

第1表 主なFARSITE入力パラメータ一覧表(2/3)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力データ		保守性	
入力 ファイル	樹冠率	-	-	森林に該当するカテゴリー 3 (51~80%) 及び 4 (81~100%) の中から、火線強度が強くなるカテゴリー 3 を設定		◎	
	樹高	-	-	標準的な解析として FARSITE の初期値を入力		-	
	樹冠下高	-	-	標準的な解析として FARSITE の初期値を入力		-	
	樹冠かさ密度	-	-	標準的な解析として FARSITE の初期値を入力		-	
	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、地形等を評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕を見て南北 12km, 東西 12km とする。	植生、地形等を評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕を見て南北 13km, 東西 13km として設定。		-	
	Fuel 水分初期値	-	-	標準的な解析として FARSITE の初期値を入力		-	
その他 入力 ファイル	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			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 (4月~6月) の最高気温を過去 10 年間確認し、その中で最高気温である 30.0℃ 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気温を入力		○	
	最高湿度			最高湿度については、保守的に下記の最低湿度を入力		○	
	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 (4月~6月) の最小湿度を過去 10 年間確認し、その中で最小湿度である 13% を入力		○	
	観測標高	-	-	観測高さ 0m を入力		-	

第1表 主なFARSITE入力パラメータ一覧表(3/3)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力データ	保守性
その他 入力 ファイル	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、発火源が発電所の位置関係から風向きを卓越風向に設定することが困難な場合は、風向データを等から適切に設定できるものとする。		各発火点から泊発電所3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、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。		火災の延焼及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(4月～6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、その中で最大風速は29.7m/sであったが、FARSITEに入力可能な最大値100km/h(27.8m/s)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	◎
その他	発火点位置	発火点からの直線距離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、道路脇の畑及び集落と森林の境界部の発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定。	-

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（11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
連絡者	3号炉中央制御室	内	1名
通報者	総合管理事務所	内	1名
現場指揮者	総合管理事務所（就業時間帯） 3号炉中央制御室（夜間・休日）	内	1名
消火担当	51m倉庫・車庫	内	3名
消防車操作担当	51m倉庫・車庫	内	2名
消火補助担当	中央警備所	内	2名
案内誘導担当	茶津守衛所	内	1名
合計			11名

2. 常駐場所の妥当性

3号炉中央制御室、総合管理事務所、中央警備所、茶津守衛所及び51m倉庫・車庫は、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。

第1表 各設備の温度評価条件一覧表(1/2)

初期条件		設定根拠		評価上の保守性
建屋外壁表面温度	なし	保守的に放熱効果は考慮しない	建屋内の最高設計温度である 50℃がコンクリート壁内に均一に分布したとして設定。 普通コンクリートの最大値 (出典：日本建築学会 鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説) 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)	
対流による放熱	なし			
輻射による放熱	なし			
外壁初期温度	50℃			
コンクリート密度	2,400 kg/m ³			
コンクリート比熱	963 J/kg・K			
コンクリート熱伝導率	1.74 W/m・K			
火炎継続時間	0.118 h 0.021 h		FARSITE 解析結果より算定 (発火点 1) FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2)	
評価モデル	<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、外壁の評価に包絡される。 ※2：コンクリート表面温度評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。 </p>			

第1表 各設備の温度評価条件一覧表(2/2)

初期条件		設定根拠		評価上の保守性
排気筒温度				
外表面の吸収率	1.0	保守的に輻射による放熱は考慮しないものとして設定		<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒表面の吸収率を保守的に1.0としている。 ・排気筒初期温度を保守的に高めに設定。
輻射強度 (最大)	312 W/m ² 693 W/m ²	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 1) FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2)		
熱伝達率	17 W/m ² ・K	垂直外壁面の夏季の値 (出典：空気調和・衛生工学便覧)		
初期温度	50°C	建屋外壁の初期温度 50°Cを考慮し保守的に設定		
評価モデル	<p>火災による輻射熱E</p> <p>火災源</p> <p>排気筒</p> <p>表面の境界条件 — : 受熱 — : 放熱 - - : 断熱</p>			

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）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、小規模な落石のおそれがあるため、モルタルにより全面の法面を被覆する。



第1図 防火帯モルタル吹付工の施工例

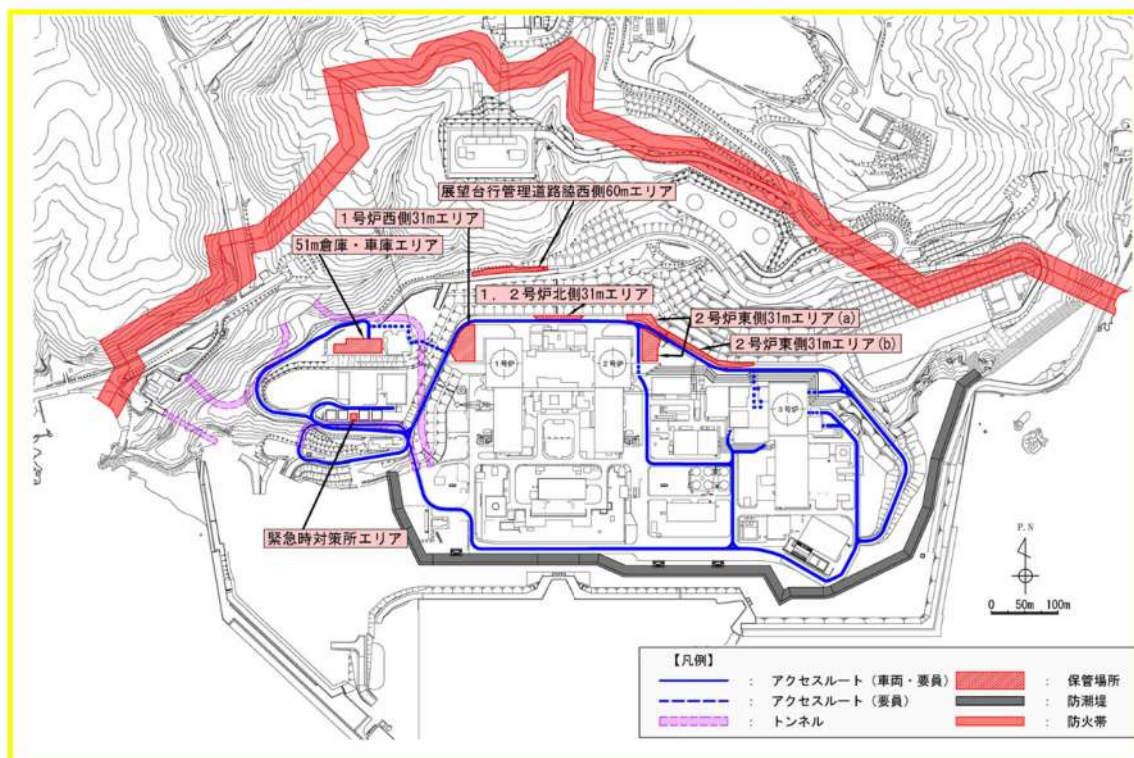
アクセスルートへの影響評価について

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、発電用原子炉施設（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。

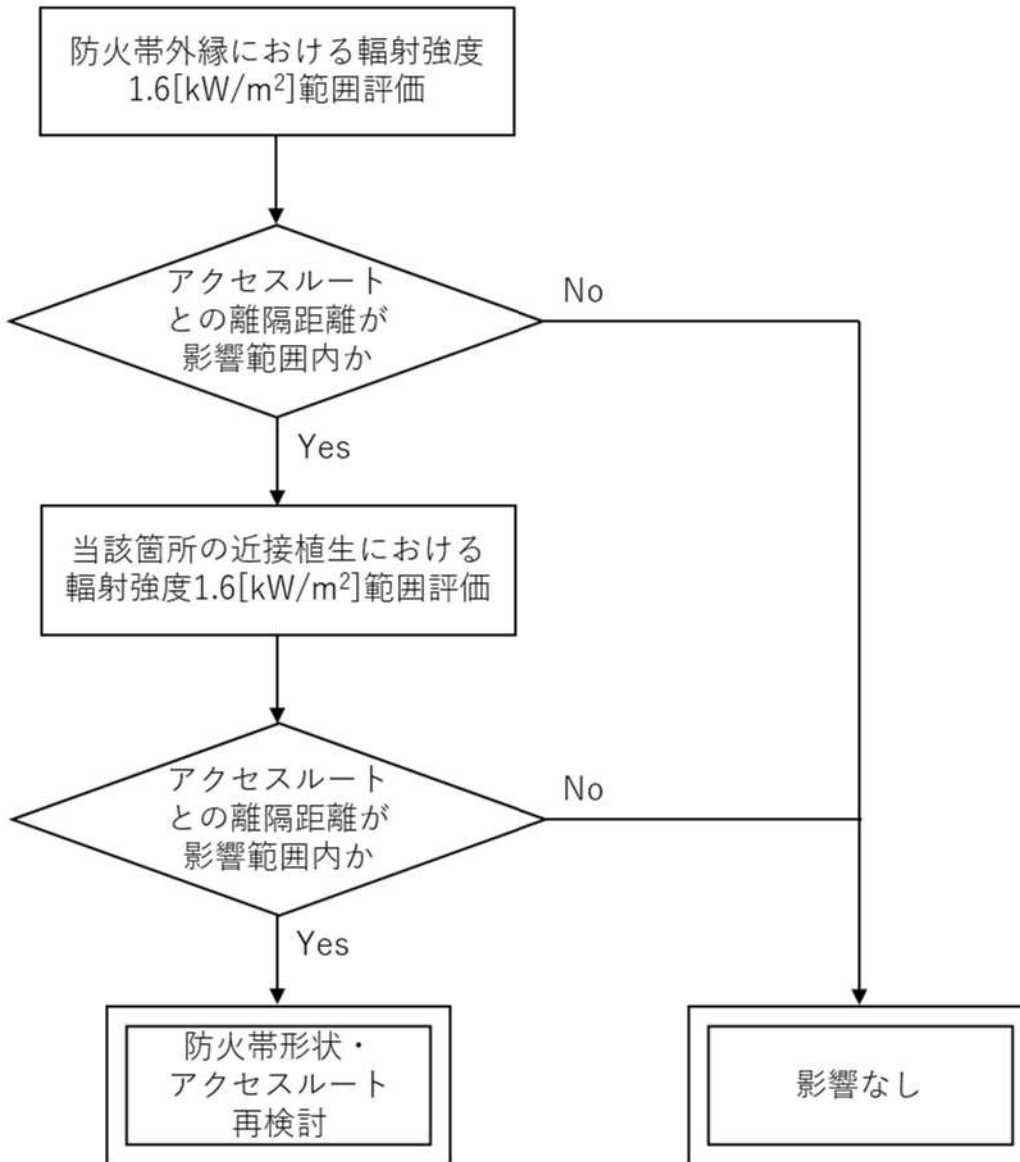
また、可搬型重大事故等対処設備のアクセスルートについても防火帯の内側とする。



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

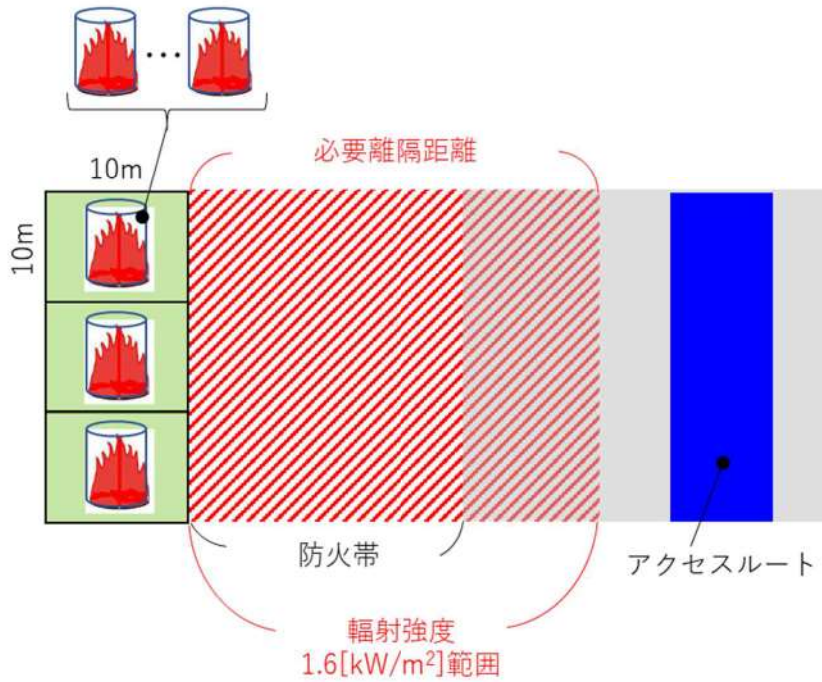
森林火災によりアクセスルートが「長時間さらされても苦痛を感じない強度」である輻射強度 1.6kW/m^2 以下となることを第2図のフローにより確認する。



※1：輻射強度 1.6kW/m^2 ：石油コンビナートの防災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

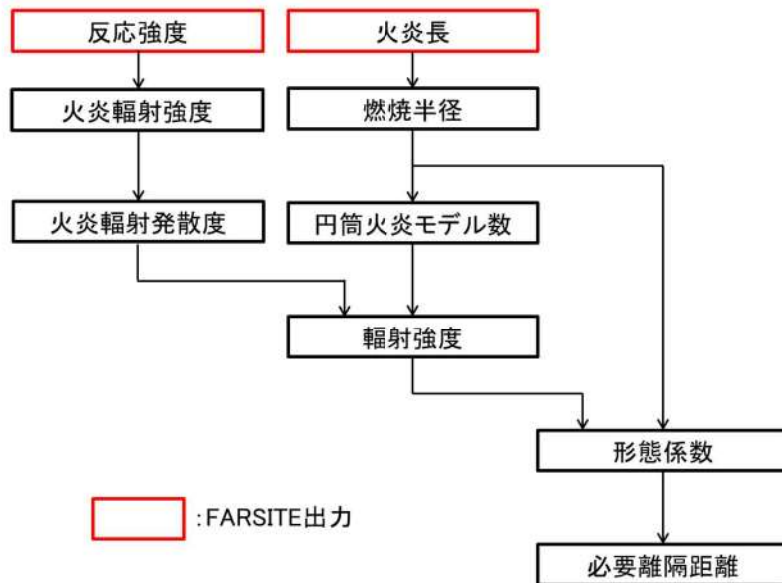
10mメッシュ内にはF'個の
円筒火炎モデルが燃焼



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放射強度並びに 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(F')を次式により算出する。

$$F' = \frac{10}{2R}, \quad R = \frac{H}{3}$$

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(米国防火技術者協会(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

輻射強度Eが1.6[kW/m²]となる形態係数Φを式1より算出する。

$$E = F' \times R_f \times \Phi \quad (\text{式1})$$

E: 輻射強度[W/m²], F' : 円筒火炎モデル数(10mメッシュ),
 R_f : 輻射発散度[W/m²], Φ: 形態係数

式1で求めた形態係数Φとなる必要離隔距離Lを式2より算出する。

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

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

H: 火炎長[m], R: 燃焼半径[m], L: 危険距離[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	最大火炎輻射発散度 [kW/m ²]	火炎長 [m]	円筒火炎 モデル数	必要離隔距離 [m]
1	1,200	1.63	9.3	63.0
2	1,200	3.62	4.2	94.1

以上の評価により最大必要離隔距離が発火点2における94.1m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、94.1m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94.1m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。

FARSITE における気象データの扱いについて

(1) 気象条件の設定

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」の附属書A「森林火災の原子力発電所への影響評価について」における気象データの整備要領では、「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。」旨、記載されていることから、気象条件の設定に当たっては、過去10年間に調査し、森林火災の発生件数の最も多い月（1993年～2012年：5月）を含めた4月～6月の気象データ（気温、湿度及び風速）を選択することで、森林火災の規模に対して保守的となるよう設定した。上記の期間（4月～6月）において、4月の風速及び湿度、6月の気温を用いるのが最も保守的である。

(2) 気象データの選定

気象データの選定に当たっては、泊発電所周辺の過去10年間（2003年～2012年）の気象データを調査した。その上で、外部火災影響評価においては発火点を発電所から10km以内（発火点1：約2.5km、発火点2：約1.5km）とした敷地外の火災の発生・進展を評価することから、発火点に最も近い発電所内の気象観測データ（気温：30.0℃、湿度：13%、最大風速：29.7m/s）をFARSITEへの入力値とした。

気象データには、発電所敷地外の公開情報である気象庁の気象統計情報があることから、比較を実施した。気象データのうち、気温及び最大風速については、泊発電所の最寄りに位置し、泊発電所と同じく後志地方の海沿いにあり約14km離れた神恵内地域気象観測所（アメダス）における同期間のデータ、湿度については、神恵内地域気象観測所（アメダス）では測定していないため、泊発電所から約35km離れているが、泊発電所と同じく後志地方の海沿いにある寿都特別地域気象観測所のデータとし、それらを組み合わせた値（気温：27.7℃、湿度：10%、最大風速：20.5m/s）を比較対象とした。

気温及び最大風速は、発電所内の気象観測データの方が高く、湿度は発電所敷地外の気象観測所の方が低い。FARSITEにおいて、気温、湿度及び風速のうち、解析結果に対する感度が一番大きいものは風速である。FARSITE出力結果のうち、火災規模の根拠となる延焼速度の評価式には風速のべき乗に比例する項が含まれており（発電所周辺の主な植生である落葉広葉樹では風速の約2.4乗）、泊発電所内の風速データは発電所敷地外の気象観測所の風速データより約10m/s高いことから十分な保守性を有している。一方で、気温及び湿度は可燃物特性の含水比に相関があるが、FARSITE入力初期条件にて含水比を低く設定しているため解析結果に対する感度は小さい。

よって、発電所敷地外の気象観測所のデータより湿度は若干低いものの、風速が高い発電所内の気象観測データの方が保守的な設定である。

なお、気象観測データに加えて、植生等のその他の入力データにも保守性を有していることから、FARSITE 全体として十分な保守性を有している。

FARSITE における風速データの入力について

FARSITEにおける気象データは、森林火災の発生・進展を評価することから、発火点に最も近い泊発電所内の気象観測データを入力値としている。気象データのうち、最大風速は29.7[m/s]であるが、FARSITEの仕様上、100[km/h] (27.8[m/s])が上限となっているため、100[km/h] (27.8[m/s])をFARSITE入力値としていることから、FARSITE入力値の保守性を確認する。

泊発電所内の風向風速計は、第1表に示す通り標高及び地上からの高さが異なる位置に計3箇所設置している。一方で、気象庁における風向風速計の設置は「平らな開けた場所を選んで、独立の塔または支柱を建て、地上10mの高さに設置することを標準とする」とされている。

今回選定した風速（泊発電所A点：29.7[m/s]）は、より厳しい条件を選定するため泊発電所内にも標準とされる地上10mの観測地点はあるが、保守的に地上50mの観測地点も含めたデータから選定しているものであり、FARSITE入力値とした風速（上限値：27.8[m/s]）はFARSITEの仕様上、泊発電所で観測された最大値では無いものの、標準である地上10mの高さに設置された風向風速計の最大風速（泊発電所C点：24.7[m/s]）よりも高くなっていることから、保守性を有している。また、森林火災の継続時間中、最大値の風速が継続するように設定していることも保守性を有している。

よって、FARSITEに入力している風速データの保守性は確保されている。

第1表 風向風速計の設置高さ

地点	標高[m]	地上からの高さ[m]	最大風速[m/s]
泊発電所A点	74	50	29.7
泊発電所C点	74	10	24.7
泊発電所Z点	10	10	21.2
(参考)神恵内地域気象観測所	50	9.9	20.5

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泊発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価する。

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、一定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。

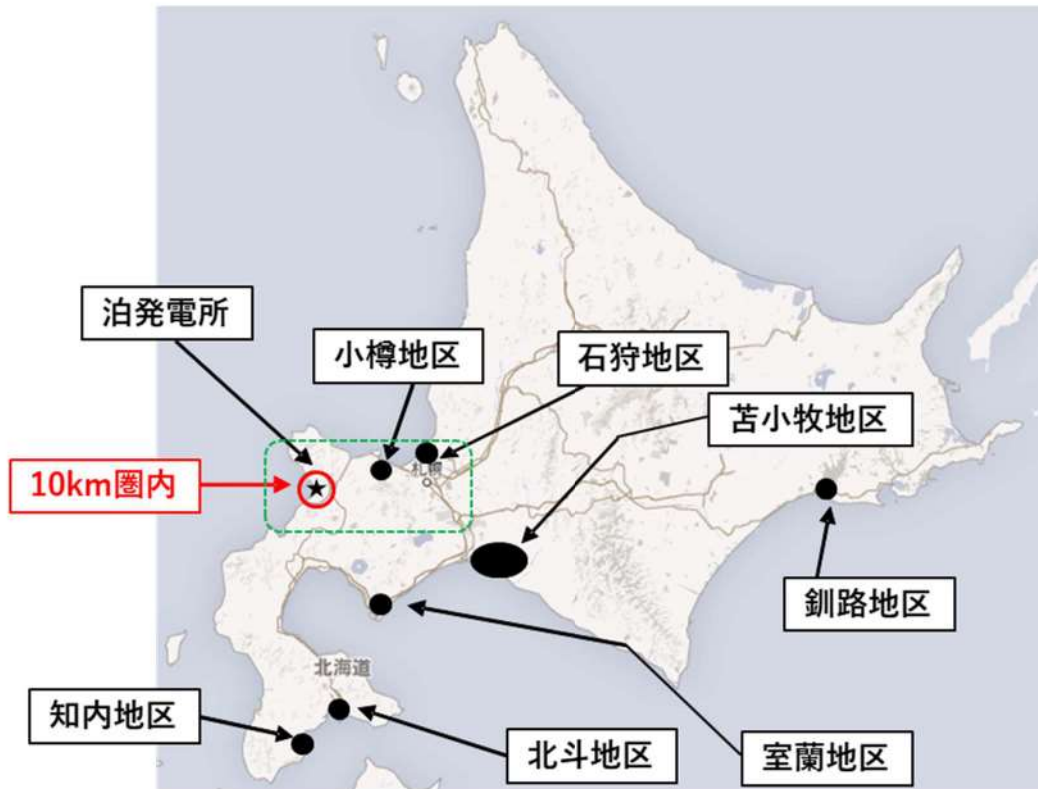
(1) 評価対象範囲

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北海道内の特別防災区域は「釧路地区」「苫小牧地区」「石狩地区」「室蘭地区」「北斗地区」「知内地区」の六箇所が存在するが、これらは、第 3-1 図に示すとおりいずれの区域も泊発電所から約 70km 以上離れており、いずれも泊発電所から 10km 以遠である。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小樽地区であり、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。



※緑破線部の拡大図を下記に示す



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

泊発電所から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）を抽出した。抽出の結果，危険物貯蔵施設は第四類危険物貯蔵施設のみが多数存在することから，火災影響評価を行う第四類危険物貯蔵施設の絞り込みを以下の方法で行った。また，高圧ガス貯蔵施設は1箇所のみであった。

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第 3-2 図に示す。

- (1) 発電所敷地外 10km 圏内に石油コンビナートはないことから、半径 10km 圏内に存在する危険物貯蔵施設の最大貯蔵容量は石油コンビナート相当の 10 万 kL^{*1}とした。ここで、第四類危険物のうち、最も輻射発散度が高い n-ヘキサン^{*2}が 10 万 kL 貯蔵された危険物貯蔵施設を想定し、その危険距離を算出した結果 1,320m^{*2}となった。

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

※2 算出方法は別紙-1 参照

- (2) (1)項の結果から、発電所から 1,500m 以遠には発電所に影響を及ぼす第四類危険物貯蔵施設は存在しないと判断し、発電所から 1,500m 以内に存在する第四類危険物貯蔵施設に対して火災影響評価を行う。



第 3-2 図 泊発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設等

第 3-1 表 発電所周辺に存在する第四類危険物貯蔵施設

--

※出典：岩内・寿都地方消防組合消防本部より開示（2022年6月29日現在）

a. 危険物貯蔵施設の火災影響評価

泊発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）に仮想危険物貯蔵施設（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を設定し熱影響評価を実施した結果より，発電所から 1,500m 圏内に存在する第四類危険物貯蔵施設に対して熱影響評価を行う。

泊発電所から 1,500m 圏内における危険物貯蔵施設の指定数量の倍数は [] であることから，最大貯蔵量は各取扱い油種が保守的に指定数量の倍数分あると仮定すると [] であり，泊発電所に最も近い危険物貯蔵施設との離隔距離は 1,450m である。

上記の危険物貯蔵施設による熱影響評価を実施したところ，危険距離は 109m であり，泊発電所との距離 1,450m 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泊発電所への影響はない。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第3-2表 10km 圏内における評価対象の危険物貯蔵施設の貯蔵量

燃料の種類	貯蔵量[kL]
灯油	
ガソリン	



第3-3図 危険物貯蔵施設位置

(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。

- i. 評価対象とする危険物貯蔵施設は 10km 圏内(敷地内を除く)における危険物貯蔵施設のうち、第3-1表で抽出した危険物貯蔵施設に第3-2表で示す貯蔵量があると仮定した場合を想定した。
- ii. 評価対象とする危険物貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。
- iii. 気象条件は無風状態とした。
- iv. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。
- v. 火災の形態は危険物貯蔵施設の全面火災とした。

第3-3表 評価条件

燃料の種類	ガソリン	灯油
燃料量[m ³]		
燃焼面積 ^{*1} [m ²]		
燃料密度 ^{*2} [kg/m ³]	740	820
質量低下速度 ^{*2} [kg/m ² ・s]	0.055	0.039
輻射発散度 ^{*3} [W/m ²]	58,000	50,000
燃焼速度[m/s]	7.44×10^{-5}	4.76×10^{-5}

※1：対象施設は地下タンク貯蔵所であり、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した

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

※2：THE SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Edition 記載値

※3：評価ガイド付属書 B 記載値

(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。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積[m²]

第 3-4 表 危険物貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S [m ²]	燃焼半径 R [m]
ガソリンスタンド		

(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/ρ[m/s]

M：質量低下速度[kg/m²・s]，ρ：燃料密度[kg/m³]

第 3-5 表 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V [m ³]	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m ² ・s]	燃料密度 ρ [kg/m ³]	燃焼継続時間 t [s]
ガソリン スタンド						

■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(d) 建屋外壁に対する危険距離評価

i. 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。

ii. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第3-6表に示す。

第3-6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	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機建屋	循環水ポンプ建屋
ガソリンスタンド	1,450	1,500	1,500	1,600

iii. 判断の考え方

(i) 危険放射強度

コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃に至る放射強度を危険放射強度とし、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、想定する火災の放射強度が危険放射強度を越えないことを、危険距離及び離隔距離から確認する。

(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、一定の放射強度で外壁が昇温されるものとして、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式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℃となる放射強度を危険放射強度として算出する。

なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、外壁の部材であるコンクリートへの熱伝導による蓄熱を考慮するため、保守的に対流及び放射による放熱は考慮しないものとした。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

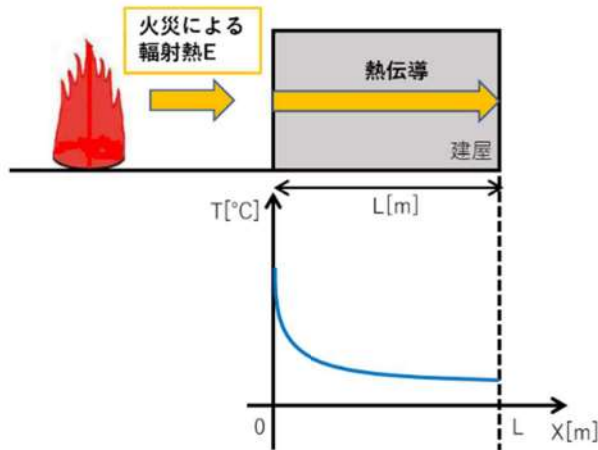
T：許容温度(200[℃])，T₀：初期温度(50[℃])，E：放射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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])，t：燃焼継続時間(3,060[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])



