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)

本資料のうち，□は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第 6 条：外部からの衝撃による損傷の防止

（外部火災）

＜目　次＞

1.　基本方針

1.1　要求事項の整理

1.2　追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

(1)　位置，構造及び設備

(2)　安全設計方針

(3)　適合性説明

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

なお，発電所敷地で想定される自然現象のうち，洪水及び地滑りについては，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により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の組合せについては，地震，津波，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災等を考慮する。事象が単独で発生した場合の影響と比較して，複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せを特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(a-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(2.2：17～29)】

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，離隔距離の確保，若しくは，航空機が墜落し，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)】

なお，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離隔距離を確保する設計とする。

(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。

【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，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)】

なお，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離隔距離を確保する設計とする。

(1)　外部火災防護施設

安全施設に対して外部火災の影響を受けた場合において，原子炉の安全性を確保するため，「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」で規定されている安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３に該当する構築物，系統及び機器を外部火災防護施設とする。外部火災防護施設を第 1.7.9－2 表に示す。

ａ．外部火災の直接的な影響を受ける安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち，外部火災の直接的な影響を受ける安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する施設を以下のとおり抽出する。

(a)　安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する屋内施設

屋内の安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設は，内包する建屋により防護する設計とし，以下の建屋を対象とする。

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

(b)　安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する屋外施設

屋外の安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設は，以下の施設を対象とする。

ⅰ）　海水ポンプ

ⅱ）　排気筒

ⅲ）　ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

ｂ．外部火災の二次的影響を受ける安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち，外部火災の二次的影響を受ける安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する施設を以下のとおり抽出する。

(a)　ディーゼル発電機機関

(b)　換気空調設備

(c)　海水ポンプ電動機

【別添資料 1(1.3：3～4)】

また，安全重要度分類のクラス３に属する施設については，外部火災発生時は，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で，その安全機能を損なわない設計とするため，影響評価対象から除外する。

【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，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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響及び危険距離を評価し，必要な防火帯幅，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設との離隔距離を確保すること等により，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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と卓越風向を調査し，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と残り火の不始末，国道 245 号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道 245 号沿いの霊園（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 1,280m 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，発電所から南北及び西側に 12km 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 月から 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。

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，外部火災防護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。

防火帯の外側にある安全重要度分類のクラス３施設としては，モニタリングポストがある。火災発生時には、モニタリングポストについては代替設備を確保することにより防護する設計とする。

【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外部火災防護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．安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受ける安全重要度分類のクラス１及びクラ

ス２に属する外部火災防護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(c)　海水ポンプ室への熱影響

最大の火炎輻射強度（444kW／m^2）となる発火点 5 に基づき算出する海水ポンプ室（垂直外壁面及び天井部から選定した，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，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(d)　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，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(e)　ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

最大の輻射強度（0.07kW／ｍ２）となる発火点３に基づき算出するディーゼル発電機機関吸気系フィルタ内への流入空気の温度を，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下とすることで，ディーゼル発電機機関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．安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全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，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び海水ポンプ室の危険距離の確保

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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b)　排気筒及びディーゼル発電機機関吸気系フィルタの危険距離の確保

最大の輻射強度（0.07kW／ｍ２）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。

(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うえ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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響評価を行い，離隔距離の確保等により，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，発電所近辺の危険物貯蔵施設[注1]を第 1.7.9－2 図に示す。

注１：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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。

・火災は円筒火災モデルとし，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とする。

ⅲ） 安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響

・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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

・海水ポンプ室への熱影響

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海水ポンプ室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，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・排気筒への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（10m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

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ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ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，ディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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）　安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への影響

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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，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。

・火災は円筒火災をモデルとし，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） 安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響

・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（15m）以上確保することにより，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

・海水ポンプ室への熱影響

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，燃料輸送車両から海水ポンプ室までの離隔距離を必要とされる危険距離（15m）以上確保することにより，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・排気筒への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（9m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの熱影響

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，燃料輸送車両からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離

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，ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の影響評価を実施し，離隔距離の確保により，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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） 安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への影響

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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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」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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，船舶の燃料量と安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への影

響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護により，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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実際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)】

・離隔距離は，評価上厳しくなるよう漂流想定位置からクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。

・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。

・漂流船舶の全面火災を想定する。

・気象条件は無風状態とする。

・火災は円筒火災モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

ⅱ） 評価対象範囲

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)】

・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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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。

・火災は円筒火災モデルとし，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） 安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響

・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（165m）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（54m）以上確保することにより，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

・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，燃料輸送船から海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（165m）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（54m）以上確保することにより，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・排気筒への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（87m）以上，定期船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（29m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ディーゼル発電機機関吸気系フィルタの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（128m）以上，定期船からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの離隔距離を必要とされる危険距離（42m）以上確保することにより，ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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。

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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。

・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(2.2.2.4：28～29)】

ⅲ） 安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への影響

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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：28～29)】

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(2.2.2.4：28～29)】

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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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 表並びに第 1.7.9－6 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

ら安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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。

・火災は円筒火災モデルとし，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。

【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） 安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響

（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，当該建屋内の安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，当該建屋内の安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，当該建屋内の安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，当該建屋内の安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

（ⅱ） 海水ポンプ室への熱影響

・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）で海水ポンプ室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部から選定した，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，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

（ⅲ） 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排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である 325℃以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

【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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保により，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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を第 1.7.9－4 表並びに第 1.7.9－6 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外部火災防護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） 安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響

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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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毎に選定した航空機を対象に，直接的な影響を受ける，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設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)】

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，カテゴリ毎に落下確率を求める。

ここで，落下事故の実績がないカテゴリのうち自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率には，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。一方，計器飛行方式民間航空機の「航空路を巡航時」等，その他の落下事故の実績がないカテゴリの落下確率の評価に当たっては，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。

また，カテゴリ毎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発電用原子炉施設及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の落下事故のカテゴリと対象航空機を第1.7.9－5表並び第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)　火災は円筒火災をモデルとし，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墜落確率が 10^{-7}（回/炉・年）以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置する安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設とする。

【別添資料 1(2.3：34～39)】

d．安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設への熱影響

(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毎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，当該建屋内の安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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）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)　排気筒への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を，鋼材の強度が維持される温度である 325℃以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c)　ディーゼル発電機機関吸気系フィルタへの熱影響

落下事故のカテゴリ毎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ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ内への流入空気の温度を，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下とすることで，ディーゼル発電機機関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，一定の輻射強度で安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防

護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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b)　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，火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で海水ポンプ室外壁が昇温されるものとして算出する外壁（垂直外壁面及び天井部から選定した，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，海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(c)　排気筒への熱影響

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排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である 325℃以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

【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，外気を取り込む安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護施設を抽出したうえで，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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に

属する外部火災防護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，原子炉建屋換気系及びディーゼル発電機室換気系がある。

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。2μｍ 以下の粒子の侵入により，中央制御室等に設置されている計測制御設備（安全保護系）への影響が考えられるが，集積回路（ＩＣ）をモールド（樹脂）で保護することにより，ばい煙の侵入を阻止する設計とする。

これらにより，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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再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，再循環運転を行うことで安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する外部火災防護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．ディーゼル発電機機関吸気系

ディーゼル発電機機関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ディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.4：41～47)】

c．海水ポンプ電動機

(a) 残留熱除去系海水系ポンプ電動機

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)】

(b) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機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電動機

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機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用海水ポンプ電動機

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)】

ｄ．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再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，再循環運転を行う。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，連絡責任者，運転員及び消防要員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。

自衛消防組織の組織体制を，第 1.7.9－7 図に示す。

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，防潮堤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)　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再循環運転により，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再循環運転により，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)　森林火災から外部火災防護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・爆発から外部火災防護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　外部火災防護施設

1.　火災の直接的な影響を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の安全重要度分類「クラス１」「クラス２」に属する施設を内包する建屋	原子炉建屋 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと，火元からの離隔距離で防護
安全機能の安全重要度分類「クラス１」「クラス２」に属する屋外施設	海水ポンプ 排気筒 ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと，火元からの離隔距離で防護
安全機能の安全重要度分類「クラス３」に属する施設	開閉所 固体廃棄物貯蔵庫 モニタリングポスト他 ※建屋による防護，消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等

2.　火災の二次的影響(ばい煙)を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の安全重要度分類「クラス１」「クラス２」に属する施設	換気空調設備 ディーゼル発電機機関 海水ポンプ電動機

【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）（１／３）

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	重油	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	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	0.97	×（他評価に包絡 → E）

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）（２／３）

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）
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.10	× （屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	ラッカー等	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）
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	× （他評価に包絡 → D）
緊急時対策室建屋（旧緊急時対策室）	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 （旧緊急時対策室）	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）
T／H消火用ディーゼルポンプ用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.49	× （屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.1	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	× （屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.2	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	× （屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.3	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	× （屋内設置 → B）

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）（３／３）

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 → 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）

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（m^3）	総容量（m^3）	詳細評価要否（○：対象，×：対象外）
協力会社ボンベ小屋	アセチレン	50	6	300	×（屋内配置→A）
	フロン	10	2	20	
	プロパン	10	5	50	
Ｈ２，ＣＯ２ボンベ庫	水素	20	7	140	×（屋内配置→A）
水素貯槽	**水素**	**―**	**―**	**6.7**	**○**
予備ボンベ庫①	水素	40	7	280	×（屋内配置→A）
予備ボンベ庫②	水素	20	7	140	×（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	200	×（屋内配置→A）
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500	2500	×（屋内配置→A）
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	6	18	×（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	6	6	×（屋内配置→A）
	ﾒﾀﾝ＋ｱﾙｺﾞﾝ	4	7	28	
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50	900	×（屋内配置→A）

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）

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	199	57
	航空路を巡航時		Ｂ７４７－４００	1,528	×※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	186	416
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Ｄｏ２２８－２００	72	×※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	176	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	34	×※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／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	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 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。

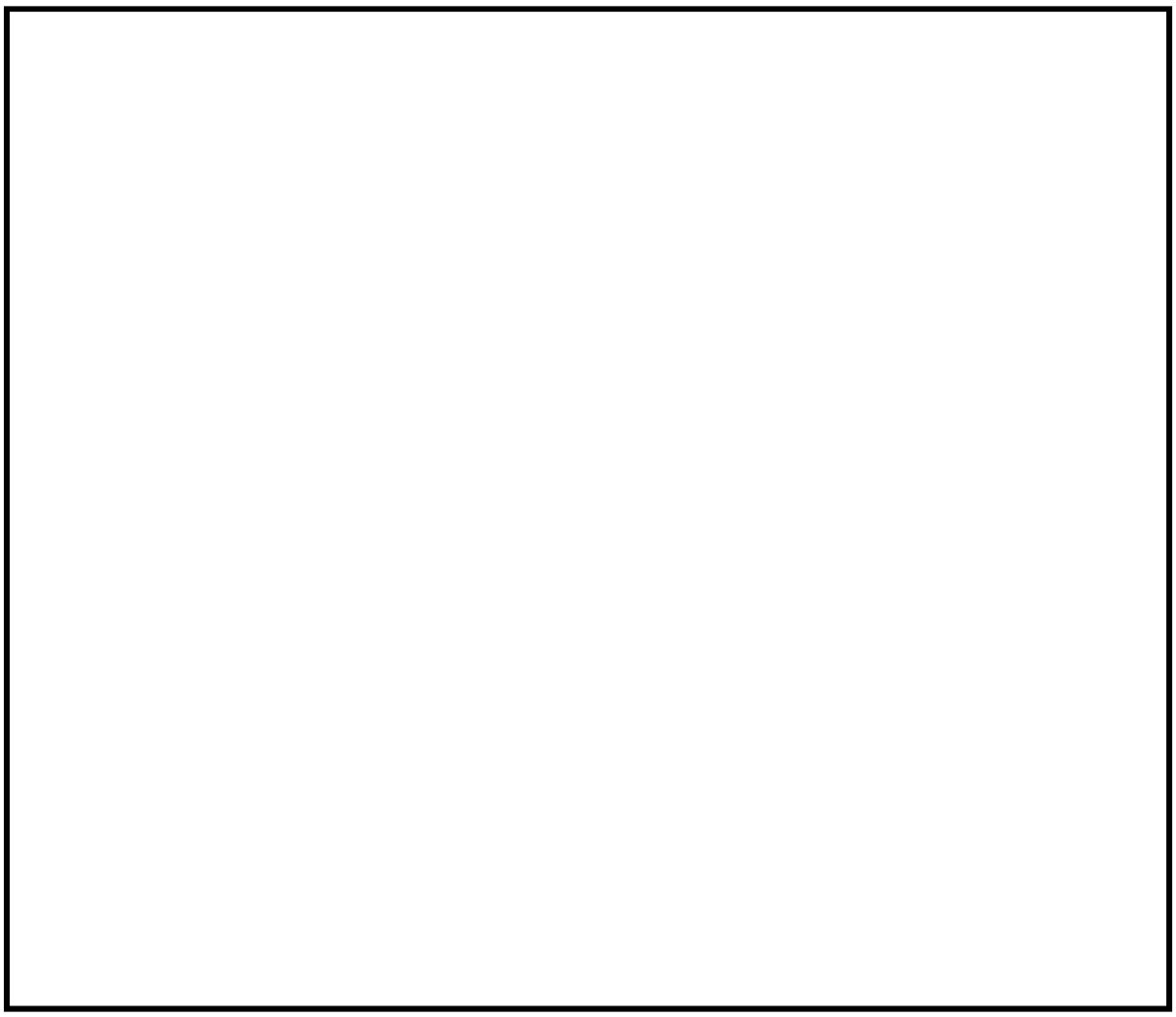
※３：「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じＦ－１５であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

【別添資料 1(2.3：35～36)】

第 1.7.9－7 表　ばい煙による影響評価

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	ディーゼル発電機機関
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機
居住性への影響	中央制御室	

【別添資料 1(2.4：41～42)】

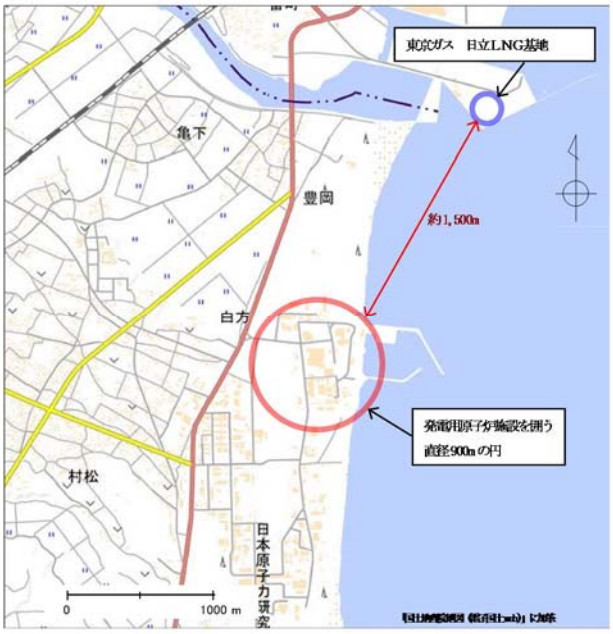


第 1.7.9－1 図　防火帯設置図

【別添資料 1(1.3：3～4)】

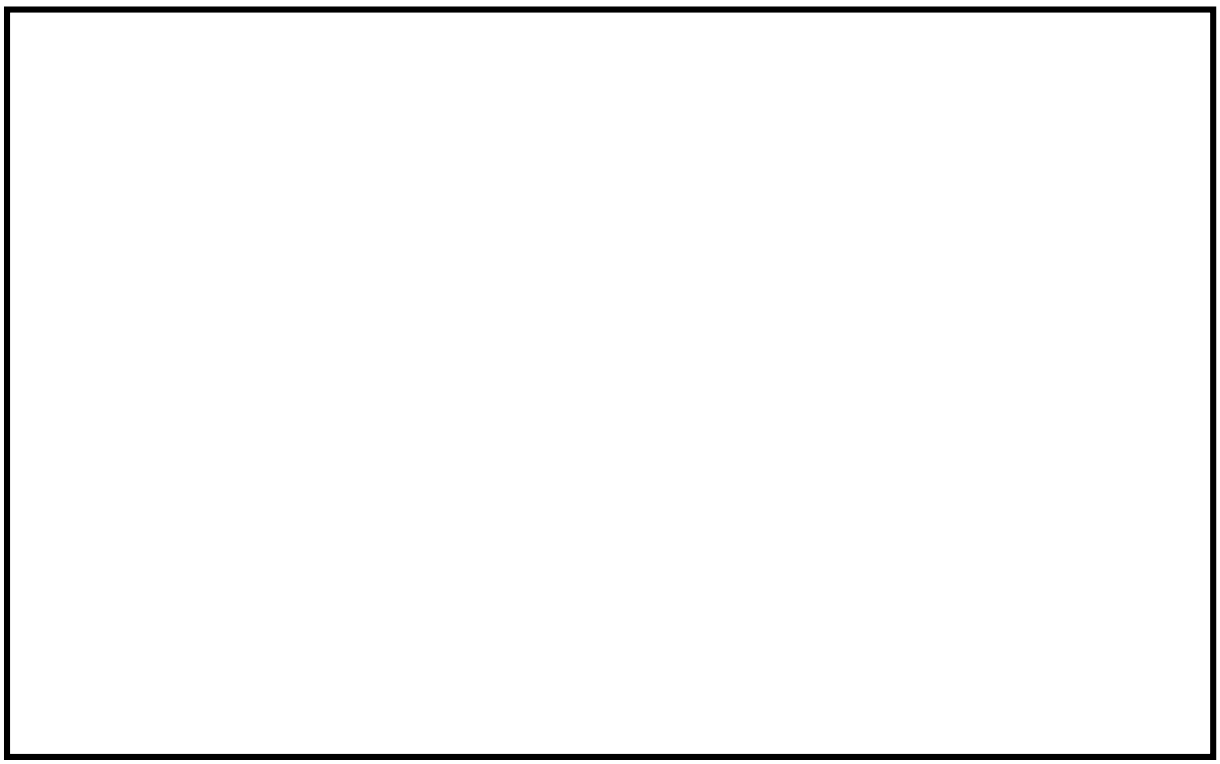
第 1.7.9－2 図　発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する危険物貯蔵施設（火災源）

【別添資料 1(2.2.2.2：18～21)】

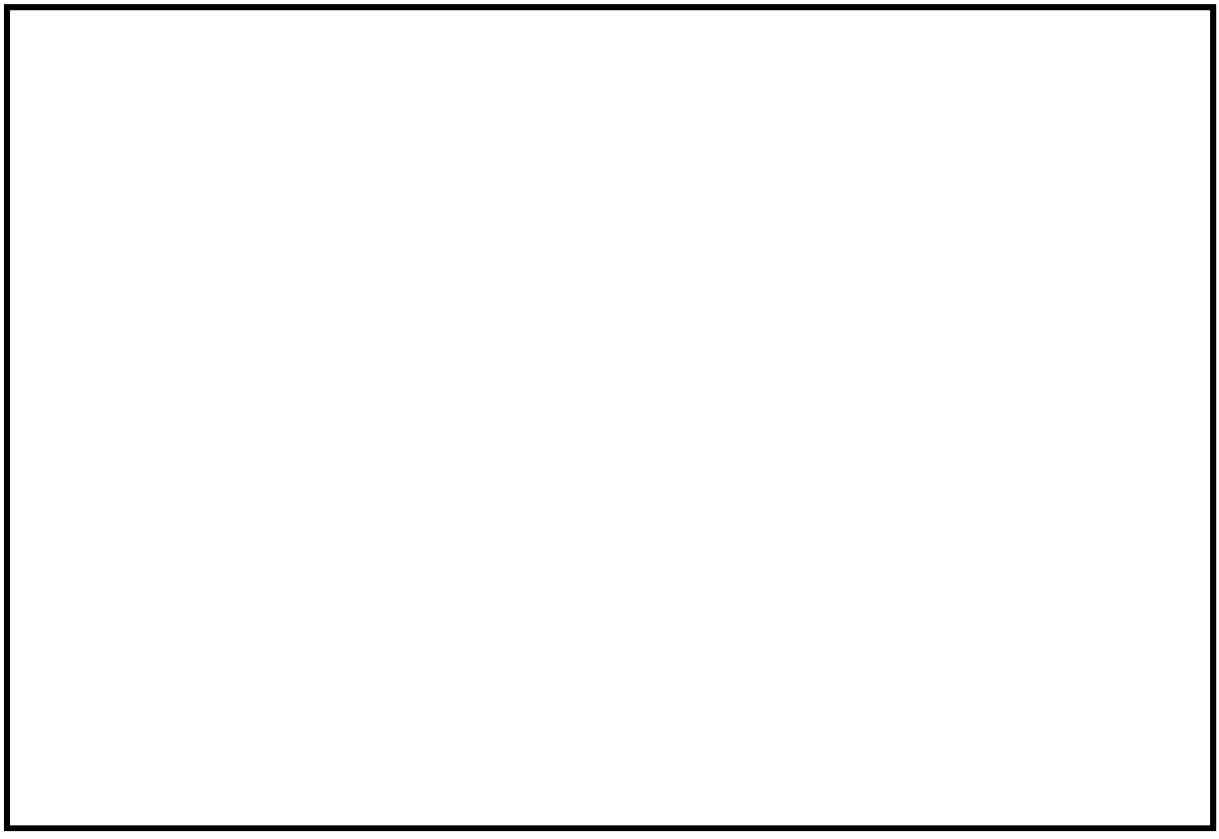


第 1.7.9－3 図　発電所と日立ＬＮＧ基地の位置関係

【別添資料 1(2.2.2.2：22～25)】

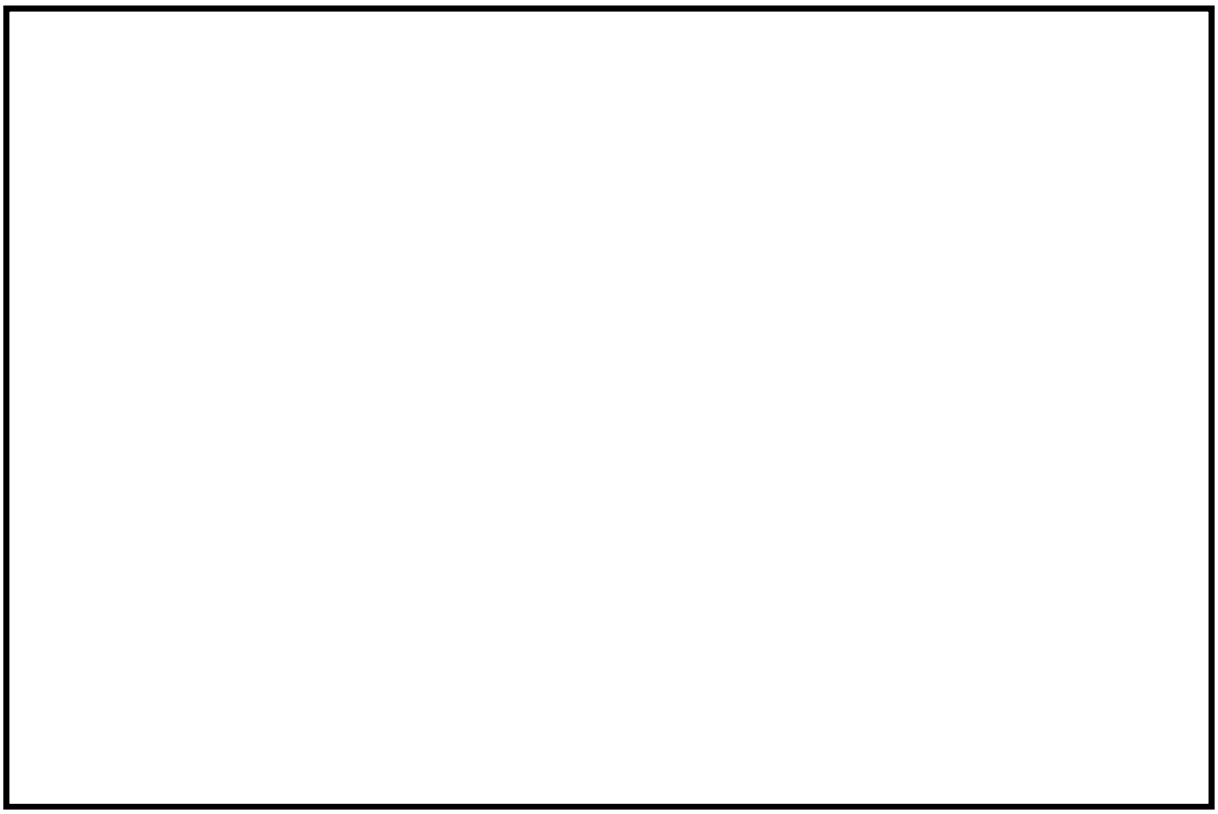


第 1.7.9－4 図　評価で想定する漂流船舶（燃料輸送船）

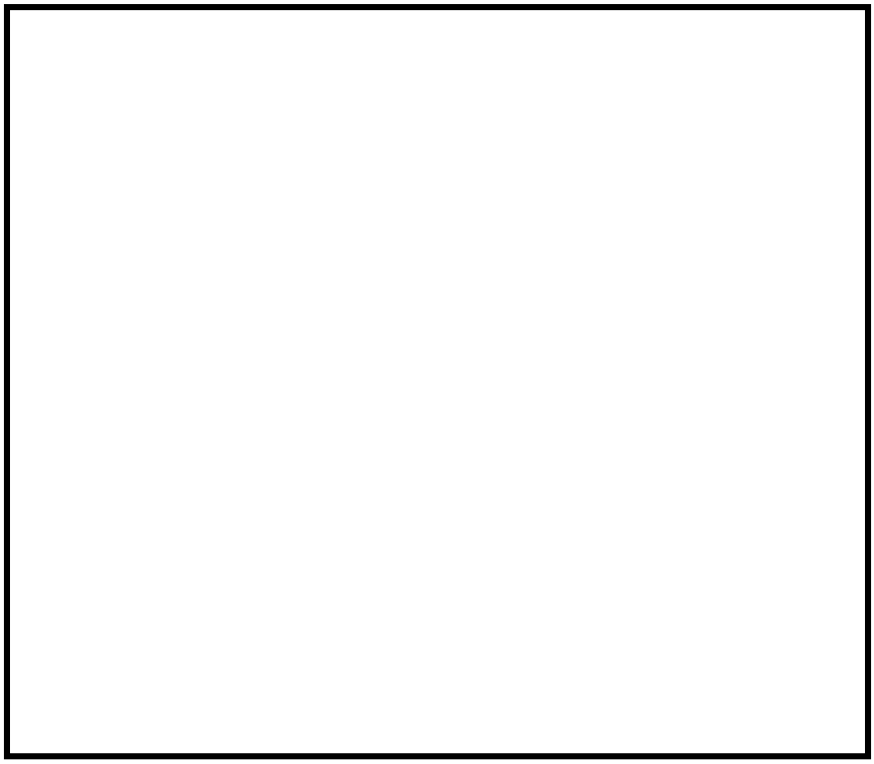


第 1.7.9－5 図　評価で想定する漂流船舶（定期船）

【別添資料 1(2.2.2.4：28～30)】

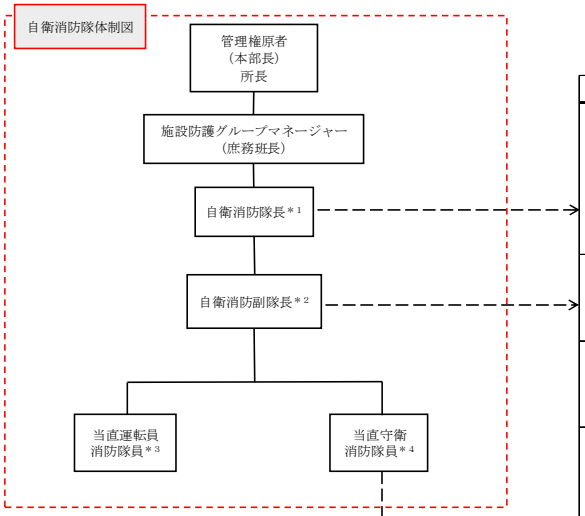


第 1.7.9－6 図　危険物貯蔵施設等配置図（１／２）



第 1.7.9－6 図　危険物貯蔵施設等配置図（２／２）

【別添資料 1(2.2.2.5：31～34)】



初期消火要員の人数と役割

担当	人数	役割
現場指揮者	1	・出動の準備／火災現場への移動 ・火災状況の把握 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・火災現場での初期消火活動への指揮 ・消防機関到着後の状況報告
現場連絡責任者	1	・消防機関への情報提供 ・消防機関の現場誘導
通報連絡責任者	1	・消防機関への通報 ・所内関係者への連絡及び出動指示 ・避難周知
連絡担当	1	・火災現場への移動および状況確認 ・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
消火担当	7	・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

注：（　）内は，災害対策本部設置後の体制を示す。
＊1：現場指揮者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊2：現場連絡責任者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊3：東海第二発電所の管理区域及び周辺防護区域内における初期消火活動等
＊4：構内全域における初期消火活動等

第 1.7.9－7 図　自衛消防組織体制表

【別添資料 2(1～3)】

(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。

<u>適合のための設計方針</u>

第１項について

発電所敷地で想定される自然現象（地震，津波を除く。）については，敷地及び敷地周辺の自然環境を基に洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮を選定し，敷地周辺で得られる過去の記録等を考慮する。また，これらの自然現象毎に関連して発生する可能性がある自然現象も含める。

安全施設は，発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで，発電所敷地で想定される自然現象に対して，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の

施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また，発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として安全施設で生じ得る環境条件を考慮する。

発電用原子炉施設のうち安全施設は，以下のとおり条件を設定し，自然現象によって発電用原子炉施設の安全機能を損なわない設計とする。

(11) 森林火災

敷地外の森林から出火し，敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は，自衛消防隊が出動し，予防散水等の延焼防止措置を行う。また，敷地内の植生へ延焼した場合であっても，森林火災シミュレーション（ＦＡＲＳＩＴＥ）による影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により，影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する安全施設の安全機能が損なわれることはない。

また，上記以外の安全施設については，建屋による防護，消火活動，代替設備により必要な機能を確保，安全上支障のない期間での修復等の対応また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。）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。）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。

また，発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設，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の火災

発電所敷地外 10km 以内の範囲において，火災により安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する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，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，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タンクの火災

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安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する安全施設の建屋（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。

航空機が安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する安全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，中央制御室の空調系統については，外気取入ダンパを閉止し，再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本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。

5.6.　発電用原子炉設置変更許可申請(平成 26 年 5 月 20 日申請)に係る気象，地盤，水理，地震，社会環境等

5.6.1　気象

5.6.1.2　その他の資料による一般気象

5.6.1.2.2　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）及び東海第二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 5.6.1.2.2-1 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）及び東海第二発電所の気象データ（卓越風向）について，第 5.6.1.2.2-2 表に示す。

第 5.6.1.2.2-1 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 5.6.1.2.2-2 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

東海第二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 月の東海第二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 月の東海第二発電所の営業運転開始以降，東海第二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 …… 17

2.3　航空機墜落による火災 …… 34

2.4　二次的影響 …… 41

添付資料

1．外部火災防護対象と影響評価対象の考え方について

2．森林火災による影響評価について

3．石油コンビナート等の火災・爆発について

4．燃料輸送車両の火災・爆発について

5．漂流船舶の火災・爆発について

6．敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・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，外部火災からの防護対象施設，影響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

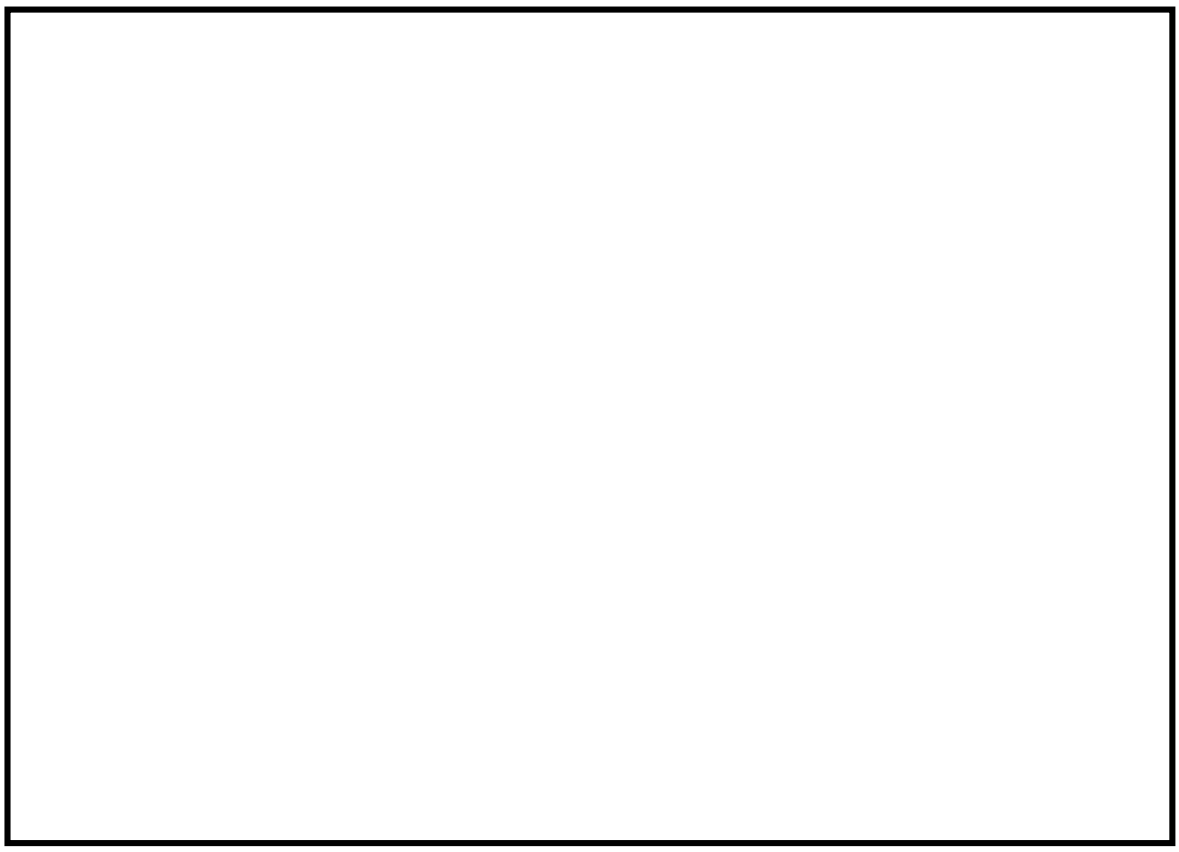
火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災	・森林火災シミュレーション解析コード（ＦＡＲＳＩＴＥ）を用いた森林火災評価 ・森林火災評価に基づく評価対象施設への影響評価	・火炎の到達時間 ・防火帯幅 ・熱影響 ・危険距離	二次的影響（ばい煙等，有毒ガス）
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外10km 以内の石油ｺﾝﾋﾞﾅｰﾄ等の火災・爆発	・発電所敷地外の石油コンビナート等について，発電所との距離を考慮した影響評価	・危険距離 ・危険限界距離	
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発	・発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・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影響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（以下「ＳＳＣ」という。）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ＳＳＣとして定義されているクラス１，２及び３に属するＳＳＣを外部火災に対する防護対象とする。外部火災に対する影響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ＳＳＣ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ＳＳＣ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 月から 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号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道２４５号沿いの霊園に設定。

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。

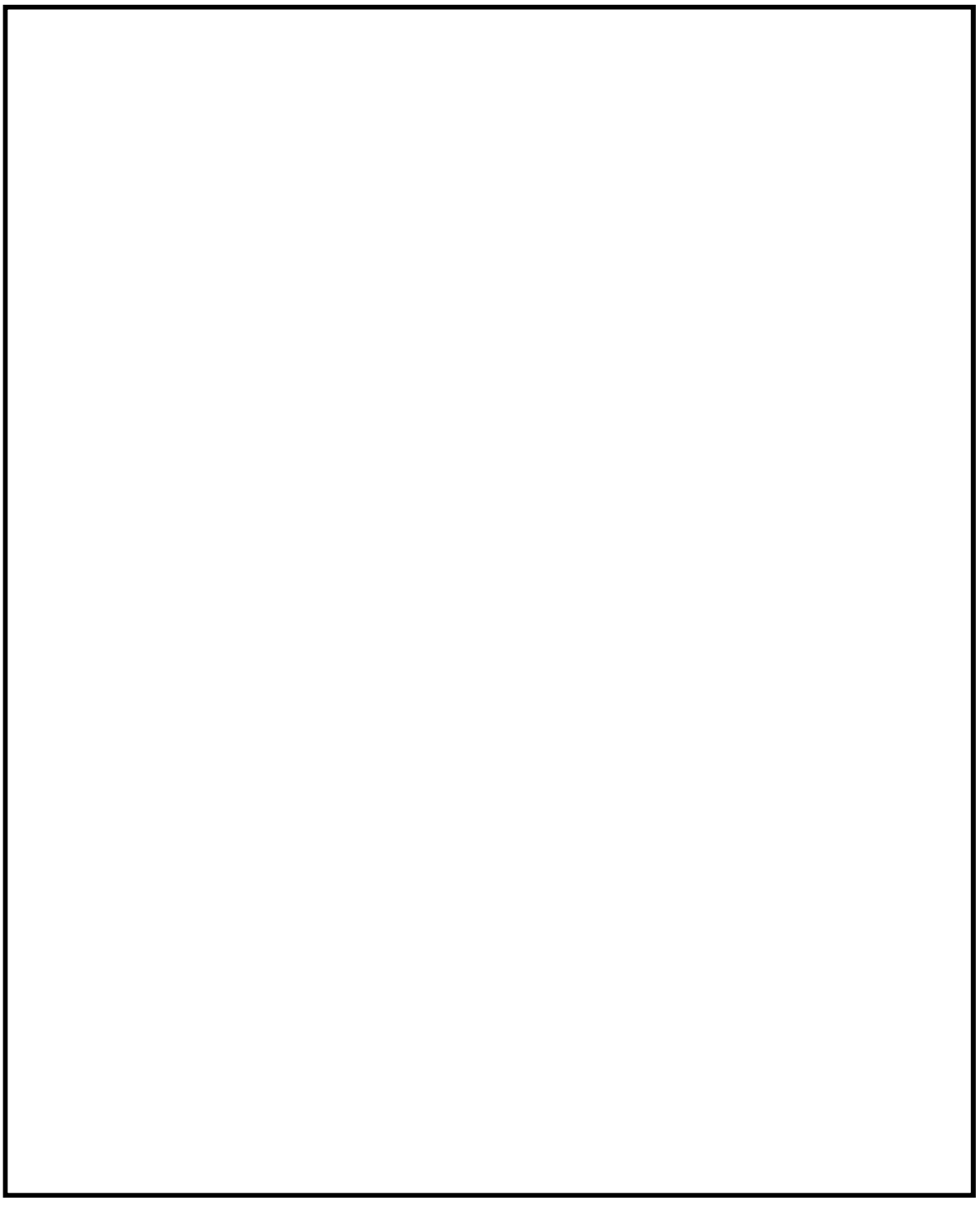
発火点 4：卓越風向である北方向で，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，発火点２より遠方となる海岸沿いに設定。

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

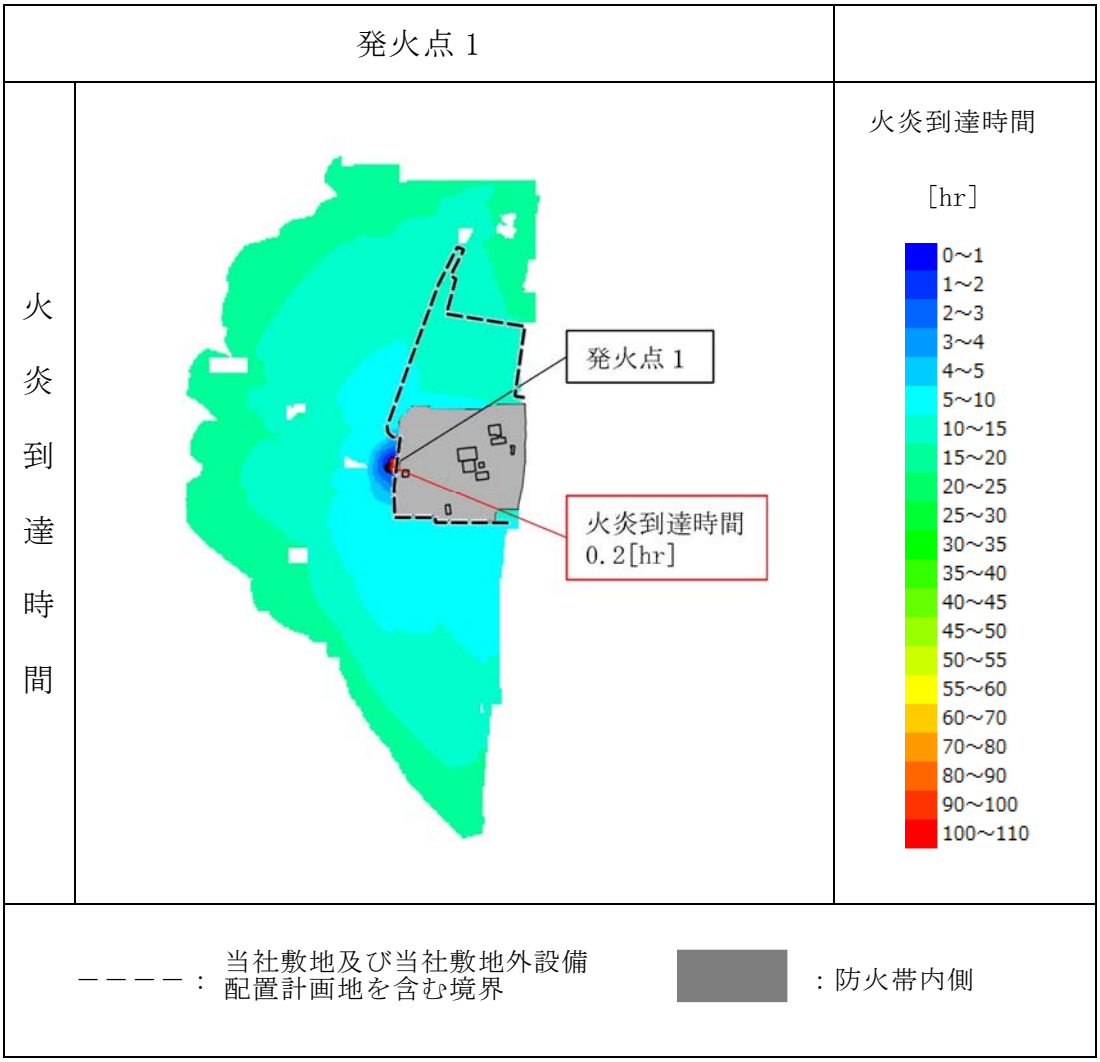
(2)　初期消火活動及び体制

短時間で到達する発火点 1 を対象に，火炎到達時間に対する評価を行う。発火点 1 の火炎到達時間分布を第 2.1.3.1-2 表に示す。防潮堤に囲われていない範囲の防火帯外縁に到達する最短時間は，発火点 1 の 0.2 時間（約 12 分）であるため，この時間以内で散水が可能であることを確認する。

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り，0.2 時間（約 12 分）以内に防火帯付近での散水が可能である。

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

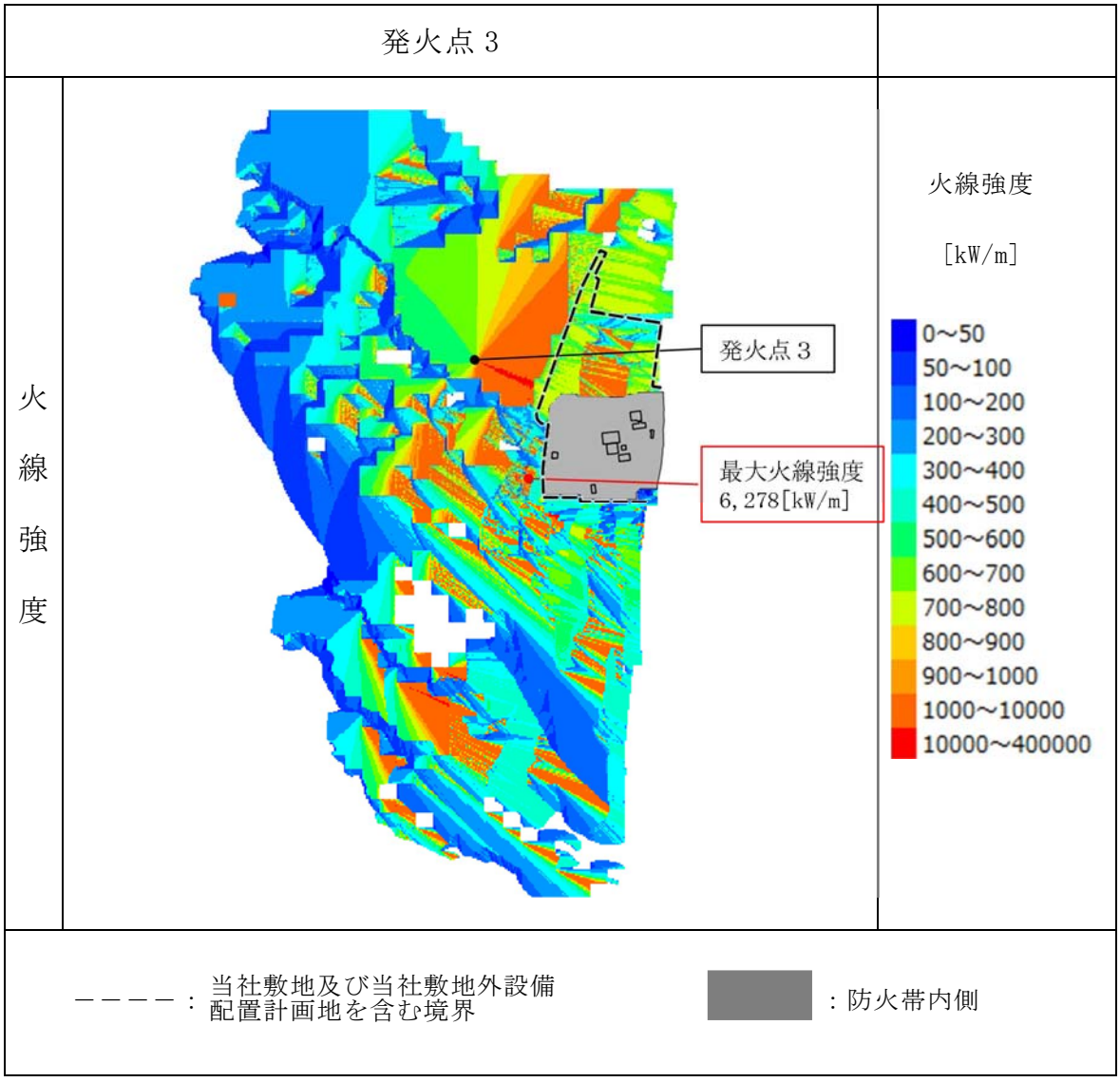
(1)　最大火線強度

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

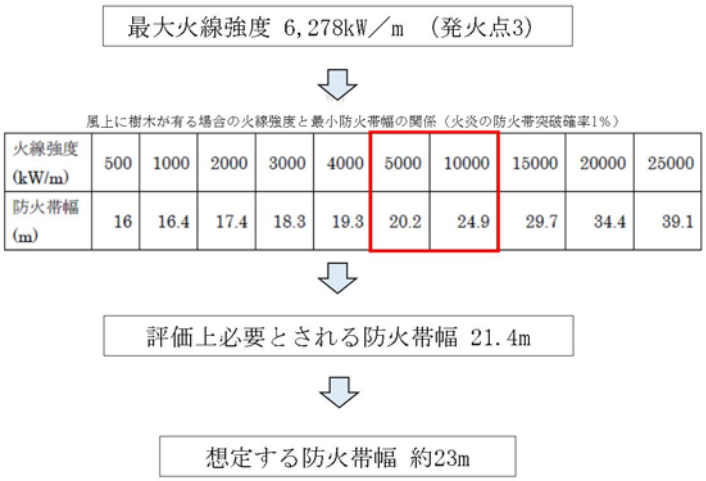
発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
最大火線強度 (kW／m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391

第 2.1.3.2-2 表　発火点 3 の火線強度分布



(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

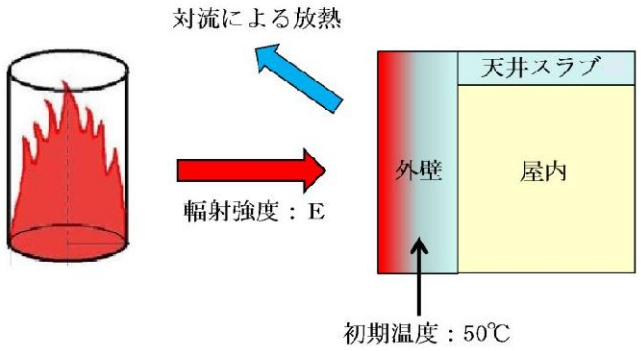
ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果である火炎到達時間，反応強度及び火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響がない事を確認した。

(1)　影響評価対象施設外壁

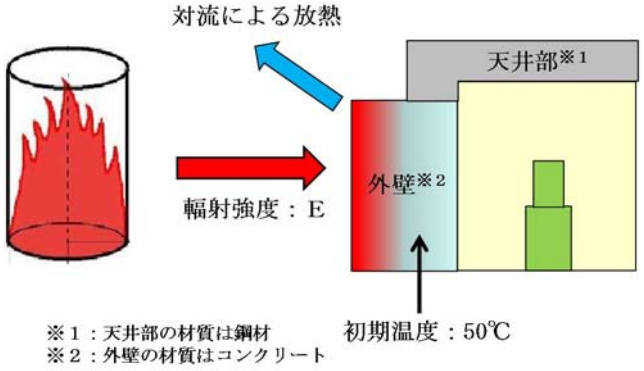
森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-1 表に，建屋外壁の評価概念図を第 2.1.3.3-1 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.1.3.3-2 図に示す。

第 2.1.3.3-1 表　外壁表面の熱影響評価結果

影響評価対象施設	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	51	51	52	52	52	52	52	＜200
海水ポンプ室	52	52	52	52	52	52	52	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	79	77	85	82	88	83	83	
タービン建屋	52	52	52	52	52	52	52	



第 2.1.3.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



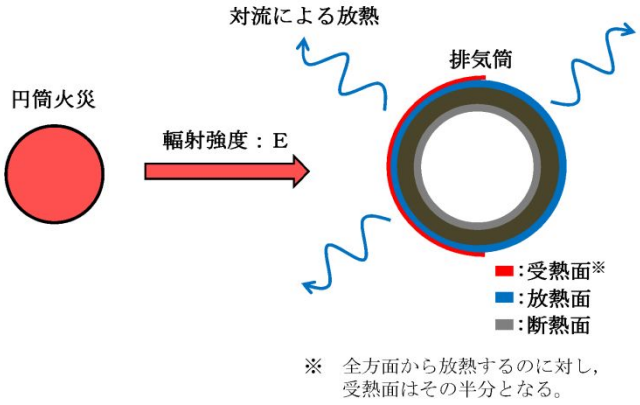
第 2.1.3.3-2 図　海水ポンプ室の評価概念図

(2)　排気筒

森林火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が，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，排気筒の評価概念図を第 2.1.3.3-3 図に示す。

第 2.1.3.3-2 表　排気筒の熱影響評価結果

影響評価対象施設	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	
排気筒	51	52	52	52	52	52	52	＜325



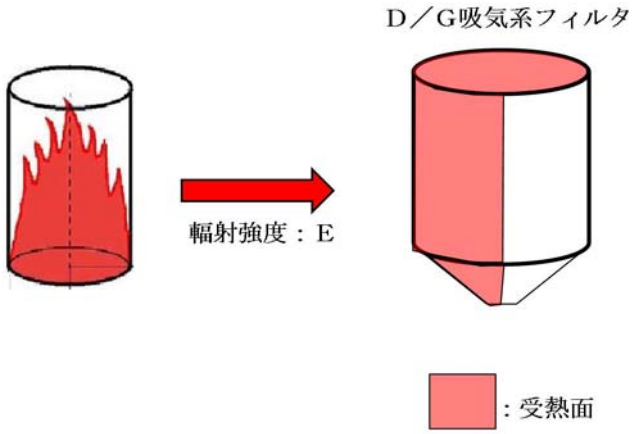
第 2.1.3.3-3 図　排気筒の評価概念図

(3)　ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

森林火災によって上昇するディーゼル発電機機関吸気系フィルタ（以下「D／G吸気系フィルタ」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，D／G吸気系フィルタの評価概念図を第 2.1.3.3-4 図に示す。

第 2.1.3.3-3 表　D／G吸気系フィルタの熱影響評価結果

影響評価対象施設	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	
D／G吸気系フィルタ	43	43	43	43	43	43	43	＜53



第 2.1.3.3-4 図　D／G吸気系フィルタの評価概念図

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影響評価対象施設が許容温度を超えない危険距離を算出し，離隔距離が確保されていることを確認した。

(1)　影響評価対象施設外壁

熱影響が最大となる発火点 5 に対し各影響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　影響評価対象施設に対する危険距離

影響評価対象施設	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	14	13	15	15	16	15	15	267
海水ポンプ室	14	13	15	15	16	15	15	242
使用済燃料乾式貯蔵建屋	14	13	15	15	16	15	15	37
タービン建屋	14	13	15	15	16	15	15	221

(2) 排気筒

熱影響が最大となる発火点3に対し，排気筒までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第2.1.3.4-2表に示す。

第2.1.3.4-2表　排気筒に対する危険距離

影響評価対象施設	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	
排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

(3) ディーゼル発電機機関吸気系フィルタ

熱影響が最大となる発火点3に対し，D／G吸気系フィルタ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　D／G吸気系フィルタに対する危険距離

影響評価対象施設	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	
D／G吸気系フィルタ	16	18	25	20	25	25	24	267

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，影響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，影響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，影響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

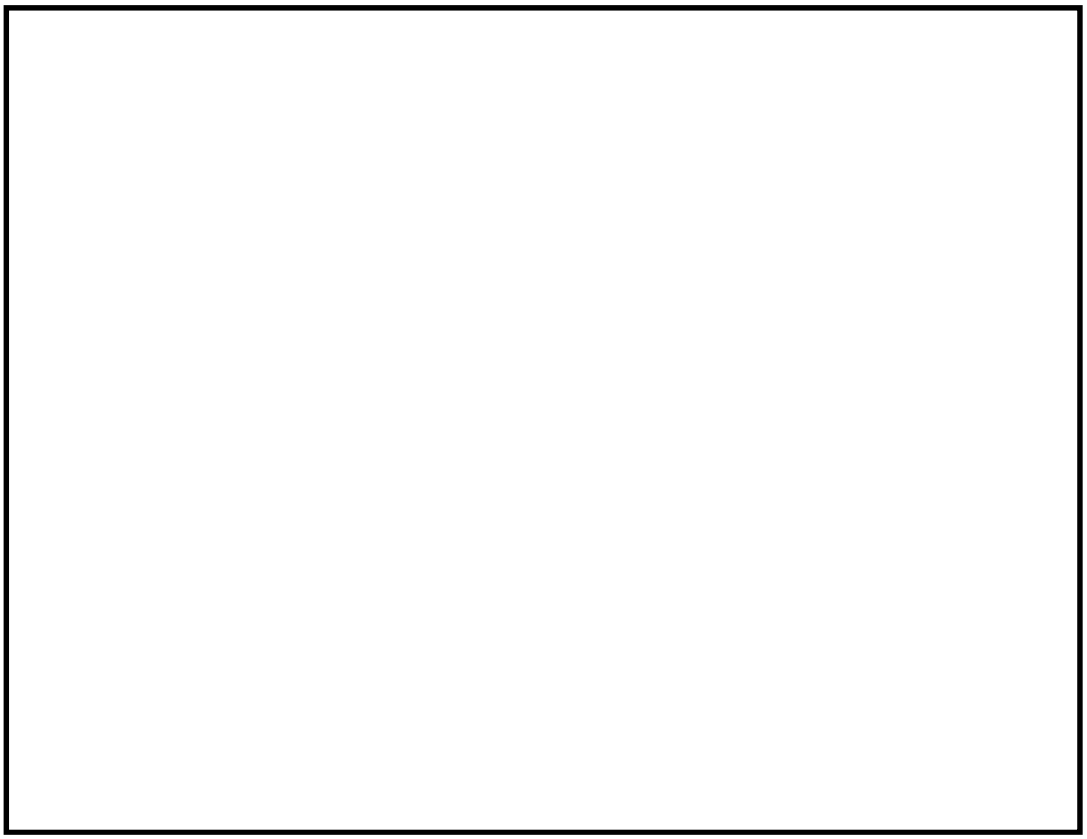
発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く。）に，第一類から第六類の危険物貯蔵施設（屋内貯蔵及び少量のものは除く）が約 500 カ所存在することから，以下のとおり抽出範囲を絞り込み，対象貯蔵施設の抽出を行った。

(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※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 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 日政令第 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

(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，各影響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)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	41	1,100
			海水ポンプ室		1,300
			タービン建屋		1,200
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		800
			排気筒	10	1,200
			D／G 吸気系フィルタ	23	1,100

(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）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，影響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，影響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)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
燃料輸送車両	ガソリン	30	原子炉建屋	15	510
			海水ポンプ室		760
			タービン建屋		450
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		520
			排気筒	9	610
			Ｄ／Ｇ吸気系 フィルタ	17	510

(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	

※：影響評価対象施設のなかで国道２４５号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）が影響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，影響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，影響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)	影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	165	1,100
			海水ポンプ室		940
			タービン建屋		1,100
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
			排気筒	87	1,100
			D／G吸気系フィルタ	128	1,100
			原子炉建屋	54	300
			海水ポンプ室		70
			タービン建屋		280
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		530
			排気筒	29	250
			D／G吸気系フィルタ	42	330

※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影響評価対象外とした。
※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影響評価対象外とした。

(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，影響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，影響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	250 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を除いて最も近い排気筒までの距離とする。

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）

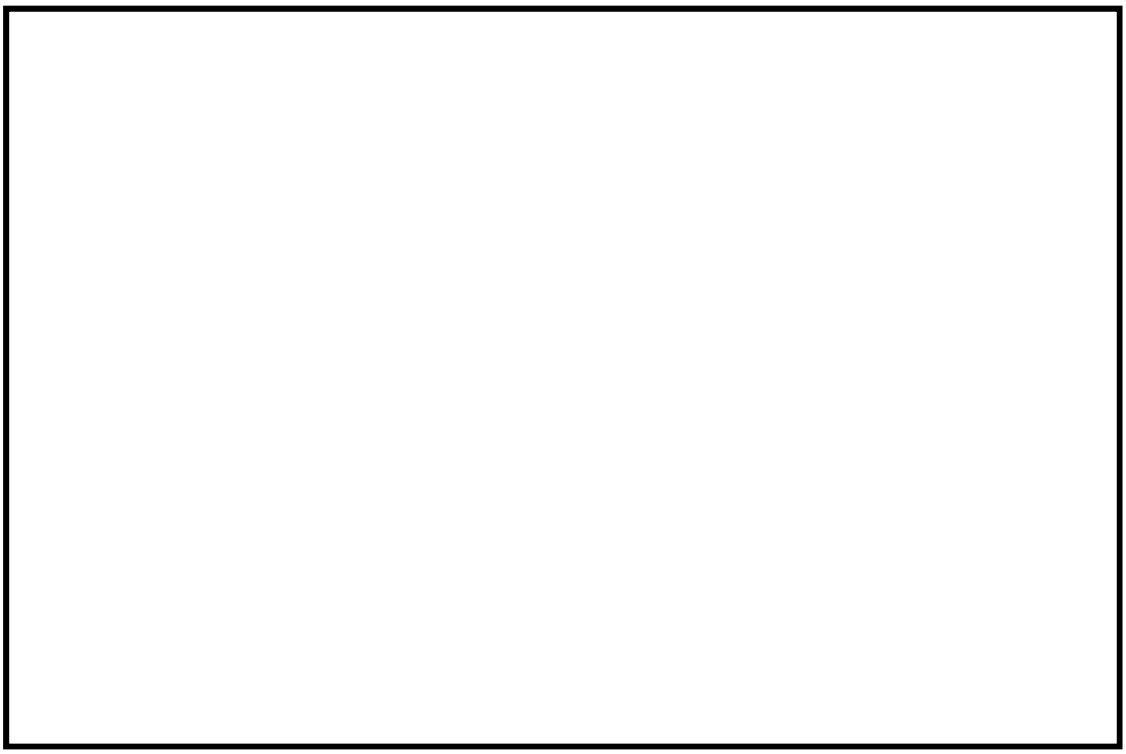
2.2.2.5.1　火災源又は爆発源となる設備の影響評価

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影響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影響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	影響評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	60	＜200
	海水ポンプ室	51	
	タービン建屋	54	

(2)　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　排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	排気筒	90	＜325

(3)　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 2.2.2.5.1-3 表に示す。

第 2.2.2.5.1-3 表　爆風圧の影響評価結果

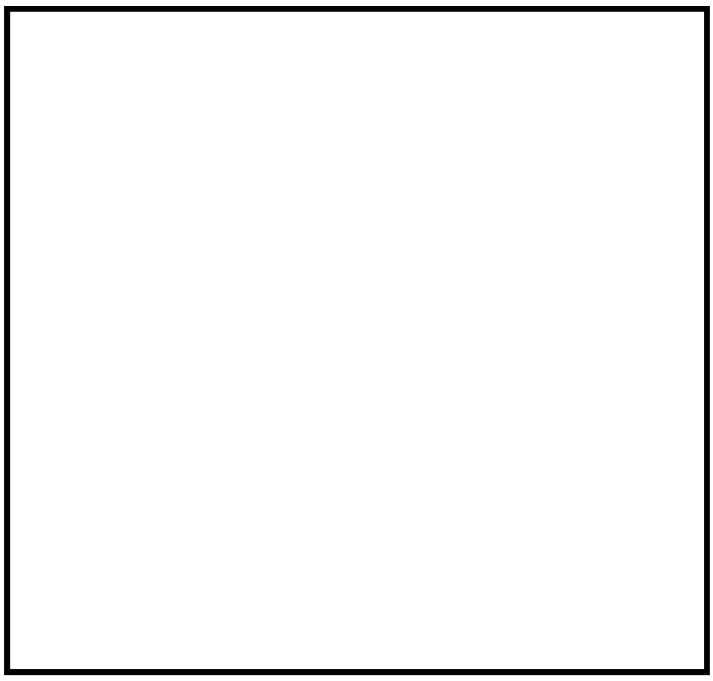
想定爆発源	影響評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
水素貯槽	タービン建屋	7	35

※：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。

第 2.2.2.5.2-1 図に火災源となる変圧器と影響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影響評価対象施設の設置位置

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	影響評価対象施設	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	

2.3　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影響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影響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影響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

影響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，排気筒及びD／G吸気系フィルタを考慮し，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）

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。

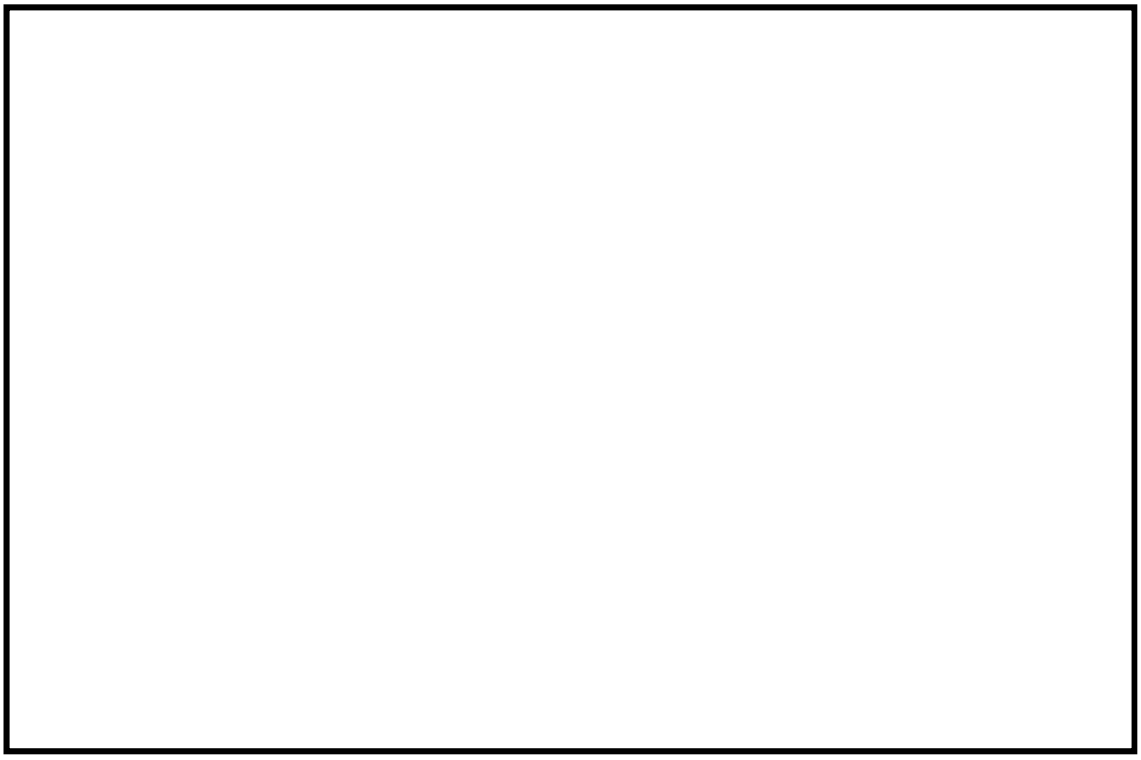
第 2.3.2.2-2 表　落下事故のカテゴリごとの離隔距離及び輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

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

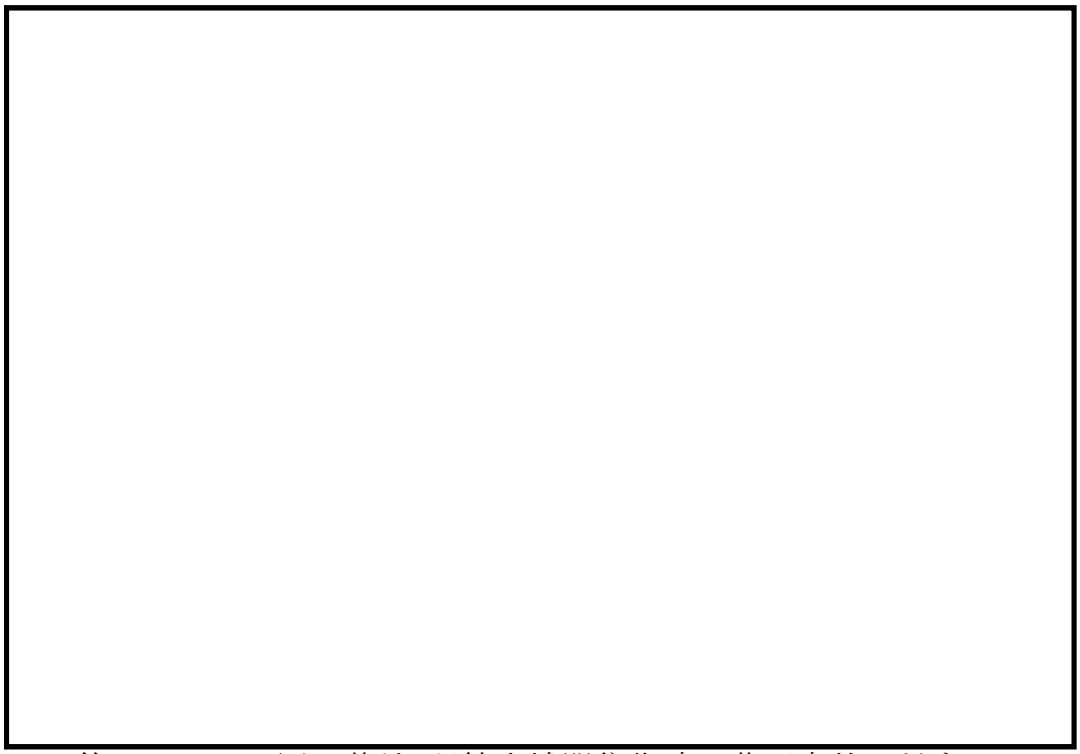
※１：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※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）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）

落下事故のカテゴリ			対象航空機	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	56.60	52	＜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	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	59	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	3,095.33	133	

※：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すべ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／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	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	55	
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	54	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	264.85	58	

(2)　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　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)　ディーゼル発電機吸気系フィルタ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Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタを通して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	43	＜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	43	
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	43	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	3,095.33	48	

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	141	＜200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	＜325
主要変圧器及び F-15	タービン建屋	195	＜200

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	ディーゼル発電機機関	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	換気空調設備	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再循環運転を行うことで，ばい煙の侵入を阻止可能である。 （第 2.4.2-2 図，第 2.4.2-3 図，第 2.4.2-4 図， 第 2.4.2-5 図）
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機	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		再循環運転により，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　中央制御室換気系再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　中央制御室換気系再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%

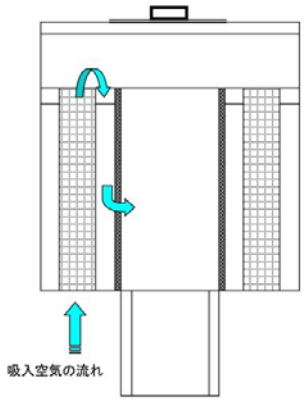
第 2.4.2-5 表　緊急時対策所外気遮断時の炭酸ガス濃度

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%

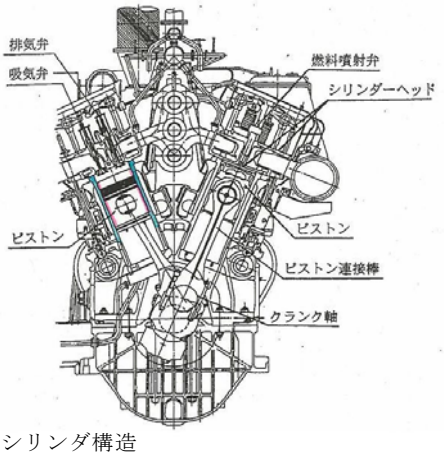
第 2.4.2-6 表　火災発生による有毒ガス濃度

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 吸気口 B2-19A	7,883	116	3	15
判断基準：ＩＤＬＨ※		40,000	1,200	100	20

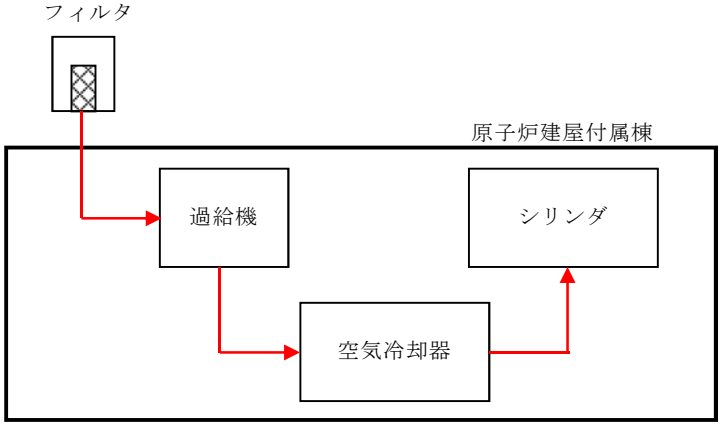
※：30 分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値

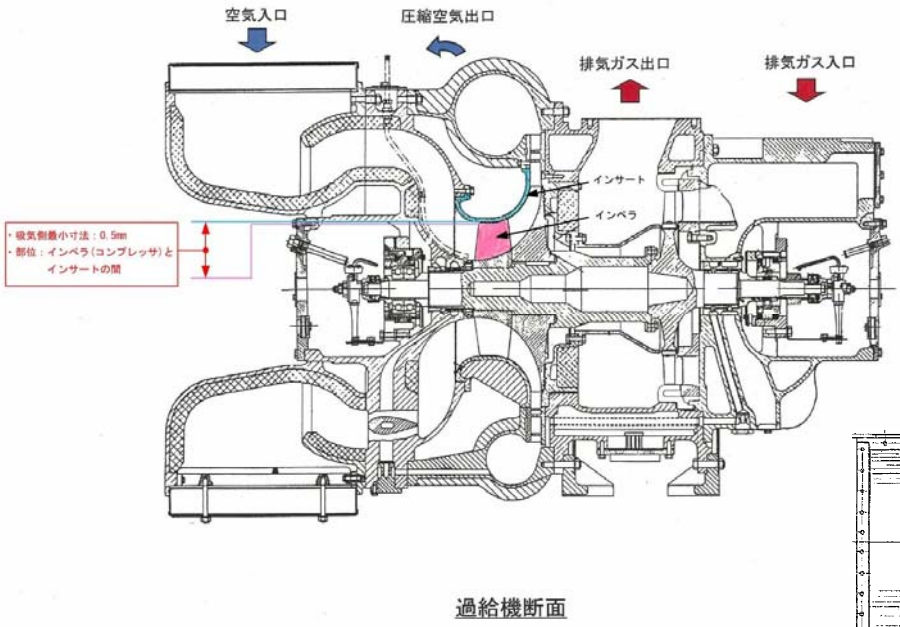


フィルタ構造

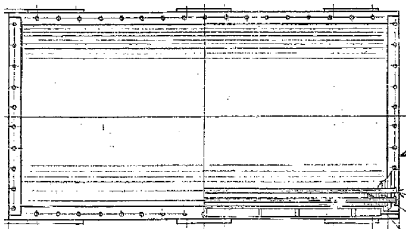


シリンダ構造
（シリンダ／ピストン間隙：数μm～数十μm）



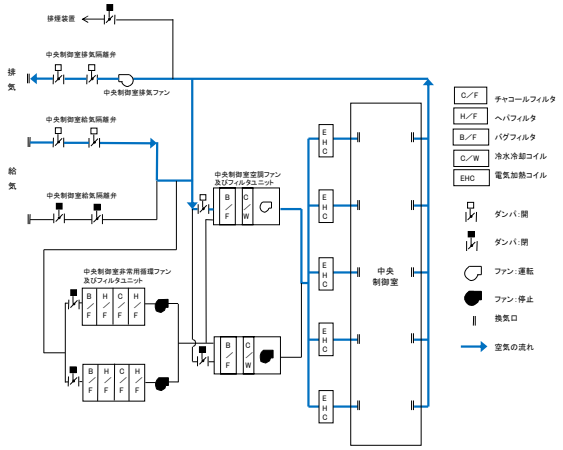


過給機断面

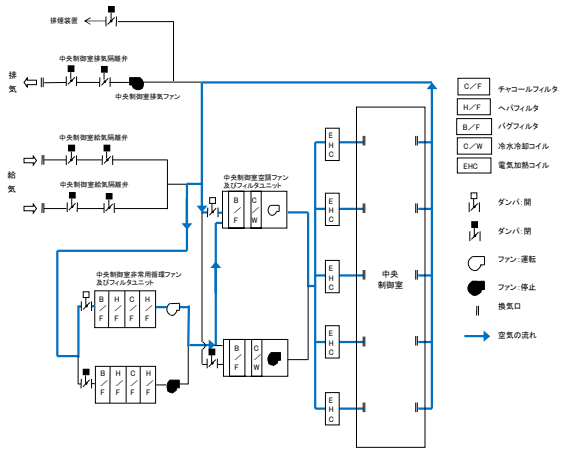


空気冷却器構造
（狭隘部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm）

第 2.4.2-1 図　ディーゼル発電機吸気系統構造図

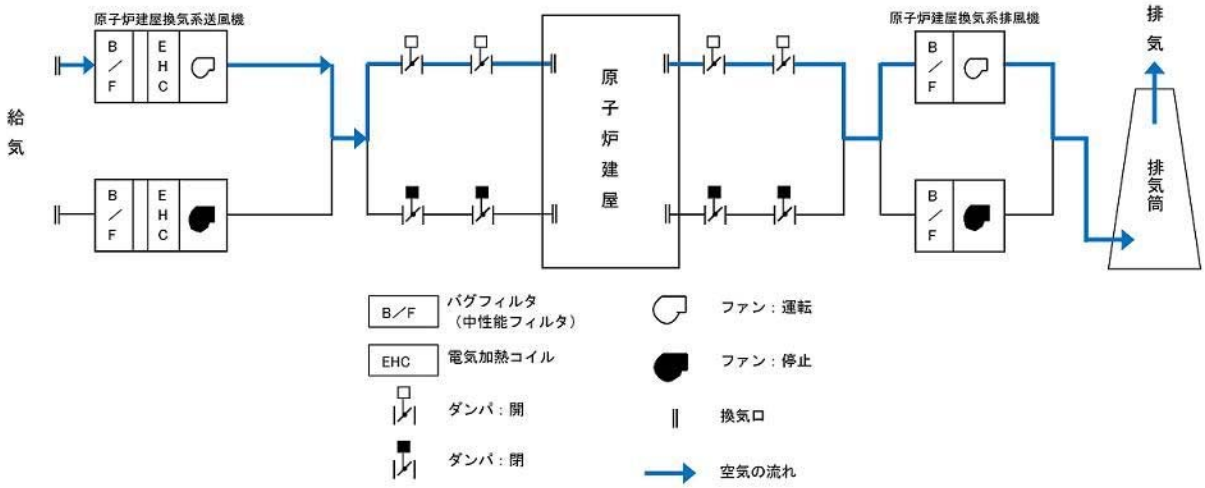


（通常時）

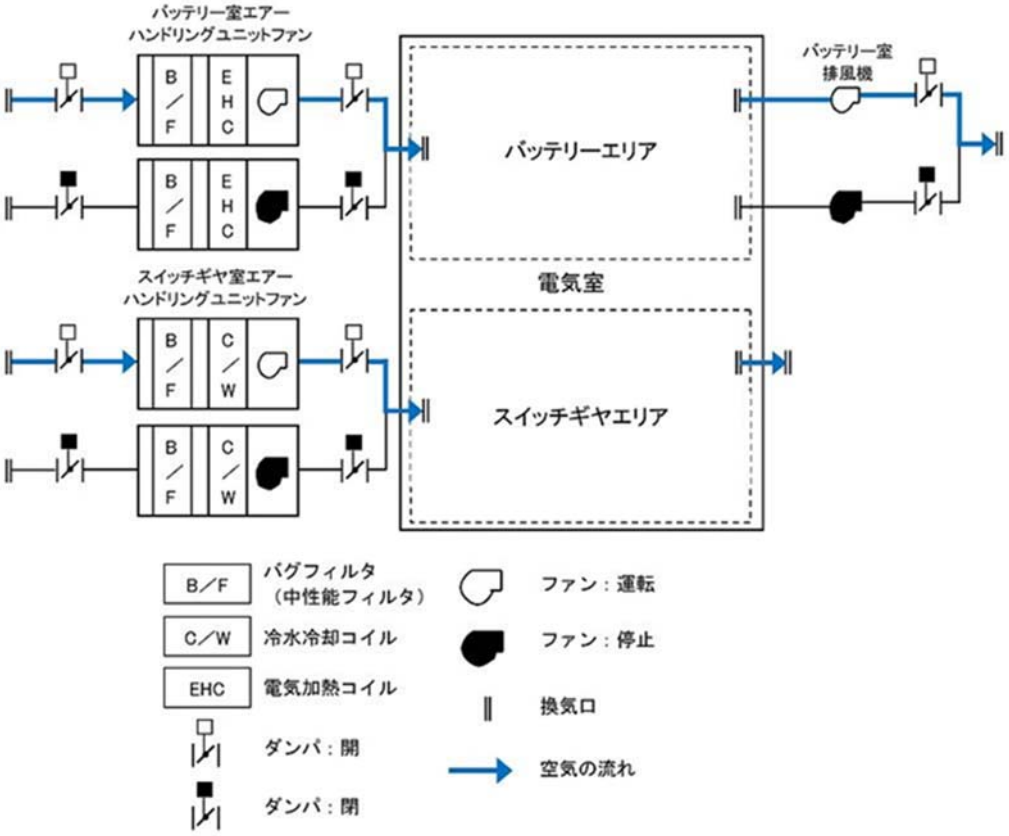


（再循環運転時）

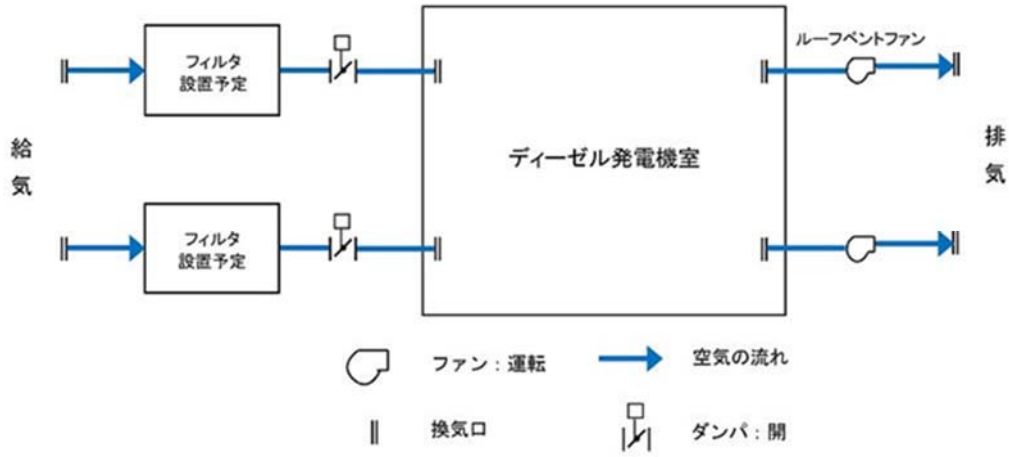
再循環運転第 2.4.2-2 図　中央制御室換気系の系統概略図



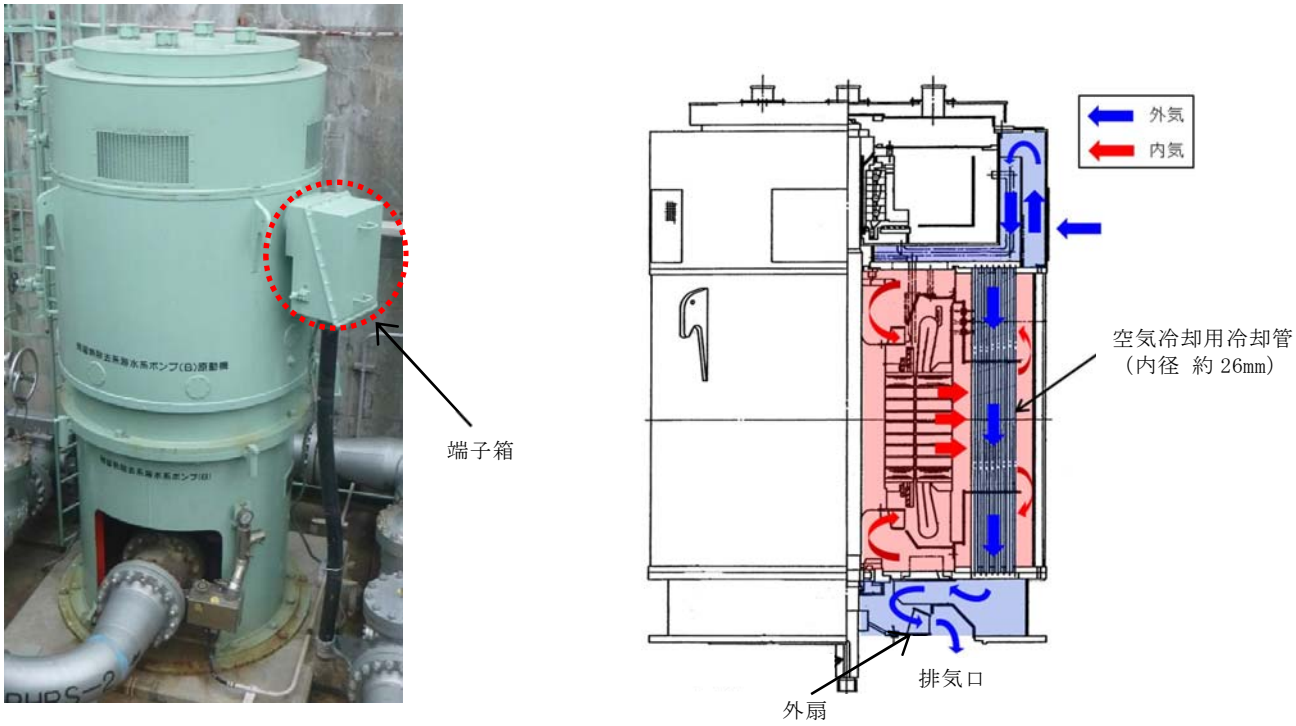
第 2.4.2-3 図　原子炉建屋換気系の系統概略図



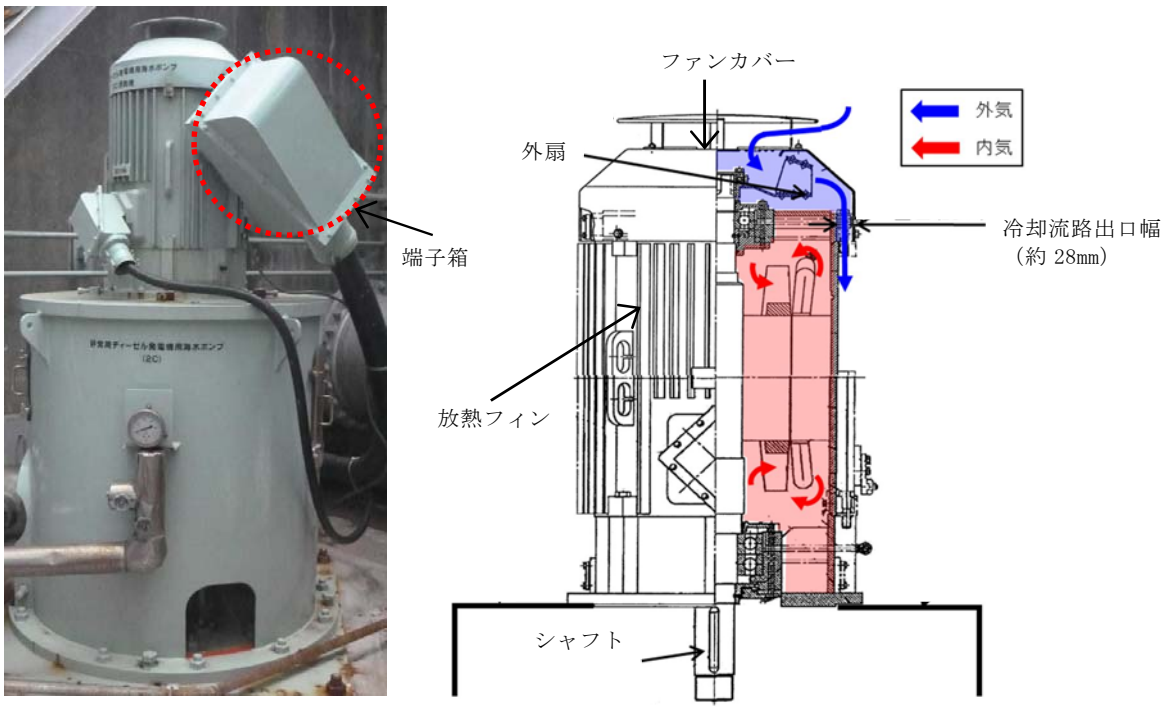
第 2.4.2-4 図　電気室換気系の系統概略図



第 2.4.2-5 図　ディーゼル発電機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　ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機 構造図

