

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)

平成 29 年 9 月

日本原子力発電株式会社

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法性（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) 設置許可基準規則等への適合状況説明資料（外部火災）

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) 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

< 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。）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。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものを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、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。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

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变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の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、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。

ここで、想定される自然現象及び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-3) 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)】

自然現象として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から算出される防火帯（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、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及び爆発については、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、離隔距離の確保等により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、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、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(2.2.2.5～2.3 : 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)】

(2)安全設計方針

1.9 外部火災防護に関する基本方針

1.9.1 設計方針

安全施設が外部火災に対して、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、建屋による防護及び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 1.9-1 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)】

(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 1.9-2 表に示す。

a. 外部火災の直接的な影響を受けるクラス 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) クラス 1 及びクラス 2 に属する屋内施設

屋内のクラス 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) クラス 1 及びクラス 2 に属する屋外施設

屋外のクラス 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

【別添資料 1(1.3 : 3～4)】

また、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、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等により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「F A R S I T E」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、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、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、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み合わせとする。
- (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、F A R S I T Eより出力される最大火線強度及び反応強度の高い値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。
 - 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 2 4 5 号を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し、国道 2 4 5 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 (F A R S I T E 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、F A R S I T E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、水戸の過去10年間の気象データのうち、茨城県で発生した森林火災の実績より、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
(0.69m/s (発火点 3)) 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^{注 1}(0.2 時間
(約 12 分) (発火点 1))を算出し、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屋外消火栓等を用いた消火
活動が可能であり、万が一の飛び火等による火炎の延焼を防止すること
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。

注 1:火炎が防火帯に到達する時間

【別添資料 1(2.1.3.1 : 8～9)】

なお、防火帯の外側にあるクラス 3 施設としては、モニタリングポス
トがあり、火災発生時は、化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ自動車
による消火活動及び代替設備(可搬型モニタリングポスト)の確保が可能
な設計とする。

【別添資料 1(2.1.3.1 : 8～9)】

f. 防火帯幅の設定

F A R S I T E から出力される最大火線強度 (6,278kW/m (発火点
3))^{注 1}により算出される防火帯幅 21.4m に対し、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 1.9-1 図に示す。

【別添資料 1(2.1.3.2 : 9～11)】

g. 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、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、F A R S I T E から出力される反応強度から求める火炎輻射強度とする。

(a) 火災の想定

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

(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

影響が大きい発火点 5 の火炎輻射強度 444kW/m^2 に基づき算出する、防火帯の外縁(火炎側)から最も近く(約 37m)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、火炎の輻

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℃^{注2}以下とすることで、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) 海水ポンプへの熱影響

影響が大きい発火点 5 の火炎輻射強度 444kW/m²に基づき算出する、防火帯の外縁(火炎側)から約 242mに位置する海水ポンプ室(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)の表面温度をコンクリート許容温度 200℃^{注2}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

影響が大きい発火点 3 の火炎輻射強度 442kW/m²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保守的な温度 325℃^{注3}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

影響が大きい発火点 3 の火炎輻射強度 442kW/m²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℃^{注4}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)】

注 1 : 保守的な入力データにより F A R S I T E で評価した火炎輻射強度

注 2 : 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

注 3 : 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

注 4：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

h. 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）からの離隔距離に影響が大きい発火点の火炎輻射強度^{注 1}に基づき算出する危険距離以上確保することにより、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、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の危険距離の確保

影響が大きい発火点 5 の火炎輻射強度 $444\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離^{注 2}を算出し、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までの距離（約 37m）を危険距離以上確保することで、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) 海水ポンプの危険距離の確保

影響が大きい発火点 5 の火炎輻射強度 $444\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離^{注 2}を算出し、防火帯の外縁（火炎側）からび海水ポンプ室までの距離（約 242m）を危険距離以上確保することで、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(c) 排気筒の危険距離の確保

影響が大きい発火点 3 の火炎輻射強度 $442\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離を算出し、防火帯の外縁（火炎側）から排気筒までの距離（約 266m）

を危険距離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。

(d) 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

影響が大きい発火点 3 の火炎輻射強度 $442\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離を算出し、防火帯の外縁（火炎側）からディーゼル発電機機関吸気系フィルタまでの距離（約 267m）を危険距離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. 1. 3. 4 : 15～16)】

注 1：「g. 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」の評価に用いた値

注 2：発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火炎側）からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の間に必要な離隔距離

(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、外壁による防護等により、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の位置にある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、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、火災影響が及ぶ可能性がある危険物貯蔵施設^{注1}を第 1.9-3 表及び第 1.9-2 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、最大容量を想定する。
- ・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

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。

【別添資料 1 (2.2.2.2 : 18~20)】

iii) 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、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、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. 9-4 表及び第 1. 9-3 図に示す。

【別添資料 1 (2. 2. 2. 2 : 21～24)】

i) 爆発の想定

- ・高圧ガス貯蔵施設は燃料を満載した状態を想定する。
- ・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) 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、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原子炉施設までの離隔距離を必要とされる最大飛散距離（1,406m）以上確保することにより、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。

【別添資料 1(2.2.2.3 : 25)】

対象の燃料輸送車両を第 1.9-5 表及び第 1.9-4 図に示す。

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（30m³）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) 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，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，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，安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.2.2.3：26)】

対象の燃料輸送車両を第 1.9-6 表及び第 1.9-4 図に示す。

i) 爆発の想定

- ・ 発電所敷地周辺道路から原子炉施設に最も近い場所での燃料輸送車両積載の高圧ガス漏洩，引火による燃料輸送車両の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（15.1 トン）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），液化石油ガス（LPG）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、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) 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、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原子炉施設までの離隔距離を最大飛散距離（435m）以上確保することにより、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

発電所敷地外 10km 以内の漂流船舶の火災による直接的な影響を受けるクラス 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。

【別添資料 1(2.2.2.4 : 27～29)】

対象の漂流船舶を第 1.9-7 表及び第 1.9-5, 6 図に示す。

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 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船舶（燃料量 5,600m³）及び発電所港湾内に実際に入港する最大の船舶（燃料量 582m³）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)】

iii) 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

想定される漂流船泊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、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、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

想定される漂流船泊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、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

想定される漂流船泊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、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

想定される漂流船泊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、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舶及び発電所港湾内に定期的に入港する船舶の爆発による直接的な影響を受けるクラス 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。

対象の漂流船舶を第 1.9-8 表及び第 1.9-5, 6 図に示す。

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船舶を想定する。
- ・日立 LNG 基地に入港する最大の船舶 (積載量 75,190 トン) , (積載量 53,196 トン) 及び, (積載量 1,062 トン)) を想定する。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう想定位置から外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器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。
- ・対象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

発電所周辺海域及び港湾内で発生する漂流船舶の爆発とする。

【別添資料 1(2.2.2.4 : 28~29)】

iii) 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

想定される船舶のガス爆発による爆風圧の影響に対して、漂流船舶から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

□ (335m) , □ (340m) , □ (165m)) 以上確保することにより、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、外壁による防護等により、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. 9-9 表並びに第 1. 9-7 図に示す。

i) 火災の想定

- ・ 危険物貯蔵施設等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- ・ 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。
- ・ 火災源となる危険物貯蔵施設は破損等による防油堤内の全面火災を、変圧器は破損等による変圧器本体の全面火災を想定した。
- ・ 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

および主変圧器、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（タンクローリ）は、熔融炉灯油タンクに比べ貯蔵量が少なく、また熔融炉灯油タンクと原子炉施設の距離に比べ離隔距離が長いことから、評価対象とした熔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) 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

・ 熔融炉灯油タンク

熔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： $298\text{W}/\text{m}^2$ ，タービン建屋： $101\text{W}/\text{m}^2$ ）で各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°C ^{注1} 以下とすることで、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。

・ 主変圧器

主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： $2,337\text{W}/\text{m}^2$ ）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°C ^{注1} 以下とすることで、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/m²）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℃^{注1}以下とすることで、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/m²）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℃^{注1}以下とすることで、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/m²）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許容温度 200℃^{注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。

- (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
($1,343\text{W}/\text{m}^2$) 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制限温度である 325°C 以下とすることで、排
気筒の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 (2. 2. 2. 5 : 30～33)】

注 1 : 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

注 2 : 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

(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、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. 9-10
表並びに第 1. 9-8 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事象に対
し必要な構築物、系統及び機器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。

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)】

iii) 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，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，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等により、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、航空機落下による火災と発電所敷地内の危険物タンク等による火災の重畳を考慮する設計とする。

【別添資料 1(2.3 : 34～39)】

a. 対象航空機の選定方法

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

ここで、落下事故の実績がない自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率には、全国の各基地－訓練空域間のデータに基づき算出した想定飛行範囲内の単位面積当たりの落下事故率を 2 倍にした値を用いて評価した。

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落下事故のカテゴリと対象航空機を第 1.9-11 表及び第 1.9-12 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墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。

- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- (d) 気象条件は無風状態とする。
- (e) 火災は円筒火災をモデルとし，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原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置するクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設とする。

落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種（原子炉施設）を第 1.9-11 表に，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）を第 1.9-12 表に示す。

【別添資料 1(2.3 : 34～39)】

d. 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) 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許容温度である 200°C ^{注 1} 以下とすることで，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（原子炉施設）を第 1.9-13 表に、各航空機の輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）を第 1.9-14 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制限温度である 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軍用航空機の 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，コンクリート許容温度である 200°C ^{注1} 以下とすることで，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，コンクリート許容温度である 200°C ^{注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。

(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制限温度である 325°C 以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

注1：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

注2：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

【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，安全

機能が損なわれるおそれがある構造物，系統及び機器として外気を取り込むりクラス 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 1.9-15 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(2.4：40～46)】

a．換気空調設備

外気を取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，ディーゼル発電機室換気系がある。

外部火災発生時のばい煙については，数 μm 以上のものを想定しており，これらの外気取入口には，捕集率 80% 以上（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種 粒径約 $2\mu\text{m}$ ）の性能を有しているフィルタを設置するため，ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても，一定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を阻止することでクラス 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閉回路循環運転が可能である中央制御室換気系については，外気取入ダンパを閉止し，閉回路循環運転を行うことでクラス 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，中央制御室換気系及び緊急時対策所換気系については，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，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 : 40～46)】

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（粒径 $5\mu\text{m}$ 以上において約 56%捕獲）を設置し、粒径の大きいばい煙粒子は捕獲される設計とする。吸気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 : 40～46)】

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，空気冷却器冷却管の内径は約 26mmであり，ばい煙粒子の粒径はこれ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 : 40～46)】

(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，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(2.4：40～46)】

(6) 有毒ガスの影響

a. 有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響については，中央制御室換気系及び緊急時対策所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，安全機能を損なわない設計とする。

外気を取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，ディーゼル発電機室換気系がある。

このうち，外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気系及び緊急時対策所換気系については，外気取入ダンパを閉止し，閉回路循環運転を行うことによりクラス 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。

中央制御室換気系及び緊急時対策所換気系以外の換気空調設備については，空調ファンを停止すること等によりクラス 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(2.4：40～46)】

1.9.2 体制

火災発生時の原子炉施設の保全のための活動を行うため、連絡責任者、運転員及び消防要員が常駐するとともに、火災発生時には、所員により編成する自衛消防組織を所長の判断により設置する。

自衛消防組織の組織体制を、第 1.9-9 図に示す。

1.9.3 手順等

外部火災における手順については、火災発生時の対応、防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

- (1) 防火帯の維持・管理においては、手順等を整備し、実施する。
- (2) 初期消火活動においては、手順を整備し、火災発生現場の確認、中央制御室への連絡、消火栓、化学消防自動車及び水槽付消防ポンプ自動車等を用いた初期消火活動を実施する。
- (3) 外部火災によるばい煙発生時には、外気取入口に設置しているフィルタの交換、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。

【別添資料 2(1～3)】

第 1.9-1 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 1.9-2 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 1.9-3 表 発電所敷地外 10km以内のうち火災影響が及ぶ
可能性がある危険物貯蔵施設

想定火災源	燃料の種 類	容量 (m^3)	影響先	離隔距離 (m)
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋	800

【別添資料 1(2.2.2.2 : 18~21)】

第 1.9-4 表 発電所敷地外 10km以内の最大の高圧ガス貯蔵施設
である日立 L N G 基地

想定火災源	燃料の種類	容量 (m^3)	離隔距離 (m)
L N G タンク	メタン	230,000	1,500
L P G タンク	プロパン	50,000	1,500

【別添資料 1 (2.2.2.2 : 22~25)】

第 1.9-5 表 火災評価で想定する燃料輸送車両

想定火災源	燃料の種類	容量 (m^3)	影響先	離隔距離 (m)
燃料 輸送車両	ガソリン	30	原子炉建屋	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	610
			D / G 吸気系フィルタ	510

【別添資料 1 (2.2.2.3 : 26)】

第 1.9-6 表 爆発評価で想定する燃料輸送車両

想定火災源	燃料の種類	容量(t)	影響先	離隔距離(m)
燃料輸送車両	メタン	15.1	タービン建屋	450
	プロパン	15.1		

※：離隔距離はクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設のうち最も国道 245 号から近いタービン建屋までの距離とする。

【別添資料 1(2.2.2.4：27)】

第 1.9-7 表 火災評価で想定する漂流船舶

想定火災源	燃料の種類	容量(m ³)	影響先	離隔距離(m)
			原子炉建屋	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	1,100
			D/G 吸気系フィルタ	1,100
			原子炉建屋	330
			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	250
			D/G 吸気系フィルタ	330

【別添資料 1 (2. 2. 2. 4 : 28～29)】

第 1. 9-8 表 爆発評価で想定する漂流船舶

想定火災源	燃料の種類	容量 (t)	影響先※	離隔距離 (m)
			排気筒	1, 100
				250

※：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。

【別添資料 1 (2. 2. 2. 4 : 29～30)】

第 1. 9-9 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）

想定火災源	燃料の種類	容量 (m ³)	影響先	離隔距離 (m)
熔融炉 灯油 タンク	灯油	10	原子炉建屋	45
			海水ポンプ室	185
			タービン建屋	76
主変圧器	絶縁油	136	タービン建屋	22
所内変圧器 2 A	絶縁油	21	タービン建屋	8
起動変圧器 2 B	絶縁油	47	タービン建屋	13

【別添資料 1 (2. 2. 2. 5 : 31～34)】

第 1. 9-10 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）

想定爆発源	燃料の種類	容量 (m ³)	影響先	離隔距離 (m)
水素貯槽	水素	6. 7	タービン建屋	35

【別添資料 1 (2. 2. 2. 5 : 33～34)】

第 1.9-11 表 落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種（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 3m³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。

【別添資料 1(2.3：35～36)】

第 1.9-12 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 3m³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 1.9-13 表 各航空機の輻射強度（原子炉施設）

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	輻射発散度 R f (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

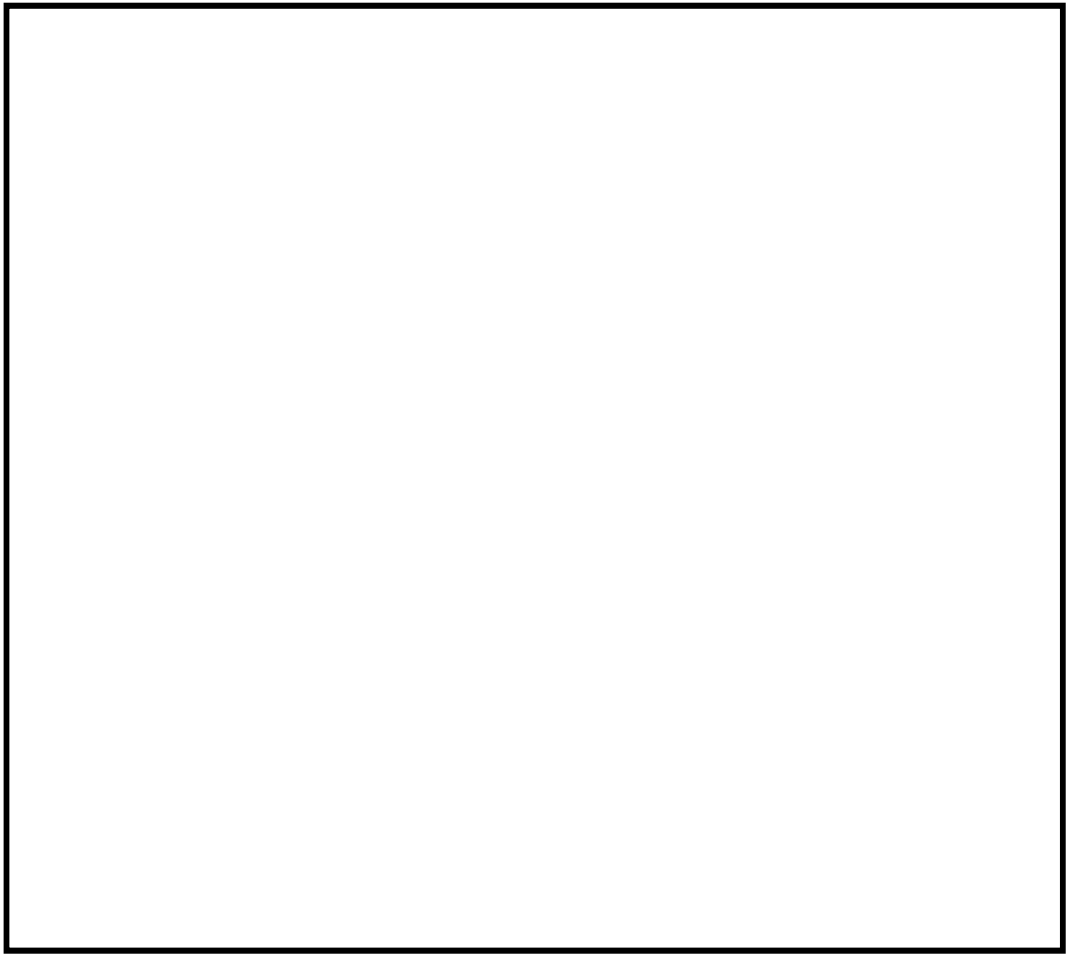
第 1.9-14 表 各航空機の輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	輻射発散度 R f (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	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

第 1.9-15 表 ばい煙による影響評価

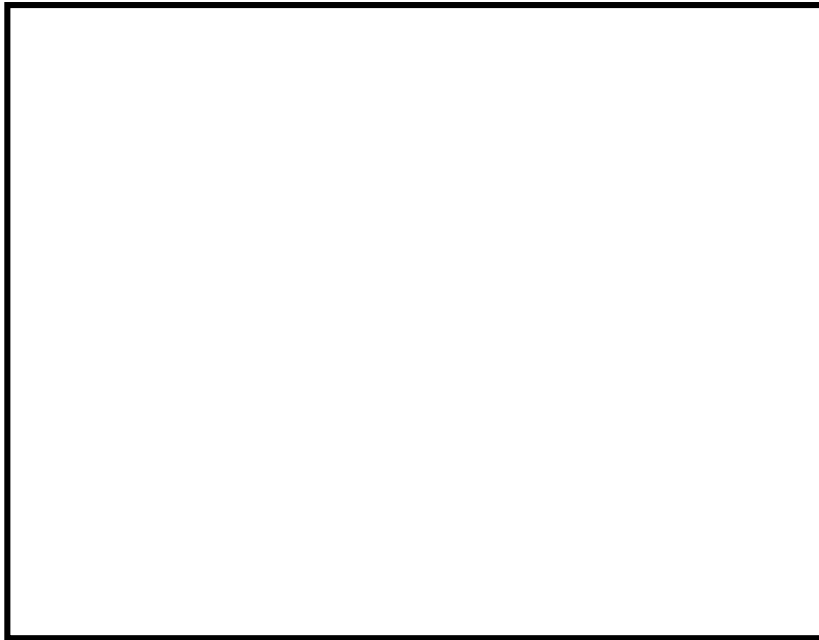
分 類		評価対象設備
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機機関
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機

【別添資料 1(2.4：41～42)】



第 1.9-1 図 防火帯設置図

【別添資料 1 (1.3 : 3～4)】



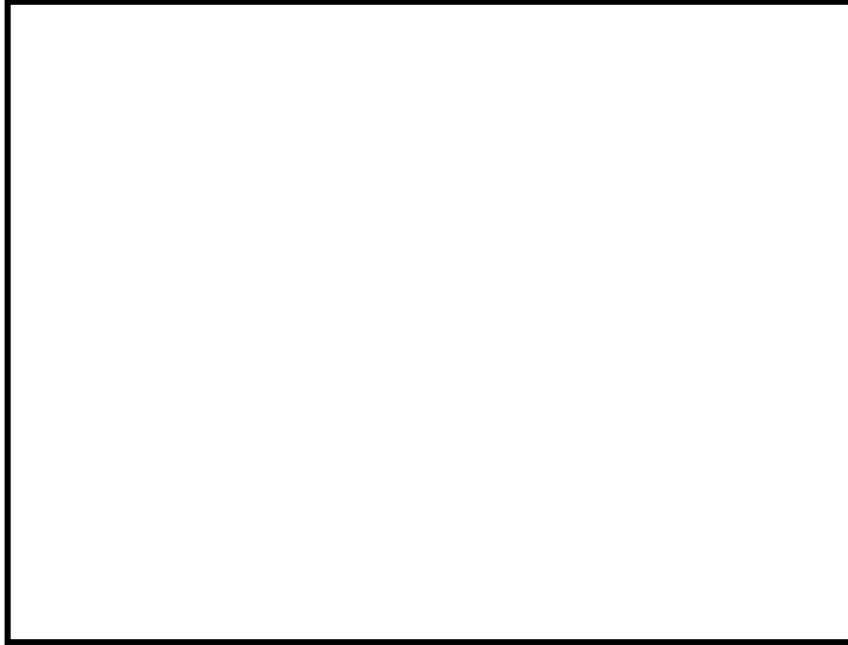
第 1.9-2 図 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に
位置する危険物貯蔵施設

【別添資料 1 (2. 2. 2. 2 : 18～21)】



第 1.9-3 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

【別添資料 1 (2. 2. 2. 2 : 22～25)】



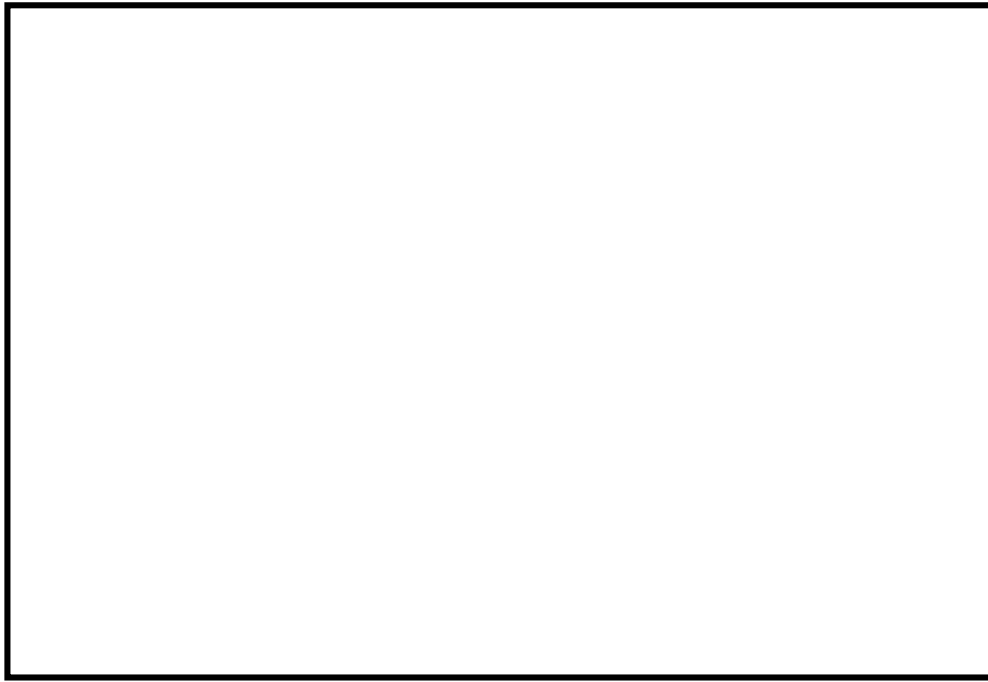
第 1.9-4 図 評価で想定する燃料輸送車両

【別添資料 1 (2.2.2.3 : 26～27)】



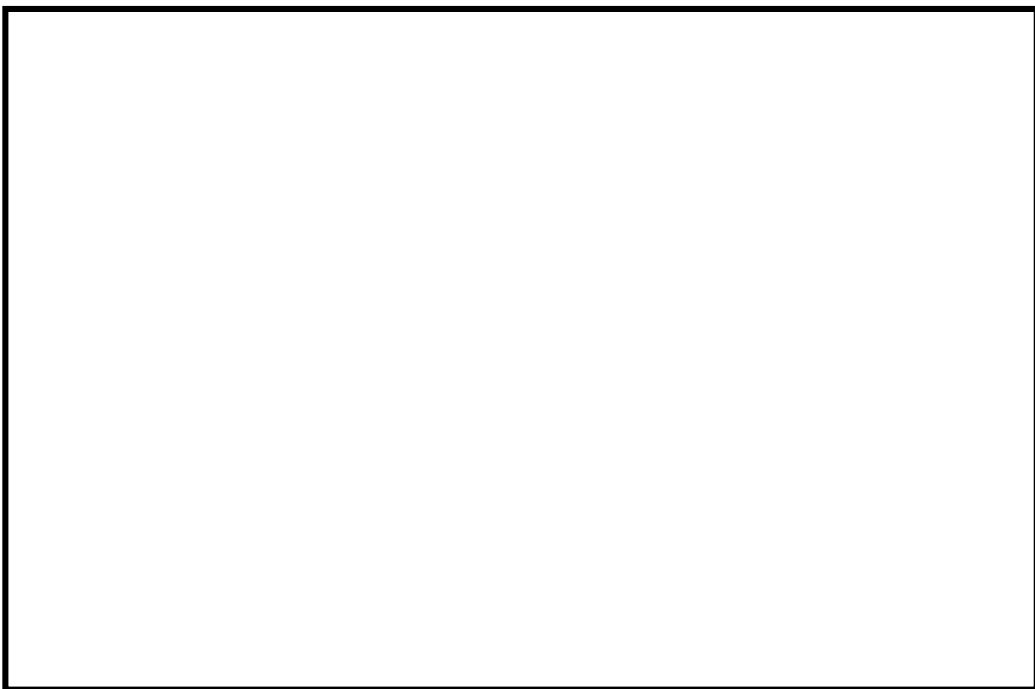
第 1.9-5 図 評価で想定する漂流船舶（輸送船）

【別添資料 1 (2.2.2.4 : 28～30)】



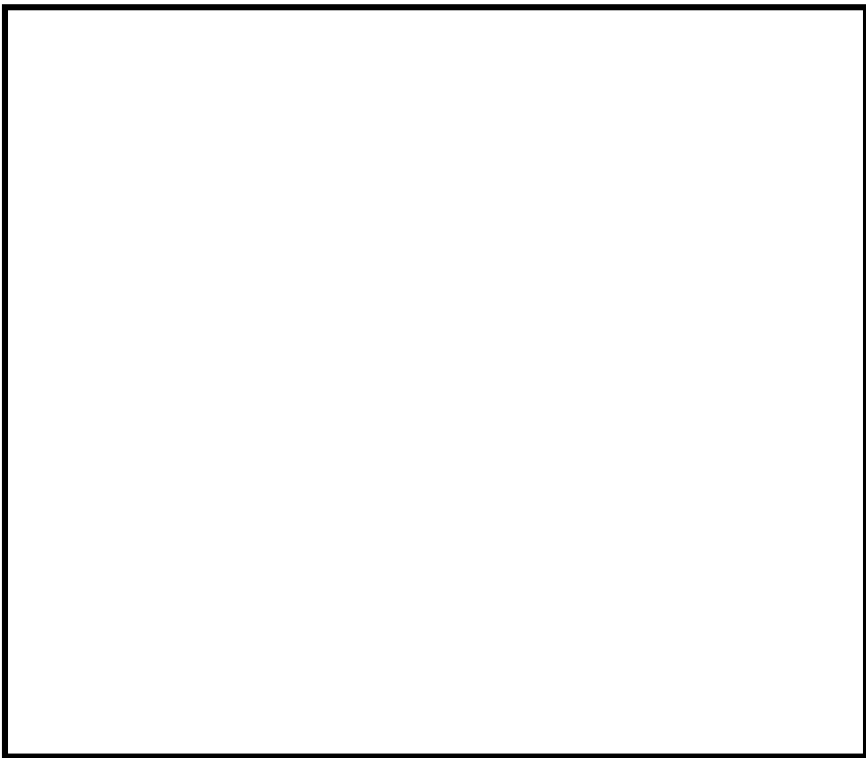
第 1.9-6 図 評価で想定する漂流船舶（内航船及び定期船）

【別添資料 1 (2.2.2.4 : 28～30)】



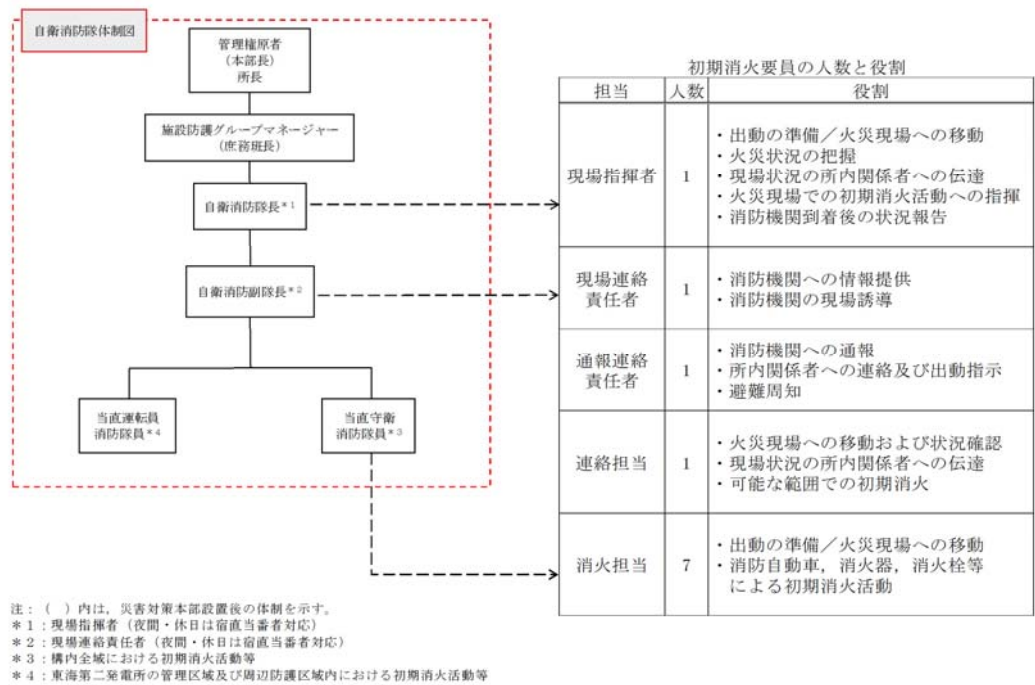
第 1.9-7 図 危険物貯蔵施設等配置図（危険物貯蔵施設）

【別添資料 1 (2.2.2.5 : 31～33)】



第 1.9-8 図 危険物貯蔵施設等配置図（変圧器）

【別添資料 1 (2.2.2.5 : 33～34)】



第 1.9-9 図 自衛消防組織体制表

【別添資料 2 (1～3)】

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	40

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

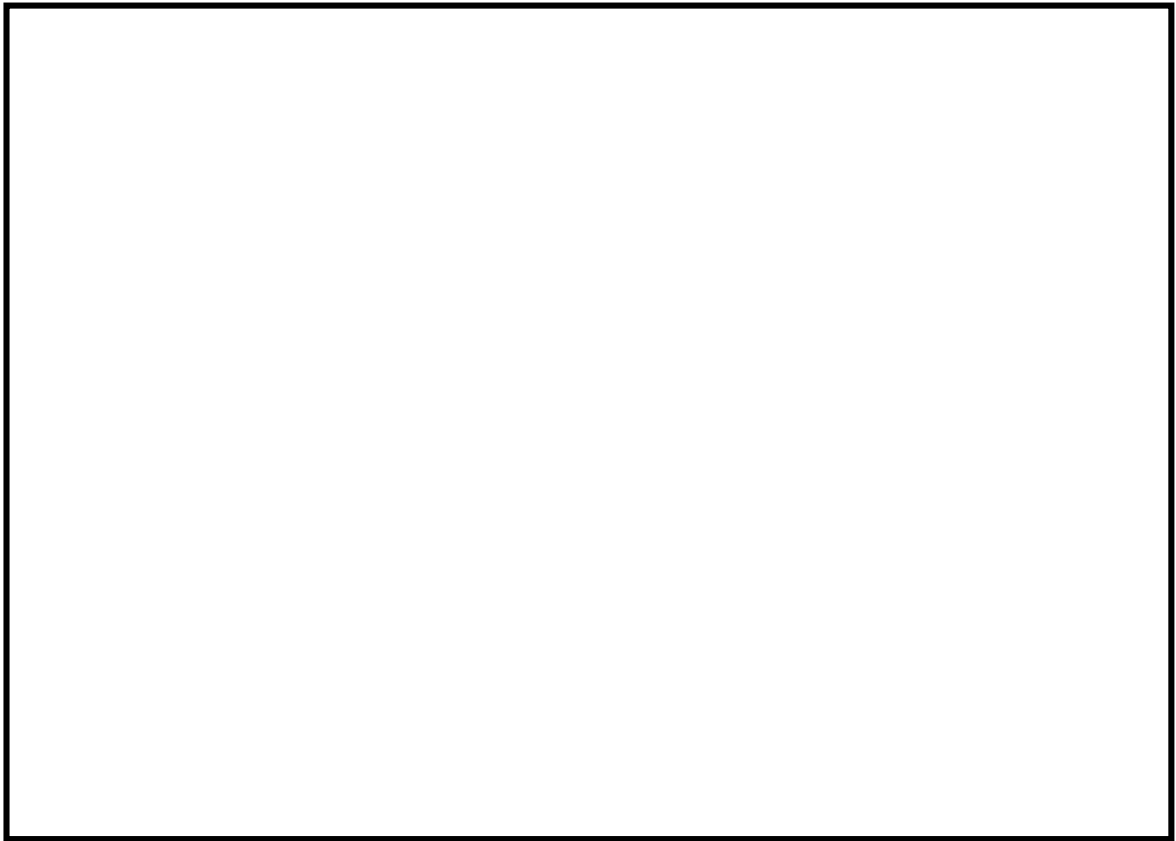
火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災	・森林火災シミュレーション解析コード（F A R S I T E）を用いた森林火災評価 ・森林火災評価に基づく評価対象施設への影響評価	・火炎の到達時間 ・防火帯幅 ・熱影響 ・危険距離	二次的影響（ばい煙等，有毒ガス）
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発	・発電所敷地外の石油コンビナート等について，発電所との距離を考慮した影響評価	・危険距離 ・危険限界距離	
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災・爆発	・発電所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 F A R S I T E 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 F A R S I T E 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 2 8 4 号線沿いの水田に設定。

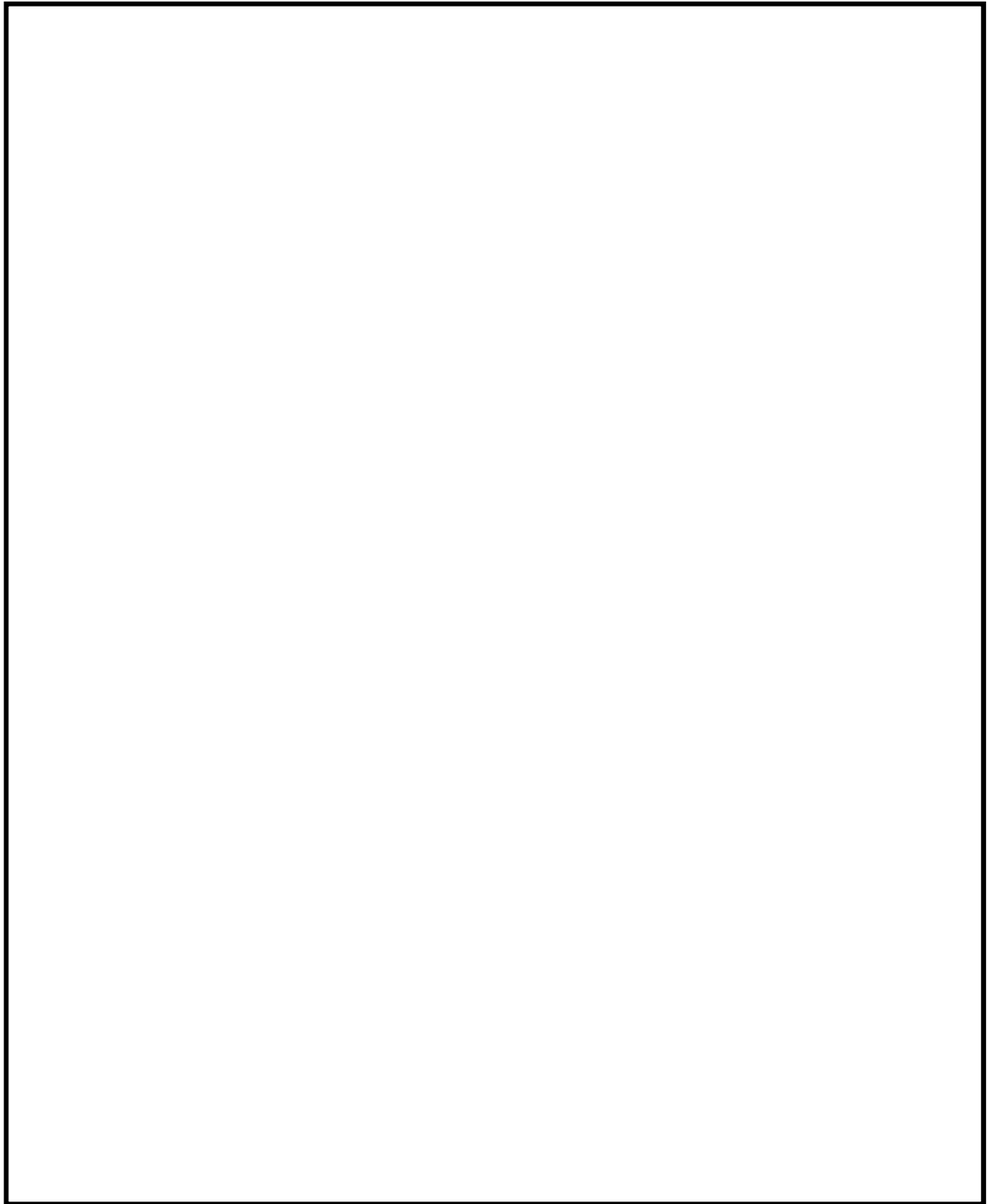
発火点 4：卓越風向である北方向で，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，発火点 2 より遠方となる海岸沿いに設定。

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 2 4 5 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 発火点位置及び延焼距離並びに風向及び敷地境界

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

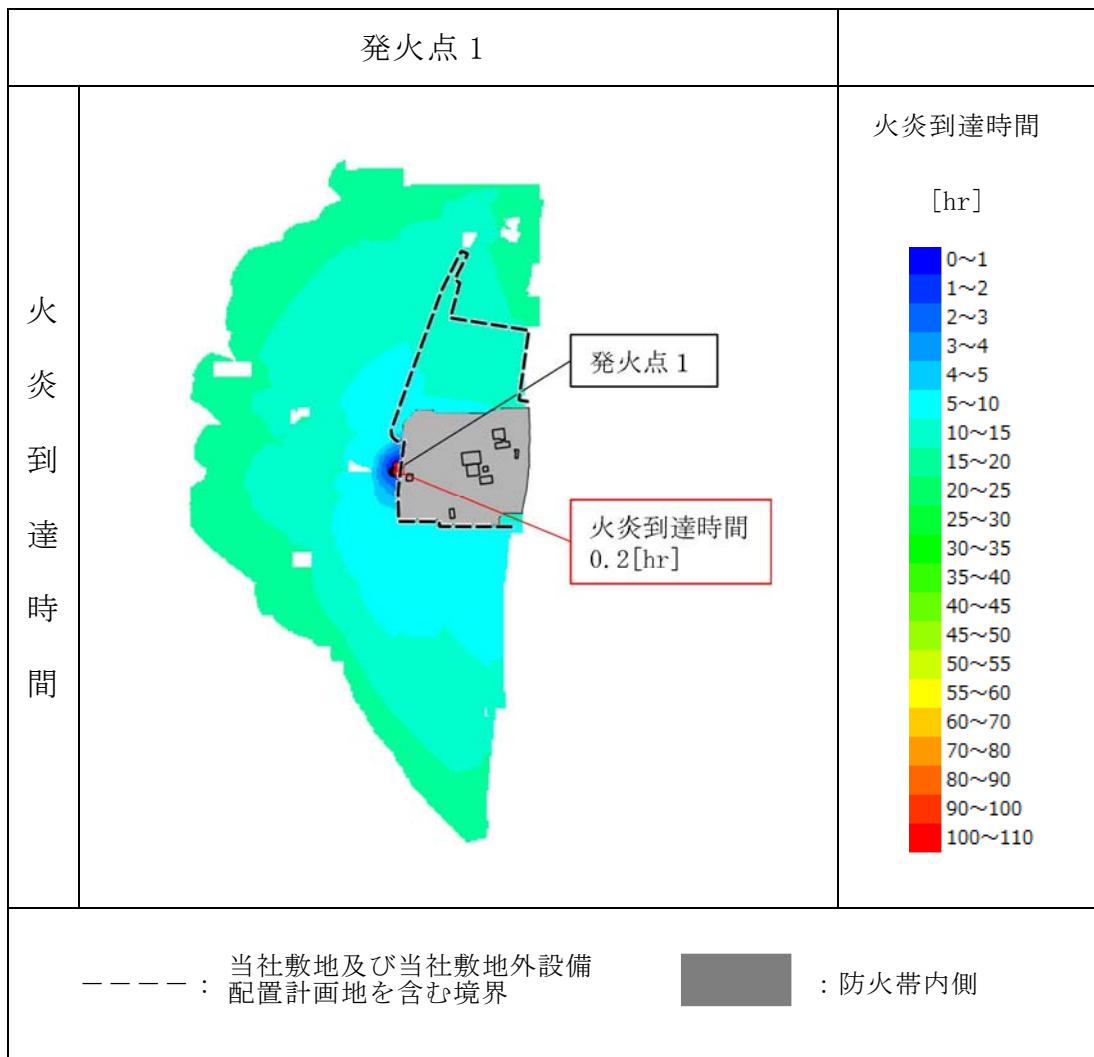
(2) 初期消火活動及び体制

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 火炎到達時間分布



2.1.3.2 防火帯幅の評価

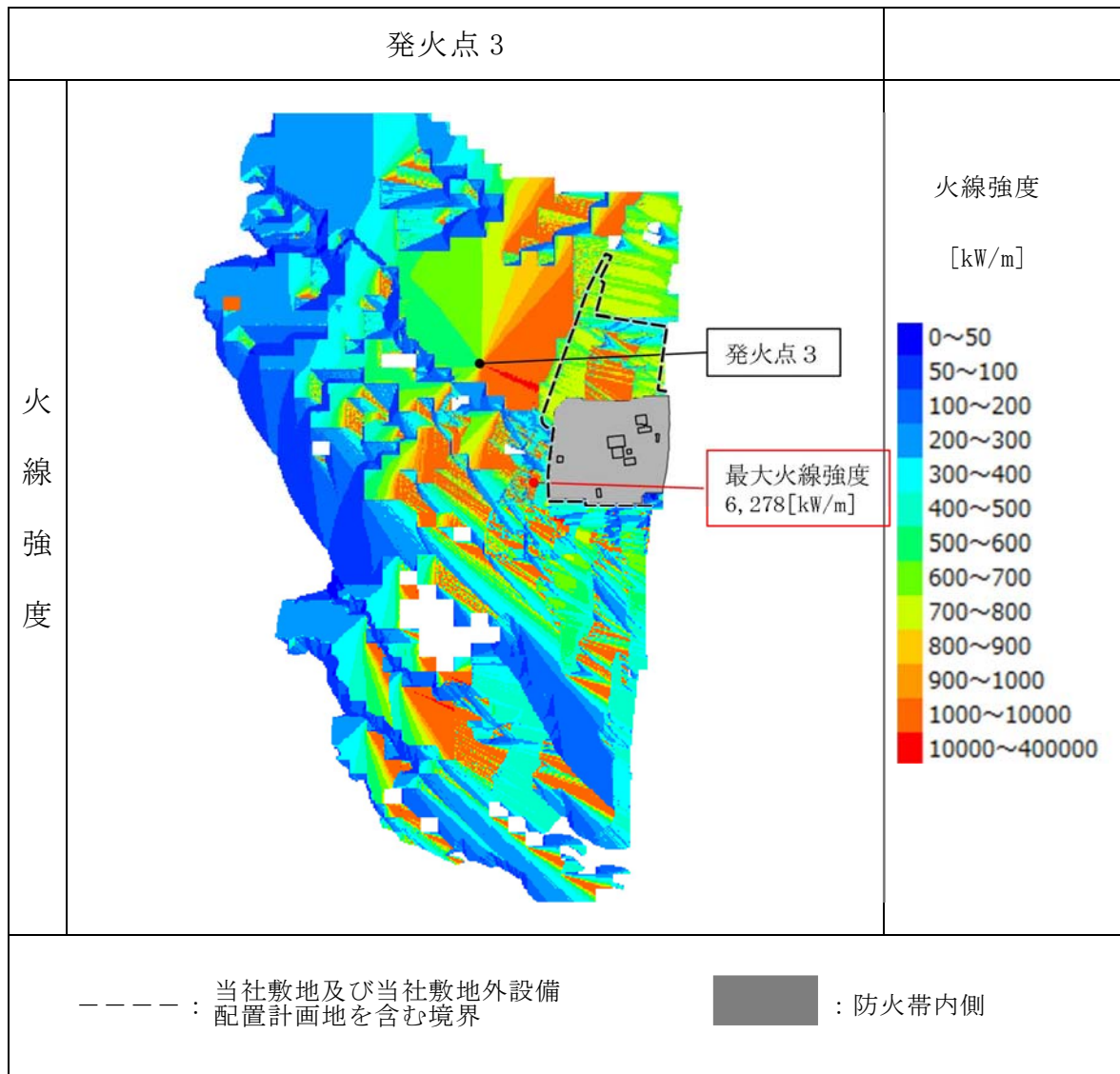
(1) 最大火線強度

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

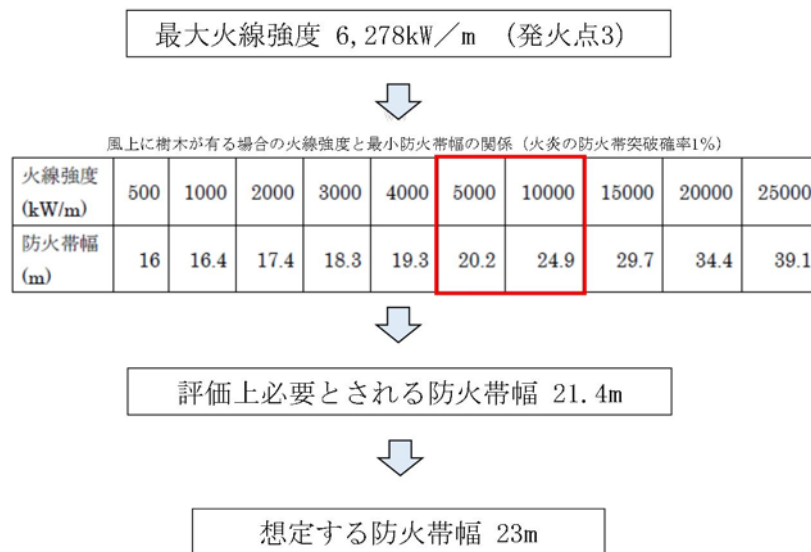
発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
最大火線強度 (kW/m)	4,167	4,771	6,278	5,961	5,006	5,890	3,391

第 2.1.3.2-2 表 発火点 3 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、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

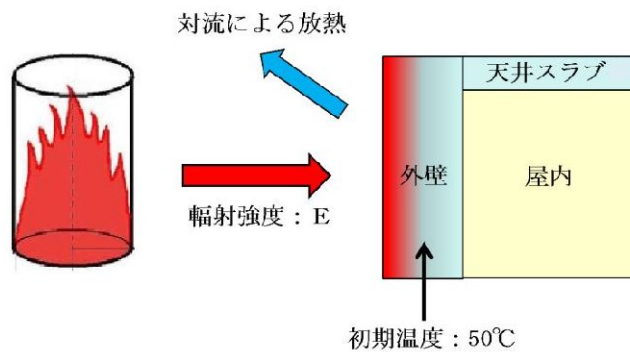
F A R S I T E 解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響がない事を確認した。

(1) 影響評価対象施設外壁

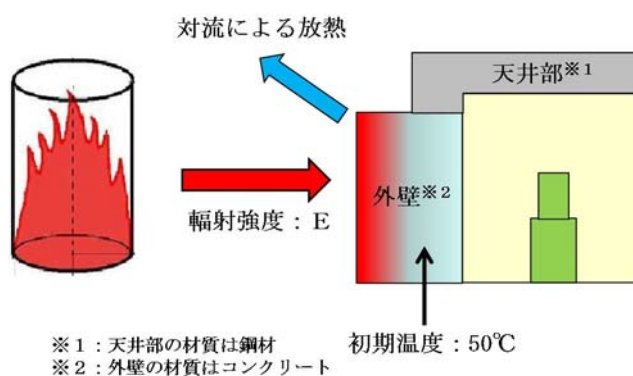
森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-1 表に，建屋外壁の評価概念図を第 2.1.3.3-1 図に，海水ポンプ室の評価概念図を第 2.1.3.3-2 図に示す。

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



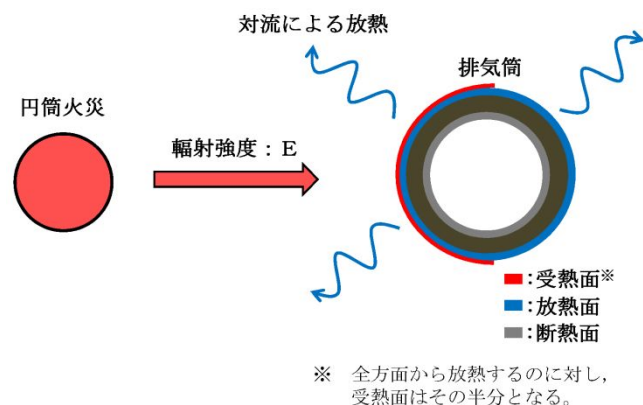
第 2. 1. 3. 3-2 図 海水ポンプ室の評価概念図

(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



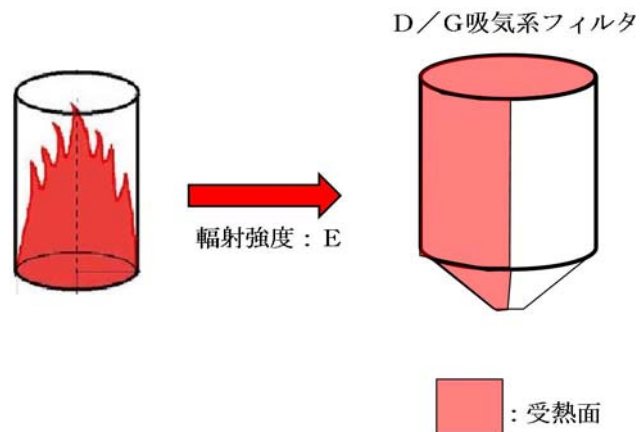
第 2. 1. 3. 3-3 図 排気筒の評価概念図

(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。

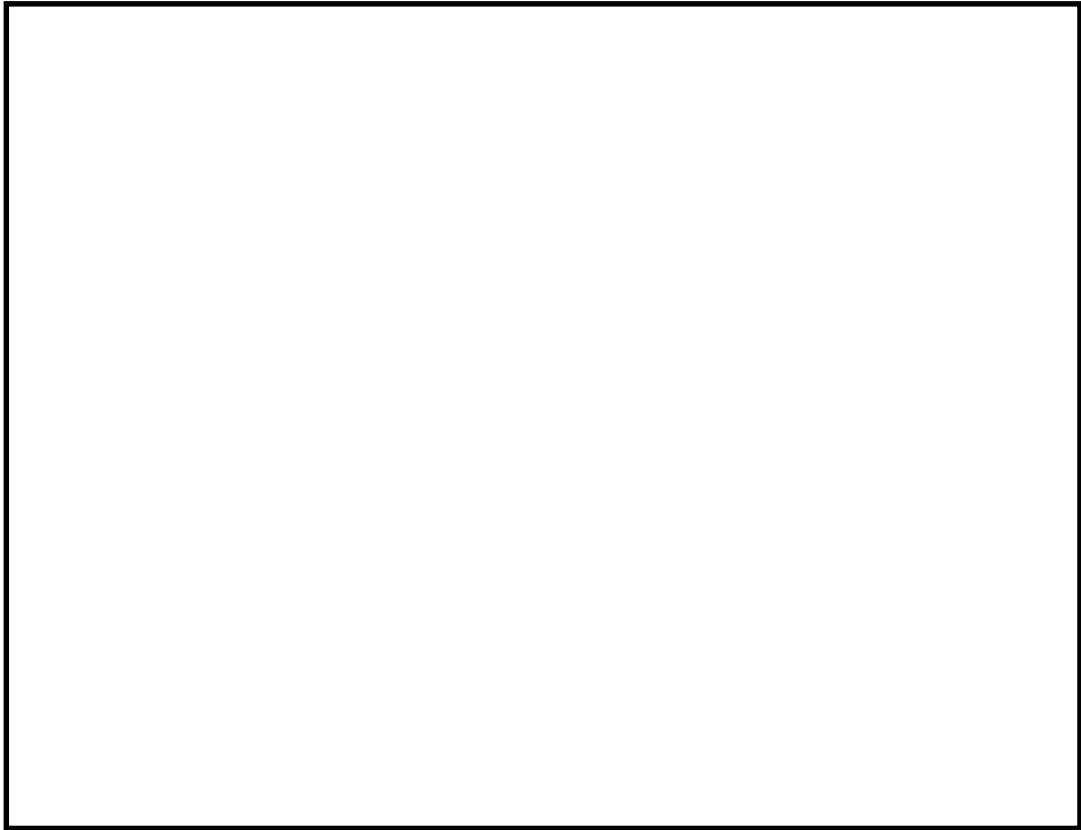
※1：「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令第 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量

※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

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。

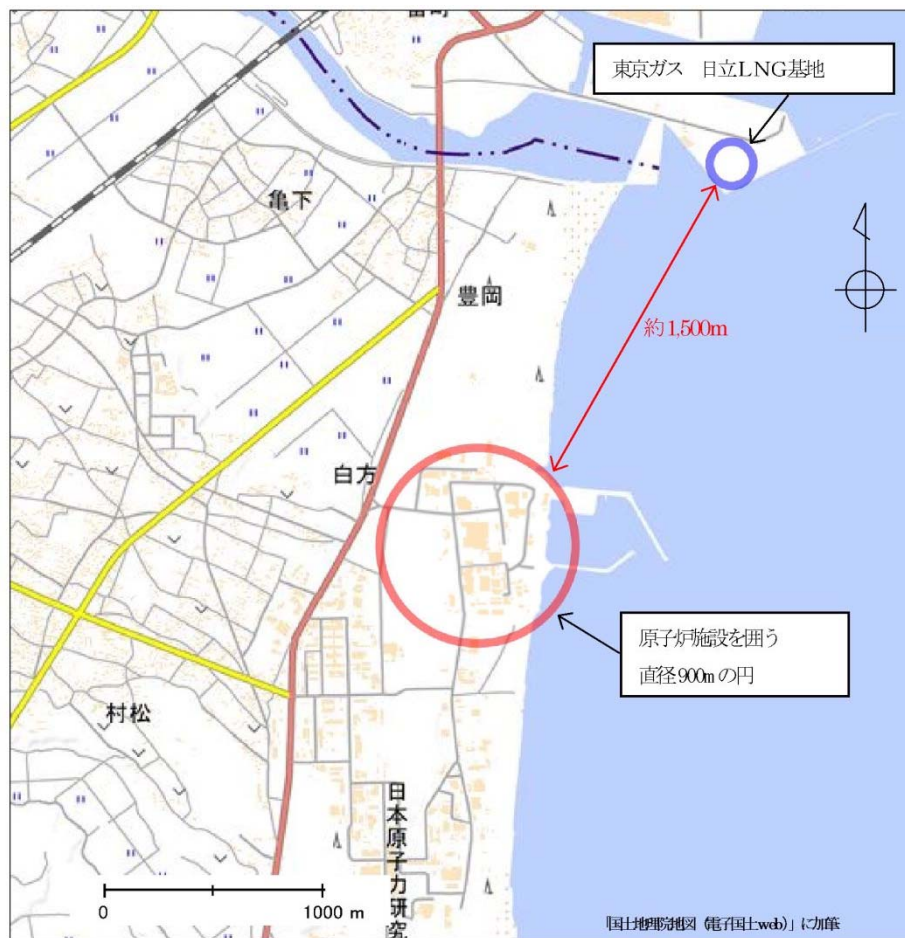
第2.2.2.2-1表 火災の影響評価結果

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、敷地境界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2.2.2.2-2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)
L N G タンク	メタン	97,704	373	1,500
L P G 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（30m³）のガソリンが搭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: [] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] の評価に包絡されるため影響評価対象外とした。

