が最も厳しいＦ－１５を対象に，熱エネルギーの式より求まる式（$\Delta T_b = E_{in} \times A_a / G / C_p$）より算出



第 5.6-4 図　評価概念図

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.6-5 表，第 5.6-6 表に示す。

第 5.6-5 表　輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度評価結果
(残留熱除去系海水系ポンプ)

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m^2]	輻射強度 E [W／m^2]	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	56.60	45	＜70
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	416.40	46	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	311.08	46	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	59	

第 5.6-6 表　輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度評価結果
(非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ)

落下事故のカテゴリ			対象航空機	燃焼面積 S [m^2]	輻射強度 E [W／m^2]	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	110.0	56.60	45	＜360
有視界飛行方式民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	700.0	416.40	45	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	405.2	311.08	45	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	51	

5.6　外壁に設置されている機器に対する熱影響評価

発電用原子炉施設の外壁に設置されている機器については，外部火災の熱影響を受けやすいことから，これらの機器について火災影響評価を実施する。熱影響を受けやすい機器は以下のとおり。

・扉

・ルーバ

・配管貫通部

・ブローアウトパネル

なお，複数設置されているこれらの機器のうち，最も熱影響を受ける位置にあるもの（火災源に近く，機器本体だけでなく建屋内部へ熱影響が及ぶ可能性のあるもの）を評価することによって，その他の機器は本評価に包絡される。

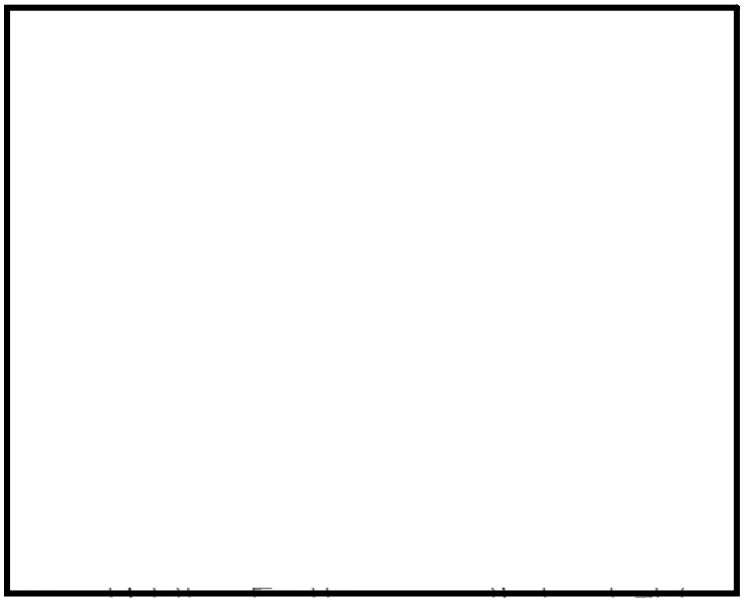
5.6.1　扉の火災影響評価について

発電用原子炉施設の脆弱箇所の一つである扉について，火災影響評価を実施する。

5.6.1.1　扉温度の評価

(1)　評価対象

扉のうち，建屋内部へ熱影響が及ぶ可能性がある原子炉建屋電気室扉を評価対象とする。位置関係を第 5.6.1.1-1 図に示す。



第 5.6.1.1-1 図　火災源と建屋扉との位置関係

(2)　想定の条件

ａ．航空機火災については，5.3 等の火災影響評価と同様の想定とした。

ｂ．扉は，表面の最も熱影響を受けやすい金属を扉の構造材(均質体)とした。

ｃ．火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度を受けるものとした。

ｄ．扉までの離隔距離は，電気室入口扉までの直線距離 27m とした。

(3)　必要データ

評価に必要なデータは 5.2 のとおり。

(4)　扉内外面温度の評価結果

ａ．許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃とする。

ｂ．評価結果

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

で扉が昇温されるものとして，下記の 1 次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで扉内外面温度が許容温度以下であるか評価した。評価において対流による放熱を考慮している。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x}\right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E \qquad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad (x=L)$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※

α：扉の温度伝導率(=λ／ρC_p)(m^2／s)

ρ：扉の密度(7,920kg／m^3)，C_p：扉の比熱(499J／kg／K)

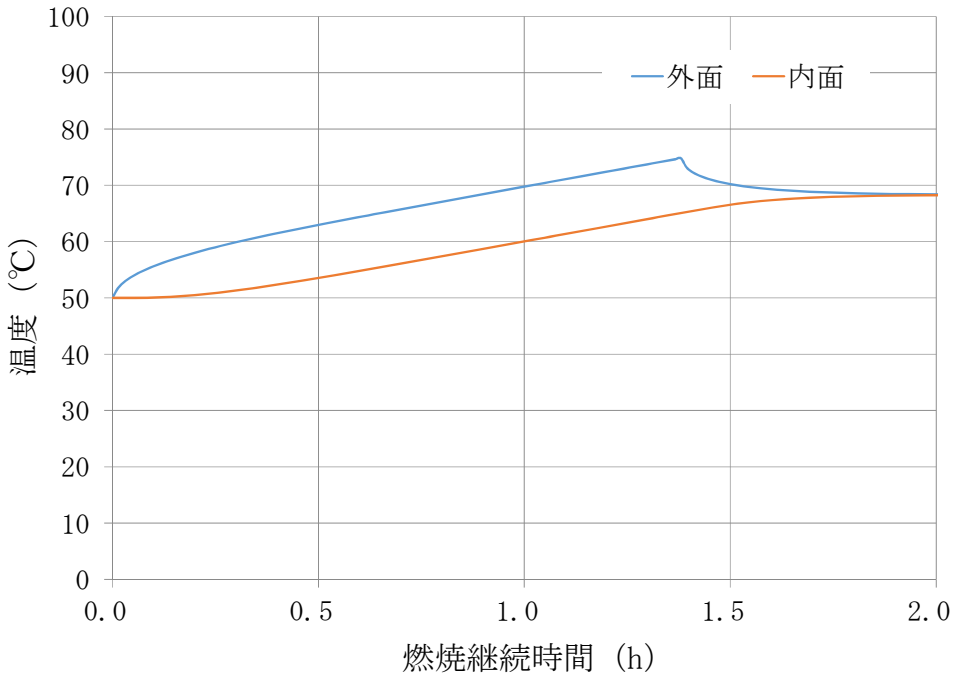
λ：扉の熱伝導率(16W／m／K)，E：輻射強度(W／m^2)

※　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

扉内外面の温度上昇を評価した結果，許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.6.1.1-1 表，第 5.6.1.1-2 図に示す。

第 5.6.1.1-1 表　扉に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象	評価温度（℃）		許容温度（℃）
		外　面	内　面	
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	75	69	＜325



第 5.6.1.1-2 図　扉の到達温度

5.6.1.2　扉内側（電気室）の室内温度評価

(1)　評価条件

a．火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，扉内面温度 69℃一定としたときの放熱量を原子炉建屋電気室への入熱とした。

b．室内の設備による熱負荷を考慮した室内の初期温度は，夏期通常運転中の設計室温である 35℃とした。

(2)　室内温度評価

a．許容温度

原子炉建屋電気室の設計室温である 40℃とする。

b．評価結果

室内温度は，火災による扉外面温度上昇に伴う熱負荷による加熱を考慮して，扉内面の温度上昇による室内温度の最高到達温度を下式により

算出し，室内温度が許容温度以下であるか評価した。室内温度評価の概念図を第 5.6.1.2-1 図に示す。

$$Q_{in} = h_{in} \times A \times (T_{in} - T_a)$$

$$T_{room} = \frac{Q_{in}}{m \rho C_P} + T_a$$

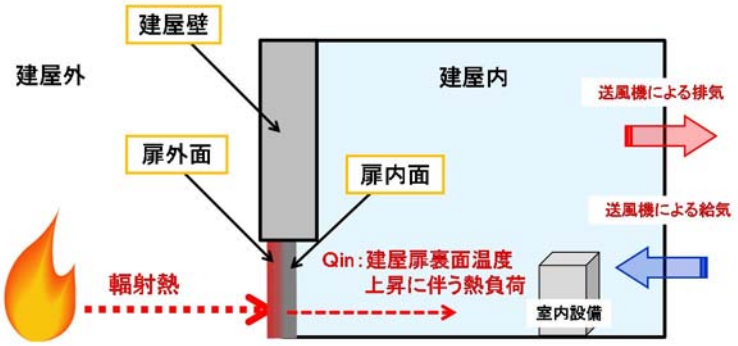
Q_{in}：温度上昇に伴う熱負荷(W)， h_{in}：内面熱伝達率(8.29W／m^2／K)

A ：扉の表面積(3.5m^2)，T_{in}：扉内面温度(69℃)

T_a：室内初期温度(35℃)，T_{room}：室内温度(℃)

m ：給気風量(4m^3／s)，ρ ：空気密度 (1.1kg／m^3)

C_P：空気比熱 (1,007J／kg／K)



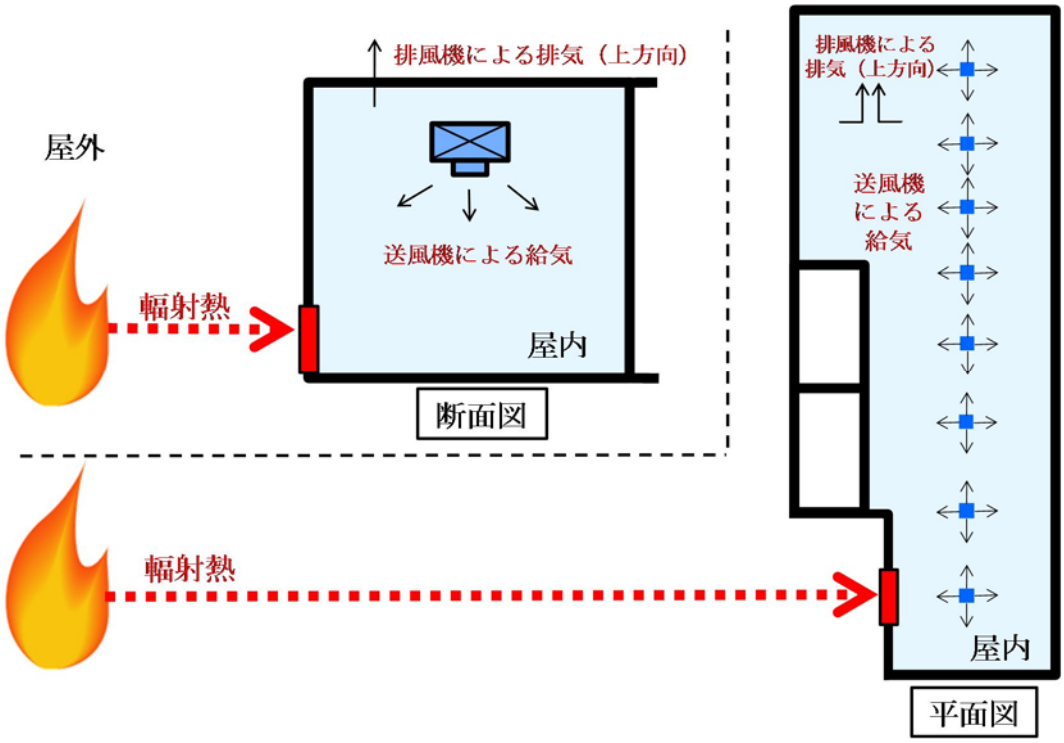
第 5.6.1.2-1 図　室内温度評価の概念図

電気室室温を評価した結果，室内温度が許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.6.1.2-1 表に示す。なお，室内温度については扉内面の最高温度を一定として想定する等，保守的な評価を行っていることから，実際の温度上昇は更に低く抑えられると考えられる。

また，室内の給排気は，第 5.6.1.2-2 図のとおり，ホットスポット等が生じにくいレイアウトにすることで，室内の温度分布が不均一とならない設計としている。

第 5.6.1.2-1 表　室内温度の評価結果

想定火災源	評価対象	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	35.3	40



第 5.6.1.2-2 図　電気室内の給排気の概念図

5.6.2　ルーバの火災影響評価について

発電用原子炉施設の脆弱箇所の一つであるルーバについて，火災影響評価を実施する。

(1)　評価対象

ルーバのうち，火災源から最も近く，輻射強度が最も大きくなる２Ｄ非常用ディーゼル発電機室外壁のルーバを対象とする。

(2)　想定の条件

2.火災の想定と同様の想定とした。

(3)　判断の考え方

ルーバの許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃とする。

(4)　評価結果

一定の輻射強度でルーバが昇温されるものとして，輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式によりルーバ表面の最大温度を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = T_0 + \frac{E}{2h}$$

Ｔ：許容温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

Ｅ：輻射温度(3,095W／m^2)，ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※1　水戸地方気象台で観測された過去最高気温（38.4℃）に保守性を持たせた値

※2　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

対象のルーバ表面の最大温度を求め，許容温度以下であることを確認したことから，ルーバの強度への影響はない。評価結果を第 5.6.2-1 表に示す。

また，ルーバの変形の有無にかかわらず，安全上支障のない期間に点検を行いルーバの使用に問題があると判断される場合には，交換等の措置が可能である。なお，ルーバ内側には熱影響を受ける機器等がなく，航空機火災時は，熱気流を考慮し，状況に応じて空調の停止措置等を講じることから，建屋内への影響はない。

第 5.6.2-1 表　ルーバの評価結果

想定火災源	評価温度（℃）	許容温度（℃）
F-15	142	＜325

5.6.3　配管貫通部の火災影響評価について

発電用原子炉施設の脆弱箇所の一つである配管貫通部について，火災影響評価を実施する。

(1)　評価対象

内側にクラス１，２設備がある外壁のうち，火災源から最も近い外壁に位置する配管貫通部を想定して評価を実施した。

(2)　想定の条件

ａ．航空機火災については，5.3 等の火災影響評価と同様の想定とした。

ｂ．配管貫通部は，不燃材料であるモルタルによる穴仕舞がされているため，モルタルを熱影響対象とした。

ｃ．火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度を受けるものとした。

ｄ．火災源から配管貫通部までの離隔距離が最短となるよう，火災源から配管貫通部までの離隔距離を，Ｆ－１５の離隔距離である 22m として熱影響評価を実施した。

(3)　判断の考え方

許容温度は，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃※以下とする。

※　「高温加熱を受けた高強度モルタルの力学的性状，コンクリート工学年次論文集，Vol32，No.1，pp1121-1126，2010」

(4)　評価結果

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

配管貫通部が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より配管貫通部表面の上昇温度を算出した。評価結果を第5.6.3-1表に示す。

$$T = T_0 + \frac{E}{h}\left[1 - \exp\left(\frac{h^2}{\lambda \rho C_p} t\right) \mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2 t}{\lambda \rho C_p}}\right)\right]$$

Ｔ：表面からｘ(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

ｈ：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

ρ：モルタル密度(1,870kg／m^3)，C_p：モルタル比熱(548J／kg／K)

λ：モルタル熱伝導率(1.71W／m／K)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)

ｔ：燃焼継続時間(4,968s)

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値

※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

第 5.6.3-1 表　配管貫通部の到達温度

対象航空機	燃焼面積 [m^2]	輻射強度 [W／m^2]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
F-15	44.6	3,095.33	4,968 (約 1.4h)	150	200

以上の評価により，配管貫通部表面の到達温度が許容温度以下であることを確認した。

5.6.4　ブローアウトパネルの火災影響評価について

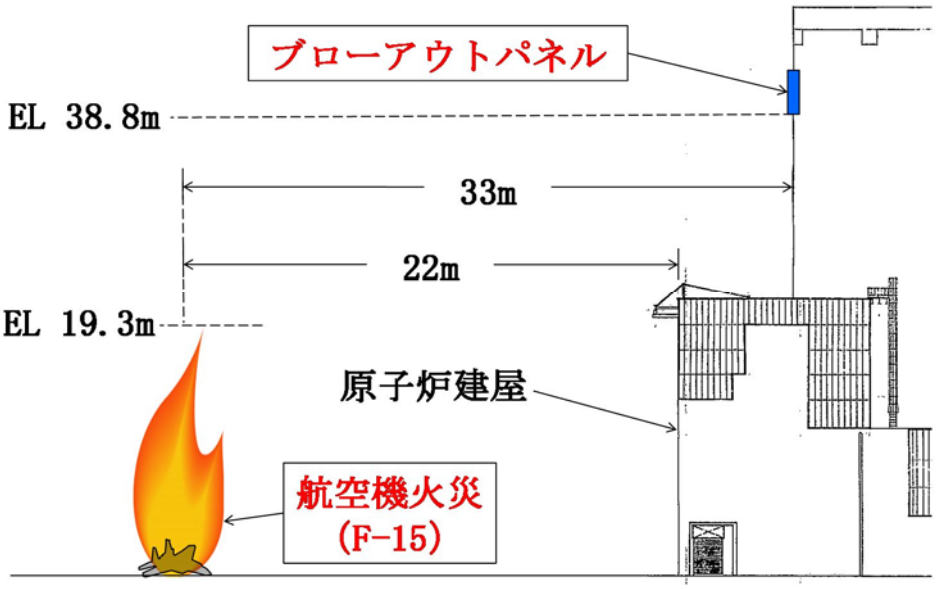
ブローアウトパネル（以下「Ｂ．Ｐ」という。）は，それぞれ原子炉建屋全方位に各 3 箇所設置されているが，想定する航空機火災からＢ．Ｐまでの水平距離及び鉛直高さを考慮すると，Ｂ．Ｐに影響を与えるような輻射強度が届くことはない。位置関係を第 5.6.4-1 表，第 5.6.4-1 図に示す。

第 5.6.4-1 表　火災源とブローアウトパネルとの位置関係

想定火災源	離隔距離（m）	
	水平方向	鉛直方向
F-15	33m※1	19.5m※2

※１　Ｆ－１５の航空機墜落距離 22m に，原子炉建屋最外壁からブローアウトパネルまでの距離 11m を加えた距離

※２　Ｆ－１５の最高火炎高さ（EL.19.3m）とＢ．Ｐ下端高さ（EL.38.8m）の離隔距離



第 5.6.4-1 図　火災源とブローアウトパネルとの位置関係

5.7　航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

(1)　重畳評価で想定するケースの検討

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。

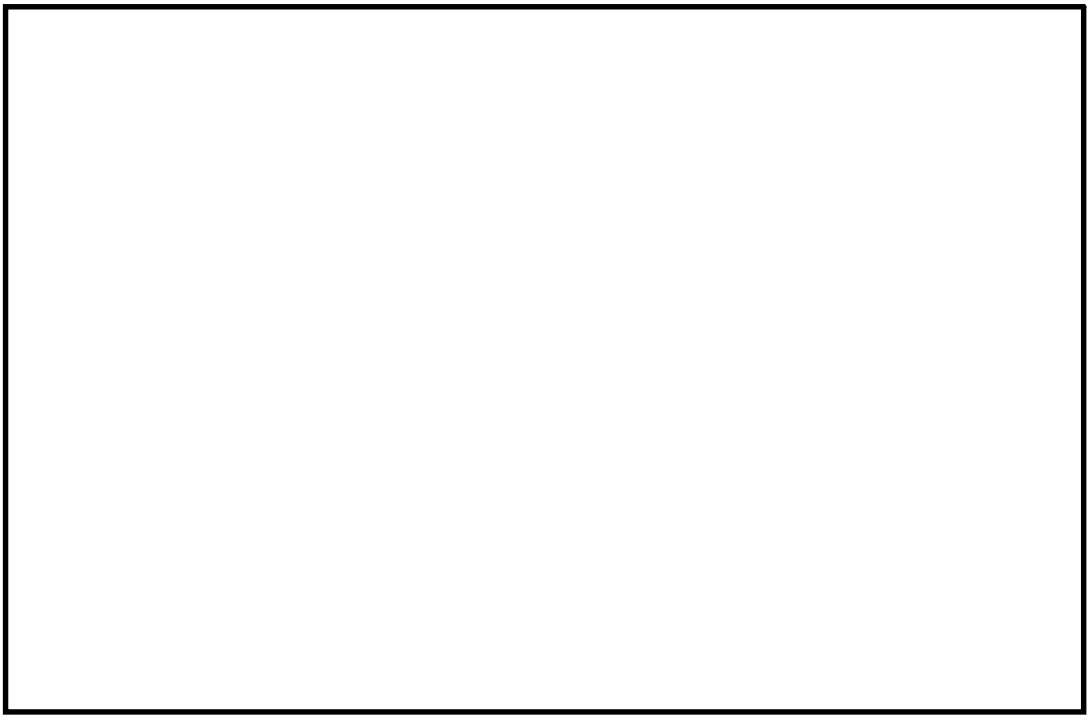
航空機墜落火災として想定する機種は，5.3，5.4，5.5 の評価結果より，最も熱影響が大きいＦ－１５とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は，Ｆ－１５の墜落火災想定位置近傍にある溶融炉灯油タンクと主要変圧器とする。

重畳評価で想定するケースを第 5.7-1 表に，航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置を第 5.7-1 図に示す。

第 5.7-1 表　重畳評価で想定するケース

想定ｹｰｽ	評価対象施設
溶融炉灯油ﾀﾝｸ及び F-15	原子炉建屋
	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋
	主排気筒
	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ
	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ
主要変圧器及び F-15	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋



第 5.7-1 図　航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置

(2)　評価に必要となるデータ

第 5.7-2 表　重畳評価に必要となるデータ

火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW／m^2)	燃焼面積 (m^2)	燃焼半径 (m)	燃焼継続時間 (s)
溶融炉灯油ﾀﾝｸ	灯油	10	50	19.36	2.483	11,008
主要変圧器	絶縁油	136	23	97	5.6	36,131
F-15	JP-4	14.87	58	44.6	3.8	4,968

以下の式から形態係数及び輻射強度を算出した。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

Φ:形態係数，Ｌ:離隔距離(m)，Ｈ:炎の高さ(m)，Ｒ:燃焼半径(m)

$E=Rf\cdot\Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数(-)

第 5.7-3 表　形態係数の算出結果

火災源	評価対象施設	対象までの離隔距離 (m)	形態係数 (-)	輻射強度 E (W／m^2)
溶融炉灯油ﾀﾝｸ	原子炉建屋	45	5.9639×10^{-3}	298.20
	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋	77	2.0248×10^{-3}	101.24
	主排気筒	21	2.6826×10^{-2}	1343.13
	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	185	3.4734×10^{-4}	17.37
	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	185	3.4734×10^{-4}	17.37
主要変圧器	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋	22	1.0160×10^{-1}	2,336.84
F-15	全対象	22	5.3368×10^{-2}	3,095.33

(3)　評価結果

重畳評価で想定される輻射強度及び燃焼継続時間を用いて，以下の式から評価温度を算出した。ただし，建屋表面温度が許容温度である 200℃を超える場合には，周囲への放熱を考慮した式を算出する。なお，現実的に起こり得る放熱量を上回ることがないよう，放熱量が低くなる保守的な条件を設定した。

・建屋（原子炉建屋，海水ポンプ室及びタービン建屋）に係る評価式

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right)$$

放熱なしの場合：$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E$　　(x=0)

放熱なしの場合：$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right)$　(x=0)

$\frac{\partial T}{\partial x} = 0$　　(x=L)

T：許容温度(200℃)，E：輻射強度(W／m^2)
T_0：初期温度(50℃)※1，h：熱伝達率(17W／m^2／K)※2
ρ：密度（2,400kg／m^3），k：熱伝導率（1.63W／m／K)
C_p：比熱（880J／kg／K），L：厚さ（m)

※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

・主排気筒に係る評価式

$$T = T_0 + \frac{E}{2h}$$

T：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※１
E：輻射強度(W／m^2)，h：熱伝達率(17W／m^2／K)※２
※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2／K を用いる。）

・残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに係る評価式

$$T = T_0 + \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

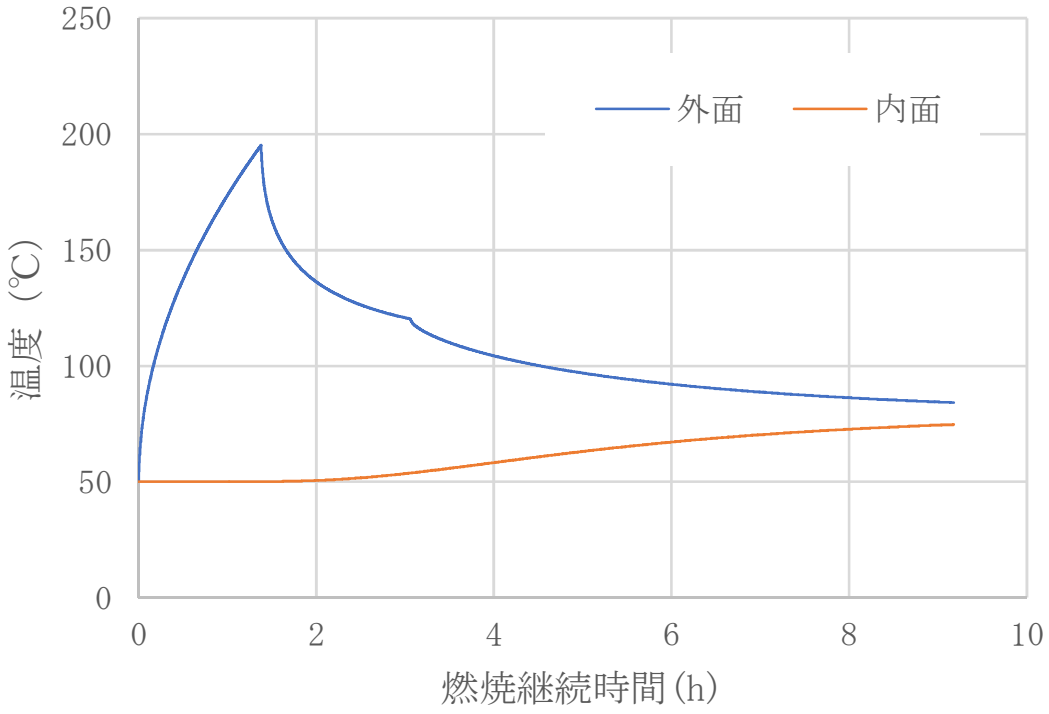
T：評価温度(℃)，T_0：初期温度(39℃)※１，E：輻射強度(W／m^2)，
G：重量流量(kg／s)，A：輻射を受ける面積(m^2)
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)，ΔT：構造物を介した温度上昇（5℃）※２
※１　水戸地方気象台で観測された過去最高気温 38.4℃に保守性を持たせた値
※２　構造物を介した冷却空気の温度上昇（ΔT_b＝2.2℃）を包絡する 5℃に設定

この結果，第 5.7-4 表に示すとおり，どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

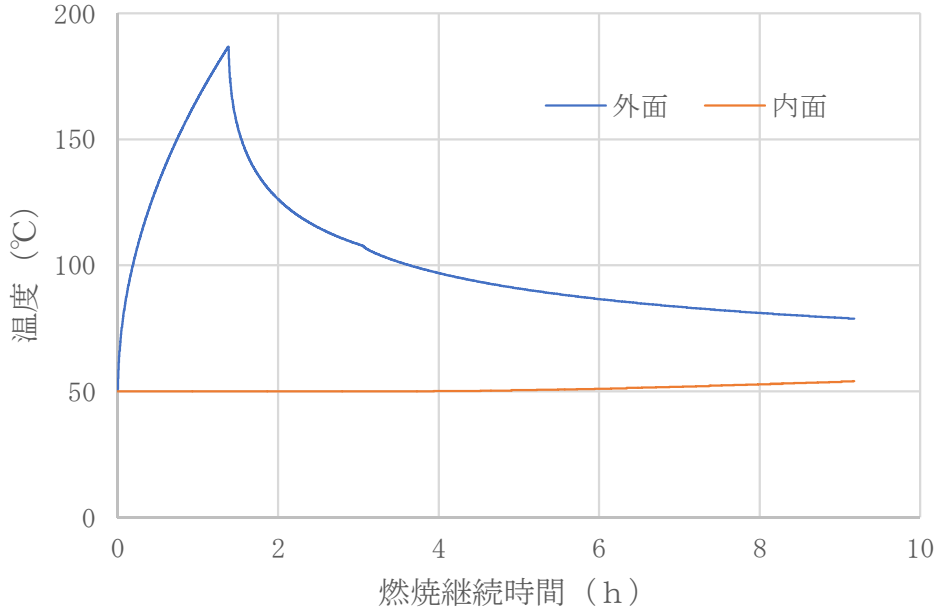
第 5.7-4 表　重畳評価結果

重畳評価の想定ｹｰｽ	評価対象施設	評価温度（℃）	許容温度（℃）
溶融炉灯油ﾀﾝｸ及び F-15	原子炉建屋	196	＜200
	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋	187	
	主排気筒	181	＜325
	残留熱除去系海水系ﾎﾟﾝﾌﾟ	59	＜70
	非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機（高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。）用海水ﾎﾟﾝﾌﾟ	51	＜60
主要変圧器及び F-15	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋	195※	＜200

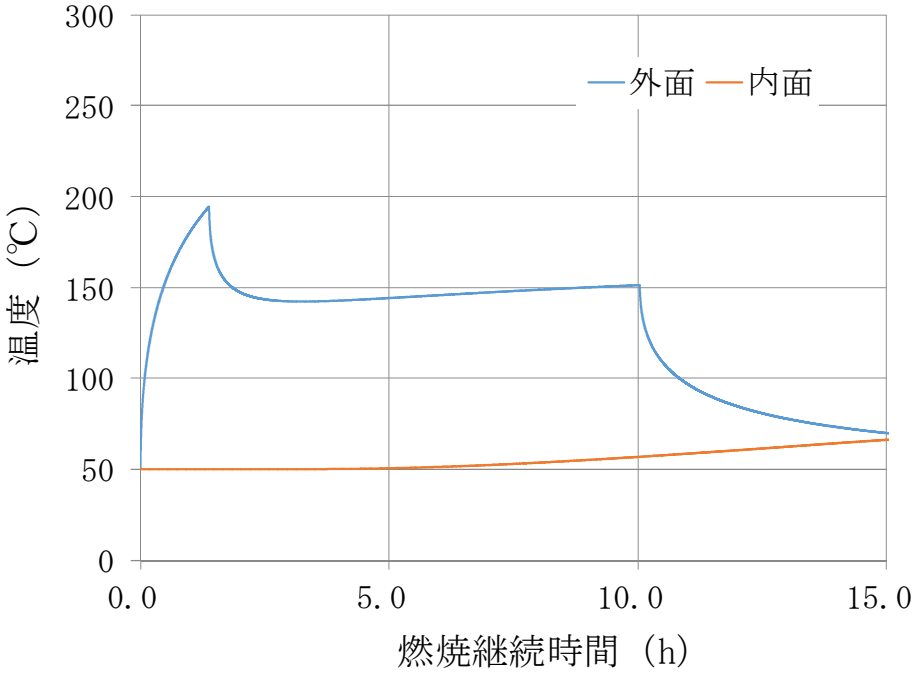
※　放熱なしの条件では許容温度を上回るため，放熱を考慮して評価を実施



第 5.7-2 図　航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
（対象：原子炉建屋）



第 5.7-3 図　航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
（対象：タービン建屋）



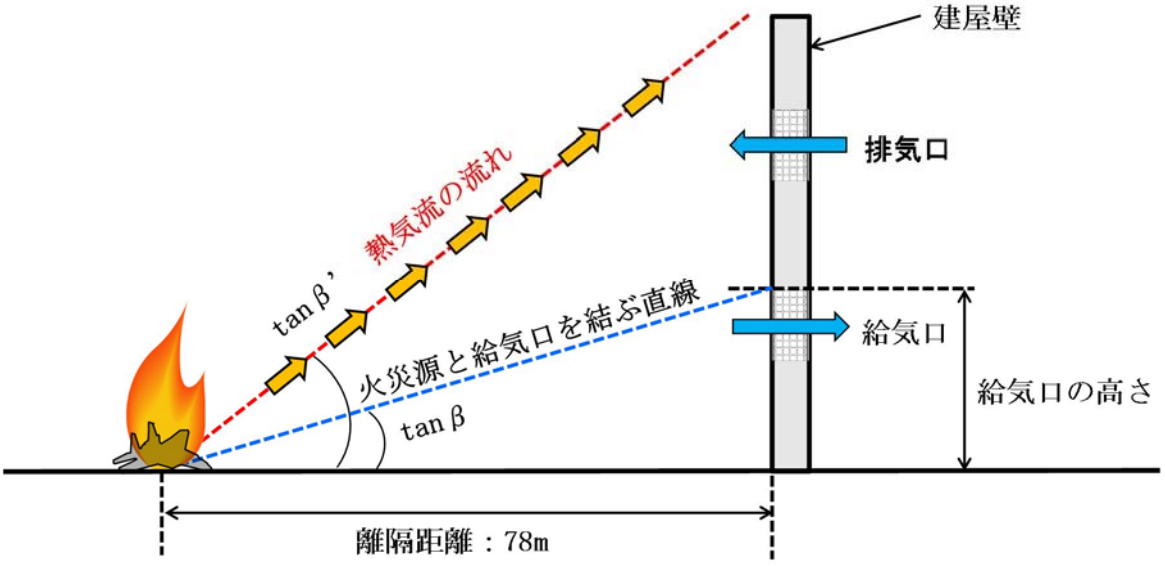
第 5.7-4 図　航空機火災と主要変圧器火災の重畳評価結果
（対象：タービン建屋）

5.8　航空機墜落火災からの熱気流による影響評価

安全重要度分類のクラス１，２設備が給気口のすぐ内側にある非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，外部火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により建屋に向かうことが想定されるため，火災源から発生した熱気流が風により直接給気口から流入する事象を想定する。

評価の概念図を第 5.8-1 図に示す。火災による熱気流の主軸傾き角（tanβ’）が，火災発生源と給気口とを結ぶ直線の傾き角（tanβ）より大きい場合は，熱気流は建屋上方へ拡散し建屋内空気温度への影響はないが，本評価においては保守的に熱気流が直接給気口に当たる場合（tanβ’=tanβ）を想定し，その際の風速を設定する。

現実的には発火点の位置や上昇気流，また気象条件の影響も考慮すれば火災からの熱気流が全て給気口に到達し流入することは考えにくいが，本評価においては保守的に火災源から発生する熱気流が直接給気口に流入するような風速を設定して評価した。



第 5.8-1 図　使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価概念図

5.8.1　想定条件

・評価対象とする火災源は，最も近い位置で発生する航空機火災（対象航空機：Ｆ－１５）とした。

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう，想定する火災源から評価対象施設の給気口まで最短となるよう設定した。

・熱気流の評価では，気象条件として有風状態を想定し，発生する熱気流が直接給気口に流入するような風速を設定した。

5.8.2　評価に必要となるデータの算出

(1)　火災源と給気口を結ぶ直線の傾き

以下の式から火災源と給気口を結ぶ直線の傾きを算出した。算出結果を第 5.8.2-1 表に示す。

$$\tan\beta = \frac{\text{給気口の高さ}}{\text{火災源から給気口までの水平距離}}$$

第 5.8.2-1 表　火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

評価対象施設	給気口の高さ (m)	火災源から給気口までの水平距離 (m)	傾き tanβ (rad)
使用済燃料乾式貯蔵建屋	8.8	78	0.1
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)吸気口	4.9	24	0.2

(2)　熱源寸法

以下の式から熱源寸法を算出した。算出結果を第 5.8.2-2 表に示す。

$$D=2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Ｄ：熱源寸法（m）
Ｓ：航空機火災（Ｆ－１５）の燃焼面積(44.6m^2)

第 5.8.2-2 表　各対象の熱源寸法

火災源	熱源寸法Ｄ（m）
航空機火災 （Ｆ-１５）	7.5

(3)　発生熱量

以下の式から発生熱量を算出した。算出結果を第 5.8.2-3 表に示す。

$Q=(1-\chi)\Delta H_{c,\,eff} S M$

Ｑ：発生熱量（kW），χ：放射分率(0.05)
$\Delta H_{c,\,eff}$：発熱量(43,500kJ／kg)
Ｓ：航空機火災（Ｆ－１５）の燃焼面積(44.6m^2)
Ｍ：質量低下速度(kg／m^2／s)

第 5.8.2-3 表　想定する火災源の発生熱量

火災源	発生熱量Ｑ（kW）
航空機火災 （Ｆ-１５）	9.4×10^4

(4)　熱気流が直接給気口に流入する風速

以下の式を満たす熱気流が直接給気口に流入する風速を算出した。算出結果を第 5.8.2-4 表に示す。

$\tan\beta = 0.37\Lambda^{-9/8}Fr^{0.0975}$

$$\Lambda=\frac{UD^{1/3}}{\left(Qg/C_p\rho T_0\right)^{1/3}}$$

$$Fr=\frac{U}{\sqrt{Dg}}$$

$\tan\beta$：火災源と給気口を結ぶ直線の傾き（rad）

Λ：無次元ﾊﾟﾗﾒｰﾀ，Fr：フルード数（-）
C_p：空気比熱(1.007kJ／kg／K)
ρ：空気密度（1.17kg／m^3），T_0：周囲温度（310K）
D：航空機火災（Ｆ－１５）の燃焼面積(44.6m^2)
g：質量低下速度(kg／m^2／s)

第 5.8.2-4 表　火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

評価対象施設	無次元ﾊﾟﾗﾒｰﾀΛ（-）	ﾌﾙｰﾄﾞ数 Fr（-）	熱気流が直接開口に流入する風速U（m／s）	水戸地方気象台で観測した過去 10 年間の最大風速（m／s）
使用済燃料乾式貯蔵建屋	3.1	2.5	21.6 ～ 40.1	17.5
非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機(高圧炉心ｽﾌﾟﾚｲ系ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機を含む。)吸気口	1.7	1.4	12.1 ～ 12.8	

(5)　評価結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋に対し，熱気流が直接開口に流入する風速は，水戸地方気象台で観測した過去 10 年間の最大風速未満となることから，熱気流が直接開口に流入することはなく上方へ拡散するため，熱気流の影響はない。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口に対する熱気流の影響は，以下理由により熱気流の回避が可能であるため，熱気流が流入することはない。

・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，開口面積が狭いことから熱気流を直接取り込むため，必要となる風速が狭い範囲に限定され，直接熱気流を取り込む可能性は低い。

・非常用ディーゼル発電機吸気口は位置的分散が図られているため，同時に全ての設備が直接熱気流の影響を受けることは想定し難い。

・万一，熱気流を取り込む可能性がある場合は，影響を受けない方角に位置する非常用ディーゼル発電機を起動し，熱気流を取り込む可能性がある設備は起動しない（起動している場合は停止する）ことにより熱気流の影響を回避し，消火が確認された時点で，停止していた非常用ディーゼル発電機の運転を再開する。

対象航空機の種類

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2"></th><th colspan="2">民間航空機</th><th rowspan="2">自衛隊機，在日米軍機</th></tr>
<tr><th>計器飛行方式</th><th>有視界飛行方式</th></tr>
<tr><td rowspan="4">固定翼（ジェット旅客機）</td><td rowspan="2">大型機</td><td>定期便：評価対象
（例）
B747，B737 等</td><td>定期便：該当なし</td><td rowspan="2">評価対象
（例）
F-15 等</td></tr>
<tr><td>不定期便：評価対象外
※1</td><td>不定期便：評価対象
（例）
B747 等</td></tr>
<tr><td rowspan="2">小型機</td><td>定期便：評価対象外
※2</td><td>定期便：評価対象外</td><td rowspan="2">評価対象
（例）
LC-90 等</td></tr>
<tr><td>不定期便：評価対象
※3</td><td>不定期便：評価対象
（例）
Do228 等</td></tr>
<tr><td rowspan="4">回転翼（ヘリコプター）</td><td rowspan="2">大型機</td><td>定期便：評価対象外
※2</td><td>定期便：評価対象外
※2</td><td rowspan="2">評価対象
（例）
CH-47J 等</td></tr>
<tr><td>不定期便：評価対象
※3</td><td>不定期便：評価対象
（例）
AS332L 等</td></tr>
<tr><td rowspan="2">小型機</td><td>定期便：評価対象外
※2</td><td>定期便：評価対象外
※2</td><td rowspan="2">評価対象
（例）
AH-1S 等</td></tr>
<tr><td>不定期便：評価対象
※3</td><td>不定期便：評価対象
（例）
AS365N3 等</td></tr>
</table>

※１　計器飛行方式で飛行する大型固定翼機の不定期便は，定期便と比べて運航回数が極めて少ないことから，評価対象外とする。

※２　小型固定翼機及び回転翼機の定期便については，定期航空運送事業者の登録機数の割合から，運航頻度が大型機の定期便の数％であると判断できることから評価対象外とする。

※３　小型固定翼機及び回転翼機では，リクエストベースで計器飛行方式による飛行が可能となっているが，原則としては，有視界飛行方式による飛行形態を取っていることから，全て有視界飛行方式として評価することとする。

出典：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」

■計器飛行方式民間航空機

■有視界飛行方式民間航空機（大型機）

■有視界飛行方式民間航空機（小型機）

■自衛隊機又は米軍機

各施設付近の空港と施設との距離について

発電所 名称	空港名	施設と空港 の距離※1	最大離着陸 距離※2	判　定
東海第二 発電所	成田空港	約 80km	39km (21.2nm)	×
	茨城空港	約 36km	56km (30nm)	○

○：評価対象　×：評価対象外

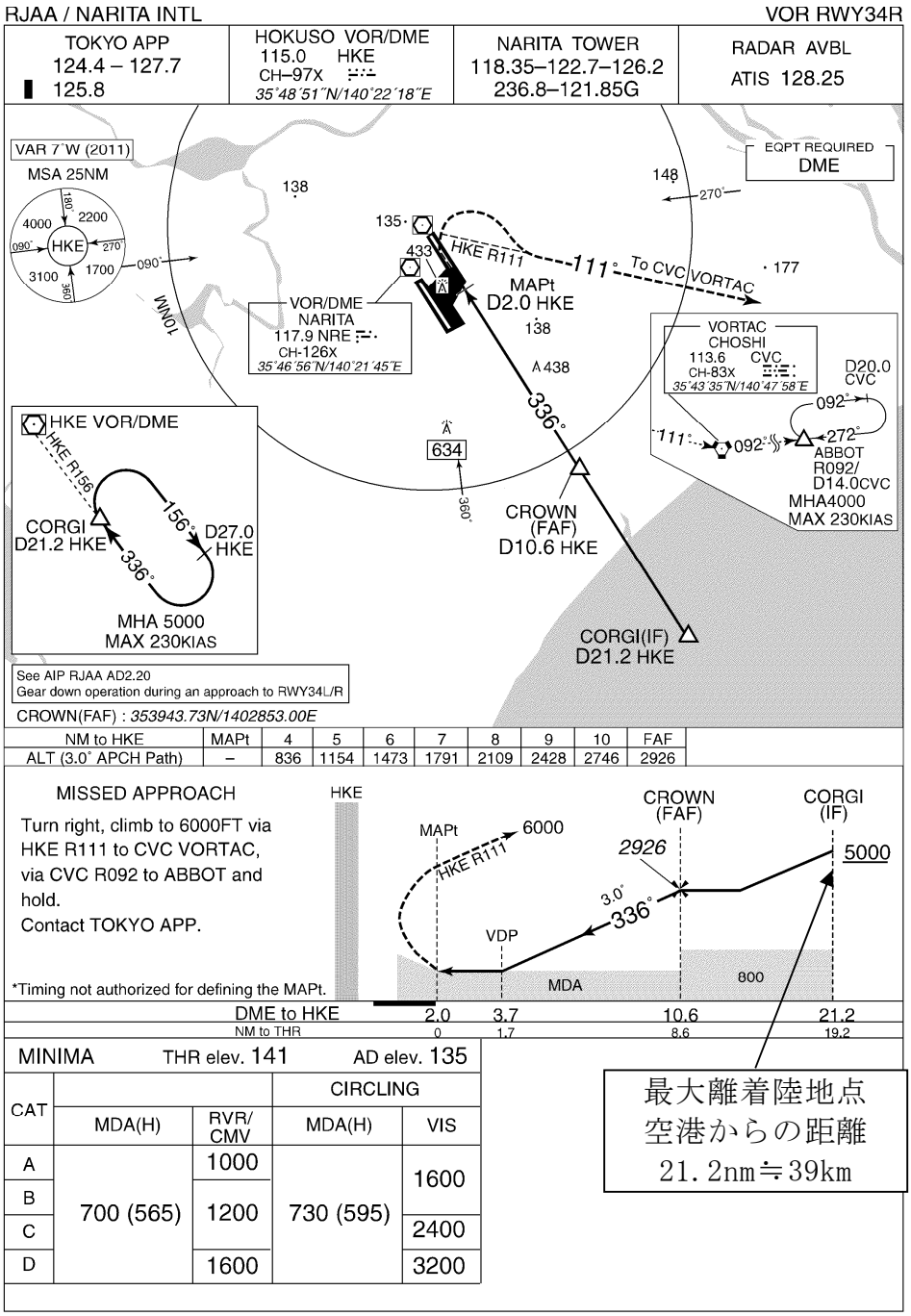
※1　施設と空港の緯度，経度より計測した。

※2　ＡＩＰを参照した。

成田空港の最大離着陸地点までの距離

（成田空港～東海第二発電所の距離：約 80km）

INSTRUMENT APPROACH CHART

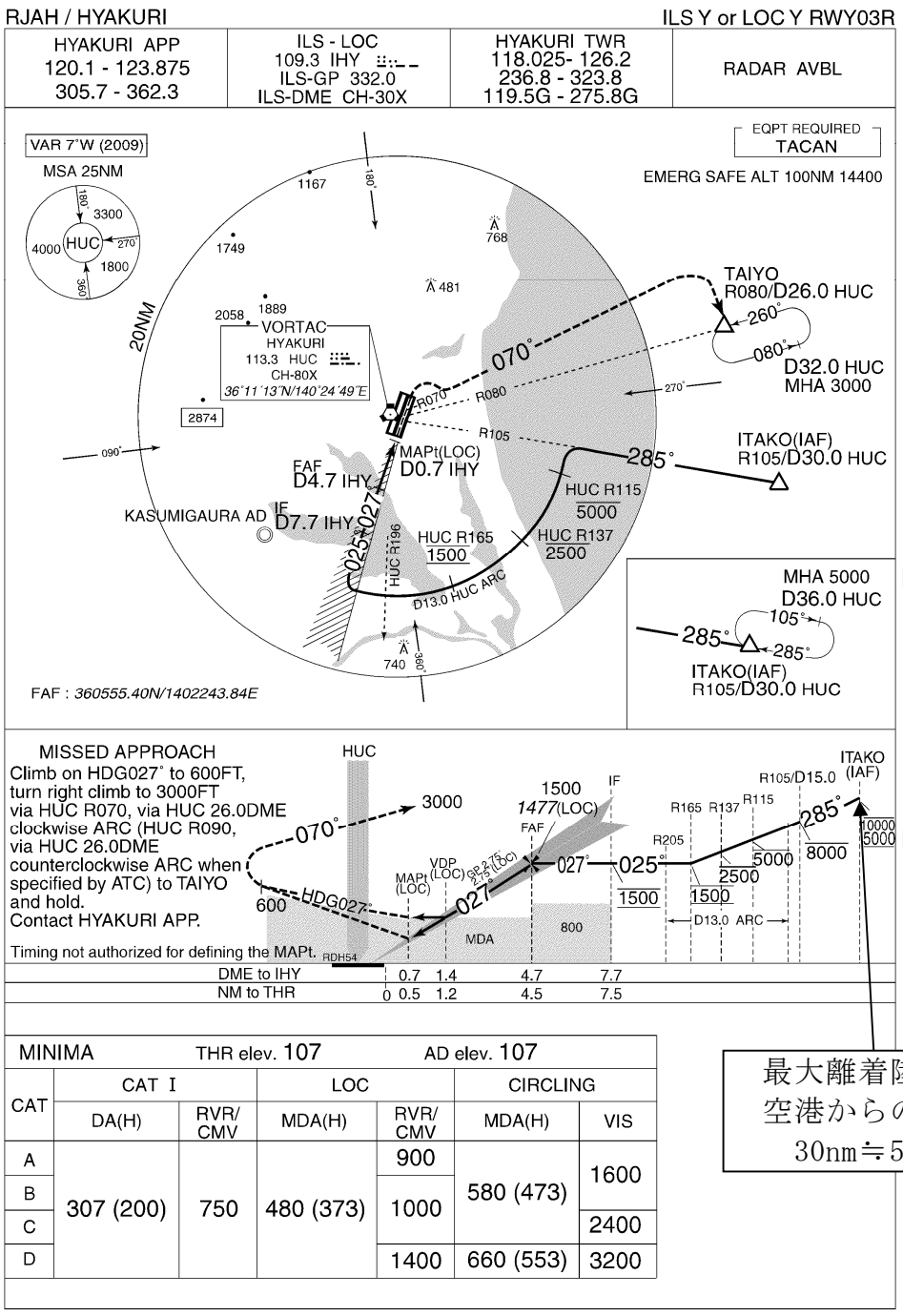


出典：ＡＩＰ

茨城空港の最大離着陸地点までの距離

（茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km）

INSTRUMENT APPROACH CHART



MINIMA	THR elev. 107		AD elev. 107			
CAT	CAT I		LOC		CIRCLING	
	DA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	VIS
A	307 (200)	750	480 (373)	900	580 (473)	1600
B				1000		
C						2400
D				1400	660 (553)	3200

最大離着陸地点
空港からの距離
30nm≒56km

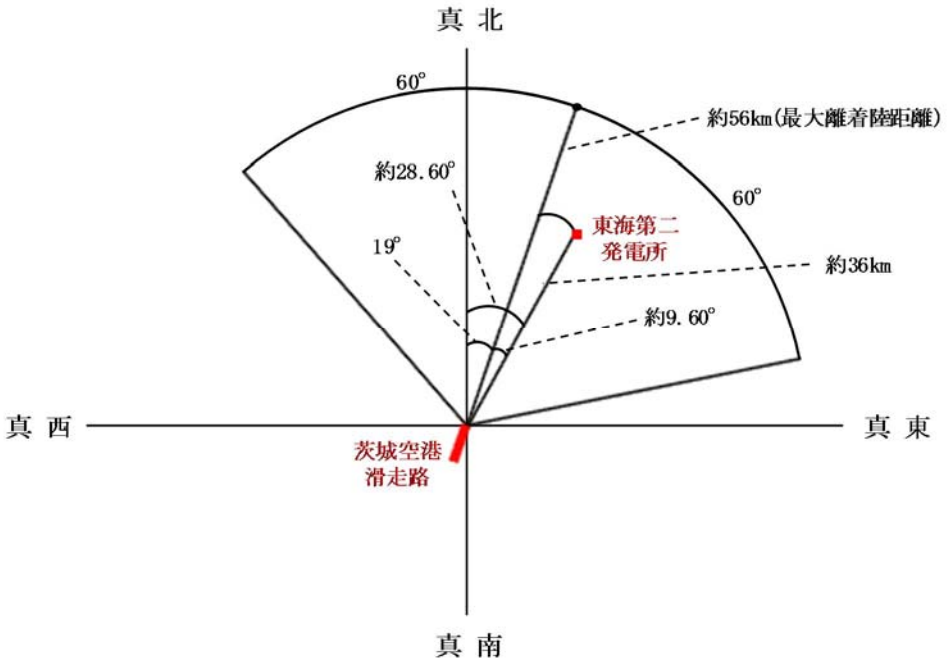
出典：ＡＩＰ

茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港―東海第二発電所の角度について

茨城空港の滑走路の方位は，19°（真方位）（ＡＩＰ記載のデータ）である。

また，茨城空港－東海第二発電所の方位は，約 28.60°（真方位）（茨城空港と東海第二発電所の緯度，経度より計測した。）である。

したがって，茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港－東海第二発電所の角度は，約 9.60°となる。



各施設周辺における航空路と各航空路の幅について

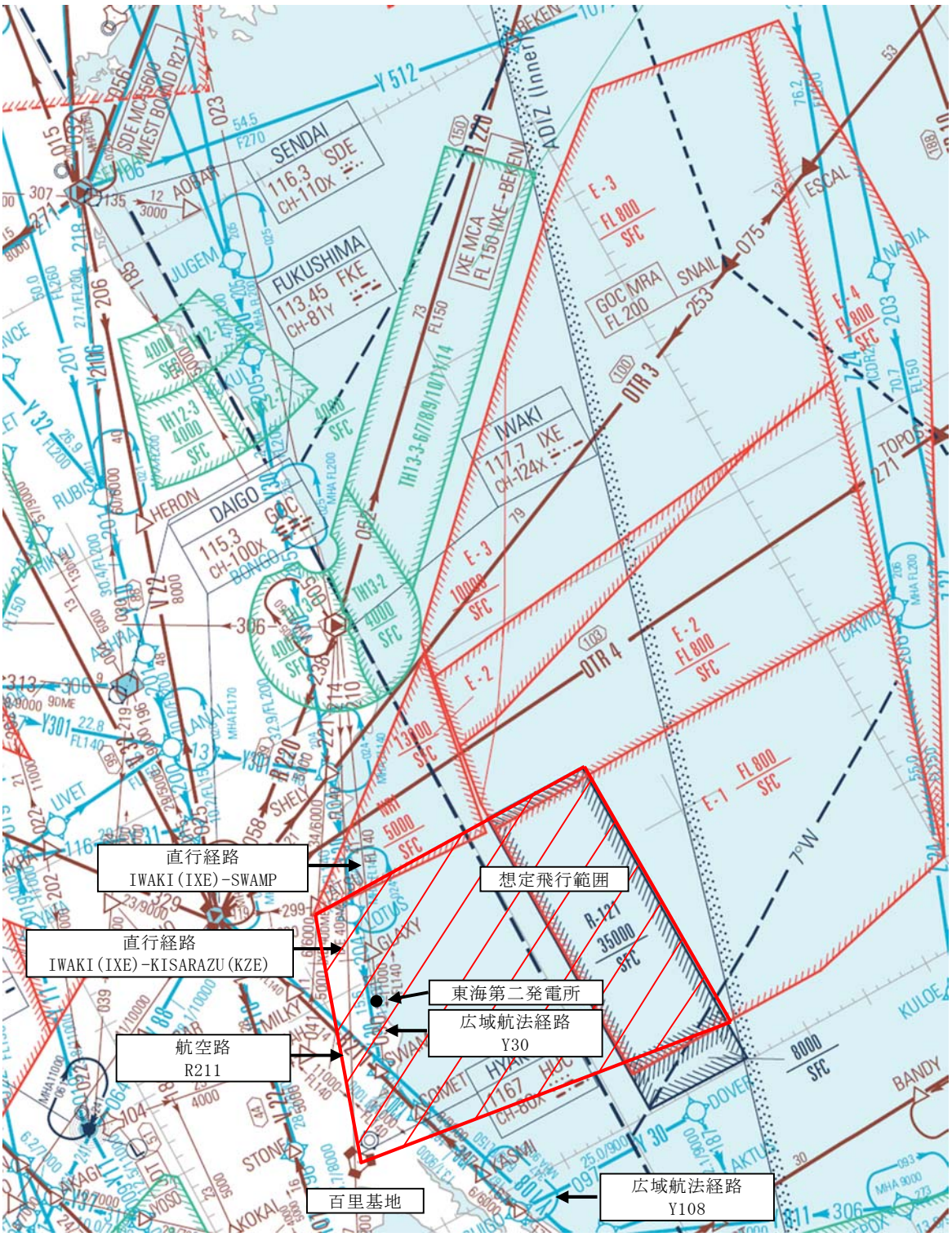
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と発電所間の最小距離※1	片側の航空路幅※2	判定
航空路　R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	7.41km (4nm)	○
広域航法経路　Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	9.26km (5nm)	○
広域航法経路　Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	9.26km (5nm)	×

○：評価対象　×：評価対象外

※1　施設と航空路の緯度及び経度より計測した。

※2　航空路 R211 については，「航空路の指定に関する告示」に記載の値とした。直行経路については，「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については，航法精度を航空路幅とみなして用いた。（1nm＝1.852km として換算した。）

エンルートチャート（東海第二発電所付近）



出典：ENROUTE CHART（2014 年 3 月 6 日改定）

「有視界飛行方式民間航空機（小型機）」の落下事故

で考慮している航空機の燃料量

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	ドルニエ Do228-200	約 2.4
	パイパーPA-42-1000	約 2.2
	セスナ 501	約 2.2
	ビーチ B200	約 2.1
	ガルフストリーム・コマンダ 695	約 1.8
	セスナ 525/525A サイテーションジェット	約 1.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N3	約 1.6
	ベル 412	約 1.5
	シコルスキ S-76A	約 1.5
	ビーチ C90A	約 1.5
	セスナ 510	約 1.5
	セスナ 425	約 1.4
	セスナ 404	約 1.3
	セスナ 208	約 1.3
	セスナ 208B	約 1.3
	ユーロコプターEC155B/B1	約 1.3
	ベル 412EP	約 1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N1	約 1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N2	約 1.2
	ベル 430	約 1.1
	ソカタ TBM700	約 1.1
	シコルスキ S-76B	約 1.1
	シコルスキ S-76A+/S-76C/S-76C+/S-76C++	約 1.1
	ユーロコプターEC135P1/P2	約 0.9
	川崎 BK117B-1/B-2	約 0.9
	ピラタス PC-6/B2-H4	約 0.9
	セスナ 150L/M/A150L	約 0.9
	川崎 BK117C-2	約 0.9
	カマン K-1200	約 0.9
	ベル 212	約 0.8
	ベル 429	約 0.8
	富士ベル 205B	約 0.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F2	約 0.7
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F1	約 0.7
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355N	約 0.7
	ユーロコプターEC135T1/T2	約 0.7
	パイパーPA-31-350/PA-31P-350	約 0.7
	ベル 427	約 0.7
	川崎 BK117C-1	約 0.7
	ビーチ G58	約 0.7
	ビーチ 58	約 0.6
	セスナ 340	約 0.6

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	アグスタ A109K2	約 0.6
	富士ベル 204B-2	約 0.6
	アグスタ A109E	約 0.6
	マグドネル・ダグラス 900	約 0.6
	アグスタ AW119Ke	約 0.6
	セスナ T303	約 0.6
	ユーロコプター(MBB)Bo105S	約 0.6
	アグスタ AW109SP	約 0.6
	ユーロコプター(アエロスパシアル)SA315B	約 0.6
	セスナ 182P/Q/R	約 0.6
	セスナ TU206F	約 0.6
	セスナ 207/T207	約 0.6
	アグスタ 109AⅡ	約 0.6
	アグスタ A109C	約 0.6
	パイパーPA-23-250	約 0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B2	約 0.5
	ユーロコプターEC130B4	約 0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B3	約 0.5
	セスナ TU206G	約 0.5
	セスナ U206G	約 0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B/BA	約 0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350BI	約 0.5
	ブリテン・ノーマン BN-2B-20	約 0.5
	ビーチ E33	約 0.5
	ビーチ 35-C33A/F33A/F33C	約 0.5
	ビーチ 36/A36	約 0.5
	ベル 407	約 0.5
	パイパーPA-46-310P	約 0.5
	パイパーPA-46-350P	約 0.5
	MD ヘリコプターズ 600N	約 0.5
	ロックウェル・コマンダ 112	約 0.5
	ベル 206L-4	約 0.4
	セスナ 172P	約 0.4
	ソカタ/モランソルニエ MS885/893A	約 0.4
	ベル 206L-3	約 0.4
	ユーロコプターEC120B	約 0.4
	ビーチ B36TC	約 0.4
	パイパーPA-32R-301T	約 0.4
	パイパーPA-34-200	約 0.4
	パイパーPA-34-200T	約 0.4
	パイパーPA-34-220T	約 0.4
	セスナ 172N	約 0.4
	セスナ 172K/L/M	約 0.4
	セスナ 182S	約 0.3
	セスナ T206H	約 0.3
	シーラス SR22/SR22T	約 0.3

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	セスナ P210N	約 0.3
	セスナ T210M/N	約 0.3
	エンストロム 480B/TH480B	約 0.3
	ソカタ TB-20	約 0.3
	ソカタ TB21	約 0.3
	ビーチ A36TC	約 0.3
	ムーニーM20K	約 0.3
	パイパーPA-28RT-201T	約 0.3
	ベル 206B	約 0.3
	ロビンソン R66	約 0.3
	シュワイザー269D-A	約 0.3
	セスナ 172RG	約 0.3
	セスナ 210-5A	約 0.2
	セスナ 152	約 0.2
	ムーニーM20J	約 0.2
	ヒューズ/川崎 369E	約 0.2
	セスナ 150B/C	約 0.2
	ビーチ B24R	約 0.2
	ワコー・クラシック・エアクラフト YMF ワコーF5C	約 0.2
	セスナ 172S	約 0.2
	シーラス SR20	約 0.2
	ソカタ TB200	約 0.2
	エンストロム 280FX	約 0.2
	富士 FA-200-160	約 0.2
	富士 FA-200-180	約 0.2
	富士 FA-200-180AO	約 0.2
	ソカタ TB10	約 0.2
	セスナ 172R	約 0.2
	クリスティン・インダストリーA-1	約 0.2
	ガルフストリーム・エアロスペース AG-5B	約 0.2
	セスナ R172K	約 0.2
	ムーニーM20C	約 0.2
	ダイヤモンド DA42/DA42NG	約 0.2
	ロビンソン R44 アストロ/レイベン	約 0.2
	ダイヤモンド DA40	約 0.2
	パイパーPA-28-140	約 0.2
	パイパーPA-28-151	約 0.2
	パイパーPA-28-161	約 0.2
	パイパーPA-28-180	約 0.2
	パイパーPA-28-181	約 0.2
	パイパーPA-28R-200	約 0.2
	ロビンソン R44Ⅱ	約 0.2
	モール M-7-235C	約 0.2
	エクストラ EA300S,300/L	約 0.2
	ジャイロフルーク SC01B-160	約 0.2
	セスナ 172	約 0.2

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	ソカタ TB9	約 0.2
	セスナ 172B,D,G,H	約 0.1
	パイパーPA-28R-201	約 0.1
	パイパーPA-28R-201T	約 0.1
	ベランカ 7GCBC/8KCAB	約 0.1
	パイパーPA-18-150	約 0.1
	シュワイザー269C-1	約 0.1
	エクストラ EA300/200	約 0.1
	ロビンソン R22Beta/Mariner	約 0.1
	ヒューズ 269C	約 0.1
	リバティーXL-2	約 0.1
	アビオン・ピエール・ロバン DR400/180R	約 0.1
	ピッツ S-2B/S-2C	約 0.1

自衛隊機又は米軍機の用途による分類について

自衛隊機又は米軍機の落下事故には，「⑤訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間を往復時」の落下事故がある。

⑤及び⑥について，自衛隊機が保有する機種を代表として，用途による飛行形態を踏まえてカテゴリを分類し，燃料積載量が最大となる対象の航空機を整理した。

1. 訓練空域外を飛行中の落下事故

自衛隊機の用途としては，「連絡偵察」，「哨戒」，「戦闘」，「偵察」，「輸送」，「空中給油」，「早期警戒」等がある。

下表に代表的な自衛隊機における用途等を示す。

所　属	機　種	形　式	用　途	寸法（m）		燃料量※1
				全長	全幅	（m^3）
陸上自衛隊	LR-1	小型固定翼	連絡偵察	約 10	約 12	約 0.9
	LR-2	大型固定翼	連絡偵察	約 14	約 18	約 2
	AH-1S	小型回転翼	対戦車	約 14	約 3	約 1
	OH-6D	小型回転翼	観測	約 7	約 2	約 0.2
	OH-1	小型回転翼	観測	約 12	約 3	約 1
	UH-1H/J	小型回転翼	多用途	約 12/13	約 3	約 0.8
	CH-47J/JA	大型回転翼	輸送	約 16	約 4/5	約 4
	UH-60JA	大型回転翼	多用途	約 16	約 3	約 3
	AH-64D	大型回転翼	戦闘	約 18	約 6	約 1
海上自衛隊	P-3C	大型固定翼	哨戒	約 36	約 30	約 35
	P-1	大型固定翼	哨戒	約 38	約 35	≦ KC-767※2
	SH-60J	大型回転翼	哨戒	約 15	約 3	約 1
	SH-60K	大型回転翼	哨戒	約 16	約 3	約 1
	MH-53E	大型回転翼	掃海・輸送	約 22	約 6	約 12
	MCH-101	大型回転翼	掃海・輸送	約 23	約 19	約 5
航空自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	約 19	約 13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	約 19	約 12	約 12
	F-2A/B	大型固定翼	戦闘	約 16	約 11	約 11
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	約 19	約 12	約 13
	C-1	大型固定翼	輸送	約 29	約 31	約 16
	C-130H	大型固定翼	輸送	約 30	約 40	約 37
	KC-767	大型固定翼	空中給油・輸送	約 49	約 48	約 145
	KC-130H	大型固定翼	空中給油機能付加	約 30	約 40	約 37
	E-2C	大型固定翼	早期警戒	約 18	約 25	約 7
	E-767	大型固定翼	早期警戒管制	約 49	約 48	≦ KC-767※2
	CH-47J	大型回転翼	輸送	約 16	約 4	約 4

出典：平成 28 年度版防衛白書等

※１　増槽（機体の外部に装着して使用する燃料タンク）の燃料量を考慮した値。

※２　P-1 及び E-767 の燃料量は不明であるが，P-1 については KC-767 より寸法が小さく空中給油機能を備えていないこと，E-767 については KC-767 と寸法は同一であるものの空中給油機能を備えていないことから，KC-767 に比べて燃料量は少ないと想定される。

以下の機種については，原子力発電所付近で低高度での飛行を行うことはないため，「⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機」として整理し，その他については，「⑤-2 その他の大型固定翼機及び回転翼機」として整理した。

・高高度での巡航が想定される「空中給油」及び「早期警戒」を用途とした機種

・目的地付近で低高度での飛行となるものの移動は高高度の巡航を行うものと想定される「哨戒」及び「輸送」を用途とした機種（「哨戒」の目的地は海上，「輸送」の目的地は基地又は空港）

下表に代表的な自衛隊機のうち燃料量の観点から大型機のみについて，上記のカテゴリで整理した結果を示す。

カテゴリ	用　途	該当する航空機	寸法（m）		燃料量※（m^3）
			全長	全幅	
空中給油機，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	「空中給油」，「早期警戒」，「哨戒」，「輸送」を用途とする大型固定翼機	P-3C	約 36	約 30	約 35
		P-1	約 38	約 35	≦KC-767
		C-1	約 29	約 31	約 16
		C-130H	約 30	約 40	約 37
		KC-767	約 49	約 48	約 145
		KC-130H	約 30	約 40	約 37
		E-2C	約 18	約 25	約 7
		E-767	約 49	約 48	≦KC-767
その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	上記以外を用途とする大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	LR-2	約 14	約 18	約 2
		CH-47J	約 16	約 4	約 4
		UH-60JA	約 16	約 3	約 3
		AH-64D	約 18	約 6	約 1
		SH-60J	約 15	約 3	約 1
		SH-60K	約 16	約 3	約 1
		MH-53E	約 22	約 6	約 12
		MCH-101	約 23	約 19	約 5
		F-15J/DJ	約 19	約 13	約 15
		F-4EJ	約 19	約 12	約 12
		F-2A/B	約 16	約 11	約 11
		RF-4E/EJ	約 19	約 12	約 13

出典：平成 28 年度版防衛白書等

※　増槽の燃料量を考慮した値。

上記の分類を踏まえ，「⑤訓練空域外を飛行中の落下事故」で考慮するカテゴリとして，燃料量が最大となる航空機を下表に示すとおり整理した。

カテゴリ	対象とする航空機の内訳	対象航空機	燃料量※（m^3）
空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	「空中給油」，「早期警戒」，「哨戒」，「輸送」を用途とする大型固定翼機	KC-767	145.03
その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	「戦闘」，「連絡偵察」，「偵察」等を用途とする大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	14.87

※　増槽の燃料量を考慮した値。

2.　基地－訓練空域間を往復時の落下事故

下表に「⑥基地－訓練空域間を往復時」の落下事故において考慮している百里基地に所属する自衛隊機を示す。

所　属	機　種	形　式	用　途	寸法（m）		燃料量※（m^3）
				全長	全幅	
航空自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	約 19	約 13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	約 19	約 12	約 12
	T-4	大型固定翼	中等練習	約 13	約 10	約 3
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	約 19	約 12	約 13
	U-125A	大型固定翼	救難捜索	約 16	約 16	約 6
	UH-60J	大型回転翼	救難救助	約 20	約 16	約 3

出典：平成 28 年度版防衛白書，航空自衛隊ウェブページ（平成 29 年 7 月確認）等

※　増槽の燃料量を考慮した値。

百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料量が最大の航空機を対象とし，下表のとおり整理した。

カテゴリ	対象とする航空機の内訳	対象航空機	燃料量※（m^3）
④基地－訓練空域間往復時	試験空域において訓練を行うと想定される百里基地に所属する固定翼機及び回転翼機	F-15	14.87

※　増槽の燃料量を考慮した値。

航空機落下確率評価手法の保守性について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に記載されているとおり，航空機落下確率評価手法には以下の保守性がある。

(1)　計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における落下事故

原子力施設付近の上空の飛行はできる限り避けるよう指導等がなされているため，離着陸時においても原子力施設付近における飛行は極めて少なくなるものと考えられるが，当該原子炉施設に係る離着陸時の落下確率として，この指導等による効果を考慮せずに，国内の飛行場における離着陸時の事故件数及び当該飛行場の着陸回数から求めることとしている。

さらに，評価に用いる落下地点の確率分布は，評価対象区域の扇型内一様分布及び周方向に正規分布を仮定し，いずれか厳しい方を用いるとしている。

(2)　有視界飛行方式で飛行する民間航空機の落下事故

有視界飛行方式で飛行する民間航空機の落下確率評価における評価式は，有視界飛行が全国的に均一して行われているものと仮定し全国平均値を求めることとしている。しかしながら，一般に，こうした有視界飛行については，原子力施設付近の上空をできるだけ飛行しないよう指導されていること，原子力関係施設の上空については，航空法第 81 条に基づく最低安全高度以下の高度での飛行に係る国土交通大臣の許可が与えられないこととなっていること，及び民間航空機の訓練空域が原子炉施設の上空に存在する場合には自衛隊機の訓練空域と同様な飛行規制が取られているこ

とから，有視界飛行中の民間航空機が原子炉施設に落下する可能性は他の地域に比べて十分低いと考えられる。さらに，原子炉施設設置者は，原子炉施設上空からの視認性を向上させるために，自主的に灯火を設置している。したがって，こうした実態を考慮すると，有視界飛行中の民間航空機の落下確率について，全国平均値を評価に用いることには十分な保守性があると言える。

(3)　自衛隊機又は米軍機の落下事故

訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の自衛隊機又は米軍機の落下確率評価式は，いずれも，訓練空域が全国的に均一して分布していると仮定し全国平均値で評価を行うというものである。しかし，自衛隊機の訓練空域が原子炉施設の上空に存在する場合には飛行機規制が取られていること（当該空域における訓練飛行中は通常の飛行時に比べ機器の操作頻度が多いことに鑑み，従来から国土交通省により原子炉施設から半径2海里以内，高度2000ft以下（半径約3.6km以内、高度約600m以下）の範囲が訓練空域から除外されている。），米軍機についても原子炉施設上空の飛行規制に係る協力要請を行っており周知徹底を行う旨回答を得ていること及びこれまでの事故の実績を考慮すると，訓練空域外を飛行中の自衛隊機又は米軍機が原子炉施設に落下する確率として全国平均値を用いることには保守性があると言える。

離隔距離の算出方法について

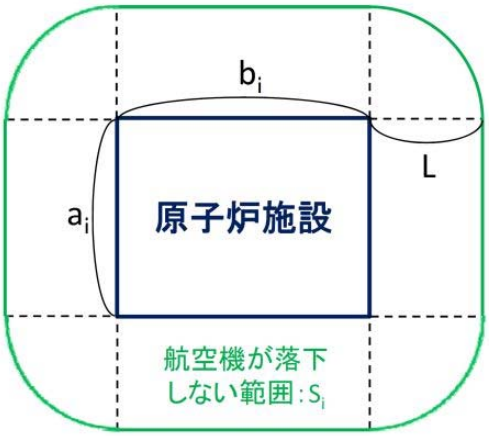
1. 考え方

各評価対象施設における離隔距離が一定に確保されるように，評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲の面積の和が落下確率 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積となるまで標的面積を拡大させたときの離隔距離を算出する方法を用いた。

2. 離隔距離算出方法

評価対象施設の各辺の長さを（a_i，b_i）とした場合，離隔距離を L とすると，当該評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲（面積：S_i）は以下の式で表される。

$$Si = \pi L^2 + 2L(a_i + b_i) + a_i b_i$$



離隔距離の概念図

上記の式を用いて，全ての評価対象施設に対して S_i を計算し，それらを合計した上で L について解くことで離隔距離が得られる。

なお，各施設間の距離が近く，航空機が落下しない範囲が重なる範囲が重なる場合は，重なった範囲の面積を分配して再計算することで，航空機落下確率 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積に近づける。

計器飛行方式民間航空機　大破事故概要

（平成 5 年～平成 24 年）

離着陸時の大破事故

（離陸時）

発生年月日	場 所	型 式	機体の損傷	運航形態
平成 8 年 6 月 13 日	福岡空港	ダグラス DC-10-30 型	大破	離陸

（着陸時）

発生年月日	場 所	型 式	機体の損傷	運航形態
平成 5 年 4 月 18 日	花巻空港	ダグラス DC-9-41 型	大破	着陸
平成 6 年 4 月 26 日	名古屋空港	エアバス・インダストリー A300B4-622R 型	大破	着陸
平成 21 年 3 月 23 日	成田国際空港 滑走路上	ダグラス MD-11F 型	大破	着陸

巡航中の大破事故

発生年月日	場 所	機 種	機体の損傷	運航形態
該当なし	－	－	－	－

日本国機の運航回数及び運航距離

・計算に用いる数値は，「航空輸送統計年報　第１表　総括表」の次の値とする。

①日本国機の運航回数は，国内便，国際便ともに定期便＋不定期便の値。

②日本国機の運航距離は，国内便のみの定期便＋不定期便の値。

・日本国機の国際便は，日本から海外までの距離が記載されているが，日本国内での運航距離ではないため，保守的に考慮しない。

・日本に乗り入れている外国機は，運航距離について実績の公開記録がないため，保守的に考慮しない。

・ただし，日本国機の国際便及び外国機の落下事故が，日本国内で落下した場合は評価対象とする。

	日本国機の運航回数（運航回）			日本国機の運航距離（飛行回・km）
	国内便	国際便	計	国内便
平成 5 年	466,787	57,451	524,238	326,899,203
平成 6 年	484,426	60,038	544,464	343,785,576
平成 7 年	531,508	67,908	599,416	380,948,123
平成 8 年	543,238	72,425	615,663	397,146,610
平成 9 年	562,574	77,134	639,708	420,920,228
平成 10 年	587,308	83,070	670,378	449,784,623
平成 11 年	594,957	85,804	680,761	459,973,069
平成 12 年	660,979	87,977	748,956	480,718,878
平成 13 年	671,618	86,824	758,442	489,803,107
平成 14 年	683,929	93,062	776,991	498,685,881
平成 15 年	700,184	92,381	792,565	519,701,117
平成 16 年	698,960	101,659	800,619	517,485,172
平成 17 年	709,377	106,078	815,455	527,370,038
平成 18 年	740,741	104,798	845,539	555,543,154
平成 19 年	741,949	112,605	854,554	559,797,874
平成 20 年	733,979	118,503	852,482	554,681,669
平成 21 年	716,640	110,234	826,874	544,824,157
平成 22 年	716,538	101,721	818,259	548,585,258
平成 23 年	717,100	96,292	813,392	555,144,327
平成 24 年	770,262	105,086	875,348	608,215,704
合計	13,033,054	1,821,050	14,854,104	9,740,013,768

※　離着陸回数は，国内便の場合は離陸回数＝着陸回数＝運航回数とし，国際便の場合は，離陸回数＝着陸回数＝1／2 運航回数とする。
（離着陸回数＝離陸回数＋着陸回数＝国内便運航回数×2＋国際便運航回数＝13,033,054×2+1,821,050＝27,887,158）

計器飛行方式民間航空機の飛行場を離着陸時における落下事故の確率分布関数について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に基づき，計器飛行方式民間航空機の「①飛行場（茨城空港）での離着陸時」における落下事故の確率分布関数には，滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離（r_0）内の内円で滑走路方向両側に対し±60°以内の扇型に一様な分布又は周方向で正規分布を仮定し，評価結果が厳しい方を用いる。下式にて評価した結果，今回の評価では，下表に示すとおり厳しい方である正規分布を仮定した方法を用いることとする。

（一様分布）

$$\Phi(r_0,\theta)=\frac{1}{A_{d,a}}\ （／km^2）$$

$$A_{d,a}=\frac{2}{3}\pi r_0^2\ （km^2）$$

（正規分布）

$$\Phi(r_0,\theta)=\frac{1}{A_{d,a}}f(x)\ （／km^2）$$

$$A_{d,a}=\frac{2}{3}\pi r_0^2\ （km^2）$$

$$f(x)=\frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2})\cong 2.1\times\exp(\frac{-30.42x^2}{\pi^2 r_P^2})$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = \int_{-\pi r/3}^{\pi r/3} Pdx = \frac{2}{3}\pi r_P$$

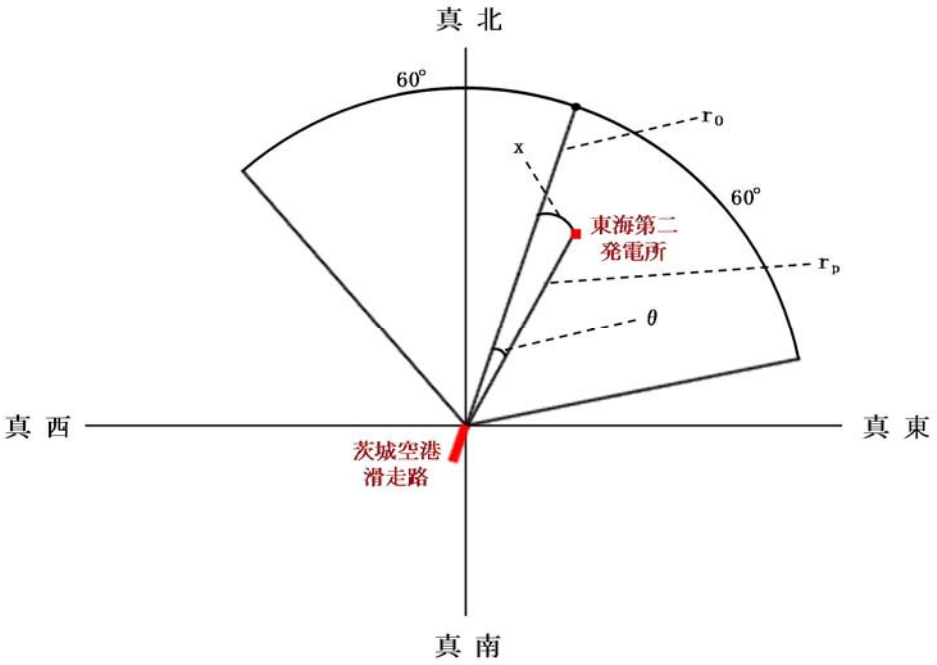
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_P：滑走路端から発電用原子炉施設までの距離（径方向）（km）

x：滑走路軸上から発電用原子炉施設までの距離（周方向）（km）

$x = r_p \times \theta$

θ ：滑走路方向に対する空港－発電用原子炉施設の角度（rad）



項　　目	確率密度（／km^2）
一様分布	約 1.55×10^{-4}
正規分布	約 2.98×10^{-4}

航空機落下確率評価における標的面積の考え方について

1. 基準の要求事項

航空機落下確率評価に用いる基準及び航空機墜落による火災影響評価に用いる基準の要求事項は，それぞれ以下のとおり。

(1) 航空機落下確率評価

○実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（平成 21 年 6 月 30 日原子力安全・保安院制定）

解説４－３　離着陸時及び巡航中の計器飛行方式民間航空機の原子炉施設への落下確率評価における入力パラメータ等に関する考え方（第４章）

(4) 原子炉施設への標的面積（A）

原子炉施設への航空機落下に対する影響評価を行う場合において、航空機落下事故時の安全性を確保する観点から重要なのは、大量の放射性物質を蓄えている炉心や使用済燃料プールを保護すること、並びに、原子炉の安全停止（炉心冷却も含む。）を確保することである。したがって、原子炉施設への航空機落下確率評価では、これらを踏まえ、安全上重要な構築物、系統及び機器の設置状況、航空機の大きさ、突入する角度、滑り込み等を勘案して標的面積を決める必要がある。（以下略）

(2)　外部火災影響評価

○原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）

附属書Ｃ　原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について

１．総則

（中略）

本評価ガイドは、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、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設（本評価ガイドにおける「原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。）に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2.　航空機落下確率評価における標的面積

1.(2)の基準を踏まえ，航空機墜落による火災影響評価においては，以下の屋外の外部事象防護対象施設等を標的対象として選定する。

・原子炉建屋

・使用済燃料乾式貯蔵建屋

・海水ポンプ室

・タービン建屋（第 1 図，第 2 図参照）

・主排気筒

なお，評価対象施設のうち放水路ゲートについては，津波の流入を防ぐための閉止機能を有している。航空機落下を起因として津波が発生することは

ないこと及び放水路ゲートは，大量の放射性物質を蓄えておらず，原子炉の安全停止（炉心冷却を含む。）機能を有していないため，航空機落下確率を算出する標的面積として選定しない。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能については，以下のとおり使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の東海第二発電所原子炉施設と独立していることから，航空機落下確率評価においては使用済燃料乾式貯蔵建屋単独で評価を実施することとした。

① 使用済燃料乾式貯蔵建屋は，使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の東海第二発電所原子炉施設の安全機能に直接的に影響を及ぼすものではなく，また，乾式貯蔵容器本体で安全機能（臨界防止機能，密封機能，遮蔽機能，除熱機能）を確保する設計である。

② 使用済燃料乾式貯蔵建屋の監視設備（乾式貯蔵容器の一・二次蓋間圧力，乾式貯蔵容器の表面温度等）及び火災防護設備（火災報知器）への電源供給については，全交流動力電源喪失時においては，事象発生後 30 分は専用の蓄電池から供給可能だが，その後は東海第二発電所の非常用ディーゼル発電機から給電する設計である。ただし，監視設備及び火災防護設備（火災報知器）は状態監視用であり，その機能喪失は乾式貯蔵容器の安全機能に影響を及ぼすものではない。

一方，従来の航空機落下確率評価においては，1.(1)の基準を踏まえ，以下を評価対象としていた。

・原子炉建屋

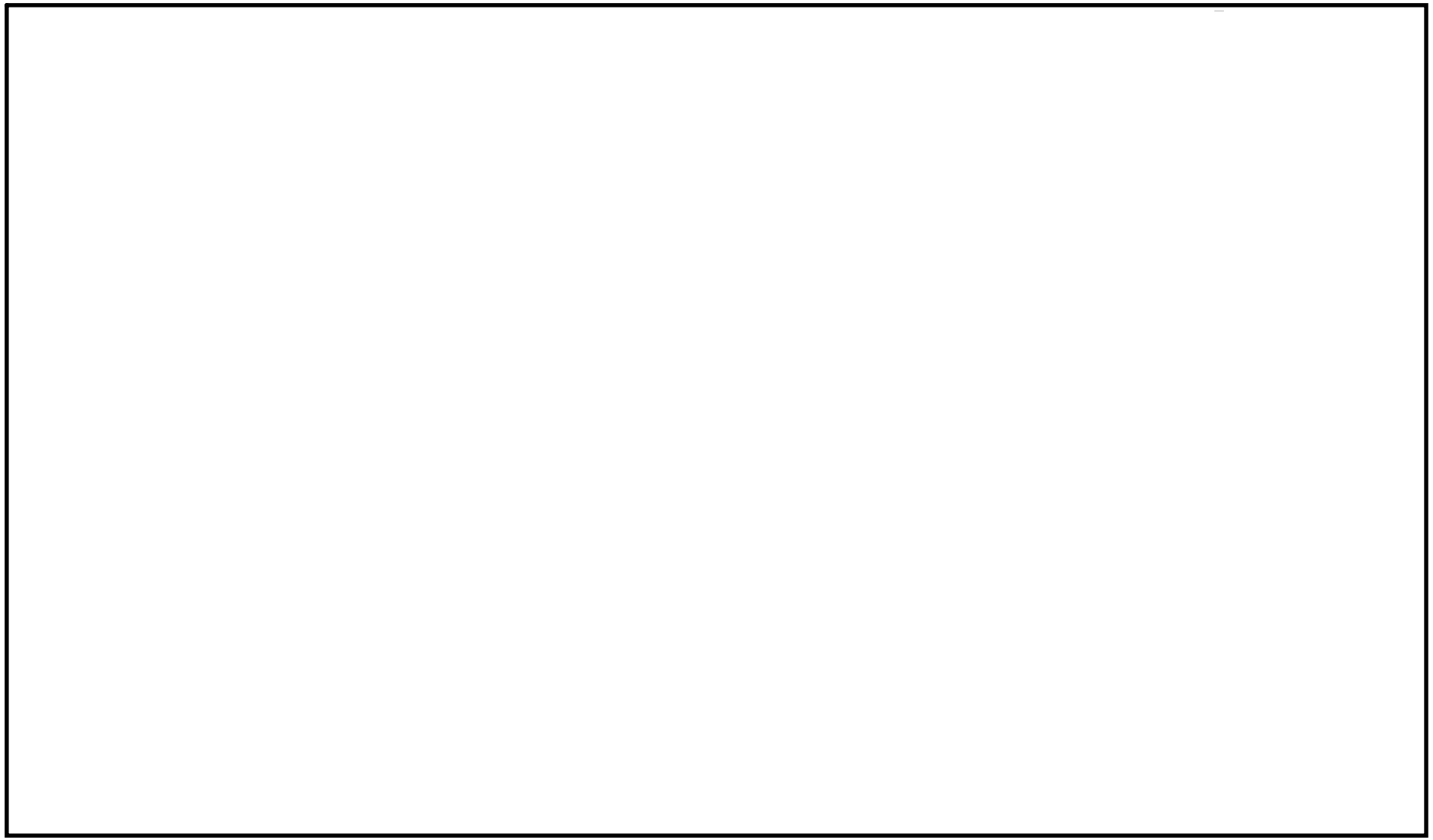
・タービン建屋（第 2 図参照※1）

・海水ポンプ室

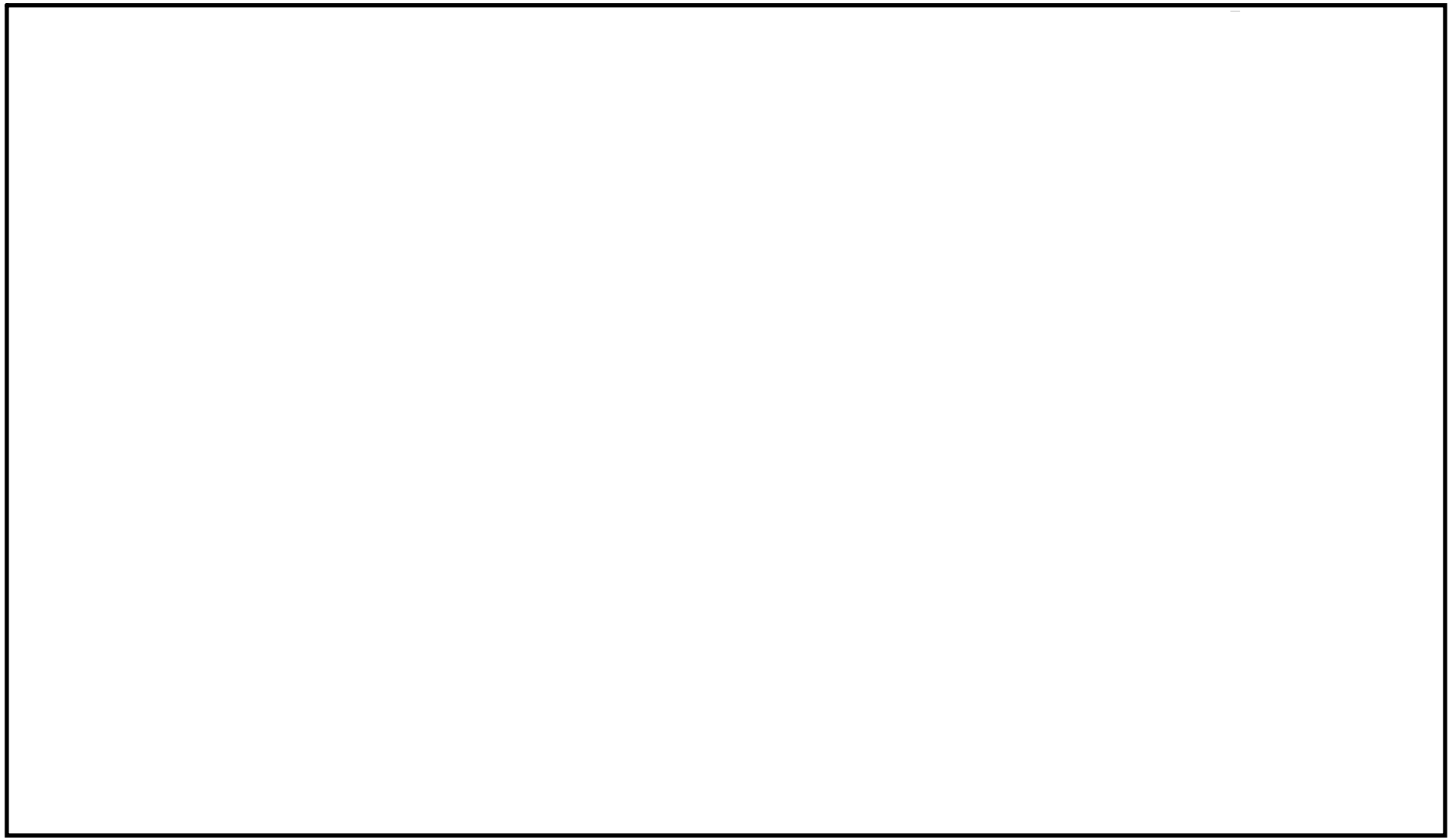
・使用済燃料乾式貯蔵建屋※2

※1 原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器を含む区画

※２ 使用済燃料乾式貯蔵建屋が各発電用原子炉施設から独立して設置されているため，平成 21 年の実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価の際は個別に航空機落下確率を評価した



第１図　タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上１階）



第２図　タービン建屋内の原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器の配置

評価対象となる航空路等の飛行回数

評価対象となる航空路等	ピークデイの飛行回数※1	年間飛行回数※2
直行経路 （IWAKI(IXE)－SWAMP)	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：0（9 月 19 日）	182.5
直行経路 （IWAKI(IXE)－ KISARAZU(KZE))	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：0（9 月 19 日）	182.5
広域航法経路　Y30 （LOTUS－SWAMP)	H24 年上半期：0（6 月 8 日） H24 年下半期：3（9 月 19 日）	1,095

※１　国土交通省航空局に問合せ入手したデータ。ここで，ピークデイとは，東京航空交通管制部が全体として取り扱った交通量が半年間で最も多かった日のこと。

※２　ピークデイの飛行回数（0 回の場合は，0.5 回とした）を 365 倍した値。

有視界飛行方式民間航空機　大破事故概要

（平成 5 年～平成 24 年）

（大型固定翼機）

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	－	－

（大型回転翼機）

発生年月日	場 所	型 式
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS332L1

（小型固定翼機）

発生年月日	場 所	型 式
平成 6 年 4 月 6 日	広島県佐伯郡	セスナ式 208B
平成 6 年 5 月 7 日	高知県吾川郡池川町	セスナ式 172P
平成 7 年 7 月 29 日	北海道赤平市	パイパー式 PA-28-140
平成 7 年 10 月 9 日	北海道中川郡豊頃町	ピッツ式 S-2B
平成 8 年 2 月 9 日	長崎県東彼杵群川棚町	ﾌﾞﾘﾃﾝﾉｰﾏﾝ式 BN-2B-20
平成 8 年 11 月 20 日	静岡県伊東市	セスナ式 172K
平成 9 年 8 月 21 日	茨城県竜ケ崎市	パイパー式 PA-28-140
平成 9 年 10 月 26 日	鹿児島県垂水市	セスナ式 152
平成 9 年 11 月 2 日	熊本県八代郡	セスナ式 172N
平成 10 年 3 月 21 日	高知県室戸市	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36TC
平成 10 年 4 月 20 日	滋賀県琵琶湖	セスナ式 177RG
平成 10 年 8 月 25 日	岐阜県大野郡荘川村	パイパー式 PA-28-161
平成 10 年 9 月 23 日	大阪府高槻市	セスナ式 P210N
平成 10 年 9 月 24 日	茨城県霞ケ浦	ソカタ式 TB10
平成 11 年 3 月 24 日	大分県大分郡野津原町	セスナ式 172M
平成 11 年 8 月 1 日	大分県大分郡庄内町	富士重工式 FA-200-180
平成 11 年 8 月 13 日	長野県斑尾山	セスナ式 172P
平成 13 年 3 月 25 日	香川県小豆群上庄町豊島	パイパー式 PA-28-181
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	セスナ式 172P
平成 13 年 8 月 16 日	岡山県久米郡柵原町	セスナ式 172NAT
平成 14 年 1 月 4 日	熊本県琢磨群琢磨村	セスナ式 172P
平成 14 年 3 月 1 日	北海道帯広市美栄町	ｽﾘﾝｸﾞｽﾋﾞｰ式 T67MMKⅡ
平成 14 年 6 月 23 日	山梨県南巨摩群南部町	ソカタ式 TB21
平成 15 年 3 月 24 日	茨城県那珂郡緒川町	ｶﾞﾙﾌｽﾄﾘｰﾑｺﾏﾝﾀﾞｰ式 695
平成 15 年 7 月 11 日	宮崎県宮崎市	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36
平成 16 年 1 月 22 日	山梨県甲府市	セスナ式 172P
平成 16 年 9 月 11 日	兵庫県養父市	セスナ式 172M
平成 16 年 9 月 20 日	兵庫県三原郡南淡町	ソカタ式 TB10
平成 17 年 3 月 2 日	大阪市平野区瓜破	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 E33
平成 19 年 9 月 1 日	宮崎空港南東約 1nm の海上	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36
平成 19 年 11 月 15 日	岐阜県中津川惠郡山山頂付近	セスナ式 404
平成 22 年 7 月 28 日	北海道松前郡福島町岩部岳東方の山中	セスナ式 TU206G

発生年月日	場 所	型 式
平成 23 年 1 月 3 日	熊本空港から北東約 14km の矢護山南南東斜面	パイパー式 PA-46-350P
平成 23 年 7 月 26 日	静岡市清水区の興津川河口から富士川河口沖の駿河湾	ｴｸｽﾄﾗ式 EA300/200 型
平成 23 年 7 月 28 日	北海道河西郡芽室町剣山山中	ﾋﾞｰﾁｸﾗﾌﾄ式 A36 型

（小型回転翼機）

発生年月日	場 所	型 式
平成 5 年 7 月 27 日	福島県双葉郡大熊町	ベル式 206B
平成 5 年 12 月 23 日	岐阜県郡山郡八幡町	ロビンソン式 R22Beta
平成 6 年 10 月 18 日	大阪府泉佐野市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS355F1
平成 6 年 11 月 13 日	鹿児島県大島郡笠利町	ベル式 206B
平成 8 年 4 月 27 日	長野県長野市篠ノ井	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS355F1
平成 8 年 6 月 10 日	鹿児島県鹿児島市岡之原町	ロビンソン式 R22Beta
平成 9 年 1 月 24 日	愛知県岡崎市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS365N2
平成 9 年 5 月 21 日	長野県茅野市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 SA315B ｱﾙｳｪｯﾄⅢ
平成 9 年 7 月 3 日	三重県名張市	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 SA315B ｱﾙｳｪｯﾄⅢ
平成 10 年 5 月 3 日	神奈川県横須賀市津久井浜	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS350B
平成 12 年 4 月 24 日	三重県長島町木曽川左岸の河原	ヒューズ式 269C
平成 12 年 11 月 9 日	岐阜県郡上郡高鷲村	ロビンソン式 R22Beta
平成 14 年 5 月 5 日	愛媛県松山空港の西南西 16km 付近海上	ロビンソン式 R44
平成 14 年 6 月 12 日	新潟県東蒲原郡上川村	ベル式 206L-4
平成 16 年 3 月 7 日	長野県木曽郡南木曽町	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS355F1
平成 16 年 12 月 24 日	佐賀県有明海海上	ロビンソン式 R44
平成 17 年 5 月 3 日	静岡県静岡市清水区草薙	アグスタ式 A109K2
平成 19 年 6 月 2 日	岐阜県中津川市岐阜中津川場外離着陸場の北約 1.3km 付近	ベル式 412
平成 19 年 10 月 27 日	大阪府堺市堺区遠里小野町 3 丁目	ロビンソン式 R22BETA
平成 19 年 12 月 9 日	静岡県静岡市葵区南沼上 988	ﾕｰﾛｺﾌﾟﾀｰ式 EC135T2
平成 20 年 7 月 6 日	青森県下北部大間町大間崎沖の海面	ｱｴﾛｽﾊﾟｼｱﾙ式 AS350B
平成 21 年 2 月 10 日	群馬県利根郡みなかみ町	ベル式 206L-3
平成 21 年 7 月 20 日	但馬飛行場の南東約 15km	ロビンソン式 R44Ⅱ
平成 22 年 8 月 18 日	香川県沖多度郡多度津町佐柳島沖	ベル式 412EP

自衛隊機及び米軍機　大破事故概要

（平成 5 年～平成 24 年）

（訓練空域外を飛行中）

●空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	－	－

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成 16 年 8 月 10 日	東京都小笠原諸島北硫黄島	S-3 バイキング

●その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
平成 9 年 1 月 13 日	宇都宮市坂戸町の鬼怒川河川敷	OH-6D
平成 13 年 2 月 14 日	千葉県市原市天羽田	AH1S,OH-6D
平成 14 年 3 月 7 日	大分県万年山山頂南東 2km	OH-6D
平成 16 年 2 月 23 日	三重県鳥羽市と磯部町の境にある青峰山の南東約 1km	AH1S
平成 17 年 4 月 14 日	新潟県阿賀町の御神楽岳斜面	MU-2
平成 17 年 9 月 18 日	長崎県佐世保市大潟町の陸上自衛隊相浦駐屯地内	AH1S
平成 19 年 3 月 30 日	徳之島天城岳山頂付近	CH-47JA

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成 6 年 10 月 24 日	高知県上佐郡吉野川	A-6
平成 11 年 1 月 21 日	岩手県釜石市橋野町山林	F-16
平成 16 年 8 月 13 日	沖縄県宜野湾市の沖縄国際大学構内	CH-53D シースタリオン
平成 20 年 10 月 24 日	沖縄県名護市真喜屋のサトウキビ畑	セスナ機

（基地－訓練空域間往復時）

・自衛隊機

発生年月日	離陸場所 （所属）	場 所	型 式
平成 9 年 8 月 21 日	木更津駐屯地 （陸自）	茨城県竜ケ崎市	OH-6D
平成 11 年 11 月 22 日	入間基地 （空自）	埼玉県狭山市入間川河川敷	T-33A
平成 12 年 3 月 22 日	松島基地 （空自）	宮城県女川町指ヶ浜山林	T-2
平成 12 年 7 月 4 日	松島基地 （空自）	宮城県牡鹿町山中	T-4
平成 13 年 9 月 14 日	小月航空基地 （海自）	山口県下関市楠乃霊鷲山西側斜面	T-5

基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下確率の推定について

1. 想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は，下式のとおり評価している。

$$Pse = fse \cdot A / Sse \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (A)$$

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A：発電用原子炉施設の標的面積（km^2）

Sse：想定飛行範囲の面積（km^2）

(A)式によると，想定飛行範囲の面積（Sse）が小さいほど，大きな落下確率となる。これは，基地－訓練空域間を簡易的に一様に飛行すると仮定しているためである。

しかし，「原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）」に示すとおり，実際には原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること，やむを得ず原子力関連施設の上空を飛行する必要がある場合には，動力装置の停止等緊急事態が発生しても原子力関連施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行することから，発電所上空を含めて基地－訓練空域間を一様に飛行することはなく，かつ，基地－訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられる。

以上のことから，想定飛行範囲の面積が小さくなるほど，より保守的な落下確率を与えることとなる。（「想定飛行面積と航空機落下確率の関係（概略図）」参照）

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

昭和44年2月6日
陸幕航第59号

改正　平成10年3月23日陸幕運第145号　平成19年1月9日陸幕法第1号
平成19年3月28日陸幕法第61号　平成21年2月3日陸幕法第10号

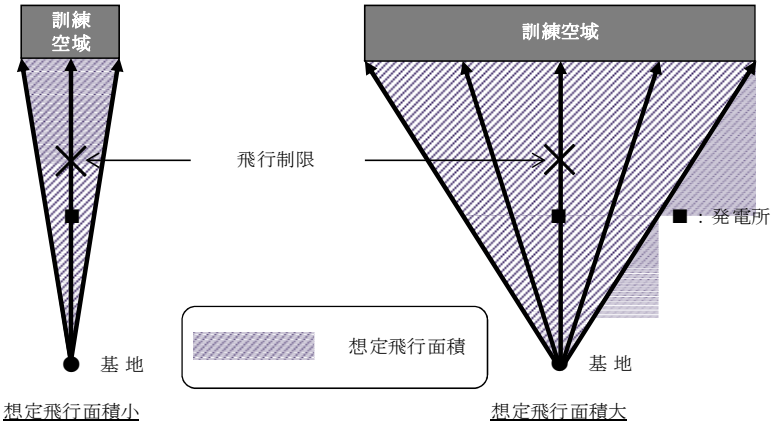
各方面総監
中央即応集団司令官　殿
中央管制気象隊長
航空学校長

陸上幕僚長の命により
総務課長

（例規99）
原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）
標記について、さきに防衛事務次官の指示に基づきその実施について通達したところであるが、その後さらに細部について示されたので、今後下記により実施されたい。
なお、陸幕航第583号（43．9．2）は廃止する。

記

1　原子力関連施設上空の飛行は、原則として行わないものとする。
2　管制機関の指示又は原子力関連施設の位置等の関係から、やむを得ずその上空を飛行する必要がある場合には、動力装置の停止等緊急事態が発生してもこれらの施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行するものとする。
3　原子力関連施設は航空路図誌（防衛省監修）に記載され、その設置・廃止等の状況は逐次追録されるので、関係者に当該施設の位置を周知徹底させるものとする。



想定飛行面積と航空機落下確率の関係（概略図）

また，新規制基準に係る適合性の審査の申請をしている発電所のうち，自衛隊機の基地－訓練空域間往復時の航空機落下確率を(A)式により評価しているプラントは，東海第二発電所を含めて6つあり，これらのプラントにおける想定飛行範囲の面積は下表のとおりである。

発電所名称	想定飛行範囲の面積（km^2）
東海第二発電所	4,540
川内原子力発電所１，２号炉	19,400
玄海原子力発電所３，４号炉	10,200
伊方発電所３号炉	40,080

上述のとおり，原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること等を踏まえると，東海第二発電所では，他プラントに比べて想定飛行範囲の面積が小さいため，他プラントの落下確率に比べてより大きな保守性を含んでいると考える。

2.　「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出について

1.のとおり，「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は大きな保守性を含んでいることから，以下を踏まえ，本航空機落下確率の算出においては，実際に落下事故実績のある全国の基地と訓練空域間を往復時の落下事故件数及び全国の基地の想定飛行範囲の面積を用いて算出した全国平均の基地－訓練空域間往復時の航空機落下確率を2倍した値（以下「全国平均の落下確率の2倍値」という。）を「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率とする。

・百里基地－訓練空域間往復時に落下事故は発生していないが，全国の基地－訓練空域間往復時に5件の落下事故が発生していること及び百里基地－訓練空域間を飛行する際の自衛隊機の機種，飛行環境が全国と比較して大きな相違がないことを考慮すると，百里基地の落下確率は全国平均に対して同程度又はそれ以下と考えられる。

・落下事故実績が存在する全国平均の落下確率を参考とし，保守性を確保するために全国平均の落下確率の2倍値を百里基地－訓練空域間往復時の落下確率として採用。

・百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲の面積が小さいこと，防衛省による原子力関連施設上空の飛行は原則として行わないよう制限されていること等を考慮すると，全国平均の落下確率の2倍値は実際の落下確率より十分高いと考えられる。

項　　目	航空機落下確率（回／炉・年）
全国平均の落下確率の2倍値	約 4.14×10^{-8} （$=3.00\times10^{-6}$（回／年・km^2）※×約 $0.0138km^2$）

※　5件／20年／$175,720km^2$＝約 1.42×10^{-6}（回／年・km^2）を保守的に2倍にし，丸めた値

2.1　全国平均の落下確率の 2 倍値を用いることの保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」は過去 20 年間落下実績がなく，航空機落下確率算出時の発生件数の与え方に不確かさが存在する一方で，全国の基地－訓練空域間の往復時は過去 20 年間で 5 件落下実績が存在する。全国平均の落下確率は，評価の母集団を大きくすることにより落下事故件数を実績値（5 件）に基づき評価していること，基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地ごとに大きく異なることは考えにくいことを考慮すると，全国平均の落下確率は国内における平均的な落下確率として信頼性があると考えるが，本評価では保守的に全国平均の落下確率の 2 倍値を用いることとする。

また，原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること，やむを得ず原子力関連施設の上空を飛行する必要がある場合には，動力装置の停止等緊急事態が発生しても原子力関連施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行することについて評価上考慮しておらず，この点においても保守性は確保されている。

2.2　他の評価手法との比較

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出に当たっては，「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準（レベル 1PRA 編）：2013」（一般社団法人　日本原子力学会）（以下「PRA 学会標準」という。）において，過去発生していない起因事象に対する起因事象発生頻度の算出方法として使用が認められている，以下の χ 二乗分布を用いた方法を使用することも考えられる。

$F = \chi^2 (1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T$　（回／年）

T：対象期間（＝20 年）

その適用性及び保守性については参考 1 のとおりであるが，χ 二乗分布を用いた方法よりも全国平均の落下確率の 2 倍値は以下のとおり大きくなっている。

項　　目	航空機落下確率（回／炉・年）
全国平均の落下確率の 2 倍値	約 4.14×10^{-8} （$=3.00 \times 10^{-6}$（回／年・km^2）$\times$約 $0.0138 km^2$）
χ 二乗分布を用いた方法	約 3.46×10^{-8} （＝0.2275 件／20 年／$4,540 km^2 \times$約 $0.0138 km^2$）

χ二乗分布を用いた方法の適用性及び保守性について

航空機落下確率評価では，過去 20 年間における落下事故件数の統計データに基づき航空機落下確率を算出しているが，平成 5 年～24 年において，以下のカテゴリについては落下事故が発生していない。

(1)計器飛行方式民間航空機の「航空路を巡航中」の落下事故

(2)有視界飛行方式民間航空機の「大型機」の落下事故（大型固定翼機）

(3)自衛隊機又は米軍機の「訓練空域外を飛行中」の「空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機」の落下事故

(4)自衛隊機又は米軍機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故

そのうち，評価上の保守性が大きい(4)のカテゴリに対する航空機落下確率の推定には，PRA 学会標準において，過去発生していない起因事象に対する起因事象発生頻度の算出方法として使用が認められている，以下のχ二乗分布を用いた方法を用いることも考えられる。このχ二乗分布を用いた方法について，その方法の適用性（1.参照）及び保守性（2.参照）を以下に示す。

$F = \chi^2(1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T$※1　（回／年）

T：対象期間（＝20 年）

※1　導出方法は参考 2 参照

1.　航空機落下確率評価へのχ二乗分布を用いた方法の適用性

PRA 学会標準の参考文献として引用されている NUREG/CR-4407“Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants”（参考 3 参照）によると，事象発生頻度の推定方法として，χ二乗分布を用いた方法を適用するためには，事象発生頻度がポアソン分布に従っていることが条件となる。

ポアソン分布は，一般的に確率が極めて小さい事象（例えば，交通事故に

よる 1 日の死亡数）の発生頻度を処理する確率モデルとして使われるが，航空機の年間の落下事故率がポアソン分布に従うかどうかを判断するために，国内における昭和 58 年～平成 23 年の 29 年間の国内の自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故率を対象に，母集団の分布形の検定に使用されるχ二乗分布を用いた適合度検定（χ二乗検定）を実施した。本検定は，観測度数と理論度数の差が有意かどうかについて，χ二乗分布を用いて検定する統計的手法である。

適合度検定の結果を下表に示す。

落下事故件数 x［件］	落下事故件数に対する実年数 f［年］	ポアソン分布 P(f)※1	ポアソン分布から推定した理論年数 e※2［年］	χ^2 ※3
0	23	約 0.759	約 22.0	約 0.0447
1	4	約 0.209	約 6.07	約 0.707
2	2	約 0.029	約 0.84	約 1.61
3	0	約 0.003	約 0.08	約 0.0770
4 以上	0	約 0.000	約 0.01	約 0.00562
合　計	29	1.00	29.0	**約 2.45**

※1　$P(x)=\dfrac{\exp(-m)\cdot m^{x}}{x!}$

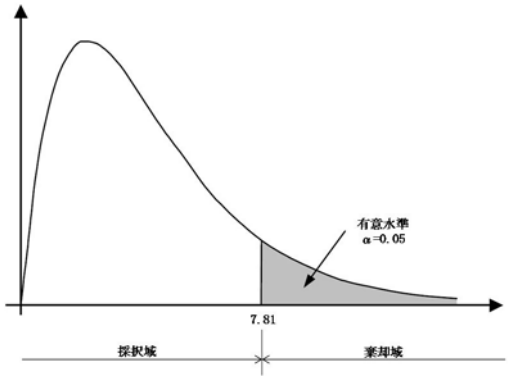
m：落下事故件数標本平均（約 0.276 件）

x：落下事故件数

※2　P(f)×29[年]

※3　（f－e）^{2}／e

検定統計量であるχ二乗分布の自由度は 3（＝（組分けの数 5）－1－推定される母数の数 1）であり，一般的に用いられる有意水準 $\alpha=0.05$ を用いると，検定の判定点は χ 二乗分布表より 7.81（＝χ^2（3，0.05））で与えられる。



χ二乗分布表

自由度	上側有意確率										
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.5	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.0039	0.0158	0.455	2.710	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01003	0.02010	0.0506	0.1026	0.211	1.386	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	0.07172	0.1148	0.2158	0.352	0.584	2.37	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	0.2070	0.2971	0.484	0.711	1.06	3.36	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	0.4117	0.554	0.831	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.8	15.1	16.8

χ二乗値は約 2.45 であり，判定点より小さいことから，観測度数（ここでは，実年数）と理論度数（ここでは，理論年数）の差は有意であるとは言えない。

したがって，国内の自衛隊機の基地－訓練空域間往復時の落下事故率にポアソン分布を当てはめることは可能であり，航空機落下確率評価にχ二乗分布を用いた方法を適用することが可能であると判断した。

2. χ二乗分布を用いた方法の保守性について

別紙 7.12 本文 1.に記載のとおり，実際には原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること等を考慮すると，基地－訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられることから，χ二乗分布を用いた方法においても保守性は確保されていると考えられる。

χ二乗分布を用いた方法による発生率の導出について

ランダムに事象が発生する場合において，事象の発生率は二項分布に従うとするのが一般的である。

また，発生件数が小さい場合には，ポアソン分布での近似が可能である。

発生率がポアソン分布に従う場合，その平均値λの 100（1－α）%信頼区間は χ 二乗分布を使用して，

$$\frac{\chi^2(2N,1-\frac{\alpha}{2})}{2T} \leqq \lambda \leqq \frac{\chi^2(2N+2,\frac{\alpha}{2})}{2T}$$　（N：発生件数，T：期間）

で表される。

点推定値は，信頼上限及び信頼下限の平均の自由度をもつχ二乗分布の中央値を用いて，

$$\lambda = \frac{\chi^2(2N+1,0.5)}{2T}$$

で表される。なお，NUREG/CR-4407 においても，点推定値の算出に信頼上限及び信頼下限の平均の自由度をもつ χ 二乗分布の中央値を用いている。

以上より，発生件数がポアソン分布に従う場合，0 件（N＝0）である場合における発生率 F は，

$$F = \frac{\chi^2(1,0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

により算出される。

【解　説】

(1)　確率分布

①　二項分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布を二項分布という。

$$p(x)={}_nC_x p^x(1-p)^{n-x} \qquad (x=0,\ 1,\ 2,\ \cdots n)$$

これは，確率 p をもつ事象が n 回の観察で x 回発生する確率を表している。

②　ポアソン分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布をポアソン分布という。

$$p(x)=\frac{e^{-m}\cdot m^x}{x!} \qquad (x=0,\ 1,\ 2,\ \cdots n,\ m \text{ は正の定数})$$

これは，単位時間中にある事象が発生する平均回数を m とするとき，単位時間中にその事象が x 回発生する確率を表している。

この分布は，非常に多くの観察回数のうち発生件数が少ない事象によく当てはまり，二項分布の平均値 m＝np を一定のままで観察回数 n を無限に大きくしたときの極限として導かれる。

なお，変数 X_1，…，X_nが平均値λのポアソン分布に従っており，それらが独立であるとき，その和 $Y=X_1+\cdots+X_n$は，平均値 nλ のポアソン分布に従い，これをポアソン分布の再生性という。

③　ガンマ分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布をパラメータ α，β の χ 二乗分布という。

$$f(x)=\frac{x^{\alpha-1}e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \qquad (x>0,\quad \alpha>0,\quad \beta>0)$$

ここで，$\Gamma(\alpha)$ はガンマ関数であり，

$$\Gamma(\alpha)=\int_0^{\infty}x^{\alpha-1}e^{-x}dx$$

で表される。

④　χ二乗分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布を自由度 m の χ 二乗分布という。

$$f(x)=\frac{1}{2^{\frac{m}{2}}\Gamma(\frac{m}{2})}x^{\frac{m}{2}-1}e^{-\frac{x}{2}} \qquad (x\geqq 0)$$

これは，α＝m／2，β＝2 の γ 分布の確率密度分布である。

(2)　区間推定

真の値がある区間に含まれる確率のことを信頼度といい，その区間の下限値を信頼下限，上限値を信頼上限という。このある区間に含まれる確率を 1－α とするとき，信頼度 100(1－α)％の信頼区間という。また，この α のことを有意水準という。

(3)　精密法によるポアソン分布の母平均 λ の区間推定

確率変数 X が母平均 λ のポアソン分布に従うとき，上側確率は以下のとおり表される。

$$P(X\geqq x)=Q(x\,;\,\lambda)=\sum_{k=x}^{\infty}\frac{e^{-\lambda}\lambda^{k}}{k!}$$

一方，パラメータ α，β のガンマ分布 GAM(α，β)に従う確率変数を G

とすると，

$$P(G \leqq \beta\lambda) = F_G(\beta\lambda\ ;\ \alpha,\beta) = \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^{\alpha-1}e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}dx$$

ここで，

$$u = \frac{e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}, \quad dv = x^{\alpha-1}dx$$

とおくと，

$$du = \frac{-e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha)}dx, \quad v = \frac{1}{\alpha}x^{\alpha}$$

であるから，部分積分を用いて，

$$F_G(\beta\lambda\ ;\ \alpha,\beta) = \left[\frac{x^{\alpha}e^{-\lambda}}{\alpha\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}\right]_0^{\beta\lambda} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^{\alpha}e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha)}dx$$

$$= \frac{(\beta\lambda)^{\alpha}e^{-\lambda}}{\alpha\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^{\alpha}e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha)}dx$$

$$= \frac{\lambda^{\alpha}e^{-\lambda}}{\alpha!} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^{\alpha}e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1}\Gamma(\alpha+1)}dx$$

$$= \frac{\lambda^{\alpha}e^{-\lambda}}{\alpha!} + \Gamma_G(\beta\lambda\ ;\ \alpha+1,\beta)$$

となるから，

$$Q(x\ ;\ \lambda) = \sum_{\alpha=x}^{\infty} \frac{\lambda^{\alpha}e^{-\lambda}}{\alpha!} = \sum_{\alpha=x}^{\infty} \left[F_G(\beta\lambda\ ;\ \alpha,\beta) - F_G(\beta\lambda\ ;\ \alpha+1,\beta)\right]$$

$$= F_G(\beta\lambda\ ;\ \alpha,\beta)$$

の関係が得られる。

また，ガンマ分布でα＝m／2，β＝2 のとき，GAM(α，β)は自由度 m の χ 二乗分布になることに注目すると，

$$x=\frac{m}{2}\ ,\quad \beta=2$$

とおけば，$m=2x$，$\beta\lambda=2\lambda$ となるから，

$$Q(x\ ;\ \lambda)=F_{\chi^2}(2\lambda\ ;2x)$$

と，ポアソン分布の上側確率は，自由度 2x の χ 二乗分布の 2λ までの累積確率で表される。

ここで，ポアソン分布の再生性（(1)②参照）より，

$$P(Y\geqq y)=F_{\chi^2}(2n\lambda\ ;2y)\ =P(\chi^2_{2y}\leq 2n\lambda)$$

が成り立つ。この関係から，

$$P(Y\leqq y)=1-P(Y\geq y+1)\ =1-P(\chi^2_{2(y+1)}\leq 2n\lambda)$$

$$=P(\chi^2_{2(y+1)}\geq 2n\lambda)$$

より，

$$P(Y\leqq y)=\frac{\alpha}{2}=P(\chi^2_{2(y+1)}\geqq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(2(y+1),\frac{\alpha}{2})\geqq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(2(y+1),\frac{\alpha}{2})}{2n}\geqq\lambda$$

となり，同様に，

$$P(Y\geqq y+1)=1-P(Y\leqq y)=1-P(\chi^2_{2y}\geqq 2n\lambda)$$

$$=P(\chi^2_{2y}\leqq 2n\lambda)$$

より，

$$P(Y\geqq y+1)=\frac{\alpha}{2}=P(\chi^2_{2y}\leqq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(1-\frac{\alpha}{2},2y) \leqq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(1-\frac{\alpha}{2},2y)}{2n} \leqq \lambda$$

となる。

以上より，ポアソン分布の平均値λの(1－α)×100%信頼区間は，

$$P(\frac{1}{2n}\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2y) \leqq \lambda \leqq \frac{1}{2n}\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2(y+1)) = 1-\alpha$$

で表される。（出典：蓑谷千凰彦，「数理統計ハンドブック」，みみずく舎，2009 年）

NUREG/CR-4407 の概要について

NUREG／CR-4407”Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants”は，確率論的リスク評価で使用する安全上重要な配管の破損頻度をデータの収集及び統計的な分析により推定することを目的として実施された研究の成果をまとめた報告書である。

本報告書では，破損が発生していないカテゴリの配管破損の発生頻度の点推定値について以下の式を用いて整理している。

$$F = \frac{\chi^2(1,0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

なお，本報告書では配管破損の発生頻度の点推定値に対してχ二乗分布を用いた方法を採用しているが，航空機落下事故についても配管破損と同様に発生頻度が小さい事象であり，ポアソン分布に従うことから，航空機落下事故の発生頻度の点推定値に対してχ二乗分布を用いた方法を採用することは可能であると考えられる。

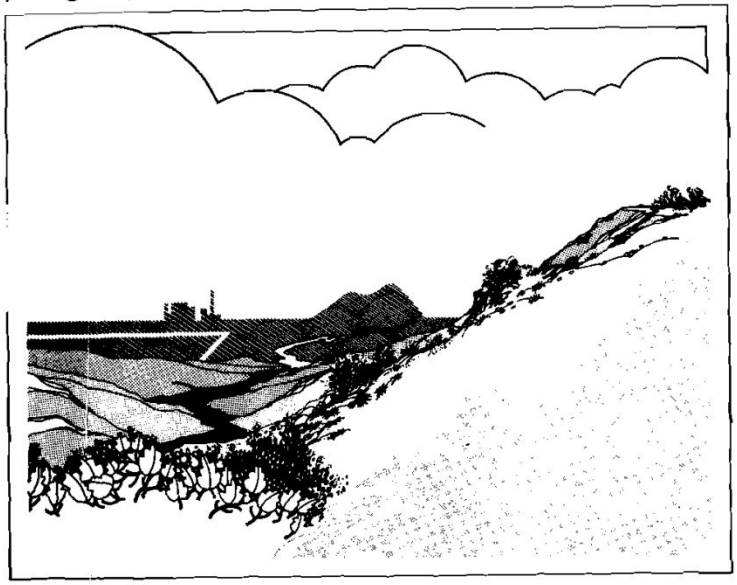
(NUREG／CR-4407 抜粋)

NUREG/CR-4407
EGG-2421
May 1987

Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants

Ronald E. Wright
Judy A. Steverson
William F. Zuroff

F O R M A L R E P O R T



EG&G Idaho

Work performed under
DOE Contract No. DE-AC07-76ID01570

for the U.S. Nuclear Regulatory Commission

Idaho National Engineering Laboratory

Managed by the U.S. Department of Energy

CONTENTS

ABSTRACT ii

EXECUTIVE SUMMARY iii

ACKNOWLEDGMENTS vi

INTRODUCTION 1

OVERALL METHODOLOGY 3

FAILURE DATA 7

POPULATION DATA 11

RESULTS 22

REFERENCES 28

APPENDIX A—USING SUBJECTIVE DATA TO ESTIMATE PIPE BREAK FAILURE RATES A-1

APPENDIX B—INFORMATION PROVIDED TO QUESTIONNAIRE RESPONDENTS B-1

APPENDIX C—QUESTIONNAIRE RESPONSES C-1

APPENDIX D—NARRATIVE SUMMARIES OF PIPE BREAK EVENTS D-1

APPENDIX E—SUMMARIES OF SELECTED PIPE BREAK STUDIES E-1

APPENDIX F—FAILURE RATE ESTIMATION METHODS F-1

Table 15. Frequencies of pipe breaks categorized by leak rate

Leak Rate	Numerator (N failures)	Denominator (T operating years)	Lower Bound $\chi^2_{(0.05,\,2N)}/2T$	Point Estimate[a]	Upper Bound $\chi^2_{(0.95,\,2N+2)}/2T$
PWR					
Non-LOCA[b]					
≥1, <15 gpm	5	484.73	0.0041	0.0103	0.0217
≥15 gpm	4	484.73	0.0028	0.0083	0.0189
LOCA[c]					
50 to 500 gpm	0	484.73	0	0.0005	0.0062
>50 gpm	0	484.73	0	0.0005	0.0062
BWR					
Non-LOCA[b]					
≥1, <15 gpm	1	313.36	0.002	0.0032	0.0151
≥15 gpm	9	313.36	0.0150	0.0287	0.0501
LOCA[c]					
500 to 5000 gpm	0	313.36	0	0.0007	0.0096
> 5000 gpm	0	313.36	0	0.0007	0.0096

a. Point estimate $\lambda = N/T$ if $N > 0$; if $N = 0$, $\lambda = \chi^2_{(0.50,\,2N+1)}/2T$.

b. Non-LOCA systems are those systems that if disabled, could not mitigate a LOCA (see Table 1).

c. LOCA systems are those systems susceptible to piping failures that could result in loss of reactor coolant (see Figure 1).

APPENDIX F

FAILURE RATE ESTIMATION METHODS

METHODS USED

This appendix shows the methods used to estimate the pipe failure rates using the observed failure data and the operating experience.[F-1]

The following well-known statistical methods were used for Type-I censored data with replacement.[F-2] The general methods for estimating rates on a yearly basis and on a transient basis are

$$\lambda(\text{yearly}) = \frac{N}{T} \qquad \text{(F-1)}$$

$$\lambda(\text{transient}) = \frac{N}{D} \qquad \text{(F-2)}$$

where

λ = estimated failure rate

N = number of reported pipe failures

T = total number of operating years experienced

D = total number of transients.

Confidence limits for yearly failure rates were based on the assumption that the underlying pipe failure time distributions are exponential and, therefore, that the resulting data can be represented by a Poisson process. In transient evaluations, N is assumed to be binomially distributed. However, because the probability of failure is small, the Poisson distribution may be used to approximate this variable for cases where the number of transients is large. The generalized formulas for estimating $100(1 - \alpha)\%$ confidence limits on the failure rates are

$$\frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2T} \leq \lambda(\text{yearly}) \leq \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2T} \qquad \text{(F-3)}$$

and

$$\frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2D} \leq \lambda(\text{transient}) \leq \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2D}, \qquad \text{(F-4)}$$

where

$\chi^2_a(b)$ = the chi-square variate at cumulative probability "a", with "b" degrees of freedom.

In these equations, α is the fraction left out of the intervals. For example, with 90% confidence limits, α is 0.10, $\alpha/2$ is 0.05, and upper limit uses the 95th percentile.

If D, the number of transients, is small, then the Poisson approximation of the binomial distribution is not adequate, and $100(1 - \alpha)\%$ confidence limits for the transient failure rate are

$$\frac{NF_L}{D - N + 1 + NF_L} \leq (\text{transient}) \leq \frac{(N + 1)F_U}{D - N + (N + 1)F_U} \qquad \text{(F-5)}$$

where

$F_L = F_{\alpha/2}(2N, 2D - 2N + 2)$

$F_U = F_{1-\alpha/2}(2N + 2, 2D - 2N)$

$F_a(b,c)$ = F variate at cumulative probability "a", with "b" and "c" degrees of freedom.

As before, for 90% confidence limits, the 0.05 and 0.95 quantities are used ($\alpha = 0.10$).

In this study, yearly rate confidence limits were always based on Equation (F-3). Transient rate confidence limits were based on Equation (F-4) if $D - N \geq 100$, and on Equation (F-5) otherwise.

The lower limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5) are not defined in cases where no failures are observed

(N = 0). Zero is the appropriate lower limit in these cases. However, Equations (F-1) and (F-2) also give zero as the point estimate when N = 0. More realistic point estimates for such cases are

$$\lambda = \frac{\chi^2_{0.50}(2N + 1)}{2T} \quad , \tag{F-6}$$

$$\lambda = \frac{\chi^2_{0.50}(2N + 1)}{2D} \quad , \tag{F-7}$$

and

$$\lambda = \frac{(2N + 1)F_M}{2D - 2N + 1 + (2N + 1)F_M} \quad , \tag{F-8}$$

where

F_M = $F_{0.50}(2N + 1, 2D - 2N + 1)$ and the F and χ^2 distribution percentile and degree of freedom notations are as defined above.

Equation (F-6) applies for yearly rates and is used with the upper bound from Equation (F-3). For transients, Equation (F-7) is used with the upper bound from Equation (F-4) and Equation (F-8) is used with Equation (F-5). Equations (F-6) and (F-7) are applicable to events occurring according to a Poisson distribution regardless of the number of failures observed. A similar comment applies to Equation (F-8) and the binomial distribution. Typical estimates from Equation (F-6) are in the following table for comparison with Equation (F-1). Equation (F-6) has been used in other failure data studies, such as Reference F-3.

N	λ
30	30.15/T
20	20.15/T
10	10.15/T
5	5.15/T
2	2.18/T
1	1.19/T
0	0.23/T

The estimates of Equations (F-6) through (F-8) can be obtained in two ways. The first is to consider shrinking the confidence intervals of Equations (F-3), (F-4), and (F-5) to the case where $\alpha = 1.00$ and both $\alpha/2$ and $1 - \alpha/2$ are 0.5. Because of the differing degrees of freedom, the intervals do not shrink to a single point. The equations use an average for the differing degrees of freedom. Because the estimates use 50th percentiles, they are related to medians.

The second way of considering Equations (F-6) through (F-8) uses the medians directly. In a Bayesian context, λ is regarded as a random variable. With Poisson sampling and a noninformative conjugate prior distribution, the posterior distribution for the occurrence rate has a gamma distribution with parameters[F-4]

$$(\alpha,\beta) = (N + 1/2, 1/T). \tag{F-9}$$

Because the gamma distribution with parameters (N,2) is identical to the chi-square distribution with 2N degrees of freedom,[F-5] Equation (F-6) can be shown to be the median of the distribution described by Equation (F-9). Using a similar relation between β and F distributions, Equation (F-8) can be derived as the median of the posterior failure rate distribution obtained in sampling from a binomial distribution with a noninformative conjugate prior distribution.

In summary, Equations (F-6), (F-7), and (F-8) describe median-point estimates for the failure rate. They can be used when N = 0, and are more conservative in that case than the point estimates given in Equations (F-1) and (F-2). In this work, they are used with the upper confidence limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5), respectively, whenever no failures are observed.

In estimating the above confidence limits, all components in the sample were assumed to have exactly the same true failure rate. No effort was made to account for possible variations arising from the mixture of populations having different true failure rates. For further discussion of the assumptions and limitations of these confidence limits, see References F-2 through F-6.

REFERENCES

F-1. S. R. Brown, M. Trojovsky, *Data Summaries of Licensee Event Reports of Inverters at U.S. Commercial Nuclear Power Plants January 1, 1976 to December 31, 1982*, NUREG/CR-3867, Idaho National Engineering Laboratory, August 1984.

F-2. L. J. Bain, *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models*, New York: Marcel Dekker, Inc., p. 157.

F-3. *NPRDS 1978 Annual Reports of Cumulative System and Component Reliability*, NUREG/CR-0942, Southwest Research Institute, September 1979.

F-4. G. E. P. Box and G. C. Tiao, *Bayesian Inference in Statistical Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1973.

F-5. N. R. Mann, R. E. Shafer, N. D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974.

F-6. N. L. Johnson and S. Kotz, *Discrete Distributions*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1969, pp. 58-59 and 96.

外部火災影響評価で考慮する落下事故カテゴリの
航空機落下確率評価結果

東海第二発電所の航空機落下確率評価結果及び標的面積を下表に示す。

なお，航空機落下に対する設計上の考慮の要否を確認するための従来の評価では，落下事故が発生していないカテゴリに対して発生件数を 0.5 件としていたが，別紙 7.16 に記載のとおり「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の評価では，想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性等を踏まえ，全国平均の落下確率の 2 倍値を用いている。

航空機落下確率評価結果

単位：回／炉・年

落下事故のカテゴリ		落下確率	
		発電用原子炉施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。）	使用済燃料乾式貯蔵建屋
1)計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時における落下事故	約 3.98×10^{-9}	約 1.80×10^{-9}
	② 航空路を巡航中の落下事故	約 5.93×10^{-11}	約 4.30×10^{-11}
2)有視界飛行方式民間航空機		約 1.37×10^{-8}	約 9.95×10^{-9}
3)自衛隊機又は米軍機	① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	約 2.56×10^{-8}	約 1.86×10^{-8}
	② 基地－訓練空域間往復時	約 4.14×10^{-8}	約 3.00×10^{-8}
合　　計		約 8.5×10^{-8}	約 6.1×10^{-8}

航空機落下確率評価に係る標的面積

単位：m^2

	原子炉建屋	タービン建屋	海水ポンプ室	主排気筒	合　計※
水平面積	約 4,489	約 7,315	約 1,212	約 784	約 13,800
投影面積	約 6,940	約 8,394	約 1,212	約 5,599	約 22,145

※　使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平面積及び投影面積は，それぞれ約 1,399m^2及び約 1,887m^2

添付資料-8

ばい煙及び有毒ガスの影響について

1. 目　　的

外部火災で発生するばい煙及び有毒ガスは，火炎により発生する上昇気流によって上空に運ばれるため，ばい煙及び有毒ガスが防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが，保守的にばい煙及び有毒ガスが設備並びに居住性に与える影響について，評価を実施する。

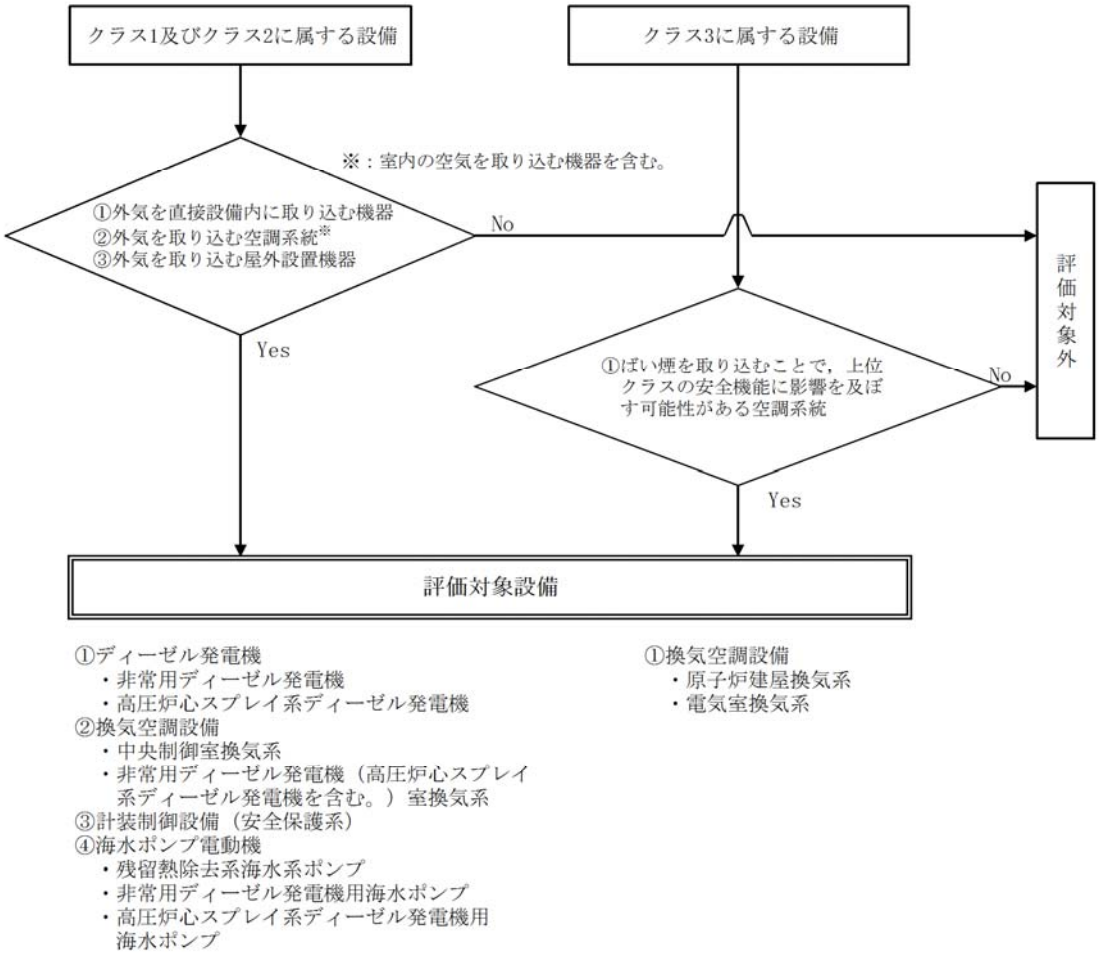
2. 評価対象

評価ガイドでは，ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として，燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）の故障，有毒ガスによる影響等が挙げられている。

ばい煙の影響が想定される設備として，「外気を直接設備内に取り込む機器」，「外気を取り込む空調系統（室内の空気を取り込む機器を含む。）」及び「屋外設置機器」について評価を実施する。また，建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。評価対象設備を第 2-1 表に，評価対象設備抽出フロー図を第 2-1 図に示す。

第 2-1 表　ばい煙による評価対象設備

分　類		評価対象設備
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
	外気を取り込む空調系統（室内の空気を取り込む機器を含む。）	・換気空調設備 ・計測制御設備（安全保護系）
	屋外設置機器	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	中央制御室，緊急時対策所



第 2-1 図　機器への影響評価を行う評価対象設備抽出フロー図

3.　評価結果

3.1　外気を直接設備内に取り込む機器

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の吸気系統は，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口を介して吸気している。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口のフィルタ（粒径 5μm 以上において約 56%捕獲）で粒径の大きいばい煙粒子は捕獲される。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）

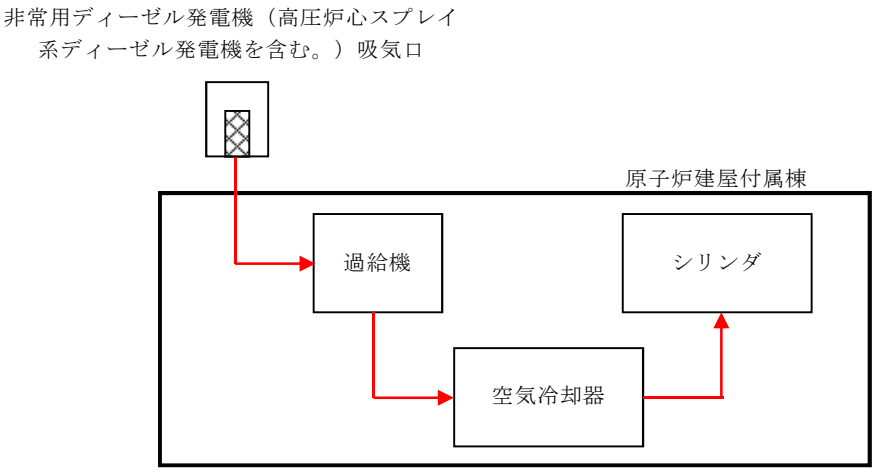
吸気口のフィルタを通過したばい煙（数μm～10 数μm）が過給機，空気冷却器に侵入するが，それぞれの機器の間隙は，ばい煙に比べて十分大きく，閉塞に至ることはない。

シリンダ／ピストン間隙まで到達したばい煙（数μm～10 数μm）は，当該間隙内において摩擦発生が懸念されるが，ばい煙粒子の主成分は炭素であり，シリンダ／ピストンより軟らかいため，ばい煙粒子による摩擦が発生することはないと判断される。

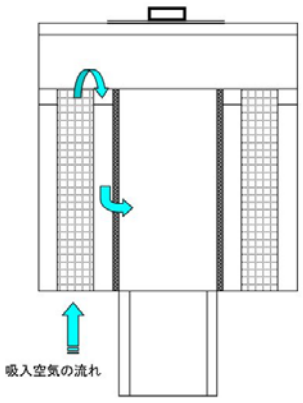
また，通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが，定期的な点検において，ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。

以上のことから，外部火災で発生するばい煙が，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の機能に影響を与えることはないと判断した。

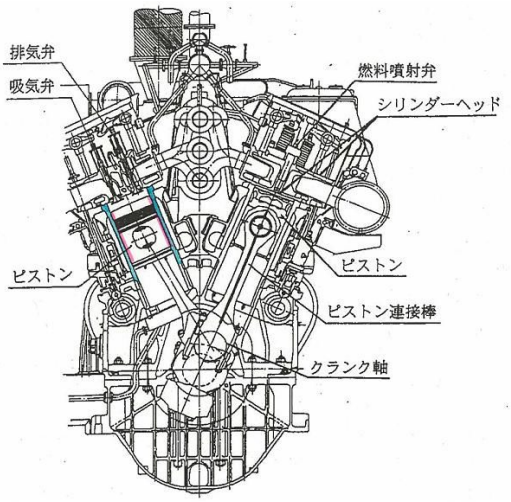
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気系統概略図を第 3.1-1 図に，系統構造図を第 3.1-2 図に示す。



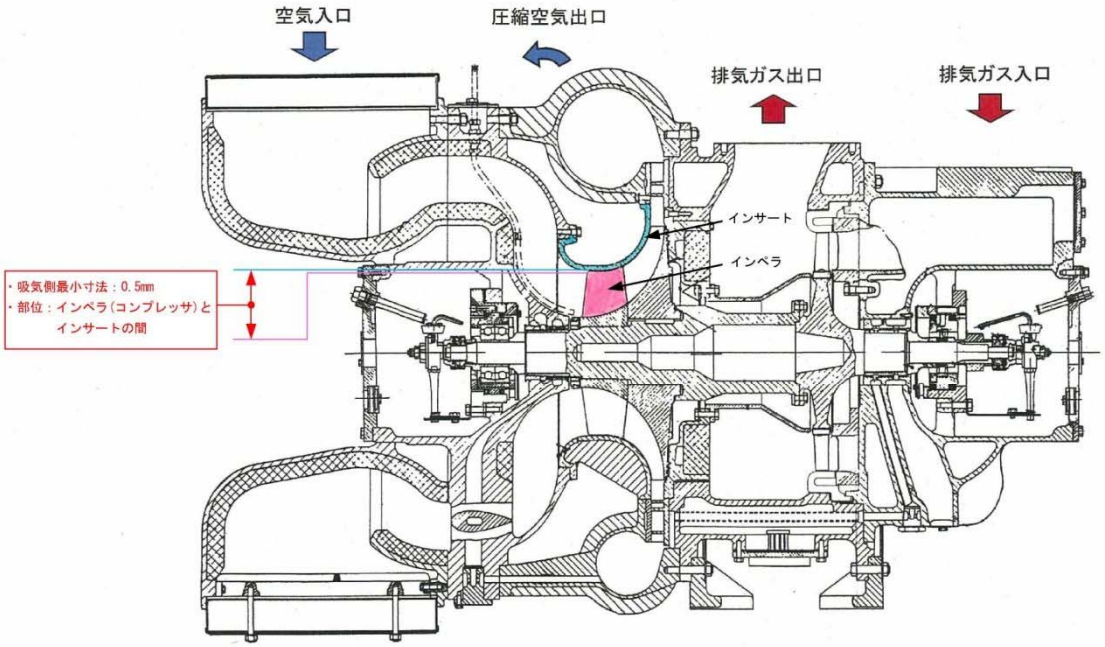
第 3.1-1 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気系統概略図



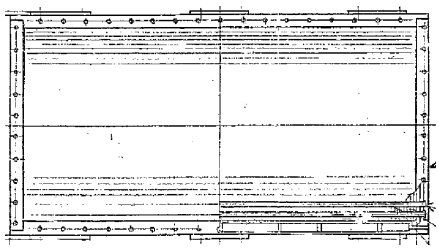
吸気口構造



シリンダ構造
（シリンダ／ピストン間隙：数μm～10 数μm）



過給機断面



空気冷却器構造
（狭隘部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm）

第 3.1-2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気系統構造図

3.2　外気を取り込む空調系統

3.2.1 換気空調設備

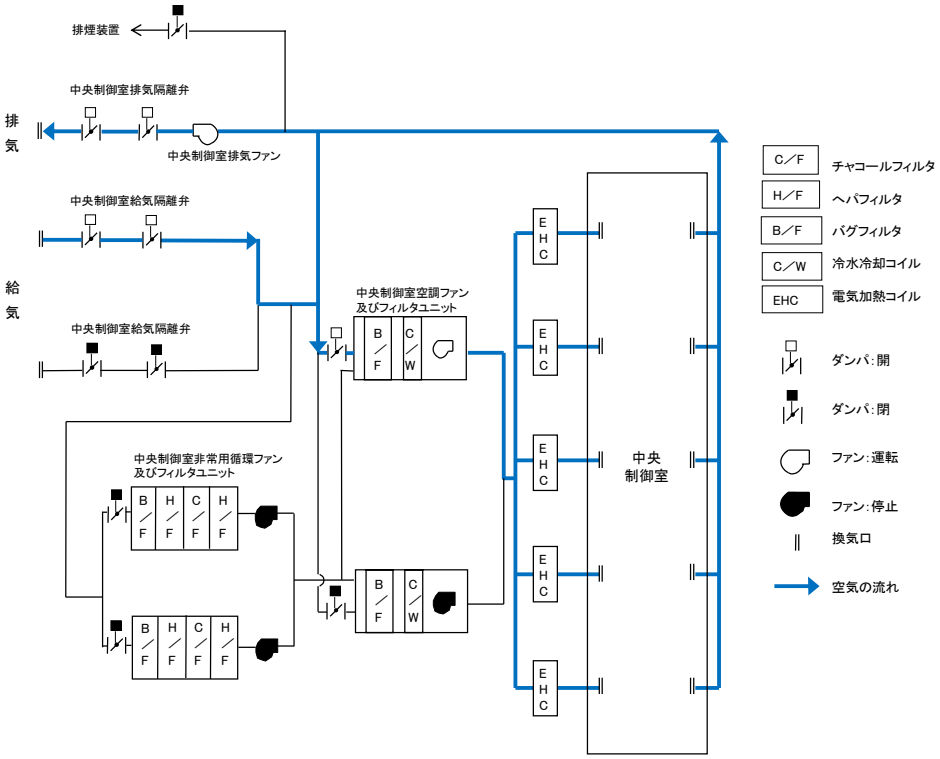
(1)　中央制御室換気系，電気室換気系及び原子炉建屋換気系

これらの系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。

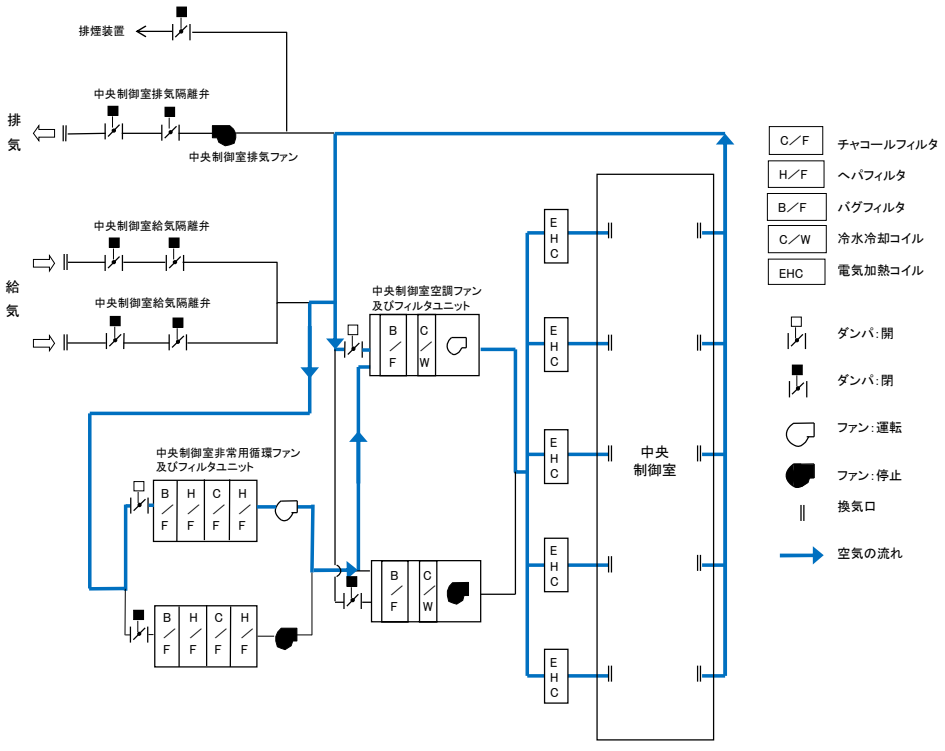
フィルタは捕集率 80％以上（ＪＩＳ　Ｚ　8901 試験用紛体 11 種 粒径約 2μm）の性能を有しているため，外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は，このフィルタにより侵入を阻止可能である。また，ばい煙によるフィルタの閉塞については，フィルタ出入口差圧又は排気ファン出口流量を監視することで検知可能である。

中央制御室換気系については，隔離弁を閉止し，閉回路循環運転を行うことにより，ばい煙等の侵入を阻止可能である。

中央制御室換気系の系統概略図を第 3.2-1 図に，原子炉建屋換気系の系統概略図を第 3.2-2 図に，電気室換気系の系統概略図を第 3.2-3 図に示す。

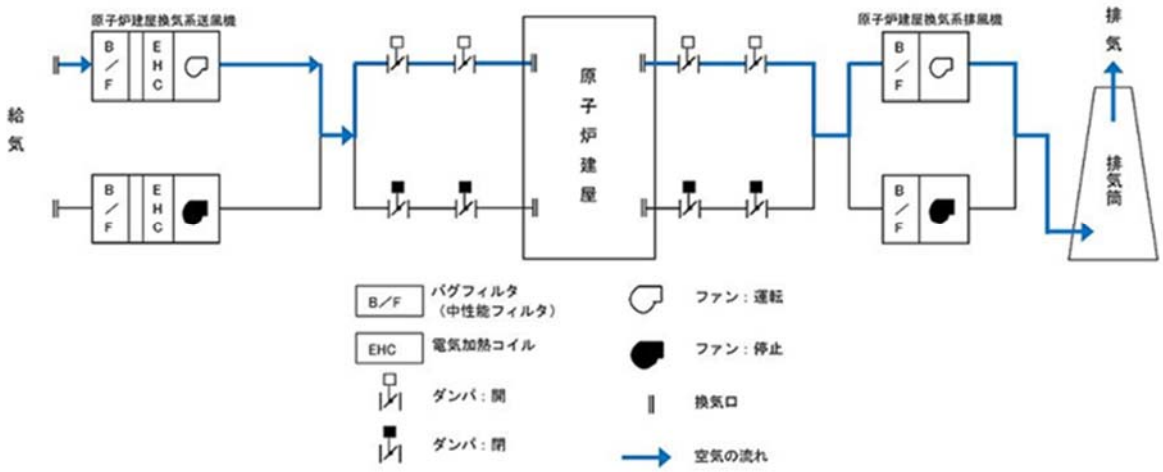


（通常時）

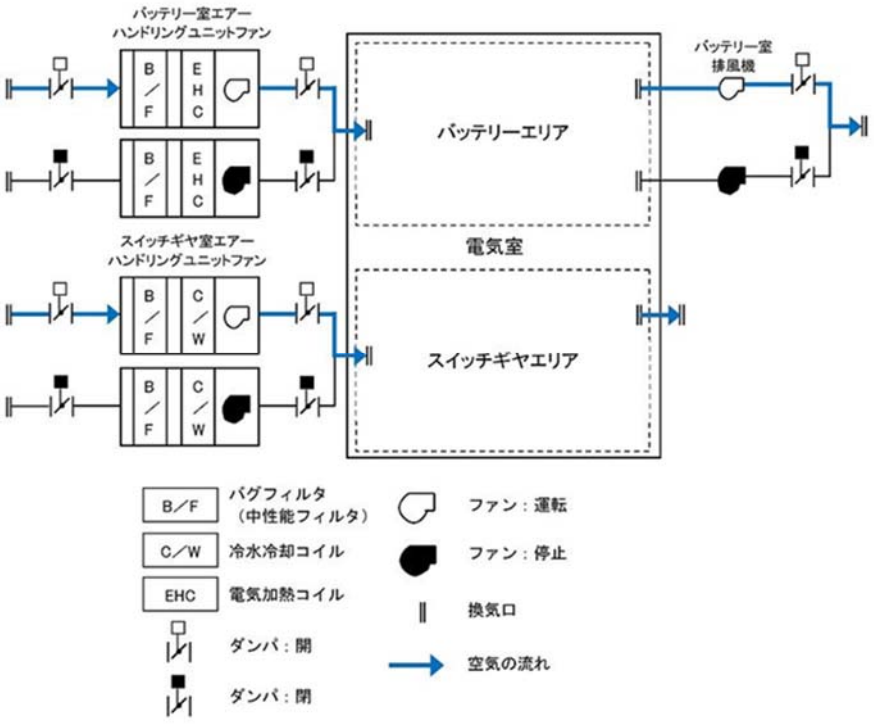


（閉回路循環運転時）

第 3.2-1 図　中央制御室換気系の系統概略図



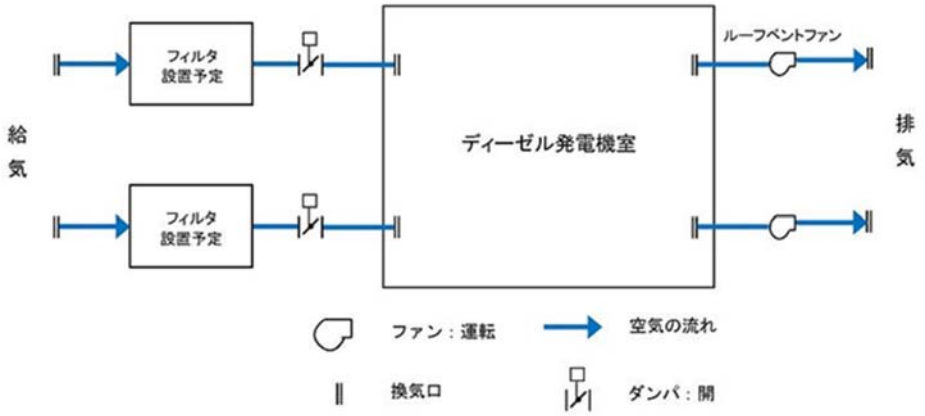
第 3.2-2 図　原子炉建屋換気系の系統概略図



第 3.2-3 図　電気室換気系の系統概略図

(2)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室換気系

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室換気系は，外気取入口にフィルタが設置されていないため，適切なフィルタを設置する方針である。非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室換気系の系統概略図を第 3.2-4 図に示す。



第 3.2-4 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室換気系の系統概略図

3.2.2 計測制御設備（安全保護系）

計測制御設備（安全保護系）は，原子炉建屋，電気室及び中央制御室に設置してある。原子炉建屋，電気室及び中央制御室へ外気を取り入れる換気空調設備の外気取入口には，フィルタを設置することにより，粒径 2μm 以上のばい煙粒子については侵入を阻止することが可能である。フィルタにより侵入を阻止できなかったばい煙が原子炉建屋又は電気室内に侵入した場合においても，空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止することが可能である。また，ばい煙が中央制御室内に侵入した場合におい

ては，外気取入ダンパを閉止し，閉回路循環運転を行うことでばい煙の侵入を阻止することが可能である。

なお，中央制御室に侵入する可能性のあるばい煙の粒径は，おおむね 2 μm 以下の細かな粒子であると推定されるが，計測制御設備（安全保護系）の盤において，数μm 程度の線間距離となるのは，集積回廊（ＩＣ等）の内部であり，これらの部品はモール（樹脂）で保護されているため，ばい煙が侵入することはない。また，端子第等の充電部が露出している箇所については，端子間の距離は数 mm あることから，ばい煙が付着しても，直ちに短絡等を発生させることはない。したがって、万が一，細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合においても，ばい煙の付着等により短絡等を発生させる可能性はない。

3.3　外気を取り込む屋外設置機器

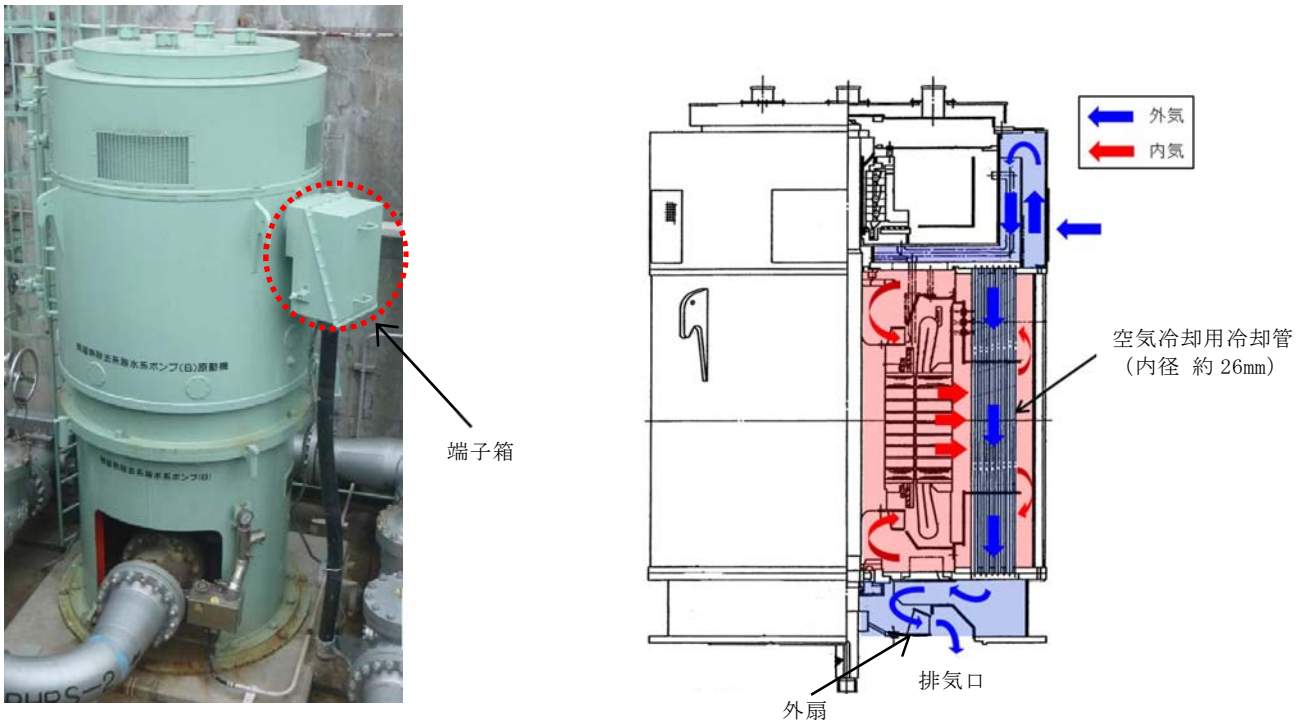
(1)　残留熱除去系海水系ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は，全閉防まつ型屋外形構造であり，下部に設置した外扇で外気を空気冷却器冷却管内に直接取り込み，冷却管壁で電動機内部空気と熱交換することで冷却を行う構造であり，冷却管内を通った空気は全て排気口に導かれるため，外気が電動機内部に侵入することはない。

空気冷却器冷却管の内径は約 26mm であり，ばい煙の粒径はこれに比べて十分小さいことから，閉塞することはない。

電動機端子箱は，端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく，端子箱蓋はパッキンでシールされているため，ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

電動機の構造を第 3.3-1 図に示す。



第 3.3-1 図　残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図

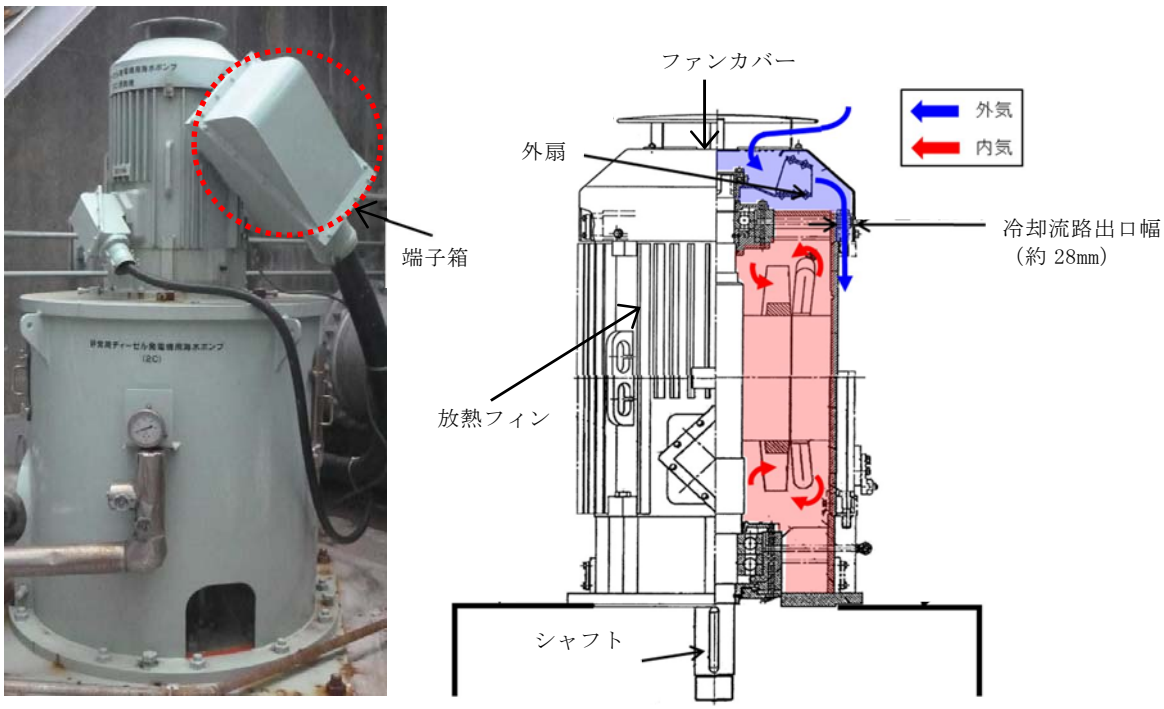
(2)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は，外扇から吸引した外気をファンカバーから下向きに本体放熱フィンに沿って流し，電動機本体を冷却する構造であり，外気が電動機内部に侵入することはない。

また，冷却流路出口幅は約 28mm であり，ばい煙の粒径はこれに比べて十分小さいことから，閉塞することはない。

電動機端子箱は，端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく，端子箱蓋はパッキンでシールされているため，ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

電動機の構造を第 3.3-2 図に示す。



第 3.3-2 図　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機 構造図

3.4　中央制御室の居住性評価

「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の解釈」第38条第13項に規定する「原子炉制御室外の火災等により発生した有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の適切な防護措置」として，中央制御室換気系は外気の取入れを遮断することができる。

中央制御室換気系の外気取入を遮断することで，運転員の作業環境に影響を及ぼさないことを確認するため，酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価した。

また，発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設及び中央制御室給気口までの距離が近い設備（主要変圧器）からの火災を想定し，中央制御室内に侵入する有毒物質（ＣＯ，CO_2，SO_2，NO_2）の最大濃度を判断基準であるImmediately Dangerous to Life or Health※（以下「ＩＤＬＨ」という。）と比較することで，有毒ガスに対する評価を実施し，中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを評価した。

※　30分曝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界値であり，脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(1)　酸素濃度

中央制御室換気系閉回路循環運転時の中央制御室内の酸素濃度について評価した。

ａ．評価条件

・在室人員11人(運転員7人に余裕を持たせた人数)

・中央制御室バウンダリ内体積2,700m^3

・初期酸素濃度20.95%※1

・評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。

・1人あたりの呼吸量は事故時の運転操作を想定し，歩行時の呼吸量※1

を適用して，24L／min とする。

・1 人あたりの酸素消費量は，成人吸気酸素濃度※1（20.95%），成人呼気酸素濃度※2（16.40%）から 1.092L／min とする。

・許容酸素濃度　19.0%以上※3

※1　空気調和・衛生工学便覧　第 14 版　3 空気調和設備編
※2　呼気には肺胞から蒸発した水蒸気が加わっており，吸気と等容積ではないため，酸素消費量を計算するには，乾燥空気換算（%）を使用する。
※3　鉱山保安法施行規則

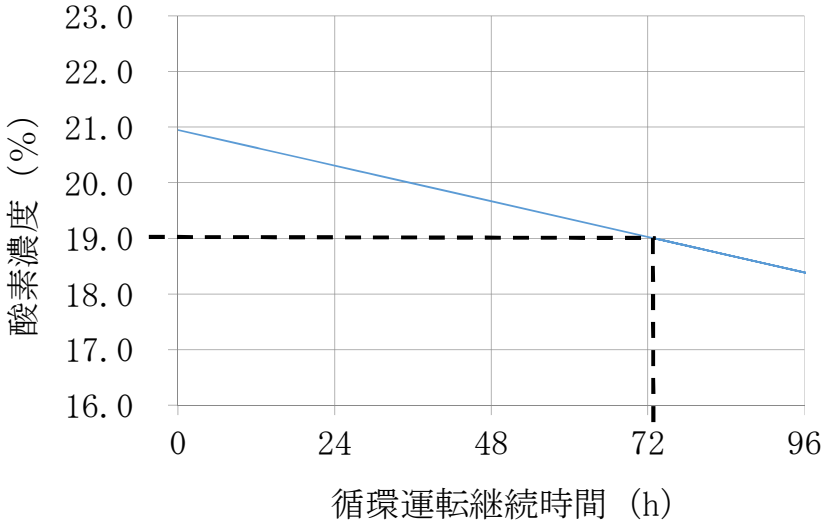
b．評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は，第 3.4-1 表，第 3.4-1 図のとおりであり，外気取入を遮断しても約 73 時間まで中央制御室内に滞在可能である。

敷地内で発生する火災の最長燃焼継続時間（主要変圧器約 7 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-1 表　中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	73 時間
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%



第 3.4-1 図　中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

(2)　炭酸ガス濃度

中央制御室閉回路循環運転時の中央制御室内の炭酸ガス濃度について評価した。

ａ．評価条件

・在室人員 11 人(運転員 7 人に余裕を持たせた人数)

・中央制御室バウンダリ内体積 2,700m^3

・初期炭酸ガス濃度 0.03%

・評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。

・1人あたりの炭酸ガス吐出量は，事故時の運転操作を想定し，中等作業での吐出量※1を適用して，0.046m^3／hrとする。

・許容炭酸ガス濃度　1.0%未満※2

※１　空気調和・衛生工学便覧　第14版　3空気調和設備編
※２　鉱山保安法施行規則

ｂ．評価結果

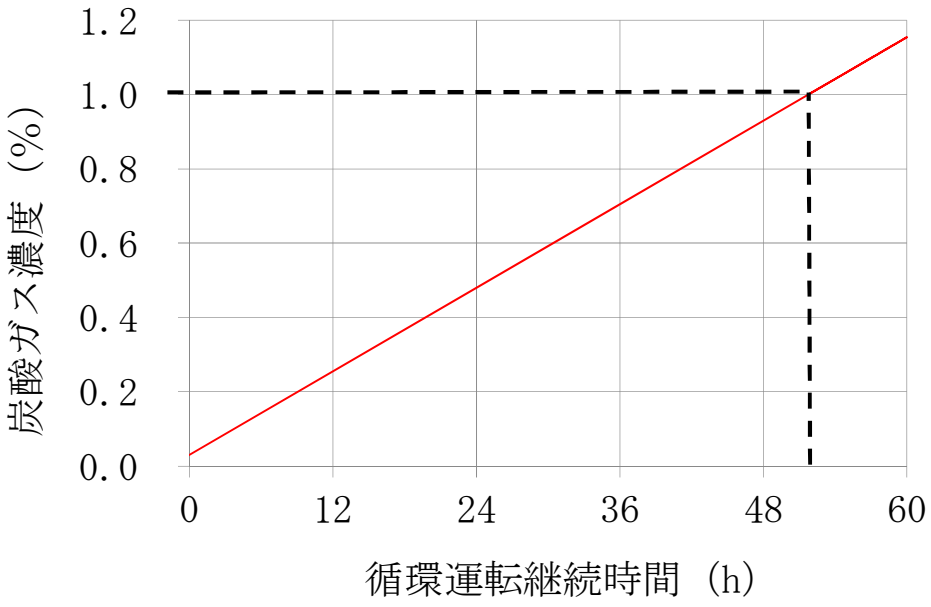
評価条件から求めた炭酸ガス濃度は，第 3.4-2 表，第 3.4-2 図のとお

りであり，外気取入を遮断しても約 52 時間まで中央制御室内に滞在可能である。

敷地内で発生する火災の最長燃焼継続時間（主要変圧器約 7 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-2 表　中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%



第 3.4-2 図　中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

(3)　有毒ガス

中央制御室換気系給気口の風上で発生し，給気口を直接臨むことができる火災源を対象とし，中央制御室換気系給気口位置における有毒ガス濃度の評価を実施した。

ａ．評価手法

火災源から放出された有毒ガスは中央制御室換気系給気口に向う風によって，風下直線方向に拡散していくものとして，Briggs の排煙上昇過程式により求めた評価対象ガスの風速と，有風時プルーム式を用いて，中央制御室換気系給気口の空気中に含まれる有毒ガス濃度を評価する。評価手法の概要を第 3.4-3 図に示す。

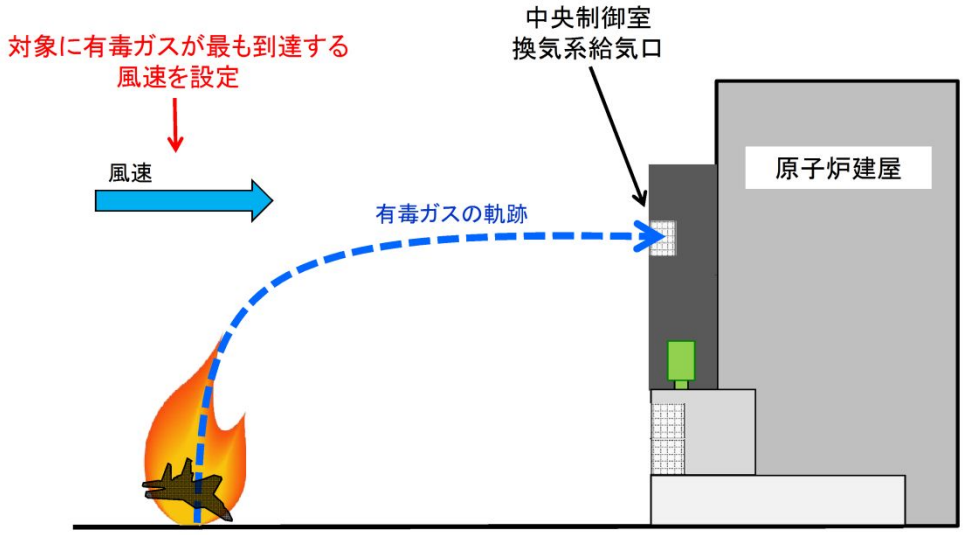
（有風時プルーム式）

$$C_{xyz}=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y{}^2}\right)\cdot\left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z{}^2}\right\}+\exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z{}^2}\right\}\right) \quad (1)$$

（Briggsの排煙上昇過程式）

$$H_e=1.6F^{1/3}\cdot x^{2/3}\cdot u^{-1} \quad (2)$$

C_{xyz}　：濃度（ppm）
Q　：有毒ガス発生量（Nm^3／s）
H_e　：排煙上昇高度（m）
σ_y，σ_z　：拡散パラメータ（m）
u　：風速（m／s）
F　：排熱フラックス（m^4／s^3）$=0.037Q_H$
Q_H　：排気熱量（kcal／s）$=\dot{m}A\Delta H_{c.eff}$
$\Delta H_{c.eff}$　：燃焼時発熱量（kcal／kg）
A　：燃焼面積（m^2）
$\dot{m}$　：質量低下速度（kg／m^2／s）
x　：発生源と給気口との離隔距離（m）
z　：発生源と給気口との鉛直方向距離（m）
y　：排気プルーム軸からの距離（m）



第 3.4-3 図　中央制御室換気系給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

火災によって発生する有毒ガスの中央制御室換気系給気口位置での濃度を求め，判断基準であるＩＤＬＨ※1と比較評価を実施する。

※1　30 分の曝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界値であり，脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

評価手順は以下の通り。

(a)　火災源から発生する有毒ガス発生量Ｑ（Nm^3／s）を算出する。

(b)　式(2)を用いて，火災源の排煙上昇高度Ｈｅが給気口中央の地表面からの高さと等しくなる風速ｕを求める。

(c)　式(1)を用いて，給気口における有毒ガス濃度を求める。なお，ｚ＝高低差，ｙ＝0 とする。

なお，Briggs の排煙上昇過程式の適用条件※2は，以下のとおりであり，火災源毎に下記条件を満たすことを確認した。このため，Briggs の排煙上昇過程式を用いて，排煙高さが給気口高さと同じになる風速を

求めることは妥当である。

※２　G.A.Briggs, ”Plume Rise”, U.S.Atomic Energy Commission, 1969

$$x \leq x'$$

$$x' = 2.16F^{2/5} \cdot \Delta h^{2/5}$$

x　：離隔距離（m），Ｆ：排熱フラックス（m^4/s^3）

x’：浮力の効果が薄れて大気気流による拡散効果が支配的になり始める距離（m）

Δh　：排煙上昇高度（m）（Δh＜305m）

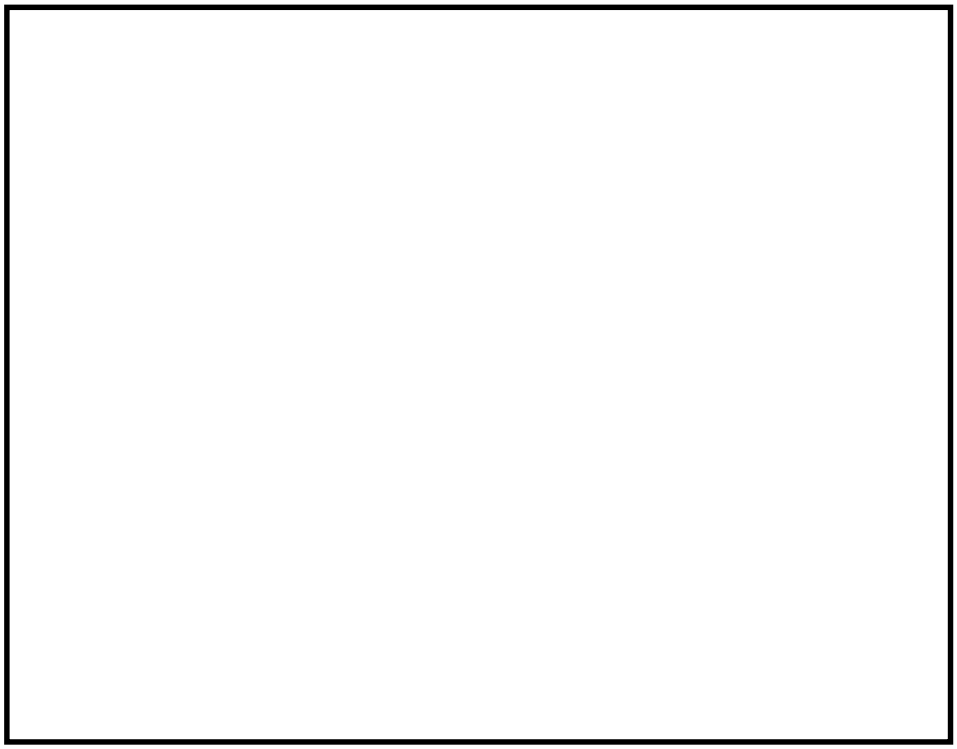
b．評価データ

(a)　評価対象となる給気口及び火災源との距離

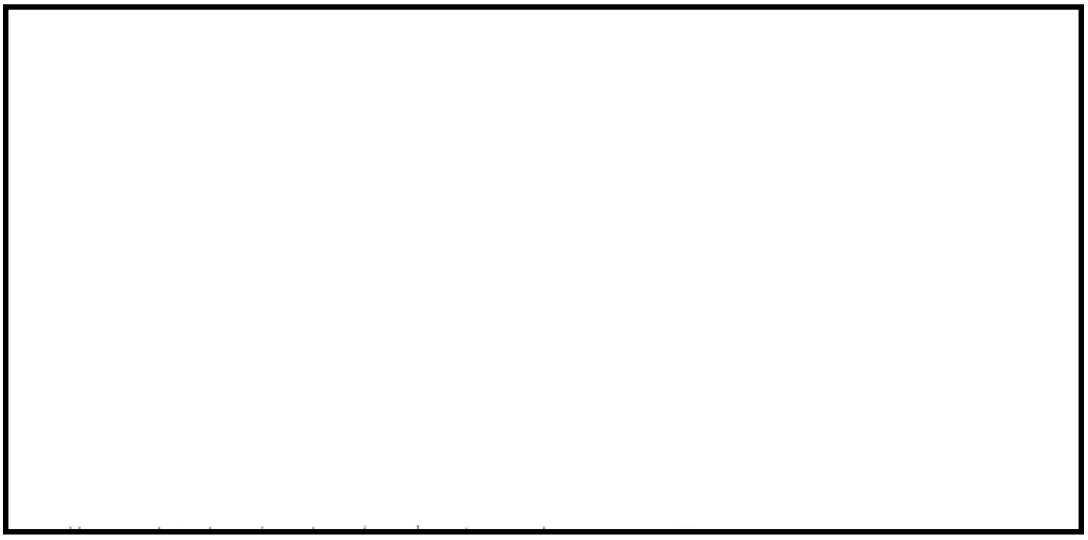
評価対象となる給気口と火災源の水平方向の位置関係を第 3.4-4 図に，離隔距離及び鉛直方向距離を第 3.4-3 表に，高さ方向の位置関係を第 3.4-5 図に示す。

第 3.4-3 表　給気口と火災源との距離

評価対象	中央制御室換気系 給気口　Ｂ２－１８Ａ	中央制御室換気系 給気口　Ｂ２－１９Ａ
航空機 （Ｆ－１５）		



第 3.4-4 図　評価対象となる給気口と火災源との位置関係（水平方向）



第 3.4-5 図　評価対象となる給気口と火災源との位置関係（高さ方向）

航空機火災に対する離隔距離は，最も保守的な評価となる「自衛隊機又は米軍機基地－訓練空域間往復時（Ｆ－１５）」の離隔距離を採用した。

また，中央制御室換気系給気口は 2 つあるが，評価は，火災源から

の距離が近く，高さが高い方が保守的となるため，B2-19A を対象に評価を実施した。

(b)　火災発生時の有毒ガス発生量

第 3.4-4 表に燃料の燃焼特性を示す。

燃料 1kg 当たりの有毒ガスの発生量は，各文献に掲載されている単位重量当たりのガス発生量より単位換算することにより求められる。ただし，単位重量当たりのガス発生量は幅をもった値ではないため，保守性の観点から航空機燃料のうち，ＪＰ－４より保守的となるＪＥＴ　Ａ－１の値を設定する。

第 3.4-4 表　燃焼特性に関するデータ

油　種		ＪＰ－４	ＪＥＴ　Ａ－１
有毒ガス発生量※ (kg／kg)	CO_2	3.053	3.237
	CO	0.030	0.030
	SO_2	0.001	0.0011
	NO_2	0.005	0.006

※　有毒ガスの発生量は以下の文献より算出した。
CO_2：環境省，温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル
CO_2：Ross J.L.,Ferek R.J.and Hobbs P.V.,”Particle and Gas Emissions from an In Situ Burn of Crude Oil on the Ocean”,J.Air & Water Manage.Assoc.,46,pp.251-259(1996)
SO_2：U.S.EPA AP-42,”Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume I:Stationary Point and Area Sources”
NO_2：SO_2と同

(c)　評価対象及び火災源に関するデータ

第 3.4-5 表に火災源に関するデータ，第 3.4-6 表に有毒ガス発生量に関するデータを示す。

第 3.4-5 表　火災源に関するデータ

想定 火災源	油種	燃焼面積 (m^2)	質量低下速度 (kg／m^2／s)	発熱量 (kcal／kg)	燃焼 消費速度 (kg／s)	排出熱量 (kcal／s)	排熱ﾌﾗｯｸｽ (m^4／s^3)
航空機 （Ｆ－１５）	JP-4	44.6	0.051	10,300	2.27	23,300	862

第 3.4-6 表　有毒ガス発生量に関するデータ

想定火災源	ガス発生量(Nm^3／s)			
	CO_2	CO	SO_2	NO_2
航空機 （Ｆ－１５）	3.741	0.055	0.001	0.007

(d)　拡散パラメータ

式(2)より，各火災による排煙上昇高度が敷地からの給気口高さと等しくなるものとして風速を算出した。算出結果を第 3.4-7 表に示す。

第 3.4-7 表　算出結果

評価対象		風速(m／s)
中央制御室 給気口 Ｂ２－１９Ａ	航空機（Ｆ－１５）	5.9

また，算出した風速と第 3.4-8 表に示す大気安定度分類表より，保守性を考慮して大気拡散の弱い安定度Ｄの式を採用し，第 3.4-9 表を用いて拡散パラメータを算出した。

算出した拡散パラメータは風による拡散しか考慮されていないため，想定する火災の熱気による鉛直方向への浮力拡散を考慮することとし，第 3.4-10 表に示すガウスプルームモデルにおける大気拡散パラメータよりΔHe^2／10 を加えた値を採用した。

第 3.4-8 表　大気安定度分類表※

風速(U) m／s	日射量(T) kw／m²				放射収支量(Q) kw／m²		
	T＞0.60	0.60＞T ≧0.30	0.30＞T ≧0.15	0.15＞T	Q≧ 0.020	－0.020＞ Q≧0.040	－0.040 ＞Q
U＜2	A	A－B	B	D	D	G	G
2≦U＜3	A－B	B	C	D	D	E	F
3≦U＜4	B	B－C	C	D	D	D	E
4≦U＜6	C	C－D	D	D	D	D	D
6≦U	C	D	D	D	D	D	D

※　発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針

第 3.4-9 表　拡散パラメータ　Pasquill-Gifford 図の近似関係※

$$\sigma_y(x)=\gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	σ_y	γ_y	風下距離(x)
A	0.901	0.426	0～1，000
	0.851	0.602	1，000～
B	0.914	0.282	0～1，000
	0.865	0.396	1，000～
C	0.924	0.1772	0～1，000
	0.885	0.232	1，000～
D	0.929	0.1107	0～1，000
	0.889	0.1467	1，000～
E	0.921	0.0864	0～1，000
	0.897	0.1019	1，000～
F	0.929	0.0554	0～1，000
	0.889	0.0733	1，000～
G	0.921	0.0380	0～1，000
	0.896	0.0452	1，000～

$$\sigma_z(x)=\gamma_z \cdot x^{\alpha_z}$$

安定度	σ_y	γ_y	風下距離(x)
A	1.122	0.0800	0～10，300
	1.514	0.00855	300～10，500
	2.109	0.000212	500～10，000
B	0.964	0.1272	0～10，500
	1.094	0.0570	500～10，000
C	0.918	0.1068	0～10，000
D	0.826	0.1046	0～11，000
	0.632	0.400	1，000～10，000
	0.555	0.811	10，000～10，000
E	0.788	0.0928	0～11，000
	0.565	0.433	1，000～10，000
	0.415	1.732	10，000～10，000
F	0.784	0.0621	0～11，000
	0.526	0.370	1，000～10，000
	0.323	2.41	10，000～10，000
G	0.794	0.0373	0～11，000
	0.637	0.1105	1，000～12，000
	0.431	0.529	2，000～10，000
	0.222	3.62	10，000～10，000

※　窒素酸化物総量規制マニュアル

第 3.4-10 表　拡散パラメータ σz※

TABLE 2. SUMMARY OF RECOMMENDATIONS FOR INTERIM CHANGES IN THE WORKBOOK VALUES OF THE DISPERSION PARAMETERS σ_y AND σ_z

For crosswind spread σ_y, irrespective of the terrain roughness, release height and sampling duration up to up to about 1 hour, use the formula*

$$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x),\ \sigma_\theta \text{ in radians}$$

with σ_θ† the best available estimate of the standard deviation of the wind direction fluctuation for the sampling time of interest and for the height at which $\bar{u}$ is specified, and with values of f(x) as follows:

x(km)	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10	>10
f(x)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.5	0.4	0.33	$0.33(10/x)^{1/2}$

For $x \geq 20$ km add to the square of the σ_y as obtained above the quantity $0.03\Delta\theta^2 x^2$ and take the square root to give the total σ_y, with $\Delta\theta$ the total change of mean wind direction over the depth of the plume.