添付資料-1

外部火災防護対象と影響評価対象の考え方について

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（以下「ＳＳＣ」という。）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ＳＳＣとして定義されている安全重要度分類のクラス１，２及び３に属するＳＳＣを外部火災に対する防護対象とする。防護対象とするＳＳＣ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，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属するＳＳＣ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 1-1 表参照）

第 1-1 表　影響評価対象の選定（安全重要度分類のクラス１，２）
（1／4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
						熱影響評価		ばい煙評価
	定　義	機　能	構築物，系統又は機器	建屋内設置※1	屋外設備等	建屋外壁※1	個別機器	外気を取り込む又は屋外設置
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 等	○		○		
		2)過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング 等	○		○		
		3)炉心形状の維持機能	炉心支持構造物 ・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 等	○		○		
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 等	○		○		
		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 －ほう酸水注入ポンプ －ほう酸水貯蔵タンク 等	○		○		
		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）	○		○		
			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） －ポンプ －熱交換器 ・原子炉隔離時冷却系 －ポンプ －サプレッション・プール ・高圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サプレッション・プール ・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） －駆動用窒素源（直接関連系） 等	○		○		

※1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

第 1-1 表　影響評価対象の選定（安全重要度分類のクラス１，２）
（2／4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内設置※1	屋外設備等	熱影響評価		ばい煙評価
	定　義	機　能	構築物，系統又は機器			建屋外壁※1	個別機器	外気を取り込む又は屋外設置
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，敷地周辺の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 ・残留熱除去系（低圧注水系） －ポンプ －サプレッション・プール ・低圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サプレッション・プール ・高圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サプレッション・プール ・自動減圧系（逃がし安全弁） 等	○		○		
		6)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	格納容器 ・格納容器本体 ・貫通部 等	○		○		
			格納容器隔離弁	○		○		
			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	○		○		
			非常用ガス再循環系 ・排風機 等	○		○		
			非常用ガス処理系 ・排風機 等	○		○		
			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） （直接関連系）		○ （屋外）		○	
			可燃性ガス濃度制御系	○		○		
	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の作動信号の発生機能	安全保護系	○		○		
		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	○	※2	○	○ （ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機吸気系ﾌｨﾙﾀ）	○
			・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）		※3	

※1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋
※2：ディーゼル発電機機関のうち，ディーゼル発電機吸気系フィルタ等は屋外設備となるため，個別機器の熱影響評価を実施する。
※3：非常用ディーゼル発電機の燃料である軽油貯蔵タンクは，地下化することから外部火災の熱影響は受けないため，影響評価対象外とする。

第 1-1 表　影響評価対象の選定（安全重要度分類のクラス１，２）
（3／4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内設置※1	屋外設備等	熱影響評価		ばい煙評価
	定　義	機　能	構築物，系統又は機器			建屋外壁※1	個別機器	外気を取り込む又は屋外設置
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	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 －非常用再循環送風機 －非常用再循環フィルタ装置 等	○		○		○
			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 －ポンプ ・非常用ディーゼル発電機海水系 －ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系 －ポンプ 等		○ （海水ポンプ室）		○	○
			直流電源系（MS-1 関連のもの） ・蓄電池 等	○		○		
PS-2	1)その損傷又に生事象はよりする事象すによって，著傷料の直きおな地過射のおああ炉し又の破ち起そいが，敷への放質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，原子圧ダ却炉力リされ計装等のもの小のン接口及びバウ直接ての接続いなは除く。）	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ていないもので，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異常時の過渡変化時に要求もつて，そのよう故障がれ性の高い構築物，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）	○		○		

※1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

第 1-1 表　影響評価対象の選定（安全重要度分類のクラス１，２）
（4／4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内設置※1	屋外設備等	熱影響評価		ばい煙評価
	定　義	機　能	構築物，系統又は機器			建屋外壁※1	個別機器	外気を取り込む又は屋外設置
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 等	○		○		
		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 ・非常用ガス再循環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）	○		○		

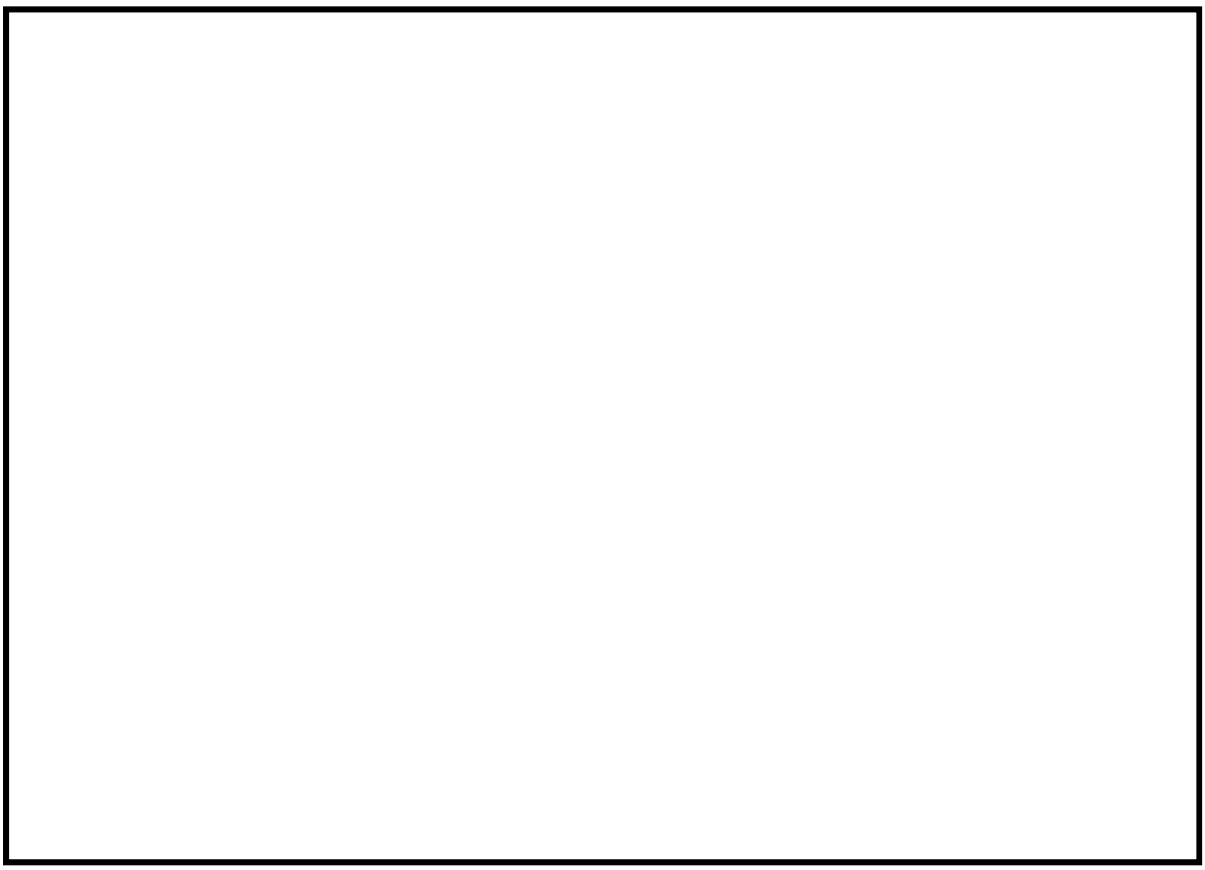
※1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

2.　影響評価内容

(1)　熱影響評価

影響評価対象として選定したＳＳＣ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内に設置されている施設については，「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，影響評価対象として選定したＳＳＣのうち，海水ポンプ室（海水ポンプ），排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタについては，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　外部火災に対する影響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，ばい煙等により影響を受けると想定されるＳＳＣに対して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及び屋外設置機器を選定し評価する。

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.　安全重要度分類のクラス３に属するＳＳＣについて

安全重要度分類のクラス３に属するＳＳＣ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内に設置されているＳＳＣについては，各建屋により防護される。それ以外のＳＳＣについては，外部火災発生時に安全機能が影響を受けることのないよう，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る安全機能の維持を図ることとする。（第 3-1 表参照）

第 3-1 表　安全重要度分類のクラス３に属するＳＳＣの外部火災発生時の防護について（1／2）

【外部火災発生時の防護方法】

①：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外壁により防護
②：防火帯幅の確保により防護
③：消火活動により防護
④：代替設備により安全機能を維持

分類	安全機能の重要度分類			設置場所			外部火災発生時の防護
				建屋内設備		屋外	
	定義	機能	構築物，系統又は機器	原子炉建屋等※1	個別建屋		
PS-3	1）異常状態の起因事象となるものであって，PS-1及びPS-2以外の構築物，系統及び機器	1）原子炉冷却材保持機能（PS-1，PS-2以外のもの）	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管，弁 ・計装配管 ・試料採取系配管 等	○			①，②
		2）原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	○			①，②
		3）放射性物質の貯蔵機能	復水貯蔵タンク			○	②，③
			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） ・液体廃棄物処理系 ・固体廃棄物処理系	○	○		【原子炉建屋等】 ①，② 【個別建屋】 ②，③
			新燃料貯蔵庫	○			①，②
		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	○			①，②
			復水系（復水器を含む）	○			①，②
			給水系	○			①，②
			循環水系	○		○	【タービン建屋】 ①，② 【屋外】 ②，③
			送電線			○	②，③
			変圧器			○	②，③
			開閉所		○	○	②，③
		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	○			①，②
			運転監視補助装置（制御棒価値ミニマイザ）	○			①，②
			原子炉核計装の一部	○			①，②
			原子炉プラントプロセス計装の一部	○			①，②
		6）プラント運転補助機能	補助ボイラ設備	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③
			計装用圧縮空気系	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③
	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拡散防止機能	燃料被覆管	○			①，②
		2）原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系	○			①，②
			復水浄化系	○			①，②

※1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

第 3-1 表　安全重要度分類のクラス３に属するＳＳＣの外部火災発生時の防護について（2／2）

分類	安全機能の重要度分類			設置場所			外部火災発生時の防護
				建屋内設備		屋外	
	定義	機能	構築物，系統又は機器	原子炉建屋等※1	個別建屋		
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）	○			①，②
			タービンバイパス弁	○			①，②
		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）	○			①，②
			制御棒引抜監視装置	○			①，②
		3）原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系	○			①，②
			原子炉隔離時冷却系	○			①，②
	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	緊急時対策所		○		②，③
			試料採取系	○			①，②
			通信連絡設備	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③，④
			放射能監視設備	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③，④
			事故時監視計器の一部	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③
			消火系	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③，④
			安全避難通路	○	○		【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③
			非常用照明	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③

※１：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

4.　重大事故等対処設備について

防護対象として選定したＳＳＣ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。

5.　防潮堤について

防潮堤については，以下の対応を行い，防潮堤等の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，散水を行い防潮堤の温度上昇を抑制し，万が一，防潮堤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

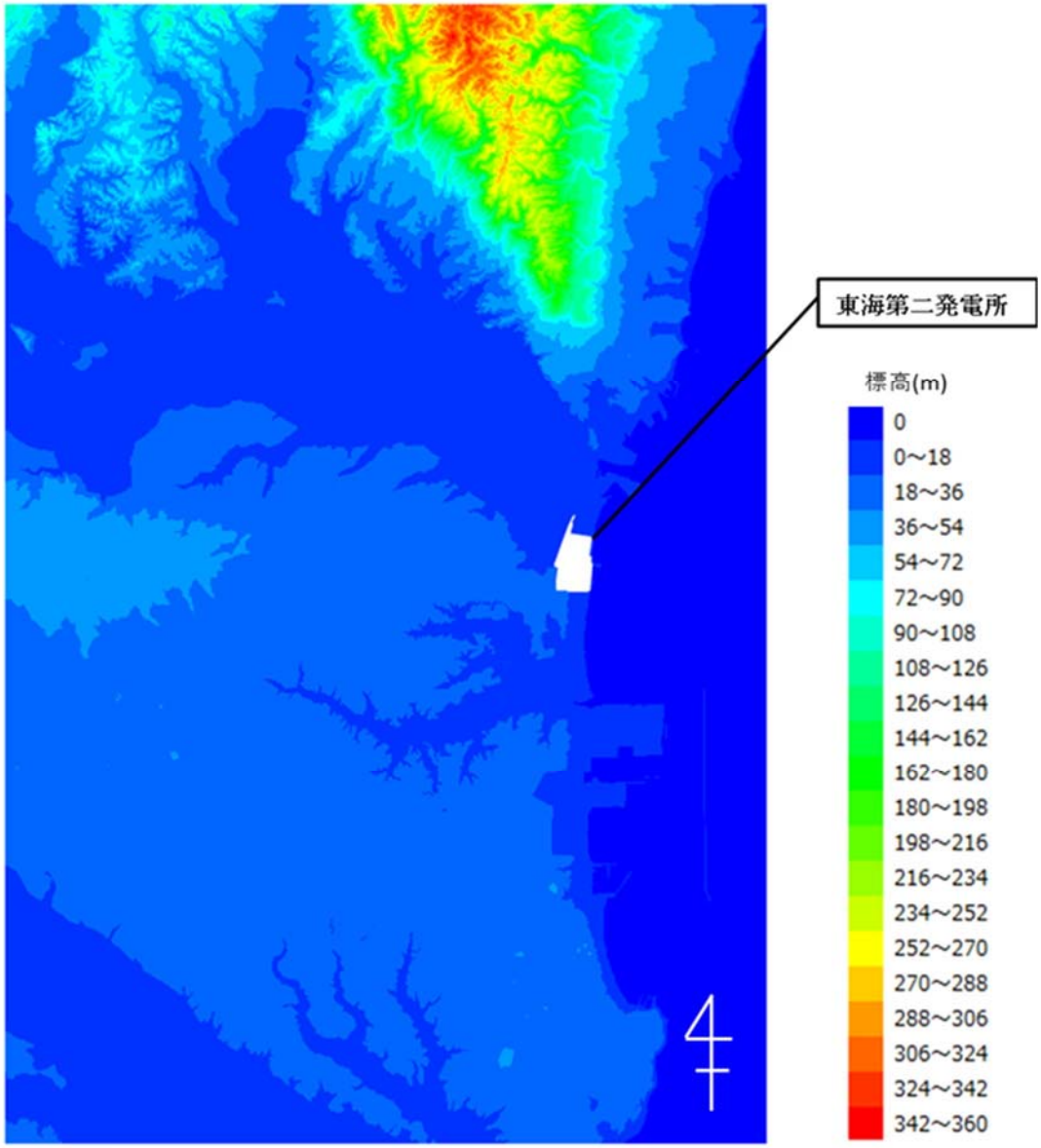
ＦＡＲＳＩＴＥに入力したデータは評価ガイド記載に対し第 2.1-1 表のとおりとした。

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	公開情報のなか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

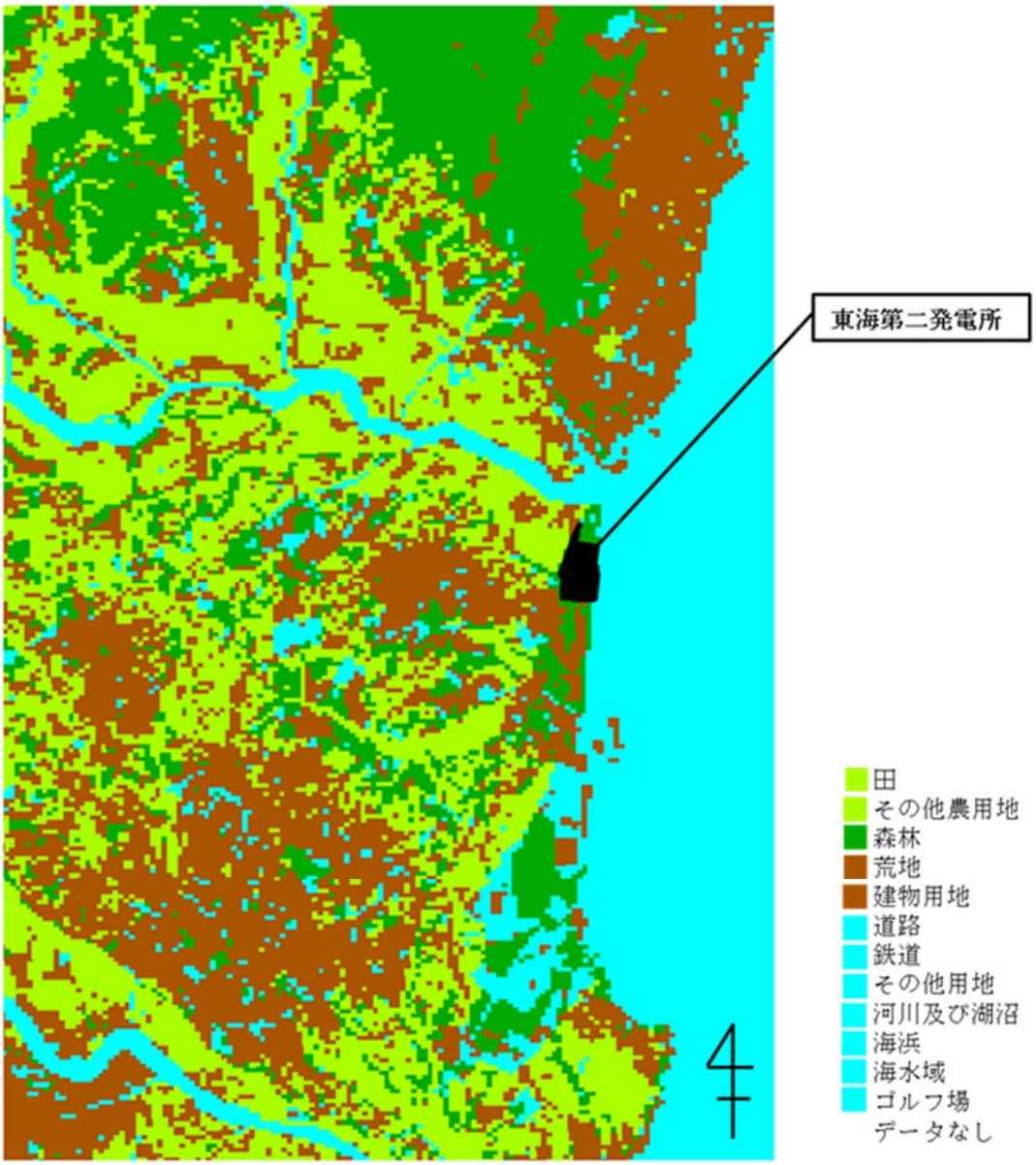
公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。設定した地形データを第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図　地形データ

(3)　土地利用データの設定

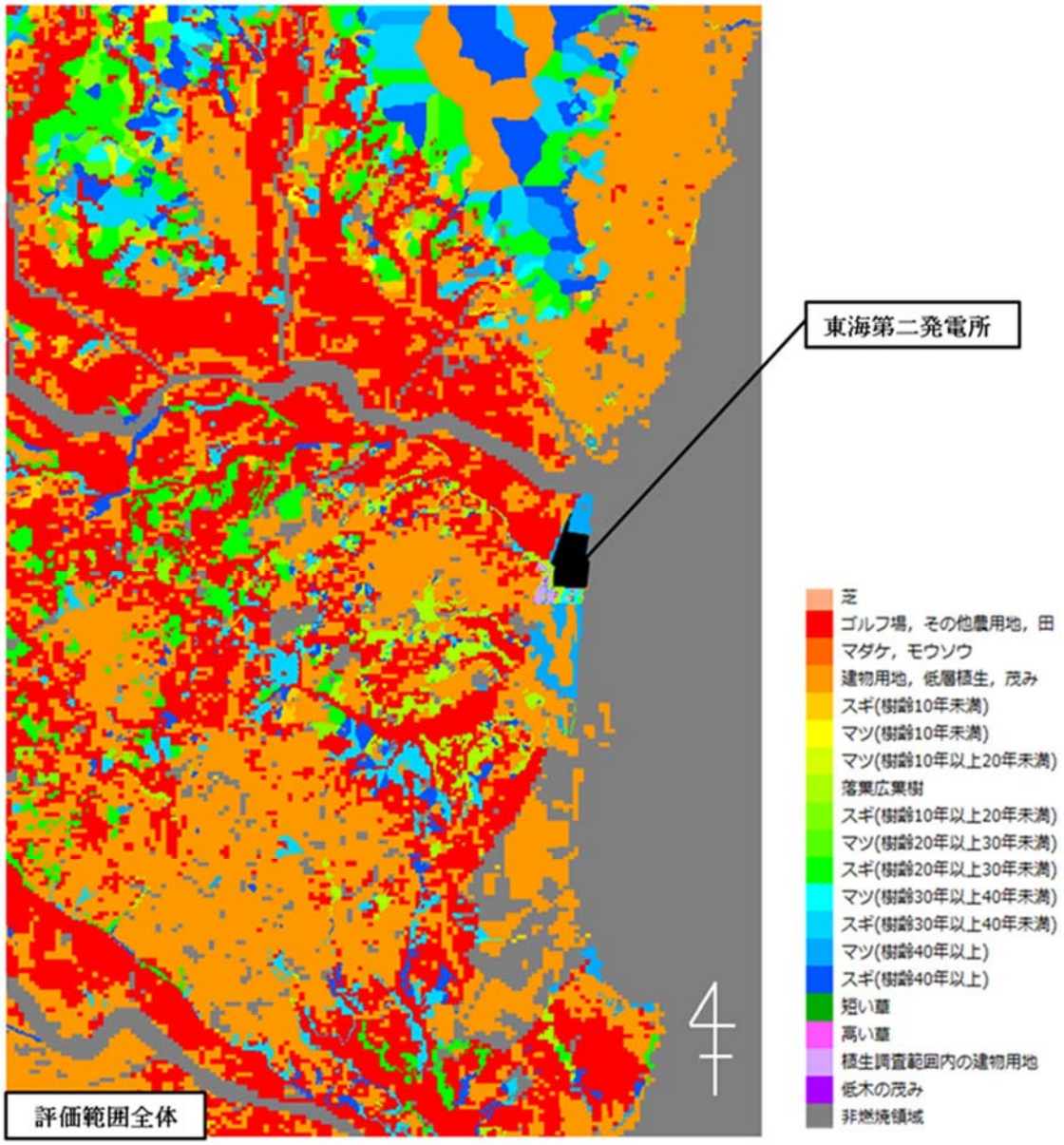
公開情報の中でも高い空間解像度である「国土数値情報　土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。設定した土地利用データを第 2.1-2 図に示す。



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。



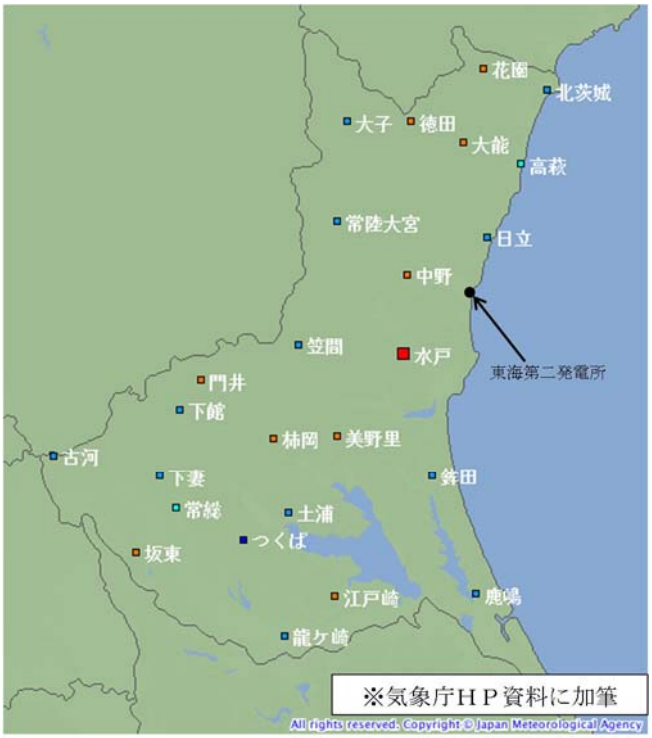
第 2.1-3 図　植生データ

(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 月から 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。

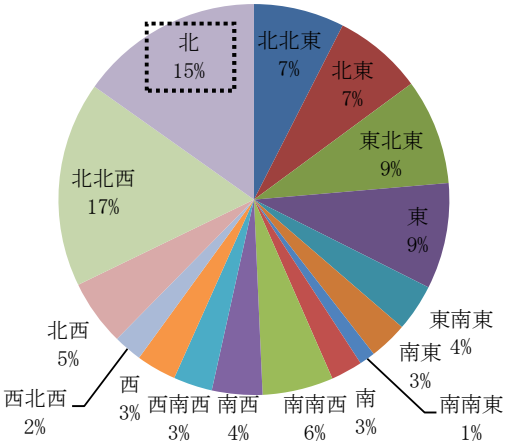
卓越風向は，水戸地方気象台観測データの高い割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

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）

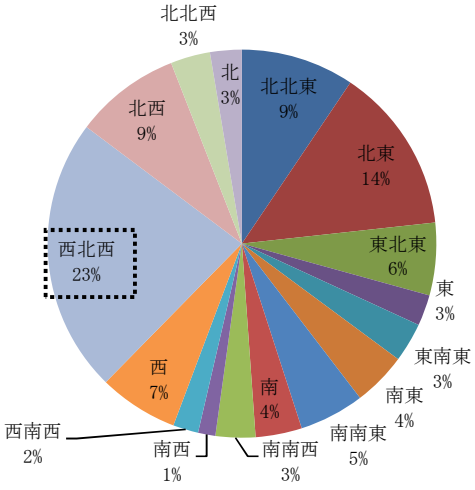
月	水戸地方気象台　気象観測データ					茨城県内の月別森林火災件数※
	最高気温（℃）	最大風速（m／s）	最大風速記録時の風向		最小湿度（%）	
			第 1 位	第 2 位		
1	16.9	17.5	北東	北東	17	79
2	24.3	17.5	北北東	北東	13	86
3	25.9	14.3	北東	北北東，南西	11	131
4	29.3	15.1	北北東	北東	13	126
5	30.8	13.5	北東	北北東	13	54
6	33.5	14.2	北北東	北北東	21	10
7	36.4	11.8	北北東	北北東	35	13
8	37.0	12.9	北東	北北東	35	24
9	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。

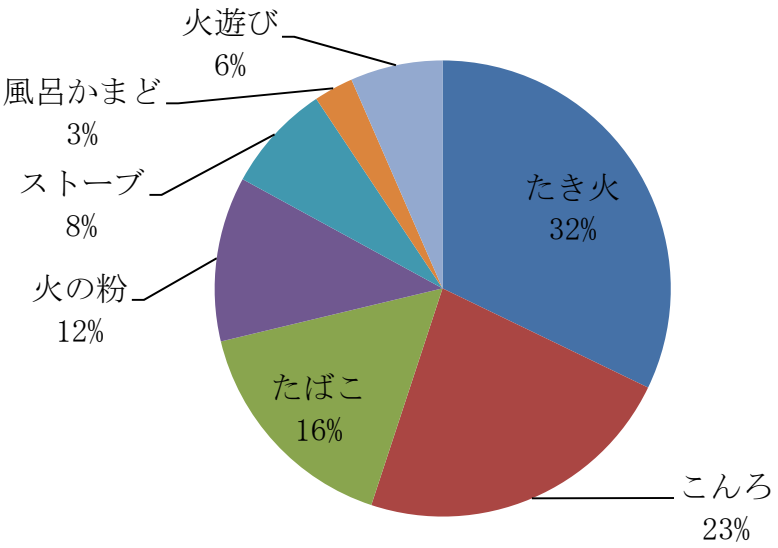
・卓越風向及び最大風速記録時の風向が発電所の風上になる地点

・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号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道２４５号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。

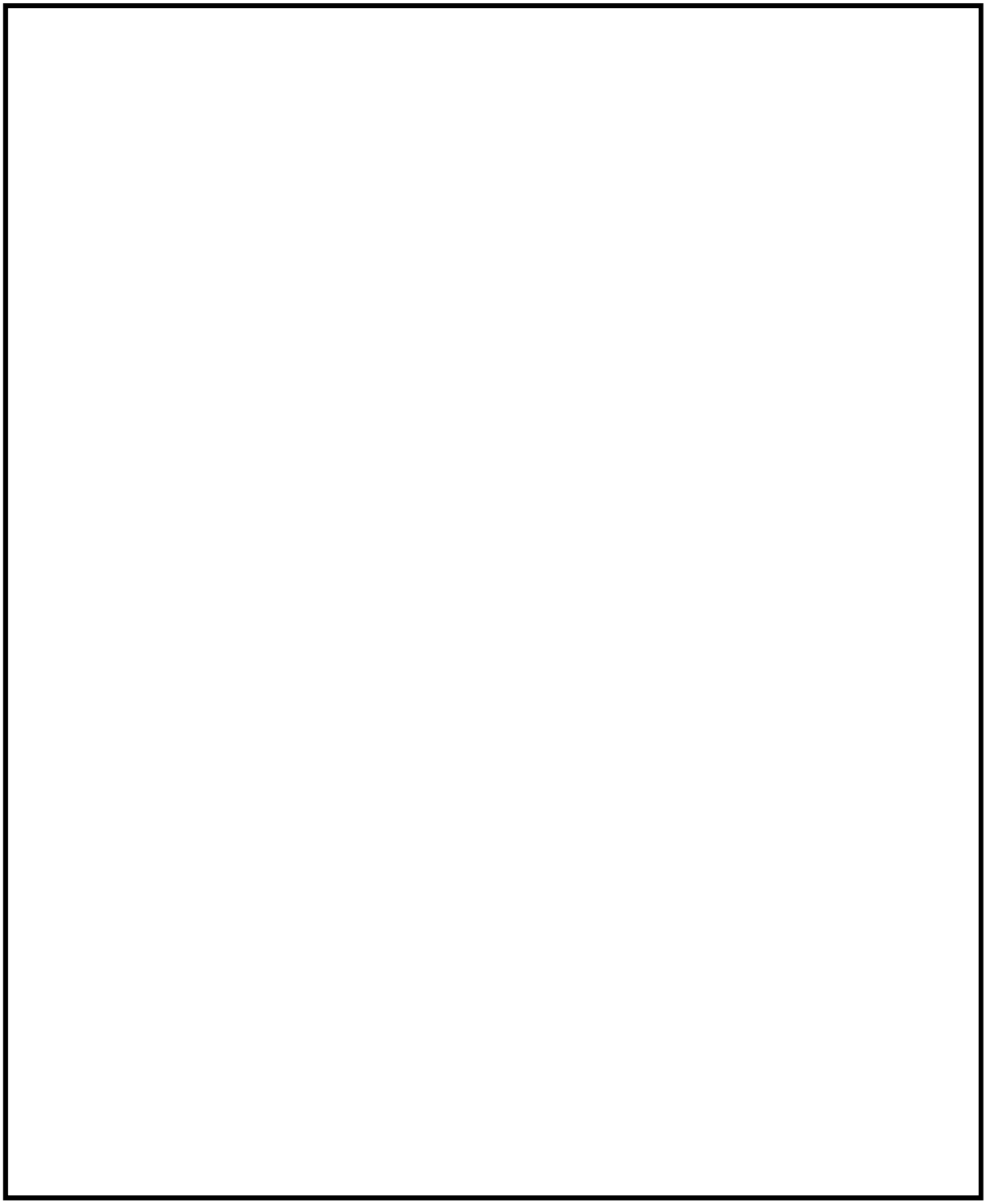
(c)　南西方向（発火点 5，6）

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。

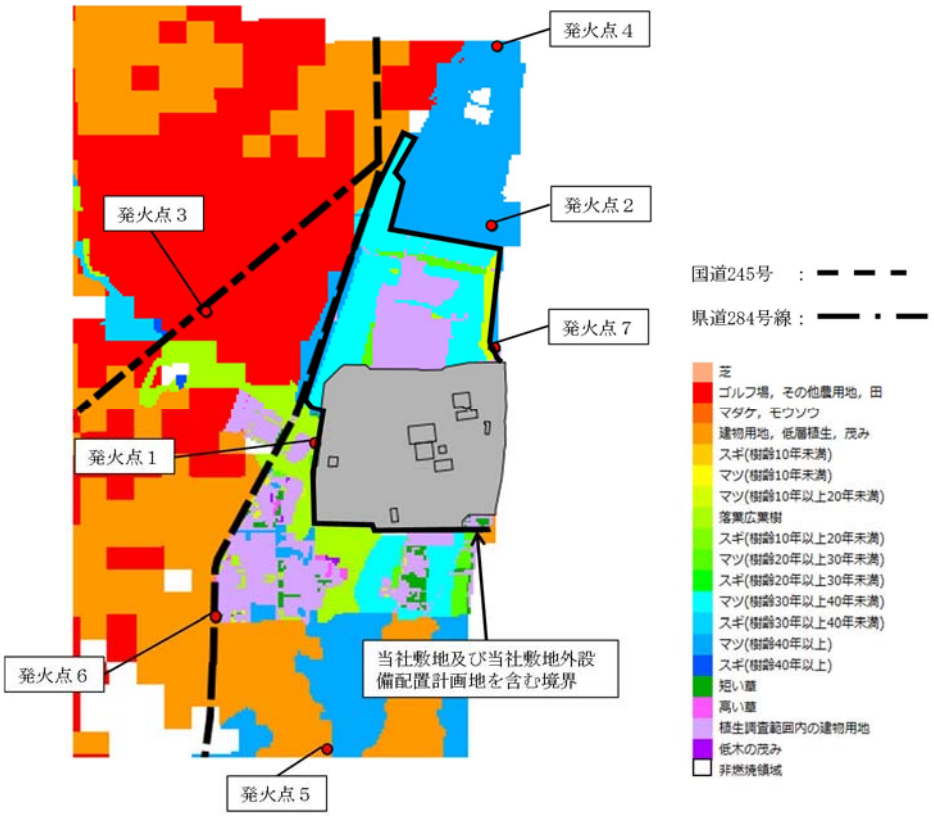
交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道２４５号沿いに発火点 6 を設定した。

(d)　北東方向（発火点７）

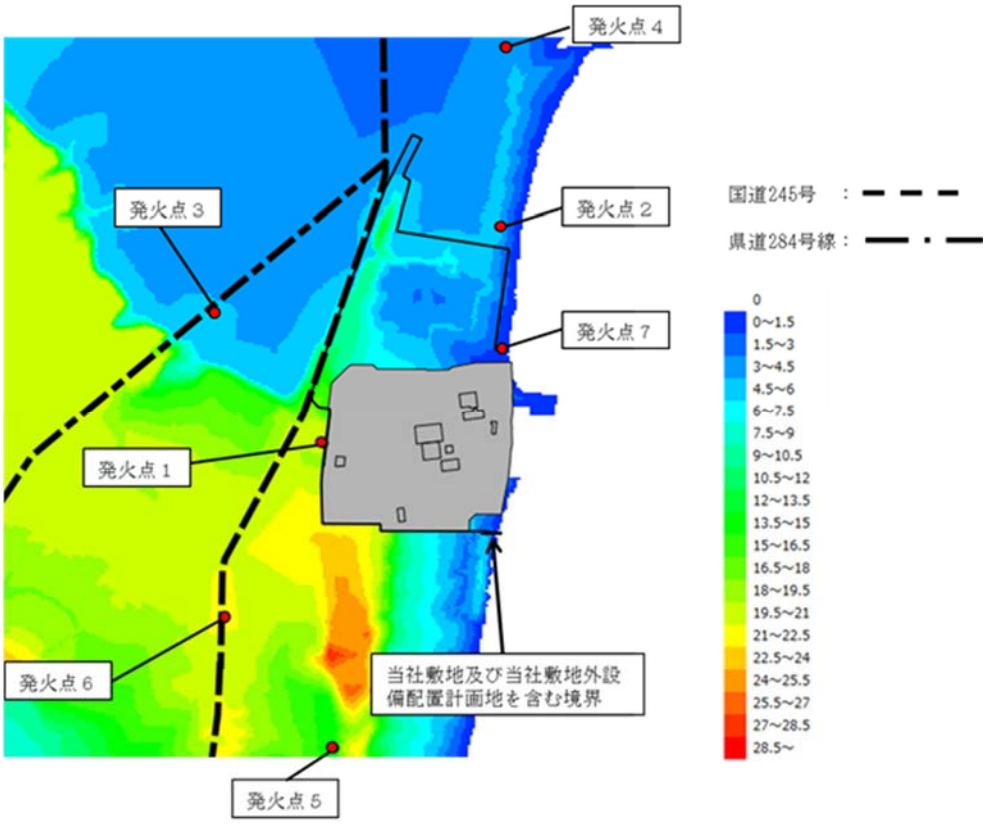
釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿いに発火点 7 を設定した。



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）

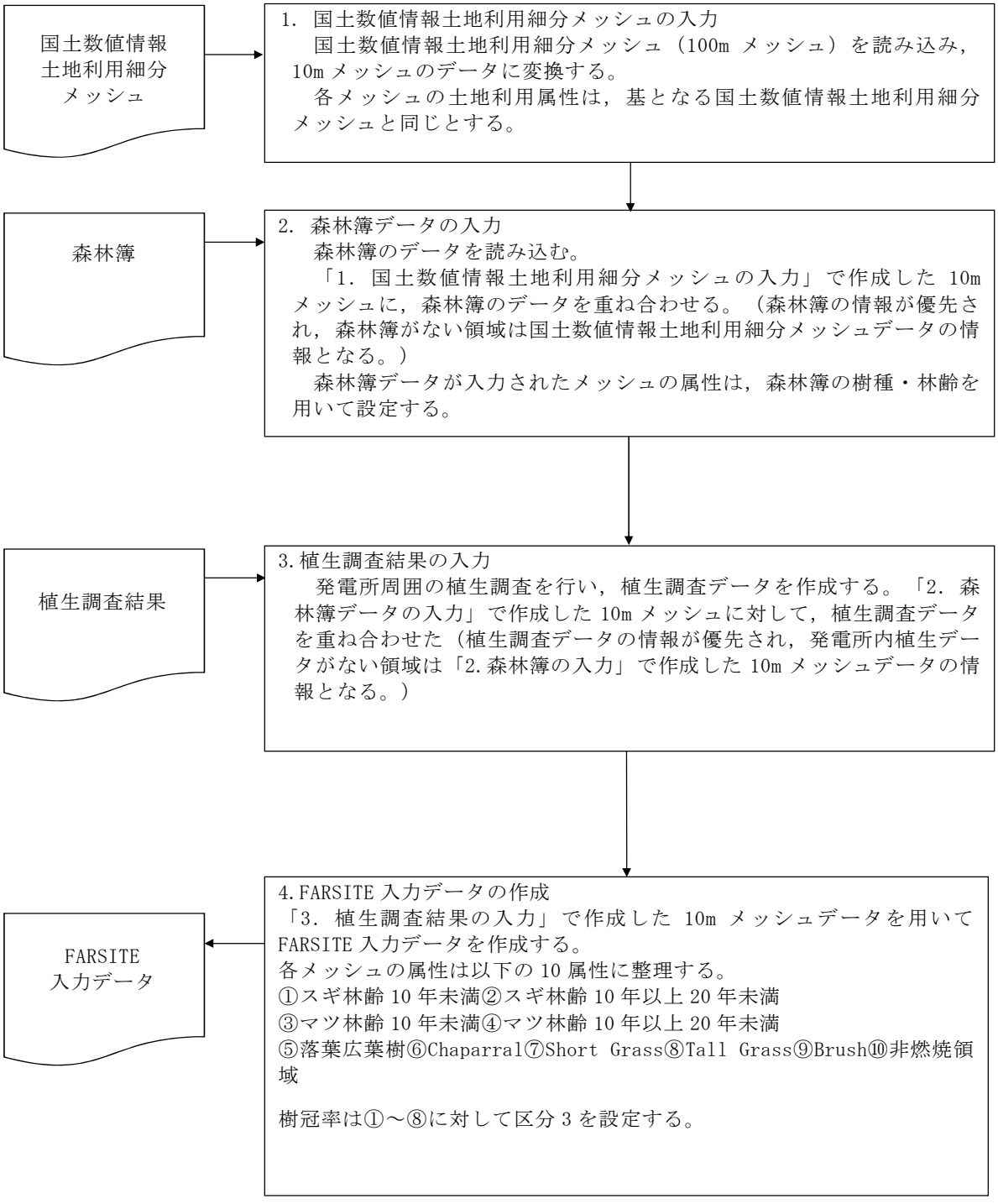
項目		入力データ	備考
地形	標高 傾斜，傾斜方位	第 2.1-1 図参照	「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データ及び標高データから算出した傾斜，傾斜方位を入力（評価ガイド通り）
気象	風速（km/hr）	63	評価ガイドに基づき，茨城県内で森林火災発生件数が多い（12 月から 5 月）の水戸地方気象台で観測された最大風速（17.5m/s）に相当する 63km/hr を入力（評価ガイド通り）
	風向（deg）	239（西北西） 0（北） 225（南西） 45（北東）	評価ガイドに基づき，茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の卓越風向と最大風速記録時の風向を入力（評価ガイド通り）
	最高気温（℃）	31	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 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。（評価ガイド通り）
	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 月から 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。（評価ガイド通り）
	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（評価ガイド通り）
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 12～5 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・林齢毎に設定	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・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 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・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 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・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 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」を入力する
	スギ・ヒノキ・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 林齢 30 年以上 40 年未満		
	スギ・ヒノキ・ｶｲｽﾞｶｲﾌﾞｷ 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」を入力する
	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
	防潮堤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 日から 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

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	○

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	－

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	－

ﾎﾟｲﾝﾄNo.	植生区分	植生写真
1	クロマツ 40 年生	
	強風の影響により矮性化している。	
11	アカマツ 40 年生	
	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）

ﾎﾟｲﾝﾄNo.	植生区分	植生写真
18	低草地	
	雑草等の 0.3m 程度の低草地。	
19	高草地	
	セイタカ等の 1.0m 程度の草地。	

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，防潮堤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。（別添 3）

(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。

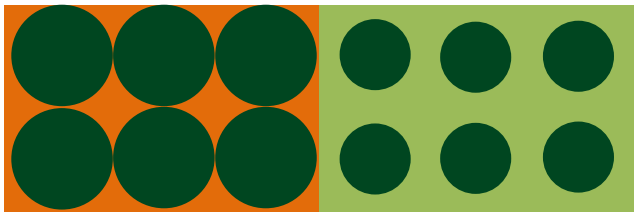
第 2.2-7 表　針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違い（イメージ）

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。

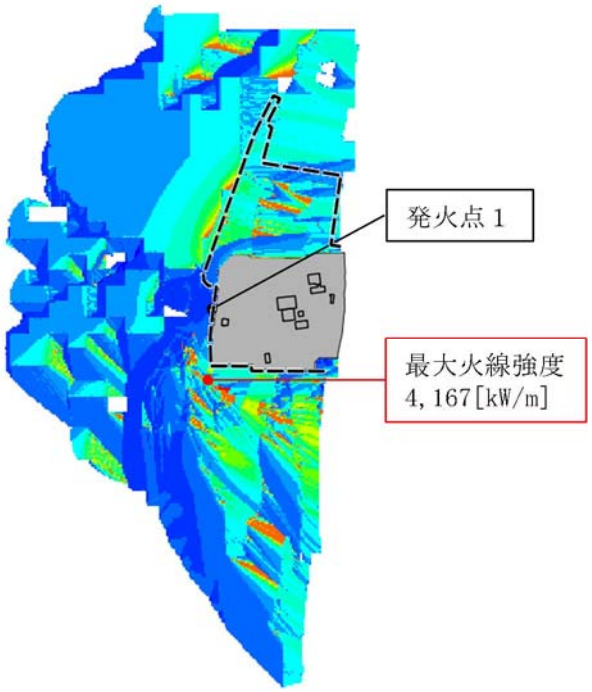
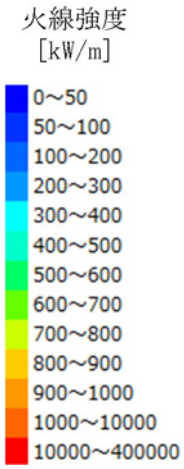
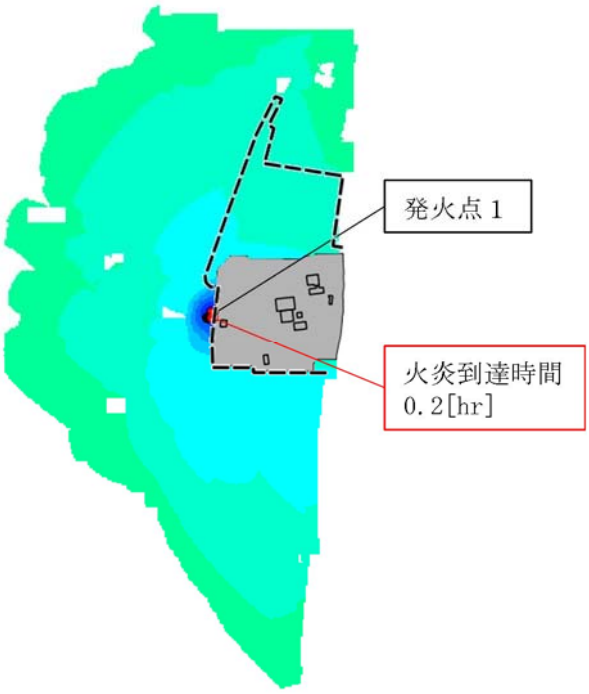
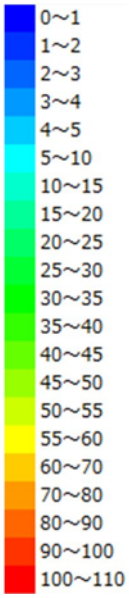
第 3.1-1 表　解析結果

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

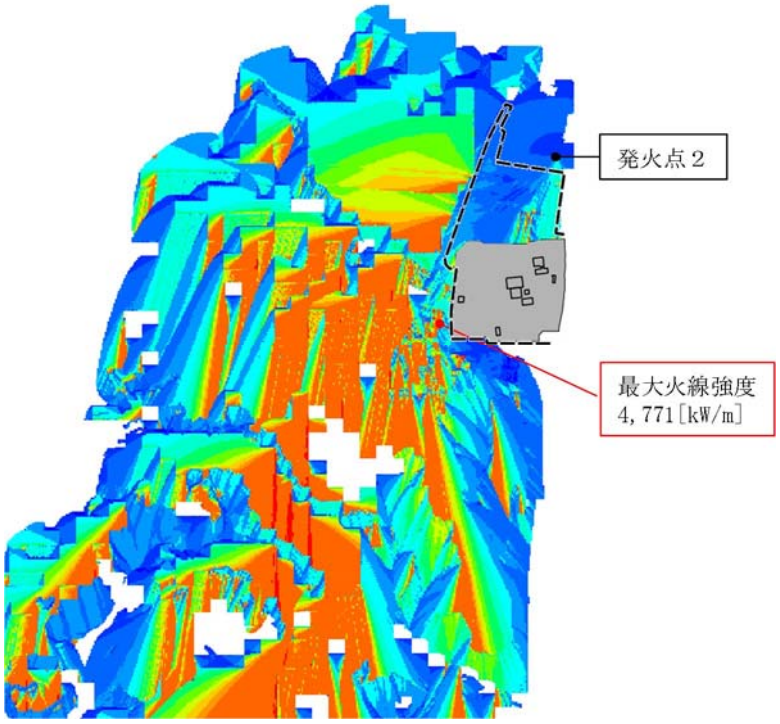
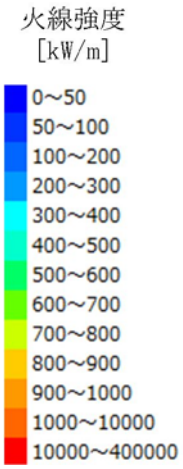
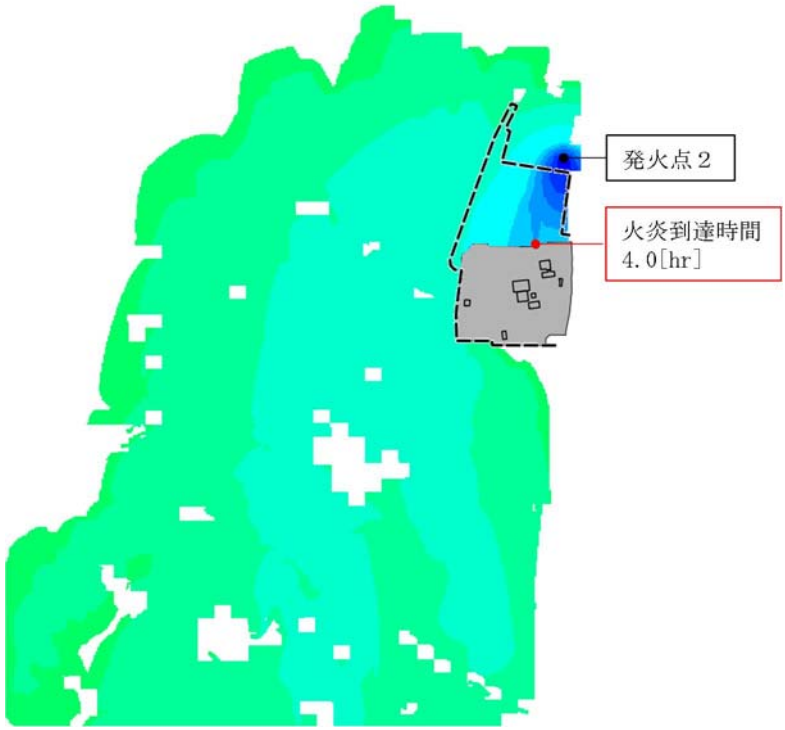
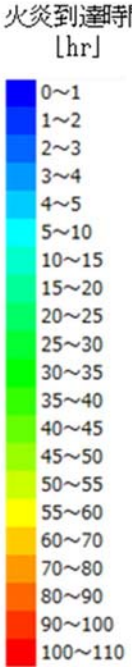
(2)　延焼状況

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。

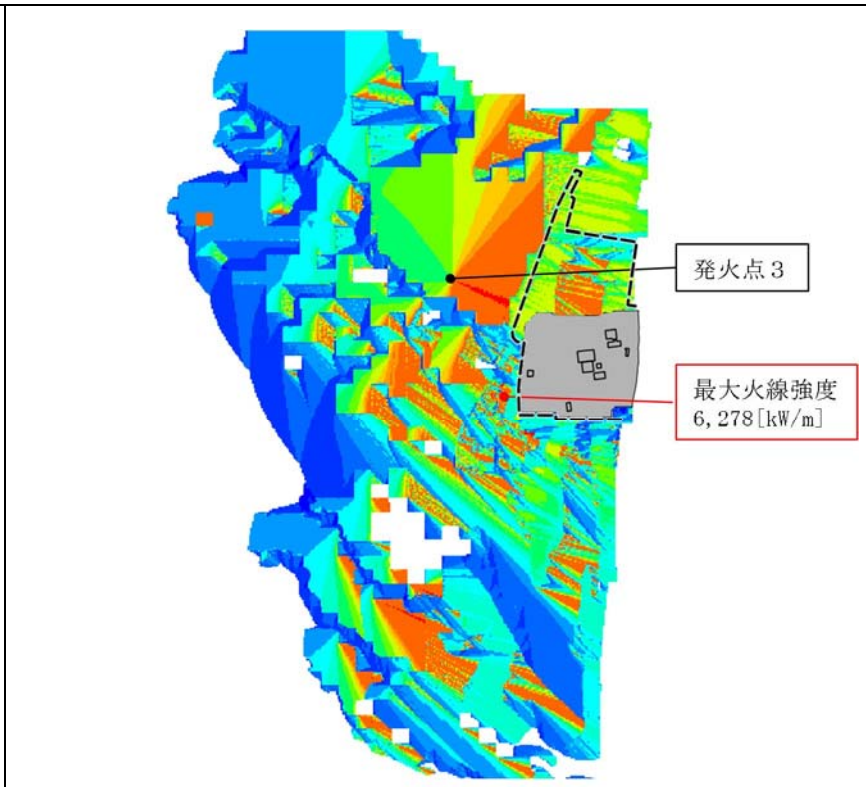
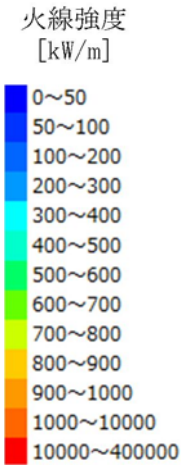
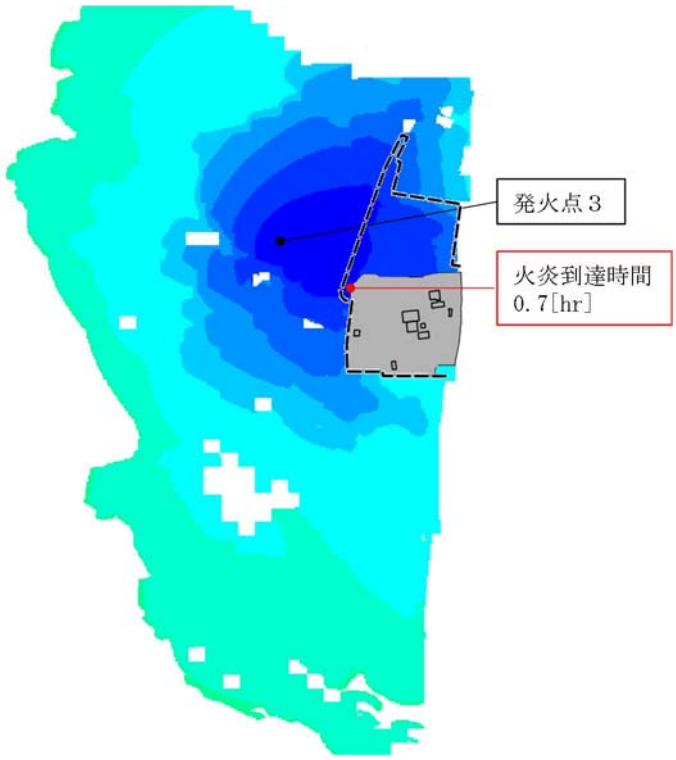
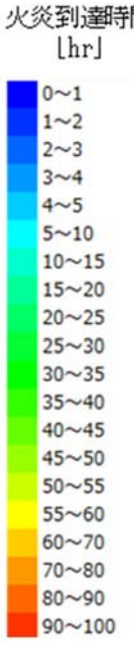
第 3.1-2 表　発火点 1 の延焼状況

<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>

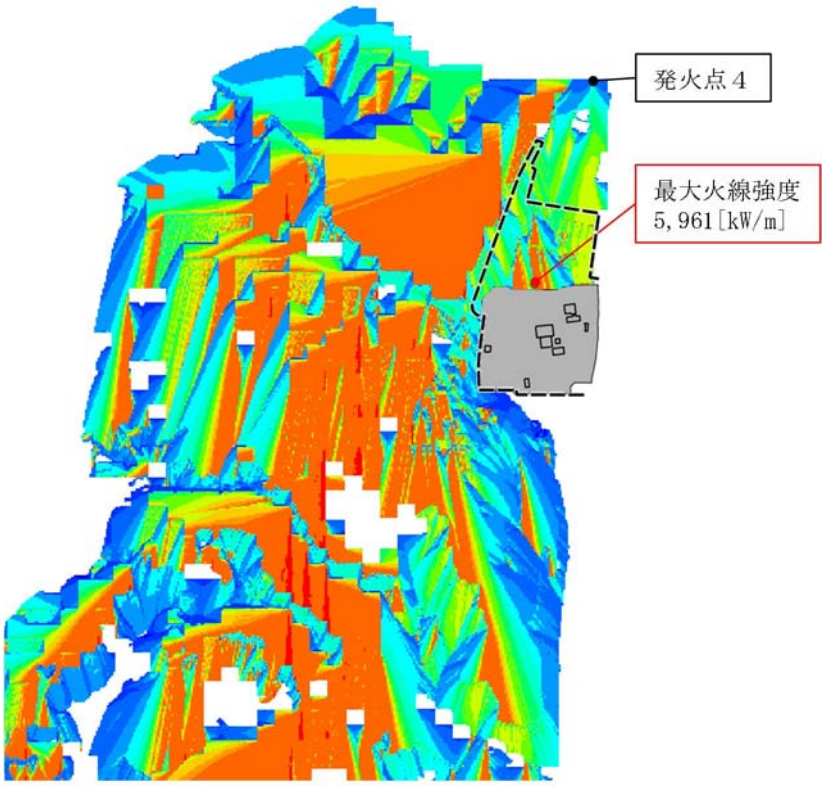
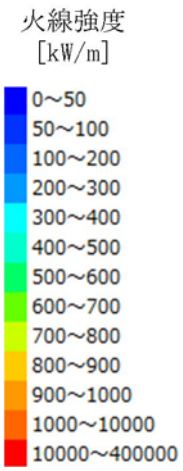
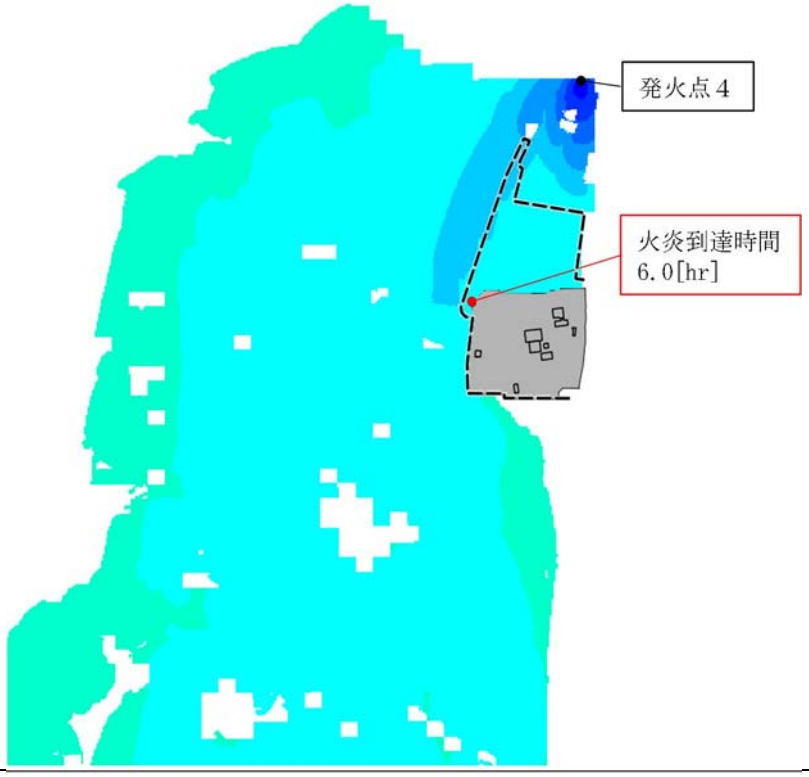
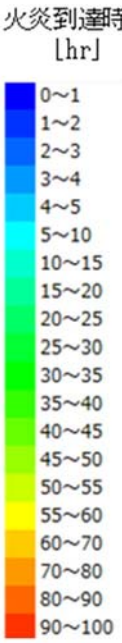
第 3.1-3 表　発火点 2 の延焼状況

<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>

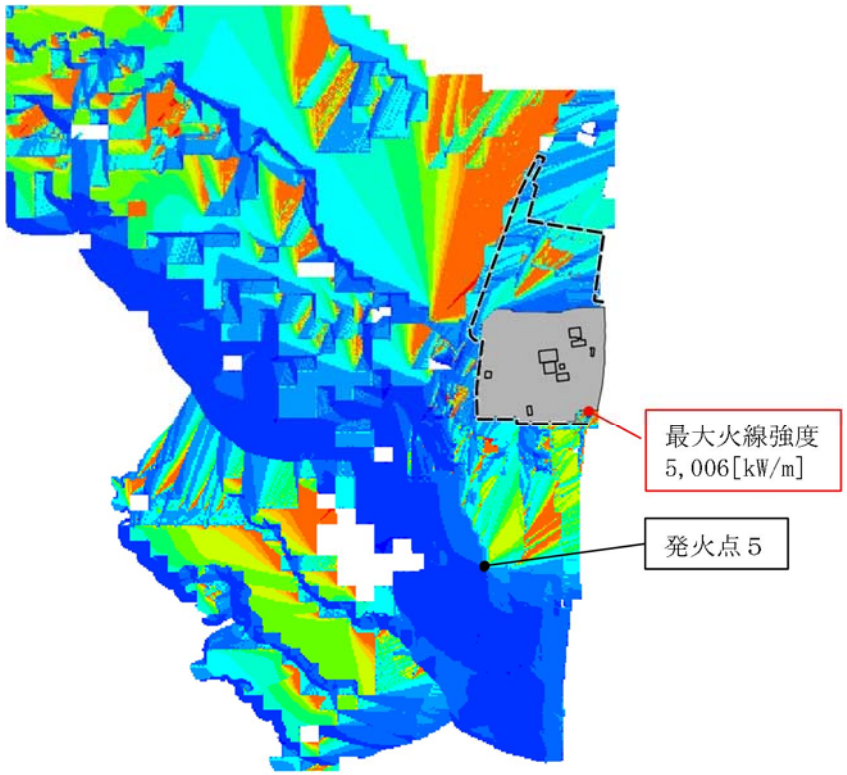
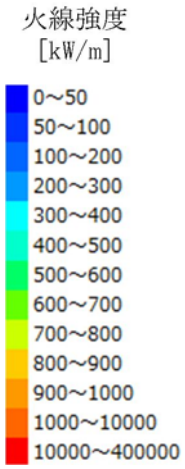
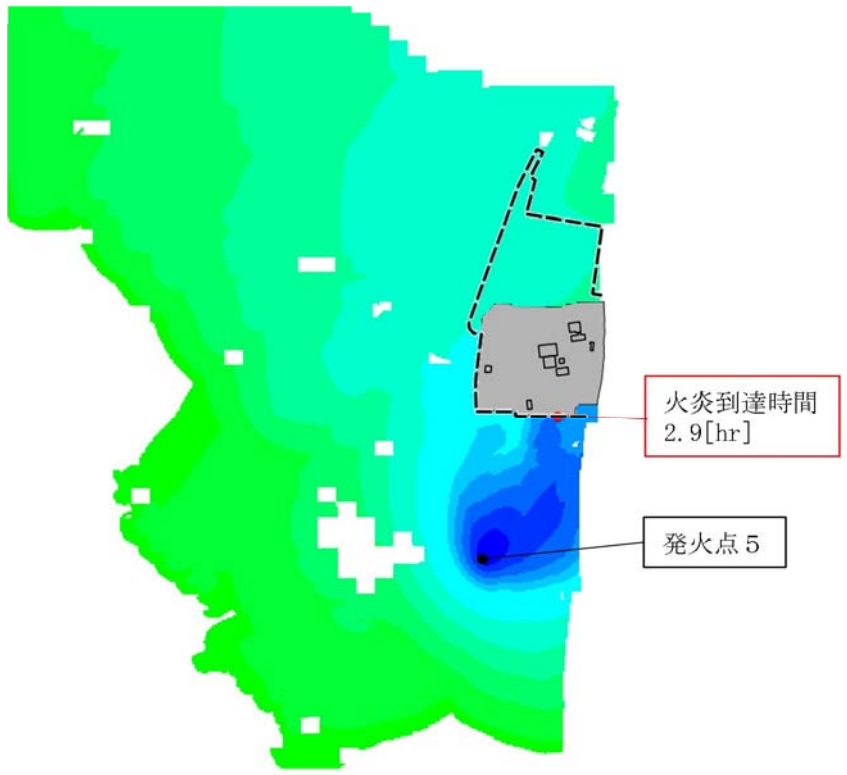
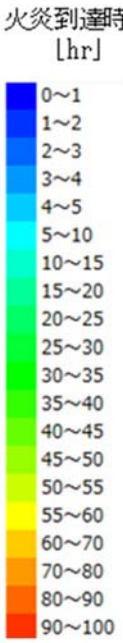
第 3.1-4 表　発火点 3 の延焼状況

<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>

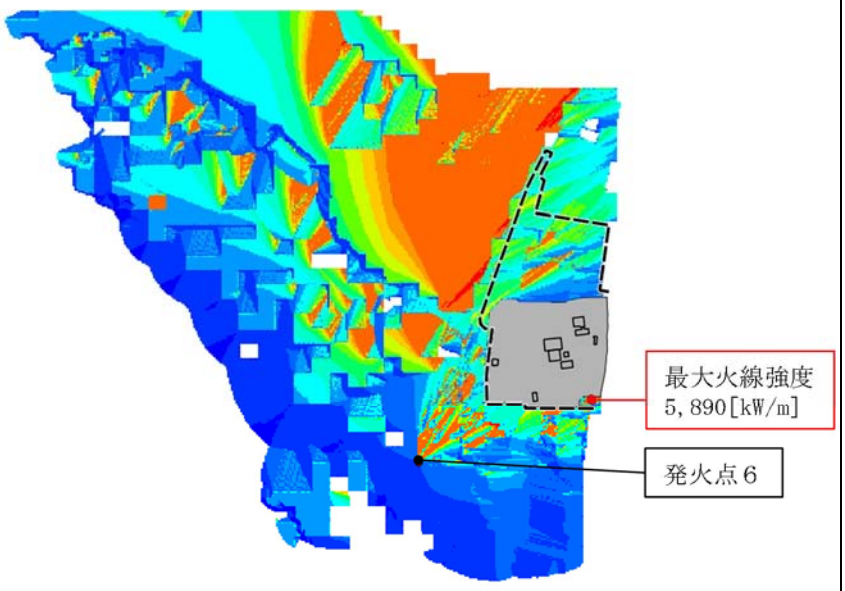
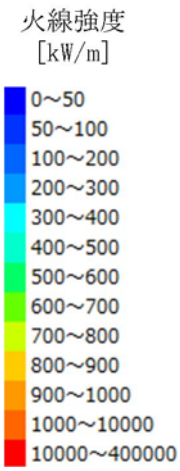
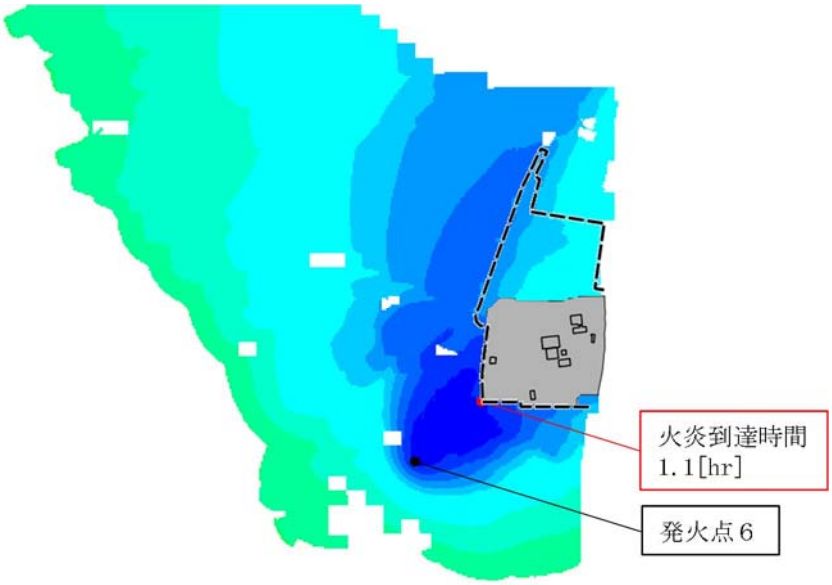
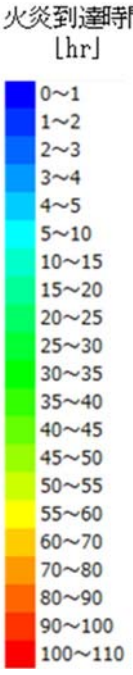
第 3.1-5 表　発火点 4 の延焼状況

<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>

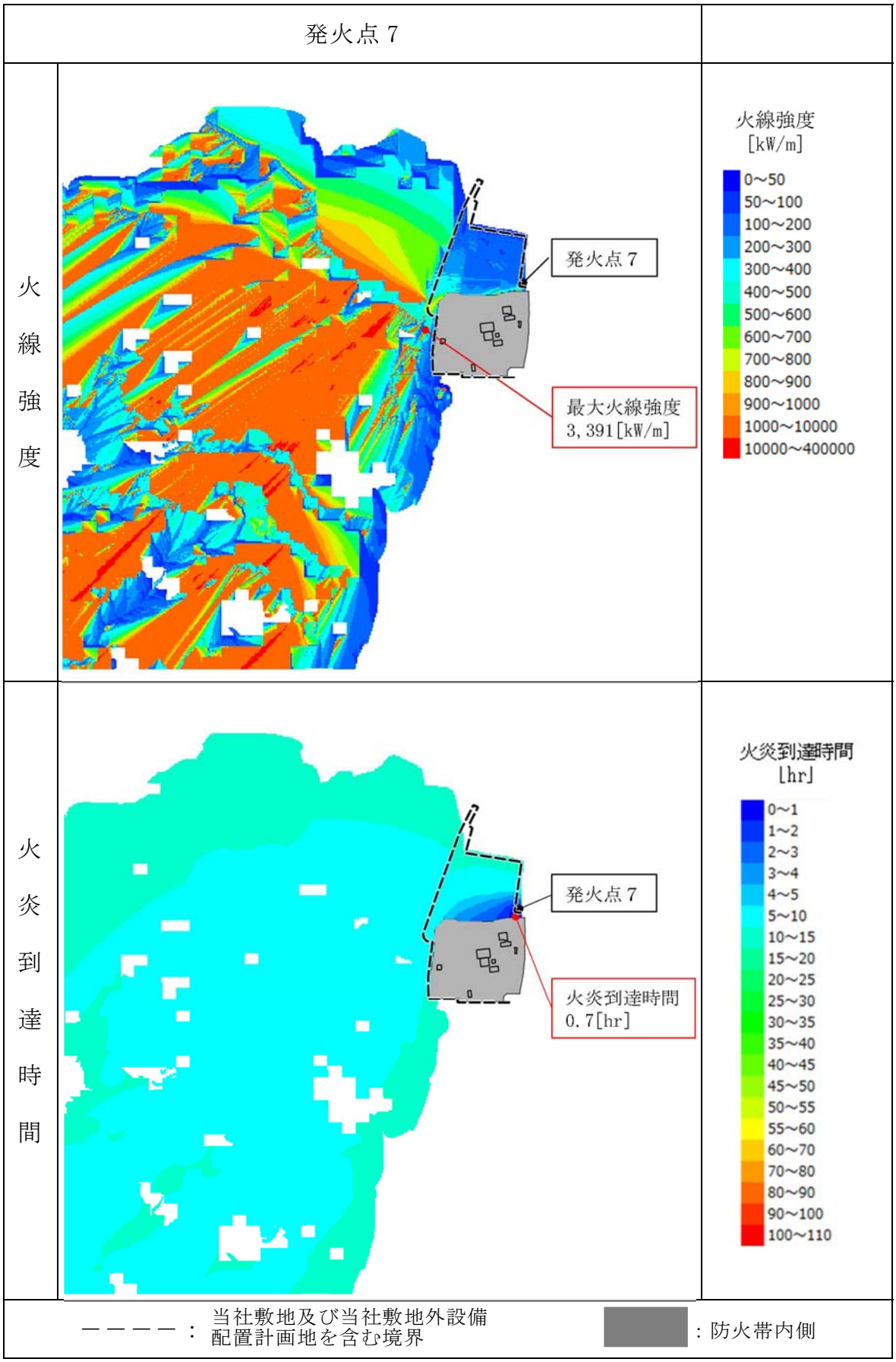
第 3.1-6 表　発火点 5 の延焼状況

<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



4.　森林火災の影響評価結果

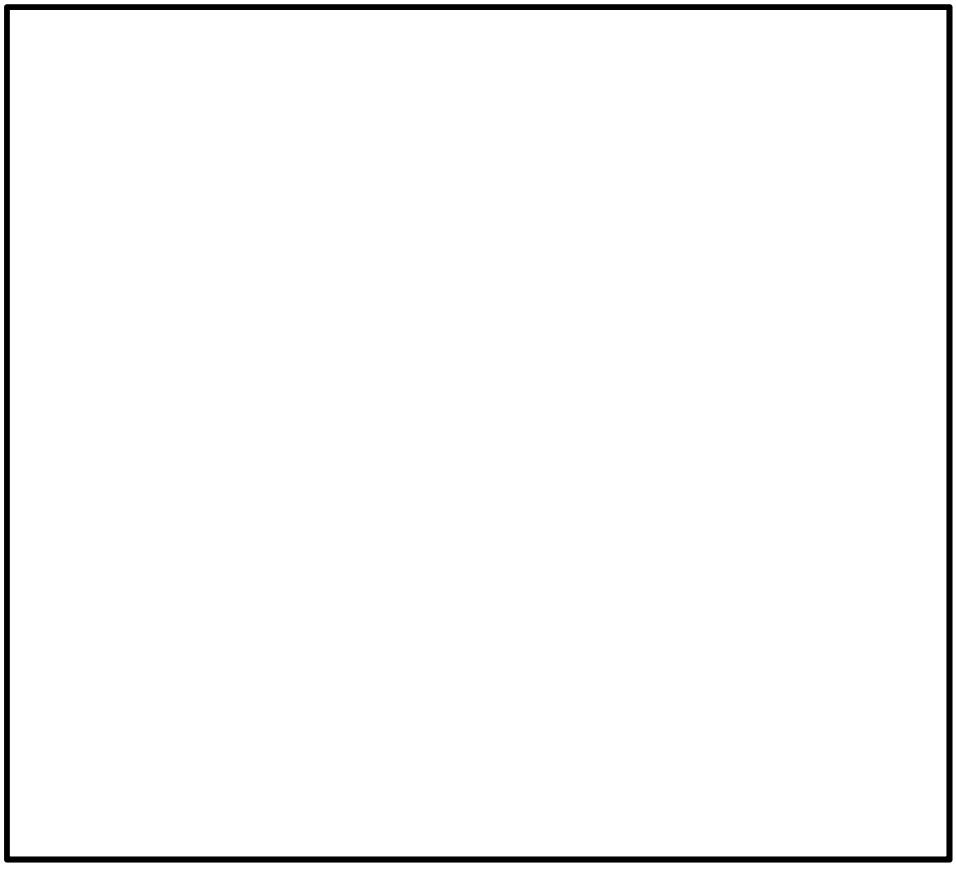
4.1　火炎到達時間の評価結果

(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．火災感知器（サーモカメラ）を設けることで早期覚知が可能な設計とする。火災感知器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

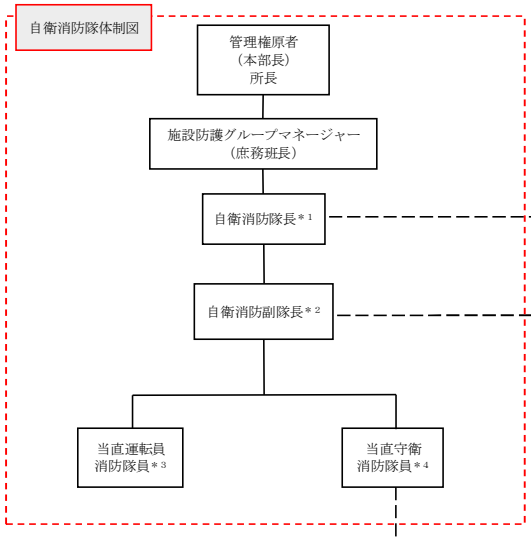
(3)　消火活動

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。森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割を第 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　森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割



初期消火要員の人数と役割

担当	人数	役割
現場指揮者	1	・出動の準備／火災現場への移動 ・火災状況の把握 ・現場状況の所内関係者への伝達 ・火災現場での初期消火活動への指揮 ・消防機関到着後の状況報告
現場連絡責任者	1	・消防機関への情報提供 ・消防機関の現場誘導
通報連絡責任者	1	・消防機関への通報 ・所内関係者への連絡及び出動指示 ・避難周知
連絡担当	1	・火災現場への移動および状況確認 ・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
消火担当	7	・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

注：（　）内は，災害対策本部設置後の体制を示す。
＊1：現場指揮者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊2：現場連絡責任者（夜間・休日は宿直当番者対応）
＊3：東海第二発電所の管理区域及び周辺防護区域内における初期消火活動等
＊4：構内全域における初期消火活動等

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。

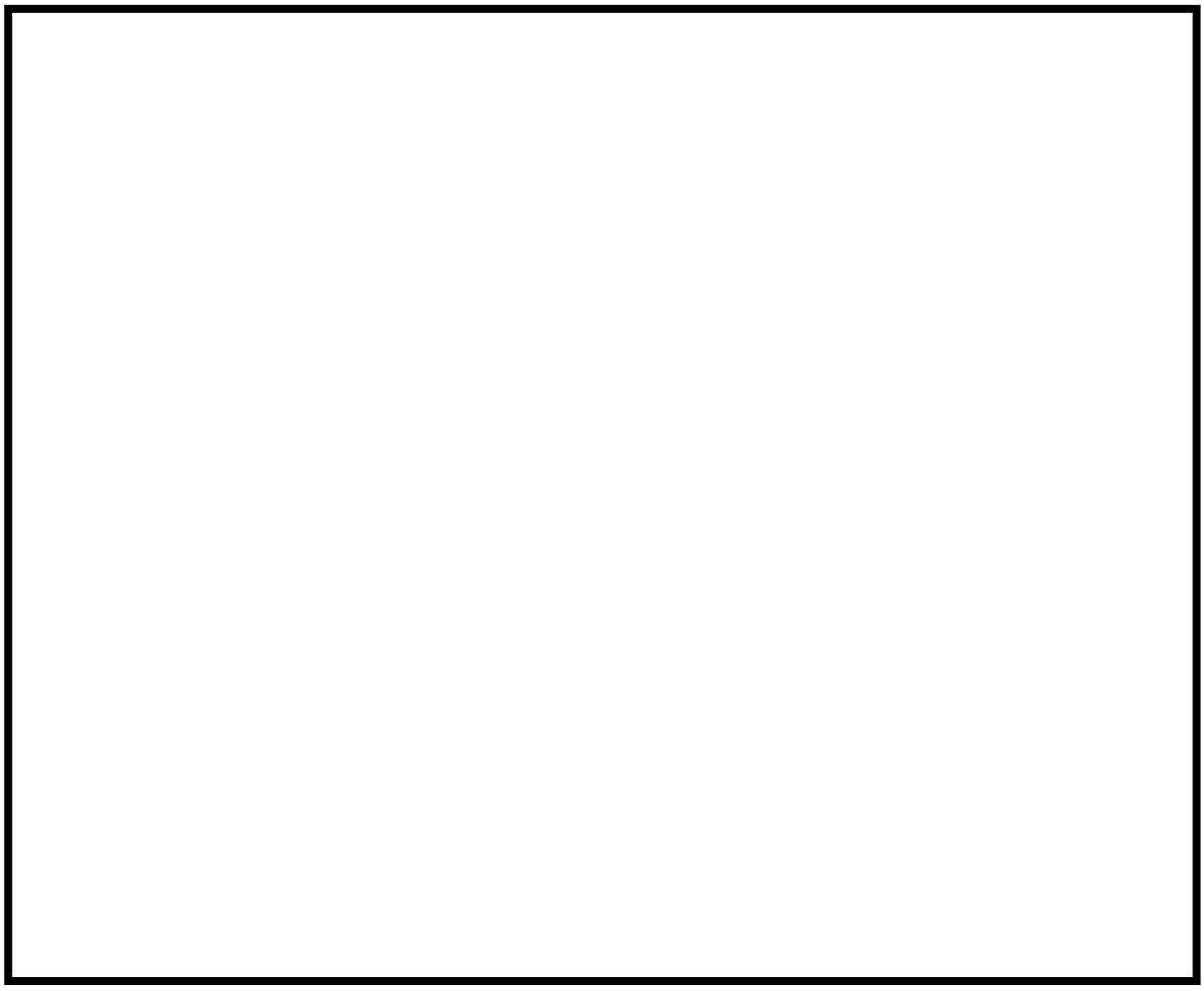
ⅲ） 消防車1台を使用したときの対応人数を第4.1-3表に，消防自動車仕様を第4.1-4表に示す。