※2: [] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] 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敵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

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）

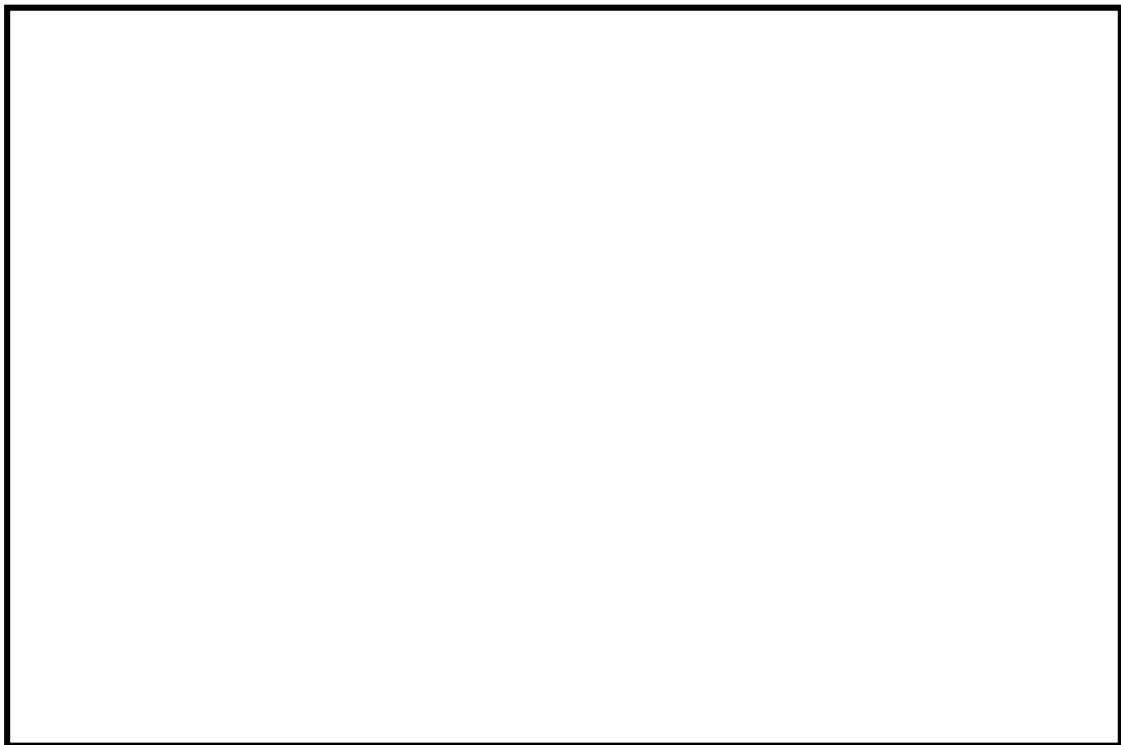
2.2.2.5.1 火災源又は爆発源となる設備の影響評価

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、熔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

熔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 (℃)
熔融炉灯油タンク	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

熔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 (℃)
熔融炉灯油タンク	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、水素貯槽に最も近い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 2.2.2.5.1-3 表に示す。

第 2.2.2.5.1-3 表 爆風圧の影響評価結果

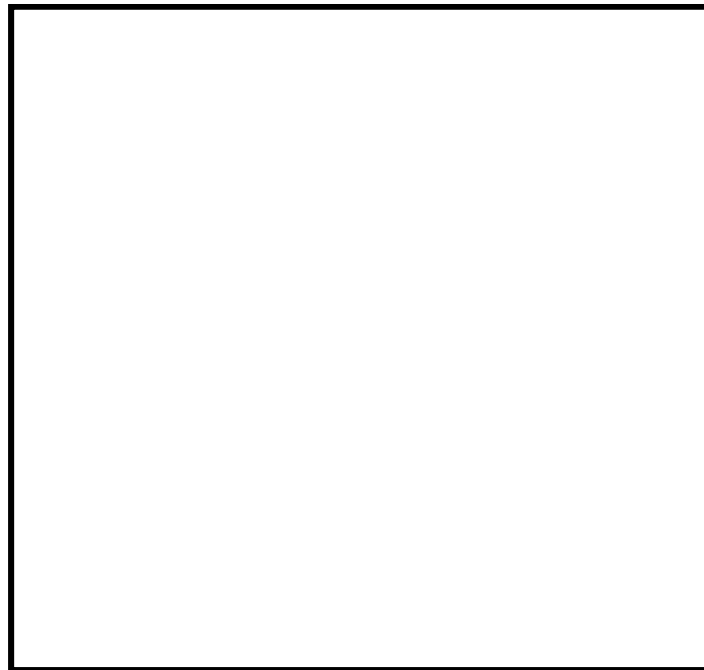
想定爆発源	影響評価対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
水素貯槽	タービン建屋	7	35

※：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、主変圧器，所内変圧器 2 A，起動変圧器 2 B 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 (℃)
主変圧器	タービン建屋	149	< 200
所内変圧器 2 A		187	
起動変圧器 2 B		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

1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	
	②航空路を巡航時	
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	
	④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域内で訓練中及び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
		⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

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、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（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、燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³ と少量であることから、Do228-200 よりも燃料搭載量が多く、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。

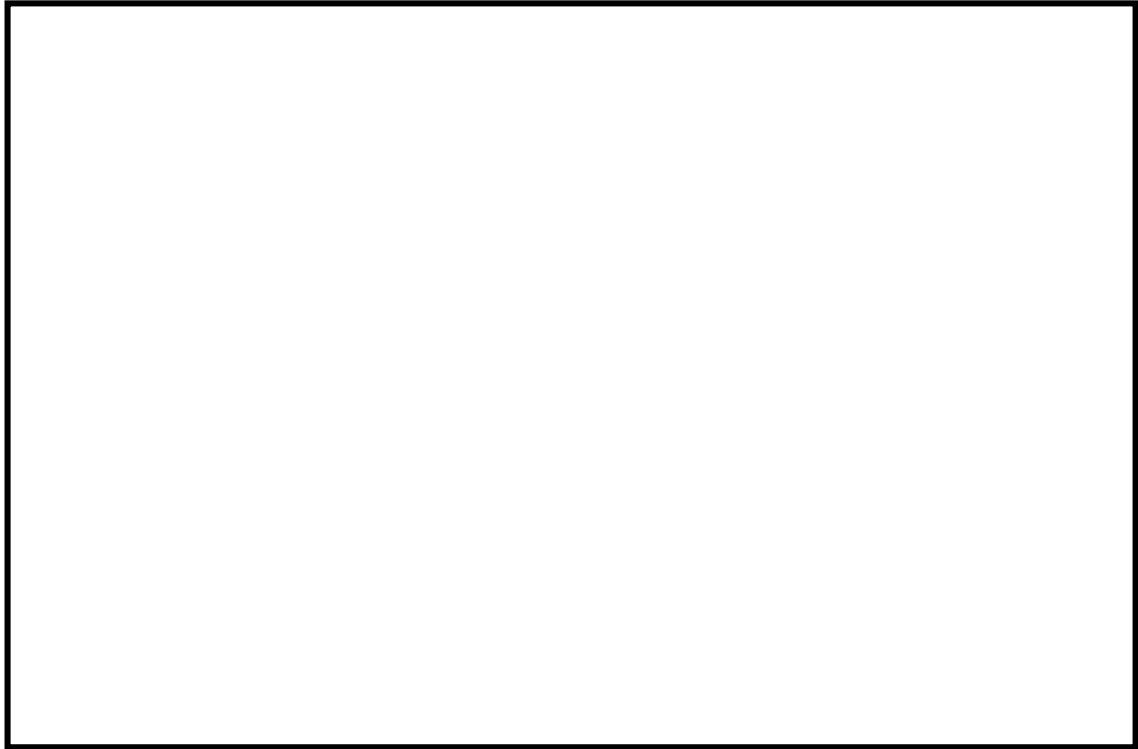
第 2.3.2.2-2 表 落下事故のカテゴリごとの離隔距離及び輻射強度
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

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

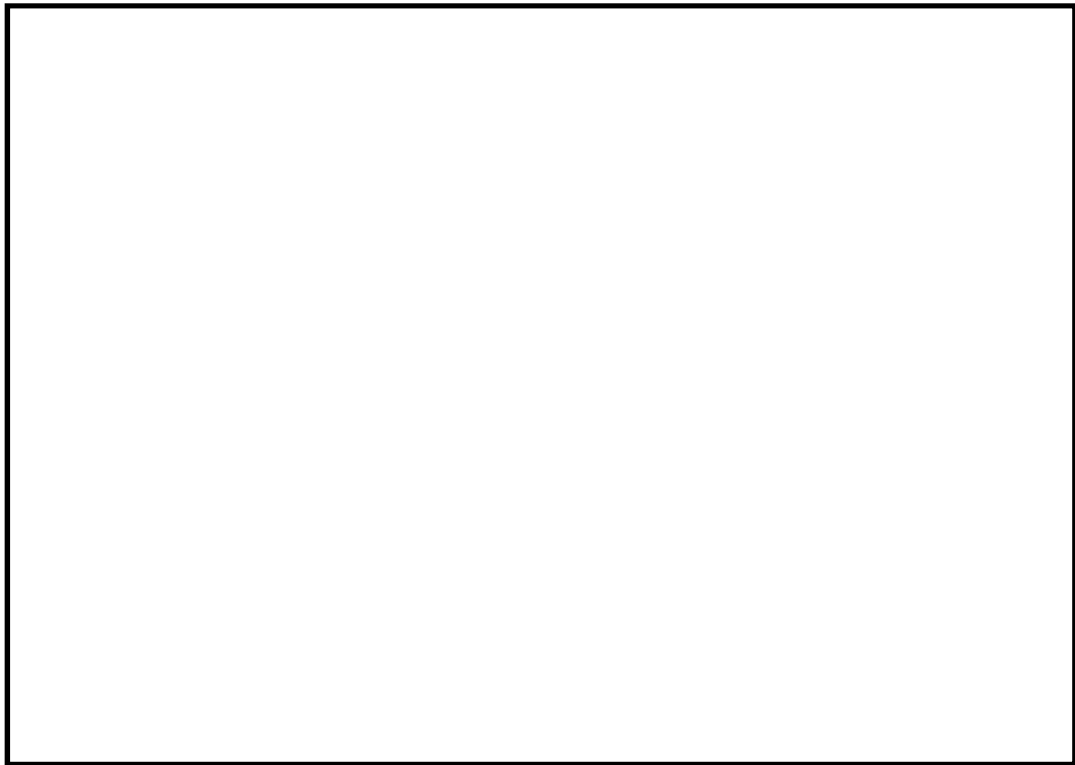
※1：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については，「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※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，燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³と少量であることから，Do228-200 よりも燃料搭載量が多く，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 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（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（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 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	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 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	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/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	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熔融炉灯油タンク及び主変圧器とした。

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 (℃)
熔融炉灯油タンク 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閉回路循環運転を行うことで、ばい煙の侵入を阻止可能である。 （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		閉回路循環運転により、酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙の侵入を阻止可能である。中央制御室給気口位置における航空機墜落火災で発生する有毒ガス濃度を求め、中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを確認した。 （第 2.4.2-2～6 表）

第 2.4.2-2 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

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

第 2.4.2-3 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%

第 2.4.2-4 表 緊急時対策所外気遮断時の酸素濃度

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

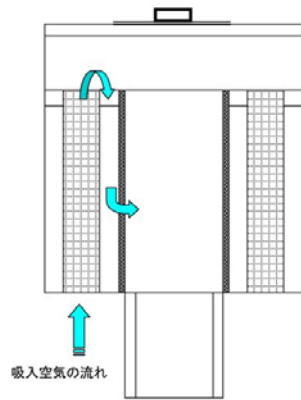
第 2.4.2-5 表 緊急時対策所外気遮断時の炭酸ガス濃度

時間	1 時間	2 時間	4 時間	6.1 時間
炭酸ガス濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%

第 2.4.2-6 表 火災発生による有毒ガス濃度

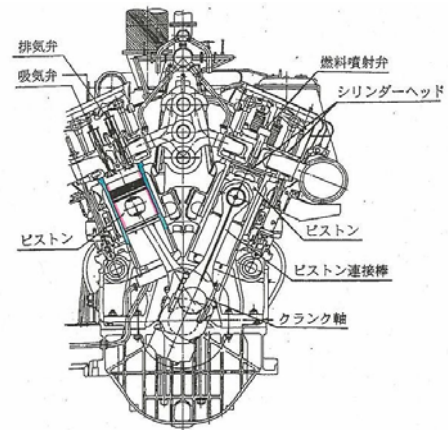
想定火災源	影響評価対象	ガス濃度 (ppm)			
		C O ₂	C O	S O ₂	N O ₂
航空機墜落火災 (F-15)	中央制御室 換気系 吸気口 B2-19A	7,883	116	3	15
判断基準：I D L H※		40,000	1,200	100	20

※：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



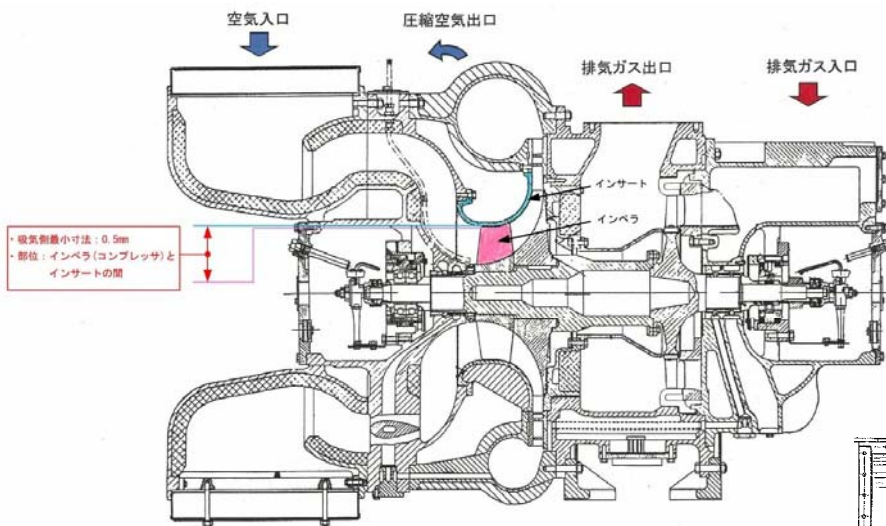
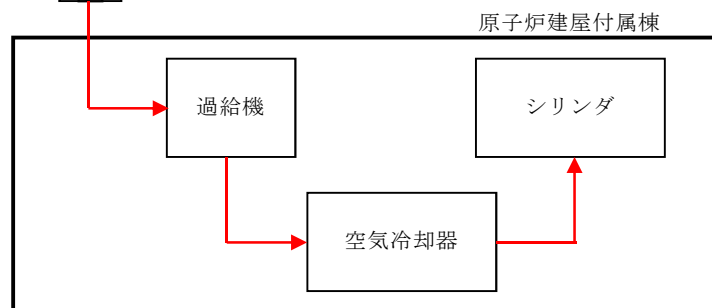
フィルタ構造

フィルタ

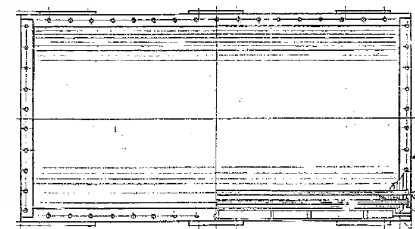


シリンダ構造

(シリンダ/ピストン間隙：数 μm ～数十 μm)



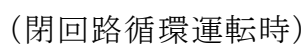
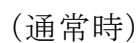
過給機断面



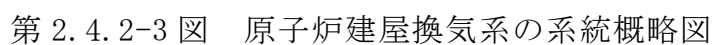
空気冷却器構造

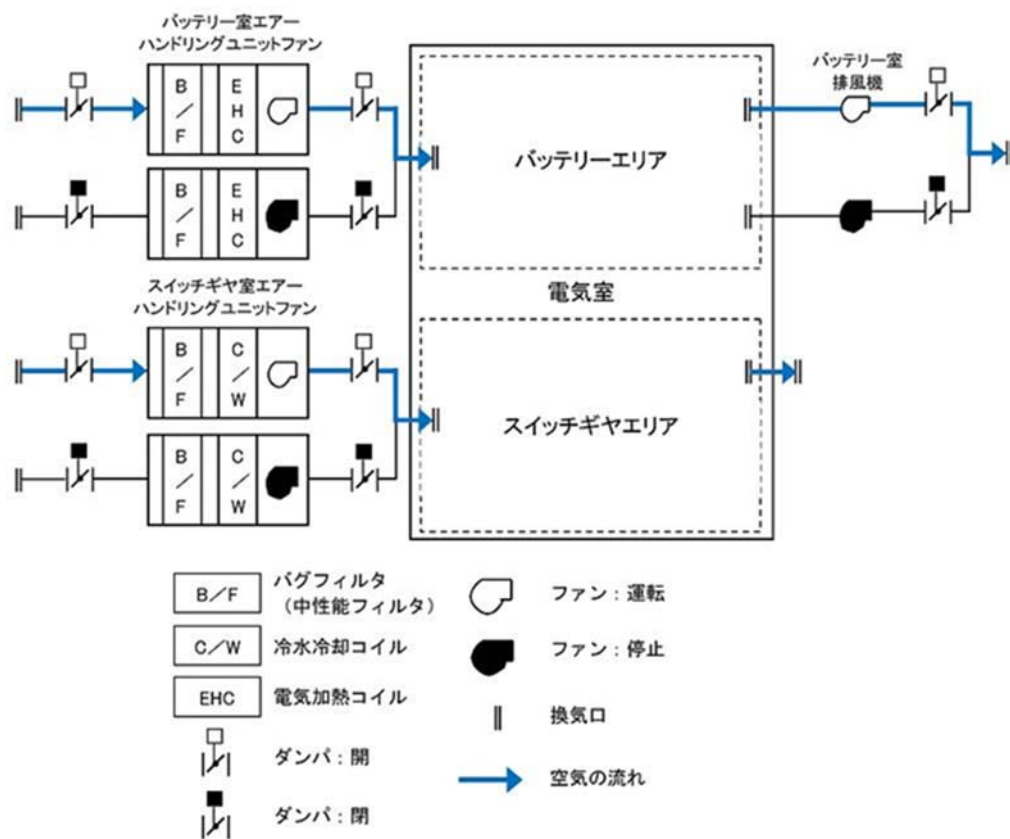
(狭隙部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm)

第 2.4.2-1 図 ディーゼル発電機吸気系統構造図

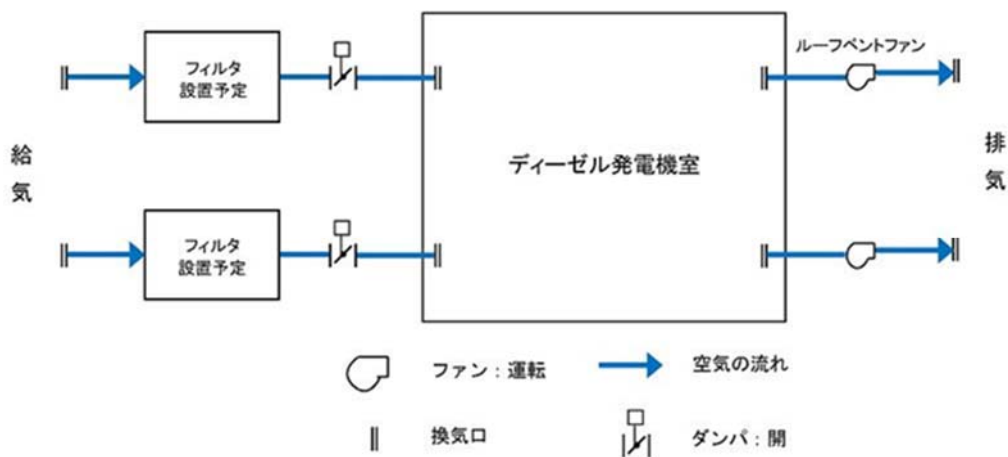


第 2.4.2-2 図 中央制御室換気系の系統概略図





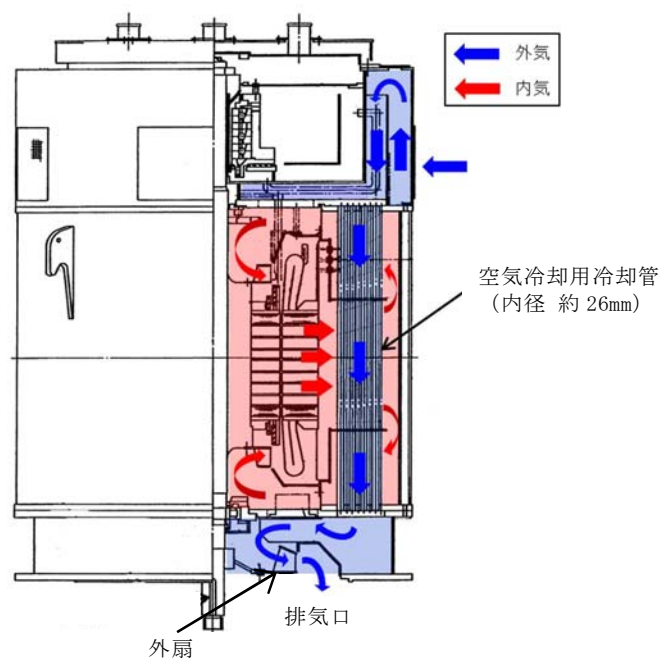
第 2. 4. 2-4 図 電気室換気系の系統概略図



第 2. 4. 2-5 図 ディーゼル発電機室換気系の系統概略図



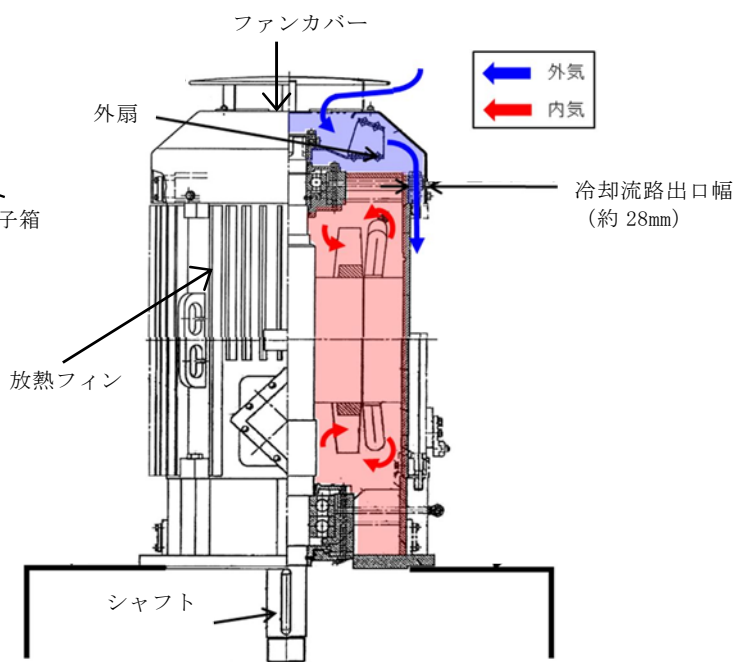
端子箱



第2.4.2-6図 残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図



端子箱



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

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、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（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		
				建屋内 設置※1	屋外 設備等	熱影響評価		ばい煙 評価 外気を取り 込む又は屋 外設置
	定 義	機 能	構 築 物， 系 統 又 は 機 器			建 屋 外 壁※1	個 別 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。） ・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。） ・上部タイププレート ・下部タイププレート 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 －サブプレッション・プール ・高圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サブプレッション・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（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 外気を取り 込む又は屋 外設置
	定 義	機 能	構 築 物， 系 統 又 は 機 器			建屋 外壁※1	個別 機器	
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，原子炉圧力ダバリの過圧を防止し，辺の放射線の影響を防止する構造物，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 －サブプレッション・プール ・低圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サブプレッション・プール ・高圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サブプレッション・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 ・サブプレッション・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) 安全上必要なその他の構造物，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	○	○ （ディーゼ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（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		
	定義	機能	構造物，系統又は機器	建屋内設置※1	屋外設備等	熱影響評価	ばい煙評価	外気を取り込む又は屋外設置
MS-1	2) 安全上必要なその他の構造物，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) その損傷又は故障発生の事象によつて，著しい損傷の発生を招きおそれる，又は破損を招きおそれる，又は過度の放射の放出を招きおそれる構造物，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ナリから除却されている小口径のものが，パウナリに直接接続されたりは除く。）	主蒸気系（格納容器隔離弁の外側のみのみ）	○		○		
			原子炉冷却材浄化系（格納容器隔離弁の外側のみのみ）	○		○		
		2) 原子炉冷却材圧力バウナリに直接接続されていないものであつて，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) 通常運転時及び過渡時に要するもので，その故障が，炉心冷却能力の低下を招きおそれる構造物，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（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 外気を取り 込む又は屋 外設置
	定 義	機 能	構 築 物， 系 統 又 は 機 器			建屋 外壁※1	個別 機器	
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 ー ポンプ ー 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）	○		○		

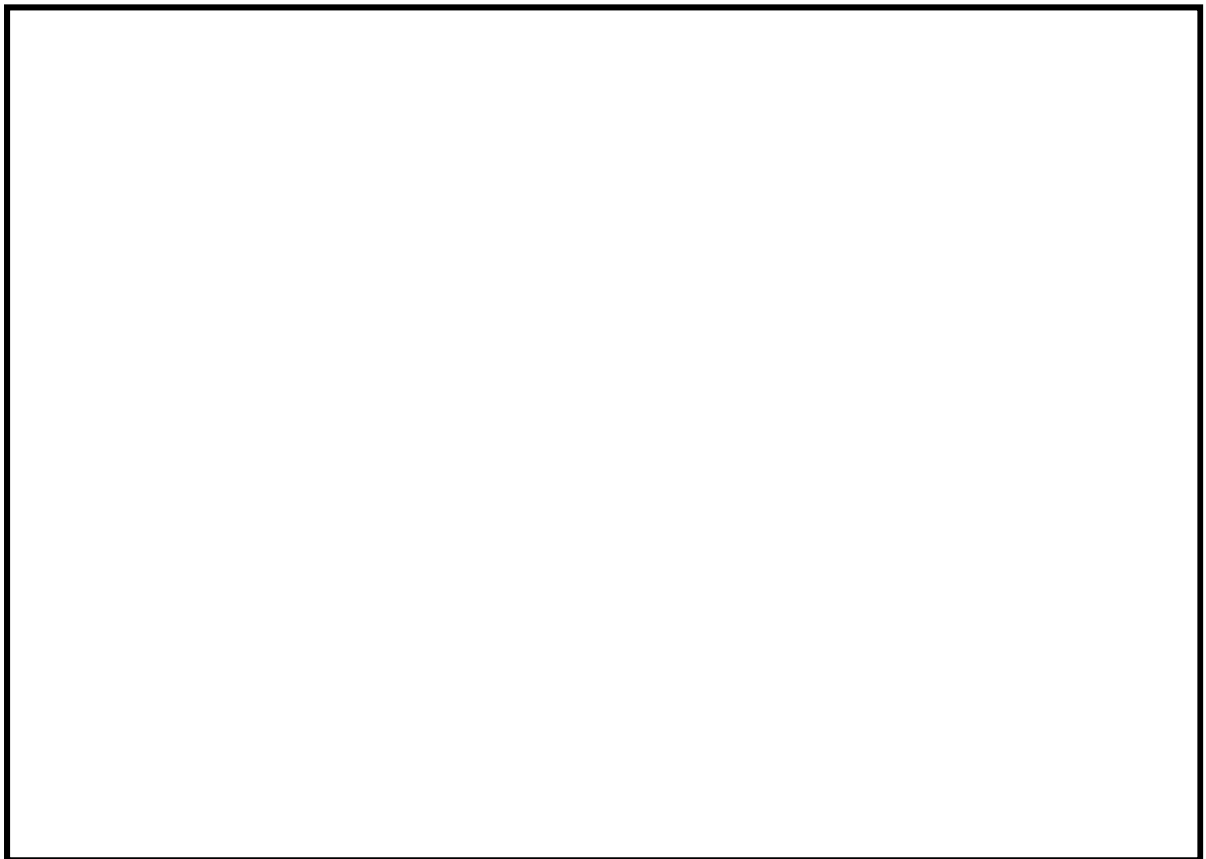
※ 1：原子炉建屋，タービン建屋又は使用済燃料乾式貯蔵建屋

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、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. クラス3に属するSSCについて

クラス3に属するSSCのうち、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、防火帯幅の確保及び消火活動の実施による防護並びに代替施設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 クラス 3 に属する S S C 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
	定義	機能	構築物，系統又は機器	原子炉建屋等※1	個別建屋	屋外	
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 ・試料採取系統配管 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
		4) 電源供給機能 (非常用を除く)	新燃料貯蔵庫	○			①，②
			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 通常運転に支障なく低く抑 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 クラス 3 に属する S S C 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 S S C 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。

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) 火災の到達時間
- (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F A R S I T E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 F A R S I T E 評価に用いたデータ

(1) 各種入力データ

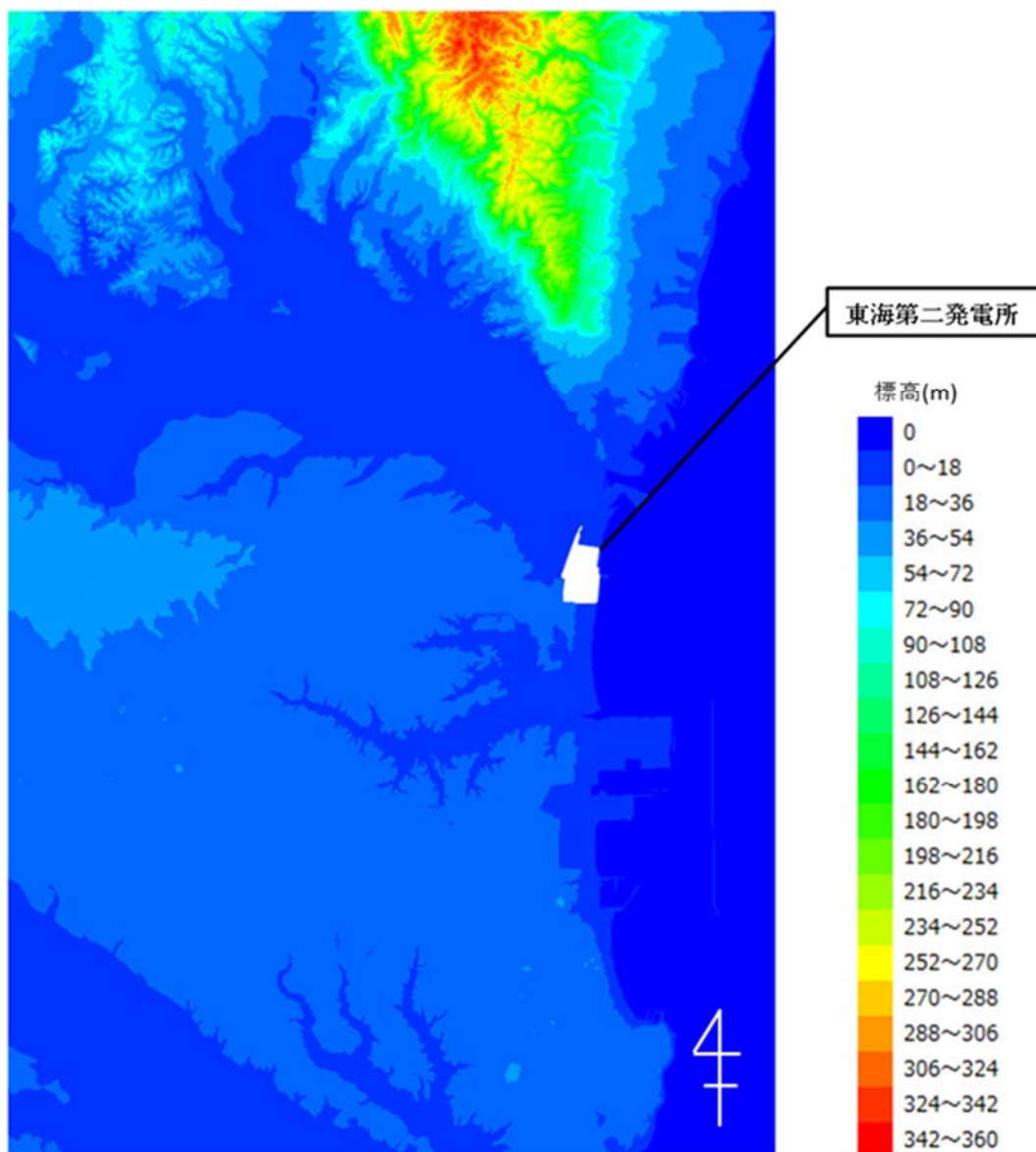
F A R S I T E に入力したデータは評価ガイド記載に対し第 2.1-1 表のとおりとした。

第 2.1-1 表 F A R S I T E 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，最大風速時の風向を用いた。

(2) 地形データの設定

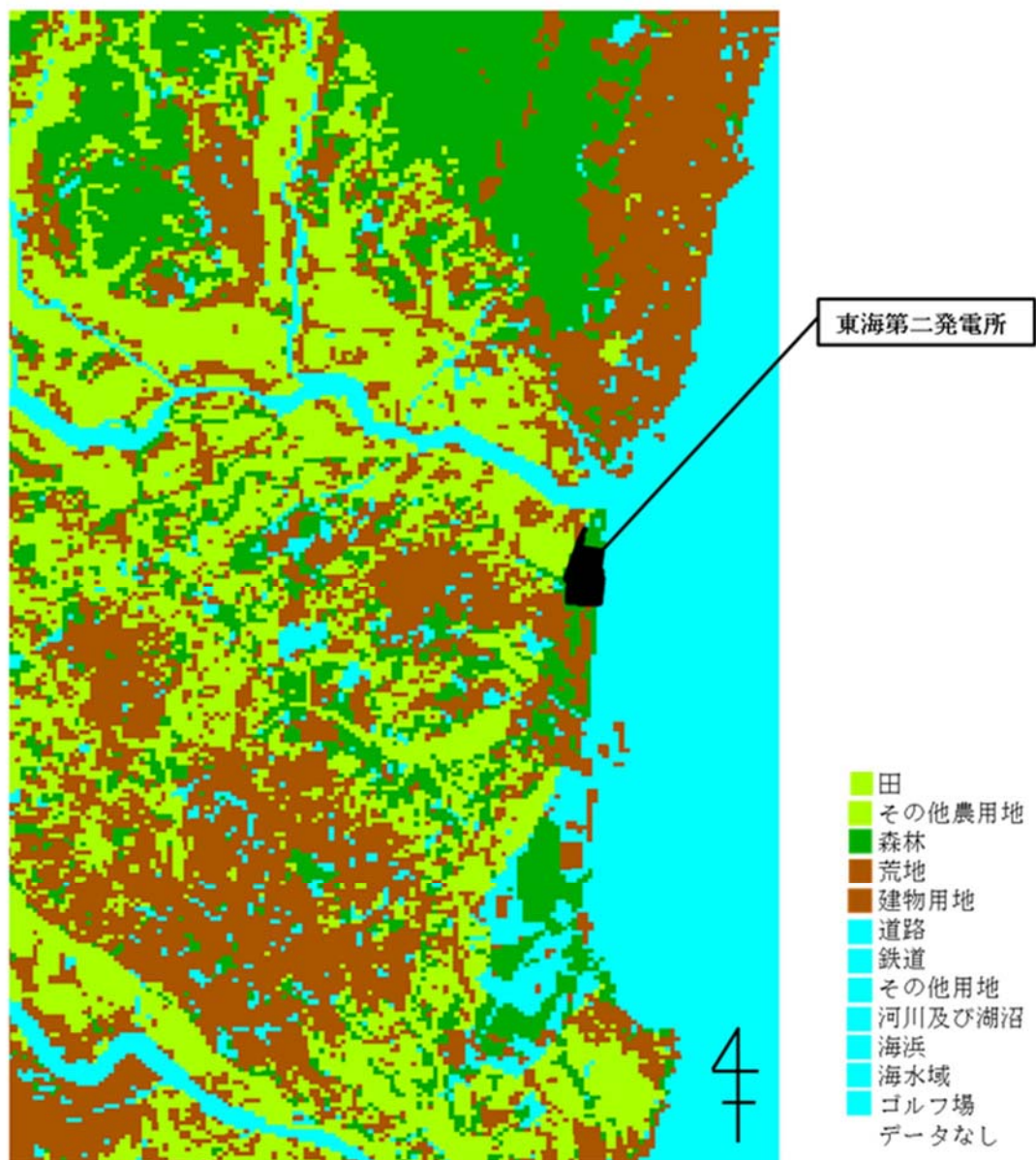
公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。設定した地形データを第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図 地形データ

(3) 土地利用データの設定

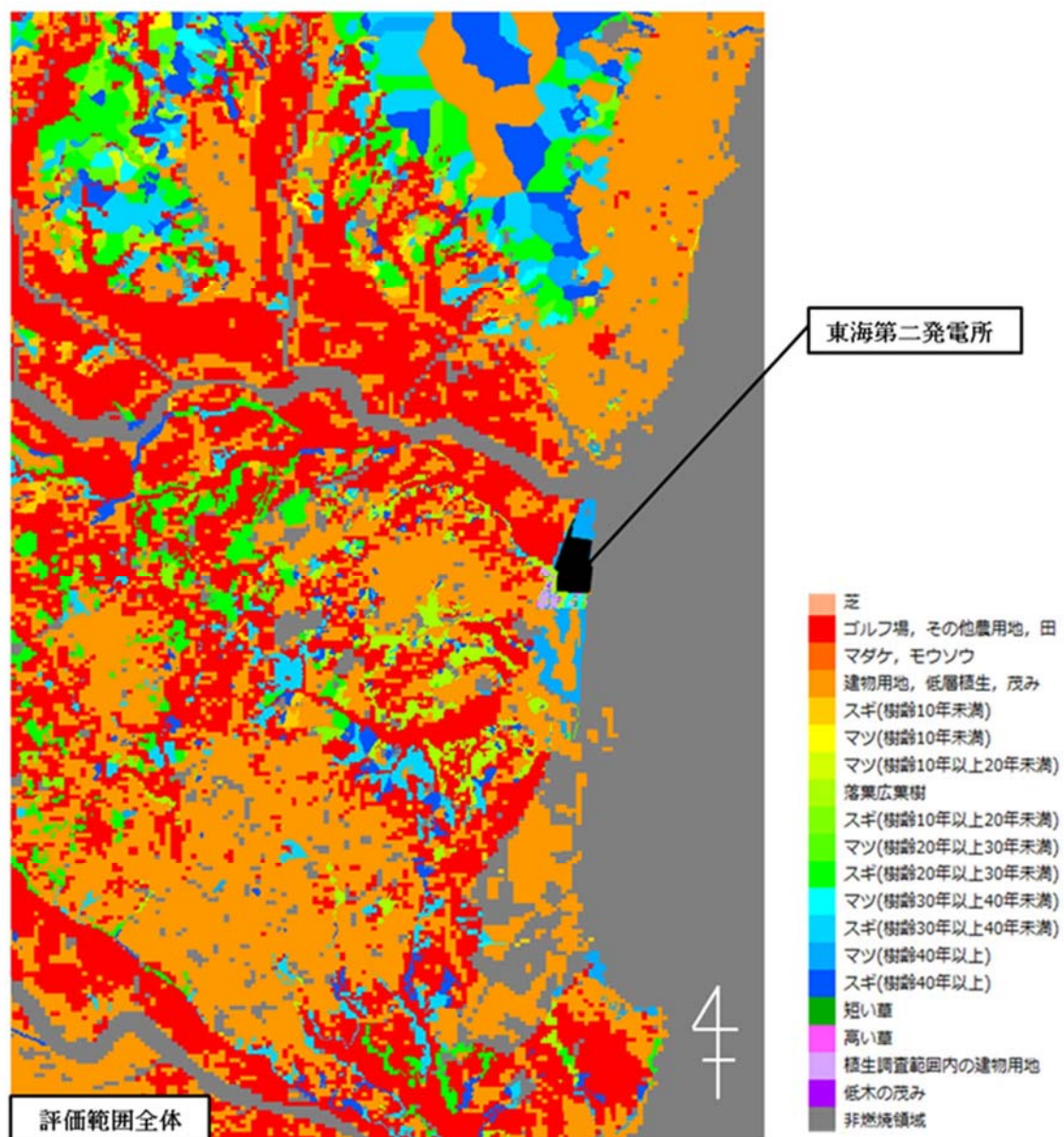
公開情報の中でも高い空間解像度である「国土数値情報 土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。設定した土地利用データを第 2.1-2 図に示す。



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。



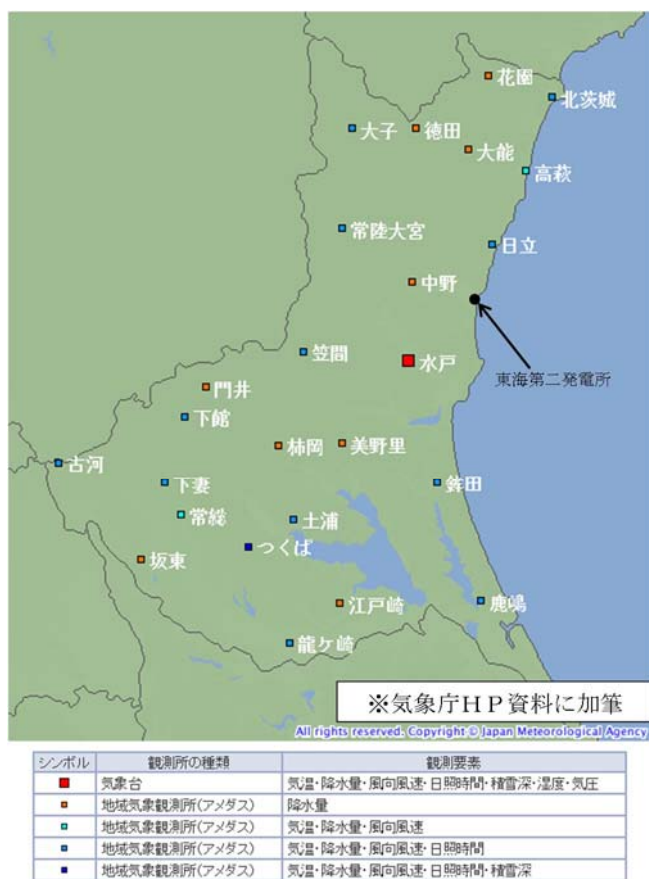
第 2.1-3 図 植生データ

(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 F A R S I T E 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。



〈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。

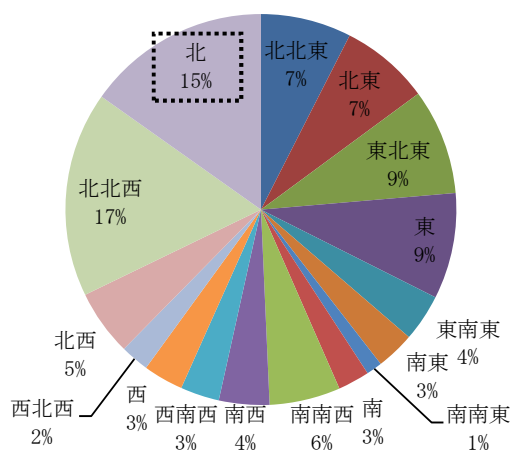
卓越風向は、水戸地方気象台観測データの高い割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

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）

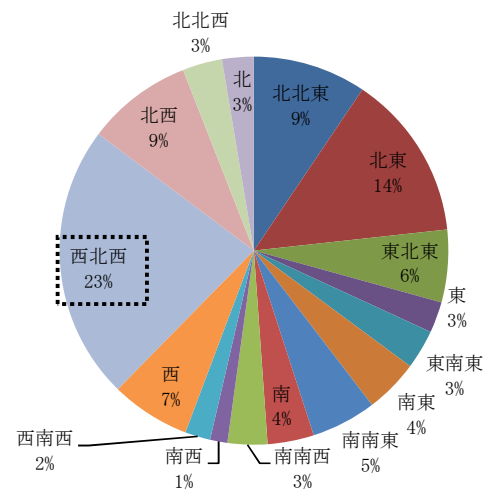
月	水戸地方気象台 気象観測データ					茨城県内の月別 森林火災件数※
	最高気温 (℃)	最大風速 (m/s)	最大風速記録 時の風向		最小湿度 (%)	
			第 1 位	第 2 位		
1	16.9	17.5	北東	北東	17	79
2	24.3	17.5	北北東	北東	13	86
3	25.9	14.3	北東	北北東, 南西	11	131
4	29.3	15.1	北北東	北東	13	126
5	30.8	13.5	北東	北北東	13	54
6	33.5	14.2	北北東	北北東	21	10
7	36.4	11.8	北北東	北北東	35	13
8	37.0	12.9	北東	北北東	35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

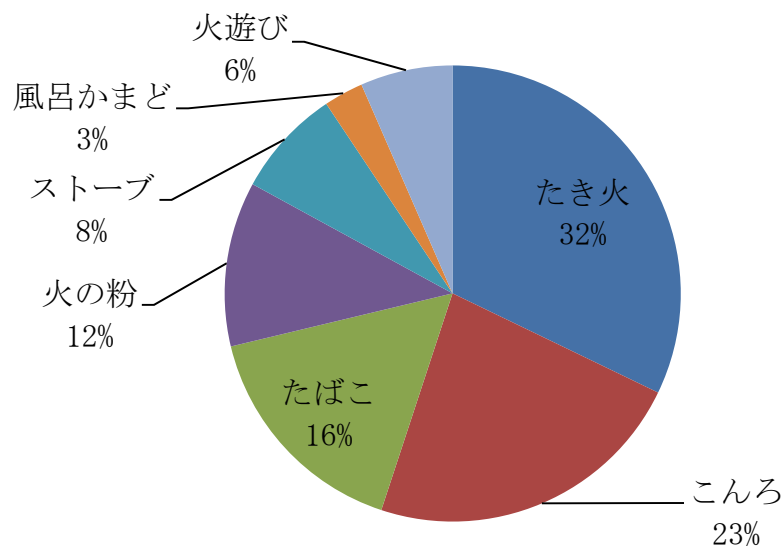
評価ガイドにある森林火災の想定に基づき、発火点の設定は以下の方針とした。

- ・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、発電所周围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図第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。

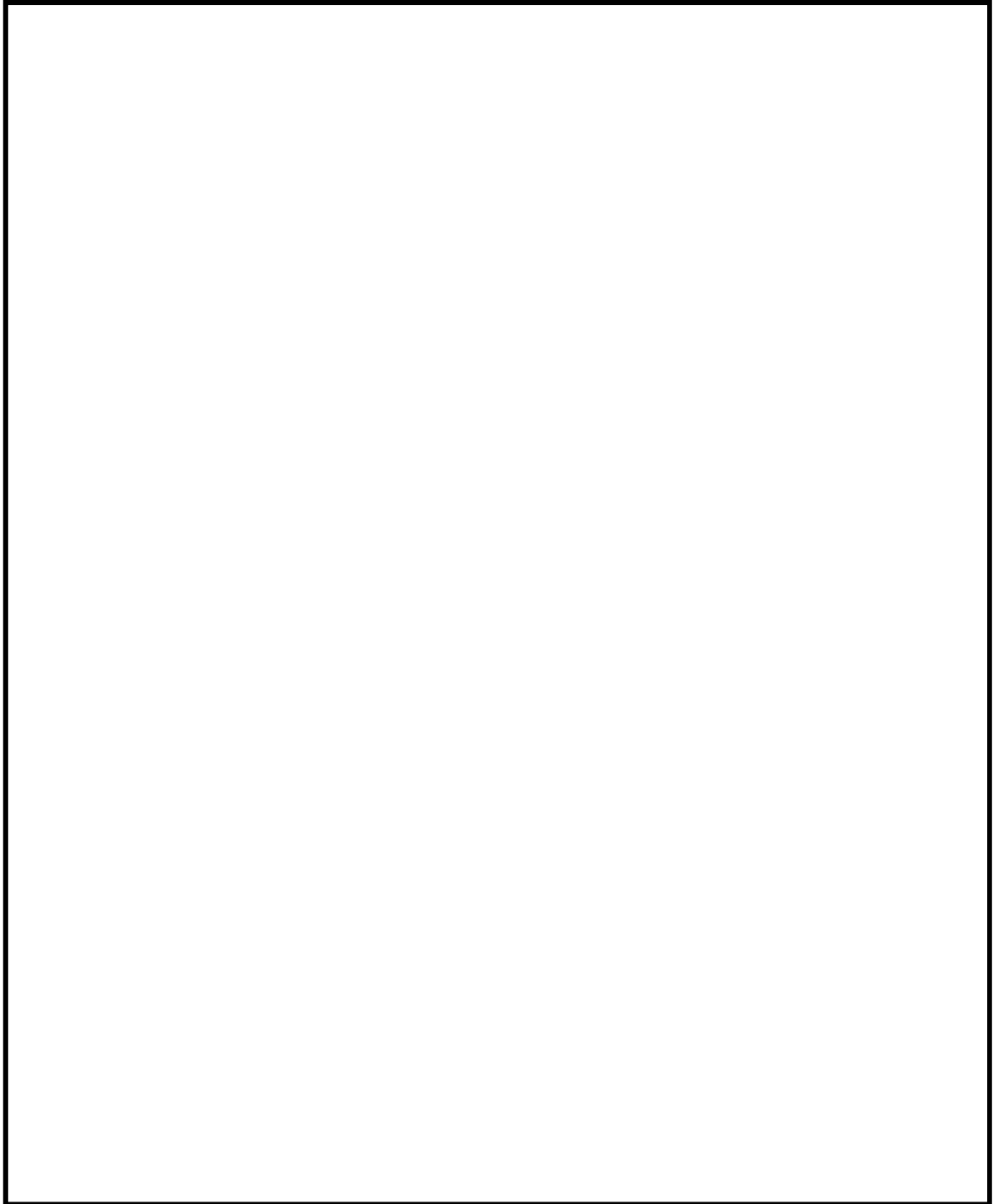
(c) 南西方向（発火点 5, 6）

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。

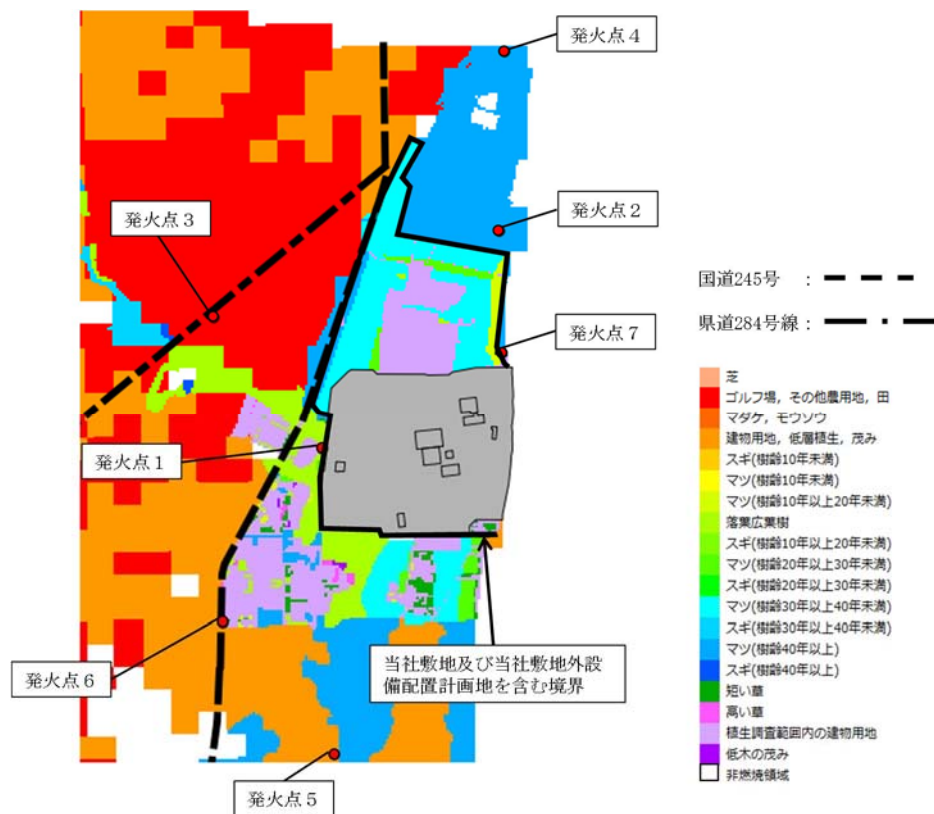
交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道 245 号沿いに発火点 6 を設定した。

(d) 北東方向（発火点 7）

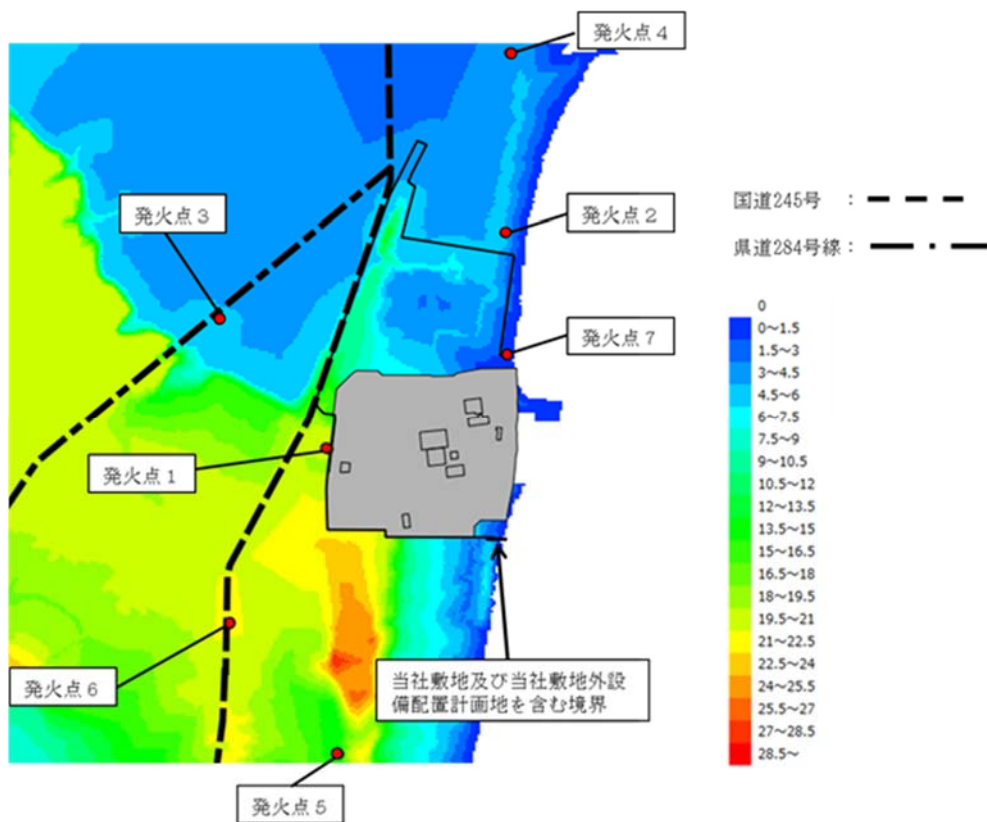
釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能である海岸沿いに発火点 7 を設定した。



第 2.1-8 図 発火点位置及び延焼距離並びに風向及び敷地境界



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 F A R S I T E 入出力データについて

(1) F A R S I T E 入力データ

F A R S I T E 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 F A R S I T E 入力データ（地形・気象等）

