

女川原子力発電所 2号炉

設計基準対象施設について

(6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災))

平成31年3月

東北電力株式会社

目次

- 4 条 地震による損傷の防止
- 5 条 津波による損傷の防止
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（その他外部事象）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）
- 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
- 7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止
- 8 条 火災による損傷の防止
- 9 条 溢水による損傷の防止等
- 10 条 誤操作の防止
- 11 条 安全避難通路等
- 12 条 安全施設
- 14 条 全交流動力電源喪失対策設備
- 16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
- 17 条 原子炉冷却材圧力バウンダリ
- 23 条 計測制御系統施設（第 16 条に含む）
- 24 条 安全保護回路
- 26 条 原子炉制御室等
- 31 条 監視設備
- 33 条 保安電源設備
- 34 条 緊急時対策所
- 35 条 通信連絡設備

下線は、今回の提出資料を示す。

女川原子力発電所 2 号炉

外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

<目次>

1. 基本方針
 - 1.1. 要求事項の整理
 - 1.2. 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
2. 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
（別添資料1）外部火災影響評価について
3. 運用，手順能力説明
（別添資料2）外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
4. 現場確認プロセス
（別添資料3）森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

< 概 要 >

1. において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確にするとともに、それら要求に対する女川原子力発電所2号炉における適合性を示す。
2. において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用について説明する。
3. において、追加要求事項に適合するための技術的能力（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	技術基準規則	備考
<p>第6条 (外部からの衝撃による損傷の防止) 安全施設は、想定される自然事象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>第7条 (外部からの衝撃による損傷の防止) 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。</p>	<p>追加要求事項</p>
<p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p>		<p>追加要求事項</p>
<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある場合には、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。</p> <p>3 航空機の墜落により発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</p>	<p>追加要求事項</p>

1.2. 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設は、発電所敷地で想定される風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災の自然現象が発生した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

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

また、安全施設は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場などの火災、有毒ガス、船舶の衝突、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。自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるものの組み合わせについては、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災、地震、津波を考慮する。事象が単独で発生した場合の影響と比較して、複数の事象が重畳することで影響が増長される組み合わせを特定し、その組み合わせの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

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

(a-9) 外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）

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

【別添資料1(1～2)】

想定される森林火災の延焼防止を目的として、発電所周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度（4,428kW/m）から算出される防火帯（約20m）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)】

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

【別添資料1(2. 1. 3. 3)】

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

【別添資料1(2. 2)】

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

【別添資料1(2. 2. 2. 5～2. 3)】

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)】

(2) 安全設計方針

1.7.9 外部火災防護に関する基本方針

1.7.9.1 設計方針

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

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

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

【別添資料1(1.1～1.2)】

想定する外部火災として，森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発，発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第1.7.9-1表に示す。

【別添資料1(1.1～1.2)】

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) 評価対象施設

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

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

評価対象施設を第1.7.9-2 表に示す。

a. 外部火災の直接的な影響を受ける評価対象施設

外部事象防護対象施設等のうち、評価対象施設を以下のとおり抽出する。

(a) 屋内の評価対象施設

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

- i) 原子炉建屋
- ii) タービン建屋
- iii) 制御建屋

(b) 屋外の評価対象施設

屋外の評価対象施設は、以下の施設を対象とする。

- i) 排気筒
- ii) 復水貯蔵タンク
- iii) 原子炉補機冷却海水ポンプ（高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプを含む）

b. 外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設

外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設を以下のとおり抽出する。

- (a) 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機を含む。）
- (b) 換気空調系
- (c) 安全保護系
- (d) 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機
- (e) 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ用電動機

(2) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所周辺の植生及び過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション解析コード（以下「FARSITE」という。）を用いて影響評価を実施し、森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火

炎が防火帯外縁に到達するまでの時間，評価対象施設への熱影響及び危険距離を評価し，必要な防火帯幅，評価対象施設との離隔距離を確保すること等により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 森林火災の想定

- (a) 森林火災における各樹種の可燃物量は，宮城県及び東北森林管理局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，石巻特別地域気象観測所及び江ノ島気象観測所の過去10年間の気象データを調査し，宮城県における森林火災発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度，最高気温及び最大風速の組合せとする。
- (c) 風向については，最大風速記録時における風向及び卓越風向を調査し，森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して，最大風速記録時の風向を設定する。
- (d) 発火点については，防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し，FARSITEより出力される最大火線強度及び反応強度を用いて評価するため，発電所から直線距離10kmの間で風向及び人為的行為を考慮し，4地点を設定する。

(d-1) 人為的行為を考慮し，交通量が多く火災の発生頻度が高いと想定される居住地区及び道路沿い等を選定する。

(d-2) 風向は卓越方向（北北東，南南西，西北西）とし，火災規模に対する風向の影響を考慮し，発火点は女川原子力発電所の風上を選定する。

i) 発電所周辺のうち，卓越風向の北北東方向の風による延焼を考慮し，民宿，社員寮等の居住区での人為的行為を想定し，小屋取地区漁港沿いの荒地（発電所敷地から約900mの距離）を「発火点1」として設定する。

ii) 発電所周辺のうち，卓越風向である南南西方向の風による延焼を考慮し，道路沿いでの人為的行為を想定し，発電所に近い県道沿い（発電所敷地から約1,200mの距離）を「発火点2-1」として設定する。

iii) 発電所周辺のうち，卓越風向である南南西方向の風による延焼を考慮し，居住地区及び田が存在する地区での人為的行為を想定し，鮫浦地区の田（発電所敷地から約2,600mの距離）に，発火点2-1より遠方となる「発火点2-2」として設定する。

iv) 発電所周辺のうち，卓越風向である西北西方向の風による延焼を考慮し，発電所周辺の道路沿いでの人為的行為を想定し，発電所に近い荒地（発電所敷地から約1,100mの距離）に「発火点3」として設定する。

【別添資料1(2.1.2)】

(e) 森林火災の発火時刻については，日照による草地及び樹木の乾燥に伴い，

火線強度が変化することから、これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定する。

【別添資料1(2.1.2)】

b. 評価対象範囲

発電所近傍の発火想定地点を10km以内とし、評価対象範囲は東側が海岸という発電所周辺の地形を考慮し、女川原子力発電所から南に12km、北に12km、東に4km、西に12kmの範囲を対象に評価を行う。

【別添資料1(2.1.2)】

c. 必要データ (FARSITE入力条件)

(a) 地形データ

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

(b) 土地利用データ

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

(c) 植生データ

現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを宮城県及び東北森林管理局より入手する。

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

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

【別添資料1(2.1.2)】

(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、石巻特別地域気象観測所及び江ノ島気象観測所の過去10年間の気象データにおける宮城県で発生した森林火災の実績を考慮し、比較的発生頻度が高い3月～5月の気象条件(最多風向、最大風速、最高気温及び最小湿度)の最も厳しい条件を用いる。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)】

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火線強度(4, 428kW/m(発

火点1)) 及び発火点から火災が防火帯に到達する時間 (約1.8時間(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、発火点から火炎が防火帯に到達するまでの火炎到達時間 (約1.8時間(発火点3)) を算出する。

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

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

【別添資料1(2.1.3.1)】

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

【別添資料1(2.1.3.1)】

f. 防火帯幅の設定

FARSITEから出力される最大火線強度 (4,428kW/m「発火点1」) により算出される防火帯幅19.7mに対し、約20mの防火帯幅を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

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

設置する防火帯について、第1.7.9-1図に示す。

【別添資料1(2.1.3.2)】

g. 評価対象施設への熱影響

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

(a) 火災の想定

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

(b) 原子炉建屋、タービン建屋、制御建屋への熱影響

最大の火炎輻射強度（477kW/m²となる「発火点1」）に基づき算出する，防火帯の外縁（火炎側）から最も近くに位置する原子炉建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した，火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を，火災時における短期温度上昇を考慮した場合のコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃⁽¹⁾以下とすることで，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 排気筒への熱影響

最大の輻射強度（0.03kW/m²）となる「発火点2-1，2-2」に基づき算出する排気筒の温度を，鋼材の強度が維持される温度である325℃⁽¹⁾以下とすることで，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(d) 復水貯蔵タンクへの熱影響

最大の輻射強度（0.03kW/m²）となる「発火点2-1，2-2」に基づき算出する復水貯蔵タンクの温度を，復水貯蔵タンクの許容温度である66℃以下とすることで，復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

(e) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

最大の輻射強度（0.04kW/m²）となる「発火点2-1」に基づき算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を，上部軸受の機能維持に必要な温度である40℃以下とすることで，原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(f) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの熱影響

最大の輻射強度（0.04kW/m²）となる「発火点2-1」に基づき算出する高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を，下部軸受の機能維持に必要な上昇温度限度である55℃以下とすることで，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.1.3.3)】

h. 評価対象施設の危険距離の確保

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

(a) 原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の危険距離の確保

最大の火炎輻射強度（477kW/m²）となる「発火点1」に基づき危険距離を算

出し、発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を危険距離以上確保することにより、各建屋及び当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (b) 排気筒、復水貯蔵タンク、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの危険距離の確保

排気筒、復水貯蔵タンクは、最大の輻射強度に基づき危険距離を算出し、発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を危険距離以上確保することにより、安全機能を損なわない設計とする。

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、地下ピット構造となっていることから森林火災の輻射熱は直接到達しないが、外部火災による火炎からの輻射熱が直接到達する場合を想定しても安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.1.3.3)】

- (3) 近隣産業施設の火災・爆発

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

- a. 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は西南西約40kmの塩釜地区及び仙台地区である。

【別添資料1(2.2.2)】

- b. 危険物貯蔵施設の影響

- (a) 火災の影響

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

発電所敷地外10km以内のうち、発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設を第1.7.9-2 図に示す。

【別添資料1(2.2.2.2)】

- i) 火災の想定

- ・危険物貯蔵施設の貯蔵量は、危険物を満載した状態とする。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設の位置から評価対象施

設までの直線距離とする。

- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

ii) 評価対象範囲

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

【別添資料1(2.2.2.2)】

iii) 評価対象施設への熱影響

- ・原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋への熱影響

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（48m）以上確保することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・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（47m）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。

- ・復水貯蔵タンクへの熱影響

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復水貯蔵タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離（18m）以上確保することにより、復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（99m）以上確保することにより、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

- ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（65m）以上確保することにより、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.2)】

(b) ガス爆発の影響

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

発電所敷地外10km以内のうち、発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設を第1.7.9-2図に示す。

【別添資料1(2.2.2.2)】

i) 爆発の想定

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

ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外10km以内の高圧ガス貯蔵施設とする。

iii) 評価対象施設への影響

想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による爆風圧の影響に対し、高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（70m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.2)】

また、想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による飛来物の影響については、高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（322m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.2)】

c. 燃料輸送車両の影響

(a) 火災の影響

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

【別添資料1(2.2.2.3)】

i) 火災の想定

- ・最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災を起こすものとする。
- ・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。
- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料はガソリンとする。
- ・発電所敷地周辺道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。

- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

ii) 評価対象範囲

評価対象は、最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添資料1(2.2.2.3)】

iii) 評価対象施設への熱影響

- ・ 原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋への熱影響

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（21m）以上確保することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 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。

- ・ 復水貯蔵タンクへの熱影響

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、燃料輸送車両から復水貯蔵タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離以上確保することにより、復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（16m）以上確保することにより、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（11m）以上確保することにより、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.3)】

(b) ガス爆発の影響

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

【別添資料1(2.2.2.3)】

i) 爆発の想定

- ・発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である1,700kgを積載した車両が発電所敷地周辺道路で爆発を起こすものとする。
- ・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。
- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- ・発電所敷地境界の道路での高圧ガス漏えい、引火によるガス爆発を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である1,700kgを積載した車両とする。

【別添資料1(2.2.2.3)】

iii) 評価対象施設への影響

想定される燃料輸送車両のガス爆発による爆風圧の影響に対して、発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（70m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.3)】

また、想定される燃料輸送車両のガス爆発による飛来物の影響に対して、発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」等に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（322m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.3)】

d. 船舶の火災

(a) 火災の影響

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外で発生する船舶を選定し、船舶の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.4)】

i) 火災の想定

- ・女川原子力発電所前面の海域には主要航路がなく20km以上離れていること

から、女川原子力発電所内の港湾施設に入港可能な最大規模の船舶が火災を起こした場合を想定する

- ・船舶は、女川原子力発電所内の港湾施設に入港する船舶の中で最大規模となる船舶を想定する。

【別添資料1(2.2.2.4)】

- ・船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・燃料は重油とする。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう岸壁位置から評価対象施設までの直線距離とする。(第1.7.9-3図)
- ・船舶の全面火災を想定する。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

ii) 評価対象範囲

船舶は発電所港湾内に入港する船舶の中で最大規模となる船舶を評価対象とする。

【別添資料1(2.2.2.4)】

iii) 評価対象施設への熱影響

- ・原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋への熱影響

想定される船舶の火災による輻射の影響に対し、船舶から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離以上確保することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・排気筒への熱影響

想定される船舶の火災による輻射の影響に対し、船舶から排気筒までの離隔距離を必要とされる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。

- ・復水貯蔵タンクへの熱影響

想定される船舶の火災による輻射の影響に対し、船舶から復水貯蔵タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離以上確保することにより、復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し、漂流船舶から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離(55m)以上確保することにより、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し、漂流船舶から高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離(31m)以上確保することにより、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.4)】

e. 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災・爆発

(a) 火災の影響

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

【別添資料1(2.2.2.5)】

発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等を第1.7.9-3表、第1.7.9-4図及び第1.7.9-5図に示す。

i) 火災の想定

- ・ 危険物貯蔵施設等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量とする。
- ・ 離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設等の位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・ 危険物貯蔵施設等の破損等による防油堤内又は設備本体内での全面火災を想定する。
- ・ 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 変圧器の防火設備の消火機能等には期待しない。

【別添資料1(2.2.2.5)】

ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物貯蔵施設等のうち、離隔距離や危険物貯蔵量から発電用原子炉施設への熱影響が大きくなると想定される軽油タンク、大容量電源装置、静止型原子炉再循環ポンプ用電源装置入力変圧器、所内変圧器及び補助ボイラー変圧器とする。

【別添資料1(2.2.2.5)】

なお、屋外に設置する危険物貯蔵施設等のうち、屋内設置の設備、地下設置の設備、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)】

また、危険物を内包する車両等は、軽油タンクに比べ貯蔵量が少なく、ま

た軽油タンクと発電用原子炉施設の距離に比べ離隔距離が長いことから、評価対象とした軽油タンク火災の評価に包絡される。

【別添資料1(2.2.2.5)】

iii) 評価対象施設への熱影響

(i) 原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋への熱影響

・1号炉軽油タンク

1号炉軽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：221W/m²，タービン建屋：802W/m²，制御建屋：279W/m²）で各建屋外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・3号炉軽油タンク

3号炉軽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：274W/m²，タービン建屋：120W/m²，制御建屋：121W/m²）で各建屋外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・大容量電源装置

大容量電源装置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：9W/m²，タービン建屋：7W/m²，制御建屋：7W/m²）で各建屋外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・静止型原子炉再循環ポンプ用電源装置入力変圧器

静止型原子炉再循環ポンプ用電源装置入力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（原子炉建屋：4,619W/m²）で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度200℃以下とすることで、当該建

屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 所内変圧器

所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（タービン建屋：4,416W/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圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 補助ボイラー変圧器

補助ボイラー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（制御建屋：1,385W/m²）で制御建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(ii) 排気筒への熱影響

- ・ 3号炉軽油タンク

3号炉軽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（233W/m²）で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の温度を鋼材の強度が維持される温度である325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(iii) 復水貯蔵タンクへの熱影響

- ・ 3号炉軽油タンク

3号炉軽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（330W/m²）で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして算出する温度を復水貯蔵タンクの許容温度である66℃以下とすることで、復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

(iv) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの熱影響

- ・ 1号炉軽油タンク

1号炉軽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（225W/m²）で原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして算出する冷却空気の温度を、上部軸受の機能維持

に必要な温度である40℃以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

1号炉軽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（225W/m²）で高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして算出する冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である55℃以下とすることで、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.5)】

(4) 航空機墜落による火災

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

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

【別添資料1(2.3)】

a. 対象航空機の選定方法

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

ここで、対象となる飛行範囲等において落下事故の実績がないカテゴリのうち計器飛行方式民間航空機の「航空路を巡航時」等の全国において落下事故の実績がないカテゴリについては落下事故が保守的に0.5件発生したものとして評価した。

また、カテゴリごとの対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、訓練中の事故等、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ、かつ、民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。これらを踏まえて選定した落下事故のカテゴリと対象航空機を第1.7.9-4表に示す。

【別添資料1(2.3)】

b. 航空機墜落による火災の想定

- (a) 航空機は、発電所における航空機落下確率評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- (d) 気象条件は無風状態とする。

(e) 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

【別添資料1(2.3)】

c. 評価対象範囲

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

【別添資料1(2.3)】

d. 評価対象施設への熱影響

(a) 原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋への熱影響

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

各航空機の輻射強度を第1.7.9-4表に示す。

(b) 排気筒への熱影響

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

(c) 復水貯蔵タンクへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する復水貯蔵タンクの温度を、許容温度である 66°C 以下とすることで、復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

(d) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、上部軸受の機能維持に必要な許容温度である 40°C 以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(e) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの冷却空気の

温度を、軸受の機能維持に必要な許容温度である55℃以下とすることで、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.3)】

e. 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。

航空機墜落火災として想定する機種は、評価結果が最も厳しいF-15とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は、評価結果が最も厳しい3号炉軽油タンクとする。

(a) 原子炉建屋への熱影響

F-15と3号炉軽油タンク2基について、同時に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℃以下とすることで、原子炉建屋の安全機能を損なわない設計とする。

(b) タービン建屋及び制御建屋への熱影響

F-15と1号炉軽油タンクについて、同時に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℃以下とすることで、タービン建屋及び制御建屋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と3号炉軽油タンク2基について、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の温度を鋼材の強度が維持される温度である325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(d) 復水貯蔵タンクへの熱影響

B747-400と1号炉軽油タンクについて、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する復水貯蔵タンクの温度を許容温度である66℃以下とすることで、復水貯蔵タンクの安全機能を損なわない設計とする。

(e) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

F-15 と 1 号炉軽油タンクについて、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、上部軸受の機能維持に必要な温度である 40℃以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

(f) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの熱影響

F-15 と 1 号炉軽油タンクについて、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である 55℃以下とすることで、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1(2.3)】

(5) 二次的影響（ばい煙等）

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、外気を取り込む評価対象施設を抽出した上で、第1.7.9-5表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.4)】

a. 換気空調系

外気を取り込む空調系統として、原子炉建屋、原子炉補機エリア、中央制御室、計測制御電源エリアの換気空調系がある。

これらの外気取入口には、フィルタを設置することにより、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上の粒径のばい煙粒子については、フィルタにより侵入しにくい設計とすることにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行うことにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、それ以外の換気空調系については、空調機を停止し、外気取入れを遮断することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.4)】

b. 安全保護系

安全保護系設備は、安全保護系盤が中央制御室に設置してある。中央制御室への外気取入経路には、フィルタを設置することにより、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。

フィルタにより侵入を阻止できなかったばい煙が侵入する可能性がある場合、空調機を停止すること等ではばい煙の侵入を阻止することが可能である。また、安全保護系設備は粒径 $2\mu\text{m}$ 以下のばい煙粒子に対し、短絡が生じないようにすることにより、安全保護系の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.4)】

- c. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の吸気系統に付属するフィルタを設置し、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。フィルタを通過したばい煙粒子（数 μm ～10数 μm ）が過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の隙間はばい煙粒子に比べて十分大きく、閉塞に至ることを防止することで非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.4)】

- d. 原子炉補機冷却海水ポンプ

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

また、ばい煙粒子の粒径は、空気冷却器冷却管の内径に比べて十分に小さく、閉塞を防止することにより原子炉補機冷却海水ポンプ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)】

- e. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、外気を直接電動機内部に取り込まない外扇形の冷却方式の全閉構造であり、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

また、電動機軸受への侵入防止構造とすることにより高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.4)】

- f. 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
の排気口

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の排気口は、屋外に開口部を有しているが、ばい煙が内部に侵入した場合においても、ディーゼル発電機の動作時には進入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響を及ぼすことはない。

【別添資料1(2.4)】

g. 火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については、中央制御室換気系における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室換気系については、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行う。また、それ以外の換気空調系については、空調機を停止し、外気取入れを遮断する。

【別添資料 1(2.4)】

1.7.9.2 体制

火災発生時の発電用原子炉施設の保全のための活動を行うため、通報連絡責任者、消火担当等が常駐するとともに、所員により編成する自衛消防組織を設置する。

自衛消防組織のための要員を、第1.7.9-6表に示す。

1.7.9.3 手順

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

- (1) 防火帯の維持・管理においては、定期的な点検等の方法を火災防護計画に定め、実施する。
- (2) 予防散水においては、手順を整備し、予防散水エリアごとに使用水源箇所を定め、消火栓及び消防自動車を使用し、現場指揮者の指揮のもと自衛消防隊が実施する。なお、万一、防火帯の内側に飛び火した場合は、自衛消防隊の活動を予防散水から防火帯内火災の初期消火活動に切り替え、消防自動車を使用し、継続して現場指揮者の指揮のもと初期消火活動・延焼防止活動を行う。
- (3) 外部火災によるばい煙発生時には、外気取入口に設置しているフィルタの交換、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は再循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には、外気取入ダンパの閉止、換気空調系の停止又は再循環運転により、建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。
- (5) 外部火災による中央制御室へのばい煙等の侵入阻止に係る教育を定期的に行う。
- (6) 森林火災から評価対象施設を防護するための防火帯の点検等に係る火災防護に関する教育を定期的に行う。
- (7) 近隣の産業施設の火災・爆発から評価対象施設を防護するために、離隔距離

- を確保すること等の火災防護に関する教育を定期的実施する。
- (8) 外部火災発生時の予防散水に必要な消火対応力を維持するため、自衛消防隊を対象とした教育・訓練を定期的実施する。

【別添資料 2(1～3)】

第 1.7.9-1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外 10 km圏内に発火点を設定した女川原子力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 10 km圏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
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機落下時の火災

【別添資料 1(1~2)】

第 1.7.9-2 表 評価対象施設

防護対象	評価対象施設
外部火災防護対象施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む） ・排気筒 ・復水貯蔵タンク ・原子炉補機冷却海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
外部火災防護対象施設を内包する建屋（外部事象防護対象施設である建屋を除く）	<ul style="list-style-type: none"> ・タービン建屋 ・制御建屋

【別添資料 1(1~3)】

第 1.7.9-3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設等の一覧
(1 / 3)

号炉	危険物施設名	製造所等の別	危険物の類		品名	最大数量	詳細評価要否
1号炉	補助ボイラー設備	一般取扱所	第四類	第三石油類	重油	67.085kl	× (建屋内設置)
1号炉	620 kl 軽油貯蔵タンク	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	620 kl	○
1号炉	非常用ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	30.26 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8 kl	
1号炉	主油タンク, 油清浄機, 油補給タンク	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	95.5 kl	× (建屋内設置)
2号炉	330 kl 軽油貯蔵タンク (A)	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	× (地下設置)
2号炉	330 kl 軽油貯蔵タンク (B)	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	× (地下設置)
2号炉	非常用ディーゼル発電設備 (A)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.664 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8.8 kl	
2号炉	非常用ディーゼル発電設備 (B)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.664 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8.8 kl	
2号炉	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	21.456 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	1.8 kl	
2号炉	タービン関連設備	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	177.38 kl	× (建屋内設置)
3号炉	330kl 軽油貯蔵タンク (A)	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	○
3号炉	330kl 軽油貯蔵タンク (B)	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	○
3号炉	非常用ディーゼル発電設備 (A)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.112 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	7 kl	
3号炉	非常用ディーゼル発電設備 (B)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.112 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	7 kl	
3号炉	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	21.456 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	1.8 kl	
3号炉	タービン関連設備	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	122.5 kl	× (建屋内設置)

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.7.9-3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設等の一覧
(2 / 3)

号炉	危険物施設名	製造所等の別	危険物の類		品名	最大数量	詳細評価要否
その他	大容量電源装置	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	74.025k1	× (常時「空」)
その他	大容量電源装置	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	90 k1	○
			第四類	第四石油類	潤滑油	10 k1	
その他	タンクローリ	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	灯油	4 k1	× (常時「空」)
			第四類	第二石油類	軽油	4 k1	
			第四類	第三石油類	重油	3.66 k1	
その他	タンクローリ	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	灯油	4 k1	× (常時「空」)
			第四類	第二石油類	軽油	4 k1	
			第四類	第三石油類	重油	3.66 k1	
その他	タンクローリ (第3保管エリア)	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	100 l	× (貯蔵容量, 距離)
その他	タンクローリ (第4保管エリア)	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	100 l	× (貯蔵容量, 距離)
その他	ガスタービン発電機用 軽油タンク	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 k1	× (地下設置)

網掛け箇所：評価対象となる設備

第 1.7.9-3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設等の一覧

(3 / 3)

号炉	設備名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
共用	予備変圧器	絶縁油 (重油相当)	10,000L	× (他評価に包絡)
1号炉	主変圧器	絶縁油 (重油相当)	100,000L	× (他評価に包絡)
1号炉	起動変圧器	絶縁油 (重油相当)	48,000L	× (他評価に包絡)
1号炉	所内変圧器	絶縁油 (重油相当)	14,000L	× (他評価に包絡)
2号炉	主変圧器	絶縁油 (重油相当)	138,000L	× (輻射影響なし)
2号炉	起動変圧器	絶縁油 (重油相当)	66,000L	○
2号炉	所内変圧器	絶縁油 (重油相当)	15,000L	○
2号炉	励磁変圧器	絶縁油 (重油相当)	7,800L	× (輻射影響なし)
2号炉	補助ボイラー変圧器	絶縁油 (重油相当)	24,400L	○
2号炉	静止型原子炉再循環ポンプ用 電源装置入力変圧器	絶縁油 (重油相当)	6,250L	○
3号炉	主変圧器	絶縁油 (重油相当)	138,000L	○
3号炉	起動変圧器	絶縁油 (重油相当)	40,000L	○
3号炉	所内変圧器	絶縁油 (重油相当)	13,000L	× (他評価に包絡)
3号炉	励磁変圧器	絶縁油 (重油相当)	7,400L	○
3号炉	補助ボイラー変圧器	絶縁油 (重油相当)	18,000L	× (他評価に包絡)
3号炉	静止型原子炉再循環ポンプ 用電源装置入力変圧器	絶縁油 (重油相当)	6,250L	× (他評価に包絡)
共用	焼却炉用 プロパンガスボンベ	L P ガス	1000kg	× (屋内設置)
1号炉	補助ボイラー用 プロパンガスボンベ	L P ガス	400kg	× (屋内設置)
1号炉	水素ガスボンベ	水素ガス	52.1556kg	× (屋内設置)
2号炉	水素ガスボンベ	水素ガス	37.254kg	× (屋内設置)
3号炉	水素ガスボンベ	水素ガス	26.0778kg	× (屋内設置)

網掛け箇所：評価対象となる設備

【別添資料 1(2.2.2.5)】

第 1.7.9-4 表 落下事故のカテゴリと対象航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 [m]	輻射強度 [W/m ²]	
計器飛行方式 民間航空機	航空路巡航中	B747-400	85	2,790	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（固定翼機及び回転翼機）				
	小型機（固定翼機及び回転翼機）	Do228-200	—※1		
自衛隊機又は米軍機	訓練区域外を飛行中	高高度巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	111	1,179
		訓練空域外を飛行中のその他の機種	F-15	21	3.360
	基地－訓練空域間往復時	F-2	25	1,963	

※1 「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち、燃料積載量が最大となる Do228-200 であっても約 3m³と少量であることから、Do228-200 よりも燃料積載量が多い「有視界飛行方式民間航空機のうち大型機（固定翼機及び回転翼機）」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

【別添資料 1(2.3)】

第 1.7.9-5 表 ばい煙等による影響評価

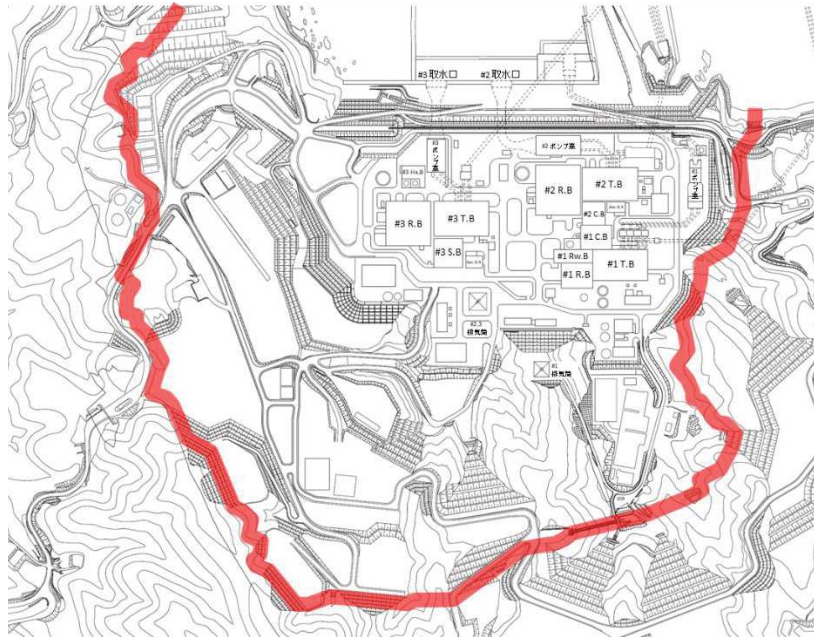
分類		評価対象設備
機器への影響	外気を取り込む屋外設備	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
	換気空調系で給気されるエリアの設置機器	<ul style="list-style-type: none"> 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む。） 安全保護系
	外気を取り込む屋外設置機器	<ul style="list-style-type: none"> 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気口
居住性への影響		<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室 緊急時対策所

【別添資料 1(2.4)】

第 1.7.9-6 表 自衛消防隊編成

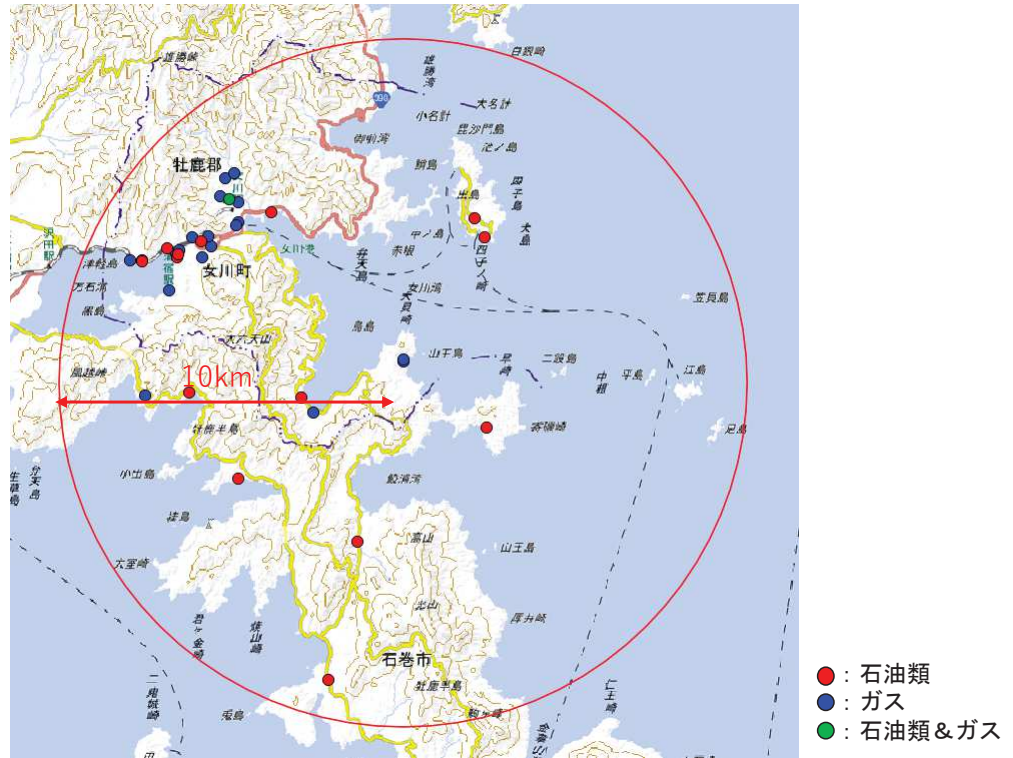
構成	所属等	役割	
自衛消防隊長	発電所長 (1)	a. 自衛消防隊の全体指揮 b. 現場責任者及び現場指揮者の選任	
自衛消防隊長代行者 兼副隊長	指名者 (1)	a. 自衛消防隊長不在時の代行	
統括管理者	保全部長 (1)	a. 自衛消防組織の統括管理 b. 火災等発生時の発電所本部での総指揮及び情報管理	
火災防護対策管理者	計画管理課長 (1)	a. 統括管理者の補佐 b. 消火方針の立案 c. 原子力安全のための火災防護に関する指導	
初期 消火 要員	通報連絡責任者	通報連絡責任者：発電課長 (1)	a. 消防機関及び関係個所への通報連絡 b. 初期消火要員への出動要請
	現場責任者	現場責任者：特別管理職 (1)	a. 消防機関への情報提供 b. 消防機関の誘導 平日昼間：現地指揮本部までの誘導 平日夜間・休祭日：火災現場への誘導
	現場指揮者	現場指揮者：特別管理職 (1)	a. 火災現場確認 b. 火災現場での消火指揮 c. 消火器又は屋内消火栓による消火活動等
	消火担当	・平日昼間（周辺防護区域内） 運転員 (1) ・平日昼間（周辺防護区域外） 保全部員 (1) ・平日夜間・休祭日 運転員 (1)	a. 火災現場確認 b. 消火器又は屋内消火栓による消火活動
	消防車隊	委託員 (6)	a. 消防車隊の消防指揮 b. 消防自動車のアクセスルート及び配備場所の指示等 c. 化学消防自動車の機関員 d. 化学消防自動車の連結作業 e. 消防自動車による消火活動（筒先） f. 泡消火薬剤の補充 g. 消防ホースの延長等
消火班	班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 消火器，消火栓等により消火活動	
避難誘導班	班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 消防機関の火災現場への誘導	
情報連絡班	班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 社内関係個所への連絡，本店対策室との連絡調整 b. 火災情報の収集	
総務班	班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 救護，警備	
影響評価班	班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. プラント内の放射能の状況調査	

() 内は人数



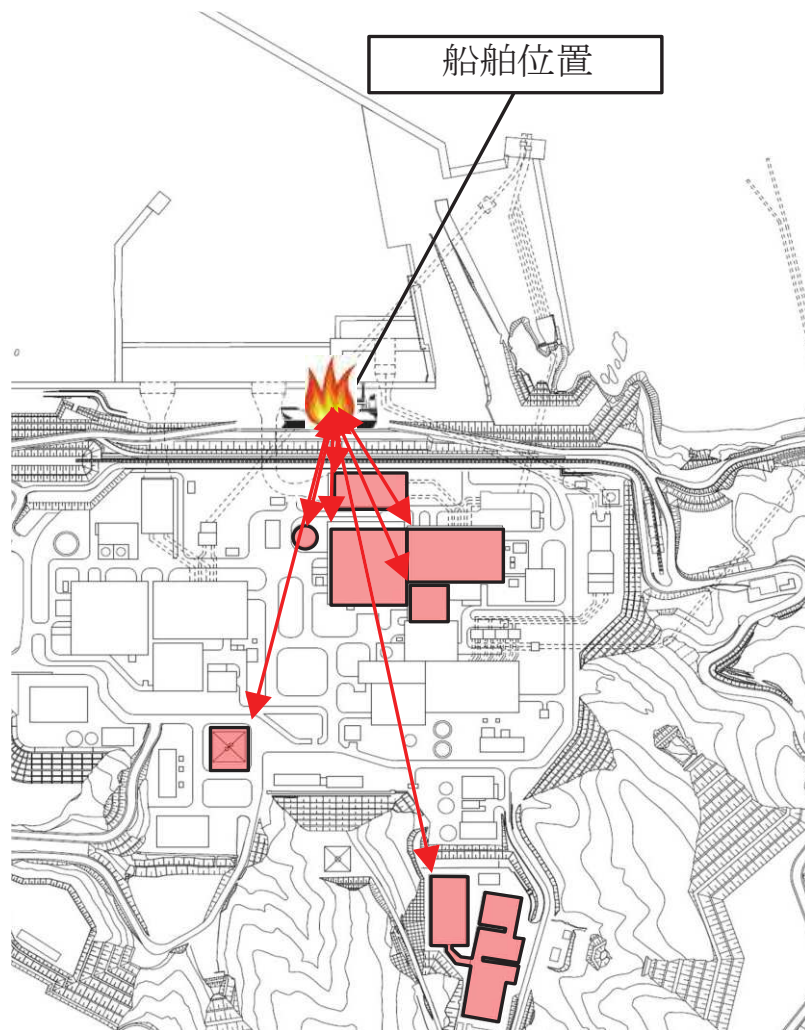
第1.7.9-1図 防火帯配置図

【別添資料 1(1~3)】

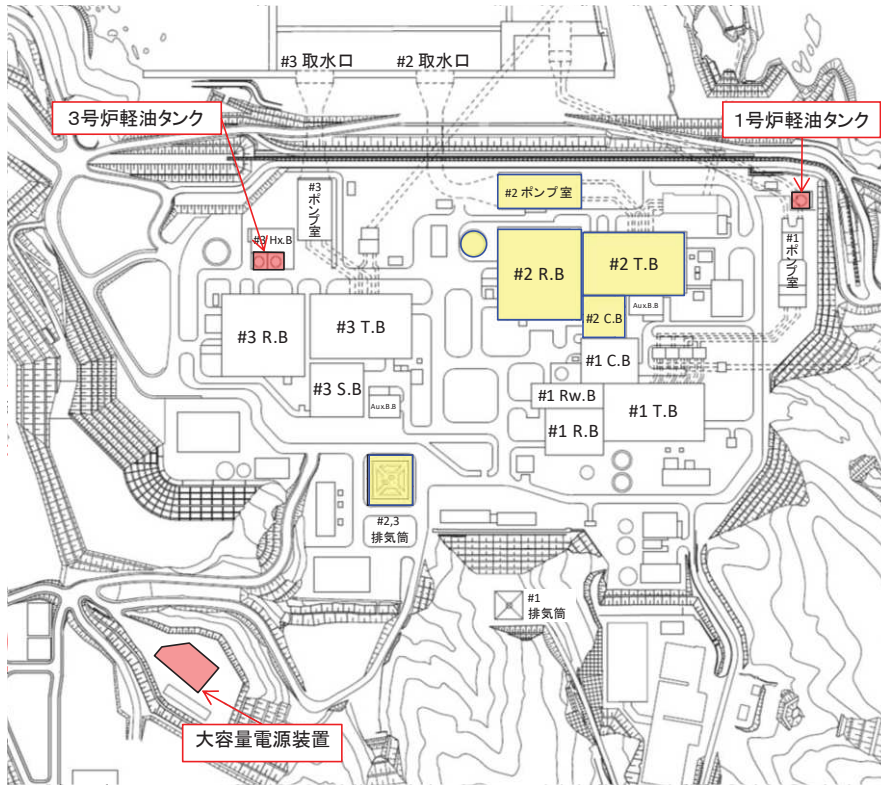


第1.7.9-2図 発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設等

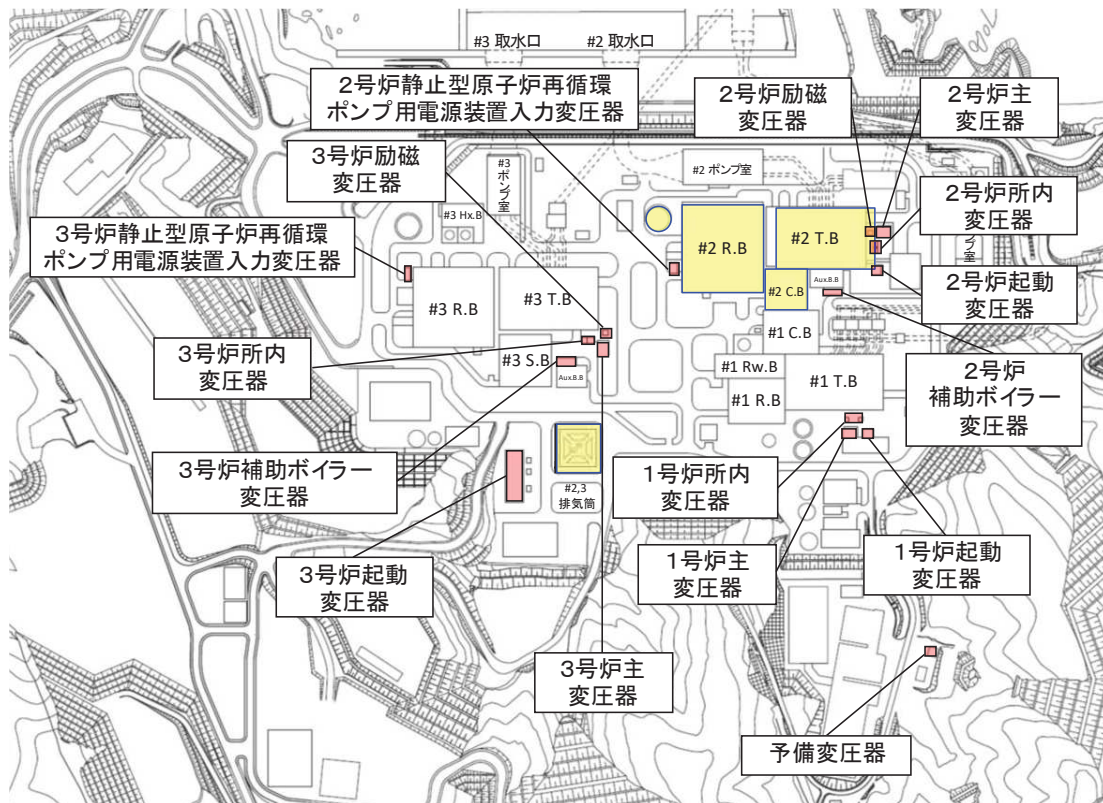
【別添資料1(2.2.2.2)】



第 1.7.9-3 図 重油運搬船火災想定位置と原子炉施設との位置関係



第 1.7.9-4 図 危険物貯蔵施設等の位置



第 1.7.9-5 図 変圧器の位置

(3) 適合性説明

第六条 外部からの衝撃による損傷の防止

- 1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
- 2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
- 3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

第1項について

発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）については、敷地及び敷地周辺の自然環境を基に洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地すべり、火山の影響、生物学的事象、森林火災を選定し、設計基準を設定するに当たっては、発電所の立地地域である女川町に対する設定値が定められている規格・基準類による設定値及び発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された過去の記録並びに大船渡特別地域気象観測所で観測された過去の記録をもとに設定する。また、これらの自然現象ごとに関連して発生する可能性がある自然現象も含める。

安全施設は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものももたらす環境条件及びその結果として安全施設で生じ得る環境条件を考慮する。

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

(10) 森林火災

敷地外の森林から出火し、敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は、自衛

消防隊が出動し、予防散水等の延焼防止措置を行う。また、敷地内の植生へ延焼した場合であっても、森林火災シミュレーション（FARSITE）による影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、安全機能が損なわれることはない。

また、上記以外の安全施設については、建屋による防護、消火活動、代替設備による必要な機能の確保等の対応又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.1)】

森林火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響に対して、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む空調系統、屋外設置機器に分類し、影響評価を行い、必要な場合は対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.4)】

第3項について

発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）は、発電所及びその周辺での発生の可能性、安全施設への影響度、発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から、発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として、飛来物（航空機落下）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害を選定する。

安全施設は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

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

(3) 爆発

発電所敷地外10km 以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による安全施設への影響については考慮する必要はない。

発電所敷地外10km 以内の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から爆発が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保により、安全機能を損なわない設計とする。航行中の船舶が漂流し爆発が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保等により、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、離隔距離の確保、代替設備による必要な機能の確保、安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらを適切に組み

合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2)】

(4) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設等の火災

発電所敷地外10km 以内の範囲において、火災により評価対象施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による安全施設への影響については考慮する必要はない。

発電所敷地外10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設以外の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から火災が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保等により、安全機能を損なわない設計とする。発電所港湾内の船舶が火災が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保等により、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2)】

b. 発電所敷地内に存在する危険物貯蔵施設等の火災

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災発生時の輻射熱による評価対象施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.2.2.5)】

c. 航空機墜落による火災

原子炉建屋周辺に航空機が墜落し、燃料火災が発生した場合、直ちに公設消防へ通報するとともに、自衛消防隊が出動し、速やかに初期消火活動を行う。

航空機が外部事象防護対象施設である原子炉建屋等の周辺で落下確率が 10^{-7} 回/炉・年以上になる地点へ墜落することを想定しても、火災の影響により安全機能を損なわない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、建屋による防護、消火活動、代替設備による必要な機能の確保、安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.3)】

d. 二次的影響（ばい煙等）

石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響に対して、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む空調系統及び屋外設置機器に分類し、影響評価を行い、必要な場合は対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1(2.4)】

(5) 有毒ガス

有毒ガスの漏えいについては固定施設（石油コンビナート施設等）と可動施設（陸上輸送，海上輸送）からの流出が考えられる。発電所周辺には周辺監視区域が設定されているため，発電用原子炉施設と近隣の施設や周辺道路との間には隔離距離が確保されていることから，有毒ガスの漏えいを想定した場合でも，中央制御室の居住性を損なうことはない。

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

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

【別添資料1(2.4)】

1.9.3 参考文献

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

4. 社会環境

4.1 産業活動

発電所の近くには，爆発，火災及び有毒ガスにより発電用原子炉施設の安全性を損なうような石油コンビナート等の施設はない。したがって，産業活動に伴う爆発，火災及び有毒ガスによって，安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

5. 気象

5.2 最寄りの気象官署の資料による一般気象

5.2.5 その他の資料による一般気象

5.2.5.2 森林火災

森林火災検討に係る女川原子力発電所の最寄りの気象観測所（石巻特別地域気象観測所及び江ノ島観測所）の気象データ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最小湿度）（2008年～2017年）及び発電所の位置する宮城県の「消防防災年報」（2006年～2015年）について，第5.2-53表，第5.2-54表に示す。また，森林火災発生件数の多い3月～5月における最寄りの気象観測所（江ノ島観測所）の気象データ（卓越風向）について，第5.2-54表に示す。

第 5.2-53 表 月別の森林火災件数 (注1)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
件数	25	30	93	133	70	33	6	16	6	5	6	9

注1: 「消防防災年報」(宮城県 2006年～2015年)より

第 5.2-54 表 気象データ(気温, 風速及び湿度) (注1)

年月	江ノ島				石巻			
	最多風向	最高 気温 [°C]	最大風速		最高 気温 [°C]	最小 湿度 [%]	最大風速	
			最大風速 [m/s]	風向			最大風速 [m/s]	風向
2008年3月	西北西	13.7	17.0	北北東	16.2	23	14.1	西北西
2009年3月	西北西	16.2	14.3	北西	16.9	22	16.7	西北西
2010年3月	西北西	13.5	20.3	北北東	15.9	27	18.2	西北西
2011年3月	西北西	10.6	13.8	西北西	18.6	29	13.6	西北西
2012年3月	西北西	13.1	16.4	北北西	13.4	34	16.6	西北西
2013年3月	西北西	17.2	20.5	西北西	17.5	24	19.5	西北西
2014年3月	西北西	18.9	19.6	北北西	19.3	25	16.9	西北西
2015年3月	西北西	16.6	16.8	西北西	17.1	18	20.4	東南東
2016年3月	西北西	16.4	14.9	北西	16.7	21	14.1	西北西
2017年3月	西北西	14.2	16.4	北北東	13.3	28	17.3	西北西
2008年4月	北北東	19.9	20.5	北北東	20.5	15	21.3	北東
2009年4月	西北西	21.5	18.4	北北東	22.4	19	15.6	西北西
2010年4月	西北西	15.2	14.8	西北西	16.1	28	14.0	西北西
2011年4月	欠測(震災による測定データ欠測)				21.0	19	15.6	北西
2012年4月	西北西	18.7	17.1	南	21.1	20	16.5	南南東
2013年4月	西北西	19.7	18.7	西北西	22.5	18	17.9	西北西
2014年4月	西北西	19.9	16.4	西北西	21.6	15	14.9	西北西
2015年4月	北 南南西	25.0	13.2	北西	24.0	16	13.6	西北西
2016年4月	南南西	18.6	17.2	西北西	20.9	18	16.8	南南東
2017年4月	西北西	21.3	19.8	西北西	25.2	20	16.3	西南西
2008年5月	北東	22.0	14.8	南東	24.4	18	16.3	東南東
2009年5月	南南西	23.2	13.5	西	24.9	17	16.5	西北西
2010年5月	北東 南南西 西北西	25.2	11.7	北西	27.1	26	13.4	西北西
2011年5月	欠測(震災による測定データ欠測)				22.7	26	23.8	北東
2012年5月	西北西	21.7	12.9	西北西	24.2	23	16.4	東南東
2013年5月	南	22.3	14.2	北北東	25.5	27	13.6	西北西
2014年5月	南南西	24.5	16.3	西北西	30.0	21	14.8	西
2015年5月	南南西	25.9	11.9	西北西	28.2	22	14.6	西北西
2016年5月	北	27.5	11.1	西北西	30.7	18	14.7	南南東
2017年5月	南南西	26.9	12.9	西北西	28.0	26	12.8	西北西

注1: 石巻特別地域気象観測所, 江ノ島気象観測所 観測記録(2008年～2017年)

第 5.2-55 表 気象データ (卓越風向) (注 1)

風向	最多風向出現回数 (日単位)			計
	3 月	4 月	5 月	
北	3	18	25	46
北北東	35	27	28	90
北東	14	19	24	57
東北東	3	3	1	7
東	2	0	2	4
東南東	4	1	2	7
南東	8	8	4	20
南南東	8	9	7	24
南	11	24	42	77
南南西	27	41	55	123
南西	6	4	8	18
西南西	0	3	0	3
西	9	8	5	22
西北西	104	69	47	220
北西	30	18	16	64
北北西	20	17	8	45

注 1 : 江ノ島気象観測所 観測記録 (2008 年～2017 年)

9. 生物

9.1 海生生物

発電所の前面海域において、クラゲの発生がみられることはあるが、平成7年7月の女川原子力発電所2号炉の営業運転開始以降、大量のクラゲの襲来により安全施設の安全機能が損なわれた記録はない。

9.2 植生

発電所の周辺にはスギ、マツ等の植生が認められているが、平成7年7月の女川原子力発電所2号炉の営業運転開始以降、発電所周辺の森林火災が原因で安全施設の安全機能が損なわれた記録はない。

女川原子力発電所 2 号炉
外部火災影響評価について

目次

1. 基本方針

- 1.1 基本事項
- 1.2 想定する外部火災
- 1.3 防護対象設備

2. 火災の影響評価及び安全機能を維持するための運用対策

- 2.1 森林火災
- 2.2 近隣の産業施設の火災・爆発及び二次的影響（飛来物）の評価
- 2.3 航空機墜落による火災
- 2.4 二次的影響（ばい煙，有毒ガス）の評価

添付資料

1. 外部火災影響評価対象の考え方について
2. 森林火災による影響評価について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 燃料輸送車両の火災・爆発について
5. 漂流船舶の火災・爆発について
6. 敷地内における危険物施設の火災について
7. 女川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評価について

<概要>

1. において、想定する外部火災及び評価内容を整理するとともに、外部火災からの防護対象設備を整理する。
2. において、想定する外部火災の影響評価結果及び原子炉施設の安全機能を維持するための運用対策を整理する。

1. 基本方針

1.1 基本事項

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下、「設置許可基準規則」という。）第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下、「外部火災影響評価ガイド」という。）に基づき、外部火災影響評価を行い、外部火災により、安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

1.2 想定する外部火災

設置許可基準規則第6条において、敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、航空機墜落による火災を挙げている。

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

- (1) 森林火災
- (2) 近隣の産業施設の火災・爆発
- (3) 航空機墜落による火災

また、具体的な評価内容等については、次のとおりである。

第 1.2-1 表 外部火災評価内容

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外 10 km 以内を発火点とした発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> ・森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) を用いた森林火災評価 ・森林火災評価に基づく原子炉施設の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・火炎到達時間評価 ・防火帯幅評価 ・熱影響評価 ・危険距離評価 	二次的影響 (ばい煙, 有毒ガス) 評価
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10 km 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等を考慮した危険距離及び危険限界距離評価	<ul style="list-style-type: none"> ・危険距離評価 ・危険限界距離評価 	
	発電所敷地内の危険物施設の火災	・発電所敷地内の危険物施設火災による熱影響評価	・熱影響評価	
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災	・落下を想定する航空機に相当する火災を想定した防護対象設備の熱影響評価	・熱影響評価	

1.3 防護対象設備 (添付資料-1 参照)

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に係る防護対象とする。

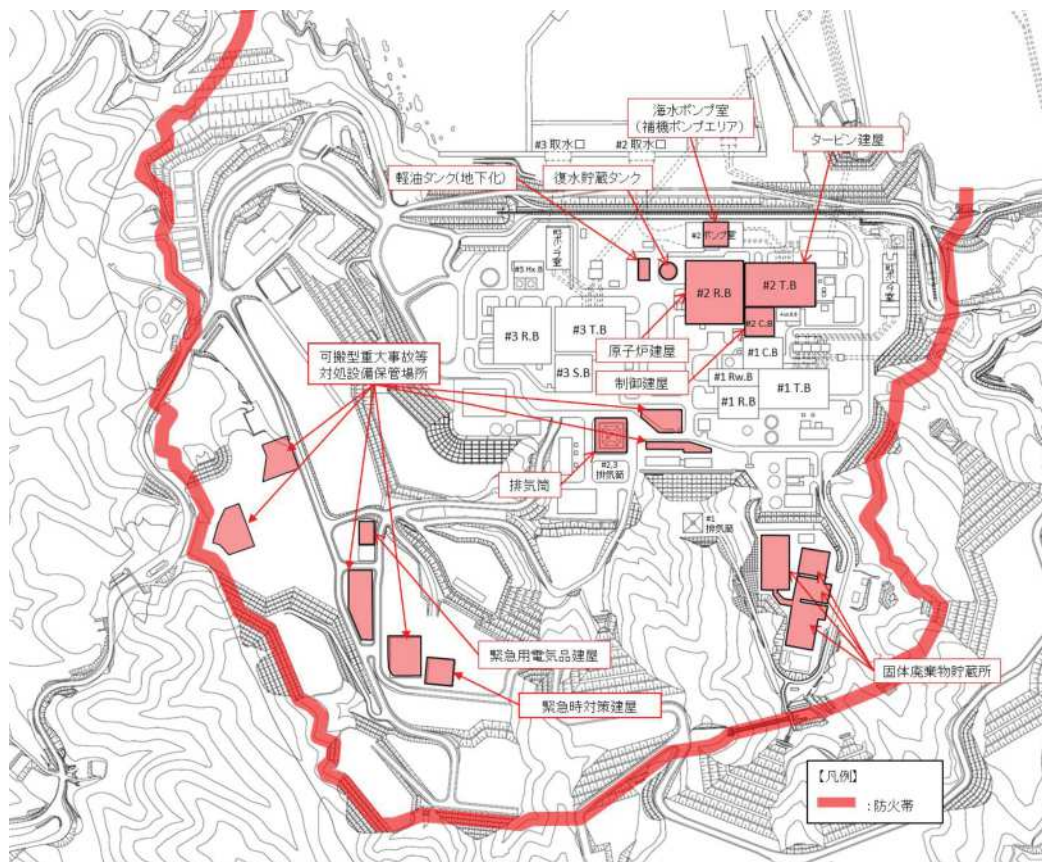
設置許可基準規則第 6 条における安全施設とは、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス 1, クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物, 系統及び機器 (以下「安全重要度分類のクラス 1, クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物, 系統及び機器」という。)とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設は、外部事象に対し必要な構築物, 系統及び機器 (発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物, 系統及び機器、並びに、使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物, 系統及び機器として安全重要度分類のクラス 1, クラス 2 及び安全評価上その機能に期待するクラス 3 に属する構築物, 系統及び機器) に加え、それらを内包する建屋とする。

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉施設の安

全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に対し安全機能を損なわない設計とする。

また、設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準対象施設であり、重大事故等対処施設ではないが、設計基準を超える事象が発生した場合に使用する重大事故等対処施設が、その前段の設計基準事象の自然現象によって機能喪失することは回避するべきであることから、原則防火帯の内側に配置し外部火災の熱影響を回避する。



第 1.3-1 図 外部火災に対する主要な防護対象設備配置図

2. 火災の影響評価及び安全機能を維持するための運用対策

2.1 森林火災（添付資料-2 参照）

2.1.1 評価内容

発電所敷地外で発生する森林火災が，発電所へ迫った場合でも原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

- (1) 火炎到達時間の評価
- (2) 防火帯幅の評価
- (3) 熱影響の評価
- (4) 危険距離の評価

2.1.2 評価要領

森林火災の解析にあたっては、外部火災影響評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）を使用し、以下の設定により解析した。

第 2.1.2-1 表 森林火災評価のための入力データ

データ種類	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	国土数値情報（国土交通省）の 100m メッシュの土地利用データを使用した。
植生データ	宮城県及び東北森林管理局より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に防火帯周辺の植生調査を実施した。 その結果から、保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種、林齢により細分化した。
地形データ	基盤地図情報（国土地理院）の 10m メッシュの標高データを使用した。 敷地内は、当社敷地配置図及び航空レーザー測量標高データを使用した。
気象データ	宮城県において森林火災の発生件数が多い 3 月から 5 月における過去 10 年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。 なお、風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。

10 年間の気象観測データで確認された森林火災発生件数の多い 3 月から 5 月の卓越風向は北北東、南南西及び西北西の 3 つのグループに分けられる。よって、卓越風向グループの 3 方向毎に人為的行動を想定した発火点を設定した。

発火点は以下の 4 地点を設定した。

（発火点 1）

卓越風向の北北東方向において、民宿、社員寮等の居住区が存在する小屋取地区の漁港沿いに発火点を選定する。（2 号炉原子炉炉心の中心から約 0.9km）

(発火点 2-1)

卓越風向の南南西方向において、発電所に近い県道沿いに発火点を選定する。(2号炉原子炉炉心の中心から約1.2km)

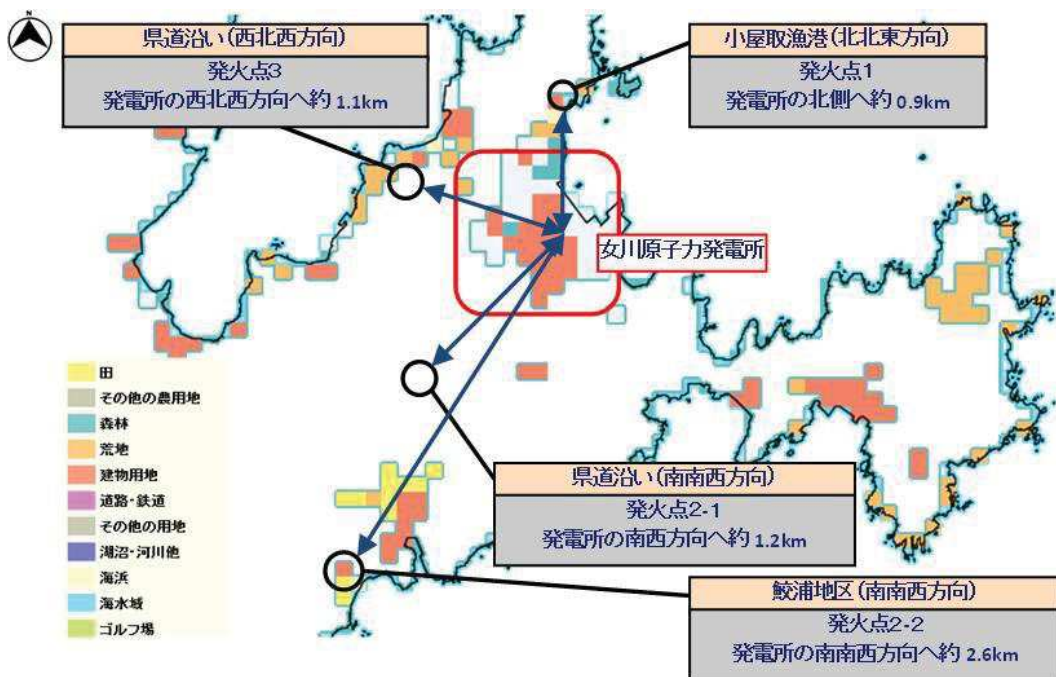
(発火点 2-2)

卓越風向の南南西方向において、居住地区及び田が存在する鯨浦地区に発火点を選定する。(2号炉原子炉炉心の中心から約2.6km)

(発火点 3)

卓越風向の西北西方向において、発電所周辺の道路沿いから、発電所に近い地点に発火点を選定する。(2号炉原子炉炉心の中心から約1.1km)

発電所を含む南、北及び西側へ12kmとし、東西16km、南北24kmの範囲を評価対象範囲として設定した。



第 2. 1. 2-1 図 発火点位置

2.1.3 評価結果

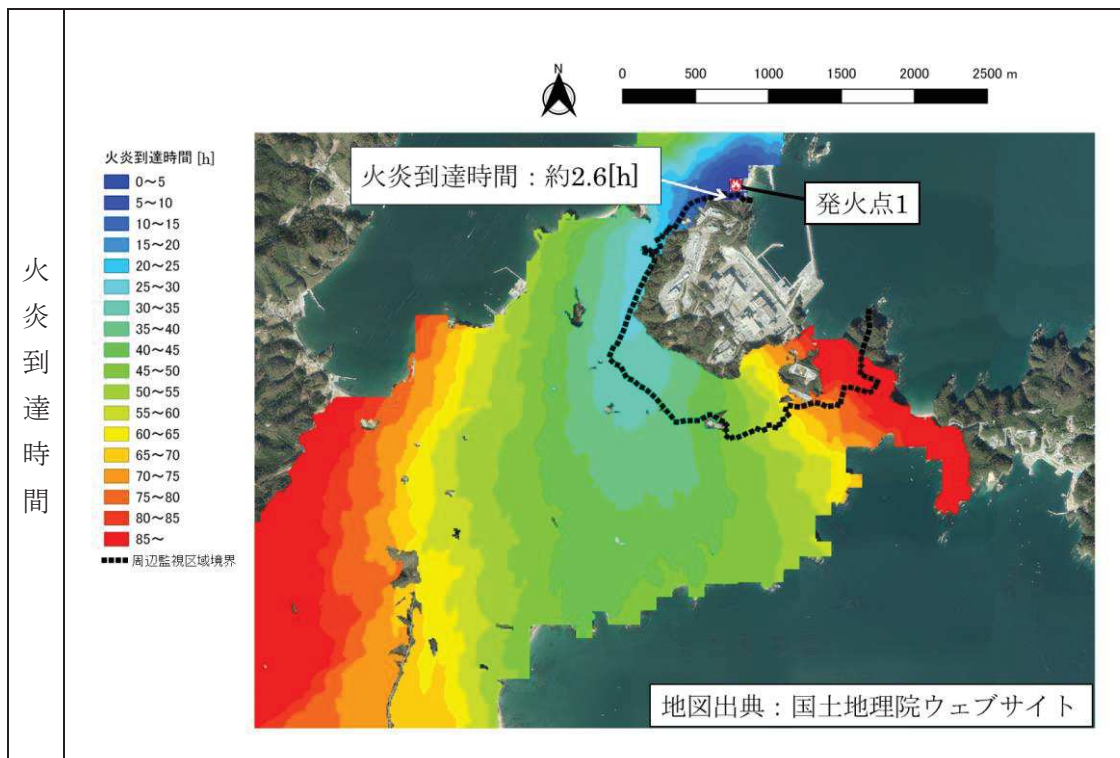
2.1.3.1 火炎到達時間の評価

(1) 火炎到達時間

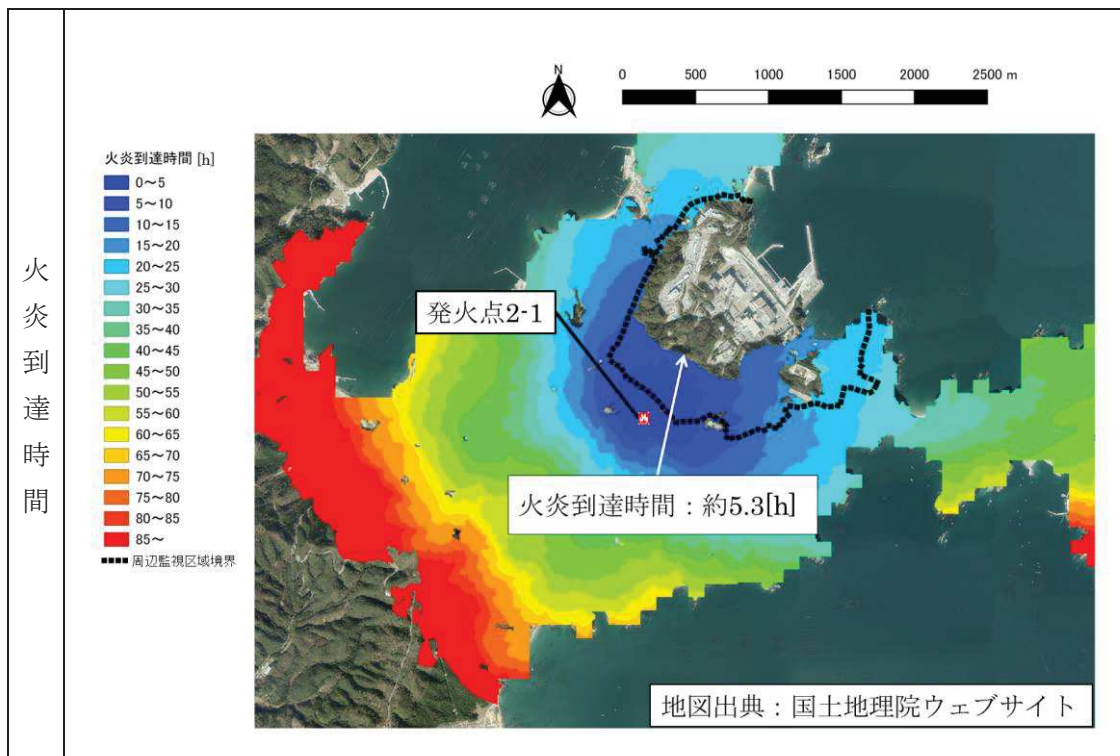
想定した森林火災による防火帯境界までの火炎到達時間は、最も到達時間が短い発火点3のケースで約1.8時間であることを確認した。

第2.1.3.1-1表 火炎到達時間

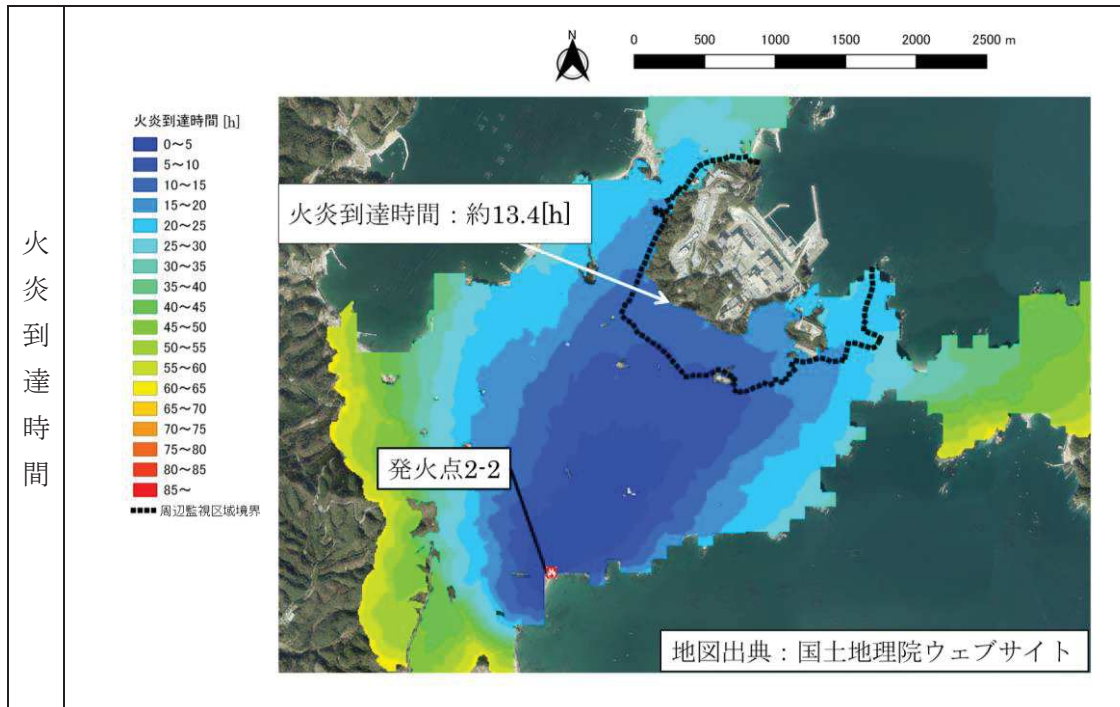
発火点位置	火炎到達時間[h]
発火点1	約2.6
発火点2-1	約5.3
発火点2-2	約13.4
発火点3	約1.8



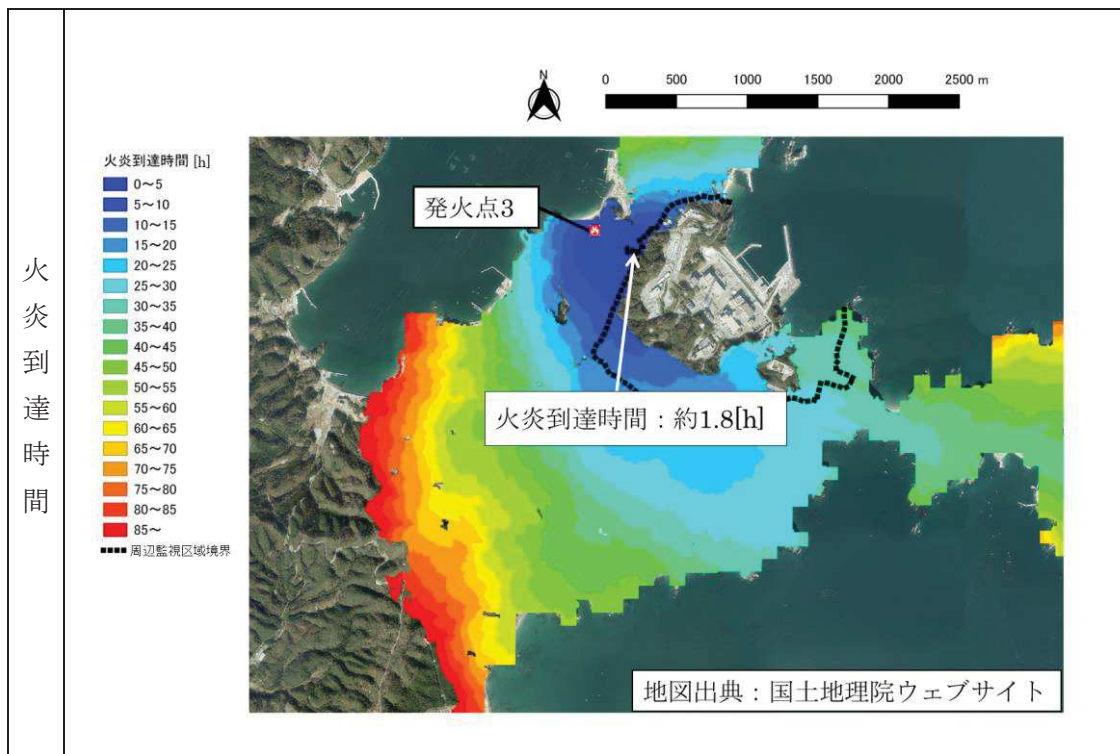
第 2. 1. 3. 1-1(a) 図 発火点 1：北（小屋取漁港道路沿い）の火炎到達時間



第 2. 1. 3. 1-1(b) 図 発火点 2-1：南西（県道 41 号線沿い）の火炎到達時間



第 2. 1. 3. 1-1(c) 図 発火点 2-2：南南西（鮫浦地区（田））
の火炎到達時間



第 2. 1. 3. 1-1(d) 図 発火点 3：西北西（塚浜地区道路沿い）
の火炎到達時間

(2) 予防散水活動及び体制

自衛消防隊の初期消火要員（10名）が24時間常駐しており、早期に予防散水活動の実施体制を確立することが可能であることから、火炎到達時間内での予防散水（周辺の樹木や防火帯等）が可能である。

なお、防火帯の外側に設置されているモニタリングポスト（クラス3）については、森林火災の進展により可搬型モニタリングポスト（防火帯の内側に保管）による代替測定を実施する。

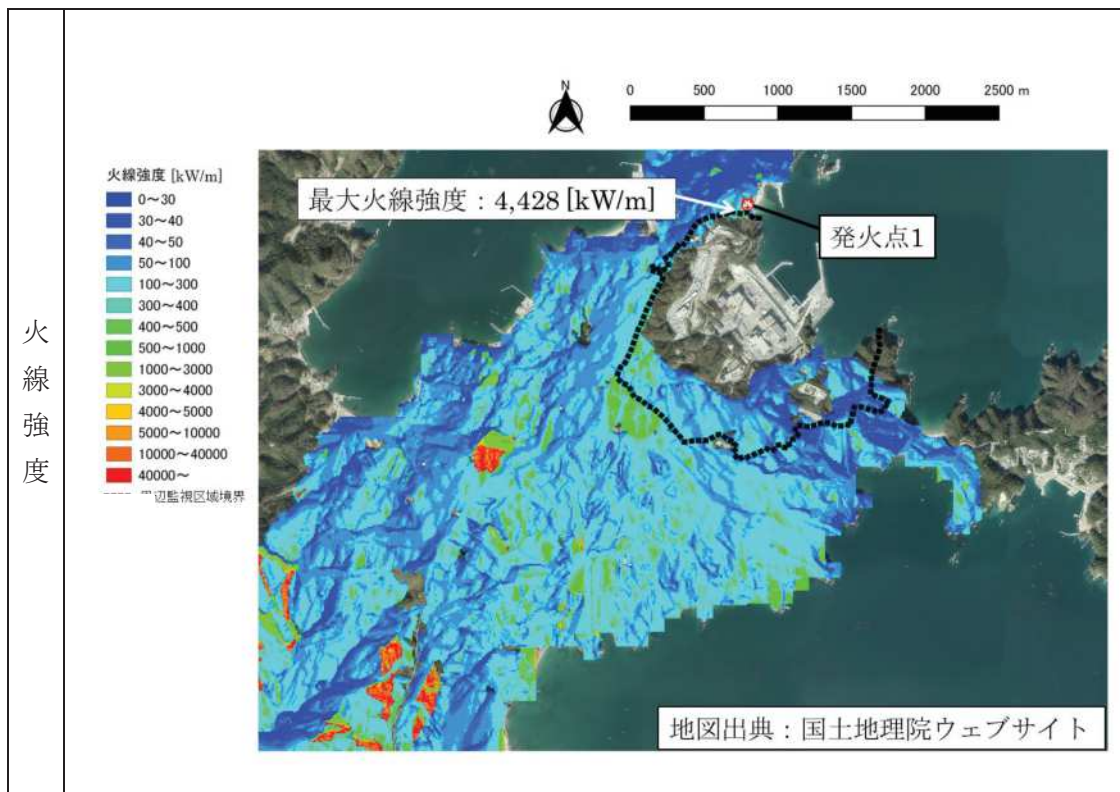
2.1.3.2 防火帯幅の評価

(1) 最大火線強度

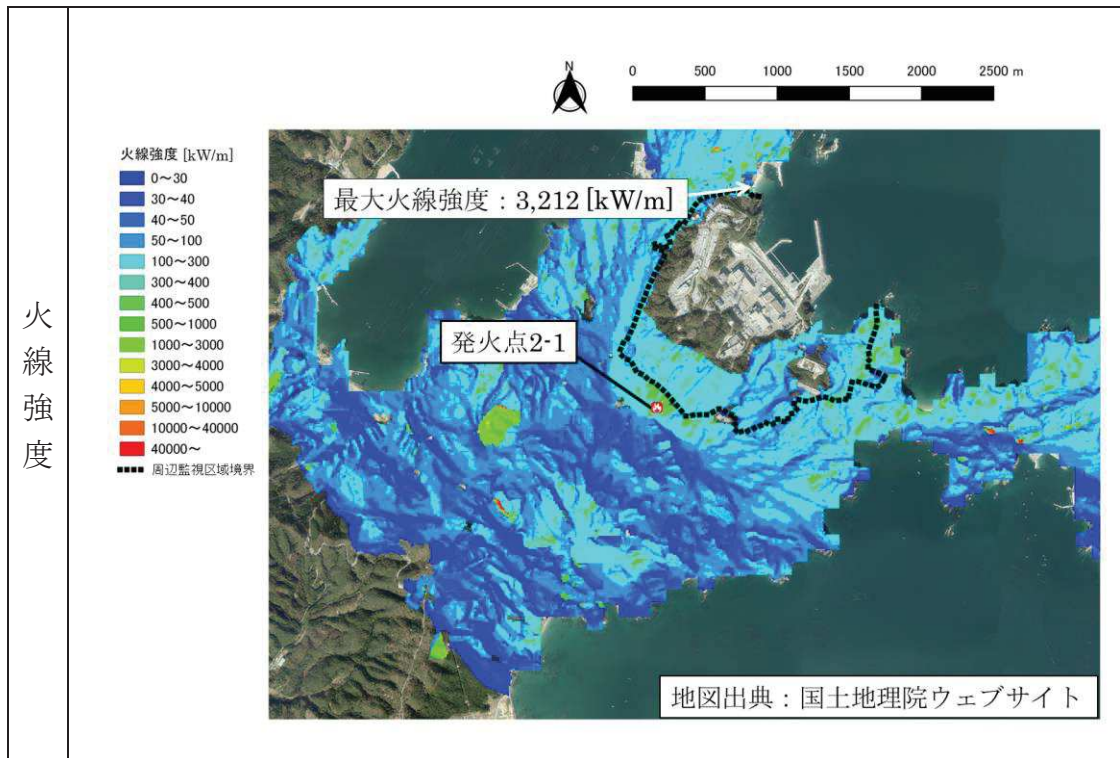
防火帯外縁より約100mの範囲における最大火線強度、火炎が防火帯外縁に最も早く到達する火炎到達時間は以下のとおりとなり、最も火線強度が高かった発火点1の結果から防火帯幅を決定する。火炎到達時間については、発火点3が最も早く到達する結果となった。

第2.1.3.2-1表 各発火点の最大火線強度

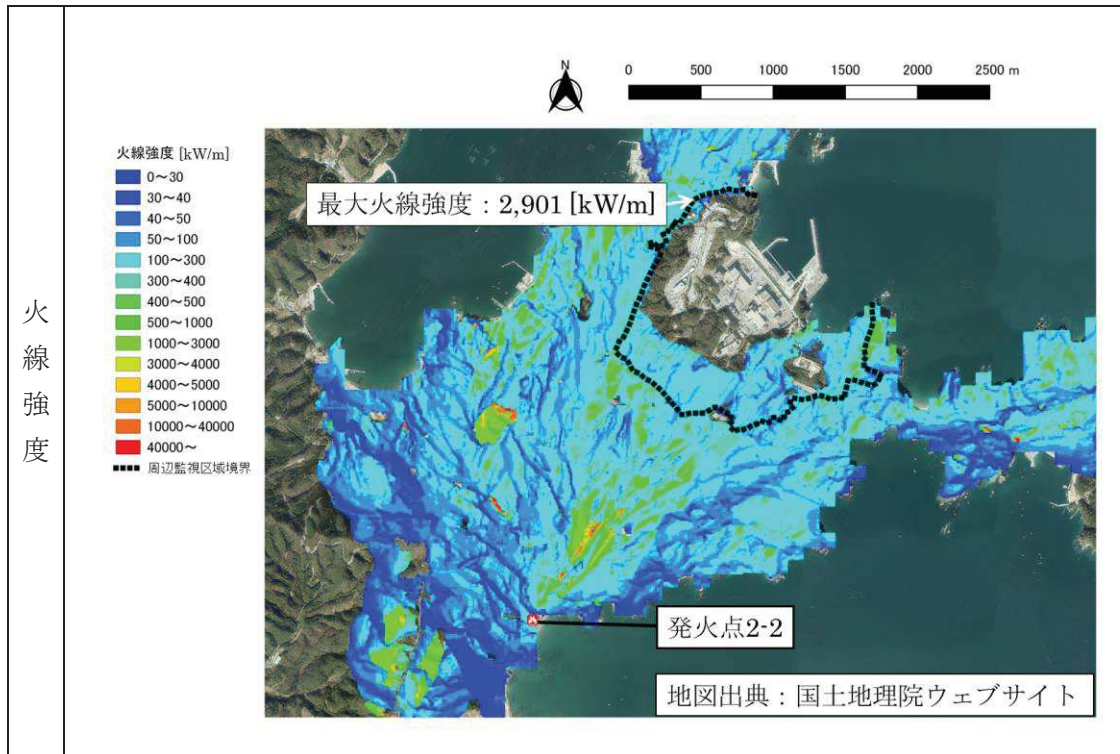
発火点位置	最大火線強度 [kW/m]
発火点 1	4,428
発火点 2-1	3,212
発火点 2-2	2,901
発火点 3	3,260



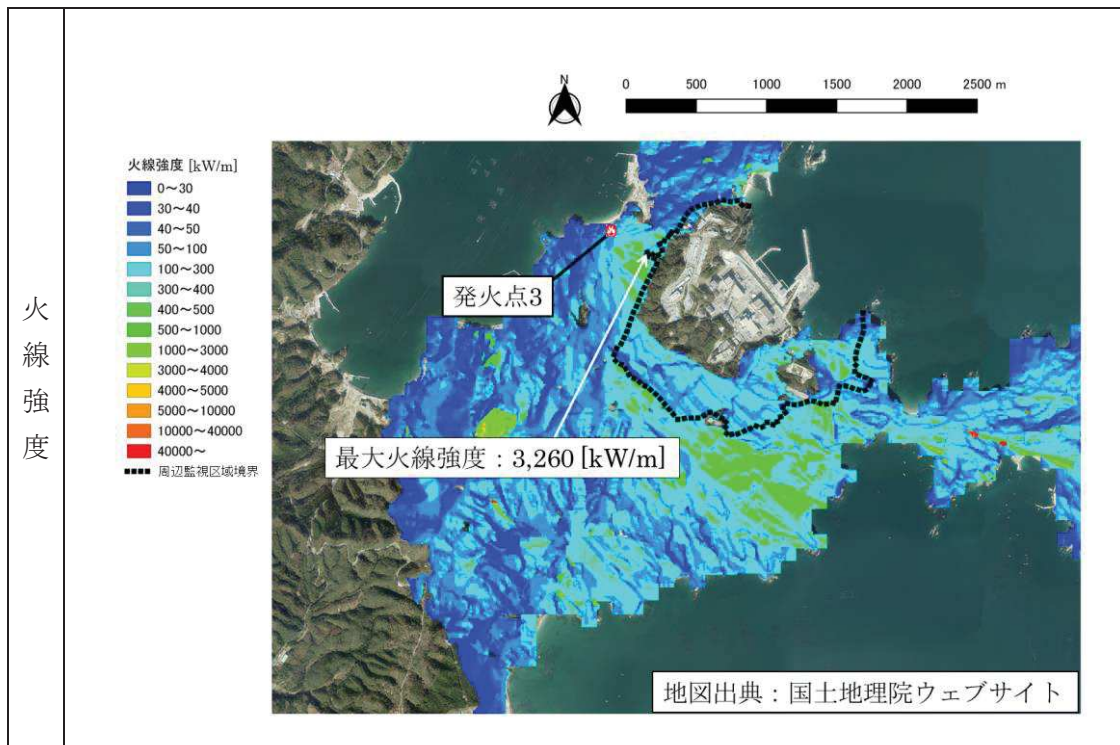
第 2. 1. 3. 2-1 (a) 図 発火点 1：北（小屋取漁港道路沿い）の火線強度



第 2. 1. 3. 2-1 (b) 図 発火点 2-1：南西（県道 41 号線沿い）の火線強度



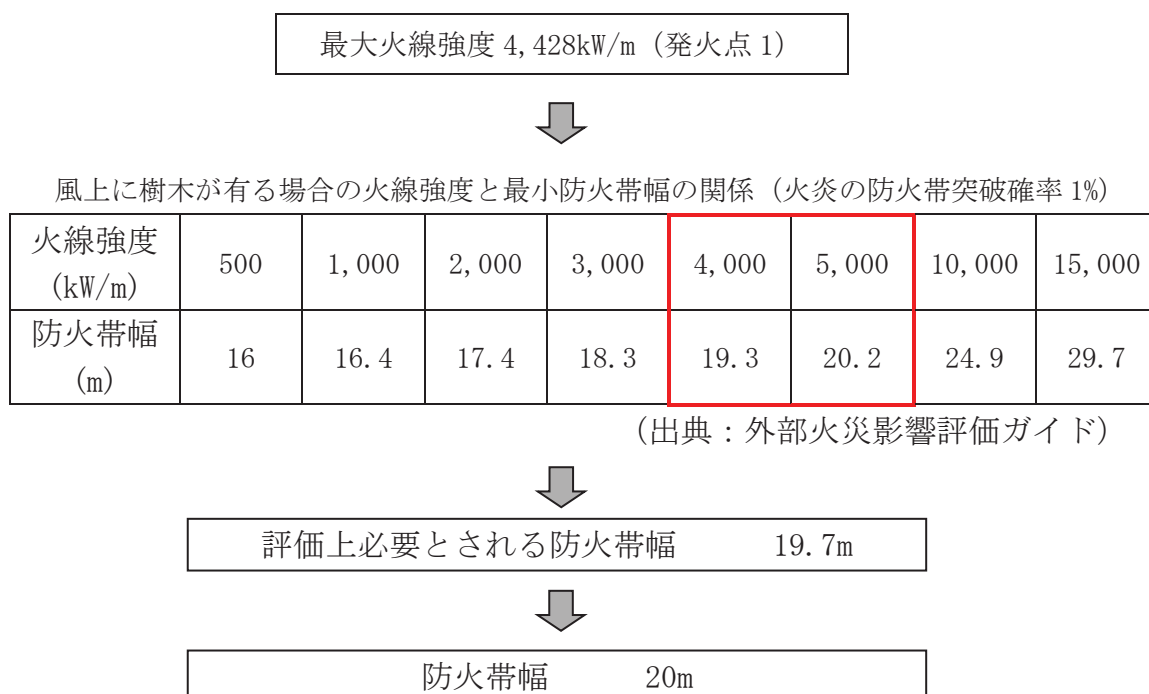
第 2. 1. 3. 2-1(c) 図 発火点 2-2：南南西（鮫浦地区（田））
の火線強度



第 2. 1. 3. 2-1(d) 図 発火点 3：西北西（塚浜地区道路沿い）
の火線強度

(2) 防火帯幅の算出

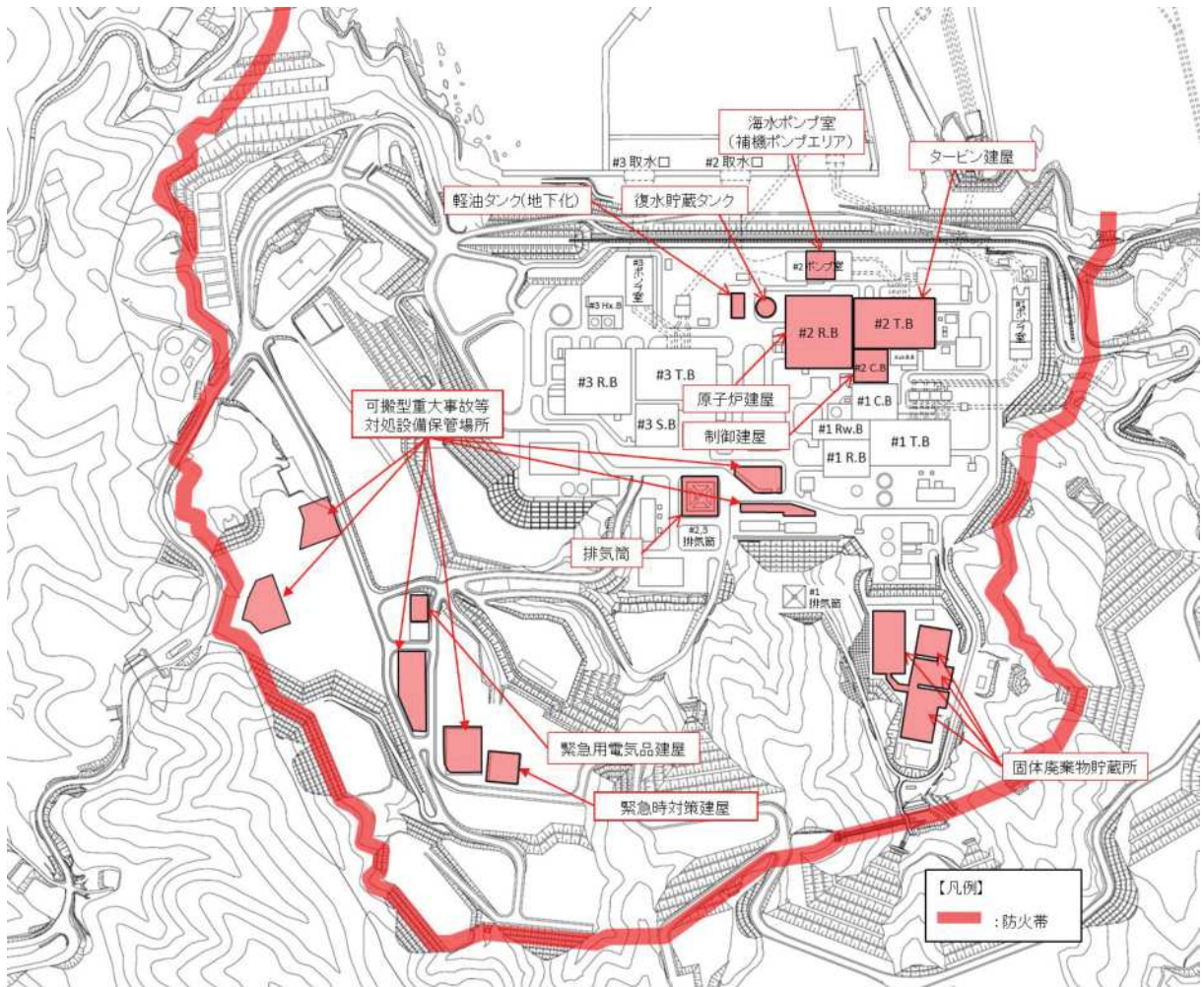
外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約100mの範囲における最大火線強度から「Alexander and Fogartyの手法（風上に樹木が有る場合）」を用いて、防火帯幅（火炎の防火帯突破確率1%の値）を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅が19.7mであるため、20mの防火帯幅を確保することにより延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。



第 2.1.3.2-2 図 防火帯幅の設定

(3) 防火帯設定の考え方

- a. 森林火災の延焼を防止するために、防火帯を設定する。
- b. 防火帯は防護対象設備（クラス1，2）（固体廃棄物貯蔵所及び開閉所等の一部クラス3設備を含む）及び重大事故等対処設備を囲うように設定する。
- c. 防火帯は発電所設備及び駐車場の配置状況を考慮し、干渉しないように設定する。
- d. 防火帯の設定に当たっては、草木を伐採する等、可燃物を排除する。その後、モルタル吹付けを行い、草木の育成を抑制し、可燃物がない状態を維持する。また、防火帯の管理（定期的な点検等）の方法を火災防護計画に定める。



第 2. 1. 3. 2-3 図 防火帯設定図

2.1.3.3 熱影響の評価

(1) 原子炉施設外壁

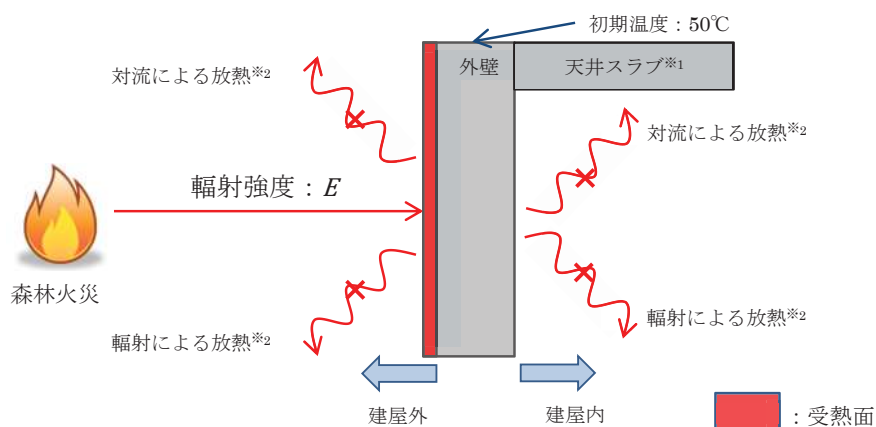
FARSITE 出力より得られた，到達時間，反応強度及び火炎長より，原子炉施設外壁のコンクリート表面温度を評価した。

なお，評価にあたっては，対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果，原子炉建屋における外壁のコンクリート表面温度はいずれのケースでも約 53℃であり，許容温度 200℃（火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度）以下であることを確認した。