For vertical spread σ_z, for any sampling time for a surface release, and say >10 min for an elevated release (see Section 2), use the existing Workbook curves with adjustment or constraint as follows:

(a) For terrain with z_0 different from 3 cm apply factors based on F. B. Smith's nomogram (Ref. 5 or Ref. 6, p 377)

(b) To allow for 'urban heating' adopt a stability category one-half category more unstable than that prescribed in the normal way in the Workbook

(c) For evaluating the concentration at the surface from a surface release, consider estimates of the effective mixed depth h' at the mid-time of sampling, recognizing especially its growth from very small values on stable nights, and then adopt either σ_z as given by the curves, or 0.8h', whichever is the smaller, for substitution in Eq (4).

(d) For buoyant plumes, increase the σ_z^2 obtained from the curves by adding $\Delta H^2/10$ where ΔH is the estimated plume rise.

*, † see Notes on Table 2'

23

※　Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling Part II

(e)　評価結果

各火災で発生する中央制御室換気系給気口での有毒ガス濃度を第3.4-11表に示す。

第3.4-11表　評価結果

評価対象	想定発火源		風速 (m／s)	拡散パラメータ(m)	
				σ_y	σ_z
中央制御室 換気系給気口 Ｂ２－１９Ａ	航空機火災 （Ｆ－１５）		5.9	1.956	1.344

評価対象	想定発火源	ガス濃度（ppm）			
		CO_2	CO	SO_2	NO_2
中央制御室 換気系給気口 Ｂ２－１９Ａ	航空機火災 （Ｆ－１５）	7,883	116	3	15
判断基準：ＩＤＬＨ※		40,000	1,200	100	20

※　30分曝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界値

以上の結果から，全ての評価に対しＩＤＬＨ以下であり，中央制御室の居住性が損なわれることはないと評価できる。

また，中央制御室に有毒ガスが流入してくる場合は，中央制御室の外気取り入れを遮断し，再循環させる非常時モードで運転を行うことが可能であり，この非常時モードへの切換は火災発生後10分程度※で実施可能であることを実測により確認している。

※　火報発生→現場確認→火災発生（有毒ガスの流入）を確認→非常時モードへ切替操作

(4)　森林火災時における防火帯外に位置する放射性物質保管施設の東海第二発電所への影響

ａ．概要

防火帯外の防火帯近傍に放射性物質の保管施設※がある（第 3.4-6 図参照）。森林火災時におけるこれら保管施設からの東海第二発電所への影響を評価した。

ｂ．放射性物質の保管状態と発電所への影響

防火帯外の防火帯近傍には当社が管理する施設として，旧レーザー濃縮技術研究組合東海濃縮実験所の固体廃棄物貯蔵庫（当社が保管業務を受託中。以下「固体廃棄物貯蔵庫（レーザー）」という。）及び東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所の廃棄物埋設施設（事業許可申請中。以下「Ｌ３事業所」という。）がある。その他の施設としては，日本原子力研究開発機構の使用済燃料貯蔵施設（北地区），第２保管廃棄施設及び廃棄物埋設施設がある。森林火災時において，以下のとおり，これら施設が影響を受け，保管物質等が流出する可能性は低い。

①固体廃棄物貯蔵庫（レーザー）は，コンクリート構造であり延焼しにくく，保管物質である未照射の劣化ウラン，天然ウラン及び濃縮ウランはドラム管で保管されているため，森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。

②Ｌ３事業所については，放射能レベルの極めて低いＬ３廃棄物が 2m 以上の覆土により埋設されるため，森林火災の影響を受け埋設物が流出することはない。

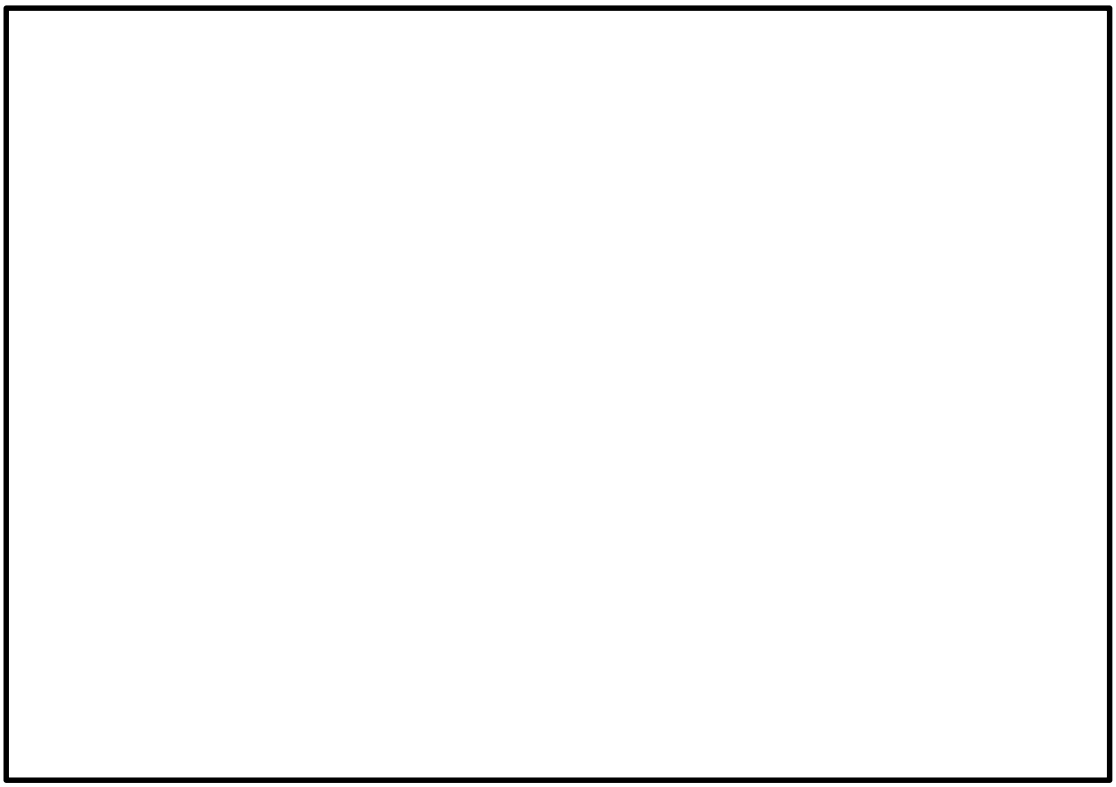
③使用済燃料貯蔵施設（北地区）については，コンクリート構造であり延焼しにくく，保管物質である天然ウラン燃料は鉄箱で地下ピット保

管されているため，森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。

④第２保管廃棄施設（廃棄物保管棟Ⅰ，廃棄物保管棟Ⅱ，保管廃棄施設ＮＬ）については，コンクリート構造であり延焼しにくく，保管物質である低レベル放射性廃棄物はドラム管で保管されているため，森林火災の影響を受け保管物質が流出する可能性は低い。

⑤廃棄物埋設施設については，低レベル放射性廃棄物が 2m 以上の覆土により埋設されるため，森林火災の影響を受け埋設物が流出することはない。

上記のとおり，施設の構造及び状態を踏まえると，②及び⑤の埋設物は流出することはなく，①，③及び④の保管物質が流出する可能性は低いが，仮に流出したとしても，中央制御室の外気取り入れを遮断し閉回路循環運転を行うことで，中央制御室の居住性を確保可能である。また，予防散水対応については，線量を確認しつつ実施する。

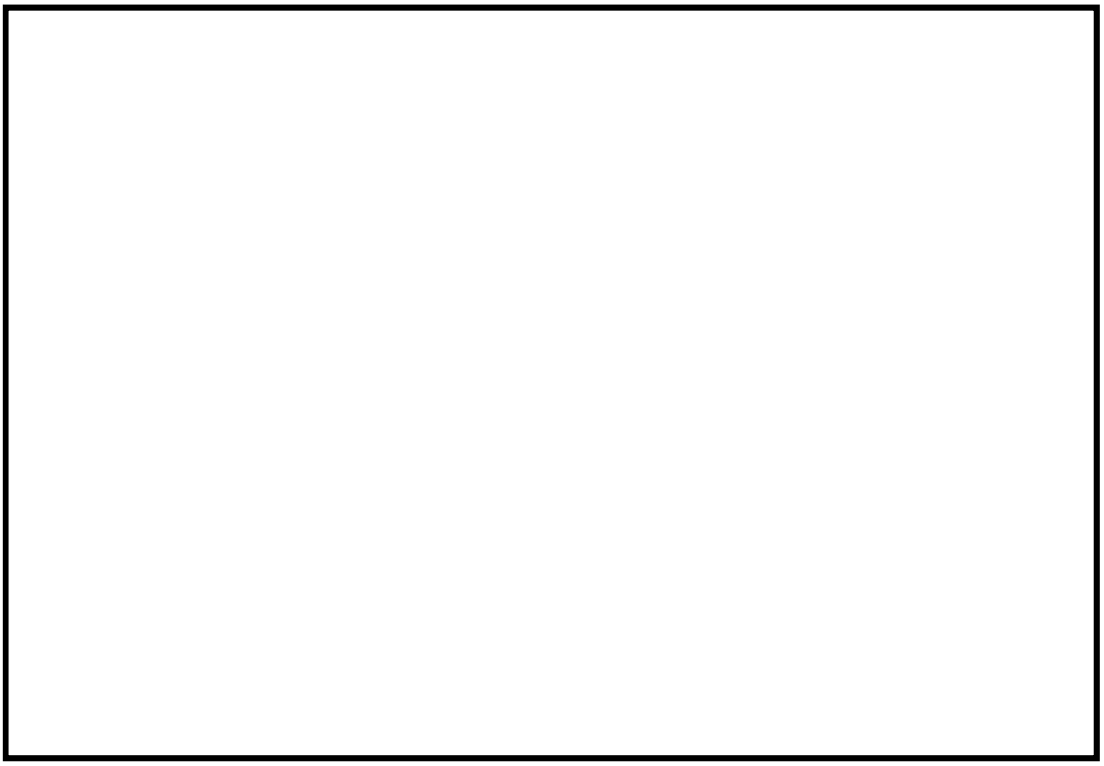


第 3.4-6 図　東海第二発電所に影響を与える可能性のある保管施設

3.5　緊急時対策所の居住性評価

外部火災時の緊急時対策所の居住性の評価として，外気取入れ遮断時の緊急時対策所内に滞在する緊急時対策要員の作業環境の劣化防止のため，酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価を行った。

緊急時対策所がある緊急時対策所建屋の位置を第 3.5-1 図に示す。



第 3.5-1 図　緊急時対策所建屋の位置

(1)　酸素濃度

外気遮断時の緊急時対策所内の酸素濃度について評価した。

a．評価条件

・在室人員 100 人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

・加圧エリア内空気量 2,900m^3

・初期酸素濃度 20.95％

・評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。

・1 人あたりの呼吸量は，事故時の運転操作を想定し，歩行時の呼吸量※1を適用して，24L／minとする。

・1 人あたりの酸素消費量は，成人吸気酸素濃度※1（20.95％），成人呼気酸素濃度※2（16.40％）から 1.092L／minとする。

・許容酸素濃度　19.0％以上※3

※1　空気調和・衛生工学便覧　第 14 版　3 空気調和設備編
※2　呼気には肺胞から蒸発した水蒸気が加わっており，吸気と等容積ではない

ため，酸素消費量を計算するには，乾燥空気換算（%）を使用する。
※３　鉱山保安法施行規則

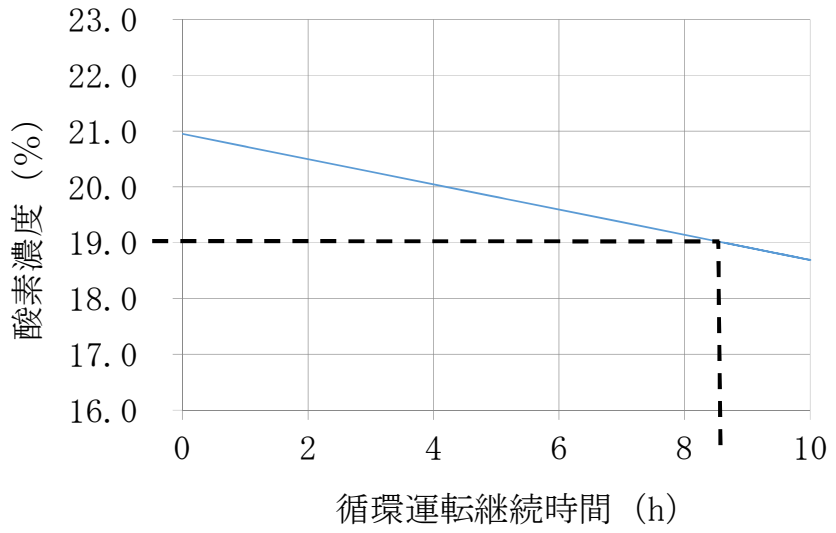
ｂ．評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は，第 3.5-1 表，第 3.5-2 図のとおりであり，外気取入を遮断しても約 8.6 時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周囲で発生する火災として想定される航空機墜落火災のうち，最も長い燃焼継続時間であるＢ７４７－４００の約 1.9 時間に対して余裕があり，運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.5-1 表　外気遮断時の酸素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8.6 時間
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%



第 3.5-2 図　在室人員数に対する居住性に影響を及ぼさない時間（酸素）

(2)　炭酸ガス濃度

外気遮断時の緊急時対策所内の炭酸ガス濃度について評価した。

ａ．評価条件

・在室人員 100 人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

・加圧エリア内空気量 2,900m^3

・初期炭酸ガス濃度 0.03％

・評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。

・1 人あたりの炭酸ガス吐出量は，事故時の運転操作を想定し，中等作業での吐出量※1を適用して，0.046m^3／h とする。

・許容炭酸ガス濃度 1.0％未満※2

※1　空気調和・衛生工学便覧　第 14 版　3 空気調和設備編
※2　鉱山保安法施行規則

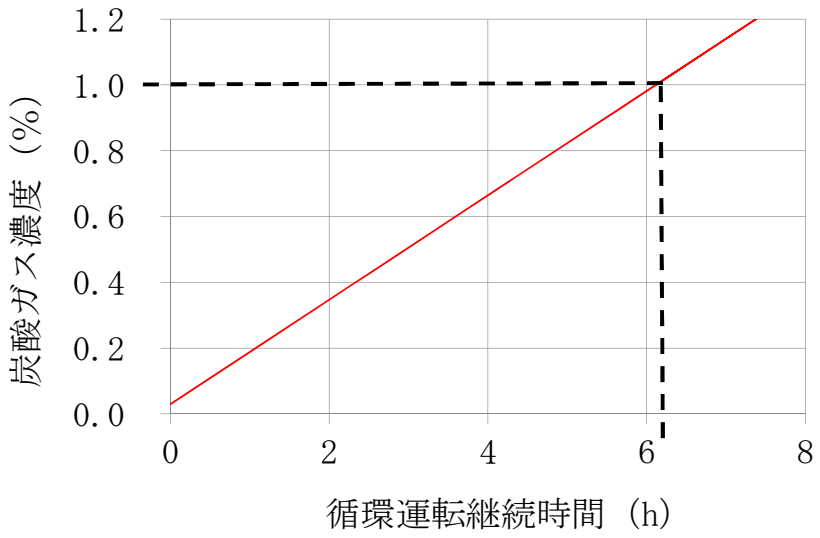
ｂ．評価結果

評価条件から求めた炭酸ガス濃度は，第 3.5-2 表，第 3.5-3 図のとおりであり，外気取入を遮断しても約 6.1 時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周囲で発生する火災として想定される航空機墜落火災のうち，最も長い燃焼継続時間であるＢ７４７－４００の約 1.9 時間に対して余裕があり，運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.5-2 表　外気遮断時の炭酸ガス濃度

時間	1 時間	2 時間	4 時間	6.1 時間
炭酸ガス濃度	0.19％	0.35％	0.67％	1.00％



第 3.5-3 図　在室人員数に対する居住性に影響を及ぼさない時間（炭酸ガス）

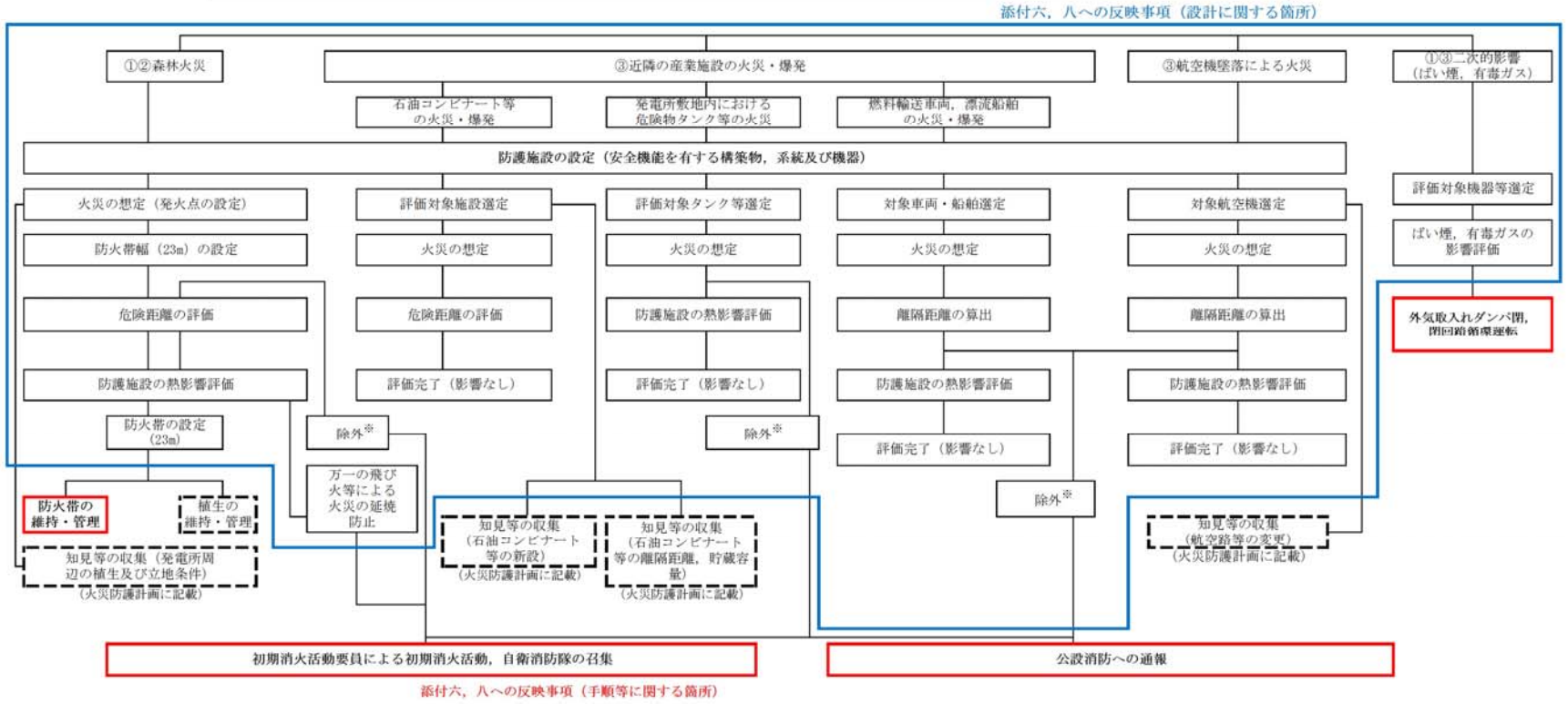
別添資料-2

東海第二発電所

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)

（第６条　外部火災）

① 安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項についても同じ。）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恐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，人為的によるもの（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ない。



※：クラス３設備のうち，屋内に設置している設備は建屋により防護し，屋外機器については，消火活動により防護しているため，個別の影響評価を行わない。

設計基準に係る運用対策等　(1／2)

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第六条　外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）	防火帯の維持・管理	運用・手順	・防火帯上への駐車禁止等の措置，防火帯のパトロール
		体制	・担当Ｇｒによる防火帯の維持・管理
		保守・点検	・防火帯の維持・管理
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（防火帯の目的，点検・維持）
	植生の維持・管理	運用・手順	・発電所敷地内外のパトロール，植生の維持・管理
		体制	・担当Ｇｒによる植生の維持・管理
		保守・点検	・解析で想定した植生の維持・管理
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（植生の維持・管理の目的，点検・維持）
	知見の収集（発電所周辺の植生及び立地条件）	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Ｇｒによる外部火災影響評価
		保守・点検	－
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	知見の収集（石油コンビナート等の新設，離隔距離，貯蔵容量）	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Ｇｒによる外部火災影響評価
		保守・点検	－
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	知見の収集（航空路等の変更）	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Ｇｒによる外部火災影響評価
		保守・点検	－
		教育・訓練	・火災防護に関する教育

設計基準に係る運用対策等　(2／2)

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第六条　外部からの衝撃による損傷の防止 （外部火災）	初期消火活動要員による初期消火活動	運用・手順	・火災発生現場の確認，中央制御室への連絡 ・消火器，消火栓を用いた消火活動及び化学消防自動車，水槽付消防自動車を用いた消火活動
		体制	・自衛消防隊※
		保守・点検	・化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ自動車の点検 ・消火設備（消火器，消火栓等）の点検 ・消防用資機材（防火服，空気呼吸器等）の点検 ・故障時の補修
		教育・訓練	・初期消火対応要員の力量を維持するための教育，訓練 ・自衛消防隊に対する消火訓練，資機材取扱訓練 ・外部機関（海上災害防止センター等）での消火訓練　等
	自衛消防隊への連絡	運用・手順	・通報連絡責任者による自衛消防隊への連絡
		体制	・自衛消防隊への連絡
		保守・点検	・通報設備の点検
		教育・訓練	・火災防護に関する教育 ・消防要員等による総合的な初期消火訓練
	公的消防への通報	運用・手順	・通報連絡責任者による公的消防への通報
		体制	・自衛消防隊
		保守・点検	・通報設備の点検
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（公的消防への通報）
	外気取入ダンパ閉，閉回路循環運転	運用・手順	・外気取入れダンパ閉，閉回路循環運転の手順
		体制	・運転員による運転操作
		保守・点検	・換気空調設備の点検
		教育・訓練	・操作手順の教育（運転員による外部火災発生時の外気取入れダンパ閉，閉回路循環運転） ・補修に関する教育・訓練（換気空調設備）

※：自衛消防のための要員と役割については，添付書類 2「第 4.1-1 表」に記載

別添資料-3

東海第二発電所

森林火災評価に係る

植生確認プロセスについて

1．植生確認プロセスについて

「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。）において，発電所周囲で発生する森林火災を想定した発電所に与える影響について評価することが要求されている。

当該評価は，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（以下「ＦＡＲＳＩＴＥ」という。）を用いて行う。

ＦＡＲＳＩＴＥの主なインプットデータのうち，樹種，林齢等の植生データについては，影響評価範囲内の森林簿による植生確認及びウォークダウンによる植生確認結果を反映する。以降に植生確認のプロセスを示す。

2．　植生確認の内容

(1) 森林簿による植生確認

東海第二発電所の立地自治体である茨城県から交付を受けた森林簿により，影響評価範囲の植生確認を行う。

(2) 発電所周辺のウォークダウンによる植生確認

植生確認に適した資格・経験年数を有する調査者が発電所周辺のウォークダウンを行い以下の植生確認を行う。

・森林簿データを基にした発電所周辺植生の妥当性確認

・森林簿データの範囲外となる草等の植生確認

3. 植生データの作成と記録の取扱い

3.1 植生データの作成

(1) 森林簿のデータを，国土数値情報土地利用細分メッシュを 100m メッシュから 10m メッシュに変換したデータにオーバーレイする。

(2) (1)で作成したデータに発電所周辺の植生データとして，現場の植生確認結果のデータをオーバーレイする。

3.2 記録の取扱い

森林簿データ，現場確認結果及びＦＡＲＳＩＴＥに入力した植生データを記録として保管する。

4. 定期的な植生の管理

・植生の妥当性判断に資格・経験年数が必要となる樹木については，定期的に資格・経験年数を有する調査員による植生確認を行い，発電所周辺の植生とＦＡＲＳＩＴＥに入力した植生データに相違がないことを確認する。

・生育状況のみで判断が可能な草等の植生は，定期的に植生確認を行い，発電所周辺の植生とＦＡＲＳＩＴＥに入力した植生データに相違がないことを確認する。また，必要に応じ草刈り等を行い植生の維持管理を行う。

・植生の変更が森林火災評価へ与える影響に応じて再評価の必要性を検討する。

以上

東海第二発電所

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）

＜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

(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

2.　外部からの衝撃による損傷の防止

別添資料1　竜巻影響評価について

別添資料2　竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について

別添資料3　運用，手順説明資料

＜概　要＞

1．において，設計基準事故対処設備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発電所における適合性を示す。

2．において，設計基準事故対処設備について，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等について説明する。

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 第６条（外部からの衝撃による損傷の防止）	技術基準規則 第７条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
安全施設は、想定される自然事象（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。	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ない。	追加要求事項
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。		追加要求事項
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ない。	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ない。 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ない。	追加要求事項

1.2　追加要求事項に対する適合性

(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

（ｉ）　本発電用原子炉施設は，(1)耐震構造，(2)耐津波構造に加え，以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。

ａ．設計基準対象施設

(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，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，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-2) 竜巻

安全施設は，想定される竜巻が発生した場合においても，作用する設計荷重に対して，その安全機能を損なわない設計

とする。また，安全施設は，過去の竜巻被害状況及び発電所のプラント配置から想定される竜巻に随伴する事象に対して，安全機能を損なわない設計とする。

竜巻に対する防護設計を行うための設計竜巻の最大風速は，100m／s とし，設計荷重は，設計竜巻による風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物が安全施設に衝突する際の衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びに安全施設に常時作用する荷重，運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重等を適切に組み合わせたものとして設定する。

安全施設の安全機能を損なわないようにするため，安全施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに，作用する設計荷重に対する安全施設及び安全施設を内包する区画の構造健全性の確保若しくは飛来物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で，その安全機能を損なわない設計とする。

飛来物の発生防止対策として，飛来物となる可能性のあるもののうち，東海発電所を含む当社敷地内の資機材，車両等については，飛来した場合の運動エネルギ又は貫通力が設定する設計飛来物（鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m，質量 135kg，飛来時の水平速度 51m／s，飛来時の鉛直速度 34m／s））より大きなものに対し，固縛，固定又は防護すべき施設からの離隔を実施する。

なお，当社敷地近傍の隣接事業所から，上記の設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ又は貫通力を上回る飛来物が想定

される場合は，隣接事業所との合意文書に基づきフェンス等の設置により飛来物となるものを配置できない設計とすること若しくは当該飛来物の衝撃荷重を考慮した設計荷重に対し，当該飛来物が衝突し得る安全施設及び安全施設を内包する区画の構造健全性を確保する設計とすること若しくは当該飛来物による安全施設の損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること若しくは安全上支障のない期間で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で，その安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.：1-48～78）】

(2) 安全設計方針

1.7 外部からの衝撃による損傷の防止に関する基本方針

安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して，安全機能を損なわない設計とする。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，「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」で規定されている重要度分類（以下 1.7 では「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に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，上記構築物，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，系統及び機器並びに使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必

要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物，系統及び機器として安全重要度分類のクラス１，クラス２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，系統及び機器を外部事象から防護する対象（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし，機械的強度を有すること等により，安全機能を損なわない設計とする。

また，外部事象防護対象施設を内包する建屋（外部事象防護対象施設となる建屋を除く。）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，機能を維持すること若しくは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。

【別添資料１（1.2.1：1-2）】

1.7.2　竜巻防護に関する基本方針

1.7.2.1　設計方針

(1)　竜巻に対する設計の基本方針

安全施設が竜巻に対して，発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な安全機能を損なわないよう，基準竜巻，設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し，以下の事項に対して，対策を行い，建屋による防護，構造健全性の維持，代替設備の確保等によって，安全機能を損なわない設計とする。

また，安全施設は，設計荷重による波及的影響によって，安全機能を損

なわない設計とする。

ａ．飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離

ｂ．設計竜巻による風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物等による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重並びにその他の組合せ荷重（常時作用している荷重，運転時荷重，竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重）を適切に組み合わせた設計荷重

ｃ．竜巻による気圧の低下

ｄ．外気と繋がっている箇所への風の流入

設計竜巻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。

設計竜巻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，設計荷重に対し機械的強度を有すること等により，安全機能を損なわない設計とする。

竜巻影響評価の対象施設としては，「1.7.2.1(3)　外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設」及び「1.7.2.1(4)　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とする。

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設備（系統，機器）及び建屋，構築物のうち，竜巻の影響を受ける可能性がある施設を抽出した結果，追加で「1.7.2.1(3)　外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設」に反映する施設はない。

竜巻に対する防護設計を行う，外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設及び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を「評価

対象施設等」という。

外部事象防護対象施設の安全機能を損なわないようにするため，外部事象防護対象施設等に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに，作用する設計荷重に対する外部事象防護対象施設の構造健全性の維持，外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性の確保若しくは飛来物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又はそれらを適切に組み合わせた設計とする。

屋外に設置する外部事象防護対象施設の構造健全性の維持又は外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性の確保において，それらを防護するために設置する竜巻飛来物防護対策設備は，防護ネット，防護鋼板等から構成し，飛来物から外部事象防護対象施設を防護できる設計とする。

【別添資料１（1.：1-1～14）】

(2) 設計竜巻の設定

「添付書類六 8. 竜巻」において設定した基準竜巻の最大風速は 92m／s とする。

設計竜巻の設定に際して，発電所は敷地が平坦であるため，地形効果による風の増幅を考慮する必要はないことを確認したが，将来的な気候変動に伴う不確実性を踏まえ，基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて，設計竜巻の最大風速は 100m／s とする。

【別添資料１（2.：1-15～47）】

(3) 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設

外部事象防護対象施設は，設計荷重に対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。

外部事象防護対象施設は，外殻となる施設（建屋，構築物）（以下「外

殻となる施設」という。）に内包され，外気と繋がっておらず設計竜巻荷重の影響から防護される施設（以下「外殻となる施設に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）」という。），設計竜巻荷重の影響を受ける屋外施設（以下「屋外施設」という。），外殻となる施設に内包されるため，設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物等による衝撃荷重の影響から防護されるが，外気と繋がっており設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける施設（以下「屋内の施設で外気と繋がっている施設」という。）及び外殻となる施設に内包されるが設計竜巻荷重の影響から防護が期待できない施設（以下「外殻となる施設による防護機能が期待できない施設」という。）に分類し，このうち，外殻となる施設に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）は内包する建屋により防護する設計とすることから，評価対象施設は，屋外施設，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による防護機能が期待できない施設とし，以下のように抽出する。

なお，外殻となる施設による防護機能が期待できない施設については，「1.7.2.1(3)a.　屋外施設」のうち外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性維持可否の観点並びに設計飛来物の衝突等による開口部の開放及び開口部建具の貫通の観点から抽出する。

また，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。

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)　非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口」という。）

(b)　非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン」という。）

(c)　中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）

(d)　残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）

(e)　非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（配管，弁含む。）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（配管，弁含む。）（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）」という。）

(f)　残留熱除去系海水系ストレーナ

(g)　非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ」という。）

(h)　非常用ガス処理系排気筒

(i)　主排気筒

(j)　排気筒モニタ

(k)　原子炉建屋

(l)　放水路ゲート

＜以下，外部事象防護対象施設を内包する区画＞

外部事象防護対象施設を内包する区画を，以下のとおり抽出する。

(m)　タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）

(n)　使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包）

(o)　軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

(p)　排気筒モニタ建屋

なお，排気筒モニタ及び排気筒モニタ建屋並びに放水路ゲートは，以下の設計とすることにより，以降の評価対象施設等には含めないものとする。

評価対象施設等のうち排気筒モニタについては，放射性気体廃棄物処理施設の破損の検出手段として期待している。竜巻を起因として放射性気体廃棄物処理施設の破損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，排気筒モニタ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。

評価対象施設等のうち放水路ゲートについては，津波の流入を防ぐための閉止機能を有している。竜巻を起因として津波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，放水路ゲートは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．屋内の施設で外気と繋がっている施設

(a)　中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト（以下「非常用換気空調設備」という。）

(b)　原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

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)　中央制御室換気系隔離弁，ファン（空調調和器含む。）及びフィルタユニット（以下「原子炉建屋付属棟 3 階中央制御室換気空調設備」という。）

(b)　非常用電源盤（電気室）

(c)　原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

(d)　使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁（以下「原子炉建屋原子炉棟 6 階設置設備」という。）

(e)　燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン

(f)　非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備

(g)　使用済燃料乾式貯蔵容器

(h)　使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

【別添資料１（1.2.2（1）：1-3～8）】

(4)　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としては，当該施設の破損等により外部事象防護対象施設等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ある施設又はその施設の特定の区画とする。

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としては，外部事象防護対象施設等を除く構築物，系統及び機器の中から，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及び外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設を以下のとおり抽出する。

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

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としては，施設の高さと外部事象防護対象施設等との距離を考慮して，倒壊により外部事象防護対象施設等を損傷させる可能性がある施設を，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として抽出する。

(a)　サービス建屋

(b)　海水ポンプエリア防護壁

(c)　鋼製防護壁

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に機能的影響を及ぼし得る施設としては，屋外にある外部事象防護対象施設の付属設備で，風圧力及び設計飛来物の衝突等による損傷により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわせる可

能性がある施設を，外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

(a) 非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器」という。）

(b) 非常用ディーゼル発電機排気配管，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンクベント管，非常用ディーゼル発電機機関ベント管及び非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイタンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管」という。）

(c) 残留熱除去系海水系配管（放出側）

(d) 非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）」という。）

【別添資料１（1.2.2 (2)：1-9～12）】

(5) 設計飛来物の設定

敷地全体を俯瞰した現地調査及び検討を行い，発電所構内の資機材，車両等の設置状況を踏まえ，評価対象施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

飛来物に係わる現地調査結果及び「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発 13061911 号　原子力規制委員会決定）」

に示されている設計飛来物の設定例を参照し設定する。

設計飛来物は，浮き上がりの有無，運動エネルギ及び貫通力を踏まえ，鋼製材（長さ 4.2m×幅 0.3m×高さ 0.2m，質量 135kg，飛来時の水平速度 51m／s，飛来時の鉛直速度 34m／s）を設定する。

また，竜巻飛来物防護対策設備の防護ネットを通過し得る可能性があり，鋼製材にて包含できないことから，砂利も設計飛来物とする。

第 1.7.2－1 表に発電所における設計飛来物を示す。

飛来物の発生防止対策については，現地調査により抽出した飛来物や東海発電所を含む当社敷地内に持ち込まれる資機材，車両等の寸法，質量及び形状から飛来の有無を判断し，運動エネルギ及び貫通力を考慮して，衝突時に建屋等又は竜巻飛来物防護対策設備に与えるエネルギ又は貫通力が設計飛来物のうち鋼製材によるものより大きく，外部事象防護対象施設を防護できない可能性があるものは固縛，固定又は評価対象施設等からの離隔を実施し，確実に飛来物とならない運用とする。

なお，当社敷地近傍の隣接事業所から，上記の設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ又は貫通力を上回る飛来物が想定される場合は，フェンス等の設置により飛来物となるものを配置できない設計とすること若しくは当該飛来物の衝撃荷重を考慮した設計荷重に対し，当該飛来物が衝突し得る外部事象防護対象施設等の構造健全性を確保する設計とすること若しくは当該飛来物による外部事象防護対象施設の損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること若しくは安全上支障のない期間で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で，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。

【別添資料１（3.3.1（3）：1-50～61）】

(6)　荷重の組合せと許容限界

竜巻に対する防護設計を行うため，評価対象施設等に作用する設計竜巻荷重の算出，設計竜巻荷重の組合せの設定，設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定及び許容限界について以下に示す。

ａ．評価対象施設等に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により評価対象施設等に作用する荷重として「風圧力による荷重（W_W）」，「気圧差による荷重（W_P）」及び「設計飛来物等による衝撃荷重（W_M）」を以下に示すとおり算出する。

(a)　風圧力による荷重（W_W）

設計竜巻の最大風速による荷重であり，「建築基準法施行令」（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号），「日本建築学会　建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日）に準拠して，次式のとおり算出する。

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

ここで，

W_W：風圧力による荷重

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）に応じて設定する。）

A　：施設の受圧面積

$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^{\,2}$

ここで，

ρ　：空気密度

V_D：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ぜい弱と考えられる評価対象施設等が存在する場合には，鉛直方向の最大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した設計とする。

(b)　気圧差による荷重（W_P）

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び外部事象防護対象施設を内包する区画の外壁，屋根等においては，設計竜巻によ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荷重が発生する。保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

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

ここで，

W_P　　：気圧差による荷重

ΔP_{max}：最大気圧低下量

A　　：施設の受圧面積

(c)　設計飛来物等による衝撃荷重（W_M）

飛来物の衝突方向及び衝突面積を考慮して設計飛来物等が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる向きで衝撃荷重を算出する。

【別添資料１（3.3.1 ：1-49～62）】

b．設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設等の設計に用いる設計竜巻荷重は，設計竜巻による風圧力による荷重（W_W），気圧差による荷重（W_P）及び設計飛来物等による衝撃荷重（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}は米国原子力規制委員会の基準類を参考として，以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$

なお，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。

【別添資料１（3.3.1 ：1-61～62）】

c．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，以下のとおり設定する。

(a) 評価対象施設等に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設等に作用する荷重として，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。

(b) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は，積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり[(1)]，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。

ⅰ） 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。

ⅱ） 雪

冬期，竜巻が襲来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。

ⅲ） ひょう

ひょうは積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒[(2)]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である。直径 10cm 程度のひょうの終端速度は 59m／s[3]，運動エネルギは約 0.9kJ であり，設計飛来物の運動エネルギ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。

ⅳ） 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。

(c) 設計基準事故時荷重

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な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となる。

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ことから，設計基準事故時荷重と設計竜巻との組合せは考慮しない。

仮に，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，評価対象施設等のうち設計基準事故時荷重が生じ，竜巻による風荷重等の影響を受ける屋外設備としては残留熱除去系海水系ポンプ等が考えられるが，設計基準事故時においても残留熱除去系海水系ポンプ等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，竜巻と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

【別添資料１（3.3.2 ：1-62～63）】

d．許容限界

建屋及び構築物の設計において，設計飛来物等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（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，指針類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

・日本工業規格

・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）

・原子力エネルギー協会（ＮＥＩ）の基準・指針類

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である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。

・日本工業規格

・日本機械学会の基準，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）

【別添資料１（3.4.1 ：1-64）】

(7) 評価対象施設等の防護設計方針

評価対象施設等の設計荷重に対する防護設計方針を以下に示す。

【別添資料１（3.4.2 ：1-65～75）】

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。）

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，必要に応じて防護ネット等の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講じる方針とする。

(a)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することがなく，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の吸気機能が維持される設計とする。さらに，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-65）】

(b)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-65）】

(c)　中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）

中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突

により貫通することを考慮して，防護ネットの設置等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中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-66）】

(d)　残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）

残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-66）】

(e)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-66）】

(f)　残留熱除去系海水系ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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残留熱除去系海水系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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-66～67）】

(g)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-67）】

(h)　非常用ガス処理系排気筒

非常用ガス処理系排気筒は，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することはなく，非常用ガス処理系排気筒の排気機能が維持される設計とする。さらに，非常用ガス処理系排気筒は開かれた構造物であり気圧差荷重も作用しないことから，風圧力による荷重及び非常用ガス処理系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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-67）】

(i)　主排気筒

主排気筒の筒身については，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することはなく，主排気筒の排気機能が維持される設計とする。さらに，主排気筒は開かれた構造物であり気圧差荷重は作用しないことから，風圧力による荷重及び主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。

また，設計飛来物の衝突により部材が損傷した場合においても構造健全性が維持され，排気筒全体が倒壊しない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-67～68）】

(j)　原子炉建屋

原子炉建屋原子炉棟外壁（5 階及び 6 階部分）の原子炉建屋外側ブローアウトパネルについては，設計竜巻による気圧低下による開放及び設計飛来物の貫通により，原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能を損なう可能性があるが，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，設計飛来物の衝突及び気圧低下による開放後の開口部からの設計飛来物の侵入を防止する設計とするとともに，気圧低下による開放に対しては，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ことから，安全上支障のない期間に補修が可能な設計とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

また，原子炉建屋は外部事象防護対象施設を内包する建屋でもあるため，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物の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）の破損により原子炉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，原子炉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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-68）】

＜以下，外部事象防護対象施設を内包する区画＞

(k)　タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物等の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，設計飛来物等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。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-68～69）】

(l)　軽油貯蔵タンクタンク室

軽油貯蔵タンクタンク室は，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，軽油貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（1）：1-69）】

ｂ．外部事象防護対象施設のうち，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等による竜巻防護対策を講じる方針とする。

(a)　非常用換気空調設備

非常用換気空調設備は，壁面の補強等の竜巻防護対策を行う原子炉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非常用換気空調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。

【別添資料１（3.4.2（2）：1-69）】

(b)　原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）は，壁面の補強等の竜巻防護対策を行う原子炉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原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）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。

【別添資料１（3.4.2（2）：1-69）】

ｃ．外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

外殻となる施設に内包される外部事象防護対象施設のうち，外殻となる施設が設計竜巻の影響により健全性が確保されず，貫通又は裏面剥離が発生し安全機能を損なう可能性がある場合には，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，安全機能を損なわない設計とする。

原子炉建屋付属棟については，設計飛来物の衝突により壁面及び開口部建具等に貫通が発生することを考慮し，開口部建具等付近の外部事象防護対象施設のうち，設計飛来物の衝突により影響を受ける可能性がある原子炉建屋付属棟３階中央制御室換気空調設備，原子炉建屋換気系隔

離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）及び非常用電源盤（電気室）が安全機能を損なわない設計とする。

原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが設計竜巻による気圧低下により開放されることを考慮し，原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放により発生する外壁開口部付近の外部事象防護対象施設のうち，設計竜巻荷重の影響を受ける可能性がある原子炉建屋原子炉棟6階設置設備，燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン並びに非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備が安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，設計飛来物等の衝突により建屋上部の開口部建具等に貫通が発生することを考慮し，使用済燃料乾式貯蔵建屋内部の外部事象防護対象施設で，設計飛来物等の衝突により影響を受ける可能性がある，使用済燃料乾式貯蔵容器及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-70～72）】

(a)　原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備

原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備は，設計飛来物の衝突により，建屋壁面及び開口部建具に貫通が発生することを考慮し，壁面の補強等の竜巻防護対策を行うことにより，原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備への設計飛来物の衝突を防止し，原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-70）】

(b)　原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

は，設計飛来物の衝突により建屋の壁面等に貫通が発生することを考慮し，壁面等の補強による竜巻防護対策を行うことにより，原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）への設計飛来物の衝突を防止し，原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-70）】

(c)　非常用電源盤（電気室）

非常用電源盤（電気室）は，設計飛来物の衝突により，原子炉建屋付属棟１階電気室扉に貫通が発生することを考慮し，電気室扉の取替等の竜巻防護対策を行うことにより，非常用電源盤（電気室）への設計飛来物の衝突を防止し，非常用電源盤（電気室）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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-70）】

(d)　原子炉建屋原子炉棟６階設置設備

原子炉建屋原子炉棟６階設置設備は，設計竜巻による気圧低下により原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネット等の設置による竜巻防護対策を行うことにより，当該設備への設計飛来物の衝突を防止する。

さらに，原子炉建屋原子炉棟６階設置設備は構造的に風圧力による影響を受けないことから，当該設備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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-71）】

(e)　燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン

燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーンは，設計竜巻による気圧低

下により設備が配置される区画の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネットの設置等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するとともに，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う運用により，原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放状態においても，燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーンの安全機能を損なうことなく，また，転落によって近傍の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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-71）】

(f)　非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備

原子炉建屋内の非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備は，設計竜巻による気圧低下により設備が配置される区画の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，原子炉建屋外側ブローアウトパネルの撤去及び開口部の閉止による竜巻防護対策を行うことにより，非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-72～73）】

(g)　使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は，使用済燃料乾式貯蔵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気圧差荷重は作用しない。

さらに，使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により貫通が発生することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物等の衝突を防止し，

使用済燃料乾式貯蔵容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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-72）】

(g) 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは，使用済燃料乾式貯蔵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気圧差荷重は作用しない。

さらに，使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により貫通が発生することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物等の衝突を防止するとともに，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う運用により，使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの安全機能を損なうことなく，また，転落によって近傍の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。

【別添資料１（3.4.2（3）：1-72）】

d．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，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。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-72～75）】

(a) サービス建屋

サービス建屋は，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。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-73）】

(b)　海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁は，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補強等を行うことで，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。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-73）】

(c)　鋼製防護壁

鋼製防護壁は，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。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-73）】

(d)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器が閉塞することがなく，ディーゼル発電機の機能が維持される設計とする。さらに，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-73～74）】

(e)　非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管が閉塞することがなく，ディーゼル発電機の機能等が維持される設計とする。さらに，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管に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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-74）】

(f)　残留熱除去系海水系配管（放出側）

残留熱除去系海水系配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，残留熱除去系海水系配管（放出側）が閉塞することがなく，残留熱除去系海水系ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，残留熱除去系海水系配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系配管（放出側）に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残留熱除去系海水系ポン

プ等に機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-74）】

(g) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）が閉塞することがなく，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）に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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ等に機能的影響を及ぼさない設計とする。

【別添資料１（3.4.2（4）：1-74～75）】

以上の評価対象施設等の防護設計を考慮して，設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等を第 1.7.2－2 表に，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及び竜巻防護対策等を第 1.7.2－3 表に，外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等を第 1.7.2－4 表に示す。

(8)　竜巻随伴事象に対する評価

竜巻随伴事象として，過去の竜巻被害事例及び発電所の施設の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，事象が発生する場合においても，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。

【別添資料１（3.5：1-75～77）】

ａ．火災

竜巻随伴事象として，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。

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が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，また，外部事象防護対象施設を設置している区画の開口部には防護ネット設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると飛来物が到達することはないことから，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。

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「1.7.9　外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

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。

【別添資料１（3.5（1）：1-75～76）】

ｂ．溢水

竜巻随伴事象として，竜巻による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。

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がある溢水源が配置されておらず，また，外部事象防護対象施設を設置している建屋の開口部には，防護ネット設置等の飛来物防護対策を行うことを考慮すると，飛来物が到達することはないことから，設計竜巻により建屋内に溢水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。

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，「1.6　溢水防護に関する基本方針」にて，地震時の屋外タンク等の破損を想定し，地震起因の溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計としており，竜巻随伴事象による屋外タンク等が損傷して発生する溢水に対しては，上記に包絡されることから，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

以上より，竜巻随伴事象としての溢水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。

【別添資料１（3.5（2）：1-76～77）】

ｃ．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発生する場合については，設計竜巻に対して非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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事

象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１（3.5（3）：1-77）】

1.7.2.2　手順等

竜巻に対する防護については，竜巻に対する影響評価を行い，安全施設が安全機能を損なわないよう手順等を定める。

(1)　屋外の作業区画で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及び貫通力等を評価し，外部事象防護対象施設等への影響の有無を確認する。外部事象防護対象施設等に影響を及ぼす資機材，車両等については，固縛，固定，外部事象防護対象施設等から離隔，頑健な建屋内に収納又は撤去する。これら飛来物発生防止対策について手順を定める。

また，当社敷地近傍の隣接事業所の敷地のうち，資機材，車両等を配置できないようにすることが必要な箇所については，フェンス等の設置による，当該箇所への資機材，車両等の配置を阻止する措置を，隣接事業所との合意文書に基づき当社にて実施する。

(2)　竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において，外部事象防護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を定める。

(3)　竜巻の襲来後，放水路ゲートに損傷を発見した場合の措置について，放水路ゲートの駆動装置に損傷を発見した場合，安全機能を回復するために速やかな補修等を行う手順を整備し，的確に実施する。また，速やかな補修等が困難と判断された場合には，プラントを停止する手順を整備し，的確に実施する。

1.7.2.3　参考文献

(1)　雷雨とメソ気象　大野久雄，東京堂出版

(2)　気象庁ホームページ

(3)　一般気象学　小倉義光，東京大学出版会

第 1.7.2－1 表　発電所における設計飛来物

飛来物の種類	砂利	鋼製材
サイズ（m）	長さ×幅×高さ 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量（kg）	0.18	135
最大水平速度 （m／s）	62	51
最大鉛直速度 （m／s）	42	34

【別添資料１（3.3.1（3）：1-60）】

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（１／４）

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の 最大風速	飛来物 発生防止対策	防護設備 （外殻となる施設）	想定する 飛来物	手順等
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	－	鋼製材 砂利	補修
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン			竜巻飛来物防護対策設備	砂利	防護扉の閉止確認
中央制御室換気系冷凍機 （配管，弁含む。）			竜巻飛来物防護対策設備	砂利	防護扉の閉止確認
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（２／４）

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
残留熱除去系海水系ストレーナ	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	水密扉の閉止確認
非常用ガス処理系排気筒			－	鋼製材 砂利	補修
主排気筒			－	鋼製材 砂利	補修
排気筒モニタ			－	鋼製材 砂利	補修
原子炉建屋（閉じ込め機能）			竜巻飛来物防護対策設備	鋼製材 砂利	補修
放水路ゲート			－	鋼製材 砂利	補修

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（３／４）

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
非常用換気空調設備	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備 補強した防護扉等	－	防護扉の閉止確認
原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）			補強した建屋壁等	－	－
原子炉建屋付属棟 3 階中央制御室換気空調設備			施設を内包する施設 補強した防護扉等	－	防護扉の閉止確認
非常用電源盤（電気室）			施設を内包する施設 取替えた防護扉	－	防護扉の閉止確認
原子炉建屋原子炉棟 6 階設置設備			施設を内包する施設	－	－
燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	竜巻襲来予想時 燃料取扱作業の中止
非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備			施設を内包する施設 閉止した開口部	－	－
使用済燃料乾式貯蔵容器			施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	－

第 1.7.2－2 表　設計竜巻から防護する評価対象施設及び竜巻防護対策等（４／４）

設計竜巻から防護する評価対象施設	竜巻の最大風速	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	施設を内包する施設 竜巻飛来物防護対策設備	砂利	竜巻襲来予想時 燃料取扱作業の中止
安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する施設のうち上記以外の建屋，構築物内の施設			施設を内包する施設	－	－
安全重要度分類のクラス３に属する施設（下記以外の施設）			－	－	代替設備の確保 補修，取替等
緊急時対策所建屋内の施設			施設を内包する施設 （緊急時対策所建屋）	－	－
緊急時対策所建屋（設計基準対象施設に関する機能）			－	鋼製材 砂利 車両	補修
緊急時対策所建屋（重大事故等対処施設に関する機能）		－	－		敷地外物品のため，衝突を考慮した上で，施設の機能維持を確認

第 1.7.2－3 表　外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻防護対策等

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	竜巻の 最大風速	飛来物 発生防止対策	防護設備 （外殻となる施設）	想定する 飛来物	手順等
サービス建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	－	鋼製材 砂利	—
海水ポンプエリア防護壁			－	鋼製材 砂利	—
鋼製防護壁			－	鋼製材 砂利	—
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器			－	鋼製材 砂利	—
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管			－	鋼製材 砂利	—
残留熱除去系海水系配管（放出側）			－	鋼製材 砂利	—
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）			－	鋼製材 砂利	—

第 1.7.2－4 表　外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等（１／３）

外部事象防護対象施設を内包する区画	竜巻の最大風速	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
原子炉建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	竜巻飛来物防護対策設備	鋼製材 砂利	―
タービン建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	－	鋼製材 砂利	―
		－	－	コンテナ	敷地外物品のため，衝突を考慮した上で，施設の機能維持を確認

第 1.7.2－4 表　外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等（２／３）

外部事象防護対象施設を内包する区画	竜巻の最大風速	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
使用済燃料乾式貯蔵建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	竜巻飛来物防護対策設備	鋼製材 砂利	—
		—	竜巻飛来物防護対策設備	車両	・敷地外物品のため，衝突を考慮した上で，施設の機能維持及び建屋内部への飛来物の侵入防止を確認 ・飛来物が到達しないようにすることが必要な箇所は，フェンス等の設置による，資機材，車両等の配置を阻止する措置を，当社にて実施。

第 1.7.2－4 表　外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻防護対策等（３／３）

外部事象防護対象施設を内包する区画	竜巻の最大風速	飛来物発生防止対策	防護設備（外殻となる施設）	想定する飛来物	手順等
軽油貯蔵タンクタンク室	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	－	鋼製材 砂利	—
排気筒モニタ建屋	100m／s	・固縛 ・固定 ・外部事象防護対象施設等との離隔	－	鋼製材 砂利	補修

(3) 適合性説明

第六条　外部からの衝撃による損傷の防止

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

適合のための設計方針

第1項について

(3)　竜巻

安全施設は，設計竜巻の最大風速100m／sによる風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物等の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために，飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。

a．飛来物の発生防止対策

竜巻により東海発電所を含む当社敷地内の資機材等が飛来物となり，外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないために，以下の対策を行う。

・外部事象防護対象施設等へ影響を及ぼす資機材及び車両については，固縛，固定，外部事象防護対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔，頑健な建屋内収納又は撤去する。

ｂ．竜巻防護対策

固縛等による飛来物の発生防止対策ができないものが飛来し，安全施設が安全機能を損なわないように，以下の対策を行う。

・外部事象防護対象施設を内包する区画及び竜巻飛来物防護対策設備により，外部事象防護対象施設を防護し，構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。

・外部事象防護対象施設の構造健全性が維持できない場合には，代替設備の確保，損傷した場合の取替え又は補修が可能な設計とすることにより安全機能を損なわない設計とする。

ここで，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のある自然現象は，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，設計竜巻荷重に包含される。

1.3　気象等

8.　竜巻

8.1　竜巻

竜巻影響評価は，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発 13061911 号　原子力規制委員会決定）」（以下「ガイド」という。）に基づき実施する。

基準竜巻及び設計竜巻の設定は，竜巻検討地域の設定，基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。

【別添資料１（2.1 ：1-15）】

8.1.1　竜巻検討地域の設定

発電所が立地する地域と，気象条件の類似性の観点及び局所的な地域性の観点で検討を行い，竜巻検討地域を設定する。

(1)　気象総観場の分析

気象条件の類似性の観点では，気象総観場ごとの竜巻発生位置を整理し，発電所と類似の地域を抽出する。竜巻発生要因の総観場は，気象庁「竜巻等の突風データベース」[(1)]を基に，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[(2)]を参考に，低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風及びその他（高気圧等）の 6 つに分類する。なお，低気圧には，暖気の移入，寒気の移入及び停滞前線以外の前線を，停滞前線では梅雨前線を，局所性降雨では雷雨を含めている。第 8.1－1 図に竜巻発生時の総観場の分布を示す。

第 8.1－2 図の都道府県ごとの竜巻の発生要因別比率に示すとおり，低

気圧起因の竜巻は全国一様に発生していること，一方，台風起因の竜巻は日本海側には発生しておらず，主に太平洋側で発生していることが分かる。また，停滞前線起因の竜巻は北海道を除く各地に発生していること，局所性降雨は内陸部での竜巻発生も促すこと，及び季節風や高気圧起因とされる竜巻の発生数は比較的少ないことが分かる。

【別添資料１（2.2.1 ：1-16～18）】

(2) 総観場の分析に基づく地域特性の確認

竜巻発生の地域性が見られる台風起因の発生領域から，太平洋側の宮城県から沖縄県にかけての範囲を考慮する。発電所はこの範囲に立地しており，太平洋側の宮城県から沖縄県を基本として，竜巻の発生頻度の観点から総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA_1の検討を行う。

発電所から半径 180km 圏内（約 10 万 km^2圏）を含む太平洋側沿岸の海岸線から陸側海側各 5km の範囲を対象として，単位面積当たりの発生数の比較を第 8.1－3 図及び第 8.1－1 表に示す。なお，表の竜巻の個数は各ケースの領域ごとにおける発生した全ての竜巻の個数である。

この結果，福島県から沖縄県にかけての範囲である$TA_{1.6}$のケースの単位面積当たりの発生数が最も大きくなるため，これを総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA_1とする。

【別添資料１（2.2.2 ：1-19～20）】

(3) 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認

局地的な地域性の観点では，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」[3]に，全国 19 箇所の竜巻集中地域が示されており，第 8.1－4 図に示すとおり，発電所は，竜巻集中地域⑰に立地している。

竜巻集中地域⑰を第 8.1－1 表の$TA_{1.1}$とし，これを竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA_2とする。

【別添資料１（2.2.3 ：1-21）】

(4) 竜巻検討地域

発電所に対する竜巻検討地域について，「総観場の分析に基づく地域特性の確認」，「過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認」により地域特性を確認し，竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数によって，福島県から沖縄県にかけての太平洋側沿岸の海岸線から海側及び陸側それぞれ5kmの範囲を竜巻検討地域に設定する（面積約57,000km^2）。

第8.1－5図に竜巻検討地域を示す。

【別添資料１（2.2.4 ：1-22）】

8.1.2 基準竜巻の最大風速の設定

基準竜巻の最大風速は，過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}），及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）のうち，最も大きな風速を設定する。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）

過去に発生した竜巻による最大風速の設定に当たっては，竜巻検討地域における過去最大竜巻はＦ３であり，Ｆスケールと風速の関係より風速は70m／s～92m／s であることから，竜巻検討地域で過去に発生した最大竜巻Ｆ３の風速範囲の上限値92m／sをV_{B1}とする。

第 8.1－2 表に竜巻検討地域におけるＦ３スケール相当以上の竜巻の観測記録を示す。

【別添資料１（2.3.1 ：1-23）】

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

竜巻最大風速のハザード曲線は，ガイドに従い，既往の算定方法に基づき，具体的には「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(2)

を参照して，算定する。本評価は，竜巻データの分析，竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定，相関係数の算定，並びにハザード曲線の算定によって構成される。

竜巻最大風速のハザード曲線の算定は，竜巻検討地域（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲）の評価及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1km 範囲ごとに短冊状に細分化した場合の評価の２とおりで算定し，そのうち大きな風速を設定する。

【別添資料１（2.3 ：1-24～37）】

ａ．海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲の評価

本評価では，竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した陸上発生竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは，それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

【別添資料１（2.3.2 ：1-24）】

ｂ．竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」(1)をもとに，1961 年～2012 年 6 月までの 51.5 年間の統計量をＦスケール別に算出する。なお，観測体制の変遷による観測データ品質のばらつきを踏まえ，以下の(a)～(c)の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

(a) 被害が小さくて見過ごされやすいＦ０及びＦスケール不明竜巻に対しては，観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微なＦ１竜巻に対しては，観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。

(c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられるＦ２及びＦ３竜巻に対しては，観測記録が整備された 1961 年以降の全期間の年

間発生数や標準偏差を用いる。

また，Ｆスケール不明の竜巻については，以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については，被害があって初めてそのＦスケールが推定されるため，陸上でのＦスケール不明の竜巻は，被害が少ないＦ０竜巻とみなす。

海上で発生し，その後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）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ことから，「海岸線から海上 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が，海岸線から内陸 5km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各Ｆスケールに分類する。その結果，Ｆスケール不明の海上竜巻の取扱いにより，第 8.1－3 表のとおり観測実績に対して保守性を高めた評価としている。

【別添資料１（2.3.3 ：1-25～27）】

ｃ．年発生数の確率密度分布の設定

ハザード曲線の評価に当たって竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定し，使用する竜巻年発生数の確率密度分布はポリヤ分布を採用する。

竜巻年発生数の確率分布の設定には，ポアソン分布とポリヤ分布が考えられる。

ポアソン分布は，生起確率が正確に分からないまれな現象の場合に有用な分布である。一方，ポリヤ分布は，発生状況が必ずしも独立でないまれな現象（ある事象が生ずるのはまれであるが，一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば，伝染病の発生件数）。台風や前線により竜巻が発生した場合，同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため，

ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

また，国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]に示されており，陸上及び海上竜巻の両方の発生数について，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に，発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を評価した結果，竜巻検討地域においても，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れていることを確認している。

【別添資料１（2.3.3 ：1-28～29）】

ｄ．竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率分布並びに相関係数

竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数，被害幅及び被害長さを基に，確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]を参照し，対数正規分布に従うものとする。（第 8.1－6 図～第 8.1－8 図）

なお，疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には，被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は，被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで，被害幅又は被害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，被害幅又は被害長さ０のデータについては計算に用いておらず，保守的な評価を行っている。

このように，前述のＦスケール不明の竜巻の取扱い等も含め，データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

また，1961 年以降の観測データのみを用いて，竜巻風速，被害幅及び被害長さについて相関係数を求める。（第 8.1－4 表）

【別添資料１（2.3.4 ：1-30～32）】

ｅ．竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは，発電所の評価対象施設の面積及び設置位置を考慮して，評価対象施設を包絡する円形のエリア（直径 300m，面積約 7.1×10^4m^2）として設定する。（第 8.1－9 図）

なお，竜巻影響エリアを円形とするため，竜巻の移動方向には依存性は生じない。

【別添資料１（2.3.5 ：1-32～33）】

ｆ．ハザード曲線の算定

Ｔ年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がV_0以上となる確率を求め，ハザード曲線を求める。

前述のとおり，竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式（a）[4]で示される。

$$P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!}\left(1 + \beta\nu T\right)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1}(1 + \beta k) \qquad \text{(a)}$$

ここで，

Ｎ：竜巻の年発生数

ν：竜巻の年平均発生数

Ｔ：年数

βは，分布パラメータであり式（b）で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{\nu} - 1\right) \times \frac{1}{\nu} \qquad \text{(b)}$$

ここで，

σ：竜巻の年発生数の標準偏差

竜巻影響評価の対象となる構造物が風速V_0以上の竜巻に遭遇する事象をDと定義し，竜巻影響評価の対象構造物が１つの竜巻に遭遇し，その竜巻の風速がV_0以上となる確率をR（V_0）としたとき，T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がV_0以上となる確率は式（c）で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta\nu R(V_0)T]^{-1/\beta} \tag{c}$$

このR（V_0）は，竜巻影響評価の対象地域の面積をA_0（つまり竜巻検討地域の面積約 57,000km^2），1 つの竜巻の風速がV_0以上となる面積をDA（V_0）とすると式（d）で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \tag{d}$$

ここで，E［DA（V_0）］は，DA（V_0）の期待値を意味する。

本評価では，以下のようにしてDA（V_0）の期待値を算出し，式（d）によりR（V_0）を推定し，式（c）により$P_{V_0,T}$（D）を求める。風速をV，被害幅をw，被害長さをl，移動方向をαとし，f（V，w，l）等の同時確率密度関数を用いると，DA（V_0）の期待値は式（e）[5]で示される。

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

ここで，H（α）及びG（α）はそれぞれ，竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に評価対象構造物を投影した時の長さである。竜巻影響エリアを円形で設定しているため，H（α）及びG（α）ともに竜巻

影響エリアの直径300mで一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。Ｓは竜巻影響エリアの面積（直径300mの円の面積：約7.1×10^4m^2）を表わす。円の直径をD_0とした場合の計算式は，式（f）で示される。

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

また，風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として120m／sに設定する。

なお，W（V_0）は竜巻風速がV_0以上となる幅であり，式（g）[(5)][(6)]で示される。この式により，被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布がある（被害幅の端ほど風速が小さくなる）ことが考慮されている。

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

ここで，係数の1.6について，既往の研究では，例えば0.5又は1.0などの値も提案されている。ガイドにて参照しているGarson et al.[(6)]では，観測値が不十分であるため保守的に1.6を用いることが推奨されており，本評価でも1.6を用いる。

V_{min}は，竜巻被害が発生する最小風速であり，GarsonはGale intensity velocityと呼ばれ，被害が発生し始める風速に位置付けら

れる（Gale とは非常に強い風の意）。Garson et al.[6]では，V_{min}は＝40mph≒18m／s（1mph≒1.61km／h）を提案している。米国の気象局（National Weather Service）では，34 ノット～47 ノット（17.5m／s～24.2m／s）とされている。日本の気象庁では，気象通報にも用いられている風力階級において，風力 8 が疾強風（gale，17.2m／s～20.7m／s），風力 9 では大強風（strong gale，20.8m／s～24.4m／s）と分類されており風力 9 では「屋根瓦が飛ぶ，人家に被害が出始める」とされている。

以上を参考とし，V_{min}＝25m／s とした。この値は，ＦＯ（17m／ｓ～32m／ｓ）のほぼ中央値に相当する。

海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 範囲を対象に算定したハザード曲線より，年超過確率 10^{-5}における風速を求めると，73m／s となる。（第 8.1－10 図）

【別添資料１（2.3.6 ：1-34～36）】

ｇ．1km 範囲に細分化した評価

1km 範囲ごとに細分化した評価は，1km 幅は変えずに順次ずらして移動するケース（短冊ケース）を設定して評価する。評価の条件として，被害幅及び被害長さは，それぞれ 1km 範囲内の被害幅及び被害長さを用いている。上記評価条件に基づいて，海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲の評価と同様の方法でハザード曲線を算定する。

これら算定したハザード曲線より，年超過確率 10^{-5}における風速を求めると，陸側 3km～4km を対象とした場合の 80m／s が最大となる。（第 8.1－11 図）

【別添資料１（2.3.6 ：1-36～37）】

ｈ．竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域（竜巻検討地域）の評価と 1km 範囲ごとに細分化した評価を比較して，竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速V_{B2}は，ガイドを参考に年超過確率 10^{-5}に相当する風速とし，80m／s とする。（第 8.1－12 図）

【別添資料１（2.3.7 ：1-37）】

(3) 基準竜巻の最大風速の設定

過去に発生した竜巻による最大風速V_{B1}＝92m／s 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速V_{B2}＝80m／s より，発電所における基準竜巻の最大風速V_Bは 92m／s とする。

【別添資料１（2.3.9 ：1-41）】

8.1.3 設計竜巻の最大風速の設定

発電所が立地する地域の特性として，周辺の地形を考慮して，基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し，設計竜巻の最大風速を設定する。

(1) 発電所周辺の地形

発電所敷地周辺の地形を第 8.1－13 図に示す。

竜巻のような回転する流れでは，角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため，竜巻の渦が上り斜面を移動する時，基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動する時には強まる。

発電所が立地する敷地周辺は，最大でも標高 40m 程度のなだらかな地形であり，発電所周辺で発生する竜巻は，敷地周辺の地形において，竜巻渦の旋回強度に影響を及ぼすと考えられるマイクロスケール（数百 m）規模

の起伏は認められないことから，地形効果による竜巻の増幅の可能性は低いとする。

【別添資料１（2.4.1（2）：1-43～44）】

(2)　設計竜巻の最大風速V_D

発電所では，地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えるが，現状では竜巻の観測数等のデータが十分とまでは言い切れず，不確実性があることを考慮し，設計竜巻の最大風速V_Dは，基準竜巻の最大風速 92m／s を安全側に切り上げた 100m／s とする。

【別添資料１（2.4.1（3）：1-44）】

8.1.4　設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値は，設計竜巻の最大風速（V_D）より米国ＮＲＣの基準類[7]を参考として，以下に示す手法に基づき，第 8.1－5 表のとおり設定する。

(1)　設計竜巻の移動速度（V_T）

設計竜巻の移動速度（V_T）は，ガイドに基づき，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]による風速場モデルに依存しない日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度（平均値）と最大風速との関係を参照して設定されている以下の算定式を用いて，V_DからV_Tを算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(2)　設計竜巻の最大接線風速（V_{Rm}）

設計竜巻の最大接線風速（V_{Rm}）は，ガイドに基づき，米国ＮＲＣの基準類[7]を参考に設定されている風速場モデルに依存しない以下の式を

用いて算定する。

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

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(3)　設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径（R_m）

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径（R_m）は，ガイドに基づき，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[2]による日本の竜巻の観測記録を基に提案された風速場モデルに準拠して以下の値を用いる。

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

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(4)　設計竜巻の最大気圧低下量（ΔP_{max}）

設計竜巻の最大気圧低下量（ΔP_{max}）は，ガイドに基づき，米国ＮＲＣの基準類[7]を参考に設定されているランキン渦モデルによる風速分布に基づいた以下の式を用いて算定する。

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

ここで，

ρ：空気密度（1.22kg／m^3）

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

(5)　設計竜巻の最大気圧低下率（（ｄｐ／ｄｔ）$_{max}$）

設計竜巻の最大気圧低下率（（ｄｐ／ｄｔ）$_{max}$）は，ガイドに基づき，米国ＮＲＣの基準類[7]を参考に設定されているランキン渦モデルによる風速分布に基づいた以下の式を用いて算定する。

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

【別添資料１（2.4.2（1）：1-45）】

8.2 参考文献

(1) 気象庁 竜巻等の突風データベース

(2) 東京工芸大学（2011）：平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構

(3) 井上博登，福西史郎，鈴木哲夫，2013:原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説，独立行政法人原子力安全基盤機構，JNES-RE-2013-9009

(4) Wen.Y.K and Chu. S.L. (1973) : Tornado Risks and Design Wind Speed, Journal of the Structural Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Vol.99, No.ST12,pp.2409-2421

(5) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Risk Evaluation Using Wind Speed Profiles, Journal of the Structural. Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Vol.101, No.ST5, pp.1167-1171

(6) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.101, No.ST9, pp.1883-1897

(7) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.

第 8.1－1 表　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補ごとの竜巻の個数と

単位面積当たり発生数

領域			領域面積 (km^2)	51.5 年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数 (個／年／km^2)
ＴＡ$_{1.1}$	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
ＴＡ$_{1.2}$	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
ＴＡ$_{1.3}$	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
ＴＡ$_{1.4}$	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
ＴＡ$_{1.5}$	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
ＴＡ$_{1.6}$	**①～⑥**	**福島県～沖縄県**	**57,000**	**300**	**1.02E-04**
ＴＡ$_{1.7}$	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
ＴＡ$_{1.8}$	①～⑥,⑧	宮城県～沖縄県	59,700	302	0.98E-04

【別添資料１（2.2.2 ：1-20）】

第 8.1－2 表　竜巻検討地域内で過去（1961 年 1 月～2012 年 6 月）

に発生したＦ３スケール相当以上の竜巻の観測記録

発生日時	発生場所				Ｆスケール
	緯度	経度	都道府県	市町村	
1999 年 09 月 24 日 11 時 07 分	34 度 42 分 4 秒	137 度 23 分 5 秒	愛知県	豊橋市	Ｆ３
1990 年 02 月 19 日 15 時 15 分	31 度 15 分 38 秒	130 度 16 分 35 秒	鹿児島県	枕崎市	Ｆ２～Ｆ３
1978 年 02 月 28 日 21 時 20 分	35 度 32 分 1 秒	139 度 41 分 50 秒	神奈川県	川崎市	Ｆ２～Ｆ３
1969 年 12 月 07 日 18 時 00 分	34 度 45 分 4 秒	137 度 22 分 46 秒	愛知県	豊橋市	Ｆ２～Ｆ３
1968 年 09 月 24 日 19 時 05 分	32 度 7 分 16 秒	131 度 32 分 8 秒	宮崎県	高鍋町	Ｆ２～Ｆ３
1967 年 10 月 28 日 03 時 12 分	35 度 42 分 3 秒	140 度 43 分 10 秒	千葉県	飯岡町	Ｆ２～Ｆ３

【別添資料１（2.3.1 ：1-23）】

第 8.1－3 表　竜巻発生数の分析結果

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

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

【別添資料１（2.3.2 ：1-26）】

第 8.1－4 表　最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

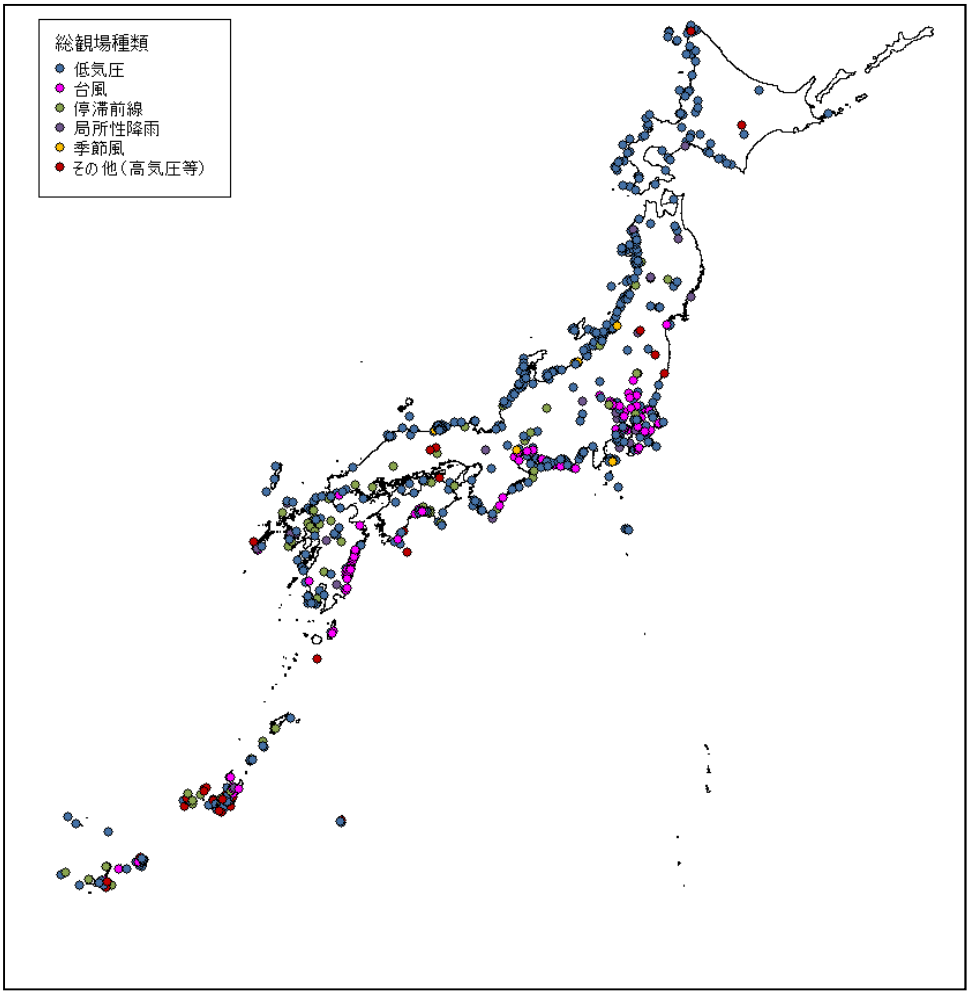
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	－	1.000	0.381
被害長さ	－	－	1.000

【別添資料１（2.3.4 ：1-32）】

第 8.1－5 表　設計竜巻の特性値

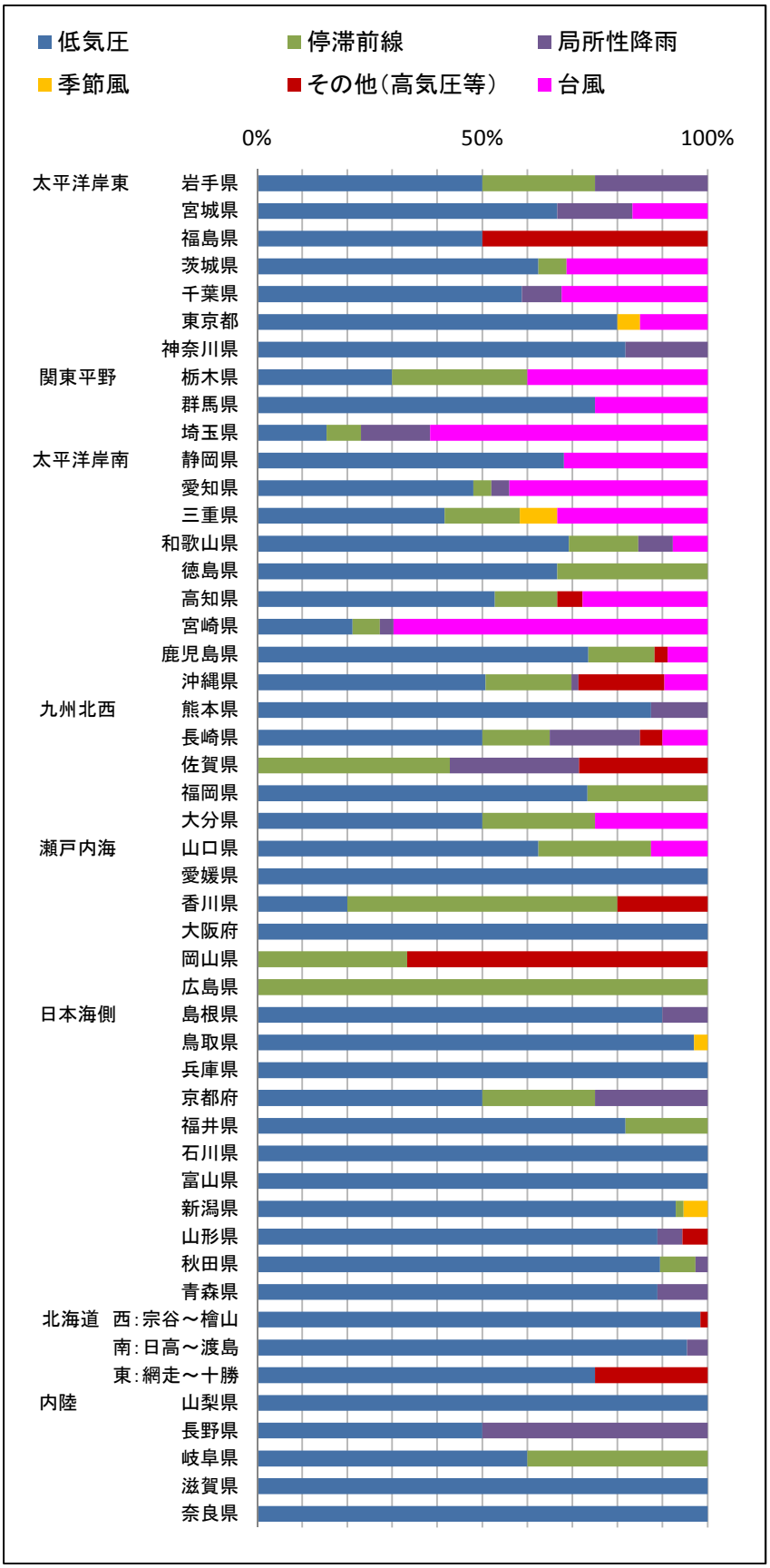
設計竜巻の最大風速 V_D (m／s)	移動速度 V_T (m／s)	最大接線風速 V_{Rm} (m／s)	最大接線風速半径 R_m (m)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa／s)
100	15	85	30	89	45

【別添資料１（2.4.2 ：1-46）】



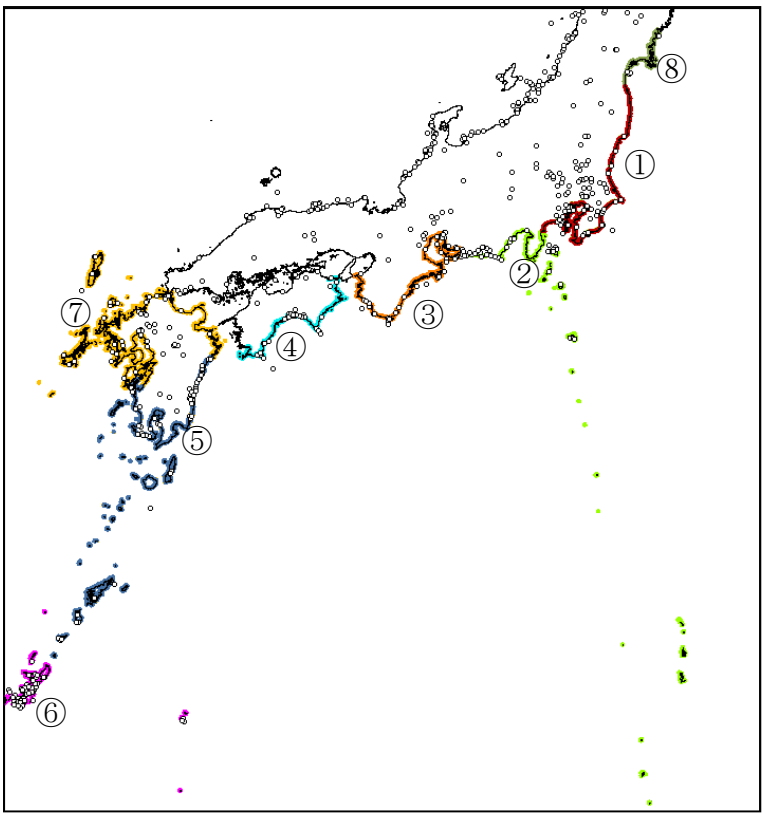
第 8.1－1 図　竜巻発生時の総観場の分布（1961 年 1 月～2012 年 6 月）

【別添資料１（2.2.1 ：1-17）】



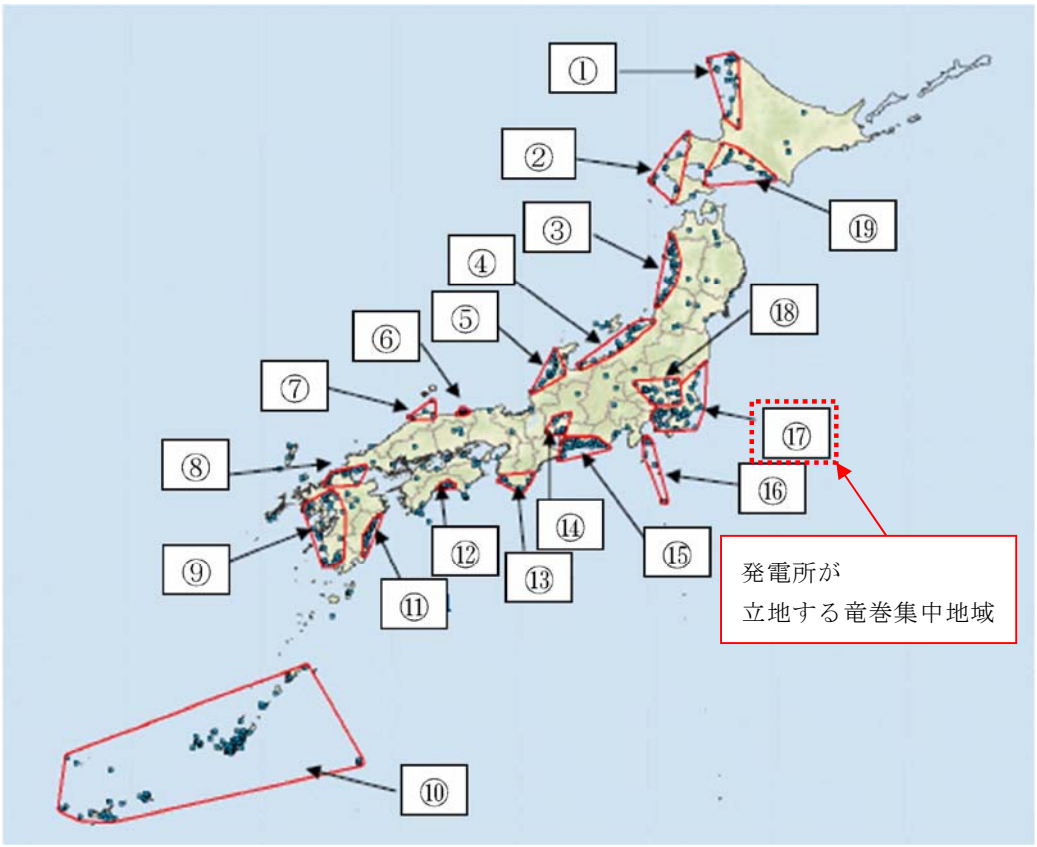
第 8.1－2 図　各都道府県での竜巻の発生要因別比率

【別添資料１（2.2.1 ：1-18）】



第 8.1－3 図　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の検討領域

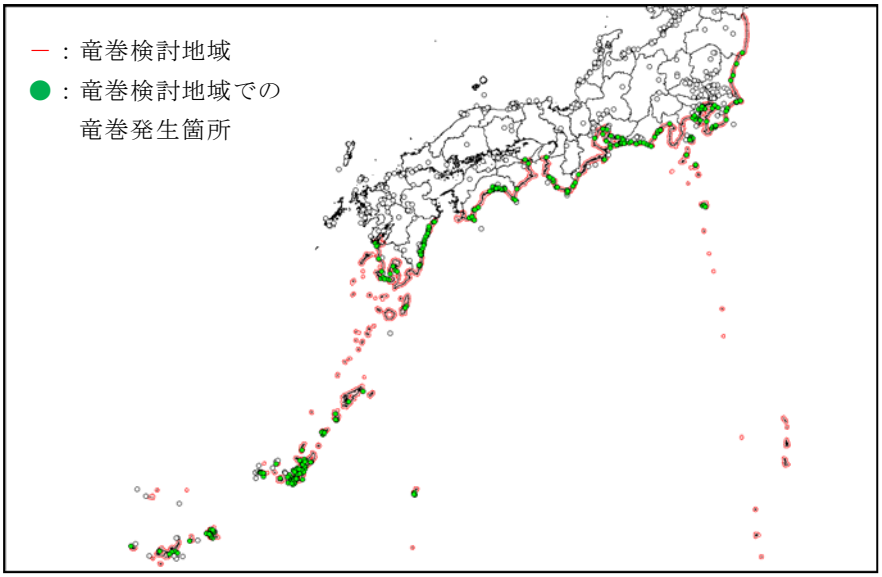
【別添資料１（2.2.2 ：1-20）】



第 8.1－4 図　竜巻の発生する地点と竜巻が集中する 19 の地域

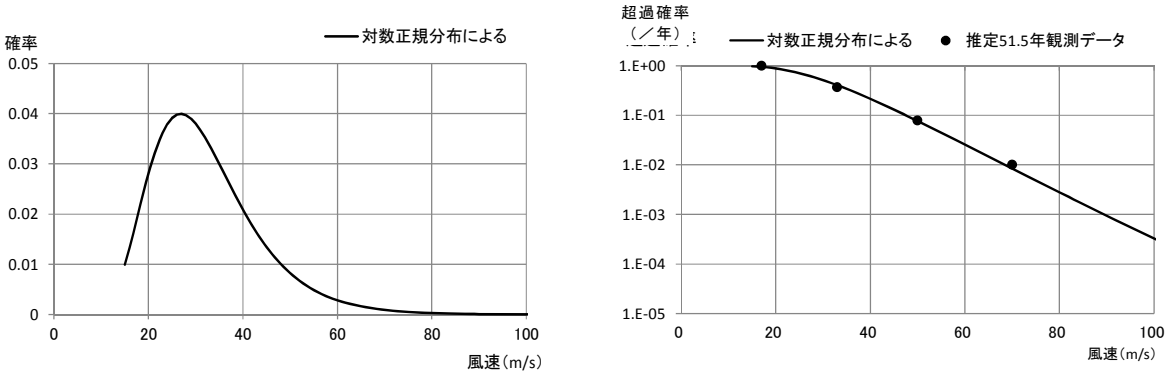
（「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」より引用）

【別添資料１（2.2.3　：1-21）】

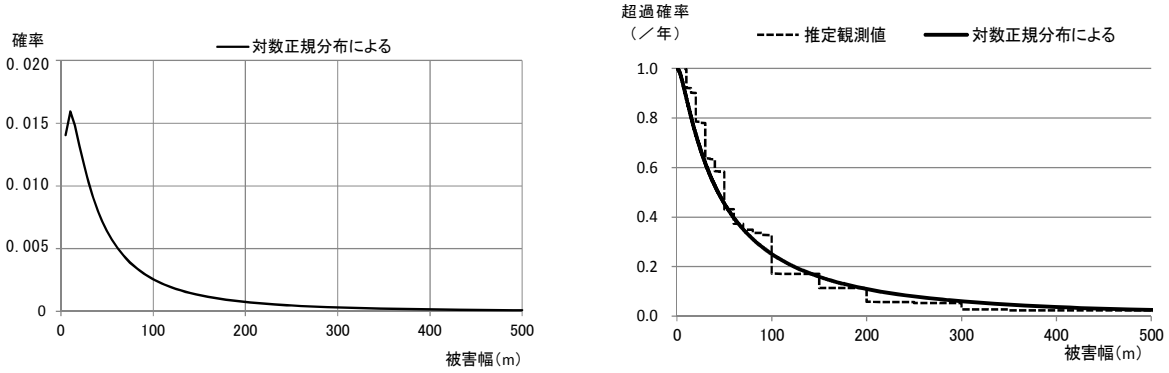


第8.1－5図　竜巻検討地域

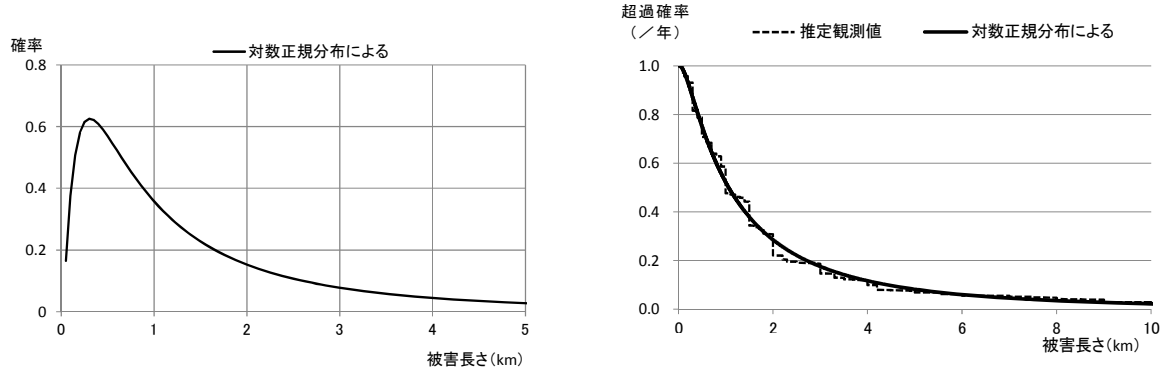
【別添資料１（2.2.4　：1-22）】



第 8.1－6 図　最大風速の確率密度分布（左）と超過確率分布（右）

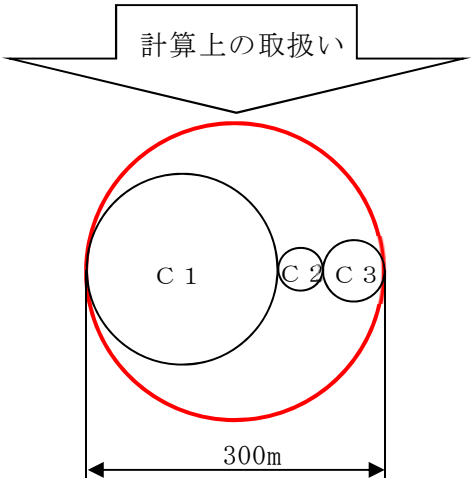


第 8.1－7 図　被害幅の確率密度分布（左）と超過確率分布（右）



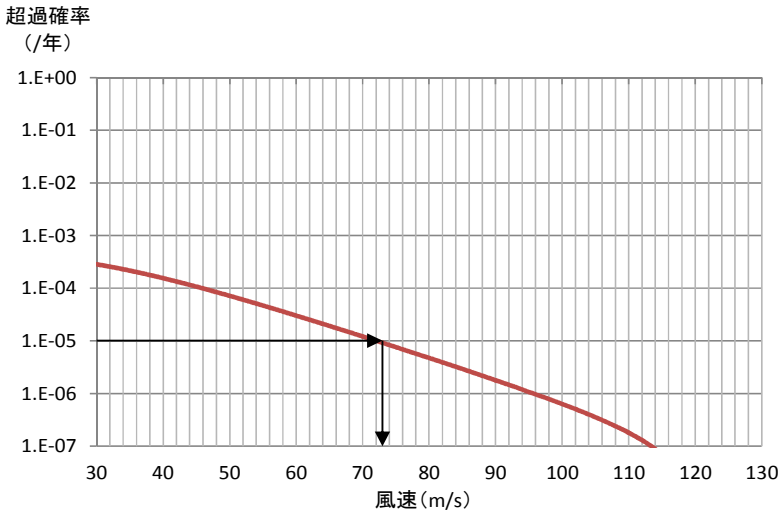
第 8.1－8 図　被害長さの確率密度分布（左）と超過確率分布（右）

【別添資料１（2.3.4 ：1-31）】



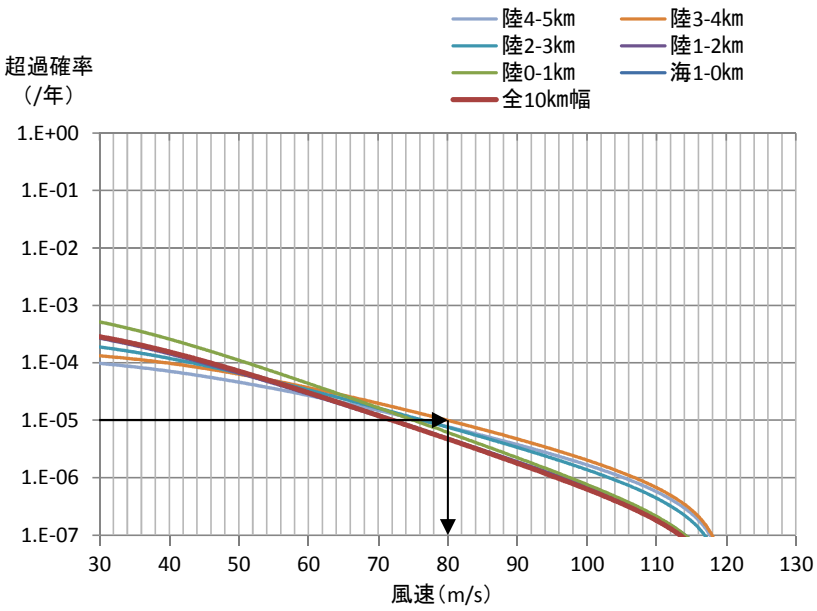
第 8.1－9 図　竜巻影響エリア

【別添資料１（2.3.5 ：1-33）】



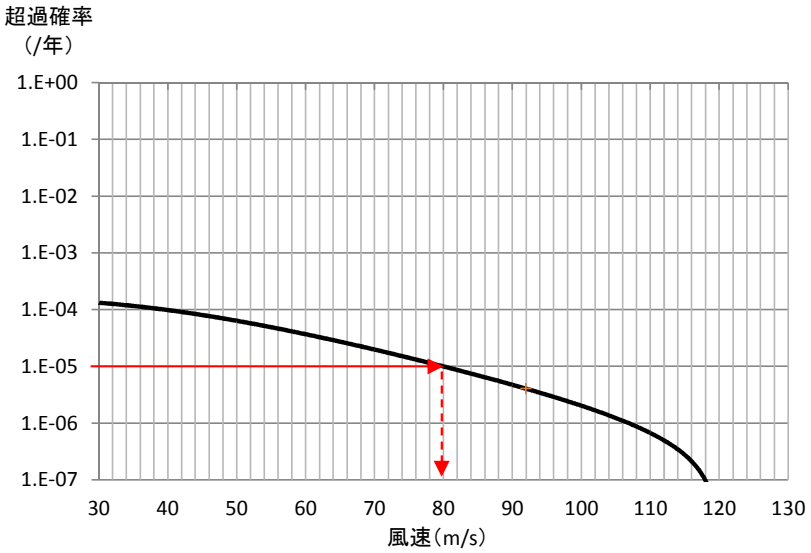
第 8.1－10 図　竜巻最大風速のハザード曲線（海側，陸側 5km 範囲）

【別添資料１（2.3.6 ：1-36）】



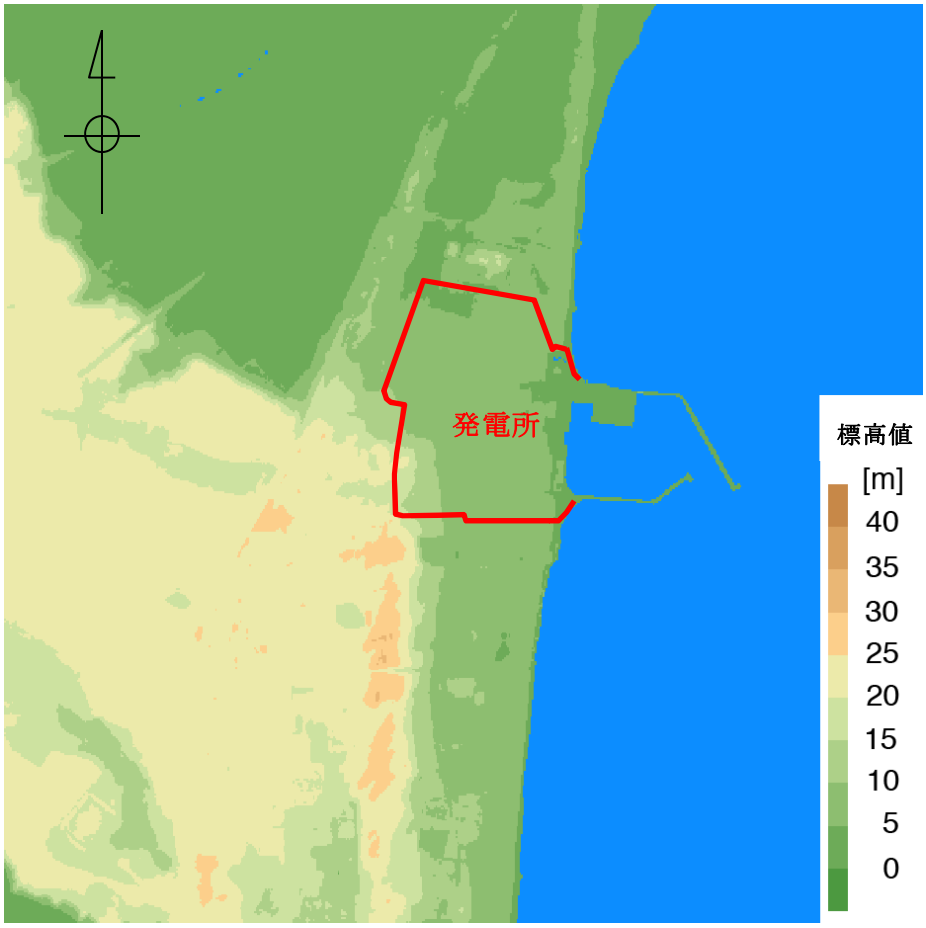
第 8.1－11 図　竜巻検討地域を 1km 幅ごとに細分化した場合のハザード曲線

【別添資料１（2.3.6 ：1-37）】



第 8.1－12 図　竜巻最大風速のハザード曲線

【別添資料１（2.3.9 ：1-41）】



第 8.1－13 図　発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形

（国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆）

【別添資料１（2.4.1 ：1-44）】

別添資料１

東海第二発電所

竜巻影響評価について

目　　次

1.　竜巻に対する防護 …… 1
1.1　概要 …… 1
1.2　評価の基本方針 …… 2
1.2.1　竜巻から防護する施設の抽出 …… 2
1.2.2　竜巻影響評価の対象施設 …… 2
1.2.3　評価の基本的な考え方 …… 12
1.2.3.1　評価方法 …… 12
1.2.3.2　評価対象施設等に作用する荷重 …… 12
1.2.3.3　施設の安全性の確認方針 …… 13
2.　基準竜巻・設計竜巻の設定 …… 15
2.1　概要 …… 15
2.2　竜巻検討地域の設定 …… 15
2.2.1　気象総観場の分析 …… 16
2.2.2　総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域TA_1の設定 …… 19
2.2.3　竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA_2の設定 …… 21
2.2.4　竜巻検討地域ＴＡの設定 …… 22
2.3　基準竜巻の最大風速（V_B）の設定 …… 23
2.3.1　過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}） …… 23
2.3.2　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}） …… 24
2.3.3　発生頻度の分析 …… 25
2.3.4　竜巻風速，被害幅，被害長さの確率密度分布並びに相関係数 30
2.3.5　竜巻影響エリアの設定 …… 32
2.3.6　ハザード曲線の算定 …… 34

2.3.7　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）…… 37
2.3.8　竜巻ハザードの不確かさの検討 …… 38
2.3.9　基準竜巻の最大風速（V_B） …… 41
2.3.10　竜巻データの更新に関する対応 …… 41
2.4　設計竜巻の設定 …… 43
2.4.1　設計竜巻の最大風速（V_D）の設定 …… 43
2.4.2　設計竜巻の特性値 …… 45
3.　竜巻影響評価 …… 48
3.1　概要 …… 48
3.2　評価対象施設等 …… 48
3.3　設計荷重の設定 …… 49
3.3.1　設計竜巻荷重の設定 …… 49
3.3.2　設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定 …… 62
3.4　評価対象施設等の設計方針 …… 63
3.4.1　許容限界 …… 64
3.4.2　設計方針 …… 65
3.5　竜巻随伴事象に対する評価 …… 76

添付資料

1.　外部事象防護対象施設のうち評価対象施設の抽出について

別紙 1-1　緊急時対策所の竜巻防護方針について

別紙 1-2　排気筒モニタについて

2.　耐震Ｓクラス施設について

別紙 2-1　外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の防護方針について

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の抽出について

4.　竜巻検討地域の設定について

5.　ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について

別紙 5-1　海上のＦスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について

別紙 5-2　竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響について

6.　地形効果による竜巻の増幅の可能性について

7.　竜巻影響評価の概要及び保守性について

8.　竜巻影響評価及び竜巻防護対策の概要

別紙 8-1　評価対象施設等の設計荷重について

別紙 8-2　竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について

別紙 8-3　飛来物化する可能性がある物品の管理について

別紙 8-4　竜巻準備体制の発令の判断基準について

別紙 8-5　原子炉建屋ブローアウトパネルに対する対応方針について

別紙 8-6　南方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-7　北方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-8　西方の隣接事業所からの飛来物の影響について

9.　設計飛来物の設定について

別紙 9-1　分解され小型軽量となる物品及び損傷するが飛来物とならない物品について

別紙 9-2　空力パラメータについて

別紙 9-3　フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とすることの妥当性について

別紙 9-4　車両の飛散範囲について

別紙 9-5　東海発電所　廃止措置作業の概要及び解体・撤去物品の管理について

10.　竜巻時に発生するひょうの影響について

11.　竜巻随伴事象の抽出について

1.　竜巻に対する防護

1.1　概要

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」第六条において，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ない」としており，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。

発電用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事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計であることを評価するため，「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，平成 26 年 9 月 17 日改正）」（以下「竜巻影響評価ガイド」※という）を参照し，以下の竜巻影響評価について実施し，安全機能が維持されることを確認する。

(1)　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

(2)　発電所における飛来物に係る調査

(3)　飛来物発生防止対策

(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，必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

※　「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」を含む。（特に区別する必要がある場合は，以下「ガイド（案）及び解説」という）

1.2　評価の基本方針

1.2.1　竜巻から防護する施設の抽出【添付資料 1】

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（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（外部事象防護対象施設となる建屋を除く。）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。

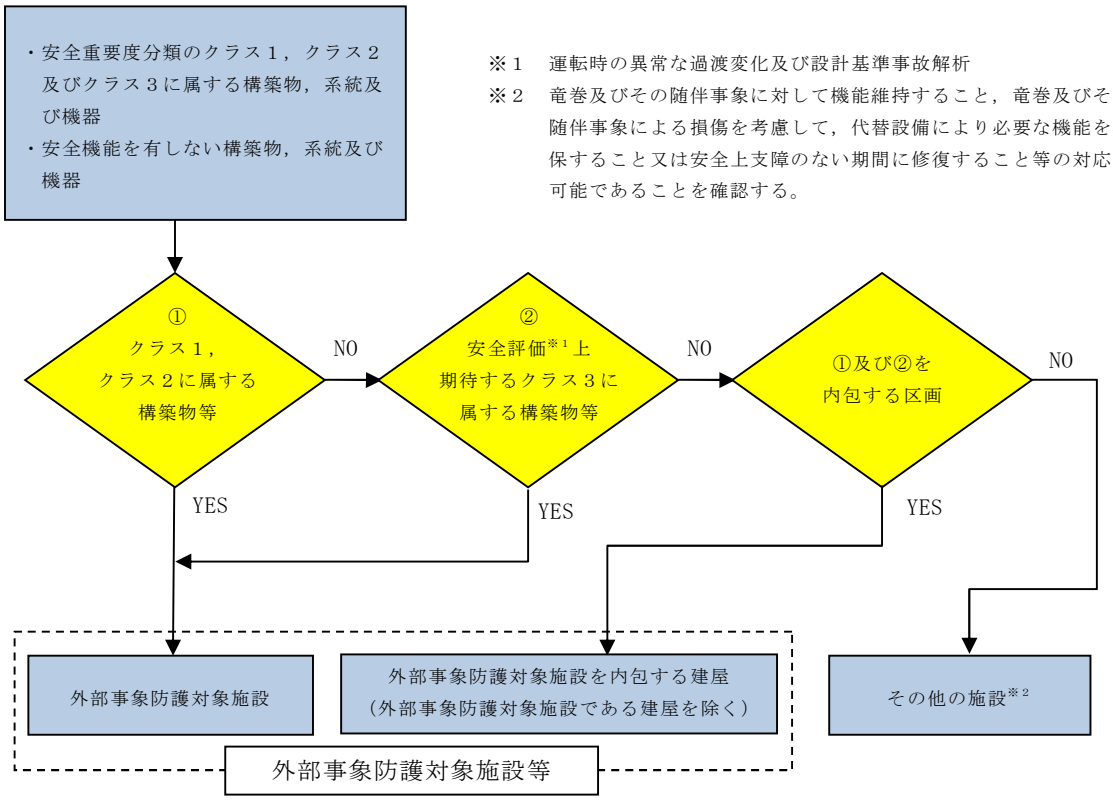
上記に含まれない構築物，系統及び機器は，竜巻及びその随伴事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

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2】



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

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設として，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期待できない施設については，外部事象防護対象施設を内包す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。

また，第 1.2.2－2 図において抽出した評価対象施設のうち，屋外施設の配置を第 1.2.2－3 図に示す。

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)　非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口」という。）

(b)　非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）ルーフベントファン」という。）

(c)　中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）

(d)　残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）

(e)　非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（配管，弁含む。）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（配管，弁含む。）（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）」という。）

(f)　残留熱除去系海水系ストレーナ

(g)　非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ストレーナ」という。）

(h)　非常用ガス処理系排気筒

(i)　主排気筒

(j)　排気筒モニタ

(k)　原子炉建屋

(l)　放水路ゲート

なお，排気筒モニタ及び排気筒モニタ建屋並びに放水路ゲートは，以下の設計とすることにより，以降の評価対象施設等には含めないものとする。

評価対象施設等のうち排気筒モニタについては，放射性気体廃棄物処理施設の破損の検出手段として期待している。竜巻を起因として放射性気体廃棄物処理施設の破損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，排気筒モニタ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。

評価対象施設等のうち放水路ゲートについては，津波の流入を防ぐための閉止機能を有している。竜巻を起因として津波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，放水路ゲートは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。

＜以下，外部事象防護対象施設を内包する区画＞

(m)　タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）

(n)　使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包）

(o)　軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

(p)　排気筒モニタ建屋

b．屋内の施設で外気と繋がっている施設

(a)　中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト（以下「非常用換気空調設備」という。）

(b)　原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト(原子炉建屋原子炉棟貫通部)

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)　中央制御室換気系隔離弁，ファン（空気調和器含む。）及びフィルタユニット（以下「原子炉建屋付属棟 3 階中央制御室換気空調設備」という。）

(b)　非常用電源盤（電気室）

(c)　原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

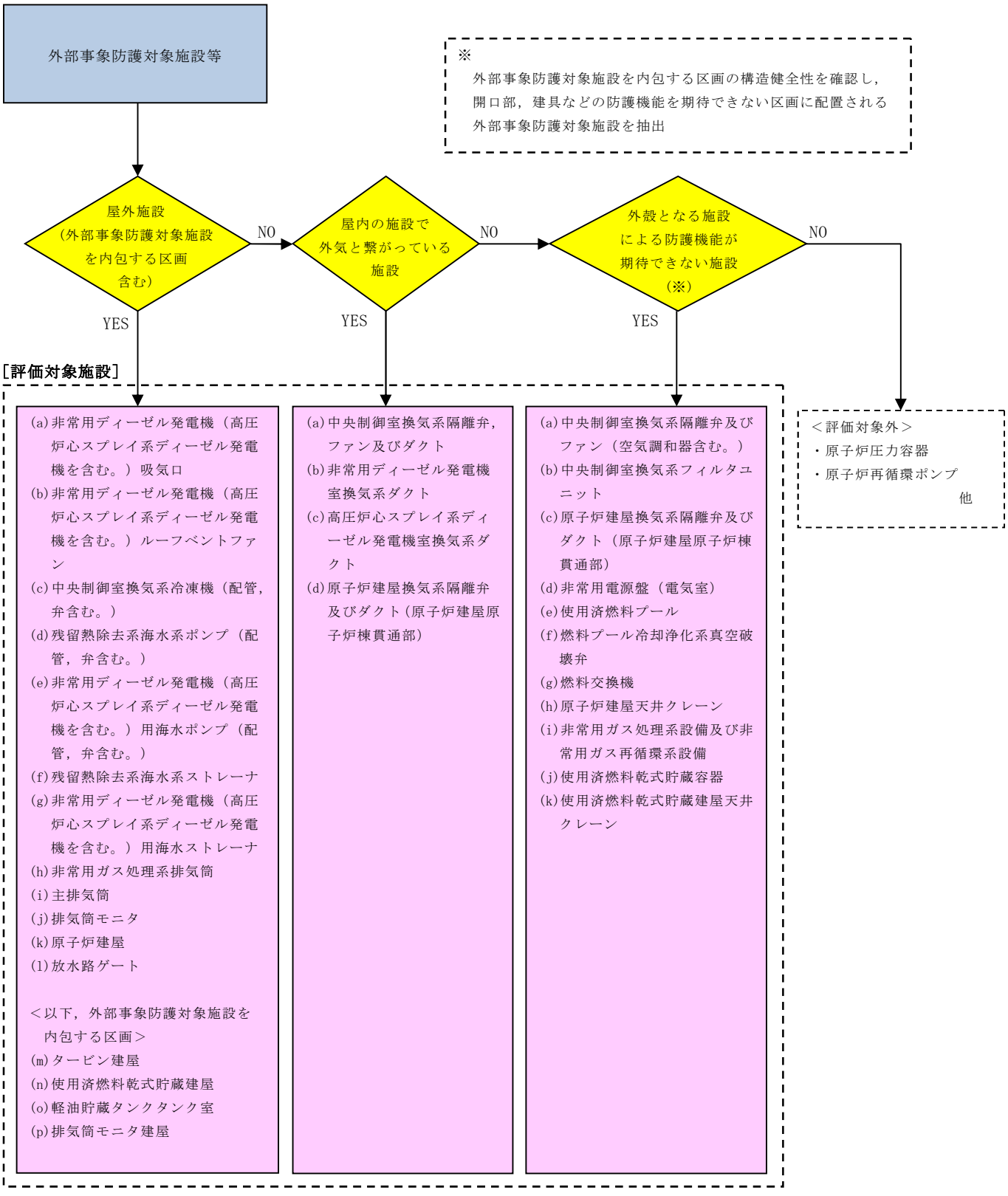
(d)　使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁（以下「原子炉建屋原子炉棟 6 階設置設備」という。）

(e)　燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン

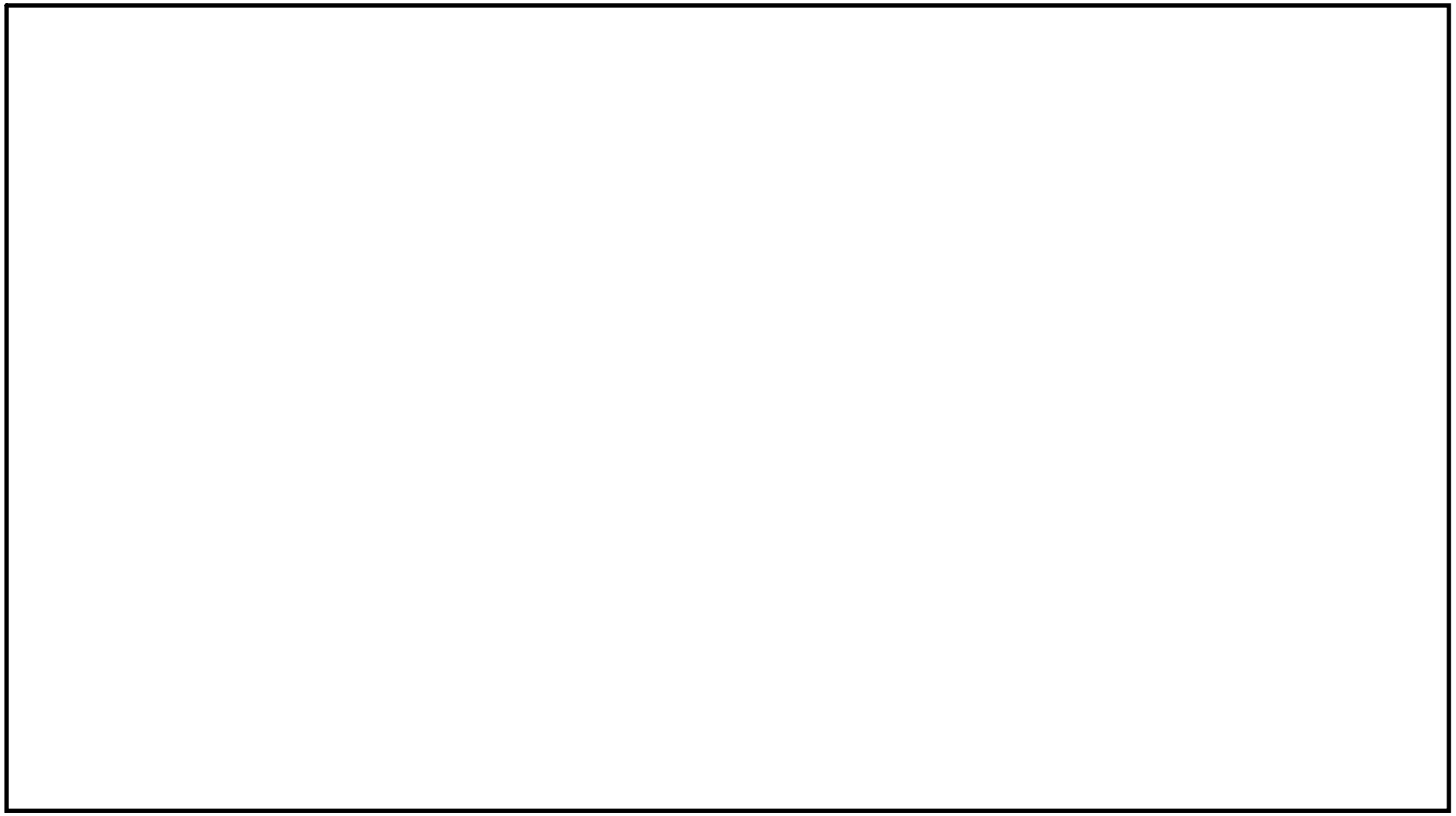
(f)　非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備

(g)　使用済燃料乾式貯蔵容器

(h)　使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン



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



第1.2.2－3図　外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設（屋外施設）の配置図

(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 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を機能喪失させる（機械的影響）可能性があるもの及び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）可能性があるものとする。

第 1.2.2－4 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。

また,第 1.2.2－4 図において抽出した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配置図を第 1.2.2－5 図に示す。

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)　サービス建屋

(b)　海水ポンプエリア防護壁

(c)　鋼製防護壁

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

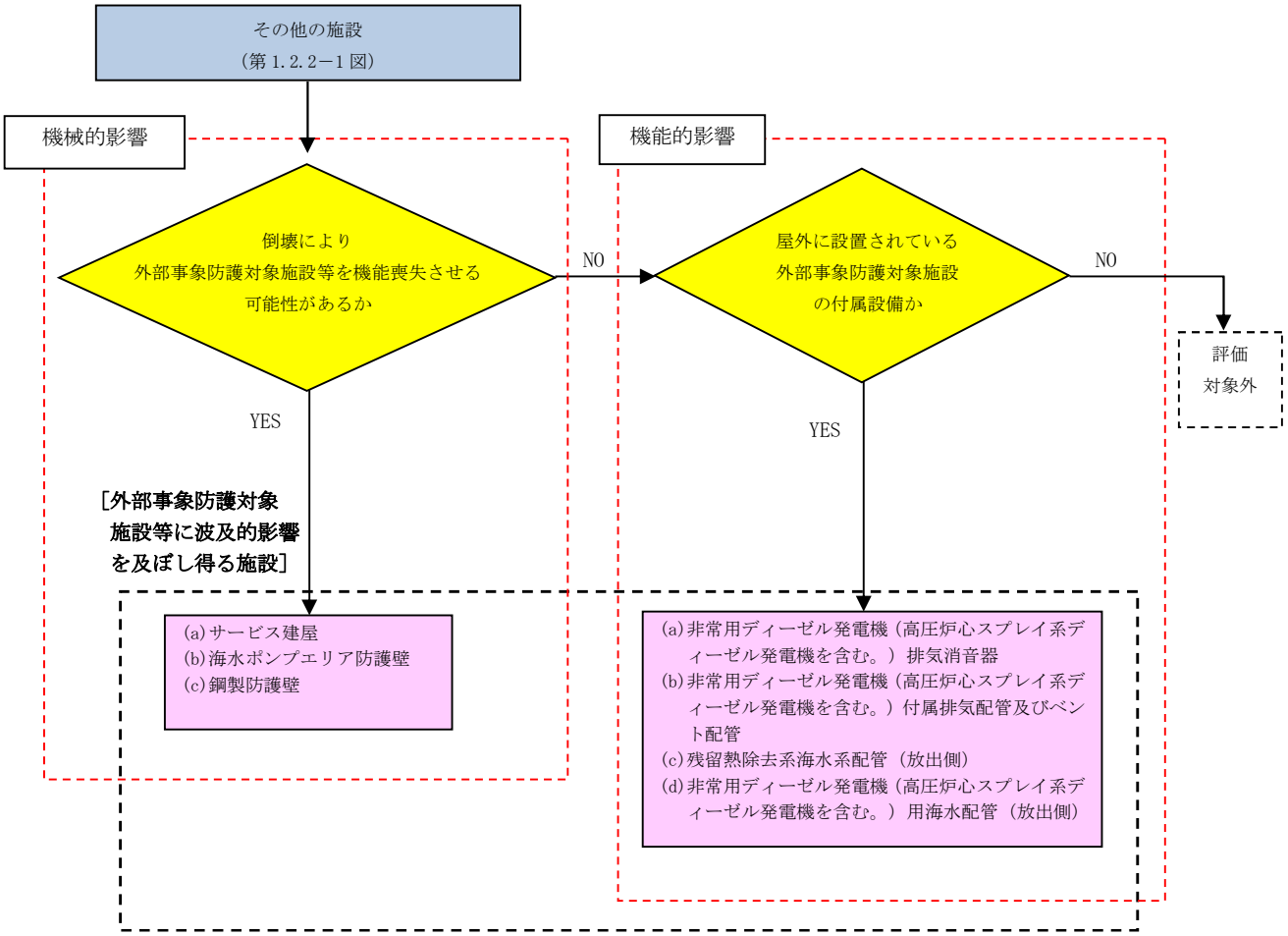
(a)　非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器」という。）

(b)　非常用ディーゼル発電機排気配管，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンクベント管，非常用ディーゼル発電機機関ベント管及び非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイタンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタ

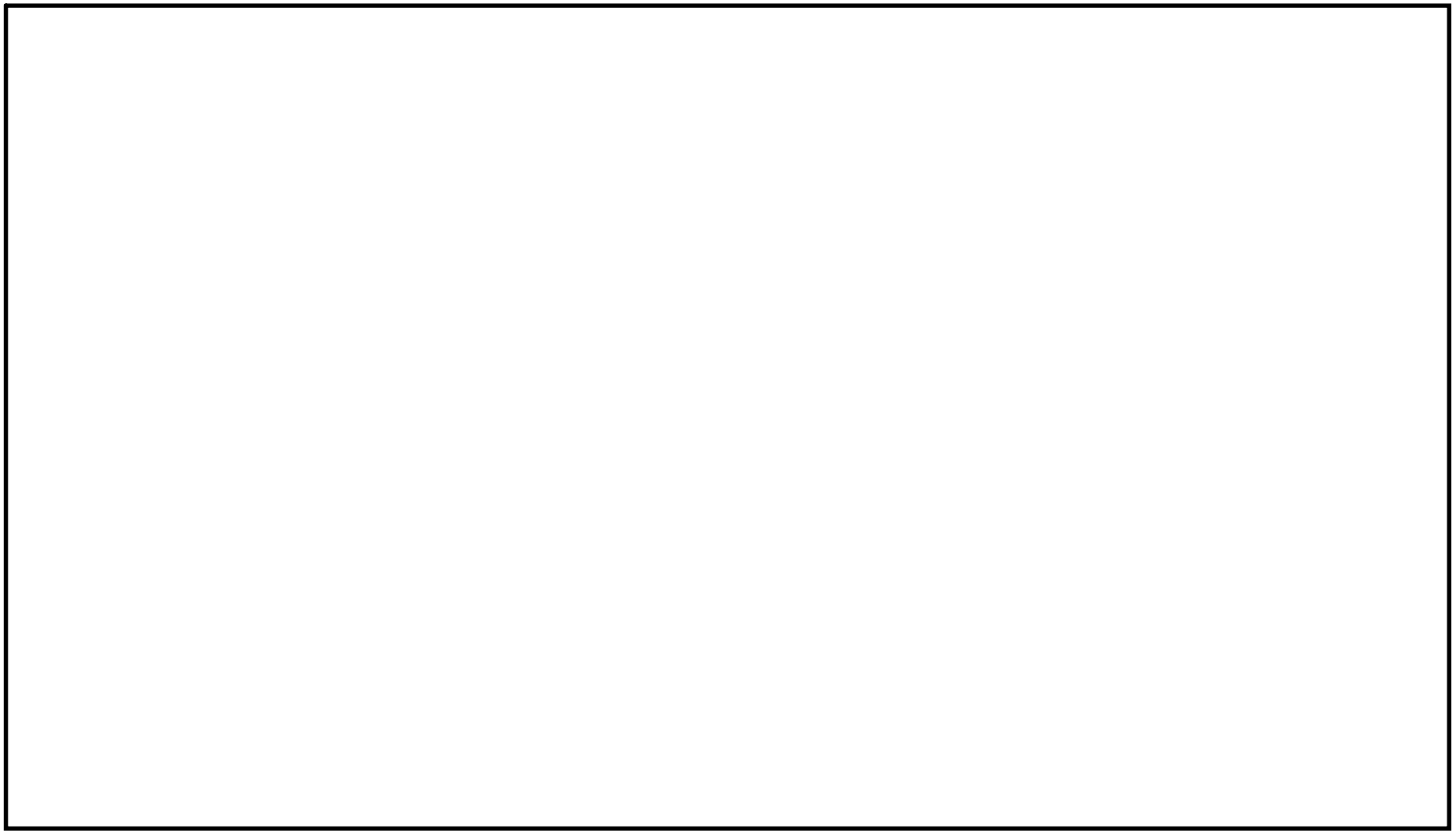
ンクベント管（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管」という。）

(c)　残留熱除去系海水系配管（放出側）

(d)　非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）」という。）



第 1.2.2－4 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



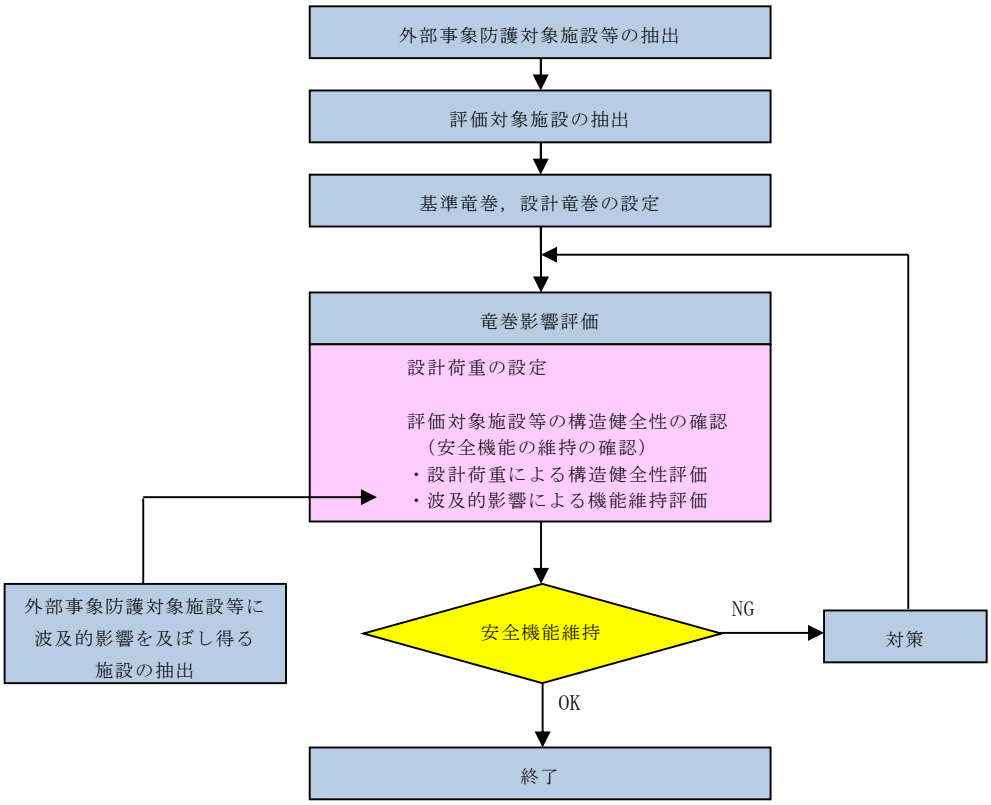
第 1.2.2－5 図　外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図

1.2.3　評価の基本的な考え方

1.2.3.1　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について評価を行い，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 1.2.3.1－1 図に示す。



第 1.2.3.1－1 図　竜巻影響評価の基本フロー

1.2.3.2　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。

(1)　設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

ａ．風圧力による荷重

設計竜巻の最大風速による風圧力による荷重

ｂ．気圧差による荷重

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荷重

ｃ．設計飛来物の衝撃荷重

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

(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。

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

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。

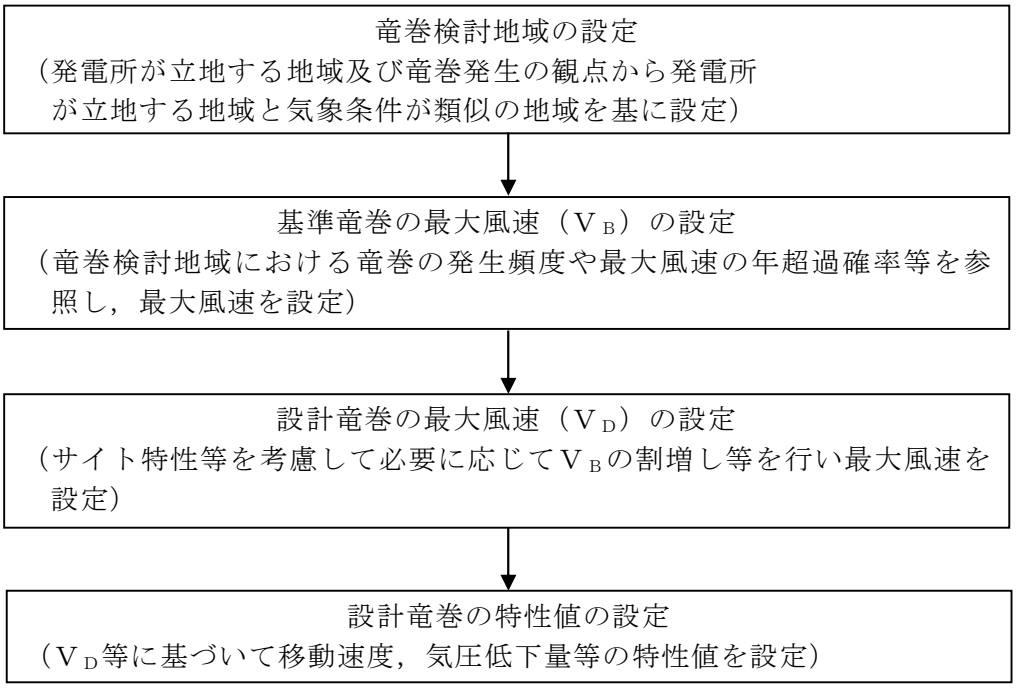
1.2.3.3　施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重（常時作用している荷重，竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせた設計荷重に対して，評価対象施設等，あるいはその特定の区画の構造健全性等の確認を行い，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。

2.　基準竜巻・設計竜巻の設定

2.1　概要

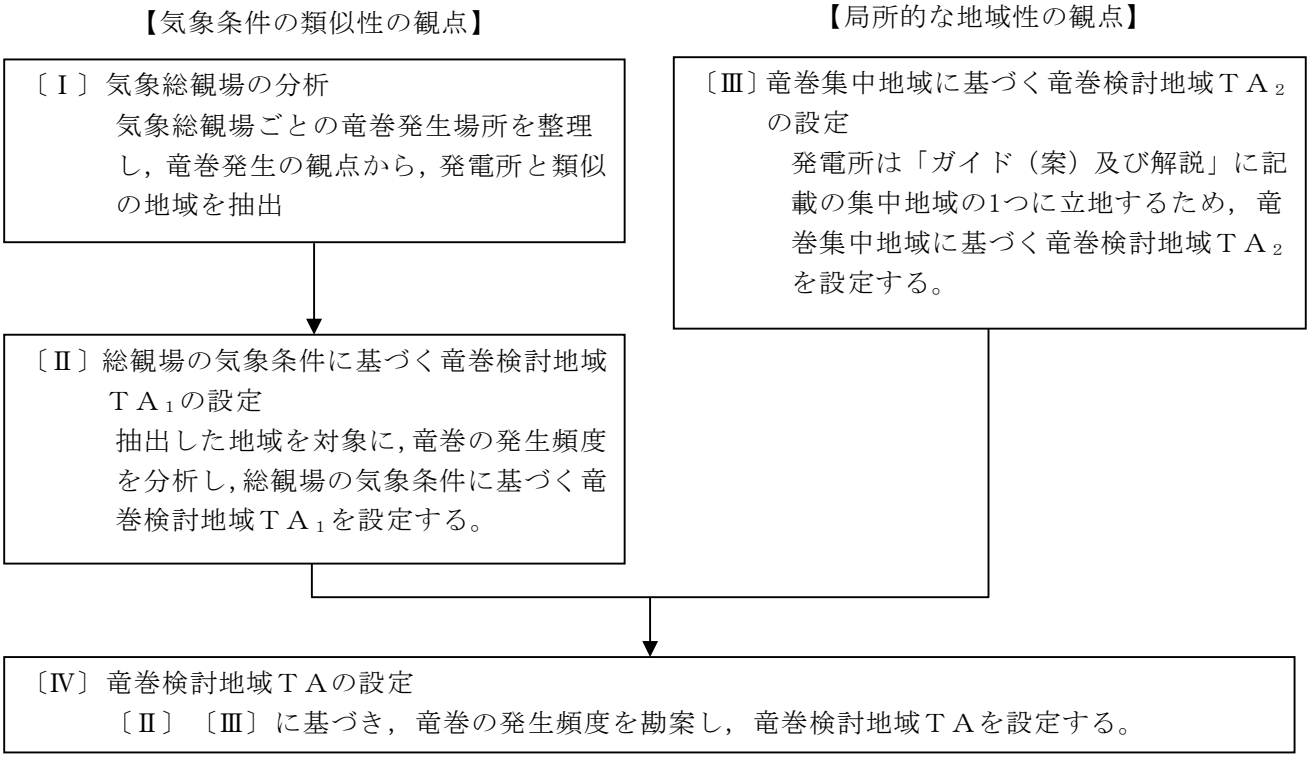
基準竜巻及び設計竜巻の設定フローを，第 2.1－1 図に示す。



第 2.1－1 図　基準竜巻及び設計竜巻の設定フロー

2.2　竜巻検討地域の設定【添付資料 4】

竜巻検討地域は，発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から，「総観場の分析に基づく竜巻検討地域TA_1の検討」及び「過去の竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域TA_2の検討」により「竜巻検討地域ＴＡ」を設定する。竜巻検討地域の設定フローを第 2.2－1 図に示す。



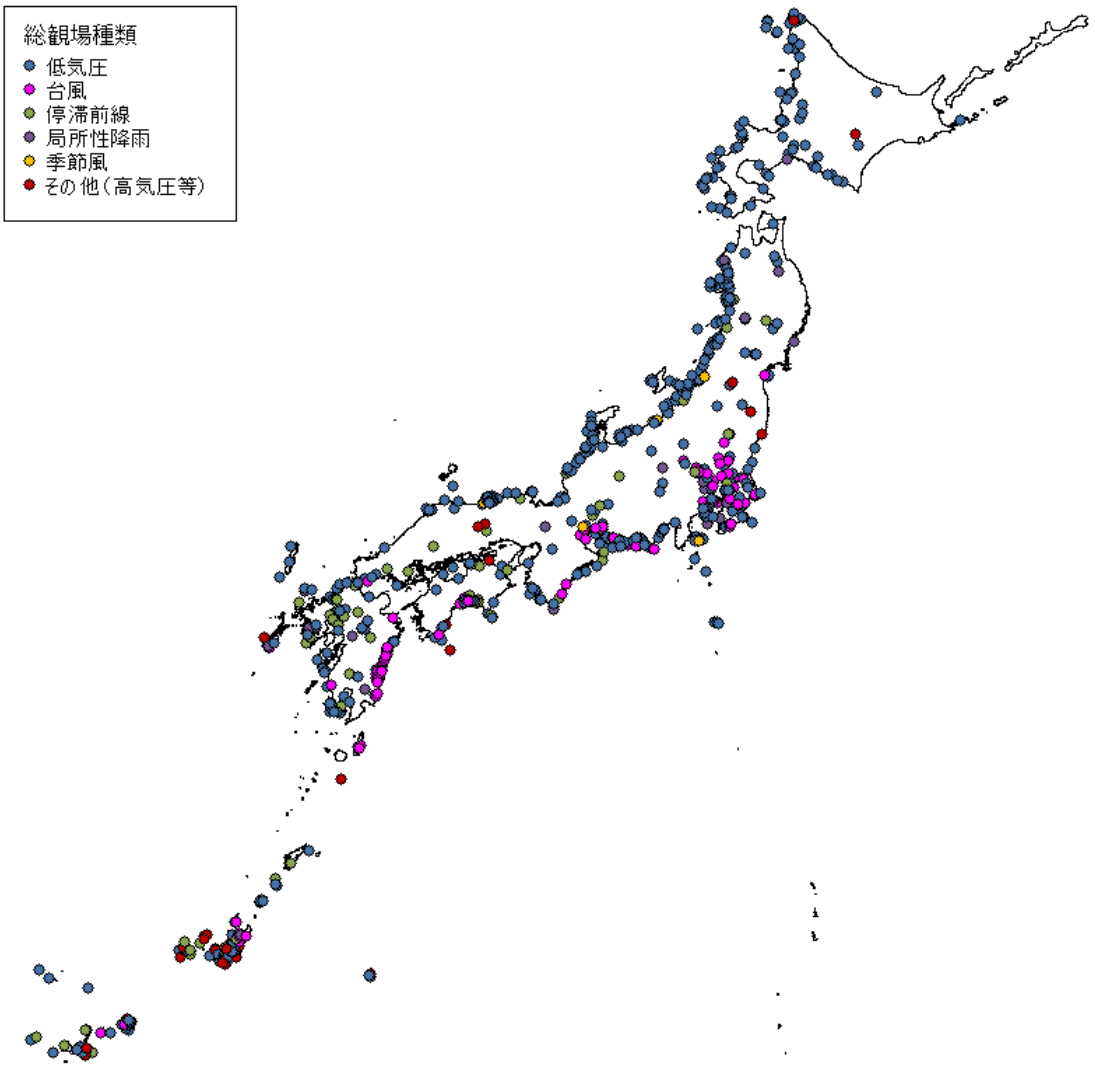
第 2.2－1 図　竜巻検討地域の設定フロー

2.2.1　気象総観場の分析

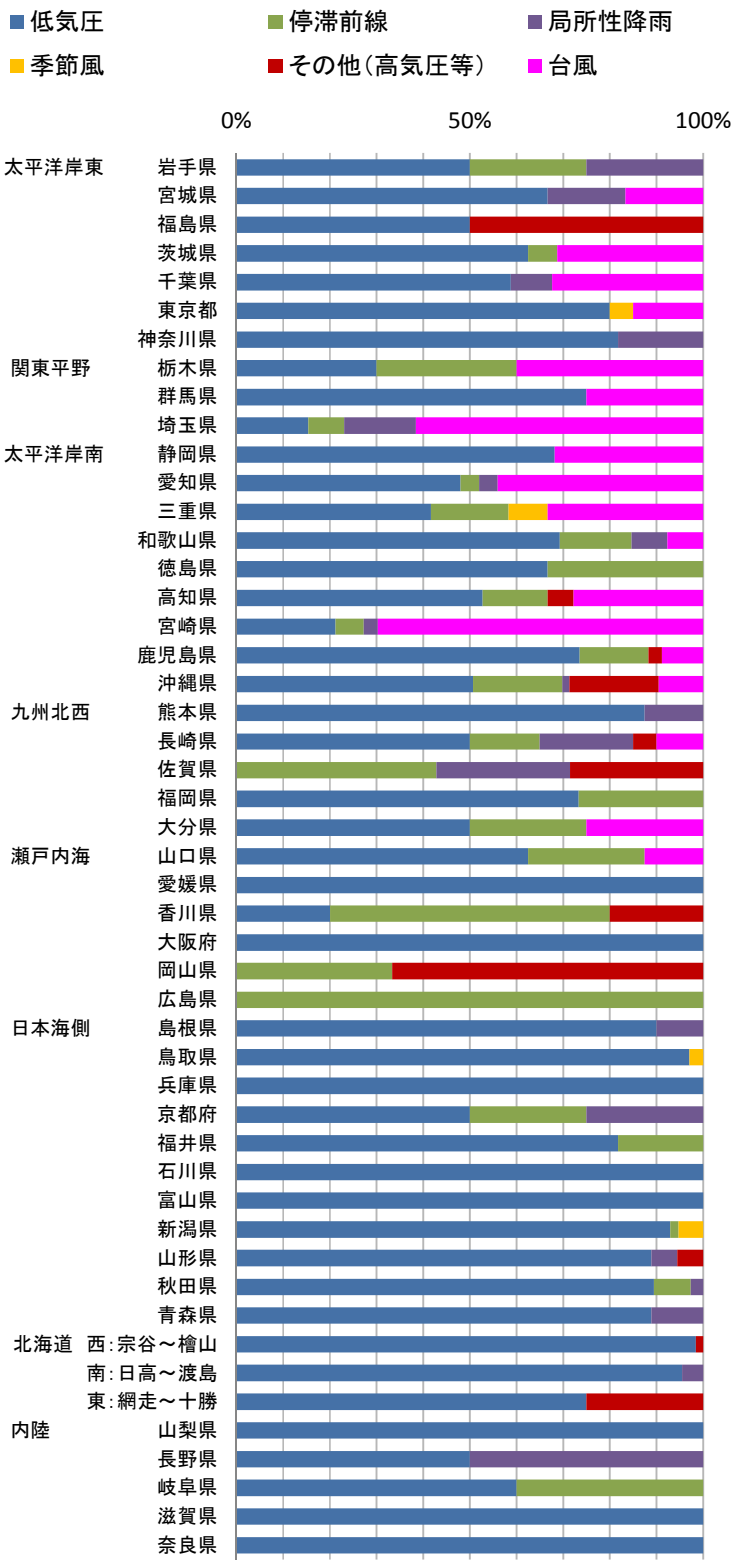
竜巻発生要因の総観場を 6 種類（低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風，その他（高気圧等））に分類し，竜巻発生位置をこの気象要因ごとに色分けした分布を，第 2.2.1－1 図に示す。

また，各都道府県での要因別発生比率を第 2.2.1－2 図に示す。

その結果，低気圧起因の竜巻は全国一様に発生していることが分かる。一方台風起因の竜巻は日本海側には発生しておらず，主に太平洋側で発生していることが分かる。また，停滞前線起因の竜巻は北海道を除く各地に発生していること，局所性降雨は内陸部での竜巻発生も促すこと，季節風や高気圧起因とされる竜巻の発生数は比較的少ないことが分かる。



第 2.2.1－1 図　竜巻発生時の総観場の分布（1961 年 1 月～2012 年 6 月）



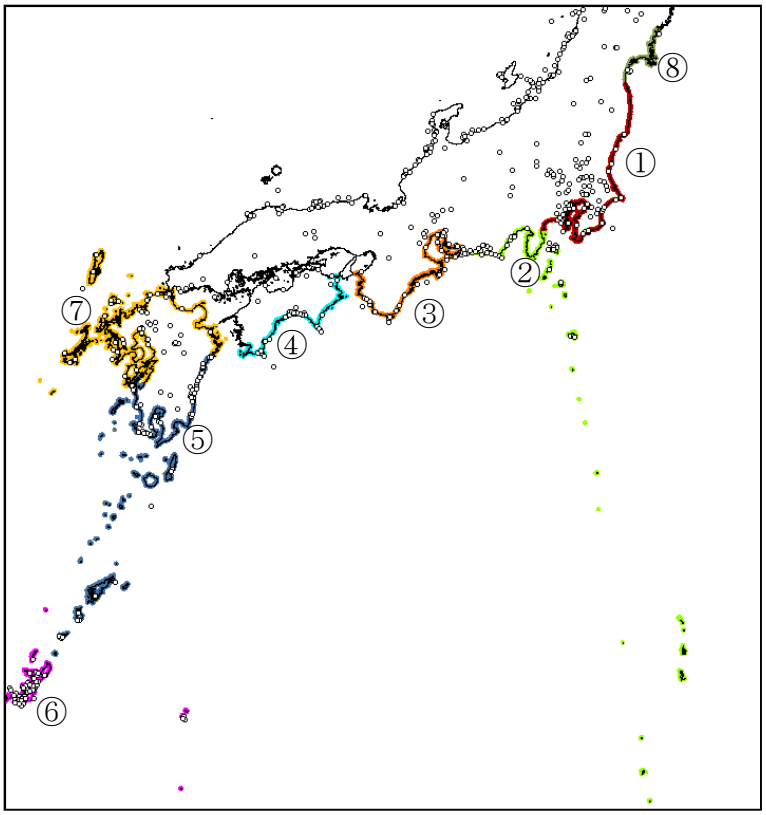
第 2.2.1－2 図　各都道府県での発生要因比率

2.2.2　総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$の設定

竜巻発生の地域性が見られる台風起因の発生領域から，太平洋側の宮城県～沖縄県にかけての範囲を考慮する。発電所はこの範囲に立地しており，太平洋側の宮城県～沖縄県を基本として，竜巻の発生頻度の観点から総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$の検討を行う。

発電所から半径 180km 圏内（10 万 km^{2}圏）を含む太平洋側沿岸の海岸線から海側陸側各 5km の範囲を対象として，竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補の領域 8 ケース及び竜巻の個数と単位面積当たりの発生数の比較を第 2.2.2－1 図及び第 2.2.2－1 表に示す。なお，表の竜巻の個数は各ケースの領域ごとにおける発生した全ての竜巻の個数である。

この結果，ＴＡ$_{1.6}$のケースの単位面積当たりの発生数が最も大きくなるため，これを総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$とする。



第 2.2.2－1 図　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の検討領域

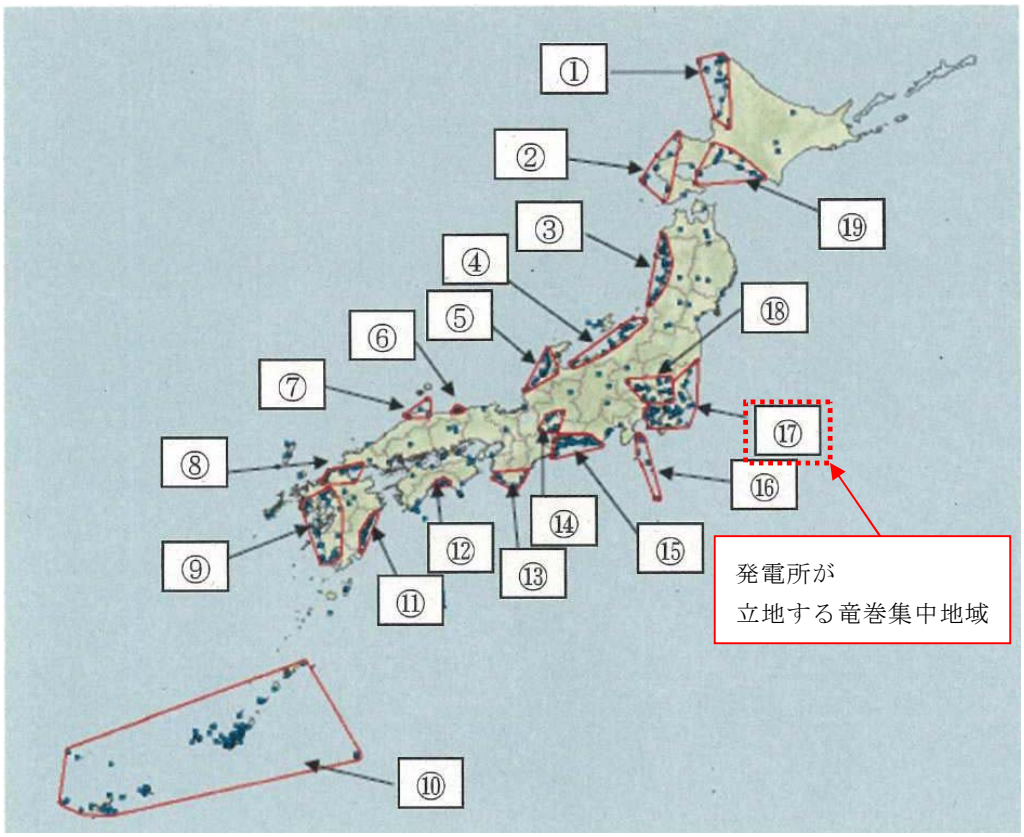
第 2.2.2－1 表　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補ごとの竜巻の個数と単位面積当たり発生数

領域			領域面積（km^2）	51.5 年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数（個／年／km^2）
ＴＡ$_{1.1}$	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
ＴＡ$_{1.2}$	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
ＴＡ$_{1.3}$	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
ＴＡ$_{1.4}$	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
ＴＡ$_{1.5}$	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
ＴＡ$_{1.6}$	**①～⑥**	**福島県～沖縄県**	**57,000**	**300**	**1.02E-04**
ＴＡ$_{1.7}$	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
ＴＡ$_{1.8}$	①～⑥，⑧	宮城県～沖縄県	59,700	302	0.98E-04

2.2.3　竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$の設定

発電所は，第 2.2.3－1 図に示す「ガイド（案）及び解説」[(1)] の竜巻が集中する 19 の地域のうち竜巻集中地域⑰に立地している。

竜巻集中地域⑰を前述のＴＡ$_{1.1}$とみなし，これを竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$とする。



第 2.2.3－1 図　竜巻の発生する地点と竜巻が集中する 19 の地域

（「ガイド（案）及び解説」より引用）

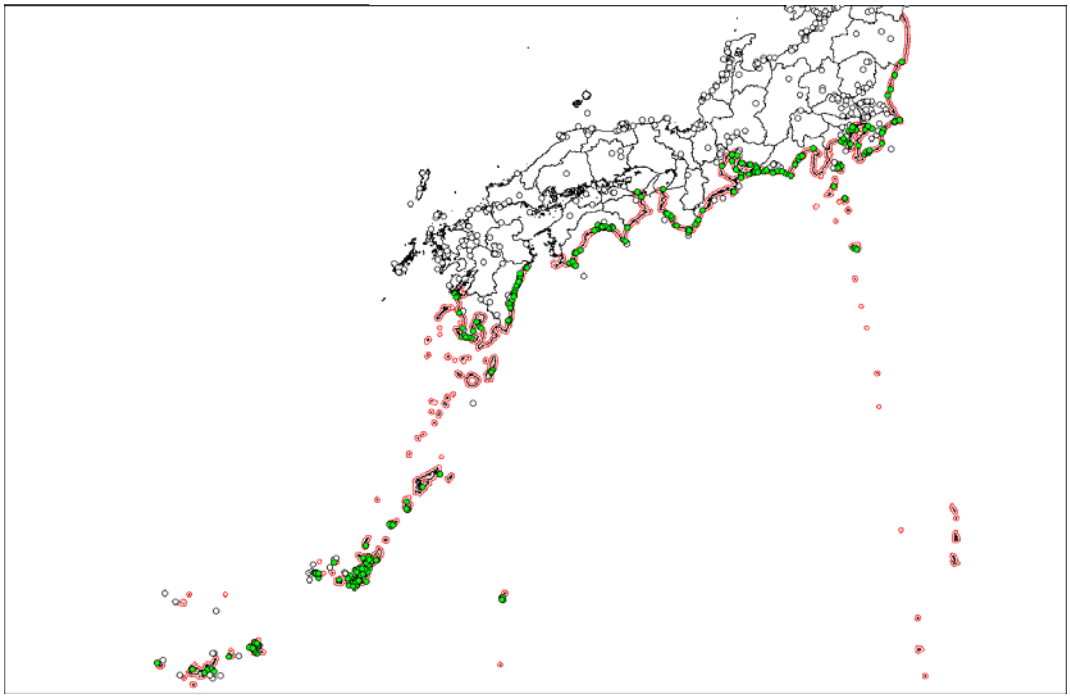
2.2.4　竜巻検討地域ＴＡの設定

総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$及び竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$における竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数を第2.2.4－1表に示す。これより，竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数の大きさから，ＴＡ$_1$を竜巻検討地域ＴＡに設定する（面積約57,000km^2）。