第3-4図 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

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：輻射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

第3-7表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
原子炉建屋	灯油	50,000	0.095
原子炉補助建屋			
ディーゼル発電機建屋			
循環水ポンプ建屋			

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。

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

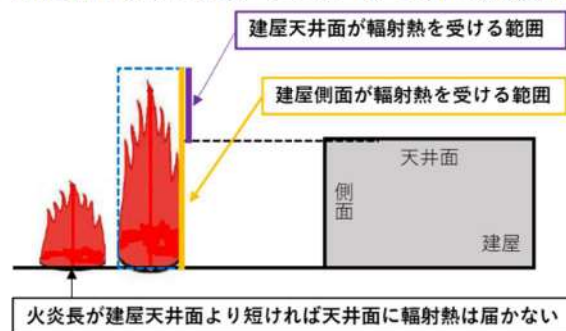
$$m = \frac{H}{R} \cong 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

H：火炎長(53.52[m])，R：燃焼半径(17.84[m])，L：危険距離[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3-5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3-5図 建屋天井面の評価概念図

(iii) 評価結果

危険輻射強度より評価対象施設の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。

評価結果のうち、危険輻射強度を第3-8表に、危険距離を第3-9表に示す。

第3-8表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
原子炉建屋	4,750
原子炉補助建屋	
ディーゼル発電機建屋	
循環水ポンプ建屋	

第3-9表 外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	74	1,450
原子炉補助建屋		1,500
ディーゼル発電機建屋		1,500
循環水ポンプ建屋		1,600

(e) 排気筒の温度評価

i. 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。

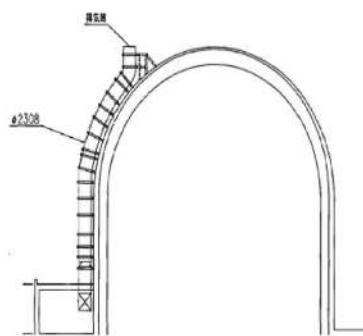
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

ii. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第3-10表に、排気筒外形図を第3-6図に示す。

第3-10表 排気筒の仕様

名称	排気筒
種類	丸形
主要寸法	外径 2,308mm
	地表高さ 73.1m
材料	SUS304
個数	1



第3-6図 排気筒の外形図

iii. 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3-11表に示す。

第3-11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	1,450

iv. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

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℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

(ii) 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、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て、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、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式1により排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

ε : 吸収率(1.0[-]), E : 輻射強度[W/m²], h : 熱伝達率(17[W/m²·K])^{※1}, T_0 : 初期温度(50[°C])

※1: 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て変化するが, 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 W/m²·K を用いる。)

第 3-12 表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	9,280

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 : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 3-13 表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
排気筒	ガソリン	58,000	0.16

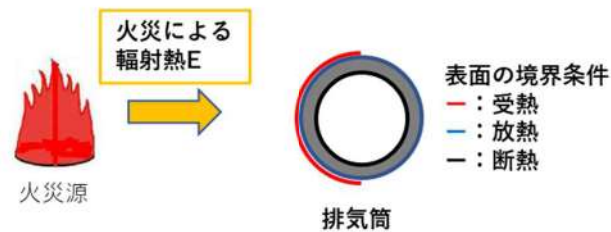
式 2 で求めた形態係数 Φ となる危険距離 L を式 3 より算出する。

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

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

H : 火炎長(53.52[m]), R : 燃焼半径(17.84[m]), L : 危険距離[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。排気筒の評価概念図を第 3-7 図に示す。



第3-7図 排気筒の評価概念図

(iii) 評価結果

危険放射強度より排気筒の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3-14表に示す。

第3-14表 排気筒への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	53	1,450

(f) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

i. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプは、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の放射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉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、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない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。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び下部軸受であり、そのうち許容温度が低い下部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。

ii. 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を内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第3-15表に示す。

第3-15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]
	循環水ポンプ建屋
ガソリンスタンド	1,600

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度である 80℃とする。

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、下部軸受の機能が維持される吸い込み外気の許容温度 80℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

(ii) 評価方法

循環水ポンプ建屋内には、各種機器（原子炉補機冷却海水ポンプ他）が収納されており、通常運転時にはこれらの機器からの発熱は、建屋の換気により外部へ放出される設計である。熱収支を解くにあたっては、この建屋内部に収められている機器の発熱量と外部火災からの輻射熱をインプットとして、換気量を熱収支と連成させて以下に記す関係式により吸い込み外気温度から危険輻射強度を算出する。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルの概要を第3-8図に示す。

$$Q_{in} + q_f \times A_F = G_{air} \times C_{pin} \times (T_R - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\Delta P_H = \Delta P_{in} + \Delta P_{out}$$

$$\Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R) \times H = \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R \times u_{out}^2 \quad \dots\dots ②^{*1}$$

$$\rho_R = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{*2}$$

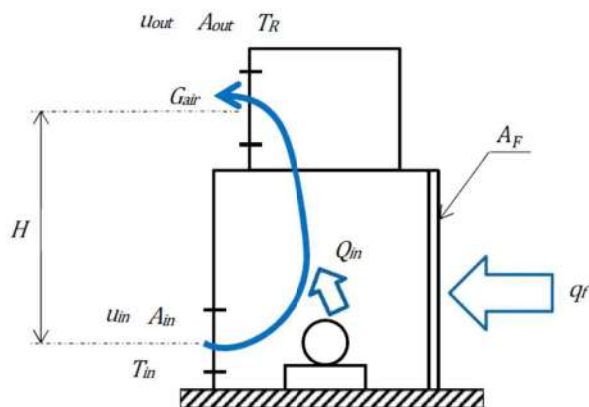
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会(湯き空気として算出)

Q_{in} : 建屋内のポンプモータの放熱量[W], q_f : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²],
 A_F : 輻射受熱面積[m²], G_{air} : 換気風量[kg/s], C_{pin} : 空気比熱[J/kg・K],
 T_R : 建屋内気温[°C], T_{in} : 外気温[°C], g : 重力加速度[m/s²], ρ_{in} : 外気密度[kg/m³],
 ρ_R : 建屋内空気密度[kg/m³], H : 換気有効高さ[m], ζ_{in} : 給気口圧損係数[-],
 ζ_{out} : 排気口圧損係数[-], u_{in} : 給気口流速[m/s], u_{out} : 排気口流速[m/s],
 A_{in} : 給気口面積[m²], A_{out} : 排気口面積[m²]



第3-8図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第3-16表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,900

式①～⑤より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 : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第3-17表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	ガソリン	58,000	0.050

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。

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

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

H : 火炎長(53.52[m]), R : 燃焼半径(17.84[m]), L : 危険距離[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。

iv. 評価結果

危険輻射強度より危険距離を算出した結果、評価対象施設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3-18表に示す。

第3-18表 原子炉補機冷却海水ポンプへの危険物貯蔵施設火災影響評価結果

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	109	1,600

(g) 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3-19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3-19表 危険物貯蔵施設火災の評価結果

評価対象	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	74	1,450
原子炉補助建屋		1,500
ディーゼル発電機建屋		1,500
循環水ポンプ建屋		1,600
排気筒	53	1,450
原子炉補機冷却海水ポンプ	109	1,600

(h) 火災による熱影響の有無の評価

危険物貯蔵施設における危険距離は最大でも109m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泊発電所への影響はない。

b. 高圧ガス貯蔵施設の火災影響評価

泊発電所から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、泊発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離は約5,700[m]であった。(第3-9図)

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

最短離隔距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 [] があつたとして、熱影響評価及び爆風圧による影響評価を実施したところ、危険距離は 30[m]、危険限界距離は 87[m]となり、泊発電所との離隔距離約 5,700[m]より小さいことを確認した。

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、泊発電所との離隔距離約 5,700[m]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 3-9 図 高圧ガス貯蔵施設位置

第 3-20 表 10km 圏内における最大の高圧ガスの貯蔵量

燃料の種類	貯蔵量[t]
液化石油ガス	[]

(a) 評価条件

高圧ガス貯蔵施設の火災の想定は以下の通りとした。

- i. 評価対象とする高圧ガス貯蔵施設は 10km 圏内（敷地内を除く）における唯一の高圧ガス貯蔵施設を想定した。
- ii. 評価対象とする高圧ガス貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。
- iii. 気象条件は無風状態とした。
- iv. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。
- v. 火災の形態は高圧ガス貯蔵施設の全面火災とした。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第3-21表 評価条件

燃料の種類	プロパン
燃料量[t]	
燃焼面積 ^{※1} [m ²]	
質量低下速度 ^{※2} [kg/m ² ・s]	0.099
輻射発散度 ^{※3} [W/m ²]	74,000

※1：燃焼面積は高圧ガス貯蔵施設の敷地面積とした

※2：THE SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Edition 記載値

※3：評価ガイド付属書B 記載値

(b) 燃焼半径の算出

燃焼面積は保守的に対象施設の敷地面積と等しいとする。

したがって、燃焼半径 R[m] の敷地面積を円筒の底面と仮定し算出する。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積 [m²]

第3-22表 高圧ガス貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積	燃焼半径
	S [m ²]	R [m]
高圧ガス貯蔵施設		

(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。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}, \quad v = \frac{M}{\rho} \text{ より, } t = \frac{m}{\pi R^2 \times M}$$

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]

R：燃焼半径[m]，M：質量低下速度[kg/m²・s]

v：燃焼速度 [m/s]，ρ：燃料密度[kg/m³]，m：質量[kg]

第3-23表 高圧ガス貯蔵施設の燃焼継続時間

想定火災源	燃料の種類	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m ² ・s]	質量 m [kg]	燃焼継続時間 t [s]
高圧ガス貯蔵施設	プロパン				

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(d) 建屋外壁に対する危険距離評価

i. 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、高圧ガス貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

ii. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第3-24表に示す。

第3-24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	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機 建屋	循環水ポンプ 建屋
高圧ガス 貯蔵施設	5,850	5,900	5,800	5,700

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃に至る輻射強度を危険輻射強度とし、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、想定する火災の輻射強度が危険輻射強度を越えないことを、危険距離及び離隔距離から確認する。

(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、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式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℃となる輻射強度を危険輻射強度として算出する。

なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、外壁の部材であるコンクリートへの熱伝導による蓄熱を考慮するため、保守的に対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

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

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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])，t：燃焼継続時間(2,592[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])

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：輻射発散度[W/m²], Φ：形態係数

第3-25表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
循環水ポンプ建屋	プロパン	74,000	0.068

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。

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

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

H：火炎長(12.96[m]), R：燃焼半径(4.32[m]), L：危険距離[m]

上記のとおり危険距離を算出し、当該高压ガス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

危険輻射強度より評価対象施設の危険距離を算出した結果、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。

評価結果のうち、危険輻射強度を第3-26表に、危険距離を第3-27表に示す。

第3-26表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
原子炉建屋	5,032
原子炉補助建屋	
ディーゼル発電機建屋	
循環水ポンプ建屋	

第3-27表 外壁への高圧ガス貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	22	5,850
原子炉補助建屋		5,900
ディーゼル発電機建屋		5,800
循環水ポンプ建屋		5,700

(e) 排気筒の温度評価

i. 影響評価対象範囲

排気筒について、高圧ガス貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

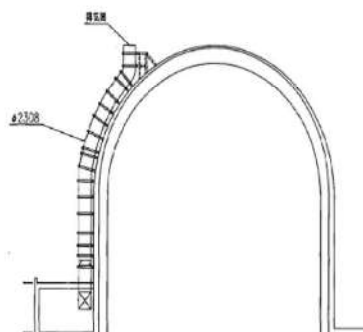
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

ii. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第3-28表に、排気筒外形図を第3-10図に示す。

第3-28表 排気筒の仕様

名称	排気筒
種類	丸形
主要寸法	外径 2,308mm
	地表高さ 73.1m
材料	SUS304
個数	1



第3-10図 排気筒の外形図

iii. 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3-29表に示す。

第3-29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
高圧ガス貯蔵施設	5,850

iv. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

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℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

(ii) 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、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て、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、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式 1 により排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

ε : 吸収率(1.0[-]), E : 輻射強度[W/m²], h : 熱伝達率(17[W/m²·K])^{※1}, T_0 : 初期温度(50[°C])

※1: 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て変化するが、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 W/m²·K を用いる。)

第 3-30 表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	8,880

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 : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 3-31 表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
排気筒	プロパン	74,000	0.12

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。

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

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

H : 火炎長(12.96[m]), R : 燃焼半径(4.32[m]), L : 危険距離[m]

上記のとおり危険距離を算出し、当該高压ガス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

危険放射強度より排気筒の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3-32表に示す。

第3-32表 排気筒への高压ガス貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	16	5,850

(f) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

i. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプは、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉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、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない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。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び下部軸受であり、そのうち許容温度が低い下部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。

ii. 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を内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第3-33表に示す。

第3-33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]
	循環水ポンプ建屋
高压ガス貯蔵施設	5,700

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度である 80℃とする。

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、下部軸受の機能が維持される吸い込み外気の許容温度 80℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

(ii) 評価方法

循環水ポンプ建屋内には、各種機器（原子炉補機冷却海水ポンプ他）が収納されており、通常運転時にはこれらの機器からの発熱は、建屋の換気により外部へ放出される設計である。熱収支を解くにあたっては、この建屋内部に収められている機器の発熱量と外部火災からの輻射熱をインプットとして、換気量を熱収支と連成させて以下に記す関係式により吸い込み外気温度から危険輻射強度を算出する。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルの概要を第3-11図に示す。

$$Q_{in} + q_f \times A_F = G_{air} \times C_{pin} \times (T_R - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\Delta P_H = \Delta P_{in} + \Delta P_{out}$$

$$\Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R) \times H = \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R \times u_{out}^2 \quad \dots\dots ②^{※1}$$

$$\rho_R = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{※2}$$

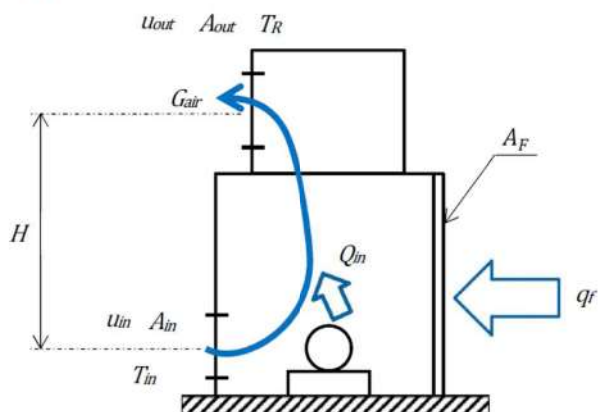
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会(湯き空気として算出)

Q_{in} : 建屋内のポンプモータの放熱量[W], q_f : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²],
 A_F : 輻射受熱面積[m²], G_{air} : 換気風量[kg/s], C_{pin} : 空気比熱[J/kg・K],
 T_R : 建屋内気温[°C], T_{in} : 外気温[°C], g : 重力加速度[m/s²], ρ_{in} : 外気密度[kg/m³],
 ρ_R : 建屋内空気密度[kg/m³], H : 換気有効高さ[m], ζ_{in} : 給気口圧損係数[-],
 ζ_{out} : 排気口圧損係数[-], u_{in} : 給気口流速[m/s], u_{out} : 排気口流速[m/s],
 A_{in} : 給気口面積[m²], A_{out} : 排気口面積[m²]



第 3-11 図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第 3-34 表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[kW/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,886

式①～⑤より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 : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 3-35 表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	プロパン	74,000	0.039

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。

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

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

H : 火炎長(12.96[m]), R : 燃焼半径(4.32[m]), L : 危険距離[m]

上記のとおり危険距離を算出し、当該高圧ガス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

危険輻射強度より危険距離を算出した結果、評価対象施設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 3-36 表に示す。

第 3-36 表 原子炉補機冷却海水ポンプへの高圧ガス貯蔵施設火災影響評価結果

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	30	5,700

(g) 危険距離の評価結果

高圧ガス貯蔵施設と評価対象設備との離隔距離は第 3-37 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 3-37 表 高圧ガス貯蔵施設火災の評価結果

評価対象	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	22	5,850
原子炉補助建屋		5,900
ディーゼル発電機建屋		5,800
循環水ポンプ建屋		5,700
排気筒	16	5,850
原子炉補機冷却海水ポンプ	30	5,700

(h) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、高圧ガス貯蔵施設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 (5,700m) が危険距離 (最大 30m) 以上であることから、発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。

c. 高圧ガス貯蔵施設の爆発影響評価

(a) 想定条件

高圧ガス貯蔵施設の爆発火災の想定は以下のとおりとした。

- i. 評価対象とする高圧ガス貯蔵施設は 10km 圏内 (敷地内を除く) における高圧ガス貯蔵施設のうち、最大貯蔵量が泊発電所に最も近い高圧ガス貯蔵施設にあると仮定した場合を想定した。

- ii. 評価対象とする高圧ガス貯蔵施設の燃料（プロパン）は満載した状態を想定した。
- iii. 気象条件は無風状態とした。

(b) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する高圧ガス貯蔵施設の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 3-38 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

(c) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 3-39 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 5 条別表第二に掲げる数値 K=888,000 (プロパンの最大値)
貯蔵設備又は 処理設備の W 値	コンビナート等保安規定第 5 条貯蔵設備又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 []
離隔距離[m]	高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの距離 5,700m

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(d) 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。

$$X = 0.04\lambda^3\sqrt{K \times W}$$

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 888,000(プロパン) [-]，

(e) 爆発による影響評価結果

以上の結果から、高圧ガス貯蔵施設において爆発が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(5,700m)が危険限界距離(87m)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3-40表 危険限界距離評価結果

評価対象施設	離隔距離[m]	危険限界距離[m]
原子炉建屋	5,850	87
原子炉補助建屋	5,900	
ディーゼル発電機建屋	5,800	
循環水ポンプ建屋	5,700	
排気筒	5,850	
原子炉補機海水ポンプ	5,700	

d. 高圧ガス貯蔵施設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(液化石油ガス※2)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、泊発電所までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、発電用原子炉施設への影響がないことを確認した。

※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あたって、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。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 3-41 表 飛来物の評価条件

想定火災源	貯蔵ガス	貯蔵量[t]	飛来物到達距離[m]	離隔距離[m]
高圧ガス貯蔵施設	液化石油ガス			5,700

(a) 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」(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。

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

L : 破片の最大飛散範囲[m], M : 破裂時の貯蔵物質量[kg]

となり、飛来物の最大飛散距離 L は [] となる。

よって、泊発電所との離隔距離が 5,700m あることから、飛来物による泊発電所への影響はない。

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。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

仮想危険物貯蔵施設の危険距離の算出について

1. 評価条件

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする危険物貯蔵施設は熱影響が最大となる仮想危険物貯蔵施設（n-ヘキサンを10万kL貯蔵）とした。
- b. 評価対象とする危険物貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。
- c. 防油堤内の全面火災を想定した。
- d. 防油堤面積は、保守的に消防法で定める最大の80,000m²とした。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2) 危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータを第1表に示す。

第1表 危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 V [m ³]	輻射発散度 Rf [W/m ²] ※1	質量低下速度 M [kg/m ² ・s] ※2	燃料密度 ρ [kg/m ³] ※2	防油堤面積 S [m ²]
仮想危険物貯蔵施設	n-ヘキサン	100,000	85,000	0.074	650	80,000

※1 評価ガイド付属書B記載値

※2 NUREG-1805 記載値

2. 評価結果

(1) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。算出結果を第2表に示す。

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

R : 燃焼半径[m], S : 防油堤面積 [m²]

第2表 危険物貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S [m ²]	燃焼半径 R [m]
仮想危険物貯蔵施設	80,000	159.58

(2) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。算出結果を第3表に示す。

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度 = M/ρ [m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第3表 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V [m ³]	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m ² ・s]	燃料密度 ρ [kg/m ³]	燃焼継続時間 t [s]
仮想危険物貯蔵施設	100,000	159.58	0.074	650	10,980

(3) 危険距離の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設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、コンクリート表面の温度が200℃となる危険輻射強度を求める。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

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

α : コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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]), t : 燃焼継続時間(10,980[s])

x : コンクリート壁表面深さ(0[m])

式1で求めた危険放射強度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：放射強度[W/m²]，R_f：放射発散度[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。算出結果を第4表に示す。

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

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

H：火炎長[m]，R：燃焼半径[m]，L：危険距離(m)

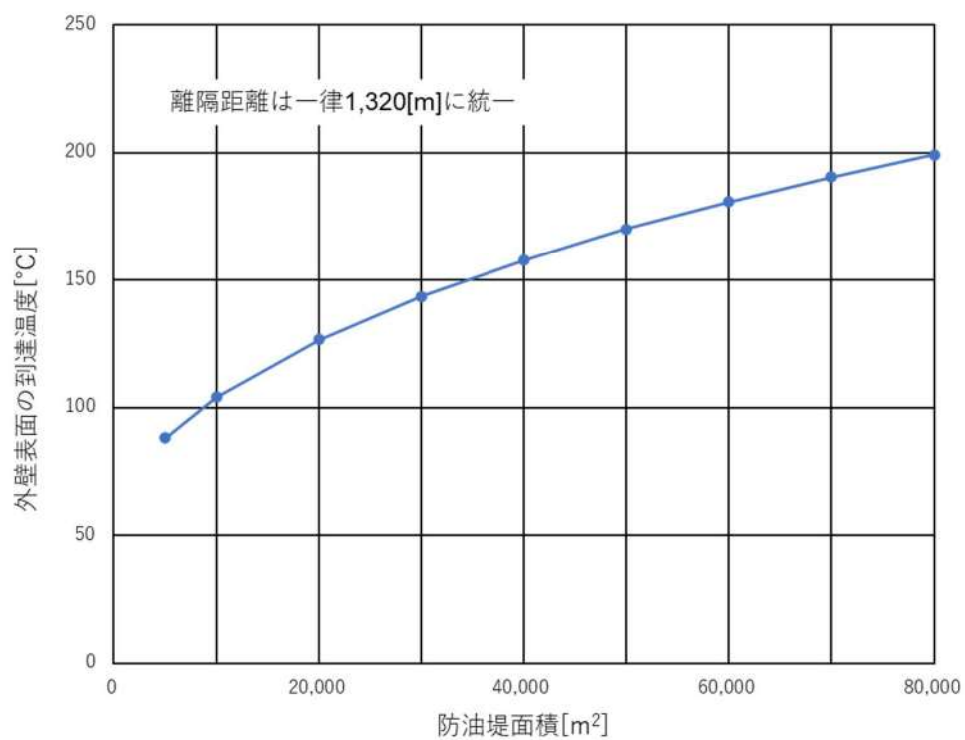
第4表 仮想危険物貯蔵施設火災の評価結果

想定火災源	危険距離 [m]
仮想危険物貯蔵施設	1,320

なお、同様に排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプの危険距離を算出した結果、642m及び1211mとなり原子炉施設外壁の評価結果に包絡される。

(4) 想定した防油堤面積の保守性について

下図に示すとおり、防油堤面積は大きいほど外壁表面の到達温度が上昇することから、消防法で定める最大の防油堤面積を評価で用いることは保守的である。



第1図 防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係

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泊発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価するものである。

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ーとする。
- ・ 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発電用原子炉施設に最も近い場所（想定される輸送ルートである国道 229 号線上）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。

(2) 評価手法の概要

本評価は、泊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 [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 3 m 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危険輻射強度を調査し、輻射強度がその設備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、発電所敷地外の道路において発電用原子炉施設に最も近い場所（想定される輸送ルートである国道 229 号線上）で出火する最大規模の燃料輸送車両とする。



第 4-1 図 タンクローリー火災想定位置と発電用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。

第 4-2 表 評価条件

燃料の種類	ガソリン
燃料量[m ³]	30
燃焼面積 ^{※1} [m ²]	35.0
燃料密度 ^{※2} [kg/m ³]	740
質量低下速度 ^{※2} [kg/m ² ・s]	0.055
輻射発散度 ^{※3} [W/m ²]	58,000
燃焼速度[m/s]	7.44×10^{-5}

※1：車両長(14.04m)と幅(2.49m)のタンクローリー車両の投影面積に等しいとした

※2：THE SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Edition 記載値

※3：評価ガイド付属書B 記載値

(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。

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

R : 燃焼半径[m], S : 燃焼面積[m²]

第 4-3 表 燃料輸送車両の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S [m ²]	燃焼半径 R [m]
燃料輸送車両	35.0	3.34

(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。

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

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 4-4 表 燃料輸送車両の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V [m ³]	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m ² ・s]	燃料密度 ρ [kg/m ³]	燃焼継続時間 t [s]
燃料輸送車両	30	3.34	0.055	740	11,520

(7) 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、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 4-5 表に示す。

第 4-5 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	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機 建屋	循環水ポンプ 建屋
燃料輸送車両	750	700	800	850

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃に至る輻射強度を危険輻射強度とし、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、想定する火災の輻射強度が危険輻射強度を越えないことを、危険距離及び離隔距離から確認する。

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、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式 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℃となる輻射強度を危険輻射強度として算出する。

なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、外壁の部材であるコンクリートへの熱伝導による蓄熱を考慮するため、保守的に対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

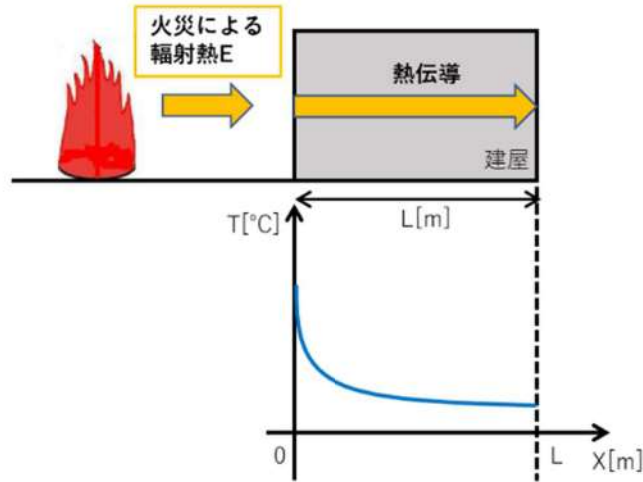
T：許容温度(200[℃])，T₀：初期温度(50[℃])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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])，t：燃焼継続時間(11,520[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])



第4-2図 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

式1で求めた危険放射強度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：放射強度[W/m²]，R_f：放射発散度[W/m²]， Φ ：形態係数

第4-6表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	放射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
原子炉建屋	ガソリン	58,000	0.040
原子炉補助建屋			
ディーゼル発電機建屋			
循環水ポンプ建屋			

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。

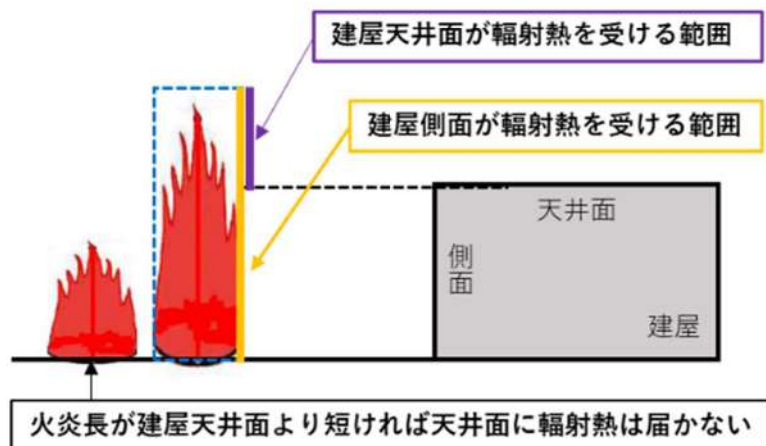
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

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

H：火炎長(10.02[m])，R：燃焼半径(3.34[m])，L：危険距離[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。天井スラブの評価概念図を第4-3図に示す。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。



第4-3図 建屋天井面の評価概念図

iii. 評価結果

危険輻射強度より評価対象施設の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。

評価結果のうち、危険輻射強度を第4-7表に、危険距離を第4-8表に示す。

第4-7表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度 [W/m ²]
原子炉建屋	2,320
原子炉補助建屋	
ディーゼル発電機建屋	
循環水ポンプ建屋	