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，消防車を用いて散水する。なお，消防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）

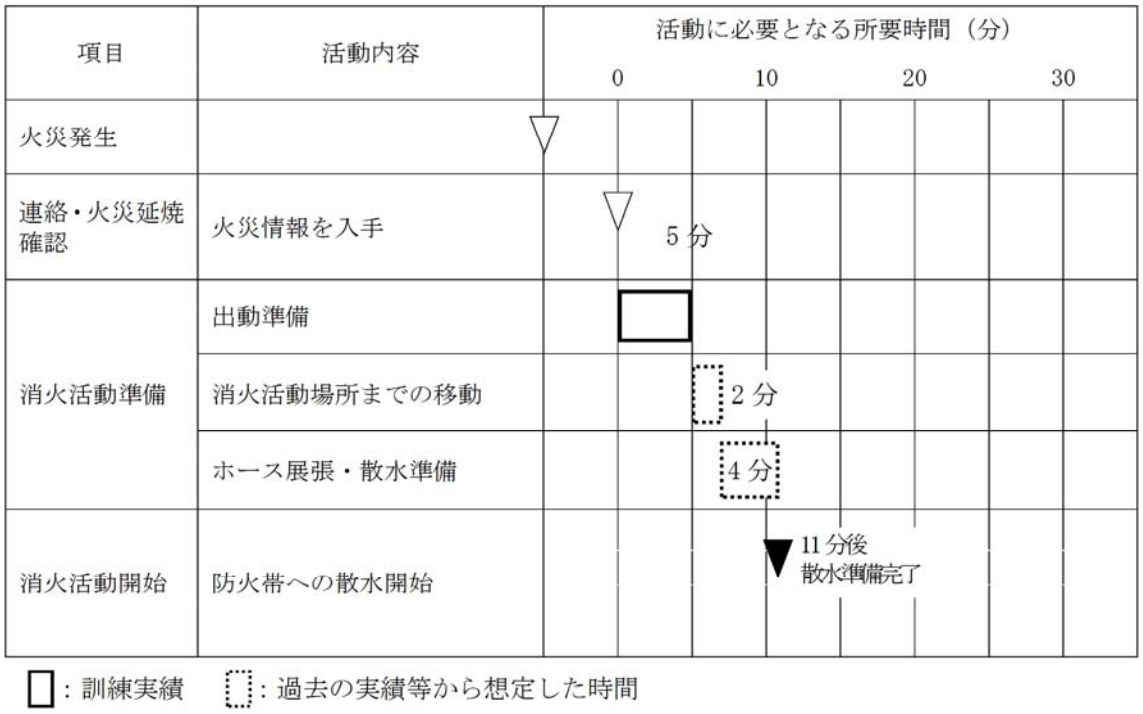
第 4.1-4 表　消防自動車仕様

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。

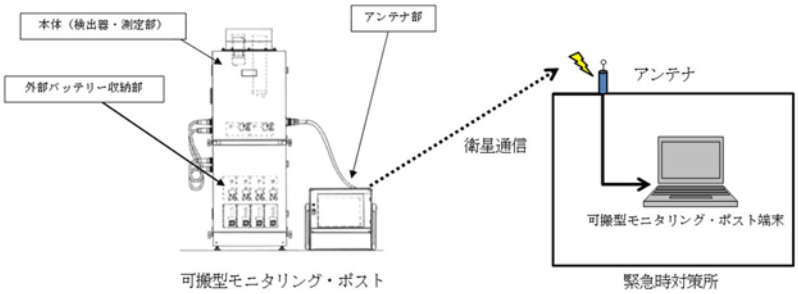
モニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は，防火帯内側に保管してある可搬型モニタリングポストを設置し，代替監視を行う。可搬型モニタリングポストはモニタリングポスト用として 4 台準備する。また，電源は外部バッテリーを適時交換することで連続供給可能であり，データ伝送は衛星回線による通信機能を有しており，中央制御室及び緊急時対策所にて，常時監視が可能である。

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・測定を監視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

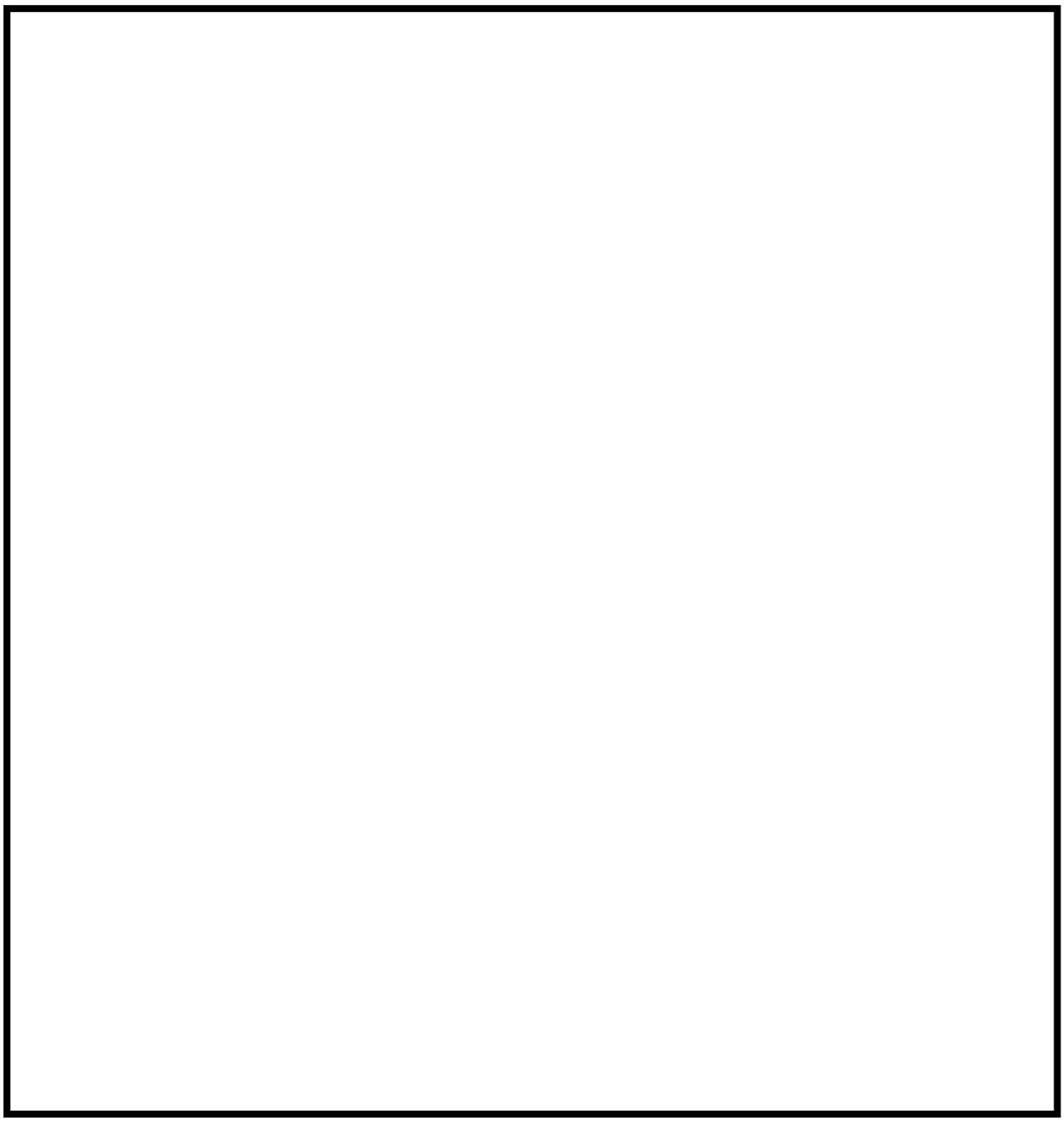
ⅰ）　消防車待機位置，初期消火活動要員集合場所から遠いモニタリングポスト D において散水活動を行う。散水位置を第 4.1-5 図に示す。

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

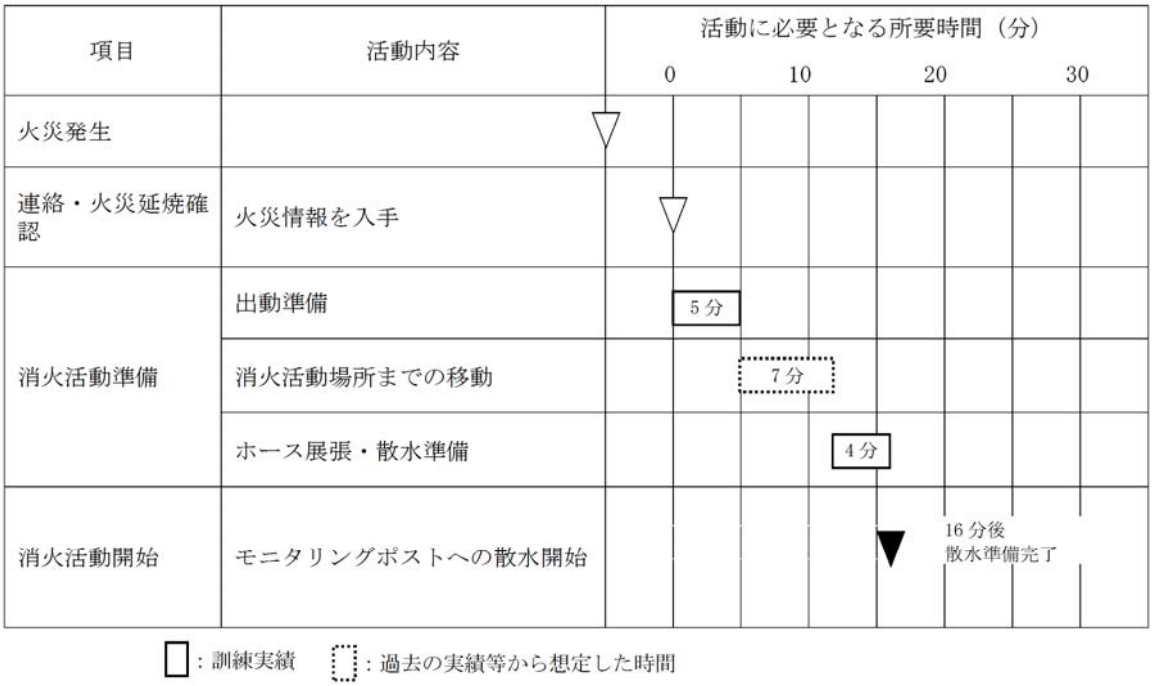


第 4.1-5 図　モニタリングポスト位置及び可搬型モニタリングポスト設置位置

(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，この結果は防潮堤を考慮していないため，防潮堤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%）

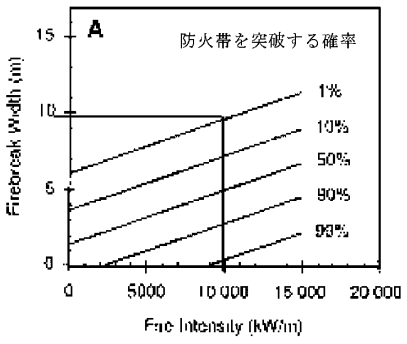
火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

⇩

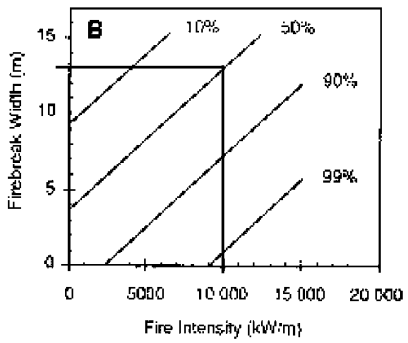
評価上必要とされる防火帯幅 21.4m

⇩

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

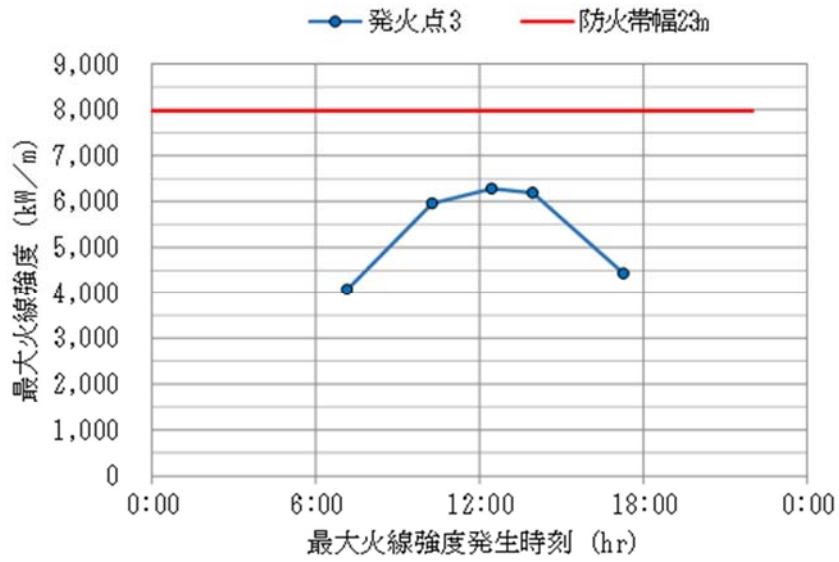
ＦＡＲＳＩＴＥでは日射量が可燃物の水分量に影響を与えるため，日射量が多くなる日中時間帯に火線強度が高くなる。同じ発火点からの火災であっても，出火時刻によって最大火線強度に違いが生じるため，全発火点のうち最も高い最大火線強度となった発火点 3 に対して 4 パターンの出火時刻を設けて，感度解析を行った。解析結果を第 4.2-1 表に示す。

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

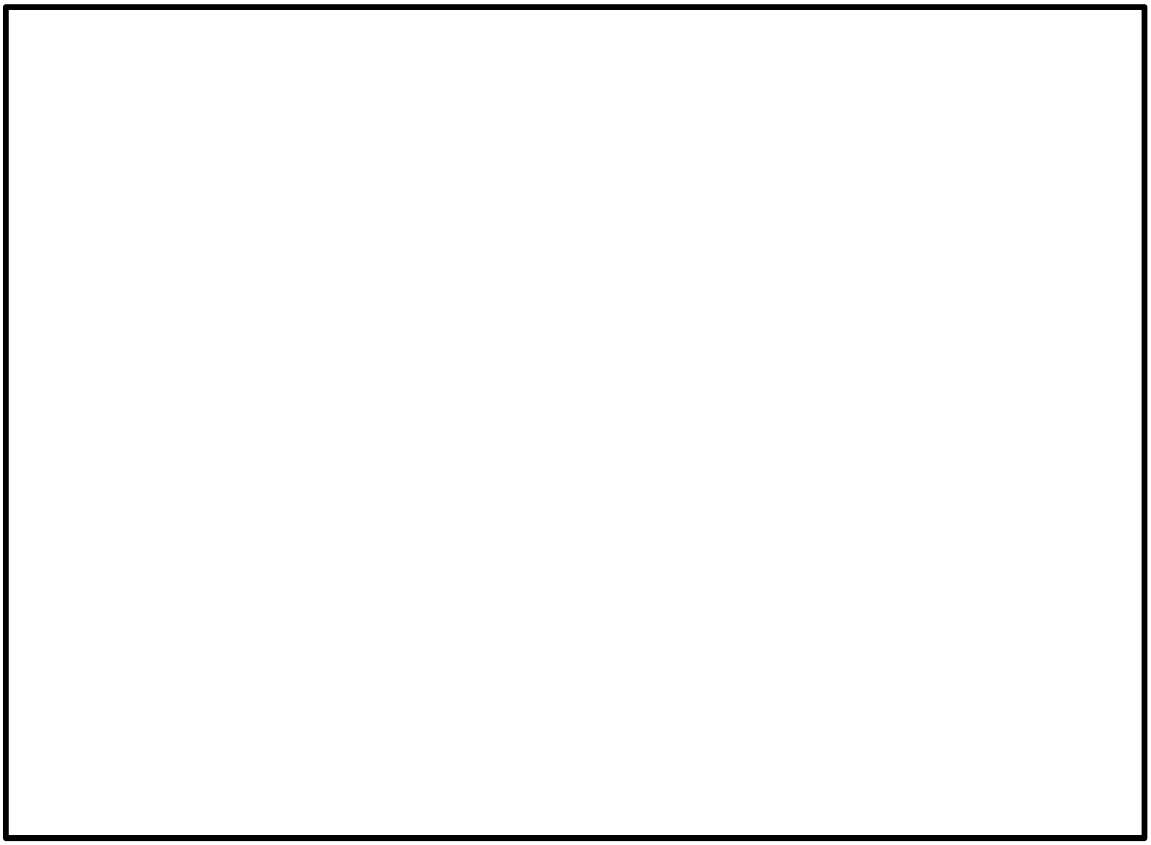
(a)　防火帯幅は，防護対象設備（安全重要度分類のクラス１，クラス２及びクラス３のうち防火帯幅の確保により防護する設備）を囲むように設定する。

(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

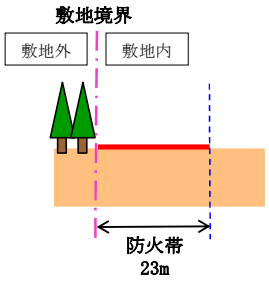
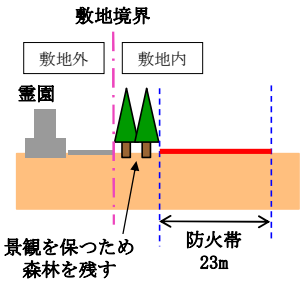
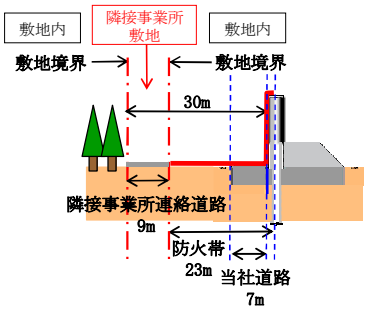
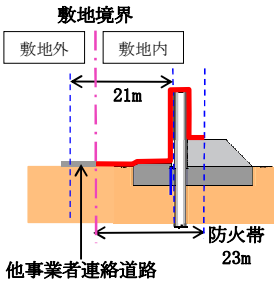
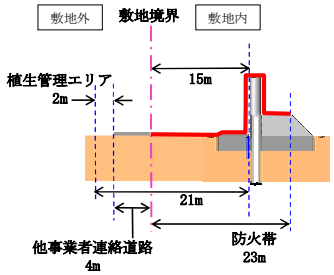
防火帯の設定方法を第 4.2-3 図に示す。

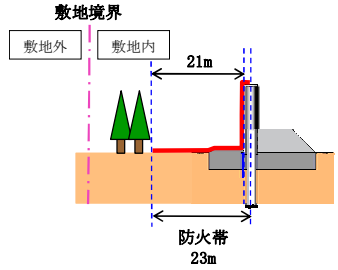
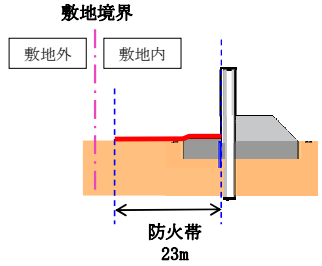
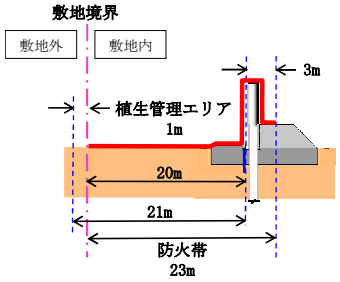
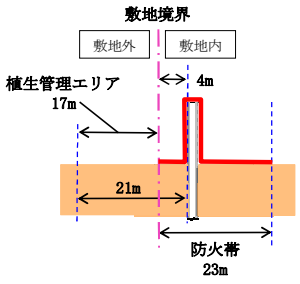
なお，防火帯を 9 のエリアに分割し，設定方法の違いと特徴について第 4.2-2 表に示す。



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		【防潮堤がないエリア】 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		【防潮堤がないエリア】 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		【防潮堤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防潮堤の間に 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		【防潮堤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防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。
⑤		【防潮堤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防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。

⑥		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 防潮堤のある領域については，防火帯外側のラインが防潮堤外側から 21m のラインに接するように防火帯を設定する。 防潮堤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		【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以上のエリア】 防潮堤のある領域については，防火帯内側が防潮堤外側のラインに接するように防火帯を設定する。 防潮堤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		【防潮堤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，防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。
⑨		【防潮堤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，防潮堤に対する 21m の離隔距離を確保する。

ｄ．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

影響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

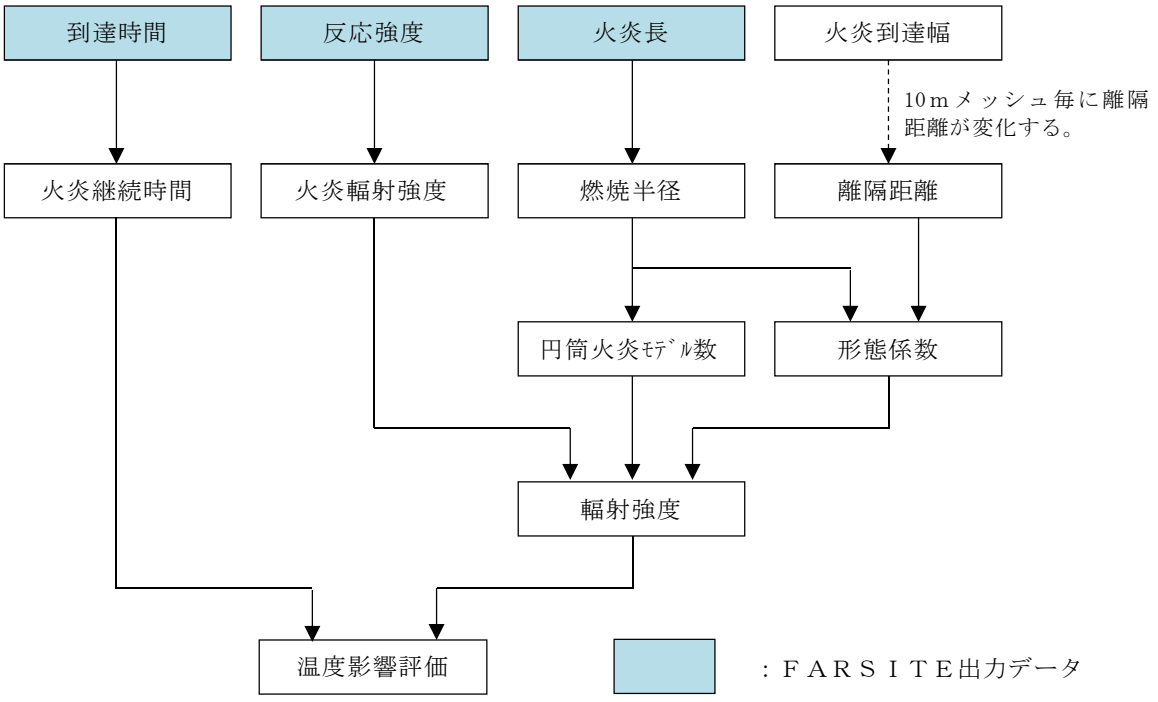
ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を第4.3.1-1表，ＦＡＲＳＩＴＥ解析結果及び算出データを第4.3.1-2表，温度評価の流れを第4.3.1-1図に示す。

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

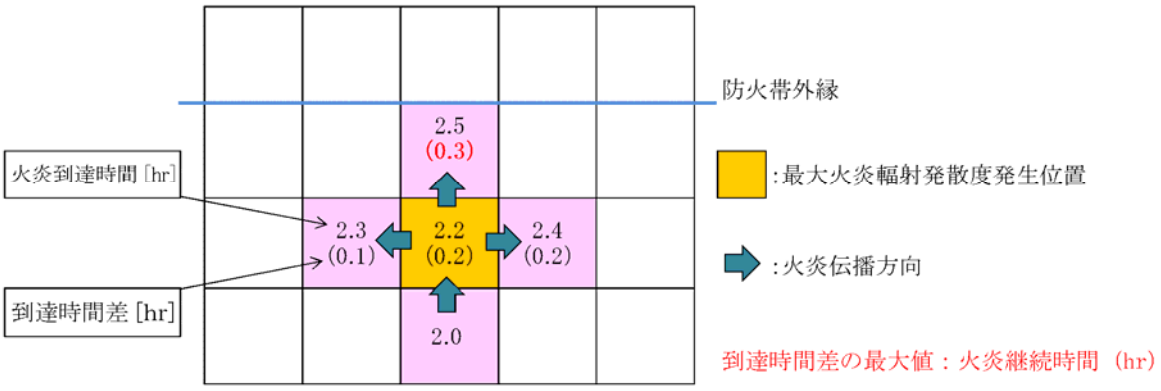
項　目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7
火炎長 (m)	0.7	0.9	1.6	1.1	1.5	1.6	1.5
火炎継続時間 (hr)	0.36	0.16	0.07	0.16	0.10	0.06	0.08
火炎輻射強度 (kW/m^2)	442	441	442	440	444	443	439
燃焼半径 (m)	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
火炎到達幅 (m)	1,960	1,550	1,960	1,460	1,960	1,960	1,330



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）

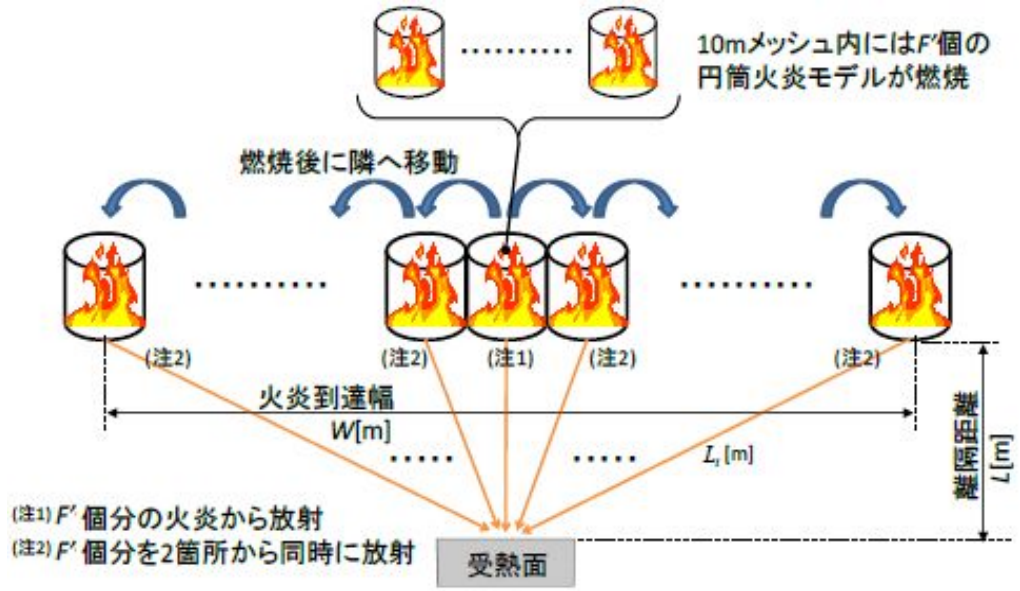
$\emptyset_i$：形態係数

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

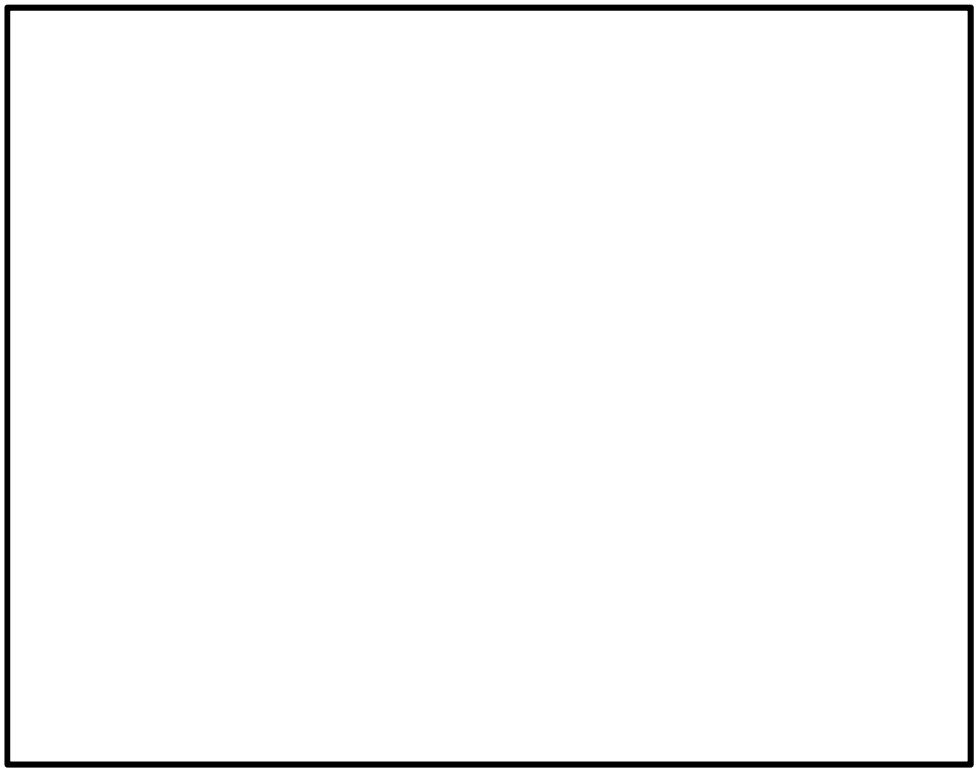
4.3.2　熱影響評価

4.3.2.1　建屋外壁の熱影響評価

(1)　影響評価対象範囲

影響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)　影響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。影響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　影響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　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価 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
離隔距離 (m)	267	242	37	221

(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。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \qquad \text{（式 1）}$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T	：表面温度(℃)	E	：輻射強度(W／m^2)
T_0	：周囲温度（50℃）※1	h	：熱伝達率（17.0W／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 10 年間の最高気温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。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射発散度(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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

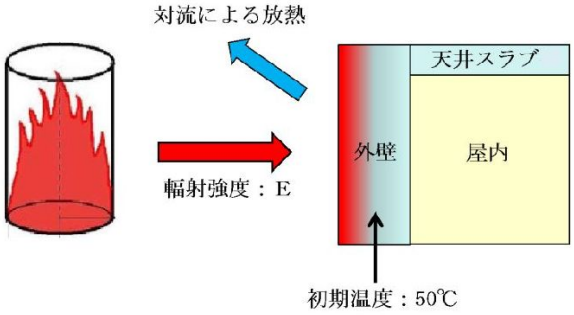
ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

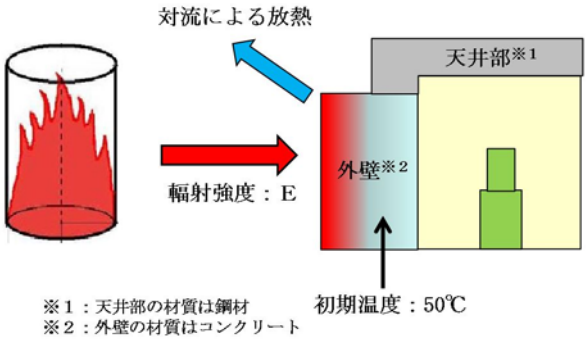
（出典：評価ガイド）

上記のとおり危険距離を算出し，最も近い防火帯外縁から影響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，天井スラブ及び海水ポンプ室天井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，海水ポンプ室の評価概念図を第 4.3.2.1-3 図，天井スラブへの輻射熱の影響の概念図を第 4.3.2.1-4 図に示す。

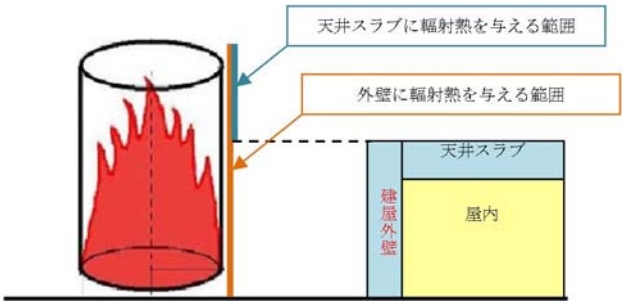
・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
・火炎長が天井スラブより長い場合，天井スラブに輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
・海水ポンプ室の天井は鋼材，外壁はコンクリートであるため，許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。



第 4.3.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図



第 4.3.2.1-3 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 4.3.2.1-4 図　天井スラブへの輻射熱の影響

c．評価結果

影響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。外壁外面温度の評価結果を第 4.3.2.1-2 表に，危険距離の評価結果を第 4.3.2.1-3 表に示す。

第 4.3.2.1-2 表　外壁外面の熱影響評価結果

影響評価対象施設	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	51	51	52	52	52	52	52	＜200
海水ポンプ室	52	52	52	52	52	52	52	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	79	77	85	82	88	83	83	
タービン建屋	52	52	52	52	52	52	52	

第 4.3.2.1-2 表　外壁内面の熱影響評価結果

影響評価対象施設	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	51	51	51	51	51	51	51	＜200
海水ポンプ室	51	51	51	51	51	51	51	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	54	52	52	53	52	52	52	
タービン建屋	51	51	51	51	51	51	51	

第 4.3.2.1-3 表　影響評価対象施設に対する危険距離

影響評価対象施設	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	14	13	15	15	16	15	15	267
海水ポンプ室	14	13	15	15	16	15	15	242
使用済燃料乾式貯蔵建屋	14	13	15	15	16	15	15	37
タービン建屋	14	13	15	15	16	15	15	221

4.3.2.2　建屋内部の室内温度評価

(1)　評価対象範囲

影響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

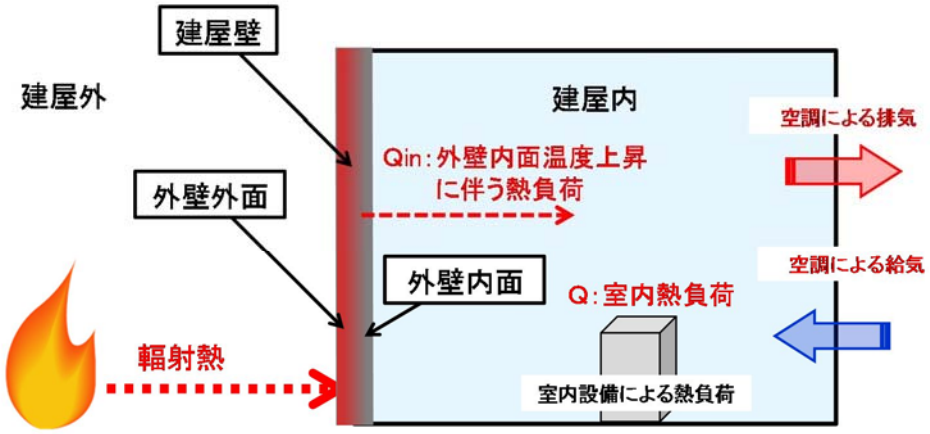
a．許容温度

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 51℃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)	51

$$Q_{in} = h_{in} A \left(T_{in} - T_{room} \right)$$

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。

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　排気筒に対する熱影響評価と危険距離の算出

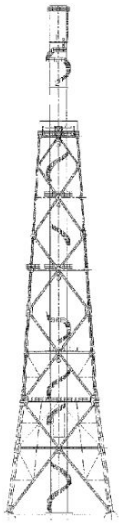
(1)　評価対象範囲

排気筒について，森林火災を想定して評価を実施した。

(2)　排気筒仕様を第 4.3.2.3-1 表に，排気筒外形図を第 4.3.2.3-1 図に示す。

第 4.3.2.3-1 表　排気筒仕様

名称		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　排気筒外形図

(3)　影響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　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価 対象施設	排気筒
離隔距離 (m)	266

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

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。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \qquad \text{（式1）}$$

（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10年間の最高気温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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

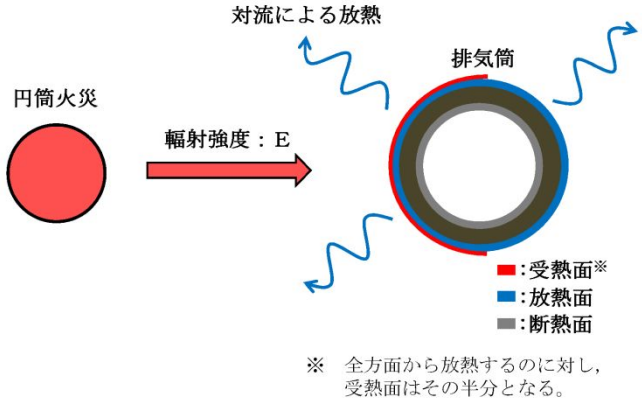
ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

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，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，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 であり物性値が共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。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　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排気筒鉄塔表面温度及び，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。排気筒鉄塔表面温度を第 4.3.2.3-3 表に，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　排気筒の熱影響評価結果

影響評価対象施設	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	
排気筒	51	52	52	52	52	52	52	＜325

第 4.3.2.3-4 表　排気筒に対する危険距離

影響評価対象施設	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	
排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266

4.3.2.4　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価と危険距離の算出

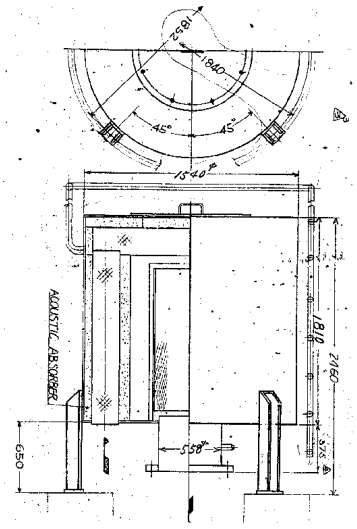
(1)　影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタ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)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 4.3.2.4-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの外形図を第 4.3.2.4-1 図に示す。

第 4.3.2.4-1 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様

名称	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 4.3.2.4-1 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図

(3)　影響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　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価 対象施設	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
離隔距離 (m)	267

(4) 判断の考え方

a．許容温度

D／G吸気系フィルタ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，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度53℃以下※とする。

※：D／G吸気系フィルタ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D／G吸気系フィルタ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，D／G吸気系フィルタに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。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad (式1)$$

T：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(37℃)※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10年間（2007年～2016年）の最高気温

※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150℃を介した温度上昇（5℃）

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)，R_f：火炎輻射発散度(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。

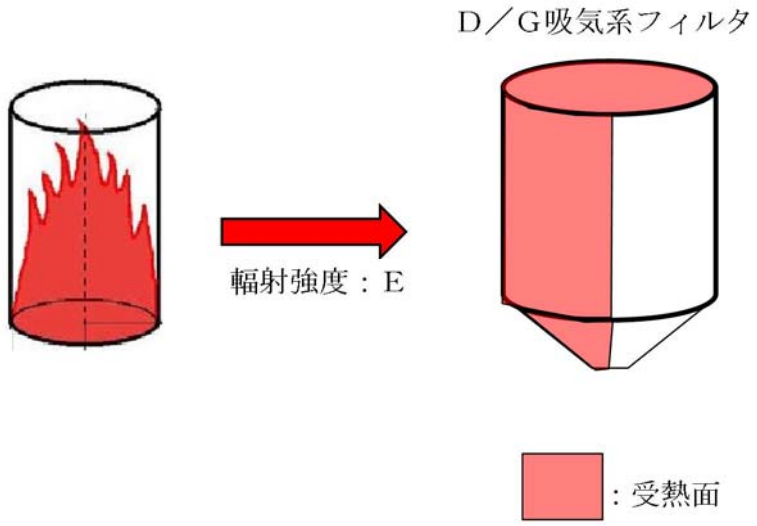
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

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，森林火災によって上昇するＤ／Ｇ吸気系フィルタを通して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，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの危険距離が離隔距離以下となるか評価を実施した。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 4.3.2.4-2 図に示す。



第 4.3.2.4-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

ｃ．評価結果

森林火災によって上昇するＤ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度及び，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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。

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタを通して流入する空気の温度を第4.3.2.4-3表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの熱影響評価結果

影響評価対象施設	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	
Ｄ／Ｇ吸気系ﾌｨﾙﾀ	43	43	43	43	43	43	43	＜53

第4.3.2.4-4表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタに対する危険距離

影響評価対象施設	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	
Ｄ／Ｇ吸気系ﾌｨﾙﾀ	16	18	25	20	25	25	24	267

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。

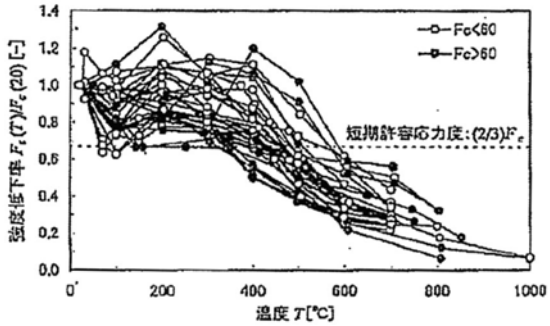


図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）
（参考文献 18）～23)のデータより作成

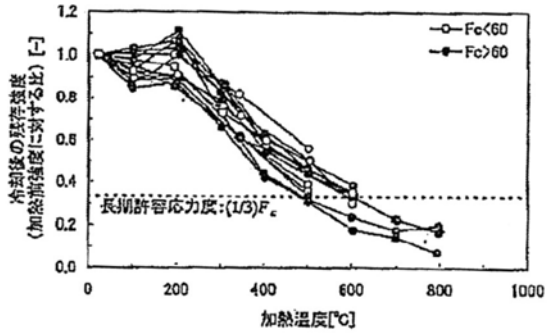


図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）
（参考文献 24）～26)）のデータより作成

(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。

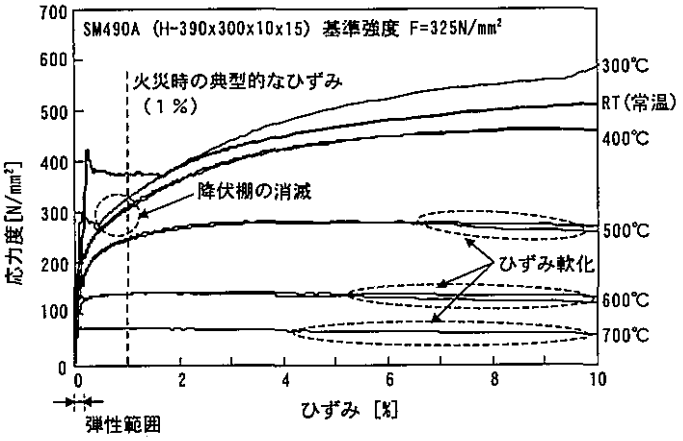


図 4　構造用鋼材の応力ー歪曲線の例[2)]
(出典：「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院)

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。

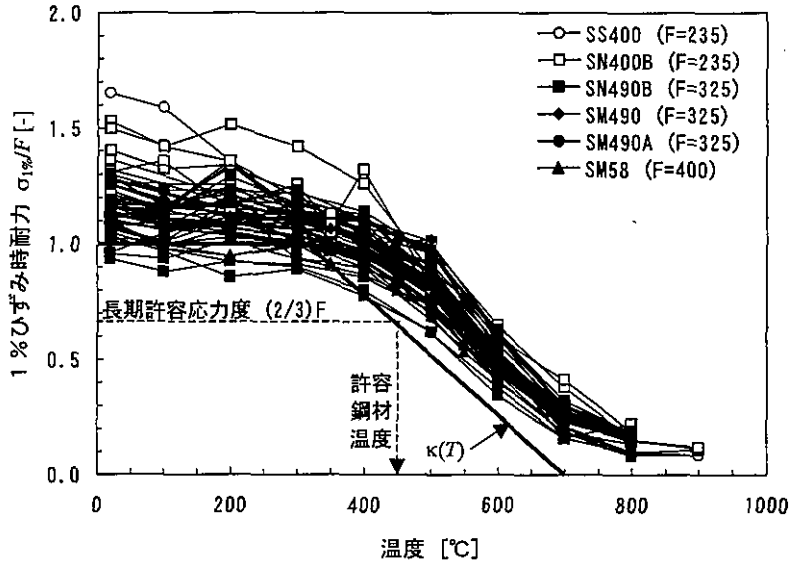


図５　各種鋼材の高温時の１％歪時耐力（参考文献[2)~6)] のデータから作成）

2. ディーゼル発電機吸気系の許容温度

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，ディーゼル発電機機関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

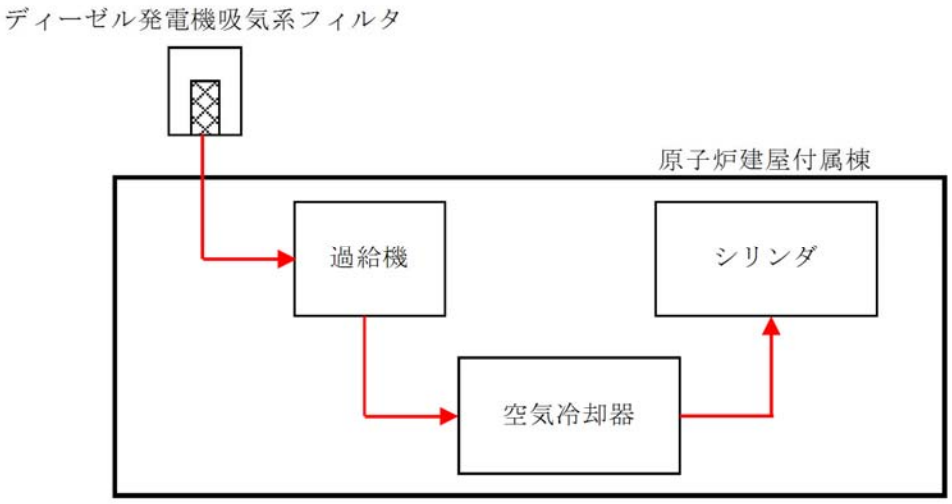


図 ディーゼル発電機吸気系統概略図

初期温度の考え方について

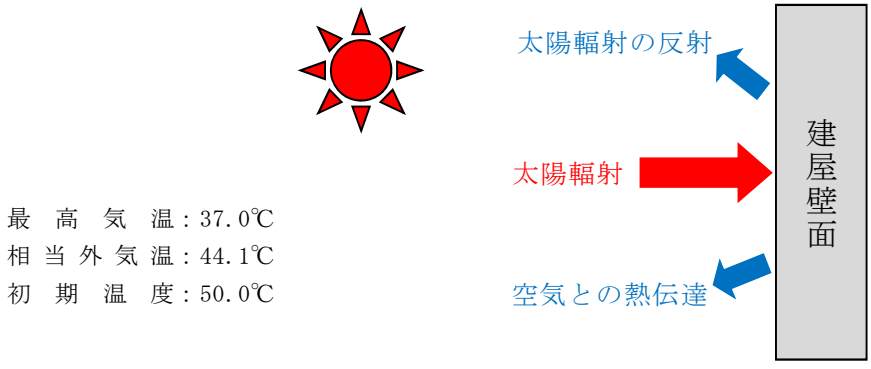
1. 外壁の初期温度

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１０年間の最高気温 37.0℃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度の最大値は 44.1℃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，ディーゼル発電機室（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。

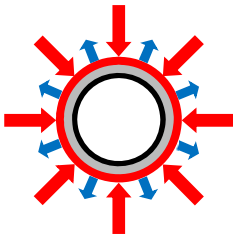


2.　排気筒の初期温度

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，受熱面は排気筒の側面とした。

水戸地方気象台の過去１０年間の最高気温 37.0℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15 時）の日射量と排気筒の日射吸収率 1.0 を考慮すると，排気筒の相当外気温度の最大値は 47.2℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。

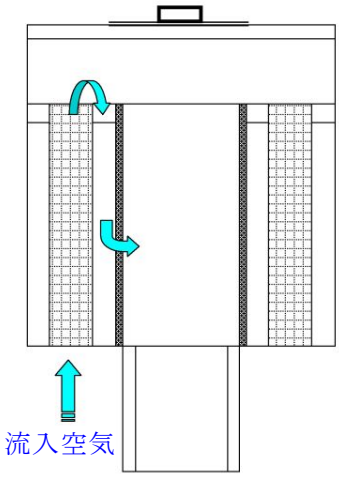
最　高　気　温：37.0℃
相 当 外 気 温：47.2℃
初　期　温　度：50.0℃



：太陽輻射
：空気との伝熱・輻射熱の反射

3.　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ内への流入空気の初期温度

水戸地方気象台の過去 10 年間の最高気温 37.0℃を流入空気の初期温度とした。



防火帯内植生による影響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。

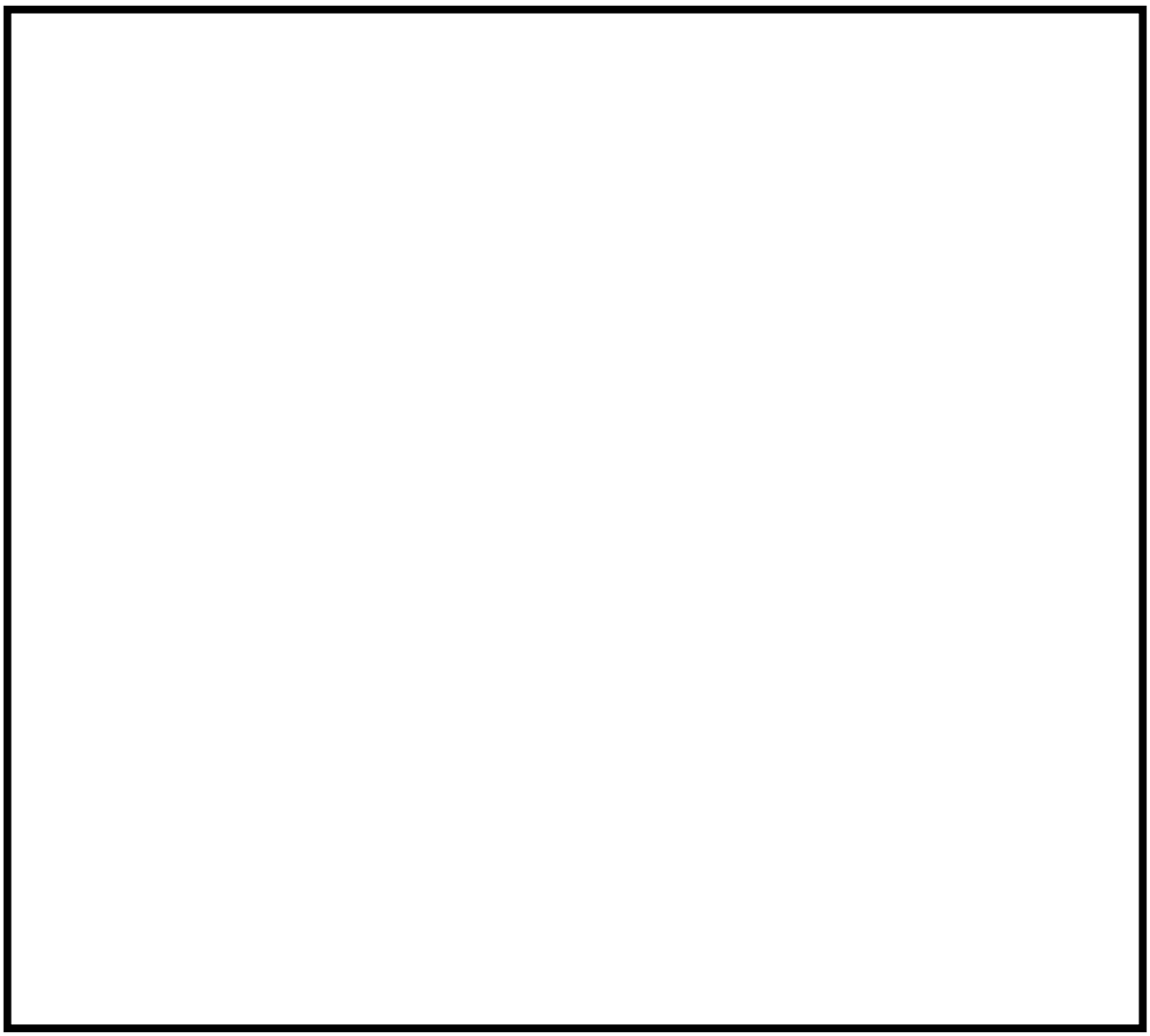


図　崩落評価の実施箇所と防火帯位置の関係

防潮堤等に対する森林火災影響について

1. 評価対象の検討

防潮堤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.+18～20m
止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部	上記①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.+18～20m
防潮扉	敷地南側境界付近	・鋼材製 ・地上高さ（上端）：T.P.+17m

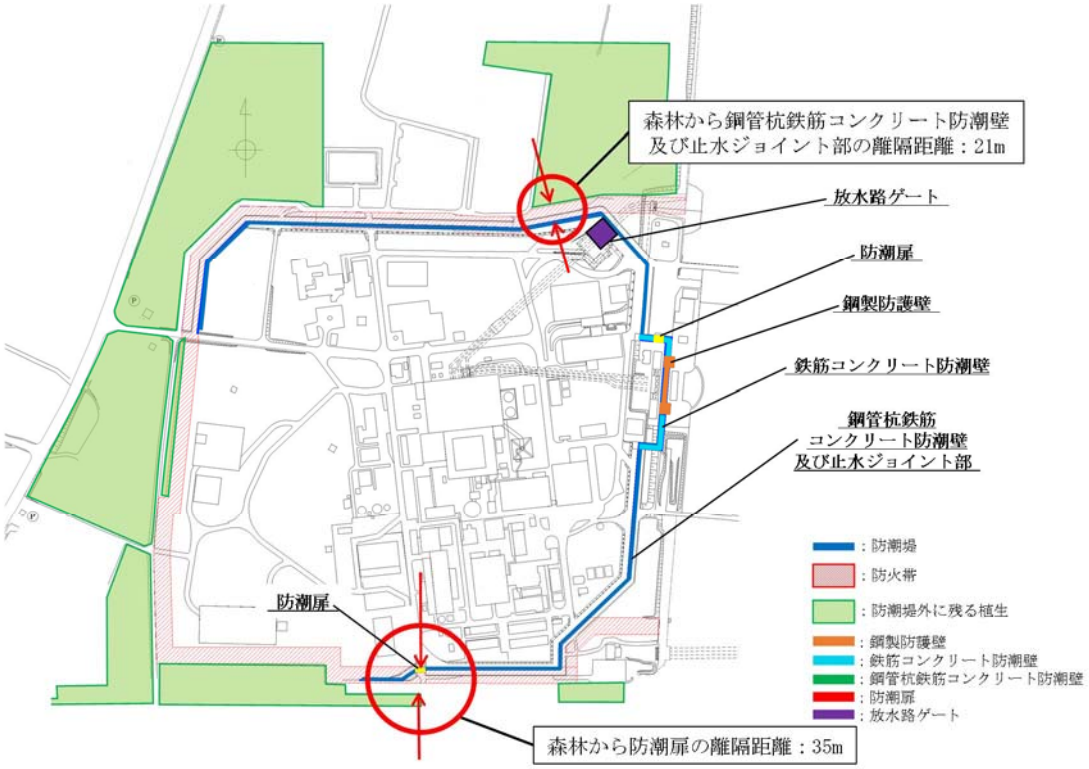


図 1　防潮堤における森林火災影響評価対象

2.　防潮堤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。

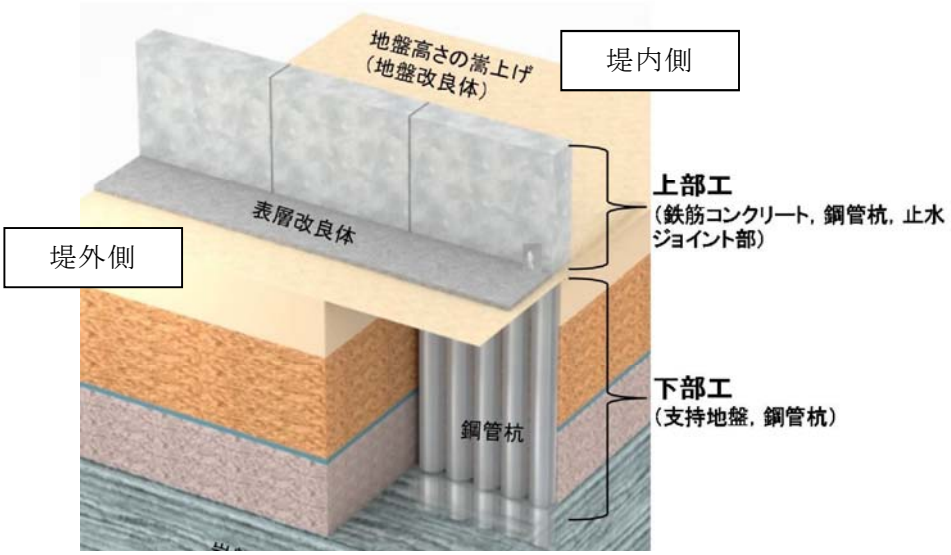


図 2　防潮壁の概要図

(2)　影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響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 影響評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

影響評価 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。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \qquad \text{（式 1）}$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T	：表面温度(℃)	E	：輻射強度(W／m^2)
T_0	：周囲温度（50℃）※1	h	：熱伝達率（17.0W／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10年間の最高気温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。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射発散度(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）

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

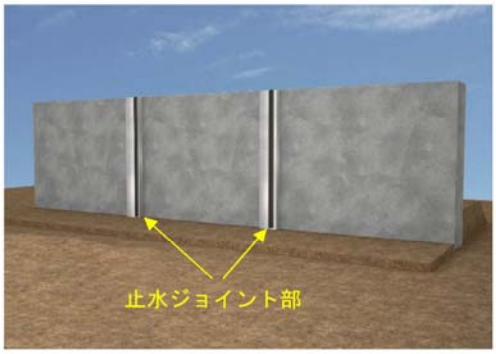
影響評価対象	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
防潮壁	16	21

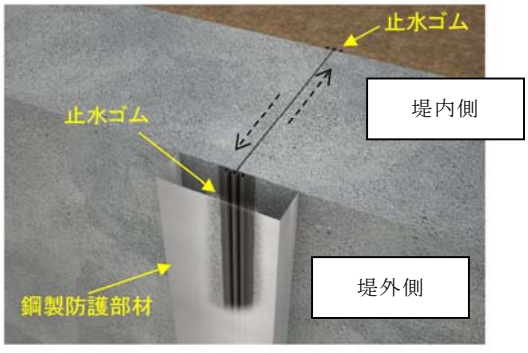
2.2　止水ジョイント部及び防潮扉に対する熱影響評価

(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。





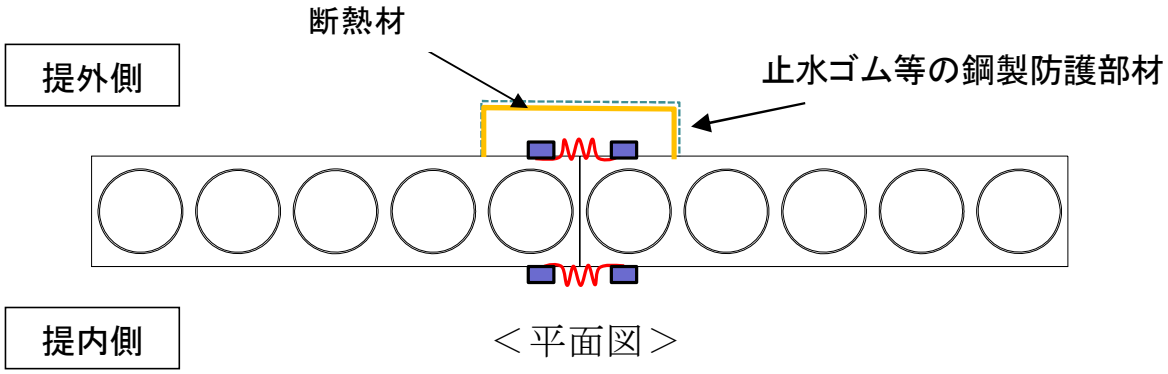


図 3　止水ジョイント部の概要図

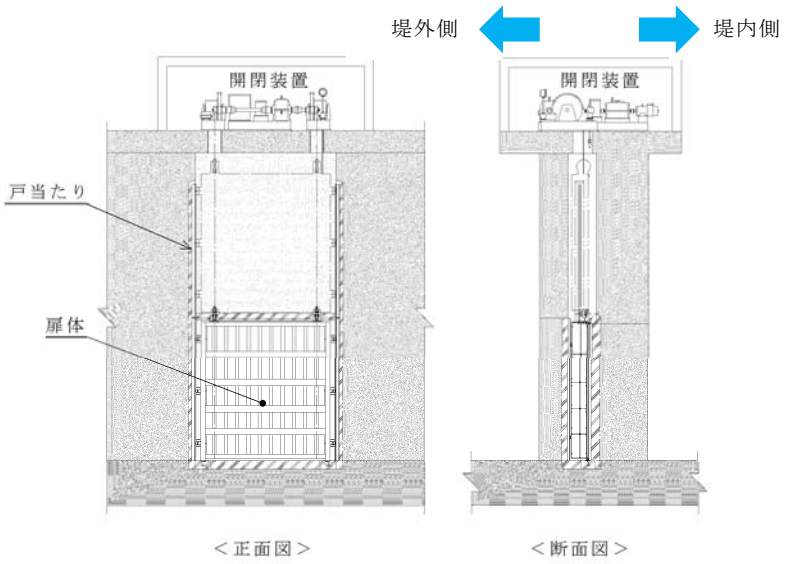


図 4　防潮扉の概要図

(2)　各影響評価対象から最も近い森林火災位置までの離隔距離

各影響評価対象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

影響評価対象施設	止水ｼﾞｮｲﾝﾄ部	防潮扉
離隔距離 (m)	21	35

(4)　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。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \qquad \text{（式 1）}$$

（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 10 年間の最高気温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。

$$E = Rf \cdot \Phi \qquad \text{（式 2）}$$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：火炎輻射発散度(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，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

影響評価対象	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。防潮堤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4に示す。

図5　津波・構内監視カメラの配置図

表4　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				防潮堤			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	○		○					
防潮堤上部	④ 北西側		○		○			○	
	⑤ 北東側	○			○	○		○	○
	⑥ 南東側	○		○		○	○		○
	⑦ 南西側		○	○			○		○

※：　は森林との距離が近いため，森林火災時に機能を喪失する可能性あり。

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，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。防火帯の管理方法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 ・防潮堤 ・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　該当するクラス３施設の外壁表面温度

放射性物質を内包する クラス３施設	評価温度 (℃)
固体廃棄物貯蔵庫※	57
廃棄物処理建屋	53
緊急時対策所	79

※：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

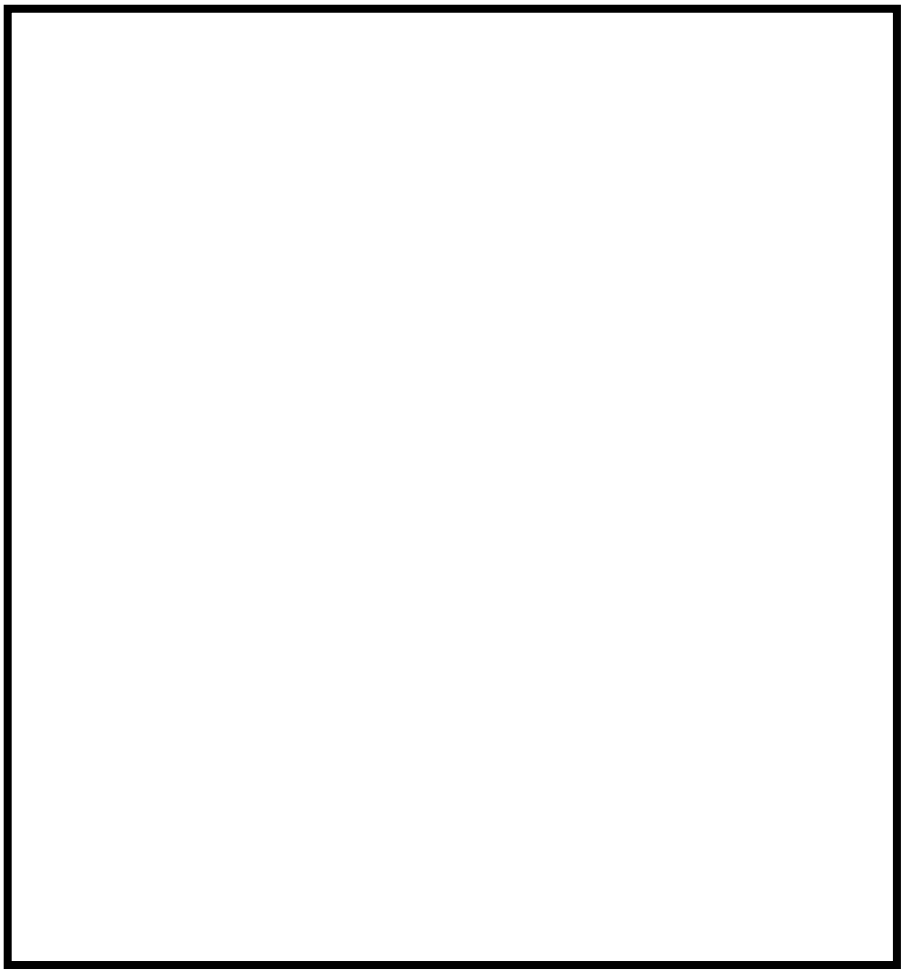


図　該当する施設の位置と離隔距離

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。

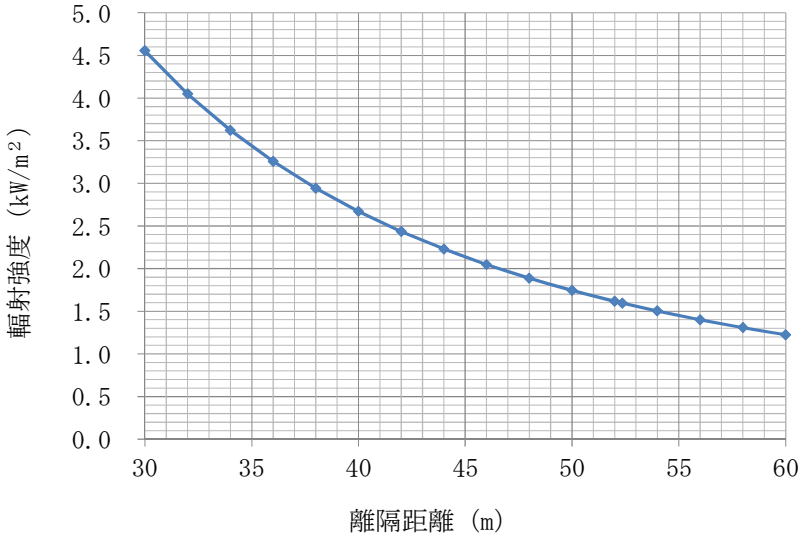


図１　離隔距離と輻射強度の相関図

表１　放射熱の影響（石油ｺﾝﾋﾞ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）

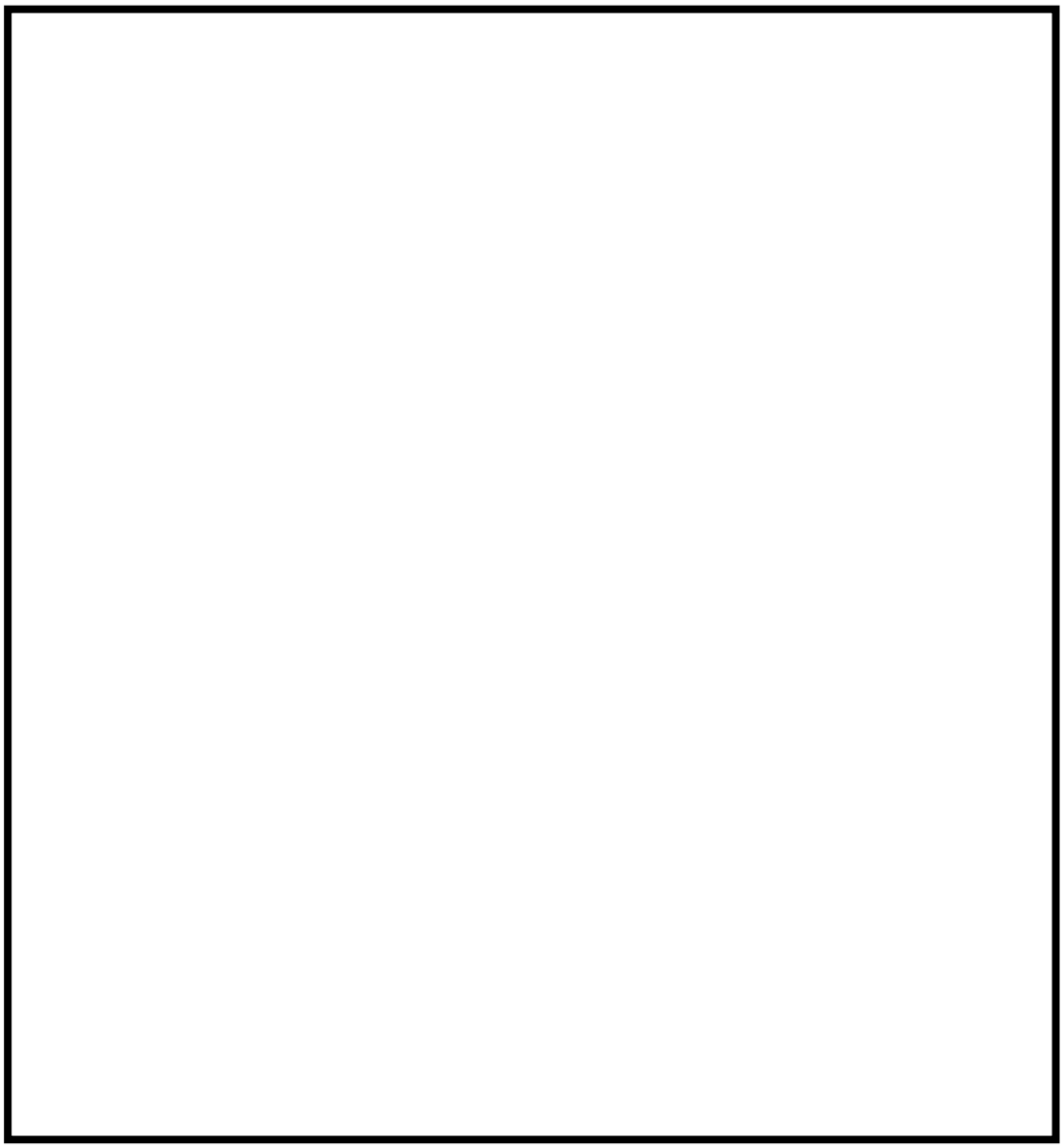


図２　輻射強度が 1.6kW／m^2以上となる範囲

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

水槽ポンプ車及び化学消防車を連結させ，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

水槽ポンプ車及び化学消防車を用いて，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。

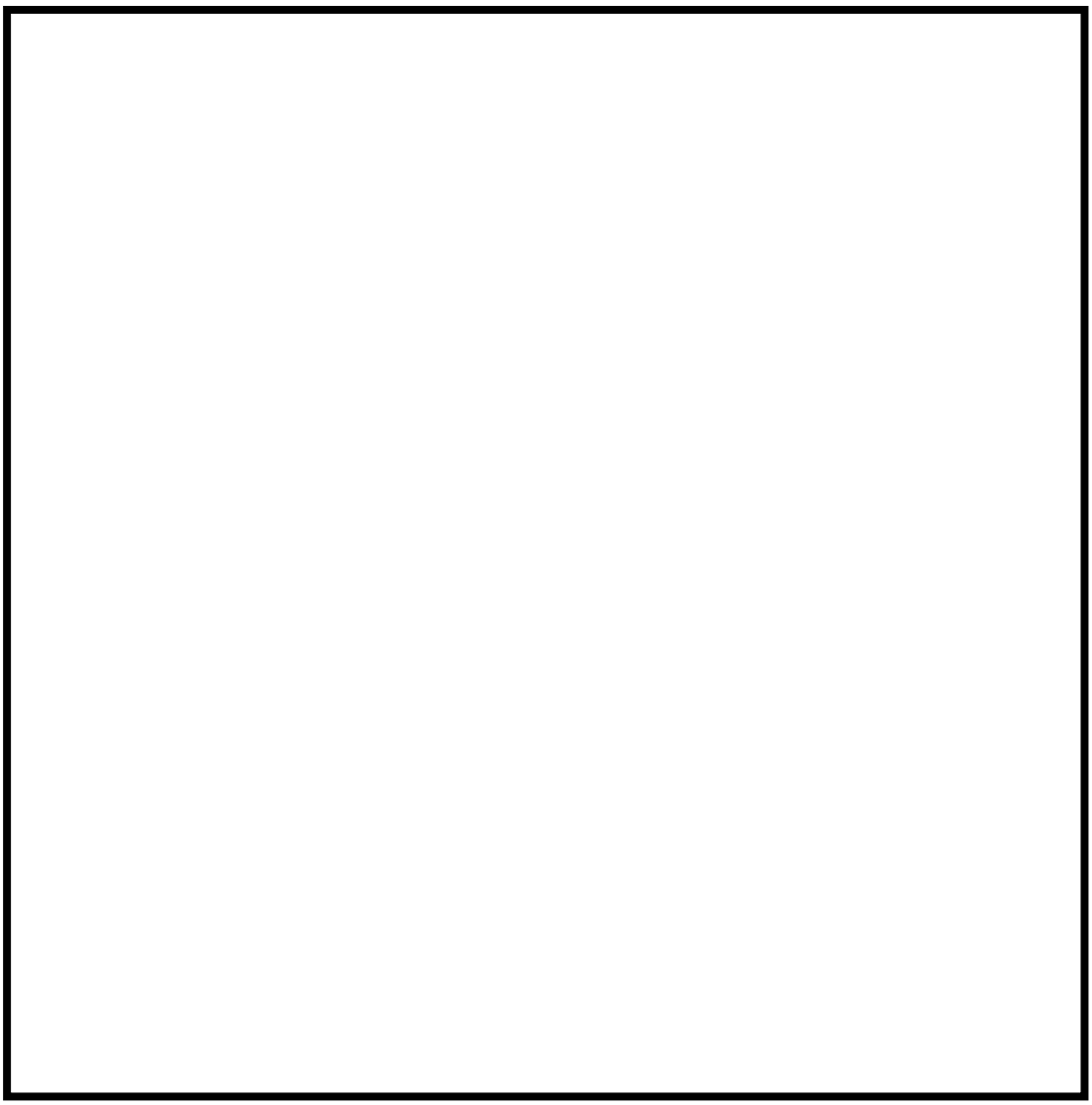


図２　検証概要図（モニタリングポストＤ消火）

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。

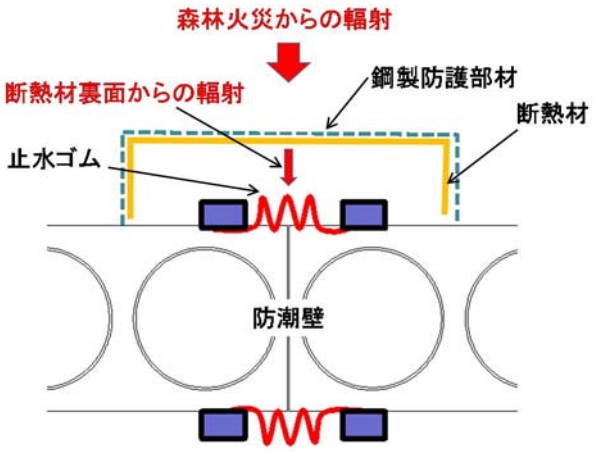


図 1 鋼製防護部材と断熱材の概念図

$$d = \frac{\lambda \times (T_{out} - T_{in})}{h \times (T_{in} - T)} = 0.015 \text{ m}$$

（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，防潮堤周囲で発生する森林火災の最長の火炎長1.6m であり，防潮堤の地上高さは約 3m 以上で火炎長よりも高くなるため，防潮堤上部が熱影響を受ける可能性は低い。万が一，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防潮堤を優先して散水活動を行い温度上昇を抑制する。

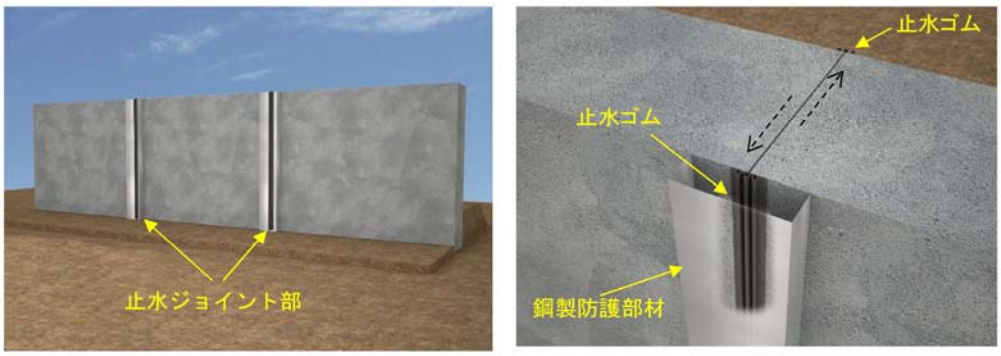


図　止水ジョイント部と鋼製防護部材

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,影響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

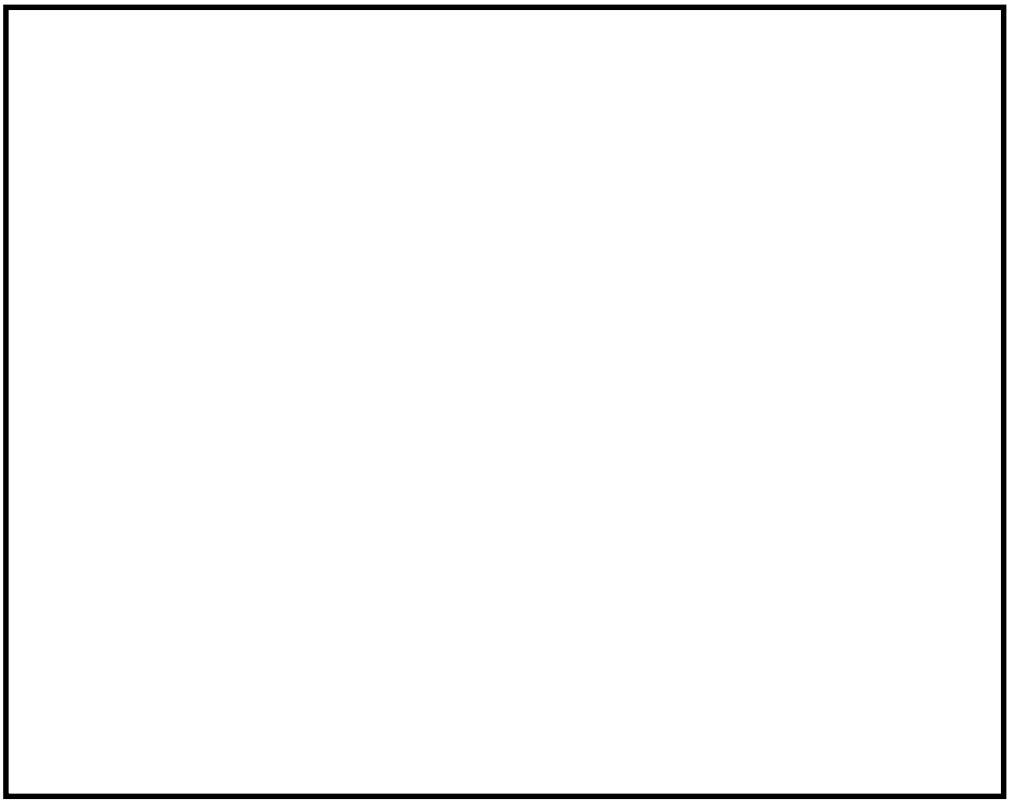
ⅱ）　ⅰ)項の結果と別紙 3.1 の評価結果を踏まえ，発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し，発

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，　　の危険物タンク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タンク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．で想定した危険物タンク位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。

ｄ．危険物タンク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，排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタ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)　危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク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　危険物タンク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　危険物タンクの燃焼半径

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　危険物タンクの燃焼継続時間

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)　影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について，危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	1,300	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。

$$T-T_0=\frac{2E\sqrt{\kappa t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)\right] \quad （式１）$$

（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／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)，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 10 年間の最高気温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＝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。

$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

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）

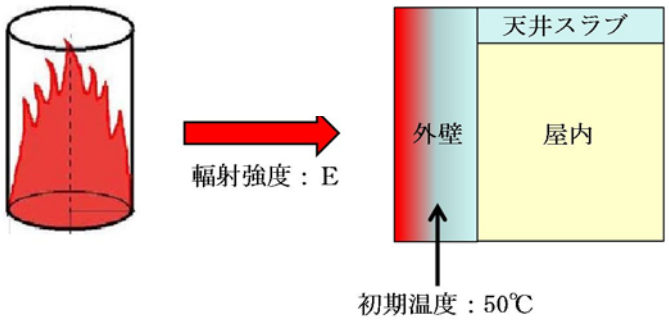
上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物タンクから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。建屋外壁の評価概念図を第 4.1.2.3-1 図に示す。

・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。

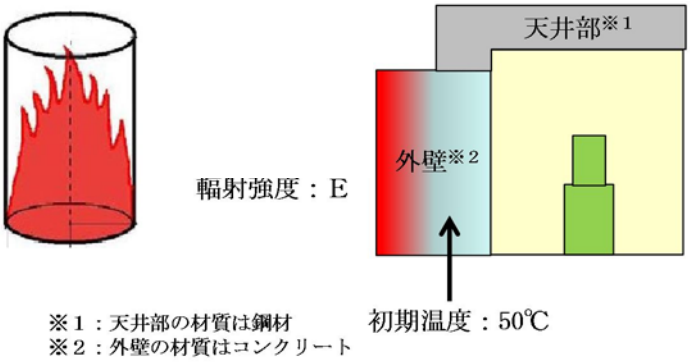
・海水ポンプ室の側面壁は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。海水ポンプ室の評価概念図を第 4.1.2.3-2 図に示す。