第 2.1.3.3-1 表 熱影響評価結果（原子炉建屋外壁）

発火点位置	原子炉建屋外壁の表面温度[℃]
発火点 1	約 53
発火点 2-1	約 53
発火点 2-2	約 53
発火点 3	約 53



※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから，天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される
 ※2：コンクリート表面温度評価にあたっては，対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

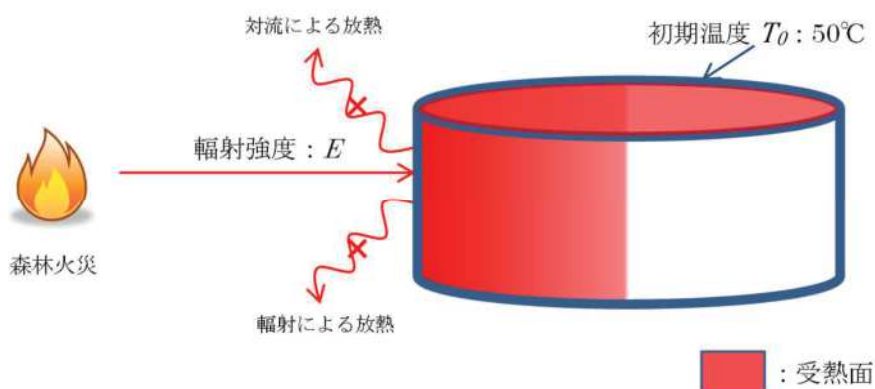
第 2.1.3.3-1 図 原子炉施設外壁の熱影響評価（概念図）

(2) 復水貯蔵タンク

FARSITE 出力より得られた，到達時間，反応強度及び火炎長より，復水貯蔵タンク温度を評価した。

なお，評価にあたっては，対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果，復水貯蔵タンク温度はいずれのケースでも約 51℃であり許容温度 66℃（復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度）以下であることを確認した。



第 2.1.3.3-2 図 復水貯蔵タンクの熱影響評価（概念図）

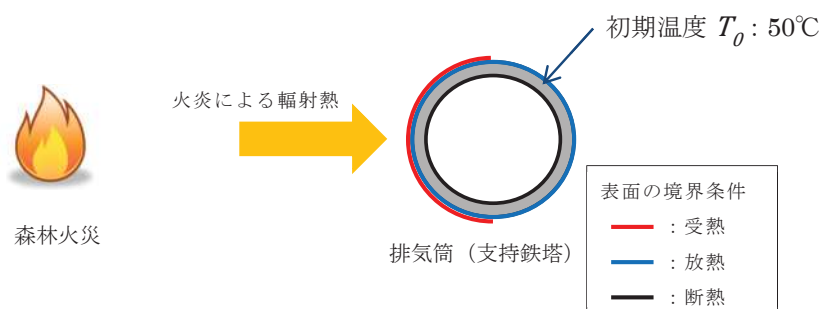
(3) 排気筒

FARSITE 出力より得られた、到達時間、反応強度及び火炎長より、排気筒の温度を評価した。

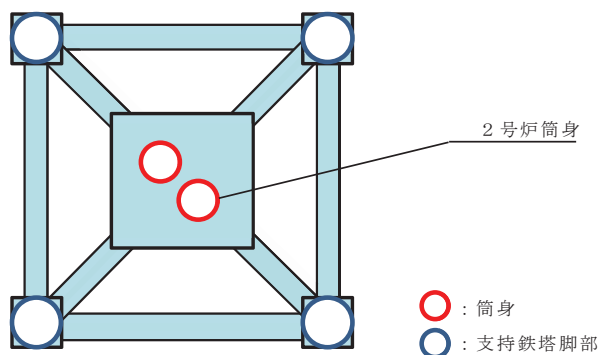
なお、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため、断熱とした。

排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が森林火災との距離が近いこと、材質も支持鉄塔は SS400 及び STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

熱影響評価の結果、排気筒温度がいずれのケースでも約 51°C であり、許容温度 325°C（「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」では、鋼材の制限温度を 350°C としていること、また、「建築火災のメカニズムと火災安全設計」では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 $\kappa(T)$ が示されており、一般的な鋼材において温度が 325°C 以下であれば、その強度が常温時と変わらないとしていることから、保守的に 325°C を許容温度とする。）以下であることを確認した。



第 2.1.3.3-3 図 排気筒の熱影響評価 (概念図)



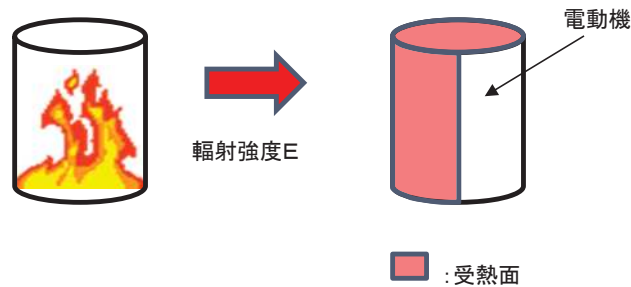
第 2.1.3.3-4 図 排気筒構成 (概念図)

(4) 海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機）

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が，許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：上部軸受40℃，下部軸受55℃，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ：上部軸受55℃，下部軸受55℃）であることを確認した。評価結果を第2.1.3.3-2表に，原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価概念図を第2.1.3.3-5図に示す。

第2.1.3.3-2表 海水ポンプの熱影響評価結果

評価対象施設		発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
原子炉補機 冷却海水ポンプ	上部軸受温度 [℃]	約 28	約 28	約 28	約 28
	下部軸受温度 [℃]	約 19	約 19	約 19	約 19
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	上部軸受温度 [℃]	約 33	約 33	約 33	約 33
	下部軸受温度 [℃]	約 42	約 42	約 42	約 42



第2.1.3.3-5図 海水ポンプの評価概念図

2.1.3.4 危険距離の評価

熱影響が最大となる発火点に対し，評価対象施設が許容温度を超えない危険距離を算出し，離隔距離が確保されていることを確認した。

(1) 評価対象施設外壁

熱影響が最大となる発火点 1 及び発火点 3 に対し，評価対象施設外壁までの危険距離は 16m となり，離隔距離 74m 以下となることを確認した。

(2) 復水貯蔵タンク

熱影響が最大となる発火点 1 に対し，復水貯蔵タンクまでの危険距離は 9m となり，離隔距離 340m 以下となることを確認した。

(3) 排気筒

熱影響が最大となる発火点 2-1 に対し，排気筒までの危険距離は 16m となり，離隔距離 339m 以下となることを確認した。

(4) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ

熱影響が最大となる発火点 2-1 に対し，原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプまでの危険距離は 31m となり，離隔距離 302m 以下となることを確認した。

第 2.1.3.4-1 表 海水ポンプに対する危険距離

評価対象施設		発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
原子炉補機 冷却海水ポンプ	危険距離 [m]	18	31	25	29
	離隔距離 [m]	302	302	302	302
高圧炉心スプレー 補機冷却海水ポンプ	危険距離 [m]	10	21	16	20
	離隔距離 [m]	302	302	302	302

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及び危険物貯蔵施設、燃料輸送車両及び漂流船舶の火災、ガス爆発が女川原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

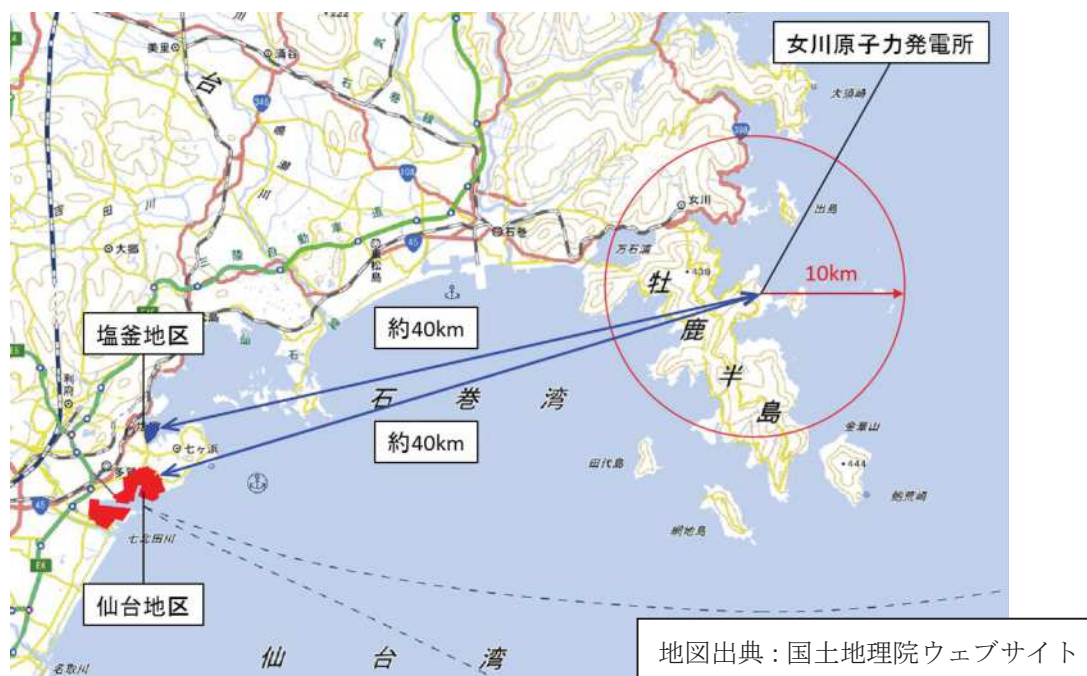
また、発電所敷地内における危険物施設の火災が、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

2.2.2 評価結果

2.2.2.1 石油コンビナート等の影響評価

石油コンビナート等災害防止法で規制される宮城県内の特別防災区域は、塩釜地区及び仙台地区の二カ所存在するが、これらは、それぞれ女川原子力発電所から約 40km 離れており、いずれも女川原子力発電所から 10km 以遠である（第 2.2.2.1-1 図）。

また、女川原子力発電所から 10km 圏内に LPG 基地がないことを確認している。なお、女川原子力発電所から最短距離にあるガスパイプラインは仙台地区であり、女川原子力発電所から約 40km 離れていることを確認した。以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



第 2.2.2.1-1 図 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

2.2.2.2 敷地外危険物貯蔵施設等の影響評価

(1) 危険物施設の影響評価

女川原子力発電所から半径 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設を消防法に基づき抽出し、発電所から最も近い危険物貯蔵施設及び発電所から 10km 圏内の施設における最大貯蔵量をそれぞれ抽出した。

仮に最短距離の危険物貯蔵施設に発電所から半径 10km 圏内の最大貯蔵量が存在したと仮定して、熱影響評価を実施する。



地図出典：国土地理院ウェブサイト

第 2.2.2.2-1 図 女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設

a. 火災の影響評価

発電所敷地外で燃料保有量が最も多い施設において評価を行ったところ、評価上必要とされる危険距離に対し、最短距離の危険物貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

第 2.2.2.2-1 表 危険物貯蔵施設における危険距離の評価結果

燃料油種	最大貯蔵量	危険距離	離隔距離
ガソリン		建屋：48m 復水貯蔵タンク：18m 海水ポンプ室補機ポンプエリア：99m 排気筒：47m	2,500m

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

(2) 高圧ガス貯蔵施設の影響評価

女川原子力発電所から半径 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は [] であり，女川原子力発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離は約 700m であった。

仮に最短離隔距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 [] があつたと仮定しても，2号炉原子炉建屋に到達する輻射熱は1号炉軽油タンク火災の輻射強度より十分小さいことから，1号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

第 2.2.2.2-2 表 敷地外高圧ガス貯蔵施設と 1 号炉軽油タンクの比較

	敷地外危険物 貯蔵施設	1 号炉 軽油タンク
最大貯蔵量[m ³ =kl]	[]	620
離隔距離[m]	700	179
貯蔵油種	プロパン	軽油
貯蔵油種の輻射発散度[W/ m ²]	74×10 ³	42×10 ³
形態係数	4.27×10 ⁻⁵	6.62×10 ⁻³
輻射強度[W/ m ²]	31.6*	278

※燃焼半径を保守的に 1 号炉軽油タンクと同じ値だったとして算出している

(3) 二次的影響（飛来物）の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）に基づき，高圧ガス貯蔵施設における飛来物飛散範囲を確認する。

発電所から最も近い施設では，指針が適用されるコンビナート等の大規模な高圧ガスタンク等の形状ではなく，液化石油ガスが封入された複数の 50kg ガスボンベが設置されている。

当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行ったところ，原子炉施設（2号炉原子炉建屋）までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり，原子炉施設への影響がないことを確認した。

よって，発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災・爆発が発生した場合においても発電所への影響はないことを確認した

第 2.2.2.2-3 表 高圧ガス貯蔵施設からの飛来物到達距離と離隔距離

施設名称	ガス種類	貯蔵量	飛来物 到達距離	離隔距離
当社社員寮	液化石油ガス	[]	[]	約 700m

2.2.2.3 燃料輸送車両の影響評価

燃料を搭載した燃料輸送車両が発電所敷地外の公道において発電用原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）で火災・爆発を起こした場合を想定して、発電用原子炉施設への熱影響を評価する。

(1) 燃料輸送車両の火災影響評価

燃料積載量は消防法（危険物の規制に関する政令第15条第1項三号）において定められている移動タンク貯蔵所の上限量（=30kl）のガソリンが満載されているものとする。

熱影響評価の結果、評価上必要とされる危険距離に対し、火災源から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離を上回っており、原子炉施設への影響はない。

第2.2.2.3-1表 燃料輸送車両による火災の危険距離と離隔距離

評価対象	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	727	21
制御建屋	679	21
タービン建屋	639	21
原子炉補機冷却海水ポンプ	780	16
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	780	11
固体廃棄物貯蔵所	609	21
排気筒	866	8
復水貯蔵タンク	834	15

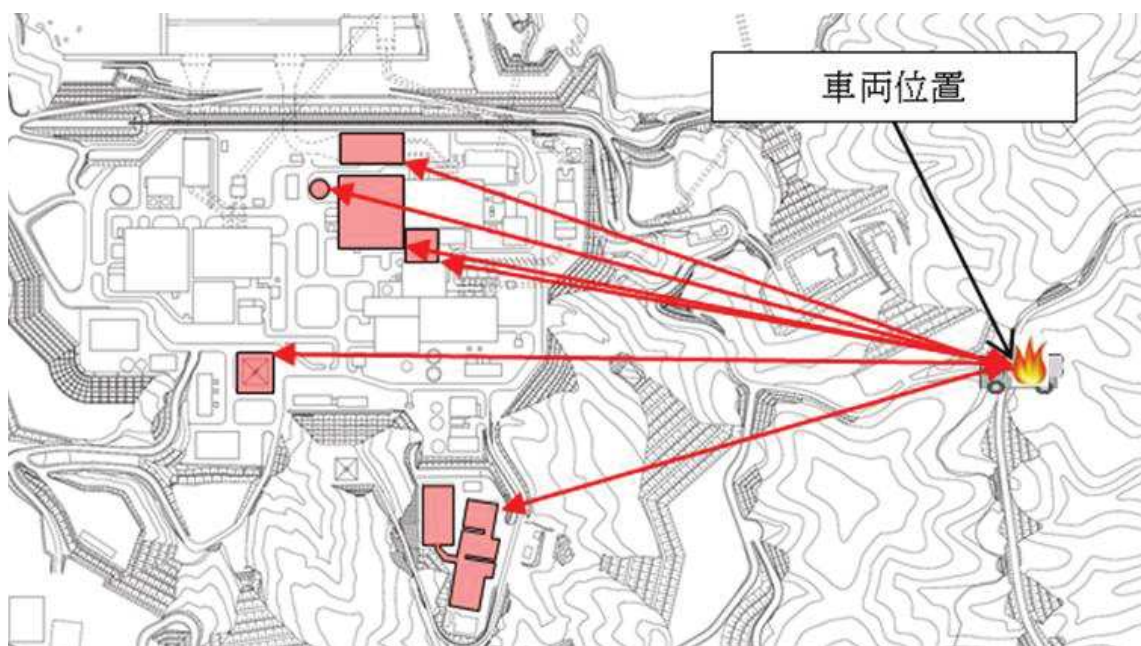
(2) 燃料輸送車両のガス爆発影響評価

また、高圧ガスを輸送する車両による影響として、発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である[]のプロパンを積載した車両による影響評価を実施したところ、評価上必要とされる危険限界距離に対し、火災源から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離を上回っており、原子炉施設への影響はない。

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

第 2.2.2.3-2 表 高圧ガス輸送車両の爆発の危険距離と離隔距離

評価対象	離隔距離 [m]	危険限界距離 [m]
原子炉建屋	727	70
制御建屋	679	
タービン建屋	639	
原子炉補機冷却海水ポンプ	780	
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	780	
固体廃棄物貯蔵所	609	
排気筒	866	
復水貯蔵タンク	834	



第 2.2.2.3-1 図 タンクローリ火災想定位置と原子炉施設との位置関係

2.2.2.4 漂流船舶の影響評価

女川原子力発電所周辺には石油コンビナートが無く、大型タンカー等の主要航路が発電所から 20km 以上離れていることから、発電所港湾施設に入港する船舶の中で最大規模の船舶である重油運搬船の火災を想定する。

火災発生時の重油運搬船の位置は、カーテンウォールに接触して停止すると考えられるが、津波によりカーテンウォール上部を通過して発電所へ近づき港湾道路まで乗り上げた場合において、火災が発生したものと想定する。

熱影響評価の結果、評価上必要とされる危険距離に対し、港湾から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離を上回っており、原子炉施設への影響はない。

なお、熱影響評価にあたっては防潮堤がないものとして評価している。

第 2.2.2.4-1 表 船舶による火災の危険距離と離隔距離

評価対象	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	114	110
制御建屋	189	110
タービン建屋	137	110
原子炉補機冷却海水ポンプ	71	55
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	71	31
固体廃棄物貯蔵所	504	110
排気筒	340	20
復水貯蔵タンク	122	109



第 2.2.2.4-1 図 船舶火災想定位置と原子炉施設との位置関係

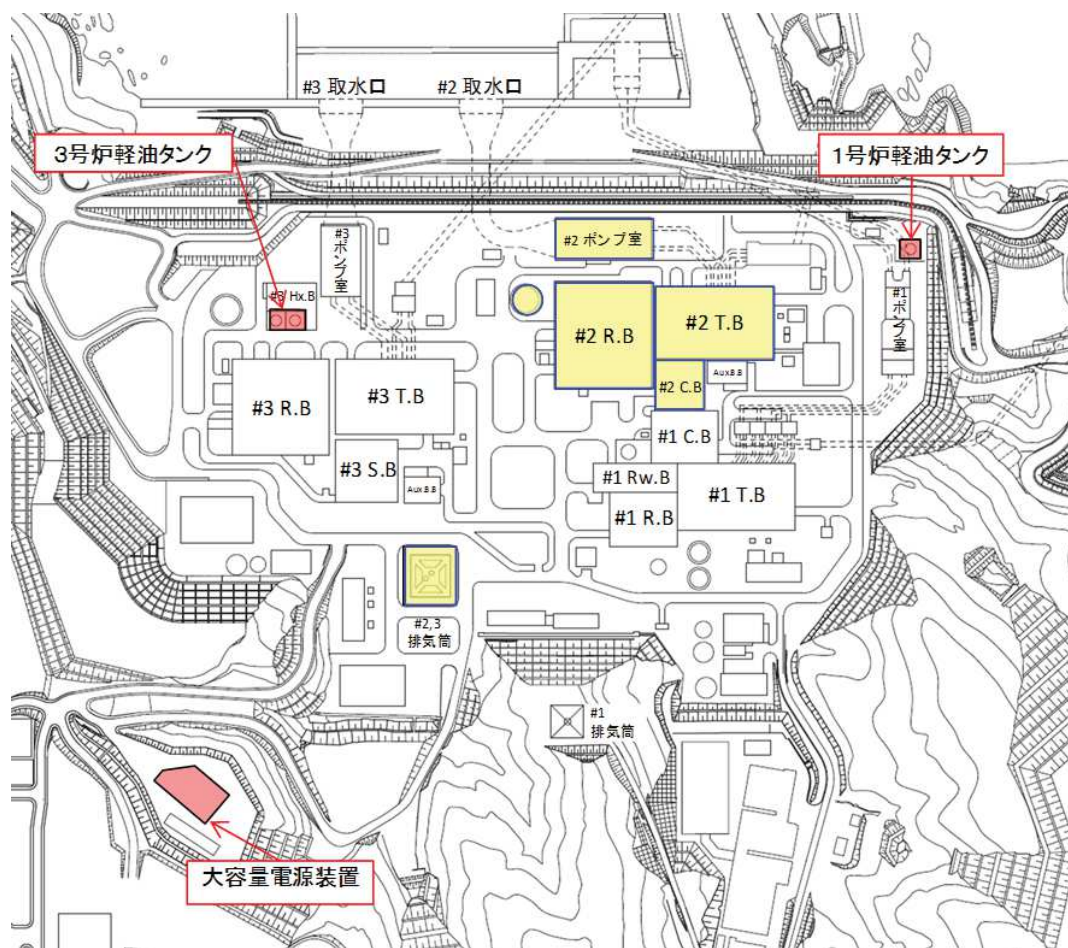
2.2.2.5 敷地内危険物施設等の影響評価（添付資料-6 参照）

（1）敷地内危険物施設の火災影響評価

発電所敷地内に位置している屋外の危険物施設の火災を想定し、原子炉施設の熱影響評価を実施する。

熱影響評価を実施する危険物施設は、1号炉軽油タンク、3号炉軽油タンク及び大容量電源装置とする。

なお、敷地内危険物施設の内、直接輻射熱を受けない建屋内に設置している設備及び地下貯蔵タンク等については、評価対象外とする。



第 2.2.2.5-1 図 発電所敷地内における危険物施設等の位置

a. 原子炉施設外壁

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、コンクリート表面温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、原子炉建屋における外壁のコンクリート表面温度は最大で約 79℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

第 2.2.2.5-1 表 敷地内危険物施設火災の熱影響評価結果（原子炉建屋）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
原子炉建屋外 壁の表面温度 [℃]	約 74	約 63	約 64	約 79	約 51

b. 復水貯蔵タンク

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、復水貯蔵タンク温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、復水貯蔵タンク温度は最大で約 53℃となり、許容温度 66℃以下であることを確認した。

第 2.2.2.5-2 表 敷地内危険物施設火災の熱影響評価結果（復水貯蔵タンク）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
復水貯蔵 タンク温度 [℃]	約 51	約 52	約 52	約 53	約 51

c. 排気筒

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、排気筒の温度を評価した。

なお、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため、断熱とした。

排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が危険物施設との距離が近いこと、材質も支持鉄塔はSS400及びSTK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

熱影響評価の結果、排気筒温度は最大で約 57℃となり、許容温度 325℃以下であることを確認した。

第 2.2.2.5-3 表 敷地内危険物施設火災の熱影響評価結果（排気筒）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
排気筒温度 [℃]	約 52	約 53	約 53	約 57	約 51

d. 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

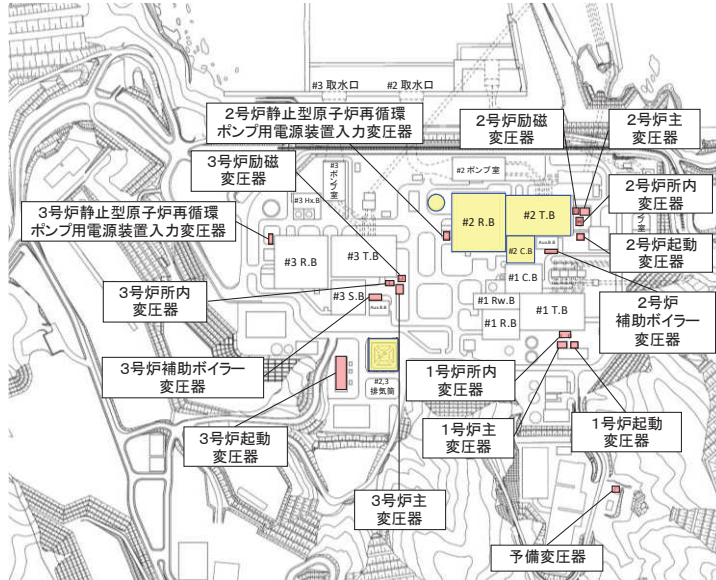
原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：上部軸受 40℃，下部軸受 55℃，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ：上部軸受 55℃，下部軸受 55℃）であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5-4 表に示す。

第 2.2.2.5-4 表 海水ポンプに対する熱影響評価結果

		1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置	許容温度 [℃]
			A	B	A+B		
原子炉補機冷却海水 ポンプ	上部軸受温度[℃]	約 28	約 28	約 28	約 28	約 28	< 40
	下部軸受温度[℃]	約 20	約 20	約 20	約 20	約 19	< 55
高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ	上部軸受温度[℃]	約 33	約 33	約 33	約 33	約 33	< 55
	下部軸受温度[℃]	約 42	約 42	約 42	約 42	約 42	< 55

(2) 変圧器の火災影響評価

発電所敷地内変圧器は危険物施設ではないが燃焼する油を内包していることから、火災源として原子炉施設への熱影響評価を実施する。



第 2.2.2.5-2 図 女川原子力発電所敷地内における変圧器の位置

各変圧器について、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設が昇温されるものとして、表面の温度上昇を評価した結果、第 2.2.2.5-5 表の結果となり、原子炉施設（原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋）外壁温度、復水貯蔵タンク温度及び排気筒温度が許容温度を下回ることから、発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないことを確認した。

第 2.2.2.5-5 表 変圧器火災の熱影響評価結果

変圧器	2号炉				3号炉		
	起動変圧器	所内変圧器	補助ボイラ変圧器	PLR-VVVF変圧器	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
原子炉建屋外壁温度 [°C]				約 198	約 59		約 52
制御建屋外壁温度 [°C]	約 59		約 101		約 53		
タービン建屋外壁温度 [°C]		約 198					
復水貯蔵タンク温度 [°C]					約 51		約 51
排気筒温度 [°C]					約 57	約 72	

※許容温度：壁温度 200°C，復水貯蔵タンク 66°C，排気筒 325°C

2.3 航空機墜落による火災（添付資料-7）

2.3.1 評価内容

発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が女川原子力発電所の敷地内で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを確認する。

2.3.2 評価結果

2.3.2.1 評価方法

航空機落下確率評価については、評価手法の違いからカテゴリに分けて落下確率を求めている。また、評価に考慮している航空機落下事故については、訓練中の事故等、民間航空機と軍用機（自衛隊機又は米軍機）では、その発生状況が必ずしも同一ではない。従って、航空機落下確率でのカテゴリ別に以下のとおり分類し、航空機墜落による火災の影響を評価した。

（1）計器飛行方式及び有視界飛行方式の大型の民間航空機の落下事故

（2）軍用機の落下事故

- a. 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
- b. その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
- c. 基地－訓練空域間往復時

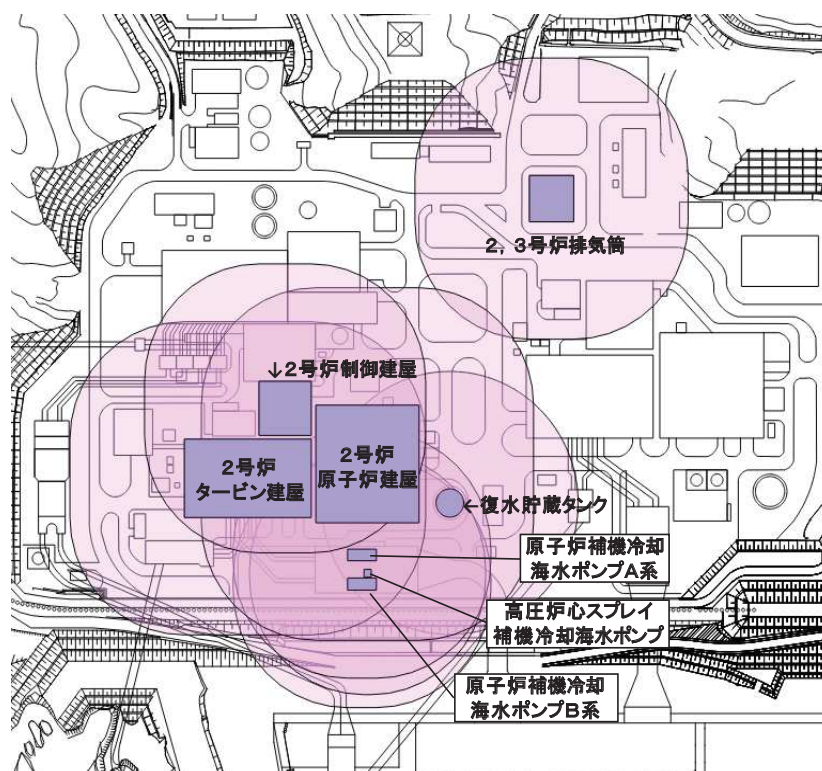
航空機の落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] に相当する面積より、航空機落下確率評価で標的面積として考慮している発電用原子炉施設からの離隔距離（落下地点）を求め、そこで発生する火災による発電用原子炉施設の表面温度を評価し、許容温度を超えないことを確認する。

2.3.2.2 離隔距離の算出

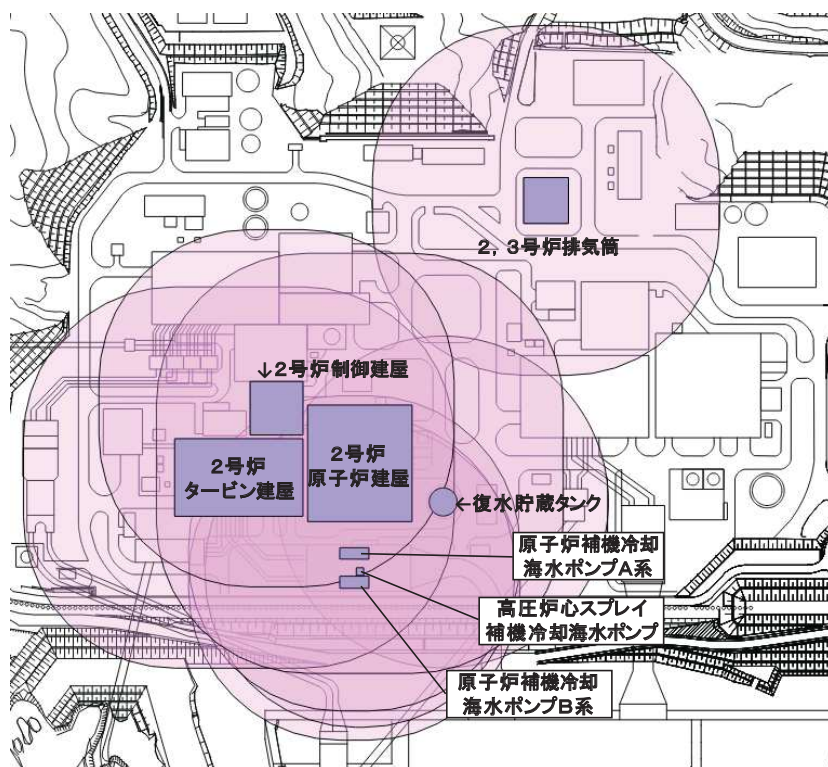
防護対象となる発電用原子炉施設（原子炉建屋，タービン建屋，制御建屋，海水ポンプ室，排気筒及び復水貯蔵タンク）を考慮し，落下確率 10^{-7} [回/炉・年]に相当する面積より，カテゴリごとの離隔距離を算出する。

第2.3.2.2-1表 航空機カテゴリ別の離隔距離

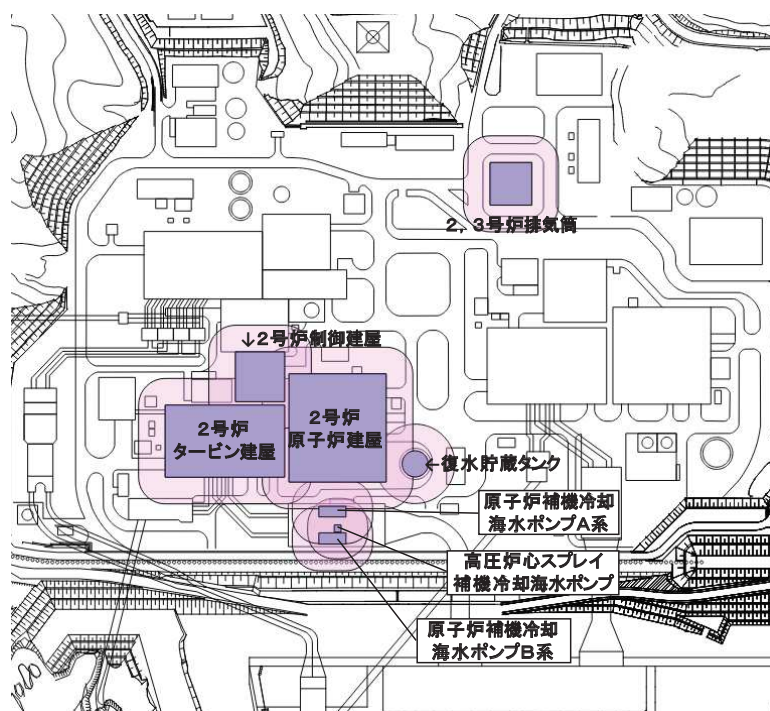
項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象航空機	B747-400	KC-767	F-15	F-2
離隔距離[m]	85	111	21	25
輻射発散度[W/m ²]	50×10^3	58×10^3	58×10^3	58×10^3
輻射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963



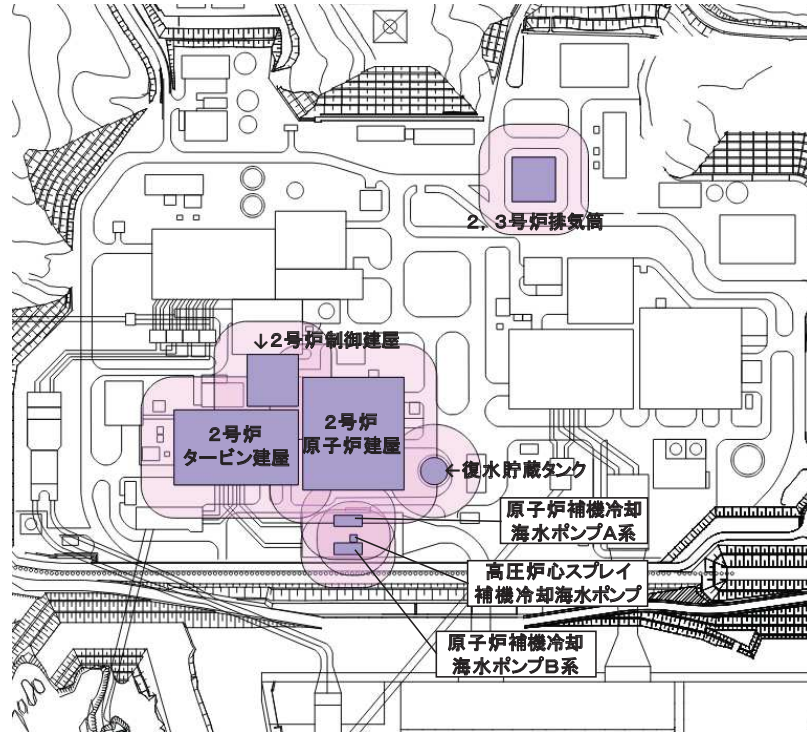
第2.3.2.2-1図 民間航空機（計器飛行方式及び有視界飛行方式（大型））の離隔距離



第 2.3.2.2-2 図 自衛隊機又は米軍機（高高度巡航が想定される大型固定翼機）の離隔距離



第 2.3.2.2-3 図 自衛隊機又は米軍機（その他の機種）の離隔距離

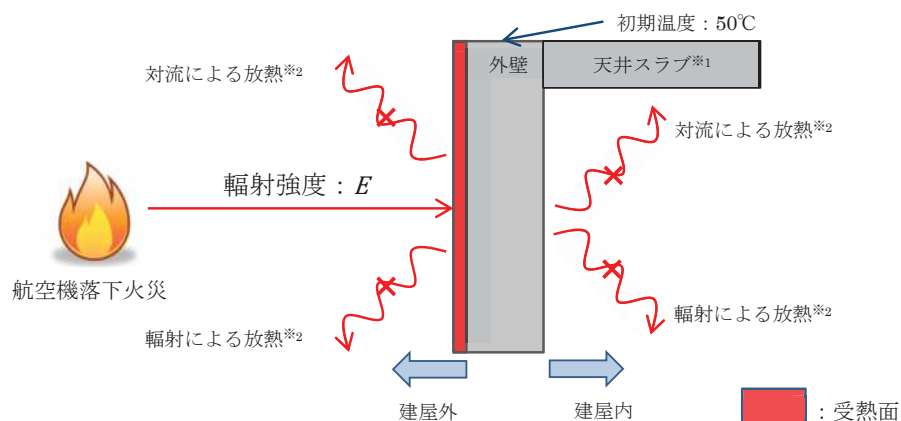


第 2.3.2.2-4 図 自衛隊機又は米軍機（基地—訓練空域間往復時）の
離隔距離

2.3.2.3 火災影響評価結果

(1) 建屋外壁面温度評価

航空機落下により女川原子力発電所の敷地内で火災が発生した場合を想定したとしても、発電用原子炉施設外壁の温度が許容温度200℃（火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度）を超えないことを確認した。



※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される

※2：コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および放射による放熱は考慮しないものとした

第 2.3.2.3-1 図 建屋温度評価体系図

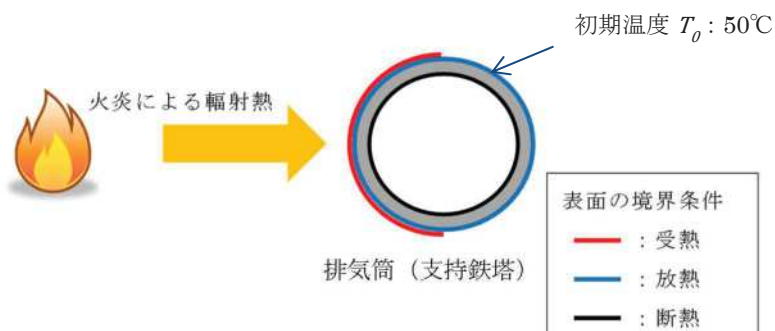
第 2.3.2.3-1 表 航空機墜落による火災時の原子炉建屋外壁温度評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
燃料タンク面積[m ²]	700	405.2	44.6	35
放射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963
燃焼継続時間[hr]	1.855	1.482	1.381	1.234
評価温度[℃]	約 152	約 89	約 129	約 96
許容温度[℃]	200	200	200	200

(2)屋外の評価対象施設への熱影響評価

a. 排気筒

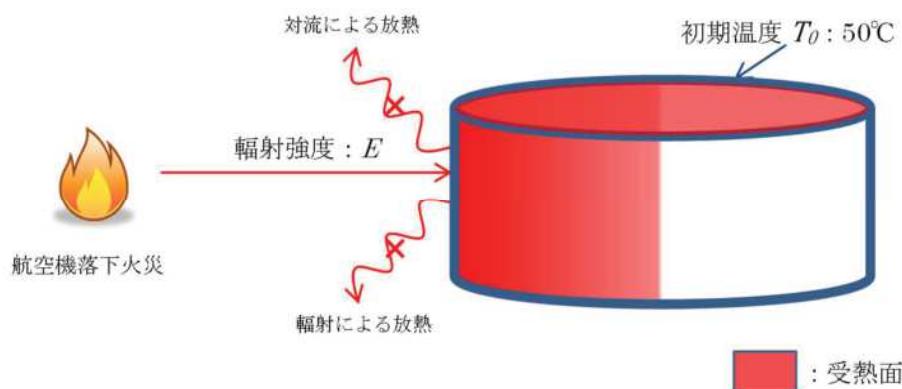
排気筒について温度上昇を評価した結果，主排気筒の温度は約139℃となり，排気筒鋼材の許容温度325℃を下回ることを確認した。



第 2.3.2.3-2 図 排気筒温度評価体系図

b. 復水貯蔵タンク

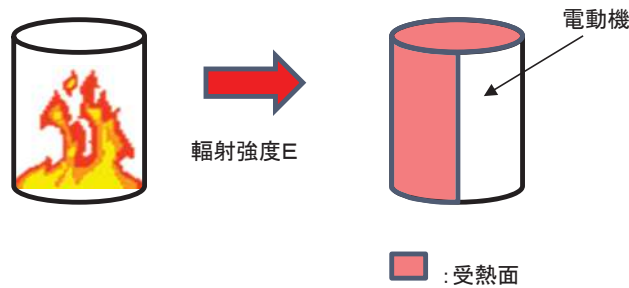
復水貯蔵タンクについて温度上昇を評価した結果，外壁面の温度評価で最も厳しい大型民間航空機の場合においても最大で約55℃となり，許容温度66℃以下であることを確認した。



第 2.3.2.3-3 図 復水貯蔵タンク温度評価体系図

c. 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が，許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：上部軸受 40℃，下部軸受 55℃，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ：上部軸受 55℃，下部軸受 55℃）であることを確認した。評価結果を第 2.3.2.3-2 表に示す。



第 2.3.2.3-4 図 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ温度評価体系図

第 2.3.2.3-2 表 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価結果

対象機器	上部軸受温度[°C]	下部軸受温度[°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	約 37	約 29
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	約 35	約 44

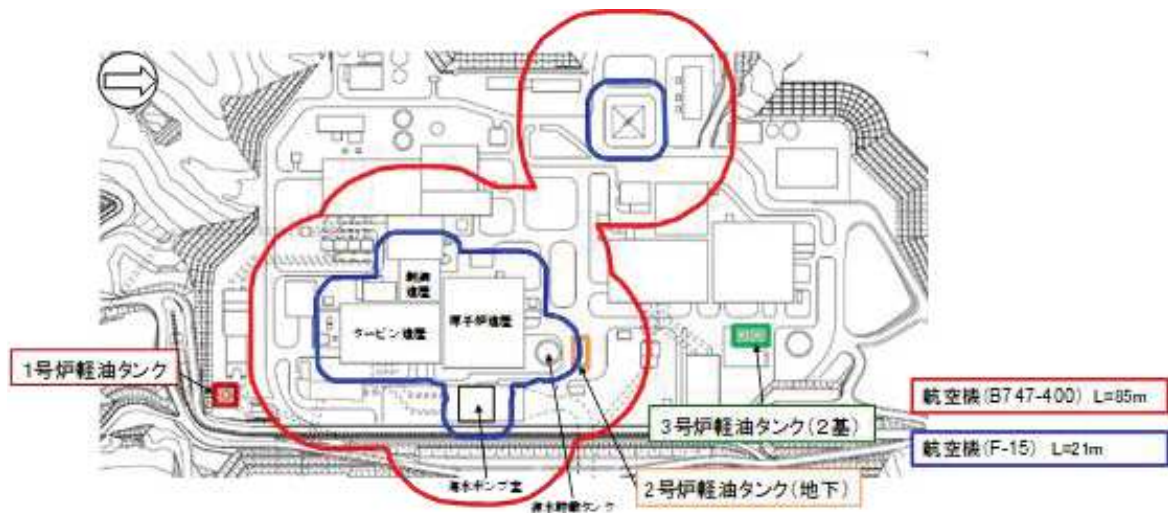
(3) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳について

危険物貯蔵施設等と航空機墜落火災との重畳を想定し、熱影響評価を実施した。想定する航空機は対象航空機の中で熱影響が大きい F-15 及び B747-400 を想定した。重畳する危険物貯蔵施設等は 1 号炉軽油タンク及び 3 号炉軽油タンクとした。

評価対象施設に対する想定ケースを第 2.3.2.3-3 表に、評価結果を第 2.3.2.3-4 表に、航空機墜落位置と敷地内の危険物貯蔵施設等の重畳を考慮する位置を第 2.3.2.3-5 図に示す。

第 2.3.2.3-3 表 重畳評価で想定するケース

想定ケース	評価対象施設
F-15 及び 3 号炉軽油タンク	原子炉建屋
	排気筒
F-15 及び 1 号炉軽油タンク	制御建屋
	タービン建屋
	原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
B747-400 及び 3 号炉軽油タンク	復水貯蔵タンク



第 2.3.2.3-5 図 航空機落下位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置

第 2.3.2.3-4 表 重畳火災による熱影響評価結果

重畳評価の想定	評価対象施設	評価温度[°C]	許容温度[°C]
F-15 及び 3 号炉 軽油タンク	原子炉建屋	約 143	< 200
	排気筒	約 146	< 325
F-15 及び 1 号炉 軽油タンク	制御建屋	約 143	< 200
	タービン建屋	約 156	< 200
	原子炉補機	約 38(上部軸受)	< 40(上部軸受)
	冷却海水ポンプ	約 30(下部軸受)	< 55(下部軸受)
	高圧炉心スプレイ補機	約 36(上部軸受)	< 55(上部軸受)
	冷却海水ポンプ	約 45(下部軸受)	< 55(下部軸受)
B747-400 及び 3 号炉軽油タンク	復水貯蔵タンク	約 58	< 66

2.4 二次的影響（ばい煙，有毒ガス）の評価（添付資料-8）

2.4.1 評価内容

森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙等に対して，影響が想定される機器，施設について評価を実施する。

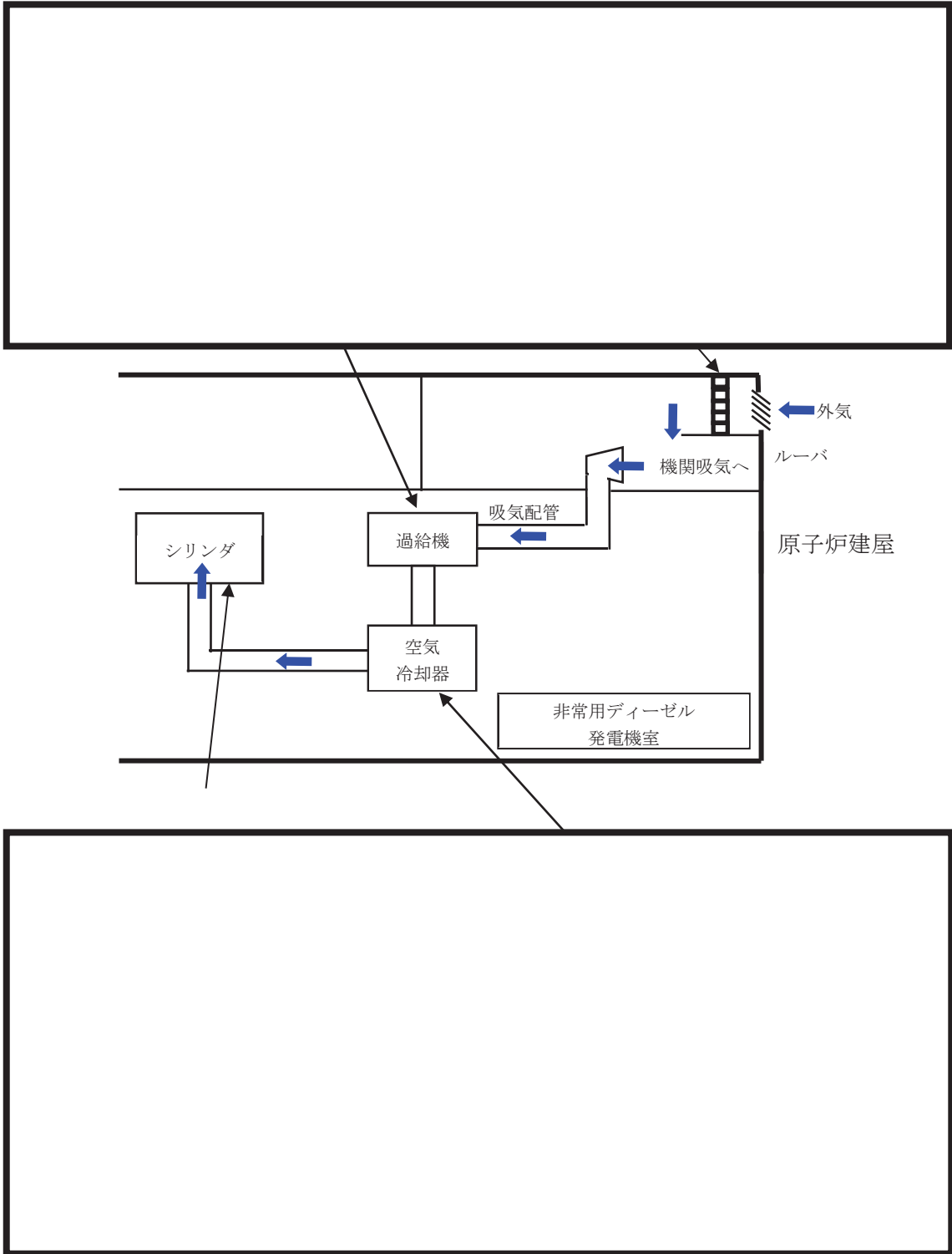
2.4.2 評価結果

ばい煙等による評価対象施設に対する影響及び居住性に影響を及ぼさないことを以下のとおり確認する。

第 2.4.2-1 表 評価対象施設に対する影響評価結果

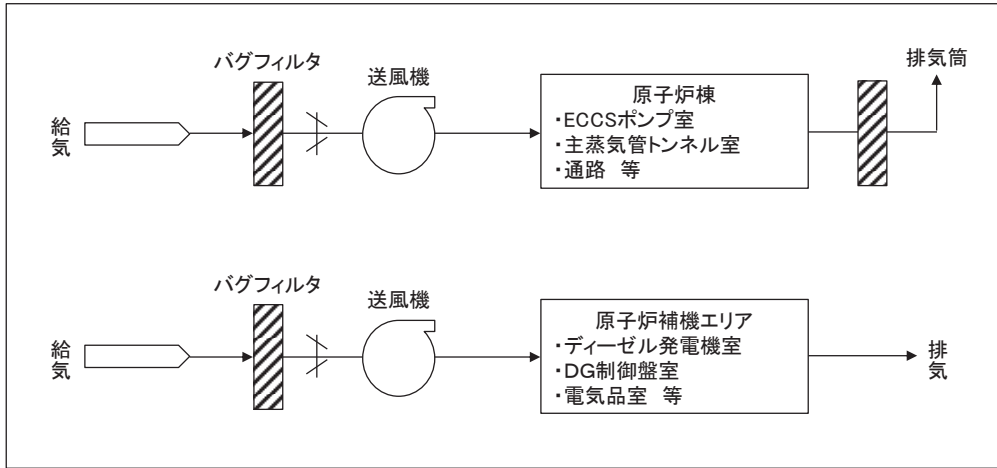
分類	対象設備	評価結果
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	<p>非常用ディーゼル発電機関（高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関含む）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備の運転時において、ばい煙を機関内に吸い込むおそれがあるが、シリンダまでの通気経路の間隔よりばい煙の粒径が小さいため、通気経路が閉塞することはない、運転に影響はない。（第 2.4.2-1 図） ・通常運転においても燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、機関に損傷を与えることや運転機能を阻害することはない。
	外気を取り込む空調系統	<p>換気空調系</p> <ul style="list-style-type: none"> ・外気取り入れ運転を行っている換気空調系は、外気取入口にはバグフィルタ（粒径約$2\mu\text{m}$に対して 80%以上を捕獲する性能）を設置しているため、一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに、外気取入ダンパを閉止又は換気空調系停止や循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止することが可能である。（第 2.4.2-2(a)(b) 図）
	屋外設置機器	<p>・原子炉補機冷却海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・外気を電動機内部に取り込まない構造であり、電動機内部にばい煙が侵入することはない。 ・ばい煙の粒径は冷却流路及び冷却流路出口の後継と比べて十分小さいことから閉塞することはない。（第 2.4.2-3(a)(b) 図）
	屋外部に開口部を有する設備	<p>非常用ディーゼル発電機排気口</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ばい煙が配管等の内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響はない。（第 2.4.2-4 図）
居住性への影響	<p>中央制御室</p> <ul style="list-style-type: none"> ・外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転により、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等の侵入を阻止することが可能である。（第 2.4.2-5(a)(b) 図，第 2.4.2-2 表） ・外気取入口での有毒ガス濃度が判定基準（IDLH 値 ※）以下であることから、中央制御室の居住性に影響はない。 	

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

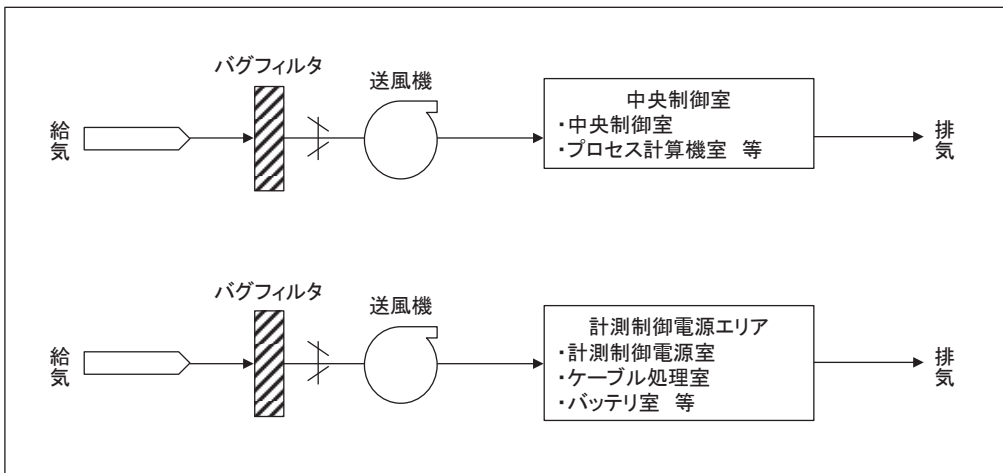


第 2.4.2-1 図 非常用ディーゼル発電機関（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）

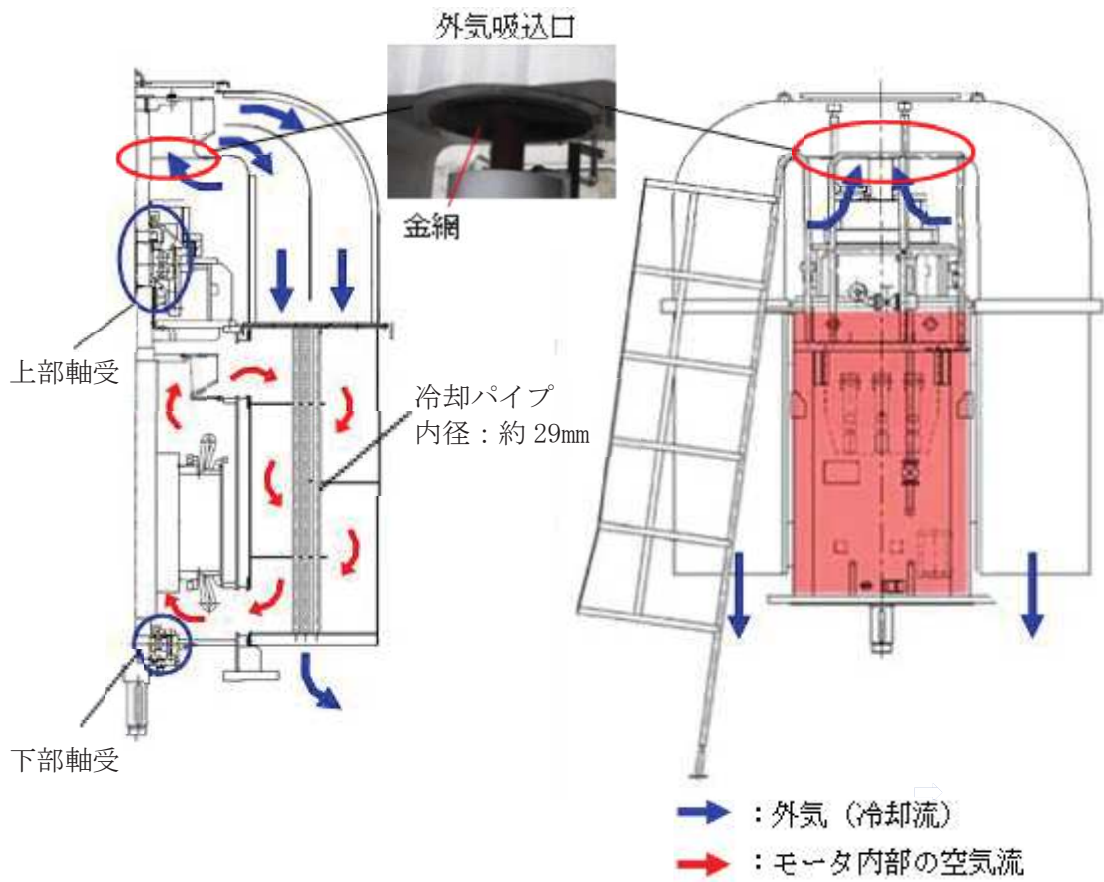
枠囲みの内容は商業機密のため公開できません



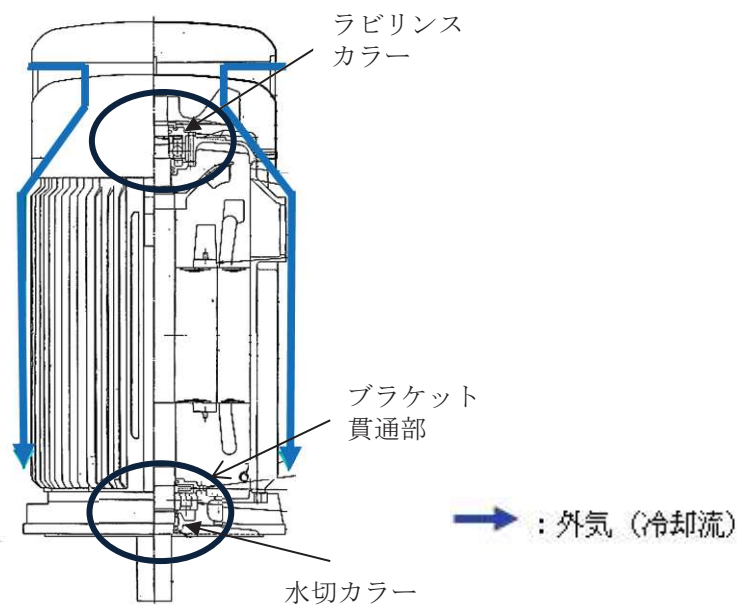
第 2. 4. 2-2 (a) 図 原子炉建屋換気空調系



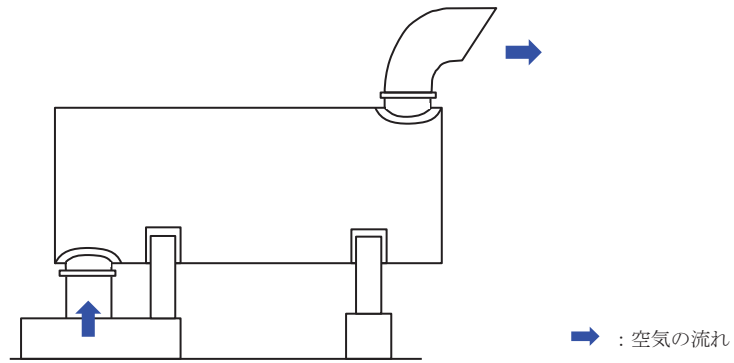
第 2. 4. 2-2 (b) 図 制御建屋換気空調系



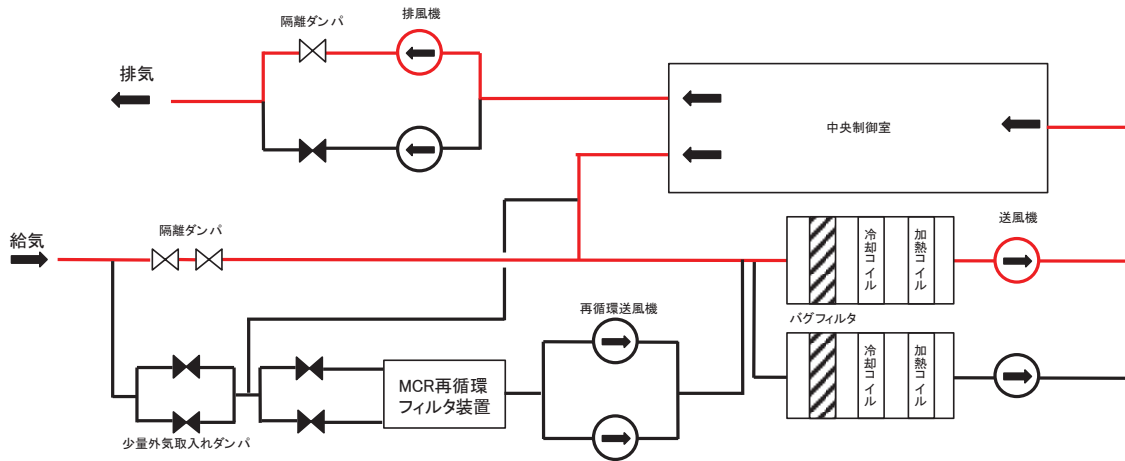
第 2. 4. 2-3(a) 図 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機外形図



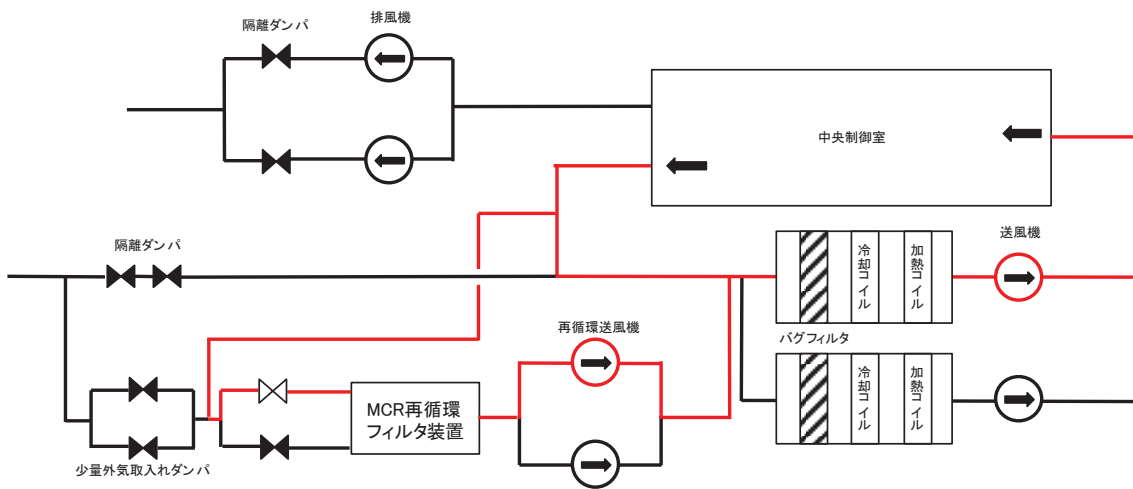
第 2. 4. 2-3(b) 図 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ用電動機外形図



第 2. 4. 2-4 図 非常用ディーゼル発電機排気口概略図



第 2. 4. 2-5(a) 図 通常モードの運転状態 (中央制御室)



第 2. 4. 2-5(b) 図 事故時運転モード時の運転状態 (中央制御室)

第 2.4.2-2 表 外気遮断時の中央制御室の酸素・二酸化炭素濃度

時間	6 時間	12 時間	24 時間	許容濃度
二酸化炭素濃度[%]	0.06	0.08	0.12	1.0
酸素濃度[%]	20.9	20.8	20.8	18

以上

外部火災影響評価対象の考え方について

1. 外部火災影響評価対象の考え方

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「設置許可基準規則」という。）」第6条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第7条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（以下「評価ガイド」という。）」に基づき、外部火災影響評価を行い、外部火災により、発電用原子炉施設へ影響を与えないこと及び二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求事項を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、防護対象は「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」において安全機能を有する安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。今回、防護対象とした構築物、系統及び機器については、外部火災発生時には、原則防火帯の内側で防護し、対象施設周辺の消火活動等により影響を及ぼさないよう防護する。

(1) 外部事象防護対象施設

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器）に加え、それらを内包する建屋とする。

その上で、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔で防護するため、想定される外部火災に対して熱影響評価、ばい煙等による影響評価を実施する。（第4-2表）

(2) その他の安全施設

その他の安全施設は、原則防火帯により防護し、建屋内の設備は建屋による防護、屋外設備は代替手段等で安全機能に影響がないことを確認する。(第4-3表)

なお、防火帯による防護ができない設備は、送電線、通信連絡設備及び放射線監視設備(モニタリングポスト)となるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する非常用ディーゼル発電機、トランシーバ及び可搬型モニタリングポストにより安全機能は維持される。

(3) 重大事故等対処設備

設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準対象施設であり、重大事故等対処施設ではないが、設計基準を超える事象が発生した場合に使用する重大事故等対処施設が、その前段の設計基準事象の自然現象によって機能喪失することは回避するべきであることから、原則防火帯の内側に配置し外部火災の熱影響を回避する。(第4-4表)

防火帯による防護ができない設備として、放射線監視設備(モニタリングポスト)があるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する可搬型モニタリングポストにより安全機能は維持される。

なお、外部火災に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第43条(重大事故等対処設備)にて考慮する。

2. 影響評価内容

(1) 熱影響評価について

外部事象防護対象施設のうち、外部火災の影響を受ける評価対象施設については、評価ガイドに基づき、建屋の外側(コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁)の熱影響に対する耐性評価を実施する。選定フロー(第3-1図)に基づき抽出する施設のうち、屋内設置の外部事象防護対象施設については、内包する建屋により防護するとし、評価対象施設として抽出された建屋側面のコンクリート壁の温度評価を実施し、建屋内の外部事象防護対象施設に影響を及ぼさないことを確認する。また、屋外の評価対象施設については、各機器について熱影響評価を実施する。(第3-1表)

(2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響評価を受ける評価対象施設については、ばい煙等による安全上重要な施設に対する影響評価として、非常用ディーゼル発電機等について影響評価を実施する。

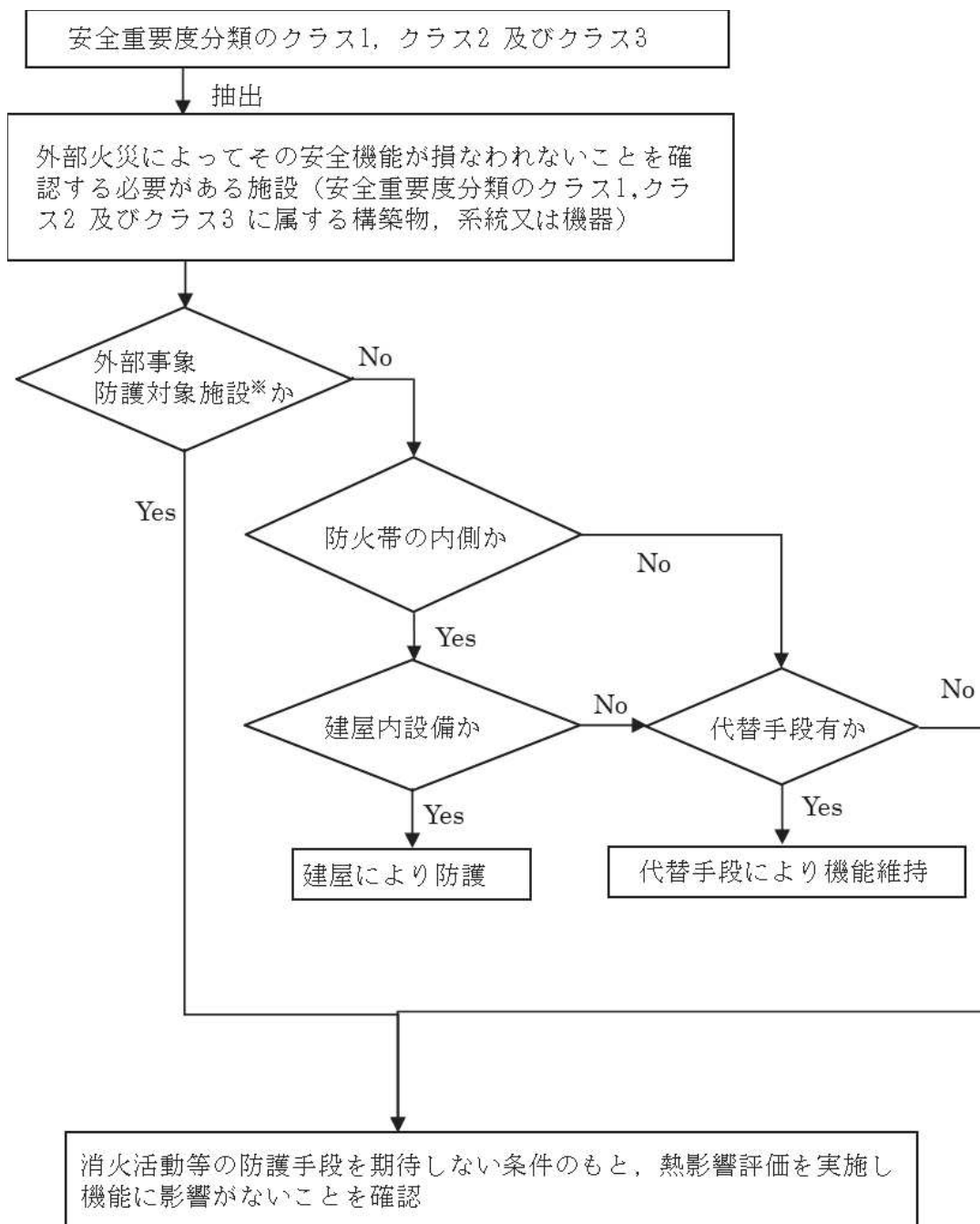
選定フロー(第3-2図)に基づき、ばい煙等による影響評価の評価対象施設を抽出し、評価を実施する。

- a. 外気を取り込む屋外設備
 - ・原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機
 - ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機
- b. 換気空調系で給気されるエリアの設置機器
 - ・非常用ディーゼル発電機
 - ・安全保護系
- c. 建屋外部に開口部を有する設備
 - ・非常用ディーゼル発電機排気口

また、外部火災発生時のばい煙等による居住性の評価の観点から中央制御室及び緊急時対策所の影響評価を実施し、煙や埃に対して脆弱な設備として安全保護系について影響評価を実施する。

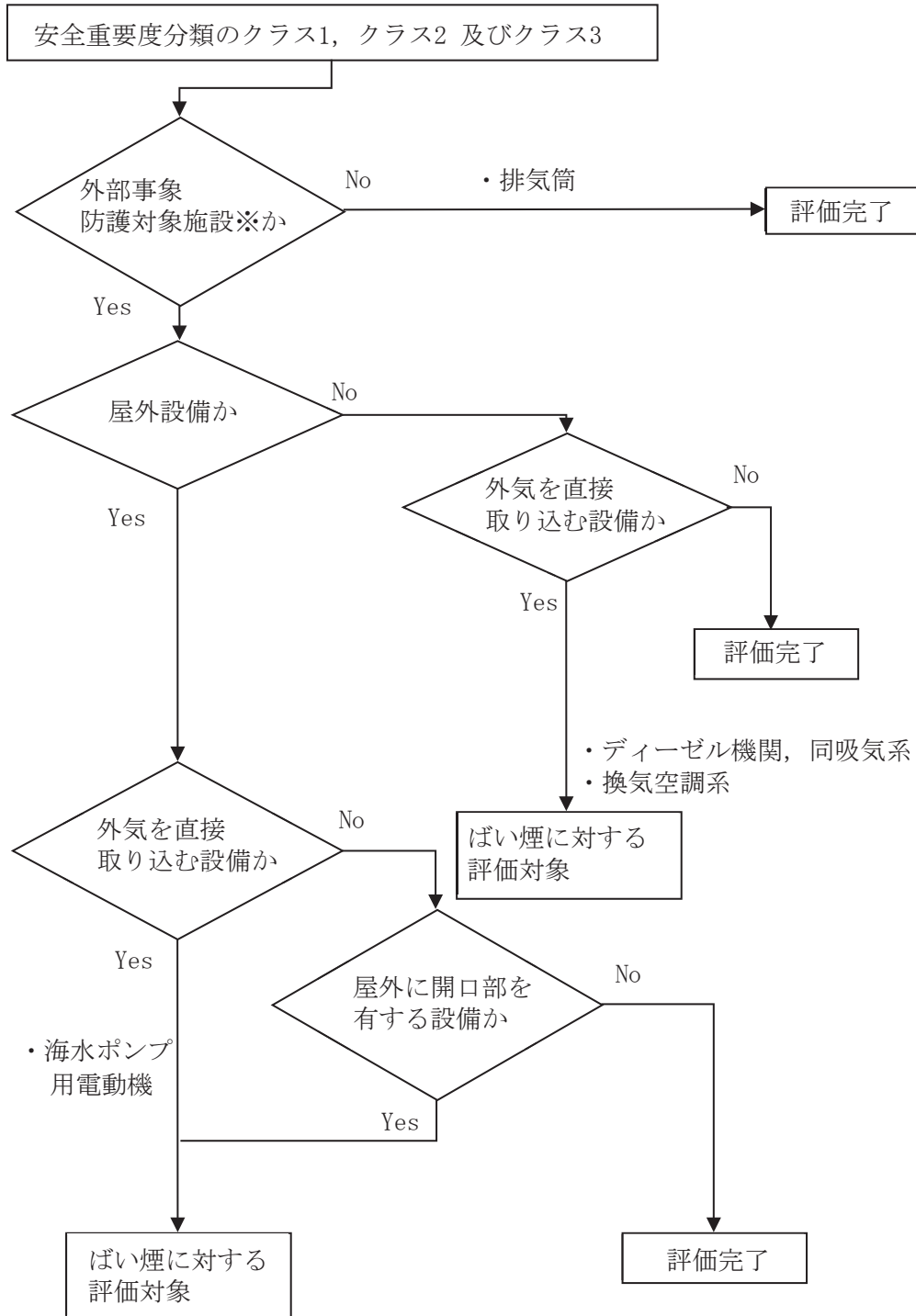
3. 重大事故等対処設備に対する考慮

第3-4図の外部火災に対する重大事故等対処設備への評価フローに基づき、外部火災に対し、必要な安全機能を維持できることを確認する。



※：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器又はそれを内包する建屋

第 3-1 図 熱影響評価を実施する施設の選定フロー図



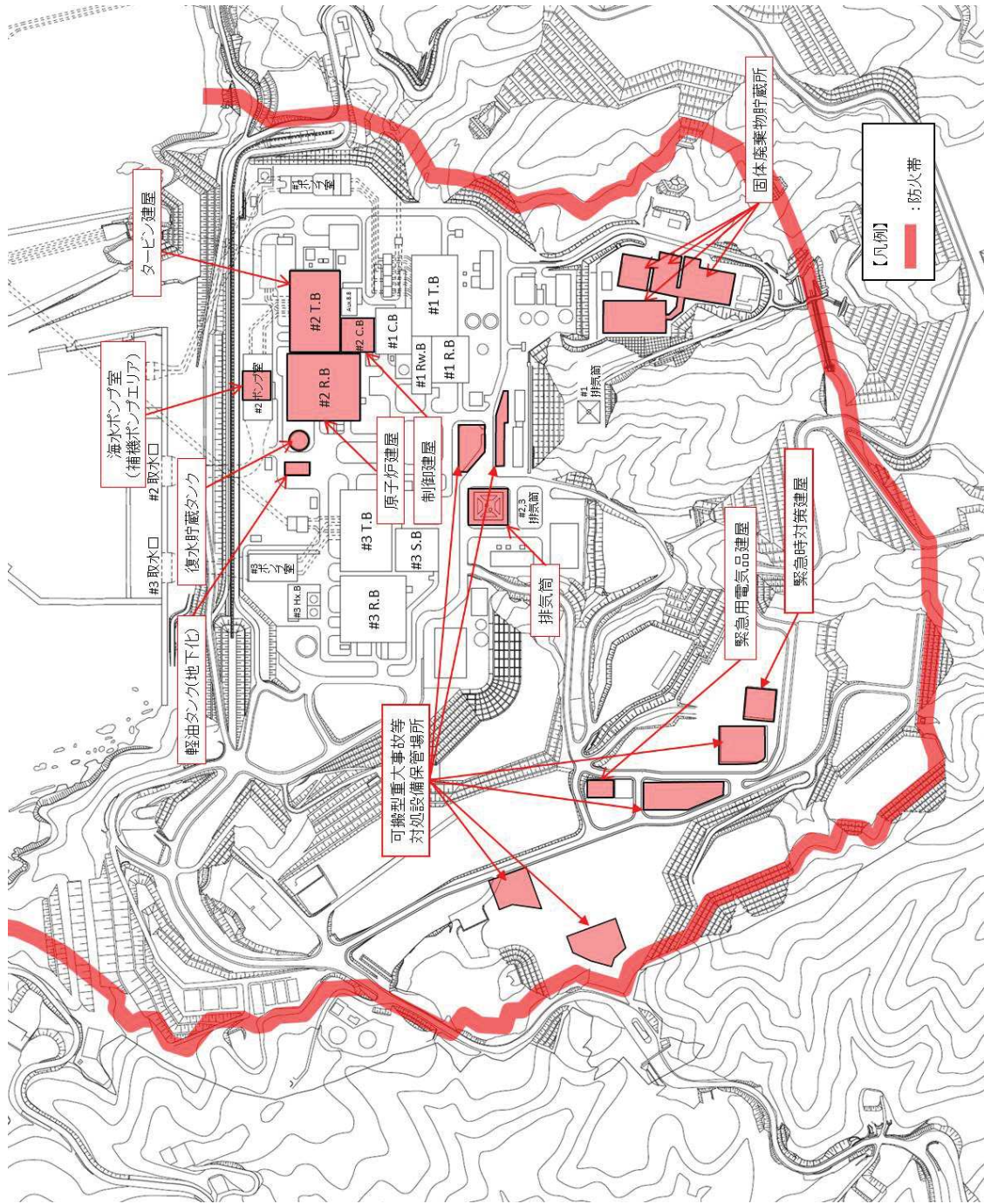
※：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器又はそれを内包する建屋

第 3-2 図 ばい煙に対する影響評価を実施する施設の選定フロー図

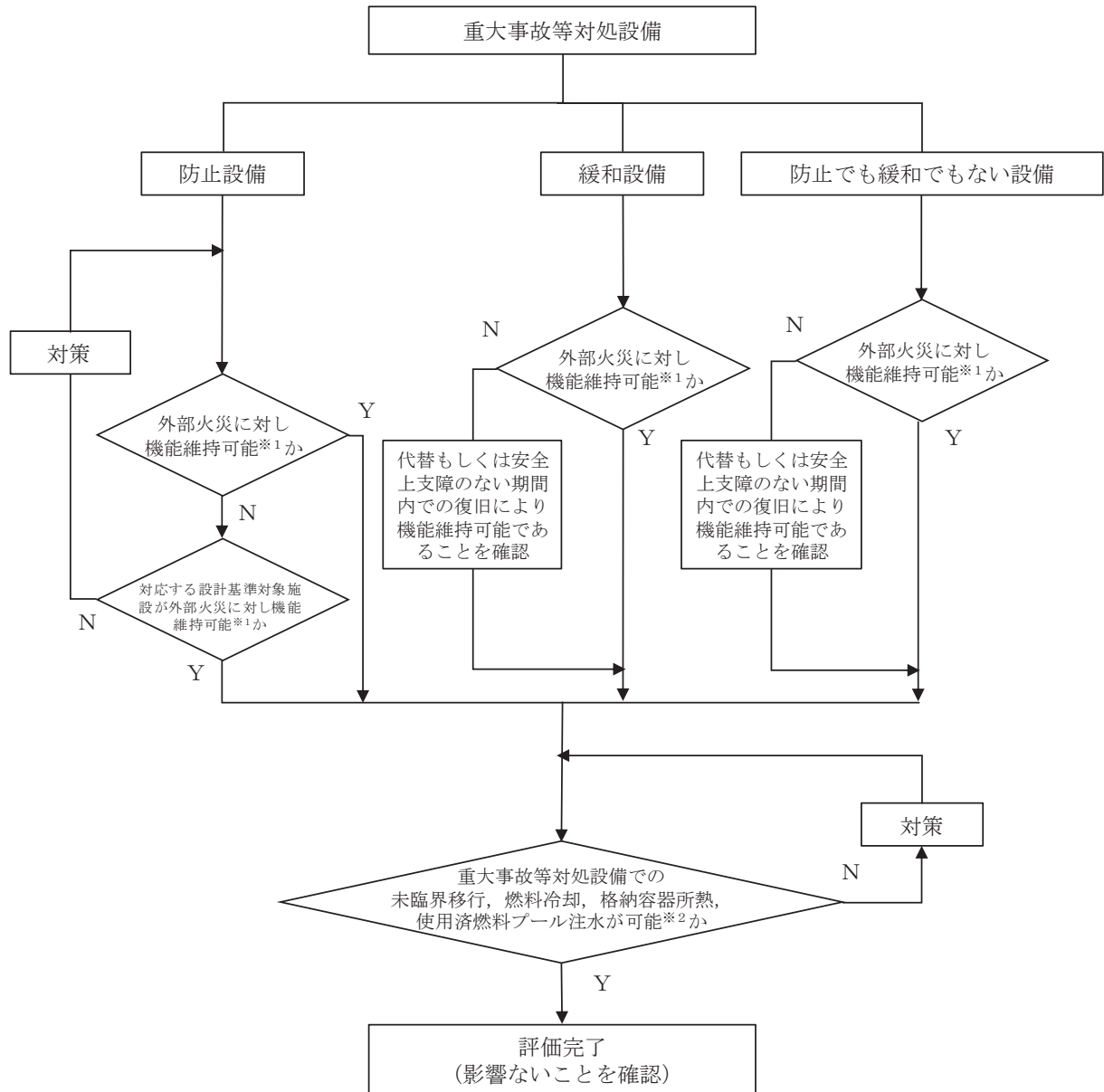
第 3-1 表 防護対象及び防護方法

防護対象		防護方法	評価対象施設等 ^{※1}
外部事象防護対象施設	外部事象に対し必要な構造物, 系統及び機器を内包する建屋	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと, 火元からの離隔距離で防護 (熱影響評価を実施)	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋
	外部事象に対し必要な構造物, 系統及び機器に属する屋外施設		原子炉補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 排気筒 復水貯蔵タンク
その他の安全施設		防火帯の内側に原則設置屋内設備は, 建屋による防護。 屋外設備は, 代替手段等で安全機能に影響がないことを確認。	開閉所 固体廃棄物貯蔵所 放射線監視設備 (モニタリングポスト) ほか
重大事故等対処設備			電源車 原子炉格納容器フィルタベント系ほか

※1 : 破線内は評価対象施設である。



第 3-3 図 女川原子力発電所 2 号炉 外部火災に対する主要な防護対象



※1：ばい煙を取り込まない，若しくは取り込んでも機能維持可能なことを確認している。

※2：外部火災により重大事故等対処設備と設計基準対象施設が同時に損なわれることはないが，安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認。

第 3-4 図 外部火災に対する重大事故等対処施設への評価フロー

4. 設備を防護する建屋の離隔距離

外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備を内包する各建屋について、防火帯外縁からの離隔距離を下表に示す。

この離隔距離は想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離（16m）以上あることから、外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備に対して、森林火災が熱影響をおよぼすことはないと評価できる（添付資料-2参照）。

第 4-1 表 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離

設備を防護する建屋	離隔距離※
原子炉建屋	約 229m
制御建屋	約 180m
タービン建屋	約 160m
固体廃棄物貯蔵所	約 74m

※：防火帯外縁から建屋までの最短距離

表 4-2 外部事象防護対象施設 (1/3)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所				外部火災評価項目	
	定義	機能	防護対象設備	建屋内設備			熱影響評価 建屋外壁	個別機器
				原子炉建屋 制御建屋	タービン建屋	個別建屋		
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恐れのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンスダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンスダリを構成する機器・配管系(計装等の小口径配管・機器は除く。)	○			○	
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	○			○	
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物(炉心シユラウド、シユラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管)燃料集合体(ただし、燃料を除く。)	○			○	
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンスダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒及び制御棒駆動系(スクラム機能))	○			○	
		2) 未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系、ほう酸水注入系)	○			○	
		3) 原子炉冷却材圧力バウンスダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁としての開機能)	○			○	
		4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統(残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード)、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレイス系、逃がし安全弁(手動逃がし機能)、自動減圧系(手動逃がし機能))	○			○	
		5) 炉心冷却機能	復水貯蔵タンク 非常用炉心冷却系(低圧炉心スプレイス系、低圧注水系、高圧炉心スプレイス系、自動減圧系)	○			○	
		6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	復水貯蔵タンク 原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイス冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	○			○	

表 4-2 外部事象防護対象施設 (2/3)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所				外部火災評価項目							
	定義	機能	防護対象設備		建屋内設備		熱影響評価							
			原子炉建屋制御建屋	タービン建屋	個別建屋	屋外設備	建屋外壁	個別機器	ばい煙評価 外気を取込む設備					
MS-1 (続き)	2) 安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能 2) 安全上特に重要な関連機能	安全保護系											
			非常用所内電源系 (MS-1 関連のもの) 非常用ディーゼル発電機											
			非常用所内電源系 (MS-1 関連のもの) 非常用ディーゼル発電機燃料移送系 軽油タンク											
			制御室及びその遮へい (MS-1 関連のもの)											
			非常用換気空調系 (MS-1 関連のもの)											
			非常用補機冷却水系 (MS-1 関連のもの) 直流電源系 (MS-1 関連のもの)											

※1：女川2号炉の非常用ディーゼル発電機燃料移送系，軽油タンクは地下埋設構造であり，外部火災による火炎からの輻射熱が直接到達することのない構造であるため，熱影響評価は不要として整理している。

表 4-2 外部事象防護対象施設 (3/3)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所				外部火災評価項目	
	定義	機能	建屋内設備		屋外設備	熱影響評価		
			原子炉建屋制御建屋	タービン建屋		個別建屋	建屋外壁	個別機器
PS-2	<p>1) その損傷又は故障により発生する事象によつて、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器</p>	<p>1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)</p> <p>2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであつて、放射性物質を貯蔵する機能</p>	○			○		
			○			○		
			○			○		
MS-2	<p>2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであり、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器</p> <p>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とする構築物、系統及び機器</p> <p>2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器</p>	<p>3) 燃料を安全に取り扱う機能</p> <p>1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能</p>	○			○		
			○			○		
			○			○		
		<p>非常用補給水系</p> <p>放射性気体廃棄物処理系の隔離弁</p> <p>排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外)</p> <p>燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系</p> <p>事故時監視計器の一部</p> <p>—</p>	○			○		
		<p>1) 燃料プール水の補給機能</p> <p>2) 放射性物質放出の防止機能</p>	○			○		
		<p>1) 事故時のプラント状態の把握機能</p> <p>2) 異常状態の緩和機能</p> <p>3) 制御室外からの安全停止機能</p>	○			○		
		—	—	—	—	—	—	—
		○				○		

表 4-3 その他安全施設 (1/2)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所				外部火災発生時の防護								
	定義	機能	建屋内設備		屋外設備		建屋による防護	位置・構造による防護	代替設備で安全機能を確保	消火活動による防護					
			原子炉建屋 制御建屋	タービン 建屋	個別 建屋	防火帯 内側					防火帯 外側				
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	機能 1)原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2 以外のもの) 2)原子炉冷却材の循環機能 3)放射性物質の貯蔵機能	防護対象設備		○										
			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		○										
			原子炉冷却材再循環系		○										
		機能 4)電源供給機能(非常用を除く。)	サブレーションプールの水排水系、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)		○										
			サブレーションプール水貯蔵タンク					○			○**1				
			固体廃棄物処理系(固体廃棄物貯蔵所を含む)		○										
PS-3	2)原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に低く支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	機能 5)プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く。) 6)プラント運転補助機能	送電線									○			
			変圧器												
			開閉所												
			原子炉制御系、運転監視補助装置(制御棒価値ミニマイザ)、原子炉核計装の一部、原子炉プラントプロセス計装の一部		○									○	
			所内ボイラ設備												○
			計装用圧縮空気系		○										
PS-3	機能 1)核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能 2)原子炉冷却材の浄化機能	燃料被覆管		○											
		原子炉冷却材浄化系		○											
PS-3	機能 復水浄化系	復水浄化系											○		

※1：金属製造， ※2：地下ピット構造

表 4-3 その他安全施設 (2/2)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所				外部火災発生時の防護									
	定義	機能	屋内設備		屋外設備		建屋による防護	位置・構造による防護	代替設備で全機能を確保	消火活動による防護						
			原子炉建屋制御建屋	タービン建屋	個別建屋	防火帯内側					防火帯外側					
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、現象を緩和する構築物、系統及び機器	1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能 2) 出力上昇の抑制機能 3) 原子炉冷却材の補給機能	防護対象設備	○												
			逃がし安全弁 (逃がし弁機能)													
			タービンバイパス弁		○											
	2) 異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプトリップ機能), 制御棒引抜監視装置	○												
			制御棒駆動水圧系, 原子炉隔離時冷却系	○												
				緊急時対策所			○									
				試料採取系	○											
				通信連絡設備	○	○				○						
				放射線監視設備 (モニタリングポスト)									○			○
				事故時監視計器の一部	○											
			消火系	○	○					○						
			安全避難通路	○	○											
			非常用照明	○	○											

表 4-4 重大事故等対処施設 (1/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設	分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護
			建屋内	屋外	
第 37 条(重大事故等の拡大の防止等)	—	—	—	—	—
第 38 条(重大事故等対処施設の地盤)	—	—	—	—	—
第 39 条(地震による損傷の防止)	—	—	—	—	—
第 40 条(津波による損傷の防止)	—	—	—	—	—
第 41 条(火災による損傷の防止)	—	—	—	—	—
第 42 条(特定重大事故等対処施設)	特定重大事故等対処施設	申請範囲外	—	—	—
第 43 条(重大事故等対処設備)	ブルドーザ	防止でも緩和でもない設備	—	○	防火帯による防護、火災影響の及ばない位置に移動
第 44 条(緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備)	ATWS 緩和設備 (代替制御棒挿入機能)、制御棒、制御棒駆動機構、制御棒駆動水圧系 (水圧制御ユニット、制御棒駆動水圧系配管)	防止設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能)	防止設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	ほう酸水注入系	防止設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能)	防止設備・緩和設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	高圧代替注水系	56 条に記載	—	—	—
	復水貯蔵タンク	(設計基準対象施設)	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	原子炉隔離時冷却系	56 条に記載	—	—	—
	復水貯蔵タンク	(設計基準対象施設)	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	高圧炉心スプレイス	56 条に記載	—	—	—
	サブレーションチェンバ	56 条に記載	—	—	—
第 45 条(原子炉冷却材圧力バウナダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備)	高圧代替注水系	44 条に記載	—	—	—
	ほう酸水注入系	44 条に記載	—	—	—
	主蒸気逃がし安全弁、逃がし弁機能用アキュムレータ、自動減圧機能用アキュムレータ、主蒸気系配管 (排気管含む)	防止設備・緩和設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	代替自動減圧回路 (代替自動減圧機能)	防止設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能)	44 条に記載	—	—	—
	可搬型代替直流電源設備	57 条に記載	—	—	—
	高圧窒素ガスボンベ、主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ、配管等 (非常用)	防止設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	代替高圧窒素ガス供給系	防止設備	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	高圧窒素ガスボンベ、ホース、配管等	(設計基準対象施設)	○	—	防火帯による防護、建屋による防護
	HPCS 注入隔離弁	防止設備	○	○	防火帯による防護
原子炉建屋ブローアウトパネル	—	—	—	—	

表 4-4 重大事故等対処施設 (2/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設	分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護
			建屋内	屋外	
第 47 条(原子炉冷却材圧力バウナダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備)	低圧代替注水系 (常設)	復水移送ポンプ、配管等 復水貯蔵タンク	防止設備・緩和設備 56 条に記載	○	防火帯による防護、建屋による防護
	低圧代替注水系 (可搬型)	大容量送水ポンプ (タイプ I), 緊急送水ポンプ, ホース等 常設箇所：接続口, 配管等 常設箇所：配管等	防止設備・緩和設備 防止設備・緩和設備 防止設備・緩和設備	○ ○ ○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動 防火帯による防護, 分散して設置 防火帯による防護, 建屋による防護
	残留熱除去系 (低圧注水モード)	淡水貯水槽 (No.1), 淡水貯水槽 (No.2) 残留熱除去系ポンプ, 配管等 サブレーションンチェンバ	(設計基準対象施設) 56 条に記載	○	防火帯による防護, 建屋による防護
	残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード)	残留熱除去系ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	○	防火帯による防護, 建屋による防護
	低圧炉心スプレイス	低圧炉心スプレイスポンプ, 配管等 サブレーションンチェンバ	(設計基準対象施設) 56 条に記載	○	防火帯による防護, 建屋による防護
	原子炉補機冷却水系	原子炉補機冷却水系 (原子炉補機冷却水系を含む)	(設計基準対象施設) 48 条に記載	○	防火帯による防護, 建屋による防護
	非常用取水設備		その他の設備に記載		
	原子炉補機代替冷却水系	可搬箇所：熱交換器ユニット, 大容量送水ポンプ (タイプ I), ホース等 常設箇所：残留熱除去系熱交換器, 配管等 常設箇所：接続口, 配管等 配管, 弁等 排気筒	防止設備 防止設備 防止設備 防止設備 (設計基準対象施設)	○ ○ ○ ○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動 防火帯による防護, 建屋による防護 防火帯による防護, 分散して設置 防火帯による防護, 建屋による防護 防火帯による防護, 熱影響評価
	原子炉格納容器フイルタメント系	原子炉格納容器フイルタメント系	50 条に記載		
	残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード)	残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード)	47 条に記載		
	残留熱除去系 (格納容器スプレイス冷却モード)	残留熱除去系 (格納容器スプレイス冷却モード)	49 条に記載		
	残留熱除去系 (サブレーションル水冷却モード)	残留熱除去系 (サブレーションル水冷却モード)	49 条に記載		
	原子炉補機冷却水系 (原子炉補機冷却海水系を含む)	原子炉補機冷却水ポンプ, 配管等 原子炉補機冷却海水ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設) (設計基準対象施設)	○ ○	防火帯による防護, 建屋による防護 防火帯による防護, 熱影響評価
	高圧炉心スプレイス (高圧炉冷却水系を含む)	高圧炉心スプレイス補機冷却水ポンプ, 配管等 高圧炉心スプレイス補機冷却海水ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設) (設計基準対象施設)	○ ○	防火帯による防護, 建屋による防護 防火帯による防護, 熱影響評価
	高圧炉心スプレイス補機冷却海水系を含む)	高圧炉心スプレイス補機冷却水ポンプ, 配管等 高圧炉心スプレイス補機冷却海水ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設) (設計基準対象施設)	○ ○	防火帯による防護, 熱影響評価 防火帯による防護, 熱影響評価
非常用取水設備		その他の設備に記載			