竜巻検討地域ＴＡを第2.2.4－1図に示す。

第2.2.4－1表　竜巻検討地域内で発生が確認された竜巻の個数と単位面積当たり発生数

	領域面積（km^2）	51.5年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数（個／年／km^2）
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$	57,000	300	1.02×10^{-4}
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$	7,900	40	0.98×10^{-4}



第2.2.4－1図　竜巻検討地域ＴＡ

2.3　基準竜巻の最大風速（V_B）の設定

基準竜巻の最大風速は，過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}），及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）のうち，大きな風速を設定する。

2.3.1　過去に発生した竜巻による最大風速（V_{B1}）

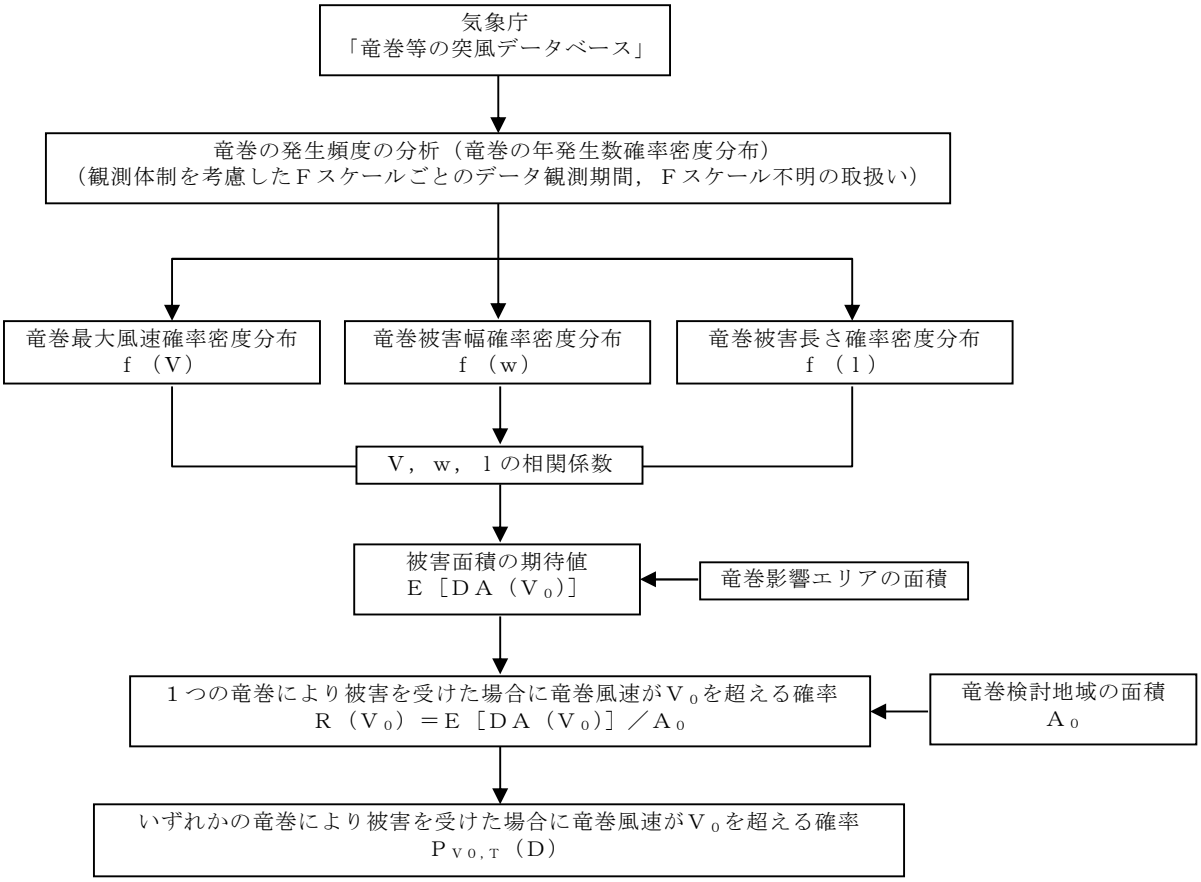
気象庁の「竜巻等の突風データベース」[2]に基づき，竜巻検討地域内で過去（1961 年 1 月～2012 年 6 月）に発生した竜巻のうち最大であるＦ３スケール相当以上の竜巻を第 2.3.1－1 表に示す。Ｆ３スケールにおける風速は 70m／s～92m／s であることから,過去に発生した竜巻による最大風速V_{B1}を 92m／s とする。

第 2.3.1－1 表　竜巻検討地域内で過去（1961 年 1 月～2012 年 6 月）に発生したＦ３スケール相当以上の竜巻の観測記録[2]

発生日時	発生場所				Ｆスケール
	緯度	経度	都道府県	市町村	
1999 年 09 月 24 日 11 時 07 分	34 度 42 分 4 秒	137 度 23 分 5 秒	愛知県	豊橋市	Ｆ３
1990 年 02 月 19 日 15 時 15 分	31 度 15 分 38 秒	130 度 16 分 35 秒	鹿児島県	枕崎市	Ｆ２～Ｆ３
1978 年 02 月 28 日 21 時 20 分	35 度 32 分 1 秒	139 度 41 分 50 秒	神奈川県	川崎市	Ｆ２～Ｆ３
1969 年 12 月 07 日 18 時 00 分	34 度 45 分 4 秒	137 度 22 分 46 秒	愛知県	豊橋市	Ｆ２～Ｆ３
1968 年 09 月 24 日 19 時 05 分	32 度 7 分 16 秒	131 度 32 分 8 秒	宮崎県	高鍋町	Ｆ２～Ｆ３
1967 年 10 月 28 日 03 時 12 分	35 度 42 分 3 秒	140 度 43 分 10 秒	千葉県	飯岡町	Ｆ２～Ｆ３

2.3.2　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）【添付資料 5】

竜巻最大風速のハザード曲線は，「竜巻影響評価ガイド」に従い，具体的には，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[3]を参照して算定する。算定フローを第 2.3.2－1 図に示す。



第 2.3.2－1 図　ハザード曲線の算定フロー

竜巻最大風速のハザード曲線は，竜巻検討地域全域（海岸線から海側及び陸側それぞれ 5km 全域（以下「10km 幅」という。））及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1km 範囲ごとに細分化したケースを作成し，これらの年超過確率 10^{-5}の風速のうち，最も大きなものをV_{B2}として設定する。

2.3.3　発生頻度の分析

竜巻の発生数の分析結果を第 2.3.3－1 表に示す。竜巻検討地域において 1961 年 1 月～2012 年 6 月までの 51.5 年間に 300 個の竜巻が観測されたことに対し，1188 個の竜巻が発生したと推定した。

竜巻についての過去の観測データは少なく，また，観測年代によって精度が異なる。そこで，下記のとおり観測データの補正を行い，年発生数の確率分布に供する統計データを推定した。

(1)　Ｆ０及びＦスケール不明の竜巻については，観測体制が強化される以前は見過ごされた可能性が大きいことから，観測体制が強化された 2007 年以降の統計量を基にする。

(2)　Ｆ１の竜巻については，1991 年以降の年間発生数がそれ以前の 30 年間の発生数を明らかに上回ることから，1991 年以降の統計量を基にする。

(3)　Ｆ２以上の竜巻については，見逃されることが少なかったとして，1961 年以降の全期間の統計量を基にする。

(4)　Ｆスケール不明の海上で発生し，上陸せず消滅した竜巻（以下「海上竜巻」という。）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ことから，「海岸線から海上 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が,海岸線から内陸 5km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という仮定に基づいて，陸上竜巻（上陸竜巻含む）のＦスケール別発生比率で按分し，各Ｆスケールで発生した竜巻に加える。【添付資料 5　別紙 5-1】なお，Ｆスケール不明の陸上竜巻（上陸竜巻含む）は，痕跡等が残らないほど小さかったとし，Ｆ０相当の竜巻であったとする。

また，竜巻検討地域内の竜巻の発生個数の評価は，発生地点と消滅地点を結ぶ線分が当該地域に掛かるか否かで判断する。

さらに,竜巻が上陸したか否かは,観測データの詳細情報を基本として,発生地点座標と消滅地点座標を結ぶ線分が,陸地境界内に掛かるか否かも加えて判定する。

第 2.3.3－1 表　竜巻発生数の分析結果

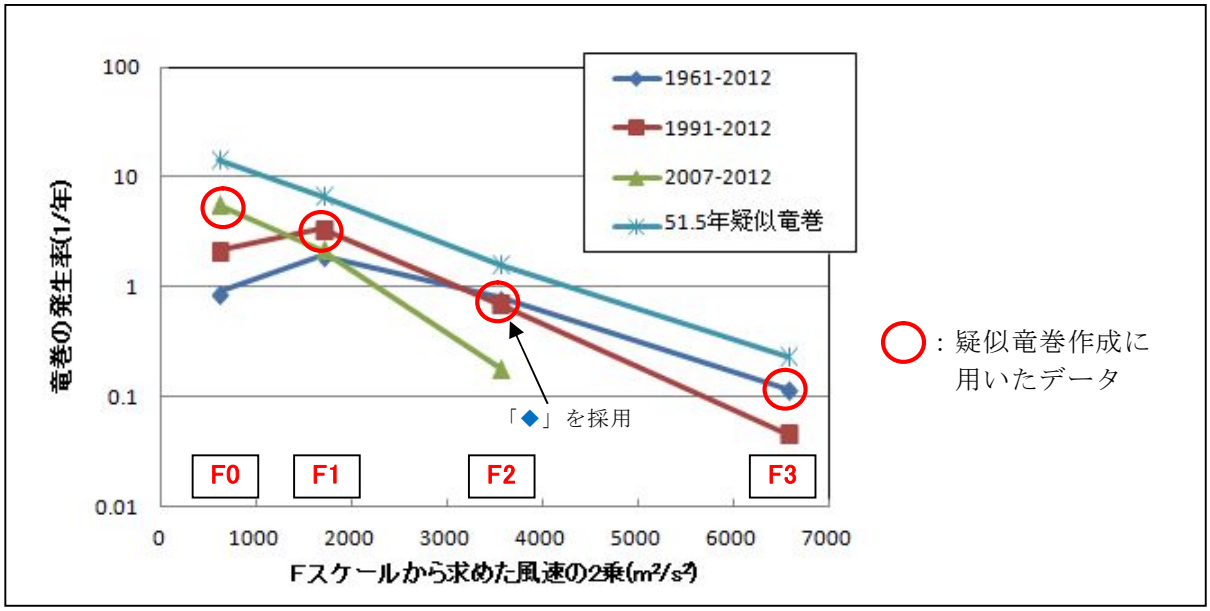
			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1～2012.6 51.5 年間	期間内個数	6	41	100	46	193	20	87	300
		平均値（個／年）	0.12	0.80	1.94	0.89	3.75	0.39	1.69	5.83
		標準偏差（個／年）	0.32	0.94	1.96	2.17	3.25	0.69	4.35	7.26
	1991.1～2012.6 21.5 年間	期間内個数	1	15	72	46	134	15	86	235
		平均値（個／年）	0.05	0.70	3.35	2.14	6.23	0.70	4.00	10.93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

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	6	41	173	376	596
		平均値（個／年）	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57
		標準偏差（個／年）	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	12	82	345	749	1,188
		平均値（個／年）	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差（個／年）	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42

また，上記の取扱いのうち(1)～(3)に関する各期間に観測された竜巻及び作成された 51.5 年間の疑似竜巻についての竜巻強度分布※を第 2.3.3－1 図に示す。

※　縦軸に竜巻の発生率，横軸に風速の 2 乗をとってグラフにしたもので，竜巻等突風の発生状況の実態把握や調査体制，スケールの改善に広く利用される（Brooks et al. 2001：Feuerstein *et al.* 2005)。
突風の知覚漏れがなく，かつ理想的な突風の強さのスケールを用いると，縦軸に対数をとった場合に直線状になる（Dotzek *et al.* 2005)。

(1)～(3)の扱いにおいて用いたデータは図中で丸囲みしたものであり，理想的な分布とされる直線状態にあるもののみを用いている。また，(4)の扱いも加えて作成された疑似竜巻についても，理想的な直線状の強度分布になっていることから，(1)～(4)の手法は妥当であったと考えられる。



第 2.3.3－1 図　疑似竜巻作成に採用したデータ及び疑似竜巻の強度分布

竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては，竜巻は気象事象の中でも極めてまれに発生する事象であり，発生数の変動（標準偏差）が大きいことから，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の成果を参考とし，第 2.3.3－2 図に示すポリヤ分布とした。

（参考）ポリヤ分布の適用について

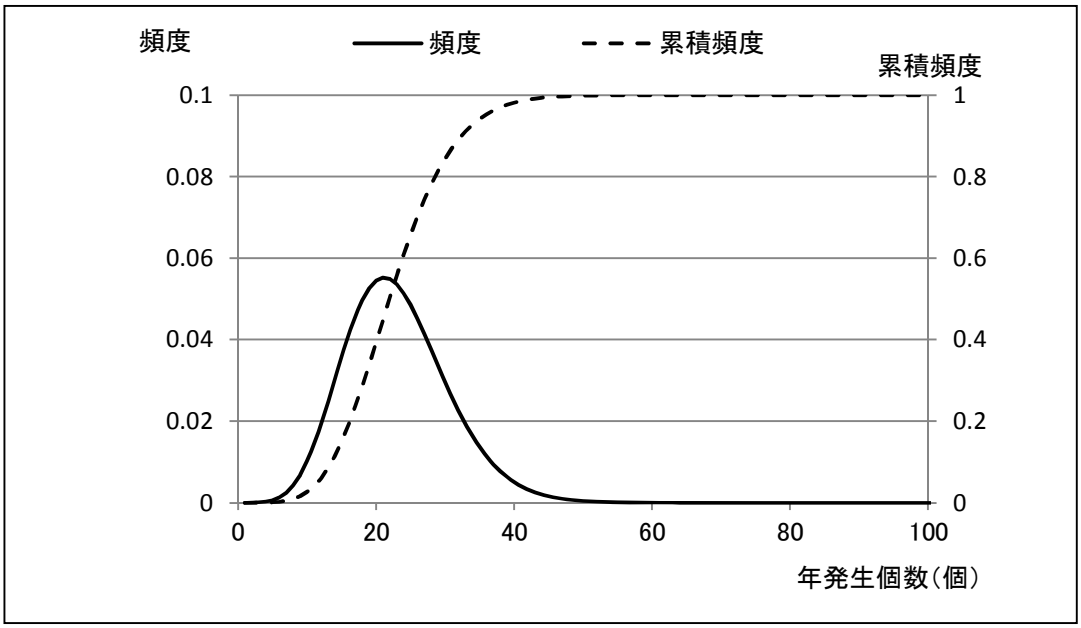
・「竜巻影響評価ガイド」にて，V_{B2}算定の参考になるとされている「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[3]によれば，Wen&Chuが，竜巻に遭遇しかつ竜巻風速がある値以上となる確率モデルの推定法を提案し，竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合，竜巻の年発生数の確率密度分布はポアソン分布若しくはポリヤ分布に従うとしている。

・ポアソン分布は，生起確率が正確に分からないがまれな現象の場合に有用な分布である。一方，ポリヤ分布は，発生状況が必ずしも独立ではないまれな現象（ある現象が生ずるのはまれであるが，一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば伝染病の発生件数など）。台風及び前線により竜巻が発生した場合，同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため，ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

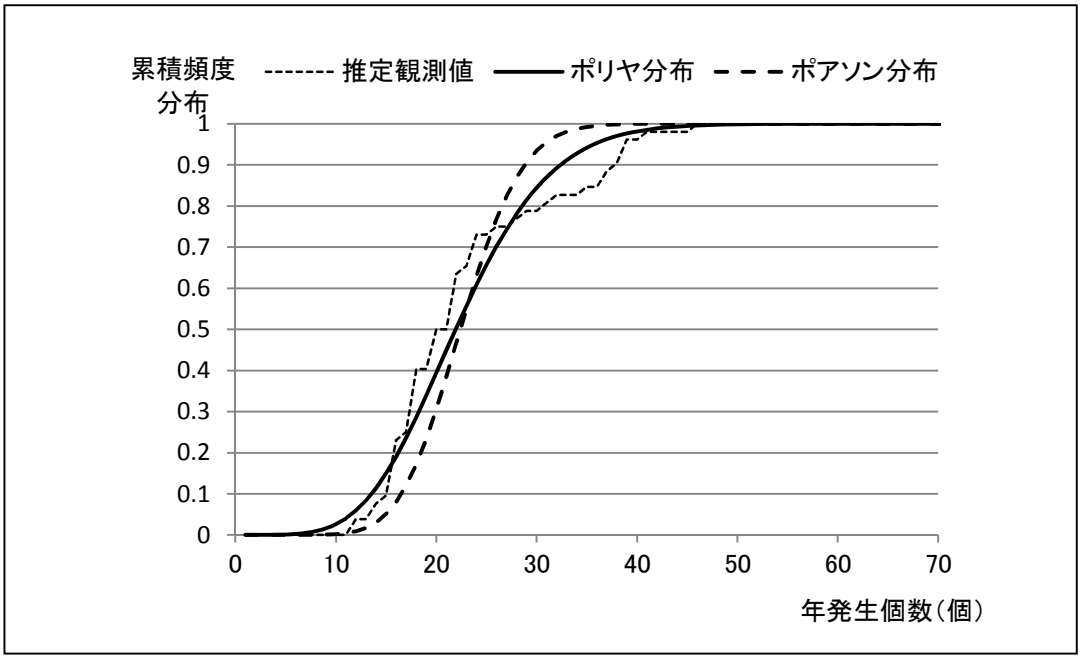
・なお，国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は，上述の「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」に示されており，陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

・発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に，発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を検討した。その結果，竜巻検討地域においても，ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れていることを確認した。（第 2.3.3－3 図）

・　以上より，ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻年発生数の確率密度分布は，ポリヤ分布を採用した。



第 2.3.3－2 図　竜巻の年発生数の確率密度分布（ポリヤ分布）



第 2.3.3－3 図　竜巻検討地域における竜巻の年発生数の推定値と
ポリヤ分布、ポアソン分布の累積頻度の比較

2.3.4　竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布並びに相関係数

発生数，被害幅及び被害長さについて，観測されたデータを基に，前記で評価した疑似 51.5 年間の発生数に対応するようにサンプリングし,統計量を算定した。統計量を第 2.3.4－1 表に示す。

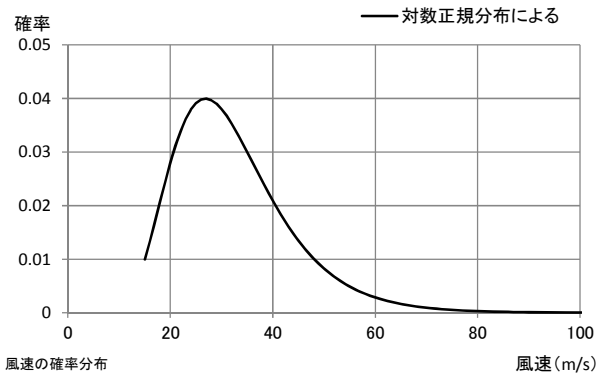
その結果を基に，最大風速，被害幅及び被害長さは対数正規分布に従うものとして求めた確率密度分布を，第 2.3.4－1 図～第 2.3.4－6 図に示す。

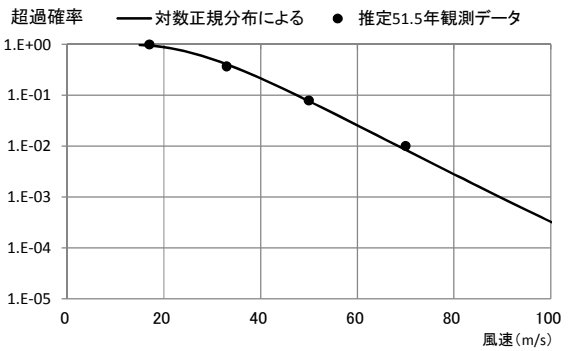
また，疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には，被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は，被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで，被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに，被害幅又は被害長さが 0 のデータについては，計算に用いておらず，保守的な評価を行っている。

このように，前述のＦスケール不明の竜巻の取扱い等を含め，データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

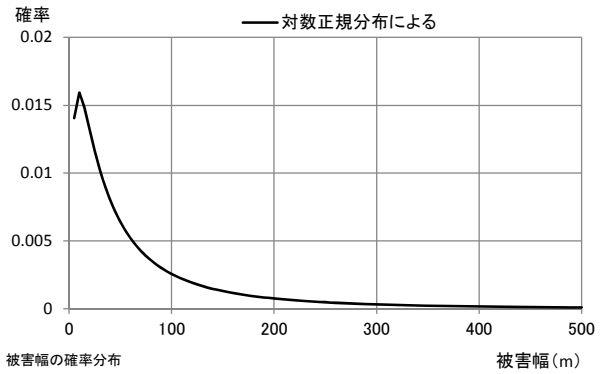
第 2.3.4－1 表　発生数，被害幅及び被害長さの統計量

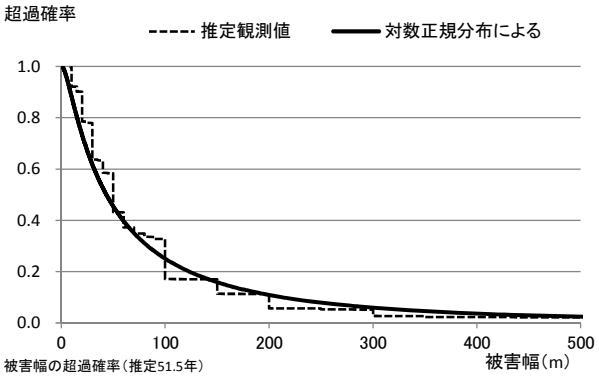
			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（個／年）	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差(個／年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（m）	525	250	124	56	94
		標準偏差（m）	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（km）	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差（km）	14	4.94	3.03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



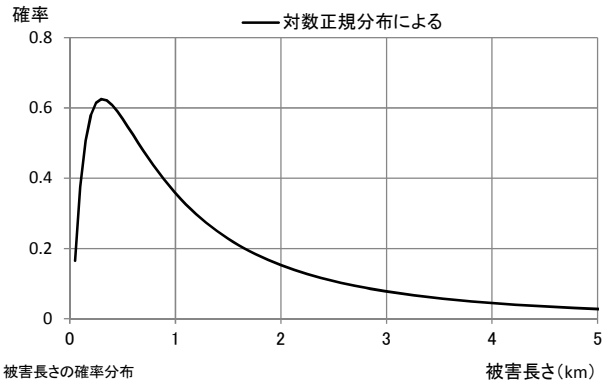


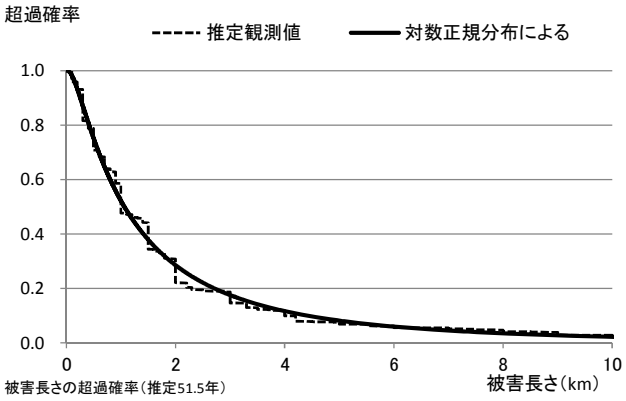
第2.3.4－1図　最大風速の確率密度分布　第2.3.4－2図　最大風速の超過確率





第 2.3.4－3 図　被害幅の確率密度分布　　第 2.3.4－4 図　被害幅の超過確率





第2.3.4－5図　被害長さの確率密度分布　第2.3.4－6図　被害長さの超過確率

相関係数は，竜巻の最大風速，被害幅及び被害長さのうち，少なくとも 2 変量の比較が行える観測データを基に評価した。相関係数を第 2.3.4－2 表に示す。

第 2.3.4－2 表　最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

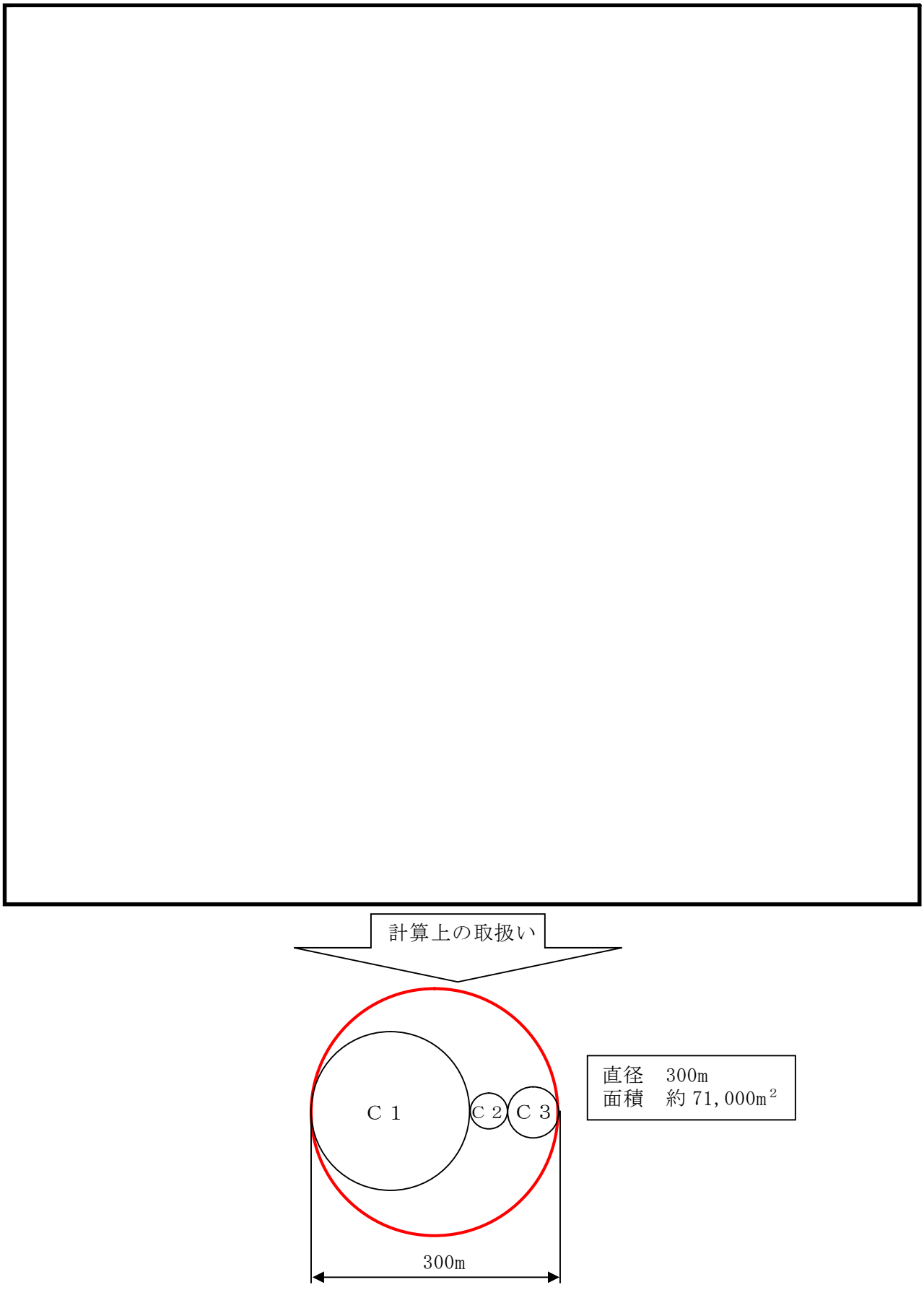
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	－	1.000	0.381
被害長さ	－	－	1.000

2.3.5　竜巻影響エリアの設定

発電所の構築物，系統及び機器のうち，評価対象施設を包絡する円形領域を竜巻影響エリアとして設定した。竜巻影響エリアを第 2.3.5－1 図に示す。

なお，竜巻影響エリアは，原子炉建屋周辺，海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため，それぞれをまず直径 188m，直径 44m 及び直径 60m の円形領域に包絡させ，さらにこれらの領域を包絡させた直径 300m の円形領域（面積 約 71,000m^2）として設定した。

また，竜巻影響エリアを円形とするため，ハザード計算において竜巻の移動方向に対する依存性は生じない。



第 2.3.5－1 図　竜巻影響エリア

2.3.6　ハザード曲線の算定

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がV_0以上となる確率を算定する。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は次式で示される。【添付資料 5 別紙 2】

$$P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!}\left(1+\beta\nu T\right)^{-(N+1/\beta)}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$$

ここで，　N：竜巻の年発生数

ν：竜巻の年平均発生数

T：年数

βは分布パラメータであり次式で示される。

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

ここで，σ：竜巻の年発生数の標準偏差

Dを評価対象構造物が風速V_0以上の竜巻に遭遇する事象とし，ある竜巻が評価対象構造物を襲い，その竜巻の風速がV_0以上となる確率を$R(V_0)$とすると，竜巻影響評価の対象構造物が，T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がV_0以上となる確率$P_{V_0,T}$を算定する。

$$P_{V_0,T}(D) = 1-[1+\beta\nu R(V_0)T]^{-1/\beta}$$

この$R(V_0)$は，竜巻影響評価の対象地域の面積をA_0（竜巻検討地域の面積約 57,000km^2），1 つの竜巻の風速がV_0以上となる面積を$DA(V_0)$とすると次式で示される。

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

ここで，$E[DA(V_0)]$は$DA(V_0)$の期待値を意味し，次式で算出する。

$$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)\, l\, f(V,w,l)dV\, dw\, dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l\, f(V,l)dV\, dl$$
$$+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)\, f(V,w)dV\, dw + S \int_{V_0}^\infty f(V)dV$$

ここで,

p　：単位面積当たりの年被災率

$E[\quad]$：期待値を意味する。

$DA(V_0)$：１つの竜巻の風速がV_0以上となる面積

A_0　：竜巻検討地域の面積

V　：風速

w　：被害幅

l　：被害長さ

$f(\quad)$：確率密度分布

D_0　：竜巻影響エリアの直径

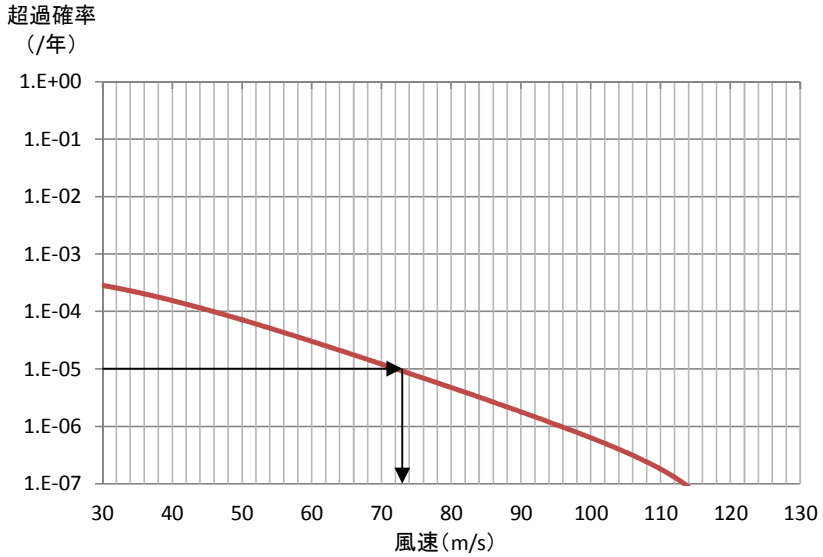
S　：竜巻影響エリアの面積

$W(V_0)$：被害幅のうち風速がV_0を超える部分の幅

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

$V_{\min}$　：被害域幅w内の最小竜巻風速

竜巻検討地域全域（10km 幅）でのハザード曲線を第 2.3.6－1 図に示す。年超過確率10^{-5}に相当する風速は 73m／s である。



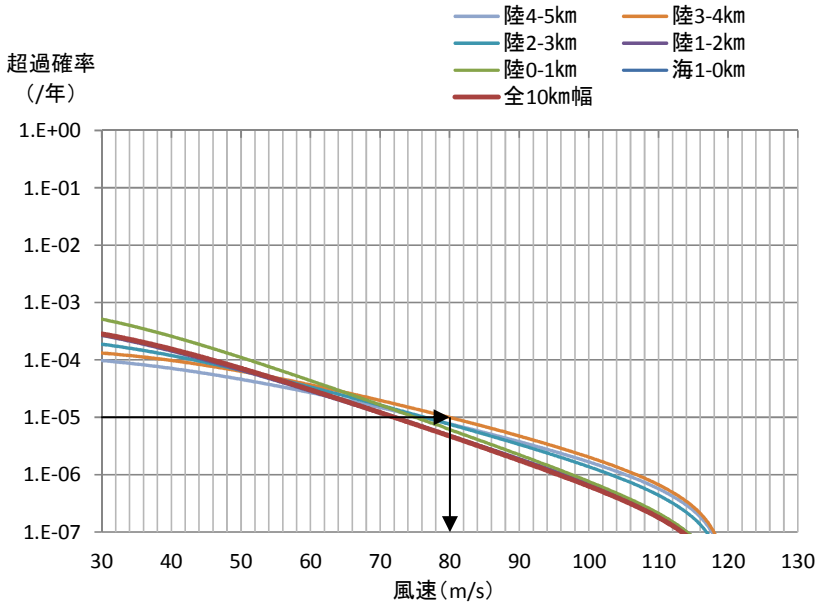
第 2.3.6－1 図　竜巻検討地域全域（10km 幅）でのハザード曲線

竜巻検討地域を 1km 幅ごとに細分化した場合の評価条件及び先の 10 km幅でのケースも重ねたハザード曲線を，それぞれ第 2.3.6－1 表及び第 2.3.6－2 図に示す。なお，海側 1km 以遠の海上竜巻については全てＦスケール不明であるため，ハザード曲線の算定は不可能である。

年超過確率 10^{-5}にて最も大きな風速を与える陸側 3－4km の場合，80m／s であった。

第 2.3.6－1 表　1km 幅ごとに細分化した場合の評価条件

発生数	発生地点と消滅地点を結ぶ直線が 1km 幅の領域に掛かる場合カウント
被害幅	カウントした竜巻の被害幅
被害長さ	カウントした竜巻が，1km 幅の領域に掛かる長さ



第 2.3.6－2 図　1km 幅ごとに細分化した場合のハザード曲線

（10 km幅でのハザード曲線もあわせて記載）

2.3.7　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

竜巻検討地域全域（10km 幅）及び 1km 幅ごとのハザード曲線において，年超過確率 10^{-5}での風速の最大値は 80m／s であり，これを最大風速V_{B2}とする。

ハザード曲線による最大風速評価結果を，第 2.3.7－1 表に示す。

第 2.3.7－1 表　ハザード曲線による最大風速評価結果

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

2.3.8　竜巻ハザードの不確かさの検討

竜巻検討地域は竜巻についての過去観測データは少なく，統計処理として必ずしも十分ではない可能性も考えられることから，竜巻ハザードの不確かさ要素について，以下の検討を実施した。

(1)　確率分布形選択に伴う不確実さ（認識論的不確実さ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ

(2)　データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ）

データ収集期間が 51.5 年間分であることから，地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確実さ

(3)　データの不確実さ

今後データ収集が進み，疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る，データそのものの不確実さ

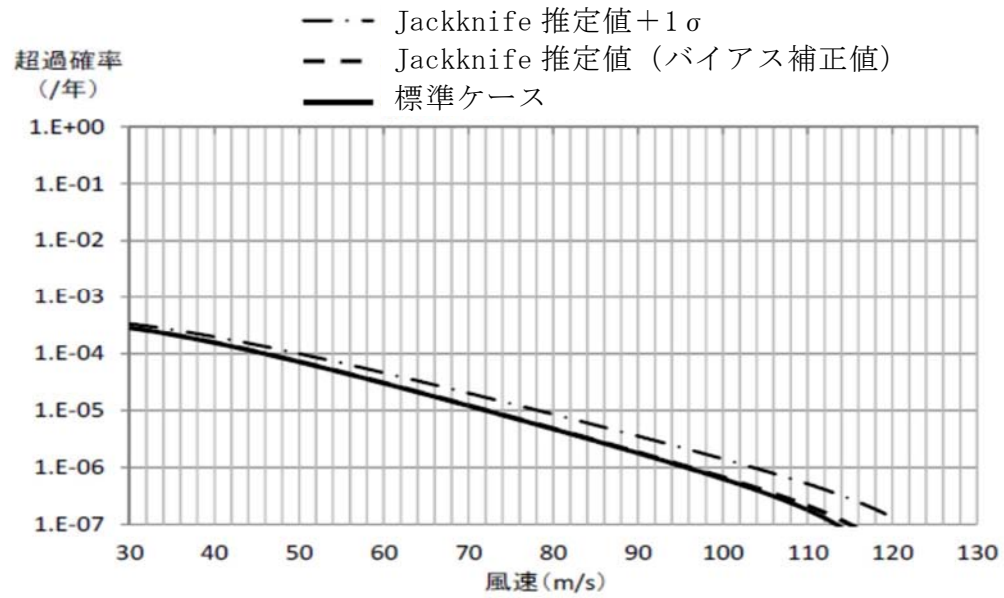
(1)　確率分布形選択に伴う不確実さ

竜巻ハザードの不確かさについて，確率分布形の選択による不確実さを表した第 2.3.8－1 図のハザード曲線によれば，標準ケースと Jackknife 推定値では，ほぼ曲線が重なり合っていることがわかる。また，標準ケースと Jackknife 推定値＋1σにおいても，有意な差は認められない。

(2)　データ量が少ないことに伴う不確実さ

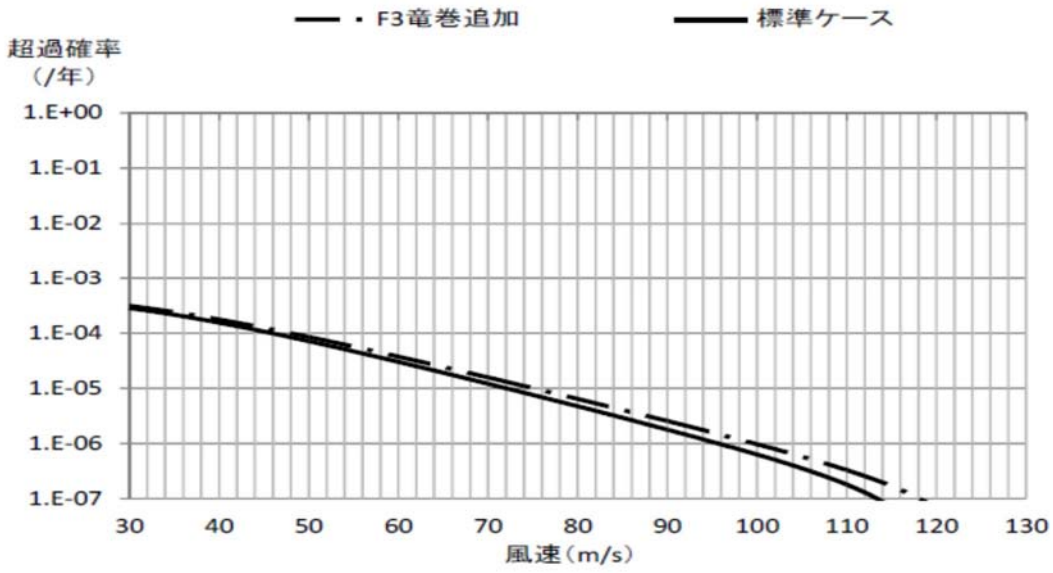
データ量が少ないことに伴う不確実さとして，竜巻検討地域で，Ｆ３竜巻が１つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへの影響を検討した。

これを基にハザードを推定したところ,第 2.3.8－2 図の示すとおりであり，年超過確率 10^{-5} に相当する風速は 76m／s となり，標準ケースと比較しても，ハザード曲線による最大風速への有意な差は認められない。



第 2.3.8－1 図　標準ケースと Jackknife 推定値ケース，

Jackknife 推定値＋1σケースのハザード算定結果の比較

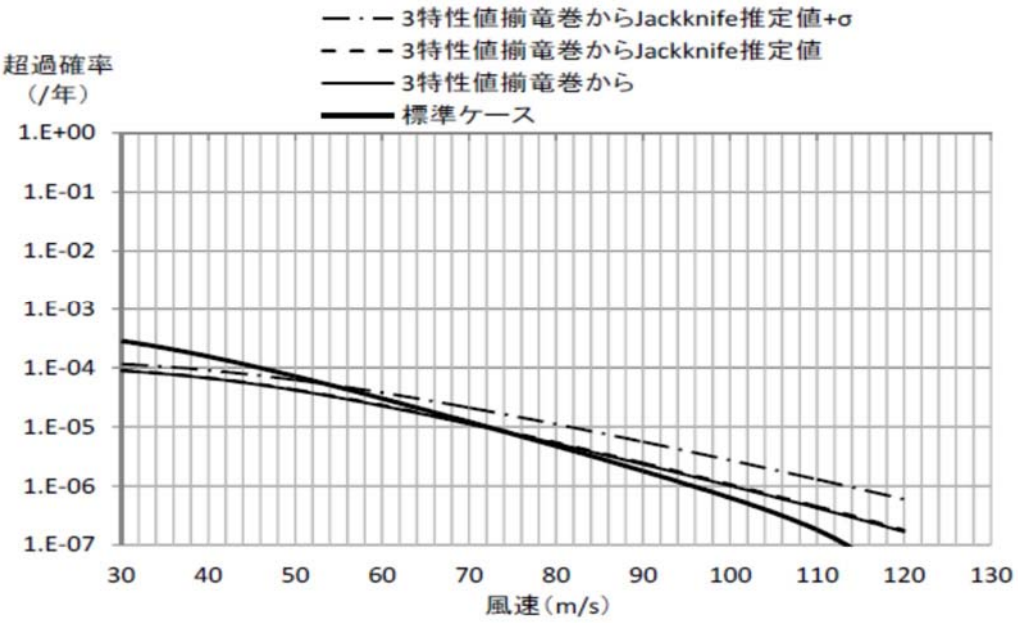


第 2.3.8－2 図　標準ケースとＦ３竜巻発生を仮定した場合の

ハザード算定結果の比較

(3)　データの不確実さ

データの不確かさとして，疑似データを考慮した場合，Ｆスケールの小さな竜巻の割合が多くなるため，3 種類の竜巻のパラメータ（最大風速，被害幅及び被害長さ）が全て判明している 161 個の竜巻（以下「3 特性値揃竜巻」という。）データのみを用いて同様の検討を実施し，その結果を第 2.3.8―3 図に示す。疑似データを考慮した標準ケースと比較すると，Jackknife 推定幅は大きくなっているが，有意な差は認められない。



第 2.3.8－3 図　標準ケース（疑似データ有）とバイアス補正無しと Jackknife 推定値（バイアス補正値），Jackknife 推定値＋１σのハザード算定結果の比較

以上のことから，竜巻ハザードに関する不確かさ要素の影響は小さく，ハザードへの影響はほとんどないことから，データの高い安定性を確認した。

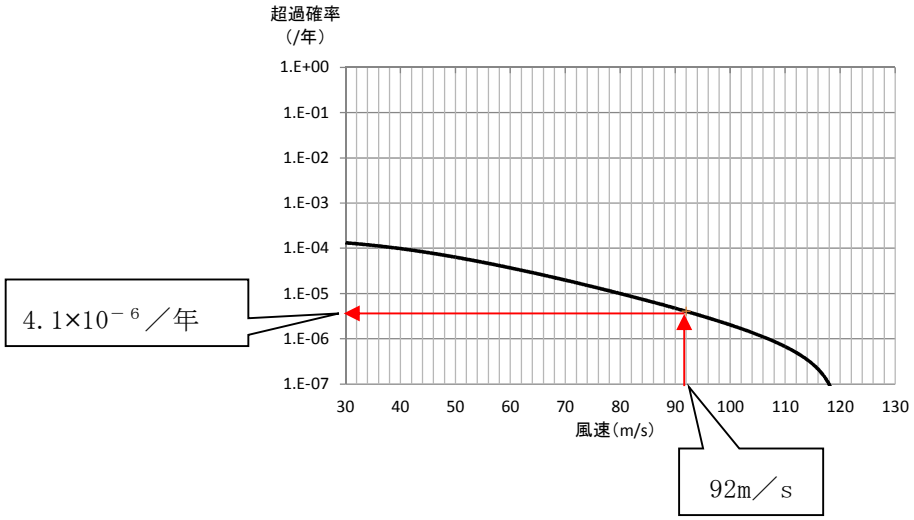
2.3.9　基準竜巻の最大風速（V_B）

以上をもとに，基準竜巻の最大風速V_BはV_{B1}とV_{B2}のうち大きな風速とすることから，発電所における基準竜巻の最大風速V_Bは，第2.3.9－1表に示すとおり，92m／sとなる。

V_Bの年超過確率は，第2.3.9－1図に示すとおり，4.1×10^{-6}となる。

第2.3.9－1表　基準竜巻の最大風速

過去最大竜巻による最大風速 V_{B1}（m／s）	ハザード曲線による最大風速 V_{B2}（m／s）	基準竜巻の最大風速 V_B（m／s）
92	80	92



第2.3.9－1図　基準竜巻の最大風速のハザード曲線

2.3.10　竜巻データの更新に関する対応

(1)　評価時点以降のデータ更新分について

上記の基準竜巻の検討には，検討実施時点での最新であった1961年1月～2012年6月までの竜巻データベースを用いているが，その後，気象庁により継続的にデータベースが更新されている※1。本状況においても，以

下の理由より，最新データを参照した場合でも基準竜巻の最大風速は上記の評価結果を上回るものではなく，現時点での見直しは不要と判断している。

・2012 年 6 月以降，現時点でのV_{B1}の風速 92m／s を超える竜巻が報告されていない。

・2012 年 6 月以降，竜巻検討地域で観測された竜巻はＦ０若しくはＦ１相当のものがほとんどであり，竜巻強度の分布はハザードを下げる方向に変化していると考えられるため，現時点でのV_{B2}が更新されることはない。

※1　2017 年 3 月末時点で，2016 年 3 月までのデータ及び 2016 年 4 月以降の速報データが掲載されている。

(2)　将来の気候変動について

将来的な気候変動として予測される地球温暖化により竜巻の規模や発生数が増加する可能性も否定できない。

しかしながら，将来的な気候変動を完全に予測することは難しいため，最新のデータ，知見をもって気候変動の影響に注視し，竜巻検討地域や基準竜巻の最大風速は，必要に応じ見直しを実施していくものとする。

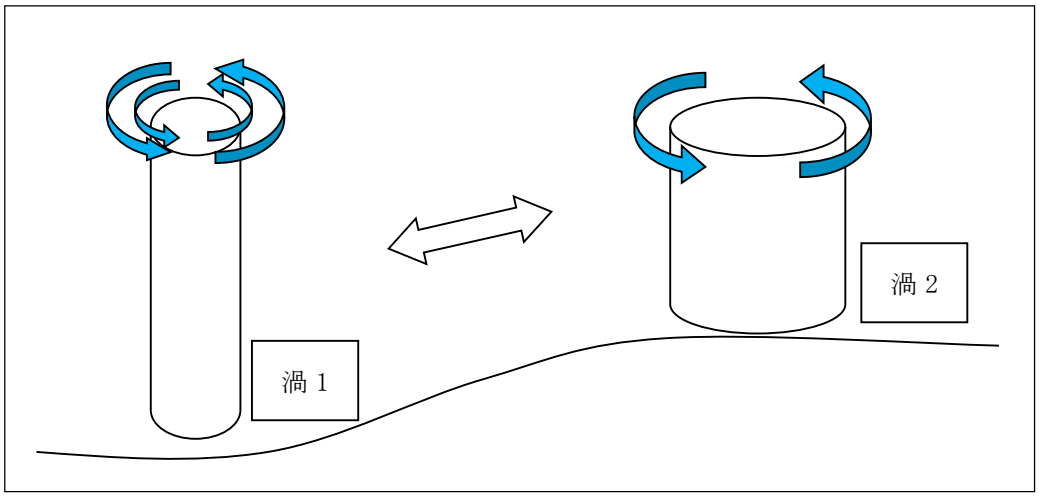
2.4　設計竜巻の設定

2.4.1　設計竜巻の最大風速（V_D）の設定

(1)　地形効果による竜巻風速への影響【添付資料 6】

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として，地形の起伏による影響について既往の研究において示されている。

竜巻のような回転する流れでは，角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため，第 2.4.1－1 図に示すとおり竜巻の渦が上り斜面を移動する時（渦 1 から渦 2 へ移動する場合），基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動する時には強まると考えられる。



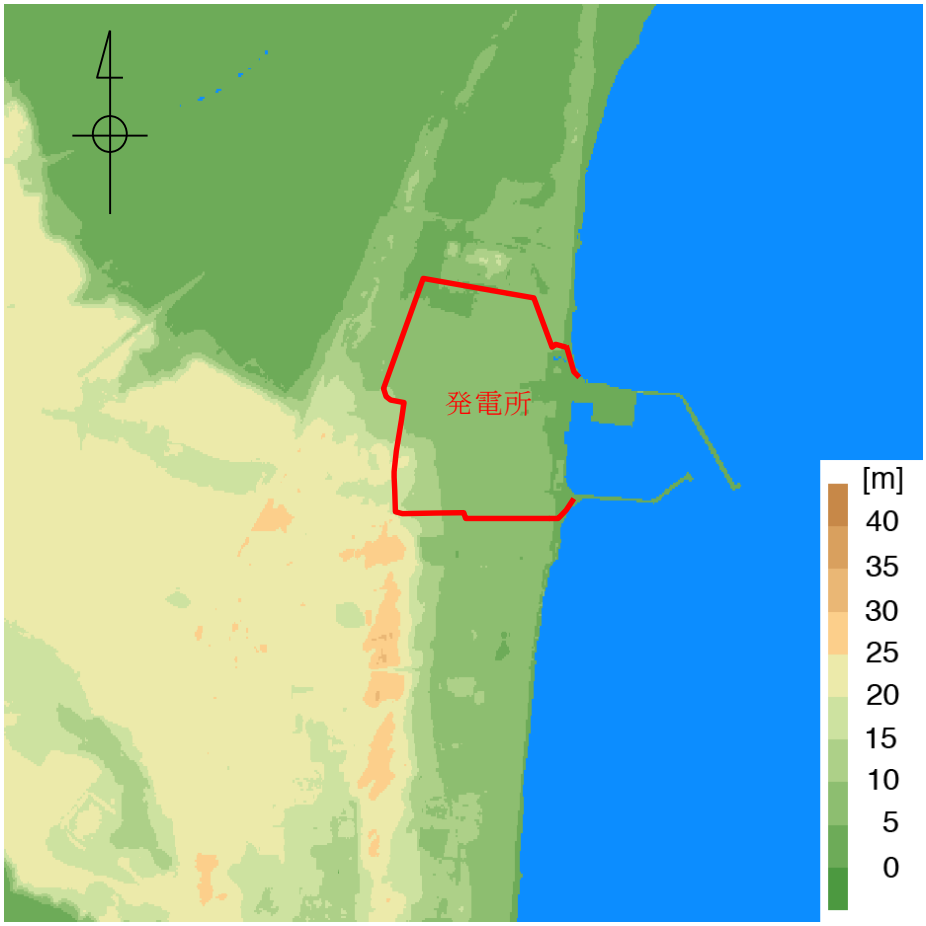
第 2.4.1－1 図　竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

(2)　発電所敷地周辺における地形と竜巻風速への影響

発電所敷地周辺の地形を第 2.4.1－2 図に示す。敷地周辺は，最大でも標高 40 m 程度のなだらかな地形であり，竜巻渦の旋回強度に影響を及ぼすと考えられるマイクロスケール（数百 m）規模の起伏は認められないことから，地形効果による竜巻の増幅の可能性は低いと判断した。

なお，今後も地形増幅に関する新たな知見や情報（観測記録等も含む）

の収集に取組み，必要な事項については適切に対応する。



第 2.4.1－2 図　発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形標高

（国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆）

(3)　設計竜巻の最大風速（V_D）

設計竜巻の最大風速V_Dの設定においては，上述のとおり，発電所敷地周辺の地形効果の影響による竜巻の増幅を考慮する必要はないものと判断するが，将来的な気候変動に伴う不確実性を踏まえ，設計竜巻の最大風速V_Dは，基準竜巻の最大風速 92m／s を安全側に切り上げた 100m／s とする。

2.4.2　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が，現状では設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等が無いため，「竜巻影響評価ガイド」に示される方法に基づき，下記の5項目に従い設定する。その結果を第2.4.2－1表に示す。

(1)　設計竜巻の移動速度（V_T）

$V_T = 0.15 \cdot V_D$

V_D（m／s）：設計竜巻の最大風速

(2)　設計竜巻の最大接線風速（V_{Rm}）

$V_{Rm} = V_D - V_T$

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）

$R_m = 30$（m）

(4)　設計竜巻の最大気圧低下量（ΔP_{max}）

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

ρ：空気密度（1.22（kg／m^3））

V_{Rm}（m／s）：設計竜巻の最大接線風速

(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）：設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径

ΔP_{max}（hPa）：設計竜巻の最大気圧低下量

第 2.4.2－1 表　設計竜巻の特性値

設計竜巻の最大風速 V_D (m／s)	移動速度 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

＜参考文献＞

(1) 井上博登，福西史郎，鈴木哲夫（2013）：原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説，独立行政法人原子力安全基盤機構，JNES-RE-2013-9009.

(2) 気象庁 竜巻等の突風データベース (http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html)

(3) 東京工芸大学（2011）：平成21～22年度原子力安全基盤調査研究（平成22年度） 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構

(4) Wen.Y.K and Chu. S.L. (1973)：Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Journal of the Structural Division 99, 2409-2421

(5) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975)：Tornado risk evaluation using wind speed profiles, Journal of the Structural. Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, pp.1167-1171

(6) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975)：“Tornado Design Winds Based on Risk,” Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 101, No. 9, pp.1883-1897

3.　竜巻影響評価

3.1　概要

竜巻影響評価の概要は以下のとおりとする。

(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)　発電所における設計飛来物の設定（調査含む）

(3)　飛来物発生防止対策

(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，必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

3.2　評価対象施設等

「1.2.2 竜巻影響評価の対象施設」に示したとおりとする。

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_D等に基づき，「風圧力による荷重」，「気圧差による荷重」及び「設計飛来物による衝撃荷重」を基に，以下のとおり設定する。

(1)　風圧力による荷重の設定

設計竜巻の水平方向の最大風速V_Dによって施設（屋根を含む）に作用する風圧力による荷重（W_W）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」及び「建設省告示第1454号（平成12年5月31日）」に準拠し，下式により算定する。

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

q：設計用速度圧（$= (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$）

ρ：空気密度

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

なお，鉛直方向の風圧力については以下のとおりとする。

・建屋，構築物については，庇部や屋根スラブについては，鉛直方向の風圧力の影響を受けると考えられる。庇については，評価対象施設等には存在しないが，屋根スラブについては，鉛直方向の風圧力に対する健全性の評価を行う。

・設備については，鉛直方向の風圧力に対して特に脆弱と考えられる部位は評価対象施設等の中に存在しないことから，鉛直方向の風圧力の考慮は行わない。

(2)　気圧差による荷重の設定

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荷重（W_P）は，最大気圧低下量（ΔP_{max}）に基づき設定する。

ａ．建屋，構築物

建屋及び構築物については，気圧差による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及び構築物について影響評価を実施し，当該施設が損傷のおそれがある場合には，安全機能維持への影響について確認する。

ｂ．設備（系統，機器）

設備（系統，機器）についても，上記と同様にW_Pを設定する。

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，気圧差により作用する応力が許容値以内であるか確認し，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。

(3)　設計飛来物等による衝撃荷重の設定

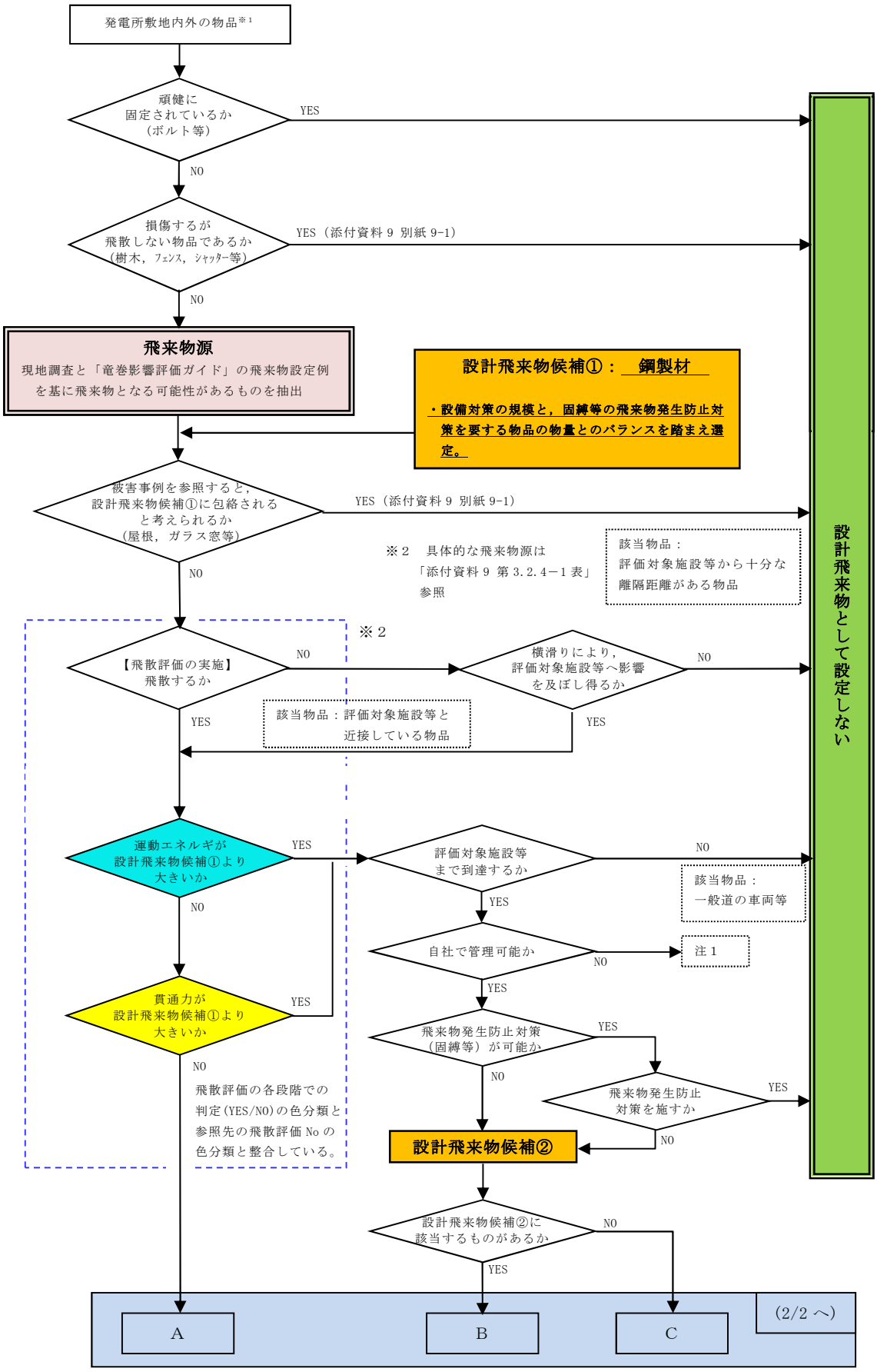
ａ．発電所における設計飛来物等の設定【添付資料 9】

東海第二発電所の竜巻影響評価における設計飛来物等については，東海第二発電所における飛来物源の現地調査結果と，「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設定す

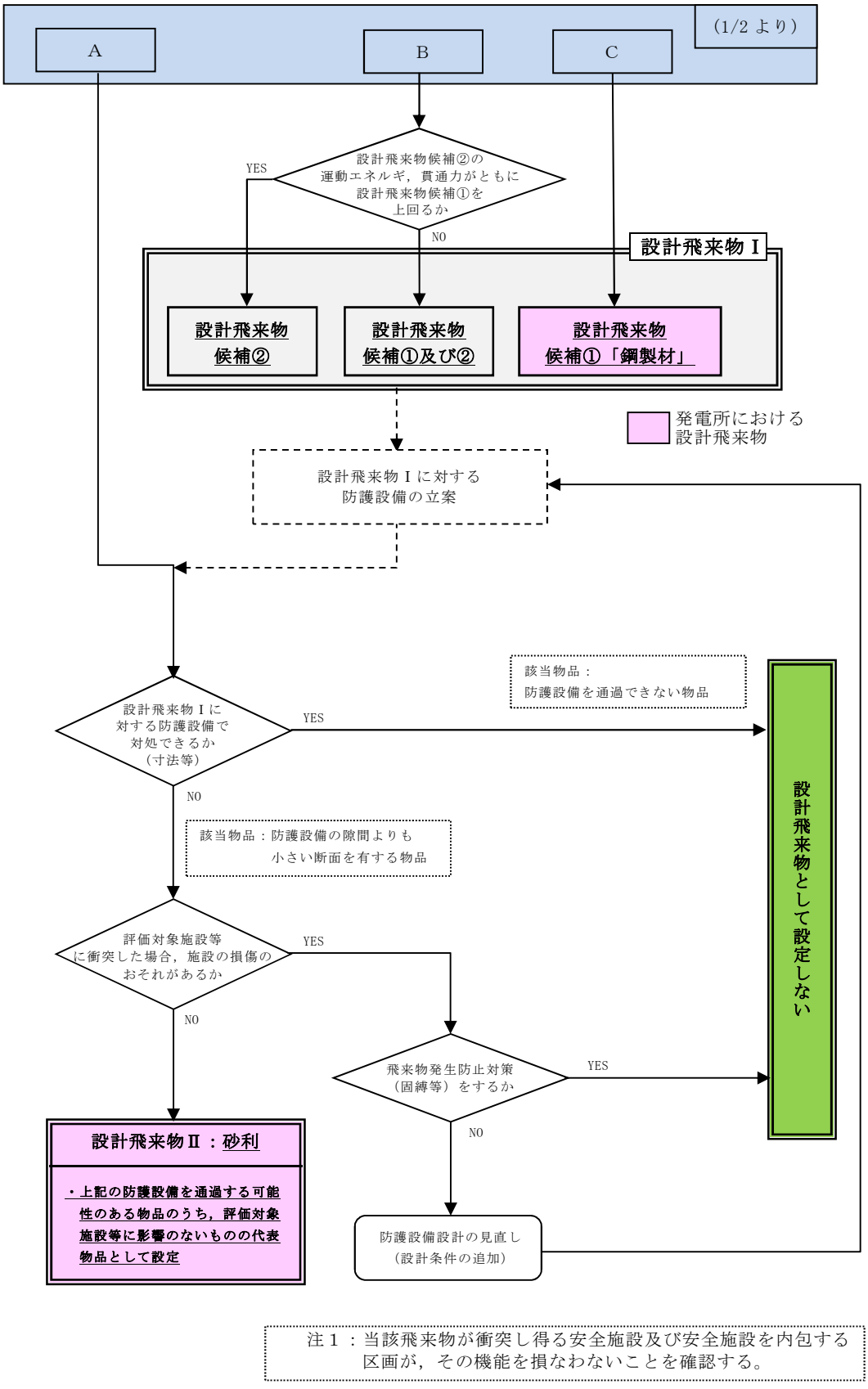
る。

第 3.3.1－1 図に発電所における設計飛来物の設定フローを，第 3.3.1－1 表に発電所における設計飛来物を示す。

※1　発電所敷地内及び周辺の現地調査等を踏まえ抽出



第 3.3.1－1 図　設計飛来物の設定フロー(1/2)



第 3.3.1－1 図　設計飛来物の設定フロー(2/2)

第 3.3.1－1 表　発電所における設計飛来物

飛来物の種類	砂利	鋼製材
サイズ（m）	長さ×幅×高さ 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量（kg）	0.18	135

(a)　評価に用いる設計竜巻の特性

設計竜巻の最大風速は 100m／s とする。（第 2.4.2－1 表）

(b)　設計飛来物等の設定

ⅰ）　現地調査

飛来物となり得る物品を確認するため，発電所の現地調査を実施した。調査範囲は，発電所の敷地のみならず，隣接する日本原子力研究開発機構の敷地や，発電所敷地近傍の墓地，宅地等も含んだ，原子炉建屋から半径 800m の範囲とした。後述の飛散評価の結果によれば，確認された物品の飛散距離は 800m を十分に下回ることから，調査範囲は十分と考えられる。

ⅱ）　設計飛来物となり得る飛来物源の抽出

現地調査で確認された物品の最大飛散距離は最大でも 400m 程度と評価されたことに加え，隣接事業所内での現場調査による物品は発電所構内の物品に類似していた。したがって，発電所の設計飛来物の設定に際しては，発電所敷地内で認められた物品に「竜巻影響評価ガイド」の解説表 4.1 に例示された物品を加えたものを飛来物源として抽出した。

ⅲ）　設計飛来物の設定

上記の飛来物源から，第 3.3.1－1 図のフローに従い，「竜巻影響

評価ガイド」に例示されている鋼製材を設計飛来物として設定した。

さらに，鋼製材に対する飛来物防護対策として設置する防護ネットを通過し得る設計飛来物として，砂利を設定した。砂利のサイズはネットの網目のサイズを考慮して設定した。以降の設計飛来物とは，上記の鋼製材及び砂利の 2 つを示す。

(c)　設計飛来物以外の飛来物源に対する措置

ⅰ)基本方針

設計飛来物以外の飛来物源については，設計竜巻の最大風速 100 m／s における衝突時の運動エネルギ又は貫通力の大きさを，設計飛来物のうちこれらが最大となる鋼製材と比較し，鋼製材を上回る飛来物源（コンテナ等）については，以下のとおり対応する。

・東海発電所を含む当社敷地内のものは，飛来物発生防止対策（固縛等）を施すか，評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備からの離隔及び頑健な建物内への移動等の運用により，設計飛来物による影響を上回らないものとする。

・当社敷地近傍の隣接事業所等から到達し得るものは，飛来物が配置できない設計とする，若しくは当該飛来物が衝突する可能性のある評価対象施設等について，飛来物の衝撃荷重を考慮した設計荷重に対し構造健全性が維持されることを確認するか，安全上支障のない期間での修復等の対応により，機能を損なわないようにする。

ⅱ）当社敷地近傍の隣接事業所等の飛来物源の影響について

他者の所有物で，当社による固縛等の管理ができない可能性を有する飛来物源として，当社の敷地外にある，一般道を走行する車両及び隣接事業所の物品が想定されるが，保守性を含めた解析によれば設計

飛来物よりも影響の大きな飛来物源の飛散距離が最大でも 250m 程度であることを考慮すると，敷地外からの飛来物が到達する可能性を現実的に無視できないと考えられる施設は，第 3.3.1－2 図に示すとおり，評価対象施設等である使用済燃料乾式貯蔵建屋及びタービン建屋，並びに重大事故等対処設備の緊急時対策所※1，可搬型重大事故等対処設備及び常設代替高圧電源装置が挙げられる。

使用済燃料乾式貯蔵建屋については，第 3.3.1－2 図に示すとおり敷地南方の隣接事業所からの飛来物が衝突する可能性がある。これについては，竜巻飛来物防護対策設備により，建屋上部の排気口からの飛来物の建屋内への侵入を防止するとともに，風荷重及び設計飛来物等の衝撃荷重に対しても建屋が倒壊せず内包される外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼさないこと，また，隣接事業所との合意文書に基づく，隣接事業所敷地の一部における，フェンス等の設置により飛来物源配置を不可能とする措置も踏まえ，設計飛来物等が衝突し得る建屋外壁の遮蔽能力の喪失を仮定した場合でも，遮蔽機能に対する要求事項は満足できることを確認した。

タービン建屋については，第 3.3.1－2 図に示すとおり，敷地北方の隣接事業所から飛来物が到達する可能性がある。これについては，風荷重及び設計飛来物等の衝撃荷重に対しても建屋が倒壊せず，建屋の外壁の貫通も生じないため内包される外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼさないことを確認した。よって，敷地北方の事業所内の飛来物源に対する飛来物発生防止対策は不要とする。

緊急時対策所建屋については，第 3.3.1－2 図に示すとおり，国道２４５号線及び国道と発電所西方の敷地との間にある隣接事業所から飛来物が衝突する可能性がある。※2重大事故等対処施設としての緊

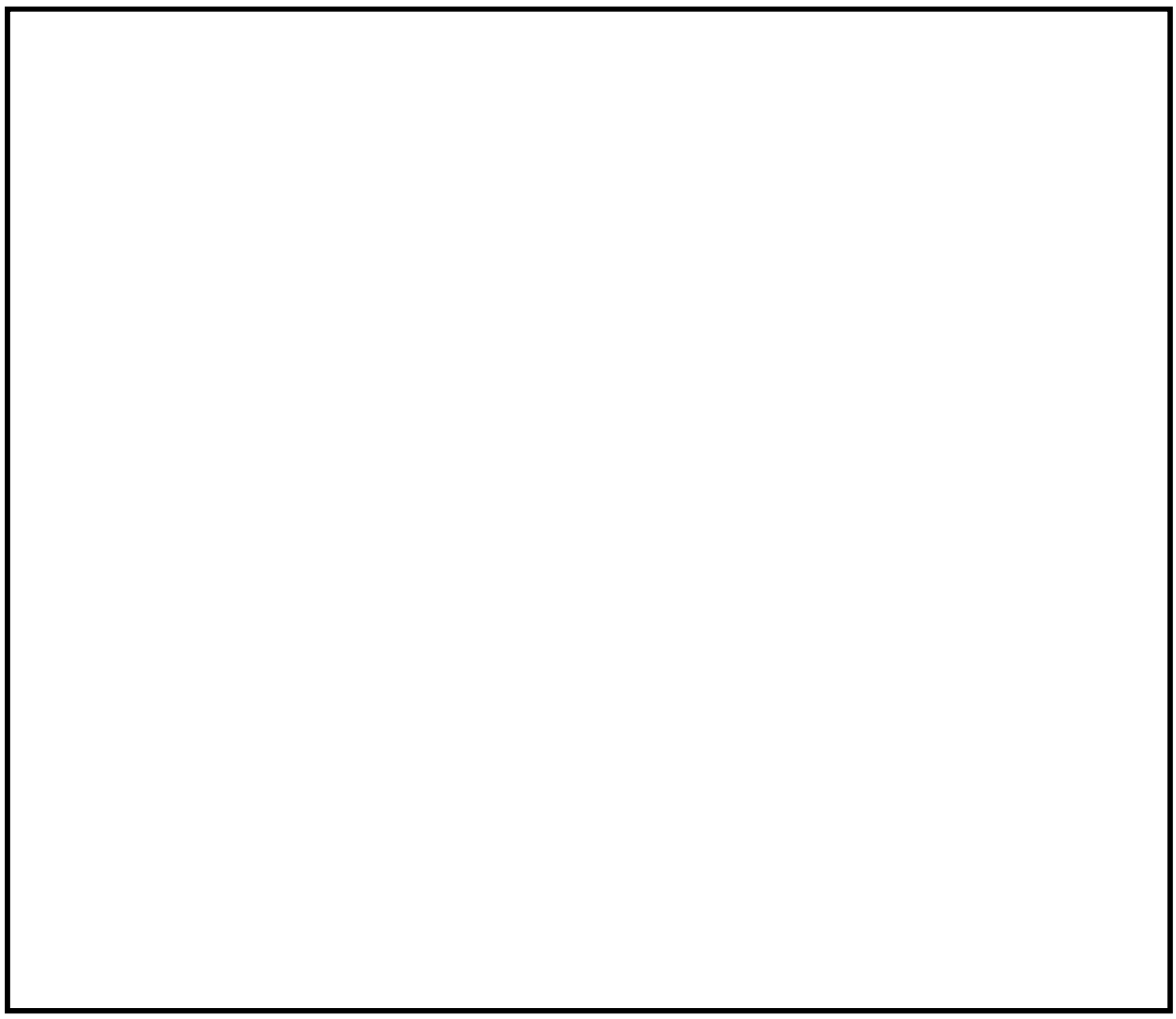
急時対策所建屋は，環境条件としては風荷重のみを考慮する方針となっているが，機能を喪失した場合の影響が大きな遮蔽能力について，念のため飛来物衝突の影響を評価したところ，建屋の外壁については貫通も裏面剥離も生じず，遮蔽能力は確保できることを確認した。

また，可搬型重大事故等対処設備及び常設代替高圧電源装置に関しては，設計基準対象施設を含めて分散配置することにより飛来物に対する残存性を確保する設計としており，敷地外からの飛来物に対しても同様に残存性を期待できるものと判断している。（第 3.3.1－2 図参照）

※1　機能維持については第 43 条としての扱い。6 条（設計対象施設）としてはクラス 3 施設であり，損傷時は代替設備や復旧により機能を維持する。

※2　種々の車両についての飛散解析結果(添付資料 9 別紙 9-4)より，国道２４５号線から飛来する車両の飛散距離は，保守性を見込んだ上で最大でも約 190m と考えられる。

以上より，隣接事業所等から想定される飛来物については，外部事象防護対象施設等への影響は無いと判断した。



第 3.3.1－2 図　飛来物の到達を想定する隣接事業所等

ⅲ）東海発電所廃止措置に伴い生じ得る飛来物源への対応

東海第二発電所に隣接する東海発電所においては廃止措置関連作業が実施されている。施設の解体作業等に関連してどの様な飛来物源が生じ得るかを現時点で正確に特定することは困難であるが，以下のとおり東海第二発電所へ影響を及ぼすことはないと判断している。

・飛来物源の現地調査においては，東海発電所の敷地も対象としており，資機材や設備の種類や形状に関しては，東海第二発電所の資機材等との大きな違いは無いことを確認している。したがって，作業用資機材や取り外しが完了した物品については，固縛，

離隔，収納等，一般の飛来物源と同様の措置が可能である。

・取外し前の施設の据付状況についても，東海第二発電所の施設の状況と有意な差はないと考えられる。東海第二発電所の評価対象施設等は風荷重に対し十分に余裕があることを参照すれば，これらの設備が竜巻により基礎等から引き剥がされ，飛来物化することは考えにくい。

・廃止措置特有の状況として考えられるケースとしては，解体，撤去の途中の状態が一定期間継続すると想定される場合（例：大規模設備や建屋壁面の解体）であるが，このような場合に対しても，作業の計画段階及び実施段階で，適宜風荷重に対し脆弱な形状が生じていないかを確認し，想定される脱落片（飛来物）が設計飛来物による影響を超えることが確認された場合でも，その様な飛来物源が発生しないよう工法を工夫するなどによって対応することで，東海第二発電所に影響を及ぼす可能性のある飛来物の発生を防止できない状況は生じないと考えられる。なお，これらの運用管理については，確実に実施するために手順として原子炉施設保安規定に規定し，ＱＭＳ規程に基づき実施する。

ｂ．設計飛来物の速度の設定

設計竜巻による設計飛来物の最大水平速度（$_{M}V_{Hmax}$）及び最大鉛直速度（$_{M}V_{Vmax}$）は，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」の解説表 4.1 に示されるものと同じ値とし，第 3.3.1－2 表のとおりとする。

ただし，「竜巻影響評価ガイド」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(1)(2)を参考にして，ランキン渦を仮定した風速場の中での速度を算出した※。

※ 設計飛来物であることに鑑み，配置高さによって飛散速度が変わらないランキン渦モデルで数値を算出した。

第 3.3.1－2 表　発電所における設計飛来物の速度

飛来物の種類	砂利	鋼製材
サイズ（m）	長さ×幅×高さ 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量（kg）	0.18	135
最大水平速度 （m／s）	62	51
最大鉛直速度 （m／s）	42	34

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，砂利と比べ運動エネルギが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 3.3.1－2 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(3)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

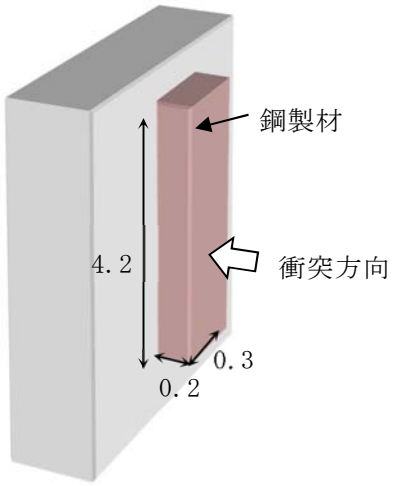
V：飛来物の衝突速度

L_{MIN}：飛来物の衝突方向長さ

この場合，衝撃荷重が最大となるのは第 3.3.1－3 図に示す向きの衝突(荷重：1760kN)となるが，評価においては，対象部位の構造を考慮した上で衝突姿勢を決定し，上記式の考え方に基づき，その都度衝撃荷重を算出

する。

なお，有限要素法による飛来物衝突評価を行う場合には，衝撃荷重は計算の中で自動的に求められる。



第 3.3.1－3 図　最大衝撃荷重となる鋼製材衝突方向（Riera の方法[3]）

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）及び設計飛来物等による衝撃荷重（W_M）を組み合わせた複合荷重とし，以下の式による。

$W_{T1}=W_P$

$W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$

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：設計飛来物等による衝撃荷重

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，W_{T2}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

評価対象施設等に常時作用する荷重（自重，死荷重及び活荷重）及び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[4]，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。

ａ．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。

ｂ．雪

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。

ｃ．ひょう

ひょうは，積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒[5]であり，仮に直径 10cm 程度の大型のひょうを想定した場合でも，その重量は約 0.5kg

である。直径 10cm 程度のひょうの終端速度は 59m／s[6]，運動エネルギは約 0.9kJ であり，設計飛来物の運動エネルギと比べ十分に小さく，ひょうの衝撃荷重は設計竜巻荷重に包絡される。【添付資料 10】

d．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

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ため，設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

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ことから，設計基準事故時荷重と設計竜巻との組合せは考慮しない。

仮に，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，評価対象施設等のうち設計基準事故時荷重が生じ，竜巻による風荷重等の影響を受ける屋外設備としては残留熱除去系海水系ポンプ等が考えられるが，設計基準事故時においても残留熱除去系海水系ポンプ等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，竜巻と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

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的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うことのない設計とする。

3.4.1　許容限界

建屋及び構築物の設計において，設計飛来物等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（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，指針類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

・日本工業規格

・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）

・原子力エネルギー協会（ＮＥＩ）の基準・指針類

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（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。

・日本工業規格

・日本機械学会の基準・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）

3.4.2　設計方針

(1)　屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

設計荷重に対して，安全機能が維持される設計とし，安全機能を損なう可能性がある場合には施設の補強，防護ネット等の設置又は運用による竜巻防護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。

なお，屋内に配置される施設のうち，外殻となる施設等の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。

ａ．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口は，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することがなく，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の吸気機能が維持される設計とする。さらに，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口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．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファンは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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，風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して，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。

ｃ．中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）

中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮して，防護ネットの設置等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中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）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。

ｄ．残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）

残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）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。

ｅ．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。）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．残留熱除去系海水系ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通する

ことを考慮し，防護ネットの設置等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残留熱除去系海水系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．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナは，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し，防護ネットの設置等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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ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．非常用ガス処理系排気筒

非常用ガス処理系排気筒は，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することはなく，非常用ガス処理系排気筒の排気機能が維持される設計とする。さらに，非常用ガス処理系排気筒は開かれた構造物であり気圧差荷重も作用しないことから，風圧力による荷重及び非常用ガス処理系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。

i．主排気筒

主排気筒の筒身については，設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても，閉塞することはなく，主排気筒の排気機能が維持される設計とする。さらに，主排気筒は開かれた構造物であり気圧差荷重も作用しないことから，風圧力による荷重及び主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。

また，設計飛来物の衝突により部材が損傷した場合においても構造健全性が維持され，排気筒全体が倒壊しない設計とする。

j．原子炉建屋

原子炉建屋原子炉棟外壁（5 階及び 6 階部分）の原子炉建屋外側ブローアウトパネルについては，設計竜巻による気圧低下による開放及び設計飛来物の貫通により，原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能を損なう可能性があるが，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物の衝突及び気圧低下による開放後の開口部からの設計飛来物の侵入を防止する設計とするとともに，気圧低下による開放に対しては，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ことから，安全上支障のない期間に補修が可能な設計とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

また，原子炉建屋は外部事象防護対象施設を内包する建屋でもあるため，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物の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）の破損により原子炉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，原子炉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。

＜以下，外部事象防護対象施設を内包する区画＞

k．タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物等の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，設計飛来物等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。

1．軽油貯蔵タンクタンク室

軽油貯蔵タンクタンク室は，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，軽油貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

(2)　屋内の施設で外気と繋がっている施設

設計荷重に対して安全機能が維持される設計とし，安全機能を損なう可能性がある場合には施設の補強，防護ネットの設置等の竜巻防護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。

ａ．非常用換気空調設備

非常用換気空調設備は，壁面の補強等の竜巻防護対策を行う原子炉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非常用換気空調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．原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）は，壁面の補強等の竜巻防護対策を行う原子炉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原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）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。

(3)　外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

設計荷重に対して安全機能が維持される設計とし，安全機能を損なう可能性がある場合には施設の補強，防護ネットの設置等の竜巻防護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。

a．原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備

原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備は，設計飛来物の衝突により，建屋壁面及び開口部建具に貫通が発生することを考慮し，壁面の補強等の竜巻防護対策を行うことにより，原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備への設計飛来物の衝突を防止し，原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備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。

b．原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）は，設計飛来物の衝突により建屋の壁面等に貫通が発生することを考慮し，壁面等の補強による竜巻防護対策を行うことにより，原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）への設計飛来物の衝突を防止し，原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）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。

c．非常用電源盤（電気室）

非常用電源盤（電気室）は，設計飛来物の衝突により原子炉建屋付属棟1階電気室扉に貫通が発生することを考慮し，電気室扉の取替等の竜巻防護対策を行うことにより，非常用電源盤（電気室）への設計飛来物の衝突を防止し，非常用電源盤（電気室）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．原子炉建屋原子炉棟６階設置設備

原子炉建屋原子炉棟６階設置設備は，設計竜巻による気圧低下により原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，当該設備への設計飛来物の衝突を防止する。

さらに，原子炉建屋原子炉棟６階設置設備は構造的に風圧力による影響を受けないことから，当該設備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。

ｅ．燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン

燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーンは，設計竜巻による気圧低下により設備が配置される区画の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，防護ネットの設置等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するとともに，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う運用により，原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放状態においても，燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーンの安全機能を損なうことなく，また，転落によって近傍の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。

ｆ．非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備

原子炉建屋内の非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備は，設計竜巻による気圧低下により設備が配置される区画の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放されることを考慮し，原子炉建屋外側ブローアウトパネルの撤去及び開口部の閉止による竜巻防護対策を行うことにより，非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備の安全機

能を損なわない設計とする。

g．使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は，使用済燃料乾式貯蔵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気圧差荷重は作用しない。

さらに，使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により貫通が発生することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物等の衝突を防止し，使用済燃料乾式貯蔵容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。

h．使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは，使用済燃料乾式貯蔵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気圧差荷重は作用しない。

さらに，使用済燃料乾式貯蔵建屋上部の開口部に対し，設計飛来物等の衝突により，貫通が発生することを考慮し，防護ネットの設置等による竜巻防護対策を行うことにより，設計飛来物等の衝突を防止するとともに，竜巻の襲来が予想される場合には，燃料取扱作業を中止し，使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼさない待機位置への退避措置を行う運用により，使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの安全機能を損なうことなく，また，転落によって近傍の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。

(4)　外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

設計荷重に対して，当該施設の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取替え，補修が可能なことにより，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．サービス建屋

サービス建屋は，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．海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁は，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補強等を行うことで，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。

c．鋼製防護壁

鋼製防護壁は，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。

d．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器が閉塞することがなく，ディーゼル発電機の機能が維持される設計とする。さらに，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含

む。）に機能的影響を及ぼさない設計とする。

e．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管が閉塞することがなく，ディーゼル発電機の機能が維持される設計とする。さらに，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管に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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）に機能的影響を及ぼさない設計とする。

f．残留熱除去系海水系配管（放出側）

残留熱除去系海水系配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，残留熱除去系海水系配管（放出側）が閉塞することがなく，残留熱除去系海水系ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，残留熱除去系海水系配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び残留熱除去系海水系配管（放出側）に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残留熱除去系海水系ポンプ等に機能的影響を及ぼさない設計とする。

g．非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含

む。）用海水配管（放出側）

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）は，設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）が閉塞することがなく，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの機能等が維持される設計とする。さらに，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）が風圧力による荷重，気圧差による荷重及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）に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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ等に機能的影響を及ぼさない設計とする。

3.5　竜巻随伴事象に対する評価

竜巻随伴事象として，過去の竜巻被害事例及び発電所の施設の配置から想定される以下の事象を抽出し，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわないことを確認した。【添付資料 11】

(1)　火災

竜巻随伴事象として，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，屋外の危険物貯蔵施設及び変圧器に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建屋内については，飛来物が侵入する場合でも，飛来物衝突位置となる開口部付近に，発電用原子炉施設の安全機能を損なう可能性を有する発火性又は引火性物質を内包する機器が配置されておらず，また，外部事象防

護対象施設を設置している区画の開口部には防護ネット設置等の竜巻防護対策を行うことを考慮すると設計飛来物が到達することはないことから，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。

建屋外については，設計竜巻による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が，外部事象防護対象施設は外部火災評価における発電所敷地内の危険物貯蔵施設及び変圧器の火災影響評価に包含されることから，外部火災評価と同様であり，外部事象防護対象施設の安全機能を損なうことのないことを確認している。なお，建屋外の火災については，竜巻通過後，速やかに消火活動を行う運用により対応する。

以上により，竜巻による火災により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。

(2) 溢水

竜巻随伴事象として，竜巻による飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合，液体を貯蔵する屋外タンク及び貯槽類に飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

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，飛来物衝突位置となる開口部付近に，外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性を有する溢水源が配置されておらず，また，外部事象防護対象施設を設置している区画の開口部には防護ネット設置等の竜巻防護対策を行うことを考慮すると，設計飛来物が到達することはないことから，設計竜巻により建屋内に溢水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ことを確認している。

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があるが，溢水評価における屋外タンク等の評価に包絡さ

れるため，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわないことを確認している。

以上により，竜巻による溢水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。

(3) 外部電源喪失

設計竜巻と同時に発生する雷等により外部電源が喪失した場合でも，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）は原子炉建屋内に収納しており，外殻機能が期待できることから，設計竜巻による風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重による影響はないため，竜巻による外部電源喪失により，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。

なお，非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）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。

・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，許容限界温度（通常運転時の約 420℃を大幅に超える温度）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非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）運転に支障を来すことはない。

＜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，独立行政法人原子力安全基盤機構

(2) E.Simiu and M.Cordes,NBSIR76-1050.Tornado-Bome Missile Speeds,1976

(3) J.D.Riera,“A Critical Reappraisal of Nuclear Power Plant safety against Accidental Aircraft Impact”,Nuclear Engineering and Design 57,(1980)

(4) 雷雨とメソ気象 大野久雄，東京堂出版

(5) 気象庁ホームページ
(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yougo_hp/kousui.html)

(6) 一般気象学 小倉義光，東京大学出版会

添付資料　目次

1.　外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出について

別紙 1-1　緊急時対策所の竜巻防護方針について

別紙 1-2　排気筒モニタについて

2.　耐震Ｓクラス施設について

別紙 2-1　外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の防護方針について

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の抽出について

4.　竜巻検討地域の設定について

5.　ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について

別紙 5-1　海上のＦスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について

別紙 5-2　竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響について

6.　地形効果による竜巻の増幅の可能性について

7.　竜巻影響評価の概要及び保守性について

8.　竜巻影響評価及び竜巻防護対策の概要

別紙 8-1　評価対象施設等の設計荷重について

別紙 8-2　竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について

別紙 8-3　飛来物化する可能性がある物品の管理について

別紙 8-4　竜巻準備体制の発令の判断基準について

別紙 8-5　原子炉建屋ブローアウトパネルに対する対応方針について

別紙 8-6　南方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-7　北方の隣接事業所からの飛来物の影響について

別紙 8-8　西方の隣接事業所からの飛来物の影響について

9.　設計飛来物の設定について

別紙 9-1　分解され小型軽量となる物品及び損傷するが飛来物とならない物品について

別紙 9-2　空力パラメータについて

別紙 9-3　フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とすることの妥当性について

別紙 9-4　車両の飛散範囲について

別紙 9-5　東海発電所　廃止措置作業の概要及び解体・撤去物品の管理について

10.　竜巻時に発生するひょうの影響について

11.　竜巻随伴事象の抽出について

添付資料１

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出について

1.　抽出方針

発電所における外部事象防護対象施設等から，以下の手順により，評価対象施設を抽出した。

Step1: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，系統及び機器並びに安全機能を有しない構築物，系統及び機器のうち外部事象防護対象施設等※1を抽出する。

※1　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）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※2上その機能に期待するクラス３に属する構築物，系統及び機器並びにそれを内包する区画

※2　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（外部事象防護対象施設となる建屋を除く。）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。

上記以外の安全施設については，竜巻及びその随伴事象に対して機能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ことを確認する。

Step2:外部事象防護対象施設等として抽出された設備の設置場所を確認し，竜巻襲来時に風圧，気圧差及び設計飛来物等衝突の影響を受ける屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）を評価対象施設とする。

Step3：屋内施設であるが外気と繋がっているため，竜巻襲来時に気圧差の影響を受ける施設を評価対象施設とする。

Step4:外殻となる施設等による防護機能が期待できない区画の内部に配置されている外部事象防護対象施設は，竜巻襲来時に風圧，気圧差及び設計飛来物衝突の影響を受けるため，評価対象施設とする。

なお，外殻による防護機能に期待できるかは，外殻となる施設等の竜巻荷重に対する構造健全性の確認結果により，設計飛来物の衝突等による開口部の開放又は開口部建具の貫通の観点から，評価対象施設を抽出する。

2. 抽出結果

2.1 外部事象防護対象施設等

第 2.1－1 図に，外部事象防護対象施設等の抽出フローを示す。

(1) 外部事象防護対象施設

「1. 抽出方針」に従い，外部事象防護対象施設を抽出した。

(2) 外部事象防護対象施設を内包する区画

外部事象防護対象施設を内包する区画を以下のとおり抽出した。

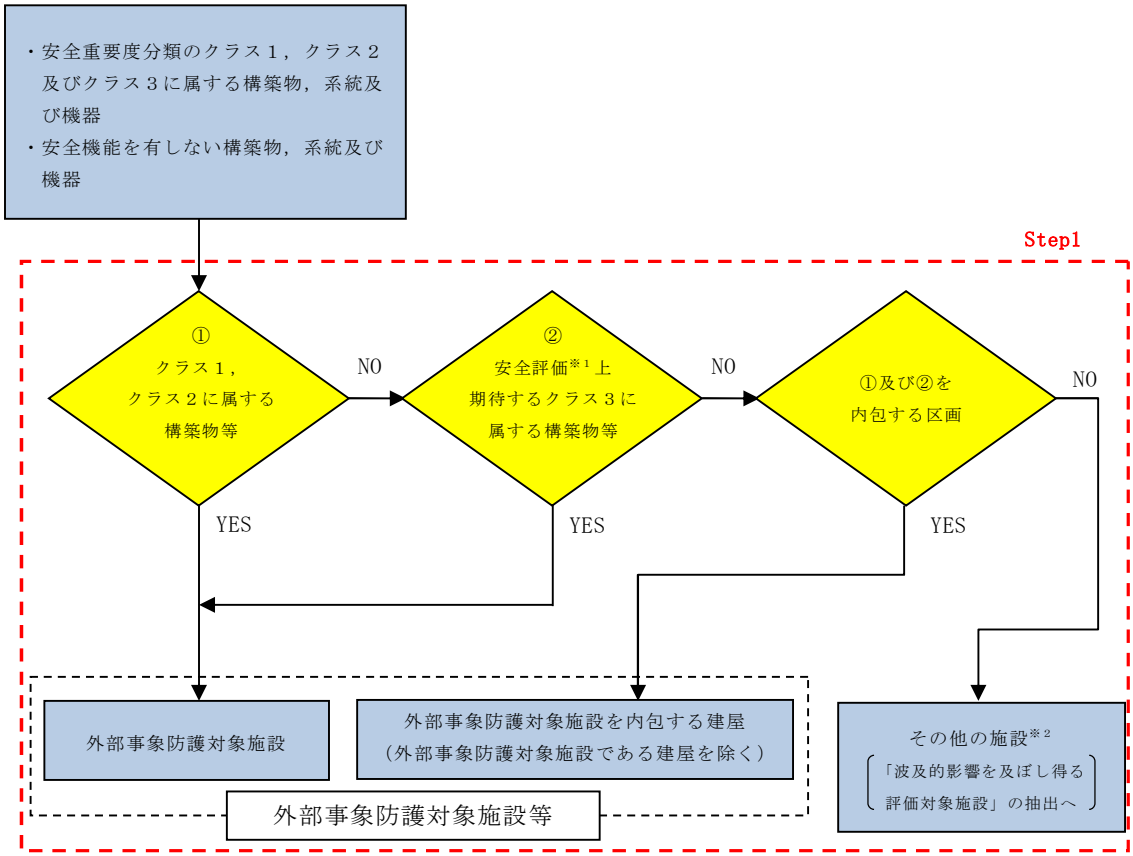
ａ．タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包）

ｂ．使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包）

ｃ．軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包）

ｄ．排気筒モニタ建屋（排気筒モニタを内包）

なお，抽出結果は，評価対象施設の抽出結果とともに整理し，次項の第 2.2－1 表に示す。

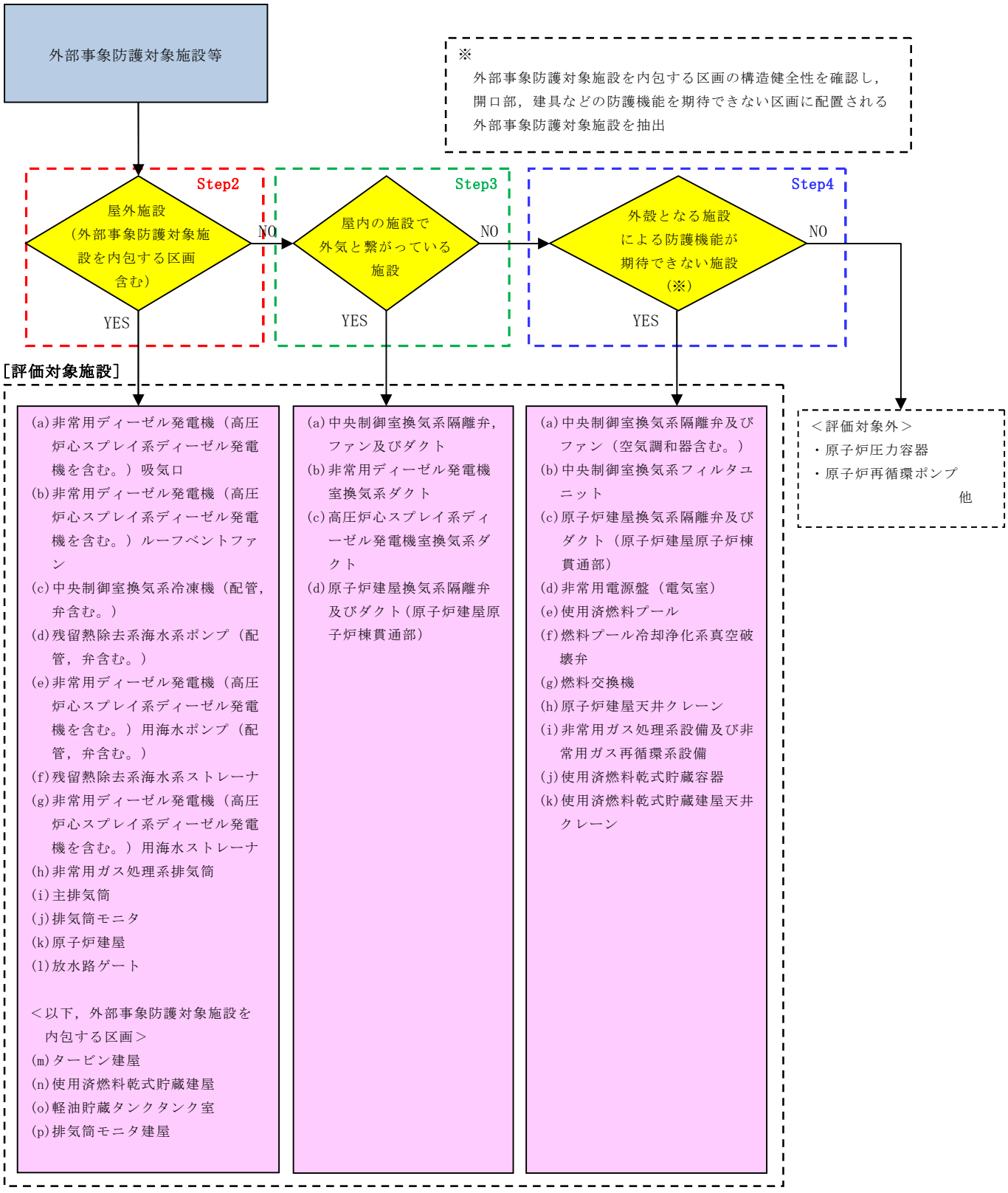


※１　運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析
※２　竜巻及びその随伴事象に対して機能維持すること，竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること又は安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能であることを確認する。

第 2.1－1 図　外部事象防護対象施設等の抽出フロー

2.2　外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設

第 2.2－1 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を示し，その結果を第 2.2－1 表に示す。



第 2.2－1 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

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（1／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－１	その損傷又は故障により発生する事象によって，(a) 炉心の著しい損傷又は (b) 燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物，系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。）	・原子炉圧力容器 ・原子炉再循環ポンプ ・配管，弁 ・隔離弁 ・制御棒駆動機構ハウジング ・中性子束計装管ハウジング	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	・制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物（炉心シュラウド，シュラウドサポート，上部格子板，炉心支持板，制御棒案内管），燃料集合体（ただし，燃料を除く。）	・炉心シュラウド ・シュラウドサポート ・上部格子板 ・炉心支持板 ・燃料支持金具 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構ハウジング ・燃料集合体の下記部分（上部タイプレート，下部タイプレート） ・燃料集合体（スペーサ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（2／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	1）原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能））	・制御棒 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
		2）未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系，ほう酸水注入系）	・制御棒 ・制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング ・ほう酸水注入系（ほう酸水注入ポンプ，注入弁，タンク出口弁，ほう酸水貯蔵タンク，ポンプ吸込配管及び弁，注入配管及び弁）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
		3）原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	・逃がし安全弁（安全弁開機能）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（3／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる：×）		評価対象施設名称	
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	4）原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード），原子炉隔離時冷却系，高圧炉心スプレイ系，逃がし安全弁，（手動逃がし機能），自動減圧系（手動逃がし機能））	・残留熱除去系（ポンプ，熱交換器，原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管，弁）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・原子炉隔離時冷却系（ポンプ，サプレッション・プール，タービン，サプレッション・プールから注水先までの配管，弁）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・逃がし安全弁（手動逃がし機能）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・自動減圧系（手動逃がし機能）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（4／24）

○：Yes　×：No　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	5）炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイ系，低圧注水系，高圧炉心スプレイ系，自動減圧系）	・低圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールから注水先までの配管，弁（熱交換器バイパスライン含む），注水ヘッダ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・高圧炉心スプレイ系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先までの配管，弁，スプレイヘッダ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・自動減圧系（逃がし安全弁）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（5／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	6）放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器，原子炉格納容器隔離弁，原子炉格納容器スプレイ冷却系，原子炉建屋，非常用ガス処理系，非常用再循環ガス処理系，可燃性ガス濃度制御系	・格納容器（格納容器本体，貫通部，所員用エアロック，機器搬入ハッチ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・原子炉建屋原子炉棟	○	—※2	○	×	－	－	・原子炉建屋	
				・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）	○	—※2	×	○	原子炉建屋	○	・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）	
				・格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・主蒸気流量制限器	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード）（ポンプ，熱交換器，サプレッション・プール，サプレッション・プールからスプレイ先（ドライウェル及びサプレッション・プール気相部）までの配管，弁，スプレイヘッダ（ドライウェル及びサプレッション・プール）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（6／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
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，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器	6）放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器，原子炉格納容器隔離弁，原子炉格納容器スプレイ冷却系，原子炉建屋，非常用ガス処理系，非常用再循環ガス処理系，可燃性ガス濃度制御系	・原子炉建屋ガス処理系（乾燥装置，排風機，フィルタ装置，原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒頂部までの配管，弁）	○	—※2	○	×	—	—	・非常用ガス処理系排気筒 ・主排気筒	
							×	○	原子炉建屋	○	・非常用ガス処理系設備 ・非常用ガス再循環系設備	
				・可燃性ガス濃度制御系（再結合装置，格納容器から再結合装置までの配管，弁，再結合装置から格納容器までの配管，弁）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・遮へい設備（原子炉遮へい壁，一次遮へい壁，）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・遮蔽設備（二次遮へい壁）	○	—※2	○	×	－	－	・原子炉建屋	
	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	1）工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	・原子炉緊急停止の安全保護回路 ・非常用炉心冷却系作動の安全保護回路	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（7／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＭＳ－１	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	1）工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	・原子炉格納容器隔離の安全保護回路 ・原子炉建屋ガス処理系作動の安全保護回路 ・主蒸気隔離の安全保護回路	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
		2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，ＭＳ-1関連のもの）	・非常用所内電源系（ディーゼル機関，発電機，発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）	○	—※2	×	×	原子炉建屋 軽油貯蔵タンクタンク室	×	・原子炉建屋 ・軽油貯蔵タンクタンク室	
							○	×	－	－	・非常用ディーゼル発電機吸気口 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口 ・非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（8／24）

○：Yes　　：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＭＳ－１	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，ＭＳ-1関連のもの）	・非常用所内電源系（ディーゼル機関，発電機，発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）	○	—※2	○	×	－	－	・非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト	
				・中央制御室及び中央制御室遮へい	○	—※2	○	×	－	－	・原子炉建屋	
				・中央制御室換気空調系（放射線防護機能及び有毒ガス防護機能）（非常用再循環送風機，非常用再循環フィルタ装置，空調ユニット，送風機，排風機，ダクト及びダンパ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
							○	×	－	－	・中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）	
							×	○	原子炉建屋	×	・中央制御室換気系ダクト	
							×	○	原子炉建屋	○	・中央制御室換気系隔離弁，ファン（空気調和器含む。）及び，フィルタユニット	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（9／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＭＳ－１	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，ＭＳ-1関連のもの）	・残留熱除去系海水系（ポンプ，熱交換器，配管，弁，ストレーナ（ＭＳ-1関連））	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
							○	×	－	－	・残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む） ・残留熱除去系海水系ストレーナ ・取水路※3（屋外トレンチ含む）	
				・ディーゼル発電機海水系（ポンプ，配管，弁，ストレーナ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
							○	×	－	－	・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ（配管，弁含む） ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（配管，弁含む） ・非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ ・取水路※3（屋外トレンチ含む）	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）
※3　取水路は，竜巻の影響により閉塞することは考え難いため，評価対象施設としない。

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（10／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＭＳ－１	2）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	2）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系，制御室及びその遮へい・非常用換気空調系，非常用補機冷却水系，直流電源系（いずれも，ＭＳ-1関連のもの）	・直流電源系（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））	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
										○	・非常用電源盤（電気室）	
				・計測制御電源系（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））	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
			その他	・放水路ゲート	○	—※2	○	×	－	－	・放水路ゲート	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（11／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－２	1）その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし，原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	主蒸気系，原子炉冷却材浄化系（いずれも，格納容器隔離弁の外側のみ）	・原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・主蒸気系	○	—※2	×	×	原子炉建屋 タービン建屋	×	・原子炉建屋	
				・原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン（原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分であって外側隔離弁下流からタービン止め弁まで）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
		2）原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能	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），使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	・放射性気体廃棄物処理系（活性炭式希ガスホールドアップ装置）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
				・使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	○	・原子炉建屋 ・使用済燃料プール	
				・新燃料貯蔵庫（臨界防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（12／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－２	1）その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	2）原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能	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），使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	・使用済燃料乾式貯蔵容器	○	—※2	×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵容器	
		3）燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン	○	—※2	×	×	原子炉建屋	○	・原子炉建屋 ・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン	
				・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	○	—※2	×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	
	2）通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって，その故障により，炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物，系統及び機器	1）安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	・逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（13／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
MS－2	1）PS－2の構築物，系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物，系統及び機器	1）燃料プール水の補給機能	非常用補給水系	・残留熱除去系（ポンプ，サプレッション・プール，サプレッション・プールから燃料プールまでの配管，弁）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
		2）放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁，排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	・放射性気体廃棄物処理系（オフガス）隔離弁	○	—※2	×	×	タービン建屋	×	・タービン建屋	
				・排気筒	○	—※2	○	×	—	—	・排気筒	
				・燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	○	—※2	×	×	原子炉建屋	○	・原子炉建屋 ・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁	
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	・原子炉建屋原子炉棟	○	—※2	○	×	—	—	・原子炉建屋	
				・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）	○	—※2	×	○	原子炉建屋	○	・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）	
				・原子炉建屋ガス処理系	○	—※2	○	×	—	—	・非常用ガス処理系排気筒 ・主排気筒	
							×	○	原子炉建屋	×	・原子炉建屋	
							×	×	原子炉建屋	○	・非常用ガス処理系設備 ・非常用ガス再循環系設備	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（14／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
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	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	・中性子束（起動領域計装） ・原子炉スクラム用電磁接触器の状態 ・制御棒位置	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉圧力	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	
				・原子炉格納容器圧力 ・サプレッション・プール水温度 ・原子炉格納容器エリア放射線量率（高レンジ）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	—	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（15／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
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	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	［低温停止への移行］ ・原子炉圧力 ・原子炉水位（広帯域） ［ドライウェルスプレイ］ ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・原子炉格納容器圧力 ［サプレッション・プール冷却］ ・原子炉水位（広帯域，燃料域） ・サプレッション・プール水温度 ［可燃性ガス濃度制御系起動］ ・原子炉格納容器水素濃度 ・原子炉格納容器酸素濃度	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	原子炉建屋	
		2）異常状態の緩和機能	ＢＷＲには対象機能なし	—	—	—	—	—	—	—	—	
		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（安全停止に関連するもの）	・制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）の操作回路	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	原子炉建屋	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（16／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○　期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材保持機能（ＰＳ－１，ＰＳ－２以外のもの）	計装配管，試料採取管	・計装配管，弁 ・試料採取管，弁 ・ドレン配管，弁 ・ベント配管，弁	×	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		2）原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	・原子炉再循環ポンプ，配管，弁，ライザー管（炉内），ジェットポンプ	×	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		3）放射性物質の貯蔵機能	サプレッションプール水排水系，復水貯蔵タンク，放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの小さいもの）	・復水貯蔵タンク	×	○ （必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・液体廃棄物処理系（低電導度廃液収集槽，高電導度廃液収集槽）	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	
				・固体廃棄物処理系（ＣＵＷ粉末樹脂沈降分離槽，使用済樹脂槽，濃縮廃液タンク，固体廃棄物貯蔵庫（ドラム缶））	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	
				・給水加熱器保管庫	×	○ （補修を実施）	－	－	－	－	－	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（17／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	3）放射性物質の貯蔵機能	サプレッションプール水排水系，復水貯蔵タンク，放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの小さいもの）	・セメント混錬固化装置及び雑固体減容処理設備（液体及び固体の放射性廃棄物処理系）	×	○（補修を実施）	－	－	－	－	－	
			新燃料貯蔵庫	・新燃料貯蔵庫（新燃料貯蔵ラック）	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		4）電源供給機能（非常用を除く）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	・発電機及びその励磁装置（発電機，励磁器）	×	○（必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・蒸気タービン（主タービン，主要弁，配管）	×	○（必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・復水系（復水器を含む）（復水器，復水ポンプ，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・給水系（電動駆動給水ポンプ，タービン駆動給水ポンプ，給水加熱器，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（18／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	4）電源供給機能（非常用を除く）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	・循環水系（循環水ポンプ，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・常用所内電源系（発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路（ＭＳ-1関連以外））	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・直流電源系（蓄電池，蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路（ＭＳ-1関連以外））	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・計装制御電源系（電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路（ＭＳ-1関連以外））	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・送電線	×	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第2.2－1表　評価対象施設の抽出結果（19／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	4）電源供給機能（非常用を除く）	タービン，発電機及びその励磁装置，復水系（復水器を含む），給水系，循環水系，送電線，変圧器，開閉所	・変圧器（所内変圧器，起動変圧器，予備変圧器，電路）	×	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	
				・開閉所（母線，遮断器，断路器，電路）	×	○（代替設備（非常用ディーゼル発電機）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	
		5）プラント計測・制御機能（安全保護機能を除く）	原子炉制御系，運転監視補助装置（制御棒価値ミニマイザ），原子炉核計装の一部，原子炉プラントプロセス計装の一部	・原子炉制御系（制御棒価値ミニマイザを含む） ・原子炉核計装 ・原子炉プラントプロセス計装	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		6）プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	・補助ボイラ設備（補助ボイラ，給水タンク，給水ポンプ，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・所内蒸気系及び戻り系（ポンプ，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（20／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	6）プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	・計装用圧縮空気設備（空気圧縮機，中間冷却器，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・原子炉補機冷却水系（原子炉補機冷却ポンプ，熱交換器，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・タービン補機冷却水系（タービン補機冷却ポンプ，熱交換器，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・タービン補機冷却海水系（補機冷却海水ポンプ，配管／弁，ストレーナ）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（21／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＰＳ－３	1）異常状態の起因事象となるものであってＰＳ－１，ＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	6）プラント運転補助機能	所内ボイラ，計装用圧縮空気系	・復水補給水系（復水移送ポンプ，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
		7）その他	使用済燃料乾式貯蔵建屋	・使用済燃料乾式貯蔵建屋	×	○（補修を実施）	－	－	－	－	－	
	2）原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物，系統及び機器	1）核分裂生成物の原子炉冷却材中の放散防止機能	燃料被覆管	・燃料被覆管 ・上／下部端栓 ・タイロッド	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
		2）原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系，復水浄化系	・原子炉冷却材浄化系（再生熱交換器，非再生熱交換器，ＣＵＷポンプ，ろ過脱塩装置，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・復水浄化系（復水脱塩装置，配管／弁）	×	○（屋内設備のため影響なし）						

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（22／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる：×）		評価対象施設名称	
ＭＳ－３	1）運転時の異常な過渡変化があってもＭＳ－１，ＭＳ－２とあいまって，事象を緩和する構築物，系統及び機器	1）原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能），タービンバイパス弁	・逃がし安全弁（逃がし弁機能）	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	原子炉建屋	
				・タービンバイパス弁	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	原子炉建屋	
		2）出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能），制御棒引抜監視装置	・原子炉再循環制御系 ・制御棒引抜阻止インターロック ・選択制御棒挿入系の操作回路	○	—※2	×	×	原子炉建屋	×	原子炉建屋	
		3）原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系，原子炉隔離時冷却系	・制御棒駆動水圧系（ポンプ，復水貯蔵タンク，復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管及び弁）	×	○ （屋内設備のため影響なし） （屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	—	—	—	—	—	
				・原子炉隔離時冷却系（ポンプ，タービン）	×	○ （屋内設備のため影響なし） （屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	—	—	—	—	—	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（23／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＭＳ－３	2）異常状態への対応上必要な構築物，系統及び機器	1）緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所，試料採取系，通信連絡設備，放射能監視設備，事故時監視計器の一部，消火系，安全避難通路，非常用照明	・緊急時対策所（別紙1－1参照）	×	○（屋内設備のため影響なし）（屋外設備は，必要に応じプラントを停止し，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・試料採取系（異常時に必要な下記の機能を有するもの。原子炉冷却材放射性物質濃度サンプリング分析，原子炉格納容器雰囲気放射性物質濃度サンプリング分析）	×	○（屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・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）	×	○（代替設備（同一機能を有する設備が複数設置）し，通信連絡機能の維持可能）	－	－	－	－	－	
				・放射線監視設備（排気筒モニタ）	○	－※2	○	×	排気筒モニタ建屋	※3	・排気筒モニタ ・排気筒モニタ建屋	
				・放射線監視設備（排気筒モニタ以外）	×	○（代替設備（可搬型モニタリングポスト）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）

※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

※3　損傷時には補修する方針とするため，外殻防護機能に関する詳細評価は実施しない。

第 2.2－1 表　評価対象施設の抽出結果（24／24）

○：Yes　　×：No　　－：該当せず

分類	安全機能の重要度分類				Step1		Step2	Step3	Step4		抽出結果	備考
	定義	機能	構築物，系統又は機器	該当する電気，機械装置のうち主な施設※1	外部事象防護対象施設等	竜巻及びその随伴事象に対して機能維持する又は竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応可能	屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む）	屋内の施設で外気と繋がっている施設	外殻となる施設（外殻防護機能を期待できない：○ 期待できる　：×）		評価対象施設名称	
ＭＳ－３	2）異常状態への対応上必要な構築物，系統及び機器	1）緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所，試料採取系，通信連絡設備，放射能監視設備，事故時監視計器の一部，消火系，安全避難通路，非常用照明	・事故時監視計器の一部	×	○ （代替設備（可搬型気象観測設備）により機能維持可能）	－	－	－	－	－	
				・消火系 （水消火設備，泡消火設備，二酸化炭素消火設備，等）	×	○ （代替設備（下記）により機能維持可能） ［消火設備］ 消防自動車等 ［検出装置］ 運転員，作業員等の監視	－	－	－	－	－	
				・消火系 （中央制御室排煙装置）	×	○ （必要に応じ，補修を行う。）	－	－	－	－	－	
				・安全避難通路	×	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	
				・非常用照明	×	○ （屋内設備のため影響なし）	－	－	－	－	－	

※1　電気，機械装置のうち主な施設の記載は，当該系の施設を代表して記載し，直接関連系及び間接関連系の記載は省略した。（評価対象施設に関するものを記載）
※2　外部事象防護対象施設として抽出しているため，本項目には該当しない（Step2 へ進む）

緊急時対策所の竜巻防護方針について

1.　竜巻に対する防護方針

緊急時対策所は，設計基準対象施設かつ重大事故等対処施設として位置付けられており，それぞれに対し以下の防護方針に基づき，必要とされる機能を維持する設計としている。

設計基準対象施設としては，安全重要度分類のクラス３施設（ＭＳ－３）に対する防護方針に従い，損傷する場合を考慮して，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に修復する等の対応が可能な設計とすることとしている。

また，重大事故等対処施設としては，緊急時対策所に配置される種々の重大事故等対処設備に対し，同一機能の設備には多様性を考慮する等の配慮により，共通要因である設計竜巻により同時に機能を喪失しないようにすることで，必要な機能を維持する方針としている。

2.　防護方針への適合性

緊急時対策所においては，設計基準対象施設及び重大事故等対処施設として，「設置許可基準規則」第 34 条及び第 61 条に示される要求に応じた各種の設備が設置される。これら設備の配置等の特徴を踏まえ，竜巻に対する機能維持のための方針を整理した結果を別表 1－1 に示す。

大部分の設備は緊急時対策所建屋に内包されるが，建屋は重大事故等対処施設として要求される遮蔽性，耐震性を考慮した堅牢な構造であり，内部の設備は設計竜巻に対し防護される。また，屋外の一部設備が仮に竜巻により損傷した場合でも，同一機能を有する他の設備が多様性をもって配備されている。こ

れより，上述の設計基準対象施設としての防護方針及び重大事故等対処施設としての防護方針に適合したものとなっている。

別表 1－1　緊急時対策所の設備と竜巻に対する設計方針

系統機能	設備		配置場所	竜巻に対する機能維持
	設計基準対象施設	重大事故等対処設備		
必要な情報の把握	・緊急時対策支援システム伝送装置 ・SPDSデータ表示装置	同左	屋内 一部 屋外	【屋内設備】 緊急時対策所建屋（若しくは原子炉建屋）による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷した場合でも，多様性を有する他の回線で代替
	・データ伝送装置	同左	屋内 屋外	
通信連絡	・統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備（テレビ会議システム，IP電話，IP－FAX） ・携行型有線通話装置 ・衛星電話設備（固定型） ・衛星電話設備（携帯型） ・無線連絡設備（携帯型）	同左	屋内 一部 屋外	
	・電力保安通信用電話設備 （固定電話機，PHS端末，FAX） ・送受話器（ページング） ・無線連絡設備（固定型） ・専用電話設備（ホットライン）（自治体向） ・テレビ会議システム（社内） ・加入電話設備（加入電話，加入FAX）	（左記設備は「自主対策設備」の位置付け）	屋内 一部 屋外	
電源の確保	・常用所内電気設備	—	屋内	【屋内設備】 緊急時対策所建屋（若しくは原子炉建屋）による外殻防護 【屋外設備】 仮に一部の設備が損傷した場合でも，多様性を有する他の設備で代替
	—	・緊急時対策所用発電機 ・緊急時対策所用発電機給油ポンプ ・緊急時対策所用M／C ・緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク	屋内	
居住性の確保	—	・緊急時対策所遮蔽	屋内 屋外	【屋内の遮蔽壁】 緊急時対策所建屋外壁により防護 【屋外の遮蔽壁】 竜巻に対し構造健全性を確保
	・酸素濃度計 ・二酸化炭素濃度計	同左	屋内	緊急時対策所建屋による外殻防護
	—	・緊急時対策所非常用送風機 ・緊急時対策所非常用フィルタ装置 ・緊急時対策所加圧設備 ・緊急時対策所差圧計 ・可搬型モニタリング・ポスト ・緊急時対策所エリアモニタ	屋内	緊急時対策所建屋による外殻防護

別紙 1-2

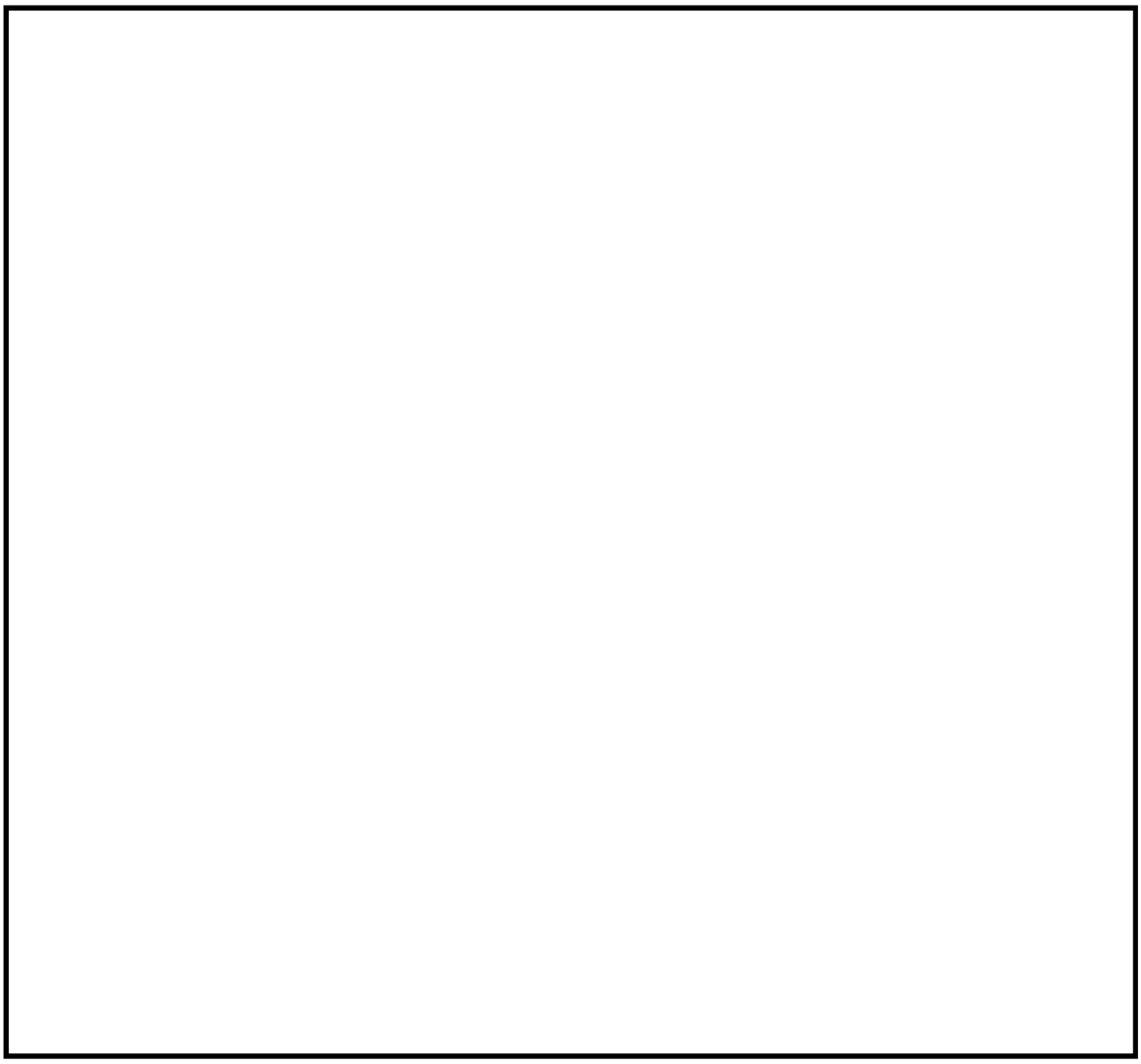
排気筒モニタについて

1.　排気筒モニタ及び放射性気体廃棄物処理施設の配置

排気筒モニタの位置図及び排気筒モニタの概略系統図を別図 2－1 に示す。

また，放射性気体廃棄物処理施設の概略経路図を別図 2－2 に示す。

別図２－１　排気筒モニタの位置及び概略系統図



別図２－２　放射性気体廃棄物処理施設の概略経路図

添付資料 2

耐震Ｓクラス施設について

「竜巻影響評価ガイド」においては，竜巻及びその随伴事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計であることを確認する施設（竜巻影響評価ガイドにおいては竜巻防護施設と定義）は「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Ｓクラスの設計を要求される設備（系統，機能）及び建屋，構築物等とされている。一方，今回の竜巻影響評価では，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に属する施設を外部事象防護対象施設として選定しているため，外部事象防護対象施設に該当しない耐震Ｓクラス施設の有無について確認した結果，第１表に示すとおり，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備が抽出されたが，以下の理由により，竜巻影響評価の対象として追加する必要はないと判断した。

〈津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を評価対象としない理由〉

・津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備は，津波に対して機能を発揮する施設であり，竜巻と津波の重畳の考慮要否を検討することで，竜巻に対する機能維持の要否が判断可能である。
・竜巻及びその随伴事象によりこれらの施設が損傷することを想定した場合，敷地レベル(EL.+3.0m)を超える津波に対する影響を考慮する必要があるが，津波と竜巻は発生原因が異なり独立事象であること，及び敷地レベルを超える津波の発生頻度（約 9.6×10^{-3}／年）と設計竜巻（V_D=100m／s）の発生頻度（約 2.1×10^{-6}／年）を踏まえると，敷地レベルを超える津波と設計竜巻が同時に発生する可能性は小さい。また，敷地レベルを超える津波と設計

竜巻の発生頻度を踏まえると，竜巻及びその随伴事象により津波防護施設等が損傷した場合でも当該機能が必要となる前に修復等の対応が可能と考えられる。

第１表　外部事象防護対象施設以外の耐震Ｓクラス施設の確認結果（1／2）

耐震重要度	機能別分類	設備別分類	対象施設	安全重要度クラス１or２or３※
S	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系	主要設備	・原子炉圧力容器 ・原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器，配管，ポンプ及び弁	○
		補助設備	・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備	○
	使用済燃料を貯蔵するための施設	主要設備	・使用済燃料プール ・使用済燃料貯蔵ラック ・使用済燃料乾式貯蔵容器	○
		補助設備	・使用済燃料プール水補給設備 （残留熱除去系） ・非常用電源及び計装設備 （非常用ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設を含む。）	○
	原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設，及び原子炉の停止状態を維持するための施設	主要設備	・制御棒，制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系（スクラム機能に関する部分）	○
		補助設備	・炉心支持構造物 ・電気計装設備 ・チャンネル・ボックス	○
	原子炉停止後，炉心から崩壊熱を除去するための施設	主要設備	・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・残留熱除去系 （原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備） ・冷却水源としてのサプレッション・プール	○
		補助設備	・残留熱除去系海水系 ・炉心支持構造物 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設 ・非常用電源及び計装設備 （非常用ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設を含む。）	○
	原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後，炉心から崩壊熱を除去するための施設	主要設備	・非常用炉心冷却系 1）高圧炉心スプレイ系 2）低圧炉心スプレイ系 3）残留熱除去系 （低圧注入モード運転に必要な設備） 4）自動減圧系 ・冷却水源としてのサプレッション・プール	○
		補助設備	・残留熱除去系海水系 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設 ・非常用電源及び計装設備 （非常用ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設を含む。） ・中央制御室の遮蔽及び空調設備	○

※　クラス３については，安全評価上その機能に期待するものに限る。

第１表　外部事象防護対象施設以外の耐震Ｓクラス施設の確認結果（2／2）

耐震重要度	機能別分類	設備別分類	対象施設	安全重要度クラス１or２or３※
S	原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に，圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	主要設備	・原子炉格納容器 ・原子炉格納容器バウンダリに属する配管及び弁	○
		補助設備	・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備	○
	放射性物質の放出を伴うような事故の際に，その外部放散を抑制するための施設であり，上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設	主要設備	・残留熱除去系 （格納容器スプレイ冷却モード運転に必要な設備） ・可燃性ガス濃度制御系 ・原子炉建屋 ・非常用ガス処理系 ・非常用ガス再循環系 ・原子炉格納容器圧力低減装置 （ダイヤフラムフロア及びベント管） ・冷却水源としてのサプレッション・プール	○
		補助設備	・残留熱除去系海水系 ・非常用電源及び計装設備 （非常用ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設を含む。）	○
	津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	主要設備	・津波防護施設 ・浸水防止設備	該当しない
		補助設備	—	—
	敷地における津波監視機能を有する施設	主要設備	・津波監視設備	該当しない
		補助設備	・非常用電源及び計装設備 （非常用ディーゼル発電機及びその冷却系，補助施設を含む。）	○

※　クラス３については，安全評価上その機能に期待するものに限る。

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

1．概要

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

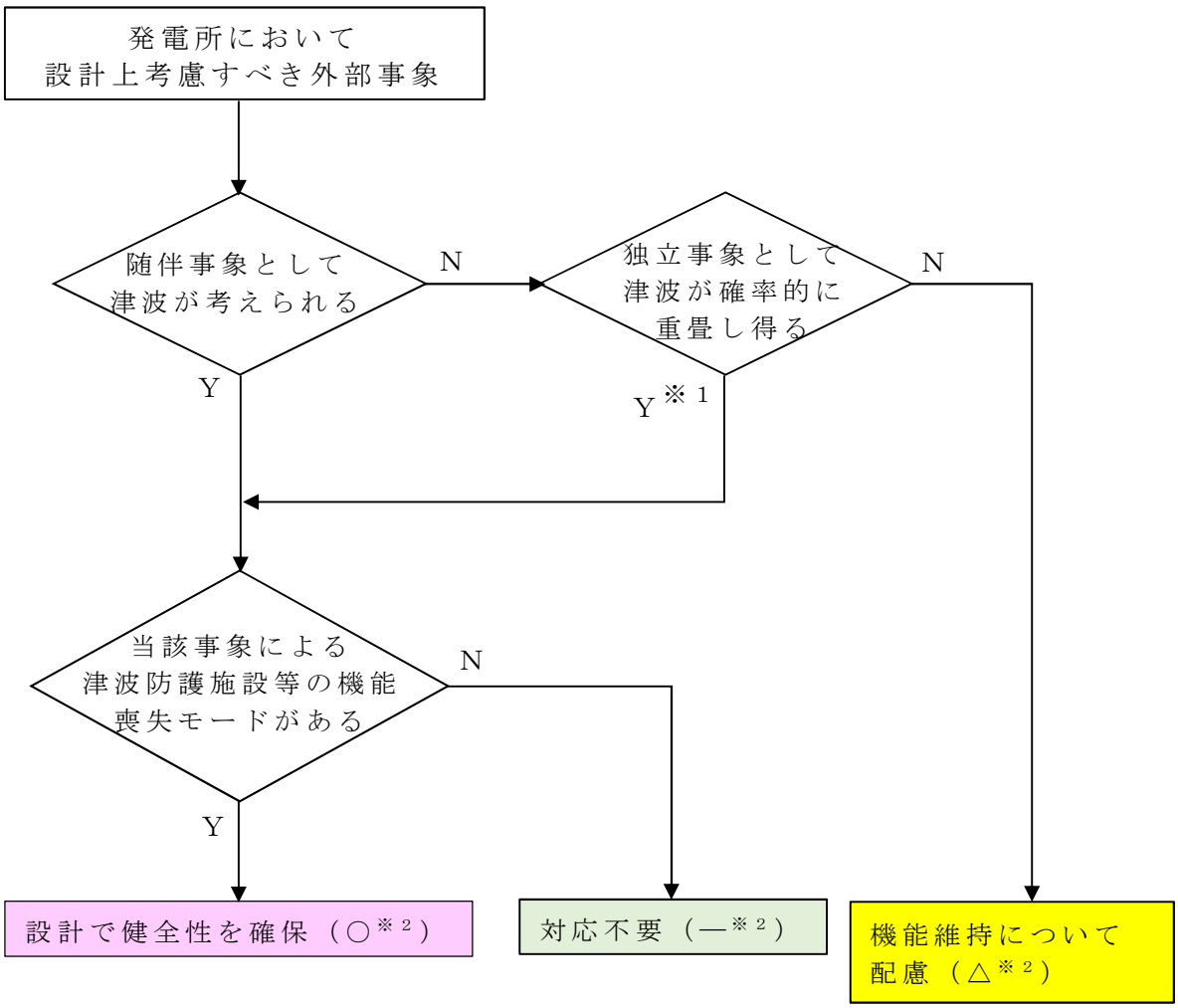
2．防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する，津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。（フローを別図 1－1 に示す。）

・設計上考慮すべき事象が，津波若しくは津波の随伴又は重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。

・津波の随伴又は重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。

・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，機能維持のための配慮を行う。



※1　定量的に評価できないものを含む。
※2　「○」,「△」,「―」は，後掲の別表 1－1 における整理に対応している。

別図 1－1　外部事象に対する津波防護施設等の
機能維持対応要否判断フロー

3．検討結果

上記検討フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を，以下に示す。（詳細は別表 1－1 のとおり）

3.1　津波の随伴又は重畳が否定できない事象※に対する防護方針

これらの外部事象に対しては，津波との随伴又は重畳の可能

性を否定できないため，荷重の重ね合わせのタイミングも考慮した上で設計への反映の要否を検討し，津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては，津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

※　地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，生物学的事象，森林火災及び高潮

3.2　津波の随伴又は重畳が有意ではない事象（竜巻及び火山の影響）に対する防護方針

竜巻及び火山の影響の 2 つの外部事象に津波は随伴せず，また敷地高さを超える津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待出来るよう，以下の対応を実施する。

3.2.1　竜巻

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある残留熱除去系海水系ポンプ等の設置高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 3.8×10^{-8}（1／y）であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない飛来物による衝撃荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

3.2.2　火山の影響

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある残留熱除去系海水系ポンプ等を内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 8.4×10^{-8}（1／y）であり，火山と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

別表1－1　外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

：津波の随伴又は重畳が否定できないため，設計で健全性を確保する事象（○）

：津波の随伴又は重畳は有意ではないが，機能維持について設計上配慮する事象（△）

：対応が不要な事象（－）

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	－	○	**<u>あり</u>** 地震荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Ｓクラス施設として基準地震動Ｓ$_s$に対し健全性を維持し，津波に対する防護機能を維持する。 また，津波と余震（Ｓ$_d$－Ｄ1 地震動）の組合せも考慮する。
洪水	－	○	○	**<u>なし</u>** 基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても，発電所敷地へ浸入し得る高さには達しない。 国道245号線西側田畑への洪水高さ： ～T.P.10m（審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 国道245号線西側田畑への津波遡上分： ～＋4m（遡上解析結果より） ⇒合計T.P.～14m＜EL.(=T.P.)15m（国道245号線（発電所入口））	－	－
風（台風）	－	○	○	**<u>あり</u>** 風荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重，津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは，風荷重を考慮した設計とする。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要(①又は②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
竜巻	－	－	－	**<u>なし</u>** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率P1： 約3.9×10^{-6}／y（補足1参照） 敷地高さ超津波（＞T.P.3m）の確率P2： 約9.6×10^{-3}／y※ ※　飛来物による海水ポンプ室の壁の損傷を想定し，敷地の最低高とした。 ⇒重畳確率：p=約3.8×10^{-8}／y ・・・目安値P_C=1×10^{-7}未満で，有意ではない。	△	防潮堤の設計においては，以下の配慮を行い，信頼性を高める。 ・風圧力に対しては，損傷しないように構造強度を確保する。 ・飛来物については，防潮堤は鉄筋コンクリート等の堅牢な構造であり，大規模な損傷は生じないと考えられる。
凍結	－	○	○	**<u>あり</u>** 凍結により止水ジョイントが損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水	－	○	○	**<u>なし</u>** 降水による海水面の上昇の影響は無視し得る。	－	－
積雪	－	○	○	**<u>あり</u>** 積雪荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
落雷	－	○	○	**<u>あり</u>** 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される。	○	津波監視設備については，既設避雷設備の遮蔽範囲内への設置又は避雷設備の設置，避雷設備の接地極を構内接地網と連接し接地抵抗の低減を行うとともに，ラインフィルタや絶縁回路を設置することにより，雷サージの侵入を防止する設計とする。
火山の影響	－	－	－	**<u>なし</u>** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 想定する火山の確率：2.2×10^{-5}／y （審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）」より） 敷地高さ超津波（＞T.P.6m）の確率：約3.8×10^{-3}／y※ ※　海水ポンプ室の壁は損傷しないため，ポンプ室水密高さとする。 ⇒重畳確率：p=約8.4×10^{-8}／y ・・・目安値P_C=1×10^{-7}未満で，有意ではない。	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。
生物学的事象	－	○	○	**<u>なし</u>** 生物による影響（閉塞，侵入）による機能喪失モードを有しない。	－	－

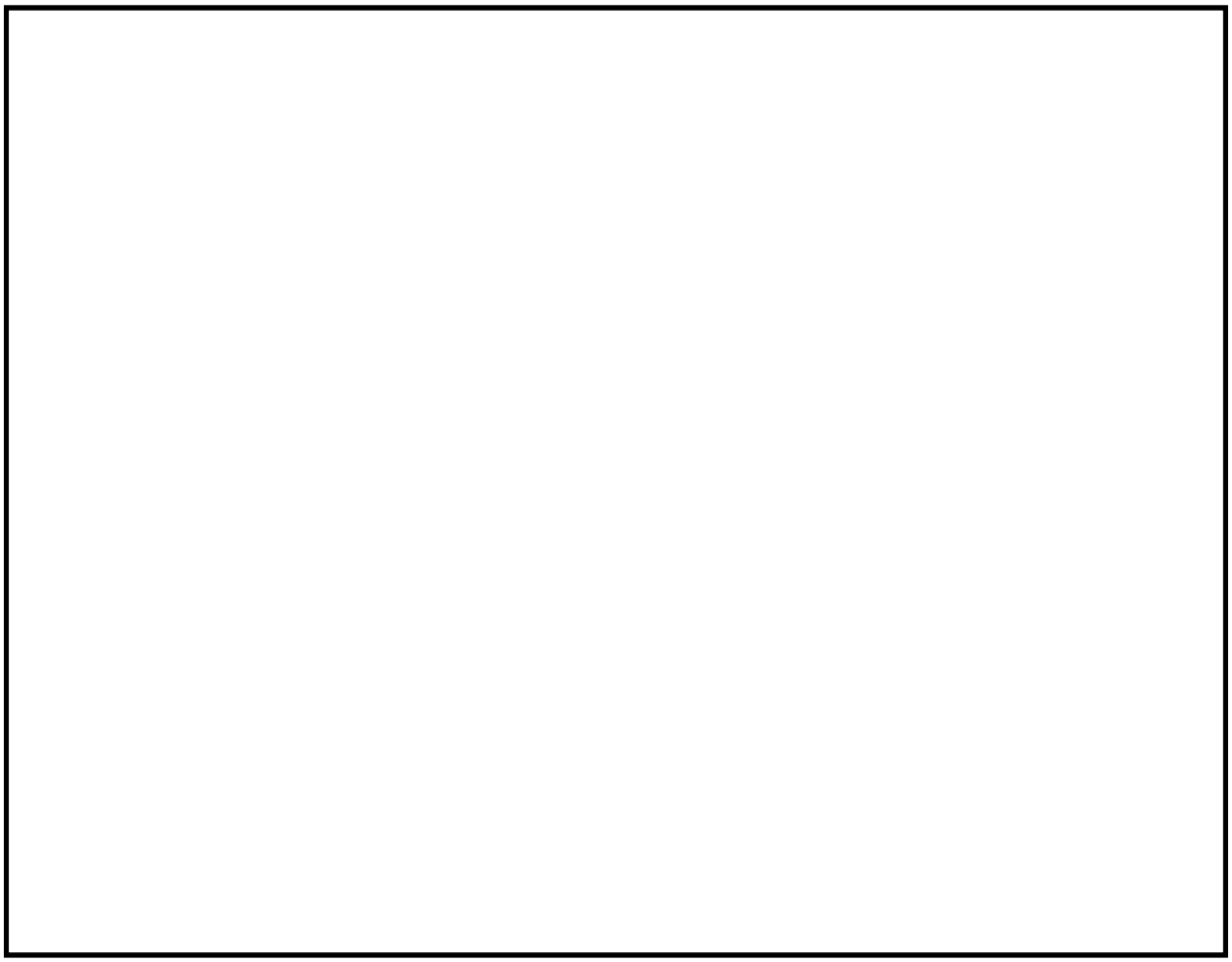
設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮要	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮要（①又は②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
森林火災	－	○	○	**<u>あり</u>** 熱影響により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起こさない設計とする。 ・防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合は，速やかに予備品と交換する。 （機能喪失の可能性があるのは，全4台中2台のみ）
高潮	－	○	○	**<u>あり</u>** 高潮に起因する潮位上昇により防潮堤を越波した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	高潮と津波の組合せを考慮した設計とする。

津波防護施設等を考慮した竜巻の年超過確率の評価について

津波防護施設等を竜巻防護対象と仮定した場合の，設計竜巻（最大風速 100m／s）の年超過確率を評価した。

年超過確率の推定には，竜巻影響エリアに津波防護施設等を取り込むことになるが，補図 1－1 に示すとおり，防潮堤を囲む円がその他の外部事象防護対象施設を包含する形となるため，当該円を竜巻影響エリアと見なした。

この竜巻影響エリアに対する設計竜巻（風速 100m／s）時の年超過確率は，補表 1－1 に示すとおり約 3.9×10^{-6}(1／y)と評価された。



補図 1－1　津波防護施設等を考慮した場合の竜巻影響エリア

補表 1―1　年超過確率の評価結果

<table>
<tr><td>ケース</td><td>①ベース
（現ハザード）</td><td>②防潮堤考慮</td><td rowspan="2">備考</td></tr>
<tr><td>竜巻影響エリア</td><td>直列したゾーンごとの
小円に外接する大円</td><td>防潮堤の外接円
（他を包含）</td></tr>
<tr><td>原子炉建屋
（R/B）</td><td rowspan="3">円（D=188m）</td><td rowspan="5">円（D≒800m）</td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>タービン建屋
（T/B）</td></tr>
<tr><td>排気筒
排気筒モニタ</td></tr>
<tr><td>海水ポンプ室
エリア</td><td>円（D=44m）</td></tr>
<tr><td>使用済燃料
乾式貯蔵建屋</td><td>円（D=60m）</td></tr>
<tr><td>防潮堤</td><td>―</td><td></td></tr>
<tr><td>竜巻検討エリアとなる円の直径
（m）
（第一位 切上）</td><td>300</td><td>800</td><td>ケース①は上記3エリアの直径の和</td></tr>
<tr><td>竜巻影響エリアの面積（m^2）</td><td>約71,000</td><td>約503,000</td><td></td></tr>
<tr><td>設計竜巻
（100m／s）の
年超過確率
（1/y）</td><td>約2.1×10^{-6}</td><td>約3.9×10^{-6}</td><td>変化の主要因は，確率算出式におけるエリア幅寄与分（全体の約50％）の増加による。</td></tr>
</table>

添付資料 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の抽出について

1. 抽出方針

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち外部事象防護対象施設等を除く施設（以下「その他の施設」という。）のうち，外部事象防護対象施設の機能に，次の観点から波及的影響を及ぼし得る施設を抽出する。

第 1－1 図に抽出フローを示す。

(1) 機械的影響の観点

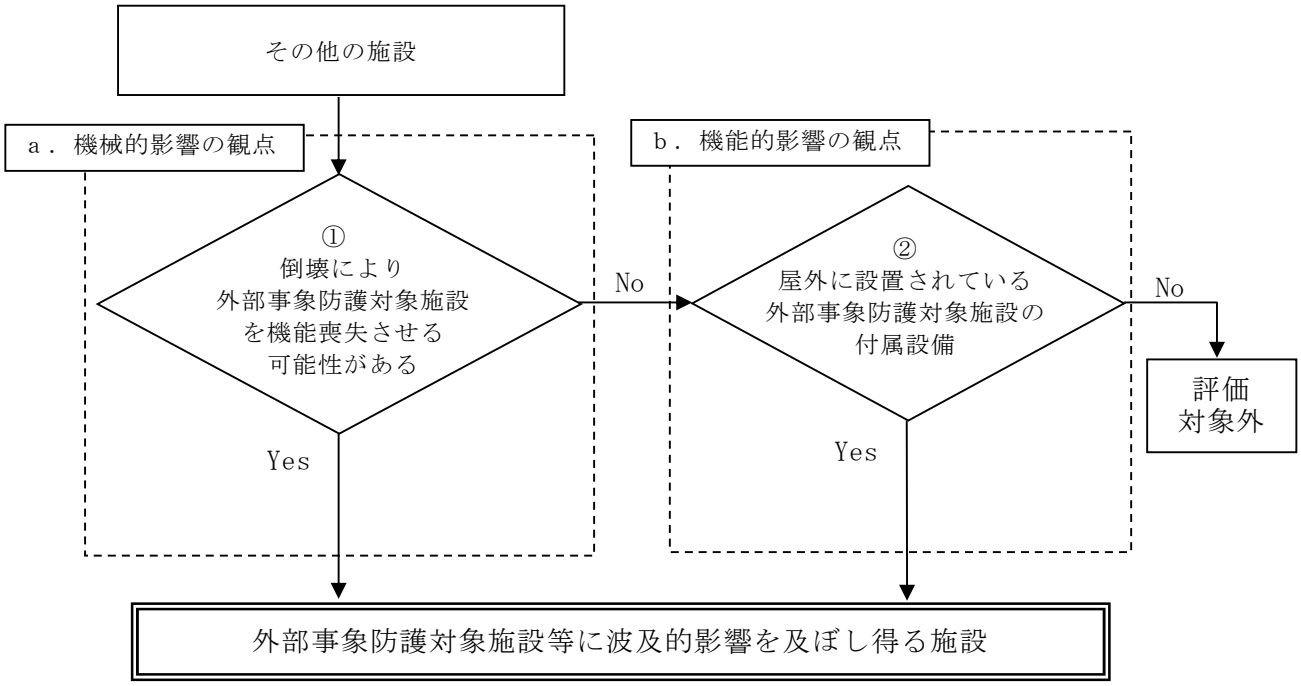
その他の施設のうち，設計竜巻の風圧力，気圧差及び設計飛来物等の衝突により倒壊して，外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある施設，又はその施設の特定の区画を抽出する。

(2) 機能的影響の観点

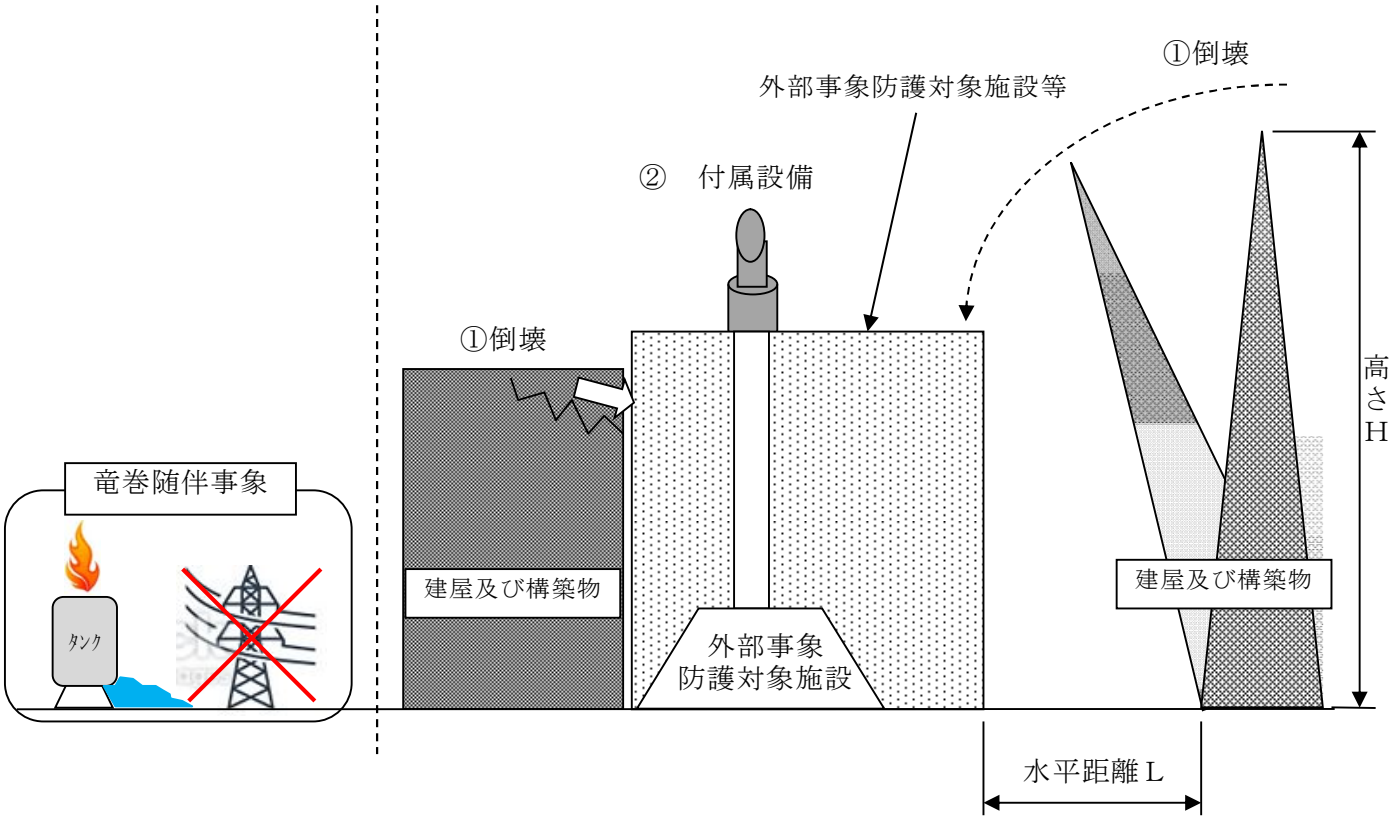
その他の施設のうち，設計竜巻の風圧力，気圧差及び設計飛来物等の衝突により損傷して外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある，屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属設備を抽出する。

第 1－2 図に波及的影響を及ぼし得る施設のイメージを示す。

なお，波及的影響を及ぼす要因として，火災，溢水及び外部電源喪失も考えられるが，これらについては，竜巻随伴事象として「添付資料 11」に整理する。



第 1－1 図　評価対象抽出フロー



第 1－2 図　外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る

施設のイメージ

2.　抽出結果

2.1　機械的影響の観点

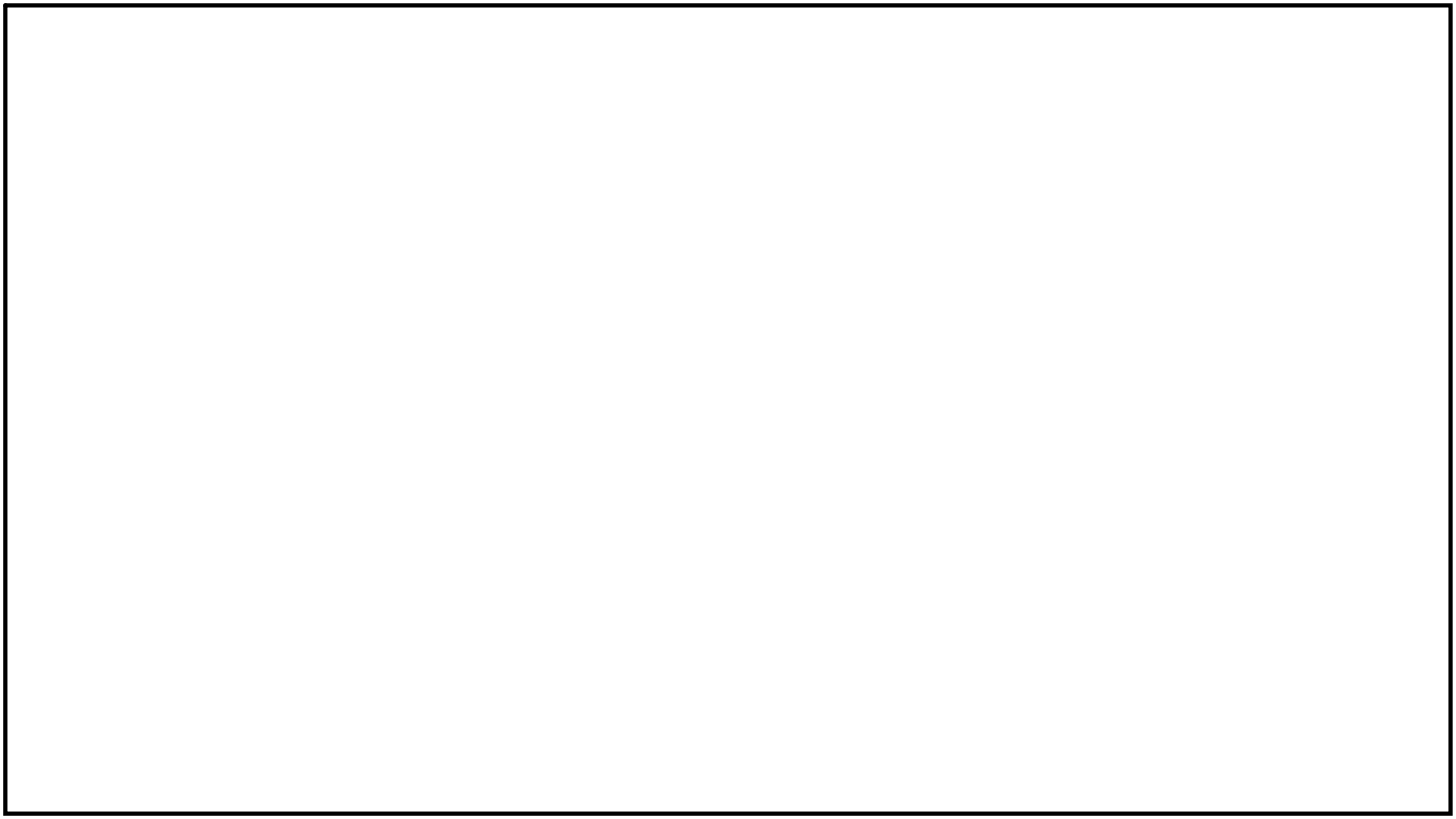
機械的影響の観点から，その他の施設のうち，「倒壊により外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある施設」を確認した結果を第 2.1－1 表及び第 2.1－1 図に示す。

確認の結果，倒壊により外部事象防護対象施設の安全機能を機能喪失させる可能性がある施設として，サービス建屋等の 3 施設を，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として抽出した。

上記以外の施設については,「高さＨ＜外部事象防護対象施設等までの水平距離Ｌ」であることを確認し，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とはならない。

第 2.1－1 表　機械的影響の観点の抽出結果

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	近傍の外部事象防護対象施設等	高さ H	外部事象防護対象施設等までの水平距離 L	波及的影響の有無
サービス建屋	・原子炉建屋 ・タービン建屋	約 19m	隣接	○
海水ポンプエリア防護壁 鋼製防護壁	・残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。） ・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ(配管,弁含む。) ・非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ(配管,弁含む。) ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ	約 5m 約 17m	隣接	○



第2.1－1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配置図

2.2　機能的影響の観点

機能的影響の観点から，その他の施設のうち，竜巻による損傷により，外部事象防護対象施設の安全機能を機能喪失させる可能性がある「屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属設備」を確認した結果を第 2.2－1 表に示す。

第 2.2－1 表　機能的影響の観点の抽出結果

設備名称	波及的影響の有無
非常用ディーゼル発電機排気消音器	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器	○
非常用ディーゼル発電機排気配管	○
非常用ディーゼル発電機燃料デイタンクベント管	○
非常用ディーゼル発電機機関ベント管	○
非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 燃料デイタンクベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 潤滑油サンプタンクベント管	○
残留熱除去系海水系配管（放出側）	○
非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）	○
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）	○

添付資料 4

竜巻検討地域の設定について

1. 総観場に基づく気象条件

気象条件は，気象庁の総観場を基に，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[(1)]等を参考に，低気圧，台風，停滞前線，局所性降雨，季節風，その他（高気圧等）の 6 つに分類した。

「竜巻等の突風データベース」[(2)]において 1961 年 1 月～2012 年 6 月に発生位置が示された竜巻の発生位置を第 1－1 図に示す。さらに，それぞれの発生要因別に図示し，第 1－2 図～第 1－7 図に示す。

これらより，低気圧起因の竜巻は全国的に一様に発生していること，一方で，台風起因の竜巻は日本海側には発生しておらず，おおむね宮城県以南の太平洋側及び九州で発生していることがわかる。また，停滞前線起因の竜巻は北海道では発生していないこと，局所性降雨は内陸部での竜巻発生も促すこと，季節風や高気圧等の起因とされる竜巻の発生数は比較的少ないことがわかる。

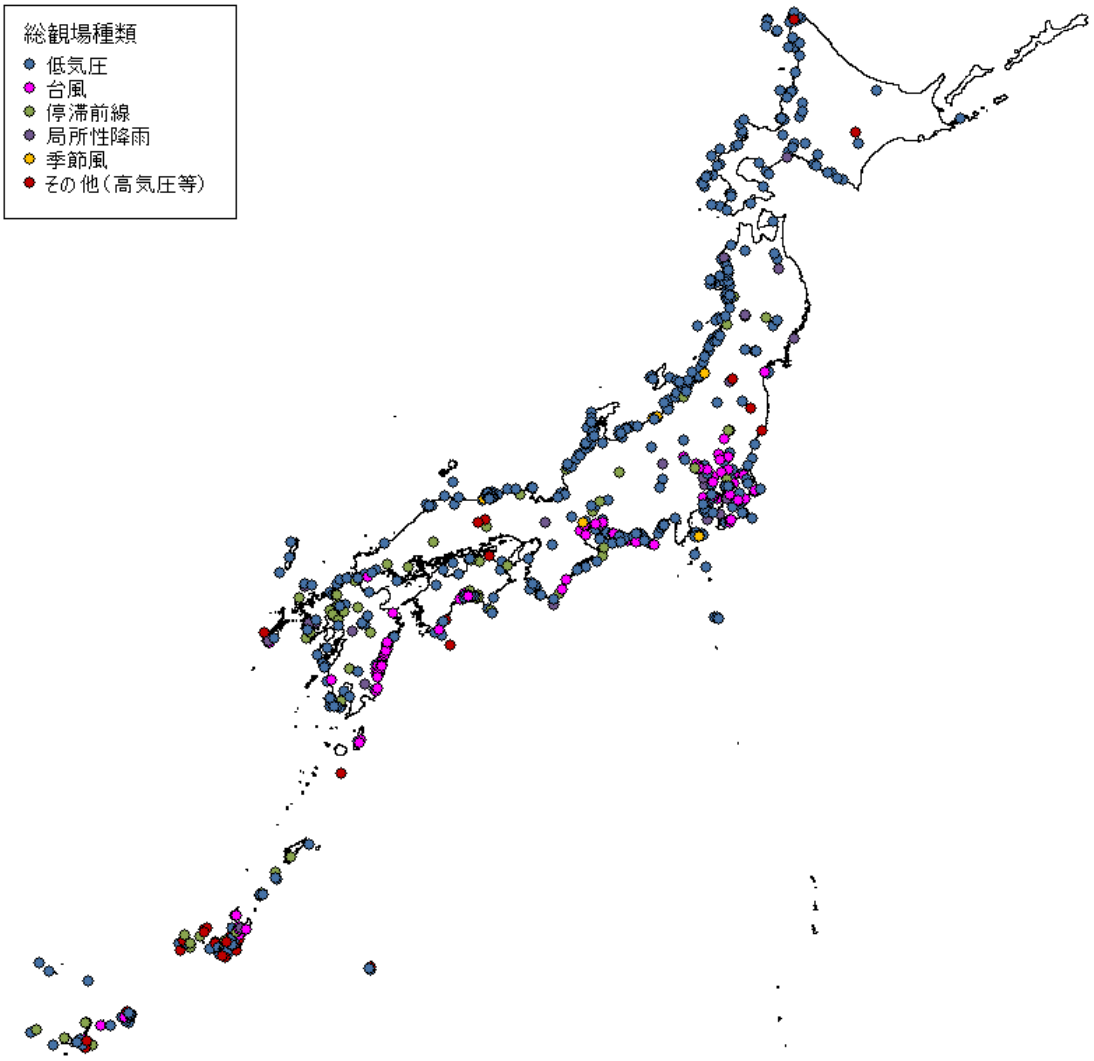
これらの特徴をさらに詳細に分析するために，各都道府県での要因別発生数及び発生要因比率を算定した結果を第 1－8 図に示す。同図では，近隣の地域との連続性を考慮し並べた。

都道府県別発生数について，太平洋側では沖縄県での発生数が多い。次に多いのは，南海沿いの高知県，宮崎県，鹿児島県である。千葉県，愛知県，静岡県なども比較的多い。日本海側では，北海道西部，新潟県，秋田県，鳥取県，石川県で多く発生している。

都道府県別発生要因について,全国的には低気圧起因の比率が多い。特に,日本海側，北海道西部及び南部では，ほとんどが低気圧起因である。台風起因については，太平洋側に偏っており，宮城県～沖縄県に至る太平洋岸の都道府県，関東平野内の都道府県，大分県，山口県，長崎県などで，台風起因の竜巻が発生している。

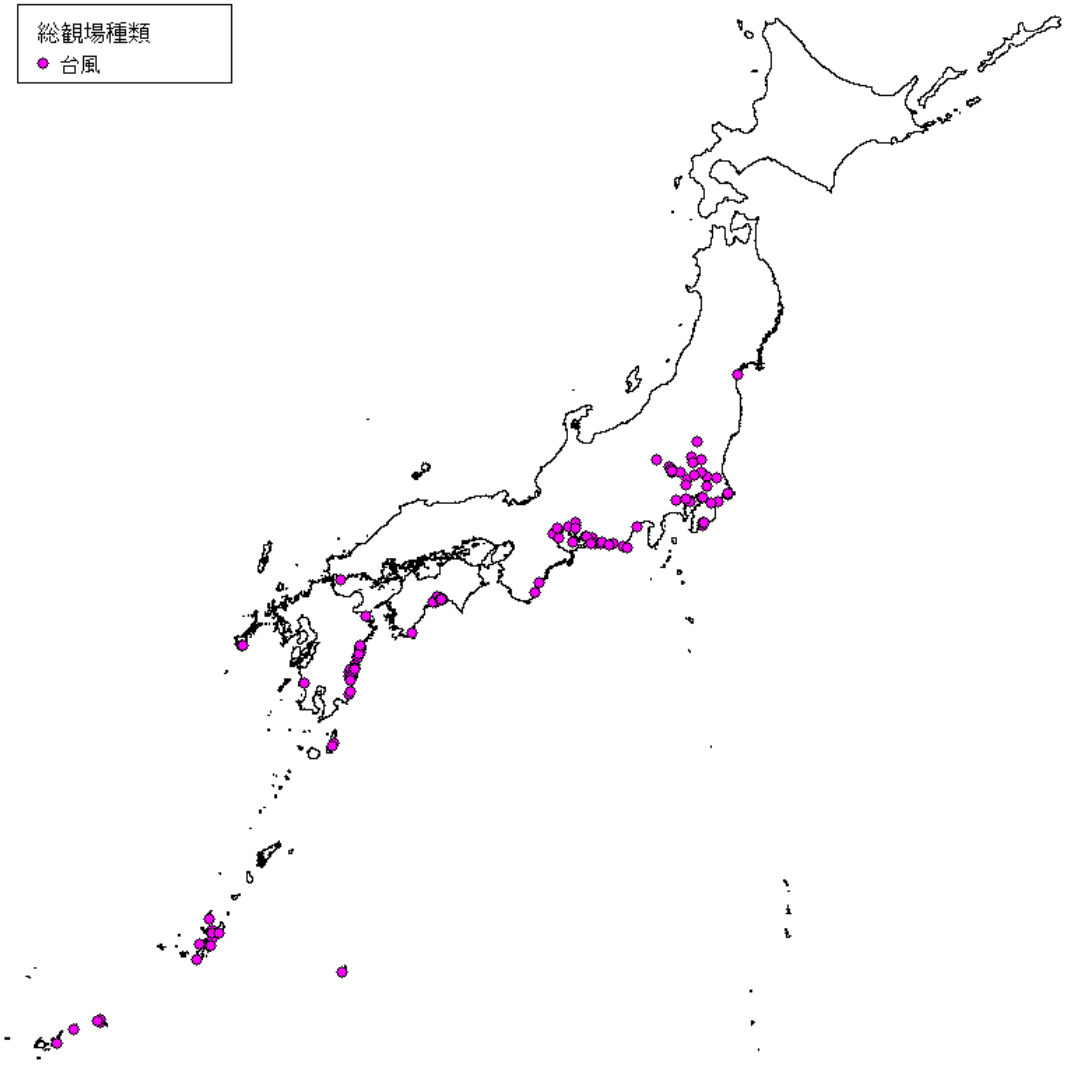
都道府県別発生要因の比率について，宮崎県，埼玉県では台風起因の比率が 60%を超える。また，茨城県，千葉県，栃木県，静岡県，愛知県，三重県で台風起因による竜巻が 30%を超える。一方，日本海側，北海道，内陸の都道府県では，台風起因による竜巻はなく，低気圧起因による竜巻が多くを占める。

以上より，台風起因以外の竜巻については，地域性が見られない。台風起因の竜巻については，日本海側では発生しておらず，太平洋側の宮城県～沖縄県で多く発生している。



第 1－1 図　1961 年 1 月～2012 年 6 月に発生した竜巻の総観場の分布

第 1－2 図　1961 年 1 月～2012 年 6 月に発生した「低気圧」起因の竜巻発生位置



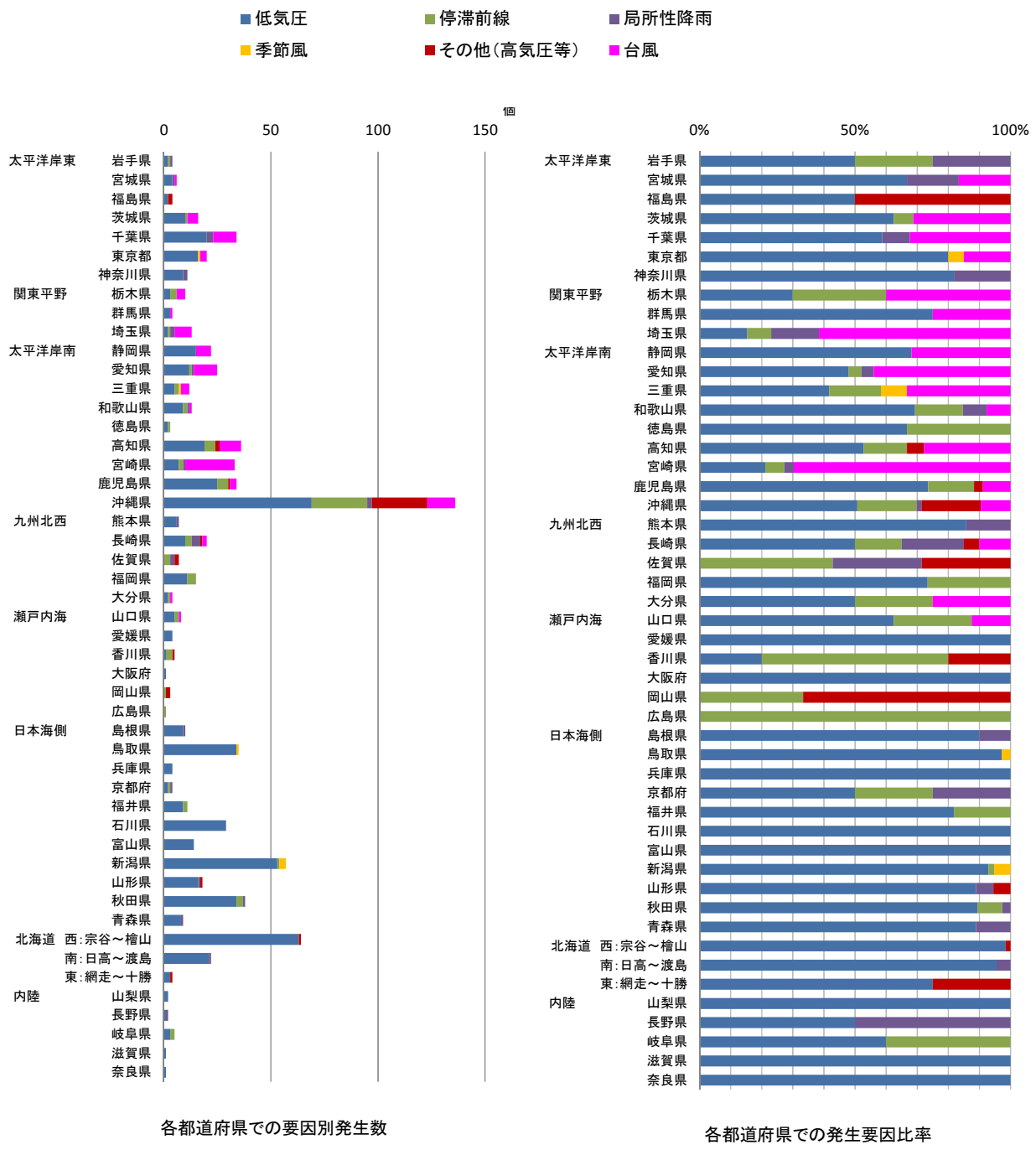
第 1－3 図　1961 年 1 月～2012 年 6 月に発生した「台風」起因の竜巻発生位置

第 1－4 図　1961 年 1 月～2012 年 6 月に発生した「停滞前線」起因の竜巻発生位置

第1－5図　1961年1月～2012年6月に発生した「局所性降雨」起因の竜巻発生位置

第 1-6 図　1961 年 1 月～2012 年 6 月に発生した「季節風」起因の竜巻発生位置

第１－７図　1961 年１月～2012 年６月に発生した「その他（高気圧等）」起因の竜巻発生位置



第 1－8 図　各都道府県での竜巻の要因別発生数と発生要因比率

2.　竜巻検討地域の設定

2.1　総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$

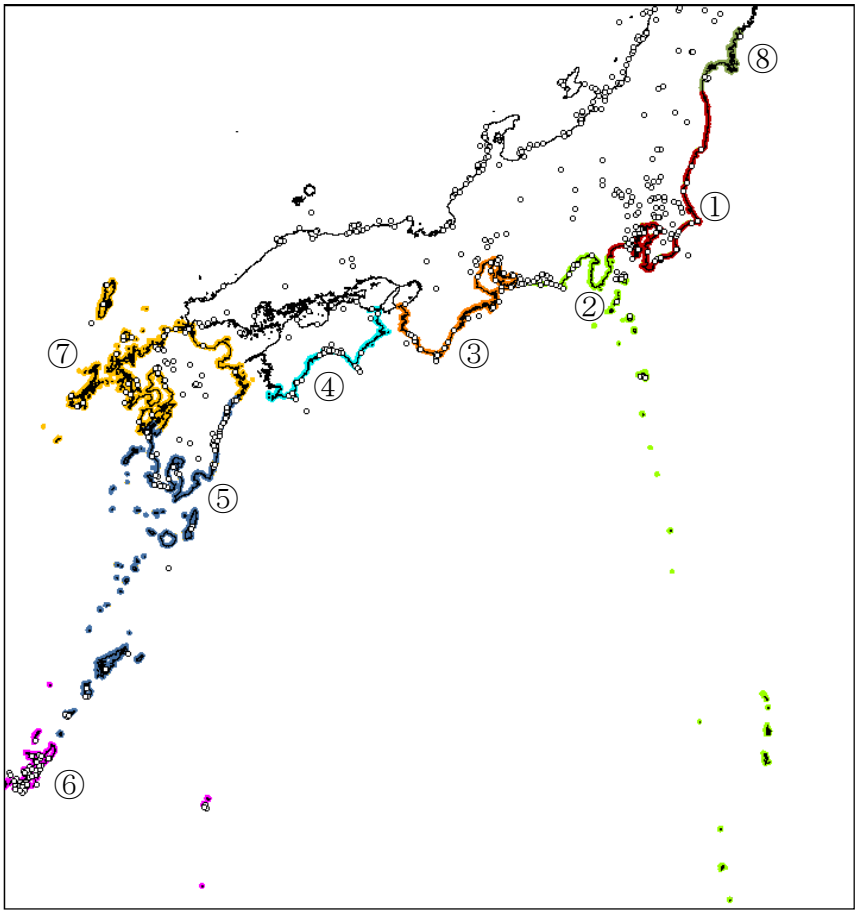
前記の総観場に基づく気象条件から，台風起因の竜巻は，太平洋側の宮城県～沖縄県で多く発生しており，この範囲に発電所が立地している。太平洋側の宮城県～沖縄県の海岸線より海側及び陸側各５㎞について，複数の竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補領域を想定し，各領域内での発生個数を調査し，単位面積当たりの発生数を比較する。

竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補の領域８ケース及び竜巻の個数と単位面積当たりの発生数の比較を第2.1－1図及び第2.1－1表に示す。

これより，もっとも単位面積当たりの発生数の大きいＴＡ$_{1.6}$を，総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$とする。

総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_1$：

福島県，茨城県，千葉県，東京都，神奈川県，静岡県，愛知県，
三重県，和歌山県，徳島県，高知県，宮崎県，鹿児島県，沖縄県の
海岸線より海側及び陸側各５㎞の地域（約57,000km^2）



第 2.1－1 図　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の検討領域

第 2.1－1 表　竜巻検討地域ＴＡ$_1$の候補ごとの竜巻の個数と単位面積当たり発生数

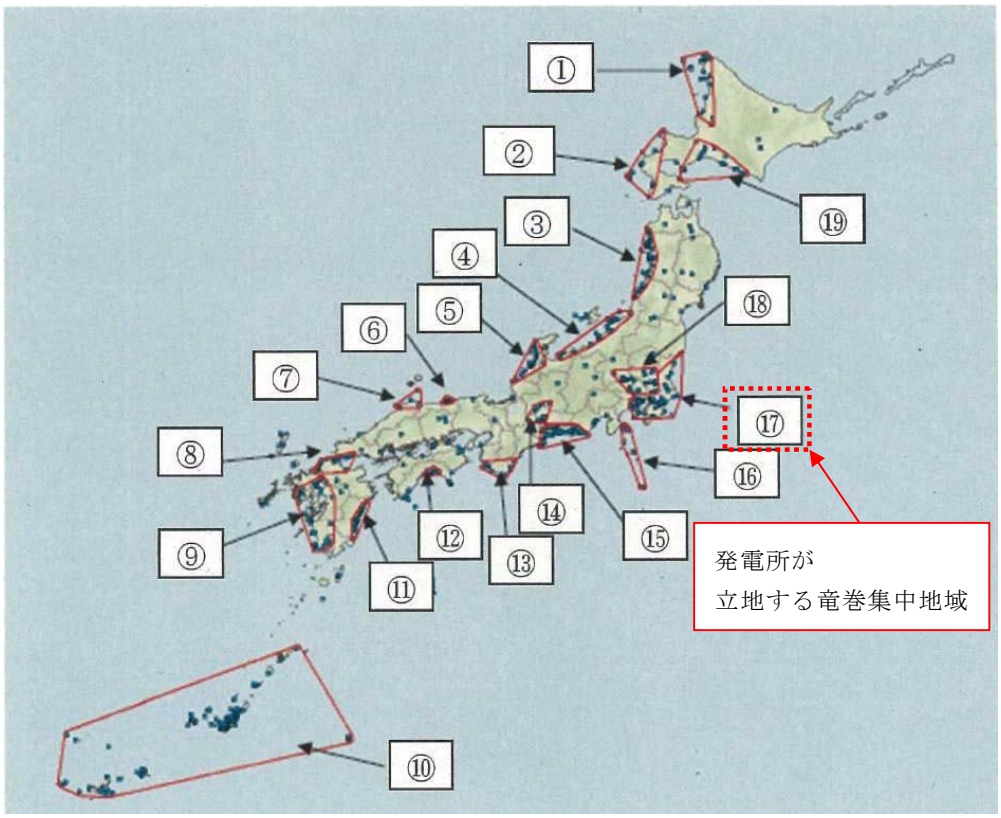
領域			領域面積（km^2）	51.5 年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数（個／年／km^2）
ＴＡ$_{1.1}$	①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
ＴＡ$_{1.2}$	①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
ＴＡ$_{1.3}$	①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
ＴＡ$_{1.4}$	①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
ＴＡ$_{1.5}$	①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
ＴＡ$_{1.6}$	**①～⑥**	**福島県～沖縄県**	**57,000**	**300**	**1.02E-04**
ＴＡ$_{1.7}$	①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
ＴＡ$_{1.8}$	①～⑥,⑧	宮城県～沖縄県	59,700	302	0.98E-04

2.2　竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$

「ガイド（案）及び解説」[3]では，19 箇所の竜巻集中地域として，第 2.2－1 図を示している。発電所は，これらの竜巻集中地域のうち，⑰に立地している。これに基づき，近接地域の 180km 圏を考慮した上で，下記を竜巻検討地域ＴＡ$_2$とする。この地域は前記の第 2.1－1 図及び第 2.1－1 表で示したＴＡ$_{1.1}$に相当する。

竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域ＴＡ$_2$：

福島県，茨城県，千葉県，東京都，神奈川県の海岸線より海側及び陸側各 5km の地域（約 7,900km^2）



第 2.2－1 図　竜巻の発生する地点と竜巻が集中する 19 の地域

（「ガイド（案）及び解説」より引用）

2.3　竜巻検討地域ＴＡ

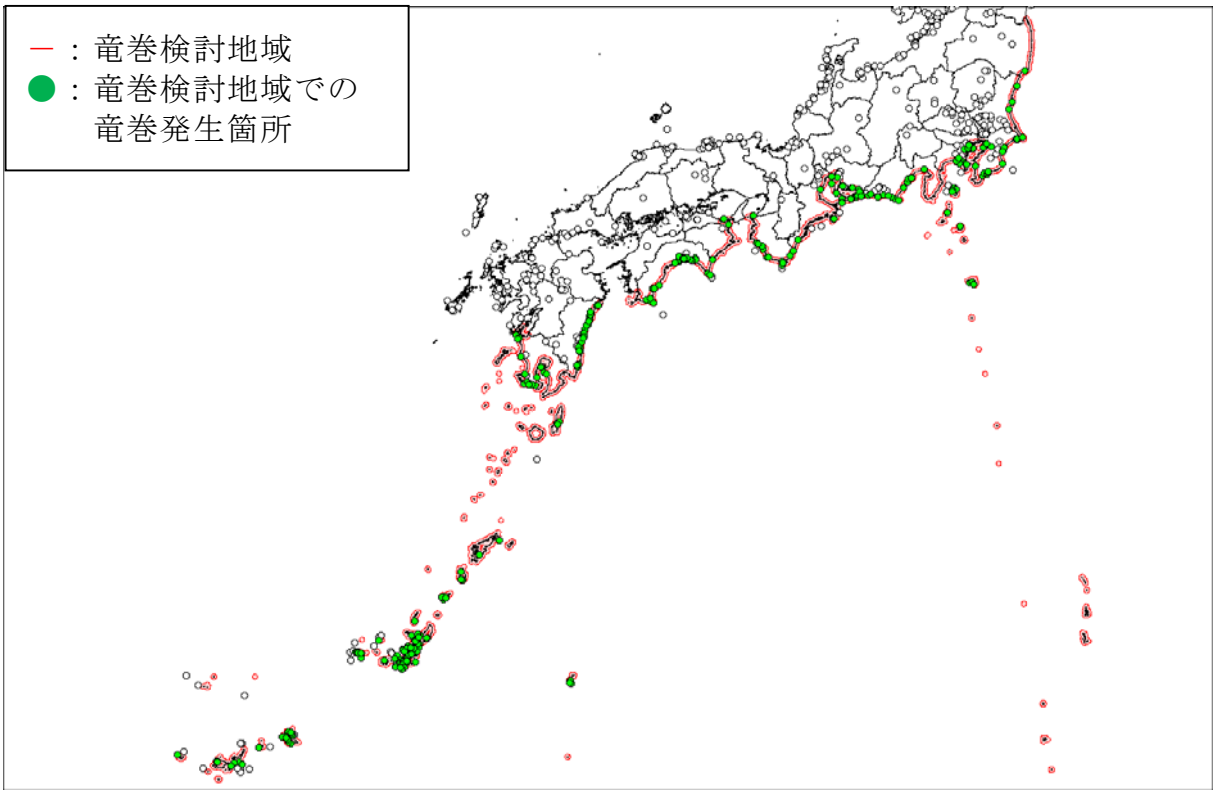
前記の竜巻検討地域$ＴＡ_1$及び$ＴＡ_2$について，1961 年 1 月～2012 年 6 月（51.5 年間）の「竜巻等の突風データベース」により発生が確認された竜巻の個数を調査し，単位面積当たりの発生数を算定する。その結果を第 2.3－1 表に示す。

ここで，竜巻検討地域内の竜巻の発生個数の評価は，地理情報システム（ＭａｐＩｎｆｏ）を用い，発生地点と消滅地点を結ぶ線分が当該地域に掛かるか否かで判断した。

これより，竜巻の個数及び単位面積当たりの発生数の大きさから，$ＴＡ_1$を竜巻検討地域ＴＡとする。第 2.3－1 図に竜巻検討地域ＴＡを示す。

第 2.3－1 表　竜巻検討地域内で発生が確認された竜巻の個数と単位面積当たりの発生数

	領域面積（km^2）	51.5 年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数（個／年／km^2）
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域$ＴＡ_1$	57,000	300	1.02×10^{-4}
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域$ＴＡ_2$	7,900	40	0.98×10^{-4}



第 2.3－1 図　竜巻検討地域ＴＡ

＜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，独立行政法人原子力安全基盤機構

(2)　気象庁 竜巻等の突風データベース
(http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html)

(3)　井上博登，福西史郎，鈴木哲夫（2013）:原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説，独立行政法人原子力安全基盤機構，JNES-RE-2013-9009.