・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 4.1.2.3-3 図に示す。

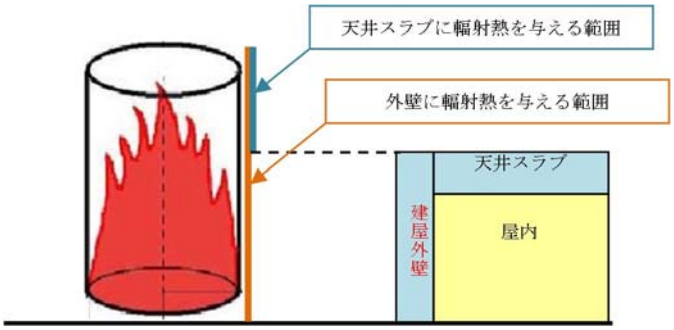
・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。



第 4.1.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 4.1.2.3-2 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 4.1.2.3-3 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

影響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，各影響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　外壁への危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	41	1,100
海水ポンプ室		1,300
タービン建屋		1,200
使用済燃料乾式貯蔵建屋		800

4.1.2.4　排気筒に対する危険距離評価

(1)　影響評価対象範囲

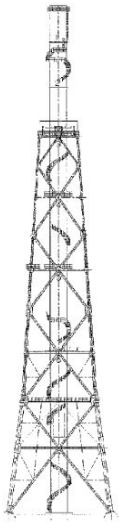
排気筒について，危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお，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)　排気筒仕様を第4.1.2.4-1表に,排気筒外形図を第4.1.2.4-1図に示す。

第 4.1.2.4-1 表　排気筒仕様

名称		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　排気筒外形図

(3)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒(m)
	1,200

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

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。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) \qquad \text{（式 1）}$$

（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：周囲温度(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10年間の最高気温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^2K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。

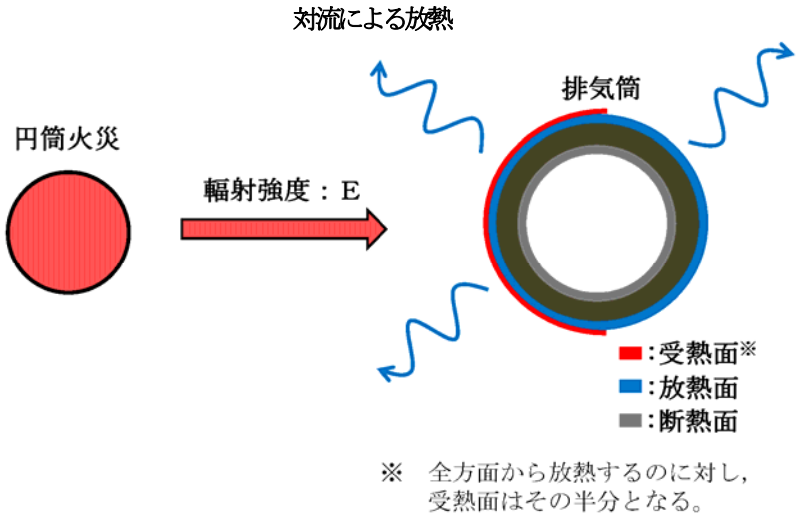
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

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，当該危険物タンクから影響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タンク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。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　排気筒の評価概念図

ｃ．評価結果

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，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　排気筒への危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	10	1,200

4.1.2.5　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

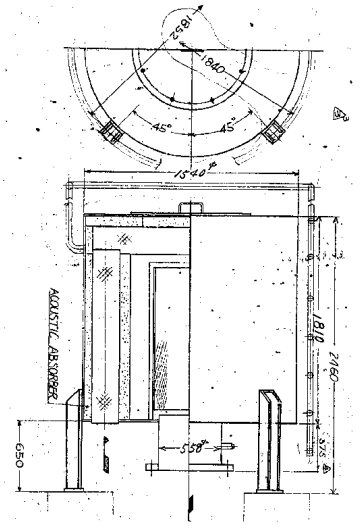
(1)　影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度について，危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 4.1.2.5-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの外形図を第 4.1.2.5-1 図に示す。

第 4.1.2.5-1 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様

名称	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 4.1.2.5-1 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図

(3)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	D／G吸気系フィルタ (m)
	1,100

(4)　判断の考え方

a．許容温度

D／G吸気系フィルタ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，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：D／G吸気系フィルタ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D／G吸気系フィルタ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，D／G吸気系フィルタに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。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad (式1)$$

T：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(37℃)※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 10 年間の最高気温

※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 150℃を介した温度上昇（5℃）

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。

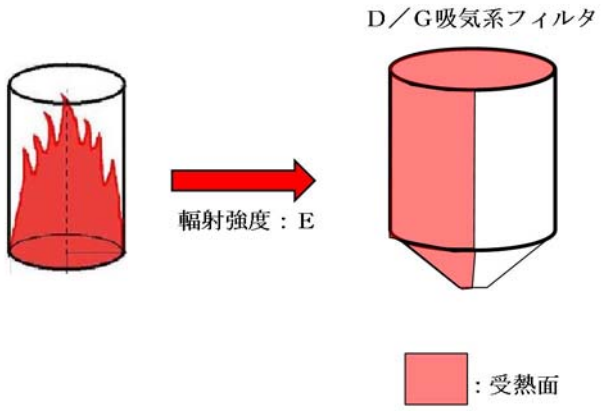
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$　　（式３）

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，当該危険物タンクから影響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。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 4.1.2.5-2 図に示す。



第 4.1.2.5-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

c．評価結果

D／G吸気系フィルタ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，D／G吸気系フィルタ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4.1.2.5-3表に示す。

第4.1.2.5-3表　D／G吸気系フィルタへの危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
D／G吸気系フィルタ	23	1,100

4.2　高圧ガス貯蔵施設

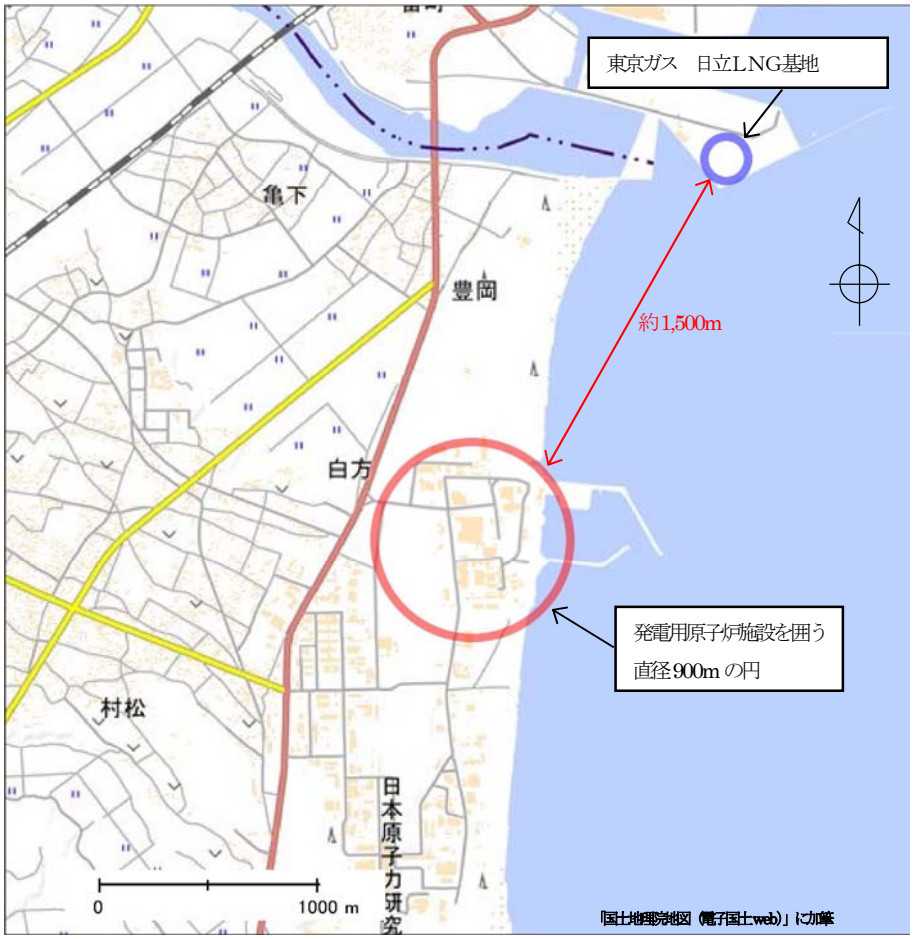
4.2.1　爆風圧の影響評価

(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）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	358.7533	

※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)]。

$$L = 90M^{0.333} \quad (\text{容積 } 5m^3 \text{未満の容器})$$
$$= 465M^{0.10} \quad (\text{容積 } 5m^3 \text{以上の容器}) \qquad (式\ 31)$$

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。

$$L = 465 \times 300000^{0.10} = 1640m$$

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。

仮想危険物タンク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タンク（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タンク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．で想定した危険物タンク位置から影響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) 危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク及び燃料に係るデータを第 1 表に示す。

第 1 表　危険物タンク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)
仮想危険物タンク	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　危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
仮想危険物タンク	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　危険物タンクの燃焼継続時間

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，排気筒及びD／G吸気系フィルタ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。

・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。

・D／G吸気系フィルタ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。

$$T-T_0=\frac{2E\sqrt{\kappa\ t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa\ t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\kappa\ t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa\ t}}\right)\right]$$

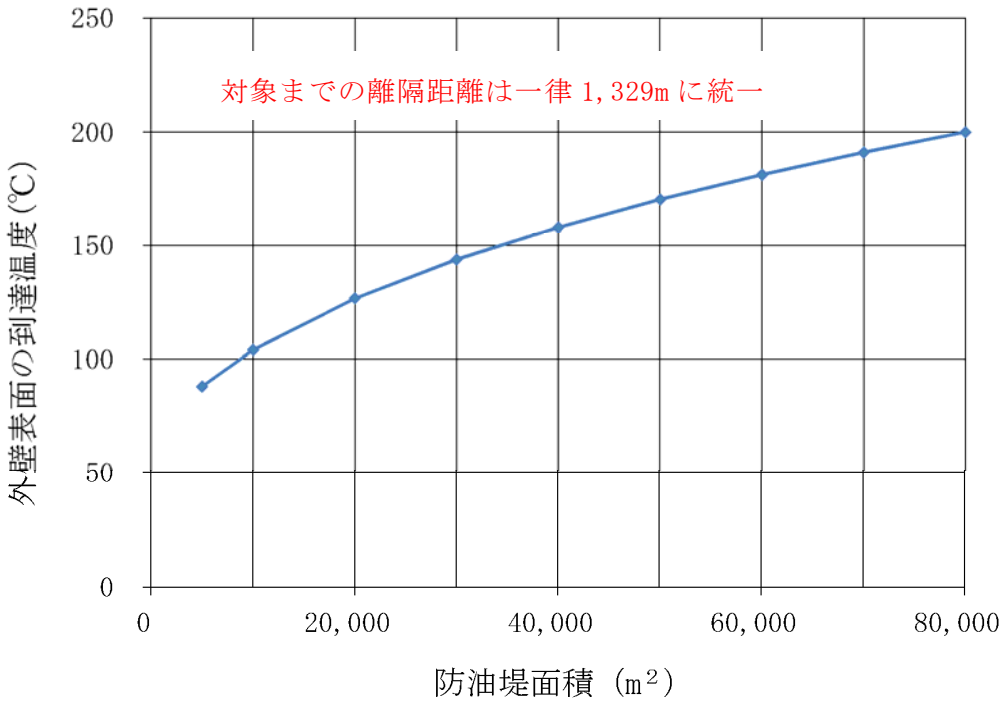
T：許容温度(200℃)，T_0：初期温度(50℃)，E：輻射強度(W/m^2)
κ：コンクリート温度伝導率($=\lambda/\rho C_p$)($7.7\times10^{-7}m^2/s$)
ρ：コンクリート密度($2,400kg/m^3$)，C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)
λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，t：燃焼継続時間(10,984s)
x：コンクリート壁表面深さ(0m)

第 4 表　外壁への危険物タンク火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)
仮想危険物タンク	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

排気筒の評価結果 10m の妥当性について

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：周囲温度(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 10 年間の最高気温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^2K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。

$$E = R_f \times \Phi \quad \Rightarrow \quad \Phi = R_f \div E = \square \div 9,350 = 0.00245989$$

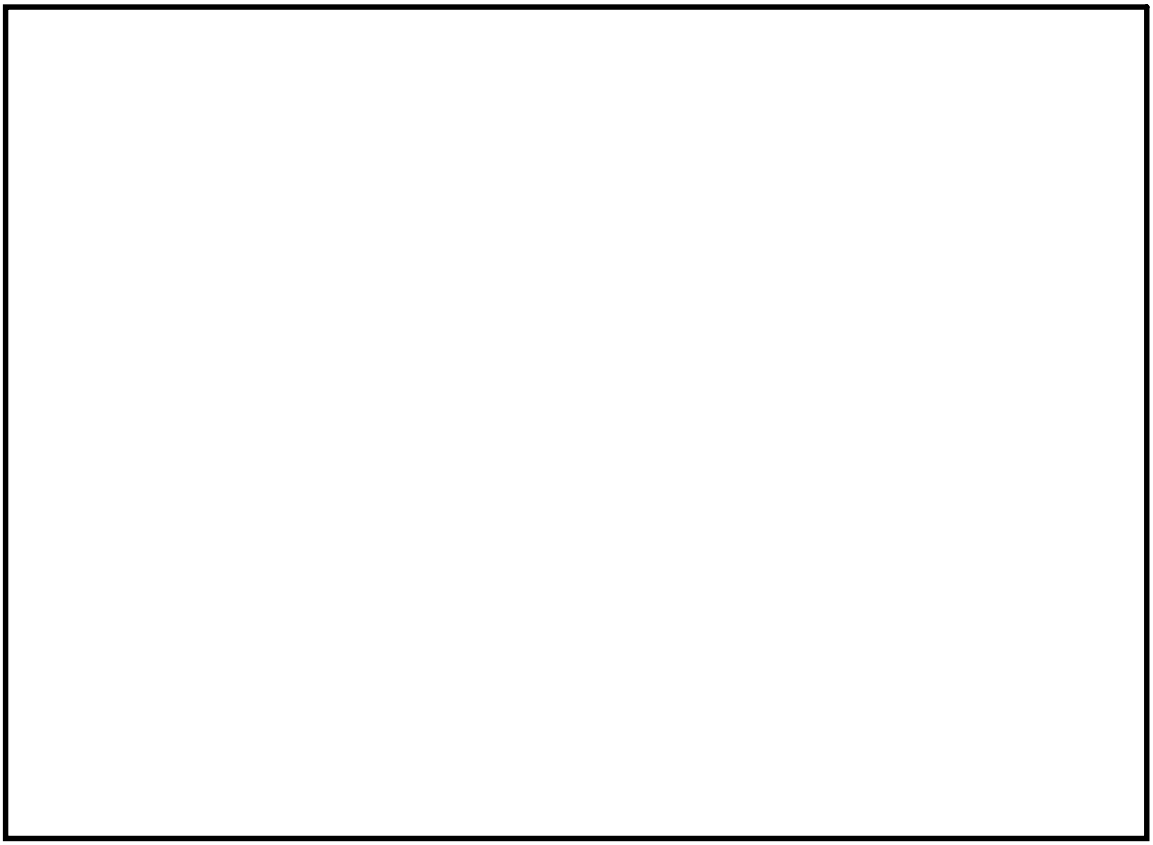
評価ガイドには形態係数の算出式は下式のとおりとあり，この式に形態係数を代入し，離隔距離Ｌを逆算する。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\}$$

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, [redacted] の他の燃料と比較すると [redacted] 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。



第 1 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，影響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。

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：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$

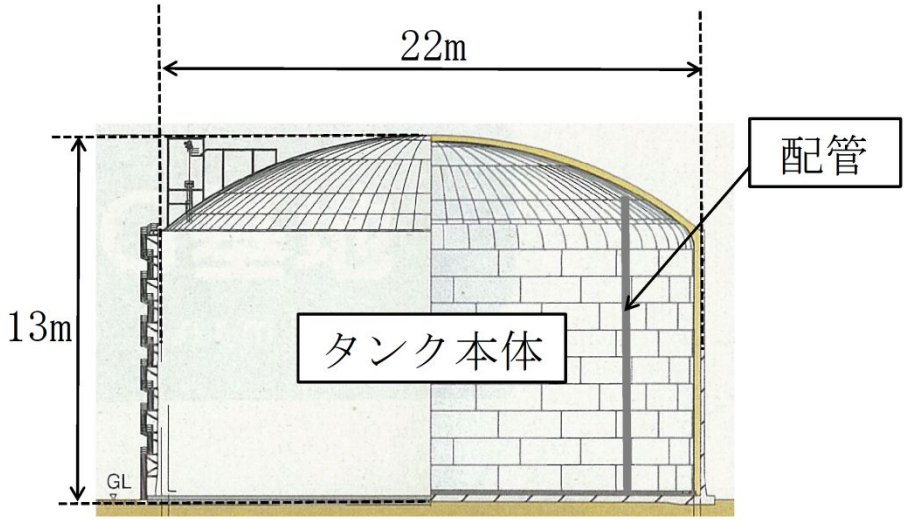
$F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$

$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

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。評価結果を第 4 表に示す。



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，影響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号上の影響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，排気筒及びディーゼル発電機機関の吸気系フィルタ（以下「Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ」という。）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

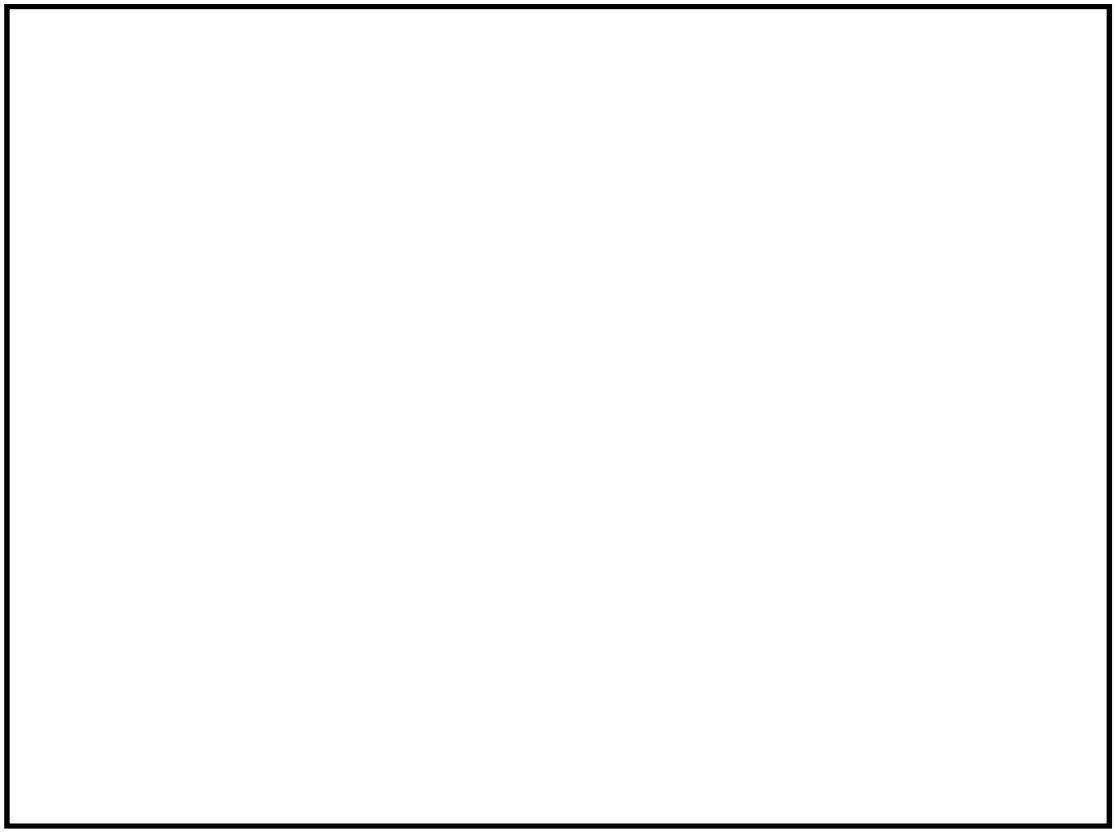
(1)　影響評価対象範囲

影響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)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (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	760	450	520



第 2.2.1-1 図　火災発生場所と影響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。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right] \qquad \text{（式１）}$$

（出典：安全工学講座，安全工学協会）

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10年間の最高気温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影響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，天井スラブ及

び海水ポンプ室天井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。

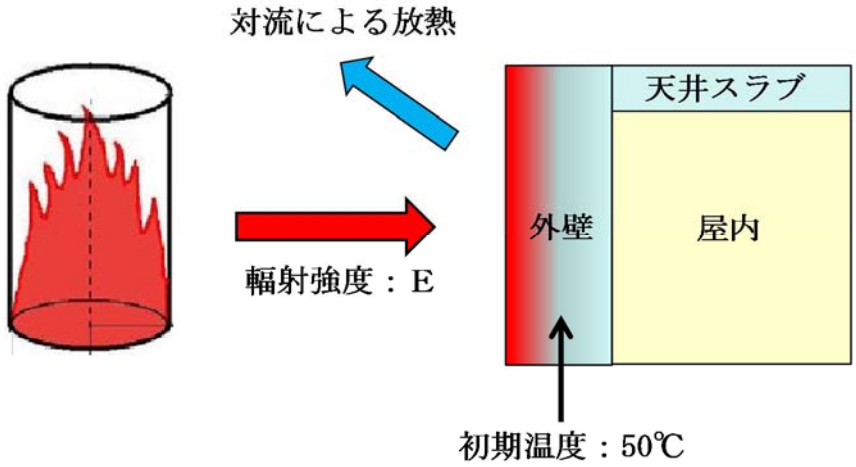
・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・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。

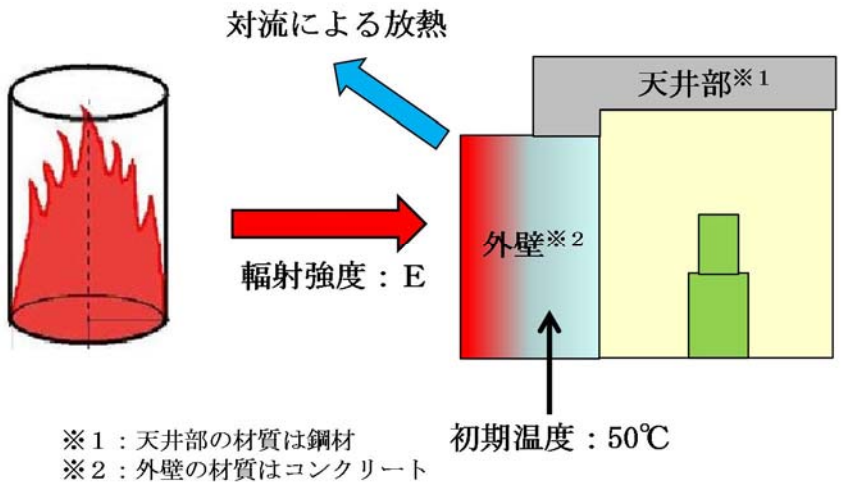
・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）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。

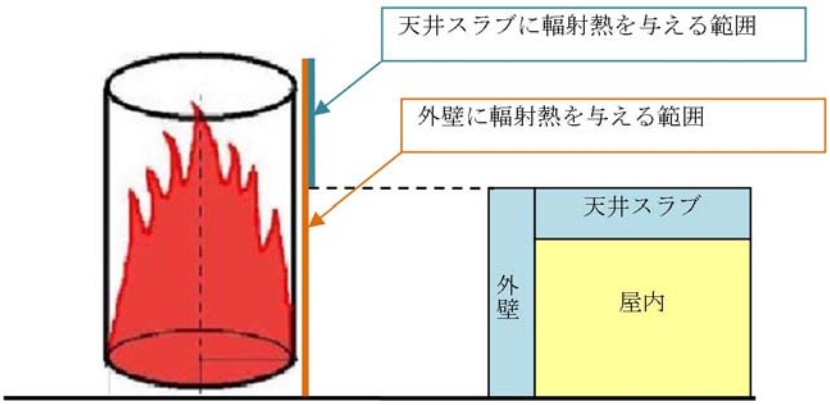
建屋外壁の評価概念図を第 2.2.1-2 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2.1-3 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2.1-4 図に示す。



第 2.2.1-2 図　建屋外壁の評価概念図



第 2.2.1-3 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 2.2.1-4 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

影響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，各影響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

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	15	510
海水ポンプ室		760
タービン建屋		450
使用済燃料乾式貯蔵建屋		520

2.2.2　排気筒に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

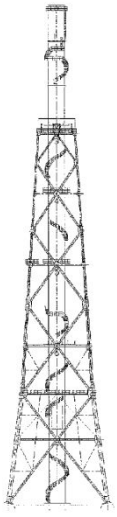
排気筒について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

なお，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)　排気筒仕様を第 2.2.2-1 表に，排気筒外形図を第 2.2.2-1 図に示す。

第 2.2.2-1 表　排気筒仕様

名称		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　排気筒外形図

(3)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒 (m)
燃料輸送車両	610

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

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。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) \qquad \text{（式 1）}$$

（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：周囲温度(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 10 年間の最高気温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^2K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。

$$E = R_f \cdot \Phi \qquad \text{（式２）}$$

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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

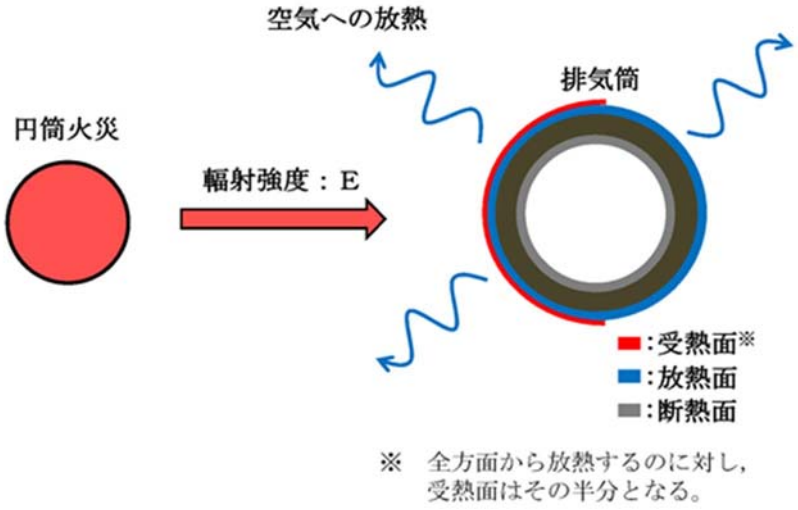
ただし　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

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影響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。

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　排気筒の評価概念図

ｃ．評価結果

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，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　排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	9	610

2.2.3　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

(1)　影響評価対象範囲

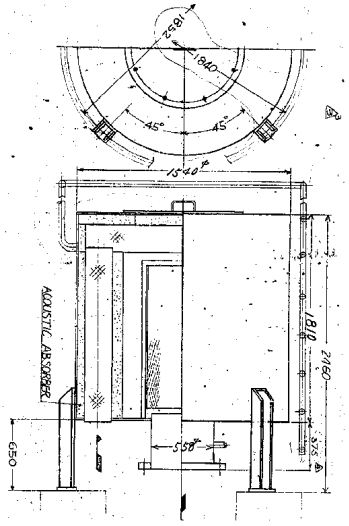
ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタの流入空気温度について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(2)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 2.2.3-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外

形図を第 2.2.3-1 図に示す。

第 2.2.3-1 表　D／G吸気系フィルタ仕様

名称	D／G吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 2.2.3-1 図　D／G吸気系フィルタ外形図

(3)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	D／G吸気系フィルタ (m)
燃料輸送車両	510

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

D／G吸気系フィルタ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，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：D／G吸気系フィルタ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D／G吸気系フィルタ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D／G吸気系フィルタに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。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad \text{（式 1）}$$

T：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(37℃)※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 10 年間の最高気温

※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 150℃を介した温度上昇（5℃）

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。

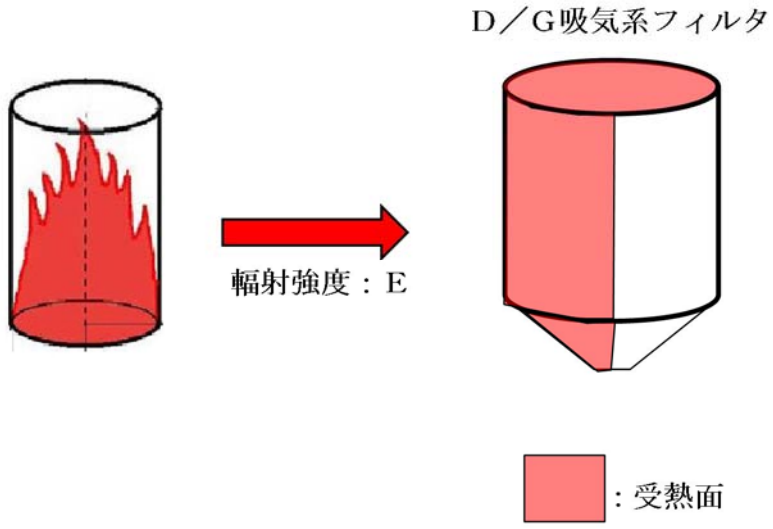
$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式３）}$$

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影響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。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。



第 2.2.3-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

ｃ．評価結果

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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 2.2.3-3 表に示す。

第 2.2.3-3 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタへの燃料輸送車両火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ	17	510

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，影響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号上の影響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。

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。

$$V = \pi r^2 L \Rightarrow L = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$M = 2\pi r L \rho + 2 t \pi r^2 \rho$$

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：$m\frac{dv_x}{dt}=F\frac{v_x}{V(t)}$

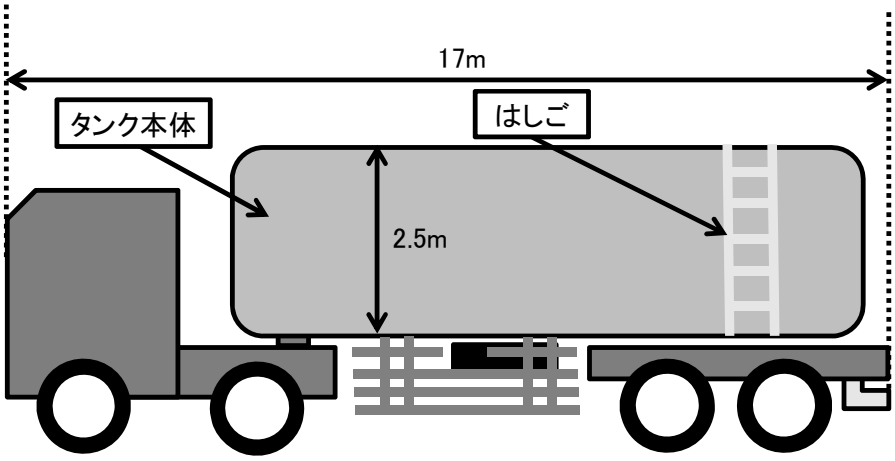
鉛直方向：$m\frac{dv_y}{dt}=F\frac{v_y}{V(t)}-mg$

$F=-\frac{1}{2}C_D A\rho V(t)^2$

$V(t)=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

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影響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）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，影響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［　　］であり，水深 11m である発電所岸壁から［　　］の位置までしか近づけないことから，［　　］のポイントから影響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，影響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［　　］と浅く，発電所岸壁まで接近可能であるた

め，発電所岸壁から影響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，排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタに対する影響評価に必要となる共通データを算出する。

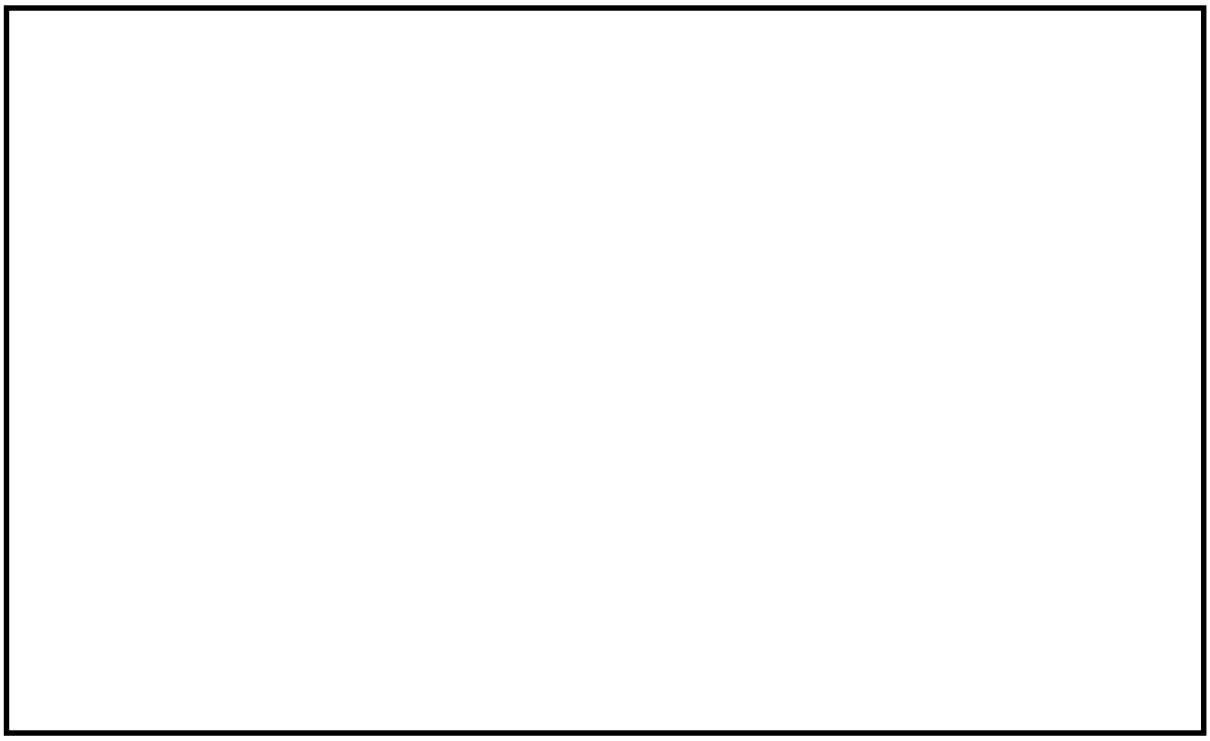
(1)　船舶及び燃料に係るデータ

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 2.1-2 図に示す。

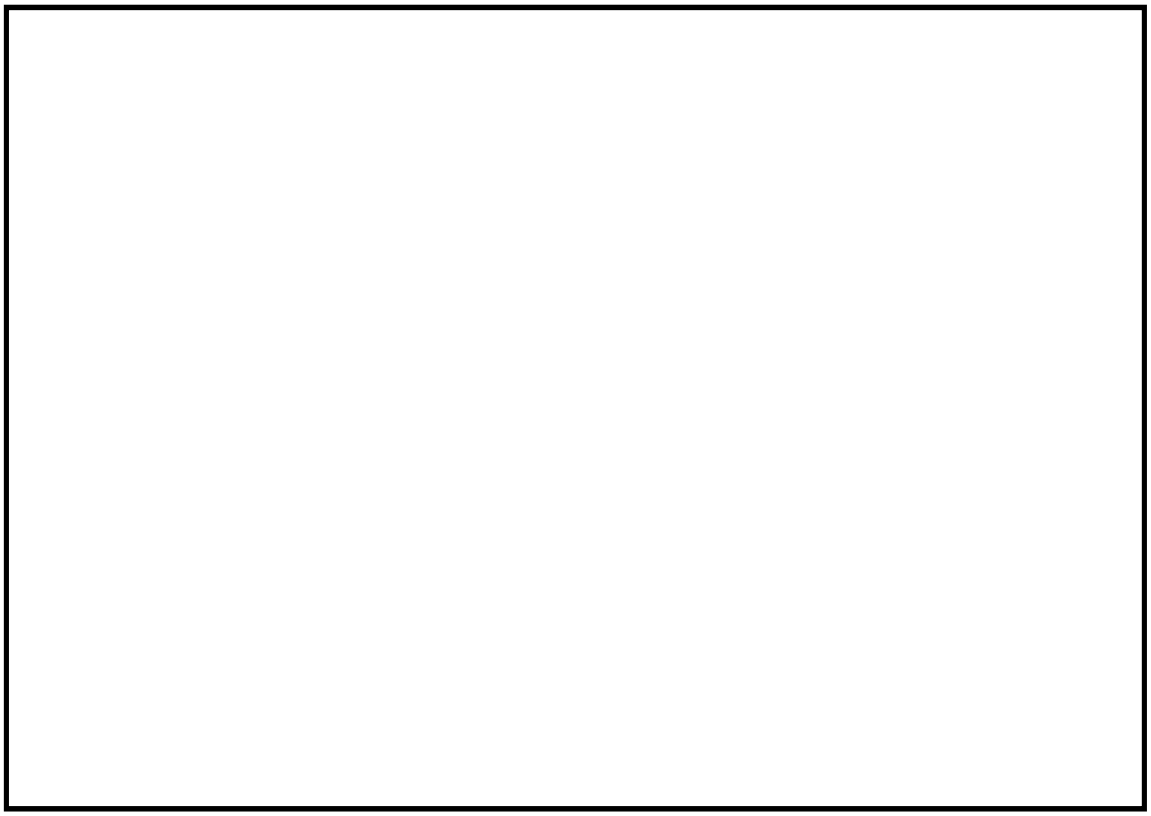
第 2.1-1 表　船舶及び燃料に係るデータ

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影響評価対象外とした。
※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影響評価対象外とした。



第 2.1-1 図　ＬＮＧ輸送船火災と影響評価対象施設の位置関係



第 2.1-2 図　定期船火災と影響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

影響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)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	940	1,100	1,300
	300	70	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。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right] \quad (式\ 1)$$

（出典：安全工学講座，安全工学協会）

Ｔ：表面から x(m)の位置の温度(℃)，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／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：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 10 年間（最高気温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^2K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。

$$E=R_f\cdot\Phi \quad (式\ 2)$$

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　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$，$n=\frac{L}{R}$，$A=(1+n)^2+m^2$，$B=(1-n)^2+m^2$

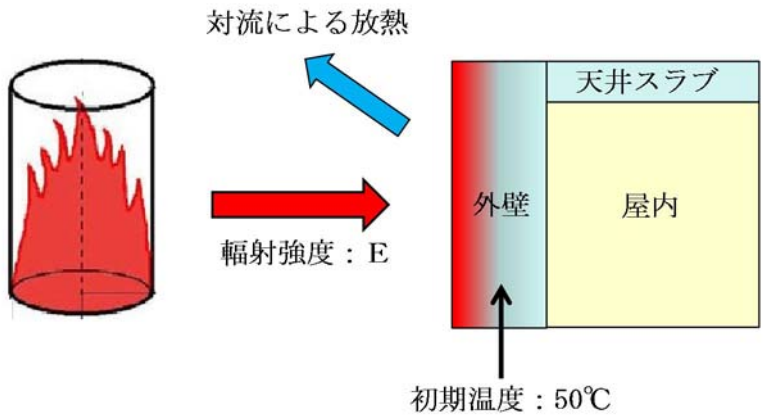
Φ：形態係数，Ｌ：離隔距離(m)，Ｈ：炎の高さ(m)，Ｒ：燃焼半径(m)

（出典：評価ガイド）

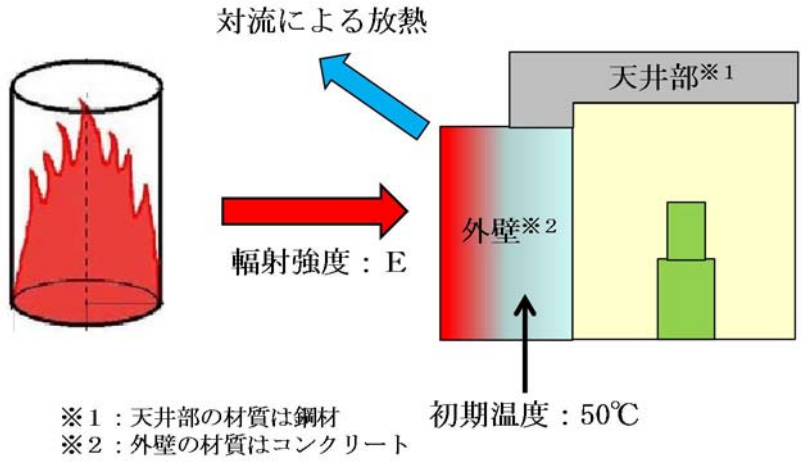
上記のとおり危険距離を算出し，当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

・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。
・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）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。

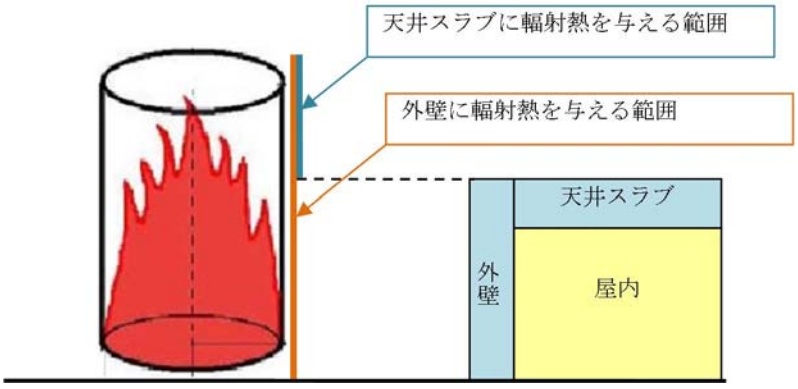
建屋外壁の評価概念図を第 2.2-1 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2-2 図に，天井スラブの評価概念図を第 2.2-3 図に示す。



第 2.2-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 2.2-2 図　海水ポンプ室の評価概念図



第 2.2-3 図　天井スラブの評価概念図

c．評価結果

影響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，各影響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 680m（海水ポンプ室）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	影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	原子炉建屋	165	1,100
	海水ポンプ室		940
	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	54	300
	海水ポンプ室		70
	タービン建屋		280
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		530

2.3　排気筒に対する危険距離評価

(1)　評価対象範囲

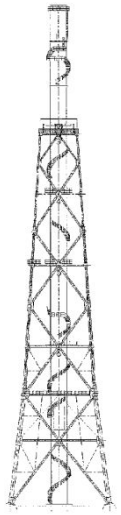
排気筒について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

なお，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)　排気筒仕様を第 2.3-1 表に，排気筒外形図を第 2.3-1 図に示す。

第 2.3-1 表　排気筒仕様

名称		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　排気筒外形図

(3)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	排気筒 (m)
	1,100
	250

(4)　判断の考え方

ａ．許容温度

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。

$$E = 2h\left(T - T_0\right) \qquad \text{（式 1）}$$

（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：周囲温度(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10年間（最高気温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^2K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。

$$\Phi = \frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right) + \frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right] - \frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \qquad \text{（式 3）}$$

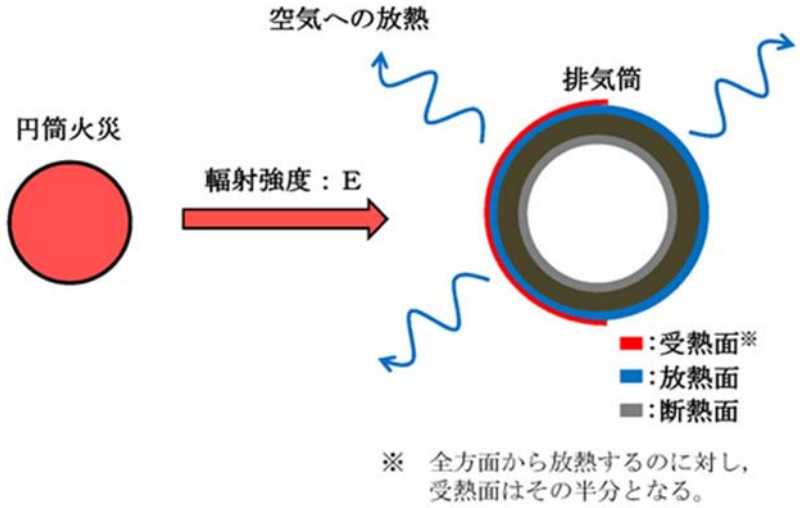
ただし　$m=\frac{H}{R}\fallingdotseq 3$ ，$n=\frac{L}{R}$ ，$A=(1+n)^2+m^2$ ，$B=(1-n)^2+m^2$

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，当該船舶から影響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。

排気筒の評価概念図を第 2.3-2 図に示す。



第 2.3-2 図　排気筒の評価概念図

ｃ．評価結果

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，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　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　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する危険距離評価

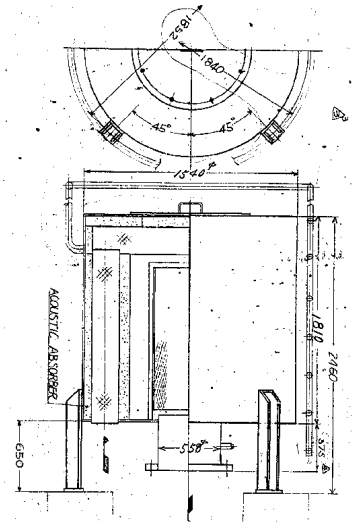
(1)　影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタ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)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 2.4-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図を第 2.4-1 図に示す。

第 2.4-1 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様

名称	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 2.4-1 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図

(3)　想定火災源から影響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　想定火災源から影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ (m)
	1,100
	330

(4)　判断の考え方

a．許容温度

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度53℃以下※とする。

※：Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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Ｄ／Ｇ吸気系フィルタに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。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T \qquad \text{（式1）}$$

Ｔ：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(37℃)※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10年間の最高気温

※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150℃を介した温度上昇（5℃）

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)，R_f：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。

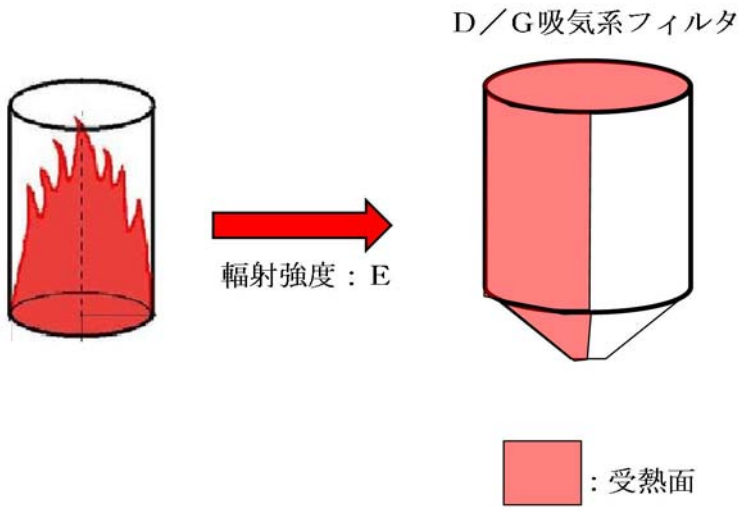
$$\Phi=\frac{1}{\pi n}\tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}}\right)+\frac{m}{\pi}\left\{\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}}\right]-\frac{1}{n}\tan^{-1}\left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}}\right]\right\} \quad （式３）$$

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，当該船舶から影響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。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 2.4-2 図に示す。



第 2.4-2 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図

ｃ．評価結果

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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 2.4-3 表に示す。

第 2.4-3 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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)
	128	1,100
	42	330

3.　漂流船舶の爆発影響評価

(1)　評価対象船舶の抽出

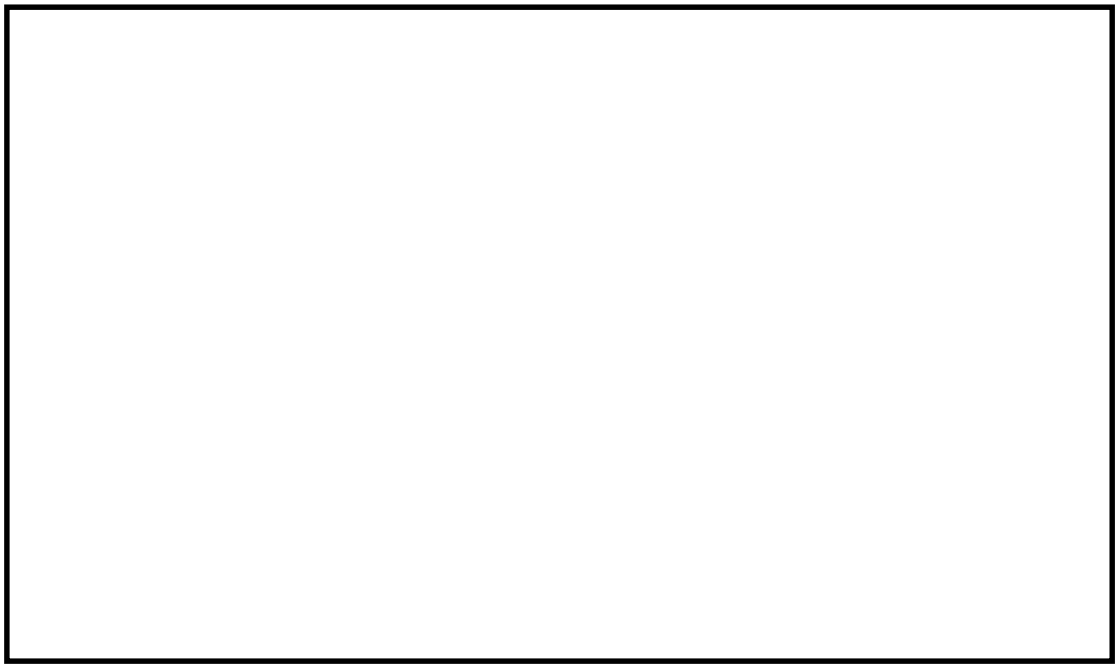
発電所から約 1,500m の位置にある高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立ＬＮＧ基地）にＬＮＧ及びＬＰＧを輸送する輸送船（内航船含む）の爆発を想定し，影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

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。

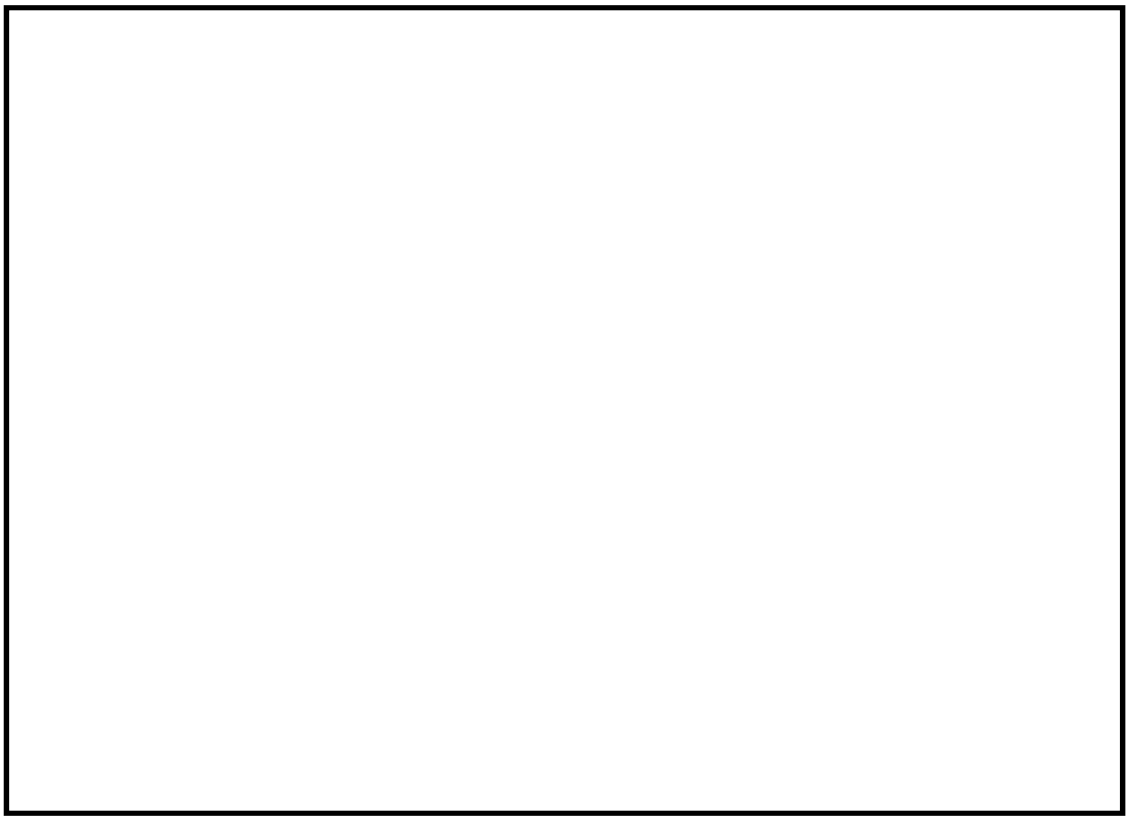
第 3-1 表　爆風圧影響評価で想定した評価条件

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	250 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を除いて最も近い排気筒までの距離とする。

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」（共に以下「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。

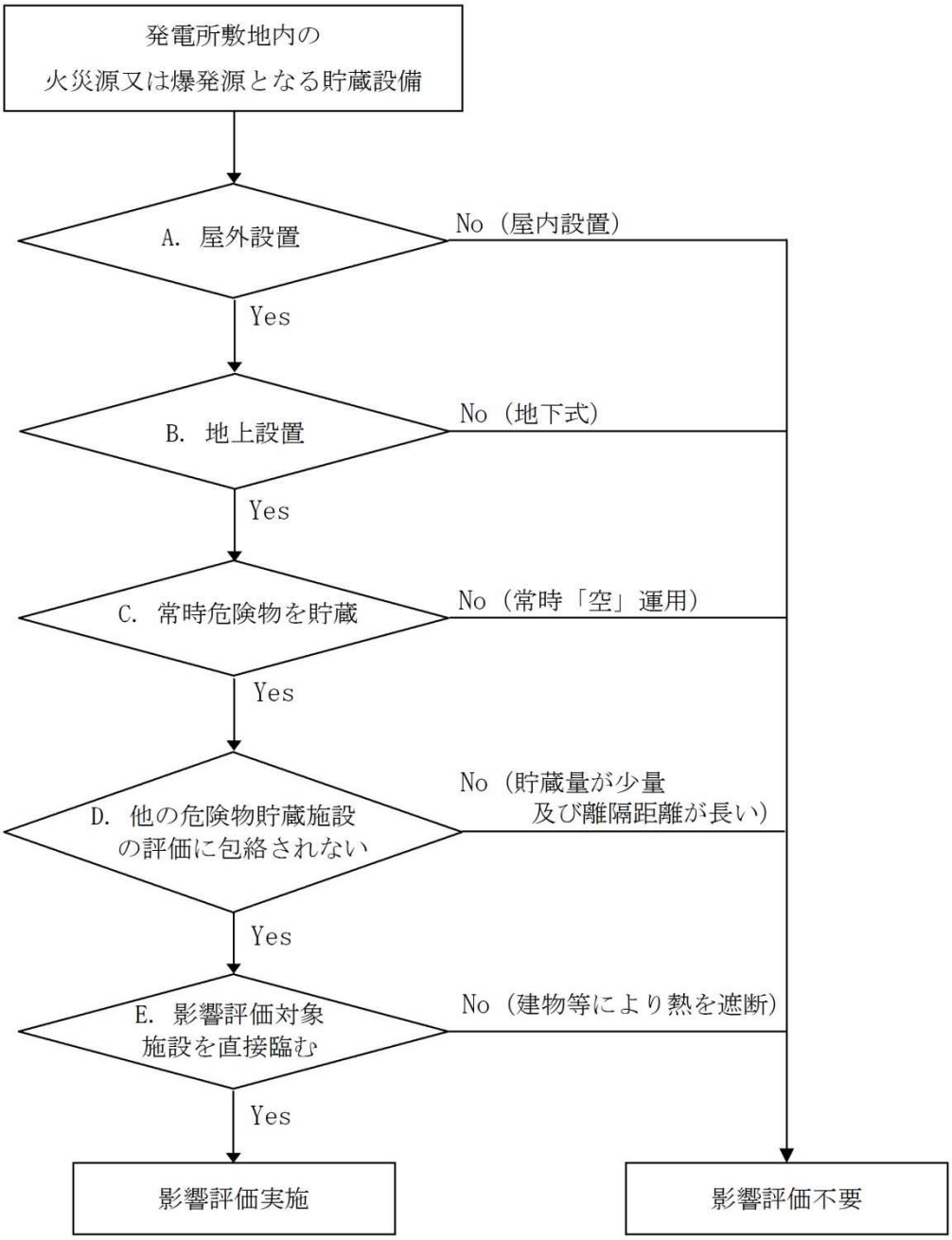
・貯蔵燃料の種類が同じ場合，貯蔵量が少なくかつ影響評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ影響評価対象施設までの離隔距離が短い他設備に包絡されるため，評価対象外とした。

・火災源となる設備から影響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影響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影響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（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 → 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	重油	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	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	0.97	×（他評価に包絡 → E）

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 2.1-1 表　敷地内の火災源となる設備一覧（２／２）

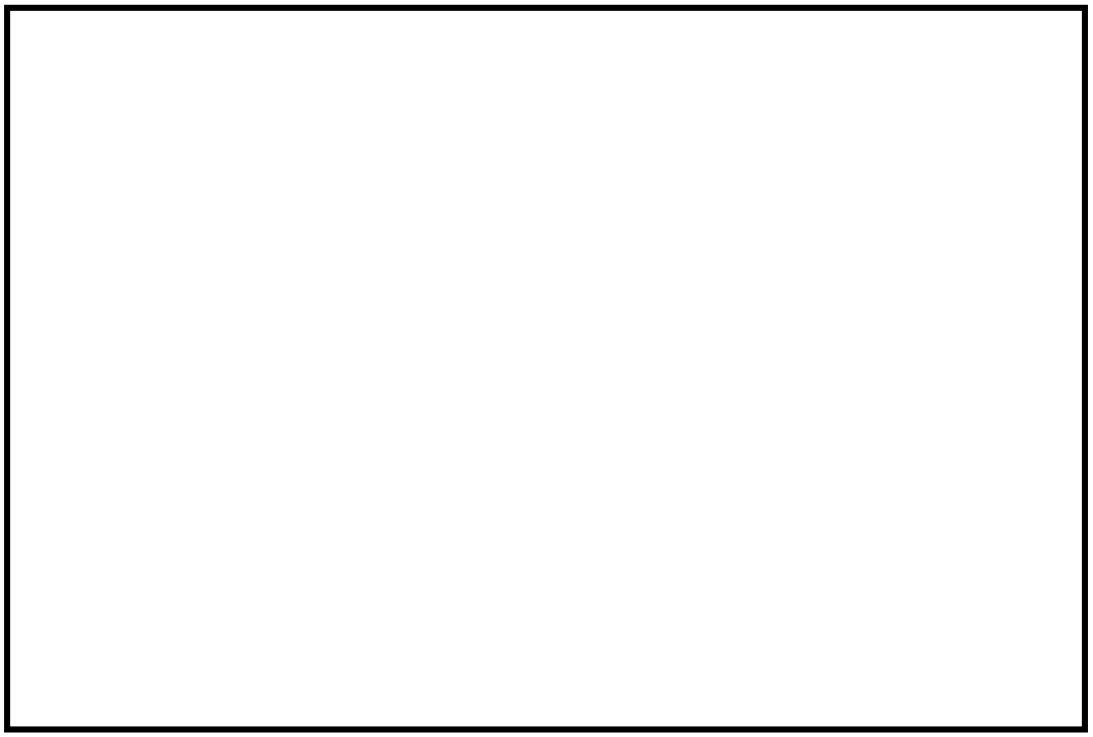
設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量（m^3）	詳細評価要否（○:対象，×:対象外）
No.1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.10	×（屋内設置 → A）
			第四類	第二石油類	ラッカー等	4.00	×（屋内設置 → A）
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	×（屋内設置 → A）
No.2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	×（屋内設置 → A）
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	×（他評価に包絡 → D）
緊急時対策室建屋（旧緊急時対策室）	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（旧緊急時対策室）	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）
Ｔ／Ｈ消火用ディーゼルポンプ用タンク	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	0.49	×（屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.1	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.2	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）
少量危険物貯蔵所 No.3	少量危険物貯蔵取扱所	屋内	第四類	第三石油類	絶縁油	1.00	×（屋内設置 → B）

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（m^3）	総容量（m^3）	詳細評価要否（○：対象，×：対象外）
協力会社ボンベ小屋	アセチレン	50	6	300	×（屋内配置→A）
	フロン	10	2	20	
	プロパン	10	5	50	
Ｈ２，ＣＯ２ボンベ庫	水素	20	7	140	×（屋内配置→A）
水素貯槽	**水素**	**―**	**―**	**6.7**	**○**
予備ボンベ庫①	水素	40	7	280	×（屋内配置→A）
予備ボンベ庫②	水素	20	7	140	×（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	200	×（屋内配置→A）
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500	2500	×（屋内配置→A）
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	6	18	×（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	6	6	×（屋内配置→A）
	ﾒﾀﾝ＋ｱﾙｺﾞﾝ	4	7	28	
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50	900	×（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影響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影響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)　影響評価対象施設

原子炉建屋，タービン建屋，海水ポンプ室（海水ポンプ），排気筒を影響評価対象施設とし，直接臨まない使用済燃料乾式貯蔵建屋，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタは対象外とする。

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)　影響評価対象範囲

影響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影響評価対象施設までの離隔距離

火災源となる設備と影響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影響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	海水ポンプ室	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	185	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}
	185 （海水ポンプ室）	2.483	3.4734×10^{-4}
	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。

$E=R_f\cdot\Phi$

Ｅ：輻射強度(W／m^2)，Ｒｆ：輻射発散度(W／m^2)，Φ：形態係数

第 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
		185 (海水ポンプ室)		3.4734×10^{-4}	17.37
		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，天井スラブ及び海水ポンプ室天井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。

・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）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。海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2.3-2 図に示す。

・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 2.2.3-3 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。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，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)

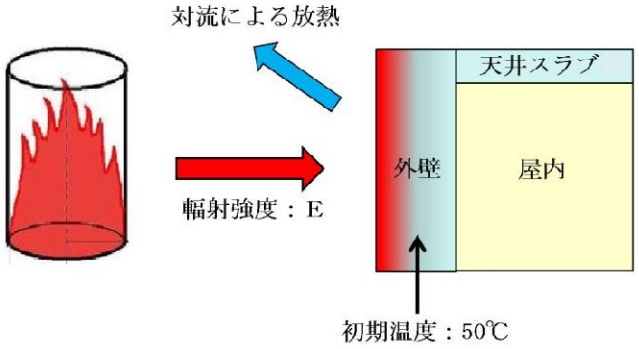
ρ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)，C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，E：輻射強度(W／m^2)

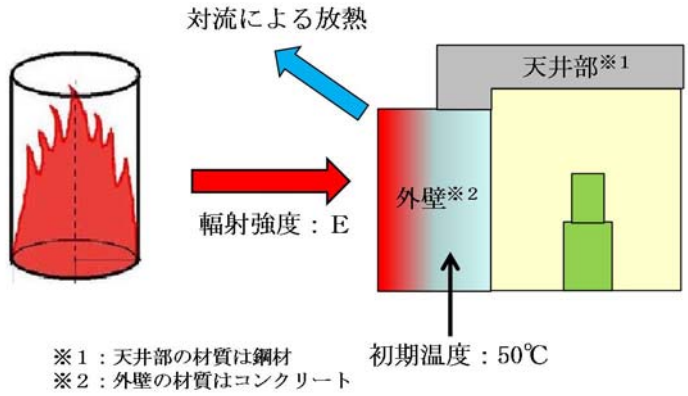
t：燃焼継続時間(11,008s)，x：コンクリート壁表面深さ(0m)

※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

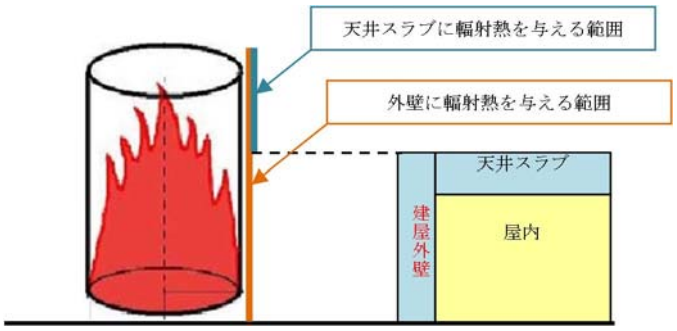
※2：空気調和･衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W／m^2K を用いる。）



第 2.2.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 2.2.3-2 図　海水ポンプ室の評価概念図

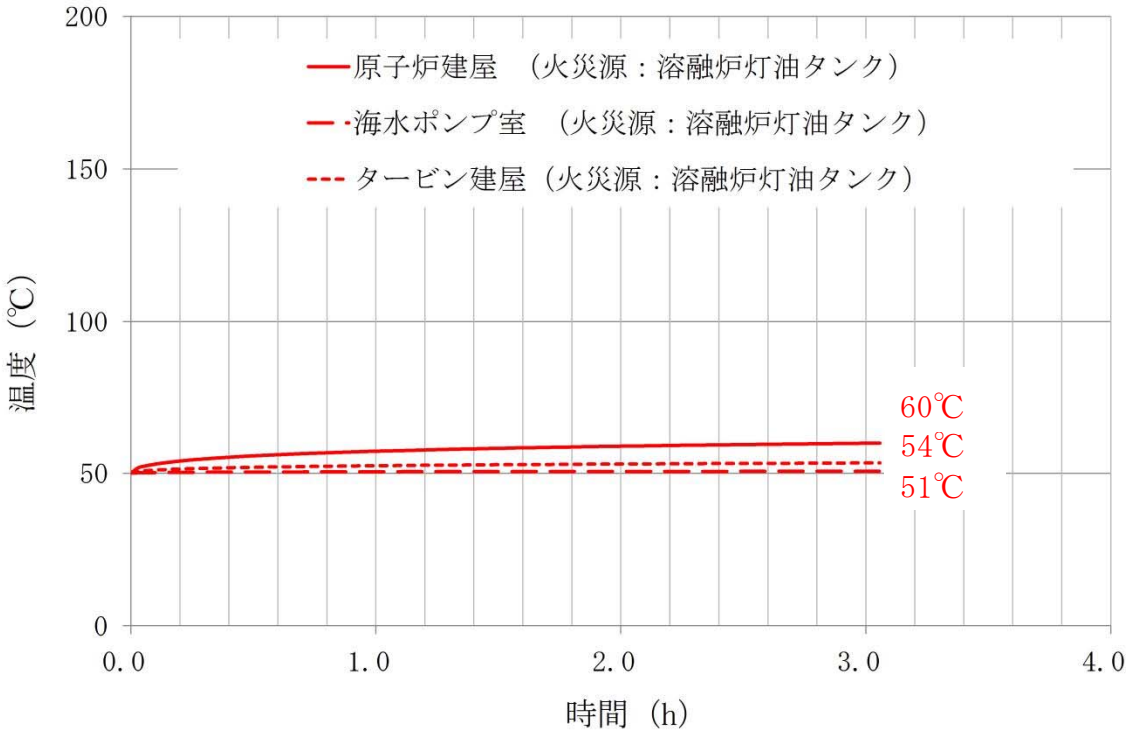


第 2.2.3-3 図　天井スラブへの輻射熱の影響

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	影響評価対象施設	評価温度（℃）	許容温度（℃）
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	60	＜200
	海水ポンプ室	51	
	タービン建屋	54	



第 2.2.3-4 図　影響評価対象施設外壁表面の到達温度

2.2.4　排気筒に対する熱影響評価

(1)　影響評価対象範囲

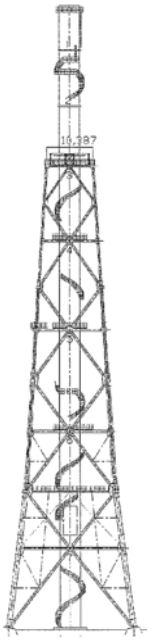
排気筒について，溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお，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)　排気筒仕様を第 2.2.4-1 表に，排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

第 2.2.4-1 表　排気筒仕様

名称		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　排気筒外形図

(3)　火災源となる設備から排気筒までの離隔距離

火災源となる設備から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

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。

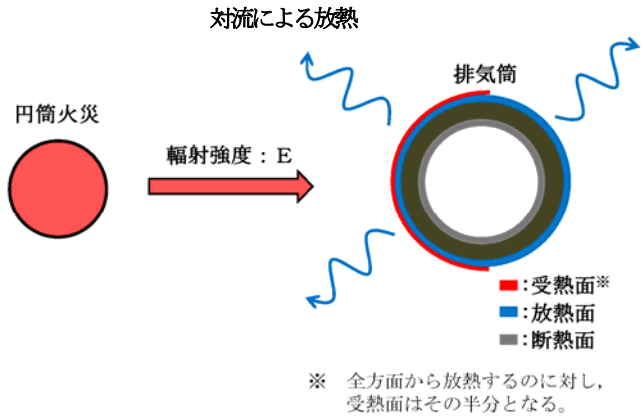
なお，評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔はSS400，STK400，筒身ではSS400であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第2.2.4-2図に示す。

$$T=\frac{E}{2h}+T_0$$

Ｔ：許容温度(325℃)，T_0：周囲温度(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10年間の最高気温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^2K を用いる。）



第 2.2.4-2 図　排気筒の評価概念図

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　影響評価対象施設に対する熱影響評価結果

影響評価対象施設	評価温度 （℃）	許容温度 （℃）
排気筒	90	＜325

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影響評価対象施設までの離隔距離

影響評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
タービン建屋	7	35

※：影響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

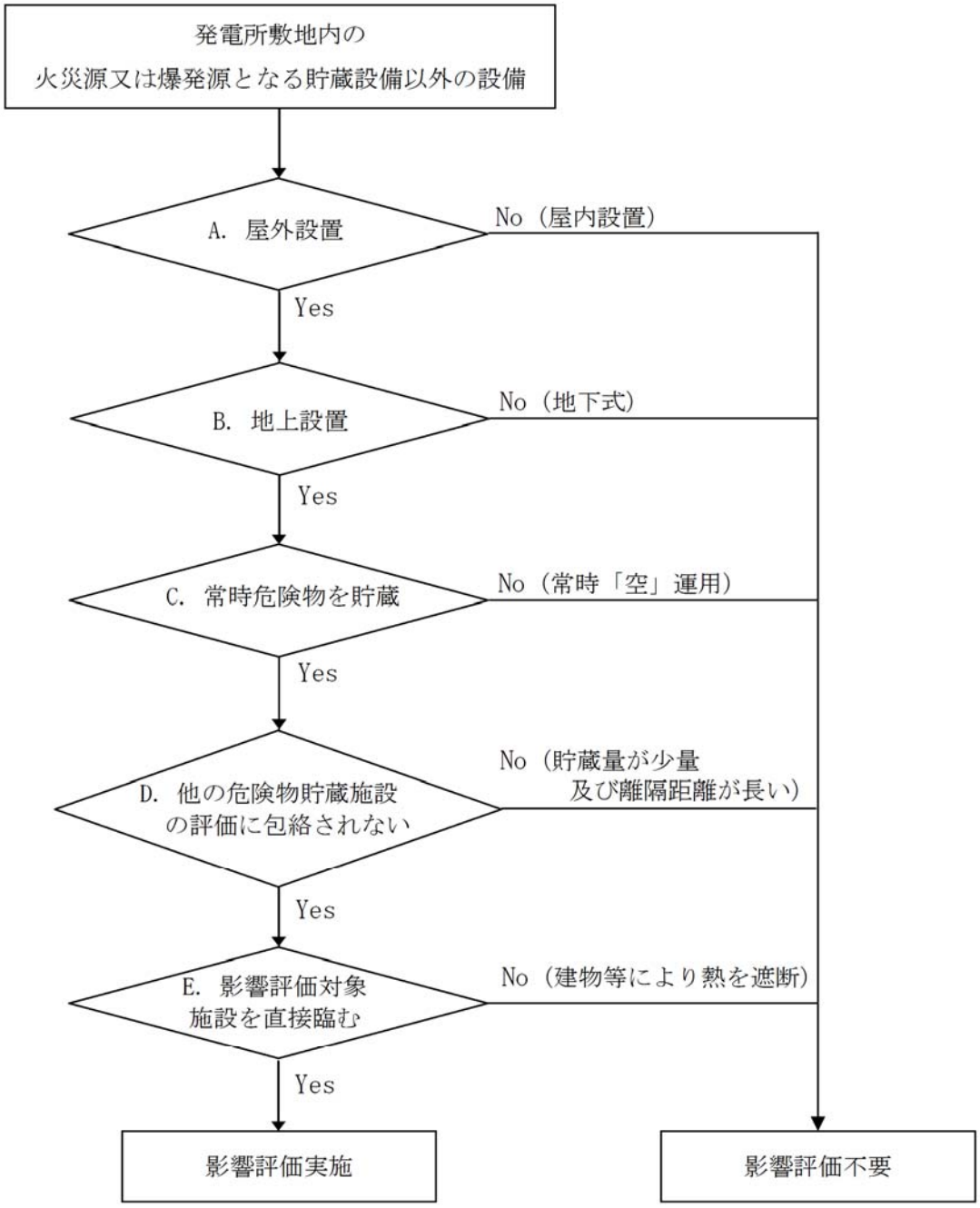
3.　敷地内貯蔵設備以外の影響評価

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影響評価対象施設までの離隔距離が長い設備は，貯蔵量が多くかつ影響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。

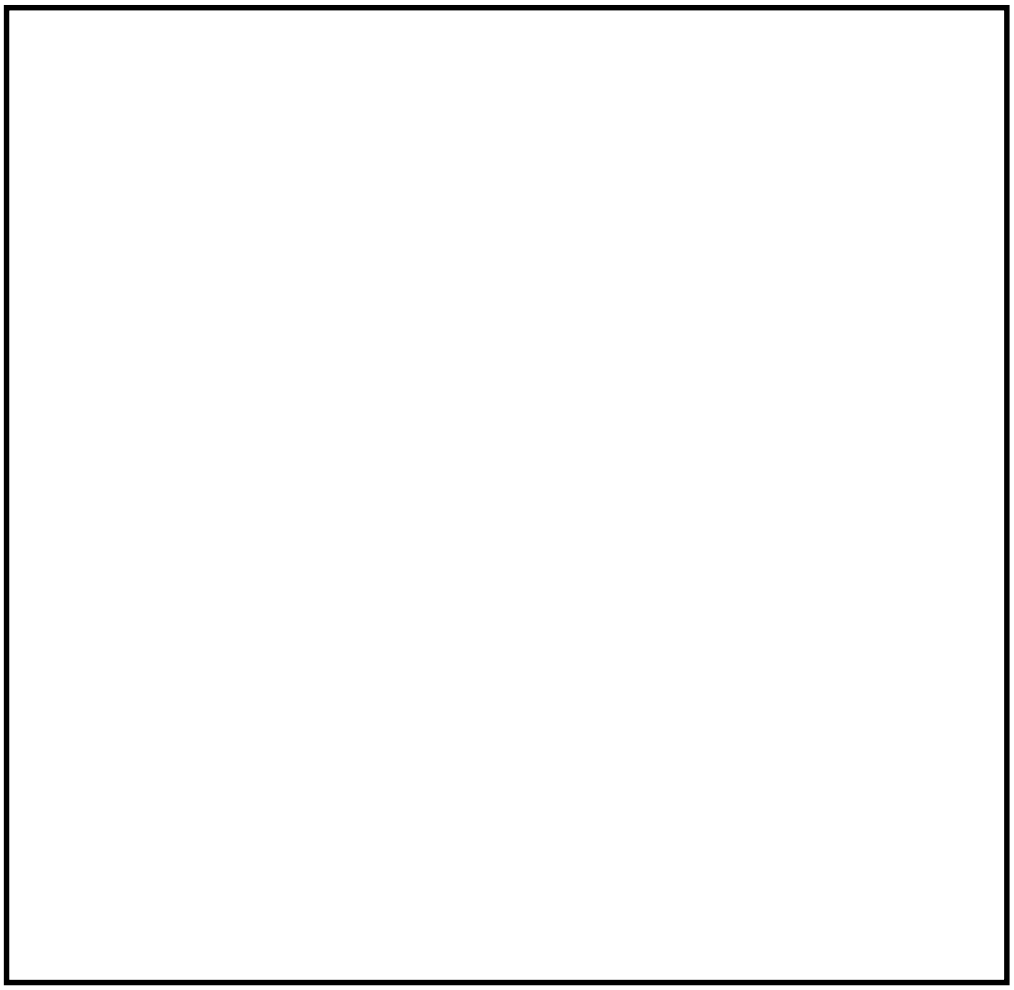
敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備及び影響評価対象施設の位置を第 3.1-2 図に，可搬型重大事故等対処設備及び自主設備の保管位置を第 3.1-3 図に示す。



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	136.00	○
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 → 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）

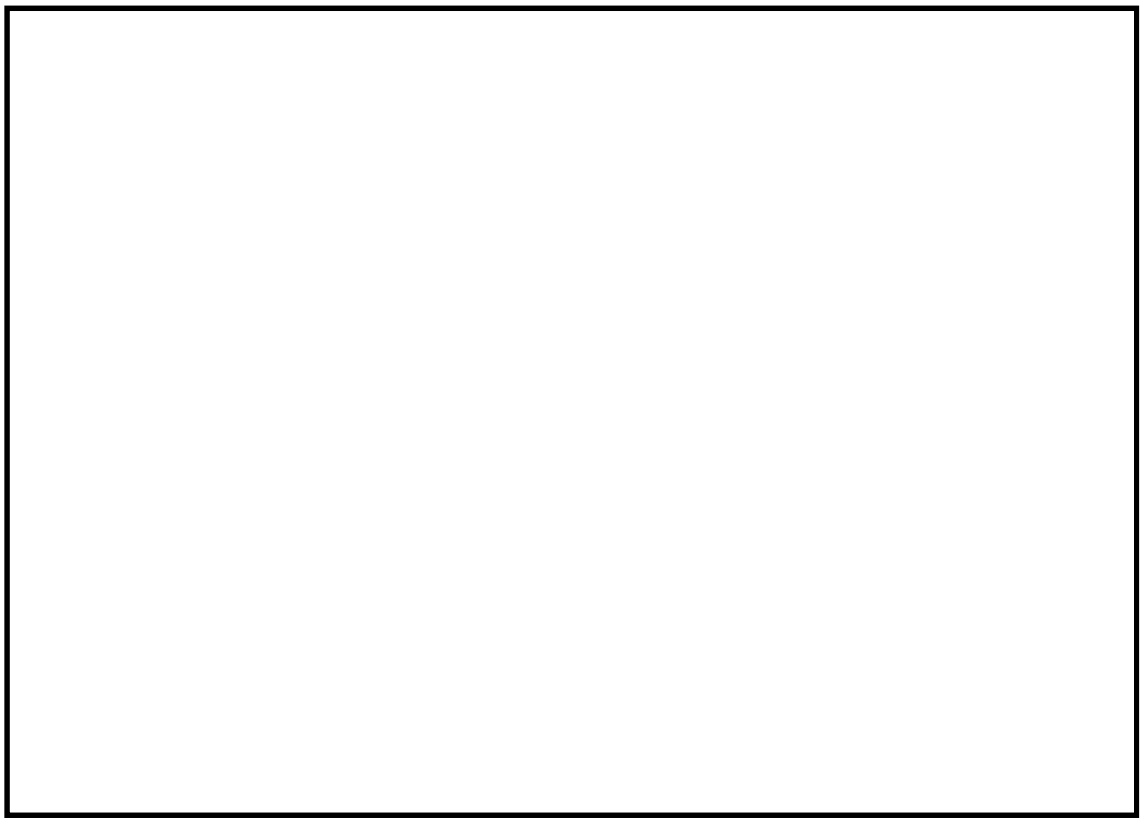


第 3.1-2 図　火災源となる変圧器及び影響評価対象施設の設置位置

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	2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）
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）
大型ポンプ用送水ホース運搬車※2	10台	第四類	第二石油類	軽油	200	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	南側保管場所 西側保管場所	× （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※2	1台	第四類	第二石油類	軽油	200（車 両） 125（ﾎﾟﾝﾌﾟ）	西側保管場所	× （他評価に包絡 →D）
中型ポンプ用送水ホース運搬車※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）
消防車※2	4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 西側保管場所 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※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：予備設備



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。

ｂ．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。

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影響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。

(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 (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

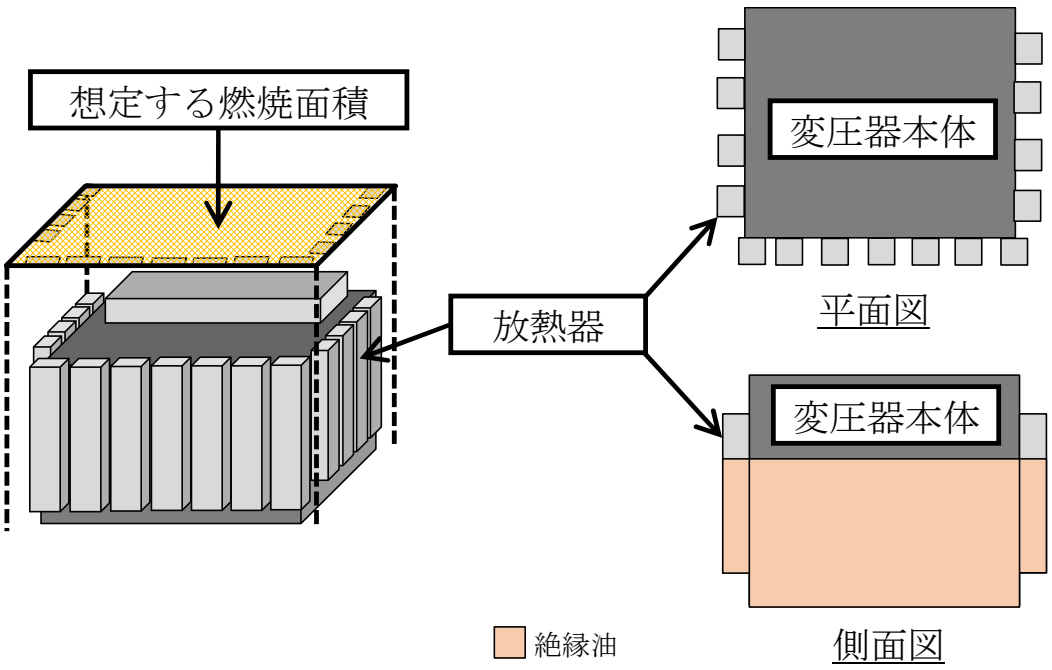
(2)　燃焼半径の算出

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災を生じることとし，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)　影響評価対象範囲