表 4-4 重大事故等対処施設 (3/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設	分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護	
			建屋内	屋外		
第 49 条(原子炉格納容器内の冷却等のための設備)	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系(常設)	復水移送ポンプ 配管、弁等 復水貯蔵タンク	防止設備・緩和設備 防止設備・緩和設備	○ ○	防火帯による防護、建屋による防護 防火帯による防護、建屋による防護	
	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系(可搬型)	可搬箇所：大容量送水ポンプ(タイプ I)、ホース等 常設箇所：接続口、配管等 常設箇所：配管等 淡水貯水槽(No.1)、淡水貯水槽(No.2) 残留熱除去系ポンプ、配管等	防止設備・緩和設備 防止設備・緩和設備 防止設備・緩和設備 (設計基準対象施設)	○ ○ ○ ○	防火帯による防護、火災影響の及ばない位置に移動 防火帯による防護、分散して設置 防火帯による防護、建屋による防護	
	残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード)	サブレーションチェーンバ	(設計基準対象施設)	○	防火帯による防護、建屋による防護	
	残留熱除去系(サブレーションポンプール水冷却モード)	残留熱除去系ポンプ、配管等 サブレーションチェーンバ	(設計基準対象施設)	○	防火帯による防護、建屋による防護	
	原子炉補機冷却水系(原子炉補機冷却水系を含む)	サブレーションチェーンバ	56 条に記載		—	
	非常用取水設備		48 条に記載 その他の設備に記載		—	
	第 50 条(原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備)	原子炉格納容器内の減圧及び除熱	常設箇所：フイルタ装置、圧力開放板、配管、遠隔手動弁操作設備等 常設箇所：配管	防止設備・緩和設備 防止設備・緩和設備	○ ○	防火帯による防護、建屋による防護 防火帯による防護、分散して設置 防火帯による防護、火災影響の及ばない位置に移動
			可搬箇所：可搬型窒素ガス供給装置、ホース等 常設箇所：接続口、配管等	緩和設備 緩和設備	○ ○	防火帯による防護、建屋による防護、分散して設置
			可搬箇所：大容量送水ポンプ(タイプ I)、ホース等 常設箇所：接続口、配管等	防止設備・緩和設備 防止設備・緩和設備	○ ○	防火帯による防護、火災影響の及ばない位置に移動
			代替循環冷却ポンプ、残留熱除去系熱交換器、配管等 原子炉補機代替冷却水系(可搬箇所：熱交換器ユニット、大容量送水ポンプ(タイプ I)、ホース等) 原子炉補機代替冷却水系(常設箇所：残留熱除去系熱交換器、配管等) 原子炉補機代替冷却水系(常設箇所：接続口、配管等)	緩和設備 緩和設備 緩和設備 緩和設備	○ ○ ○ ○	防火帯による防護、建屋による防護 防火帯による防護、建屋による防護 防火帯による防護、火災影響の及ばない位置に移動 防火帯による防護、建屋による防護、分散して設置
	サブレーションチェーンバ 非常用取水設備	56 条に記載 その他の設備に記載		— —		

表 4-4 重大事故等対処施設 (4/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設	分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護
			建屋内	屋外	
第 51 条(原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備)	原子炉格納容器下部注水系(常設)による原子炉格納容器下部への注水	復水移送ポンプ, 配管等	緩和設備	○	防火帯による防護, 建屋による防護
	原子炉格納容器下部注水系(可搬型)による原子炉格納容器下部への注水	復水貯蔵タンク	56 条に記載	○	—
	原子炉格納容器下部注水系(可搬型)による原子炉格納容器下部への注水	大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース等	緩和設備	○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系(常設)による原子炉格納容器下部への注水	常設箇所: 接続口, 配管等	緩和設備	○	防火帯による防護, 分散して設置
	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系(可搬型)による原子炉格納容器下部への注水	淡水貯水槽(No.1), 淡水貯水槽(No.2)	56 条に記載	—	—
	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系(可搬型)による原子炉格納容器下部への注水	復水移送ポンプ。補給水系配管・弁等	49 条に記載	—	—
	原子炉格納容器下部への注水	原子炉格納容器[注水先]	その他の設備に記載	—	—
	原子炉格納容器下部への注水	復水貯蔵タンク[水源]	56 条に記載	—	—
	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系(可搬型)による原子炉格納容器下部への注水	大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車等	49 条に記載	—	—
	原子炉格納容器下部への注水	原子炉格納容器[注水先]	その他の設備に記載	—	—
第 52 条(水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備)	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	淡水貯水槽(No.1) [水源]	56 条に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	代替循環冷却ポンプ等	50 条に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	原子炉格納容器[注水先]等	その他の設備に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	サプレッションチェンバ	56 条に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	熱交換器ユニット等	48 条に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	高圧代替注水系	45 条に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	ほう酸水注入系	44 条に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	低圧代替注水系(常設)等	47 条に記載	—	—
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	(原子炉格納容器調気系)	(設計基準対象施設)	○	防火帯による防護, 建屋による防護
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	フィルタ装置等	50 条に記載	—	—
第 53 条(水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備)	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	原子炉格納容器内水素濃度(D/W), 格納容器内水素濃度(S/C), 格納容器内雰囲気水素濃度, 格納容器内雰囲気酸素濃度の監視	緩和設備	○	防火帯による防護, 建屋による防護
	原子炉格納容器内不活性化による原子炉格納容器水素爆発防止	静的触媒式水素再結合装置, 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置	緩和設備	○	防火帯による防護, 建屋による防護
第 54 条(原子炉建屋原子炉棟を防止するための設備)	原子炉建屋原子炉棟	原子炉建屋原子炉棟	緩和設備	○	—
	原子炉建屋原子炉棟	原子炉建屋原子炉棟	緩和設備	○	防火帯による防護, 建屋による防護

表 4-4 重大事故等対処施設 (5/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設		分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護
	燃料プール代替注水系	可搬箇所：大容量送水ポンプ (タイプ I), ホース等 淡水貯水槽 (No.1), 淡水貯水槽 (No.2) 可搬箇所：大容量送水ポンプ (タイプ I), ホース等 可搬箇所：スプレインノズル, ホース 淡水貯水槽 (No.1), 淡水貯水槽 (No.2)		防止設備	建屋内	
第 54 条 (使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備)	燃料プール代替注水系	可搬箇所：大容量送水ポンプ (タイプ I), ホース等 淡水貯水槽 (No.1), 淡水貯水槽 (No.2)	防止設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	燃料プールのスプレインノズル	可搬箇所：大容量送水ポンプ (タイプ I), ホース等 可搬箇所：スプレインノズル, ホース	緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	燃料プールのスプレインノズル	可搬箇所：スプレインノズル, ホース	緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護
	大気への放射性物質の拡散抑制	淡水貯水槽 (No.1), 淡水貯水槽 (No.2)	56 条に記載 55 条に記載			—
第 55 条 (発電所外への放射性物質の拡散を抑制するための設備)	燃料プールの冷却浄化ポンプ, 熱交換器, 配管等	燃料プールの冷却浄化系 (燃料プールの冷却浄化ポンプ, 熱交換器, 配管等)	防止設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護
	原子炉補機代替冷却水系 (可搬箇所：熱交換器ユニット, 大容量送水ポンプ (タイプ I), ホース等)	原子炉補機代替冷却水系 (可搬箇所：熱交換器ユニット, 大容量送水ポンプ (タイプ I), ホース等)	防止設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	原子炉補機代替冷却水系 (常設箇所：燃料プールの冷却浄化系熱交換器, 配管等)	原子炉補機代替冷却水系 (常設箇所：燃料プールの冷却浄化系熱交換器, 配管等)	防止設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護
	原子炉補機代替冷却水系 (常設箇所：接続口, 配管等)	原子炉補機代替冷却水系 (常設箇所：接続口, 配管等)	防止設備		○	防火帯による防護, 分散して設置
第 56 条 (重大事故等の取束に必要な水の供給設備)	非常用取水設備	非常用取水設備	その他の設備に記載			—
	使用済燃料プールの水位/温度 (ヒートサーモ式), 使用済燃料プールの水位/温度 (ガイドバルブ式), 使用済燃料プールの上部空間放射線モニタ (高線量, 低線量), 使用済燃料プールの監視カメラ	使用済燃料プールの水位/温度 (ヒートサーモ式), 使用済燃料プールの水位/温度 (ガイドバルブ式), 使用済燃料プールの上部空間放射線モニタ (高線量, 低線量), 使用済燃料プールの監視カメラ	防止設備・緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護
	大気への放射性物質の拡散抑制 (タイプ II), 放水砲, ホース)	大気への放射性物質の拡散抑制 (大容量送水ポンプ (タイプ II), 放水砲, ホース)	緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	航空機燃料火災への泡消火 (タイプ II), 放水砲, 海洋への放射線物質の拡散抑制	航空機燃料火災への泡消火 (大容量送水ポンプ (タイプ II), 放水砲, シルトフエンス)	緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	復水貯蔵タンク	復水貯蔵タンク	緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	サブプレッジョンチェンバ	サブプレッジョンチェンバ	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 熱影響評価
	淡水貯水槽 (No.1), 淡水貯水槽 (No.2)	淡水貯水槽 (No.1), 淡水貯水槽 (No.2)	緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護
	ほう酸水注入系貯蔵タンク	ほう酸水注入系貯蔵タンク	— (代替淡水源)		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
	水の供給	大容量送水ポンプ (タイプ I), 大容量送水ポンプ (タイプ II), ホース等 常設箇所：接続口, 配管等	44 条に記載 防止設備・緩和設備		○	—
	非常用取水設備	非常用取水設備	防止設備・緩和設備 その他の設備に記載		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動 防火帯による防護, 分散して設置

表 4-4 重大事故等対処施設 (6/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設	分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護	
			建屋内	屋外		
第 57 条 (電源設備)	常設代替交流電源設備 可搬型代替交流電源設備 所内常設蓄電式直流電源設備 常設代替直流設備 可搬型代替直流電源設備 代替所内電気設備	ガスタービン発電機	防止設備・緩和設備		○	非常用ディーゼル発電機による安全機能確保
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
		タンクローリ	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
		軽油タンク	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
		電源車	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
		軽油タンク	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
		タンクローリ	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
		電源車接続口	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護, 分散して設置
		125V 蓄電池 2A, 125V 蓄電池 2B, 125V 充電器盤 2A, 125V 充電器盤 2B	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護
		125V 代替蓄電池 250V 蓄電池	防止設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護
		電源車	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
		125V 代替充電器盤, 125V 代替蓄電池 250V 蓄電池	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護
		軽油タンク	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
タンクローリ	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動		
電源車接続口	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護, 分散して設置		
ガスタービン発電機接続線, 緊急用高圧母線 2F 系, 緊急用高圧母線 2G 系, 緊急用動力変圧器 2G 系, 緊急用低圧母線 2G 系, 緊急用交流電源切替盤 2G 系, 緊急用交流電源切替盤 2C 系, 緊急用交流電源切替盤 2D 系, 非常用高圧母線 2C 系, 非常用高圧母線 2D 系	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護		

表 4-4 重大事故等対処施設 (7/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設		分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護
	非常用交流電源設備	非常用直流電源設備		建屋内	屋外	
第 57 条 (電源設備)	非常用交流電源設備	非常用ディーゼル発電機, 燃料デイトタンク, 配管等	(設計基準対象施設)	○		防火帯による防護, 建屋による防護
	非常用直流電源設備	軽油タンク, 配管等	(設計基準対象施設)		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
	直流電源設備	125V 蓄電池 2A, 125V 蓄電池 2B, 125V 充電器盤 2A, 125V 充電器盤 2B	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
	高圧炉心スプレイス系用交流電源設備	高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電機, 燃料デイトタンク, 配管等	防止設備・緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護
	高圧炉心スプレイス系用直流電源設備	高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	(設計基準対象施設)		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
	燃料補給設備	軽油タンク, 配管等	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
		125V 蓄電池 2H, 125V 充電器盤 2H	(設計基準対象施設)	○		防火帯による防護, 建屋による防護
		軽油タンク, ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
		タンクローリ	防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動
	第 58 条 (計装設備)	重大事故等時の計装 (SA 時計装一式) [原子炉圧力容器内の温度・圧力・水位] [原子炉圧力容器・格納容器への注水量] [原子炉格納容器内の温度・圧力・水位・水素濃度・放射線量率] [未臨界の維持又は監視] [最終ヒートシンクの確保 (代替循環冷却系・原子炉格納容器フィルタベント系・耐圧強化ベント系の監視)] [格納容器バイパスの監視] [水源の確保] [原子炉建屋内の水素濃度] [原子炉建屋内の酸素濃度] [使用済燃料プールの監視] [発電所内の通信連絡] [温度, 圧力, 水位, 注水量の計測・監視]	防止設備・緩和設備・(設計基準対象施設) 防止設備・緩和設備・防止でも緩和でもない設備 防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護, 地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない

表 4-4 重大事故等対処施設 (8/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設	分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護	
			建屋内	屋外		
第 59 条(運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)	<p>中央制御室, 中央制御室退避所 中央制御室遮蔽, 中央制御室送風機, 中央制御室排風機, 中央制御室再循環送風機, 中央制御室再循環フィルタ装置, ダクト等 中央制御室待避所遮蔽, 中央制御室待避所加圧設備 (空気ポンプ, 配管等) 差圧計, 酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計, データ表示装置 (待避所) トランシーバ (固定), 衛星電話 (固定)</p>	(重大事故等対処施設)	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止設備・緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止でも緩和でもない設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		62 条に記載			—	
		防止でも緩和でもない設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動	
		防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動	
第 60 条(監視測定設備)	<p>可搬型照明 非常用ガス処理系 (排風機等) 可搬型モニタリングポスト 可搬型放射線計測装置 (可搬型ダスト・よう素サンプラ, γ線サーベイメータ, β線サーベイメータ, 電離箱サーベイメータ) 小型船舶 常設代替交流電源設備</p>	(重大事故等対処施設)	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		57 条に記載			—	
		防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動	
		緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
第 61 条(緊急時対策所)	<p>緊急時対策所 緊急時対策所遮蔽, 緊急時対策建屋非常用送風機, 緊急時対策建屋非常用フィルタ装置, 配管等 緊急時対策所加圧設備 (空気ポンプ, 配管等) 差圧計, 酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計 緊急時対策所可搬型エリアモニタ 可搬型モニタリングポスト 安全パラメータ表示システム (SPDS) ガスタービン発電機, ガスタービン発電設備軽油タンク, タンクローリ, 軽油タンク, ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ, 配管等 電源車 緊急時対策所軽油タンク, 緊急時対策所燃料移送系配管等 緊急時対策所用高圧母線 J 系 トランシーバ (固定), トランシーバ (携帯), 衛星電話 (固定), 衛星電話 (携帯), 衛星通信装置, 有線 (建屋内)</p>	(重大事故等対処施設)	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護	
		緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止でも緩和でもない設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		60 条に記載			—	
		62 条に記載			—	
		防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 火災影響の及ばない位置に移動	
		防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護	
		62 条に記載			—	

表 4-4 重大事故等対処施設 (9/9)

設置許可基準	重大事故等対処施設		分類	設備設置場所		外部火災発生時の防護
	携行型通話装置	重大事故等対処施設		建屋内	屋外	
第 62 条(通信連絡を行うために必要な設備)	所内通信	携行型通話装置	防止設備・緩和設備	○		防火帯による防護, 建屋による防護
		トランシーバ (固定), トランシーバ (携帯)	防止設備・緩和設備	○	○	防火帯による防護, 建屋により機能維持可能
	安全パラメータ表示システム (SPDS)	防止設備・緩和設備	○	○	防火帯による防護, 建屋により機能維持可能	
その他の設備	所内外通信	衛星電話 (固定), 衛星電話 (携帯)	緩和設備	○	○	防火帯による防護, 建屋による防護, 代替設備 (有線系, 無線系) により機能維持可能
		総合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備, データ伝送設備	防止でも緩和でもない設備	○	○	防火帯による防護, 建屋による防護, 代替設備 (有線系, 無線系) により機能維持可能
	重大事故等時に対処するための流路, 注水先, 注入先, 排出元等非常用取水設備	原子炉圧力容器, 原子炉格納容器, 使用済燃料プール 原子炉建屋原子炉棟 貯留堰, 取水口, 取水路, 海水ポンプ室	防止設備・緩和設備	○	○	防火帯による防護, 建屋による防護
			防止設備・緩和設備		○	防火帯による防護, 建屋による防護, 熱影響評価

森林火災による影響評価について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地外で発生する火災に対して安全性向上の観点から、森林火災が女川原子力発電所に迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。2章にて火災の到達時間及び防火帯幅の評価、3章にて危険距離及び温度評価を実施する。

2. 火災の到達時間及び防火帯幅の評価

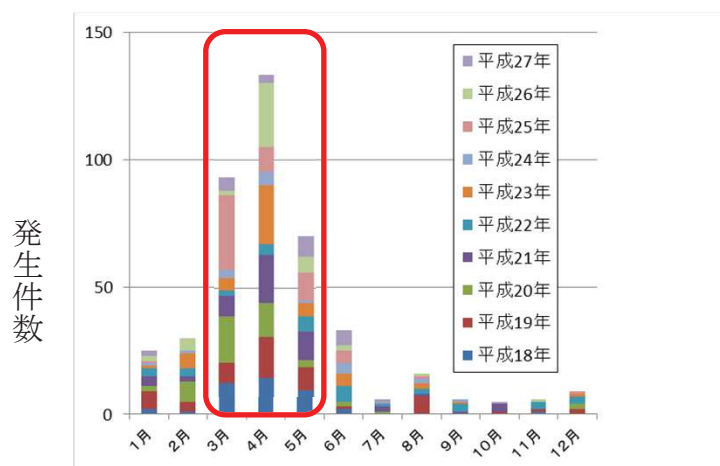
2.1 森林火災の想定

森林火災の想定は以下のとおりである。

- ・植生データは、森林の現状を把握するため、森林簿を入手し、その情報を元に防火帯周辺の植生調査を実施する。その結果から、保守的な可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。
- ・気象条件は過去10年間(2006～2015年)を調査し、森林火災の発生件数の多い3～5月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組み合わせとする(第2.1-1図)。
- ・風向は卓越方向とし、女川原子力発電所の風上に発火点を設定する。気象条件を第2.1-1表に示す。
- ・女川原子力発電所からの直線距離10kmの間で設定する。
- ・発火源は最初に人為的行為を考え、居住地区及び道路沿いを発火点とする。発火点位置を第2.1-3図～第2.1-6図に示す。
- ・放水等による消火活動は期待しない。

第2.1-1表 気象条件

	風向 [16方位]	3～5月 最大風速 [m/s]	3～5月 最高気温 [°C]	3～5月 最小湿度 [%]
発火点1	北	23.8	30.7	15
発火点2-1	南西	23.8	30.7	15
発火点2-2	南南西	23.8	30.7	15
発火点3	西北西	23.8	30.7	15



第 2. 1-1 図 森林火災の月別発生件数(平成 18 年～平成 27 年)

(1) 発火点の設定方針

- ・ 女川原子力発電所からの直線距離 10km の間に設定する。
- ・ 発電所風上を選定する。
- ・ 風向は, 卓越風向の風である北北東, 南南西及び西北西を選定する(第 2. 1-2 表)。
- ・ 人為的行動を考慮, 居住地区及び道路沿いを選定する。

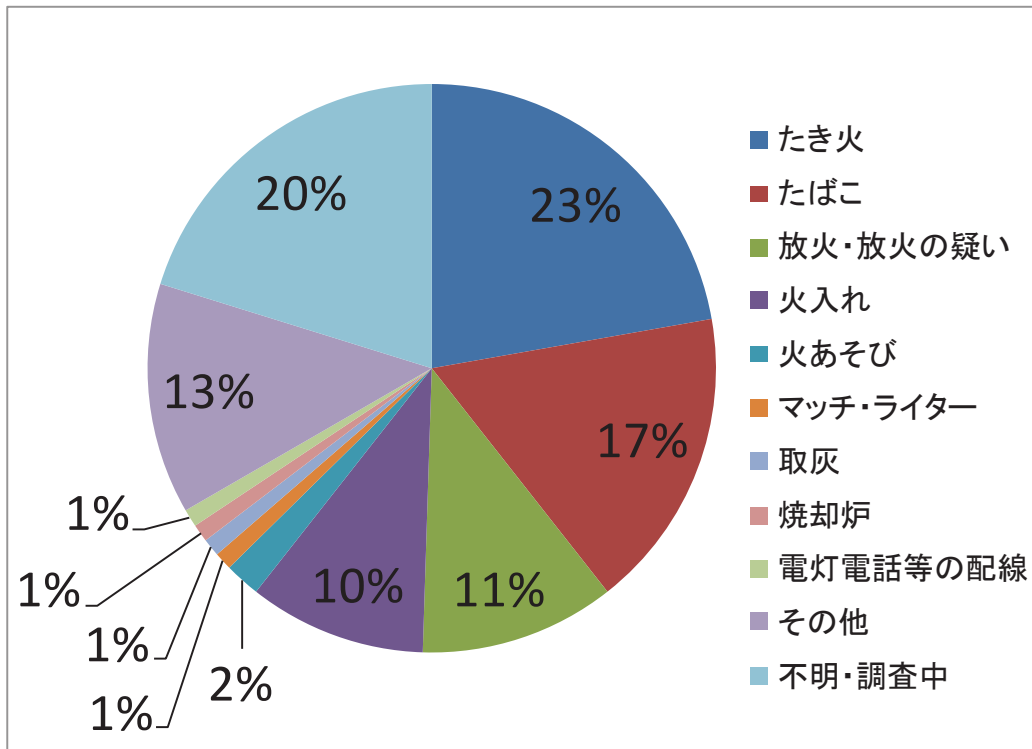
なお, 平成18～27年度の宮城県の林野火災の主な発生原因は, 第2. 1-2図に示すとおり, 割合の多い順でたき火23%, たばこ17%, 放火・放火の疑い11%, 火入れ10%となっている。いずれの発生原因も, 民家, 田畑周辺あるいは道路沿いで発生する人為的行動となっている。

第 2.1-2 表 江ノ島観測所における卓越風向(平成 18 年～平成 27 年)

風向	最多風向出現回数 (日単位)			計
	3 月	4 月	5 月	
北	3	18	25	46
北北東	35	27	28	90
北東	14	19	24	57
東北東	3	3	1	7
東	2	0	2	4
東南東	4	1	2	7
南東	8	8	4	20
南南東	8	9	7	24
南	11	24	42	77
南南西	27	41	55	123
南西	6	4	8	18
西南西	0	3	0	3
西	9	8	5	22
西北西	104	69	47	220
北西	30	18	16	64
北北西	20	17	8	45

卓越風向グループ※

*10 回以上をグループ化 (出典：気象庁 HP 気象統計情報)



(出典：宮城県消防防災年報)

第 2.1-2 図 火災の出火原因割合 (平成 18 年～平成 27 年)

(2) 立地条件を考慮した発火点の設定

(発火点 1)

卓越風向の北北東方向において、民宿、社員寮等の居住区が存在する小屋取地区の漁港沿いに発火点を選定する。(2号炉原子炉炉心の中心から約0.9km)

(発火点 2-1)

卓越風向の南南西方向において、発電所に近い県道沿いに発火点を選定する。(2号炉原子炉炉心の中心から約1.2km)

(発火点 2-2)

卓越風向の南南西方向において、居住地区及び田が存在する鮫浦地区に発火点を選定する。(2号炉原子炉炉心の中心から約2.6km)

(発火点 3)

卓越風向の西北西方向において、発電所周辺の道路沿いから、発電所に近い地点に発火点を選定する。(2号炉原子炉炉心の中心から約1.1km)

(3) 森林火災評価における発火点の妥当性

(発火点 1)

当該地点は荒地であり、発電所への最短の延焼方向は海沿いに限定される。この方向は当社社員寮及び森林となっており、発火点を西側へ移動させたとしても付近の植生は森林であり植生データは大きく変わらないことから評価結果に有意な差が出ることはない。

よって、人為的行為を想定し漁港沿いの当該地点を選定した。

(発火点 2-1)

当該県道沿いのまわりは森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を県道沿いに移動させたとしても評価結果に有意な差が出ることはない。

よって卓越風向の方向で県道沿いの近い点を発火点として設定した

(発火点 2-2)

当該地点付近及び延焼方向の田には保守的に Tall grass を設定していることならびにまわりは森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても、当該地点より評価結果が厳しくなることはない。

よって、鮫浦地区を発火点として設定した。

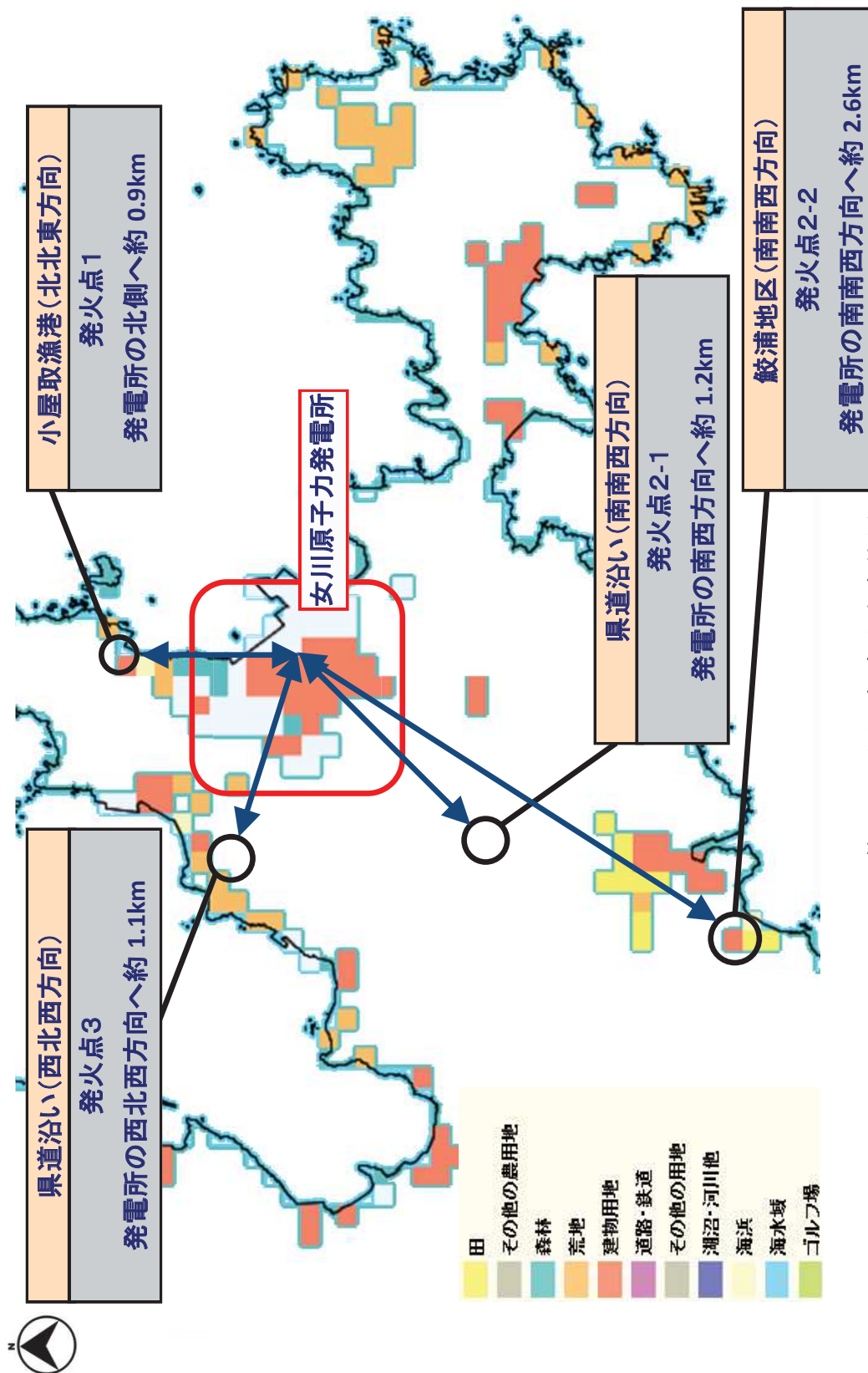
(発火点 3)

当該地点は荒地であり、この地点から発電所方向は森林となっており植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても評価結果に有意な差が出ることはない。

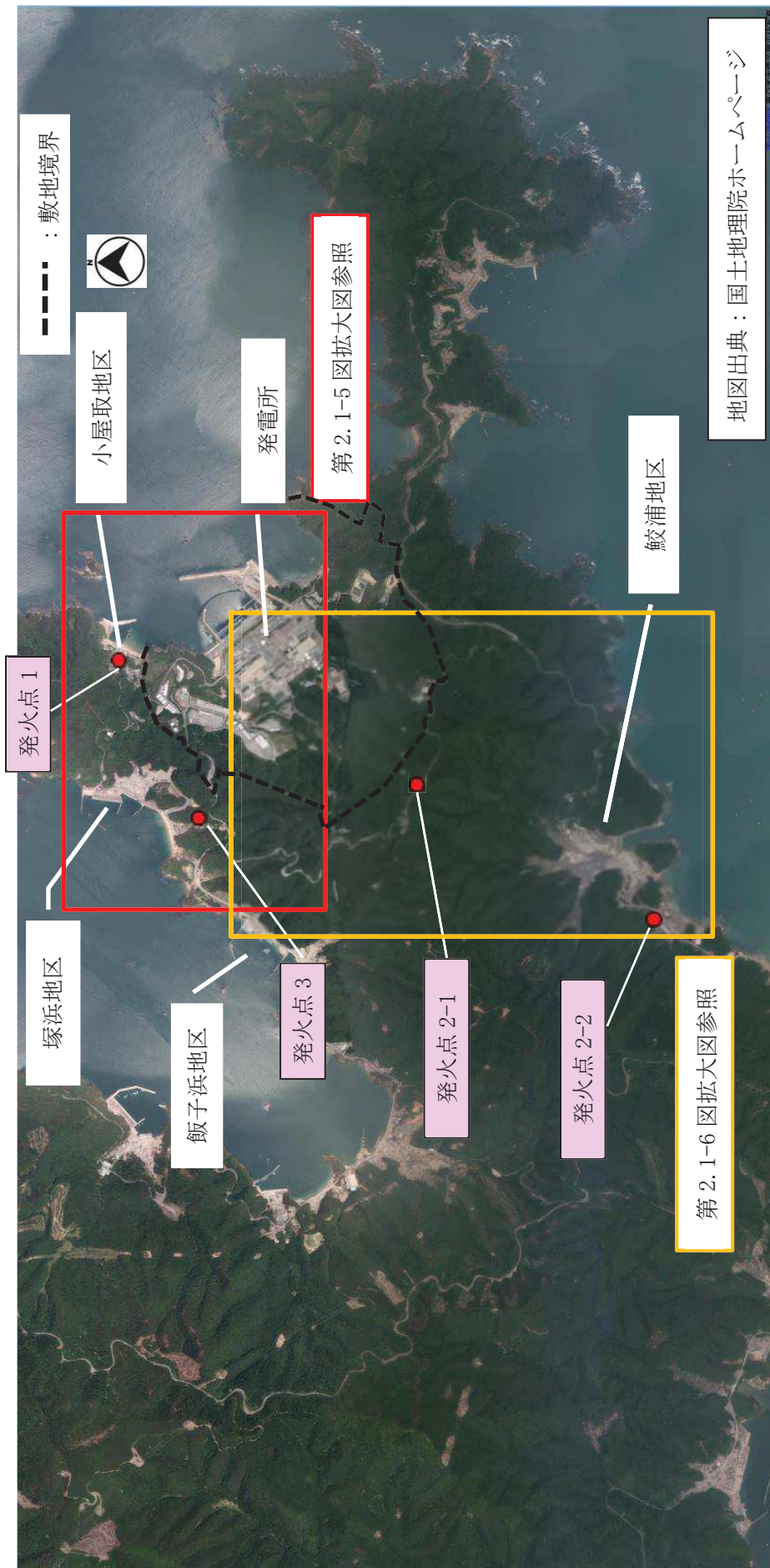
よって卓越風向の方向で県道沿いの近い点を発火点として設定した。

(4) 発火時刻の設定

日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が増大することから、これらを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定する。



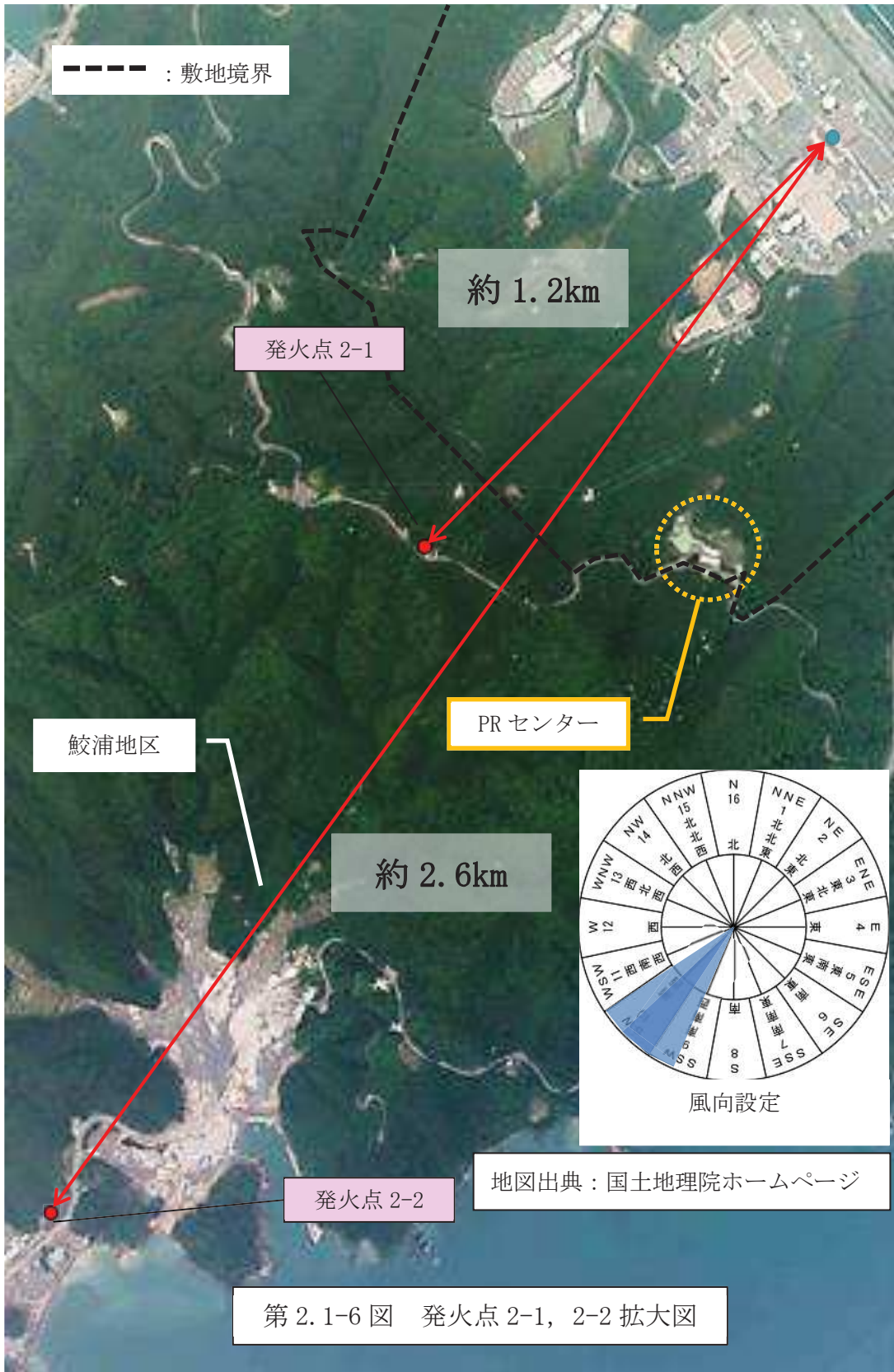
第 2.1-3 図 想定発火点位置



第 2.1-4 図 評価発火点 (航空写真)



第 2.1-5 図 発火点 1, 3 拡大図



第 2.1-6 図 発火点 2-1, 2-2 拡大図

2.2 森林火災による影響の有無の評価

(1) 評価手法の概要

本評価は、女川原子力発電所に対する森林火災の影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標と観点を以下に示す。

第 2.2-1 表 評価指標と観点

評価指標	評価の観点
延焼速度 [km/h]	・火災発生後、どの程度の時間で女川原子力発電所に到達するのか
火線強度 [kW/m]	・女川原子力発電所に到達し得る火災の規模はどの程度か ・必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か
反応強度 [kW/m ²]	
火炎長 [m]	
火炎輻射発散度 [kW/m ²]	
火炎輻射強度 [kW/m ²]	
火炎到達幅 [m]	

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は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という発電所周辺の地形を考慮し女川原子力発電所から南に12km、北に12km、東に4km、西に12kmとする。

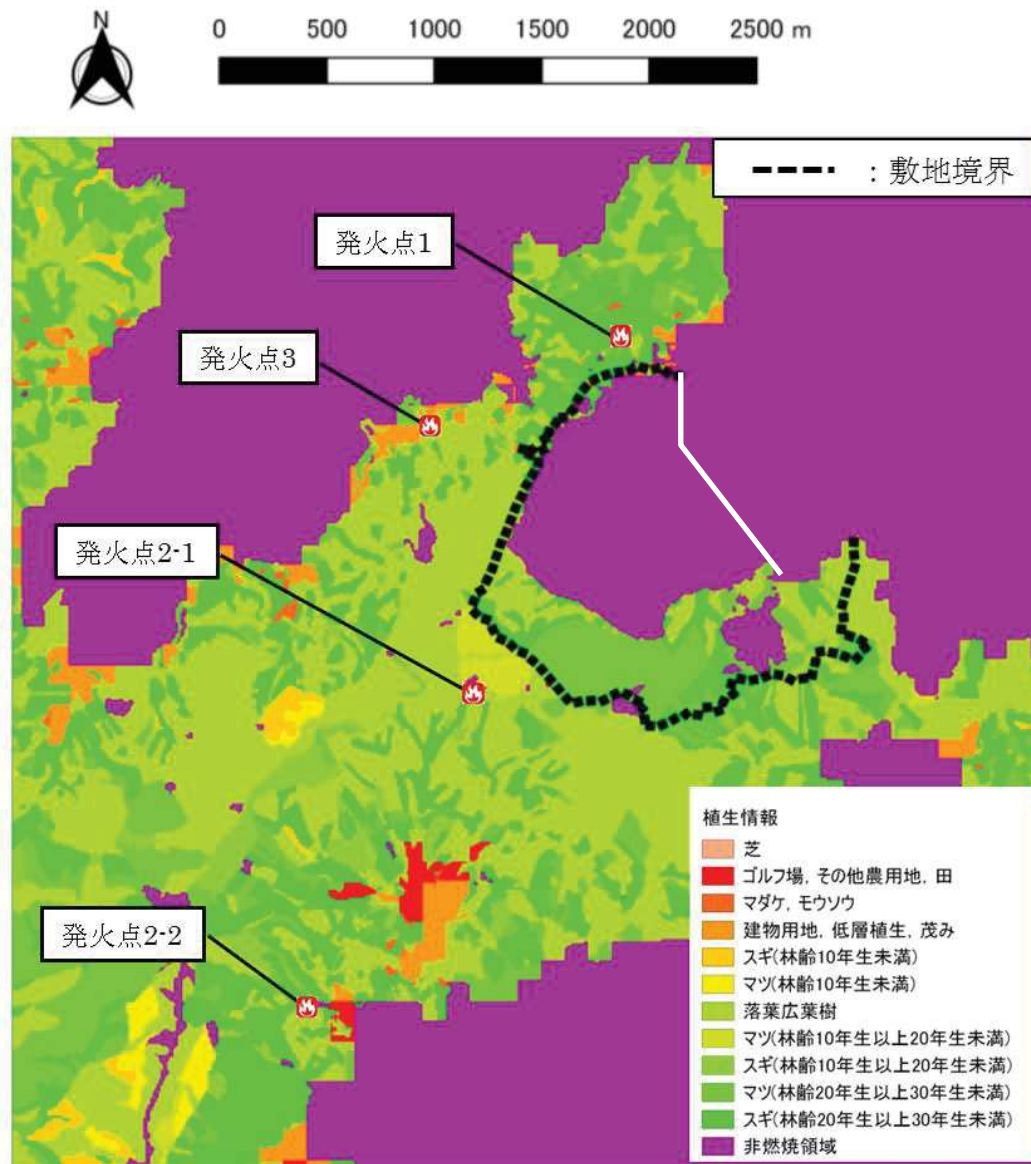
(3) 必要データ

a. 入力条件

評価に必要なデータ以下のとおり設定し、本評価を行った。

第 2.2-2 表 森林火災評価のための入力データ一覧

データ種類	外部火災影響評価ガイドの記載	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの土地利用データを用いる。 (国土数値情報 土地利用細分メッシュ)	同左 国土数値情報（国土交通省）の100mメッシュの土地利用データを使用した。
植生データ	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現地の地方自治体より入手する。 森林簿の情報をを用いて、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。	同左 宮城県及び東北森林管理局より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に防火帯周辺の植生調査を実施した。 その結果から、保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢により細分化した。
地形データ	現地の状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの標高データを用いる。 傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。（基盤地図情報 数値標高モデル 10mメッシュ）	同左 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。 敷地内は、当社敷地配置図及び航空レーザー測量標高データを使用した。
気象データ	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、森林火災の発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。	同左 宮城県において森林火災発生件数の多い3月～5月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。 風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。



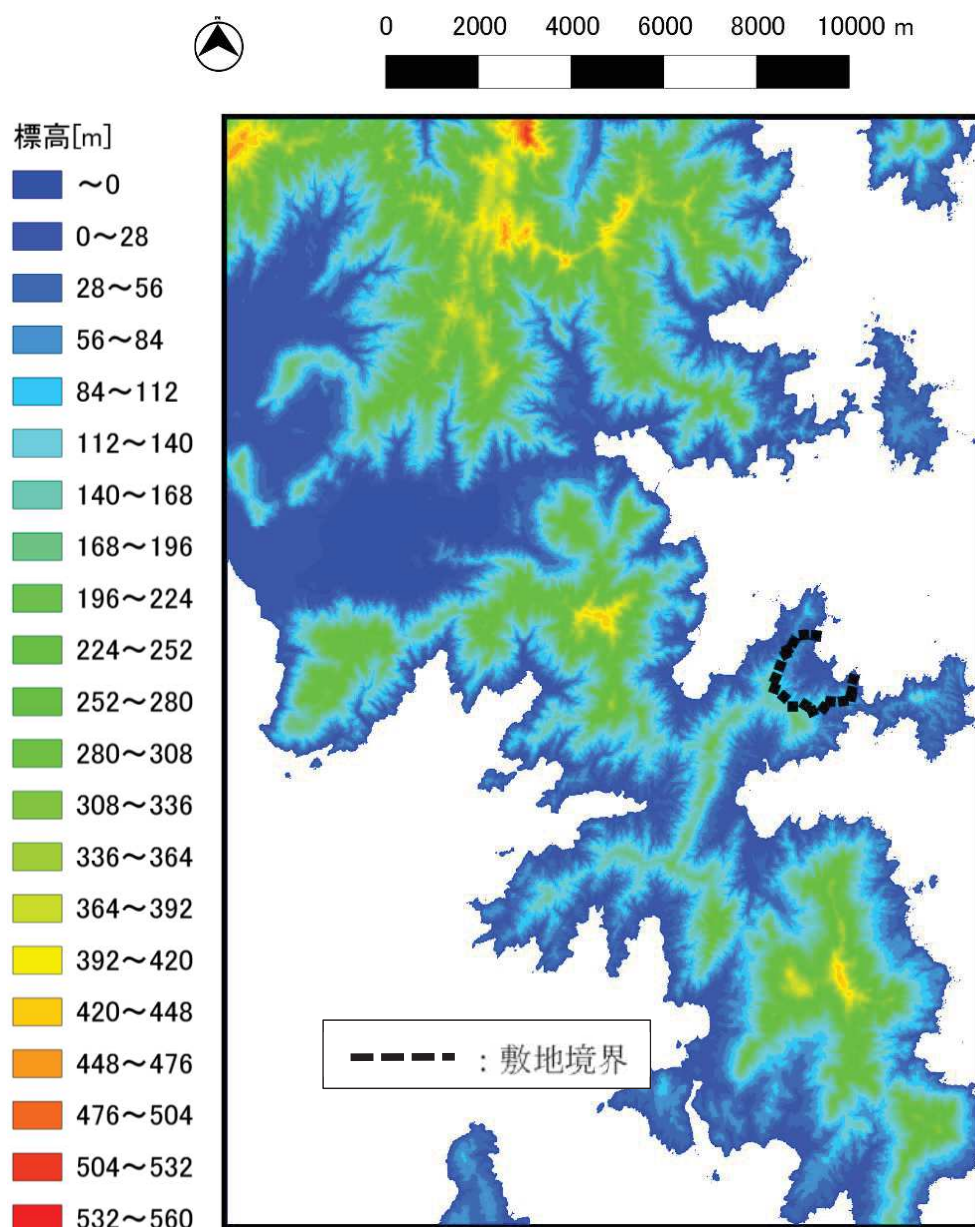
第 2. 2-1 図 発電所周辺植生分布図

発電所敷地外の標高データについては、外部火災影響評価ガイドに従い、現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中で最も空間解像度の高い基盤地図情報 数値標高モデル10mメッシュの標高データを用いた。

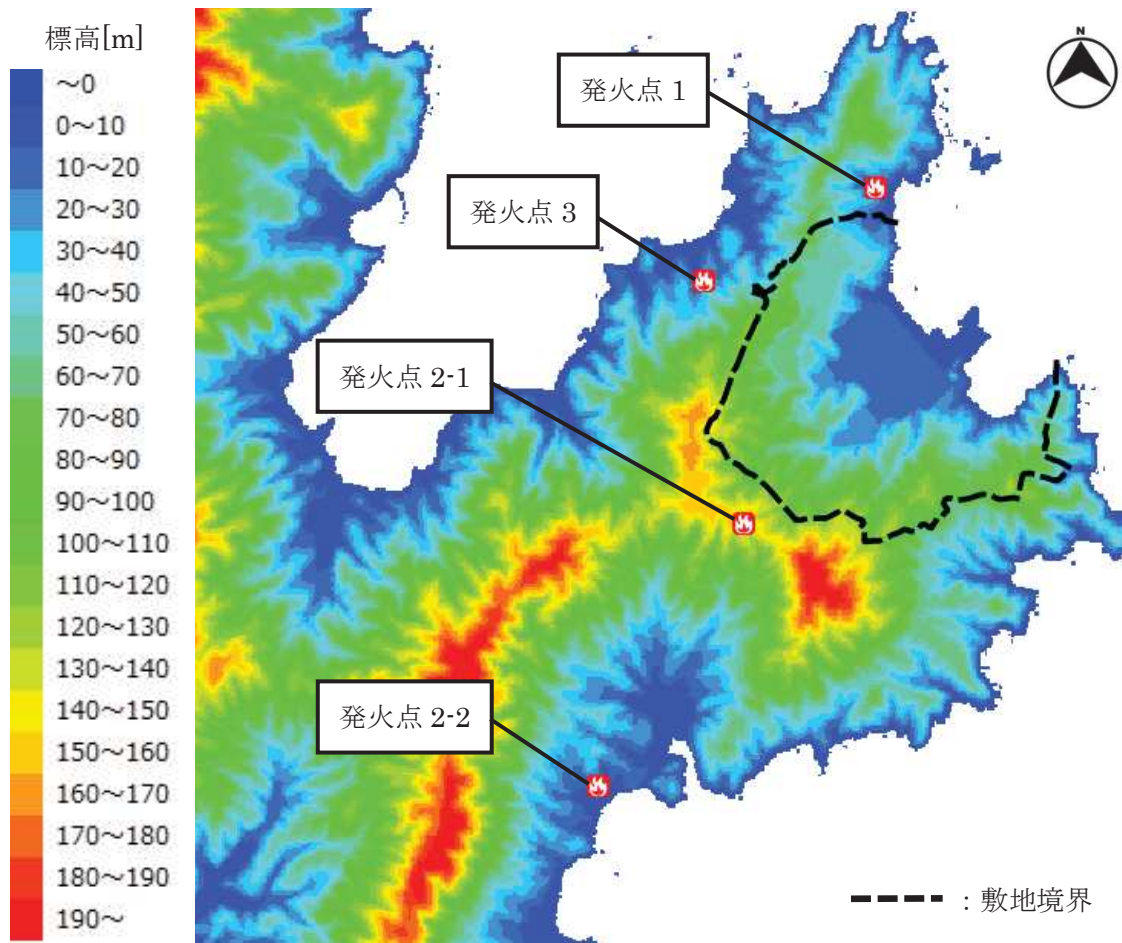
東北地方太平洋沖地震に伴う地盤変動の影響については、国土地理院公開の補正パラメータを考慮した。

また、発電所敷地内の標高データについては、屋外配置全体図に記載された敷地標高に、地盤変動量として-1mを加算(=地盤沈下量1m)した標高値を設定した。

傾斜及び傾斜方位データについては、上記の標高データより算出した。



第 2. 2-2 図 発電所敷地外の標高データ



第 2.2-3 図 発電所周辺の標高データ

b. 気象条件の設定

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、森林火災発生件数の多い3～5月の過去10年間の気象データを調査し、卓越風向、最大風速、最高気温、最小湿度の条件を選定した(第2.2-3表)。この調査結果に基づきFARSITEの入力値は第2.2-4表のとおり設定した。風向、風速及び気温は女川原子力発電所付近の江ノ島及び石巻の地域気象観測システム(アメダス)(以下「地域気象観測所」という。)の値とした。湿度を観測している観測所は「石巻」「仙台」とあるが、「仙台」よりも「石巻」の方が女川原子力発電所との距離が近いことから、最も女川原子力発電所の気象に近いと考えられる「石巻特別地域気象観測所」の値を用いた。宮城県における気象統計情報の観測所位置を第2.2-4図に示す。なお、女川地域気象観測所は2011年に設置されており過去10年間のデータがない。



シンボル	観測所の種類	観測要素
■	気象台	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	測候所・特別地域気象観測所	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	地域気象観測所(アメダス)	降水量
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深

第2.2-4図 宮城県内の気象観測所位置

<出典>

気象庁 HP : https://www.jma.go.jp/jp/amedas_h/map23.html

第 2.2-3 表 2008～2017 年の 3～5 月の気象データ

年月	江ノ島				石巻			
	最多風向	最高気温 [°C]	最大風速		最高気温 [°C]	最小湿度 [%]	最大風速	
			最大風速 [m/s]	風向			最大風速 [m/s]	風向
2008年3月	西北西	13.7	17.0	北北東	16.2	23	14.1	西北西
2009年3月	西北西	16.2	14.3	北西	16.9	22	16.7	西北西
2010年3月	西北西	13.5	20.3	北北東	15.9	27	18.2	西北西
2011年3月	西北西	10.6	13.8	西北西	18.6	29	13.6	西北西
2012年3月	西北西	13.1	16.4	北北西	13.4	34	16.6	西北西
2013年3月	西北西	17.2	20.5	西北西	17.5	24	19.5	西北西
2014年3月	西北西	18.9	19.6	北北西	19.3	25	16.9	西北西
2015年3月	西北西	16.6	16.8	西北西	17.1	18	20.4	東南東
2016年3月	西北西	16.4	14.9	北西	16.7	21	14.1	西北西
2017年3月	西北西	14.2	16.4	北北東	13.3	28	17.3	西北西
2008年4月	北北東	19.9	20.5	北北東	20.5	15	21.3	北東
2009年4月	西北西	21.5	18.4	北北東	22.4	19	15.6	西北西
2010年4月	西北西	15.2	14.8	西北西	16.1	28	14.0	西北西
2011年4月	欠測(震災による測定データ欠測)				21.0	19	15.6	北西
2012年4月	西北西	18.7	17.1	南	21.1	20	16.5	南南東
2013年4月	西北西	19.7	18.7	西北西	22.5	18	17.9	西北西
2014年4月	西北西	19.9	16.4	西北西	21.6	15	14.9	西北西
2015年4月	北南南西	25.0	13.2	北西	24.0	16	13.6	西北西
2016年4月	南南西	18.6	17.2	西北西	20.9	18	16.8	南南東
2017年4月	西北西	21.3	19.8	西北西	25.2	20	16.3	西南西
2008年5月	北東	22.0	14.8	南東	24.4	18	16.3	東南東
2009年5月	南南西	23.2	13.5	西	24.9	17	16.5	西北西
2010年5月	北東南南西西北西	25.2	11.7	北西	27.1	26	13.4	西北西
2011年5月	欠測(震災による測定データ欠測)				22.7	26	23.8	北東
2012年5月	西北西	21.7	12.9	西北西	24.2	23	16.4	東南東
2013年5月	南	22.3	14.2	北北東	25.5	27	13.6	西北西
2014年5月	南南西	24.5	16.3	西北西	30.0	21	14.8	西
2015年5月	南南西	25.9	11.9	西北西	28.2	22	14.6	西北西
2016年5月	北	27.5	11.1	西北西	30.7	18	14.7	南南東
2017年5月	南南西	26.9	12.9	西北西	28.0	26	12.8	西北西
最大値	西北西	27.5	20.5	西北西	30.7	15	23.8	西北西

： FARSITE 入力データ

(出典：気象庁 HP 気象統計情報)

- 過去 10 年間における火災発生件数の多い、3 月～5 月の気象データを整理する。
- 過去 10 年間における 3 月～5 月の最小湿度、最高気温及び最大風速を選定している。

c. FARSITE 入出力データ

FARSITE については、保守的な評価となるよう以下の観点から入力値及び入力条件を設定する。

第 2.2-4 表 FARSITE 入力データ

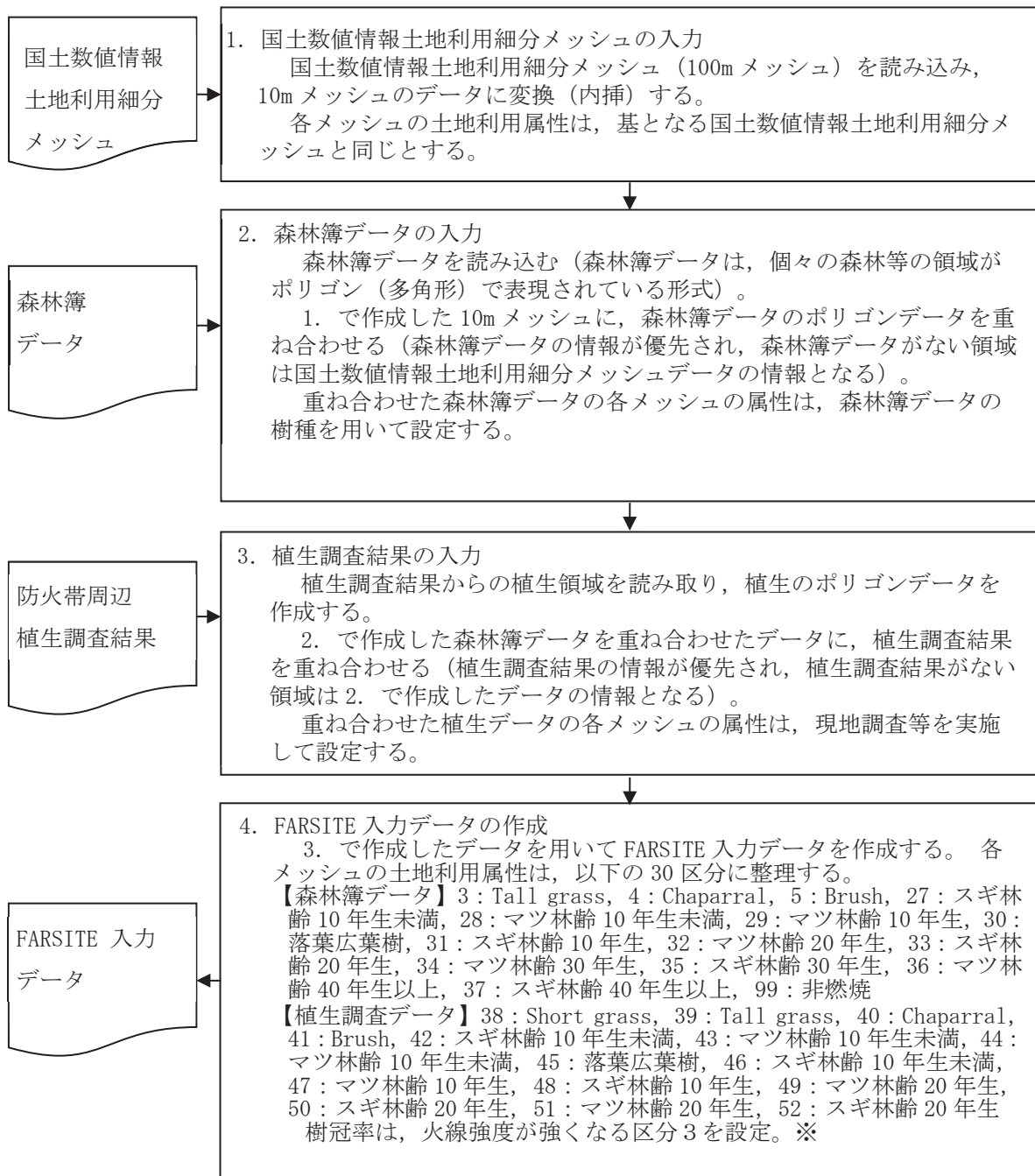
大区分	小区分	入力値	入力値の根拠
気象データ	風速 [km/h]	86 (23.8m/s)	火災の延焼・規模の拡大を図るため、森林火災発生件数が多い月(3~5月)の発電所周辺の最大風速を入力
	風向 [deg.]	351(北), 225(南西), 216(南南西), 293(西北西)	風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定
	気温 [°C]	31	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災発生件数が多い月(3~5月)の発電所周辺の最高気温を入力
	湿度 [%]	15	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災発生件数の多い月(3~5月)の発電所周辺の最小湿度を入力
植生データ	場所	—	植生調査データ、現地調査等で特定した樹種ごとの植生場所を入力
	樹種	30 区分	森林簿データをベースに樹種を入力 防火帯周辺については植生調査により確認した樹種を入力 【森林簿データ】 3 : Tall grass, 4 : Chaparral, 5 : Brush, 27 : スギ林齢 10 年生未満, 28 : マツ林齢 10 年生未満, 29 : マツ林齢 10 年生, 30 : 落葉広葉樹, 31 : スギ林齢 10 年生, 32 : マツ林齢 20 年生, 33 : スギ林齢 20 年生, 34 : マツ林齢 30 年生, 35 : スギ林齢 30 年生, 36 : マツ林齢 40 年生以上, 37 : スギ林齢 40 年生以上, 99 : 非燃焼 【植生調査データ】 38 : Short grass, 39 : Tall grass, 40 : Chaparral, 41 : Brush, 42 : スギ林齢 10 年生未満, 43 : マツ林齢 10 年生未満, 44 : マツ林齢 10 年生未満, 45 : 落葉広葉樹, 46 : スギ林齢 10 年生未満, 47 : マツ林齢 10 年生, 48 : スギ林齢 10 年生, 49 : マツ林齢 20 年生, 50 : スギ林齢 20 年生, 51 : マツ林齢 20 年生, 52 : スギ林齢 20 年生
	林齢	3 区分	植生調査データに基づき、スギ・マツについて、10 年生未満, 10 年生, 20 年生の 3 区分を設定
	樹冠率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し、針葉樹, 落葉広葉樹について、保守的な樹冠率区分 (3 : 一般的な森林) を入力
土地利用データ	森林, 田畑, 建物用地等	—	発電所周辺の森林, 田畑, 建物用地等を入力 (国土交通省データ)
地形データ	標高, 地形	—	土地の標高, 地形 (傾斜角度, 傾斜方向) は基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュを用いた。

※ : 1~99 の数字は、FARSITE の植生番号に対応。

No. 3, 4, 5, 38, 39, 40, 99 は、FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)。

No. 27~37, 42~52 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 (JNES) 平成 24 年 6 月)。

第 2.2-5 表 FARSITE 入力条件の整理 (植生)



※: 1~99 の数字は、FARSITE の植生番号に対応。

No. 3, 4, 5, 38, 39, 40, 99 は、FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)。

No. 27~37, 42~52 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 (JNES) 平成 24 年 6 月)。

第 2.2-6 表 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係 (1/2)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分*1	種類	
国土数値情報 土地利用細分メッシュ	田	3	Tall grass	森林火災発生件数の多い 3~5 月の田の可燃物量は少ないと考えられるが、保守的に「Tall grass」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定
	ゴルフ場	3	Tall grass	ゴルフ場は管理されており可燃物量は少ないと考えられるが、保守的に「Tall grass」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定
	その他農用地	3	Tall grass	その他農用地は可燃物量は少ないと考えられるが、保守的に「Tall grass」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定
	森林	-	各樹種	森林簿データから各樹種を入力
	荒地	5	Brush	草の繁茂を考慮し、FARSITE の「Brush 茂み」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定
	建物用地	5	Brush	植生が連続しておらず、コンクリート等の非植生も多く含まれ延焼しにくいと考えられるが、住宅地沿いの街路樹等を考慮し、FARSITE の「Brush 茂み」とし計算上延焼することとする。 JNES-RC-Report*2 より保守的な設定
	道路	99	非植生	樹木等がないと考えられるため、「非植生(延焼しない)」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定方法。
	鉄道			
	その他の用地			
	河川地及び湖沼			
海浜				
海水域				

*1：可燃物データの出典：

No. 3~5, 38~41, 99 FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)

No. 14~24 JNES-RC-Report*2 の FARSITE 植生データ

*2：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

(JNES) 平成 24 年 6 月

第 2.2-6 表 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係 2/2)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分	種類	
森林簿及び敷地内植生調査	モダケ, モウソウ	4	Chaparral	-
	スギ, モミ, ヒノキ, サワラ	27, 31 33, 35 37, 42 46, 48 50, 52	スギとして取扱い, 森林簿記もしくは植生調査結果に基づき林齢ごとに分類	-
	アカマツ, クロマツ, カラマツ, その他針葉樹	28, 29 32, 34 36, 43 44, 47 49, 51	マツとして取扱い, 森林簿記載もしくは植生調査結果に基づき林齢ごとに分類	-
	その他広葉樹, クヌギ, ナラ, キリ, エンジュ, クリ, ホオノキ, サクラ, ミズナラ, ケヤキ, コナラ	30	落葉広葉樹	-
	芝 (敷地内)	1	Short grass	-

FARSITEからの出力データ及びその出力データを用いて算出したデータを以下に示す。

第 2.2-7 表 算出結果

大項目	小項目	出力値の内容
FARSITE 出力	火炎長 [m]	火炎の高さ [円筒火炎モデルの形態係数の算出]
	延焼速度 [km/h]	火炎の延焼する速さ
	単位面積当たり 熱量[kJ/m ²]	単位面積当たりの放出熱量
	火線強度 [kW/m]	火炎最前線での単位幅当たりの発熱速度であり、 火炎輻射強度の根拠となる火炎規模 [防火帯幅の算出]
	反応強度 [kW/m ²]	単位面積当たりの発熱速度であり、火炎輻射強度の根拠とな る火災規模
	到着時間 [h]	出火から火炎の前線が当該地点に到達するまでの時間 [火災継続時間の算出]
上記出力値 より算定し たデータ	火炎輻射強度 [kW/m ²]	発電所防火帯外縁より約 100m 以内における反応強度(最大) に米国防火協会 (NFPA) の係数 0.377 ^{*1} を乗じて算出 [円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出]
	火炎継続時間 [h]	到達時間から算出 [円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出]
	火炎到達幅 [m]	発電所敷地境界の火炎最前線の長さ [円筒火炎モデル数の算出]
	燃焼半径 [m]	火炎長に基づき算出 [円筒火炎モデルの形態係数の算出]

※ 1 発電所敷地近傍には針葉樹、落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、針葉樹：0.377 並びに落葉広葉樹：0.371（全米防火協会（NFPA）「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」に定める係数）のうち保守的に大きい値である 0.377 を採用した。

e. 植生調査の詳細について

植生調査は、防火帯周辺についてウォークダウンし、樹種、林齢、下草の確認を実施した。

(a) 調査内容

一箇所当たり 30m×30m の範囲で目視調査を実施した。

調査内容は、樹種、林齢、下草の堆積厚さ（落枝等の可燃物平均高）とした。

(b) 調査者の力量

植生調査業務に必要な資格（1級造園施工管理技士）を有する者又は植生調査業務に10年以上の経験を有している者とした。

(c) 調査体制

i. 業務指導者（1級造園施工管理技士の資格を有し、10年以上の植生調査業務経験者）：1名

ii. 植生調査者（10年以上の植生調査業務経験者）：4名

(d) 調査期間

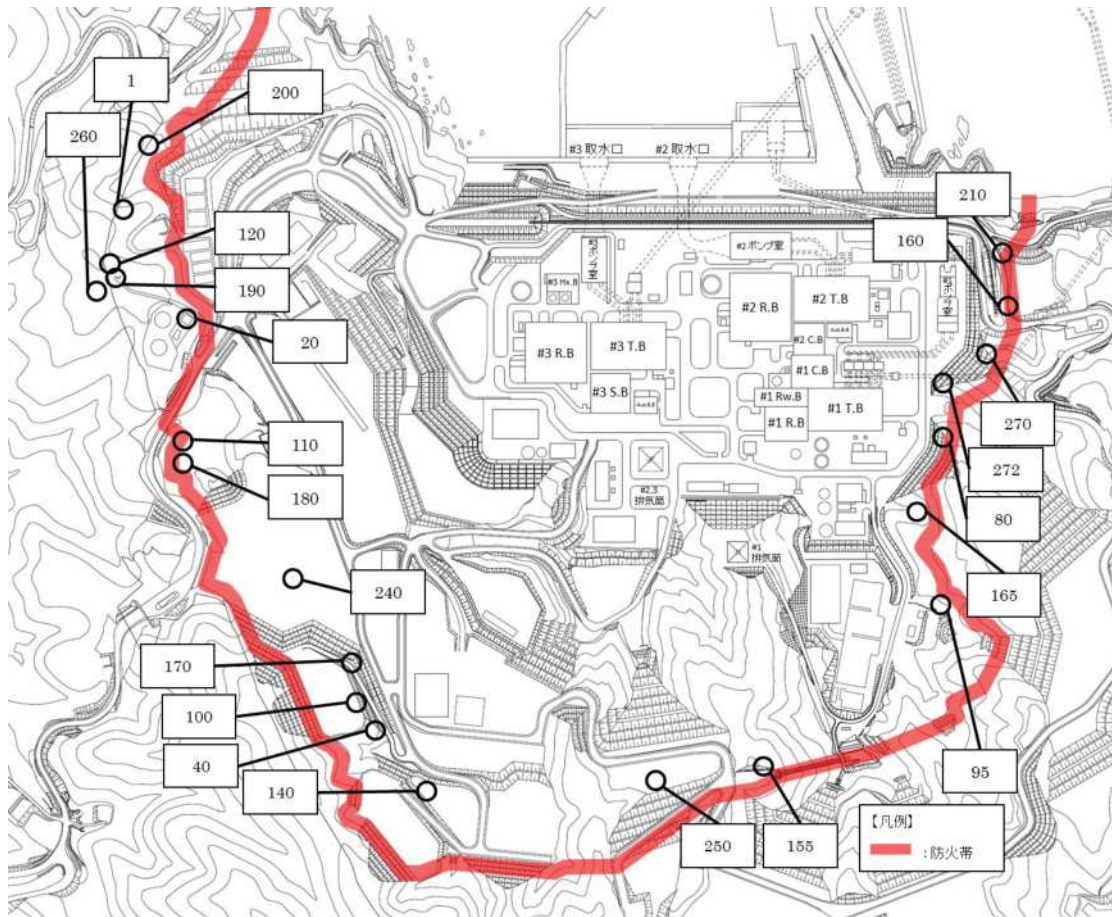
平成26年 2月25日～28日、8月4日～5日、9月1日～3日

(e) 調査結果

現地調査は、防火帯周辺で実施した。

第 2.2-8 表 代表的な調査ポイント及び植生調査結果

調査 ポイント	植生調査結果			設定する可燃物パラメータ		
	樹種	林齢	下草	樹種	林齢	下草
1	スギ	40 年生以上	約 20cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
20	マツ	40 年生以上	約 20cm	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
40	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 20cm	マツ	10 年生以上 20 年生未満	約 180cm
80	Brush	—	約 20cm	Brush	—	—
95	落葉広葉樹	40 年生以上	約 10cm	落葉広葉樹	—	約 180cm
100	スギ	30 年生以上 40 年生未満	約 10cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
110	スギ	40 年生以上	約 10cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
120	マツ	40 年生以上	約 10cm	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
140	マツ	40 年生以上	約 10cm	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
155	落葉広葉樹	10 年生以上 20 年生未満	約 10cm	落葉広葉樹	—	約 180cm
160	落葉広葉樹	40 年生以上	約 10cm	落葉広葉樹	—	約 180cm
165	スギ	40 年生以上	約 10cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
170	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 30cm	マツ	10 年生以上 20 年生未満	約 180cm
180	スギ	40 年生以上	約 30cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
190	マツ	40 年生以上	約 50cm	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
200	マツ	30 年生以上 40 年生未満	約 60cm	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
210	落葉広葉樹	20 年生以上 30 年生未満	約 30cm	落葉広葉樹	—	約 180cm
240	スギ	40 年生以上	約 30cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
250	Brush	—	約 50cm	Brush	—	—
260	スギ	40 年生以上	約 20cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm
270	落葉広葉樹	40 年生以上	約 30cm	落葉広葉樹	—	約 180cm
272	スギ	40 年生以上	約 30cm	スギ	20 年生以上 30 年生未満	約 180cm



第 2.2-5 図 発電所植生調査範囲及び代表的な調査ポイント

調査ポイント 80 の写真



植生調査所見

- Brush (茂み)
- Brush は平均 20cm 程度

第 2.2-6 図 防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生 (1/5)

調査ポイント 110



植生調査所見

- ・ スギ 40 年生以上
- ・ 下草は平均 10cm 程度

第 2.2-6 図 防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生 (2/5)

調査ポイント 170



植生調査所見

- ・マツ 20 年生以上 30 年生未満
- ・下草は平均 30cm 程度

第 2.2-6 図 防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生 (3/5)

調査ポイント 210



植生調査所見

- ・ 落葉広葉樹 20 年生以上 30 年生未満
- ・ 下草は平均 30cm 程度

第 2.2-6 図 防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生 (4/5)

調査ポイント 240



植生調査所見

- ・ スギ 40 年生以上
- ・ 下草は平均 30cm 程度

第 2.2-6 図 防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生 (5/5)

f. 植生入力 of 保守性について

植生 of 入力にあたって、地方自治体より入手した森林簿及び国土数値情報 土地利用細分メッシュに基づき、入力データを整備しているが、以下のとおり保守的な入力としている。

i. 土地利用細分メッシュからの植生データ入力

(i) ゴルフ場、田及びその他農業用地の植生入力

Short grassを保守的に燃えやすいTall grassとしてFARSITE of 入力としている。

(ii) 荒地の植生入力

非燃焼領域を燃えやすいBrush (茂み) としてFARSITE of 入力としている。

ii. 森林簿及び植生調査からの植生データ入力

複数混在樹種、林齢より、火線強度の大きいものを代表としてFARSITE of 入力としている。

防火帯周辺の植生調査を実施し、森林簿データに植生調査結果を反映した上で、保守的な可燃物パラメータを入力している。

可燃物パラメータ入力 of 考え方は、植生調査結果を踏まえ、森林の下草状況、樹種及び林齢を考慮し、以下のとおり保守的に林齢を設定した。なお、林齢が低いほどfuel量 (水分含有量等) が少ないため燃えやすい。

第 2.2-9 表 林齢の設定

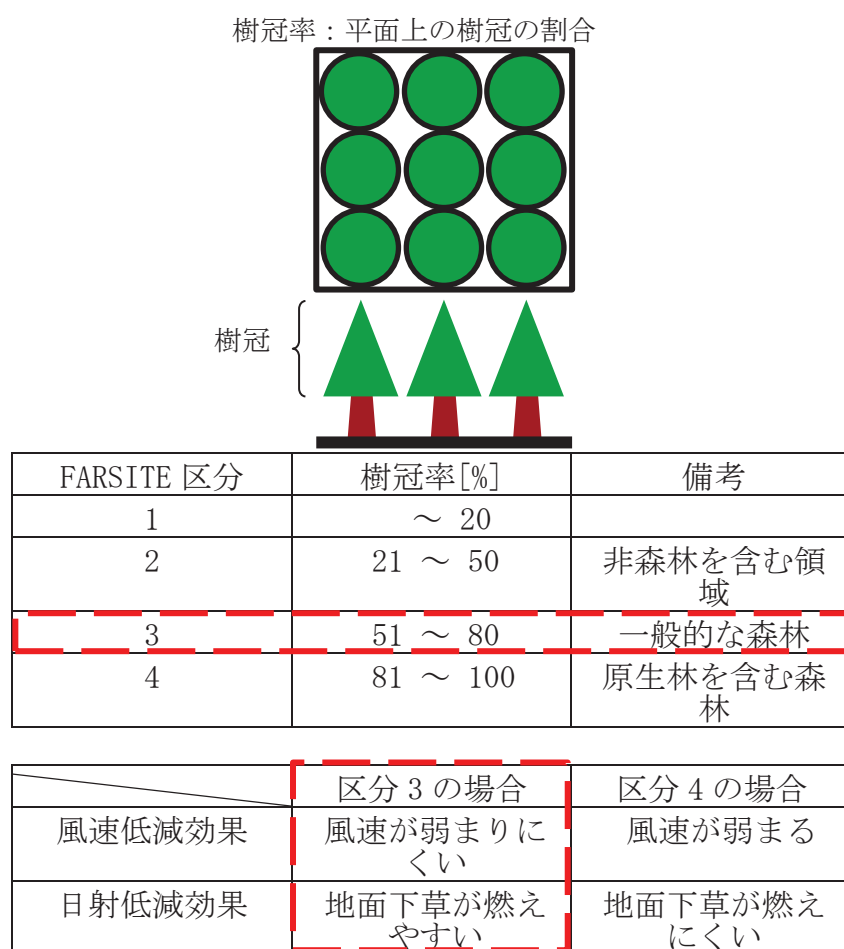
森林簿, 植生調査結果	保守的的林齢設定後
10 年生未満	10 年生未満
10 年生以上 20 年生未満	10 年生未満
20 年生以上 30 年生未満	10 年生以上 20 年生未満
30 年生以上 40 年生未満	20 年生以上 30 年生未満
40 年生以上	20 年生以上 30 年生未満

g. 樹冠率の設定

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。

FARSITEでは、実際の森林状況による自然現象を可能な限り反映するため、樹冠率の割合が高くなると、風速の低減、地面草地への日照が低減（水分蒸発量が減ることによって燃えにくくなる）する。

具体的にはFARSITEにおいて樹冠率を4つに区分し、4つのいずれかを設定するようになっている。今回の評価では、植生調査データにより森林と定義できる区分3、4から選択することとし、保守的に区分3を設定する。



第2.2-7図 樹冠率の設定

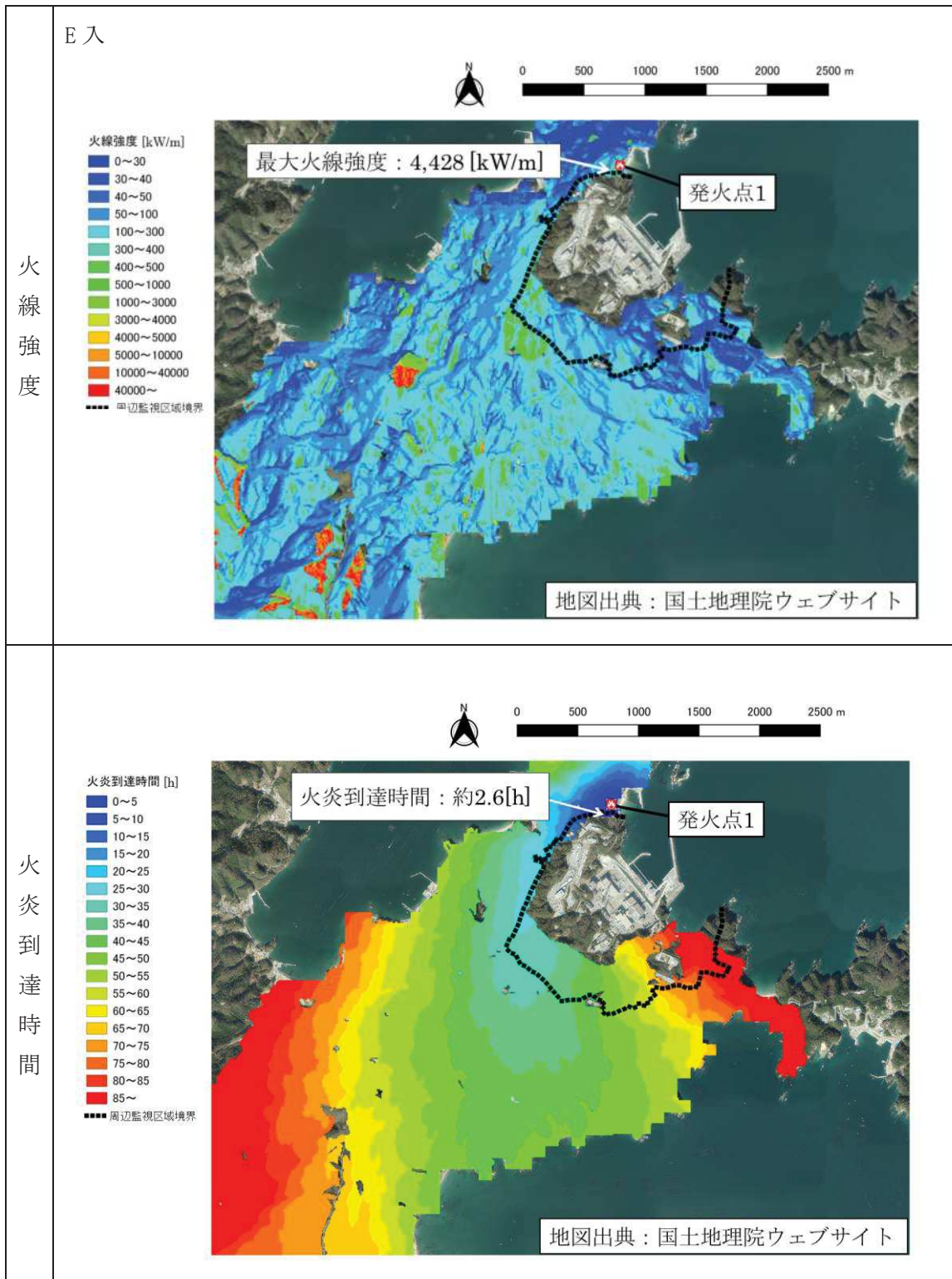
h. FARSITE への入力値まとめ

第 2.2-10 表 FARSITE への入力値

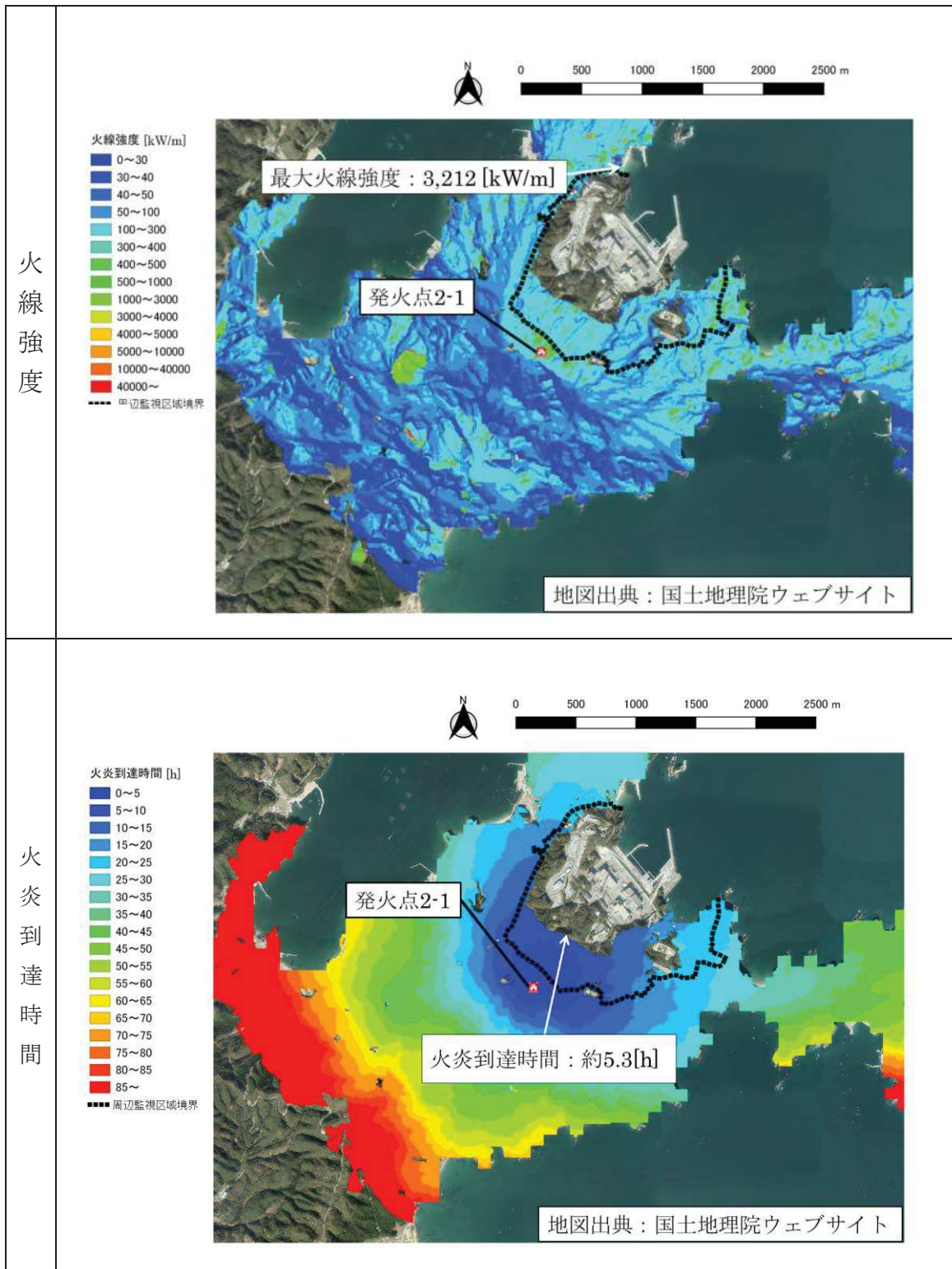
大区分	小区分	入力値	備考	
気象	気温	31℃	気温が高い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い 3～5 月における過去 10 年間の最高気温を設定（ガイドどおり）解析期間中最高気温が継続するように設定	
	湿度	15%	湿度が低い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い 3～5 月における過去 10 年間の最小湿度を設定（ガイドどおり）解析期間中最小湿度が継続するように設定	
	風速	23.8m/s	風が強い方が延焼速度・火線強度が大きくなることから、森林火災が多い 3～5 月における過去 10 年間の最大風速を設定（ガイドどおり）解析期間中最大風速が継続するように設定	
	雲量	0%	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなるため、日射量が多くなるように、雲量 0% に設定	
	降水量	0mm	降水がない方が可燃物の水分量が少なくなるため、降水量は 0mm に設定	
地形	高低差	数値標高モデル	現地状況を模擬するため、基盤地図情報数値標高モデルの 10m メッシュデータを用いる。	
	緯度	0 度	日射量が多い方が可燃物量の水分量が少なく燃えやすくなることから、日射量が多くなるように、赤道直下に設定	
植生	樹木高さ	15m	データを正確に調査することは困難であるため、デフォルト値を一律に適用	
	枝下高さ	4m		
	かさ密度	0.2kg/m ³		
	樹冠率	区分 3	森林と定義される区分 3, 4 のうち、風速が弱まりにくく、日射の影響を受けやすくなる区分 3 を設定	
	fuel 初期水分量	時間以内に乾燥する木質	5%	データを正確に調査することは困難であるため、デフォルト値を一律に適用
		10 時間以内に乾燥する木質	8%	
		100 時間以内に乾燥する木質	12%	
生きた草		100%		
	生きた木質	100%		

(4) FARSITE の解析結果

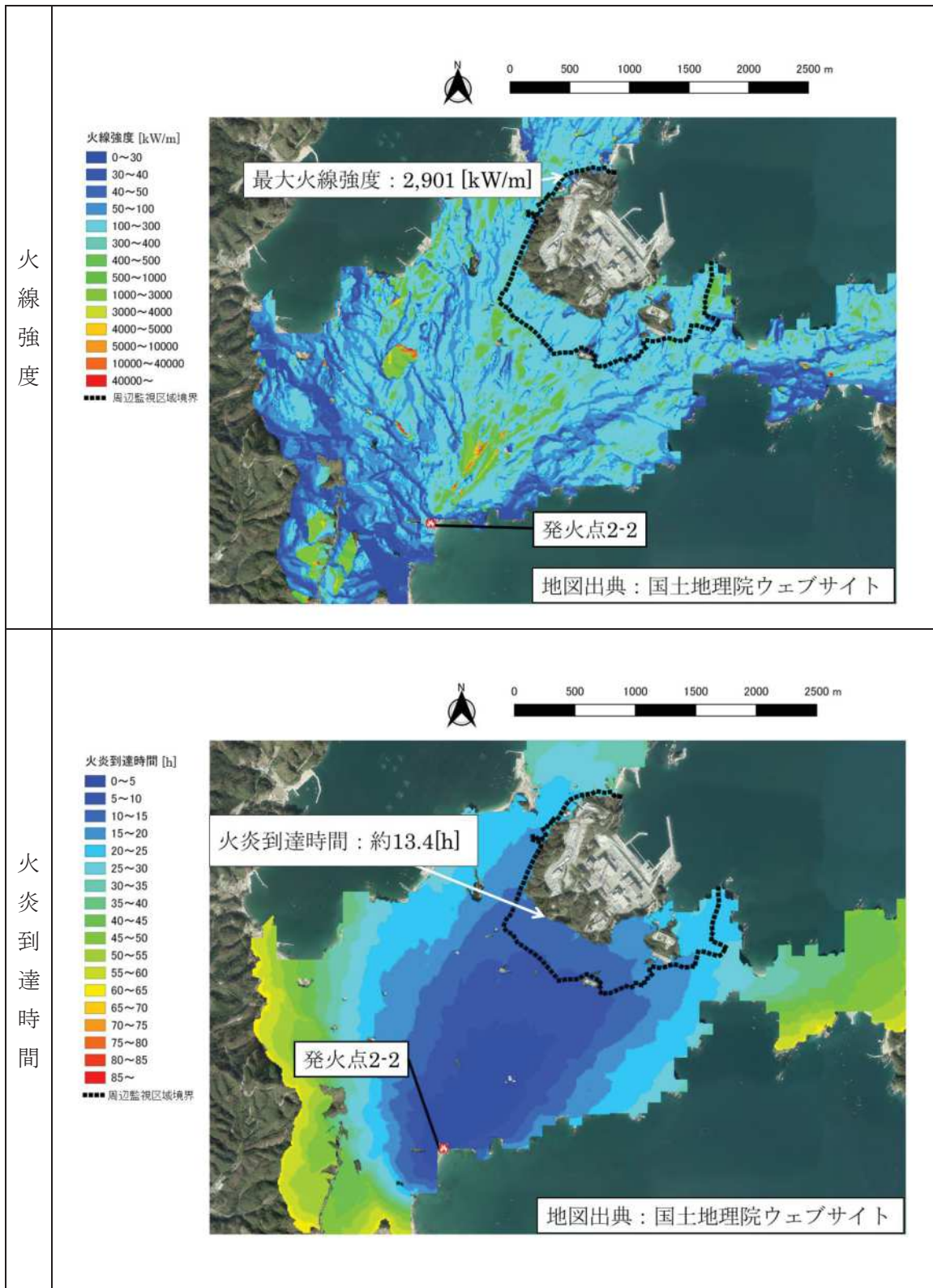
各発火点の FARSITE による解析結果図を以下に示す。



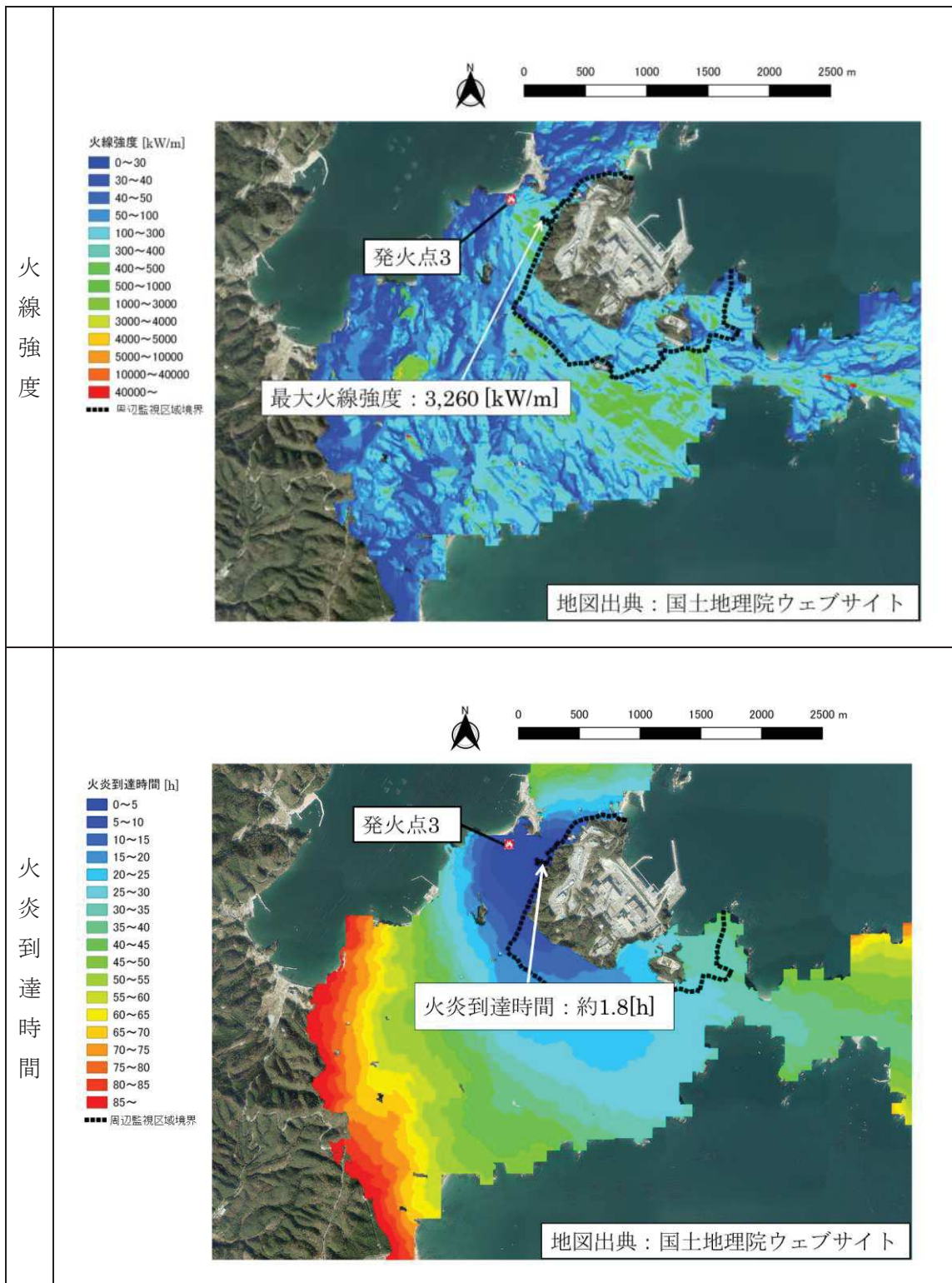
第 2.2-8 図 発火点 1：北（小屋取漁港道路沿い）の火線強度及び火炎到達時間