第4-8表 外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

対象施設	危険距離 [m]	離隔距離 [m]
原子炉建屋	23	750
原子炉補助建屋		700
ディーゼル発電機建屋		800
循環水ポンプ建屋		850

(8) 排気筒の温度評価

(a) 影響評価対象範囲

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。

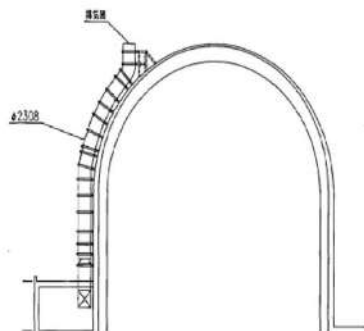
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第4-9表に、排気筒外形図を第4-4図に示す。

第4-9表 排気筒の仕様

名称	排気筒
種類	丸形
主要寸法	外径 2,308mm
	地表高さ 73.1m
材料	SUS304
個数	1



第4-4図 排気筒の外形図

(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4-10表に示す。

第4-10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
燃料輸送車両	750

(d) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

ii. 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、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て、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、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式1により

排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

ε : 吸収率(1.0[-]), E : 輻射強度[W/m²], h : 熱伝達率(17[W/m²·K])^{※1}, T_0 : 初期温度(50[°C])

※1: 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て変化するが、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 W/m²·K を用いる。)

第 4-11 表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	9,280

式 1 で求めた危険輻射強度 E とする形態係数 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 : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 4-12 表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
排気筒	ガソリン	58,000	0.16

式 2 で求めた形態係数 Φ とする危険距離 L を式 3 より算出する。

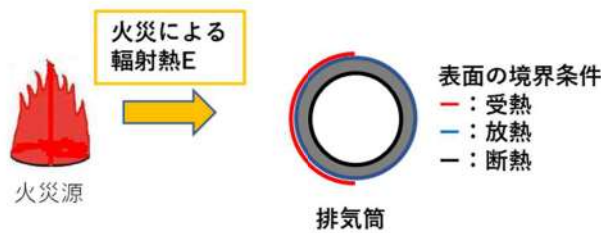
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

H: 火炎長(10.02[m]), R: 燃焼半径(3.34[m]), L: 危険距離[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。

排気筒の評価概念図を第 4-5 図に示す。



第4-5図 排気筒の評価概念図

iii. 評価結果

危険放射強度より排気筒の危険距離を算出した結果、排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第4-13表に示す。

第4-13表 排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	10	750

(9) 原子炉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は、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の放射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉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、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない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。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び下部軸受であり、そのうち許容温度が低い下部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。

(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を内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第4-14表に示す。

第4-14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]
	循環水ポンプ建屋
燃料輸送車両	850

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度である 80℃とする。

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、下部軸受の機能が維持される吸い込み外気の許容温度 80℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

ii. 評価方法

循環水ポンプ建屋内には、各種機器（原子炉補機冷却海水ポンプ他）が収納されており、通常運転時にはこれらの機器からの発熱は、建屋の換気により外部へ放出される設計である。熱収支を解くにあたっては、この建屋内部に収められている機器の発熱量と外部火災からの輻射熱をインプットとして、換気量を熱収支と連成させて以下に記す関係式により吸い込み外気温度から危険輻射強度を算出する。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルの概要を第 4-6 図に示す。

$$Q_{in} + q_f \times A_F = G_{air} \times C_{Pin} \times (T_R - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\begin{aligned} \Delta P_H &= \Delta P_{in} + \Delta P_{out} \\ \Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R) \times H &= \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R \times u_{out}^2 \quad \dots\dots ②^{*1} \\ \rho_R &= \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{*2} \end{aligned}$$

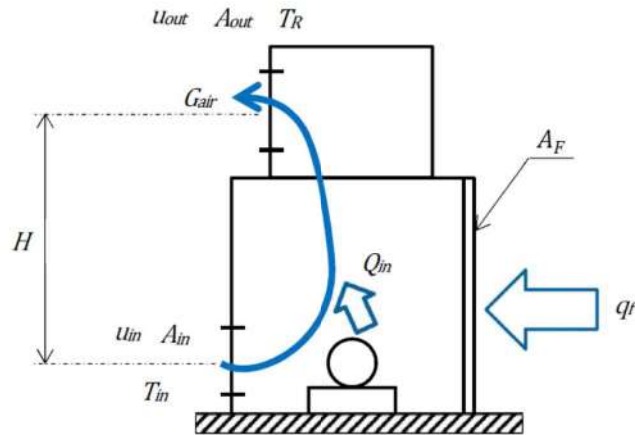
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第 11 版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第 5 版 日本機械学会(湯き空気として算出)

Q_{in} ：建屋内のポンプモータの放熱量[W]， q_f ：外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²]，
 A_F ：輻射受熱面積[m²]， G_{air} ：換気風量[kg/s]， C_{Pin} ：空気比熱[J/kg・K]，
 T_R ：建屋内気温[℃]， T_{in} ：外気温[℃]， g ：重力加速度[m/s²]， ρ_{in} ：外気密度[kg/m³]，
 ρ_R ：建屋内空気密度[kg/m³]， H ：換気有効高さ[m]， ζ_{in} ：給気口圧損係数[-]，
 ζ_{out} ：排気口圧損係数[-]， u_{in} ：給気口流速[m/s]， u_{out} ：排気口流速[m/s]，
 A_{in} ：給気口面積[m²]， A_{out} ：排気口面積[m²]



第4-6図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第4-15表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,726

式①～⑤より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：輻射発散度[W/m²], Φ：形態係数

第4-16表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	ガソリン	58,000	0.047

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。

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

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

H：火炎長(10.02[m]), R：燃焼半径(3.34[m]), L：危険距離[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。

(d) 評価結果

危険輻射強度より危険距離を算出した結果、評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第4-17表に示す。

第4-17表 原子炉補機冷却海水ポンプへの燃料輸送車両火災影響評価結果

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	21	850

(10) 危険距離の評価結果

燃料輸送車両の位置と評価対象設備との離隔距離は第4-18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4-18表 燃料輸送車両火災の評価結果

評価対象	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	23	750
原子炉補助建屋		700
ディーゼル発電機建屋		800
循環水ポンプ建屋		850
排気筒	10	750
原子炉補機冷却海水ポンプ	21	850

(11) 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(700m)が危険距離(最大 23m)以上であることから、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

- (a) 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発電用原子炉施設に最も近い場所（想定される輸送ルートである国道 276 号線上）にて、爆発を起こした場合を想定する。
- (b) 燃料積載量は発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量 とする。
- (c) 高圧ガス貯蔵施設は燃料を満載した状態を想定した。
- (d) 貯蔵燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

- (e) 発電所敷地外の道路において発電用原子炉施設に最も近い場所（想定される輸送ルートである国道 276 号線上）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。
- (f) 気象条件は無風状態とする。

(2) 評価手法の概要

本評価は、泊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 4-19 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発電用原子炉施設に最も近い場所（想定される輸送ルートである国道 276 号線上）にて、爆発を起こす高圧ガス輸送車両とする。



第 4-7 図 高圧ガス輸送車両爆発想定位置と発電用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。

第4-20表 高压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 5 条別表第二に掲げる数値 K=888,000 (プロパンの最大値)
貯蔵設備又は 処理設備の W 値	コンビナート等保安規定第 5 条貯蔵設備又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 []
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 4,300m

(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压ガス輸送車
両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 888,000(プロパン) [-]， []

(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発電用原子炉施設に最も近い場所（想
定される輸送ルートである国道 276 号線上）で爆発が発生した場合を想定したとしても、
離隔距離（4,300m）が危険限界距離（87m）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。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4-21 表 危険限界距離評価結果

評価対象施設	離隔距離[m]	危険限界距離[m]
原子炉建屋	4,400	87
原子炉補助建屋	4,450	
ディーゼル発電機建屋	4,350	
循環水ポンプ建屋	4,300	
排気筒	4,400	
原子炉補機冷却海水ポンプ	4,300	

4. 高圧ガス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、高圧ガス輸送車両（液化石油ガス^{※2}）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、泊発電所までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、発電用原子炉施設への影響がないことを確認した。

※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あたって、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 4-22 表 飛来物の評価条件

想定火災源	貯蔵ガス	貯蔵量[t]	飛来物到達距離[m]	離隔距離[m]
高圧ガス輸送車両	液化石油ガス			4,300

(1) 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。

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

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]

[]

となり、飛来物の最大飛散距離 L は [] となる。

よって、泊発電所との離隔距離が 4,300m あることから、飛来物による泊発電所への影響はない。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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泊発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書 B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価するものである。

2. 漂流船舶の火災影響評価

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) 漂流船舶火災の想定条件

- ・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燃料の積載量が最大の船舶である燃料等輸送船を想定する。
- ・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・積載燃料は重油とする。
- ・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。
- ・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。
- ・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。

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



第 5-1 図 発電所周辺の主要航路（北海道沿岸水路誌 平成 31 年 3 月刊行に加筆）

(2) 評価手法の概要

本評価は、泊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[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

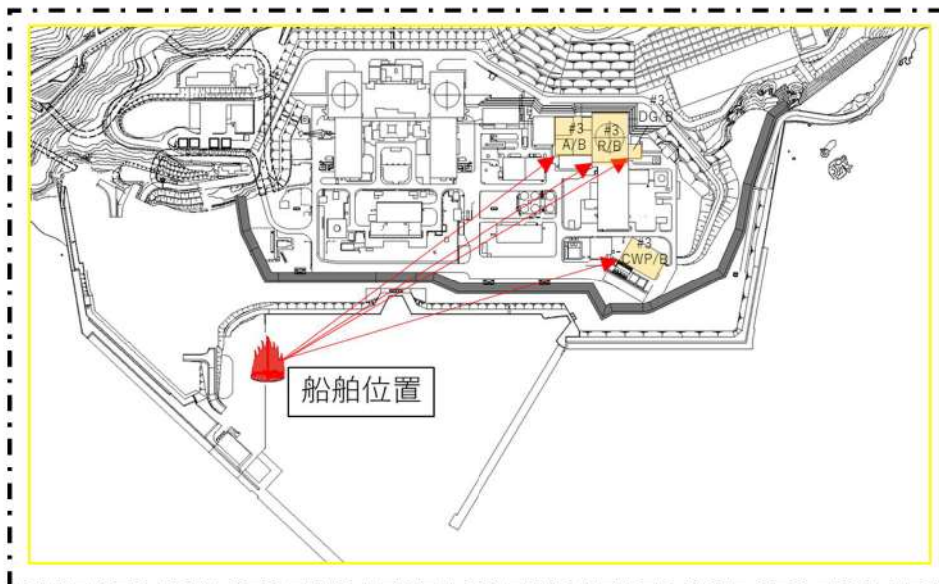
上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火災面積の半径が3mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその設備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、発電所港湾内で出火する漂流船舶とし、港湾内に進入する船舶の中で燃料の積載量が最大の船舶である燃料等輸送船による火災を想定する。

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



第5-2図 燃料等輸送船火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

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

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第5-2表 評価条件

燃料の種類	重油
燃料量[m ³]	560
燃焼面積※1[m ²]	1,600
燃料密度※2[kg/m ³]	1,000
質量低下速度※2[kg/m ² ・s]	0.035
輻射発散度※3[W/m ²]	23,000
燃焼速度[m/s]	3.50×10 ⁻⁵

※1：船舶の投影面積に等しいとした

※2：THE SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Edition 記載値

※3：評価ガイド付属書B 記載値

(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。

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

R : 燃焼半径[m], S : 燃焼面積[m²]

第 5-3 表 漂流船舶の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S [m ²]	燃焼半径 R [m]
漂流船舶	1,600	22.57

(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。

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度=M/ρ[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第 5-4 表 漂流船舶の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V [m ³]	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m ² ・s]	燃料密度 ρ [kg/m ³]	燃焼継続時間 t [s]
漂流船舶	560	22.57	0.035	1,000	10,008

(7) 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、漂流船舶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 5-5 表に示す。

第 5-5 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	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機 建屋	循環水ポンプ 建屋
漂流船舶	624	587	673	587

追而【基準津波審査の反映】

(上記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃に至る輻射強度を危険輻射強度とし、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、想定する火災の輻射強度が危険輻射強度を越えないことを、危険距離及び離隔距離から確認する。

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、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式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℃となる輻射強度を危険輻射強度として算出する。

なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、外壁の部材であるコンクリートへの熱伝導による蓄熱を考慮するため、保守的に対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

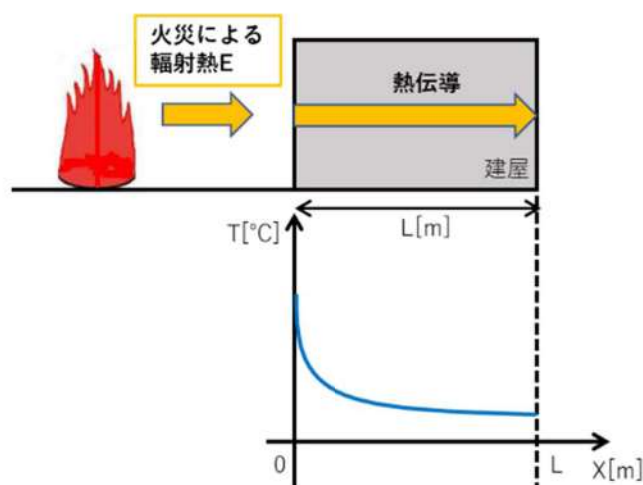
T：許容温度(200[℃])，T₀：初期温度(50[℃])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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])，t：燃焼継続時間(10,008[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])



第5-3図 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

式1で求めた危険放射強度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：放射強度[W/m²]，R_f：放射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

第5-6表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	放射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
原子炉建屋	重油	23,000	0.11
原子炉補助建屋			
ディーゼル発電機建屋			
循環水ポンプ建屋			

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。

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

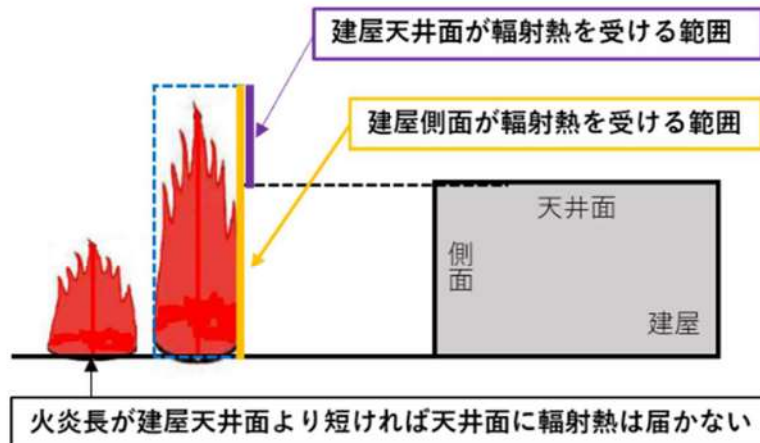
$$m = \frac{H}{R} \cong 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

H：火炎長(67.71[m])，R：燃焼半径(22.57[m])，L：危険距離[m]

上記のとおり危険距離を算出し、当該漂流船舶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、天井に放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、天井に放射熱を与えるが、その放射熱は外壁に与える放射熱より小さい。
- ・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5-4図に示す。



第 5-4 図 建屋天井面の評価概念図

iii. 評価結果

危険放射強度より評価対象施設の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。

評価結果のうち、危険放射強度を第 5-7 表に、危険距離を第 5-8 表に示す。

第 5-7 表 対象施設の危険放射強度

対象施設	危険放射強度 [W/m ²]
原子炉建屋	2,530
原子炉補助建屋	
ディーゼル発電機建屋	
循環水ポンプ建屋	

第 5-8 表 外壁への漂流船舶火災影響評価結果

対象施設	危険距離 [m]	離隔距離 [m]
原子炉建屋	90	624
原子炉補助建屋		587
ディーゼル発電機建屋		673
循環水ポンプ建屋		587

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

(8) 排気筒の温度評価

(a) 影響評価対象範囲

排気筒について、漂流船舶の火災を想定して評価を実施した。

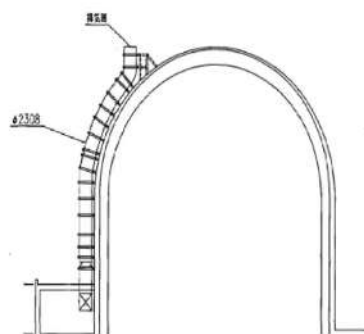
なお、排気筒の評価にあたっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第5-9表に、排気筒外形図を第5-5図に示す。

第5-9表 排気筒の仕様

名称	排気筒
種類	丸形
主要寸法	外径 2,308mm
	地表高さ 73.1m
材料	SUS304
個数	1



第5-5図 排気筒の外形図

(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5-10表に示す。

第5-10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
漂流船舶	624

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

(d) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

ii. 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、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て、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、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式1により排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

ε : 吸収率(1.0[-]), E : 輻射強度[W/m²], h : 熱伝達率(17[W/m²·K])^{*1}, T_0 : 初期温度(50[°C])

※1: 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て変化するが、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 W/m²·K を用いる。)

第5-11表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	8,970

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 : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第5-12表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
排気筒	重油	23,000	0.39

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。

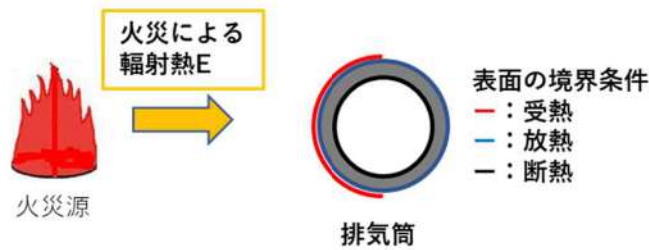
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

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

H : 火炎長(67.71[m]), R : 燃焼半径(22.57[m]), L : 危険距離[m]

上記のとおり危険距離を算出し、当該漂流船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

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

iii. 評価結果

危険輻射強度より排気筒の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5-13表に示す。

第5-13表 排気筒への漂流船舶火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	29	624

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

(9) 原子炉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は、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉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、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない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。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び下部軸受であり、そのうち許容温度が低い下部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。

(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を内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第5-14表に示す。

第5-14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]
	循環水ポンプ建屋
漂流船舶	587

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

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度である 80℃とする。

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、下部軸受の機能が維持される吸い込み外気の許容温度 80℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

ii. 評価方法

循環水ポンプ建屋内には、各種機器（原子炉補機冷却海水ポンプ他）が収納されており、通常運転時にはこれらの機器からの発熱は、建屋の換気により外部へ放出される設計である。熱収支を解くにあたっては、この建屋内部に収められている機器の発熱量と外部火災からの輻射熱をインプットとして、換気量を熱収支と連成させて以下に記す関係式により吸い込み外気温度から危険輻射強度を算出する。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルの概要を第5-7図に示す。

$$Q_{in} + q_f \times A_F = G_{air} \times C_{Pin} \times (T_R - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\Delta P_H = \Delta P_{in} + \Delta P_{out}$$

$$\Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R) \times H = \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R \times u_{out}^2 \quad \dots\dots ②^{※1}$$

$$\rho_R = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{※2}$$

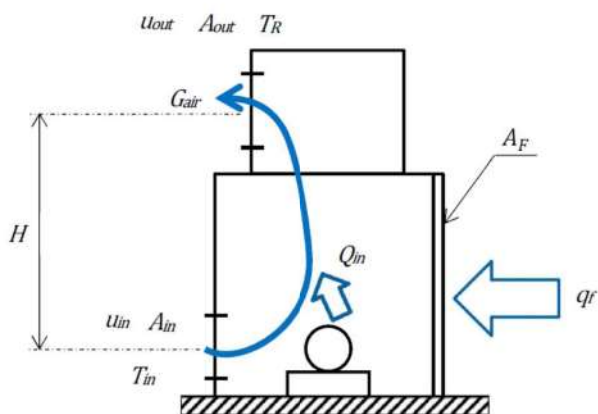
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会（湯き空気として算出）

Q_{in} : 建屋内のポンプモータの放熱量[W], q_f : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²],
 A_F : 輻射受熱面積[m²], G_{air} : 換気風量[kg/s], C_{pin} : 空気比熱[J/kg・K],
 T_R : 建屋内気温[°C], T_{in} : 外気温[°C], g : 重力加速度[m/s²], ρ_{in} : 外気密度[kg/m³],
 ρ_R : 建屋内空気密度[kg/m³], H : 換気有効高さ[m], ζ_{in} : 給気口圧損係数[-],
 ζ_{out} : 排気口圧損係数[-], u_{in} : 給気口流速[m/s], u_{out} : 排気口流速[m/s],
 A_{in} : 給気口面積[m²], A_{out} : 排気口面積[m²]



第5-7図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第5-15表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,760

式①～⑤より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 : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第5-16表 対象施設の形態係数

対象施設	燃料の種類	輻射発散度[W/m ²]	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	重油	23,000	0.12

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。

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

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

H : 火炎長(67.71[m]), R : 燃焼半径(22.57[m]), L : 危険距離[m]

上記のとおり危険距離を算出し、当該漂流船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

iii. 評価結果

危険輻射強度より危険距離を算出した結果、評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第5-17表に示す。

第5-17表 原子炉補機冷却海水ポンプへの漂流船舶火災影響評価結果

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	80	587

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

(10) 危険距離の評価結果

漂流船舶の位置と評価対象施設との離隔距離は第5-18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。

なお、輻射の一部は漂流船舶と発電用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、保守的に輻射はすべて届くものとして評価している。

第5-18表 漂流船舶火災の評価結果

評価対象	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	90	624
原子炉補助建屋		587
ディーゼル発電機建屋		673
循環水ポンプ建屋		587
排気筒	29	624
原子炉補機冷却海水ポンプ	80	587

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

(11) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、漂流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(587m)が危険距離(最大90m)以上であることから、発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないとして評価できる。

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

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、約 T.P. -3.8m～T.P. -8.0m に設置された取水路より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。

発電所港湾外で船舶の油が流出した場合は、油の流出を確認し次第、速やかにオイルフェンスを設置し、発電用原子炉施設への影響がないよう対応する。

オイルフェンスは構内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、泊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について、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B石油コンビナート火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」及び、「附属書C原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」（以下、「評価ガイド」という。）に基づき、評価するものである。

2. 発電所敷地内危険物施設の火災影響評価

(1) 敷地内危険物施設の火災の想定

評価ガイドに基づき、発電所敷地内の火災源又は爆発源となる石油類等の屋外の危険物施設のうち、3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定して、影響評価を実施する。

第6-1図のフローに基づき評価対象を抽出した。第6-2表に発電所敷地内の発火源となる危険物貯蔵施設の一覧と抽出フローによる抽出結果を示す。

敷地内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貯蔵量は管理上定められた上限値とする。
- 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発電用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、泊発電所に対する敷地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[m]	防油堤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]	敷地内危険物施設から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	原子炉施設の外壁、排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプ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。消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例に基づく届出対象施設（第6-2表、第6-3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。

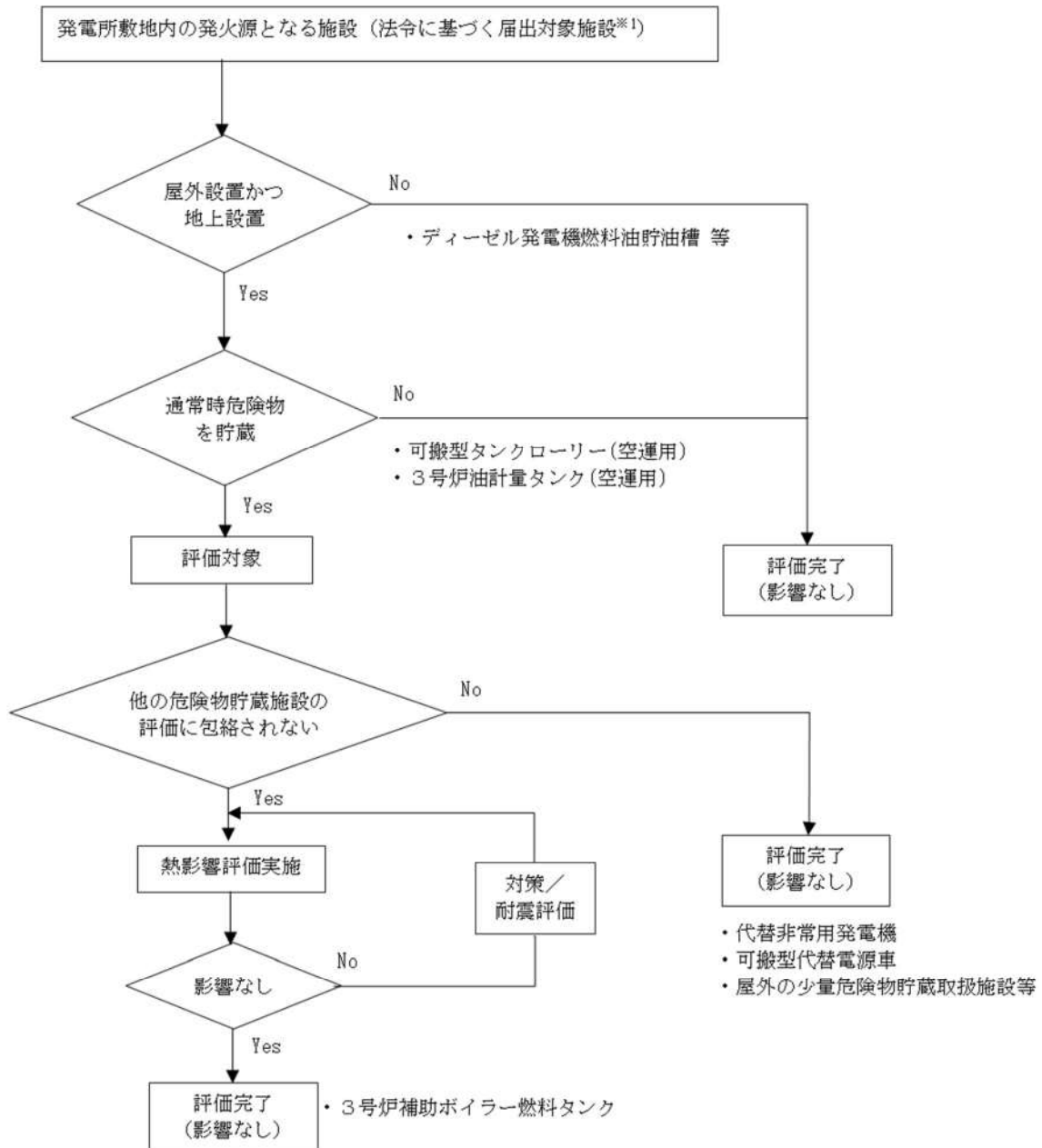
(ただし、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については、(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。)

発電所敷地内には、危険物施設の他に可搬型タンクローリー(3.86kL×4台)を配備している。可搬型タンクローリーは通常時「空」の状態で開催している。通常時「空」の状態である可搬型タンクローリーは発火の可能性はないことから評価対象から除外する。同様に、発電所構内には3号炉油計量タンクがあるが、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熱影響評価を踏まえ、運用を停止することとしたため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。

以上より、評価対象は、1、2号炉及び3号炉の補助ボイラー燃料タンク、1号炉油計量タンク、代替非常用発電機(一般取扱所)、可搬型代替電源車(一般取扱所)及び屋外の少量危険物貯蔵取扱施設となる。

また、代替非常用発電機及び可搬型代替電源車(一般取扱所)は、3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、貯蔵量が少なく、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡

されるため熱影響評価は実施しない。1号炉油計量タンク及び屋外の少量危険物貯蔵取扱施設は、3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、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、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。また、1号及び2号炉補助ボイラー燃料タンクは、3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、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、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。