【参考】　竜巻検討地域ＴＡにおいて発生した竜巻について

気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに，竜巻検討地域において，1961年～2012年6月に発生した竜巻の一覧を示す。

No.	現象区別	発生日時	発生場所				藤田スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
		F3相当						
1	竜巻	1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	愛知県	豊橋市	F3	台風
2	竜巻	1990年02月19日15時15分	31度15分38秒	130度16分35秒	鹿児島県	枕崎市	F2～F3	寒冷前線　暖気の移流　その他(低気圧)
3	竜巻	1978年02月28日21時20分	35度32分1秒	139度41分50秒	神奈川県	川崎市	F2～F3	寒冷前線　暖気の移流
4	竜巻	1969年12月07日18時00分	34度45分4秒	137度22分46秒	愛知県	豊橋市	F2～F3	二つ玉低気圧
5	竜巻	1968年09月24日19時05分	32度7分16秒	131度32分8秒	宮崎県	高鍋町	F2～F3	台風
6	竜巻	1967年10月28日03時12分	35度42分3秒	140度43分10秒	千葉県	飯岡町	F2～F3	台風
		F2相当						
7	竜巻	2011年11月18日19時10分	27度49分44秒	128度55分58秒	鹿児島県	大島郡徳之島町	F2	停滞前線　暖気の移流
8	竜巻	2006年11月18日12時47分	26度31分18秒	128度2分42秒	沖縄県	名護市	F2	停滞前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
9	竜巻	2006年09月17日14時03分	32度32分39秒	131度41分1秒	宮崎県	延岡市	F2	台風
10	竜巻	2006年03月28日16時00分	33度25分0秒	135度45分0秒	和歌山県	串本町	F1～F2	日本海低気圧　寒冷前線
11	竜巻	2004年09月30日03時07分	35度31分59秒	139度47分41秒	東京都	大田区	F1～F2	台風
12	竜巻	2002年04月03日07時50分	26度22分30秒	127度48分10秒	沖縄県	沖縄市	F2	東シナ海低気圧　気圧の谷　暖気の移流
13	竜巻	2000年09月11日17時55分	34度43分12秒	136度53分35秒	愛知県	南知多町	F2	台風　停滞前線
14	竜巻	1999年09月24日12時10分	34度47分45秒	137度21分54秒	愛知県	小坂井町	F2	台風
15	竜巻	1998年02月17日02時30分	26度22分53秒	126度44分45秒	沖縄県	久米島具志川村	F1～F2	停滞前線
16	竜巻	1997年03月29日12時00分	26度6分1秒	127度39分34秒	沖縄県	糸満市	F2	寒冷前線
17	竜巻	1996年07月05日14時40分	35度33分27秒	140度10分28秒	千葉県	千葉市	F2	日本海低気圧　温暖前線
18	竜巻	1994年08月20日10時18分	24度48分34秒	125度13分4秒	沖縄県	伊良部町	F2	台風
19	竜巻	1993年09月03日20時22分	33度28分48秒	133度31分33秒	高知県	吾川郡春野町	F2	台風
20	竜巻	1991年04月07日00時05分	26度20分48秒	126度44分48秒	沖縄県	島尻郡具志川村	F1～F2	暖気の移流　寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
21	竜巻	1991年04月07日00時03分	26度20分46秒	126度44分22秒	沖縄県	島尻郡具志川村	F2	暖気の移流　寒冷前線
22	竜巻	1990年12月11日17時47分	35度5分14秒	140度2分10秒	千葉県	鴨川市	F2	暖気の移流　気圧の谷　雷雨(熱雷を除く)
23	竜巻	1990年04月03日22時15分	26度27分23秒	127度51分52秒	沖縄県	国頭郡金武町	F2	寒冷前線
24	竜巻	1989年07月04日16時15分	26度18分50秒	127度50分6秒	沖縄県	沖縄市	F2	停滞前線　暖気の移流
25	竜巻	1987年01月05日07時55分	26度19分43秒	127度52分13秒	沖縄県	勝連町	F2	寒冷前線
26	竜巻	1985年09月28日13時55分	31度17分3秒	130度20分20秒	鹿児島県	枕崎市	F1～F2	東シナ海低気圧
27	竜巻	1985年08月31日05時30分	32度23分39秒	131度38分14秒	宮崎県	日向市	F1～F2	台風　暖気の移流
28	竜巻	1983年09月25日15時00分	26度55分34秒	127度56分53秒	沖縄県	伊是名村	F2	台風
29	竜巻	1979年05月27日12時25分	36度14分50秒	140度33分0秒	茨城県	鹿島郡旭村	F1～F2	気圧の谷　寒気の移流　雷雨(熱雷を除く)
30	竜巻	1975年02月15日16時20分	34度45分10秒	139度21分13秒	東京都	大島町	F1～F2	季節風　寒気の移流
31	竜巻	1975年02月06日07時00分	27度41分20秒	128度55分18秒	鹿児島県	大島郡伊仙町	F2	南岸低気圧
32	竜巻	1974年07月08日03時30分	34度37分24秒	138度8分7秒	静岡県	小笠郡浜岡町	F1～F2	台風　梅雨前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
33	竜巻	1974年07月06日16時40分	33度32分4秒	133度38分30秒	高知県	南国市	F1～F2	台風　　暖気の移流
34	竜巻	1972年06月06日20時30分	26度5分30秒	127度41分48秒	沖縄県	糸満市	F1～F2	東シナ海低気圧　暖気の移流
35	竜巻	1971年08月31日09時00分	35度37分14秒	140度5分3秒	千葉県	千葉市	F2	台風
36	竜巻	1969年08月23日10時15分	35度5分48秒	140度6分29秒	千葉県	鴨川町	F1～F2	台風
37	竜巻	1968年09月24日19時20分	32度6分44秒	131度31分52秒	宮崎県	高鍋町	F2	台風
38	竜巻	1968年09月24日17時25分	32度5分16秒	131度31分16秒	宮崎県	高鍋町	F2	台風
39	竜巻	1968年08月28日12時30分	33度32分0秒	133度39分0秒	高知県	南国市	F1～F2	台風
40	竜巻	1967年10月28日02時05分	35度7分6秒	140度7分22秒	千葉県	鴨川町	F2	台風
41	竜巻	1967年03月23日15時04分	35度43分50秒	140度50分6秒	千葉県	銚子市	F1～F2	寒冷前線
42	竜巻	1965年10月14日21時40分	35度35分20秒	139度42分40秒	東京都	大田区	F1～F2	温暖前線
43	竜巻	1964年01月17日15時40分	33度4分2秒	139度48分26秒	東京都	八丈町	F2	南岸低気圧
44	竜巻	1962年12月30日08時25分	34度39分7秒	138度4分21秒	静岡県	千浜村	F1～F2	二つ玉低気圧　　温暖前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
45	竜巻	1962年08月26日08時25分	34度35分43秒	138度13分29秒	静岡県	榛原郡御前崎町	F1～F2	台風
46	竜巻	1962年08月26日04時00分	34度38分49秒	137度46分34秒	静岡県	浜松市	F2	台風
47	竜巻	1962年07月02日14時30分	35度56分50秒	140度30分20秒	茨城県	稲敷郡東村	F2	温暖前線　梅雨前線　局地性じょう乱
		F1相当						
48	竜巻	2011年05月28日05時00分	24度22分21秒	124度12分54秒	沖縄県	石垣市	F1	台風
49	竜巻	2010年12月03日07時30分	35度18分16秒	139度33分4秒	神奈川県	鎌倉市	F0～F1	日本海低気圧　暖気の移流
50	竜巻	2009年10月08日04時30分	35度32分42秒	140度27分43秒	千葉県	山武郡九十九里町	F1	台風　暖気の移流
51	竜巻	2008年12月05日15時30分	35度36分28秒	139度42分37秒	東京都	品川区	F1	寒冷前線
52	竜巻	2008年10月24日02時30分	34度15分5秒	136度49分44秒	三重県	志摩市	F1	南岸低気圧
53	竜巻	2008年10月07日14時30分	26度35分41秒	127度57分31秒	沖縄県	名護市	F0～F1	停滞前線
54	竜巻	2008年03月27日19時00分	31度27分51秒	130度41分52秒	鹿児島県	垂水市	F1	東シナ海低気圧
55	竜巻	2008年03月27日17時20分	31度45分23秒	130度11分54秒	鹿児島県	いちき串木野市	F1	東シナ海低気圧

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
56	竜巻	2007年04月18日07時55分	24度44分21秒	125度15分48秒	沖縄県	宮古島市	F1	寒冷前線
57	竜巻	2007年03月15日14時55分	26度21分50秒	127度44分22秒	沖縄県	中頭郡読谷村	F1	気圧の谷　暖気の移流
58	竜巻	2007年02月14日15時40分	33度48分53秒	135度12分8秒	和歌山県	日高郡印南町	F1	日本海低気圧　寒冷前線
59	竜巻	2007年02月14日06時20分	26度13分30秒	127度18分12秒	沖縄県	島尻郡座間味村	F0～F1	寒冷前線　暖気の移流
60	竜巻	2006年11月26日15時35分	32度47分5秒	132度51分31秒	高知県	土佐清水市	F1	南岸低気圧　暖気の移流
61	竜巻	2006年11月22日13時00分	26度37分48秒	128度12分54秒	沖縄県	東村	F1	停滞前線　暖気の移流
62	竜巻	2006年09月17日13時30分	32度20分17秒	131度37分10秒	宮崎県	日向市	F1	台風
63	竜巻	2006年09月17日12時10分	31度34分15秒	131度24分8秒	宮崎県	日南市	F1	台風
64	竜巻	2006年04月20日12時10分	35度21分15秒	139度28分50秒	神奈川県	藤沢市	F1	寒冷前線
65	竜巻	2006年01月19日19時10分	28度8分35秒	129度18分56秒	鹿児島県	瀬戸内町	F1	停滞前線
66	竜巻	2005年09月05日10時10分	31度56分25秒	131度27分29秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
67	竜巻	2005年05月01日15時00分	33度33分45秒	133度36分20秒	高知県	高知市	F0～F1	その他(低気圧)　暖気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
68	竜巻	2005年01月27日17時00分	26度21分53秒	127度44分16秒	沖縄県	読谷村	F1	寒冷前線　暖気の移流
69	竜巻	2004年09月29日23時01分	34度40分30秒	137度27分0秒	愛知県	豊橋市	F0～F1	台風
70	竜巻	2004年09月27日20時50分	26度41分44秒	128度1分10秒	沖縄県	今帰仁村	F1	台風
71	竜巻	2004年09月27日20時30分	26度31分11秒	128度1分7秒	沖縄県	名護市	F1	台風
72	竜巻	2003年10月12日10時00分	33度30分0秒	133度50分0秒	高知県	安芸市	F0～F1	停滞前線　暖気の移流
73	竜巻	2003年09月12日13時00分	33度29分29秒	133度33分34秒	高知県	高知市	F1	台風　暖気の移流
74	竜巻	2003年08月08日07時20分	32度19分3秒	131度35分52秒	宮崎県	日向市	F0～F1	台風
75	竜巻	2003年08月08日01時40分	31度36分36秒	131度25分37秒	宮崎県	日南市	F0～F1	台風
76	竜巻	2003年06月19日09時00分	32度28分32秒	131度39分29秒	宮崎県	東臼杵郡門川町	F1	台風
77	竜巻	2002年12月16日18時10分	33度16分14秒	134度9分40秒	高知県	室戸市	F0～F1	日本海低気圧　暖気の移流
78	竜巻	2002年10月07日03時50分	35度14分40秒	139度39分50秒	神奈川県	横須賀市	F1	日本海低気圧　雷雨(熱雷を除く)　暖気の移流
79	竜巻	2002年10月07日03時05分	34度47分1秒	139度21分11秒	東京都	大島町	F1	日本海低気圧

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
80	竜巻または ﾀﾞｳﾝﾊﾞｰｽﾄ	2002年10月06日22時38分	34度43分13秒	136度53分46秒	愛知県	南知多町	F1	二つ玉低気圧
81	竜巻	2002年10月06日14時50分	31度33分38秒	130度37分11秒	鹿児島県	鹿児島市	F1	寒冷前線
82	竜巻	2002年01月21日12時15分	34度38分57秒	137度19分36秒	愛知県	田原町	F1	二つ玉低気圧　温暖前線　暖気の移流
83	竜巻	2001年10月01日07時00分	33度45分36秒	135度18分50秒	和歌山県	南部町	F0～F1	日本海低気圧　暖気の移流
84	竜巻	2000年12月25日13時37分	34度45分0秒	139度17分30秒	東京都	大島町	F1	寒気の移流
85	竜巻	2000年09月11日08時10分	33度40分33秒	135度58分23秒	和歌山県	新宮市	F0～F1	台風　停滞前線　暖気の移流
86	竜巻	1999年11月15日05時07分	32度59分12秒	132度59分51秒	高知県	大方町	F0～F1	日本海低気圧　寒気の移流
87	竜巻	1999年11月01日07時00分	34度50分36秒	137度1分59秒	愛知県	西尾市	F1	日本海低気圧
88	竜巻	1999年10月27日21時00分	36度39分54秒	140度42分59秒	茨城県	多賀郡十王町	F1	南岸低気圧
89	竜巻	1999年09月24日12時51分	35度1分16秒	136度47分45秒	愛知県	海部郡弥富町	F1	台風
90	竜巻	1999年09月24日11時56分	34度49分24秒	137度13分7秒	愛知県	蒲郡市	F1	台風
91	竜巻	1999年09月24日03時00分	33度31分27秒	133度37分17秒	高知県	南国市	F1	台風　暖気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
92	竜巻	1999年05月04日09時50分	34度37分5秒	137度12分46秒	愛知県	渥美郡赤羽根町	F1	日本海低気圧
93	竜巻	1999年04月10日16時00分	33度31分1秒	133度48分5秒	高知県	芸西村	F1	その他(低気圧)　気圧の谷
94	竜巻	1998年10月17日14時50分	32度10分10秒	131度32分0秒	宮崎県	児湯郡川南町	F0～F1	台風
95	竜巻	1998年09月18日16時02分	31度54分29秒	131度27分3秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
96	竜巻	1998年02月19日23時43分	25度49分1秒	131度13分45秒	沖縄県	南大東村	F1	その他(低気圧)
97	竜巻	1997年11月17日08時00分	33度6分0秒	139度46分40秒	東京都	八丈町	F1	温暖前線　暖気の移流
98	竜巻	1997年09月16日13時19分	33度32分50秒	133度40分27秒	高知県	南国市	F1	台風　暖気の移流
99	竜巻	1997年09月14日06時50分	30度33分13秒	131度0分20秒	鹿児島県	熊毛郡中種子町	F1	台風
100	竜巻	1997年04月07日17時20分	35度31分6秒	139度36分50秒	神奈川県	横浜市	F0～F1	雷雨(熱雷を除く)
101	竜巻	1996年07月01日06時10分	31度22分28秒	130度32分27秒	鹿児島県	喜入町	F1	停滞前線
102	竜巻	1996年03月30日05時30分	31度15分10秒	130度21分52秒	鹿児島県	枕崎市	F1	寒冷前線　日本海低気圧
103	竜巻	1995年09月23日09時05分	26度23分9秒	127度59分42秒	沖縄県	与那城町	F1	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
104	竜巻	1994年10月12日10時22分	33度31分11秒	133度47分22秒	高知県	芸西村	F0～F1	日本海低気圧　暖気の移流
105	竜巻	1994年09月29日19時00分	34度40分56秒	137度34分8秒	静岡県	新居町	F0～F1	台風
106	竜巻	1994年09月29日17時35分	34度48分57秒	137度14分8秒	愛知県	蒲郡市	F1	台風
107	竜巻	1994年09月29日17時30分	34度40分50秒	137度21分30秒	愛知県	豊橋市	F1	台風
108	竜巻	1994年03月23日02時00分	27度40分14秒	128度58分4秒	鹿児島県	大島郡伊仙町	F0～F1	その他(低気圧)
109	竜巻	1993年12月01日01時10分	31度26分28秒	130度44分21秒	鹿児島県	垂水市	F1	寒冷前線
110	竜巻	1993年12月01日00時30分	31度15分5秒	130度26分26秒	鹿児島県	指宿郡頴娃町	F1	寒冷前線　暖気の移流
111	竜巻	1993年09月03日15時45分	32度30分31秒	131度40分30秒	宮崎県	延岡市	F0～F1	台風
112	竜巻	1993年09月03日13時00分	32度49分23秒	132度56分45秒	高知県	土佐清水市	F1	台風
113	竜巻	1993年05月27日01時50分	26度13分56秒	127度45分8秒	沖縄県	西原町	F1	梅雨前線
114	竜巻	1992年09月22日10時00分	26度38分0秒	128度2分6秒	沖縄県	名護市	F1	台風
115	竜巻	1992年02月15日09時25分	26度21分36秒	126度43分31秒	沖縄県	島尻郡具志川村	F1	寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
116	竜巻	1992年01月06日03時30分	27度22分7秒	128度31分47秒	鹿児島県	大島郡知名町	F1	東シナ海低気圧　寒冷前線　暖気の移流
117	竜巻	1991年11月28日16時30分	33度33分30秒	135度26分50秒	和歌山県	日置川町	F0～F1	南岸低気圧
118	竜巻	1991年11月28日11時45分	31度35分58秒	131度22分51秒	宮崎県	日南市	F1	南岸低気圧
119	竜巻	1991年02月13日22時27分	26度11分52秒	127度41分4秒	沖縄県	那覇市	F1	東シナ海低気圧　暖気の移流
120	竜巻	1990年12月12日00時20分	36度22分50秒	140度37分40秒	茨城県	海上～那珂湊市	F1	寒気の移流　局地性じょう乱　その他
121	竜巻	1990年03月12日06時30分	34度15分23秒	136度50分34秒	三重県	志摩郡志摩町	F1	日本海低気圧　寒冷前線
122	竜巻	1989年09月22日14時00分	34度19分0秒	135度8分0秒	大阪府	泉南郡岬町	F1	寒冷前線
123	竜巻	1988年09月25日09時40分	33度27分22秒	135度45分29秒	和歌山県	串本町	F1	寒冷前線　暖気の移流
124	竜巻	1986年12月19日01時30分	34度36分45秒	137度12分15秒	愛知県	渥美郡赤羽根町	F1	閉塞前線
125	竜巻	1985年10月05日18時45分	33度34分6秒	133度33分40秒	高知県	高知市	F1	台風　大陸高気圧　暖気の移流
126	竜巻	1985年10月05日18時40分	33度27分22秒	133度28分17秒	高知県	土佐市	F1	台風　太平洋高気圧　暖気の移流
127	竜巻または ﾀﾞｳﾝﾊﾞｰｽﾄ	1983年09月25日15時30分	26度37分48秒	128度11分59秒	沖縄県	東村	F1	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
128	竜巻	1983年03月12日06時20分	26度5分33秒	127度41分5秒	沖縄県	糸満市	F1	東シナ海低気圧　その他
129	竜巻	1980年10月14日02時15分	32度0分51秒	131度29分11秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
130	竜巻	1980年10月14日01時30分	31度50分46秒	131度26分50秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
131	竜巻	1980年10月13日20時10分	30度30分35秒	130度58分39秒	鹿児島県	中種子町	F1	台風
132	竜巻	1979年09月03日16時29分	31度55分20秒	131度25分10秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
133	竜巻	1978年02月10日05時30分	31度25分49秒	130度16分40秒	鹿児島県	加世田市	F1	寒冷前線　暖気の移流
134	竜巻	1976年10月23日07時20分	26度11分6秒	127度43分2秒	沖縄県	南風原村	F1	東シナ海低気圧　暖気の移流
135	竜巻	1976年02月28日14時00分	32度5分8秒	130度10分20秒	鹿児島県	阿久根市	F1	不安定線
136	竜巻	1975年11月15日18時15分	35度28分51秒	140度25分6秒	千葉県	大網白里町	F1	南岸低気圧
137	竜巻	1975年11月15日16時22分	34度7分5秒	139度30分56秒	東京都	三宅島三宅村	F1	南岸低気圧　温暖前線
138	竜巻	1975年11月14日20時40分	33度30分28秒	134度16分28秒	高知県	安芸郡東洋町	F1	南岸低気圧　温暖前線
139	竜巻	1975年08月22日14時30分	33度52分32秒	136度5分10秒	三重県	熊野市	F1	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
140	竜巻	1974年07月08日03時00分	34度41分18秒	137度53分20秒	静岡県	磐田郡福田町	F1	台風　停滞前線
141	竜巻	1974年06月06日12時50分	34度59分14秒	138度25分37秒	静岡県	静岡市	F0～F1	気圧の谷
142	竜巻	1974年03月13日13時20分	36度56分52秒	140度53分52秒	福島県	いわき市	F1	移動性高気圧
143	竜巻	1972年06月06日23時30分	27度21分30秒	128度35分57秒	鹿児島県	大島郡知名町	F1	寒冷前線
144	竜巻	1971年08月31日04時00分	35度0分53秒	138度28分52秒	静岡県	清水市	F0～F1	台風
145	竜巻	1968年09月24日15時30分	31度51分30秒	131度26分0秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
146	竜巻	1961年10月07日10時10分	34度59分33秒	138度29分24秒	静岡県	清水市	F1	寒冷前線
147	竜巻	1961年01月24日13時45分	31度15分7秒	130度22分26秒	鹿児島県	川辺郡知覧町	F1	寒冷前線
F0相当								
148	竜巻	2012年06月05日03時20分	25度49分20秒	131度14分14秒	沖縄県	島尻郡南大東村	F0	台風
149	竜巻	2012年02月28日17時40分	26度21分20秒	127度58分15秒	沖縄県	うるま市	F0	停滞前線
150	竜巻	2011年10月21日21時30分	32度46分44秒	132度56分57秒	高知県	土佐清水市	F0	暖気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
151	竜巻	2011年10月14日07時30分	32度41分12秒	131度48分29秒	宮崎県	延岡市	F0	暖気の移流
152	竜巻	2011年07月18日19時10分	34度47分13秒	136度33分11秒	三重県	津市	F0	台風　暖気の移流
153	竜巻	2011年02月11日00時20分	26度10分0秒	127度39分20秒	沖縄県	豊見城市	F0	停滞前線
154	竜巻	2010年11月22日15時30分	27度23分1秒	128度34分31秒	鹿児島県	大島郡和泊町	F0	停滞前線　暖気の移流
155	竜巻	2010年11月01日05時20分	35度30分16秒	140度25分50秒	千葉県	山武郡九十九里町	F0	南岸低気圧
156	竜巻	2010年10月22日10時50分	26度21分45秒	126度44分51秒	沖縄県	島尻郡久米島町	F0以下	停滞前線　暖気の移流
157	竜巻	2010年10月09日18時00分	35度2分34秒	139度59分30秒	千葉県	南房総市	F0	その他(低気圧)
158	竜巻	2010年09月28日09時15分	34度49分20秒	138度19分25秒	静岡県	焼津市	F0	二つ玉低気圧
159	竜巻	2010年09月13日14時20分	26度55分57秒	127度56分32秒	沖縄県	島尻郡伊是名村	F0	太平洋高気圧
160	竜巻	2010年08月11日16時55分	33度32分20秒	133度43分1秒	高知県	香南市	F0	台風　暖気の移流
161	竜巻	2010年07月09日14時40分	33度35分18秒	135度54分36秒	和歌山県	東牟婁郡 那智勝浦町	F0	梅雨前線
162	竜巻	2010年06月25日19時00分	32度14分59秒	131度33分33秒	宮崎県	児湯郡都農町	F0	梅雨前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
163	竜巻	2010年04月29日02時00分	33度30分14秒	133度52分26秒	高知県	安芸市	F0	寒冷前線
164	竜巻	2010年02月01日09時30分	31度13分43秒	130度29分55秒	鹿児島県	南九州市	F0	東シナ海低気圧　寒冷前線
165	竜巻	2010年02月01日09時10分	31度25分51秒	130度17分2秒	鹿児島県	南さつま市	F0	東シナ海低気圧　寒冷前線
166	竜巻	2009年11月13日17時00分	32度10分27秒	131度31分7秒	宮崎県	児湯郡川南町	F0	その他(低気圧)
167	竜巻	2009年11月11日09時00分	34度39分7秒	138度4分11秒	静岡県	掛川市	F0	寒気の移流
168	竜巻	2009年08月08日15時20分	24度51分28秒	125度17分19秒	沖縄県	宮古島市	F0	台風
169	竜巻	2009年07月25日11時00分	33度32分39秒	133度53分40秒	高知県	安芸市	F0	梅雨前線
170	竜巻	2009年03月09日12時30分	26度5分40秒	127度41分35秒	沖縄県	糸満市	F0	寒冷前線
171	竜巻	2008年10月07日12時20分	26度20分0秒	126度48分43秒	沖縄県	島尻郡久米島町	F0未満	停滞前線
172	竜巻	2008年09月21日13時00分	34度9分20秒	134度36分50秒	徳島県	鳴門市	F0未満	停滞前線
173	竜巻	2008年08月16日13時25分	35度37分13秒	140度3分43秒	千葉県	千葉市	F0以下	台風　停滞前線　雷雨(熱雷)
174	竜巻	2008年07月22日17時30分	26度12分7秒	127度45分56秒	沖縄県	島尻郡与那原町	F0未満	気圧の谷

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
175	竜巻	2008年06月29日02時30分	33度30分24秒	133度54分15秒	高知県	安芸市	F0	梅雨前線
176	竜巻	2008年05月01日18時00分	30度31分33秒	130度57分19秒	鹿児島県	熊毛郡中種子町	F0	その他(低気圧)
177	竜巻	2008年04月09日17時00分	31度15分37秒	130度15分50秒	鹿児島県	枕崎市	F0	東シナ海低気圧
178	竜巻	2008年04月07日11時20分	32度43分21秒	133度0分30秒	高知県	土佐清水市	F0	その他(低気圧)
179	竜巻	2006年09月25日11時40分	25度51分20秒	131度15分10秒	沖縄県	南大東村	F0	その他
180	竜巻	2003年10月12日04時25分	32度32分49秒	131度40分54秒	宮崎県	延岡市	F0	その他(低気圧)
181	竜巻または ﾀﾞｳﾝﾊﾞｰｽﾄ	2002年10月15日21時30分	34度40分8秒	137度59分34秒	静岡県	磐田郡浅羽町,小笠郡大須賀町,小笠郡大東町	F0	日本海低気圧　　寒冷前線
182	竜巻	2001年05月29日13時00分	35度0分20秒	136度55分5秒	愛知県	東海市	F0	局地性降水
183	竜巻	2001年01月13日07時35分	26度8分43秒	127度41分26秒	沖縄県	糸満市	F0	寒冷前線
184	竜巻	1999年06月30日09時30分	35度9分8秒	138度45分55秒	静岡県	富士市	F0	日本海低気圧　　寒冷前線
185	竜巻	1998年10月17日15時00分	32度25分13秒	131度39分49秒	宮崎県	日向市	F0	台風
186	竜巻	1998年02月14日19時55分	24度23分26秒	123度44分55秒	沖縄県	竹富町	F0	寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
187	竜巻	1998年01月14日10時50分	26度10分23秒	127度38分51秒	沖縄県	豊見城村	F0	寒冷前線　暖気の移流
188	竜巻	1997年11月28日09時30分	27度19分45秒	128度33分35秒	鹿児島県	知名町	F0	東シナ海低気圧　暖気の移流
189	竜巻	1995年09月23日08時50分	26度24分18秒	127度42分59秒	沖縄県	読谷村	F0	台風
190	竜巻	1994年10月04日17時30分	33度32分8秒	133度40分50秒	高知県	南国市	F0	暖気の移流
191	竜巻	1994年10月04日17時15分	33度32分17秒	133度43分31秒	高知県	香美郡赤岡町	F0	暖気の移流
192	竜巻	1993年01月23日17時30分	24度22分35秒	123度45分11秒	沖縄県	竹富町	F0	停滞前線
193	竜巻	1991年11月28日22時00分	34度22分30秒	139度15分0秒	東京都	新島若郷	F0	南岸低気圧
Fスケール不明の陸上竜巻								
194	竜巻	2012年05月13日12時56分	24度42分42秒	125度19分3秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
195	竜巻または漏斗雲	2010年08月14日17時20分	26度23分0秒	127度44分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
196	竜巻	2010年08月04日12時25分	34度33分0秒	137度1分0秒	愛知県	(海上)	不明	暖気の移流
197	竜巻	2009年08月08日15時10分	24度47分0秒	125度16分0秒	沖縄県	宮古島市	不明	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
198	竜巻または漏斗雲	2008年10月07日12時35分	26度21分5秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線
199	竜巻または漏斗雲	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度46分7秒	沖縄県	島尻郡与那原町付近	不明	気圧の谷
200	竜巻または漏斗雲	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度46分7秒	沖縄県	島尻郡与那原町付近	不明	気圧の谷
201	竜巻	2007年10月09日12時30分	32度8分44秒	130度6分16秒	鹿児島県	長島町	不明	東シナ海低気圧
202	竜巻または漏斗雲	2007年09月14日15時05分	32度34分19秒	131度40分28秒	宮崎県	延岡市	不明	台風
203	竜巻	2004年06月01日14時15分	26度17分47秒	127度48分45秒	沖縄県	北中城村	不明	梅雨前線　暖気の移流
204	竜巻	1999年07月03日12時30分	26度34分30秒	127度58分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線　暖気の移流
205	竜巻	1997年05月20日13時30分	33度40分0秒	135度10分0秒	和歌山県	(海上)	不明	南岸低気圧　寒気の移流
206	竜巻	1993年01月07日10時30分	33度47分50秒	135度14分30秒	和歌山県	印南町	不明	南岸低気圧
207	竜巻	1992年11月19日11時10分	32度41分5秒	131度50分33秒	宮崎県	北浦町	不明	不安定線　移動性高気圧
208	竜巻	1991年02月13日18時00分	26度26分4秒	127度46分49秒	沖縄県	国頭郡恩納村	不明	東シナ海低気圧　暖気の移流
209	竜巻	1990年09月19日14時00分	34度42分10秒	137度37分40秒	静岡県	浜松市，舞阪町，雄踏町	不明	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
210	竜巻	1972年06月06日20時30分	26度8分40秒	127度41分8秒	沖縄県	糸満市	不明	東シナ海低気圧　暖気の移流
211	竜巻	1971年09月08日02時00分	35度42分0秒	140度43分30秒	千葉県	飯岡町	不明	台風
212	竜巻	1971年08月31日10時50分	35度42分1秒	140度42分11秒	千葉県	飯岡町	不明	台風
213	竜巻	1964年05月24日14時55分	35度37分47秒	139度38分7秒	東京都	世田谷区	不明	寒冷前線　暖気の移流
214	竜巻	2012年05月13日16時57分	24度53分54秒	125度15分27秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
215	竜巻	2012年05月09日08時40分	34度53分50秒	136度48分0秒	愛知県	(海上)	不明	気圧の谷　寒気の移流
216	竜巻	2011年12月04日07時10分	34度49分0秒	139度24分40秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
217	竜巻	2011年12月04日07時10分	34度49分0秒	139度24分40秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
218	竜巻	2011年12月04日07時00分	34度49分25秒	139度23分30秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
219	竜巻	2011年12月04日06時45分	34度47分50秒	139度25分45秒	東京都	(海上)	不明	寒気の移流
220	竜巻または 漏斗雲	2011年11月30日11時08分	26度24分52秒	127度41分54秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線　気圧の谷
221	竜巻	2011年08月22日16時17分	26度29分0秒	127度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
222	竜巻または漏斗雲	2011年08月22日14時15分	24度51分0秒	125度21分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
223	竜巻	2011年02月25日17時20分	26度14分0秒	127度39分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
224	竜巻	2011年02月03日10時00分	26度7分0秒	127度39分0秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
225	竜巻	2010年10月07日17時00分	33度2分48秒	133度8分2秒	高知県	(海上)	不明	その他(高気圧)
226	竜巻	2010年10月02日17時00分	26度22分0秒	126度42分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
227	竜巻	2010年10月02日15時50分	26度23分0秒	126度43分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
228	竜巻	2010年09月23日10時05分	33度28分47秒	135度44分45秒	和歌山県	(海上)	不明	停滞前線
229	竜巻	2010年08月18日11時36分	26度25分0秒	127度42分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
230	竜巻	2010年07月28日16時20分	26度30分0秒	128度1分0秒	沖縄県	(海上)	不明	暖気の移流
231	竜巻または漏斗雲	2010年07月25日14時45分	26度35分0秒	127度11分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
232	竜巻	2009年09月15日11時40分	26度26分0秒	127度58分0秒	沖縄県	(海上)	不明	暖気の移流
233	竜巻	2009年08月08日15時30分	24度38分0秒	124度38分0秒	沖縄県	(海上)	不明	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
234	竜巻	2009年07月30日17時50分	26度18分0秒	127度34分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
235	竜巻	2009年07月06日16時35分	26度35分0秒	127度57分0秒	沖縄県	(海上)	不明	暖気の移流
236	竜巻または漏斗雲	2009年07月06日18時54分	24度18分16秒	124度3分2秒	沖縄県	石垣市	不明	暖気の移流
237	竜巻	2009年06月26日13時10分	26度14分24秒	127度39分3秒	沖縄県	(海上)	不明	梅雨前線
238	竜巻または漏斗雲	2009年02月26日11時50分	24度55分27秒	125度16分4秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)
239	竜巻	2008年11月08日10時25分	25度47分38秒	131度16分25秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
240	竜巻	2008年11月03日11時55分	34度15分0秒	134度30分0秒	徳島県	(海上)	不明	その他(前線)　寒気の移流
241	竜巻	2008年10月27日16時00分	35度15分20秒	140度25分40秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
242	竜巻	2008年10月27日15時50分	35度15分20秒	140度25分40秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
243	竜巻	2008年10月27日15時50分	35度15分20秒	140度25分30秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
244	竜巻	2008年10月27日15時40分	35度15分20秒	140度25分20秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流
245	竜巻	2008年10月27日15時30分	35度15分20秒	140度25分0秒	千葉県	(海上)	不明	寒気の移流

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
246	竜巻または漏斗雲	2008年10月10日17時20分	26度5分38秒	127度43分38秒	沖縄県	糸満市	不明	気圧の谷
247	竜巻	2008年10月07日11時30分	26度20分0秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線
248	竜巻	2008年10月07日11時00分	26度16分0秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	不明	停滞前線
249	竜巻	2008年08月26日14時12分	28度24分0秒	129度45分0秒	鹿児島県	(海上)	不明	暖気の移流
250	竜巻	2008年08月16日13時45分	35度36分57秒	140度3分20秒	千葉県	(海上)	不明	台風　停滞前線　雷雨(熱雷)
251	竜巻	2008年08月08日16時45分	24度21分8秒	124度7分13秒	沖縄県	石垣市	不明	その他(低気圧)
252	竜巻または漏斗雲	2008年08月08日13時40分	26度15分0秒	127度31分0秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(低気圧)
253	竜巻	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度47分10秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
254	竜巻	2008年07月22日17時08分	26度11分6秒	127度47分8秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
255	竜巻	2008年07月22日17時05分	26度11分6秒	127度47分8秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
256	竜巻	2008年07月07日09時30分	26度11分46秒	127度58分7秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
257	竜巻	2008年07月03日15時00分	26度30分2秒	128度0分1秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧　気圧の谷

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
258	竜巻または漏斗雲	2008年05月27日13時00分	24度52分35秒	125度20分14秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
259	竜巻または漏斗雲	2008年05月27日12時30分	24度55分7秒	125度19分31秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
260	竜巻	2008年05月27日11時41分	24度52分39秒	125度18分42秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
261	竜巻	2008年05月19日16時50分	34度36分44秒	137度1分14秒	愛知県	(海上)	不明	気圧の谷　南岸低気圧
262	竜巻または漏斗雲	2008年04月23日16時23分	34度39分43秒	137度24分43秒	愛知県	豊橋市	不明	気圧の谷
263	竜巻	2008年03月25日21時04分	35度16分57秒	139度31分36秒	神奈川県	(海上)	不明	気圧の谷　寒気の移流
264	竜巻	2008年03月25日20時57分	35度15分40秒	139度29分57秒	神奈川県	(海上)	不明	気圧の谷　寒気の移流
265	竜巻	2008年03月25日20時53分	35度18分16秒	139度26分34秒	神奈川県	(海上)	不明	気圧の谷　寒気の移流
266	竜巻	2007年10月14日12時55分	34度32分35秒	137度0分30秒	三重県	(海上)	不明	停滞前線　気圧の谷
267	竜巻または漏斗雲	2007年10月09日16時00分	32度4分8秒	130度8分23秒	鹿児島県	(海上)	不明	東シナ海低気圧
268	竜巻	2007年10月09日14時00分	32度9分12秒	130度5分33秒	鹿児島県	(海上)	不明	東シナ海低気圧
269	竜巻	2007年09月25日16時45分	26度7分48秒	127度35分24秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷　熱帯低気圧(台風以外)

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
270	竜巻または漏斗雲	2007年09月02日13時02分	24度19分29秒	124度16分44秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧　雷雨(熱雷)
271	竜巻または漏斗雲	2007年08月29日13時40分	26度3分29秒	127度40分48秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)　気圧の谷
272	竜巻または漏斗雲	2007年08月29日13時25分	26度5分6秒	127度38分6秒	沖縄県	(海上)	不明	その他(高気圧)　気圧の谷
273	竜巻	2007年08月28日17時30分	26度40分12秒	128度3分36秒	沖縄県	(海上)	不明	雷雨(熱雷)
274	竜巻	2007年08月28日15時40分	26度20分40秒	127度56分0秒	沖縄県	(海上)	不明	雷雨(熱雷)
275	竜巻	2007年07月30日10時00分	24度29分57秒	122度55分11秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
276	竜巻	2007年05月31日17時30分	35度13分0秒	139度51分0秒	千葉県	(海上)	不明	雷雨(熱雷を除く)　寒気の移流
277	竜巻	2006年11月06日12時00分	33度42分0秒	135度20分0秒	和歌山県	(海上)	不明	日本海低気圧
278	竜巻	2006年09月19日17時30分	33度29分33秒	133度34分14秒	高知県	(海上)	不明	寒気の移流
279	竜巻	2006年08月29日14時16分	26度40分0秒	127度52分30秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
280	竜巻	2006年08月28日15時50分	26度26分49秒	128度1分56秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
281	竜巻	2003年01月11日15時40分	33度5分25秒	139度43分19秒	東京都	(海上)	不明	気圧の谷

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
282	竜巻	2001年08月04日15時27分	26度21分52秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
283	竜巻	2001年08月04日15時00分	26度21分52秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
284	竜巻	2001年07月09日17時59分	24度49分39秒	125度7分44秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
285	竜巻	2001年07月08日16時14分	24度46分54秒	125度14分41秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
286	竜巻	2000年08月07日17時55分	35度32分30秒	140度0分52秒	千葉県	(海上)	不明	雷雨(熱雷)
287	竜巻	1999年11月02日16時40分	34度55分40秒	138度23分50秒	静岡県	静岡市	不明	その他(前線)　寒気の移流
288	竜巻	1999年08月12日10時18分	26度21分40秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
289	竜巻	1999年07月21日11時20分	26度6分3秒	127度38分19秒	沖縄県	(海上)	不明	熱帯低気圧(台風以外)
290	竜巻	1998年09月24日17時27分	26度9分1秒	127度38分41秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
291	竜巻	1998年04月18日13時15分	32度59分50秒	133度2分2秒	高知県	(海上)	不明	南岸低気圧
292	竜巻	1997年09月06日15時30分	33度14分37秒	134度13分20秒	高知県	(海上)	不明	停滞前線　暖気の移流
293	竜巻	1997年05月03日10時50分	26度6分30秒	127度32分30秒	沖縄県	(海上)	不明	寒冷前線

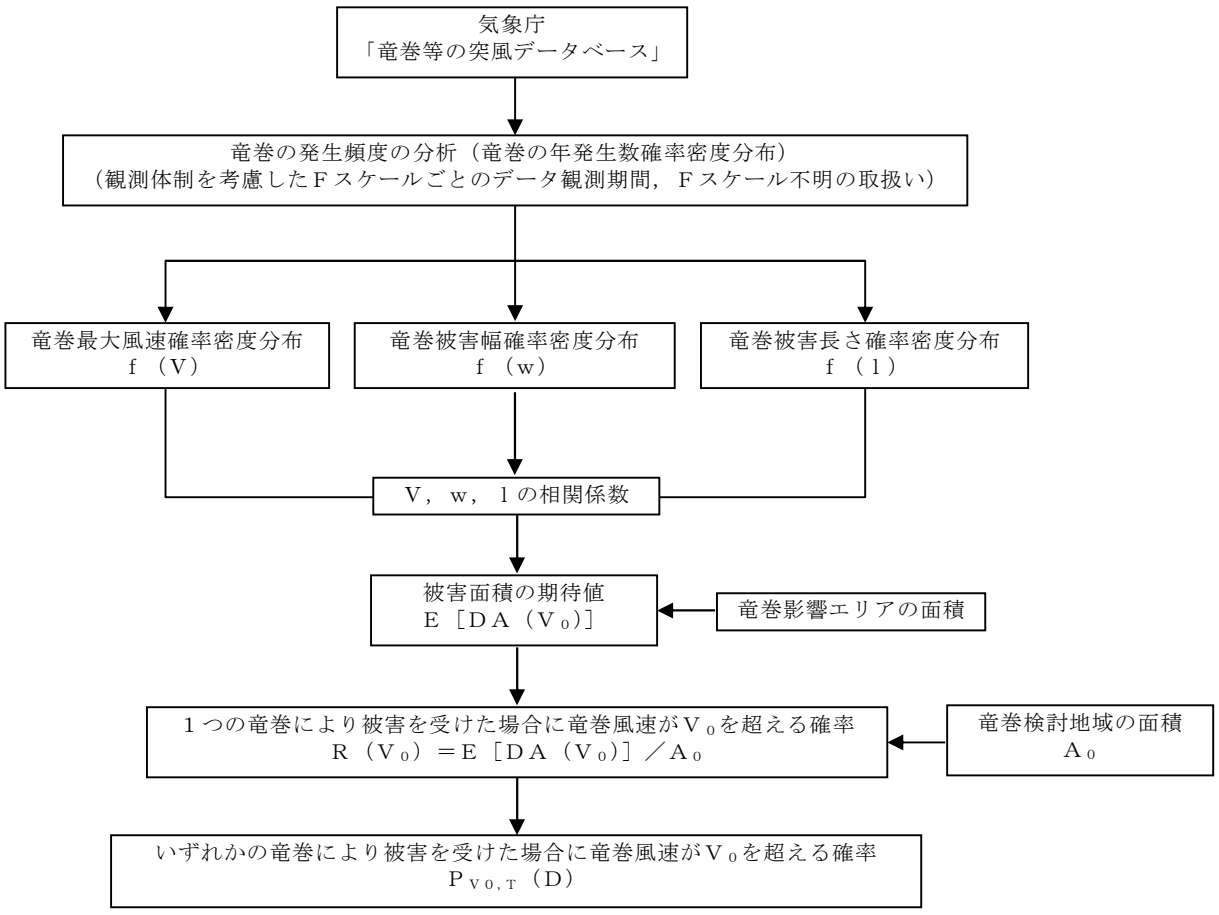
No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
294	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分15秒	133度41分47秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
295	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分8秒	133度41分30秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
296	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分17秒	133度42分9秒	高知県	(海上)	不明	暖気の移流
297	竜巻	1992年05月17日14時33分	26度21分49秒	126度41分8秒	沖縄県	(海上)	不明	東シナ海低気圧　　暖気の移流
298	竜巻	1992年04月15日16時55分	33度33分30秒	135度25分0秒	和歌山県	日置川町	不明	寒冷前線
299	竜巻	1992年03月31日14時55分	26度26分0秒	127度56分0秒	沖縄県	(海上)	不明	東シナ海低気圧　　暖気の移流
300	竜巻	1971年08月31日07時15分	35度3分51秒	140度6分7秒	千葉県	鴨川市	不明	台風

ハザード曲線による竜巻最大風速（V_{B2}）の計算について

1. 評価フロー

「竜巻影響評価ガイド」[(1)]の解説 3.3.2 に例示された Wen & Chu[(2)]及び Garsonet al.[(3)(4)]による方法に沿って，竜巻最大風速のハザード曲線を算定し，ハザード曲線による最大風速V_{B2}を算定する。具体的な算定方法については，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[(5)]を参考とする。

第 1－1 図に算定フローを示す。



第 1－1 図　ハザード曲線の算定フロー

2.　竜巻の発生頻度の分析

竜巻についての過去の観測データは少なく，また，観測年代によって精度が異なる。そこで，下記のとおり，観測データの補正を行い，年発生数の確率分布に供する統計データを推定する。

(1)　適用データ

気象庁「竜巻等の突風データベース」[6]より，竜巻検討地域における 1961 年 1 月～2012 年 6 月の竜巻のデータを用いる。

(2)　竜巻の発生頻度の補正

「竜巻等の突風データベース」は 1961 年以降に観測された竜巻がデータベース化されているが，観測体制が段階的に強化された結果，特に 2007 年以降のデータにおいては発生数が非常に多く，海上竜巻の増加も顕著である。そこで，観測体制が強化されたことによる補正を以下のとおり行い，疑似 51.5 年間の統計量を評価する。

ａ．ハザード曲線評価に用いるデータの観測期間を以下の(a)～(c)の 3 期間に分ける。

(a)　2007 年 1 月～2012 年 6 月（5.5 年間）

(b)　1991 年 1 月～2012 年 6 月（21.5 年間）

(c)　1961 年 1 月～2012 年 6 月（51.5 年間）

ｂ．次に，各年代においてＦスケールごとに，統計量（竜巻発生数，年間平均発生数，標準偏差）を算定する。

ｃ．Ｆ０及びＦスケール不明の竜巻については，観測体制が強化される以前は見過ごされた可能性が大きいことから，観測体制が強化された 2007 年以降の統計量を基にする。

ｄ．Ｆ１の竜巻については，1991 年以降の年間発生数がそれ以前の 30 年間の発生数を明らかに上回ることから，1991 年以降の統計量を基にする。

ｅ．Ｆ２以上の竜巻については，見逃されることが少なかったとして，1961年以降の全期間の統計量を基にする。

ｆ．51.5年間の発生数を，(a)～(c)の観測期間との比率からＦスケールごとに推計する。

ｇ．海上竜巻でＦスケール不明の場合，被害痕跡等が残っていないため，そのＦスケールを推定することは難しい。そこで，沿岸部近傍では竜巻の発生状況については陸上と海上で変わらないと仮定し，「海岸線から海上5kmの範囲における海上竜巻の発生特性が，海岸線から内陸5kmの範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という仮定に基づいて，陸上竜巻（上陸竜巻含む）でのＦスケール別発生比率で按分し，各Ｆスケールで発生した竜巻に加える。【添付資料5 別紙1】

一方，Ｆスケール不明の陸上竜巻は，痕跡等が残らないほど小さかったとし，Ｆ０相当の竜巻であったとする。

竜巻検討地域について，発生数に関する統計量の分析結果を第2－1表に示す。竜巻検討地域において51.5年間に300個の竜巻が観測されたことに対し，1188個の竜巻が発生したと推定した。

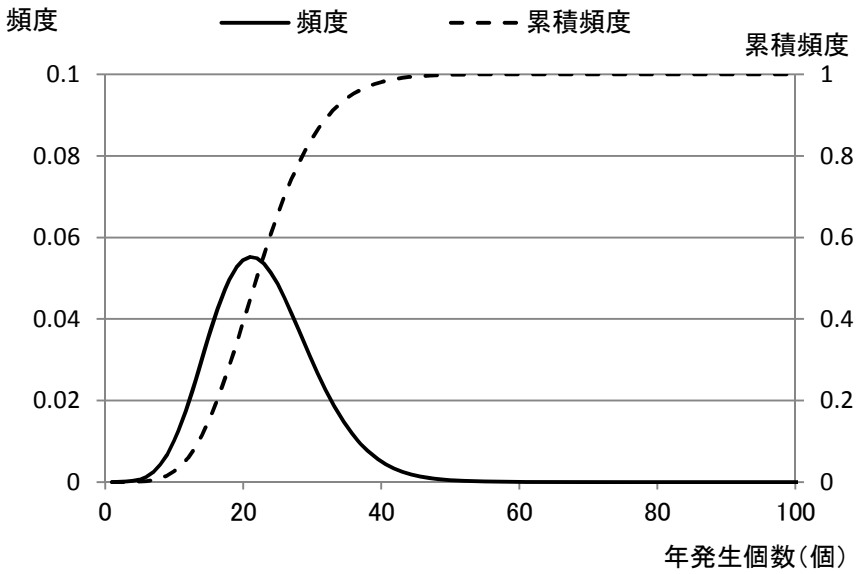
第 2－1 表　竜巻発生数の分析結果

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

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

(3)　年発生数の確率密度分布の設定

竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては，竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり，発生数の変動（標準偏差）が大きいことから，竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づき平均値と標準偏差を評価し，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の成果を参考とし，第 2－1 図に示すポリヤ分布とした。



第 2－1 図　竜巻の年発生数の確率密度分布（ポリヤ分布）

3.　竜巻の被害幅及び被害長さの分析

被害幅及び被害長さについても発生数と同様に疑似 51.5 年間の統計量を基にする。被害幅及び被害長さの分析に利用可能なデータ数は，竜巻発生数評価時のデータ数に比べて少ない。そこで，先に作成した疑似 51.5 年間の竜巻発生数と対応した被害幅及び被害長さの統計量の分析は，以下の手順で行った。

Step1：基となる観測データ数を確保するために，1961 年以降の被害幅及び被害長さのデータを基にする。そのデータをＦスケールごとに仕分ける。

Step2：各Ｆスケールに対し，上記で抽出された被害幅や被害長さのデータを大きい順に並び替え，51.5 年間の発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い，疑似 51.5 年間のデータとする。例えば，被害幅が観測されている 7 個のデータを大きい順から並べたものを 7 回繰り返し，計 49 個のデータを作成する。

Step3：疑似 51.5 年間のデータについて，統計量（平均値及び標準偏差）を求める。

第 3－1 表，第 3－2 表に，疑似 51.5 年間のデータを基に評価した被害幅及び被害長さの統計量を示す。

第 3－1 表　被害幅の統計量

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

第 3－2 表　被害長さの統計量

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

4.　竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布及び相関係数

(1)　最大風速，被害幅及び被害長さの確率密度分布

最大風速，被害幅及び被害長さは，前記で評価した統計量を有する対数正規分布に従うものとする。第 4－1 表に統計量を示す。それぞれが独立であるとした場合の確率密度分布について，第 4－1 図～第 4－6 図に示す。

最大風速の超過確率は，観測結果がトレースでき，風速の大きいエリアにおいても不自然な形となっていないことが確認できる。竜巻の被害幅及び長さの超過確率からは，観測結果をおおむねトレースしていることが確認できる。

(2)　最大風速，被害幅及び被害長さの相関係数

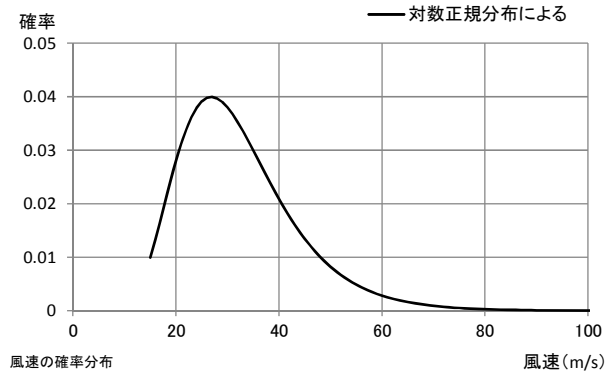
相関係数は，過去に発生した竜巻の最大風速，被害幅及び被害長さの関係を評価することから,繰り返しサンプリングを行った推定 51.5 年間ではなく，観測データを基に，その対数値の相関係数を算出した。観測データのみを用いるのは，Ｆスケール不明やＦ０の竜巻では，被害規模が小さいために，被害幅や被害長さの観測データがＦ２，Ｆ３の竜巻と比べ観測値として示されている場合が少なく，そのようなデータを繰り返しサンプリングにより増やすと，Ｆ２，Ｆ３の竜巻で見られる相関性が反映されない結果が懸念されるためである。

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

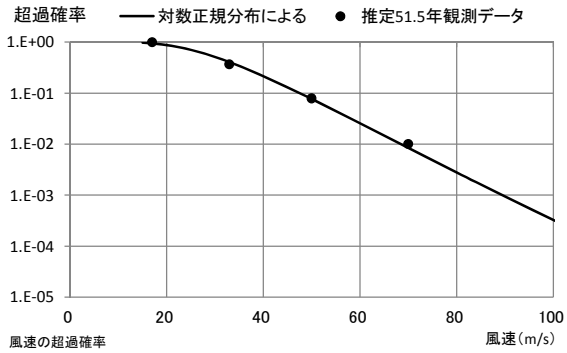
相関係数の算出結果を，第 4－2 表に示す。

第 4－1 表　発生数，被害幅及び被害長さの統計量

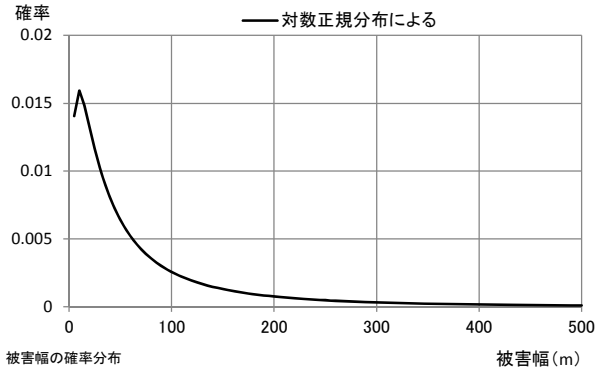
			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間	発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（個／年）	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
		標準偏差(個／年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
	被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（m）	525	250	124	56	94
		標準偏差（m）	706	408	187	45	179
	被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
		平均値（km）	14	5.63	2.43	1.18	1.98
		標準偏差（km）	14	4.94	3.03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



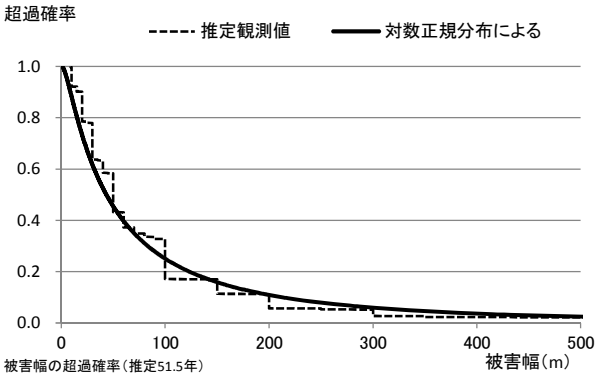
第 4－1 図　最大風速の確率密度分布



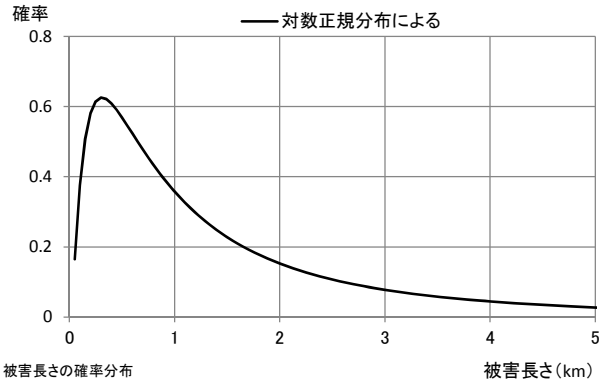
第 4－2 図　最大風速の超過確率



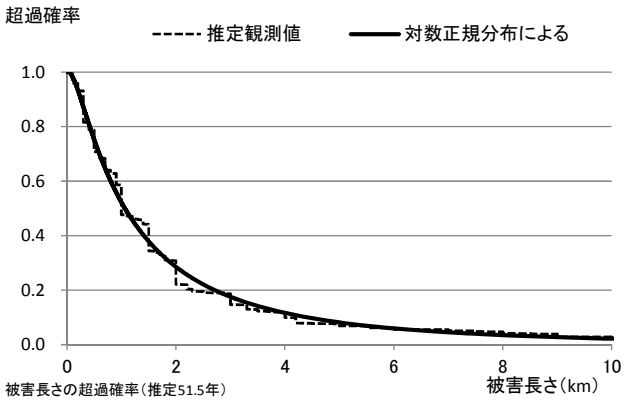
第 4－3 図　被害幅の確率密度分布



第 4－4 図　被害幅の超過確率



第4－5図　被害長さの確率密度分布



第4－6図　被害長さの超過確率

第 4－2 表　最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の相関係数

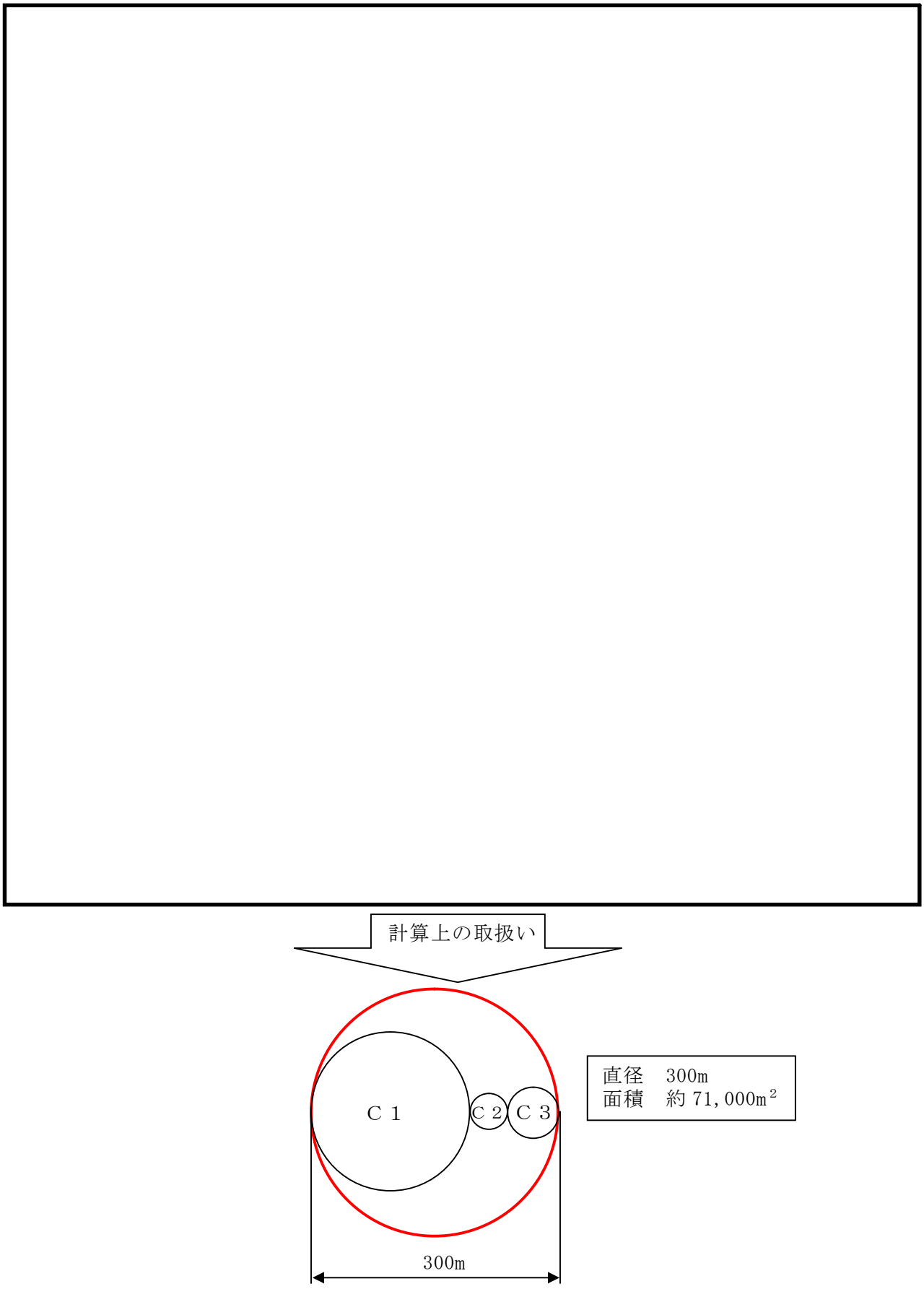
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ
最大風速	1.000	0.381	0.452
被害幅	－	1.000	0.381
被害長さ	－	－	1.000

5.　竜巻影響エリアの設定

発電所の構築物，系統及び機器のうち，外部事象防護対象施設のうち評価対象施設を包絡する円形領域を竜巻影響エリアとして設定した。竜巻影響エリアを第5－1図に示す。

なお，竜巻影響エリアは，原子炉建屋周辺，海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため，それぞれをまず直径188m，直径44m及び直径 60m の円形領域に包絡させ，さらにこれらの領域を包絡させた直径 300m の円形領域(面積 約71,000m^2)として設定した。

また，竜巻影響エリアを円形としたため，ハザード計算において竜巻の移動方向に対する依存性は生じない。



第 5－1 図　竜巻影響エリア

6. ハザード曲線の算定方法

前記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び最大風速の確率分布をもとに，以下に示すとおり「竜巻影響評価ガイド」の解説 3.3.2 に例示された Wen & Chu 及び Garson et al. の方法に沿って，ハザード曲線を算定する。

(1) 評価方法

D を評価対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象とし，ある竜巻が評価対象構造物を襲い，その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ とする。また，ある竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とする。また，その期待値を $E[DA(V_0)]$ にて表す。

a．前記に基づき，竜巻の最大風速 V ，被害幅 w 及び被害長さ l の統計値から，次式の対数正規分布型の確率密度分布を与える。

$$f(V,w,l)=\frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3|\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}}\frac{1}{Vwl}\exp\left(-\tfrac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T\boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})\right)$$

ここで，$\mathbf{x}=\begin{Bmatrix}\ln(V)\\ \ln(w)\\ \ln(l)\end{Bmatrix}$，$\boldsymbol{\mu}=\begin{Bmatrix}\mu_V\\ \mu_w\\ \mu_l\end{Bmatrix}$，$\boldsymbol{\Sigma}=\begin{bmatrix}\sigma_V{}^2 & \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} & \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl}\\ \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} & \sigma_w{}^2 & \sigma_w\sigma_l\rho_{wl}\\ \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl} & \sigma_w\sigma_l\rho_{wl} & \sigma_l{}^2\end{bmatrix}$

$\mathbf{x}$ は最大風速，被害幅及び被害長さの対数値 $\ln(V)$，$\ln(w)$，$\ln(l)$ によるベクトル，$\boldsymbol{\mu}$ は各統計値から評価した最大風速，被害幅及び被害長さの対数値の平均からなるベクトル，$\boldsymbol{\Sigma}$ は $\ln(V)$，$\ln(w)$，$\ln(l)$ から評価した標準偏差 σ_V，σ_w，σ_l と相関係数 ρ_{Vw}，ρ_{wl}，ρ_{Vl} からなる分散共分散行列である。

b．被災領域内には，竜巻の被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅を与える次式を考慮する。

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

ここで，$V_{\min}$ は，Gale intensityと呼ばれ（Galeは「非常に強い風」という意味），被害が発生し始める風速に位置づけられる。米国気象局ＮＷＳ（National Weather Service）では，34ノット～47ノット（17.5m／s～24.2m／s）とされ，また，気象庁が使用している風力階級では，風力9は大強風（strong gale：20.8m／s～24.4m／s）と分類され，「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされていることを参考に，$V_{\min}$ ＝25m／sとした。なお，この値はＦ０（17m／s～32m／s）のほぼ中央値に相当する。

ｃ．得られた平均と分散共分散行列を基に，竜巻影響エリアの代表幅 D_0 を考慮し，次式にて，被災面積期待値 $E[DA(V_0)]$ を算定する。

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

ここで，$H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ は，それぞれ竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。

$$H(\alpha)=B|\sin\alpha|+A|\cos\alpha|$$

$$G(\alpha)=A|\sin\alpha|+B|\cos\alpha|$$

ここで，　　α ：竜巻の移動方向

竜巻影響エリアを円形で設定しているため，H 及び G ともに竜巻影響エリアの直径で一定（竜巻の移動方向に依存しない。）となる。

S は竜巻影響エリアの面積（約71,000m^2）を表わす。円の直径を D_0 とした場合は，以下の式にて表わされる。

$$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)\, l\, f(V,w,l)dV\, dw\, dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l\, f(V,l)dV\, dl$$
$$+ D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0)\, f(V,w)dV\, dw + S \int_{V_0}^\infty f(V)dV$$

ここで，$f(V,l)$，$f(V,w)$，$f(V)$は$f(V,w,l)$をもとに各成分を抽出した関数

d．竜巻検討地域の面積A_0（約 57,000km^2）及び上記の被災面積期待値$E[DA(V_0)]$から，評価対象構造物が竜巻による被害を受け，その竜巻の風速がV_0以上となる確率$R(V_0)$を次式にて算定する。

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

e．前述のとおり，竜巻の年発生数の確率密度分布としては，ポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は次式で示される。

$$P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!}\left(1 + \beta\nu T\right)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k)$$

ここで，　N ：竜巻の年発生数

ν ：竜巻の年平均発生数

T ：年数

β ：分布パラメータであり次式で示される。

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

σ ：竜巻の年発生数の標準偏差

発生数がポリヤ分布に従うものとし，年超過確率P_{V_0}を以下の式により算出する。なお，年超過確率P_{V_0}は，年被災確率が十分小さいことより，Garson et al.が示す近似式を用いて表すことができる。

$$P_{V_0} = 1-[1+\beta\nu R(V_0)]^{-1/\beta} = 1-[1-\tfrac{1}{\beta}\left(\beta\nu R(V_0)\right)+\cdots]$$

$$\approx \nu R(V_0) = \frac{\nu}{A_0} E[DA(V_0)] = pE[DA(V_0)]$$

ここで，　p ：単位面積当たりの年被災確率

以上のことから，竜巻のように被災確率が非常に小さな現象に対しては，年超過確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し，発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることがわかる。【添付資料5 別紙5-2】

(2)　ハザード曲線

前項で示した評価方法に基づいて，竜巻影響評価の対象構造物が，T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がV_0以上となる確率$P_{V_0,T}$を次式によって算出し，ハザード曲線を算定する。

$$P_{V_0,T}(D) = 1-[1+\beta\nu R(V_0)T]^{-1/\beta}$$

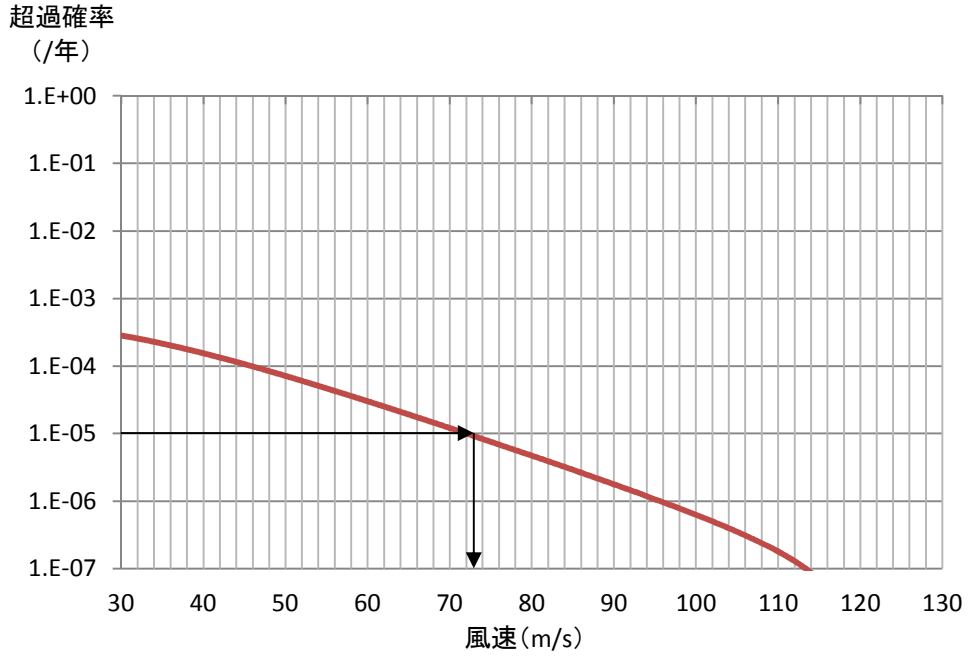
また，ハザード曲線の算定において，風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として120m／s に設定する。

7.　竜巻最大風速のハザード曲線

算定した竜巻最大風速のハザード曲線を，第 7－1 図に示す。

得られたハザード曲線より，年超過確率 10^{-5} での風速を読み取り，ハザード曲線による最大風速は，以下のとおりとする。

竜巻検討地域全域（10 ㎞幅）でのハザード曲線による最大風速：73m／ s



第 7－1 図　竜巻検討地域全域（10 ㎞幅）でのハザード曲線

竜巻検討地域全域（10 ㎞幅）に加え，「竜巻影響評価ガイド」解説 3.3.2 では，少なくとも 1km 幅ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定するとしている。ここでは，ハザード曲線の保守性を持たせるために，竜巻検討地域を 1 ㎞幅に細分化した場合について算定した。

なお，海側の 1km 以遠については，全てが F スケール不明であるため，ハザード曲線の算定は不可能である。

算定に用いた諸元を第7－1表から第7－6表に示す。相関係数は，全て竜巻検討地域全域（10 ㎞幅）内で発生した竜巻で評価した第4－2表の値とする。

算定したハザード曲線を，竜巻検討地域全域（10 ㎞幅）でのハザード曲線と重ね，第7－2図に示す。

得られたハザード曲線において，年超過確率 10^{-5} での風速値を読み取り，第7－7表にあわせて示す。

第 7－1 表　海側 1－0 ㎞での統計量

(a)　発生数

			F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	1	12	30	10	53	8	28	89
		平均値（個／年）	0.02	0.23	0.58	0.19	1.03	0.16	0.54	1.73
		標準偏差（個／年）	0.14	0.47	1.04	0.63	1.48	0.37	1.55	2.79
	1991.1-2012.6 21.5 年間	期間内個数	0	5	24	10	39	7	27	73
		平均値（個／年）	0.00	0.23	1.12	0.47	1.81	0.33	1.26	3.40
		標準偏差（個／年）	0.00	0.53	1.31	0.92	1.88	0.48	2.22	3.65
	2007.1-2012.6 5.5 年間	期間内個数	0	0	5	7	12	3	18	33
		平均値（個／年）	0.00	0.00	0.91	1.27	2.18	0.55	3.27	6.00
		標準偏差（個／年）	0.00	0.00	1.37	1.50	2.57	0.55	3.74	5.91

			F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5 年間の竜巻	疑似 51.5 年間（陸上竜巻）	期間内個数	1	12	58	95	166
		平均値（個／年）	0.02	0.23	1.13	1.84	3.22
		標準偏差（個／年）	0.14	0.47	1.31	1.80	2.28
	疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	25	118	192	**338**
		平均値（個／年）	0.06	0.49	2.29	3.73	6.56
		標準偏差（個／年）	0.24	0.68	1.87	2.55	3.25

(b)　被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	1	11	27	6	45
	平均値（m）	2000	133	100	38	142
	標準偏差（m）	0	77	124	38	303
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	25	118	192	338
	平均値（m）	2000	145	108	38	88
	標準偏差（m）	0	79	129	35	203

(c)　被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5 年間	期間内個数	1	12	29	9	51
	平均値（km）	8	0.91	0.59	0.24	0.75
	標準偏差（km）	0	1.71	0.67	0.33	1.43
疑似 51.5 年間（全竜巻）	期間内個数	3	25	118	192	338
	平均値（km）	8	1.09	0.61	0.25	0.51
	標準偏差（km）	0	1.88	0.69	0.31	1.02

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

第 7－2 表　陸側 0－1 ㎞での統計量

(a)　発生数

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

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

(b)　被害幅

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

(c)　被害長さ

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

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

第 7－3 表　陸側 1－2 ㎞での統計量

(a)　発生数

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

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

(b)　被害幅

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

(c)　被害長さ

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

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

第 7－4 表　陸側 2－3 ㎞での統計量

(a)　発生数

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

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

(b)　被害幅

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

(c)　被害長さ

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

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

第 7－5 表　陸側 3－4 ㎞での統計量

(a)　発生数

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

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

(b)　被害幅

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

(c)　被害長さ

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

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

第 7－6 表　陸側 4－5 ㎞での統計量

(a)　発生数

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

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

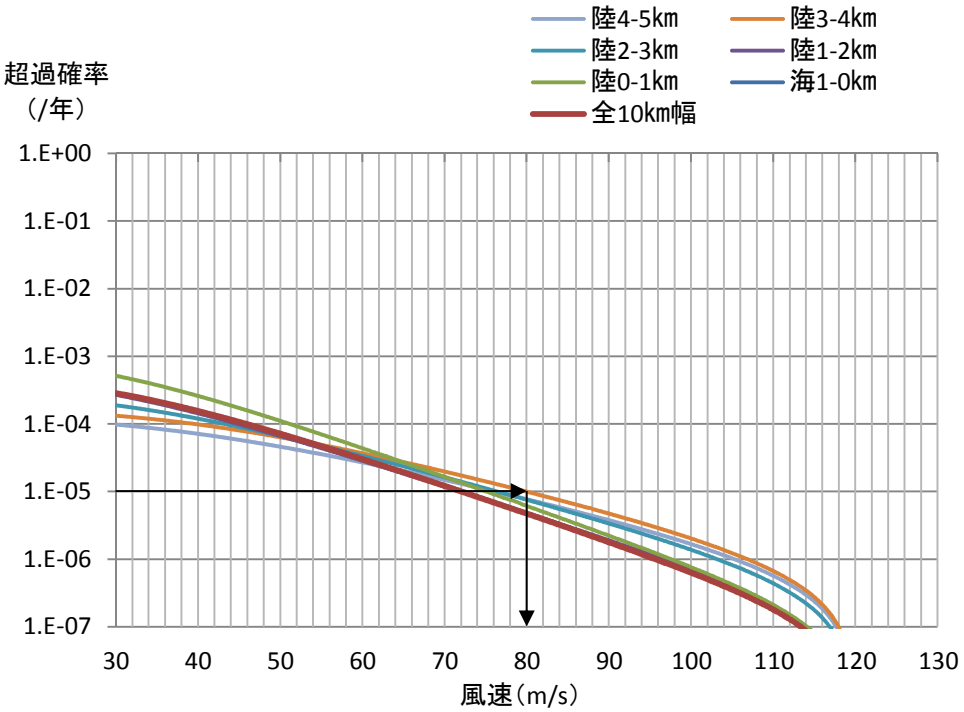
(b)　被害幅

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

(c)　被害長さ

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

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



第 7－2 図　竜巻検討地域を 1 ㎞幅ごとに細分化した場合のハザード曲線

（10 ㎞幅でのハザード曲線もあわせて記載）

第 7－7 表　評価結果のまとめ

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

※　太字下線ありの値は最大値

8.　竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速（V_{B2}）

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

第8－1表　ハザード曲線による最大風速評価結果

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

9.　竜巻ハザードの不確かさの検討

竜巻検討地域は竜巻についての過去観測データが少なく，統計処理として必ずしも十分ではない可能性も考えられることから，竜巻ハザードの不確かさ要素について，以下の検討を実施した。

①　確率分布形選択に伴う不確実さ（認識論的不確実さ）

確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ

…Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討

②　データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ）

データ収集期間が 51.5 年間分であることから，地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確実さ

…Ｆ３竜巻が１つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへ与える影響の検討

③　データの不確実さ

今後データ収集が進み，疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る，データそのものの不確実さ

…疑似データ無しの場合の解析

(1)　Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討

ａ．Jackknife 法について

Jackknife 法は母集団分布を仮定しないノンパラメトリックな方法であり，高い適用性をもつ。また，国土交通省が定める河川行政の技術分野に関する基準である「河川砂防技術基準」においても，確率分布モデルのバイアスを補正するのに用いられている。

Jackknife 法は大きさ n 個の標本のうち i 番目の 1 データのみを欠いたデータ数 n－1 個の標本を全ての i について作成し，これらの標本から求めた統計量をもとに不偏推定値及びそのまわりの推定誤差を算定する手法である。算定式を以下に示す。

$$P^* = P_0 + \underline{(n-1)(P_0 - \overline{P})} \qquad (1)$$

$$\Delta P^* = \sqrt{n-1}\,\Delta P \qquad (2)$$

・P_0 ：n 個の全データを使って求められた再現期待値

（例えば風速平均値の場合 n セットの風速平均の平均）

・P^* ：バイアス補正した推定値（以下「Jackknife 推定値」という。）

・ΔP^* ：P^*の標準偏差の推定値（以下「Jackknife 推定幅」という。）

・$\overline{P}$ ：分布を仮定した場合の推定値（以下「推定値」という。）

・ΔP ：n セットの風速平均データの標準偏差

・(1) 式の下線部：バイアス（母数の真の値と推定値の差）

b．検討結果

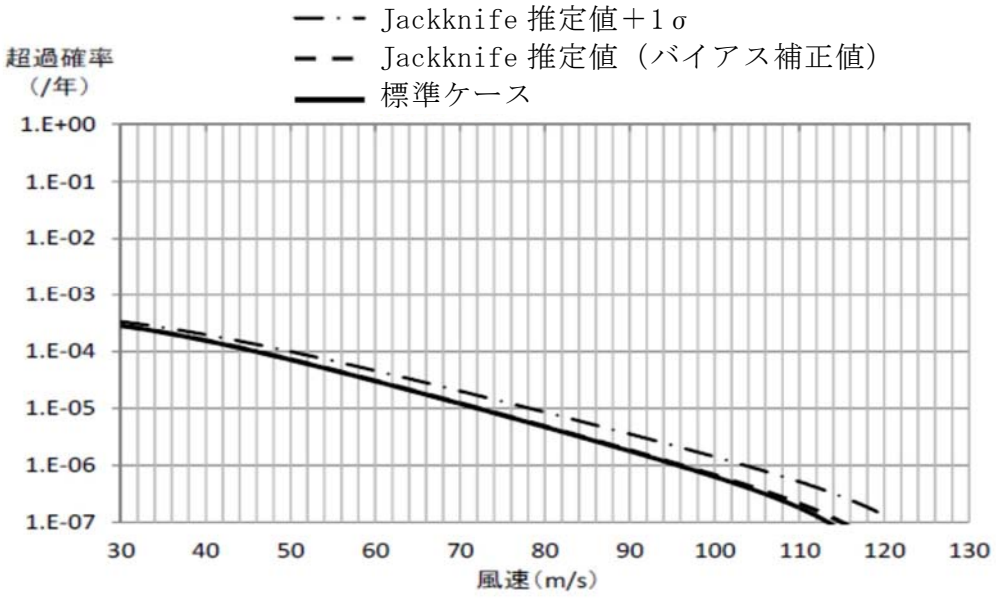
Jackknife 法を適用した特性値及びこれらの平均値と標準偏差及びそれぞれの推定幅を基に全てのパラメータを＋1σとした場合のハザードを計算した。特性値の評価結果を第 9－1 表に，また，ハザードの推定結果を第 9－2 表及び第 9－1 図に示す。

ここで，標準ケースとは，ここまでに評価した 10 ㎞幅のハザード評価結果を示す。

ハザード評価の結果，年超過確率 10^{-5}に相当する風速は，Jackknife 法によるバイアス補正後で 73m／s となり，標準ケースの 73m／s と同じ風速になった。また，サンプリング誤差に伴う不確実さについては（バイアス補正値＋1σ），年超過確率 10^{-5}において 79m／s となった。

第 9－1 表　Jackknife 法による特性値の評価結果

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



第 9－1 図　標準ケースと Jackknife 推定値ケース，

Jackknife 推定値＋1σ ケースのハザード算定結果の比較

第9－2表　ハザードの推定結果の比較表

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

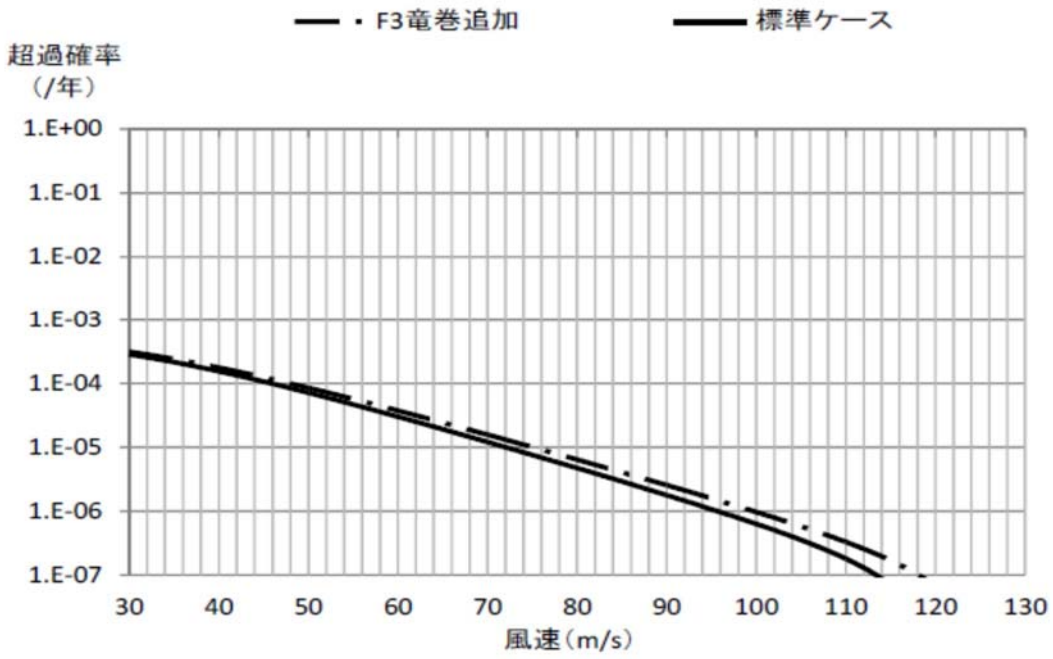
(2)　Ｆ３竜巻の見落としを仮定した場合のハザードに与える影響

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

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

ハザードの推定結果を，第 9－2 図に示す。

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



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

(3)　疑似データ無しの場合の解析

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

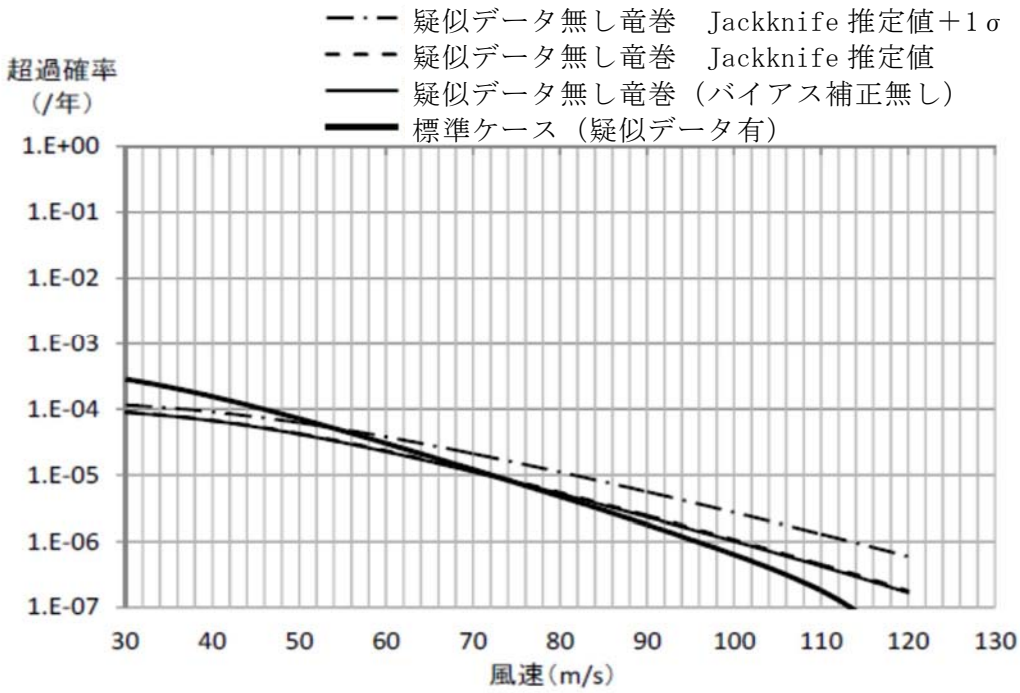
特性値の評価結果を第 9－3 表，ハザードの推定結果を第 9－4 表及び第 9－3 図に示す。疑似データ無し竜巻での年超過確率 10^{-5} に相当する風速は，72m／s となり，標準ケースの 73m／ｓと有意な差は認められない。

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

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

第 9－4 表　ハザードの推定結果の比較表

	不明竜巻含む	疑似データ無し竜巻		
ケース	標準ケース	バイアス補正無し	Jackknife 推定値 P^*（バイアス補正値）	$P^*+\Delta P^*$（バイアス補正値＋σ）
領域面積（km^2）	57000	57000	57000	57000
想定総数（個）	1188	161	161	161
被災確率（個／年／km^2）	4.05E-04	5.48E-05	5.48E-05	5.48E-05
風速平均値（m／s）	32.28	42.94	42.94	44.04
風速標準偏差（m／s）	11.64	13.95	13.97	14.81
被害幅平均（km）	0.094	0.138	0.138	0.159
被害幅標準偏差（km）	0.179	0.266	0.275	0.340
被害長さ平均（km）	1.98	3.22	3.22	3.60
被害長さ標準偏差（km）	3.10	4.80	4.94	6.08
相関係数　V-W	0.381	0.381	0.382	0.448
相関係数　V-L	0.452	0.467	0.468	0.525
相関係数　W-L	0.381	0.381	0.385	0.462
10^{-5}年での最大風速（m／s）	73	72	72	82



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

以上のことから，竜巻ハザードの不確かさについて，確率分布形の選択，データ量が少ないこと及びデータの不確実さによる，ハザードへの影響はほとんどないことから，データの高い安定性を確認した。

＜参考文献＞

(1) 井上博登，福西史郎，鈴木哲夫，(2013):原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説，独立行政法人原子力安全基盤機構，JNES-RE-2013-9009.

(2) Wen.Y.K and Chu. S.L. (1973) : Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Journal of the Structural Division 99, 2409-2421

(3) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado risk evaluation using wind speed profiles, Journal of the Structural. Division, Proceedings of American Society of Civil Engineering, pp.1167-1171

(4) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : “Tornado Design Winds Based on Risk,” Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 101, No. 9, pp.1883-1897

(5) 東京工芸大学（2011）：平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構

(6) 気象庁 竜巻等の突風データベース (http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html)

海上のＦスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について

51.5 年間の疑似データを推定する際に，海上で発生したＦスケール不明竜巻（非上陸竜巻）をＦスケールが判明している陸上竜巻（上陸竜巻含む）のＦスケールごとの発生比率で按分している。そこでは，「沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している」と仮定している。他の合理的な按分方法もないのが実情ではあるが，観測結果を基に，この仮定の妥当性について考察する。

ここでは，陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）と海上で発生しその後上陸した竜巻（以下「上陸竜巻」という。）を区別して考える。

別表 1－1 及び別図 1－1 は，陸上竜巻，上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して，Ｆ0，Ｆ1，Ｆ2 以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合，Ｆスケールごとの割合はそれぞれ 30，45，24％となっており，陸上竜巻との間に大きな差はない（数％以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから，海上でのＦスケール不明竜巻のＦスケールごとの発生割合は，上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。

上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは，海側と陸側のＦスケールごとの発生割合が類似していることを示唆している。したがって，海上でのＦスケール不明竜巻を，陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。

一方，発電所の上陸竜巻の場合は，Ｆスケールごとの割合はそれぞれ，26，49，25％であり，全国と同様，陸上竜巻との間に大きな差は無い。また，陸上竜巻，上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のいずれにおいても，全国沿岸竜巻の発生数の割合と大きな差はない（5%以内）。以上より，全国沿岸と発電所の竜巻検討地域との間には地域特性による影響はないことが確認できた。

したがって，海上のＦスケール不明竜巻を（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は，データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。

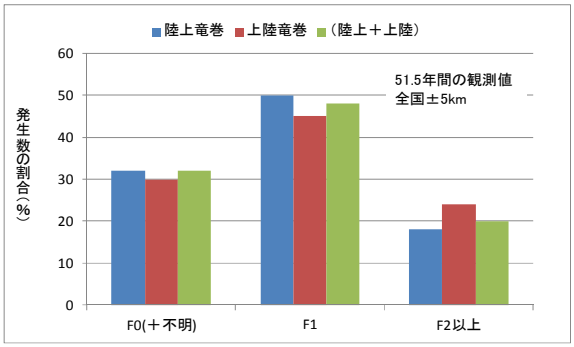
別表 1－1　Ｆスケールごとの竜巻発生数の割合

①　全国沿岸±5km

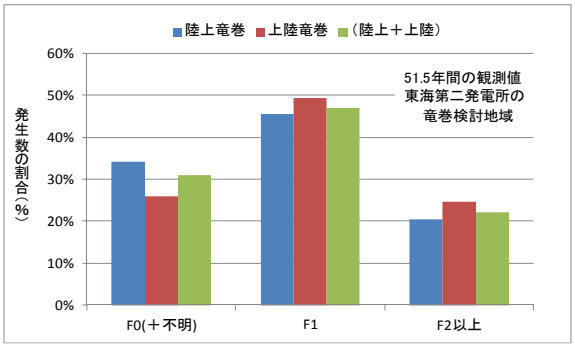
発生数の割合 （%）	Ｆ0（+不明）	Ｆ1	Ｆ2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
（陸上＋上陸）	32	48	20

②　発電所の竜巻検討地域

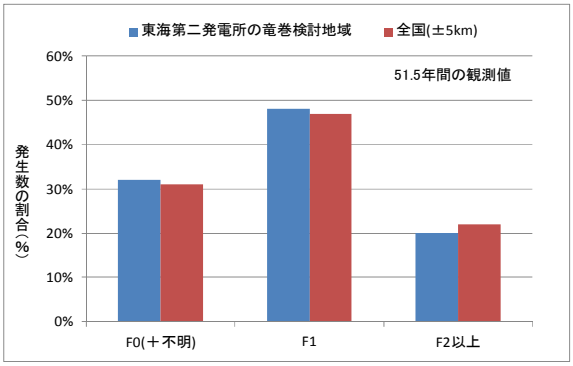
発生数の割合 （%）	Ｆ0（+不明）	Ｆ1	Ｆ2以上
陸上竜巻	34	45	21
上陸竜巻	26	49	25
（陸上＋上陸）	31	47	22



①　全国沿岸±5km



②　発電所の竜巻検討地域



③　（陸上＋上陸）竜巻

別図 1－1　Ｆスケールごとの発生数の割合

竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）が
ハザード結果に及ぼす影響について

1. 竜巻発生確率とハザード曲線

Wen & Chu(1)は，竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がある値以上となる確率の推定法を対案している。それによれば，竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合，竜巻の年発生数の確率密度分布はポアソン分布若しくはポリヤ分布に適合する。

ポアソン分布： $P_T(N) = \dfrac{(\nu T)^N}{N!}\exp(-\nu T)$ (1)

ポリヤ分布： $P_T(N) = \dfrac{(\nu T)^N}{N!}(1+\beta\nu T)^{-(N+1/\beta)}\prod_{k=1}^{N-1}(1+\beta k)$ (2)

ここで，N は竜巻の年発生数，ν は竜巻の年平均発生数，T は年数である。また，T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，Vo 以上の竜巻風速に見舞われる確率 $P_{Vo,T}(D)$ は次式で表される。

ポアソン分布： $P_{Vo,T}(D) = 1-\exp[-\nu R(Vo)T]$ (3)

ポリヤ分布： $P_{Vo,T}(D) = 1-[1+\beta\nu R(Vo)T]^{-1/\beta}$ (4)

ここで，$R(Vo)$ は，評価対象とする構造物が，ある一つの竜巻に遭遇し，竜巻風速が Vo 以上となる確率である。

2.　ポアソン分布とポリヤ分布

ポアソン過程とは，ある現象がランダムに起こる場合に，今までの発生状況がそれ以降の発生に影響を与えず，かつ発生が時間的に一様に推移する現象を表す数学的モデルであり，以下のような仮定に基づいている。

①　事象は時間・空間のいかなる場所でもランダムに発生する。

②　与えられた時間・空間の区間内で，事象の発生は他の任意の区間に対して独立である。

③　微小区間Δtにおける事象発生確率はΔtに比例する。Δtの間に事象が2回以上発生する確率は無視できる。

ポアソン分布に従う現象例としては,交通事故件数,大量生産の不良品数,火災件数，遺伝子の突然変異など数多くある。ポアソン分布の分散は平均値に等しいが，観測される現象の中には，その分散が平均値から外れている現象もある。

ポリヤ分布は，分散と平均値が異なるような現象への適合度が高く，βが大きい場合は分散の大きな分布形を表し，$\beta \to 0$のときにはポアソン分布に近づく。Thom（1963）[(2)]は，米国中部を対象とした竜巻発生数の分析を行い，ポアソン過程が実態と乖離する場合があることを指摘するとともに，ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。また，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」[(3)]成果では，陸上竜巻（含む上陸竜巻）及び海上竜巻のいずれに対しても，ポリヤ分布の適合度が高いことを示した。

ポリヤ分布は，疫病の流行，ある単語を含む文書数を数える文書頻度などの言語処理などに活用されており，ある事象が起こった場合に，それによって周囲にも現象が起こりやすくなる現象（弱い伝播性）が考慮されている。竜巻の場合では，前線や台風により竜巻が発生した場合，同時多発的に複数

の竜巻が発生する（tornado outbreak と呼ばれる）状況が考えられる。（Wen & Chu, 1973）[1]

3. 確率論から見た近似式

1. にて示した(3) (4)式に基づき，ポアソン分布とポリヤ分布に基づく竜巻ハザードを実際に計算すると，両者にほとんど違いが見られない。以下では，その理由について考察する。

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

（被害を受けない確率）＝ $1-R(Vo)$ (5)

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

（N個の竜巻で被害を受けない確率）＝ $[1-R(Vo)]^N$ (6)

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

（N個のいずれかの竜巻で被害を受ける確率）＝ $1-[1-R(Vo)]^N$ (7)

したがって，一年間にN個の竜巻が発生する確率を$P(N)$とすると，これによる被害確率は，

$$\{1-[1-R(Vo)]^N\}P(N) \tag{8}$$

となる。$R(Vo)$が十分小さければ，上式は次のように近似できる。

$$\{1-[1-R(Vo)]^N\}P(N) \approx R(Vo)\times N\times P(N) \tag{9}$$

ここで，次の近似を用いている。

$$[1-R(Vo)]^N \approx 1-N\times R(Vo) \tag{10}$$

竜巻被害の場合，は通常10^{-3}以下であるから，式の近似は非常に良い精度で成り立つ。

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

$$P_{Vo}(D) \approx \sum_{N=I}^{\infty}[R(Vo)\times N \times P(N)] = R(Vo)\sum_{N=1}^{\infty}\{N \times P(N)] = \nu R(Vo) \qquad (11)$$

すなわち，被害確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し，標準偏差はもちろん，確率分布にも無関係であり，ポリヤ分布とポアソン分布によるハザードの結果は一致することが理解できる。

4. ポアソン分布とポリヤ分布のハザードの近似式

3. では，確率論的な観点だけで近似式を誘導したが，ここでは，(3) (4) の近似式を直接求め，上記の結果を検証する。

式 (8) の $P(N)$ としてポアソン分布を仮定し，

$$\begin{aligned}&\{1-[1-R(Vo)]^N\}P(N) = P(N)-[1-R(Vo)]^N P(N)\\ &= P(N)-[1-R(Vo)]^N \frac{\nu^N}{N!}\exp(-\nu) = P(N)-\frac{(\nu-\nu R(Vo))^N}{N!}\exp(-\nu)\end{aligned} \qquad (12)$$

となることを考慮すると，(11) 式の厳密な式は以下のとおりである。

$$\begin{aligned}&P_{Vo}(D) = \sum_{N=1}^{\infty}\{P(N)-\frac{(\nu-\nu R(Vo))^N}{N!}\exp(-\nu)\}\\ &= 1-\exp(\nu-\nu R(Vo))\exp(-\nu)\\ &= 1-\exp(-\nu R(Vo))\end{aligned} \qquad (13)$$

すなわち，ポアソン分布によるハザード評価の (3) 式が導かれる。ここで，次の関係式を用いている。

$$\exp(x) = \sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^n}{n!} \qquad (14)$$

したがって，式 (3)（あるいは式 (13)）は，式 (14) を用いると，

$$P_{Vo}(D) = 1 - \exp(-\nu R(Vo)) = 1 - \left[1 + \frac{(-\nu R(Vo))}{1!} + \frac{(-\nu R(Vo))^2}{2!}\right] + \cdots\} \quad (15)$$

と表され，$R(Vo)$ が小さい場合は，次式で近似できる。

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

ポリヤ分布の場合も同様に，一般の二項定理を用いると，次式で近似できる。

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

$$\approx \nu R(Vo)$$

以上のことから，竜巻のように１つの竜巻に対する被害確率が非常に小さな現象に対しては，年被害確率は竜巻発生数の平均値にのみ依存し，発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることがわかる。

＜参考文献＞

(1) Wen.Y.K and Chu. S.L. (1973)：Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American Society of Civil Engineering, Journal of the Structural Division 99, 2409-2421

(2) Thom H.CS.,1963:Tornado probabilities.Mon.Wea.Rev.,91,730-736

(3) 東京工芸大学（2011）： 平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度） 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構

添付資料 6

地形効果による竜巻の増幅の可能性について

1. 概要

「竜巻影響評価ガイド」では，丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから，原子力発電所が立地する地域において，評価対象施設等の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い，その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速（V_D）を設定することが求められている。

ここでは，既往の研究に基づく地形の竜巻風速への影響に関する知見を取りまとめ，発電所における，地形効果による竜巻増幅の可能性について検討した。

2. 考慮対象となる地形のスケール

竜巻に対する地形の効果は，スーパーセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」などへの影響と，渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」などへの影響とに大別できる。このうち，設計竜巻の最大風速V_Dを設定する際には，タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流及びそれに随伴して生じる強風への地形影響を検討すべきであり，マイクロスケール（数百 m）規模の地形の起伏を考慮すべきと考えられる[(1)(2)]。

3. マイクロスケールの地形起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響

マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響について，定性的な知見を与える研究で用いられる主な手法としては，以下の 3 つが挙げられる。

(1)　被害状況調査[1][3]

実際の竜巻の被害を精査し，被害状況と地形特性との関係を調べることにより，被害が発生しやすい地形特性を分析し，そこから旋回流強度及び風速の強弱を類推する。

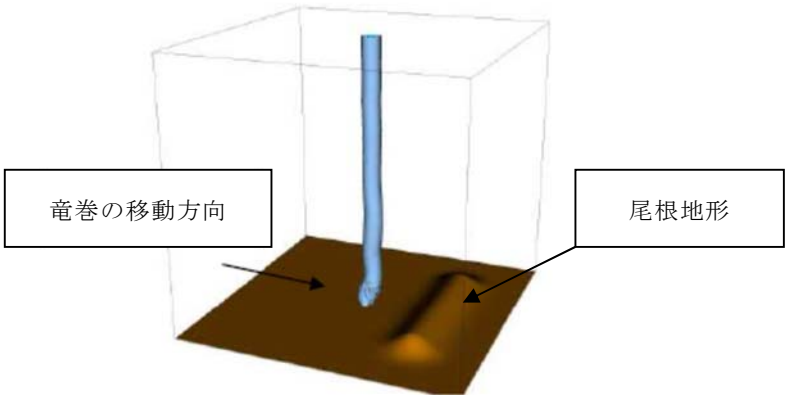
(2)　風洞実験[1]

風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形模型を入れ，その上部に竜巻発生装置を設置し，それを移動させたときの，地表面近傍の圧力及び風速の分布を調べる。

第 3－1 図　風洞実験の様子(Karstens 2012)[1]

(3)　数値シミュレーション[2]

竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析により，旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。



第 3－2 図　数値シミュレーションのモデル例

被害状況調査によれば，竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている[1][3]。

また，実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験及び数値シミュレーションにおいても確認されている。二次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験[1]及び数値シミュレーション[2]の結果を，それぞれ第 3－3 図及び第 3－4 図に示す。

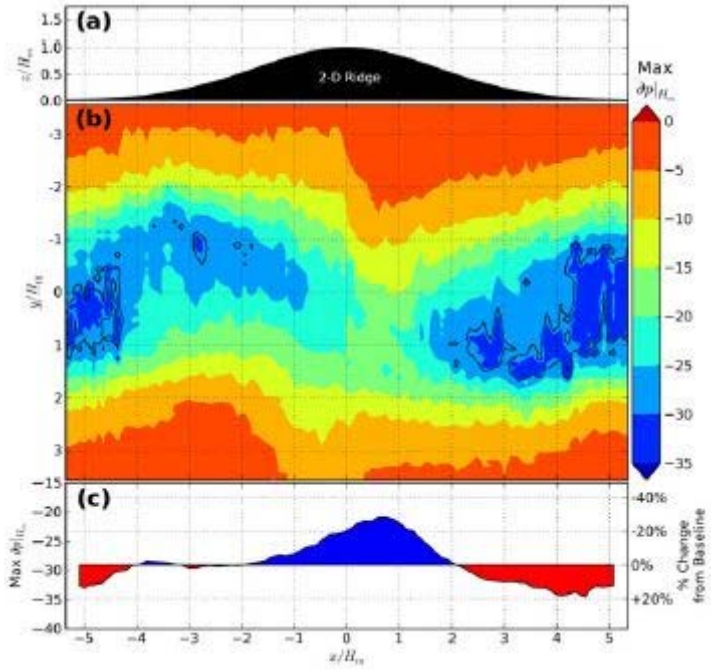
風洞実験の結果である第 3－3 図においては，竜巻を模擬した旋回流が(a)に示す二次元尾根地形※を図の左から右に移動する時に地表面で測定された圧力の最大値を(b)に，圧力勾配（風の駆動力になり，風速に相当する）を(c)に示しており，(c) から以下のことが分かる。

※　過去の竜巻被害を受けた斜面の傾斜等を考慮し，尾根高さ H に対し前後 5H の領域を模擬している。

①　圧力勾配は，斜面において正及び負の値を持つ。(旋回流が強弱する)

②　圧力勾配は，尾根の上流及び下流の平坦部ではほぼフラットとなる。(旋回流の強度が変化しない)

竜巻の移動方向



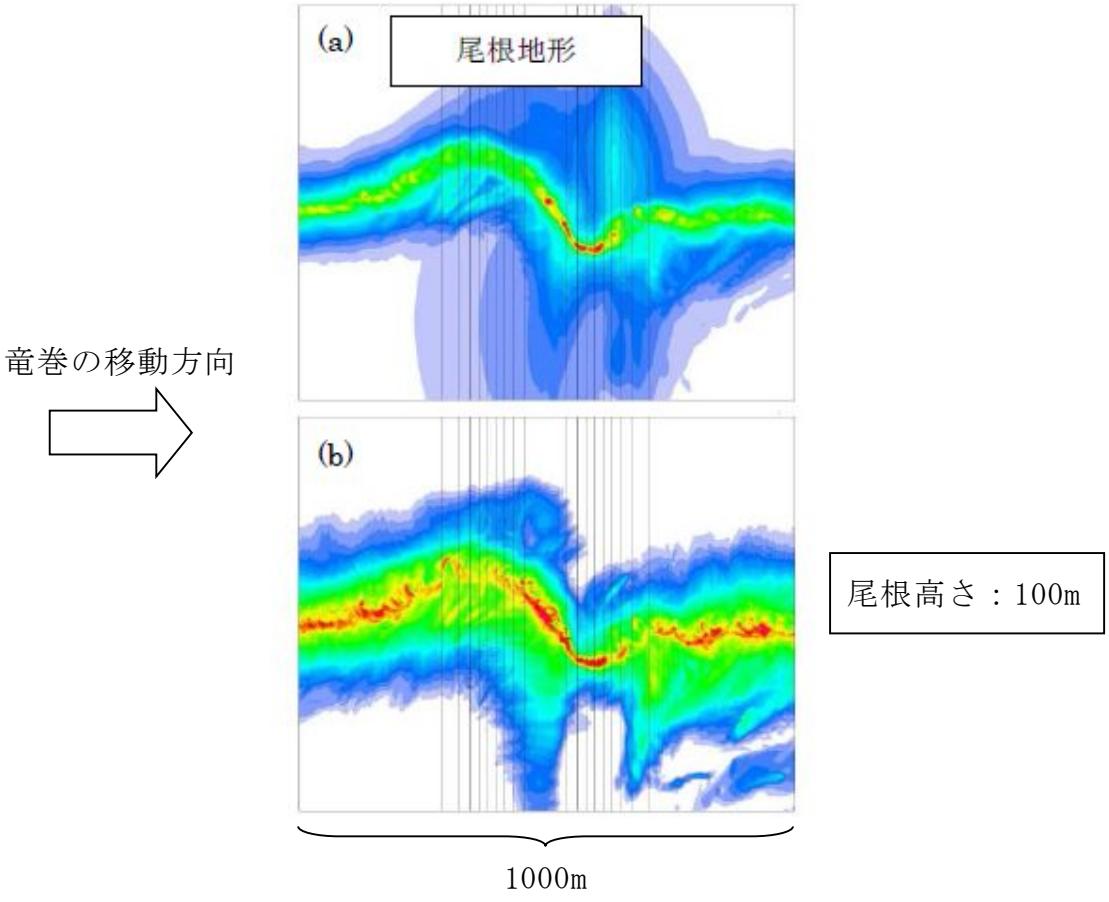
第 3－3 図　尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力(b)及び圧力勾配(c)[1]

数値シミュレーションの結果である第3－4図においては，(a)にピーク圧力を，(b)に風速を示す。図中の黒色実線は等高線を意味し，以下に示すように，風洞実験の結果（第3－3図）と整合している。

・上り斜面では圧力が増加し（緑色→赤色），下り斜面では圧力が減少（赤色→緑色）する。（前述の風洞実験の知見①に対応）

・ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され，平坦部の圧力は上流及び下流側と同レベルとなる。（前述の風洞実験の知見②に対応）

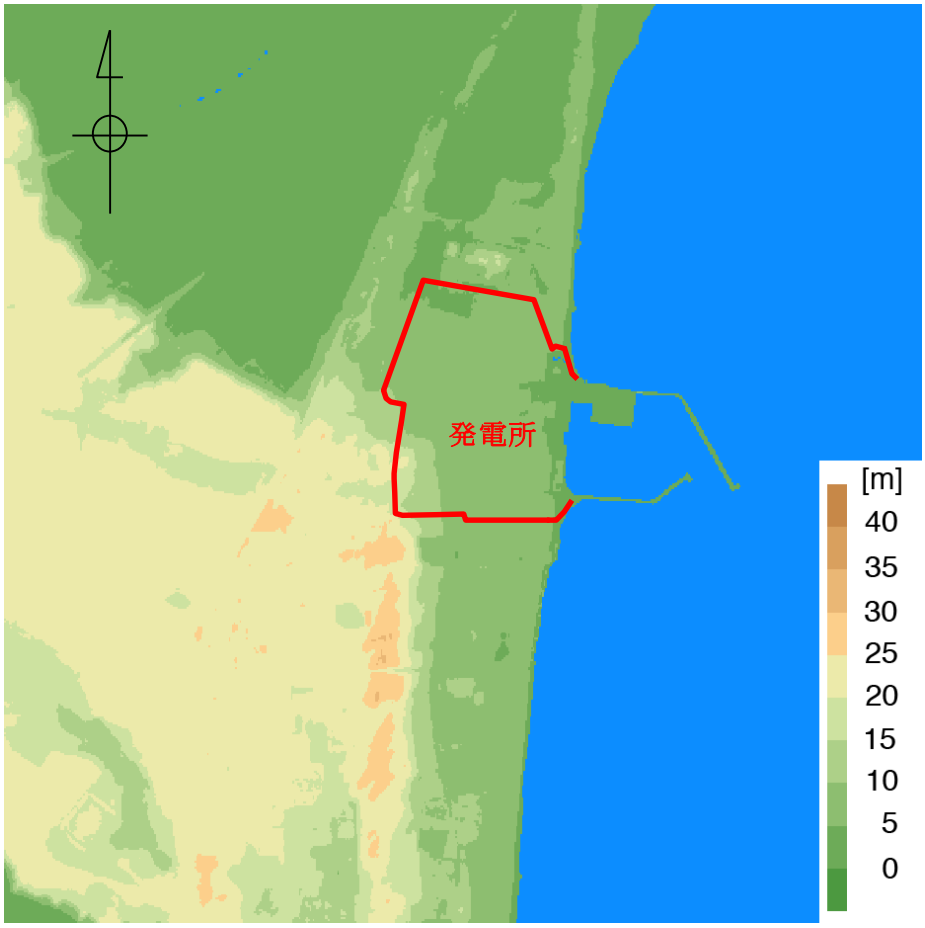
また，これらの研究結果は，地形の起伏の影響範囲が，斜面，尾根，山の頂及び裾部に限定されることを示唆しており，地形の下流側の平坦部における風速や圧力の値は，地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。



第3－4図　尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力(a)及び風速(b)[2]

4.　発電所敷地周辺の地形効果の考慮要否

発電所敷地周辺の地形を第 4－1 図に示す。敷地周辺は最大でも標高 40m 程度のなだらかな地形であり，地形効果の影響の研究において想定するようなマイクロスケール（数百 m）規模の起伏は認められないことから，地形効果による竜巻の増幅の可能性は低く，考慮不要と判断した。



第 4－1 図　発電所を中心とした東西 3km×南北 3km の地形標高

（国土地理院 5m メッシュ標高データに加筆）

＜参考文献＞

(1) Karstens, C.D. Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions, Graduate theses and dissertations of Iowa state univ, paper12778, 2012

(2) Lewellen, D. C., Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, 4B.1., 2012

(3) Forbes, G. S. Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, Proc 19th Conf Severe local storms American Meteorolical Society, pp.269-272, 1998

参考資料：地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈

ここでは，本資料で示した地形の起伏による竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈を示す。なお，ここで示す角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を，被害状況調査（Forbes 1998,Karstens 2012）や風洞実験（Karstens 2012）の結果も支持している。

一般的に，回転する流れでは，「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質（角運動量保存則）がある。角運動量保存則と Holton（1992）を参考に，竜巻旋回流が形成された後における，渦の伸長，収縮に伴う旋回風速の増速，減速機構を以下に導く。

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

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

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

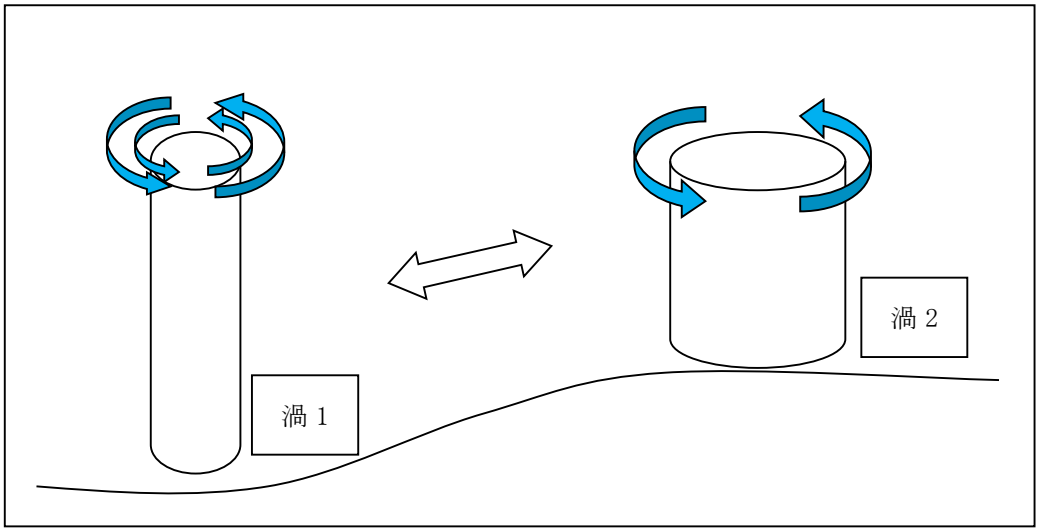
ここで，ω は角速度，r は渦コア（気柱）の半径，h は渦コア（気柱）の高さ，ρ は空気密度であり，添字の 1 と 2 はそれぞれ渦 1 と渦 2 を示す。また，気柱の体積が保存されるので，式③が成立する。

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

この関係を式②に代入すると，式④が得られる。

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

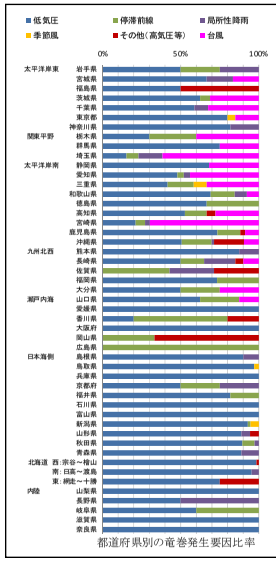
④の関係式は「渦位（ポテンシャル渦度）の保存式」に相当するものであり，角速度は地上高さｈに比例することが分かる。また，③より，渦の半径 ｒはｈ$^{1/2}$に反比例するので，竜巻の最大接線風速（ω×r）はｈ$^{1/2}$に比例する。そのため，竜巻の渦が上り斜面を移動する時，基本的に渦は弱まり，下り斜面を移動する時には強まる。



第１図　竜巻の旋回流の地形影響に関する模式図

添付資料７　竜巻影響評価の概要及び保守性について

第７－１図に竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況を示す。竜巻影響評価については，その不確実性を踏まえて，各ステップに対し保守性を考慮している。



都道府県別の竜巻発生要因比率

【基準竜巻，設計竜巻の設定】

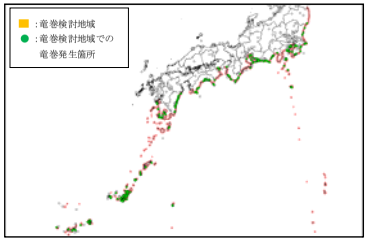
○竜巻検討地域：総観スケール（総観場）での分析（左図）を踏まえ，福島県から沖縄県にかけての太平洋沿岸を竜巻検討地域（下図左）と設定

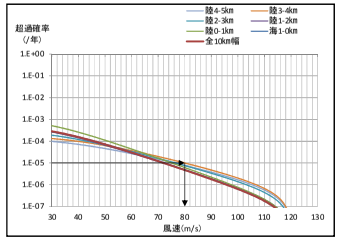
○V_{B1}：竜巻検討地域における過去最大竜巻（Ｆ３）の風速範囲の上限値92m／sと設定。

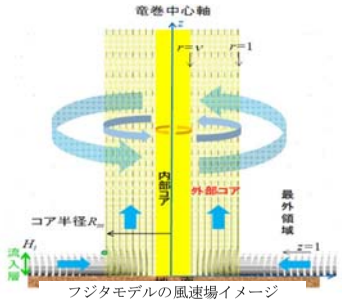
○V_{B2}：竜巻風速のハザード曲線（下図右）より，年超過確率10^{-5}における最大値80m／sと設定

○基準竜巻の最大風速V_B：V_{B1}とV_{B2}のうち大きな風速である，92m／sと設定

○将来的な気候変動については，完全に予測することは難しいため，最新のデータ及び知見をもって気候変動の影響を注視し，竜巻検討地域や基準風速は，必要に応じ見直しを実施していく。







フジタモデルの風速場イメージ

【設計竜巻の設定（最大風速及び特性値），設計荷重の設定】

○設計竜巻の最大風速：地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないが，データ数が十分とは言い切れないことを考慮し，保守的に100m／sと設定

○設計竜巻の特性値：

竜巻の接線風速	「竜巻影響評価ガイド」の式に従い設定
移動速度	
最大気圧低下量	「竜巻影響評価ガイド」の式（ランキン渦モデルに基づく）に従い設定
最大気圧低下率	

○物体の飛散解析手法：飛散解析用の風速場モデルとして，他モデルとの比較や，米国における利用実績を確認し，地面に置かれた物体へ影響を与える風速場をよく表現できているフジタモデルを選定。また，飛散解析における物体の浮上及び飛散モデル，物体の配置等を設定。

○設計荷重：竜巻影響評価ガイドに従い，設計竜巻の風荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物（鋼製材及び砂利）による衝撃荷重を組み合わせて設定。

【施設の構造健全性の確認】

○設計荷重に対して，評価対象施設等の構造健全性が維持されるかを確認

【防護対策】

○設計竜巻の最大風速（100m／s）に対して，飛来物発生防止対策や評価対象施設等の防護を実施

＜基準風速における保守性＞

V_{B2}の設定においては，竜巻検討地域を1km幅に細分化した場合の竜巻風速のハザード曲線も考慮した上で，年超過確率が10^{-5}における風速の最大値を抽出した。

なお，ハザード曲線においては，データ量の少ないことによる不確かさを考慮し，以下の処理及び検証を実施した。

・フジタスケールごとに適切な観測期間のデータを用いて，擬似的な51.5年間のデータを作成
・Ｆスケール不明の海上竜巻は，陸上竜巻のＦスケール別発生比率で按分
・Jackknife法を適用した評価により，データの安定性を確認
・Ｆ３竜巻1つの見落とし（擬似データとしては2個追加）を仮定した感度解析により，データの安定性を確認

＜設計竜巻の最大風速における保守性＞

設計竜巻の最大風速は，竜巻の観測数等のデータが十分とは言い切れず将来的な気候変動に伴う不確実性があることから，基準竜巻の最大風速92m／sを切り上げ100m／sとする。

＜物体の飛散解析手法における保守性＞

①物体に働く揚力は，風を受ける方向等により様々な値を取り得るため，地面での揚力係数と物体の見付面積の積（C_La）の代わりに，空中での直交3方向の流れに対する抗力係数と見付面積の積の平均値（C_DA）を用い，実際より大きな揚力を作用させ，浮上し易くなるよう設定。

②実際には竜巻が遠方から物体に近づき，最大風速より低い風速に曝され飛散することになるが，物体を強制的に高速域に配置するとともに，竜巻に対する物体の場所依存性を考慮し，多点配置（米国R.G. 1.76では1点配置）された物体の飛散速度の中から，最大となる飛散速度を設定。

＜設計荷重に関する保守性＞

①設計飛来物は必ずしも最大速度で評価対象施設等に衝突するとは限らないが，設計飛来物の衝突速度としては，設計竜巻による最大飛散速度（水平方向及び鉛直方向）を設定。

②実際の竜巻は，風速や気圧低下量に高さ依存性があるため，建屋や設備に対し必ずしも最大風速による風圧力や最大気圧低下量による荷重が作用するとは限らないが，設計荷重としては，最大風速による風圧力及び最大気圧低下量による荷重に基づき設定。

第７－１図　竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況

【1. 設計竜巻荷重，設計荷重の設定】（別紙－1参照）

○「竜巻影響評価ガイド」に基づき，設計竜巻荷重は，設計竜巻の風圧力による荷重（W_W），気圧差による荷重（W_P）及び設計飛来物による衝突荷重（W_M）を適切に組み合わせた荷重を設定するとともに，設計竜巻荷重と組み合わせる荷重（竜巻以外の自然現象による荷重等）は，設計竜巻荷重に包絡される若しくは考慮すべき荷重ではないことを確認する。

○W_W，W_P，W_Mは，設計竜巻の最大風速V_D=100m／sとした場合の荷重を設定する。

【設計飛来物の設定】

○発電所の飛来物に係る現地調査を行い，発電所構内の常設物（マンホール蓋等），仮設物（資機材等）及び建築物付属物（屋根等）の中から，それらの飛来物発生防止対策の可否，固定状況，過去の被害事例や評価パラメータ（運動エネルギ及び貫通力）を踏まえ，第1－1図のとおり設計飛来物を設定した。

鋼製材（イメージ）

砂利

第1－1図　発電所の設計飛来物

【2. 竜巻影響評価】

○設計荷重に対し，第2－1表の評価対象施設等の構造安全性が維持され安全機能が維持されていることを確認する。

＜外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価＞

○評価対象施設（屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を除く），屋内の施設で外気と繋がっている施設：第2－1表 □ ）に対する設計飛来物による貫通評価，設計荷重に対する強度評価により，設計竜巻荷重が当該評価対象施設に影響を及ぼす可能性を確認し，当該評価対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には，当該施設の補強，防護対策を実施する。

○評価対象施設（外部事象防護対象施設を内包する区画：第2－1表 □ ）の構造骨組評価，設計飛来物等の衝突に関する貫通及び裏面剥離評価，局部評価及び開口部建具（扉等）に関する評価により，設計竜巻荷重が内包する外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性を確認し，外部事象防護対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には，当該評価対象施設の補強，防護対策を実施する。

○評価対象施設（外殻となる施設による防護機能が期待できない施設：第2－1表 □ ）に対する設計飛来物による貫通評価，設計荷重に対する強度評価により，設計竜巻荷重が当該評価対象施設に影響を及ぼす可能性を確認し，当該評価対象施設の安全機能維持に影響を及ぼす場合には，外殻となる施設若しくは当該評価対象施設の補強，防護対策，運用（竜巻襲来予想時の作業中止，退避）による対策を実施する。

＜外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価＞

○評価対象施設（倒壊により外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある施設：第2－1表 □ ）に対する構造骨組評価等により，外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性を確認し，外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある場合には，当該評価対象施設の補強を実施する。

○評価対象施設（屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属施設：第2－1表 □ ）に対する設計飛来物による貫通評価，設計荷重に対する強度評価により，設計竜巻荷重が当該評価対象施設の属する外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性を確認し，外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある場合には，当該評価対象施設の補強，防護対策を実施する。

第2－1表　評価対象施設等の一覧表

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設	屋外施設	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン ・中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。） ・残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）　・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む。） ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ ・非常用ガス処理系排気筒　・主排気筒 ・排気筒モニタ　・原子炉建屋　・放水路ゲート
	外部事象防護対象施設を内包する区画	・タービン建屋　・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・軽油貯蔵タンクタンク室　・排気筒モニタ建屋
	屋内の施設で外気と繋がっている施設	・非常用換気空調設備 ・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）
	外殻となる施設による防護機能が期待できない施設	・原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備 ・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部） ・非常用電源盤（電気室）　・原子炉建屋原子炉棟6階設置設備 ・燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン　・非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備 ・使用済燃料乾式貯蔵容器　・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン
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	倒壊により，外部事象防護対象施設を機能喪失させる可能性がある施設	・サービス建屋　・鋼製防護壁 ・海水ポンプエリア防護壁
	屋外に設置されている外部事象防護対象施設の付属施設のうち，損傷により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわせる可能性がある施設	・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管 ・残留熱除去系海水系配管（放出側） ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）

【3. 飛来物発生防止対策】

○設計飛来物に設定した鋼製材より運動エネルギ又は貫通力が上回る飛来物源については，評価対象施設等に衝突しないよう，別紙－2に基づき，飛来物発生防止対策を実施する。

＜対策方針＞

・物品管理エリア内に設置した資機材等の飛来物発生防止対策としては，移設，撤去又は浮き上がりや横滑りを考慮した固縛等を実施する。

・車両管理エリア内の車両は，車両退避エリアへの退避を原則とし，浮き上がり，横滑りを考慮した固縛等も含めて飛来物発生防止対策を実施する。

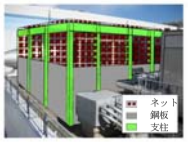
【4. 飛来物防護対策】

○設計飛来物の衝突によって損傷する可能性がある評価対象施設等について，下記のとおりの飛来物防護対策を実施する。

＜防護ネット等による飛来物防護対策＞

・設計飛来物に対する防護として，外部事象防護対象施設等に対し防護ネット等を設置する。

・防護ネットは設計飛来物の運動エネルギを吸収可能な設計とするとともに小径の飛来物（設計飛来物である砂利を除く）の通り抜けを防止する設計とする。



第4－1図　MCR換気系冷凍機防護壁(案)

第4－2図　海水ポンプ室防護壁(案)

＜施設の補強による防護対策＞

・設計竜巻荷重に対する構造健全性の維持，設計飛来物に対する限界貫通厚さ以上の部材を確保により，扉の取替及び壁面の増厚を行い，外殻としての防護機能を確保する。

第4－3図　施設の補強箇所（例）

第 8－1 図　竜巻影響評価及び竜巻防護対策（飛来物発生防止対策，防護対策）の概要

評価対象施設等の設計荷重について

1. 概要

設計竜巻に対し，評価対象施設等の構造健全性の安全機能が維持されることの確認を行った結果を整理する。

2. 評価結果

2.1 評価荷重の設定

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重について別表1－2－1に，外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重について別表1－2－2に整理する。

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

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

注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない　，　その他の荷重は評価で使用するものを記載する。

※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。　○：実施ケース　－：該当しないケース

※3　損傷時には補修する方針とするため，外殻防護機能に関する詳細評価は実施しない。

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

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

注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない

※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。　○：実施ケース　－：該当しないケース

※3　W_Mに対して，防護対策を実施するため，衝撃荷重は作用しない。

※4　損傷時には補修する方針とするため，外殻防護機能に関する詳細評価は実施しない。

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

注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない

※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。　○：実施ケース　－：該当しないケース

※3　W_Mに対して，防護対策を実施するため，衝撃荷重は作用しない。

※4　W_Wに対して，竜巻襲来が予想される場合，燃料取扱作業を中止するため，燃料を取り扱う機能に対して評価対象とならない。

※5　ブローアウトパネルの閉止により，設計竜巻荷重は作用しない。

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

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

注記）※1　表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。　○：考慮する　×：考慮しない

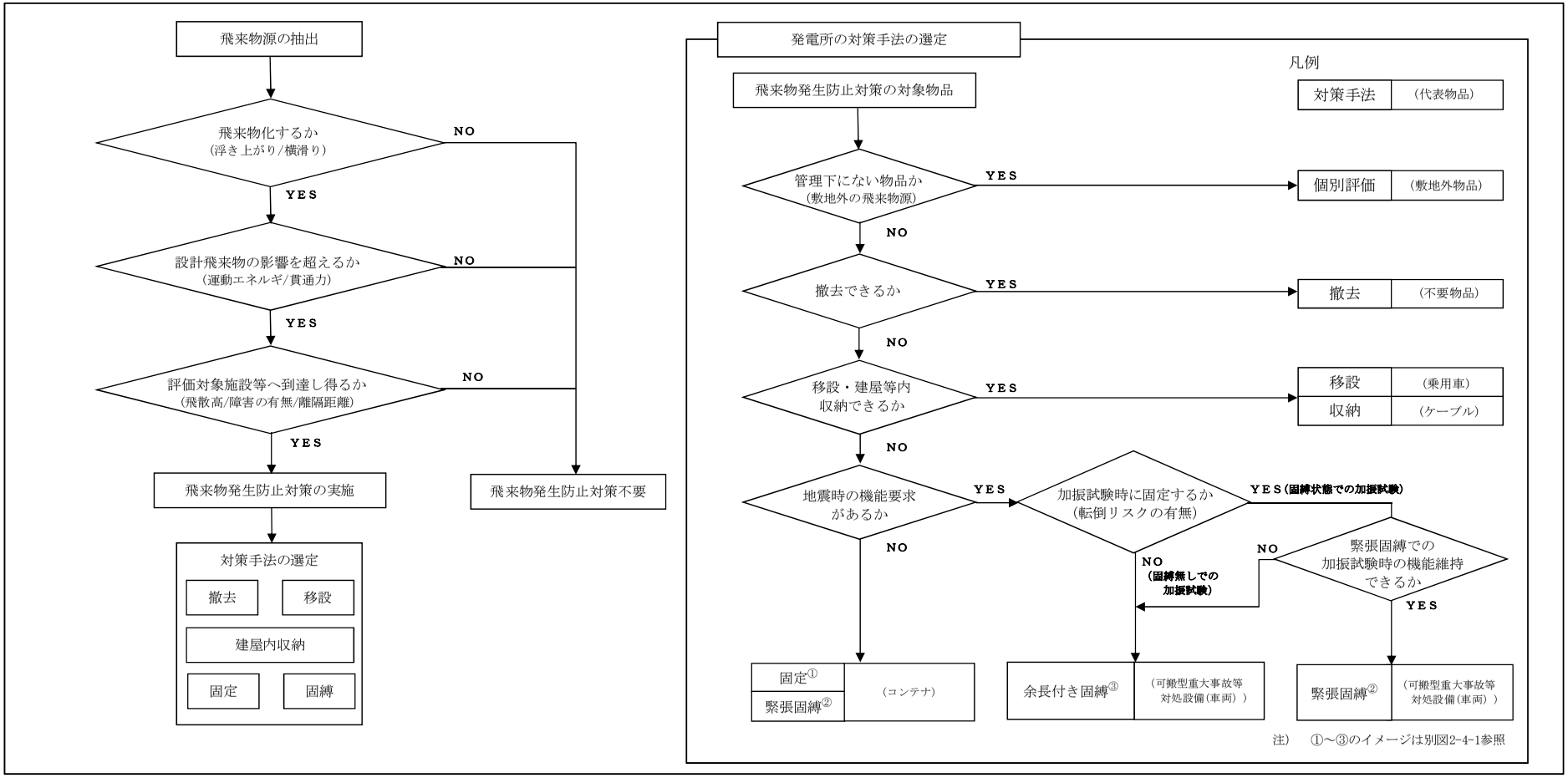
※2　複合荷重の構成について，○のついた構成で評価を実施。　○：実施ケース　－：該当しないケース

※3　W_Mに対して，損傷時には補修する方針とするため，衝撃荷重は考慮しない。

竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について

【1. 飛来物発生防止対策のフロー】

・現地調査による飛来物源に対して，飛来物発生防止対策の選定フローを別図2－1－1に示す。



別図2－1－1　発電所の飛来物発生防止対策の選定フロー

【2. 飛来物発生防止対策の基本方針】

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

飛来物発生防止対策の実施条件：①～③を全て満たす飛来物源

① 飛散（浮き上がり，横滑り）する。

② 設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギ及び貫通力を上回る。

③ 評価対象施設等に到達する。

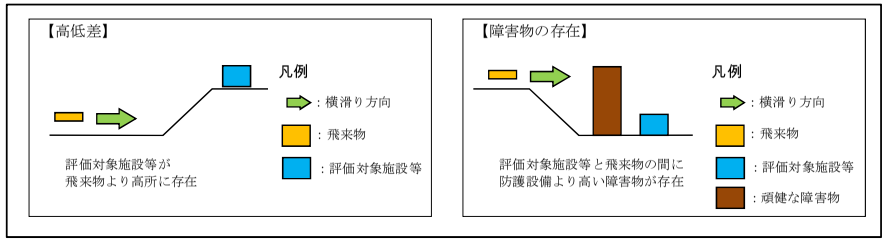
【3. 評価対象施設等への到達，離隔】

・評価対象施設等に到達しないケースを下記に示す。

① 評価対象施設等に到達できない距離を確保した配置とする。（離隔距離の確保）
（別図2－3－1に車両の離隔（退避等）が必要な範囲を示し，当該範囲内には，作業に関係のない車両は，原則立入をさせない運用を行う。）

② 評価対象施設等に対して高低差や到達できない障害物が配置されている。
（別図2－3－2に，横滑りする飛来物に対して未到達となる例を示す。）

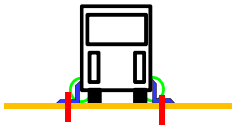
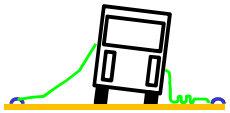
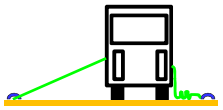
別図2－3－1　車両管理エリア



別図2－3－2　横滑りに対して未到達となる例

【4. 飛来物発生防止対策（固定，固縛）の手法の例】

・飛来物発生防止対策のうち，固定及び固縛の手法の例を別図2－4－1に示す。

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

別図2－4－1　飛来物発生防止対策（固定・固縛）の例

飛来物化する可能性がある物品の管理について

1. 概要

発電所内の飛来物となる可能性があるものについては，設計飛来物である鋼製材が設計竜巻により飛来した場合の運動エネルギ及び貫通力を基準として，鋼製材より運動エネルギ又は貫通力が大きい場合は対策を実施する。

2. 管理方針

2.1 用語の定義

竜巻襲来に対する準備体制の状態について，以下のとおり定義する。

（準備体制については，別紙8-4にまとめる）

通　　常　　時：竜巻準備体制が発令されていない時。

準備体制確認時：竜巻準備体制のアクションレベル1（準備体制の確認）が発令されている時。

準備作業開始時：竜巻準備体制のアクションレベル2（準備作業開始）が発令されている時。

2.2 車両の管理

2.2.1 車両の管理に際し考慮する事項

車両については，速やかに固縛することが難しい場合も想定されるため，以下の管理を行う。

・発電所構内での作業に関係のない車両については，原則として入構を禁止する。

・発電所へ入構する車両については，以下のとおり，車両の飛散の可能性，車両が置かれている場所，車両の状態及び竜巻準備体制の発令の有無に応じて対策を行う。

(1)　車両の飛散の可能性

発電所に入構する予定のある車両については，原則として事前に車両サイズ，重量から空力パラメータを算出し飛散評価を行い，飛散の可能性の有無を評価し通知する。事前の確認がなされていない場合は，確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。

(2)　車両が置かれている場所

車両が飛散することによって評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）に衝突する可能性があるエリアを「車両管理エリア」と定め，車両が車両管理エリア内にある場合には，「2.2.2　管理方針」に示す管理を行う。

＜車両管理エリアの考え方（具体的なエリアは別図3－3参照）＞

・車両管理エリアの範囲設定には，各々の評価対象施設及び防護対策設備に対する必要離隔距離を定める必要があるが，評価対象施設及び防護対策設備と車両の位置の高さの関係によって車両の到達距離は異なることから，個別設定の煩雑さを避けるため，別図3－1に示す高さの関係を踏まえ以下のように設定する。

ａ．緊急時対策所建屋からの必要離隔距離

緊急時対策所建屋は，車両の存在が想定される周辺の地面に比べ高い位置に設置されるため，保守性も考慮し，同じ高さからの車両の最大飛散距離を丸めた値（190m）を必要離隔距離とする。

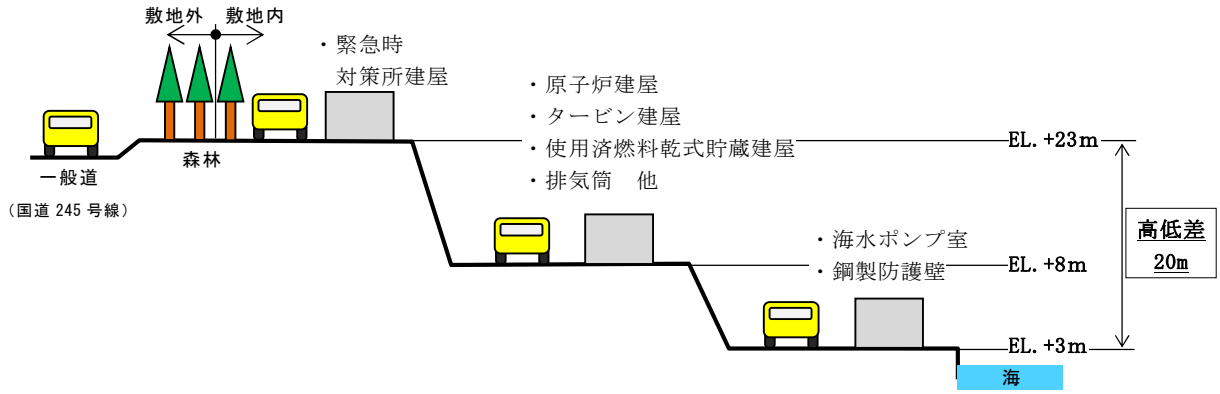
ｂ．その他の評価対象施設及び防護対策設備からの必要離隔距離

各施設と車両の存在が想定される周辺の地面との高低差は一様ではな

いことから，下図に示す位置関係を包絡する，高さ20mからの車両の最大飛散距離を丸めた値（230m）を必要離隔距離とする。

・上記の離隔距離が当社敷地外に掛かる場合において，当該箇所が森林である場合は，車両は存在しないと考えられるため管理エリアから除外する。

・飛散しない車両であっても横滑りの検討が必要であるが，このときの移動距離は，飛散する車両の飛距離に包絡されると考えられ，車両が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切に設定した上で，設計飛来物の影響に包絡されることの確認が必要となるため，保守的に上記車両管理エリアを横滑り対策の検討対象とする。



別図3－1　評価対象施設及び防護対策設備と車両の存在場所との高さ関係

(3)　車両の状態

以下のとおり定義する。

停車：運転手が車両に乗っている（走行中を含む。）又は緊急時に車両に即座に駆けつけることができる状態。

駐車：停車時以外の状態。

(4)　竜巻襲来に対する体制の状態

「2.1　用語の定義」のとおり。

2.2.2　管理方針

上記の考慮事項に基づき，発電所への入構車両の管理方針を以下のとおり定める。

また,管理方針のまとめを別表3－1,イメージを別図3－2にそれぞれ示す。

(1)　飛散しない車両の場合

ａ．飛散も横滑りもしない車両

飛散も横滑りもしない車両は，車両管理エリアでの駐車時も停車時も対策不要とする。

ｂ．飛散しないが横滑りする車両

横滑りによる悪影響を考慮し，以下のとおりとする。

・駐車状態の車両は，通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても固縛する。ただし，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないとされた場所（下記の①）に駐車する車両の固縛は不要とする。

＜横滑りへの対策が不要となる場所＞

①車両管理エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部

ただし，準備体制確認時以前に，作業等で既に入域している車両を対象とする。

・停車状態の車両は，通常時及び準備体制確認時では対策不要だが，準備作業開始時には固縛する,若しくは車両退避エリアに退避する。ただし，駐車時と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。

・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，車両管理エリア内の

車両については，準備体制確認時の段階で，運転者が近くに待機する。

(2) 飛散する車両の場合

・駐車状態の車両については，固縛する。

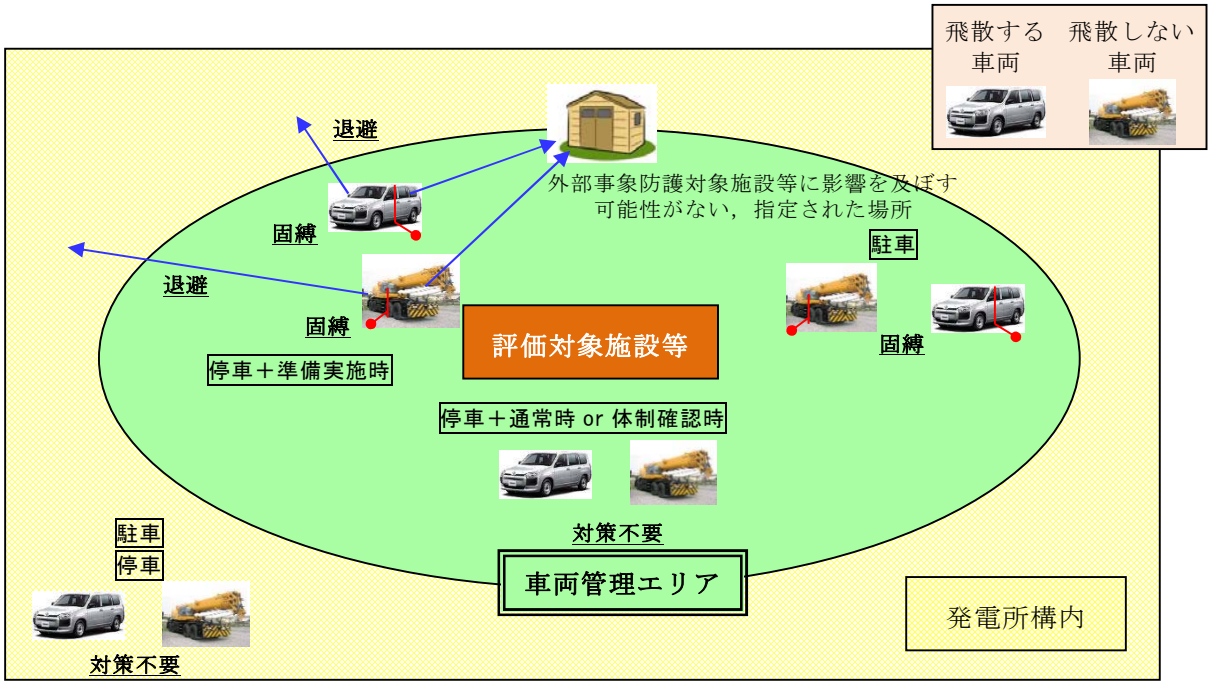
・停車状態の車両については，通常時及び準備体制確認時では対策不要だが準備作業開始時には固縛する，若しくは車両退避エリアに退避する。ただし，飛散しない車両と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。

・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため，車両管理エリア内の車両については，準備体制確認時の段階で，運転者が近くに待機する。

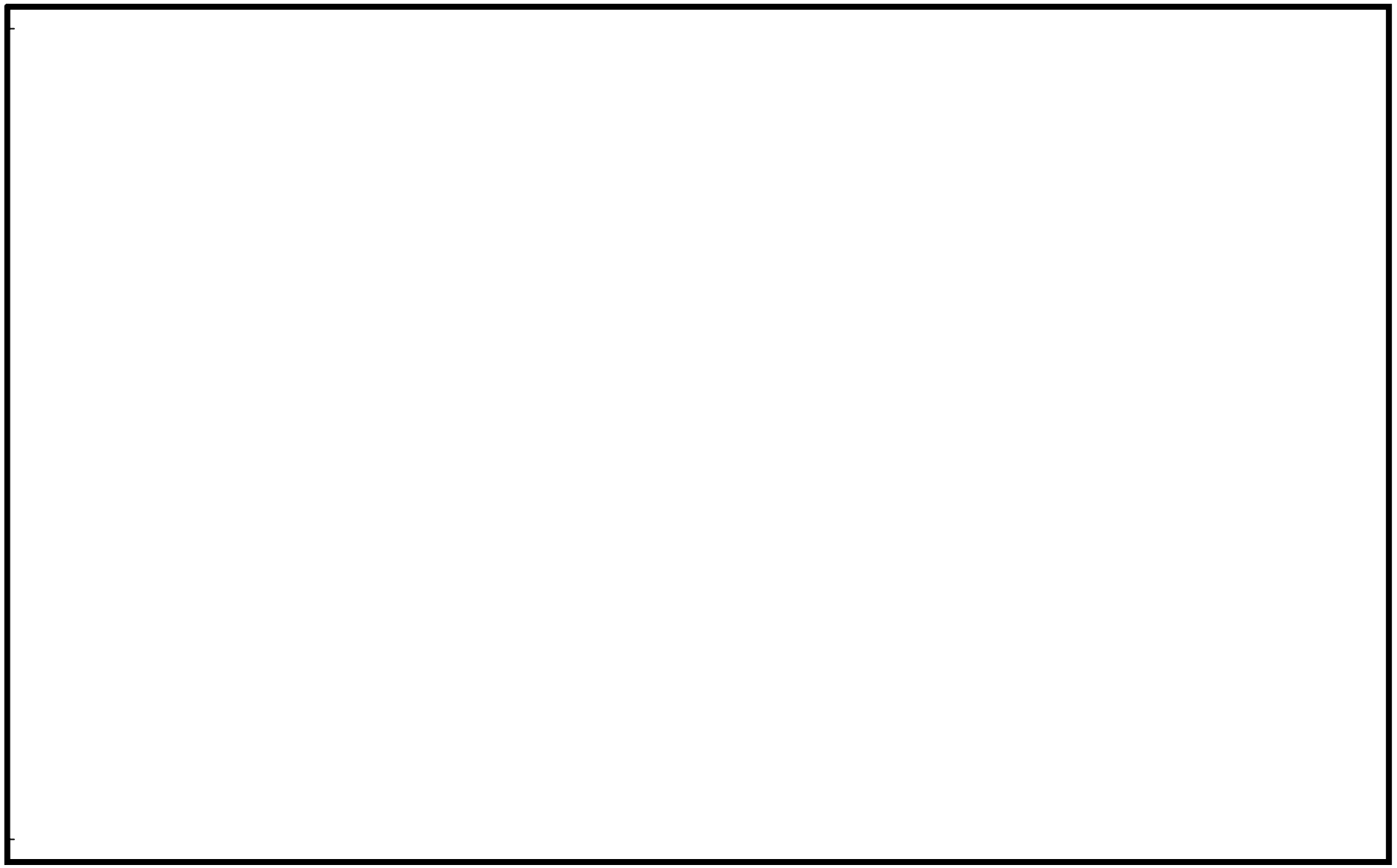
別表3－1　発電所への入構車両の管理方針

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

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



別図3－2　発電所への入構車両の管理イメージ



別図3－3　車両管理エリア及び車両退避エリア

2.2.3　車両の退避に要する時間

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

今後，関連設備の整備完了後に全体の成立性を確認する。

別表3－2　最長ルートの退避に要する所要時間（　　：実測値を基に設定）

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

2.3　車両以外の物品の管理

発電所内に持ち込まれる車両以外の物品は，以下のとおり管理する。

2.3.1　管理に際し考慮する事項

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

(1)　物品の飛散の可能性

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

(2)　物品が置かれている場所

物品が飛散することによって評価対象施設及び防護対策設備に衝突する可能性があるエリアを「物品管理エリア」と定め，物品が物品管理エリア内にある場合には，「2.3.2　管理方針」に示す管理を行う。

＜物品管理エリアの考え方＞

物品管理エリアの範囲は，以下の方針に基づき設定することとする。

・地表の物品については，車両と同様に設定する。

・車両以外の物品では，建屋の屋上等に置かれる場合も考えられるため，これらの高所においては，種々の飛来物源がその場所に相当する初期高さを有するとして飛散評価を行い，設計飛来物の影響を超え，かつ評価対象施設及び防護対策設備へ到達し得る物品の有無を確認する。物品の到達が想定される場合は，高所であっても物品管理エリアと位置づけ，物品の管理を行う。

・飛散しない物品であっても横滑りの検討が必要であるが，このときの移

動距離は，飛散する物品の飛距離に包絡されると考えられ，物品が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切に設定した上で，設計飛来物の影響に包絡されることの確認が必要となるため，保守的に上記物品管理エリアを横滑り対策の検討対象とする。

(3)　竜巻襲来に対する準備体制の状態

「2.1　用語の定義」のとおり。

2.3.2　管理方針

上記の条件に基づき，車両以外の物品の管理方針を以下のとおり定める。また，管理方針のまとめを別表3－2に示す。

(1)　飛散しない物品の場合

ａ．飛散も横滑りもしない物品

飛散も横滑りもしない物品は，物品管理エリアでの対策不要とする。

ｂ．飛散しないが横滑りする物品

横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。

・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なよう，作業者が物品から離れないようにする。

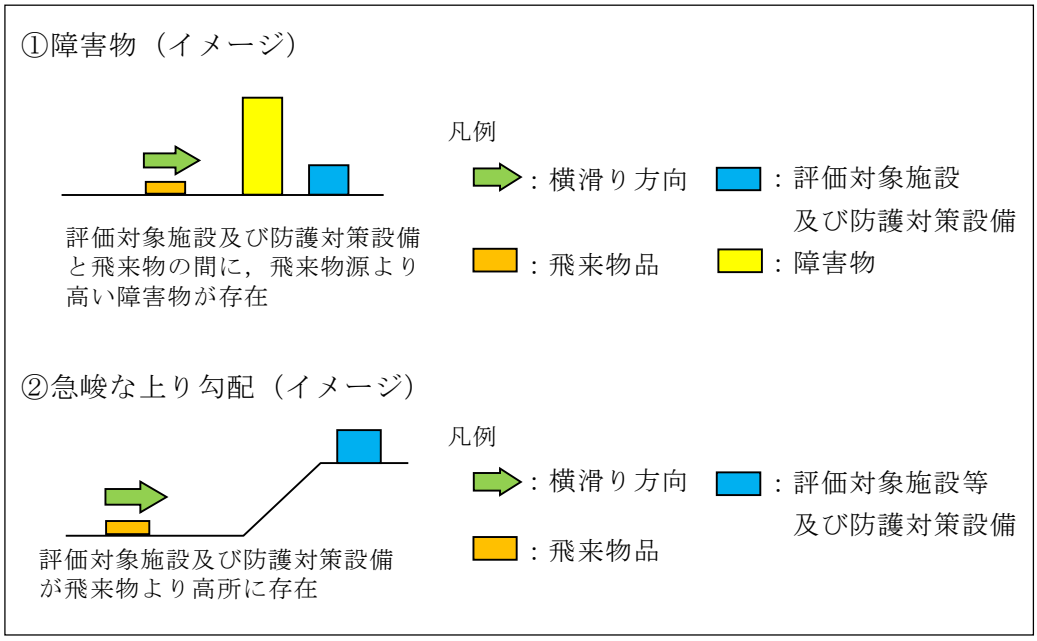
・評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所（下記の①），評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所（下記の②）に置かれている物品については，固定又は固縛は不要とする。

＜横滑りへの対策が不要となる場所＞

① 評価対象施設及び防護対策設備との間に，物品に対し一定の高さを有する障害物（地形，建屋等）が存在する場所又は，物品が評価対象施設及び防護対策設備よりも低所にあり，横滑りにより上ることのできない急峻な上り勾配が認められる場所（別図3－4参照）

② 物品車両管理エリア内で，竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部

ただし，準備体制確認時以前に，作業等で既に搬入している物品を対象とする。



別図3－4　横滑り対策不要の場所のイメージ図

(2)　飛散する物品の場合

・通常時，準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが，作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は，準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なように，作業者が物品から離れないようにする。

ただし，飛散しない物品と同様に，評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より搬入している場合は固縛又は固定は不要とする。