第 2.2-9 図 発火点 2-1：南西（県道 41 号線沿い）
の火線強度及び火炎到達時間



第 2.2-10 図 発火点 2-2：南南西（鮫浦地区（田））
の火線強度及び火炎到達時間



第 2.2-11 図 発火点 3：西北西（塚浜地区道路沿い）の火線強度及び火炎到達時間

(5) 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 2.2-11 表に示す

第 2.2-11 表 解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2 - 1	発火点 2 - 2	発火点 3
延焼速度 (km/h)	1.73	1.26	1.13	1.28
最大火線強度 (kW/m)	4,428	3,212	2,901	3,260
火炎到達時間 (hr)	約 2.6	約 5.3	約 13.4	約 1.8

(6) 防火帯幅の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約100mの範囲における最大火線強度から「Alexander and Fogartyの手法（風上に樹木が有る場合）」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が19.7mであるため、20mの防火帯幅を確保することにより延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。

FARSITE解析における主な入力パラメータは保守的な設定（参考資料2-2）としているが、他に解析結果に影響するパラメータとしては最大火線強度の出現時刻（日射量に影響を及ぼす）がある。

最大火線強度出現時刻の保守性を確認するため、最大火線強度が最も大きい発火点1について9パターンの出火時刻を入力して最大火線強度出現時刻の感度解析を実施した。

第2.2-12表に示すとおり、最大火線強度は日中帯（10時～14時頃）に高くなる傾向がある。これは日射により可燃物の水分量変化を計算上考慮しているためである。

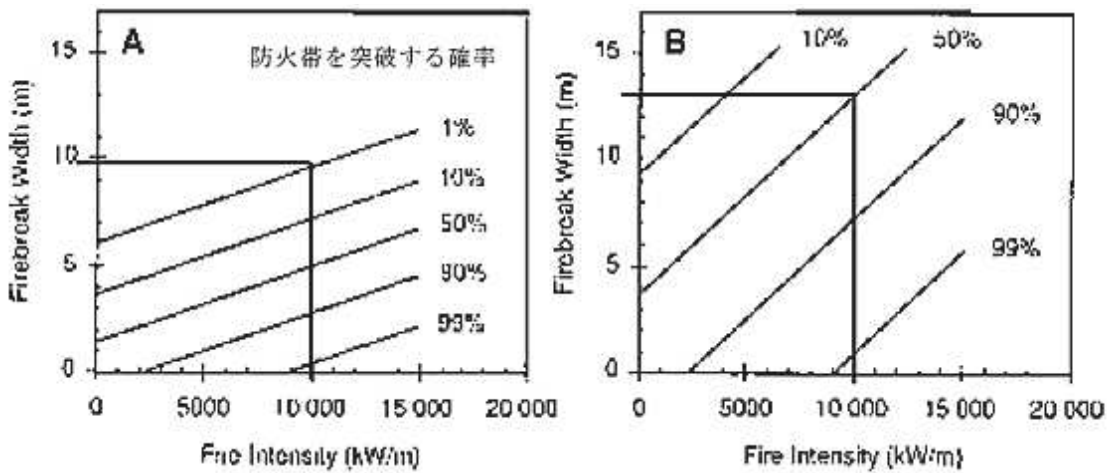
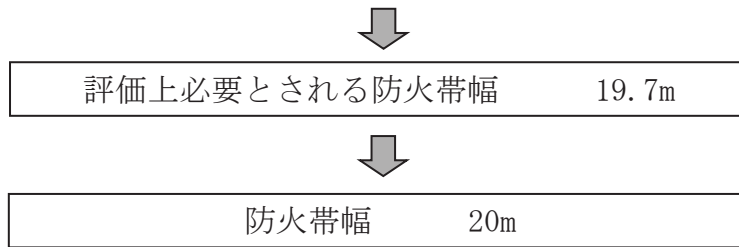
第 2.2-12 表 感度解析結果

発火点 1 出火時刻	23:18	4:23	8:23	9:21	10:00	10:23	11:23	13:23	18:24
最大火線強度出現時刻	2:46	7:51	10:59	11:58	12:36	12:59	14:00	16:11	21:52
最大火線強度[kW/m]	2,490	3,423	3,845	4,428	3,530	3,908	4,092	3,374	2,433

第 2.2-13 表 風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係
(火災の防火帯突破確率 1%)

火線強度 (kW/m)	500	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	10,000	15,000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7

(出典：外部火災影響評価ガイド)



防火帯幅と防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合 防火帯幅と防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合

第 2.2-12 図 火線強度に対する防火帯の相関図 (出典：外部火災影響評価ガイド)

(8) 危険物施設の火災が森林等に延焼した場合の女川原子力発電所への影響について

女川原子力発電所における各発火点について危険物施設の火災を想定した場合、各発火点以遠の風上は海であり危険物施設はないことから、女川原子力発電所への熱影響が大きくなるような火災にはならないと考えられる。

2.3 森林火災時の対応の評価結果

森林火災影響評価においては、以下に示す到達時間及び防火帯幅の条件を満足していること、森林火災時の可搬型モニタリングポストの対応が可能であることを確認した。

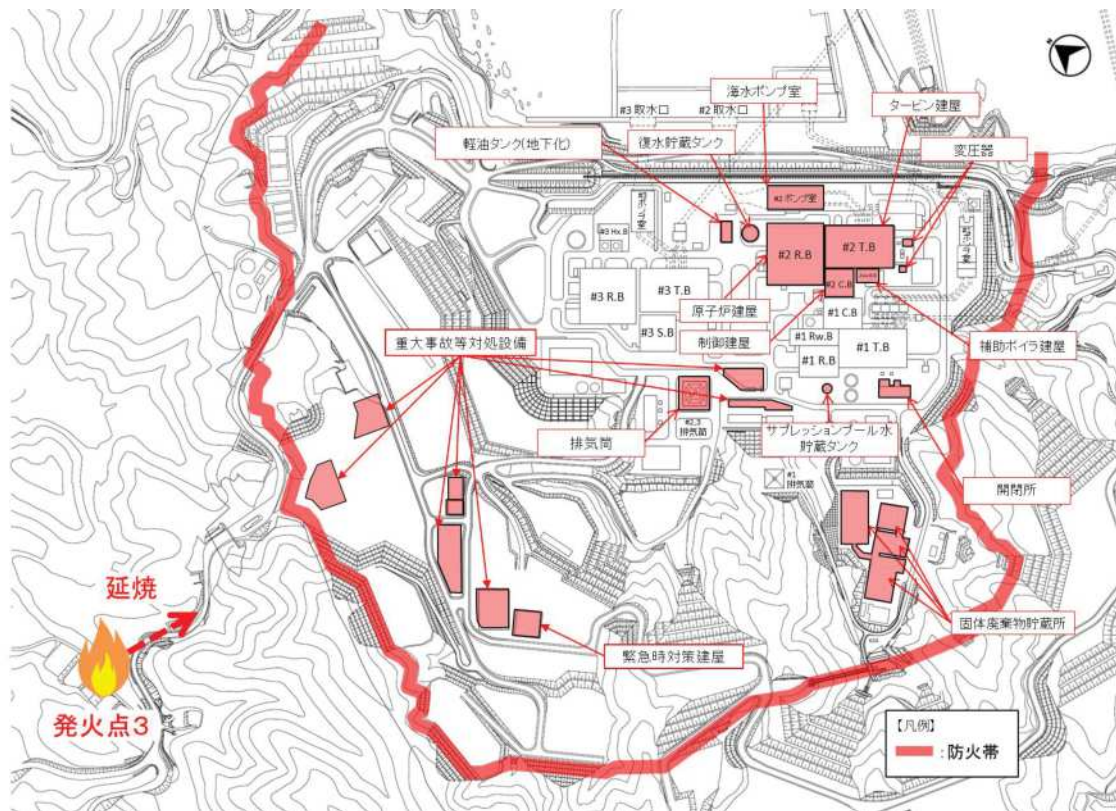
2.3.1 火災の到達時間の評価結果

2.3.1.1 火災到達時間

防火帯を設置することで、森林火災が発電用原子炉施設へ延焼する可能性は低いが、森林火災の状況に応じて防火帯付近にて散水を行い、万が一の飛び火による延焼を防止する。

FARSITE の解析により、森林火災を想定した場合、発火点3の火災が防火帯外縁に到達する最短時間は1.8時間（約108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3の位置関係を第2.3.1.1-1図に示す。



第2.3.1.1-1図 発火点3との位置関係

2.3.1.2 火災の覚知

発電所敷地及び敷地境界付近における森林火災については、以下の方法で早期覚知が可能である。

(1) 自然現象監視カメラ監視

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自然現象監視カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。自然現象監視カメラは、発電所周辺の森林火災を監視できる位置（1号炉排気筒）に設置し、24時間要員が常駐する中央制御室からの監視が可能な設計とする。

(2) 発電所構内にいる者による覚知

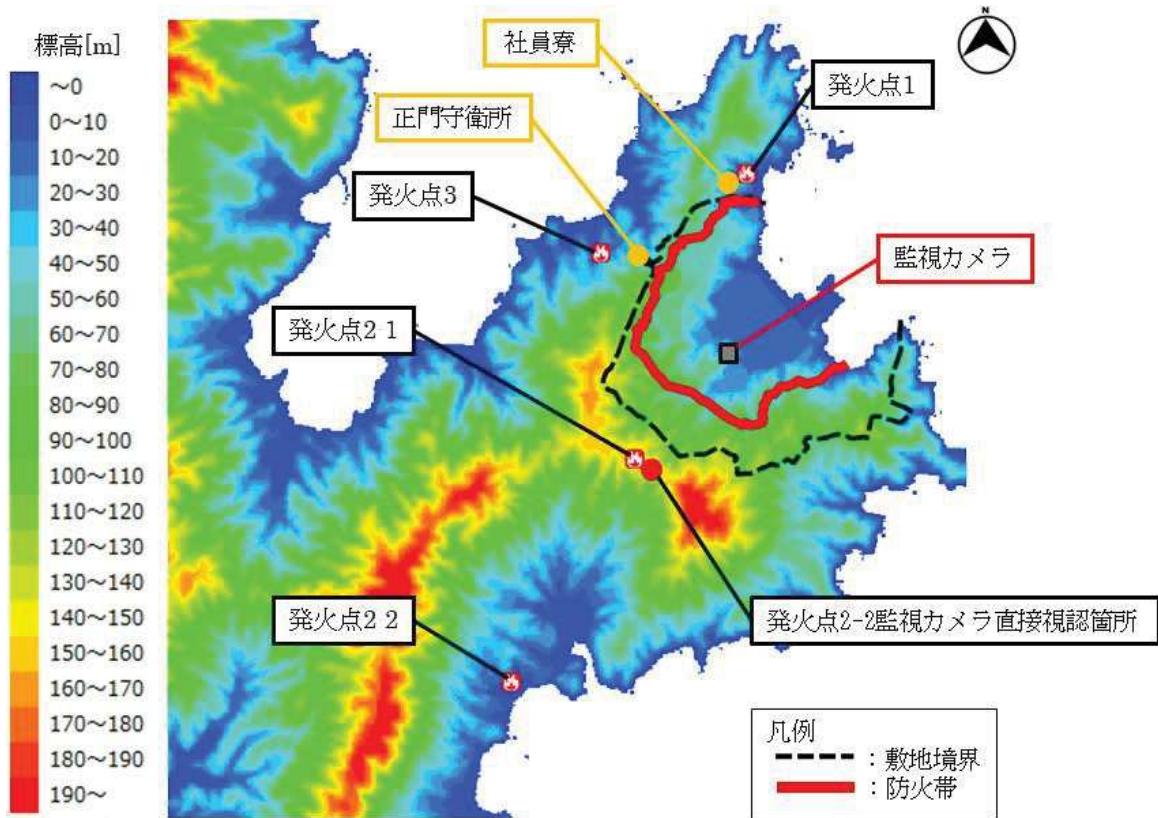
- a. 24時間常駐している警備員による覚知
- b. 24時間常駐している運転員によるパトロールによる覚知
- c. 通常勤務の構内の社員及び協力会社従業員による覚知
 - (a) 発見者は、消防機関へ直接119番通報し、その後、発電課長へ連絡する。
 - (b) 発電課長は、発見者からの連絡を受けた場合は、消防機関へ119番通報したかどうか確認し、未通報の場合は中央制御室より通報を行う。

(3) 外部からの情報

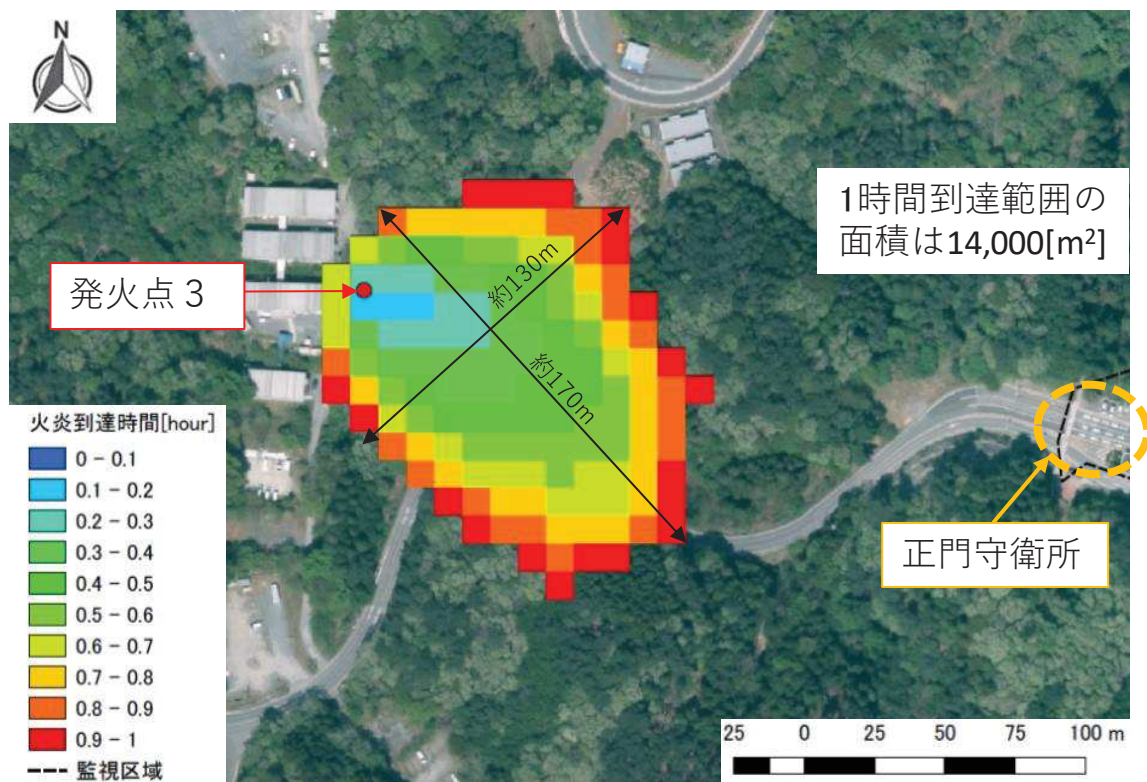
- a. 事務所内に設置している地元自治体の防災行政無線傍受による覚知
- b. 消防機関からの連絡による覚知
発電所に迫る可能性があるとして消防機関が判断した火災は消防機関から連絡が入る。

(4) 発火点の火災覚知

- a. 発火点1付近は、カメラ監視で直接視認し覚知を行う。また、発火点1付近には民家および当社の社員寮も近傍に立地していることから外部からの情報が入りやすい。
- b. 発火点2-1付近は、カメラ監視で直接視認し覚知を行う。また、発電所構内にいる者による覚知を行う。
- c. 発火点2-2付近は、カメラ監視で直接視認できないことから、火災延焼がカメラで直接視認（尾根付近）できる箇所で覚知を行う。また、カメラで直接視認できない範囲は、外部からの情報による覚知を行う。
- d. 発火点3付近は、正門守衛所に24時間常駐している警備員が覚知を行う。また、カメラ監視では、敷地内高台に遮られ直接視認できないことから、火災による炎（明かり）、煙で覚知を行う。



第 2. 3. 1. 2-1 図 発電所周辺の標高と火災覚知



第 2. 3. 1. 2-2 図 発火点 3 の 1 時間後の延焼範囲



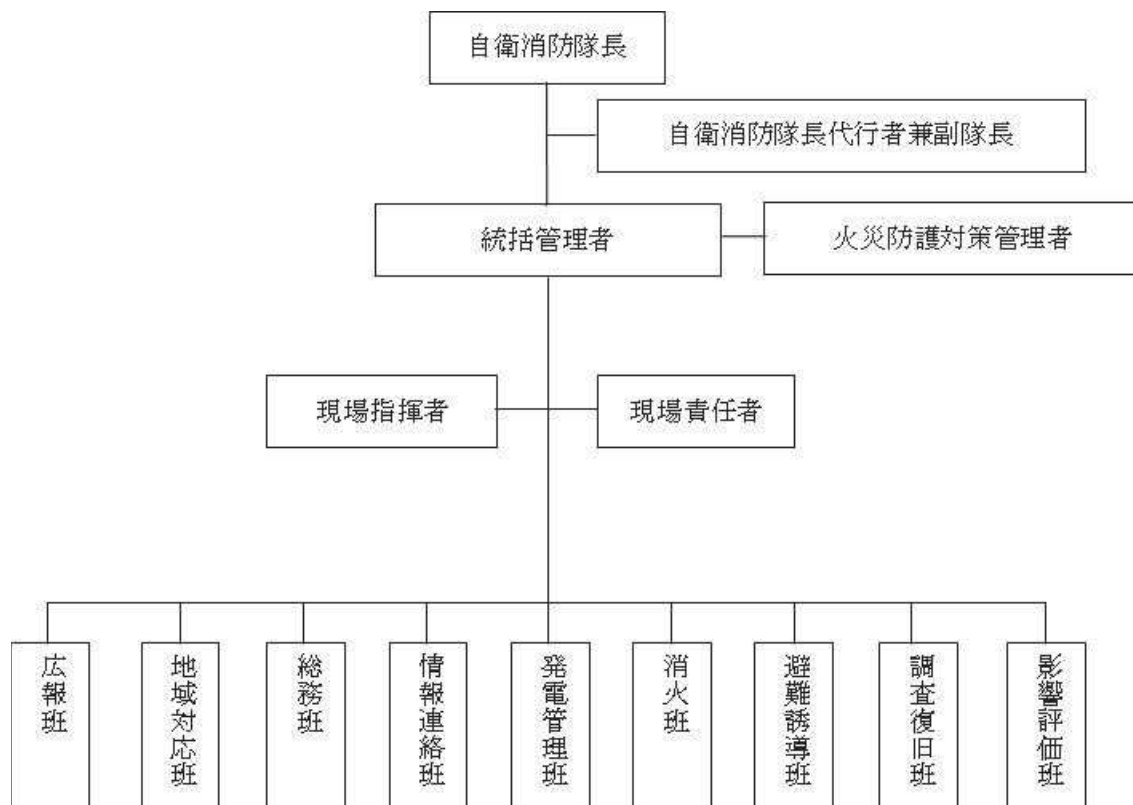
第 2.3.1.2-3 図 自然現象監視カメラ（北側監視）視野と発火点の位置

2.3.1.3 消火活動

(1) 予防散水の実施体制

女川原子力発電所においては、発電所構内の火災に対し、消防活動を行うために自衛消防隊を組織している。自衛消防隊の組織体制を第 2.3.1.3-1 図及び第 2.3.1.3-1 表 に示す。

予防散水は、この自衛消防隊の敷地内に 24 時間常駐している初期消火要員、消防車により予防散水を行う。



第 2.3.1.3-1 図 主な自衛消防隊体制

第 2.3.1.3-1 表 主な自衛消防隊編成

構成		所属等	役割
自衛消防隊長		発電所長 (1)	a. 自衛消防隊の全体指揮 b. 現場責任者及び現場指揮者の選任
自衛消防隊長代行者 兼副隊長		指名者 (1)	a. 自衛消防隊長不在時の代行
統括管理者		保全部長 (1)	a. 自衛消防組織の統括管理 b. 火災等発生時の発電所本部での総指揮及び情報管理
火災防護対策管理者		計画管理課長 (1)	a. 統括管理者の補佐 b. 消火方針の立案 c. 原子力安全のための火災防護に関する指導
初期 消火 要員	通報連絡責任者	通報連絡責任者：発電課長 (1)	a. 消防機関及び関係個所への通報連絡 b. 初期消火要員への出動要請
	現場責任者	現場責任者：特別管理職 (1)	a. 消防機関への情報提供 b. 消防機関の誘導 平日昼間：現地指揮本部までの誘導 平日夜間・休祭日：火災現場への誘導
	現場指揮者	現場指揮者：特別管理職 (1)	a. 火災現場確認 b. 火災現場での消火指揮 c. 消火器又は屋内消火栓による消火活動等
	消火担当	・平日昼間（周辺防護区域内） 運転員 (1) ・平日昼間（周辺防護区域外） 保全部員 (1) ・平日夜間・休祭日 運転員 (1)	a. 火災現場確認 b. 消火器又は屋内消火栓による消火活動
	消防車隊	委託員 (6)	a. 消防車隊の消防指揮 b. 消防自動車のアクセスルート及び配備場所の指示等 c. 化学消防自動車の機関員 d. 化学消防自動車の連結作業 e. 消防自動車による消火活動（筒先） f. 泡消火薬剤の補充 g. 消防ホースの延長等
消火班		班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 消火器，消火栓等により消火活動
避難誘導班		班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 消防機関の火災現場への誘導
情報連絡班		班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 社内関係個所への連絡，本店対策室との連絡調整 b. 火災情報の収集
総務班		班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. 救護，警備
影響評価班		班長：特別管理職 (1) 副班長：特別管理職 (1) 班員：各グループ員	a. プラント内の放射能の状況調査

() 内は人数

(2) 自衛消防隊の力量維持のための訓練

自衛消防隊は、消火対応の力量を維持するために、訓練を計画的に実施する。自衛消防隊に係る訓練を第 2.3.1.3-2 表に示す。

第2.3.1.3-2表 自衛消防隊に係る訓練

項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消防訓練	1回/年	H29.9.21	自衛消防車隊 新入社員	変圧器等の油火災を想定した訓練
消防自動車放水訓練	2回/月	24回	自衛消防車隊	消防自動車による放水訓練（外部火災訓練含）
消防機関の指導による消防自動車泡放水訓練	1回/年	H29.9.21	自衛消防車隊	消防自動車による泡放水訓練
海上災害防止センター消防訓練	1回/年	H29.9.11～ H29.9.15	自衛消防車隊	外部施設（横須賀）による実火消防訓練
総合消防訓練	1回/年	H29.10.19	自衛消防隊 事務新館勤務者	事務所火災を想定した訓練
放射線管理区域内消防訓練	1回/年	H29.12.13	自衛消防隊 消防機関	管理区域内火災を想定した訓練

(3) 予防散水計画

防火帯により森林火災が発電用原子炉施設へ影響を及ぼすことはないが、森林火災の状況に応じて防火帯付近へ予防散水を行う。

万一、防火帯の内側に飛び火した場合は、自衛消防隊の活動を予防散水から防火帯内側火災の初期消火活動に切り替え、消防車を使用し、継続して現場指揮者の指揮のもと初期消火活動・延焼防止活動を行う。

なお、予防散水については、火災防護計画に定める。

a. 予防散水に期待する効果

防火帯は、防火帯突破確率 1%となる防火帯幅 19.7m に対し、約 20m の防火帯を設定している。

予防散水は、防火帯付近を濡らすことで火の粉の発生や飛び移りの抑制を図り、防火帯の機能をより強化するために実施する。

b. 防火帯付近への予防散水計画

活動用水は、構内の消火栓および防火水槽を使用する。

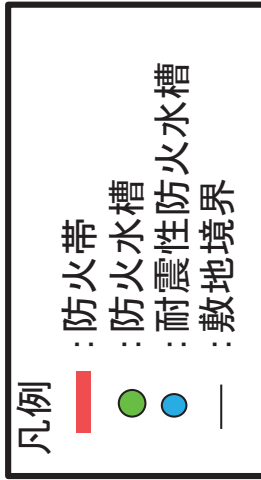
使用資機材は消防車 2 台。対応要員数は 7 名。

防火帯付近散水エリアと消火栓および防火水槽位置を第 2.3.1.3-2 図に示す。また、各散水エリアの予防散水計画を第 2.3.1.3-3 表に示す。

第 2.3.1.3-3 表 防火帯付近散水エリアの予防散水計画

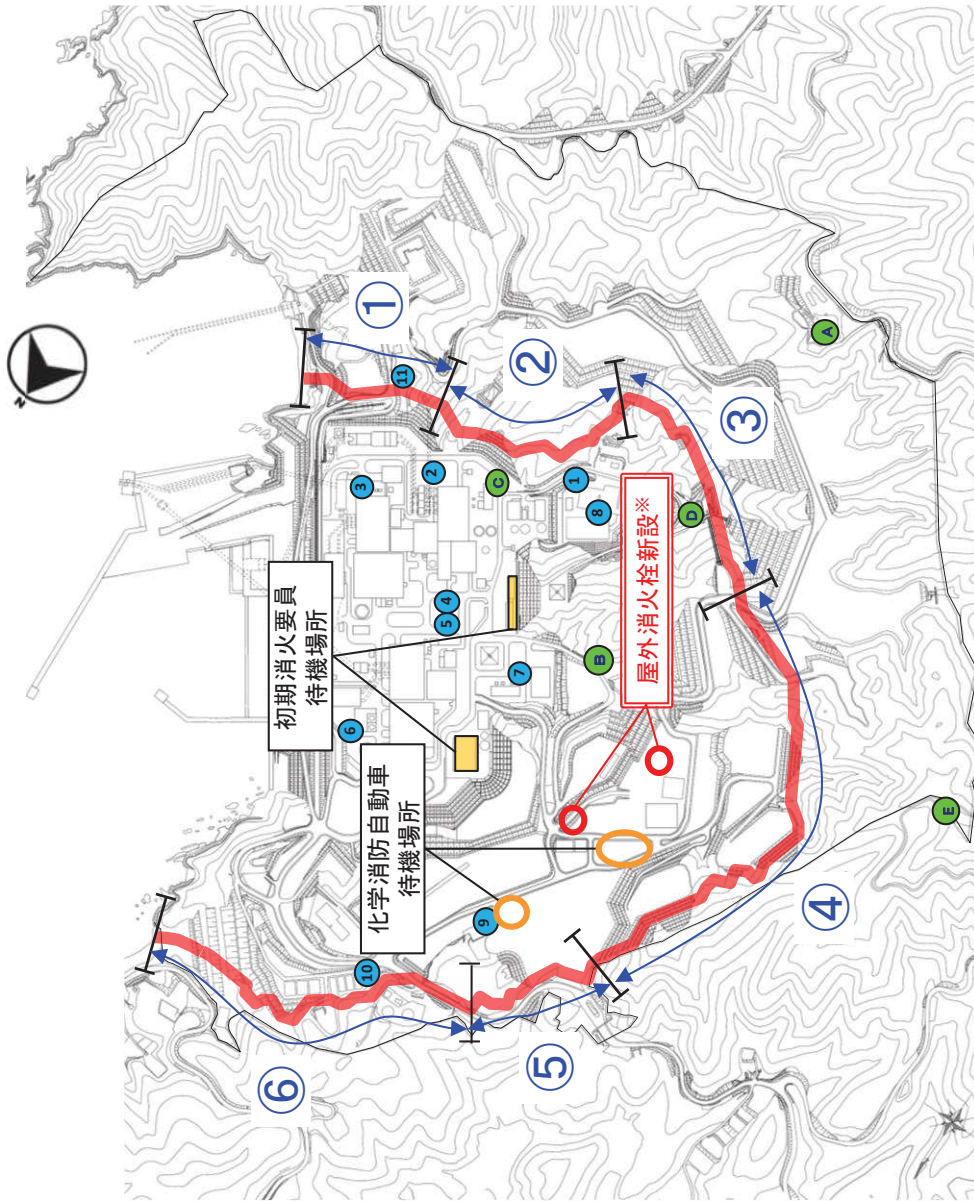
	①	②	③	④	⑤	⑥
散水エリア	耐震防火水槽 (耐11)	防火水槽 (C)	防火水槽 (D)	屋外消火栓※2	耐震防火水槽 (耐9)	耐震防火水槽 (耐10)
使用水源						
防火水槽容量※1	60m ³	40m ³	40m ³	—	60m ³	60m ³
消火ホース展開距離 (最長距離)	約420m	約200m	約200m	約600m	約320m	約480m
消防自動車等の台数	1台	1台	1台	2台	1台	2台
連絡から予防散水開始まで※4 (消火ホース展開最長箇所)	約43分	約30分	約32分	約43分	約32分	約39分
防火帯外縁 到達時間	—	—	—	発火点2-1 5.3h 発火点2-2 6.0h※3	発火点3 1.8h	発火点1 2.6h
予防散水継続時間	約150分	約100分	約100分	約150分以上	約150分	約150分
対応人数	初期消火要員10名 ・通報連絡責任者：1名 ・現場指揮者：1名 ・消火担当：1名 ・現場責任者：1名 ・消防車隊：6名 (委託員6名)					

- ※1 貯水量については、定期点検を実施し、維持・管理する。
 ※2 屋外消火栓は新設する設計とする。
 ※3 監視カメラで確認できる箇所からの到達時間
 ※4 過去の実績等から想定した時間



散水エリア①:耐震性防火水槽11
 散水エリア②:防火水槽C
 散水エリア③:防火水槽D
 散水エリア④:屋外消火栓
 散水エリア⑤:耐震性防火水槽9
 散水エリア⑥:耐震性防火水槽10

※詳細設計で位置を変更する場合がある

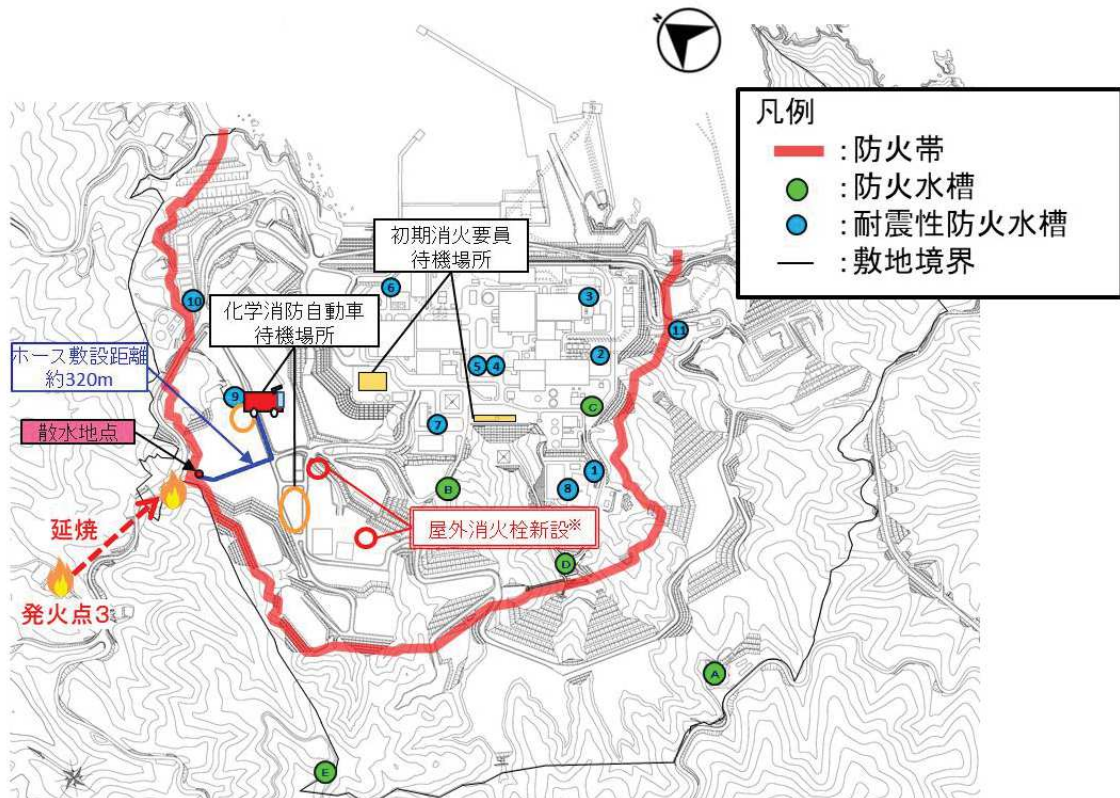


第 2.3.1.3-2 図 防火帯付近散水エリアと防火水槽

(4) 散水開始までの所要時間

a. 防火帯への散水

発電所周辺付近からの想定森林火災の火炎到達時間が最短（約 1.8 時間）となる発火点 3 から出火した森林火災が、最短で防火帯外縁に到達する散水地点において予防散水を行う。散水位置を第 2.3.1.3-3 図に示す。



第 2.3.1.3-3 図 散水位置（防火帯）

b. 所要時間

第 2.3.1.3-4 表に示すとおり，出動連絡後，約 32 分で散水活動が開始可能である。

なお，想定ของ所要時間は，過去の実績等から想定した時間により算定した。（別紙 2-9）

第2.3.1.3-4表 散水開始までの所要時間

散水開始までの所要時間

手順	内容	対応者	経過時間（時間）		
			0	1	1.8
①火災発生	森林火災発生	—	√森林火災発生	□□□ : 過去の実績等から想定した時間	
②火災覚知	警備員による覚知, 自然現象監視カメラ による覚知	正門守衛所 中央制御室		▽火災発見	
③出動準備	初期消火要員へ連絡	通報連絡責任者 (発電課長)		▽連絡	
	出動準備～消防自動 車出動まで	初期消火要員		約15分 □□□	
④移動	防火水槽到着まで	初期消火要員		約3分 □□	
⑤放水準備	ホース敷設	初期消火要員		約10分 □□□	
⑥放水開始	消防ホース敷設後の 予防散水まで	初期消火要員		約4分 □□ ▼32分後 散水準備完了	

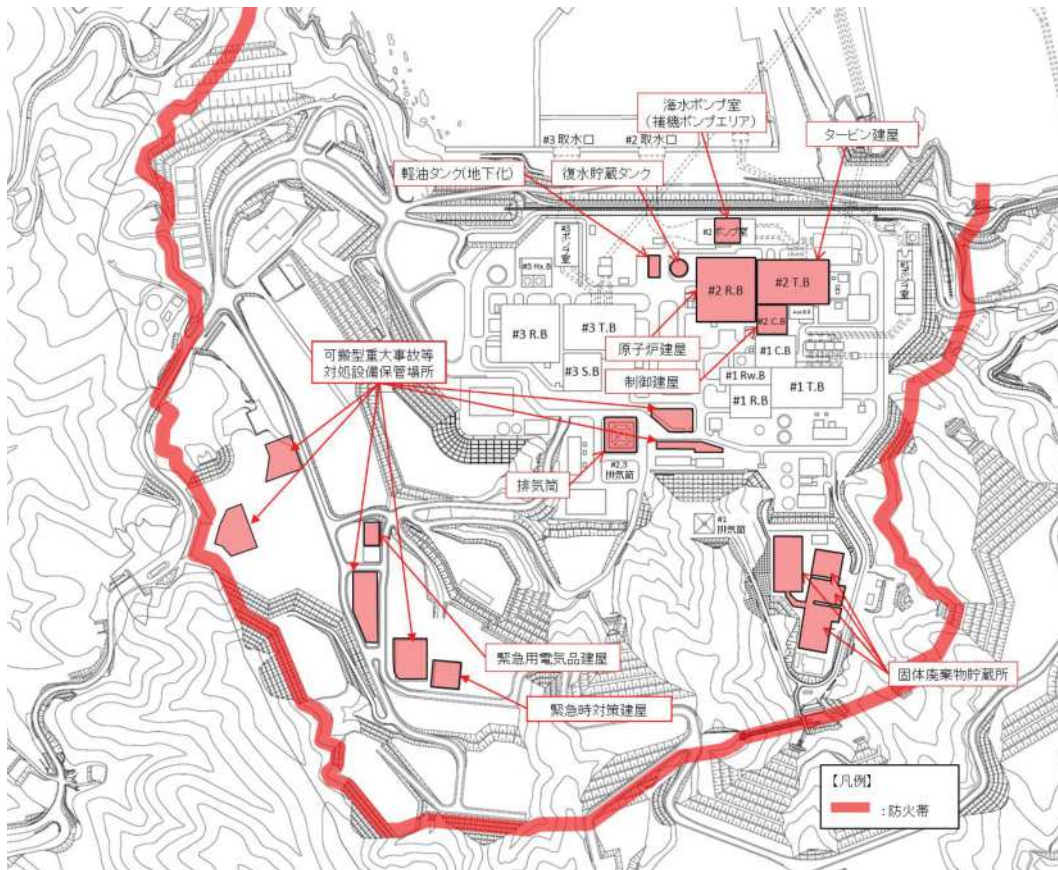
c. 評価結果

発火点3の火炎到達時間1.8 時間（約108分）以内で予防散水が可能である。

2.3.2 防火帯幅の評価結果

第2.2-11表の評価結果から、評価上必要とされる防火帯幅約19.7mに対し、20m幅の防火帯を設定する（第2.3.2-1図）。

- a. 森林火災の延焼を防止するために、防火帯を設定する。
- b. 防火帯は防護対象設備（クラス1，2）（固体廃棄物貯蔵所及び開閉所等の一部クラス3設備を含む）及び重大事故等対処設備を囲うように設定する。
- c. 防火帯は発電所設備及び駐車場の配置状況を考慮し、干渉しないように設定する。
- d. 防火帯の設定に当たっては、草木を伐採する等、可燃物を排除する。その後、モルタル吹付けを行い、草木の育成を抑制し、可燃物がない状態を維持する。また、防火帯の管理（定期的な点検等）の方法を火災防護計画に定める。（別紙2-1）



第 2.3.2-1 図 防火帯設置位置

2.3.3 外部火災時のモニタリングポストの対応について

外部火災が発生した場合においても、発電用原子炉を安全に停止するための設備に影響がないように防火帯を設置し、安全上重要な設備はその内側に配置し、外部火災による影響がないことを確認している。

モニタリングポストについては、女川原子力発電所の周辺監視区域付近における空間線量率の監視を行うために発電所敷地境界付近（防火帯の外側）に6箇所設置している。

測定器は屋外に設置されており、外部火災による影響を確実に防止できるものとは考えない。

なお、森林火災の進展によりモニタリングポストの機能が喪失した場合は、防火帯の内側に保管している可搬型モニタリングポスト（バッテリー駆動可能：6台）により代替測定を実施する。

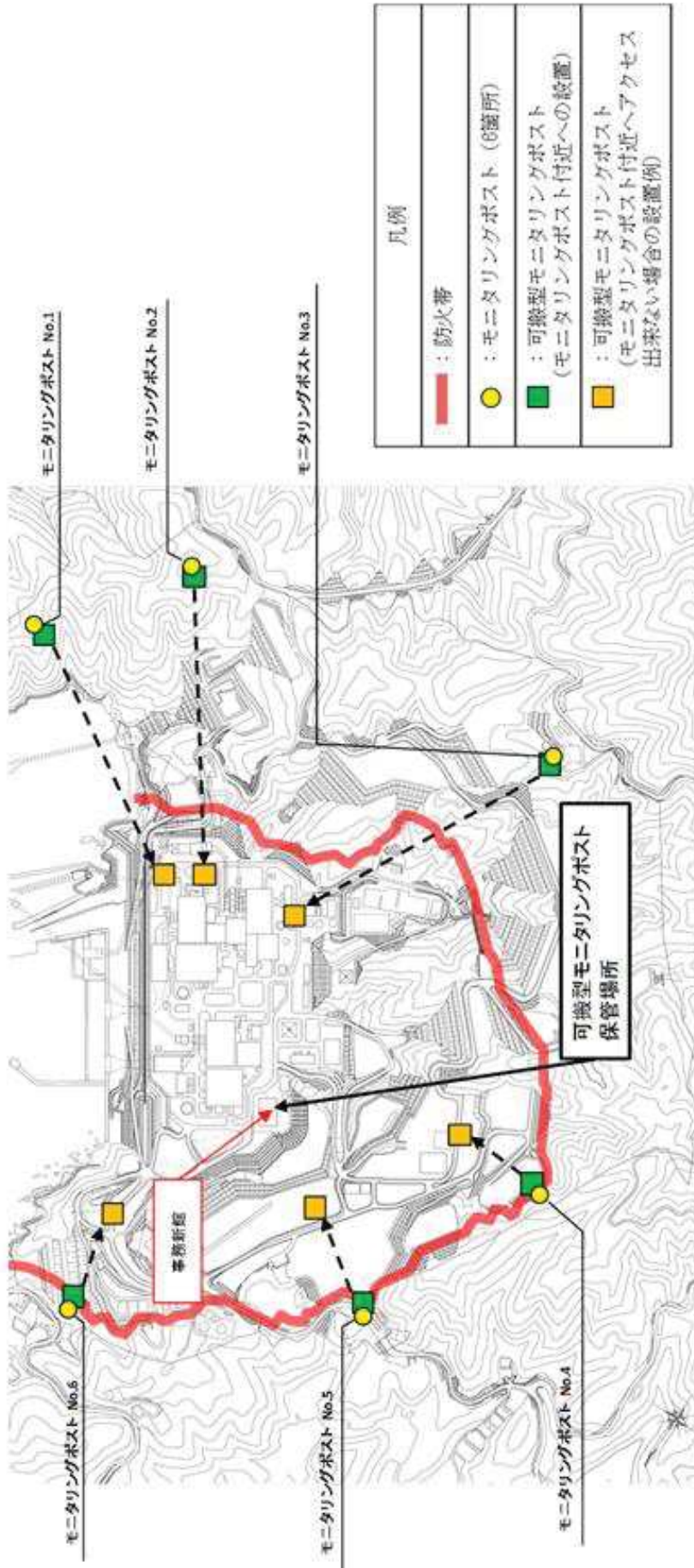
可搬型モニタリングポストがモニタリングポスト周辺に設置できる場合は、その周辺に設置し、森林火災の延焼によりモニタリングポスト周辺に設置できない場合は、発電所構内の同一方向に設置する。可搬型モニタリングポスト等を配置場所まで運搬・設置し、監視・測定を開始するまでの所要時間は、1台当たり約30分を想定（6台設置する場合は、約4時間30分を想定）。

可搬型モニタリングポストの設置イメージ図を第2.3.3-1図、配置図を第2.3.3-2図に示す。

また、外部からの情報により森林火災を認識し、可能な限り影響の軽減を図るためモニタリングポスト付近へ予防散水計画を定める。



第2.3.3-1図 可搬型モニタリングポスト（設置イメージ）



【可搬型モニタリングポストによる代替測定】

- > 森林火災により機能喪失した場合には、モニタリングポスト付近に設置する。なお、森林火災の延焼によりモニタリングポスト付近に設置できない場合には、防火帯内の同一方位に設置する。
- > 外部バッテリーにより、約5日間連続で測定が可能であり、予備の外部バッテリーに交換することで、連続測定が可能である。

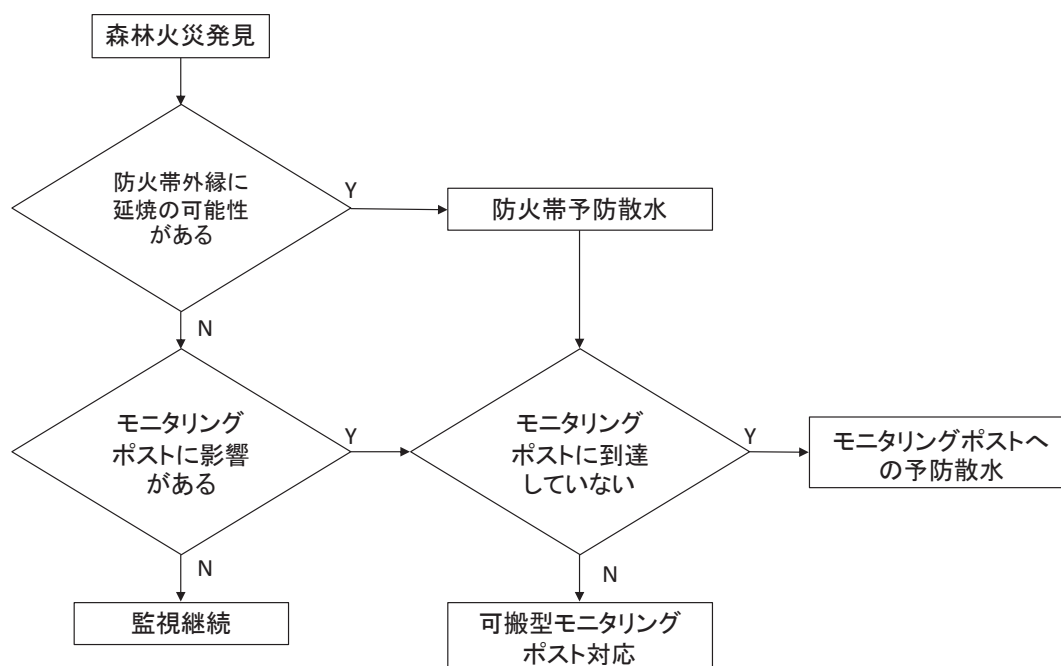
第 2.3.3-2 図 可搬型モニタリングポスト設置位置

(1) モニタリングポスト付近への予防散水計画

森林火災が発生した場合、防火帯内側にある発電用原子炉施設の防護を第一に考える。ただし、可能な限り影響の軽減を図るため、外部からの情報により森林火災を認識し、風向き等から森林火災が発電用原子炉施設に影響を与えないと判断した場合、発電所敷地境界へ到達するまでに時間的な余裕がある場合は、モニタリングポスト付近への予防散水を行う。森林火災時のモニタリングポスト対応フローを第 2.3.3-3 図に示す。

モニタリングポスト付近への予防散水計画を第 2.3.3-1 表に示す。

モニタリングポスト付近への予防散水を第 2.3.3-4 図に示す。



第 2.3.3-3 図 森林火災時のモニタリングポスト対応フロー図

(2) 予防散水の検証結果

(a) 森林火災を想定した予防散水（モニタリングポスト）

実施日：平成 26 年 3～7 月

想定火災到達地点：モニタリングポスト No. 1～6

訓練内容：出動連絡，移動，ホース展開，消防車連結，散水

所要時間：実施結果は第 2.3.3-2 表に示す。訓練の様子を第 2.3.3-4 図に示す。

評価：

- ・ モニタリングポストへの消防車による散水を実施し散水は可能。
- ・ 出動から散水開始までの実績時間は約 15～93 分となった。
- ・ 消防車 2 台連結により実施し，散水可能であった。
- ・ 予防散水のうち実施条件が厳しいモニタリングポスト No. 1 で散水が可能であるため，全ての防火帯付近の散水エリアに対し，所定の時間内で散水可能

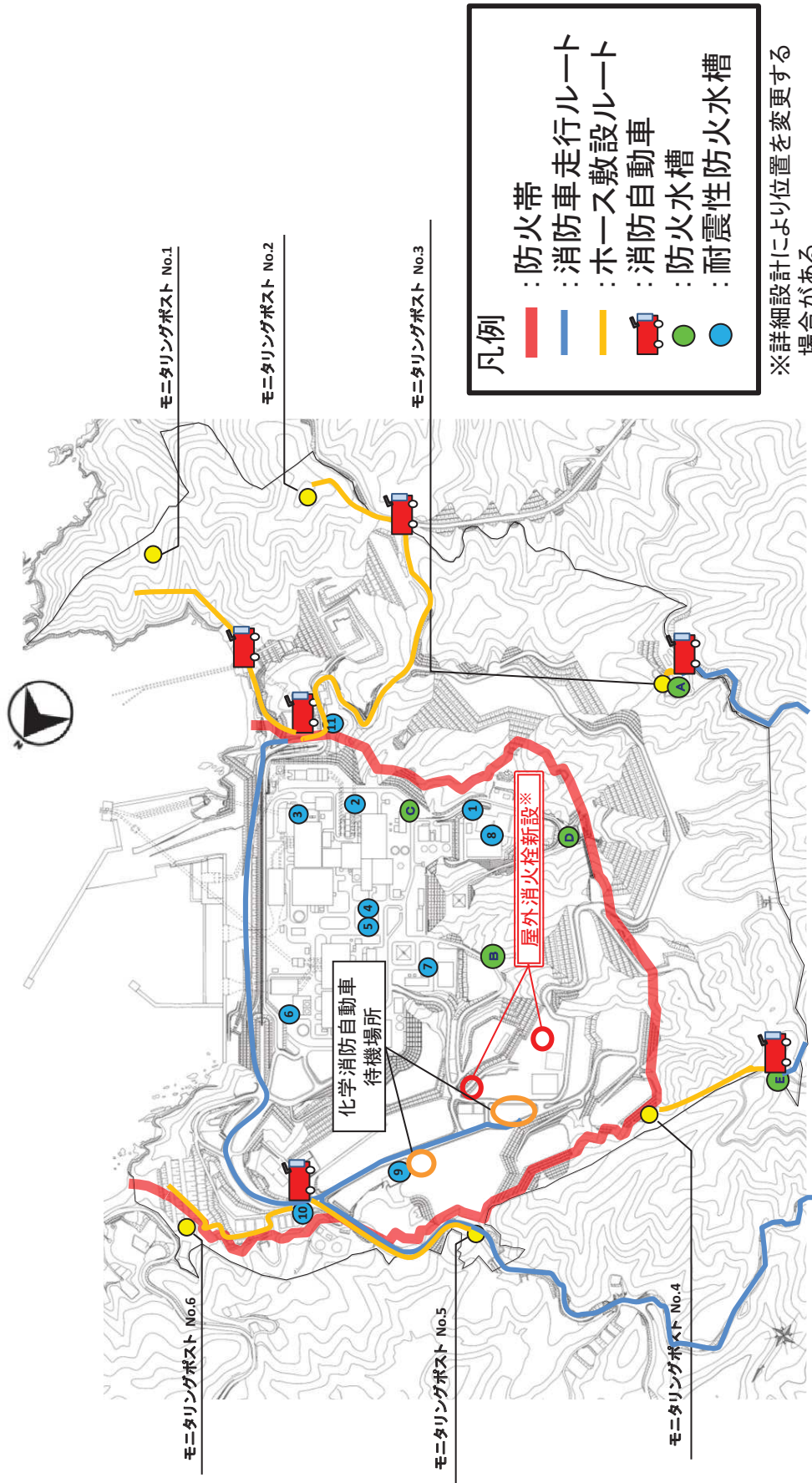
であると評価する。

※モニタリングポスト No. 5 は女川ゲート付近に移設予定および敷地造成工事中のため，工事完了後，再訓練を実施し，散水までの所要時間を確認する。

第 2.3.3-1 表 モニタリングポストへの予防散水計画

火災到達ポイント	モニタリングポスト No. 1	モニタリングポスト No. 2	モニタリングポスト No. 3	モニタリングポスト No. 4	モニタリングポスト No. 5	モニタリングポスト No. 6
防火水槽位置	牡鹿ゲート登り口 (耐11)	牡鹿ゲート登り口 (耐11)	PRセンター駐車場 (A)	林道入口付近 (E)	旧測定センター向い (耐10)	旧測定センター向い (耐10)
防火水槽容量*	60m ³	60m ³	40m ³	40m ³	60m ³	60m ³
消防ホース距離 (訓練実績)	約640m	約1,100m	約140m	約300m	約260m	約300m
消防自動車等の台数	2台	2台	1台	1台	1台	1台
連絡から予防散水開始まで (訓練実績)	約94分	約47分	約22分	約39分	約16分	約17分
予防散水継続時間	約150分	約150分	約100分	約100分	約150分	約150分
対応人数	初期消火要員10名 ・通報連絡責任者：1名 ・現場指揮者：1名 ・消火担当：1名 ・現場責任者：1名 ・消防車隊：6名（委託員6名）					





※ 貯水量については、定期点検を実施し、維持・管理する。



第 2.3.3-4 図 モニタリングポスト付近への予防散





第 2.3.3-2 表 モニタリングポスト付近への予防散水活動時間 (1/3)

(モニタリングポスト No. 1)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 実績：93分28秒	
モニタリング ポストNo. 1	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後、消防自動車等の発進までの時間		実績：6分6秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		実績：6分41秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		実績：69分16秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		実績：11分25秒

 : 実績を基にした時間 (日付：H26.5.9 天候：曇り)





(モニタリングポスト No. 2)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 実績：46分25秒	
モニタリング ポストNo. 2	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後、消防自動車等の発進までの時間		実績：6分56秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		実績：6分2秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		実績：27分26秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		実績：6分1秒

 : 実績を基にした時間 (日付：H26.4.10 天候：晴れ)





第 2.3.3-2 表 モニタリングポスト付近への予防散水活動時間 (2/3)

(モニタリングポスト No. 3)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 実績：21分50秒	
モニタリング ポストNo. 3	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後、消防自動車等の発進までの時間		実績：7分5秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		実績：11分2秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		実績：2分53秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		実績：50秒

 : 実績を基にした時間 (日付：H26.3.6 天候：雪)





(モニタリングポスト No. 4)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 実績：38分14秒	
モニタリング ポストNo. 4	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後、消防自動車等の発進までの時間		実績：6分40秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		実績：21分20秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		実績：9分25秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		実績：49秒

 : 実績を基にした時間 (日付：H26.7.24 天候：曇り)

第 2.3.3-2 表 モニタリングポスト付近への予防散水活動時間 (3/3)





(モニタリングポスト No. 5)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 実績：15分9秒※
モニタリング ポストNo. 5	初期消火要員への連絡	連絡 ▽
	受信後，消防自動車等の発進までの時間	 実績：6分43秒
	消火地点付近に到着するまでの時間	 実績：1分38秒
	消防ホースの接続・設置までの時間	 実績：3分55秒※
	消防ホース設置後の予防散水までの時間	 実績：2分53秒※

 : 実績を基にした時間 (日付：H26.4.24 天候：晴れ)

※ : モニタリングポストNo. 5移設前の訓練実績，移設後に訓練を実施予定。

(モニタリングポスト No. 6)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 実績：16分26秒
モニタリング ポストNo. 6	初期消火要員への連絡	連絡 ▽
	受信後，消防自動車等の発進までの時間	 実績：6分21秒
	消火地点付近に到着するまでの時間	 実績：3分8秒
	消防ホースの接続・設置までの時間	 実績：4分51秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間	 実績：2分6秒

 : 実績を基にした時間 (日付：H26.3.20 天候：雨)



第 2. 3. 3-4 図 消防自動車による予防散水

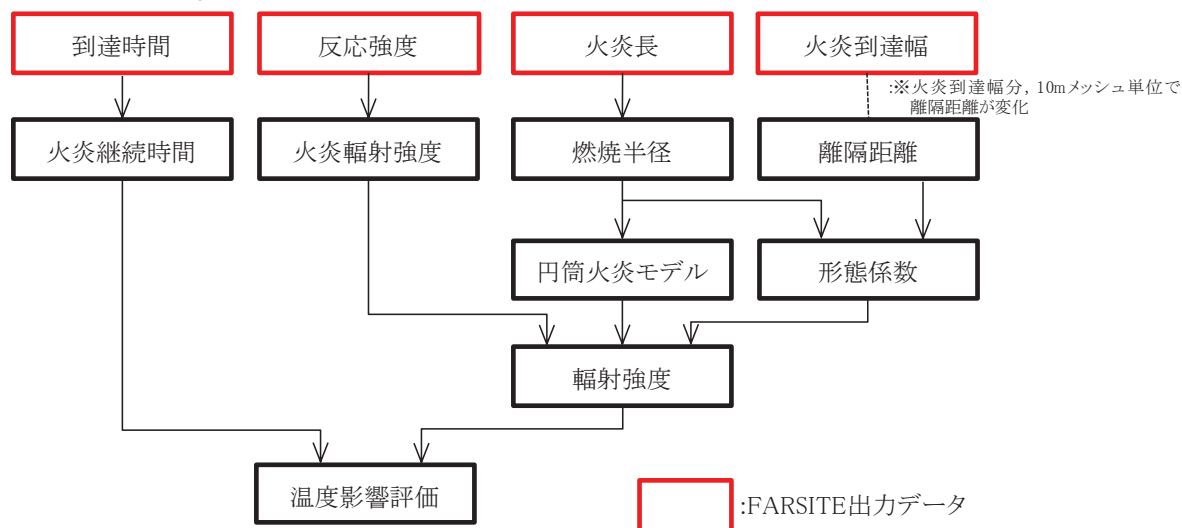
3. 温度影響評価

3.1 パラメータの算出

(1) 温度影響評価の流れ

FARSITE出力より得られた、到達時間、反応強度及び火炎長より、各建屋のコンクリート表面温度を評価する。(第3.1-1図参照)

なお、FARSITE出力項目を第3.1-1表に、発火点毎のFARSITE解析結果を第3.1-2表に示す。



第3.1-1図 温度影響評価 (概要図)

第3.1-1表 FARSITE出力項目 (温度影響評価関係)

項目		内容 (用途)
FARSITE 出力	到達時間 [h]	出火から火災の前線が該地点に到達するまでの時間 (火炎継続時間の算出)
	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)
	火炎長 [m]	火炎の高さ (円筒火炎モデルの形態係数の算出)
FARSITE 出力 より算定した データ	火炎継続時間 [h]	到達時間から算出 (円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出)
	火炎輻射強度 [kW/m ²]	発電所防火帯外縁より約 100m 以内における反応強度 (最大) に米 国防火協会 (NFPA) の係数 0.377 ^{*1} を乗じて算出 (円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出)
	燃焼半径 [m]	火炎長に基づき算出 (円筒火炎モデルの形態係数の算出)
	火炎到達幅 [m]	発電所敷地境界の火炎最前線の長さ (円筒火炎モデル数の算出)

※1 発電所敷地近傍には針葉樹、落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、針葉樹：0.377
並びに落葉広葉樹：0.371 (全米防火協会 (NFPA) 「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection
Engineering」に定める係数) のうち保守的に大きい値である 0.377 を採用した。

第 3. 1-2 表 FARSITE 解析結果

項目	発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
発火点	小屋取漁港道路沿い (北側へ 約 0.9km 地点)	県道 4 1 号線沿い (南西側へ 約 1.2km 地点)	鮫浦地区 (田) (南南西側へ 約 2.6km 地点)	塚浜地区道路沿い (西北西側へ 約 1.1km 地点)
火炎継続時間 [h]	0.79	0.08	0.24	0.14
最大火炎輻射 強度 [kW/m ²]	477	408	413	421
火炎長 [m]	0.5	1.4	0.9	1.2
燃焼半径 [m]	0.2	0.5	0.3	0.4
円筒火炎 モデル数	35	12	18	14
火炎到達幅 [m]	2300	2300	2300	2300
形態係数 ^{※1} [-]	0.002	0.006	0.004	0.005
輻射強度 ^{※1} [kW/m ²]	0.03	0.07	0.05	0.06

※1 評価対象との離隔距離により異なる。(代表として 2 号炉原子炉建屋を記載)

(2) 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]

(3) 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。

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

F : 円筒火炎モデル数

W : 火炎到達幅 [m]

\hat{F} : 円筒火炎モデル数 (10m メッシュ)

R : 燃焼半径 [m]

(4) 火炎輻射強度

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。

女川原子力発電所敷地近傍には、針葉樹及び落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、針葉樹 0.377 と落葉広葉樹 0.371 のうち保守的に大きい値である針葉樹の係数 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 3.1-2 表 火炎輻射強度と反応強度の発熱量

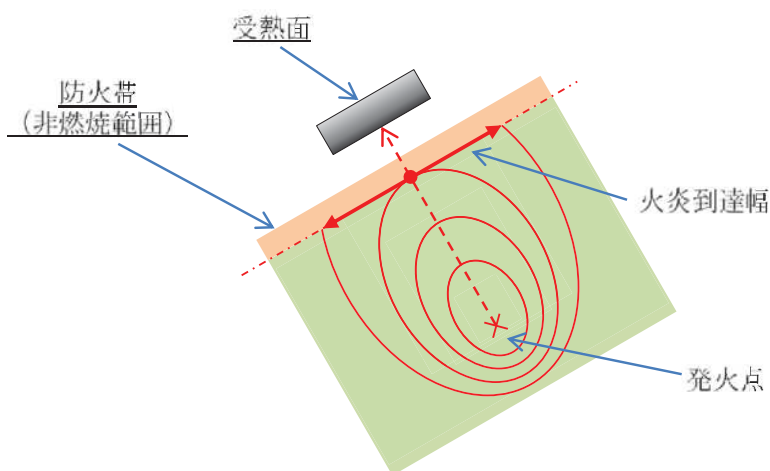
発熱量 (ΔH)	火炎輻射強度 (ΔH_{rad})	火炎対流発散度 (ΔH_{con})	反応強度 (ΔH_{ch})	係数 ($\Delta H_{\text{rad}}/\Delta H_{\text{ch}}$)
レッドオーク 発熱量 (落葉広葉樹の代表種)	4.6kJ/g	7.8kJ/g	12.4kJ/g	0.371
米松 発熱量 (針葉樹の代表種)	4.9kJ/g	8.1kJ/g	13.0kJ/g	0.377

出典：全米防火協会 (NFPA) 「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」

(5) 火炎到達幅

森林火災が収束するまでに、防火帯外縁で延焼している範囲を火炎到達幅 (W) とし、この範囲の燃焼が受熱面へ与える影響を輻射強度により評価する。

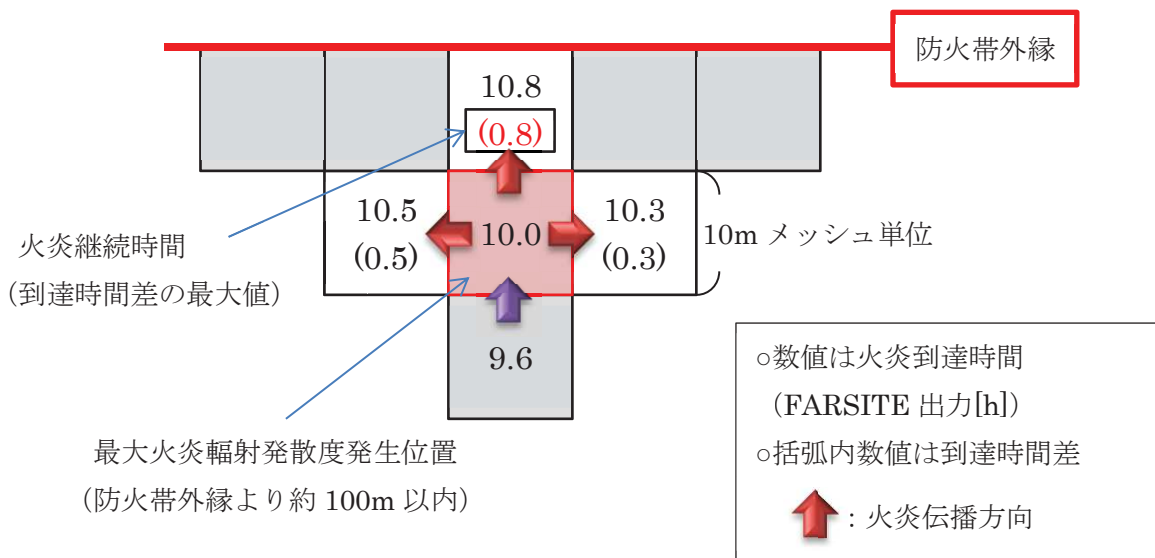
本評価に用いる火炎到達幅 (W) は、以下のとおり延焼方向に対し、垂直な線上の火炎前線を投影した長さとした。



第 3.1-2 図 火炎到達幅イメージ

(6) 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 3.1-3 図に示す。



第 3.1-3 図 火炎継続時間概念図

(7) 形態係数の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき形態係数を算出する。なお、各円筒火炎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。

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

ここで、 $m = \frac{H}{R} \approx 3$, $n = \frac{L_i}{R}$, $A = (1 + n)^2 + m^2$, $B = (1 - n)^2 + m^2$

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]

(8) 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 \hat{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。

$E_0 = \phi_0 \times \hat{F} \times R_f$ (中心火炎の場合) [kW/m²]

$E_i = \phi_i \times \hat{F} \times R_f \times 2$ (中心以外の火炎の場合) [kW/m²]

ϕ_i : 形態係数

R_f : 最大火炎輻射強度 [kW/m²]

\hat{F} : 円筒火炎モデル数(10m メッシュ)

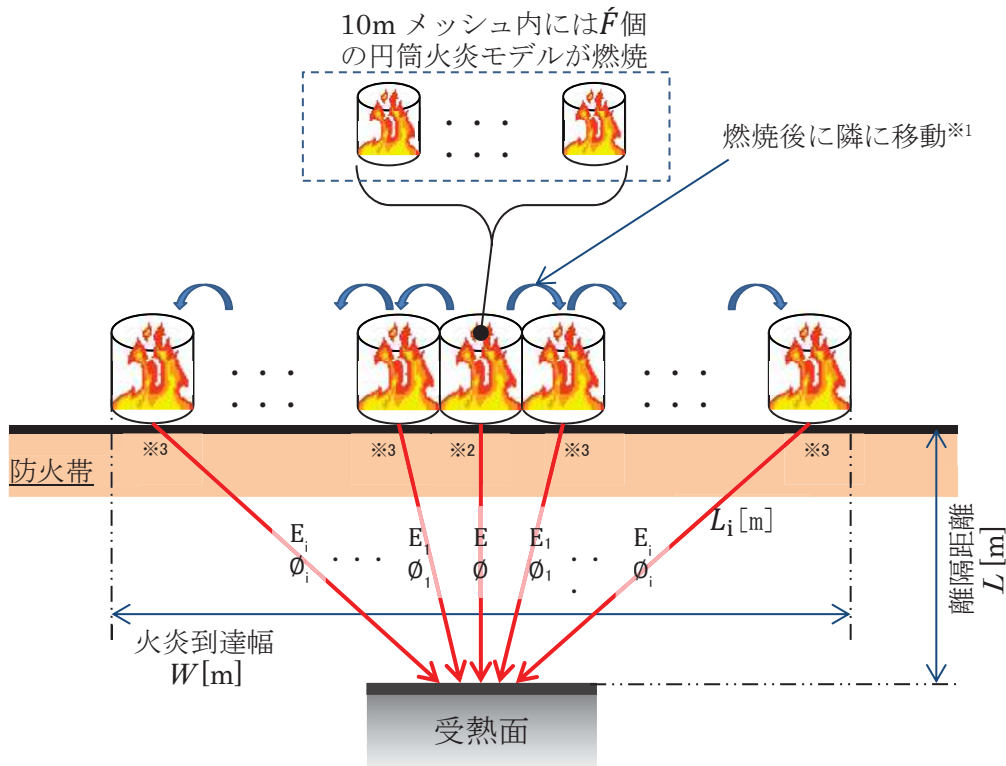
(9) 温度の算出方法

(a) 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、各々の輻射強度を積算し評価する。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の火炎輻射強度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。

円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間とする。

円筒火炎モデルの概念図を第3.1-4図に示す。



- ※1 燃焼時間は火炎継続時間とし、10m メッシュ単位で移動する。
- ※2 \hat{F} 個分の円筒火炎モデルから放射
- ※3 \hat{F} 個分の円筒火炎モデルを 2 箇所から放射

第 3. 1-4 図 温度影響評価概念図

3. 2 建屋外壁の温度評価

(1) 影響評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、森林火災を想定して評価を実施した。

- (2) 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を用いて評価を行う。評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 3. 2-1 表に示す。

第 3. 2-1 表 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

項目	原子炉 建屋	制御 建屋	タービン 建屋	固体廃棄物 貯蔵所
防火帯外縁からの 最短距離 [m]	229	180	160	74

(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（別紙 2-2 参照）。なお、外壁にはガラ

り、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。

なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

T : 外壁温度 [℃]

ρ : コンクリート密度 (2400 kg/m³)

C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)

x : コンクリート深さ

t : 火災継続時間 (s)

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。

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

E : 輻射強度(W/m²), R_f : 火災輻射強度(W/m²), Φ : 形態係数

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。

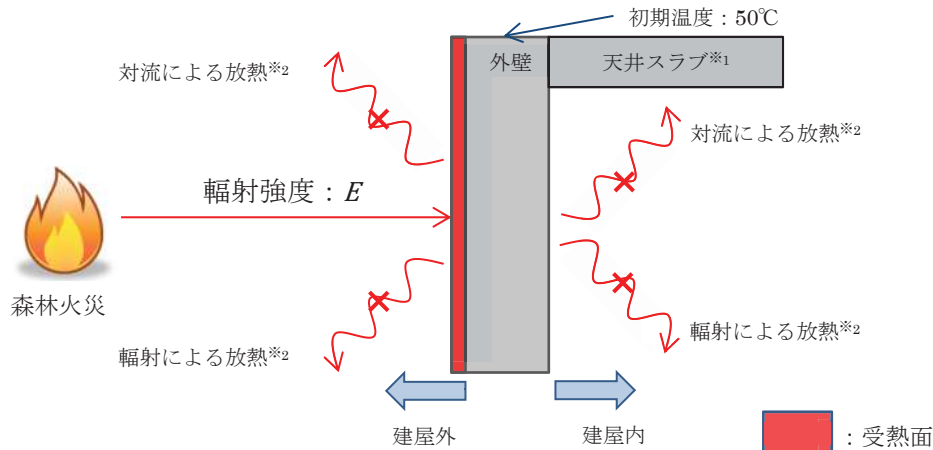
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

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

Φ : 形態係数, L : 離隔距離[m], H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m]

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図を第3.4-1図に示す。



※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される
 ※2：コンクリート表面温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした

第 3. 2-1 図 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

c. 評価結果

温度評価結果は第3. 2-2表のとおり，原子炉施設外壁温度が最大となる発火点1及び発火点3のケースでも約64℃であり許容温度200℃以下であることを確認した。

また，最大となる危険距離は発火点1及び発火点3の16mとなるが，防火帯外縁から原子炉施設までの離隔距離は74mであることから，危険距離以上の離隔距離が確保されることを確認した。

第 3. 2-2 表 原子炉施設外壁温度評価結果

項目	発火点	原子炉建屋	制御建屋	タービン建屋	固体廃棄物貯蔵所
外壁温度 [°C]	1	約 53	約 54	約 55	約 64
	2-1	約 53	約 53	約 54	約 62
	2-2	約 53	約 54	約 55	約 63
	3	約 53	約 54	約 55	約 64
防火帯外縁からの最短距離 [m]	1	229	180	160	74
	2-1				
	2-2				
	3				
危険距離 [m]	1	16	16	16	16
	2-1	14	14	14	14
	2-2	15	15	15	15
	3	16	16	16	16

3.3 内気温度評価

(1) 評価対象範囲

評価対象施設に対し、室内で人員の活動が必要な、2号炉中央制御室並びに緊急対策室について、森林火災を想定し、内部の温度影響評価を実施する。また、固体廃棄物貯蔵所内のドラム缶についても併せて温度影響評価を実施する。

(2) 判断の考え方

a. 許容温度

中央制御室の設計室温から 40℃とする。

緊急対策室は外気取り入れ後に冷凍機にて冷却し、設定温度となるように制御しているため、許容熱負荷以下であることで評価する。

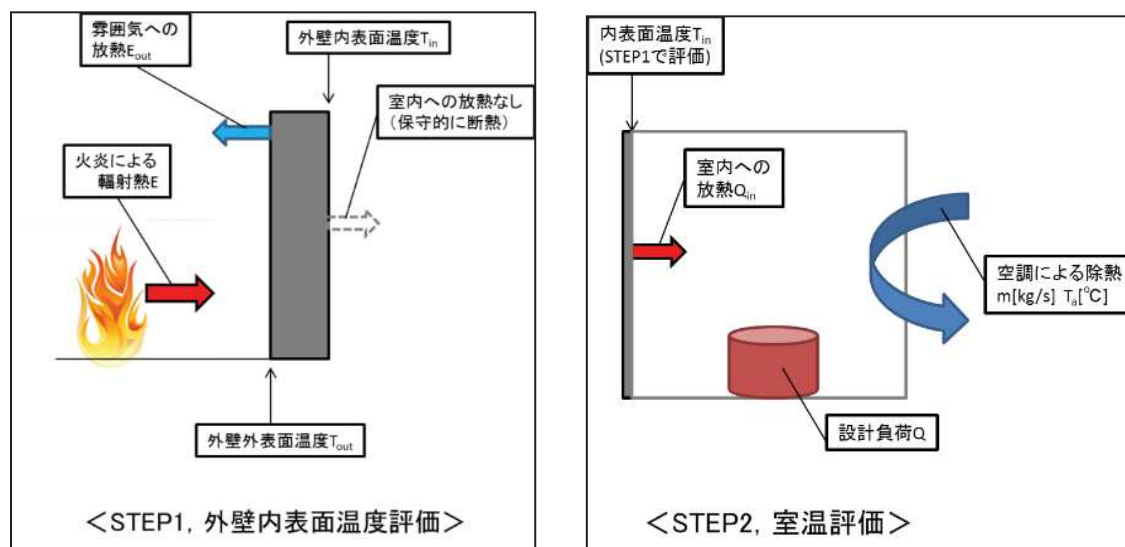
固体廃棄物貯蔵所のように室温維持のための空調設備がない場合は保守的に外壁内表面温度で評価する。

b. 評価方法

評価は以下の手順で実施する。第 3.3-1 図に評価概念図を示す。

(1) 外部火災による評価対象外壁内表面を評価する。(STEP1)

(2) STEP1 で得られた外壁内表面温度を基に室温を評価する (STEP2)



第 3.3-1 図 評価概念図

a. STEP1 の評価モデル式

外部火災による外壁内表面温度を算出する式は次式で示される。

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

T : 外壁温度 [°C]

ρ : コンクリート密度 (2400 kg/m³)

C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)

- λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)
- x : コンクリート深さ
- t : 火炎継続時間 (s)

b. STEP2 の評価モデル式

室内の内包機器熱負荷は強制換気による除熱される。ここでは第 3.3-1 図に示すように外部火災による外壁内表面温度の上昇により室温が加熱される影響をモデル化する。保守的に評価を実施するため、室内の熱容量等は考慮せず、熱バランスによる評価を実施する。

外部火災による内壁温度上昇に伴う熱負荷は次式で示される。

$$Q_{in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room}) \quad [W]$$

- h_{in} : 室内壁表面熱伝達率 [W/m²/K]
- A : 室内壁表面積 [m²]
- T_{in} : 内壁最高温度 [°C]
- T_{room} : 室温 [°C]

室内における熱バランスにより室温は次式で計算される。保守的に排気温度 T_{ext} を室温 T_{room} として評価する。

$$T_{room} = T_{ext} = \frac{Q + Q_{in}}{m \cdot \rho \cdot Cp} + T_a \quad [°C]$$

- Q : 室内負荷 [W]
- m : 風量 [m³/s]
- Cp : 空気比熱 [J/kg/K]
- ρ : 空気密度 [kg/m³]

評価の結果、各評価対象について許容温度又は許容熱負荷を下回ることを確認した。

第 3.3-1 表 評価結果 (原子炉施設)

評価対象	STEP1 外壁内表面温度 [°C]	STEP2 室内温度 [°C]	許容温度 [°C]
2号炉 中央制御室	約 57	約 28	40
固体廃棄物貯蔵所	約 56	—	325 (100)

第 3.3-2 表 評価結果 (緊急対策室)

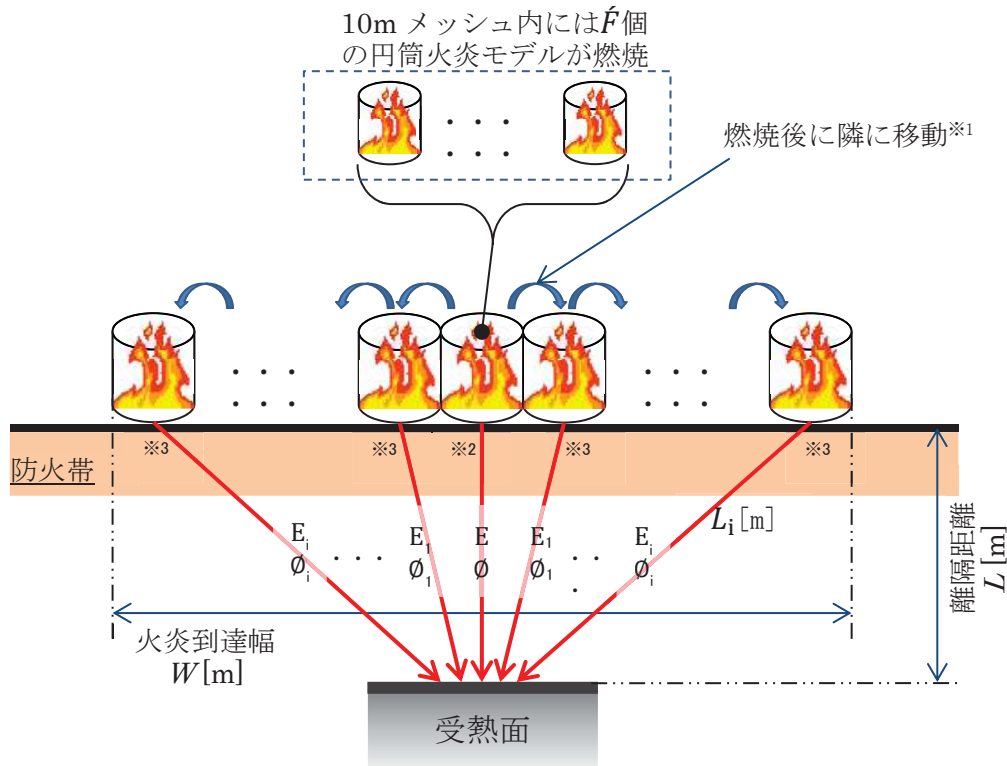
評価対象	STEP1 外壁内表面温度 [°C]	STEP2 熱負荷 [kW]	許容熱負荷 [kW]
緊急対策室	約 51	約 138	152

3.4 屋外施設の影響評価

(1) 評価手法の概要

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、各々の輻射強度を積算し評価する。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の火炎輻射強度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。

円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間とする。



- ※1 燃焼時間は火炎継続時間とし、10m メッシュ単位で移動する。
- ※2 \hat{F} 個分の円筒火炎モデルから放射
- ※3 \hat{F} 個分の円筒火炎モデルを2箇所から放射

第 3.4-1 図 温度影響評価概念図

(2) 温度評価

a. 復水貯蔵タンク温度の算出

(a) 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、森林火災を想定して評価を実施した。

(b) 評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 3.4-1 表に示す。

第 3.4-1 表 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	離隔距離 [m]
復水貯蔵タンク	340

(c) 判断の考え方

i. 許容温度

復水貯蔵タンクの許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66℃以下とする。

ii. 評価方法

一定の輻射強度で復水貯蔵タンクの火災源側の側面と天井面へ入熱するものとして、表面での輻射によるタンク内部に貯蔵された水及びタンク側面、天井面の温度上昇を表した下式により復水貯蔵タンクの温度が 66℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}} \quad (\text{式 1})$$

T_0 : 初期温度 (50[°C]), E : 輻射強度 [W/m²], t : 燃焼継続時間 [s]

D_o : タンク外径 (20.012[m]), h : タンク円筒高さ (11.8[m])

ρ_w : 水の密度 (979.9 [kg/m³]) ※¹, C_{pw} : 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) ※¹

V : 水の体積 (690[m³]), ρ_s : タンク壁材密度 (7860[kg/m³]) ※²

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg/K]) ※², D_i : タンク内径 (20.0[m])

e : タンク最小板厚 (0.006[m])

※¹: 伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水) を 66℃となるように線形補間した値

※²: 伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており、直接輻射がタンクに到達する構造ではないが、評価にあたっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

復水貯蔵タンクの評価概念図を第 3.4-3 図に示す。

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。

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

E : 輻射強度 (W/m^2), R_f : 火炎輻射強度 (W/m^2), Φ : 形態係数

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。

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

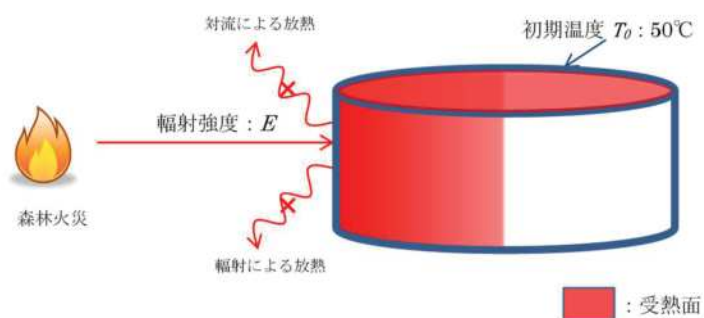
ただし、 $m = \frac{H}{R} \approx 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 [m], H : 火炎長 [m], R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

復水貯蔵タンクの評価概念図を第 3.4-2 図に示す。



第 3.4-2 図 復水貯蔵タンクの評価概念図

iii. 評価結果

温度影響評価結果は第 3.4-2 表のとおり、復水貯蔵タンクにおける表面温度がいずれのケースでも約 51°C であり許容温度 66°C 以下であることを確認した。

また、最大となる危険距離は発火点 1 の 9m となるが、防火帯外縁から復水貯蔵タンク

クまでの離隔距離は340mであることから、危険距離以上の離隔距離が確保されることを確認した。

第 3. 4-2 表 復水貯蔵タンク温度影響評価結果

項目	復水貯蔵タンク			
	発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
温度 [°C]	約 51	約 51	約 51	約 51
防火帯外縁からの最短距離 [m]	340	340	340	340
危険距離 [m]	9	4	6	5

b. 排気筒温度の算出

(a) 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。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第 3.4-3 表に、排気筒外形図を第 3.4-3 図に示す。

第 3.4-3 表 評価対象施設の仕様

名称		排気筒
種類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 3.7m
		地表高さ 160m
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数		1



第 3.4-3 図 評価対象施設の外形図

(c) 評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第 3.4-4 表に示す。

第 3.4-4 表 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

評価対象施設	離隔距離 [m]
排気筒	339

(d) 判断の考え方

i. 許容温度

排気筒 (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。

ii. 評価方法

一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、表面での輻射による入熱量と対流熱伝達による外部への放熱量が釣り合うことを表した式 1 により主排気筒鉄塔表面の温度が 325℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。評価において対流による放熱を考慮している。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T - T_0)$$

ε : 吸収率 0.9[-]

E : 輻射強度 [W/m²]

D_o : 外径 [m]

h : 熱伝達率 17 [W/m²/K]

T_0 : 初期温度 50 [°C]

上式の左辺は輻射による受熱を表し、右辺は放熱を表す。これを変形すると

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

(出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計)

と表せる。

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。

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

E : 輻射強度 (W/m²), R_f : 火炎輻射強度 (W/m²), Φ : 形態係数

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。

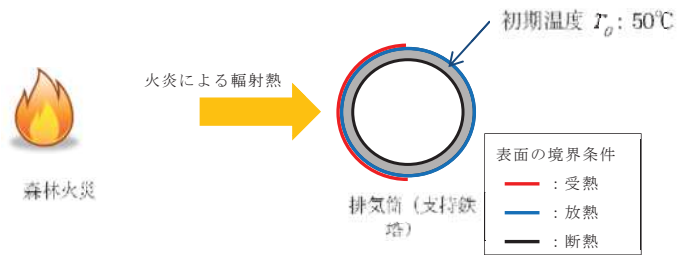
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 [m], H : 火炎長 [m], R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

なお、排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が森林火災との距離が近いこと（第 3.4-3 図参照）、材質も支持鉄塔は SS400 及び STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持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 3.4-4 図に示す。



第 3. 4-4 図 伝熱の境界条件の模式図

iii. 評価結果

温度影響評価結果は第3. 4-5表のとおり，排気筒における表面温度がいずれのケースでも約51°Cであり，許容温度325°C以下であることを確認した。

また，最大となる危険距離は発火点2-1の16mとなるが，防火帯外縁から排気筒までの離隔距離は339mであることから，危険距離以上の離隔距離が確保されることを確認した。

第 3. 4-5 表 排気筒温度影響評価結果

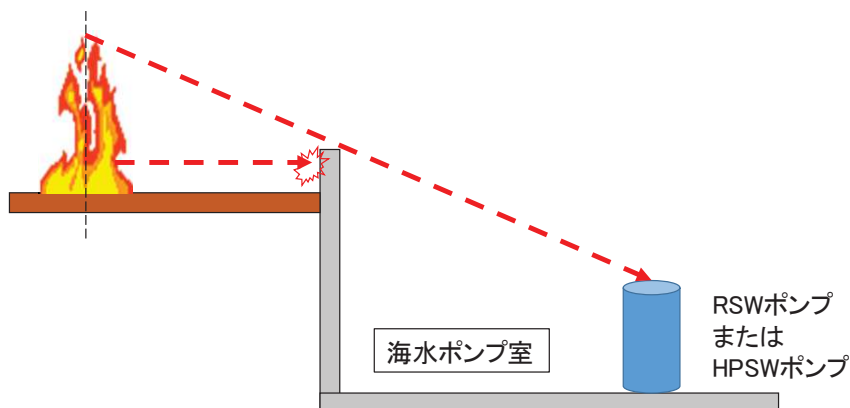
項目	復水貯蔵タンク			
	発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
温度 [°C]	約 51	約 51	約 51	約 51
防火帯外縁からの最短距離 [m]	339	339	339	339
危険距離 [m]	8	16	11	15

c. 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ温度の算出

(a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、海水ポンプ高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては、海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず、側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第3.4-5図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり、そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要な冷却空気の温度が、許容温度以下となることを確認する。



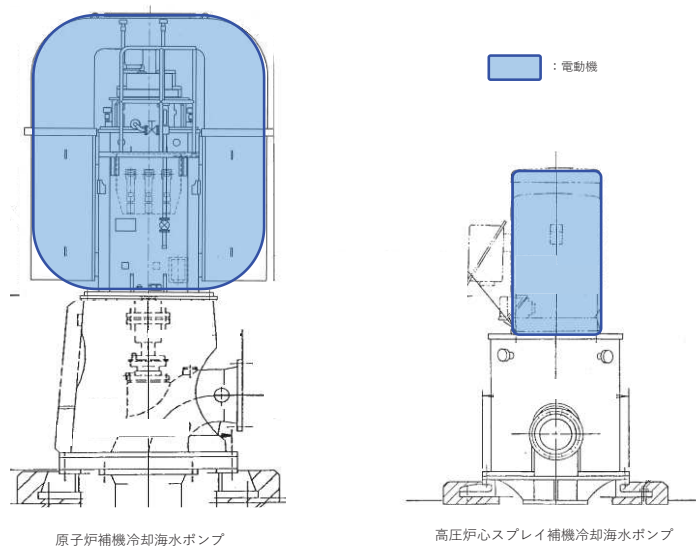
第3.4-5図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(b) 評価対象施設の仕様

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第3.4-6図、外形図を第3.4-7図に示す。仕様を第3.4-6表に示す。



第 3. 4-6 図 海水ポンプの配置図



第 3. 4-7 図 海水ポンプの外形図

第 3. 4-6 表 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却 海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

(c) 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 3.4-7 表に示す。

第 3.4-7 表 海水ポンプ室から火災源までの離隔距離

評価対象施設	海水ポンプ室
離隔距離 [m]	302

(d) 判断の考え方

i. 許容温度

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの冷却空気の許容温度は、上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度、通常運転時の上昇温度をそれぞれ第 3.4-8 表、第 3.4-9 表に示す。

第 3.4-8 表 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	40 ^{*1}	55
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	55 ^{*2}	55

※1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 40°C を冷却空気の許容温度に設定

※2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 55°C を冷却空気の許容温度に設定

第 3.4-9 表 海水ポンプの通常運転時の上昇温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	27	28.7
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	32	41

ii. 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，原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプが受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 3.4-7 表に示す許容温度を下回るかを比熱の公式より求まる式 1 で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 3.4-10 表に，評価概念図を第 3.4-8 図示す。

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

T : 評価温度 (°C), T₀ : 通常運転時の上昇温度,

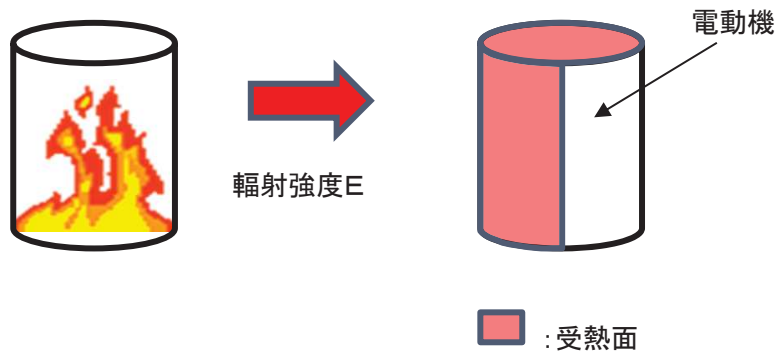
E : 輻射強度 (W/m²),

G : 重量流量 (kg/s), A_T : 輻射を受ける面積 (m²)

C_p : 空気比熱 (1,008J/kg/K)

第 3.4-10 表 評価に用いた諸元

対象機器	受熱面積 [m ²] A _r	重量流量 [kg/s] G	空気比熱 [J/kg/K] C _p
原子炉補機 冷却海水ポンプ	13.19	3.32	1,008
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	1.19	0.55	1,008



第3.4-8図 評価概念図

式 1 で求めた危険輻射強度 E となる形態係数 Φ を，式 2 より算出する。

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

E : 輻射強度 (W/m²), R_f : 火炎輻射強度 (W/m²), Φ : 形態係数

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

ϕ : 形態係数, L : 離隔距離[m], H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m]

iii. 評価結果

温度影響評価結果は第3.4-11表のとおり、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプにおける上部及び下部軸受温度がいずれのケースでも、許容温度以下であることを確認した。

また、最大となる危険距離は発火点2-1の30.6mとなるが、防火帯外縁から海水ポンプ室までの離隔距離は302mであることから、危険距離以上の離隔距離が確保されることを確認した。

第 3.4-11 表 評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設		発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
原子炉補機 冷却海水ポンプ	上部軸受上昇温度 [°C]	27.1	27.2	27.1	27.2
	下部軸受上昇温度 [°C]	18.8	18.9	18.8	18.9
	上部軸受に対する 危険距離 [m]	17.2	30.6	24.3	29.0
	離隔距離 [m]	302	302	302	302
高压炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	上部軸受上昇温度 [°C]	32.1	32.1	32.1	32.1
	下部軸受上昇温度 [°C]	41.1	41.1	41.1	41.1
	下部軸受に対する 危険距離 [m]	10.0	20.6	15.8	19.4
	離隔距離 [m]	302	302	302	302

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、森林火災による外部火災防護施設への延焼防止対策として、発電所構内道路及び地形等を考慮し、20m幅の防火帯を設定する。

防火帯内に他の法令要求等により可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限の機器等とし、防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする必要があるため、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

防火帯の設定にあたっては、草木を伐採する等、可燃物を排除し、除草剤の散布や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分すると共に、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、常時可燃物のない状態を維持する。

防火帯内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は、原則設置しない方針であるが、防火帯の位置設定においては発電所敷地内道路配置及び地形等を考慮して設定したことから、防火帯内の一部には他の法令要求等による少量の可燃物を含む機器等が存在する。このため、防火帯内に設置された機器等の延焼防止効果への影響の有無を評価し、必要な対策を講ずる設計とする。

第1表に防火帯に設置される機器等の管理方針について示す。

第1表 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針

分類		機器例	評価及び管理方針
不燃性の機器		<ul style="list-style-type: none"> ・送電線 ・フェンス 	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、機器に対して対策は不要。
可燃物を含む機器	局所的な設置機器	—	局所的な火災となるため、防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから、機器に対して対策は不要とする。
	防火帯を横断して設置	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブル ・配管 	防火帯の延焼防止効果に影響を及ぼすことが想定されるため、防火帯を横断して設置されるケーブルは以下の対策を講じる。 <ul style="list-style-type: none"> ・不燃性の電線管，トレイ内に敷設 ・埋設化，不燃材で養生

コンクリートの許容限界温度 200°Cの設定根拠について

高温時のコンクリートの圧縮強度と温度の関係を第1図及び第2図に示す。

圧縮強度は、100°Cでやや低下しているものの、200°C程度までは常温と殆ど変わらないかむしろ上昇し、その後徐々に低下して、500°Cで常温の2/3（短期許容応力度に相当）に低下している。

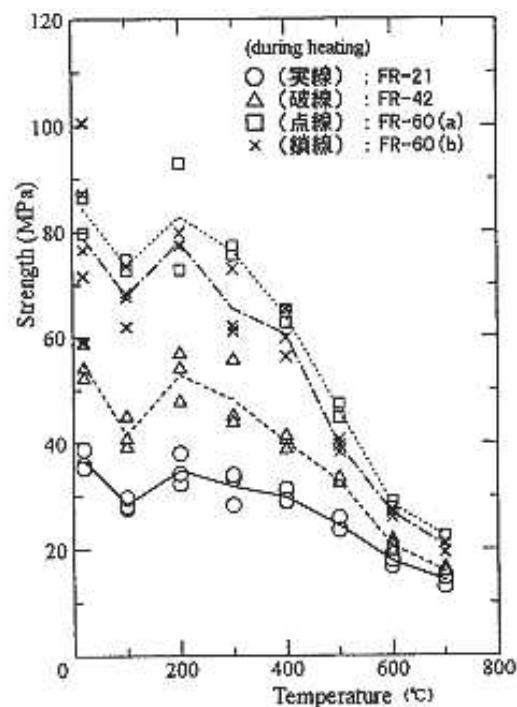
100°C近傍の圧縮強度の低下については、コンクリートを構成する骨材が膨張すると同時にセメント水和物が100°C近傍から収縮し、その不均質さのため自己歪応力が発生する。この自己歪応力により、内部に微細亀裂が増加し、強度を低下させる要因と考えられている。