※1: 消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例に基づく届出対象施設となる危険物タンク等

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 危険物製造所等許可施設一覧 (1/2)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否	
			類	品名			
1号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	461.6 kL	× (地下設置)
2号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	461.6 kL	× (地下設置)
3号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽(A側)	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	295.88 kL	× (地下設置)
3号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油槽(B側)	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	295.8 kL	× (地下設置)
3号炉	燃料タンク(SA) 【設置予定】	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	60 kL	× (地下設置)
1, 2号炉	補助ボイラー燃料タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第3石油類	A重油	600 kL	× (※3) (管理値 450kL)
3号炉	補助ボイラー燃料タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第3石油類	A重油	720 kL	○ (※1) (管理値 410kL)
1号炉	油計量タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	70 kL	× (※3)
3号炉	油計量タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	110 kL	× (※2)
1号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	58.9 kL 14.6 kL	× (屋内設置)
2号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	58.9 kL 14.6 kL	× (屋内設置)
3号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	75.3 kL 12 kL	× (屋内設置)
1号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	73 kL	× (屋内設置)
2号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	73 kL	× (屋内設置)
3号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	110 kL	× (屋内設置)
1, 2号炉	補助ボイラー燃料油装置	一般取扱所	4	第3石油類	A重油	96 kL	× (屋内設置)
3号炉	補助ボイラー燃料油装置	一般取扱所	4	第3石油類	A重油	114.6 kL	× (屋内設置)
1, 2号炉	油倉庫	屋内貯蔵所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	4 kL 24 kL	× (屋内設置)
3号炉	油庫	屋内貯蔵所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	4 kL 25.02 kL	× (屋内設置)
1号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (※3)
1号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (※3)
2号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (※3)
2号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (※3)
3号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (※3)
3号炉	代替非常用発電機	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (※3)

第6-2表 危険物製造所等許可施設一覧 (2/2)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否	
			類	品名			
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
3号炉	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
その他	可搬型代替電源車	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (※3)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (※2)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (※2)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (※2)
3号炉	可搬型タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (※2)

※1：運用管理により貯蔵量を制限しているため、410 kLにて熱影響評価を実施する。(別紙6-1)

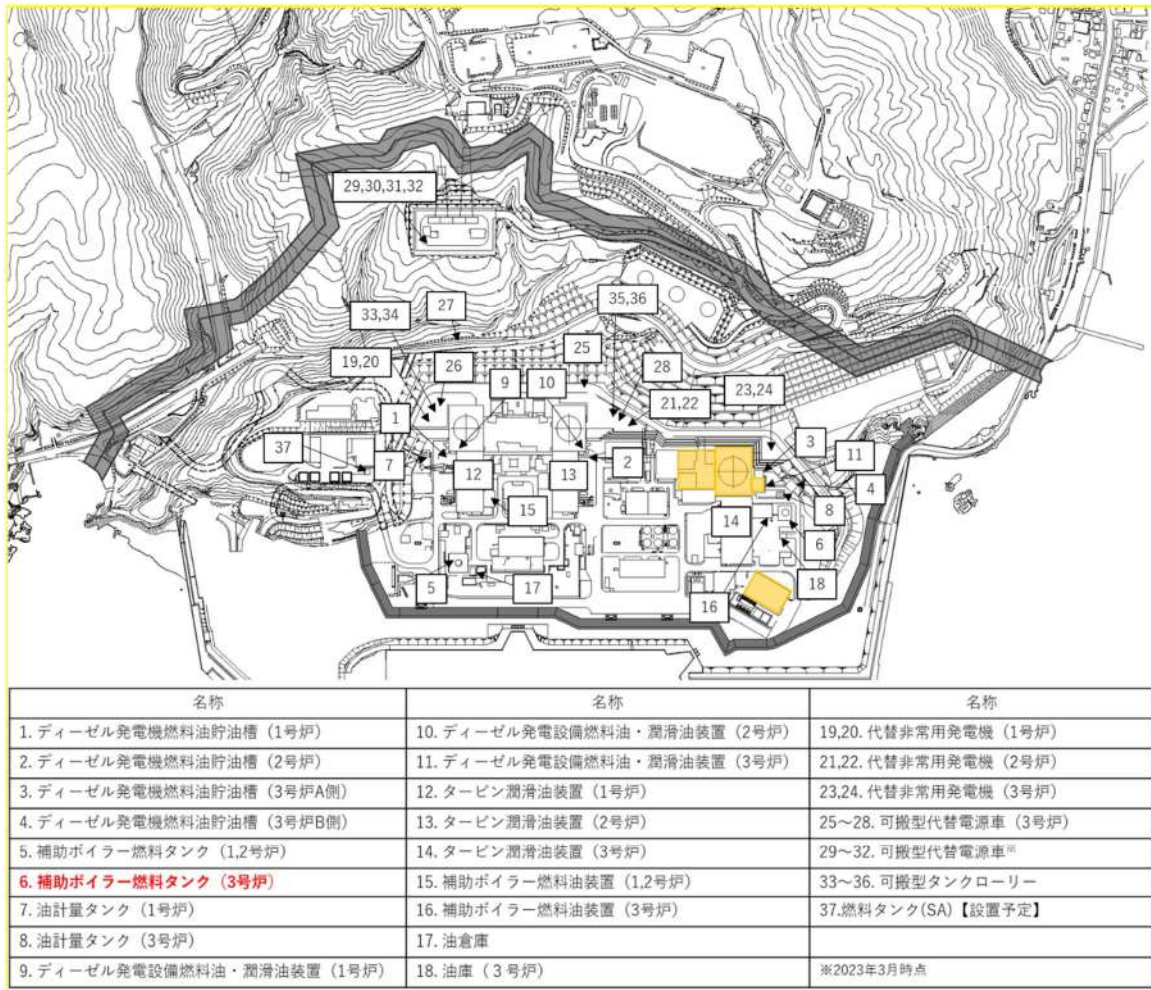
※2：空運用とするため、熱影響評価は実施しない。(別紙6-2)

※3：3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、発電用原子炉施設との距離が離れた位置に配置していること又は貯蔵量が少ないことから、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の熱影響評価に包絡される。

第6-3表 少量危険物貯蔵取扱所施設一覧

号炉	施設名	危険物			数量	詳細評価要否
		類	品名			
1, 2号炉	エンジン消火ポンプ用燃料タンク	4	第2石油類	軽油	490 L	× (屋内設置)
3号炉	ディーゼル駆動消火ポンプ用燃料タンク	4	第2石油類	軽油	490 L	× (屋内設置)
1, 2号炉	循環水ポンプ油圧ユニット油タンク	4	第4石油類	潤滑油	1,600 L	× (屋内設置)
3号炉	循環水ポンプ油圧ユニット油タンク	4	第4石油類	潤滑油	1,310 L	× (屋内設置)
1号炉	1次冷却材ポンプ電動機油回収タンク	4	第4石油類	潤滑油	1,500 L	× (屋内設置)
2号炉	1次冷却材ポンプ電動機油回収タンク	4	第4石油類	潤滑油	1,500 L	× (屋内設置)
3号炉	1次冷却材ポンプ電動機油回収タンク	4	第4石油類	潤滑油	1,500 L	× (屋内設置)
3号炉	緊急時対策所用発電機	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	緊急時対策所用発電機	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	緊急時対策所用発電機【設置予定】	4	第2石油類	軽油	490 L	× (※1)
3号炉	可搬型大容量海水送水ポンプ車	4	第2石油類	軽油	990 L	× (※1)
3号炉	可搬型大容量海水送水ポンプ車	4	第2石油類	軽油	990 L	× (※1)
その他	可搬型大容量海水送水ポンプ車	4	第2石油類	軽油	990 L	× (※1)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)
3号炉	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)
その他	可搬型直流電源用発電機	4	第2石油類	軽油	250 L	× (※1)

※1: 3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、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、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。



第6-2図 敷地内における危険物施設の位置 (発電所全体)

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、3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定して、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 危険物貯蔵施設の必要データ

	3号炉補助ボイラー燃料タンク
燃料の種類	重油
燃料量[m ³]	410
防油堤面積※1[m ²]	482.79
燃料密度※2[kg/m ³]	1,000
質量低下速度※2[kg/m ² ・s]	0.035
輻射発散度※3[W/m ²]	23,000
燃焼速度[m/s]	3.50×10 ⁻⁵

※1：防油堤の堰(20.9m×23.1m)の面積に等しいとした

※2：THE SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Edition 記載値

※3：評価ガイド付属書B記載値

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炎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。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積[m²]

第6-5表 危険物貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S [m ²]	燃焼半径 R [m]
3号炉補助ボイラー燃料タンク	482.79	12.40

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、3号炉補助ボイラー燃料タンク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を第6-6表に示す。

第 6-6 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	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機建屋	循環水ポンプ建屋
3号炉補助ボイラー燃料タンク	57	112	43	100

各建屋の外壁と天井スラブの構成を第 6-7 表に示す。各建屋の外壁と天井スラブの仕様については別紙 6-4 に示す。評価については、外壁に PC 板、天井スラブに防水押さえコンクリートが設置されている原子炉建屋、防護措置として断熱材及びコンクリート板を設置したディーゼル発電機建屋及び外壁に PC 板が設置されていない循環水ポンプ建屋について実施する。なお、原子炉補助建屋の評価は、原子炉建屋より離隔距離が長く、建屋の外壁と天井スラブの構成が同一であることから原子炉建屋の評価に包絡されるため、原子炉建屋の評価で代表できる。よって、以降の原子炉補助建屋の記載は省略する。

第 6-7 表 各建屋の外壁と天井スラブの構成

	外壁		天井スラブ	
	PC板 (60mm)	断熱材	防水押さえコンクリート (80mm)	コンクリート板 (30mm)
原子炉建屋	○	×	○	×
原子炉補助建屋	○	×	○	×
ディーゼル発電機建屋	×	○	○	○
循環水ポンプ建屋※1	×	×		

※1：地表面から約 2.8m が鉄筋コンクリート造の壁、上部の壁が鋼板で構成

○：設置，×：未設置

(c) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

H：火災長(37.20[m])，R：燃焼半径(12.40[m])，L：離隔距離[m]

第 6-8 表 評価対象施設ごとの形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉建屋	0.081
ディーゼル発電機建屋	0.13
循環水ポンプ建屋	0.030

(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。

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

E : 輻射強度[W/m²], R_f : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 6-9 表 評価対象施設ごとの輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉建屋	1,863
ディーゼル発電機建屋	2,990
循環水ポンプ建屋	690

(e) 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/ρ[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第 6-10 表 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V [m ³]	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m ² ・s]	燃料密度 ρ [kg/m ³]	燃焼継続時間 t [s]
3号炉補助ボイラー 燃料タンク	410	12.40	0.035	1,000	24,264

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

i. 原子炉建屋及び循環水ポンプ建屋

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、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体と仮定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躯体コンクリート表面の温度上昇を求め、躯体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、躯体コンクリート表面温度評価に当たっては、外壁の部材であるコンクリートへの熱伝導による蓄熱を考慮するため、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、躯体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。
- ・天井スラブには、外壁より厚いコンクリートが設置されていることから、天井スラブ部躯体の熱影響は外壁部躯体に比べて小さい。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

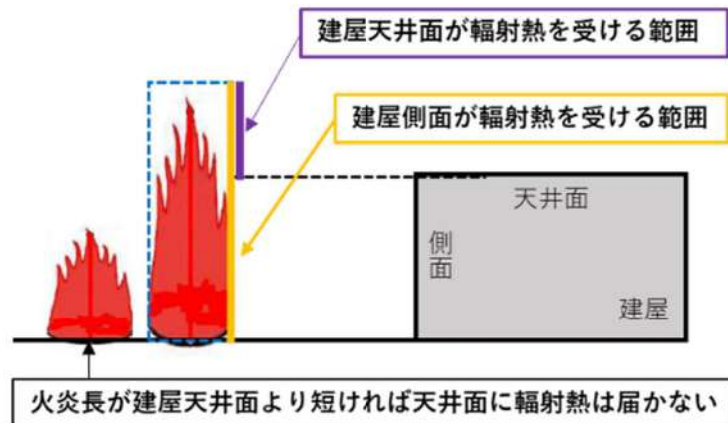
T：許容温度(200[°C])，T₀：初期温度(50[°C])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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])，t：燃焼継続時間(24,264[s])

x：躯体コンクリート壁表面深さ(m)



第6-3図 建屋天井面の評価概念図

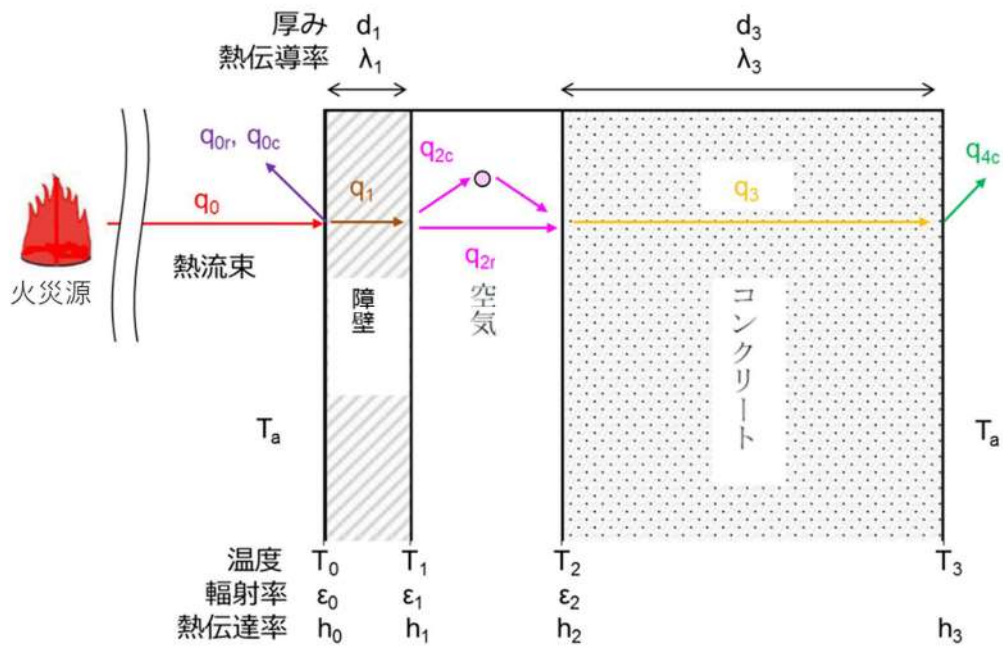
躯体コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第6-11表に示す。

第6-11表 評価対象施設ごとの熱影響評価結果

対象施設	躯体コンクリート表面温度[℃]	許容温度[℃]
原子炉建屋	約 157	< 200
循環水ポンプ建屋	約 111	

ii. ディーゼル発電機建屋

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で障壁を設置したディーゼル発電機建屋外壁が昇温されるものとして、定常状態における躯体コンクリートの温度上昇を求め、躯体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。評価概念図を第6-4図に示す。



第6-4図 評価概念図

火災による輻射の入熱量 q_0 に対し、定常状態を考える場合、各部の熱流束が等しいことから、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned}
 q_0 - (q_{0r} + q_{0c}) & \dots\dots (i) \text{ 障壁表面} \\
 = q_1 & \dots\dots (ii) \text{ 障壁内部} \\
 = q_{2r} + q_{2c} & \dots\dots (iii) \text{ 空気層} \\
 = q_3 & \dots\dots (iv) \text{ コンクリート内部} \\
 = q_4 & \dots\dots (v) \text{ コンクリート裏面}
 \end{aligned}$$

(i) 障壁表面

・ 輻射

障壁表面から火災以外に対して輻射放熱するものとして、火災分を除いた形態係数 F_0 を用いる。

$$q_{0r} = \sigma \epsilon_0 F_0 (T_0^4 - T_a^4)$$

σ : ステファンボルツマン定数 [$W/m^2 \cdot K^4$] , ϵ_0 : 障壁表面の輻射率(1)

F_0 : 障壁表面からの輻射放熱の形態係数 (0.8) , T_a : 雰囲気温度 (50[$^{\circ}C$])

・ 対流熱伝達

$$q_{0c} = h_0 (T_0 - T_a)$$

h_0 : 対流熱伝達率 (12 [$W/m^2 \cdot K$]) , T_a : 雰囲気温度 (50[$^{\circ}C$])

(ii) 障壁内部

・熱伝導

$$q_1 = -\lambda_1 \frac{T_1 - T_0}{d_1}$$

λ_1 : 障壁の熱伝導率(0.035[W/m・K]), d_1 : 障壁の厚み(5[mm])

(iii) 空気層

・輻射

障壁裏面及びコンクリート表面について、空気層の隙間に対して十分に大きい面積の並行平板とし、かつ、形態係数を1とする。

$$q_{2r} = \sigma \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} (T_1^4 - T_2^4)$$

σ : ステファンボルツマン定数[W/m²・K⁴], ε_1 : 障壁裏面の輻射率(1)

ε_2 : コンクリート表面の輻射率(1)

・対流熱伝達

障壁裏面から空気層への対流熱伝達は、空気層の温度 T_m を用いて次式が成り立つ。

$$q_{2c-1} = h_1(T_1 - T_m)$$

また、空気層からコンクリート表面への対流熱伝達についても、次式が成り立つ。

$$q_{2c-2} = h_2(T_m - T_2)$$

ここで、空気層は外気によって換気されないと設定する方が伝熱の観点で保守側の評価となる。よって、空気層の温度を障壁裏面とコンクリート表面の平均と仮定する。更に、対流熱伝達率が等しいとすると、次式が成り立つ。

$$q_{2c} = \frac{h_1}{2}(T_1 - T_2)$$

h_1 : 対流熱伝達率 (19[W/m²・K])

$$\left(\begin{array}{l} \because q_{2c-1} = q_{2c-2} = q_{2c} \quad \dots\dots\text{定常状態} \\ T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} \\ h_1 = h_2 \end{array} \right)$$

- (iv) コンクリート内部
 ・熱伝導

$$q_3 = -\lambda_3 \frac{T_3 - T_2}{d_3}$$

λ_3 : コンクリートの熱伝導率(1.74[W/m・K]), d_3 : 障壁の厚み(600[mm])

- (v) コンクリート裏面 (保守的に, 輻射放熱は考慮しない。)
 ・対流熱伝達

$$q_{4c} = h_3(T_3 - T_a)$$

h_3 : 熱伝達率 (8[W/m²・K]) , T_a : 雰囲気気温度(50[°C])

以上より,ディーゼル発電機建屋のコンクリート表面温度を数値解析により算出した結果,許容温度 200°C以下であることを確認した。評価結果を第6-12表に示す。

第6-12表 熱影響評価結果

対象施設	コンクリート表面温度[°C]	許容温度[°C]
ディーゼル発電機建屋	約 140	< 200

(2) 排気筒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, 3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定して, 排気筒への火災影響評価を実施する。

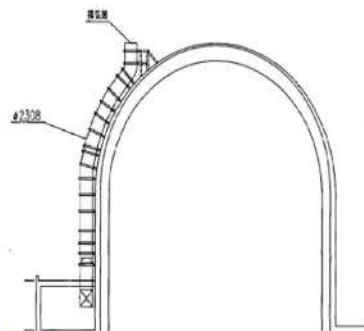
なお, 排気筒の評価に当たっては, 原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

b. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第6-13表に, 排気筒外形図を第6-5図に示す。

第6-13表 排気筒の仕様

名称	排気筒
種類	丸形
主要寸法	外径 2,308mm
	地表高さ 73.1m
材料	SUS304
個数	1



第6-5図 排気筒の外形図

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6-14表に示す。

第6-14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
3号炉補助ボイラー燃料タンク	57

d. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

e. 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

H: 火炎長(37.20[m]), R: 燃焼半径(12.40[m]), L: 離隔距離[m]

第6-15表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
排気筒	0.081

f. 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。

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

E: 輻射強度[W/m²], R_f: 輻射発散度[W/m²], Φ: 形態係数

第6-16表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
排気筒	1,863

g. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

h. 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 $\kappa(T)$ 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。

(b) 評価結果

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、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て、一定の輻射強度で排気筒が升温されるとき、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。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

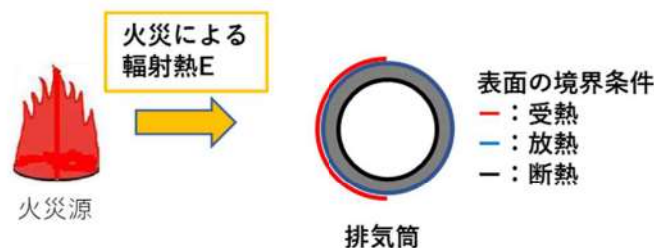
$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h} \quad (\text{式 1})$$

ε : 吸収率(1.0[-])、 E : 輻射強度[W/m²]、 h : 熱伝達率(17[W/m²·K])※1、 T_0 : 初期温度(50[℃])

※1：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て変化するが、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 W/m²·K を用いる。）

上式を用いて排気筒表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 6-17 表に示す。

排気筒の評価概念図を第 6-6 図に示す。



第 6-6 図 排気筒の評価概念図

第 6-17 表 排気筒への火災影響評価結果

対象施設	排気筒温度[℃]	許容温度[℃]
排気筒	約 105	< 325

(3) 原子炉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は、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉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、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない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、周囲空気温度の上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気温度を評価対象とする。

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

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を内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第6-18表に示す。

第6-18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]
	循環水ポンプ建屋
3号炉補助ボイラー燃料タンク	100

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6-19表に示す。

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

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

H: 火炎長(37.20[m]), R: 燃焼半径(12.40[m]), L: 離隔距離[m]

第6-19表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	0.030

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6-20表に示す。

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

E：輻射強度[W/m²], R_f：輻射発散度[W/m²], Φ：形態係数

第6-20表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	690

f. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

g. 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の冷却空気の許容温度は、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度である80℃とする。

(b) 評価方法

循環水ポンプ建屋内には、各種機器（原子炉補機冷却海水ポンプ他）が収納されており、通常運転時にはこれらの機器からの発熱は、建屋の換気により外部へ放出される設計である。熱収支を解くにあたっては、この建屋内部に収められている機器の発熱量と外部火災からの輻射熱をインプットとして、換気量を熱収支と連成させて以下に記す関係式により吸い込み外気温度を求め、許容温度を下回るか評価を実施した。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルの概要を第6-7図に示す。

$$Q_{in} + q_f \times A_F = G_{air} \times C_{p,air} \times (T_R - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\begin{aligned} \Delta P_H &= \Delta P_{in} + \Delta P_{out} \\ \Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R) \times H &= \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R \times u_{out}^2 \quad \dots\dots ②^{*1} \end{aligned}$$

$$\rho_R = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{*2}$$

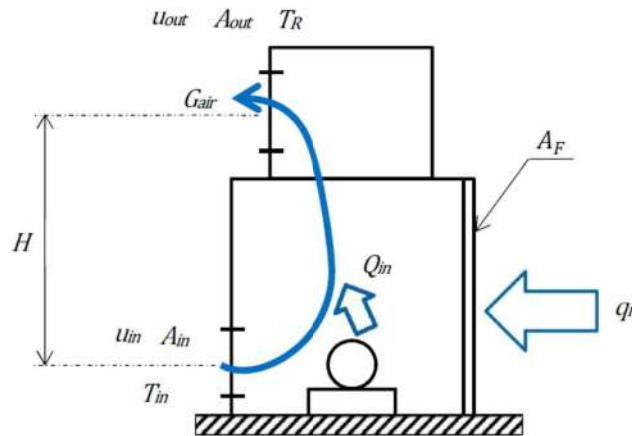
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会（湯き空気として算出）

Q_{in} : 建屋内のポンプモータの放熱量[W], q_f : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²],
 A_F : 輻射受熱面積[m²], G_{air} : 換気風量[kg/s], C_{pin} : 空気比熱[J/kg·K],
 T_R : 建屋内気温[°C], T_{in} : 外気温[°C], g : 重力加速度[m/s²], ρ_{in} : 外気密度[kg/m³],
 ρ_R : 建屋内空気密度[kg/m³], H : 換気有効高さ[m], ζ_{in} : 給気口圧損係数[-],
 ζ_{out} : 排気口圧損係数[-], u_{in} : 給気口流速[m/s], u_{out} : 排気口流速[m/s],
 A_{in} : 給気口面積[m²], A_{out} : 排気口面積[m²]



第 6-7 図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

(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 6-21 表に示す。

第 6-21 表 原子炉補機冷却海水ポンプへの火災影響評価結果

対象施設	吸い込み外気温度[°C]	許容温度[°C]
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 53	< 80

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, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋)の外壁温度, 排気筒温度及び原子炉補機冷却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及ぼすことはないと評価する。

5. 敷地内危険物施設以外の設備の火災影響評価

(1) 敷地内危険物施設以外の設備の火災の想定

消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例に基づく届出対象施設ではない設備のうち, 一体型である 3 号炉主変圧器・所内変圧器の火災を想定して, 影響評価を実施す

る。第 6-8 図のフローに基づき評価対象を抽出した。第 6-23 表に発電所敷地内の発火源となる危険物貯蔵施設の一覧と抽出フローによる抽出結果を示す。

変圧器火災の想定は以下のとおりとした。

- i. 評価対象とする変圧器は、第 6-23 表で抽出した一体型である 3 号炉主変圧器・所内変圧器を想定した。
- 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発電用原子炉施設までの直線距離とした。
- iii. 変圧器の損傷等による変圧器の全面火災を想定した。
- 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。
- vii. 変圧器の防火設備の消火機能等には期待しない。

(2) 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 6-22 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 [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]	変圧器から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値 [-]	原子炉施設の外壁、排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

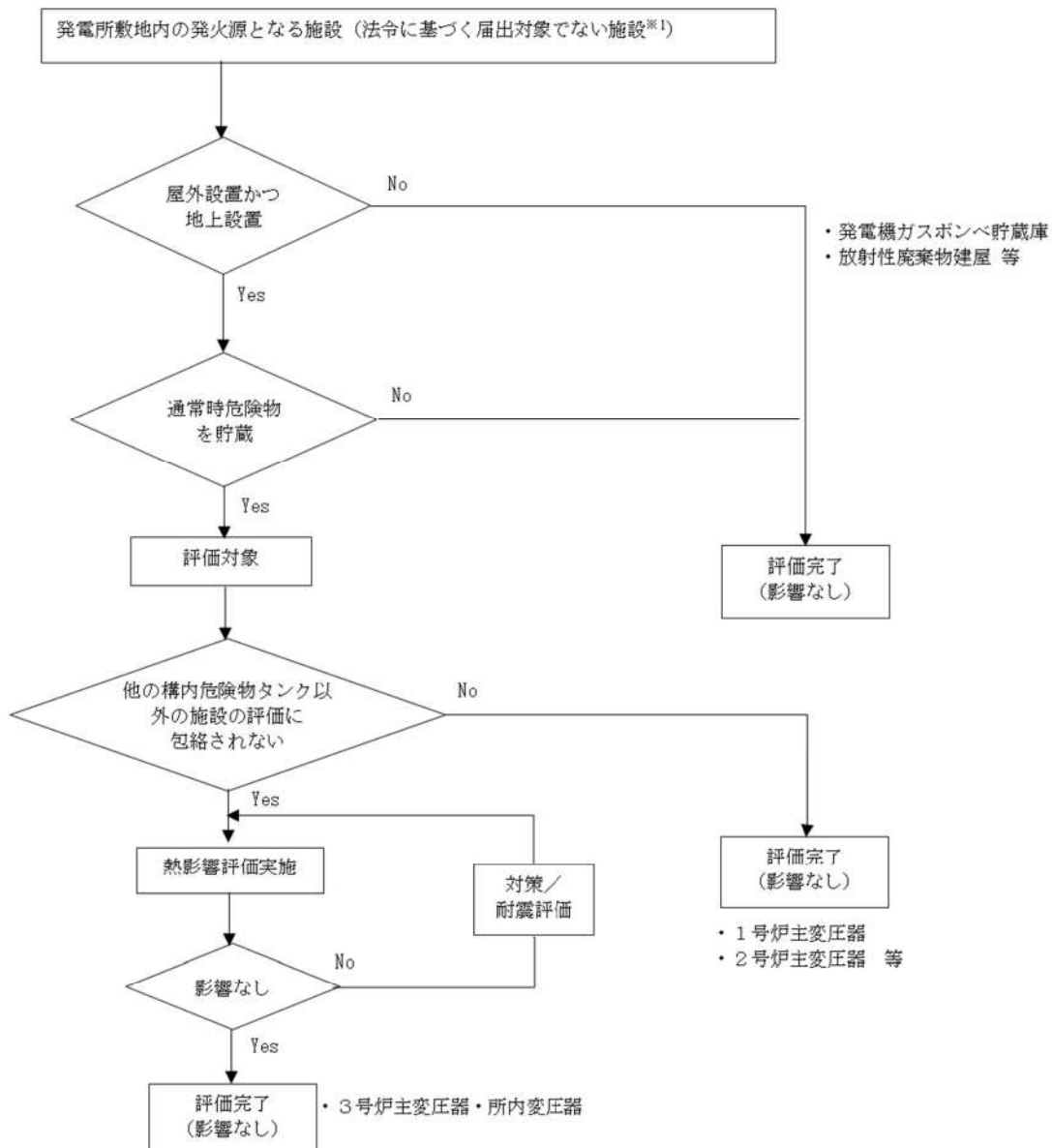
上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3 m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