影響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)　変圧器と影響評価対象施設までの離隔距離

変圧器と影響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　各変圧器と影響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)，R_f：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。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{a}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{a}{\lambda}x+\frac{a^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{a}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

Ｔ：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)

a ：熱伝達率(17W／m^2／K)

κ ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρC_p)(7.7×$10^{-7}$$m^2$／s)

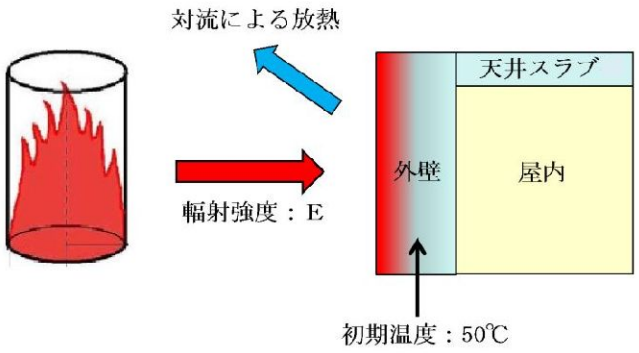
ρ ：コンクリート密度(2,400kg／m^3)，C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)

λ ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K)，Ｅ：輻射強度(W／m^2)

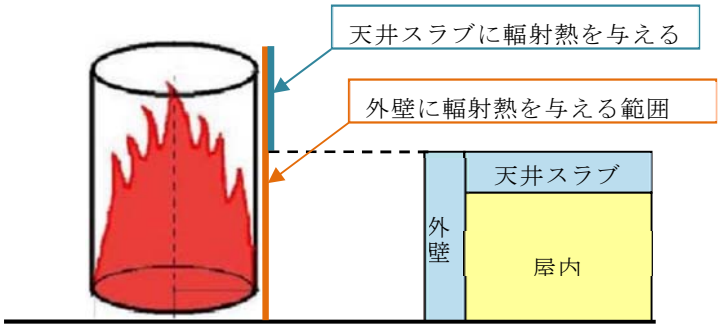
ｔ：燃焼継続時間(s)，ｘ：コンクリート壁表面深さ(0m)

※１：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温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^2K 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 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	影響評価対象施設	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	

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。

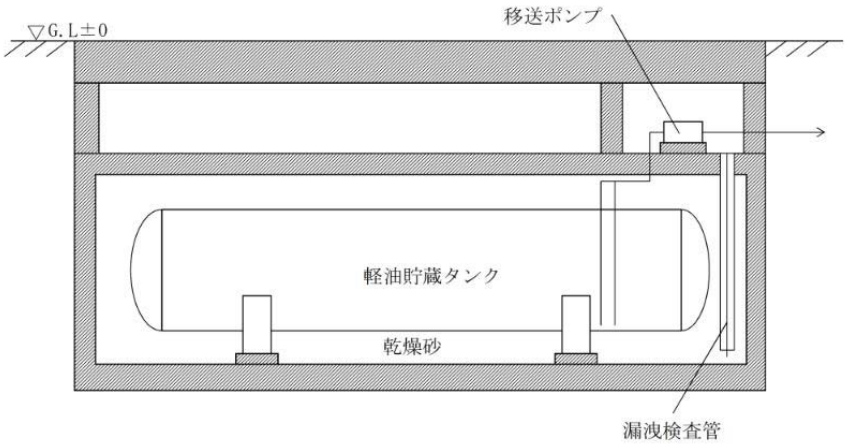
－略－

「危険物の規制に関する規則」【一部抜粋】

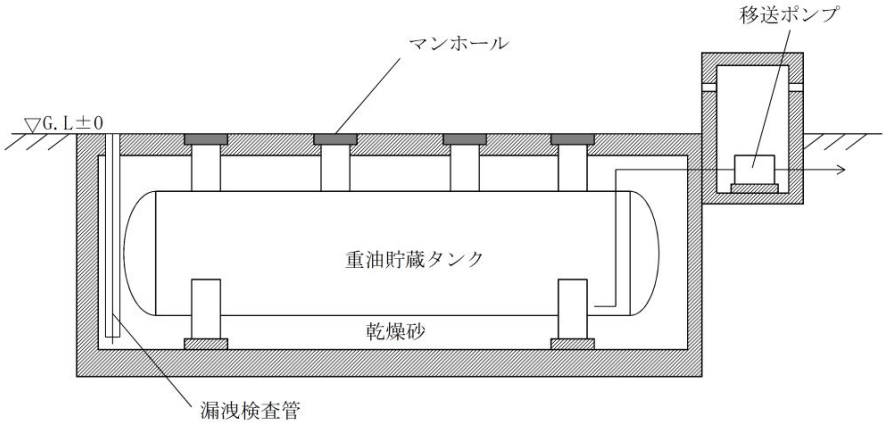
（その他の製造所等の消火設備）
第三十五条　令第二十条第一項第三号の規定により，第三十三条第一項及び前条第一項に掲げるもの以外の製造所等の消火設備の設置の基準は，次のとおりとする。
一　地下タンク貯蔵所にあっては，第五種の消火設備を二個以上設けること。

－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



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。

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。

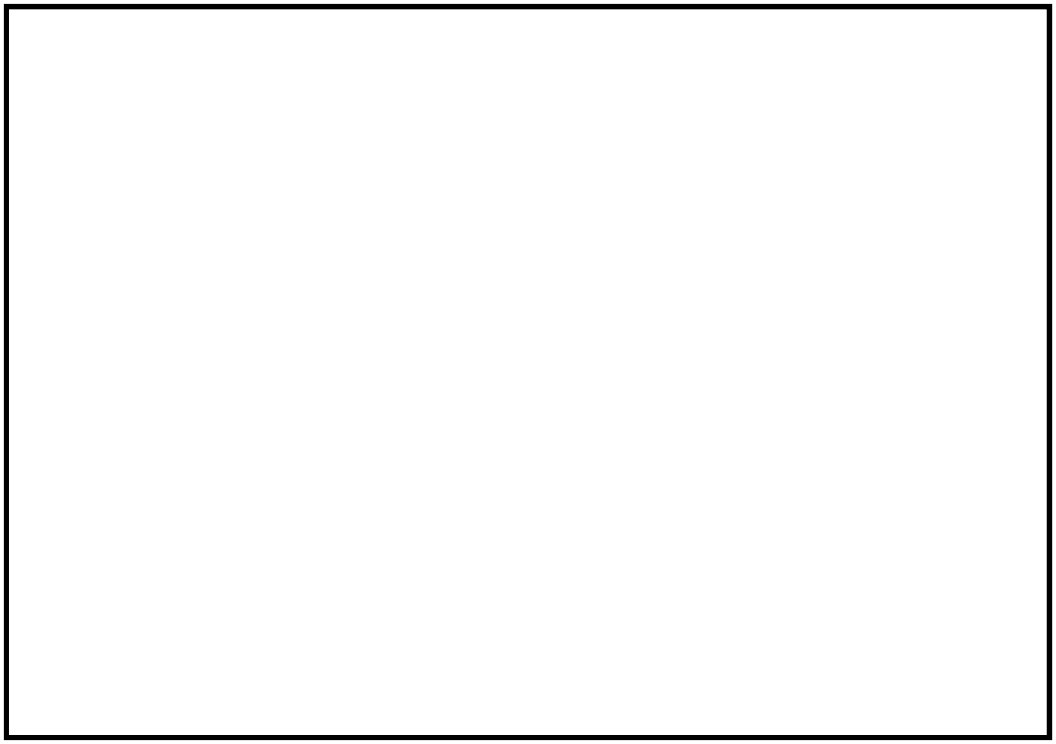


図　屋外薬品タンクの位置

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 10 年間の最高気温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

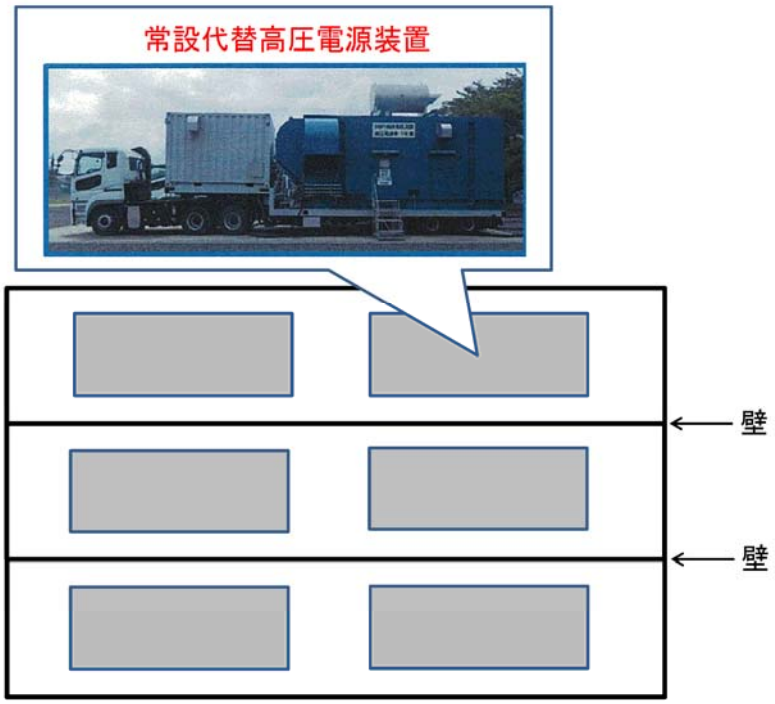
想定火災源	受熱対象	危険距離 (m)
クレーン燃料タンク	ユニック車燃料タンク	2.4

(7)　保管場所に保管する車両の配置設計

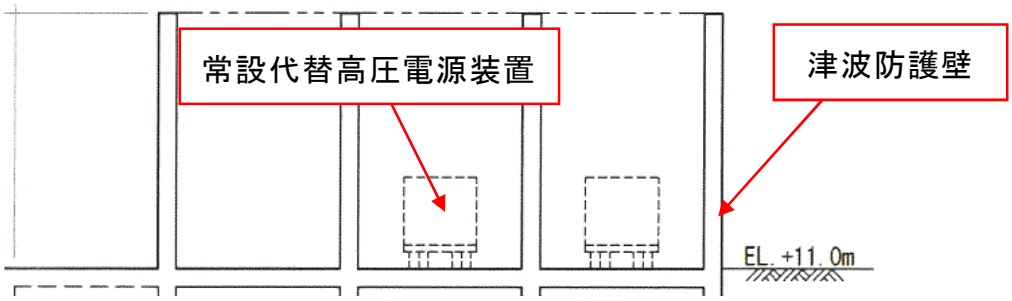
クレーン燃料タンクの火災を想定しても，車両同士の最低離隔距離 2.5m が危険距離 2.4m を上回ることから，周囲の車両に影響を及ぼすことはない。

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) 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。

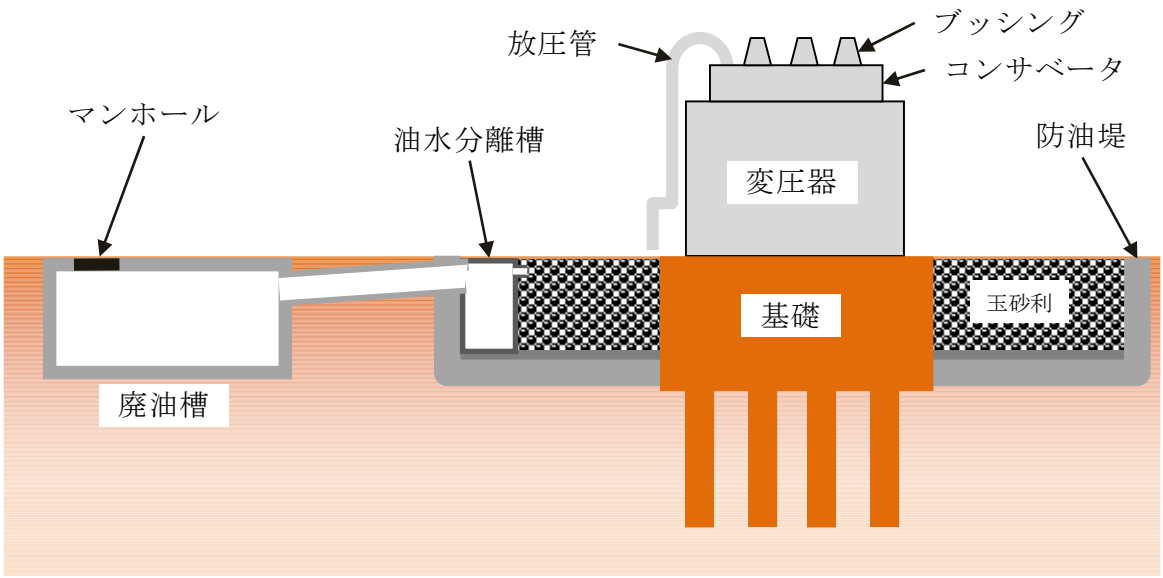
(2) 金属躯体に覆われており火災が発生する可能性は低い。

(3) 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。

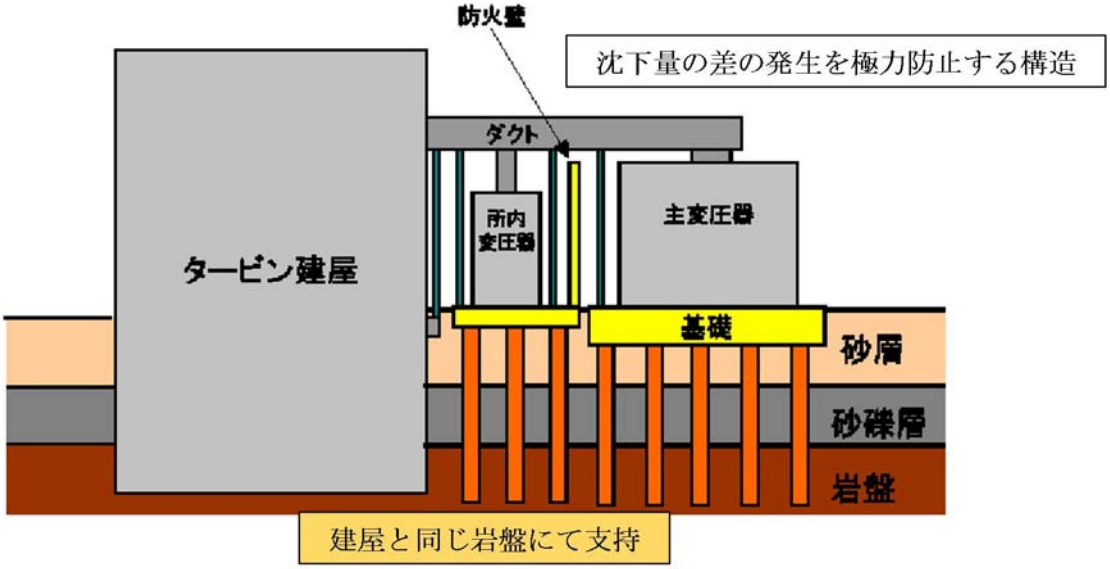
(4) 変圧器と二次側接続母線部ダクトの基礎は，建屋と同じ岩盤に支持されており，地震時の沈下量の差の発生を防止する構造となっていることから，相対変位が発生し難く，ブッシング部破損による漏油と，地絡，短絡によるアーク発生での火災が発生する可能性は低い。変圧器基礎の概要を第 2 図に示す。

(5) 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。

(6) 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。

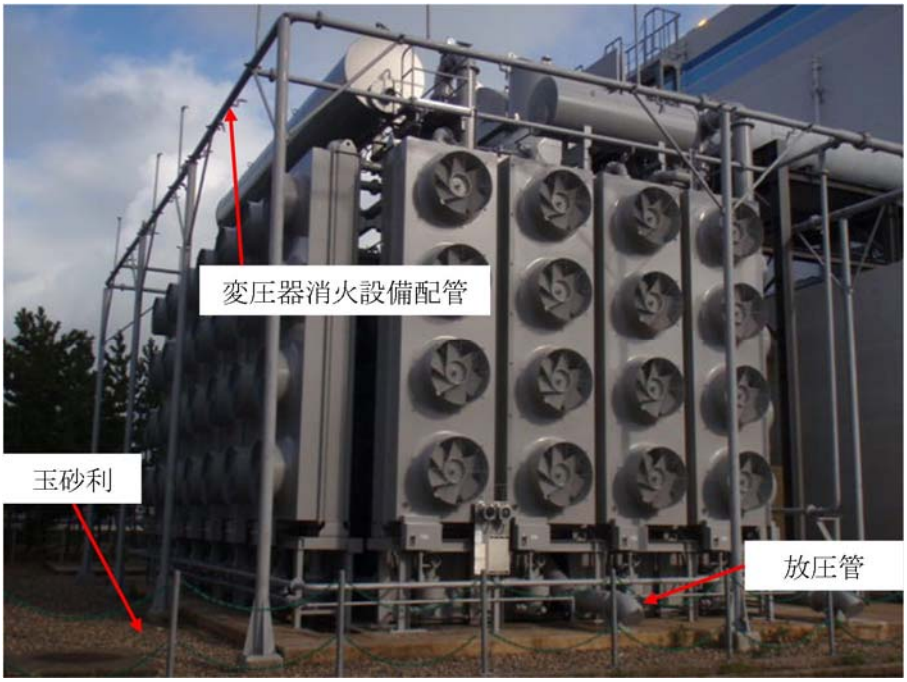


第 1 図　変圧器地下構造



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 で選定した影響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) 火災は円筒火災をモデルとし，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 倍にした円筒火災モデルを採用する。

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毎に航空機墜落による火災の影響評価を実施する。

<table>
<tr><td colspan="3">落下事故のカテゴリ</td></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，カテゴリ毎に落下確率が 10^{-7}（回／炉・年）に相当する面積を算出し，その結果を用いて影響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，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，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）。

(2)　航空路を巡航中の落下事故

ａ．標的面積

Pc＝fc・Nc・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）	1095 （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）・A・α

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

$Pso = fso \cdot A / So$

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（＝37.2 万－7.72 万） 米軍機　37.2 万（＝37.2 万－0.05 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（＝37.2 万－7.72 万） 米軍機　37.2 万（＝37.2 万－0.05 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。

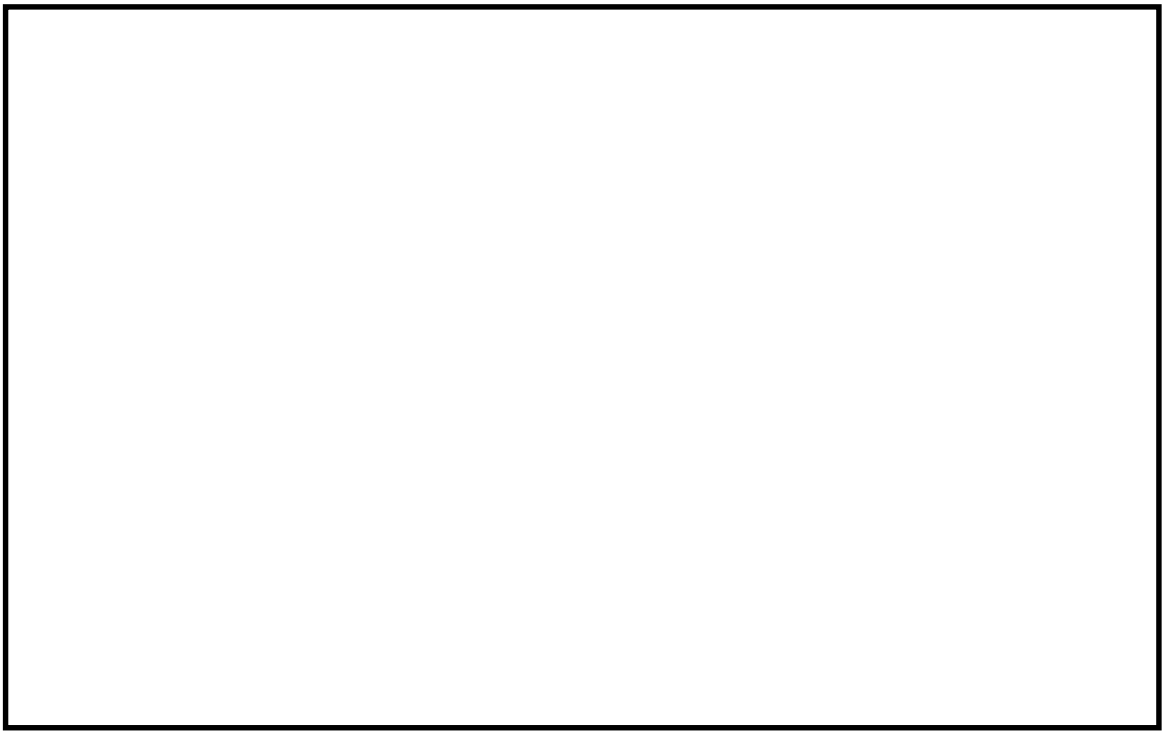
これらの式より，Pse＝10^{-7}（回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.033km^2となる。

ｂ．離隔距離

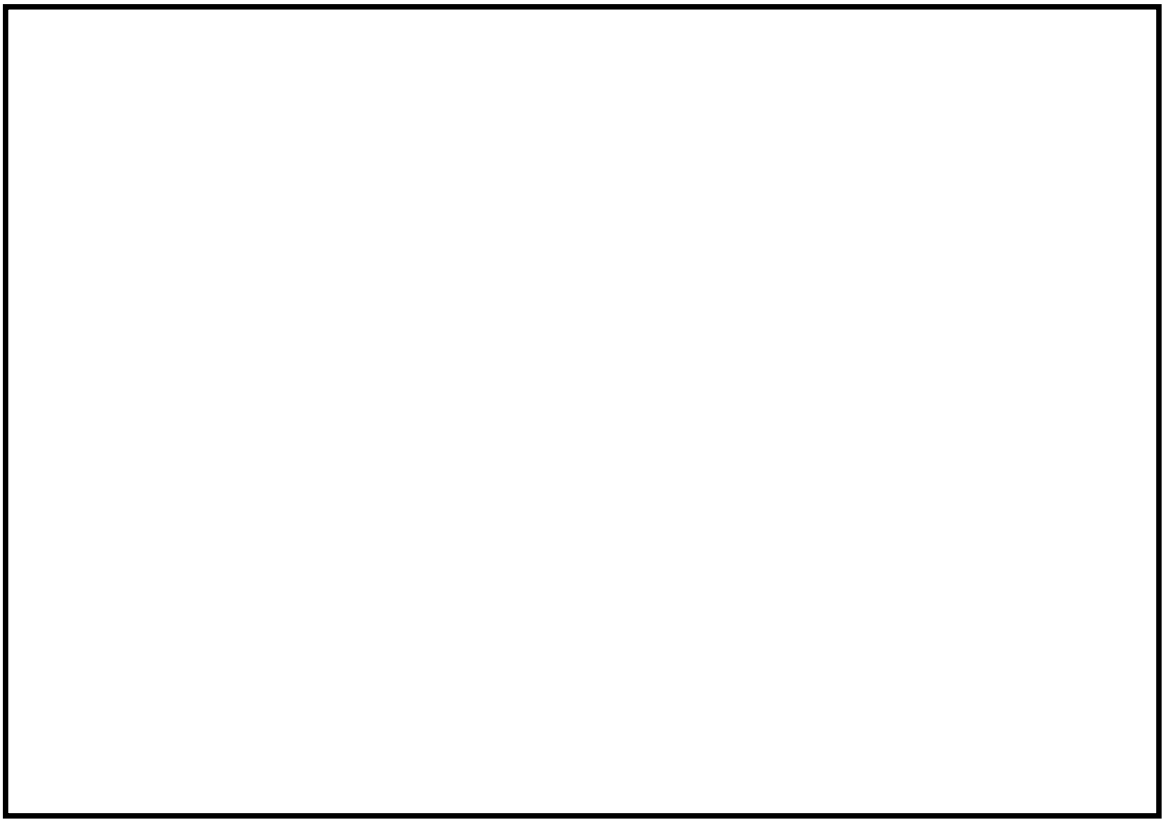
ａ．で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 22m とする（評価結果は，約 22.1m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔

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）

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，燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m^{3}と少量であることから，Do228-200 よりも燃料搭載量が多く，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，燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m^{3}と少量であることから，Do228-200 よりも燃料搭載量が多く，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，排気筒及びＤ／Ｇ吸気系フィルタ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）

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 5.2-5 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）

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

影響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。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{\alpha}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{\alpha}{\lambda}x+\frac{\alpha^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

T：表面からx(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

α：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(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10年間の最高気温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，天井スラブ及び海水ポンプ室天井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。

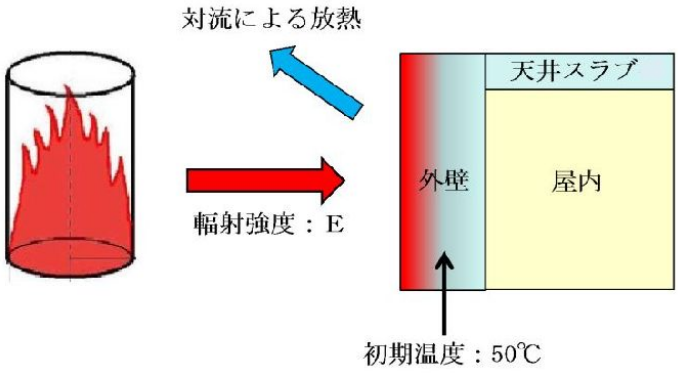
・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

・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。

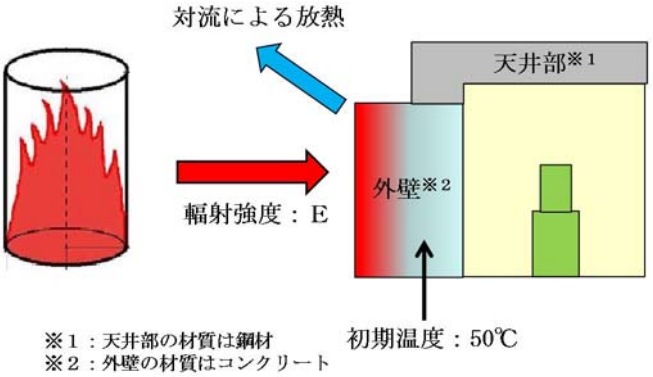
・海水ポンプ室の天井（一部の側面壁含む）は鋼材，外壁はコンクリートであるが，危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。

・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。

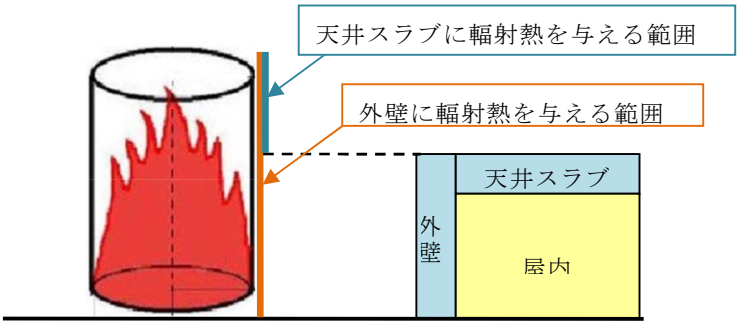
建屋外壁の評価概念図を第5.3-1図に，海水ポンプ室の評価概念図を第5.3-2図に，天井スラブの評価概念図を第5.3-3図に示す。



第 5.3-1 図　建屋外壁の評価概念図



第 5.3-2 図　海水ポンプ室の評価概念図



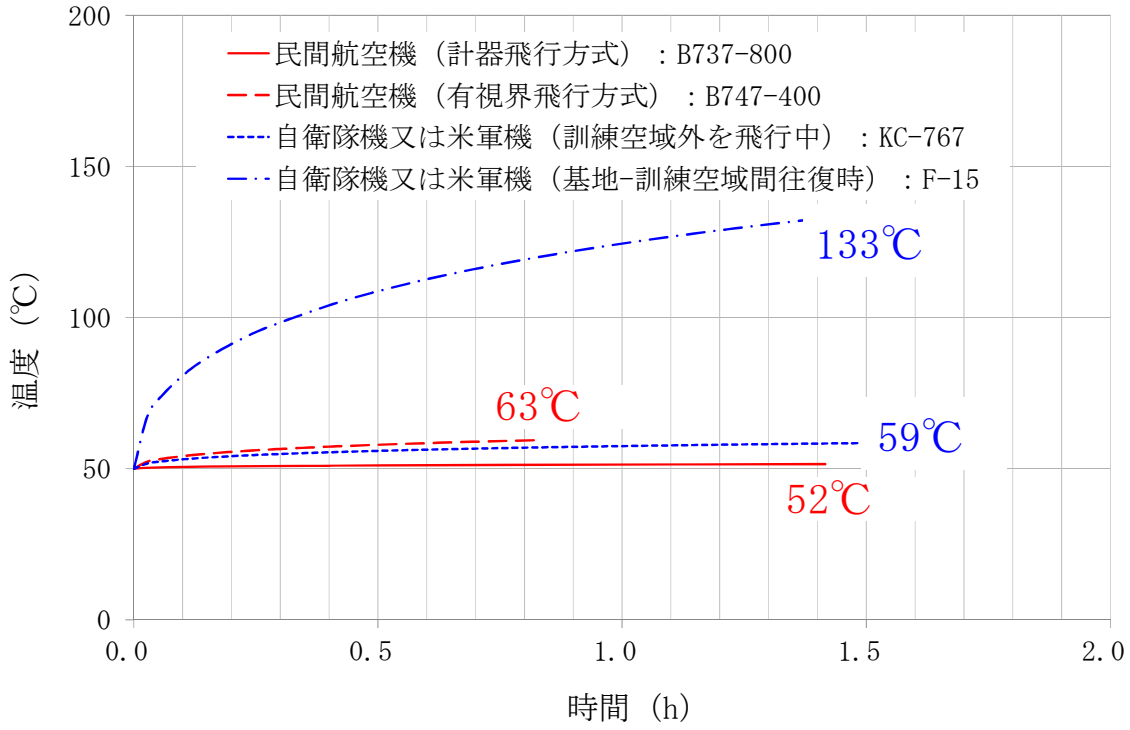
第 5.3-3 図　天井スラブへの輻射熱の影響

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，温度変化を第 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）

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)	52	＜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)	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	5,334 (約 1.5h)	59	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	4,968 (約 1.4h)	133	

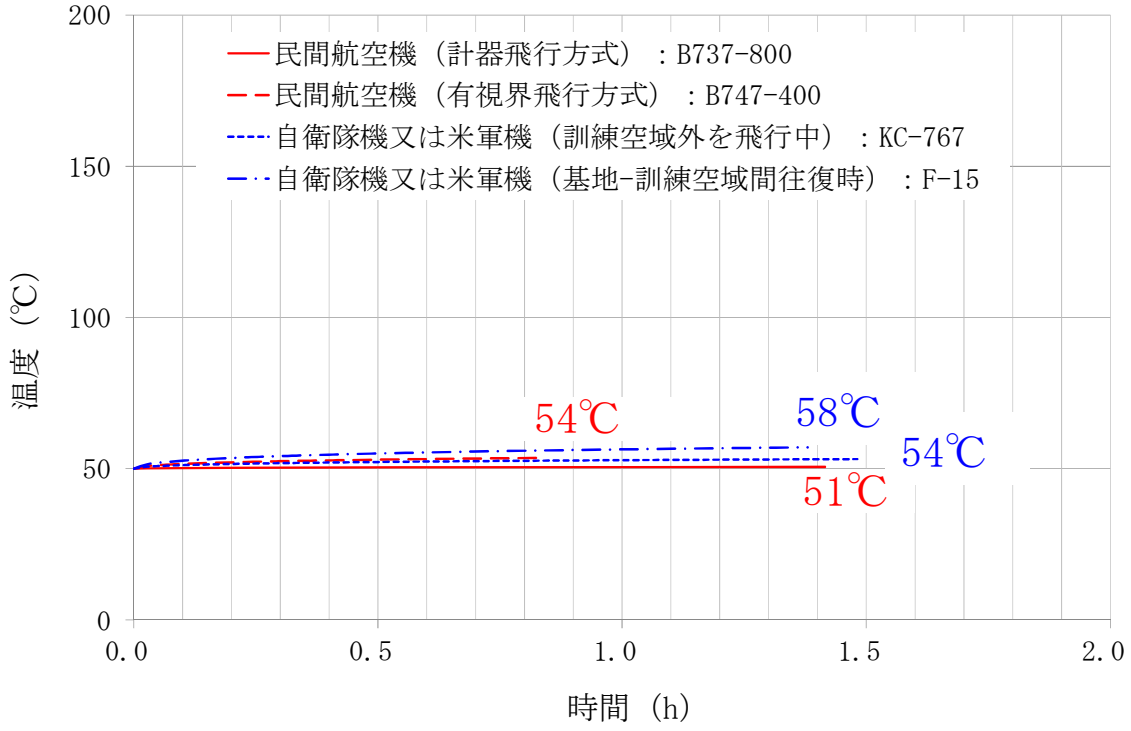
※：半無限固体を想定した評価をしているため，離隔距離が同じとなる本評価では，原子炉建屋，タービン建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。



第 5.3-4 図　原子炉建屋外壁の温度変化

第 5.3-1 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）	55	
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）	54	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	264.85	4,968（約 1.4h）	58	



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　排気筒に対する熱影響評価

(1)　評価対象範囲

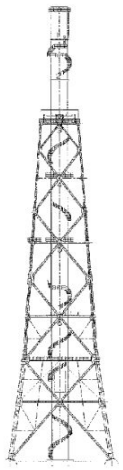
排気筒について，カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

なお，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)　排気筒仕様を第 5.4-1 表に，排気筒外形図を第 5.4-1 図に示す。

第 5.4-1 表　排気筒仕様

名称		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　排気筒外形図

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

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

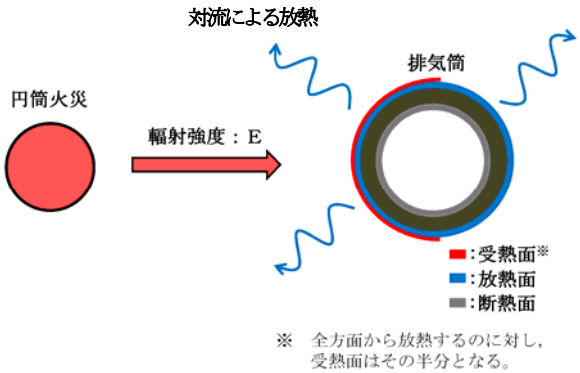
り排気筒鉄塔表面の最大温度を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

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 10 年間の最高気温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^2K を用いる。）

なお，評価に当たって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。排気筒の評価概念図を第 5.4-2 図に示す。



第 5.4-2 図　排気筒の評価概念図

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　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　ディーゼル発電機吸気系フィルタに対する熱影響評価

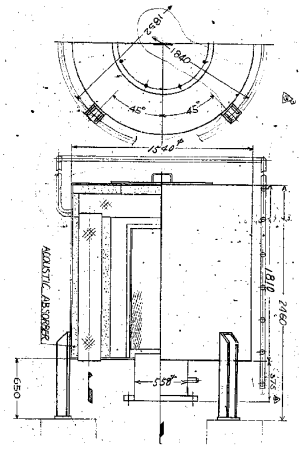
(1)　影響評価対象範囲

ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響があるＤ／Ｇ吸気系フィルタ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)　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様を第 5.5-1 表に，Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図を第 5.5-1 図に示す。

第 5.5-1 表　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ仕様

名称	Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ
種　類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径　　：1.54m フィルタ円筒高さ：2.46m
材　料	SS400
個　数	6



第 5.5-1 図　Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ外形図

(3)　判断の考え方

ａ．許容温度

Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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，ディーゼル発電機機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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Ｄ／Ｇ吸気系フィルタ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Ｄ／Ｇ吸気系フィルタに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，当該火災源から影響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。Ｄ／Ｇ吸気系フィルタの評価概念図を第 5.5-2 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

Ｔ：許容温度(53℃)，T_0：初期温度(37℃)※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)

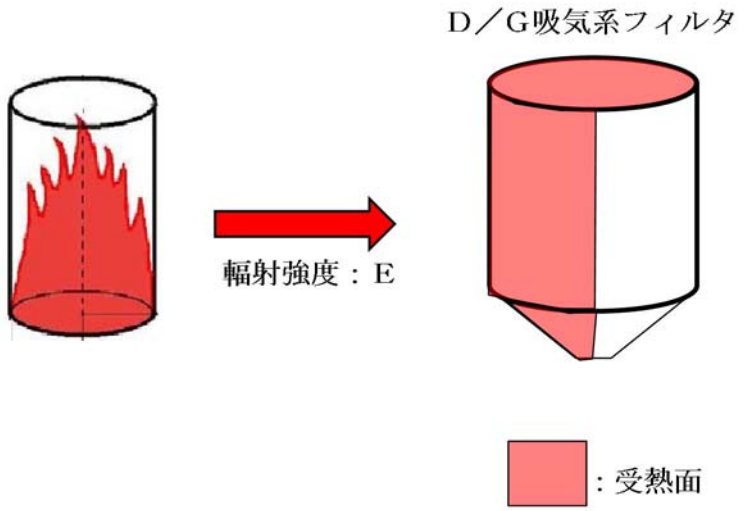
C_p：空気比熱(1,007J／kg／K)※3，ΔＴ：構造物を介した温度上昇（5℃）※4

※１：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温

※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 150℃を介した温度上昇（5℃）



第 5.5-2 図　D／G吸気系フィルタの評価概念図

D／G吸気系フィルタ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，D／G吸気系フィルタ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 5.5-2 表に示す。

第 5.5-2 表　D／G吸気系フィルタを通して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	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	43	＜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	43	
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	43	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	48	

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。

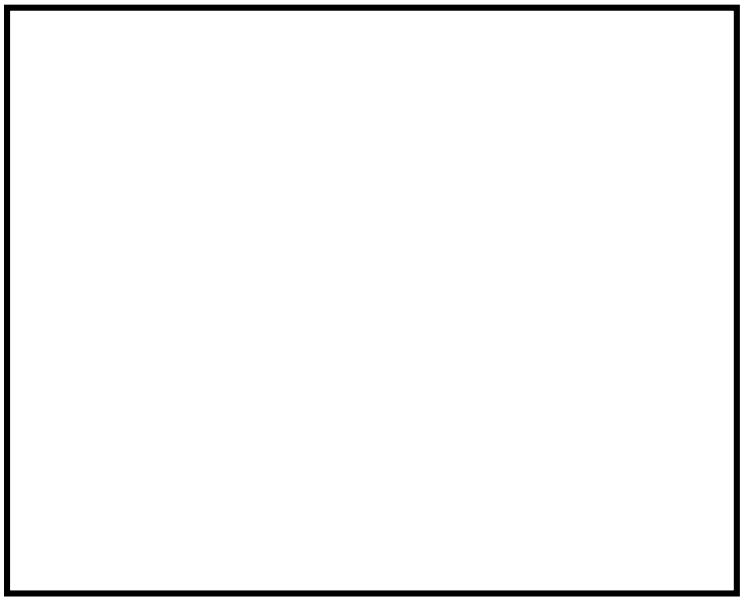
5.6.1　扉の火災影響評価について

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。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

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，k：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)

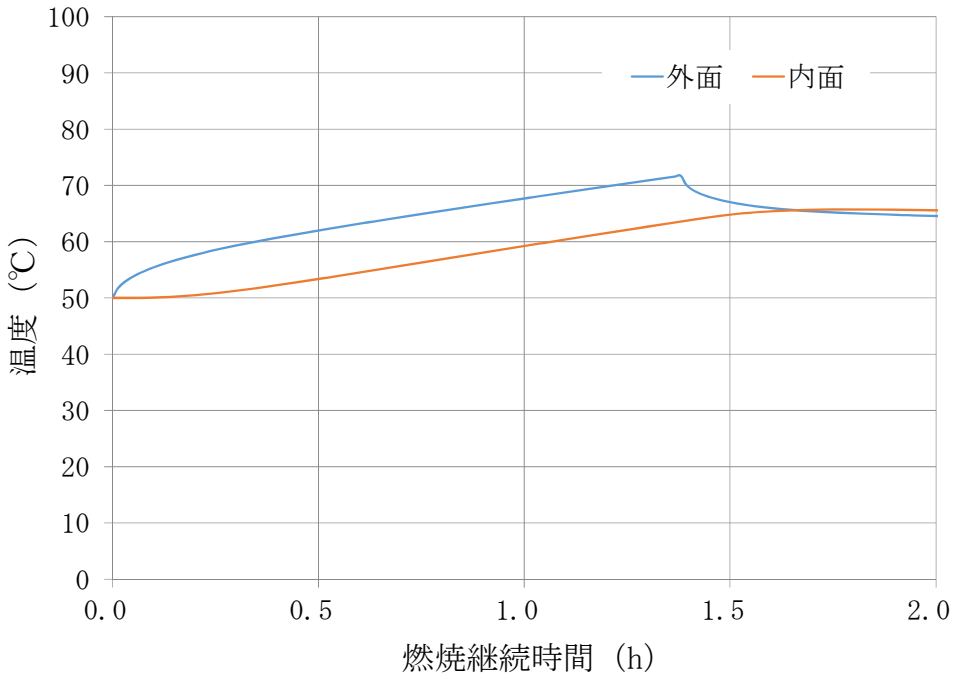
※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※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^2K を用いる。）

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	影響評価対象	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	72	66	＜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 66℃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。

$$Q_{in} = h_{in} \times A \times (T_{in} - T_a)$$

$$T_{room} = \frac{Q_{in}}{m \rho C_P} + T_a$$

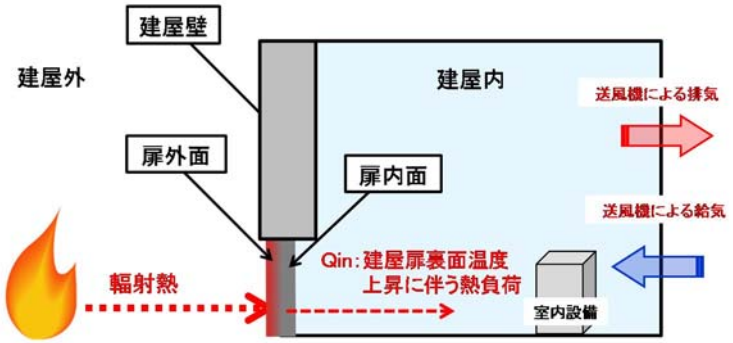
Q_{in}：温度上昇に伴う熱負荷(W)， h_{in}：内面熱伝達率(8.29W／m^2／K)

A ：扉の表面積(3.5m^2)，T_{in}：扉内面温度(66℃)

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)



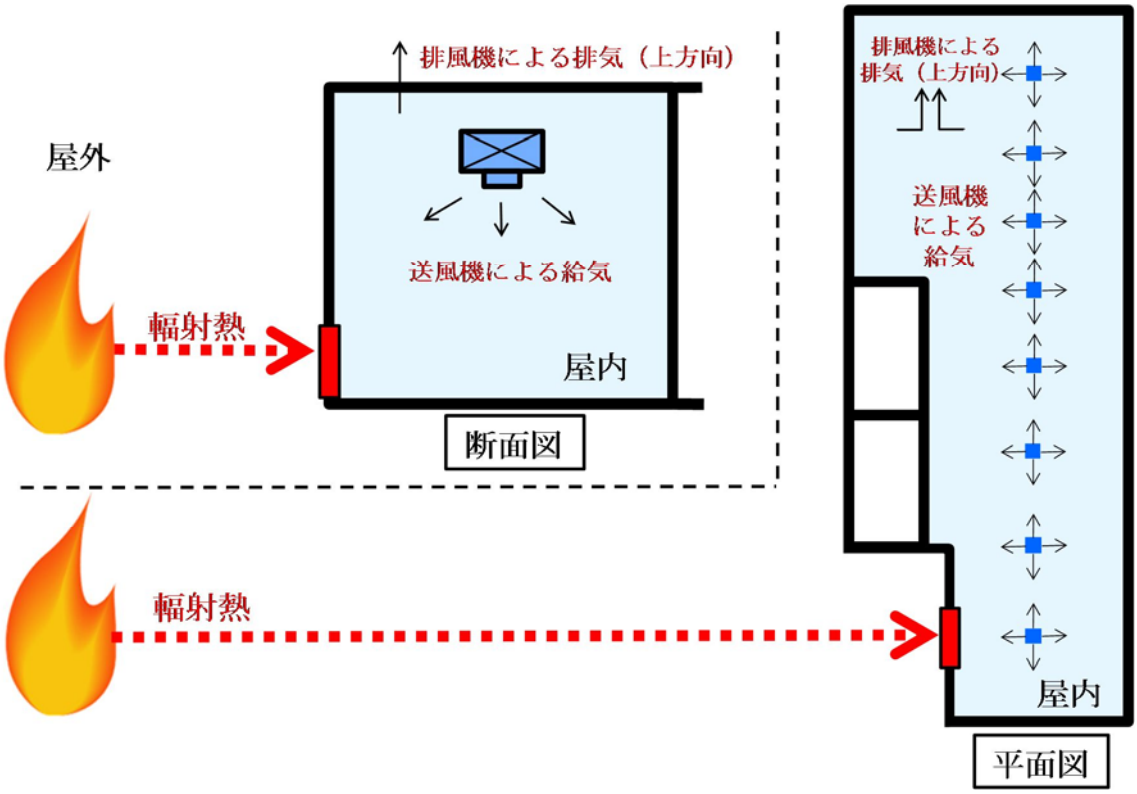
第 5.6.1.2-1 図　室内温度評価の概念図

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	影響評価対象	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ディーゼル発電機（２Ｄ）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。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

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 10 年間の最高気温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^2K 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。

$$T=T_0+\left(\frac{E}{\alpha}\right)\left[1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right)-\exp\left(\frac{\alpha}{\lambda}x+\frac{\alpha^2}{\lambda^2}\kappa t\right)\left\{1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}+\frac{\alpha}{\lambda}\sqrt{\kappa t}\right)\right\}\right]$$

T：表面から x(m)の位置の温度(℃)，T_0：初期温度(50℃)※1

α：熱伝達率(17W／m²／K)※2

κ：モルタル温度伝導率($=\lambda/\rho C_p$)(1.7×10^{-6}m²／s)

ρ：モルタル密度(1,870kg／m³)，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／m²)

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 10 年間の最高気温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／m²／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 [m²]	輻射強度 [W／m²]	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

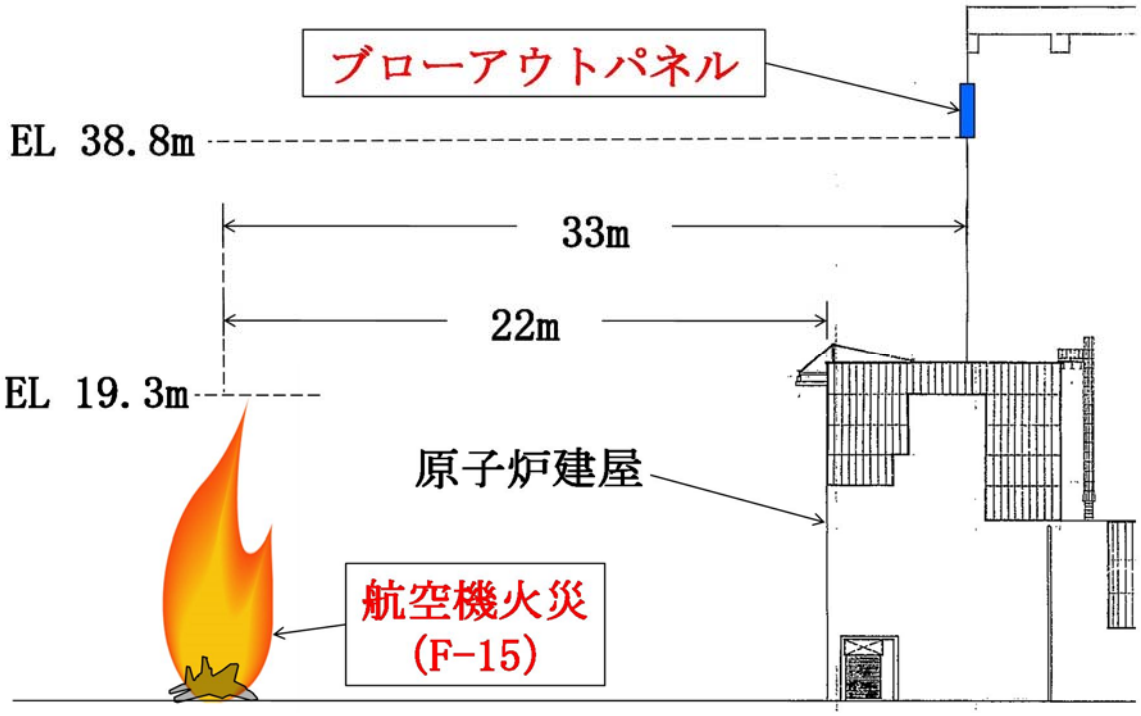
ブローアウトパネル（以下「Ｂ．Ｐ」という。）は，それぞれ原子炉建屋全方位に各 3 箇所設置されているが，想定する航空機火災からＢ．Ｐまでの水平距離及び鉛直高さを考慮すると，Ｂ．Ｐに影響を与えるような輻射強度が届くことはない。位置関係を第 5.6.4-1 表，第 5.6.4-1 図に示す。

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。

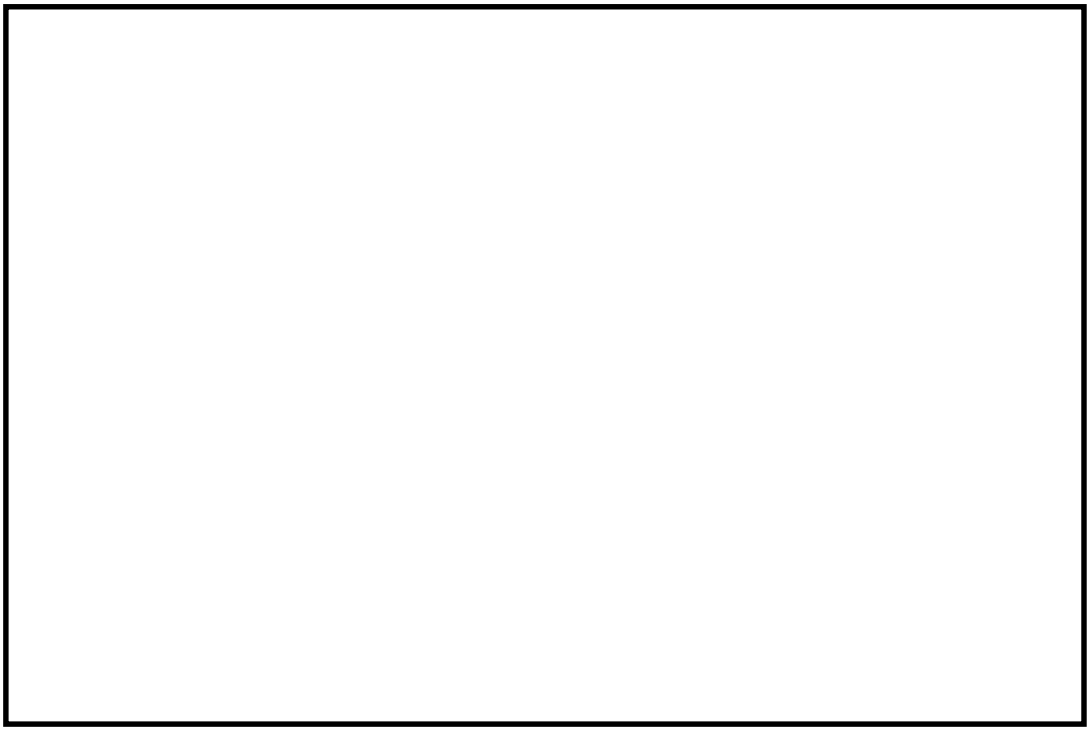
航空機墜落火災として想定する機種は，5.3，5.4，5.5 の評価結果より，最も熱影響が大きいF-15 とする。

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	影響評価対象施設
溶融炉灯油タンク 及びF-15	原子炉建屋
	海水ﾎﾟﾝﾌﾟ室
	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋
	排気筒
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)

$E = R_f \cdot \Phi$

E：輻射強度(W／m^2)，R_f：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	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
	海水ﾎﾟﾝﾌﾟ室	185	3.4734×10^{-4}	17.37
	ﾀｰﾋﾞﾝ建屋	77	2.0248×10^{-3}	101.24
	排気筒	21	2.6826×10^{-2}	1343.13
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。

・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

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h\left(T - T_0\right) \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

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 10 年間の最高気温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。）

・排気筒に係る評価式：

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

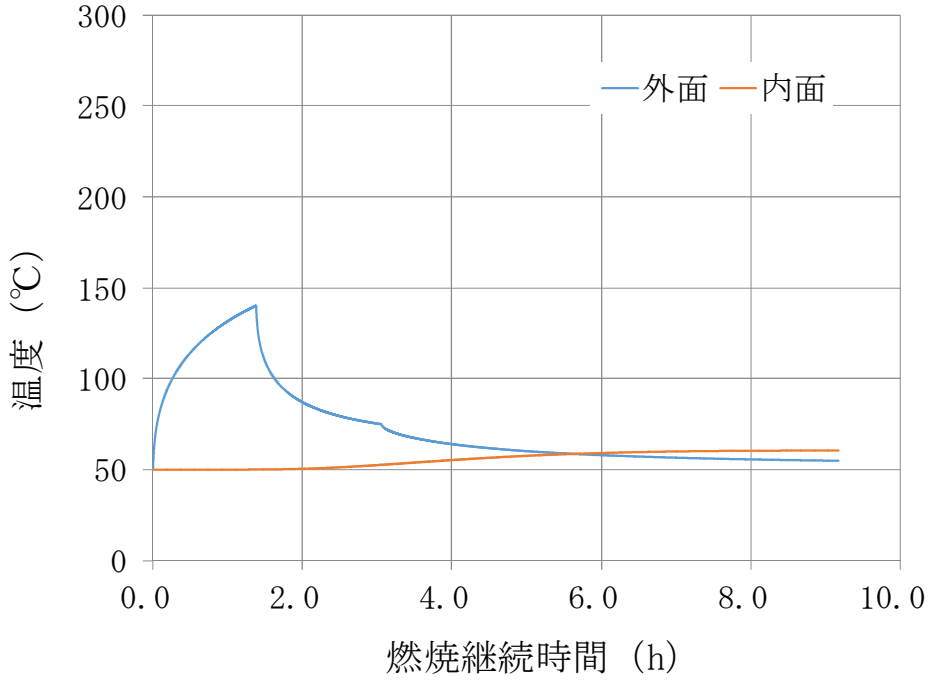
T：許容温度(325℃)，T_0：初期温度(50℃)※1
E：輻射強度(W／m^2)，h：熱伝達率(17W／m^2／K)※2

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温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^2Kを用いる。）

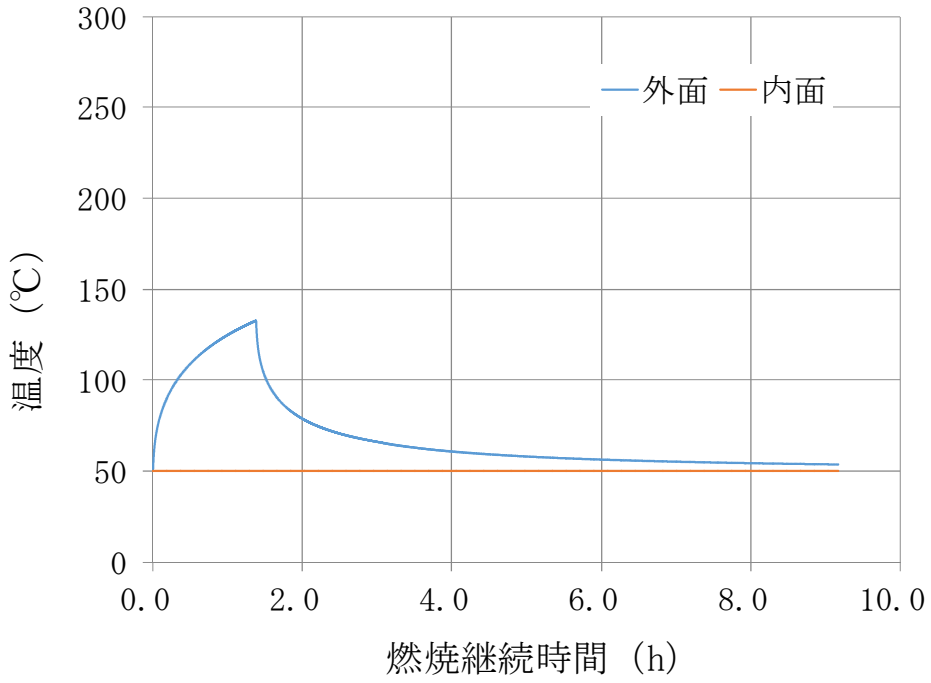
この結果，第5.7-4表に示すとおり，どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

第5.7-4表　重畳評価結果

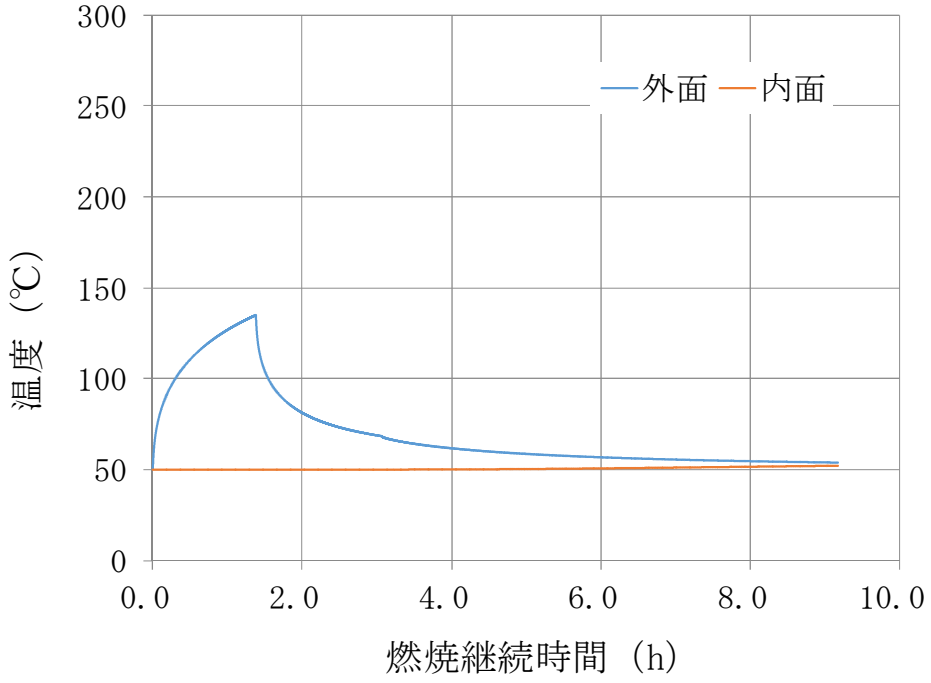
重畳評価の想定ケース	対象施設	評価温度(℃)	許容温度(℃)
溶融炉灯油タンク及びF-15	原子炉建屋	141	＜200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	＜325
主要変圧器及びF-15	タービン建屋	195	＜200



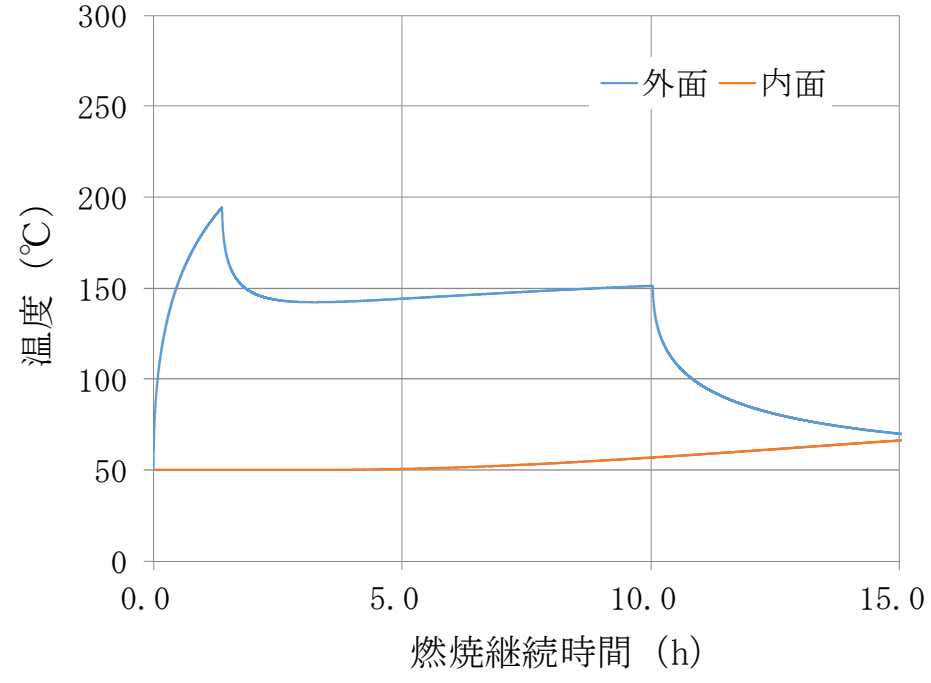
第 5.7-2 図　航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
（対象：原子炉建屋）



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：海水ポンプ室）



第 5.7-4 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）



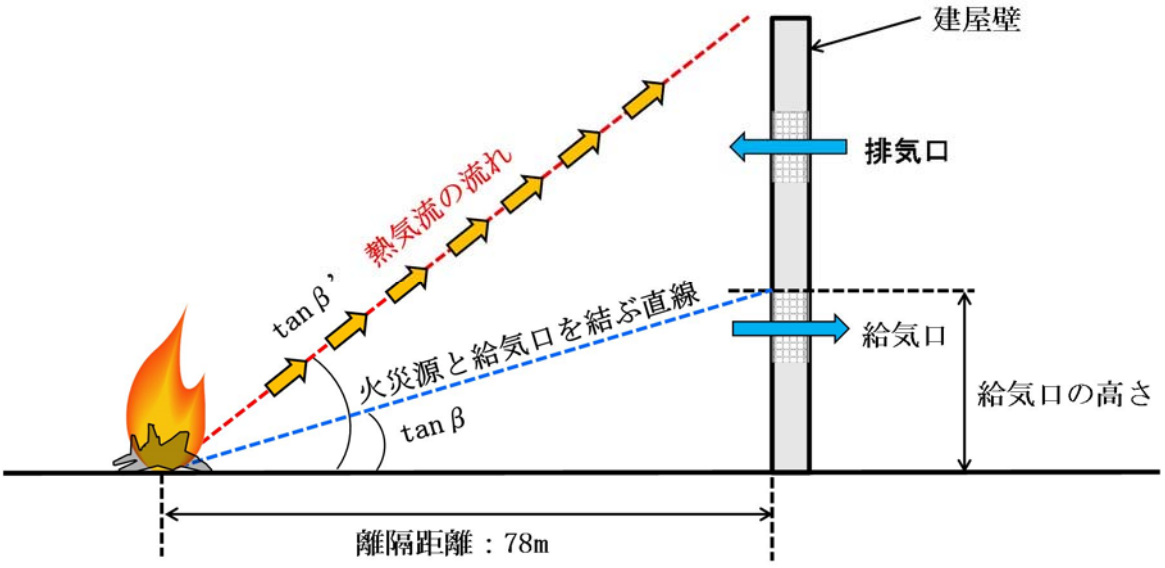
第 5.7-5 図　航空機火災と主要変圧器火災の重畳評価結果
（対象：タービン建屋）

5.8　航空機墜落火災からの熱気流による影響評価

クラス１，２設備が給気口のすぐ内側にあるＤ／Ｇ吸気系フィルタ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（tan β’）が，火災発生源と給気口とを結ぶ直線の傾き角（tan β）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（tan β’=tan β）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影響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

影響評価対象	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
Ｄ／Ｇ吸気系ﾌｨﾙﾀ	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。

$$\tan\beta = 0.37\,\Lambda^{-9/8}\,Fr^{0.0975}$$

$$\Lambda = \frac{U D^{1/3}}{\left(Q_g / C_p \rho T_0\right)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{D g}}$$

$\tan\beta$：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

影響評価対象	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
D／G 吸気系ﾌｨﾙﾀ	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。

D／G吸気系フィルタ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。

・D／G吸気系フィルタは，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るため，直接熱気流を取り込む可能性は低い。
・D／G吸気系フィルタ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。
・万が一，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	約 39km (21.2nm)	×
	茨城空港	約 36km	約 56km (30nm)	○

○：評価対象　×：評価対象外

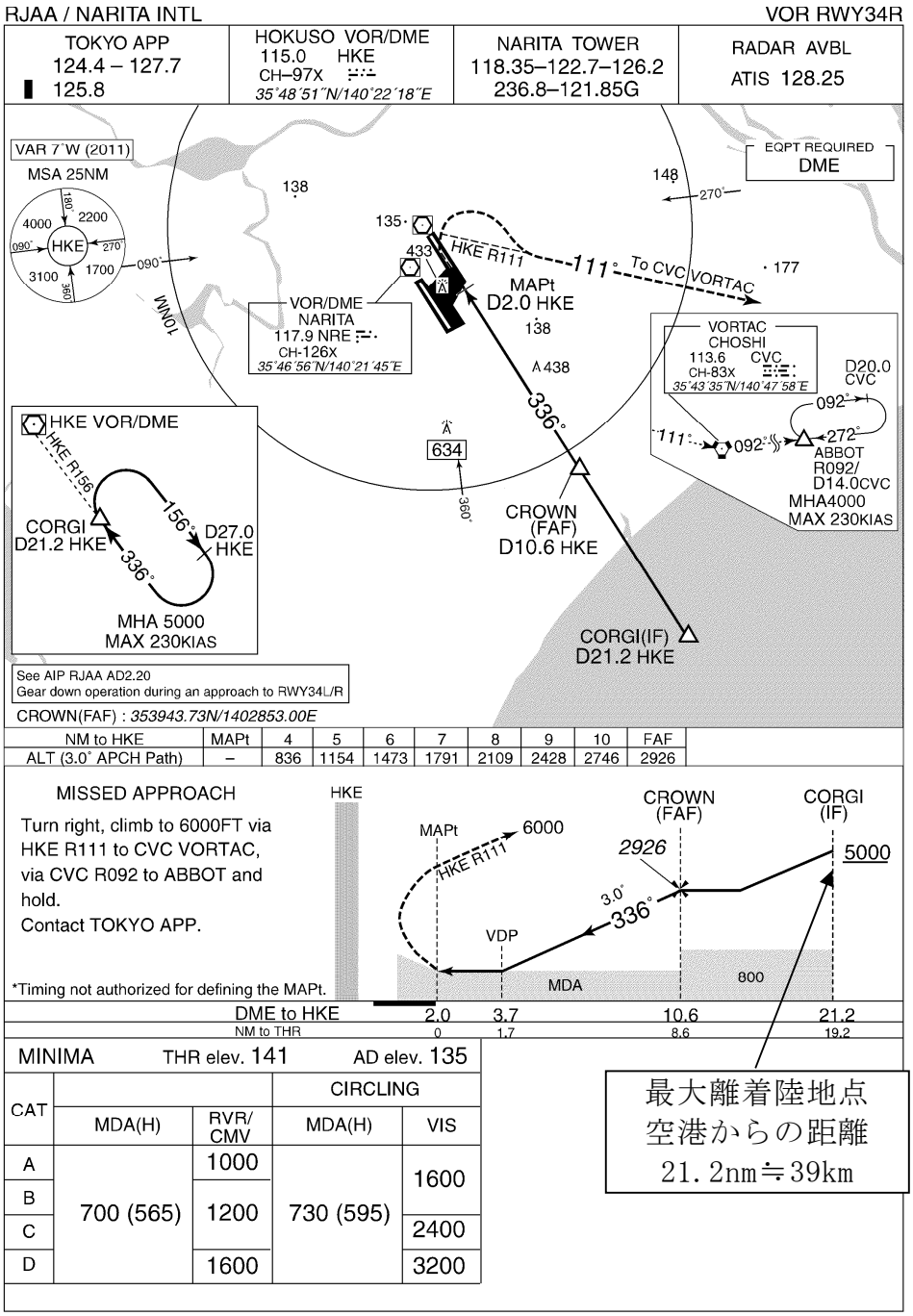
※１：施設と空港の緯度，経度より計測した。

※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

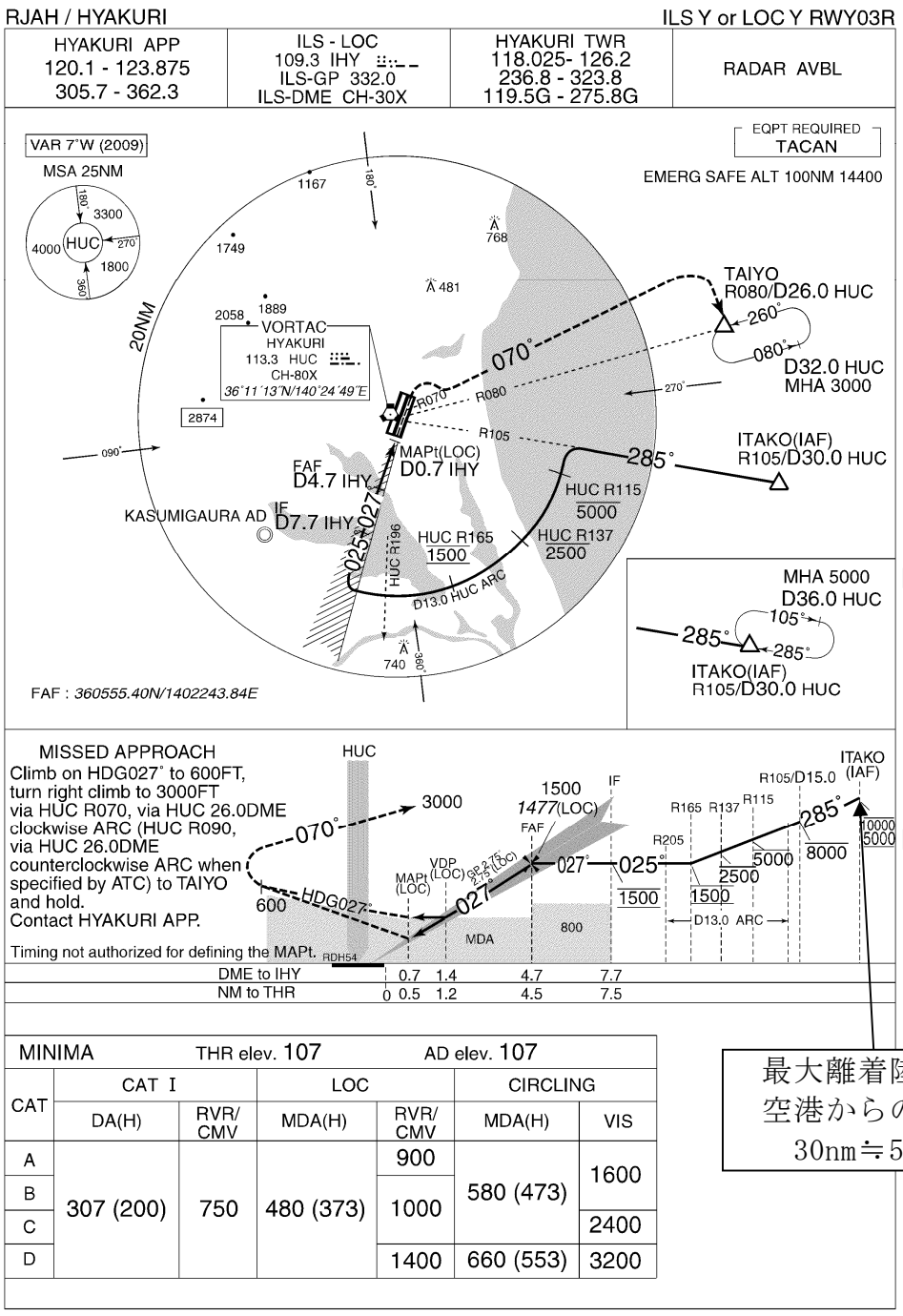


出典：ＡＩＰ

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



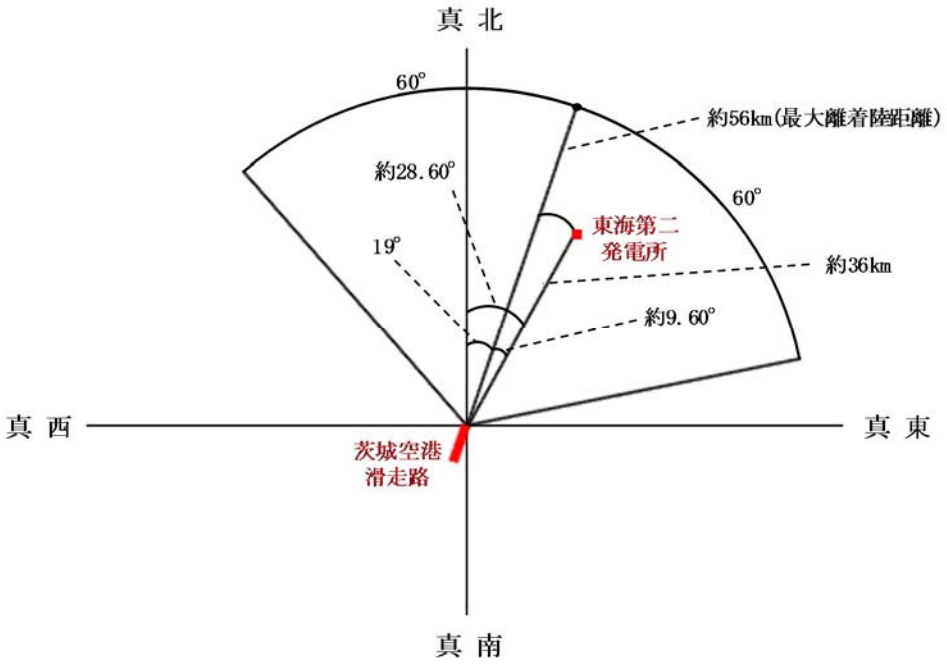
出典：ＡＩＰ

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

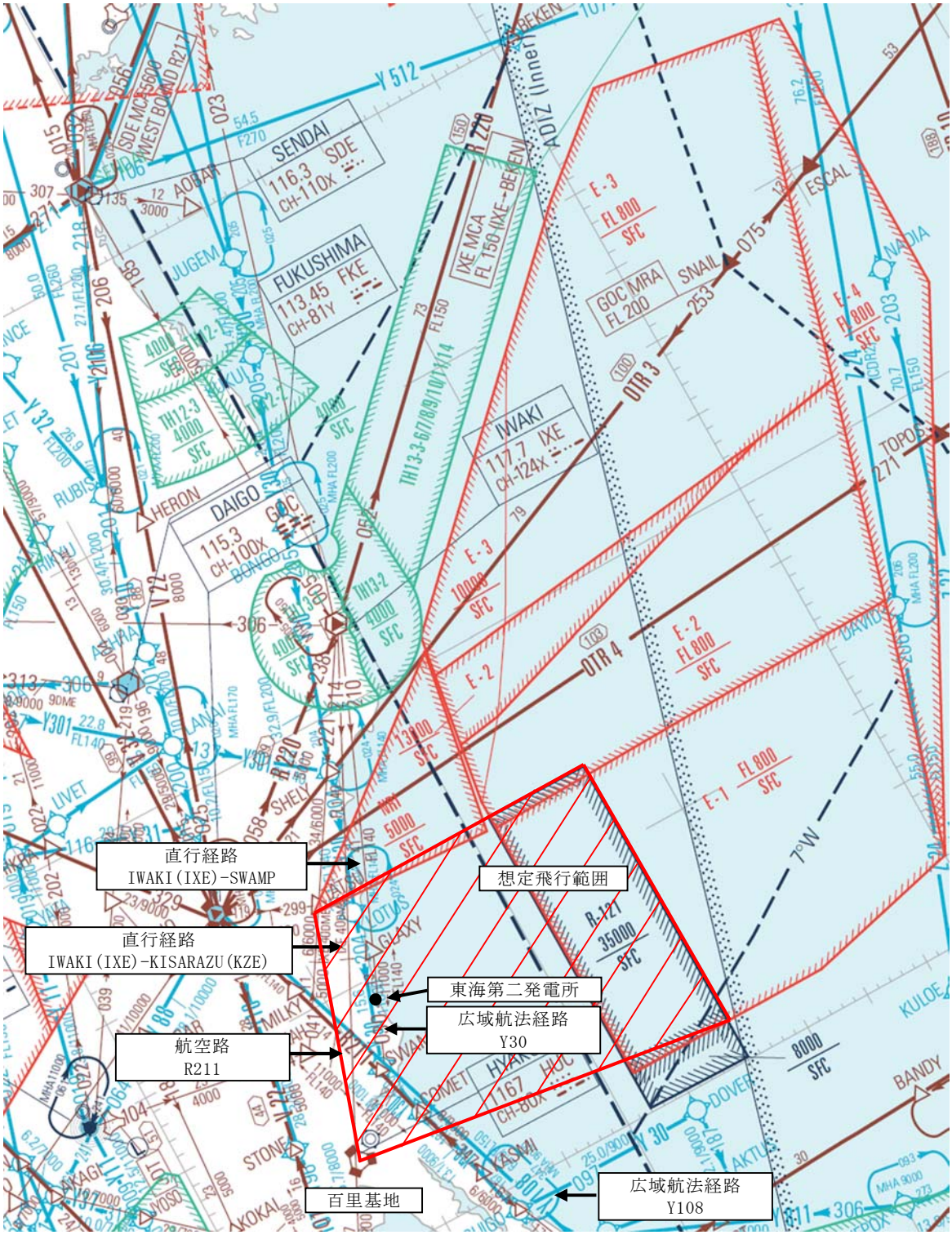
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と発電所間の最小距離※1	片側の航空路幅※2	判定
航空路　R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路　Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路　Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km (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。RNAV 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	2.4
	パイパーPA-42-1000	2.2
	セスナ 501	2.2
	ビーチ B200	2.1
	ガルフストリーム・コマンダ 695	1.8
	セスナ 525/525A サイテーションジェット	1.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N3	1.6
	ベル 412	1.5
	シコルスキ S-76A	1.5
	ビーチ C90A	1.5
	セスナ 510	1.5
	セスナ 425	1.4
	セスナ 404	1.3
	セスナ 208	1.3
	セスナ 208B	1.3
	ユーロコプターEC155B/B1	1.3
	ベル 412EP	1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N1	1.2
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS365N2	1.2
	ベル 430	1.1
	ソカタ TBM700	1.1
	シコルスキ S-76B	1.1
	シコルスキ S-76A+/S-76C/S-76C+/S-76C++	1.1
	ユーロコプターEC135P1/P2	0.9
	川崎 BK117B-1/B-2	0.9
	ピラタス PC-6/B2-H4	0.9
	セスナ 150L/M/A150L	0.9
	川崎 BK117C-2	0.9
	カマン K-1200	0.9
	ベル 212	0.8
	ベル 429	0.8
	富士ベル 205B	0.8
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F2	0.7
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355F1	0.7
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS355N	0.7
	ユーロコプターEC135T1/T2	0.7
	パイパーPA-31-350/PA-31P-350	0.7
	ベル 427	0.7
	川崎 BK117C-1	0.7
	ビーチ G58	0.7
	ビーチ 58	0.6
	セスナ 340	0.6

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	アグスタ A109K2	0.6
	富士ベル 204B-2	0.6
	アグスタ A109E	0.6
	マグドネル・ダグラス 900	0.6
	アグスタ AW119Ke	0.6
	セスナ T303	0.6
	ユーロコプター(MBB)Bo105S	0.6
	アグスタ AW109SP	0.6
	ユーロコプター(アエロスパシアル)SA315B	0.6
	セスナ 182P/Q/R	0.6
	セスナ TU206F	0.6
	セスナ 207/T207	0.6
	アグスタ 109AⅡ	0.6
	アグスタ A109C	0.6
	パイパーPA-23-250	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B2	0.5
	ユーロコプターEC130B4	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B3	0.5
	セスナ TU206G	0.5
	セスナ U206G	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350B/BA	0.5
	ユーロコプター(アエロスパシアル)AS350BI	0.5
	ブリテン・ノーマン BN-2B-20	0.5
	ビーチ E33	0.5
	ビーチ 35-C33A/F33A/F33C	0.5
	ビーチ 36/A36	0.5
	ベル 407	0.5
	パイパーPA-46-310P	0.5
	パイパーPA-46-350P	0.5
	MD ヘリコプターズ 600N	0.5
	ロックウェル・コマンダ 112	0.5
	ベル 206L-4	0.4
	セスナ 172P	0.4
	ソカタ/モランソルニエ MS885/893A	0.4
	ベル 206L-3	0.4
	ユーロコプターEC120B	0.4
	ビーチ B36TC	0.4
	パイパーPA-32R-301T	0.4
	パイパーPA-34-200	0.4
	パイパーPA-34-200T	0.4
	パイパーPA-34-220T	0.4
	セスナ 172N	0.4
	セスナ 172K/L/M	0.4
	セスナ 182S	0.3
	セスナ T206H	0.3
	シーラス SR22/SR22T	0.3

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	セスナ P210N	0.3
	セスナ T210M/N	0.3
	エンストロム 480B/TH480B	0.3
	ソカタ TB-20	0.3
	ソカタ TB21	0.3
	ビーチ A36TC	0.3
	ムーニーM20K	0.3
	パイパーPA-28RT-201T	0.3
	ベル 206B	0.3
	ロビンソン R66	0.3
	シュワイザー269D-A	0.3
	セスナ 172RG	0.3
	セスナ 210-5A	0.2
	セスナ 152	0.2
	ムーニーM20J	0.2
	ヒューズ/川崎 369E	0.2
	セスナ 150B/C	0.2
	ビーチ B24R	0.2
	ワコー・クラシック・エアクラフト YMF ワコーF5C	0.2
	セスナ 172S	0.2
	シーラス SR20	0.2
	ソカタ TB200	0.2
	エンストロム 280FX	0.2
	富士 FA-200-160	0.2
	富士 FA-200-180	0.2
	富士 FA-200-180AO	0.2
	ソカタ TB10	0.2
	セスナ 172R	0.2
	クリスティン・インダストリーA-1	0.2
	ガルフストリーム・エアロスペース AG-5B	0.2
	セスナ R172K	0.2
	ムーニーM20C	0.2
	ダイヤモンド DA42/DA42NG	0.2
	ロビンソン R44 アストロ/レイベン	0.2
	ダイヤモンド DA40	0.2
	パイパーPA-28-140	0.2
	パイパーPA-28-151	0.2
	パイパーPA-28-161	0.2
	パイパーPA-28-180	0.2
	パイパーPA-28-181	0.2
	パイパーPA-28R-200	0.2
	ロビンソン R44Ⅱ	0.2
	モール M-7-235C	0.2
	エクストラ EA300S,300/L	0.2
	ジャイロフルーク SC01B-160	0.2
	セスナ 172	0.2