また、加熱温度の上昇により、100°C～200°Cにおいては、未水和セメント粒子の水和の促進などが100°C～200°Cにおける複雑な強度特性に影響しているものと推測される。

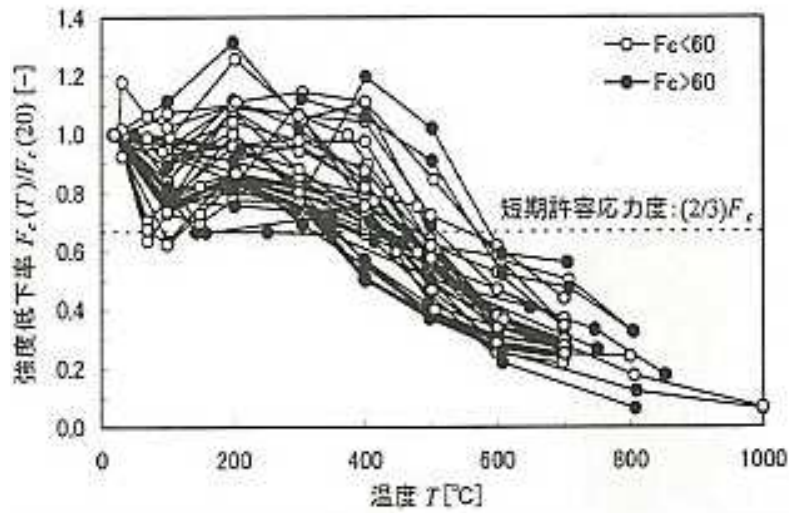
なお、圧縮強度が低下する100°C近傍の残存強度は、長期許容応力度（設計基準強度の1/3）を十分上回ることを確認している。

以上のとおり、100°C近傍で圧縮強度が低下するものの200°Cまでは再度上昇し、その後温度上昇に伴い圧縮強度が低下することから、コンクリートの許容温度を200°Cとした。

なお、上記試験では、試験体内部温度を均一となるように実施しており、コンクリート壁の表面の温度を200°Cと設定することは保守的な評価となる。



第1図 圧縮強度と加熱温度の関係^{*1}



第2図 コンクリートの高温時圧縮強度（常温強度に対する比）^{※2}

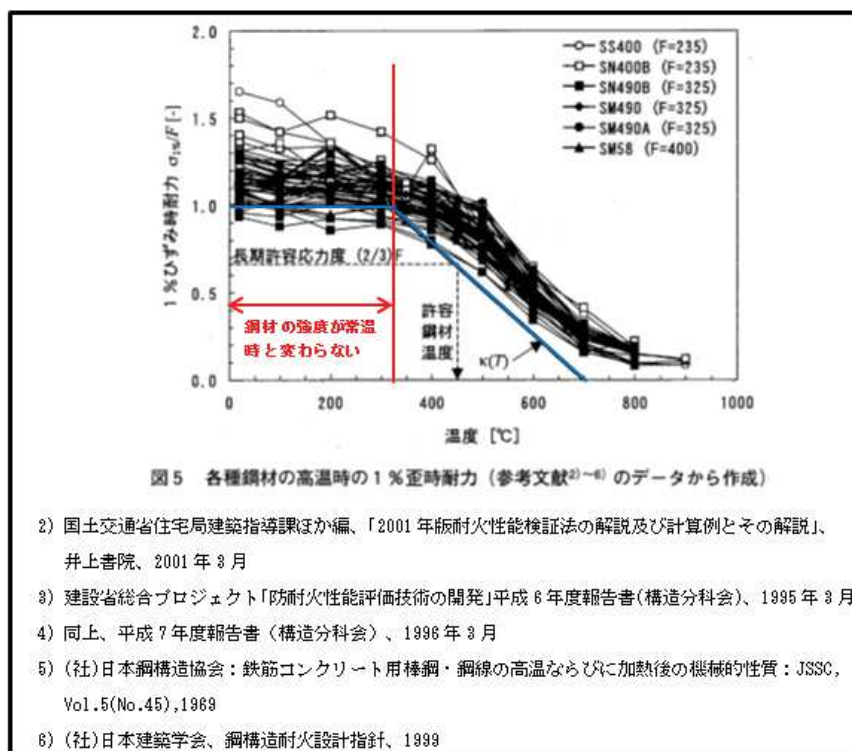
※1：「高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究」（日本建築学会構造系論文集第515号，163-168、1999年1月）

※2：「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，2007年）

排気筒の許容限界温度325°Cの設定根拠について

一般的に、鋼材は温度上昇に伴い強度が低下するが、その高温強度に対する公的規格は存在していない。一方、発電用原子力設備規格 設計・建設規格（一般社団法人日本機械学会）では、鋼材の制限温度を350°Cとしていること、また、文献^{※1}では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 $\kappa(T)$ が示されており、一般的な鋼材において温度が325°C以下であれば、その強度が常温時と変わらない ($\kappa(T)=1$)^{※2}としている（第1図）。

よって本評価では、保守的に鋼材の強度が常温時と変わらないとされる325°Cを許容限界温度とし、評価を実施する。



第1図 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率^{※1}（一部加筆）

※1 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，2007年

※2 各温度における鋼材の1%ひずみ時耐力の測定値を常温の基準強度 (F) で割ったものが強度低下率 $\kappa(T)$ であり，鋼材の強度が常温時と変わらない場合は， $\kappa(T)=1$ となる。

各施設等の温度評価体系

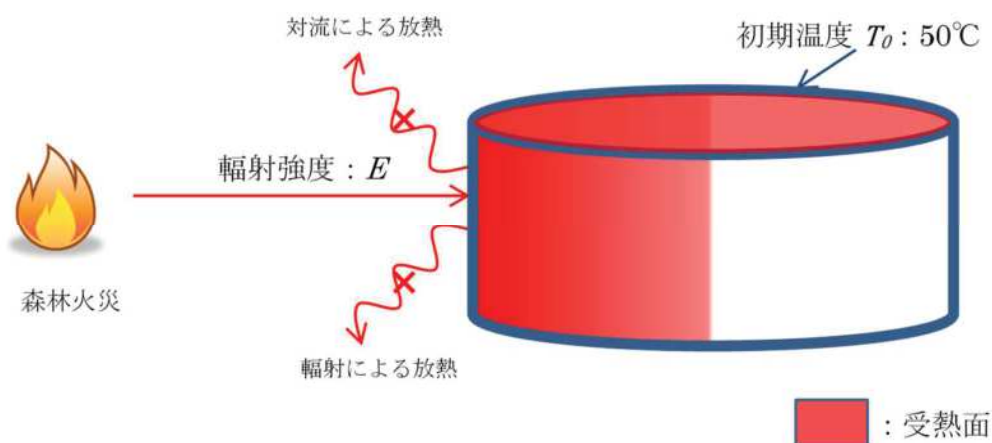
1. 復水貯蔵タンクの温度評価体系

火災源からの輻射熱による復水貯蔵タンク温度の評価については、次式の温度評価式により算出する。

ここで、本火災影響評価で用いる許容温度については、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度66℃とする。

なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$



第1図 復水貯蔵タンク温度評価体系図

T_0 : 初期温度 (50[°C])

E : 輻射強度 [W/m²]

t : 燃焼継続時間 [s]

D_o : タンク外径 (20.012[m])

h : タンク円筒高さ (11.8[m])

ρ_w : 水の密度 (979.9 [kg/m³]) ※1

C_{pw} : 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) ※1

V : 水の体積 (690[m³])

ρ_s : タンク壁材密度 (7860 [kg/m³]) ※2

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473 [J/kg/K]) ※2

D_i : タンク内径 (20.0 [m])

e : タンク最小板厚 (0.006 [m])

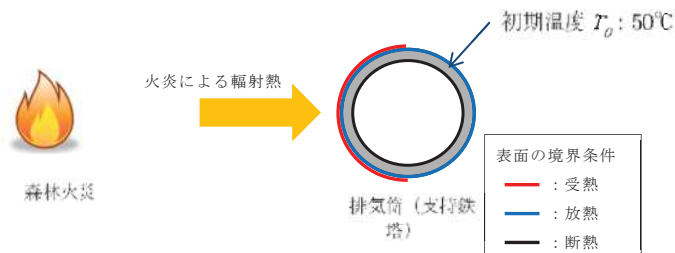
※1 : 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66℃となるように線形補間した値

※2 : 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

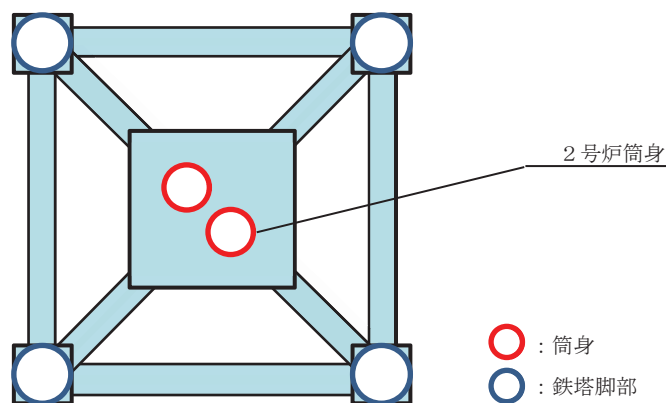
2. 排気筒の温度評価体系

円筒外表面積の1/2に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。排気筒円筒材の境界条件の模式図を第2図に示す。

なお、評価にあたって排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が森林火災との距離が近いこと (第3図参照)、材質も支持鉄塔はSS400及びSTK400、筒身ではSMA400APであり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。



第2図 伝熱の境界条件の模式図



第3図 排気筒概略図

受熱面の輻射強度は時間によらず一定である。したがって、排気筒の温度上昇の最大値 T_{max} は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、排気筒の温度評価を実施した。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T_{max} - T_o)$$

- ε : 吸収率 0.9[-]
- E : 輻射強度[W/m²]
- D_o : 外径[m]
- h : 熱伝達率 17[W/m²/K]
- T_o : 初期温度 50[°C]

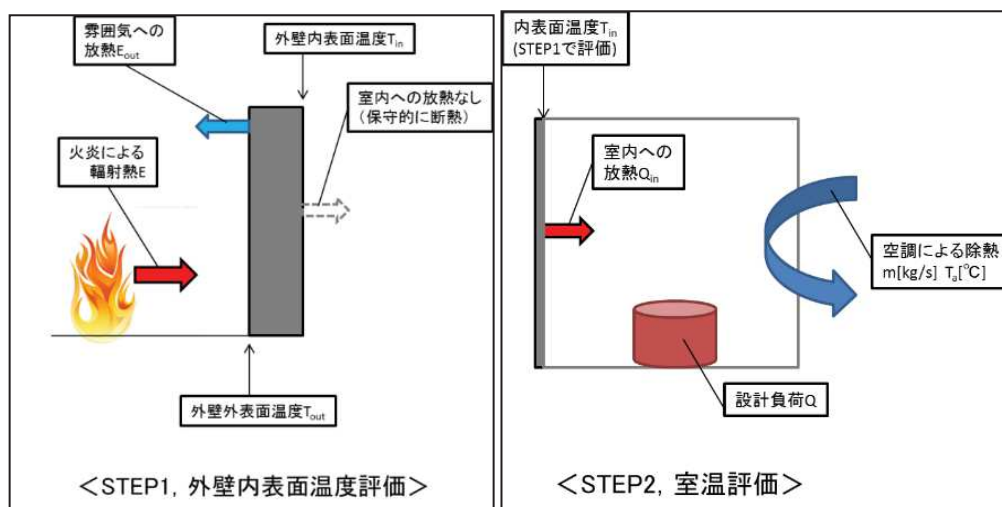
3. 建屋内気温度の温度評価体系

室内で人員の活動が必要な、2号炉中央制御室ならびに緊急対策室について、内部の温度影響評価を実施する。また、固体廃棄物貯蔵所内のドラム缶についても併せて温度影響評価を実施する。評価は以下の手順で実施する。第4図に評価概念図を示す。

- (1) 外部火災による評価対象外壁内表面を評価する。(STEP1)
- (2) STEP1で得られた外壁内表面温度を基に室温を評価する (STEP2)

なお、固体廃棄物貯蔵所のように室温維持のための空調設備がない場合は保守的に外壁内表面温度で評価する。

また、緊急対策室は外気取り入れ後に冷凍機にて冷却し、設定温度となるように制御しているため、許容熱負荷以下であることで評価する。



第4図 評価概念図

a. STEP1 の評価モデル式

外部火災による外壁内表面温度を算出する式は次式で示される。

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

- T : 外壁温度 [°C]
- ρ : コンクリート密度 (2400 kg/m³)
- C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)
- λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)
- x : コンクリート深さ
- t : 火災継続時間 (s)

b. STEP2 の評価モデル式

室内の内包機器熱負荷は強制換気による除熱される。ここでは第4図に示すように外部火災による外壁内表面温度の上昇により室温が加熱される影響をモデル化する。保守的に評価を実施するため、室内の熱容量等は考慮せず、熱バランスによる評価を実施する。

外部火災による内壁温度上昇に伴う熱負荷は次式で示される。

$$Q_{in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room}) \quad [W]$$

- h_{in} : 室内壁表面熱伝達率 [W/m²/K]
- A : 室内壁表面積 [m²]
- T_{in} : 内壁最高温度 [°C]
- T_{room} : 室温 [°C]

室内における熱バランスにより室温は次式で計算される。保守的に排気温度 T_{ext} を室温 T_{room} として評価する。

$$T_{room} = T_{ext} = \frac{Q + Q_{in}}{m \cdot \rho \cdot C_p} + T_a \quad [°C]$$

- Q : 室内負荷 [W]
- m : 風量 [m³/s]
- C_p : 空気比熱 [J/kg/K]
- ρ : 空気密度 [kg/m³]

評価の結果、各評価対象について許容温度又は許容熱負荷を下回ることを確認した。

第1表 評価結果（原子炉施設）

評価対象	STEP1 外壁内表面温度 [°C]	STEP2 室内温度 [°C]	許容温度 [°C]
2号炉 中央制御室	約57	約28	40
固体廃棄物貯蔵所	約56	—	325 (100)

()内は内包物を考慮した目安温度

第2表 評価結果（緊急対策室）

評価対象	STEP1 外壁内表面温度 [°C]	STEP2 熱負荷 [kW]	許容熱負荷 [kW]
緊急対策室	約51	約138	152

4. 一定の輻射熱を受ける壁面（コンクリート）の温度評価体系

十分に厚い固体の表面が放射熱で加熱される場合の温度分布は、以下の一次元の熱伝導方程式により表すことができる。

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

また、境界面に対しては、以下の関係式が成立する。

① 熱流束境界

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_w, \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = -q_w$$

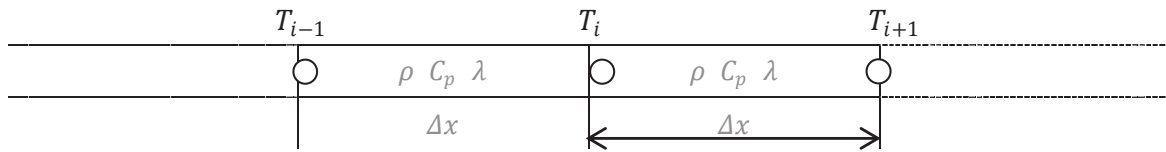
② 熱伝達境界

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = -h(T_w - T_\infty), \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = h(T_w - T_\infty)$$

③ 輻射伝熱境界

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\varepsilon \sigma (T_w^4 - T_\infty^4), \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = \varepsilon \sigma (T_w^4 - T_\infty^4)$$

第5図に示す格子点の定義に従って前項3.1に示す基礎方程式を有限差分法により離散化すると、次式となる。



第5図 格子点の定義

a) 熱伝導

境界面における熱伝導の寄与分は、次式により算出する。

$$\Delta T_0 = \frac{2\lambda}{\rho C_p} \Delta t (T_1 - T_0) / (\Delta x)^2 \quad (\text{外側境界})$$

b) 熱流束境界

$$\Delta T_0 = \frac{2}{\rho C_p} \Delta t \cdot q_w / \Delta x \quad (\text{外側境界})$$

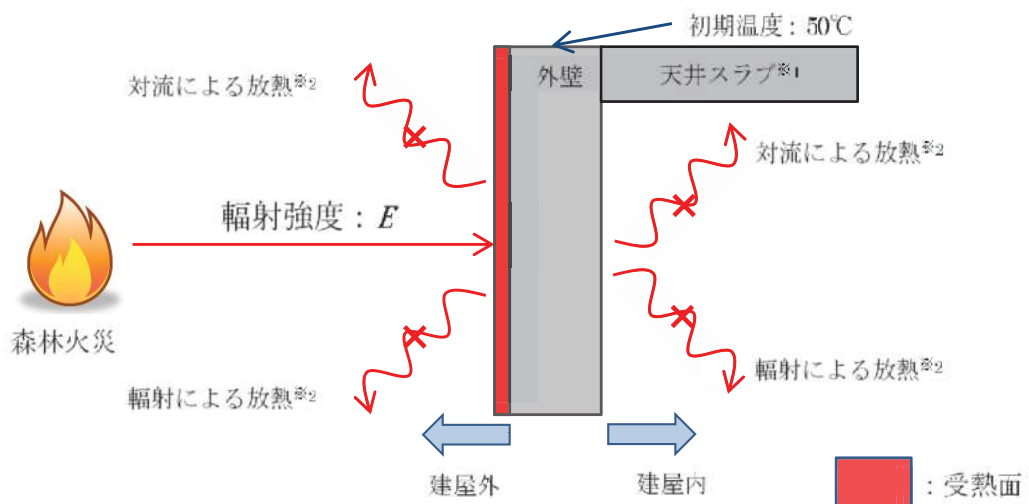
c) 熱伝達境界

$$\Delta T_0 = \frac{2h}{\rho C_p} \Delta t (T_\infty - T_0) / \Delta x \quad (\text{外側境界})$$

d) 輻射伝熱境界

$$\Delta T_0 = \frac{2\sigma\varepsilon}{\rho C_p} \Delta t (T_\infty^4 - T_0^4) / \Delta x \quad (\text{外側境界})$$

- T : 外壁温度 [°C]
- ρ : コンクリート密度 (2400 kg/m³)
- C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)
- λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)
- x : コンクリート深さ
- t : 火炎継続時間 (s)



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される
 ※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした

第6図 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

初期温度の考え方

1. 外壁（コンクリート）面の初期温度

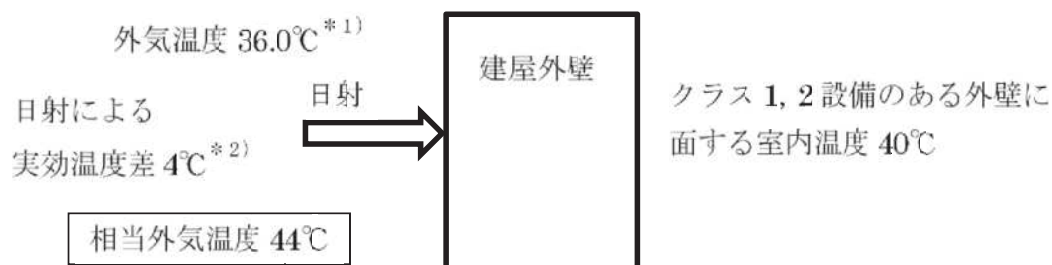
空気調和・衛生工学便覧をもとに、日射の影響を考慮した相当外気温を求め、その値を切り上げた値を外気温及び評価対象施設の初期温度として設定した。なお、受熱面は各壁面の方向（東西南北）とした。

石巻・江ノ島の過去10年間の最高気温 36.0°C に対して、外壁面の相当外気温の最大値は 44.0°C となる。 44.0°C を切り上げ、 50°C を外気温及び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、MSトンネル室（設計温度： 55°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。

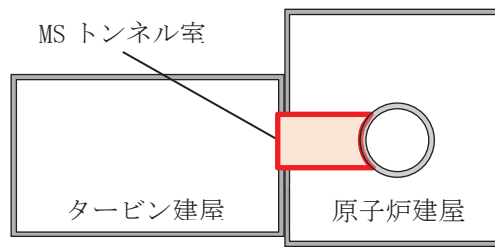
次いで室温が高いのは、RHR熱交室及びCUW熱交室（設計室温： 50°C ）となるが、外壁面の初期温度 50°C と同じであることから、初期温度の設定は妥当なものとする。

火災源からの輻射熱による建屋外壁の表面温度の評価において、その外壁表面温度の初期値 50°C については、室内温度 40°C に日射による実効温度差 4°C を加えて求めた相当外気温 44°C より設定している。外気温は室温よりも低いことから、外気温の変動を考慮しても保守的である。



第1図 建屋外壁表面温度評価モデル

- *1：石巻・江ノ島の過去10年間の最高気温の最高値（気象庁ホームページより）
- *2：実効温度差は、「空気調和衛生工学便覧第13版」東京における実効温度差におけるタイプIVの最大値を使用。なお、室内温度は 40°C とする。



第2図 MS トンネル室の位置

2. 復水貯蔵タンクの初期温度

復水貯蔵タンクの初期温度は石巻・江ノ島の過去10年間の最高気温36.0℃に対して、保守的に切り上げ、外壁（コンクリート）面の初期温度と同様に50℃を外気温及び初期温度として設定する。

3. 排気筒の初期温度

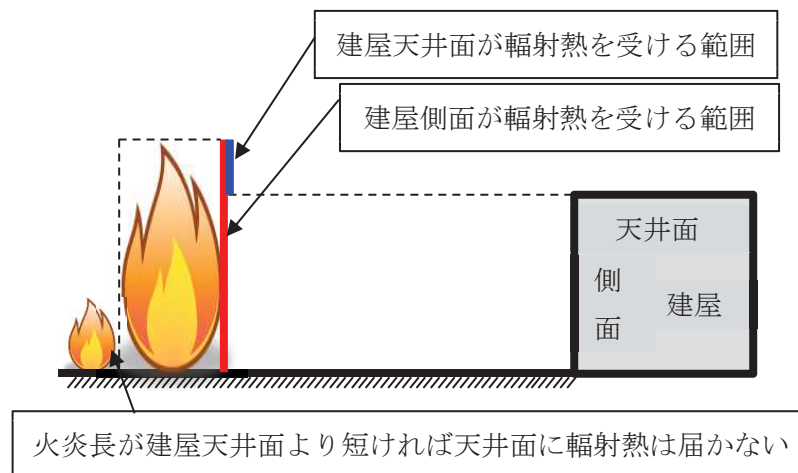
排気筒の初期温度は石巻・江ノ島の過去10年間の最高気温36.0℃に対して、保守的に切り上げ、外壁（コンクリート）面の初期温度と同様に50℃を外気温及び初期温度として設定する。

建屋天井面への熱影響評価

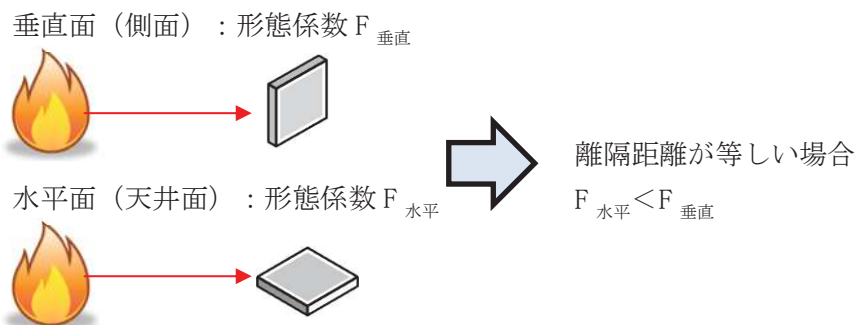
建屋側面への熱影響を実施したが、天井面についての熱影響を検討する。

- ・火炎長が建屋天井面より短い場合は天井面に輻射熱は届かないことから熱影響はない。(第1図)
- ・火炎長が建屋天井面より長くなる場合は輻射熱が天井面に届くが、その輻射熱は側面の輻射熱より小さい。(第1図)
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面(側面)と水平面(天井面)の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井面の熱影響は側面に比べて小さい。(第2図)
- ・コンクリートの厚さは側面より天井面の方が薄いことから、天井面の方が建屋内側の熱伝達による放熱の効果が大きくなるため熱影響は小さい。

以上より、側面の熱影響を実施することで天井面の熱影響は包絡されることを確認した。



第1図 天井面への輻射熱の影響



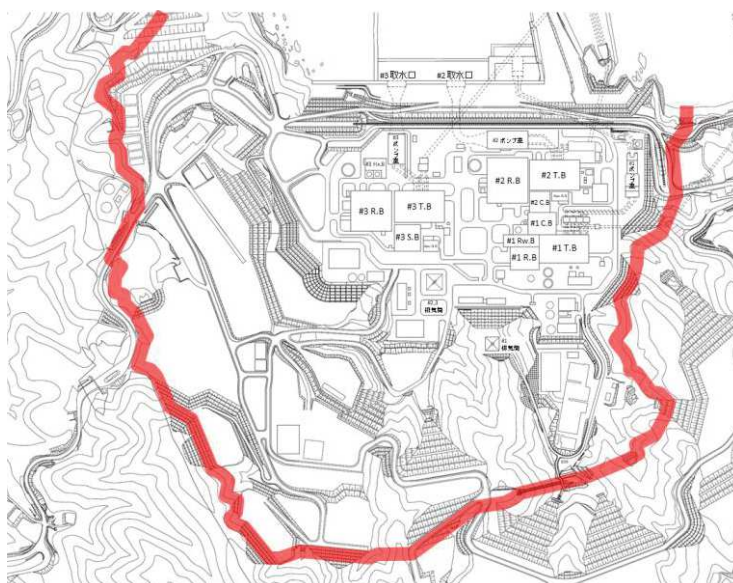
第2図 垂直面と水平面の形態係数の大きさ

斜面に設定している防火帯の地盤安定性の観点からの考え方 について

1. 防火帯の概要

防火帯は、第1図に示すとおり発電所設備の配置状況等を考慮し、干渉しないように設定している。

設定に当たっては、草木を伐採する等、可燃物を排除し、その後、モルタル吹付けを行い、草木の育成を抑制し、可燃物がない状態を維持する。



第1図 防火帯位置

2. 地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価

(1) 評価方針について

地震が起因となり、発電所敷地外にて森林火災が発生することは否定できないことから、安全上の配慮として、仮に地震と森林火災が重畳した場合を想定し、地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価を行う。

(2) 森林火災が防火帯を突破する可能性について

森林火災(単独事象)の影響評価では、下記に示す保守的な前提条件としている。

- ① 気象条件(湿度, 気温, 風速)は、過去10年間における森林火災発生件数の多い3~5月のうち、最も厳しい条件の組み合わせとしている。
- ② 植生は、現地調査等で特定した樹種ごとに、より厳しい評価となるような林齢及び下草を設定している。
- ③ 日照時間の影響を考慮し、防火帯近傍における火線強度が最大となるように森

林火災の発火時刻を設定している。

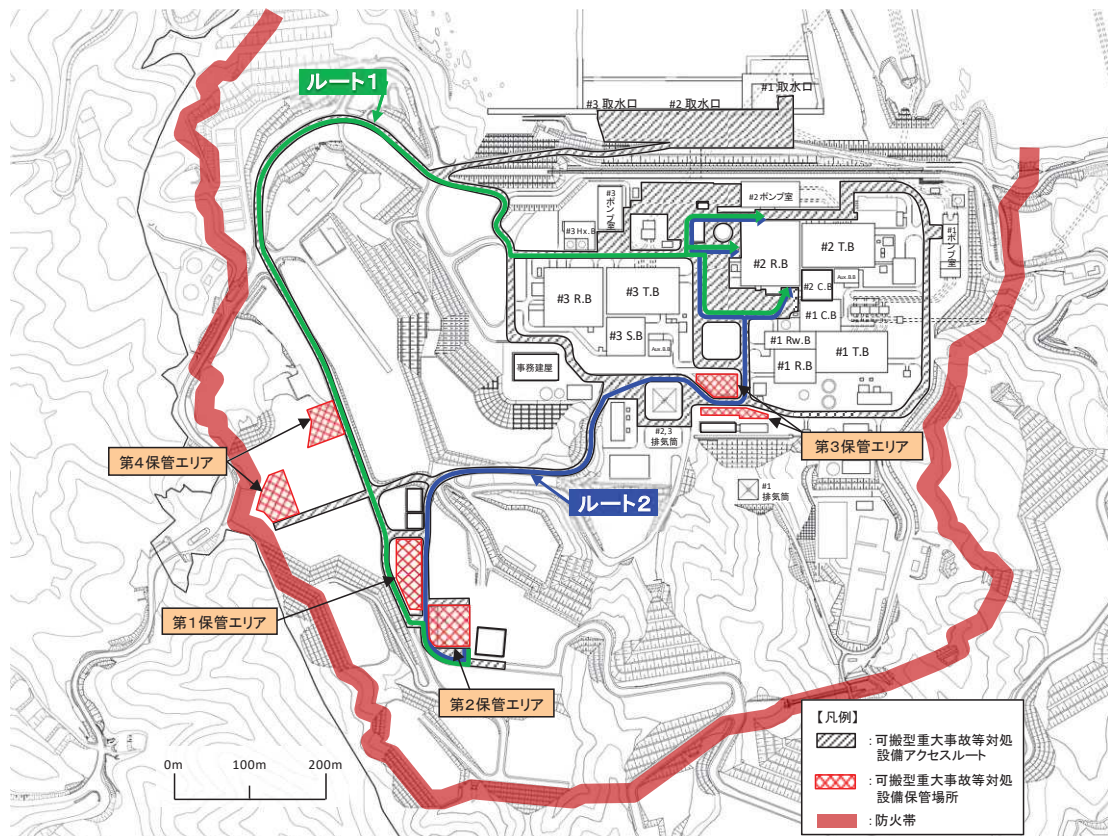
(3) 地震と森林火災重畳時の重大事故等への対応について

第2図に防火帯とアクセスルートを示す。

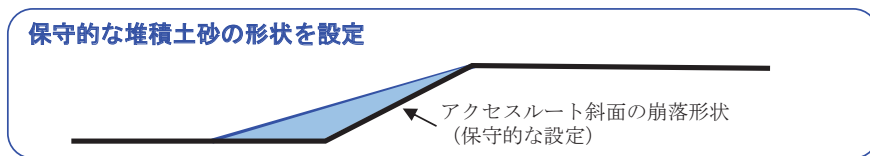
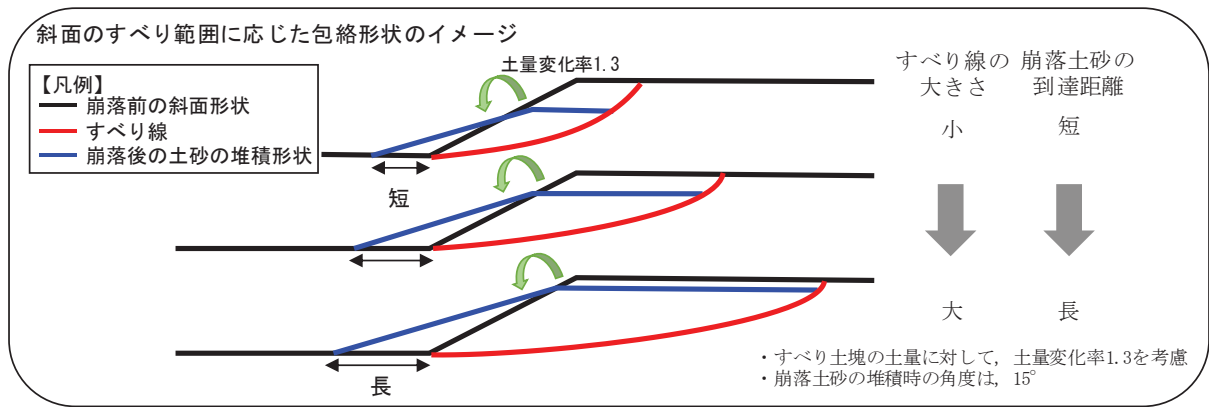
防火帯については、アクセスルートの周辺斜面の崩壊と同様の考え方*に基づき(第3図)、斜面崩壊に伴い防火帯に可燃物が流入し、延焼防止機能に影響がある場合は、機能の低下を想定する。

防火帯の機能が低下した場合、防火帯の内側への森林火災の延焼が想定されるものの、発電所敷地内には道路(幅10m程度)や非植生のエリアが多くあることから、更なる延焼の可能性は低いと考えられる(「別紙2-8 防火帯内植生による火災について」参照)。

よって、防火帯については斜面崩落を考慮しても防火帯の機能を維持されることから、アクセスルートは通行可能であり重大事故等に対処できる。



第2図 防火帯とアクセスルート



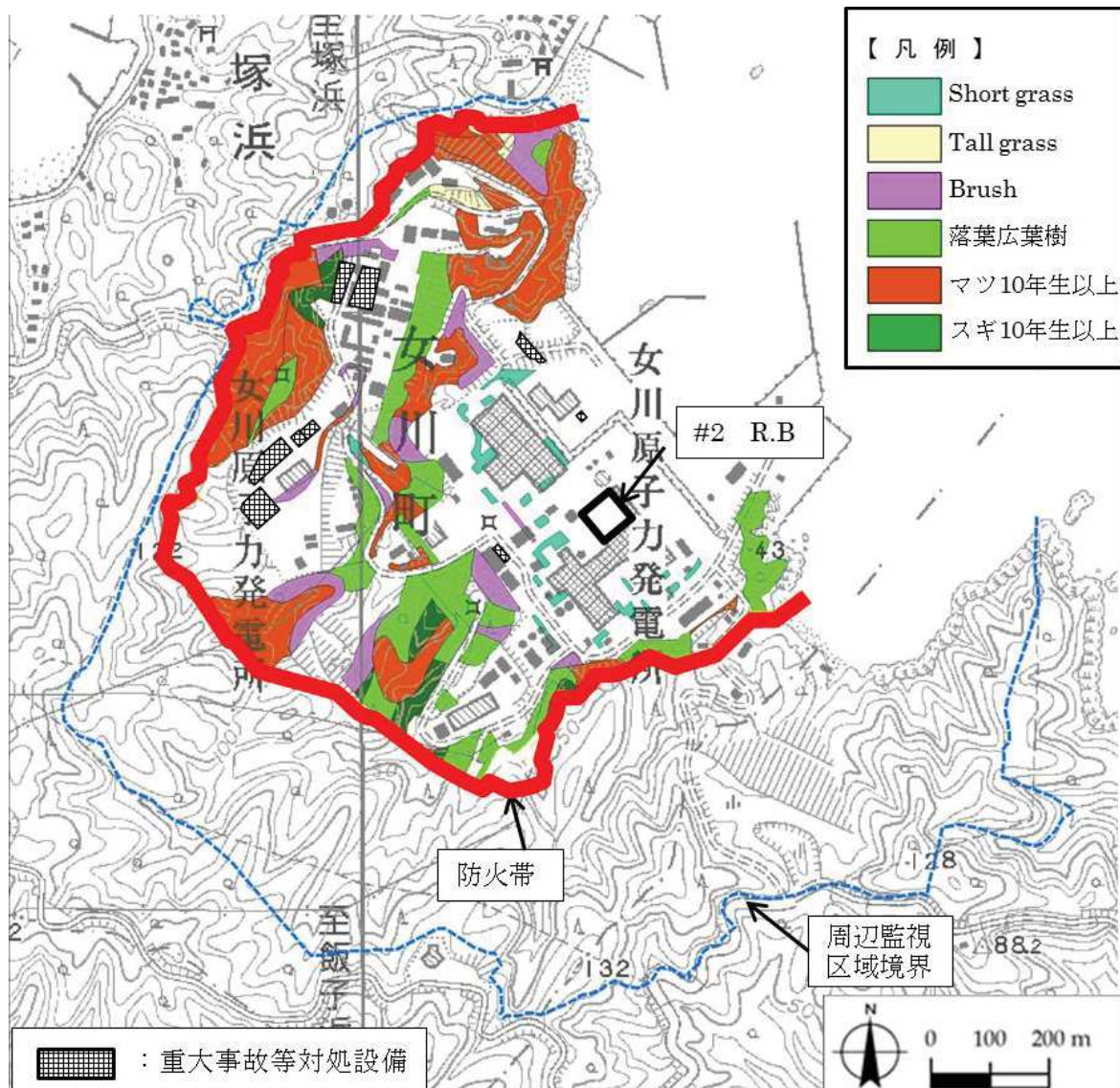
第3図 斜面崩壊時の堆積土砂の形状

防火帯内植生による火災について

第1図に防火帯内の現状の植生調査結果（平成26年8月～9月）を示す。

原子炉施設及び重大事故等対処設備の周囲の植生はShort grass, Brush, マツ10年生以上で火線強度が低くなる植生であり、防火帯内の植生による原子炉施設及び重大事故等対処設備に対しての影響はない。

なお、重大事故等対処設備からの出火を想定した場合、炎感知器や熱感知カメラにて火災の早期検知が可能であること、周囲の植生に延焼した場合を想定したとしても女川原子力発電所の防火帯内には道路（幅10m程度）や非植生のエリアが多くあることから、更なる延焼の可能性は低い。



第1図 防火帯内の植生調査結果

予防散水開始までの想定時間算出について

防火帯付近の予防散水エリアへの予防散水開始時間について、過去の実績等からの想定する時間について以下に示す。

1. 過去の実績

モニタリングポストへの予防散水訓練実績(平成 26 年 3 月～7 月)から算定する。

2. 化学消防自動車出動までの時間

モニタリングポストへの予防散水訓練実績は、初期消火要員の待機場所及び化学消防自動車の保管場所の配置が異なることから訓練実績ではなく、徒歩による移動実績より、想定時間を約 15 分とする。

3. 化学消防自動車到着までの時間

移動速度が遅いモニタリングポスト 4 への予防散水訓練実績より、移動速度を 12km/h にて算定する。

4. 消火ホース敷設時間

敷設速度が遅いモニタリングポスト 4 への予防散水訓練実績より、消火ホース敷設速度を 1.6 本/分で算定する。なお、予防散水エリアの消火ホース敷設より条件が厳しいモニタリングポスト 1 を対象外として算定した。

5. 放水開始までの時間

放水速度が遅いモニタリングポスト 5 への予防散水訓練実績より、4.5 本/分で算定する。

6. 想定時間の算定

各予防散水エリアに対して上記より算定を行う。算定した時間は項目毎に 1 分単位に切り上げる。

被ばく評価で使用している気象条件との違いについて

被ばく評価で使用している気象条件との違いについて以下に示す。

なお、被ばく評価は、女川原子力発電所からの放射性物質の拡散状況を把握するために発電所構内の気象観測所のデータを用いている。一方、森林火災は発電所構外からの火災の進展を評価するため、発電所周辺の気象を代表するように発電所構外の気象観測所のデータを用いている。

第1表 被ばく評価で使用している気象条件との違い

	森林火災	被ばく評価
データ取得場所	石巻特別地域気象観測所 江ノ島地域気象観測所	発電所構内気象観測装置
データ取得期間	過去10年(2006～2015年)	2012年1月から1年間
風速	3～5月の最大風速 風速が大きい方が延焼しやすく保守的	大気安定度の算出に使用 風速が小さい方が拡散しやすくなる
風向	3～5月の卓越風向(16方位)	16方位の風向出現回数を考慮して評価
気温	3～5月の最高気温 気温が高い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない
湿度	3～5月の最小湿度 湿度が低い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない
日射量	最大日射量(雲なし)とする日射量が多い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	大気安定度の算出に使用 日射量が大きい方が拡散しやすくなる
降雨量	降水量なしとする 降水がない方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない

主な FARSITE 入力パラメータの保守性について

第 1 表 主な FARSITE 入力パラメータ一覧表 (1/2)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力パラメータ		保守性												
標高	—	現地の状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの標高データを用いる。傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。(基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ)	基盤地図情報数値標高モデル 10mメッシュを入力	—	—	—												
	—																	
	—																	
傾斜角	—	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの土地利用データを用いる。(国土数値情報 土地利用細分メッシュ)	土地利用データ	—	—	—												
傾斜方向	—																	
—	—																	
可燃物	—	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現地の地方自治体より入手する。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。	植生データ	—	—	—												
	—																	
	—																	
	—																	
	—																	
ラスター入力ファイル	—	植生データは、宮城県および東北森林管理局より入手した森林簿の情報を基に防火帯周辺の植生調査を実施し、その結果から保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化して入力	—	—	—	—												
—	<p>植生の保守性は以下のとおり</p> <p>マツ、スギ、落葉広葉樹： 「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)を参考に、森林簿および防火帯周辺の植生調査データよりも保守的に燃えやすい林齢にして入力</p> <table border="1"> <tr><td>森林簿、植生調査結果</td><td>保守的林齢設定後</td></tr> <tr><td>10年生未満</td><td>10年生未満</td></tr> <tr><td>10年生以上20年生未満</td><td>10年生未満</td></tr> <tr><td>20年生以上30年生未満</td><td>10年生以上20年生未満</td></tr> <tr><td>30年生以上40年生未満</td><td>20年生以上30年生未満</td></tr> <tr><td>40年生以上</td><td>20年生以上30年生未満</td></tr> </table> <p>ゴルフ場、田、その他農業用地： 通常考えられるShort grassよりも燃えやすい 荒地： Tall grassを保守的に入力</p> <p>保守的に燃えやすいBrushを入力</p>						森林簿、植生調査結果	保守的林齢設定後	10年生未満	10年生未満	10年生以上20年生未満	10年生未満	20年生以上30年生未満	10年生以上20年生未満	30年生以上40年生未満	20年生以上30年生未満	40年生以上	20年生以上30年生未満
森林簿、植生調査結果							保守的林齢設定後											
10年生未満							10年生未満											
10年生以上20年生未満							10年生未満											
20年生以上30年生未満		10年生以上20年生未満																
30年生以上40年生未満	20年生以上30年生未満																	
40年生以上	20年生以上30年生未満																	
—	森林に該当するカテゴリ3 (50~80%) および4 (81~100%) の中から、火線強度が強くなるカテゴリ3を設定																	
—		標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力																
—			標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力															
—				標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力														
—					植生、地形等評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕をみて南北12km、東西12kmとして設定													
—																		
—																		
—																		
評価対象範囲	—	評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を10km以内としたことにより、植生、地形等評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕をみて南北12km、東西12kmとする。	—	—		—	—											
樹冠率	—																	
樹高	—																	
樹冠下高	—																	
樹冠かさ密度	—																	

保守性の凡例：○はガイドによる保守性、◎は自主的な保守性

第1表 主な FARSITE 入力パラメータ一覧表 (2/2)

Fuel水分 初期値	—	—	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	—
気象要素	降水量	—	降水があると可燃物の燃えやすさ（水分量）に影響を与えることから、保守的に0mmを設定	◎
	最高気温	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月（3月～5月）の最高気温を過去10年間確認し、その中でも最高気温である30.7℃を入力	○
	最低気温		最低気温については、保守的に上記の最高温度を入力	○
	最高湿度		最高湿度については、保守的に下記の最小湿度を入力	○
	最低湿度		樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月（3月～5月）の最小湿度を過去10年間確認し、その中でも最小湿度である15%を入力	○
	観測標高		石巻観測所の観測高さ28.5mを入力	—
風要素	風向	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。	各発火点から2号炉原子炉建屋方向へ向かう風向	◎
	風速	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。	火災の延焼および規模に影響を与えることから、森林火災の発生件数の多い月（3月～5月）の最大風速（10分間平均風速の最大値）を過去10年間確認し、その中でも最大風速である23.8[m/s]（86[km/h]）を入力	○
	雲量	—	日射量が可燃物の燃えやすさ（水分量）に影響を与えることから、保守的に0%を設定	◎
	緯度	—	日射量が可燃物の燃えやすさ（水分量）に影響を与えることから、保守的に日射量が最も多くなる赤道直下を設定	◎
発火点位置	—	発電所からの直線距離10kmの間で設定する。発火源は最初に人為的行為を考え、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。	人為的行為を考え、居住地区および道路沿いの発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定	—
その他	—	—	—	—

初期消火要員常駐場所の妥当性について

発電所構内に自衛消防隊の初期消火要員（10名）が防火帯内側に24時間常駐している。予防散水活動の実施にあたり，初期消火要員常駐場所の妥当性について，以下に示す。

1. 常駐場所及び人数

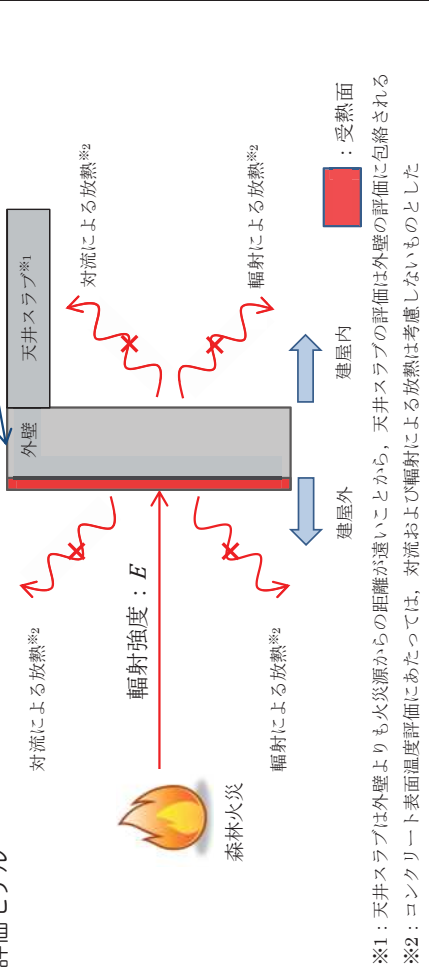
初期消火要員	常駐場所	防火帯内外	人数
通報連絡責任者	2号炉制御建屋	内	1名
現場指揮者	事務建屋	内	1名
現場責任者	事務建屋	内	1名
消火担当	【平日昼間】 事務建屋 【平日夜間・休日】 2号炉制御建屋	内	1名
消防車隊	事務本館等	内	6名
合計			10名

2. 常駐場所の妥当性

2号炉制御建屋，事務建屋及び事務本館は，防火帯の内側に配置しており，森林火災による延焼防止が図られていることから，予防散水活動に問題が生じることはない。

各設備の温度影響評価条件について

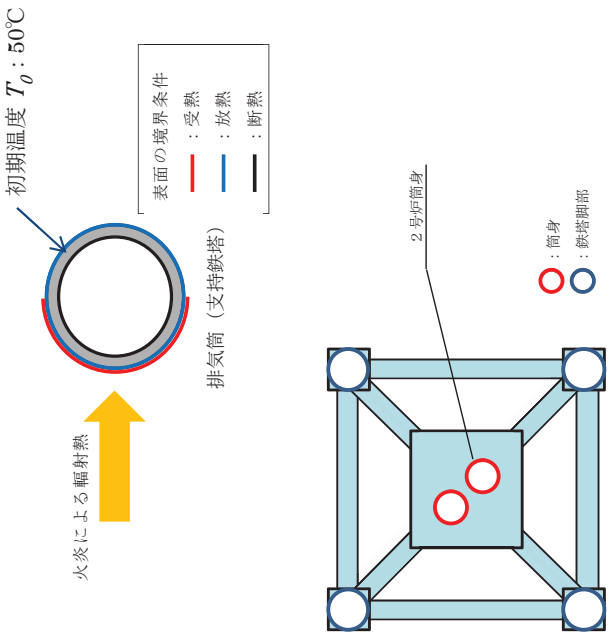
第1表 各設備の温度評価条件一覧表 (1/3)

初期条件	設定根拠	評価上の保守性
対流による放熱 放射による放熱	保守的に放熱効果は考慮しない 一般的な機械・計測制御設備の機能維持のため	
外壁初期温度 50 °C	室内温度の最高値を 40°Cとしており、これに日射による効果 4°Cを加え、さらにこれを切り上げて 50°Cと設定	
コンクリート密度 2400 kg/m ³	原子炉建屋の耐震計算に使用している鉄筋コンクリートの単位体積重量	
コンクリート比熱 963 J/kg/K	普通コンクリートの最大値 (出典：日本建築学会 原子炉建屋構造設計指針・同解説)	
コンクリート熱伝導率 1.74 W/m/K	同上	
火災継続時間 0.79 h	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 1)	
建屋外壁表面温度 評価モデル  <p>初期温度：50°C</p> <p>対流による放熱</p> <p>放射強度：E</p> <p>建屋外</p> <p>建屋内</p> <p>受熱面</p> <p>森林火災</p> <p>対流による放熱</p> <p>放射による放熱</p> <p>※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される ※2：コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および放射による放熱は考慮しないものとした</p>	・外壁表面および裏面からの対流および放射による放熱を考慮していない。 ・外壁初期温度を保守的に高めに設定している。	

第1表 各設備の温度評価条件一覧表 (2/3)

	初期条件	設定根拠	評価上の保守性
復水貯蔵タンク温度	対流による放熱	なし	
	輻射による放熱	なし	保守的に放熱効果は考慮しない
	初期温度	50 °C	壁の外面初期温度 50°Cを考慮し保守的に設定
	輻射強度	0.02 kW/m ²	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2-1)
	燃焼継続時間	0.60 h	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2-1)
	タンク外径	20.012 m	設計値
	タンク円筒高さ	11.8 m	設計値
	水の密度	979.9 kg/m ³	軽水をタンク最高使用温度である 66°Cとなるように線形補間した値
	水の比熱	4186 J/kg/K	管理値の下限レベル (タンク容量は 3000m ³)
	水の体積	690 m ³	タンク壁材であるキルド鋼の値 (出典：伝熱工学資料第5版)
	タンク壁材密度	7860 kg/m ³	設計値
	タンク壁材比熱	473 J/kg/K	設計値
	タンク内径	20.0 m	設計値
	タンク最小板厚	0.006 m	設計値
	評価モデル	<p>評価モデル</p> <p>詳細構造図</p> <p>置換壁 (コンクリート、厚さ 50mm)</p> <p>タンク (上部)</p> <p>対流による放熱</p> <p>輻射強度: E</p> <p>初期温度 T_0: 50°C</p> <p>森林火災</p> <p>火災源</p> <p>輻射熱</p> <p>7220mm</p> <p>3000mm</p> <p>800mm</p> <p>20000mm</p> <p>復水貯蔵タンク</p> <p>しゃへい壁 (コンクリート)</p> <p>※PN方向を 0° としている</p> <p>PN*</p> <p>地表面</p> <p>至 原子炉建屋</p> <p>復水供給水系配管 (約130°)</p> <p>■: 受熱面</p>	

第1表 各設備の温度評価条件一覧表 (3/3)

	初期条件	設定根拠	評価上の保守性
<p>外表面の吸収率</p> <p>放射強度</p> <p>熱伝導率</p> <p>初期温度</p>	<p>0.9</p> <p>38.33 W/m²</p> <p>17 W/m/K</p> <p>50 °C</p>	<p>塗料 (エナメル, 白) の値 (出典: 伝熱工学資料第5版)</p> <p>FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2-2)</p> <p>垂直外壁面の夏季の値 (出典: 空気調和・衛生工学便覧)</p> <p>壁の外面前期温度 50°C を考慮し保守的に設定</p>	
<p>排気筒温度</p>	<p>評価モデル</p> 	<p>初期温度 T_0: 50°C</p> <p>排気筒 (支持鉄塔)</p> <p>2号煙筒身</p> <p>○ : 筒身 ○ : 鉄塔脚部</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒は支持型であり筒身と鉄塔により構成されている。 鉄塔の材質は SS400 および STK400, 筒身は SMA400AP であり, 物性値は鉄塔, 筒身ともに軟鋼で同一であることから, 火災源から最も近い鉄塔脚部で評価を行っている。 ・鉄塔内表面は断熱としている。 ・排気筒初期温度を保守的に高めに設定している。

防火帯の法面保護対策について

山林部の防火帯設定は、伐採後の土砂等流出を考慮して、現場状況に応じた法面保護工（モルタル吹付工等）を行う。

- ・モルタル吹付工

岩盤の風化，雨水の地山への浸透による浸食や崩壊の発生，小規模な落石の恐れがある法面に対しては，モルタルにより法面を被覆する。



第1図 防火帯モルタル吹付工の施工例

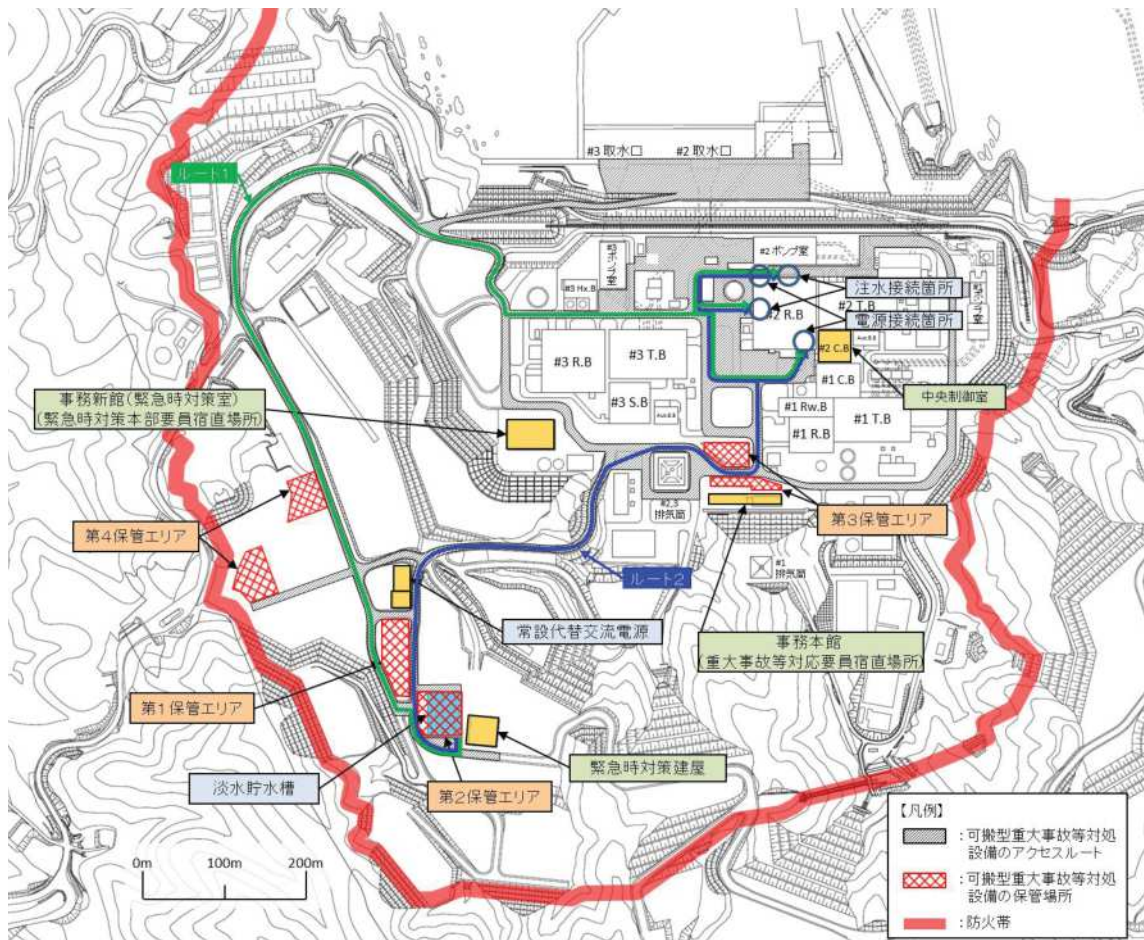
アクセスルートへの影響評価について

1. 保管場所及びアクセスルートと防火帯の位置について

原子力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においても、原子炉施設（安全機能を有する構築物，系統及び機器）に影響を及ぼさないよう防火帯を設定している。

重大事故等対処設備については、外部火災における防護対象設備（クラス1，2）を防護することにより、外部火災による重大事故の発生に至ることはないが、炉心損傷防止等の原子炉の安全性に係る対策に大きな影響を与えるおそれがあることから、防火帯の内側に配備する。

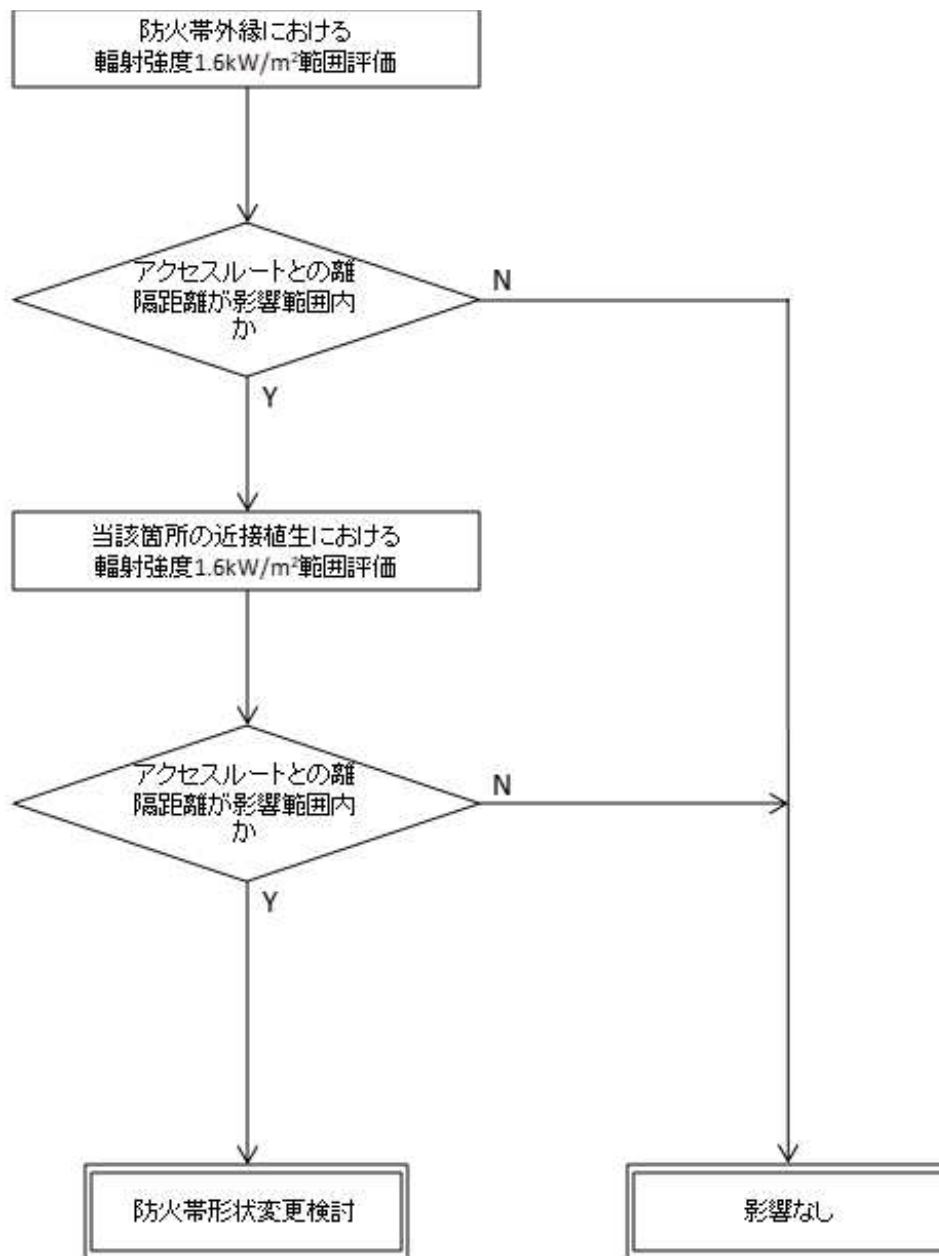
また、可搬型重大事故等対処設備のアクセスルートについても防火帯の内側とする。



第1図 保管場所及びアクセスルートと防火帯の位置

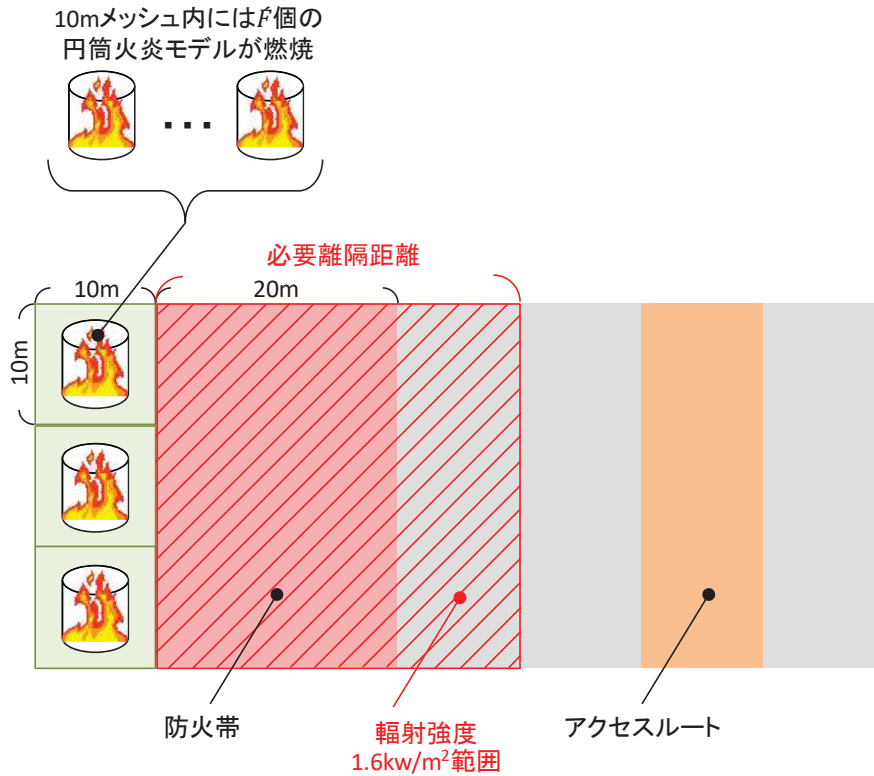
2. アクセスルートに対する森林火災影響について

森林火災によりアクセスルートが「長時間さらされても苦痛を感じない強度」である $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以下となることを第2図のフローにより確認する。



※ 輻射強度 $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ ：石油コンビナートの防災アセスメント指針における長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度

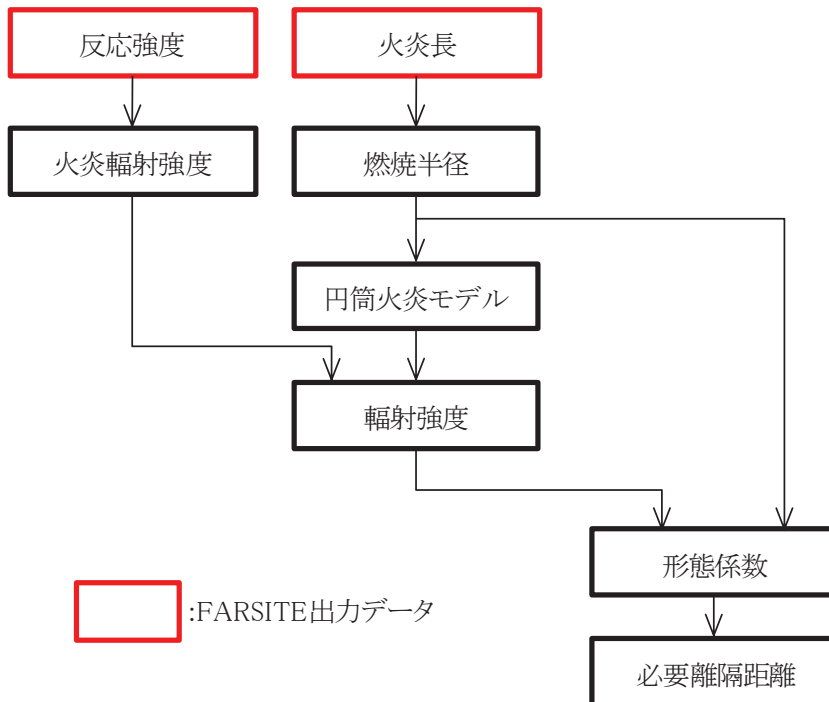
第2図 森林火災影響評価フロー



第3図 森林火災影響評価概要図

(1) 必要離隔距離評価の流れ

石油コンビナートの防災指針における輻射強度及び, FARSITE出力より得られた, 反応強度及び火炎長より, 第4図のとおり必要離隔距離を評価する。



第4図 必要離隔距離評価 (概要図)

a. 円筒火炎モデル数の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき、10mメッシュ内における円筒火炎モデル数 (\dot{F}) を次式により算出する。

$$F = \frac{W}{2R} \quad \dot{F} = \frac{10}{2R} \quad R = \frac{H}{3}$$

H : 火炎長 [m]

R : 燃焼半径 [m]

b. 火炎輻射強度の算出

FARSITEの結果より得られた防火帯外縁の最大反応強度に米国防火協会(NFPA)の係数0.377^{※1}を乗じて算出する。

※1 発電所敷地近傍には針葉樹、落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、針葉樹：0.377並びに落葉広葉樹：0.371(全米防火協会(NFPA)「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」に定める係数)のうち保守的に大きい値である0.377を採用した。

c. 必要離隔距離の算出

形態係数を算出する下記式から、必要離隔距離を算出する、

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} : \text{形態係数}$$

$$\text{ここで、} m = \frac{H}{R} \approx 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

L : 必要離隔距離[m]

(2) 評価結果

それぞれの発火点における必要離隔距離について第1表のとおり算出した。

第1表 必要離隔距離算出結果

発火点	必要離隔距離 [m]	最大火炎輻射強度 [kW/m ²]	円筒火炎 モデル数	火炎長 [m]
1	20.3	477	35	0.43
2-1	32.8	408	12	1.31
2-2	26.7	413	18	0.86
3	31.2	421	14	1.15

以上の評価により最大必要離隔距離が発火点2-1における32.8mであったことから、防火帯外縁からアクセスルートが必要離隔距離を確保されているかを確認した結果、32.8m以上の離隔距離を確保していることから、森林火災によるアクセスルートへの影響はないことを確認した。なお、可搬型重大事故等対処設備保管場所につ

いても防火帯外縁から32.8m以上の離隔距離を確保していることから、森林火災による影響はないことを確認した。

石油コンビナート等の火災・爆発について

1. 目的

本評価は、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対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が女川原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

2. 石油コンビナート等の火災・爆発影響評価

発電用原子炉施設の周りには周辺監視区域があり、敷地境界との間には少なくとも約 609m の離隔距離が確保されている。仮に火災・爆発が発生した場合に影響が大きいと考えられるものとして、爆発物や化学物質を大量に扱う石油コンビナート等について評価を実施する。

(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。なお、石油コンビナート等とは、石油コンビナート等災害防止法で規制される特別区域内の特定事業所及びコンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所とする。

(2) 評価結果

石油コンビナート等災害防止法により規制される宮城県内の特別防災区域は「塩釜地区」「仙台地区」の二カ所が存在するが、これらは、第 3-1 図に示すとおりいずれの区域も女川原子力発電所から約 40km 離れており、いずれも女川原子力発電所から 10km 以遠である。また、発電所から 10km 圏内に LPG 基地がないことを確認している。なお、発電所と最短距離にあるガスパイプラインは仙台地区であり、発電所から約 40km 離れていることを確認した。以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



第 3-1 図 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

3. 石油コンビナート等以外の火災・爆発影響評価

女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設(危険物貯蔵施設, 高圧ガス貯蔵施設)を抽出し, 発電所から最も近い施設及び発電所から 10km 圏内の施設における最大数量をそれぞれ抽出する。

なお, 危険物施設については, 消防法等に基づき消防署に届出されている施設について確認した。

また, 発電所から 10km 圏内に LPG 基地がないことを確認している。
発電所から 10km 圏内の危険物貯蔵施設等を図 3-2 に示す。



第 3-2 図 発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設等

第 3-1 表 女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物貯蔵施設】

--

※出典：石巻地区広域行政事務組合消防本部より開示（平成 30 年 5 月 8 日現在）

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

6 条(外火)-別添 1-添付 3-4

第 3-2 表 女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【高圧ガス貯蔵施設】

--

※出典：石巻地区広域行政事務組合消防本部より開示（平成 25 年 10 月 9 日現在）

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

(1) 危険物貯蔵施設

女川原子力発電所から 10km 圏内(敷地内を除く)における危険物貯蔵施設の最大貯蔵量は [] であり,女川原子力発電所に最も近い危険物貯蔵施設との離隔距離は 2,500m である。

仮に最短距離の危険物貯蔵施設に 10km 圏内の最大貯蔵量 [] が存在したと仮定し,熱影響評価を実施したところ,危険距離は 99mであり,女川原子力発電所との距離 2500m よりも小さいことを確認した。

よって,発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても女川原子力発電所への影響はない。

第 3-3 表 10km 圏内における最大の危険物貯蔵施設の貯蔵量

燃料の種類	貯蔵量[kl]
ガソリン	[]



第 3-3 図 石油類貯蔵施設位置

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

a. 評価条件

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下の通りとした。

第 3-4 表 評価条件

燃料の種類	ガソリン
燃料量 [kl]	
燃焼面積 [m ²]	
燃料密度 [kg/m ³]	783
質量低下速度 [kg/m ² /s]	0.055
輻射発散度 [W/m ²]	58,000
燃焼速度 [m/s]	7.02×10^{-5}

b. 燃焼半径の算出

火災を想定する発電所に最も近い危険物貯蔵施設は地下タンク貯蔵所（ガソリンスタンド）であり、防油堤を持たない構造であるため、燃焼面積はガソリンスタンドの敷地面積と等しいとする。

したがって、燃焼半径 R[m] のガソリンスタンドの敷地面積を円筒の底面と仮定し算出する。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

S : 燃焼面積 =

R =

c. 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。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

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/s]

M : 質量低下速度 [kg/m²·s], ρ : 密度 [kg/m³], m : 質量 [kg]

ここで、V = , v = 7.02×10^{-5} [m/s]

として、燃焼継続時間を求めると、

t = = 725 [s]

= 0.20 [h]

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

d. 建屋外壁に対する危険距離評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

(b) 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 3-5 表に示す。

第 3-5 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 (m)		
	原子炉建屋	制御建屋	タービン建屋
ガソリン スタンド	2,400	2,400	2,300

(c) 判断の考え方

i. 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。

ii. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面 (x=0) の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を算出する。

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

T_0 : 初期温度 [°C] E : 輻射強度 [W/m²] x : コンクリート深さ t : 火災継続時間 [s]

C_p : コンクリート比熱 [J/(kg·K)] ρ : コンクリート密度 [kg/m³]

α : コンクリート温度拡散率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ λ : コンクリート熱伝導率 [W/(m·K)]

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

式 1 で求めた危険輻射強度 E となる形態係数 Φ を、式 2 より算出する。

$$E = Rf \cdot \phi \quad (\text{式 2})$$

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

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。

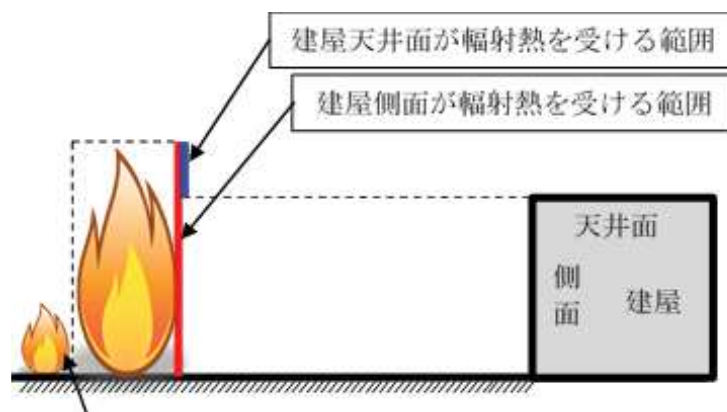
$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 火炎中心からの距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し、当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・ 火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・ 火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 3-4 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 3-4 図 建屋天井面の評価概念図

iii. 評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果、各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 3-6 表に示す。

第 3-6 表 外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	48	2,400
制御建屋	48	2,400
タービン建屋	48	2,300

e. 復水貯蔵タンクの温度評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

(b) 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 3-7 表に示す。

第 3-7 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 (m)
	復水貯蔵タンク
ガソリンスタンド	2,500

復水貯蔵タンクについて、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

(c) 判断の考え方

i. 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、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66℃以下とする。

ii. 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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、表面での輻射による復水貯蔵タンクの温度上昇を現した比熱の公式よりタンク (x=0) の温度が 66℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を算出する。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_0 h}{2} + \frac{\pi D_0^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_0^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_0^2}{4} e \right\}} \quad (\text{式 1})$$

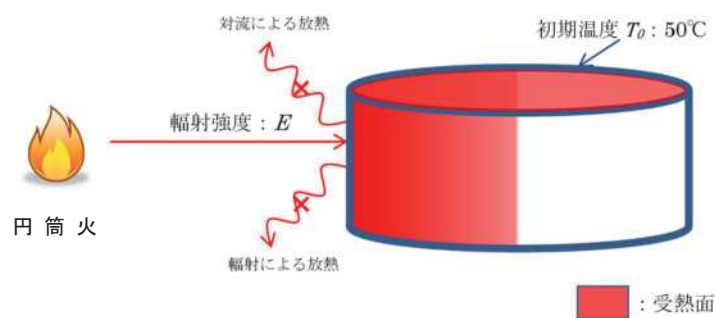
T_0 : 初期温度[°C] E : 輻射強度[W/m²] t : 燃焼継続時間[s]
 D_o : タンク外径[m] h : タンク円筒高さ[m] ρ_w : 水の密度[kg/m³]
 C_{pw} : 水の比熱[J/kg/K] V : 水の体積[m³] ρ_s : タンク壁材密度[kg/m³]
 C_{ps} : タンク壁材比熱[J/kg/K] D_i : タンク内径[m] e : タンク最小板厚[m]

※1 : 伝熱工学資料第5版記載値（軽水）を66°Cとなるように線形補間した値

※2 : 伝熱工学資料第5版記載値（キルド鋼）

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており、直接輻射がタンクに到達する構造ではないが、評価にあたっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

復水貯蔵タンクの評価概念図を第3-5図に示す。



第3-5図 復水貯蔵タンクの評価概念図

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数 Φ を、式2より算出する。

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

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

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。

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

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

H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 火炎中心からの距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し，当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

iii. 評価結果

復水貯蔵タンク温度が 66℃となる危険距離を算出した結果，各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。
評価結果を第 3-8 表に示す。

第 3-8 表 外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
復水貯蔵タンク	18	2,500

f. 排気筒の温度評価

(a) 影響評価対象範囲

排気筒について、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

なお、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。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第 3-9 表に、排気筒外形図を第 3-6 図に示す。

第 3-9 表 評価対象施設の仕様

名称		排気筒
種類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 3.7m
		地表高さ 160m
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数		1



第 3-6 図 評価対象施設の外形図

(c) 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 3-10 表に示す。

第 3-10 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 (m)
	排気筒
ガソリンスタンド	2,600

(d) 判断の考え方

i. 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、排気筒の鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

ii. 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。

$$T_{max} = T_a + \frac{\varepsilon E}{2h} \quad (\text{式 1})$$

ε : 吸収率 E : 輻射強度 [W/m²] h : 熱伝達率 [W/m²/K] T_a : 周囲雰囲気温度 [°C]

※1 : 伝熱工学資料

※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。)

(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)

式 1 で求めた危険輻射強度 E となる形態係数 Φ を, 式 2 より算出する。

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

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

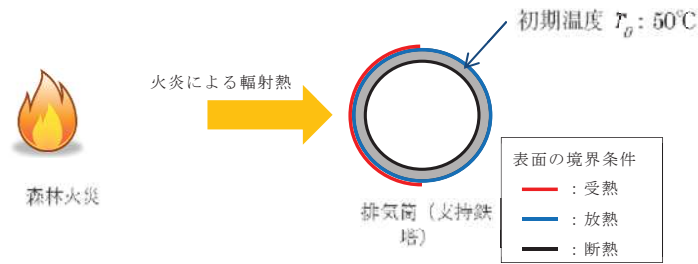
式 2 で求めた形態係数 Φ となる危険距離 L を, 式 3 より算出する。

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

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

H : 火炎長 (m) R : 火炎半径 (m) L : 火炎中心からの距離 (m)

上記のとおり危険距離を算出し、当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が危険物貯蔵施設との距離が近いこと、材質も鉄塔は SS400, STK400, 筒身では SMA400AP 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 3-6 図に示す。



第 3-7 図 排気筒の評価概念図

iii. 評価結果

排気筒鉄塔の表面温度が 325°C 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 3-11 表に示す。

第 3-11 表 外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

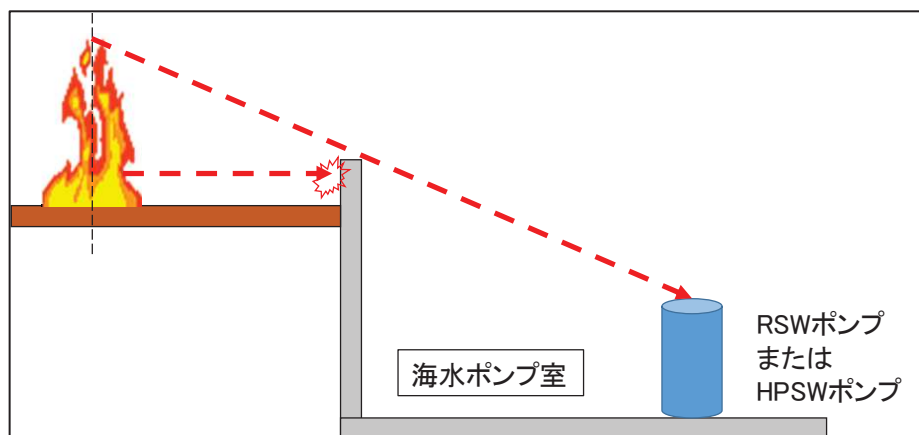
評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	47	2,600

g. 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては、海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず、側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 3-8 図、海水ポンプ室内配置を第 3-9 図、外形図を第 3-10 図、仕様を第 3-12 表に示す。

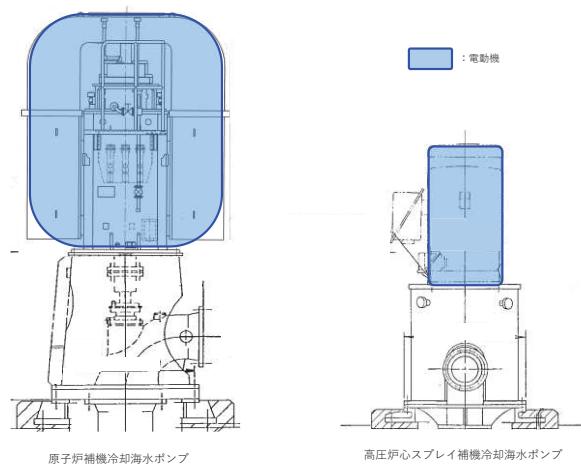
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり、そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要な冷却空気の温度が、許容温度以下となることを確認する。



第 3-8 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係



第 3-9 図 海水ポンプの配置図



第 3-10 図 海水ポンプの外形図

第 3-12 表 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却 海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

6 条(外火)-別添 1-添付 3-17

(b) 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 3-13 表に示す。

第 3-13 表 危険物貯蔵施設から海水ポンプ室までの離隔距離

想定火災源	海水ポンプ室[m]
危険物貯蔵施設	2,400

判断の考え方

i. 許容温度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度、通常運転時の上昇温度をそれぞれ第 3-14 表、第 3-15 表に示す。

第 3-14 表 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	40 ^{※1}	55 ^{※2}
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	55 ^{※2}	55 ^{※2}

※1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 40°C を冷却空気の許容温度に設定

※2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 55°C を冷却空気の許容温度に設定

第 3-15 表 海水ポンプの通常運転時の上昇温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	27	18.7
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	32	41

ii. 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、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め、第 3-14 表に示す許容温度を下回るかを比熱の公式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 3-16 表に示す。

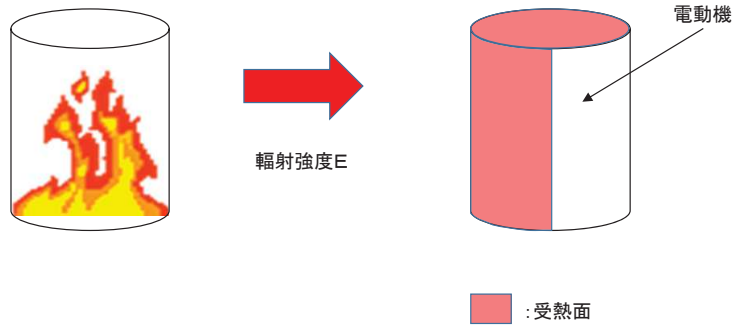
$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p} \quad (\text{式 1})$$

T : 評価温度 (°C), T₀ : 通常運転時の上昇温度, E : 輻射強度 (W/m²),
G : 重量流量 (kg/s), A_T : 輻射を受ける面積 (m²)

C_p : 空気比熱 (1,008J/kg/K)

第 3-16 表 評価に用いた諸元

対象機器	受熱面積 [m ²] Ar	重量流量 [kg/s] G	空気比熱 [J/kg/K] Cp
原子炉補機 冷却海水ポンプ	13.19	3.32	1008
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	1.19	0.55	1008



第 3-11 図 評価概念図

(c) 評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度から危険距離を算出した結果，離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 3-17 表に示す。

第 3-17 表 評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設		危険距離 [m]	離隔距離 [m]
原子炉補機 冷却海水ポンプ	上部軸受	99	2,400
	下部軸受	51	2,400
高压炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	上部軸受	45	2,400
	下部軸受	65	2,400

h. 危険距離の評価結果

危険物貯蔵施設と評価対象設備との離隔距離は第 3-18 表のとおりであり，すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

第 3-18 表 危険距離の算出結果

評価対象	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	2,400	48
制御建屋	2,400	48
タービン建屋	2,300	48
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,400	99
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	2,400	65
固体廃棄物貯蔵所	2,500	48
排気筒	2,600	47
復水貯蔵タンク	2,500	18

i. 火災による熱影響の有無の評価

最大貯蔵量の危険物貯蔵施設における危険距離は最大でも 99m であり、離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって、発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても女川原子力発電所への影響はない。

(2) 高圧ガス貯蔵施設

女川原子力発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は [] であり、女川原子力発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離は約 700m であった。（第 3-12 図）

仮に最短離隔距離（小屋取地区）の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 [] があったと仮定しても、2号炉原子炉建屋に到達する輻射熱は1号炉軽油タンク火災の輻射強度より十分小さいことから、1号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

また、飛来物の影響について評価を実施し、飛来物の最大飛散距離は [] となり、女川原子力発電所との離隔距離約 700m よりも小さいことを確認した。

よって、発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災・爆発が発生した場合においても発電所への影響はないことを確認した。

第 3-19 表 敷地外危険物貯蔵施設と 1 号炉軽油タンクの比較

	敷地外危険物 貯蔵施設	1 号炉 軽油タンク
最大貯蔵量	[]	620kl
離隔距離[m]	約 700	約 179
貯蔵油種	プロパン	軽油
貯蔵油種の輻射発散度[W/ m ²]	74×10 ³	42×10 ³
形態係数	4.27×10 ⁻⁴	6.62×10 ⁻³
輻射強度[W/ m ²]	31.6	278

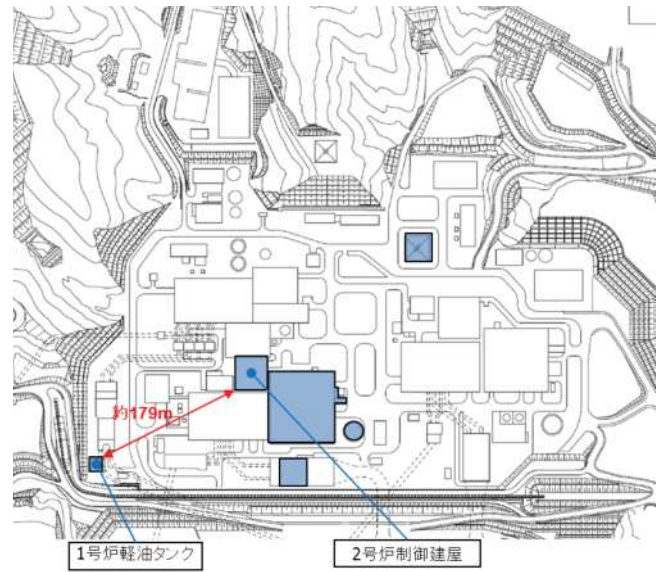
※燃焼半径を保守的に 1 号炉軽油タンクと同じ値だったとして算出している

[] 枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません



地図出典：国土地理院ウェブサイト

第 3-12 図 高圧ガス貯蔵施設位置



第 3-13 図 1号炉軽油タンク位

第 3-20 表 高圧ガス爆発の想定条件

想定条件	
気象条件	無風状態
貯蔵ガス	液化石油ガス
貯蔵ガス K 値	888×1000 (プロパン)
貯蔵量 [t]	
貯蔵設備 W 値	
爆発形態	高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

危険限界距離の算出方法

評価ガイドに基づき、危険限界距離を以下の式から算出する。

$$X = 0.04\lambda\sqrt[3]{K \times W}$$

X : 危険限界距離 λ : 換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]
 K : 石油類の定数[-] W : 設備定数[-]



となり、危険限界距離 X は となる。

よって、女川原子力発電所との離隔距離は約 700m あることから、爆風圧による女川原子力発電所への影響はない。

第 3-21 表 高圧ガス貯蔵施設の危険限界距離評価結果

評価対象	離隔距離 [m]	危険限界距離 [m]
原子炉建屋	727	
制御建屋	679	
タービン建屋	639	
原子炉補機冷却海水ポンプ	780	
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	780	
固体廃棄物貯蔵所	609	
排気筒	866	
復水貯蔵タンク	834	

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

(a) 飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）※¹に基づき、高圧ガス貯蔵施設からの飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ、飛来物到達距離に対し、女川原子力発電所までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、原子炉施設への影響がないことを確認した。

なお、発電所から最も近い施設では、指針が適用されるコンビナート等の大規模な高圧ガスタンク等の形状ではなく、液化石油ガス※²が封入された複数の 50kg ガスボンベが設置されている。当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行った。

※1：石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成するに当たって、災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

※2：液化石油ガスの貯蔵設備は貯蔵量に応じて液化石油ガス保安規則等の関係法令に基づき、保安物件と必要な距離等をとることが規定されている。

第 3-22 表 飛来物の評価条件

施設名称	ガス種類	貯蔵量	飛来物到達距離	離隔距離
当社社員寮	液化石油ガス			700m

○飛来物の最大飛散距離の評価上必要となる距離の算出方法

「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、容器の破損による破片の飛散範囲を以下の式にて算出する。

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

L：破片の最大飛散範囲 M：破裂時の貯蔵物質量

となり、飛来物の最大飛散距離 L は [] となる。

よって、女川原子力発電所との離隔距離が約 700m あることから、飛来物による女川原子力発電所への影響はない。

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

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

容器の破裂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り異なってくる。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)。

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

ただし、

L : 破片の最大飛散範囲(m)

M : 破裂時の貯蔵物質質量(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。

燃料輸送車両の火災・爆発について

1. 目的

本評価は、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対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が女川原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 燃料輸送車両の火災影響評価

(1) 燃料輸送車両の火災の想定条件

- ・ 発電所敷地外 10km 以内において、最大規模の燃料を搭載した燃料輸送車両（以下「タンクローリ」という。）が発電所敷地周辺道路で火災を起こした場合を想定する。
- ・ 燃料積載量は消防法（危険物の規制に関する政令第 15 条第 1 項三号）において定められている移動タンク貯蔵所の上限量（=30kl）を搭載可能なタンクローリとする。
- ・ 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。
- ・ 発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）での燃料輸送車両の全面火災を想定する。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

なお、高圧ガスを輸送する車両として、発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量を積載した車両の爆発を想定した。



第 4-1 図 発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設等

(2) 評価手法の概要

本評価は、女川原子力発電所に対する燃料輸送車両の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 4-1 表 評価指標及びその内容

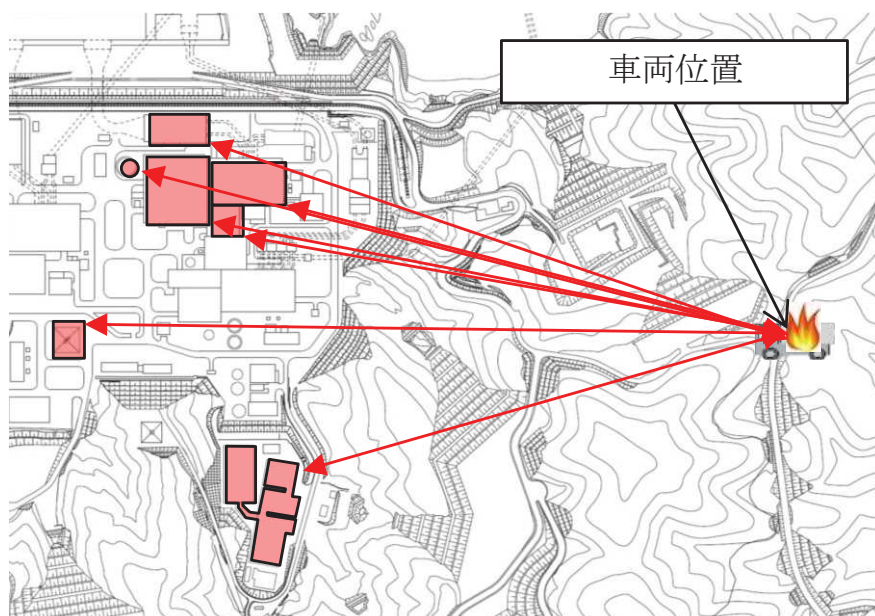
評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	燃料輸送車両の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の温度上昇を調査し、温度上昇後の設備の温度がその設備の許容温度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）で出火する最大規模の燃料輸送車両とする。



第 4-2 図 タンクローリ火災想定位置と原子炉施設との位置関係

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

燃料の種類：	ガソリン
燃料量：	30[kl]
輻射発散度：	58,000[W/m ²] ※ガイド附属書Bのガソリン値
質量低下速度：	0.055[kg/m ² /s] ※NUREG-1805のGasolineの値
燃料密度：	783[kg/m ³]
タンク断面積：	23.8[m ²]

(5) 燃焼半径の算出

燃料輸送車両の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は、燃料輸送車両の投影面積に等しいものとする。したがって、燃焼半径 R[m]は燃料輸送車両の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

$$S : \text{燃料輸送車両の投影面積 (火炎円筒の底面積)} = 23.8 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = (23.8 / \pi)^{0.5} = 2.75 \text{ [m]}$$

(6) 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。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}, \quad v = \frac{M}{\rho}$$

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/s], M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³]

ここで、 $v = 0.055 / 783 = 7.025 \times 10^{-5}$ [m/s]として、燃焼継続時間を求めると、

$$t = 30 / (23.8 \times 7.025 \times 10^{-5}) = 17935 \text{ [s]} = 4.98 \text{ [h]}$$

(7) 建屋外壁の温度評価

a. 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した

b. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4-2 表に示す。

第 4-2 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	原子炉 建屋[m]	制御 建屋[m]	タービン 建屋[m]	固体廃棄物 貯蔵所[m]
燃料輸送車両	727	679	639	609

c. 判断の考え方

(a) 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

(b) 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面 (x=0) の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を算出する。

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

T_0 : 初期温度[℃] E : 輻射強度[W/m²] x : コンクリート深さ t : 火災継続時間[s]

C_p : コンクリート比熱[J/(kg·K)] ρ : コンクリート密度[kg/m³]

α : コンクリート温度拡散率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ λ : コンクリート熱伝導率[W/(m·K)]

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

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 : 輻射発散度(W/m²)， R_f : 輻射発散度(W/m²)， Φ : 形態係数

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。

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

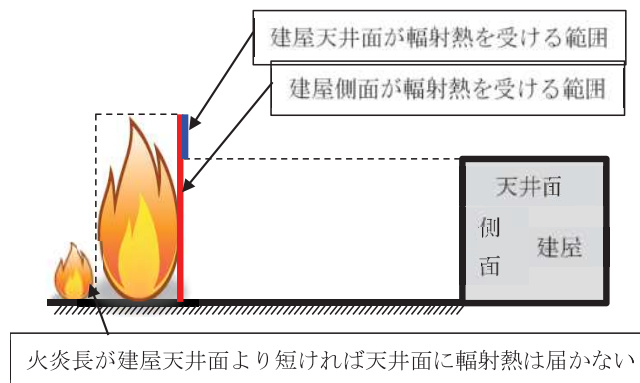
ただし、 $m = \frac{H}{R} \cong 3$ $n = \frac{L}{R}$ $A = (1+n)^2 + m^2$ $B = (1-n)^2 + m^2$

ϕ : 形態係数 H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 火炎中心からの距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から各評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

天井スラブの評価概念図を第4-3図に示す。



第4-3図 天井スラブの評価概念図

(c) 評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が200℃となる危険距離を算出した結果、各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

評価結果を第4-3表に示す。

第4-3表 外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	21	727
タービン建屋		639
制御建屋		679
固体廃棄物貯蔵所		609

(8) 復水貯蔵タンクの温度評価

a. 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

b. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4-4 表に示す。

第 4-4 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 [m]
燃料輸送車両	834

c. 判断の考え方

(a) 許容温度

復水貯蔵タンクの許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66°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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、表面での輻射による復水貯蔵タンクの温度上昇を現した比熱の公式により復水貯蔵タンクの温度が 66°C となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}} \quad (\text{式 1})$$

T_0 : 初期温度 [°C] E : 輻射強度 [W/m²] t : 燃焼継続時間 [s] D_o : タンク外径 [m]

h : タンク円筒高さ [m] ρ_w : 水の密度 [kg/m³] C_{pw} : 水の比熱 [J/kg/K]