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

消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例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 6-8 図のフローに基づき抽出する（第 6-23 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。発電所敷地内における屋外変圧器の位置を第 6-9 図に示す。



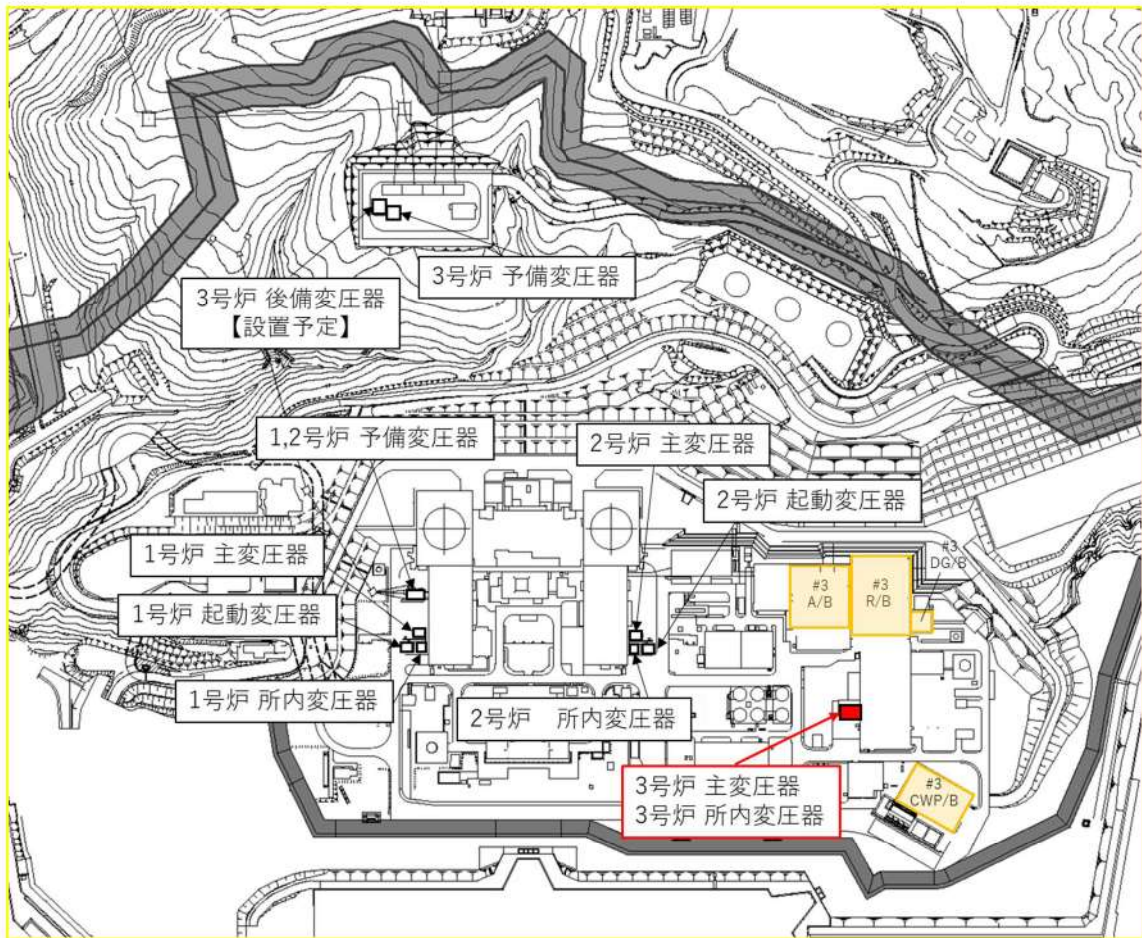
※1：消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例に基づく届出対象施設ではない変圧器等

第 6-8 図 敷地内危険物施設以外の設備のうち評価対象抽出フロー

第6-23表 その他の危険物

号炉	施設名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
1号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	86.0 kL	× (※1)
1号炉	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	41.0 kL	× (※1)
1号炉	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	× (※1)
2号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	77.0 kL	× (※1)
2号炉	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	41.0 kL	× (※1)
2号炉	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	× (※1)
1, 2号炉	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	15.9 kL	× (※1)
3号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	107.8 kL	○
	所内変圧器			
3号炉	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	31.8 kL	× (※1)
3号炉	後備変圧器 【設置予定】	1種4号 鉱油 (重油相当)	15.9 kL	× (※1)
1号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	945 m ³	× (屋内設置)
2号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	945 m ³	× (屋内設置)
3号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	1,120 m ³	× (屋内設置)
1, 2号炉	1次系水素ボンベ室	水素ガス (ボンベ)	420 m ³	× (屋内設置)
3号炉	1次系水素ボンベ室	水素ガス (ボンベ)	280 m ³	× (屋内設置)
共用	放射性廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	プロパンガス	2,000 kg	× (屋内設置)
1, 2号炉	補助ボイラー建屋	プロパンガス	180 kg	× (屋内設置)
3号炉	補助ボイラー建屋	プロパンガス	120 kg	× (屋内設置)

※1：3号炉主変圧器・所内変圧器に比べて、発電用原子炉施設との距離が離れた位置に配置していること及び貯蔵量が少ないことから、3号炉主変圧器・所内変圧器火災の熱影響評価に包絡される。



第6-9図 敷地内における屋外変圧器の位置（発電所全体）

6. 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変圧器のうち、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器の火災を想定して、発電用原子炉施設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。

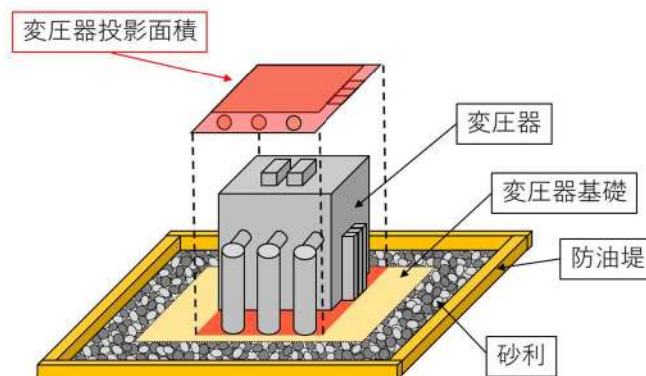
第6-24表 変圧器火災影響評価に必要なデータ

変圧器	3号炉主変圧器・所内変圧器
燃料の種類 ^{※1}	重油
燃料量[m ³]	107.8
投影面積[m ²]	118.39
燃料密度 ^{※2} [kg・m ³]	1,000
質量低下速度 ^{※2} [kg/m ² ・s]	0.035
輻射発散度 ^{※3} [W/m ²]	23,000
燃焼速度[m/s]	3.50×10^{-5}

※1：変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため、絶縁油の輻射発散度は物性の近い重油の値を使用する。

※2：THE SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Edition 記載値

※3：評価ガイド付属書B記載値



第6-10図 変圧器の投影面積

c. 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6-10図に、算出結果を第6-25表に示す。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積[m²]

第 6-25 表 変圧器火災の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積	燃焼半径
	S [m ²]	R [m]
3号炉主変圧器・所内変圧器	118.39	6.14

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、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器の火災を想定して評価を実施した。

(b) 3号炉主変圧器・所内変圧器から評価対象の発電用原子炉施設までの離隔距離を第 6-26 表に示す。評価については、想定火災源から最短距離にある原子炉建屋を代表として実施する。

第 6-26 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	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機建屋	循環水ポンプ建屋
3号炉主変圧器・所内変圧器	64	75	90	81

(c) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

H : 火炎長 (18.42[m]), R : 燃焼半径 (6.14[m]), L : 離隔距離 [m]

第 6-27 表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉建屋	0.018

(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。

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

E : 輻射強度[W/m²], R_f : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 6-28 表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉建屋	414

(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 6-29 表 変圧器火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V [m ³]	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m ² ・s]	燃料密度 ρ [kg/m ³]	燃焼継続時間 t [s]
3号炉主変圧器・ 所内変圧器	107.8	6.14	0.035	1,000	26,028

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、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体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当たっては、外壁の部材であるコンクリートへの熱伝導による蓄熱を考慮するため、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

また、天井スラブは以下の理由により、躯体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 6-11 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。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

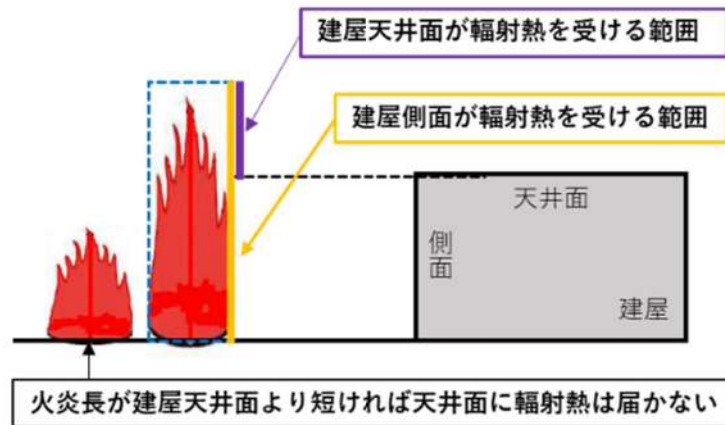
T：許容温度(200[°C])，T₀：初期温度(50[°C])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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])，t：燃焼継続時間(26,028[s])

x：躯体コンクリート壁表面深さ(0[m])



第 6-11 図 建屋天井面の評価概念図

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 6-30 表に示す。

第 6-30 表 外壁への火災影響評価結果

対象施設	コンクリート表面温度[°C]	許容温度[°C]
原子炉建屋	約 88	< 200

(2) 排気筒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変圧器のうち、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器の火災を想定して、排気筒への火災影響評価を実施する。

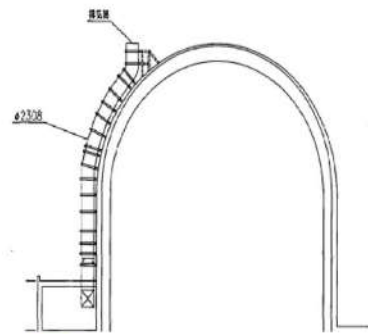
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

b. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第6-31表に、排気筒外形図を第6-12図に示す。

第6-31表 排気筒の仕様

名称	排気筒
種類	丸形
主要寸法	外径 2,308mm
	地表高さ 73.1m
材料	SUS304
個数	1



第6-12図 排気筒の外形図

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6-32表に示す。

第6-32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
3号炉主変圧器・所内変圧器	64

d. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

e. 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

H : 火炎長(18.42[m]), R : 燃焼半径(6.14[m]), L : 離隔距離[m]

第 6-33 表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
排気筒	0.018

f. 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。

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

E : 輻射強度[W/m²], R_f : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 6-34 表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
排気筒	414

g. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

h. 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

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、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て、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、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

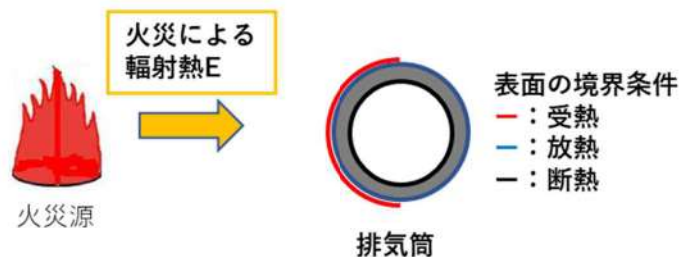
より排気筒表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。
 なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

ε :吸収率(1.0[-]), E :輻射強度[W/m²], h :熱伝達率(17[W/m²·K])^{*1}, T_0 :初期温度(50[°C])

※1: 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て変化するが、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 W/m²·K を用いる。)

上式を用いて排気筒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 6-35 表に示す。排気筒の評価概念図を第 6-13 図に示す。



第 6-13 図 排気筒の評価概念図

第 6-35 表 排気筒への火災影響評価結果

対象施設	排気筒温度[°C]	許容温度[°C]
排気筒	約 63	< 325

(3) 原子炉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は、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉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、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない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。電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び下部軸受であり、そのうち許容温度が低い下部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。

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を内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第 6-36 表に示す。

第 6-36 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]
	循環水ポンプ建屋
3号炉主変圧器・所内変圧器	81

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 6-37 表に示す。

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

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

H : 火炎長(18.42[m]), R : 燃焼半径(6.14[m]), L : 離隔距離[m]

第 6-37 表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	0.012

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 6-38 表に示す。

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

E : 輻射強度[W/m²], R_f : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第 6-38 表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	276

f. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

g. 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の冷却空気の許容温度は、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度である 80℃とする。

(b) 評価方法

循環水ポンプ建屋内には、各種機器（原子炉補機冷却海水ポンプ他）が収納されており、通常運転時にはこれらの機器からの発熱は、建屋の換気により外部へ放出される設計である。熱収支を解くにあたっては、この建屋内部に収められている機器の発熱量と外部火災からの輻射熱をインプットとして、換気量を熱収支と連成させて以下に記す関係式により吸い込み外気温度を求め、許容温度を下回るか評価を実施した。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルの概要を第 6-14 図に示す。

$$Q_{in} + q_f \times A_F = G_{air} \times C_{pin} \times (T_R - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\begin{aligned} \Delta P_H &= \Delta P_{in} + \Delta P_{out} \\ \Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R) \times H &= \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R \times u_{out}^2 \quad \dots\dots ②^{※1} \end{aligned}$$

$$\rho_R = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{※2}$$

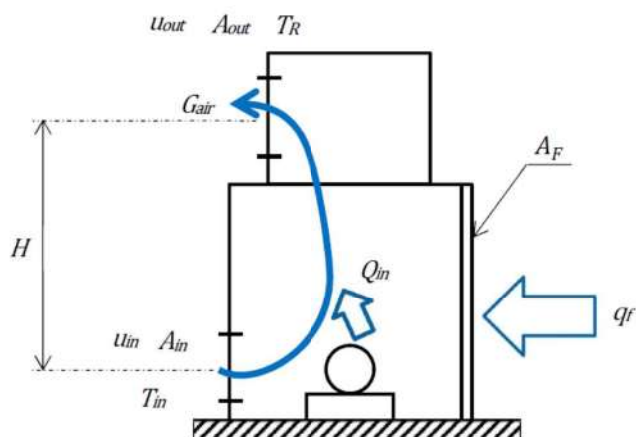
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第 11 版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第 5 版 日本機械学会（渦き空気として算出）

Q_{in} ：建屋内のポンプモータの放熱量[W]， q_f ：外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²]，
 A_F ：輻射受熱面積[m²]， G_{air} ：換気風量[kg/s]， C_{pin} ：空気比熱[J/kg・K]，
 T_R ：建屋内気温[°C]， T_{in} ：外気温[°C]， g ：重力加速度[m/s²]， ρ_{in} ：外気密度[kg/m³]，
 ρ_R ：建屋内空気密度[kg/m³]， H ：換気有効高さ[m]， ζ_{in} ：給気口圧損係数[-]，
 ζ_{out} ：排気口圧損係数[-]， u_{in} ：給気口流速[m/s]， u_{out} ：排気口流速[m/s]，
 A_{in} ：給気口面積[m²]， A_{out} ：排気口面積[m²]



第6-14図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

(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6-39表に示す。

第6-39表 原子炉補機冷却海水ポンプへの火災影響評価結果

対象施設	吸い込み外気温度[°C]	許容温度[°C]
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 46	< 80

7. 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, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋)外壁温度, 排気筒温度及び原子炉補機冷却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及ぼすことはないと評価する。

8. 敷地内危険物施設における延焼の危険性について

3号炉補助ボイラー燃料タンク近傍で危険物を保管している設備はなく, 現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は, 社内規程類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, 3号炉補助ボイラー燃料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。

9. 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。

- ・ 3B-ディーゼル発電機室外扉及び 3B-ディーゼル発電機室
- ・ ガラリフード（換気空調設備の給・排気口）
- ・ 配管貫通部

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 3 号炉補助ボイラー燃料タンク、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) 3B-ディーゼル発電機室外扉及び 3B-ディーゼル発電機室の熱影響評価

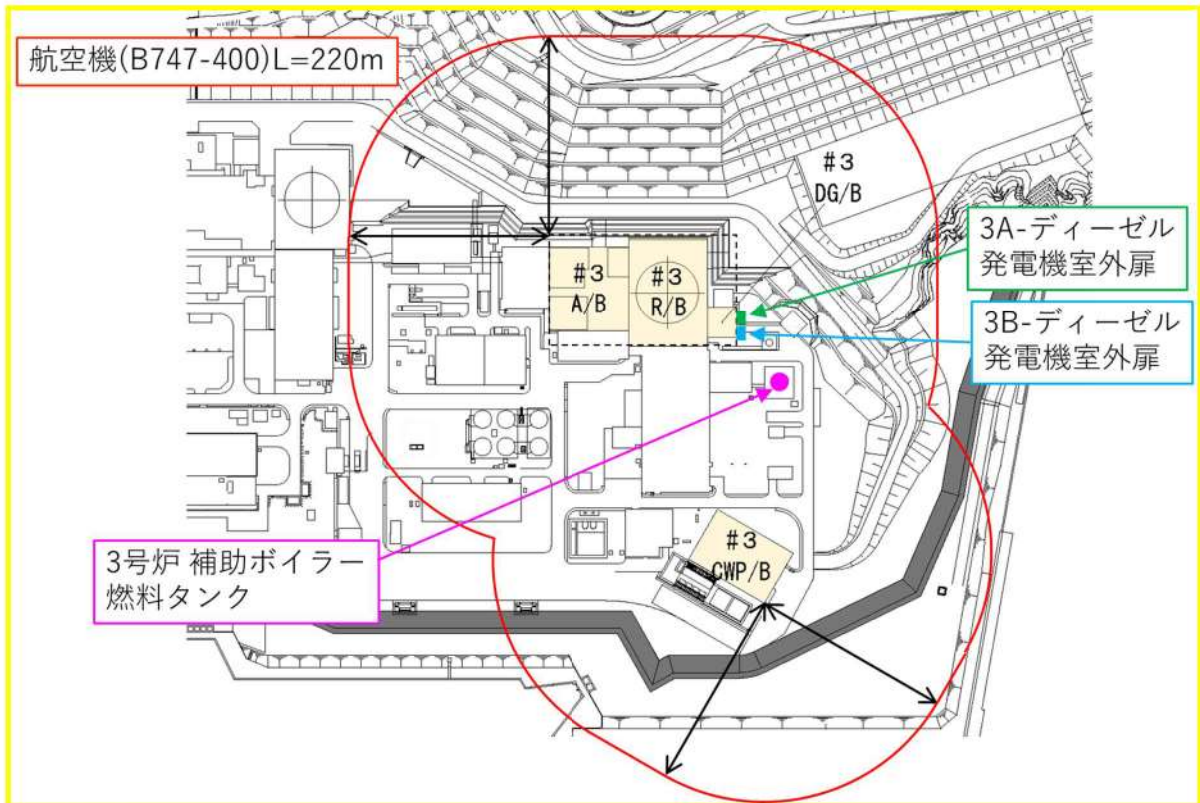
a. 外扉の温度評価

(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 号炉補助ボイラー燃料タンクに最も近くに位置しており、輻射強度が最も大きくなる 3B-ディーゼル発電機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 3A-ディーゼル発電機室の外扉があるが、3 号炉補助ボイラー燃料タンクからの離隔距離は 3B-ディーゼル発電機室より離れているため、熱影響評価は 3B-ディーゼル発電機室の熱影響評価に包絡される。

ディーゼル発電機室外扉と火災源との位置関係を第 6-15 図に示す。



第 6-15 図 想定する 3 号炉補助ボイラー燃料タンクと航空機墜落による火災の火災源と 3B-ディーゼル発電機室外扉の位置図

(b) 想定条件

- i. 火災源は、3 号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災とした。
- 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。

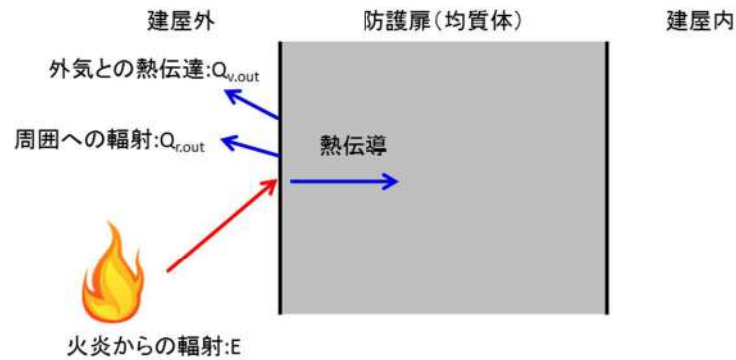
想定する火災の条件を第 6-40 表に示す。

第 6-40 表 想定する重畳火災の条件

評価対象	火災源	離隔距離※ [m]	輻射強度 [W/m ²]	火災継続時間 [s]
3B-ディーゼル 発電機室外扉	3 号炉補助ボイラー燃料タンク	43	2,990	24,264
	航空機墜落	220	455	6,660

※ ディーゼル発電機建屋までの離隔距離を採用した。

以下に、伝熱の概念図を示す。



第6-16図 伝熱の概念図

(c) 必要データ

評価の初期条件として必要なパラメータ及びパラメータの出典と保守性の考え方について第6-41表に示す。

第6-41表 建屋外扉及び隣接室の熱影響評価における初期条件の設定

項目	パラメータ	保守性	出典と保守性の考え方
外気温度 T_{∞} [°C]	50	○	日射の影響を考慮し、初期温度としている
3B-DG 室外扉の厚さ L [m]	0.3353	—	設計寸法
3B-DG 室外扉熱吸収率 ϵ [—]	1.0	○	熱吸収はないものとしている
3B-DG 室外扉比熱 C_p [J/(kg·K)]	473	—	伝熱工学資料より軟鋼の物性値を引用
3B-DG 室外扉密度 ρ [kg/m ³]	7,860	—	
3B-DG 室外扉熱伝導率 λ [W/m·K]	51.6	—	
3B-DG 室外扉熱拡散率 α [m ² /s]	1.388×10^{-5}	—	
内表面熱伝達率 h_1 [W/(m ² ·K)]	8.29	—	空気調和・衛生工学便覧より引用
空気比熱 C_{p1} [J/(kg·K)]	1,007	—	伝熱工学資料より大気圧における値を引用
空気密度 ρ_1 [kg/m ³]	1.150	○	伝熱工学資料より引用 3B-DG 室の給気温度については、過去 10 年間の気象データから最大気温である 30°C の値を使用
3B-DG 室体積 V_1 [m ³]	1,858	—	設計値
3B-DG 室受熱面積 A_1 [m ²]	7.07	—	3B-DG 室外扉表面積を設計寸法より算出
3B-DG 室吹出温度 T_{a1} [°C]	30	○	過去 10 年間の気象データから最大気温である 30°C の値を使用
3B-DG 室換気風量 m_1 [kg/s]	27.255	—	設計値
3B-DG 室室内負荷 Q_1 [W]	518,500	—	設計値

(d) 外気への放熱条件

外扉から外気への放熱として、周囲への輻射及び外気への熱伝達を考慮する。

周囲への輻射は、外面放射率を 1.0 とする。

外気への熱伝達は、扉から外気への熱伝達率の温度変化を考慮して、熱伝達率を Bayley の式より算出する (第 6-17 図)。

Bayley の式は以下のように表せる。

Bayley の式

$$\text{Nu} = \frac{hL}{\lambda} = 0.10\text{Ra}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Ra} = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

より、自然対流熱伝達率 h は次式から求められる。

$$h = 0.10\lambda \left(\frac{g\beta(T_w - T_\infty)}{\nu\alpha} \right)^{\frac{1}{3}}$$

と表せる。ここで、

h : 熱伝達率 [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]

T_w : 扉の表面温度 [$^{\circ}\text{C}$]

T_∞ : 扉から離れた位置での外気温度 (50 [$^{\circ}\text{C}$])

Nu : ヌセルト数 [-]

L : 扉の高さ (2.525 [m])

λ : 外気の熱伝導率* [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$] (境膜平均温度 $(T_w + T_\infty)/2$ における値)

Ra : レイリー数 [-]

g : 重力加速度 (9.80665 [m/s^2])

β : 体膨張率 [$1/\text{K}$] (境膜平均温度 $(T_w + T_\infty)/2$ の逆数)

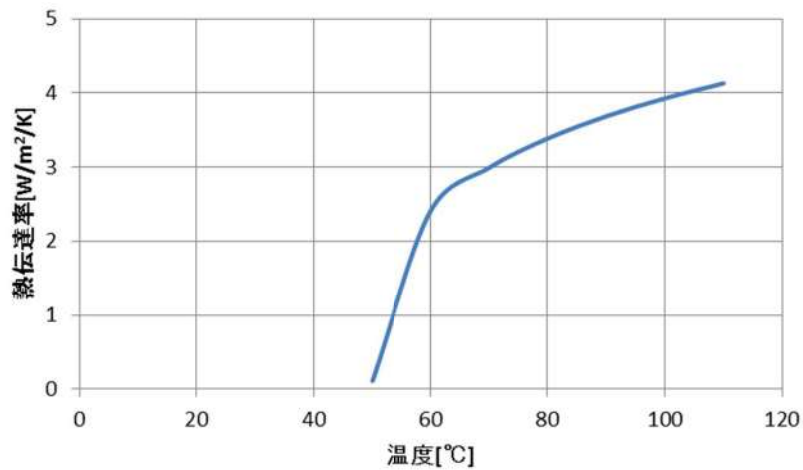
ν : 動粘性率* [m^2/s]

α : 熱拡散率 [m^2/s] ($= \lambda/\rho c_p$)

c_p : 空気比熱* [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

ρ : 空気密度* [kg/m^3]

※ : 伝熱工学資料記載値から算出



第 6-17 図 自然対流熱伝達 (Bayley の式)

(e) 外扉の内外面温度評価

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。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

ここで、

T : 3B-DG 室外扉温度 [°C]

t : 時刻 [s]

x : 外扉における外面からの距離 [m]

α : 3B-DG 室外扉熱拡散率 [m²/s] (= $\lambda/\rho C_p$)

λ : 3B-DG 室外扉熱伝導率 [W/m·K]

ρ : 3B-DG 室外扉密度 (7,860 [kg/m³])

C_p : 3B-DG 室外扉比熱 (473 [J/kg·K])

上式は以下の境界条件を満たすことから、

$$h(T_\infty - T) - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = E(x = 0)$$

$$h(T - T_1) - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0(x = L)$$

L : 3B-DG 室外扉の厚さ (0.3353 [m])

E : 火災による輻射強度

h : 熱伝達率 [W/m²·K] (Bayley の式より算出)

T_∞ : 外気温度 (50 [°C])