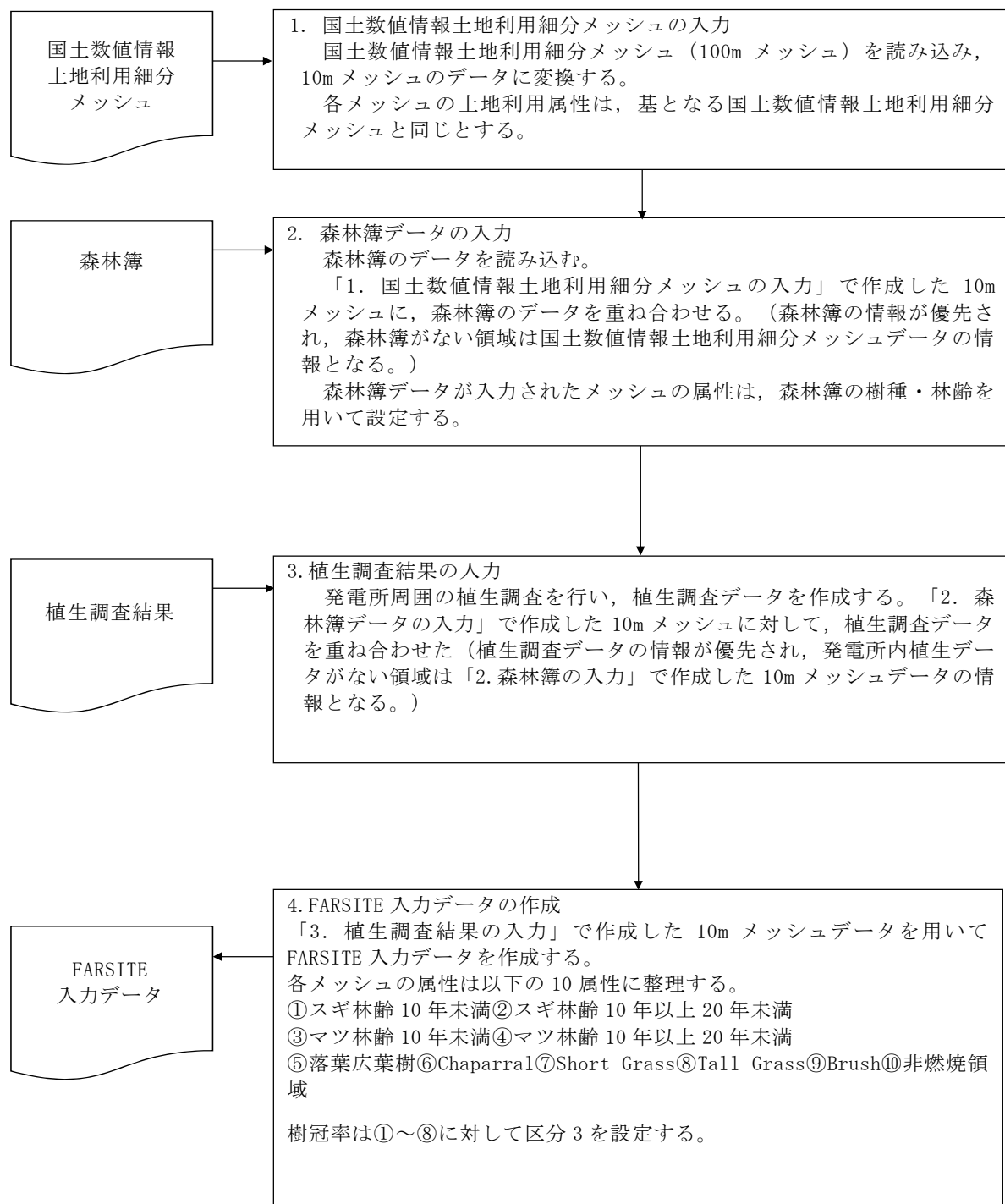
項目		入力データ	備考
地形	標高	第 2.1-1 図 参照	「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データ及び標高データから算出した傾斜、傾斜方位を入力（評価ガイド通り）
	傾斜、傾斜方位		
気象	風速 (km/hr)	63	評価ガイドに基づき、茨城県内で森林火災発生件数が多い（12 月から 5 月）の水戸地方気象台で観測された最大風速（17.5m/s）に相当する 63km/hr を入力（評価ガイド通り）
	風向 (deg)	239 (西北西)	評価ガイドに基づき、茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の卓越風向と最大風速記録時の風向を入力（評価ガイド通り）
		0 (北)	
		225 (南西)	
		45 (北東)	
	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、保守性を考慮して、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を考慮して、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 F A R S I T E 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 F A R S I T E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・カスカヅキ 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・カスカヅキ 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・カスカヅキ 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
	スギ・ヒノキ・カスカヅキ 林齢 30 年以上 40 年未満		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・カスカヅキ 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
	マツ・クロマツ林齢 30 年以上 40 年未満		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 40 年以上		
	広葉樹 (クスギ, 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のため、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、F A R S I T E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 F A R S I T E 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	—

ポイント 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緑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)

ポイント 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

ポイント 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に、定期的に植生調査を実施し植生の管理を行う。また、防潮堤と植生との離隔距離を確保するために管理が必要となる他事業者の敷地の範囲についても、同様に植生調査及び植生管理について当社の火災防護計画に定め、植生管理を行う。（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 F A R S I T E 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。

F A R S I T E 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。

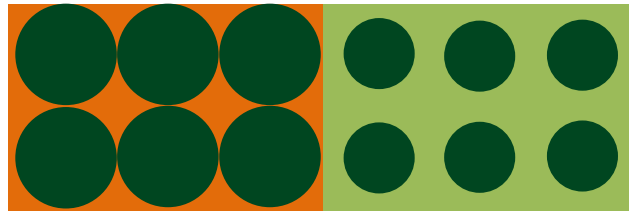
第 2.2-7 表 針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違い（イメージ）

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。F A R S I T E 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、F A R S I T E 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 F A R S I T E 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 F A R S I T E 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 F A R S I T E 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. F A R S I T E 解析結果

3.1 F A R S I T E 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。

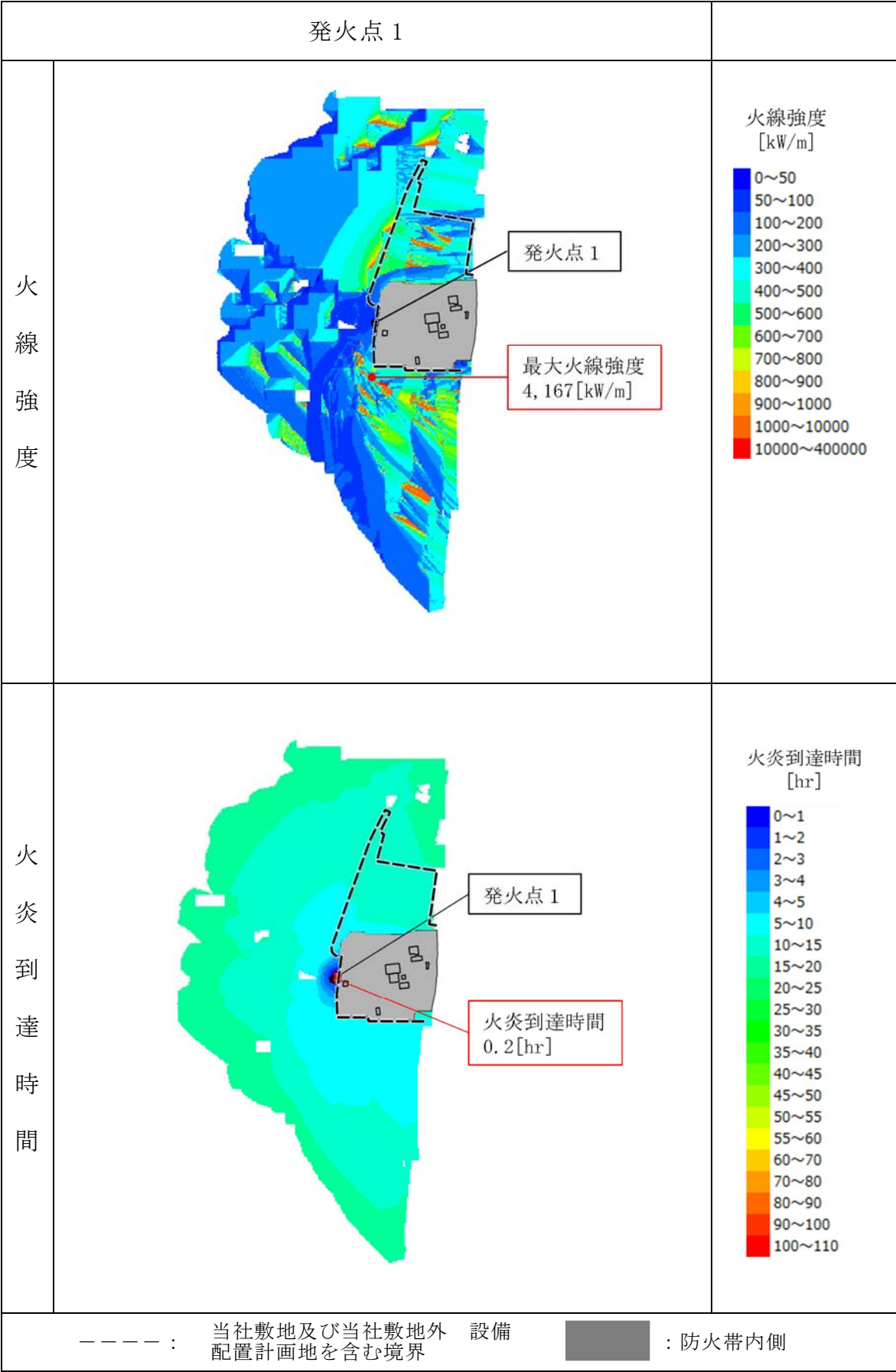
第 3.1-1 表 解析結果

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
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

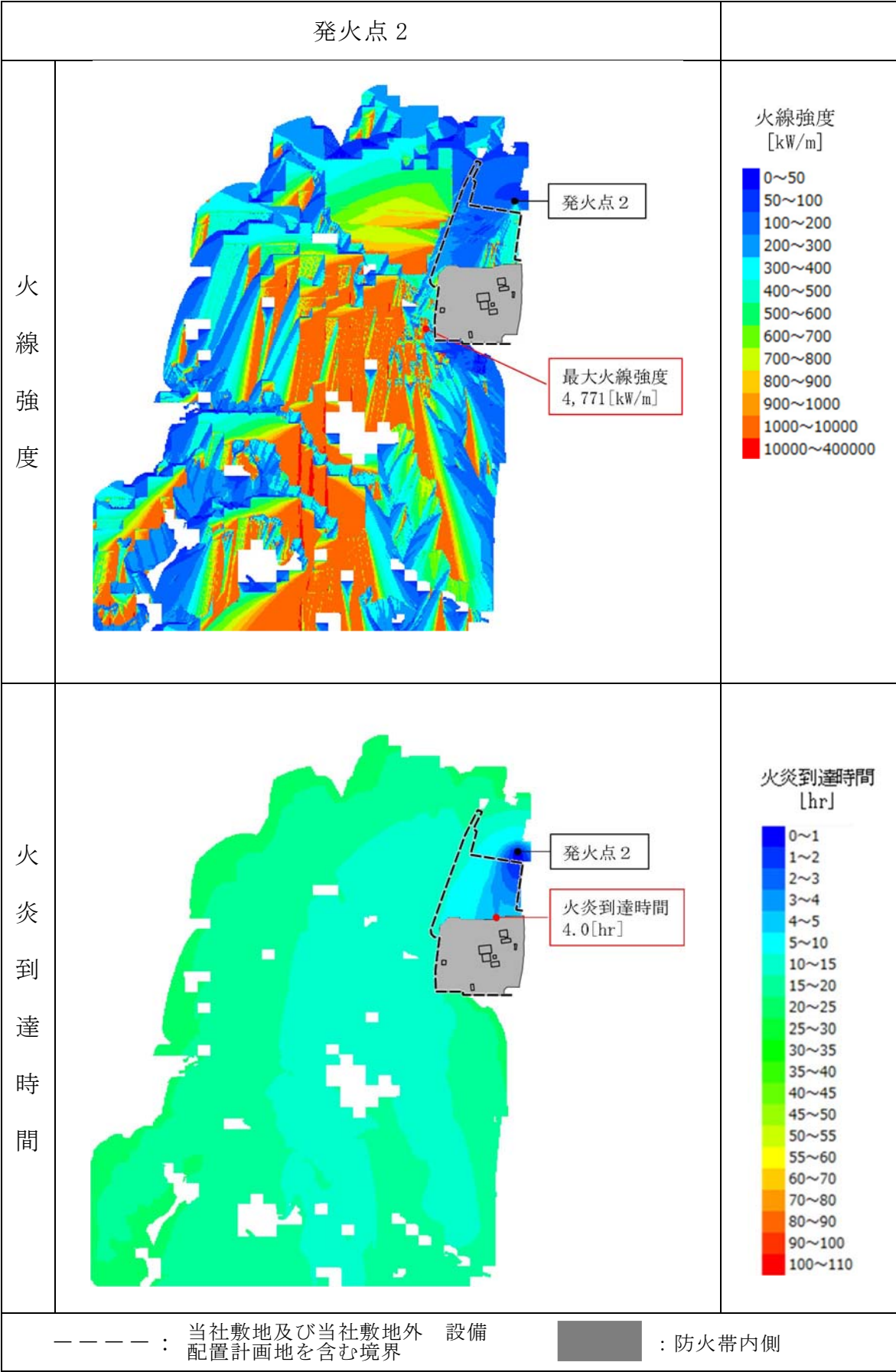
(2) 延焼状況

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。

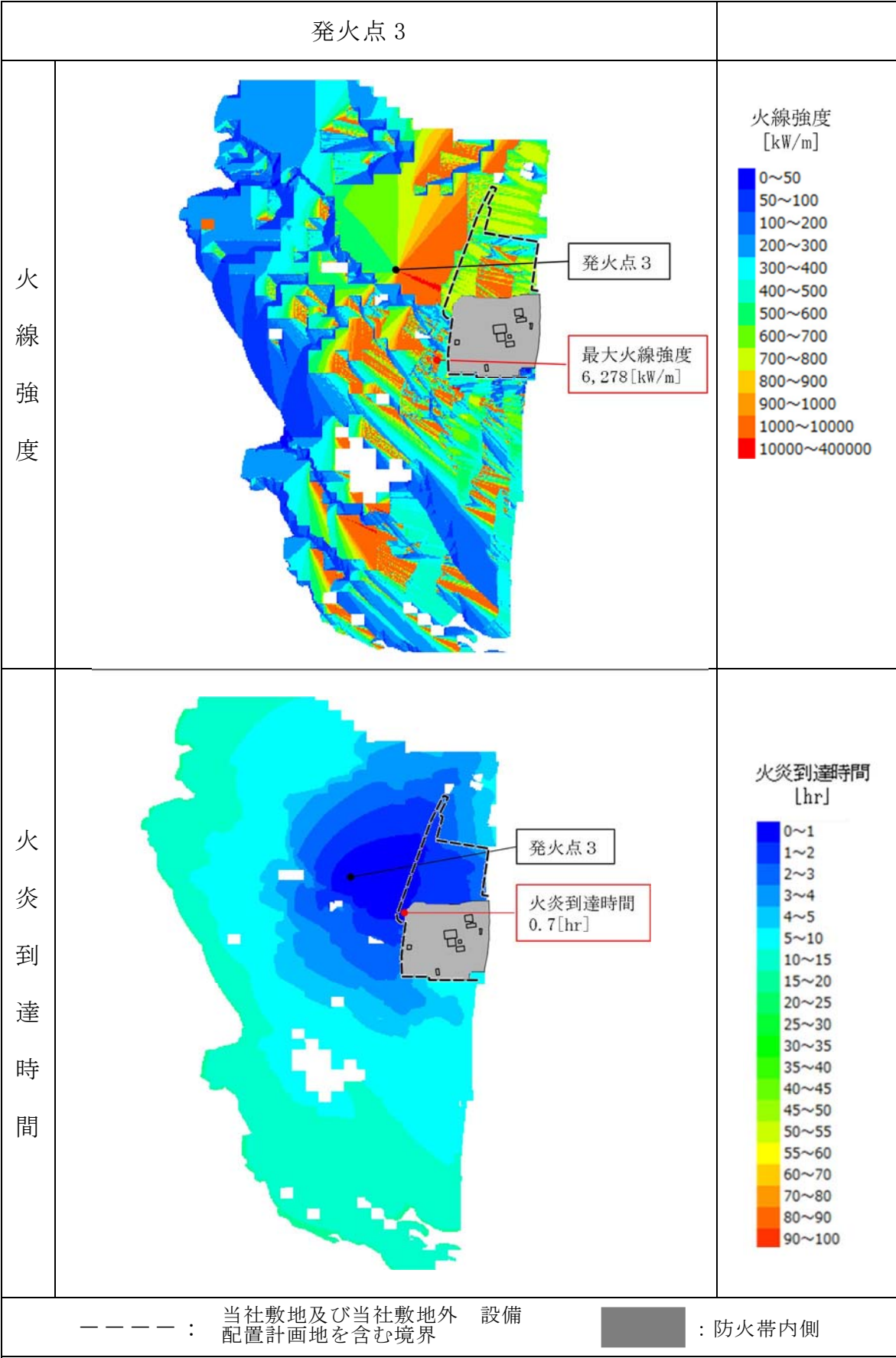
第 3.1-2 表 発火点 1 の延焼状況



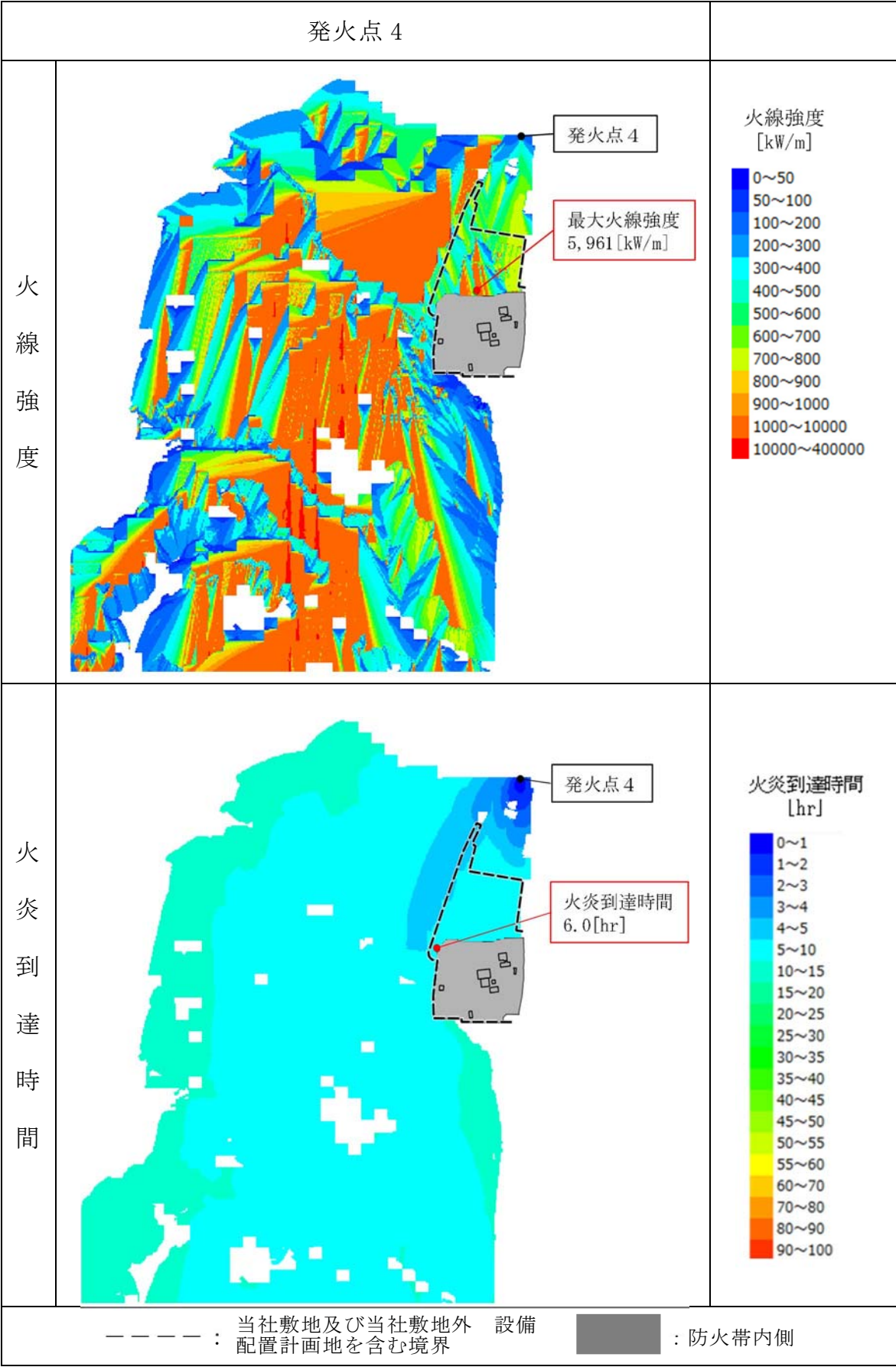
第 3.1-3 表 発火点 2 の延焼状況



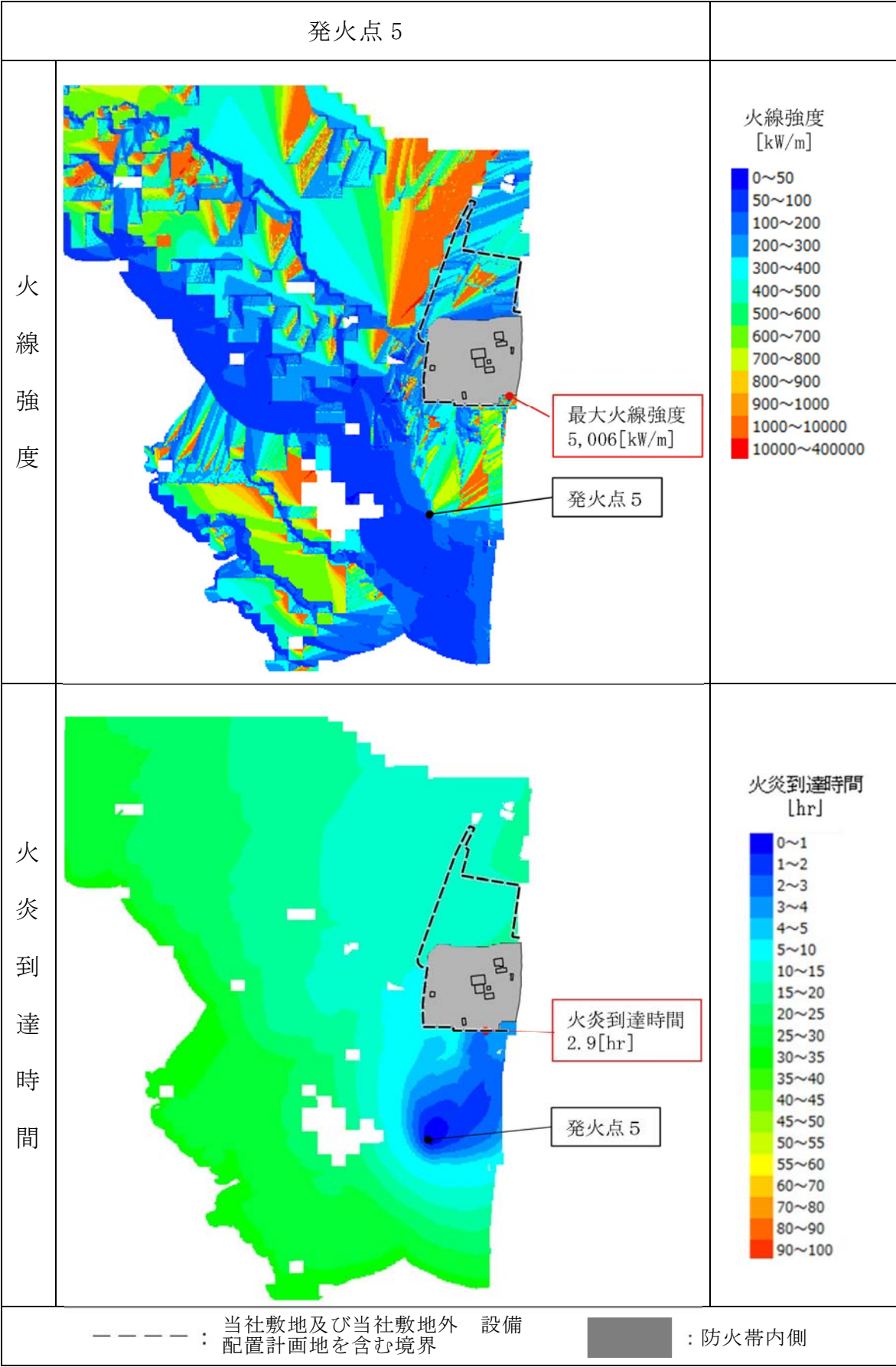
第 3.1-4 表 発火点 3 の延焼状況



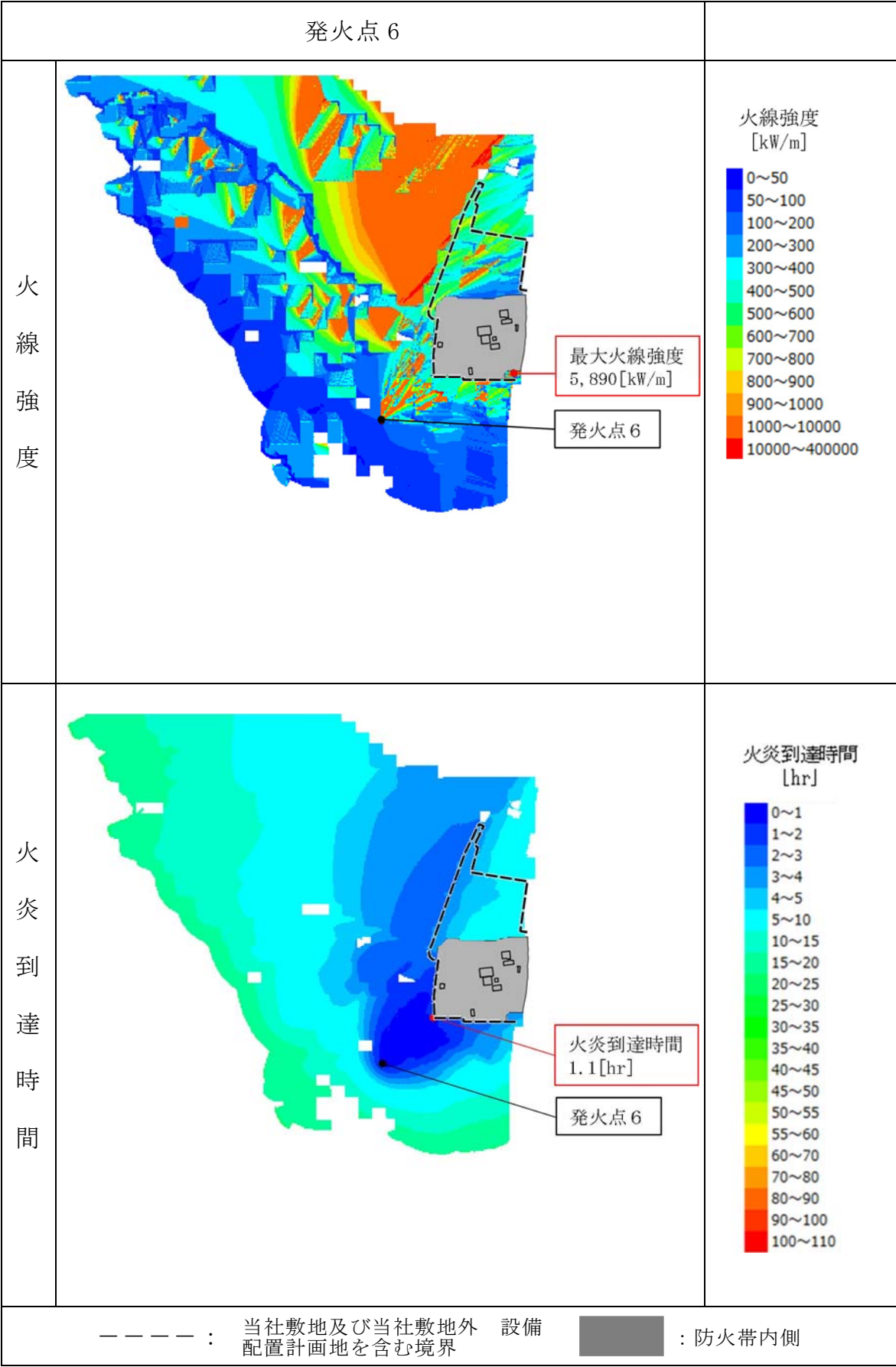
第 3.1-5 表 発火点 4 の延焼状況



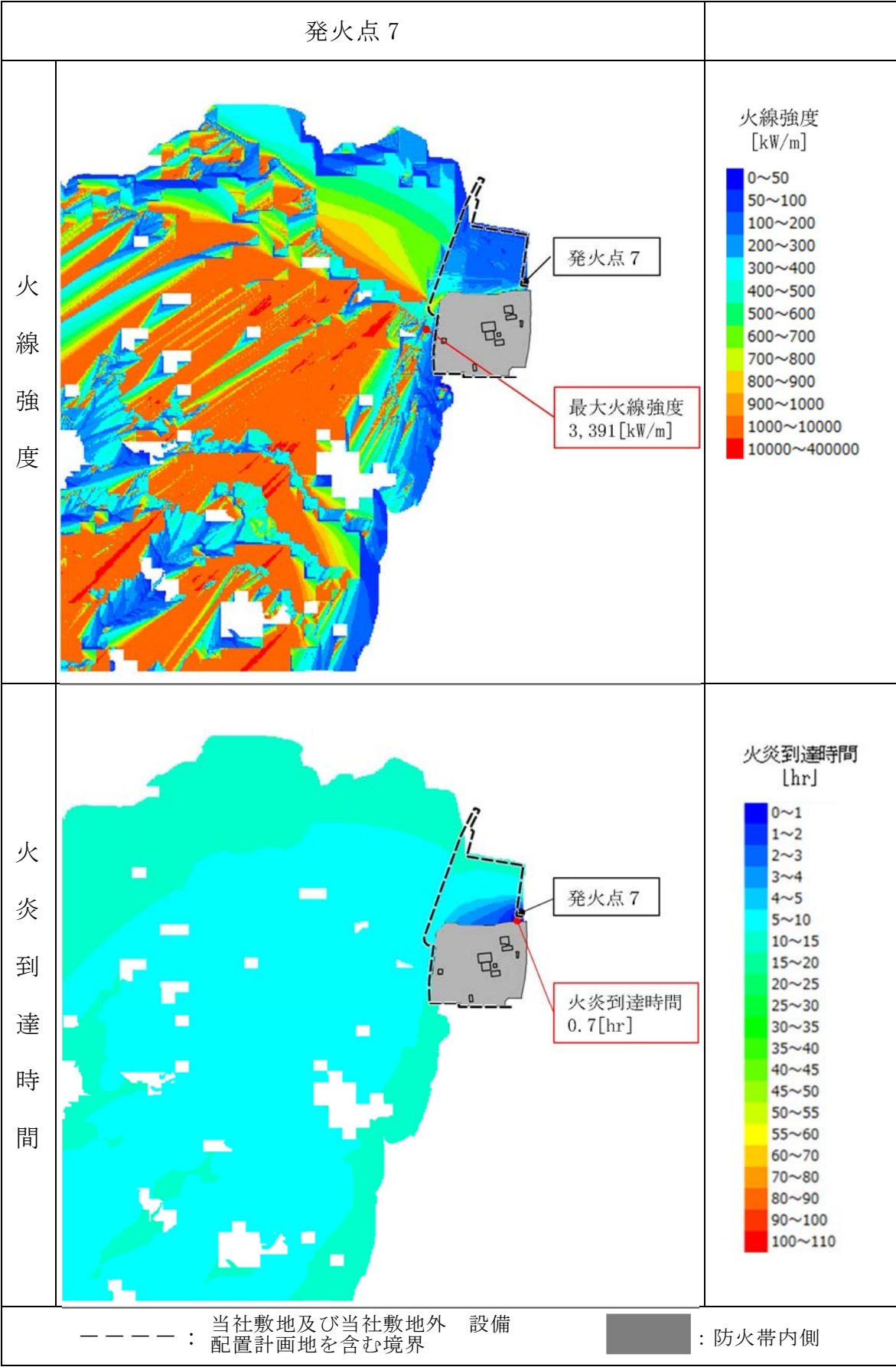
第 3.1-6 表 発火点 5 の延焼状況



第 3.1-7 表 発火点 6 の延焼状況



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

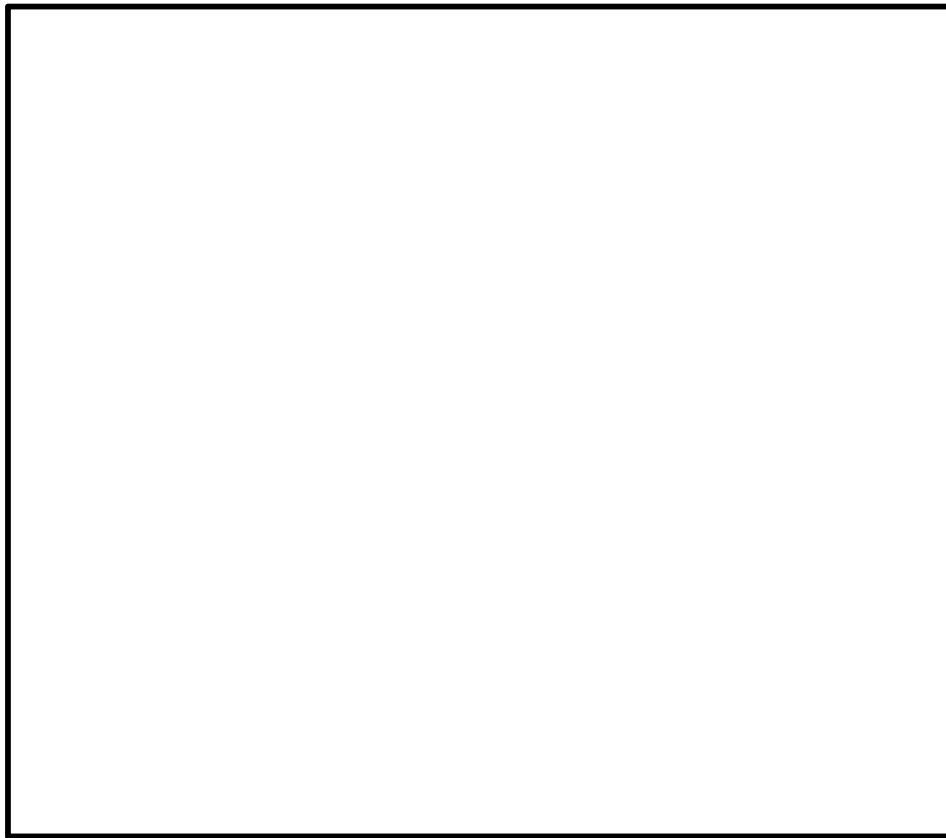
4.1 火災到達時間の評価結果

(1) 火災到達時間

防火帯を設置することで，森林火災が原子炉施設へ延焼する可能性は低い，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。

F A R S I T E 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。

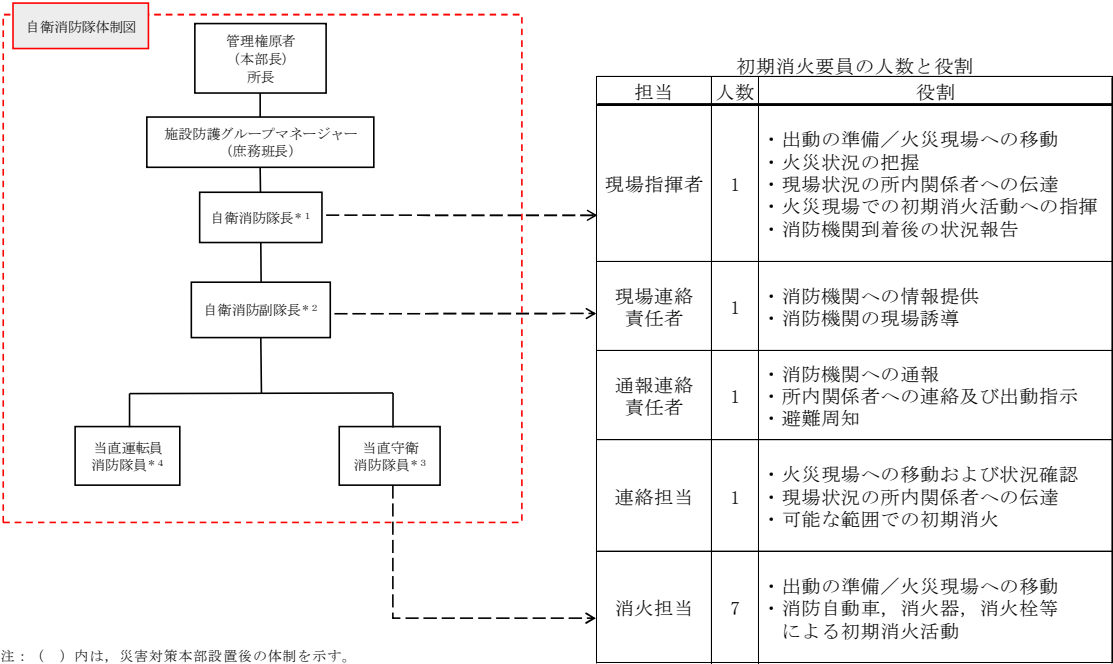
- a. 発電所構内で作業を行う者に対し、火災を発見した場合、当直守衛員に速やかに通報する事を、社内規程で定めている。通報を受けた者は所内関係者に連絡するとともに、消防機関（119 番）に連絡を行う。
- b. 想定される自然現象等の影響について、昼夜にわたり発電所周辺の状況を把握する目的で設置する監視カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。監視カメラは、発電所周辺の森林火災を監視できる位置に設置し、24 時間要員が常駐する中央制御室及び守衛所からの監視が可能な設計とする。
- c. 火災感知器（サーモカメラ）を設けることで早期覚知が可能な設計とする。
- d. 下記の火災が発生した場合、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して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



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：構内全域における初期消火活動等
* 4：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

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) 火災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。

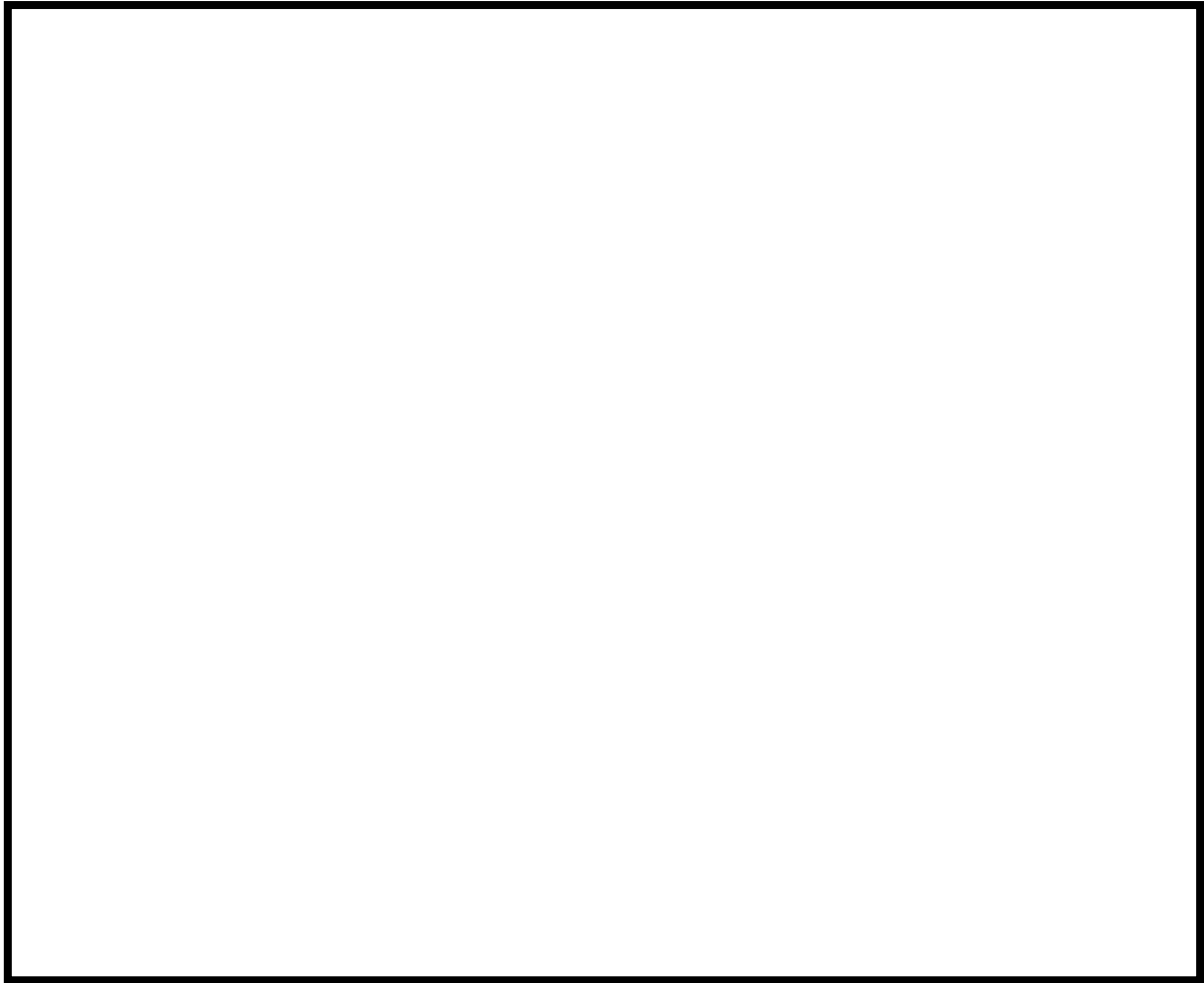
iii) 消防車 1 台を使用したときの対応人数を第 4.1-3 表に、消防自動車仕様を第 4.1-4 表に示す。

※：屋外消火栓は、外部電源喪失時においても構内消火用ポンプが運転可能であることから使用可能である。万が一、屋外消火栓が使用不能となった場合には、防火水槽等を水源とする。

iv) 万一、防火帯の内側に延焼した場合は、自衛消防隊は屋外消火栓及び消防車を使用して、初期消火活動、延焼防止活動を行う。

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
水槽付消防ポンプ自動車	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）

項目	活動内容	活動に必要な所要時間（分）							
		0	10	20	30				
火災発生		▽							
連絡・火災延焼確認	火災情報を入手	▽	5 分						
消火活動準備	出動準備		■						
	消火活動場所までの移動			□	2 分				
	ホース展張・散水準備				□	4 分			
消火活動開始	防火帯への散水開始				▼	11 分後 散水準備完了			

■：訓練実績 □：過去の実績等から想定した時間

(c) 評価結果

発火点 1 の火炎到達時間 0.2 時間（約 12 分）以内に散水が可能である。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。

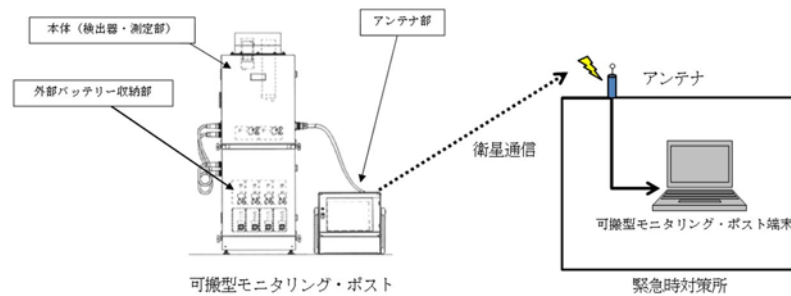
モニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は、防火帯内側に保管してある可搬型モニタリングポストを設置し、代替監視を行う。可搬型モニタリングポストはモニタリングポスト用として4台準備する。また、電源は外部バッテリーを適時交換することで連続供給可能であり、データ伝送は衛星回線による通信機能を有しており、中央制御室及び緊急時対策所にて、常時監視が可能である。

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

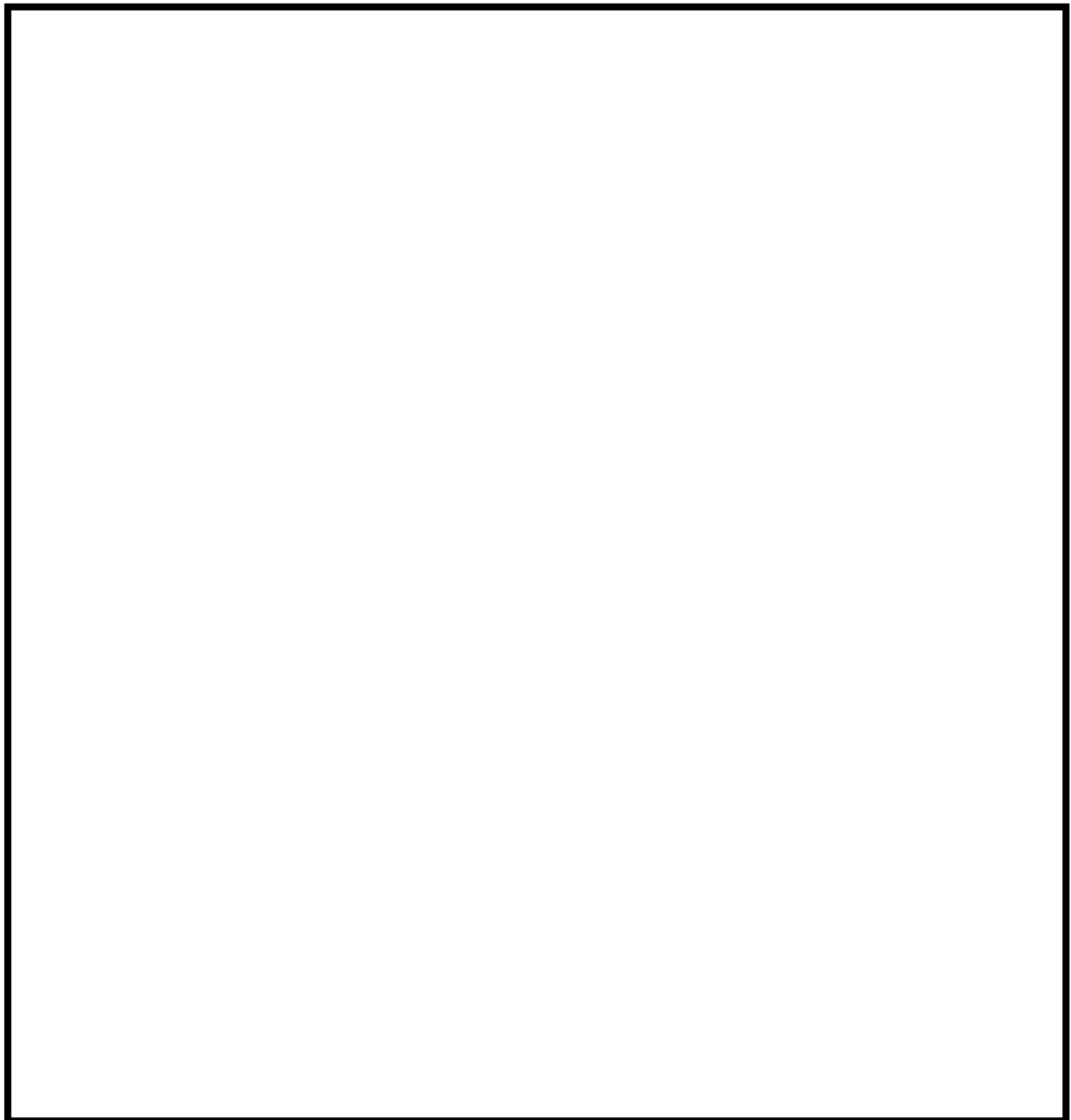
a. 散水開始までの所要時間

(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：40m³）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）

項目	活動内容	活動に必要な所要時間（分）							
		0	10	20	30				
火災発生		▽							
連絡・火災延焼確認	火災情報を入手	▽							
消火活動準備	出動準備		5分						
	消火活動場所までの移動			7分					
	ホース展張・散水準備				4分				
消火活動開始	モニタリングポストへの散水開始					▼	16分後 散水準備完了		

□：訓練実績 □：過去の実績等から想定した時間

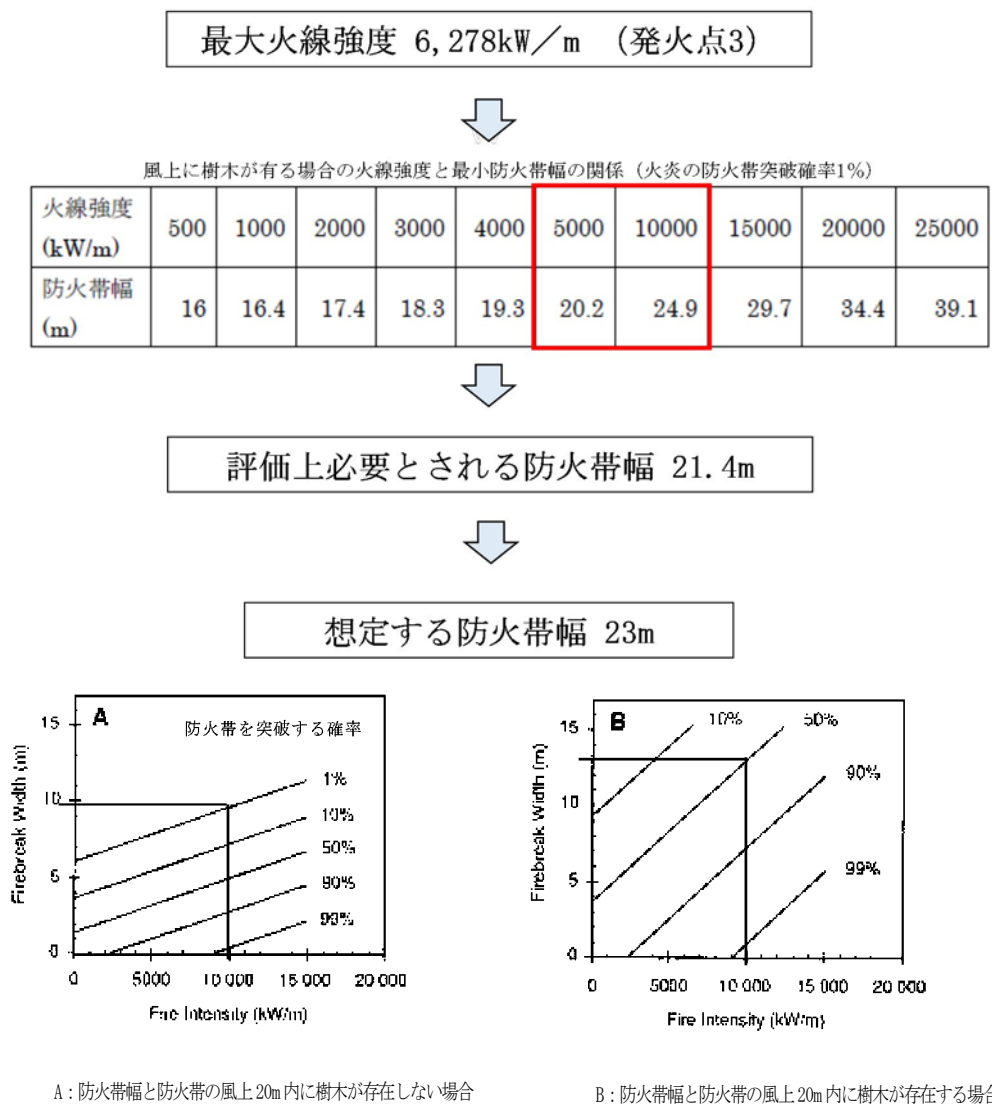
(5) ホース展張距離を踏まえた散水可能範囲

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外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

F A R S I T E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 $6,278\text{kW/m}$ 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、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。



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 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

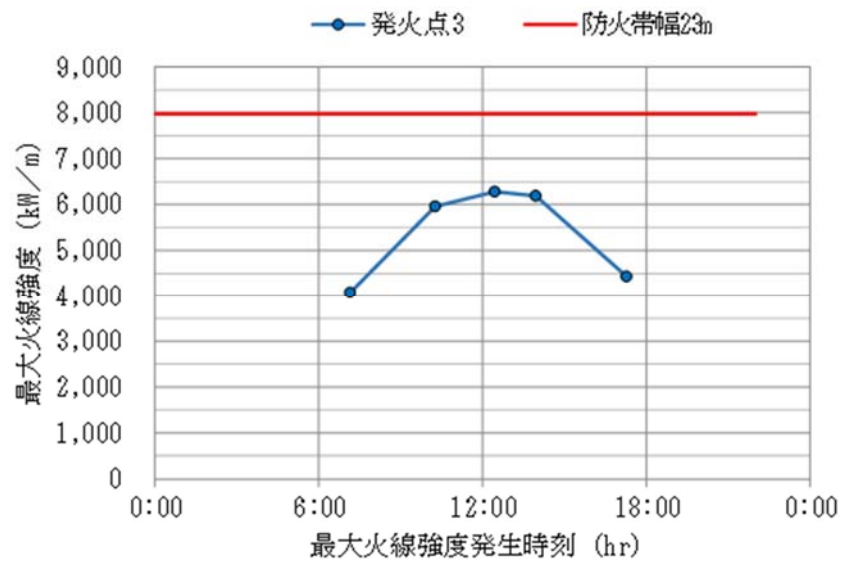
F A R S I T E では日射量が可燃物の水分量に影響を与えるため、日射量が多くなる日中時間帯に火線強度が高くなる。同じ発火点からの火災であっても、出火時刻によって最大火線強度に違いが生じるため、全発火点のうち最も高い最大火線強度となった発火点 3 に対して 4 パターンの出火時刻を設けて、感度解析を行った。解析結果を第 4.2-1 表に示す。

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 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

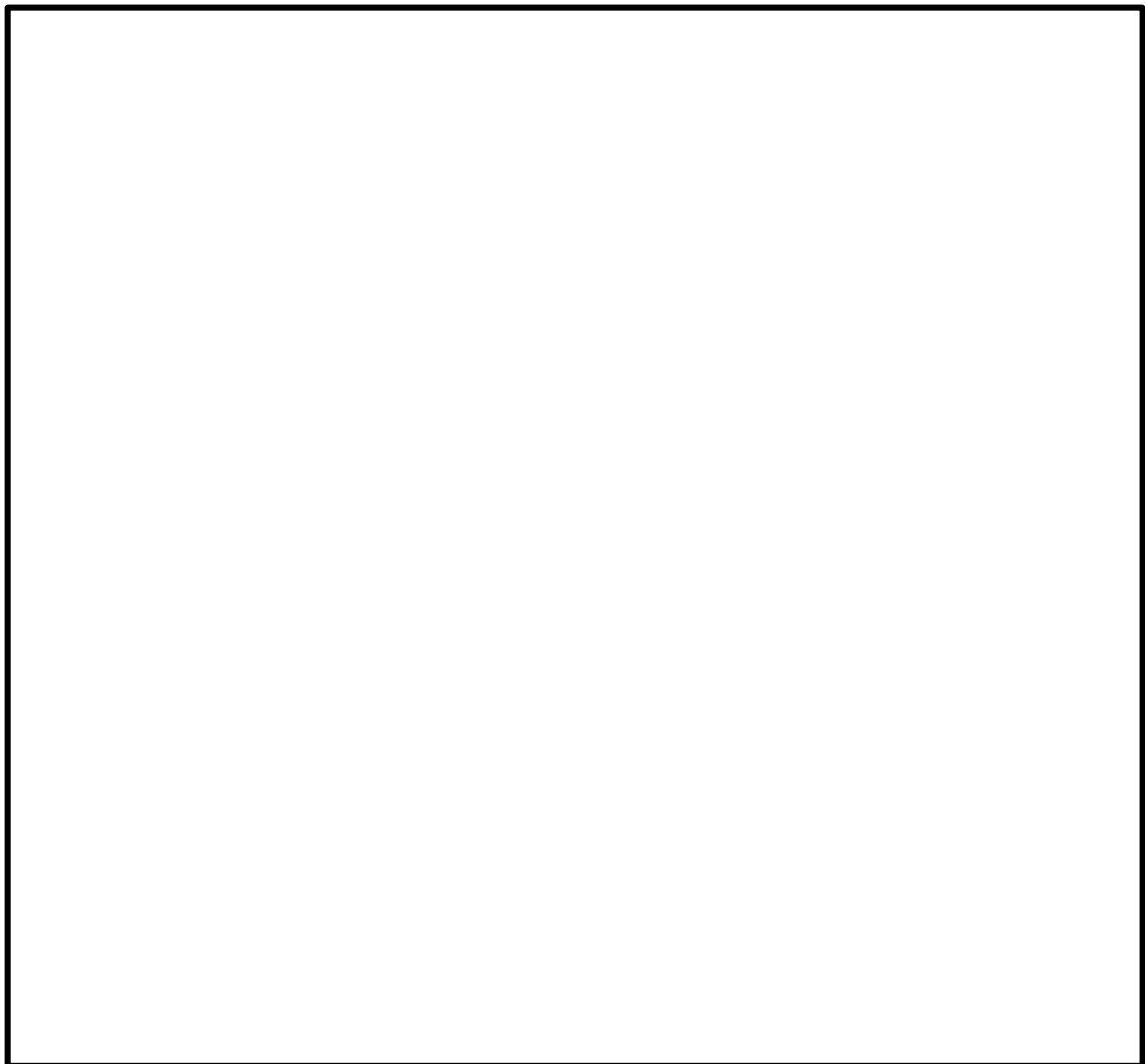
a. 防火帯の設定方針

- (a) 防火帯幅は，防護対象設備（クラス1，クラス2，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