V : 水の体積 [m³] ρ_s : タンク壁材密度 [kg/m³] C_{ps} : タンク壁材比熱 [J/kg/K]

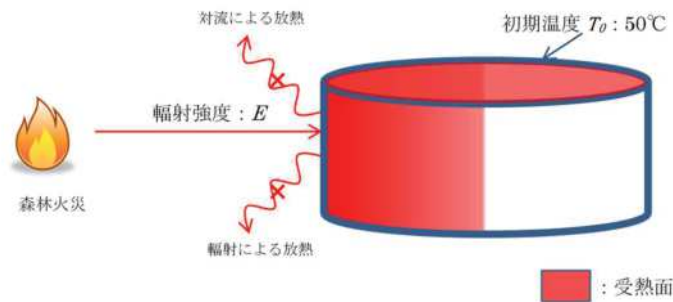
D_i : タンク内径 [m] e : タンク最小板厚 [m]

※1 : 伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水) を 66°C となるように線形補間した値

※2 : 伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており、直接輻射がタンクに到達する構造ではないが、評価にあたっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

復水貯蔵タンクの評価概念図を第 4-4 図に示す。



第 4-4 図 受熱面積のイメージ

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 : 輻射発散度 (W/m^2), R_f : 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

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。

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

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

Φ : 形態係数 H : 火炎長(m) R : 火炎半径(m) L : 離隔距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から復水貯蔵タンクまでの離隔距離を下回るか評価を実施した。

(c) 評価結果

復水貯蔵タンク温度が 66°C となる危険距離を算出した結果、危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

評価結果を第 4-5 表に示す。

第 4-5 表 復水貯蔵タンクへの燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 [m]	離隔距離 [m]
復水貯蔵タンク	15	834

(9) 排気筒の温度評価

a. 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) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第 4-6 表に、排気筒外形図を第 4-5 図に示す。

第 4-6 表 評価対象施設の仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 3.7m	
	地表高さ 160m	
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第 4-5 図 評価対象施設の外形図

b. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4-7 表に示す。

第 4-7 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 [m]
燃料輸送車両	866

c. 判断の考え方

(a) 許容温度

排気筒鉄塔 (SS400, STK400, SMA400AP) 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。

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

ε : 吸収率 E : 輻射強度 [W/m²] h : 熱伝達率 [W/m²/K] T_a : 周囲雰囲気温度 [°C]

※1 : 伝熱工学資料

※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。)

(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)

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 : 輻射発散度 (W/m²), R_f : 輻射発散度 (W/m²), Φ : 形態係数

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。

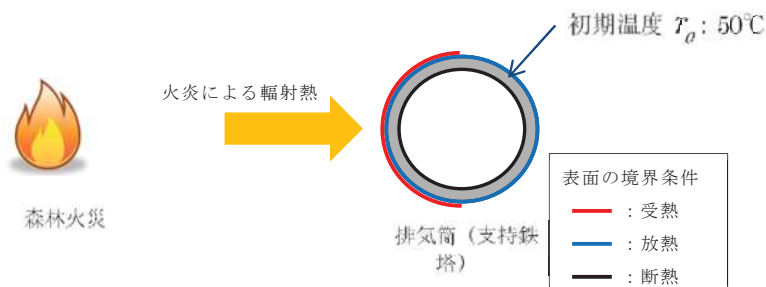
$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\frac{A(n-1)}{\sqrt{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\frac{(n-1)}{\sqrt{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

Φ : 形態係数 H : 火炎長 (m) R : 火炎半径 (m) L : 離隔距離 (m)

上記のとおり危険距離を算出し, 当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお, 評価に当たって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 SMA400AP 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 4-6 図に示す。



第 4-6 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 4-8 表に示す。

第 4-8 表 主排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

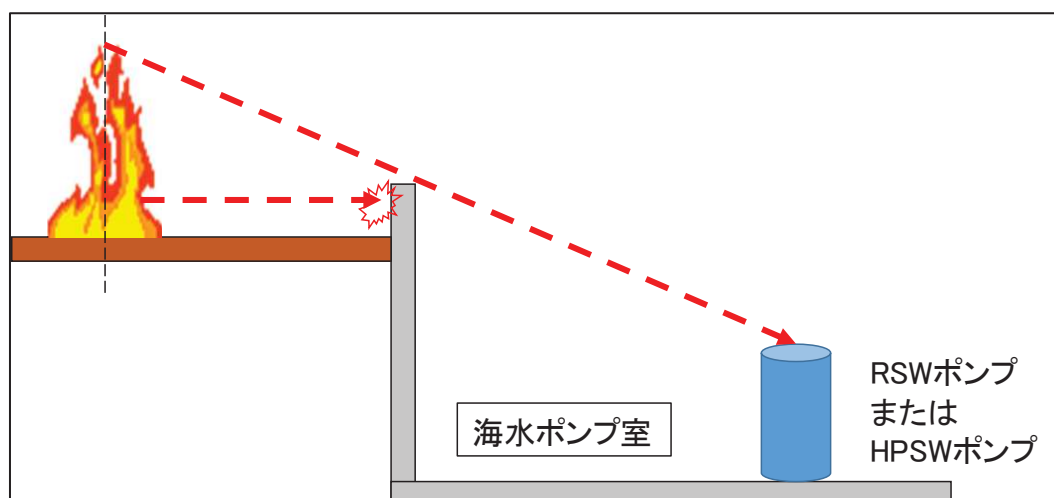
評価対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	8	866

(10) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては、海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず、側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 4-7 図、海水ポンプ室内配置を第 4-8 図、外形図を第 4-9 図、仕様を第 4-9 表に示す。

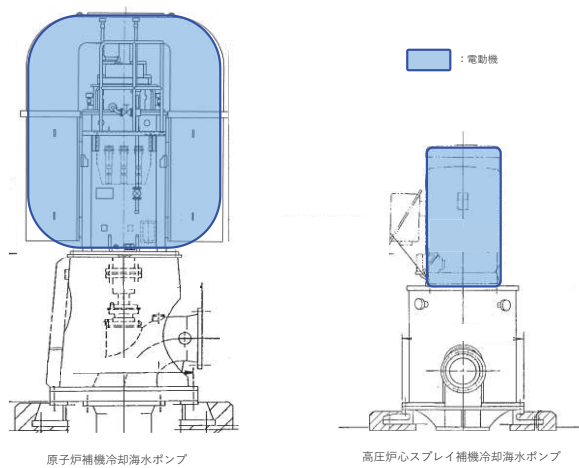
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり、そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が、許容温度以下となることを確認する。



第 4-7 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係



第 4-8 図 海水ポンプの配置図



第 4-9 図 海水ポンプの外形図

第 4-9 表 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却 海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

b. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 4-10 表に示す。

第 4-10 表 燃料輸送車両による火災から海水ポンプ室までの離隔距離

想定火災源	海水ポンプ室[m]
危険物貯蔵施設	780

c. 判断の考え方

(a) 許容温度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、電動機の上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 4-11 表に示す。

第 4-11 表 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	40 ^{*1}	55 ^{*2}
高圧炉心スプレィ 補機冷却海水ポンプ	55 ^{*2}	55 ^{*2}

※1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 40°C を冷却空気の許容温度に設定

※2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 55°C を冷却空気の許容温度に設定

第 4-12 表 海水ポンプの通常運転時の上昇温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	27	18.7
高圧炉心スプレィ 補機冷却海水ポンプ	32	41

(b) 評価方法

(7) で求めた輻射強度から、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め、第 4-13 表に示す許容温度を下回るかを比熱の公式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 4-6 表に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_P} \quad (\text{式 1})$$

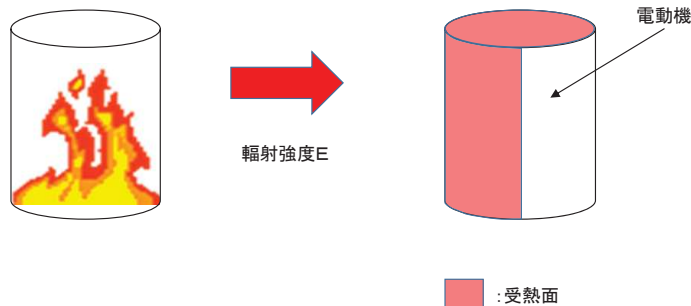
T : 評価温度(°C), T₀ : 通常運転時の上昇温度, E : 輻射強度(W/m²),

G : 重量流量(kg/s), A_T : 輻射を受ける面積(m²)

C_P : 空気比熱(1,008J/kg/K)

第 4-13 表 評価に用いた諸元

対象機器	受熱面積 [m ²] Ar	重量流量 [kg/s] G	空気比熱 [J/kg/K] Cp
原子炉補機 冷却海水ポンプ	13.19	3.32	1008
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	1.19	0.55	1008



第 4-10 図 評価概念図

式 1 で求めた危険輻射強度 E となる形態係数 Φ を、式 2 より算出する。

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

E : 輻射発散度(W/m²), R_f : 輻射発散度(W/m²), Φ : 形態係数

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。

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

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

Φ : 形態係数 H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 離隔距離(m)

上記の通り危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

(c) 評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度から危険距離を算出した結果、離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 4-11 表に示す。

第 4-11 表 評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設		危険距離 [m]	離隔距離 [m]
原子炉補機 冷却海水ポンプ	上部軸受	16	780
	下部軸受	8	780
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	上部軸受	8	780
	下部軸受	11	780

(11) 危険距離の評価結果

タンクローリの位置と評価対象設備との離隔距離は第 4-12 表のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

第 4-12 表 タンクローリ火災の評価結果

評価対象	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	727	21
制御建屋	679	21
タービン建屋	639	21
原子炉補機冷却海水ポンプ	780	16
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	780	11
固体廃棄物貯蔵所	609	21
排気筒	866	8
復水貯蔵タンク	834	15

(12) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、燃料輸送車両において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(609m)が危険距離(最大 21m)以上であることから、発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

3. ガス爆発による影響評価

(1) ガス爆発火災の想定条件

- ・ 発電所敷地外 10km 以内の施設において最大規模の高圧ガス貯蔵施設が、発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）にて、爆発を起こした場合を想定する。
- ・ 燃料貯蔵量は発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量 とする。
- ・ 高圧ガス貯蔵施設は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 貯蔵燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- ・ 発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）での高圧ガス漏えい、引火による高圧ガス貯蔵施設の爆発を想定する。

(2) 評価手法の概要

本評価は、女川原子力発電所に対する発電所近傍の道路におけるガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 4-13 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）にて、爆発を起こす高圧ガス貯蔵施設とする。

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 4-14 表 高圧ガス爆発の評価条件

データ種類	内容
石油のK値	コンビナート等保安規則第 5 条別表第二に掲げる数値 K=888000 (プロパンの最大値)
貯蔵設備または 処理設備のW値	コンビナート等保安規則第 5 条貯蔵設備または処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力 (単位：トン) の数値の平方根の数値 (貯蔵能力が一トン未満のものにあつては貯蔵能力 (単位：トン) の数値), 圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力 (単位：立方メートル) を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量 (単位：トン) に換算して得られた数値の平方根の数値 (換算して得られた数値が一未満のものにあつては, 当該換算して得られた数値) 処理設備：処理設備内にあるガスの質量 (単位：トン) の数値 <input type="text"/>
離隔距離[m]	火災が発生した発電所敷地外の道路から発電用原子炉施設までの距離

(5) 危険限界距離の算出

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高圧ガス貯蔵施設と発電用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 888000 (プロパン) [-] W : 設備定数 [-]

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

(6) 爆発による影響評価結果

以上の結果から、発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）で爆発が発生した場合を想定したとしても、離隔距離（609m）が危険限界距離 以上であることから、発電用原子炉施設に爆風圧による影響はないと評価する。

第 4-15 表 危険限界距離評価結果

評価対象	離隔距離 [m]	危険限界距離 [m]
原子炉建屋	727	
制御建屋	679	
タービン建屋	639	
原子炉補機冷却海水ポンプ	780	
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	780	
固体廃棄物貯蔵所	609	
排気筒	866	
復水貯蔵タンク	834	

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

4. 燃料輸送車両の飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）※1 に基づき、高圧ガス貯蔵施設からの飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ、飛来物到達距離に対し、女川原子力発電所までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、原子炉施設への影響がないことを確認した。

なお、発電所から最も近い施設では、指針が適用されるコンビナート等の大規模な高圧ガスタンク等の形状ではなく、液化石油ガス※2 が封入された複数の 50kg ガスボンベが設置されている。当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行った。

※1：石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成するに当たって、災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

※2：液化石油ガスの貯蔵設備は貯蔵量に応じて液化石油ガス保安規則等の関係法令に基づき、保安物件と必要な距離等をとることが規定されている。

第 4-16 表 飛来物の評価条件

想定火災源	ガス種類	燃料容器	飛来物到達距離	離隔距離
高圧ガス輸送車両	液化石油ガス			609m

○飛来物の最大飛散距離の算出方法

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき、容器の破損による破片の飛散範囲を以下の式にて算出する。

$$L = 90M^{0.333}$$

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質質量[kg]

となり、飛来物の最大飛散距離 L は となる。

よって、女川原子力発電所との離隔距離が 609m あることから、飛来物による女川原子力発電所への影響はない。

枠囲みの内容は商業秘密のため公開できません

漂流船舶の火災・爆発について

1. 目的

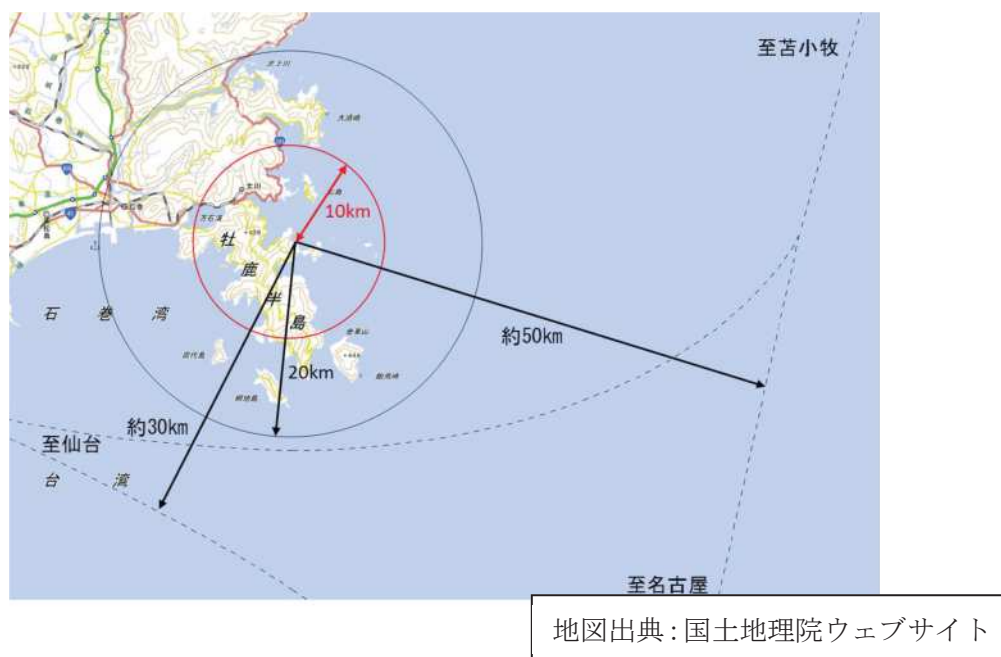
本評価は、発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が女川原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 漂流船舶の火災の影響評価について

本評価は漂流船舶の火災に対する防護の有効性を確認することが目的であるため、敷地周辺において現実的に想定される船舶に比べ、火災影響が厳しくなる保守的な船舶の規模として、入港可能な最大の船舶が敷地へ到達することを仮定した評価を実施する。

(1) 想定条件

- ・漂流船舶は、港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶を想定する。
- ・漂流船舶は港湾内に入稿可能な大きさで実際に存在する最大の船舶である重油運搬船を想定する。
- ・漂流船舶は燃料を満載にした状態を想定する。
- ・港湾内での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。
- ・火炎は円筒をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする
- ・温度評価にあたっては保守的に防潮堤がないものとして影響評価を実施する。



第 5-1 図 女川原子力発電所周辺の主要航路

(2) 評価の手法の概要

本評価は、女川原子力発電所に対する漂流船舶の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 5-1 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	船舶の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

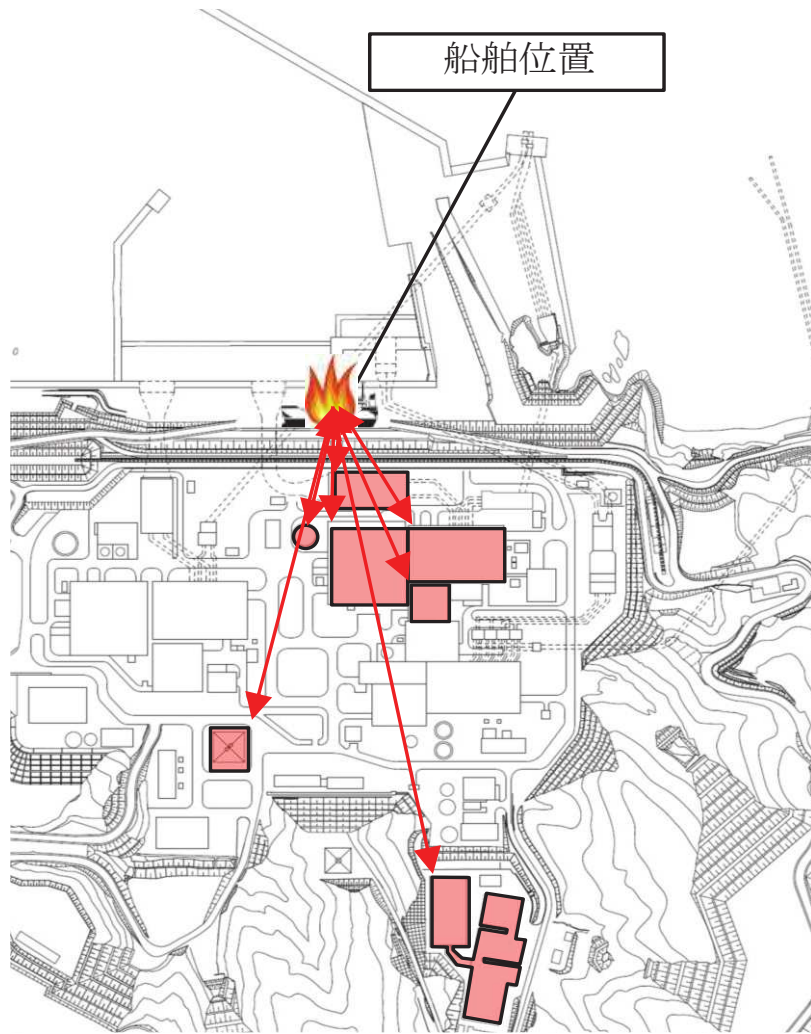
上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の温度上昇を調査し、温度上昇後の設備の温度がその設備の許容温度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所港湾内で出火する漂流船舶とする。なお、1号炉補助ボイラーは震災の影響により稼動を停止しており、現在は重油運搬船による重油の補給を行っていないが、保守的に港湾内に進入する船舶の中で最大規模の船舶である重油運搬船による火災を想定する。

また、重油運搬船の位置は、カーテンウォールに接触して停止すると考えられるが、津波によりカーテンウォール上部を通過して発電所へ近づき港湾道路まで乗り上げた場合において、火災が発生したものと想定した。



第 5-2 図 重油運搬船火災想定位置と原子炉施設との位置関係

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

燃料の種類：重油

燃料量： 2,242.794[kl]

輻射発散度：23,000[W/m²] ※ガイド附属書Bの重油値

質量低下速度： 0.035[kg/m²/s] ※NUREG-1805のFuel Oil, heavyの値

燃料密度： 900[kg/m³]

底面断面積：958.8[m²]

(5) 燃焼半径の算出

漂流船舶の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は、漂流船舶の投影面積に等しいものとする。したがって、燃焼半径R[m]は漂流船舶の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

S：漂流船舶の投影面積（火炎円筒の底面積）=958.8 [m²]

$$R = (958.8 / \pi)^{0.5} = 17.47 \text{ [m]}$$

(6) 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。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}, \quad v = \frac{M}{\rho}$$

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/s]，M：質量低下速度[kg/m²・s]，ρ：密度[kg/m³]

ここで、 $v = 0.035 / 900 = 3.89 \times 10^{-5}$ [m/s]として、燃焼継続時間を求めると、

$$t = 2,242.794 / (958.8 \times 3.89 \times 10^{-5}) = 60,149 \text{ [s]} = 16.7 \text{ [h]}$$

(7) 建屋外壁の温度評価

a. 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した

b. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第5-2表に示す。

第5-2表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

定火災源	原子炉 建屋[m]	制御 建屋[m]	タービン 建屋[m]	固体廃棄物 貯蔵所[m]
漂流船舶	114	189	137	504

c. 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。

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

T_0 : 初期温度[°C] E : 輻射強度[W/m²] x : コンクリート深さ t : 火災継続時間[s]

C_p : コンクリート比熱[J/(kg·K)] ρ : コンクリート密度[kg/m³]

α : コンクリート温度拡散率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ λ : コンクリート熱伝導率[W/(m·K)]

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

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 : 輻射発散度(W/m²), R_f : 輻射発散度(W/m²), Φ : 形態係数

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。

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

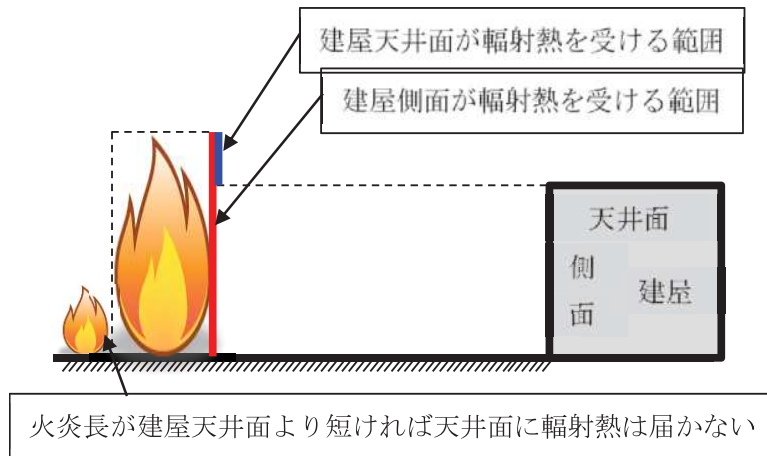
ただし， $m = \frac{H}{R} \cong 3$ $n = \frac{L}{R}$ $A = (1+n)^2 + m^2$ $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数 H : 火炎長(m) R : 火炎半径(m) L : 火炎中心からの距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し，当該燃料輸送車両から各評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

天井スラブの評価概念図を第 5-3 図に示す。



第 5-3 図 天井スラブの評価概念図

(c) 評価結果

評価対象施設の外壁表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果、各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

第 5-3 表 外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 [m]	離隔距離 [m]
原子炉建屋	110	114
タービン建屋		137
制御建屋		189
固体廃棄物貯蔵所		504

(8) 復水貯蔵タンクの温度評価

a. 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

b. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 5-4 表に示す。

第 5-4 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 [m]
漂流船舶	112

c. 判断の考え方

(a) 許容温度

復水貯蔵タンクの許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66℃以下とする。

(b) 評価方法

一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、表面での輻射によるタンク内部の温度上昇を現し比熱の公式により復水貯蔵タンクの温度が 66°C となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求める。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T_0 : 初期温度 [°C] E : 輻射強度 [W/m²] t : 燃焼継続時間 [s] D_o : タンク外径 [m]

h : タンク円筒高さ [m] ρ_w : 水の密度 [kg/m³] C_{pw} : 水の比熱 [J/kg/K]

V : 水の体積 [m³] ρ_s : タンク壁材密度 [kg/m³] C_{ps} : タンク壁材比熱 [J/kg/K]

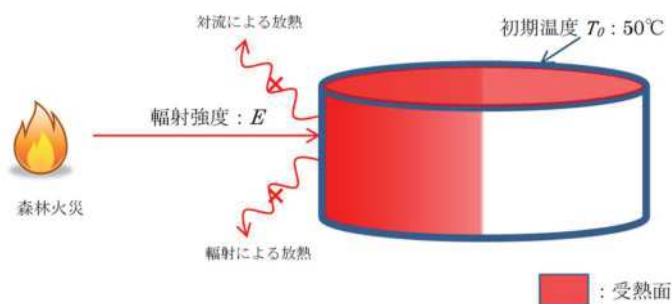
D_i : タンク内径 [m] e : タンク最小板厚 [m]

※1 : 伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水) を 66°C となるように線形補間した値

※2 : 伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており、直接輻射がタンクに到達する構造ではないが、評価にあたっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

復水貯蔵タンクの評価概念図を第 5-4 図に示す。



第 5-4 図 受熱面積のイメージ

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 : 輻射発散度 (W/m²), R_f : 輻射発散度 (W/m²), Φ : 形態係数

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

∅: 形態係数 H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 離隔距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から復水貯蔵タンクまでの離隔距離を下回るか評価を実施した。

(c) 評価結果

復水貯蔵タンク温度が 66℃となる危険距離を算出した結果、危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

評価結果を第 5-5 表に示す。

第 5-5 表 復水貯蔵タンクへの燃料輸送車両火災影響評価結果

評価対象施設	危険距離 [m]	離隔距離 [m]
復水貯蔵タンク	109	122

(9) 排気筒の温度評価

a. 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。

b. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第 5-6 表に、排気筒外形図を第 5-5 図に示す。

第 5-6 表 評価対象施設の仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 3.7m	
	地表高さ 160m	
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第 5-5 図 評価対象施設の外形図

b. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 5-7 表に示す。

第 5-7 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 [m]
漂流船舶	340

c. 判断の考え方

(a) 許容温度

排気筒鉄塔 (SS400, STK400, SMA400AP) 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。

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

ε : 吸収率 E : 輻射強度 [W/m^2] h : 熱伝達率 [$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$] T_a : 周囲雰囲気温度 [$^{\circ}\text{C}$]

※1 : 伝熱工学資料

※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。)

(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)

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 : 輻射発散度 (W/m^2), R_f : 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

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。

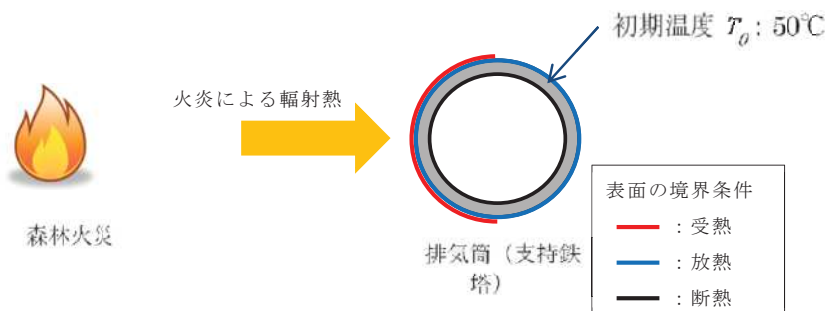
$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

Φ : 形態係数 H : 火炎長(m) R : 火炎半径(m) L : 離隔距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し, 当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお, 評価に当たって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 SMA400AP 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 5-6 図に示す。



第 5-6 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 5-8 表に示す。

第 5-8 表 排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

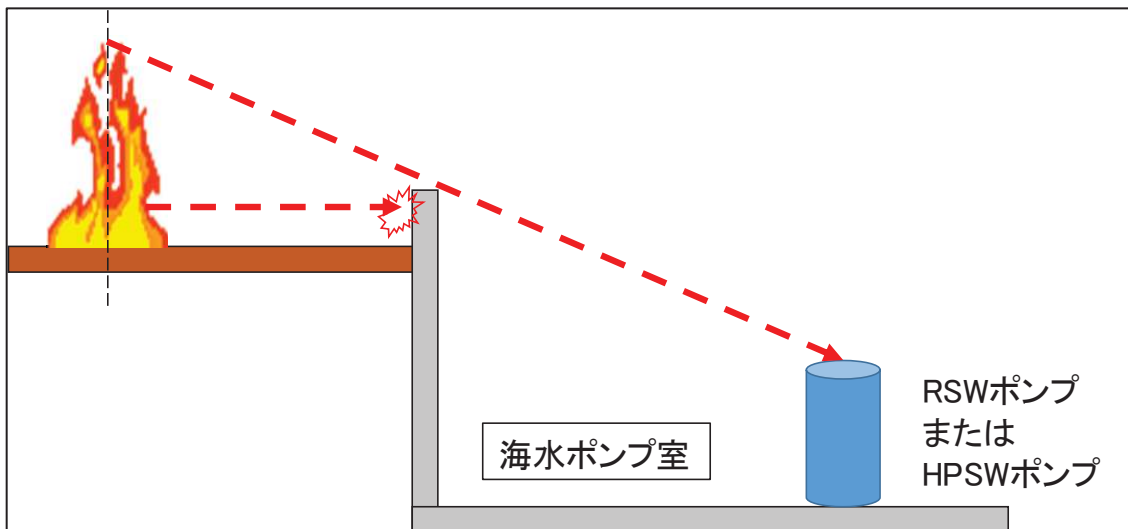
評価対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	20	340

(10) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。評価においては、海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず、側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 5-7 図、海水ポンプ室内配置を第 5-8 図、外形図を第 5-9 図、仕様を第 5-9 表に示す。

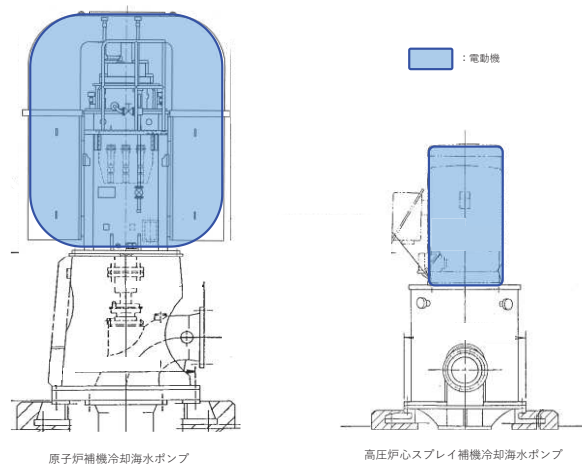
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり、そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要な冷却空気の温度が、許容温度以下となることを確認する。



第 5-7 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係



第 5-8 図 海水ポンプの配置図



第 5-9 図 海水ポンプの外形図

第 5-9 表 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却 海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

b. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 5-10 表に示す。

第 5-10 表 燃料輸送車両による火災から海水ポンプ室までの離隔距離

想定火災源	海水ポンプ室[, m]
漂流船舶	71

c. 判断の考え方

(a) 許容温度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、電動機の電氣的絶縁性、上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度、通常運転時の上昇温度をそれぞれ第 5-11 表、第 5-12 表に示す。

第 5-11 表 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	40 ^{*1}	55 ^{*2}
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	55 ^{*2}	55 ^{*2}

※1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 40°C を冷却空気の許容温度に設定

※2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 55°C を冷却空気の許容温度に設定

第 5-12 表 海水ポンプの通常運転時の上昇温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	27	18.7
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	32	41

(b) 評価方法

(7) で求めた輻射強度から、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め、第5-11表に示す許容温度を下回るかを比熱の公式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第5-13表に示す。

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

T : 評価温度(°C), T₀ : 通常運転時の上昇温度,

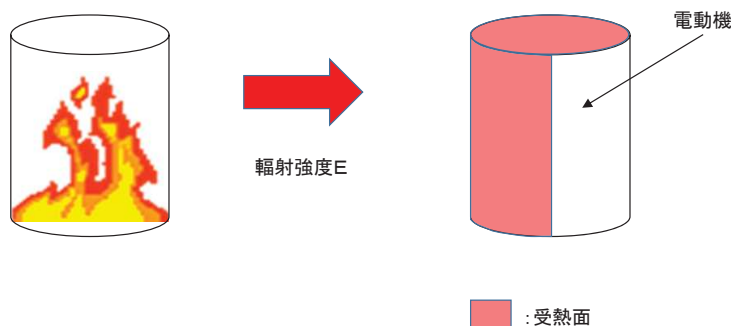
E : 輻射強度(W/m²),

G : 重量流量(kg/s), A_T : 輻射を受ける面積(m²)

C_p : 空気比熱(1,008J/kg/K)

第5-13表 評価に用いた諸元

対象機器	受熱面積 [m ²] Ar	重量流量 [kg/s] G	空気比熱 [J/kg/K] Cp
原子炉補機 冷却海水ポンプ	13.19	3.32	1008
高圧炉心スプレィ 補機冷却海水ポンプ	1.19	0.55	1008



第5-10図 評価概念図

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを、式2より算出する。

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

E : 輻射発散度(W/m²), R_f : 輻射発散度(W/m²), Φ : 形態係数

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。

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

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

∅: 形態係数 H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 離隔距離(m)

上記のとおり危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

(c) 評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度から危険距離を算出した結果、離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 5-14 表に示す。

第 5-14 表 評価対象施設に対する熱影響評価結果

評価対象施設		危険距離 [m]	離隔距離 [m]
原子炉補機 冷却海水ポンプ	上部軸受	55	71
	下部軸受	22	71
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	上部軸受	19	71
	下部軸受	31	71

(11) 危険距離の評価結果

船舶の位置と評価対象設備との離隔距離は第 5-15 表のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

なお、輻射の一部は船舶と原子炉施設の間に設置している防潮堤によって遮られるが、保守的に輻射は全て届くものとして評価している。

第 5-15 表 重油運搬船火災の評価結果

評価対象	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	114	110
制御建屋	189	110
タービン建屋	137	110
原子炉補機冷却海水ポンプ	71	55
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	71	31
固体廃棄物貯蔵所	504	110
排気筒	340	20
復水貯蔵タンク	122	109

(12) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、船舶において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(114m)が危険距離(最大 110m)以上であることから、外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価できる。

漂流船舶（火災）の二次的影響について

発電所港湾内で漂流船舶が出火し重油が流出したとしても、港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており、深層取水していることから発電用原子炉施設（海水系ポンプ）への影響はない。

漂流船舶の火災評価においては、港湾の岸における火災を想定しているため、オイルフェンスによる流入防止を期待していないが、重油運搬船の入港時にはオイルフェンスを準備し、着岸中は船の周りにフェンスを設置することとしている。オイルフェンスは港湾の保管庫に格納しており、また年に一度の点検により健全性を確認している。

敷地内における危険物施設の火災について

1. 目的

本評価は、女川原子力発電所の発電所敷地内の危険物施設の火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 発電所構内危険物施設の火災影響評価

(1) 構内危険物施設の火災の想定

危険物施設の火災の想定は以下のとおりとした。

- i. 評価対象とする危険物施設の燃料は満載した状態を想定した。
- ii. 危険物施設の損傷等による防油堤内の全面火災を想定した。
- iii. 気象条件は無風状態とした。
- iv. 火災は円筒火災モデルとし、火災の高さは燃焼半径の3倍とした。
- v. 黒煙の発生による輻射発散度の低減は無いものとした。
- vi. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう i. で想定した危険物施設位置から原子炉施設までの直線距離とした。

(2) 評価手法の概要

本評価は、女川原子力発電所に対する構内危険物施設の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 6-1 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径	防油槽面積を火炎円筒の底面として求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	危険物タンクから発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建屋の外壁，天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が3mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の温度上昇を評価し、温度上昇がその設備の熱許容限界値以下になるように発電用原子炉施設は離隔距離を確保する。

(3) 評価対象範囲

評価ガイドに基づき、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジン等の危険物施設火災の影響評価を実施する。消防法に基づく届出対象施設（第6-2表）より、評価対象とする危険物施設等を抽出する（第6-1図）。発電所敷地内の発火源となる施設のうち、建屋内に設置している設備及び地下貯蔵タンクは外部への火災が発生する可能性が低いことから除外し、危険物を貯蔵し屋外に設置しているタンク等を想定発火源とする。発電所敷地内における危険物施設等の位置を第6-2図に示す。

(外部火災影響評価ガイド抜粋)

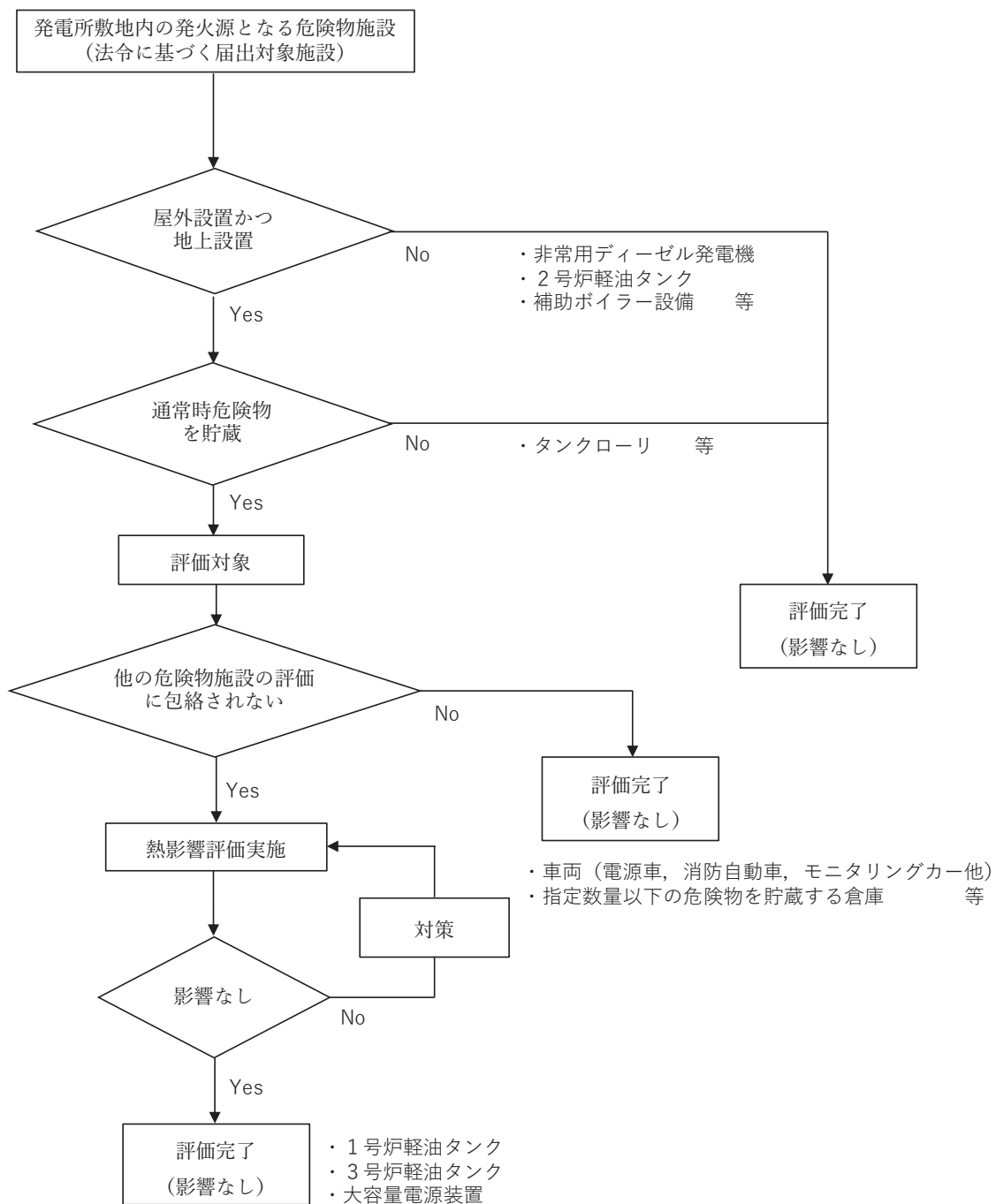
(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設で発生した火災・爆発により、原子炉施設が、その影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、その二次的な影響も含めて、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお、発電所敷地外の10km以内を発火点とし、森林等に延焼することによって発電所に迫る場合は(1)の森林火災として評価する。(ただし、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については、(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。)

発電所構内には、危険物施設のほかにタンクローリ（100L×3台、4kL×2台）を配備している。タンクローリは通常時「空」の状態で開催している。通常時「空」の状態であるタンクローリは発火の可能性はないことから評価対象から除外する。また、直接輻射熱の影響を受けない建屋内に設置している設備及び地下貯蔵タンクは壁面及び天井面に囲まれており、内部で火災が発生した場合でも、屋外への延焼の可能性が低いことから熱影響評価は実施しない。ただし、大容量電源装置用燃料タンクは地下貯蔵タンクであり、地表面で火災が発生する可能性は低いが、装置起動用発電機の軽油タンクが地表面にあることから、保守的に地下タンクとともに火災が発生した場合を想定し熱影響評価を実施することとした。

以上より、評価対象は、1号炉及び3号炉の軽油タンク、大容量電源装置、危険物を貯蔵する車両（電源車、消防自動車、モニタリングカー他）、指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（油脂倉庫）となる。

また、指定数量以下の危険物を貯蔵する車両等（電源車、消防自動車、モニタリングカー他）及び指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（油脂倉庫）は、軽油タンク及び大容量電源装置に比べて、発電用原子炉施設との距離が離れた位置に配置しており、貯蔵量が少なく、軽油タンク及び大容量電源装置火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。



第 6-1 図 敷地内危険物施設のうち評価対象抽出フロー

第 6-2 表 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧 (1/2)

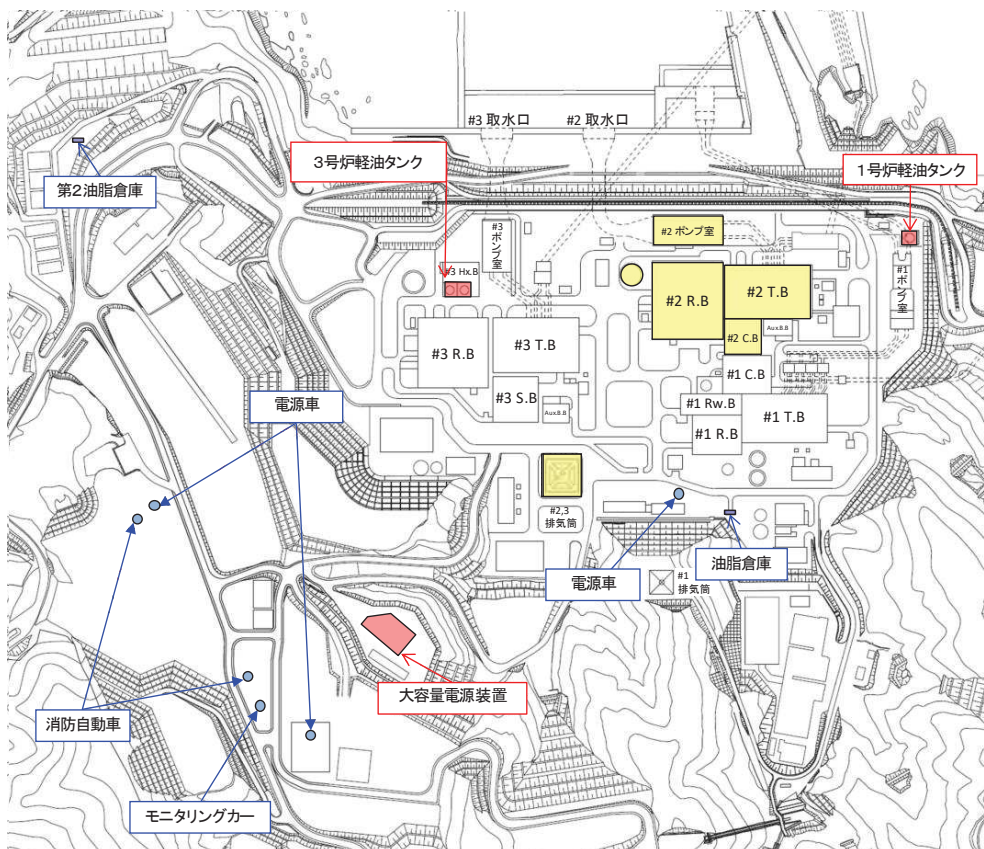
号炉	危険物施設名	製造所等の別	危険物の類		品名	最大数量	詳細評価要否
1号炉	補助ボイラー設備 ^{*1}	一般取扱所	第四類	第三石油類	重油	67.085kl	× (建屋内設置)
1号炉	620 kl 軽油貯蔵タンク	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	620 kl	○
1号炉	非常用ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	30.26 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8 kl	
1号炉	主油タンク, 油清浄機, 油補給タンク	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	95.5 kl	× (建屋内設置)
2号炉	330 kl 軽油貯蔵タンク (A)	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	× (地下設置)
2号炉	330 kl 軽油貯蔵タンク (B)	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	× (地下設置)
2号炉	非常用ディーゼル発電設備 (A)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.664 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8.8 kl	
2号炉	非常用ディーゼル発電設備 (B)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.664 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8.8 kl	
2号炉	高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	21.456 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	1.8 kl	
2号炉	タービン関連設備	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	177.38 kl	× (建屋内設置)
3号炉	330kl 軽油貯蔵タンク (A)	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	○
3号炉	330kl 軽油貯蔵タンク (B)	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	○
3号炉	非常用ディーゼル発電設備 (A)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.112 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	7 kl	
3号炉	非常用ディーゼル発電設備 (B)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.112 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	7 kl	
3号炉	高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	21.456 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	1.8 kl	
3号炉	タービン関連設備	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	122.5 kl	× (建屋内設置)

※1: 1号炉補助ボイラー設備用として屋外に重油貯蔵タンクが設置されていたが、東北地方太平洋沖地震による津波により倒壊したため設備廃止

第 6-2 表 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧 (2/2)

号炉	危険物施設名	製造所等の別	危険物の類		品名	最大数量	詳細評価要否
その他	大容量電源装置※2	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	74.025kl	× (常時「空」)
その他	大容量電源装置※2	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	90 kl	○
			第四類	第四石油類	潤滑油	10 kl	
その他	タンクローリ	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	灯油	4 kl	× (常時「空」)
			第四類	第二石油類	軽油	4 kl	
			第四類	第三石油類	重油	3.66 kl	
その他	タンクローリ	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	灯油	4 kl	× (常時「空」)
			第四類	第二石油類	軽油	4 kl	
			第四類	第三石油類	重油	3.66 kl	
その他	緊急時対策所軽油タンク	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	30 kl (30m³)	× (建屋内設置)
その他	ガスタービン発電機 用軽油タンク (GTG)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	× (貯蔵容量, 距離)

※2：評価に際し最大貯蔵量に加えて起動用発電機軽油タンク 5851（一般取扱所分）を加味して評価を実施。



第 6-2 図 女川原子力発電所敷地内における熱影響評価を実施する危険物施設等の位置

3. 温度影響評価

(1) 建屋外壁に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設のうち、1号炉軽油タンク、3号炉軽油タンク(A及びB)、大容量電源装置の火災を想定して、原子炉施設外壁への熱影響評価を実施する。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりである。

第6-4表 敷地内危険物施設火災影響評価に必要なデータ

		1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
			A	B	A+B	
燃料量 V [m ³]		620	330	330	660	90.585 (軽油) 10 (潤滑油)
輻射発散度 Rf [W/m ²]		42,000	42,000	42,000	42,000	42,000 (軽油, 潤滑油)
燃焼速度 v [m/s]		5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5} (軽油) 4.35×10^{-5} (潤滑油)
防油堤面積 S [m ²]		340	195.15	185.80	380.95	47.6115 (軽油) 6.1743 (潤滑油)
離 隔 距 離 [m]	原子炉建屋	201	206	191	191	407
	制御建屋	179	304	289	289	447
	タービン建屋	105	303	287	287	479

c. 燃焼半径の算出

防油堤には貯槽その他不燃障害物が存在し、火災面積はその面積分だけ小さくなるが、防油堤全面火災のような大規模な火災の場合は、多少の障害物も無視できる。したがって、本評価では、防油堤面積と等しい円筒火災を生ずるものと想定し、次の式から燃焼半径 R [m] を算出する。

$$R = \sqrt{S/\pi} \quad [\text{m}]$$

R : 燃焼半径[m], S : 防油槽面積 (= 燃焼面積) [m²]

第 6-5 表 危険物施設毎の燃焼半径（原子炉施設建屋外壁の評価）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
燃焼半径 R [m]	10.404	7.882	7.691	11.012	3.893 (軽油) 1.402 (潤滑油)

d. 外壁に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、号炉軽油タンク，3号炉軽油タンク（A及びB），大容量電源装置の火災を想定して評価を実施した。

(b) 火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離を第 6-6 表に示す。

第 6-6 表 火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離

想定火災源		原子炉 建屋 [m]	制御 建屋 [m]	タービン 建屋 [m]
1号炉 軽油タンク		201	179	105
3号炉 軽油タンク	A	206	304	303
	B	191	289	287
	A+B	191	289	287
大容量 電源装置		407	447	479

(c) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

第 6-7 表 危険物施設毎の形態係数（原子炉施設建屋外壁の評価）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
原子炉建屋 Φ [-]	5.246×10^{-3}	2.857×10^{-3}	3.167×10^{-3}	6.513×10^{-3}	1.987×10^{-4}
制御建屋 Φ [-]	6.620×10^{-3}	1.306×10^{-3}	1.376×10^{-3}	2.834×10^{-3}	1.647×10^{-4}
タービン建屋 Φ [-]	1.909×10^{-2}	1.314×10^{-3}	1.395×10^{-3}	2.874×10^{-3}	1.434×10^{-4}

(d) 輻射強度の算出

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。

$$E = Rf \cdot \Phi$$

E ：輻射強度 [W/m^2]， Rf ：火炎輻射発散度 [W/m^2]， Φ ：形態係数

第 6-8 表 危険物施設毎の輻射強度（原子炉施設建屋外壁の評価）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
原子炉建屋 E [W/m^2]	221	121	133	274	9
制御建屋 E [W/m^2]	279	55	58	120	7
タービン建屋 E [W/m^2]	802	56	59	121	7

(e) 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

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 6-9 表 危険物施設毎の燃焼継続時間（原子炉施設建屋外壁の評価）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
質量低下速度 M [kg/(m ² ·s)]	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044 (軽油) 0.039 (潤滑油)
燃料密度 ρ [kg/m ³]	860	860	860	860	860 (軽油) 895 (潤滑油)
燃焼継続時間 t [s]	35,686	33,093	34,758	33,905	37,233

e. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

(b) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設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、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井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、

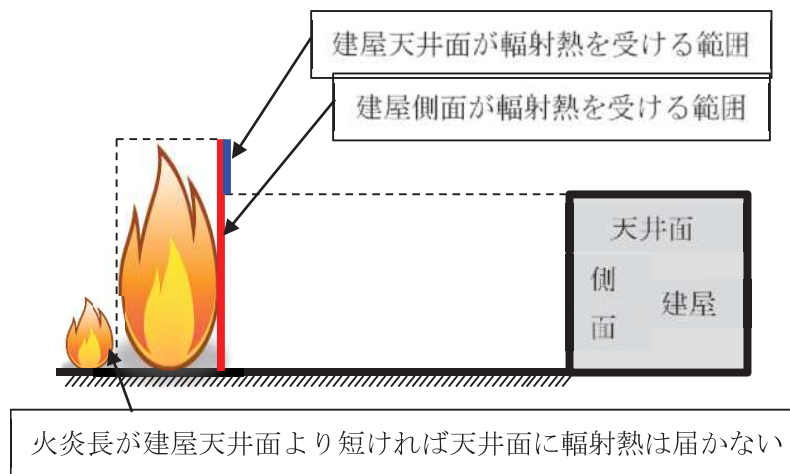
その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 6-3 図に示す。

- ・ 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。

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

- T : 外壁表面温度 (°C)
 T_0 : 初期温度 (50°C)
 E : 輻射強度 (W/m²)
 α : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (m²/s)
 ρ : コンクリート密度 (2,400 kg/m³)
 C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)
 λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)
 x : コンクリート深さ (外表面のため 0m で算出)
 t : 燃焼継続時間 (s)

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)



第 6-3 図 天井スラブの評価概念図

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°C 以下であることを確認した。評価結果を第 6-10 表に示す。

第 6-10 表 危険物施設毎の熱影響評価結果（原子炉施設建屋外壁の評価）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
原子炉建屋 外壁温度[°C]	約 74	約 63	約 64	約 79	約 51
制御建屋 外壁温度[°C]	約 80	約 56	約 57	約 63	約 51
タービン建屋 外壁温度[°C]	約 136	約 56	約 57	約 63	約 51

(2) 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設のうち、1号炉軽油タンク、3号炉軽油タンク(A及びB)、大容量電源装置の火災を想定して、腹水貯蔵タンクへの火災影響評価を実施する。

b. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第6-11表に示す。

第6-11表 危険物施設と復水貯蔵タンクとの離隔距離

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
復水貯蔵タンク との距離	294	189	174	174	435

c. 燃焼半径の算出

(1) c. 同様

d. 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数 H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 離隔距離(m)

第6-12表 危険物施設毎の燃焼半径 (復水貯蔵タンク評価)

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
形態係数 ϕ [-]	2.442×10^{-3}	3.398×10^{-3}	3.820×10^{-3}	7.850×10^{-3}	1.739×10^{-4}

e. 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。

$$E = R_f \cdot \phi$$

E：輻射発散度(W/m²), R_f：輻射発散度(W/m²), φ：形態係数

第 6-13 表 危険物施設毎の輻射強度（復水貯蔵タンク評価）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
輻射強度 E [W/m ²]	103	143	161	330	8

f. 燃焼継続時間の算出

(1) f. 同様

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66℃とする。なお、温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

(b) 評価結果

以下の比熱の公式からタンク温度を算出する。タンク温度算出に必要なとなるデータを示す。

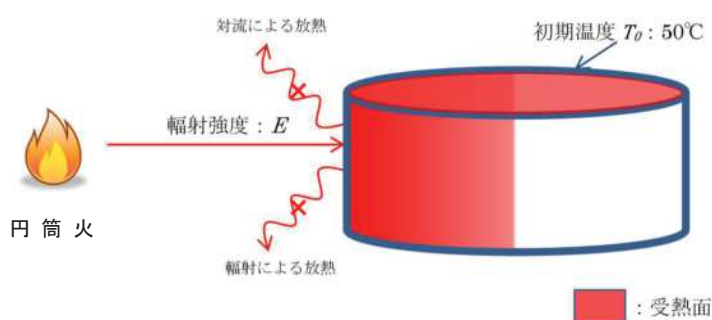
$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

- T₀ : 初期温度 (50[°C])
- E : 輻射強度 [W/m²]
- t : 燃焼継続時間 [s]
- D_o : タンク外径 (20.012[m])
- h : タンク円筒高さ (11.8[m])
- ρ_w : 水の密度 (979.9 [kg/m³]) ※1
- C_{pw} : 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) ※1
- V : 水の体積 (690[m³])
- ρ_s : タンク壁材密度 (7860[kg/m³]) ※2
- C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg/K]) ※2
- D_i : タンク内径 (20.0[m])
- e : タンク最小板厚 (0.006[m])

- ※1：伝熱工学資料第5版記載値（軽水）を66℃となるように線形補間した値
- ※2：伝熱工学資料第5版記載値（キルド鋼）

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており，直接輻射がタンクに到達する構造ではないが，評価にあたっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお，復水貯蔵タンク温度評価にあたっては，対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

復水貯蔵タンクの評価概念図を第6-4図に示す。



第6-4図 復水貯蔵タンクの評価概念図

温度評価を実施し，復水貯蔵タンク温度は許容温度である66℃を下回ることを確認した。

第6-14表 危険物施設毎の熱影響評価（復水貯蔵タンク評価）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
復水貯蔵タンク 温度 T [°C]	約 51	約 52	約 52	約 53	約 51

(3) 排気筒に対する熱影響評価

a. 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。

b. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第 6-15 表に、排気筒外形図を第 6-5 図に示す。

第 6-15 表 評価対象施設の仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 3.7m	
	地表高さ 160m	
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第 6-5 図 評価対象施設の外形図

第 6-16 表 危険物施設と排気筒との離隔距離

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
排気筒 との距離	431	214	207	207	206

c. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

d. 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

φ: 形態係数 H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 離隔距離(m)

第 6-17 表 危険物施設毎の形態係数（排気筒）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
形態係数 ϕ [-]	1.131×10^{-3}	2.647×10^{-3}	2.693×10^{-3}	5.543×10^{-3}	7.799×10^{-4}

e. 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。

$$E = R_f \cdot \phi$$

E：輻射発散度 (W/m^2)， R_f ：輻射発散度 (W/m^2)， ϕ ：形態係数

第 6-18 表 危険物施設毎の輻射強度（排気筒）

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
輻射強度 E [W/m^2]	48	112	114	233	33

f. 燃焼継続時間の算出

(1) f. と同様。

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」では、鋼材の制限温度を 350℃としていること、また、「建築火災のメカニズムと火災安全設計」では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 κ (T) が示されており、一般的な鋼材において温度が 325℃以下であれば、その強度が常温時と変わらないとしていることから、保守的に 325℃を許容温度とする。

(b) 評価結果

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

なお、評価にあたって排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が危険物施設との距離が近いこと、材質も支持鉄塔は SS400 及び STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持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 6-4 図に示す。

受熱面の輻射強度は時間によらず一定である。したがって、排気筒の温度上昇の最大値 T は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、排気筒の温度評価を実施した。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T - T_0)$$

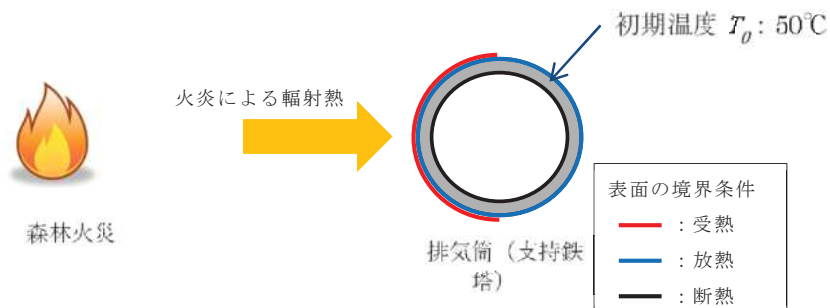
- ε : 吸収率 0.9[-]
- E : 輻射強度 [W/m²]
- D_o : 外径 [m]
- h : 熱伝達率 17 [W/m²/K]
- T_0 : 初期温度 50 [°C]

(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)

上式の左辺は輻射による受熱を表し，右辺は放熱を表す。これを変形すると

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

と表せ，これを用いて温度評価を実施し，許容温度 325°C 以下であることを確認した。



第 6-6 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 6-18 表に示す。

第 6-19 表 危険物施設毎の熱影響評価 (排気筒)

排気筒温度 T_{max} [°C]	1 号炉 軽油タンク	3 号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
	約 52	約 53	約 53	約 57	約 51

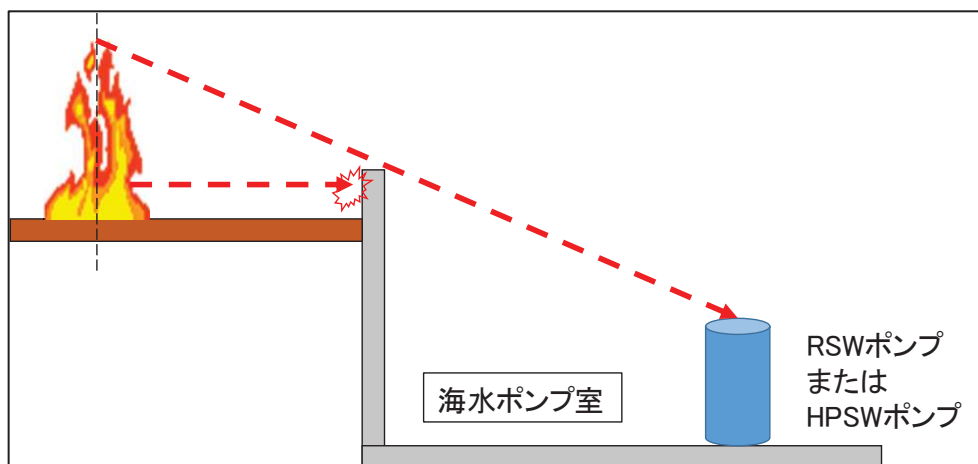
(4) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。

評価においては、海水ポンプ室の壁による遮熱効果を考慮せず、側面から直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 6-7 図、海水ポンプ室内配置を第 6-8 図、外形図を第 6-9 図、仕様を第 6-20 表に示す。

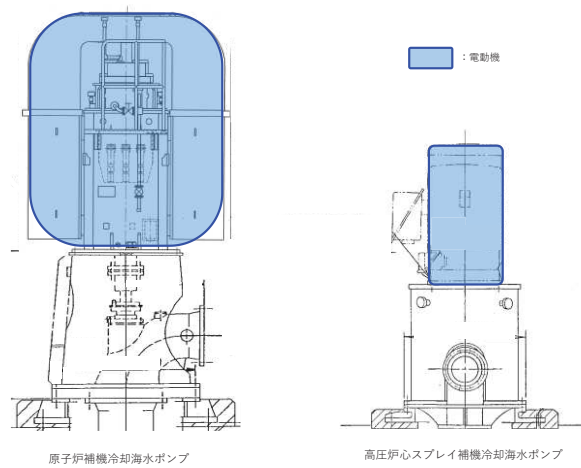
電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり、そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要な冷却空気の温度が、許容温度以下となることを確認する。



第 6-7 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係



第 6-8 図 海水ポンプの配置図



第 6-9 図 海水ポンプの外形図

第 6-20 表 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却 海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

b. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプを内包する海水ポンプ室から火災源までの離隔距離を第 6-21 表に示す。

第 6-21 表 敷地内危険物施設から海水ポンプ室までの離隔距離

離隔距離 [m]	1 号炉 軽油タンク	3 号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
海水ポンプ室	199	257	243	243	502

c. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

d. 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 6-22 表に示す。

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

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

φ: 形態係数 H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 離隔距離(m)

第 6-22 表 敷地内危険物施設の形態係数

形態係数 [-]	1 号炉 軽油タンク	3 号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
φ	5.353 × 10 ⁻³	1.831 × 10 ⁻³	1.950 × 10 ⁻³	4.016 × 10 ⁻³	軽油 : 1.155 × 10 ⁻⁴ 潤滑油 : 0.149 × 10 ⁻⁴

e. 輻射強度の算出

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 6-23 表に示す。

$$E = R_f \cdot \phi$$

E : 輻射発散度(W/m²), R_f : 輻射発散度(W/m²), φ : 形態係数

第 6-23 表 敷地内危険物施設の輻射強度

	1 号炉 軽油タンク	3 号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
輻射強度 [W/m ²]	224.8	76.9	82.0	168.7	5.49

f. 判断の考え方

(a) 許容温度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度、通常運転時の上昇温度をそれぞれ第 6-22 表、第 6-24 表に示す。

第 6-24 表 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	40 ^{※1}	55 ^{※2}
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	55 ^{※2}	55 ^{※2}

※1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 40°C を冷却空気の許容温度に設定

※2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 55°C を冷却空気の許容温度に設定

第 6-25 表 海水ポンプの通常運転時の上昇温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	27	18.7
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	32	41

(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、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め、第 6-23 表に示す許容温度を下回るかを比熱の公式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 6-26 表に示す。

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

T：評価温度(°C)，T₀：通常運転時の上昇温度，

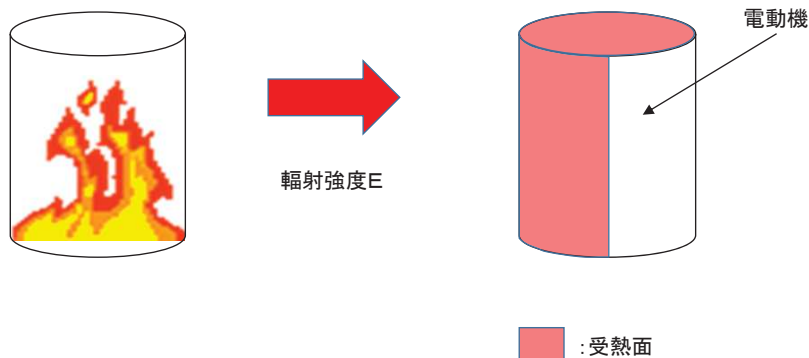
E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(kg/s)，A_T：輻射を受ける面積(m²)

C_p：空気比熱(1,008J/kg/K)

第 6-26 表 評価に用いた諸元

対象機器	受熱面積 [m ²] Ar	重量流量 [kg/s] G	空気比熱 [J/kg/K] Cp
原子炉補機 冷却海水ポンプ	13.19	3.32	1008
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	1.19	0.55	1008



第 6-10 図 評価概念図

(c) 評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 6-27 表に示す。

第 6-27 表 評価対象施設に対する熱影響評価結果

		1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置	許容温度 [°C]
			A	B	A+B		
原子炉補機冷却 海水ポンプ	上部軸受温度[°C]	約 28	約 28	約 28	約 28	約 28	< 40
	下部軸受温度[°C]	約 20	約 20	約 20	約 20	約 19	< 55
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	上部軸受温度[°C]	約 33	約 33	約 33	約 33	約 33	< 55
	下部軸受温度[°C]	約 42	約 42	約 42	約 42	約 42	< 55

4. まとめ

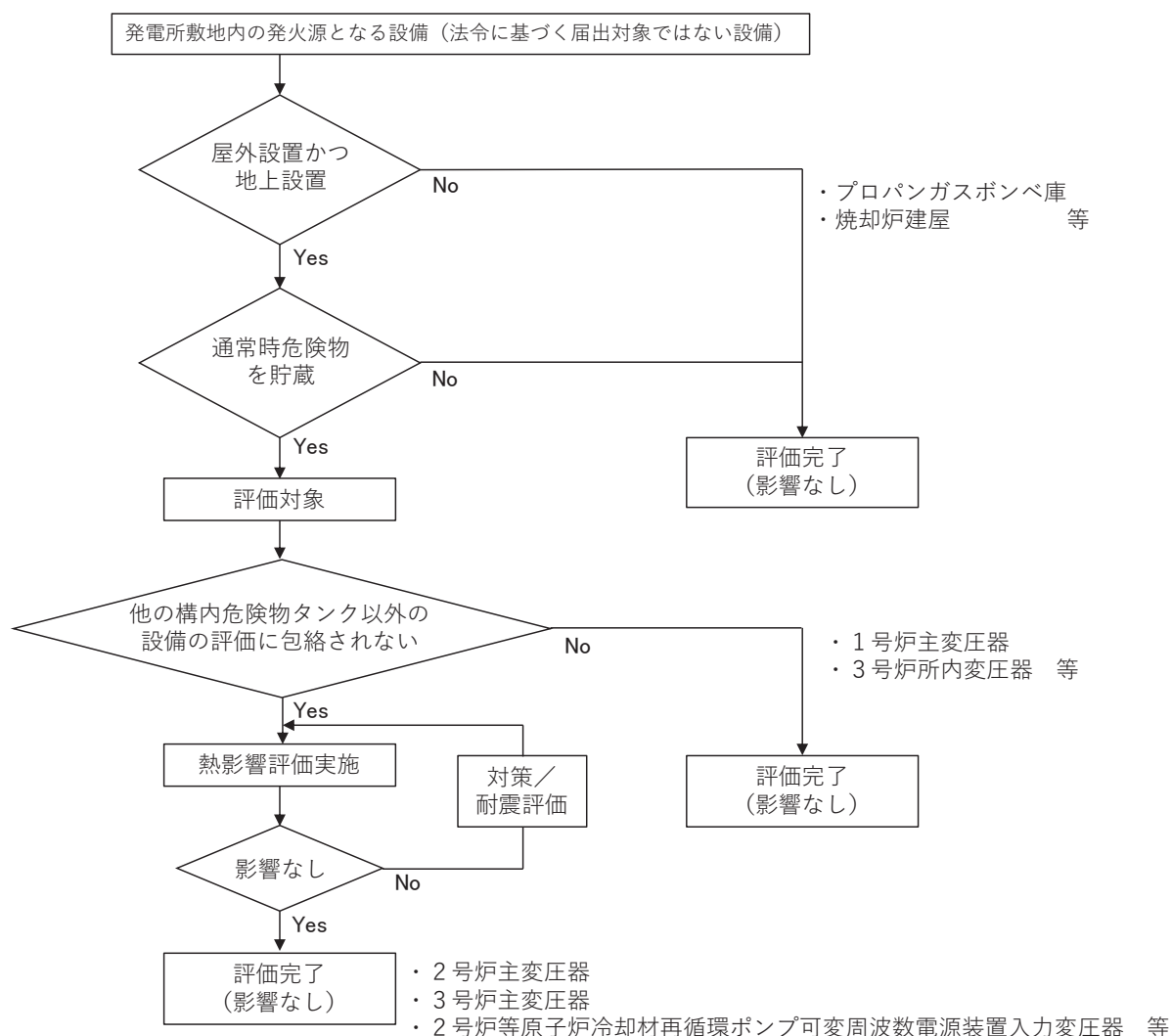
以上の結果から、発電所敷地内の危険物施設において火災が発生した場合を想定したとしても、原子炉施設（原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋）の外壁温度、復水貯蔵タンク温度、排気筒温度及び海水ポンプ温度が許容温度を超えないことから、発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

5. 構内危険物施設以外の設備の火災影響評価

評価対象範囲

消防法に基づく届出対象施設ではない施設について、火災影響評価を実施する。評価対象とする設備を危険物施設と同様に第 6-11 図のフローに基づき抽出する（第 6-28 表）。危険物を貯蔵し屋外に設置している設備を想定発火源（主変圧器等）とする。

なお、薬品を取り扱う設備は輻射熱を受けない屋内設置であること、外部への火災が発生する可能性が低いことから、評価対象から除外する。



第 6-11 図 構内危険物施設以外の設備のうち評価対象抽出フロー

第 6-28 表 その他の危険物

号炉	設備名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
共用	予備変圧器	絶縁油（重油相当）	10,000L	×（※1）
1号炉	主変圧器	絶縁油（重油相当）	100,000L	×（※1）
	起動変圧器	絶縁油（重油相当）	48,000L	×（※1）
	所内変圧器	絶縁油（重油相当）	14,000L	×（※1）
2号炉	主変圧器	絶縁油（重油相当）	138,000L	×（※4）
	起動変圧器	絶縁油（重油相当）	66,000L	○
	所内変圧器	絶縁油（重油相当）	15,000L	○
	励磁変圧器	絶縁油（重油相当）	7,800L	×（※4）
	補助ボイラー変圧器	絶縁油（重油相当）	24,400L	○
	静止型原子炉再循環ポンプ用 電源装置入力変圧器	絶縁油（重油相当）	6,250L	○
3号炉	主変圧器	絶縁油（重油相当）	138,000L	○
	起動変圧器	絶縁油（重油相当）	40,000L	○
	所内変圧器	絶縁油（重油相当）	13,000L	×（※1）
	励磁変圧器	絶縁油（重油相当）	7,400L	○
	補助ボイラー変圧器	絶縁油（重油相当）	18,000L	×（※2）
	静止型原子炉再循環ポンプ 用電源装置入力変圧器	絶縁油（重油相当）	6,250L	×（※3）
共用	焼却炉用 プロパンガスボンベ	L P ガス	1000kg	×（屋内設置）
1号炉	補助ボイラー用 プロパンガスボンベ	L P ガス	400kg	×（屋内設置）
1号炉	水素ガスボンベ	水素ガス	52.1556kg	×（屋内設置）
2号炉	水素ガスボンベ	水素ガス	37.254kg	×（屋内設置）
3号炉	水素ガスボンベ	水素ガス	26.0778kg	×（屋内設置）

- ※1 より近く燃料量も大きい3号炉主変圧器に包絡される
- ※2 より近く燃料量も大きい3号炉起動変圧器に包絡される
- ※3 燃料量が同じのため、より近い2号炉静止型原子炉再循環ポンプ
用電源装置入力変圧器に包絡される
- ※4 耐火隔壁により建屋へ輻射熱が直接届かないため

(1) 変圧器火災による熱影響評価

a. 評価方針

発電所敷地内変圧器は危険物施設ではないが燃焼する油を内包していることから、火災源として原子炉施設への熱影響評価を実施する。

b. 評価対象の考え方

(a) 発電所敷地内の発火源となる変圧器

発電所敷地内に設置している変圧器のうち、評価対象とするものを第 6-25 表に基づき抽出する。

(b) 評価対象とする変圧器

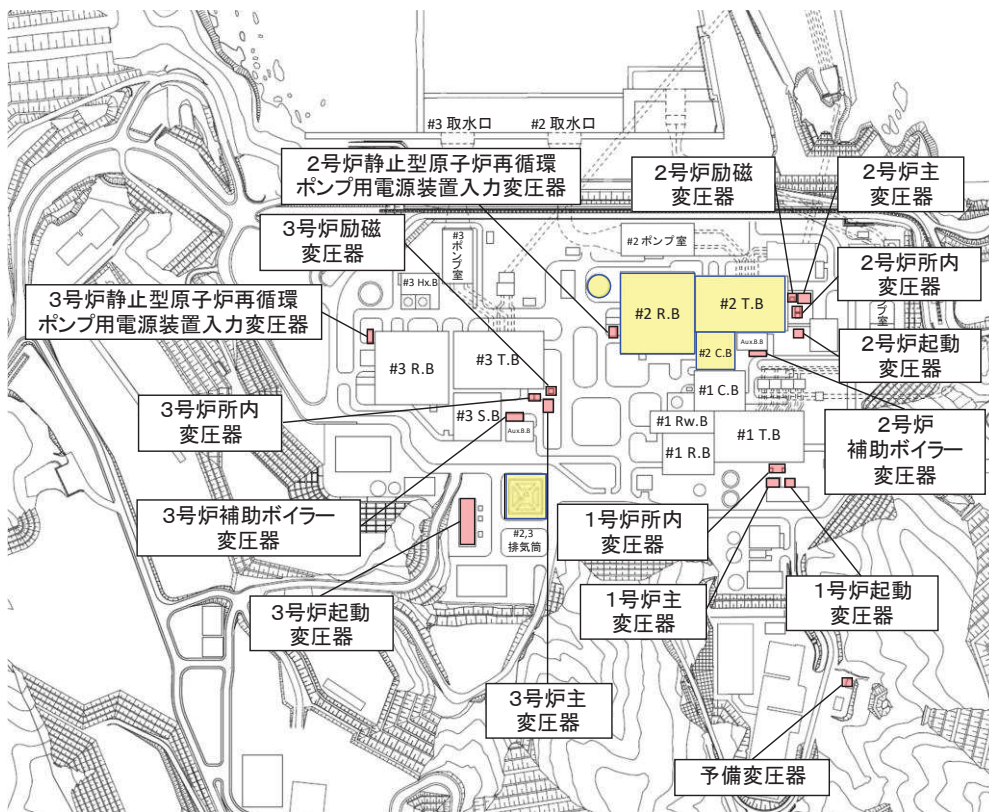
抽出の結果、以下の変圧器を評価対象とした。

<評価対象変圧器>

- ・ 2 号炉起動変圧器
- ・ 2 号炉所内変圧器
- ・ 2 号炉補助ボイラー変圧器
- ・ 静止型原子炉再循環ポンプ用電源装置入力変圧器（以下，「PLR-VVVF 変圧器という」）
- ・ 3 号炉主変圧器
- ・ 3 号炉起動変圧器
- ・ 3 号炉励磁変圧器

第 6-29 表 変圧器の燃料量

		油種	燃料量 [k]
共用	予備変圧器	絶縁油	10
1号炉	主変圧器	絶縁油	100
	起動変圧器	絶縁油	48
	所内変圧器	絶縁油	14
2号炉	主変圧器	絶縁油	138
	起動変圧器	絶縁油	66
	所内変圧器	絶縁油	15
	励磁変圧器	絶縁油	7.8
	補助ボイラー変圧器	絶縁油	24.4
	静止型原子炉再循環ポンプ 用電源装置入力変圧器	絶縁油	6.25
3号炉	主変圧器	絶縁油	1.38
	起動変圧器	絶縁油	40
	所内変圧器	絶縁油	13
	励磁変圧器	絶縁油	7.4
	補助ボイラー変圧器	絶縁油	18
	静止形原子炉再循環ポンプ 電源装置入力変圧器	絶縁油	6.25



第 6-12 図 女川原子力発電所敷地内における変圧器の位置

c. 温度影響評価

(a) 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。

i. 想定条件

- (i) 評価対象とする変圧器は、前項で抽出した変圧器を想定した。
- (ii) 離隔距離は、評価上厳しくなるよう i. で想定した変圧器位置から原子炉施設までの直線距離とした。
- (iii) 変圧器の損傷による変圧器の全面火災を想定する。
- (iv) 気象条件は無風状態とした。
- (v) 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。
- (vi) 黒煙の発生による輻射発散度の低減は無いものとした。

ii. 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、半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火災モデルを採用した。

(b) 評価手法の概要

本評価は、発電所に対する変圧器の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 6-30 表 変圧器火災の評価指標

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]*	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	変圧器規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	変圧器から原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建屋外壁，復水貯蔵タンク，排気筒が想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

※：油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減が無いものとする。

(c) 原子炉施設に対する熱影響評価

i. 評価対象範囲

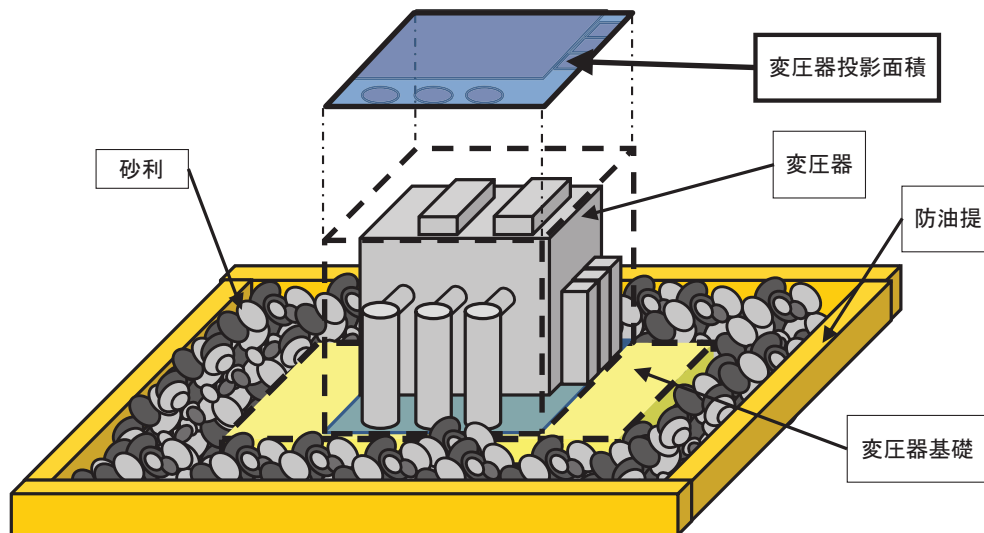
発電所敷地内に設置している屋外の変圧器のうち、前項で抽出した変圧器の火災を想定して、原子炉施設への熱影響評価を実施する。

ii. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりである

第 6-31 表 変圧器火災影響評価に必要なデータ一覧

変圧器	2号炉				3号炉		
	起動変圧器	所内変圧器	補助ホイラー変圧器	PLR-VVVF変圧器	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
燃料量 V [m ³]	66	15	24.4	6.25	138	40	7.4
輻射発散度 Rf [W/m ²]	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
燃焼速度 v [m/s]	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}
変圧器投影面積 S [m ²]	70	26	30	13	109	44	15
離隔距離 L [m]	原子炉建屋			4.85	87.55		79.98
	制御建屋	67.35		16.85	154.65		
	タービン建屋		7.12				
	復水貯蔵タンク				118.33		104.34
	排気筒				81.69	27.50	



第 6-13 図 変圧器の投影面積

(d) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には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 6-13 図に、算出結果を第 6-32 表に示す。

$$R = \sqrt{S/\pi} \quad [\text{m}]$$

R : 燃焼半径 [m], S : 変圧器の投影面積 (= 燃焼面積) [m²]

第 6-32 表 変圧器火災の燃焼半径

変圧器	2号炉				3号炉		
	起動変圧器	所内変圧器	補助ボイラー変圧器	PLR-VVVF変圧器	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
燃焼半径 R [m]	4.721	2.877	3.091	2.035	5.891	3.743	2.186

(e) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

第 6-33 表 変圧器火災の形態係数

変圧器	2号炉				3号炉		
	起動変圧器	所内変圧器	補助ホィラー変圧器	PLR-VVVF変圧器	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
原子炉建屋 Φ [-]				2.008×10^{-1}	8.873×10^{-3}		1.452×10^{-3}
制御建屋 Φ [-]	9.627×10^{-3}		6.021×10^{-2}		2.832×10^{-3}		
タービン建屋 Φ [-]		1.920×10^{-1}					
復水貯蔵タンク Φ [-]					4.852×10^{-3}		8.501×10^{-4}
排気筒 Φ [-]					1.019×10^{-2}	3.508×10^{-2}	

(f) 輻射強度の算出

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。

$$E = Rf \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 [W/m^2], Rf : 火炎輻射発散度 [W/m^2], Φ : 形態係数

第 6-34 表 変圧器火災の輻射強度

変圧器	2号炉				3号炉		
	起動変圧器	所内変圧器	補助ホィラー変圧器	PLR-VVVF変圧器※	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
原子炉建屋 E [W/m^2]				4,619	205		34
制御建屋 E [W/m^2]	222		1,385		66		
タービン建屋 E [W/m^2]		4416					
復水貯蔵タンク E [W/m^2]					112		20
排気筒 E [W/m^2]					235	807	

(g) 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

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 6-35 表 変圧器火災の燃焼継続時間

変圧器	2号炉				3号炉		
	起動 変圧器	所内 変圧器	補助 ボイラー 変圧器	PLR- VVVF 変圧器	主 変圧器	起動 変圧器	励磁 変圧器
質量低下速度 M [kg/(m ² ・s)]	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
燃料密度 ρ [kg/m ³]	910	910	910	910	910	910	910
燃焼継続時間 t [s]	22,030	13,480	19,004	11,233	29,581	21,241	11,527

(h) 判断の考え方

i. 建屋外壁

(i) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

(ii) 耐火性能の評価結果

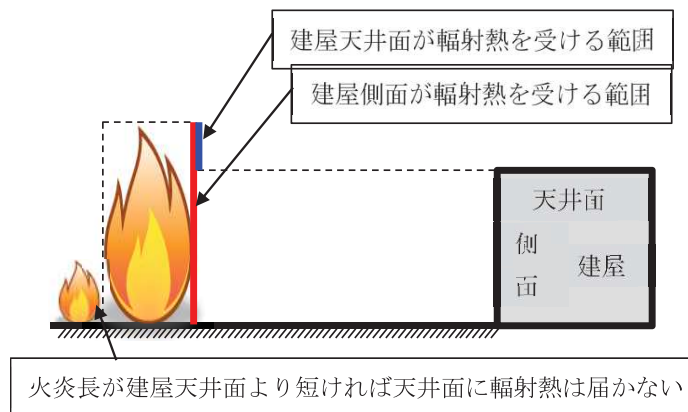
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱を考慮した。

- ・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 6-12 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。

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

- T : 外壁表面温度 (°C)
 T_0 : 初期温度 (50°C)
 E : 輻射強度 (W/m²)
 h : コンクリート熱伝達率 (17 W/m²/K)
 α : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (m²/s)
 ρ : コンクリート密度 (2,400 kg/m³)
 C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)
 λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)
 x : コンクリート深さ (外表面のため 0m で算出)
 t : 燃焼継続時間 (s)

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)



第 6-14 図 天井スラブの評価概念図

ii. 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

(i) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66℃とする。なお、温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

(ii) タンク温度の算出

以下の比熱の公式からタンク温度を算出する。タンク温度算出に必要なとなるデータを示す。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T_0	: 初期温度 (50[℃])
E	: 輻射強度 [W/m ²]
t	: 燃焼継続時間 [s]
D_o	: タンク外径 (20.012[m])
h	: タンク円筒高さ (11.8[m])
ρ_w	: 水の密度 (979.9 [kg/m ³]) ※1
C_{pw}	: 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) ※1
V	: 水の体積 (690[m ³])
ρ_s	: タンク壁材密度 (7860 [kg/m ³]) ※2
C_{ps}	: タンク壁材比熱 (473 [J/kg/K]) ※2
D_i	: タンク内径 (20.0[m])
e	: タンク最小板厚 (0.006[m])

※1: 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66℃となるように線形補間した値

※2: 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

iii. 排気筒に対する熱影響評価

(i) 許容温度

「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」では、鋼材の制限温度を 350℃としていること、また、「建築火災のメカニズムと火災安全設計」では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 $\kappa(T)$ が示されており、一般的な鋼材において温度が 325℃以下であれば、その強度が常温時と変わらないとしていることから、保守的に 325℃を許容温度とする。

(ii) 評価結果

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

なお、評価にあたって排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が危険物タンクとの距離が近いこと、材質も支持鉄塔は SS400 及び STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

受熱面の輻射強度は時間によらず一定である。したがって、排気筒の温度上昇の最大値 T は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、排気筒の温度評価を実施した。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T - T_0)$$

- ε : 吸収率 0.9[-]
 E : 輻射強度 [W/m²]
 D_o : 外径 [m]
 h : 熱伝達率 17[W/m²/K]
 T_0 : 初期温度 50[°C]

※1: 伝熱工学資料

※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。）

上式の左辺は輻射による受熱を表し、右辺は放熱を表す。これを変形すると

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

と表せる。

(i) 評価結果

建屋外壁，復水貯蔵タンク，排気筒の温度評価結果を以下に示す。

第 6-36 表 変圧器火災の熱影響評価結果

変圧器	2号炉				3号炉		
	起動変圧器	所内変圧器	補助ボイラー変圧器	PLR-VVVF変圧器	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
原子炉建屋外壁温度 [°C]				約 198	約 59		約 52
制御建屋外壁温度 [°C]	約 59		約 101		約 53		
タービン建屋外壁温度 [°C]		約 198					
復水貯蔵タンク温度 [°C]					約 51		約 51
排気筒温度 [°C]					約 57	約 72	

※許容温度：壁温度 200°C，復水貯蔵タンク 66°C，排気筒 325°C

d. まとめ

以上の結果から，発電所敷地内の変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても，原子炉施設（原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋）外壁温度，復水貯蔵タンク温度及び排気筒温度が許容温度を超えないことから，発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはない。

6. 構内危険物施設における延焼の危険性について

軽油タンク及び大容量電源装置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，社内文書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，軽油タンクの火災を想定したとしても周囲の可燃物への引火の可能性は低いと評価する。

7. 発電用原子炉施設の外壁に設置されている機器の火災影響評価

発電用原子炉施設の外壁に設置されている機器（防護扉等）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。

（1）評価対象範囲

評価対象は、発電用原子炉施設の外壁に設置されている機器のうち、外部火災の熱影響を受ける以下の機器とする。

- ・ 2号炉 DG(A) 室外扉及び DG(A) 室
- ・ ルーバ（換気空調系の給・排気口）
- ・ 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（発熱源に近く、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。

発熱源は、火災時の輻射強度が大きい軽油タンク、変圧器、航空機とするが、建屋内への熱影響が確認された場合は内気温度についても評価する。

（2）2号炉 DG(A) 室外扉及び DG(A) 室の熱影響評価

a. 外扉の温度評価

（a）評価対象

室内に防護対象設備を内包する部屋の外扉のうち、3号炉軽油タンクに面している原子炉建屋北側に位置しており、輻射強度が最も大きくなる2号炉非常用ディーゼル発電機（A）室（以下、DG(A)室）の外扉を評価対象とする。

なお、室内に防護対象設備を内包する部屋の扉には、他に2号炉非常用ディーゼル発電機（B）室、2号炉 HPCS ディーゼル発電機室の外扉があるが、どちらも原子炉建屋東側に面しており、3号炉軽油タンクからの離隔距離は2号炉非常用ディーゼル発電機（A）室より離れているため、両扉の熱影響評価は2号炉非常用ディーゼル発電機（A）室の熱影響評価に包絡される。

原子炉建屋外扉と火災源との位置関係を第 6-14 図に示す。

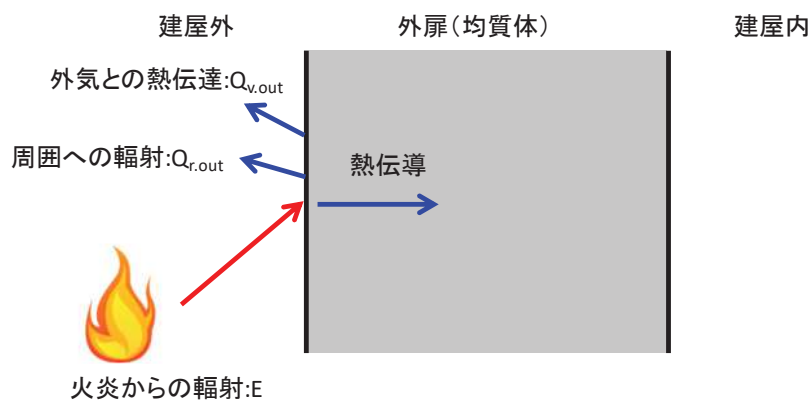


第 6-15 図 想定する 3 号炉軽油タンク火災と航空機落下火災の火災源と原子炉建屋外扉の位置図

(b) 想定条件

- i. 火災源は、3 号炉軽油タンク及び航空機落下とした。
- ii. 外扉は、保守的に、扉外面の最も熱影響を受けやすい金属を外扉の構造材（均質体）とした。
- iii. 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。

以下に、概念図を示す。



第 6-16 図 伝熱の概念図

(c) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 6-37 表 建屋外壁の熱影響評価パラメータ

項目	パラメータ	備考
扉材質	軟鋼	-
外気温度[°C]	50	-
内気初期温度[°C]	44.4	-
外面熱伝達率[W/(m ² ・K)]	図 6-12 参照	自然対流熱伝達率 (Bayley の式)
内面熱伝達率[W/(m ² ・K)]	図 6-12 参照	自然対流熱伝達率 (Bayley の式)
扉の熱伝導率[W/(m・K)]	51.6	軟鋼相当
扉の厚さ[m]	0.088	-
外面放射率(吸収率)[-]	0.9	伝熱工学資料
内面放射率[-]	0	輻射放熱はゼロとする
扉の熱拡散率[m ² /s]	1.388×10^{-5}	軟鋼相当
シュテファン・ボルツマン定数 [W/(m ² ・K ⁴)]	5.67×10^{-8}	伝熱工学資料

Bayley の式

$$Nu = hL/\lambda = 0.10Ra^{1/3}$$

$$Ra = g \beta (T_w - T_\infty)L^3 / \nu \alpha$$

より，自然対流熱伝達率 h は次式から求められる。

$$h = 0.10 \lambda (g \beta (T_w - T_\infty) / \nu \alpha)^{1/3}$$

と表せる。ここで，

h : 熱伝達率 [$W/m^2/K$]

T_w : 平板の表面温度 [$^{\circ}C$]

T_∞ : 物体から離れた位置での周囲流体の温度 [$^{\circ}C$]

Nu : ヌセルト数 [—]

L : 平板の加熱域の高さ [m]

λ : 空気の境膜平均温度 (扉面温度 T と周囲流体温度 T_{out} の平均値) での熱伝導率 [$W/m/K$]

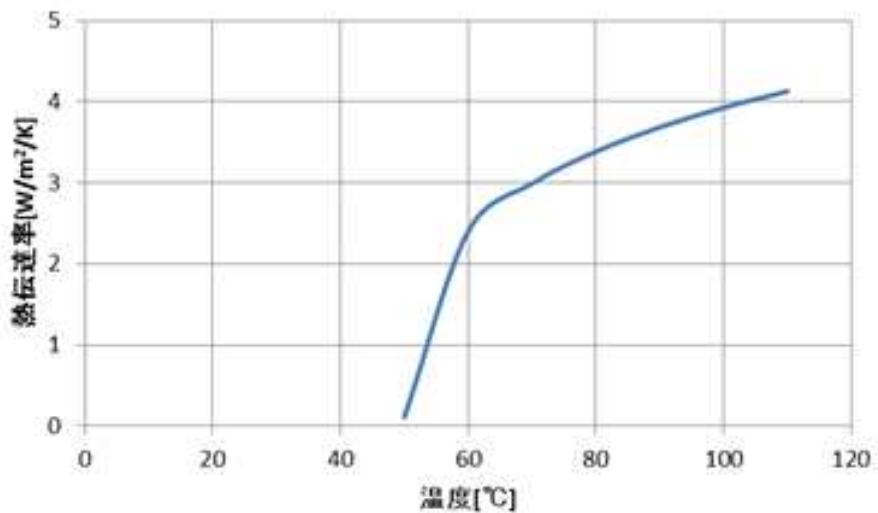
Ra : レイリー数 [—]

g : 重力加速度 [m/s^2]

β : 体膨張率 [$1/K$]

ν : 動粘性率 [m^2/s]

α : 熱拡散率 [m^2/s] ($=\lambda / (\rho C_p)$)



第 6-17 図 自然対流熱伝達 (Bayley の式)

(d) 外扉の内外面温度と膨張量の算出

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外扉外面及び内面温度を求める。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

ここで、

T：温度[°C]

t：時刻[s]

x：外扉における外面からの距離[m]

α ：熱拡散率[m²/s]

評価結果を第 6-38 表に示す。

第 6-38 表 外扉温度評価結果

外扉外側[°C]	外扉内側[°C]
約 106	約 104

(e) 熱影響の有無の評価

評価の結果、3 号炉軽油タンク及び航空機落下の重畳火災による外扉の最高温度は、扉外面約 106°C、扉内面約 104°Cとなった。

b. DG(A)室の温度評価

建屋内に設置されているディタンクからの燃料供給により、非常用ディーゼル発電機を運転している状態とし、その時の内気温度を算出、室内に設置している機器等への影響について評価する。