T_1 : 3B-DG 室初期温度

となる $x=0$ 及び $x=L$ における時刻 t のときの 3B-DG 室外扉温度を算出し、3B-DG 室外扉の最高到達温度を評価する。

評価結果を第 6-42 表に示す。

第 6-42 表 外扉温度評価結果

外扉外側 [°C]	外扉内側 [°C]
約 114	約 106

(f) 熱影響の有無の評価

評価の結果、3号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災による外扉の最高温度は、扉外面約 114°C、扉内面約 106°Cとなった。

b. 3B-DG 室の温度評価

建屋内に設置されている燃料油サービスタンクからの燃料供給により、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 106°C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. 評価対象室から壁、床、天井への放熱は考慮しないものとした。
- iii. 3B-DG 室に隣接している部屋のうち、放熱面積と室内負荷が最も大きいのは 3A-DG 室であるが、室内容積、換気風量及び室内負荷が 3B-DG と同等であることから、3B-DG 室を対象とすることで、3A-DG 室等の隣接室内機器への評価は包絡される。
- iv. ディーゼル発電機は、100%出力一定で運転しているものとした。
- v. 換気空調設備については、ディーゼル発電機室換気空調装置による除熱とした。

(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。

$$\frac{dT_R}{dt} = \frac{Q_1 + Q_D - Q_V}{\rho_1 C_{p1} V_1} \quad (\text{式 1})$$

T_R : 3B-DG 室室温 [°C]

Q_1 : 3B-DG 室熱負荷 (518, 500 [W])

Q_D : 火災による 3B-DG 室外扉温度上昇に伴う熱負荷 [W]

Q_V : 3B-DG 室における空調による除熱 [W]

ρ_1 : 3B-DG 室空気密度 (1.150 [kg/m³])

C_{p1} : 3B-DG 室空気定圧比熱 (1,007 [J/kg·K])

V_1 : 3B-DG 室体積 (1,858 [m³])

式 1 記載の外部火災による 3B-DG 室外扉の温度上昇に伴う熱負荷 Q_D は、3B-DG 室外扉から 3B-DG 室への熱伝達を考慮して、次式のように表せる。

$$Q_D = A_1 h_1 (T_{max} - T_R) \quad (\text{式 2})$$

h_1 : 3B-DG 室外扉内表面熱伝達率 [W/m²·K]

A_1 : 3B-DG 室外扉表面積 (7.07 [m²])

T_{max} : 3B-DG 室外扉内側最高温度 (106 [°C])

式 1 記載の空調による除熱 Q_V は、次式のように表せる。

$$Q_V = m_1 C_{p1} (T_R - T_{a1}) \quad (\text{式 3})$$

m_1 : 3B-DG 室換気風量 (27.255 [kg/s])

C_{p1} : 3B-DG 室の定圧比熱 (1,007 [J/kg·K])

T_{a1} : 3B-DG 室吹出温度 (30 [°C])

以上より、式 2 から式 3 までを式 1 に代入し、3B-DG 室の室温を下式より算出する。

$$T_R = \left(T_1 - \frac{\beta}{\alpha} \right) \exp(-\alpha t) + \frac{\beta}{\alpha} \quad (\text{式 4})$$

T_1 : 3B-DG 室内気初期温度 [°C]

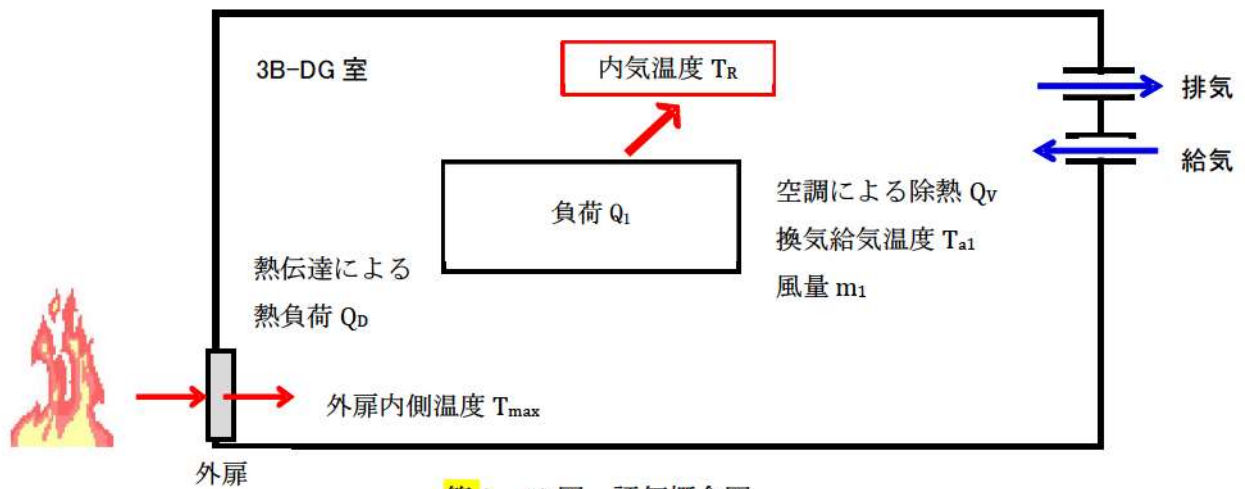
t : 火災継続時間 [s]

$$\alpha = \frac{A_1 h_1 + m_1 C_{p1}}{\rho_1 C_{p1} V_1} \quad (\text{式 5})$$

$$\beta = \frac{Q_1 + A_1 h_1 T_{max} + m_1 C_{p1} T_{a1}}{\rho_1 C_{p1} V_1} \quad (\text{式 6})$$

$$T_1 = \frac{Q_1}{m_1 C_{p1}} + T_{a1} \quad (\text{式 7})$$

である。



第 6-18 図 評価概念図

以下に評価結果を示す。

第 6-43 表 3B-DG 室の熱影響評価結果

	3B-DG 室 (評価対象室)
内気温度 [°C]	49.1
許容温度 [°C] ※1	50.0
初期温度 [°C]	48.9

※1：DG 室の設計最高使用温度

(c) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災及び航空機墜落による火災の重畳火災による外扉の加熱を想定したとしても、建屋内の3B-ディーゼル発電機室の内気温度が、許容温度を超えないことから発電用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) ガラリフードの火災影響評価について

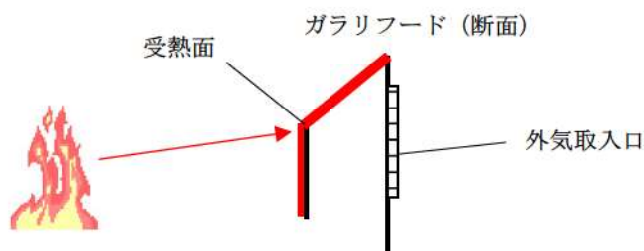
a. 評価対象

3号炉補助ボイラー燃料タンクに最も近くに位置しており、輻射強度が最も大きくなるガラリフードとしてはDG蓄熱室給気ガラリフードがあるが、ディーゼル発電機建屋の熱影響対策として障壁（断熱材）を設置していることから、ディーゼル発電機建屋近くに設置されているR/B給気ガラリフードを対象とする。

b. 想定条件

- ・ガラリフードへの熱影響が最大となる3号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災を火災源とする。重畳火災については、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、一定の輻射強度でガラリフードが昇温されるものとする。
- ・保守的な評価とするため、吸収率は1.0とする。

以下に、ガラリフードへの受熱面を示す。



第6-19図 ガラリフードの受熱面

c. 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第6-44表 ガラリフードへの火災影響評価に必要なデータ

	3号炉補助ボイラー燃料タンク	航空機
離隔距離[m]	56	220
燃焼半径[m]	12.40	14.93
形態係数[-]	0.083	0.0091
輻射強度[W/m ²]	1,909	455
燃焼継続時間[h]	6.74	1.85

d. ガラリフード温度と膨張量

3号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災の熱影響評価(添付資料-7「2. 航空機墜落による火災の影響評価 (13)航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳」)と同様の算出方法により輻射強度を求めた結果、ガラリフードが受ける輻射強度は2,364W/m²となり、この輻射強度にて一定でガラリフードが昇温されるものとして、下記の式より対象ガラリフードの温度及び膨張量を算出する。

なお、ガラリフードの材質は、SS400 (JIS : G3101) である。

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

ε : 吸収率 (1.0[-]), E : 輻射強度[W/m²]

h : ガラリフードの熱伝達率 (17[W/m²·K]) ※1, T_0 : 初期温度 (50[°C])

※1 : 空気調和・衛生工学便覧

$$l = L\alpha(T - T_0)$$

l : ガラリフード膨張量[mm], α : 熱膨張率 (12.8×10⁻⁶[1/K])

T_0 : 初期温度 (50[°C]), L : ガラリフード長さ (21,235[mm])

以下に評価結果を示す。

第6-45表 ガラリフードの熱影響評価結果

ガラリフード温度[°C]	190
ガラリフード膨張量[mm]	38.1

e. 火災による熱影響の有無の評価

ガラリフード温度は190°Cとなり、ガラリフード長辺方向の熱膨張量はガラリフード長さ21,235mmに対して、38.1mmとなったことから、ガラリフードの形状が大きく変形することはない。

また、ガラリフード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、ガラリフード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。

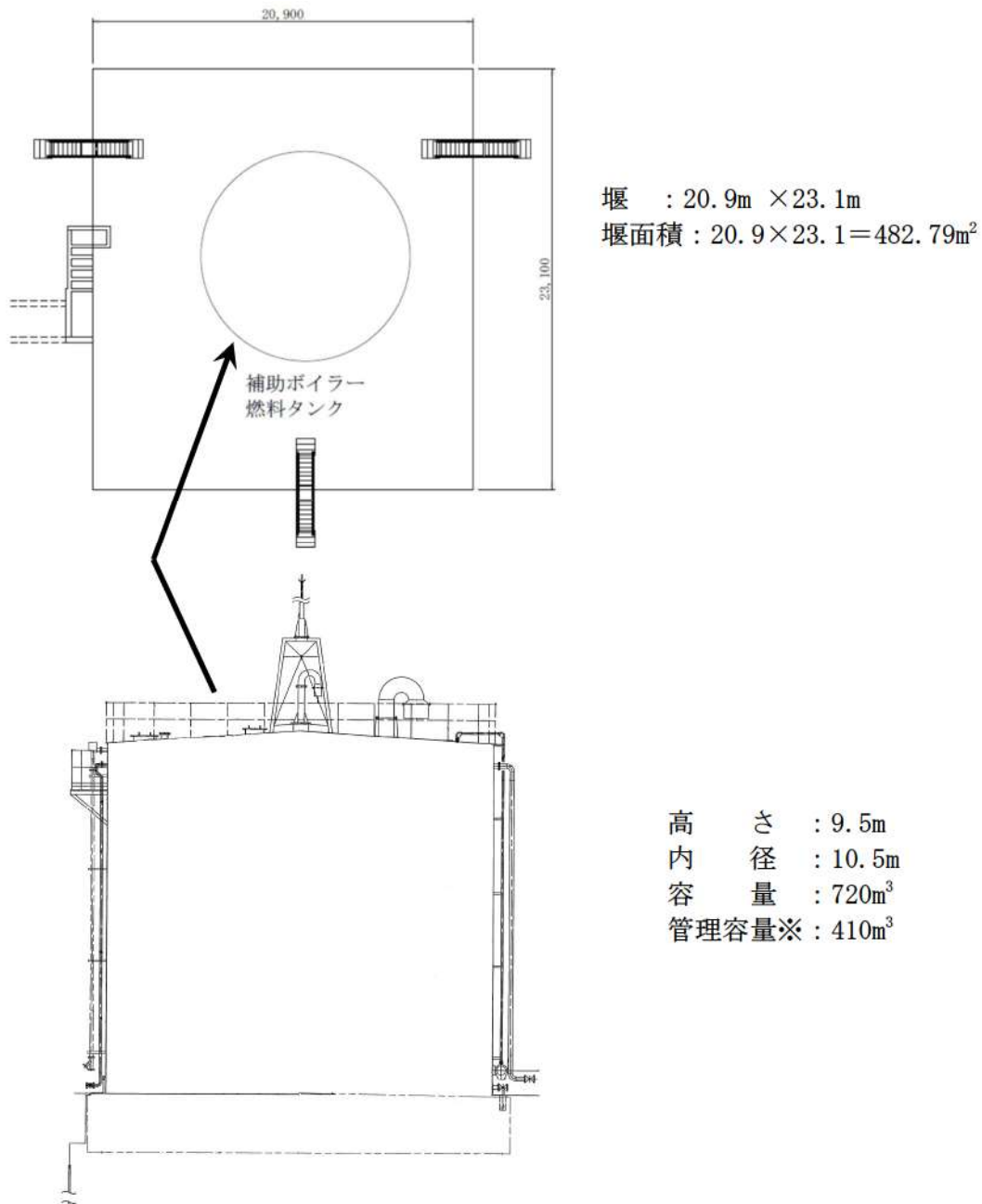
なお、ガラリフード内側には熱影響を受ける機器等がなく、3号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災時は、給気温度を監視しつつ、状況に応じて換気空調系の停止措置を講じることから、建屋内への熱影響はない。

(4) 配管貫通部の火災影響評価について

配管貫通部は、モルタルによる穴仕舞を行っており、建屋外壁の火災影響評価に包絡される。

3号炉補助ボイラー燃料タンクの仕様について

第1図に3号炉補助ボイラー燃料タンクの外形図を示す。また、3号炉補助ボイラー燃料タンクの管理値について、以下に示す。



第1図 3号炉補助ボイラー燃料タンク外形図

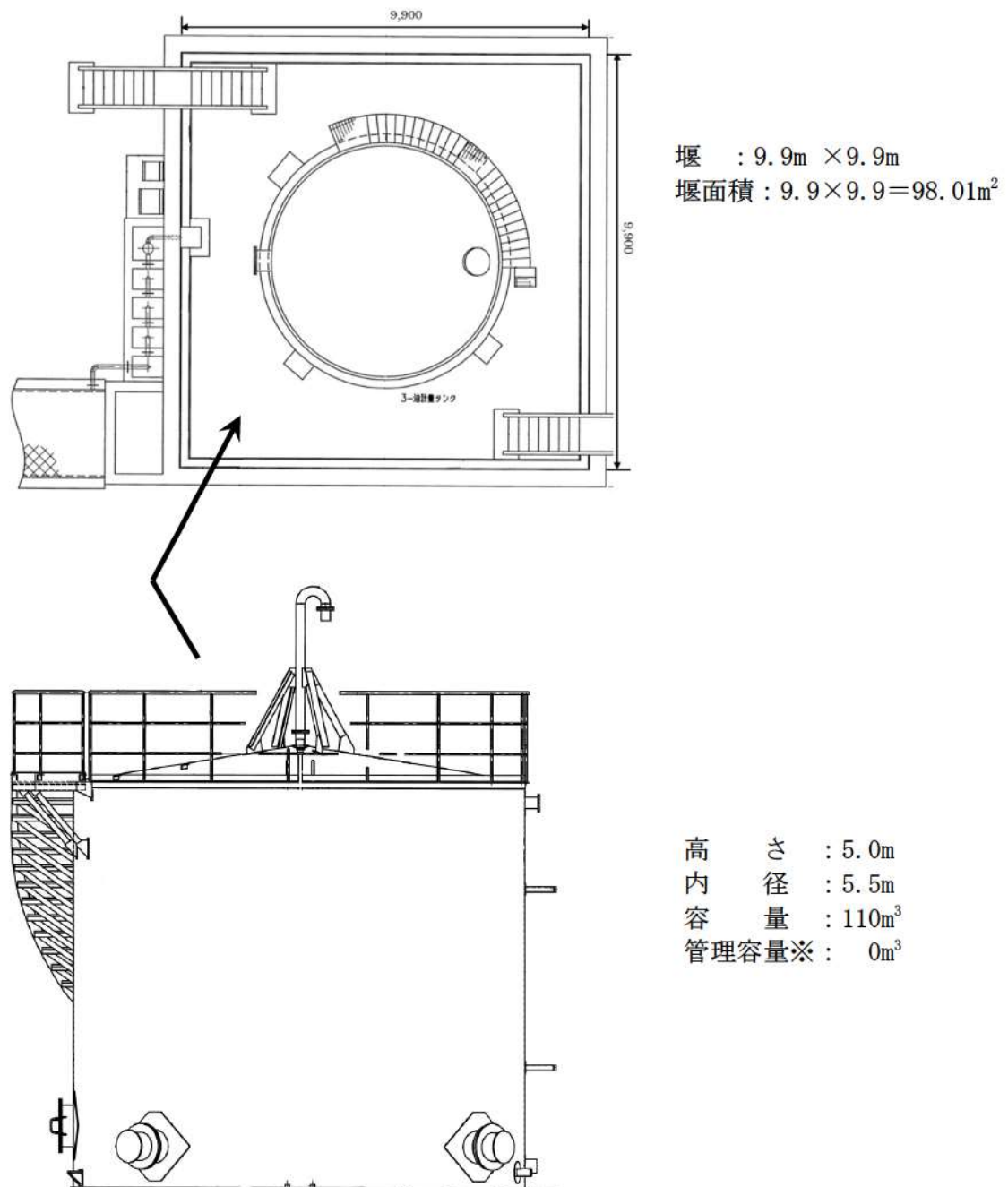
※ 3号炉補助ボイラー燃料タンクの管理容量について

3号炉補助ボイラー燃料タンクは、冬季期間中、燃料油補給までに必要な燃料使用量について、これまでの運用状況を踏まえ192.96kL（蒸気量：10t/h、冬季間）とし、3号炉補助ボイラー燃料タンク油面低警報レベルである214.96kL（タンク底面より2.5m：ポンプNPSH2.4mに余裕を見込んだ値）を考慮して、3号炉補助ボイラー燃料タンク容量の約57%にあたる410 kLでの運用とする。

3号炉補助ボイラー燃料タンクの最大容量は720kLであるが、タンク火災の熱影響評価は、410 kLを使用して評価を行うことから、評価で用いた410kLを確実に下回るよう保安規定で管理する。

3号炉油計量タンクの仕様について

第1図に3号炉油計量タンクの外形図を示す。また、3号炉油計量タンクの管理値について、以下に示す。



第1図 3号炉油計量タンク外形図

※ 3号炉油計量タンクの管理について

3号炉油計量タンクは、タービン本体の点検を実施するため、定期検査ごとにタービン潤滑油を移送するために設置したものである。

ここで、3号炉油計量タンクの使用期間は、定期検査中に限られ、通常運転中は空の状態になっているが、航空機落下との重畳火災による影響評価を踏まえ、今後は定期検査中も含めて使用せず、タンクローリーにより油を受け入れ敷地外に搬出するなど、当該タンクを外部火災の発生源から排除できる運用とする。

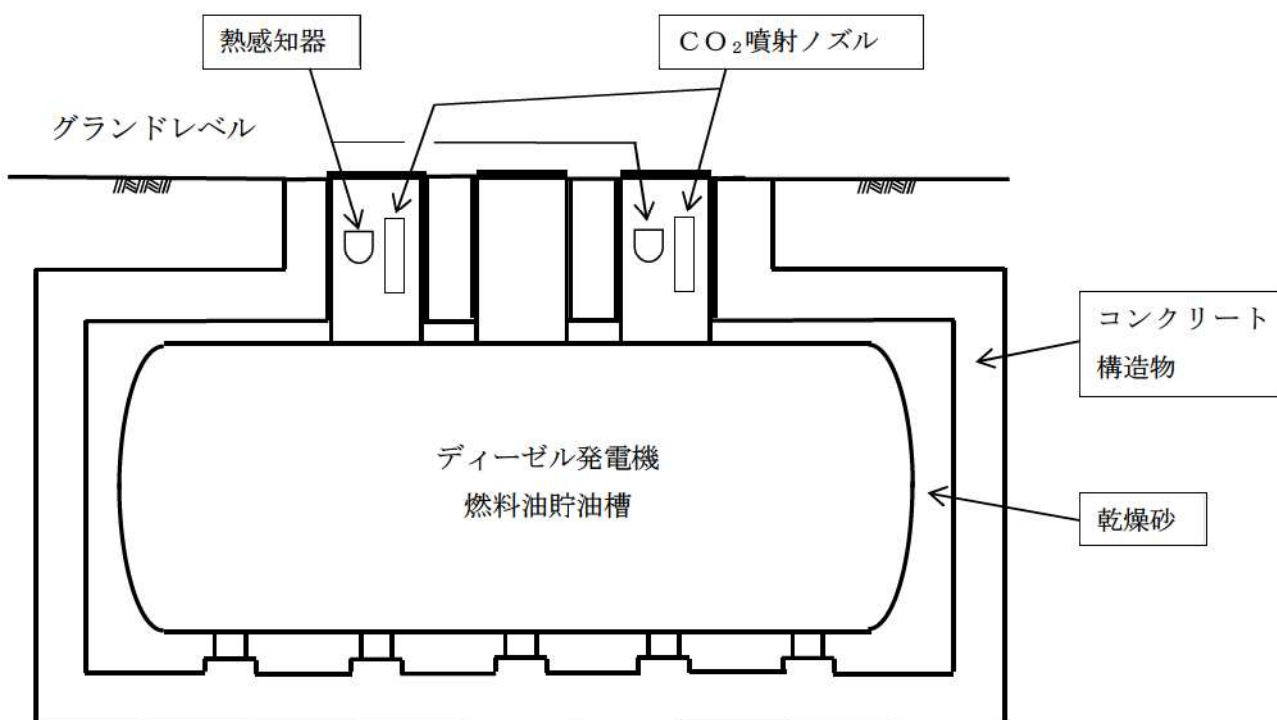
このため、3号炉油計量タンクは評価対象から除外する。また、3号炉油計量タンクが空の状態(0m³)となるように保安規定で管理する。

ディーゼル発電機燃料油貯油槽について

ディーゼル発電機燃料油貯油槽は、コンクリート構造物に収納された地下埋設タンクとなっており、構造物とタンクの間には乾燥砂を詰めて、不燃物に囲われた状態で埋設し設置している。

また、熱感知器及びCO₂消火設備を設置しており、警報値は80℃に設定し、中央制御室に警報が発信し、100℃を検知すると自動で消火設備が動作する。

以上より、直ちに消火活動が可能であり地表面で火炎は発生しないと考えられることから、外部事象防護対象施設及び熱影響評価の対象外とする。



第1図 ディーゼル発電機燃料油貯油槽概要図

評価対象建屋の外壁と天井スラブの構成について

1. 概要

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で建屋外壁が昇温されるものとして、建屋の構造体となる躯体コンクリートの温度上昇を求め、その躯体コンクリートの温度が許容温度以下であるかの評価を実施している。

原子炉建屋及び原子炉補助建屋外壁は、厚さ 60mm の PC 板（プレキャスト・コンクリート板）を外壁コンクリート打設時の型枠及び外装材としており、建屋構造体としての強度を期待していないことを考慮して、その内側の躯体コンクリート外表面の温度で評価する。

ディーゼル発電機建屋の外壁は、防護措置として断熱材を設置しており、その内側の躯体コンクリート外表面の温度で評価する。

また、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の天井スラブは、厚さ 80mm の防水押さえコンクリート、ディーゼル発電機建屋の天井スラブは、厚さ 80mm の防水押さえコンクリートに加え厚さ 30mm のコンクリート板を設置しており、建屋構造体としての強度を期待していないことを考慮して、その内側の躯体コンクリート外表面の温度で評価する。

各評価対象建屋の外壁と天井スラブの構成を第 1 表に示す。

第 1 表 各建屋の外壁と天井スラブの構成

	外壁		天井スラブ	
	PC板 (60mm)	断熱材	防水押さえコンクリート (80mm)	コンクリート板 (30mm)
原子炉建屋	○	×	○	×
原子炉補助建屋	○	×	○	×
ディーゼル発電機建屋	×	○	○	○
循環水ポンプ建屋※1	×	×		

※1：地表面から約 2.8m が鉄筋コンクリート造の壁，上部の壁が鋼板で構成

○：設置，×：未設置

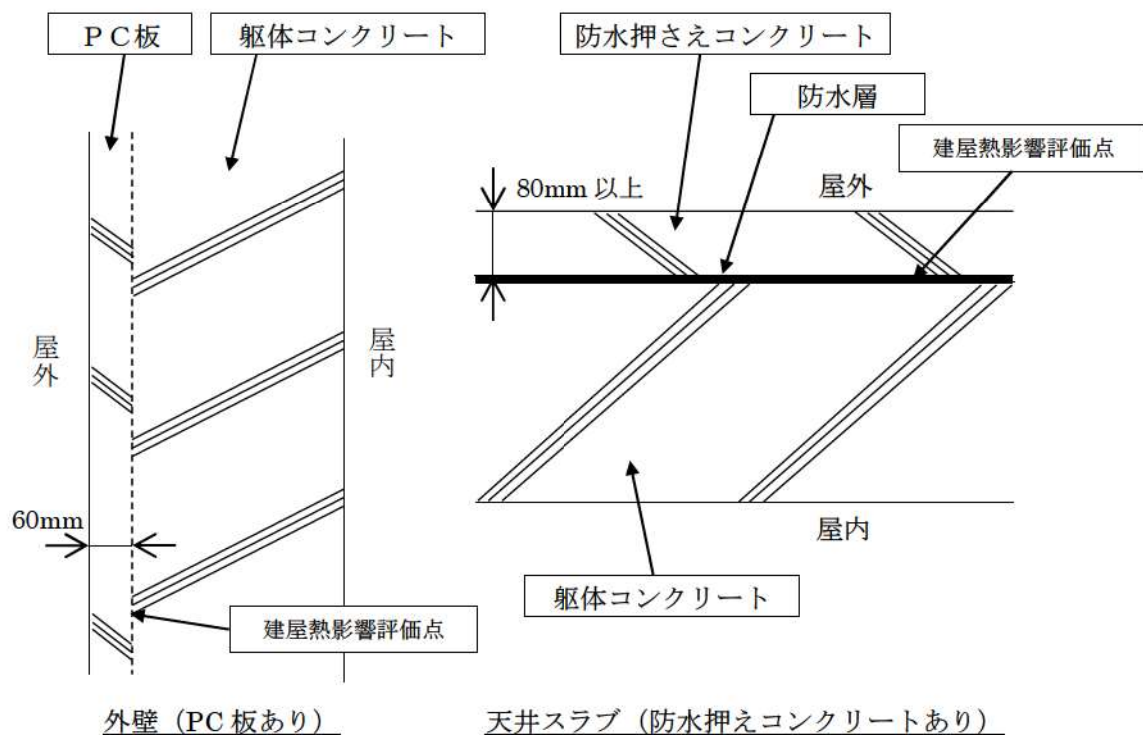
2. PC板及び防水押さえコンクリートについて

コンクリートは、水、セメント、細骨材（砂）、粗骨材（砂利）及びその他混和材料を練混ぜ、これらが一体的に硬化した複合材料であり、コンクリートの種類は、使用骨材の違いにより、普通コンクリート、軽量コンクリート、重量コンクリート等に区分される。

今回、建屋外壁温度評価に用いた主要建屋の躯体、PC板、防水押さえコンクリート及び保温材設置の模擬試験体に用いたコンクリートは、いずれも普通コンクリートであり、日本工業規格（JIS）の「普通コンクリート」に準拠して製造されたものである。

JISでは、コンクリート材料の品質（骨材の寸法・密度、セメントの密度・圧縮強さ等）について規定しており、JISに準拠して製造された普通コンクリートの熱的性質は同等と考えられることから、主要建屋の躯体、PC板、防水押さえコンクリート及び保温材設置の模擬試験体に用いたコンクリートについて、同様の熱的性質の物性値を適用できるものとする。