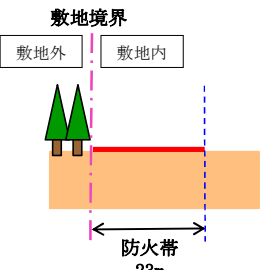
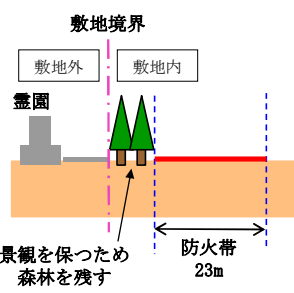
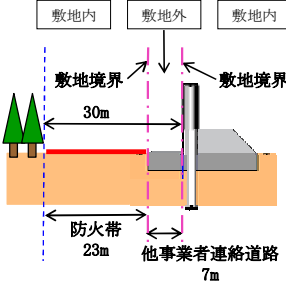
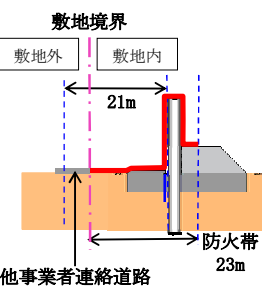
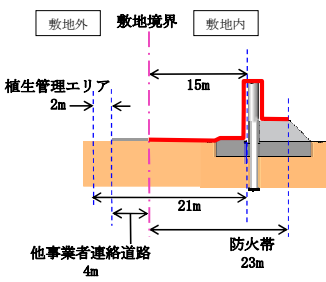
防火帯の設定方法を第4.2-3図に示す。

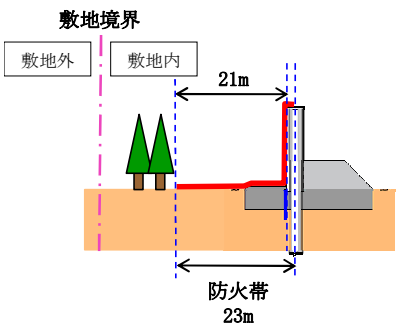
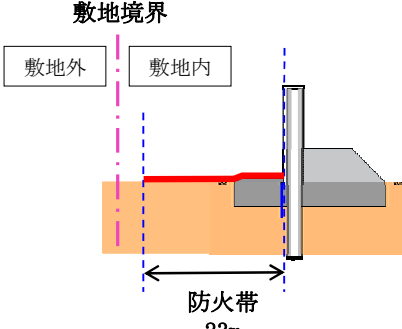
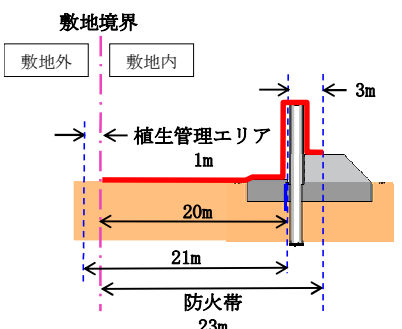
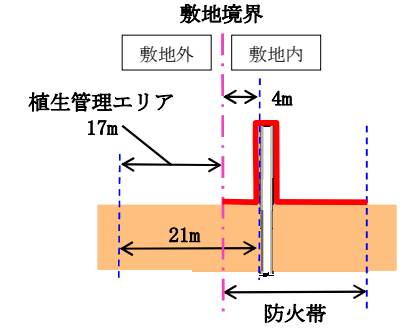
なお，防火帯を9つのエリアに分割し，設定方法の違いと特徴について第4.2-2表に示す。



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	 敷地境界 敷地外 敷地内 防火帯 23m	【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	 敷地境界 敷地外 敷地内 霊園 景観を保つため森林を残す 防火帯 23m	【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	 敷地内 敷地外 敷地内 敷地境界 敷地境界 30m 防火帯 23m 他事業者連絡道路 7m	【防潮堤から敷地境界の距離が 21m 以内のエリア】 防潮堤外周に他事業者連絡道路（敷地外）があるため、防火帯の内側のラインが他事業者連絡道路との敷地境界に接するように防火帯を設定する。 ④部との境界は防火帯が切れないよう設定する。
④	 敷地境界 敷地外 敷地内 21m 他事業者連絡道路 防火帯 23m	【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	 敷地外 敷地境界 敷地内 植生管理エリア 2m 15m 21m 他事業者連絡道路 4m 防火帯 23m	【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	 敷地境界 敷地外 敷地内 21m 防火帯 23m	【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	 敷地境界 敷地外 敷地内 21m 防火帯 23m	【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	 敷地境界 敷地外 敷地内 → ← 植生管理エリア 1m 20m 21m 防火帯 23m	【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	 敷地境界 敷地外 敷地内 植生管理エリア 17m 4m 21m 防火帯 23m	【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

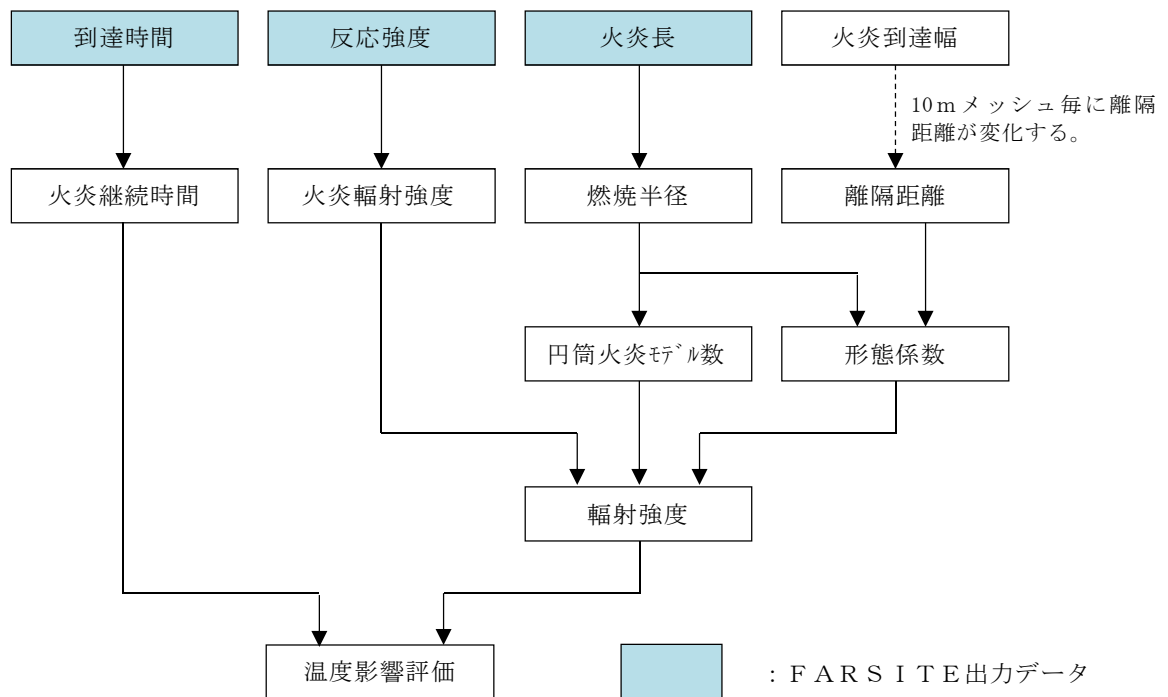
F A R S I T E 解析結果である火炎到達時間、反応強度、火炎長から、温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を第 4.3.1-1 表、F A R S I T E 解析結果及び算出データを第 4.3.1-2 表、温度評価の流れを第 4.3.1-1 図に示す。

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 F A R S I T E 解析結果及び算出データ

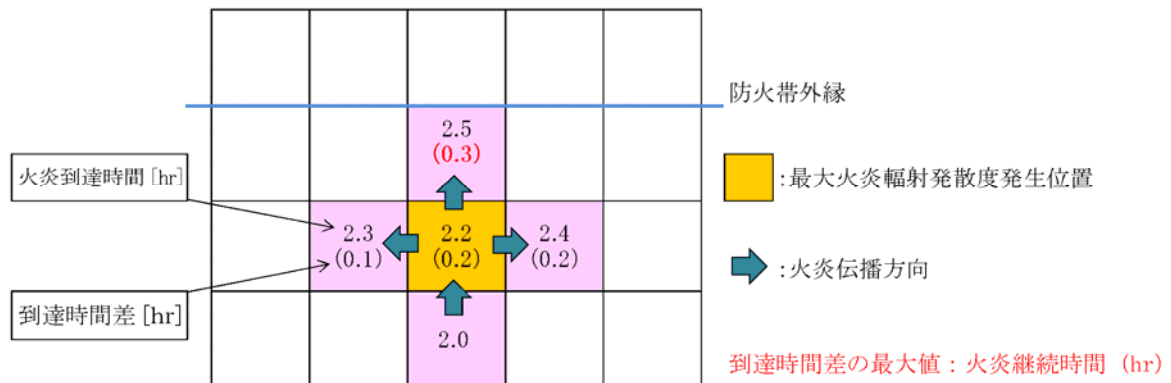
項 目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7
火炎長 (m)	0.7	0.9	1.6	1.1	1.5	1.6	1.5
火炎継続時間 (hr)	0.36	0.16	0.07	0.16	0.10	0.06	0.08
火炎輻射強度 (kW/m ²)	442	441	442	440	444	443	439
燃焼半径 (m)	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
火炎到達幅 (m)	1,960	1,550	1,960	1,460	1,960	1,960	1,330



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) 火炎輻射発散強度

火炎輻射強度は F A R S I T E 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ーと，火炎・煙として対流放出される熱エネルギー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。

$$\text{反応強度 (W/m}^2\text{)} = \text{火炎輻射強度 (W/m}^2\text{)} + \text{火炎対流発散度 (W/m}^2\text{)}$$

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。

$$F = \frac{W}{2R} \quad F' = \frac{10}{2R}$$

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。

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

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

ϕ_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。

$$E_0 = \phi_0 \times F' \times R_f \quad (\text{中心火炎の場合})$$

$$E_i = \phi_i \times F' \times R_f \times 2 \quad (\text{中心以外の火炎の場合})$$

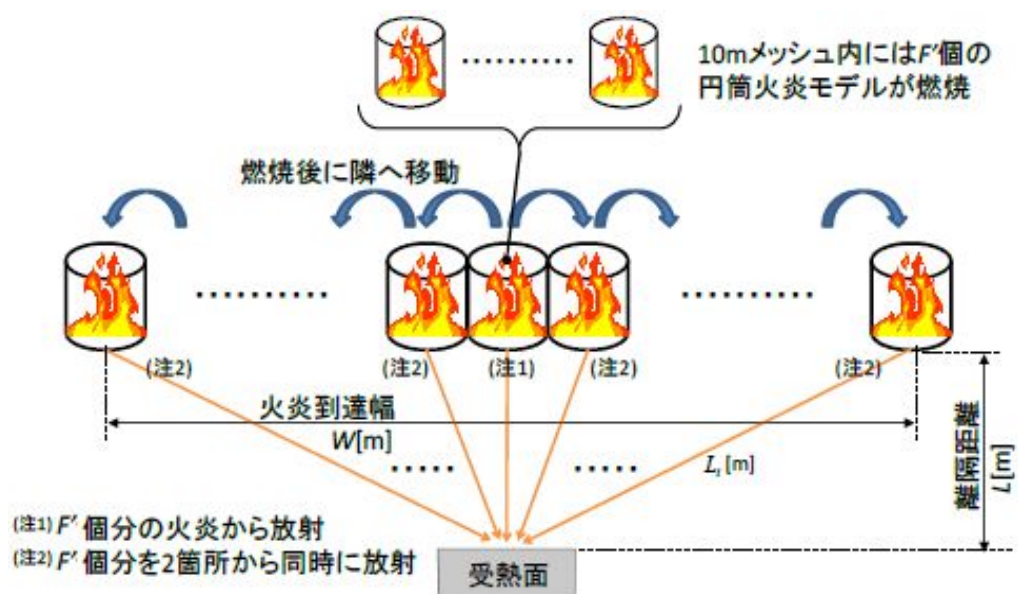
ϕ_i : 形態係数

R_f : 最大火炎輻射強度 (kW/m^2)

F' : 火炎円筒モデル数 (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樣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

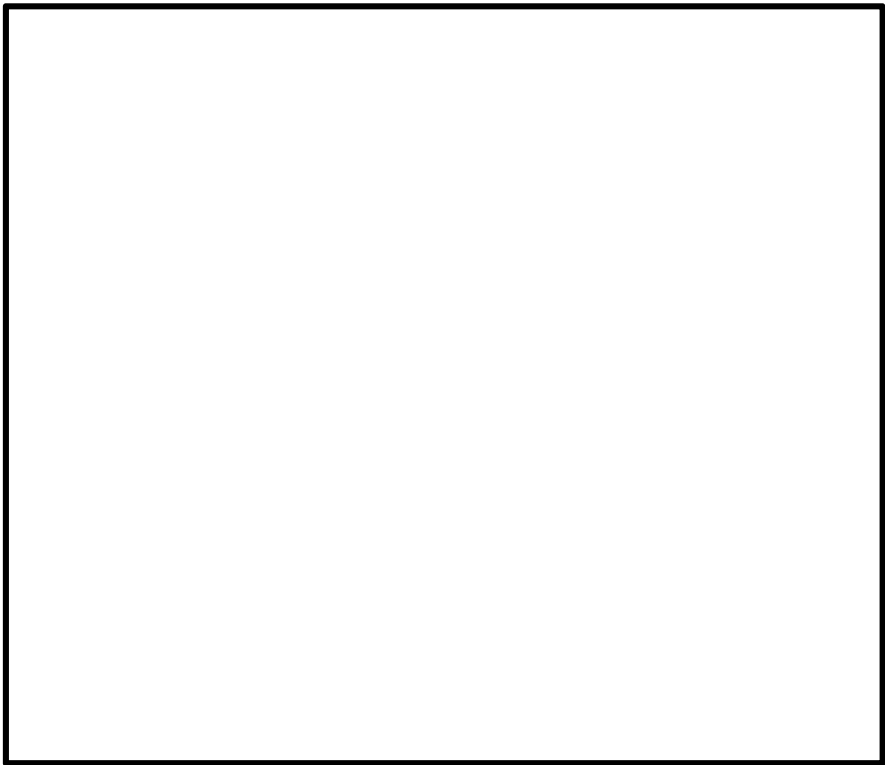
4.3.2.1 建屋外壁の熱影響評価

(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。

$$\begin{aligned}\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) & (\text{式 1}) \\ -k \frac{\partial T}{\partial x} &= E - h (T - T_0) & (x=0) \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= 0 & (x=L)\end{aligned}$$

(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/m²/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。

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

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。

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

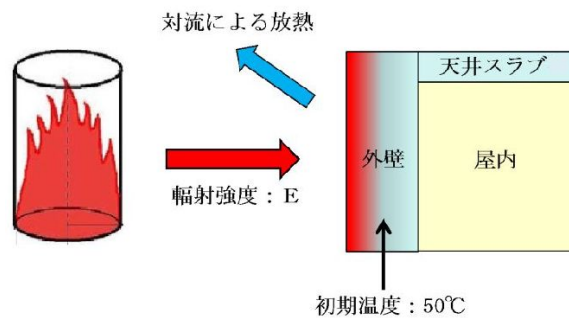
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数 , L : 離隔距離 (m) , H : 炎の高さ (m) , R : 燃焼半径 (m)

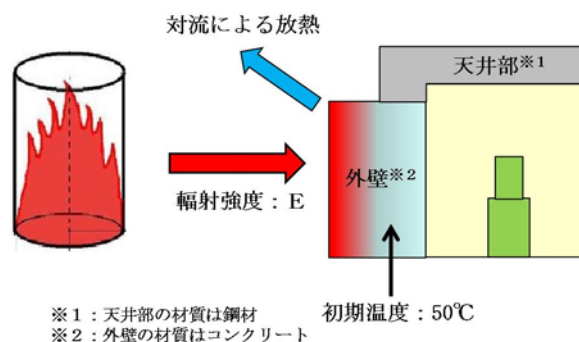
(出典 : 評価ガイド)

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。

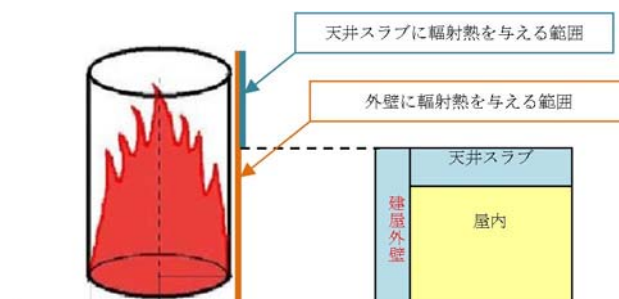
- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・海水ポンプ室の天井は鋼材、外壁はコンクリートであるため、許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。



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 (°C)							許容 温度 (°C)
	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 (°C)							許容 温度 (°C)
	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

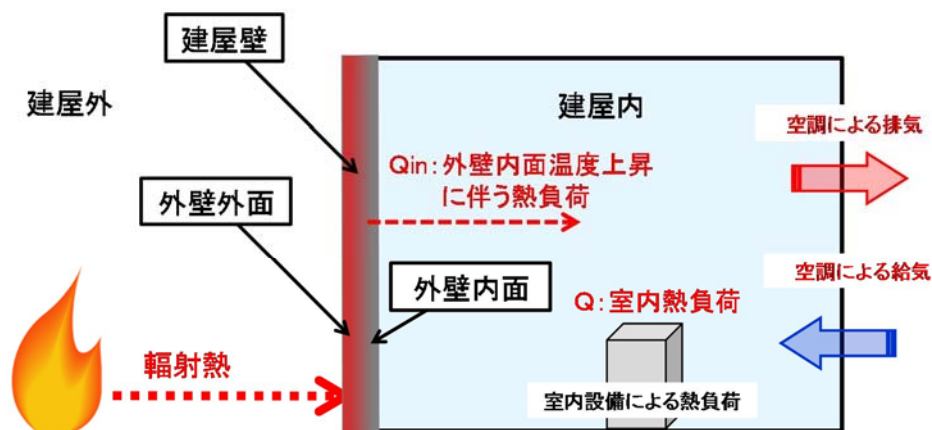
a. 許容温度

中央制御室の電気設備（パワーセンター、モータコントロールセンター）の使用温度から 40°C 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°C 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

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

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/m²/K)

A ：受熱壁の表面積 (m²)

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(42,504m³/h)

ρ ：空気密度 (1.2kg/m³)

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

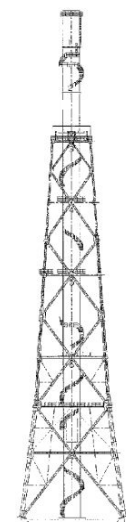
(1) 評価対象範囲

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。

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

（出典：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）

T：許容温度(325℃)， T_0 ：初期温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/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。

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

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。

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

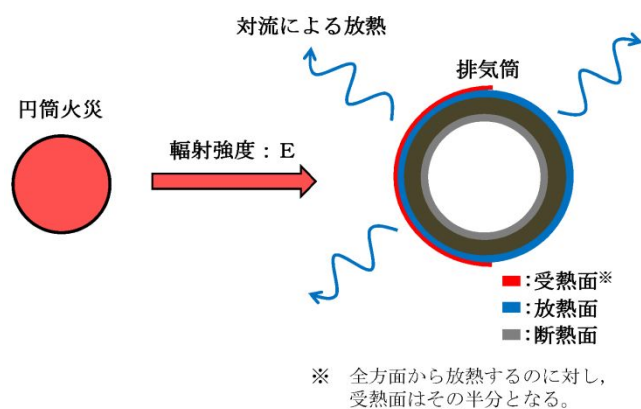
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

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

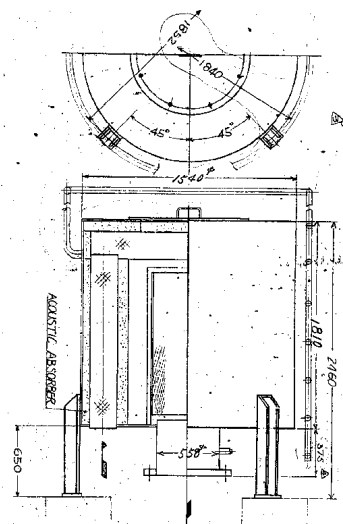
(1) 影響評価対象範囲

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 離隔距離 (m)	D/G吸気系フィルタ
	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。

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

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)※¹，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(4kg/s)※²，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

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(228m³/min)×空気密度(1.17kg/m³)÷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。

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

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，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。

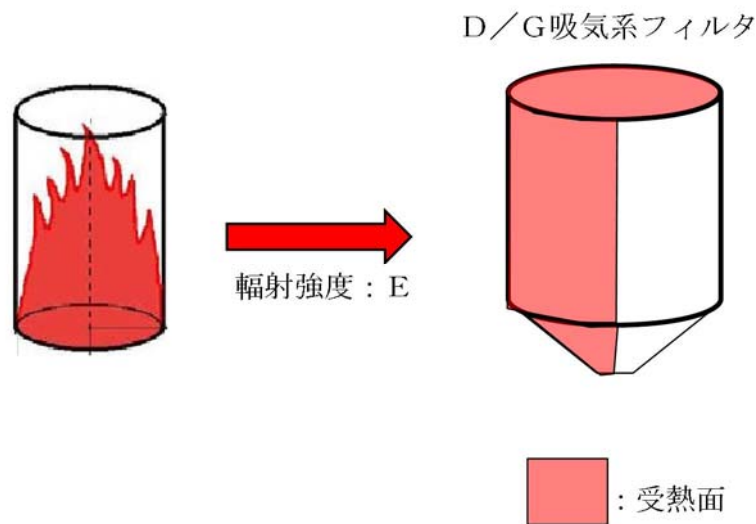
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

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。

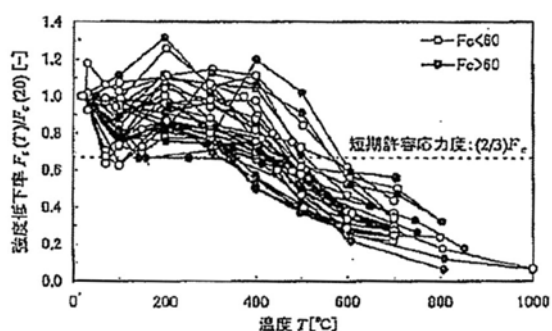


図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）
（参考文献 18）～23）のデータより作成

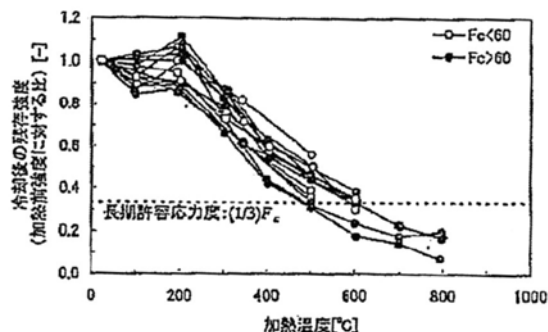


図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）
（参考文献 24）～26）のデータより作成

(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²325N/mm²）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。

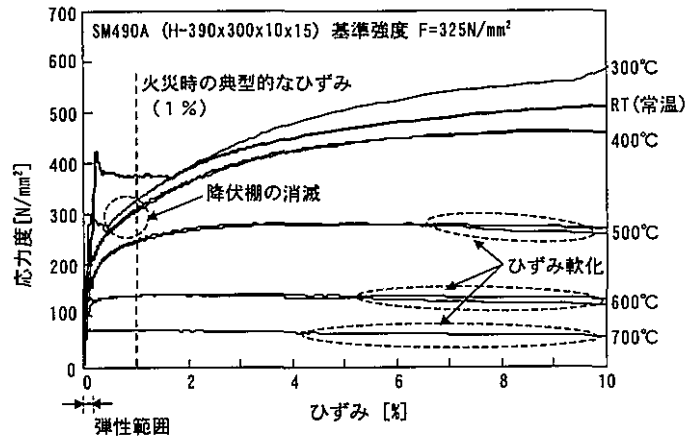


図4 構造用鋼材の応力—歪曲線の例²⁾
(出典：「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院)

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⁾。

$$\kappa(T) = \frac{\sigma_y(T)}{F} = \begin{cases} 1 & (T \leq 325) \\ \frac{700-T}{375} & (325 < T \leq 700) \end{cases} \quad (4)$$

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、

$$0.667 = \frac{700-T}{375} \quad (5)$$

より、450℃が許容鋼材温度となる。

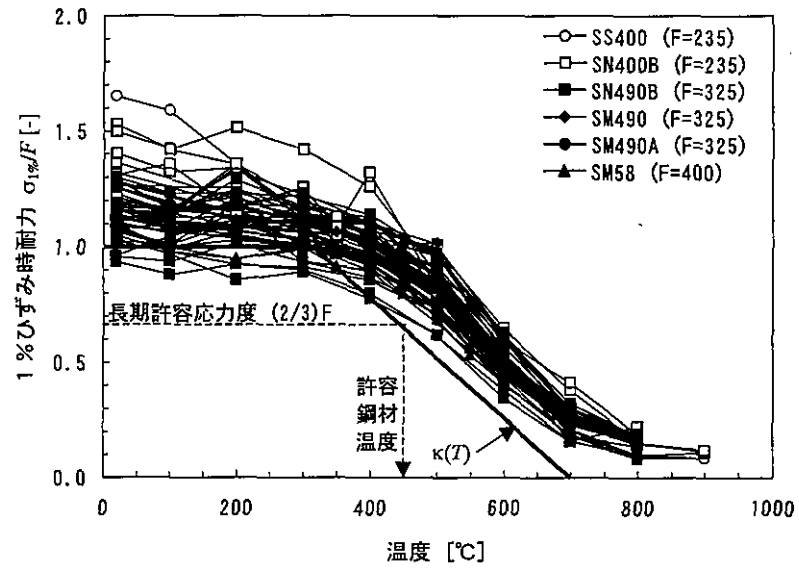


図5 各種鋼材の高温時の1%歪時耐力（参考文献^{2)~6)}のデータから作成）

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。

$$\eta_c = T_0 \times \{ (P_1 / P_0)^{0.286} - 1 \} / (t_1 - t_0) \quad \dots \textcircled{1}$$

$$t_1 = T_0 \times \{ (P_1 / P_0)^{0.286} - 1 \} / \eta_c + t_0 \quad \dots \textcircled{2}$$

T_0 : 流入空気温度 (K) ($=t_0 + 273$)

t_1 : シリンダ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

ディーゼル発電機吸気系フィルタ

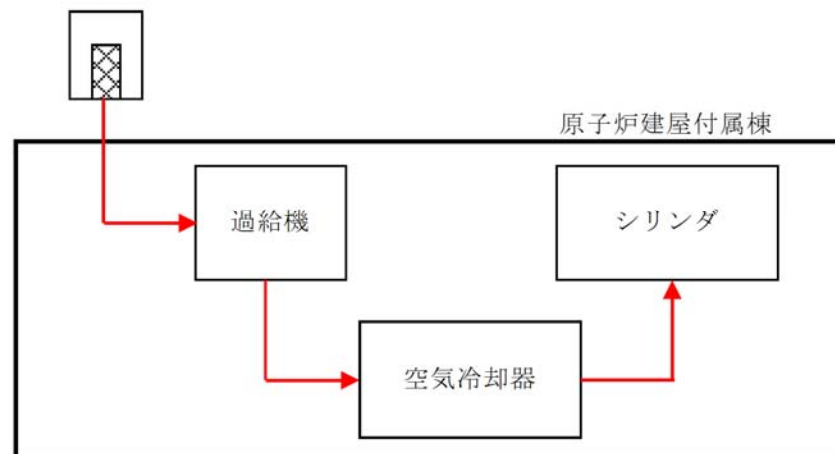


図 ディーゼル発電機吸気系統概略図

初期温度の考え方について

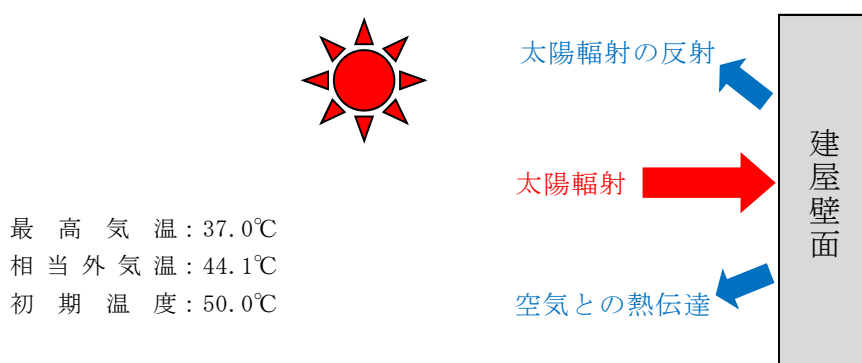
1. 外壁の初期温度

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°C 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°C となり，これを切り上げ， 50°C 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°C ）であり，外壁面の初期温度 50°C 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°C ）となるが，外壁面の初期温度 50°C 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。

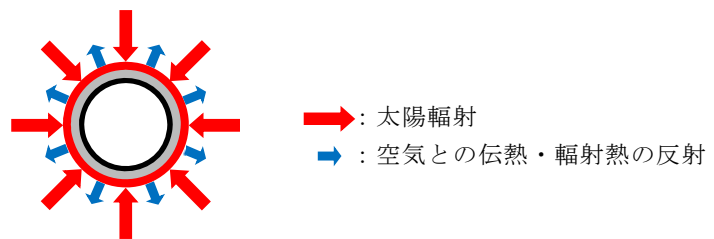


2. 排気筒の初期温度

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。

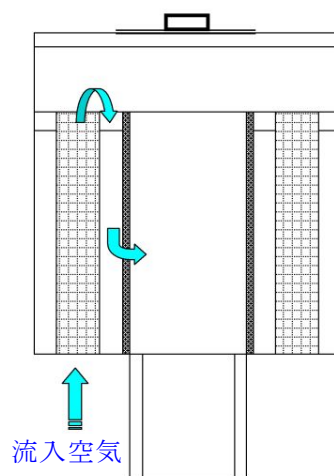
水戸地方気象台の過去10年間の最高気温 37.0°C に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15時）の日射量と排気筒の日射吸収率 1.0 を考慮すると，排気筒の相当外気温度の最大値は 47.2°C となり，これを切り上げ， 50°C を初期温度として設定する。

最高気温： 37.0°C
相当外気温： 47.2°C
初期温度： 50.0°C



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°C 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行うことから、敷地内植生に火が延焼することはない、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。

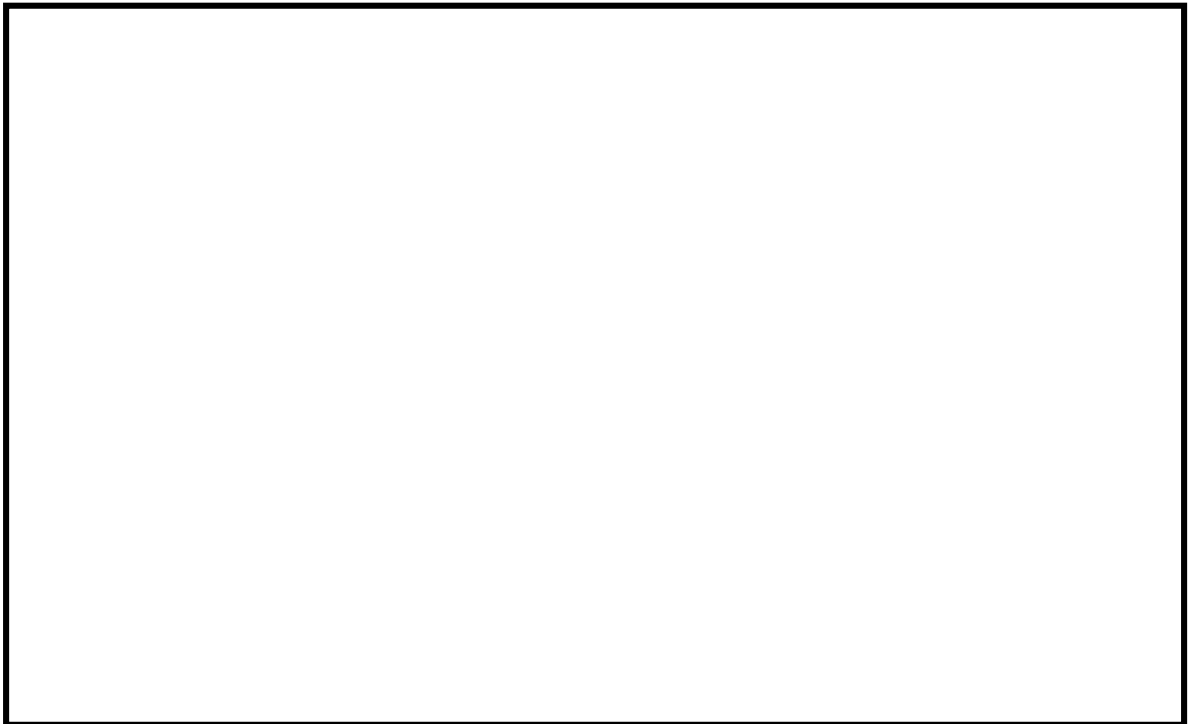


図 防火帯内植生図

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。

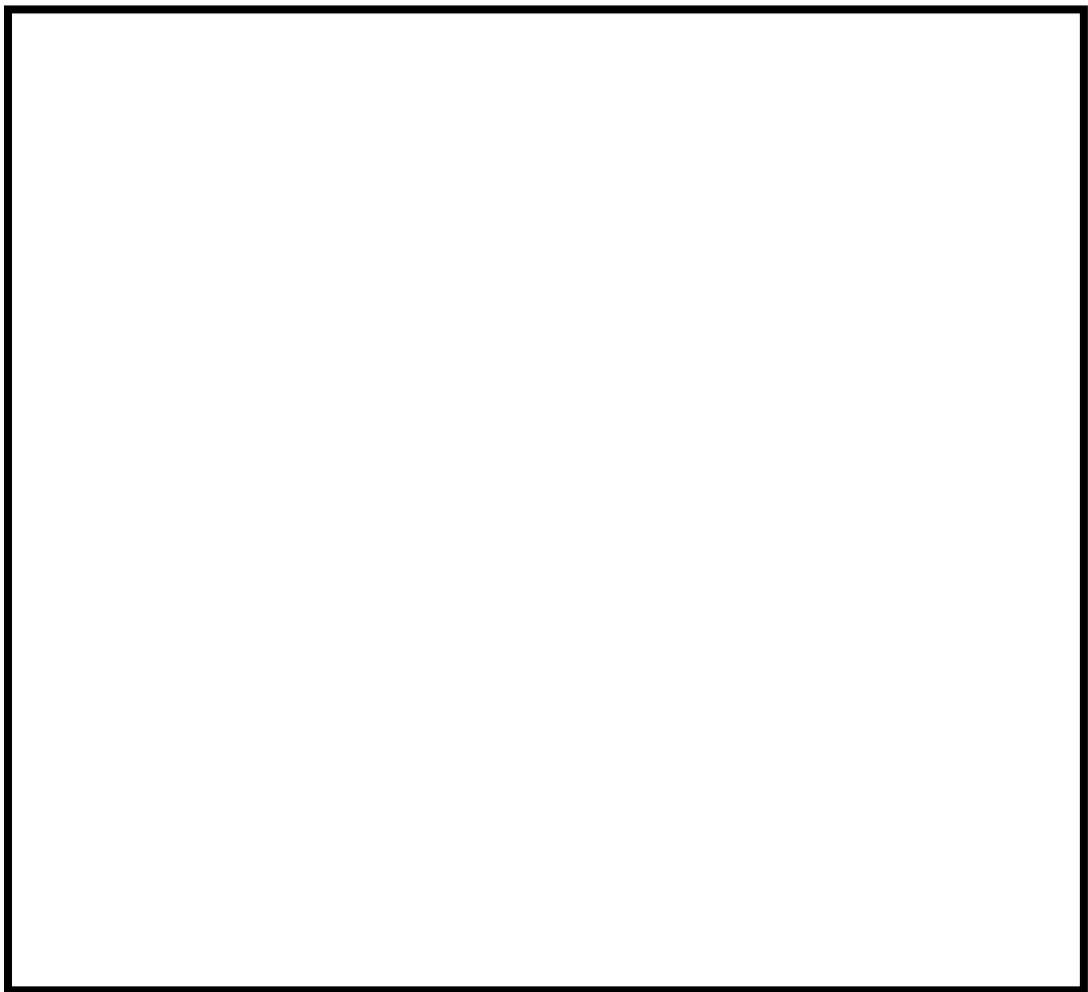


図 崩落評価の実施箇所と防火帯位置の関係

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	・丸パイプ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
止水ジョイント部	上記①のうち 一定間隔の施工ブロックの境界	・鋼製アンカー, 止水ゴム, 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

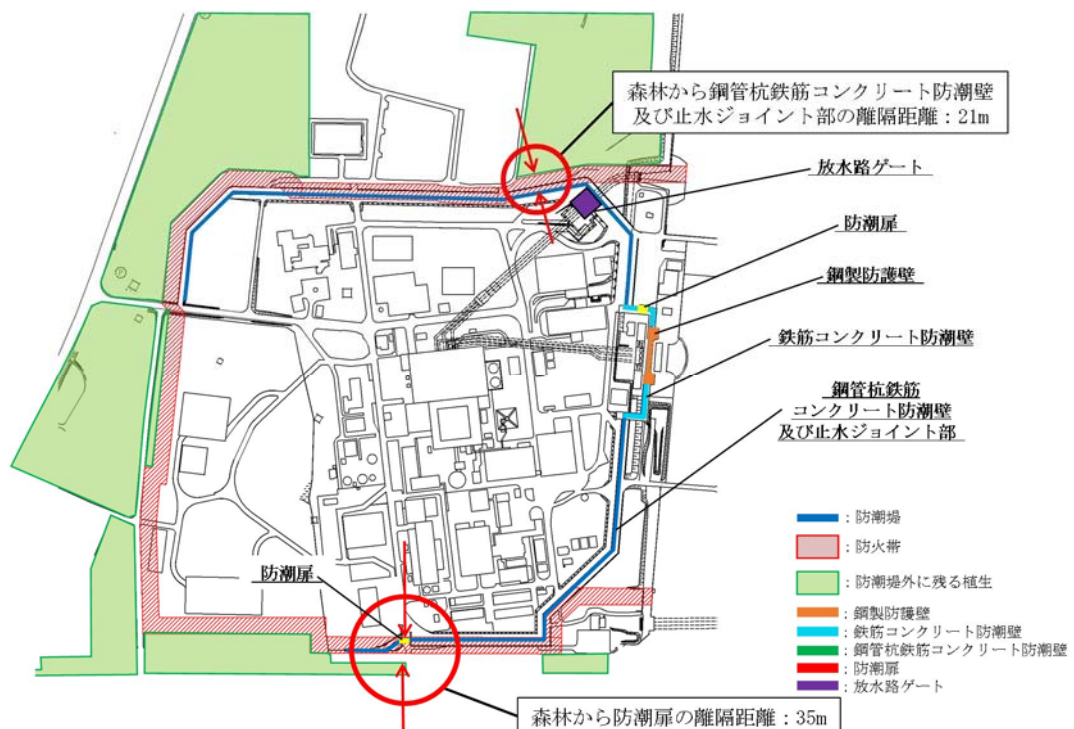


図 1 防潮堤における森林火災影響評価対象

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。

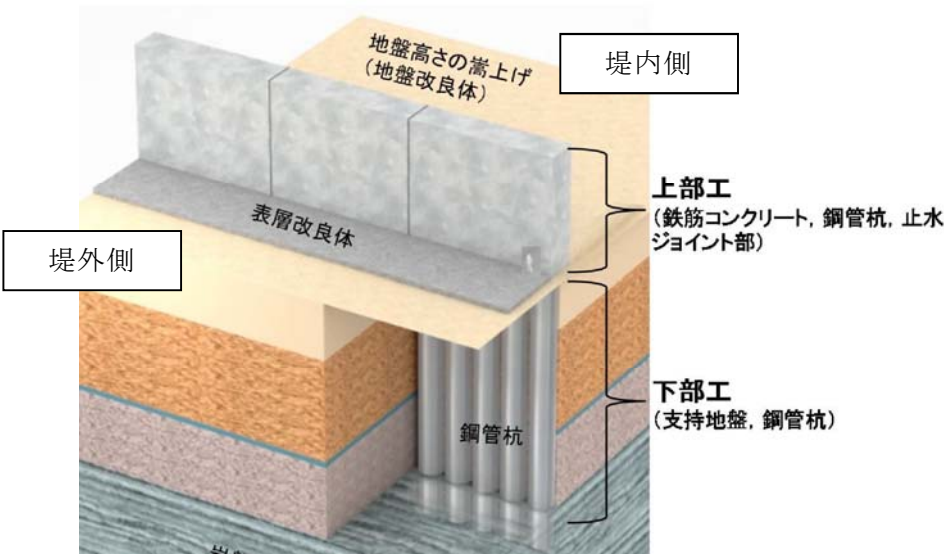


図 2 防潮壁の概要図

(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。

$$\begin{aligned}\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) & (\text{式 1}) \\ -k \frac{\partial T}{\partial x} &= E - h (T - T_0) & (x=0) \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= 0 & (x=L)\end{aligned}$$

(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/m²/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。

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

E：輻射強度 (W/m²)，R_f：輻射発散度 (W/m²)，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。

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

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

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

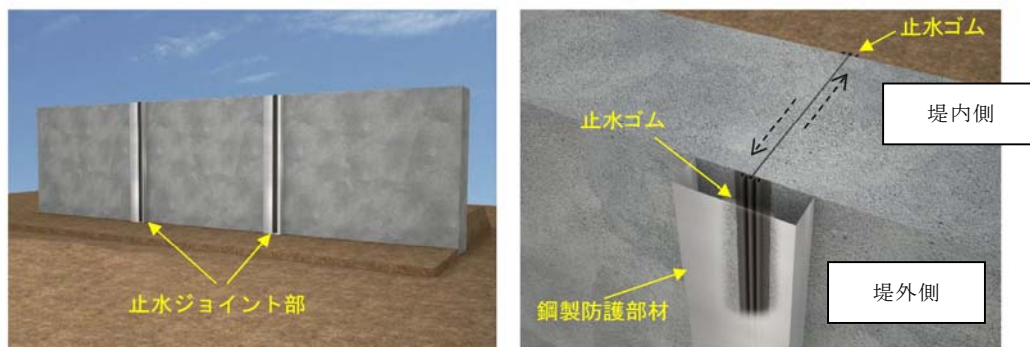
影響評価対象	危険距離 (m)	森林からの離隔距離 (m)
防潮壁	16	21

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。



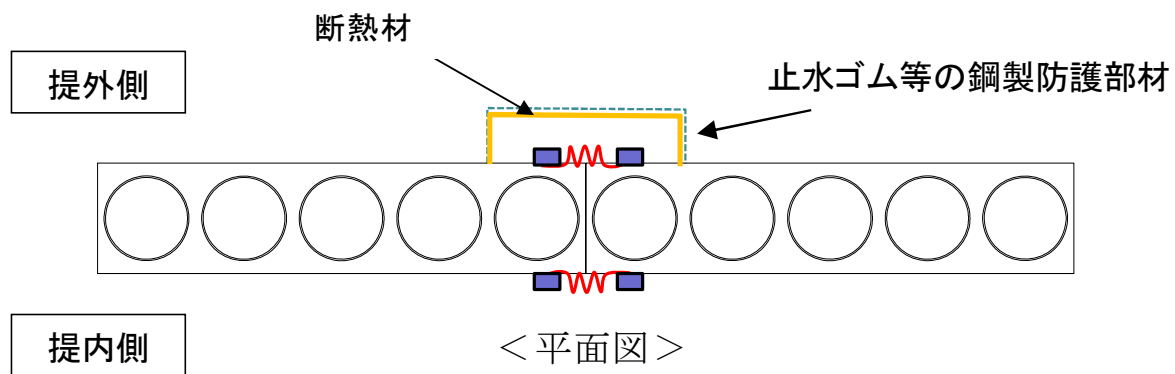


図3 止水ジョイント部の概要図

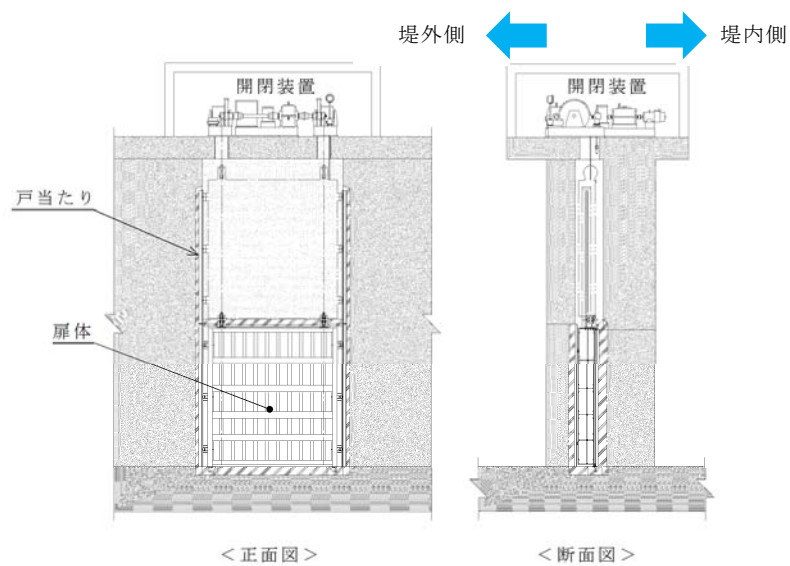


図4 防潮扉の概要図

(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	止水ジョイント部	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。評価において対流による放熱を考慮している。

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

(出典：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)

T：許容温度(325℃)， T_0 ：初期温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/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。

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

E：輻射強度(W/m²)， R_f ：輻射発散度(W/m²)， 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。

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

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

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)
止水ジョイント部 (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、他の監視カメラを用いて監視することに対応は可能である。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 監視カメラの配置図

表4 監視カメラの主な監視範囲

設置場所		主な監視範囲							放水路 ゲート等
		敷地				防潮堤			
		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ので、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 ・ケーブル	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 ・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

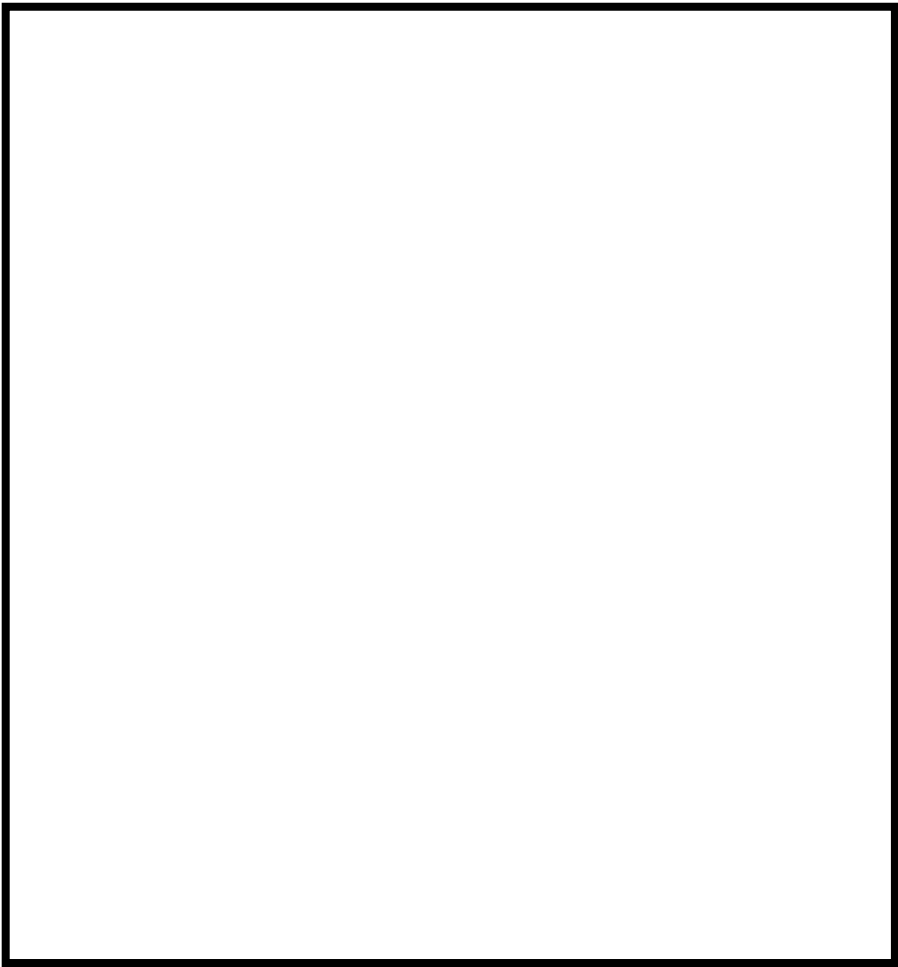


図 該当する施設の位置と離隔距離

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

F A R S I T E 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 $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 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。

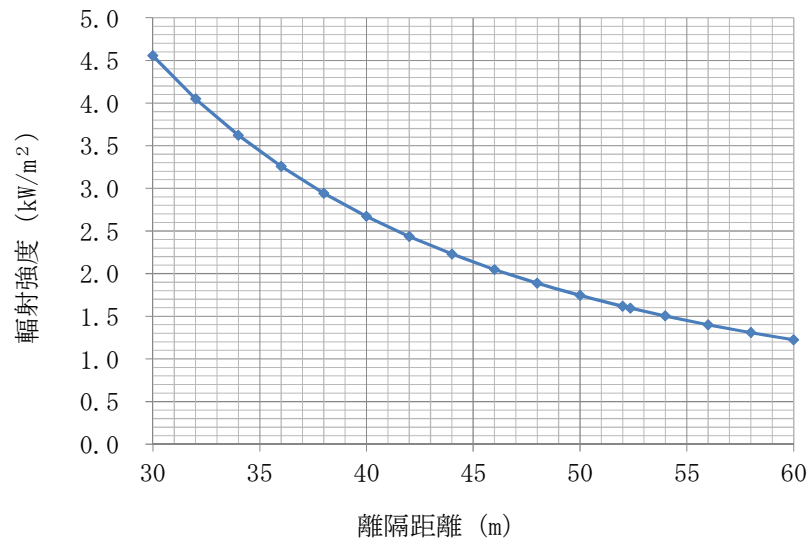


図 1 離隔距離と輻射強度の相関図

表 1 放射熱の影響（石油コンビナートの防災アセスメント指針より抜粋）

表 5.17 放射熱の影響

放射熱強度		状況および説明	出典
(kW/m²)	(kcal/m²h)		
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 $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ ※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 $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 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）

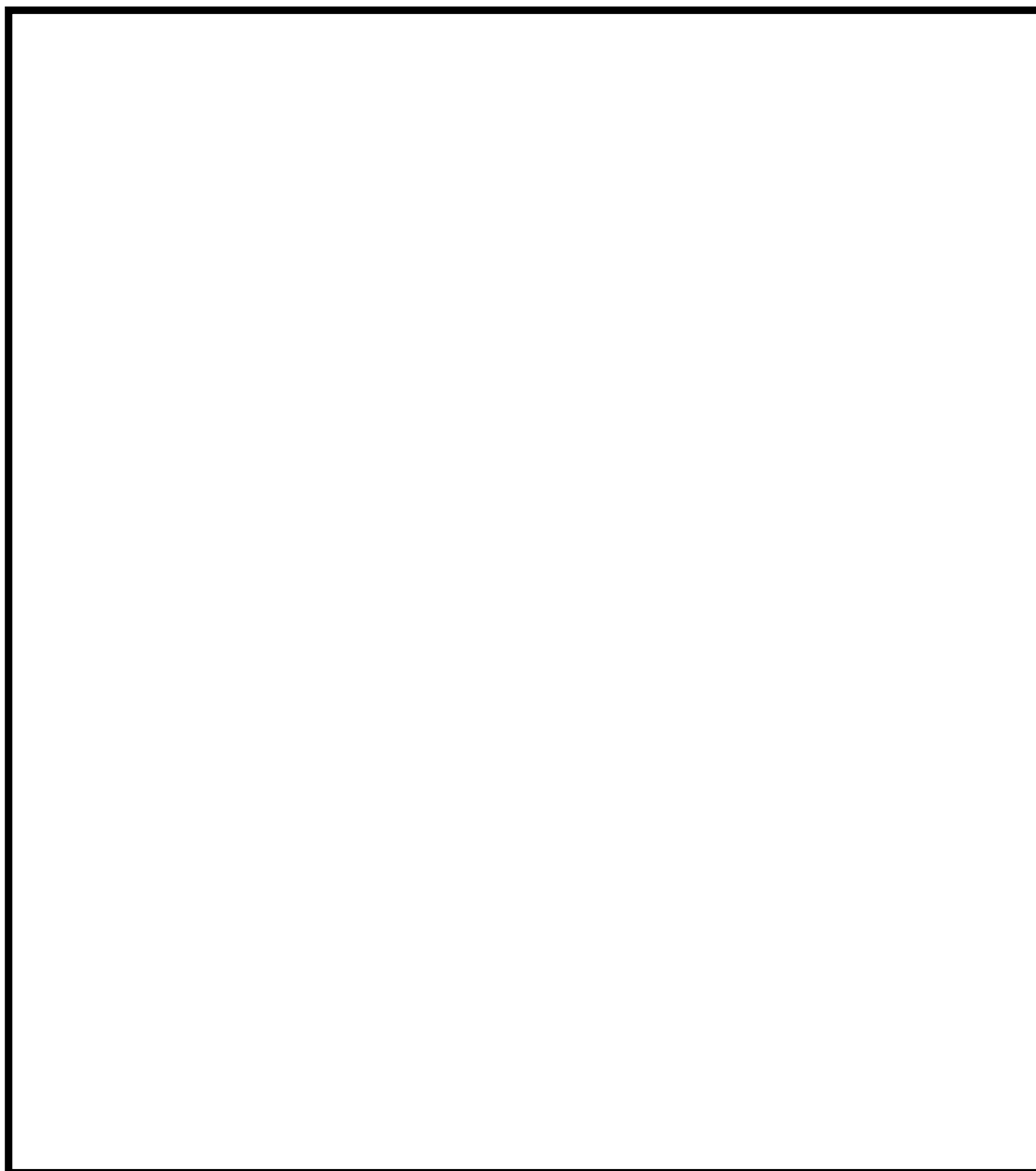


図 2 輻射強度が $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以上となる範囲

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

防火帯内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、防火帯内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。