別表3－3　車両以外の物品の管理方針

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

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

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

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

竜巻準備体制の発令の判断基準について

1. 基本方針

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

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

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

2. アクションレベルの定義

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

別表 4－1　竜巻準備体制の発令の判断基準

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

3.　各アクションレベルにおける判断基準と対応

各アクションレベルの判断基準と対応の内容について，以下に示す。

(1)　レベル 1：準備体制確認

＜判断基準＞

以下の 2 つの状況の「or」条件とする。（これら情報の入手は，気象協会等の情報提供サービスを利用する。）

①　雷注意報（竜巻又は突風）の発報

②　竜巻注意情報の発報

＜対応＞

・判断基準情報発出の所内周知（ページング）

・竜巻発生確度ナウキャスト（以下「竜巻ＮＣ」という。）及び雷ナウキャスト（以下「雷ＮＣ」という。）の監視開始

（別図 4－1，別図 4－2 参照）

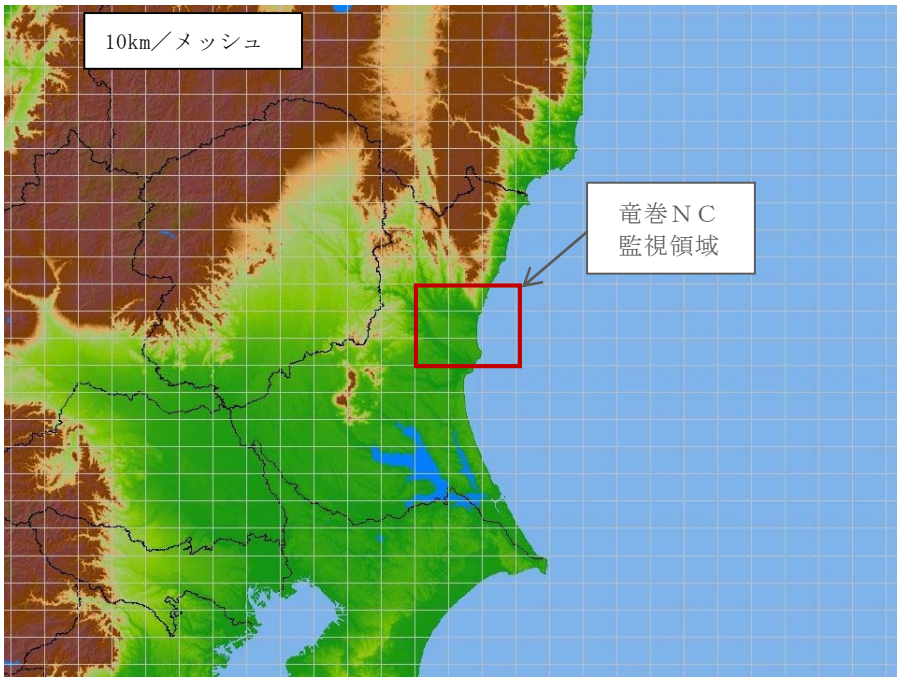
・準備作業（固縛，退避等）の対応体制確認

・屋外作業の実施状況確認

・外殻防護の障壁となる扉等の開閉状況確認

竜巻ＮＣの監視領域

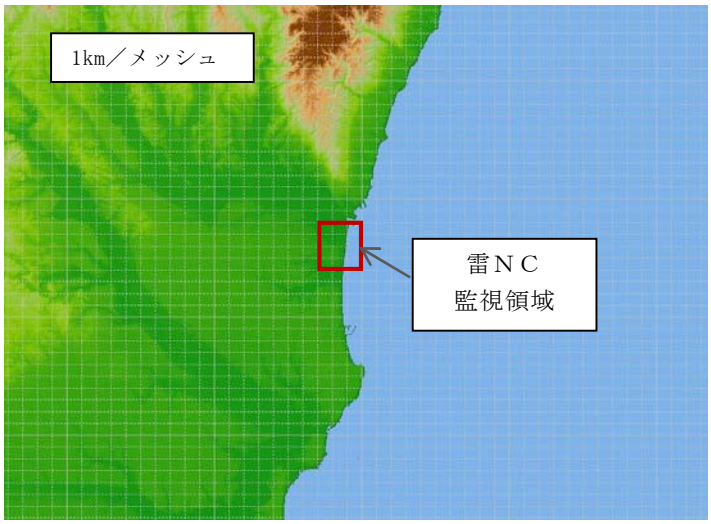
「発電所を含むメッシュ＋周囲１メッシュ」の計９メッシュを，竜巻ＮＣの監視領域とする（別図 4-1 参照）。



別図 4－1　竜巻ＮＣの監視領域

雷ＮＣの監視領域

「発電所を含む２メッシュ＋周囲１メッシュ」の計 12 メッシュを，雷ＮＣの監視領域とする（別図 4-2 参照）。



別図 4－2　雷ＮＣの監視領域

(2)　レベル 2：準備作業開始

＜判断基準＞

以下の 2 つの情報の「and」条件とする。

①　竜巻ＮＣについて，発電所エリアに「発生確度 2」が認められる。

②　雷ＮＣについて，発電所エリアに「活動度 2 以上」が認められる。

＜対応＞

・準備作業開始の所内指示（ページング）

・津波監視カメラ，目視等による上空の状況監視

（補助的に，ＮＣの監視も継続）

・車両管理エリア内の車両の固縛若しくはエリア外への退避

・固縛解除中物品の再固縛

・外殻防護障壁となる扉等の閉止

(3)　レベル 3：人員の避難

＜判断基準＞

以下の①及び②の情報の「and」条件若しくは③の成立とする。

①　竜巻ＮＣについて，発電所エリアに「発生確度 2」が認められる。

②　雷ＮＣについて，発電所エリアに「活動度 3 以上」が認められる。

③　上空の状況監視において，竜巻の兆候※が認められる

※　以下の様な状況

・「空が急に暗くなる，激しい雨やひょうが降る，雷が鳴る」（＝発達した積乱雲が近づいている兆候）

・「竜巻の漏斗雲や突風により舞い上がる飛散物が見える」

＜対応＞

・人員の退避の所内指示（ページング）

・発電所内人員の屋内への避難

（気象庁「竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について」抜粋）

4.　各アクションレベルの判断基準に用いる気象情報の妥当性

(1)　竜巻準備体制の確認の判断

気象情報：以下の or 条件

①雷注意報（竜巻又は突風）

②竜巻注意情報

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

別表 4－2　準備体制確認の判断基準による竜巻の捕捉率

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

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

※1　全国の気象レーダーのドップラーレーダー化完了日。観測精度の向上が期待できる期間として設定。

※2　竜巻注意情報の単位領域の細分化開始

捕捉率はほぼ 100%であり，また，近年のデータからは猶予時間 30 分以上での捕捉率についても改善傾向が認められる。したがって,「雷注意報(竜巻又は突風)」又は「竜巻注意情報」を判断基準とすることにより，竜巻準備体制を整えるための猶予時間は確保できると考える。

(2)　準備作業開始の判断

気象情報：以下の and 条件

①竜巻ＮＣ「発生確度２」

②雷ＮＣ「活動度２以上」

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

別表４－３　竜巻ＮＣによるＦ３竜巻の予測実績

発生時間	発生箇所	竜巻発生確度 及び発令時間
2012.5.6 12：35～12：53	茨城県常総市	確度２（12：20）

また，雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※1ことから，雷ＮＣも考慮に加えることとした。

強い竜巻は，スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻ＮＣの発生確度２は，メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧）の検出が条件となっているが，これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性があると判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって，発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。

積乱雲は成長期，成熟期及び衰退期の３段階のライフサイクルで形成，消滅する※2が，このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり，この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として，雷ＮＣを利用する。

雷ＮＣの活動度２は，上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており，竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生又は接近を予告する指標として活用できると考える。また，ナウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため，準備体制の確認の段階においてナウキャストを監視することにより，積乱雲の状況を確認することが可能である。

以上より，竜巻ＮＣの発生確度２に雷ＮＣの活動度２以上の組み合わせを，強い竜巻が発生するおそれが高まっていることの指標とすることは妥

当であると判断した。

(3)　人員の避難の判断

気象情報：以下の and 条件

①竜巻ＮＣ「発生確度２」

②雷ＮＣ「活動度３以上」

（また，気象情報とは別に「③上空の状況監視において，竜巻の兆候が認められる」場合も判断基準としている。）

雷は積乱雲内の上昇気流によって発生するため，落雷が発生している場所（雷活動度 3 以上の地域）は強い上昇気流場であると言えるが，雷ＮＣの活動度 3 以上の場所は，既に対地放電が起きている強い放電密度を持った場所を表しており，強い雷雲の位置を示していることになる。

また，雷活動度の予測には盛衰傾向による補正が加えられており，現時点では成長期や成熟期初期にある積乱雲に対して継続時間を考慮した予測がなされている。すなわち，単純な積乱雲の移動による雷の発生の予測でなく，積乱雲の発達も考慮に加えられている※2。

以上より，竜巻ＮＣの発生確度 2 と雷ＮＣの活動度 3 以上の組み合わせを，強い竜巻の発生の指標とすることは妥当であると判断した。

なお，人員の避難はプラント運用面への負担が大きな対策であると考えられるため，ナウキャストの値だけでなく，現場の気象状況も加味して判断することが現実的と考えられる※3ことから，カメラ等を用いた上空の監視も判断基準に加えることとしている。

※1　大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版）

※2　雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法（測候時報 78.3 2011）

※3　竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について（H22.3 気象庁）

『竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストは，適中率が低く空振りが多く

なるため，これらの発表と連動して負担（対策に要する時間や手間，及び対策の影響）の大きな対策を実施するのは難しいのが現状である。

したがって，「空の様子に注意する」など，なるべく負担の小さな対策から実施するのが適当であり，負担の大きな対策の実施については，発生確度 1 や 2 の発表に現場の気象状況を加味して判断するのが現実的な利用方法といえる。』

（参考）

竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャスト

(1)　竜巻発生確度ナウキャストとは

10km格子単位で「竜巻が発生する可能性の程度」を2つの階級（発生確度1,2）で解析し，10分ごとに1時間先までの予測を行うもの。

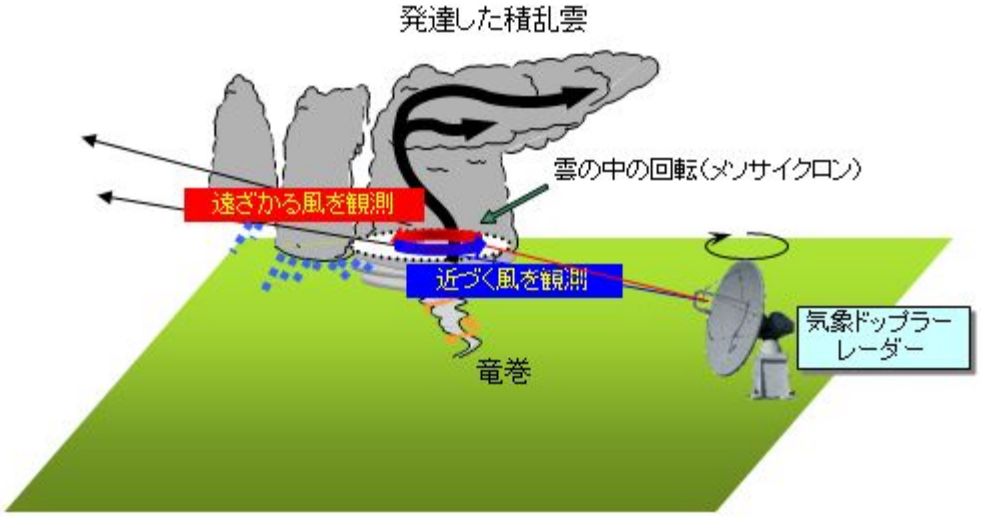
竜巻などの激しい突風は，規模が小さくレーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができないため，竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数キロのメソサイクロンの検出又は，大気環境，積乱雲の発生場所・発達状況から突風の発生可能性を表す指数「突風危険指数」が基準を持たした場合に発生確度の解析を開始し，降水強度の解析と重ねて降水強度が強い格子を発生確度1,2と判定する。

・発生確度1

メソサイクロンの検出又は突風危険指数の基準を満たした（OR条件）格子の周辺100km範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性がある」領域（発生確度1背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度1」と判定する。

・発生確度2

メソサイクロンの検出及び突風危険指数の基準を満たした（AND条件）格子の周辺40km範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性が発生確度1背景より高い」領域（発生確度2背景）と考え，この領域の降水強度が強い格子が「発生確度2」と判定する。



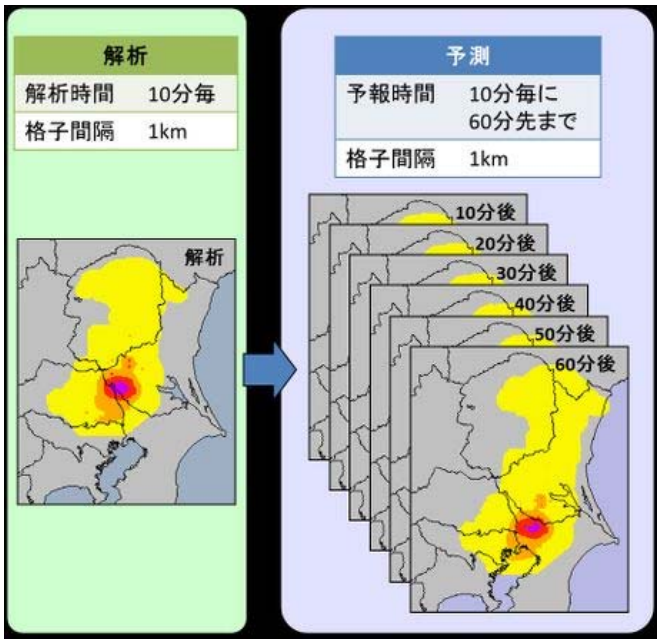
出典：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について：平成22年3月気象庁

(2)　雷ナウキャストとは

雷ナウキャストは，雷の激しさや雷の可能性を1km格子単位で解析し，その1時間後（10分先～60分先）までの予測を行うもので，10分ごとに更新して気象庁より提供される。

雷の解析は，雷監視システムによる雷放電の検知及びレーダー観測などを基にして活動度1～4で表される。予測については，雷雲の移動方向に移動させるとともに，雷雲の盛衰の傾向も考慮している。

雷ナウキャストでは，雷監視システムによる雷放電の検知数が多いほど激しい雷（活動度が高い）としており，雷放電を検知していない場合でも，雷雲の特徴から雷雲解析をするとともに，雷雲が発達する可能性のある領域も解析している。



活動度	雷の状況	
4	激しい雷	落雷が多数発生している。
3	やや激しい雷	落雷がある。
2	雷あり	電光が見えたり雷鳴が聞こえる。 落雷の可能性が高くなっている。
1	雷可能性あり	現在は雷は発生していないが、 今後落雷の可能性がある。

出典：雷ナウキャストとは　気象庁ＨＰ

別紙 8-5

原子炉建屋ブローアウトパネルに対する対応方針について

1. 概要

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

2. 竜巻によるブローアウトパネルの機能への影響と基本対応方針

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

飛来物によるブローアウトパネルの損傷（貫通）については，ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を行う方針とする。また，設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差によるブローアウトパネルの開放に伴って生じる原子炉建屋原子炉棟外壁開口部への竜巻の影響及び防護方針については，3.にて整理する。

別表 5－1　竜巻襲来時のブローアウトパネル状態とプラントへの影響と対応

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

3.　竜巻によるブローアウトパネルの開放に伴う影響評価及び防護方針

ブローアウトパネルは，設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差で開放する可能性があり，その際に原子炉建屋原子炉棟外壁には開口が生じた状態となることから，当該状態に対する竜巻による影響を評価し，防護方針を整理した。

3.1　竜巻によるブローアウトパネルの開放の影響を受ける原子炉建屋原子炉棟内の外部事象防護対象施設

ブローアウトパネルが設置されている原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の内部に配置される外部事象防護対象施設を別表 5－2 に，外部事象防護対象施設及びブローアウトパネルの配置を別図 5－1 に示す。

なお，原子炉建屋原子炉棟 5 階の東側エリアのブローアウトパネルは閉止する方針であることから，竜巻による影響評価の対象外とする。

別表 5－2　原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対象施設

フロア		外部事象防護対象施設
6 階		・使用済燃料プール（①） ・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁（②） ・燃料交換機（③） ・原子炉建屋天井クレーン（④）
5 階	東側	（ブローアウトパネル閉止により対象施設なし）
	西側	・ほう酸水注入系設備（⑤） （ポンプ，タンク，弁，配管等）

別図 5－1　原子炉建屋原子炉棟 5，6 階におけるブローアウトパネル及び
外部事象防護対象施設の配置図

3.2　外部事象防護対象施設に作用し得る荷重

ブローアウトパネルが設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差により開放した場合，当該開口部から原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対

象施設に作用し得る竜巻に関連する荷重について，別表 5－3 のとおり整理した。その結果，風圧力による荷重（W_W）及び設計飛来物による衝撃荷重（W_M）が考慮すべき荷重として抽出された。

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

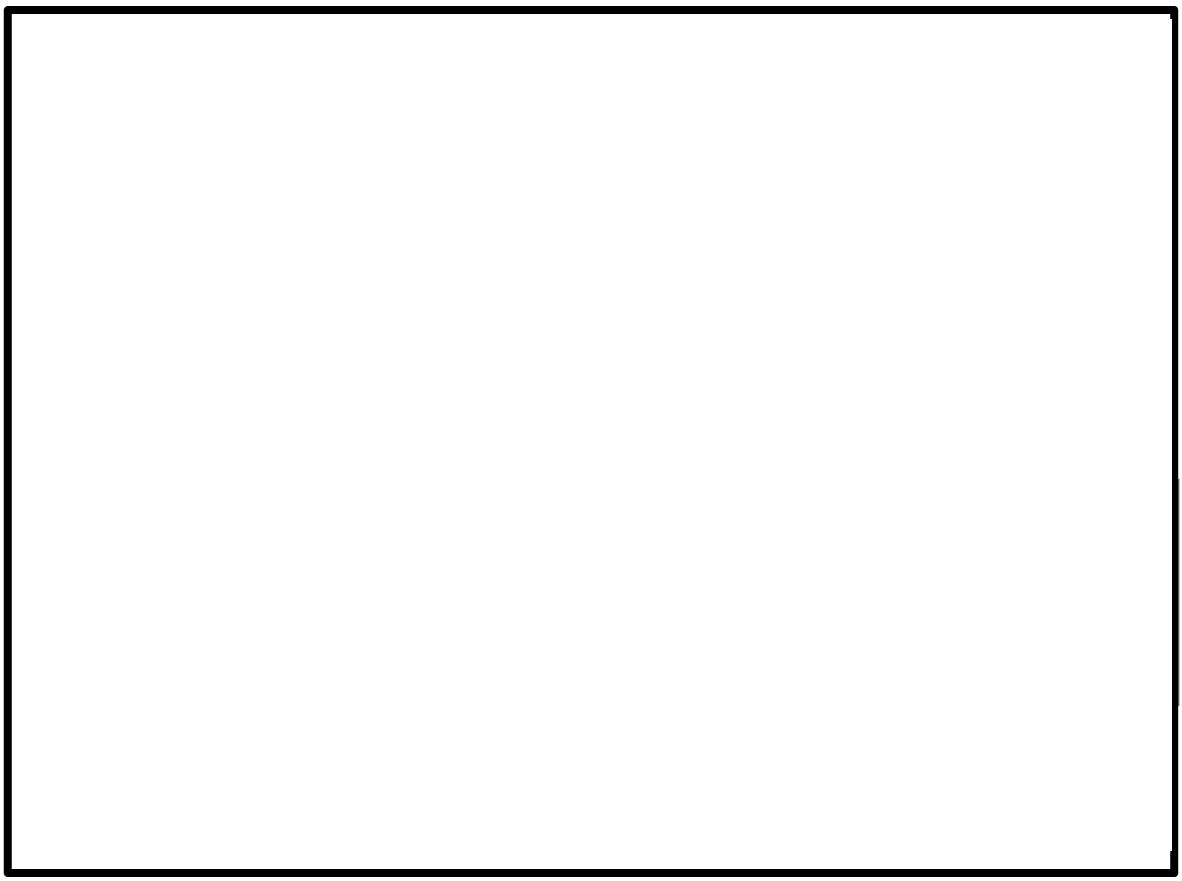
荷重		考慮の要否	評価
風圧力による荷重（W_W）		要	・同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されることから，考慮対象とする。 ・風速は，設計竜巻の最大風速 100m／s とする。
気圧差による荷重（W_P）		否	・開口部の近傍には密閉された設備が無いことから，考慮不要とする。
設計飛来物による衝撃荷重（W_M）		要	・開口部から飛来物が侵入する可能性は否定できないことから，考慮対象とする。 ・想定する飛来物は，設計飛来物（鋼製材）とする。
随伴が考えられる事象	雷	否	開口部からの雷の侵入は考え難いため，考慮しない。
	降水	否	雨の吹込みは開口部近傍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

3.3　外部事象防護対象施設に対する影響評価と防護方針

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

別表5－4　竜巻荷重に対する外部事象防護対象施設の機能維持評価及び機能維持のための防護方針

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



別図 5－2　原子炉建屋原子炉棟 5 階の風の通過経路及び西側区画
ブローアウトパネルからの飛来物の到達範囲図

3.4　開口部の発生に対する防護方針

別表 5－3 の整理に基づく，5 階，6 階それぞれの防護対策は以下のとおりであり，「竜巻飛来物防護対策設備の設置」を実施する。なお，竜巻飛来物防護対策設備については，ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策を包含する。

(1)　原子炉建屋原子炉棟 6 階の防護方針

・開口部から侵入する風荷重に対する防護方針

なし（風荷重による影響を受けない）

（竜巻襲来予想時の燃料取扱作業の中止及び外部事象防護対象施設へ影響を及ぼさない通常待機位置への退避）

・開口部から侵入する飛来物に対する防護方針

建屋内への飛来物の侵入防止

（竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）の設置）

(2)　原子炉建屋原子炉棟 5 階の防護方針

・開口部から侵入する風荷重に対する防護方針

なし（風荷重による影響を受けない）

・開口部から侵入する飛来物に対する防護方針

なし※（飛来物による影響を受けない）

※　ただし，ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策として，竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）を設置する。

南方の隣接事業所からの飛来物の影響について

発電所の南方にある隣接事業所の施設からの飛来物の到達範囲は，別図 6－1 のとおりであり，使用済燃料乾式貯蔵建屋に車両及びその他物品の到達が考えられる。

隣接事業所からの飛来物が侵入し，内包する使用済燃料乾式貯蔵容器へ衝突するおそれのある建屋上部の排気口には，飛来物防護設備を設置する。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能（遮蔽機能：ＰＳ－３※1）はその効果が大きいものではなく※2，後述のとおり，仮に想定される飛来物により建屋が損傷した状態でも遮蔽機能に対する要求水準は維持されるとともに，隣接事業所からの飛来物より建屋が損傷した場合には，補修により遮蔽機能を復旧させる方針とし，当該安全機能を損なわない設計とする。これより，南方の隣接事業所からの物品について，想定される飛来物に対する飛来物発生防止のための管理は不要とする。

※1　人の居住の可能性のある敷地境界外における線量を一定値以下に抑える機能

※2　「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成 4 年 8 月 27 日原子力安全委員会了承）」に，以下の様に整理されている。

・貯蔵建屋は，適切な格納機能及び放射線低減効果の大きい遮蔽機能を必要としないため，耐震Ｃクラスとする。

別図 6－1　敷地南方の隣接事業所と飛来物到達範囲

1.　飛来物衝突時の影響確認結果

1.1　飛来物の衝突部位

別図 6－2 イ）に，使用済燃料乾式貯蔵建屋と隣接事業所の敷地のうち飛来物が存在する可能性があるエリアとの位置関係を示す。

建屋南方の隣接事業所敷地のうち植生管理エリアについては，フェンス等の設置により物品の配置を防止する措置を，隣接事業所との合意文書に基づき当社が実施し※1（別図 6－3 参照），措置開始以降は，保安規定に基づく当社の活動として，カメラによる監視等により当該措置の効果を維持することから，隣接事業所からの飛来物は，使用済燃料乾式貯蔵建屋の南東方向から飛来すると考えられる。このため，使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突する場合は，建屋の

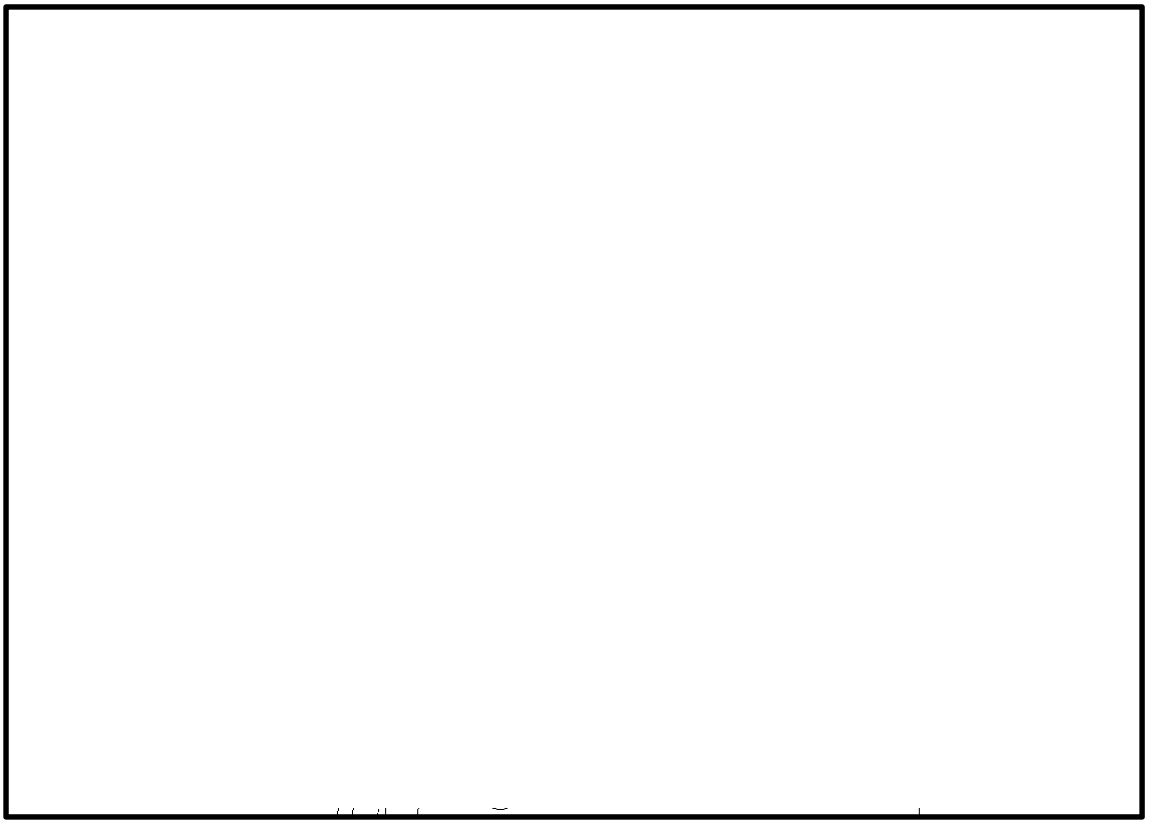
東側若しくは南側外壁に衝突すると考えられる。

また，別図 6－2 ロ）に示すとおり，種々の車両の解析における飛散高さを考慮すると屋根面に車両が到達する可能性はほぼ無いものと考えられるが，保守的に屋根面にも車両が到達すると想定する。

以上より，隣接事業所からの飛来物の衝突を考慮すべき箇所として，使用済燃料乾式貯蔵建屋の東側外壁，南側外壁及び屋根面を抽出した。

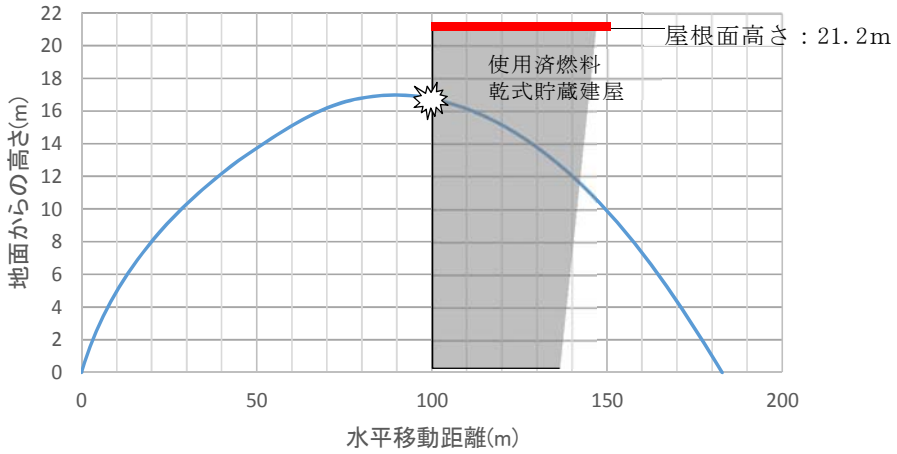
なお，使用済燃料貯蔵建屋の東側外壁排気口については，設計飛来物（鋼製材）の防護設備に加え，隣接事業所からの設計飛来物の影響を上回るおそれのある飛来物（車両を想定）防護のため，車両防止柵も設置する。（別図 6－4 参照）

※1　当該植生管理エリアは現状は森林であり使用されておらず，また傾斜地で物品配置には適さない地形であることを踏まえ，樹木伐採後の同エリアにおいても物品管理（固縛，固定若しくは避難）が不要であることを確実に担保する。



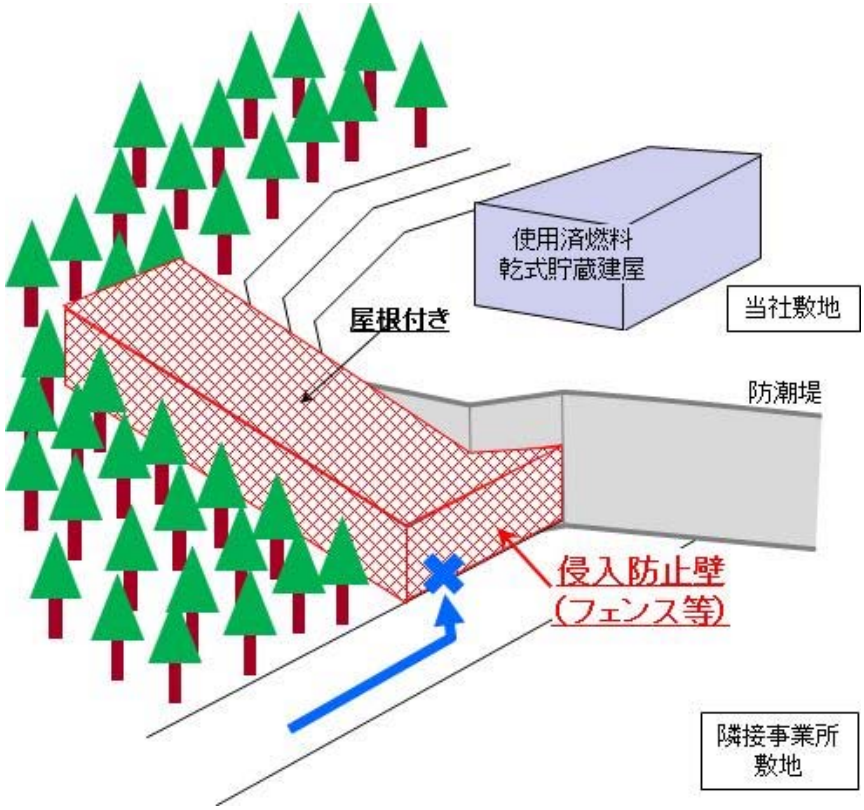
イ）平面上の位置関係

別図 6－2　使用済燃料乾式貯蔵建屋と隣接事業所の敷地から
飛来物が到達し得るエリアの位置関係（1/2）

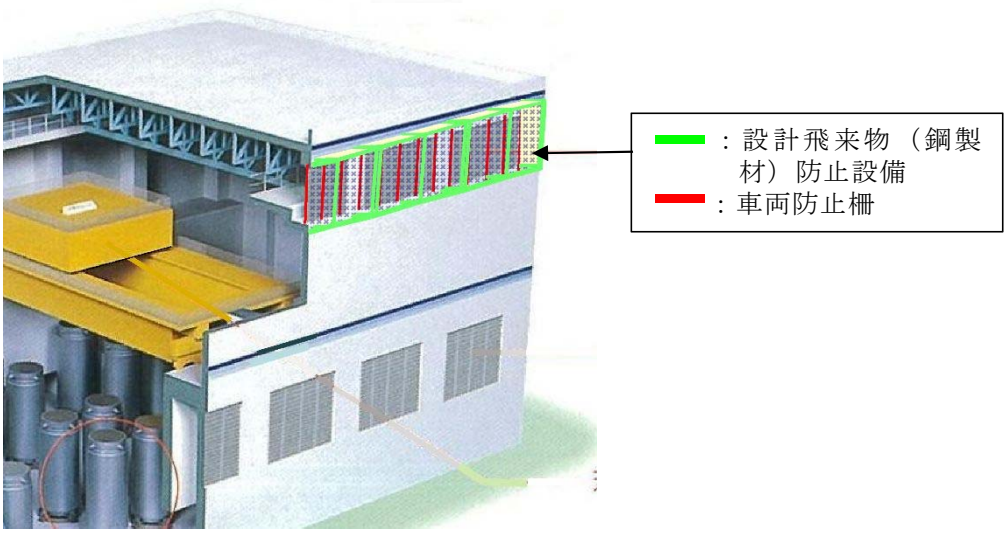


ロ）鉛直方向の飛跡の例（上図Ⓐ地点からの車両の例）

別図 6－2　使用済燃料乾式貯蔵建屋と隣接事業所の敷地から飛来物が到達し得るエリアの位置関係(2/2)



別図 6－3　植生管理エリアの物品配置防止措置



別図 6－4　使用済燃料乾式貯蔵建屋（東側側面排気口）飛来物防護設備

1.2　損傷時の影響を考慮すべき建屋の機能

使用済燃料乾式貯蔵建屋が維持すべき機能は，安全機能である「遮蔽機能」と，内包する外部事象防護対象施設（使用済燃料乾式貯蔵容器）に対する「波及的影響防止（機能）」の 2 つとなる。建屋に飛来物が衝突した場合には，以下のとおり遮蔽機能の低下が想定されることから，以降，遮蔽機能の低下の影響について詳細評価を行う。

(1)　遮蔽機能に対する影響

使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁は遮蔽壁であり，想定される飛来物である車両等の衝突時には損傷することが想定されるため，遮蔽機能の低下の程度及び影響について確認する必要がある。

(2)　波及的影響防止に対する影響

使用済燃料乾式貯蔵建屋は鉄筋コンクリート製の厚い部材厚を有する建屋であり，設計竜巻の風荷重及び飛来物の衝撃荷重に対しても建屋の変形は十分に小さく抑えられ，倒壊には至らず，内包する外部事象防護対象施

設への影響はない。（補足１参照）

1.3　遮蔽機能低下の影響を考慮すべき部位

使用済燃料乾式貯蔵建屋の東側外壁，南側外壁及び屋根面のうち，損傷時遮蔽機能の低下による線量増加の影響を考慮すべき部位を以下のとおり抽出した。

(1)　東側外壁

使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽機能に対する要求水準は，「人の居住の可能性のある敷地境界外における空気カーマが年間50μGy以下」※であるが，別図 6－5 に示すとおり，東側外壁は人の居住の可能性のある敷地に面していないことから，影響評価を行わない。

※「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」（平成 29 年 9 月 11 日施行，原子力規制委員会）において，第 16 条（燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設）第 4 項に関する解釈に，「乾式キャスクの設計の妥当性については，「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成 4 年 8 月 27 日原子力安全委員会了承）に基づき確認する。」とされており，同文書において使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計上の判断基準として定められている。なお，第 27 条（放射性廃棄物の処理施設）にある線量目標値は，使用済燃料乾式貯蔵建屋を含む使用済燃料乾式貯蔵設備は対象でなく，第 28 条（放射性廃棄物の貯蔵施設）も同様に対象ではない。第 29 条（工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護）については，同文書の設計上の判断基準と同等の要求である。

(2)　南側外壁

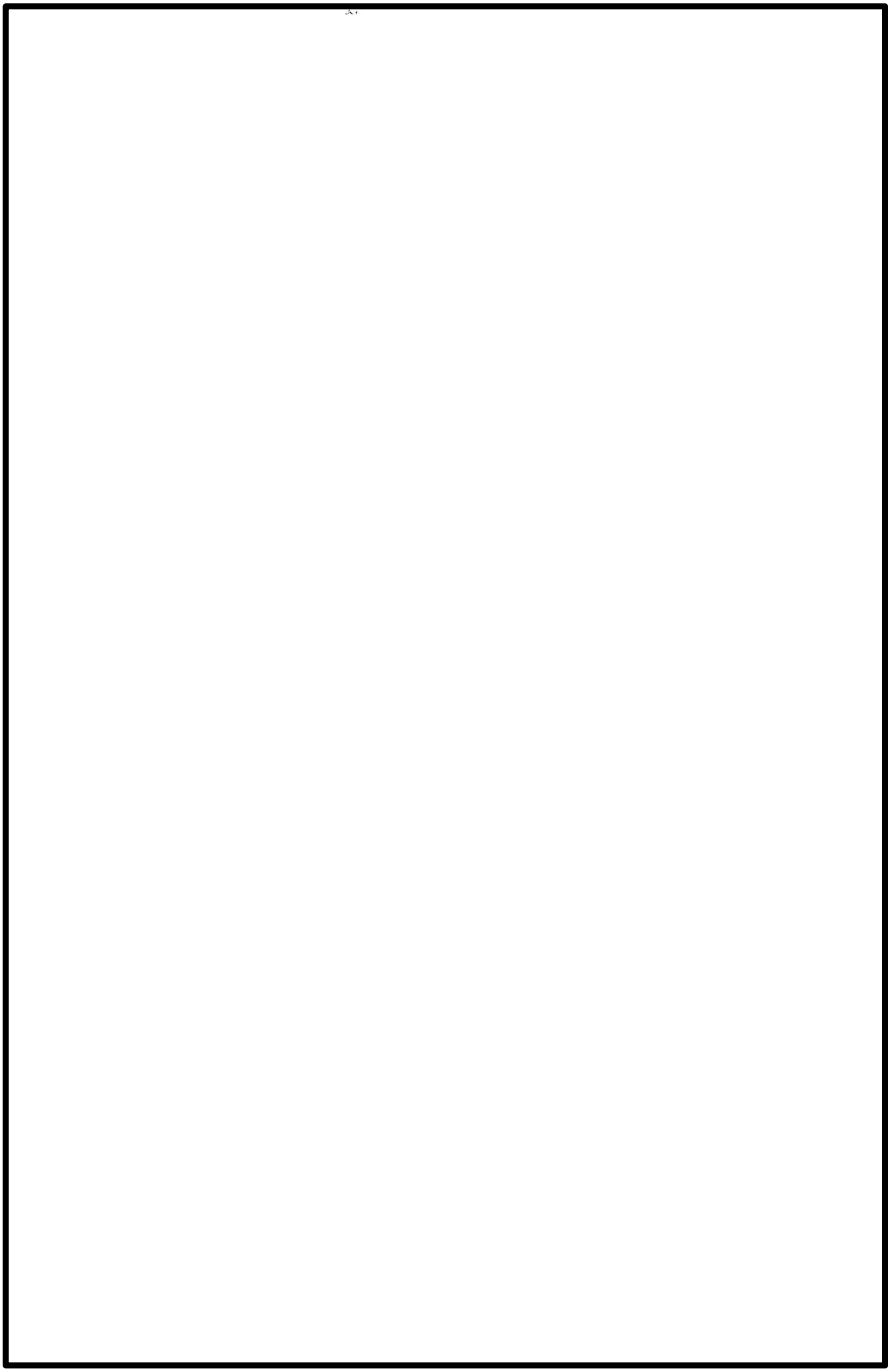
南側外壁については，別図 6－5 に示すとおり，人の居住の可能性のある敷地に面することから，影響評価を実施する。

(3)　屋根面

屋根面については，以下の理由から南側外壁の評価に包含されると判断し，個別の影響評価は実施しない。

・種々の飛来物源の解析結果によれば，飛来物の浮上高さは屋根面を大きく上回らないことから，下降して屋根面に衝突する時の落下速度は小さい。保守性を考慮し落下速度を大きく見積った場合においても，運動エネルギは設計飛来物である鋼製材と同程度となるため，屋根スラブ（厚さ約[redacted]の鉄筋コンクリート版）の大規模な損傷には至らず，遮蔽機能を大きく失うことはないと考えられる。

・後述のスカイシャイン線量評価では，屋根スラブと同じ厚さの南側外壁の遮蔽効果を，保守的に全喪失すると見なした場合の線量の増加率を屋根面由来の分も含めた線量に適用する手法としていることから，大きな損傷が考え難い屋根面由来の線量の増分は，この保守的な増倍率に包絡されると考えられる。



別図 6－5　東側及び南側外壁の向き並びに敷地境界の線量評価点

1.4　使用済燃料乾式貯蔵建屋の南側外壁への飛来物の衝突による影響評価

1.4.1　建屋の構造

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造を別図 6－6 に示す。評価対象とする南側外壁は鉄筋コンクリート製で，厚さが異なる上部と下部で構成された建屋内部には，南方への遮蔽効果を期待できる鉄筋コンクリート製の内壁が存在する。また，屋根面は鉄筋コンクリートスラブに覆われている。

このうち，影響評価の対象として抽出した南側外壁の上部外壁はスカイシャインに対する遮蔽機能を，下部外壁は直接線に対する遮蔽機能を有している。また，内壁については直接線に対する遮蔽機能を有している。

別図 6－6　使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造

1.4.2　飛来物衝突時の南側遮蔽壁の状況想定

飛来物衝突時の使用済燃料乾式貯蔵建屋南側の遮蔽壁の状況としては，飛来物源として考えられる車両やコンテナ類の影響に近いと思われる条件での車両衝突解析の文献※を参照すると，外壁を貫通し内壁に衝突することは考

え難いため，別表 6－1 のとおり，南側外壁のうち上部外壁及び下部外壁のみに飛来物衝突時の損傷を想定した。その際，損傷を想定する部位の遮蔽能力は保守的に全喪失すると見なした。

※　参考資料（本紙の 6-9 ページ）参照

別表 6－1　飛来物の衝突箇所に対する南側遮蔽壁の状況想定

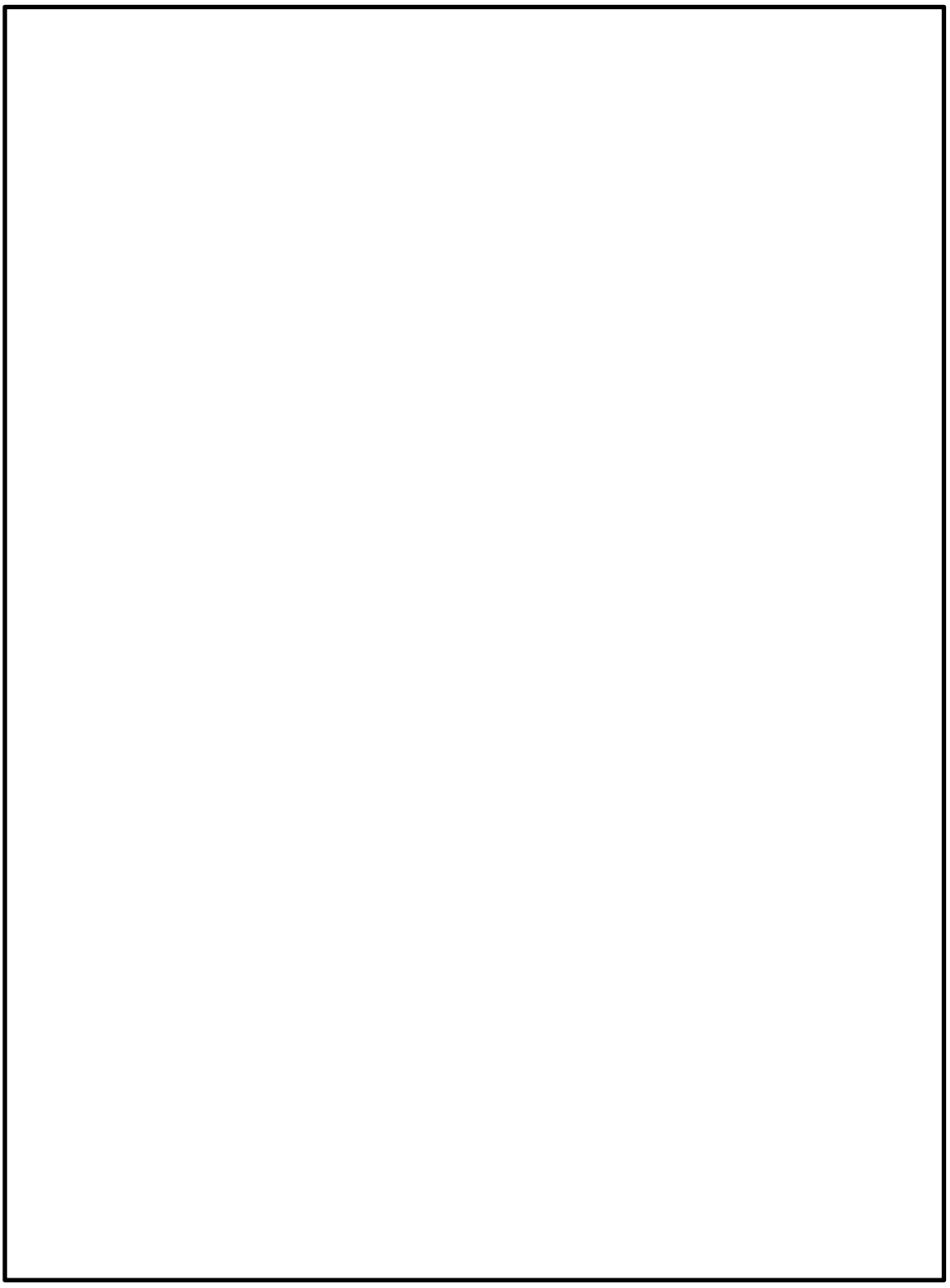
ケース		遮蔽壁の状況		スカイシャイン及び直接線に対する遮蔽厚さの変化	
1	上部外壁への衝突	上部外壁	遮蔽能力全喪失	スカイ	
		下部外壁	健全	直接線	変化なし
		内壁	健全		
2	下部外壁への衝突	上部外壁	健全	スカイ	変化なし
		下部外壁	遮蔽能力全喪失	直接線	
		内壁	健全		

1.4.3　南側外壁の損傷に対する影響評価

使用済燃料乾式貯蔵建屋からの南方への放射線に対する，人の居住の可能性のある敷地境界の評価点は，別図 6－7 に示すⅠ地点となる。

Ⅰ地点の方向に対する既存の線量率データのうち，最もⅠ地点に近い別図 6－7 に示す使用済燃料乾式貯蔵建屋の南側外壁から約 500m離れた地点のデータを基に※，別表 6－1 で整理した状況において，Ⅰ地点における線量が要求される水準を維持しているかを推定した。

※　建屋健全時の代表評価点は発電所敷地に近い別図 6－7 のＥ地点近傍になることから，建設時にⅠ地点のデータは算出していない。



別図 6－7　線量評価点

別表 6－1 のケース 1 及びケース 2 において，南側外壁のうち上部及び下部外壁をそれぞれ喪失した時の遮蔽厚さの減少に伴う減衰比の変化率を基に，使用済燃料乾式貯蔵建屋南壁から 500m 地点の線量率を評価した結果を別表 6－2 に示す。

別表 6－2　想定状況に対する外部線量の推定値

評価点	ケース	線種	健全時 評価値 （μGy／y）	減衰比 変化率	線量 評価値 （μGy／y）	他施設の 寄与 （μGy／y）	合計 （μGy／y）
500m 地点	1	スカイシャイン	0.470	約 31 倍※1	14.57	約 21.5※3	約 36.3
		直接線	0.218	なし	0.218		
	2	スカイシャイン	0.470	なし	0.470		約 43.8
		直接線	0.218	約 100 倍※2	21.8		

※1　（鉄筋コンクリート厚[redacted]の減衰比）／（同[redacted]の減衰比）
健全時の値(0.470)に含まれる屋根経由の分も 31 倍することになるため，屋根スラブに起こり得る軽微な損傷の影響も包含される。

※2　（鉄筋コンクリート厚[redacted]の減衰比）／（同[redacted]の減衰比）

※3　東海第二発電所の原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，固体廃棄物保管建屋，給水加熱器保管庫及び固体廃棄物作業建屋並びに東海発電所からの線量

ケース 1 及びケース 2 ともに，「人の居住の可能性のある敷地境界外における空気カーマが年間 50μGy 以下」を 500m地点においても満足することから，減衰が見込まれるより遠方の I 地点においても，同様に年間 50μGy 以下となる。

よって，使用済燃料乾式貯蔵建屋南壁の上部又は下部外壁に飛来物が衝突しても，使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮蔽機能は維持されると判断した。

以　上

（参考）

鉄筋コンクリート壁への車両衝突時の影響について

文献※において，鉄筋コンクリート壁に竜巻飛来物として車両を衝突させるシミュレーションの結果が示されている。

文献では車両（質量 2t，速度 47m／s）の正面衝突及び側面衝突の両ケースを実施しているが，当社の飛散解析手法でも，同程度の車両の飛散速度はおおむね 40m／s 台となる。また，車両以外の物品で影響の大きなコンテナ類についても，当社の飛散解析結果から算出した運動エネルギは本文献の車両の運動エネルギ（約 2200kJ）とおおむね同程度以下であり，使用済燃料乾式貯蔵建屋への飛来物衝突時の影響評価に対し参考になる解析と考えられる。

下図に示すように，使用済燃料乾式貯蔵建屋の[redacted]の壁面に対しては，衝突面の損傷及び裏面剥離は見られるが，その範囲は車両の大きさと同程度に留まっており，またコンクリートの大規模な脱落や鉄筋の大変形及び破断は認められていないことから，遮蔽機能についてはある程度維持されているものと考えられる。

本文 3.2 節の影響評価では，衝突面においては遮蔽機能を全喪失したものとして評価しており，上記の解析結果から，この想定は保守性を有していると判断している。

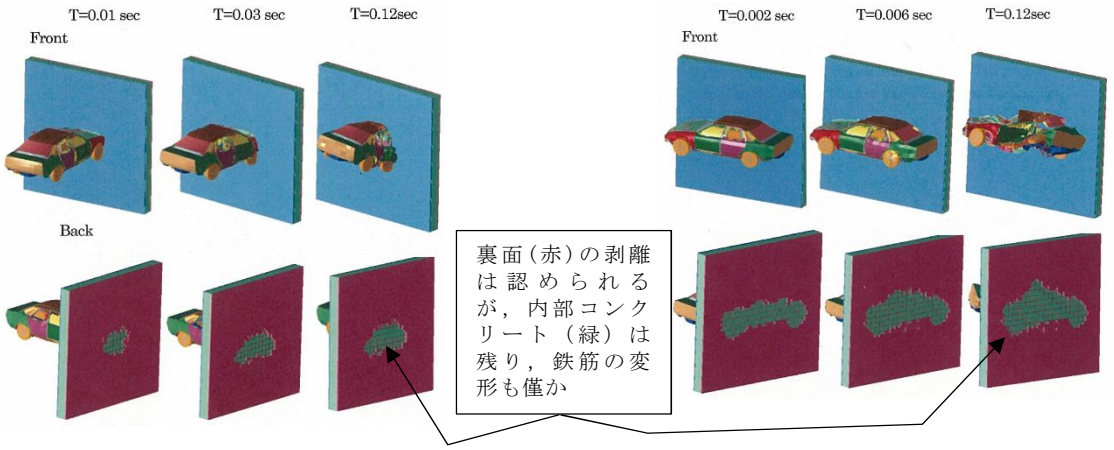


図　車両衝突時の鉄筋コンクリート壁の損傷解析

※　Madurapperuma 他，竜巻飛来物（自動車）衝突による鉄筋コンクリート構造物の挙動，土木学会第 11 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，2014

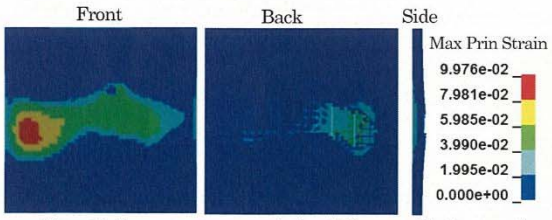


Fig. 13 Damage pattern of the 250 mm wall due to the front impact of the vehicle

Figure 14 shows damage evolution of the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle. The damage to the wall is less compared to that of the 250 wall. The concrete in the back side has removed showing spalling damage to wall. Figure 15 shows damage is concentrated only to certain regions of the wall, and the maximum principal strain is less than one-third of the specified concrete failure strain of 0.1.

Figure 16 shows damage evolution of the 450 mm wall due to the side impact of the vehicle. The damage to the wall is less compared to that of the 250 mm wall. The spalling damage to the wall is seen at an early stage of contact. As shown in Figure 17, the maximum principal strain is 0.064 at severe damage regions of the wall, and it is less than the maximum principal stains of 150 mm and 250mm walls when the side impact of the vehicle.

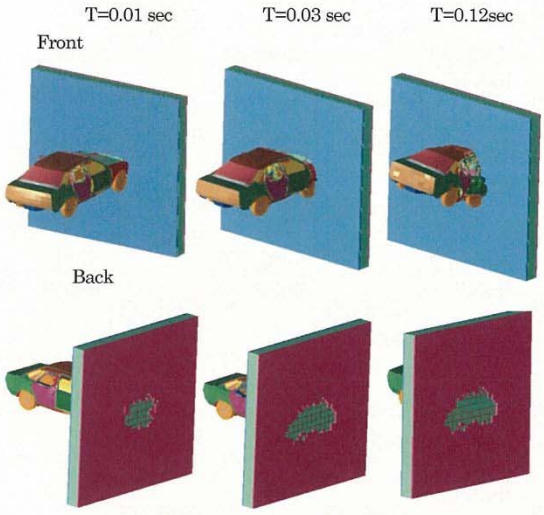


Fig. 14 Evolution of damage to the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle

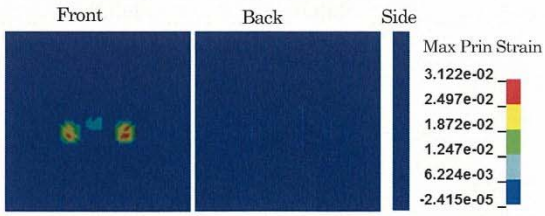


Fig. 15 Damage pattern of the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle

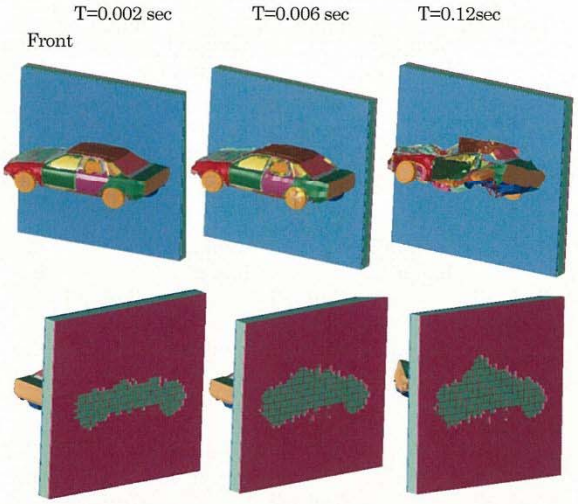


Fig. 16 Evolution of damage to the 450 mm wall due to the side impact of the vehicle

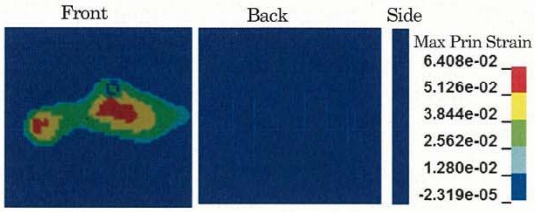


Fig. 17 Damage pattern of the 450 mm wall due to the front impact of the vehicle

5. Conclusions

For the vehicle considered, it is seen that side impact of the vehicle is more critical than front impact for the all three types of walls. Most of energy dissipators are designed for front impact of the vehicle and therefore, most of kinetic energy of the vehicle dissipated through plastic deformation of the vehicle when the vehicle front side impacts

（補足１）

隣接事業所からの飛来物の使用済燃料乾式貯蔵建屋に対する影響評価について

隣接事業所からの飛来物が使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突した影響について以下に示す。

1.　使用済燃料乾式貯蔵建屋全体への評価

設計竜巻による風圧力，気圧差及び飛来物による衝突に対して，構造骨組の構造健全性が維持されることを確認する。

1.1　設計竜巻荷重の組合せ

設計竜巻荷重は，設計竜巻の風圧力による荷重W_W，気圧差による荷重W_P，及び飛来物による衝撃荷重W_Mを組みわせた複合荷重とする。

複合荷重W_{T1}，W_{T2}のうち大きい方を検討荷重とする。

設計竜巻荷重は，補表１－１の値となる。見付面積は，補図１－１に示す。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

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　　：飛来物による衝撃荷重

$$W_M = F_{max} = MV^2/L_{min}$$

M：飛来物の質量（kg）

V　　：飛来物の衝突速度（m／s）

L_{min}　　：飛来物の寸法の最小長さ(m)

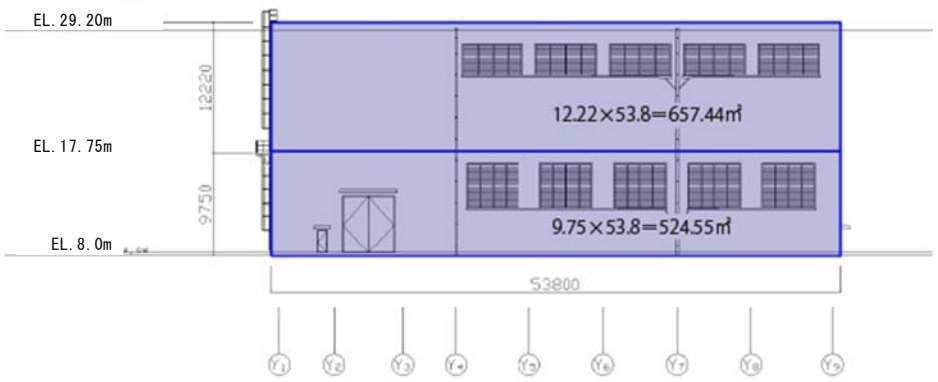
補表1－1　使用済燃料乾式貯蔵建屋に対する設計荷重

DC／Bせん断スケルトン(N-S方向)

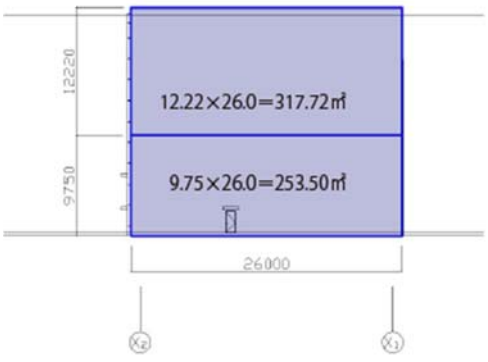
高さ EL.(m)			見付面積 Ai	風圧力による荷重 速度圧 q	ガスト影響係数 G	風力係数 C	層荷重 P_D	層せん断力 W_W	気圧差による荷重 圧力低下 ΔP	層外力 ΔP×Ai	層せん断力 W_P	飛来物による荷重 衝撃荷重 P_{WM}	層せん断力 W_M	組合せ荷重 W_{T1}	W_{T2}
			(m^2)	(N/m^2)	(−)	(−)	(kN)	(kN)	(N/m^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
17.750	～	29.200	318	6100	1	1.2	2328	2328	8900	2831	2831	3000	3000	2831	6744
8.300	～	17.750	254	6100	1	1.2	1860	4188	8900	2261	5092	0	3000	5092	9734

DC／Bせん断スケルトン(E-W方向)

高さ EL.(m)			見付面積 Ai	風圧力による荷重 速度圧 q	ガスト影響係数 G	風力係数 C	層荷重 P_D	層せん断力 W_W	気圧差による荷重 圧力低下 ΔP	層外力 ΔP×Ai	層せん断力 W_P	飛来物による荷重 衝撃荷重 P_{WM}	層せん断力 W_M	組合せ荷重 W_{T1}	W_{T2}
			(m^2)	(N/m^2)	(−)	(−)	(kN)	(kN)	(N/m^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
17.750	～	29.200	658	6100	1	1.2	4817	4817	8900	5857	5857	3000	3000	5857	10746
8.300	～	17.750	525	6100	1	1.2	3843	8660	8900	4673	10530	0	3000	10530	16925



(1)　南北　方向



(2)　東西　方向

補図 1－1　使用済燃料乾式貯蔵建屋の受圧面の面積図

1.2　設計竜巻荷重による層せん断ひずみ

設計竜巻荷重が使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐力以内であることを確認するため，使用済燃料乾式貯蔵建屋の層せん断ひずみを算出する。

各層のせん断スケルトンカーブ（$\tau - \gamma$ 関係）の数値を補表 1－2 に示す。

補表 1－2　せん断スケルトンカーブ（$\tau - \gamma$ 関係）

(a)　NS 方向

EL. m	要素番号	τ_1 N／mm^2	τ_2 N／mm^2	τ_3 N／mm^2	γ_1 $\times 10^{-3}$	γ_2 $\times 10^{-3}$	γ_3 $\times 10^{-3}$
17.75 ～ 29.20	BM03	1.86	2.51	5.61	0.198	0.594	4.0
8.30 ～ 17.75	BM02	2.01	2.71	5.20	0.214	0.642	4.0

(b)　EW 方向

EL. m	要素番号	τ_1 N／mm^2	τ_2 N／mm^2	τ_3 N／mm^2	γ_1 $\times 10^{-3}$	γ_2 $\times 10^{-3}$	γ_3 $\times 10^{-3}$
17.75 ～ 29.20	BM03	1.79	2.42	4.88	0.191	0.573	4.0
8.30 ～ 17.75	BM02	1.84	2.49	4.82	0.197	0.590	4.0

1.3　評価結果

設計竜巻荷重に対するせん断ひずみ評価は，外壁の終局せん断ひずみである 4×10^{-3} の 1/2 の 2×10^{-3} を外壁のせん断ひずみの許容限界と比較し，許容限界を下回っており変形量は小さく，使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造骨組の構造健全性は維持でき，倒壊により内包する外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼすことがないことを確認した。評価結果を補表 1－3 に示す。

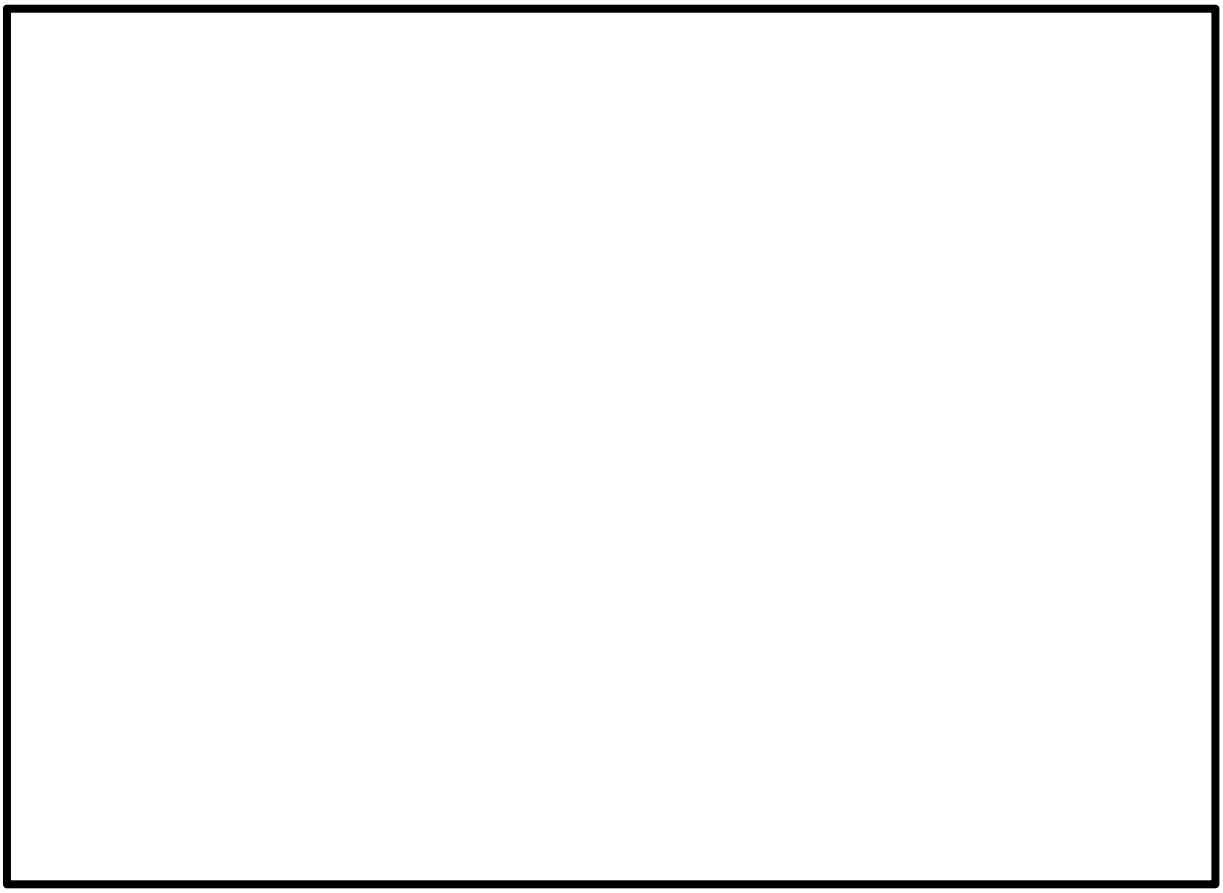
補表 1－3　使用済燃料乾式貯蔵屋のせん断ひずみ評価結果

設計竜巻荷重 (kN)	せん断ひずみ （$\times 10^{-3}$（－））	許容限界 （$\times 10^{-3}$（－））
16875	0.054	2

北方の隣接事業所からの飛来物の影響について

発電所の北方にある隣接事業所の施設からの飛来物の到達範囲は，別図 7－1 のとおりであり，車両については飛散範囲と評価対象施設等との間に十分な離隔が確保されていることから，その影響は考慮不要である。

また，車両以外の物品については，設計飛来物（鋼製材）の影響を上回る物品がタービン建屋にわずかに届き得る可能性があるものの，以下の理由により，タービン建屋の機能（内包する外部事象防護対象施設の防護）に影響を与える可能性はないと判断した。



別図 7－1　敷地北方の隣接事業所及び飛来物到達範囲

1．評価内容

1.1　想定する飛来物源

種々の飛来物源の解析結果※の中から抽出した，飛散距離が200mを超える物品は，いずれも箱状で密実ではない柔飛来物と考えられる物品であったことから，これらのうち飛距離の大きな別表 7－1 に示す物品を抽出し，タービン建屋への影響を評価した。

※　添付資料9　第3.2.4-1表

別表 7－1　想定する飛来物源

物品	寸法(m)			質量 (kg)	衝突速度 (m/s)	飛散距離 (m)	添付資料9 第3.2.4-1表 の ID
	高さ	幅	長さ				
プレハブ小屋	2.4	2.7	5.4	1000	65	227.2	66，75
物置	1.9	2.3	2.9	360	69	222.9	330
物置	1.8	2.0	3.0	270	71	220.9	222
プレハブ小屋	2.3	2.8	4.4	1000	63	220.3	247

1.2　評価内容及び結果

以下に示すとおり，上記飛来物の衝突により想定される影響に対し，タービン建屋に期待する機能（内包する外部事象防護対象施設の防護機能）は維持されると判断した。（補足１参照）

(1)　飛来物の衝撃荷重（タービン建屋全体への影響）

タービン建屋は鉄筋コンクリート製の厚い部材厚を有する建屋であり，設計竜巻の風荷重，気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重の組合せの設計竜巻荷重に対しても建屋の変形は十分に小さく抑えられ，倒壊には至らず，内包する外部事象防護対象施設への影響はない。

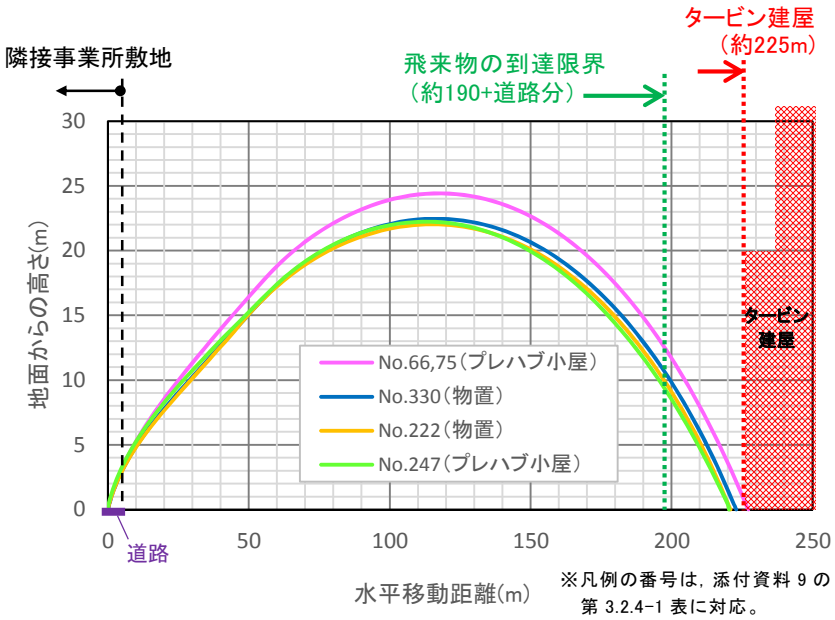
(2)　タービン建屋壁面の貫通及び裏面剥離（飛来物の侵入及び局部的損傷の影響）

上記飛来物は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物かつ，先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価したところ，別表 7－2 に示すとおり，壁面を貫通することはなく，裏面剥離は生じるものの外壁近傍に外部事象防護対象施設は配置されていないことから，タービン建屋が内包する外部事象防護対象施設に対する防護機能が達成できることを確認した。

別表 7－2　貫通，裏面剥離に関する評価結果

場所	厚さ	飛来物の貫通，裏面剥離防止限界		判定
壁	□	貫通	約 37.3cm※	外壁を貫通することはない。
		裏面剥離	約 76.4cm※	外壁の裏面剥離は生じるが，外壁近傍に外部事象防護対象施設は配置されていないため，波及的影響はない
屋根	別図 7－2 の飛跡を考慮すると，屋根（地上から約 20m）には到達しない。			

※　飛来物は別表 7-1 の想定飛来物のうち最も厳しい条件となるプレハブ小屋として評価し，当該飛来物は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物かつ先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価した。



別図 7－2　北方の隣接事業所南端からタービン建屋への飛来物の飛跡

以　上

（補足１）

隣接事業所からの飛来物のタービン建屋に対する影響評価について

隣接事業所からの飛来物がタービン建屋に衝突した影響について以下に示す。

1.　タービン建屋全体への評価

設計竜巻による風圧力，気圧差及び設計飛来物による衝突に対して，構造骨組の構造健全性が維持されることを確認する。

1.1　設計竜巻荷重の組合せ

設計竜巻荷重は，設計竜巻の風圧力による荷重W_W，気圧差による荷重W_P，及び飛来物による衝撃荷重W_Mを組みわせた複合荷重とする。

複合荷重W_{T1}，W_{T2}のうち大きい方を検討荷重とする。

設計竜巻荷重は，補表 1－1 の値となる。見付面積は，補図 1－1 に示す。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

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　　：飛来物による衝撃荷重

$$W_M = F_{max} = MV^2/L_{min}$$

M　　：飛来物の質量（kg）

V　　：飛来物の衝突速度（m／s）

L_{min}　　：飛来物の寸法の最小長さ(m)

補表1－1　タービン建屋に対する設計荷重

高さ EL. (m)	要素番号		風圧力による荷重					気圧差による荷重			飛来物による荷重		組合せ荷重	
		見付面積 A_i	速度圧 q	ガスト影響係数 G	風力係数 C	層荷重 P_D	層せん断力 W_W	圧力低下 ΔP	層外力 $\Delta P \times A_i$	層せん断力 W_P	衝撃荷重 P_{WM}	層せん断力 W_M	W_{T1}	W_{T2}
		(m^2)	(N/m^2)	(－)	(－)	(kN)	(kN)	(N/m^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
40.64 ～ 28.00	1	1408	6100	1	1.2	10307	10307	8900	12532	12532	3000	3000	12532	19573
28.00 ～ 18.00	2	1129	6100	1	1.2	8265	18572	8900	10049	22581	0	3000	22581	32863
18.00 ～ 8.20	3	1034	6100	1	1.2	7569	26141	8900	9203	31784	0	3000	31784	45033

補図 1－1　タービン建屋の受圧面の面積図（建屋南北方向）

1.2　設計竜巻荷重による層せん断ひずみ

設計竜巻荷重がタービン建屋の耐力以内であることを確認するため，タービン建屋の層せん断ひずみを算出する。

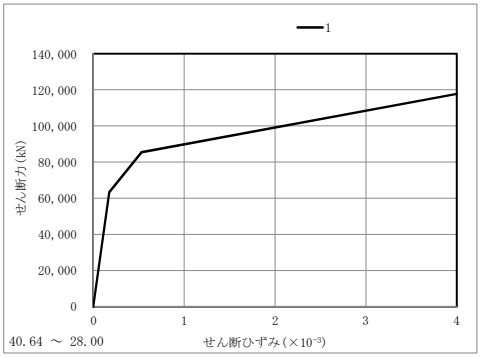
各層の代表せん断力に対するせん断ひずみの数値を補表 1－2 に，せん断力－せん断ひずみ図を補図 1－2 に示す。

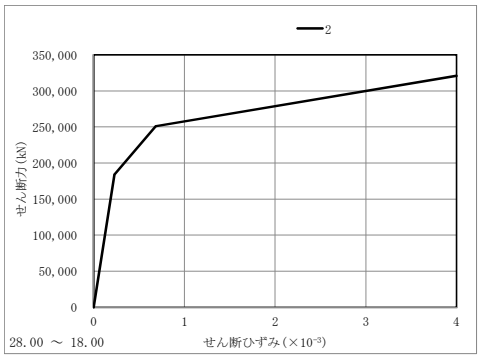
補表 1－2　タービン建屋各層の代表せん断力に対するせん断ひずみ

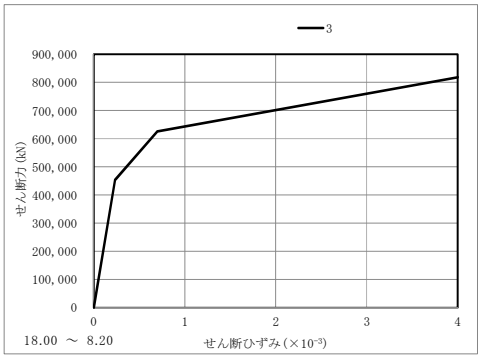
（NS 方向）

高さ	要素番号	せん断断面積	Q-γスケルトン(NS方向)					
			せん断力			せん断ひずみ		
			第1折点	第2折点	第3折点	第1折点	第2折点	第3折点
EL. m		As m^2	Q_1 kN	Q_2 kN	Q_3 kN	γ_1 $\times 10^{-3}$	γ_2 $\times 10^{-3}$	γ_3 $\times 10^{-3}$
40.64 ～ 28.00	1	39.0	63200	85400	118000	0.176	0.528	4.0
28.00 ～ 18.00	2	89.5	184000	251000	321000	0.228	0.684	4.0
18.00 ～ 8.20	3	211	454000	626000	818000	0.233	0.699	4.0

補図 1－2　タービン建屋各層の代表せん断ひずみ－せん断力図







1.3　評価結果

設計竜巻荷重に対するせん断ひずみ評価は，外壁の終局せん断ひずみである 4×10^{-3} の 1/2 の 2×10^{-3} を外壁のせん断ひずみの許容限界と比較し，許容限界を下回っており変形量は小さく，タービン建屋の構造骨組の構造健全性は維持でき，倒壊による内包する外部事象防護対象施設への波及的影響は

ないことを確認した。評価結果を補表 1－3 に示す。

補表 1－3　タービン建屋のせん断ひずみ評価結果

設計竜巻荷重 (kN)	せん断ひずみ （×10^{-3}（－））	許容限界 （×10^{-3}（－））
19573	0.0545	2

2.　飛来物による外壁面の貫通及び裏面剥離への評価

2.1　貫通評価

タービン建屋外壁（鉄筋コンクリート製）に対する貫通評価は，飛来物の衝突に対する評価として，ＮＥＩ07-13 及び米国ＮＲＣの基準類に算定式として記載されている修正ＮＤＲＣ式（①式）を用いて貫入深さx_cを求め，Ｄｅｇｅｎ式（②式）により貫通限界厚さt_pを算定する。

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = 2\left\{\left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) Nd^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5} \\ \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = \left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) Nd^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1 \end{array}\right\} \quad \cdots ①$$

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \text{の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{2.2\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\} \\ 1.52 \leq \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \text{の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{0.69 + 1.29\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)\right\} \end{array}\right\} \quad \cdots ②$$

t_p　：貫通限界厚さ(cm)

x_c　：貫入深さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf／cm^2)：225 kgf／cm^2

d ：飛来物の直径(cm)

（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）

M ：飛来物の重量(kg)

V ：飛来物の最大水平速度(m／s)

N ：飛来物の先端形状係数：1.14

「構造工学シリーズ6 構造物の衝撃挙動と設計法」（土木学会）を参考に設定。

保守的に，非常に鋭い場合の数値を使用した。

α_c ：飛来物の低減係数：1.0

α_p ：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

2.2 裏面剥離評価

タービン建屋外壁（鉄筋コンクリート製）に対する裏面剥離評価は，飛来物の衝突に対する評価として，「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」において適用性高いとされているＣｈａｎｇ式（③）を用いて裏面剥離限界厚さt_Sを算定する。

$$t_s = 1.84\alpha_s\left(\frac{6096}{V}\right)^{0.13}\frac{\left(\frac{WV^2}{980}\right)^{0.4}}{d^{0.2}\left(Fc\right)^{0.4}}\cdots③$$

t_s ：裏面剥離限界厚さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf／cm^2) ：225 kgf／cm^2

d ：飛来物の直径(cm)

（飛来物外形の最小投影面積に等しい円の直径）

W　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の衝突速度(cm／s)

α_s　：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

2.3　評価結果

設計飛来物によるタービン建屋外壁に対する貫通及び裏面剥離への評価結果を補表 2－1 に示す。貫通に対しては，貫通が生じる限界厚以上の外壁厚が確保されており，裏面剥離に対しては，裏面剥離が生じる限界厚より外壁厚が下回るため，裏面剥離は生じると考えられるが，内包する外部事象防護対象施設（気体廃棄物処理系隔離弁等）は飛来物が衝突する外壁の近傍には配置されていないため，内包する外部事象防護対象施設に対し，波及的影響を及ぼさないことを確認した。

補表2－1　貫通・裏面剥離に対する評価結果

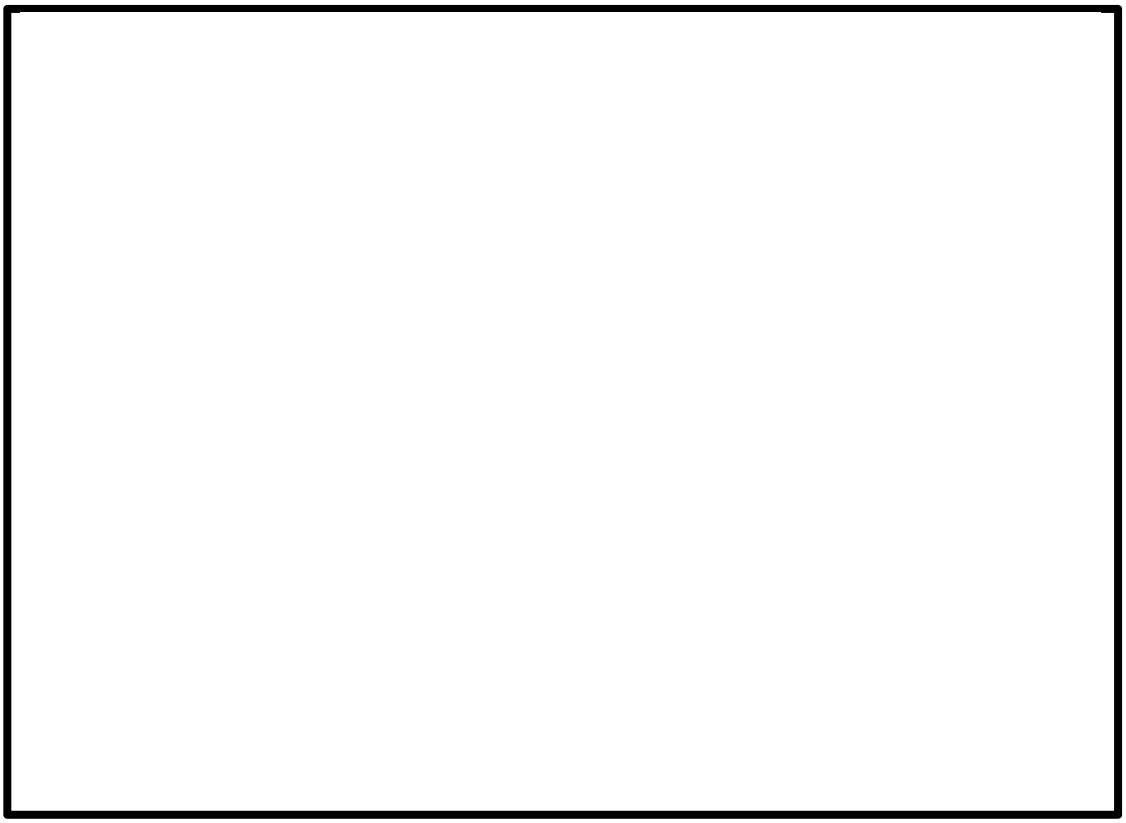
飛来物 ＼ 衝突箇所	衝突箇所	質量	衝突速度	貫通限界厚さ	裏面剥離限界厚さ	外壁厚
		(kg)	(m／s)	t_p(cm)	t_s(cm)	t(cm)
プレハブ小屋	外壁	1000	65	37.3	76.4	□
物置		360	69	25.6	54.9	
物置		270	71	23.6	50.9	
プレハブ小屋		1000	63	36.3	74.8	

以　上

西方の隣接事業所からの飛来物の影響について

緊急時対策所建屋に対して想定する竜巻荷重は，環境条件として考慮する風圧力による荷重であり，飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

ただし，発電所の西方にある隣接事業所の施設からの飛来物の到達範囲は，別図 8－1 のとおりであり，緊急時対策所建屋に車両及びその他物品の到達が考えられることから，緊急時対策所建屋への飛来物の影響を確認した結果，以下に示すとおり緊急時対策所建屋の機能を喪失することはないと判断した。これより，西方の隣接事業所からの物品について，飛来物発生防止のための管理は不要とする。



別図 8－1　敷地西方の隣接事業所と飛来物到達範囲

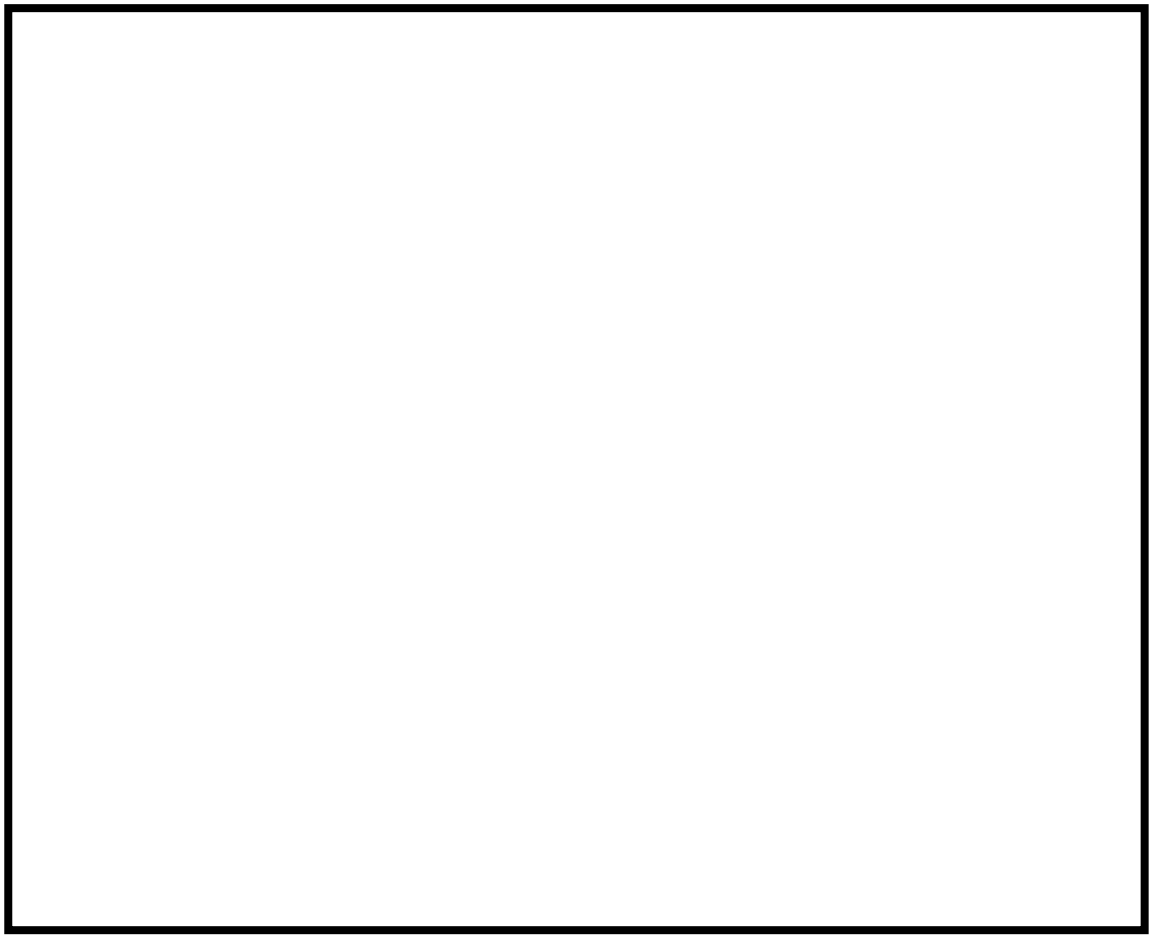
1．評価内容

1.1.　緊急時対策所建屋の設計方針及び構造

別図 8－2 に示すとおり，緊急時対策所においては建屋の外壁により大部分の設備を防護し，必要な遮蔽厚さを確保する設計としている。

緊急時対策所建屋は，別途要求される耐震性及び遮蔽能力を踏まえ，別図 8－2 に示すとおり鉄筋コンクリート製の厚い外壁を有する設計とすることに加え，設計竜巻による風圧力による荷重を設計荷重として考慮している。

緊急時対策所建屋の遮蔽機能を喪失した場合の影響の大きさを鑑み，飛来物が衝突しても，機能を損なわないことを確認する。



別図 8－2　緊急時対策所建屋の構造概要

1.2　想定する飛来物源

西方の隣接事業所としては，敷地に近い位置に道路（隣接事業所の管理道路であり，一般車両は通行しない）があり，また 100m程度離れた場所に敷地がある。種々の飛来物源の解析結果の中から抽出した，飛散距離が 100m を超える物品は，いずれも箱状で密実ではない，コンテナ等の柔飛来物と考えられる物品であったことから，同じく柔飛来物で，コンテナ等と同程度の寸法，重量を有し，かつ当社敷地に近い道路を走行する可能性がある車両を飛来物として想定し，緊急時対策所建屋への影響を評価した。

想定した車両の諸元について，別表 8－1 に示す。

別表 8－1　想定する飛来物源（車両）

車種	寸法(m)			質量 (kg)	衝突速度 (m/s)	浮上高さ (m)	備考
	高さ	幅	長さ				
A	1.880	1.980	4.950	2430	44	4.1	SUV 車クラスを想定
B	1.690	1.835	4.725	1660	48	4.8	
C	1.610	1.775	4.175	1210	51	6.0	

1.3　評価内容及び結果

緊急時対策所建屋に対する飛来物の影響評価として，建屋の外壁面の貫通，裏面剥離（飛来物の侵入，局部的損傷の影響）に対して評価を行った。

飛来物としての車両は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物，かつ先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価した結果，別表 8－2 に示すとおり，緊急時対策所建屋の外壁面に対して貫通及び裏面剥離が生じないことから，緊急時対策所建屋に期待する機能（内包する緊急時対策所の各設備の外殻防

護機能（DB 及び SA），遮蔽（SA のみ））は維持されると判断した。（補足1参照）

別表 8－2　貫通，裏面剥離に関する評価結果（車両衝突時）

場所	厚さ	車両の貫通，裏面剥離防止限界		判定
外壁	[redacted]	貫通	約 43cm※	外壁を貫通することはない。
		裏面剥離	約 80cm※	裏面剥離は生じない
		遮蔽に対する評価		必要遮蔽厚さ [redacted] 以上は確保される。また，貫通を生じず損傷は局部的であるため，気密性についても影響を受けない。
屋根		飛来物として設定した車両の浮上高さは 5m 程度であり，緊急時対策所内の対策本部直上の建屋屋根（道路から約 30m の高さ）には到達しない※。 ※　種々の車両の解析結果でも，浮上高さは20mを下回る結果が得られている（添付資料-9 別紙 9-4 参照）。仮に屋根高さを上回る様に保守側に評価したとしても，ピーク高さから屋根落下する際の速度は小さく，屋根の必要遮蔽厚さ [redacted] を割り込むような大きな損傷を与えるものではない。		

※　飛来物は，別表 8－1 の想定飛来物のうち最も厳しい条件となる車両Ａとして評価し，当該飛来物としての車両は柔飛来物であり，衝突面も比較的鈍い形状と考えられるが，保守的に剛飛来物かつ先端が鋭い形状と見なし，コンクリートの貫通評価式及び裏面剥離評価式にて評価した

以　上

（補足１）

隣接事業所からの飛来物の緊急時対策所建屋に対する影響評価について

隣接事業所からの飛来物が緊急時対策所建屋に衝突した影響について以下に示す。

1.　飛来物による外壁面の貫通及び裏面剥離への評価

1.1　貫通評価

緊急時対策所建屋の外壁（鉄筋コンクリート製）に対する貫通評価は，飛来物の衝突に対する評価として，ＮＥＩ07-13 及び米国ＮＲＣの基準類に算定式として記載されている修正ＮＤＲＣ式（①式）を用いて貫入深さ x_c を求め，Ｄｅｇｅｎ式（②式）により貫通限界厚さ t_pを算定する。

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = 2\left\{\left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) Nd^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5} \\ \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = \left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) Nd^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1 \end{array}\right\} \quad \cdots ①$$

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \text{の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{2.2\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\} \\ 1.52 \leq \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \text{の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{0.69 + 1.29\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)\right\} \end{array}\right\} \quad \cdots ②$$

t_p　：貫通限界厚さ(cm)

x_c　：貫入深さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf／cm^2)：300 kgf／cm^2

(コンクリートの設計基準強度 30N／mm^{2}を保守的に換算)

d ：飛来物の直径(cm)

(飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)

M ：飛来物の重量(kg)

V ：飛来物の最大水平速度(m／s)

N ：飛来物の先端形状係数：1.14

「構造工学シリーズ 6 構造物の衝撃挙動と設計法」（土木学会） を参考に設定。

保守的に，非常に鋭い場合の数値を使用した。

α_c ：飛来物の低減係数：1.0

α_p ：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

2.2 裏面剥離評価

緊急時対策所建屋の外壁（鉄筋コンクリート製）に対する裏面剥離評価は，飛来物の衝突に対する評価として，「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」において適用性高いとされているＣｈａｎｇ式（③）を用いて裏面剥離限界厚さt_Sを算定する。

$$t_s = 1.84\alpha_s\left(\frac{6096}{V}\right)^{0.13}\frac{\left(\frac{WV^2}{980}\right)^{0.4}}{d^{0.2}(Fc)^{0.4}} \cdots ③$$

t_s ：裏面剥離限界厚さ(cm)

Fc ：コンクリートの設計基準強度(kgf／cm^2) ：300 kgf／cm^2

(コンクリートの設計基準強度 30N／mm^{2}を保守的に換算)

d　：飛来物の直径(cm)

（飛来物外形の最小投影面積に等しい円の直径）

W　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の衝突速度(cm／s)

α_s：飛来物の低減係数：1.0

保守的に，剛の場合の数値を使用した。

1.3　評価結果

設計飛来物による貫通及び裏面剥離への評価結果，補表 1－1 に示すとおりであり，貫通及び裏面剥離が生じる限界厚以上の外壁厚が確保されており，緊急時対策所建屋の外壁の遮蔽機能は損なわないことを確認した。

補表1－1　貫通・裏面剥離に対する評価結果

飛来物 ＼ 衝突箇所	質量 (kg)	衝突速度 (m/s)	貫通限界厚さ t_p(cm)	裏面剥離限界厚さ t_s(cm)	外壁厚 t(cm)
車両A	2430	44	42.3	79.0	
車両B	1660	48	39.3	73.2	[redacted]
車両C	1210	51	36.0	67.8	

（衝突箇所：外壁）

以　上

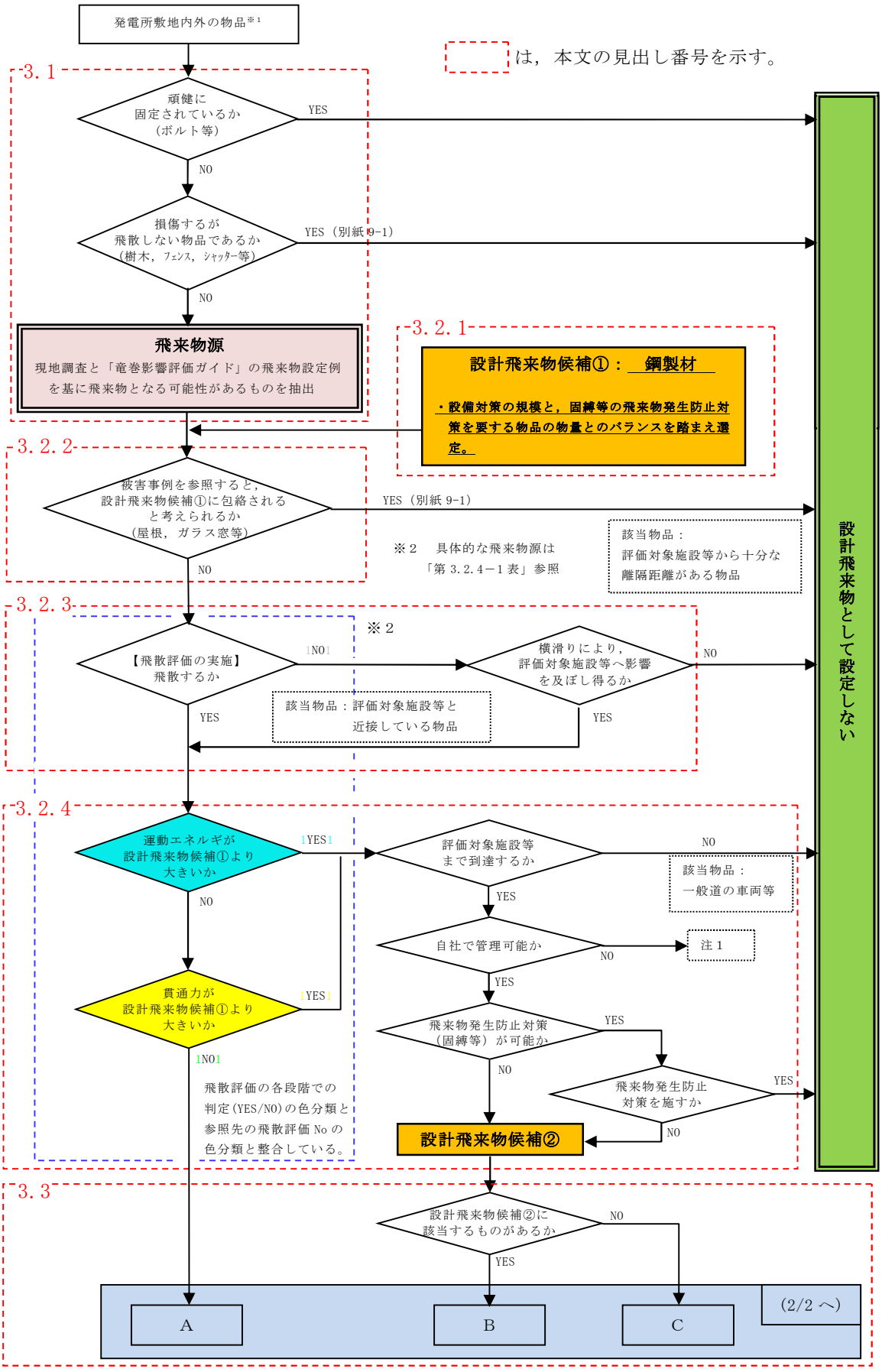
添付資料 9

設計飛来物の設定について

1. 設計飛来物の設定方針

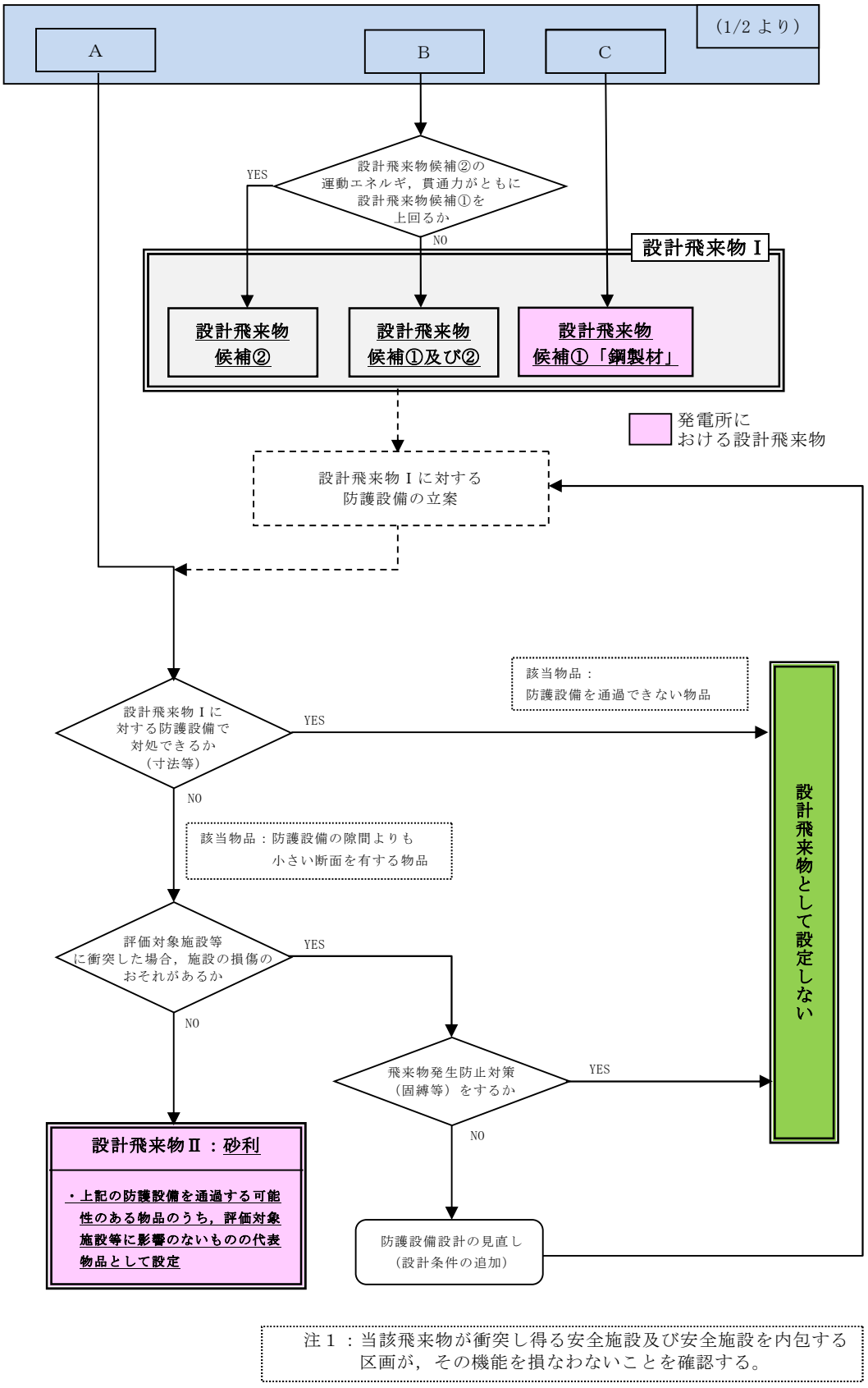
発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物を,第 1－1 図に示すフローに基づき設定した。

※1　発電所敷地内及び周辺の現地調査等を踏まえ抽出



第 1－1 図　設計飛来物の設定フロー(1／2)

3.3（続き）



第 1－1 図　設計飛来物の設定フロー(2／2)

2.　発電所構内の物品調査

2.1　調査範囲

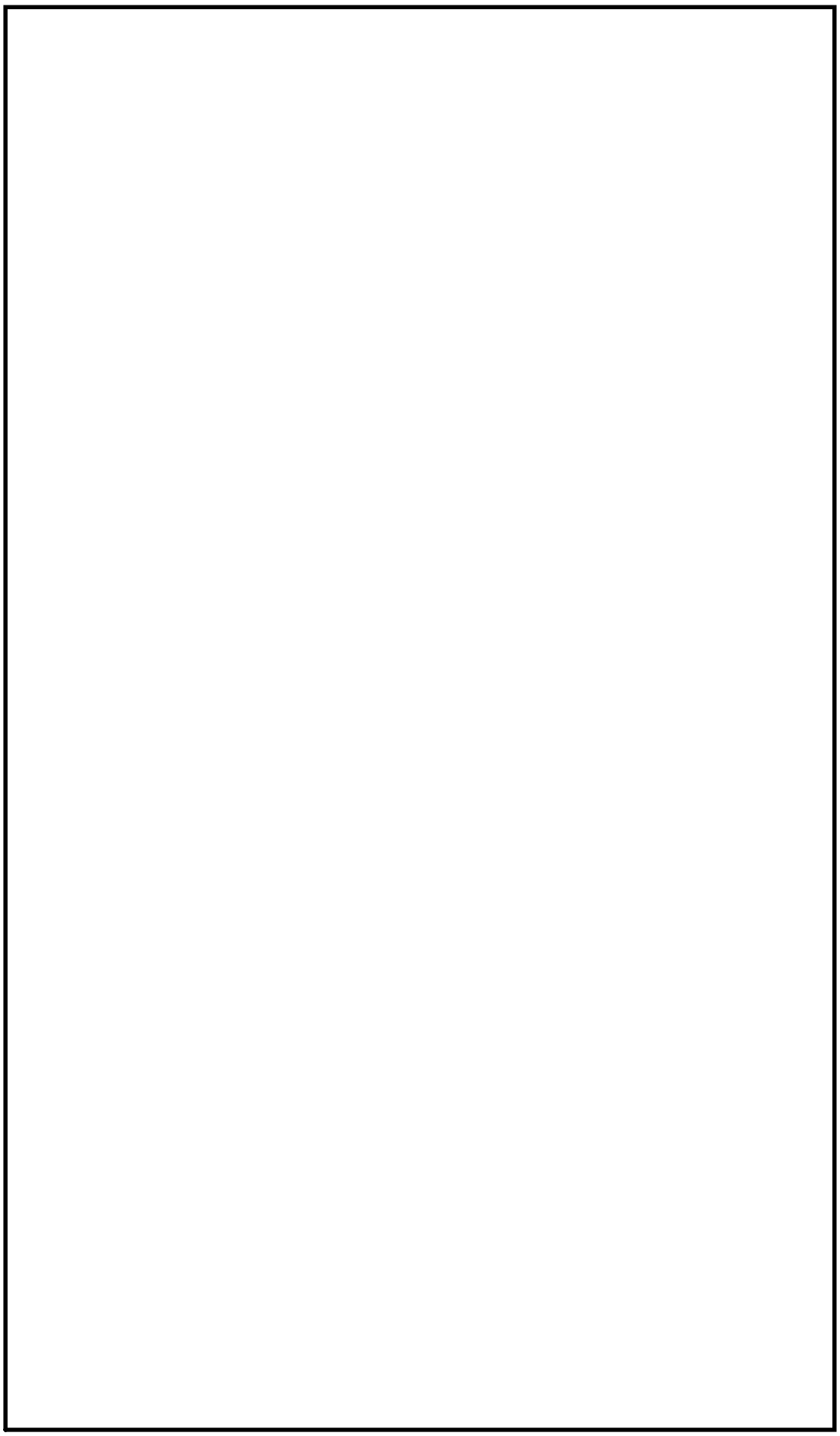
発電所構内の物品調査は，1回目を平成26年1月15日～16日（発電所敷地内），及び2回目を平成28年7月22日に実施した。調査範囲は，米国Regulatory Guideを参考に，第2.1－1図に示すとおり，原子炉建屋から半径800mの範囲とした。なお，後述の代表的な飛来物源の飛散評価結果において，飛散距離は最大でも400m程度であることから，調査範囲は十分と考えられる。

2回の調査において認められた物品の種類に有意な違いは認められなかったことから，定期検査の有無や季節性を加味しても，考慮すべき物品の種類としては，今回認められたものの中に包絡されるものと考えられる。

なお，今後も飛来物源について継続的に確認し，新たに考慮すべき物品の種類が認められた場合は，新たな飛来物源として評価する。

第2.1－1表　調査エリア区分

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



第2.1－1図　物品調査エリア

2.2　発電所構内の物品の調査結果

調査の結果，第 2.2－1 表に示す種類の物品が発電所において確認された。調査エリアごとの主な物品を以降に示す。

第 2.2－1 表　発電所における主な飛来物源の種類

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

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

エリア①で確認された主な飛来物源

#1　乗用車

#2　プレハブ小屋

#6　パレット（木製又は樹脂製）

#8　鋼管

#9　ボンベ

#11　ドラム缶

#13　ケーブルドラム

#17　ケーブルドラム

#19　物置

#20　物置

#21　コンテナ

#22　トラック

#27　フォークリフト

#28　乗用車

#32　消火器

#33　消火設備格納箱

#34　鋼製スロープ

#46　洗濯機

#47　プラスチック容器

#49　マンホール蓋

#50　バイク，自転車

#51　カーブミラー

#53　看板，標識

#54　コンクリート製蓋

#56　バリケード

#58　樹脂製蓋

#61　鋼製敷板

#62　鋼製ボックス

#63，#64　仮設電源

#65　フレコンバッグ入資材

#66　プレハブ小屋

#68　プラスチック容器

#69　鉄骨

#73　コンテナ

#74　空調室外機

#75　プレハブ小屋

#76　ケーブルドラム

#77　建設機械

#79　消防車

#81　コンクリート製蓋

#121　コンクリート製ブロック

#122　コンクリートブロック

エリア②で確認された主な飛来物源

#84　鋼製蓋

#87　グレーチング

#89　鋼製ステップ

#90　ケーブルドラム

#92　仮設電源

#93　ドラム缶

#97　鉄骨

#100　ケーブルドラム

#101　ホース，ケーブル類

#102　鋼製ボックス

#106　コンテナ

#107　樹木（倒木，伐採木），材木

#110　鉄骨

#112　鋼管

#115　トラック

#117　バイク，自転車

エリア③で確認された主な飛来物源

#131　コンテナ

#138　鋼管

#139　仮設電源

#141　建設機械

#142　仮設トイレ

#143　鋼管

#144　空調室外機

#145　空調室外機

#152　消火設備格納箱

#153　消火設備格納箱

#155　プレハブ小屋

#156　資機材類

#163　鉄骨

#164　鋼製蓋

#165　バリケード

#176　ドラム缶

#177　鋼製ステップ

エリア④で確認された主な飛来物源

#181　バリケード

#182　消防車

#183　消防車

#186　マンホール蓋

#188　カラーコーン

#190　ベンチ（常設）

#194　看板，標識

#198　プラスチック容器

#199　オブジェ（タービン）

#201　コンクリート製ブロック

#203　ベンチ（常設）

#204　下駄箱

#205　自動販売機

#210　空調室外機

#215，#216　社用バス

#217　鋼製ステップ

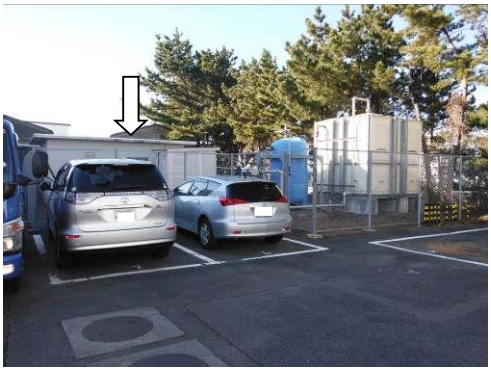
#219　乗用車

#220　カーブミラー

#222　物置

#225　鋼製ステップ

#226　トラック



#228　プレハブ小屋

#347　物置

#350　鋼製ボックス

#351　木片，木製品

#352 鋼管

#370　プレハブ小屋

#371　物置

#372　フォークリフト

#373　物置

#376　鋼管

#379　パレット（木製又は樹脂製）

#380，#381　鋼製ブロック

#382　看板，標識

#383　物置

#388　コンクリート製蓋

#392　鋼製蓋

#394　鋼製敷板

#398　仮設トイレ

#400　鋼製ボックス

#405　樹脂製パイプ

#409　倉庫，#410　自動販売機

#411　鋼製蓋

#412　鋼製蓋

#413　鋼製蓋

#414　プレハブ小屋

#417　コンクリート製ブロック

#418　コンクリート製蓋

#421　ケーブルドラム

#422　鋼製ボックス

#423　鋼製ステップ

#424　プレハブ小屋

#431　樹脂製蓋

#435　コンテナ

#436　鋼製ボックス

#437　鋼製ボックス

#469　鋼管

#472　運搬台車

#475　鋼製ステップ

#478　物置

#479　プレハブ小屋

#483　ベンチ（仮設）

#485　樹木（倒木，伐採木），材木

#486　バイク，自転車

#487　バイク，自転車

#488　バイク，自転車

#490　空調室外機

エリア⑤で確認された主な飛来物源

#244　グレーチング

#246　マンホール蓋

#247　プレハブ小屋

#250　運搬台車

#251　ベンチ（仮設）

#252　トラック

#253　鋼製蓋

#258　プラスチック容器

#259　物置

#260　プレハブ小屋

#262　仮設電源

#267　物置

#272　足場材，足場枠

#276　建設機械

#279　プレハブ小屋

#281　空調室外機

#284　鋼製敷板

#286　鋼管

#287，#288　鋼製ボックス

#289　空調室外機

#293　ボンベ

#295　ホース，ケーブル類

#298　鋼製スロープ

#301　足場板，足場枠

#305　鋼製敷板

#307　プレハブ小屋

#309　プラスチック容器

#314　コンクリートブロック

#316　マンホール蓋

#320　パレット（鋼製）

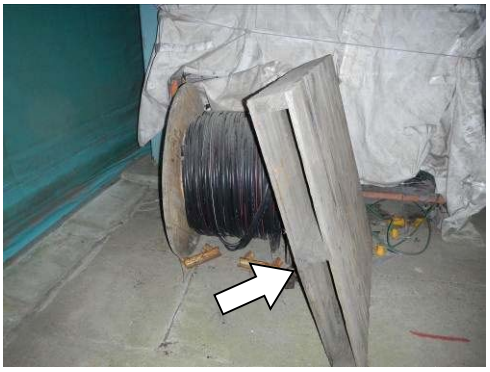
#330　物置

#335　鋼製スロープ

#336　什器類

#337　敷鉄板

#338　ケーブルドラム



#339　パレット（木製又は樹脂製）

#340　プレハブ小屋

#495　仮設電源

3.　設計飛来物の設定

3.1　固定状況等を踏まえた飛来物源の抽出

現地調査にて確認された物品のうち以下に示すもののうち，過去の竜巻被害事例（【添付資料 9　別紙 9-1】）も参考とし，以下の観点のいずれにも当てはまらない物品を飛来物源として抽出した。

(1)　溶接やボルト等により頑健に固定されている物品

(2)　竜巻の影響により損傷はするが，飛散しない物品

3.2　飛来物源の飛散評価

3.2.1　設計飛来物候補の設定

設計飛来物候補は，現場調査結果を踏まえ，飛来物防護対策として設置する設備の規模と固縛等の飛来物発生防止対策を要する物品の物量のバランスを考えて設定した。（第 3.2.1－1 表　参照）

発電所における現場調査結果，第 3.2.1－1 表に示すような，上記の竜巻防護対策（飛来物防護対策と飛来物発生防止対策）のバランス，先行プラントにおける設定実績並びに竜巻飛来物防護ネットの存在を踏まえ，「竜巻影響評価ガイド」に例示される鋼製材を，設計飛来物候補として設定した。

第 3.2.1－1 表　設計飛来物候補と竜巻防護対策の関係

設計飛来物候補の例	竜巻防護対策				採用
	飛来物防護対策		飛来物発生防止対策		
	規模		物量		
車両	大	配置，耐震面の制約が大きい可能性がある。 （建屋壁の増改築，小型の施設でも車両寸法をカバーする規模の設備が必要となる。）	少	対象と物品は少ない。 （多くの物品は車両の影響を下回る。）	－
鋼製材	中	先行プラント事例等から成立性が見通しやすい。 （竜巻飛来物防護対策設備の規模，鋼製材を念頭に置いた防護ネットの実績等，具体的なイメージが容易である。）	中	先行プラント事例等から対策が必要となる物品が見通しやすい。 （細々した物品についておおむね対策が不要と判断できる。）	○
木片	小	防護設備を必要とする施設は少ない。 （衝撃力，貫通力共に小さい。）	大	処置する物量が膨大かつ運用面の負担大きい。 （大多数の物品が木片の影響を超える。）	－

3.2.2　評価不要物品の抽出

飛来物源のうち,過去の竜巻被害事例(添付資料 9　別紙 9-1)を参考とし，設計飛来物候補である鋼製材の影響を下回ると判断した物品については，設計飛来物にならないものとして，飛散評価を不要とした。

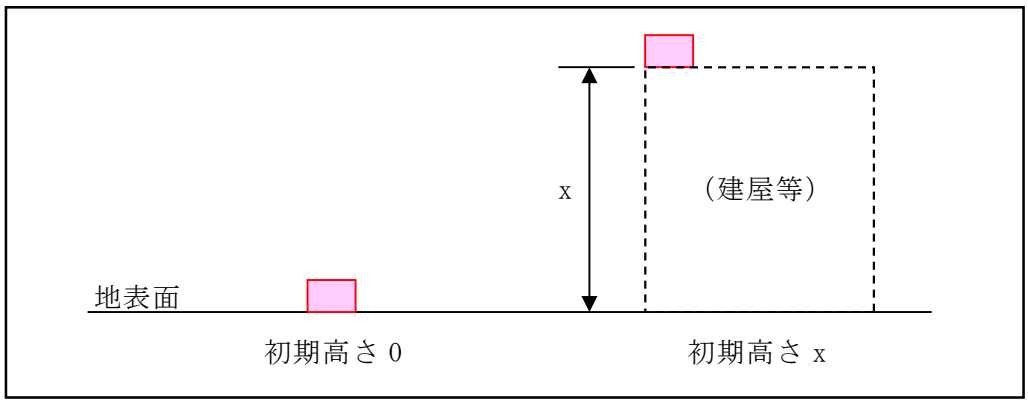
3.2.3　飛来物源の飛散評価

3.2.2 にて抽出された飛来物源に対し，設計竜巻の最大風速 100m／s，風速場モデルとしてフジタモデルを適用した場合における飛散評価を実施した。

なお，発電所は，敷地近傍に一般道や隣接事業所が存在することから，管理が困難な一般道（国道２４５号線）からの車両の飛散の影響を現実的に評価することとし，保守性を確保した上で，ランキン渦モデルに比べ物品の飛散挙動をより実現象に近く捉えることができるフジタモデルを，飛散評価の風速場モデルとして適用する。

(1)　初期高さ

フジタモデルを使用した飛散評価においては，第 3.2.3－1 図に示すように，評価対象物品の配置位置と敷地高さとの高低差を示す初期高さの設定が必要となる。評価対象物品の初期高さは，現地調査結果等を踏まえて設定するものとするが，仮設材のように設置場所が特定できず，高所に置かれる可能性を有する飛来物源に対しては，使用場所が地表高さであるか高所であるかを考慮の上，適切な初期高さを設定する。



第 3.2.3―1 図　初期高さのイメージ図

(2)　空力パラメータ

飛散評価に用いる空力パラメータは，物品の形状及び重量に応じて算出する。【添付資料 9　別紙 9-2】

(3)　飛散速度の選定と横滑りの考慮

飛来物源の飛散速度については，「竜巻影響評価ガイド」に基づき，飛散評価により算出される際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。

なお，浮上しないが横滑りにより評価対象施設等に影響を与え得る物品については，浮上する物品同様，3.3 の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを判断する。

3.2.4　飛来物発生防止対策の可否を踏まえた飛来物源のスクリーニング

飛散評価の結果を踏まえ，設計飛来物候補である鋼製材に対し，その影響（運動エネルギ又は貫通力）を上回るパラメータを有する飛来物源に対し，固縛あるいは離隔及び撤去等の飛来物発生防止対策の可否を考慮し，新たに設計飛来物候補とする必要の有無を評価した。

(1)　運動エネルギ

飛来物源の運動エネルギ E は下式によって算出する。

$$E = \frac{1}{2} M \cdot V^2$$

M　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の衝突速度(m／s)

(2)　コンクリートに対する貫通力

コンクリートに対する貫通力は，飛来物の衝突に対する評価として，ＮＥＩ07-13 及び米国ＮＲＣの基準類に算定式として記載されている修正ＮＤＲＣ式（①式）を用いて貫入深さx_cを求め，Ｄｅｇｅｎ式（②式）により貫通限界厚さt_pを算定する。

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = 2\left\{\left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8}\right\}^{0.5} \\ \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \text{ の場合} & \dfrac{x_c}{d} = \left(\dfrac{12145}{\sqrt{Fc}}\right) N d^{0.2} \dfrac{M}{d^3}\left(\dfrac{V}{1000}\right)^{1.8} + 1 \end{array}\right\} \quad \cdots ①$$

$$\left.\begin{array}{ll} \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \text{の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{2.2\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right) - 0.3\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)^2\right\} \\ 1.52 \leq \dfrac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \text{の場合} & t_p = \alpha_p d\left\{0.69 + 1.29\left(\dfrac{x_c}{\alpha_c d}\right)\right\} \end{array}\right\} \quad \cdots ②$$

t_p　：貫通限界厚さ(cm)

x_c　：貫入深さ(cm)

Fc　：コンクリートの設計基準強度(kgf／cm^2)：250 kgf／cm^2

d　：飛来物の直径(cm)

（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）

M　：飛来物の重量(kg)

V　：飛来物の最大水平速度(m／s)

N　：飛来物の先端形状係数：1.14

「構造工学シリーズ 6 構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)

を参考に設定。

保守的な評価となる,非常に鋭い場合の数値を一律使用した。

α_c ：飛来物の低減係数：1.0

α_p ：飛来物の低減係数：1.0

保守的な評価となる，剛の場合の数値を一律使用した。

(3) 鋼板に対する貫通力

鋼板に対する貫通力は，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日　原子炉安全専門審査会）」の中で，鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているＢＲＬ式（③式）を用いて貫通限界厚さT を算定する。

$$T^{\frac{3}{2}}=\frac{0.5MV^2}{1.4396\times10^9K^2\cdot d^{\frac{3}{2}}} \quad \cdots\cdots③$$

T ：鋼板貫通限界厚さ（m）

M ：飛来物の重量(kg)

V ：飛来物の最大水平速度(m／s)

d ：飛来物の直径(m)

（飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径）

K ：鋼板の材質に関する係数（≒1）

(4) 代表的な飛来物源の飛散評価結果及びスクリーニング

現場調査によって確認された飛来物源に対して，初期高さを設定し，飛散評価を実施する。飛散評価結果とスクリーニングの結果の例として，第 3.2.4―1 表に示す。

なお，飛来物源の特徴を考慮し，仮設材等の建屋屋上に配置されることが考えられる物品については，一例として初期高さ 40m での結果も並列して記載している。

第 3.2.4―1 表における飛来物源は，初期高さ 0m での運動エネルギ及び貫通力の評価結果によって分類している。（表中の No.のハッチング色）

また，初期高さ 40m の飛散評価結果による分類は，表中の飛来物発生要否の欄のハッチング色により示しており，初期高さの設定により分類が変更となるものは，ハッチング色により判別できる。

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第3.2.4－1表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

第 3.2.4－1 表　代表的な飛来物源の飛散評価結果整理表の例

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

3.3　設計飛来物の設定

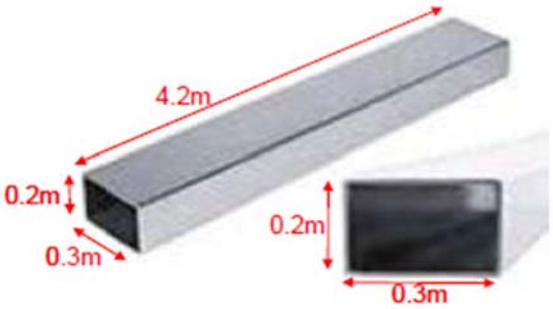
3.2 におけるスクリーニングの結果，鋼製材の影響を上回る飛来物源については，飛来物発生防止対策を施すことが可能であると判断したため，鋼製材を設計飛来物として決定した。

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

第 3.3－1 表に，発電所における設計飛来物の仕様を示す。

第 3.3－1 表　発電所における設計飛来物

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



（鋼製材のイメージ）

（砂利）

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

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

分解され小型軽量となる物品
及び損傷するが飛来物とならない物品について

設計飛来物の抽出フローにおいて，「分解され小型軽量となる物品」は設計飛来物のうち鋼製材に包絡されること,また「損傷するが飛散しない物品」は飛散しないことから，いずれも設計飛来物として選定しないとしている。これは，過去の主な竜巻の被害概要の調査結果等から，このような物品の状況について検討を行った結果より判断した。

以下に，平成 2 年以降の主な竜巻による被害概要の調査結果等に基づく検討結果を示す。

(1)　分解され小型軽量となる物品（屋外屋根及びガラス窓）

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

ａ．屋外屋根

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

別図 1－1　平成 16 年 6 月 27 日佐賀県で発生したＦ２竜巻による
屋外屋根の被害状況(1)

屋外トイレ屋根の損傷

カーポート屋根の飛散及び骨組の損傷

カーポート屋根の損傷

別図 1－2　平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻による屋外屋根の被害状況(2)

折板の損傷

カーポートの被害

別図 1－3　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻による屋外屋根の被害状況(3)

周囲の田に散乱した屋根ふき材

別図 1－4　平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生したＦ０竜巻による屋外屋根の被害状況(4)

電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材）

飛来物（鋼板製屋根材）の衝突

飛散した飛来物（鋼板製屋根材）

飛散した折板屋根の損傷状況

ガソリンスタンドの折板屋根の脱落

駐車場の折板屋根の著しい変形

別図 1－5　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻による屋外屋根の被害状況(5)

ｂ．ガラス窓

別図 1－6～11 にガラス窓の被害状況を示す。これらより，ガラス窓については，Ｆ０～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において損壊し，分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており，その影響は設計飛来物である鋼製材若しくは砂利に包絡されると考えられる。

エントランスの窓ガラスの損壊

破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり

別図 1－6　平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻によるガラス窓の被害状況(2)

バスの窓ガラス損壊

別図 1－7　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻によるガラス窓の被害状況(6)

窓ガラスの損壊

窓ガラスの飛来物衝突痕

別図 1－8　平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市でのＦ１（Ｆ２）竜巻によるガラス窓の被害状況(7)

倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況

窓ガラスの損壊

出窓部の窓ガラスの損壊

エントランスのガラス損壊

別図 1－9　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻による
ガラス窓の被害状況(3)

体育館窓ガラスの損壊

教室

廊下

屋外に面した窓ガラス

別図 1－10　平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生したＦ０竜巻による
ガラス窓の被害状況(4)

店舗の窓ガラスの被害状況

店舗の窓ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

別図 1－11　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻による
ガラス窓の被害状況(5)

(2)　発電所の屋外屋根及びガラス窓の状況

発電所における屋外屋根の状況を別図 1－12，ガラス窓の状況を別図 1－13 に示す。発電所におけるこれらの物品の構造については，上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には同様の被害状況になると考えられ，飛来物としては設計飛来物の影響に包絡されると考えられる。

別図 1－12　発電所における屋外屋根の状況

別図 1－13　発電所におけるガラス窓の状況

(3)　損傷するが飛散しない物品（樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル）

竜巻の被害概要調査結果等における「損傷するが飛散しない物品」に関し，発電所に存在する物品としてシャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが確認できた。これらの被害状況を以下に示す。

ａ．シャッター

別図 1－14～18 にシャッターの被害状況を示す。これらより，シャッターについては，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において形状は変形しているが，固定部は外れていないことが確認できる。なお，外れて飛来物となったとしても，衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については，上記の屋外屋根と同様，設計飛来物である鋼製材の評価で包絡されると考えられる。

シャッターの外れ

別図 1－14　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻によるシャッター被害状況(6)

シャッターの変形

別図 1－15　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻によるシャッターの被害状況(3)

シャッターの外れ

別図 1－16　平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生したＦ１（Ｆ２）竜巻によるシャッターの被害状況(7)

消防団施設のシャッターの変形

別図 1－17　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるシャッターの被害状況(5)

シャッターの外れ

別図 1－18　平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻によるシャッターの被害状況(8)

ｂ．樹木

別図 1－19～25 に樹木の被害状況を示す。これらより，樹木については，Ｆ１～Ｆ３及びＥＦ５の竜巻において幹の折損，根の引き抜き等が見られるが,折れた場合若しくは引き抜かれた場合のいずれにおいても，その場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは，竜巻の風荷重により樹木が損壊を受けた後では，竜巻が既に通り過ぎているためと考えられ，樹木が折損若しくは引き抜かれた後，さらに竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考えにくい。

倒木（南から見る）
倒れなかった樹木も点在している。

倒木（北西から見る）

別図 1－19　平成 14 年 7 月 26 日群馬県境町で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況(9)

樹木の転倒

樹木の転倒

別図 1－20　平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況(2)

樹木の折損

別図 1－21　平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生したＥＦ５竜巻による樹木被害状況(6)

倒木

別図 1－22　平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況(10)

倒木

別図 1－23　平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市で発生したＦ１竜巻による樹木被害状況(3)

樹木の折損

樹木の折損と鳥居の被害

樹木の倒木

倒木と社の被害

別図 1－24　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻による樹木被害状況(5)

樹木の被害

樹木の倒壊による小屋組の被害

樹木の被害

樹木の被害

樹木の被害

樹木の被害

別図１－25　平成 25 年９月２日埼玉県で発生したＦ２竜巻による樹木被害状況(8)

ｃ．フェンス

別図 1－26～28 にフェンスの被害状況を示す。これらより，フェンス類については，Ｆ１～Ｆ３の竜巻において傾き，倒壊等が見られるが，樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり，倒壊した後では，竜巻は既に通り過ぎていると考えられることから，竜巻により巻き上げられ，飛来物となることは考えにくい。

フェンスの著しい変形

フェンスの変形

別図 1－26　平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生したＦ１（Ｆ２）竜巻によるフェンスの被害状況(7)

フェンスの変形

道路標識の倒壊

別図 1－27　平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生したＦ３竜巻によるフェンス類の被害状況(5)

フェンスの倒壊

屋上フェンスの変形

フェンスの変形

フェンス支柱部の破損

フェンスの変形（工事中の建築物）

フェンスの倒壊

電柱の倒壊

看板の変形

別図 1－28　平成 25 年 9 月 2 日埼玉県で発生したＦ２竜巻による

フェンス類の被害状況(8)

ｄ．原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル

原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルには開放時の落下を防止する機構が付けられており，竜巻によって外れた場合でも，落下時の挙動は通常の開放時と変わりないと考えられることから，落下防止機構が破断して飛来物となることはないと考えられる。また，原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放後には竜巻は速やかに遠ざかっていくと考えられることから，開放した原子炉建屋外側ブローアウトパネルが強風に煽られ，落下防止機構が破断し飛来物化する可能性も小さいと考えられる。

(4) 発電所のシャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルの状況

発電所におけるシャッターの状況を別図 1－29 に，樹木の状況を別図 1－30 に示す。上記の被害実績に示された樹木と大きく変わらないと考えられることから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり，幹の折損若しくは根の引き抜きによりその場で倒壊するのみと考えられる。

別図 1－29　発電所におけるシャッターの状況

別図 1－30　発電所における樹木の状況

発電所におけるフェンスの状況を別図 1－31 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから，竜巻通過時には，同様の被害状況になり変形若しくは倒壊すると考えられる。

別図 1－31　発電所におけるフェンスの状況

発電所における原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルの設置状況を別図 1－32 に示す。原子炉建屋外側ブローアウトパネルには 4 本のチェーンが落下防止機構として取り付けられており，これらは落下時の衝撃荷重に対して破断しないと考えられる。また，竜巻が遠ざかるまでの短時間に 4 本のチェーンが全て破断する可能性も小さいと考えられる。

別図 1－32　発電所における原子炉建屋原子炉棟外壁の
原子炉建屋外側ブローアウトパネルの設置状況

以上より，シャッター，樹木，フェンス及び原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネルは，竜巻により損傷若しくは脱落するが，飛散せず設計飛来物として選定が不要と判断した。

＜参考文献＞

(1) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」（平成 16 年 7 月 13 日）

(2) 「2006 年台風 13 号被害調査報告 -延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害-」（平成 18 年 10 月 10 日）

(3) 「平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」（平成 21 年 10 月 13 日）

(4) 「平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」（平成 24 年 2 月 14 日）

(5) 「平成 24 年（2012 年）5 月 6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」（ISSN 1346-7328 国総研資料第 703 号 ISSN 0286-4630 建築研究資料第 141 号 平成 25 年 1 月）

(6) 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」（平成 20 年 6 月 9 日）

(7) 「平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市竜巻被害調査報告」（平成 21 年 8 月 17 日一部修正）

(8) 「平成 25 年 9 月 2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市，北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害（速報）」（国土交通省国土技術政策総合研究所独立行政法人建築研究所平成 25 年 9 月 10 日一部修正）

(9) 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」（平成 14 年 7 月 26 日独立行政法人建築研究所）

(10) 「平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」（平成 21 年 8 月 4 日）

空力パラメータについて

物品の飛散解析に用いる空力パラメータは「竜巻影響評価ガイド」の参考文献(1)及び米国ＮＲＣの竜巻設計のための飛来物特性を与えるＮＵＲＥＧ-0800 (1996)(2)に引用されている文献(3)を参照し，下式により算出する。

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

ここで,

$\frac{C_D A}{m}$ ：空力パラメータ　(m^2／kg)

m ：物品の質量　(kg)

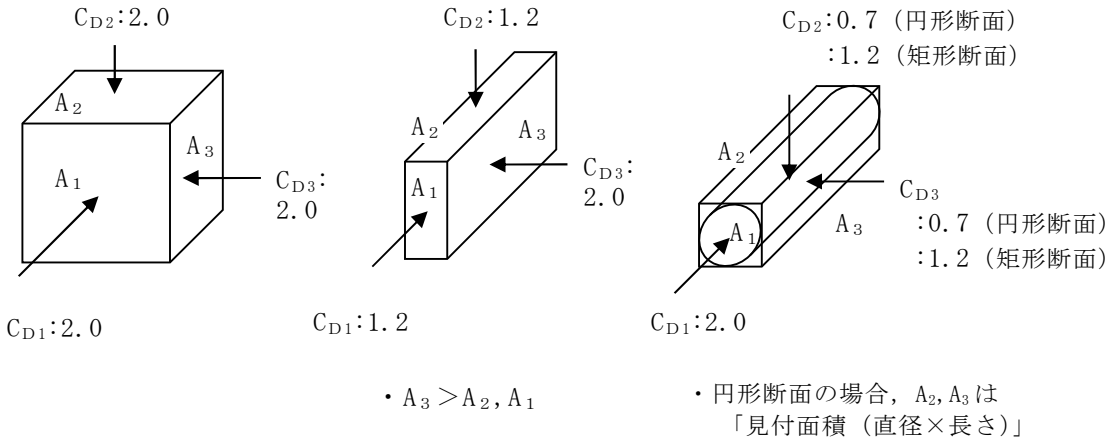
c ：係数（0.33）

C_{D1}, C_{D2}, C_{D3}：直交 3 方向における物品の抗力係数(別表 2－1 より選定)

A_1, A_2, A_3 ： C_{D1} ～ C_{D3}を定義した各方向に対する見付面積 (m^2)

別表 2－1　空力パラメータ算出のための抗力係数

物体の形状	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
塊状	2.0	2.0	2.0
板状	1.2	1.2	2.0
棒状	2.0	0.7（円形断面） 1.2（矩形断面）	0.7（円形断面） 1.2（矩形断面）



＜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，独立行政法人原子力安全基盤機構

(2) US-NRC: “3.5.1.4 MISSILE GENERATED BY NATURAL PHENOMENA,” StandardReview Plan, NUREG-0800, 1996.

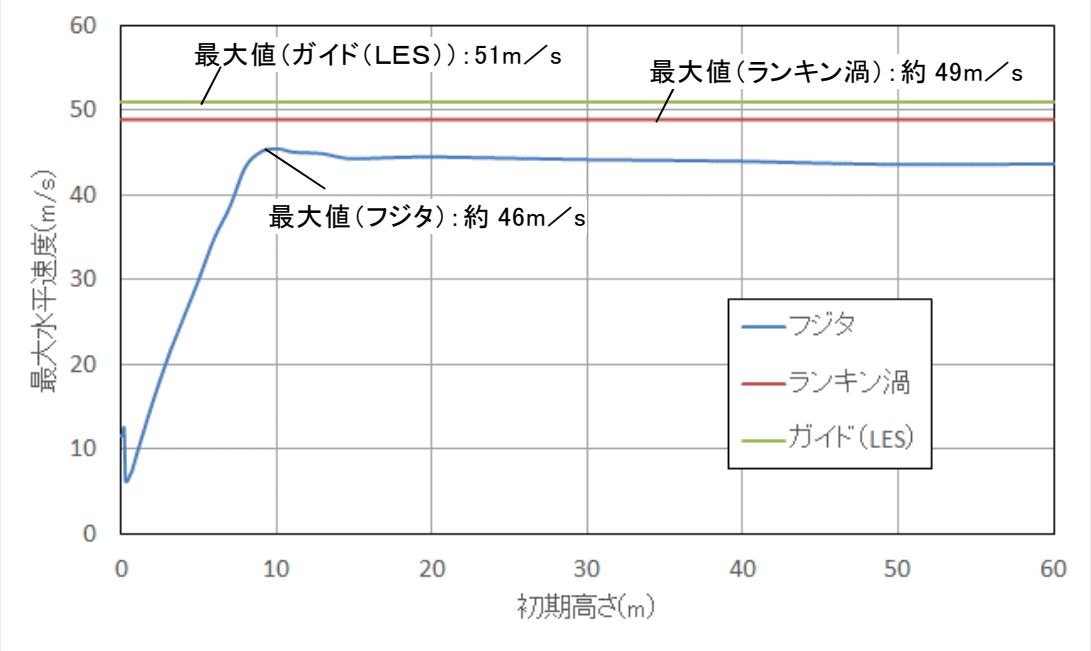
(3) E.Simiu, M. Cordes:“Tornado-Borne Missile Speeds,” NBSIR76-1050,National Bureau of Standards, Washington D.C.,1976.

フジタモデル採用時に「竜巻影響評価ガイド」の鋼製材を設計飛来物とすることの妥当性について

発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物である鋼製材は，「竜巻影響評価ガイド」に示されている数値を採用しているが，その最大水平速度（51m／s）は非定常乱流渦モデルによるシミュレーション（ＬＥＳ）にて導出されている。

一方，発電所の竜巻影響評価における物品の飛散解析にはフジタモデルを適用する方針としており，フジタモデルでは風速が地表からの高さによって変化するため，飛来物源の地表面からの初期高さにより飛散時の挙動が異なる。

このため，任意の初期高さにある鋼製材をフジタモデルで飛散させた場合でも，その最大水平速度が 51m／s を超えることがないことを確認した。結果を別図 3－1 に示す。また，別図 3－1 には参考としてランキン渦モデルによる最大水平速度も記す。



別図 3－1　各風速場モデルの初期高さ－最大水平速度

別図 3－1 から，いずれの高さから飛散した場合でも，その最大水平速度は 51m／s を上回ることはないことが分かる。よって，フジタモデルを採用する場合においても，設計飛来物の最大水平速度には「竜巻影響評価ガイド」の数値である 51m／s を用いることは問題なく，かつ保守性を有すると判断している。

以　上

車両の飛散範囲について

車両管理エリアの設定に必要な離隔距離等を考慮するための車両の飛散範囲（飛散距離及び浮上高さ）については，以下の方針に基づきフジタモデルを用いて算出した。

(1)　車両の飛散解析条件

ａ．飛散し易い形状を考慮し，代表的な寸法及び重量※を選定する。

※　「箱状（表面積大）」かつ「密度が低い」物品が飛散し易いことから，以下の車種を代表として選定した。

・トラック（大型～小型のバン及び平型）
・バス（大型～マイクロバス）
・軽自動車（最大高（面積大），最軽量）
・軽トラック
・ＳＵＶ（パトロール車想定）

ｂ．車両は地表面に位置する（地面からの初期高さ０）と見なす。

ｃ．飛散距離に影響を与える飛散の出発点と到達点の高低差は，評価対象施設等の配置状況を考慮し別表4－1のとおり余裕をもって設定した。

別表4－1　出発点と到達点の高低差

対象施設	原子炉建屋，タービン建屋， 排気筒，海水ポンプ室内設備※， 使用済燃料乾式貯蔵建屋	緊急時対策所建屋
高低差	20m	0m
根拠	対象施設の配置高さ（3m盤，8m盤）と敷地内の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値	緊急時対策所建屋と周辺の車両通行箇所の高低差に余裕を見た値

※　以下の評価対象施設を示す。
残留熱除去系海水系ポンプ
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ
残留熱除去系海水系ストレーナ
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

別表4－2に，車両の寸法，重量，空力パラメータ，最大浮上高さ及び上記の2種類の高低差に対する最大飛散距離を示す。

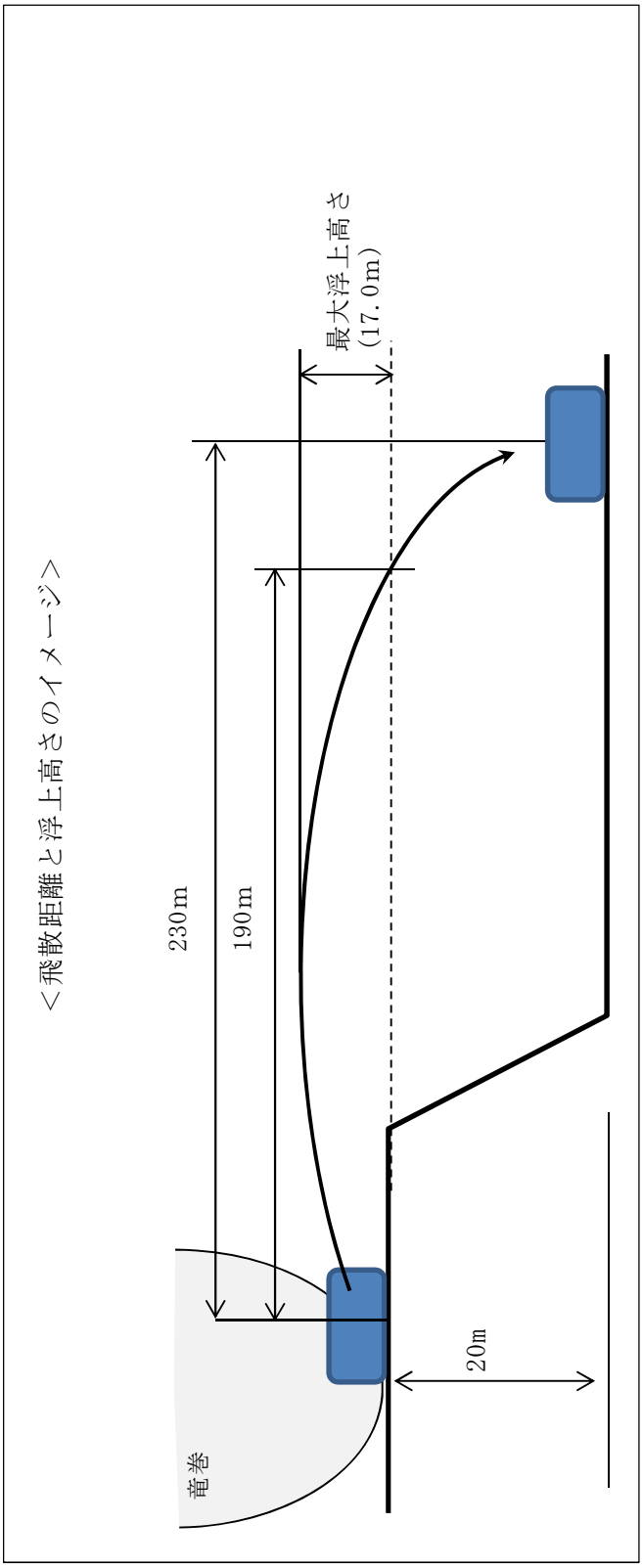
この結果より，車両の最大浮上高さはおおむね20m未満に留まると考えられ，また高低差20m及び0mの最大飛散距離から，車両管理エリアの設定に用いる必要離隔距離をそれぞれ230m，190mとした。飛散解析においては上記の高低差の他にも保守的な取扱いがなされており，上記数値は保守性を有したものとなっている。

別表4－2　車両の飛散距離

車種	車高 (m)	その他寸法 (m)		重量 (kg)	空力パラメータ C_DA/m (m^2/kg)	最大飛散距離(m)		最大浮上高さ (m)
						高低差20m	高低差0m	
大型トラック　バン（25t）	3.790	2.495	11.990	10900	0.0052	184	134	9.0
大型トラック　平（25t）①	3.255	2.490	11.990	9180	0.0056	180	128	7.9
大型トラック　平（25t）②	3.460	2.490	11.990	9310	0.0057	186	136	9.5
大型トラック　平（25t）③	3.035	2.490	11.950	9210	0.0053	172	115	6.5
大型トラック　平（25t）④	3.180	2.490	11.810	8970	0.0056	178	126	7.6
大型トラック　平（11t）	2.485	2.470	9.440	4750	0.0074	202	147	8.7
中型トラック　バン（8t）	3.525	2.495	8.565	4925	0.0081	226	183	17.0
中型トラック　バン（7t）	3.135	2.200	6.920	3490	0.0083	222	179	15.6
中型トラック　平（8t）①	2.550	2.470	8.485	3690	0.0088	224	170	13.1
中型トラック　平（8t）②	2.425	2.240	8.130	3220	0.0089	215	166	12.4
中型トラック　平（8t）③	2.435	2.470	9.440	4120	0.0084	222	162	11.4
中型トラック　バン（5t）	2.830	1.885	4.845	2795	0.0067	186	135	8.8
中型トラック　平（4t）	1.990	1.695	4.690	1990	0.0069	167	101	5.1
小型トラック　平（2t）	2.250	2.170	6.790	2710	0.0085	199	149	10.1
小型トラック　平（1.5t）	1.970	1.695	4.690	2160	0.0063	156	87	4.4
大型バス　①	3.045	2.485	10.430	9260	0.0047	155	90	5.2
大型バス　②	3.130	2.490	11.450	10190	0.0047	158	94	5.4
大型バス　③	3.190	2.490	11.280	10310	0.0047	160	97	5.6
大型バス　④	3.750	2.490	11.990	12840	0.0044	168	109	6.0
大型バス　⑤	3.485	2.490	8.990	10090	0.0041	151	86	4.7
大型バス　⑥	3.520	2.490	11.990	13000	0.0042	157	94	5.0
中型バス　①	3.045	2.300	8.990	7800	0.0047	155	90	5.2
中型バス　②	2.910	2.300	8.990	8100	0.0044	136	74	4.1

別表４－２　車両の飛散距離

車種	車高 (m)	その他寸法 (m)		重量 (kg)	空力パラメータ C_DA/m (m^2/kg)	最大飛散距離(m)		最大浮上高さ (m)
						高低差20m	高低差0m	
中型バス　③	3.035	2.340	8.990	7100	0.0052	170	113	6.3
マイクロバス　①	2.635	2.065	6.995	3830	0.0067	181	128	7.6
マイクロバス　②	2.735	2.010	7.730	4190	0.0067	184	131	8.2
軽自動車（車高最大レベル）	1.880	1.475	3.395	960	0.0098	213	161	9.3
軽自動車（車高最大レベル）	1.910	1.475	3.395	950	0.0100	220	166	10.1
軽自動車（車高最小レベル）	1.180	1.475	3.395	830	0.0086	138	65	3.2
軽自動車（車高最小レベル）	1.280	1.475	3.395	850	0.0088	152	77	3.7
軽自動車（最軽量レベル）	1.475	1.475	3.395	610	0.0132	222	172	10.9
軽自動車（最軽量レベル）	1.525	1.475	3.395	650	0.0127	223	172	10.8
軽トラック　平　①	1.745	1.475	3.395	780	0.0115	219	167	11.5
軽トラック　平　②	1.765	1.475	3.395	680	0.0133	227	180	14.6
軽トラック　平　③	1.885	1.475	3.395	1220	0.0077	173	111	5.5
ＳＵＶ①	1.880	1.980	4.950	2430	0.0063	150	80	4.1
ＳＵＶ②	1.690	1.835	4.725	1660	0.0079	168	101	4.8
ＳＵＶ③	1.610	1.775	4.175	1210	0.0093	204	143	6.0
					最大値	227	183	17.0
					必要離隔距離	**230**	**190**	


＜飛散距離と浮上高さのイメージ＞
最大浮上高さ
（17.0m）
230m
190m
20m
竜巻

東海発電所　廃止措置作業の概要及び解体・撤去物品の管理について

東海発電所の廃止措置工事の概要は,以下に示す３つに区分することができ,それぞれの段階での解体撤去作業の内容を示す。別図 5－1 図には,各段階での東海発電所の状態とその作業概要を示す。

(1)　原子炉領域以外の解体撤去　【屋内作業】

原子炉領域の解体撤去にて発生する解体撤去物の搬出ルート確保，放射性廃棄物保管エリア確保等のため，原子炉領域以外の設備を解体撤去。

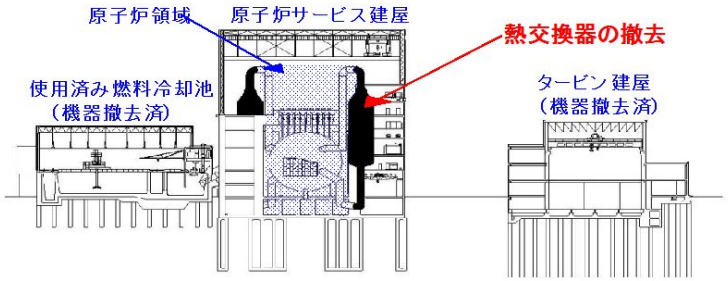
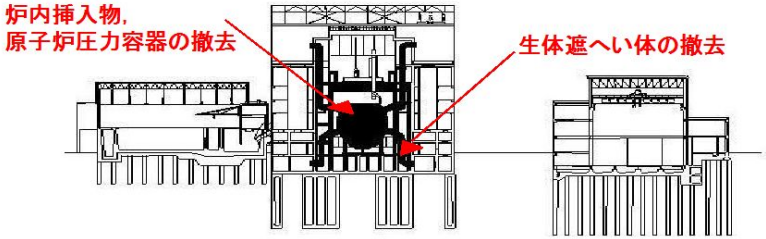
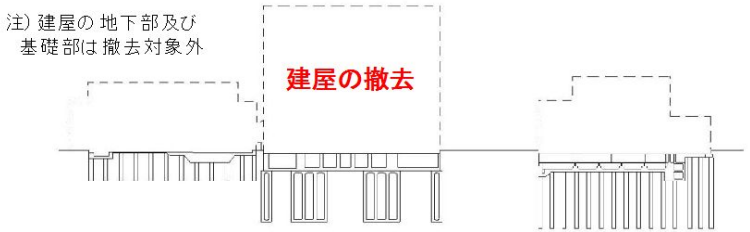
(2)　原子炉領域解体撤去　【屋内作業】

原子炉領域は放射能を減衰させるため，安全貯蔵状態とし，放射能を減衰させた後，原子炉領域の解体撤去。

(3)　建屋等解体撤去　【屋外作業あり】

原子炉領域の解体撤去後、各建屋等は汚染を除去し管理区域を解除して解体撤去。

また，別図 5－1 において，東海発電所の廃止措置の上記の各段階での解体,撤去作業の各段階での物品の管理方法を示す。

作業概要			竜巻防護に関する解体撤去物の管理
①原子炉領域以外の解体撤去		・原子炉サービス建屋内で遠隔装置等により，解体・撤去し，解体撤去物は鉄箱等へ収納する。 ・鉄箱を既設の建屋搬出入口より，東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管，又は敷地外(L3廃棄物埋設施設含む)へ搬出する。	・解体作業に関わる資機材，車両は，東二と同様の管理を行い，設計飛来物の影響を超えることのないように管理する。
②原子炉領域解体撤去		・原子炉サービス建屋内で遠隔装置等により，解体・撤去し，解体撤去物は鉄箱等へ収納する。 ・鉄箱を既設の建屋搬出入口より，東海発電所固体廃棄物貯蔵庫へ保管，又は敷地外(L3廃棄物埋設施設含む)へ搬出する。	
③建屋等解体撤去		・原子炉サービス建屋内の設備が全て解体され，解体撤去物が建屋内より搬出された後，建屋外壁を掘削機により解体する。	・解体作業に関わる資機材，車両は，東二と同様の管理を行い，設計飛来物の影響を超えることのないように管理する。 ・建屋の解体作業時は，設計飛来物の影響を超える解体撤去物が発生しないように予め飛散評価を行った区画を設定するなどの管理を行う。

別図5－1　東海発電所の廃止措置作業の概要及び解体，撤去された物品管理

竜巻時に発生するひょうの影響について

竜巻においてはひょうを伴うことがあるため，ひょうの影響について検討を行った。

ひょうはあられが大きく成長したもので，直径 5mm 以上の氷の粒子である。ひょうの粒径の上限は，文献(1)によれば通常は直径が 5mm～50mm とされているが，ひょうの粒径の変化に対する影響度を確認するため，別の文献(2)に記載のひょうのうち最大の 10cm のひょうまでを想定した評価を実施した。

空気中を落下する物体は空気抵抗を受けるので，時間が経てば空気抵抗と重力とが釣り合い等速運動となり，一定の速度（終端速度）となる。空気中を落下するひょうもこの終端速度で落下する。ひょうの粒径ごとの終端速度を第 1－1 表に示す。

第 1－1 表　ひょうの粒径ごとの終端速度(2)

粒径（cm）	終端速度（m／s）
1	9
2	16
5	33
10	59

ここで，ひょうの影響を評価するため，運動エネルギ，貫通力（貫通限界厚さ）を評価した結果を設計飛来物（鋼製材）と比較し第 1－2 表に示す。

その結果，ひょうの影響は設計飛来物（鋼製材）に十分包絡できると言える。

第1－2表　粒径5cm及び10cmひょうの影響評価

及び設計飛来物との比較結果

評価対象	運動エネルギ	貫通限界厚さ（鉛直）	
		コンクリート (F_C＝225kgf／cm^2)	鋼板
粒径5cmひょう	0.04kJ	0.8cm	0.2mm
粒径10cmひょう	0.85kJ	2.9cm	0.8mm
設計飛来物（鋼製材）	79kJ	18.8cm	19mm

＜参考文献＞

(1)　白木正規，百万人の天気教室，成山堂書店

(2)　小倉義光，一般気象学，東京大学出版会

竜巻随伴事象の抽出について

1. 概要

過去の竜巻被害事例及び発電所の施設の配置から想定される竜巻の随伴事象を検討し，発電所において考慮する必要がある事象として，火災，溢水及び外部電源喪失を抽出した。

2. 過去の竜巻被害について

1990 年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った。第 2－1 表に，1990 年以降に日本で発生した最大級の竜巻であるＦ３クラスの竜巻を示す。

第 2－1 表　1990 年以降のＦ３クラス竜巻

発生日時	発生場所	藤田スケール	死者	負傷者	住宅全壊	住宅半壊
2012 年 5 月 6 日	茨城県常総市	Ｆ３	1	37	76	158
2006 年 11 月 7 日	北海道佐呂間町	Ｆ３	9	31	7	7
1999 年 9 月 24 日	愛知県豊橋市	Ｆ３	0	415	40	309
1990 年 12 月 11 日	千葉県茂原市	Ｆ３	1	73	82	161

竜巻被害の状況写真（第 2－1～3 図）から，竜巻被害としては風圧力及び気圧差による被害及び飛来物の衝突による損傷のみであり，また，竜巻の随伴事象として電柱や電線の損傷による停電が発生していると判断される。

全壊した家屋

飛来物により被害を受けた住宅等

倒れた電柱(復旧作業時)

倒壊電柱に直撃された家屋

第 2－1 図　2012 年 5 月 6 日茨城県にて発生したＦ３竜巻による被害[1]

全壊した工事事務所周辺

飛来物による被害を受けた建物

倒壊した道路標識支柱

道路側へ倒壊した電柱

第 2－2 図　2006 年 11 月 7 日北海道にて発生したＦ３竜巻による被害[2][3]

残骸(飛散物)で埋め尽された道路

吹き飛ばされた建物

横転したバス

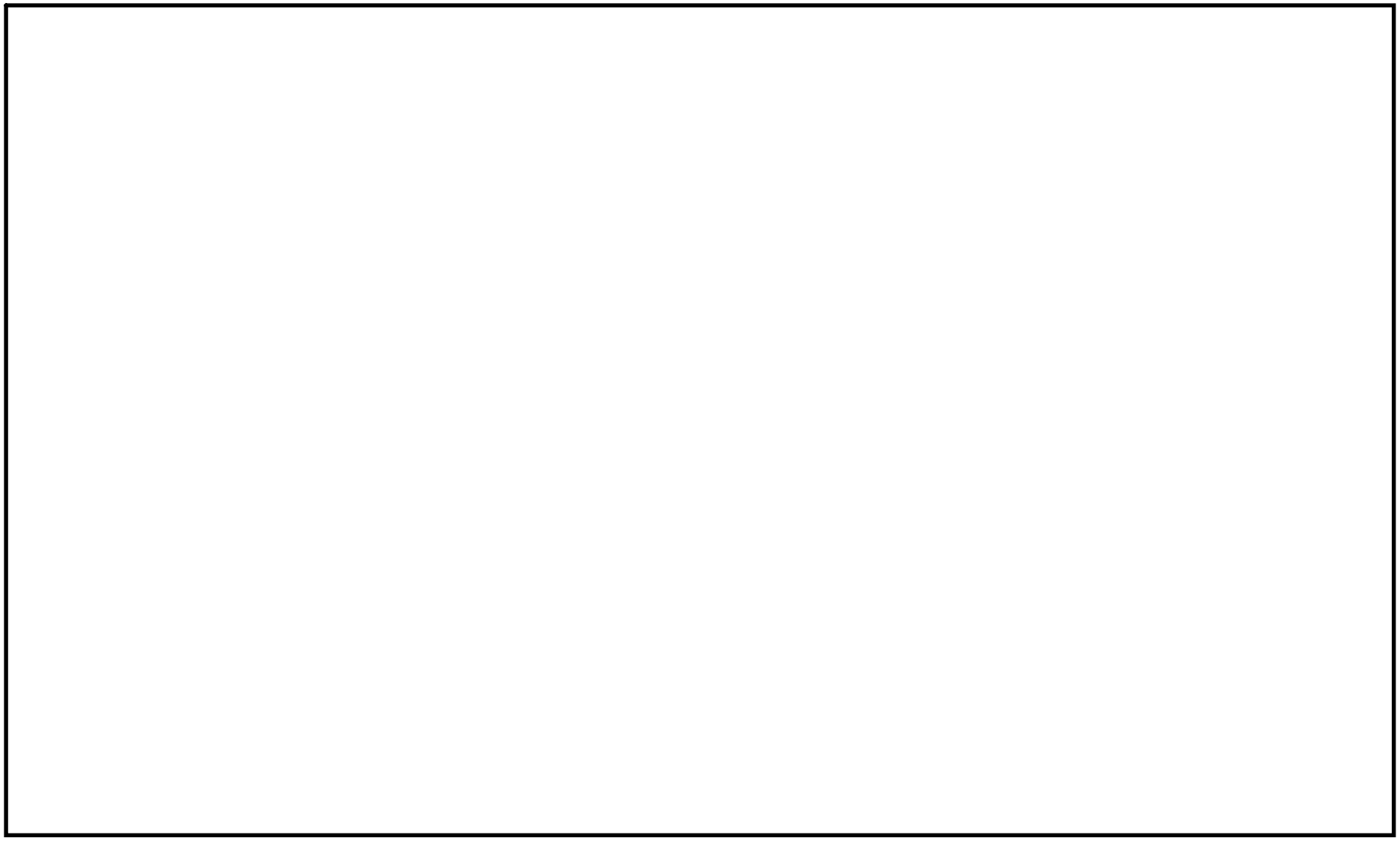
曲がった鉄筋（工事現場）

第 2－3 図　1990 年 12 月 11 日千葉県にて発生したＦ３竜巻による被害[4]

3.　発電所にて考慮すべき竜巻随伴事象

上述の過去の竜巻による被害事例及び第 3－1 図に示す発電所の施設の配置から判断すると，発電所においては送電線等が竜巻による被害を受けることにより，外部電源喪失の発生が考えられる。さらに，屋外に油タンク及び水タンクが配備されていることから，飛来物の衝突により火災及び溢水が発生する可能性がある。

以上のことから，発電所における竜巻随伴事象として，火災，溢水及び外部電源喪失を抽出する。



第3－1図　発電所の評価対象施設のうち屋外施設及び竜巻随伴事象の検討対象施設の配置図

＜参考文献＞

(1) （財）消防科学総合センター，平成24年(2012年)5月6日茨城県つくば市竜巻災害写真報告，2012

(2) （財）消防科学総合センター，平成18年11月7日北海道佐呂間町竜巻災害写真報告，2006

(3) （社）土木学会　北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査団，平成18年11月　北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査，2007年4月

(4) 千葉県総務部消防地震防災課，防災誌「風水害との闘い」第3章　90m超えの突風に街が飛ばされた!－茂原で最大スケールの竜巻が発生－，平成22年3月

別添資料2

東海第二発電所

竜巻影響評価における
フジタモデルの適用について

目　　次

1.　はじめに……1
2　各風速場モデルの概要……4
2.1　フジタモデル ……4
2.2　ランキン渦モデル ……7
2.3　非定常乱流渦モデル（ＬＥＳによる数値解析） ……8
3.　各風速場モデルの比較……10
4.　米国におけるフジタモデルの取扱い……12
4.1　フジタモデルの利用実績 ……12
4.2　ＮＲＣガイドでの取扱い ……14
5.　飛散解析における保守性の考慮……15
5.1　物体の浮上，飛散モデルにおける保守性の考慮 ……15
5.2　物体が受ける風速における保守性の考慮 ……31
5.3　飛散解析手法まとめ ……35
6.　実際の飛散状況に対する検証……37
6.1　フジタスケールとの比較 ……37
6.2　米国Grand Gulf原子力発電所への竜巻来襲事例との比較 ……38
6.3　佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較 ……40
7.　飛散以外の挙動に対する考慮……48
8.　まとめ……50
＜参考文献＞……52

別紙１「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛散解析手法」の比較

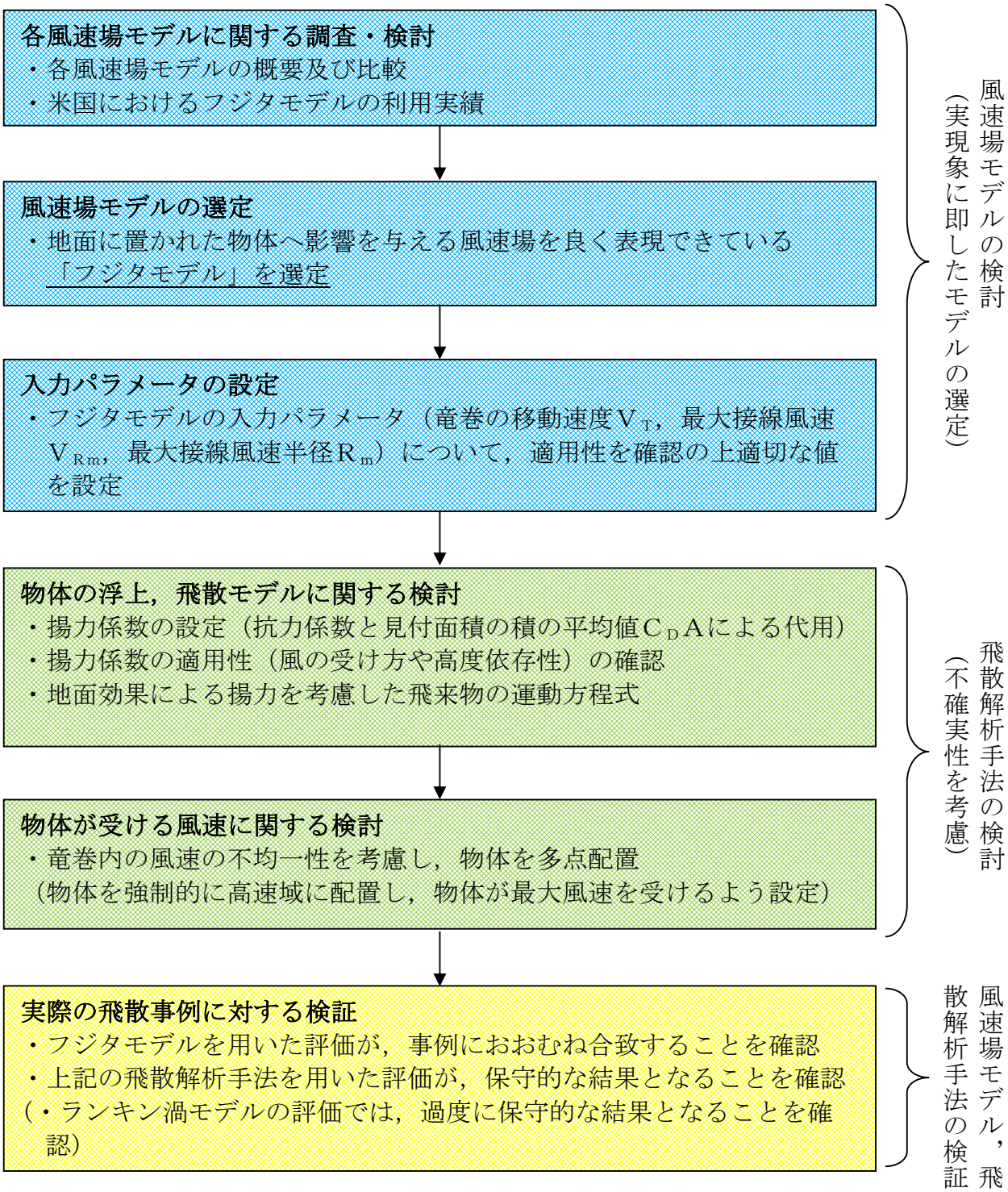
別紙２ 発電所における竜巻風速場モデルの適用方針

1. はじめに

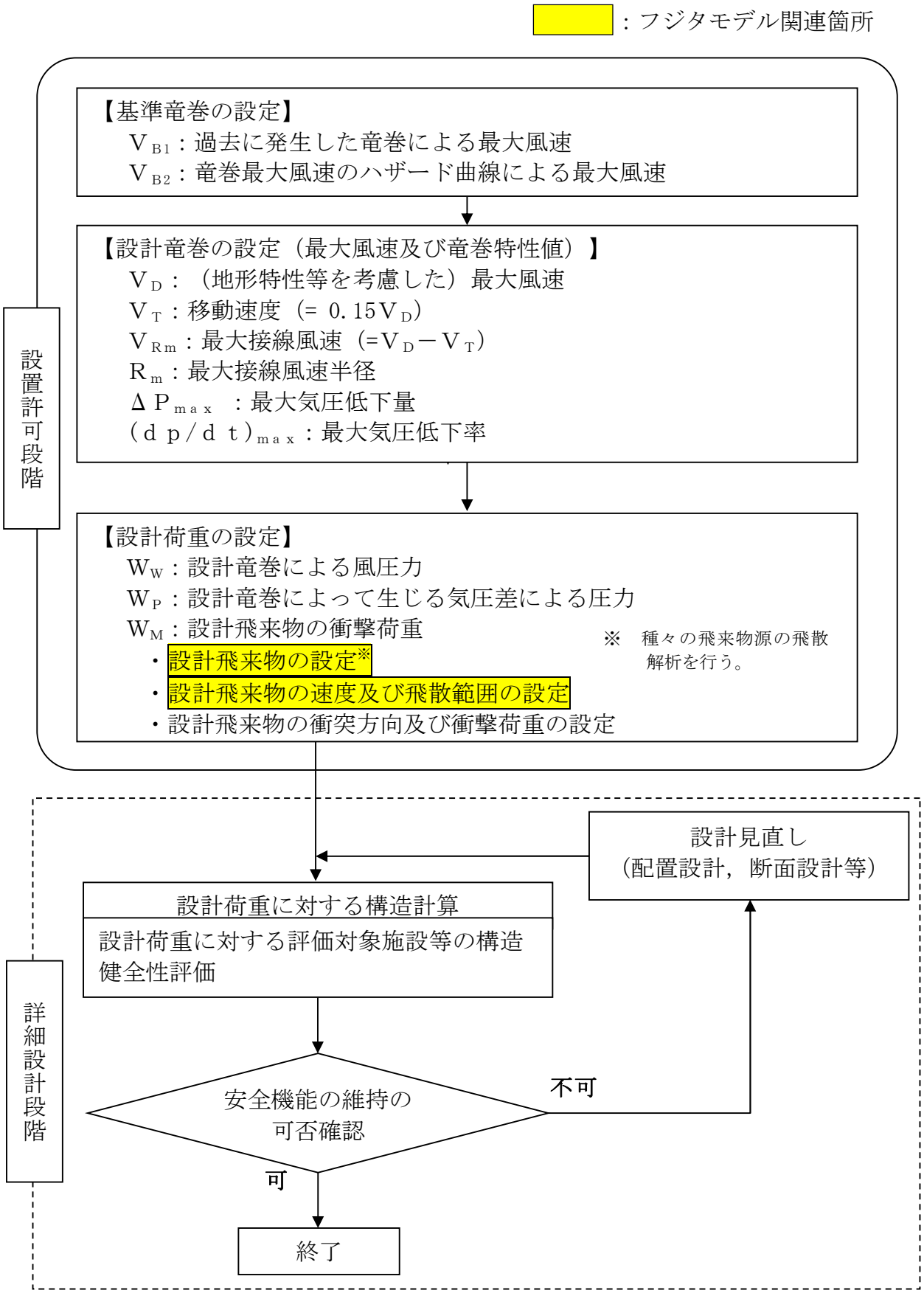
「竜巻影響評価ガイド」に従い竜巻影響評価を行う上で，飛来物の挙動（飛散速度，飛散距離等）を評価するための竜巻風速場モデルを選定する必要がある。これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとしては，米国ＮＲＣの基準類に記載されている「ランキン渦モデル[(1)(2)]」及び原子力安全基盤機構の「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の報告書に記載されている「非定常乱流渦モデル（ＬＥＳ:Large Eddy Simulation）」の数値解析[(3)]があるが，今回の評価においては，地面に置かれた物体への影響をより良く表現できている風速場モデルとして，藤田哲也シカゴ大学名誉教授が考案した竜巻工学モデルＤＢＴ-77（ＤＢＴ: Design Basis Tornado）[(4)]（以下「フジタモデル」という。）を選定した。