機　　種		燃料量（m^3）
小型固定翼機	ソカタ TB9	0.2
	セスナ 172B,D,G,H	0.1
	パイパーPA-28R-201	0.1
	パイパーPA-28R-201T	0.1
	ベランカ 7GCBC/8KCAB	0.1
	パイパーPA-18-150	0.1
	シュワイザー269C-1	0.1
	エクストラ EA300/200	0.1
	ロビンソン R22Beta/Mariner	0.1
	ヒューズ 269C	0.1
	リバティーXL-2	0.1
	アビオン・ピエール・ロバン DR400/180R	0.1
	ピッツ S-2B/S-2C	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	10	12	約 0.9
	LR-2	大型固定翼	連絡偵察	14	18	約 2
	AH-1S	小型回転翼	対戦車	14	3	約 1
	OH-6D	小型回転翼	観測	7	2	約 0.2
	OH-1	小型回転翼	観測	12	3	約 1
	UH-1H/J	小型回転翼	多用途	12/13	3	約 0.8
	CH-47J/JA	大型回転翼	輸送	16	4/5	約 4
	UH-60JA	大型回転翼	多用途	16	3	約 3
	AH-64D	大型回転翼	戦闘	18	6	約 1
海上自衛隊	P-3C	大型固定翼	哨戒	36	30	約 35
	P-1	大型固定翼	哨戒	38	35	≦ KC-767※2
	SH-60J	大型回転翼	哨戒	15	3	約 1
	SH-60K	大型回転翼	哨戒	16	3	約 1
	MH-53E	大型回転翼	掃海・輸送	22	6	約 12
	MCH-101	大型回転翼	掃海・輸送	23	19	約 5
航空自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	F-2A/B	大型固定翼	戦闘	16	11	約 11
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	C-1	大型固定翼	輸送	29	31	約 16
	C-130H	大型固定翼	輸送	30	40	約 37
	KC-767	大型固定翼	空中給油・輸送	49	48	約 145
	KC-130H	大型固定翼	空中給油機能付加	30	40	約 37
	E-2C	大型固定翼	早期警戒	18	25	約 7
	E-767	大型固定翼	早期警戒管制	49	48	≦ KC-767※2
	CH-47J	大型回転翼	輸送	16	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※1（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	36	30	約 35
		P-1	38	35	≦KC-767
		C-1	29	31	約 16
		C-130H	30	40	約 37
		KC-767	49	48	約 145
		KC-130H	30	40	約 37
		E-2C	18	25	約 7
		E-767	49	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	14	18	約 2
		CH-47J	16	4	約 4
		UH-60JA	16	3	約 3
		AH-64D	18	6	約 1
		SH-60J	15	3	約 1
		SH-60K	16	3	約 1
		MH-53E	22	6	約 12
		MCH-101	23	19	約 5
		F-15J/DJ	19	13	約 15
		F-4EJ	19	12	約 12
		F-2A/B	16	11	約 11
		RF-4E/J	19	12	約 13

出典：平成 28 年度版防衛白書等

※１：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※1（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

※１：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※1 (m^3)
				全長	全幅	
航空自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	T-4	大型固定翼	中等練習	13	10	約 3
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	U-125A	大型固定翼	救難捜索	16	16	約 6
	UH-60J	大型回転翼	救難救助	20	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（H29 年 7 月確認）等
※１：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※1 (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

※１：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

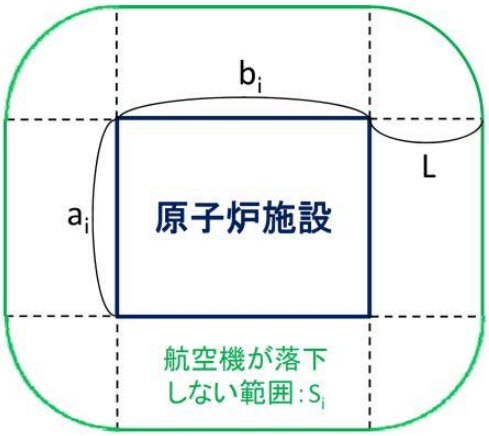
1. 考え方

各影響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，影響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

影響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，当該影響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。

$$Si=\pi L^2+2L(a_i+b_i)+a_ib_i$$



離隔距離の概念図

上記の式を用いて，全ての影響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	機 種	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	機 種	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）

$$\Phi(r_0,\theta)=\frac{1}{A_{d,a}}f(x)\ （／km^2）$$

$$A_{d,a}=\frac{2}{3}\pi r_0^2\ （km^2）$$

$$f(x)=\frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2})\cong 2.1\times\exp(\frac{-30.42x^2}{\pi^2 r_P^2})$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = \int_{-\pi r/3}^{\pi r/3} Pdx = \frac{2}{3}\pi r_P$$

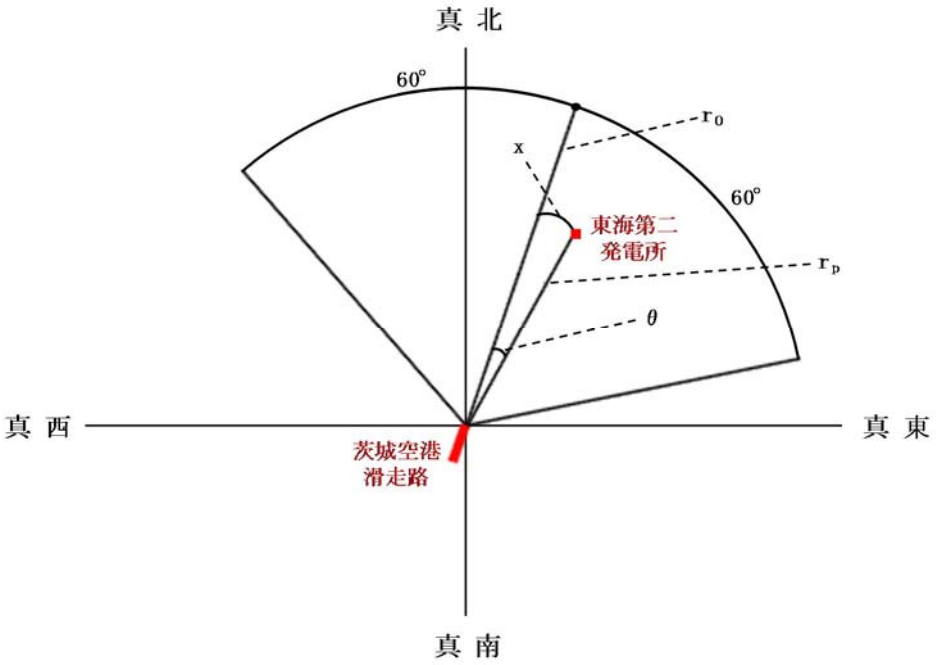
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

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，安全機能を有する構築物，系統及び機器（以下「ＳＳＣ」という。）を防護対象とし，そのうちクラス１及びクラス２に属するＳＳＣ若しくはそれらを内包する建屋を影響評価対象とし，具体的には以下のＳＳＣを標的対象とした。

・原子炉建屋

・タービン建屋（第 1 図，第 2 図参照※1）

・使用済燃料乾式貯蔵建屋

・海水ポンプ室

・排気筒

※１　タービン建屋内に位置する安全上重要な構築物であるＰＳ－２の主蒸気系及びＭＳ－２の放射性気体廃棄物処理系の隔離弁は建屋内の広範囲に位置しているため，タービン建屋全域を対象としている

なお，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，以下のＳＳＣを評価対象としていた。

・原子炉建屋

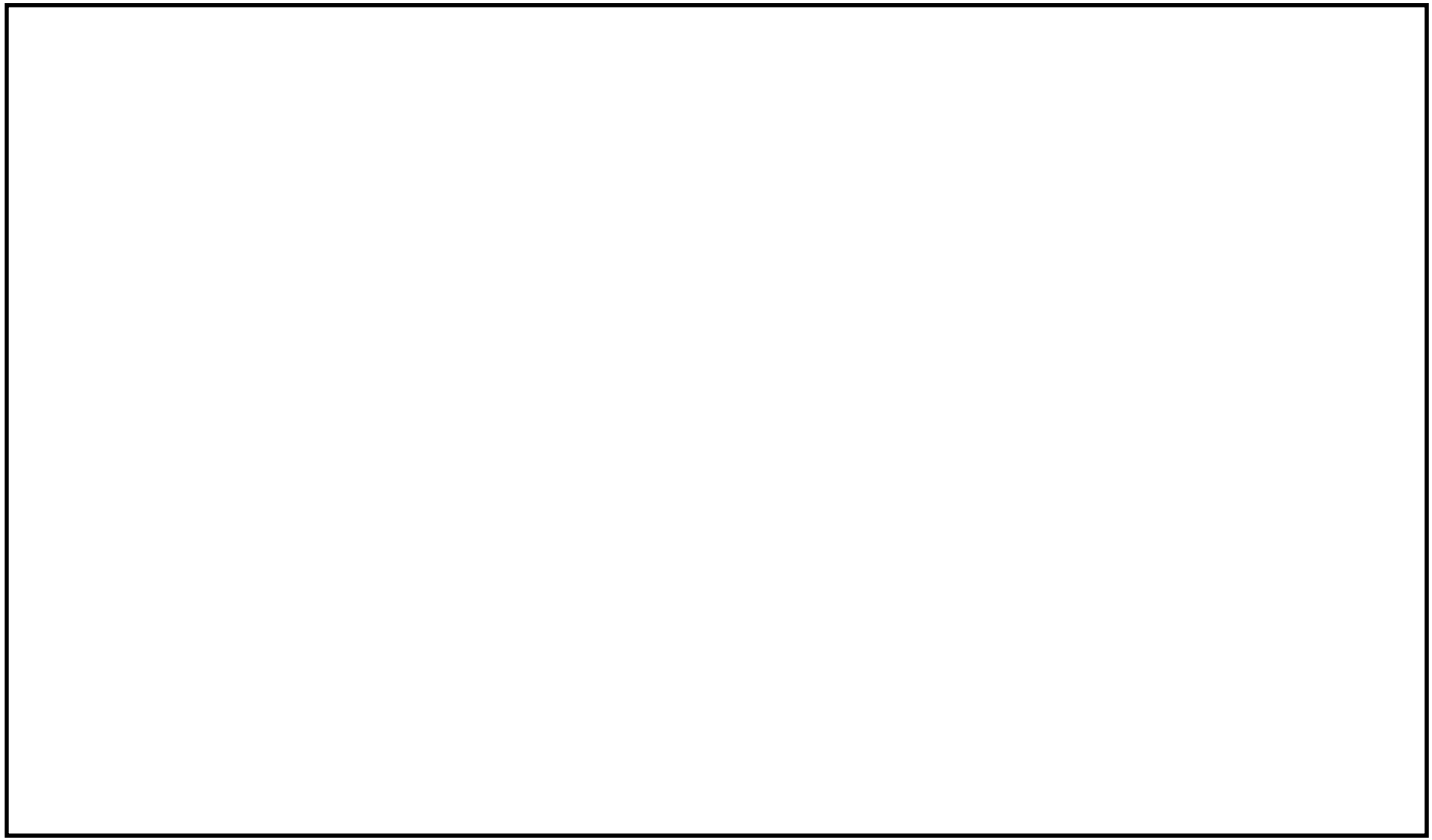
・タービン建屋（第 3 図参照※2）

・海水ポンプ室

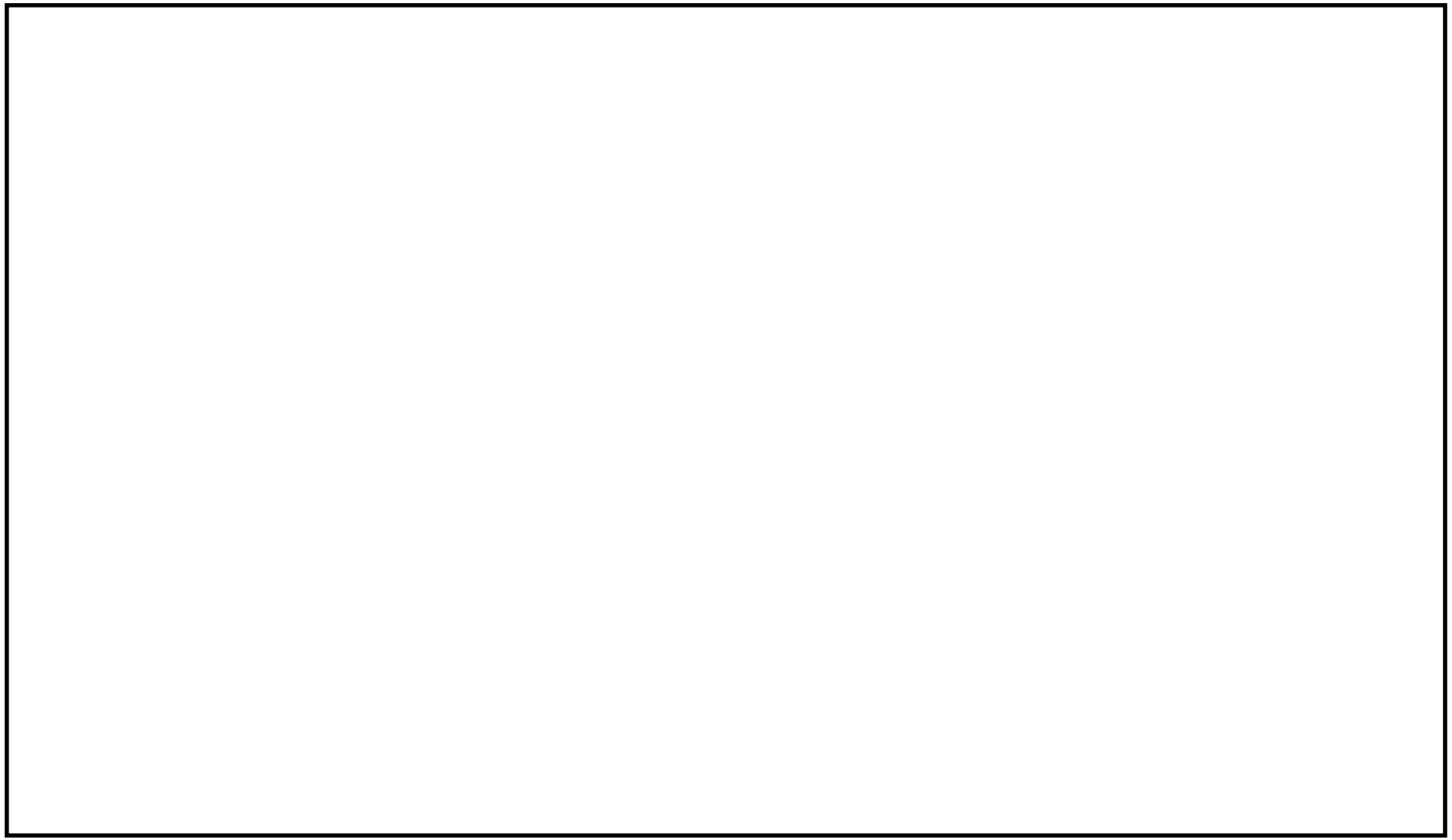
・使用済燃料乾式貯蔵建屋※3

※２　原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器を含む区画

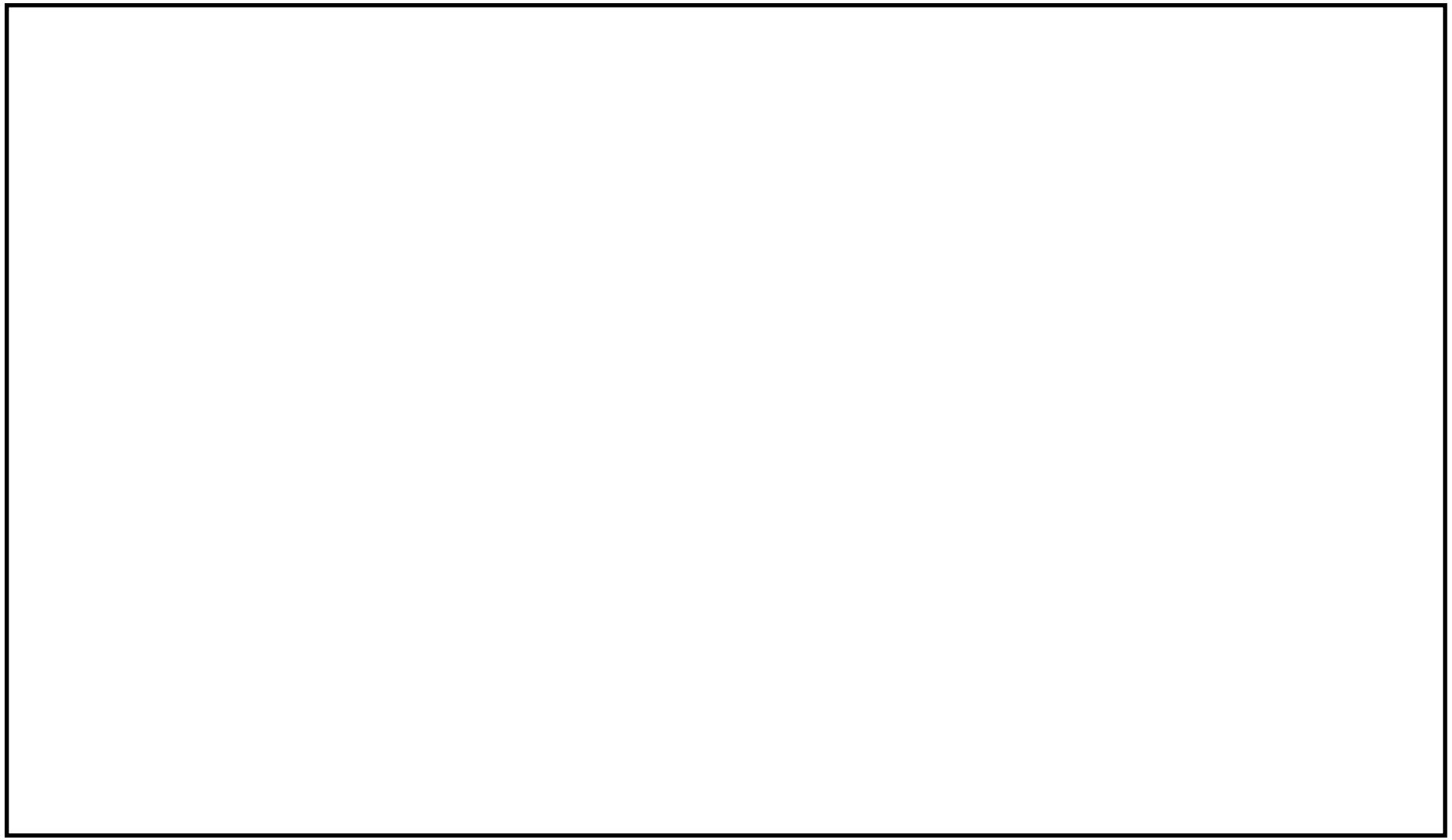
※3 使用済燃料乾式貯蔵建屋が各発電用原子炉施設から独立して設置されているため，平成 21 年の実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価の際は個別に航空機落下確率を評価した



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　タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上２階）



第３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）

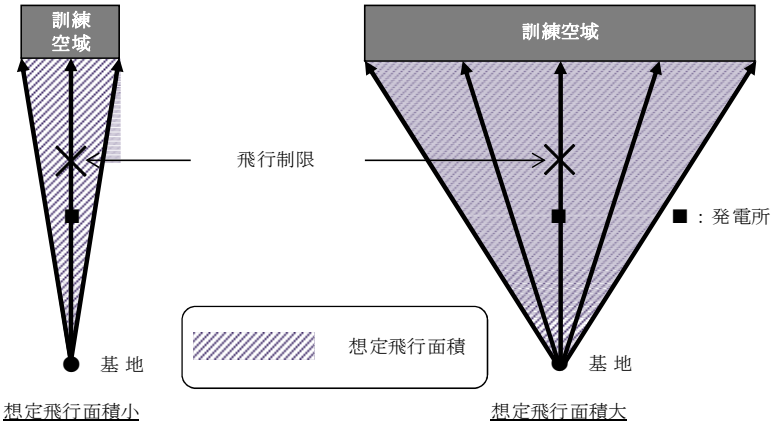
原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

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倍値に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）※$\times0.0138km^2$）

※：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毎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あたっては，「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）$\times 0.0138 km^2$）
χ 二乗分布を用いた方法	約 3.46×10^{-8} （＝0.2275 件／20 年／$4,540 km^2 \times 0.0138 km^2$）

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 ： $P(x)=\dfrac{\exp(-m)\cdot m^{x}}{x!}$

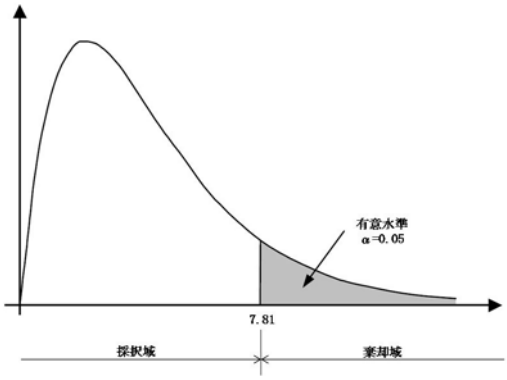
m：落下事故件数標本平均（約 0.276 件）

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α＝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。

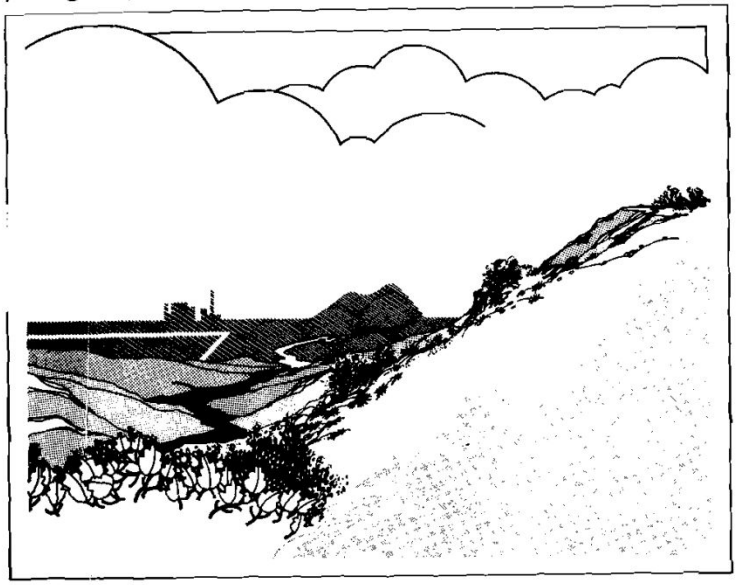
(NUREG／CR-4407 抜粋)

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
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	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。

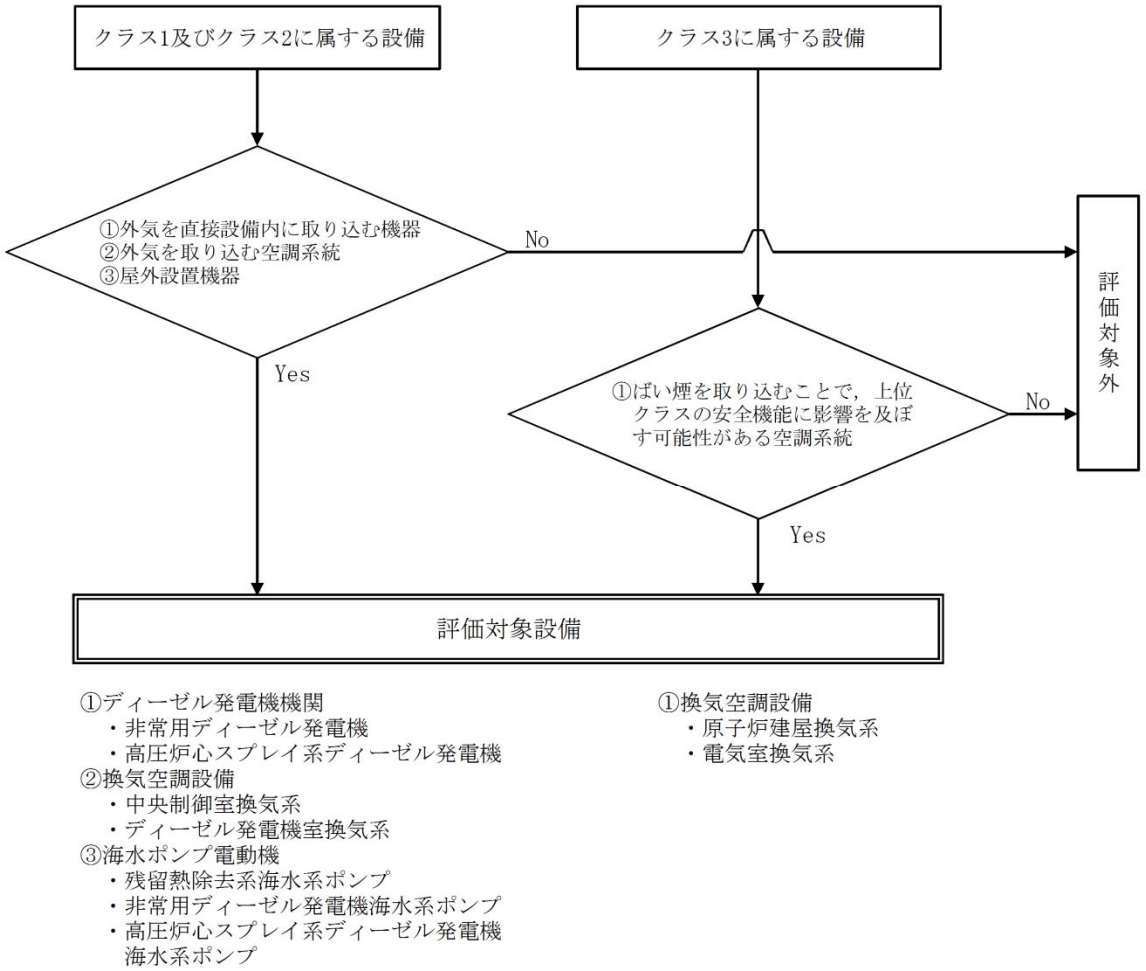
2. 評価対象

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」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。影響評価対象設備を第 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　ばい煙による影響評価対象

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	ディーゼル発電機機関
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機
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

ディーゼル発電機機関の吸気系統は，吸気フィルタを介して吸気している。

吸気フィルタ（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。

吸気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。

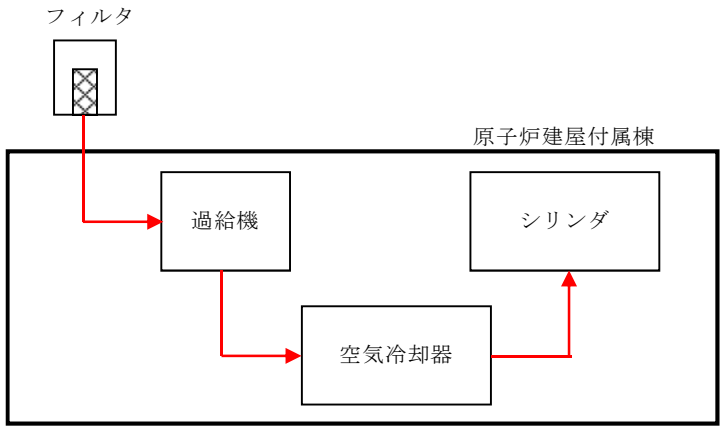
シリンダ／ピストン間隙まで到達したばい煙（数μm～10 数μm）は，当

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。

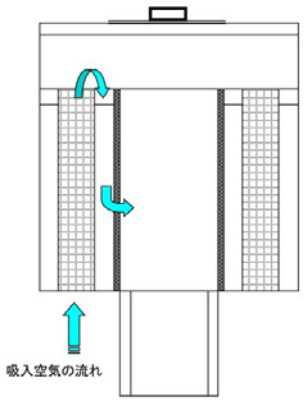
また，通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが，定期的な点検において，ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。

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の機能に影響を与えることはないと判断した。

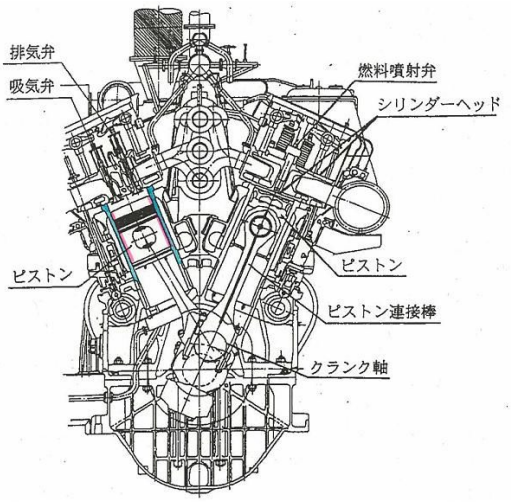
ディーゼル発電機吸気系統概略図を第 3.1-1 図に，ディーゼル発電機吸気系統構造図を第 3.1-2 図に示す。



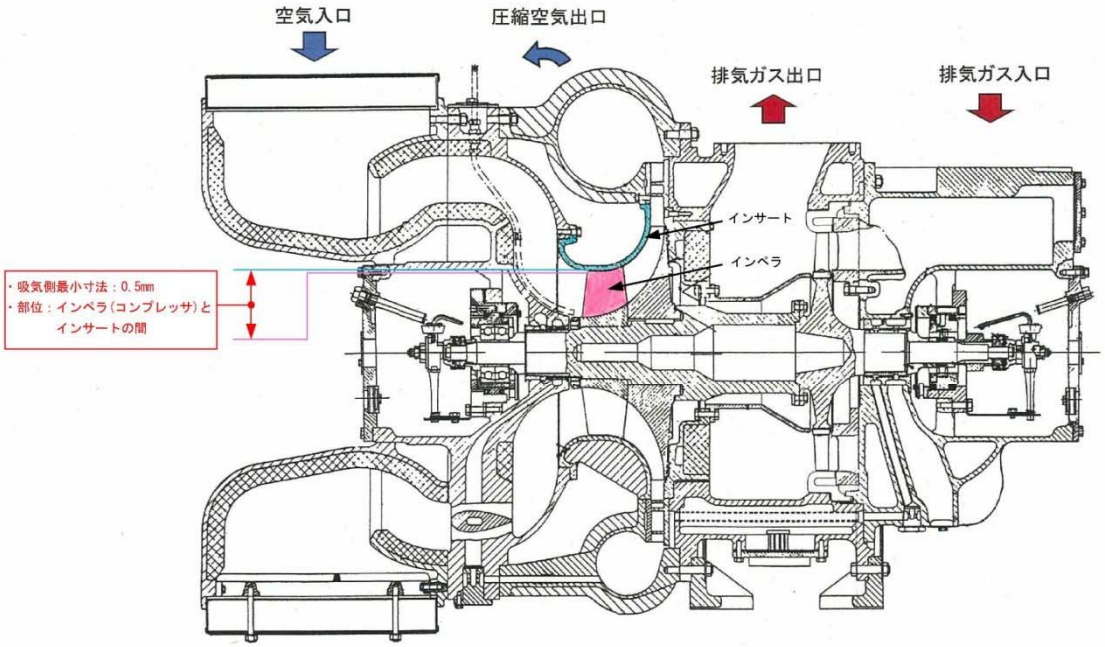
第 3.1-1 図　ディーゼル発電機吸気系統概略図



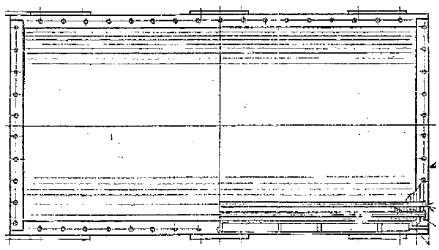
フィルタ構造



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 3.1-2 図　ディーゼル発電機吸気系統構造図

3.2　外気を取り込む空調系統

(1)　中央制御室換気系，電気室換気系，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。

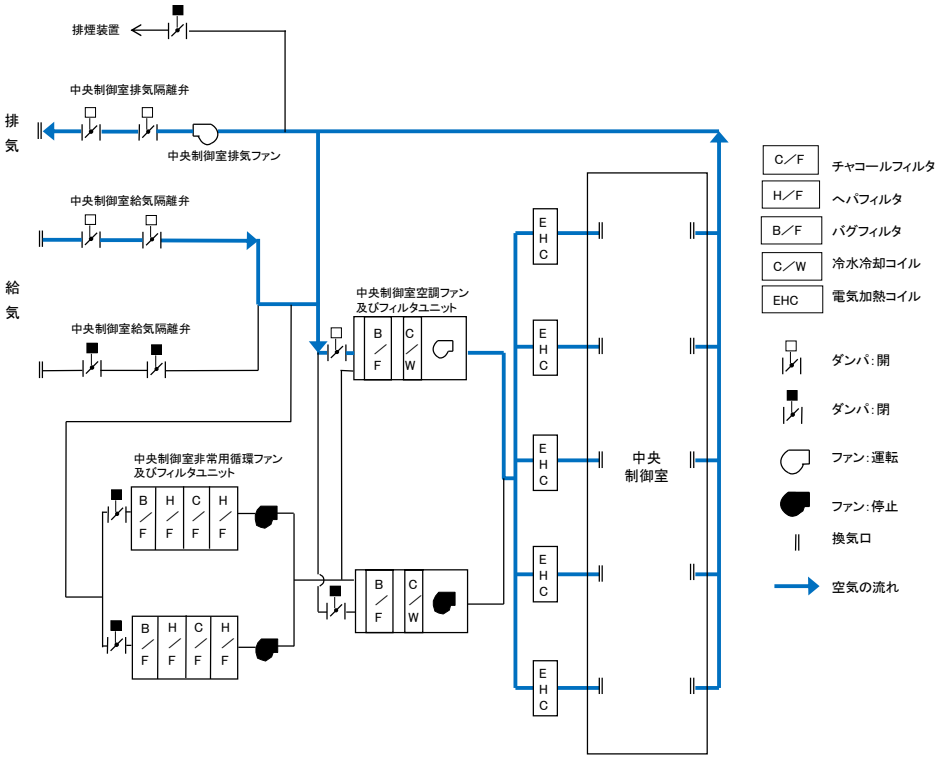
中央制御室換気系については，隔離弁を閉止し，再循環運転を行うことにより，ばい煙等の侵入を阻止可能である。

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，ほぼ 2μm 以下の細かな粒子であると推定される。

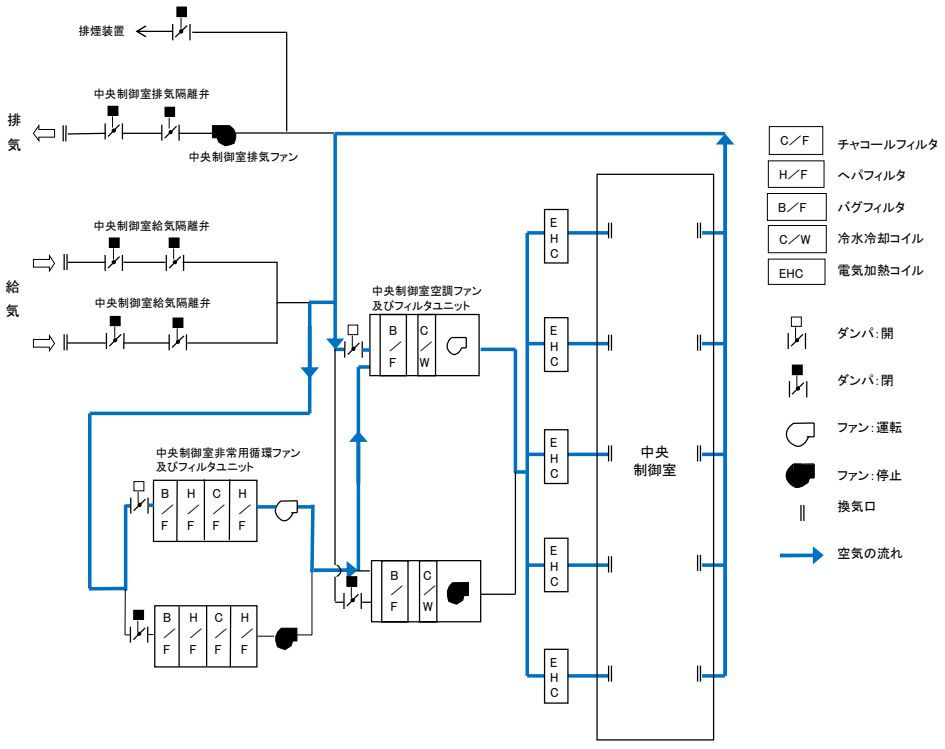
計測制御設備（安全保護系）において，数 μm 程度の線間距離となるのは，集積回路（ＩＣなど）の内部であり，これら部品はモールド（樹脂）で保護されているため，ばい煙が侵入することはない。

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，直ちに短絡等を発生させる可能性はない。

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。

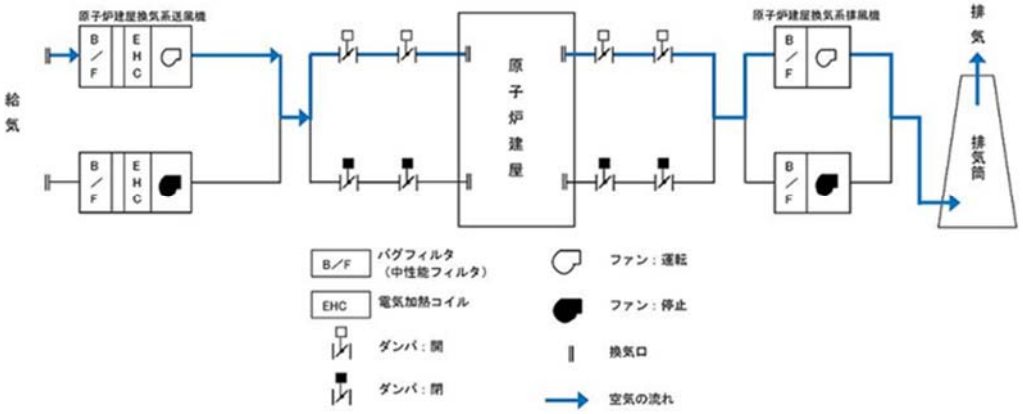


（通常時）

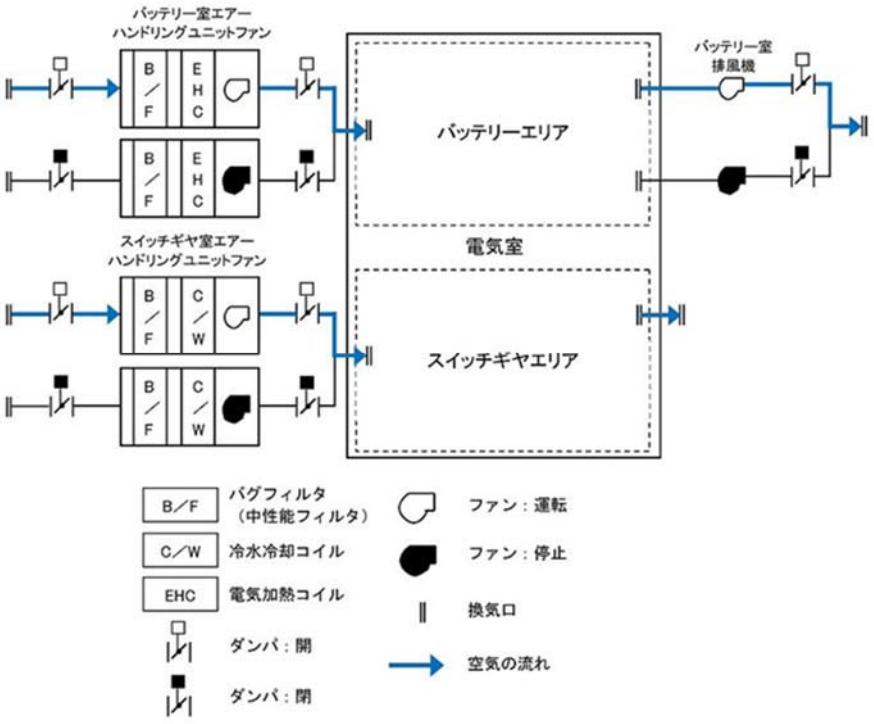


（再循環運転時）

第 3.2-1 図　中央制御室換気系の系統概略図



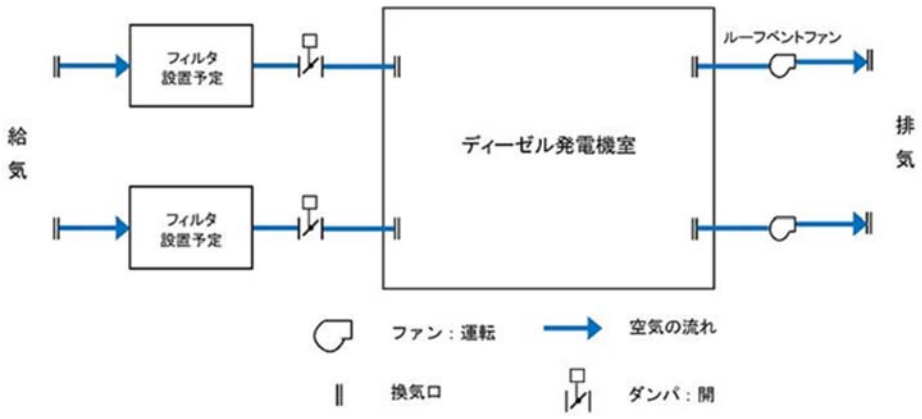
第 3.2-2 図　原子炉建屋換気系の系統概略図



第 3.2-3 図　電気室換気系の系統概略図

(2)　ディーゼル発電機室換気系

ディーゼル発電機室換気系は，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。ディーゼル発電機室換気系の系統概略図を第 3.2-4 図に示す。



第 3.2-4 図　ディーゼル発電機室換気系の系統概略図

3.3　屋外設置機器

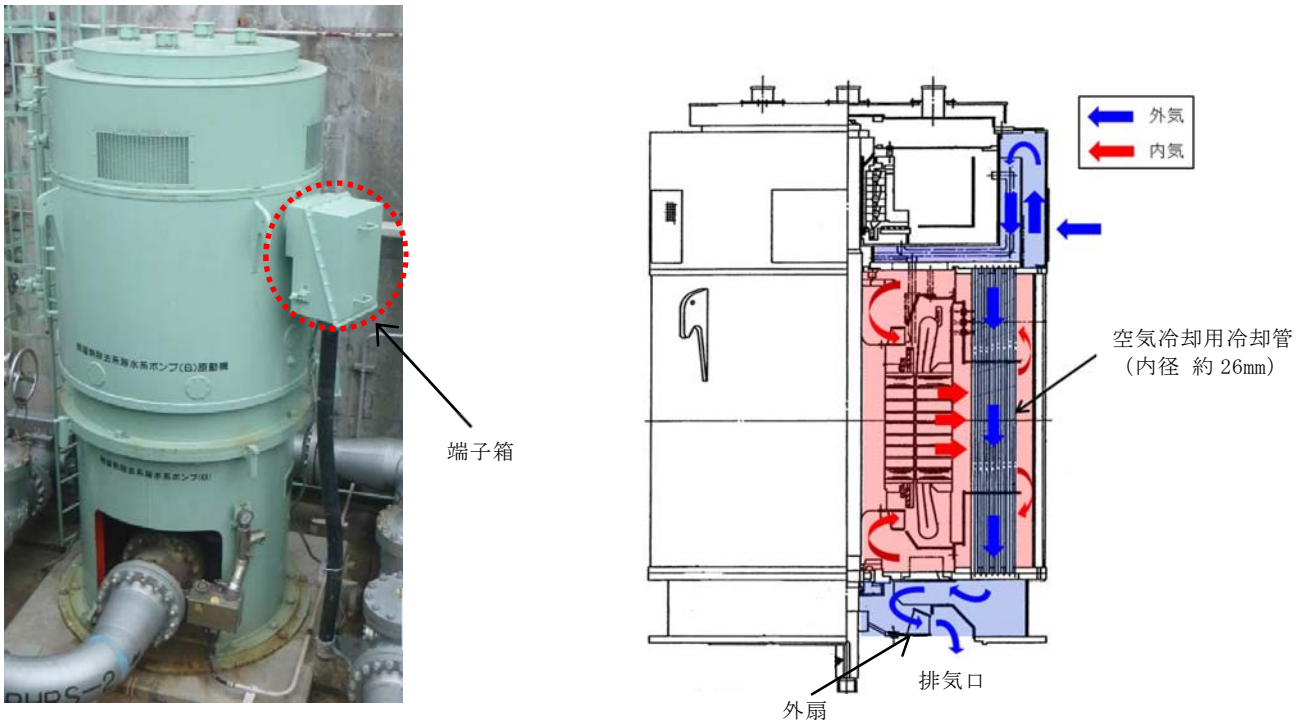
(1)　残留熱除去系海水系ポンプ電動機

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

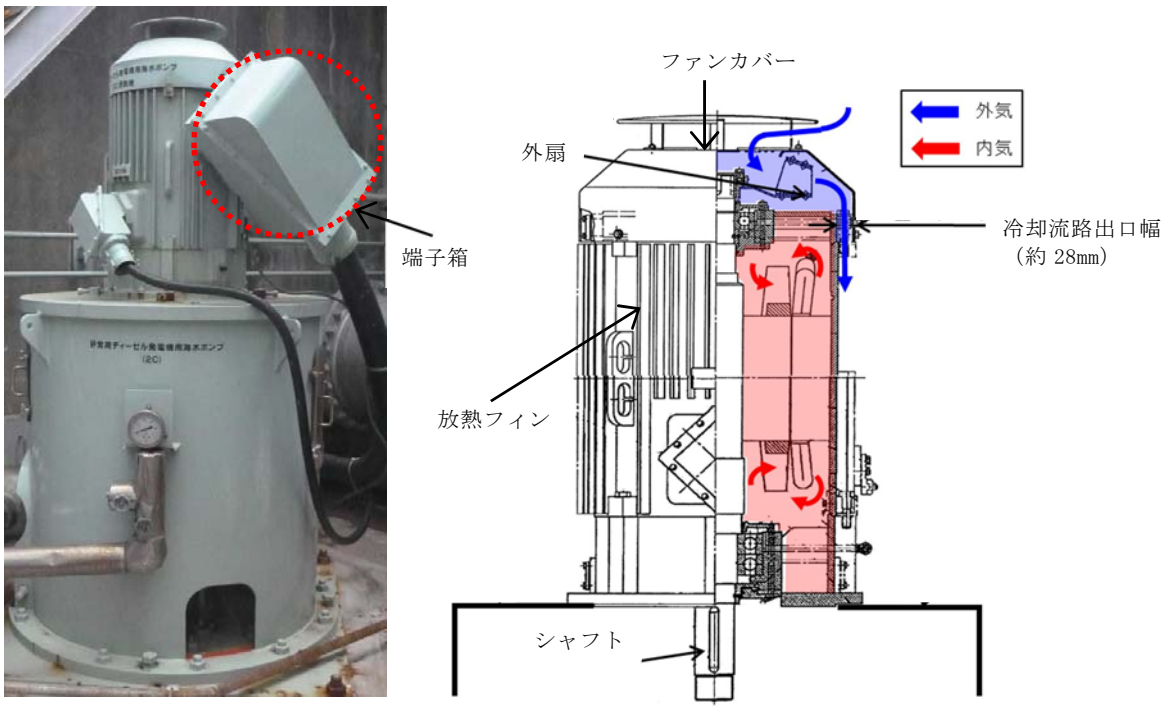
(2)　非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機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　ディーゼル発電機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 of 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度値であり，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

中央制御室換気系再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

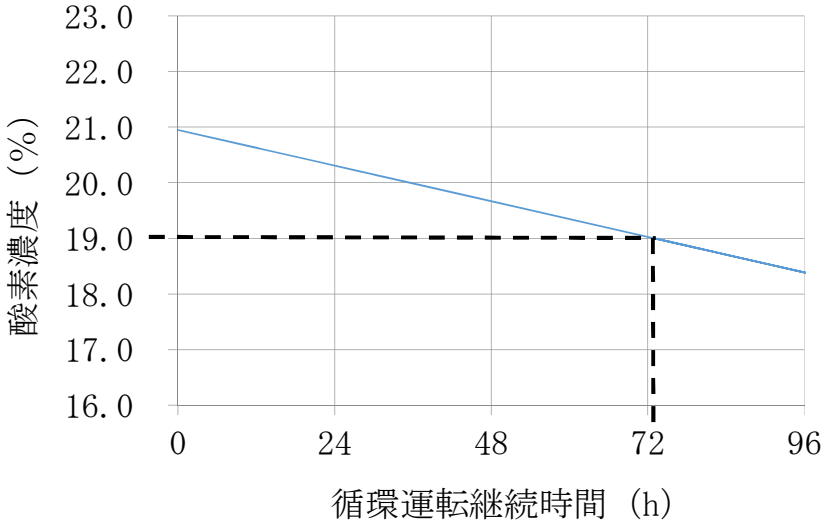
b．評価結果

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　中央制御室換気系再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　中央制御室換気系再循環運転時の酸素濃度

(2)　炭酸ガス濃度

中央制御室再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

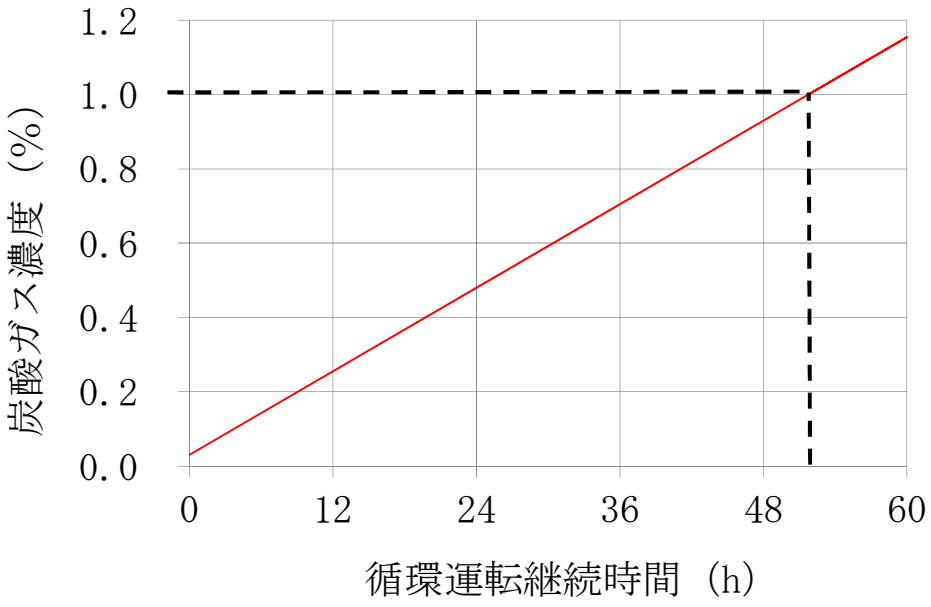
評価条件から求めた炭酸ガス濃度は，第 3.4-2 表，第 3.4-2 図のとお

りであり，外気取入を遮断しても約 51.7 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　中央制御室換気系再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　中央制御室換気系再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。

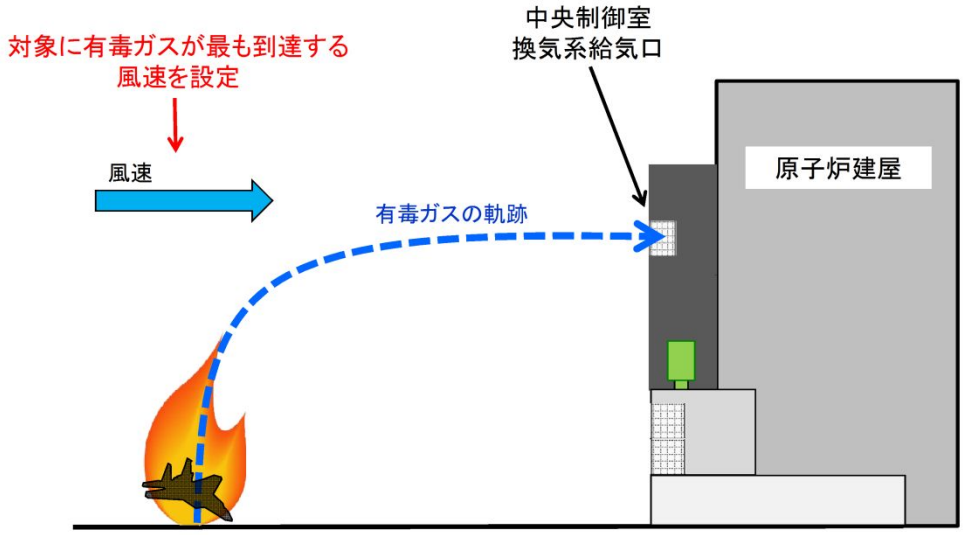
(有風時プルーム式)

$$C_{xyz}=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y{}^2}\right)\cdot\left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z{}^2}\right\}+\exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z{}^2}\right\}\right) \quad (1)$$

(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官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）

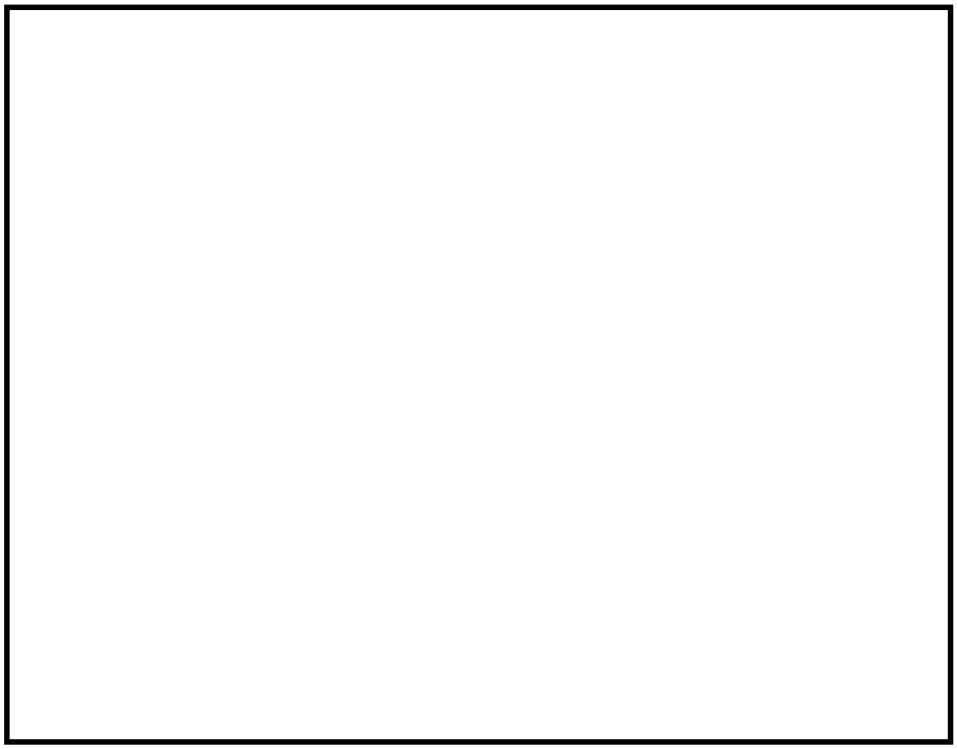
b．評価データ

(a)　評価対象となる給気口及び火災源との距離

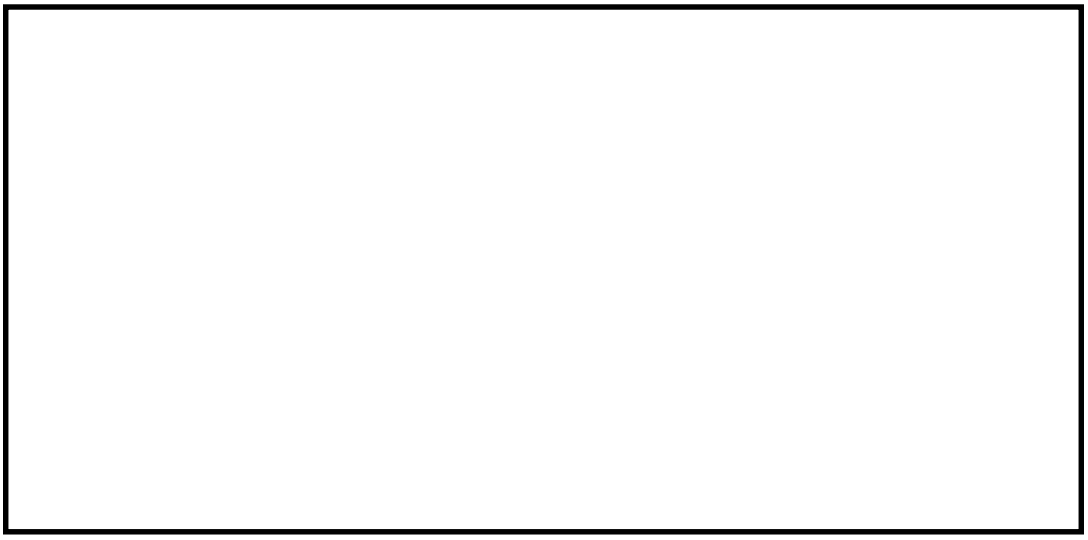
評価対象となる給気口と火災源の水平方向の位置関係を第 3.4-4 図に，離隔距離及び鉛直方向距離を第 3.4-3 表に，高さ方向の位置関係を第 3.4-5 図に示す。

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　：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～　300
	1.514	0.00855	300～　500
	2.109	0.000212	500～
B	0.964	0.1272	0～　500
	1.094	0.0570	500～
C	0.918	0.1068	0～
D	0.826	0.1046	0～ 1，000
	0.632	0.400	1，000～10，000
	0.555	0.811	10，000～
E	0.788	0.0928	0～ 1，000
	0.565	0.433	1，000～10，000
	0.415	1.732	10，000～
F	0.784	0.0621	0～ 1，000
	0.526	0.370	1，000～10，000
	0.323	2.41	10，000～
G	0.794	0.0373	0～ 1，000
	0.637	0.1105	1，000～ 2，000
	0.431	0.529	2，000～10，000
	0.222	3.62	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度値

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（以下「機構」という。）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。

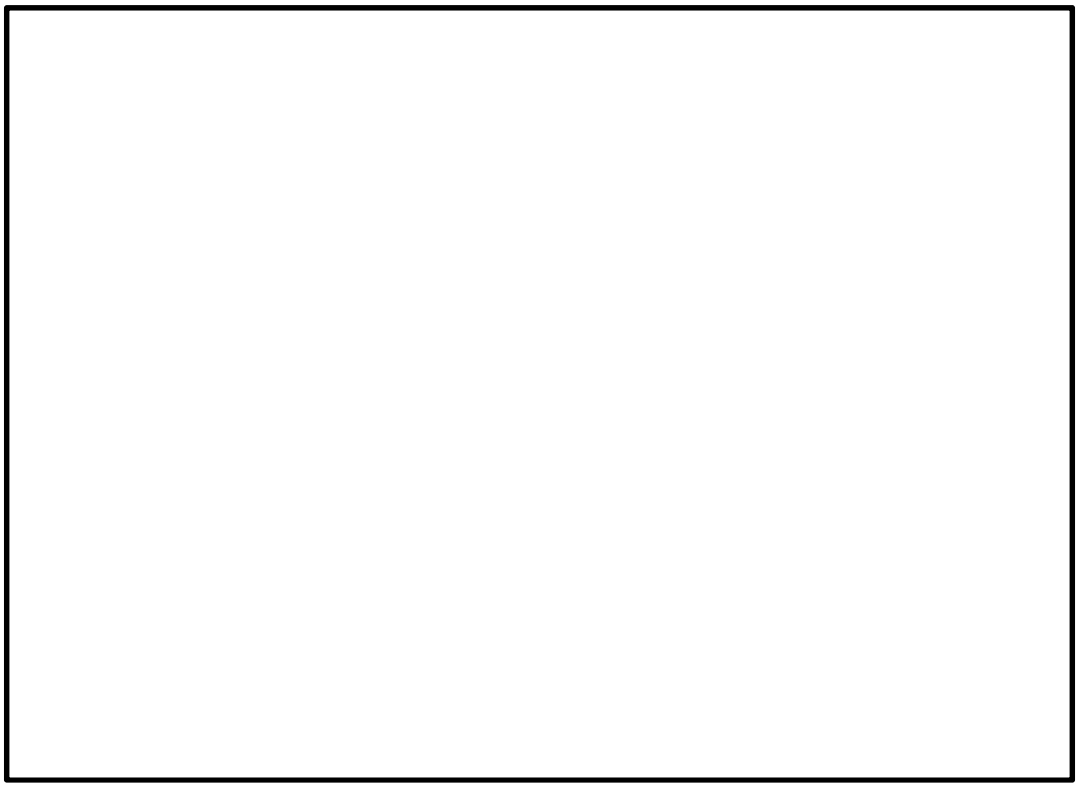
③使用済燃料貯蔵施設（北地区）については，コンクリート構造であり

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再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。

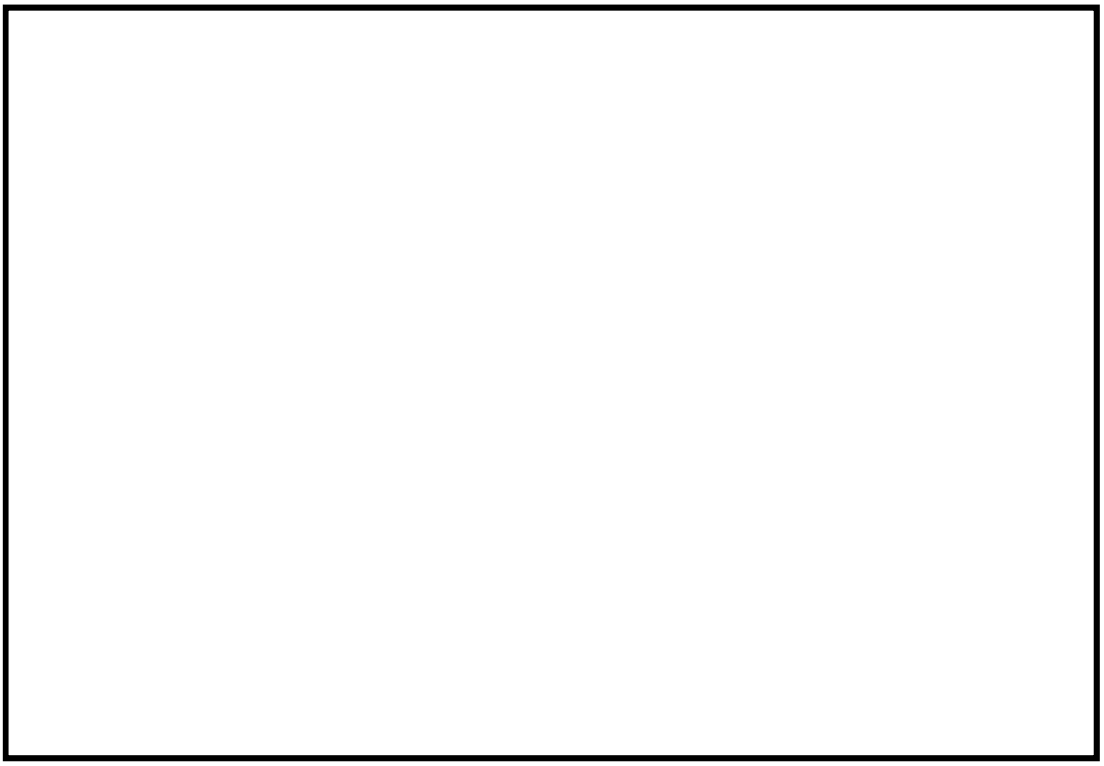


第 3.4-6 図　東海第二発電所に影響を与える可能性のある保管施設

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。

緊急時対策所の位置を第 3.5-1 図に示す。



第 3.5-1 図　緊急時対策所の位置

(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

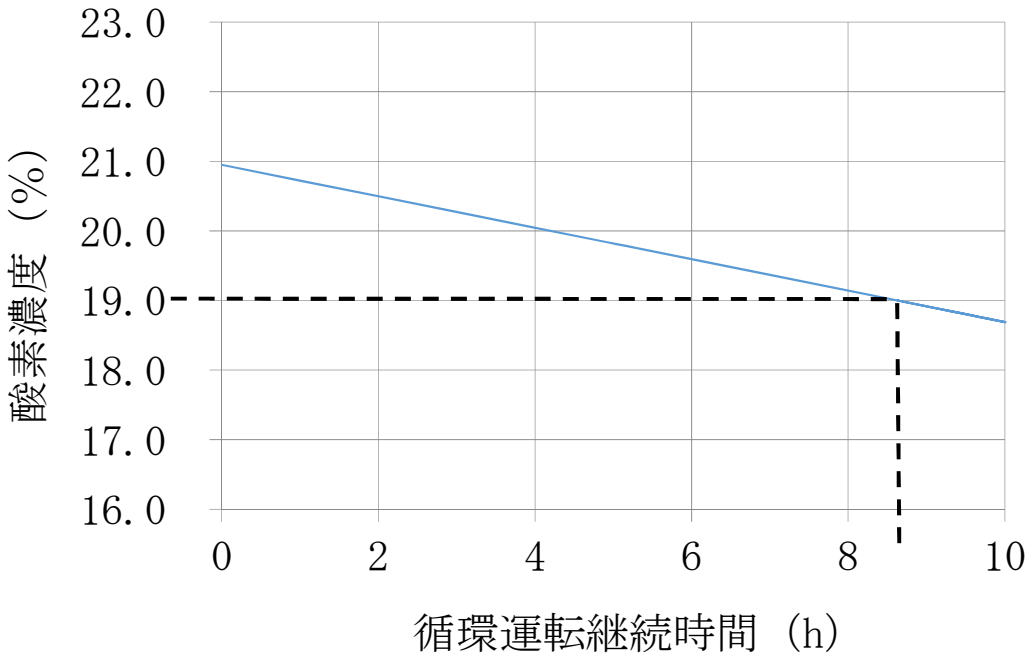
ｂ．評価結果

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

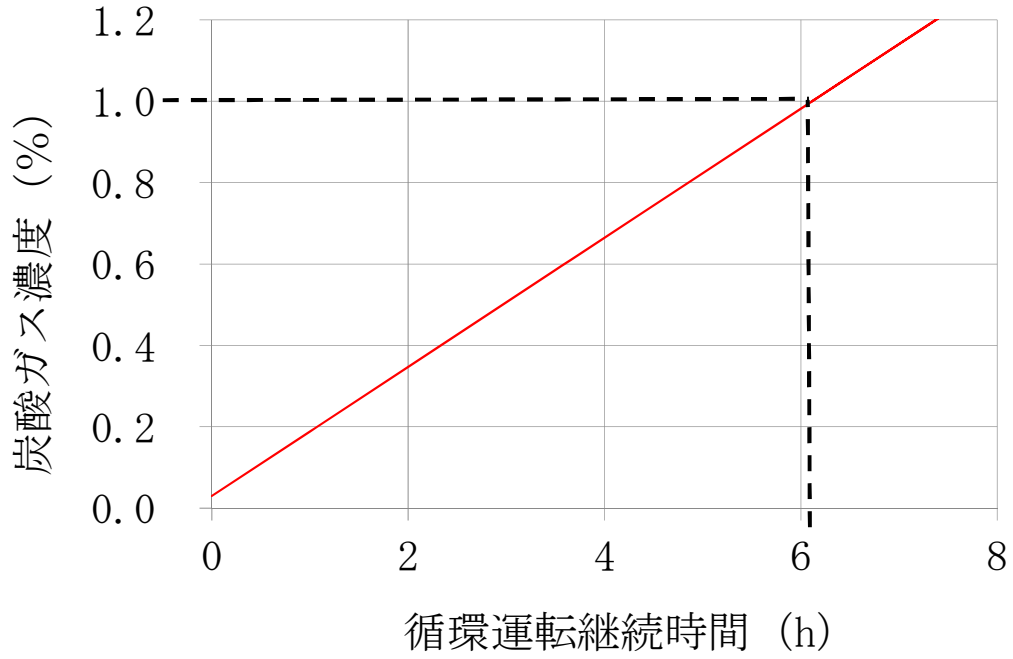
b．評価結果

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

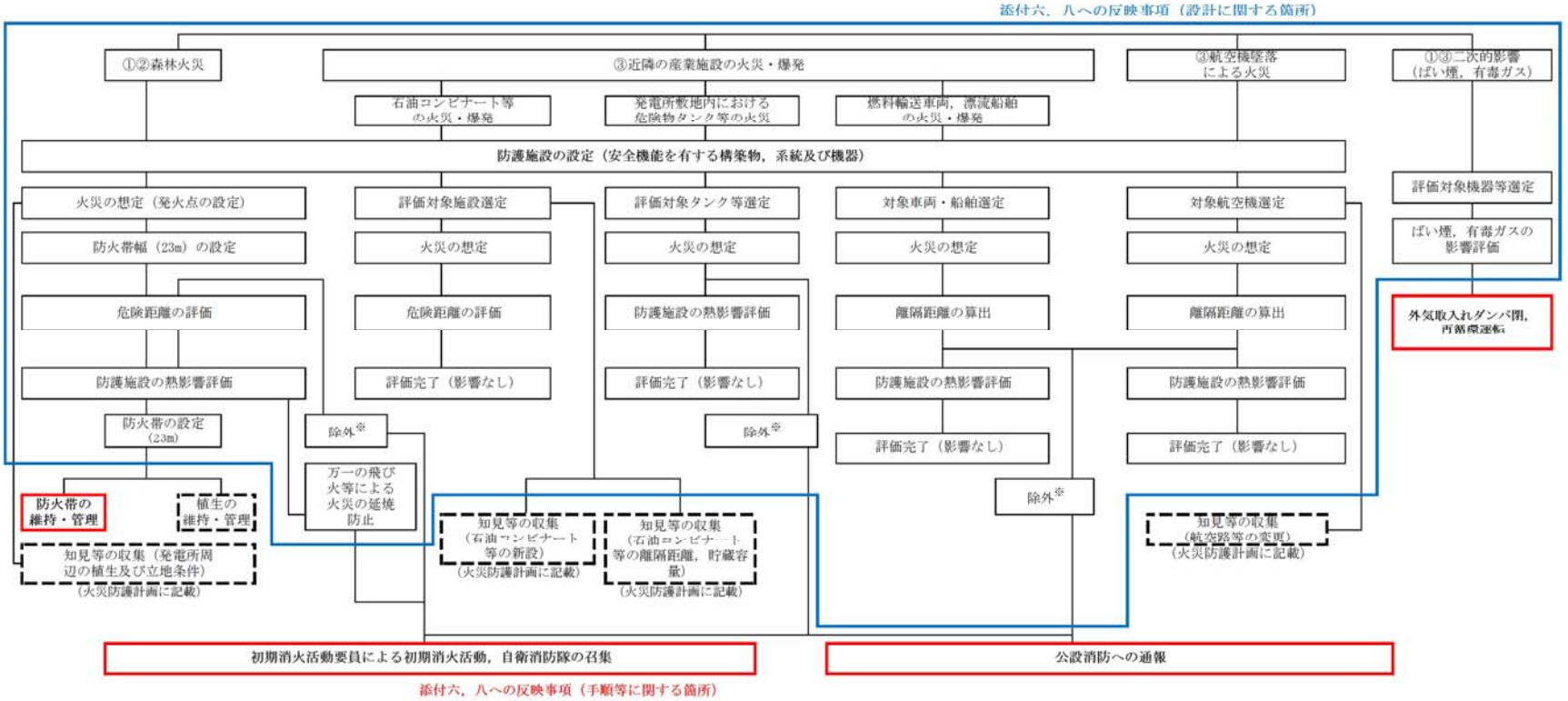
運用，手順説明資料

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)

※：自衛消防隊の体制については，添付書類 2「第 4.1-2 表」に記載

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，再循環運転	運用・手順	・外気取入れダンパ閉，再循環運転の手順
		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，再循環運転） ・補修に関する教育・訓練（換気空調設備）

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) 発電所周囲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囲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

(火山)

本資料のうち，□は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第６条　外部からの衝撃による損傷の防止

（火山）

＜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（火山）

別添資料１　火山影響評価について

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（火山）

＜概　要＞

1．において，設計基準対象施設の設置許可基準規則，技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに，それら要求に対する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

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。（第 1.1－1 表）

第 1.1－1 表　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．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，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地で想定される自然現象のうち，洪水及び地滑りについては，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により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の組合せについては，地震，津波，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災等を考慮する。事象が単独で発生した場合の影響と比較して，複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せを特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(a-7) 火山

安全施設は，発電所の運用期間中において発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として設定した層厚 50cm，粒径 8mm 以下，密度 0.3g／cm^3（乾燥状態）～1.5g／cm^3（湿潤状態）の降下火砕物に対し，以下のような設計とすることにより降下火砕物による直接的影響に対して機能維持すること若しくは降下火砕

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ることで，その安全機能を損なわない設計とする。

・構造物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること
・水循環系の閉塞に対して狭隘部等が閉塞しない設計とすること
・換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）に対して降下火砕物が侵入しにくい設計とすること
・水循環系の内部における摩耗並びに換気系，電気系及び計測制御系に対する機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とすること
・構造物の化学的影響（腐食），水循環系の化学的影響（腐食）並びに換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とすること
・発電所周辺の大気汚染に対して中央制御室の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくく，さらに外気を遮断できる設計とすること
・電気系及び計装制御系の盤の絶縁低下に対して空気を取り込む機構を有する計装制御設備（安全保護系）の設置場所の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とすること
・降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対して降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のバグフィルタの取替え若しくは清掃又は換気空調設備の停止若しくは再循環運転の実施により安全機能を損なわない設計とする。

さらに，降下火砕物による間接的影響である 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，

発電所の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続でき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：(3.2：1-6)】

(2)　安全設計方針

1.7.7　火山防護に関する基本方針

1.7.7.1　設計方針

(1)　火山事象に対する施設の基本方針

安全施設は，火山事象に対して，発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能（以下「安全機能」という。）を損なわない設計とする。このため，「添付書類六　7 火山」で評価し抽出された発電所に影響を及ぼし得る火山事象である降下火砕物に対して，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。

【別添資料１：(3.2：1-6)】

(2)　降下火砕物の設計条件

ａ．設計条件の検討・設定

発電所の敷地において考慮する火山事象は，「添付書類六　7 火山」に示すとおり降下火砕物のみである。

降下火砕物の層厚は，降下火砕物の分布状況，シミュレーション及び分布事例による検討結果から総合的に判断し，保守的に 50cm と設定する。なお，鉛直荷重については，湿潤状態の降下火砕物に，建築基準法の考え方に基づいた東海村における平均的な積雪量を踏まえて設定する。

粒径及び密度については，文献調査及び地質調査の結果を踏まえ，粒径 8mm 以下，密度 0.3g／cm^3（乾燥状態）～1.5g／cm^3（湿潤状態）と設定する。

【別添資料１：(3.1：1-5)】

(3)　降下火砕物の影響から防護する施設

降下火砕物の影響から防護する施設は，発電用原子炉施設の安全性を確保するため，「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。

さらに，当該施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なうことのないよう，降下火砕物の影響から防護する施設（以下「防護対象施設」という。）として，各施設の構造や設置状況等を考慮して以下のとおり抽出する。

ａ．安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器

・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

ｂ．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

・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

なお，それ以外の安全重要度分類のクラス３に属する構築物，系統及び機器については，降下火砕物の影響を受ける場合を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること又は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が可能とすることにより，安全機能を損なわない設計とする。

上記により抽出した防護対象施設を第 1.7.7-1 表に示す。

【別添資料１：(3.3：1-6～15)】

(4)　降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び降下火砕物の影響から防護する施設の構造や設置状況等を考慮して，降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）とそれ以外の影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

ａ．降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より，降下火砕物は以下の特徴を有する。

(a)　火山ガラス片，鉱物結晶片から成る[(1)]。ただし，砂よりもろく硬度は低く[(2)]，主要な鉱物結晶片の硬度は砂同等又はそれ以下である[(3)][(4)]。

(b)　硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している[(1)]。ただし，金属腐食研究の結果より，直ちに金属腐食を生じさせることはない[(5)]。

(c)　水に濡れると導電性を生じる[(1)]。

(d)　湿った降下火砕物は乾燥すると固結する[(1)]。

(e)　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[(1)]。

【別添資料１：(3.4.1：1-16)】

ｂ．直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重，閉塞，摩耗，腐食，大気汚染，水質汚染及び絶縁低下を抽出し，防護対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

(a)　荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は，建屋及び屋外設備の上に

堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」並びに建屋及び屋外設備に対し降灰時に衝撃を与える「粒子の衝突」である。

評価に当たっては以下の荷重の組合せを考慮する。

ⅰ） 防護対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重

防護対象施設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。

ⅱ） 設計基準事故時荷重

防護対象施設は，降下火砕物によって安全機能を損なわない設計とするため，設計基準事故とは独立事象である。

また，防護対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じる屋外設備としては，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）が考えられるが，設計基準事故時においても，通常運転時の系統内圧力及び温度と変わらず，機械的荷重が変化することはないため，設計基準事故時荷重と降下火砕物との組合せは考慮しない。

ⅲ） その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組合せ

降下火砕物と組合せを考慮すべき火山以外の自然現象は，荷重の影響において風（台風）及び積雪であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

(b) 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」並びに降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）」である。

(c) 摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物を含む海水が

流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」及び降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗）」である。

(d)　腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」，換気系，電気系及び計装制御系において降下火砕物を含む空気の流路を腐食させる「換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）」及び海水に溶出した腐食性成分により海水管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

(e)　大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化及び降下火砕物の除去，屋外設備の点検等，屋外における作業環境を劣化させる「発電所周辺の大気汚染」である。

(f)　水質汚染

「水質汚染」については，給水等に使用する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が，発電所では給水処理設備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た工業用水を直接給水として使用しないこと，また水質管理を行っていることから，安全施設の安全機能には影響しない。

(g)　絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は，湿った降下火砕物が，電気系及び計装制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる「盤の

絶縁低下」である。

【別添資料１：(3.4.2：1-16～18)】

ｃ．間接的影響

(a)　外部電源喪失及びアクセス制限

降下火砕物によって発電所に間接的な影響を及ぼす因子は，湿った降下火砕物が送電線の碍子，特高開閉所の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」及び降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」である。

【別添資料１：(3.4.3：1-18)】

(5)　降下火砕物の直接的影響に対する設計

直接的影響については，防護対象施設の構造や設置状況等（形状，機能，外気吸入及び海水通水の有無）を考慮し，想定される各影響因子に対して，影響を受ける各防護対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。

ａ．降下火砕物による荷重に対する設計

(a)　構造物への静的負荷

防護対象施設のうち，構造物への静的負荷を考慮すべき施設は，降下火砕物が堆積する以下の施設である。

・屋外に設置されている施設

原子炉建屋，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管），中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフベ

ントファン

・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

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

当該施設の許容荷重が，降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより，構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。若しくは，降下火砕物が堆積しにくい又は直接堆積しない構造とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

防護対象施設の建屋においては，建築基準法における一般地域の積雪の荷重の考え方に準拠し，降下火砕物の除去を適切に行うことから，降下火砕物による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合せた状態に対する許容限界は次のとおりとする。

・原子炉建屋

原子炉建屋に要求されている気密性及び遮蔽性並びに構造強度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，屋根スラブと共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持たせることを許容限界とする。

・タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

屋根スラブの落下によって内包する安全重要度分類のクラス２に属する構築物，系統及び機器が損傷することを防止するため，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安全重要度分類のクラ

ス２に属する構築物，系統及び機器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。

建屋を除く防護対象施設においては，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）」に準拠する。

【別添資料１：(3.6.1：1-19～20)】

(b)　粒子の衝突

防護対象施設のうち，粒子の衝突を考慮すべき建屋及び屋外施設は，降下火砕物の衝突によって構造健全性が失われないことにより，安全機能を損なわない設計とする。

なお，粒子の衝突による影響については，「1.7.2　竜巻防護に関する基本方針」に包絡される。

【別添資料１：(3.6.1：1-20)】

ｂ．降下火砕物による荷重以外に対する設計

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），電気系及び計装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，「ｃ．外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計」に示す。

(a)　構造物への化学的影響（腐食）

防護対象施設のうち，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。

・屋外に設置されている施設

原子炉建屋，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管），中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフベントファン，排気筒，非常用ガス処理系排気配管

・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

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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。

【別添資料１：(3.6.2：1-20～21)】

(b)　水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

防護対象施設のうち，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。

・降下火砕物を含む海水の流路となる施設

残留熱除去海水系設備（海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備含む），ディーゼル発電機海水系設備（海水ポンプ，海水ス

トレーナ及び下流設備含む），海水取水設備

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，主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より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。

【別添資料１：(3.6.2：1-21～22)】

(c) 電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

防護対象施設のうち，電気系及び計装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，電気系及び計装制御系のうち屋外に設置されている以下の施設である。

・屋外に設置されている施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）

機械的影響（閉塞）については，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，

ディーゼル発電機海水系）（モータ）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。

【別添資料１：(3.6.2：1-22～23)】

(d)　絶縁低下及び化学的影響（腐食）

防護対象施設のうち，絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，電気系及び計装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。

・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

計装制御設備（安全保護系）

当該機器の設置場所は中央制御室換気空調設備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再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。

バグ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，計装制御設備（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：(3.6.2：1-23～24)】

ｃ．外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計

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。

(a)　機械的影響（閉塞）

防護対象施設のうち，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。

・降下火砕物を含む空気の流路となる施設

ディーゼル発電機機関，ディーゼル発電機（吸気口），換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気配管

各施設の構造上の対応として，ディーゼル発電機（吸気口）の外気取入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。

排気筒は，降下火砕物が侵入した場合でも，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配管は，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）及びディーゼル発電機（吸気口）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。

【別添資料１：(3.6.3：1-24～25)】

(b) 機械的影響（摩耗）

防護対象施設のうち，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。

・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

ディーゼル発電機機関

主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より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，ディーゼル発電機（吸気口）の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構造とする。

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，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

外気を取り入れるディーゼル発電機（吸気口）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，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１：(3.6.3：1-25～26)】

(c)　化学的影響（腐食）

防護対象施設のうち，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。

・降下火砕物を含む空気の流路となる施設

ディーゼル発電機機関，換気空調設備（外気取入口），排気筒

非常用ガス処理系排気管

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。

【別添資料１：(3.6.3：1-26)】

(d)　大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

防護対象施設のうち，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，中央制御室換気空調系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，中央制御室換気空調系については，外気取入ダンパの閉止及び再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こと，さらに外気取入遮断時において室内の居住性

を確保するため，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，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料１：(3.6.3：1-26)】