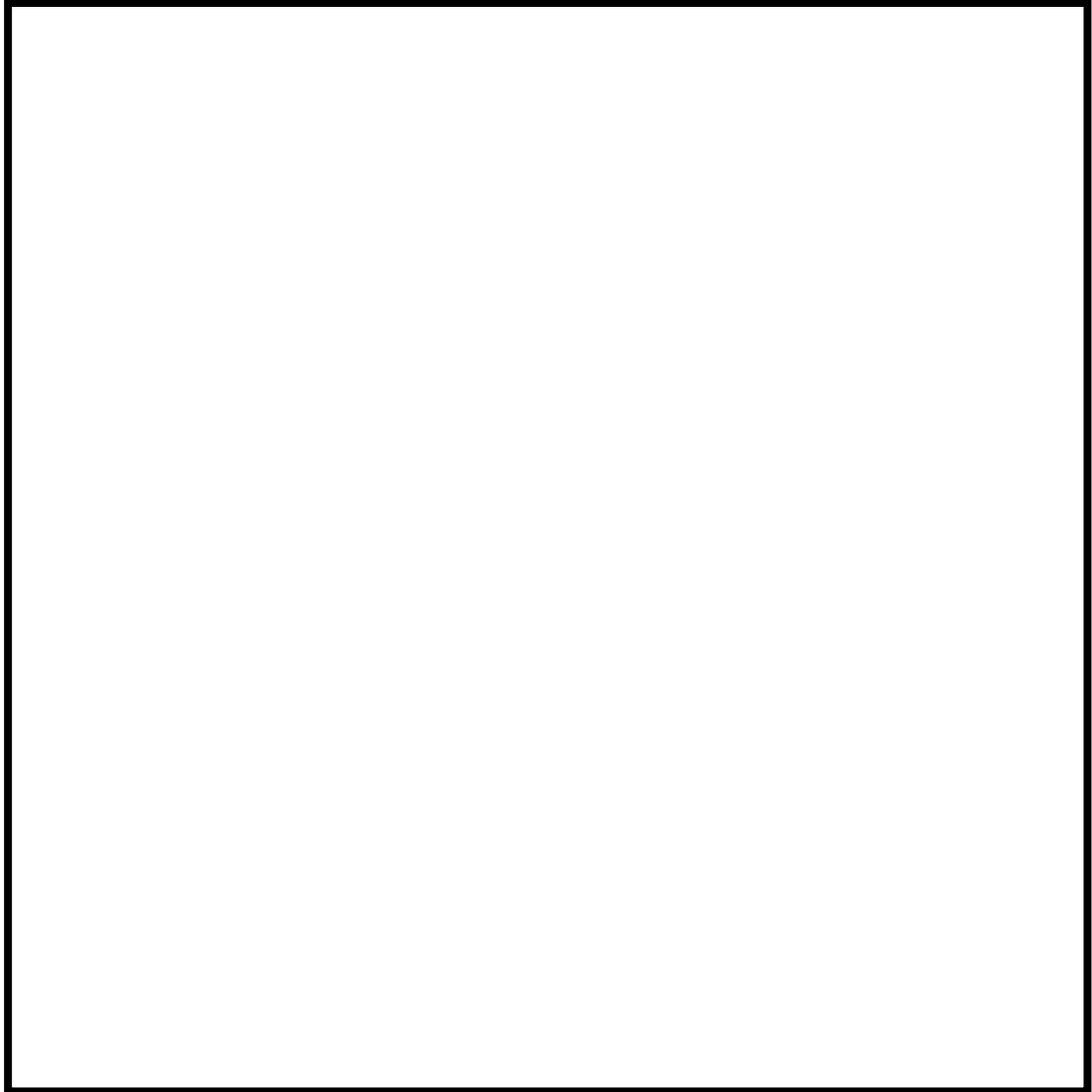


図 2 検証概要図（モニタリングポスト D 消火）

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。

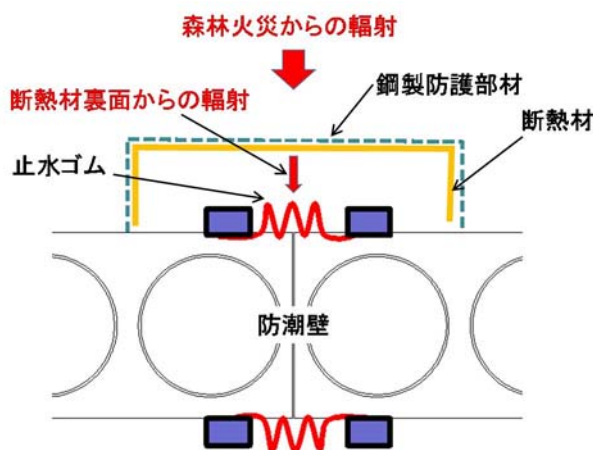


図 1 鋼製防護部材と断熱材の概念図

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

(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 (150℃) ※3

T：周囲空気温度 (37℃) ※4

h：熱伝達率 (8.29W/(m²・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/m²) 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。F A R S I T E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。

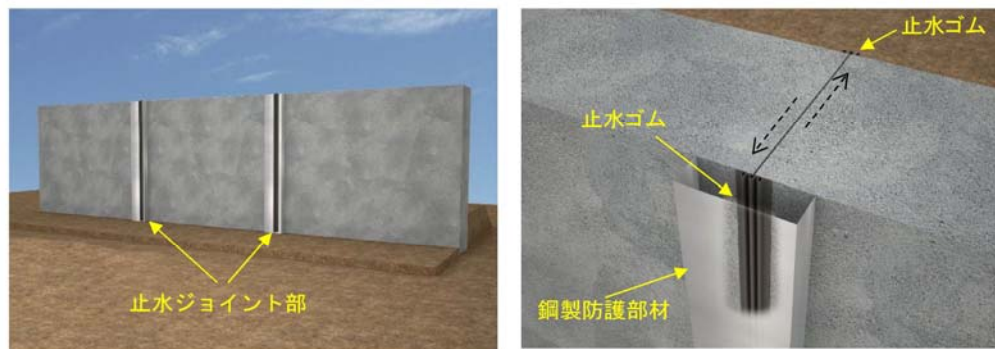


図 止水ジョイント部と鋼製防護部材 p

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以上
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 []
[] 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な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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)※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 $= M / \rho$ (m/s)
 M : 質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$), 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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	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°C 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。

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

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

T：許容温度(200℃)，T₀：初期温度(50℃)*，E：輻射強度(W/m²)

κ：コンクリート温度伝導率(=λ / ρ C_p) (7.7×10⁻⁷ m²/s)

ρ：コンクリート密度(2,400kg/m³)，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。

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

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，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。

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

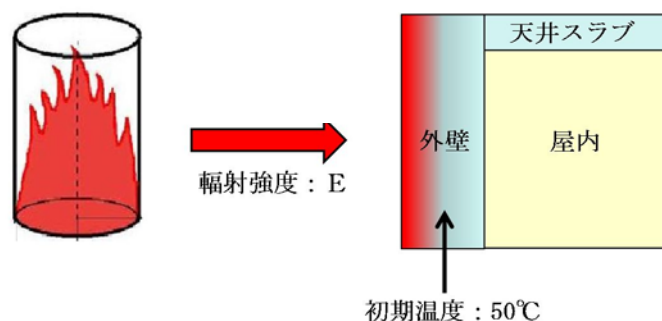
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$ ， $n = \frac{L}{R}$ ， $A = (1+n)^2 + m^2$ ， $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

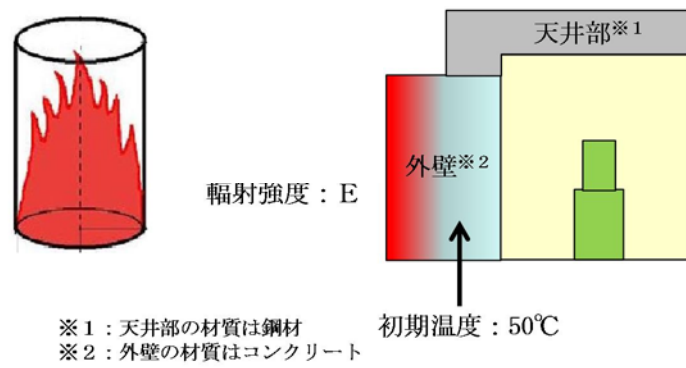
(出典：評価ガイド)

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。

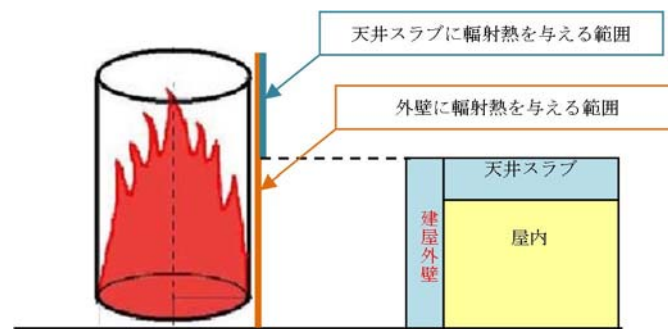
- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・海水ポンプ室の側面壁は鋼材、外壁はコンクリートであるが、危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。海水ポンプ室の評価概念図を第 4. 1. 2. 3-2 図に示す。
- ・火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 4. 1. 2. 3-3 図に示す。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。



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

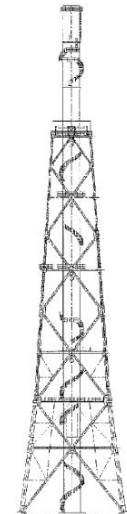
排気筒について，危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

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。

$$E = 2h(T - T_o) \quad (\text{式 1})$$

（出典：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）

T：許容温度(325℃)， T_o ：周囲温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/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/m²K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。

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

E：輻射強度(W/m²)， R_f ：輻射発散度(W/m²)， 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。

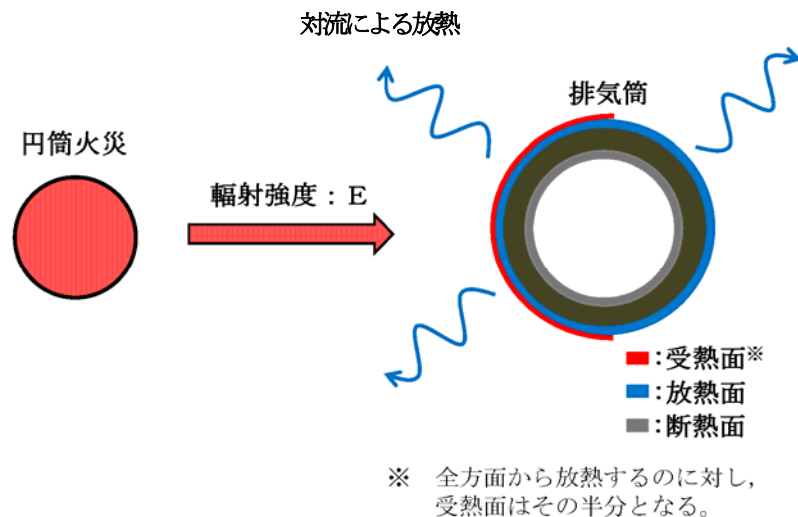
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

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

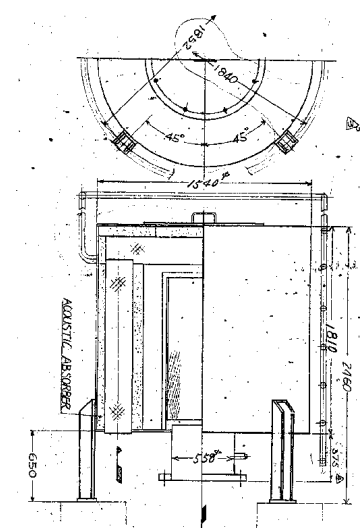
(1) 影響評価対象範囲

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。

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

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)※¹，E：輻射強度(W／m²)，

G：重量流量(4kg／s)※²，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

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ー系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量(228m³／min)×空気密度(1.17kg／m³)÷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。

$$E = R f \cdot \Phi \quad (\text{式 2})$$

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。

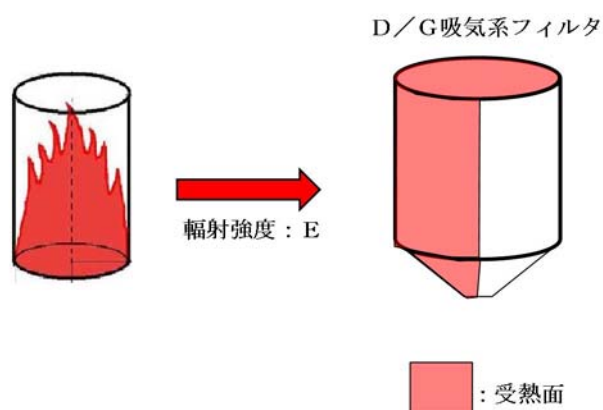
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

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 L N G 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 : J I S K 2240-2013 記載値

※⁴ : コンビナート等保安規定第 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、

$$\text{L N G タンク : } A = 97,704 \div (97,704 + 31,000) = 0.759$$

$$\text{L P G タンク : } B = 31,000 \div (97,704 + 31,000) = 0.241$$

$$W_t = \sqrt{97,704 + 31,000} = 358.753$$

第 4.2.1-1 表の評価条件より

$$X = 0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(714 \times 1,000 \times A \times W_t) + (888 \times 1,000 \times B \times W_t)} = 373$$

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
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 L N G 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 L N G 基地内のパイプラインで
 あり，日立 L N G 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 L N G 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。

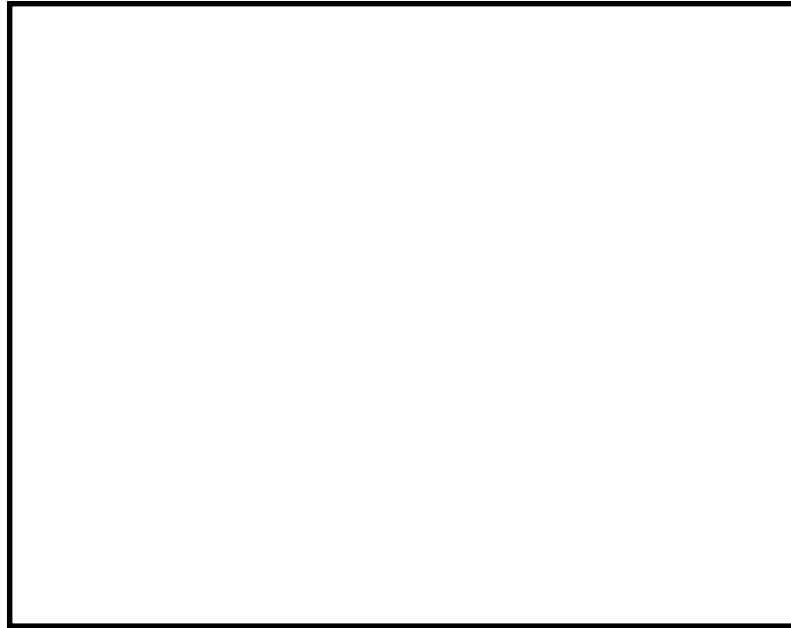
(2) 爆風圧の影響評価結果

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)
L N G タンク	メタン	97, 704	373	1, 500
L P G 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（B L E V E : 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、B O G 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、B L E V E は発生し難いが^{※2}、B L E V E 以外の爆発形態を想定し、発電所から 1,500m 先にある日立 L N G 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。

$$L = 90M^{0.333} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 未満の容器})$$

$$L = 465M^{0.10} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器})$$

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 L N G 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⁾。

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

ただし、L：破片の最大飛散範囲(m)

M：破裂時の貯蔵物質量(kg)

この式を東日本大震災の LPG 爆発火災 (M=300,000kg) に適用すると次のようになる。

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

この事故では、タンク破片が最大約 1,300m、板金が最大約 6,200m まで飛散している。板金は厚さ 0.5mm の薄板であり、揚力によって遠方まで達したものと考えられる。一方、タンク本体の破片や付属重量物が飛散した場合には、落下・衝突による被害が懸念されるが、この事故によるタンク破片の飛散距離最大約 1,300m と照らし合わせると、式 31 により大まかな推定は可能と考えられる。なお、プラントの異常反応に伴う容器破裂に関しては式 31 は適用できないため、過去の事故事例などをもとに推定することになる。

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（80,000m²）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) (m²)

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(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

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。

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

T : 許容温度(200℃), T₀ : 初期温度(50℃), E : 輻射強度(W/m²)

κ : コンクリート温度伝導率(=λ / ρ C_p) (7.7×10⁻⁷ m²/s)

ρ : コンクリート密度(2,400kg/m³), 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)

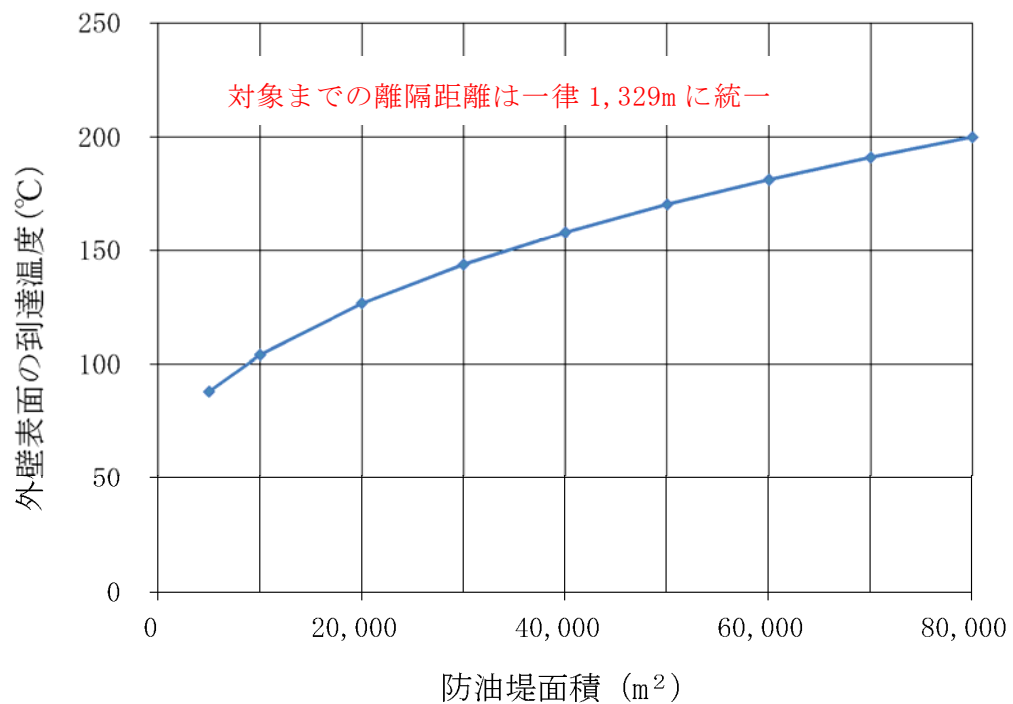
x : コンクリート壁表面深さ(0m)

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。

$$E = 2 h (T - T_o) = 2 \times 17 \times (325 - 50) = 9,350$$

T : 許容温度 (325℃), T_o : 周囲温度 (50℃)※¹

h : 熱伝達率 (17W/m²/K)※², E : 輻射強度 (W/m²)

※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/m²K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。

$$E = R f \times \Phi \Rightarrow \Phi = R f \div E = \frac{\text{}}{9,350} = 0.00245989$$

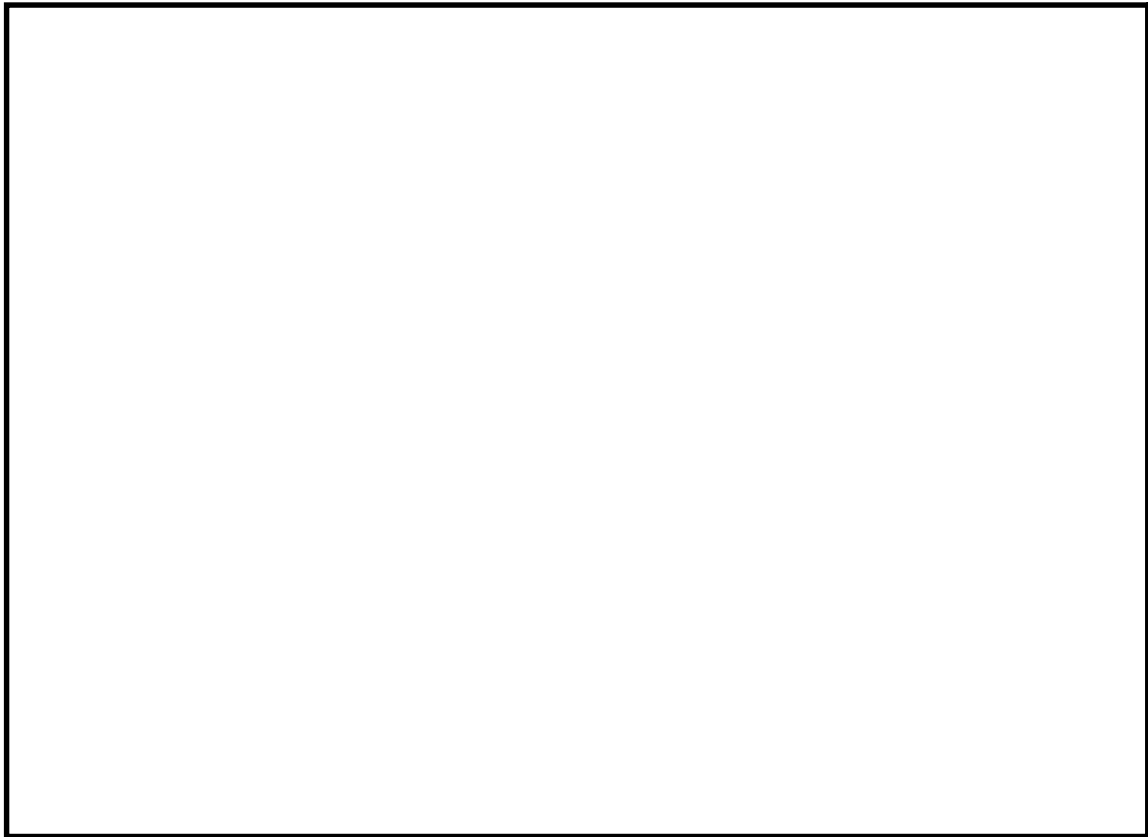
評価ガイドには形態係数の算出式は下式のとおりとあり, この式に形態係数を代入し, 離隔距離 L を逆算する。

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

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

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, の他の燃料と比較すると は同じ離隔距離での輻射強度が低い。比較結果を下図に示す。



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、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)	原子炉施設からの離隔距離 (m)
L N G 貯蔵タンク	L N G	230, 000	1, 500
L P G 貯蔵タンク	L P G	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ーから求めた。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:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad (\text{m/s}) \quad (7.15)$$

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。

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow r = \left(\frac{3V}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$S = 4 \pi r^2$$

$$M = S t \rho$$

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)
L N G 貯蔵タンク	L N G	230, 000	253, 000	7, 850	1. 3	0. 01	$7. 6 \times 10^6$
L P G 貯蔵タンク	L P G	50, 000	55, 000	7, 850	1. 1	0. 01	$2. 7 \times 10^6$

※ 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ーが、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ー(J)

ρ_1 : タンク内の圧力 ($0.2\text{MPa}^{\text{※1}}$), ρ_2 : 大気圧力 (0.1MPa)

V : タンクの体積 (m^3), γ : 比熱比 (-)

A : 爆発エネルギーの飛来物への移行係数 ($0.2^{\text{※2}}$)

※ 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	爆発エネルギー (J)	飛来物の最高速度 (m/s)	原子炉施設までの離隔距離 (m)
L N G 貯蔵タンク	8.2×10^{10}	66	1,500
L P G 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，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，L P G 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 L N G 基地の L N G 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 図のおりの日立 L N G 基地の L N G タンクより推定した L P G 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。

$$\text{水平方向：} m \frac{dv_x}{dt} = F \frac{v_x}{V(t)}$$

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

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

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

m ：飛来物の質量(kg)， F ：空気抵抗による外力(-)

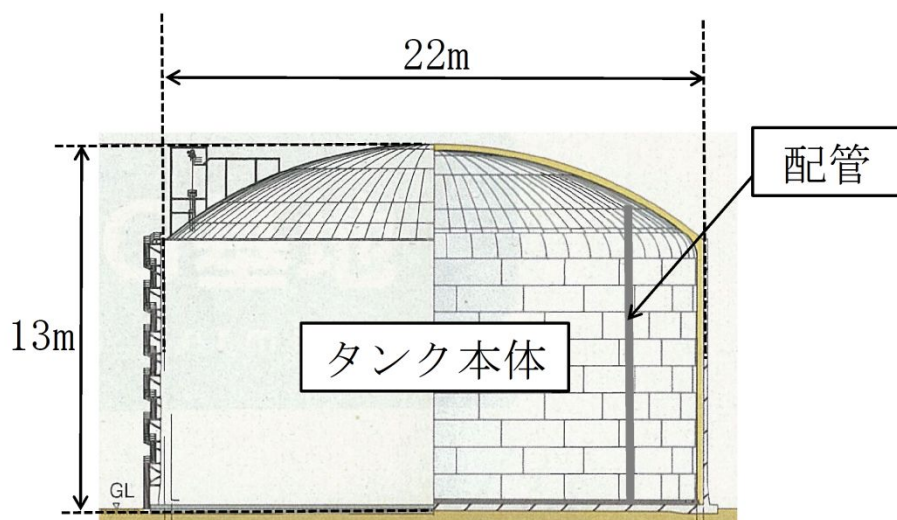
g ：重力加速度 (m/s^2)， C_D ：流体抗力係数 (-)

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、飛来物が原子炉施設に到達することはない、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 L P G 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 L N G 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 L N G タンクを参考に設定した。

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（＝30m³）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な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(m²)

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(m³)

R：燃焼半径(m)， v：燃焼速度=M/ρ (m/s)

M : 質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$), 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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	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

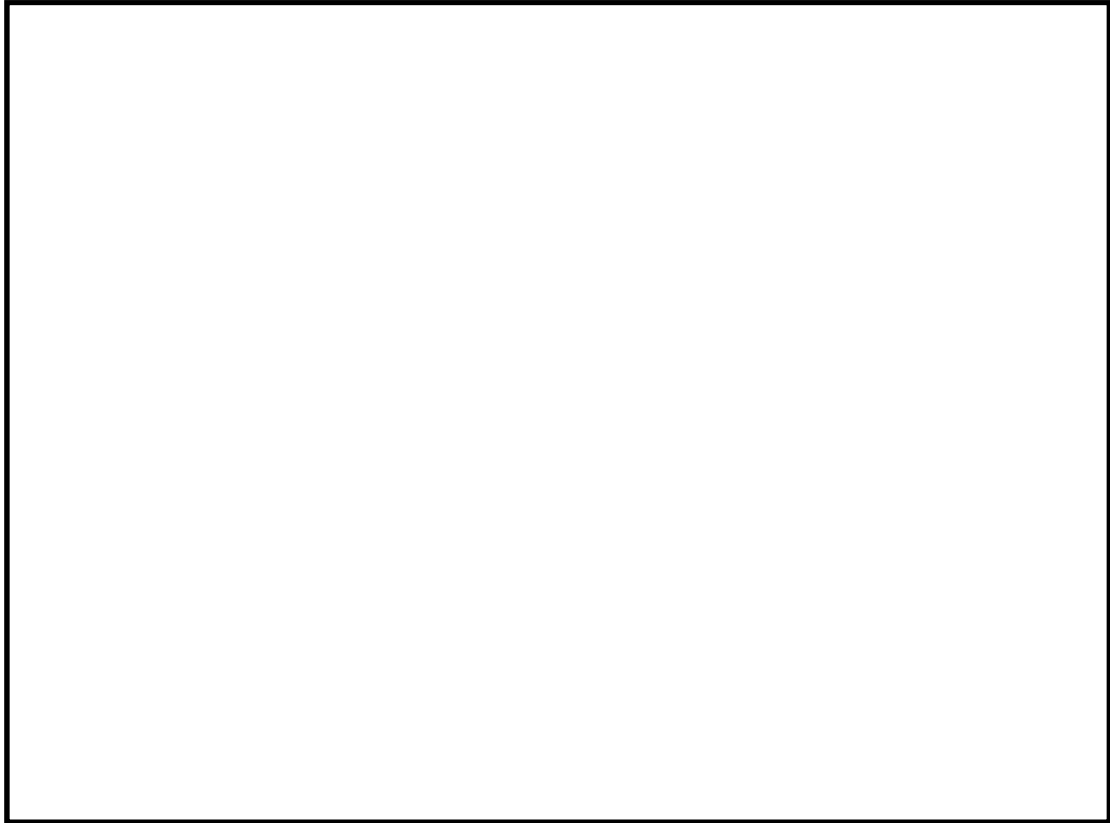
(1) 影響評価対象範囲

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。

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

(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℃) T₀：初期温度(50℃)^{※1}
a：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}
κ：コンクリート温度伝導率(=λ/ρ C_p) (7.7×10⁻⁷m²/s)
ρ：コンクリート密度(2,400kg/m³) 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/m²)
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/m²K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。

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

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，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。

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

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

Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

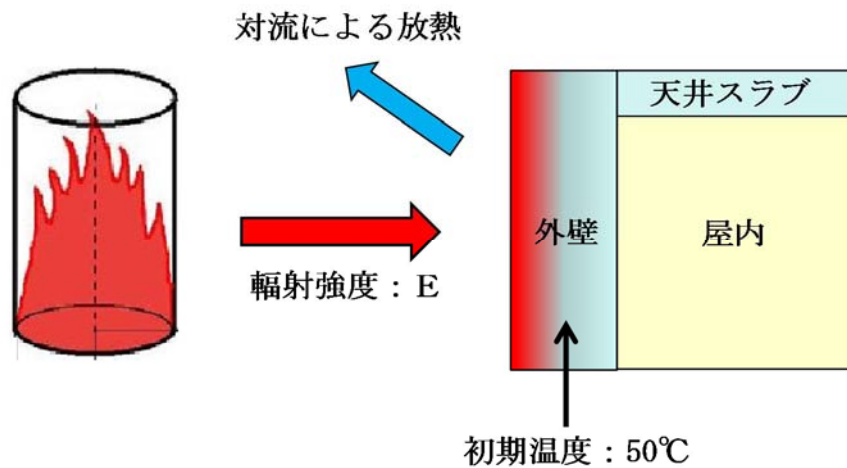
(出典：評価ガイド)

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

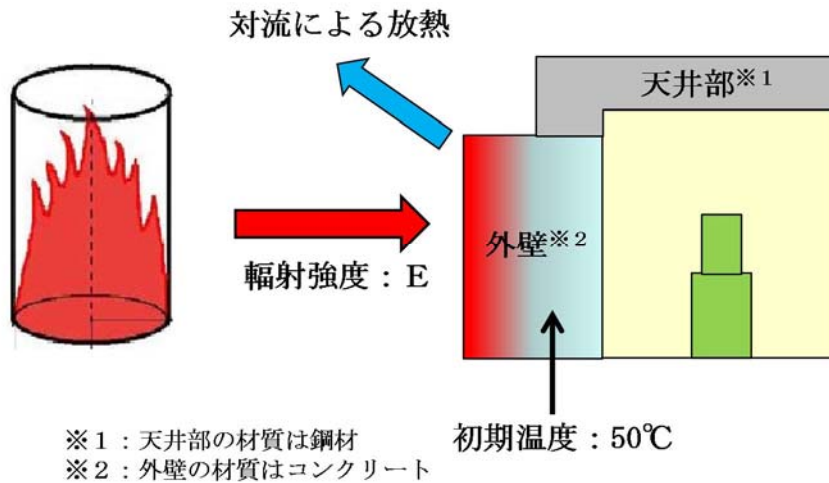
び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・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。

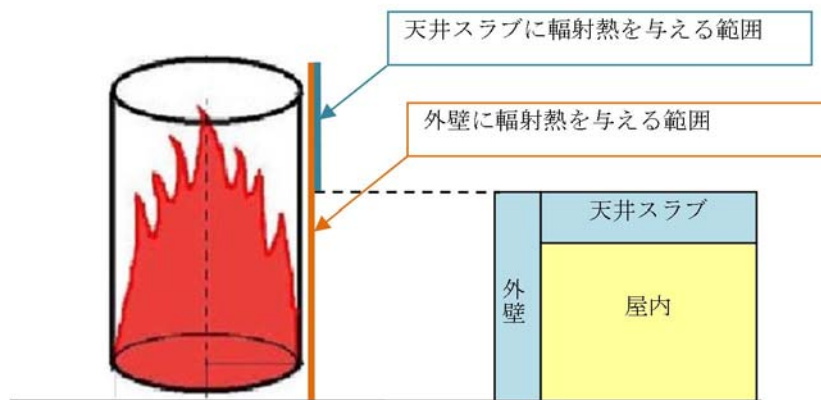
建屋外壁の評価概念図を第 2.2.1-2 図に、海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2.1-3 図に、天井スラブの評価概念図を第 2.2.1-4 図に示す。



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

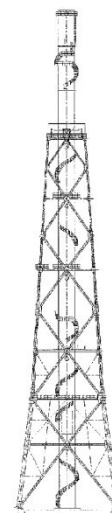
排気筒について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

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。

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

（出典：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）

T：許容温度(325℃)， T_0 ：周囲温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/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/m²K 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。

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

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。

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

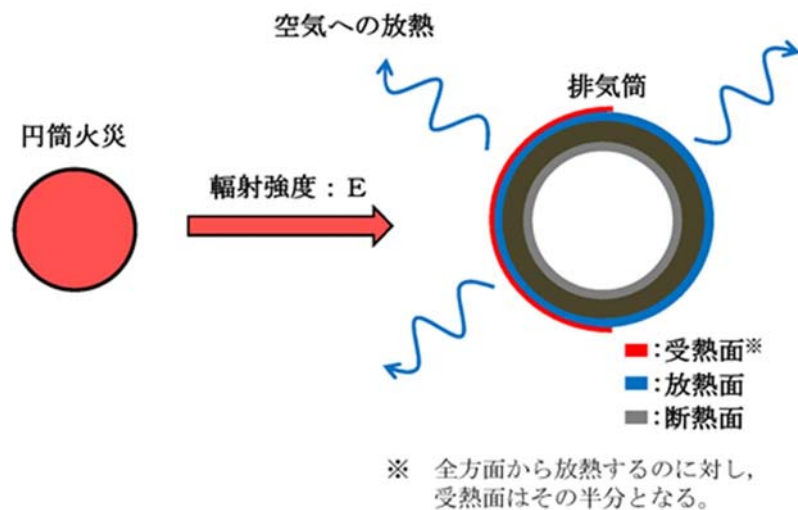
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

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

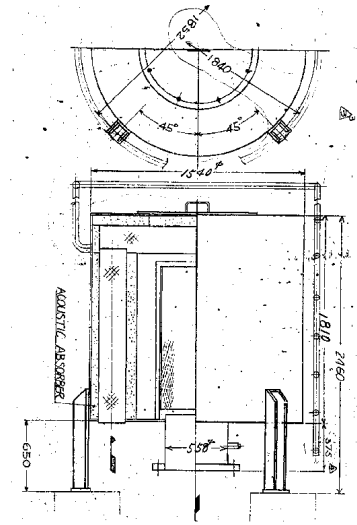
ディーゼル発電機機関のうち外部火災の影響がある D/G 吸気系フィルタの流入空気温度について，燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(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。

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

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)^{※1}，E：輻射強度(W/m²)，
G：重量流量(4kg/s)^{※2}，A：輻射を受ける面積(7.8m²)
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(228m³/min)×空気密度(1.17kg/m³)÷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。

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

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，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。

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

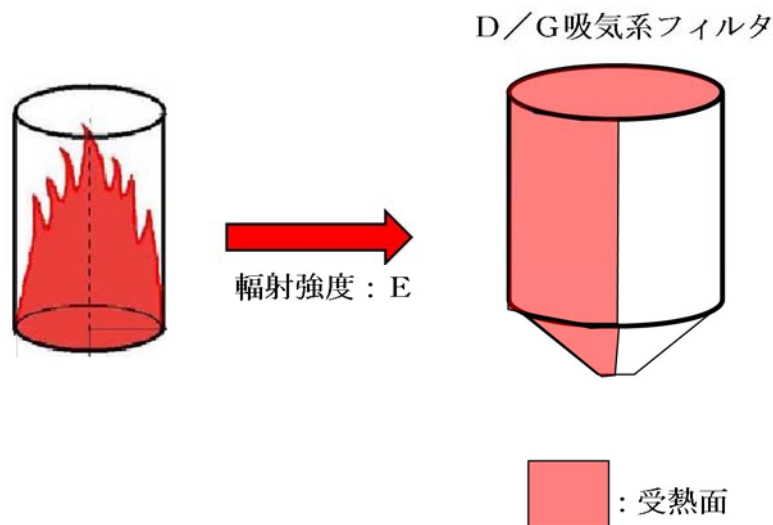
3)

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

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。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

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。

$$L = 465M^{0.10} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器})$$

L：破片の最大飛散範囲，M：破裂時の貯蔵物質質量

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、原子炉施設に到達せず、また横転した場合を考慮しても、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 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:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}} \quad (\text{m/s}) \quad (7.15)$$

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 ($7,850\text{kg}/\text{m}^3$) ※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	L P G	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 33m³ 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ーが，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ー(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 (33m³) , γ : 比熱比 (1.1)

A : 爆発エネルギー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	爆発エネルギー 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。

$$\text{水平方向：} m \frac{dv_x}{dt} = F \frac{v_x}{V(t)}$$

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

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

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

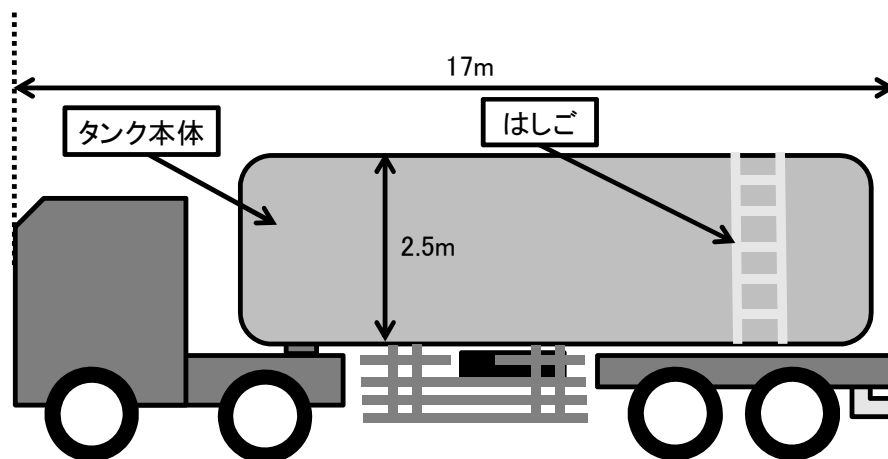
m：飛来物の質量(kg)， F：空気抵抗による外力(-)

g：重力加速度 (9.8m/s²)， 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 (m²)

V：飛来物の速度(m/s)， ρ：空気密度(1.2kg/m³)

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 2 4 5 号から最も近い原子炉施設 (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。

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造物、系統及び機器を内包する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 []
[] 内航船及び発電所港湾内に定期的に入港
する [] 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. [] 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 [] 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 [] 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な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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	燃焼面積 (m^2)

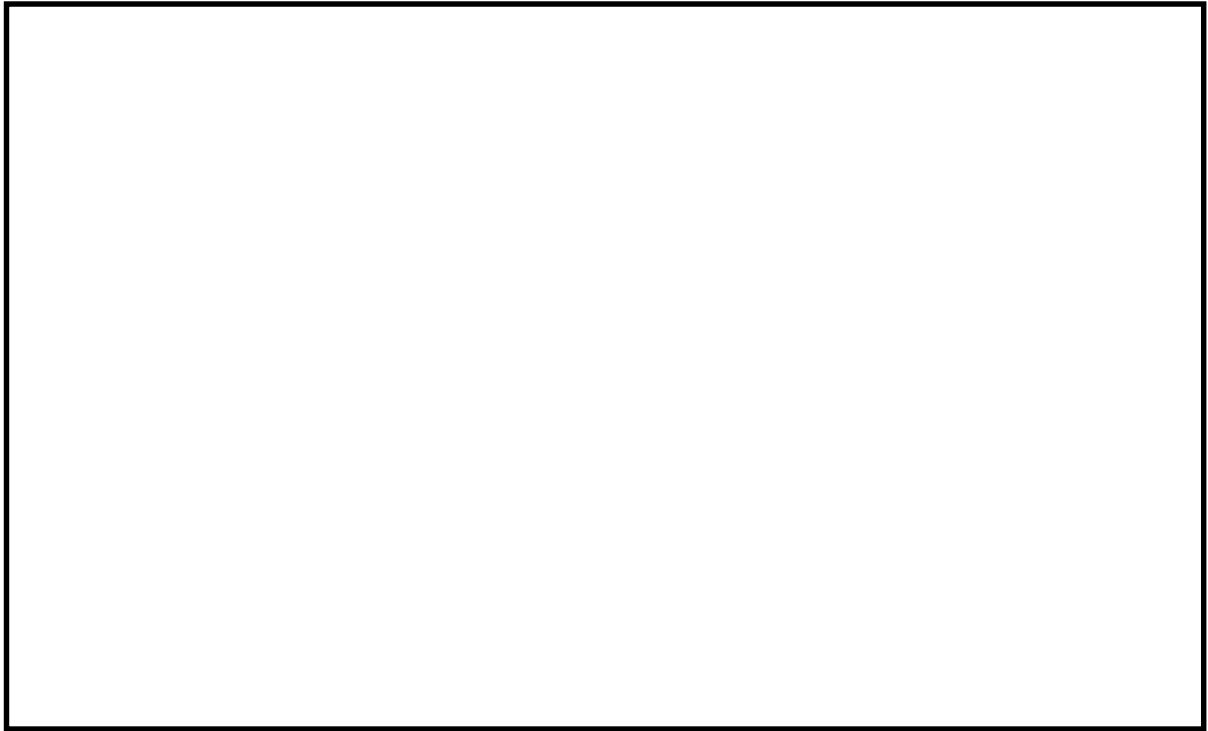
※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

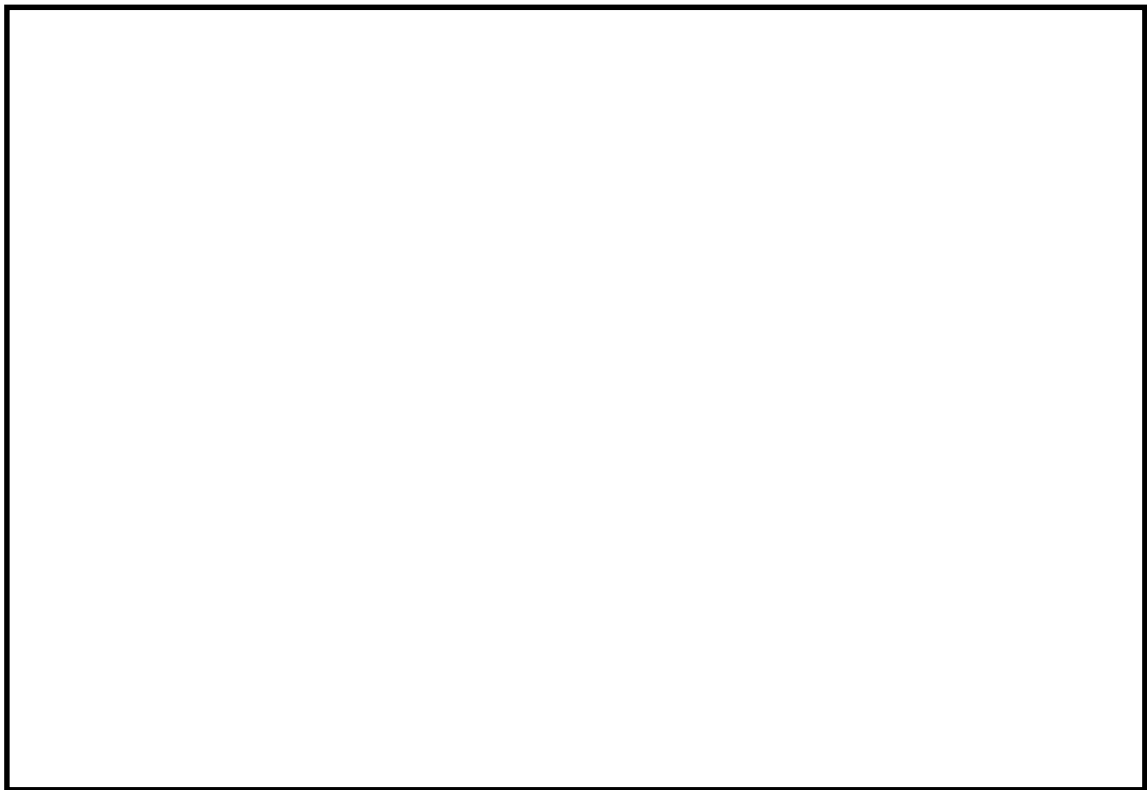
※3：MSDS (製品データ安全シート)

※4：[] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] に包絡されるため影響評価対象外とした。

※5：[] は燃料の種類が同じであることから、燃料量が多い [] に包絡されるため影響評価対象外とした。



第 2.1-1 図  火災と影響評価対象施設の位置関係



第 2.1-2 図  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。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(m²)

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(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度=M/ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	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°C 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°C となる輻射強度 (=危険輻

射強度) を算出する。

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

(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($^{\circ}\text{C}$)， T_0 ：初期温度(50°C)※¹

a ：熱伝達率($17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)※²

κ ：コンクリート温度伝導率($=\lambda/\rho C_p$) ($7.7 \times 10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$)

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

λ ：コンクリート熱伝導率($1.63\text{W}/\text{m}/\text{K}$)， 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 $17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 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。

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

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。

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

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

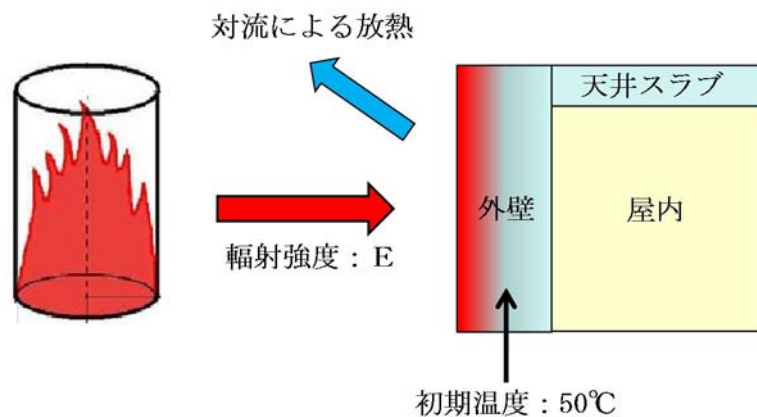
Φ ：形態係数， L ：離隔距離(m)， H ：炎の高さ(m)， R ：燃焼半径(m)

(出典：評価ガイド)

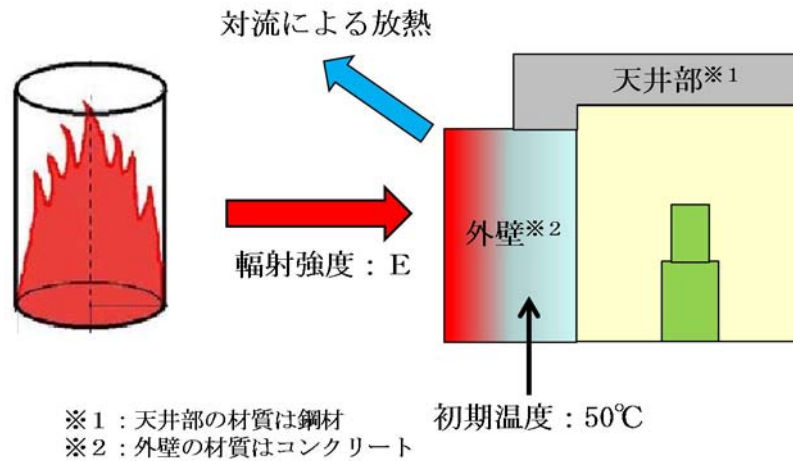
上記のとおり危険距離を算出し、当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・ 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。

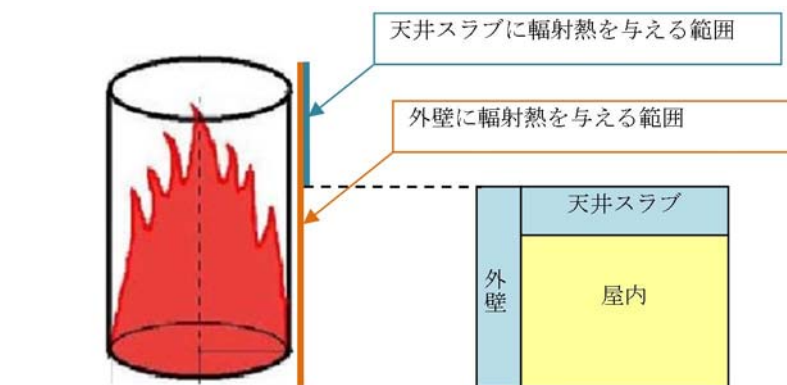
建屋外壁の評価概念図を第 2.2-1 図に、海水ポンプ室の評価概念図を第 2.2-2 図に、天井スラブの評価概念図を第 2.2-3 図に示す。



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、 について積載量が 0m³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）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

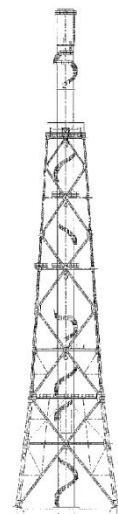
排気筒について、船舶の火災を想定して評価を実施した。

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。

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

（出典：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）

T ：許容温度(325℃)， T_0 ：周囲温度(50℃)※¹

E ：輻射強度(W/m²)， h ：熱伝達率(17W/m²/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/m²K 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。

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

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。

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

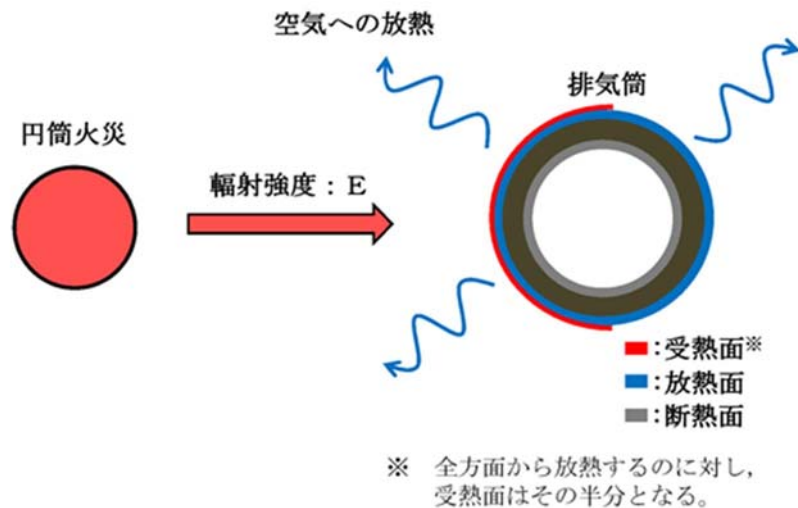
ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

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、 について積載量が 0m³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

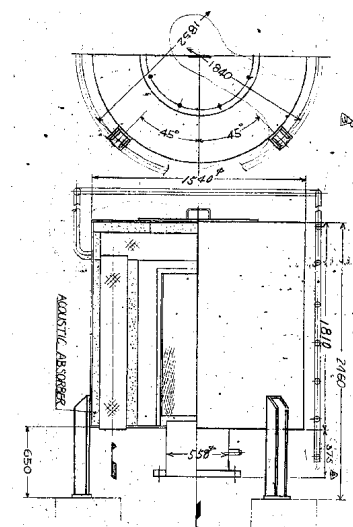
(1) 影響評価対象範囲

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。

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

T：許容温度(53℃)，T₀：初期温度(37℃)※¹，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(4kg/s)※²，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

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(228m³/min)×空気密度(1.17kg/m³)÷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。

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

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，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。

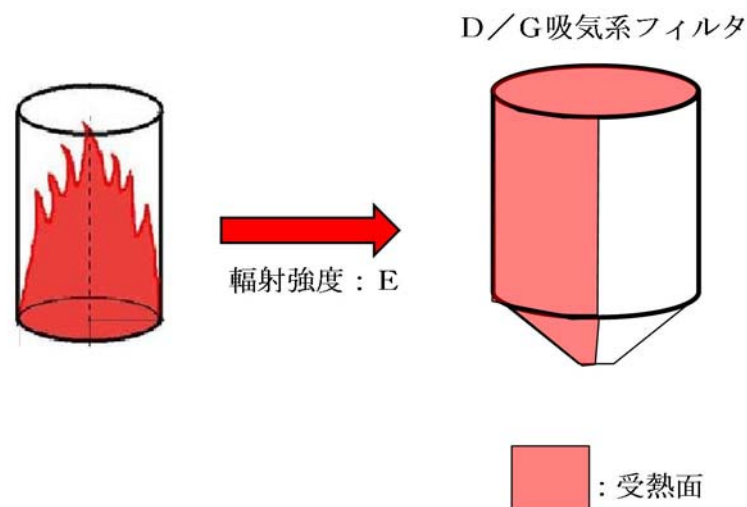
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

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°C 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

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

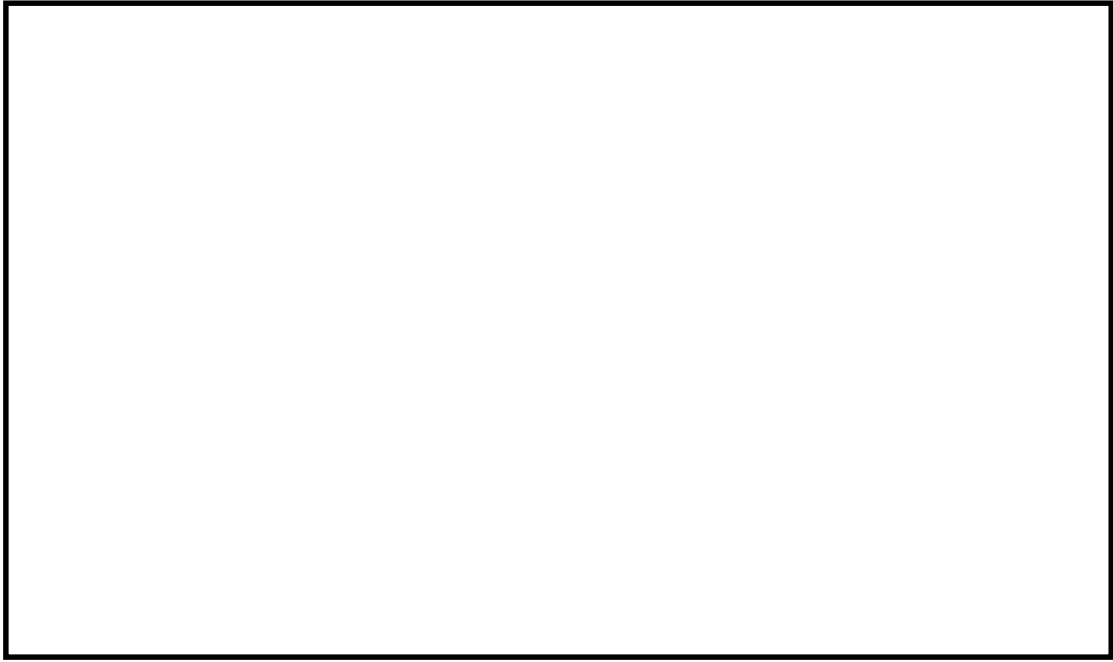
貯蔵ガス	
貯蔵量 (m ³)	
貯蔵量 (t)	
密度 (t/m ³)	
喫水 (m)	
貯蔵ガス K 値※ ³	
貯蔵設備 W 値※ ⁴	

※ 1 : 伝熱工学資料第 5 版記載値

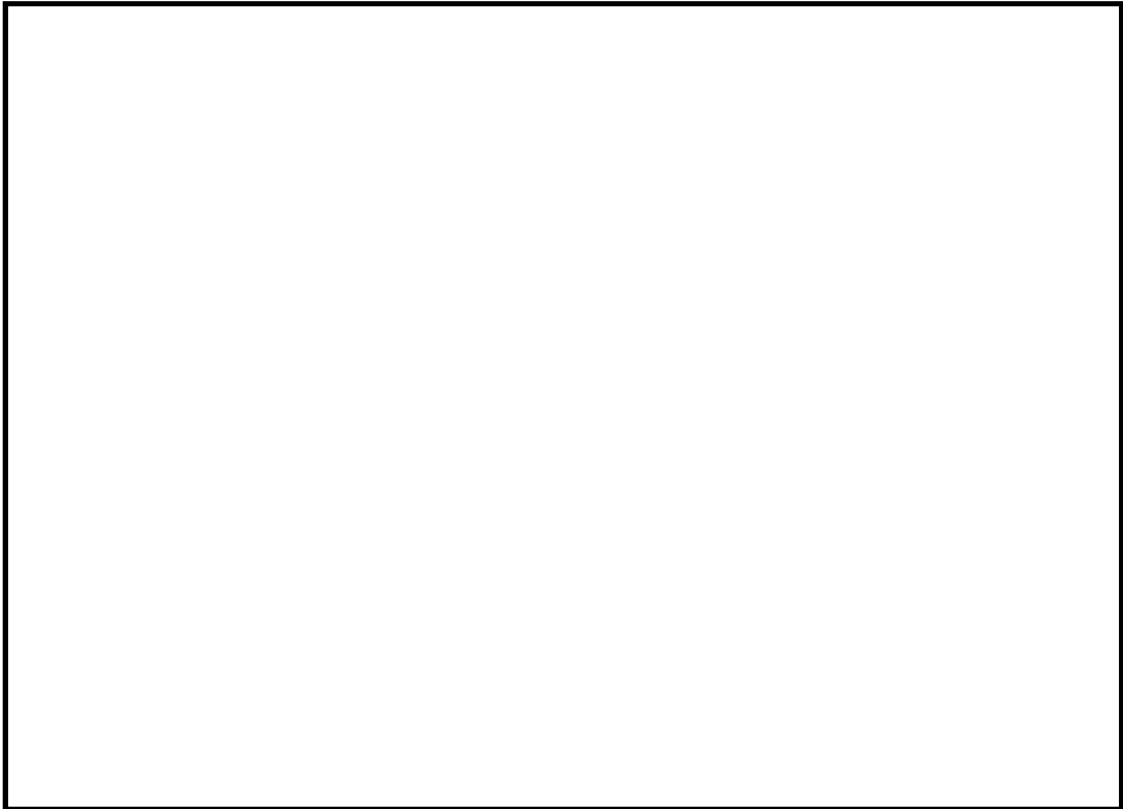
※ 2 : J I S K 2240-2013 記載値

※ 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 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、 で 680m, 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。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