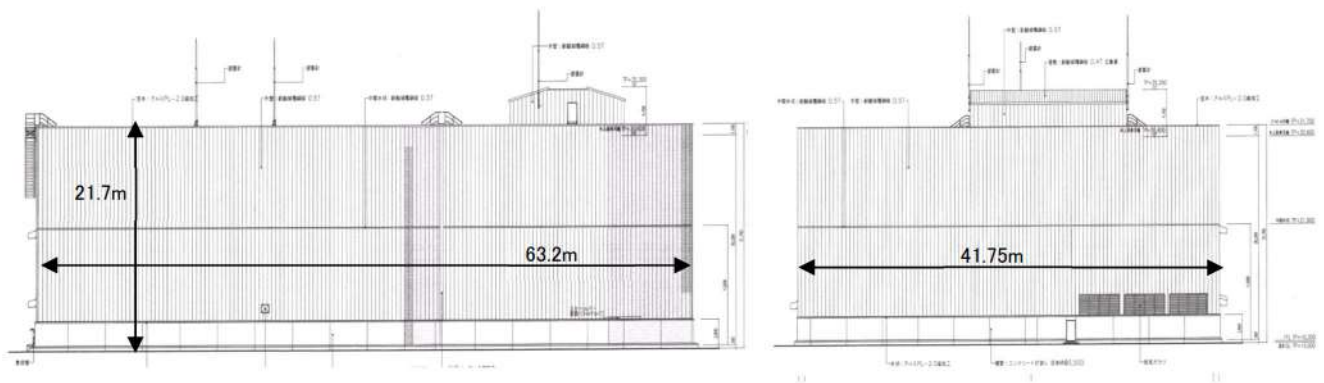
なお、この熱的性質の物性値については、JISに記載が無いことから、適切と考えられる日本建築学会規準から引用した。



第1図 外壁及び天井スラブ構成図

3. 循環水ポンプ建屋及び原子炉補機冷却海水ポンプの影響評価について

3号炉循環水ポンプ建屋は、鉄骨造であり、地表面から約2.8mが鉄筋コンクリート造の壁、上部の壁が鋼板で構成している。



第2図 循環水建屋外形図

上部の壁については、外部火災の輻射熱が鋼板に照射されるため、ヒートシンクを考慮する壁厚のあるコンクリート壁とは異なり照射を受ける面と反対側の面より放熱されるため、コンクリート壁よりも高温となることはなく、建屋のコンクリート壁が許容温度以下ならば、鋼板が損傷を受けることはない。このため、下部の壁（コンクリート）の温度が許容温度以下であることを確認することで健全性を確認する。

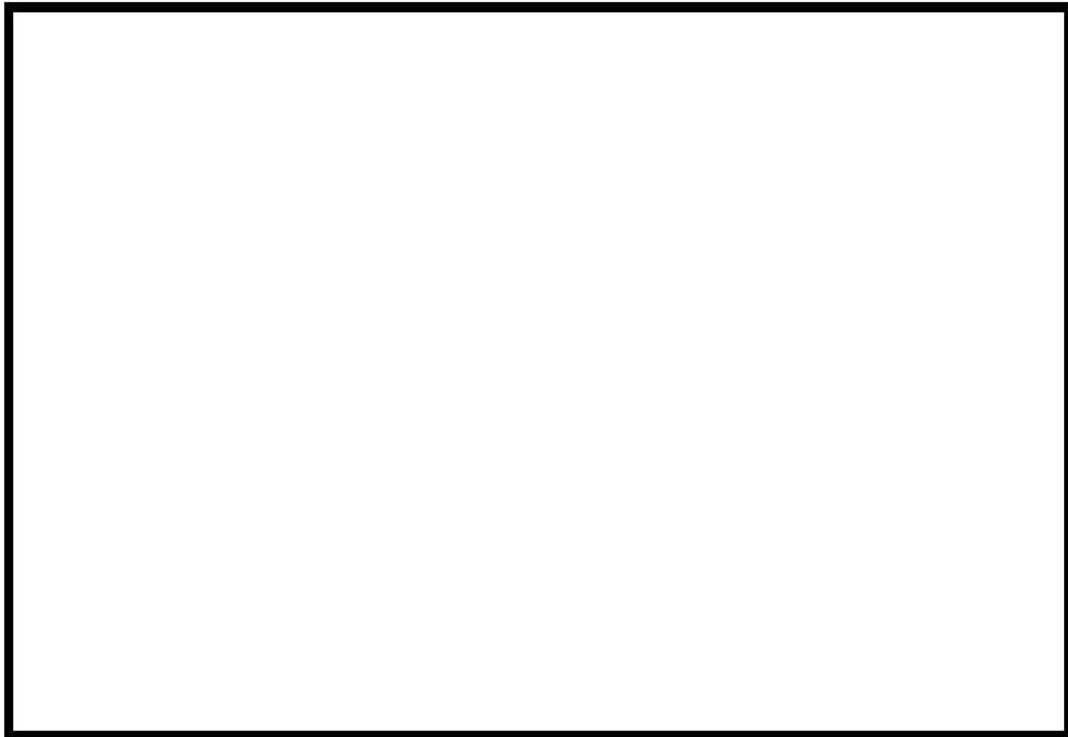
また、原子炉補機冷却海水ポンプは循環水ポンプ建屋内に収納されており、外部火災による輻射熱が原子炉補機冷却海水ポンプに直接作用することはないが、循環水ポンプ建屋の上部外壁は鋼板であることから、外部火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。

原子炉補機冷却海水ポンプの評価としては、電動機下部軸受部を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気温度 80℃を原子炉補機冷却海水ポンプの許容温度とし、循環水ポンプ建屋内の許容温度として評価する。


4. ディーゼル発電機建屋の影響評価について

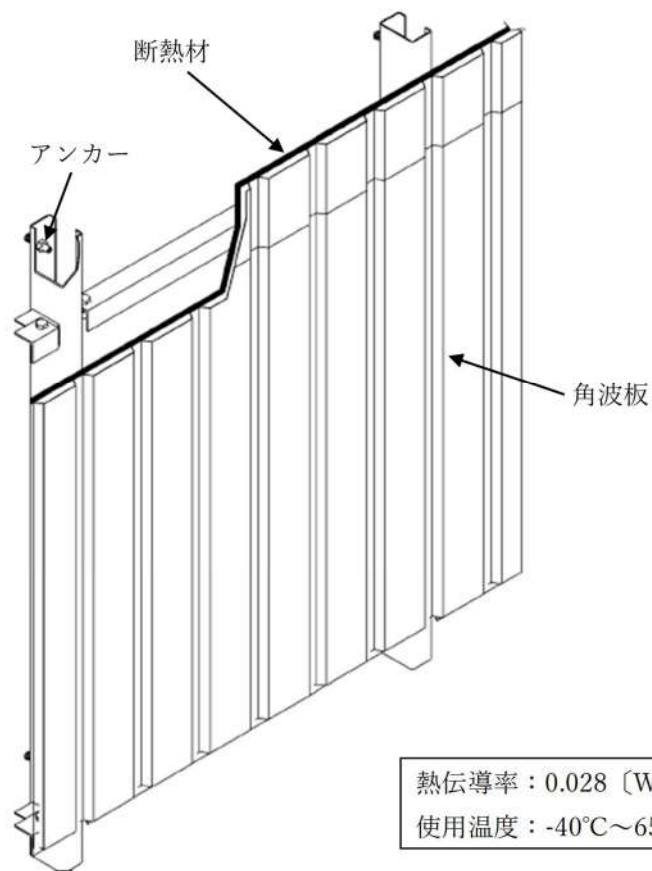
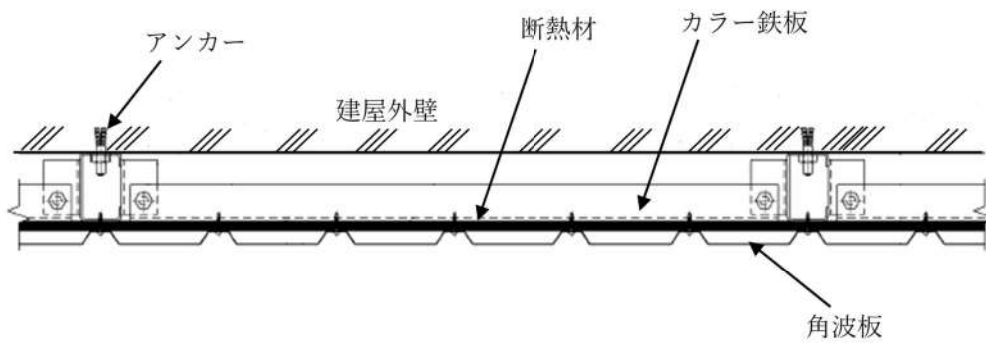
建屋外壁及び屋根スラブの防護措置は、200℃を超える範囲について実施するものとし、防護措置実施範囲及び断熱材設置イメージを第3図及び第4図に示す。なお、ディーゼル発電機建屋の上部構造物の重量に対して、設置する断熱材及びコンクリート板の重量は約0.2%であることから、防護措置に伴う重量増加を考慮しても建屋の耐震性に殆ど影響はない。

ディーゼル発電機建屋の評価としては、防護措置として障壁(断熱材)を設置した状態で、建屋躯体コンクリート外表面の温度で評価する。



第3図 ディーゼル発電機建屋の防護措置実施範囲

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第4図 断熱材設置概略図

(1) 断熱材設置による模擬試験について

コンクリート板に断熱材を設置した状態を模擬し、加温試験を行った。

外気温度 30～35℃の状況において、約 410℃で加温したところ、断熱材内側のコンクリート板表面温度が 50℃以下となることを確認した。

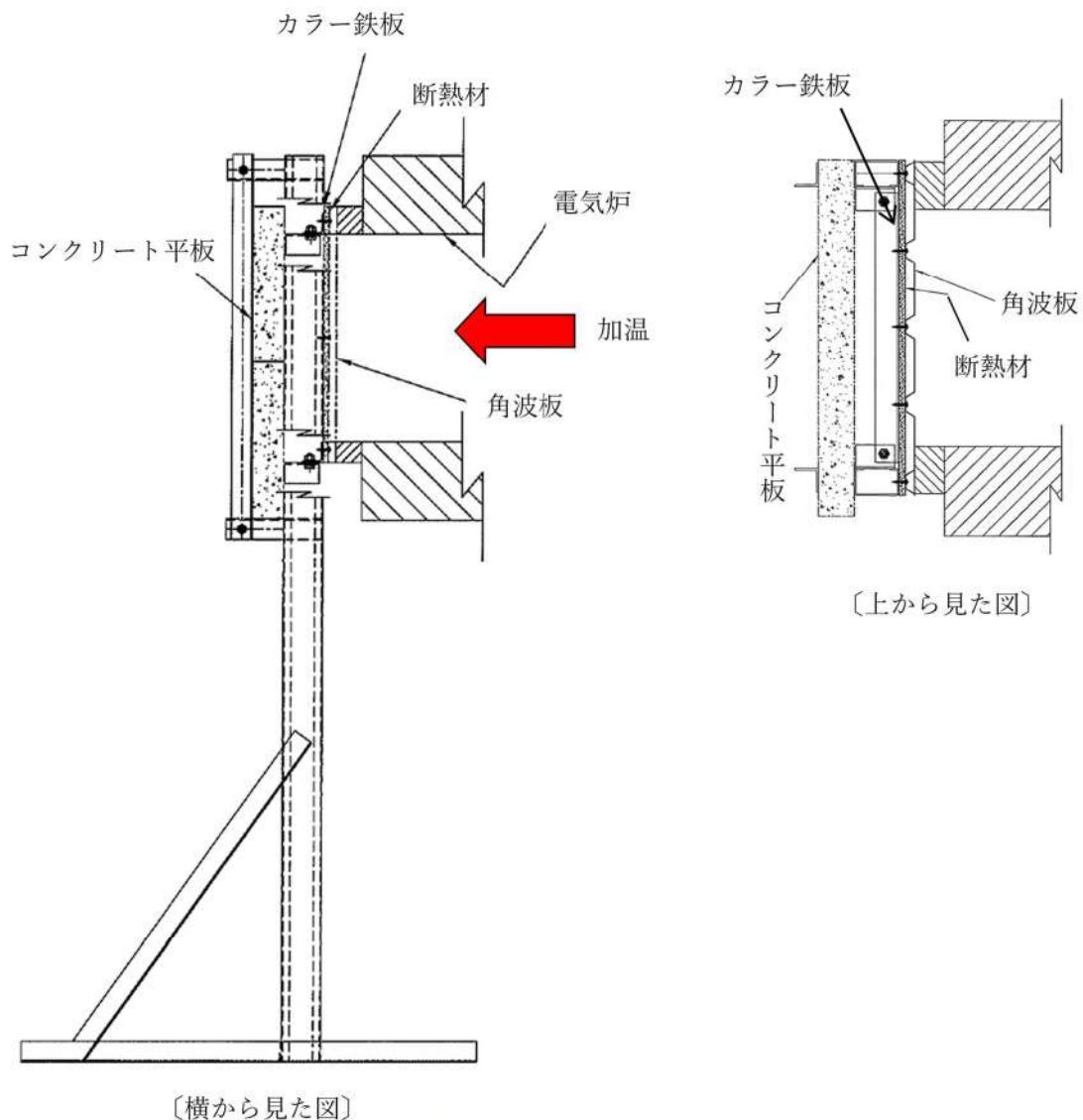
コンクリート板厚がディーゼル発電機建屋と相違があるものの、断熱材の設置により許容温度 200℃を下回ると考えられる。なお、評価結果においては模擬試験より高い温度

となっているが、これは評価において空気層の対流によるコンクリート外表面からの除熱を考慮していないことによると考えられる。

a. 試験状況

試験は以下のように実施した。

- ・ 実際の設置状況を模擬した角波板及び断熱材を電気炉に設置
- ・ 断熱材（約 10mm 厚）から約 75mm の空間をあけて模擬壁（コンクリート平板，約 60mm 厚）を設置
- ・ 角波板表面が 386℃（試験実施時点で敷地内危険物施設の火災による影響評価で最も高い温度）以上となるように加温し，模擬壁表面などの温度を計測する。

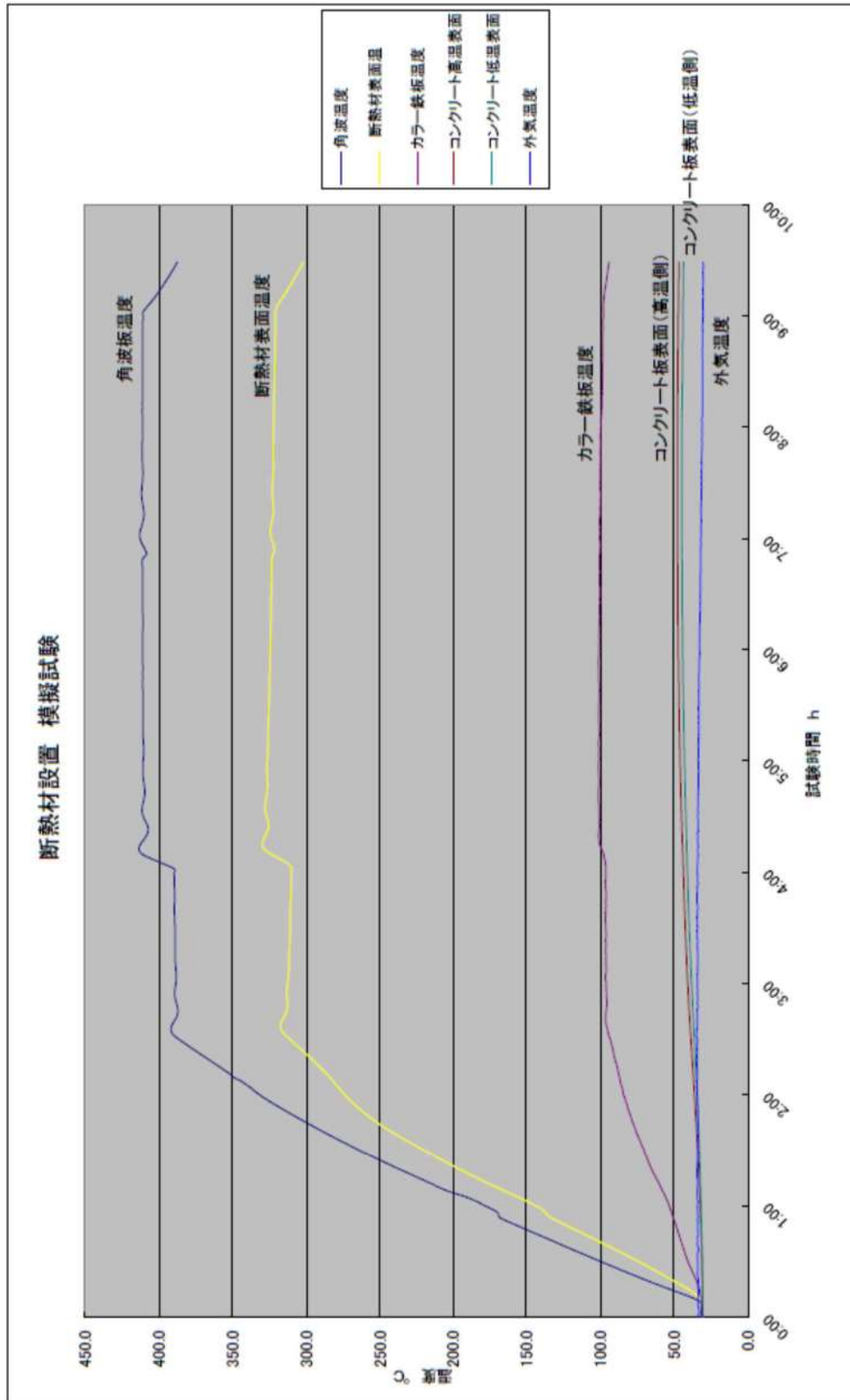


第 5 図 試験状況図

b. 試験結果

昇温開始後 2 時間 40 分頃に角波板表面が約 386℃になったものの、念のため、さらに昇温し、4 時間 20 分頃に約 410℃となり、9 時間頃まで維持した。この間、コンクリート板表面は 50℃を下回る状況であった（外気温度は 30～35℃）。

試験結果を第 6 図に示す。



第 6 図 模擬試験結果

泊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、その火災が泊発電所の敷地内で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

本評価は、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書C原子力発電所への航空機墜落による火災の影響評価について」に基づき実施する。

2. 航空機墜落による火災の影響評価

航空機墜落確率評価では、対象となる航空機の種類及び飛行形態を考慮して墜落確率を求めている。

航空機墜落による火災の影響は、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、民間航空機と自衛隊機又は米軍機に分類し、また、大型航空機と小型航空機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7-1表 落下事故のカテゴリ

1) 計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	—※1
	航空路を巡行中	—※2
2) 有視界飛行方式民間航空機		大型民間航空機
		小型民間航空機
3) 自衛隊機又は米軍機	訓練空域内で訓練中及び 訓練空域外を飛行中	空中給油機等、高高度での巡行 が想定される大型固定翼機※3,4
		その他の大型固定翼機、小型固 定翼機及び回転翼機※3,4
	基地－訓練空域間往復時	—※5

※1：泊発電所は、札幌空港及び新千歳空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外。
(別紙7-2)

※2：泊発電所上空に航空路は存在しないため対象外。(別紙7-3)

※3：泊発電所周辺上空は自衛隊機の訓練空域であるため、自衛隊機は訓練中の落下事故を評価対象とする。(別紙7-3)

※4：泊発電所周辺上空は米軍機の訓練空域がないため、米軍機は訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。(別紙7-3)

※5：泊発電所は基地－訓練空域間の往復の想定範囲内にはないため対象外。(別紙7-3)

(1) 航空機墜落による火災の想定

- ・航空機は、泊発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち、燃料積載量が最大の機種とする。(第7-2表)
- ・航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- ・航空機の墜落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。

- ・ 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。

第7-2表 航空機墜落による火災影響評価の評価対象航空機

分類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	小型民間航空機	訓練空域内	訓練空域外	
			その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	空中給油機等、高高度での巡行が想定される大型固定翼機	その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400	Do228-200	F-15	KC-767	F-15
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※	民間の小型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定(別紙7-4)	主要自衛隊航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定(別紙7-5)		

※評価対象航空路を飛行すると考えられる国内の定期便のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定

(2) 評価手法の概要

本評価は、泊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7-3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[m]	航空機燃料タンクの投影面積より求めた燃焼半径
火災継続時間[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墜落確立が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[-]	建屋の外壁等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

評価対象範囲は、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区域とすることから、泊発電所における航空機墜落確率評価の対象航空機を、第7-1表に示すカテゴリごとに墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積を算出し、その結果から発電用原子炉施設からの離隔距離を導出する。

(4) 標的面積の算出

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」(平成21・06・25原院第1号)の航空機落下確率評価式に基づき、第7-1表に示すカテゴリごとに、墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]に相当する面積を算出する。

a. 大型民間航空機の標的面積の算出

(a) 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 : 単位年当たりの落下事故率[回/年]

S_v : 全国土面積[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7-4表 墜落確率の算出結果(大型民間航空機)

パラメータ	泊発電所3号炉
f_v^{*1}	大型固定翼機 0.5/20=0.025 大型回転翼機 1/20=0.05
S_v^{*1}	372,000
α^{*2}	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1
A^{*3}	0.0116
P_v	2.34×10 ⁻⁹

- ※1：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ）による。なお、大型固定翼機については平成13年～令和2年の間に事故は発生していないため、保守的に0.5件として評価した。
- ※2：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」による。
- ※3：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

大型民間航空機の墜落確率 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。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_v} \cdot A$$

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.49$ [km²] となる。

b. 小型民間航空機の標的面積の算出

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha)$$

P_v ：対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_v ：単位年当たりの落下事故率[回/年]

S_v ：全国土面積[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7-5表 墜落確率の算出結果（小型民間航空機）

パラメータ	泊発電所3号炉
$f_v^{※1}$	小型固定翼機 22/20=1.10 小型回転翼機 17/20=0.85
$S_v^{※1}$	372,000
$\alpha^{※2}$	小型固定翼機，小型回転翼機：0.1
$A^{※3}$	0.0116
P_v	6.08×10^{-9}

- ※1：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ）による。
- ※2：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」による。
- ※3：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

小型民間航空機の墜落確率 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。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_v} \cdot A$$

上記より、標的面積 A' は $A' = 0.19$ [km²] となる。

c. 自衛隊機又は米軍機の標的面積の算出

(a) 訓練空域内を飛行中の落下事故（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）

$$P_{si} = \frac{f_{si}}{S_i} \cdot A$$

P_{si} ：訓練空域内での対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_{si} ：単位年当たりの訓練空域内落下事故率[回/年]

S_i ：全国の陸上の訓練空域の面積[km²]

A ：発電用原子炉施設の標的面積[km²]

第7-6表 墜落確率の算出結果

(自衛隊機：その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機)

パラメータ	泊発電所3号炉
f_{si}^{*1}	自衛隊機 $1/20 = 0.05$
S_i^{*1}	78,000
A^{*2}	0.0116
P_{si}	7.44×10^{-9}

※1：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ）による。

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

訓練空域内での自衛隊機の墜落確率 P_{si} 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。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_{si}} \cdot A$$

上記より、標的面積 A' は $A' = 0.15$ [km²] となる。

- (b) 訓練空域外を飛行中の落下事故（空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機）

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

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} ：単位年当たりの訓練空域内落下事故率[回/年]

S_o ：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積[km²]

A ：発電用原子炉施設の標的面積[km²]

第7-7表 墜落確率の算出結果

(米軍機：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)

パラメータ	泊発電所3号炉
f_{so}^{*1}	米軍機 1/20=0.05
S_o^{*1}	372,000
A^{*2}	0.0116
P_{so}	1.56×10^{-9}

※1：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ）による。

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機の墜落確率（ P_{so} ）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。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_{so}} \cdot A$$

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.74$ [km²] となる。

- (c) 訓練空域外を飛行中の落下事故（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）

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

P_{si} ：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_{si} ：単位年当たりの訓練空域内落下事故率[回/年]

S_i ：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7-8表 墜落確率の算出結果（米軍機：その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）

パラメータ	泊発電所3号炉
$f_{so}^{※1}$	米軍機 $3/20=0.15$
$S_o^{※1}$	372,000
$A^{※2}$	0.0116
P_{so}	4.68×10^{-9}

※1：「航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ）による。

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機の墜落確率（ P_{so} ）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。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_{so}} \cdot A$$

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.24$ [km²]となる。

(5) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出

(4)で求めた標的面積から離隔距離 L を算出した結果を第7-9表に示す。

離隔距離の算出の考え方については別紙7-7に示す。

第7-9表 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出結果

分類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	小型民間航空機	訓練空域内	訓練空域外	
			その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	空中給油機等，高高度での巡行が想定される大型固定翼機	その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400	Do228-200	F-15	KC-767	F-15
離隔距離 L [m]	220	120	100	290	140

(6) 評価対象航空機の選定

航空機墜落による火災の評価対象とする航空機の選定結果を第7-10表に示す。

選定に当たっては、落下事故のカテゴリで対象とする航空機の燃料積載量及び(5)にて求めた離隔距離を考慮している。

各航空機の離隔距離を第7-1図及び第7-2図に示す。

第7-10表 落下事故のカテゴリごとの評価対象航空機の選定結果

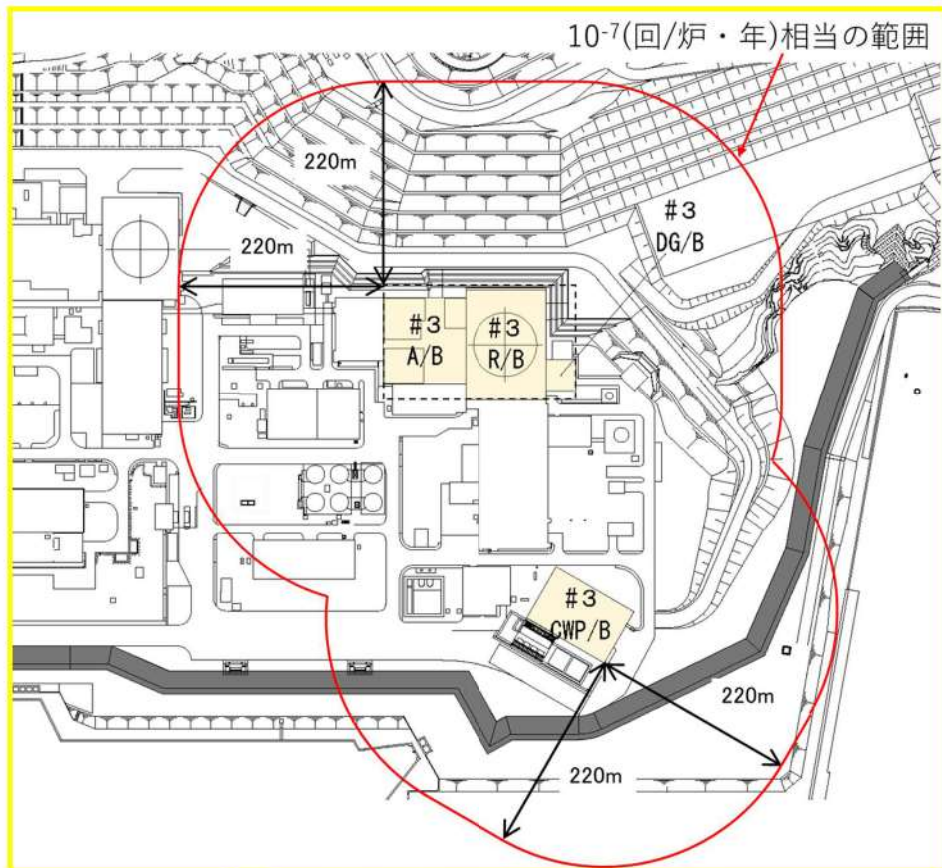
分類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	小型民間航空機	訓練空域内	訓練空域外	
			その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	空中給油機等、高高度での巡行が想定される大型固定翼機	その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400	Do228-200	F-15	KC-767	F-15
燃料積載量 [m ³]	216.84	2.39	14.87	145.03	14.87
離隔距離 L[m]	220	120	100	290	140
選定結果	○	× ^{※1}	○	× ^{※2}	× ^{※3}