第 1－1 図に，風速場モデルの選定及び飛散解析手法に関する検討フローを示す。また，第 1－2 図に，竜巻影響評価の基本フローとフジタモデルを適用する箇所を示す。

次節以降にて，フジタモデルの詳細やフジタモデルを適用した理由等を説明する。



第1－1図　風速場モデルの選定及び飛散解析手法に関する検討フロー



第1－2図　竜巻影響評価フローとフジタモデルの関連箇所

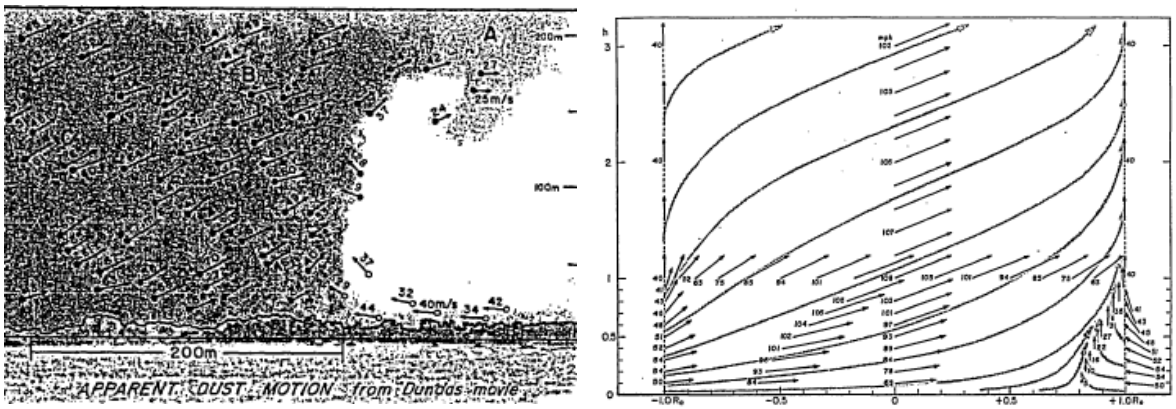
2　各風速場モデルの概要

2.1　フジタモデル

フジタモデルは，米国ＮＲＣの実際の竜巻風速場をモデル化したいという要望により，藤田名誉教授が 1978 年に竜巻観測記録を基に考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては，1974 年 8 月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻（第 2.1－1 図）のビデオ画像の写真図化分析を行い，竜巻の地上痕跡調査及び被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し，そのベクトル図を基に作成した流線モデルから，竜巻風速場を代数式で表現している。（第 2.1－2 図）

フジタモデルの特徴は，地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ及び外部コアにおける上昇流といった，実際の竜巻風速場を良く表現している点にある。

第 2.1－1 図　Ash Valley 竜巻(1974.8.30)のビデオ画像



第 2.1－2 図　風速ベクトルの分析図（左）とフジタモデルの流線（右）(4)

フジタモデルの風速場は，第 2.1－3 図に示すように半径方向に 3 つの領域（内部コア，外部コア及び最外領域）で構成され，内部コアと外部コアの接線（周）方向風速V_θは半径に比例し，その外側の最外領域では周方向風速は半径に反比例するモデルとなっている。内部コアには上昇風速V_Zや半径方向風速V_rは存在しないが，外部コアには存在する。高さ方向には地面から高さH_iまでを流入層としてモデル化しており，竜巻中心方向に向かう半径方向風速V_rがあり，この空気の流れ込みが外部コア内での上昇流となる。流入層より上部では外向きの半径方向風速が存在し，各風速成分は上部に向かうにつれて減衰する。フジタモデルは，流体力学の連続の式を満たす形で定式化されており，力学的に根拠のある風速場となっている。

フジタモデル（ＤＢＴ-77）における接線風速等の関係式については，Fujita Work Book(4)の第 6 章に，第 2.1－3 図のとおり記載されている。

無次元座標　$r = R / R_m, \quad z = Z / H_i$

接線風速　$V_\theta = F_r(r) F_h(z) V_m$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r<1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases} \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z<1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速

$$V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq \nu) \\ \dfrac{V_\theta \tan\alpha_0}{1-\nu^2}\left(1-\dfrac{\nu^2}{r^2}\right) & (\nu < r < 1) \\ V_\theta \tan\alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$$

$$\tan\alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z<1) \\ B\{1-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

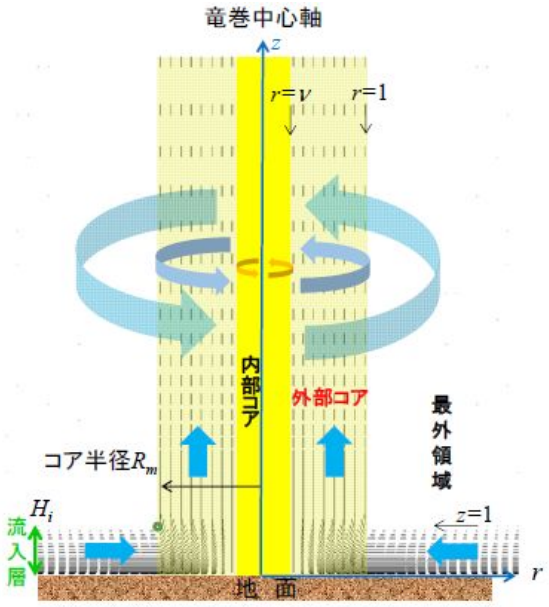
上昇風速

$$V_z = \begin{cases} \dfrac{3}{28}\dfrac{\eta V_m}{1-\nu^2} A(16z^{\frac{7}{8}} - 7z^{\frac{8}{3}}) & (z<1) \\ \dfrac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1-\nu^2)}\{2-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

k_0, k, ν, η, A, Bは定数

また，以下の連続の式を満足する。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r}\frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r}\frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i}\frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$



V_θ	接線方向風速
V_r	半径方向風速（内向きが正）
V_z	上昇風速
V_m	最大接線風速
R_m	外部コア半径

第 2.1－3 図　フジタモデルの概要

ここで，内部コアの半径Ｒ$_\nu$と外部コアの半径Ｒ$_m$の比ν（=Ｒ$_\nu$／Ｒ$_m$）については，Fujita[(4)]が以下の経験式を提案しているので，これを用いた。

$$\nu = 0.9 - 0.7\exp(-0.005R_m) \quad (1)$$

また，流入層は，地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ，流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されることから，摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。Fujita[(4)]は，流入層高さＨ$_i$を竜巻中心の低圧部の大きさ（外部コア半径）Ｒ$_m$に比例するものとして，以下の経験式を提案しており，これを用いた。

$$H_i = \eta R_m \quad (2)$$

ここで，ηは１以下の正の値であり，下式で定義される。

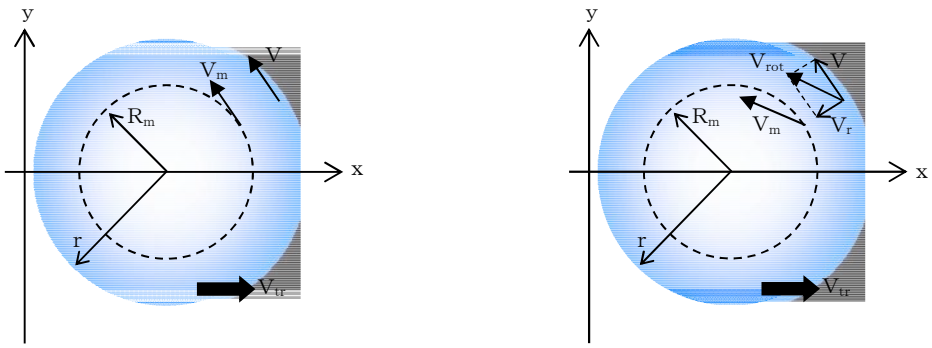
$$\eta = 0.55\left(1-\nu^2\right) \quad (3)$$

上式において，外部コア半径R_m= 30m の場合，η = 0.50（H_i= 15m）となり，独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(3)の図 2.2.3.10 における流入層高さと竜巻半径の比（η = 0.4 程度）や，Kosiba(5)により示されている流入層高さ（H_i= 10m～14m 以下）とおおむね同じである。

なお，その他の定数についても，Fujita(4)の提案している値として，k_0 = 1/6，k= 0.03，A= 0.75，B= 0.0217 を用いた。

2.2　ランキン渦モデル

ランキン渦モデルは米国ＮＲＣガイドでも採用されており，設計竜巻の特性値を設定する際に用いられている。しかし，第 2.2－1 図(b)に示す飛散解析用のモデル(2)では，竜巻中心に向かう半径方向風速V_rと上昇風速V_zを特別に付加しているため，流体力学の連続の式を満たしておらず，第 2.2－2 図の様な地面から吹き出しが生じる流れとなっており，地上からの物体の浮上，飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散解析を行う場合，地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価することになる。



$$\begin{pmatrix} V_r \\ V_\theta \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ f(r) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$f(r) = \begin{cases} \dfrac{V_m r}{R_m} & (0 \leqq r \leqq R_m) \\ \dfrac{R_m V_m}{r} & (R_m < r) \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} V_r \\ V_\theta \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f(r)/\sqrt{5} \\ 2f(r)/\sqrt{5} \\ 4f(r)/3\sqrt{5} \end{pmatrix}$$

(a)圧力評価用　　(b)飛散解析用

第 2.2－1 図　ランキン渦モデル

無次元座標　$r = R / R_m$

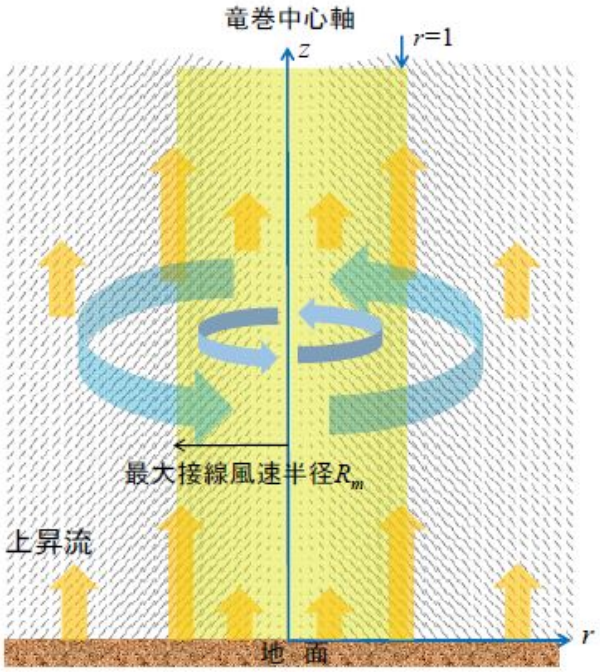
接線風速　$V_\theta = \dfrac{2V_m}{\sqrt{5}} F_r(r)$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r<1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速　$V_r = -\dfrac{1}{2} V_\theta$

上昇風速　$V_z = \dfrac{2}{3} V_\theta$

水平方向風速　$V_h = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} = V_m F_r(r)$



r＜1 の領域では，（流体が消滅するため）以下の連続の式を満足しない。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r}\frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r}\frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i}\frac{\partial V_z}{\partial z} = \begin{cases} -\dfrac{2V_m}{\sqrt{5}R_m}(r<1) \\ 0 \quad (r>1) \end{cases}$$

第 2.2－2 図　飛来物速度評価用ランキン渦モデル

2.3　非定常乱流渦モデル（ＬＥＳによる数値解析）

ＬＥＳは，非定常な乱流場を数値的に計算する手法として，「竜巻評価ガイド」における飛来物の最大速度の設定例にも活用されている。第 2.3－1 図にＬＥＳによる渦の発生状況を示す。

古典的な Smagorinsky モデルに基づくＬＥＳの基礎方程式（運動量保存式及び質量保存式）は，流体を非圧縮性と仮定する場合，以下のようになる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1\frac{\partial U_i}{\partial x_1} + U_2\frac{\partial U_i}{\partial x_2} + U_3\frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i} + (\nu + \nu_s)\left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial {x_1}^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial {x_2}^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial {x_3}^2}\right) - f_i \qquad (i = 1,2,3)$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ (4)

$$\frac{\partial U_1}{\partial x_1}+\frac{\partial U_2}{\partial x_2}+\frac{\partial U_3}{\partial x_3}=0 \tag{5}$$

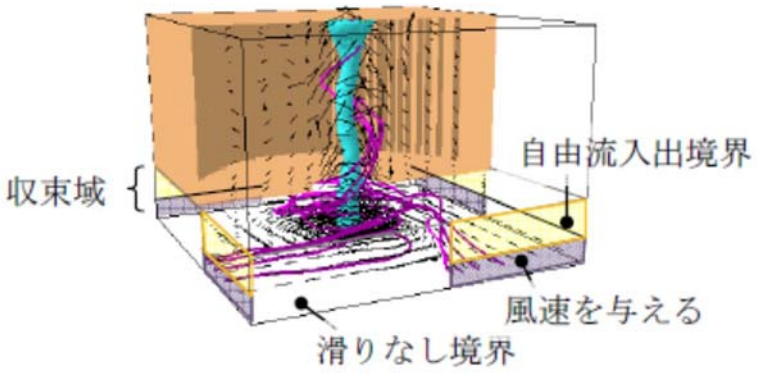
ここで，Ui 及び P は，i 方向の流速ベクトル及び圧力を表し，ν は動粘性係数を，f_i は i 方向の外力加速度を表す。また，x_i は i 方向の座標を表す。

一方，Smagorinsky モデルの渦粘性係数 ν_s は以下のように定義される。

$$\nu_s=(C_s h)^2\sqrt{\sum_{i,j=1}^{3}2S_{ij}{}^2} \tag{6}$$

ここで，h は解像スケール（メッシュ幅相当），Cs は Smagorinsky 定数を表し，ひずみ速度テンソル S_{ij} は $S_{ij}=0.5(\partial U_i/\partial x_j+\partial U_j/\partial x_i)$ で定義される。

以上のとおり，ＬＥＳは風速の時間的な変動（乱流）を考慮できる点が特長となっている。



第 2.3－1 図　ＬＥＳ計算領域内での竜巻状の渦の作成状況(6)

ＬＥＳの手法自体は広く活用されているものであるが，実スケールでの精緻な評価を行うためには，必要なメッシュ解像度の確保に膨大な計算機資源が必要となる。また，「竜巻影響評価ガイド」で例示されているＬＥＳによる数値解析については，条件設定等に関して下記のような問題点がある。

・「竜巻影響評価ガイド」で例示されているＬＥＳによる解析では，境界条件（側面からの流入風速の分布等）や解析領域の形状（流入箇所を局所的に配

置等）を調整して人為的な乱れを与え，竜巻状の渦を生成しているが，渦の生成に当たって以下のような条件を仮定していることから，実スケールでの評価を実施するには課題があるものと考えられる。

- 人為的な流入境界条件（流入風速分布や流入箇所の局所的配置等）を設定していることから，流入境界条件の影響を受ける地表面付近の実際の竜巻風速場の再現はできていないものと考えられる。
- 小規模な計算領域によるシミュレーションであり，実スケールへの適用（飛散解析）の際には単純に速度を規格化して適用している。
  - ⇒ 風速の規格化の際には，時間平均の最大風速を 100m／s（風速＋移動速度）に設定している。Maruyama(7)によれば，瞬間的な周方向風速は 1.7 倍程度まで大きくなる場合があり，移動速度と合わせると最大 160m／s 程度まで達するため，飛散解析の際に非常に保守的な結果が算出されることが考えられる。
  - ⇒ 流速が早い場合には粘性の影響は小さくなる傾向となるが，その影響については考慮していないことから，特に地表面付近については実際の風速場の再現はできていないものと考えられる。

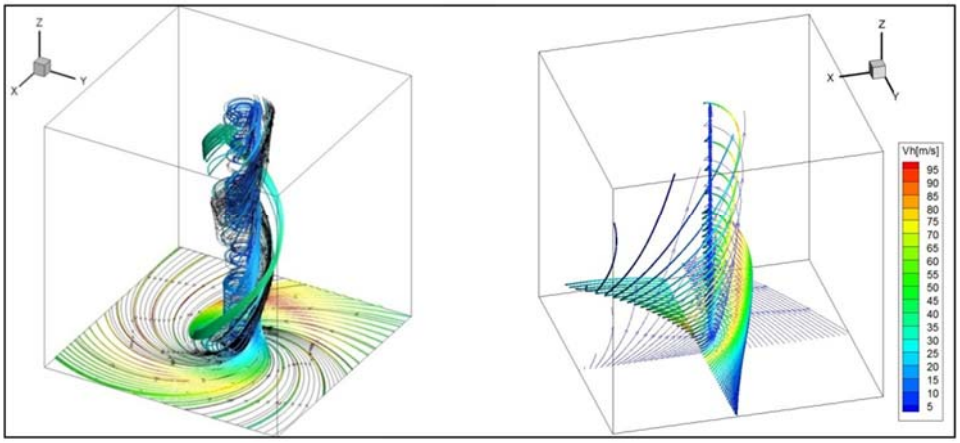
3. 各風速場モデルの比較

上述の各風速場モデルの特徴の比較を第 3－1 表に示す。また，フジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を第 3－1 図に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は，地面付近を含めより実際の風速場に即した形で表現されており，これがフジタモデルの大きなメリットとなっている。それに対し，ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的よく表現できると言えるものの，地上付近では実現象と乖離している。ＬＥＳも同様に地上付近で

の風速場が実現象と乖離している。また，他のモデルと比較して，フジタモデルは特に問題となるような点も無いことから，竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考えられる。

第3－1表　各風速場モデルの特徴の比較

風速場モデル	使用実績	特徴
フジタモデル	・竜巻飛来物設計速度及び飛散高さに関する，米国ＤＯＥ重要施設の設計基準作成に利用されている。（「4　米国におけるフジタモデルの取扱い」参照）	・実観測に基づいて考案されたモデルであり，実際に近い風速場構造を表現している。 ・比較的簡易な代数式により風速場を表現できる。（ランキン渦モデルよりは複雑だが，計算機能力の向上及び評価ツールの高度化により実用可能となった） ・流体の連続式を満足する
ランキン渦モデル	・米国ＮＲＣの R.G 1.76 に採用されている。 ・「竜巻影響評価ガイド」（竜巻の特性値の設定）において例示されている。	・簡易な式により風速場を表現できる。 ・風速場に高度依存性がなく，上昇流が全領域に存在し，地表近傍の風速場を模擬していない。 ・流体の連続式を満足しない。
非定常乱流渦モデル（ＬＥＳ）	・「竜巻影響評価ガイド」において，飛来物の飛散速度等の評価例が示されている。	・風速の時間的な変動や乱れを，ある程度模擬できる。 ・人為的な境界条件を設定しており，地面や境界近傍で実現象と乖離している。 ・小規模領域での計算結果を実スケールに規格化した場合，最大瞬間風速が相当に保守的となる場合がある。 ・実スケールでの解析には膨大な計算機資源が必要であり，実用に供しにくい。



第3－1図　フジタモデル（左）とランキン渦モデル（右）の風速場の構造

4.　米国におけるフジタモデルの取扱い

4.1　フジタモデルの利用実績

米国エネルギー省ＤＯＥ（Department of Energy）が管理するエネルギー関連施設等に適用する基準[8]において，竜巻飛来物速度，飛散高さの設定にフジタモデルを用いた計算結果が使用されている[9][10]（文献[8]の D.4 節：

Windborne missile criteria specified herein are based on windstorm

damage documentation and computer simulation of missiles observed in the field. ・・・. Computer simulation of tornado missiles is accomplished using a methodology developed at Texas Tech University.）。

この基準では，施設に要求される性能ごとにカテゴリ０から４まで分類し，カテゴリ０から２は一般的な建築物，カテゴリ３及び４は核物質や危険物質を取り扱う施設に適用される。カテゴリ３及び４に該当する施設として，Pantex Plant，Oak Ridge(X-10，K-25,Y-12)，Savannah River Site が挙げられている。

フジタモデルの技術的な妥当性の検証については，米国ＤＯＥ管轄のローレンス・リバモア国立研究所報告書[11]にてまとめられている。この報告書では，フジタモデルＤＢＴ-77 を他の風速場モデルと比較検討しており，「流体力学の連続の式を満足する（Fluid mechanics equations of continuity are satisfied）」こと，「モデル流況は，竜巻の映像分析で得られる流れの空間分布と整合する（Flow patterns are consistent with the spatial distribution of flow observed in photogrammetric analysis of tornado movies）」こと等を利点として挙げている。

また，実際の事例に対するフジタモデルの検証としては，1978 年 12 月 3 日に米国ルイジアナ州 Bossier 市で発生した F4 竜巻による鋼製材の飛散について，フジタモデルＤＢＴ-77 で再現した事例[9]がローレンス・リバモア国立研究所報告書[11]及び米国気象学会論文集[12]に掲載されている。

なお，米国ＬＥＳ（Louisiana Energy Services）の濃縮施設ＮＥＦ（National Enrichment Facility）では，上記のＤＯＥ施設の基準に基づき竜巻飛来物（鋼製パイプや木材の板等）を設定しており，米国ＮＲＣは当該施設に対する安全評価報告書（ＮＵＲＥＧ-1827）[13]の中で竜巻飛来物に対するＬ

ＥＳの設計を是認している。

（“Based on the review of the information concerning tornados and tornado-generated missiles, NRC concludes: (i) the information is accurate and is from reliable sources; and (ii) the design bases tornado-generated missiles are acceptable because they were determined based on an appropriate DOE standard. The use of a DOE standard is an acceptable approach to NRC staff.”）

4.2　ＮＲＣガイドでの取扱い

2.1節でも述べた通り，フジタモデルは実際の竜巻風速場をモデル化したいという米国ＮＲＣの要請を受けて考案されたものであるが，米国ＮＲＣのRegulatory Guide 1.76[1]では，フジタモデルについて“The NRC staff chose the Rankine combined vortex model for its simplicity, as compared to the model developed by T. Fujita.”と述べられており，数式の簡易さを理由にランキン渦モデルが選定されている。また，ＮＲＣスタッフ自身で水平方向の飛散速度（Simiuらの運動方程式[2]）を計算するプログラムを開発している（“The NRC staff developed a computer program to calculate the maximum horizontal missile speeds by solving these equations.”）ことが明記されている。

したがって，米国ＮＲＣガイドでランキン渦モデルが採用されているのは，フジタモデルより簡易であるという理由が主であり，竜巻風速場としての優劣を指摘されたものではない。

（参考）米国におけるランキン渦モデル以外の風速場モデルの利用実績

米国ＮＲＣでは，竜巻防護対策の追加を検討しているプラントに対し，確率

論的竜巻飛来物評価手法ＴＯＲＭＩＳの利用を承認している。

ＴＯＲＭＩＳは，米国のＥＰＲＩで開発された原子力発電所の構造物，機器への竜巻飛来物の衝突及び損傷確率を予測する計算コードであり，同コードでは，ランキン渦モデル以外の風速場モデル（統合風速場モデル）が利用されている。（米国ＮＲＣにおいても，ランキン渦モデル以外の風速場モデルが認められていないわけではない）

5. 飛散解析における保守性の考慮

前節までに述べてきたとおり，フジタモデルの風速場を適用することで，より現実的な竜巻影響評価を行うことが可能と考えられるが，一方で，実際の竜巻による物体の飛散挙動の保守性についても考慮する必要がある。

本節では，フジタモデルを用いた地上からの飛散挙動解析に関する保守性や，物体が竜巻に晒される際の風速に関する不確定性等について，飛散解析の中でどのように考慮しているかについて説明する。

5.1 物体の浮上，飛散モデルにおける保守性の考慮

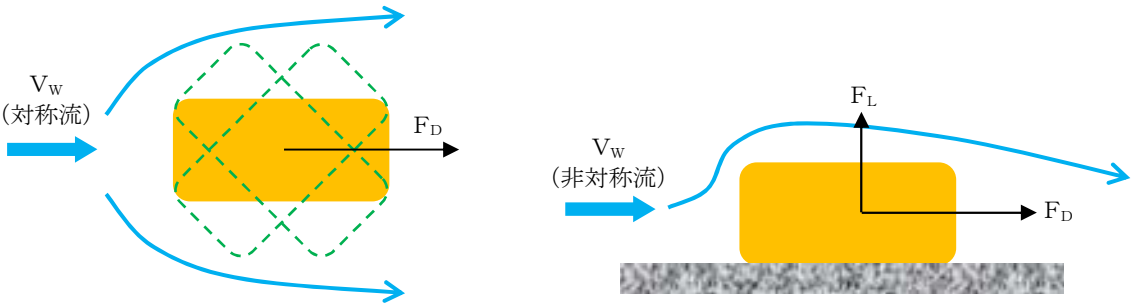
本評価における物体の浮上・飛散モデルの考え方と，その中で保守性の観点から考慮している点について説明する。

(1) 物体の揚力の計算式

物体が空中にある場合，物体に作用する力は，「竜巻影響評価ガイド」の飛来物運動モデル[(2)(3)]と同様に，飛来物は第 5.1－1 図(a)のようにランダムに回転しているものとし，平均的な抗力(流れの速度方向に平行な力)F_Dと重力のみが作用する飛行モデルを採用している。

一方，物体が地面に置かれている場合や地面に近い場合は，地面効果による揚力を考慮している[(14)]。具体的には，物体の形状が流れ方向の軸に関し

て対称であっても，第 5.1－1 図(b)に示すように地面の存在により流れが非対称になり，物体上部の圧力が低くなることで物体を浮上させる駆動力が生じることから，これを揚力F_Lとして考慮する。



(a)空中　　(b)地表付近

第 5.1－1 図　物体へ作用する力

このような揚力F_Lは，地表付近での揚力係数C_L及び物体の見付面積（風向方向から見た投影面積）aを用いて，以下のように表される。

$$F_L = \frac{1}{2}\rho C_L a \left|\mathbf{V_W} - \mathbf{V_M}\right|_{x,y}^{\ 2} \tag{7}$$

ここで，ρは空気密度，$\mathbf{V_M}$は飛来物の速度ベクトル，$\mathbf{V_W}$は風速ベクトル，$|\boldsymbol{\alpha}|_{x,y}$はベクトル$\boldsymbol{\alpha}$の x, y 成分（水平成分）の大きさを表す。

（参考）地上の物体における地面効果による揚力について

物体や地面は完全な滑面ではなく凹凸を有しているため，完全接触と非接触の領域に区別される。物体の地面への投影面積をＡとし，物体と地面の完全接触面積をｓとした場合，無風時（第 5.1－2 図の(a)）は物体が流体に接する全表面で圧力は一定（p_0）と見なせるため，鉛直方向（上向きを正とする）に作用する揚力F_{L0}は以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \tag{8}$$

ここで，$0 < s \leqq A$であることから，F_{L0}は負の値となり，揚力は発生しな

いことが分かる。

一方，竜巻通過時（第 5.1－2 図の(b)）の物体に圧力差に伴う流体力が作用（簡単のため上面での圧力をｐ１，下面での圧力をｐ２と仮定）する場合，鉛直方向の流体力Ｆ Ｌは以下で与えられる（圧力分布がある任意形状の物体についても，圧力の表面積分を用いれば同様に計算可能）。

$$F_L = -p_1 A + p_2 (A - s) \tag{9}$$

吸盤の様に完全に地面に密着している場合はｓ=Ａとなるため，上面の圧力ｐ１に投影面積Ａを乗じた力が下向きに作用するが，物体と地面の間に僅かに空隙が生じる場合には，地面と物体の接触状態によっては上向きの力が発生することがある。

実際には，地面と物体の接触状態を確認することは難しいことから，本評価においては，保守的に地上における物体に揚力が作用することとしている。

(a) 無風時　　(b) 強風時

第 5.1－2 図　部分的に地面に接する物体に作用する力

(2)　揚力係数の設定

(7)式のＣ Ｌa は風洞実験から求められる値であるが，実験条件（風を受ける方向等）により様々な値を取り得るため，それを包含するような係数を設定することが望ましい。本評価では，条件によらず保守性を確保できるよう，Ｃ Ｌa に代わり，以下で定義される抗力係数と見付面積の積の平均値Ｃ Ｄ Ａを用いることとする。

$$C_D A = \frac{1}{3}\left(C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_{xz}\right) \tag{10}$$

ここで，C_{Di}は空中でのｉ軸方向流れに対する抗力係数，A_iはｉ軸方向流れに対する見付面積を示す。

物体の運動モデルを第 5.1－3 図に示す。上述の$C_L a$を$C_D A$で代用する考え方を本図に基づき整理すると，以下のとおりとなる。

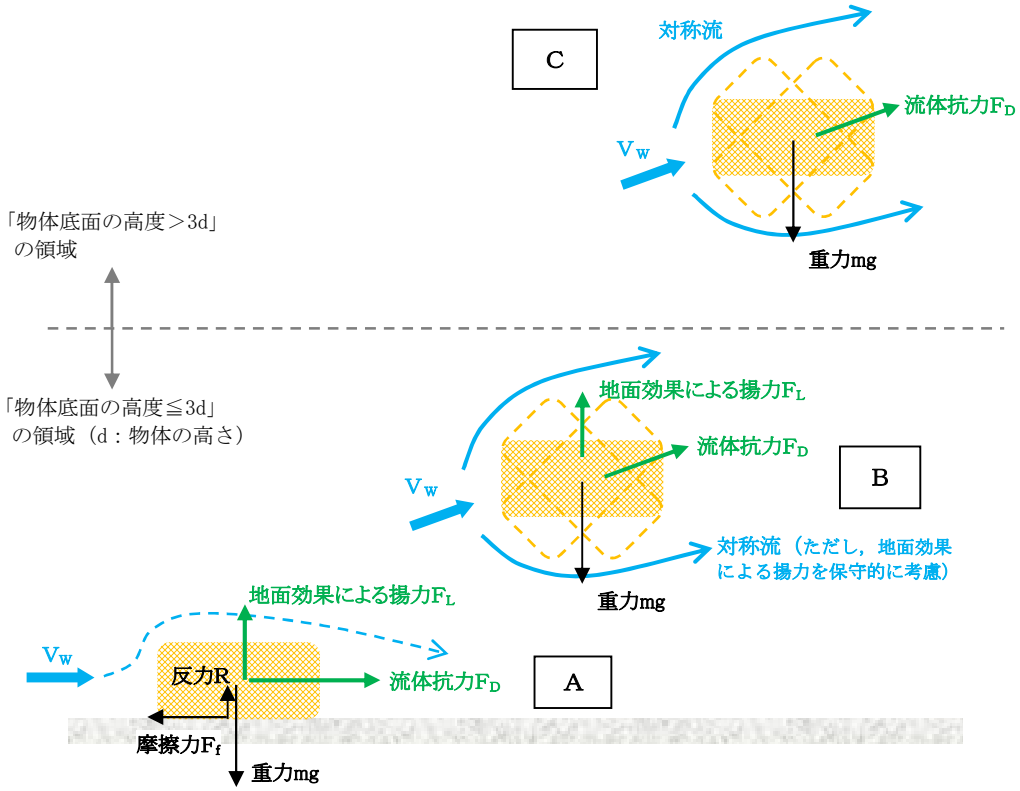
・物体がある程度浮き上がった後の状態（Ｂ）であれば，物体はランダムに回転し，物体各面に均等に風を受けるものと考えられる。

・物体が地面に置かれた状態（Ａ）から浮き上がる場合，実際には物体の上面や下面での圧力が均一ではなく，傾きながら浮き上がるようなことも考えられるが，このような挙動を理論的に評価することは難しい。

　そのため，これに準ずる方法として，地面から浮かせた状態で実測された$C_L a$のうち，物体が地面に置かれた状態（Ａ）にできる限り近い場合の値よりも大きな係数$C_D A$を用いることで，保守性は確保できると考えられる（「$C_D A > C_L a$」となることの説明は後述）。

・物体が地面に置かれた状態（Ａ）と物体がある程度浮き上がった状態（Ｂ）での評価にて共通の係数を用いることは，地上からの物体浮上及び飛散解析における実用性の観点からも望ましい。

物体の飛散解析におけるモデル化の基本的な考え方は，地面における揚力係数C_L見付面積 a の積$C_L a$ をより大きな値で置き換えて，浮上現象を保守的に評価できるようにすることであり，この保守的な代用値として$C_D A$の利用が適切であることを以下に説明する。



第 5.1－3 図　物体の運動モデルの模式図

物体が風速Ｕを受ける場合の揚力係数Ｃ$_{L}$は，一般にその定義により揚力Ｆ$_{L}$と以下の関係にある。

$$F_L = \frac{1}{2}\rho U^2 C_L a$$

ここで，典型的な塊状物体，柱状物体及び板状物体が地面に置かれた場合のＣ$_{L}a$ の最大値（又はそれに近い値）の実測結果と，物体の幾何学形状のみで決定されるＣ$_{D}$Ａの値を比較した。（第 5.1－1 表）

同表より，「Ｃ$_{D}$Ａ＞Ｃ$_{L}a$」の関係が成立しており，揚力の評価モデルとしてＣ$_{L}a$ の代わりにＣ$_{D}$Ａを用いることで保守性は確保できる。

また，以上の揚力のモデル化の説明は浮上時（第 5.1－3 図Ａ）に対するものであるが，この揚力が物体高さの 3 倍までの飛散高度の範囲で連続的に低

減するように作用するようにモデル化しており，第 5.1－3 図の状態Ａ，Ｂ及びＣの全領域で揚力の連続性が確保されている。

第 5.1－1 表　主な物体のC_DAと地面に置かれた物体のC_La（実測値）（1／2）

形状	物体	仕様	C_DA※1	C_La（実測値）	C_La（実測値）に係る試験条件等
塊状	自動車	実物の Dodge Dart（長さ 16.7ft.，幅 5.8ft.，高さ 4.3ft.）	129ft.^{2}	48.7ft.^{2}	・風洞試験(15)（風速 22m／s～31m／s，Re=2.8×10^6～4×10^6） ・C_La が最大となる流入角での値をC_La（実測値）として記載
		1/6 縮尺模型（セダン：長さ 4.85m，幅 1.79m，高さ 1.42m，質量 1633kg）	12.07m^2	7.76m^2	・風洞試験(16)（風速 0～150m／s，Re=0～3×10^6） ・4 つのタイヤに作用する地面からの反力のうち，少なくとも 1 つが 0 となった時点の風速 U からC_La値を計算（C_La=2mg／ρU^2） ・C_La が最大となる流入角での値をC_La（実測値）として記載
		1/6 縮尺模型（ミニバン：長さ 5.12m，幅 1.94m，高さ 1.69m，質量 2086kg）	14.58m^2	7.89m^2	
	立方体	一辺の長さ D	2D^2	0.2D^{2}程度	・水路試験(17)（Re=8,000～28,000） ・流入方向と立方体面の一面が垂直になる配置における値をC_La（実測値）として記載
柱状	円柱	長さλ，直径 D	0.47Dλ	0.2Dλ	・風洞試験(15)（Re=1.3×10^6） ・流入方向と円柱の軸直角方向が垂直になる配置（円柱の軸方向は地面と平行）における値をC_La（実測値）として記載
				0.05Dλ～0.23Dλ	・風洞試験（Re=3.5×10^4～1.2×10^5） ・流入方向と円柱の軸直角方向が垂直になる配置（円柱の軸方向は地面と平行）における値をC_La（実測値）として記載
	角柱	長さλ，断面が一辺 D の正方形	0.8Dλ（1.3Dλ）※2	0.5Dλ～0.7Dλ程度	・水路試験(17)（Re=8,000～28,000） ・長方形断面（アスペクト比 4:3）の角柱は地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となる（電中研風洞実験） ・流入方向と角柱の軸方向が垂直となる配置（角柱の軸方向は地面と平行）における値をC_La（実測値）として記載
		長さλ，高さ D，幅 B の長方形断面	0.4(D＋B)λ	負値（地面との隙間が 0.167D 以上の場合）	・風洞試験（Re=3.8×10^4） ・流入方向と角柱の軸方向が垂直になる配置（角柱の軸方向は地面と平行）

※1　柱状及び板状では微小項を無視して記載
※2　塊状と見なせる場合

第 5.1－1 表　主な物体のC_DAと地面に置かれた物体のC_La（実測値）（2／2）

形状	物体	仕様	C_DA※1	C_La（実測値）	C_La（実測値）に係る試験条件等
板状	薄い平板	長さλ，幅 B，厚さ D（λ=1000 ㎜，B=200 ㎜，D=5 ㎜の場合）	0.66Bλ	0 に近い値（地面から 0.25B 離れた位置でC_La=0.04Bλ）	・風洞試験(18)（幅 B に基づく Re=2×10^5） ・流入方向と平板の長さ方向が垂直になる配置（平板は地面と平行）における値をC_La（実測値）として記載
	薄い翼	長さλ，幅 B，厚さ D（λ=300 ㎜，B=100 ㎜，D=15 ㎜の場合）		0.2Bλ程度	・風洞試験(19)（幅 B（参考文献(19)ではｃ）に基づく Re=2.2×10^5） ・流入方向と翼の長さ方向が垂直になる配置（翼面は地面と平行）
	平板状ブロック	長さλ，幅 B，厚さ D	0.66Bλ 0.66(Bλ+D(B+λ))※2	0.1Bλ程度	・水路試験(20)（Re=5×10^{4}程度） ・流入方向と平板状ブロックの長さ方向が垂直になる配置（平板状ブロックは地面と平行）における値をC_La（実測値）として記載

※1　柱状及び板状では微小項を無視して記載
※2　塊状と見なせる場合

(3)　設定した揚力係数の適用性の確認

第 5.1－1 表における$C_L a$（実測値）が竜巻における物体の飛散解析に適用可能であることについて，レイノルズ数の観点から確認を行った。

第 5.1－1 表の各文献中の実験におけるレイノルズ数は，同表の備考欄に示すとおり，10^4～10^6の範囲にある。

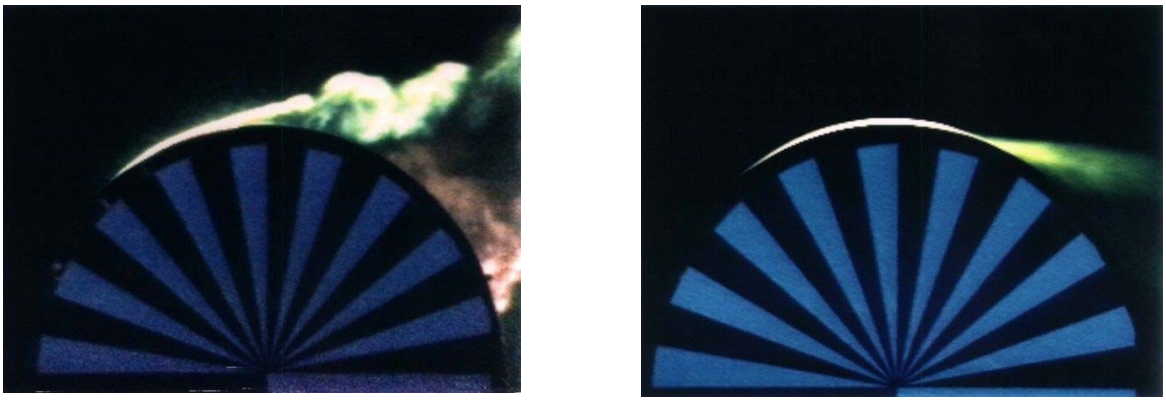
ここで，実物の自動車（Dodge Dart：長さ 16.7ft.，幅 5.8ft.，高さ 4.3ft.）では風速を 30mph（13m／s）～120mph（54m／s）まで変化させてレイノルズ数の影響を調べた結果，風速は各空力係数に対して顕著な影響がないことが確認されている(15)。これは，剥離点が物体角部等に固定されてレイノルズ数にほとんど依存しないためであり，このような特性を有する立方体等についてもレイノルズ数依存性はないものと考えられる。

一方，円柱周りの流れのように剥離点が曲面上にある場合については，第 5.1－4 図に示すように，レイノルズ数が変化すると剥離点が移動し，抗力係数等が変化することが知られている。第 5.1－1 表のＥＰＲＩの円柱の風洞試験結果(15)は Re=1.3×10^6の高レイノルズ数条件で得られたものであり，竜巻中の円柱状の飛来物のレイノルズ数範囲に入るものと考えられる（例えば，相対風速 92m／s の直径 0.1m のパイプのレイノルズ数は 6×10^5程度）。また，電力中央研究所の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0m／s～16.5m／s）においても，壁（地面）近くに設置した円柱（直径 100mm×模型長 1000mm）を対象として，Re=3×10^4～1×10^5程度までの揚力係数の測定試験が行われている。

ＥＰＲＩの風洞試験と電力中央研究所の風洞試験にはレイノルズ数条件に大きな違いがあるが，第 5.1－5 図に示すとおり，風洞試験で得られた円柱揚力係数に顕著な相違は認められない。

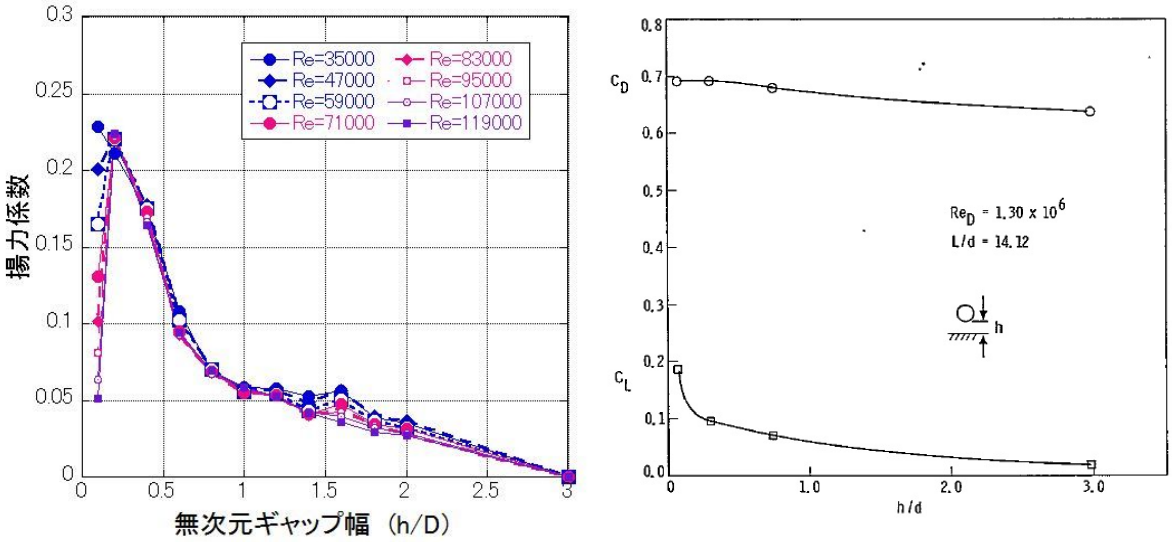
以上より，地面における各物体の揚力係数C_Lと見付面積 a の積$C_L a$ はレ

イノルズ数にほとんど依存せず，第 5.1－1 表に示す風洞試験結果に基づくモデル化は妥当であると考えられる。



(a) $Re \fallingdotseq 4 \times 10^4$　　(b) $Re \fallingdotseq 2 \times 10^5$

第 5.1－4 図　可視化した円柱まわりの流れ(21)



(a) 電力中央研究所
($Re=3\times10^4 \sim 1\times10^5$)

(b) ＥＰＲＩ
($Re=1.3\times10^6$) (15)

第 5.1－5 図　風洞実験による円柱の揚力係数

(4)　揚力の高さ依存性

地面効果による揚力は物体の上昇とともに減衰するので，既往の風洞実験の結果(15)(22)を考慮して，高さ寸法 d の物体に働く揚力は，物体底面の高度

が地面から３ｄとなった時に消滅すると設定した。

具体的には，底面が地面からＺの距離（高度）にある物体に作用する揚力加速度Ｌを以下の関数形でモデル化した。

$$L=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\left|\mathbf{V_W}-\mathbf{V_M}\right|_{x,y}{}^2 f(Z/d) \tag{11}$$

f(Z/d)は，ＥＰＲＩの風洞実験結果[15]を参考に，以下の反比例式とした。

$$f(Z/d)=\{1-(Z/3d)\}/\{1+(Z/d)\} \tag{12}$$

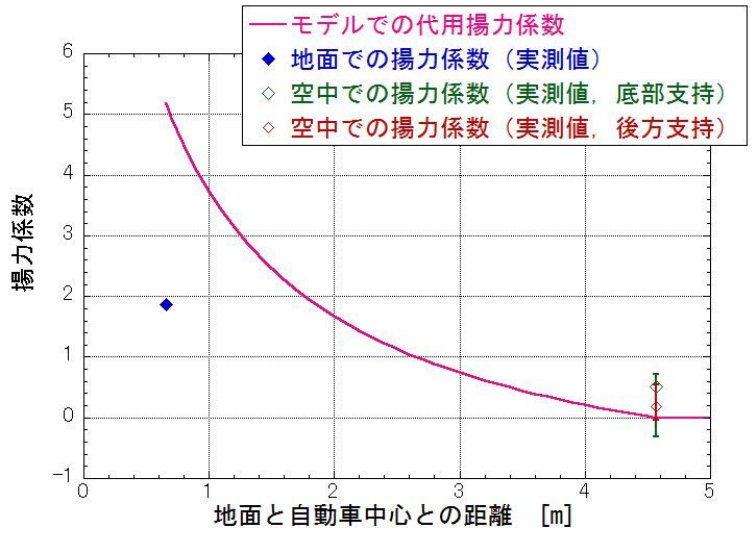
ここで，Ｚは下式により定義される（ｚ：物体中心の高度）

$$Z=\begin{cases} z-(d/2) & (d/2 \leqq z \leqq 7d/2) \\ 0 & (7d/2 \leqq z) \end{cases} \tag{13}$$

また，以下において，塊状物体（自動車），柱状物体（角柱及び円柱）及び板状物体（平板）の風洞試験結果を踏まえ，「高さ寸法ｄの物体に働く揚力は，物体底面の高度が地面から ３ｄとなった時に消滅する」とした設定が適切であることを確認する。

ａ．塊状物体（自動車）の揚力の高さ依存性

自動車の揚力係数は，ＥＰＲＩの風洞試験[15]にて，地面及び風洞中央（h/d≒3.5）に設置した場合にて計測されており，第 5.1－6 図に，ＥＰＲＩの風洞試験によって得られた揚力係数と本モデルにて代用した揚力係数の関係を示す。ＥＰＲＩの風洞試験では空中での自動車の姿勢は地面設置と同じ姿勢に保たれているため，空中においても揚力係数が 0 とはならないが，実際に飛散する自動車の姿勢はランダムに変化することから，平均的な揚力係数は本モデルでの代用揚力係数に近いものと考えられる。



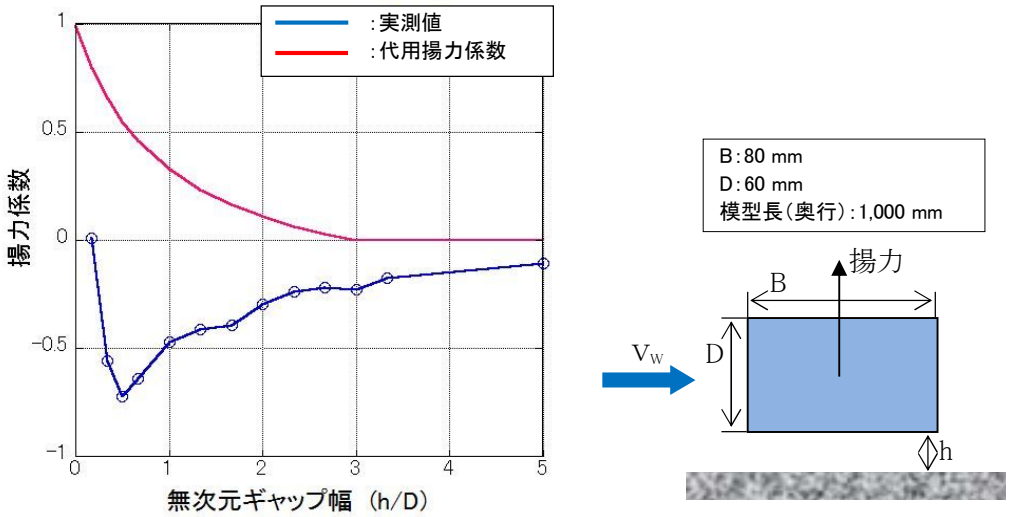
第 5.1－6 図　自動車の風洞実験による揚力係数と代用揚力係数

（文献(15)を基に作成及び代用揚力係数を加筆）

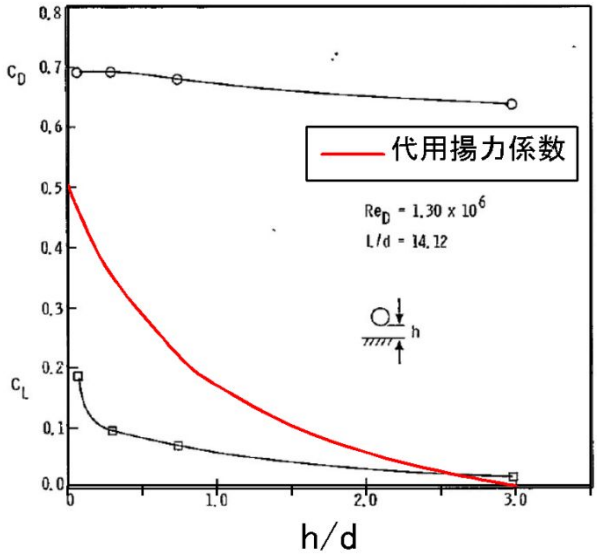
b．柱状物体（角柱及び円柱）の揚力の高さ依存性

角柱の揚力係数は，電力中央研究所の吹出式開放型風洞（吹出口寸法：高さ 2.5m×幅 1.6m，風速：3.0m／s～16.5m／s）にて測定しており，第 5.1－7 図に示すように，地面から 0.167D 以上離れると揚力は負となるので，正の揚力を与える本モデルの代用揚力係数（第 5.1－7 図の赤線）は保守的な結果となっていることが分かる。

円柱の揚力係数は，ＥＰＲＩの風洞試験(15)にて測定しており，第 5.1－8 図に示すように，本モデルの代用揚力係数（第 5.1－8 図の赤線）は実際の円柱に働く揚力の最大揚力係数よりも大きな値となっているため，保守的な結果となっていることが分かる。



第 5.1－7 図　角柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数



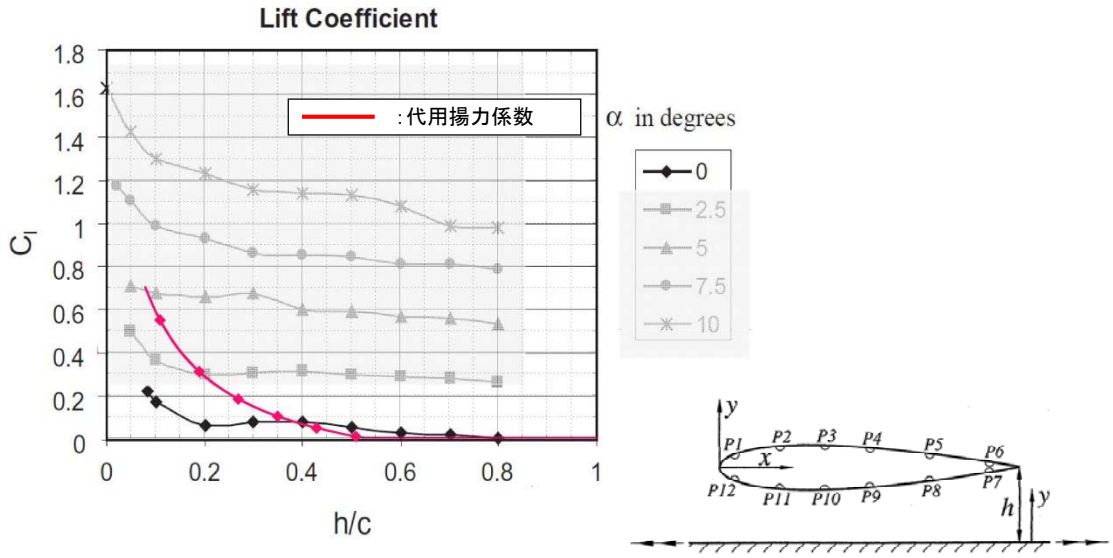
第 5.1－8 図　円柱の風洞試験による揚力係数と代用揚力係数

（文献(15)に代用揚力係数を加筆）

c．板状物体（平板）の揚力の高さ依存性

平板の揚力係数は，平面的な形状を有する翼（迎角 0°）の試験結果(19)に基づき考察すると，本モデルの代用揚力係数（第 5.1－9 図の赤線）は，実際の翼に働く地面効果による揚力係数よりもおおむね大きな値と

なっている。また，この翼は奥行方向が長い形状で流れに直交するような配置となっており，実際の平板に比べて揚力が作用しやすいことを考慮すると，実際の平板の揚力係数はさらに小さいものと考えられる。



第 5.1－9 図　翼の風洞試験による揚力係数と平板の代用揚力係数

（文献(19)に代用揚力係数を加筆）

(5)　物体の運動方程式

上記(1)から(4)を踏まえ，重力加速度 g，上向きの単位ベクトル $\mathbf{k}$ を用いて，飛行物体の運動方程式は以下のように記述される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}|\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M|(\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \tag{14}$$

物体の位置$\mathbf{X}_{M(t)}$と速度$\mathbf{V}_{M(t)}$の時刻歴の計算には陽解法（一定加速度法）を用いた。具体的には，時刻 $t=\tau$ における物体の位置$\mathbf{X}_{M(\tau)}$と速度$\mathbf{V}_{M(\tau)}$を既知として，時刻 $t=\tau+\Delta\tau$ における物体の速度と位置を以下の式で求めた。ただし，$\mathbf{A}(\tau)$は上記運動方程式の右辺に対応する時刻 $t=\tau$ における加速度ベクトルである。

$$\mathbf{V}_M(\tau+\Delta\tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau)\Delta\tau \tag{15}$$

$$\mathbf{X_M}(\tau+\Delta\tau)=\mathbf{X_M}(\tau)+\mathbf{V_M}(\tau)\Delta\tau+\frac{\mathbf{A}(\tau)\Delta\tau^2}{2} \quad (16)$$

$\mathbf{A}(\tau)$の計算には，時刻 t=τ における風速場も必要であるが，初期に原点に位置する竜巻の中心が x 軸上を移動速度V_{tr}で移動することを仮定しており，任意の時刻での風速場を陽的に求められるため，物体の速度及び位置を算出することができる。

(6)　物体の運動方程式（(14)式）に関する考察

地上面の物体（第 5.1－3 図Ａ）が浮上するには，地面からの反力が消滅する（R＜0，つまり mg＜F_L）条件で浮上し，浮上後は(14)式を成分表示した以下の運動方程式に従って飛散する。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{\left(V_{w,x}-V_{M,x}\right)^2+\left(V_{w,y}-V_{M,y}\right)^2+\left(V_{w,z}-V_{M,z}\right)^2}\times\left(V_{w,x}-V_{M,x}\right) \quad (17)$$

$$\frac{dV_{My}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{\left(V_{w,x}-V_{M,x}\right)^2+\left(V_{w,y}-V_{M,y}\right)^2+\left(V_{w,z}-V_{M,z}\right)^2}\times\left(V_{w,y}-V_{M,y}\right) \quad (18)$$

$$\frac{dV_{Mz}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{\left(V_{w,x}-V_{M,x}\right)^2+\left(V_{w,y}-V_{M,y}\right)^2+\left(V_{w,z}-V_{M,z}\right)^2}\times\left(V_{w,z}-V_{M,z}\right)-g+L$$

…… (19)

ここで，物体速度 $\boldsymbol{V_M}=(V_{M,x}, V_{M,y}, V_{M,z})$，竜巻風速 $\boldsymbol{V_w}=(V_{W,x}, V_{W,y}, V_{W,z})$であり，右辺第 1 項が流体抗力$F_D$による加速度を，(19)式の右辺第 3 項が地面効果による揚力F_Lによる加速度を表している。上記の式で，物体が静止している状態（(17)式～(19)式で物体速度 $\boldsymbol{V_M=0}$）を仮定すると，以下の式となる。

$$\frac{dV_{Mx}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\sqrt{V_{w,x}^{\ 2}+V_{w,y}^{\ 2}+V_{w,z}^{\ 2}}\times V_{w,x} \quad (17')$$

$$\frac{dV_{My}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_DA}{m}\sqrt{V_{w,x}{}^2+V_{w,y}{}^2+V_{w,z}{}^2}\times V_{w,y} \qquad (18')$$

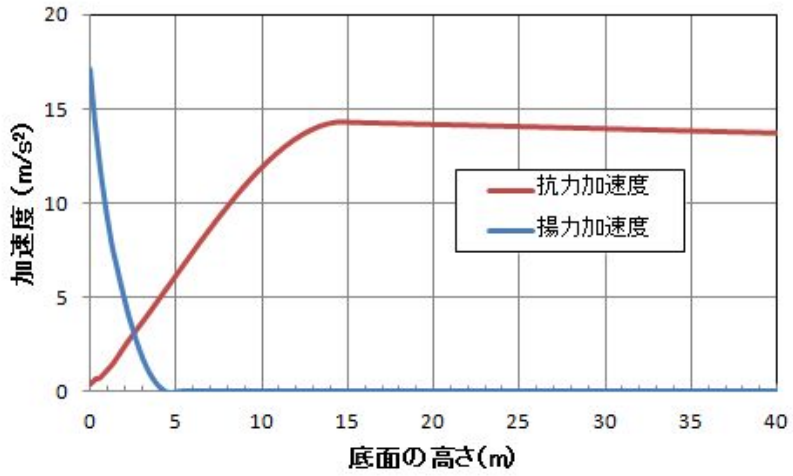
$$\frac{dV_{Mz}}{dt}=\frac{1}{2}\rho\frac{C_DA}{m}\sqrt{V_{w,x}{}^2+V_{w,y}{}^2+V_{w,z}{}^2}\times V_{w,z}-g+L \qquad (19')$$

フジタモデルでは，物体が地面近傍にある場合（第 5.1－3 図Ａ）では鉛直方向の風速 $V_{w,z}$はゼロに近いため，式(19’)の右辺第 1 項は右辺第 2 項及び第 3 項に比べてはるかに小さな量となり，以下のとおり物理的に合理的な関係式が成立する。

$$\frac{dV_{Mz}}{dt}\approx -g+L \qquad (20)$$

例として，竜巻コア半径 30m，最大風速 100m／s の竜巻が原点に位置し，x 方向に 15m／s で移動する場合，点(0,-30m)における式(19’)の右辺第 1 項の値（z 方向抗力（流体抗力）による加速度）と第 3 項の値（地面効果による揚力加速度）を第 5.1－10 図に示す。

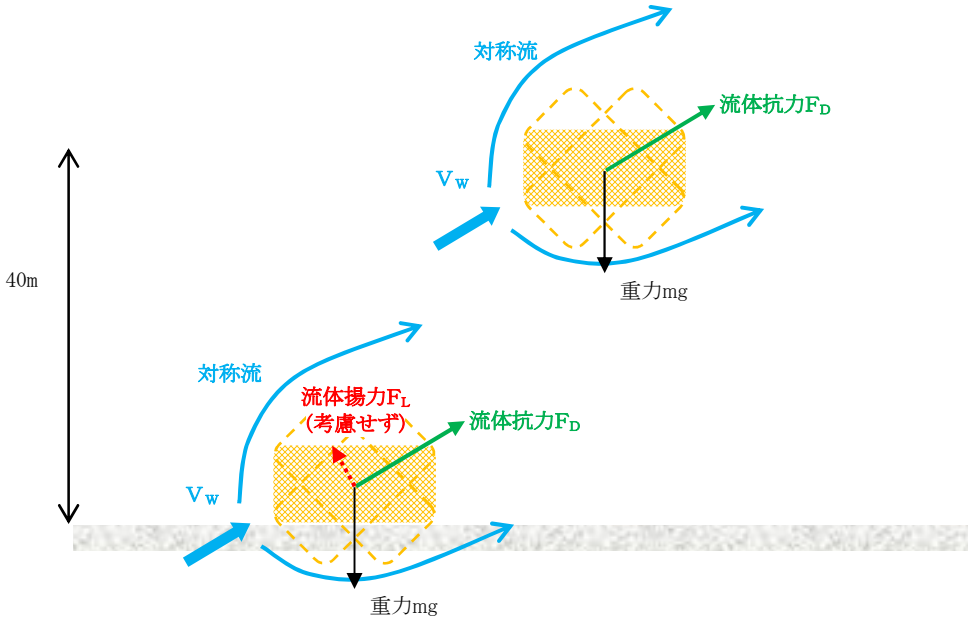
同図より，地面上（z=0）近傍においては，z 方向の抗力による加速度は十分小さく，地面効果による揚力加速度の影響が大きいことが分かる。



第 5.1－10 図　地面近傍の物体に作用する z 方向の加速度

((1/2) ρ C_DA/m=0.004m^{-1}，d=1.31m)

なお，高さ方向の依存性が考慮されていないランキン渦（飛散解析用）の場合は，地面から水平風速の約 60%にも達する上昇流の噴出を設定する。地面効果は地面の存在によって水平な風が物体付近で湾曲，剥離することによって生じるものであるが，ランキン渦の風速場では地面の有無によって物体周りの流況が大きく変化せず，地面効果は物理的に発現しにくいため，ランキン渦モデルを用いた解析においては鉛直方向の揚力 L を付加していない。（第 5.1－11 図）

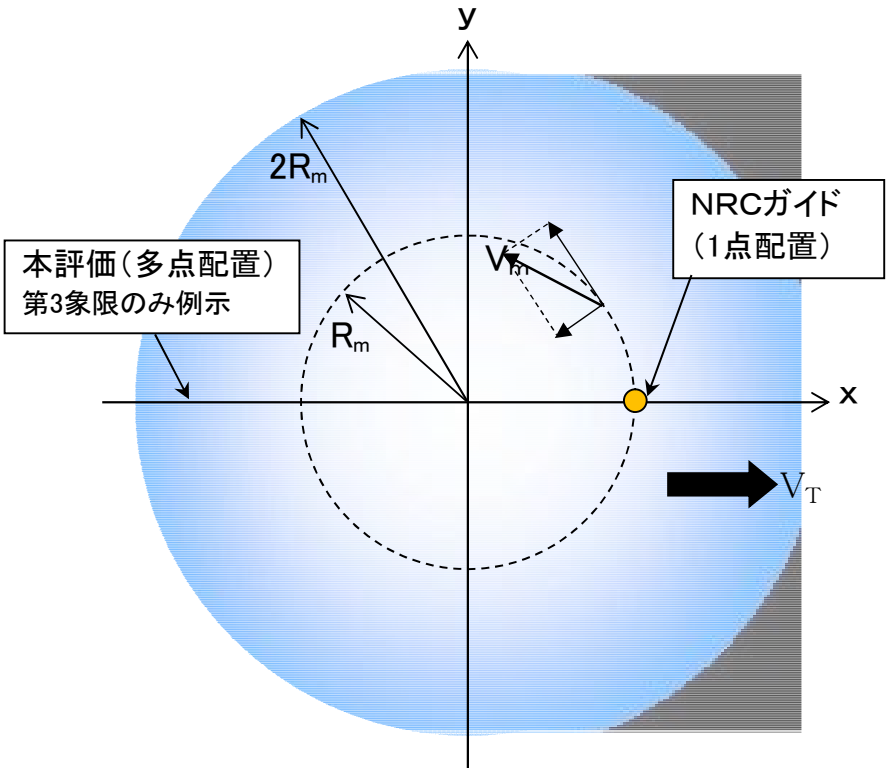


第 5.1－11 図　ランキン渦の場合の物体の運動モデルの模式図

5.2　物体が受ける風速における保守性の考慮

竜巻によって飛散する物体の飛散速度や飛散距離は，同じ竜巻内であっても物体が受ける風速（物体がある位置の竜巻風速）によって大きく変動する。その影響度合いを確認するため，米国ＮＲＣガイド[(1)]に記載されている方法（物体の 1 点配置）と，物体を多点配置した場合の飛散速度の違いを比較した。配置の違いについて，第 5.2－1 図に示す。1 点配置の場合は，特定の位置（竜巻進行方向の最大接線風速半径の位置（x, y）=（R_m, 0））に物体 1 個を設置す

る。また多点配置の場合は，竜巻半径の 4 倍の辺長の正方形領域に 51×51 個の物体を配置する。その上で飛散させた物体のうち，最も速度が大きくなったものをその物体の飛散速度とする。



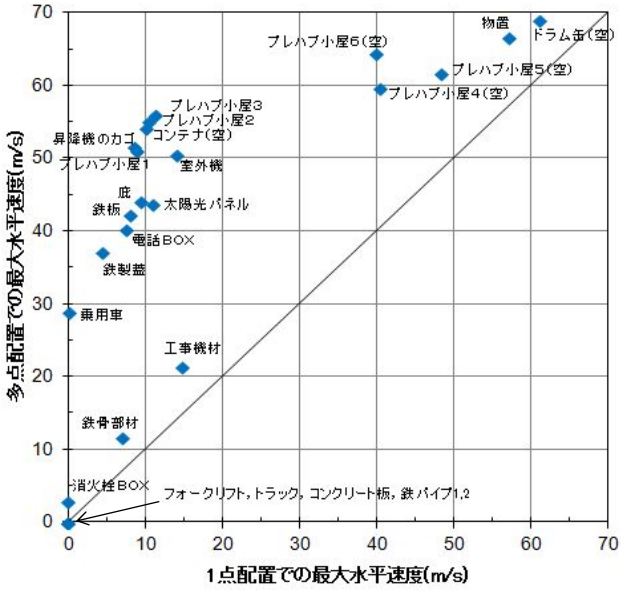
第 5.2－1 図　飛散解析における竜巻と物体の位置関係

評価条件として，竜巻の最大風速を 100m／s とし，フジタモデルの風速場を用いて地上から飛散させるものとする。また，「竜巻影響評価ガイド」の記載より竜巻の移動速度V_{tr}を 15m／s，竜巻コア半径R_mを 30m とする。飛散させる物体としては，「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」(3)に掲載されている物体を用いた。第 5.2－2 図に比較結果を示す。

米国ＮＲＣで用いられている 1 点配置の手法と比較し，多点配置の手法では 1 点配置に比べて大きな飛散速度となった。多点配置することで，その竜巻風速場における最大風速（最大接線風速と半径方向風速のベクトル和が竜巻移動方向と重なる点）を受ける物体が出てくるため，このような結果になったと考えられる。

したがって，物体を多点配置することは，竜巻から受ける風速に関する不確定性を考慮できるものと考えられるため，本検討における方法として適用することとする。

物品	高さ (m)	他の寸法		C_DA/m (m^2/kg)
		(m)	(m)	
フォークリフト	1.10	1.10	3.60	0.0026
トラック	1.30	1.90	5.00	0.0026
消火栓BOX	0.50	0.50	0.50	0.0036
乗用車	1.30	1.60	3.10	0.0052
工事機材	0.65	0.65	2.44	0.0058
プレハブ小屋1	3.00	5.00	5.00	0.0083
コンテナ(空)	2.40	2.40	2.60	0.0105
昇降機のカゴ	1.20	1.20	1.20	0.0113
プレハブ小屋2	1.85	1.85	1.85	0.0119
プレハブ小屋3	2.30	2.30	4.60	0.0120
プレハブ小屋4(空)	3.00	5.00	5.00	0.0153
電話BOX	0.30	0.30	0.30	0.0169
プレハブ小屋5(空)	1.85	1.85	1.85	0.0189
プレハブ小屋6(空)	2.30	2.30	4.60	0.0222
物置	0.90	0.90	1.80	0.0315
室外機	0.25	0.25	0.80	0.0343
コンクリート板	0.15	1.00	1.50	0.0021
庇	0.20	2.10	11.00	0.0242
鉄製蓋	0.03	0.50	0.70	0.0364
鉄板	0.04	0.25	2.00	0.0486
太陽光パネル	0.05	1.00	1.20	0.0582
鉄骨部材	0.20	0.30	4.20	0.0065
鉄パイプ1	0.05	0.05	2.00	0.0057
鉄パイプ2	0.05	0.05	1.00	0.0059
ドラム缶(空)	0.60	0.60	0.90	0.0400

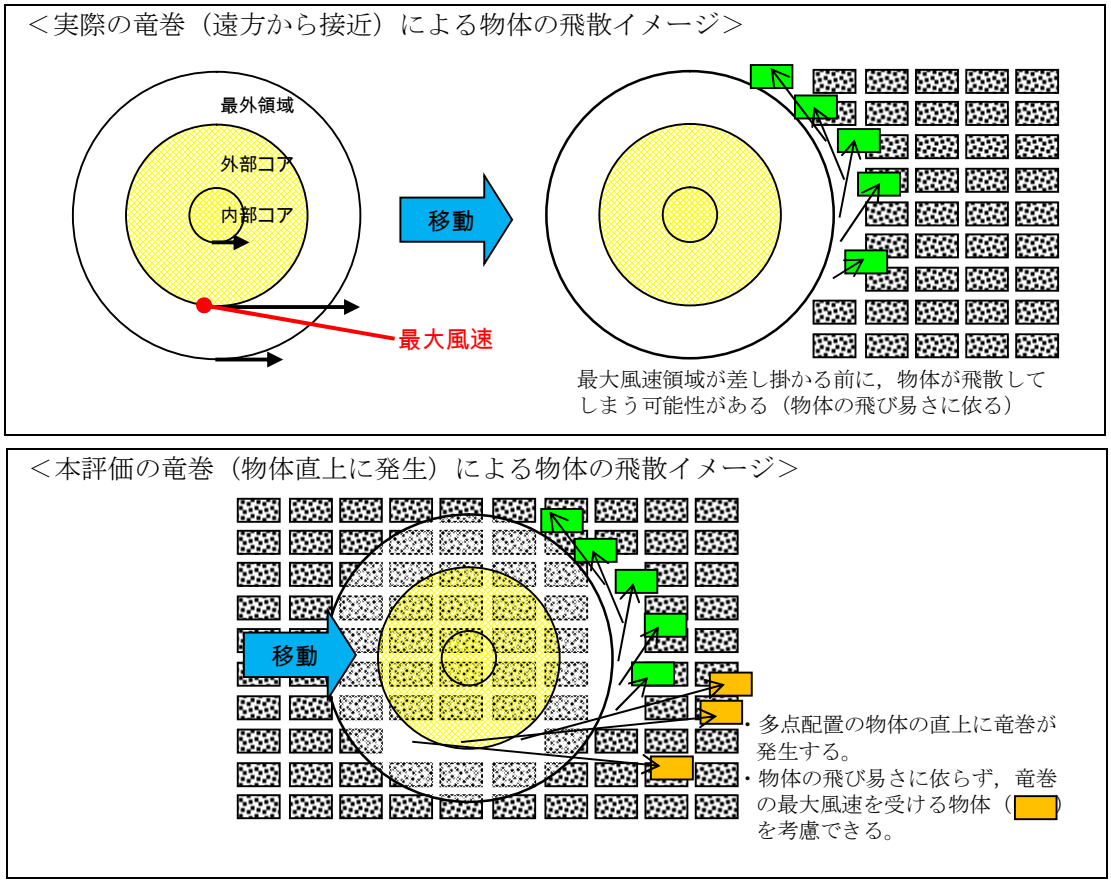


第 5.2－2 図　1 点配置時と多点配置時における物体の最大速度の比較

第 5.2－3 図に，遠方から物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻による飛散の比較イメージ図を示す。実際の竜巻に遭遇する状況（海上で竜巻が発生して上陸する場合など）を考慮すると，竜巻は遠方から物体に近づくため，最大風速より低い風速に曝された時点で飛散する可能性がある。しかし，物体の直上に竜巻を発生させることで，実際の竜巻による飛散と比較して，より厳しい結果を与えることになる。

また，この多点配置を初期状態として適用する手法は，物体の直上に竜巻を発生させており，竜巻発生地点の不確定性についても考慮した設定となっている。この物体を多点配置する方法と，竜巻を直上に発生させる方法を組み合わせることにより，必ずその竜巻の最大風速に曝される物体が発生するため，竜

巻が物体に与える速度の不確定性を考慮した上で包絡できると考えられる。



第 5.2－3 図　物体に接近する竜巻と物体直上に発生する竜巻のイメージ

また第 5.2－2 図の結果から，多点配置は 1 点配置より全体的に大きな保守性を与えると考えられ，よってフジタモデルの風速場に関する不確実性についても，その保守性で包絡出来ていると考えられる。

フジタモデルの風速場に関する不確実性として，フジタモデルの特徴的なパラメータである流入層高さH_iの影響を検証した。外部コア半径R_m=30m の場合モデルではH_i＝15m となり，これは 2.1 に記載のとおり他の文献[3)(5)]ともおおむね整合しているが，不確実性を考慮し，流入層高さH_iを±10%変化させた場合にコンテナ(長さ 6m×幅 2.4m×高さ 2.6m，質量 2,300kg，C_DA/m =0.0105)の最大飛散距離，最大飛散距離及び飛散高さがどの様に変化するかを確認した。

コンテナの 1 点配置及び多点配置時の飛散距離等も含めた評価結果を第 5.2－1 表に示す。流入層高さH_iに対するこれらの感度は小さく，多点評価の保守性に包絡されることが分かる。

第 5.2－1 表　流入層高さを変化させた場合のコンテナの飛跡

パラメータ及び変化率		飛散特性の変化率			備考
		最大水平速度	最大飛散距離	最大浮上高さ	
流入層高さ Hi	－10%	0.4%	－3.2%	－4.9%	—
	＋10%	－0.6%	2.8%	5.1%	—
多点配置（1点配置からの変化率）		420%	1411%	957%	—

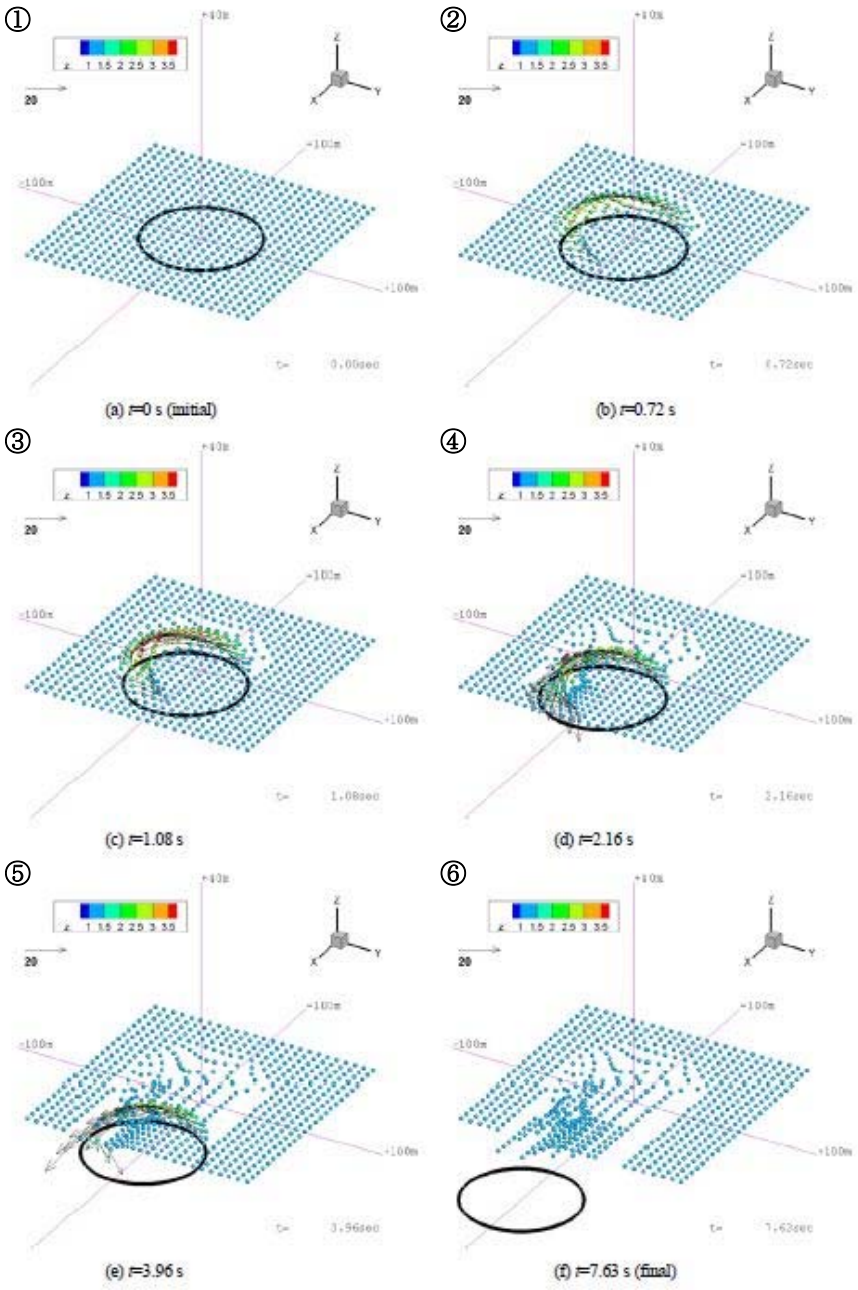
5.3　飛散解析手法まとめ

物体の浮上及び飛散モデルにおいて，実際の実験結果よりも浮上しやすい係数を設定することで，浮上に関する保守性を考慮できるような設定とした。

また，物体を多点配置し，その物体直上で竜巻が発生するという設定を組み合わせることにより，竜巻風速場内での物体が受ける風速の不確定性を考慮し，その竜巻において最大となる飛散速度が評価できるような設定とした。

以上により，フジタモデルを用いて物体の飛散解析を行う場合でも，保守性や不確定性を考慮した評価結果が得られると考えられる。

なお，参考として，第 5.3－1 図に本条件設定によるトラックの飛散イメージを示す。同じ物体でも，受ける風速によって大きく飛散状況が変わる様子が分かる。



第 5.3－1 図　竜巻によるトラックの飛散イメージ[23]

（第 6.3－5 表（後述）の条件による）

6. 実際の飛散状況に対する検証

前節までで，フジタモデルの風速場を用いる利点や，飛散解析を行う上で考慮している事項等について説明した。

本節では，フジタモデルの風速場や前節の飛散解析手法を適用した場合，実際の事例等に比べて妥当な結果となるかどうかの検証を行った。

6.1 フジタスケールとの比較

フジタスケールは，竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から竜巻風速を推定するために考案された指標である。フジタスケールで示されている自動車の被災状況を第6.1－1表に示す。

ここで，各スケールに対応する最大風速（69m／s，92m／s，116m／s）を用いて，フジタモデルによる自動車飛散解析を行った結果を第6.1－2表に示す。

フジタモデルによる自動車飛散解析の結果は，各スケールに対応する自動車の被災状況とおおむね合致していると考えられる。なお，ランキン渦モデルを用いた場合は，Ｆ２相当の風速（69m／s）でも大きく飛散することになり，フジタスケールの定義との比較からは過度に保守的な結果となる。

第6.1－1表　フジタスケールによる自動車の被災分類[24]

フジタスケール	風速 (m／s)	自動車の被災状況
Ｆ２	50～69	cars blown off highway （自動車が道路から逸れる。）
Ｆ３	70～92	cars lifted off the ground （自動車が地面から浮上する。）
Ｆ４	93～116	cars thrown some distances or rolled considerable distances（自動車がある距離を飛ばされる又はかなりの距離を転がる。）

第 6.1－2 表　フジタモデルによる自動車（C_DA／m=0.0052m^2／kg）の飛散評価結果[25]

フジタスケール	竜巻の最大水平風速 (m／s)	竜巻の接線風速 (m／s)	竜巻の移動速度 (m／s)	計算結果		
				最大水平速度 (m／s)	飛散距離 (m)	飛散高さ (m)
Ｆ２	69	59	10	1.0	1,4	0
Ｆ３	92	79	13	23	34	1.1
Ｆ４	116	99	17	42	59	3.1

6.2　米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例との比較

1978 年 4 月 17 日に，米国のミシシッピー州にて建設中の Grand Gulf 原子力発電所にＦ３の竜巻が来襲した。主な被害として，建設中の冷却塔内部に設置されていたクレーンが倒壊し，冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また，竜巻によりトレーラーハウスが荷台から剥がれ移動したことや，直径 8 から 10 インチの木が折れた事例等も確認されている。

第 6.2－1 図は，竜巻による飛来物の飛散状況が定量的に分かる事例として，資材置場のパイプの飛散状況を示したものである。なお，資材置場通過時の竜巻規模はＦ２であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で，長さは 8 フィート，直径（内径）は 8 インチであった。このパイプの飛散状況に対して，フジタモデル及びランキン渦モデルを風速場として用いた飛散解析を行った[25]。解析条件は，過去の記録に基づき第 6.2－1 表のとおりとした。

パイプを収納した木箱（一部 2 段重ね）は浮上せずに転倒し，パイプが周囲 7m～9m に散乱
（Pieces of pipe were scattered over the area, but none travelled more than 25-30ft. The pipe joints are 8in. dia. x 8ft.long.）

第 6.2－1 図　Grand Gulf 原子力発電所資材置場におけるパイプの散乱状況[26]

第 6.2－1 表　Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析条件[25]

竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m／s
	最大接線風速	53.6 m／s
	移動速度	13.4 m／s
	コア半径	45.7 m
飛来物条件	直径（外径）	0.2286 m（=9 in.）
	物体高さ	0.229 m
	密度	1700 kg／m^3
	飛行定数（C_DA／m）	0.0080 m^2／kg
初期配置	・物体個数：51×51 本を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内(x, y=[$-2R_m$, $+2R_m$]）に等間隔配置。 ・設置高さ：1 m（パイプ収納箱が 2 段重ねされた状況を想定）	

解析結果を第 6.2－2 表に示す。フジタモデルを風速場とした場合は,パイプがほとんど飛散せず，収納箱が倒れた影響で散乱したと思われる状況とおおむね合致している。

なお，ランキン渦モデルで評価した場合は，飛散距離や最大水平速度に実際の報告と大きな違いがあり，過度に保守的な評価結果となる。

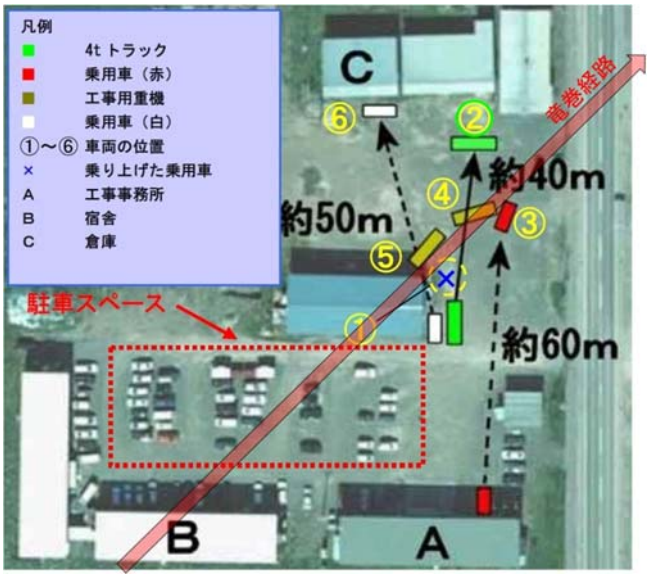
第 6.2－2 表　Gland Gulf 原子力発電所のパイプ飛散解析結果[25]

風速場モデル	初期物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ※2	最大水平速度
フジタモデル	1 m（地上）	1.2 m	0.0 m	4.9 m／s
ランキン渦モデル	1 m※1	42.6 m	0.34 m	30.7 m／s
	40 m	227 m		40.9 m／s

※1　比較のため，フジタモデルと同条件とした。
※2　初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。

6.3　佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較

2006 年 11 月 7 日に北海道網走支庁佐呂間町に発生した竜巻（以下「佐呂間竜巻」という。）により，4t トラックが約 40m 移動したことが報告[27]されている。被災状況を第 6.3－1 図に示す。この事例では被災時に 4t トラックに乗員 2 名が乗車しており，4t トラックの初期位置と移動位置が分かっている（②）。また，4t トラックの他に，2 台の自動車（③と⑥）の初期位置と被災後の移動位置が分かっている。このように竜巻被災前後で車両等の位置が明確になっている事例は極めて稀である。なお，竜巻による飛散物の再現計算は，竜巻が頻発する米国でもほとんど実施されていない。この理由としては，来襲した実際の竜巻特性を精度良く計測，推測することが困難であることや，自動車等の移動前後の位置が不明確な場合が多いことが挙げられる。



第 6.3－1 図　佐呂間竜巻による被災状況（工事事務所敷地内の車両被災）

（文献(27)の写真に竜巻被害の方向を加筆）

ここでは，フジタモデルを風速場として用いた車両（4t トラック及び乗用車）の飛散解析を行い，実際の被害状況と比べて妥当な結果となるかどうかの確認を行った。方法としては，下記の 2 とおりとした。

- 竜巻特性や飛来物（4t トラック及び乗用車）の状況を現実的に設定した場合の再現解析
- 今回の飛散解析手法による検証

(1)　竜巻特性や飛来物（4t トラック及び乗用車）の状況を現実的に設定した場合の再現解析

a．4t トラックの飛散解析

解析条件として，入手可能なデータ(27)(28)に基づき，合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物（4t トラック）の条件を第 6.3－1 表のとおり設定した。初期配置の条件として，配置数は 1 台とし，竜巻が遠方から近づく状況設定としている。また，風速 60m／s 以下では浮上しない設定(16)とした。その上で，竜巻との距離を合理的な範囲で変化させ，佐呂間竜巻

の再現性を確認した。

車両と竜巻中心との距離を 18m，20m，22m とした場合の解析結果を第 6.3－2 表及び第 6.3－2 図に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが，各ケースとも飛散方向が実際の移動方向とおおむね合致しており，特に車両と竜巻中心との距離を 20m としたケース 2 では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように，フジタモデルを風速場とした飛散解析で，物体が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できた。

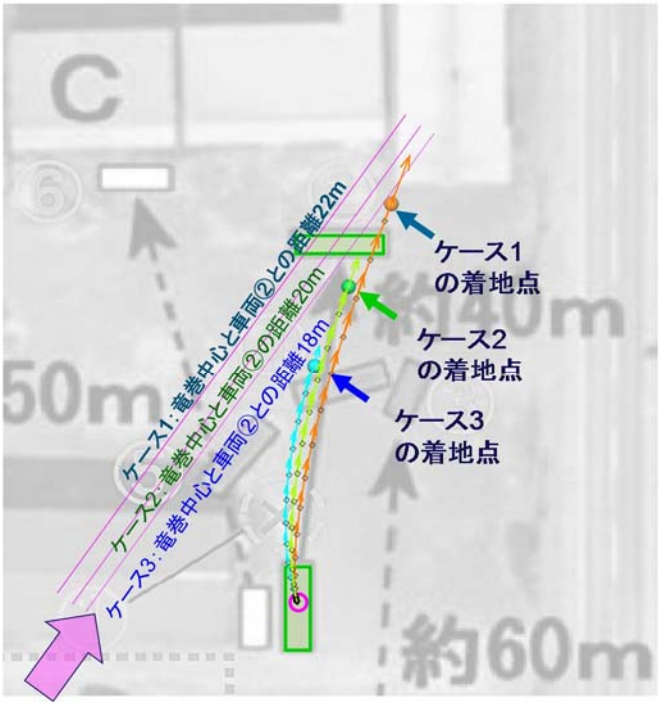
第 6.3－1 表　佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析条件(25)

竜巻条件	竜巻の最大風速	92 m／s※1
	最大接線風速	70 m／s
	移動速度	22 m／s
	コア半径	20 m
飛来物条件	車両長さ※2	8.1 m
	車両幅※	2.24 m
	車両高さ※	2.5 m
	車両重量	4000 kg
	飛行定数（C_DA／m）	0.0056 m^2／kg
初期配置等	・物体個数：1 台 ・設置高さ：0 m（地上） ・「竜巻は遠方から物体に近づくが，風速 60m／s 以下では浮上しない」ことを条件として付加	

※1　佐呂間竜巻のフジタスケール（Ｆ３）に基づく。
※2　車種不明のため，三菱ふそう PA-FK71D を仮定。

第 6.3－2 表　佐呂間竜巻による 4t トラックの飛散解析結果

ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	45.4 m	2.8 m	25.8 m／s
2	20 m	35.5 m	2.3 m	22.2 m／s
3	18 m	25.9 m	1.7 m	18.8 m／s



第 6.3－2 図　フジタモデルによる 4t トラックの飛散解析結果

（文献(27)の写真に軌跡を加筆）

b．乗用車の飛散解析

白い乗用車（第 6.3－1 図の⑥）の被災事例を対象として，物体を 1 点初期配置した条件で最大水平速度等を計算した。

乗用車の計算条件について，第 6.3－3 表に示す。

第 6.3－3 表　佐呂間竜巻による乗用車の飛散解析条件

竜巻条件	トラック（第 6.3－1 表）に同じ	
飛来物条件	車両長さ※2	4.4 m
	車両幅※	1.7 m
	車両高さ※	1.5 m
	飛行定数（C_DA／m）	0.0097 m^2／kg
初期配置等	・物体個数：1 台 ・設置高さ：0 m（地上） ・「竜巻は遠方から物体に近づくが，風速 60m／s 以下では浮上しない」ことを条件として付加	

※1　佐呂間竜巻のフジタスケール（Ｆ３）に基づく。
※2　車種不明のため，トヨタカローラを仮定。

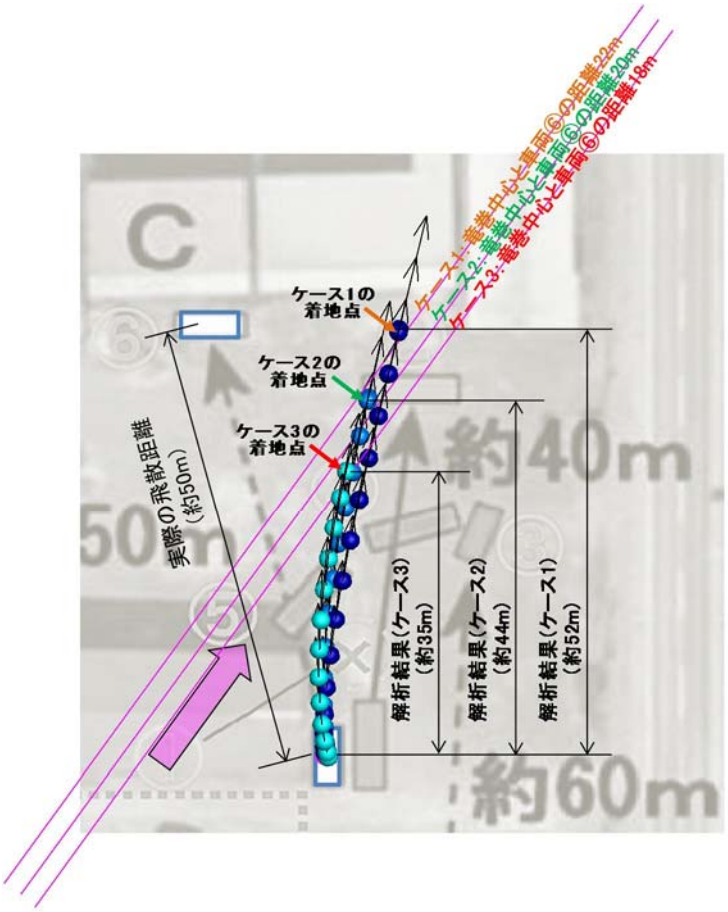
乗用車と竜巻中心との距離を 18m，20m 及び 22m とした場合の解析結果を，第 6.3－4 表及び第 6.3－3 図に示す。飛散距離については，ケース 1 でおおむね合致している。

飛散方向については，飛び出し方向はおおむね合致しているものの，最終的な着地点には多少のずれが生じている。これは乗用車（白）が建物（Ａ棟）に近接して駐車していたため，この建物の倒壊の影響を受けて飛散方向のずれが生じたものと推定される。

なお，赤い乗用車（第 6.3－1 図の③）について評価した場合は，竜巻中心との距離が大きいため飛散しない結果となった。ただし，実際には，赤い乗用車は全壊，飛散したプレハブ建物（軽量鉄骨造 2 階建，第 6.3－1 図の A）のすぐ下流側に駐車しており，そのがれきの影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。

第 6.3－4 表　佐呂間竜巻による乗用車の飛散解析結果

ケース	車両と竜巻中心との距離	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	51.9 m	3.6 m	28.9 m／s
2	20 m	43.5 m	3.4 m	24.7 m／s
3	18 m	34.7 m	2.9 m	21.1 m／s



第 6.3－3 図　フジタモデルによる乗用車の飛散解析結果[23]

（別文献[28]の写真に軌跡を加筆）

(2)　今回の飛散解析手法による検証

ここでは，今回の飛散解析手法で，前述の佐呂間竜巻における 4t トラック及び乗用車の被災事例を評価し，実際の被災状況（飛散距離等）と比較する。

a．4t トラックの飛散解析

解析条件について第 6.3－5 表に示す。竜巻条件としては，最大風速を 92m／s とし，その他の特性量については，竜巻影響評価ガイドに例示されている方法に従い，移動速度V_{tr}を 14m／s（最大風速の 15%），竜巻コア半径R_mを 30m とした。

第 6.3－5 表　今回の飛散解析手法に基づく計算条件

竜巻条件	設計竜巻風速	92 m／s
	最大接線風速	78 m／s
	移動速度	14 m／s
	コア半径	30 m
飛来物条件	トラック（第 6.3－1 表）に同じ	
初期配置	・物体個数：51×51 台を，最大接線風速半径の 4 倍を 1 辺とする正方形内($x, y=[-2R_m, +2R_m]$）に等間隔配置。 ・設置高さ：0 m（地上）	

第 6.3－6 表に実際の被災状況と，今回の飛散解析手法による結果との比較を示す。また，第 6.3－4 図に被災後の 4t トラックの状況を示す。

フジタモデルによる評価結果として，4t トラックの最大飛散速度は 36m／s，最大飛散高さは 3.6m，最大飛散距離は 63.4m となった。

実際の 4t トラック飛散距離は約 40m であり，フジタモデルによる評価結果はこれを上回った。また，飛散高さや最大水平速度については，直接の比較は出来ないものの，4t トラックの乗員 2 名が存命であったこと，被災後の 4t トラックがほぼ元の外形をとどめていることなどから，今回の飛散解析手法で評価をした場合でも，実際の被災状況と比較して妥当な結果となるものと考えられる。

なお，参考として同様の検証をランキン渦モデルでも実施した。ランキ

ン渦モデルによる評価では，最大飛散高さ，最大飛散距離ともに実際の被災状況と比較して非常に保守的な結果となっていることが分かる。

第 6.3－6 表　実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果

（4t トラック）

風速場モデル	初期物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ※2	最大水平速度
フジタモデル	0 m（地上）	63.4 m	3.6 m	36.0 m／s
ランキン渦モデル【参考】	0 m（地上※1）	193.7 m	11.7 m	43.9 m／s
	40 m	254.9 m		
実際の被災状況	0 m（地上）	約 40 m	乗員 2 名が存命で，病院にて聞き取り調査が可能であったことから(27)，3.6m を超える高さからトラックが落下したとは考え難い	トラックはおおむね外形をとどめていることから，36m／s（約 130km／h）を超える飛散速度であったとは考え難い。

※1　比較のため，フジタモデルと同条件とした。
※2　初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。

第 6.3－4 図　竜巻による被災後の 4ｔトラックの様子(28)(29)

b．乗用車（白）の飛散解析

4t トラックの場合と同様に，今回の飛散解析手法で乗用車の評価を行った結果を第 6.3－7 表に示す。

乗用車の場合も，フジタモデルによる評価が，実際の被災状況を包含する結果となっている。

第 6.3－7 表　実際の被災状況と今回の飛散解析手法による評価結果（乗用車）

風速場モデル	初期物体高さ	計算結果		
		飛散距離	飛散高さ※2	最大水平速度
フジタモデル	0 m（地上）	82.3 m	4.2 m	44.1 m／s
ランキン渦モデル【参考】	0 m（地上※1）	269.6 m	39.4 m	49.6 m／s
	40 m	305.8 m		
実際の被災状況	0 m（地上）	約 50 m	―	―

※1　比較のため，フジタモデルと同条件とした。
※2　初期物体高さからの飛散（浮上）高さ。

7.　飛散以外の挙動に対する考慮

前節までで，飛来物の竜巻による挙動のうち，飛散に関する評価手法について説明をしたが，実際の竜巻による飛来物の挙動としては，飛散だけではなく横滑りや転がりが発生することも考えられる。

本節では，横滑りや転がりの影響について，以下 2 点に分けて考察する。

・　飛散する物体における横滑りや転がりの影響
・　飛散しない物体における横滑りや転がりの影響

(1)　飛散する物体における横滑りや転がりの影響

「5.2 物体が受ける風速における保守性の考慮」に記載のとおり，本検討においては，竜巻を直上に発生させる方法を採用していることから，実際には横滑りや転がりを伴い移動する物体も強制的に高速域に配置され，浮上を

して飛散することになる。この場合，空中では地面の摩擦力を受けないため，実際に比べて大きな水平速度が得られることになる。

また，浮上後に地面に衝突する場合は，運動エネルギの大部分は物体や地面の変形，破損等で消費されることから，落下後の横滑りや転がりによる移動距離は実際には小さいものと考えられる。

「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」における飛散した 4t トラックや乗用車は，実際には飛散だけではなく横滑りや転がりを伴ったものと考えられるが，飛散解析より得られた飛散距離や最大水平速度は，実際の被災状況よりも保守的な評価となっていることから，飛散過程における不確実性を裕度として包含している。

(2) 飛散しない物体における横滑りや転がりの影響

飛散しない物体においても，竜巻による風荷重が静止摩擦力より大きい場合には，横滑りをする。また，横滑りをしない場合でも，風荷重によるモーメントが自重のモーメントよりも大きい場合には転がることになる。このように，竜巻により横滑りや転がりが生じる場合には，地面での摩擦力の影響を受けながら移動することから，移動距離や水平速度は十分に小さいものと考えられる。

また，物体と評価対象施設等の間に障害物となるフェンス等がある場合には，横滑りや転がった物体が評価対象施設等に到達することは阻止される。

以上より，飛散しない物体が，障害物の影響を受けずに，横滑りや転がりによって評価対象施設等と衝突することが想定される場合については，横滑りや転がった物体の影響が設計飛来物の影響に包含されることを確認し，包含されない場合には固縛等の措置を実施する。固縛等の措置に当たっては，フジタモデルの風速場より求まる風荷重や地面での摩擦力を適切に考慮した上で，設計用荷重を設定する。

8. まとめ

フジタモデルは，米国ＮＲＣの要望により実際の竜巻観測記録を基に考案された風速場モデルであり，米国ＤＯＥの重要施設に対する設計基準の作成の際にも用いられている。フジタモデルは，他のモデルではできなかった地上からの物体の浮上を現実的に評価することができる点が大きなメリットである。これは，「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」の「(1)竜巻特性や飛来物（4t トラック及び乗用車）の状況を現実的に設定した場合の再現解析」において，フジタモデルを風速場とした飛散解析結果が実際の飛散状況とおおむね合致していることからも確認できる。

また，フジタモデルにより算出される風速（V_W）は，飛来物の飛散評価のインプットとして用いるものであり，設計竜巻の最大風速の算出に当たっては保守性を確保したうえで，「5. 飛散解析における保守性の考慮」のとおり，竜巻を多数の物体の直上に瞬時に発生させて物体が最大風速を受けるような初期条件を用いる等の評価手法により，不確実性も含めて飛来物速度等を保守的に評価できるようにしている。

これにより，「6.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例との比較」の「(2)今回の飛散解析手法による検証」では，本評価手法を用いることで，フジタモデルにおいても実際の飛散状況に対し保守性を有した妥当な結果となることを確認している。

地上からの浮上，飛散評価を行うことのメリットは，発電所敷地内に数多く存在する物品の中から，竜巻による飛来物化の影響度合いを，浮上の有無の観点を含めより正確に把握できることである。竜巻飛来物の影響（浮上の有無，飛散高さ，飛散距離，最大速度等）を正確に捉えることにより，飛来物発生防止対策や評価対象施設等の防護対策の範囲や強度について，適切な保守性を確保した上で実効性の高い竜巻防護対策を実施することが可能になると考えられ

る。

評価全体として一定の保守性を確保しつつ，適切な竜巻対策によりプラント全体の安全性を向上させるため，竜巻影響評価における物体の浮上，飛散評価については，フジタモデルを適用することとする。

＜参考文献＞

(1) U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.

(2) Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.

(3) 東京工芸大学（2011）：平成21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成22年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構

(4) Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U. Chicago, 1978.

(5) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Wea. Forecasting, 28, 1552-1561.

(6) 数値的に生成された竜巻状の渦の性質，平成２１年度京都大学防災研究所研究発表要

(7) 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.

(8) U.S. Department of Energy, Natural Phenomena Hazards Design and Evaluation Criteria for Department of Energy Facilities, OE-STD-1020-2002, 2002.
(http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0302/ML030220224.pdf)

(9) Malaeb, D. A., Simulation of tornado-generated missiles. M.S. thesis, Texas Tech University, 1980

(10) P.-H. Luan, Estimates of Missile Speeds in Tornadoes, M.S. thesis, Texas Tech University, 1987.

(11) J. R. McDonald, Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999.
(https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/236459.pdf)

(12) McDonald, J. R., T. Theodore Fujita: His contribution to tornado knowledge through damage documentation and the Fujita scale. Bull. Amer. Meteor. Soc.,82, pp.63-72, 2001

(13) NUREG-1827 Safety Evaluation Report for the National Enrichment Facility in Lea County, New Mexico(Docket No.70-3103)

(14) 江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，竜巻による物体の浮上・飛来解析コードTONBOSの開発，電力中央研究所 研究報告N14002，2014.

(15) EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, report NP-2898, 1978.

(16) Schmidlin, T., B. Hammer, P. King, Y. Ono, L. S. Miller, and G. Thumann, 2002: Unsafe at any (wind)speed Testing the stability of motor vehicles in severe winds. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83,1821-1830.

(17) 林建二郎・大井邦昭・前田稔・斉藤良，開水路中に水没設置された立方体及び桟粗度の流体力,土木学会論文集B1(水工学)Vol.67, No.4, I_1141-I_1146, 2011.

(18) 松宮央登，中岡宏一，西原 崇，木村吉郎：太陽光発電パネルに作用する空気力の地面効果に関する風洞実験，構造工学論文集，Vol.60A，pp.446-454，2014.

(19) M.R. Ahmed, S.D. Sharma, An investigation on the aerodynamics of a symmetrical airfoil in ground effect, Experimental Thermal and Fluid Science, 29,pp.633-647, 2005.

(20) 山本晃一，林建二郎，関根正人，藤田光一，田村正秀，西村晋，浜口憲一郎，護岸ブロックの抗力・揚力係数，及び相当粗度の計測方法について，水工学論文集，第44 巻，pp1053～1058，2000.

(21) 江口 譲，西原 崇，水流動試験による電線の風荷重低減化のメカニズム解明，電力中央研究所 研究報告U96050，1997.

(22) Lei, C., Cheng, L. and Kavanagh, K., Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.80, pp.263-286, 1999.

(23) 江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法(Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認)，

(24) Fujita, T. T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. SMRP Research Paper 91, University of Chicago, Chicago, IL, 42 pp

(25) 日本保全学会　原子力規制関連事項検討会，　2015：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン(JSM-NRE-009)

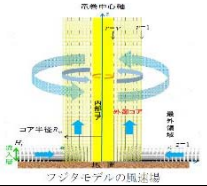
(26) Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.

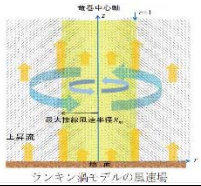
(27) 札幌管区気象台:平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風. 災害時気象調査報告, 災害時自然現象報告書, 2006年第1号,2006.

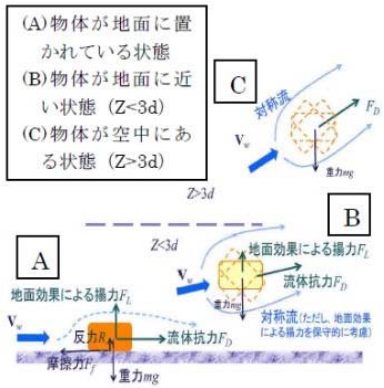
(28) 奥田泰雄,喜々津仁密,村上知徳,2006年佐呂間町竜巻被害調査報告.建築研究所災害調査, 46, 2006.

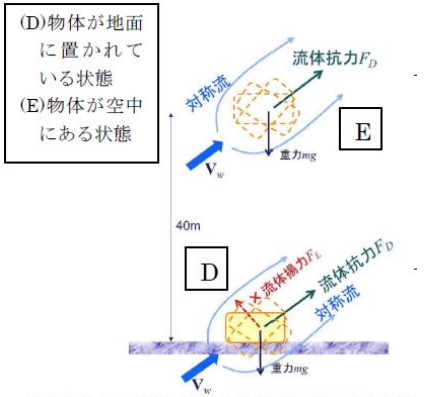
(29) 土木学会　平成18年11月北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査報告書

「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」並びに「それぞれの風速場モデルを用いた際の飛散解析手法」の比較

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>フジタモデル（及び同モデルを用いた飛散解析手法）</th><th>飛散解析に用いるランキン渦モデル（及び同モデルを用いた飛散解析手法）</th></tr>
<tr><td rowspan="5">風速場モデル</td><td>モデルの概要</td><td> 

・Fujitaにより実観測に基づき考案された竜巻風速場モデルであり，実際に近い風速場構造を有する
・半径方向に３つの領域（内部コア，外部コア及び最外領域）を有し，外部コアに上昇流が存在する
・風速分布が高さによって変化する
・米国ＤＯＥの重要施設の基準において，竜巻飛来物の速度及び飛散高さの設定に使用</td><td> 

・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現
・数学的なランキン渦モデルは接線方向のみ速度を持つが，飛散解析用に，鉛直方向と半径方向の風速を付加している。
（文献※に基づく）
・上昇流は全領域に存在
・風速分布が高さによって変化せず一様となる
・米国ＮＲＣ Regulatory Guide 1.76にて採用</td></tr>
<tr><td>メリット</td><td colspan="2">・風速場をよく表現できており，物体の高さ情報に基づいた物体の浮上，飛散解析をより実現象に近い形で評価できる
→地上の物品に対する飛散防止対策の範囲や強度をより現実的に設定可能。</td><td>・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現可能</td></tr>
<tr><td>デメリット</td><td colspan="2">特になし。
（ランキン渦モデルに比べパラメータが多く解析が複雑になるが，近年の計算機能力の向上や評価ツールの高度化により問題とならない）</td><td>・地面から上昇流が吹き出すモデルとなっており，特に地表面に近い領域で，物品の飛散状況が大きく保守側になる。
→地上の物品に対し，過度に保守的な飛散防止対策となり得る。</td></tr>
<tr><td>主なパラメータ
（設計竜巻の最大風速100m／sの場合）</td><td colspan="2">竜巻の移動速度 V_T 15（m／s）
最大接線風速 V_{Rm} 85（m／s）
最大接線風速半径 R_m 30（m）
内部コア半径と外部コア半径の比 ν 0.3
流入層高さHi 15（m）
竜巻影響評価ガイドの値や式が風速場モデルによらないことを確認のうえ，評価ガイドの値や式より算出
Fujitaにより提案された経験式より算出
・流入層高さは他の文献に示されている値とおおむね同じであることを確認
・その他の定数についても，Fujitaにより提案された値を採用</td><td>竜巻の移動速度 V_T 15（m／s）
最大接線風速 V_{Rm} 85（m／s）
最大接線風速半径 R_m 30（m）
竜巻影響評価ガイドの値や式より算出</td></tr>
<tr><td>物品の飛散モデル</td><td>物体の浮上，飛散モデル</td><td> 

フジタモデルの場合の飛来物の運動モデル
≪物体の浮上，飛散モデル≫
・地面の存在により物体上面と下面の流れが非対象となることで生じる地面効果による揚力（左図A/B）と流れの速度方向に平行な抗力（左図A～C，ただし地面付近では抗力の影響は小さい）を考慮し，地面に置かれた状態からの浮上高さや飛散速度等を評価
≪抗力係数C_DA≫
・地面効果の無い高さ領域では，物体がランダム回転し，物体の各面に均等に力を受けるものとして，抗力係数は3方向の平均値を設定
≪揚力係数C_La≫
・地面から浮き上がる際の物体挙動を理論的に評価することは困難であるため，翼のような極端な形状を除き保守的となるよう，風洞実験の結果を踏まえ，代用の揚力係数を設定（物体の風の受け方や高度を変化させた場合でも，代用揚力係数が実測値より保守的になっていることを確認）</td><td> 

ランキン渦モデルの場合の飛来物の運動モデル
≪物体の浮上，飛散モデル≫
・物体に働く流れの速度方向に平均的な抗力（左図D/E）と自重の関係から，物体が飛来するか否かを判定し，飛来する場合には，風速場を表現できている空中浮遊状態からの浮上高さや飛散速度等を評価
≪抗力係数C_DA≫
・高さ方向全領域で，フジタモデルと同じ値を用いる。
≪揚力に関するパラメータ≫
設定なし（全域について抗力係数で評価）</td></tr>
<tr><td>竜巻が物体に与える速度に関する設定</td><td>・竜巻内の物体の場所依存性（風速場における竜巻風速の不均一性）を考慮し，風速場における物体の中から，最大の飛散速度や飛散距離を設定
・実際に竜巻が遠方から近づく場合には，最大風速より低い風速に曝された時点で飛散する可能性があるが，物体を強制的に高速域に配置し，物体が瞬時に最大風速を受けるよう設定</td><td>同左</td></tr>
</table>

※ J.R McDonald, K.C.Mehta and J.E.Minor “Tornado-Resistant Design of nuclear Power-Plant Structures(NUCLEAR SAFETY,Vol.15,No.4,July-August 1974)

発電所における竜巻風速場モデルの適用方針

発電所の竜巻影響評価における竜巻風速場モデルの適用状況を，先行審査プラントの状況と合わせ，別表 2―1 のとおり整理した。

これより，竜巻影響評価における設計荷重（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）の設定においては，

・W_W：竜巻風速場モデルに依存しない

・W_P，W_M：竜巻風速場モデルを選択する必要がある

ことが分かるが，W_P，W_Mの設定においては，以下のとおりモデルを適用した。

1. W_P，W_Mの設定に用いる竜巻風速場モデルの選定の考え方

1.1 W_Pについて

「竜巻影響評価ガイド」に示される，ランキン渦モデルに基づく評価式を採用した。

1.2 W_Mについて

発電所は敷地近傍に一般道や隣接事業所の施設等があり，これらの場所からの物品の飛来を完全に管理することは難しいことから，その影響を現実的に評価することとし，多数の飛来物源が想定される地表付近の物品の飛散挙動を，より実現象に近く評価できるという特徴を踏まえ，フジタモデルを採用した。

なお，フジタモデルを用いた飛散評価についても，別添資料 2「竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について」に示すとおり保守性を確保した手法となっている。

2.　設計竜巻による複合荷重W_{T1}，W_{T2}の設定の考え方

竜巻影響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，以下の式によって算出する。

$W_{T1}=W_P$

$W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$

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

なお，複合荷重W_{T2}の算出は，W_W，W_P及びW_Mの作用方向が同一となる様に扱うこととしており，ランキン渦モデルベースのW_Pを用いることは，複合荷重としても保守側になる。

以　上

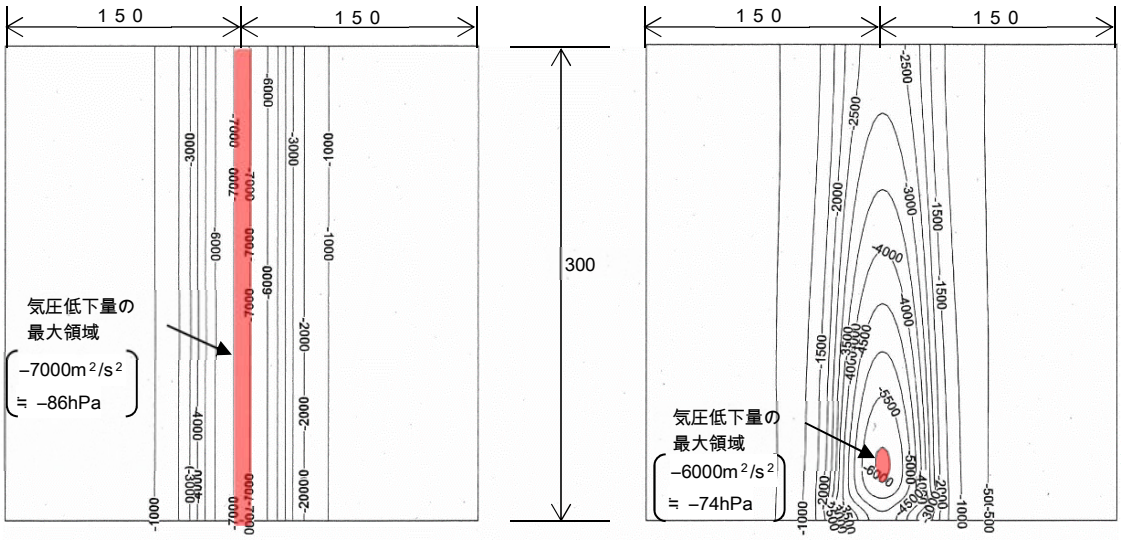
別表 2—1　東海第二発電所と先行審査プラントにおける竜巻風速場モデルの適用状況

設計荷重設定要素 （：風速場モデルに無関係，：風速場モデルの影響あり）		荷重設定への適用			竜巻風速場モデルの適用 （：フジタモデル，：ランキン渦モデル）		備考
		W_W	W_P	W_M	東海第二	大飯３／４，高浜１～４，美浜３，伊方３，川内１／２，玄海３／４【許可済】	
竜巻の基本特性	最大接線風速V_{Rm}	○	(○)	○	85m／s	85m／s	
	竜巻の移動速度V_T	○		○	15m／s	15m／s	
	最大接線風速半径R_m			○	30m	30m	
	最大気圧低下量ΔP_{max}		○		89hPa※1	89hPa	
	最大気圧低下率$(dp/dt)_{max}$		○		45hPa／s※2	45hPa／s	
飛散解析に関する設定	設計飛来物の設定			○	竜巻影響評価ガイドに例示の「鋼製材」	竜巻影響評価ガイドに例示の「鋼製材」	「基準」として，設計者が任意に設定可能。
	飛来物源の飛散解析における初期高さ			○	物品ごとに設定	40m（各社の設定値）	・フジタモデルは風速分布が高さ方向で変化するため，設置高さを個別に設定する。 ・ランキン渦モデルは風速分布が高さによらず一様なので，米国基準等を参考に一律で設定
	内部コア／外部コア半径比ν			○	0.3	—	フジタモデルの風速場の形を決めるパラメータ（文献値） （ランキン渦はV_{Rm}，R_mだけで決まる）
	流入層高さH_i			○	15m	—	

注：他プラントの状況は，当社調べによる。

※１　簡便でフジタモデルの値（約 76hPa）より保守側となる，ランキン渦モデルベースの評価式（竜巻影響評価ガイド）を用いた。

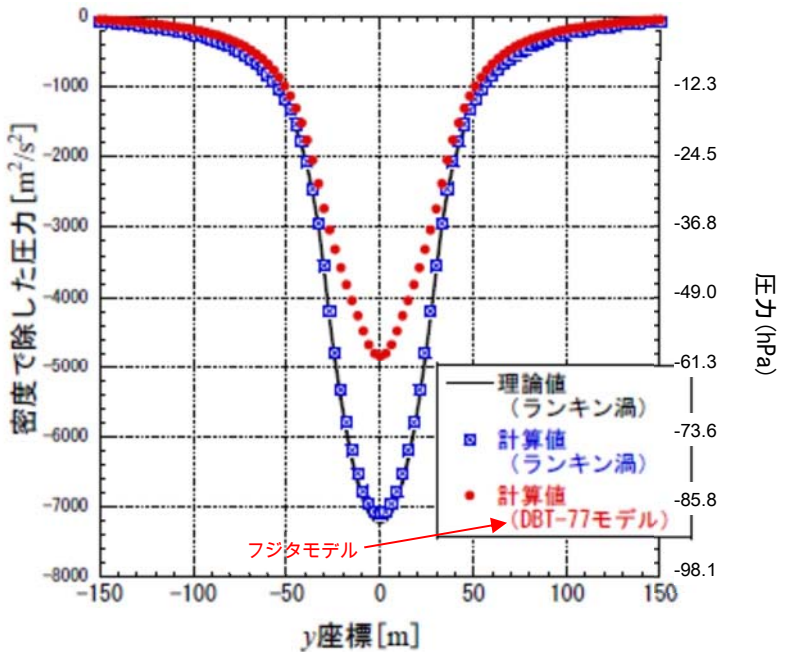
※２　フジタモデルの値（約 53hPa／s）を下回るが，設備影響評価には用いない。



(a) ランキン渦　　(b) Fujita モデル

x=0 断面（−150m<y<150m，0<z<300m）での密度で除した圧力分布

（最大接線風速 85m/s の場合）



竜巻中心軸断面での圧力分布（最大接線風速 85m/s の場合）

別図 2―1　設計竜巻（最大接線風速V_{Rm}：85m／s）における圧力分布

（文献(1)の図に一部加筆）

＜参考文献＞

(1)　江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，竜巻による物体の浮上・飛来解析コードＴＯＮＢＯＳの開発，電力中央研究所　研究報告 N14002，2014

別添資料 3

東海第二発電所

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　竜巻）

安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項について同じ。）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。

安全施設

除外

右記以外の安全施設
（代替手段等により必要な機能を確保する等の対応が可能）

送電線，変圧器，開閉所等

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

＋

外部事象防護対象施設を内包する区画
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

設計竜巻の設定

設計竜巻最大風速 100m／s

継続的に新たな知見等の収集に取組み，変更の必要があれば再評価を行い変更手続き等適切に対応する。

添付六，八への反映事項
（設計に関する事項）

工・保

設計飛来物の設定

設計飛来物のうち鋼製材よりも運動エネルギ等が大きく，外部事象防護対象施設等へ影響を及ぼすものは，飛来物発生防止対策をする

荷重の設定

設計竜巻荷重＋常時作用している荷重＋運転時荷重＋竜巻以外の自然現象による荷重＋設計基準事故時荷重

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）　保

新規品の飛来の有無，飛来時の運動エネルギ等の評価及び管理　保

建屋・構築物

評価 OK　除外

構造骨組
部位（扉類）
部位（屋根，壁）
の評価（貫通及び強度）

損傷しない設計とすること

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施　工

原子炉建屋等の開口部
（原子炉建屋付属棟１階電気室扉
非常用換気空調設備の取入口　等）

損傷しても外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼさないこと

サービス建屋，海水ポンプエリア防護壁，鋼製防護壁

評価対象施設等※のうち，設備（系統，設備）

防護が期待できる

外部事象防護対象施設を内包する区画による防護

原子炉建屋，タービン建屋
使用済燃料乾式貯蔵建屋
軽油貯蔵タンクタンク室

扉の閉止確認　保

原子炉建屋付属棟１階電気室扉
原子炉建屋機器搬入口水密扉　等

防護が期待できる区画に内包される設備（系統，機器）　除外

原子炉圧力容器，
原子炉再循環ポンプ等

設備（系統・機器）

貫通評価
強度評価

評価 OK　除外

（使用燃料乾式貯蔵容器は建屋による飛来物の防護が期待できないが，評価の結果，設計荷重に対して安全裕度を有していることを確認）

損傷しない設計とすること

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施　工

非常用ディーゼル発電機室（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）ルーフベントファン
中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む）
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む）
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（配管，弁含む）
残留熱除去系海水系ストレーナ
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ

竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱い作業の中止　保

燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱い作業の中止
外部事象防護対象施設に影響を及ぼさない位置に退避　保

損傷しても外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼさないこと

燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

損傷した場合においても機能維持ができること

・外部事象防護対象施設が損傷したとしても，要求される機能は維持されるため，安全施設の安全機能を損なわない
・損傷した場合の補修・取替等の実施　保

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口
非常用ガス処理系排気筒
主排気筒，排気筒モニタ，放水路ゲート
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管
残留熱除去系海水系配管（放出側）
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）

評価 OK　除外　火災
評価 OK　除外　溢水
評価 OK　除外　外部電源喪失

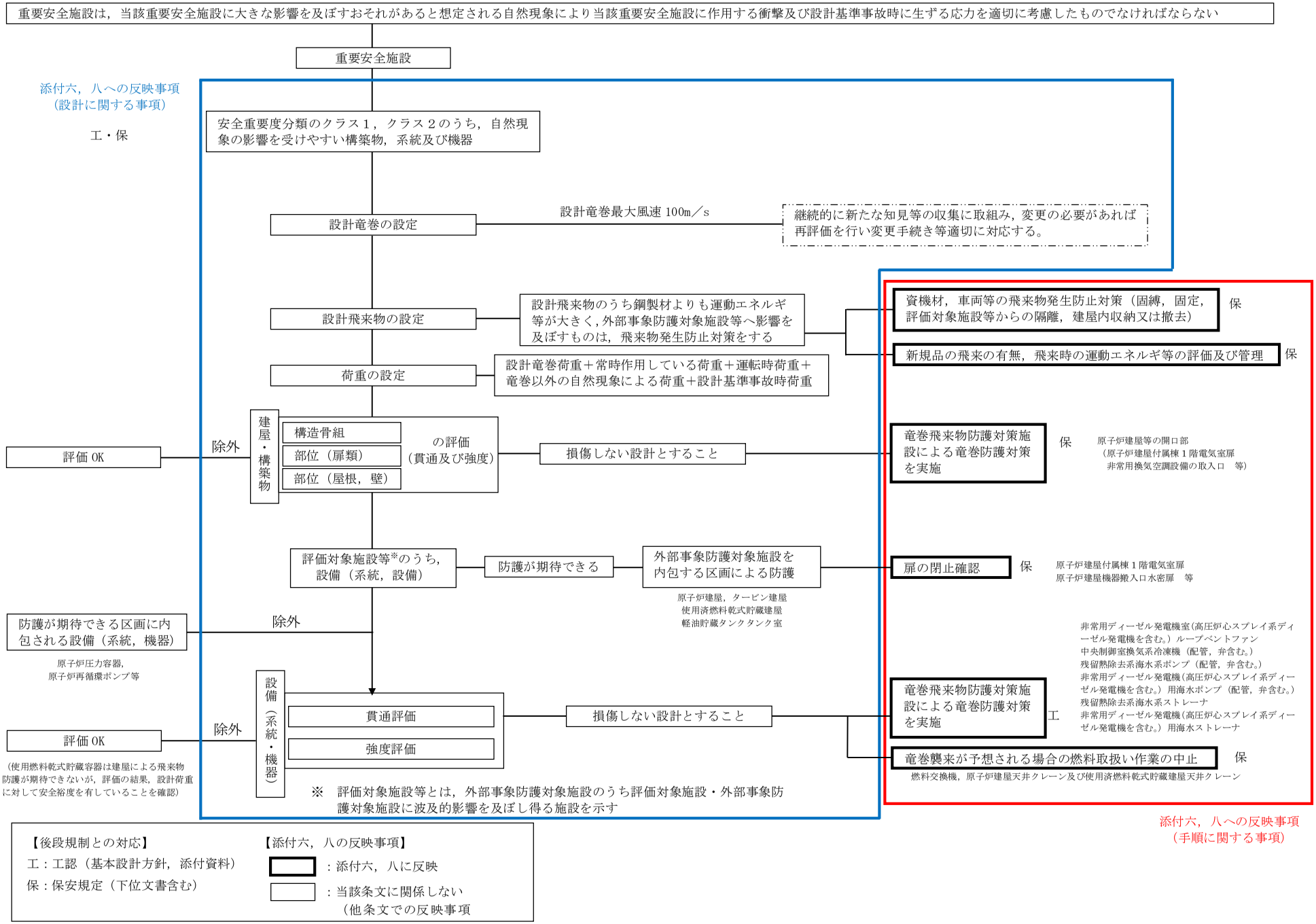
竜巻随伴事象（火災，溢水及び外部電源喪失）に対する評価

※　評価対象施設等とは，外部事象防護対象施設のうち評価対象施設及び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を示す

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，添付資料）
保：保安規定（下位文書含む）

【添付六，八の反映事項】
：添付六，八に反映
：当該条文に関係しない（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
重要安全施設
添付六，八への反映事項
（設計に関する事項）
工・保
安全重要度分類のクラス１，クラス２のうち，自然現象の影響を受けやすい構築物，系統及び機器
設計竜巻の設定
設計竜巻最大風速 100m／s
継続的に新たな知見等の収集に取組み，変更の必要があれば再評価を行い変更手続き等適切に対応する。
設計飛来物の設定
設計飛来物のうち鋼製材よりも運動エネルギ等が大きく，外部事象防護対象施設等へ影響を及ぼすものは，飛来物発生防止対策をする
荷重の設定
設計竜巻荷重＋常時作用している荷重＋運転時荷重＋竜巻以外の自然現象による荷重＋設計基準事故時荷重
評価 OK
除外
建屋・構築物
構造骨組
部位（扉類）
部位（屋根，壁）
の評価（貫通及び強度）
損傷しない設計とすること
評価対象施設等※のうち，設備（系統，設備）
防護が期待できる
外部事象防護対象施設を内包する区画による防護
原子炉建屋，タービン建屋
使用済燃料乾式貯蔵建屋
軽油貯蔵タンクタンク室
防護が期待できる区画に内包される設備（系統，機器）
除外
原子炉圧力容器，
原子炉再循環ポンプ等
評価 OK
除外
設備（系統・機器）
貫通評価
強度評価
損傷しない設計とすること
（使用燃料乾式貯蔵容器は建屋による飛来物防護が期待できないが，評価の結果，設計荷重に対して安全裕度を有していることを確認）
※ 評価対象施設等とは，外部事象防護対象施設のうち評価対象施設・外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設を示す
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）
保
新規品の飛来の有無，飛来時の運動エネルギ等の評価及び管理
保
竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施
保
原子炉建屋等の開口部
（原子炉建屋付属棟１階電気室扉
非常用換気空調設備の取入口　等）
扉の閉止確認
保
原子炉建屋付属棟１階電気室扉
原子炉建屋機器搬入口水密扉　等
竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施
工
非常用ディーゼル発電機室(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) ループベントファン
中央制御室換気系冷凍機（配管，弁含む。）
残留熱除去系海水系ポンプ（配管，弁含む。）
非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ポンプ（配管，弁含む。）
残留熱除去系海水系ストレーナ
非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ストレーナ
竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱い作業の中止
保
燃料交換機，原子炉建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン
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，添付資料）
保：保安規定（下位文書含む）
【添付六，八の反映事項】
：添付六，八に反映
：当該条文に関係しない
（他条文での反映事項

設置許可基準対象条文	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	・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等を評価し，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
		体制	・担当室による保守・点検の体制
		保守・点検	・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の補修
		教育・訓練	・運用・手順，体制，保守・点検に関する教育

設置許可基準対象条文	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	・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運用，手順 ・水密扉（原子炉建屋機器搬入口水密扉）及び防護扉（原子炉建屋付属棟１階電気室扉，3 階搬入口扉等）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	・担当室による作業中止等の実施体制 ・担当室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 ・担当室による保守・点検の体制 ・担当室による損傷箇所の補修体制
		保守・点検	・日常点検 ・定期点検 ・損傷時の補修
		教育・訓練	・運用・手順，体制，保守・点検に関する教育

東海第二発電所

発電用原子炉施設への人の

不法な侵入等の防止

第7条　発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

＜目　次＞

1.　基本方針 …… 2

1.1　要求事項の整理 …… 2

1.2　追加要求事項に対する適合性 …… 3

(1)　位置，構造及び設備 …… 3

(2)　安全設計方針（手順等含む。） …… 4

(3)　適合性説明 …… 8

1.3　気象等 …… 9

1.4　設備等 …… 9

2.　発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止 …… 10

2.1　概要 …… 10

2.2　区域管理 …… 11

2.2.1　物理的障壁による区画 …… 11

2.2.2　出入管理 …… 11

2.3　探知施設 …… 12

2.4　通信連絡設備 …… 13

2.5　持込み確認 …… 13

2.6　不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）への対応 …… 13

3.　別添

別添　東海第二発電所　運用，手順説明資料

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

＜概　　要＞

１．において，設計基準事故対処設備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東海第二発電所における適合性を示す。

２．において，設計基準事故対処設備について，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等について説明する。

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等を整理する。

1.　基本方針

1.1　要求事項の整理

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止について，設置許可基準規則第7条及び技術基準規則第9条において,追加要求事項を明確化する。

設置許可基準規則第7条及び技術基準規則第9条の要求事項を，第1.1－1表に示す。

第1.1－1表　設置許可基準規則第7条及び技術基準規則第9条　要求事項

設置許可基準規則 第7条（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）	技術基準規則 第9条（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）	備　考
工場等には、発電用原子炉施設への人の不法な侵入、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。	工場等には、発電用原子炉施設への人の不法な侵入、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第三十五条第五号において同じ。）を防止するため、適切な措置を講じなければならない。	追加要求事項

1.2　追加要求事項に対する適合性

(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

（ⅰ）　本発電用原子炉施設は，(1)耐震構造，(2)耐津波構造に加え，以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。

ａ．設計基準対象施設

(b) 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

発電用原子炉施設への人の不法な侵入を防止するための区域を設定し，核物質防護対策として，その区域を人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画して，巡視，監視等を行うことにより，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

また，探知施設を設け，警報，映像等を集中監視するとともに，核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。さらに，防護された区域内においても，施錠管理により，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため，核物質防護対策として，持込み点検を行うことができる設計とする。

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため，核

物質防護対策として，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが，電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けることがないように，当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

(2)　安全設計方針（手順等含む。）

1.　安全設計

1.1　安全設計の方針

1.1.1　安全設計の基本方針

1.1.1.5　人の不法な侵入等の防止

(1)　設計方針

発電用原子炉施設への人の不法な侵入を防止するための区域を設定し，核物質防護対策として，その区域を人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画して，巡視，監視等を行うことにより，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

また，探知施設を設け，警報，映像等を集中監視するとともに，核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。さらに，防護された区域内においても，施錠管理により，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため，核物質防護対策として，持込み点検を行うことができる設計とす

る。

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため，核物質防護対策として，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが，電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けることがないように，当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

(2)　体制

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため，核物質防護対策として，「核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき核物質防護管理者を選任し，所長の下，核物質防護管理者が核物質防護に関する業務を統一的に管理する体制を整備する。

人の不法な侵入等が行われるおそれがある場合又は行われた場合に備え，核物質防護に関する緊急時の対応体制を整備する。

核物質防護に関する緊急時の組織体制を第 1.1－1 図に示す。

(3)　手順等

ａ．発電用原子炉施設への人の不法な侵入等のうち，不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止することを目的に，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムにおいて，核物質防護対策として，電気通信回線を通じた外部からのアクセス遮断措置を実施する。

・外部からのアクセス遮断措置については，予め手順を整備し，的確に実施する。

・外部からのアクセス遮断措置に係る設備の機能を維持するため，保守の計画に基づき適切に保守管理，点検を実施するとともに，必要に応じ補修を行う。

・外部からのアクセス遮断措置に係る教育を定期的に実施する。

b．　発電用原子炉施設への人の不法な侵入等のうち，不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止することを目的に，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムにおいて，核物質防護対策として，侵入防止及び出入管理を実施する。侵入防止及び出入管理は，区域の設定，人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等による防護，探知施設による集中監視，外部との通信連絡，物品の持込み点検並びに警備員による監視及び巡視を行う。

・侵入防止及び出入管理については，予め手順を整備し，的確に実施する。

・侵入防止及び出入管理に係る設備の機能を維持するため，保守の計画に基づき適切に保守管理，点検を実施するとともに，必要に応じ補修を行う。

・侵入防止及び出入管理に係る教育を定期的に実施する。

本部

組織	構成	主な任務
本部長	○原子力防災管理者（所長）	・災害対策活動の統括 ・方針の決定
本部長代理	○副原子力防災管理者	・広報及びオフサイトセンター対応の統括
本部長代理	○副原子力防災管理者	・東海第二発電所の統括
原子炉主任技術者	○発電用原子炉主任技術者	・本部長への意見具申 ・各班長への助言又は協力
核物質防護管理者	○法律に基づき選任し，国へ届け出た者	・核物質防護に関する業務の統一的な管理
本部員	○各室長 （一部マネージャー）	・本部長への意見具申 ・各班長への助言又は協力
本部補助員	○本部長が指名する者	・本部員の補助

作業班

組織	構成	主な任務
広報班	○総務室 ○所員	・報道機関の対応
情報班	○運営管理室	・災害に関する情報収集 ・本店災害対策本部との連絡
庶務班	○総務室 ○所員	・要員，資機材等の調達，輸送 ・所内警備 ・医療（救護）に関する措置
技術班	○安全管理室	・事故状況の把握，評価及び運転班への助言 ・事故拡大防止対策の検討
放射線管理班	○安全管理室	・発電所内外の放射線，放射能の測定
保修班	○保修室	・保修部門（制御，電気，機械）の技術的助言
運転班	○発電室	・発電部門の技術的助言 ・発電用原子炉及び付属施設の保安維持
消防班	○自衛消防隊	・消火活動

第 1.1－1 図　核物質防護に関する緊急時の組織体制図

(3)　適合性説明

第七条　発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

工場等には，発電用原子炉施設への人の不法な侵入，発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律　（平成十一年法律第百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。

適合のための設計方針

発電用原子炉施設への人の不法な侵入，郵便物等による発電所外からの爆破物や有害物質の持込み及び不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）に対し，これを防護するため，核物質防護対策として以下の措置を講じた設計とする。

(1)　人の不法な侵入の防止措置

a.　区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画し，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

b.　探知施設を設け，警報，映像監視等，集中監視する設計とする。

c.　外部との通信連絡設備を設け，関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。

d.　防護された区域内においても，施錠管理により，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

(2)　爆発性又は易燃性を有する物件等の持込みの防止措置

a.　区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画し，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

b.　区域の出入口において，発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）が行われないように物品の持込み点検を行うことができる設計とする。

(3)　不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）の防止措置

a.　発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムについては，電気通信回線を通じた当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

1.3　気象等

該当なし

1.4　設備等

10.　その他発電用原子炉の附属施設

10.10　構内出入監視装置

発電用原子炉施設に対する人の不法な侵入等を防止するため，核物質防護対策として，通信連絡設備，監視装置，検知装置，施錠装置等を設ける。

2.　発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

2.1　概要

発電用原子炉施設への人の不法な侵入を防止するための区域を設定し，核物質防護対策として，その区域を人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画して，巡視，監視等を行うことにより，侵入防止及び出入管理を行うことができる設計とする。

また，探知施設を設け，警報，映像等を集中監視するとともに，核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行うことができる設計とする。さらに，防護された区域内においても，施錠管理により，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な侵入を防止する設計とする。

発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため，核物質防護対策として，持込み点検を行うことができる設計とする。

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため，核物質防護対策として，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが，電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けることがないように，当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため，核物質防護対策として，「核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき核物質防護管理者を選任し，所長の下，核物質防護管理者が核物質防護に関する業務を統一的に管理する体制を整備する。人の不法な侵入等が行われるおそれがある場合又は行われた場合に備え，核物質防護に関する緊

急時の対応体制を整備する。核物質防護に関する緊急時の組織体制を第1.1-1図に示す。

【説明資料（2.2～2.6：7条－11～14】

2.2　区域管理

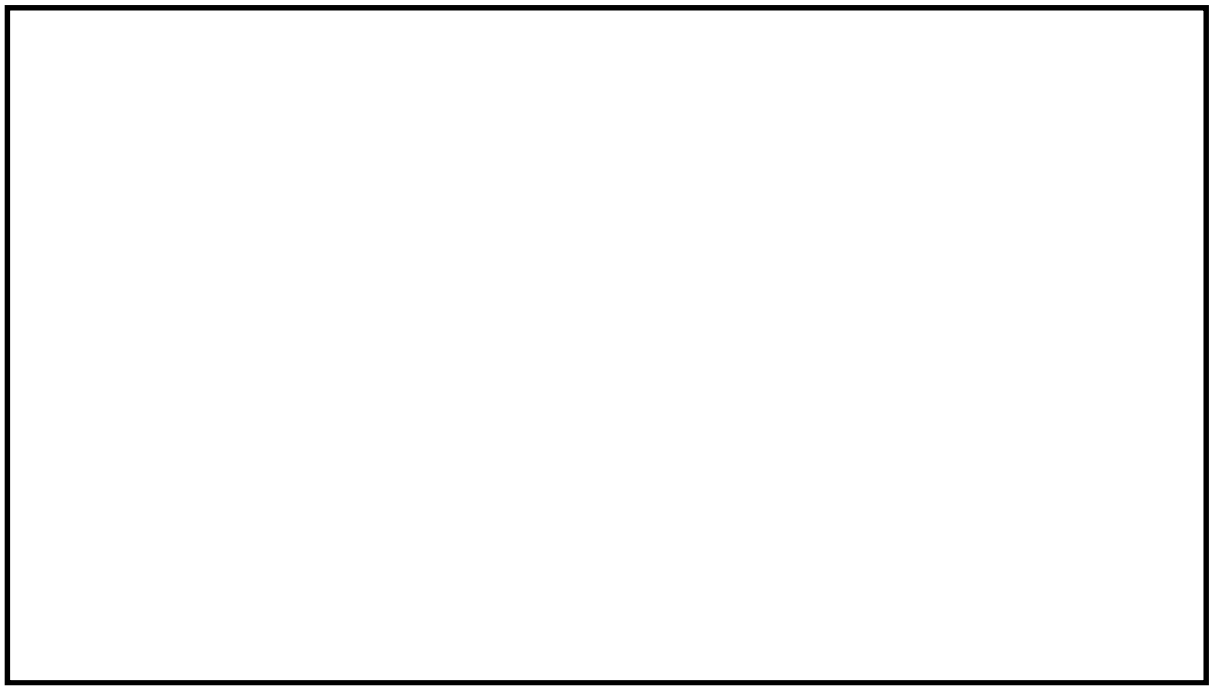
2.2.1　物理的障壁による区画

特定核燃料物質の防護のための区域（以下「防護区域」という。），その外周に周辺防護区域，さらにその外周に立入制限区域を設定し，区域の境界を物理的障壁により区画しており，人が侵入することを防止している。

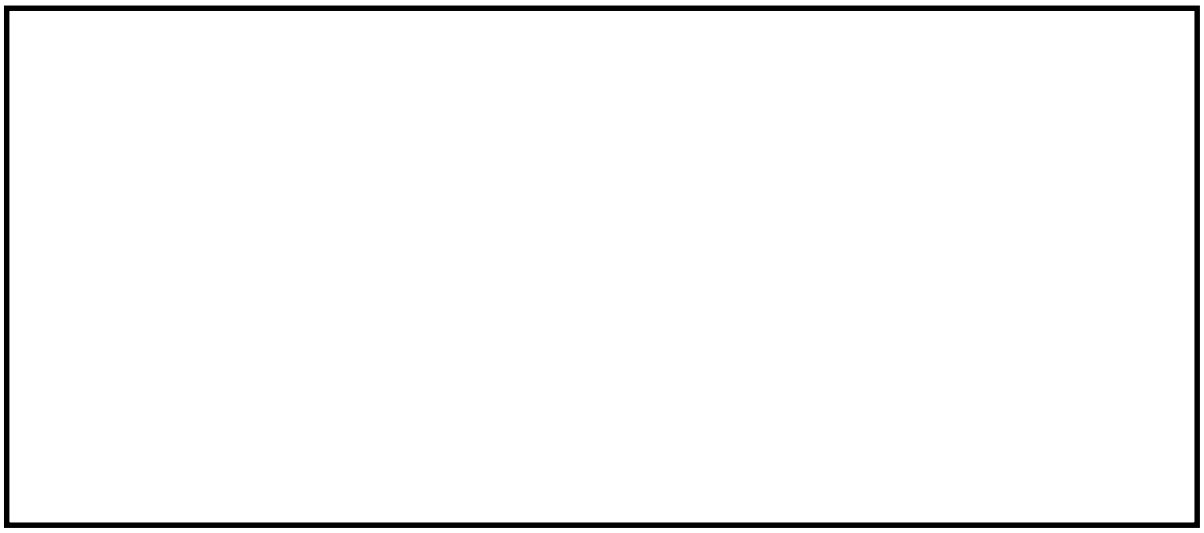
防護区域の境界は，鉄筋コンクリート造りその他の堅固な障壁としている。また，周辺防護区域及び立入制限区域の境界には人が容易に侵入できないよう柵等を設置している。

〔　実用炉規則第91条第2項第1号，第2号，第3号　〕

2.2.2　出入管理



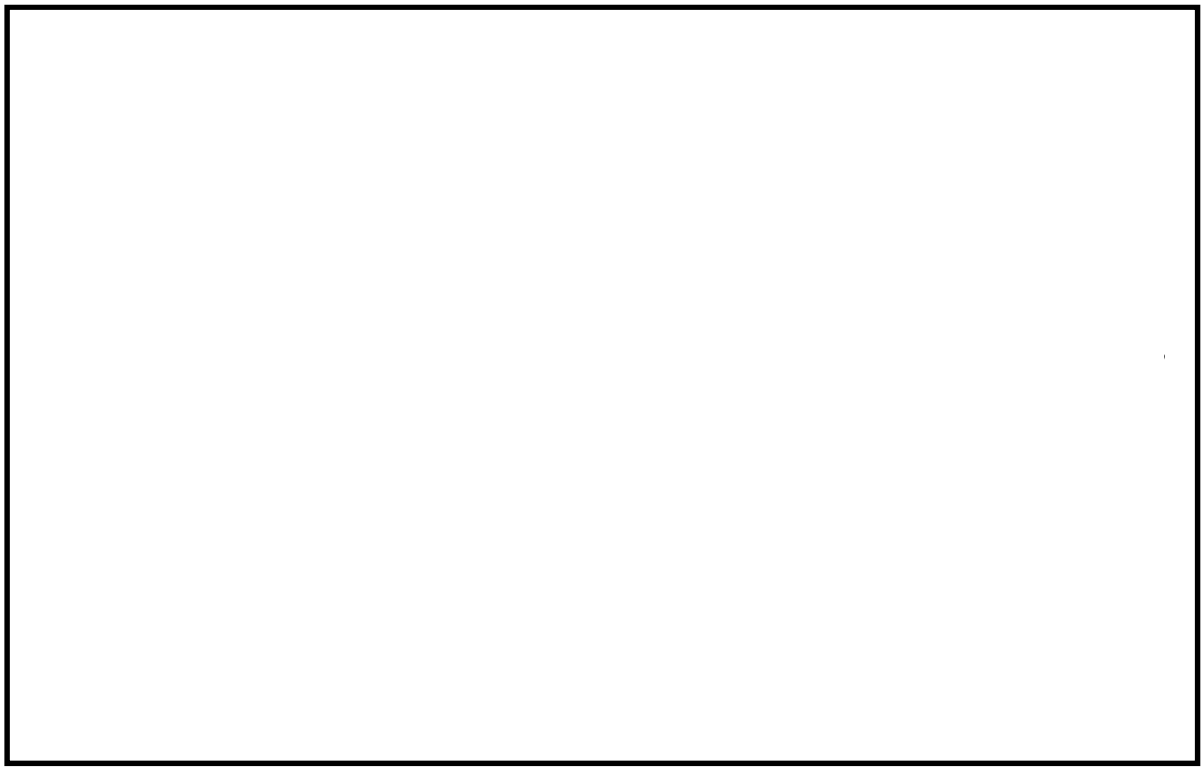
当該区域内において常時立入者を同行させ，防護のために必要な監督を行



※当該区域に立ち入ることが特に必要な車両であって，特定核燃料物質の防護上支障がないと認められるものを除く。

〔　実用炉規則第 91 条第 2 項第 5 号，第 6 号　〕

2.3　探知施設



〔　実用炉規則第 91 条第 2 項第 4 号，第 8 号，第 11 号，第 12 号，第 22 号　〕

2.4　通信連絡設備

〔　実用炉規則第 91 条第 2 項第 22 号　〕

2.5　持込み確認

防護区域，周辺防護区域及び立入制限区域の出入口において，発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）が行われないように持込み点検を行っている。

〔　実用炉規則第 91 条第 2 項第 8 号　〕

2.6　不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）への対応

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）に対しては，発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが，電気通信回線を通じて妨害行為又は破壊行為を受けること

がないように，電気通信回線を通じた当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する措置を講じている。

〔　実用炉規則第 91 条第 2 項第 18 号，第 19 号　〕

3.　別添

別添　東海第二発電所　運用，手順説明資料

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

別添

東海第二発電所

運用，手順説明資料

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

第７条　発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

設置許可基準

不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。

発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システム※

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するための設備を設けなければならない。

- 電気通信回線のアクセス遮断
  - 不正アクセスを防ぐための物理的対策
    - ○電気通信回線のアクセス遮断に係る設計（安全保護回路）
    - ○電気通信回線のアクセス遮断に係る設計（上記以外）
    - ○許可されていない機器の接続防止
  - 不正アクセスを防ぐための人的対策
    - ○電気通信回線のアクセス遮断措置に係る手順及び教育
    - ○日常点検，定期点検及び必要時の補修
    - ○平常時の警備体制
    - ○核物質防護上の緊急時の体制
    - ○特定核燃料物質防護に係る教育
- 不審者の侵入の防止
  - 不審者の侵入防止に係る物的対策
    - ○柵や鉄筋コンクリート壁等による防護
    - ○探知施設による集中監視
    - ○通信連絡設備の設置
    - ○施錠管理
  - 不審者の侵入防止に係る人的対策
    - ○侵入防止及び出入管理
      - ・防護区域，周辺防護区域及び立入制限区域の設定
      - ・侵入防止及び出入管理に係る手順及び教育
      - ・人及び車両の監視等の侵入防止及び出入管理
      - ・物品の持込み点検
      - ・警備員による監視及び巡視
    - ○核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡
    - ○日常点検，定期点検及び必要時の補修
    - ○平常時の警備体制
    - ○核物質防護上の緊急時の体制
    - ○特定核燃料物質防護に係る教育

：工認（基本設計方針，添付書類）　：核物質防護規定（下位文書含む）

※核物質防護措置として，実用炉規則に規定

運用，手順に係る運用対策等（設計基準）

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止 ※核物質防護対策として実施	電気通信回線のアクセス遮断	運用・手順	・アクセス遮断措置に係る手順
		体制	・平常時の警備体制 ・核物質防護上の緊急時の体制
		保守管理	・日常点検，定期点検及び必要時の補修
		教育・訓練	・特定核燃料物質防護教育 ・アクセス遮断措置に係る教育
	不審者の侵入防止	運用・手順	・侵入防止及び出入管理 防護区域，周辺防護区域及び立入制限区域の設定 侵入防止及び出入管理に係る手順 人及び車両の監視等の侵入防止及び出入管理 物品の持込み点検 警備員による監視及び巡視 核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡
		体制	・平常時の警備体制 ・核物質防護上の緊急時の体制
		保守管理	・日常点検，定期点検及び必要時の補修
		教育・訓練	・特定核燃料物質防護に係る教育 ・侵入防止及び出入管理に係る教育

東海第二発電所

火災による損傷の防止

第８条 火災による損傷の防止

【目次】

1. 基本事項

1.1 要求事項の整理

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置，構造及び設備

(2) 安全設計

(3) 適合性説明

1.3 気象等

1.4 設備等（手順書含む）

2. 火災による損傷の防止

（別添資料－１）

東海第二発電所　火災防護について

3. 技術的能力説明資料

（別添資料－２）

火災による損傷の防止

4. 現場確認プロセス

（別添資料－３）

東海第二発電所 火災防護に係る等価火災時間算出プロセスについて

5. 難燃性の向上（非難燃ケーブル）

（別添資料－４）

東海第二発電所　非難燃ケーブルの対応について

＜概　　要＞

１．において，設計基準対処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東海第二発電所における適合性を示す。

２．において，設計基準対処施設について，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等について説明する。

３．において，追加要求事項に適合するための技術的能力（手順等）を抽出し，必要となる運用対策等を整理する。

４．において，設計にあたって実施する各評価に必要な入力条件等の設定を行うため，設備等の設置状況を現場にて確認した内容について整理する。

1. 基本事項

1.1 要求事項の整理

火災による損傷の防止について，設置許可基準規則第 8 条及び技術基準規則第 11 条において，追加要求事項を明確化する。（第 1 表）

第1表 設置許可基準規則第8条及び技術基準規則第11条 要求事項

設置許可基準規則第8条 （火災による損傷の防止）	技術基準規則第11条 （火災による損傷の防止）	備考
設計基準対象施設は，火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう，火災の発生を防止することができ，かつ，早期に火災発生を感知する設備(以下「火災感知設備」という。)及び消火を行う設備(以下「消火設備」といい，安全施設に属するものに限る。)並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。	設計基準対象施設が火災によりその安全性が損なわれないよう，次に掲げる措置を講じなければならない。 一　火災の発生を防止するため，次の措置を講ずること。 イ　発火性又は引火性の物質を内包する系統の漏えい防止その他の措置を講ずること。 ロ　安全施設(設置許可基準規則第二条第二項第八号に規定する安全施設をいう。以下同じ。)には，不燃性材料又は難燃性材料を使用すること。ただし，次に掲げる場合は，この限りではない。 （１）安全施設に使用する材料が，不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するもの(以下「代替材料」という。)である場合 （２）安全施設の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合であって，安全施設における火災に起因して他の安全施設において火災が発生することを防止するための措置が講じられている場合 ハ　避雷設備その他の自然現象による火災発生を防止するための設備を施設すること。 二　水素の供給設備その他の水素が内部に存在する可能性がある設備にあっては，水素の燃焼が起きた場合においても発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう施設すること。 ホ　放射線分解により発生し，蓄積した水素の急速な燃焼によって，発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合には，水素の蓄積を防止する措置を講ずること。 二　火災の感知及び消火のため，次に掲げるところにより，早期に火災発生を感知する設備(以下「火災感知設備」という。)及び早期に消火を行う設備（以下「消火設備」という。）を施設すること。 イ火災と同時に発生すると想定される自然現象により，その機能が損なわれることがないこと。	追加要求事項
2 消火設備(安全施設に属するものに限る。)は，破損，誤作動又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわないものでなければならない。	ロ　消火設備にあっては，その損壊，誤作動又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉施設の安全性が損なわれることがないこと。	追加要求事項
—	三　火災の影響を軽減するため，耐火性能を有する壁の設置その他の延焼を防止するための措置その他の発電用原子炉施設の火災により発電用原子炉を停止する機能が損なわれることがないようにするための措置を講ずること。	変更なし （ただし，防火壁及びその他の措置を明確化）

1.2 追加要求事項に対する適合性

（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

（ｉ）　本発電用原子炉施設は，(1)耐震構造，(2)耐津波構造に加え，以下の基本的方針の基に安全設計を行う。

ａ．設計基準対象施設

(c)　火災による損傷の防止

設計基準対象施設は，火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう，火災防護対策を講じる設計とする。

火災防護対策を講じる設計を行うに当たり，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する区域を火災区域及び火災区画に設定し，放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する区域を火災区域に設定する。

設定する火災区域及び火災区画に対して，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

(c-1)基本事項

(c-1-1)火災区域及び火災区画の設定

建屋等の火災区域は，耐火壁により囲まれ他の区域と分離されている区域を，「ロ(3)(ｉ)ａ．(c-1-2) 火災防護対策を講じる安全機能を有する構築物，系統及び機器の抽出」

に示す安全機能を有する構築物，系統及び機器の配置も考慮して設定する。

建屋内のうち，火災の影響軽減の対策が必要な原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための安全機能を有する構築物，系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域は，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁（耐火隔壁含む。），天井及び床により隣接する他の火災区域と分離するよう設定する。

屋外の火災区域は，他の区域と分離して火災防護対策を実施するために，「ロ(3)(ⅰ)a．(c-1-2) 火災防護対策を講じる安全機能を有する構築物，系統及び機器の抽出」に示す安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する区域を火災区域として設定する。

また，火災区画は，建屋内及び屋外で設定した火災区域を系統分離等に応じて分割して設定する。

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

(c-1-2) 火災防護対策を講じる安全機能を有する構築物，系統及び機器の抽出

発電用原子炉施設は，火災によりその安全性が損なわれることがないように，適切な火災防護対策を講じる設計とする。火災防護対策を講じる対象として設計基準対象施設を設定する。

その上で，上記構築物，系統及び機器の中から，原子炉

の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための構築物，系統及び機器を抽出し，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。抽出した構築物，系統及び機器を「安全機能を有する構築物，系統及び機器」という。

なお，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，消防法，建築基準法，日本電気協会電気技術規程・指針に基づき設備に応じた火災防護対策を講じる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

(c-1-3)火災防護計画

発電用原子炉施設全体を対象とした火災防護対策を実施するため，火災防護計画を策定する。

火災防護計画には，計画を遂行するための体制，責任の所在，責任者の権限，体制の運営管理，必要な要員の確保及び教育訓練並びに火災防護対策を実施するために必要な手順等について定めるとともに，発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物，系統及び機器については，火災の発生防止，火災の早期感知及び消火並びに火災の影響軽減の 3 つの深層防護の概念に基づき，必要な火災防護対策を行うことについて定める。

重大事故等対処施設については，火災の発生防止，火災の早期感知及び消火を行うことについて定める。

その他の発電用原子炉施設については，消防法，建築基準法，日本電気協会電気技術規程・指針に基づき設備に応じた

火災防護対策を行うことについて定める。

外部火災については，安全施設を外部火災から防護するための運用等について定める。

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

(c-2)火災発生防止

(c-2-1)火災の発生防止対策

火災の発生防止については，発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域又は火災区画に対する火災の発生防止対策を講じるほか，可燃性の蒸気又は可燃性の微粉に対する対策，発火源への対策，水素に対する換気及び漏えい検出対策，電気系統の過電流による過熱及び焼損の防止対策等を講じる設計とする。

なお，放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策は，水素や酸素の濃度が高い状態で滞留及び蓄積することを防止する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)】

(c-2-2)不燃性材料又は難燃性材料の使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器のうち，主要な構造材，ケーブル，チャコールフィルタを除く換気設備のフィルタ，保温材及び建屋内装材は，不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とする。また，不燃性材料又は難燃性材料が使用できない場合は，不燃性材料若しくは難燃性材料と同等以上の性能を有するものを使用する設計，又は，当該構築物，系統及び機器の機能を確保するために必要な不燃性材料

若しくは難燃性材料と同等以上の性能を有するものの使用が技術上困難な場合には，当該構築物，系統及び機器における火災に起因して他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。

このうち，安全機能を有する機器に使用するケーブルは，実証試験により自己消火性及び延焼性を確認した難燃ケーブルを使用する設計とする。

なお，安全機能を有する機器に使用するケーブルのうち，実証試験により延焼性が確認できない非難燃ケーブルについては，難燃ケーブルに取り替えて使用する。

ただし，ケーブル取り替え以外の措置によって，非難燃ケーブルを使用する場合は，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能を確保することを確認した上で使用する設計，又は当該ケーブルの火災に起因して他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。

また，建屋内の変圧器及び遮断器は，絶縁油等の可燃性物質を内包していないものを使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(c-2-3)自然現象による火災の発生防止

東海第二発電所の安全を確保する上で設計上考慮すべき自然現象として，地震，津波，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，火山の影響，生物学的事象，森林火

災及び高潮を抽出した。

これらの自然現象のうち，火災を発生させるおそれのある落雷及び地震について，これらの現象によって火災が発生しないように，以下のとおり火災防護対策を講じる設計とする。

落雷によって，発電用原子炉施設内の構築物，系統及び機器に火災が発生しないように，避雷設備の設置及び接地網の敷設を行う設計とする。

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，耐震クラスに応じて十分な支持性能をもつ地盤に設置する設計とするとともに，「設置許可基準規則」第四条に示す要求を満足するよう，「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」に従い耐震設計を行う設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.3)】

(c-3)火災の感知及び消火

火災の感知及び消火については，安全機能を有する構築物，系統及び機器に対して，早期の火災感知及び消火を行うための火災感知設備及び消火設備を設置する設計とする。

火災感知設備及び消火設備は，「ロ(3)(ⅰ)ａ．(c-2-3)自然現象による火災の発生防止」で抽出した自然現象に対して，火災感知及び消火の機能，性能が維持できる設計とする。

火災感知設備及び消火設備については，設けられた火災区域及び火災区画に設置された安全機能を有する構築物，系

統及び機器の耐震クラスに応じて，地震に対して機能を維持できる設計とする。また，消火設備は，破損，誤作動又は誤操作が起きた場合においても，原子炉を安全に停止させるための機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2)】

(c-3-1)火災感知設備

火災感知器は，環境条件や火災の性質を考慮して型式を選定し，固有の信号を発する異なる種類を組み合わせて設置する設計とする。火災感知設備は，外部電源喪失時においても火災の感知が可能なように電源確保を行い，中央制御室で常時監視できる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(c-3-2)消火設備

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画で，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となるところには，自動消火設備又は手動操作による固定式消火設備を設置して消火を行う設計とするとともに，全域ガス系消火設備を設置する場合は，作動前に職員等の退出ができるよう警報を発する設計とする。

また，原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物，系統及び機器の相互の系統分離を行うために設けられた火災区域又は火災区画に設置される消火設備は，選択弁等の動的機器の単一故障も考慮し，系統分離に応じた

独立性を備えた設計とする。

消火用水供給系は，2 時間の最大放水量を確保し，飲料水系等と共用する場合は隔離弁を設置し消火を優先する設計とし，水源及び消火ポンプは多重性又は多様性を有する設計とする。また，屋内，屋外の消火範囲を考慮し消火栓を配置するとともに，移動式消火設備を配備する設計とする。

消火設備の消火剤は，想定される火災の性質に応じた十分な容量を配備し，管理区域で放出された場合に，管理区域外への流出を防止する設計とする。

消火設備は，火災の火炎等による直接的な影響，流出流体等による二次的影響を受けず，安全機能を有する構築物，系統及び機器に悪影響を及ぼさないよう設置し，外部電源喪失時の電源確保を図るとともに，中央制御室に故障警報を発する設計とする。また，防火ダンパを設け煙の二次的影響が安全機能を有する構築物，系統及び機器に悪影響を及ぼさない設計とする。

なお，消火設備を設置した場所への移動及び操作を行うため，蓄電池を内蔵する照明器具を設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(c-4)火災の影響軽減

火災の影響軽減については，安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響を軽減するため，以下の対策を講じる設計

とする。原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための安全機能を有する構築物，系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域は，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁（耐火隔壁含む。），天井，床により他の火災区域と分離する設計とする。また，互いに相違する系列間の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル並びにこれらに関連する非安全系ケーブルは，3 時間以上の耐火能力を有する隔壁等で分離された設計，又は互いに相違する系列間の水平距離が 6m 以上あり，かつ，火災感知設備及び自動消火設備を設置する設計，又は 1 時間の耐火能力を有する隔壁等で互いの系列間を分離し，かつ，火災感知設備及び自動消火設備を設置する設計とする。系統分離を行うために設けられた火災区域又は火災区画に設置される消火設備は，系統分離に応じた独立性を有する設計とする。

ただし，火災の影響軽減のための措置を講じる設計と同等の設計として，中央制御室制御盤に関しては，金属外装ケーブルの使用並びに操作スイッチの離隔等による分離対策，高感度煙感知器の設置，常駐する運転員による消火活動等により，上記設計と同等な設計とする。中央制御室床下コンクリートピットに関しては，1 時間の耐火能力を有するコンクリートピット構造による分離，火災感知設備並びに中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

また，原子炉格納容器に関しては，運転中は窒素に置換

され火災は発生せず，内部に設置された安全機能を有する構築物，系統及び機器が火災により機能を損なうおそれはないことから，原子炉起動中並びに低温停止中の状態に対して措置を講じる設計とする。原子炉格納容器内の機器には難燃ケーブルを使用する設計とし，火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，金属製の電線管等の使用等により火災の影響軽減対策を行う設計とする。また，固有の信号を発する異なる種類の火災感知設備を設ける設計とし，消火器又は消火栓を用いた運転員及び初期消火要員による速やかな初期消火活動により上記設計と同等な設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

(c-5)火災影響評価

設備等の設置状況を踏まえた可燃性物質の量等を基に，想定される発電用原子炉施設内の火災によって，安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には，火災による影響を考慮しても，多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく，原子炉の高温停止及び低温停止が達成できる設計とし，火災影響評価にて確認する。

また，発電用原子炉施設内の火災によって運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した場合に，それらに対処するために必要な機器の単一故障を考慮しても異常状態を収束できる設計とし，火災影響評価にて確認する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.2)】

(c-6)その他

「ロ(3)(ｉ)ａ．(c-2) 火災発生防止」から「ロ(3)(ｉ)ａ．(c-5) 火災影響評価」のほか，安全機能を有する構築物，系統及び機器のそれぞれの特徴を考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

ヌ　その他発電用原子炉の付属施設の構造及び設備

(3)　その他の主要な事項

（ⅰ）　火災防護設備

ａ．設計基準対象施設

火災防護設備は，火災区域及び火災区画を考慮し，火災感知，消火又は火災の影響軽減の機能を有するものとする。

火災感知設備は，固有の信号を発するアナログ式の煙感知器及びアナログ式の熱感知器を組み合わせて設置することを基本とするが，各火災区域又は火災区画における放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や火災の性質を考慮し，上記の設置が適切でない場合においては，非アナログ式の炎感知器，非アナログ式の防爆型の煙感知器，非アナログ式の防爆型の熱感知器等の火災感知器も含めた中から 2 つの異なる種類の感知器を設置する。また，中央制御室で常時監視可能な火災受信機盤を設置する。

消火設備は，破損，誤作動又は誤操作により，安全機能を有する構築物，系統及び機器（「ロ(3)(ⅰ)ａ．(c-1-2) 火災防護対策を講じる安全機能を有する構築物，系統及び機器の抽出」と同じ）の安全機能を損なわない設計とし，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難である火災区域又は火災区画であるかを考慮し，全域ガス消火設備等を設置する。

火災の影響軽減の機能を有するものとして，安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画の火災及び隣接する火災区域又は火災区画の火災による影響を軽減するため，火災耐久試験で確認された

3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁又は 1 時間以上の耐火能力を有する隔壁等を設置する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)】

【別添資料 1-資料 1(2.1.2)】

【別添資料 1-資料 1(2.1.3)】

（２）安全設計

1.5　火災防護に関する基本方針

1.5.1　設計基準対象施設の火災防護に関する基本方針

1.5.1.1　基本事項

設計基準対象施設は，火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう，火災防護対策を講じる設計とする。

火災防護対策を講じる設計を行うに当たり，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する区域を火災区域及び火災区画に，放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する区域を火災区域に設定する。

設定する火災区域及び火災区画に対して，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

火災防護対策を講じる設計とするための基本事項を，以下の「1.5.1.1(1)火災区域及び火災区画の設定」から「1.5.1.1(6)火災防護計画」に示す。

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

(1)　火災区域及び火災区画の設定

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，原子炉建屋廃棄物処理棟，タービン建屋，廃棄物処理建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，固体廃棄物作業建屋，固体廃棄物貯蔵庫Ａ，固体廃棄物貯蔵庫Ｂ及び給水加熱器保管庫の建屋内の火災区域は，耐火壁に囲まれ，他の区域と分離されている区域を，「(2)安全機能を有する構築物，系統及び機器」において選定する機器の配置も考慮し，火災区域として設定する。

火災の影響軽減の対策が必要な，原子炉の高温停止及び低温停止を達

成し，維持するための安全機能を有する構築物，系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域は，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁として，3 時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚である 150mm 以上の壁厚を有するコンクリート壁や火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁（耐火隔壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等）により隣接する他の火災区域と分離するように設定する。

また，屋外の火災区域は，他の区域と分離して火災防護対策を実施するために，「(2)安全機能を有する構築物，系統及び機器」において選定する機器を設置する区域を，火災区域として設定する。

また，火災区画は，建屋内及び屋外で設定した火災区域を系統分離等，機器の配置状況に応じて分割して設定する。

【別添資料 1-資料 1(2.1)，資料 3】

(2)　安全機能を有する構築物，系統及び機器

発電用原子炉施設は，火災によりその安全性を損なわないように，適切な火災防護対策を講じる設計とする。火災防護対策を講じる対象として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を期待するクラス 3 に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，上記構築物，系統及び機器の中から原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための構築物，系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を抽出し，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる。

その他の設計基準対象施設は，消防法，建築基準法，日本電気協会電

気技術規程・指針に基づき設備に応じた火災防護対策を講じる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

(3) 原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器

設計基準対象施設のうち，重要度分類に基づき，発電用原子炉施設において火災が発生した場合に，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な以下の機能を確保するための構築物，系統及び機器を「原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器」として選定する。