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、原子炉施設への影響がないよう対応する。

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

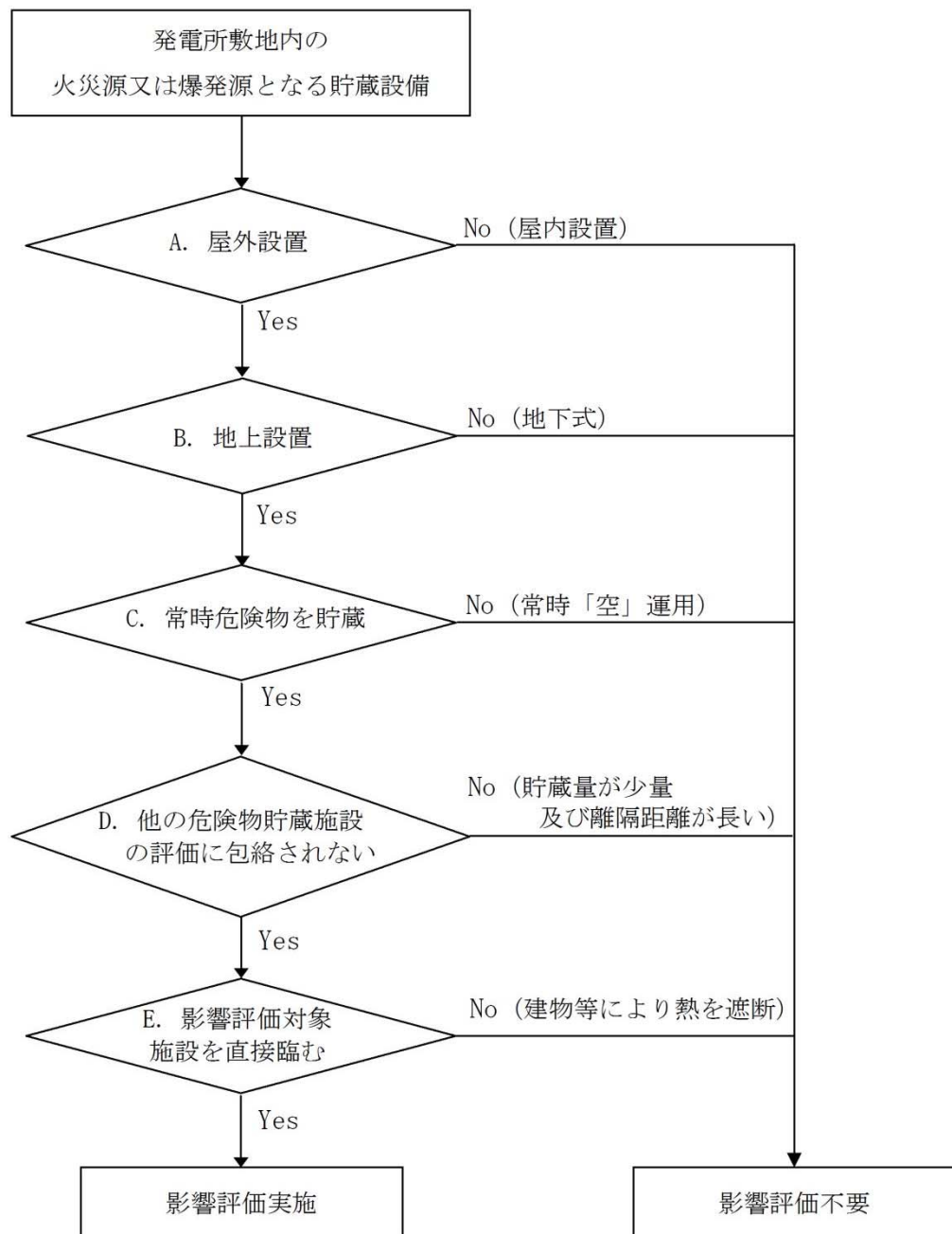
2.1 評価対象の考え方

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)
熔融炉灯油タンク	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）

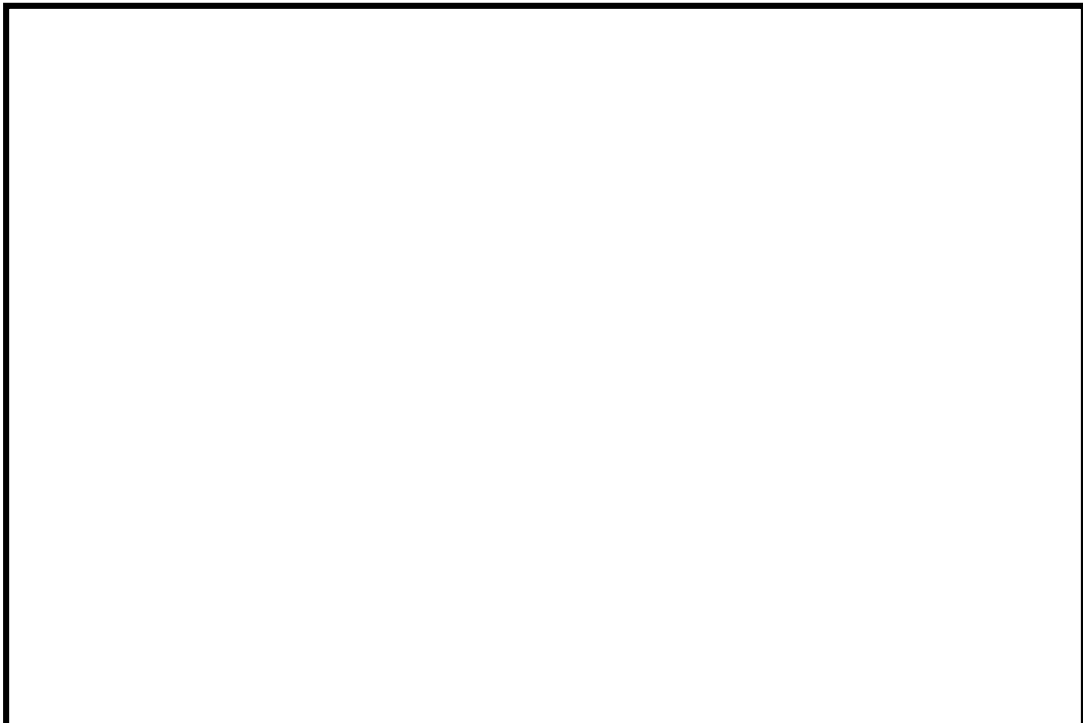
設備名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m ³)	詳細評価要否 (○：対象、×：対象外)
No. 1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.10	× (屋内設置 → A)
			第四類	第二石油類	ラッカー等	4.00	× (屋内設置 → A)
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	× (屋内設置 → A)
No. 2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	× (屋内設置 → A)
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	× (他評価に包絡 → D)
緊急時対策室建屋（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	
H ₂ , CO ₂ 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+アルゴン	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 で抽出した熔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、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な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）(m²)

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(m³)

R : 燃焼半径 (m), v : 燃焼速度 $= M / \rho$ (m/s)
 M : 質量低下速度 (kg/m²/s), ρ : 燃料密度 (kg/m³)

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

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

火災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), R_f : 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 R _f (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。

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

T : 表面から x (m) の位置の温度 ($^{\circ}\text{C}$), T_0 : 初期温度 (50°C)^{※1}

a : 熱伝達率 ($17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)^{※2}

κ : コンクリート温度伝導率 ($=\lambda / \rho C_p$) ($7.7 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$)

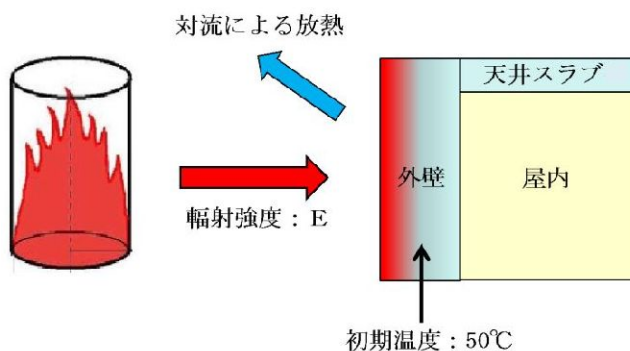
ρ : コンクリート密度 ($2,400\text{kg}/\text{m}^3$), C_p : コンクリート比熱 ($880\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)

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

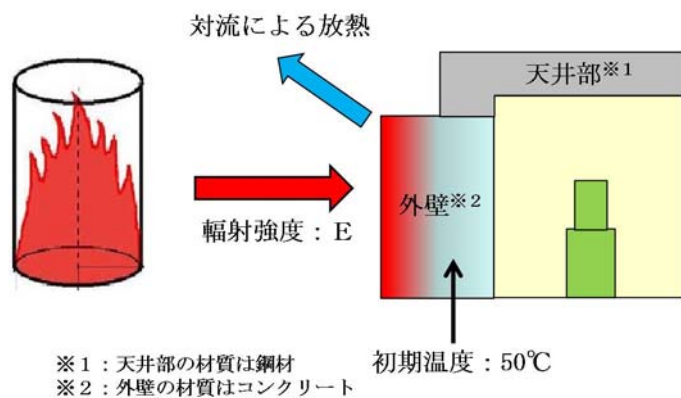
t : 燃焼継続時間 ($11,008\text{s}$), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

※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

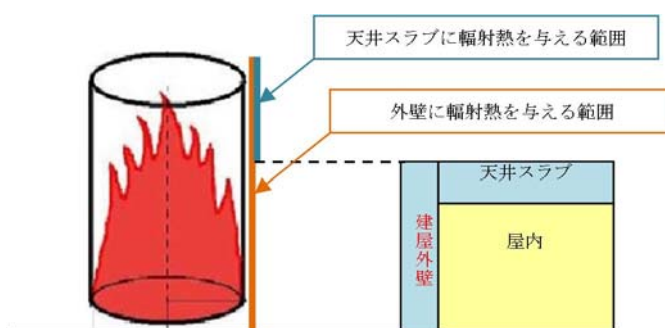
※2 : 空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である $17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ を用いる。）



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

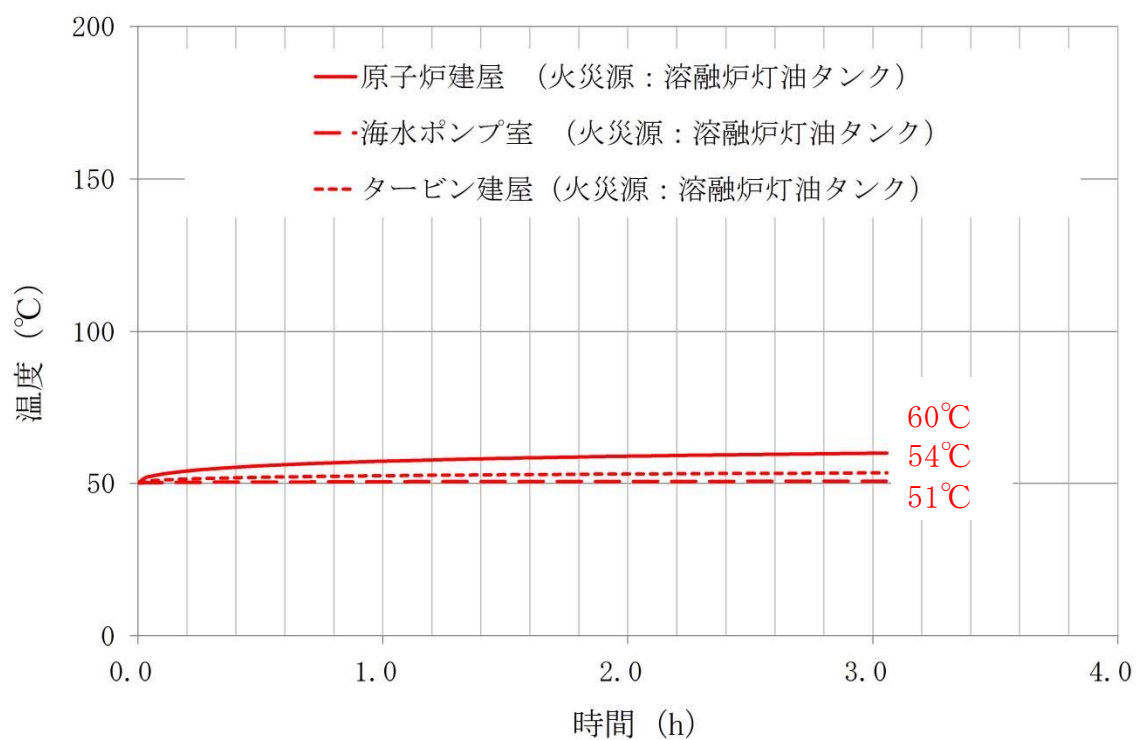


第 2. 2. 3-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

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

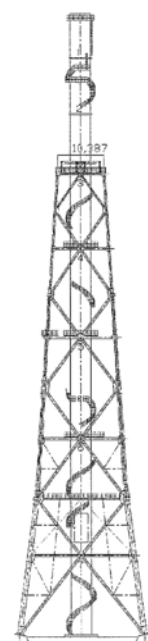
排気筒について、溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

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。排気筒外形図を第 2.2.4-1 図に示す。

(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)
熔融炉灯油タンク	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 $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

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 (-)
熔融炉 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。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (W/m^2), $R f$: 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

第 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 R _f (kW/m ²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m ²)
熔融炉 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。

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

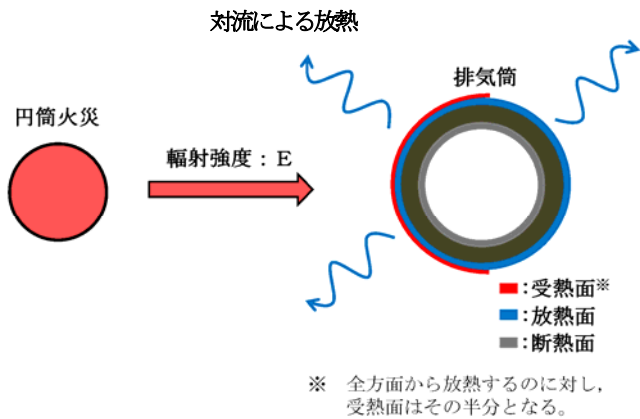
T：許容温度(325℃)，T₀：周囲温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/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 $17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 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°C 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 ($^{\circ}\text{C}$)	許容温度 ($^{\circ}\text{C}$)
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。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

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

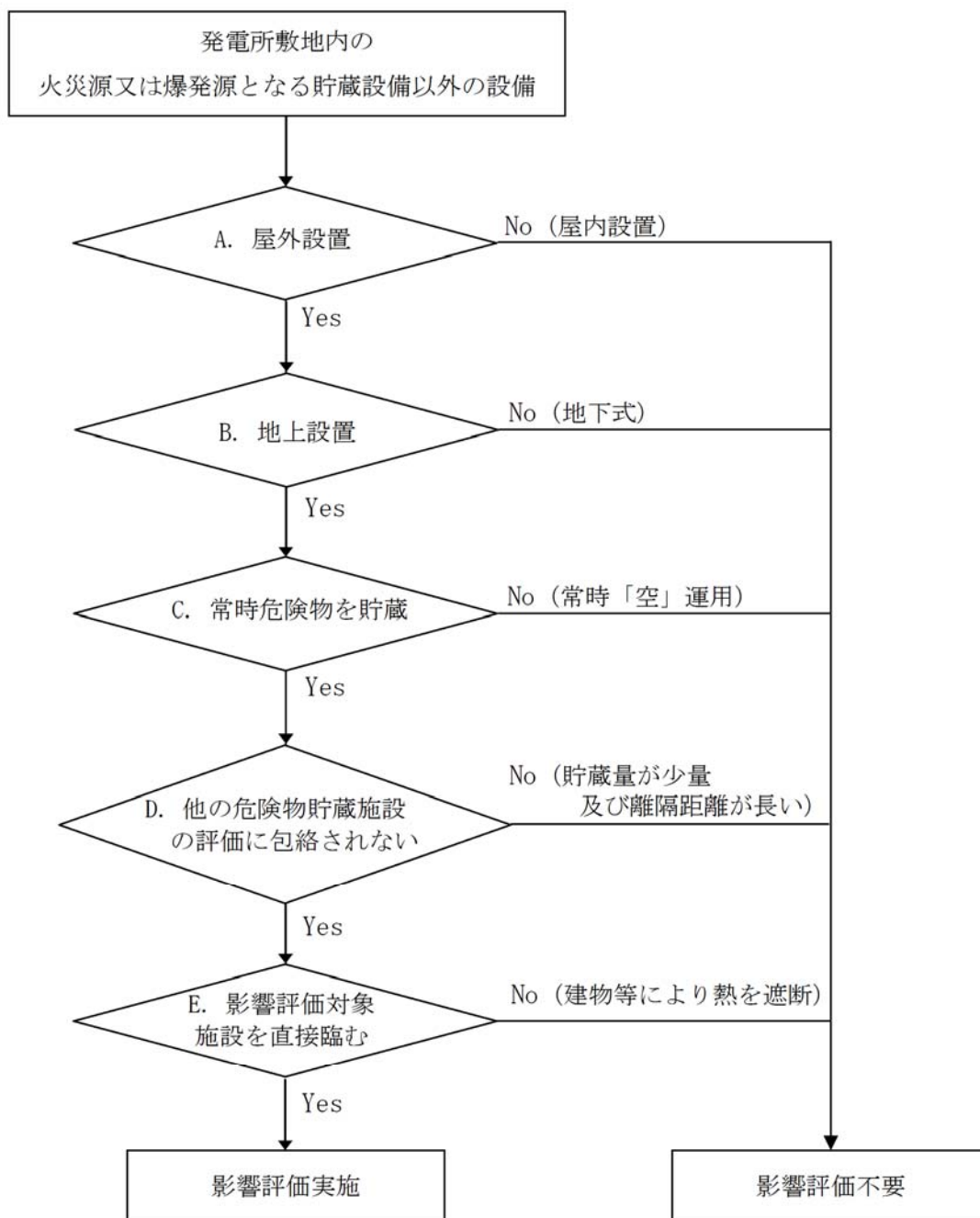
3. 敷地内貯蔵設備以外の影響評価

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。

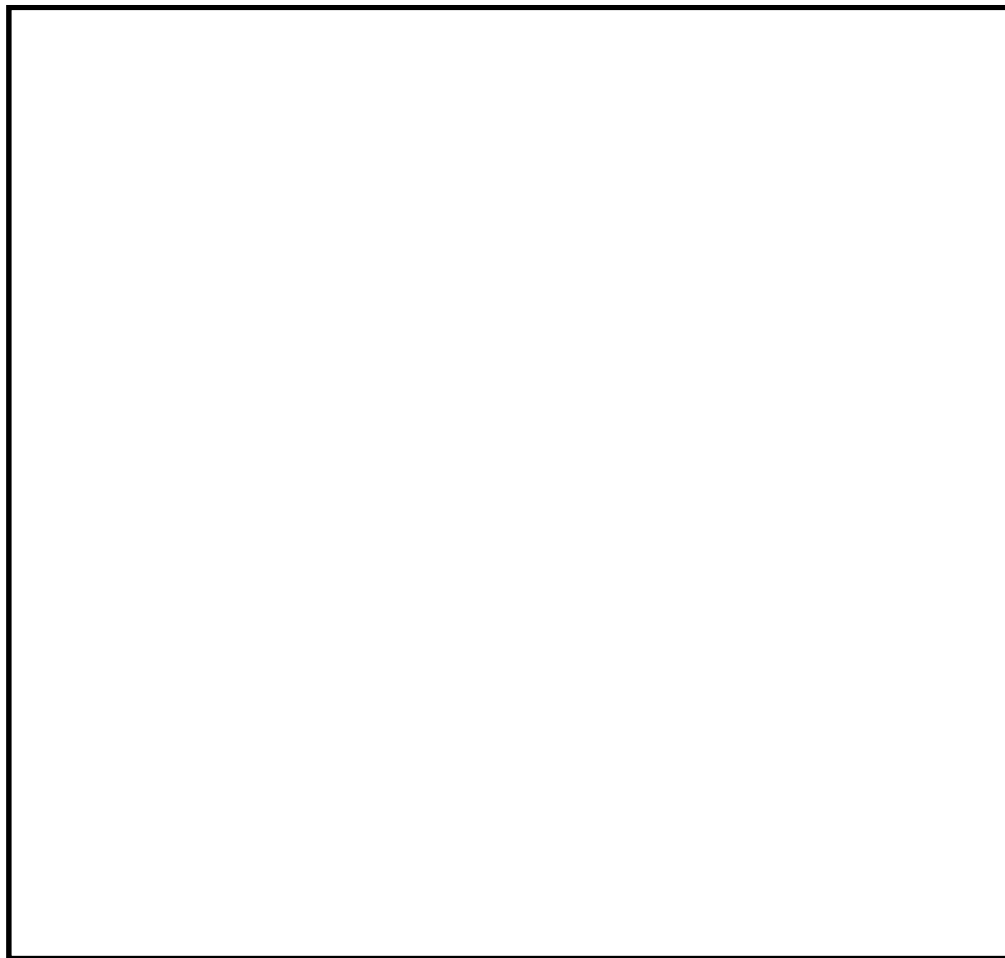
敷地内貯蔵設備以外の火災源又は爆発源となる設備及び影響評価対象施設の位置を第 3.1-2 図に、可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備の保管位置を第 3.1-3 図に示す。



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)
主変圧器	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	136.00	○
所内変圧器 2 A	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	21.00	○
所内変圧器 2 B	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 2 A	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 2 B	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)
6 6 k V 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

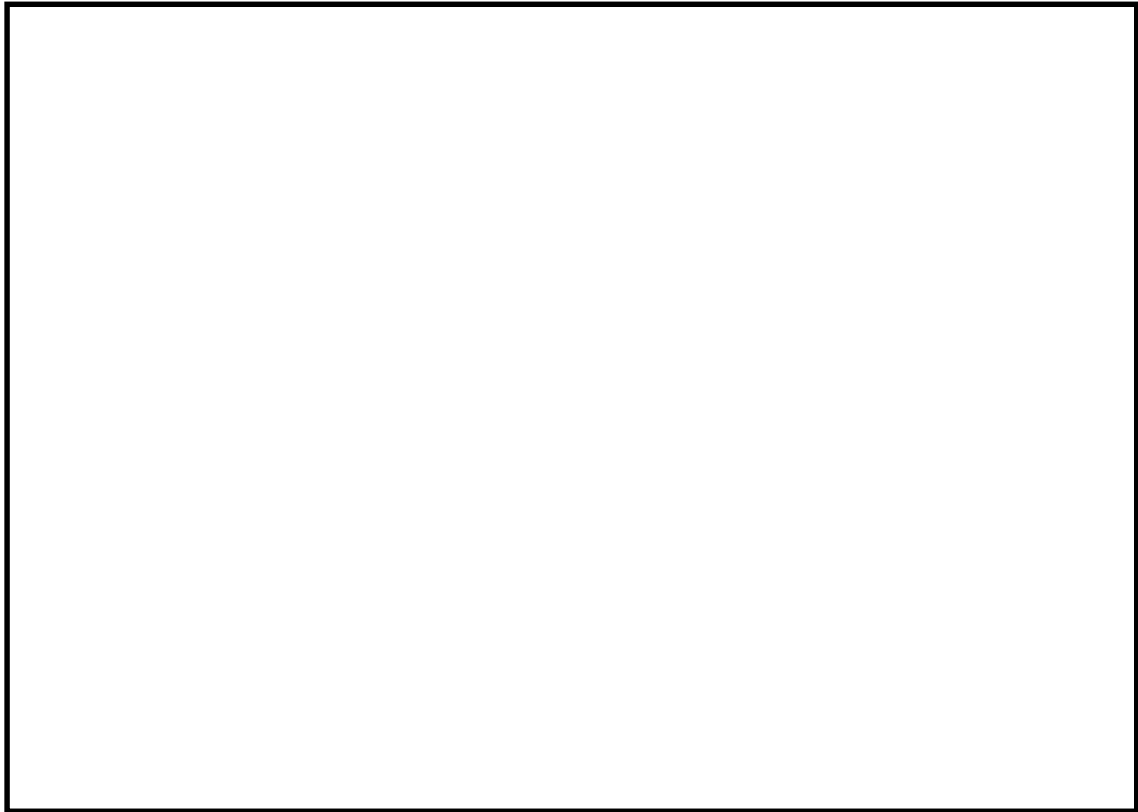
第 3.1-2 表 可搬型重大事故等対処設備及び、自主設備一覧

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 (ポンプ)	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 (ポンプ)	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 (ポンプ)	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 で抽出した主変圧器，所内変圧器 2 A，起動変圧器 2 B 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な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 R_f (kW/m^2)※1	質量低下速度 M ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)※2	燃料密度 ρ (kg/m^3)※2
主変圧器	絶縁油	136.00	23	0.035	900
所内変圧器 2 A		21.00			
起動変圧器 2 B		46.75			

※1：絶縁油は重油と同じ第 3 石油類であるため、重油の評価ガイド附録 B 記載値を採用

※2：NUREG-1805 記載値

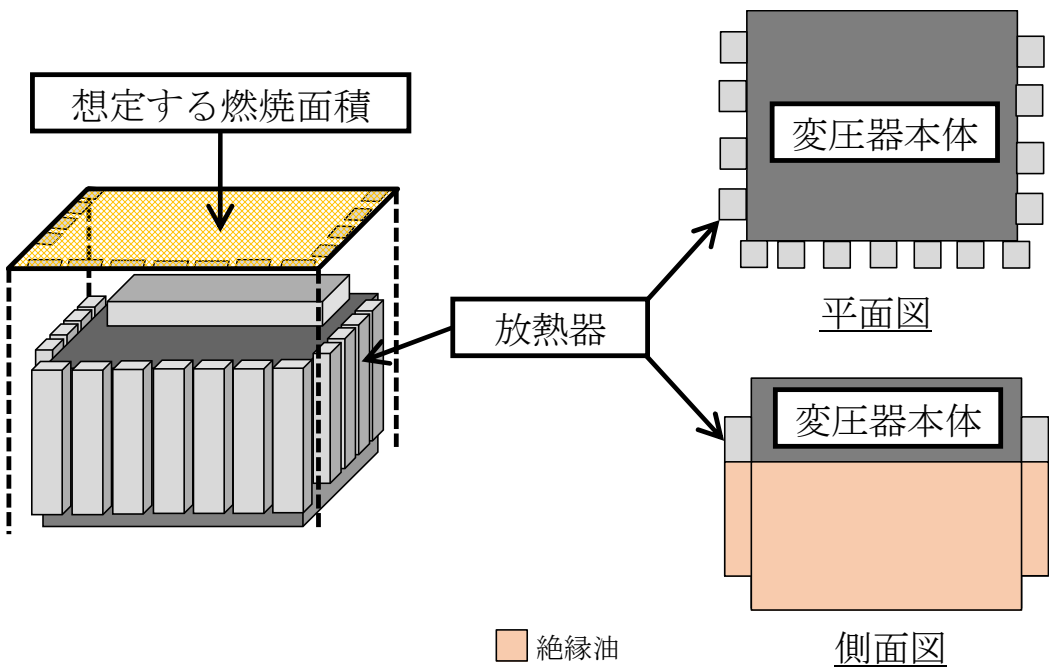
(2) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること及び漏えいした油を回収する地下タンクを設置していることから、防油堤の全面火災が生じることはない。したがって、変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし、燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとして燃焼半

径を算出する。変圧器の投影面積を第 3. 2. 2-1 図に，算出結果を第 3. 2. 2-2 表に示す。

$$R=\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

R：燃焼半径(m)， S：防油堤面積（＝燃焼面積）（m²）



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)
主変圧器	97.00	5.557
所内変圧器 2 A	22.45	2.674
起動変圧器 2 B	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(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度=M/ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

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)
主変圧器	136.00	5.557	0.035	900	36,131
所内変圧器 2 A	21.00	2.674			24,094
起動変圧器 2 B	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、主変圧器、所内変圧器 2 A, 起動変圧器 2 B, 予備変圧器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)
主変圧器	タービン建屋	22
所内変圧器 2 A	タービン建屋	8
起動変圧器 2 B	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。

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

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

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 (-)
主変圧器	22 (タービン建屋)	5.557	1.0160×10^{-1}
所内変圧器 2 A	8 (タービン建屋)	2.674	1.5128×10^{-1}
起動変圧器 2 B	13 (タービン建屋)	4.331	1.5063×10^{-1}

(4) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第 3.2.3-3 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 $R f$ (kW/m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m^2)
主変圧器	絶縁油	23	1.0160×10^{-1}	2,336.84
所内変圧器 2 A	絶縁油		1.5128×10^{-1}	3,479.47
起動変圧器 2 B	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 $200^{\circ}C$ 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。

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

T : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T_0 : 初期温度 (50°C)

a : 熱伝達率 (17W/m²/K)

κ : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (7.7×10⁻⁷ m²/s)

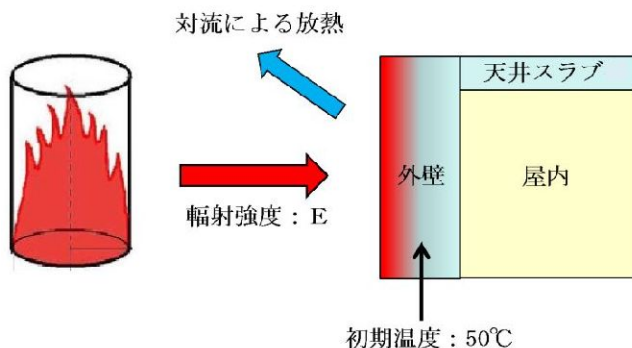
ρ : コンクリート密度 (2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱 (880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.63W/m/K), E : 輻射強度 (W/m²)

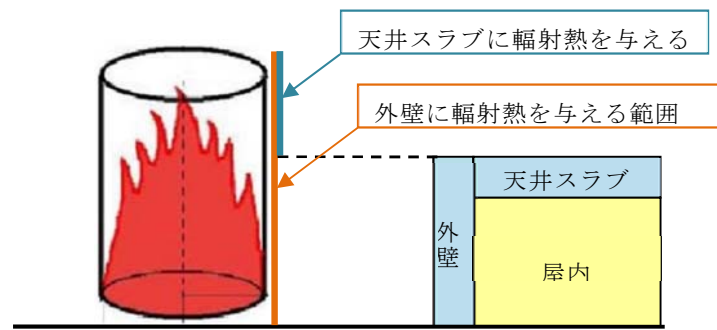
t : 燃焼継続時間 (s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

※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/m²K 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 (℃)
主変圧器	タービン建屋	149	< 200
所内変圧器 2 A		187	
起動変圧器 2 B		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、地上で発生する火災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つては、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】

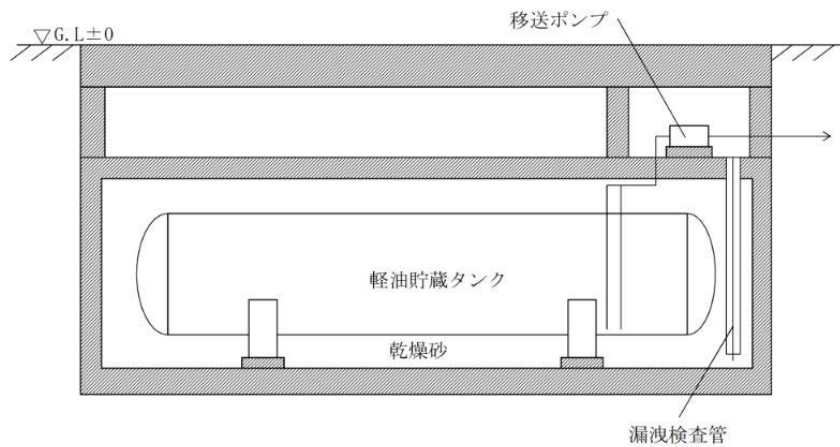
(その他の製造所等の消火設備)

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。

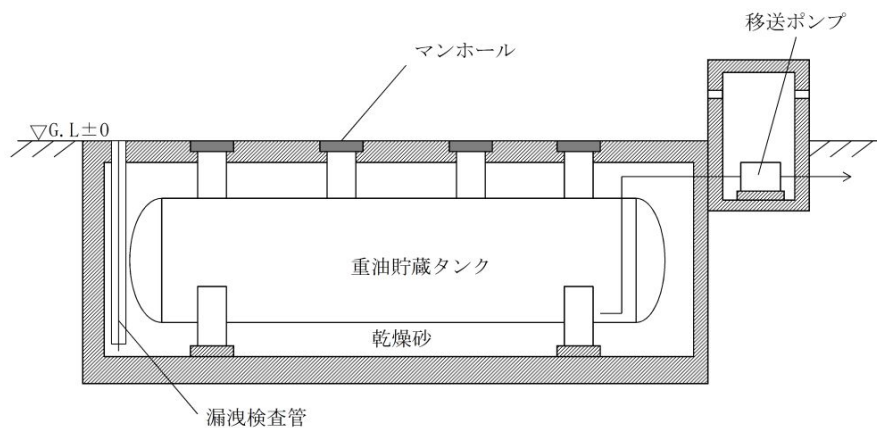
一 地下タンク貯蔵所にあつては，第五種の消火設備を二個以上設けること。

— 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。

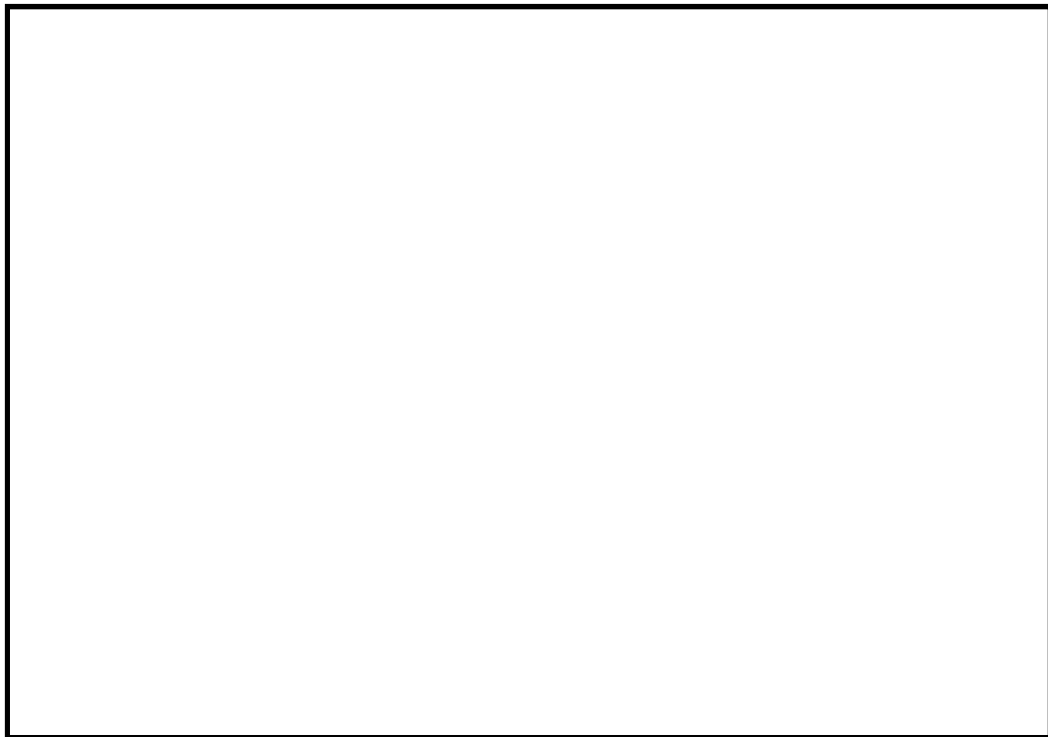


図 屋外薬品タンクの位置

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	熔融炉アンモニアタンク	アンモニア	1.0	※ 3
⑪	熔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 $1.6\text{kw}/\text{m}^2$ ※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、保管場所に出火する車両とする。

(3) 必要データ

危険距離評価に必要なデータを第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）(m²)

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(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度 $=M/\rho$ (m/s)
M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

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/m²),

t : 燃焼継続時間(8,754s), A : 受熱面積(0.8m²)

ρ_w : 受熱側燃料密度(870kg/m³), C_{pw} : 受熱側液体比熱(1.700J/kg/K)

V_w : 受熱側液体体積(0.1m³), ρ_s : 燃料タンク密度(7,860kg/m³)

C_{ps} : 燃料タンク比熱(473J/kg/K), V_s : 燃料タンク体積(0.003m³)

※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

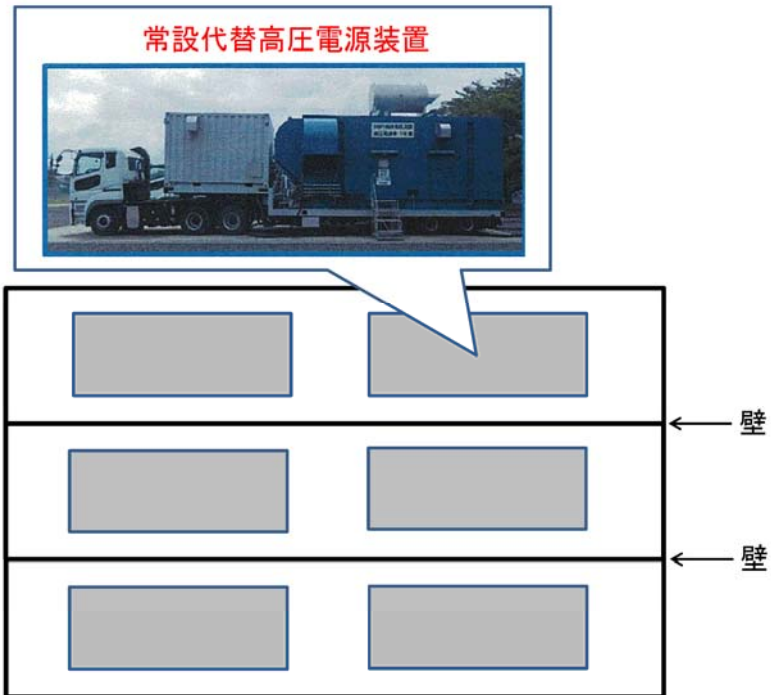
想定火災源	受熱対象	危険距離 (m)
クレーン燃料タンク	ユニック車燃料タンク	2.4

(7) 保管場所に保管する車両の配置設計

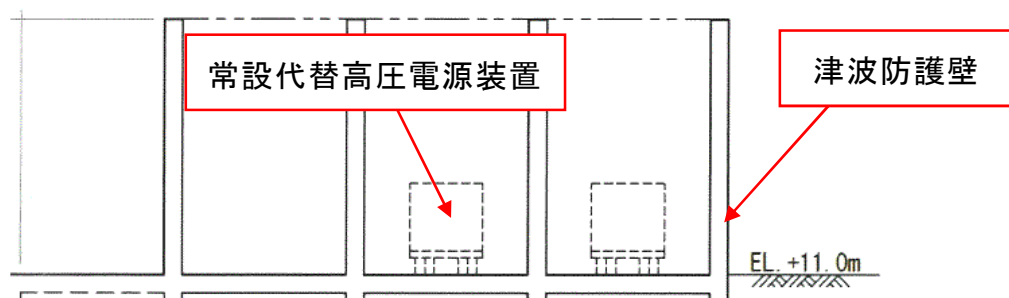
クレーン燃料タンクの火災を想定しても、車両同士の最低離隔距離 2.5m が危険距離 2.4m を上回ることから、周囲の車両に影響を及ぼすことはない。

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

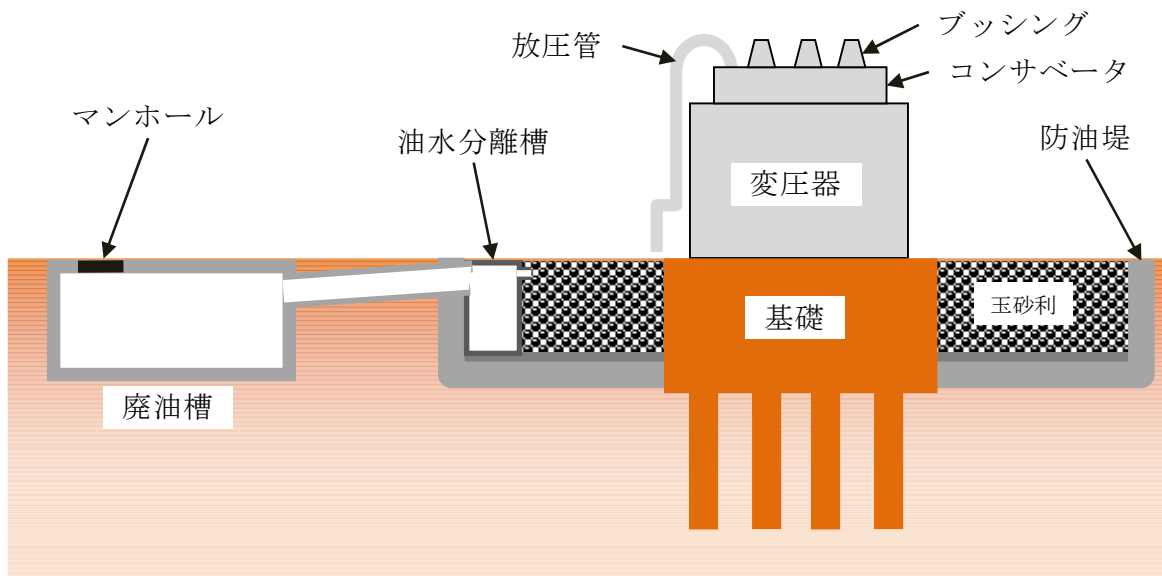


第 2 図 津波防護壁と常設代替高圧電源装置の位置関係

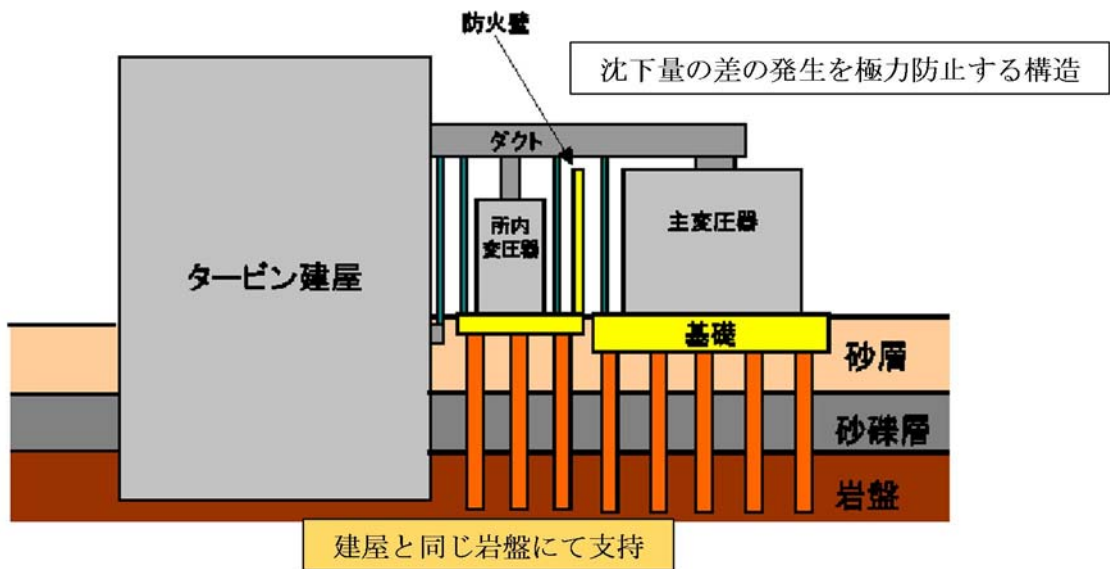
変圧器の防火対策について

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。



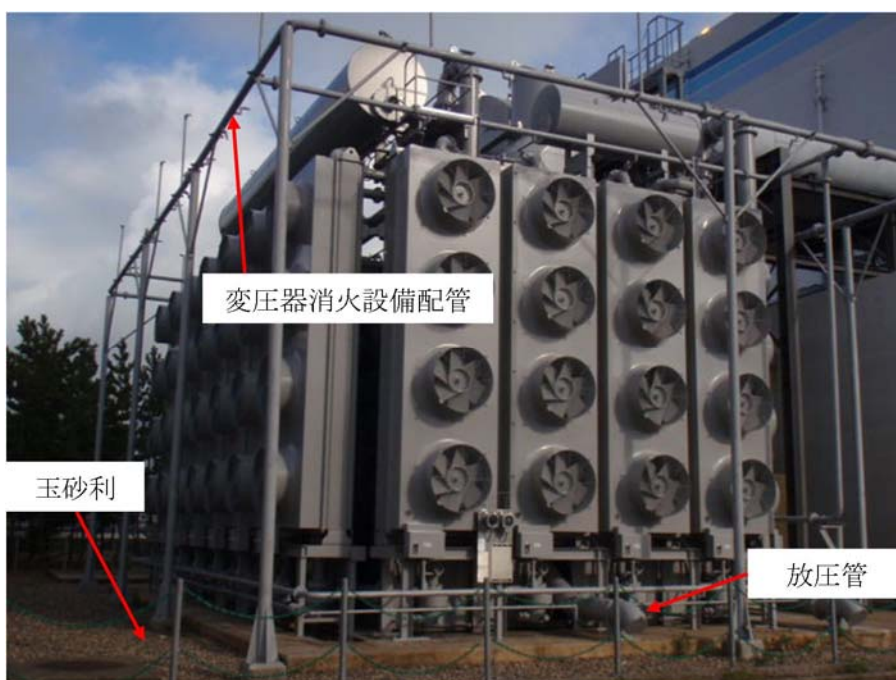
第 1 図 変圧器地下構造



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

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。

落下事故のカテゴリ		
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時	
	②航空路を巡航中	
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	
	④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域内で訓練中及び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
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

(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「A I P」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 $\pm 60^\circ$ 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（ $1/\text{km}^2$ ）

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：A I P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、原子炉施設（原子炉建屋、タービン建屋、海水ポンプ施設、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

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A / W$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率 (回/ (飛行回・km))

G_c : 巡航中事故件数 (回)

H_c : 延べ飛行距離 (飛行回・km)

N_c : 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)
f_c ※ ²	約 5.13×10^{-11} (=0.5/9,740,013,768)	
N_c ※ 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、 $P_c=10^{-7}$ (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、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

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_v : 単位年当たりの落下事故率（回／年）

S_v : 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
$f_v^{※1}$	大型固定翼機 0.025 (=0.5/20) 大型回転翼機 0.05 (=1/20)
$S_v^{※2}$	37.2 万
$\alpha^{※3}$	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、 $P_v = 10^{-7}$ （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、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

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_v : 単位年当たりの落下事故率（回／年）

S_v : 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
$f_v^{※1}$	小型固定翼機 1.75（＝35／20） 小型回転翼機 1.20（＝24／20）
$S_v^{※1}$	37.2 万
$\alpha^{※2}$	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， $P_v = 10^{-7}$ （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，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

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} ：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{so} ：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 ）

S_o ：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
$f_{so}^{※1}$	自衛隊機 0.025（＝0.5／20） 米軍機 0.05（＝1／20）
$S_o^{※2}$	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， $P_{so} = 10^{-7}$ （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，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

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} ：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{so} ：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 ）

S_o ：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
$f_{so}^{※1}$	自衛隊機 0.35（＝7／20） 米軍機 0.20（＝4／20）
$S_o^{※1}$	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， $P_{so}=10^{-7}$ （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，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（想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合）

a. 標的面積

$$Pse = fse \cdot A / Sse$$

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。

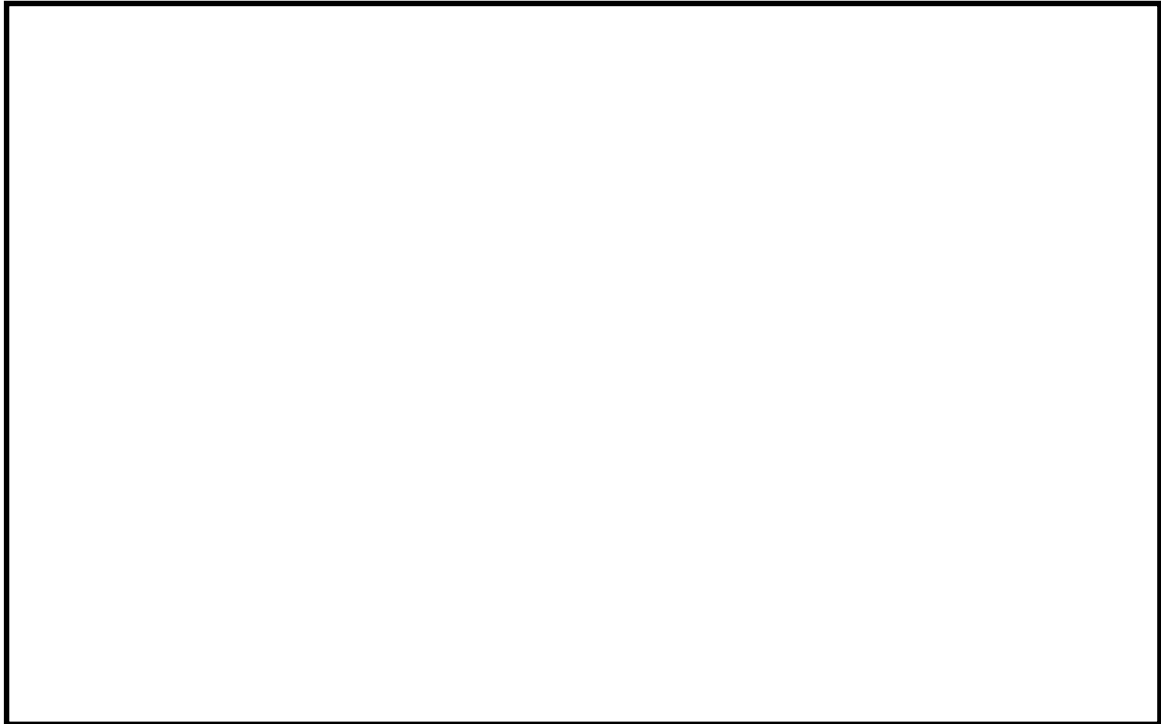
これらの式より， $Pse = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.033km^2 となる。

b. 離隔距離

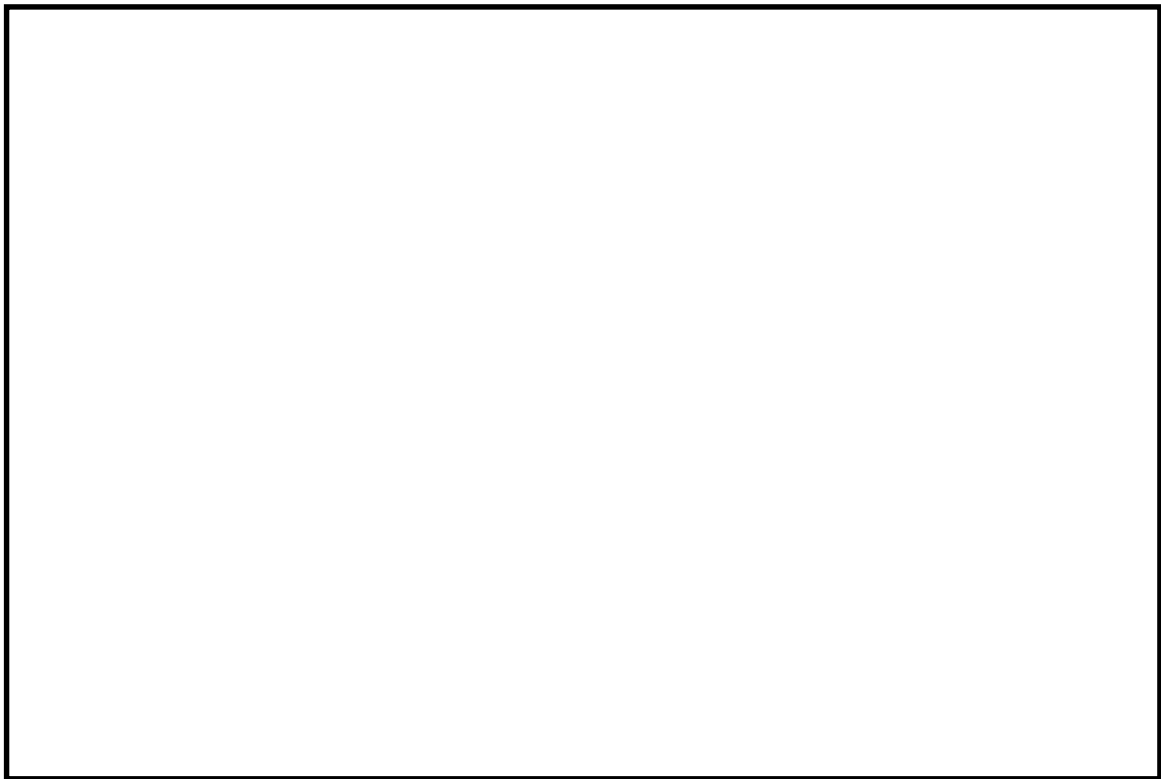
a. で求めた標的面積より，原子炉施設の離隔距離 L は 22m とする（評価結果は，約 22.1m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

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（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 3m³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 3m³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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	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：J I S-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(m²)

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	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(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度=M/ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

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

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（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

火災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。

$$E = R f \cdot \Phi$$

E：輻射強度(W/m²)，R f：輻射発散度(W/m²)， Φ ：形態係数(-)

第 5.2-6 表 各航空機の輻射強度（原子炉施設）

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	輻射発散度 R f (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 R_f (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。

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

T : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T_0 : 初期温度 (50°C) ※¹

α : 熱伝達率 (17W/m²/K) ※²

κ : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (7.7×10⁻⁷ m²/s)

ρ : コンクリート密度 (2,400kg/m³), 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/m²)

t : 燃焼継続時間 (s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

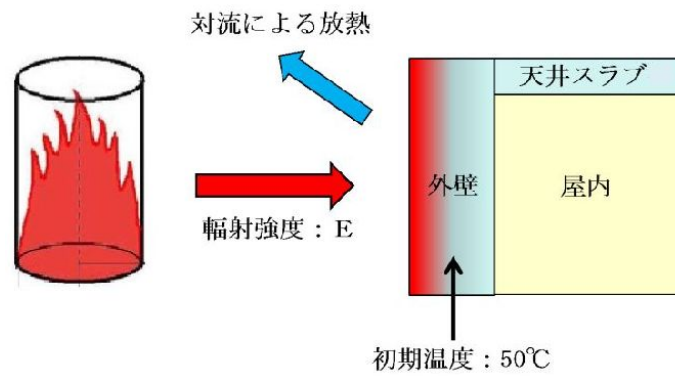
※¹ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※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/m²/K を用いる。)

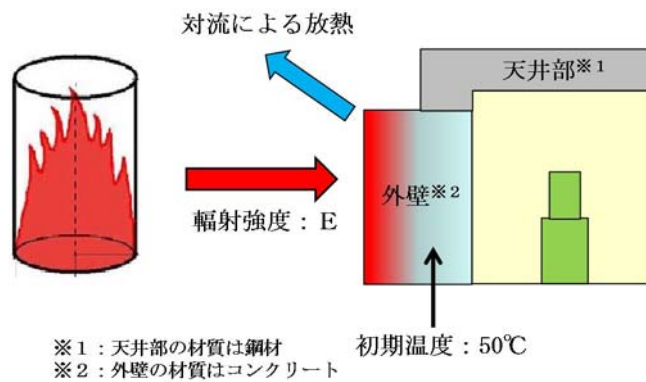
なお, 天井スラブ及び海水ポンプ室天井の評価は以下の理由により, 外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・ 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。

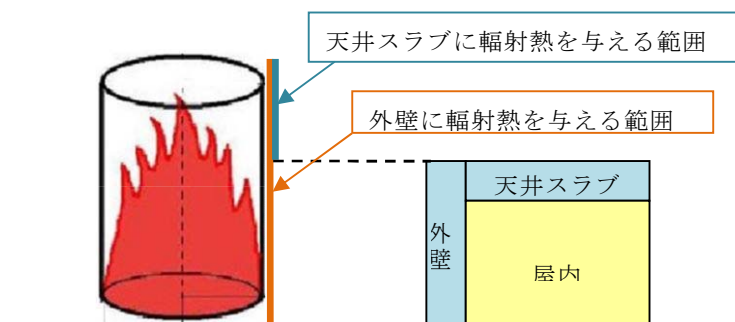
建屋外壁の評価概念図を第 5.3-1 図に, 海水ポンプ室の評価概念図を第 5.3-2 図に, 天井スラブの評価概念図を第 5.3-3 図に示す。