(a) 評価条件

- i. 火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、扉内面温度約104℃一定としたときの放熱量を評価対象室への入熱とした。
- ii. 評価対象室から隣接室への熱影響を評価するため、評価対象室から壁、床、天井への放熱を考慮した。
- iii. 隣接室については、隣接する壁、床、天井への放熱を考慮しないものとした。
- iv. 隣接室の内気温度評価は、評価対象室の放熱面積と隣接室の室内負荷が最も大きい、評価対象室隣接の非常用ディーゼル発電機(A)制御盤室を対象とすることで、他の隣接室内機器等への評価は包絡される。
- v. 非常用ディーゼル発電機は、110%出力一定で運転しているものとした。
- vi. 隣接室内の負荷（電気品等）は非常用ディーゼル発電機の運転時のものとした。
- vii. 非常時を想定し、非常用送風機は運転状態とするが、常用換気空調系による給気の除熱には期待しないものとした（常用換気空調系の電源は非常用電源にも接続されており、送風機は非常時も運転可能）。

(b) 建屋内の温度評価

内気温度は、火災による外扉内面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び周囲壁と空調による除熱を考慮し、次式で求める。

$$T'_R = T_R + \frac{Q_1 + Q_D - Q_V - Q_{HR}}{C_a} \cdot t$$

T_R : 初期内気温度

Q_1 : 室内負荷

Q_D : 外扉内面温度上昇に伴う熱負荷（内気との熱伝達）

Q_V : 空調による除熱量

Q_{HR} : 隣接室への放熱量

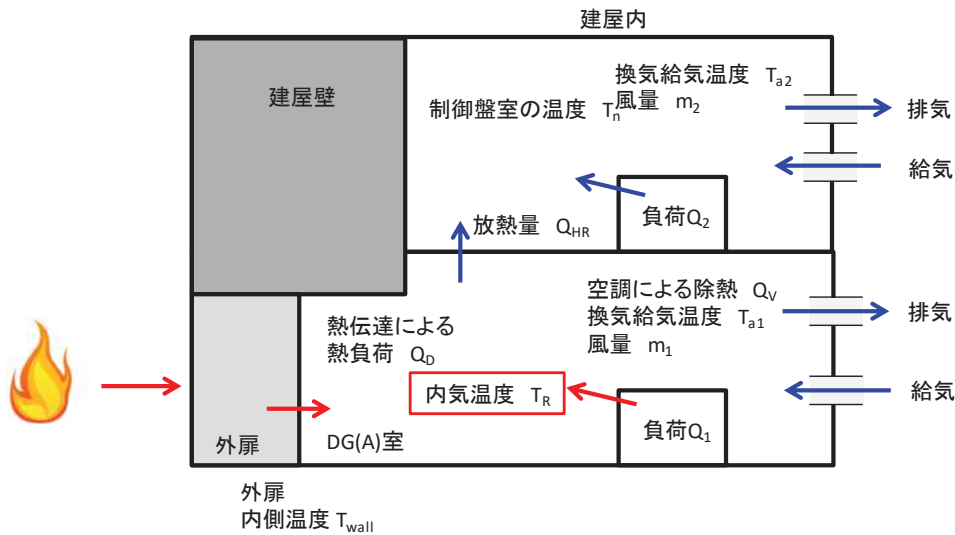
C_a : 室内空気の熱容量

t : 時刻

隣接室の内気温度については，隣接室への放熱量と室内の熱負荷及び空調による除熱を考慮し，次式より求める。

$$T_n = \frac{Q_2 + Q_{HR}}{m\rho C} + T_a$$

- Q_2 : 室内負荷
- m : 風量
- ρ : 空気密度
- C : 空気比熱
- T_a : 空調給気温度



第 6-18 図 評価概念図

以下に評価結果を示す。

第 6-39 表 非常用ディーゼル発電機 (A) 室及び
非常用ディーゼル発電機 (A) 制御盤室の熱影響評価結果

	2号炉非常用ディーゼル 発電機 (A) 室 (評価対象室)	2号炉非常用ディーゼル 発電機 (A) 制御盤室 (隣接室)
内気温度 [°C]	44.6	39.9
許容温度 [°C]	45.0 ^{※1}	40.0 ^{※2}
初期温度 [°C]	44.4	38.1

※1 : 室内の電気設備 (非常用ディーゼル発電機) の最高使用温度

※2 : 室内の電気設備 (制御盤) の最高使用温度

(c) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、軽油タンク火災による外扉の加熱を想定したとしても、建屋内の2号炉非常用ディーゼル発電機(A)室及び隣接室の内気温度が、共に許容温度を超えないことから原子炉施設の建屋内への熱影響はない。

なお、内気温度については、(a)評価条件に加え、各部の温度に設計値を用いる等、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評価する。

(3) ルーバの火災影響評価について

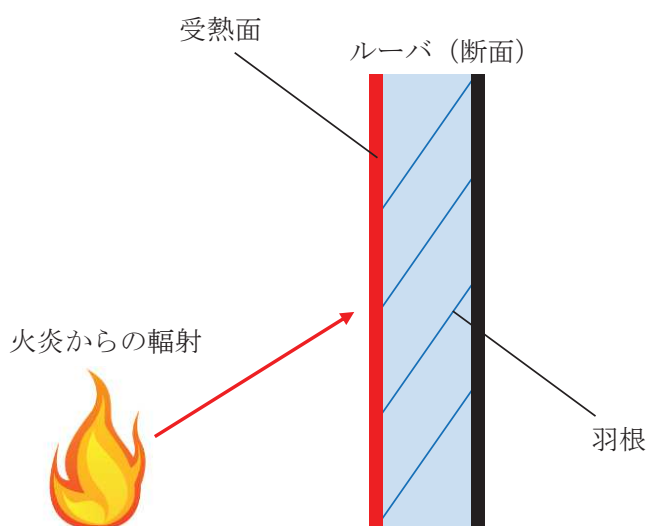
a. 評価対象

ルーバのうち代表して2号炉非常用ディーゼル発電機(A)の給気ルーバを対象とする。

b. 想定条件

- ・ルーバへの熱影響が最大となるF-15による航空機落下火災を火災源とする。F-15による航空機落下火災については、添付資料-7「2. 航空機墜落による火災の影響評価」と同様の想定とする。
- ・火災が発生してから燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でルーバが昇温されるものとする。

以下に、ルーバへの受熱面を示す。



第 6-19 図 ルーバの受熱面

c. 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 6-40 表 ルーバへの火災影響評価に必要なデータ

離隔距離 [m]	21
燃焼半径 [m]	3.77
形態係数 [-]	5.793×10^{-2}
輻射強度 [W/m ²]	3.36×10^3
燃焼継続時間 [h]	1.38

d. ルーバ温度と膨張量

F-15 による航空機火災の熱影響評価 (7) から (11) と同様の算出方法により輻射強度を求めた結果, ルーバが受ける輻射強度は 3.36 kW/m^2 となり, この輻射強度にて一定でルーバが昇温されるものとして, 下記の式より対象ルーバの温度及び膨張量を算出する。

なお, ルーバの材質は, アルミニウム合金 (JIS:A6063) である。

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

出典:伝熱工学資料

T:ルーバ温度, T_0 :周囲温度, E:入熱量(輻射強度), h:ルーバの熱伝達率

$$l = L\alpha(T - T_0)$$

出典:伝熱工学資料

l:ルーバ膨張量, L:ルーバ長さ(長辺方向), α :熱膨張率

ここで, $h=17.0 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, $T_0=50 \text{ [}^\circ\text{C]}$, $L=1300 \text{ [mm]}$,

$\alpha = 2.36 \times 10^{-5} \text{ [1/K]}$ とする。

以下に評価結果を示す。

第 6-41 表 ルーバの熱影響評価結果

ルーバ温度 [°C]	149
ルーバ膨張量 [mm]	3.1

e. 火災による熱影響の有無の評価

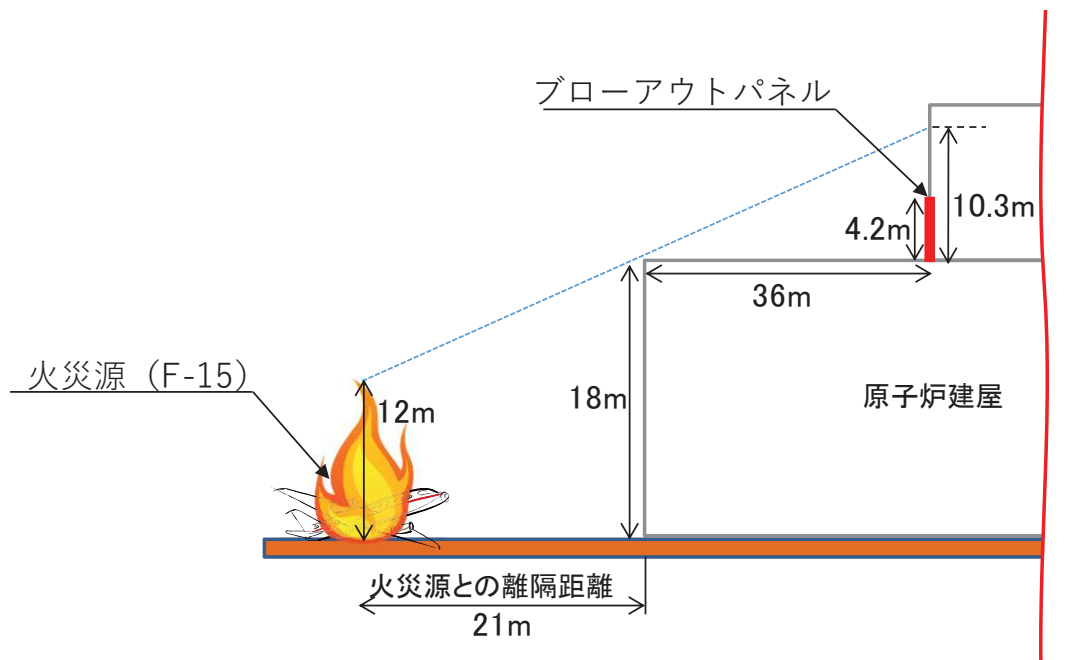
ルーバ温度は 149°C となり，ルーバ長辺方向の熱膨張量はルーバ長さ 1300mm に対して，3.1mm となったことから，ルーバの形状が大きく変形することはない。

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，変圧器火災時は，熱気流を考慮し，給気温度を監視しつつ，状況に応じて換気空調系の停止措置等を講じることから，建屋内への熱影響はない。

(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は，原子炉建屋南側に 1 箇所設置されている。発熱源として，原子炉建屋に対する熱輻射が最も大きい F-15 による航空機火災を想定する。F-15 による火災の火炎高さは 12m であり，ブローアウトパネルの設置高さ地上 18m より低く，原子炉建屋に遮蔽されるため輻射熱が直接ブローアウトパネルに届くことはない（第 6-18 図）。



第 6-20 図 ブローアウトパネルと F-15 航空機火災との位置関係

女川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. はじめに

本評価は、発電所敷地への航空機墜落による火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 航空機墜落による火災の影響評価

航空機落下確率評価では、評価手法及び対象航空機の大きさの違いを考慮して落下確率を求めている。火災の影響は対象航空機の燃料積載量に大きく依存することから、別紙 7-1 に示すとおり、大型航空機と小型航空機に分類し、また、民間航空機と自衛隊航空機又は米軍航空機（以下「軍用機」とする）に分類し以下のカテゴリごとに火災影響評価を実施する。

第 2-1 表 航空機の分類

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	—注 1
	2) 航空路を巡航中	(1) 大型民間航空機
(2) 有視界飛行方式民間航空機		(2) 小型民間航空機 ^{注 2}
(3) 自衛隊機又は米軍機	3) 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	(3) 空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機
		(4) その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
	4) 基地—訓練空域間往復時	

注 1：女川原子力発電所は、仙台空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外（別紙 7-3）

注 2：燃料量が大型航空機に比べ少ないため、大型機による評価で代表する。

(1) 航空機墜落による火災の想定

- ・航空機は、女川原子力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。
- ・航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- ・航空機の落下は発電所敷地内であって墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。
- ・航空機の落下によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- ・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。

第 2-2 表 燃料積載量が最大の機種

分類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
選定理由	民間の大型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定	主要自衛隊航空機（別紙 7-2）の中で燃料積載量が最大規模のものを選定		

(2) 評価手法の概要

本評価は、女川原子力発電所に対する航空機墜落による火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 2-3 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度 [W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数 [－]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径 [－]	航空機燃料タンクの投影面積より求めた燃焼半径
燃焼継続時間 [s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離 [m]	発電用原子炉施設を中心にして落下確率が 10 ⁻⁷ [回/炉・年] 以上になる地点とその地点から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値 [－]	建屋の外壁、天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界位置になる値

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する建物の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその建物の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって落下確率が 10⁻⁷ [回/炉・年] 以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから、女川原子力発電所における航空機落下確率評価の対象航空機を、大型民間航空機、小型民間航空機、大型軍用機、小型軍用機に分類し、それぞれの機種の落下確率の合計が 10⁻⁷ [回/炉・年] となる標的面積を算出し、その結果が

ら発電用原子炉施設からの離隔距離を以下のとおり算出する。

(4) 標的面積の算出

a. 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出

(a) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 [回/年]

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 : 発電用原子炉施設の標的面積 [km²]

W : 航空路幅 [km]

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行時間当たりの巡航中の落下事故確率 [回 / (飛行回・km)]

G_c : 巡航中事故件数 [回]

H_c : のべ飛行距離 [飛行回・km]

第 2-4 表 落下確率の算出結果 (計器飛行方式民間航空機)

	女川原子力発電所 2 号炉
対象航空路 ^{注 1}	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)
N_c ^{注 2}	182.5
A ^{注 3}	0.0156
W ^{注 4}	27
f_c ^{注 5}	0.5 / 9,439,243,077 = 5.30×10^{-11}
P_c	5.59×10^{-12}

注 1 : 女川原子力発電所周辺の航空路図 (AIP エンルートチャート) による。(別紙 7-4)

注 2 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果を 365 倍した値。(別紙 7-5)

注 3 : 原子炉建屋, 制御建屋等の水平面積を合計した値。(別紙 7-6)

注 4 : 「航空路等設定基準」による。

注 5 : 事故件数は, 平成 3 年~平成 22 年の間で 0 件であるため保守的に 0.5 件と仮定した。延べ飛行距離は平成 4 年~平成 23 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値を合計した値。(別紙 7-7)

(b) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha)$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_v : 単位年あたりの落下事故率 [回/年]

S_v : 全国土面積 (=37.2 万 km²)

A : 発電用原子炉施設の標的面積 [km²]

α : 対象航空機の種類による係数

第 2-5 表 落下確率の算出結果 (有視界飛行方式民間航空機)

	女川原子力発電所 2 号炉
f_v 注	大型固定翼機 0.5/20=0.025 大型回転翼機 2/20=0.1
S_v 注	372,000
α 注	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1
A	0.0156
P_v	5.24×10^{-9}

注 : 「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構) による。

航空路等を巡航中の航空機の落下確率 ($P_c + P_v$) が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_c + P_v} \cdot A$$

上記より, 標的面積 A' は, $A' = 0.297393$ [km²] となる。

b. 大型軍用機及び小型軍用機の標的面積の算出

女川原子力発電所の上空には訓練空域がないため, 軍用機の落下確率 P_{so} を求める式は, 以下のとおりとなる。

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_0} \right) \cdot A$$

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} : 単位年あたりの訓練空域外落下事故率 [回/年]

S_0 : 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 [km²]

A : 発電用原子炉施設の標的面積 [km²]

第2-6表 落下確率の算出結果（高高度巡航が想定される大型固定翼機）

	女川原子力発電所2号炉
f_{S0} 注	自衛隊機 0.5/20=0.025 米軍機 1/20=0.05
S_0 注	自衛隊機 295,000 米軍機 372,000
A	0.0156
P_{S0}	3.42×10^{-9}

注：「平成23年度 航空機落下事故に関するデータの整備」（平成24年9月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

第2-7表 落下確率の算出結果（その他の機種）

		女川原子力発電所2号炉			
		大型固定翼機	小型固定翼機	大型回転翼機	小型回転翼機
f_{S0} 注	自衛隊機	1/20=0.05	1/20=0.05	1/20=0.05	5/20=0.25
	米軍機	2/20=0.1	1/20=0.05	1/20=0.05	0.5/20=0.025
S_0 注	自衛隊機	295000			
	米軍機	372000			
A		0.0156			
P_{S0}	自衛隊機	2.64×10^{-9}	2.64×10^{-9}	2.64×10^{-9}	1.32×10^{-8}
	米軍機	4.19×10^{-9}	2.10×10^{-9}	2.10×10^{-9}	1.05×10^{-9}
	計	3.06×10^{-8}			

注：「平成23年度 航空機落下事故に関するデータの整備」（平成24年9月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

上記より、航空路等を巡航中の航空機の落下確率（ P_{S0} ）が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' をそれぞれ算出すると以下のとおりとなる。

A' （高高度巡航が想定される大型固定翼機）=0.456140 [km²]

A' （その他の機種）=0.050980 [km²]

c. 自衛隊機又は米軍機機の標的面積の算出

自衛隊機又は米軍機のうち、基地—訓練空域間往復時の落下確率 P_{tr} を求める式は以下のとおり。

$$P_{tr} = f_{tr} N_{tr} A F(x)_{tr}$$

P_{tr} : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{tr} : 当該移動経路を巡航中の落下事故率 [回/（飛行回・km）]

N_{tr} : 当該移動経路の年間飛行回数 [飛行回/年]

A : 発電用原子炉施設の標的面積 [km²]

$$F(x)_{tr} : \text{事故点分布関数} [\text{km}^{-1}] = \frac{0.625}{2} \exp(-0.625|x|)$$

x : 移動経路から発電所までの距離

第 2-8 表 落下確率の算出結果（自衛隊機又は米軍機）

		女川原子力発電所 2 号炉
対象飛行場		航空自衛隊松島飛行場
f_{tr} 注1		1.57×10^{-7}
N_{tr} 注2	N_{tr} 北側	8400
	N_{tr} 南側	8400
A		0.0156
$F(x)_{tr}$ 注3	$F(x)_{tr}$ 北側	$F(9.5)_{tr} = 8.25 \times 10^{-4}$
	$F(x)_{tr}$ 南側	$F(10.5)_{tr} = 4.41 \times 10^{-4}$
P_{tr}	P_{tr} 北側	1.70×10^{-8}
	P_{tr} 南側	9.07×10^{-9}
	合計	2.61×10^{-8}

注 1 : 事故件数は、平成 12 年 3 月 11 日及び同年 7 月 4 日の 2 件 3 機。

移動経路は、防衛庁（当時）発表（平成 12 年 8 月 10 日）の再発防止対策に基づき、発電所に対して北側移動経路（157.0km）及び南側移動経路（70.2km）とする。（別紙 7-8）

飛行頻度は、北側と南側で同頻度とする。

訓練頻度は、航空自衛隊松島飛行場によれば、700 機/月。

注 2 : 注 1 より 700×2 （往復） $\times 12$ （ヶ月） $\div 2$ （経路） $= 8400$

注 3 : 北側及び南側移動経路から発電所までの最短距離とする。

上記より、航空路等を巡航中の航空機の落下確率（ P_{tr} ）が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を算出すると、 $A' = 0.059770$ [km^2] となる。

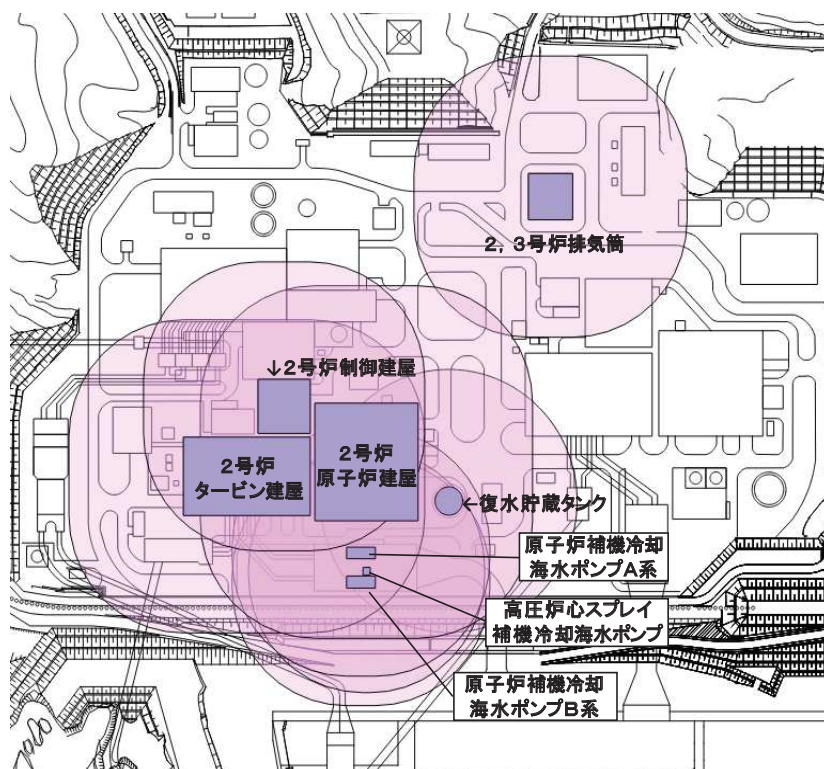
(5) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出

(4) で求めた面積が、評価対象となる発電用原子炉施設（原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋）の周辺に L [m] の離隔距離を含めた火災評価上の標的面積との関係から離隔距離 L を算出した結果を以下に示す。また、各航空機の離隔距離を第 2-1 図から第 2-4 図に示す。

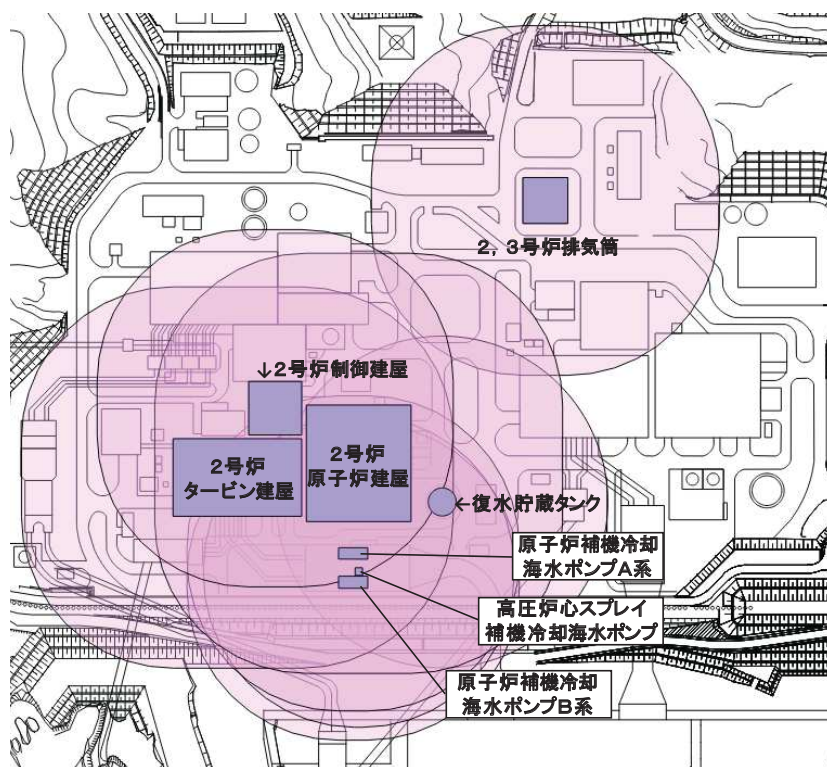
離隔距離の算出の考え方については、別紙 7-9 に、航空機落下火災及び 3 号炉軽油タンク火災の重畳の評価位置については別紙 7-8 に示す。

第 2-9 表 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出結果

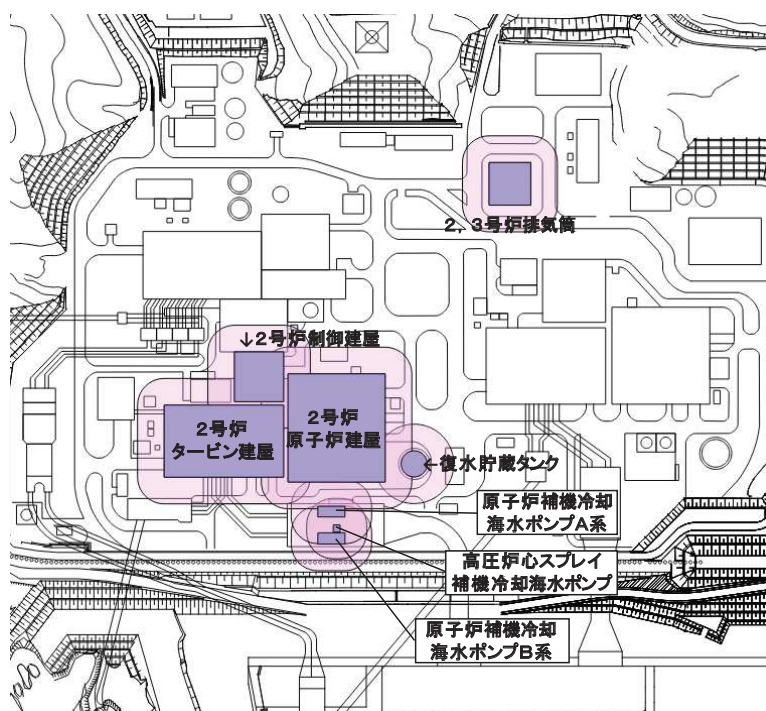
データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式(大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象航空機	B747-400	KC-767	F-15	F-2
離隔距離 L[m]	85	111	21	25



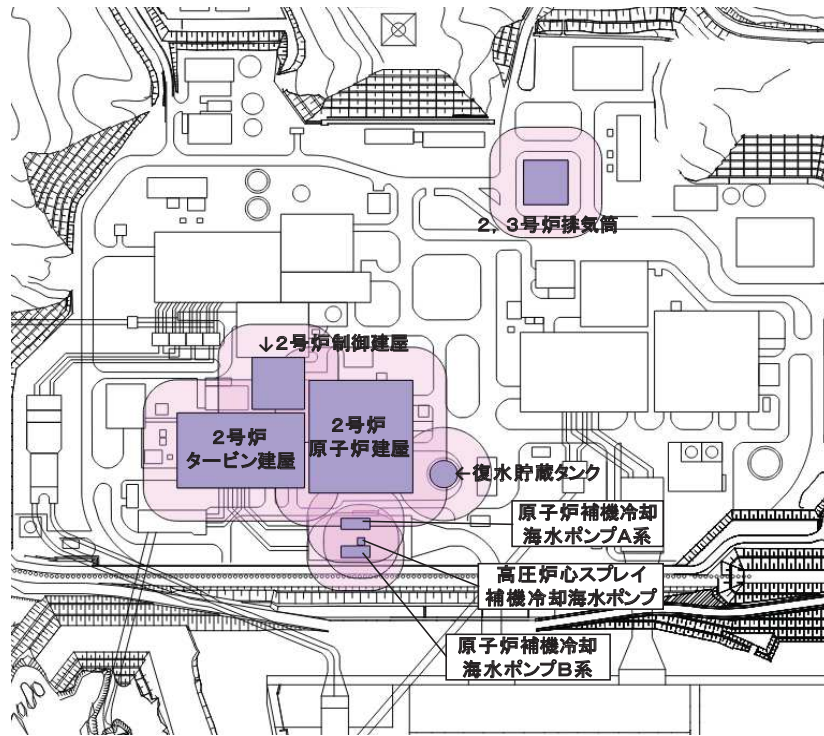
第 2-1 図 民間航空機（計器飛行方式及び有視界飛行方式（大型））の離隔距離



第 2-2 図 自衛隊機又は米軍機（高高度巡航が想定される大型固定翼機）の
離隔距離



第 2-3 図 自衛隊機又は米軍機（その他の機種）の
離隔距離



第 2-4 図 自衛隊機又は米軍機（基地—訓練空域間往復時）の
離隔距離

(6) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 2-10 表 航空機火災影響評価に必要なデータ

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式 及び有視界飛 行方式（大 型）	訓練空域外を飛行中		基地—訓練 空域間往復時
		高高度巡航が 想定される大 型固定翼機	その他の 機種	
想定する航空機	B747-400	KC-767	F-15	F-2
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	216.84	145.04	14.87	10.43
輻射発散度[W/m ²]	50×10 ³	58×10 ³	58×10 ³	58×10 ³
燃焼速度[m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃料タンク面積 [m ²]	700	405.2	44.6	35
発電用原子炉施設 までの離隔距離[m]	85	111	21	25

(7) 燃焼半径の算出

航空機墜落による火災は、その状況によって、様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は対象とした航空機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する。

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

R: 燃焼半径[m], S: 燃料タンク投影面積 (火災円筒の底面積) [m²]

第 2-11 表 燃焼半径の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び 有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練 空域間往復時
		高高度巡航が想定さ れる大型固定翼機	その他の 機種	
想定する航空機	B747-400	KC-767	F-15	F-2
燃料タンク面積[m ²]	700	405.2	44.6	35
燃焼半径[m]	14.928	11.357	3.768	3.338

(8) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

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

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

第 2-12 表 形態係数の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び 有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練 空域間往復時
		高高度巡航が想定さ れる大型固定翼機	その他の 機種	
燃焼半径[m]	14.928	11.357	3.768	3.338
離隔距離[m]	85	111	21	25
形態係数	5.579×10^{-2}	2.032×10^{-2}	5.793×10^{-2}	3.384×10^{-2}

(9) 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

態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 [W/m²], Rf : 輻射発散度 [W/m²], Φ : 形態係数

第 2-13 表 輻射強度の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び 有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練 空域間往復時
		高高度巡航が想定さ れる大型固定翼機	その他の 機種	
輻射発散度 [W/m ²]	50×10 ³	58×10 ³	58×10 ³	58×10 ³
形態係数	5.579×10 ⁻²	2.032×10 ⁻²	5.793×10 ⁻²	3.384×10 ⁻²
輻射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963

(10) 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。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}, \quad v = \frac{M}{\rho} \quad \text{より}, \quad t = \frac{V \times \rho}{\pi R^2 \times M}$$

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/s]

M : 質量低下速度 [kg/m²/s], ρ : 密度 [kg/m³]

第 2-14 表 燃焼継続時間の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び 有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練 空域間往復時
		高高度巡航が想定さ れる大型固定翼機	その他の 機種	
燃料量 [m ³]	216.84	145.04	14.87	10.43
燃焼面積 [m ²]	700	405.2	44.6	35
質量低下速度 [kg/m ² /s]	0.039	0.051	0.051	0.051
燃料密度 [kg/m ³]	840	760	760	760
燃焼速度 [m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃焼継続時間 [hour]	1.855	1.482	1.381	1.234

(11) 評価結果

a. 建屋外壁に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

評価対象の建屋外壁について、前項で分類したカテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(b) 判断の考え方

i. 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。

ii. 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、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度の評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

$T(x)$: 表面から x (m) の位置の温度 (°C)

T_0 : 初期温度 (50°C)

E : 輻射強度 (W/m²)

α : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda/\rho C_p$) (m²/s)

ρ : コンクリート密度 (2,400 kg/m³)

C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)

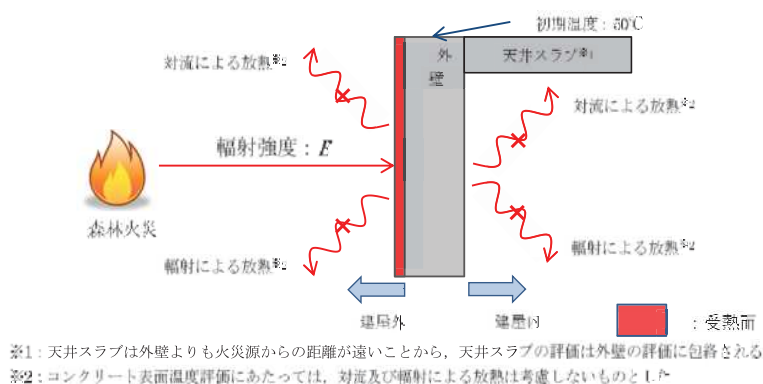
λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/(m・K))

x : コンクリート深さ (m)

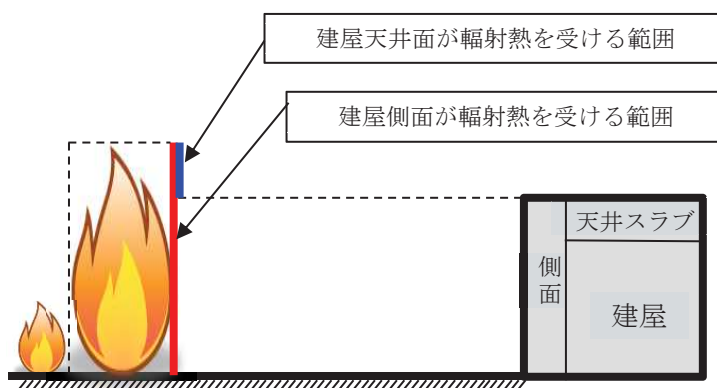
t : 燃焼継続時間 (s)

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

建屋外壁の評価概念図を第 2-5 図に、天井スラブの評価概念図を第 2-6 図に示す。



第 2-5 図 建屋外壁の評価概念図

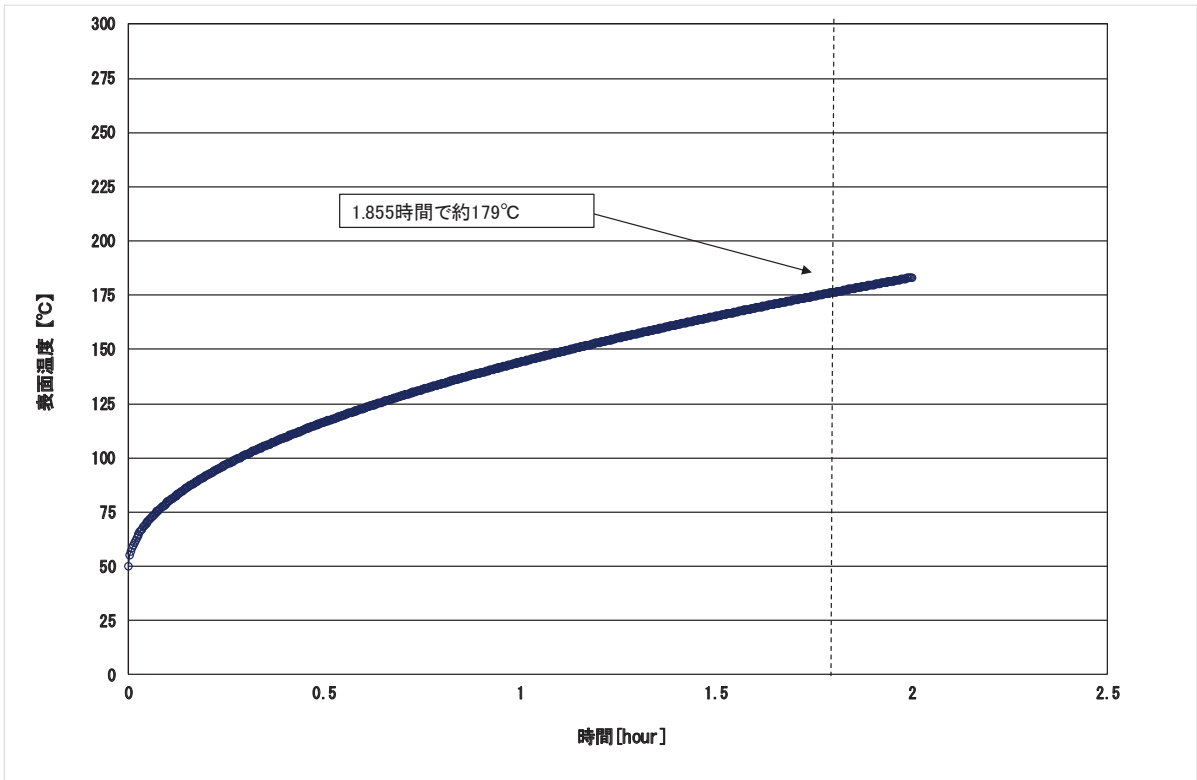


第 2-6 図 天井スラブへの輻射熱の影響

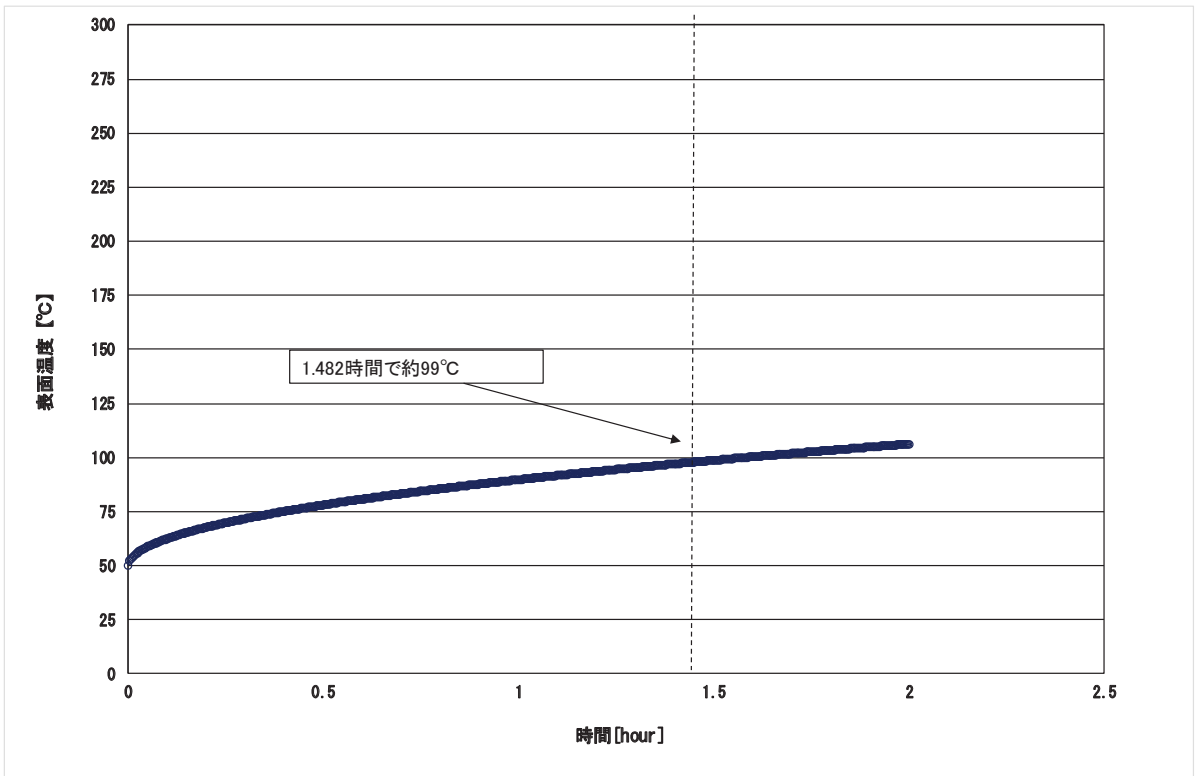
コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200°C以下となることを確認した。評価結果を第 2-15 表に、温度変化を第 2-7 図から第 2-10 図に示す。

第 2-15 表 外壁面の温度評価結果

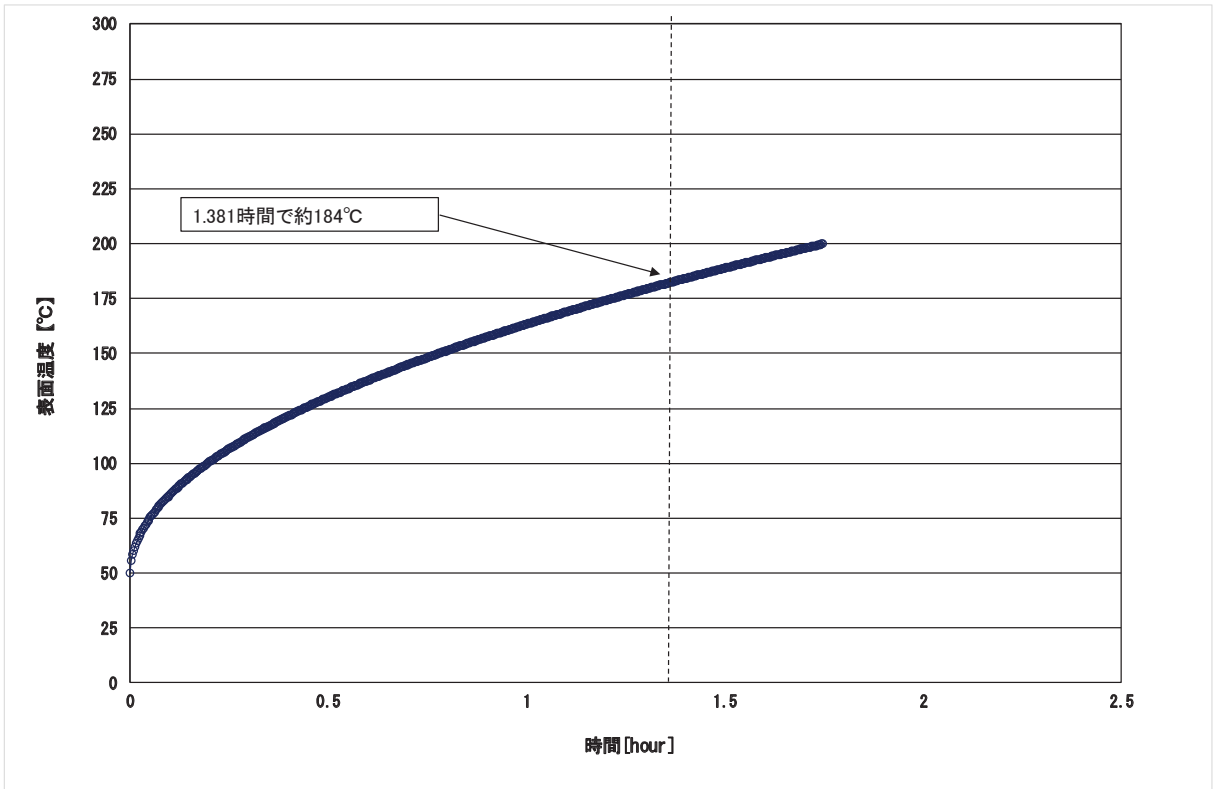
データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
輻射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963
燃焼継続時間 [hr]	1.855	1.482	1.381	1.234
表面温度 [°C]	約 179	約 99	約 184	約 124



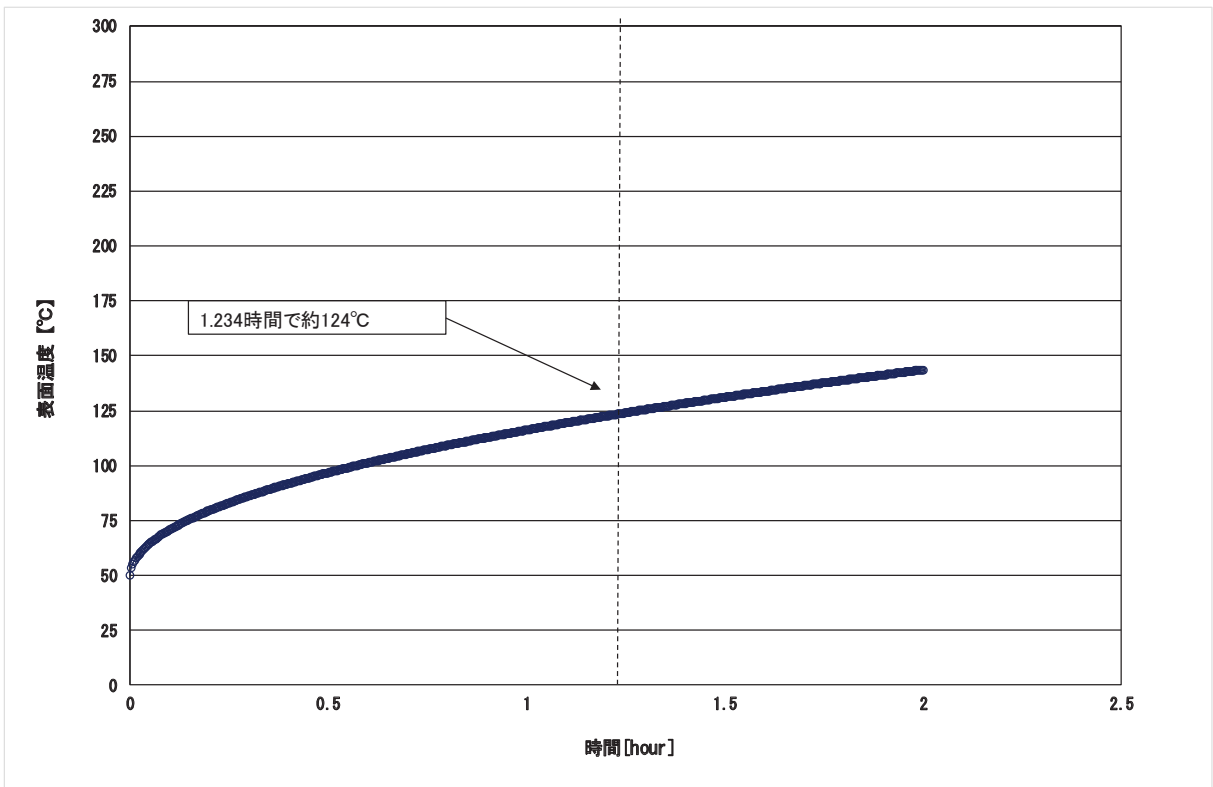
第 2-7 図 外壁温度推移 (民間航空機 (計器飛行方式及び有視界飛行方式 (大型)))



第 2-8 図 外壁温度推移 (自衛隊機又は米軍機 ((高高度巡航が想定される大型固定翼機)))



第 2-9 図 外壁温度推移（自衛隊機又は米軍機（その他の機種））



第 2-10 図 外壁温度推移（自衛隊機又は米軍機（基地—訓練空域間往復時））

b. 排気筒に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

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

なお、排気筒の評価に当たっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第 2-16 表に、排気筒外形図を第 2-11 図に示す

第 2-16 表 評価対象施設の仕様

名称		排気筒
種類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 3.7m
		地表高さ 160m
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数		1



第 2-11 図 評価対象施設の外形図

(c) 判断の考え方

i. 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。

ii. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒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。

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

(出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計)

T_0 : 初期温度 50[℃], E : 輻射強度 [W/m²],

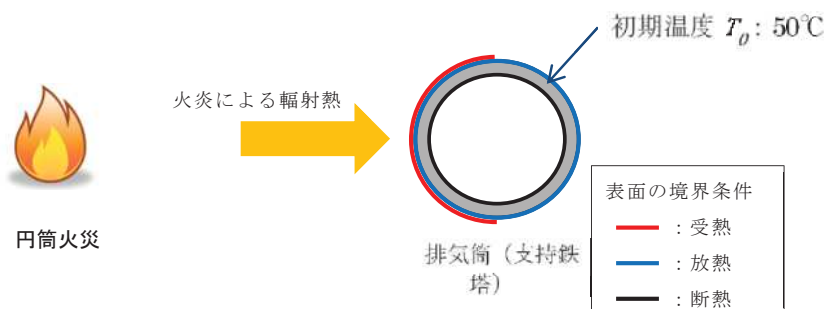
ε : 排気筒表面の吸収率 (0.9) ※1

h：排気筒表面熱伝達率 17[W/m²/K]^{※2}

※1：伝熱工学資料

※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しますが、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，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 SMA400AP 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 2-12 図に示す。



第 2-12 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 2-17 表に示す。

第 2-17 表 排気筒の温度評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
輻射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963
排気筒温度 [°C]	約 124	約 82	約 139	約 102

c. 復水貯蔵タンクの熱影響評価

(a) 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、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。

(b) 判断の考え方

i. 許容温度

復水貯蔵タンクの許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66°C以下とする。

ii. 評価方法

一定の輻射強度で復水貯蔵タンクの火災源側の側面と天井面へ入熱するものとして、表面での輻射によるタンク内部に貯蔵された水及びタンク側面、天井面の温度上昇を表した下記の比熱の公式により最大温度を求め、許容温度以下であるか評価した。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T_0 : 初期温度 (50[°C]), E : 輻射強度 [W/m²], t : 燃焼継続時間 [s]

D_o : タンク外径 (20.012[m]), h : タンク円筒高さ (11.8[m])

ρ_w : 水の密度 (979.9 [kg/m³]) ※¹, C_{pw} : 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) ※¹

V : 水の体積 (690[m³]), ρ_s : タンク壁材密度 (7860 [kg/m³]) ※²

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473 [J/kg/K]) ※², D_i : タンク内径 (20.0[m])

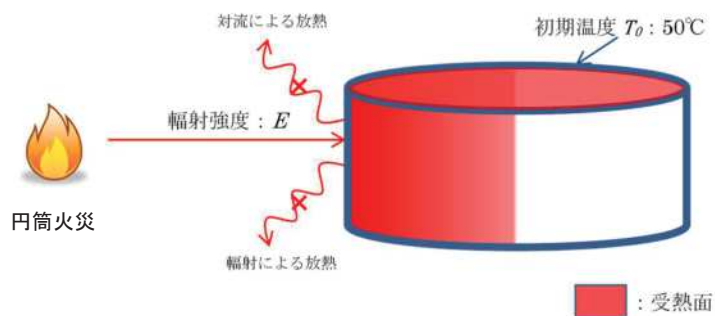
e : タンク最小板厚 (0.006[m])

※¹: 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66°Cとなるように線形補間した値

※²: 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており、直接輻射がタンクに到達する構造ではないが、評価にあたっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

復水貯蔵タンクの評価概念図を第 2-13 図に示す。



第 2-13 図 復水貯蔵タンクの評価概念図

復水貯蔵タンク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 2-18 表に示す。

第 2-18 表 復水貯蔵タンクの温度評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式(大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
復水貯蔵タンク温度 [°C]	約 55	約 52	約 54	約 53

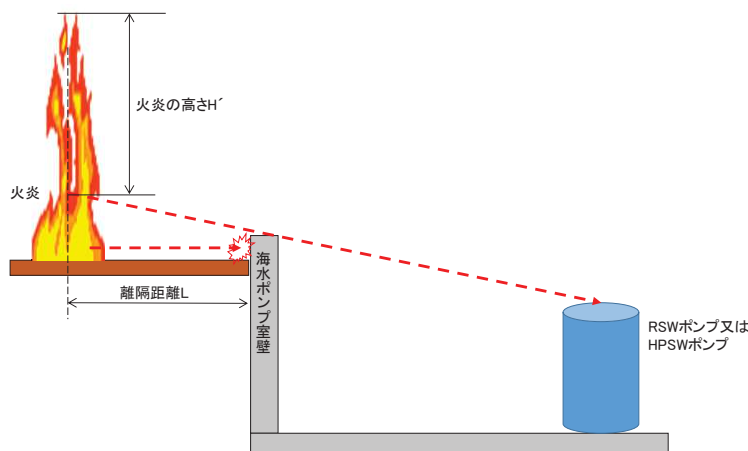
d. 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの熱影響評価

(a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。

評価においては、火災源位置からポンプに対し直接輻射の影響を受ける火災の高さから一定の輻射強度でポンプが直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を第 2-14 図に示す。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び軸受であり、そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が上昇した場合でも、許容温度以下となることを確認する。



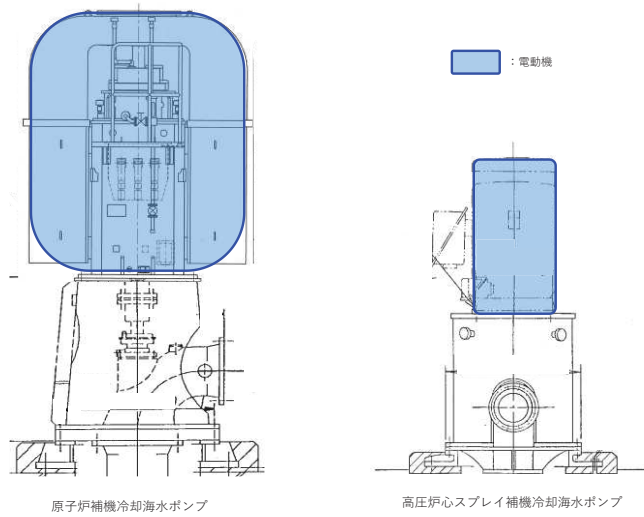
第 2-14 図 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(b) 評価対象施設の仕様

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を第 2-15 図、外形図を第 2-16 図に示す。仕様を第 2-19 表に示す。



第 2-15 図 海水ポンプの配置図



第 2-16 図 海水ポンプの外形図

第 2-19 表 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

(c) 判断の考え方

i. 許容温度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機の許容温度は、運転時の上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 2-20 表に示す。

第 2-20 表 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却海水 ポンプ	40※1	55※2
高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ	55※2	55※2

※1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°Cから冷却空気の初期温度 40°Cを差し引いた 40°Cを冷却空気の許容温度に設定

※2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°Cから冷却空気の初期温度 40°Cを差し引いた 55°Cを冷却空気の許容温度に設定

ii. 評価結果

(i) 輻射強度の算出

火災の火炎から直接輻射の影響を受ける位置にあるポンプ（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数をかけた値となる。なお、離隔距離は各ポンプ位置よりも火災源に近い海水ポンプ室壁までの距離とする。次式から輻射強度を算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi$$

E ：輻射強度[W/m²]， Rf ：輻射発散度[W/m²]， Φ ：形態係数

形態係数 Φ は以下式で求める。

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

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

Φ ：形態係数， L ：離隔距離[m]， H' ：炎の高さ[m]， R ：燃焼半径[m]

第 2-21 表 輻射強度の算出結果 (F-15)

対象機器	離隔距離 L[m]	燃焼半径 R[m]	炎の高さ H' [m]	形態係数 φ	輻射発散度 Rf[W/m ²]	輻射強度 E[W/m ²]
原子炉補機冷却海水 ポンプ	21	3.768	7.441	4.274×10 ⁻²	58,000	2478.49
高圧炉心スプレィ補 機冷却海水ポンプ			3.428	2.136×10 ⁻²	58,000	1238.75

(ii) 温度評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプが受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め、第 2-20 表に示す許容温度を下回るかを比熱の公式より求まる以下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 2-22 表に、評価概念図を第 2-17 図示す。

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_P}$$

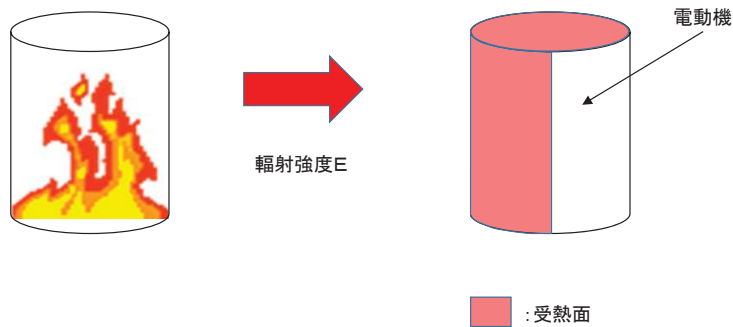
T : 評価温度 (°C), T₀ : 運転時の上昇温度, E : 輻射強度 (W/m²),

G : 重量流量 (kg/s), A_T : 輻射を受ける面積 (m²), C_P : 空気比熱 (1,008J/kg/K)

第 2-22 表 評価に用いた諸元

	原子炉補機冷却 海水ポンプ	高圧炉心スプレィ補 機冷却海水ポンプ
T ₀ : 運転時の上昇温度 (上部軸受) [°C]	27	32
T ₀ : 運転時の上昇温度 (下部軸受) [°C]	18.7	41
E : 輻射強度 [w/m ²]*	2,478.49	1,238.75
A _T : 受熱面積 [m ²]	13.19	1.19
G : 重量流量 [kg/s]	3.32	0.55
C _P : 空気比熱 [J/kg/K]	1,008	1,008

※F-15 の値



第 2-17 図 評価概念図

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 2-23 表、第 2-24 表に示す。

第 2-23 表 原子炉補機冷却海水ポンプの評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式 (大型) (B747-400)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時 (F-2)
		高高度巡航が想定される大型固定翼機 (KC-767)	その他の機種 (F-15)	
評価温度 [°C] (上部軸受)	約 35	約 29	約 37	約 32
評価温度 [°C] (下部軸受)	約 27	約 21	約 29	約 24

第 2-24 表 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び有視界飛行方式 (大型) (B747-400)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時 (F-2)
		高高度巡航が想定される大型固定翼機 (KC-767)	その他の機種 (F-15)	
評価温度 [°C] (上部軸受)	約 35	約 32	約 35	約 33
評価温度 [°C] (下部軸受)	約 44	約 41	約 44	約 42

(12) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳

a. 重畳する危険物タンクの選定

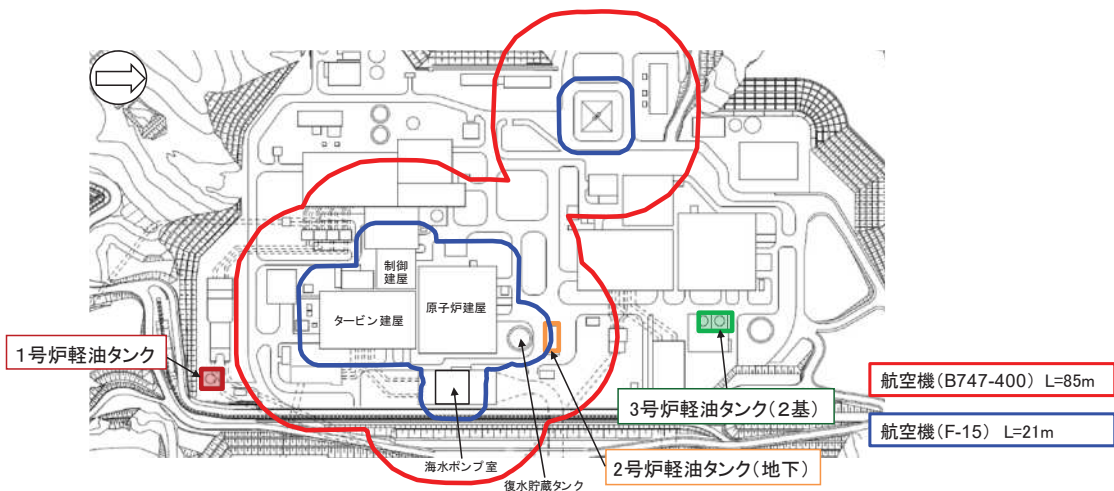
航空機墜落による火災が発生した場合に重畳を考慮する危険物タンクを検討する。航空機落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる航空機落下位置とその周辺の危険物施設位置を第 2-18 図に示す。発電用原子炉施設周辺には多量の油を保有する軽油タンクがあることから、航空機墜落による火災との重畳火災を考慮する危険物タンクは、保有量の大きい軽油タンクとする。

危険物タンクのうち 2 号炉建屋に熱影響を与える軽油タンクは燃料保有量が多い 1 号炉軽油タンク及び 3 号炉軽油タンクを想定する。なお、2 号炉軽油タンクは地下構造であるため、航空機墜落の輻射熱によって直接加熱されることはないことから、重畳を想定する危険物タンクから除外する。

なお、対象航空機は熱影響の大きい F-15、B747 とし、航空機落下位置は航空機墜落による火災の影響が最も厳しくなるよう落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。

第 2-23 表 重畳評価で想定するケース

想定ケース	評価対象施設
F-15 及び 3 号炉軽油タンク	原子炉建屋
	排気筒
F-15 及び 1 号炉軽油タンク	制御建屋
	タービン建屋
	原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
B747 及び 3 号炉軽油タンク	復水貯蔵タンク



第 2-18 図 航空機落下位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置

b. 評価に必要なデータ

第 2-24 表 重畳評価に必要なとなるデータ

項目	1号炉 軽油タンク	3号炉 軽油タンク	自衛隊機又 は米軍機 (F-15)	民間航空機 (B747)
燃料の種類	軽油	軽油	JP-4	JetA-1
燃料量[m ³]	660	660	14.87	216.84
輻射発散度[W/m ²]	42×10 ³	42×10 ³	58×10 ³	50×10 ³
燃焼速度[W/m ²]	5.11×10 ⁻⁵	5.11×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	4.64×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	340	380.95	405.2	700
燃焼半径[m]	10.404	11.012	3.768	14.928
燃焼継続時間[hour]	9.913	9.418	1.381	1.855

次の式から形態係数を算出する。

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

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

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

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かけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = Rf \cdot \Phi$$

E : 輻射強度[W/m²], Rf : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 2-25 表 形態係数の算出結果

火災源	評価対象施設	対象までの離隔距離 L[m]	形態係数 ϕ [-]	輻射強度 E[W/m ²]
3 号炉 軽油タンク	原子炉建屋	191	6.513×10^{-3}	274
	復水貯蔵タンク	174	7.850×10^{-3}	330
	排気筒	207	5.543×10^{-3}	233
1 号炉 軽油タンク	制御建屋	179	6.620×10^{-3}	279
	タービン建屋	105	1.909×10^{-2}	802
	原子炉補機冷却海水ポンプ及び 高圧炉心スプレイ補機冷却海水 ポンプ	199	5.353×10^{-3}	225
F-15	各建屋, 排気筒, 原子炉補機冷 却海水ポンプ及び高圧炉心ス プレイ補機冷却海水ポンプ	21	5.793×10^{-2}	3,360
B747	復水貯蔵タンク	85	5.579×10^{-2}	2,790

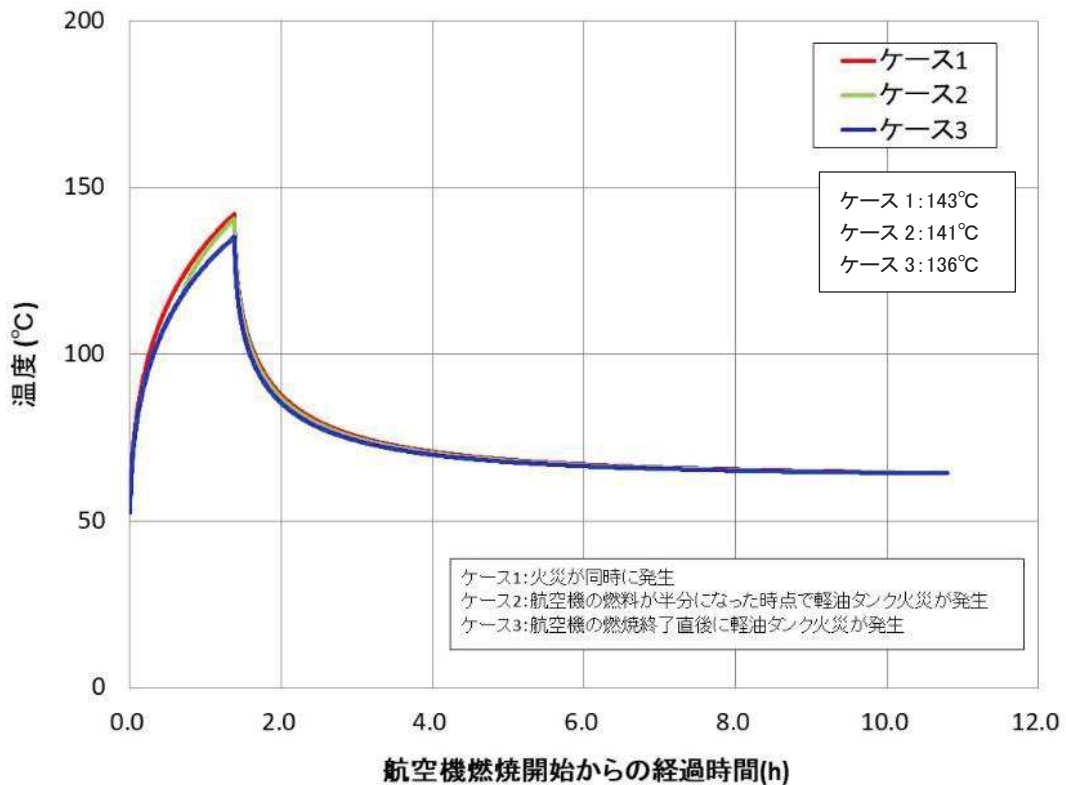
c. 重畳における火災発生タイミング

ここで重畳を考慮した場合、航空機墜落による火災と同時に軽油タンクが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が落下後時間において軽油タンクが発火する場合は燃焼継続時間が大きくなることから、それらを以下のケースごとに、評価を実施し、火災が同時に発生する場合が最大温度となることを確認した（第 2-19 図）。

ケース 1：火災が同時に発生する場合

ケース 2：航空機の燃料が半分となった時点で軽油タンク火災が発生

ケース 3：航空機の燃焼終了直後に軽油タンク火災が発生



第 2-19 図 重畳を考慮した場合の温度及び経過時間

d. 評価結果

重畳評価で想定される輻射強度及び燃焼継続時間を用いて、以下の式から評価温度を算出した。ただし、建屋表面温度が許容温度である200°Cを超える場合には、周囲への放熱を考慮した式を算出する。

- ・ 建屋（原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋）に係る評価式

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

T : 外壁表面温度 (°C) , T_0 : 初期温度 (50°C) , E : 輻射強度 (W/m²)

h : コンクリート熱伝達率 (17 W/m²/K) , α : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (m²/s)

ρ : コンクリート密度 (2,400 kg/m³) , C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K) , x : コンクリート深さ (外表面のため 0m で算出)

t : 燃焼継続時間 (s)

- ・ 排気筒に係る評価式

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

T : 許容温度 (325[°C]), T₀ : 初期温度 (50[°C]) ※ 1

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

※ 1 石巻・江ノ島で観測された過去最高気温36.0°C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[W/m²/K]を用いる。)

・復水貯蔵タンクに係る評価式

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T₀: 初期温度 (50[°C]), E: 輻射強度 [W/m²], t: 燃焼継続時間 [s], D_o: タンク外径 (20.012[m])

h: タンク円筒高さ (11.8[m]), ρ_w: 水の密度 (979.9 [kg/m³]) ※1,

C_{pw}: 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) ※1, V: 水の体積 (690[m³]),

ρ_s: タンク壁材密度 (7860[kg/m³]) ※2, C_{ps}: タンク壁材比熱 (473[J/kg/K]) ※2

D_i: タンク内径 (20.0[m]), e: タンク最小板厚 (0.006[m])

※1: 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66°Cとなるように線形補間した値

※2: 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

・原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプに係る評価式

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

ΔT: 評価温度 (°C), ΔT₀: 運転時の温度上昇

E: 輻射強度 (W/m²), G: 重量流量 (kg/s), A_T: 輻射を受ける面積 (m²)

C_p: 空気比熱 (1,007J/kg/K)

この結果, 第 2-26 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 2-26 表 重畳評価結果

重畳評価の想定	評価対象施設	評価温度[°C]	許容温度[°C]
F15 及び 3 号炉 軽油タンク	原子炉建屋	約 143	< 200
	排気筒	約 146	< 325
F15 及び 1 号炉 軽油タンク	制御建屋	約 143	< 200
	タービン建屋	約 156	< 200
	原子炉補機冷却海水ポンプ	約 38(上部軸受)	< 40(上部軸受)
		約 30(下部軸受)	< 55(下部軸受)
高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ	約 36(上部軸受)	< 55(上部軸受)	
	約 45(下部軸受)	< 55(下部軸受)	
B747 及び 3 号 炉軽油タンク	復水貯蔵タンク	約 58	< 66

(13) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、航空機墜落による火災が発生した場合を想定したとしても、外壁面の温度、評価対象機器の温度が許容限界温度を超えないことから、発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

火災影響評価における対象航空機

実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準（内規）では、第1表に示すとおり民間航空機の計器飛行方式、有視界飛行方式、自衛隊機及び在日米軍機について、対象航空機の分類がなされている。火災影響評価では、色別で示す4つのグループに分けて評価を実施している。火災影響評価における対象航空機の選定の考え方を第2表に示す。

第1表 評価対象航空機の取扱と種類

		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 (ジェット旅客機等)	大型機	定期便：評価対象 (例) 大型旅客機 (B747、 B777 等)	定期便：該当なし	評価対象 自衛隊機 (F-4EJ 改、 F-15 等) 在日米軍機 (F-16、 F/A-18 等)	I
		不定期便：評価対象外 (注1)	不定期便：評価対象 (例) 海上保安庁のパトロール機 (ヒューコク 90 型等) 民間の社有機 (三菱式 MU-300 型等) 等		
	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象 自衛隊機 (T-1 等)	II
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 本土-離島間コミュータ (DHC 6、BN-2 等) 軽飛行機 (セスナ 172 等)		
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象 自衛隊機 (MH-53 等) 在日米軍機 (CH-53 等)	III
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 資材輸送 (ヘリコプター 214B、 AS332 等) 等		
	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象 自衛隊機 (OH-6 等) 在日米軍機 (UH-1 等)	IV
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 離島間コミュータ (SA365 等) 資材輸送、緊急医療、報道用等 (アエロスハリアー AS350、川崎 BK117)		

(注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。

(注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。

(注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、本基準では、全て有視界飛行方式として評価することとする。

- 大型・小型民間航空機 (固定翼, 回転翼)
- 大型自衛隊機, 在日米軍機 (固定翼, 回転翼)
- 大型・小型自衛隊機, 在日米軍機 (固定翼, 回転翼)
- 大型自衛隊機, 在日米軍機 (固定翼)

民間航空機については燃料量が最大の機種である B747-400 を選定しており、小型機は大型機と比較して燃料量が少ないことから大型機の評価に包絡される。

自衛隊機又は米軍機については、訓練空域外を飛行中の高高度巡航が想定される大型固定翼機として空中給油機である KC-767 を評価対象としている。その他の機種については F-15 を評価対象としている。また、女川原子力発電所の近傍に松島飛行場と訓練空域間の移動経路が設定されていることから、松島飛行場配備の機種のうち燃料量が最大の機種である F-2 を評価対象としている。

第 2 表 評価対象航空機の選定

		対象機種	燃料量 [m ³]	落下確率	備考	
民間機	計器飛行方式航空機の落下事故	航空路を巡航中の落下事故	B747-400	216.84	5.24×10 ⁻⁹	
	有視界飛行方式航空機の落下事故					
		小型	回転翼			
		固定翼	Do228-200	2.39	1.37×10 ⁻⁸	
	回転翼					
	A. 訓練空域外を飛行中の高高度巡航が想定される大型固定翼機の落下事故	KC-767	145.04	3.42×10 ⁻⁹		
自衛隊機又は米軍機の落下事故	B. 訓練空域外を飛行中のその他の機種の落下事故	F-15	14.87	3.06×10 ⁻⁸		
	C. 基地－訓練空域間往復時の落下事故	F-2	10.43	2.61×10 ⁻⁸		

A：第 1 表の I に該当

B：第 1 表の I～IV に該当

C：第 1 表の I，III に該当

航空機墜落による火災の評価対象航空機（自衛隊機又は米軍機）について

自衛隊機又は米軍機を用途等により分類し、航空機墜落による火災の評価対象航空機を選定した。

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「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「基地－訓練空域間往復時の落下事故」が含まれる。以下に自衛隊機又は米軍機の落下事故による火災影響を評価する機種のカテゴリについて整理する。分類にあたっては、代表として自衛隊機の主要な機種のデータを用いることとした。

1. 訓練空域外を飛行中の落下事故

第 1 表に主要航空機（大型固定翼機）の用途等を示す。

第 1 表 自衛隊機（大型固定翼機）の用途等

所属	用途	機種	寸法 [m]		燃料量 [kl]
			全長	全幅	
陸上自衛隊	連絡偵察	LR-2	14	18	約 2
海上自衛隊	哨戒	P-3C	36	30	約 35
航空自衛隊	戦闘	F-15J/DJ	19	13	約 15
	戦闘	F-4EJ	19	12	約 12
	戦闘	F-2A/B	16	11	約 11
	偵察	RF-4E/EJ	19	12	約 12
	輸送	C-1	29	31	約 11
	輸送	C-130H	30	40	約 37
	空中給油・輸送	KC-767	49	48	約 145
	空中給油機能付加	KC-130H	30	40	約 37
	早期警戒	E-2C	18	25	約 6
	早期警戒管制	E-767	49	48	KC-767 以下

※ 平成 25 年度版防衛白書等より作成。燃料量については、最大離陸重量等からの推定を含む。

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。

用途を飛行形態で整理すると、「空中給油」及び「早期警戒」については、高高度の巡航を行うものと考えられる。また、「哨戒」及び「輸送」については、目的地での低高度での飛行が考えられるものの、移動は高高度の巡航を行うもの

のと考えられる。ここで目的地としては、「哨戒」が海上、「輸送」が基地あるいは空港であることから、原子力発電所付近で低高度での飛行を行うことはない。したがって、自衛隊機又は米軍機の落下事故のうち、訓練空域外を飛行中の落下事故で考慮するカテゴリを、第2表のとおり整理した。なお、大型輸送ヘリコプターCH-47の燃料積載量は約4klであることから、回転翼機は大型固定翼機の評価に包含される。

第2表 訓練空域外を飛行中の落下事故のカテゴリにおける整理

カテゴリ	用途	機種	寸法 [m]		燃料量 [kl]
			全長	全幅	
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	P-3C	36	30	約35
		C-1	29	31	約11
		C-130H	30	40	約37
		KC-767	49	48	約145
		KC-130H	30	40	約37
		E-2C	18	25	約6
		E-767	49	48	KC-767以下
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	LR-2	14	18	約2
		F-15J/DJ	19	13	約15
		F-4EJ	19	12	約12
		F-2A/B	16	11	約11
		RF-4E/EJ	19	12	約12

2. 基地—訓練空域往復時の落下事故

発電所東方の海上には自衛隊の訓練空域があり、西方には航空自衛隊松島飛行場があるため、松島飛行場から訓練空域へ自衛隊機が往復することによる事故が評価対象となる。したがって、基地—訓練空域往復時の落下事故で考慮する機種を、基地配備の機種を対象に第3表のとおり整理した。

第3表 基地—訓練空域往復時の落下事故のカテゴリにおける整理

カテゴリ	機種	寸法 [m]		燃料量 [kl]
		全長	全幅	
基地—訓練空域往復時	F-2	16	11	約10
	T-4	13	10	F-2以下
	U-125A	16	16	約6
	UH-60J	16	5	約3

3. 想定する航空機について

1. 及び 2. の分類により、積載燃料が最大となる機種を評価上考慮するとし、

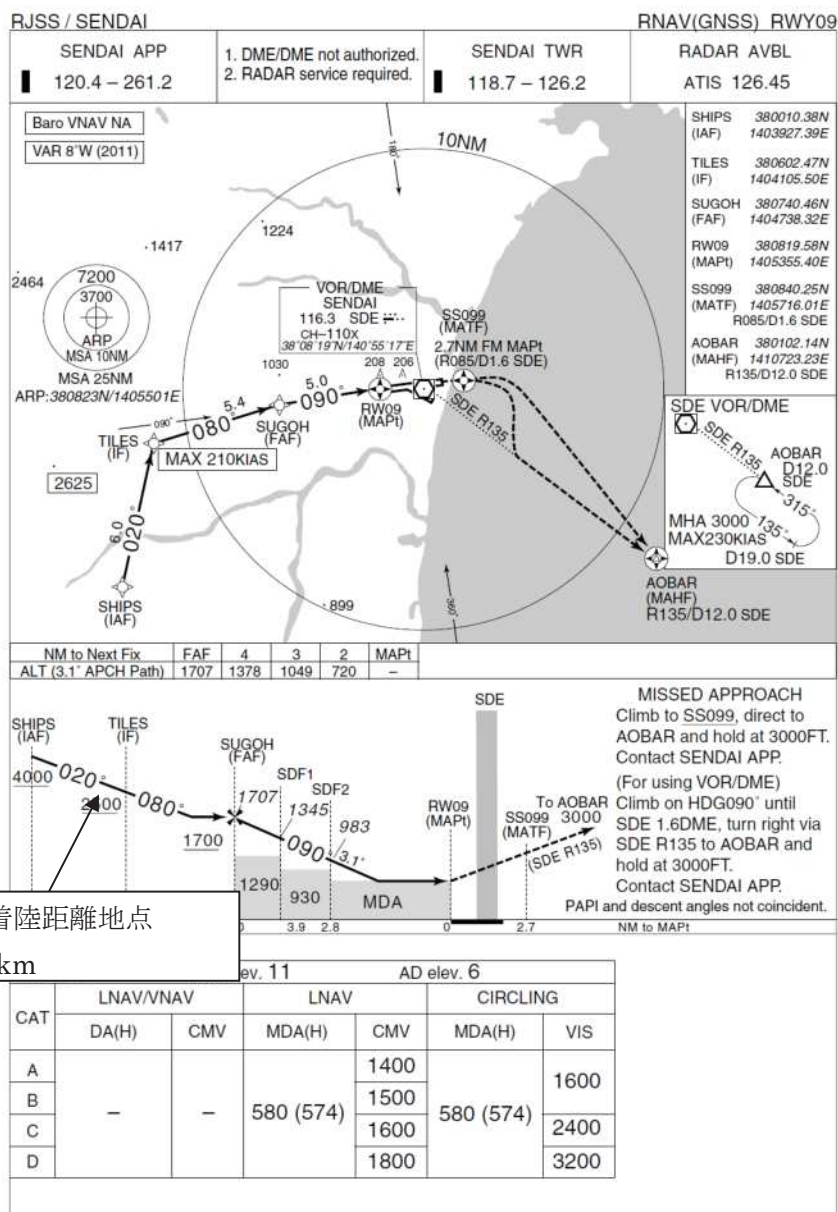
訓練空域外を飛行中の落下事故に対しては、空中給油機等の大型航空機としては KC-767，その他の大型固定翼機等としては F-15 を，基地—訓練空域往復時の落下事故に対しては F-2 を選定している。

燃料量については，燃焼継続時間を算出する際に必要であり，燃料量は多い方が保守的な評価となる。

AIP Japan
SENDAI

RJSS-AD2-24.20

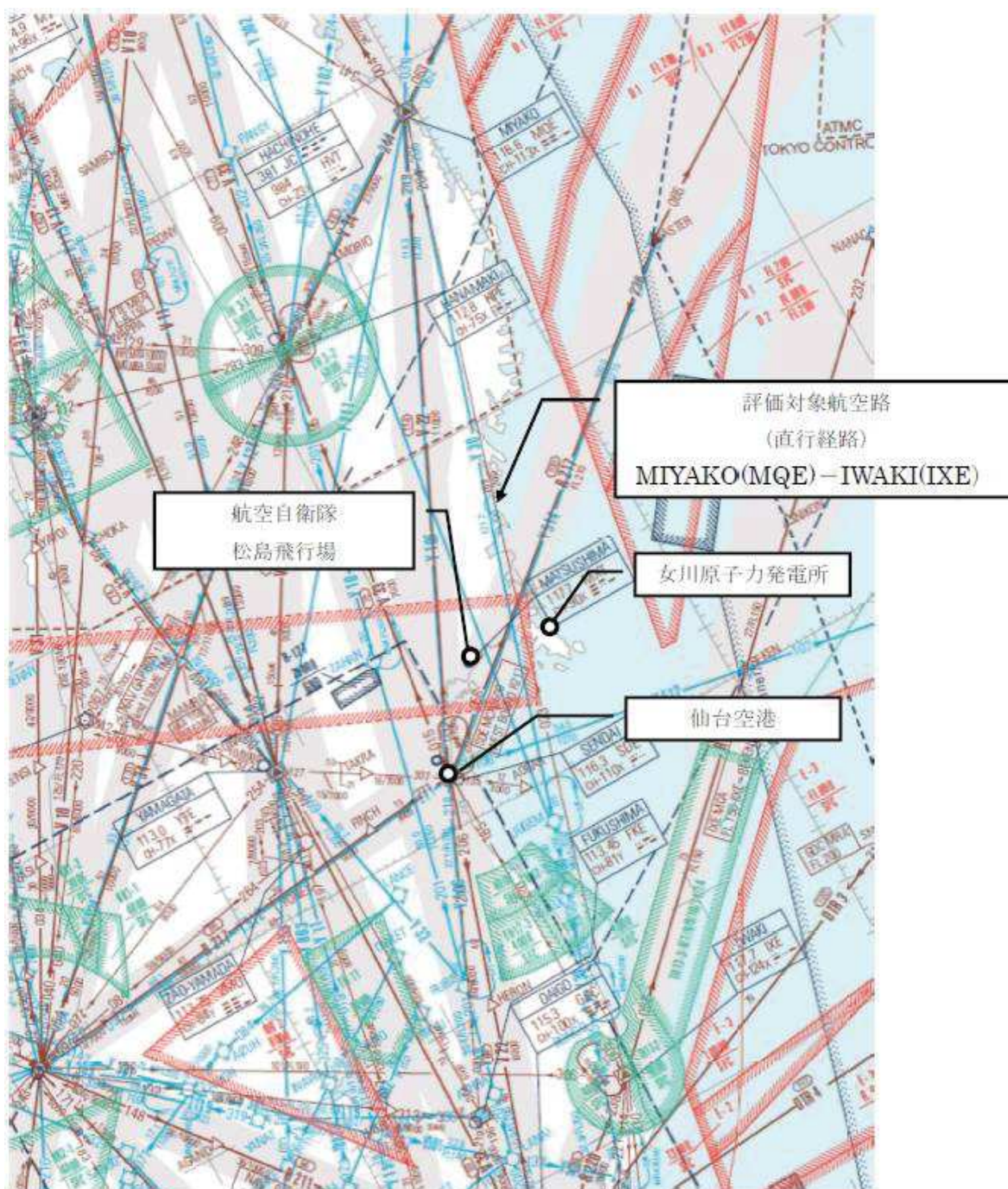
INSTRUMENT APPROACH CHART



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

19/9/13

第 1 図 仙台空港の最大離着陸地点
(出典: AIP-JAPAN, 国土交通省航空局)



第 1 図 女川原子力発電所周辺の航空図
(出典： AIP-JAPAN, 国土交通省航空局)

評価対象となる航空路の飛行回数

第 1 表 評価対象となる航空路の飛行回数
(飛行回数)

札幌交通管制部ピークデイ	直行経路 (MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE))
平成 24 年上半期 (H24. 6. 18)	0 ^{注 1}
平成 24 年下半期 (H24. 8. 7)	0 ^{注 1}
評価に用いる数値	$0.5 \times 365 \text{ 日} = 182.5 \text{ 回} / \text{年間}$ ^{注 2}

注 1 : 国土交通省航空局に問い合わせ入手したデータ。ここでピークデイとは、札幌交通管制部が取り扱った交通量が半年間で最も多かった日のことであり、当該経路における交通量が年間で最も多かった日とは必ずしも一致しない。

注 2 : 実際の便数は 0 であるが保守的に 0.5 とする。

原子炉施設の標的面積

第 1 表 標的面積

[単位：km²]

号炉	原子炉建屋	制御建屋	タービン 建屋	海水 ポンプ室	復水貯蔵 タンク	排気筒	合計
2号炉	0.00647	0.00164	0.00554	0.000370	0.000316	0.00123	0.0156

使用済燃料プール及び主要な安全系機器は原子炉建屋に含む。
 なお、その他の評価対象設備が設置してある建屋は以下のとおり。

号炉	中央制御室	気体廃棄物処理系	非常用海水ポンプ	非常用ディーゼル 発電機
2号炉	制御建屋	タービン建屋	海水ポンプ室	原子炉建屋

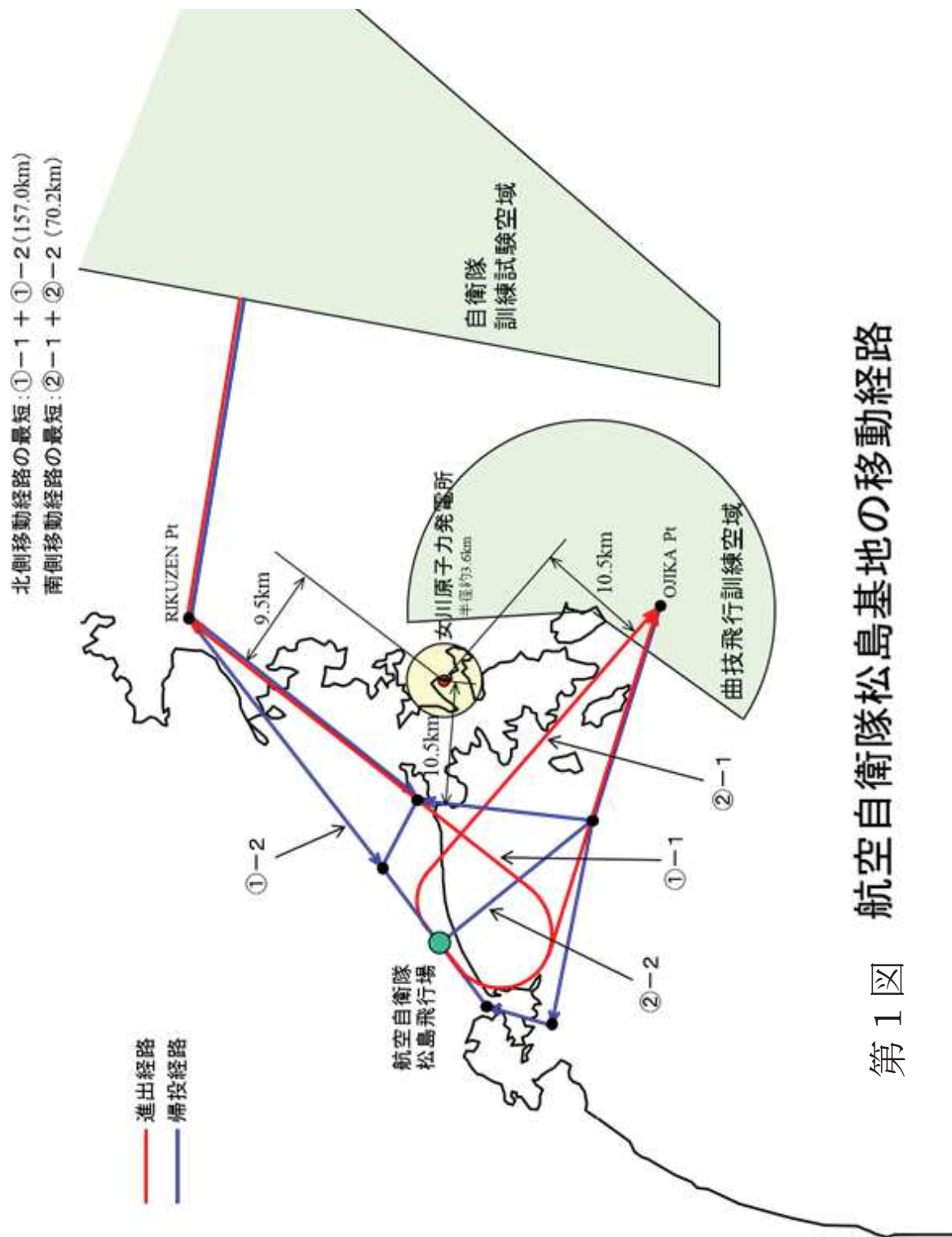
延べ飛行距離について

延べ飛行距離は、平成4年～平成23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便のみの合計値とした。

なお、国際便についても運航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考慮しない。また、日本に乗り入れている外国機は運航距離の実績の公開記録がないため考慮していない。ただし、国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし、事故率が保守的となるようにしている。

第1表 運行距離

	日本国機の運航距離 (飛行回・km)
平成4年	307,445,013
平成5年	326,899,203
平成6年	343,785,576
平成7年	380,948,123
平成8年	397,146,610
平成9年	420,920,228
平成10年	449,784,623
平成11年	459,973,069
平成12年	480,718,878
平成13年	489,803,107
平成14年	498,685,881
平成15年	519,701,117
平成16年	517,485,172
平成17年	527,370,038
平成18年	555,543,154
平成19年	559,797,874
平成20年	554,681,669
平成21年	544,824,157
平成22年	548,585,258
平成23年	555,144,327
合計	9,439,243,077



航空自衛隊松島基地の移動経路

第1図

離隔距離の算出の考え方

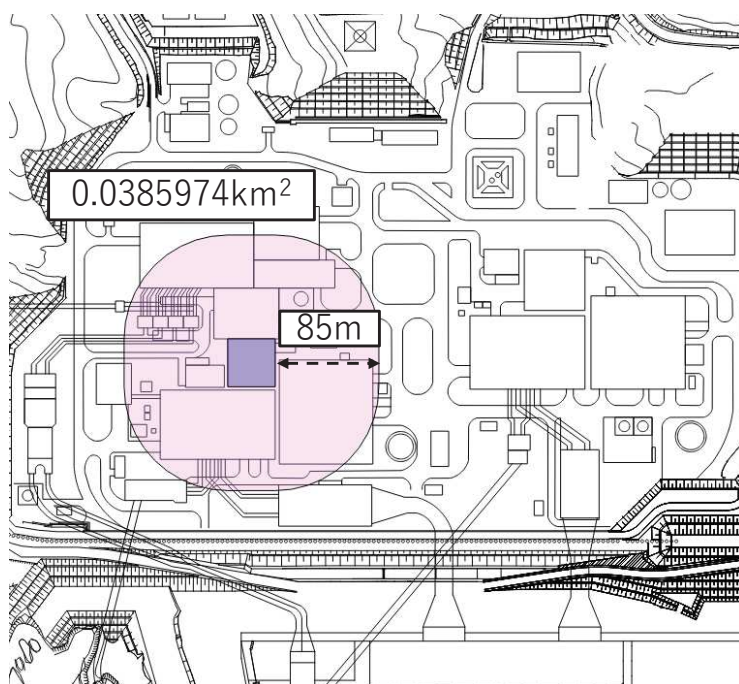
民間航空機の落下事故を想定した場合の原子炉施設ごとの標的面積と離隔距離を第1表に示す。

離隔距離は、落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] に相当する標的面積 (0.297935km^2) を、第1図から第8図に示す原子炉施設に、外壁面からの距離がそれぞれ等しくなるように分配し設定した。

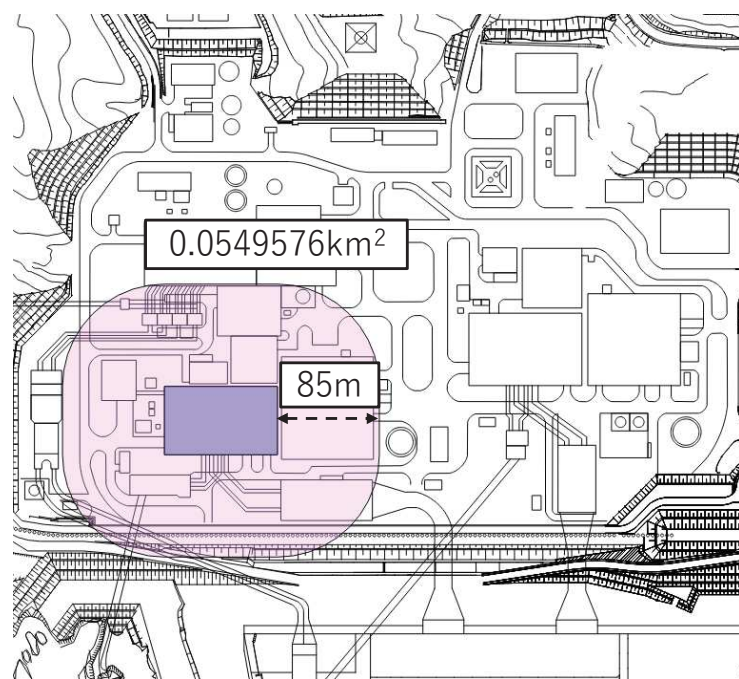
第1図から第8図を重ねたものを第9図に示す。離隔距離を算出する上で、すべての評価対象施設からの 10^{-7} [回/炉・年] 域に相当する標的面積のうち重複する面積は考慮しないこととしている。

第1表 原子炉施設ごとの標的面積と離隔距離（民間航空機の場合）

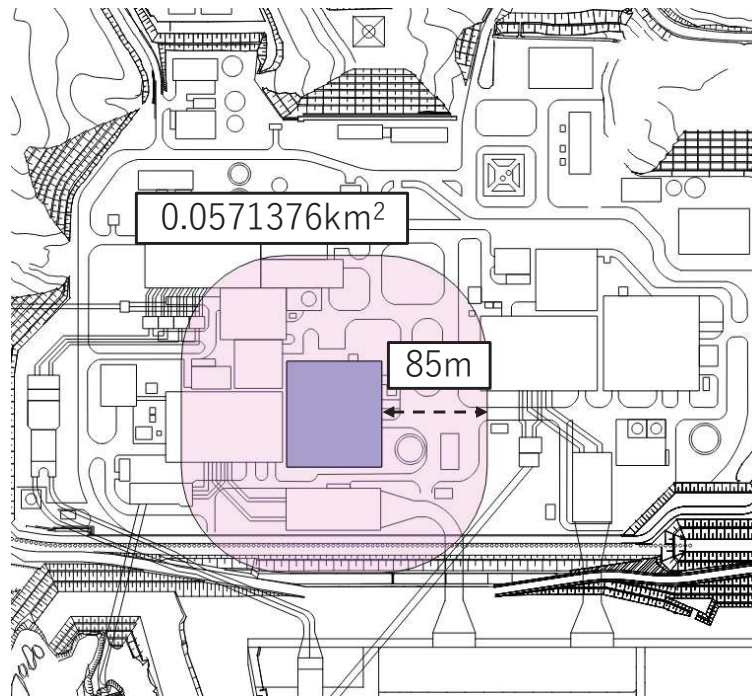
原子炉施設	標的面積 [km ²]	離隔距離 [m]	参照図
2号炉制御建屋	0.0385974	85	第1図
2号炉タービン建屋	0.0549576	85	第2図
2号炉原子炉建屋	0.0571376	85	第3図
2号炉海水ポンプ室 (原子炉補機冷却海水ポンプ(A)系)	0.0283158	85	第4図
2号炉海水ポンプ室 (高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ)	0.0248127	85	第5図
2号炉海水ポンプ室 (原子炉補機冷却海水ポンプ(B)系)	0.0282388	85	第6図
復水貯蔵タンク	0.028786	85	第7図
排気筒	0.036297	85	第8図
原子炉施設 (合計)	0.297143	—	第9図