①原子炉冷却材圧力バウンダリ機能

②過剰反応度の印加防止機能

③炉心形状の維持機能

④原子炉の緊急停止機能

⑤未臨界維持機能

⑥原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能

⑦原子炉停止後の除熱機能

⑧炉心冷却機能

⑨工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能

⑩安全上特に重要な関連機能

⑪安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能

⑫事故時のプラント状態の把握機能

⑬制御室外からの安全停止機能

【別添資料 1-資料 1(2.1)，資料 2，資料 3】

(4)　放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器

設計基準対象施設のうち，重要度分類に基づき，発電用原子炉施設において火災が発生した場合に，放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を確保するために必要な以下の構築物，系統及び機器を，「放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器」として選定する。ただし，重要度分類表における緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能のうち，排気筒モニタについては，設計基準事故時の監視機能であることから，その重要度を踏まえ，「放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器」として選定する。

①放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能

②原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能

③燃料プール水の補給機能

④放射性物質放出の防止機能

⑤放射性物質の貯蔵機能

⑥原子炉冷却材を内蔵する機能

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

(5)　火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル

(2)から(4)にて抽出された設備を発電用原子炉施設において火災が発生した場合に，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な機能，及び放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を確保するために必要な火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルとして選定する。

選定した火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについては，各

設備の重要度並びに環境条件に応じて火災防護対策を講じる設計とする。

(6) 火災防護計画

発電用原子炉施設全体を対象とした火災防護対策を実施するため，火災防護計画を策定する。火災防護計画には，計画を遂行するための体制，責任の所在，責任者の権限，体制の運営管理，必要な要員の確保及び教育訓練，火災から防護すべき安全機能を有する構築物，系統及び機器，火災発生防止のための活動，火災防護設備の保守点検及び火災情報の共有，火災防護を適切に実施するための対策並びに火災発生時の対応といった火災防護対策を実施するために必要な手順等について定めるとともに，発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物，系統及び機器については，火災の発生防止，火災の早期感知及び消火並びに火災の影響軽減の3つの深層防護の概念に基づき，必要な火災防護対策を行うことについて定める。

重大事故等対処施設については，火災の発生防止，並びに火災の早期感知及び消火を行うことについて定める。

その他の発電用原子炉施設については，消防法，建築基準法，日本電気協会電気技術規程・指針に基づき設備に応じた火災防護対策を行うことについて定める。

外部火災については，安全施設を外部火災から防護するための運用等について定める。

【別添資料 1-資料 1(2.1)】

1.5.1.2 火災発生防止に係る設計方針

1.5.1.2.1 火災発生防止対策

発電用原子炉施設の火災の発生防止については，発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域又は火災区画に対する火災の発生防止対策を講じるほか，可燃性の蒸気又は可燃性の微粉に対する対策，発火源への対策，水素に対する換気及び漏えい検出対策，放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策並びに電気系統の過電流による過熱及び焼損の防止対策等を講じる設計とする。

具体的な設計を「1.5.1.2.1(1) 発火性又は引火性物質」から「1.5.1.2.1(6)過電流による過熱防止対策」に示す。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)】

(1)　発火性又は引火性物質

発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域又は火災区画には，以下の火災の発生防止対策を講じる設計とする。

ここでいう発火性又は引火性物質としては，消防法で定められる危険物のうち「潤滑油」及び「燃料油」，高圧ガス保安法で高圧ガスとして定められる水素，窒素，液化炭酸ガス及び空調用冷媒等のうち可燃性である「水素」を対象とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

a.　漏えいの防止，拡大防止

火災区域に対する漏えいの防止対策，拡大防止対策の設計について以下を考慮した設計とする。

(a)　発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備は，溶接構造，シール構造の採用による漏えいの防止対策を講じるとともに，堰等を設置し，漏えいした潤滑油又は燃料油が拡大することを防止する設計とする。

(b)　発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である水素を内包する設備は，溶接構造等による水素の漏えいを防止する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

b.　配置上の考慮

火災区域に対する配置について，以下を考慮した設計とする。

(a)　発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備の火災により，発電用原子炉施設の安全機能を損なわないよう，発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備と発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物，系統及び機器は，壁等の設置及び離隔による配置上の考慮を行う設計とする。

(b)　発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である水素を内包する設備の火災により，発電用原子炉施設の安全機能を損なわないよう，発火性又は引火性物質である水素を内包する設備と発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物，系統及び機器

は，壁等の設置による配置上の考慮を行う設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

c. 換気

火災区域に対する換気について，以下の設計とする。

(a) 発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備を設置する火災区域を有する建屋等は，火災の発生を防止するために，原子炉建屋及びタービン建屋送風機・排風機等空調機器による機械換気を行う設計とする。また，屋外開放の火災区域（海水ポンプ室）については，自然換気を行う設計とする。

(b) 発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

発火性又は引火性物質である水素を内包する設備である蓄電池，気体廃棄物処理設備，発電機水素ガス冷却設備及び水素ボンベを設置する火災区域又は火災区画は，火災の発生を防止するために，以下に示すとおり，非常用電源又は常用電源から給電される送風機及び排風機による機械換気により換気を行う設計とする。

ⅰ） 蓄電池

蓄電池を設置する火災区域又は火災区画は，機械換気を行うことによって，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするように設計する。安全機能を有する蓄電池を設置する火災区域又は火災区画の換気設備は，非常用電源から給電される送風機及び排風機による機械換気を行う設計とする。

それ以外の蓄電池を設置する火災区域の換気設備は，常用電源から給電される送風機及び排風機による機械換気を行う設計とし，全交流動力電源喪失時に送風機及び排風機が停止した場合は，送風機及び排風機が復帰するまで蓄電池を充電しない運用とする。

ⅱ） 気体廃棄物処理設備

気体廃棄物処理設備は，空気抽出器より抽出された水素と酸素の混合状態が燃焼限界濃度とならないよう，排ガス再結合器によって設備内の水素濃度が燃焼限界濃度である4vol%以下となるように設計する。

加えて，気体廃棄物処理設備を設置する火災区域又は火災区画は，常用電源から給電されるタービン建屋送風機及び排風機による機械換気を行うことによって，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするように設計する。

ⅲ） 発電機水素ガス冷却設備

発電機水素ガス冷却設備を設置する火災区域又は火災区画は，常用電源から給電されるタービン建屋送風機及び排風機による機械換気を行うことによって，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするように設計する。

ⅳ） 水素ボンベ

格納容器雰囲気モニタ校正用水素ボンベを設置する火災区域又は火災区画は，常用電源から給電される原子炉建屋送風機及び排風機による機械換気を行うことによって，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするように設計する。

発火性又は引火性物質である水素を内包する設備を設置

する火災区域又は火災区画は，水素濃度が燃焼限界濃度以下の雰囲気となるように送風機及び排風機で換気されるが，送風機及び排風機は多重化して設置する設計とするため，動的機器の単一故障を想定しても換気は可能である。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

d. 防爆

火災区域に対する防爆について，以下の設計とする。

(a) 発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備は，「1.5.1.2.1(1)a.漏えいの防止，拡大防止」に示すように，溶接構造，シール構造の採用による潤滑油又は燃料油の漏えい防止対策を講じる設計とするとともに，万一，漏えいした場合を考慮し堰等を設置することで，漏えいした潤滑油又は燃料油が拡大することを防止する設計とする。

なお，潤滑油又は燃料油が設備の外部へ漏えいしても，引火点は発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備を設置する室内温度よりも十分高く，機器運転時の温度よりも高いため，可燃性の蒸気となることはない。

また，燃料油である軽油を内包する設備を設置する火災区域又は火災区画については，軽油が設備の外部へ漏えいし，万一，可燃性の蒸気が発生した場合であっても，非常用電源より給電する耐震 S クラス又は基準地震動S_sに対して機能維持可能な

換気設備で換気していることから，可燃性の蒸気が滞留するおそれはない。

(b)　発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である水素を内包する設備は，「1.5.1.2.1(1)c. 換気」で示すように，機械換気により水素濃度を燃焼限界濃度以下とするように設計するとともに，以下に示す溶接構造等により水素の漏えいを防止する設計とする。

ⅰ）　気体廃棄物処理設備

気体廃棄物処理設備の配管等は雰囲気への水素の漏えいを考慮した溶接構造とし，弁グランド部から雰囲気への水素漏えいの可能性のある弁は，雰囲気への水素の漏えいを考慮しベローズ弁等を用いる設計とする。

ⅱ）　発電機水素ガス冷却設備

発電機水素ガス冷却設備の配管等は雰囲気への水素の漏えいを考慮した溶接構造とし，弁グランド部から雰囲気への水素漏えいの可能性のある弁は，雰囲気への水素の漏えいを考慮しベローズ弁等を用いる設計とする。

ⅲ）　水素ボンベ

「1.5.1.2.1(1)e. 貯蔵」に示す格納容器雰囲気モニタ校正用水素ボンベは，ボンベ使用時に作業員がボンベ元弁を開操作し，通常時は元弁を閉とする運用とする。

以上の設計により，「電気設備に関する技術基準を定める省令」第六十九条及び「工場電気設備防爆指針」で要求される爆

発性雰囲気とはならないため，当該の設備を設ける火災区域又は火災区画に設置する電気・計装品を防爆型とせず，防爆を目的とした電気設備の接地も必要としない設計とする。

なお，電気設備の必要な箇所には，「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令」第十条，第十一条に基づく接地を施す設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

e. 貯蔵

火災区域に設置される発火性又は引火性物質を内包する貯蔵機器については，以下の設計とする。

貯蔵機器とは供給設備へ補給するために設置する機器のことであり，安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域内における，発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油の貯蔵機器としては，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク及び軽油貯蔵タンクがある。

非常用ディーゼル発電機燃料デイタンクについては，非常用ディーゼル発電機を 8 時間連続運転するために必要な量を貯蔵することを考慮した設計とする。軽油貯蔵タンクについては，1 基あたり非常用ディーゼル発電機 1 台及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 1 台を 7 日間並びに常設代替高圧電源装置 2 台を 1 日（24 時間）運転するために必要な量を貯蔵することを考慮した設計とする。

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域内における，発火性又は引火性物質である水素の貯蔵機器としては，格納容器雰囲気モニタ校正用水素ボンベがあり，これらのボンベは，

運転上必要な量を考慮し貯蔵する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

(2)　可燃性の蒸気又は微粉の対策

火災区域に対する可燃性の蒸気又は可燃性の微粉の対策については，以下の設計とする。

発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備は，「1.5.1.2.1(1)d.防爆」に示すように，可燃性の蒸気が発生するおそれはない。

また，火災区域において有機溶剤を使用する場合は必要量以上持ち込まない運用とし，可燃性の蒸気が滞留するおそれがある場合は，使用する作業場所において，換気，通風，拡散の措置を行うとともに，建屋の送風機及び排風機による機械換気により滞留を防止する設計とする。

さらに，火災区域には，「工場電気設備防爆指針」に記載される「可燃性粉じん(石炭のように空気中の酸素と発熱反応を起こし爆発する粉じん)」や「爆発性粉じん(金属粉じんのように空気中の酸素が少ない雰囲気又は二酸化炭素中でも着火し，浮遊状態では激しい爆発を生じる粉じん)」のような「可燃性の微粉を発生する設備」を設置しない設計とする。

以上の設計により，火災区域には可燃性の蒸気又は微粉を高所に排出するための設備を設置する必要はなく，電気・計装品も防爆型とする必要はない。

また，火災区域には金属粉や布による研磨機のように静電気が溜まるおそれがある設備を設置しない設計とする。なお，火災区域内で電気設備が必要な箇所には，「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術

基準を定める命令」第十条，第十一条に基づく接地を施しており，静電気が溜まるおそれはない。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

(3)　発火源への対策

発電用原子炉施設には，設備を金属製の筐体内に収納する等の対策を行い，設備外部に出た火花が発火源となる設備を設置しない設計とする。

また，発電用原子炉施設には高温となる設備があるが，高温部分を保温材で覆うことにより，可燃性物質との接触防止や潤滑油等可燃物の過熱防止を行う設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

(4)　水素対策

火災区域に対する水素対策については，以下の設計とする。

発火性又は引火性物質である水素を内包する設備を設置する火災区域又は火災区画は，「1.5.1.2.1(1)a．漏えいの防止，拡大防止」に示すように，発火性又は引火性物質である水素を内包する設備を溶接構造等とすることにより雰囲気への水素の漏えいを防止するとともに，「1.5.1.2.1(1)c．換気」に示すように，機械換気を行うことによって水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように設計する。

蓄電池を設置する火災区域又は火災区画は，充電時において蓄電池から水素が発生するおそれがあることから，当該火災区域又は火災区画に可燃物を持ち込まないこととする。また，蓄電池室の上部に水素濃度検出器を設置し，水素の燃焼限界濃度である 4vol%の 1／4 以下の濃度にて中央制御室に警報を発する設計とする。

また，以下の設備については水素濃度検出器とは別の方法にて水素の漏えいを管理している。

気体廃棄物処理設備は，設備内の水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように設計するが，設備内の水素濃度については水素濃度計により中央制御室で常時監視ができる設計とし，水素濃度が上昇した場合には中央制御室に警報を発する設計とする。

発電機水素ガス冷却設備は，水素消費量を管理するとともに，発電機内の水素純度，水素圧力を中央制御室で常時監視ができる設計としており，発電機内の水素純度や水素圧力が低下した場合には中央制御室に警報を発する設計とする。

格納容器雰囲気モニタ校正用水素ボンベを設置する火災区域又は火災区画については，通常時は元弁を閉とする運用とし，「1.5.1.2.1(1)c. 換気」に示す機械換気により水素濃度を燃焼限界濃度以下とするように設計することから，水素濃度検出器は設置しない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

(5) 放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策

放射線分解により水素が発生する火災区域又は火災区画における，水素の蓄積防止対策としては，社団法人火力原子力発電技術協会「BWR 配管における混合ガス(水素・酸素)蓄積防止に関するガイドライン(平成 17 年 10 月)」等に基づき，原子炉の安全性を損なうおそれがある場合には水素の蓄積を防止する設計とする。

蓄電池により発生する水素の蓄積防止対策としては，蓄電池を設置する火災区域又は火災区画は，「1.5.1.2.1(4)水素対策」に示すように，機械換気を行うことによって水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように

設計する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

(6) 過電流による過熱防止対策

発電用原子炉施設内の電気系統の過電流による過熱の防止対策は，以下の設計とする。

電気系統は，送電線への落雷等外部からの影響や，地絡，短絡等に起因する過電流による過熱や焼損を防止するために，保護継電器，遮断器により，故障回路を早期に遮断する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

1.5.1.2.2 不燃性材料又は難燃性材料の使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器に対しては，不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とし，不燃性材料又は難燃性材料が使用できない場合には以下のいずれかの設計とする。

・不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するもの(以下「代替材料」という。)を使用する設計とする。
・構築物，系統及び機器の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合には，当該構築物，系統及び機器における火災に起因して他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(1) 主要な構造材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器のうち，機器，配管，ダクト，

トレイ，電線管，盤の筐体及びこれらの支持構造物の主要な構造材は，火災の発生防止及び当該設備の強度確保を考慮し，ステンレス鋼，低合金鋼，炭素鋼等の金属材料，又はコンクリートの不燃性材料を使用する設計とする。

また，内部溢水対策で使用している止水剤，止水パッキンについては，難燃性のものを使用する設計とする。

ただし，配管のパッキン類は，その機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難であるが，金属で覆われた狭隘部に設置し直接火炎に晒されることはなく，これにより他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生するおそれはないことから不燃性材料又は難燃性材料ではない材料を使用する設計とする。また，金属に覆われたポンプ及び弁等の駆動部の潤滑油並びに金属に覆われた機器躯体内部に設置される電気配線は，発火した場合でも，他の安全機能を有する構築物，系統及び機器に延焼しないことから，不燃性材料又は難燃性材料でない材料を使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(2)　変圧器及び遮断器に対する絶縁油等の内包

安全機能を有する構築物，系統及び機器のうち，屋内の変圧器及び遮断器は可燃性物質である絶縁油を内包していないものを使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(3)　難燃ケーブルの使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器に使用するケーブルには，実

証試験により自己消火性(UL 垂直燃焼試験)及び延焼性(IEEE383(光ファイバケーブルの場合は IEEE1202)垂直トレイ燃焼試験)を確認した難燃ケーブルを使用する設計とする。

ただし，安全機能を有する機器に使用するケーブルには，自己消火性を確認するＵＬ垂直燃焼試験は満足するが，延焼性を確認する IEEE383 垂直トレイ燃焼試験の要求を満足しない非難燃ケーブルがある。

したがって，非難燃ケーブルについては，原則，難燃ケーブルに取り替えて使用する設計とする。ただし，ケーブルの取り替えに伴い安全上の課題が生じる場合には，非難燃ケーブルを使用し，施工後の状態において，以下に示すように範囲を限定した上で，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能を確保できる代替措置（複合体）を施す設計とする。

(a)ケーブルの取り替えに伴う課題が回避される範囲

(b)難燃ケーブルと比較した場合に，火災リスクに有意な差がない範囲

【別添 4(1)】

ａ．複合体を形成する設計

複合体は，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能を確保する設計とし，実証試験により自己消火性及び延焼性を確認した上で使用する。

このため，複合体外部及び複合体内部の火災を想定した設計とする。

また，複合体は，防火シートが与える化学的影響，複合体内部への熱の蓄積及び重量増加による耐震性への影響を考慮しても非難燃ケーブルの通電機能や絶縁機能及びケーブルトレイの耐震性低下により，ケーブル保持機能が損なわれないことを確認するとともに，施工後において，複合体の難燃性能を維持する上で，防火シートのずれ，隙間及び傷の範

囲を考慮する設計とし，これらを実証試験により確認して使用する設計とする。使用する防火シートは耐寒性，耐水性，耐薬品性などの耐性に問題がないことを確認する。

【別添 4(1)】

(a) 複合体外部の火災を想定した場合の設計

複合体は，外部の火災に対して，不燃材の防火シートにより外部からの火炎を遮断し，直接ケーブルに火炎が当たり燃焼することを防止することにより，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能が確保できる設計とする。

このため，複合体は，火炎を遮断するため，非難燃ケーブルが露出しないように非難燃ケーブル及びケーブルトレイを防火シートで覆い，その状態を維持するため結束ベルトで固定する設計とする。

実証試験では，この設計の妥当性を確認するため，防火シートが遮炎性を有していること，その上で，複合体としては，延焼による損傷長が難燃ケーブルよりも短くなることを確認した上で使用する。

【別添 4(3)】

(b) 複合体内部の火災を想定した場合の設計

複合体は，短絡又は地絡に起因する過電流により発火した内部の火災に対して，燃焼の３要素のうち，酸素量を抑制することにより，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能が確保できる設計とする。

このため，複合体は，「(a) 複合体外部の火災を想定した場合の設計」に加え，複合体内部の延焼を燃え止まらせるため，ケーブルトレイが火災区画の境界となる壁，天井又は床を貫通する部分に耐火シールを処置し，延焼の可能性のあるケーブルトレイ設置方向にファイアスト

ッパを設置する設計とする。

また，複合体内部の火炎が外部に露出しないようにするため，防火シート間を重ねて覆う設計とする。

実証試験では，この設計の妥当性を確認するため，ケーブル単体の試験により自己消火性が確保できること，防火シートで複合体内部の酸素量を抑制することにより耐延焼性を確保できることを確認した上で使用する。

【別添 4(4)】

b．電線管に収納する設計

複合体とするケーブルトレイから安全機能を有する機器に接続するために電線管で敷設される非難燃ケーブルは，火災を想定した場合にも延焼が発生しないように，電線管に収納するとともに，電線管の両端は電線管外部からの酸素供給防止を目的として，難燃性の耐熱シール材を処置する設計とする。

【別添 4(7.2)】

なお，放射線モニタケーブルは，放射線検出のためには微弱電流又は微弱パルスを扱う必要があり，耐ノイズ性を確保するため，絶縁体に誘電率の低い架橋ポリエチレンを使用することで高い絶縁抵抗を有する同軸ケーブルを使用する設計とする。

このケーブルは，自己消火性を確認する UL 垂直燃焼試験は満足するが，延焼性を確認する IEEE383 垂直トレイ燃焼試験の要求を満足することが困難である。

このため，放射線モニタケーブルは，火災を想定した場合にも延焼が発生しないように，専用電線管に収納するとともに，電線管の両端は，電線管外部からの酸素供給防止を目的とし，耐火性を有するシール材に

よる処置を行う設計とする。

耐火性を有するシール材を処置した電線管内は外気から容易に酸素の供給がない閉塞した状態であるため，放射線モニタケーブルに火災が発生してもケーブルの燃焼に必要な酸素が不足し，燃焼の維持ができなくなるので，すぐに自己消火し，ケーブルは延焼しない。

このため，専用電線管で収納し，耐火性を有するシール材により酸素の供給防止を講じた放射線モニタケーブルは，IEEE383 垂直トレイ燃焼試験の判定基準を満足するケーブルと同等以上の延焼防止性能を有する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(4)　換気設備のフィルタに対する不燃性材料又は難燃性材料の使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器のうち，換気空調設備のフィルタは，チャコールフィルタを除き「JIS L 1091(繊維製品の燃焼性試験方法)」又は「JACA No.11A-2003(空気清浄装置用ろ材燃焼性試験方法指針(公益社団法人 日本空気清浄協会))」を満足する難燃性材料を使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(5)　保温材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器に対する保温材は，ロックウール，ガラス繊維，ケイ酸カルシウム，パーライト，金属等，平成 12 年建設省告示第 1400 号に定められたもの，又は建築基準法で不燃性材料として認められたものを使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(6)　建屋内装材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する建屋の内装材は，ケイ酸カルシウム等，建築基準法で不燃性材料として認められたものを使用する設計とする。

また，中央制御室の床のカーペットは，消防法施行規則第四条の三に基づき，第三者機関において防炎物品の試験を実施し，防炎性能を有することを確認した材料を使用する設計とする。

一方，管理区域の床に耐放射線性及び除染性を確保すること，原子炉格納容器内部の床及び壁には耐放射線性，除染性及び耐腐食性を確保することを目的としてコーティング剤を塗布する設計とする。このコーティング剤は，旧建設省告示 1231 号第 2 試験に基づく難燃性が確認された塗料であること，不燃性材料であるコンクリート表面に塗布すること，加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらないこと，原子炉格納容器内を含む建屋内に設置する安全機能を有する構築物，系統及び機器には不燃性材料又は難燃性材料を使用し周辺には可燃物がないことから，当該コーティング剤が発火した場合においても他の構築物，系統及び機器において火災を生じさせるおそれは小さい。

1.5.1.2.3　自然現象による火災発生の防止

東海第二発電所の安全を確保する上で設計上考慮すべき自然現象としては，地震，津波，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮を抽出した。

これらの自然現象のうち，津波，森林火災，竜巻(風（台風）を含む。)については，それぞれの現象に対して，発電用原子炉施設の安全機能が損なわれないように防護することで火災の発生を防止する設計とする。

生物学的事象のうちネズミ等の小動物の影響については，侵入防止対策により影響を受けない設計とする。

凍結，降水，積雪，高潮及び生物学的事象のうちクラゲ等の海生生物の影響については，火災が発生する自然現象ではなく，火山の影響についても，火山から発電用原子炉施設に到達するまでに火山灰等が冷却されることを考慮すると，火災が発生する自然現象ではない。

洪水については，立地的要因により，発電用原子炉施設の安全機能を有する機器に影響を与える可能性がないため，火災が発生するおそれはない。したがって，落雷，地震について，これらの現象によって火災が発生しないように，以下のとおり火災防護対策を講じる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.3)】

(1) 落雷による火災の発生防止

発電用原子炉施設内の構築物，系統及び機器は，落雷による火災発生を防止するため，地盤面から高さ 20m を超える構築物には，建築基準法に基づき「JIS A 4201 建築物等の避雷設備（避雷針）(1992 年度版)」又は「JIS A 4201 建築物等の雷保護（2003 年度版)」に準拠した避雷設備の設置及び接地網の敷設を行う設計とする。

送電線については，架空地線を設置する設計とするとともに，「1.5.1.2.1(6)過電流による過熱防止対策」に示すとおり，故障回路を早期に遮断する設計とする。

【避雷設備設置箇所】

・タービン建屋

・排気筒

・廃棄物処理建屋

・使用済燃料乾式貯蔵建屋

・固体廃棄物作業建屋

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

(2)　地震による火災の発生防止

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，耐震クラスに応じて十分な支持性能をもつ地盤に設置するとともに，自らが破壊または倒壊することによる火災の発生を防止する設計とする。

なお，耐震については「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第四条」に示す要求を満足するように，「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」に従い耐震設計を行う設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

1.5.1.3　火災の感知及び消火に係る設計方針

火災の感知及び消火については，安全機能を有する構築物，系統及び機器に対して，早期の火災感知及び消火を行うための火災感知設備及び消火設備を設置する設計とする。具体的な設計を「1.5.1.3.1　火災感知設備」から「1.5.1.3.4 消火設備の破損，誤動作又は誤操作による安全機能への影響」に示す。

このうち，火災感知設備及び消火設備が，地震等の自然現象に対して，火災感知及び消火の機能，性能が維持され，かつ，安全機能を有する構築物，系統及び機器の耐震クラスに応じて，機能を維持できる設計とすることを「1.5.1.3.3　自然現象の考慮」に示す。また，消火設備は，破損，誤動作

又は誤操作が起きた場合においても，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための機能を損なわない設計とすることを「1.5.1.3.4 消火設備の破損，誤動作又は誤操作による安全機能への影響」に示す。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2)】

1.5.1.3.1　火災感知設備

火災感知設備は，安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画の火災を早期に感知できるように設置する設計とする。

火災感知器と受信機を含む火災受信機盤等で構成される火災感知設備は，以下を踏まえた設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(1)　火災感知器の環境条件等の考慮

火災感知設備の火災感知器は，火災区域又は火災区画における放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や，炎が生じる前に発煙すること等，予想される火災の性質を考慮して設置する設計とする。

難燃ケーブルの代替措置とした複合体内部についても火災感知器を設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(2)　固有の信号を発する異なる火災感知器の設置

火災感知設備の火災感知器は，「1.5.1.3.1(1) 火災感知器の環境条件等の考慮」の環境条件等を考慮し，火災感知器を設置する火災区域又は火災区画の安全機能を有する構築物，系統及び機器の種類に応じ，火災を早期に感知できるように，固有の信号を発するアナログ式の煙感知器及びアナログ式の熱感知器の異なる種類の感知器を組み合わせて設置す

る設計とする。

ただし，発火性又は引火性の雰囲気を形成するおそれのある場所及び屋外等は，非アナログ式も含めた組み合わせで設置する設計とする。

炎感知器は非アナログ式であるが，炎が発する赤外線又は紫外線を感知するため，炎が生じた時点で感知することができ，火災の早期感知が可能である。

ここで，アナログ式とは「平常時の状況（温度，煙の濃度）を監視し，かつ，火災現象（急激な温度や煙の濃度の上昇）を把握することができる」ものと定義し，非アナログ式とは「平常時の状況（温度，煙の濃度）を監視することはできないが，火災現象（急激な温度や煙の濃度の上昇等）を把握することができる」ものと定義する。

以下に，上記に示す火災感知器の組み合わせのうち，特徴的な火災区域又は火災区画を示す。

ａ．　原子炉建屋原子炉棟 6 階

原子炉建屋原子炉棟 6 階は天井が高く大空間となっているため，火災による熱が周囲に拡散することから，熱感知器による感知は困難である。このため，アナログ式の光電分離型煙感知器と非アナログ式の炎感知器（赤外線方式）をそれぞれの監視範囲に火災の検知に影響を及ぼす死角がないように設置する設計とする。

ｂ．　原子炉格納容器

原子炉格納容器内は，アナログ式の煙感知器及び熱感知器を設置する設計とする。

運転中の原子炉格納容器は，閉鎖した状態で長期間高温かつ高線

量環境となることから，アナログ式の火災感知器が故障する可能性がある。このため，通常運転中，窒素封入による不活性化により火災が発生する可能性がない期間については，原子炉格納容器内に設置する火災感知器は，起動時の窒素封入後に作動信号を除外する運用とし，プラント停止後に速やかに取り替える設計とする。

c．　軽油貯蔵タンク設置区域

軽油貯蔵タンク内部は，燃料の気化による引火性又は発火性の雰囲気を形成している。このため，タンクマンホール内の空間部に非アナログ式の防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器を設置する設計とする。

d．　屋外区域（海水ポンプ室）

屋外区域（海水ポンプ室）は，区域全体の火災を感知する必要があるが火災による煙が周囲に拡散し煙感知器による火災感知は困難であること，及び降水等の浸入により火災感知器の故障が想定されることから，アナログ式の屋外仕様の熱感知カメラ（赤外線方式），及び非アナログ式の屋外仕様の炎感知器（赤外線方式）をそれぞれの監視範囲に火災の検知に影響を及ぼす死角がないように設置する設計とする。

e．主蒸気管トンネル室

放射線量が高い場所（主蒸気管トンネル室）は，アナログ式の火災感知器を設置する場合，放射線の影響により火災感知器の故障が想定される。このため，放射線の影響を受けないよう検出器部位を

当該区画外に配置するアナログ式の煙吸引式検出設備を設置する設計とする。加えて，放射線の影響を考慮した非アナログ式の熱感知器を設置する設計とする。

ｆ．　蓄電池室

水素による引火性又は発火性の雰囲気を形成するおそれのある場所（蓄電池室）は，万一の水素濃度の上昇を考慮し，火災を早期に感知できるように，非アナログ式の防爆型で，かつ固有の信号を発する異なる種類の煙感知器及び熱感知器を設置する設計とする。

これらの非アナログ式の火災感知器は，以下の環境条件等を考慮することにより誤作動を防止する設計とする。

・煙感知器は蒸気等が充満する場所に設置しない。
・熱感知器は作動温度が周囲温度より高い温度で作動するものを選定する。
・炎感知器は平常時より炎の波長の有無を連続監視し，火災現象（急激な環境変化）を把握でき，感知原理に「赤外線３波長式」（物質の燃焼時に発生する特有な放射エネルギの波長帯を３つ検知した場合にのみ発報する）を採用するものを選定する。さらに，屋内に設置する場合は外光が当たらず，高温物体が近傍にない箇所に設置することとし，屋外に設置する場合は，屋外仕様を採用するとともに，太陽光の影響に対しては視野角への影響を考慮した遮光板を設置することで誤作動を防止する設計とする。

また，以下に示す火災区域又は火災区画は，発火源となる可燃物がなく可燃物管理により可燃物を持ち込まない運用とすることから，火災感知器を設置しない，若しくは発火源となる可燃物が少なく火災により安全機能へ影響を及ぼすおそれはないことから消防法又は建築基準法に基づく火災感知器を設ける設計とする。

・非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室

非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室は，コンクリートで囲われ，発火源となる可燃物が設置されておらず，可燃物管理により不要な可燃物を持ち込まない運用とすることから，火災が発生するおそれはない。

したがって，非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室には火災感知器を設置しない設計とする。

・原子炉建屋付属棟屋上区域

原子炉建屋付属棟屋上区域には，スイッチギア室チラーユニット，中央制御室チラーユニット及びバッテリー室送風機が設置されている。当該区域には，可燃物管理により不要な可燃物を持ち込まない運用とし，また，チラーユニットは金属等の不燃性材料で構成されていることから，周囲からの火災の影響を受けない。

万一，火災が発生した場合には，中央制御室に機器の異常警報が発報するため，運転員が現場に急行することが可能である。

したがって，原子炉建屋付属棟屋上区域には火災感知器を設置しない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

・使用済燃料プール，復水貯蔵タンク，使用済樹脂タンク

使用済燃料プール，復水貯蔵タンク，使用済樹脂タンクについては内部が水で満たされており，火災が発生するおそれはない。

したがって，使用済燃料プール，復水貯蔵タンク，使用済樹脂タンクには火災感知器を設置しない設計とする。

・排気筒モニタ設置区画

放射線モニタ検出器は隣接した検出器間をそれぞれ異なる火災区画に設置する設計とする。これにより火災発生時に同時に監視機能を喪失することは考えにくく，重要度クラス 3 の設備として火災に対して代替性を有することから，消防法又は建築基準法に基づく火災感知器を設ける設計とする。

なお，上記の監視を行う事故時放射線モニタ監視盤を設置する中央制御室については火災発生時の影響を考慮し，固有の信号を発するアナログ式の煙感知器，アナログ式の熱感知器の異なる種類の感知器を組み合わせて設置する設計とする。

・不燃性材料であるコンクリート又は金属により構成された火災防護対象機器を設けた火災区域又は火災区画

不燃性材料であるコンクリート又は金属により構成された配管，容器，タンク，弁，コンクリート構築物等については流路，バウンダリとしての機能が火災により影響を受けないことから消防法又は建築基準法に基づく火災感知器を設ける設計とする。

(3)　火災受信機盤

火災感知設備の火災受信機盤は中央制御室に設置し，火災感知設備の作動状況を常時監視できる設計とする。

また，受信機盤は，構成されるアナログ式の受信機により，以下の機能を有する設計とする。

・アナログ式の火災感知器が接続可能であり，作動した火災感知器を1つずつ特定できる設計とする。

・水素の漏えいの可能性が否定できない蓄電池室及び軽油貯蔵タンクマンホール内の空間部に設置する非アナログ式の防爆型の煙感知器と防爆型の熱感知器及び主蒸気管トンネル室内の非アナログ式の熱感知器が接続可能であり，作動した火災感知器を1つずつ特定できる設計とする。

・屋外の海水ポンプ室を監視する非アナログ式の炎感知器及びアナログ式の熱感知カメラが接続可能であり，感知区域を1つずつ特定できる設計とする。なお，屋外区域熱感知カメラ火災受信機盤においては，カメラ機能による映像監視（熱サーモグラフィ）により特定が可能な設計とする。

・原子炉建屋原子炉棟6階を監視する非アナログ式の炎感知器が接続可能であり，作動した炎感知器を1つずつ特定できる設計とする。

また，火災感知器は以下のとおり点検を行うことができるものを使用する設計とする。

・自動試験機能又は遠隔試験機能を有する火災感知器は，機能に異常がないことを確認するため，定期的に自動試験又は遠隔試験を実施できるものを使用する。

・自動試験機能又は遠隔試験機能を持たない火災感知器は，機能に異常がないことを確認するため，消防法施行規則に準じ，煙等の火災を模擬した試験を定期的に実施できるものを使用する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(4) 火災感知設備の電源確保

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画の火災感知設備は，外部電源喪失時においても火災の感知が可能となるように蓄電池を設け，電源を確保する設計とする。

また，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画の火災感知設備に供給する電源は，非常用ディーゼル発電機が接続されている非常用電源より供給する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

1.5.1.3.2 消火設備

消火設備は，以下に示すとおり，安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画の火災を早期に消火できるように設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(1) 原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備は，当該構築物，系統及び機器の設置場所が，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となるかを考慮して設計する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

a. 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画の選定

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画は，「b.火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画の選定」に示した火災区域又は火災区画を除き，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となるものとして選定する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

b. 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画の選定

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画のうち，消火活動が困難とならないところを以下に示す。

(a) 屋外の火災区域（海水ポンプ室，非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室及び原子炉建屋付属棟屋上区域）

海水ポンプ室，非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室，スイッチギア室チラーユニット，中央制御室チラーユニット及びバッテリー室送風機設置区域については屋外の火災区域であり，火災が発生しても煙は充満しない。よって煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画として選定する。

(b) 可燃物が少なく，火災が発生しても煙が充満しない火災区域又は火災区画

以下に示す火災区域又は火災区画は，可燃物を少なくすることで煙の発生を抑える設計とし，煙の充満により消火困難とはならない箇所として選定する。各火災区域又は火災区画とも不要な可燃物を持ち込まないよう持込み可燃物管理を実施するとともに，点検に係る資機材等の可燃物を一時的に仮置きする場合は，不燃性のシートによる養生を実施し火災発生時の延焼を防止する設計とする。なお，可燃物の状況については，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な機能を有する構築物，系統及び機器以外の構築物，系統及び機器も含めて確認する。

i） 主蒸気管トンネル室

室内に設置している機器は，主蒸気外側隔離弁（空気作動弁），電動弁等である。これらは，不燃性材料又は難燃性材料で構成されており，可燃物としては駆動部に潤滑油を使用している。駆動部は，不燃性材料である金属で覆われており，設備外部で燃え広がることはない。その他に可燃物は設置しておらず，ケーブルは電線管及び金属製の可と

う電線管で敷設する設計とする。

(c)　中央制御室

中央制御室は，常駐する運転員によって火災感知器による早期の火災感知及び消火活動が可能であり，火災が拡大する前に消火可能であること，万一，火災によって煙が発生した場合でも建築基準法に準拠した容量の排煙設備によって排煙が可能な設計とすることから，消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画として選定する。

なお，中央制御室床下コンクリートピットは，速やかな火災発生場所の特定が困難であると考えられることから，固有の信号を発する異なる種類の火災感知設備（煙感知器と熱感知器），及び中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

(d)　原子炉格納容器

原子炉格納容器内において，万一火災が発生した場合でも，原子炉格納容器の空間体積（約 9,800m^3）に対してパージ用排風機の容量が約 16,980m^3／h であり，排煙が可能な設計とすることから，消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画として選定する。

(e)　原子炉建屋原子炉棟 6 階

原子炉建屋原子炉棟 6 階は可燃物が少なく大空間となっているため，煙の充満により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画として選定する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

c.　火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画に設置する消火設備

火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画は，自動又は中央制御室からの手動操作による固定式消火設備である全域ガス消火設備を設置し消火を行う設計とする。なお，これらの固定式消火設備に使用するガスは，ハロゲン化物消火剤とする。

ただし，以下については，ハロゲン化物自動消火設備（全域）と異なる消火設備を設置し消火を行う設計とする。

(a)　非常用ディーゼル発電機室，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室

非常用ディーゼル発電機室及び非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室は，人が常駐する場所ではないことから，二酸化炭素自動消火設備（全域）を設置する設計とする。また，自動起動について，万一，室内に作業員等がいた場合の人身安全を考慮し，煙感知器及び熱感知器の両方の動作をもって消火する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(b)　原子炉建屋通路部

原子炉建屋通路部は，ほとんどの階層で周回できる通路となっており，その床面積は最大で約 969m^2（原子炉建屋 3 階周回通路）と大きい。さらに，各階層間には開口部（機器ハッチ）が存在するが，これらは水素対策として通常より開口状態となっている。

原子炉建屋通路部は，このようなレイアウトであることに加え，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる可能性が否定できないことから，煙の充満を発生させるおそれのある可燃物（ケーブル，電源盤・制御盤，潤滑油内包設備）に対しては自動又は中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置し消火を行う設計とし，これ以外（計器など）の可燃物については量が少ないことから消火器で消火を行う設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

d. 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画に設置する消火設備

(a) 屋外の火災区域(海水ポンプ室，非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室，スイッチギア室チラーユニット及びバッテリー室送風機設置区域)

屋外の火災区域については，消火器又は移動式消火設備で消火を行う設計とする。

(b) 可燃物が少ない火災区域又は火災区画

火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画のうち，可燃物が少ない火災区域又は火災区画については，消火器で消火を行う設計とする。

(c) 中央制御室

火災発生時に煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない中央制御室には，全域ガス消火設備及び局所ガス

消火設備は設置せず，消火器で消火を行う設計とする。また，中央制御室制御盤内の火災については，電気機器への影響がない二酸化炭素消火器で消火を行う。中央制御室床下コンクリートピットについては，中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

(d)　原子炉格納容器

原子炉格納容器内において，万一，火災が発生した場合でも，原子炉格納容器の空間体積（約 9,800m^3）に対してパージ用排風機の容量が約 16,980m^3／h であることから，煙が充満しないため，消火活動が可能である。

したがって，原子炉格納容器内の消火については，消火器を用いて行う設計とする。また，消火栓を用いても対応できる設計とする。

(e)　原子炉建屋原子炉棟 6 階

原子炉建屋原子炉棟 6 階は煙の充満により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画であるため，消火器で消火を行う設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(2)　放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備

放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備は，当該火災区域又は火災区画が，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動

が困難となる火災区域であるかを考慮して設計する。

a. 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画の選定

放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画については，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となるものとして選定する。

b. 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画の選定

放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画であって，煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画を以下に示す。

(a) 復水貯蔵タンクエリア

復水貯蔵タンクエリアは，金属等で構成するタンクであり，タンク内は水で満たされていることから，火災の発生並びに煙の充満のおそれはない。

(b) 使用済燃料プール（原子炉建屋原子炉棟 6 階に含む）

使用済燃料プールは，側面と底面が金属とコンクリートに覆われており，プール内は水で満たされていることから，火災の発生並びに煙の充満のおそれはない。

(c) 使用済樹脂貯蔵タンク室

使用済樹脂貯蔵タンク室は，コンクリートに覆われており，

タンク内は水で満たされていることから，火災の発生並びに煙の充満のおそれはない。

c. 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画に設置する消火設備

放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画のうち，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画には，自動又は中央制御室からの手動操作による固定式消火設備である全域ガス消火設備を設置し消火を行う設計とする。なお，この固定式消火設備に使用するガスは，消防法施行規則を踏まえハロゲン化物消火剤とする。ただし，以下については，上記と異なる消火設備を設置し消火を行う設計とする。

(a) 気体廃棄物処理設備設置区画

気体廃棄物処理系は，不燃性材料である金属により構成されており，フェイル・クローズ設計の隔離弁を設ける設計とすることにより，火災による安全機能への影響は考えにくい。また，放射線モニタ検出器は隣接した検出器間をそれぞれ異なる火災区画に設置する設計とし，火災発生時に同時に監視機能が喪失することを防止する。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより区画内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

(b) 液体廃棄物処理設備設置区画

液体廃棄物処理系は，不燃性材料である金属により構成され

ており，フェイル・クローズ設計の隔離弁を設ける設計とすることにより，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより区画内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

(c)　サプレッション・プール水排水設備設置区画

サプレッション・プール水排水系は，不燃性材料である金属により構成されており，通常時閉状態の隔離弁を多重化して設ける設計とすることにより，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより区画内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

(d)　新燃料貯蔵庫

新燃料貯蔵庫は，金属とコンクリートに覆われており火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより庫内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

(e)　使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，金属とコンクリートで構築された建屋であり，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより建屋内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

(f)　固体廃棄物貯蔵庫及び給水加熱器保管庫

固体廃棄物貯蔵庫及び給水加熱器保管庫は，金属とコンクリートで構築された建屋であり，固体廃棄物及び給水加熱器は金属容器に収められていることから火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより庫内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

(g) 固体廃棄物作業建屋及び廃棄物処理建屋

固体廃棄物作業建屋及び廃棄物処理建屋は，金属とコンクリートで構築された建屋であり，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより建屋内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

d. 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画に設置する消火設備

放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画のうち，煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画については内部に水を内包し，火災の発生が考えにくいことから消火設備を設置しない設計とする。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(3) 消火用水供給系の多重性又は多様性の考慮

消火用水供給系の水源は，屋内の火災区域又は火災区画用としては，

ろ過水貯蔵タンク(約 1,500m^3)，多目的タンク(約 1,500m^3)を設置し多重性を有する設計とする。構内（屋外）の火災区域用としては，原水タンク(約 1,000m^3)，多目的タンク(約 1,500m^3)を設置し多重性を有する設計とする。なお，多目的タンクについては，屋内及び構内（屋外）で共用する設計とする。

屋内及び構内（屋外）消火用水供給系の消火ポンプは，電動機駆動消火ポンプ，ディーゼル駆動消火ポンプをそれぞれ 1 台ずつ設置し，多様性を有する設計とする。なお，消火ポンプについては外部電源喪失時であっても機能を喪失しないようにディーゼル駆動消火ポンプについては起動用の蓄電池を配備する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(4)　系統分離に応じた独立性の考慮

火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルの系統分離を行うために設置するハロゲン化物自動消火設備（全域）及び二酸化炭素自動消火設備（全域）は，以下に示すとおり，系統分離に応じた独立性を備えた設計とする。

系統分離された火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを設置するそれぞれの火災区域又は火災区画に対して 1 つの消火設備で消火を行う場合は，以下に示すとおり，系統分離に応じた独立性を備えた設計とする。

・静的機器である消火配管は，24 時間以内の単一故障の想定が不要であり，また，基準地震動Ｓ$_s$で損傷しないように設計するため，多重化しない設計とする。

・動的機器である選択弁及び容器弁について，単一故障を想定しても，

系統分離された火災区域又は火災区画に対して消火設備が同時に機能喪失しない設計とする。具体的には，容器弁及びボンベを必要数より1つ以上多く設置する。また，容器弁の作動のための圧力信号についても動的機器の単一故障により同時に機能を喪失しない設計とする。さらに，選択弁を介した一つのラインで系統分離された相互の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを消火する場合は，当該選択弁を多重化する。

(5) 火災に対する二次的影響の考慮

ハロゲン化物自動消火設備（全域）及び二酸化炭素自動消火設備（全域）は，電気絶縁性の高いガスを採用することで，火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎，熱による直接的な影響のみならず，煙，流出流体，断線及び爆発等の二次的影響が，火災が発生していない安全機能を有する構築物，系統及び機器に影響を及ぼさない設計とする。また，防火ダンパを設け煙の二次的影響が安全機能を有する構築物，系統及び機器に悪影響を及ぼさない設計とする。

また，これらの消火設備のボンベ及び制御盤は，消火対象となる機器が設置されている火災区域又は火災区画と別の区画に設置し，火災による熱の影響を受けても破損及び爆発が発生しないように，ボンベに接続する安全弁によりボンベの過圧を防止する設計とする。

ハロゲン化物自動消火設備（局所）は，電気絶縁性の高いガスを採用するとともに，ケーブルトレイ消火設備及び電源盤・制御盤消火設備については，ケーブルトレイ内又は盤内に消火剤を留めることとする。消火対象と十分に離れた位置にボンベ及び制御盤等を設置することで，火災の火炎，熱による直接的な影響のみならず，煙，流出流体，断線及び

爆発等の二次的影響が，火災が発生していない安全機能を有する構築物，系統及び機器に及ばない設計とする。

また，中央制御室床下コンクリートピットに設置するハロゲン化物自動消火設備（局所）についても電気絶縁性が高く，人体への影響が小さいハロン 1301 を採用するとともに，消火対象となる機器が設置されている火災区域又は火災区画とは別の区画に設置し，火災による熱の影響を受けても破損及び爆発が発生しないように，ボンベに接続する安全弁によりボンベの過圧を防止する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(6) 想定火災の性質に応じた消火剤の容量

油火災(発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備や燃料タンクからの火災)が想定される非常用ディーゼル発電機室及び非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室には，消火性能の高い二酸化炭素自動消火設備（全域）を設置しており，消防法施行規則第十九条に基づき算出される必要量の消火剤を配備する設計とする。

その他の火災防護対象機器がある火災区域又は火災区画に設置するハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所）については，消防法施行規則第二十条並びに試験結果に基づき，単位体積あたりに必要な消火剤を配備する設計とする。特に，複数の場所に対して消火する設備の消火剤の容量は，複数の消火対象場所のうち必要な消火剤が最大となる場所の必要量以上となるように設計する。

火災区域又は火災区画に設置する消火器については，消防法施行規則第六条～八条に基づき延床面積又は床面積から算出される必要量の消火剤を配備する設計とする。

消火剤に水を使用する消火用水の容量の設計は，「1.5.1.3.2(8)消火用水の最大放水量の確保」に示す。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(7)　移動式消火設備の配備

移動式消火設備は，「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則」第八十三条第五号に基づき，恒設の消火設備の代替として消火ホース等の資機材を備え付けている移動式消火設備を 1 台（予備 1 台）配備する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(8)　消火用水の最大放水量の確保

消火用水供給系の水源の供給先は，屋内及び屋外の各消火栓である。屋内，屋外の消火栓については，消防法施行令第十一条（屋内消火栓設備に関する基準）及び消防法施行令第十九条（屋外消火栓設備に関する基準）に基づき，2 時間の最大放水量（約 120m^3）を確保する設計とする。

また，消火用水供給系の水源は東海発電所と東海第二発電所で一部共用であるが，万一，東海発電所，東海第二発電所においてそれぞれ単一の火災が同時に発生し，消火栓による放水を実施した場合に必要となる約 240m^3に対して十分な水量を確保する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(9)　水消火設備の優先供給

消火用水供給系は，飲料水系や所内用水系等と共用する場合には，隔離弁を設置して遮断する措置により，消火用水の供給を優先する設計とする。

なお，水道水系とは共用しない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(10)　消火設備の故障警報

電動機駆動消火ポンプ，ディーゼル駆動消火ポンプ，ハロゲン化物自動消火設備（全域）等の消火設備は，電源断等の故障警報を中央制御室に吹鳴する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(11)　消火設備の電源確保

消火用水供給系のうち，電動機駆動消火ポンプは常用電源から受電する設計とするが，ディーゼル駆動消火ポンプは，外部電源喪失時でもディーゼル機関を起動できるように蓄電池により電源を確保する設計とし，外部電源喪失時においてもディーゼル機関より消火ポンプへ動力を供給することによって消火用水供給系の機能を確保することができる設計とする。

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画の二酸化炭素自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所）（ケーブルトレイ用の消火設備は除く）は，外部電源喪失時にも消火が可能となるように，非常用電源から受電するとともに，設備の作動に必要な電源を供給する蓄電池も設ける設計とする。

ケーブルトレイ用のハロゲン化物自動消火設備（局所）は，作動に電源が不要な設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(12)　消火栓の配置

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火栓は，消防法施行令第十一条（屋内消火栓設備に関する基準）及び第十九条（屋外消火設備に関する基準）に準拠し，屋内は消火栓から半径 25m の範囲を考慮して配置し，屋外は消火栓から半径 40m の範囲を考慮して配置することによって，全ての火災区域の消火活動に対処できるように配置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(13)　固定式ガス消火設備等の職員退避警報

固定式ガス消火設備であるハロゲン化物自動消火設備（全域）及び二酸化炭素自動消火設備（全域）は，作動前に職員等の退出ができるように警報または音声警報を吹鳴し，25 秒以上の時間遅れをもってハロンガス又は二酸化炭素を放出する設計とする。

また，二酸化炭素自動消火設備（全域）については，人体への影響を考慮し，入退室の管理を行う設計とする。

ハロゲン化物自動消火設備（局所）のうち発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備に設置するものについては，消火剤には毒性がないが，消火時に生成されるフッ化水素が周囲に拡散することを踏まえ，消火設備作動前に退避警報を発する設計とする。また，局所ガス消火設備のうちケーブルトレイ，電源盤又は制御盤に設置するも

のについては，消火剤に毒性がなく，消火時に生成されるフッ化水素は防火シートを設置したケーブルトレイ内，又は金属製筐体で構成される盤内に留まり，外部に有意な影響を及ぼさないため，消火設備作動前に退避警報を発しない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(14)　管理区域内からの放出消火剤の流出防止

管理区域内で放出した消火剤は，放射性物質を含むおそれがあることから，管理区域外への流出を防止するため，管理区域と非管理区域の境界に堰等を設置するとともに，各フロアの建屋内排水系により液体廃棄物処理設備に回収し，処理する設計とする。万一，流出した場合であっても建屋内排水系から系外に放出する前にサンプリングを実施し,検出が可能な設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(15)　消火用非常照明

建屋内の消火栓，消火設備現場盤の設置場所及び設置場所までの経路には，移動及び消火設備の操作を行うため，消防法で要求される消火継続時間 20 分に現場への移動等の時間(最大約 1 時間)も考慮し，12 時間以上の容量の蓄電池を内蔵する照明器具を設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

1.5.1.3.3　自然現象の考慮

東海第二発電所の安全を確保する上で設計上考慮すべき自然現象としては，網羅的に抽出するために，発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関

わらず，国内外の基準や文献等に基づき事象を収集した。これらの事象のうち，発電所敷地及びその周辺での発生可能性，安全施設への影響度，事象進展速度や事象進展に対する時間的余裕の観点から，原子炉設備に影響を与えるおそれがある事象として，地震，津波，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮を抽出した。

これらの自然現象のうち，落雷については，「1.5.1.2.3(1)落雷による火災の発生防止」に示す対策により，機能を維持する設計とする。

凍結については，「(1)凍結防止対策」に示す対策により機能を維持する設計とする。竜巻，風(台風)に対しては，「(2)風水害対策」に示す対策により機能を維持する設計とする。地震については，「(3)地震対策」に示す対策により機能を維持する設計とする。

上記以外の津波，洪水，降水，積雪，火山の影響，高潮及び生物学的事象については，「(4)想定すべきその他の自然現象に対する対策について」に示す対策により機能を維持する設計とする。また，森林火災についても，「(4)想定すべきその他の自然現象に対する対策について」に示す対策により機能を維持する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.2)】

(1) 凍結防止対策

屋外に設置する火災感知設備及び消火設備は，東海第二発電所において考慮している最低気温-12.7℃（水戸地方気象台(1897 年～2012 年)）を踏まえ，約-20℃まで気温が低下しても使用可能な火災感知設備及び消火設備を設置する設計とする。

屋外消火設備の配管は，保温材により配管内部の水が凍結しない設計

とする。

屋外消火栓本体はすべて，凍結を防止するため，消火栓内部に水が溜まらないような構造とし，自動排水機構により通常は排水弁を通水状態，消火栓使用時は排水弁を閉にして放水する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.2)】

(2) 風水害対策

消火用水供給系の消火設備を構成する電動機駆動消火ポンプ及びディーゼル駆動消火ポンプ等の機器は，風水害に対してその性能が著しく阻害されることがないよう，流れ込む水の影響を受けにくい建屋内に配置する設計とする。二酸化炭素自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所）についても，風水害に対してその性能が著しく阻害されることがないよう，原子炉建屋，タービン建屋等の建屋内に配置する設計とする。

また，電動機駆動消火ポンプ及びディーゼル駆動消火ポンプを設置しているポンプ室の壁及び扉については，風水害に対してその性能が著しく阻害されることがないよう浸水対策を実施する。

また，屋外の火災感知設備は，屋外仕様とした上で予備の火災感知器を確保し，万一，風水害の影響を受けた場合には，早期に取替えを行うことにより当該設備の機能及び性能を復旧する設計とする。

屋外消火栓は風水害に対してその性能が著しく阻害されることがないよう，雨水の浸入等により動作機構が影響を受けない機械式を用いる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.2)】

(3)　地震対策

a.　地震対策

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画の火災感知設備及び消火設備は，安全機能を有する構築物，系統及び機器の耐震クラスに応じて機能を維持できる設計とする。

安全機能を有する構築物，系統及び機器に影響を及ぼす可能性がある火災区域又は火災区画に設置される，油を内包する耐震Ｂクラス及び耐震Ｃクラスの機器は，以下のいずれかの設計とすることにより，地震によって耐震Ｂクラス及び耐震Ｃクラスの機器が機能喪失しても安全機能を有する構築物，系統及び機器の機能喪失を防止する設計とする。

・基準地震動Ｓ$_{s}$により油が漏えいしない。

・基準地震動Ｓ$_{s}$によって火災が発生しても，安全機能を有する構築物，系統及び機器に影響を及ぼすことがないよう，基準地震動Ｓ$_{s}$によっても機能維持する固定式消火設備によって速やかに消火する。

・基準地震動Ｓ$_{s}$によって火災が発生しても，安全機能を有する構築物，系統及び機器の機能に影響を及ぼすことがないように隔壁等により分離する。

b.　地盤変位対策

屋外消火配管は，地上又はトレンチに設置し，地震時における地盤変位に対して，その配管の自重や内圧，外的荷重を考慮しても地盤沈下による建屋と周辺地盤との相対変位を考慮する設計とする。

また，地盤変位対策としては，水消火配管のレイアウト，配管の曲げ加工や配管支持長さからフレキシビリティを考慮した配置とす

ることで，地盤変位による変形を配管系統全体で吸収する設計とする。

さらに，屋外消火配管が破断した場合でも消防車を用いて屋内消火栓へ消火用水の供給ができるように，建屋に給水接続口を設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.2)】

(4) 想定すべきその他の自然現象に対する対策について

実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準の 2.2.2 に記載のある凍結，風水害，地震以外の東海第二発電所で考慮すべき自然現象については，津波，洪水，降水，積雪，火山の影響，生物学的事象及び高潮がある。これらの自然現象及び森林火災により感知及び消火の機能，性能が阻害された場合は，原因の除去又は早期の取替え，復旧を図る設計とするが，必要に応じて監視の強化や，代替消火設備の配備等を行い，必要な機能並びに性能を維持することとする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.2)】

1.5.1.3.4 消火設備の破損，誤動作又は誤操作による安全機能への影響

二酸化炭素は不活性であること，全域ガス消火設備及び局所ガス消火設備で使用するハロゲン化物消火剤は，電気絶縁性が大きく揮発性も高いことから，設備の破損，誤作動又は誤操作により消火剤が放出されても電気及び機械設備に影響を与えないため，火災区域又は火災区画に設置するガス消火設備には，ハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所）又は二酸化炭素自動消火設備（全域）を選定する設計とする。なお，非常用ディーゼル発電機は，非常用ディーゼル発電機室に設置する二酸化炭

素自動消火設備（全域）の破損，誤動作又は誤操作によって二酸化炭素が放出されることによる室内充満を考慮しても機能が喪失しないように，燃焼用空気は外気を直接取り入れ，排気も直接外気に放出する設計であり，火災区画内の空気を用いない設計とする。消火設備の放水等による溢水に対しては，「1.6　溢水防護に関する基本方針」に基づき，安全機能へ影響がないよう設計する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.3)】

1.5.1.4　火災の影響軽減のための対策

1.5.1.4.1　安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じた火災の影響軽減のための対策

安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画内の火災による影響に対し，「1.5.1.4.1(1)原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持に係わる火災区域の分離」から「1.5.1.4.1(8)油タンクに対する火災の影響軽減対策」に示す火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

(1)　原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持に係わる火災区域の分離

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域は，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁として，3 時間耐火に設計上必要な 150mm 以上の壁厚を有するコンクリート耐火壁や火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁（耐火隔壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等）によって，他の火災区域から分離する設計とする。

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域については，系統分離のため，原則として安全区分Ⅰの属する火災区域とその他の区分に属する火災区域に分け，互いの火災区域を分離して設定する。

なお，火災区域又は火災区画のファンネルには，他の火災区域又は火災区画からの煙の流入防止を目的として，煙等流入防止装置を設置する設計とする。

(2)　火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルの系統分離

火災が発生しても原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するためには，プロセスを監視しながら原子炉を停止し，冷却を行うことが必要であり，このためには，手動操作に期待してでも原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な機能を少なくとも一つ確保するように系統分離対策を講じる必要がある。

このため，単一火災（任意の一つの火災区域又は火災区画で発生する火災）の発生によって，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な機能を有する多重化されたそれぞれの系統が同時に機能喪失することのないよう，「1.5.1.1(3) 原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器」にて抽出した原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要となる火災防護対象機器及び火災防護対象機器の駆動若しくは制御に必要となる火災防護対象ケーブルについて以下に示すいずれかの系統分離対策を講じる設計とする。

系統分離にあたっては，互いに相違する系列の火災防護対象機器，火災防護対象ケーブル及びこれらに関連する非安全系ケーブルの系統分離を行う設計とする。

a.　3 時間以上の耐火能力を有する隔壁等による分離

互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを，火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を確認した隔壁等で分離する設計とする。具体的には，安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ，Ⅲの境界を 3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁（耐火隔壁，貫通部

シール，防火扉，防火ダンパ等），隔壁等（耐火間仕切り，耐火ラッピング）で分離する設計とする。

b. 水平距離 6m 以上の離隔距離の確保，火災感知設備及び自動消火設備の設置

互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを，仮置きするものを含めて可燃性物質のない水平距離 6m 以上の離隔距離を確保する設計とする。

火災感知設備は，自動消火設備を作動させるために設置し，自動消火設備の誤作動防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を作動させる設計とする。

c. 1 時間耐火隔壁による分離，火災感知設備及び自動消火設備の設置

互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを，火災耐久試験により 1 時間以上の耐火能力を確認した隔壁等で分離する設計とする。

火災感知設備は，自動消火設備を作動させるために設置し，自動消火設備の誤動作防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を作動させる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

なお，中央制御室及び原子炉格納容器は，上記と同等の保安水準を確保する対策として以下のとおり火災の影響軽減対策を講じる。

(3) 中央制御室に対する火災の影響軽減のための対策

a. 中央制御室制御盤内の火災の影響軽減

中央制御室制御盤内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，運転員の操作性及び視認性向上を目的として近接して設置することから，互いに相違する系列の水平距離を 6m 以上確保することや互いに相違する系列を 1 時間の耐火能力を有する隔壁等で分離することが困難である。

このため，中央制御室制御盤内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，以下の(a)～(c)に示すとおり，実証試験結果に基づく離隔距離等による分離対策，高感度煙感知器の設置による早期の火災感知及び常駐する運転員による早期の消火活動に加え，火災により中央制御室制御盤の 1 つの区画の安全機能が全て喪失しても，他の区画の制御盤は機能が維持されることを確認することにより，原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持ができることを確認し，火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

(a) 離隔距離による分離

中央制御室の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，運転員の操作性及び視認性向上を目的として近接して設置することから，中央制御室の制御盤については区分毎に別々の盤で分離する設計とする。一部，一つの制御盤内に複数の安全区分のケーブルや機器を設置しているものがあるが，これらについては，区分間に金属製の仕切りを設置する。ケーブルについては当該ケーブルに火災が発生しても延焼せず，また，周囲へ火災の影響を与えない金属外装ケーブル，耐熱ビニル電線，難燃仕様のフッ素樹脂（ETFE）電線及び難燃ケーブルを使用し，離隔距離等により系統分離する設計とする。これらの分離については，実証試験等において火災により近接する他の構成部品に火災の影響がないことを確認した設計とする。

(b) 高感度煙感知器の設置による早期の火災感知

中央制御室内には，異なる 2 種類の火災感知器を設置する設計とするとともに，火災発生時には常駐する運転員による早期の消火活動によって，異区分への影響を軽減する設計とする。これに加えて盤内へ高感度煙感知器を設置する設計とする。

(c) 常駐する運転員による早期の消火活動

中央制御室制御盤内に自動消火設備は設置しないが，中央制御室制御盤内に火災が発生しても，高感度煙感知器や中央制御室の火災感知器からの感知信号により，常駐する運転員が中央制御室に設置する消火器で早期に消火活動を行うことで，相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルへの火災の影響を防止できる設計とする。

消火設備は，電気機器へ悪影響を与えない二酸化炭素消火器を使用する設計とし，常駐する運転員による中央制御室内の火災の早期感知及び消火を図るために，消火活動の手順を定めて，訓練を実施する。火災の発生箇所の特定が困難な場合も想定し，サーモグラフィカメラ等，火災の発生箇所を特定できる装置を配備する設計とする。

b. 中央制御室床下コンクリートピットの影響軽減対策

中央制御室の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，運転員の操作性及び視認性向上を目的として近接して設置することから，中央制御室床下コンクリートピットに敷設する火災防護対象ケーブルについても，互いに相違する系列の 3 時間以上の耐火能力を有する隔壁による分離，又は水平距離を 6m 以上確保することが困難である。このため，中央制御室床下コンクリートピットについては，下記に示す分離対策等を行う設計とする。

(a) コンクリートピット等による分離

中央制御室床下コンクリートピットは,安全区分ごとに分離されているため,安全区分の異なるケーブルは分離して敷設する設計とし，コンクリートピットは,1 時間の耐火能力を有する構造（原子力発電所の火災防護指針　JEAG4607-2010〔解説-4-5〕「耐火壁」(2)仕様を引用）とする。

(b)　火災感知設備

中央制御室床下コンクリートピット内には，固有の信号を発する異なる 2 種類の火災感知器として，煙感知器と熱感知器を組み合わせて設置する設計とする。これらの火災感知設備は，アナログ機能を有するものとする。また，火災感知設備は，外部電源喪失時においても火災の感知が可能となるように，非常用電源から受電するとともに，火災受信機盤は中央制御室に設置し常時監視できる設計とする。受信機盤は，作動した火災感知器を 1 つずつ特定できる機能を有する設計とする。

(c)　消火設備

中央制御室床下コンクリートピット内には，系統分離の観点から中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

この消火設備は，それぞれの安全区分を消火できるものとし，故障警報及び作動前の警報を中央制御室に吹鳴すると共に，時間遅れをもってハロンガスを放出する設計とする。また，外部電源喪失時においても消火が可能となるように，非常用電源から受電する。

c.　原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持

火災により，中央制御室内の一つの制御盤の機能がすべて喪失し

たと仮定しても，他の制御盤での運転操作や現場での操作により，原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持が可能な設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

(4)　原子炉格納容器内に対する火災の影響軽減のための対策

原子炉格納容器内は，プラント運転中については，窒素が封入され雰囲気が不活性化されていることから，火災の発生は想定されない。

一方で，窒素が封入されていない期間のほとんどは原子炉が低温停止に到達している期間であるが，わずかではあるものの原子炉が低温停止に到達していない期間もあることを踏まえ，以下のとおり火災の影響軽減対策を講じる。

なお，原子炉格納容器内での作業に伴う持込み可燃物について，持込み期間，可燃物量，持込み場所等を管理する。また，原子炉格納容器内の発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備，分電盤については，金属製の筐体やケーシングで構成すること，発火性又は引火性物質である潤滑油を内包する設備は溶接構造又はシール構造の採用により潤滑油の漏えい防止対策を講じるとともに，万一の漏えいを考慮し，漏えいした潤滑油が拡大しないように堰等を設け拡大防止対策を行う設計とすることによって，火災発生時においても火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルへの火災影響の低減を図る設計とする。

a.　火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルの系統分離

原子炉格納容器内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルの系統分離は，火災によっても原子炉の高温停止及び低温停止を達成，維持するために必要な機能が同時に喪失しないことを目的に行うことから，原子炉格納容器内の状態に応じて以下のとおり対策を

行う。

(a) 起動中

ⅰ) 火災防護対象ケーブルの分離及び火災防護対象機器の分散配置

原子炉格納容器内においては，機器やケーブルが密集し，干渉物などが多く設置されている。このため，火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについては，金属製の電線管の使用等により火災の影響軽減対策を行う設計とする。

原子炉格納容器内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，系統分離の観点から安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器を可能な限り離隔して配置，安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器等の間に可燃物が存在することのないように，異なる安全区分の機器間にある介在物(ケーブル，電磁弁)については，金属製の筐体に収納することや本体が金属製であることで延焼防止対策を行う設計とする。

原子炉格納容器内の火災防護対象ケーブルは，原子炉格納容器外から原子炉格納容器貫通部をとおり原子炉格納容器内に敷設しているが，原子炉格納容器貫通部は区分毎に離れた場所に設置し，可能な限り位置的分散を図る設計とする。

原子炉圧力容器下部においては，火災防護対象機器である起動領域モニタの核計装ケーブルを露出して敷設するが，難燃ケーブルを使用しており，また，火災の影響軽減の観点から，起動領域モニタはチャンネル毎に位置的分散を図って設置する設計とする。

ⅱ） 火災感知設備

火災感知設備については，アナログ式の異なる 2 種類の火災感知器(煙感知器及び熱感知器)を設置する設計とする。

ⅲ） 消火設備

原子炉格納容器内の消火については，消火器を使用する設計とする。また，消火栓を用いた消火ができる設計とする。火災の早期消火を図るために，原子炉格納容器内の消火活動の手順を定めて，自衛消防隊（運転員，消防隊）の訓練を実施する。

なお，原子炉格納容器内点検終了後から窒素置換完了までの間で原子炉格納容器内の火災が発生した場合には，火災による延焼防止の観点から，窒素封入開始後，約 1.5 時間を目安に窒素封入作業の継続による窒息消火又は窒素封入作業を中止し，早期の消火活動を実施する。

(b) 低温停止中

ⅰ） 火災防護対象ケーブルの分離及び火災防護対象機器の分散配置

原子炉格納容器内においては，機器やケーブルが密集し，干渉物などが多く設置されている。このため，原子炉起動中と同様に，原子炉格納容器内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，系統分離の観点から安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器等の離隔距離を可能な限りとることで位置的分散し，安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器等の間で可燃物が存在することのないように，異なる区分の機器間にある介在物（ケーブル，電磁弁）については，金属製の筐体に収

納することや本体が金属製であることで延焼防止対策を行う設計とする。

原子炉起動中と同様に，原子炉格納容器内の火災防護対象ケーブルは，原子炉格納容器貫通部は区分ごとに離れた場所に設置し，可能な限り位置的分散を図る設計とする。

また，火災発生後，消火活動を開始するまでの時間の耐火性能を確認した電線管,又は金属製の筐体に敷設することによって，近接する他の機器に火災の影響を及ぼすことなく消火できる設計とする。

低温停止中は，原子炉の安全停止が達成・維持された状態であること，制御棒は金属等の不燃性材料で構成された機械品であることから，原子炉格納容器内の火災によっても，原子炉の停止機能及び未臨界機能の喪失は想定されない。

ⅱ） 火災感知設備

原子炉起動中と同様に，アナログ式の異なる 2 種類の火災感知器（煙感知器及び熱感知器）を設置する設計とする。

ⅲ） 消火設備

原子炉起動中と同様に，原子炉格納容器内の消火については，消火器を使用する設計とする。また，消火栓を用いても対応できる設計とする。火災の早期消火を図るために，原子炉格納容器内の消火活動の手順を社内規程に定めて，自衛消防隊（運転員，消防隊）訓練を実施する。

b. 火災の影響軽減対策への適合について

原子炉格納容器内においては，機器やケーブルが密集し，干渉物などが多く設置されている。このため，火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについては，離隔距離の確保及び電線管，筐体の使用等により火災の影響軽減対策を行う設計とする。原子炉格納容器内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，系統分離の観点から安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器等の離隔距離を可能な限りとることとして位置的分散し，安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器等の間に可燃物が存在することのないように，異なる区分の機器間にある介在物（ケーブル，電磁弁）については，金属製の筐体に収納することや本体が金属製であることで延焼防止対策を行う設計とする。

また，保守的な評価として，火災による原子炉格納容器内の安全機能の全喪失を仮定した評価を行い，原子炉の高温停止及び低温停止の達成及び維持が，運転員の操作と相まって，可能である設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

(5)　放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能に関わる火災区域の分離

放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域は，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁として，3 時間耐火に設計上必要な 150mm 以上の壁厚を有するコンクリート耐火壁や火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁（耐火隔壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等）によって，他の火災区域と分離する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

(6)　換気設備による火災の影響軽減対策

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域に設置する換気設備には，他の火災区域又は火災区画への火，熱又は煙の影響がおよばないよう，他の火災区域又は火災区画からの境界となる箇所に 3 時間耐火性能を有する防火ダンパを設置する設計とする。

換気設備のフィルタは，「1.5.1.2.2(4)換気設備のフィルタに対する不燃性材料又は難燃性材料の使用」に示すとおり，チャコールフィルタを除き難燃性のものを使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

(7)　煙に対する火災の影響軽減対策

通常運転員が常駐する火災区域は中央制御室のみであるが，中央制御室の火災発生時の煙を排気するため，建築基準法に準拠した容量の排煙設備を配備する設計とする。なお，排煙設備は中央制御室専用であるため，放射性物質の環境への放出を考慮する必要はない。

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域のうち，電気ケーブルや引火性液体が密集する火災区域又は火災区画（電気室，ケーブル処理室，非常用ディーゼル発電機室，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室）については，ハロゲン化物自動消火設備（全域）又は，二酸化炭素自動消火設備（全域）により早期に消火する設計とする。

なお，軽油貯蔵タンクは屋外で地下埋設構造であるため，煙が大気に放出されることから，排煙設備を設置しない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

(8)　油タンクに対する火災の影響軽減対策

火災区域又は火災区画に設置される油タンクは，換気空調設備による排気，又はベント管により屋外に排気する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

1.5.1.4.2　火災影響評価

火災の影響軽減のための対策を前提とし，設備等の設置状況を踏まえた可燃性物質の量等を基に想定される発電用原子炉施設内の火災によって，安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には，火災による影響を考慮しても，多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持できることを，「(1) 火災伝播評価」から「(3) 隣接火災区域に火災の影響を与える火災区域に対する火災影響評価」に示す火災影響評価により確認する。

ただし，中央制御室制御盤及び原子炉格納容器に対しては，「1.5.1.4.1(2)　火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルの系統分離」で示すとおり，火災が発生しても，原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持は可能である。

また，内部火災により，原子炉に外乱が及ぶ可能性，又は安全保護系，原子炉停止系の作動が要求される事象が発生する可能性があるため，「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」(平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定)に基づき，運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故に対処するための機器に単一故障を想定しても，以下の状況を考慮し，多重性をもったそれぞれの系統が同時に機能を喪失することなく，原子炉の高温停止，低温停止を達成することが可能であることを火災影響評価により確認する。

・内部火災発生を想定する区域及びその影響範囲のクラスⅠ及びクラスⅡの火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは内部火災により機能喪失す

るが，それ以外の区域の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは機能が維持される。

・原子炉建屋及びタービン建屋において，内部火災が発生することを仮定し，当該建屋内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル以外は機能喪失する。

・原子炉建屋又はタービン建屋において発生した内部火災は，当該の建屋以外に影響をおよぼさない。

・中央制御室における火災については，火災感知器による早期感知や運転員によるプラント停止が期待でき，内部火災による影響波及範囲は限定的である。

火災区域の変更や火災区域設定に影響を与える可能性がある工事を実施する場合には，火災防護計画に従い火災影響評価を行い，火災による影響を考慮しても多重性をもったそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し維持できることを確認するとともに，変更管理を行う。

なお，「1.5.1.4.2 火災影響評価」では，火災区域又は火災区画を，「火災区域」と記載する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.2)】

(1) 火災伝搬評価

火災区域での火災発生時に，隣接火災区域に火災の影響を与える場合は，隣接火災区域を含んだ火災影響評価を行う必要があるため，火災影響評価に先立ち，火災区域ごとに火災を想定した場合の隣接火災区域への火災の影響の有無を確認する火災伝播評価を実施する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.2)】

(2)　隣接火災区域に火災の影響を与えない火災区域に対する火災影響評価

火災伝播評価により隣接火災区域に影響を与えない火災区域については当該火災区域に設置される全機器の機能喪失を想定しても，「1.5.1.4.1 安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じた火災の影響軽減のための対策」に基づく火災の影響軽減のための対策の実施により，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な方策が少なくとも一つ確保され，原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持が可能であることを確認する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.2)】

(3)　隣接火災区域に火災の影響を与える火災区域に対する火災影響評価

火災伝播評価により隣接火災区域に影響を与える火災区域については，当該火災区域と隣接火災区域の 2 区画内の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルの有無の組み合わせに応じて，火災区域内に設置される全機器の機能喪失を想定しても，「1.5.1.4.1 安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じた火災の影響軽減のための対策」に基づく火災の影響軽減のための対策の実施により，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な成功の方策が少なくとも一つ確保され，原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持が可能であることを確認する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.2)】

1.5.1.5　個別の火災区域又は火災区画における留意事項

以下に示す火災区域又は火災区画は，それぞれの特徴を考慮した火災防護対策を実施する。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

(1) ケーブル処理室

ケーブル処理室は全域ガス消火設備により消火する設計とするが，消火活動のため 2 箇所の入口を設置する設計とし，ケーブル処理室内においても消火要員による消火活動を可能とする。また，ケーブル処理室の火災の影響軽減のための対策として，異なる区分のケーブルトレイ間では，互いに相違する系列の間で水平方向 0.9m，垂直方向 1.5m を最小分離距離として設計する。最小分離距離を確保できない場合は耐火隔壁で分離する設計とする。

一方，中央制御室床下コンクリートピットは，アナログ式の煙感知器，熱感知器を設置するとともに，ハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。また，安全区分の異なるケーブルについては，1 時間以上の耐火能力を有するコンクリートピット構造にて分離する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

(2) 電気室

電気室は，電源供給のみに使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

(3) 蓄電池室

蓄電池室は以下のとおり設計する。

・蓄電池室には蓄電池のみを設置し，直流開閉装置やインバータは設置しない設計とする。

・蓄電池室の換気設備は，社団法人電池工業会「蓄電池室に関する設計指針(SBA G 0603)」に基づき，水素の排気に必要な換気量以上となるように設計することによって，蓄電池室内の水素濃度を2vol％以下の約 0.8vol％程度に維持する設計とする。

・蓄電池室の換気設備が停止した場合には，中央制御室に警報を発報する設計とする。

・常用系の蓄電池と非常用系の蓄電池は，常用の蓄電池が非常用の蓄電池に影響を及ぼすことがないよう，位置的分散が図られた設計とするとともに，電気的にも 2 つ以上の遮断器により切り離せる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

(4)　ポンプ室

安全機能を有するポンプの設置場所のうち，火災発生時の煙の充満により消火困難な場所には，消火活動によらなくとも迅速に消火できるように固定式消火設備を設置する設計とする。

固定式消火設備による消火後，鎮火の確認のために運転員や消防隊員がポンプ室に入る場合については，消火直後に換気してしまうと新鮮な空気が供給され，再発火するおそれがあることから，十分に冷却時間を確保した上で,可搬型の排煙装置を準備し，扉の開放，換気空調系，可搬型排煙装置により換気し，呼吸具の装備及び酸素濃度を測定し安全確認後に入室する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

(5)　中央制御室等

中央制御室は以下のとおり設計する。

・中央制御室と他の火災区域の換気空調系の貫通部には，防火ダンパを設置する設計とする。

・中央制御室のカーペットは，消防法施行令第四条の三の防炎性を満足するカーペットを使用する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

(6)　使用済燃料貯蔵設備，新燃料貯蔵設備及び使用済燃料乾式貯蔵設備

使用済燃料貯蔵設備は，水中に設置された設備であり，ラックに燃料を貯蔵することで貯蔵燃料間の距離を確保すること，及びステンレス鋼の中性子吸収効果によって未臨界性が確保される設計とする。

新燃料貯蔵設備については，気中に設置している設備（ピット構造で上部は蓋で閉鎖）であり通常ドライ環境であるが，消火活動により消火用水が放水され，水に満たされた状態となっても未臨界性が確保される設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵設備は，使用済燃料を乾式で貯蔵する密封機能を有する容器であり，使用済燃料を収納後，内部を乾燥させ，不活性ガスを封入し貯蔵する設計であり，消火用水が放水されても容器内部に浸入することはない。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

(7)　放射性廃棄物処理設備及び放射性廃棄物貯蔵設備

放射性廃棄物処理設備及び放射性廃棄物貯蔵設備は，以下のとおり設

計する。

・放射性廃棄物処理設備及び放射性廃棄物貯蔵設備を設置する火災区域の管理区域用換気設備は，環境への放射性物質の放出を防ぐ目的でフィルタを通して排気筒へ排気する設計とする。また，これらの換気設備は，放射性物質の放出を防ぐために，空調を停止し，風量調整ダンパを閉止し，隔離できる設計とする。

・放水した消火用水の溜まり水は，建屋内排水系により液体放射性廃棄物処理設備に回収できる設計とする。

・放射性物質を含んだ使用済イオン交換樹脂及び濃縮廃液は，固体廃棄物として処理を行うまでの間は，金属容器に収納し保管する設計とする。

・放射性物質を含んだチャコールフィルタは，固体廃棄物として処理するまでの間，金属容器に収納し保管する設計とする。

・放射性物質を含んだ HEPA フィルタは，固体廃棄物として処理するまでの間，不燃シートに包んで保管する設計とする。

・放射性廃棄物処理設備及び放射性廃棄物貯蔵設備において，冷却が必要な崩壊熱が発生し，火災事象に至るような放射性廃棄物を貯蔵しない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.2)】

（３）　適合性説明

（火災による損傷の防止）

第八条　設計基準対象施設は，火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう，火災の発生を防止することができ，かつ，早期に火災発生を感知する設備(以下「火災感知設備」という。)及び消火を行う設備(以下「消火設備」といい，安全施設に属するものに限る。)並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。 2　消火設備(安全施設に属するものに限る。)は，破損，誤動作又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわないものでなければならない。

第１項について

設計基準対象施設は，火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう，火災発生防止，火災感知及び消火並びに火災の影響軽減の措置を講じるものとする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)(2.1.2)(2.1.3)】

(1)　火災発生防止

潤滑油等の発火性又は引火性物質を内包する設備は，漏えいを防止する設計とする。万一，潤滑油等が漏えいした場合に，漏えいの拡大を防止する堰等を設ける設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，不燃性材料若しくは難燃

性材料と同等以上の性能を有するものである場合，又は他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置が講じられている場合を除き，不燃性材料若しくは難燃性材料を使用した設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.2)】

電気系統については，必要に応じて過電流継電器等の保護装置と遮断器の組合せ等により，過電流による過熱，焼損の防止を図るとともに，必要な電気設備に接地を施す設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

落雷や地震により火災が発生する可能性を低減するため，避雷設備を設けるとともに，安全上の重要度に応じた耐震設計を行う。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.3)】

(2)　火災感知及び消火

安全機能を有する構築物，系統及び機器に対して，早期の火災感知及び消火を行うため異なる種類の感知器を設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

消火設備は，自動消火設備，手動操作による固定式消火設備，水消火設備及び消火器を設置する設計とし，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器が設置される火災区域又は火災区画並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器が設置される火災区域のうち，火災発生時に安全機

能への影響が考えられ，かつ煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難なところには，自動消火設備又は手動操作による固定式消火設備を設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器の相互の系統分離を行うために設けられた火災区域又は火災区画に設置する消火設備は，系統分離に応じた独立性を備えた設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

火災区域又は火災区画の火災感知設備及び消火設備は，安全機能を有する構築物，系統及び機器の耐震クラスに応じて，地震発生時に機能を維持できる設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.2)】

(3)　火災の影響軽減のための対策

火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについては，重要度に応じて以下に示す火災の影響軽減のための対策を講じた設計とする。

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域は，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁として，3 時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚である 150mm 以上の壁厚を有するコンクリート耐火壁又は火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁(耐火隔壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等)により隣接する他の火災区域と分

離する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは，以下に示すいずれかの要件を満たす設計とする。

ａ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて，互いの系列間が 3 時間以上の耐火能力を有する隔壁等で分離されていること。

ｂ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて，互いに系列間の水平距離が 6m 以上あり，かつ，火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区域又は火災区画に設置されていること。この場合，水平距離間には仮置きするものを含め可燃性物質が存在しないこと。

ｃ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて，互いの系列間が 1 時間の耐火能力を有する隔壁等で分離されており，かつ，火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画に設置されていること。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

放射線物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器が設置される火災区域については，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁(耐火隔壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等)によって隣接する他の火災区域から分離された設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

第２項について

消火設備の破損，誤動作又は誤操作が起きた場合においても，消火設備の消火方法，消火設備の配置設計等を行うことにより，原子炉を安全に停止させるための機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.3)】

1.3　気象等

該当なし

10.5　火災防護設備

10.5.1　設計基準対象施設

10.5.1.1　概　要

発電用原子炉施設内の火災区域及び火災区画に設置される，安全機能を有する構築物，系統及び機器（10.5 において本文五ロ(3)(i)a.(c)に同じ。）を火災から防護することを目的として，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)(2.1.2)(2.1.3)】

発電用原子炉施設の火災の発生防止については，発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域又は火災区画に対する火災の発生防止対策を講じるほか，可燃性の蒸気又は可燃性の微粉に対する対策，発火源への対策，水素に対する換気及び漏えい検出対策，放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策，並びに電気系統の過電流による過熱及び焼損の防止対策等を行う。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)】

火災の感知及び消火については，安全機能を有する構築物，系統及び機器に対して，早期の火災感知及び消火を行うための火災感知設備及び消火設備を設置する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2)】

火災感知設備及び消火設備は，想定される自然現象に対して当該機能が維持され，かつ，安全機能を有する構築物，系統及び機器は，消火設備の破損，誤動作又は誤操作によって安全機能を失うことのないように設置する。

また，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器の相互の系統分離を行うために設ける火災区域及び火災区画に設置される消火設備は，系統分離に応じた独立性を備えるよう設置する。

火災の影響軽減は，安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響を軽減するため，系統分離等の火災の影響軽減のための対策を行う。

また，火災の影響軽減のための対策を前提とし，設備等の設置状況を踏まえた可燃性物質の量等を基に，発電用原子炉施設内の火災に対しても，安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には，火災による影響を考慮しても，多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し維持できることを，火災影響評価により確認する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3)】

10.5.1.2　設計方針

発電用原子炉施設内の火災区域又は火災区画に設置される，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器，及び放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を火災から防護することを目的として，火災発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)(2.1.2)(2.1.3)】

(1)　火災発生防止

発火性又は引火性物質の漏えい防止の措置や不燃性材料又は難燃性材料の使用等，火災の発生を防止する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1)】

(2)　火災の感知及び消火

火災感知設備及び消火設備は，安全機能を有する構築物，系統及び機器に対して，早期の火災感知及び消火を行うよう設置する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2)】

(3)　火災の影響軽減

安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し，火災の影響軽減対策を行う。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3)】

10.5.1.3　主要設備の仕様

(1)　火災感知設備

火災感知設備の火災感知器の概略を第 10.5－2 表に示す。

(2)　消火設備

消火設備の主要機器仕様を第 10.5－3 表に示す。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

10.5.1.4　主要設備

(1)　火災発生防止設備

発電用原子炉施設は，「1.5.1 設計基準対象施設の火災防護に関する基本方針」における「1.5.1.2.1 火災発生防止対策」に示すとおり，発火性又は引火性物質の漏えい防止，拡大防止のための堰を設置する。

また，非難燃ケーブルを使用する場合については，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能を確保するため，非難燃ケーブル及びケーブルトレイを防火シートで覆い，複合体を形成する設計とする。

複合体の概要図を第 10.5－1 図に示す。

【別添資料 1-資料 1(2.1.1.1)】

(2) 火災感知設備

火災感知設備の火災感知器は，各火災区域又は火災区画における放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や，炎が生じる前に発煙すること等，予想される火災の性質を考慮して，火災感知器を設置する火災区域又は火災区画の安全機能を有する構築物，系統及び機器の種類に応じ，火災を早期に感知できるよう，固有の信号を発するアナログ式の煙感知器及びアナログ式の熱感知器の異なる種類の感知器を組み合わせて設置する設計とする。

ただし，発火性又は引火性の雰囲気を形成するおそれのある場所及び屋外等は，非アナログ式も含めた組み合わせで設置する設計とする。炎感知器は非アナログ式であるが，炎が発する赤外線又は紫外線を感知するため，炎が生じた時点で感知することができ，火災の早期感知が可能である。

ａ．一般区域

一般区域は，アナログ式の煙感知器，アナログ式の熱感知器の異なる種類の感知器を組み合わせて設置する。

b．原子炉建屋原子炉棟6階

原子炉建屋原子炉棟6階は天井が高く大空間となっているため，火災による熱が周囲に拡散することから，熱感知器による感知は困難である。

このため，アナログ式の光電分離型煙感知器と非アナログ式の炎感知器（赤外線方式）をそれぞれの監視範囲に火災の検知に影響を及ぼす死角がないよう設置する設計とする。

c．原子炉格納容器

原子炉格納容器内には，アナログ式の煙感知器及びアナログ式の熱感知器を設置する設計とする。

運転中の原子炉格納容器は，閉鎖した状態で長期間高温かつ高線量環境となることから，アナログ式の火災感知器が故障する可能性がある。このため，通常運転中，窒素封入により不活性化し火災が発生する可能性がない期間については，原子炉格納容器内の火災感知器は，原子炉起動時の窒素封入後に作動信号を除外する運用とし，プラント停止後に速やかに取り替える設計とする。

一方，以下に示す火災区域又は火災区画は，環境条件等を考慮し，上記とは異なる火災感知器を組み合わせて設置する設計とする。

屋外開放の区域である海水ポンプ室は，区域全体の火災を感知する必要があるが，火災による煙が周囲に拡散し，煙感知器による火災感知は困難である。また，降水等の浸入により火災感知器の故障が想定される。このため，アナログ式の屋外仕様の熱感知カメラ（赤外線方式）及び非アナログ式の屋外仕様の炎感知器（赤外線方式）をそれぞれの監視範囲に火災の検知に影響を及ぼす死角がないように設置す

る設計とする。

また，軽油貯蔵タンク内部は，燃料の気化による引火性又は発火性の雰囲気を形成している。このため，タンクマンホール内の空間部に非アナログ式の防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器を設置する設計とする。

放射線量が高い場所（主蒸気管トンネル室）は，アナログ式の火災感知器を設置する場合，放射線の影響により火災感知器の故障が想定される。このため，放射線の影響を受けないよう検出器部位を当該区画外に配置するアナログ式の煙吸引式検出設備を設置する設計とする。加えて，放射線の影響を考慮した非アナログ式の熱感知器を設置する設計とする。

水素等による引火性又は発火性の雰囲気を形成するおそれのある場所（蓄電池室）は，万一の水素濃度の上昇を考慮し，火災を早期に感知できるよう，非アナログ式の防爆型で，かつ固有の信号を発する異なる種類の煙感知器及び熱感知器を設置する設計とする。

また，火災により安全機能への影響が考えにくい火災防護対象機器のみを設けた火災区域又は火災区画については，消防法又は建築基準法に基づく火災感知器を設置する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(3)　消火設備

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域の火災を早期に消火するために，すべての火災区域の消火活動に対処できるよう

に，「1.5.1.3.2(12)　消火栓の配置」に基づき消火栓設備を設置する。

消火栓設備の系統構成を第 10.5－2 図に示す。

また，その他の消火設備は，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響による消火活動が困難な火災区域又は火災区画であるかを考慮し，以下のとおり設置する。

消火設備は，第 10.5－1 表に示す故障警報を中央制御室に発する設備を設置する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

a．原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備

(a)　火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画に設置する消火設備

火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画には，自動又は手動起動による消火設備である全域ガス消火設備又は局所ガス消火設備を設置する。

全域ガス消火設備及び局所ガス消火設備の概要図を第 10.5－3(1)図から第 10.5－3(3)図に示す。

また，系統分離に応じた独立性を考慮した全域ガス消火設備の概要図を第 10.5－4 図に示す。

ただし，以下に示す火災区域又は火災区画については上記と異なる消火設備を設置する設計とし，非常用ディーゼル発電機室及び非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室は，二酸化炭素消火設備を設置する。

原子炉建屋通路部には，局所ガス消火設備及び消火器を設置する。

火災により安全機能へ影響を及ぼすおそれが考えにくい火災区域又は火災区画には，消防法又は建築基準法に基づく消火設備を設置する。

(b) 火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画に設置する消火設備

i) 中央制御室

中央制御室には，消火器を設置する。中央制御室床下コンクリートピットについては，中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

ii) 原子炉格納容器

原子炉格納容器について，起動中においては所員用エアロック近傍に必要な消火能力を満足する消火器を設置し，低温停止中においては原子炉格納容器内の各フロアに必要な消火能力を満足する消火器を設置する。

iii) 可燃物が少ない火災区域又は火災区画

可燃物が少ない火災区域又は火災区画には，消火器を設置する。

iv) 屋外の火災区域

屋外の火災区域については，消火器又は移動式消火設備で消火を行う。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

b．放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備

(a) 火災発生時の煙の充満及び放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画に設置する消火設備

放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を確保するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画については，火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となるものとして選定し，自動又は中央制御室からの手動操作による固定式消火設備である全域ガス消火設備を設置し消火を行う設計とする。

ただし，火災により安全機能へ影響を及ぼすおそれが考えにくい火災区域又は火災区画には，以下に示す消火設備を設置する。

i） 気体廃棄物処理設備設置区画

気体廃棄物処理設備設置区画は，消火器を設置する。

ii） 液体廃棄物処理設備設置区画

液体廃棄物処理設備設置区画は，消火器を設置する。

iii） サプレッション・プール水排水設備設置区画

サプレッション・プール水排水設備設置区画は，消火器を設置する。

iv） 新燃料貯蔵庫

新燃料貯蔵庫は，消火器を設置する。

v） 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，消火器を設置する。

vi） 固体廃棄物貯蔵庫及び給水加熱器保管庫

固体廃棄物貯蔵庫及び給水加熱器保管庫は，消火器を設置する。

vii） 固体廃棄物作業建屋及び廃棄物処理建屋

固体廃棄物作業建屋及び廃棄物処理建屋は，消火器を設置する。

(b) 火災発生時の煙の充満及び放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画に設置する消火設備

i） 復水貯蔵タンク，使用済燃料プール，使用済樹脂タンク

復水貯蔵タンク，使用済燃料プール，使用済樹脂タンクは水で満たされており，火災の発生のおそれはないことから消火設備を常設しない。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

(4) 火災の影響軽減のための対策設備

火災の影響軽減のための対策設備は，安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し，火災の影響軽減のための対策を講じるために，以下のとおり設置する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

a．火災区域の分離を実施する設備

隣接する他の火災区域又は火災区画と分離するために，以下のいずれかの耐火能力を有する耐火壁を設置する。

(a) 3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁として，3 時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚である 150mm 以上の壁厚を有するコンクリート壁

(b) 火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁（耐火隔壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等）

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

b．火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルの火災の影響軽減のため

の対策を実施する設備

火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを設置する火災区域又は火災区画に対して，火災区域又は火災区画内の火災の影響軽減のための対策や隣接する火災区域又は火災区画における火災の影響を軽減するための対策を実施するための隔壁等として，火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を確認した隔壁等を設置する。

また，これと同等の対策として火災耐久試験により 1 時間以上の耐火能力を確認した隔壁等と火災感知設備及び消火設備を設置する。

【別添資料 1-資料 1(2.1.3.1)】

10.5.1.5 試験検査

(1) 火災感知設備

アナログ式の火災感知器を含めた火災感知設備は，機能に異常がないことを確認するため，定期的に自動試験を実施する。

ただし，自動試験機能のない火災感知器は，機能に異常がないことを確認するために，煙等の火災を模擬した試験を定期的に実施する。

(2) 消火設備

機能に異常がないことを確認するために，消火設備の作動確認を実施する。

10.5.1.6 体制

火災防護に関する以下の体制に関する事項を，火災防護計画に定める。

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，連絡責任者，運転員及び消防要員が常駐するとともに，火災発生時には，管理

権原者が所員により自衛消防隊を編成する。自衛消防隊の組織体制を第10.5－5図に示す。

10.5.1.7 手順等

火災防護計画には，計画を遂行するための体制，責任の所在，責任者の権限，体制の運営管理，必要な要員の確保及び教育訓練並びに火災防護対策を実施するために必要な手順について定める。また，発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物，系統及び機器を火災から防護するため，火災区域及び火災区画を考慮した火災の発生防止，火災の早期感知及び消火並びに火災の影響軽減の3つの深層防護の概念に基づく火災防護対策等について定める。

このうち，火災防護対策を実施するために必要な手順の主なものを以下に示す。

(1) 火災が発生していない平常時の対応においては，以下の手順を整備し，操作を行う。

a. 中央制御室内の巡視点検によって，火災が発生していないこと及び火災感知設備に異常がないことを火災受信機盤で確認する。

b. 消火設備の故障警報が発信した場合には，中央制御室及び必要な現場の制御盤の警報を確認するとともに，消火設備が故障している場合には，早期に必要な補修を行う。

(2) 消火設備のうち，自動消火設備を設置する火災区域又は火災区画における火災発生時の対応においては，以下の手順を整備し，操作を行う。

a. 火災感知器が作動した場合は，火災区域又は火災区画からの退避警

報及び自動消火設備の作動状況を確認する。

b. 自動消火設備の作動後は，消火状況の確認，プラント運転状況の確認等を行う。

(3) 消火設備のうち，手動操作による固定式消火設備を設置する火災区域又は火災区画における火災発生時の対応においては，以下の手順を整備し，操作を行う。

a. 火災感知器が作動し，火災を確認した場合は，初期消火活動を行う。

b. 消火活動が困難な場合は，職員の退避を確認後，固定式消火設備を手動操作により作動させ，作動状況の確認，消火状況の確認，プラント運転状況の確認等を行う。

(4) 原子炉格納容器内における火災発生時の対応においては，以下の手順を整備し，操作を行う。

a. 原子炉格納容器内の火災の早期感知及び消火を図るために，低温停止中，起動中の火災発生に対する消火戦略を整備し，訓練を実施する。

b. 起動中の原子炉格納容器内の火災感知器が発報した場合には，プラントを停止するとともに，消火戦略に基づき原子炉格納容器内への進入の可否を判断し，消火活動を行う。なお，原子炉格納容器内点検終了後から窒素置換完了までの間で原子炉格納容器内の火災が発生した場合には，火災による延焼防止の観点から，窒素封入開始後，約1.5時間を目安に窒素封入作業の継続による窒息消火又は窒素封入作業を中止し，早期の消火活動を実施する。

(5) 中央制御室内における火災発生時の対応においては，以下の手順を整備し，操作を行う。

a. 火災感知器及び高感度煙感知器により火災を感知し，火災を確認した場合は，常駐する運転員により制御盤内では二酸化炭素消火器，それ以外では粉末消火器を用いた初期消火活動，プラント運転状況の確認等を行う。

b. 煙の充満により運転操作に支障がある場合は，火災発生時の煙を排気するため，排煙設備を起動する。

c. 中央制御室の制御盤１面の機能が火災により全て喪失した場合における原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持に関する手順を整備する。

(6) 水素濃度検出器を設置する火災区域又は火災区画における水素濃度上昇時の対応として，換気設備の運転状態の確認，換気設備の追加起動等を実施する手順を整備し，操作を行う。

(7) 火災発生時の消火戦略を整備し，訓練を実施する。

(8) 可燃物の持込み状況，防火扉の状態，火災の原因となり得る，過熱や引火性液体の漏えい等を監視するための監視手順を定め，防火監視を実施する。

(9) 火災発生防止及び火災発生時の規模の局限化，影響軽減を目的とした，持込み可燃物の運用管理手順を定め，これを実施する。持込み可燃

物の運用管理手順には，発電所の通常運転に関する可燃物，保守や改造に使用するために持ち込み仮置きされる可燃物（一時的に持ち込まれる可燃物を含む）の管理を含む。

(10) 火気作業における火災発生防止及び火災発生時の規模の局限化，影響軽減を目的とした火気作業管理手順について定め，これを実施する。火気作業管理手順には，以下を含める。

ａ．火気作業における作業体制

ｂ．火気作業前の確認事項

ｃ．火気作業中の留意事項（火気作業時の養生，消火器等の配備，監視人の配置等）

ｄ．火気作業後の確認事項（残り火の確認等）

ｅ．安全上重要と判断された区域における火気作業の管理

ｆ．火気作業養生材に関する事項（不燃シートの使用等）

ｇ．仮設ケーブル（電工ドラム含む）の使用制限

ｈ．火気作業に関する教育

(11) 火災防護設備は，その機能を維持するため，保守計画に基づき適切に保守管理，点検を実施するとともに，必要に応じ補修を行う。

(12) 火災区域又は火災区画の変更や火災区域又は火災区画設定に影響を与える可能性がある工事を実施する場合には，火災防護計画に従い火災影響評価を行い，火災による影響を考慮しても多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持できることを確認するとともに，設計変更管理を行う。

(13)　安全機能を有する機器に使用する高圧電力及び低圧電力ケーブルのうち，防火シートによる複合体を形成して使用する非難燃ケーブルは，短絡又は地絡に起因する過電流による発火リスク低減を図るため，適切な保守管理を実施するとともに，必要に応じ難燃ケーブルへ取り替えを行う。

(14)　火災区域又は火災区画，火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル，火災の影響軽減のための隔壁等の設計変更に当たっては，発電用原子炉施設内の火災によっても，安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には，火災による影響を考慮しても，多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく，原子炉を安全停止できることを火災影響評価により確認する。

(15)　発電用原子炉施設内の火災区域又は火災区画に設置される安全機能を有する構築物，系統及び機器を火災から防護することを目的として，火災から防護すべき機器等，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した以下の教育を，定期的に実施する。

ａ．火災区域及び火災区画の設定

ｂ．火災から防護すべき安全機能を有する構築物，系統及び機器

ｃ．火災の発生防止対策

ｄ．火災感知設備

ｅ．消火設備

ｆ．火災の影響軽減対策

ｇ．火災影響評価

(16)　発電用原子炉施設内の火災区域又は火災区画に設置される安全機能を有する構築物，系統及び機器を火災から防護することを目的として，以

下のとおり教育及び訓練を定め，これを実施する。

a．防火・防災管理者及びその代行者は，消防機関が行う講習会及び研修会等に参加する。

b．自衛消防隊に係る訓練として総合消防訓練，初期対応訓練，火災対応訓練等を定める。

c．所員に対して，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮し，火災防護関連法令・規程類等，火災発生時における対応手順，可燃物及び火気作業に関する運営管理，危険物（液体，気体）の漏えい又は流出時の措置に関する教育を行うことを定める。

第10.5－1表　消火設備の主な故障警報

設　備		主な警報要素
消 火 ポンプ	電動機駆動消火ポンプ 構内消火用ポンプ	ポンプ自動停止，電動機過負荷 地絡・短絡
	ディーゼル駆動消火ポンプ ディーゼル駆動構内消火ポンプ	ポンプ自動停止，装置異常 （燃料及び冷却水レベルの低下）
全域	二酸化炭素自動消火設備 ハロゲン化物自動消火設備	設備異常（電源故障，断線等）
局所	ハロゲン化物自動消火設備 （ハロン1301）	設備異常（電源故障，断線等）
	ハロゲン化物自動消火設備 （FK-5-1-12※）	ガス放出

※火災感知は火災区域に設置された感知器または消火設備のガス放出信号により中央制御室に警報を発報する。また，動作原理を含め極めて単純な構造であることから故障は考えにくいが，中央制御室での警報と現場状況を確認により誤動作は確認可能。

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

第 10.5－2 表　火災感知設備の火災感知器の概略

火災感知器の設置場所	火災感知器の型式	
一般区域・区画	煙感知器 （アナログ式）	熱感知器 （アナログ式）
・蓄電池室 ・軽油貯蔵タンク，可搬型設備用軽油タンク，緊急時対策所用発電機燃料油タンク	防爆型煙感知器 （非アナログ式）	防爆型熱感知器 （非アナログ式）
原子炉建屋原子炉棟 6 階	煙感知器 （アナログ式）	炎感知器 （非アナログ式）
海水ポンプ室，常設代替高圧電源装置置場（屋外区域）	炎感知器 （非アナログ式）	熱感知カメラ （アナログ式）
原子炉格納容器内	煙感知器 （アナログ式）	熱感知器 （アナログ式）
主蒸気管トンネル室（高線量エリア）	煙感知器 （アナログ式）	熱感知器 （非アナログ式）

第 10.5－3 表　消火設備の主要機器仕様

(1)電動機駆動消火ポンプ

１）電動機駆動消火ポンプ（東海発電所及び東海第二発電所共用，既設）

台　　数	1
出　　力	約 110kW
容　　量	約 227 m^3／h

２）構内消火用ポンプ（東海発電所及び東海第二発電所共用）

台　　数	1
出　　力	約 75kW
容　　量	約 159 m^3／h

(2)ディーゼル駆動消火ポンプ

１）ディーゼル駆動消火ポンプ（東海発電所及び東海第二発電所共用，既設）

台　　数	1
出　　力	約 131kW
容　　量	約 261 m^3／h

２）ディーゼル駆動構内消火ポンプ（東海発電所及び東海第二発電所共用）

台　　数	1
出　　力	約 90kW
容　　量	約 159 m^3／h

(3)二酸化炭素自動消火設備

消 火 剤：二酸化炭素

消火方式：全域放出方式

設置個所：ディーゼル発電機室

(4)ハロゲン化物自動消火設備

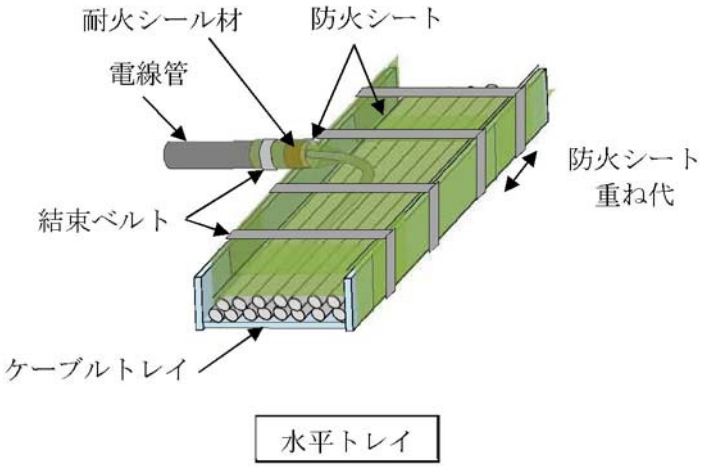
消火剤　：ハロン 1301（全域/局所）

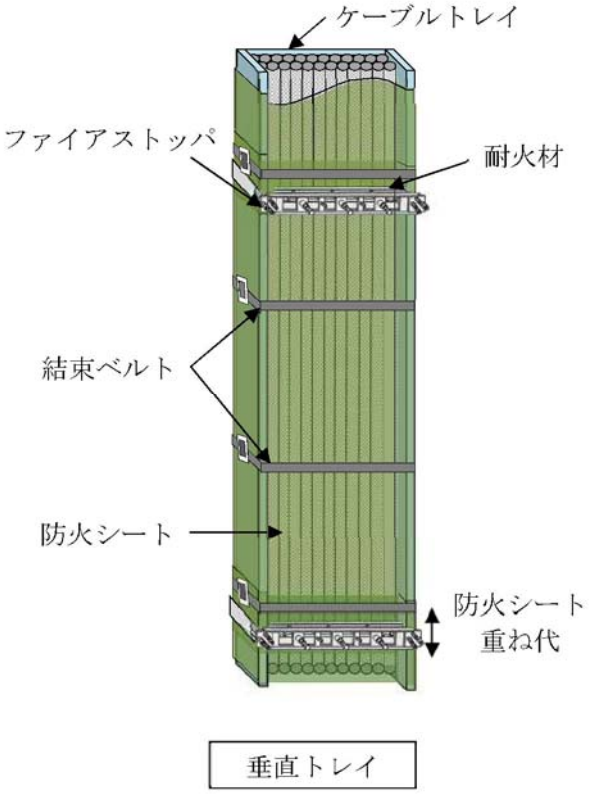
：FK-5-1-12（局所）

消火方式：全域放出方式（ハロン 1301）

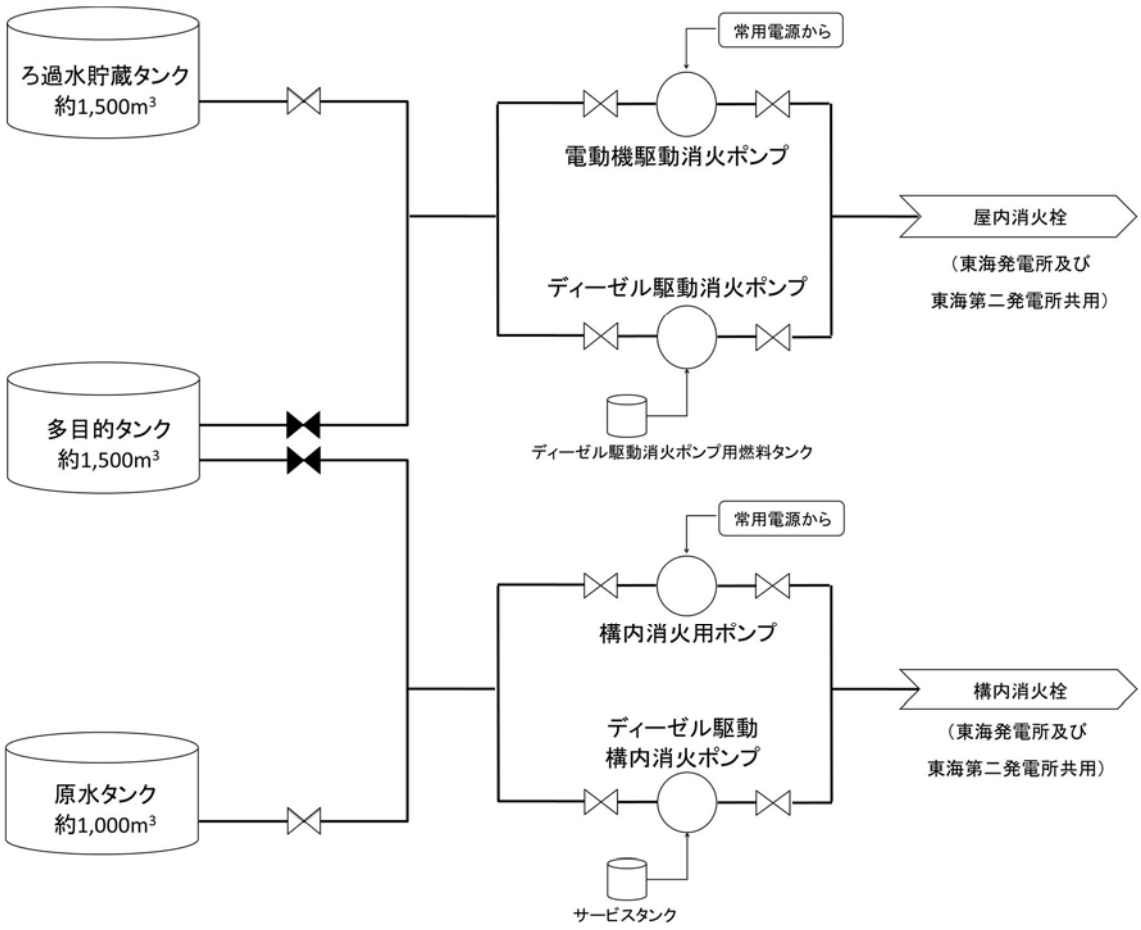
：局所放出方式（FK-5-1-12/ハロン 1301）

設置個所：火災発生時の煙の充満等による消火活動が困難な火災区域又は火災区画

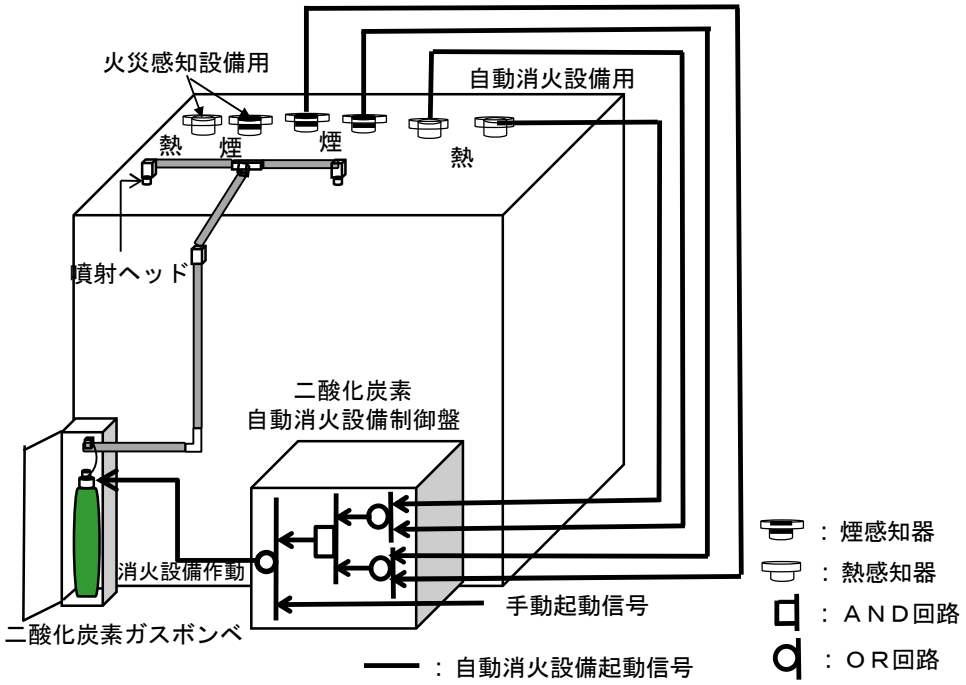




第 10.5－1 図　非難燃ケーブルに対する複合体の形成

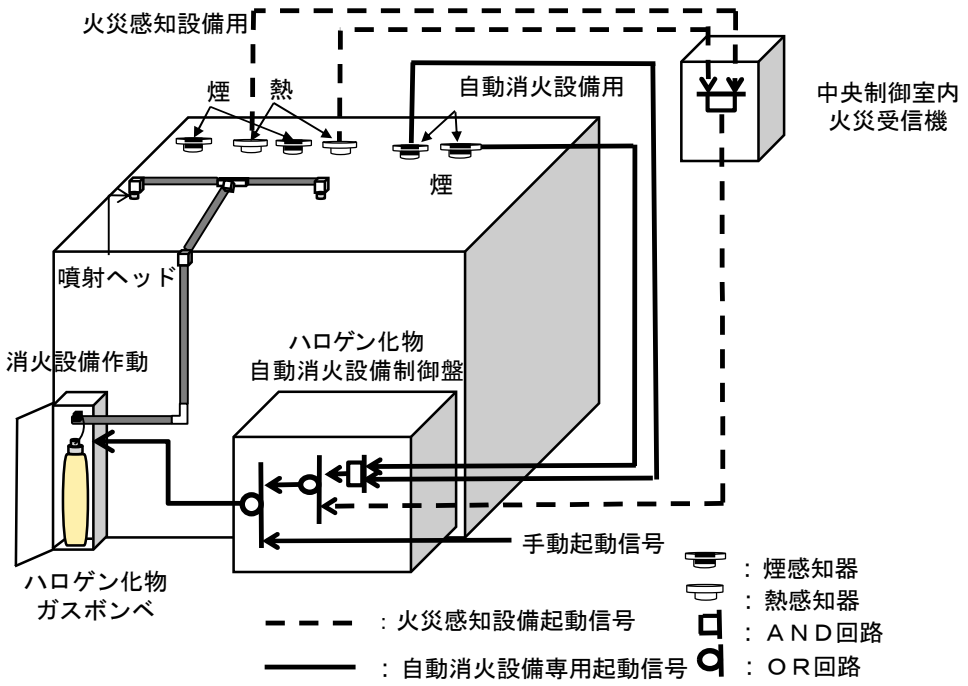


第 10.5－2 図　屋内及び構内消火栓設備の系統構成



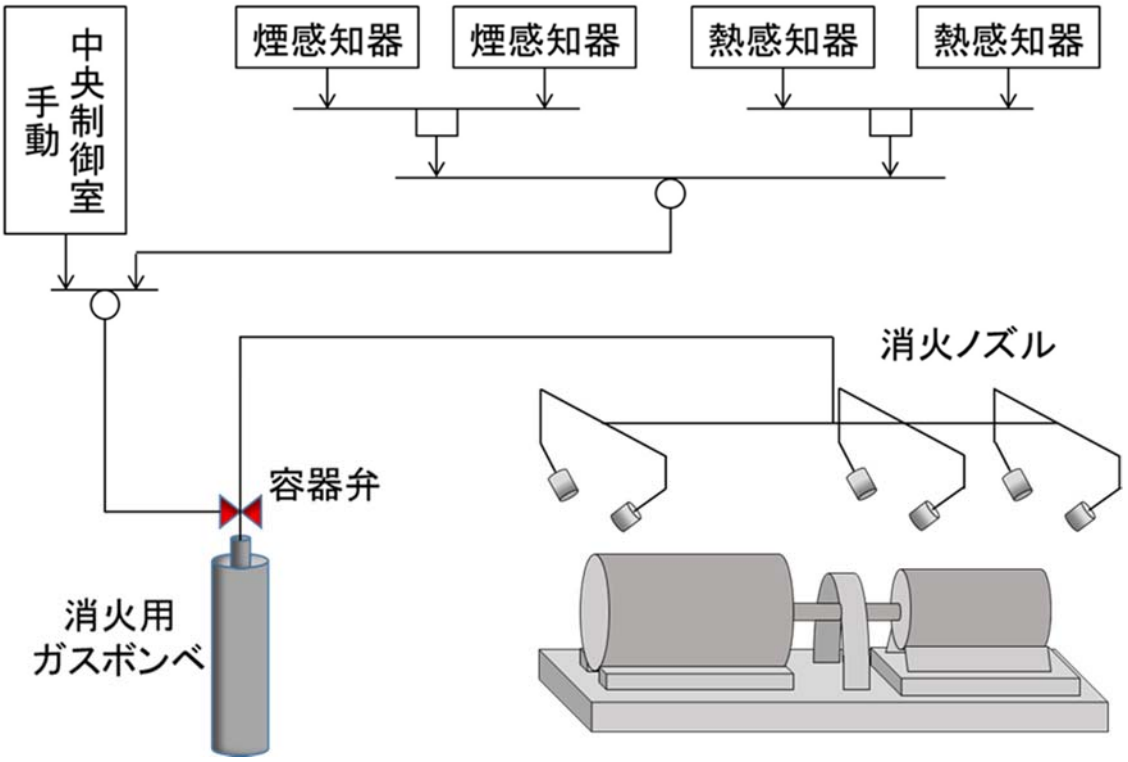
第10.5－3(1)図　二酸化炭素自動消火設備（全域）概要図

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

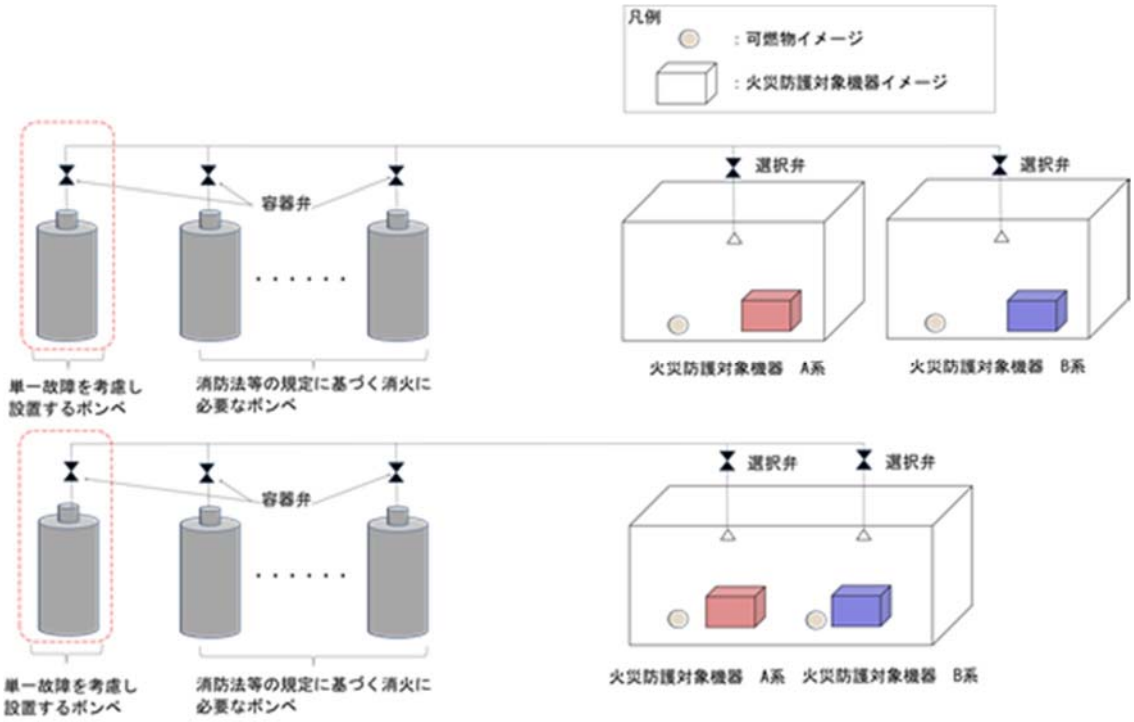


第10.5－3(2)図　ハロゲン化物自動消火設備（全域）概要図

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】

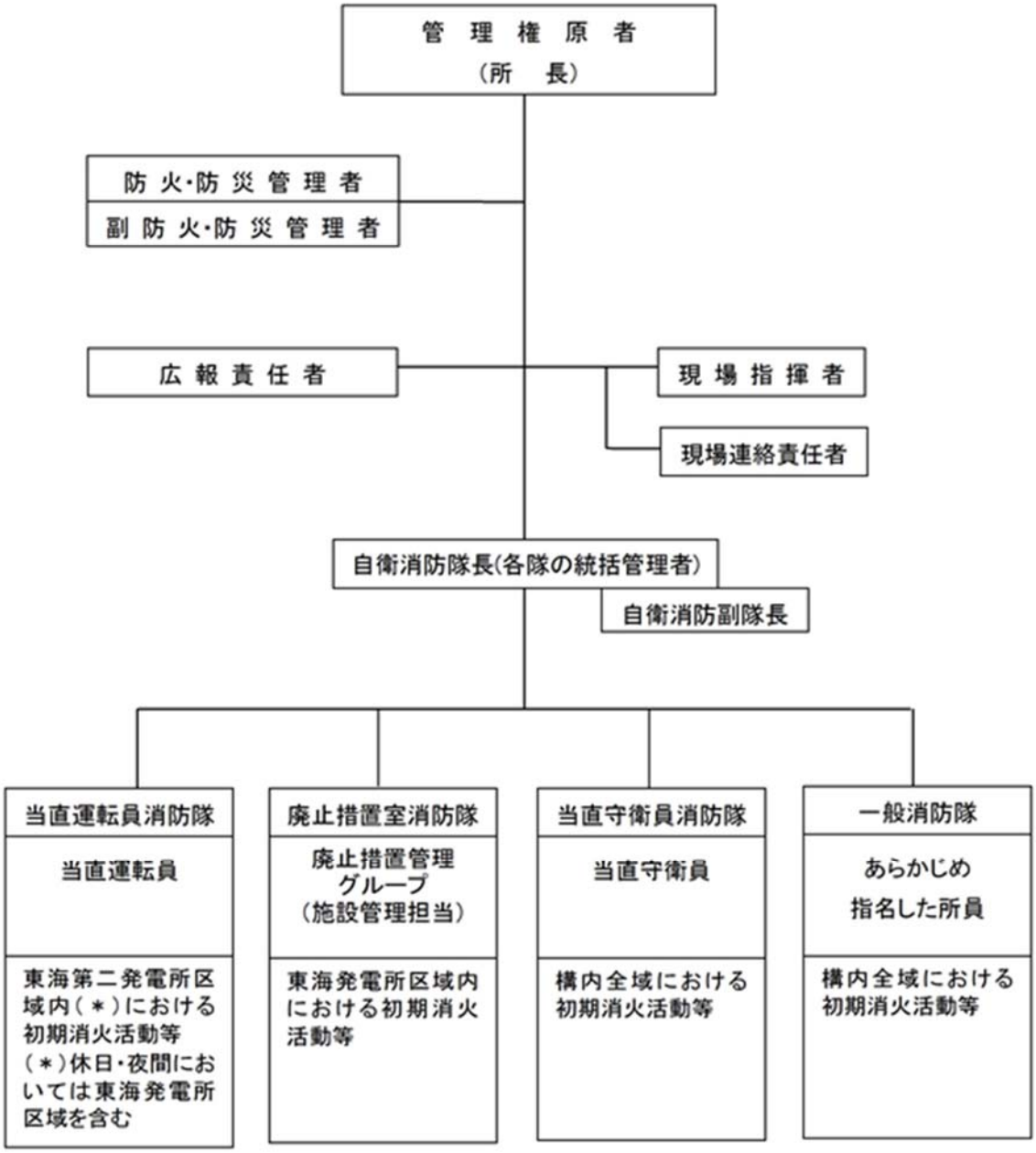


第 10.5－3(3)図　ハロゲン化物自動消火設備（局所）概要図



第 10.5－4 図 系統分離に応じた独立性を考慮した消火設備概要

【別添資料 1-資料 1(2.1.2.1)】



第 10.5－5 図　自衛消防隊の組織体制

別添１

東海第二発電所

火災防護について

目次

資料１．東海第二発電所の設計基準対象施設における火災防護に係る基準規則等への適合性について

資料２．東海第二発電所における原子炉の安全停止に必要な機器の選定について

資料３．東海第二発電所における火災区域，区画の設定について

資料４．東海第二発電所における安全機能を有する機器に使用するケーブルの難燃性について

資料５．東海第二発電所における原子炉の安全停止に必要な構築物，系統及び機器が設置される火災区域又は火災区画の火災感知設備について

資料６．東海第二発電所における原子炉の安全停止に必要な構築物，系統及び機器が設置される火災区域又は火災区画の消火設備について

資料７．東海第二発電所における火災防護対象機器等の系統分離について

資料８．東海第二発電所における原子炉格納容器内の火災防護について

資料９．東海第二発電所における放射性物質貯蔵等の機器等の火災防護対策について

資料 10．東海第二発電所における内部火災影響評価について

資料 1

東海第二発電所の設計基準対象施設における火災防護に係る基準規則等への適合性について

【目次】

1. 概要

2. 火災防護に係る審査基準の要求事項について

2.1 基本事項

2.1.1 火災発生防止

2.1.1.1 発電用原子炉施設内の火災発生防止

2.1.1.2 不燃性材料又は難燃性材料の使用

2.1.1.3 落雷，地震等の自然現象による火災の発生防止

2.1.2 火災の感知，消火

2.1.2.1 早期の火災感知及び消火

2.1.2.2 自然現象の考慮

2.1.2.3 消火設備の破損，誤動作又は誤操作による安全機能への影響

2.1.3 火災の影響軽減

2.1.3.1 系統分離による影響軽減

2.1.3.2 火災影響評価

2.2 個別の火災区域又は火災区画における留意事項

2.3 火災防護計画について

添付資料１　東海第二発電所における漏えいした潤滑油又は燃料油の拡大防止対策について

添付資料２　東海第二発電所における難燃ケーブルの使用について

添付資料３　東海第二発電所における不燃性又は難燃性の換気フィルタの使用状況について

添付資料４　東海第二発電所における保温材の使用状況について

添付資料５　東海第二発電所における建屋内装材の不燃性について

添付資料６　東海第二発電所における非常用ディーゼル発電機室の二酸化炭素消火設備の作動について

添付資料７　東海第二発電所における消火用非常照明器具の配置図

添付資料８　東海第二発電所における中央制御室の排煙設備について

添付資料９　東海第二発電所における新燃料貯蔵庫の未臨界性評価について

参考資料１　東海第二発電所における潤滑油又は燃料油の引火点，室内温度及び機器運転時の温度について

参考資料２　東海第二発電所における火災区域又は火災区画に設置するガスボンベについて

参考資料３　東海第二発電所における重要度の特に高い安全機能を有する系統の火災防護

参考資料４　東海第二発電所における水密扉の止水機能に対する火災影響について

参考資料５　東海第二発電所における配管フランジパッキンの火災影響について

参考資料６　海水ポンプ室における火災防護対策について

資料１

東海第二発電所の設計基準対象施設における
火災防護に係る基準規則等への適合性について

1. 概　要

「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。）第八条では，設計基準対象施設に関する火災による損傷の防止について，以下の要求がされている。

（火災による損傷の防止）

第八条　設計基準対象施設では，火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう，火災の発生を防止することができ，かつ，早期に火災発生を感知する設備（以下「火災感知設備」）及び消火を行う設備（以下「消火設備」といい，安全施設に属するものに限る。）並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。

２　消火設備（安全施設に属するものに限る。）は，破損，誤動作又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわないものでなければならない。

設置許可基準規則の第八条の解釈には，以下のとおり「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」（以下「火災防護に係る審査基準」という。）に適合することが要求されている。

第８条　（火災による損傷の防止）

１　第８条については，設計基準において発生する火災により，発電用原子炉施設の安全性が損なわれないようにするため，設計基準対象施設に対して必要な機能（火災の発生防止，感知及び消火並びに火災による影響の軽減）を有することを求めている。

また，上記の「発電用原子炉施設の安全性が損なわれない」とは，安全施設が安全機能を損なわないことを求めている。

したがって，安全施設の安全機能が損なわれるおそれがある火災に対して，発電用原子炉施設に対して必要な措置が求められている。

２　第８条については，別途定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」（原規技発第 1306195 号（平成 25 年６月 19 日原子力規制委員会決定））に適合するものであること。

３　第２項の規定について，消火設備の破損，誤作動又は誤動作が起きた場合のほか，火災感知設備の破損，誤作動又は誤操作が起きたことにより消火設備が作動した場合においても，発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわないものであること。

東海第二発電所における設計基準対象施設は，火災により発電用原子炉施設の安全性を損なうことのないよう，火災防護対策を講じる設計とする。火災防護対策を講じる設計を行うに当たり，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持（以下「原子炉の安全停止」という。）するための安全機能を有する構築物，系統及び機器（以下「安全機能を有する機器等」という。）を設置する区域を火災区域及び火災区画に，放射性物質の貯蔵又は閉じ込め

（以下「放射性物質貯蔵等」という。）機能を有する構築物，系統及び機器を設置する区域を火災区域に設定する。設定する火災区域及び火災区画に対して，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

以下では，原子炉の安全停止機能及び放射性物質貯蔵等の機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域及び火災区画に対して講じる火災防護対策が，火災防護に係る審査基準に適合していることを示す。

なお，原子炉格納容器内の火災防護対策については，資料 8 に示す。

2.火災防護に係る審査基準の要求事項について

火災防護に係る審査基準では，火災の発生防止，火災の感知及び消火設備の設置並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じることを要求している。

2.1　基本事項

［要求事項］

2.　基本事項

(1)　原子炉施設内の火災区域又は火災区画に設置される安全機能を有する構造物，系統及び機器を火災から防護することを目的として，以下に示す火災区域及び火災区画の分類に基づいて，火災発生防止，火災の感知及び消火，火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じること。

①　原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための安全機能を有する構築物，系統及び機器が設置される火災区域及び火災区画

②　放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器が設置される火災区域

(参考)

審査に当たっては，本基準中にある（参考）に示す事項について確認すること。また，上記事項に記載されていないものについては，JEAC4626-2010 及び JEAG4607-2010 を参照すること。

なお，本基準の要求事項の中には，基本設計の段階においてそれが満足されているか否かを確認することができないものもあるが，その点については詳細設計の段階及び運転管理の段階において確認する必要がある。

発電用原子炉施設内の火災区域及び火災区画に設置される安全機能を有する構造物，系統及び機器を火災から防護することを目的として，以下に示す火災区域の分類に基づき，火災発生防止，火災の感知及び消火，火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる。

なお，火災防護に関する新たな知見が今後得られた場合には，これらの知見も反映して火災防護対策に取り組んでいくこととする。

(1)　火災区域及び火災区画の設定

原子炉建屋原子炉棟，原子炉建屋付属棟，原子炉建屋廃棄物処理棟，タービン建屋，廃棄物処理建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，固体廃棄物作業建屋，固体廃棄物貯蔵庫Ａ，固体廃棄物貯蔵庫Ｂ及び給水加熱器保管庫の建屋内の火災区域は，耐火壁によって囲まれ，他の区域と分離されている建屋内の区域は，「(2)安全機能を有する機器等」において選定する機器等の配置も考慮して火災区域を設定する。

建屋内のうち，火災の影響軽減対策が必要な安全機能を有する機器等並びに放射性物質貯蔵等の機能を有する構築物，系統及び機器等を設置する火災区域は，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁として，3 時間耐火に設計上必要な 150mm 以上の壁厚を有するコンクリート壁や火災耐久試験により 3 時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁(耐火隔壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等)により隣接する他の火災区域と分離する。

屋外の火災区域は，他の区域と分離して火災防護対策を実施するために，「(2)安全機能を有する機器等」において選定する機器等を設置する区域を，火災区域として設定する。

火災区画は，建屋内及び屋外で設定した火災区域を系統分離等に応じ

て分割して設定する。

（資料 3）

(2)　安全機能を有する機器等

発電用原子炉施設は，火災によりその安全性を損なわないように，適切な火災防護対策を講じる設計とする。火災防護対策を講じる対象として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を期待するクラス3に属する構築物，系統及び機器とする。

その上で，上記構築物，系統及び機器の中から原子炉の安全停止のための構築物，系統及び機器並びに放射性物質貯蔵等の機能を有する構築物，系統及び機器を抽出し，火災の発生防止，火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる。

その他の設計基準対象施設は，消防法，建築基準法，日本電気協会電気技術規程・指針に基づき設備等に応じた火災防護対策を講じる設計とする。

(3)　原子炉の安全停止のために必要な構築物，系統及び機器

設計基準対象施設のうち，重要度分類審査指針に基づき，発電用原子炉施設において火災が発生した場合に，原子炉の安全停止のために必要な以下の機能を確保するための構築物，系統及び機器を「原子炉の安全停止に必要な機器等」として選定する。

① 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能

② 過剰反応度の印加防止機能

③ 炉心形状の維持機能

④ 原子炉の緊急停止機能

⑤ 未臨界維持機能

⑥ 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能

⑦ 原子炉停止後の除熱機能

⑧ 炉心冷却機能

⑨ 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能

⑩ 安全上特に重要な関連機能

⑪ 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能

⑫ 事故時のプラント状態の把握機能

⑬ 制御室外からの安全停止機能

（資料 2）

(4)　放射性物質貯蔵等の機能を有する構築物，系統及び機器

設計基準対象施設のうち，重要度分類審査指針に基づき，発電用原子炉施設において火災が発生した場合，放射性物質貯蔵等の機能を確保するための構築物，系統及び機器を「放射性物質貯蔵等の機器等」として選定する。

ただし，重要度分類表における緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能のうち，排気筒モニタについては，設計基準事故時の監視機能であることから，その重要度を踏まえ，「放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器」として選定する。

① 放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能

② 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって，放射性物質を貯蔵する機能

③ 燃料プール水の補給機能

④ 放射性物質放出の防止機能

⑤ 放射性物質の貯蔵機能

⑥ 原子炉冷却材を内蔵する機能

（資料 9）

(5)　火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル

発電用原子炉施設において火災が発生した場合に，原子炉の安全停止のために必要な機能，及び放射性物質貯蔵等の機能を確保するために必要な機器及びケーブルを火災防護対象機器等として選定する。

選定した火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについては，各設備の重要度並びに環境条件に応じて火災防護対策を講じる設計とする。

(6)　火災防護計画

発電用原子炉施設全体を対象とした火災防護対策を実施するため，火災防護計画を策定する。火災防護計画には，計画を遂行するための体制，責任の所在，責任者の権限，体制の運営管理，必要な要員の確保，教育訓練，火災から防護すべき安全機能を有する構築物，系統及び機器，火災発生防止のための活動，火災防護設備の保守点検及び火災情報の共有化等，火災防護を適切に実施するための対策，火災発生時の対応等，火災防護対策を実施するために必要な手順等について定める。

また，発電用原子炉施設の安全機能を有する機器等については，火災の発生防止，火災の早期感知，消火，火災の影響軽減の 3 つの深層防護の概念に基づき，必要な火災防護対策を行うことについて定める。

重大事故等対処施設は，火災の発生防止，火災の早期感知，消火の 2 つの深層防護の概念に基づき必要な火災防護対策を行うことについて定める。

その他の発電用原子炉施設については，消防法，建築基準法，日本電気協会電気技術規程・指針に従った火災防護対策を行うことについて定める。

外部火災については，安全施設を外部火災から防護するための運用等について定める。

2.1.1　火災の発生防止

2.1.1.1　発電用原子炉施設の火災の発生防止

［要求事項］

2.1　火災発生防止

2.1.1　原子炉施設は火災の発生を防止するために以下の各号に掲げる火災防護対策を講じた設計であること。

(1)　発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域は，以下の事項を考慮した，火災の発生防止対策を講じること。

①　漏えいの防止，拡大防止

発火性物質又は引火性物質の漏えいの防止対策，拡大防止対策を講じること。

ただし，雰囲気の不活性化等により，火災が発生するおそれがない場合は，この限りでない。

②　配置上の考慮

発火性物質又は引火性物質の火災によって，原子炉施設の安全機能を損なうことがないように配置すること。

③　換気

換気ができる設計であること。

④　防爆

防爆型の電気・計装品を使用するとともに，必要な電気設備に接地を施すこと。

⑤　貯蔵

安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域における発火性物質又は引火性物質の貯蔵は，運転に必要な量にとどめること。

(2)　可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が滞留するおそれがある火災区域には，滞留する蒸気又は微粉を屋外の高所に排出する設備を設けるとともに，電気・計装品は防爆型とすること。また，着火源となるような静電気が溜まるおそれのある設備を設置する場合には，静電気を除去する装置を設けること。

(3)　火花を発生する設備や高温の設備等発火源となる設備を設置しないこと。ただし，災害の発生を防止する附帯設備を設けた場合は，この限りでない。

(4)　火災区域内で水素が漏えいしても，水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように，水素を排気できる換気設備を設置すること。また，水素が漏えいするおそれのある場所には，その漏えいを検出して中央制御室にその警報を発すること。

(5)　放射線分解等により発生し，蓄積した水素の急速な燃焼によって，原子炉の安全性を損なうおそれがある場合には，水素の蓄積を防止する措置を講じること。

(6)　電気系統は，地絡，短絡等に起因する過電流による過熱防止のため，保護継電器と遮断器の組合せ等により故障回路の早期遮断を行い，過熱，焼損の防止する設計であること。

(参考)

(1)　発火性又は引火性物質について

発火性又は引火性物質としては，例えば，消防法で定められる危険物，高圧ガス保安法で定められる高圧ガスのうち可燃性のもの等が挙げられ，発火性又は引火性気体，発火性又は引火性液体，発火性又は引火性固体が含まれる。

(5)　放射線分解に伴う水素の対策について

BWR の具体的な水素対策については，社団法人火力原子力発電技術協会「BWR 配管における混合ガス(水素・酸素)蓄積防止に関するガイドライン（平成１７年１０月）」に基づいたものとなっていること。

発電用原子炉施設の火災発生防止については，発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域又は火災区画に対する火災発生防止対策を講じるとともに，可燃性の蒸気又は可燃性の微粉に対する対策，発火源に対する対策，水素に対する換気及び漏えい検出対策，放射線分解により発生する水素の蓄積防止対策，並びに電気系統の過電流による過熱及び焼損の防止対策等を講じる設計とする。

(1)　発火性又は引火性物質

発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域又は火災区画には，以下の火災の発生防止対策を講じる設計とする。

発火性又は引火性物質としては，消防法で定められる危険物のうち「潤滑油」及び「燃料油」，高圧ガス保安法で高圧ガスとして定められる水素，窒素，液化炭酸ガス及び空調用冷媒等のうち可燃性である「水素」を対象とする。

①　漏えいの防止，拡大防止

本要求は，「発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域」に対して要求していることから，該当する設備を設置する火災区域に対する漏えいの防止対策，拡大防止対策を以下に示す。

○発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

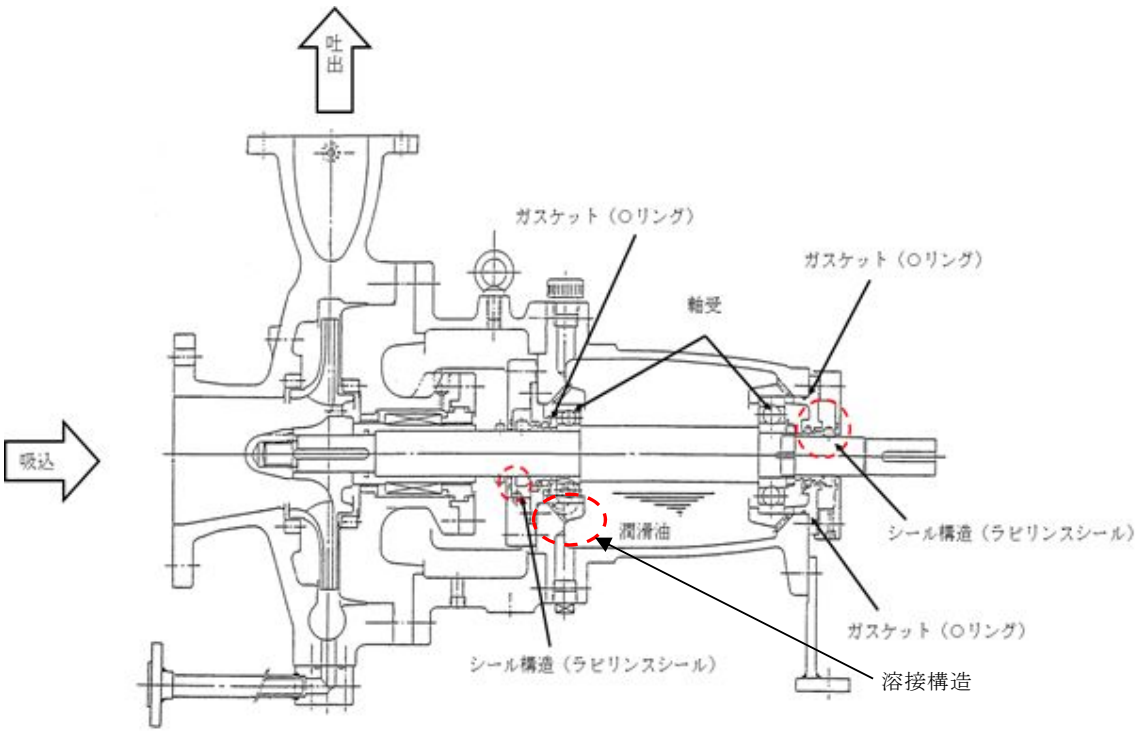
火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備（以下「油内包設備」という。）は，溶接構造，シール構造により漏えい防止対策を講じる設計とするとともに，堰等を設置し，漏えいした潤滑油又は燃料油が拡大することを防止する設計とする。万が一，軸受が損傷した場合には，当該機器が過負荷等によりトリップするため軸受は異常過熱しないこと，オイルシールにより潤滑油はシールされていることから，潤滑油が漏えいして発火するおそれはない（第 1-1 表，第 1-1 図，第 1-2 図）。

油内包設備からの漏えいの有無については，日常の油内包設備の巡視により確認する。火災区域内に設置する油内包設備に対する拡大防止対策を添付資料 1 に示す。

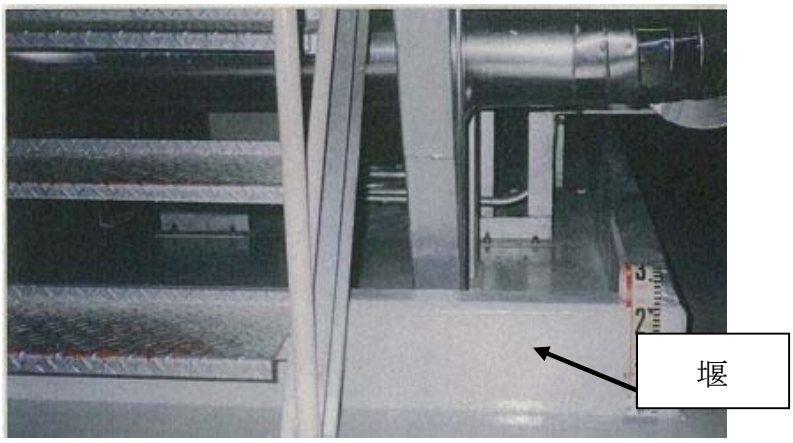
以上より，火災区域内に設置する油内包設備については，漏えい防止を講じているとともに，添付資料 1 に示すとおり拡大防止対策を講じる設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

第 1-1 表　火災区域内の油内包設備の漏えい防止，拡大防止対策

油内包設備のある火災区域	漏えい防止・拡大防止対策
原子炉建屋原子炉棟	堰
原子炉建屋付属棟	堰
原子炉建屋廃棄物処理棟	堰
タービン建屋	堰
廃棄物処理建屋	堰
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ室	堰



第 1-1 図　溶接構造，シール構造による漏えいの防止対策概要図



第 1-2 図　堰による拡大防止対策の例

○発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である水素を内包する設備（以下「水素内包設備」という。）は，以下に示す溶接構造等により水素の漏えいを防止する設計とする。

なお，充電時に水素が発生する蓄電池については，機械換気を行うとともに，蓄電池設置場所の扉を閉運用とすることにより，水素の拡散を防止する設計とする。また，これ以外の水素内包設備についても，「③換気」に示すとおり，機械換気を行うことによって水素の拡散を防止する設計とする。

水素内包設備からの漏えいの有無については，日常の水素内包設備の巡視により確認する。

・気体廃棄物処理設備

気体廃棄物処理設備の配管等は水素の漏えいを考慮した溶接構造等とし，弁グランド部からの水素の漏えいの可能性のある弁は，ベローズ弁を用いた構造とする。

・発電機水素ガス冷却設備

発電機水素ガス冷却設備の配管等は水素の漏えいを考慮した溶接構造等とし，弁グランド部からの水素の漏えいの可能性のある弁は，ベローズ弁を用いた構造とする。

・水素ボンベ

「⑤貯蔵」に示す格納容器雰囲気監視系校正用ボンベは，使用時に作業員がボンベの元弁を開操作し，通常時は元弁を閉とする運用とするよう設計する。

以上より，火災区域に設置する水素内包設備については，漏えい防止対策を講じる設計とするとともに，「③換気」に示すとおり拡大防止対策を講じる設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

② 配置上の考慮

本要求は，「発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域」に対して要求していることから，該当する油内包設備，水素内包設備を設置する火災区域に対する設備の配置上の考慮について以下に示す。

○発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備の火災により，発電用原子炉施設の安全機能を損なわないよう，潤滑油又は燃料油を内包する設備と発電用原子炉施設の安

全機能を有する機器等は，壁等の設置及び離隔による配置上の考慮を行う設計とする。油内包設備の配置状況を資料3の添付資料2に示す。

○発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する水素内包設備の火災により，発電用原子炉施設の安全機能を損なわないよう，水素内包設備と発電用原子炉施設の安全機能を有する機器等は，壁等の設置による配置上の考慮を行う設計とする。水素内包設備の配置状況を資料3の添付資料2に示す。

以上より，火災区域内に設置する油内包設備及び水素内包設備については，多重化された発電用原子炉施設の安全機能がすべて損なわれないよう配置上の考慮がなされていることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

③　換気

本要求は，「発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域」に対する要求であることから，該当する設備を設置する火災区域に対する換気について以下に示す。

○発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

油内包設備を設置する火災区域のある建屋等は，火災の発生を防止するために，原子炉建屋及びタービン建屋送風機・排風機等空調機器による機械換気を行う設計とする。また，屋外開放の火災区域（海水ポンプ室）については，自然換気を行う設計とする。各油内包設備に対する換気設備を添付資料1に示す。

安全機能を有する機器等（詳細は資料２参照）は耐震Ｓクラスで設計すること，かつ 2.1.1.1(1)①「漏えいの防止，拡大防止」に示すように漏えい防止対策を実施するため，基準地震動Ｓ$_s$によっても油が漏えいするおそれがないこと，潤滑油を内包する設備については，万が一，機器故障によって油が漏えいしても引火点が十分高く火災が発生するおそれは小さいことから，これらの機器を設置する場所の換気設備の耐震性は，基準地震動Ｓ$_s$に対し機能を維持する設計とはしない。

また，軽油を内包する非常用ディーゼル発電機，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンクについては，これら設備を設置する場所の環境温度を維持するため，換気空調設備については非常用電源から給電する耐震Ｓクラス又は基準地震動Ｓ$_s$に対して機能維持可能な設計とする。

以上より，火災区域内に設置する油内包設備については，機械換気ができる設計とすること，潤滑油内包設備の換気設備については機能が喪失しても安全機能に影響を及ぼすおそれは小さいこと，軽油内包設備の換気設備については非常用電源より給電するとともに当該機器と同等の耐震性を確保することから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

○発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

発火性又は引火性物質である水素を内包する設備である蓄電池，気体廃棄物処理設備，発電機水素ガス冷却設備及び水素ボンベを設置する火災区域は，火災の発生を防止するために，以下に示す空調機器による機械換気により換気を行う設計とする。（第 1-2 表）

・蓄電池

蓄電池を設置する火災区域は機械換気を行うことにより，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。(2.2(3)参照)特に，安全機能を有する蓄電池を設置する火災区域の換気設備は，安全機能を有する蓄電池及び非常用直流電源設備等を設置する場所の環境温度を維持するため，地震等の異常時でも換気できるよう非常用電源から給電する設計とするとともに，耐震Ｓクラス設計とし，火災防護対象機器としている。それ以外の蓄電池を設置する火災区域の換気設備は，タービン建屋換気系送風機・排風機による機械換気を行う設計とし，異常時に送排風機が停止した場合は，送排風機が復帰するまでの間は蓄電池に充電しない運用とする。

・気体廃棄物処理設備

気体廃棄物処理設備は，復水器から抽出された排ガス中の水素と酸素が爆発混合状態にならないように，空気抽出器の駆動蒸気で希釈し，排ガス再結合器によって設備内の水素濃度が燃焼限界濃度である4vol%以下となるよう設計する。加えて，気体廃棄物処理設備を設置する火災区域は，常用電源から給電されるタービン建屋送風機・排風機による機械換気を行うことにより，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。

・発電機水素ガス冷却設備

発電機水素ガス冷却設備を設置する火災区域は，常用電源から給電されるタービン建屋送風機・排風機による機械換気を行うことによっ

て，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするように設計する。

・水素ボンベ

格納容器雰囲気監視系校正用ボンベを設置する火災区域は，原子炉建屋送風機・排風機による機械換気を行うことにより，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。

第 1-2 表　水素を内包する主な設備のある火災区域の換気設備

水素を内包する設備		換気設備		
設備	耐震クラス	設備	供給電源	耐震クラス
常用蓄電池（250V）※1	C	タービン建屋換気系送風機，排風機※	常用	C
非常用蓄電池（125V，±24V，HPCS）	S	バッテリー室換気系送風機，排風機	非常用	S
廃棄物処理建屋直流 125V 蓄電池 廃棄物処理建屋直流 48V 蓄電池	B	廃棄物処理建屋系送風機，排風機	常用	B
気体廃棄物処理設備	C	タービン建屋換気系送風機，排風機	常用	C
発電機水素ガス冷却設備	C			C
格納容器雰囲気監視系校正用ボンベ	C	原子炉建屋換気系送風機，排風機	常用	C

※換気設備は 2 系統により多重化

※蓄電池の設置場所変更検討中により変更も有りうる

水素内包設備を設置する火災区域の送風機，排風機は多重化されていることから，動的機器の単一故障を想定しても換気は可能であるため，水素濃度が燃焼限界濃度に達することはない。

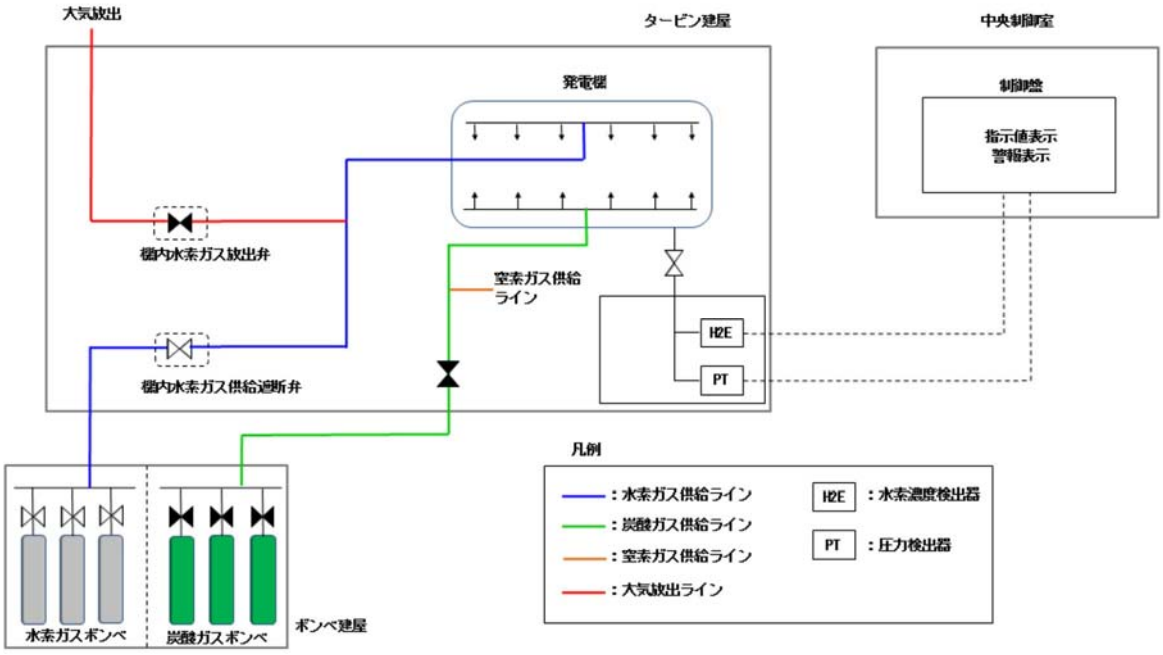
気体廃棄物処理設備，発電機水素ガス冷却設備，水素ボンベは，2.1.1.1(1)①「漏えいの防止，拡大の防止」に示すように水素の漏えい防止，拡大防止対策を実施する。

気体廃棄物処理設備は，万が一，水素が漏えいし，換気設備が機能喪失した場合でも，設備内の水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように設計する。

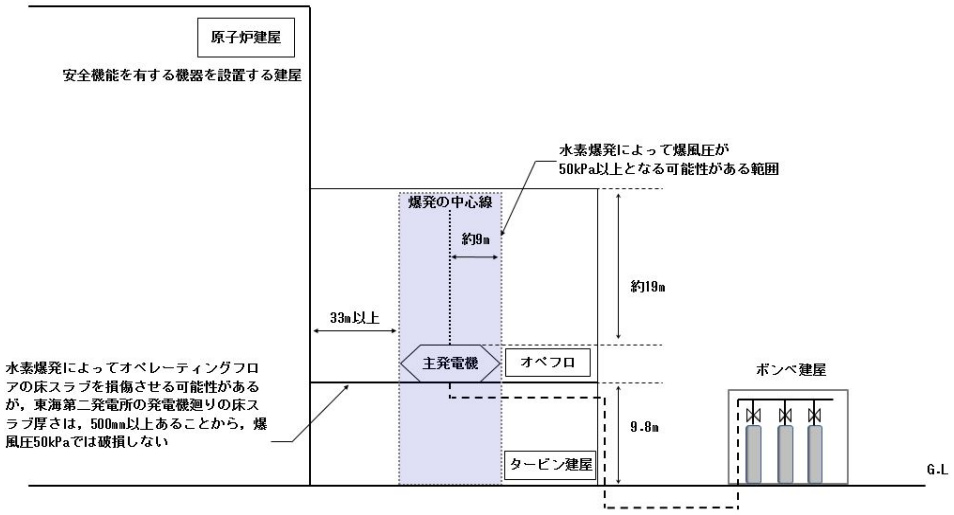
発電機水素ガス冷却設備は，「JEAG4607-2010 原子力発電所の火災防護指針」及び「電気設備の技術基準の解釈について(平成 20 年 4 月改訂)」に準じて，水素の圧力，純度等の計測及び警報装置の設置，軸封部に窒素を封入できる装置（発電機窒素ガス封入系）及び水素を安全に放出する装置（炭酸ガスボンベ，水素ガス放出弁，水素ガス供給遮断弁）を設置している。さらに，万が一水素が漏えいしタービン建屋オペレーティングフロアで爆轟が発生した場合でも，安全機能を有する機器等が設置される原子炉建屋の火災区域とは，十分な離隔距離で分離されていることから，安全機能に影響を及ぼすおそれはない（第 1-3 図，第 1-4 図)。

水素ボンベについて，格納容器雰囲気監視系校正用ボンベはボンベ内の水素濃度を燃焼限界濃度である 4vol%程度とする。加えて，通常状態は元弁を閉運用とし[redacted]で固縛の上保管すること，元弁を開放する時には作業員がいるため，誤って水素を漏えいさせてしまった場合にも速やかに閉操作し漏えいを停止することができるとともに，作業終了時や漏えい確認時は速やかに元弁を閉操作することを手順等に定める。

以上より，火災区域に設置する水素内包設備については，機械換気ができる設計とすること，安全機能を有する蓄電池を設置する部屋の換気設備については非常用電源より給電するとともに当該機器と同等の耐震性を確保する設計とすること，その他の水素内包設備の換気設備については機能が喪失しても安全機能に影響を及ぼすおそれは小さいことから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。



第 1-3 図 発電機水素漏えい防止設備の概要



○発電機と安全機能を有する機器等を設置する建屋との離隔距離

高圧ガス保安法では，爆風圧と距離の関係が下式のように定められている。

$$L = 0.04\lambda\sqrt[3]{K\,W_G}$$

L ：爆発中心からの距離(m)

λ ：換算距離(m/kg$^{1/3}$) ※爆風圧 50kPa では 4.74m/kg$^{1/3}$

W_G：可燃性ガスの流出量(t)

K：換算係数 ※水素 2860000

主発電機に内包される水素量は，約 374m^3 であり，全てが漏えいしたと仮定すると W_G は 0.034t となり，水素爆発による爆風圧が 50kPa となる爆発中心からの距離 L は約 9m となる。したがって，安全機能を有する機器等が設置される原子炉建屋と十分な離隔距離(33m 以上)を有することから，水素爆発による爆風圧の影響は及ばない。

第 1-4 図　発電機水素ガス冷却設備の水素爆発時の影響範囲

第 1-3 表 爆風圧の影響

（石油コンビナートの防災アセスメント指針 平成 25 年 3 月消防庁特殊室抜粋 ）

圧力(kPa)	影　響
50～55	強化していない厚さ 8in～12in※のブロックが剪断や撓みにより破損される

※mm に単位換算した場合，203.2mm～304.8mm である。

東海第二発電所の発電機廻りの床スラブは厚さ 500mm 以上であることから，

爆風圧 50kPa では破損しない。

④　防爆

本要求は，「発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域」に対する要求であることから，爆発性の雰囲気を形成するおそれのある設備を設置する火災区域に対する防爆対策について以下に示す。

○発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する油内包設備は，2.1.1.1(1)①「漏えいの防止，拡大防止」に示したように，溶接構造等，シール構造を採用することにより，潤滑油又は燃料油の漏えいを防止する設計とするとともに，万が一漏えいした場合を考慮し，堰等を設置することで潤滑油又は燃料油が拡大することを防止する設計とする。

なお，潤滑油又は燃料油が設備の外部へ漏えいしても，引火点は油内包設備を設置する室内温度よりも十分高く，機器運転時の温度よりも高いため，可燃性の蒸気とならない。引火点等の確認結果を参考資料１に示す。また，燃料油である軽油を内包する設備を設置する火災区域については，軽油が設備の外部へ漏えいし，万一，可燃性の蒸気が発生した場合であっても，非常用電源より給電する耐震Ｓクラス又は基準地震動S_sに対して機能維持可能な換気設備で換気する設計とすることから，可燃性の蒸気が滞留することはない。

したがって，潤滑油又は燃料油が爆発性の雰囲気を形成するおそれはない。

○発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する水素内包設備は，2.1.1.1(1)①「漏えいの防止，拡大防止」で示すように，溶接構造等を採用することにより水素の漏えいを防止する。また，2.1.1.1(1)③「換気」に示す機械換気を行う設計とするとともに，水素ボンベは使用時を除き，元弁を閉運用とする。

・気体廃棄物処理設備

気体廃棄物処理設備の配管等は雰囲気への水素の漏えいを考慮した溶接構造とし，弁グランド部から雰囲気への水素漏えいの可能性のある弁は，ベローズ弁を用いる設計とする。

・発電機水素ガス冷却設備

発電機水素ガス冷却設備の配管等は雰囲気への水素の漏えいを考慮した溶接構造とし，弁グランド部から雰囲気への水素漏えいの可能性のある弁は，ベローズ弁を用いる設計とする。

・水素ボンベ

「2.1.1.1(1)⑤ 貯蔵」に示す格納容器雰囲気モニタ校正用水素ボンベは，ボンベ使用時に作業員がボンベ元弁を開操作し，通常時は元弁を閉とする運用とする。

したがって，「電気設備に関する技術基準を定める省令※1」第六十九条及び「工場電気設備防爆指針」で要求される爆発性雰囲気とならないため，当該火災区域に設置する電気・計装品を防爆型とする必要はなく，防爆を目的とした電気設備の接地も必要としない設計とする。

なお，電気設備の必要な箇所には，「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令※2」第十条，第十一条に基づく接地を施す。

※１　電気設備に関する技術基準を定める省令抜粋

（可燃性のガス等により爆発する危険のある場所における施設の禁止）

第六十九条　　次の各号に掲げる場所に施設する電気設備は，通常の使用状態において，当該電気設備が点火源となる爆発又は火災のおそれがないように施設しなければならない。

一　　可燃性のガス又は引火性物質の蒸気が存在し，点火源の存在により爆発するおそれがある場所

二　　粉じんが存在し，点火源の存在により爆発するおそれがある場所

三　　火薬類が存在する場所

四　　セルロイド，マッチ，石油類その他の燃えやすい危険な物質を製造し，又は貯蔵する場所

※２　原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令抜粋

（電気設備の接地）

第十条　　電気設備の必要な箇所には，異常時の電位上昇，高電圧の侵入等による感電，火災その他人体に危害を及ぼし，又は物件への損傷を与えるおそれがないよう，接地その他の適切な措置を講じなければならない。ただし，電路に係る部分にあっては，第五条第一項の規定に定めるところによりこれを行わなければならない。

（電気設備の接地の方法）

第十一条　　電気設備に接地を施す場合は，電流が安全かつ確実に大地に通ずることができるようにしなければならない。

以上より，油内包設備及び水素内包設備を設置する火災区域は，爆発性雰囲気とならず，防爆型の電気・計装品を使用する必要はない。

⑤　貯蔵

本要求は，「安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域における発火性物質又は引火性物質の貯蔵」に対する要求であることから，該当する火災区域に設置する貯蔵機器について以下に示す。

貯蔵機器とは供給設備へ補給するために設置する機器のことであり，安全機能を有する機器等の設置場所にある，発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油の貯蔵機器としては，非常用ディーゼル発電機の燃料デイタンク及び軽油貯蔵タンクがある。

燃料デイタンクは，タンクの容量（約 14m^3（HPCS 系は約 7m^3））に対し，非常用ディーゼル発電機を 8 時間連続運転するために必要な量（約 11.5m^3（HPCS 系は約 6.5m^3））を考慮し，貯蔵量が約 12.1 m^3～12.8 m^3（HPCS 系は約 6.8 m^3～7.2 m^3）となるよう管理し，運転上必要な量を貯蔵する設計とする。

軽油貯蔵タンクは，タンクの容量（1 基あたり約 400m^3）に対して，非常用ディーゼル発電機 1 台及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 1 台を 7 日間連続運転するために必要な量（DG は約 242m^3，HPCS-DG は約 130 m^3）を考慮するとともに，常設代替高圧電源装置 2 台を 1 日（24 時間）連続運転するために必要な量（約 20m^3）を貯蔵する設計とする。

安全機能を有する機器等の設置場所にある，発火性又は引火性物質の水素の貯蔵機器としては，格納容器雰囲気監視系校正用ボンベがあり，これらボンベは容器容量（47ℓ又は 10ℓ）のボンベごとに，各々の計器

の校正頻度（1 回／約６ヶ月）及び計器不具合等の故障対応を想定した上で１運転サイクルに必要な量，さらに格納容器雰囲気監視系モニタについては事故後，ボンベを交換せずに一定期間（約１年間）連続監視できるように校正に必要な貯蔵量にとどめる。ボンベについては参考資料2に示す。

以上より，安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域における発火性又は引火性物質を貯蔵する機器は，運転に必要な量を貯蔵することとしていることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

(2)　可燃性蒸気・微粉の対策

本要求は，「可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が滞留するおそれがある火災区域における可燃性の蒸気，可燃性の微粉及び着火源となる静電気」に対して要求していることから，該当する設備を設置する火災区域に対する可燃性の蒸気又は可燃性の微粉の対策を以下に示す。

発火性又は引火性物質である潤滑油又は燃料油を内包する設備は，「(1)④ 防爆」に示すとおり，可燃性の蒸気を発生するおそれはない。

また，火災区域において有機溶剤を使用する場合は必要量以上持込まないように，持ち込み可燃物管理要領を社内規程（持込み可燃物管理要領）に定め運用とし，可燃性の蒸気が滞留するおそれがある場合には，使用場所において，換気，通風，拡散の措置を行うとともに，建屋の送風機・排風機による機械換気により滞留を防止する設計とする。

さらに，火災区域には，「工場電気設備防爆指針」に記載される「可燃性粉じん（石炭のように空気中の酸素と発熱反応を起こし爆発する粉じ

ん)」や「爆発性粉じん（金属粉じんのように空気中の酸素が少ない雰囲気または二酸化炭素中でも着火し，浮遊状態では激しい爆発を生じる粉じん)」のような「可燃性の微粉を発生する設備」は設置しない設計とする。

したがって，火災区域には可燃性の蒸気または微粉を高所に排出するための設備を設ける必要はなく，電気・計装品を防爆型とする必要はない。

なお，電気設備の必要な箇所には，「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令」第十条，第十一条に基づく接地を施す。

以上より，可燃性の蒸気又は可燃性の微粉が滞留するおそれのある設備，着火源となるような静電気が溜まるおそれのある設備を火災区域に設置しないことから，火災防護に係る審査基準の要求事項は適用されないものと考える。

(3)　発火源への対策

発電用原子炉施設には金属製の本体内に収納する等の対策を行い，設備外部に出た火花が発火源となる設備を設置しない設計とする。

また，発電用原子炉施設には高温となる設備があるが，設計上の最高運転温度が 60℃を超える系統は保温材で覆うことにより，可燃性物質との接触防止や潤滑油等可燃物の過熱防止を行う設計とする。（第 1-4 表）

以上より，発電用原子炉施設には設備外部に出た火花が発火源となる設備を設置しないこと，高温となる設備に対しては発火源とならないような対策を行うことから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

第 1-4 表 高温となる設備と接触防止・過熱防止対策

高温となる設備	最高使用温度	過熱防止対策
主蒸気系配管	302℃	保温材設置
圧力容器バウンダリ	302℃	
ほう酸水注入系配管	66℃	
残留熱除去系配管	249℃	
高圧炉心スプレイ系配管	109℃	
原子炉隔離時冷却系配管	302℃	
原子炉冷却材浄化系配管	302℃	
所内蒸気系，所内蒸気系戻り配管	183℃	
原子炉給水系配管	233℃	