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



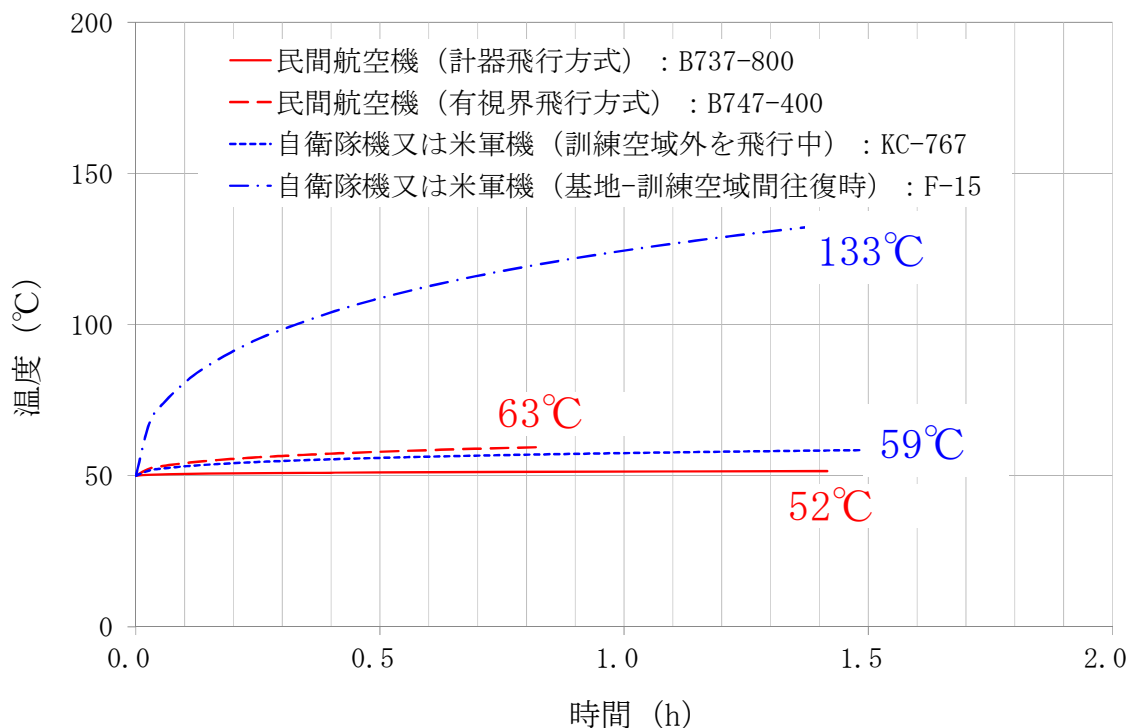
第 5.3-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

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（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	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	

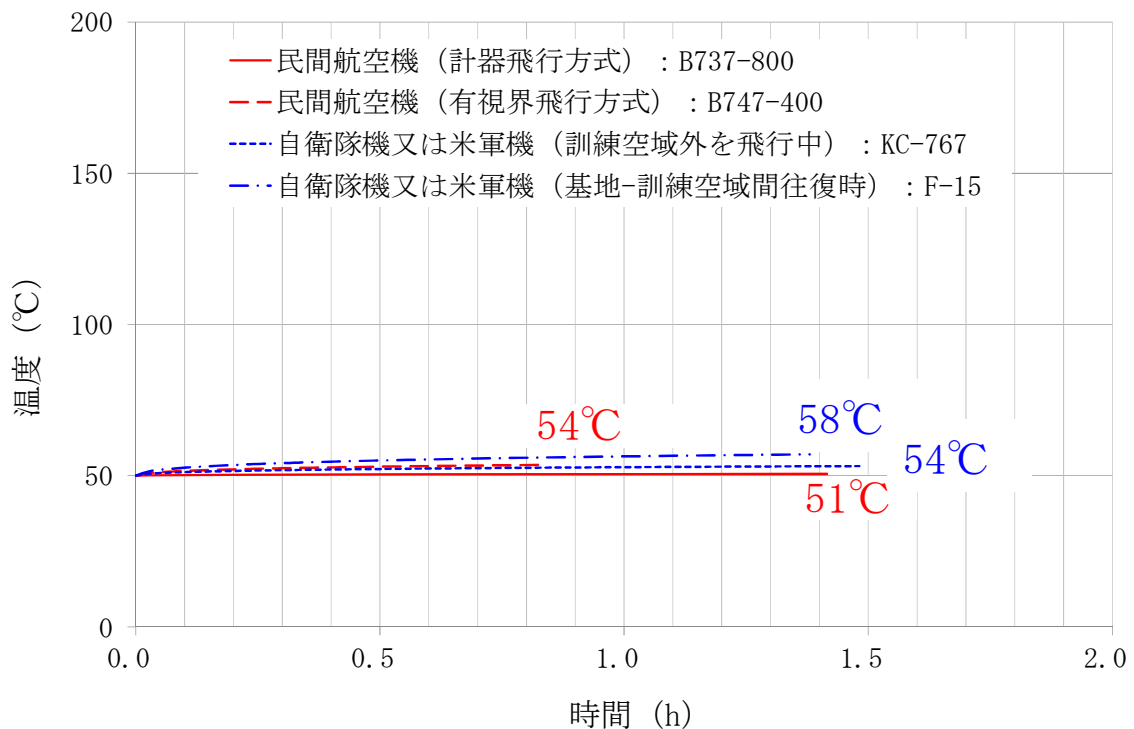
※：半無限固体を想定した評価をしているため、離隔距離が同じとなる本評価では、原子炉建屋、タービン建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。



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 (°C)	許容温度 (°C)
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乾式使用済燃料の除熱、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

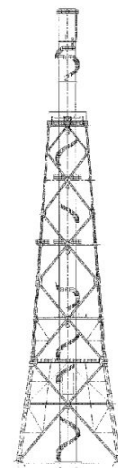
排気筒について、カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

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部について評価した。

(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。

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

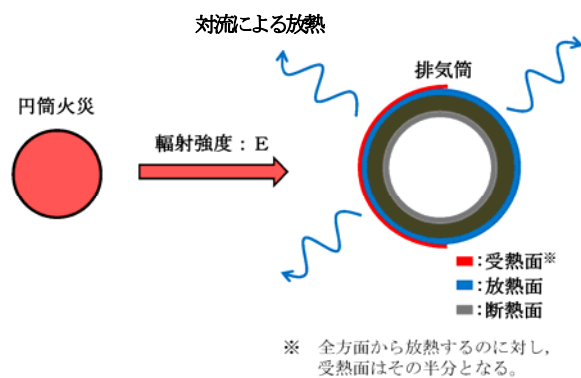
T：許容温度(325℃), T_0 ：初期温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W/m²), h：熱伝達率(17W/m²/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/m²K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※ (°C)	許容温度 (°C)
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

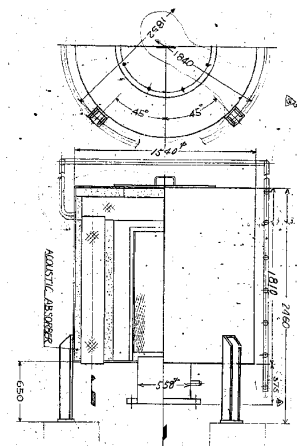
(1) 影響評価対象範囲

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℃)，T₀：初期温度(37℃)※¹，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(4kg/s)※²，A：輻射を受ける面積(7.8m²)

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

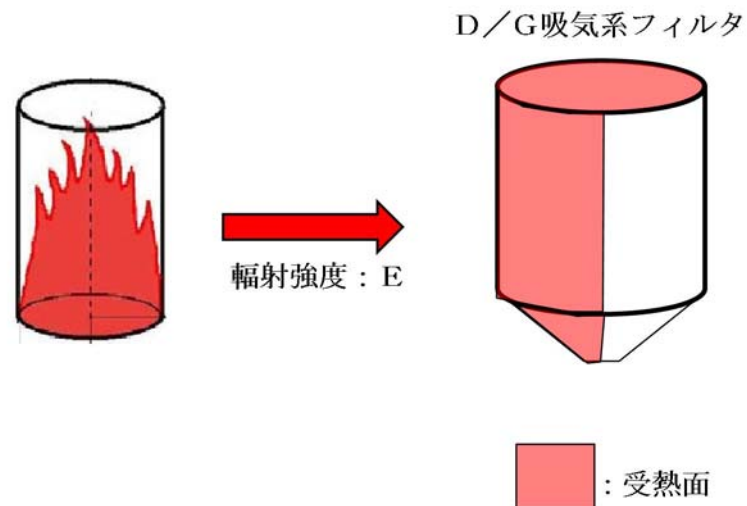
※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温

※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ー系を評価対象とする。

ディーゼル発電機機関吸気流量(228m³/min) × 空気密度(1.17kg/m³) ÷ 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

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。

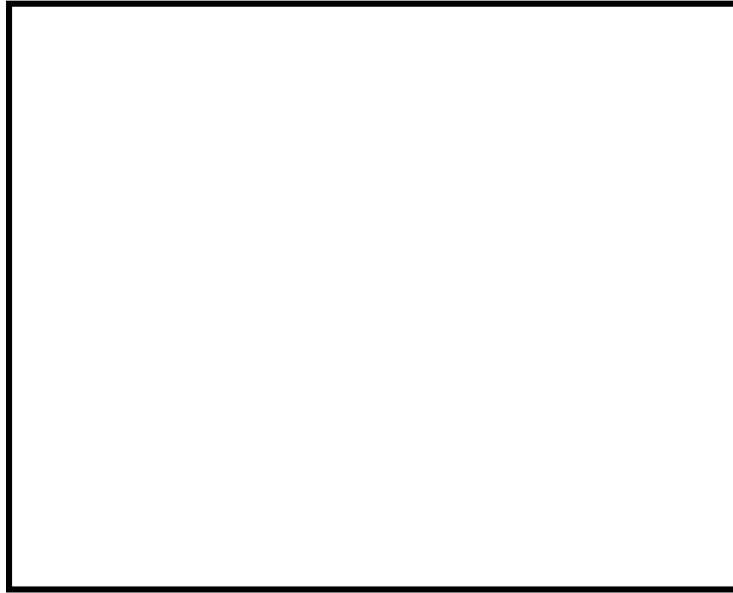
5.6.1 扉の火災影響評価について

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。

$$\begin{aligned}\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ -k \frac{\partial T}{\partial x} &= E - h (T - T_0) \quad (x=0) \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= 0 \quad (x=L)\end{aligned}$$

T : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T_0 : 初期温度 (50°C)※¹

h : 熱伝達率 (17W/m²/K)※², k : 扉の温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (m²/s)

ρ : 扉の密度 (7,920kg/m³), 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/m²)

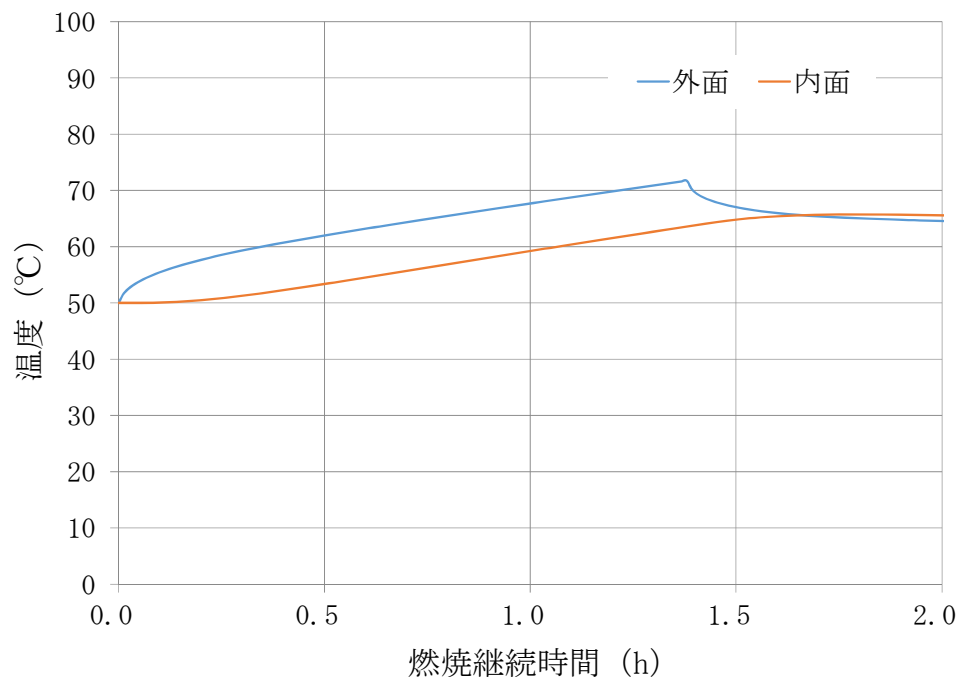
※¹ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※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/m²K 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 (°C)		許容温度 (°C)
		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最高温度である 40℃を許容温度とする。

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。

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

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

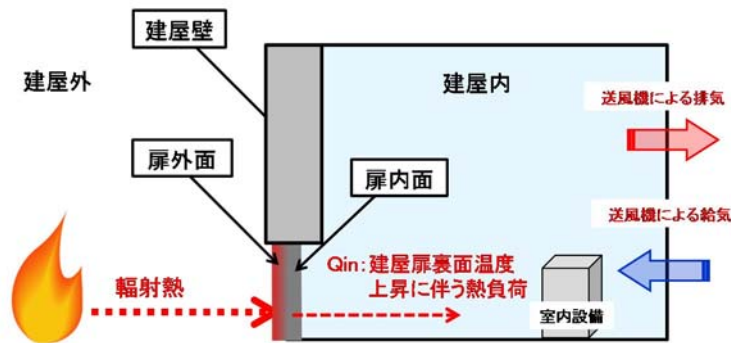
Q_{in} : 温度上昇に伴う熱負荷(W), h_{in} : 内面熱伝達率($8.29\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)

A : 扉の表面積(3.5m^2), T_{in} : 扉内面温度(66°C)

T_a : 室内初期温度(35°C), T_{room} : 室内温度($^\circ\text{C}$)

m : 給気風量($4\text{m}^3/\text{s}$), ρ : 空気密度 ($1.1\text{kg}/\text{m}^3$)

C_p : 空気比熱 ($1,007\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)



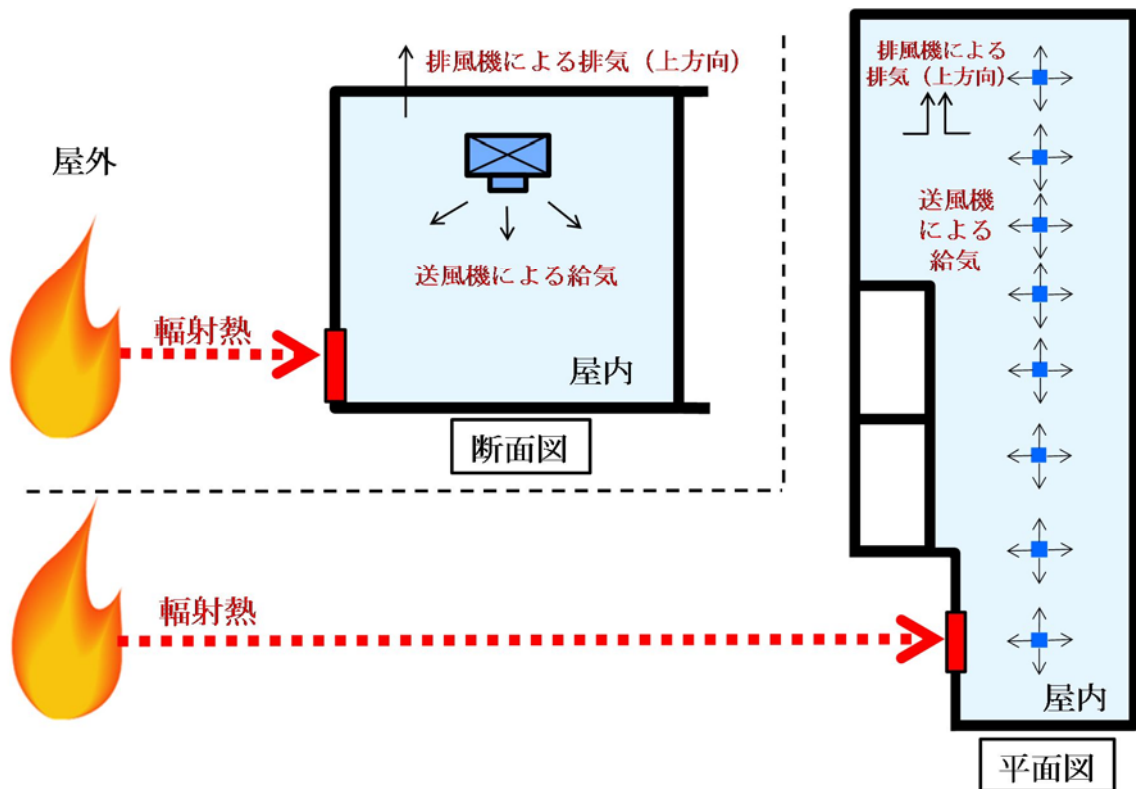
第 5.6.1.2-1 図 室内温度評価の概念図

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

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(℃)， T_0 ：初期温度(50℃)^{※1}

E：輻射温度(3,095W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/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/m²Kを用いる。）

対象のルーバが受ける輻射強度を評価した結果、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 (°C)	許容温度 (°C)
F-15	142	<325

5.6.3 配管貫通部の火災影響評価について

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。

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

T：表面から x(m) の位置の温度(℃)，T₀：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(=λ/ρC_p) (1.7×10⁻⁶m²/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 [m ²]	輻射強度 [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
F-15	44.6	3,095.33	4,968 (約 1.4h)	150	200

以上の評価により、配管貫通部表面の到達温度が許容温度以下であることを確認した。

5.6.4 ブローアウトパネルの火災影響評価について

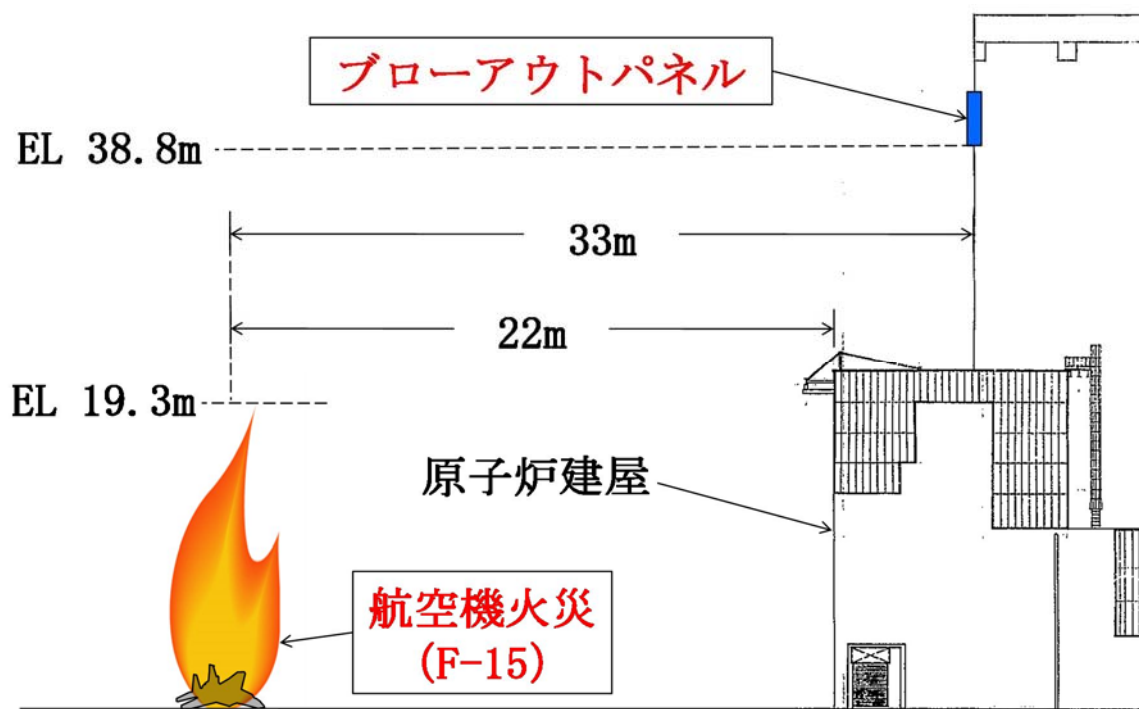
ブローアウトパネル（以下「B. P」という。）は、それぞれ原子炉建屋全方位に各 3 箇所設置されているが、想定する航空機火災から B. P までの水平距離及び鉛直高さを考慮すると、B. P に影響を与えるような輻射強度が届くことはない。位置関係を第 5.6.4-1 表、第 5.6.4-1 図に示す。

第 5.6.4-1 表 火災源とブローアウトパネルとの位置関係

想定火災源	離隔距離 (m)	
	水平方向	鉛直方向
F-15	33m ^{※1}	19.5m ^{※2}

※1：F-15 の航空機墜落距離 22m に、原子炉建屋最外壁からブローアウトパネルまでの距離 11m を加えた距離

※2：F-15 の最高火炎高さ (EL. 19.3m) と B. P 下端高さ (EL. 38.8m) の離隔距離



第 5.6.4-1 図 火災源とブローアウトパネルとの位置関係

5.7 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

(1) 重畳評価で想定するケースの検討

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。

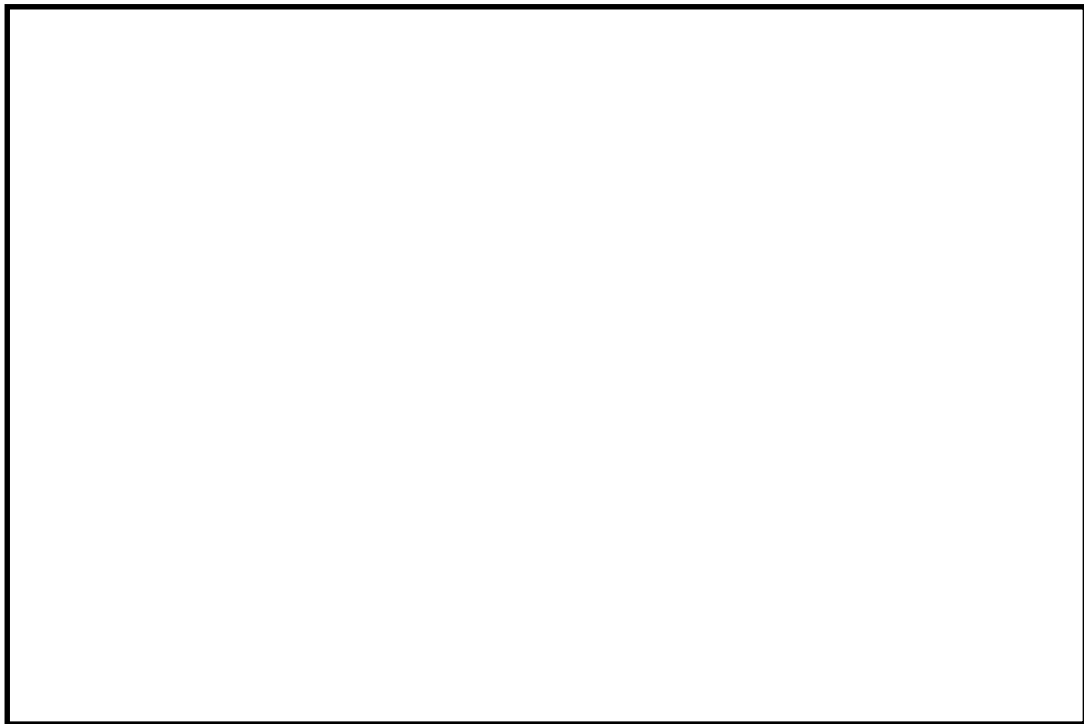
航空機墜落火災として想定する機種は、5.3, 5.4, 5.5 の評価結果より、最も熱影響が大きいF-15 とする。

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

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
熔融炉灯油タンク 及び F-15	原子炉建屋
	海水ポンプ室
	タービン建屋
	排気筒
主変圧器及び F-15	タービン建屋



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) 評価に必要なとなるデータ

第 5.7-2 表 重畳評価に必要なとなるデータ

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。

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

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

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/m²) , R f : 輻射発散度 (W/m²) , 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
	海水ポンプ室	185	3.4734×10^{-4}	17.37
	タービン建屋	77	2.0248×10^{-3}	101.24
	排気筒	21	2.6826×10^{-2}	1343.13
主変圧器	タービン建屋	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

$$\begin{aligned} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ -k \frac{\partial T}{\partial x} &= E - h(T - T_0) \quad (x=0) \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= 0 \quad (x=L) \end{aligned}$$

T : 許容温度 (200℃) , E : 輻射強度 (W/m²)

T₀ : 初期温度 (50℃)※¹ , h : 熱伝達率 (17W/m²/K)※²

ρ : 密度 (2,400kg/m³) , 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/m²/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℃), T₀：初期温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W/m²), h：熱伝達率(17W/m²/K)※²

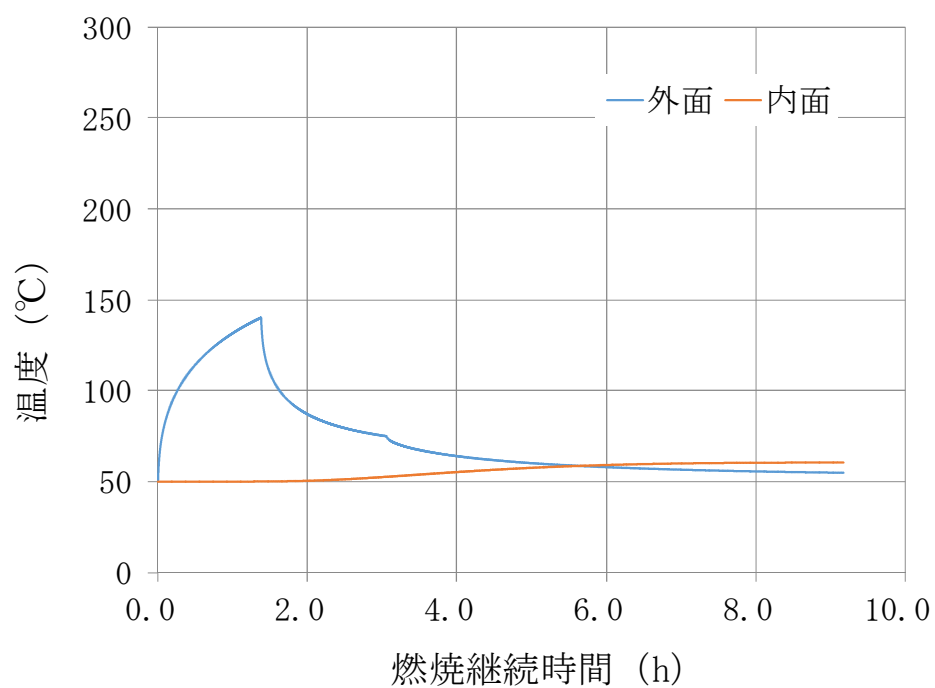
※¹：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※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/m²Kを用いる。）

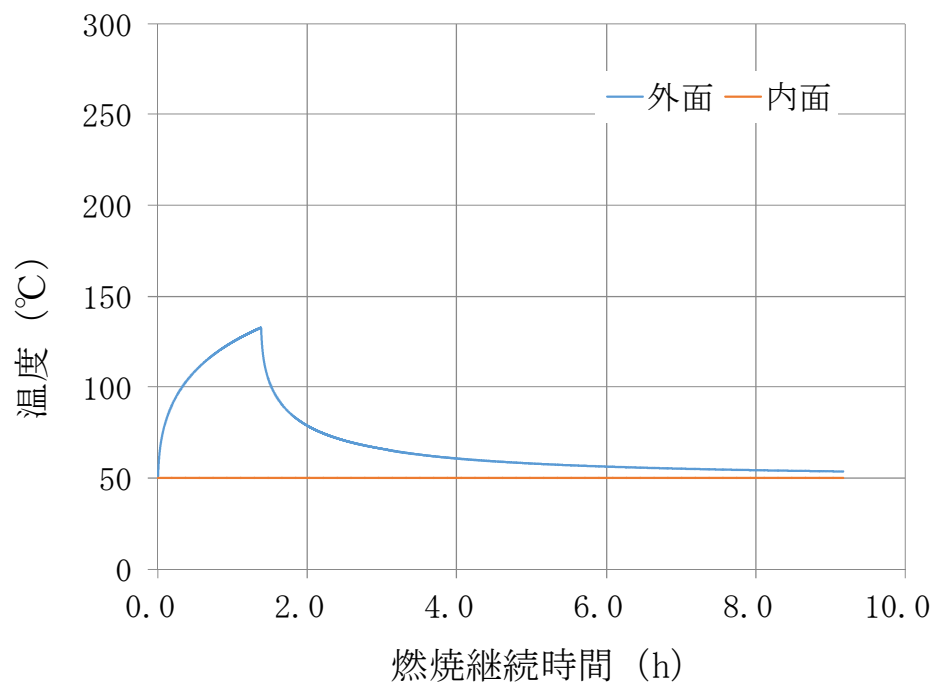
この結果、第5.7-4表に示すとおり、どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

第5.7-4表 重畳評価結果

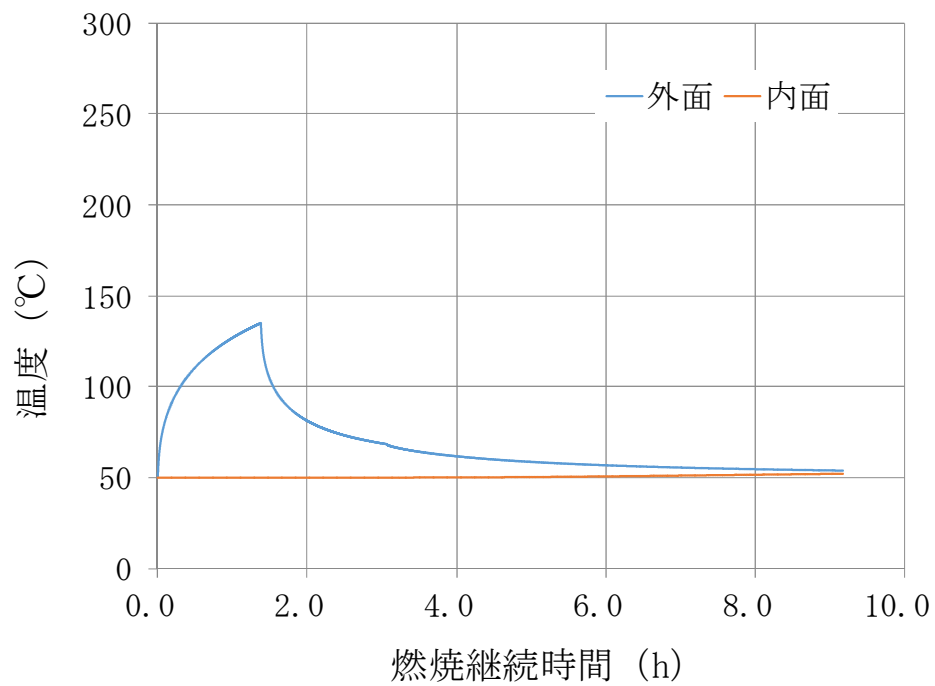
重畳評価の想定ケース	対象施設	評価温度(℃)	許容温度(℃)
熔融炉灯油タンク及びF-15	原子炉建屋	141	< 200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	< 325
主変圧器及びF-15	タービン建屋	195	< 200



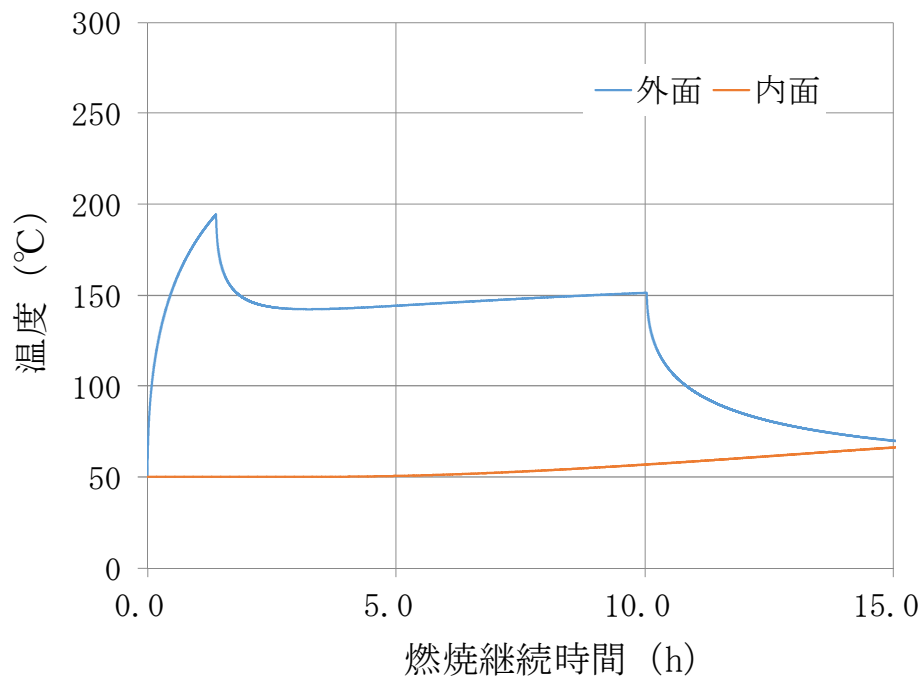
第 5.7-2 図 航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
(対象：原子炉建屋)



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)



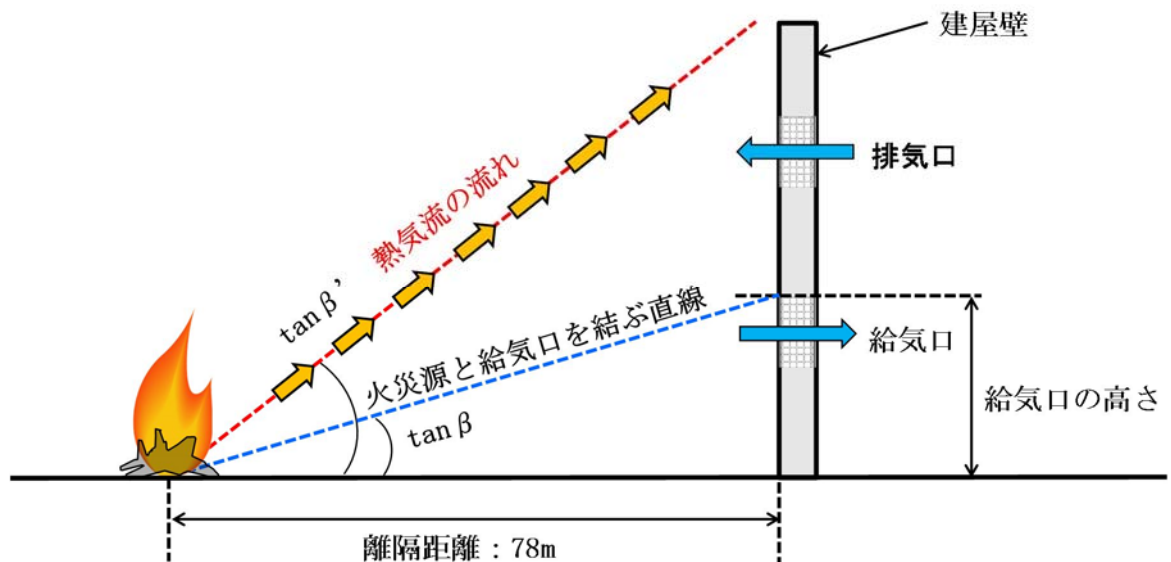
第 5.7-5 図 航空機火災と主変圧器火災の重畳評価結果
(対象：タービン建屋)

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($\tan \beta'$)が，火災発生源と給気口とを結ぶ直線の傾き角($\tan \beta$)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($\tan \beta' = \tan \beta$)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，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 評価に必要な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 $\tan \beta$ (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（44.6m²）

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。

$$Q = (1 - \chi) \Delta H_{c, \text{eff}} S M$$

Q：発生熱量（kW）， χ ：放射分率（0.05）

$\Delta H_{c, \text{eff}}$ ：発熱量（43,500kJ/kg）

S：航空機火災（F-15）の燃焼面積（44.6m²）

M：質量低下速度（kg/m²/s）

第 5.8.2-3 表 想定する火災源の発生熱量

火災源	発生熱量 Q（kW）
航空機火災 （F-15）	9.4×10^4

(4) 熱気流が直接給気口に流入する風速

以下の式を満たす熱気流が直接給気口に流入する風速を算出した。算出結果を第 5.8.2-4 表に示す。

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

$$\Lambda = \frac{UD^{1/3}}{(Q_g / C_p \rho T_0)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{Dg}}$$

$\tan \beta$ ：火災源と給気口を結ぶ直線の傾き（rad）

Λ : 無次元パラメータ, Fr : フルード数 (-)
 C_p : 空気比熱 (1.007kJ/kg/K)
 ρ : 空気密度 (1.17kg/m³) , T_0 : 周囲温度 (310K)
 D : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6m²)
 g : 質量低下速度 (kg/m²/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	無次元パラメータ Λ (-)	フルード数 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い。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。

- ・ 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

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

		民間航空機		自衛隊機，在日米軍機
		計器飛行方式	有視界飛行方式	
固定翼 (ジェット旅客機)	大型機	定期便：評価対象 (例) B747, B737 等	定期便：該当なし	評価対象 (例) F-15 等
		不定期便：評価対象外 ※ 1	不定期便：評価対象 (例) B747 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※ 2	定期便：評価対象外	評価対象 (例) LC-90 等
		不定期便：評価対象 ※ 3	不定期便：評価対象 (例) Do228 等	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外 ※ 2	定期便：評価対象外 ※ 2	評価対象 (例) CH-47J 等
		不定期便：評価対象 ※ 3	不定期便：評価対象 (例) AS332L 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※ 2	定期便：評価対象外 ※ 2	評価対象 (例) AH-1S 等
		不定期便：評価対象 ※ 3	不定期便：評価対象 (例) AS365N3 等	

※ 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：A I P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)

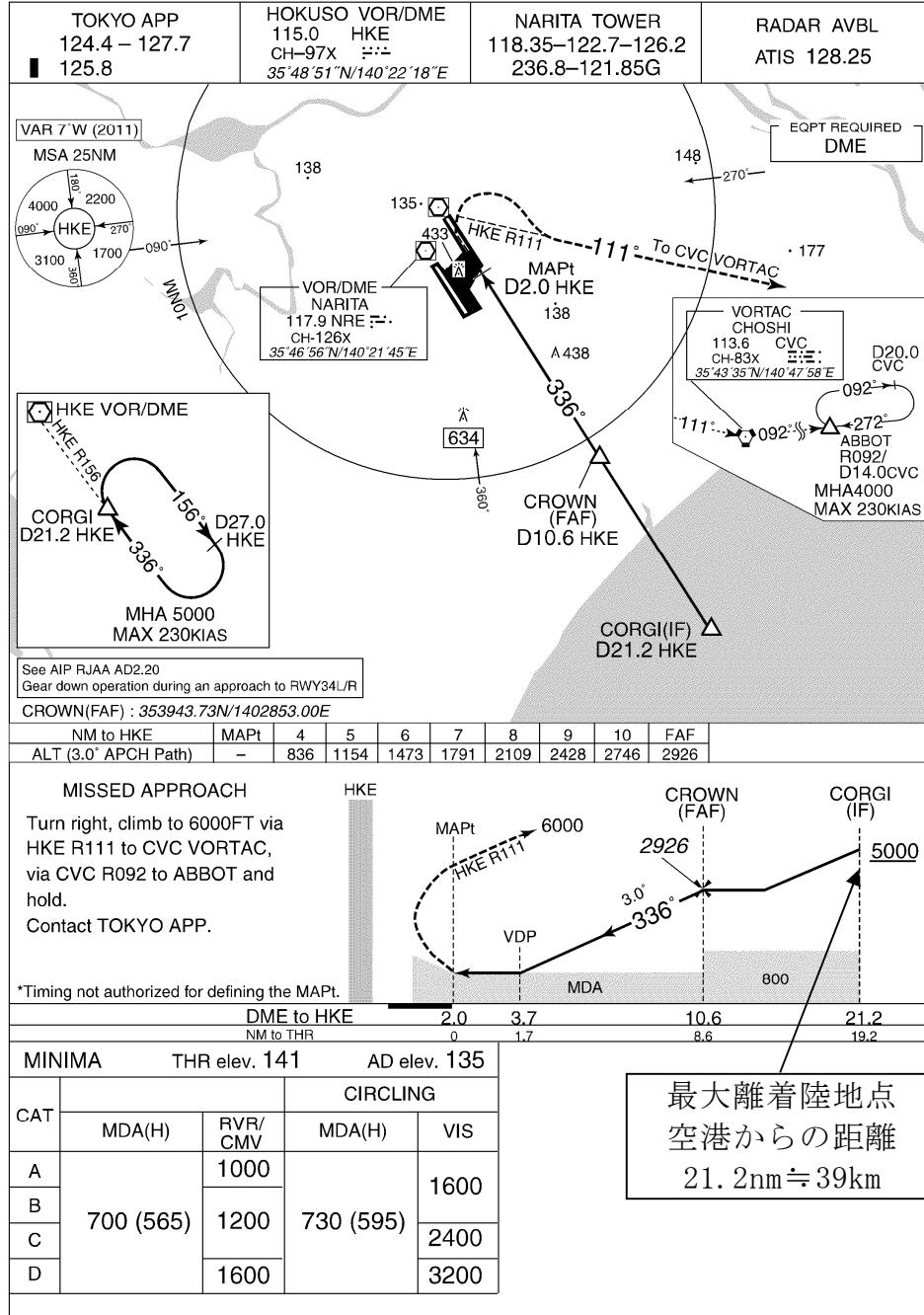
RJAA-AD2-24.31

AIP Japan
NARITA INTL

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAA / NARITA INTL

VOR RWY34R



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:17 OCT 2013)

19/9/13

出典：A I P

茨城空港の最大離着陸地点までの距離

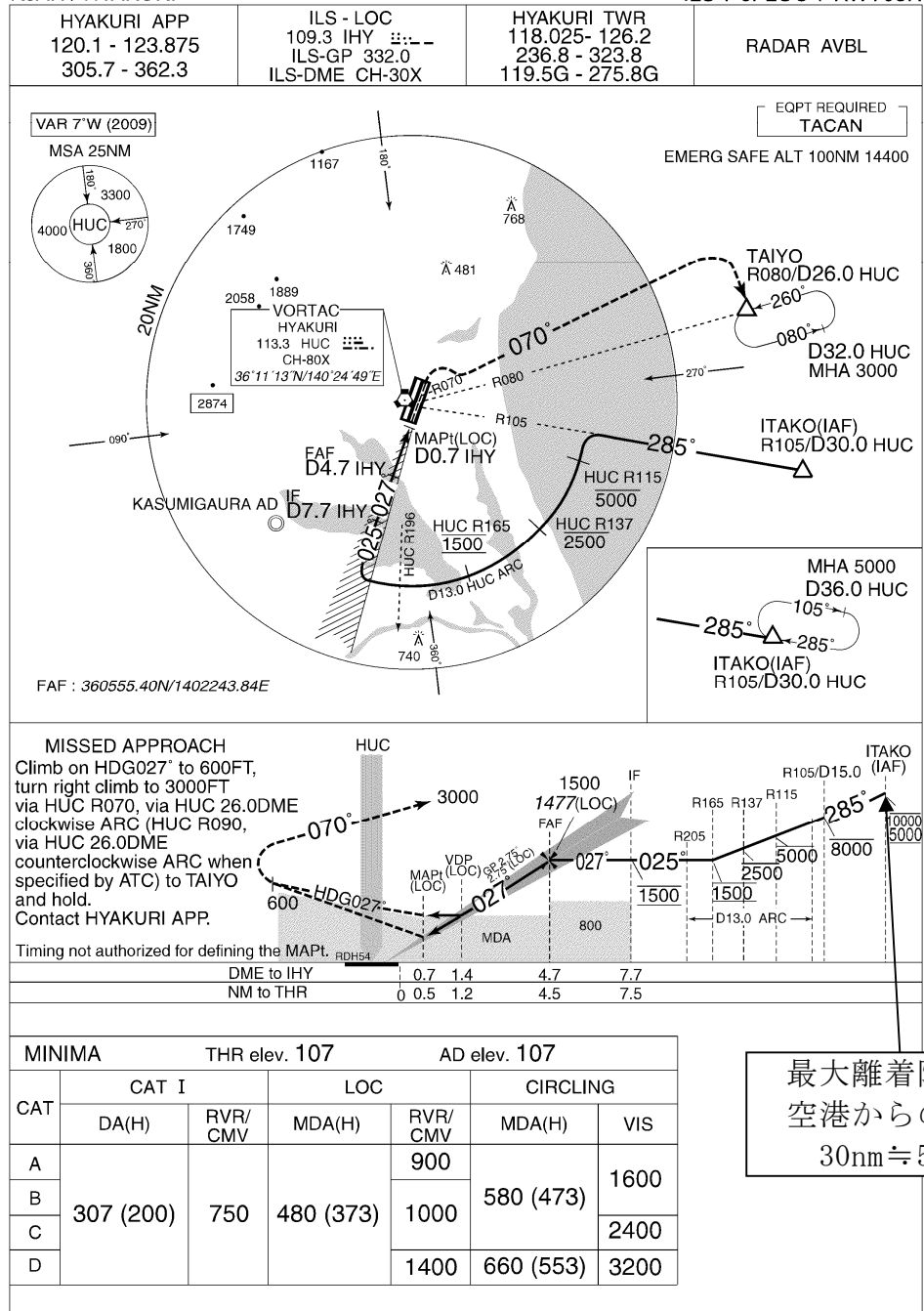
(茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km)

RJAH-AD2-24.15

AIP Japan
HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI ILS Y or LOC Y RWY03R



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:5 APR 2012)

8/3/12

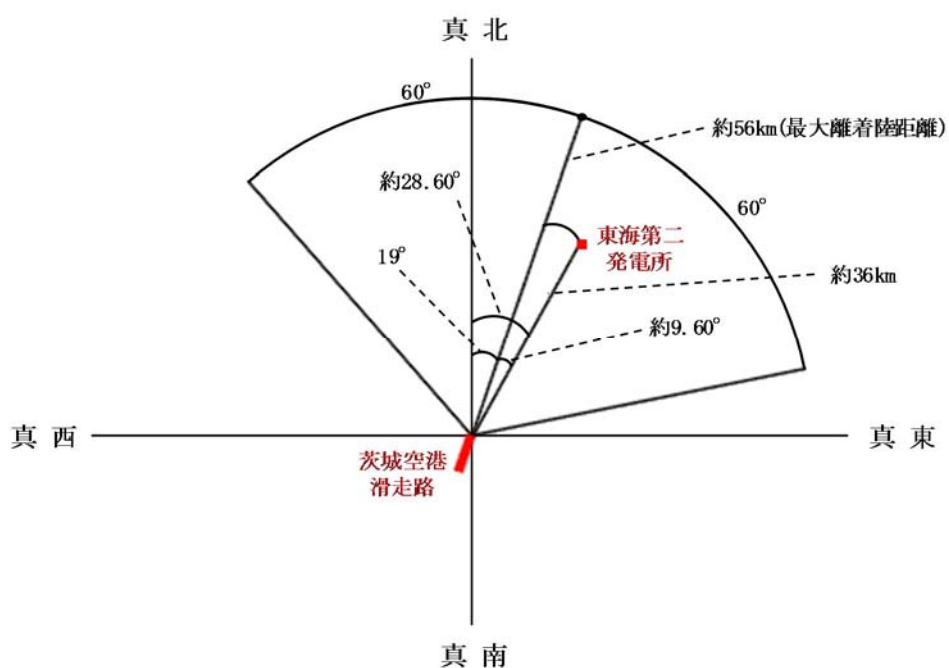
出典：A I P

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）（A I P 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

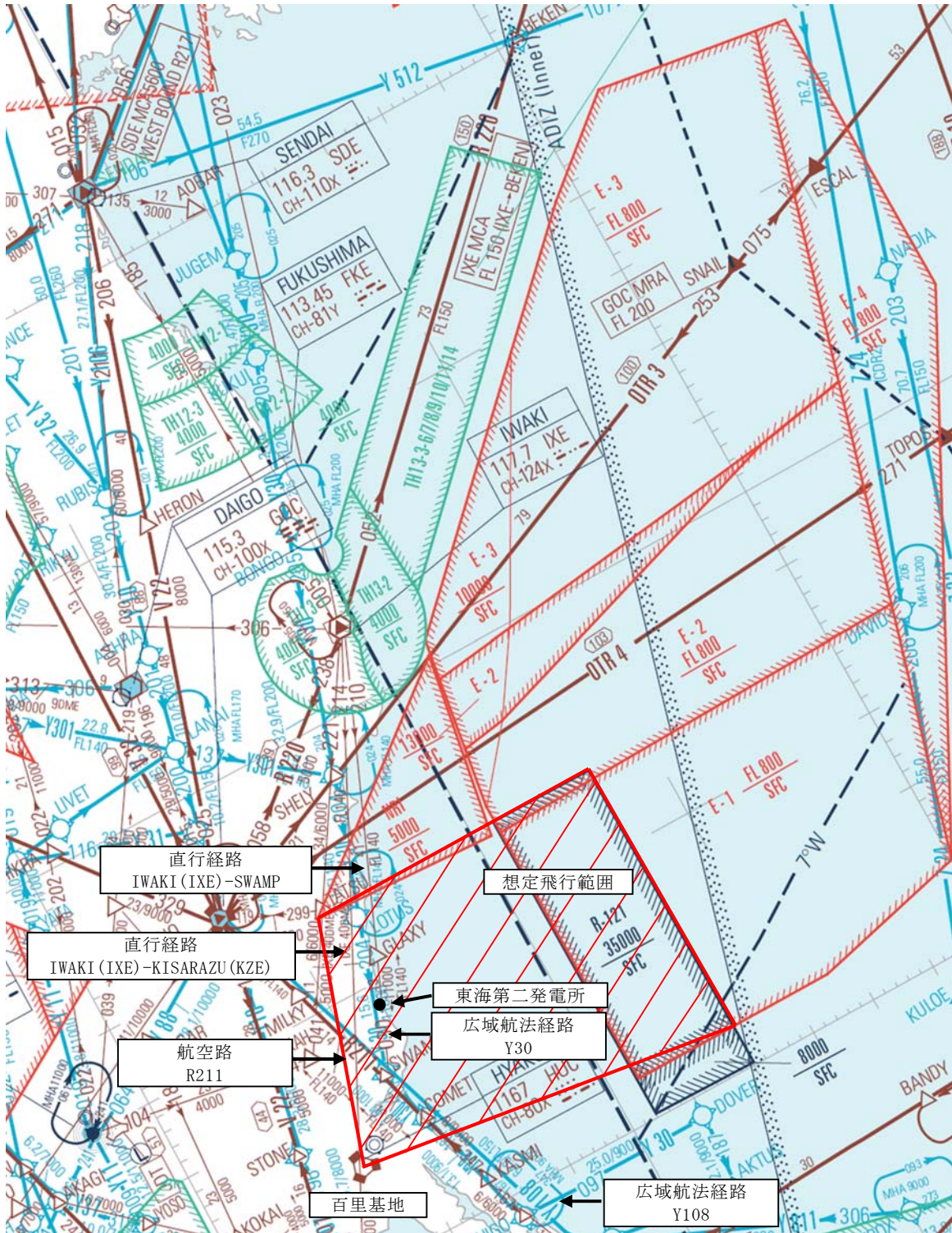
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と 発電所間の 最小距離※ ¹	片側の 航空路幅※ ²	判定
航空路 R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路 Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路 Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km (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 109A II	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-200-180A0	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 R44 II	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
	リバティール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进行分类し、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} (m ³)
				全長	全幅	
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
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	E-767	49	48	≤KC-767
		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。

カテゴリー	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

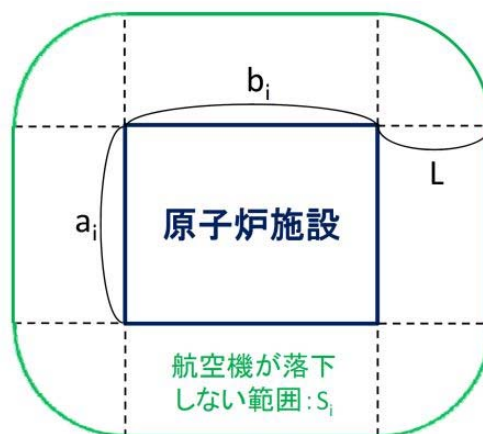
1. 考え方

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。

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



離隔距離の概念図

上記の式を用いて、全ての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 $\pm 60^\circ$ 以内の扇型に一樣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）

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

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

（正規分布）

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

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

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

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

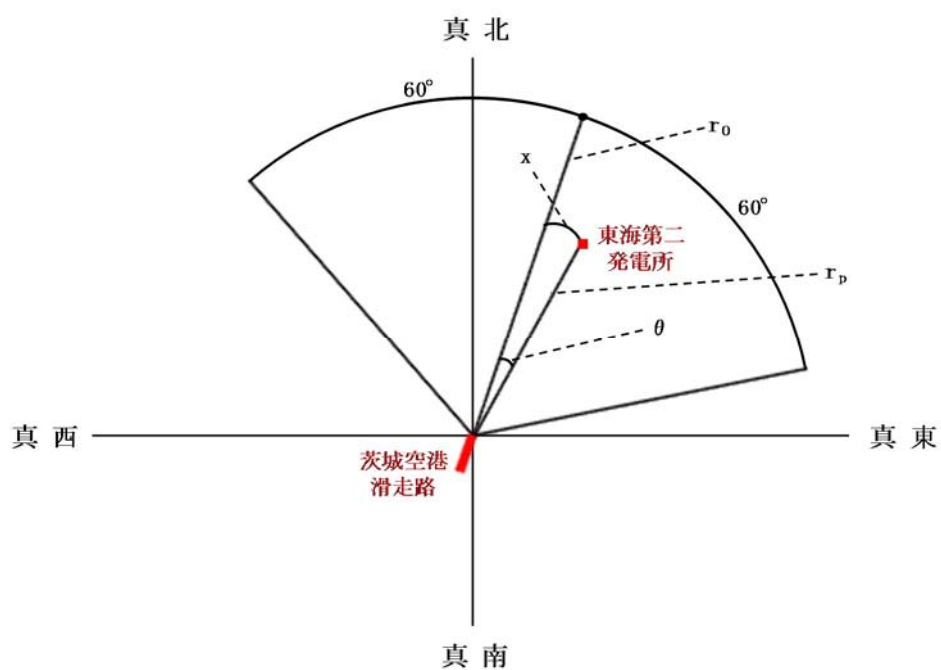
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_p : 滑走路端から原子炉施設までの距離（径方向）（km）

x : 滑走路軸上から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－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P S－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。