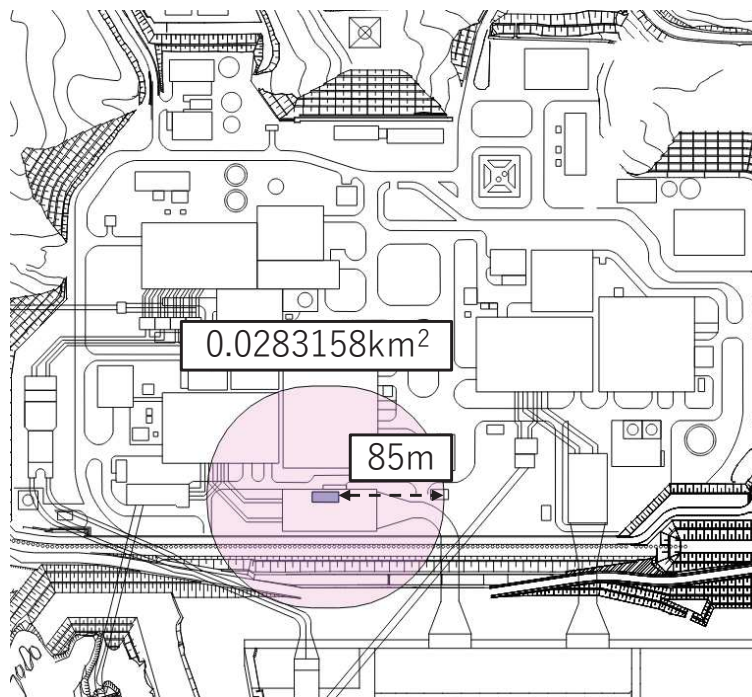
第1図 2号炉制御建屋



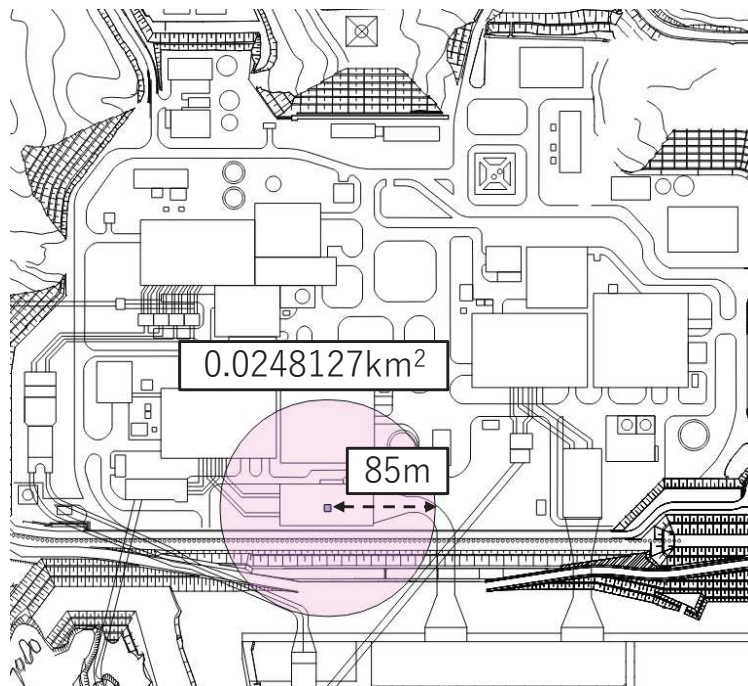
第2図 2号炉タービン建屋



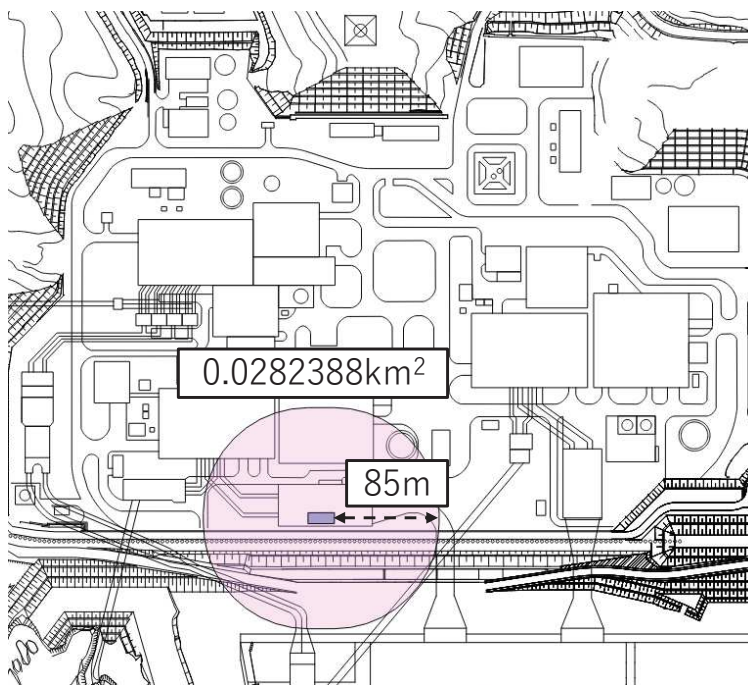
第3図 2号炉原子炉建屋



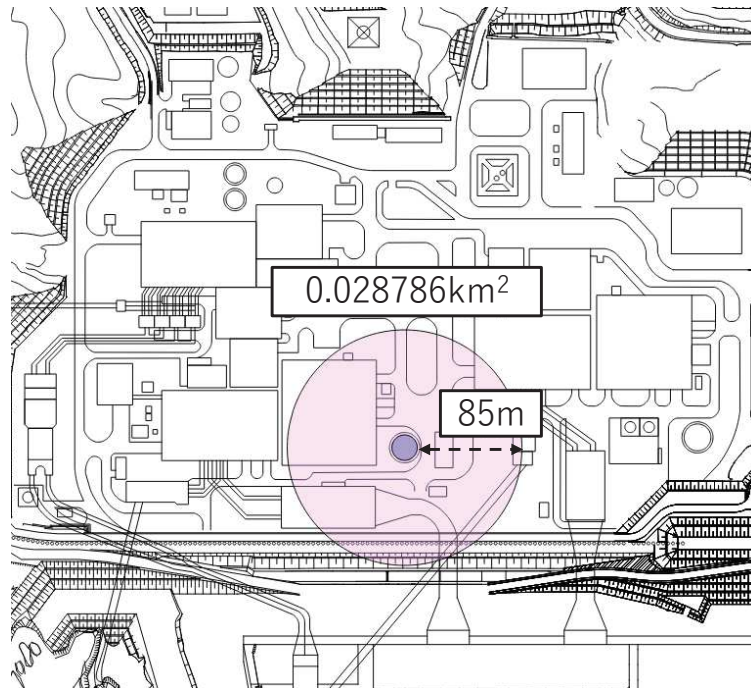
第4図 2号炉海水ポンプ室（原子炉補機冷却海水ポンプ(A)系）



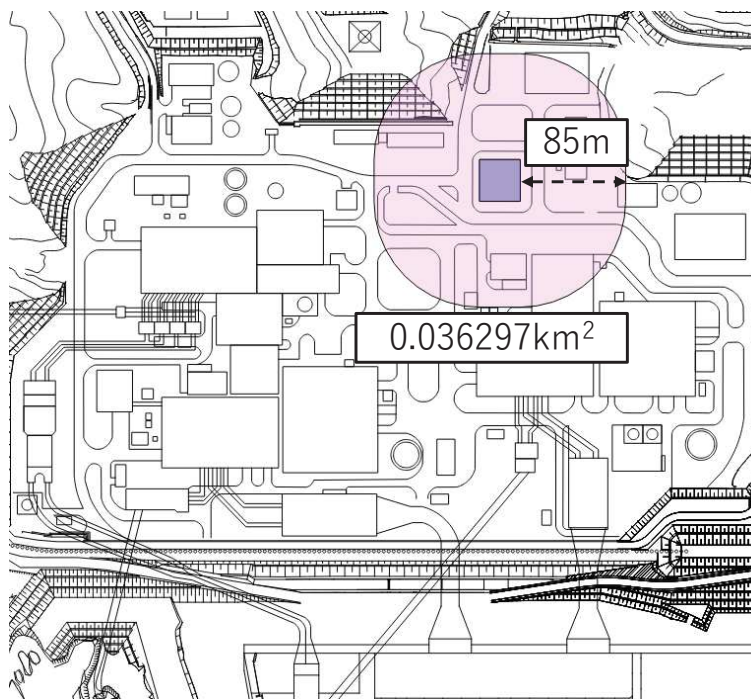
第5図 2号炉海水ポンプ室（高压炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ）



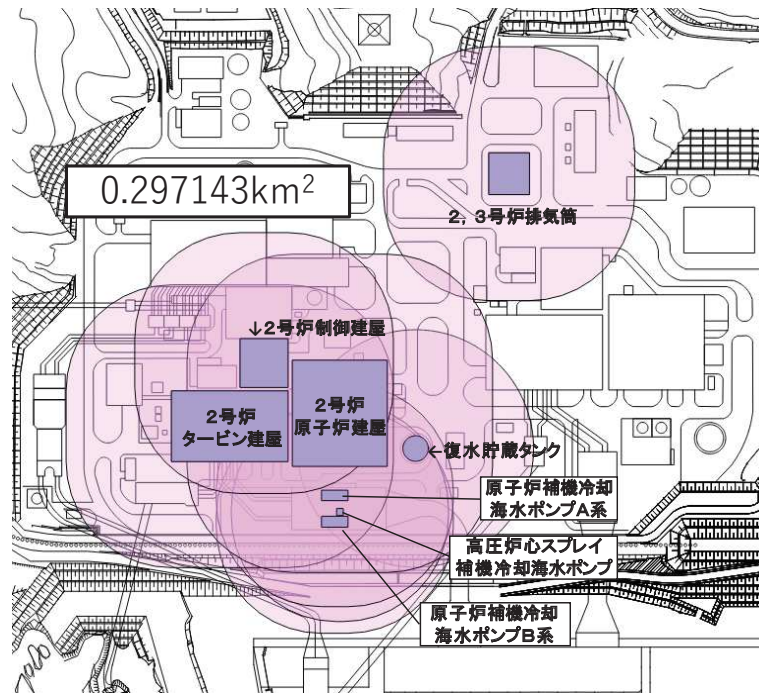
第6図 2号炉海水ポンプ室（原子炉補機冷却海水ポンプ(B)系）



第7図 復水貯蔵タンク



第8図 排気筒



第9図 原子炉施設（合計）

航空機落下事故に関するデータの最新データについて

1. はじめに

発電所敷地内への航空機墜落による火災影響については、設置許可申請当時（平成 25 年 9 月）の最新データとして、「平成 23 年度 航空機墜落事故に関するデータの整備（平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）」に基づく航空機の落下確率より、発電用原子炉施設からの離隔距離を算出し、熱影響評価を行っている。

しかしながら、安全審査が長期化し、その間に、「航空機落下事故に関するデータ（平成 28 年 6 月 NRA 技術報告）」がとりまとめられたことを受け、その影響について確認することとする。

2. 航空機事故等のデータ更新による影響

「航空機落下事故に関するデータ（平成 28 年 6 月 NRA 技術報告）」では、平成 5 年 1 月～平成 24 年 12 月までの航空機事故データ、運行実績データ及び訓練空域面積データとして更新されているが、各航空機の落下事故率は、同等若しくは低下している。このため、航空機の落下位置から発電用原子炉施設までの離隔距離は同等若しくは長くなり、火災による影響も軽減される傾向となっている。

以下、更新されたデータに基づき、「航空機の落下位置から発電用原子炉施設までの離隔距離」並びに「航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳による影響」について評価する。

3. 航空機墜落による火災影響評価

「添付資料-7 女川刈羽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」における航空機墜落による火災影響評価のうち、(1)航空機墜落による火災の想定～(3)評価対象範囲の考え方は同様であるため、(4)以降について、評価する。

(1) 標的面積の算出

a. 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出

(a) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c : 対象施設に対する巡航中の航空機落下確率 [回/年]

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 : 発電用原子炉施設の標的面積 [km^2]

W : 航空路幅 [km]

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行時間当たりの巡航中の落下事故確率 [回 / (飛行回・km)]

G_c : 巡航中事故件数 [回]

H_c : のべ飛行距離 [飛行回・km]

第 3-1 表 落下確率の算出結果 (計器飛行方式民間航空機)

	女川原子力発電所 2 号炉
対象航空路 ^{注1}	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)
f_c ^{注2}	0.5 / 9,740,013,768 = 5.13×10^{-11}
N_c ^{注3}	182.5
A ^{注4}	0.0101
W ^{注5}	27
P_c	3.50×10^{-12}

注 1 : 女川原子力発電所周辺の航空路図 (AIP エンルートチャート) による。(別紙 7-4)

注 2 : 事故件数は、平成 5 年～平成 24 年の間で 0 件であるため保守的に 0.5 件と仮定した。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値を合計した値。(別紙 7-11)

注 3 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果を 365 倍した値。(添付-4)

注 4 : 原子炉建屋、制御建屋等の水平面積を合計した値。(添付-5)

注 5 : 「航空路等設定基準」による。

(b) 有視界飛行方式民間航空機の落下確率

$$P_V = \frac{f_V}{S_V} (A \cdot \alpha)$$

- P_V : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]
 f_V : 単位年あたりの落下事故率 [回/年]
 S_V : 全国土面積 (=37.2 万 km²)
 A : 標的面積 [km²]
 α : 対象航空機の種類による係数

第 3-2 表 落下確率の算出結果 (有視界飛行方式民間航空機)

	女川原子力発電所 2 号炉
f_V 注 1	大型固定翼機 0.5/20=0.025 大型回転翼機 1/20=0.05
S_V 注 1	372,000
A	0.0101
α 注 1	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1
P_V	2.04×10^{-9}

注 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

航空路等を巡航中の航空機の落下確率 ($P_c + P_v$) が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_c + P_v} \cdot A$$

上記より, 標的面積 A' は, $A' = 0.495098$ [km²] となる。

b. 大型軍用機及び小型軍用機の標的面積の算出

女川刈羽原子力発電所の上空には訓練空域がないため, 軍用機の落下確率 P_{SO} を求める式は, 以下のとおりとなる。

$$P_{SO} = \left(\frac{f_{SO}}{S_0} \right) \cdot A$$

- 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} : 単位年あたりの訓練空域外落下事故率 [回/年]
 S_0 : 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 [km²]
 A : 発電用原子炉施設の「標的面積 [km²」

第 3-3 表 落下確率の算出結果（高高度巡航が想定される大型固定翼機）

	女川原子力発電所 2 号炉
f_{S_0} 注1	自衛隊機 0.5/20=0.025 米軍機 1/20=0.05
S_0 注1	自衛隊機 295,000 米軍機 372,000
A	0.0101
P_{S_0}	2.21×10^{-9}

第 3-4 表 落下確率の算出結果（その他の機種）

		女川原子力発電所 2 号炉			
		大型固定翼機	小型固定翼機	大型回転翼機	小型回転翼機
f_{S_0} 注1	自衛隊機	0.5/20=0.025	1/20=0.05	1/20=0.05	5/20=0.25
	米軍機	2/20=0.1	1/20=0.05	1/20=0.05	0.5/20=0.025
S_0 注1	自衛隊機	295000			
	米軍機	372000			
A		0.0101			
P_{S_0}	自衛隊機	8.56×10^{-10}	1.71×10^{-9}	1.71×10^{-9}	8.56×10^{-9}
	米軍機	2.72×10^{-9}	1.36×10^{-9}	1.36×10^{-9}	6.79×10^{-10}
	計	1.90×10^{-8}			

注 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

以上より、

大型軍用機の落下確率 (P_{S_0}) が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' をそれぞれ算出すると以下のとおりとなる。

A' （高高度巡航が想定される大型固定翼機）=0.457014 [km²]

A' （その他の機種）=0.053158 [km²]

c. 自衛隊機又は米軍機の標的面積の算出

自衛隊機又は米軍機のうち，基地－訓練空域間往復時の落下確率 P_{tr} を求める式は以下のとおり。

$$P_{tr} = f_{tr} N_{tr} A F(x)_{tr}$$

P_{tr} : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{tr} : 当該移動経路を巡航中の落下事故率 [回/ (飛行回・km)]

N_{tr} : 当該移動経路の年間飛行回数 [飛行回/年]

A : 標的面積 [km^2]

$F(x)_{tr}$: 事故点分布関数 [km^{-1}] $= \frac{0.625}{2} \exp(-0.625|x|)$

x : 移動経路から発電所までの距離

第3-5表 落下確率の算出結果 (自衛隊機又は米軍機)

		女川原子力発電所2号炉
対象飛行場		航空自衛隊松島飛行場
f_{tr} 注1		1.57×10^{-7}
N_{tr} 注2	N_{tr} 北側	8400
	N_{tr} 南側	8400
A		0.0101
$F(x)_{tr}$ 注3	$F(x)_{tr}$ 北側	$F(9.5)_{tr} = 8.25 \times 10^{-4}$
	$F(x)_{tr}$ 南側	$F(10.5)_{tr} = 4.41 \times 10^{-4}$
P_{tr}	P_{tr} 北側	1.10×10^{-8}
	P_{tr} 南側	5.87×10^{-9}
	合計	1.69×10^{-8}

注1: 事故件数は，平成12年3月11日及び同年7月4日の2件3機。

移動経路は，防衛庁（当時）発表（平成12年8月10日）の再発防止対策に基づき，発電所に対して北側移動経路（157.0km）及び南側移動経路（70.2km）とする。

（添付-6）

飛行頻度は，北側と南側で同頻度とする。

訓練頻度は，航空自衛隊松島飛行場によれば，700機/月。

注2: 注1より 700×2 （往復） $\times 12$ （ヶ月） $\div 2$ （経路） $= 8400$

注3: 北側及び南側移動経路から発電所までの最短距離とする。

上記より，航空路等を巡航中の航空機の落下確率（ P_{tr} ）が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を算出すると， $A' = 0.059763$ [km^2] となる。

(2) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出

(1)で求めた面積が、評価対象となる発電用原子炉施設（原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋）で求めた面積と、評価対象となる原子炉施設の周辺にL[m]の離隔距離を含めた火災評価上の標的面積との関係から離隔距離Lを算出した結果を以下に示す。

第3-6表 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び 有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練空 域間往復時
		高高度巡航が想定され る大型固定翼機	その他 の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
離隔距離L[m] (平成28年6月 データ)	130	125	29	32
<参考> 離隔距離L[m] (平成24年9月 データ)	97	125	28	32

平成28年6月版は平成24年9月版よりも離隔距離が長くなるか同一であるため、平成24年9月版の熱影響評価に包絡される。

延べ飛行距離について

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便のみの合計値とする。

なお、国際便については、日本国内での運行距離ではないため考慮していない。また、日本に乗り入れている外国機は運行距離の実績の公開記録がないため考慮していない。

ただし、国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし、事故率が保守的となるようにしている。

第1表 運航距離

	日本国機の運行距離 (飛行回・km)
平成5年	326,899,203
平成6年	343,785,576
平成7年	380,948,123
平成8年	397,146,610
平成9年	420,920,228
平成10年	449,784,623
平成11年	459,973,069
平成12年	480,718,878
平成13年	489,803,107
平成14年	498,685,881
平成15年	519,701,117
平成16年	517,485,172
平成17年	527,370,038
平成18年	555,543,154
平成19年	559,797,874
平成20年	554,681,669
平成21年	544,824,157
平成22年	548,585,258
平成23年	555,144,327
平成24年	608,215,704
合計	9,740,013,768

航空機墜落による火災の影響評価に用いたデータについて

1. 航空機の仕様について

第 1-1 表 航空機の仕様

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式及び 有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域 間往復時
		高高度巡航が想定される 大型固定翼機	その他の機 種	
想定機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	216.84 ¹⁾	145.04 ²⁾	14.87 ³⁾	10.43 ⁴⁾
燃焼面積 [m ²]	700 ⁵⁾	405.2 ⁶⁾	44.6 ⁷⁾	35 ⁸⁾

- 1) ボーイングジャパン ホームページ “747 型機情報”
- 2) 世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の燃料重量及び燃料密度 (NUREG-1805) から算出した値
- 3) 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) (予備タンクを含む)
- 4) 戦闘機年鑑 2013-2014 (イカロス出版 2013 年 3 月 11 日発行) 記載値
- 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尾翼の面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値
- 6) 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)」の記載図面より、主翼部及び胴体下部が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値
- 7) 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) 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
- 8) 戦闘機年鑑 2013-2014 (イカロス出版 2013 年 3 月 11 日発行) 記載の主翼面積値

2. 燃料の物性値について

ジェット燃料は、JIS 規格では 1 号の灯油型 (低析出点)、2 号灯油型及び 3 号広範囲沸点型 (ガソリン型) の 3 種類があり、ASTM 規格の Jet A-1, Jet A, Jet B に相当する。また、MIL 規格では、JP-4 (ガソリン型)、JP-5 (灯油型) や JP-8 (灯油型) があり、日本の民間航空機では安全性の高い 1 号 (灯油型) が使用されており^{*1}、軍用機では JP-4 が使われている^{*2}。よって、民間航空機の燃料の種類は Jet A-1 (灯油型)、軍用機は JP-4 とする。

火災影響評価において使用する燃料物性値のうち、輻射発散度及び質量低下速度について、Jet A-1 燃料に関する明確な知見がない。このため、Jet A-1 は灯油型であることから、輻射発散度は灯油の値を使用する。

また、Jet A-1 の質量低下速度、密度については、NUREG-1805 における JP-4 の値を採用する。

軍用機の燃料（JP-4）は、ガソリン系の燃料であることから、輻射発散度はガソリン・ナフサの値を採用し、質量低下速度、密度は、NUREG-1805 の JP-4 の値を採用する。

※1：公益社団法人 石油学会 HP

※2：石油便覧 JX 日鉱日石エネルギーHP

第 2 表 評価対象航空機の燃料物性値

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行方式 及び有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練 空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
輻射発散度 [W/m ²]	50,000 ¹⁾	58,000 ²⁾	58,000 ²⁾	58,000 ²⁾
質量低下速度 [kg/m ² /s]	0.039 ³⁾	0.051 ⁴⁾	0.051 ⁴⁾	0.051 ⁴⁾
燃料密度 [kg/m ³]	840 ⁵⁾	760 ⁴⁾	760 ⁴⁾	760 ⁴⁾
燃焼速度[m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵

1) 評価ガイド 附属書 B における灯油の値

2) 評価ガイド 附属書 B におけるガソリン・ナフサの値

3) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program 5 に記載の灯油の値

4) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program 5 に記載の JP-4 の値

5) JIS-K-2209-1991 記載の 1 号の値

ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

1. はじめに

外部火災により発生するばい煙及び有毒ガスについては、火炎による上昇気流により上空に運ばれ、発電所近傍に滞留することはない。そのため、ばい煙及び有毒ガスが、防護対象設備の周辺への滞留及び換気空調系の外気取入口から建屋内に進入する可能性は低いと考える。万一、高濃度のばい煙及び有毒ガスが建屋内に進入することを想定し、以下のとおり評価を行った。

2. 評価対象

ばい煙等の影響が想定される施設として、設備内にばい煙を含んだ外気を取り込む可能性のある機器、煙や埃に対して脆弱な設備、建屋外部に開口部を有する設備について影響評価を実施する。また、建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気を取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。評価対象は以下のとおり。

第 2-1 表 評価対象

分類	影響評価設備
外気を取り込む屋外設備	原子炉補機冷却海水ポンプ
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
換気空調系で給気されるエリアの 設置機器	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機を含む。）
	安全保護系
建屋外部に開口部を有する設備	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機を含む。）排気口
居住性への影響	中央制御室
	緊急時対策所

3. 評価結果

3.1 外気を取り込む屋外設備

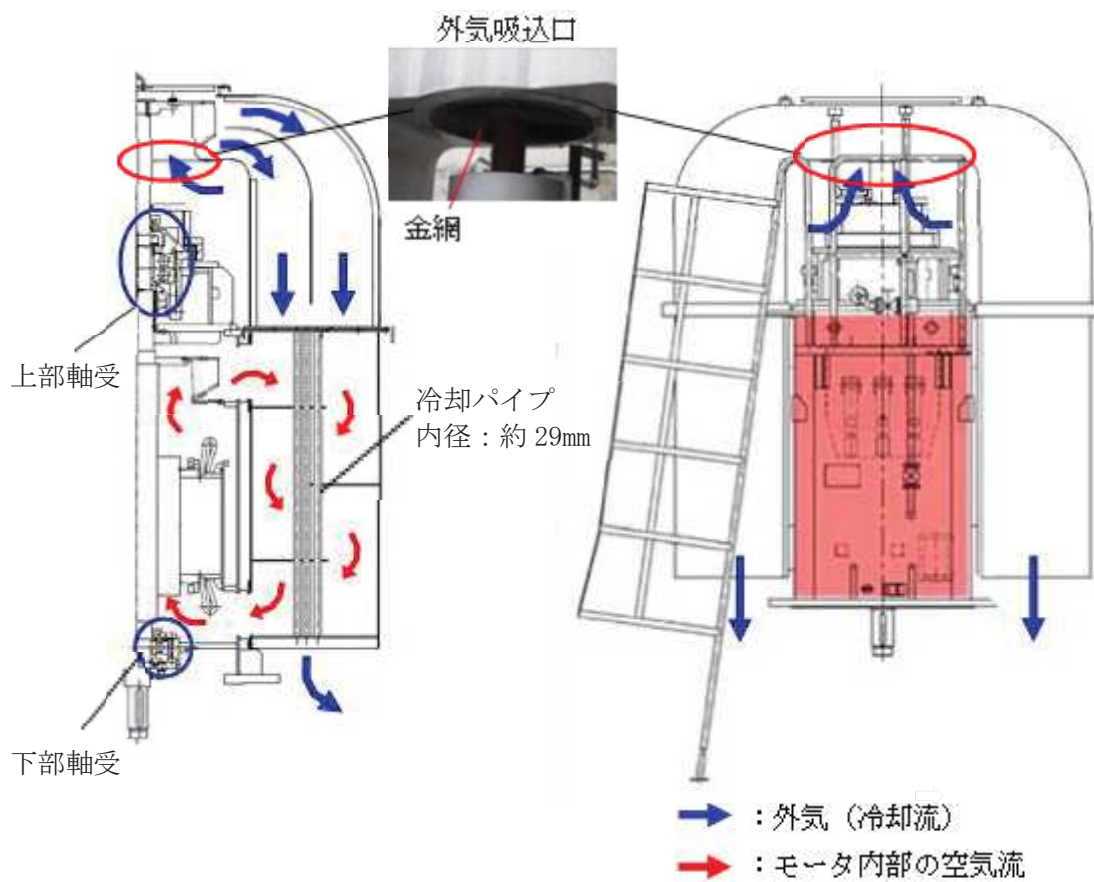
(1) 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機は、空気冷却器を電動機側面に設置して内部通風の熱交換により冷却する構造であり、外気を直接電動機内部に取り込まない全閉構造であることから、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。また、外気通風部の吸込み口の金網口径が 10mm×10mm、冷却パイプ口径が 29.4mm であり、ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さいことから、閉塞することはない。

また、軸貫通部の上部軸シール部は、防水カバー、スリング、油切ラビリンスで侵入防止構造となっている。また、下部軸シール部については同様に防水カバー、油切ラビリンスで侵入防止構造としており、ばい煙粒子が軸受け内部に侵入することはない。

電動機端子箱は、電動機本体への取り付け部及び端子箱蓋に浸水防止のパッキンを使用しており、ばい煙が侵入しない構造としている。

以上のことから、ばい煙が当該電動機の機能に影響を及ぼすことはない。



第 3.1-1 図 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機の冷却方式

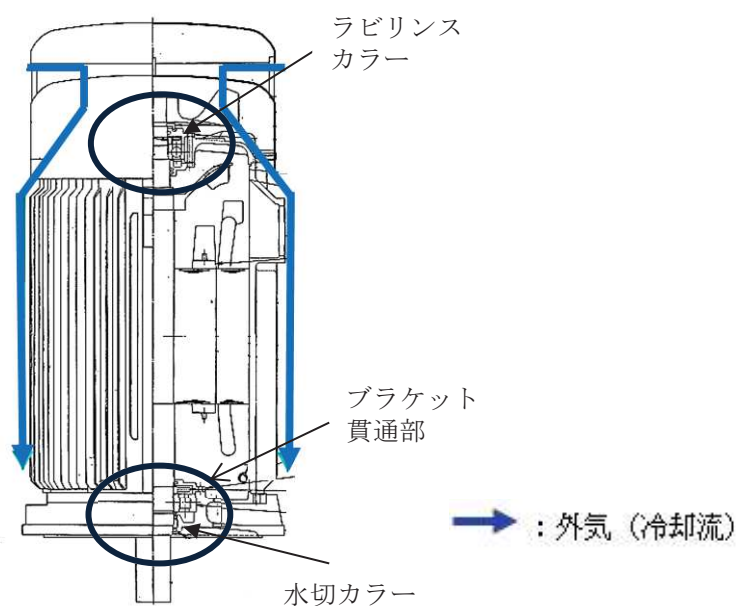
(2) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機は、外気を直接電動機内部に取り込まない外扇形の冷却方式の全閉構造であり、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

上部貫通部はラビリンスカラーで軸受への侵入防止構造とし、下部貫通部はポンプ架台内とし、侵入を防止する構造としている。

電動機端子箱は、電動機本体への取り付け部及び端子箱蓋に浸水防止のパッキンを使用しており、ばい煙が侵入しない構造としている。

以上からばい煙が当該電動機の機能に影響を及ぼすことはない。



第 3.1-2 図 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機の冷却方式

3.2 換気空調系で給気されるエリアの設置機器

外気を取り入れている空調系統として、原子炉建屋、原子炉補機エリア、中央制御室、計測制御電源エリアの換気空調系がある。(第 3.2-1(a)(b) 図)

これらの換気空調系の外気取入経路には、バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して 80%以上を捕獲する性能）を設置しているため、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はバグフィルタにより進入を阻止できる。

上記系統のうち、外気取入ダンパを設置し再循環運転が可能である中央制御室換気空調系については、ばい煙の進入が想定される場合には、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行うことにより、ばい煙の進入を阻止できる。それ以外の換気空調系については、空調機を停止することでばい煙の進入を阻止できる。

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

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）は、換気空調系で給気されるエリアに設置していることから、空調機を停止することでばい煙の進入を阻止できる。

バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して 80%以上を捕獲する性能）の入口と出口間の差圧を検知できる差圧計を監視し、差圧が上昇しバグフィルタが目詰まりした場合はバグフィルタの交換が可能である。

なお、ディーゼル機関は吸気系統から外気を取り入れているため、機関内にばい煙が流入し、機関燃焼を阻止することが考えられるが、ディーゼル機関への外気取入経路にはバグフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙粒子が捕獲され、バグフィルタにより捕集されなかったばい煙粒子が機関内に送気される。

バグフィルタでは粒径が数 μm 程度の粒子が捕集され、それ以下のばい煙が機関内に送気されるが、シリンダまでの通気流路（過給機、空気冷却器等）の隙間より小さいことから閉塞に至ることはない（第 3.2-2 図）。また、通常運転においても燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、機関に損傷を与えることや運転機能を阻害することはない。

また、火災により最大濃度の有毒ガス（二酸化炭素、一酸化炭素、二酸化硫黄、二酸化窒素）を含む空気が外気取入口付近に滞留した場合でも、酸素濃度は約 20.8%であり大気中の酸素濃度と同等であることから、非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）の運転に影響を及ぼすことはない。

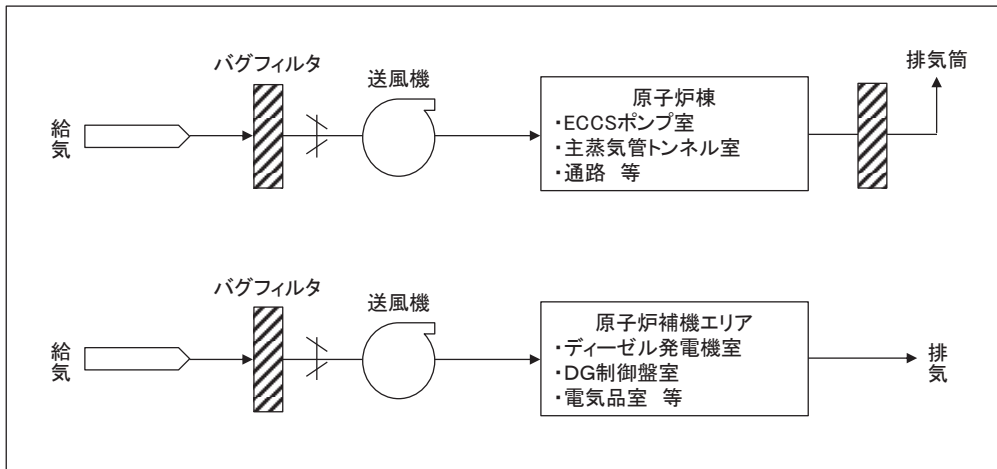
(2) 安全保護系

安全保護系設備は、安全保護系盤が中央制御室に設置してある。中央制御室への外気取入経路にはバグフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については進入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙が当該室に進入する可能性がある場合、及び中央制御室内においてばい煙が流入したことを煙や異臭で確認した場合等は発電課長の指示により、事故時運転モードへ切り替えることにより、隔離が可能であり安全保護系設備に影響はない（第 3.2-3 図，第 3.2-4(a) (b) 図）。

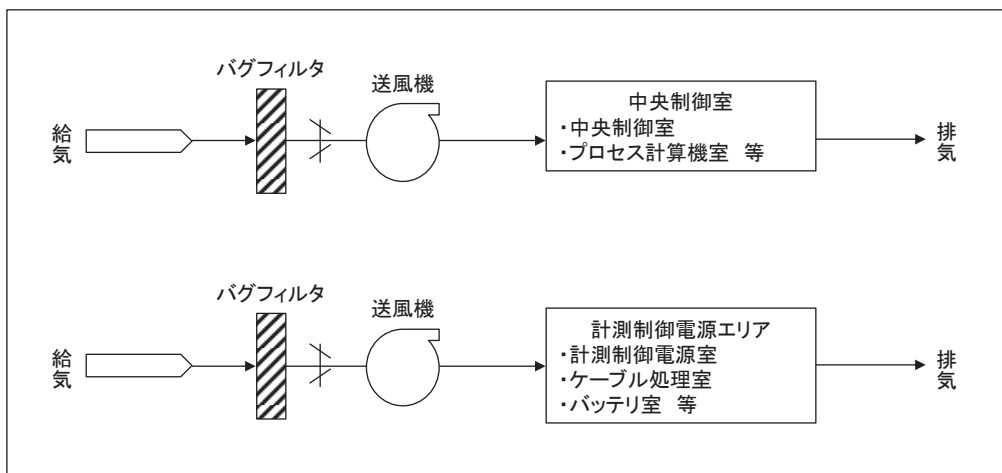
なお、中央制御室に侵入する可能性のあるばい煙粒径は、おおむね $2\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定されるが、計測制御系の盤等において、数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路（IC 等）の内部であり、これらの部品はモールド（樹脂）で保護されているため、ばい煙が進入することはない。また、端子台等の充電部が露出している箇所については、端子間の距離は数 mm あることから、ばい煙が付着しても、直ちに短絡等が発生させることはない。したがって、万が一、細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合においても、ばい煙の付着等により短絡等が発生させる可能性はない。

3.3 建屋外部に開口部を有する設備

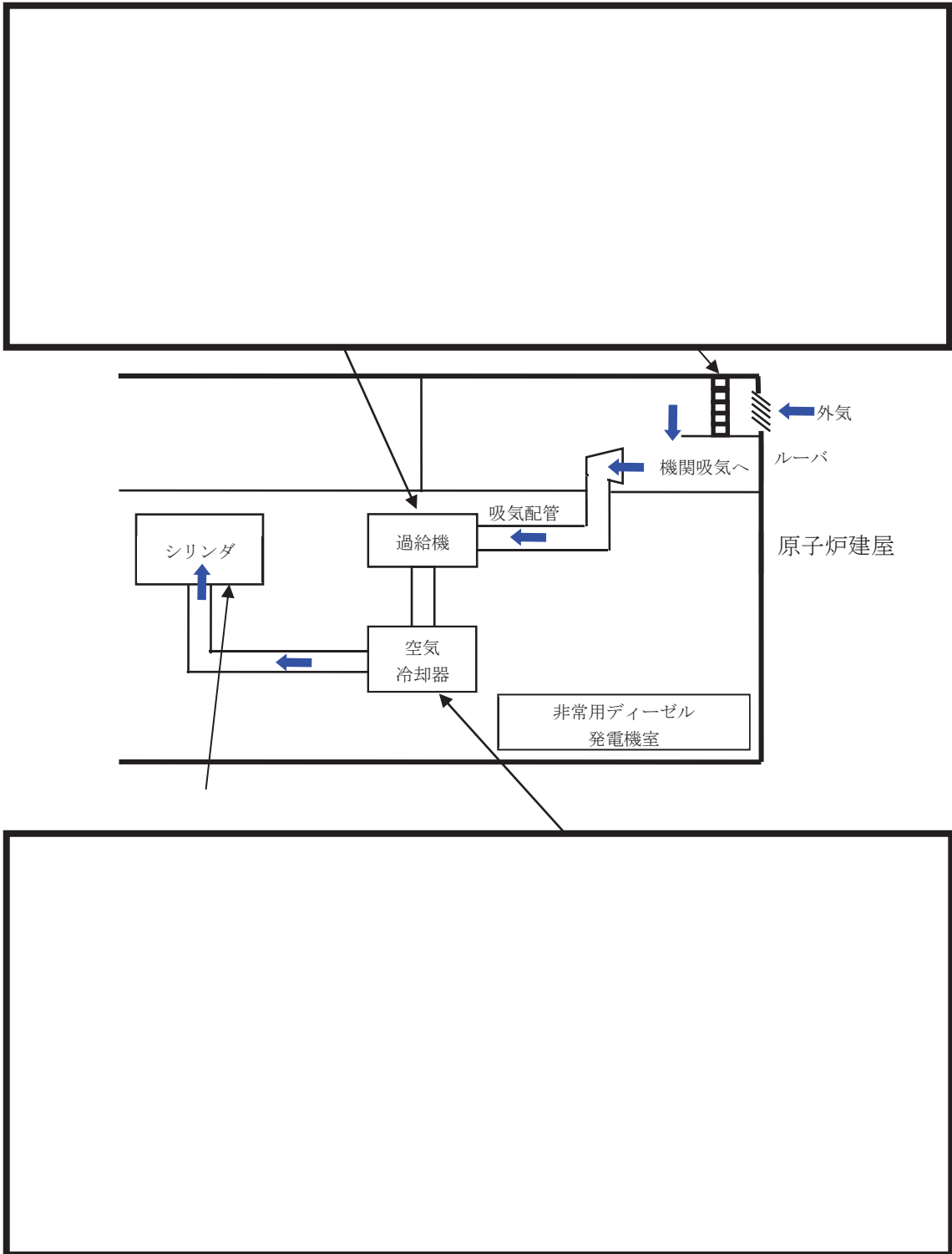
屋外に開口部を有する設備として、非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機を含む。）の排気口があるが、仮にばい煙が配管等の内部に侵入した場合においても、その動作時には進入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響を及ぼすことはない。（第 3.3-1 図）なお、排気筒も同様にばい煙が内部に侵入した場合においても、その動作時には進入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響を及ぼすことはない。



第 3. 2-1 (a) 図 原子炉建屋換気空調系



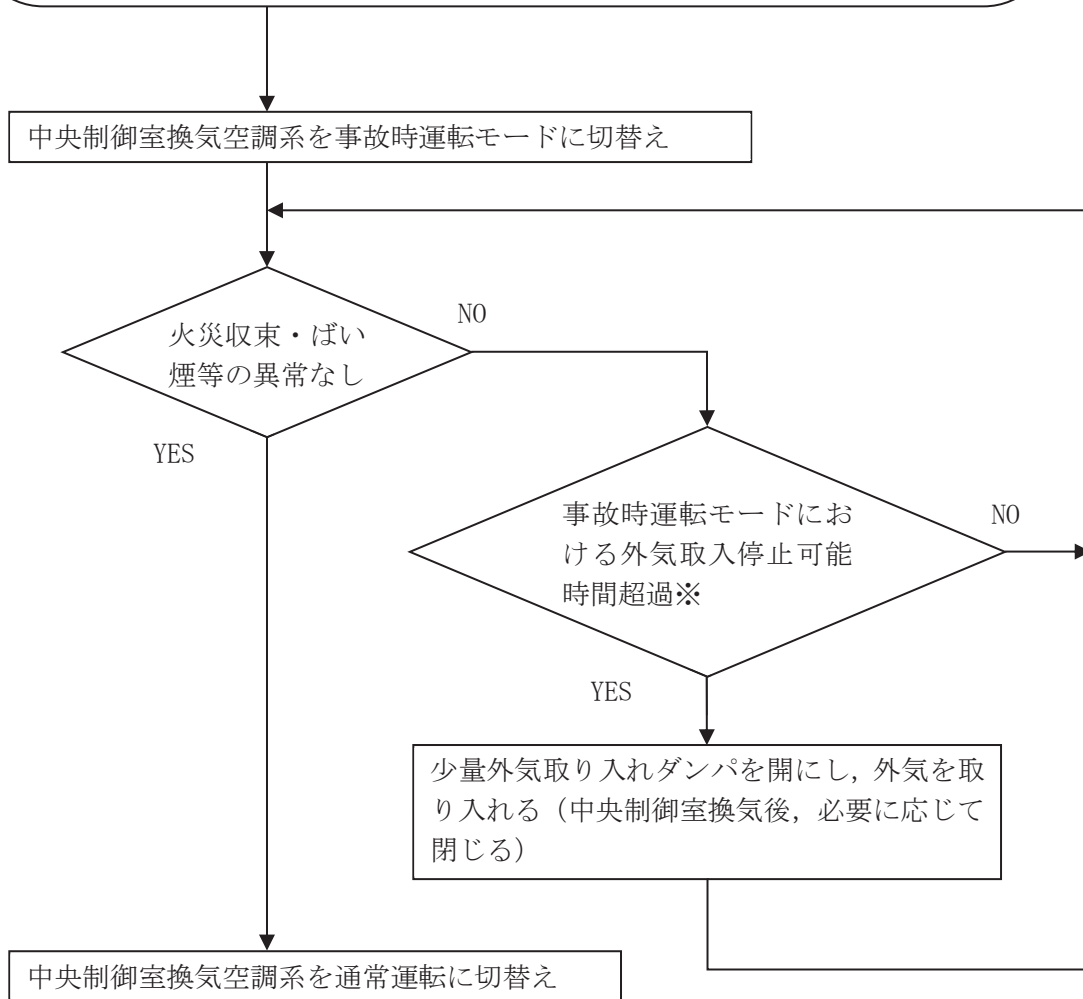
第 3. 2-1 (b) 図 制御建屋換気空調系



第 3.2-2 図 非常用ディーゼル機関吸気系統構造図

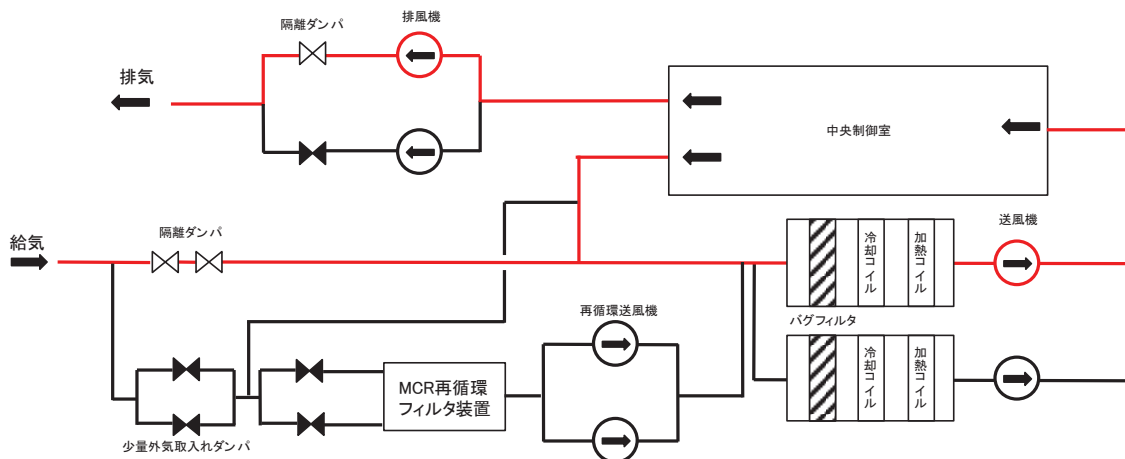
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません

発電課長は、中央制御室外火災発生に伴う有毒ガス発生により、中央制御室内にばい煙等が流入する可能性がある場合、及び中央制御室内においてばい煙等が流入したことを煙や異臭で確認した場合は、中央制御室隔離を運転員に指示する。

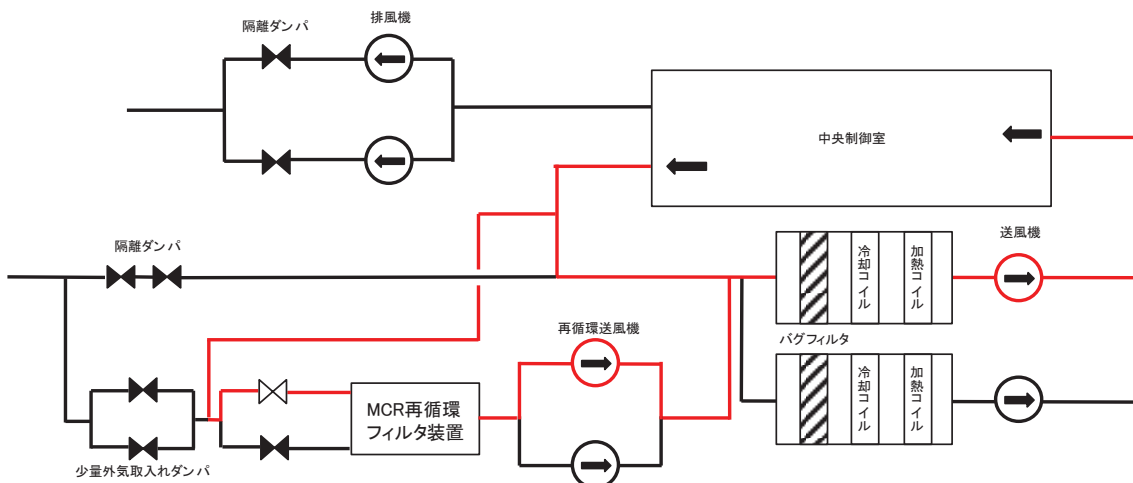


※：265 時間（CO2 濃度制限値 1.0%を基準に外気取入停止可能時間を求めた値）

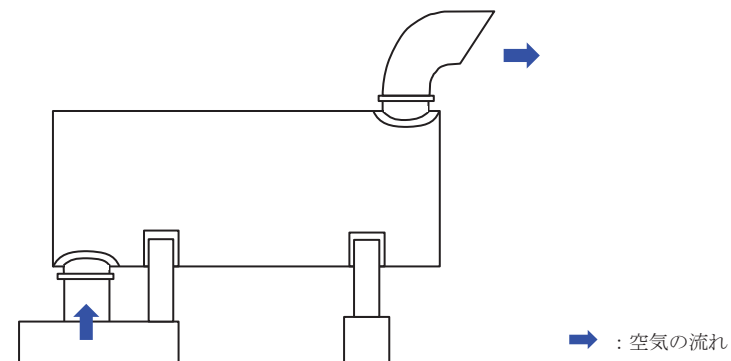
第 3.2-3 図 中央制御室外火災発生に伴う中央制御室隔離手順概要フロー



第 3.2-4(a) 図 通常モードの運転状態 (中央制御室)



第 3.2-4(b) 図 事故時運転モード時の運転状態 (中央制御室)



第 3.3-1 図 非常用ディーゼル発電機排気口概略図

3.4 居住性への影響

中央制御室換気空調系は、外気を遮断し、再循環させる運転モードに切り替えることができる。

外気との遮断が長期にわたり室内の空気が悪くなった場合は、外気取入モードに切り換え、外気を取り入れることができる。また、外気からの空気を取り込みを一時的に停止した場合に、活動に支障のない酸素濃度の範囲にあることを正確に把握するため、酸素濃度計を配備する。

外気取入遮断時の中央制御室内に滞在する運転員の操作環境の悪化防止のため、酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価を行い、中央制御室の居住性に影響がないことを確認する。

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外気取入口までの距離が近い設備（軽油タンク、補助ボイラ変圧器、起動変圧器）からの火災、及び航空機墜落による火災を想定し、中央制御室内に進入する有毒物質（CO、CO₂、SO₂、NO₂）の最大濃度を判定基準（IDLH 値^{※1}）と比較することで、有毒ガスに対する評価を実施し、中央制御室の居住性に影響がないことを確認する。

※1：30分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、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。

3.4.1 中央制御室内の二酸化炭素、酸素濃度の評価

外部火災時の2号炉中央制御室の居住性の評価として、外気取入遮断時の中央制御室内に滞在する運転員の操作環境の劣化防止のため、二酸化炭素濃度及び酸素濃度について評価を行う。

なお、中央制御室内には、燃焼による二酸化炭素の排出や酸素を消費する機器はないことから、在室人員の呼吸のみを想定し評価を行う。

(1) 二酸化炭素濃度評価

以下のとおり、二酸化炭素濃度について評価する。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 7人^{※1}
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 8800[m³]
- ・ 空気流入はないものとして評価する。
- ・ 初期二酸化炭素濃度 0.03[%]
(「原子力発電所中央制御室運転員の事故時被ばくに関する規程(JEAC4622-2009)」)
- ・ 呼吸により排出する二酸化炭素排出量 0.046[m³/h/人]
(運転操作を想定し、「空気調和・衛生工学便覧」における中等作業での二酸化炭素排出量)
- ・ 許容二酸化炭素濃度 1.0[%]
(労働安全衛生規則(昭和47年労働省令第32号,最終改正平成30年2月9日厚生労働省令第14号)の許容炭酸ガス濃度1.5%に対して管理上の余裕をみた値)
- ・ 評価期間は各火災の燃焼継続時間を考慮し24時間^{※2}とする。

※1: 運転員以外の人員については中央制御室に長期滞在しないことから、在室人員は運転員の人数とする。

※2: 外部火災影響評価にて長期間の影響をもたらす、航空機落下火災による火災と軽油タンク火災の重畳を考慮すると、約10時間が火災の継続時間となることから、24時間で評価を実施する。

b. 評価結果

外気遮断時間 t [hour]での炭酸ガス濃度 C [%]

$$C = (M \times N \times t) / V \times 100 + C_0$$

M : 呼吸による排出する二酸化炭素濃度 0.046 [$\text{m}^3/\text{h}/\text{人}$]

N : 在室人員 7 [人]

V : 中央制御室バウンダリ内体積 8800 [m^3]

C_0 : 初期炭酸ガス濃度 0.03 [%]

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は、以下のとおりであり、24時間程度外気取入を遮断したままでも運転員の作業環境に影響を与えない。

第 3.4.1-1 表 二酸化炭素濃度の時間変化

時間	6 時間	12 時間	24 時間
二酸化炭素濃度	0.06%	0.08%	0.12%

(2) 酸素濃度

以下のとおり酸素濃度について評価する。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 7人
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 8,800[m³]
- ・ 空気流入はないものとして評価する。
- ・ 初期酸素濃度 20.95[%]
(「空気調和・衛生工学便覧」の成人の呼吸気・肺胞気の組成の値を使用)
- ・ 1人あたりの呼吸量は、事故時の運転操作を想定し、「空気調和・衛生工学便覧」の歩行時の呼吸量を適用して、24L/minとする。
- ・ 1人あたりの酸素消費量は、「空気調和・衛生工学便覧」の成人吸気酸素濃度(20.95%)、成人呼気酸素濃度(16.40%)から1.092L/minとする。
- ・ 許容酸素濃度 18%以上
(酸素欠乏症等防止規則(昭和47年労働省令第42号、最終改正平成15年12月19日厚生労働省令第175号))
- ・ 評価期間は各火災の燃焼継続時間を考慮し24時間とする。

b. 評価結果

- ・ 中央制御室の初期酸素量 $1843.6[m^3] = 8800[m^3] \times 20.95[\%]$
- ・ 24時間後の酸素濃度 20.8[%]
$$= (1843.6[m^3] - 1.092[L/min/人] \times 10^{-3}[m^3/L] \times 7[人] \times 60[min] \times 24[h]) / 8800[m^3] \times 100$$

上記評価条件から求めた酸素濃度は、以下のとおりであり、24時間程度外気取入を遮断したままでも運転員の作業環境に影響を与えない。

第3.4.1-2表 酸素濃度の時間変化

時間	6時間	12時間	24時間
酸素濃度	20.9%	20.8%	20.8%

3.4.2 中央制御室に対する有毒ガス影響評価

(1) 評価の概要

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外気取入口までの距離が近い設備からの火災，及び航空機落下位置での火災を想定し，中央制御室内に侵入する有毒ガスの最大濃度を判定基準と比較することで，有毒ガスに対する中央制御室居住性の影響評価を実施する。

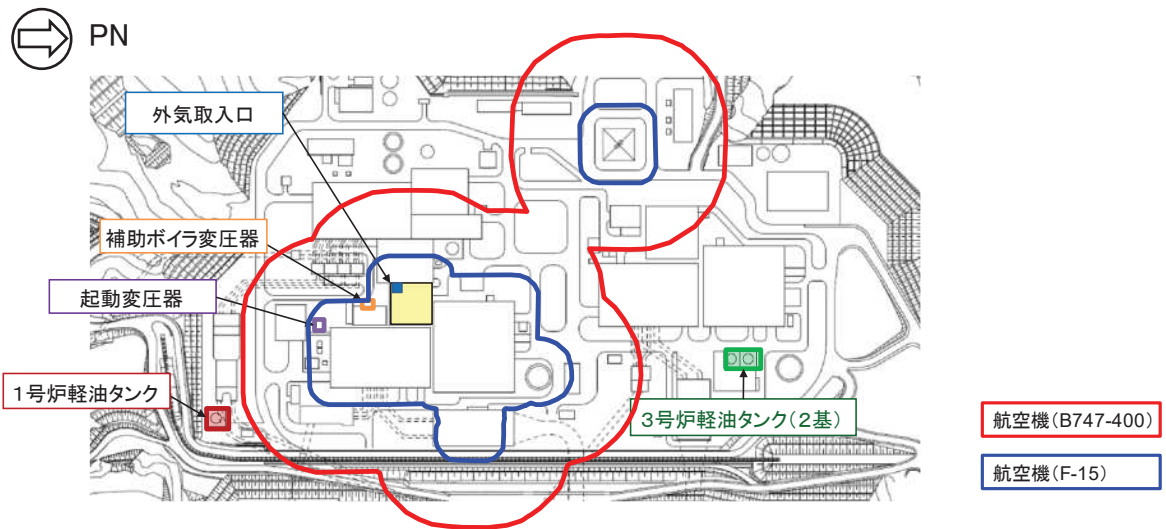
本評価では，石油コンビナートの防災アセスメント指針での判断基準と同様に，米国国立労働安全衛生研究所が定める IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) 値を採用する。この IDLH 値は，30 分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり，脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(2) 評価対象物質及び固定設備

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外気取入口までの距離が近い設備として軽油タンク及び変圧器等を評価対象とし，第 3.4.2-1 表に評価対象施設及び評価対象設備から外気取入口までの距離及び火災燃焼面積を示す。また，火災によって発生する物質のうち，IDLH 対象物質である一酸化炭素 (CO)，二酸化炭素 (CO₂)，二酸化硫黄 (SO₂) 及び二酸化窒素 (NO₂) を評価対象物質とする。軽油タンク，変圧器，航空機落下位置及び外気取入口の位置関係を第 3.4.2-1 図に示す。

第 3.4.2-1 表 評価対象施設と外気取入口までの距離

火災発生場所	離隔距離[m]	油保有量[m ³]
1号炉軽油タンク	199	620
3号炉軽油タンク	346	660
航空機 (B747-400)	85	216.84
航空機 (F-15)	21	14.87
起動変圧器	72	40
補助ボイラ変圧器	22	18



第 3. 4. 2-1 図 軽油タンク，航空機落下，変圧器及び外気取入口の位置関係

(3) 評価方法

火災源から放出された有毒ガスは中央制御室換気空調系給気口に向かう風によって、風下直線方向に拡散していくものとして、Briggsの排煙上昇過程式により求めた評価対象ガスの風速と有風時プルーム式を用いて、中央制御室換気空調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3.4.2-2図に示す。

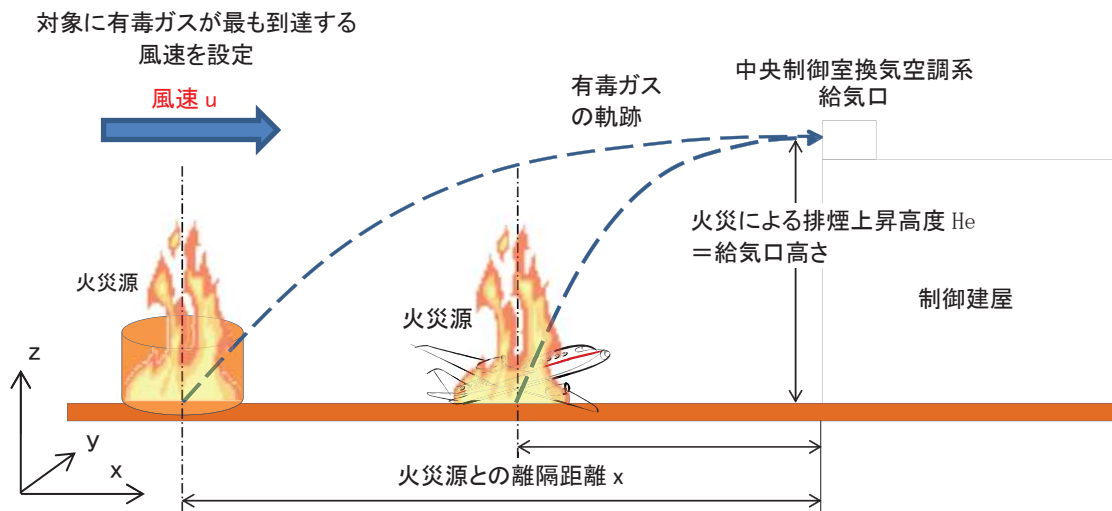
(有風時プルーム式)

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

(Briggsの排煙上昇過程式)

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

C_{xyz}	: 濃度 (ppm)
Q	: 有毒ガス発生量 (Nm ³ /s)
H_e	: 有効発生高さ (m)
σ_y, σ_z	: 拡散パラメータ (m)
u	: 風速 (m/s)
F	: 排熱フラックス (m ⁴ /s ³) = $\frac{gQ_H}{\pi C_p \rho T} = 0.037Q_H$
Q_H	: 排気熱量 (kcal/s) = $\dot{m}A\Delta H_{c,eff}$
$\Delta H_{c,eff}$: 燃焼時発熱量 (kcal/kg)
A	: 燃焼面積 (m ²)
\dot{m}	: 質量低下速度 (kg/m ² /s)
x	: 発生源と給気口との離隔距離 (m)
z	: 発生源と給気口との鉛直方向距離 (m)
y	: 排気プルーム軸からの距離 (m)
g	: 重力加速度
C_p	: 定圧比熱 (kcal/K/kg)
ρ	: 環境大気の平均密度 (g/m ³)
T	: 環境大気の平均絶対温度 (K)



第 3. 4. 2-2 図 中央制御室換気空調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空調系給気口位置での濃度を求め、判断基準であるIDLH値と比較評価を実施する。

評価手順は以下のとおり。

- ① それぞれの火災源から発生する有毒ガス発生量 Q を算出する
- ② 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。
- ③ 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していることを確認した。このため、Briggs の排煙上昇過程式を用いて、排煙高さが給気口高さと同じになる風速を求めることは妥当である。

※2 : G. A. Briggs, "Plume Rise", U. S. Atomic Energy Commission, 1969

$$x \leq x^*$$

$$x^* = 2.16F^{2/5} \cdot h_s^{3/5}$$

x : 離隔距離 (m)

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)

F : 排熱フラックス (m^4/s^3)

h_s : 排煙上昇量 (m) ($h_s < 305m$)

a. 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離隔距離及び鉛直方向距離を第3.4.2-2表に示す。また、航空機火災については、保守的な評価となる「計器飛行民間航空機 (B747-400)」及び「米軍機 (訓練区域外) (F-15)」の落下位置を採用した。

第3.4.2-2表 給気口と火災源との距離

評価対象	中央制御室換気空調系給気口	
	水平距離[m]	高さ[m]
1号炉軽油タンク	199	15.925
3号炉軽油タンク (2基)	346	15.925
航空機 (B747-400)	85	15.925
航空機 (F-15)	21	15.925
起動変圧器	72	15.925
補助ボイラ変圧器	22	15.925

(b) 火災発生時の有毒ガス発生量

第3.4.2-3表に燃料の燃焼特性を示す。

燃料1kgあたりの有毒ガス発生量は、各文献に掲載されている単位重量あ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。

第3.4.2-3表 燃焼特性に関するデータ

油種		Jet A-1	JP-4	軽油	変圧器油
有毒ガス発生量※ (kg/kg)	CO ₂	3.1750	3.0530	3.0000	3.2970
	CO	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
	SO ₂	0.0020	0.0006	0.0080	0.0830
	NO ₂	0.0060	0.0050	0.0040	0.0070

※有毒ガスの発生量は以下の文献より算出した。

CO₂: 環境省, 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル

CO: Ross J.L., Ferek R.J. and Hobbs P.V., "Particle and Gas Emissions from an In Situ Burn of Crude Oil on the Ocean", J. Air & Water Manage. Assoc., 46, pp. 251-259 (1996)

SO₂, NO₂: U.S. EPA AP-42 "Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume I: Stationary Point and Area Sources"

(c) 評価対象及び火災源に関するデータ

第 3.4.2-4 表に火災源に対するデータ，第 3.4.2-5 表に有毒ガス発生量に関するデータを示す。

第 3.4.2-4 表 火災源に関するデータ

想定火災源	油種	燃焼面積 (m ²)	質量低下速度 (kg/m ² /s)	発熱量 (kcal/kg)	燃料消費速度 (kg/s)	排出熱量 (kcal/s)	排熱フラックス (m ⁴ /s ³)
1号炉軽油 タンク	軽油	340.0	0.044	44,400	14.96	158,500	5,864
3号炉軽油 タンク(2基)	軽油	381.0	0.044	44,400	16.76	177,600	6,571
航空機 (B747-400)	Jet A-1	700	0.039	10,300	27.3	281,100	10,400
航空機 (F-15)	JP-4	44.6	0.051	10,300	2.27	23,300	862
起動変圧器	変圧器 油	70	0.039	46,000	2.73	29,700	1,098
補助ボイラ 変圧器	変圧器 油	30	0.039	46,000	1.17	12,700	469

第 3.4.2-5 表 有毒ガス発生量に関するデータ

想定火災原	有毒ガス発生量 [*] (Nm ³ /s)			
	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
1号炉軽油タンク	22.848	0.360	0.0419	0.0300
3号炉軽油タンク (2基)	25.598	0.403	0.0470	0.0330
航空機 (B747-400)	44.127	0.656	0.0192	0.0800
航空機 (F-15)	3.529	0.055	0.0005	0.0056
起動変圧器	4.583	0.066	0.0794	0.0100
補助ボイラ変圧器	1.964	0.029	0.0340	0.0040

(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くなるものとして風速を算出した。算出結果を第3.4.2-6表に示す。

第3.4.2-6表 算出結果

評価対象		風速[m/s]
中央制御室 換気空調系 給気口	1号炉軽油タンク	61.7
	3号炉軽油タンク(2基)	92.7
	航空機(B747-400)	42.3
	航空機(F-15)	7.2
	起動変圧器	17.9
	補助ボイラ変圧器	6.1

また、算出した風速と第3.4.2-7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3.4.2-8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3.4.2-9表に示すガウスプルームモデルにおける大気拡散パラメータより $\Delta He^2/10$ を加えた値を採用した。

第3.4.2-7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 3.4.2-8 表 拡散パラメータ Passquill-Gifford 図の近似関係*

$$\sigma_y(x) = \gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	α_y	γ_y	風下距離 x (m)
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	α_z	γ_z	風下距離 x (m)
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~
D	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 3.4.2-9 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

<p>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*</p> $\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x), \sigma_\theta \text{ in radians}$ <p>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:</p> <table border="1"> <tr> <td>x(km)</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>>10</td> </tr> <tr> <td>f(x)</td> <td>0.8</td> <td>0.7</td> <td>0.65</td> <td>0.6</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> <td>0.33</td> <td>$0.33(10/x)^{1/2}$</td> </tr> </table> <p>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.</p>		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	$0.33(10/x)^{1/2}$
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	$0.33(10/x)^{1/2}$											
<p>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:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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) To allow for 'urban heating' adopt a stability category one-half category more unstable than that prescribed in the normal way in the Workbook For evaluating the concentration at the surface from a surface release, consider estimates of the <u>effective mixed depth h'</u> 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) 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空調系給気口での拡散パラメータを第 3.4.2-10 表に、有毒ガス濃度を第 3.4.2-11 表に示す。

第 3.4.2-10 表 拡散パラメータ

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ	
			σ_y [m]	σ_z [m]
1 号炉軽油タンク	15.925	61.7	15.13	9.70
3 号炉軽油タンク 2 基	15.925	92.7	25.29	14.03
航空機火災 (B747-400)	15.925	42.3	6.864	4.104
航空機火災 (F-15)	15.925	7.2	1.872	1.293
起動変圧器	15.925	17.9	5.883	3.578
補助ボイラ変圧器	15.925	6.1	1.955	1.343

第 3.4.2-11 表 評価結果

評価対象	CO ₂ 濃度 [ppm]	CO 濃度 [ppm]	SO ₂ 濃度 [ppm]	NO ₂ 濃度 [ppm]
	(IDLH: 40,000 ^{※1})	(IDLH: 1,200 ^{※1})	(IDLH: 100 ^{※1})	(IDLH: 13 ^{※2})
1 号炉軽油タンク	404	6.36	0.75	0.53
3 号炉軽油タンク 2 基	134	2.10	0.25	0.18
航空機火災 (B747-400)	3,719	55.28	1.62	6.75
航空機火災 (F-15)	7,930	123.60	1.13	12.59
起動変圧器	1,120	16.13	19.40	2.45
補助ボイラ変圧器	5,007	73.93	86.67	10.20

※1 人に対する急性吸入毒性データに基づく。(NIOSH, “NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards”, September 2007)

※2 ボランティアに対する 70 分間のばく露後の呼吸器系への刺激及び重度の咳に対する最小毒性量 (LOAEL) に基づく。(NIOSH, “IDLH Value Profile: Nitrogen Dioxide”, September 2017)

評価結果から、全ての評価に対し IDLH 値以下であることを確認した。

中央制御室に有毒ガスが流入してくる可能性がある場合には、中央制御室の外気取入を遮断し、再循環させる事故時運転モードで運転を行うことが可能であり、火災発生後 10 分程度^{*}で中央制御室の外気取入を停止し、事故時運転モードへ切替えることが可能である。

また、火災（有毒ガス）の発生は、火災感知器（軽油タンク、主変圧器等）、振動や衝撃音（航空機落下）により覚知できることに加え、自然現象監視カメラにおいても屋外の状況を確認可能とし、中央制御室内で煙や異臭を確認した場合等の緊急時には、切替操作スイッチを使用し、必要な機器を同時に動作させる一括切替も可能であり、これらの覚知・判断に時間を要するものではなく、迅速に対応することが可能である。

以上より、外部火災により有毒ガスが発生した場合において、中央制御室の居住性が損なわれることはないと評価する。

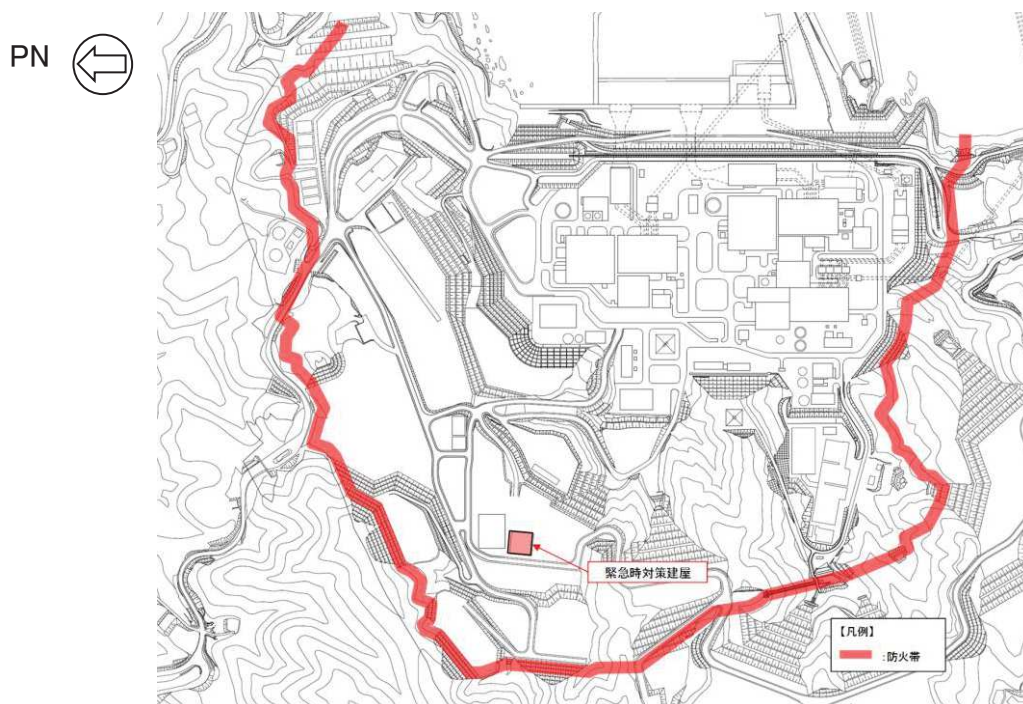
※：切替えに要する時間は通常の切替手順をもとに、弁点検時の実動作時間などから算出すると 10 分程度であった。

火災発生（ばい煙等の流入を確認）→事故時運転モードに切替え操作

3.4.3 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、外気取入遮断時の緊急時対策所内に滞在する対策要員の居住環境の劣化防止のため、二酸化炭素濃度及び酸素濃度について評価を行った。

緊急時対策所がある緊急時対策建屋の位置を第3.4.3-1図に示す。



第3.4.3-1図 緊急時対策所の位置

(1) 二酸化炭素濃度

外気遮断時の緊急時対策所内の二酸化炭素濃度について評価する。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 79人^{※1}
- ・ 緊急時対策所バウンダリ内体積 8,661[m³]
- ・ 空気流入はないものとして評価する。
- ・ 初期二酸化炭素濃度 0.03[%]
(「原子力発電所中央制御室運転員の事故時被ばくに関する規程 (JEAC4622-2009)」)
- ・ 呼吸により排出する二酸化炭素排出量 0.046[m³/h/人]
(運転操作を想定し,「空気調和・衛生工学便覧」における中等作業での二酸化炭素排出量)
- ・ 許容二酸化炭素濃度 1.0[%]
(労働安全衛生規則 (昭和 47 年労働省令第 32 号, 最終改正平成 30 年 2 月 9 日厚生労働省令第 14 号) の許容炭酸ガス濃度 1.5%に対して管理上の余裕をみた値)

※1: 緊急時対策要員 (70 人), 自衛消防隊 (6 人) 及び運転検査官 (3 人)

b. 評価結果

外気遮断時間 t[hour]での炭酸ガス濃度 C[%]

$$C = (M \times N \times t) / V \times 100 + C_0$$

M: 呼吸による排出する二酸化炭素濃度 0.046[m³/h/人]

N: 在室人員 79[人]

V: 緊急時対策所バウンダリ内体積 8661[m³]

C₀: 初期炭酸ガス濃度 0.03[%]

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は、以下のとおりであり、外気取入を遮断したままでも、12 時間以上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、対策要員の作業環境に影響を与えない。

第 3.4.3-2 表 緊急時対策所外気遮断時の二酸化炭素濃度の時間変化

時間	6 時間	12 時間
二酸化炭素濃度	0.29	0.54%

(2) 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する。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 79 人
- ・ 緊急時対策所バウンダリ内体積 8,661[m³]
- ・ 空気流入はないものとして評価する。
- ・ 初期酸素濃度 20.95[%]
- ・ 1 人あたりの呼吸量は、事故時の運転操作を想定し、「空気調和・衛生工学便覧」の歩行時の呼吸量を適用して、24[l/min]とする。
- ・ 1 人あたりの酸素消費量は、「空気調和・衛生工学便覧」の成人吸気酸素濃度 (20.95[%])、成人呼気酸素濃度 (16.40[%]) から 1.092L/min とする。
- ・ 許容酸素濃度 18%以上
(酸素欠乏症等防止規則 (昭和 47 年労働省令第 42 号, 最終改正平成 15 年 12 月 19 日厚生労働省令第 175 号))

b. 評価結果

- ・ 緊急時対策所の初期酸素量 $1814.5[m^3] = 8661[m^3] \times 20.95[\%]$
- ・ 12 時間後の酸素濃度 20.2[%]
$$= (2141.1[m^3] - 1.092[L/min/人] \times 10^{-3}[m^3/L] \times 79[人] \times 60[min] \times 12[h]) / 8661[m^3] \times 100$$

上記評価条件から求めた酸素濃度は、以下のとおりであり、外気取入を遮断したままでも、12 時間以上緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周围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、対策要員の作業環境に影響を与えない。

第 3.4.3-1 表 緊急時対策所外気遮断時の酸素濃度の時間変化

時間	6 時間	12 時間
酸素濃度	20.5%	20.2%

熱気流による影響評価について

軽油タンク火災や航空機墜落による火災が発生した場合、熱気流による発電用原子炉施設への影響が懸念されるため、その影響について評価するものである。

1. 概要

発電用原子炉施設から離れた位置における火災では、熱気流は上昇・拡散することから発電用原子炉施設に影響をおよぼすことはない。このため、発電用原子炉施設近傍で発生する軽油タンク火災及び航空機墜落による火災を熱気流の発生源として想定する。

2. 評価対象

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）は、外部電源喪失が発生した場合において安全機能を有する設備に電源を供給する設備であり、外気を内部に取り込む設備でもあることから評価対象とする。なお、非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）の給気口は原子炉建屋の3階に設置されている。

3. 評価結果

発電用原子炉施設近傍での火災を想定した場合、非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）の給気口から熱気流が直接取り込まれる可能性は否定できないが、熱気流の影響範囲は気象条件（風向、風速等）に大きく依存する（第1図～第2図）。

これら不確かさはあるものの女川原子力発電所設置許可申請書添付書類六において、気象指針から求めた安全解析に使用する気象条件にて、熱気流の発電用原子炉施設への到達可能性を評価する。なお、給気口は火災源と逆方向を向いており、熱気流を取り込む可能性はないが、保守的に到達するものとして評価する。

評価の結果、航空機火災において熱気流の取り込みの可能性がある結果となったが、火災発生時は非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）の給気温度を監視しつつ、熱気流の取り込みが懸念される場合は、当該設備を起動しない（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することができる。

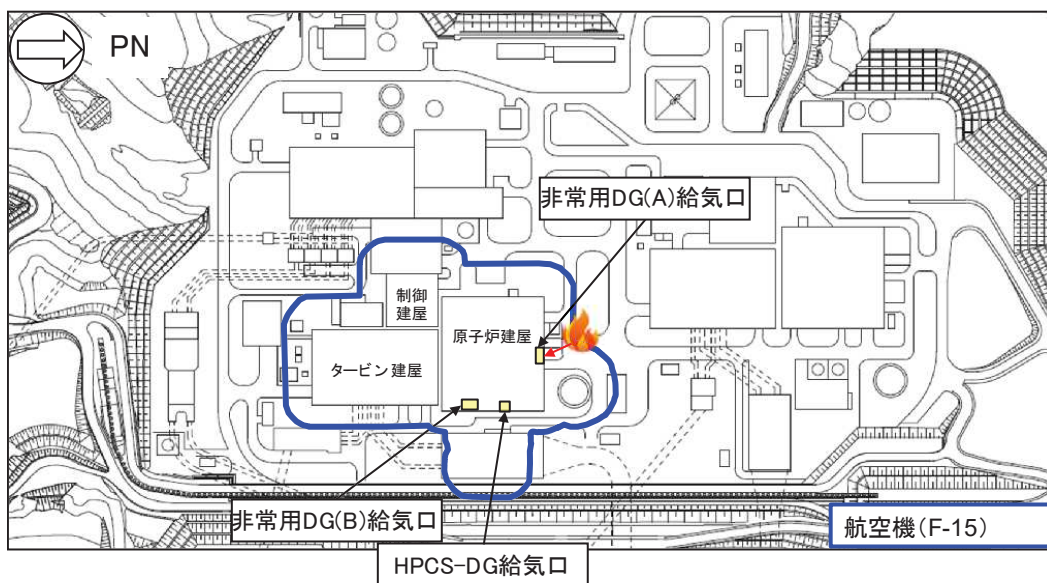
なお、非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む）の給気口は原子炉建屋の3階に集中して設置されていること、及び位置的分散が図られていることから、同時に全ての設備が直接熱気流の影響を受けることは想定しづらく、影響を受けない方角に位置する非常用ディーゼル発電機（高圧

炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む) は運転が可能である。また、消火が確認された時点で、停止していた非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機含む) の運転再開も可能となる。

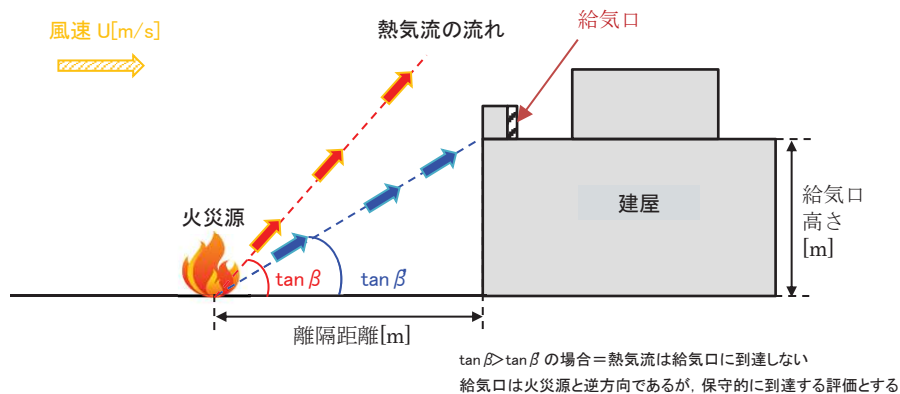
以上より、熱気流の影響は限定的であり、発電用原子炉施設に影響をおよぼすことはないと評価する。



第1図 熱気流を取り込む可能性のある給気口位置 (軽油タンク火災)



第2図 熱気流を取り込む可能性のある給気口位置 (航空機火災)



第3図 熱気流評価概念図

第1表 必要データ

発火源	給気口高さ h[m]	離隔距離 L[m]	熱源直径 D[m]	発生熱量 Q[kW]	風速無次元 パラメータΛ	フルード数 Fr
3号炉 軽油タンク	19.32	224	22.03	7.070×10^5	0.3839	0.252
航空機 F-15	19.32	21	7.54	9.400×10^4	0.5261	0.430

$$\tan \beta' = h \div L$$

$$\tan \beta = C_t \times \Lambda^{-k} \times Fr^{-o}$$

$$\Lambda = (U \times D^{1/3}) \div (Q \times g \div (Cp \times \rho \times T_0))^{1/3}$$

$$Fr = U \div \sqrt{D \times g}$$

C_t : 0.37^{※1} (実験定数), k : 1.125^{※1} (実験定数), o : -0.0975^{※1} (実験定数)

T_0 : 周囲空気温度 (50[°C]), U : 風速 (3.7[m/s]), g : 重力加速度 ([m/s²])

※1: 自治省消防庁消防研究所, 「大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書」,
消防研究所研究資料 第46号, 1999.9

第2表 評価結果

発火源	$\tan \beta$	$\tan \beta'$	結果
3号炉軽油タンク	0.949	0.087	> 可能性なし
航空機 F-15	0.701	0.920	< 可能性あり

観測気象データによる中央制御室に対する有毒ガス影響評価について

1. 概要

中央制御室に対する有毒ガス評価では、給気口に最大濃度の有毒ガスが直撃する風速を設定し保守性のある濃度評価を実施したが、風速による影響を確認するため、女川原子力発電所設置許可申請書添付書類六において、気象指針から求めた安全解析に使用する気象条件にて有毒ガス評価を実施した。

2. 評価方法

評価方法は「3.4.2 中央制御室に対する有毒ガス影響評価」と同様とし、各火災源から給気口方向への風速を安全解析に使用する気象条件に基づき、第1表のとおり設定した。

第1表 風速設定

評価対象		風速 [m/s]	最大濃度算出時の 風速[m/s] (参考)
中央制御室 換気空調系 給気口	1号炉軽油タンク	0.6	61.7
	3号炉軽油タンク(2基)	0.9	92.7
	航空機 (B747-400)	0.6	42.3
	航空機 (F-15)	1.9	7.2
	起動変圧器	0.9	17.9
	補助ボイラ変圧器	1.1	6.1

3. 評価結果

観測気象データによる風速設定における評価結果は第 2 表のとおりである。給気口に最大濃度の有毒ガスが直撃する風速の評価結果と比べ、10 分の 1 から 100 分の 1 程度まで濃度低下することを確認した。

よって、有毒ガス濃度評価においては、火災源から外気取入口の中心位置でブルームが最大濃度となる風速を Briggs の排煙上昇過程式より設定することで、保守性を有した条件となることを確認した。

第 2 表 評価結果

評価対象	CO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH: 40,000 ^{※1})	CO 濃度 [ppm] (IDLH: 1,200 ^{※1})	SO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH: 100 ^{※1})	NO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH: 13 ^{※2})
1 号炉軽油タンク	11	0.17	0.02	0.02
3 号炉軽油タンク 2 基	5	0.08	0.01	0.01
航空機火災 (B747-400)	66	0.97	0.03	0.12
航空機火災 (F-15)	229	3.56	0.04	0.37
起動変圧器	9	0.13	0.16	0.02
補助ボイラ変圧器	185	2.74	3.21	0.38

※1 人に対する急性吸入毒性データに基づく。(NIOSH, “NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards”, September 2007)

※2 ボランティアに対する 70 分間のばく露後の呼吸器系への刺激及び重度の咳に対する最小毒性量 (LOAEL) に基づく。(NIOSH, “IDLH Value Profile: Nitrogen Dioxide”, September 2017)

(参考) 最大濃度算出時の有毒ガス濃度評価結果

評価対象	CO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH: 40,000 ^{※1})	CO 濃度 [ppm] (IDLH: 1,200 ^{※1})	SO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH: 100 ^{※1})	NO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH: 13 ^{※2})
1 号炉軽油タンク	404	6.36	0.75	0.53
3 号炉軽油タンク 2 基	134	2.10	0.25	0.18
航空機火災 (B747-400)	3,719	55.28	1.62	6.75
航空機火災 (F-15)	7,930	123.60	1.13	12.59
起動変圧器	1,120	16.13	19.40	2.45
補助ボイラ変圧器	5,007	73.93	86.67	10.20

※1 人に対する急性吸入毒性データに基づく。(NIOSH, “NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards”, September 2007)

※2 ボランティアに対する 70 分間のばく露後の呼吸器系への刺激及び重度の咳に対する最小毒性量 (LOAEL) に基づく。(NIOSH, “IDLH Value Profile: Nitrogen Dioxide”, September 2017)

中央制御室に対する有毒ガス影響評価における入力条件

対象	項目	入力データ
評価モデル設定	航空機墜落位置	・航空機火災影響評価にて算出された離隔距離で外気取入口に最も近い位置を設定
	外気取入口	・火災源と外気取入口との間に障害物がないものとして設定
	風向	・火災源から外気取入口に向かう風向を設定
	有毒ガス濃度	・プルーム中心最大濃度で評価
	有毒ガス濃度評価位置	・外気取入口位置で評価
有風時プルーム式	u: 風速	・x[m]離れた地点の He[m]位置でプルームが最大濃度となる風速を Briggs の排煙上昇過程式より設定
	y: 排気プルーム中心軸からの水平方向距離	・排気プルームの中心を外気取入口中心とするため「0」を設定
	σ_y : 拡散パラメータ	・大気安定度から設定
	σ_z : 拡散パラメータ	・大気安定度から設定 ・熱気による鉛直方向への浮力拡散を考慮し $\Delta He^2/10$ を加えた値を設定
	He: 有効発生高さ	(固定値)
	Q: 有毒ガス発生量	(固定値)
	z: 火災源と給気口との鉛直方向距離	(固定値)
Briggs の排煙上昇過程式	He: 有効発生高さ	(固定値)
	F: 排熱フラックス	(固定値)
	x: 火災源と給気口との離隔距離	(固定値)

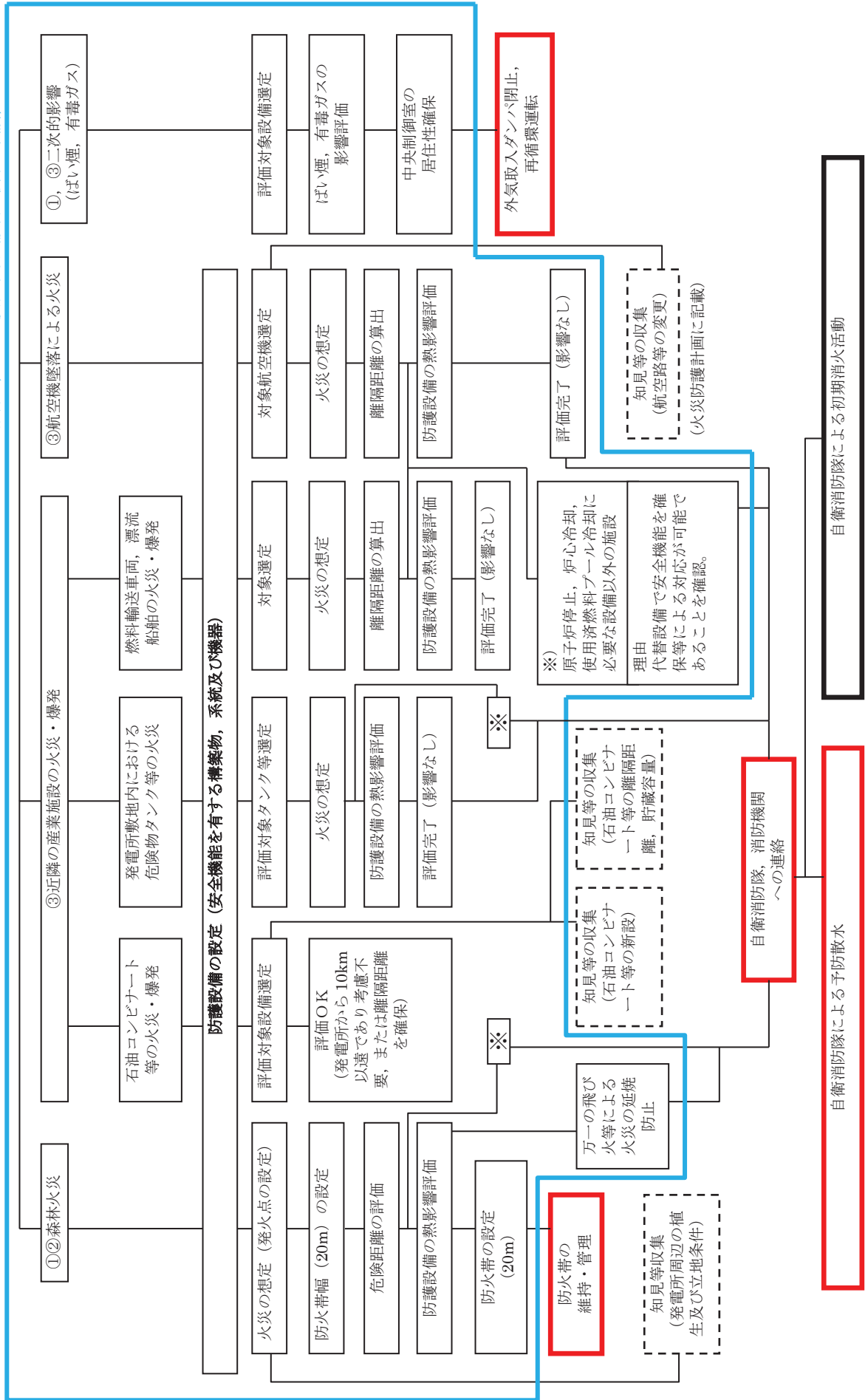
女川原子力発電所 2号炉

運用，手順能力説明 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。次項においても同じ）が発生した場合においても安全機能を損なわなければならない。
 ② 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
 ③ 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわなければならない。

添付六、八への反映事項（設計に関する箇所）



設計基準に係る運用対策等

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等	
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)	防火帯の維持・管理	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・防火帯のパトロール, 可燃物の排除 	
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・担当Gによる防火帯の維持・管理 	
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・防火帯の維持・管理 	
	知見の収集 (発電所周辺の植生及び立地条件)	教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育 (防火帯の目的, 点検・維持) 	
		運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・担当Gによる外部火災影響評価 	
	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)	保守・点検	—	—
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育 	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育
		運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・外部火災影響評価を行う。
	知見の収集 (航空路等の変更)	体制	<ul style="list-style-type: none"> ・担当Gによる外部火災影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・担当Gによる外部火災影響評価
		保守・点検	—	—
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育 	<ul style="list-style-type: none"> ・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
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)	自衛消防隊による 予防散水	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・火災発生現場の確認，中央制御室への連絡 ・現場指揮者は，風向き等から火災進行方向を評価し，散水場所を消防車隊に指示する。 ・消防車隊は防火水槽から水源をとり，ホースを展開し化学消防自動車により予防散水を行う。
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛消防隊の体制は別添1添付資料2に記載
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・化学消防自動車の点検 ・消火設備（防火水槽等）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	<ul style="list-style-type: none"> ・消火対応の力量を維持するための教育・訓練 ・初期消火要員による消火訓練，資機材取扱訓練 ・海上災害防止センサー消火訓練 等
	外気取入ダンパ閉， 再循環運転	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・外気取入ダンパ閉止，再循環運転の手順
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・運転員による運転操作
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・換気空調設備の点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・操作手順の教育（運転員） ・補修に関する教育・訓練（換気空調設備）

女川原子力発電所 2 号炉
森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

1. 基準要求

【第6条】 設置許可基準第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）にて、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないことを要求されている。また、外部火災影響評価について詳細に規定している「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、発電所敷地外で発生する火災が原子炉施設へ影響を与えないことについて評価することを要求されている。

当該基準要求を満足するにあたっては、評価ガイドの「付属書A 森林火災の原子力発電所への影響評価について」において、FARSITE（Fire Area Simulator）という森林火災シミュレーション解析コードの利用を推奨しており、想定火災の火線強度に対する原子炉施設の防火帯幅を評価する。

2. 現場確認項目及び内容

上記基準要求を満足するためには、FARSITE を用いた評価に必要なデータのうち、植生データについて「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現地の地方自治体より入手する。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。」と評価ガイドに記載されており、以下のとおり、国土数値情報土地利用細分メッシュ、宮城県及び東北森林管理局の森林簿情報、現場調査による確認を実施している。

2. 1 植生データの整備

(1) 植生データの入手及び整備

植生データについては、国土交通省の国土数値情報である女川原子力発電所周辺の土地利用細分メッシュ（H21 年度）を用い土地利用データを作成し、土地利用データの森林領域を細分化するための森林簿を宮城県及び東北森林管理局より入手し、森林領域等の植生データを細分化・整備した。

(2) 現場調査

FARSITE の入力にあたり、森林の樹種やその分布状況の詳細な現状把握が必要であるため、発電所構内及び防火帯周辺の植生については、現場調査（写真撮影）を実施した。

現場調査にあたっては、1級造園施工管理技士の国家資格を有する者又は植生調査業務に10年以上の経験を有している者がウォークダウンをすることにより、植生を調査し、樹種、林齢、低木及び下草の有無を確認した。ウォークダウンの際に写真を撮影するとともに、調査位置についても記録した。

(3) 植生データの作成

(1)、(2)を踏まえ補正し、FARSITEにて利用できるよう地理的な位置情報を扱う地理情報システム（GIS）に植生情報を入力してデータを作成した。

3. 記録の取扱い

現場調査結果及びFARSITEに入力した植生データを記録として保管する。

4. 今後の対応

発電所周辺の植生の変更がある場合は、そ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。