(6)　降下火砕物による間接的影響に対する設計方針

降下火砕物による間接的影響として考慮する，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が生じた場合については，降下火砕物に対して，ディーゼル発電機の安全機能を維持することで，発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却並びに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ディーゼル発電機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。電源の供給に関する設計方針は，「10.1 非常用電源設備」に記載する。

【別添資料１：(3.8：1-31)】

1.7.7.2　手順

降下火砕物の降灰時における手順について，降下火砕物の除去（資機材含む。）等の対応を適切に実施するため，以下について手順を定める。

(1)　降灰が確認された場合には，建屋や屋外の設備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，防護対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を適切に実施する手順を定める。

(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再循環運転により，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バグフィルタについて，バグフィルタ差圧又は流量を確認するとともに，状況に応じて取替え又は清掃を実施する手順を定める。

【別添資料１：(3.7：1-28～31)】

1.7.7.3　参考文献

(1)　広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）資料2　内閣府

(2)　「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司，コンクリート工学，Vol39，2004

(3)　「新編火山灰アトラス［日本列島とその周辺］第 2 刷 町田洋ほか，東京大学出版会，2011

(4)　「理科年表（2017）」国立天文台編

(5)　「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.39，1990

第 1.7.7－1 表　防護対象施設の抽出結果

	設備区分	防護対象施設
安全重要度分類のクラス1及びクラス2に属する構築物，系統及び機器	屋外に設置されている施設	・原子炉建屋 ・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管） ・中央制御室換気系冷凍機 ・ディーゼル発電機室ルーフベントファン ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	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設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備） ・ディーゼル発電機海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	・ディーゼル発電機機関 ・換気空調設備（外気取入口） （中央制御室換気空調系 ディーゼル発電機室換気系） ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	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	・計装制御設備（安全保護系）
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	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	・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・海水取水設備（除塵装置） ・換気空調設備（外気取入口）

(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，津波を除く。）については，敷地及び敷地周辺の自然環境を基に洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮を選定し，敷地周辺で得られる過去の記録等を考慮する。また，これらの自然現象毎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。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(9) 火山の影響

安全施設のうち，安全重要度分類のクラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器若しくはそれを内包する建屋，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，降下火砕物による直接的影響及び間接的影響のそれぞれに対し，安全機能を損なわないよう以下の設計とする。

ａ．直接的影響に対する設計

安全施設は，直接的影響に対して，以下により安全機能を損なわない設計とする。

・構造物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること

・水循環系の閉塞に対して狭隘部等が閉塞しない設計とすること

・換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）に対して降下火砕物が侵入しにくい設計とすること

・水循環系の内部における摩耗及び換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とすること

・構造物の化学的影響（腐食），水循環系の化学的影響（腐食）及び換気系，電気系及び計装制御系の化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とすること

・発電所周辺の大気汚染に対して中央制御室の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくく，さらに外気を遮断できる設計とすること

・電気系及び計装制御系の盤の絶縁低下に対して空気を取り込む機構

を有する計測制御設備（安全保護系）の設置場所の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とすること

・降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対して降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のバグフィルタの取替え若しくは清掃，又は，換気空調設備の停止若しくは再循環運転の実施により安全機能を損なわない設計とすること

また，上記以外の安全施設については，降下火砕物の影響を受ける場合を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，又は，安全上支障のない期間に降下火砕物の除去あるいは修復等の対応が可能とすることにより，安全機能を損なわない設計とする。

ｂ．間接的影響に対する設計

安全施設は，降下火砕物による間接的影響である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及び停止後の発電用原子炉の冷却並びに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ディーゼル発電機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。

別添資料 1

東海第二発電所

火山影響評価について

目　　次

1.　基本方針

1.1　概要

1.2　火山影響評価の流れ

2.　立地評価

2.1　原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

2.2　抽出された火山の火山活動に関する個別評価

3.　影響評価

3.1　火山事象の影響評価

3.2　火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針

3.3　火山事象（降下火砕物）から防護する施設

3.4　降下火砕物による影響の選定

3.4.1　降下火砕物の特徴

3.4.2　直接的影響

3.4.3　間接的影響

3.5　設計荷重の設定

3.6　降下火砕物の直接的影響に対する設計方針

3.6.1　降下火砕物による荷重に対する設計方針

3.6.2　降下火砕物による荷重以外に対する設計方針

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

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

3.7.2　手順

3.8　降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

4.　まとめ

資料

－１　降下火砕物の特徴について

－２　評価すべき影響の要因と評価手法

－３　直接的影響の評価結果

－４　建屋構築物に係る影響評価

－５　海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）に係る影響評価

－６　海水ストレーナ(残留熱除去系海水系,ディーゼル発電機海水系)（下流設備含む）に係る影響評価

－７　海水取水設備に係る影響評価

－８　計装制御設備（安全保護系）に係る影響評価

－９　換気空調設備に係る影響評価

－１０　ディーゼル発電機に係る影響評価

－１１　排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）に係る影響評価

－１２　間接的影響の評価結果

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

－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

－３　降下火砕物の海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）基礎部堆積による影響評価について

－４　降下火砕物と積雪の重ね合わせの考え方について

－５　原子力発電所で使用する塗料について

－６　降下火砕物の金属腐食研究について

－７　給水処理設備に係る影響評価について

－８　降下火砕物のその他の設備への影響評価について

－９　降下火砕物の除去に要する時間及び灰置場について

－１０　降水による降下火砕物の固結の影響について

－１１　火山影響評価ガイドとの整合性について

－１２　原子炉建屋の健全性評価について

－１３　タービン建屋の健全性評価について

－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

－１５　降下火砕物の偏りによる影響評価について

－１６　除灰時の人員荷重の考え方について

1.　基本方針

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（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。

火山の影響により発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するため，火山影響評価を行い，発電用原子炉施設へ影響を与えないことを評価する。

1.2　火山影響評価の流れ

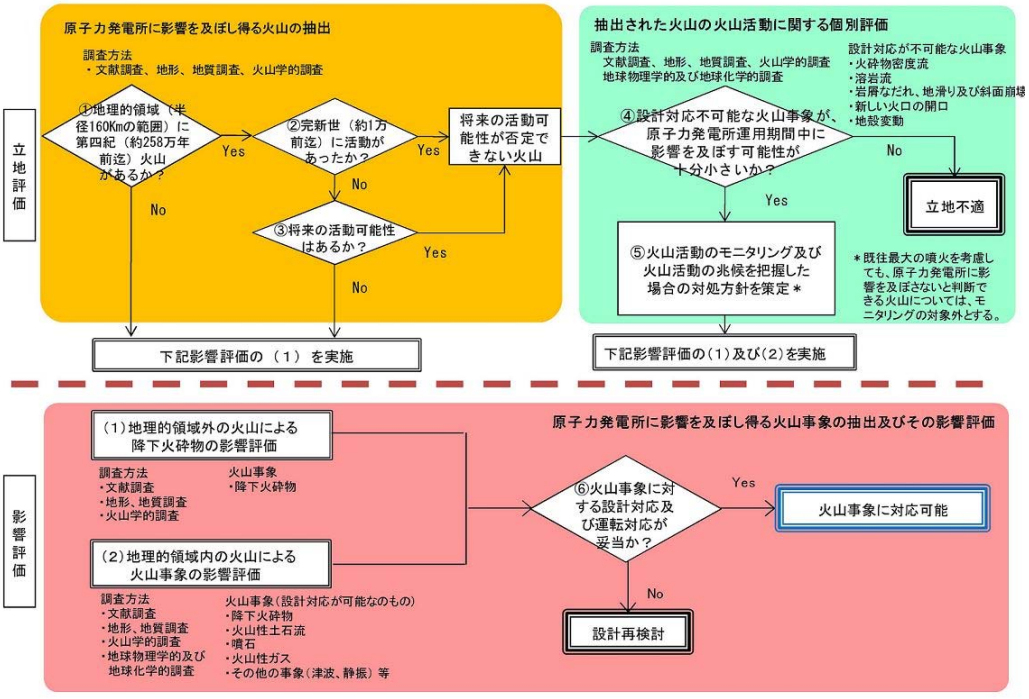
火山影響評価は，「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し，第 1.2－1 図のフローに従い立地評価と影響評価の 2 段階で行う。

立地評価では，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い，抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。具体的には設計対応不可能な火山事象が東海第二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。

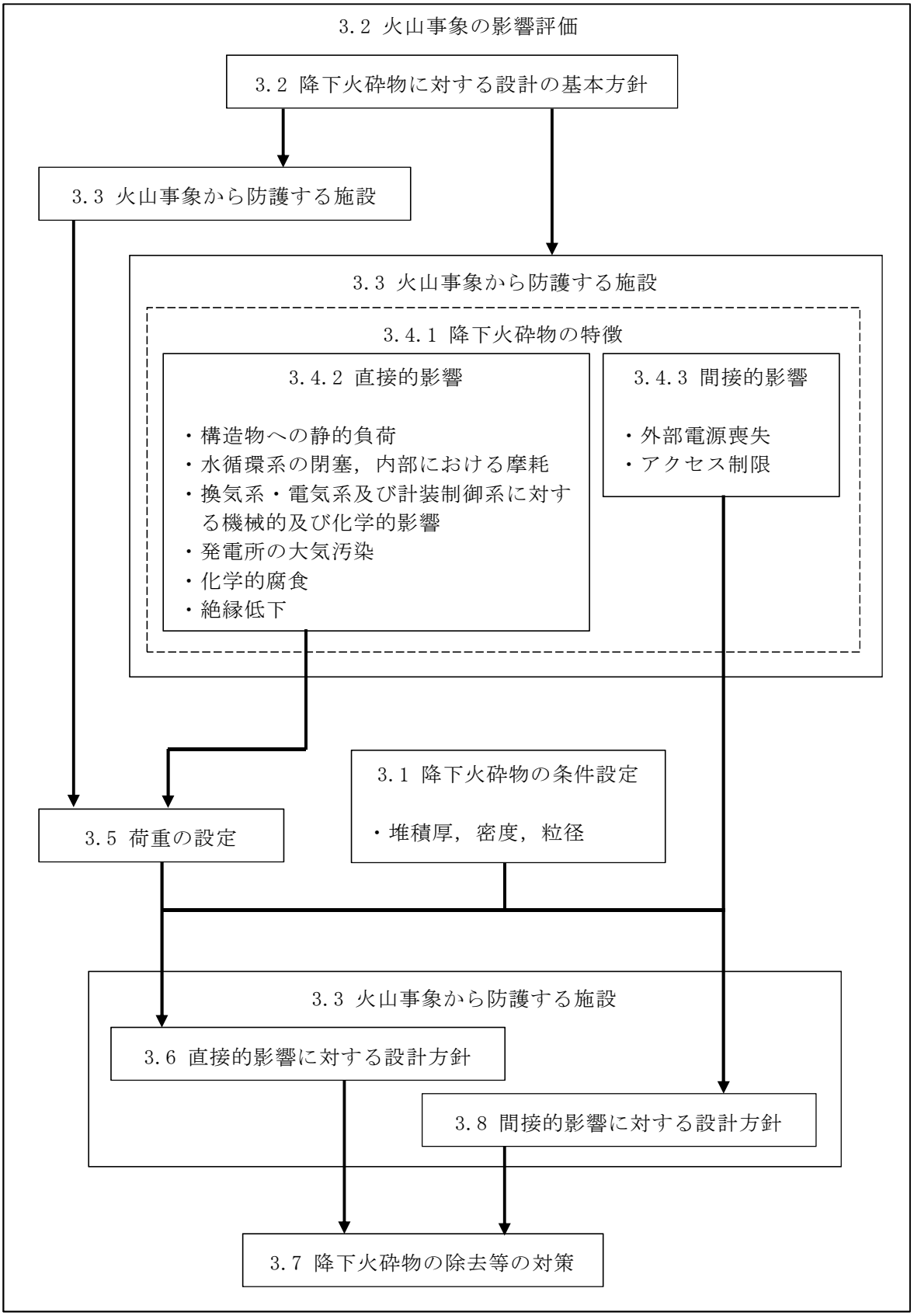
設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は，原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象の抽出とその影響評価を行う。

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「3.1　火山事象の影響評価」にて評価を行う。（第 1.2－2 図）

なお，立地評価及び原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象の抽出とその影響評価については，「添付書類六 7.火山」にて示す。



第 1.2－1 図　火山影響評価の基本フロー



第 1.2－2 図　影響評価のフロー

2. 立地評価

2.1　原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

地理的領域（160km）に位置する第四紀火山（32 火山）について，完新世の活動の有無，将来の活動性を検討した結果，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として，高原山，那須岳，男体・女峰火山群，日光白根山，赤城山，燧ケ岳，安達太良山，磐梯山，沼沢，吾妻山，榛名山，笹森山，子持山の 13 火山を抽出した。

2.2　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として抽出した 13 火山について，設計対応不可能な火山事象（火砕物密度流，溶岩流，岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊，新しい火口の開口，地殻変動）が影響を及ぼす可能性について個別評価を行った。

火砕物密度流については，敷地と火砕密度流の到達可能性範囲の距離から発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

溶岩流，岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊については，敷地と火山の距離から発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価した。

新しい火口の開口，地殻変動については，敷地は火山フロントより前弧側（東方）に位置すること，敷地周辺では火成活動は確認されていないことから，この事象が発電所の運転期間中に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

以上から，設計対応不可能な火山事象が発電所に影響を及ぼす可能性はなく，この結果から，抽出した 13 火山はモニタリングの対象とならないと判断した。

3．影響評価

3.1　火山事象の影響評価

将来の活動可能性のある火山若しくは将来の活動可能性を否定できない火山について，東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し，原子力発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果，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となった。よって，降下火砕物による安全施設への影響評価を行う。

影響評価に用いる条件として，降下火砕物の分布状況，シミュレーション及び分布状況から総合的に判断し，保守的に堆積厚さ 50cm と設定する。また，粒径及び密度については，文献調査及び地質調査の結果を踏まえ粒径 8mm 以下，密度 0.3 g／cm^3（乾燥状態）～1.5g／cm^3（湿潤状態）と設定した。第 3.1－1 表に設計条件を示す。

第 3.1－1 表　降下火砕物の設計条件

項目	設定条件	備考
堆積厚さ	50cm	鉛直荷重に対する健全性評価に使用
密度	0.3g/cm^3 ～ 1.5g/cm^3 （乾燥状態）　（湿潤状態）	
粒径	8mm 以下	水循環系の閉塞及び換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響評価に使用

3.2　火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針

将来の活動可能性を否定できない火山について，東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し，東海第二発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果，「3.1　火山事象の影響評価」に示すとおり該当する火山事象は降下火砕物のみであり，地理的領域（160km）の広範囲に影響を及ぼす降下火砕物に対し，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。以下に火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針を示す。

(1)　降下火砕物による直接的な影響（荷重，閉塞，摩耗，腐食等）に対して，安全機能を損なわない設計とする。

(2)　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可能な設計とする。

(3)　降下火砕物による間接的な影響である 7 日間の外部電源の喪失，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，発電所の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続でき，安全機能を損なわない設計とする。

3.3　火山事象（降下火砕物）から防護する施設

「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 6 月 28 日原子炉規制委員会規則第五号)」第六条において，「安全施設は，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ものでなければならない。」とされていることから，降下火砕物の影響から防護する施設は，発電用原子炉施設の安全性を確保するため，「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に該当する構築物，系統及び機器とする。

当該施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なわないよう，降下火砕物の影響を評価すべき施設（以下「評価対象施設」という。）として各施設の構造や設置状況等を考慮して以下のとおり抽出する。

(1)　クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器

ａ．屋外に設置されている施設

ｂ．降下火砕物を含む海水の流路となる施設

ｃ．降下火砕物を含む空気の流路となる施設

ｄ．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

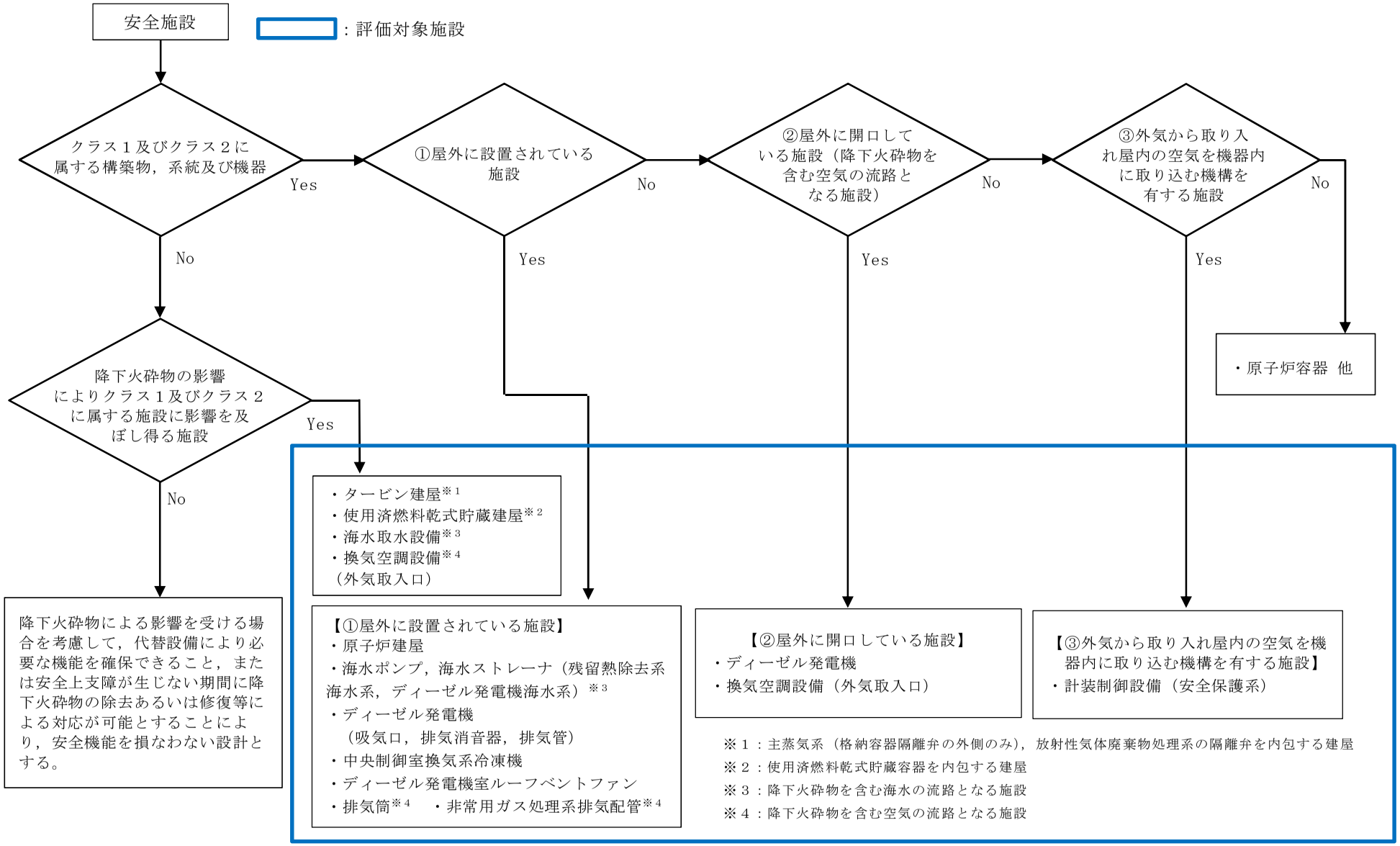
(2)　クラス３に属する構築物，系統及び機器

ａ．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

なお，それ以外の，クラス３に属する施設については，降下火砕物による影響を受ける場合を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，又は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が可能とすることにより，安全機能を損なわない設計とするため，評価対象施設から除外する。

また，降下火砕物の間接的影響を考慮し，発電用原子炉の高温停止，冷温停止に必要となる機能を達成するために必要となる施設を評価対象施設として抽出した。（参考資料－１）

評価対象施設の抽出フローを第 3.3－1 図に，抽出結果を第 3.3－1 表，第 3.3－2 表に示すとともに，評価対象施設の設置場所を第 3.3－2 図に示す。



第 3.3－1 図　評価対象施設の抽出フロー

第 3.3－1 表　評価対象施設の抽出結果

	設備区分	評価対象施設
クラス1及びクラス2に属する構築物，系統及び機器	屋外に設置されている施設	・原子炉建屋 ・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管） ・中央制御室換気系冷凍機 ・ディーゼル発電機室ルーフベントファン ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	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設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備） ・ディーゼル発電機海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	・ディーゼル発電機機関 ・換気空調設備（外気取入口） ［中央制御室換気空調系 └ディーゼル発電機室換気系］ ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	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	・計装制御設備（安全保護系）
クラス3に属する構築物，系統及び機器	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	・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・海水取水設備（除塵装置） ・換気空調設備（外気取入口）

第 3.3－2 表　評価対象施設の抽出について（１／４）

分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設（屋外に設置されている施設，屋外に開口している施設，又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設）	クラス３に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で，クラス１及びクラス２に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能	構築物，系統又は機器			
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。）	－	－	－
		２）過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	－	－	－
		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），燃料集合体（ただし，燃料を除く。）	－	－	－
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））	－	－	－
		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）	－	－	－
		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）	－	－	－
		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）	－	－	－
		５）炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレイ系）	－	－	－
			非常用炉心冷却系（低圧注水系）	－	－	－
			非常用炉心冷却系（高圧炉心スプレイ系）	－	－	－
			非常用炉心冷却系（自動減圧系）	－	－	－
		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	原子炉建屋	－	原子炉建屋
			非常用ガス処理系	排気筒，非常用ガス処理系排気配管	－	排気筒，非常用ガス処理系排気配管
			非常用再循環ガス処理系	－	－	－
			可燃性ガス濃度制御系	－	－	－

第 3.3－2 表　評価対象施設の抽出について（２／４）

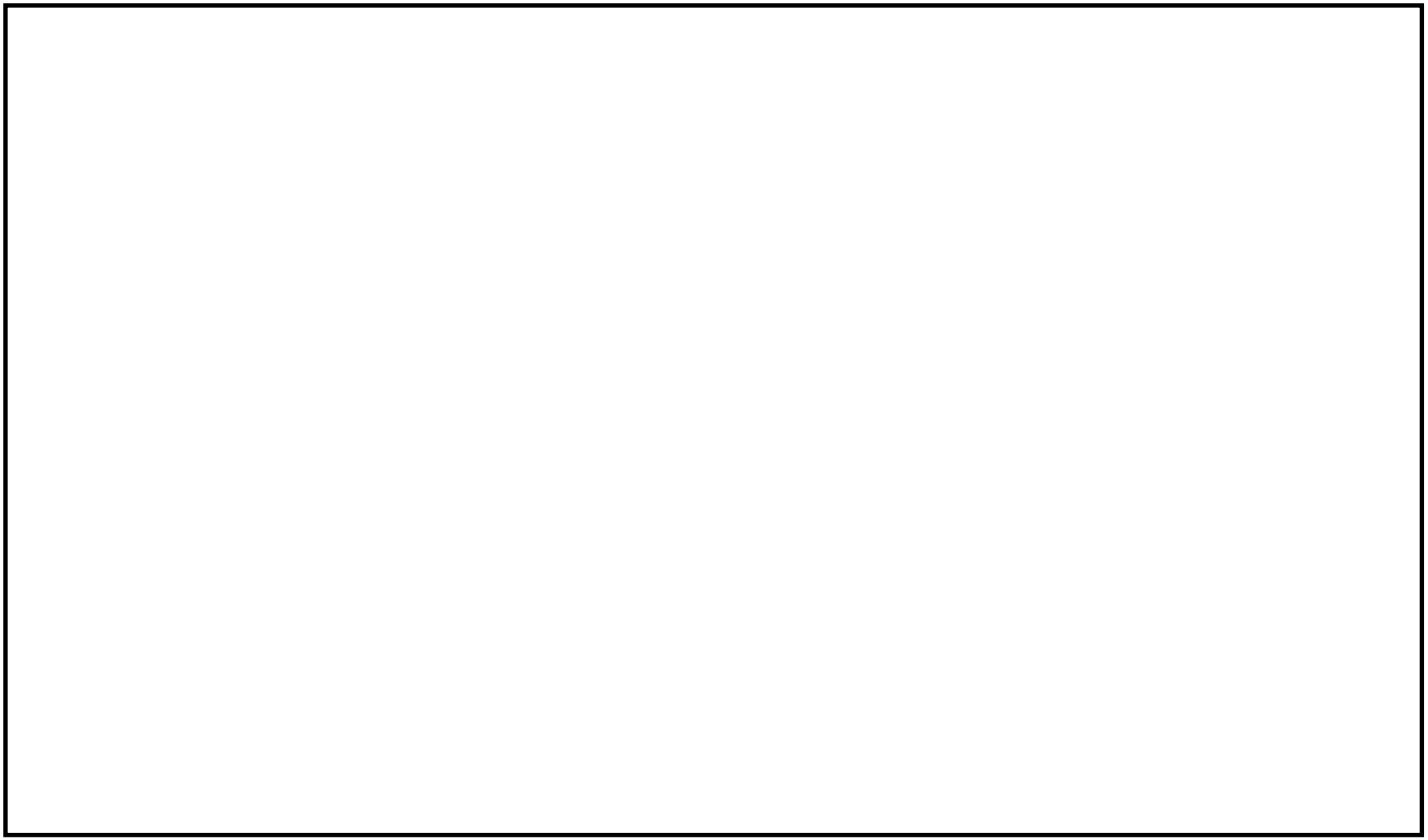
分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設（屋外に設置されている施設，屋外に開口している施設，又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設）	クラス３に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で，クラス１及びクラス２に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能	構築物，系統又は機器			
MS-1	２）安全上必須なその他の構築物，系統及び機器	１）工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	計装制御設備（安全保護系）	－	計装制御設備（安全保護系）
		２）安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系（ＭＳ－１関連のもの）	ディーゼル発電機（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）	－	ディーゼル発電機（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）
			制御室及びその遮へい・非常用換気空調系（ＭＳ－１関連のもの）	換気空調設備（中央制御室換気空調系，ディーゼル発電機室換気系）	－	換気空調設備（中央制御室換気空調系，ディーゼル発電機室換気系）
			非常用補機冷却水系（ＭＳ－１関連のもの）	海水ポンプ，海水ストレーナ（下流設備含む）（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）	海水取水設備（除塵装置）	海水ポンプ，海水ストレーナ（下流設備含む）（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） 海水取水設備（除塵装置）
			直流電源系（ＭＳ－１関連のもの）	－	－	－

第3.3－2表　評価対象施設の抽出について（３／４）

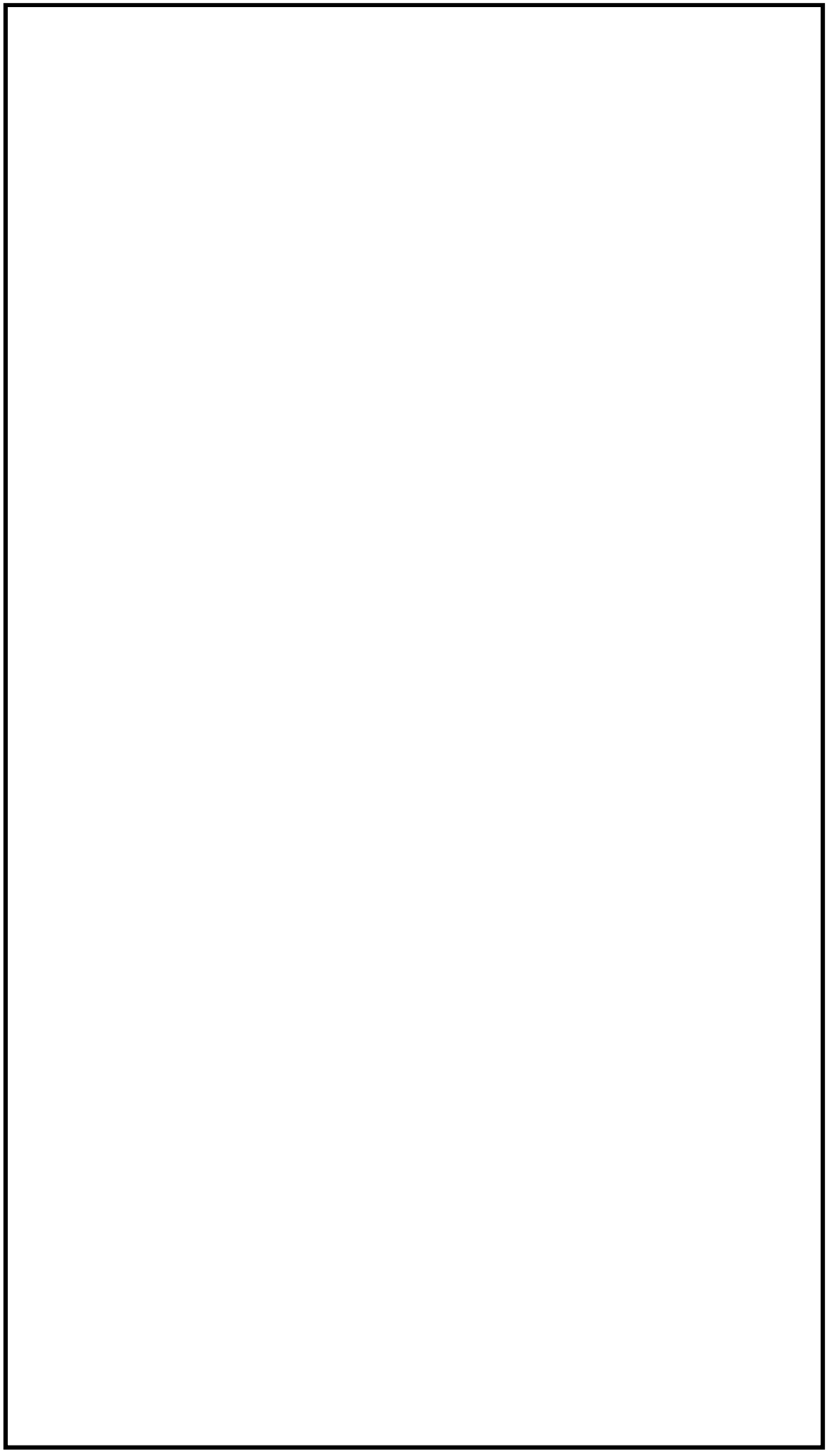
分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設（屋外に設置されている施設，屋外に開口している施設，又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設）	クラス３に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で，クラス１及びクラス２に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能	構築物，系統又は機器			
PS-2	１）その損傷又は故障により発生する事象によって，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物，系統及び機器	１）原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし，原子炉冷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）	－	タービン建屋	タービン建屋
			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）注１） 注１）現状では，放射性気体廃棄物処理系が考えられる。	－	－	－
			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	－	使用済燃料乾式貯蔵建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋
		３）燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	－	－	－
	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	－	－	－
		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	－	タービン建屋	タービン建屋
			排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）	排気筒	－	排気筒
			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	－	原子炉建屋
	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把握機能	事故時監視計器の一部　注２） 注２）現状では，格納容器雰囲気放射線モニタが考えられる。	－	－	－
		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防止機能	制御室外原子炉停止装置（安全停止に関連するもの）	－	－	－
PS-3	１）異常状態の起因事象となるものであって，ＰＳ－１及びＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	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	－	－	－
		２）原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	－	－	－
		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）　注３） 注３）現状では，液体及び固体の放射性廃棄物処理系が考えられる。	－	－	－

第3.3－2表　評価対象施設の抽出について（４／４）

分類	安全機能の重要度分類			降下火砕物の影響を受ける施設（屋外に設置されている施設，屋外に開口している施設，又は外気から取り入れた屋内の空気を取り込む機構を有する施設）	クラス３に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で，クラス１及びクラス２に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能	構築物，系統又は機器			
PS-3	１）異常状態の起因事象となるものであって，ＰＳ－１及びＰＳ－２以外の構築物，系統及び機器	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	－	－	－
		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（制御棒価値ミニマイザを含む。）	－	－	－
			原子炉核計装	－	－	－
			原子炉プロセス計装	－	－	－
		６）プラント運転補助機能	所内ボイラ	－	－	－
			計装用圧縮空気系	－	－	－
	２）原子炉冷却材放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物，系統及び機器	１）核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	燃料被覆管	－	－	－
		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	－	－	－
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）原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能）	－	－	－
			タービンバイパス弁	－	－	－
		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	－	－	－
		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	－	－	－
	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	－	－	－



第 3.3－2 図　評価対象施設（１／２）



第3.3－2図　評価対象施設（2／2）

3.4　降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び評価対象施設の構造や設置状況を考慮して，降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）と発電所外での影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

3.4.1　降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より，降下火砕物は以下の特徴を有する。

(1)　火山ガラス片，鉱物結晶片から成る。ただし，砂よりもろく硬度は低く，主要な鉱物結晶辺の硬度は砂同等又はそれ以下である。

(2)　硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している。ただし，金属腐食研究の結果より，直ちに金属腐食を生じさせることはない。

(3)　水に濡れると導電性を生じる。

(4)　湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。

(5)　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。

（資料－１）

3.4.2　直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重，閉塞，摩耗，腐食，大気汚染，水質汚染及び絶縁低下を抽出し，評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

(1)　荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は，建屋及び屋外設備の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」，並びに建屋及び屋外設備に対し降灰時に衝撃を与える「粒子の衝突」である。

(2)　閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」及び降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）」である。

(3)　摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物を含む海水が流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」及び降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗）」である。

(4)　腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」，換気系，電気系及び計装制御系において降下火砕物を含む空気の流路等を腐食させる「換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）」及び海水に溶出した腐食性成分により海水管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

(5)　大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は，降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化並びに降下火砕物の除去及び屋外設備の点検等の屋外における作業環境を劣化させる「発電所周辺の大気汚染」である。

(6)　水質汚染

「水質汚染」については，給水等に使用する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が，発電所では給水処理設備により水

処理した給水を使用しており，降下火砕物の影響を受けた工業用水を直接給水として使用しないこと，また水質管理を行っていることから，安全施設の安全機能には影響しない。（参考資料－７）

(7)　絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は，湿った降下火砕物が，電気系及び計装制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる「盤の絶縁低下」である。

3.4.3　間接的影響

降下火砕物によって発電所に間接的な影響を及ぼす因子は，湿った降下火砕物が送電線の碍子，特高開閉所の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」，及び降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」である。

3.5　設計荷重の設定

設計荷重は，以下のとおり設定する。

(1)　評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設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であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

(2)　設計基準事故時荷重

評価対象施設は，降下火砕物によって安全機能を損なわない設計とするため，設計基準事故とは独立事象である。

なお,評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ得る設備としては,屋外設備の動的機器である海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル

発電機海水系）が考えられるが，設計基準事故時において海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）に有意な機械的荷重は発生しないことから,設計基準事故時に生じる荷重の組み合わせは考慮しない。

(3)　その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組み合わせ

降下火砕物と組み合わせを考慮すべき自然現象は，荷重の影響において風及び積雪であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

（参考資料－４）

3.6　降下火砕物の直接的影響に対する設計方針

直接的影響については，評価対象施設の構造や設置状況等（形状，機能，外気吸入や海水通水の有無等）を考慮し，想定される各影響因子に対して，影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。

（資料－２）

3.6.1　降下火砕物による荷重に対する設計方針

(1)　構造物への静的負荷

評価対象施設のうち，降下火砕物が堆積する建屋及び屋外施設は，以下である。

ａ．屋外に設置されている施設

原子炉建屋，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管），中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフベントファン

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

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

当該施設の許容荷重が，降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより，構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。若しくは，降下火砕物が堆積しにくい，又は直接堆積しない構造とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

設計対象施設の建屋においては，建築基準法における一般地域の積雪の荷重の考え方に準拠し，降下火砕物の除去を適切に行うことから，降下火砕物の荷重を短期に生じる荷重とし，建築基準法における材料強度による許容値を許容限界とする。

また，建屋を除く評価対象施設においては，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)」に準拠する。

（資料－４～６，９，１０）

(2)　粒子の衝突

評価対象施設のうち，粒子の衝突を考慮すべき建屋及び屋外施設は，降下火砕物の衝突によって構造健全性が失われないことにより，安全機能を損なわない設計とする。

なお，粒子の衝突による影響については，竜巻の影響について評価している設計飛来物に包絡される。

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），電気系及び計装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」に示す。

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，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．屋外に設置されている施設

原子炉建屋，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機，中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフベントファン，排気筒，非常用ガス処理系排気配管

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

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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設備（海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備含む），ディーゼル発電機海水系設備（海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備含む），海水取水設備

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) 電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，電気系及び計装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，電気系及び計装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

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）

機械的影響（閉塞）については，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）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，電気系及び計装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

計装制御設備（安全保護系）

当該機器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再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，計装制御設備（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

ディーゼル発電機機関，ディーゼル発電機（吸気口），換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気配管

各施設の構造上の対応として，ディーゼル発電機（吸気口）の外気取入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。

排気筒は，降下火砕物が侵入した場合でも，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配管は，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）及びディーゼル発電機（吸気口）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

ディーゼル発電機機関

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，ディーゼル発電機（吸気口）の開口部を下向きと

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構造とする。

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，摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

外気を取り入れるディーゼル発電機（吸気口）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

ディーゼル発電機機関，中央制御室換気空調系，ディーゼル発電機室換気系，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。

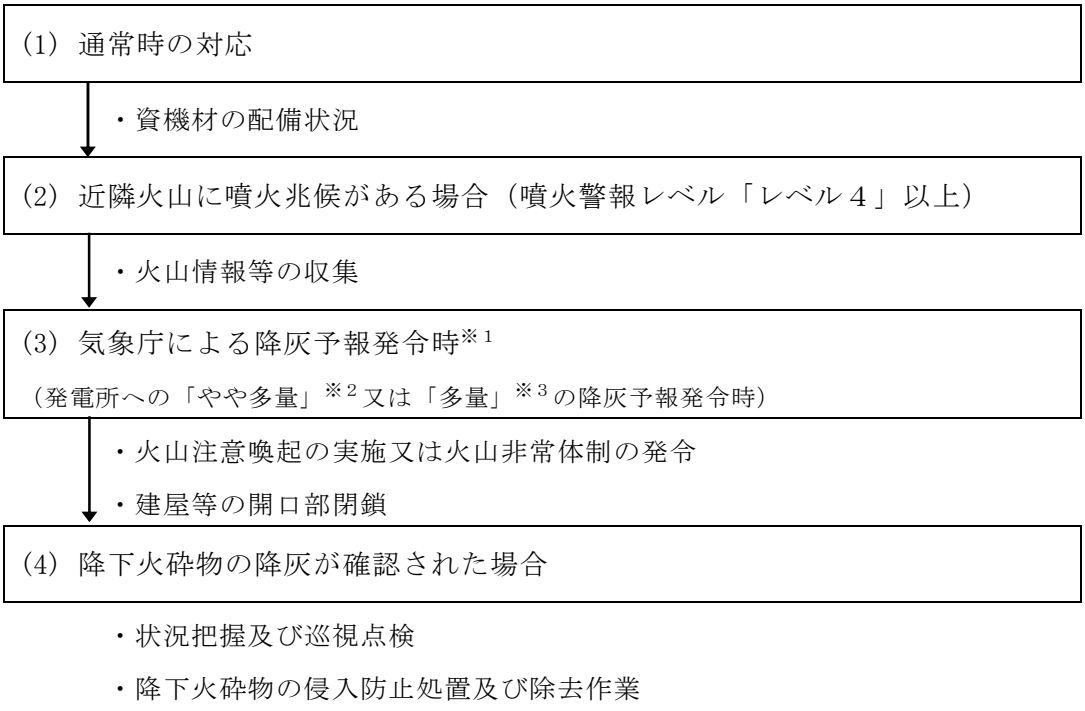
また，中央制御室空調装置については，外気取入ダンパの閉止及び再循環運転を可能とすることにより，中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること，さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保するため，酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより，安全機能を損なわない設計とする。

（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。



※１　降灰予報の情報に係らず，発電所に影響を及ぼす降灰が認められた場合は，状況に応じた対応を行う。

※２　降灰時の厚さ 0.1mm 以上 1.0mm 未満

※３　降灰時の厚さ 1.0mm 以上

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（注意），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発電所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再循環運転により，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。

(4)　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（2 基）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：800kL 以上）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。

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が，東海第二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，電気系及び計装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，電気系及び計装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

電気系及び計装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。

なお，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。

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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外設備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，電気系及び計装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	電気及び計装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	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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	⑥換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的影響	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
・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	○	○ （ポンプ）	○ （ポンプ）	○ （モータ）	○ （モータ）	－ ※4	○ （ポンプ．モータ）	－ ※5
・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	○	○ （下流設備含む）	○ （下流設備含む）	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○ （下流設備含む）	－ ※5
・海水取水設備	－ ※1	○	○	－ ※3	－ ※3	－ ※4	○	－ ※5
・計装制御設備（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，電気系及び計装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		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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	⑥換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的影響	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
・ディーゼル発電機	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
・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管		－ ※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，電気系及び計装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　評価対象施設の評価結果（1／2）

評価対象施設	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
・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	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
・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	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	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　評価対象施設の評価結果（2／2）

評価対象施設	確認結果	確認結果	詳細評価
・計装制御設備（安全保護系）	⑧⑩計装制御設備（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装制御設備（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	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
・ディーゼル発電機	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，吸気口は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
・排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）	⑤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配管については，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）

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

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）

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

③ 固定荷重

a．原子炉建屋：5,364N／m^2

b．タービン建屋：4,669N／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「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 規準」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 規準」の短期許容応力度で評価

c．評価方法

(a)　屋根スラブ

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会)」(以下RC規準という。）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

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法（日本建学会)」(S規準という。）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)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	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／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	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)	(圧縮)	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 (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／mm^2)	検定比
EL 40.65	17.69	0.381	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	0.70
束材 (2Ls-200×200×15)	(圧縮)	184.7	184.7	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	152.0	0.94
	(曲げ)	162.1	241.0	

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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装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

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）に係る影響評価

降下火砕物による海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）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

・ディーゼル発電機海水系（非常用，高圧炉心スプレイ系）

(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モータ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，電気系及び計装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，電気系及び計装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

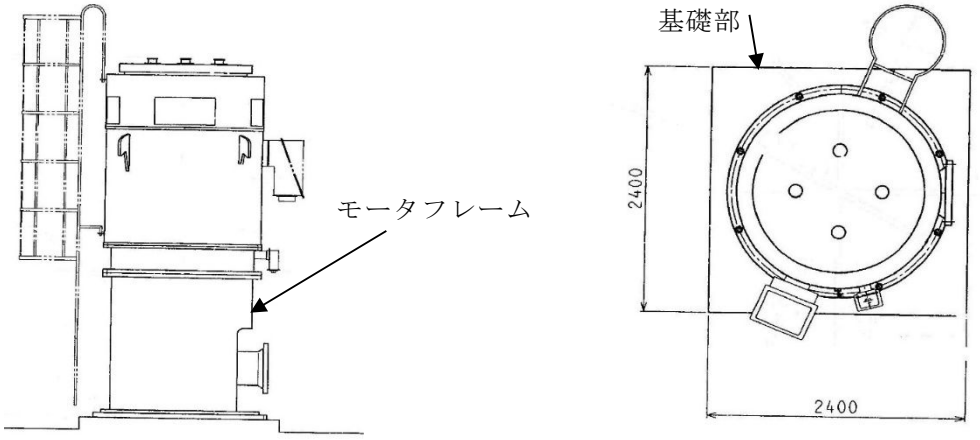
①　構造物への静的負荷

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モータフレームとし，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

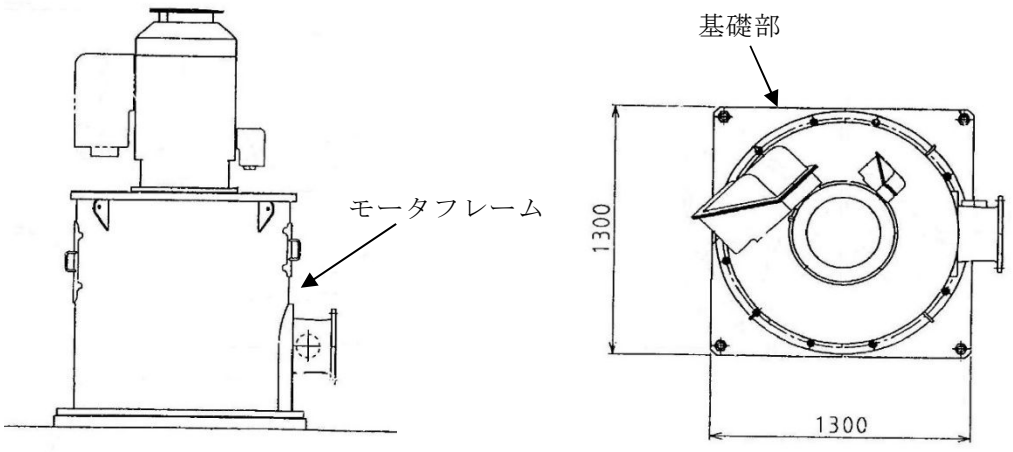
しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから，評価応力は圧縮応力のみとする。（第１表，第１図，第２図）

第１表　海水ポンプモータの評価条件

項目	評価条件	
	残留熱除去系海水系	ディーゼル発電機海水系
モータ荷重	13，700kg	630kg
ポンプロータ荷重	1，500kg	600kg
モータフレーム外径Ｄ	1，680mm	1，100mm
モータフレーム内径ｄ	1，648mm	1，076mm



第1図　残留熱除去系海水系海水ポンプ　評価部位概要図



第２図　ディーゼル発電機海水系海水ポンプ　評価部位概要図

【残留熱除去系海水系】

ａ．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

モータ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = 2.4 \times 2.4 = 5.76(m^2)$$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 5.76 = 4.24 \times 10^4(N)$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 5.76 = 1.21 \times 10^3(N)$$

ｂ．モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重} F_3 = (13{,}700 + 1{,}500) \times 9.80665 = 1.49 \times 10^5(N)$$

ｃ．フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積 S は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1{,}680^2 - 1{,}648^2) = 8.36 \times 10^{-2}(m^2)$$

D：フレーム外径（㎜）

d：フレーム内径（㎜）

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{4.24 \times 10^4 + 1.21 \times 10^3 + 1.49 \times 10^5}{8.36 \times 10^{-2}} = 2.31MPa$$

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，

$\sigma_c = 229\text{MPa}$

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，残留熱除去系海水系海水ポンプの健全性を損なうことはない。

【ディーゼル発電機海水系】

ａ．降下火砕物と積雪による鉛直荷重

モータ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = 1.3 \times 1.3 = 1.69(\text{m}^2)$$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 1.69 = 12.43 \times 10^3(\text{N})$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.69 = 3.55 \times 10^2(\text{N})$$

ｂ．モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重} F_3 = (630 + 600) \times 9.80665 = 1.21 \times 10^4(\text{N})$$

ｃ．フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積 S は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1{,}100^2 - 1{,}076^2) = 4.10 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

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。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{12.43 \times 10^3 + 3.55 \times 10^2 + 1.21 \times 10^4}{4.10 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.61\text{MPa}$$

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$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の許容応力より，

$$\sigma_c = 240\mathrm{MPa}$$

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海水系海水ポンプの健全性を損なうことはない。

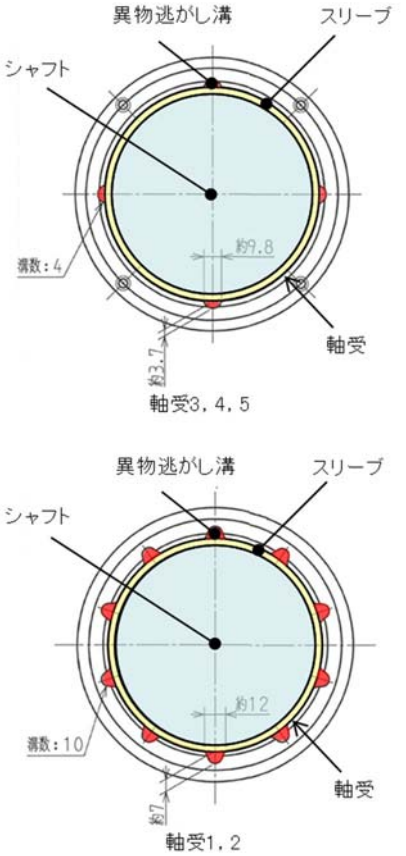
② 水循環系の閉塞

a．流水部の閉塞

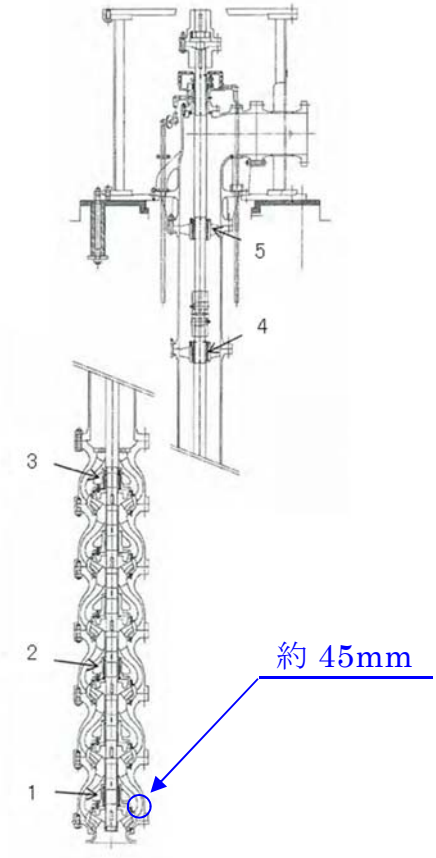
海水ポンプ流水部の最も狭い箇所は，ディーゼル発電機海水系海水ポンプ流水部の約24mmであり，想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，閉塞には至らない。

b．軸受部への影響

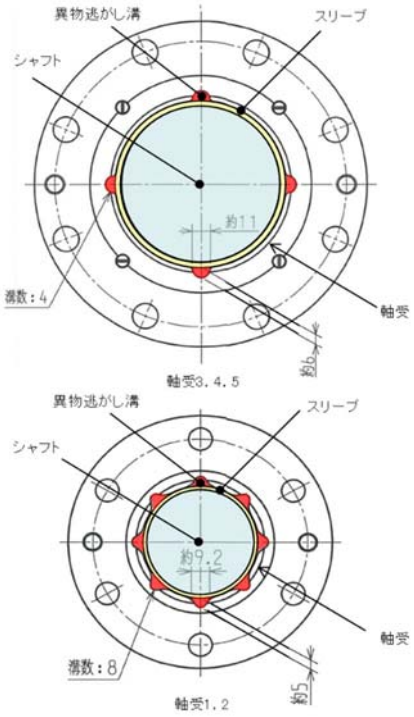
海水ポンプの軸受の隙間は，約1.0mmの許容値で管理されている。一部の降下火砕物は，軸受けの隙間より，軸受け内部に侵入する可能性があるが，異物逃がし溝（最小約3.7mm）が設けられており，軸受部の閉塞には至らない。また，異物逃がし溝より粒径の大きい降下火砕物は軸受隙間に入り込まずにポンプ揚水とともに吐出口へ流されるため閉塞することはない。



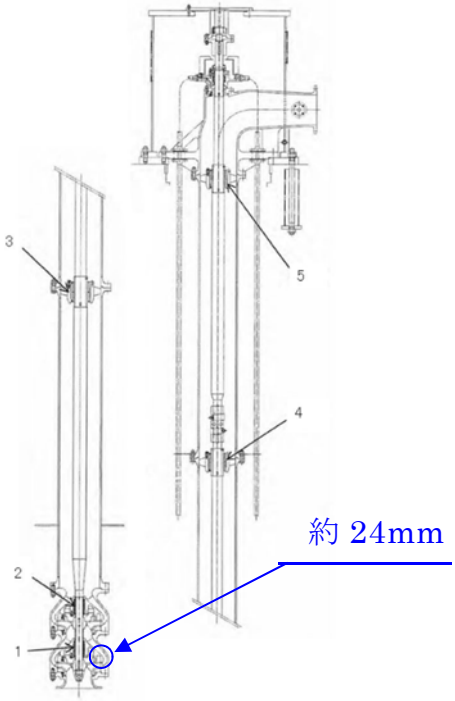
第 3 図　残留熱除去系海水系
海水ポンプ軸受部



第 4 図　残留熱除去系海水系
海水ポンプ断面図



第 5 図　ディーゼル発電機海水系
海水ポンプ軸受部



第 6 図　ディーゼル発電機海水系
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，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

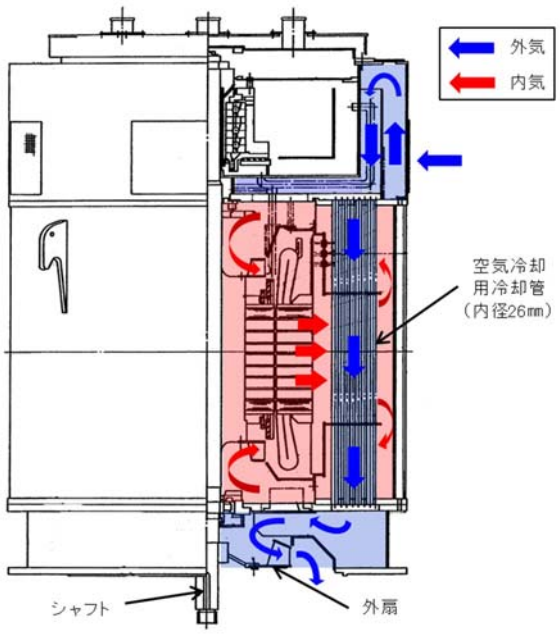
【残留熱除去系海水系】

ａ．電動機への冷却空気侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは第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26㎜）は想定する降下火砕物の粒径（8㎜）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海水ポンプ電動機の冷却方式

【ディーゼル発電機海水系】

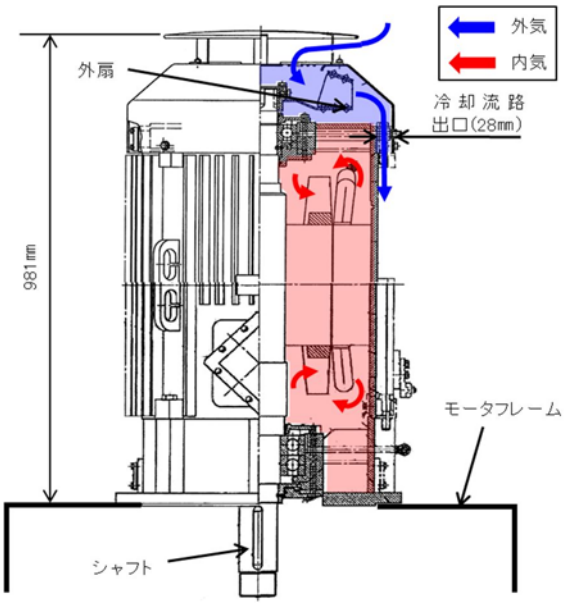
ａ．電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは第 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 28㎜）は想定する降下火砕物の粒径（8㎜）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　ディーゼル発電機海水系海水ポンプ電動機の冷却方式

⑤　化学的腐食（換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響を含む）

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）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

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（下流設備含む）に係る影響評価

降下火砕物による海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（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

・ディーゼル発電機海水系（非常用，高圧炉心スプレイ系）

(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

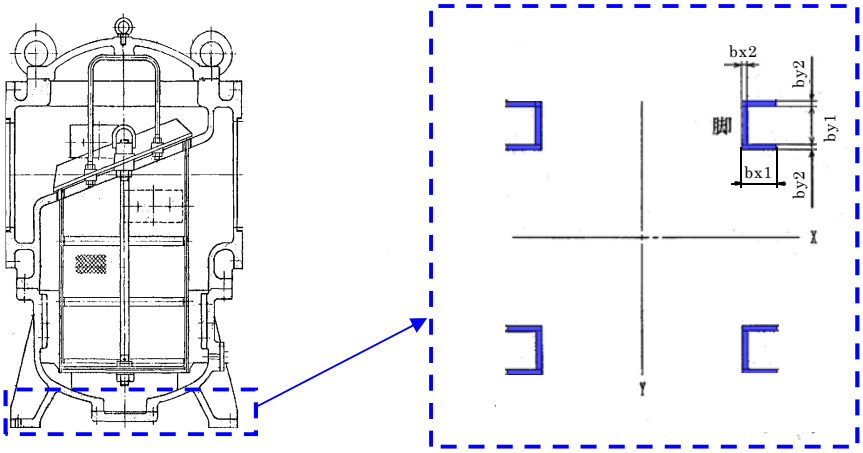
(3)　評価結果

①　構造物への静的負荷

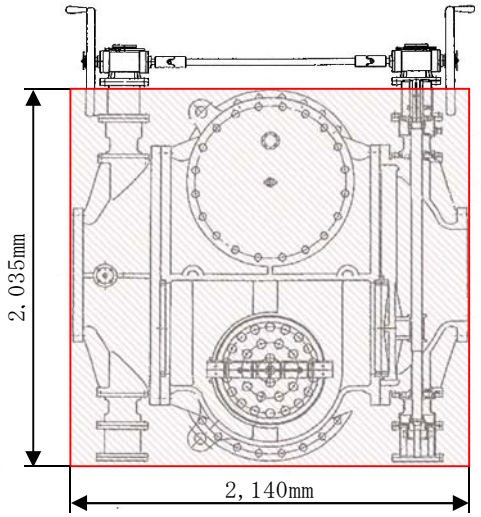
降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は，荷重の影響を受けやすい支持脚とし，堆積面積は保守的に基礎部面積とする。なお，海水ストレーナ上部には降下火砕物が一様に堆積し，荷重の偏りは発生しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから，評価応力は圧縮応力のみとする。（第 1 表，第 1 図～第 3 図）

第１表　海水ストレーナの評価条件

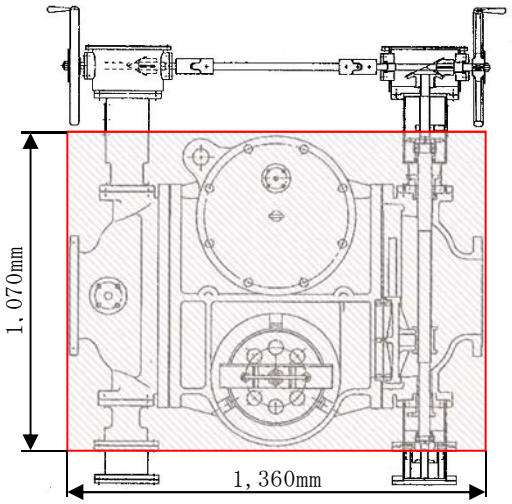
項目	評価条件			
	残留熱除去系海水系		ディーゼル発電機海水系	
機器重量（運転質量）	9，850kg		2，030kg	
支持脚寸法	bx1	150mm	bx1	100mm
	bx2	25mm	bx2	15mm
	by1	174mm	by1	95mm
	by2	25mm	by2	15mm



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）



第 3 図　海水ストレーナ堆積部分（ディーゼル発電機海水系）

【残留熱除去系海水系】

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。

$$A = 2.140 \times 2.035 = 4.35(m^2)$$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 4.35 = 3.20 \times 10^4(N)$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 4.35 = 9.14 \times 10^2(N)$$

b．機器重量による鉛直荷重

機器重量荷重$F_3 = 9{,}850 \times 9.80665 = 9.66 \times 10^4(N)$

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。

$$S = (150 \times 25 \times 2 + 25 \times 174) \times 4 = 4.74 \times 10^{-2}(m^2)$$

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{3.20 \times 10^4 + 9.14 \times 10^2 + 9.66 \times 10^4}{4.74 \times 10^{-2}} = 2.74(MPa)$$

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 $Ⅲ_AS$ の許容応力より，

$$\sigma_c = 184\text{MPa}$$

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系ストレーナの健全性を損なうことはない。

【ディーゼル発電機海水系】

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。

$$A = 1.360 \times 1.070 = 1.46(\text{m}^2)$$

よって，降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7{,}355 \times 1.46 = 10.74 \times 10^3(\text{N})$$

同様に，積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.46 = 3.07 \times 10^2(\text{N})$$

ｂ．機器重量による鉛直荷重

機器重量荷重 $F_3 = 2{,}030 \times 9.80665 = 1.99 \times 10^4(\text{N})$

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。

$$S = (100 \times 15 \times 2 + 15 \times 95) \times 4 = 1.77 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって，圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{10.74 \times 10^3 + 3.07 \times 10^2 + 1.99 \times 10^4}{1.77 \times 10^{-2}} = 1.75(\text{MPa})$$

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，

$$\sigma_c = 184\mathrm{MPa}$$

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ディーゼル発電機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

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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。

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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）
ディーゼル発電機用冷却器 （非常用，高圧炉心スプレイ系）	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，海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装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

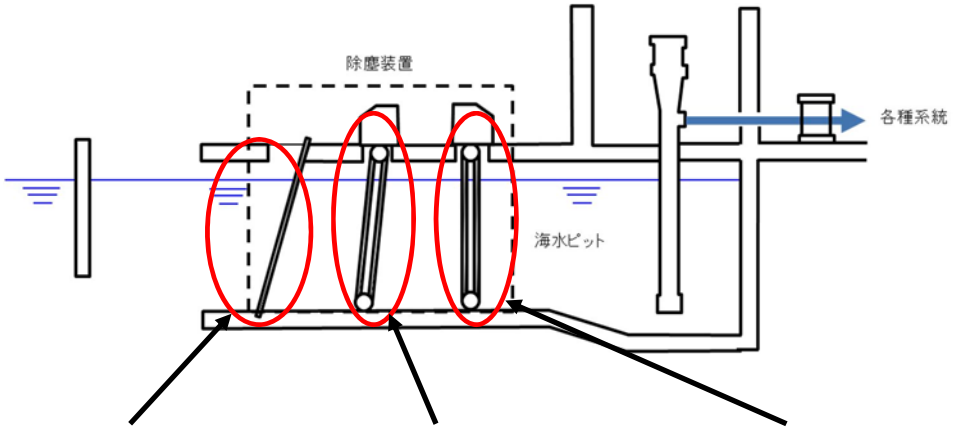
(3)　評価結果

①　水循環系の閉塞

第 1 図に示すとおり，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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く，また，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。



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

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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装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

計装制御設備（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装制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する計装制御設備（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装制御設備（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装制御設備（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

計装制御設備（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装制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

計装制御設備（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再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，計装制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。

② 絶縁低下

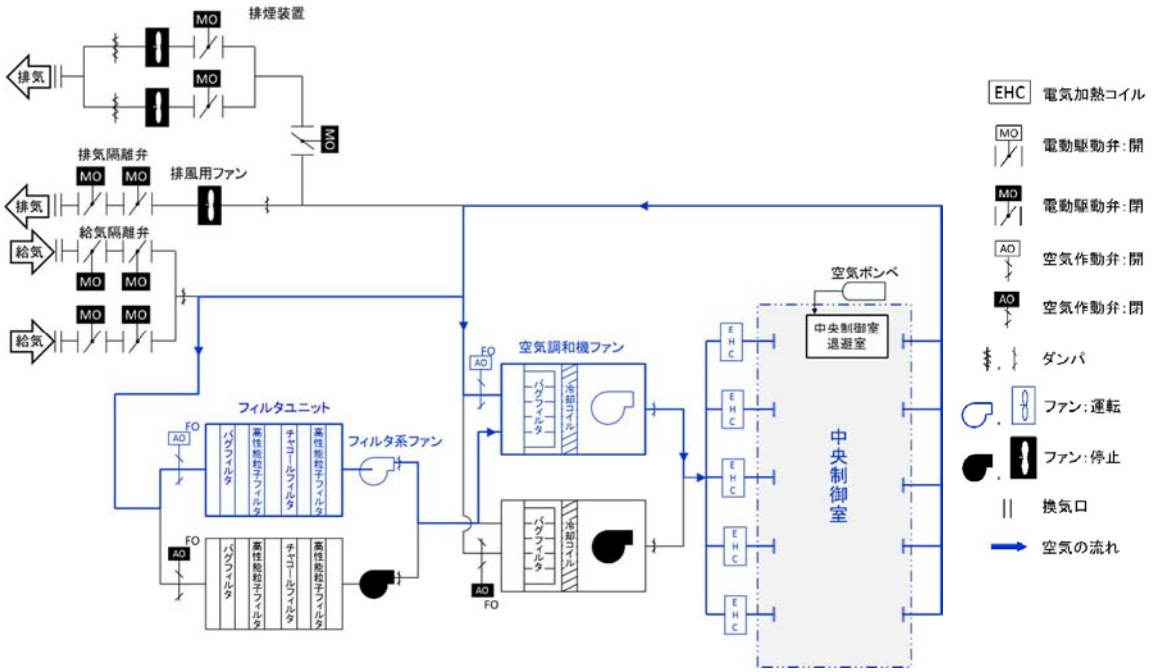
計装制御設備（安全保護系）については，その発熱量に応じて盤内に換気ファンを設置している場合があるため，換気に伴い降下火砕物が計装制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

計装制御設備（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。

微細な粒子が計装制御設備（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再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，計装制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。



第 1 図　中央制御室換気空調設備（再循環運転）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

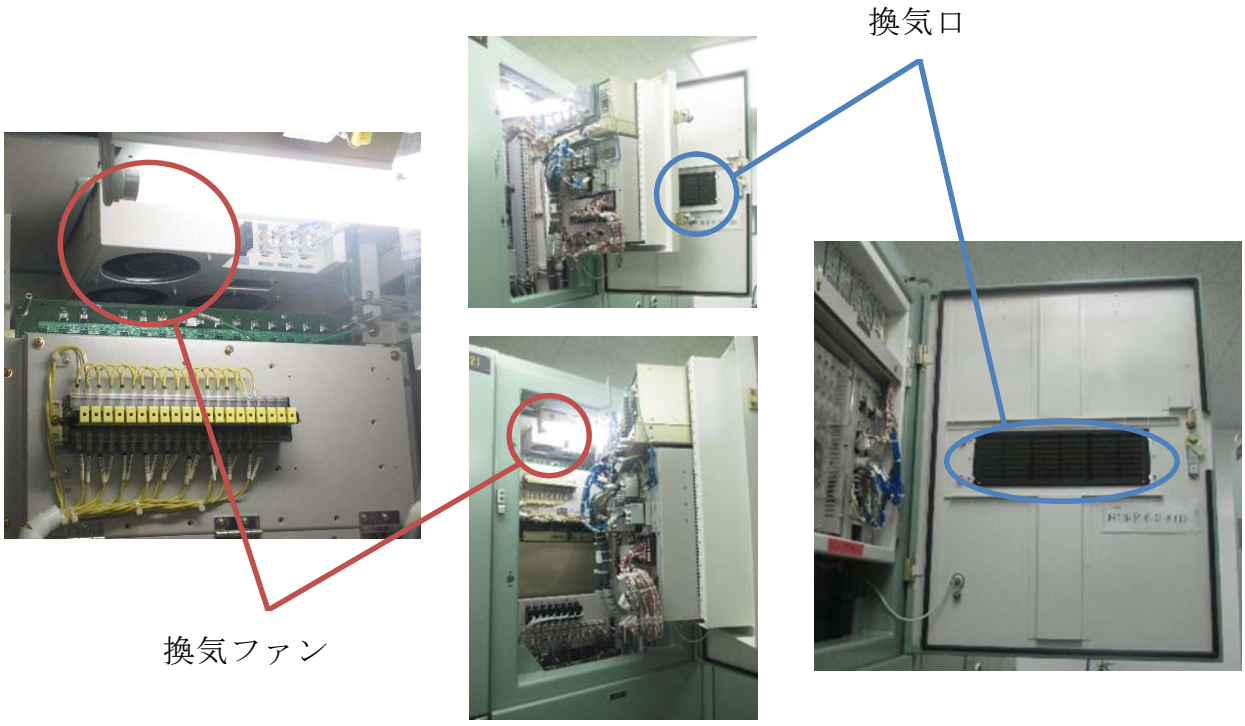
直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	屋内設置設備であり，静的負荷の影響を直接受けない
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

電気系及び計装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

電気系及び計装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）

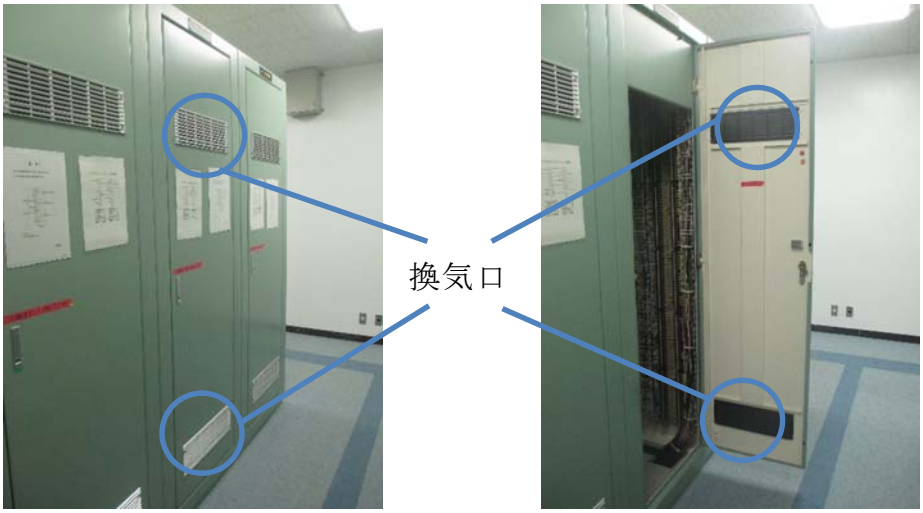


第１図　安全保護系ロジック盤

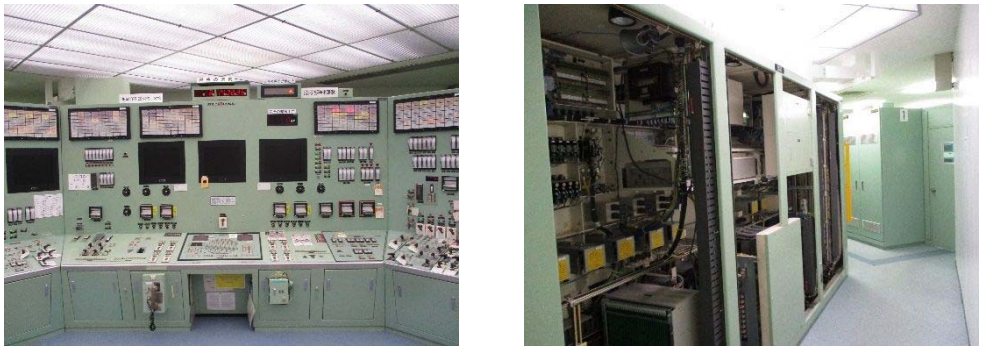
○外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有しない盤

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）

・ディーゼル発電機室換気系（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ディーゼル発電機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，電気系及び計装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，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（化学的腐食含む）

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）

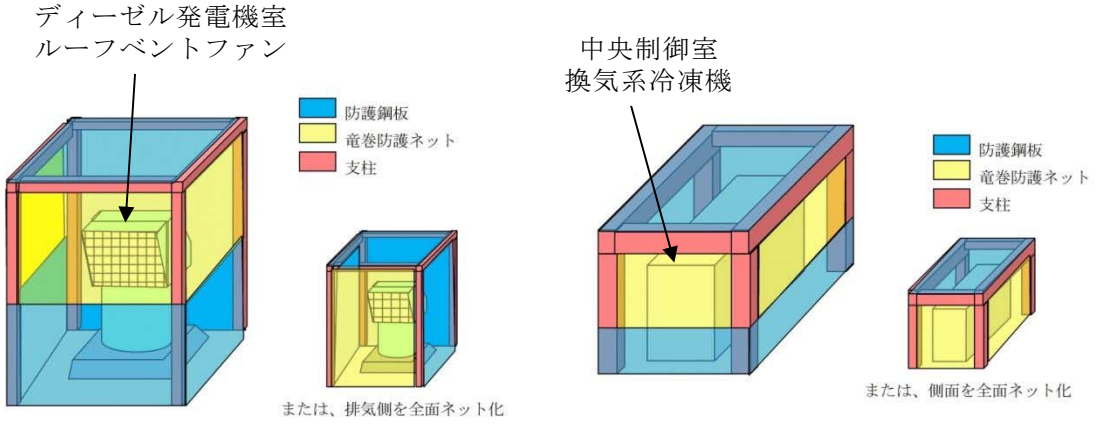
ｂ．単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N／m^2（建築基準法より）

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ディーゼル発電機室ルーフベントファンについては，第１図のように全体を防護する構造物を設置し，降下火砕物が直接堆積しない設計とする。また，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，電気系及び計装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。

ディーゼル発電機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。

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。

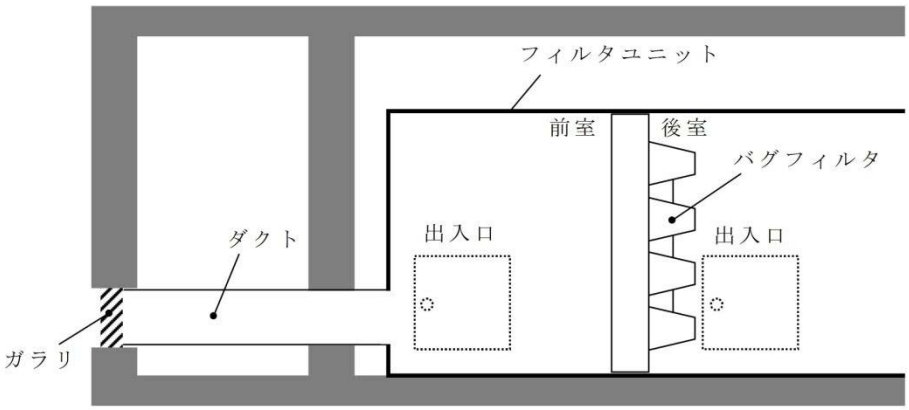
その他の換気空調設備（外気取入口）には，バグフィルタが設置されており，必要に応じて清掃及び取り替えることが可能な設計とする。

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。

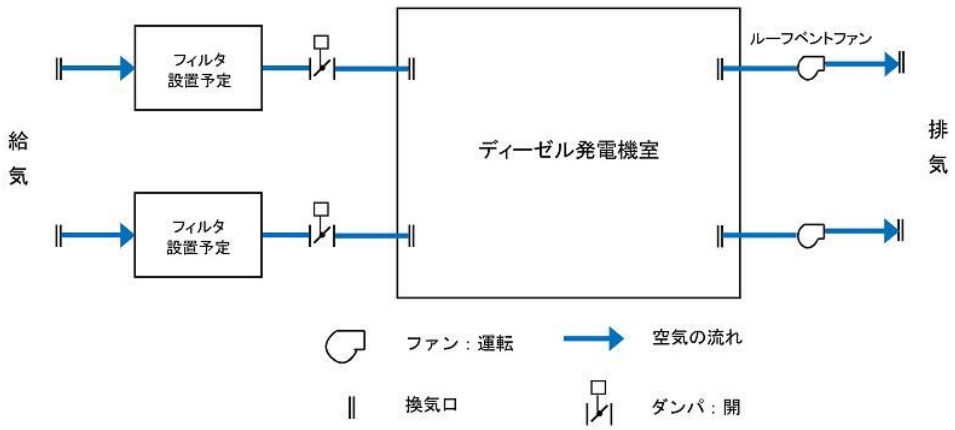
使用済燃料乾式貯蔵建屋の給気口については，給気口の直近にある平面部から 50cm 以上を確保していることから，周囲に降下火砕物が堆積したとしても，閉塞に至ることは無い。

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　外気取入口（中央制御室換気空調系）



第 3 図　換気空調設備（外気取入口）イメージ図



第 4 図　ディーゼル発電機室換気系　概要図

③　換気系，電気系及び計装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ディーゼル発電機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。これにより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，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，再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。

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　中央制御室再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。

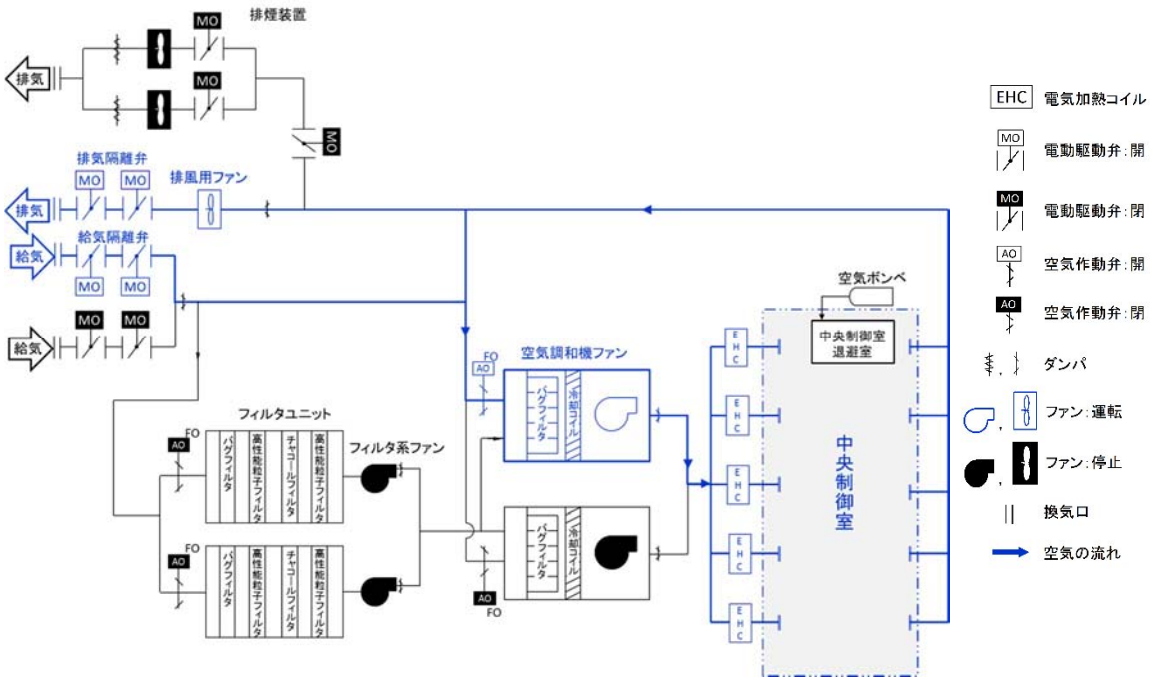
・管理濃度は 1.0%未満とする。（鉱山保安法施行規則）

【評価結果】

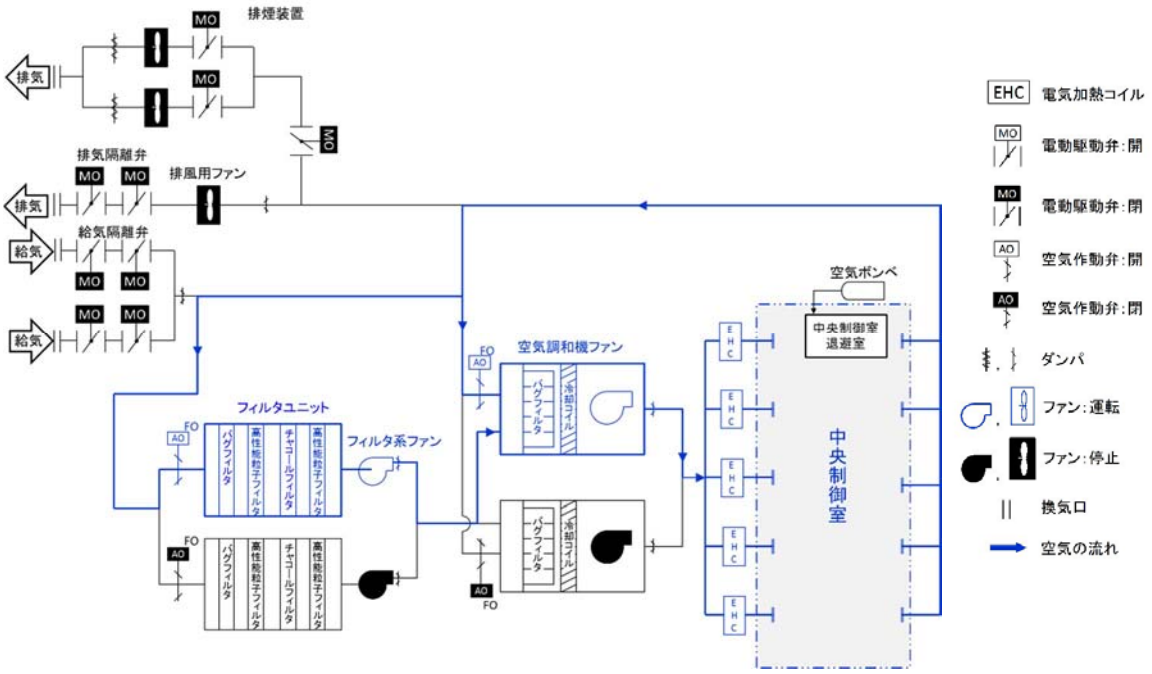
上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は，第 2 表のとおりであり，約 51.7 時間外気取入を遮断したままでも，中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

第 2 表　中央制御室再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（再循環運転）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，電気系及び計装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

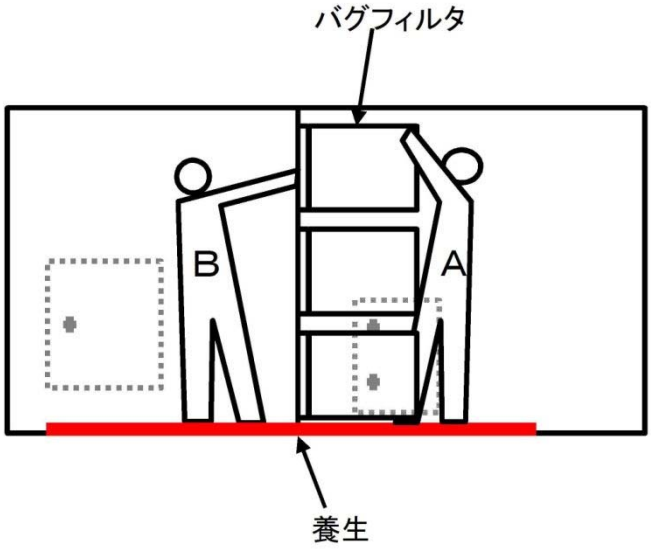
バグフィルタの取替手順について

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。

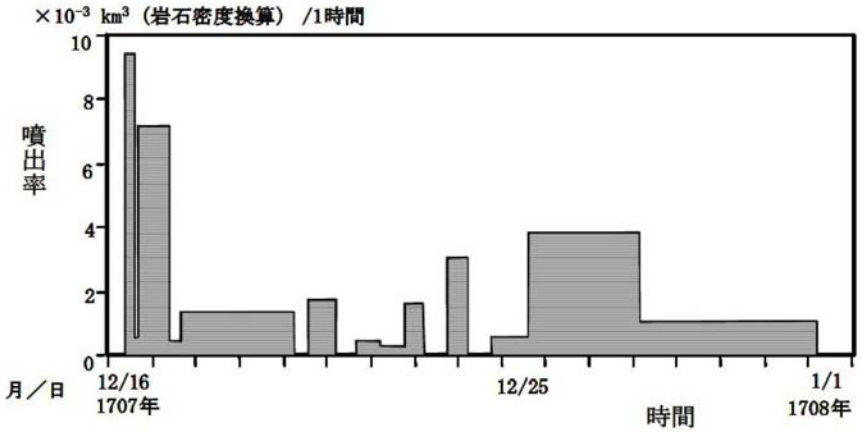


第1図　バグフィルタ取替作業イメージ

添付資料－２

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

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，電気系及び計装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，電気系及び計装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－１０