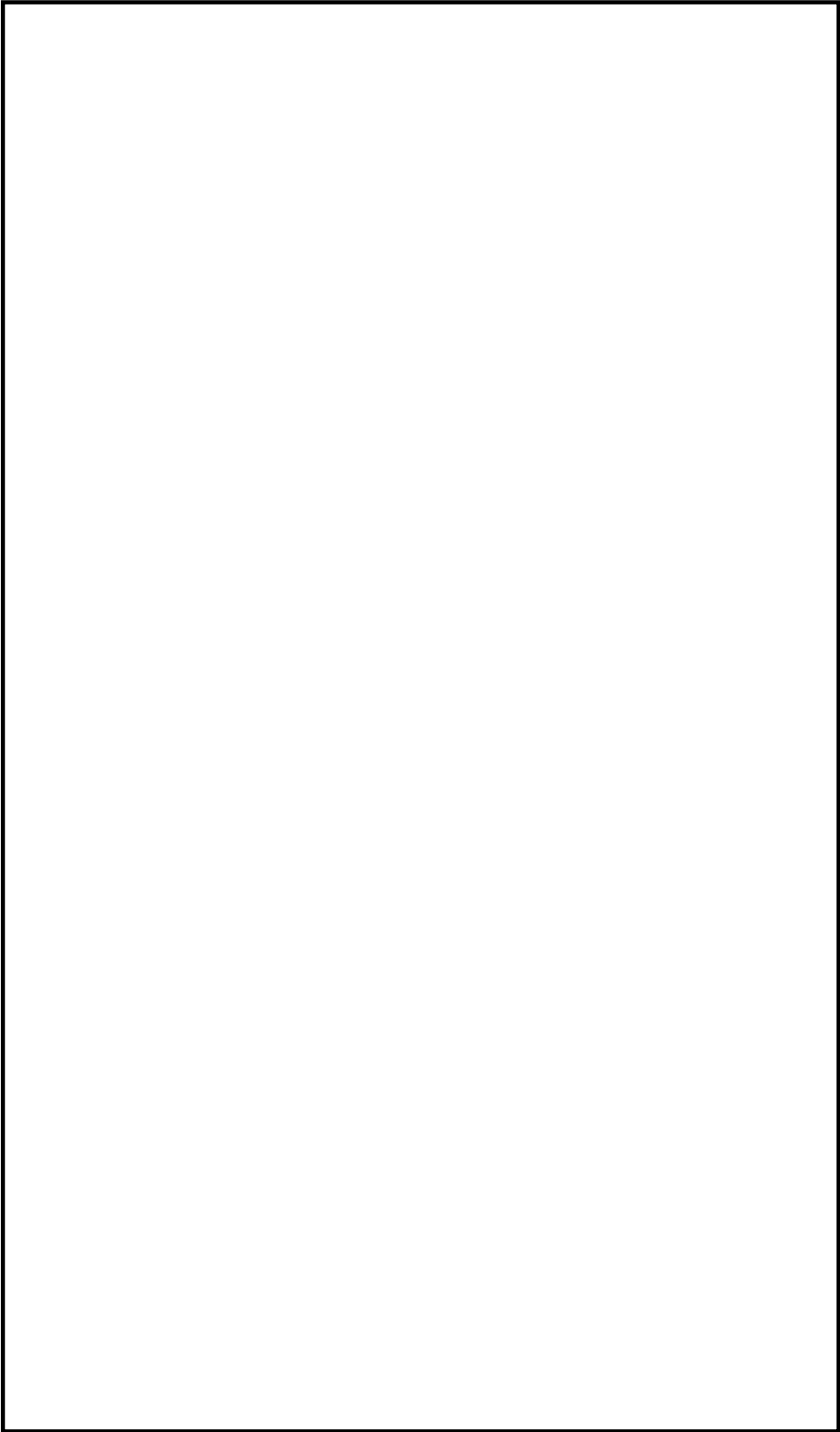
- ① 使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の東海第二発電所原子炉施設の安全機能に直接的に影響を及ぼすものではなく、また、乾式貯蔵容器本体で安全機能（臨界防止機能、密封機能、遮蔽機能、除熱機能）を確保する設計である。
- ② 使用済燃料乾式貯蔵建屋の監視設備（乾式貯蔵容器の一・二次蓋間圧力、乾式貯蔵容器の表面温度等）及び火災防護設備（火災報知器）への電源供給については、全交流動力電源喪失時には、事象発生後 30 分は専用の蓄電池から供給可能だが、その後は東海第二発電所の非常用ディーゼル発電機から給電する設計である。ただし、監視設備及び火災防護設備（火災報知器）は状態監視用であり、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）
- ・ 海水ポンプ施設
- ・ 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	ピーク日の飛行回数 ^{※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	アエロスパ [®] 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	ブリテンノーマン式 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	茨城県竜ヶ崎市	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	ビーチクラフト式 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	茨城県霞ヶ浦	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	スリングスビー式 T67MMK II
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	ガルフストリームコマンド [®] 式 695
平成 15 年 7 月 11 日	宮崎県宮崎市	ビーチクラフト式 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	ビーチクラフト式 E33
平成 19 年 9 月 1 日	宮崎空港南東約 1nm の海上	ビーチクラフト式 A36
平成 19 年 11 月 15 日	岐阜県中津川恵郡山山頂付近	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	ビーチクラフト式 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	アエロスパリアル式 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	アエロスパリアル式 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	アエロスパリアル式 AS365N2
平成 9 年 5 月 21 日	長野県茅野市	アエロスパリアル式 SA315B アルウェットⅢ
平成 9 年 7 月 3 日	三重県名張市	アエロスパリアル式 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	アエロスパリアル式 AS350B
平成 12 年 4 月 24 日	三重県長島町木曾川左岸の河原	ヒューズ式 269C
平成 12 年 11 月 9 日	岐阜県郡上郡高鷺村	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	長野県木曾郡南木曾町	アエロスパリアル式 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	ユーロコプター式 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	アエロスパリアル式 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 R44 II
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	長崎県佐世保市大湊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)	茨城県竜ヶ崎市	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。

[illegible]

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 : 原子炉施設の標的面積 (km²)

Sse : 想定飛行範囲の面積 (km²)

(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ではなく、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）

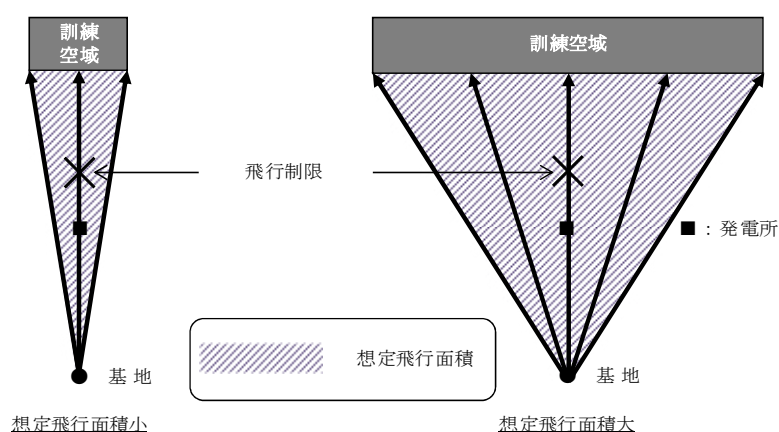
原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

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。

- ・ 百里基地特有の特殊な機種は配備されていないこと，全国では基地－訓練空域間往復時に合計 5 件の落下事故実績があるにも関わらず，百里基地では落下事故実績がないこと等を考慮すると，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} ($= 3.00 \times 10^{-6}$ (回／年・ km^2) $\times 0.0138 \text{km}^2$)

※：5 件／20 年／ $175,720 \text{km}^2 =$ 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。

$$F = \chi^2(1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T \quad (\text{回} / \text{年})$$

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} ($= 3.00 \times 10^{-6} (\text{回} / \text{年} \cdot \text{km}^2) \times 0.0138 \text{km}^2$)
χ 二乗分布を 用いた方法	約 3.46×10^{-8} ($= 0.2275 \text{ 件} / 20 \text{ 年} / 4,540 \text{km}^2 \times 0.0138 \text{km}^2$)

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。

$$F = \chi^2(1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T^{*1} \quad (\text{回} / \text{年})$$

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^2 分布を用いた適合度検定 (χ^2 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^2 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 : $P(x) = \frac{\exp(-m) \cdot m^x}{x!}$

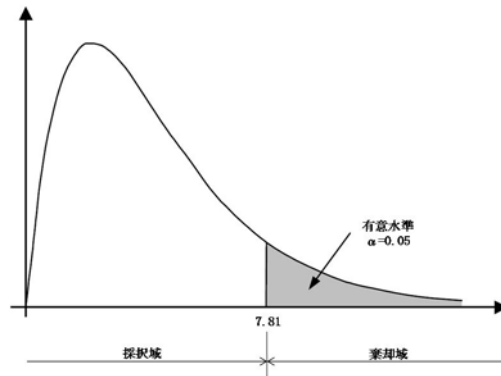
m : 落下事故件数標本平均 (約 0.276 件)

x : 落下事故件数

※2 : $P(f) \times 29$ [年]

※3 : $(f - e)^2 / e$

検定統計量である χ^2 分布の自由度は 3 (= (組分けの数 5) - 1 - 推定される母数の数 1) であり、一般的に用いられる有意水準 $\alpha = 0.05$ を用いると、検定の判定点は χ^2 分布表より 7.81 (= $\chi^2(3, 0.05)$) で与えられる。



χ^2 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^2 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^2 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^2 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^2 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、

$$\frac{\chi^2(2N, 1 - \frac{\alpha}{2})}{2T} \leq \lambda \leq \frac{\chi^2(2N + 2, \frac{\alpha}{2})}{2T} \quad (N: \text{発生件数}, T: \text{期間})$$

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。

$$p(x) = {}_n C_x p^x (1-p)^{n-x} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n)$$

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。

$$p(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n, m \text{ は正の定数})$$

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 $X_1, \dots, X_n$ 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 $Y=X_1+\dots+X_n$ は、平均値 $n\lambda$ 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。

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (x > 0, \alpha > 0, \beta > 0)$$

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。

$$f(x) = \frac{1}{2^{\frac{m}{2}} \Gamma(\frac{m}{2})} x^{\frac{m}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}} \quad (x \geq 0)$$

これは、 $\alpha = m/2$, $\beta = 2$ 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 $1 - \alpha$ とするとき、信頼度 $100(1 - \alpha)\%$ 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。

$$P(X \geq x) = Q(x; \lambda) = \sum_{k=x}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

一方、パラメータ α , β のガンマ分布 $\text{GAM}(\alpha, \beta)$ に従う確率変数を G

とすると,

$$P(G \leq \beta\lambda) = F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) = \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} dx$$

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,

$$\begin{aligned} F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) &= \left[\frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \right]_0^{\beta\lambda} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx \\ &= \frac{(\beta\lambda)^\alpha e^{-\frac{\beta\lambda}{\beta}}}{\alpha \beta^\alpha \Gamma(\alpha)} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx \\ &= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \int_0^{\beta\lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} dx \\ &= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \Gamma_G(\beta\lambda; \alpha+1, \beta) \end{aligned}$$

となるから,

$$\begin{aligned} Q(x; \lambda) &= \sum_{\alpha=x}^{\infty} \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} = \sum_{\alpha=x}^{\infty} [F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) - F_G(\beta\lambda; \alpha+1, \beta)] \\ &= F_G(\beta\lambda; \alpha, \beta) \end{aligned}$$

の関係が得られる。

また, ガンマ分布で $\alpha = m/2$, $\beta = 2$ のとき, $\text{GAM}(\alpha, \beta)$ は自由度 m の χ^2 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,

$$P(Y \geq y) = F_{\chi^2}(2n\lambda; 2y) = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

が成り立つ。この関係から,

$$\begin{aligned} P(Y \leq y) &= 1 - P(Y \geq y+1) = 1 - P(\chi_{2(y+1)}^2 \leq 2n\lambda) \\ &= P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda) \end{aligned}$$

より,

$$P(Y \leq y) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2}) \geq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2})}{2n} \geq \lambda$$

となり, 同様に,

$$\begin{aligned} P(Y \geq y+1) &= 1 - P(Y \leq y) = 1 - P(\chi_{2y}^2 \geq 2n\lambda) \\ &= P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda) \end{aligned}$$

より,

$$P(Y \geq y+1) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2y) \leq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}, 2y)}{2n} \leq \lambda$$

となる。

以上より，ポアソン分布の平均値 λ の $(1-\alpha) \times 100\%$ 信頼区間は，

$$P(\frac{1}{2n} \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2y) \leq \lambda \leq \frac{1}{2n} \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}(2(y+1))) = 1-\alpha$$

で表される。（出典：蓑谷千鳳彦，「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。

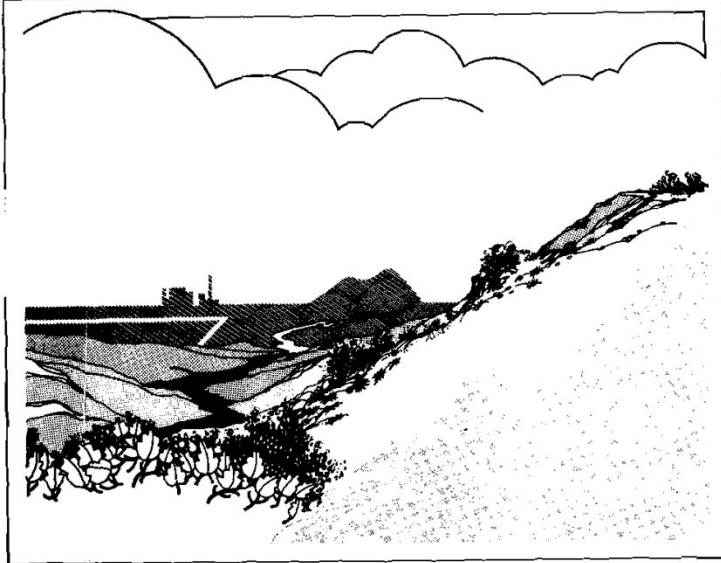
$$F = \frac{\chi^2(1,0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

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)

Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants

F O R M A L R E P O R T



**Idaho National
Engineering Laboratory**

Managed by the U.S. Department of Energy

NUREG/CR-4407
EGG-2421
May 1987

Ronald E. Wright
Judy A. Steverson
William F. Zuroff



Work performed under
DOE Contract No. DE-AC07-76ID01570

for the **U.S. Nuclear
Regulatory Commission**

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
> 500 gpm	0	484.73	0	<u>0.0005</u>	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	<u>0.0007</u>	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

$$\lambda(\text{yearly}) = \frac{N}{T} \quad (\text{F-1})$$

$$\lambda(\text{transient}) = \frac{N}{D} \quad (\text{F-2})$$

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

$$\frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2T} \leq \lambda(\text{yearly}) \leq \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2T} \quad (\text{F-3})$$

and

$$\begin{aligned} \frac{\chi^2_{\alpha/2}(2N)}{2D} &\leq \lambda(\text{transient}) \\ &\leq \frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(2N + 2)}{2D}, \end{aligned} \quad (\text{F-4})$$

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

$$\begin{aligned} \frac{NF_L}{D - N + 1 + NF_L} &\leq (\text{transient}) \\ &\leq \frac{(N + 1)F_U}{D - N + (N + 1)F_U} \end{aligned} \quad (\text{F-5})$$

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

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2T}, \quad (\text{F-6})$$

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2D}, \quad (\text{F-7})$$

and

$$\lambda = \frac{(2N + 1)F_M}{2D - 2N + 1 + (2N + 1)F_M}, \quad (\text{F-8})$$

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}

$$(\alpha, \beta) = (N + 1/2, 1/T). \quad (\text{F-9})$$

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	
		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：m²

	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 1,399m²及び約 1,887m²

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、火災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。

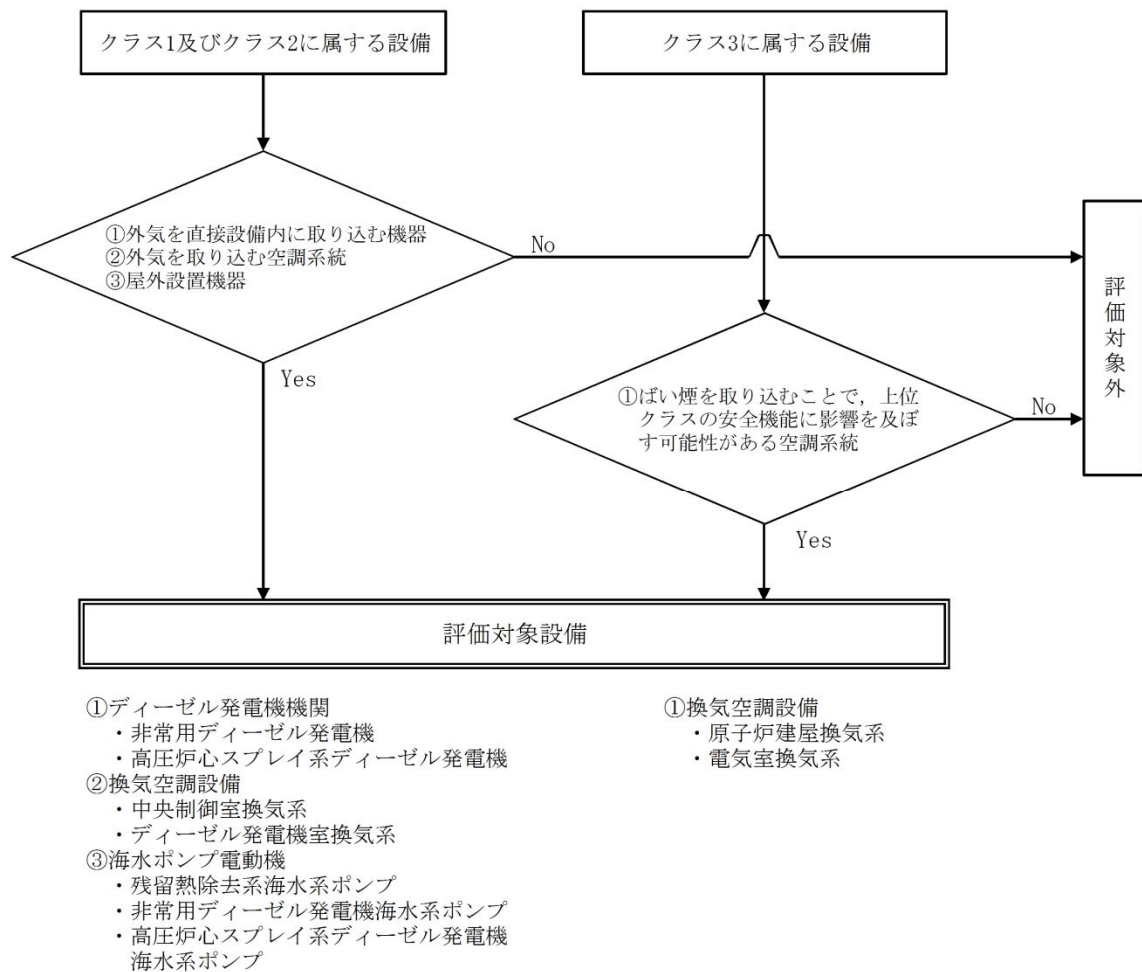
2. 評価対象

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 $5\mu\text{m}$ 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。

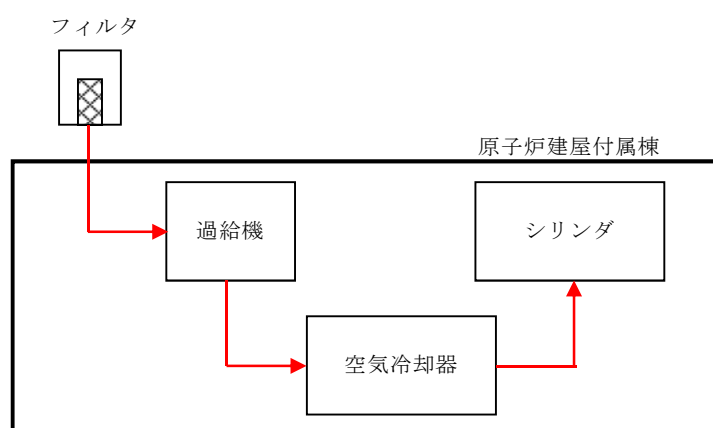
シリンダ／ピストン間隙まで到達したばい煙（数 μm ～10 数 μm ）は，当

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。

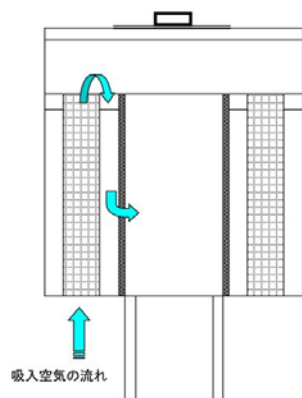
また、通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが、定期的な点検において、ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。

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。

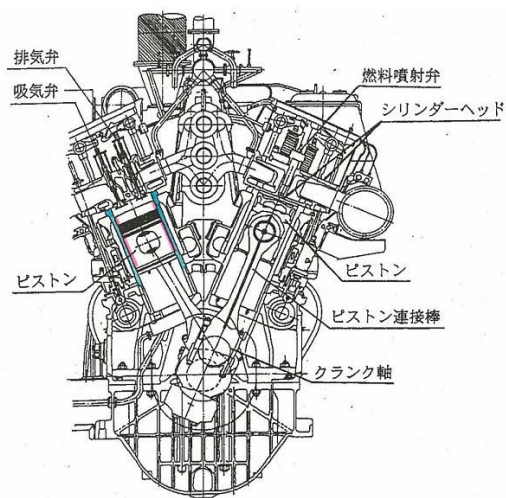
ディーゼル発電機吸気系統概略図を第 3. 1-1 図に、ディーゼル発電機吸気系統構造図を第 3. 1-2 図に示す。



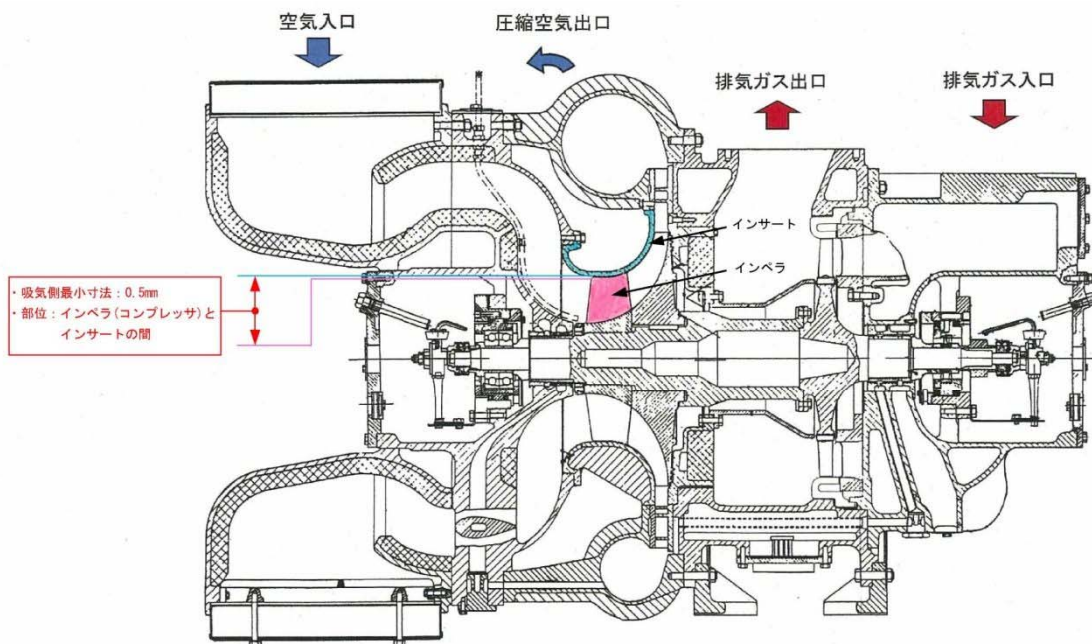
第 3. 1-1 図 ディーゼル発電機吸気系統概略図



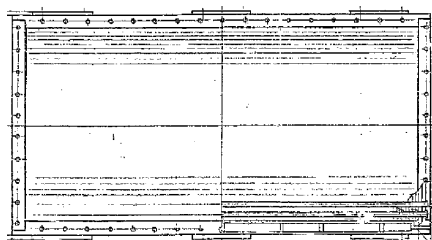
フィルタ構造



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
(狭隙部寸法 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（J I S Z 8901 試験用粉体 11 種 粒径約 $2\mu\text{m}$ ）の性能を有しているため，外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は，このフィルタにより侵入を阻止可能である。また，ばい煙によるフィルタの閉塞については，フィルタ出入口差圧又は排気ファン出口流量を監視することで検知可能である。

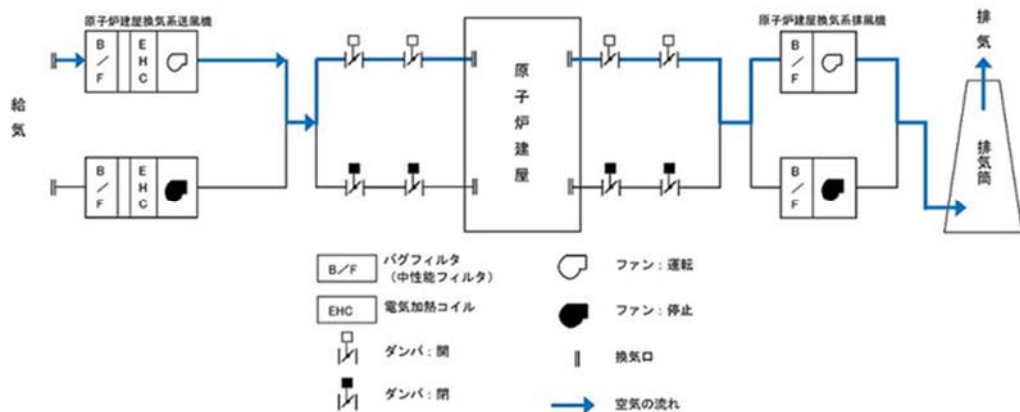
中央制御室換気系については，隔離弁を閉止し，閉回路循環運転を行うことにより，ばい煙等の侵入を阻止可能である。

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 $2\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定される。

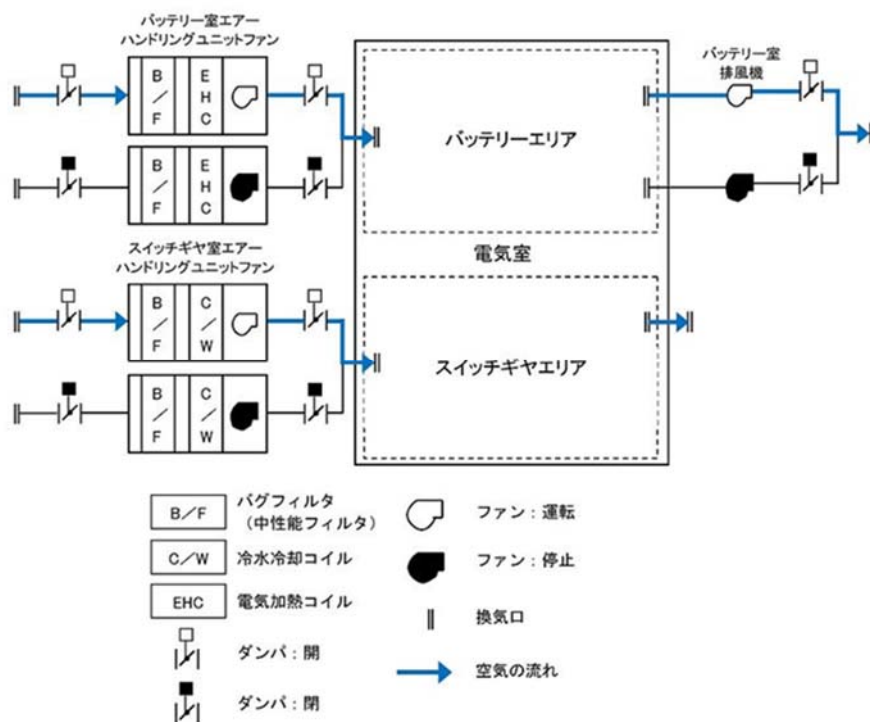
計装盤等において，数 μm 程度の線間距離となるのは，集積回路（IC など）の内部であり，これら部品はモールド（樹脂）で保護されているため，ばい煙が侵入することはない。

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。



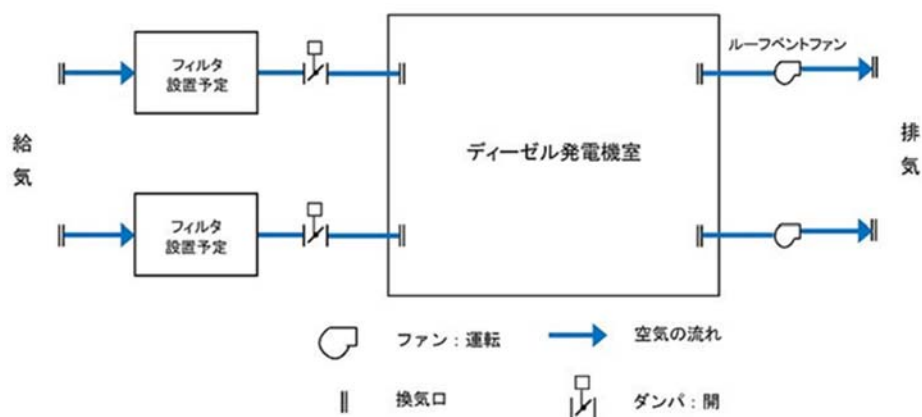
第 3. 2-2 図 原子炉建屋換気系の系統概略図



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

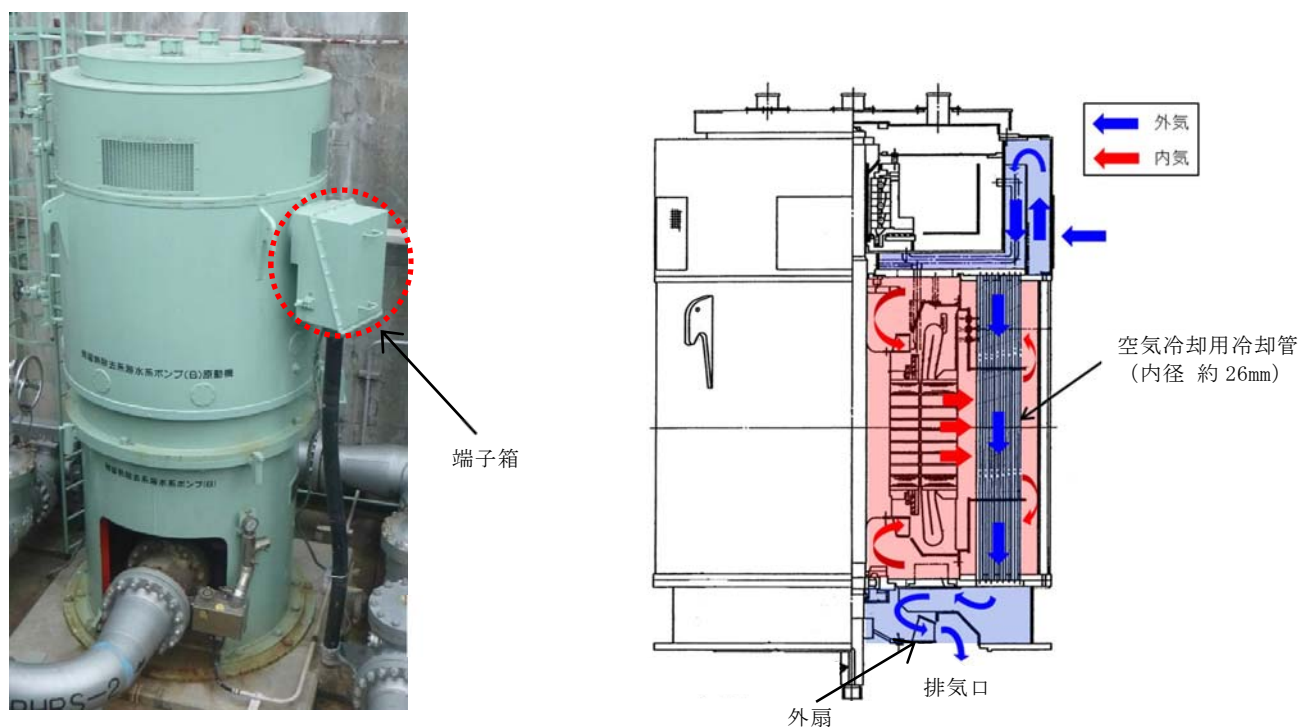
(1) 残留熱除去系海水系ポンプ電動機

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

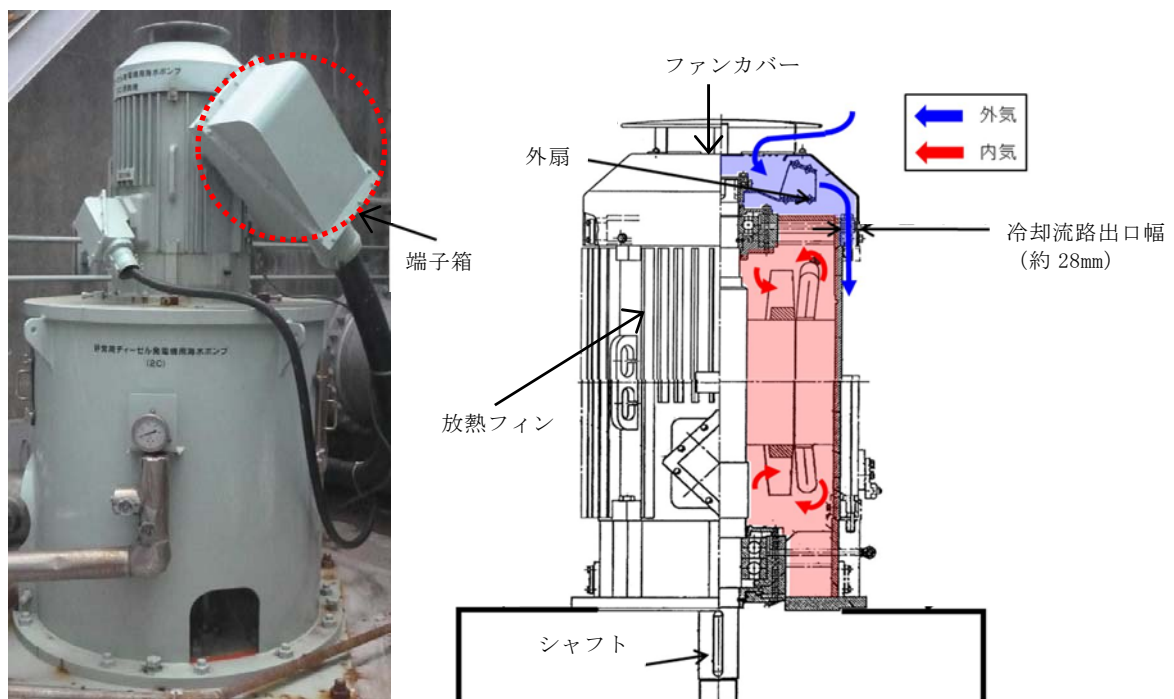
(2) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機

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を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（主変圧器）からの火災を想定し、中央制御室内に侵入する有毒物質（ CO 、 CO_2 、 SO_2 、 NO_2 ）の最大濃度を判断基準である Immediately Dangerous to Life or Health^{*}（以下「IDLH」という。）と比較することで、有毒ガスに対する評価を実施し、中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを評価した。

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

中央制御室換気系閉回路循環運転時の中央制御室内の酸素濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・在室人員 11 人（運転員 7 人に余裕を持たせた人数）
- ・中央制御室バウンダリ内体積 $2,700\text{m}^3$
- ・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

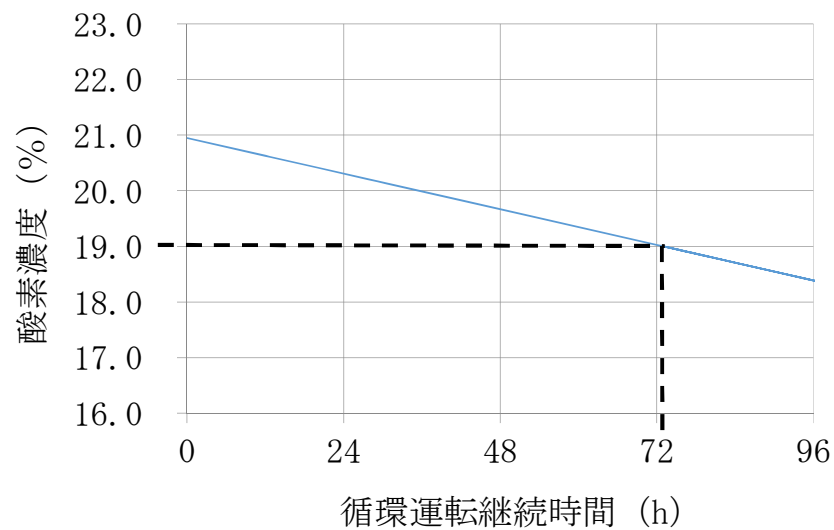
b. 評価結果

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（主変圧器約 7 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-1 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

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



第 3.4-1 図 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

(2) 炭酸ガス濃度

中央制御室閉回路循環運転時の中央制御室内の炭酸ガス濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 11 人(運転員 7 人に余裕を持たせた人数)
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 $2,700\text{m}^3$
- ・ 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、 $0.046\text{m}^3/\text{hr}$ 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

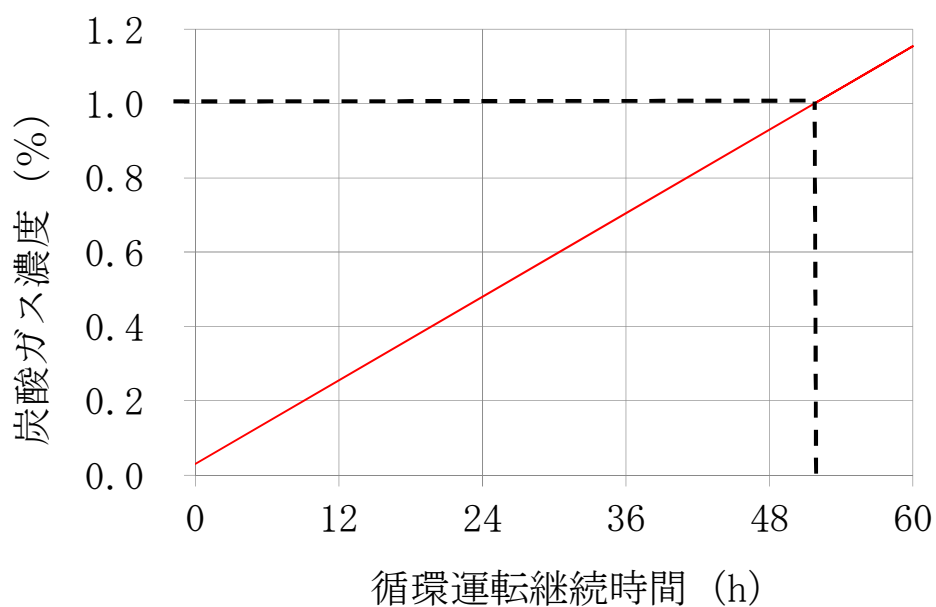
評価条件から求めた炭酸ガス濃度は、第 3.4-2 表、第 3.4-2 図のとお

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（主変圧器約 7 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼすことはない。

第 3.4-2 表 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	12 時間	24 時間	48 時間	51.7 時間
炭酸ガス濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%



第 3.4-2 図 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

(3) 有毒ガス

中央制御室換気系給気口の風上で発生し、給気口を直接臨むことができる火災源を対象とし、中央制御室換気系給気口位置における有毒ガス濃度の評価を実施した。

a. 評価手法

火災源から放出された有毒ガスは中央制御室換気系給気口に向う風によって、風下直線方向に拡散していくものとして、Briggsの排煙上昇過程式により求めた評価対象ガスの風速と、有風時ブルーム式を用いて、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。

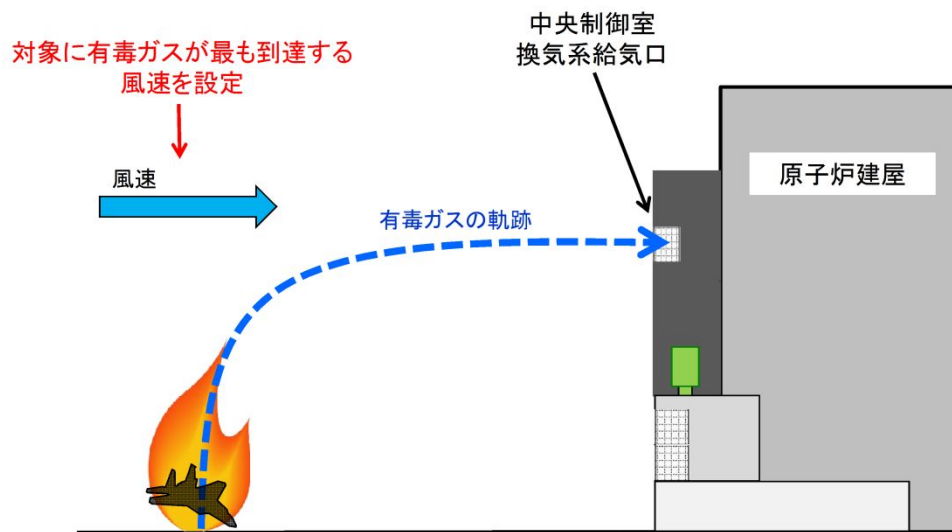
(有風時ブルーム式)

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

(Briggsの排煙上昇過程式)

$$H_e = 1.6 F^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1} \quad (2)$$

- C_{xyz} : 濃度 (ppm)
 Q : 有毒ガス発生量 (Nm³/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 (m⁴/s³) = 0.037 Q_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 (m²)
 $\dot{m}$: 質量低下速度 (kg/m²/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 : 排気ブ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 H_e が給気口中央の地表面からの高さと同しくなる風速 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

$$x \leq x'$$

$$x' = 2.16 F^{2/5} \cdot \Delta h^{2/5}$$

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) ($\Delta h < 305\text{m}$)

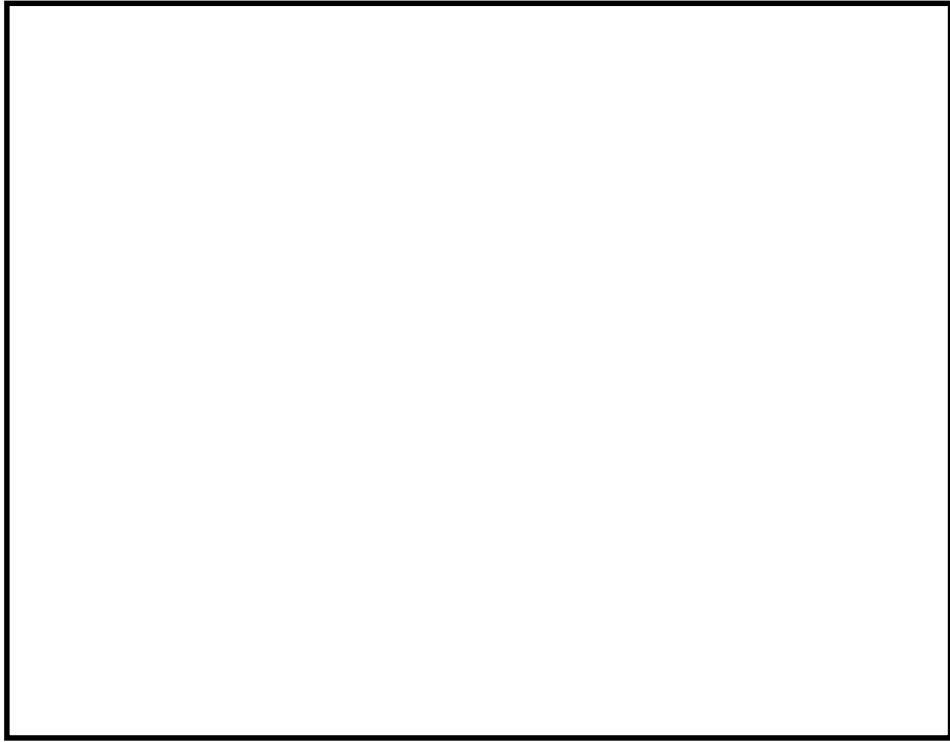
b. 評価データ

(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)	C O ₂	3.053	3.237
	C O	0.030	0.030
	S O ₂	0.001	0.0011
	N O 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。

C O₂：環境省，温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル

C O：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)

S O₂：U.S.EPA AP-42, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume I: Stationary Point and Area Sources"

N O₂：S O₂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 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	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同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 表に示すガウスブルームモデルにおける大気拡散パラメータより $\Delta H e^2/10$ 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/m ²				放射収支量(Q) kw/m ²		
	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_z	γ_z	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 σ_z ※

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*								
$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x)$, σ_θ 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'

※: 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)			
		C O ₂	C O	S O ₂	N O 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替は火災発生後 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1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。

※：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，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，日本原子力研究開発機構の使用済燃料貯蔵施設（北地区），第2保管廃棄施設及び廃棄物埋設施設がある。

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。その他の保管施設としては，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，これら保管施設が影響を受け，保管物質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

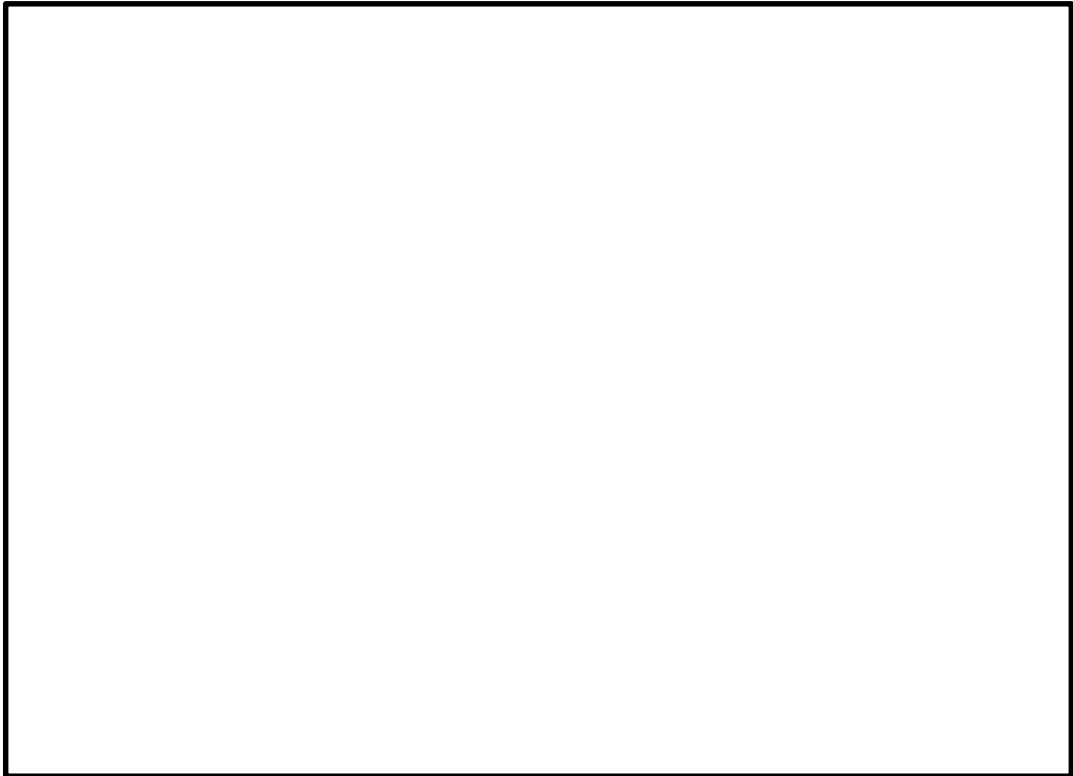
することはない。

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、保管施設の構造及び保管状態を踏まえると、②及び⑤の埋設物は流出することはないが、①、③及び④の保管物質が流出する可能性は低いが、仮に流出したとしても、中央制御室の外気取り入れを遮断し閉回路循環運転を行うことで、中央制御室の居住性を確保可能である。また、予防散水対応については、線量を確認しつつ実施する。

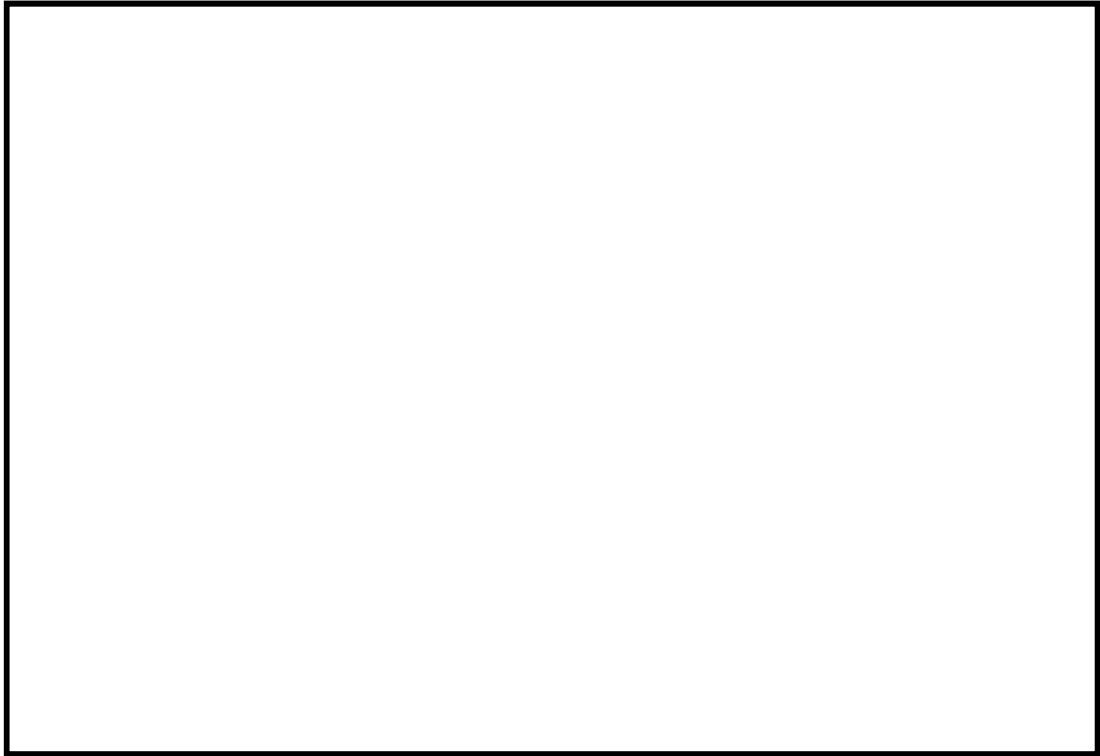


第 3.4-6 図 東海第二発電所に影響を与える可能性のある保管施設

3.5 緊急時対策所の居住性評価

外部火災時の緊急時対策所の居住性の評価として、外気取入れ遮断時の緊急時対策所内に滞在する緊急時対策要員の作業環境の劣化防止のため、酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価を行った。

緊急時対策所の位置を第 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 $2,900\text{m}^3$
- ・ 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， $24\text{L}/\text{min}$ 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 $1.092\text{L}/\text{min}$ 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

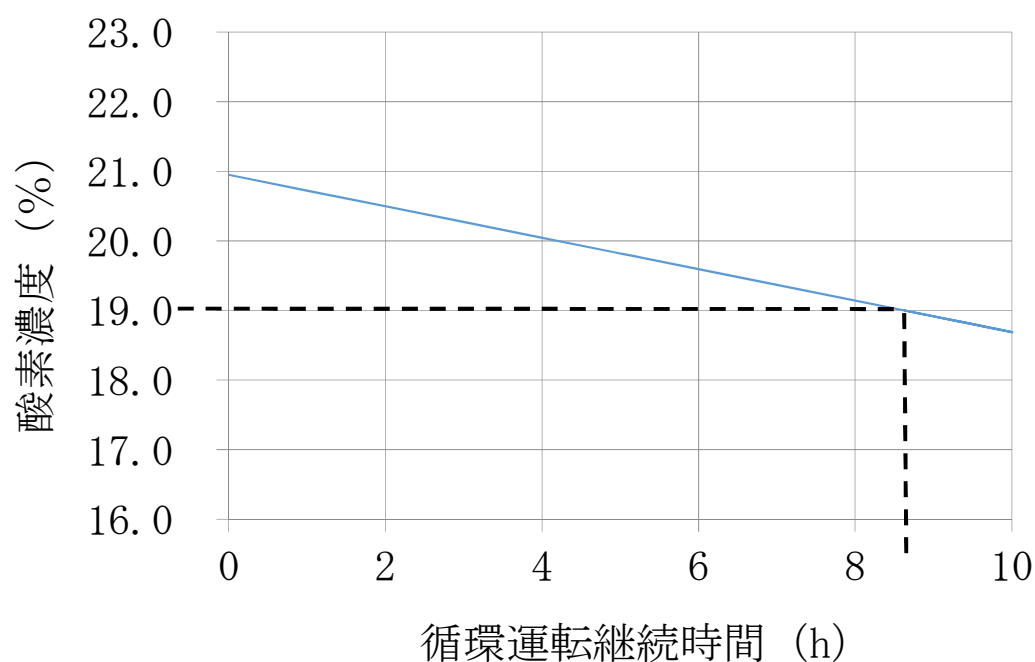
b. 評価結果

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 2,900m³
- ・ 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，0.046m³/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

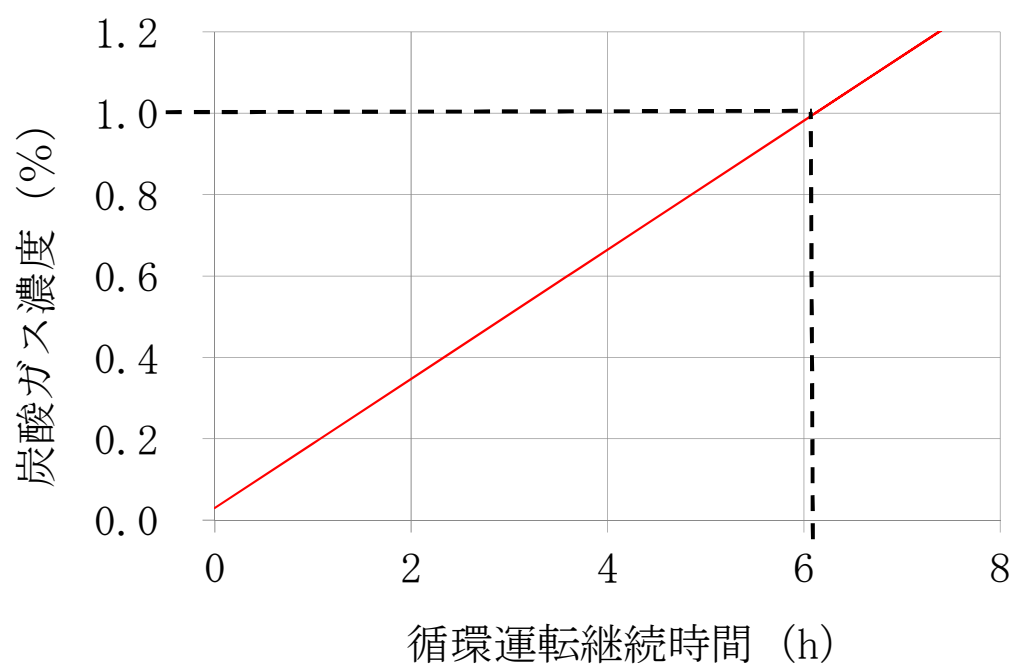
b. 評価結果

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）

東海第二発電所

運用，手順説明資料

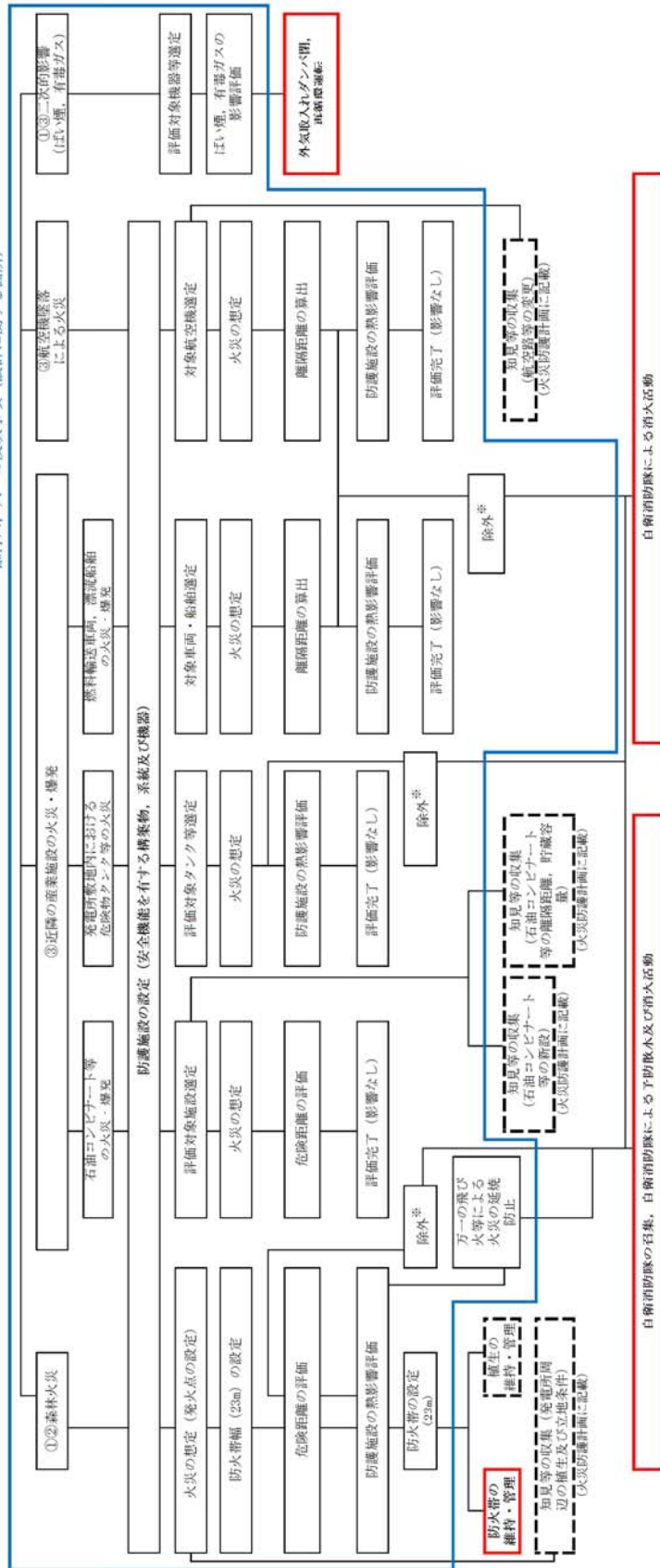
外部からの衝撃による損傷の防止

(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れ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はない。
- 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つ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れないものでなければならない。

添付六、八への反映事項（設計に関する箇所）



添付六、八への反映事項（手順等に関する箇所）

※：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

※：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)	防火帯の維持・管理	運用・手順	・防火帯のパトロール，可燃物の排除
		体制	・担当 G r 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	・発電所敷地内のパトロール，植生の維持・管理
		体制	・担当 G r 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 G r 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 G r 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 G r 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

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
	自衛消防隊による 初期消火活動及び予 防散水	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を用いた消火活動 ・自衛消防隊※
		体制	
	自衛消防隊による 初期消火活動及び予 防散水	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耐への連絡
		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
		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）
	外気取入れダンパ 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）

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、発電所周围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) 発電所周围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围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