(4) 水素対策

本要求は，「水素が漏えいするおそれのある火災区域」に対して要求していることから，該当する設備を設置する火災区域に対する水素対策について以下に示す。

水素内包設備を設置する火災区域は，2.1.1.1(1)①「漏えいの防止，拡大防止」に示すように，水素内包設備は溶接構造等により雰囲気への水素の漏えいを防止するとともに，2.1.1.1(1)③「換気」に示すように機械換気を行うことにより，水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計するとともに，水素を内包する設備は，溶接構造等により雰囲気への水素の漏えいを防止する設計とする。

蓄電池を設置する火災区域は，充電時において蓄電池から水素が発生するおそれがあることから，当該区域に可燃物を持ち込まないこととする。また，蓄電池室上部に水素濃度検出器を設置し，水素の燃焼限界濃度である 4vol%の 1/4 以下で中央制御室に警報を発する設計とする（第 1-5 図，第 1-6 図）。

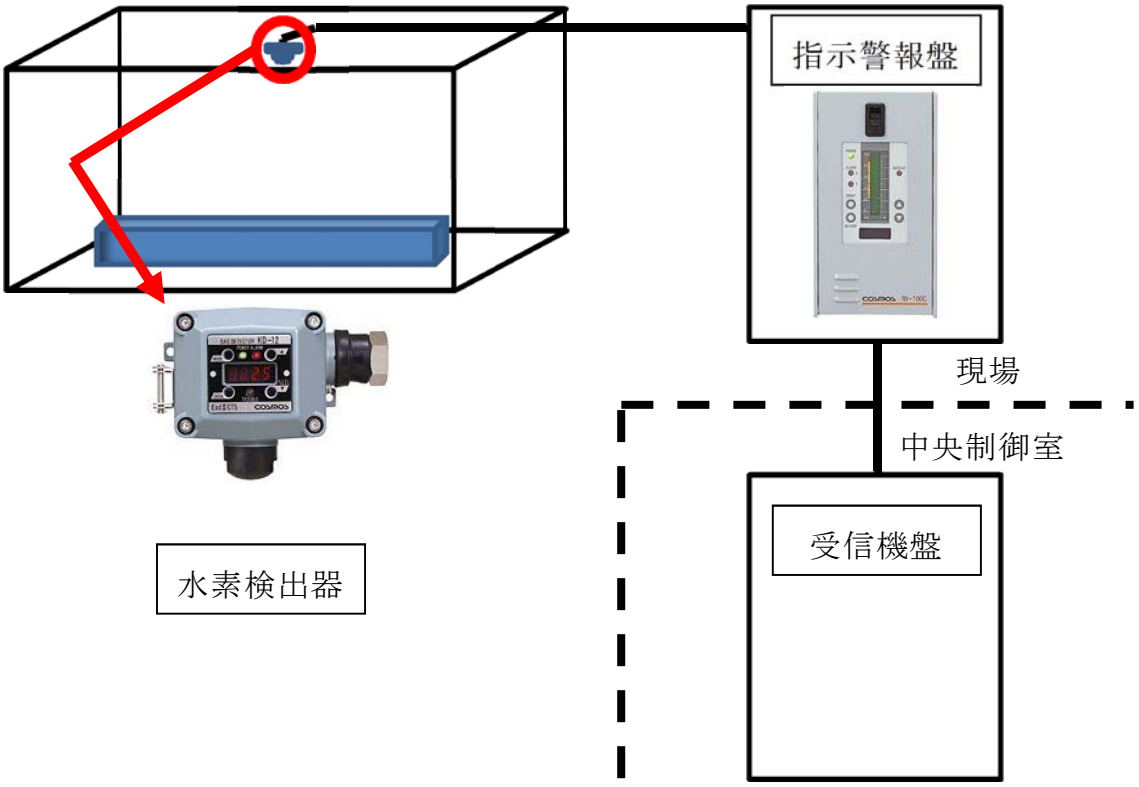
一方，以下の設備については水素濃度検出器とは別の方法で水素の漏えいを管理する。

気体廃棄物処理設備は，設備内の水素濃度を燃焼限界濃度以下にするよう設計するが，設備内の水素濃度については中央制御室で常時監視できる設計で，水素濃度が上昇した場合は中央制御室に警報を発する設計としている。

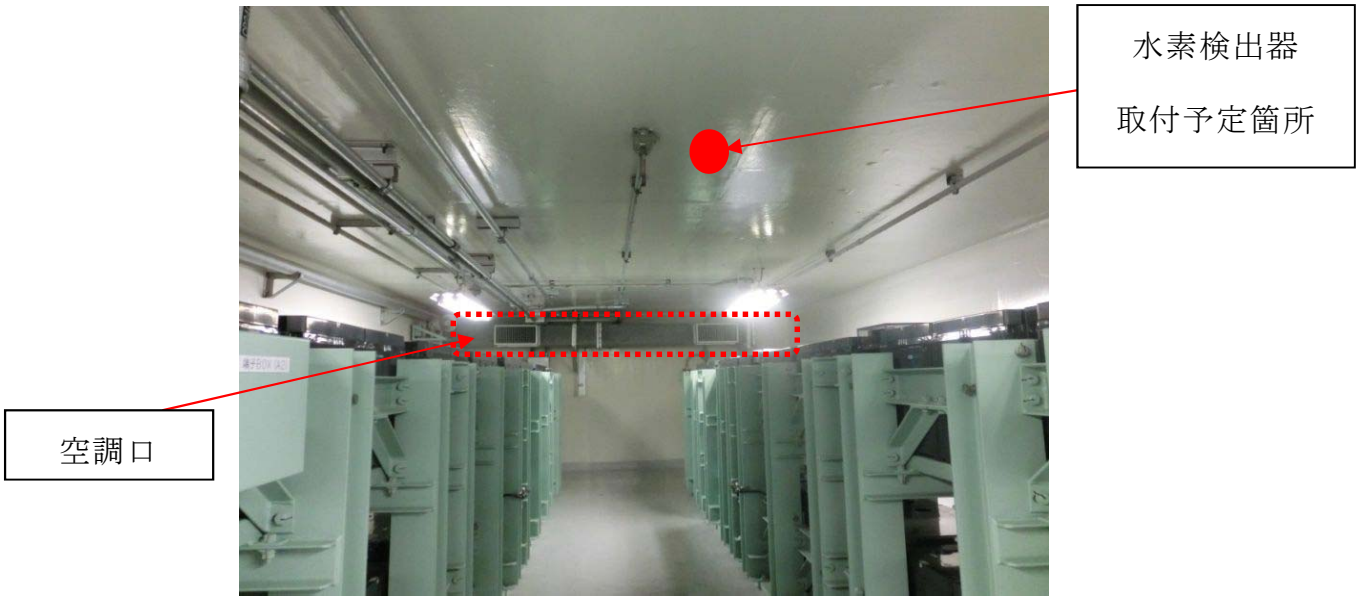
発電機水素ガス冷却設備は，水素消費量を管理するとともに，発電機内の水素純度，水素圧力を中央制御室で常時監視できる設計としており，発電機内の水素純度や水素圧力が低下した場合には，中央制御室に警報を発する設計とする。

格納容器雰囲気監視系校正用ボンベを設置する火災区域については，2.1.1.1(1)①「漏えいの防止，拡大防止」に示すように，通常時はボンベの元弁を「閉」運用とすること，2.1.1.1(1)③「換気」に示すように水素濃度が燃焼限界濃度以下となるよう機械換気を行うことから，漏えいしても設置場所の水素濃度は0.1%未満のため，水素濃度検出器は設置しない(第1-5表)。

以上より，水素内包設備を設置する火災区域は水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように機械換気を行うとともに，水素の漏えいにより水素濃度が燃焼限界濃度以上となる可能性があるものについては，水素の漏えいが発生した場合は中央制御室に警報を発する設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。



第 1-5 図　水素濃度検出設備の例



第 1-6 図　蓄電池室内　水素検出器設置イメージ

第 1-5 表 水素濃度検出器の設置予定箇所

水素を内包する設備を設置する場所	水素検出方法	水素濃度検出器の設置個数
原子炉建屋付属棟 蓄電池室	水素濃度検出器を設置	1 個以上
タービン建屋 蓄電池室	水素濃度検出器を設置	1 個以上
廃棄物処理建屋 蓄電池室	水素濃度検出器を設置	1 個以上
気体廃棄物処理設備設置箇所	当該系統に水素濃度監視設備を設置	当該系統に水素濃度監視設備を設置
発電機水素ガス冷却設備設置箇所	発電機内に水素圧力計，純度計を設置	発電機内に水素圧力計，純度計を設置
格納容器雰囲気監視系校正用ボンベ設置箇所	水素濃度検出器は設置しない	水素濃度検出器を設置しない(ボンベ内の全量が漏えいしても設置場所の水素濃度は 0.1%未満)

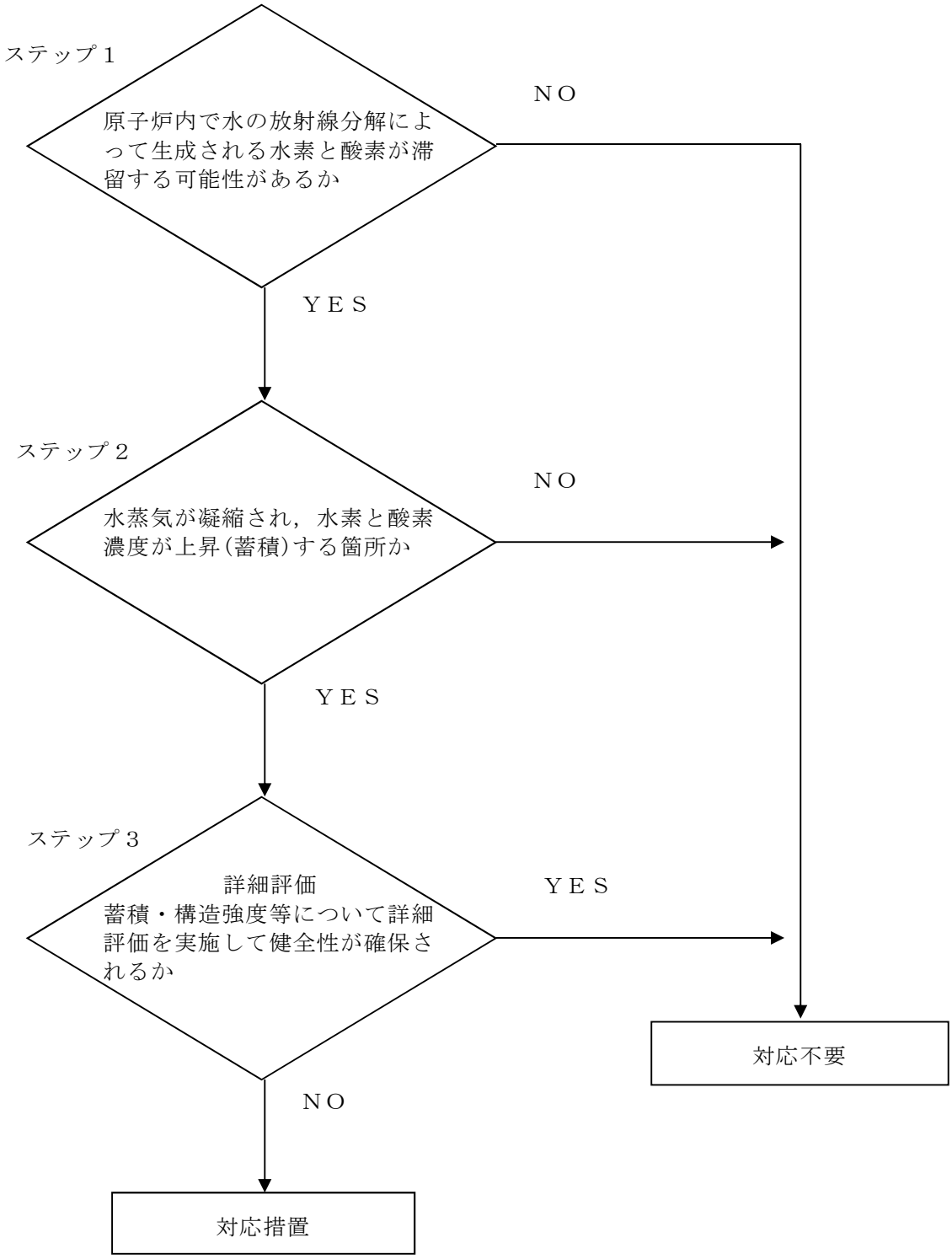
(5) 放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策

放射性分解により発生する水素に対する火災区域における蓄積防止対策としては，社団法人火力原子力発電技術協会「BWR 配管における混合ガス(水素・酸素)蓄積防止に関するガイドライン（平成 17 年 10 月)」等に基づき，第 1-6 表のとおり実施する。蓄積防止対策箇所は，ガイドラインに基づき第 1-7 図のフローに従い選定する。なお，ガイドライン制定前に経済産業省指示文書「中部電力株式会社浜岡原子力発電所 1 号機の余熱除去

系配管破断に関する再発防止対策について(平成 14 年 5 月)」を受け，水素の蓄積のおそれがある箇所に対して対策を実施している。ガイドライン制定以降，対策箇所はフロー上ステップ 1 の水素滞留のおそれがない場所となり，追加の対策が必要な箇所はガイドラインに基づき抽出・対策を実施している(第 1-6 表，第 1-7 図)。

蓄電池を設置する火災区域は，「(4)水素対策」に示すように，水素内包設備を溶接構造等とすることにより雰囲気への水素の漏えいを防止するとともに，機械換気を行うことにより水素濃度が燃焼限界濃度以下となるように設計する。

以上より，放射線分解等により原子炉の安全性を損なうおそれがある場合は水素の蓄積防止対策を実施していることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。



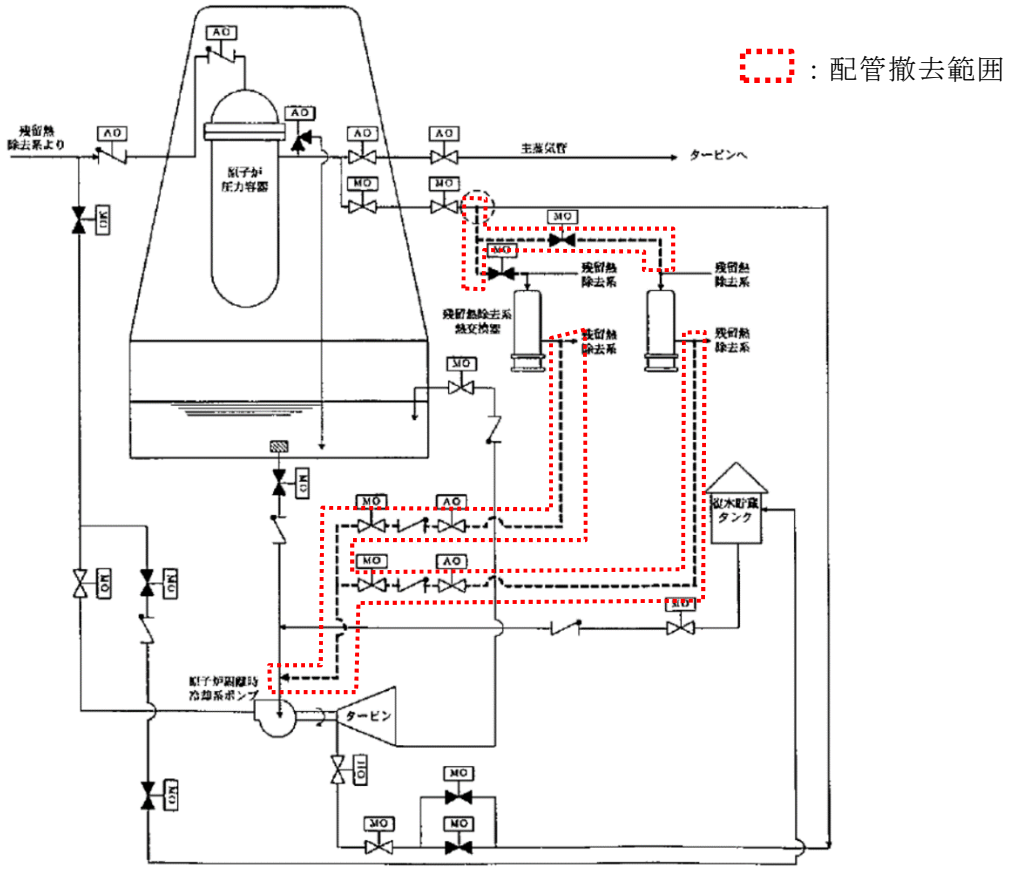
第 1-7 図　水素対策の対象選定フロー

(BWR 配管における混合ガス(水素・酸素)蓄積防止

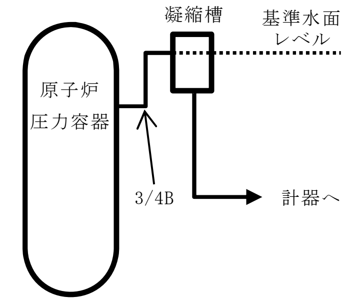
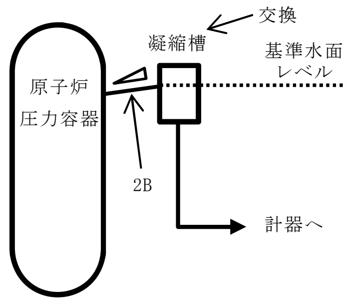
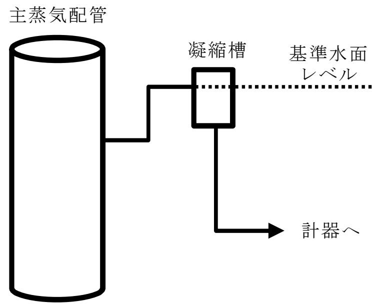
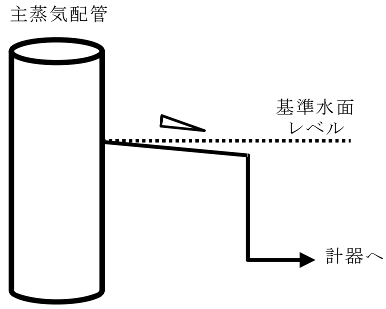
に関するガイドラインを参照)

第 1-6 表 放射線分解による水素蓄積防止対策の実施状況

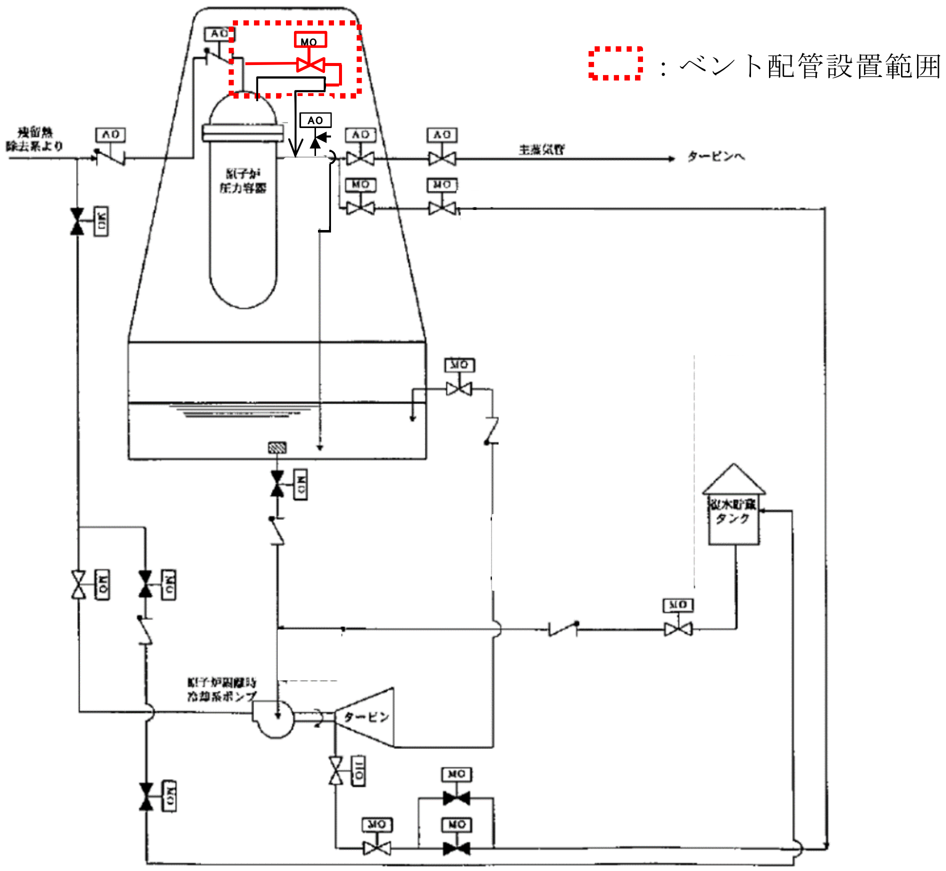
対策箇所	対策内容	対策実施根拠	実施状況
・残留熱除去系蒸気凝縮系配管 ・原子炉水位計等計装配管	・配管撤去及び取替	経済産業省指示文書 「中部電力株式会社浜岡原子力発電所第 1 号機の余熱除去系配管破断に関する再発防止対策について」（平成 14 年 5 月）	実施済
・原子炉圧力容器頂部スプレイ配管	・ベント配管を設置	(社)火力原子力発電技術協会 「BWR 配管における混合ガス(水素・酸素)蓄積防止に関するガイドライン」（平成 17 年 10 月）	実施済



第 1-8 図 残留熱除去系蒸気凝縮系配管撤去の概要

	修繕前	修繕後
原子炉圧力容器 ノズルライン修繕		 ※原子炉圧力容器と凝縮槽間の距離が短いため，配管径拡大及び構造変更により，配管内で気体が循環しやすくなり，凝縮槽での水素蓄積を防止する
原子炉水位計用 ライン修繕		

第 1-9 図　原子炉水位計等計装配管修繕の概要



第 1-10 図　原子炉圧力容器頂部スプレイ配管追設の概要

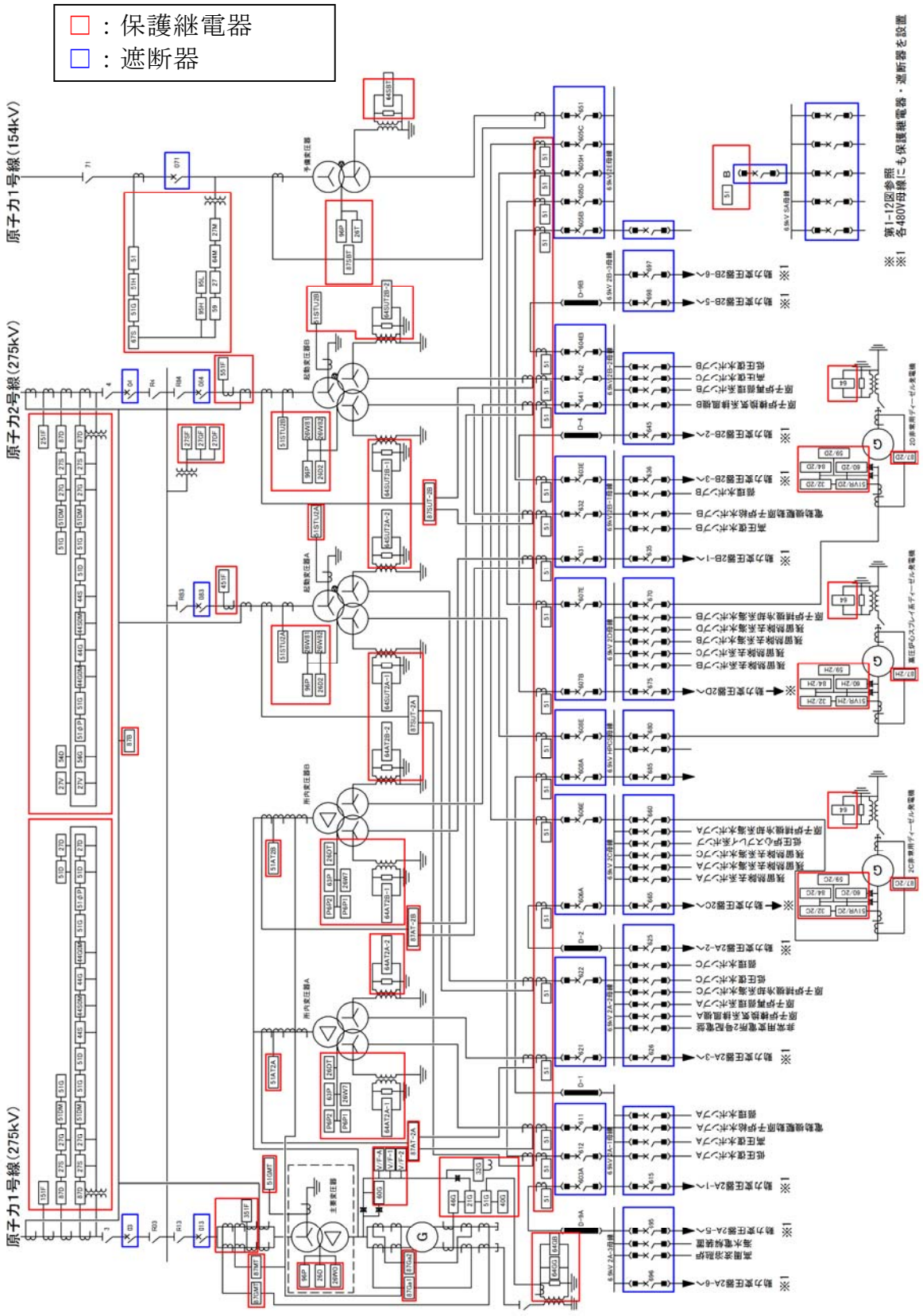
(6)　過電流による過熱防止対策

発電用原子炉施設内の電気系統に対する過電流による過熱防止対策について以下に示す。

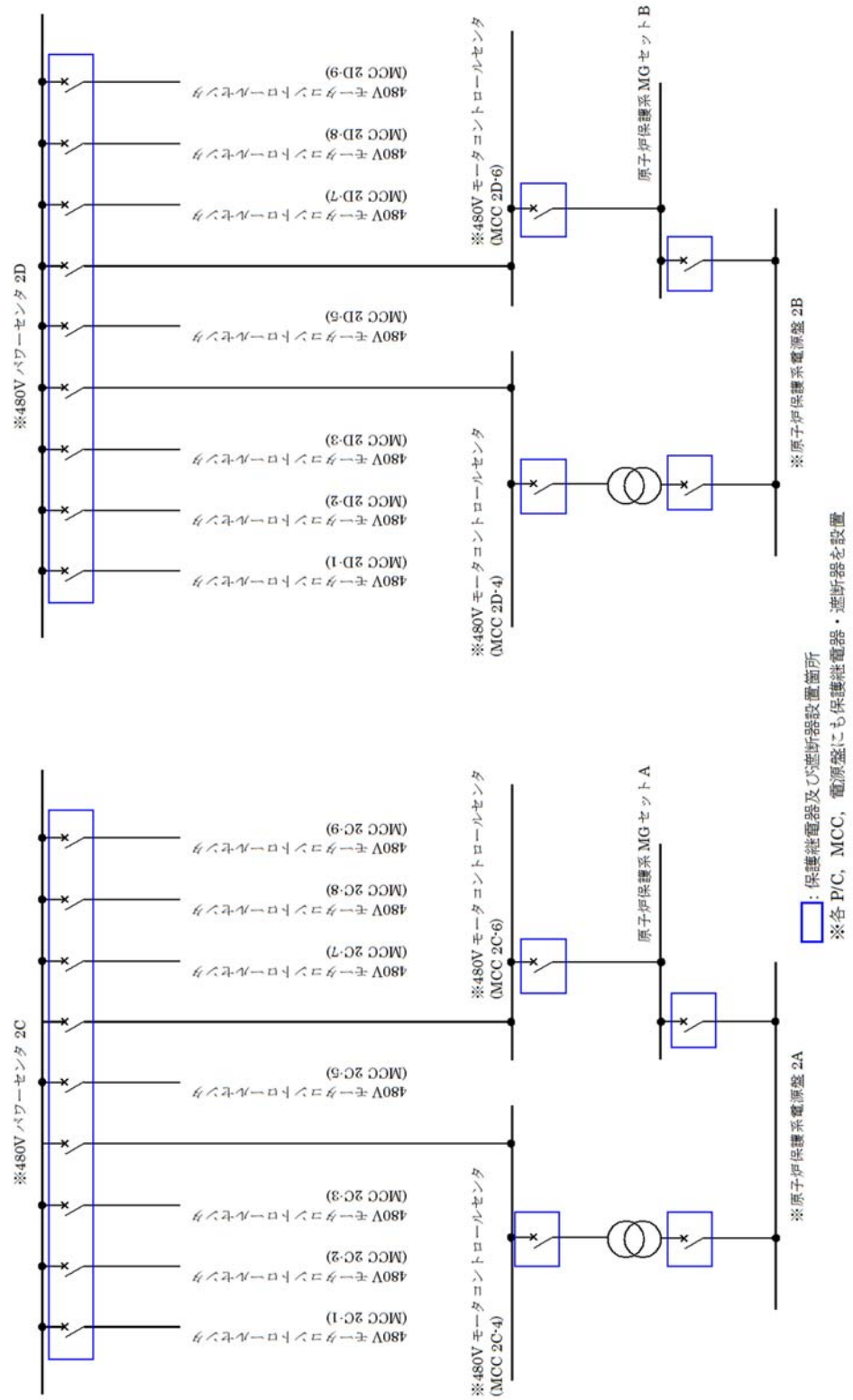
電気系統は，送電線への落雷による外部からの影響や，地絡，短絡に起因する過電流による過熱や焼損を防止するために，保護継電器，遮断器により，故障回路を早期に遮断する設計とする。

第 1-11，12 図に，発電用原子炉施設内の系統及び機器に電源を供給する電気系統として，東海第二発電所の電源系統における保護継電器及び遮断器の設置箇所を示す。

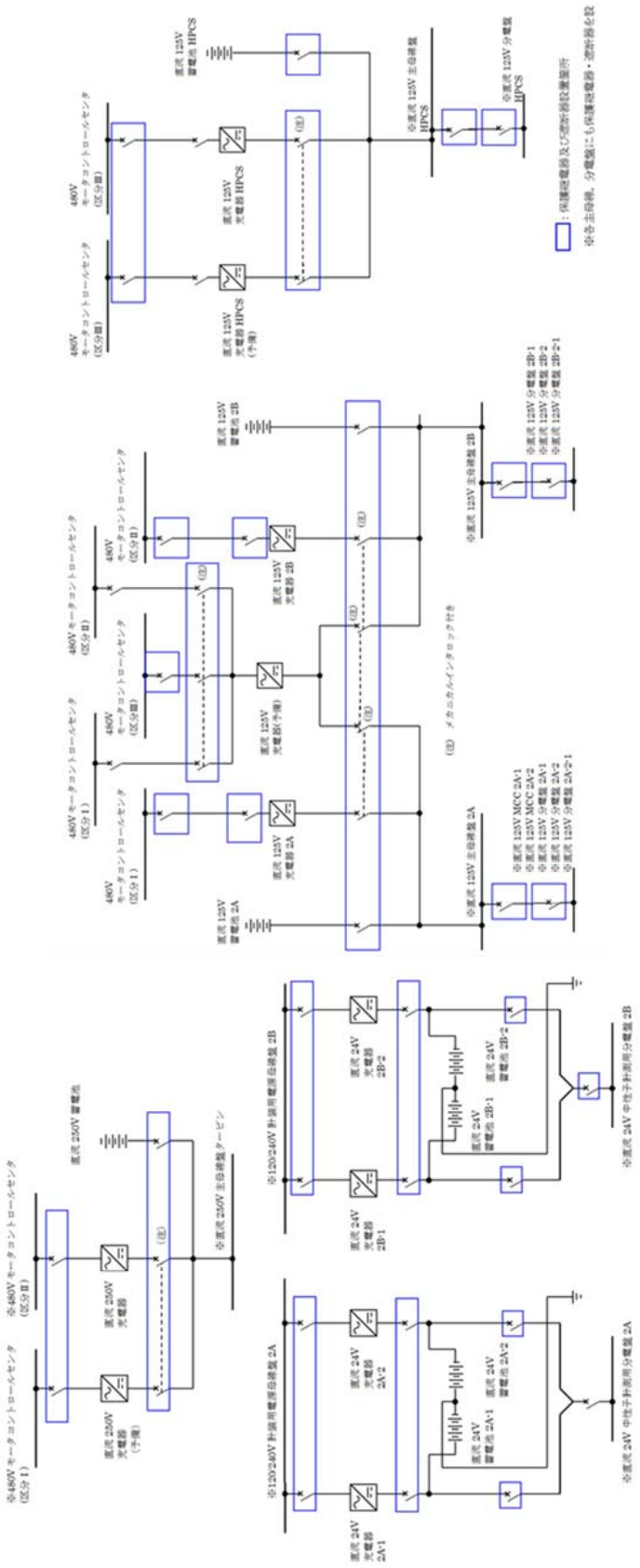
以上より，発電用原子炉施設内の電気系統は過電流による過熱防止対策を実施していることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。



第 1-11 図 電気系統保護継電器及び遮断器の設置箇所



第 1-12 図 電気系統保護継電器及び遮断器の設置箇所(480V 母線)(1/2)



第 1-12 図 電気系統保護継電器及び遮断器の設置箇所(直流母線) (2/2)

2.1.1.2　不燃性材料又は難燃性材料の使用

［要求事項］

2.1.2 安全機能を有する構築物，系統及び機器は，以下の各号に掲げるとおり，不燃性材料又は難燃性材料を使用した設計であること。ただし，当該構築物，系統及び機器の材料が，不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するもの（以下「代替材料」という。）である場合，もしくは，当該構築物，系統及び機器の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合であって，当該構築物，系統及び機器における火災に起因して他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置が講じられている場合は，この限りではない。

(1) 機器，配管，ダクト，トレイ，電線管，盤の筐体，及びこれらの支持構造物のうち，主要な構造材は不燃性材料を使用すること。

(2) 建屋内の変圧器及び遮断器は，絶縁油等の可燃性物質を内包していないものを使用すること。

(3) ケーブルは難燃ケーブルを使用すること。

(4) 換気設備のフィルタは，不燃性材料又は難燃性材料を使用すること。ただし，チャコールフィルタについては，この限りでない。

(5) 保温材は金属，ロックウール又はグラスウール等，不燃性のものを使用すること。

(6) 建屋内装材は，不燃性材料を使用すること。

(参考)

「当該構築物，系統及び機器の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合であって，当該構築物，系統及び機器における火災に起因して他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が

発生することを防止するための措置が講じられている場合」とは，ポンプ，弁等の駆動部の潤滑油，機器躯体内部に設置される電気配線，不燃材料の表面に塗布されるコーティング剤等，当該材料が発火した場合においても，他の構築物，系統又は機器において火災を生じさせるおそれが小さい場合をいう。

(3)難燃ケーブルについて

使用するケーブルについて，「火災により着火し難く，著しい燃焼をせず，また，加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらない性質」を有していることが，延焼性及び自己消火性の実証試験により示されていること。

（実証試験の例）

・自己消火性の実証試験･･･UL 垂直燃焼試験

・延焼性の実証試験･･･IEEE383 または IEEE1202

安全機能を有する機器等に対する不燃性材料又は難燃性材料の使用について，以下(1)から(6)に示す。

ただし，不燃性材料又は難燃性材料が使用できない場合は以下のいずれかの設計とする。

・不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するもの（以下「代替材料」という。）を使用する設計とする。

・構築物，系統及び機器の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合であって，当該構築物，系統及び機器における火災に起因して他の安全機能を有する構築物，系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。

(1) 主要な構造材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する構築物，系統及び機器のうち，機器，配管，ダクト，トレイ，電線管，盤の筐体及びこれらの支持構造物の主要な構造材は，火災の発生防止及び当該設備の強度確保を考慮し，ステンレス鋼，低合金鋼，炭素鋼などの金属材料，またはコンクリートの不燃性材料を使用する設計とする。

ただし，配管のパッキン類は，その機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難であるが，金属で覆われた狭隘部に設置し直接火炎にさらされることなく，これにより他の安全機能を有する機器等において火災が発生するおそれはないことから，不燃性材料又は難燃性材料ではない材料を使用する設計とする。また，金属に覆われたポンプ及び弁の駆動部の潤滑油（グリス），並びに金属に覆われた機器内部の電気配線は，発火した場合でも他の安全機能を有する機器等に延焼しないことから，不燃性材料または難燃性材料ではない材料を使用する設計とする。

水密扉に使用する止水パッキンについては，自己発火性がないこと，水密扉は常時閉運用であり，パッキン自体は扉本体に押さえられている状態であり，パッキンの大部分は外部に露出しないこと，水密扉周囲には可燃性物質を内包する設備がないこと，当該構成材の量は微量であることから，他の構築物，系統及び機器に火災を生じさせるおそれは小さいものの，火災の発生防止の観点から難燃性材料を使用する設計とする。

なお，安全機能を有する機器等が設置されている火災区域又は火災区画に設置される，油を内包する耐震Bクラス，Cクラスの設備は，基準地震動S_sによっても油が漏えいしないように耐震補強する設計とするこ

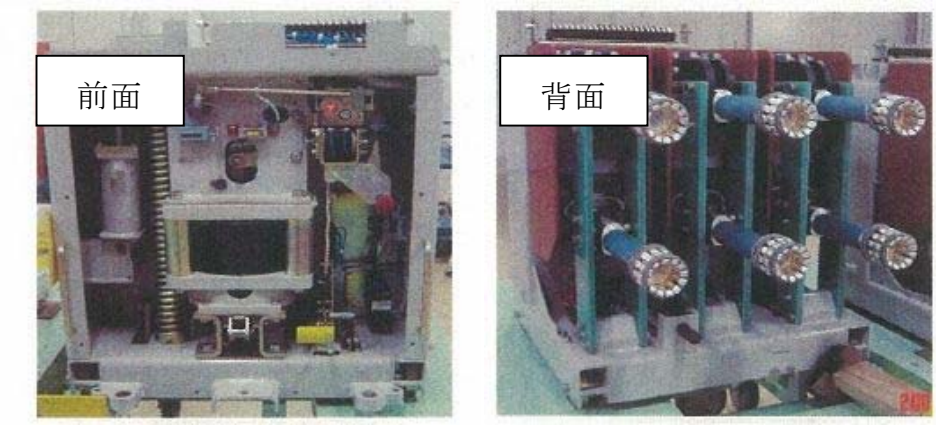
とから，安全機能を有する機器等が設置されている火災区域又は火災区画において，地震随伴による火災の発生の可能性は低いと考える。

以上より，安全機能を有する機器等のうち主要な構造材は不燃性材料を使用する設計とすること，これ以外の構築物，系統及び機器は原則，不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とすること，一部配管に用いるパッキン類やポンプ及び弁等の駆動部の潤滑油（グリス），盤内部に設置された電気配線は不燃性材料又は難燃性材料を使用するものもあるが，万が一発火した場合においても他の安全機能を有する機器等に延焼しないことを確認していることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

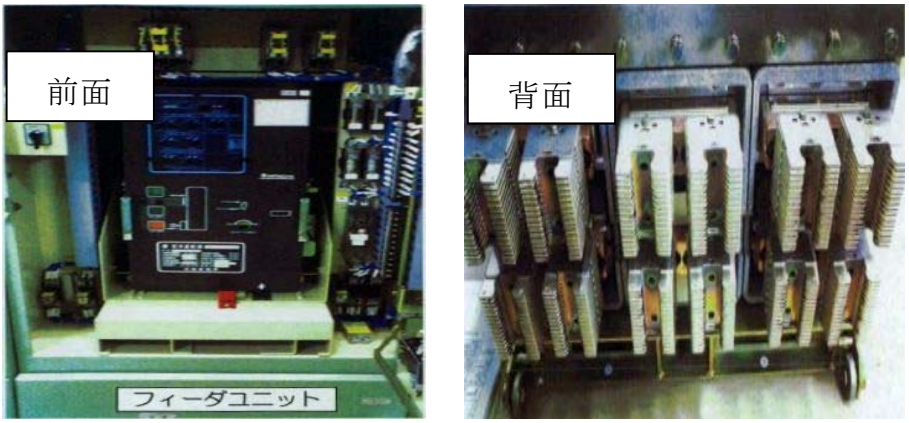
(2)変圧器及び遮断器に対する絶縁油の内包

安全機能を有する機器等のうち，屋内の変圧器及び遮断器は，可燃性物質である絶縁油を内包していないものを使用する設計とする(第 1-13，14 図)。

以上より，安全機能を有する屋内の変圧器及び遮断機は，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。



第1-13図 真空遮断器外観



第1-14図 気中遮断器外観

(3)難燃ケーブルの使用について

安全機能を有する構築物，系統及び機器に使用するケーブルには，実証試験により自己消火性(UL 垂直燃焼試験)及び延焼性(IEEE383(光ファイバケーブルの場合は IEEE1202)垂直トレイ燃焼試験)を確認した難燃ケーブルを使用する設計とする。難燃ケーブルの使用状況を添付資料 2 に示す。

ただし，安全機能を有する機器等に使用するケーブルには，自己消火性を確認するＵＬ垂直燃焼試験は満足するが，延焼性を確認するIEEE383 垂直トレイ燃焼試験の要求を満足しない非難燃ケーブルがある。

したがって，非難燃ケーブルについては，原則，難燃ケーブルに取り替えて使用する設計とする。ただし，ケーブルの取り替えに伴い安全上の課題が生じる場合には，非難燃ケーブルを使用し，施工後の状態において，以下に示すように範囲を限定した上で，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能を確保できる代替措置（複合体）を施す設計とする。

a．ケーブルの取り替えに伴う課題が回避される範囲

b．難燃ケーブルと比較した場合に，火災リスク※に有意な差がない範囲

※火災リスクとは，絶縁劣化に伴う発火リスク，電気特性への影響及び可燃物量の変化による火災荷重への影響を示す

ｉ）複合体を形成する設計

複合体は，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能を確保する設計とし，実証試験により自己消火性及び延焼性を確認した上で使用する。

このため，複合体外部及び複合体内部の火災を想定した設計とする。

また，複合体は，防火シートが与える化学的影響，複合体内部への熱の蓄積及び重量増加による耐震性への影響を考慮しても非難燃ケーブルの通電機能や絶縁機能及びケーブルトレイの耐震性低下により，ケーブル保持機能が損なわれないことを確認するとともに，施工後において，複合体の難燃性能を維持する上で，防火シートのずれ，隙間及び傷の範囲を考慮する設計とし，これらを実証試験により確認して使用する設計とする。使用する防火シートは耐寒性，耐水性，耐薬品性などの耐性に問題がないことを確認する。

【別添 4(1)】

a．複合体外部の火災を想定した場合の設計

複合体は，外部の火災に対して，不燃材の防火シートにより外部からの火炎を遮断し，直接ケーブルに火炎が当たり燃焼することを防止することにより，難燃ケーブルと同等以上の難燃性能が確保できる設計とする。

このため，複合体は，火炎を遮断するため，非難燃ケーブルが露出しないように非難燃ケーブル及びケーブルトレイを防火シートで覆い，その状態を維持するため結束ベルトで固定する設計とする。

実証試験では，この設計の妥当性を確認するため，防火シートが遮炎性を有していること，その上で，複合体としては，延焼による損傷長

が難燃ケーブルよりも短くなることを確認した上で使用する。

【別添 4(3)】

b．複合体内部の火災を想定した場合の設計

複合体は，短絡又は地絡に起因する過電流により発火した内部の火災に対して，燃焼の３要素のうち，酸素量を抑制することにより，難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能が確保できる設計とする。

このため，複合体は，「a.複合体外部の火災を想定した場合の設計」に加え，複合体内部の延焼を燃え止まらせるため，ケーブルトレイが火災区画の境界となる壁，天井又は床を貫通する部分に耐火シールを処置し，延焼の可能性のあるケーブルトレイ設置方向にファイアストッパを設置する設計とする。

また，複合体内部の火炎が外部に露出しないようにするため，防火シート間を重ねて覆う設計とする。

実証試験では，この設計の妥当性を確認するため，ケーブル単体の試験により自己消火性が確保できること，防火シートで複合体内部の酸素量を抑制することにより耐延焼性を確保できることを確認した上で使用する。

ⅱ）電線管に収納する設計

複合体とするケーブルトレイから安全機能を有する機器に接続するために電線管で敷設される非難燃ケーブルは，火災を想定した場合にも延焼が発生しないように，電線管に収納するとともに，電線管の両端は電線管外部からの酸素供給防止を目的として，難燃性の耐熱シール材を処置する設計とする。

放射線モニタケーブルは，放射線検出のためには微弱電流又は微弱パ

ルスを扱う必要があり，耐ノイズ性を確保するため，絶縁体に誘電率の低い架橋ポリエチレンを使用することで高い絶縁抵抗を有する同軸ケーブルを使用する設計とする。

このケーブルは，自己消火性を確認するUL 垂直燃焼試験は満足するが，延焼性を確認する IEEE383 垂直トレイ燃焼試験の要求を満足することが困難である。

このため，放射線モニタケーブルは，火災を想定した場合にも延焼が発生しないよう，専用電線管に収納するとともに，電線管の両端は，電線管外部からの酸素供給防止を目的とし，耐火性を有するシール材による処置を行う設計とする。

耐火性を有するシール材を処置した電線管内は外気から容易に酸素の供給がない閉塞した状態であるため，放射線モニタケーブルに火災が発生してもケーブルの燃焼に必要な酸素が不足し，燃焼の維持ができなくなるので，すぐに自己消火し，ケーブルは延焼しない。このため，専用電線管で収納し，耐火性を有するシール材により酸素の供給防止を講じた放射線モニタケーブルは，IEEE383 垂直トレイ燃焼試験の判定基準を満足するケーブルと同等以上の延焼防止性能を有する。

（資料 4）

以上より，安全機能を有する機器等に使用するケーブルについては，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。非難燃ケーブルを使用する場合については，代替措置を施し，実証試験により難燃ケーブルを使用した場合と同等以上の難燃性能があることを確認した上で使用する設計とすることから，十分な保安水準が確保されていると考える。

(4)換気設備のフィルタに対する不燃性材料及び難燃性材料の使用

安全機能を有する機器等のうち，換気空調設備のフィルタは，チャコールフィルタを除き，第 1-7 表に示すとおり，「JIS L 1091(繊維製品の燃焼性試験方法)」又は「JACA No.11A(空気清浄装置用ろ材燃焼性試験方法指針(公益社団法人日本空気清浄協会))」により難燃性（JACA No.11A クラス 3 適合）を満足する難燃性材料を使用する設計とする。難燃性の換気フィルタの使用について添付資料 3 に示す。

また，第 1-7 表のフィルタは金属製の構造物内に内包しており，コンクリート製の室内に設置する設計とする。なお，フィルタ周辺には可燃物はなく，以下の管理を実施するため，火気作業等によりフィルタ火災が発生することはない。

○運用管理の概要

換気設備のフィルタを設置している部屋は以下の運用とする。

① 点検資機材の仮置きを禁止するエリアとする

② 他エリアの機器を当該エリアに持ち込んでの点検を禁止する

③ 火気取扱い禁止エリアとする

④ 但し，当該部屋又は金属製の構造物の補修等で火気(溶接機)を使用する場合は，当該換気空調設備を停止し隔離する。その後，火気養生を実施した上で火気作業を行う運用とする

換気設備のフィルタの廃棄においては以下の運用とする。

① チャコールフィルタは，廃棄物として処理を行うまでの間，金属容器で収納し保管する。

② HEPA フィルタは，廃棄物として処理するまでの間，不燃シートに包んで保管する。

上記運用については，火災防護計画に定めるとともに，関連する規程，ガイド等に反映する。

以上より，安全機能を有する機器等のうち，チャコールフィルタを除く換気空調設備のフィルタは，難燃性のフィルタを使用する設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

第1-7表 安全機能を有する機器等のうち，換気空調設備のフィルタ

フィルタの種類 (チャコールフィルタ以外)	材質	性能
プレフィルタ	グラスファイバ （ガラス繊維）	難燃性
HEPA フィルタ		
給気フィルタ	不織布	

※給気フィルタ：バグフィルタ，中性能粒子フィルタ等，空調内の異物を除去するための総称

(5)保温材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する機器等に対する保温材は，ロックウール，ガラス繊維，ケイ酸カルシウム，パーライト，金属等，平成 12 年建設省告示第 1400 号に定められたもの，または建築基準法で不燃性材料として定められたものを使用する設計とする。保温材の使用について添付資料 4 に示す。

以上より，安全機能を有する機器等に対する保温材には不燃性材料を使用する設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合しているもの

と考える。

(6) 建屋内装材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する機器等を設置する建屋の内装材は，ケイ酸カルシウム等，建築基準法に基づく不燃性材料を使用する設計とする。

ただし，中央制御室の床カーペットは消防法施行規則第四条の三に基づく，第3者機関で防炎物品の試験を実施し，防炎性能を有することを確認した材料を使用する設計とする。

また，管理区域床には耐放射線性，除染性及び耐腐食性を確保すること，原子炉格納容器内の床，壁には耐放射線性，除染性及び耐腐食性を確保することを目的としてコーティング剤を塗布する設計とする。

このコーティング剤は，旧建設省告示 1231 号第 2 試験に基づく難燃性が確認された塗料であること，不燃性材料であるコンクリート表面に塗布すること，加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらず他の安全機能を有する構築物，系統及び機器に延焼しないこと，並びに原子炉格納容器内を含む建屋内に設置する安全機能を有する機器等は不燃性又は難燃性の材料を使用し，周辺には可燃物がないことから，当該コーティング材が発火した場合においても他の構築物，系統及び機器に火災を生じさせるおそれは小さい。

建屋内装材の使用を，添付資料5に示す。

以上より，安全機能を有する機器等を設置する建屋の内装材は，耐放射線性，除染性を確保するため，一部，不燃性でないコーティング剤を使用するが，発火した場合においても他の構築物，系統及び機器において火災を生じさせるおそれは小さいことから，火災防護に係る審査基準に適合し

ているものと考える。

2.1.1.3　落雷，地震等の自然現象による火災の発生防止

[要求事項]

2.1.3　落雷，地震等の自然現象によって，発電用原子炉施設内の構築物，系統及び機器に火災が発生しないように以下の各号に掲げる火災防護対策を講じた設計であること。

(1)落雷による火災の発生防止対策として，建屋等に避雷設備を設置すること。

(2)安全機能を有する構築物，系統及び機器は，十分な支持性能をもつ地盤に設置するとともに，自らが破壊又は倒壊することによる火災の発生を防止すること。なお，耐震設計については実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈（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））に従うこと。

東海第二発電所の安全を確保する上で設計上考慮すべき自然現象を網羅的に抽出するために，発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関わらず，国内外の基準や文献等に基づき事象を収集した。これらの事象のうち，発電所及びその周辺での発生可能性，安全施設への影響度，事象進展速度や事象進展に対する時間的余裕の観点から，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，地震，津波，洪水，風(台風)，竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮を抽出した。

これらの自然現象のうち，津波，森林火災及び竜巻（風(台風)を含む。）は，それぞれの現象に対して，発電用原子炉施設の安全機能が損なわれないように，機器をこれらの自然現象から防護することで，火災の発生を防止する設計とする。

生物学的事象のうちネズミ等の小動物の影響については，侵入防止対策により影響を受けない設計とする。

凍結，降水，積雪，高潮及び生物学的事象のうちクラゲ等の海生生物の影響については，火災が発生する自然現象ではなく，火山の影響についても，火山から発電用原子炉施設に到達するまでに降下火砕物が冷却されることを考慮すると，火災が発生する自然現象ではない。

洪水については，立地的要因により，発電用原子炉施設の安全機能を有する機器等に影響を与える可能性がないため，火災が発生するおそれはない。

したがって，落雷，地震について，これらの現象によって火災が発生しないように，以下のとおり火災防護対策を講じる設計とする。

(1)落雷による火災の発生防止

発電用原子炉施設内の構築物，系統及び機器は，落雷による火災発生を防止するため，地盤面から高さ 20m を超える建物には，建築基準法に基づき「JIS A4201 建築物等の避雷設備(避雷針)(1992 年度版)」又は「JIS A4201 建築物等の雷保護(2003 年度版)」に準拠した避雷設備の設置及び接地網の敷設を行う設計とする。

また，送電線については，架空地線を設置する設計とするとともに「2.1.1.1 火災発生防止(6)過電流による過熱防止対策」に示すとおり，故障回路を早期に遮断する設計とする。

避雷設備の設置建屋を第 1-15 図に，排気筒の避雷設備を第 1-16 図に示す。

以上より，発電用原子炉施設内の構築物，系統及び機器は，落雷による火災の発生防止対策を実施する設計としていることから，火

災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

【避雷設備設置箇所】

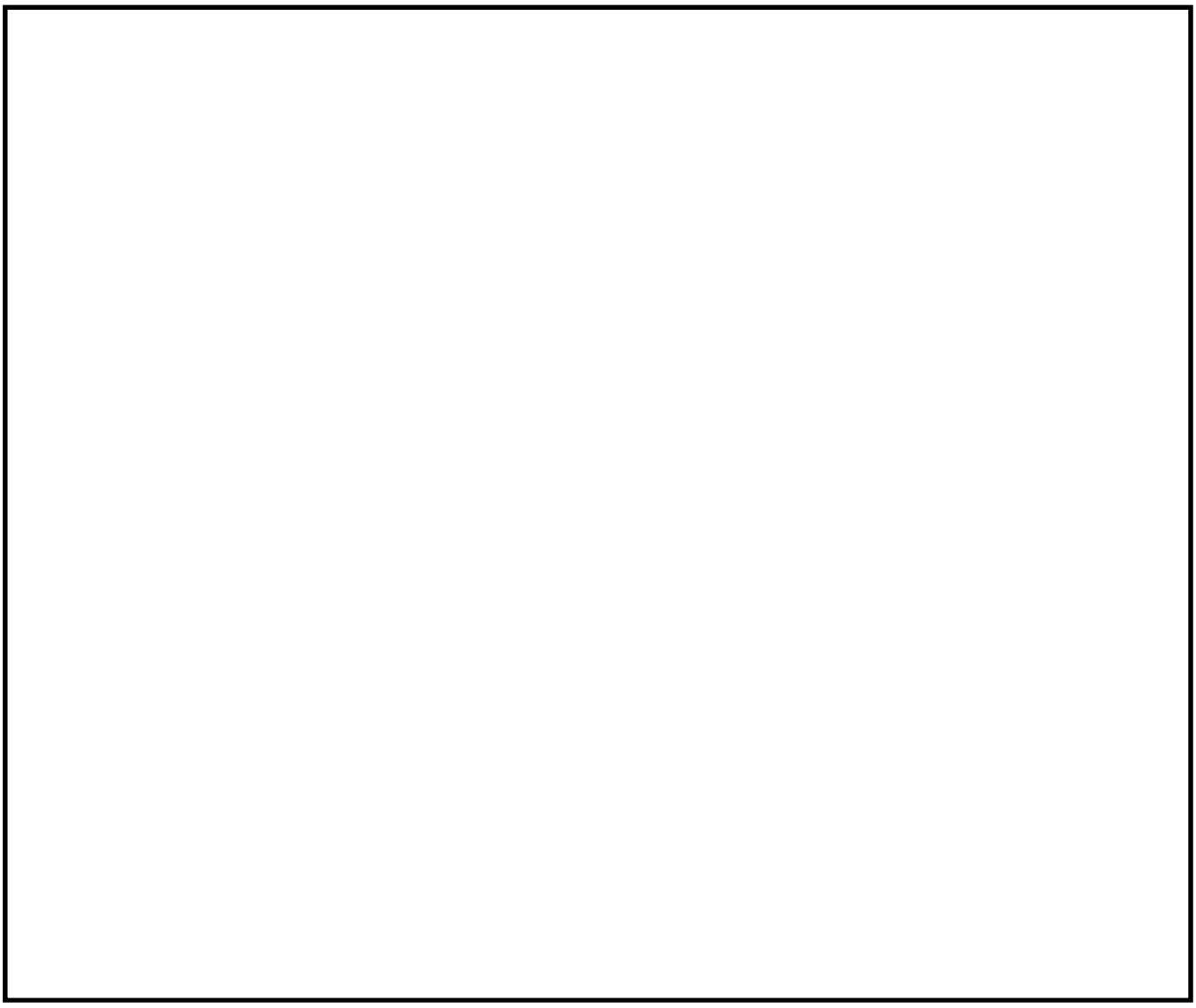
・タービン建屋（避雷針）

・排気筒（避雷針）

・廃棄物処理建屋（避雷針）

・使用済燃料乾式貯蔵建屋（棟上導体）

・固体廃棄物作業建屋（棟上導体）



第1-15図 避雷設備の設置建屋

第1-16図　排気筒の避雷設備

(2) 地震による火災の発生防止

安全機能を有する機器等は，耐震クラスに応じて十分な支持性能をもつ地盤に設置するとともに，自らが破壊または倒壊することによる火災の発生を防止する設計とする。

なお，耐震については「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第四条」に示す要求を満足するよう，「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」に従い耐震設計を行う設計とする。

また，安全機能を有する機器等の設置場所にある油内包の耐震Ｂクラス，Ｃクラス設備等は，基準地震動Ｓ$_s$により油が漏えいしないよう設計する。

以上より，発電用原子炉施設内の構築物，系統及び機器は，地震による火災の発生防止対策を実施する設計とすることから，火災防護に係る審査

基準に適合しているものと考える。

2.1.2　火災の感知，消火

2.1.2.1　早期の火災感知及び消火

［要求事項］

2.2.1 火災感知設備及び消火設備は，以下の各号に掲げるように，安全機能を有する構築物，系統及び機器に対する火災の影響を限定し，早期の火災感知及び消火を行える設計であること。

(1) 火災感知設備

① 各火災区域における放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して型式を選定し，早期に火災を感知できる場所に設置すること。

② 火災を早期に感知できるよう固有の信号を発する異なる種類の感知器又は同等の機能を有する機器を組合せて設置すること。また，その設置にあたっては，感知器等の誤作動を防止するための方策を講じること。

③ 外部電源喪失時に機能を失わないように，電源を確保する設計であること。

④ 中央制御室等で適切に監視できる設計であること。

(参考)

(1) 火災感知設備について

早期に火災を感知し，かつ，誤作動（火災でないにもかかわらず火災信号を発すること）を防止するための方策がとられていること。

（早期に火災を感知するための方策）

・固有の信号を発する異なる種類の感知器としては，例えば，煙感知器と炎感知器のような組み合わせとなっていること。

・感知器の設置場所を１つずつ特定することにより火災の発生場所

を特定することができる受信機を用いられていること。

（誤作動を防止するための方策）

・平常時の状況（温度，煙の濃度）を監視し，かつ，火災現象（急激な温度や煙の濃度の上昇）を把握することができるアナログ式の感知器を用いられていること。

感知器取付面の位置が高いこと等から点検が困難になるおそれがある場合は，自動試験機能又は遠隔試験機能により点検を行うことができる感知器が用いられていること。

炎感知器又は熱感知器に代えて，赤外線感知機能等を備えた監視カメラシステムを用いても差し支えない。この場合，死角となる場所がないように当該システムが適切に設置されていること。

火災の感知及び消火については，安全機能を有する機器等に対して，早期の火災感知及び消火を行うための火災感知設備及び消火設備を設置する設計とする。

(1)　火災感知設備

火災感知設備は，安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画の火災を早期に感知するために設置する設計とする。

（資料5，9）

火災感知器と受信機を含む火災受信機盤等で構成される火災感知設備は，以下①から④を踏まえ設置する設計とする。

① 火災感知器の環境条件等を考慮

火災感知設備の火災感知器は，各火災区域又は火災区画における放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や，炎が生じる前に発煙することなど，予想される火災の性質を考慮して設置する設計とする。

難燃ケーブルの代替措置とした複合体内部についても火災感知器を設置する設計とする。

なお，設計基準対象施設を設置する火災区域又は火災区画のうち，海水ポンプを設置する区域は，屋外であり環境を踏まえ炎感知器及び赤外線感知機能を備えた熱感知カメラを設置する設計とする。

また，中央制御室の床下コンクリートピットは，煙感知器及び熱感知器を設置する設計とする。

② 固有の信号を発する異なる種類火災感知器の設置

火災感知設備の火災感知器は，上記①の環境条件等を考慮し，火災感知器を設置する火災区域又は火災区画の安全機能を有する機器等の種類を踏まえ，火災を早期に感知できるよう固有の信号を発するアナログ式煙感知器，アナログ式の熱感知器を組合せて設置する設計とする。

非アナログ式の防爆型の煙感知器，非アナログ式の防爆型の熱感知器及び炎感知器の異なる種類の感知器も環境条件を考慮し，アナログ式も含めた組み合わせで設置する設計とする。ここで炎感知器は非アナログ式であるが，炎が発する赤外線や紫外線を感知するため，煙や熱と比べて感知器に到達する時間遅れがなく，火災の早期感知に優位性がある。

アナログ式とは「平常時の状況（温度，煙の濃度）を監視し，かつ，火災現象（急激な温度や煙の濃度の上昇）の火災情報信号を連続的に送信し受信機にて把握することができる」ものと定義し，非アナログ式と

は「平常時の状況（温度，煙の濃度）を監視することはできないが，火災現象（急激な温度や煙の濃度の上昇等）を把握することができる」ものと定義する。

以下に，高線量などの特徴的なエリアに設置する火災感知器の組合せや運用を示す。

○原子炉建屋原子炉棟 6 階（オペレーティングフロア）

原子炉建屋原子炉棟6階（オペレーティングフロア）は天井が高く大空間となっているため，火災による熱が周囲に拡散することから，熱感知器による感知は困難である。このため，アナログ式の光電分離型煙感知器と非アナログ式の炎感知器（赤外線方式）をそれぞれの監視範囲に火災の検知に影響を及ぼす死角がないように設置する設計とする。

○原子炉格納容器

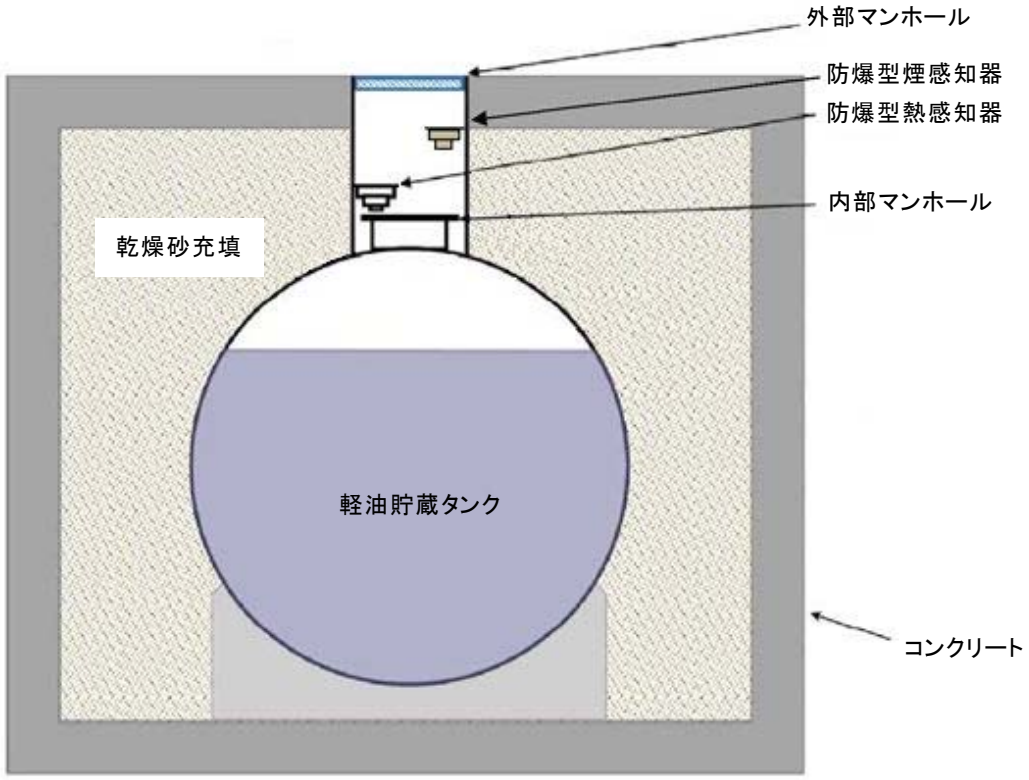
原子炉格納容器内の火災感知器は，上記①のとおり環境条件や予想される火災の性質を考慮し，原子炉格納容器内には異なる2種類の感知器としてアナログ式の煙感知器及び熱感知器を設置する設計とする。

原子炉格納容器内は，通常運転中は窒素が封入され不活性化環境となることから火災が発生するおそれはない。しかしながら，通常運転中の原子炉格納容器内は，閉鎖状態で長期間にわたり，高温，高線量環境となることから，火災感知器で使用されている半導体部品が損傷することにより，アナログ式の火災感知器が故障するおそれがある。このため，原子炉格納容器内の火災感知器は，原子炉起動時の窒素封入完了後に中央制御室内の受信機にて作動信号を除外する運用とし，原子炉停止後に火災感知器を速やかに取り替える設計とする。

○軽油貯蔵タンク設置区域

軽油貯蔵タンクは地下構造であり，また，引火性又は発火性の雰囲気を形成するおそれのある場所であるため，万が一の軽油燃料の気化を考慮し，火災を早期に感知できるよう，軽油貯蔵タンク上部の点検用マンホール部に非アナログ式の防爆型の煙感知器と防爆型の熱感知器を設置する設計とする。

軽油貯蔵タンク設置区域内は地下構造であるため，安定した環境を維持することから，非アナログ式の煙感知器であっても誤作動する可能性は低い。また，非アナログ式の熱感知器は，軽油の引火点，当該タンクの最高使用温度を考慮した温度を作動値とすることで誤作動を防止する設計とする。軽油貯蔵タンクの概要を第 1-17 図に示す。



第1-17図　軽油貯蔵タンクの火災感知器の設置概要

○屋外区域（海水ポンプ室）

屋外区域である海水ポンプ室は，区域全体の火災を感知する必要があるが，火災による煙や熱が大気に拡散するため，煙感知器及び熱感知器による感知が困難であること，また降水等の浸入により火災感知器の故障が想定されることから，海水ポンプ室全体の火災を感知するために，アナログ式の屋外仕様の熱感知カメラ（赤外線方式），及び非アナログ式の屋外仕様の炎感知器（赤外線方式）をそれぞれの監視範囲に火災の検知に影響を及ぼす死角がないように設置する。これらはそれぞれ誤作動防止対策として以下の機能を有する。

・炎感知器　　：平常時より炎の波長の有無を連続監視し，火災現象（急激な環境変化）を把握できることから，アナログ式と同等の機能を有する。また，感知原理に「赤外線3波長式」（物質の燃焼時に発生する特有な放射エネルギの波長帯を3つ検知した場合にのみ発報する）を採用し誤作動防止を図る。さらに，屋内に設置する場合は外光が当たらず，高温物体が近傍にない箇所に設置することとし，屋外に設置する場合は屋外仕様を採用する設計とする。屋外設置の場合の太陽光の影響については，火災発生時の特有の波長帯のみを感知することで誤作動を防止する設計とする。

・熱感知カメラ：外部環境温度を考慮した温度をカメラ設定温度とすることによる誤作動防止機能を有する。また，熱サーモグラフィにより，火源の早期確認・判断誤り防止を図る。なお，熱感知カメラの感知原理は赤外線による熱監視であるが，感知する対象が熱であることから炎感

知器とは異なる種類の感知器と考える。

○放射線量が高い場所（主蒸気管トンネル室）

主蒸気管トンネル室については，通常運転中は高線量環境となることから，放射線の影響により火災感知器の制御回路が故障するおそれがある。さらに，火災感知器が故障した場合の取替えも出来ない。このため，放射線の影響を受けないよう検出器部位を当該室外に配置するアナログ式の煙吸引式感知器を設置する設計とする。加えて，放射線の影響を考慮した非アナログ式の熱感知器を設置する設計とする。

○蓄電池室

充電時に水素発生のおそれがある蓄電池室は，万が一の水素濃度の上昇を考慮し火災が早期に感知できるよう，非アナログ式の防爆型で，かつ固有の信号を発する異なる種類の煙感知器及び熱感知器を設置する設計とする。

これらの防爆型の感知器は非アナログ式であるが，蓄電池室には蒸気を発生するような設備はなく，換気空調設備により安定した室内環境を維持していることから，蒸気等が充満するおそれはなく，非アナログ式の煙感知器であっても誤作動する可能性は低い。また，換気空調設備により安定した室温を維持していることから，火災感知器の作動値を室温より高めに設定する非アナログ式の熱感知器であっても誤作動する可能性は低い。このため，水素による爆発のリスクを低減する観点から，非アナログ式の防爆型の火災感知器を設置する設計とする。

また，以下に示す火災区域又は火災区画は，発火源となる可燃物が少

なく可燃物管理により不要な可燃物を持ち込まない運用とすることから，火災感知器を設置しない，若しくは発火源となる可燃物が少なく火災により安全機能へ影響を及ぼすおそれはないことから，消防法又は建築基準法に基づく火災感知器を設ける設計とする。

○非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室

非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室は，コンクリートで囲われ，発火源となる可燃物が設置されておらず，可燃物管理により不要な可燃物を持ち込まない運用としていることから，火災が発生するおそれはない（第1-18図参照）。

第 1-18 図　発火源となる可燃物がない火災区域又は火災区画の例

○原子炉建屋付属棟屋上区域

原子炉建屋付属棟屋上区域には，スイッチギア室チラーユニット，中央制御室チラーユニット及びバッテリー室送風機が設置されている。当該区域には，可燃物管理により不要な可燃物を持ち込まない運用とし，また，チラーユニットは金属等の不燃性材料で構成されていることから周囲からの火災の影響を受けない。また，火災が発生した場合には，機器の異常警報が中央制御室に発報するため，運転員が現場に急行することが可能である。

○使用済燃料プール，復水貯蔵タンク，使用済樹脂タンク

使用済燃料プール，復水貯蔵タンク，使用済樹脂タンクについては内部が水で満たされており，火災が発生するおそれはない。

したがって，使用済燃料プール，復水貯蔵タンク，使用済樹脂タンクには火災感知器を設置しない設計とする。

○排気筒モニタ設置区画

放射線モニタ検出器は隣接した検出器間をそれぞれ異なる火災区画に設置する設計とする。これにより火災発生時に同時に監視機能を喪失することは考えにくく，重要度クラス3 の設備として火災に対して代替性を有することから，消防法又は建築基準法に基づく火災感知器を設ける設計とする。

なお，上記の監視を行う事故時放射線モニタ監視盤を設置する中央制御室については火災発生時の影響を考慮し，固有の信号を発するアナログ式の煙感知器，アナログ式の熱感知器の異なる種類の感知器を組み合わせて設置する設計とする。

○不燃性材料であるコンクリート又は金属により構成された火災防護対象機器を設けた火災区域又は火災区画

不燃性材料であるコンクリート又は金属により構成された配管，容器，タンク，弁，コンクリート構築物等については流路，バウンダリとしての機能が火災により影響を受けないことから消防法又は建築基準法に基づく火災感知器を設ける設計とする。

③ 火災受信機盤

火災感知設備の火災受信機盤は中央制御室に設置し，火災感知設備の作動状況を常時監視できる設計とする。

また，受信機盤はアナログ式の受信機により以下のとおり，火災発生場所を特定できる設計とする。

○アナログ式の火災感知器が接続可能であり，作動した火災感知器を1つずつ特定できる設計とする。

○水素の漏えいの可能性が否定できない蓄電池室及び軽油貯蔵タンクマンホール内の空間部に設置する非アナログ式の防爆型の煙感知器と防爆型の熱感知器及び主蒸気管トンネル室内の非アナログ式の熱感知器が接続可能であり，作動した火災感知器を1つずつ特定できる設計とする。

○屋外の海水ポンプ室を監視する非アナログ式の炎感知器及びアナログ式の熱感知カメラが接続可能であり，感知区域を1つずつ特定できる設計とする。なお，屋外区域熱感知カメラ火災受信機盤においては，カメラ機能による映像監視(熱サーモグラフィ)により特定が可能な設計とする。

○原子炉建屋原子炉棟 6 階（オペレーティングフロア）を監視する非アナログ式の炎感知器が接続可能であり，作動した炎感知器を1つずつ特定できる設計とする。

また，火災感知器は以下のとおり点検を行うことができるものを使用する設計とする。

○自動試験機能または遠隔試験機能を有する火災感知器は，火災感知

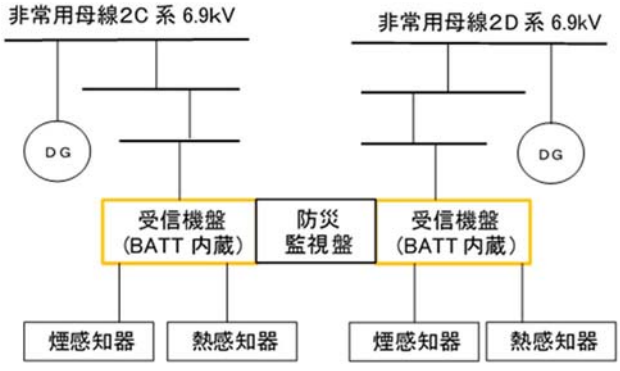
の機能に異常がないことを確認するため，定期的に自動試験または遠隔試験を実施する。

○自動試験機能または遠隔試験機能を持たない火災感知器は，火災感知器の機能に異常がないことを確認するため，消防法施行規則に基づき，煙等の火災を模擬した試験を定期的に実施する。

④ 火災感知設備の電源確保

安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画の火災感知設備は，外部電源喪失時においても自動火災感知設備を有効に作動することができる容量の蓄電池を設け，火災感知の機能を失わないように電源を確保する設計とする。

また，原子炉の安全停止に必要な機器等及び放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域又は火災区画の火災感知設備に供給する電源は，非常用ディーゼル発電機が接続する非常用電源より受電する設計とする。火災感知設備の電源確保の概要を第 1-19 図に示す。



第 1-19 図 火災感知設備の電源確保の概要

以上より，安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置

する火災感知器については，火災防護に係る審査基準に準じ，環境条件等を考慮した火災感知器で異なる種類を組み合わせて設置する。火災受信機盤は中央制御室に設置し，火災感知設備の作動状況を常時監視できる設計とする。火災感知設備は非常用電源から受電する設計とする。

一部非アナログ式の感知器を設置するが，それぞれ誤作動防止対策を実施する。

また，受信機盤については，作動した感知器または感知エリアを１つずつ特定できる機能を有する設計とする。これらにより，火災感知設備については，十分な保安水準が確保されているものと考える。

(2)消火設備

［要求事項］

(2)消火設備

① 原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するための安全機能を有する構築物，系統及び機器が設置される火災区域または火災区画であって，火災時に煙の充満，放射線の影響等により消火活動が困難なところには，自動消火設備又は手動操作による固定式消火設備を設置すること。

② 放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器が設置される火災区域であって，火災時に煙の充満，放射線の影響等により消火活動が困難なところには，自動消火設備又は手動操作による固定式消火設備を設置すること。

③ 消火用水供給系の水源及び消火ポンプ系は，多重性又は多様性を備えた設計であること。

④ 原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物，系統及び機器相互の系統分離を行うために設けられた火災区域又は火災区画に設置される消火設備は，系統分離に応じた独立性を備えた設計であること。

⑤ 消火設備は，火災の火炎，熱による直接的な影響のみならず，煙，流出流体，断線，爆発等による二次的影響が安全機能を有する構築物，系統及び機器に悪影響を及ぼさないように設置すること。

⑥ 可燃性物質の性状を踏まえ，想定される火災の性質に応じた十分な容量の消火剤を備えること。

⑦ 移動式消火設備を配備すること。

⑧ 消火剤に水を使用する消火設備は，2 時間の最大放水量を確保できる

設計であること。

⑨ 消火用水供給系をサービス系または水道水系と共用する場合には，隔離弁等を設置して遮断する等の措置により，消火用水の供給を優先する設計であること。

⑩ 消火設備は，故障警報を中央制御室に吹鳴する設計であること。

⑪ 消火設備は，外部電源喪失時に機能を失わないように，電源を確保する設計であること。

⑫ 消火栓は，全ての火災区域の消火活動に対処できるよう配置すること。

⑬ 固定式のガス系消火設備は，作動前に職員等の退出ができるように警報を吹鳴させる設計であること。

⑭ 管理区域内で消火設備から消火剤が放出された場合に，放射性物質を含むおそれのある排水が管理区域外へ流出することを防止する設計であること。

⑮ 電源を内蔵した消火設備の操作等に必要な照明器具を，必要な火災区域及びその出入通路に設置すること。

(参考)

(2)消火設備について

①-1　手動操作による固定式消火設備を設置する場合は，早期に消火設備の起動が可能となるよう中央制御室から消火設備を起動できるように設計されていること。

上記の対策を講じた上で，中央制御室以外の火災区域又は火災区画に消火設備の起動装置を設置することは差し支えない。

①-2　自動消火設備にはスプリンクラー設備，水噴霧消火設備及びガス系消火設備（自動起動の場合に限る。）があり，手動操作による固定式消火設備には，ガス系消火設備等がある。中央制御室のように常時

人がいる場所には，ハロン 1301 を除きガス系消火設備が設けられていないことを確認すること。

④ 「系統分離に応じた独立性」とは，原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物，系統及び機器が系統分離を行うため複数の火災区域又は火災区画に分離して設置されている場合に，それらの火災区域又は火災区画に設置された消火設備が，消火ポンプ系（その電源を含む。）等の動的機器の単一故障により，同時に機能を喪失することがないことをいう。

⑦ 移動式消火設備については，「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則（昭和５３年通商産業省令第７７号）第８５条の５」を踏まえて設置されていること。

⑧ 消火設備のための必要水量は，要求される放水時間及び必要圧力での最大流量を基に設計されていること。この最大流量は，要求される固定式消火設備及び手動消火設備の最大流量を合計したものであること。

なお，最大放水量の継続時間としての 2 時間は，米国原子力規制委員会(NRC)が定める Regulatory Guide 1.189 で規定されている値である。

上記の条件で設定された防火水槽の必要容量は，Regulatory Guide1.189 では 1,136,000 リットル（1,136m^3）以上としている。

消火設備は，以下に示すとおり，安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画の火災を早期に消火するために設置する。

（資料6，9）

なお，消火設備の故障警報が発報した場合は，中央制御室及び現場制御盤の警報を確認し，消火設備が故障している場合には早期に補修を行う。

消火設備は以下を踏まえて設置する。

① 原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備

原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備は，当該機器等の設置場所が，火災発生時の煙の充満及び放射線の影響（以下「煙の充満等」という。）により消火活動が困難となるかを考慮して，ハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所），二酸化炭素自動消火設備（全域）等を設置する設計する。

(a) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画の選定

原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画は，「(b) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画の選定」に示した火災区域又は火災区画を除き，火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となるものとして選定する。

(b) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画の選定

原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画のうち，消火活動が困難とならないところを以下に示す。

○屋外の火災区域（海水ポンプ室，非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室及び原子炉建屋付属棟屋上）

海水ポンプ室，非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室，スイッチギア室チラーユニット，中央制御室チラーユニット及びバッテリー室送風機設置区域については屋外の火災区域であり，火災が発生しても煙は充満しない。よって煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域として選定する。

○可燃物が少なく，火災が発生しても煙が充満しない火災区域又は火災区画

以下に示す火災区域又は火災区画は，可燃物を少なくすることで煙の発生を抑える設計とし，煙の充満により消火困難とはならない箇所として選定する。各火災区域又は火災区画とも不要な可燃物を持ち込まないよう持込み可燃物管理を実施するとともに，点検に係る資機材等の可燃物を一時的に仮置きする場合は，不燃性のシートによる養生を実施し火災発生時の延焼を防止する設計とする。なお，可燃物の状況については，原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な機能を有する構築物，系統及び機器以外の構築物，系統及び機器も含めて確認する。

・主蒸気管トンネル室

室内に設置している機器は，主蒸気外側隔離弁（空気作動弁），電動弁等である。これらは，不燃性材料又は難燃性材料で構成されており，可燃物としては駆動部に潤滑油を使用している。駆動部は，不燃性材料である金属で覆われており，設備外部で燃え広がることはない。その他に可燃物は設置しておらず，ケーブルは電線管

及び金属製の可とう電線管で敷設する設計とする。

○中央制御室

中央制御室は，常駐する運転員によって火災感知器による早期の火災感知並びに消火活動が可能であり，火災の規模が拡大する前に消火が可能であること，万が一火災により煙が発生した場合でも建築基準法に準拠した容量の排煙設備により排煙が可能な設計とすることから，消火活動が困難とならない火災区域として選定する。

なお，中央制御室床下コンクリートピットは，速やかな火災発生場所の特定が困難であると考えられることから，固有の信号を発する異なる種類の火災感知設備（煙感知器と熱感知器），及び中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

○原子炉格納容器

原子炉格納容器内において万が一火災が発生した場合でも，原子炉格納容器内の空間体積（約9,800m^3）対してパージ用排風機の容量が約16,980m^3／hであり，排煙が可能な設計とすることから，消火活動が困難とならない火災区域として選定する。

○原子炉建屋原子炉棟6階（オペレーティングフロア）

原子炉建屋原子炉棟6階（オペレーティングフロア）は可燃物が少なく大空間となっているため，煙の充満により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画として選定する。

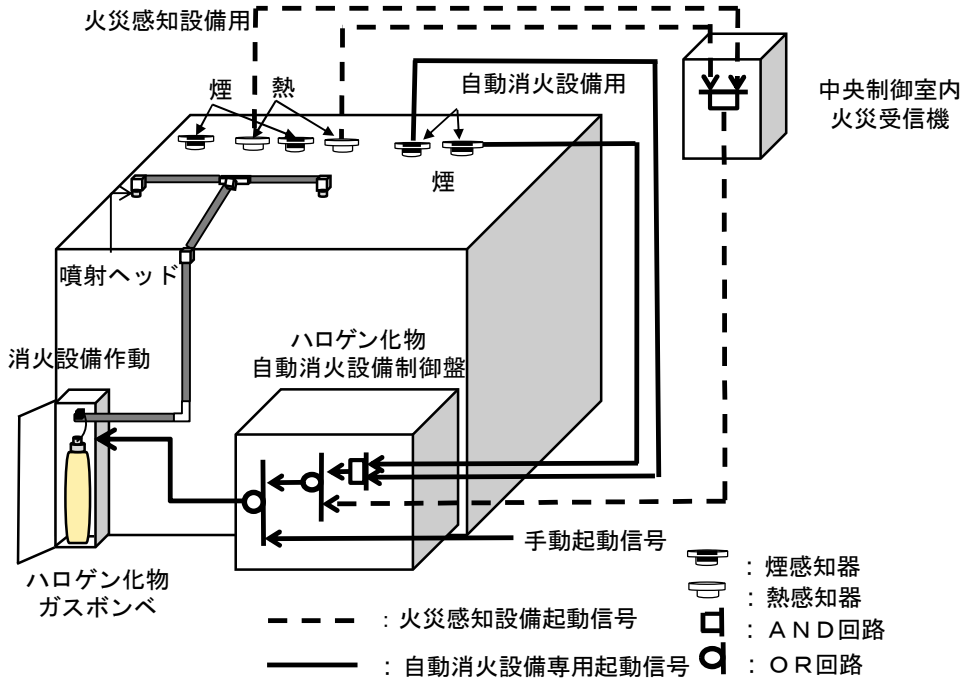
(c)火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画に設置する消火設備

火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画は，自動または中央制御室からの手動操作による固定式消火設備であるハロゲン化物自動消火設備（全域）を設置し消火を行う。

第 1-20(1)図にハロゲン化物自動消火設備（全域）の概要を示す。

本消火設備を自動起動する場合は，単一の感知器の誤作動によって消火設備が誤動作することのないよう，煙感知器及び熱感知器それぞれ 2 つの動作をもって消火する設計とする。さらに，中央制御室からの遠隔手動起動又は現場での手動起動によっても消火を行うことができる設計とする。

ハロゲン化物自動消火設備（全域）の自動起動用の煙感知器と火災熱感知器は，火災防護審査基準「2.2.1(1)②」に基づき設置が要求される「固有の信号を発する異なる種類の感知器」とする。



第 1-20(1)図　ハロゲン化物自動消火設備（全域）概要図

ただし，燃料油等を多量に貯蔵し，人が常駐する場所ではない区域又は区画は二酸化炭素自動消火設備（全域）を設置する設計とする。

第 1-20(2)図に二酸化炭素自動消火設備（全域）の概要を示す。

また，通路部などに設置される油内包設備など可燃物となるものについてはハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

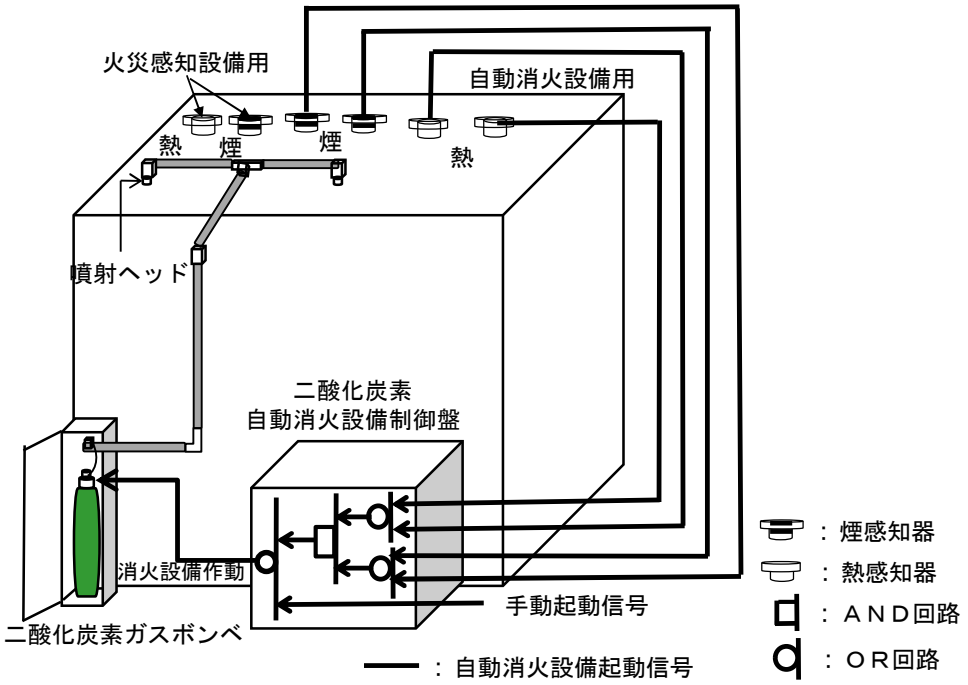
上記のことから，以下については，ハロゲン化物自動消火設備（全域）と異なる消火設備を設置し消火を行う設計とする。

○ 非常用ディーゼル発電機室，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室

非常用ディーゼル発電機室，非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室は，人が常駐する場所ではないことから，二酸化炭素自動消火設備（全域）を設置する設計とする。

また，薬剤は人的に毒性が高いため，自動起動については，万が一，当該室内に人がいた場合の人身安全を考慮し，自動消火設備用の煙感知器と熱感知器のそれぞれ 2 つのうち 1 つずつ（熱感知器と煙感知器）の動作をもって消火する設計とする。

（添付資料 6）



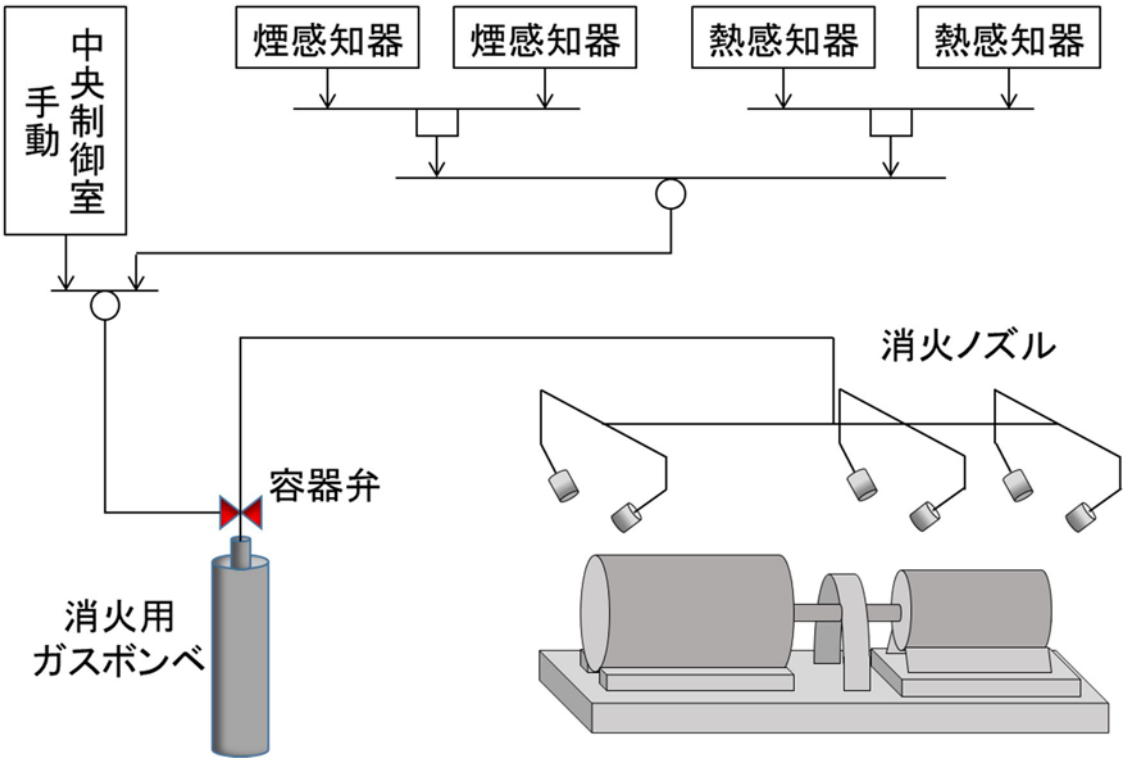
第 1-20(2)図 二酸化炭素自動消火設備（全域）の概要

○原子炉建屋通路部

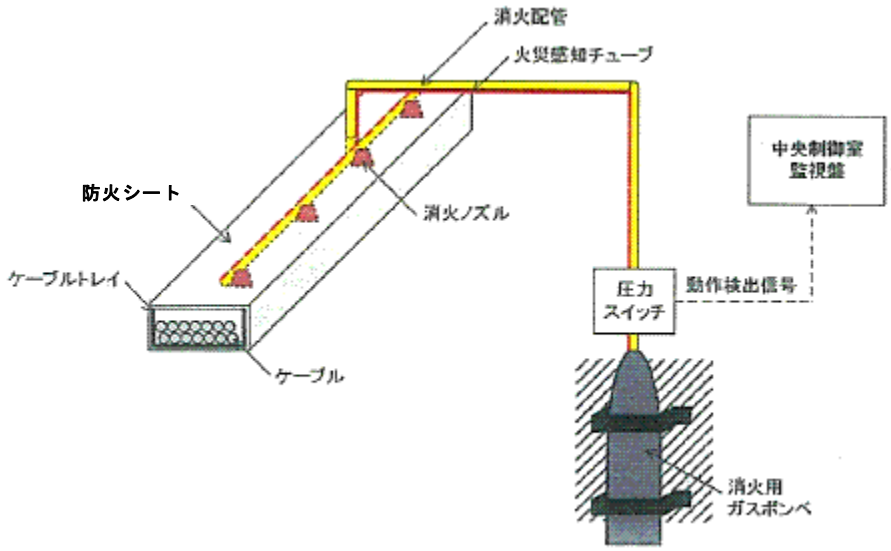
原子炉建屋通路部は，ほとんどの階層が周回できる通路となっており，その床面積は最大で約 969m^2（原子炉建屋 3 階周回通路）と大きい。さらに,各階層間は開口部（機器ハッチ）が存在するが，これらは水素対策により通常より開口状態となる。

原子炉建屋通路部は，火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる可能性が否定できないことから，通路部などに設置される油内包設備など可燃物となるものに対しては，自動又は中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置し消火を行う設計とし，これ以外（計器など）の可燃物については消火器で消火を行う設計とする。

なお，これらの固定式消火設備に使用するガスは，ハロン 1301 または FK-5-1-12 とする。設備の概要図を第 1-21 図に示し，具体的な設備の詳細は資料 6 に示す。これら固定式消火設備のうち，ケーブルトレイの消火設備については，実証試験により設計の妥当性を確認する。



油内包設備に対する消火設備の例（ハロン1301）



電気品消火設備の例（ケーブルトレイを例示）（FK-5-1-12）

第1-21図 ハロゲン化物自動消火設備（局所）の概要

(d)火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とはならない火災区域又は火災区画に設置する消火設備

○屋外の火災区域(海水ポンプ室，非常用ディーゼル発電機ルーフベントファン室，スイッチギア室チラーユニット及びバッテリー室送風機設置区域)

火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない屋外の火災区域については，消火器または移動式消火設備で消火を行う設計とする。

○可燃物が少ない火災区域又は火災区画

火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画のうち，可燃物が少ない火災区域又は火災区画については，消火器で消火を行う設計とする。

○中央制御室

火災発生時に煙が充満する前に，駐在している運転員により消火が可能であるため，ハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所）は設置せず，粉末消火器で消火を行う設計とする。また，中央制御室制御盤内の火災については，電気機器への影響がない二酸化炭素消火器で消火を行う設計とする。

なお，中央制御室床下コンクリートピットは，火災に関する系統分離の観点からハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

○原子炉格納容器

原子炉格納容器内において万が一火災が発生した場合でも，原子炉格納容器の空間体積（約 9,800m^3）に対してパージ用排風機の容量が約 16,980m^3／h であることから，煙が充満するおそれはないと考えられるため，消火活動が可能である。

よって，原子炉格納容器内の消火については，消火器を用いて行う設計とする。また，消火栓を用いても対応できる設計とする。

低温停止中の原子炉格納容器内の火災に対して設置する消火器については，消防法施行規則第六，七条に基づき算出される必要量の消火剤を有する消火器を設置する設計とする。設置位置については原子炉格納容器内の各フロアに対して火災防護対象機器並びに火災源から消防法施行規則に定めるところの 20m 以内の距離に配置する。また，原子炉格納容器漏えい率検査及び起動中においては，原子炉格納容器から消火器を移動し，原子炉格納容器入口近傍に消火器を設置する。

原子炉格納容器内の火災発生時には，初期消火要員，自衛消防隊が建屋内の消火器を持って現場に向かうことを定め，定期的に訓練を実施する。

原子炉格納容器内での消火栓による消火活動を考慮し，原子炉格納容器入口近傍に必要な数量の消火ホースを配備する設計とする。

定期検査中において，原子炉格納容器内での点検に関連し，火気作業，危険物取扱作業を実施する場合は，火災防護計画にて定める管理手順に従って消火器を配備する(資料 8)。

○原子炉建屋原子炉棟 6 階（オペレーティングフロア）

原子炉建屋原子炉棟 6 階（オペレーティングフロア）は煙の充満により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画であるため，消火器

で消火を行う設計とする。

② 放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備(資料9)

放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域又は火災区画については，火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となるものとして選定し，自動または中央制御室からの手動操作による固定式消火設備であるハロゲン化物自動消火設備（全域）またはハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置し消火を行う設計とする。なお，この固定式消火設備に使用するガスはハロン1301又はFK-5-1-12とする。ただし，以下については，上記と異なる消火設備を設置し消火を行う設計とする。

・気体廃棄物処理設備設置区画

気体廃棄物処理系は，不燃性材料である金属により構成されており，フェイル・クローズ設計の隔離弁を設ける設計とすることにより，火災による安全機能への影響は考えにくい。また，放射線モニタ検出器は隣接した検出器間をそれぞれ異なる火災区画に設置する設計とし，火災発生時に同時に監視機能が喪失することを防止する。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより区画内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・液体廃棄物処理設備設置区画

液体廃棄物処理系は，不燃性材料である金属により構成されており，フェイル・クローズ設計の隔離弁を設ける設計とすることにより，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより区画内の火災荷重を低く管

理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・サプレッション・プール水排水設備設置区画

サプレッション・プール水排水系は，不燃性材料である金属により構成されており，通常時閉状態の隔離弁を多重化して設ける設計とすることにより，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより区画内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・新燃料貯蔵庫

新燃料貯蔵庫は，金属とコンクリートに覆われており火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより庫内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋は，金属とコンクリートで構築された建屋であり，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより建屋内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・固体廃棄物貯蔵庫及び給水加熱器保管庫

固体廃棄物貯蔵庫及び給水加熱器保管庫は，金属とコンクリートで構築された建屋であり，固体廃棄物及び給水加熱器は金属容器に収められていることから火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより庫内

の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・固体廃棄物作業建屋及び廃棄物処理建屋

固体廃棄物作業建屋及び廃棄物処理建屋は，金属とコンクリートで構築された建屋であり，火災による安全機能への影響は考えにくい。加えて，消火活動の妨げとならないよう可燃物管理を行うことにより建屋内の火災荷重を低く管理する。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

一方，以下については，発火源となるようなものがなく可燃物管理により不要な可燃物を持ち込まない運用とすることから消火設備を設置しない設計とする。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・復水貯蔵タンクエリア

復水貯蔵タンクエリアは，金属等で構成するタンクであり，タンク内は水で満たされ火災の影響を受けないことから，消火設備は設置しない設計とする。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

・使用済燃料プール（原子炉建屋原子炉棟6階（オペレーティングフロア）に含む）

使用済燃料プールの側面，底面は金属とコンクリートに覆われており，プール内は水で満たされ使用済燃料は火災の影響を受けないことから，消火設備は設置しない設計とする。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

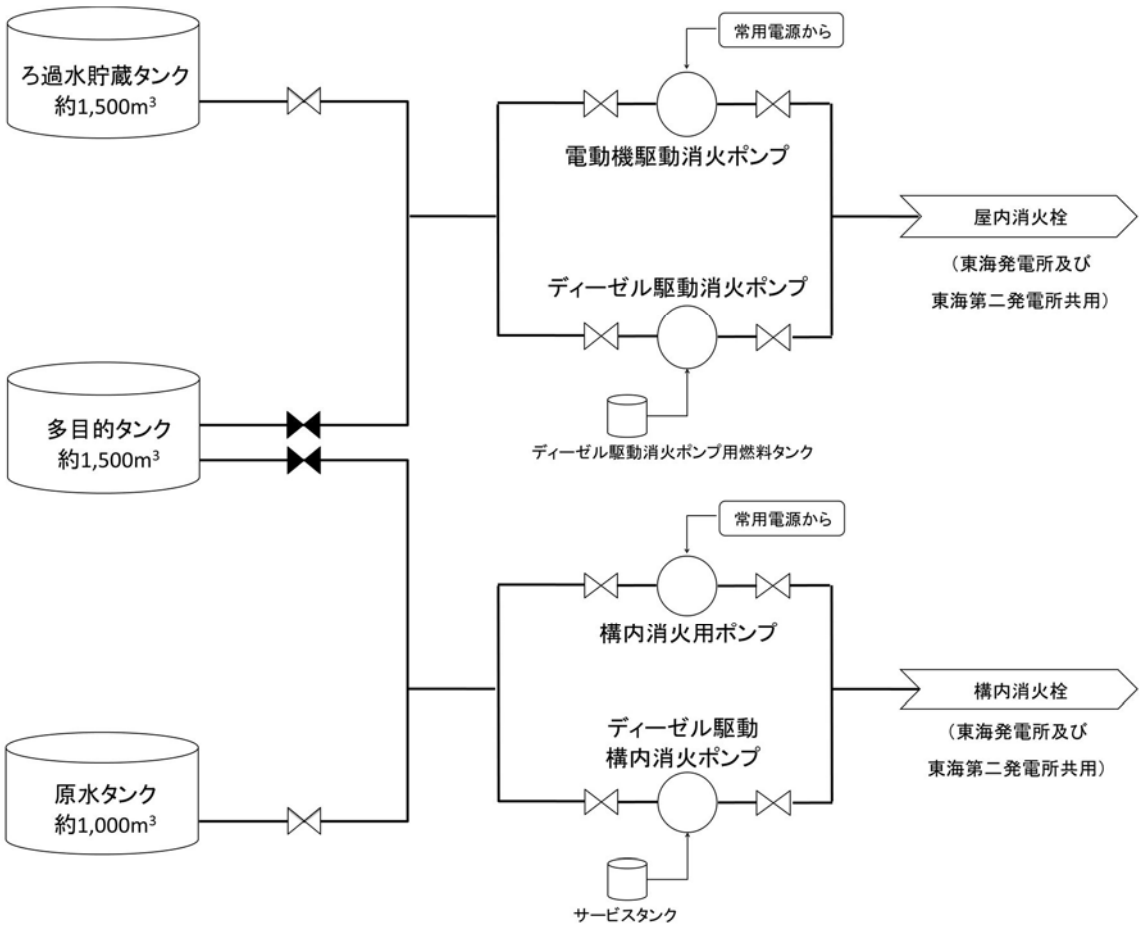
・使用済樹脂貯蔵タンク室

使用済樹脂貯蔵タンク室については，コンクリートに覆われており，タンク内は水で満たされ火災の影響を受けないことから，消火設備は設置しない設計とする。よって，消防法又は建築基準法に基づく消火設備で消火する設計とする。

③ 消火用水供給系の多重性又は多様性の考慮

消火用水供給系の水源は，屋内の火災区域又は火災区画用としては，ろ過水貯蔵タンク(約 1,500m^3)，多目的タンク(約 1,500m^3)を設置し多重性を有する設計とする。構内（屋外）の火災区域用としては，原水タンク(約 1,000m^3)，多目的タンク(約 1,500m^3)を設置し多重性を有する設計とする。なお，多目的タンクについては，屋内及び構内（屋外）で共用する設計とする。

屋内及び構内（屋外）消火用水供給系の消火ポンプは，電動機駆動ポンプ，ディーゼル駆動ポンプを 1 台ずつ設置し多様性を有する設計とする。なお，消火ポンプは外部電源喪失時であっても機能を喪失しないようディーゼル駆動消火ポンプについては起動用の蓄電池を配備する設計とする。



第1-22図　屋内及び構内（屋外）消火用水供給系の概要

④ 系統分離に応じた独立性の考慮

本要求は，「原子炉の安全停止に必要な機器等の相互の系統分離を行うために設ける火災区域又は火災区画の消火設備」に対して，「消火ポンプ系（その電源含む。）等の動的機器の単一故障により，同時に機能を喪失することがないこと」を要求していることから，該当する消火設備の系統分離に応じた独立性の考慮について以下に示す。

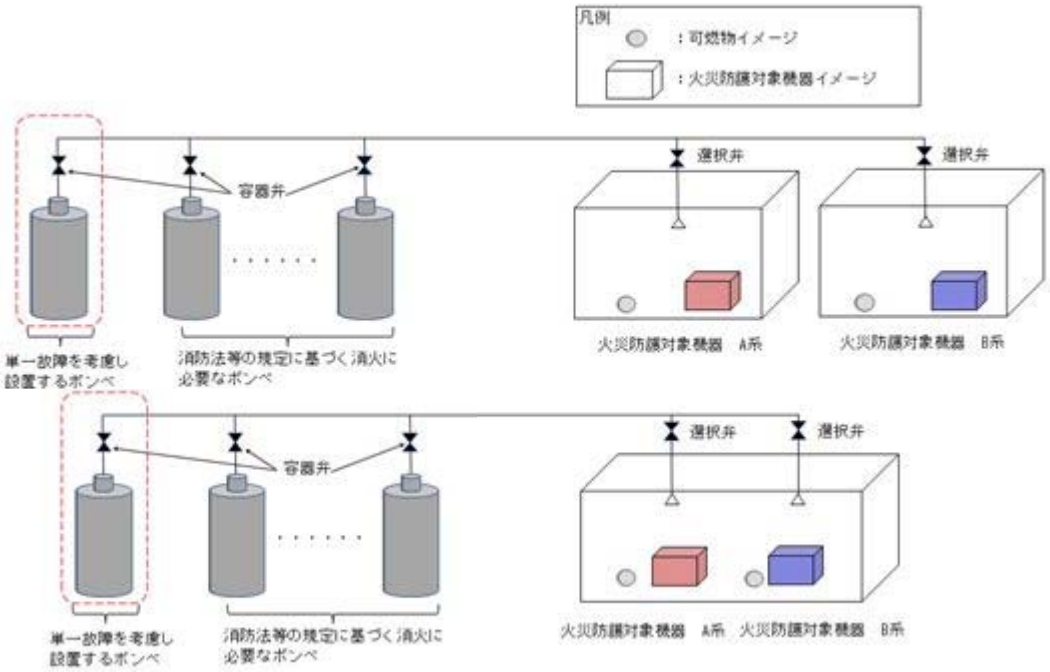
原子炉の安全停止に必要な機器等のうち，火災防護対象機器の系統分離を行うために設けられた火災区域又は火災区画に設置するハロゲン化

物自動消火設備（全域）及び二酸化炭素自動消火設備（全域）は，第1-23図に示すとおり，消火設備の動的機器の単一故障によっても，系統分離された機器等に対する消火設備の消火機能が同時に喪失することがないよう設計する。

a. 静的機器である消火配管は，24時間以内の単一故障の想定が不要であり，また，基準地震動S_sで損傷しないよう設計するため，多重化しない設計とする。

b. ハロゲン化物自動消火設備（全域）及び二酸化炭素自動消火設備（全域）の動的機器である選択弁・容器弁の単一故障を想定しても，系統分離された火災防護対象機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備の機能が同時に機能喪失しないよう設計する。

具体的には，系統分離された火災防護対象機器等を設置するそれぞれの火災区域又は火災区画に対して一つの消火設備で消火を行う場合，容器弁及びボンベを必要数より１以上多く設置する。また，容器弁の作動信号についても動的機器の単一故障により同時に機能を喪失しない設計とする。さらに，選択弁を介した一つのラインで系統分離された相互の火災防護対象機器等を消火する場合は，当該選択弁を多重化する。



第1-23図 系統分離に応じた独立性を考慮した消火設備概要

⑤ 火災に対する二次的影響を考慮

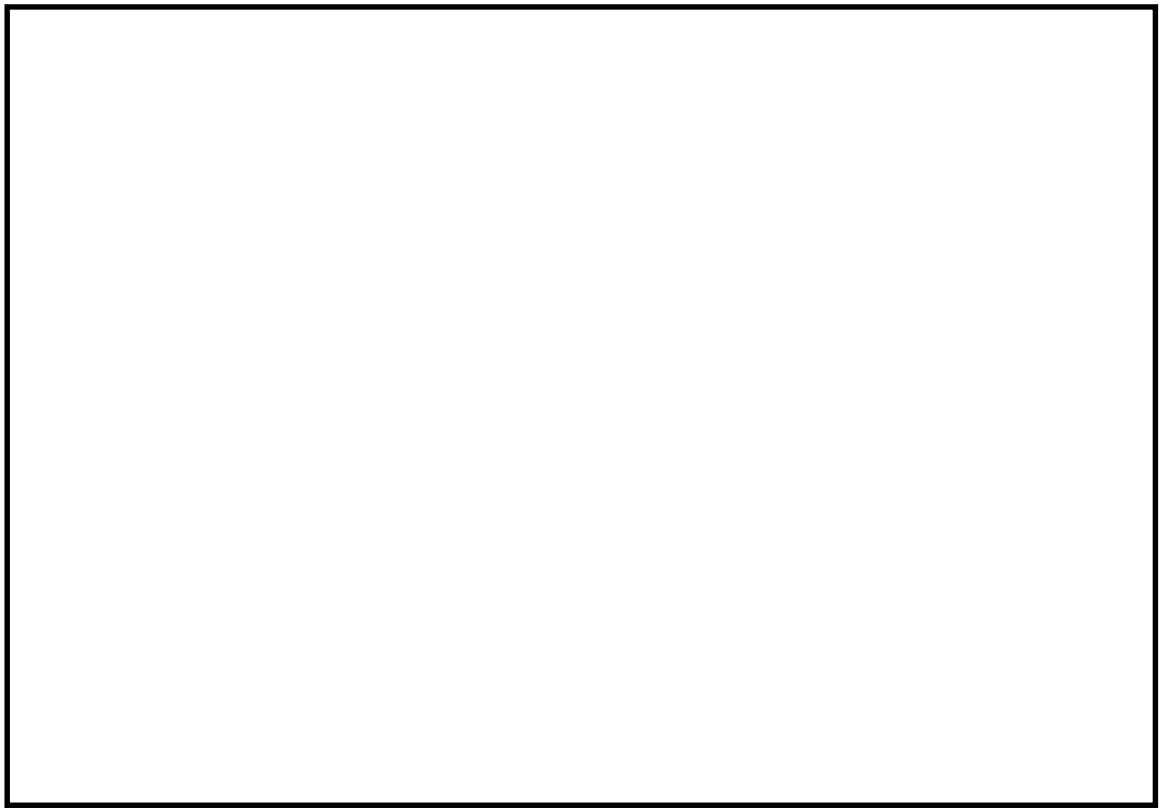
ハロゲン化物自動消火設備（全域）及び二酸化炭素自動消火設備（全域）は，電気絶縁性の高いガスを採用することで，火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災，熱による直接的な影響の他，煙，流出流体，断線及び爆発の二次的影響を受けず，安全機能を有する機器等に悪影響を及ぼさぬよう，消火対象となる火災区域又は火災区画とは別のエリアにボンベ及び制御盤を設置する設計とする（第 1-24，1-25，1-26 図）。また，防火ダンパを設け煙の二次的影響が安全機能を有する構築物，系統及び機器に悪影響を及ぼさない設計とする。

また，これらの消火設備のボンベは，火災による熱の影響を受けても破損及び爆発が発生しないよう，ボンベに接続する安全弁によりボンベの過圧を防止する設計とする。

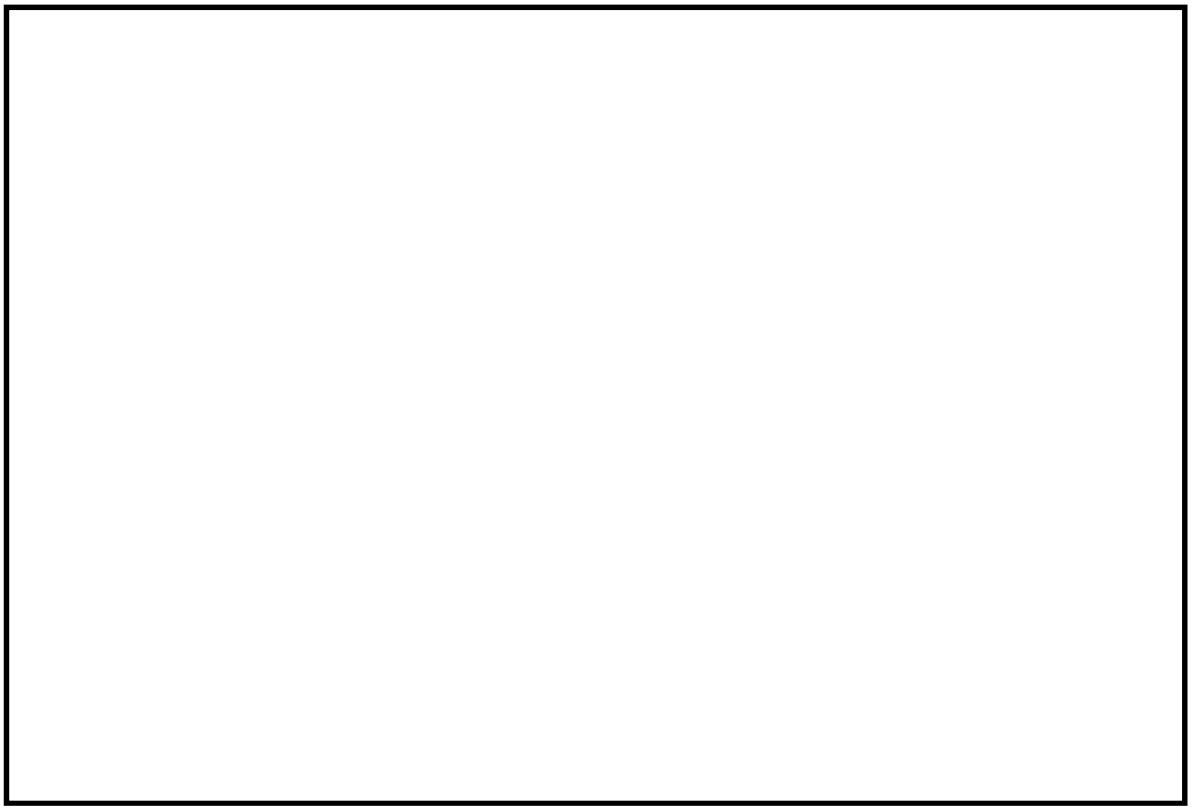
ハロゲン化物自動消火設備（局所）は，電気絶縁性の高いガスを採

用するとともに，ケーブルトレイ消火設備及び電源盤・制御盤消火設備については，ケーブルトレイ内又は盤内に消火剤を留めることとする。消火対象と十分に離れた位置にボンベ及び制御盤等を設置することで，火災の火炎，熱による直接的な影響のみならず，煙，流出流体，断線及び爆発等の二次的影響が，火災が発生していない安全機能を有する機器等におよばない設計とする。

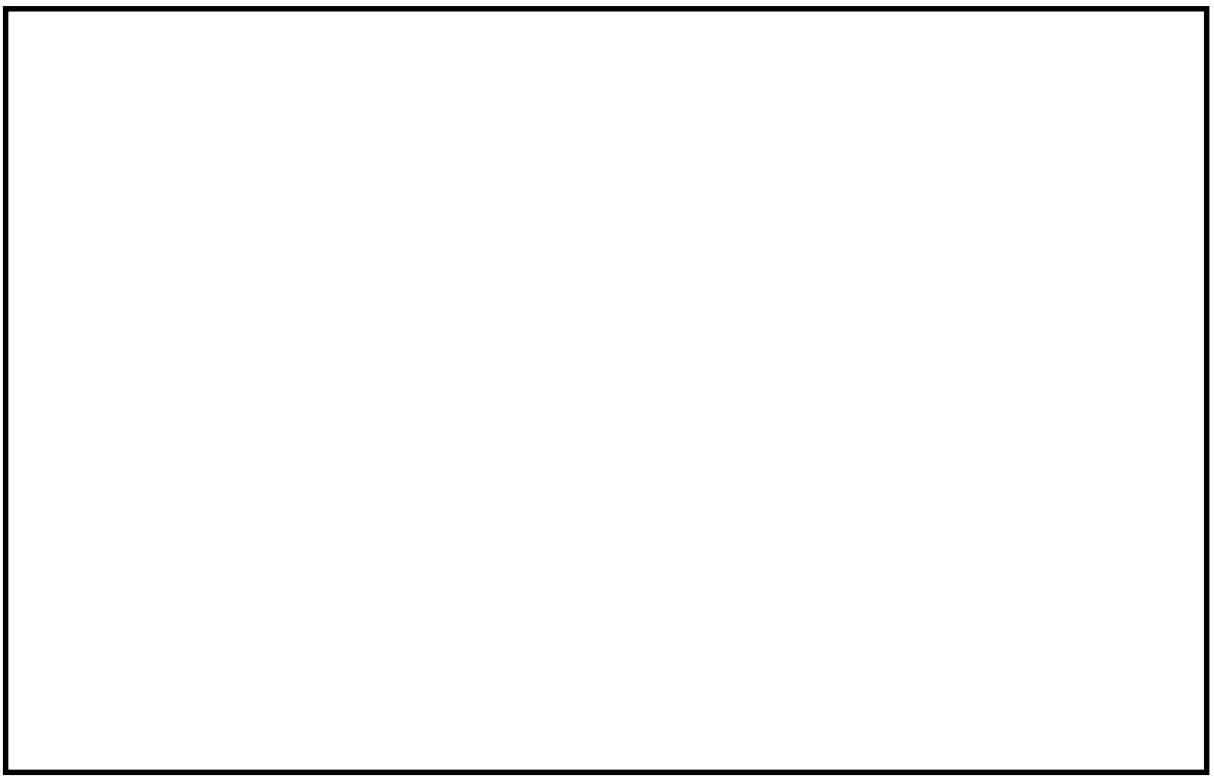
また，中央制御室床下コンクリートピットに設置するハロゲン化物自動消火設備（局所）についても電気絶縁性が高く，人体への影響が小さいハロン1301 を採用するとともに，消火対象となる機器が設置されている火災区域又は火災区画とは別の区画に設置し，火災による熱の影響を受けても破損及び爆発が発生しないよう，ボンベに接続する安全弁によりボンベの過圧を防止する設計とする。



第1-24図 火災に対する二次的影響を考慮した
ハロゲン化物自動消火設備（全域）の例



第1-25図 火災に対する二次的影響を考慮した
二酸化炭素自動消火設備（全域）の消火対象物の例



第1-26図 火災に対する二次的影響を考慮した
二酸化炭素自動消火設備（全域）の消火対象物の例

⑥ 想定される火災の性質に応じた消火剤の容量

油火災（油内包設備や燃料タンクからの火災）が想定される非常用ディーゼル発電機室，及び非常用ディーゼル発電機燃料デイタンク室には，消火性能の高い二酸化炭素自動消火設備（全域）を設置しており，消防法施行規則第十九条に基づき算出される必要量の消火剤を配備する設計とする。

その他の火災防護対象機器がある火災区域又は火災区画に設置するハロゲン化物自動消火設備（全域）については，消防法施行規則第二十条に基づき，単位体積あたりに必要な消火剤を配備する(第 1-8 表)。

また，ハロゲン化物自動消火設備（局所）については消防法施行規則第二十条並びに試験結果に基づき，単位体積あたりに必要な消火剤を配備する設計とする。

火災区域又は火災区画に設置する消火器については，消防法施行規則第六条～八条に基づき延床面積又は床面積から算出される必要量の消火剤を配備する設計とする。

消火剤に水を使用する消火用水の容量は，「⑧消火用水の最大放水量の確保」に示す。

第 1-8 表 消火剤の容量(残留熱除去系ポンプ(A)室の例)

対　象	容積 (m^3)	消火に必要な消火剤容量 (kg)	消火用ボンベ容量	
			容量(kg)	本数
残留熱除去系ポンプ(A)室	319	106.9	180kg	3

⑦ 移動式消火設備の配備

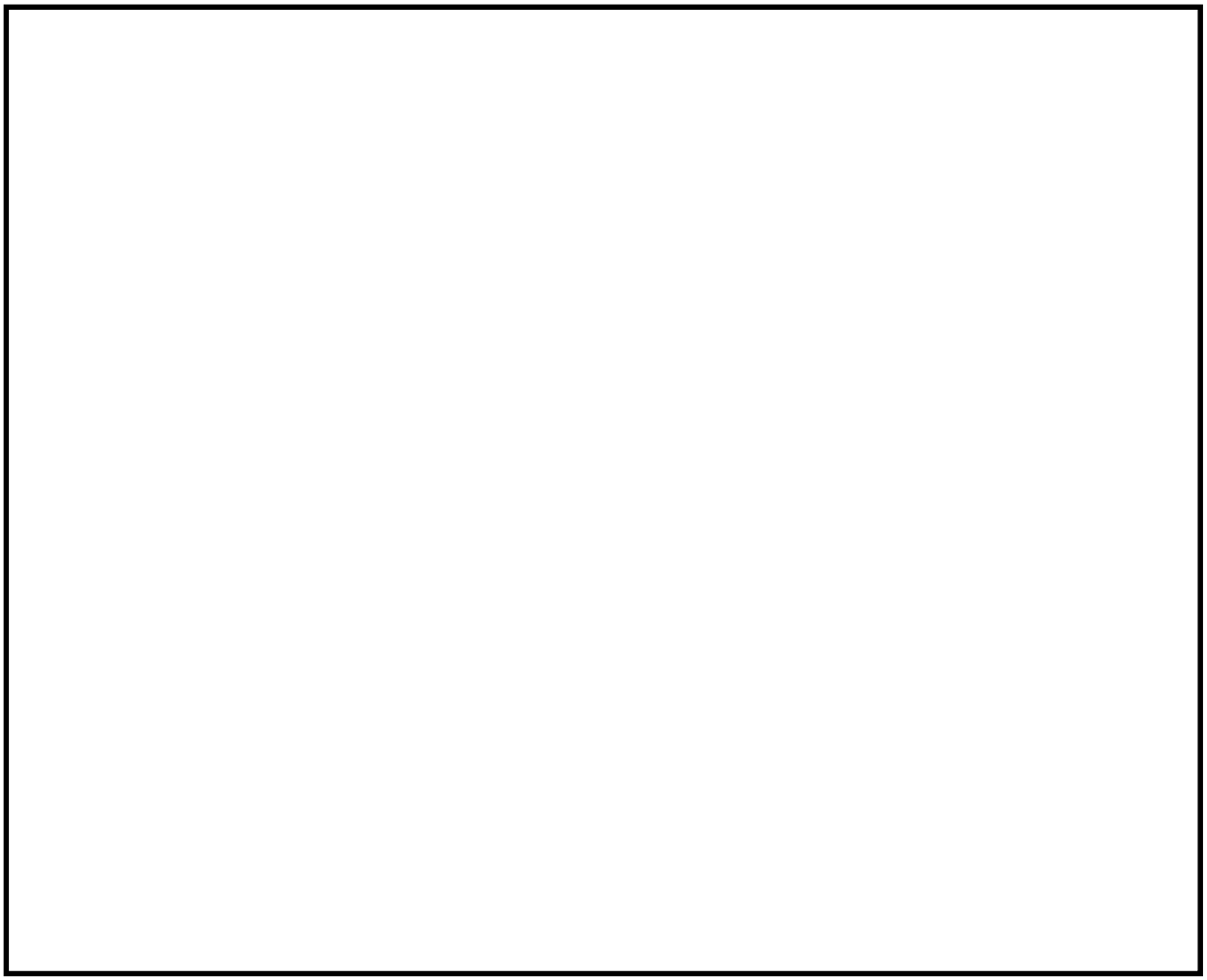
移動式消火設備は，「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則」第八十三条第五号に基づき，恒設の消火設備の代替として消火ホースなど資機材を備え付けている移動式消火設備 1 台（予備 1 台）を監視所近傍に配備する設計とする(第 1-27，1-28 図)。

また，監視所には自衛消防隊が 24 時間待機していることから，速やかな消火活動が可能である。

化学消防自動車

水槽付消防ポンプ車

第1-27図 化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ車



第1-28図　移動式消火設備の配置概要

⑧　消火用水の最大放水量の確保

消火用水供給系の水源の供給先は，屋内，屋外の各消火栓である。屋内，屋外の消火栓については，消防法施行令第十一条（屋内消火栓設備に関する基準），屋外消火栓は消防法施行令第十九条(屋外消火栓設備に関する基準)を満足するよう，２時間の最大放水量（120m^3）確保する設計とする。また，消火用水供給系の水源は東海発電所と東海第二発電所で一部共用であるが，万一，東海発電所，東海第二発電所においてそれぞれ単一の火災が同時に発生し，消火栓による放水を実施した場合に必要となる240m^{3}に対して十分な水量を確保する設計とする。

a. 消防法施行令第十一条要求

屋内消火栓必要水量 = 2 箇所(消火栓)×130ℓ/min×2 時間 = 31.2m^3

b. 消防法施行令第十九条

屋外消火栓必要水量 = 2 箇所(消火栓)×350ℓ/min×2 時間 = 84.0m^3

屋内消火栓並びに屋外消火栓について，2 時間の放水に必要な水量の総和は以下のとおりである。

屋内消火栓 31.2m^3 + 屋外消火栓 84.0 m^3 ＝ 115.2m^3 ≒ 120m^3

なお，屋内消火栓並びに屋外消火栓は東海発電所と一部共用しているため，万一，東海発電所，東海第二発電所においてそれぞれ単一の火災が同時に発生し，消火栓による放水を実施した場合に必要となる量は以下の通りである。

東海発電所：屋内消火栓 31.2m^3 + 屋外消火栓 84.0m^3 = 115.2m^3

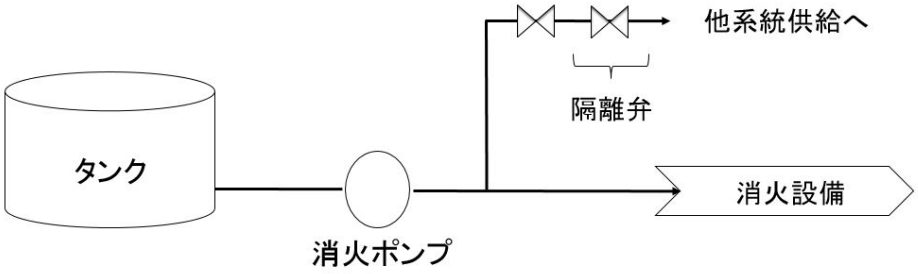
東海第二発電所：屋内消火栓 31.2m^3 + 屋外消火栓 84.0m^3 = 115.2m^3

東海発電所 115.2m^3 + 東海第二発電所 115.2m^3 = 230.4m^3 ≒ 240m^3

⑨ 水消火設備の優先供給

消火用水供給系は，飲料水系や所内用水系等と共用する場合には，隔離弁を設置して遮断する措置により，消火用水供給系の優先供給が可能な設計とする。

なお，水道水系とは共用しない設計とする（第 1-29 図）。



第1-29図 消火用水供給系の優先供給の概略図

⑩　消火設備の故障警報

電動機駆動消火ポンプ，ディーゼル駆動消火ポンプ，ハロゲン化物自動消火設備（全域）等の消火設備は，第 1-9 表に示すとおり故障警報を中央制御室に発する設計とする。

消火設備の故障警報が発報した場合には，中央制御室及び必要な現場の制御盤警報を確認し，消火設備が故障している場合には早期に補修を行う。

第1-9表　消火設備の主な故障警報

設　備		主な警報要素
消 火 ポンプ	電動機駆動消火ポンプ 構内消火用ポンプ	ポンプ自動停止，電動機過負荷 地絡・短絡
	ディーゼル駆動消火ポンプ ディーゼル駆動構内消火ポンプ	ポンプ自動停止，装置異常 （燃料及び冷却水レベルの低下）
全域	二酸化炭素自動消火設備 ハロゲン化物自動消火設備	設備異常（電源故障，断線等）
局所	ハロゲン化物自動消火設備 （ハロン1301）	設備異常（電源故障，断線等）
	ハロゲン化物自動消火設備 （FK-5-1-12※）	ガス放出

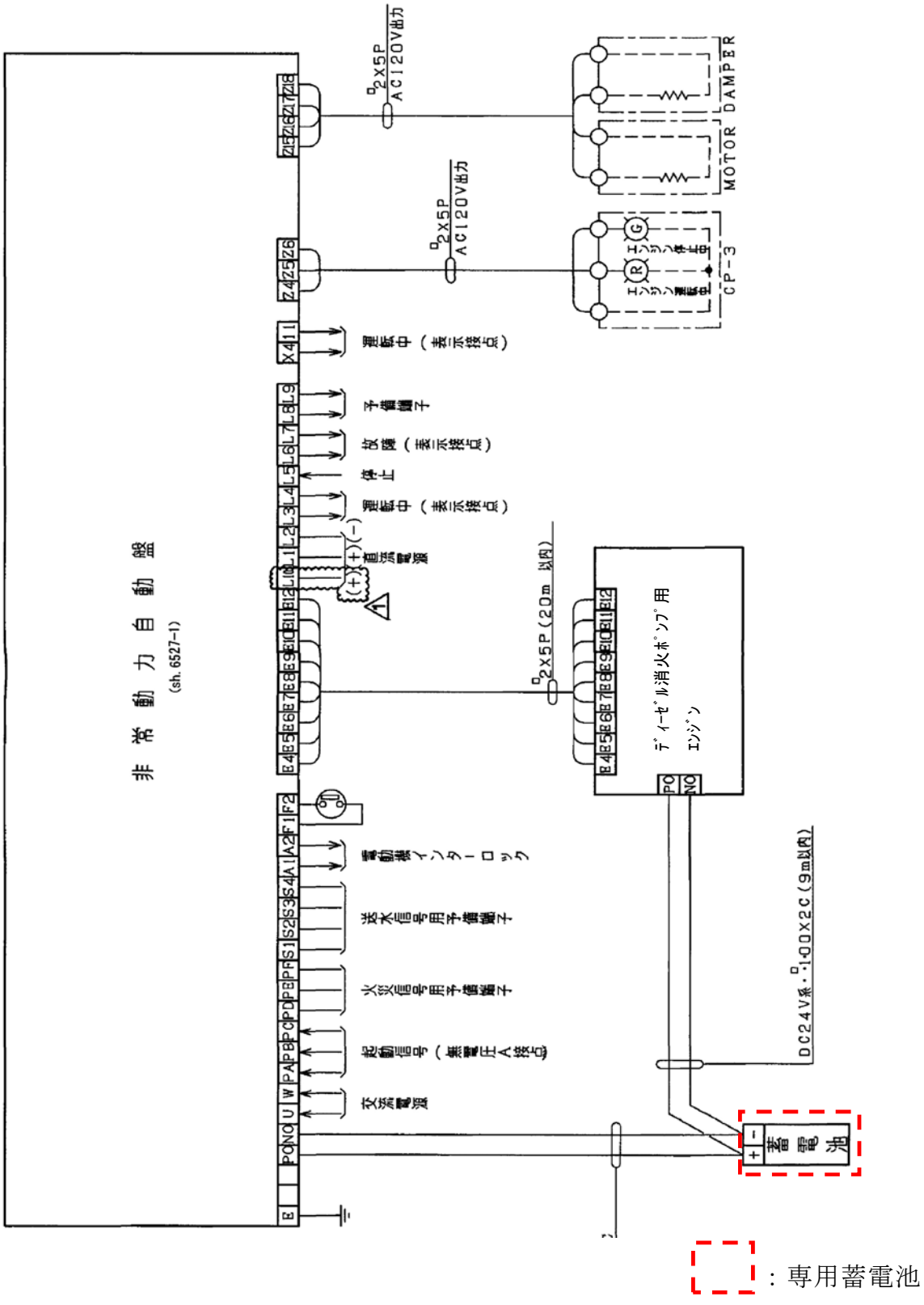
※火災検知は火災区域に設置された感知器または消火設備のガス放出信号により中央制御室に警報を発報する。また，動作原理を含め極めて単純な構造であることから故障は考えにくいが，中央制御室での警報と現場状況を確認することにより誤動作は確認可能。

⑪　消火設備の電源確保

消火用水供給系のうち，電動機駆動消火ポンプは常用電源から受電する設計とするが，ディーゼル駆動消火ポンプは，外部電源喪失時でもディーゼル機関を起動できるように，専用の蓄電池により電源を確保する設計とする（第 1-30 図）。

安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画の二酸化炭素自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所）（ケーブルトレイ用の消火設備は除く）は，外部電源喪失時においても消火が可能となるよう，非常用電源から受電するとともに，設備の作動に必要な電源を供給する蓄電池を設ける設計とする（第 1-31 図）。

ケーブルトレイ用のハロゲン化物自動消火設備（局所）は，作動に電源が不要な設計とする。



第 1-30 図 ディーゼル駆動消火ポンプ結線図

：蓄電池

第1-31図 二酸化炭素自動消火設備（全域）制御盤内蓄電池

⑫　消火栓の配置

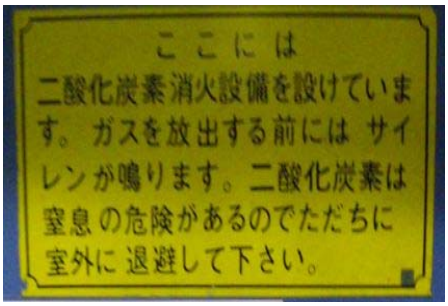
安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火栓は，消防法施行令第十一条（屋内消火栓設備に関する基準）及び第十九条(屋外消火栓設備に関する基準)に準拠し，屋内は消火栓から半径 25m の範囲，屋外は消火栓から半径 40m の範囲における消火活動に考慮して配置することによって，全ての火災区域の消火活動に対処できるように配置する設計とする(資料 6 添付資料 9)。

⑬　固定式ガス消火設備等の職員退避警報

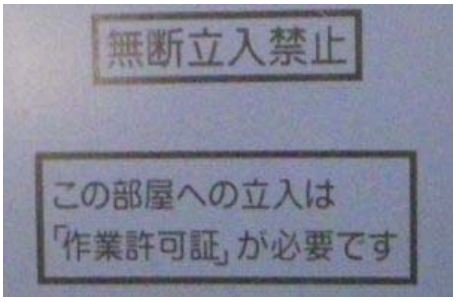
固定式ガス消火設備として設置するハロゲン化物自動消火設備（全域）及び二酸化炭素自動消火設備（全域）は，作動前に職員等の退出ができるように警報又は音声警報を吹鳴し,25 秒以上の時間遅れをもってハロンガス又は二酸化炭素を放出する設計とする（第 1-32 図)。

非常用ディーゼル発電機の二酸化炭素自動消火設備（全域）の作動について，添付資料 6 に示す。

ハロゲン化物自動消火設備（局所）のうち油内包設備の消火のために設置するものについては，消火剤に毒性がないが，消火時に生成されるフッ化水素が周囲に拡散することを踏まえ，設備作動前に退避警報を発する設計とする。また，局所ガス消火設備のうちケーブルトレイに設置するものについては，消火剤に毒性がなく，消火時に生成されるフッ化水素は防火シートを設置したケーブルトレイ内に留まり，外部に有意な影響を及ぼさないため，消火設備作動前に退避警報を発しない設計とする。



退避用標識



立入禁止表示

退避サイレン用音響装置

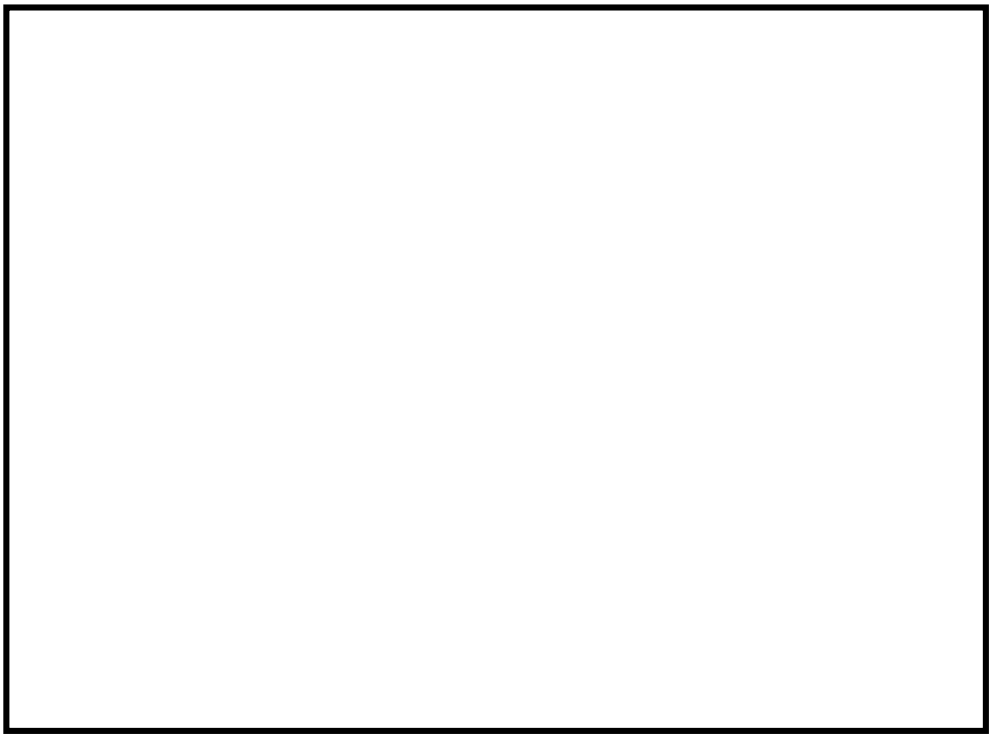
表示灯

第1-32図　二酸化炭素自動消火設備（全域）の退避警報装置の例

⑭　管理区域内からの放出消火剤の流出防止

管理区域内で放出した消火用水は，放射性物質を含むおそれがあることから，管理区域外への流出を防止するため，管理区域と非管理区域の境界に堰等を設置するとともに，各フロアの建屋内排水系により液体廃

棄物処理設備に回収し，処理する設計とする（第 1-33 図)。万一，流出した場合であっても建屋内排水系から系外に放出する前にサンプリングを実施し,検出が可能な設計とする。



第1-33図 原子炉棟大物搬入口における堰の設置

⑮　消火用の照明器具

屋内の消火栓，消火設備現場盤の設置場所及び設置場所までの経路には，移動及び消火設備の操作を行うため，現場への移動等の時間(最大約 1 時間程度（中央制御室での受信機盤確認後，建屋内の火災発生場所に到達する時間約 10 分，消火活動準備約 30 分～40 分）に加え，消防法の消火継続時間 20 分を考慮して，12 時間以上の容量の蓄電池を内蔵する照明器具を設置する設計とする(第 1-34 図)。

消火用の照明器具の配置を添付資料 7 に示す。

第1-34図 蓄電池を内蔵する照明器具の例

以上より，消火設備は火災防護に係る審査基準に則った設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合しているものと考える。

2.1.2.2　自然現象の考慮

［要求事項］

2.2.2　火災感知設備及び消火設備は，以下の各号に示すように，地震等の自然現象によっても，火災感知及び消火の機能，性能が維持される設計であること。

(1) 凍結するおそれがある消火設備は，凍結防止対策を講じた設計であること。

(2) 風水害に対して消火設備の性能が著しく阻害されない設計であること。

(3) 消火配管は，地震時における地盤変位対策を考慮した設計であること。

(参考)

火災防護対象機器等が設置される火災区画には，耐震B・C クラスの機器が設置されている場合が考えられる。これらの機器が基準地震動により損傷しS クラス機器である原子炉の火災防護対象機器の機能を失わせることがないことが要求されるところであるが，その際，耐震B・C クラス機器に基準地震動による損傷に伴う火災が発生した場合においても，火災防護対象機器等の機能が維持されることについて確認されていなければならない。

(2) 消火設備を構成するポンプ等の機器が水没等で機能しなくなることのないよう，設計に当たっては配置が考慮されていること。

東海第二発電所の安全を確保する上で設計上考慮すべき自然現象を網羅的に抽出するために，発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関わらず，国内外の基準や文献等に基づき事象を収集した。これらの事象のうち，発電所及びその周辺での発生可能性，安全施設への影響度，事象進展速度や事象進展に対する時間的余裕の観点から，原子炉設備に影響を与えるおそれがある自然現

象として，地震，津波，洪水，風(台風)，竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮を抽出した。

これらの自然現象のうち，落雷については，「2.2.1.3(1)落雷による火災の発生防止」に示す対策により，機能を維持する設計とする。

凍結については，以下「(1)凍結防止対策」に示す対策により機能を維持する設計とする。竜巻，風(台風)に対しては，「(2)風水害対策」に示す対策により機能を維持する設計とする。地震については，「(3)地震対策」に示す対策により機能を維持する設計とする。

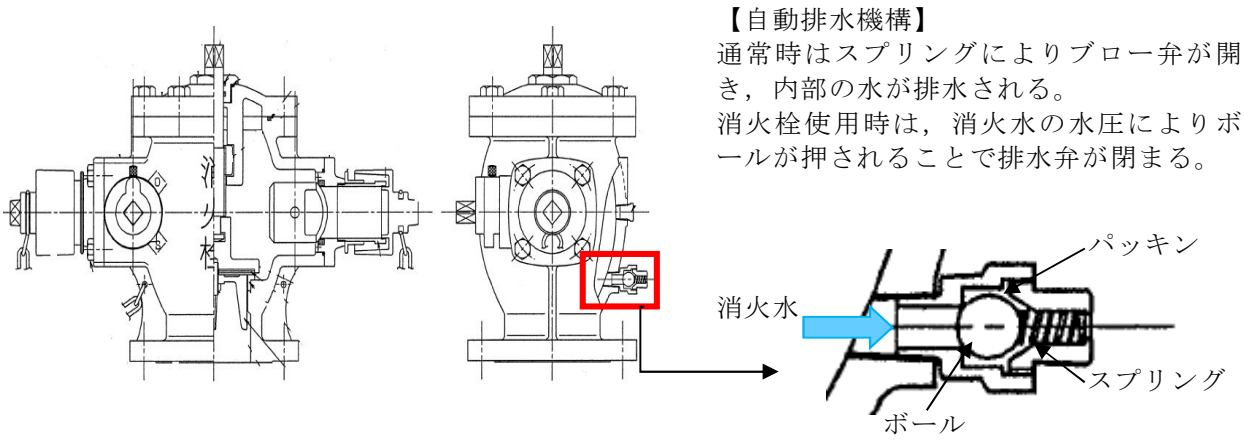
上記以外の津波，洪水，降水，積雪，火山の影響，生物学的事象，森林火災，高潮については，「(4)想定すべきその他の自然現象に対する対策について」に示す対策により機能を維持する設計とする。

(1) 凍結防止対策

屋外に設置する火災感知設備は，東海第二発電所において考慮している最低気温-12.7℃（水戸地方気象台（1897 年～2012 年））を踏まえ，約-20℃まで気温が低下しても使用可能な火災感知設備を設置する設計とする。

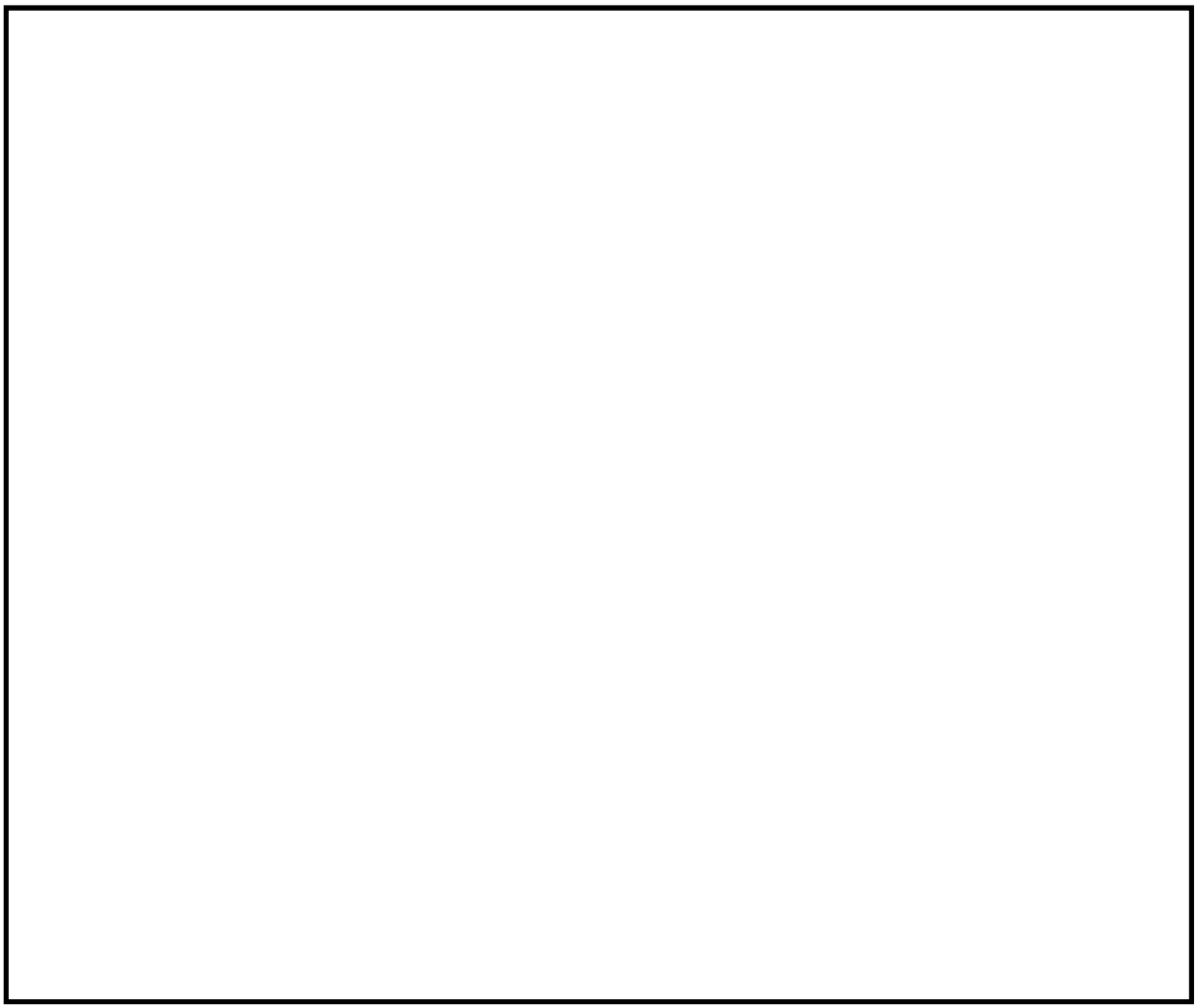
屋外消火設備の配管は，保温材により凍結防止対策を実施する。また，屋外消火栓は，消火栓内部に水が溜まらないような構造とし，自動排水機構により通常は排水弁を通水状態，消火栓使用時は排水弁を閉にして放水する設計とする（第 1-35，36，37 図)。

以上より，火災感知設備及び消火設備は，凍結防止対策を実施する設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合するものと考える。



第1-35図 屋外消火栓の構造概要

第1-36図 屋外消火配管への保温材設置状況



第1-37図 屋外消火栓配置図

(2) 風水害対策

消火用水供給系の消火設備を構成するポンプ等の機器は，風水害に対してその性能が著しく阻害されることがないよう，火災区域外の防潮堤が設置された敷地内の建屋内に配置する設計とする。二酸化炭素自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（局所）についても，風水害に対してその性能が著しく阻害されることがないよう，原子炉建屋，タービン建屋等の建屋内に配置する設計とする（第1-38図）。

また，ディーゼル駆動消火ポンプ，電動機駆動消火ポンプを設置してい

るポンプ室の壁，扉に対してその性能が著しく阻害されることがないよう浸水対策を実施する(第1-39図)。

屋外の火災感知設備は，火災感知器の予備を確保し，風水害の影響を受けた場合は，早期に火災感知器の取替を行うことにより，当該設備の機能及び性能を復旧する設計とする。

以上より，火災感知設備及び消火設備は，風水害対策を実施する設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合するものと考える。

第1-39図 消火ポンプ室ルーバー防水板設置状況

(3) 地震対策

①地震対策

安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画の火災感知設備及び消火設備は，安全機能を有する機器等の耐震クラスに応じて機能を維持できる設計とする。

安全機能を有する機器等に影響を及ぼす可能性がある火災区域又は火災区画に設置される，油を内包する耐震 B クラス及び耐震 C クラスの設備は，以下のいずれかの設計とすることで，地震によって耐震 B クラス及び耐震 C クラスの機器が機能喪失しても安全機能を有する機器等の機能喪失を防止する設計とする。

・基準地震動S_sにより油が漏えいしない。
・基準地震動S_sによって火災が発生しても，安全機能を有する機器等に影響を及ぼすことがないよう，基準地震動S_sによっても機能を維持する固定式消火設備によって速やかに消火する。
・基準地震動S_sによって火災が発生しても，安全機能を有する機器等の機能に影響を及ぼすことがないよう隔壁等により分離する。

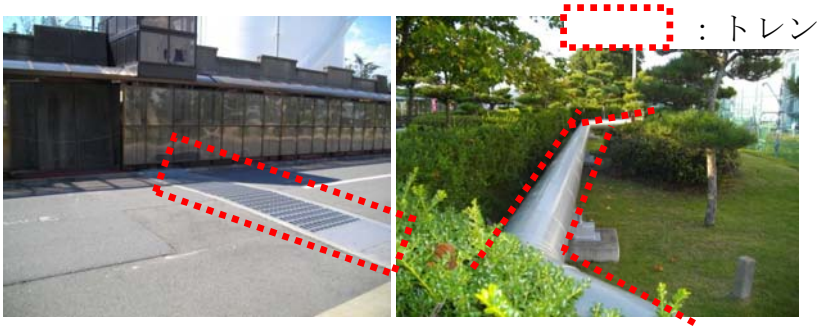
②地盤変位対策

屋外消火配管は，地上又はトレンチに設置し，地震時における地盤変位に対し，配管の自重や内圧，外的荷重を考慮し地盤沈下による建屋と周辺地盤との相対変位を考慮する設計とする。

地盤変位対策としては，水消火配管のレイアウト，配管の曲げ加工や配管支持長さからフレキシビリティを考慮した配置とすることで，地盤変位による変形を配管系統全体で吸収する設計とする(第 1-40 図)。

さらに，万が一，屋外消火配管が破断した場合でも消防車を用いて屋内消火栓へ消火用水の供給ができるよう，原子炉建屋の東西（各１ヶ所）に給水接続口を設置する。

以上より，火災感知設備及び消火設備は，地震対策及び地盤変位対策を実施する設計とすることから，火災防護に係る審査基準に適合するものと考える。



第1-40図 消火配管地下トレンチ，地上化状況

(4) 想定すべきその他の自然現象に対する対策について

審査基準の2.2.2に記載のある凍結，風水害，地震以外の東海第二発電所で考慮すべき自然現象については，津波，洪水，降水，積雪，火山の影響，生物学的事象，森林火災，高潮がある。これらの自然現象により感知及び消火の性能が阻害された場合は，原因の除去または早期の取替え，復旧を図る設計とするが，必要に応じて監視の強化や，代替消火設備の配備等を行い，必要な性能を維持することとする。

2.1.2.3　消火設備の破損，誤動作又は誤操作による安全機能への影響

［要求事項］

2.2.3　安全機能を有する構築物，系統及び機器は，消火設備の破損，誤動作又は誤操作によって，安全機能を失わない設計であること。また，消火設備の破損，誤動作又は誤操作による溢水の安全機能への影響について「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」により確認すること。

(参考)

原子力発電所の内部溢水影響評価ガイドでは，発生要因別に分類した以下の溢水を想定することとしている。

ａ．想定する機器の破損等によって生じる漏水による溢水

ｂ．発電所内で生じる異常状態（火災を含む。）の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水

ｃ．地震に起因する機器の破損等により生じる漏水による溢水

このうち，b.に含まれる火災時に考慮する消火水系統からの放水による溢水として，以下が想定されていること。

① 火災感知により自動作動するスプリンクラーからの放水

② 建屋内の消火活動のために設置される消火栓からの放水

③ 格納容器スプレイ系統からの放水による溢水

二酸化炭素は不活性であること，ハロゲン化物消火剤は，電気絶縁性が大きく揮発性も高いことから，設備の破損，誤作動または誤操作により消火剤が放出されても電気及び機械設備に影響を与えないことから，火災区域又は火災区画に設置するガス消火設備には，二酸化炭素自動消火設備（全域），ハロゲン化物自動消火設備（全域）等を選定する設計とする。

なお，非常用ディーゼル発電機は，非常用ディーゼル発電機室に設置する二酸化炭素自動消火設備（全域）の破損，誤作動又は誤操作により二酸化炭素が放出されることによる室内充満を考慮しても機能が喪失しないよう，外部から給気を取り入れる設計とする。

消火設備の放水による溢水等に対しては，「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」第九条に基づき，安全機能への影響がないよう設計する。

以上より，固定式ガス消火設備については，設備の破損，誤動作又は誤操作によっても電気及び機械設備に影響を与えないこと，消火設備の放水等による溢水等に対しては「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」第九条に基づき，安全機能に影響がないことを確認していることから，火災防護に係る審査基準に適合するものと考える。

2.1.3　火災の影響軽減

2.1.3.1　系統分離による影響軽減

【要求事項】

2.3　火災の影響軽減

2.3.1　安全機能を有する構築物，系統及び機器の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し，以下の各号に掲げる火災の影響軽減のための対策を講じた設計であること。

(1) 原子炉の高温停止及び低温停止に係わる安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域については，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁によって他の火災区域から分離すること。

(2) 原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その相互の系統分離及びこれらに関連する非安全系のケーブルとの系統分離を行うために，火災区画内または隣接火災区画間の延焼を防止する設計であること。

具体的には，火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルが次に掲げるいずれかの要件を満たしていること。

ａ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて互いの系列間が3 時間以上の耐火能力を有する隔壁等で分離されていること。

ｂ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて，互いの系列間の水平距離が6m以上あり，かつ，火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画に設置されていること。この場合，水平距離間には仮置きするものを含め可燃性物質が存在しないこと。

ｃ．互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルに

ついて，互いの系列間が１時間の耐火能力を有する隔壁等で分離されており，かつ，火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画に設置されていること。

(3) 放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物，系統及び機器が設置される火災区域については，3 時間以上の耐火能力を有する耐火壁によって他の火災区域から分離されていること。

(4) 換気設備は，他の火災区域の火，熱，又は煙が安全機能を有する構築物，系統及び機器を設置する火災区域に悪影響を及ぼさないように設計すること。また，フィルタの延焼を防護する対策を講じた設計であること。

(5) 電気ケーブルや引火性液体が密集する火災区域及び中央制御室のような通常運転員が駐在する火災区域では，火災発生時の煙を排気できるように排煙設備を設置すること。なお，排気に伴い放射性物質の環境への放出を抑制する必要が生じた場合には，排気を停止できる設計であること。

(6) 油タンクには排気ファン又はベント管を設け，屋外に排気できるように設計されていること。

(参考)

(1)耐火壁の設計の妥当性が，火災耐久試験によって確認されていること。

(2)-1 隔壁等の設計の妥当性が，火災耐久試験によって確認されていること。

(2)-2 系統分離をb.（6m 離隔＋火災感知・自動消火）またはc.（1 時間の耐火能力を有する隔壁等＋火災感知・自動消火）に示す方法により行う場合には，各々の方法により得られる火災防護上の効果が，a.（3 時間以上の耐火能力を有する隔壁等）に示す方法によって得られる効果と同等であることが示されていること。

安全機能を有する機器等の重要度に応じ，それらを設置する火災区域又

は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画の火災による影響に対し，火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

（資料7）

(1)原子炉の安全停止に係わる火災区域の分離

原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画は，3時間以上の耐火能力を有する耐火壁として，3時間耐火に設計上必要な150㎜以上の壁厚を有するコンクリート耐火壁や火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁(耐火障壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等)によって，他の火災区域と分離する設計とする。

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し，維持するために必要な構築物，系統及び機器を設置する火災区域については，系統分離のため，原則として安全区分Ⅰに属する火災区域とその他の区分に属する火災区域に分け，互いの火災区域を分離して設定する。

なお，火災区域のファンネルには，他の火災区域又は火災区画からの煙の流入防止を目的として，煙等流入防止対策をする設計とする。

原子炉格納容器は，3時間以上の耐火能力を有する耐火壁により他の火災区域と分離する。

以上より，原子炉の安全停止に係わる火災区域は，3時間以上の耐火能力を有する耐火壁によって他の火災区域と分離する設計であることから，火災防護に係る審査基準に適合するものと考える。

(2)火災防護対象機器等の系統分離

火災が発生しても原子炉を安全停止するためには，プロセスを監視しながら原子炉を停止し，冷却を行うことが必要であり，このためには，手動操作に期待してでも原子炉を安全停止するために必要な機能を確保するよう系統分離対策を講じる必要がある。

このため，単一の火災（任意の一つの火災）の発生によって，多重化された原子炉の安全停止機能がすべて喪失することのないよう，原子炉の安全停止に必要となる火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて以下に示すいずれかの系統分離対策を講じる設計とする。系統分離にあたっては，同一火災区域の互いに相違する系列の火災防護対象機器等及びこれらに関連する非安全系ケーブルの系統分離，並びに隣接火災区域からの影響がある場合に系統分離を行う設計とする。

a. 3時間以上の耐火能力を有する隔壁等による分離

互いに相違する系列の火災防護対象機器等を，火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を確認した隔壁等で分離する設計とする。具体的には，安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ，Ⅲの境界を3時間以上の耐火能力を有する耐火壁（耐火障壁，貫通部シール，防火扉，防火ダンパ等），隔壁等（耐火間仕切り，ケーブルトレイ等耐火ラッピング）で分離する設計とする(第1-10表)。

第1-10表　3時間の耐火能力を有する隔壁等による系統分離の概要

安全区分	安全区分Ⅰ	安全区分Ⅱ	安全区分Ⅲ
高温停止	原子炉隔離時冷却系 自動減圧系(A) 残留熱除去系(A)(低圧注水)	自動減圧系(B) 残留熱除去系(B)(低圧注水系)	高圧炉心スプレイ系
低温停止	残留熱除去系(A)(停止時冷却)	残留熱除去系(B)(停止時冷却)	－
動力電源	非常用所内交流電源系(2C) 直流電源(Ⅰ) 非常用ディーゼル発電機(2C)	非常用所内交流電源系(2D) 直流電源(Ⅱ) 非常用ディーゼル発電機(2D)	非常用所内交流電源系(HPCS) 直流電源(Ⅲ) 非常用ディーゼル発電機(HPCS)

安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ，Ⅲの境界を3時間以上の耐火能力を有する耐火壁・隔壁等で分離
単一の火災によっても安全区分Ⅰ・Ⅱが同時に機能喪失することを回避し，高温停止・低温停止を達成

b.水平距離6m以上の離隔距離の確保，火災感知設備及び自動消火設備の設置

互いに相違する系列の火災防護対象機器等を，仮置きするものを含めて可燃性物質のない水平距離6m以上の離隔距離を確保する設計とする。

火災感知設備は，自動消火設備を作動させるために設置し，自動消火設備の誤作動防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を作動させる設計とする。

c.1時間耐火隔壁による分離，火災感知設備及び自動消火設備の設置

互いに相違する系列の火災防護対象機器等を，火災耐久試験により1時間以上の耐火能力を確認した隔壁等(耐火間仕切り，ケーブルトレイ等耐火ラッピング)で分離する設計とする。

火災感知設備は，自動消火設備を作動させるために設置し，自動消火設備の誤作動防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を作

動させる設計とする。

なお，中央制御室及び原子炉格納容器は，上記と同等の保安水準を確保する対策として以下のとおり火災の影響軽減対策を講じる。

① 中央制御室の系統分離

中央制御室制御盤の火災防護対象機器等は，運転員の操作性及び視認性向上を目的として近接して設置することから，互いに相違する系列の水平距離を6m以上確保することや互いに相違する系列を1時間の耐火能力を有する隔壁等で分離することが困難である。

このため，中央制御室制御盤内の火災防護対象機器等は，以下（ⅰ）～（ⅲ）に示すとおり，実証試験結果に基づく離隔距離等による分離対策，高感度煙感知器の設置による早期の火災感知及び常駐する運転員による早期の消火活動に加え，火災により中央制御室制御盤の1つの区画の安全機能が全て喪失しても，他の区画の制御盤は機能が維持されることを確認することにより，原子炉の安全停止が可能であることを確認し，火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

また，中央制御室床下の火災防護対象ケーブルは，以下の（ⅳ）に示すとおり，1時間の耐火能力を有するコンクリートピット構造（原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010〔解説4-5〕「耐火壁」(2)仕様を引用）で分離することに加え，固有の信号を発する異なる2種類の感知器として，煙感知器，熱感知器を組み合わせて設置するとともに，常駐する運転員による早期の消火活動を行うことにより，火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

（ｉ）離隔距離等による系統分離

中央制御室の火災防護対象機器等は，運転員の操作性及び視認性向上を目的として近接して設置することから，中央制御室の制御盤については区分毎に別々の盤で分離する設計とする。一部，一つの制御盤内に複数の安全区分のケーブルや機器を設置しているものがあるが，これらについては，区分間に金属製の仕切りを設置するケーブルについては当該ケーブルに火災が発生しても延焼せず，また，周囲へ火災の影響を与えない金属外装ケーブル，耐熱ビニル電線，難燃仕様のフッ素樹脂（ETFE）電線及び難燃ケーブルを使用し，電線管に敷設するとともに，離隔距離等により系統分離する設計とする。これらの分離については，実証試験等において火災により近接する他の構成部品に火災の影響がないことを確認した設計とする。

（ⅱ）高感度煙感知器の設置による早期の火災感知

中央制御室内には，異なる2種類の感知器を設置する設計とするとともに，火災発生時には常駐する運転員による早期の消火活動によって，異区分への影響を軽減する設計とする。これに加えて制御盤内へ高感度煙感知器を設置する設計とする。

（ⅲ）常駐する運転員による早期の消火活動

中央制御室の制御盤内に自動消火設備は設置しないが，制御盤内に火災が発生しても，高感度煙感知器や中央制御室の火災感知器からの感知信号により，常駐する運転員が早期に消火活動を行うことで，相違する系列の火災防護対象機器への火災の影響を防止できる設計とする。

中央制御室の制御盤内に設置する高感度煙感知器については，資料5添付資料3に示す。

消火設備は，電気機器へ悪影響を与えない二酸化炭素消火器を使用する設計とし，常駐する運転員による中央制御室内の火災の早期感知及び消火を図るために，消火活動の手順を社内規程に定めて訓練を実施する。

火災の発生箇所の特定が困難な場合も想定し，サーモグラフィカメラ等，火災の発生箇所を特定できる機器を配備する設計とする。

（ⅳ）中央制御室床下の影響軽減対策

中央制御室の火災防護対象機器等は，運転員の操作性及び視認性向上を目的として近接して設置することから，中央制御室床下に敷設する火災防護対象ケーブルについても，互いに相違する系列の 3 時間以上の耐火能力を有する隔壁による分離，又は水平距離を 6m 以上確保することが困難である。このため，中央制御室床下については，以下に示す分離対策等を行う設計とする。

a. コンクリートピット等による分離

中央制御室床下コンクリートピットは，安全区分ごとに分離されているため，安全区分の異なるケーブルは分離して敷設する設計とし，1 時間の耐火能力を有するコンクリートピット構造（原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010〔解説-4-5〕「耐火壁」(2) 仕様を引用）として分離する設計とする。

b. 火災感知設備

中央制御室床下コンクリートピットには，固有の信号を発する異なる 2 種類の火災感知器として，煙感知器，熱感知器を組み合わせて設置する設計とする。これらの火災感知設備は，アナログ機能を有するものとする等，誤作動を防止する設計とする。

また，これらの火災感知設備は，外部電源喪失時においても火災の感知が可能となるよう，非常用電源から受電するとともに，火災受信機盤は中央制御室に設置し常時監視できる設計とする。受信機盤は，作動した火災感知器を１つずつ特定できる機能を有する設計とする。

c. 消火設備

中央制御室床下コンクリートピット内には，系統分離の観点から中央制御室からの手動操作により早期の起動も可能なハロゲン化物自動消火設備（局所）を設置する設計とする。

この消火設備は，それぞれの安全区分を消火できるものとし，故障警報及び作動前の警報を中央制御室に吹鳴すると共に，時間遅れをもってハロンガスを放出する設計とする。また，外部電源喪失時においても消火が可能となるよう，非常用電源から受電する。

(ｖ)原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持

火災により，中央制御室内の一つの制御盤の機能がすべて喪失したと仮定しても，他の制御盤での運転操作により，原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持が可能な設計とする(資料7添付資料5)。

なお，万が一中央制御室で火災が発生し，原子炉停止操作後，当該火災が延焼して安全系異区分の機器等を同時に損傷させる可能性があると判断される場合は，制御室外原子炉停止装置により原子炉の高温停止及び低温停止の達成，維持を行う(第1-11表)。

（資料2，7）

第1-11表　制御室外原子炉停止装置による監視・操作機能

設置場所	
監視計器	原子炉水位計 原子炉圧力計 サプレッションプール水位計 サプレッションプール温度計 ドライウェル圧力計
原子炉減圧系	主蒸気逃がし弁3弁
高圧炉心注水系	原子炉隔離時冷却系
残留熱除去系	残留熱除去系(A)
低圧注水系	残留熱除去系(A)
残留熱除去系海水系	残留熱除去系海水系ポンプ(A)，(C)
電源設備	非常用交流電源(2C系)

② 原子炉格納容器内の系統分離(別紙1資料8)

原子炉格納容器内は，プラント運転中については，窒素が封入され雰囲気が不活性化されていることから，火災の発生は想定されない。

一方で，窒素が封入されていない期間のほとんどは原子炉が低温停止に到達している期間であるが，わずかではあるものの原子炉が低温停止に到達していない期間もあることを踏まえ，以下のとおり火災の影響軽減対策を講じる。

なお，原子炉格納容器内での作業に伴う持込み可燃物について，持込み期間・可燃物量・持込み場所等を管理する。また，原子炉格納容器内の油内包設備，分電盤等については，金属製の筐体やケーシングで構成すること，発火性又は引火性物質である潤滑油を内包する設備は溶接構

造又はシール構造の採用により潤滑油の漏えい防止対策を講じるとともに，万一の漏えいを考慮し，漏えいした潤滑油が拡大しないよう堰等を設け拡大防止対策を行う設計とすることによって，火災発生時においても火災防護対象機器等への火災影響の低減を図る設計とする。

（ｉ）火災防護対象機器等の系統分離

原子炉格納容器内の火災防護対象機器等の系統分離は，火災によっても原子炉の安全停止機能が同時に喪失しないことを目的に行うことから，原子炉格納容器内の状態に応じて以下のとおり対策を行う。

a. 起動中

a) 火災防護対象ケーブルの分離及び対象機器の分散配置

原子炉格納容器内においては，機器やケーブルが密集し，干渉物などが多く設置されている。このため，火災防護対象機器等については，金属製の電線管の使用等により火災の影響軽減対策を行う設計する。

原子炉格納容器内の火災防護対象機器等は，系統分離の観点から安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器を可能な限り離隔して配置し，安全区分Ⅰと安全区分Ⅱ機器の離隔間において可燃物が存在することのないように，離隔間にある介在物（ケーブル，電磁弁）については，金属製の筐体，電線管に収納することや本体が金属製であることで延焼防止対策を行う。

原子炉格納容器内の火災防護対象ケーブルは，原子炉格納容器外から原子炉格納容器貫通部をとおり原子炉格納容器内に敷設しているが，原子炉格納容器貫通部は区分毎に離れた場所に設置し，可能な限り位置的分散を図る設計とする。また，単一火災により複数の区分が機能