ディーゼル発電機に係る影響評価

降下火砕物によるディーゼル発電機への影響について，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，電気系及び計装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，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

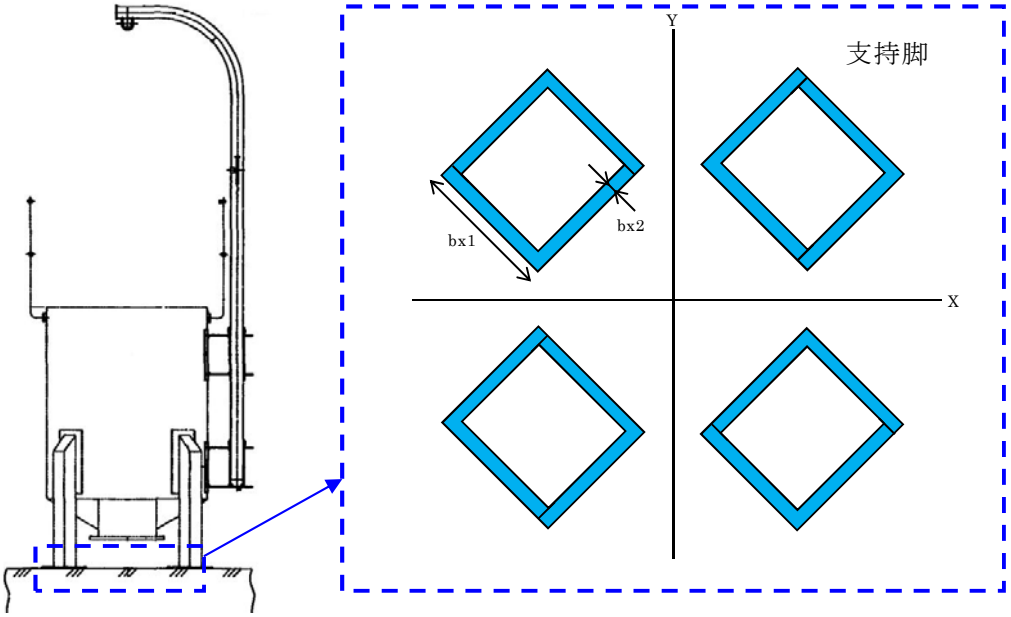
① 構造物への静的負荷

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。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{1.38 \times 10^4 + 3.93 \times 10^2 + 7.85 \times 10^3}{3.42 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.65(\mathrm{MPa})$$

(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 $\mathrm{III}_A\mathrm{S}$ 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，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。

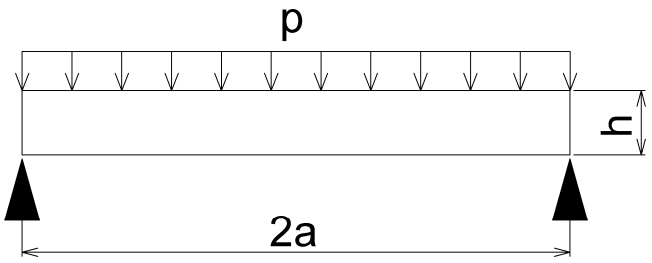
(a) 等分布荷重による評価

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

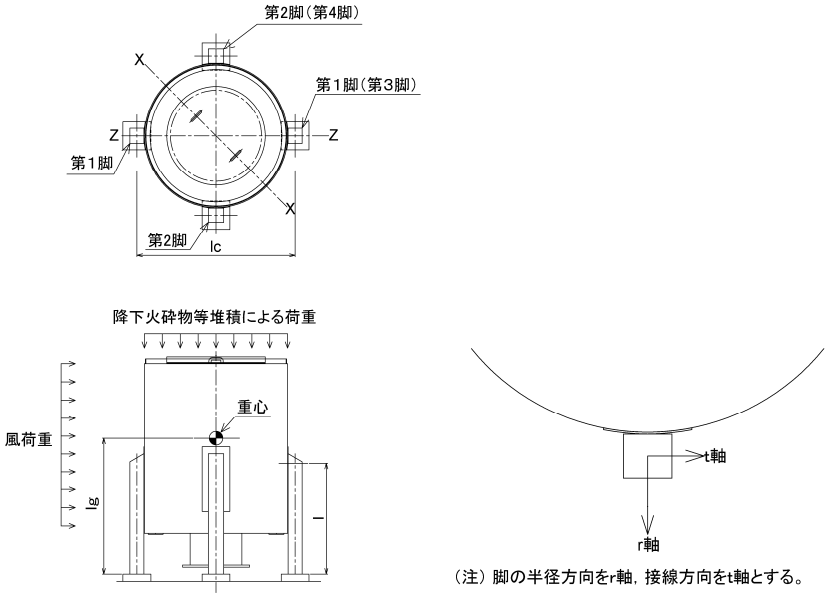
平板は円形であるため，等分布荷重は作用する周辺支持円盤として評価する。平板モデル図を第 2 図に示す。



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$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$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$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$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	1.13	○
胴板	一次一般膜	236	1.31	○
	一次	354	3.37	○
	一次＋二次	482	8.11	○
支持脚	組合せ	241	3.86	○
	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，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

ａ．ディーゼル機関への影響評価

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，吸気口に附属する吸気フィルタ（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，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，また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 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。

② 化学的腐食

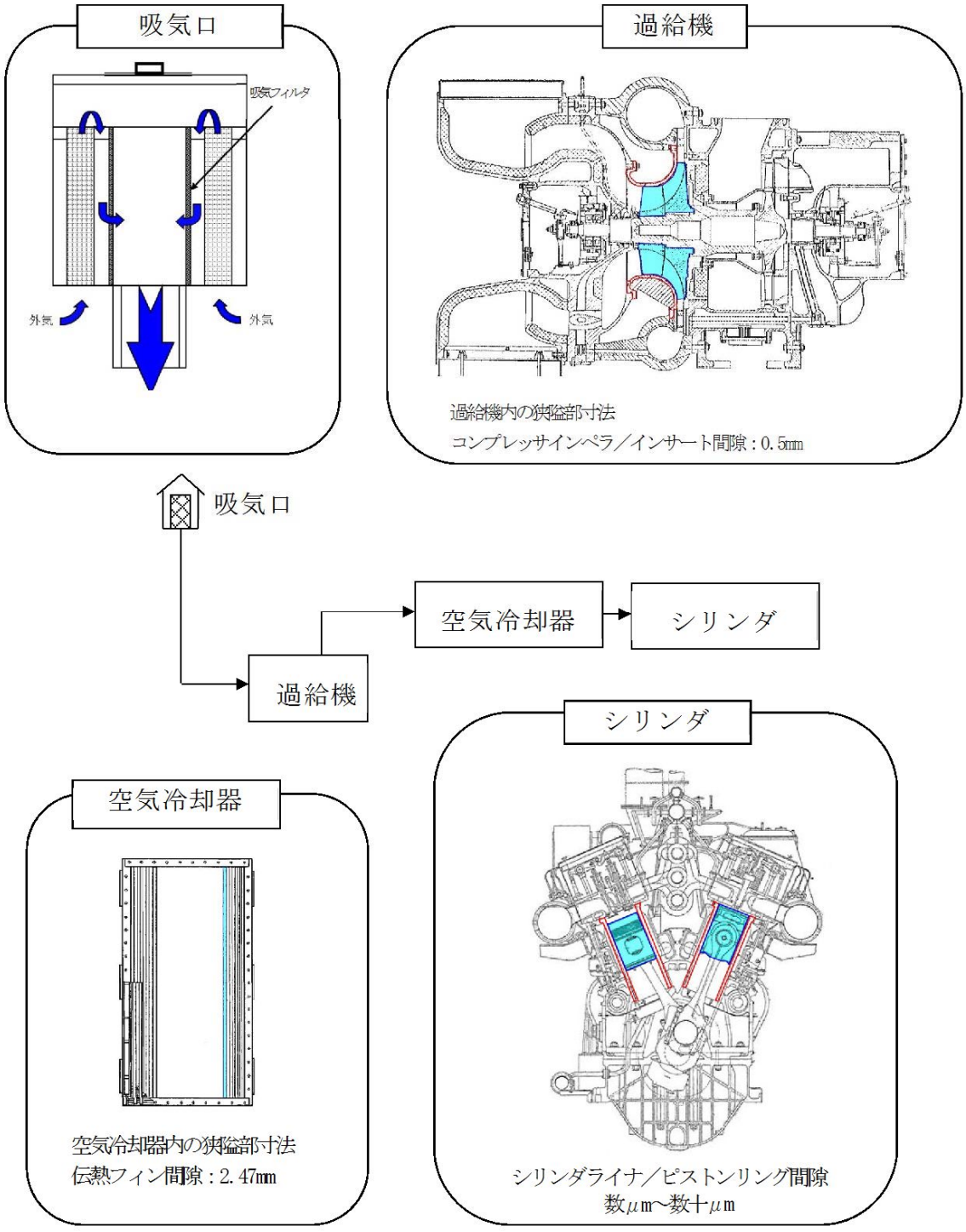
ディーゼル発電機吸気口，排気消音器及び排気管は，外装塗装を実施しており，降下火砕物と金属が直接接触することはなく，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。また，その内外面の腐食によりディーゼル発電機の機能に有意な影響を与えにくい構造である。

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。

③ 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フィルタは，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.　フィルタ取替に必要な時間について

フィルタ取替は下記に示すとおり，複雑な作業が必要はなく，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。

【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）

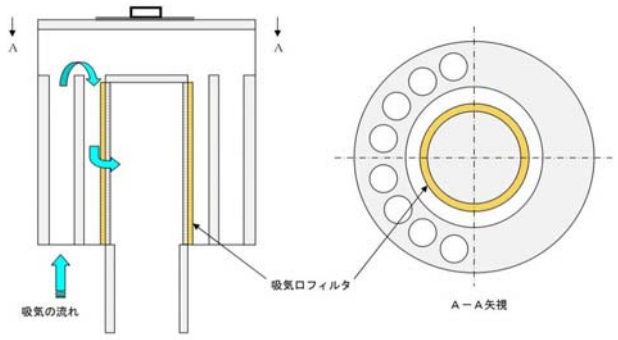
ｂ．フィルタケーシングの上蓋を開放する（約 10 分）

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）

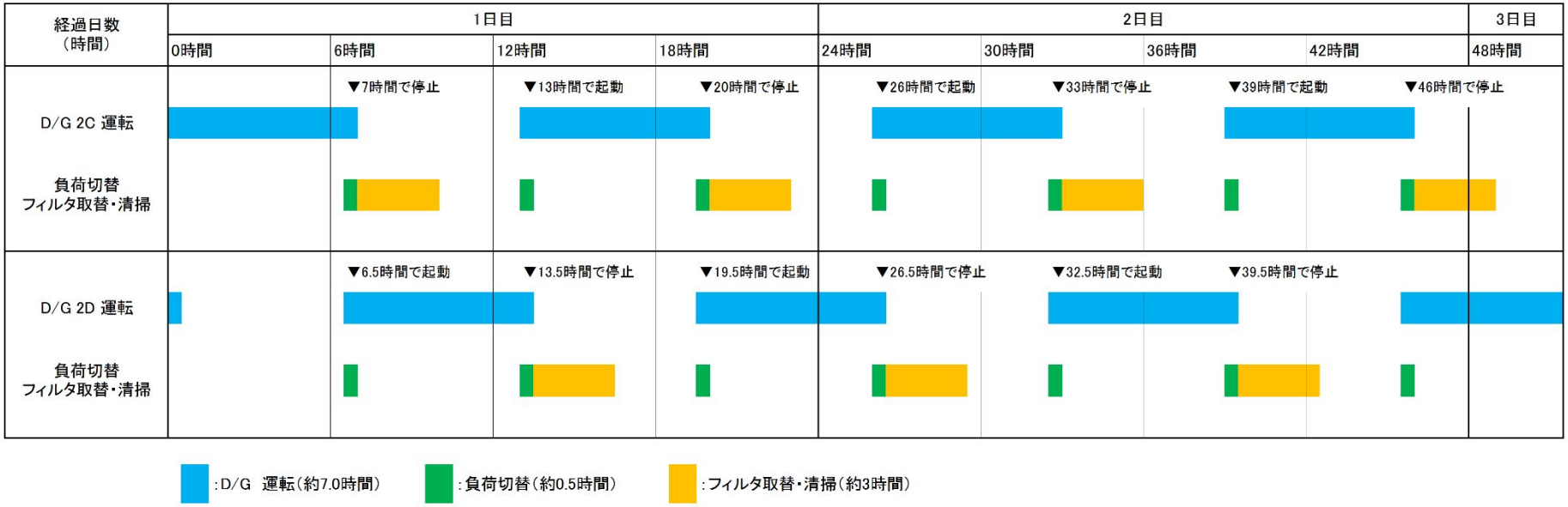
ｄ．待機側のＲＨＲ停止時冷却モード起動（約 3 分）

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，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　ディーゼル発電機吸気口フィルタ取替のタイムチャート

資料－１１

排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）に係る影響評価

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

(1)　評価項目及び内容

①　換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物の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,電気系及び計装制御系に対する化学的影響(化学的腐食含む)

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

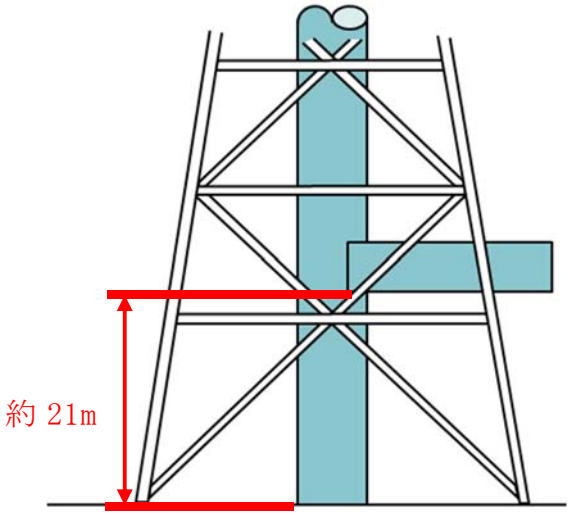
①　堆積量：50cm

(3)　評価結果

①　換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

ａ．排気筒

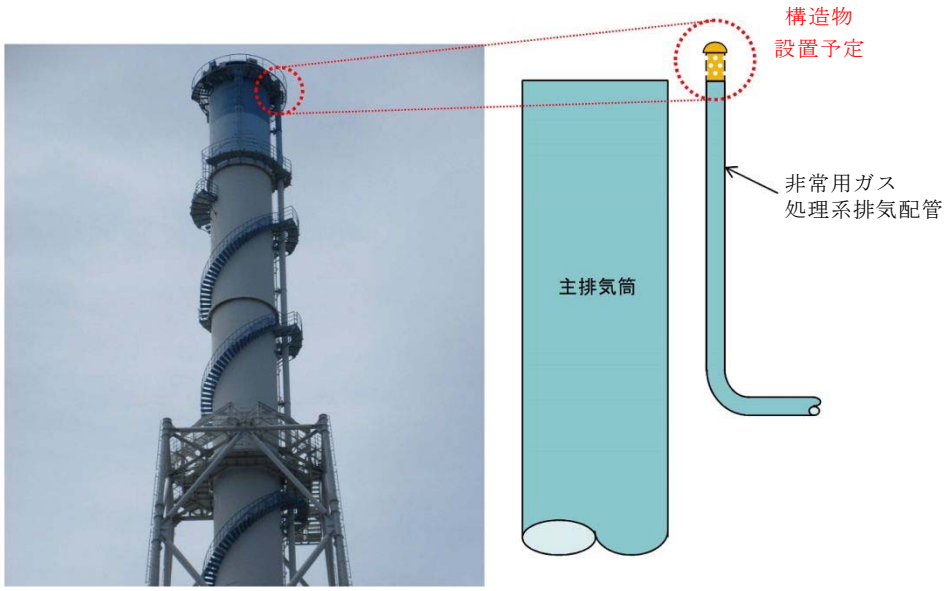
降下火砕物が排気筒に侵入した場合，第1図に示すとおり排気筒の底部から流路まで約21mあり，降下火砕物が50cm堆積した場合でも流路が閉塞することはなく，排気筒の機能を損なうことはない。



第 1 図　排気筒下部の構造

b．非常用ガス処理系排気配管

非常用ガス処理系排気配管は第 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配管　概略図

② 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（化学的腐食含む）

排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）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，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装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，ディーゼル発電機（2 基）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（手動逃がし機能）
(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」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※1	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	○		

※1　：　原子炉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※1	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）	○	○ (T/B)	
			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		○ (T/B)	
			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）	○		

※1：原子炉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。

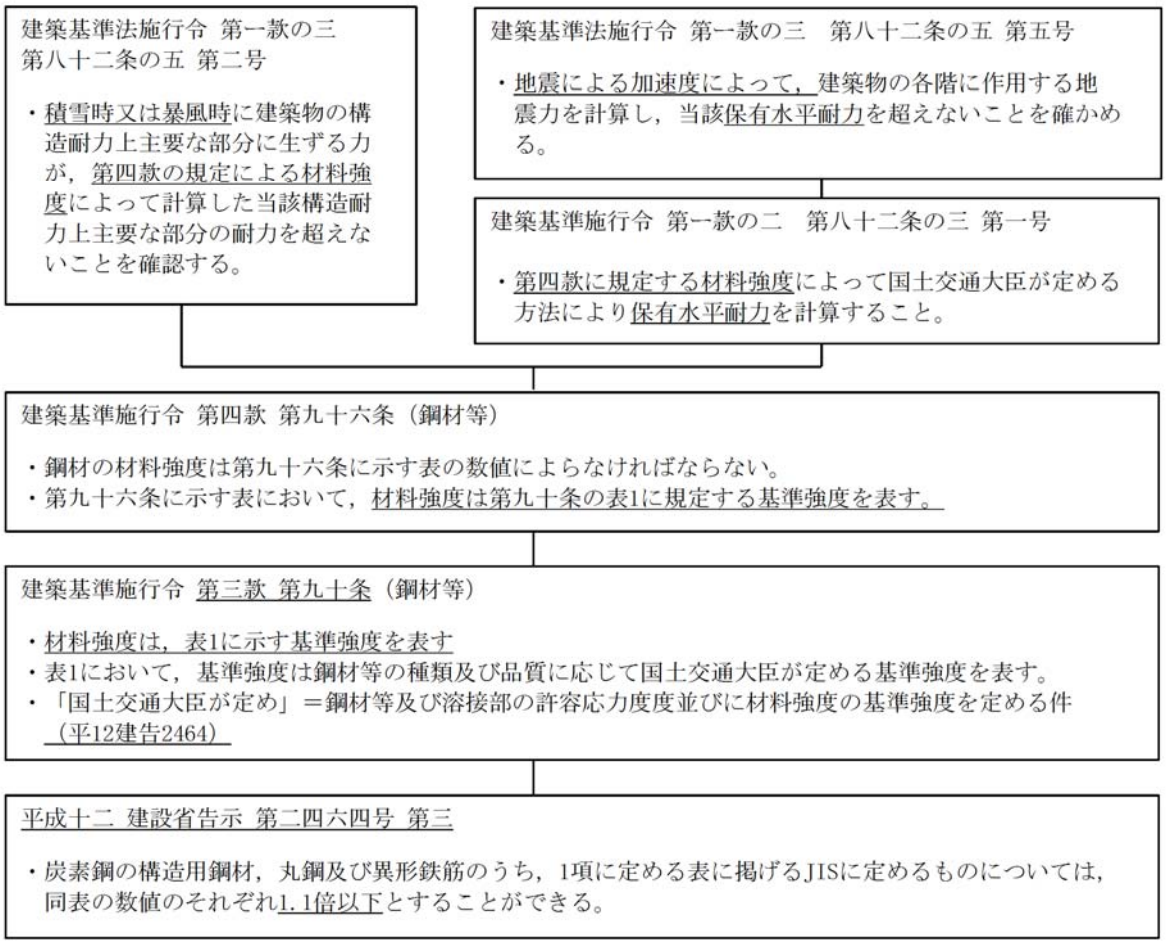
・発電所に 50cm の堆積をもたらすような火山事象も極めて稀な事象である。

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

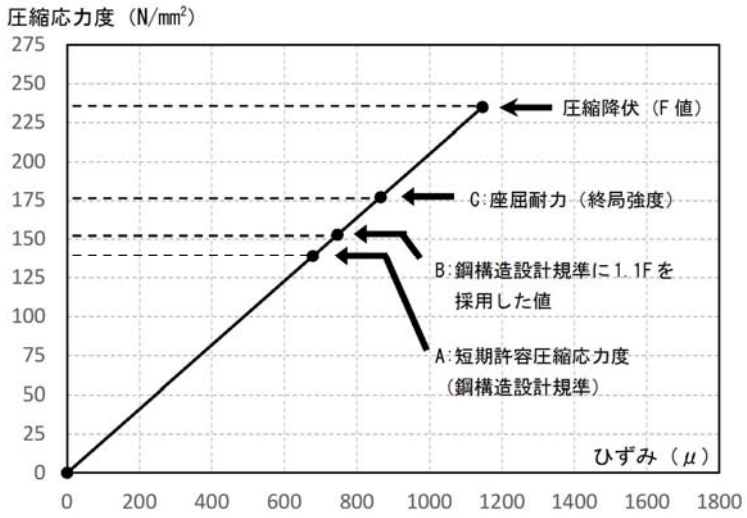
「建築物の構造関係技術基準解説書（建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会)」において，JIS 適合品は，材料強度の数値を 1.1 倍以下の数値をとることができることを平成 12 年建設省告示 2464 号の解説として記載している。

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，fc’を1.5倍とする。

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

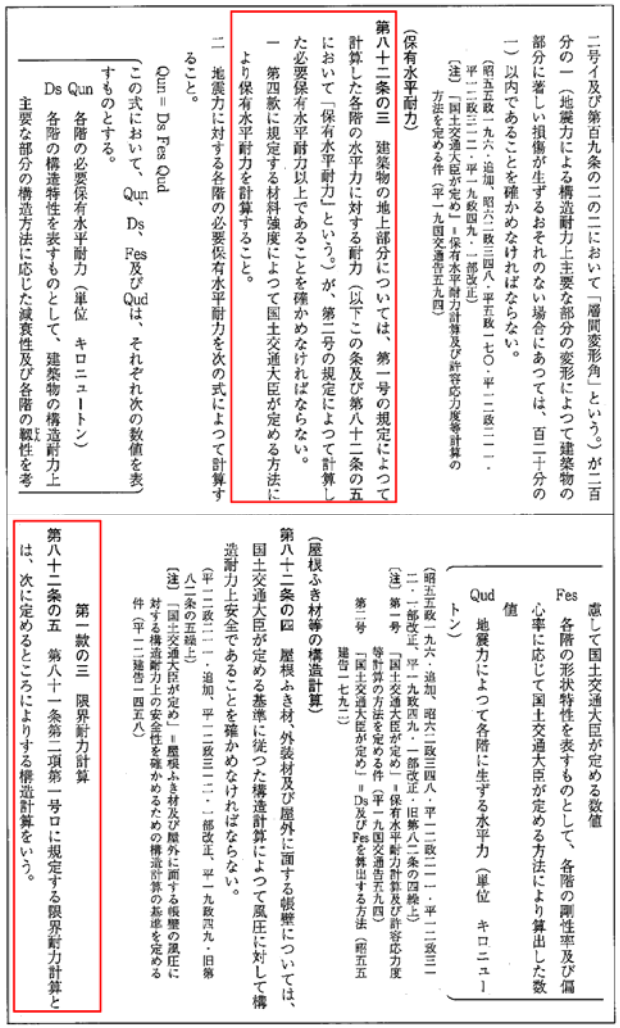
f_c' ：圧縮強度　　λ ：圧縮材の細長比

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。

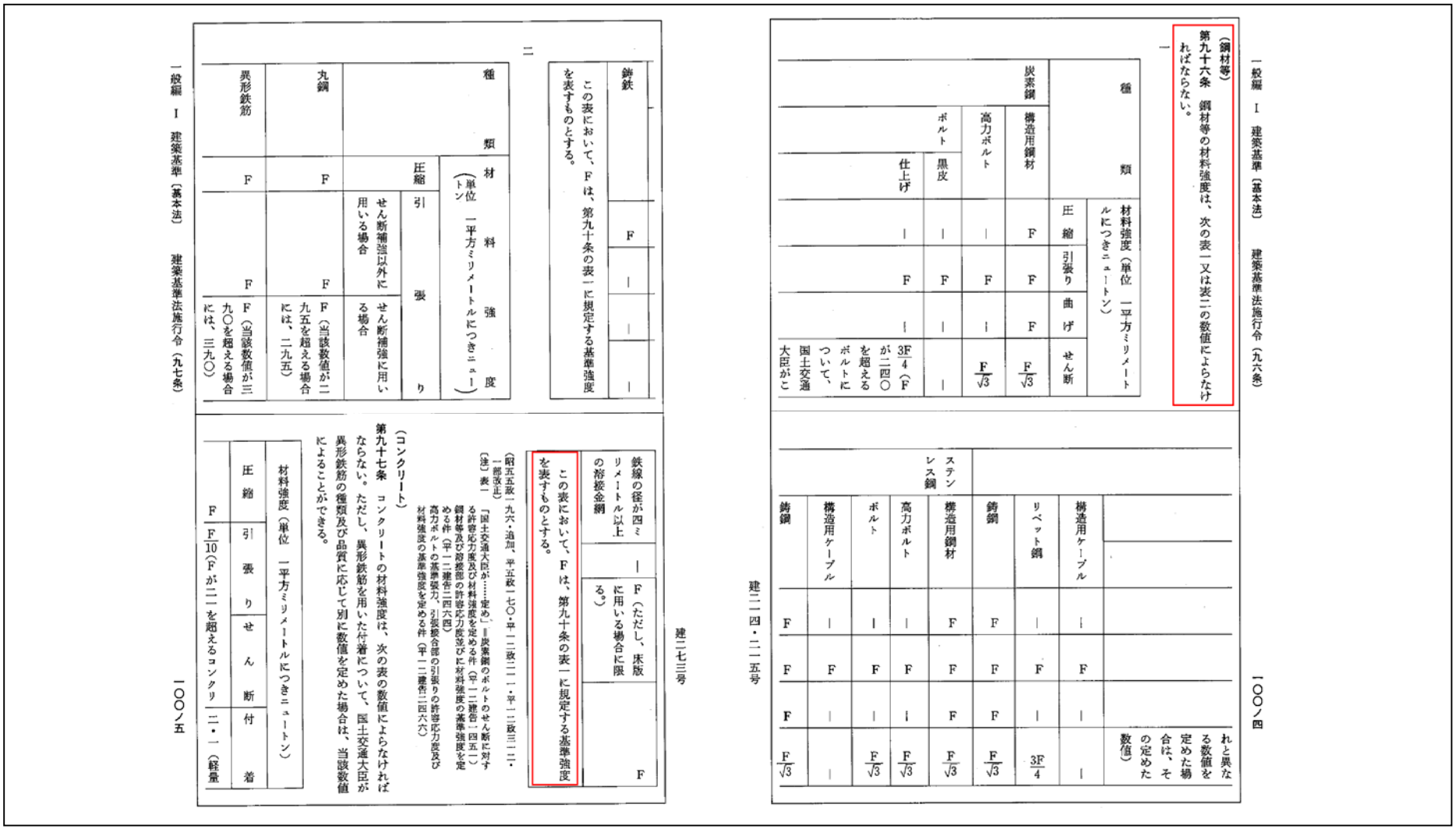
Td 建築物の損傷限界固有周期（単位 秒）
Pdi 各階に水平方向に生ずる力（単位 キロニュートン）
mi 各階の質量（各階の固定荷重及び積載荷重との和（第八十六条第二項ただし書の規定によって特定行政庁が指定する多雪区域においては、更に積雪荷重を加えたものとする。）を重力加速度で除したもの）（単位 トン）
Bdi 建築物の各階に生ずる加速度の分布を表すものとして、損傷限界固有周期に応じて国土交通大臣が定める基準に従つて算出した数値
Z 第八十八条第一項に規定するZの数値
Gs 表層地盤による加速度の増幅率を表すものとして、表層地盤の種類に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

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

降下火砕物の海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）基礎部堆積による影響評価について

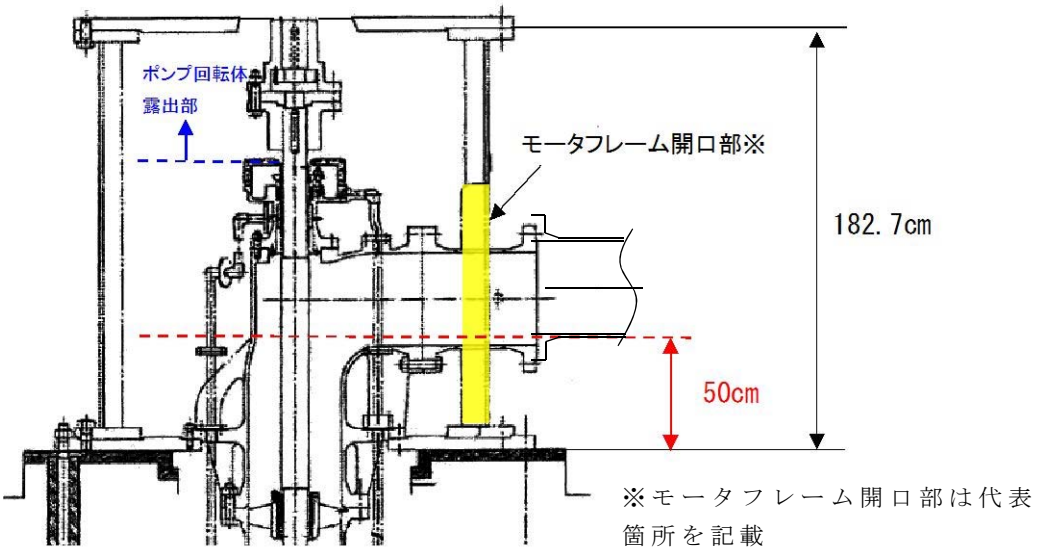
１．評価内容

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。

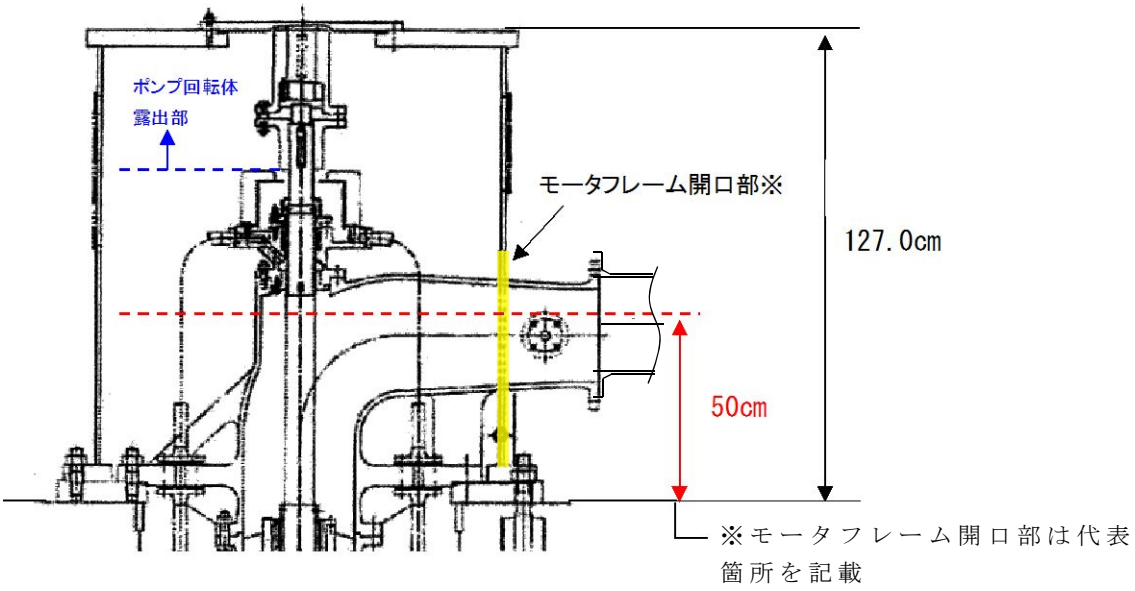
２．評価結果

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海水ポンプ



第２図　ディーゼル発電機海水系海水ポンプ

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。

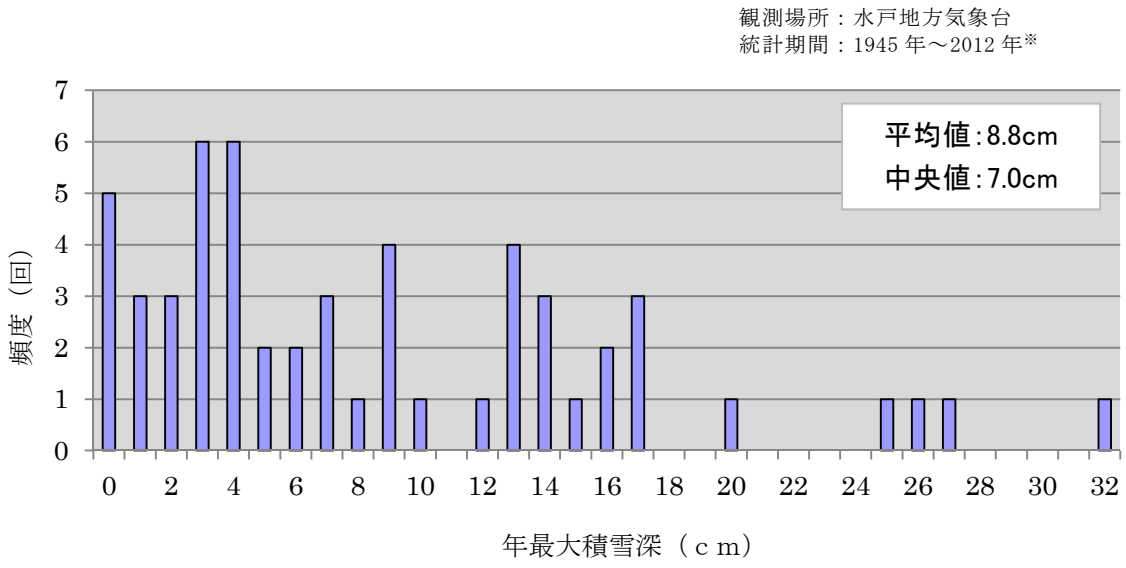
同法を参考とすると東海第二発電所は多雪区域ではないことから積雪との重ね合わせを考慮する必要はなく，また，降下火砕物及び積雪はともに予見性があり緩和措置を講じる十分な時間猶予がある事象であるが，積雪により湿潤状態の降下火砕物以上の荷重の負荷が生じる可能性があることを踏まえ，同法の考え方（主と従の考え方）を参考として評価を実施する。

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 ヶ月以上の地点では 0.3 を推奨しており，積雪期間が 1 ヶ月以上 3 ヶ月未満の場合は,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 ヶ月未満	1 ヶ月以上 3 ヶ月未満	3 ヶ月以上
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 ヶ月，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ヶ月※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，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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
ディーゼル発電機 吸気口	－	－	フタル酸樹脂系
海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	変性エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系
海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）	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東海第二発電所における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，東海第二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（150～200ppm）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

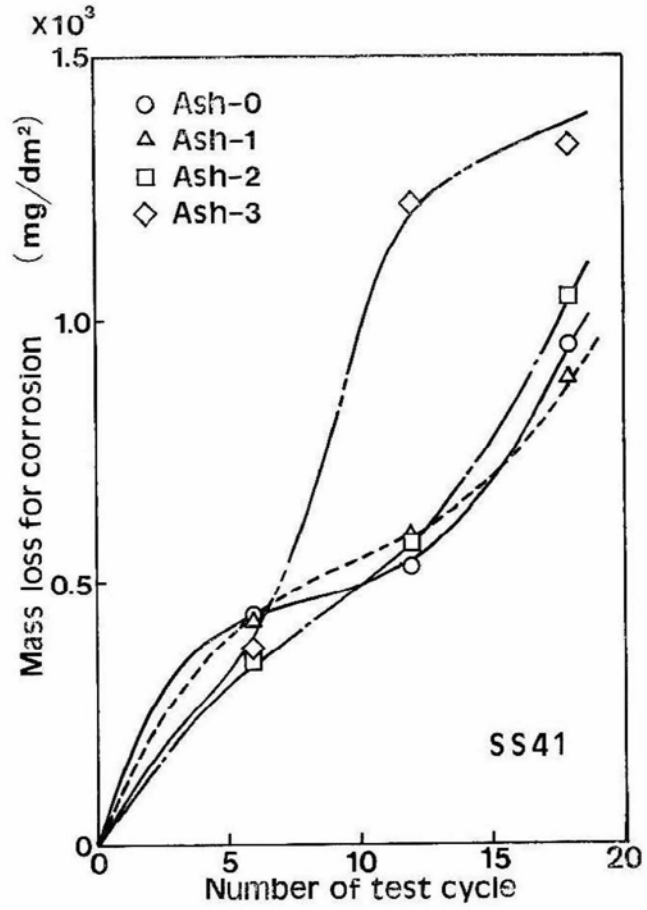
第1図に示すとおり，降下火砕物の堆積量が多い場合は，降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して，金属試験片の腐食が促進されるが,腐食量は表面厚さにして十数μm程度との結果が得られ，降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

(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,東海第二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

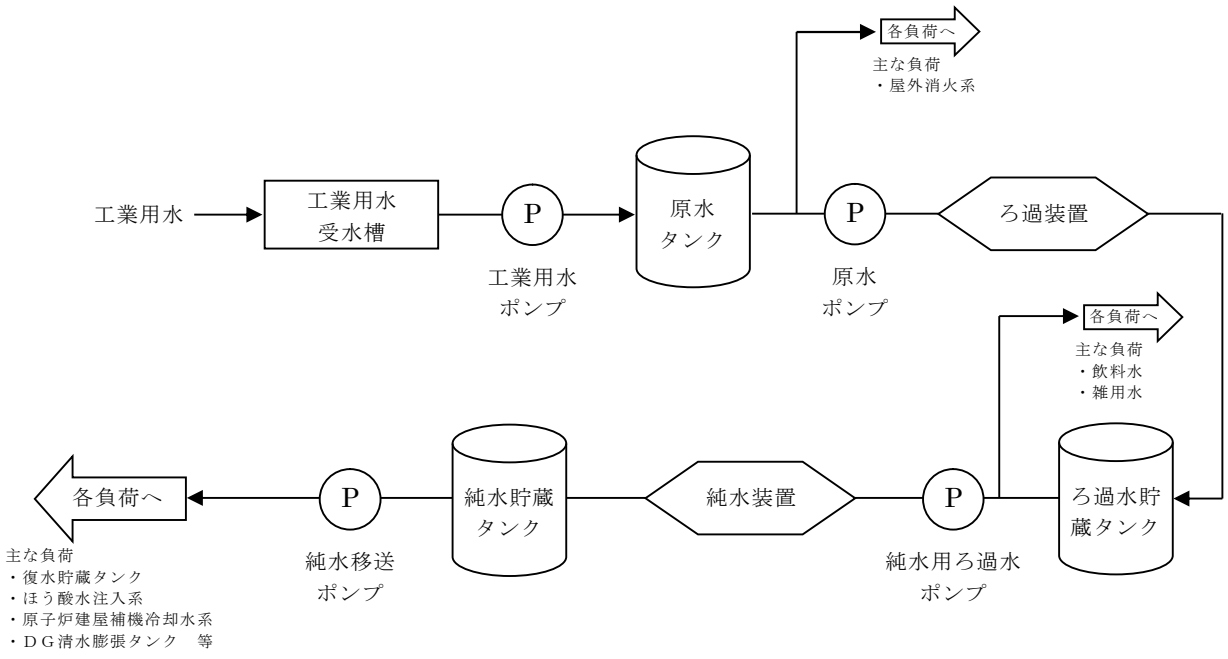
第１図　ＳＳ４１の腐食による質量変化

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

2.　評価結果

(1)　モニタリング設備

モニタリング設備の検出器は，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。

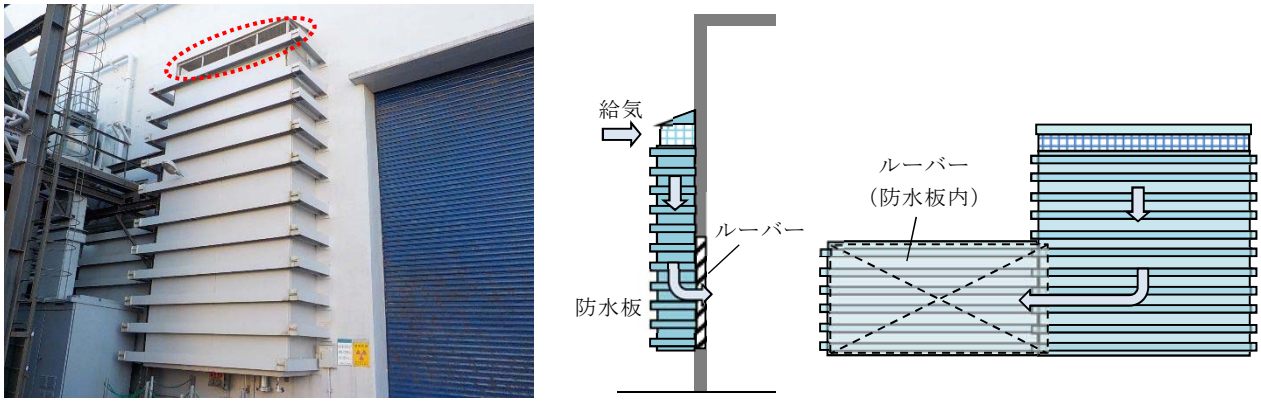
したがって，降下火砕物によりモニタリング設備の機能に影響を及ぼすことはない。

第１図　モニタリング設備検出器

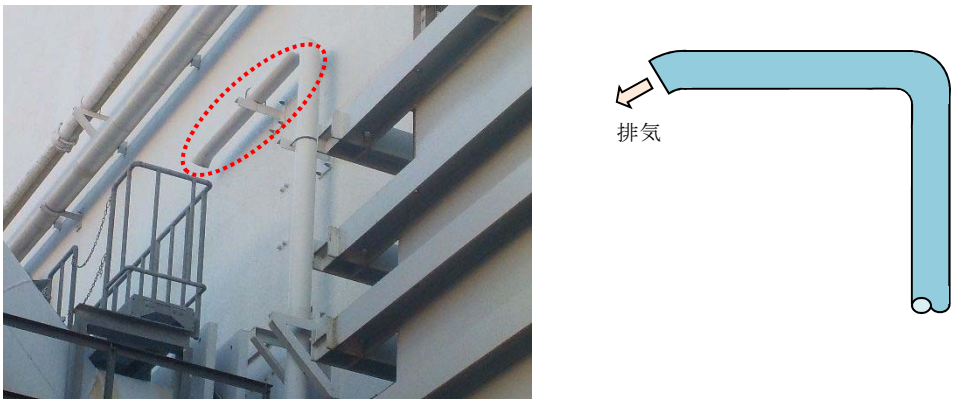
(2)　消火設備

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。

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（附属棟含む）	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。

$$0.39\ 人/日 \cdot m^3 \times 6{,}605 m^3 = 約\ 2{,}576\ 人日$$

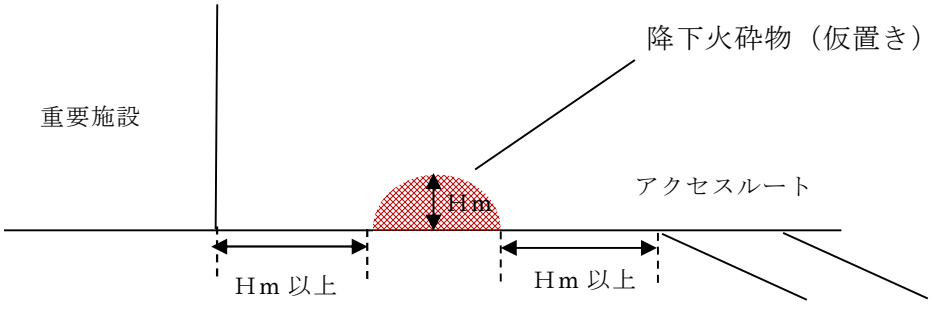
以上の結果から，降下火砕物の除去に人員を約 120 人動員した場合，3 週間程度で降下火砕物を除去できる。また，人員を増やすことによりさらに期間の短縮が可能である。

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，SA 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，SA 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,電気系及び計装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，電気系及び計装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。

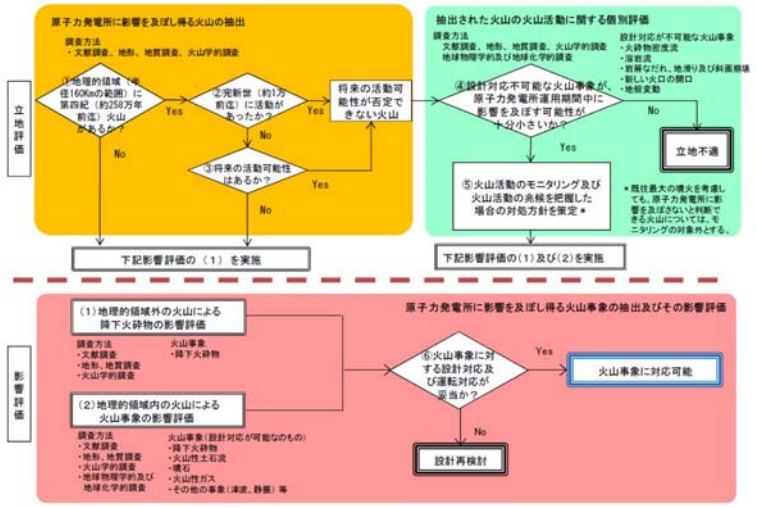
一方，評価対象施設に対して間接的な影響を与え得る事象としては，降下火砕物による排水路の閉塞時の降水事象が考えられるが，評価対象施設に有意な影響を及ぼし得る大雨に対しては，雨水が排水路に流れ込むことで，降下火砕物は除去されるため影響はない。なお，少量の降水に対しては有意な影響を及ぼさないと考えられる。

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）としては，重要安全施設のうち，屋外の構築物，系統及び機器，又は，屋外設置であるが屋外に開口している設備を抽出し，評価対象施設としている。ただし，その構築物，系統及び機器であっても，機能喪失することで，当該施設の運転に影響を及ぼす場合は評価対象施設として抽出する。なお、建物については、クラス1及びクラス2の安全施設及びその機能に影響を及ぼし得る建物を評価対象施設として抽出した。 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，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）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，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），非常用ディーゼル発電機，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

原子炉建屋の建屋健全性評価について

1. 基本方針

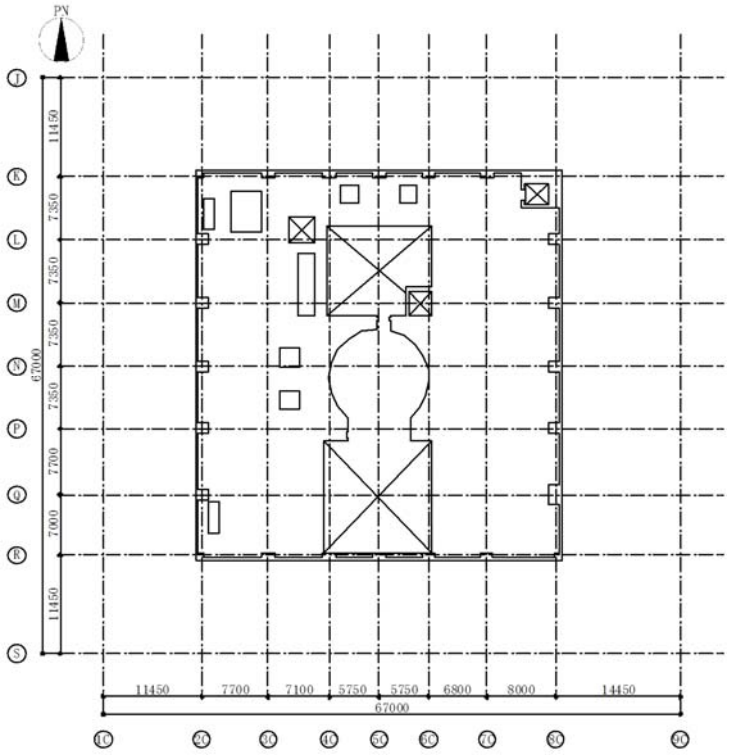
(1) 概要

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。

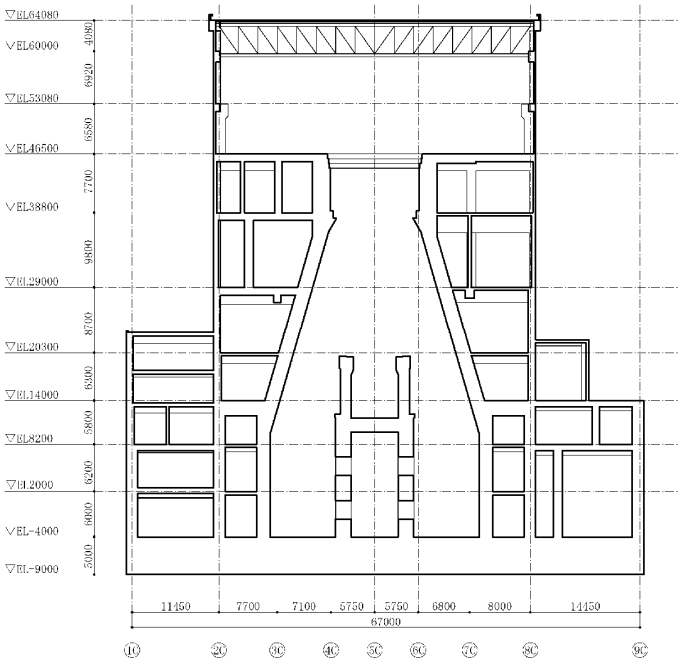
(2) 構造概要

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，概略断面図を第 1-2 図に示す



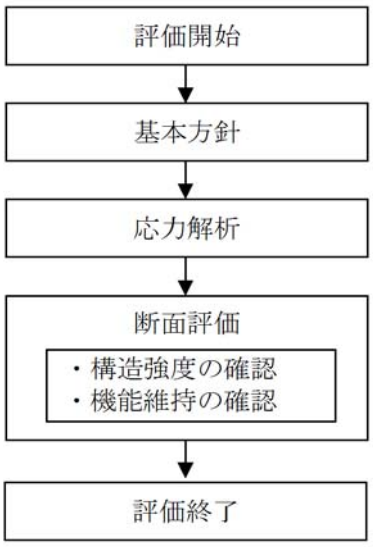
第 1-1 図　原子炉建屋の概略平面図（EL.＋46.5 m）



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）

・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「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下 RC 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

応力解析による評価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，コンクリート及び鉄筋の基準強度及び評価基準値を第 2-7，2-8，2-9 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 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　コンクリートの基準強度及び評価基準値

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　鉄筋の基準強度及び評価基準値

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 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，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

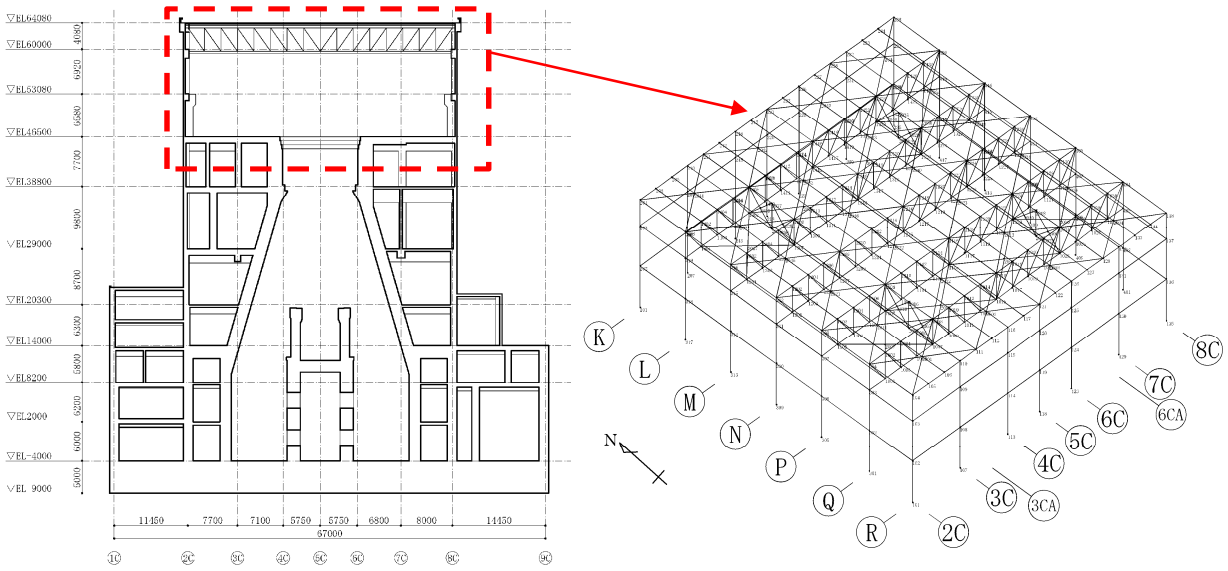
ａ．応力解析モデルの概要

・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。

原子炉建屋断面図と主トラスの検討モデルを第 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

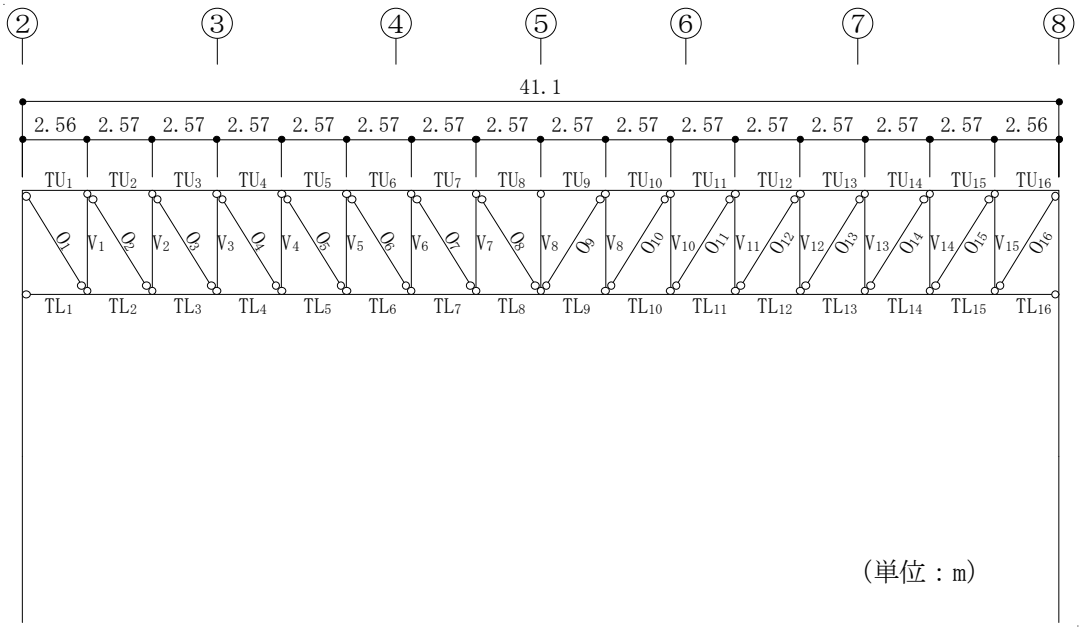
ＤＹＮＡ２Ｅ Ver. 8. 0

c．検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また，部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 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	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 3-2 表に示す。

第 3-2 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 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 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)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	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

タービン建屋の建屋健全性評価について

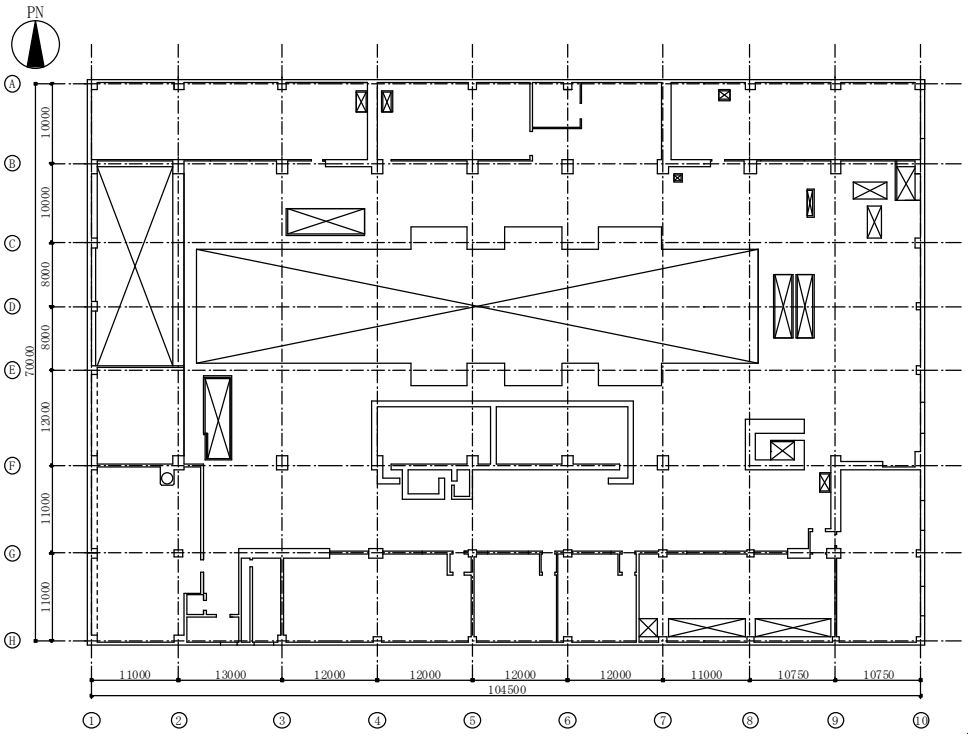
1. 基本方針

(1) 概要

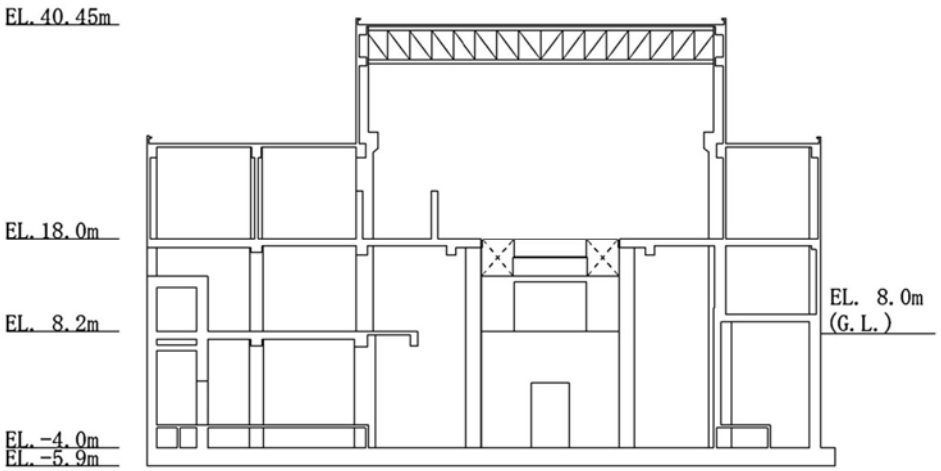
降下火砕物の堆積荷重に対して各建屋が健全性を有することを，応力解析による評価によって確認する。設置許可においては，自身がMS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及びMS-2(放射性物質放出の防止機能)の安全機能を有する原子炉建屋と，自身がクラス1及び2施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長いタービン建屋を代表として,評価内容及び評価結果を示す。工事計画認可においては，屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性能を確認し，建屋に求められる機能設計上の性能目標を満足していることを示す。参考資料－１３では，タービン建屋について評価内容及び評価結果を示す。

(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



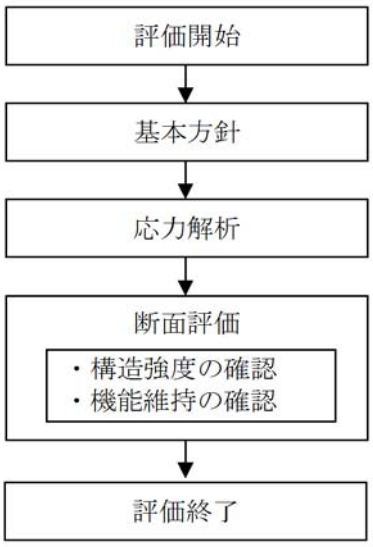
第 1-1 図　タービン建屋の概略平面図（EL.＋18.0 m）



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 図に評価フローを示す。



第 1-3 図　各建屋の評価フロー

(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）

・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「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下 RC 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）
4,669N／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，コンクリート及び鉄筋の基準強度及び評価基準値を第 2-7，2-8，2-9 表に示す。

第 2-6 表 応力解析評価における許容限界

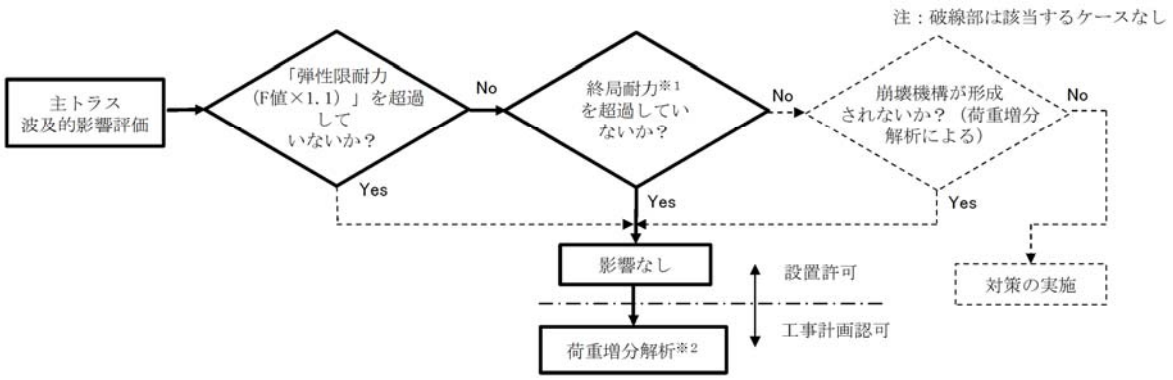
要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
－	上位クラス設備に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ	落下しないことを確認※1	終局耐力※2
		主トラス	崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと※3

※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 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／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　コンクリートの基準強度及び評価基準値

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　鉄筋の基準強度及び評価基準値

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 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

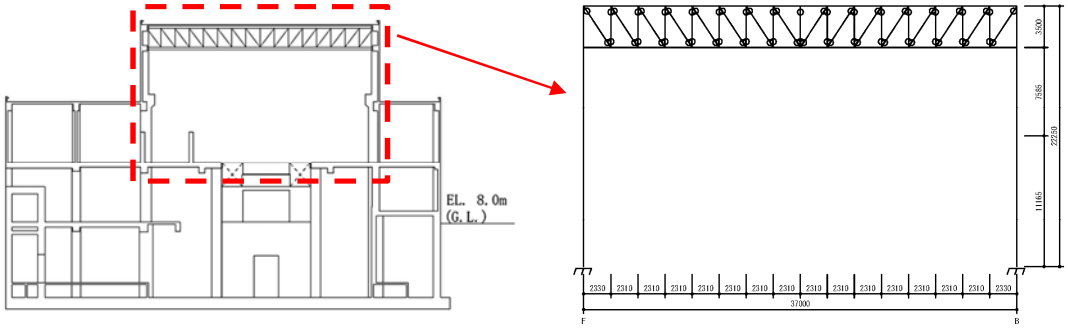
・主トラス上・下弦材は，軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材，束材は軸剛性だけのトラス要素とする。

・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と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

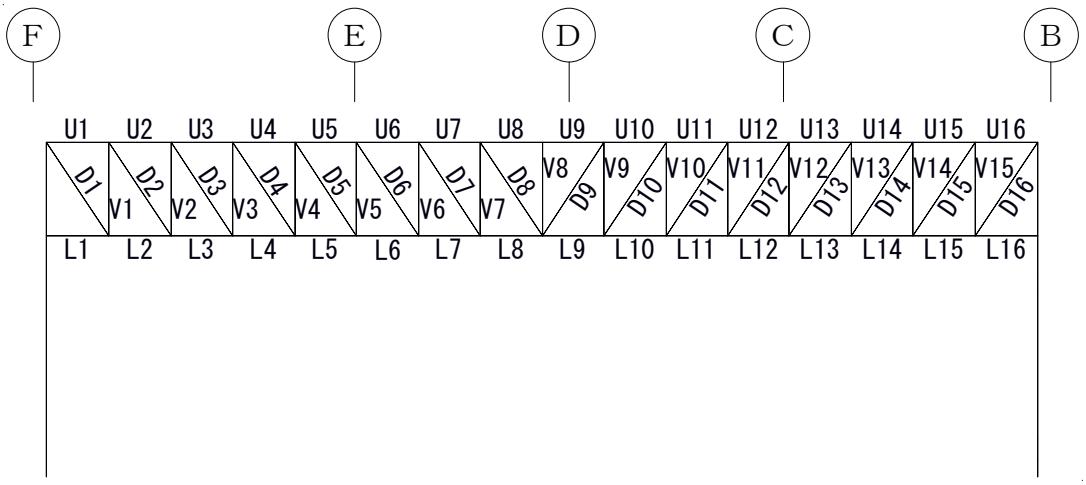
ＦＡＰ３ Ver.5.0

ｃ．検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また，部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 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 3-2 表に示す。

第 3-2 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 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「原子炉建屋の建屋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「原子炉建屋の建屋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　※2

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

・軸力と曲げを負担する部材の評価方法※3

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

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

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

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

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

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 4-1，4-2 表，主トラスの評価結果を第 4-3 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 (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 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）

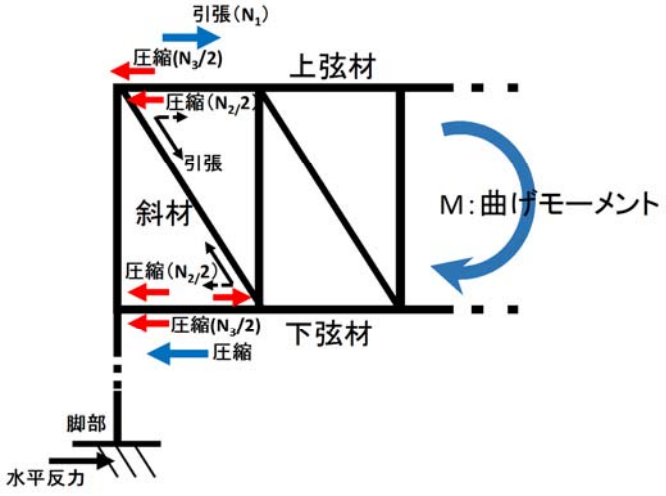
部位	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N／mm²)	検定比
EL 40.65	17.69	0.381	0.36

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。（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：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	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

外部事象に対しての，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。

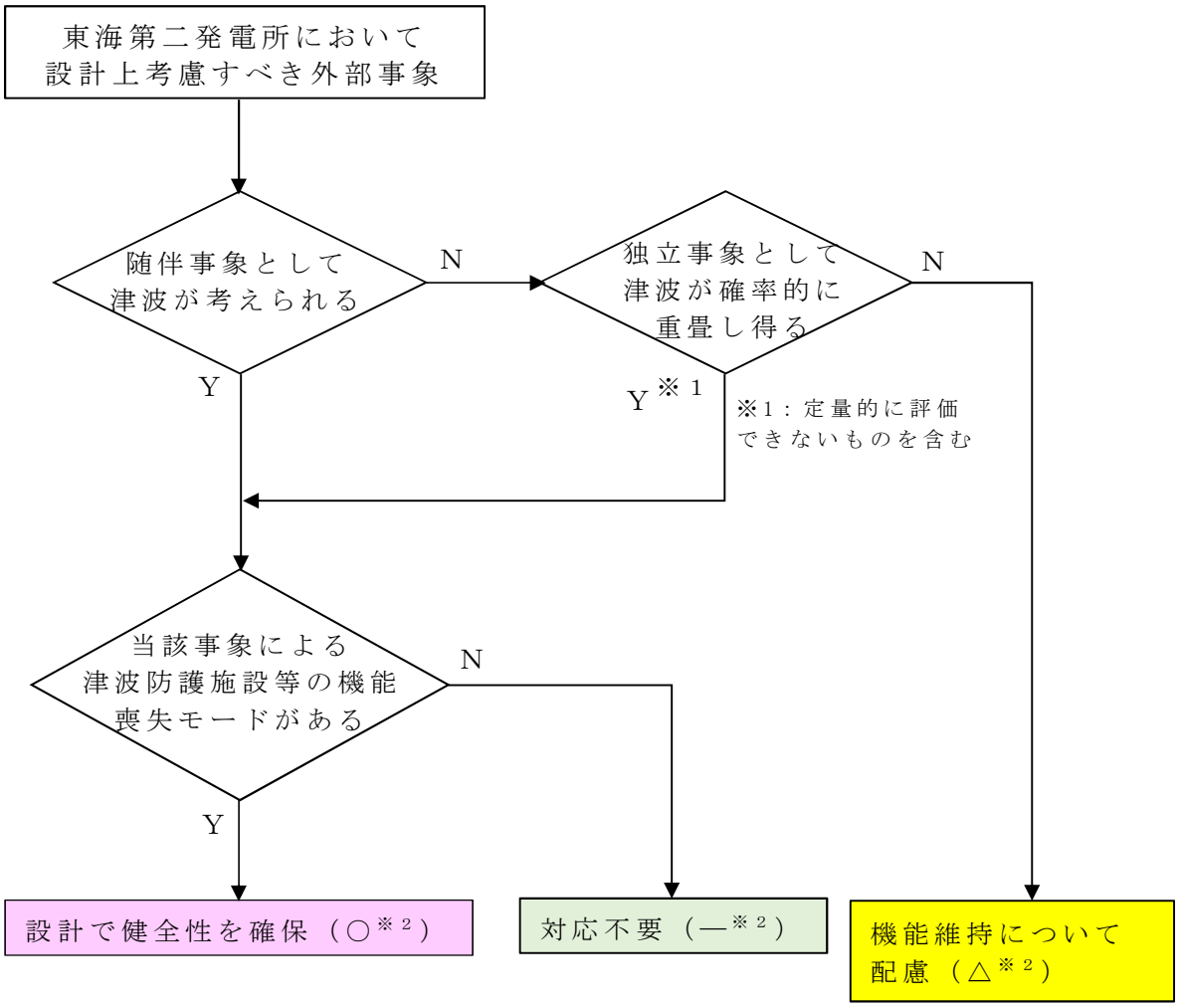
2. 防護に関する考え方

以下の考え方に基づき，東海第二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。(フローを第 1 図に示す)

・設計上考慮すべき事象が，津波若しくは津波の随伴，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，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，東海第二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，自主的に機能維持のための配慮を行う。



※2：「○」，「△」，「―」は，後掲の第1表における
整理に対応している

第1図　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。（詳細は第1表のとおり）

3.1　津波の随伴，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，津波との随伴若しくは重畳の可

能性を否定できないため，荷重の重ね合わせのタイミング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，地滑り，生物学的事象，森林火災，高潮

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

「竜巻」,「火山の影響」の 2 つの外部事象に津波は随伴せず，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,以下の対応を自主的に実施する。

3.2.1　「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海水ポンプ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 8.6×10^{-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。

3.2.2　「竜巻」

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプ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竜巻飛来物荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

第１表　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，重畳が否定できないため，設計で健全性を確保する事象（○）
：津波の随伴，重畳は有意ではないが，機能維持について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か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
地震	○	―	○	**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 Ss に対し健全性を維持し，津波に対する防護機能を維持する。 また，津波と余震（Sd-D1 地震動）の組合せも考慮する。
洪水（外部洪水）	―	○	○	**なし** 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））	―	―

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

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か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
風（台風）	—	○	○	**<u>あり</u>** 風荷重により損傷した場合，安全施設等への津波の到達，浸水による機能喪失が想定される。	○	・風荷重，津波荷重を考慮した設計とする。 ・津波監視カメラは，風荷重を考慮した設計とする。
竜巻	—	—	—	**<u>なし</u>** 以下のとおり，重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率 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 PC=1×10^{-7}未満で，有意ではない。	△	防潮壁の設計においては，自主的に以下の配慮を行い，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。
極低温（凍結）	—	○	○	**<u>あり</u>** 凍害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（豪雨（降雨））	—	○	○	**<u>なし</u>** 降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。	—	—

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

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か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
積雪（暴風雪）	—	○	○	**<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。
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。
地滑り	—	○	○	**<u>なし</u>** 発電所の敷地及びその近傍には地滑りを起こすような地形は存在しない。	—	—
火山 （火山活動・降灰）	—	—	—	**<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3.9×10^{-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：約8.6×10^{-8}/y ・・・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。

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

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か②が“○”）	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
生物学的事象	—	○	○	**なし** 生物による影響（閉塞，侵入）による機能喪失モードを有しない。	—	—
森林火災	—	○	○	**あり** 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	—	○	○	**あり** 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。

※：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

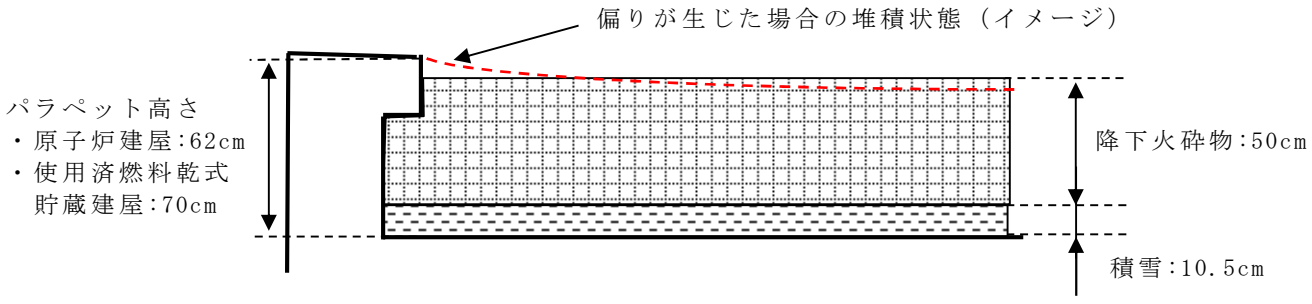
降下火砕物の偏りによる影響評価について

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，使用済燃料乾式貯蔵建屋

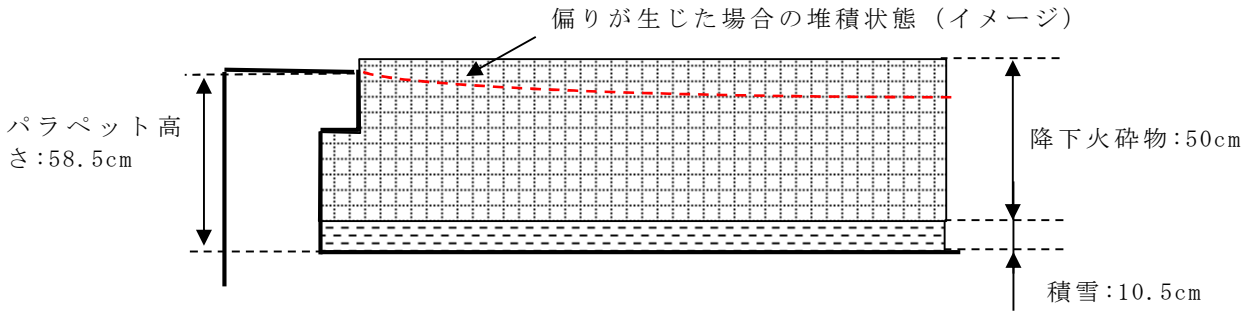
原子炉建屋のパラペット高さは屋上階から 62cm，使用済燃料乾式貯蔵建屋のパラペット高さは屋上階から 70cm であるのに対し，降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm となり，仮に風向きにより堆積厚さに偏りが生じた場合においても増加分は軽微であること及び，屋上端部近傍以外の堆積量は相対的に減少することとなるため，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。



第１図　原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋における
降下火砕物及び積雪の堆積状態（イメージ）

(2)タービン建屋

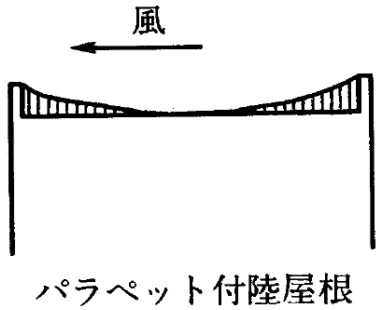
タービン建屋のパラペット高さは屋上階から 58.5cm であるのに対し，降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm であり，風による堆積の偏りを想定した場合，堆積厚さは減少することとなるため，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。



第 2 図　タービン建屋における降下火砕物及び積雪の堆積状態（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こととする。

・除灰した降下火砕物について屋上面で集積せず，速やかに下ろすこととする。

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 1,000 N/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)」の大梁計算用積載荷重における 600 N/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 1,000 N/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　「建築構造設計基準の資料」（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。
事務室、会議室及び食堂		2,900	1,800	800	「令」第 85 条による。

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

東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

東海第二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/cm^3（乾燥状態）～1.5 g/cm^3（湿潤状態）
粒径：8.0mm 以下

安全施設

クラス３に属する施設

クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器

評価対象施設

【クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器】
・クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器を内包している建屋
・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

【クラス３に属する構築物，系統及び機器】
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

降下火砕物の影響を受けた場合においてもクラス１及びクラス２に属する施設に影響を及ぼさない施設

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，電気系及び計装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，電気系及び計装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，電気系及び計装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	計装制御設備（安全保護系）の絶縁低下	影響なし		

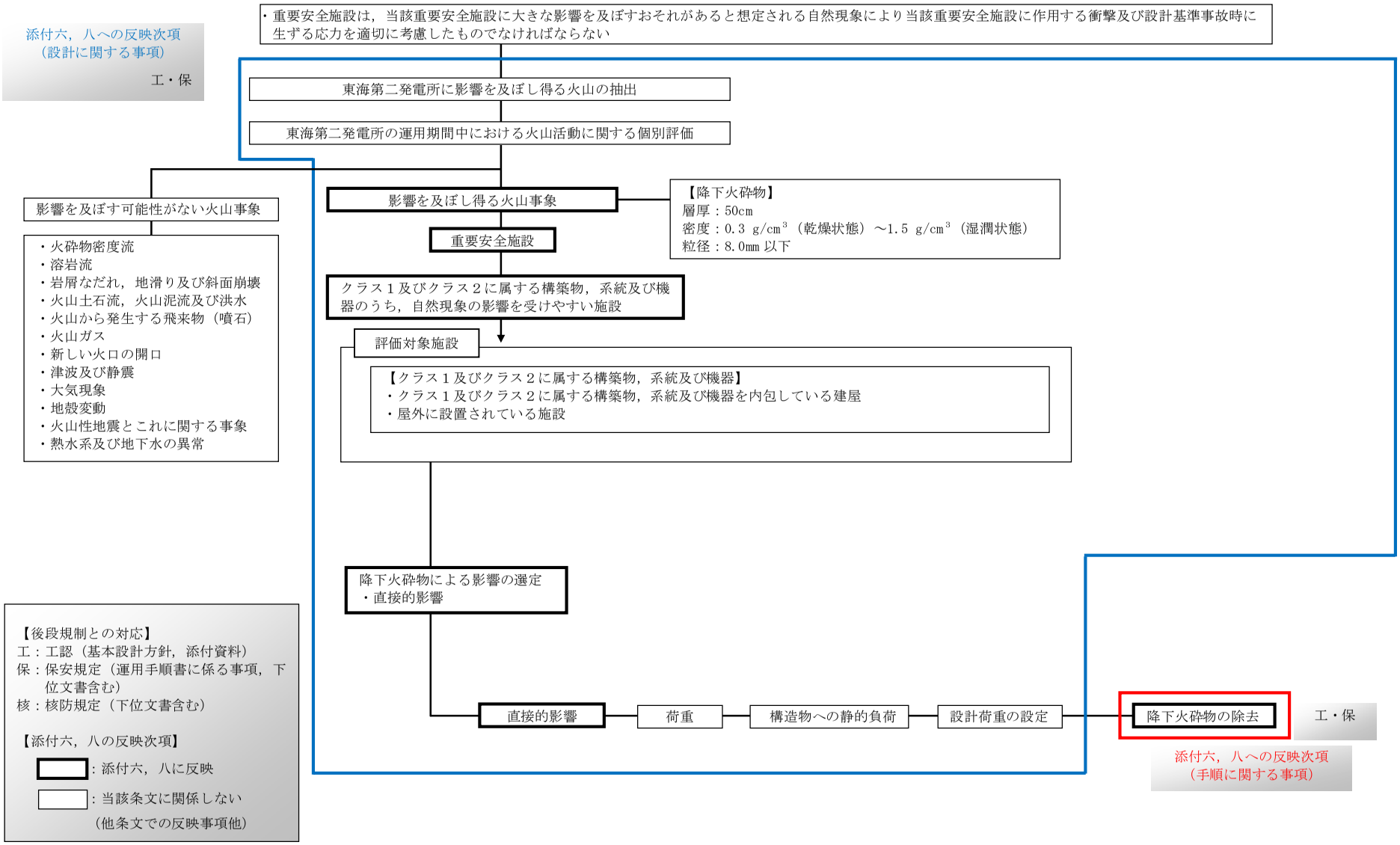
間接的影響

外部電源喪失	影響なし	
アクセス制限	影響なし	

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）


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
東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
東海第二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/cm3（乾燥状態）～1.5 g/cm3（湿潤状態）
粒径：8.0mm 以下
重要安全施設
クラス１及びクラス２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及びクラス２に属する構築物，系統及び機器】
・クラス１及びクラス２に属する構築物，系統及び機器を内包している建屋
・屋外に設置されている施設
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

発電用原子炉施設への

人の不法な侵入等の防止

本資料のうち，□は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

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 1.1.1-1 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	・本部長の補佐
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
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調整
広報班	○総務室 ○所員	・報道機関との対応
庶務班	○総務室 ○所員	・要員，資機材等の調達，輸送 ・所内警備 ・消火活動
保健安全班	○総務室 ○所員	・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
運転班	○発電室	・発電部門の技術的助言 ・発電用原子炉及び附属施設の保安維持
保修班	○保修室	・保修部門（制御，電気，機械）の技術的助言

第 1.1.1-1 図　核物質防護に関する緊急時の体制図

(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1.1.1-1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

〔　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