○：評価対象 ×：評価対象外

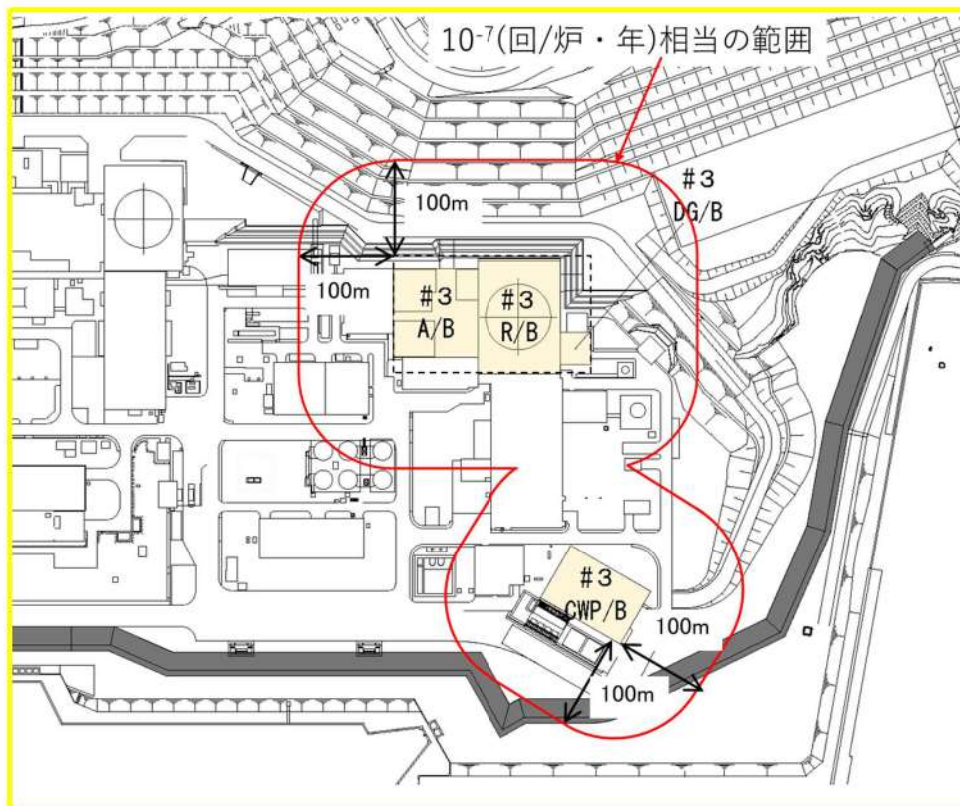
※1：燃料積載量が多く、離隔距離が短い訓練空域内の自衛隊機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：燃料積載量が多く、離隔距離が短い大型民間航空機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：対象航空機が同一で、離隔距離が短い訓練空域内の自衛隊機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。



第7-1図 大型民間航空機の離隔距離



第7-2図 自衛隊機又は米軍機（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）の離隔距離

(7) 必要データ

評価に必要なデータを第7-11表に示す。

第7-11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
	大型民間航空機	訓練空域内
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
燃料の種類	Jet A-1	JP-4
燃料量[m ³]	216.84	14.87
輻射発散度[W/m ²]	50,000	58,000
燃焼速度[m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃料タンク面積[m ²]	700	44.6
離隔距離[m]	220	100

(8) 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、円筒火災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。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積（＝燃料タンクの投影面積）[m²]

第7-12表 燃焼半径の算出結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
燃料タンク面積[m ²]	700	44.6
燃焼半径[m]	14.93	3.77

(9) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

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

H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m], L : 離隔距離[m]

第7-13表 形態係数の算出結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
燃焼半径[m]	14.93	3.77
離隔距離[m]	220	100
形態係数[-]	0.0091	0.0028

(10) 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となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \Phi$$

E : 輻射強度[W/m²], R_f : 輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

第7-14表 輻射強度の算出結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
輻射発散度[W/m ²]	50,000	58,000
形態係数[-]	0.0091	0.0028
輻射強度[W/m ²]	455	162.4

(11) 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/ρ[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²·s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第7-15表 燃焼継続時間の算出結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
燃料量[m ³]	216.84	14.87
燃焼面積[m ²]	700	44.6
質量低下速度[kg/m ² ・s]	0.039	0.051
燃料密度[kg/m ³]	840	760
燃焼速度[m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃焼継続時間[s]	6,660	4,968

(12) 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℃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、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式1の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より、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当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T₀：初期温度(50[℃])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[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])

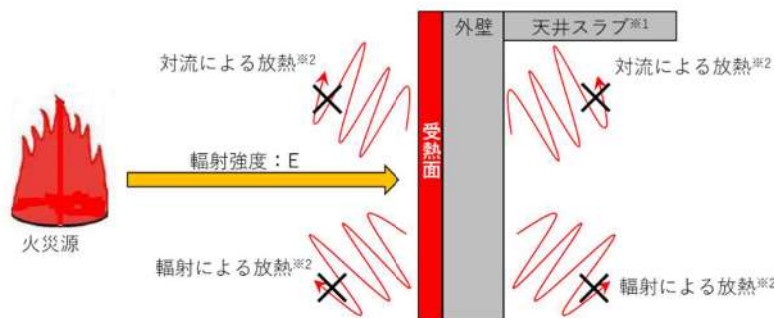
λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間[s]

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])

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。
- ・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。

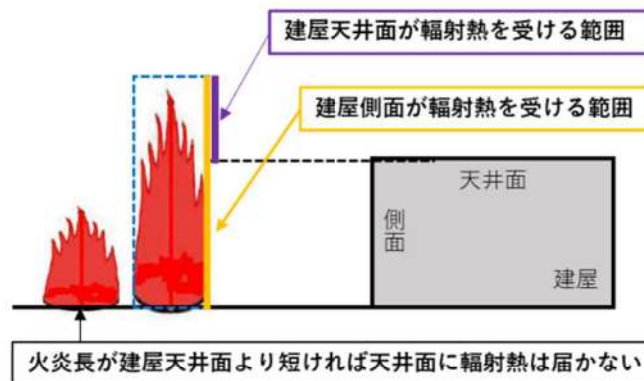
建屋外壁の評価概念図を第7-3図に、天井スラブの評価概念図を第7-4図に示す。



※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、外壁の評価に包絡される。

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

第7-3図 建屋外壁の評価概念図

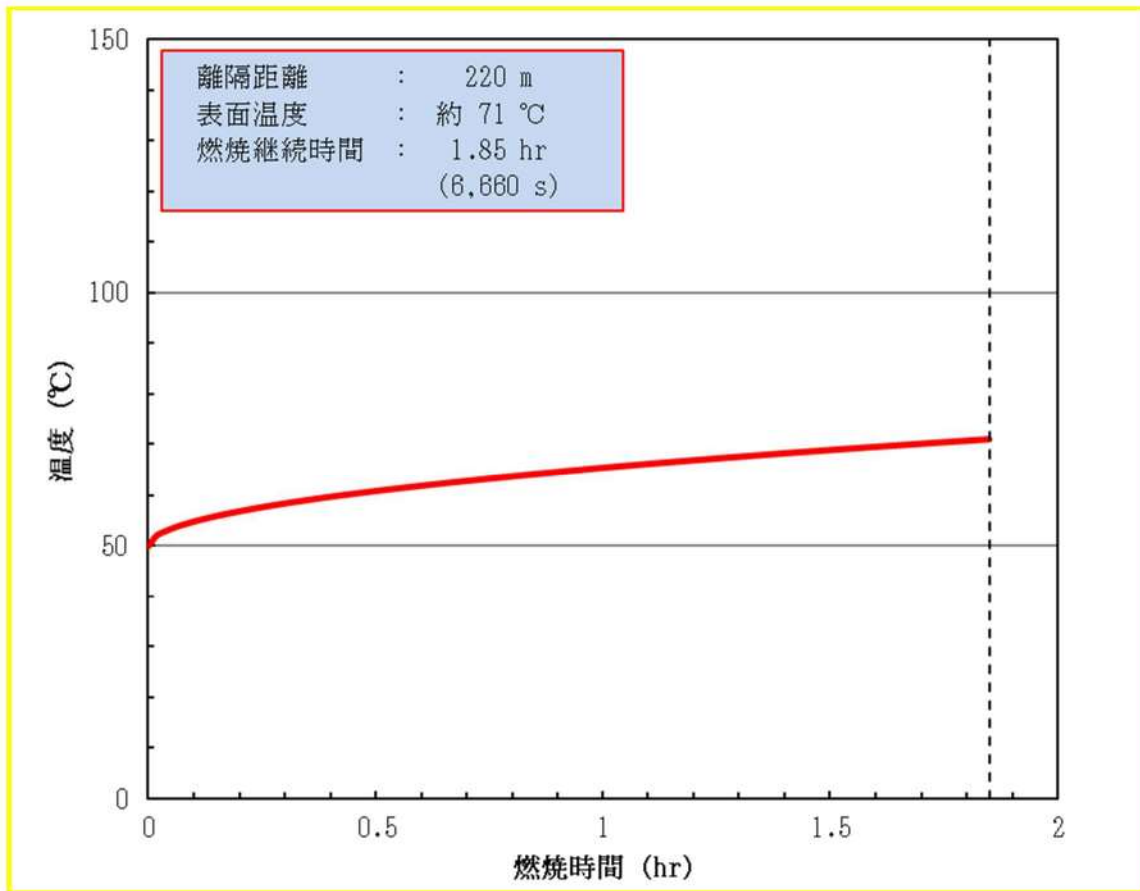


第7-4図 天井スラブへの輻射熱の影響

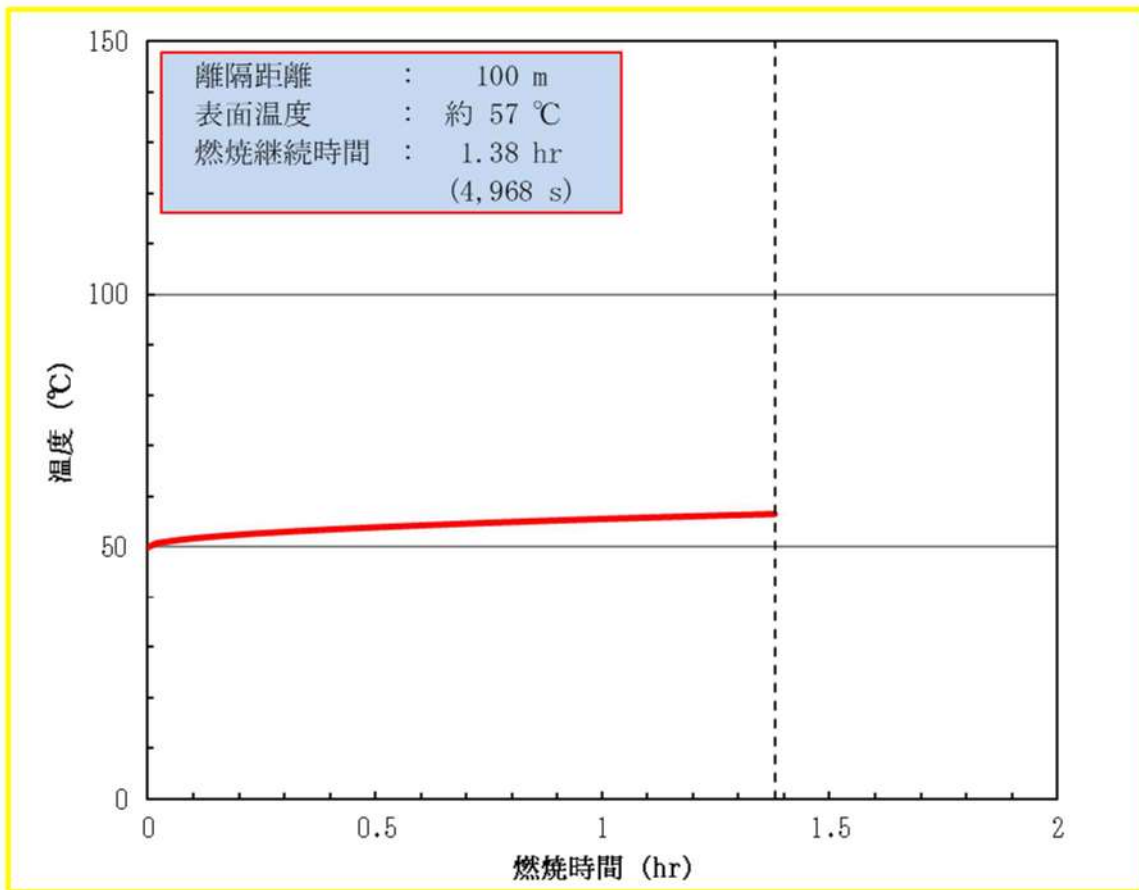
コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下となることを確認した。評価結果を第7-16表に、温度変化を第7-5図及び第7-6図に示す。

第7-16表 外壁面の温度評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
輻射強度[W/m ²]	455	162.4
燃焼継続時間[s]	6,660	4,968
表面温度[°C]	約71	約57



第7-5図 建屋外壁における温度上昇の評価結果 (大型民間航空機)



第7-6図 建屋外壁における温度上昇の評価結果
(自衛隊機 (その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機))

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。

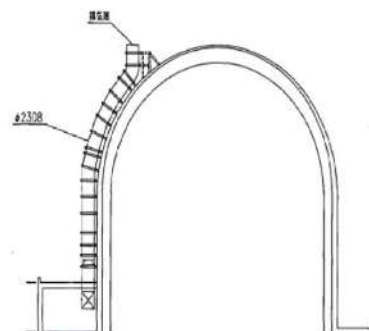
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第7-17表に、排気筒外形図を第7-7図に示す。

第7-17表 排気筒の仕様

名称	排気筒
種類	丸形
主要寸法	外径 2,308mm
	地表高さ 73.1m
材料	SUS304
個数	1



第7-7図 排気筒の外形図

(c) 判断の考え方

i. 許容温度

排気筒 (SUS304) 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°C以下とする。

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て、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、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。

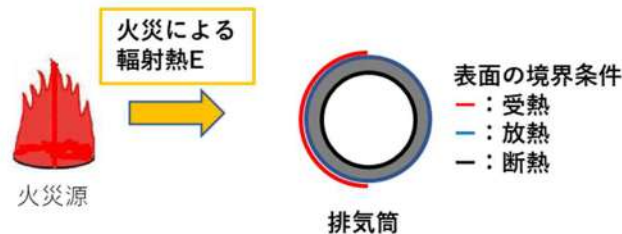
なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

ε : 吸収率(1.0[-]), E : 輻射強度[W/m²], h : 熱伝達率(17[W/m²·K])^{※1}, T_0 : 初期温度(50[°C])

※1: 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て変化するが、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 W/m²·K を用いる。)

排気筒の評価概念図を第 7-8 図に示す。



第 7-8 図 排気筒の評価概念図

排気筒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 7-18 表に示す。

第 7-18 表 排気筒の温度評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
輻射強度[W/m ²]	455	162.4
排気筒温度[°C]	約 64	約 55

c. 原子炉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は、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気に移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉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、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない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。

電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び下部軸受であり、そのうち許容温度が低い下部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。

(b) 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の許容温度は、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度である 80℃とする。

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循環水ポンプ建屋内の上部外壁の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \Phi$$

E : 輻射強度[W/m²], R_f : 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。

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

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

H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m], L : 離隔距離[m]

第7-19表 輻射強度の算出結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
離隔距離[m]	140	39
燃焼半径[m]	14.93	3.77
形態係数[-]	0.0091	0.0028
輻射発散度[m ²]	50,000	58,000
輻射強度[W/m ²]	455	162.4

(ii) 温度評価結果

循環水ポンプ建屋内には、各種機器（原子炉補機冷却海水ポンプ他）が収納されており、通常運転時にはこれらの機器からの発熱は、建屋の換気により外部へ放出される設計である。熱収支を解くにあたっては、この建屋内部に収められている機器の発熱量と外部火災からの輻射熱をインプットとして、換気量を熱収支と連成させて以下に記す関係式により吸い込み外気温度を求め、許容温度を下回るか評価を実施した。評価概念図を第7-9図に示す。

$$Q_{in} + q_f \times A_F = G_{air} \times C_{Pin} \times (T_R - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\begin{aligned} \Delta P_H &= \Delta P_{in} + \Delta P_{out} \\ \Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R) \times H &= \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R \times u_{out}^2 \quad \dots\dots ②^{*1} \end{aligned}$$

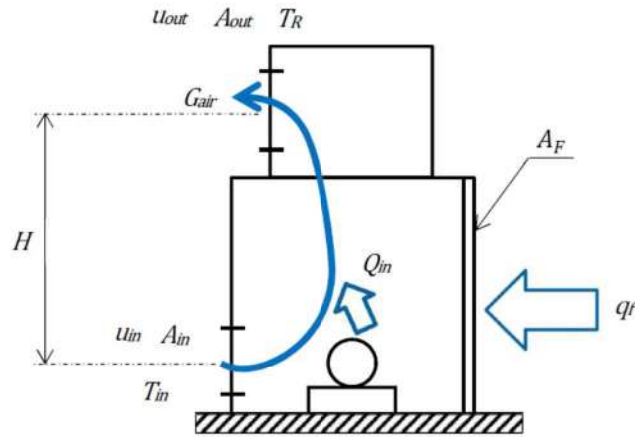
$$\rho_R = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{*2}$$

$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

- ※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会
- ※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会（濁き空気として算出）

Q_{in} ：建屋内のポンプモータの放熱量[W]， q_f ：外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²]
 A_F ：輻射受熱面積[m²]， G_{air} ：換気風量[kg/s]， C_{Pin} ：空気比熱[J/kg・K]，
 T_R ：建屋内気温[°C]， T_{in} ：外気温[°C]， g ：重力加速度[m/s²]， ρ_{in} ：外気密度[kg/m³]，
 ρ_R ：建屋内空気密度[kg/m³]， H ：換気有効高さ[m]， ζ_{in} ：給気口圧損係数[-]，
 ζ_{out} ：排気口圧損係数[-]， u_{in} ：給気口流速[m/s]， u_{out} ：排気口流速[m/s]，
 A_{in} ：給気口面積[m²]， A_{out} ：排気口面積[m²]



第7-9図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

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7-20表に示す。

第7-20表 原子炉補機冷却海水ポンプの評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
想定する航空機	B747-400	F-15
評価温度（下部軸受）[°C]	約 49	約 44

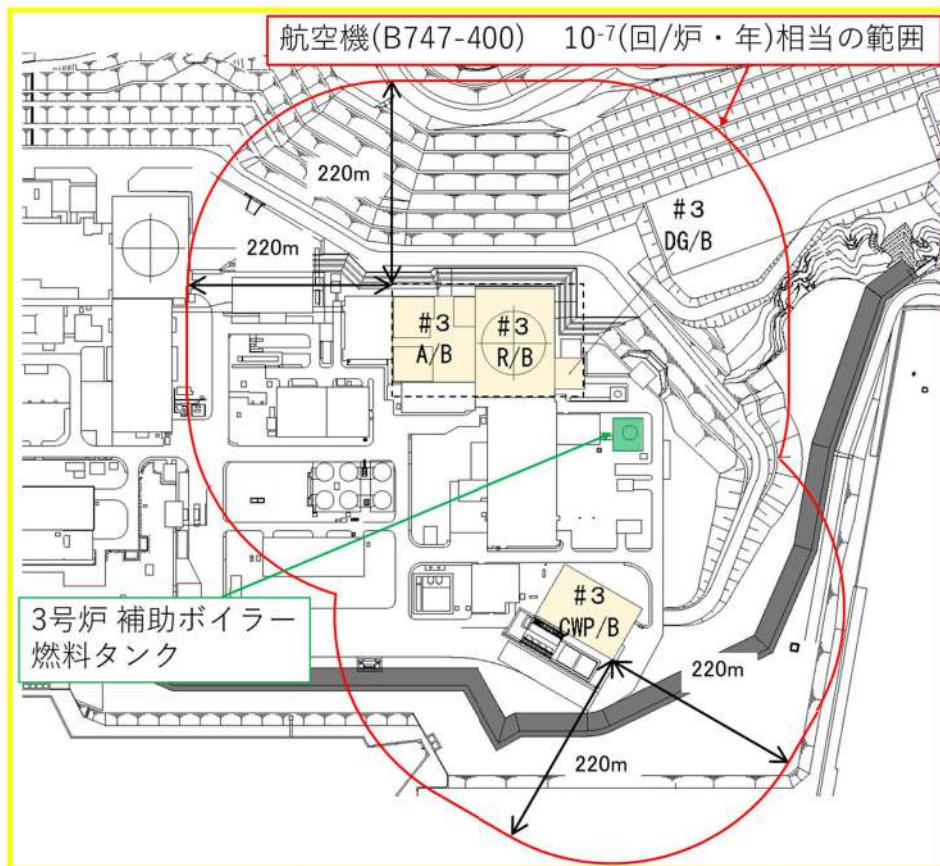
(13) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳

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。航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる航空機墜落位置とその周辺の危険物施設の位置を第7-10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3号炉補助ボイラー燃料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3号炉補助ボイラー燃料タンクとする。

なお、対象航空機は熱影響の大きいB747-400とし、航空機墜落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墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。



第7-10図 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設の位置

b. 評価に必要なデータ

第7-21表 重量評価に必要となるデータ

項目	3号炉補助ボイラー燃料タンク	大型民間航空機(B747-400)
燃料の種類	重油	Jet A-1
燃料量[m ³]	410	216.84
輻射発散度[W/m ²]	23,000	50,000
燃焼速度[m/s]	3.50×10^{-5}	4.64×10^{-5}
燃焼面積[m ²]	482.79	700
燃焼半径[m]	12.40	14.93
燃焼継続時間[s]	24,264	6,660

次の式から形態係数を算出する。

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

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

H: 火炎長[m], R: 燃焼半径[m], L: 離隔距離[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掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \Phi$$

E：輻射強度[W/m²]，R_f：輻射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

第7-22表 形態係数の算出結果

火災源	評価対象施設	離隔距離[m]	形態係数	輻射強度[W/m ²]
3号炉補助ボイラー 燃料タンク	原子炉建屋	57	0.081	1,863
	原子炉補助建屋	112	※1	※1
	ディーゼル 発電機建屋	43	0.13	2,990
	循環水ポンプ建屋	100	0.030	690
	排気筒	57	0.081	1,863
	原子炉補機冷却 海水ポンプ	100	0.030	690
B747-400	全対象	220	0.0091	455

※1：原子炉建屋と同一の構造であり、離隔距離が長いことから、原子炉建屋の結果に包絡される

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3号炉補助ボイラー燃料タンクが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が墜落後時間において3号炉補助ボイラー燃料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7-23表）。

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3号炉補助ボイラー燃料タンク火災が発生

ケース3：航空機の燃焼終了直後に3号炉補助ボイラー燃料タンク火災が発生

第7-23表 重畳を考慮した場合のコンクリート温度及び経過時間

項目	ケース1	ケース2	ケース3
輻射強度（最大）[W/m ²]	2,318	2,318	1,863
燃焼継続時間[h]	6.74	7.67	8.60
表面温度[°C]	約 162.4	約 162.2	約 161.9

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、原子炉建屋及び原子炉補助建屋外壁は厚さ60mmのPC板（プレキャスト・

コンクリート板)を外壁コンクリート打設時の型枠及び外装材としており、建屋構造体としての強度を期待していないことを考慮して、その内側の躯体コンクリート外表面の温度で評価する。また、ディーゼル発電機建屋は防護措置として外壁に断熱材及び天井スラブにコンクリート板を設置した状態で評価する。

- ・建屋（原子炉建屋，原子炉補助建屋，循環水ポンプ建屋及びディーゼル発電機建屋天井スラブ）に係る評価式

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

T：建屋温度[°C]，x：コンクリート深さ[m]，t：時間[s]

λ：コンクリート熱伝導率 (1.74[W/m・K])

C_p：コンクリート比熱 (963[J/kg・K])，ρ：コンクリート密度 (2,400[kg/m³])

- ・ディーゼル発電機建屋（障壁（断熱材））に係る評価式

$$q_0 - (q_{0r} + q_{0c}) = q_1 = q_{2r} + q_{2c} = q_3 = q_4$$

$$q_{0r} = \sigma \varepsilon_0 F_0 (T_0^4 - T_a^4), \quad q_{0c} = h_0 (T_0 - T_a)$$

$$q_1 = -\lambda_1 \frac{T_1 - T_0}{d_1}$$

$$q_{2r} = \sigma \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} (T_1^4 - T_2^4), \quad q_{2c} = \frac{h_1}{2} (T_1 - T_2)$$

$$q_3 = -\lambda_3 \frac{T_3 - T_2}{d_3}$$

$$q_{4c} = h_3 (T_3 - T_a)$$

σ：ステファンボルツマン定数[W/m²・K⁴]，ε₀：障壁表面の輻射率[-]

F₀：障壁表面からの輻射放熱の形態係数[-]，T_a：雰囲気温度[°C]

h₀：障壁表面の対流熱伝達率[W/m²・K]，λ₁：障壁の熱伝導率[W/m・K]

d₁：障壁の厚み[mm]，ε₁：障壁裏面の輻射率[-]，ε₂：コンクリート表面の輻射率[-]

h₁：障壁裏面の対流熱伝達率[W/m²・K]，λ₃：コンクリートの熱伝導率[W/m・K]

d₃：障壁の厚み[mm]，h₃：コンクリート裏面の熱伝達率[W/m²・K]

- ・排気筒に係る評価式

$$T_s = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h}$$

T₀：初期温度 [°C]，T_s：表面温度 [°C]，E：輻射強度 [W/m²]

ε：吸収率 [-]，h：熱伝達率 [W/m²・K]

- ・原子炉補機冷却海水ポンプに係る評価式

$$T_R^{n+1} = T_R^n + \frac{(Q_{in} + q_F^n \times A_F) - (T_R^n - T_{in}) \times G_{air}^n \times C_{pin}}{W_R^n \times C_{PR}} \times \Delta t$$

T_{in} : 外気温[°C], T_R : 建屋内気温[°C], Q_{in} : 建屋内のポンプモータの放熱量[W]

q_F : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²], A_F : 輻射受熱面積[m²]

G_{air} : 換気風量[kg/s], W_R : 建屋内空気重量[kg], C_{pin} : 空気比熱[J/kg・K],

C_{PR} : 建屋内空気比熱[J/kg・K], Δt : 時間刻み[s]

この結果, 第 7-24 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 7-24 表 重畳評価結果

火災源	評価対象施設	評価温度[°C]	許容温度[°C]
B747-400 及び 3号炉補助ボイラー 燃料タンク	原子炉建屋	約 163	<200
	原子炉補助建屋	※ 1	<200
	ディーゼル 発電機建屋	約 151	<200
	循環水ポンプ建屋	約 117	<200
	排気筒	約 119	<325
	原子炉補機冷却 海水ポンプ	約 59	<80

※1 : 原子炉建屋と同一の構造であり, 離隔距離が長いことから, 原子炉建屋の結果に包絡される

(14) 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, 評価対象施設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及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表に示すとおり計器飛行方式及び有視界飛行方式の民間航空機、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。

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)
		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 (ビーチクラフト 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
		不定期便：評価対象(注5)	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)	自衛隊機 (T-1 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
		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	自衛隊機 (MH-53 等) 在日米軍機 (CH-53 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
		不定期便：評価対象(注5)	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 (アエロスハブ AS350、川崎 BK117)	自衛隊機 (OH-6 等) 在日米軍機 (UH-1 等)

(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。

出典：実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)

- 計器飛行方式民間航空機 ■ 有視界飛行方式民間航空機 (大型機)
- 有視界飛行方式民間航空機 (小型機) ■ 自衛隊機又は米軍機

計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における
航空機墜落確率の評価について

計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における航空機墜落確率の評価の必要性について検討した。

泊発電所付近に位置する札幌空港及び新千歳空港と発電所との距離は、札幌空港及び新千歳空港における最大離着陸距離よりも大きいことから、当該飛行場での離着陸時における航空機墜落確率の評価は不要であることを確認した。

発電所名称	空港名	発電所との距離※1	最大離着陸距離※2	判定
泊発電所	札幌空港	約 70km	約 27km (14.4nm)	対象外
	新千歳空港	約 100km	約 33km (17.6nm)	対象外

※1：発電所と空港の緯度，経度より計測した。

※2：航空路誌(AIP)を参照した。

札幌空港の最大離着陸地点までの距離
 (札幌空港～泊発電所の距離：約 70km)

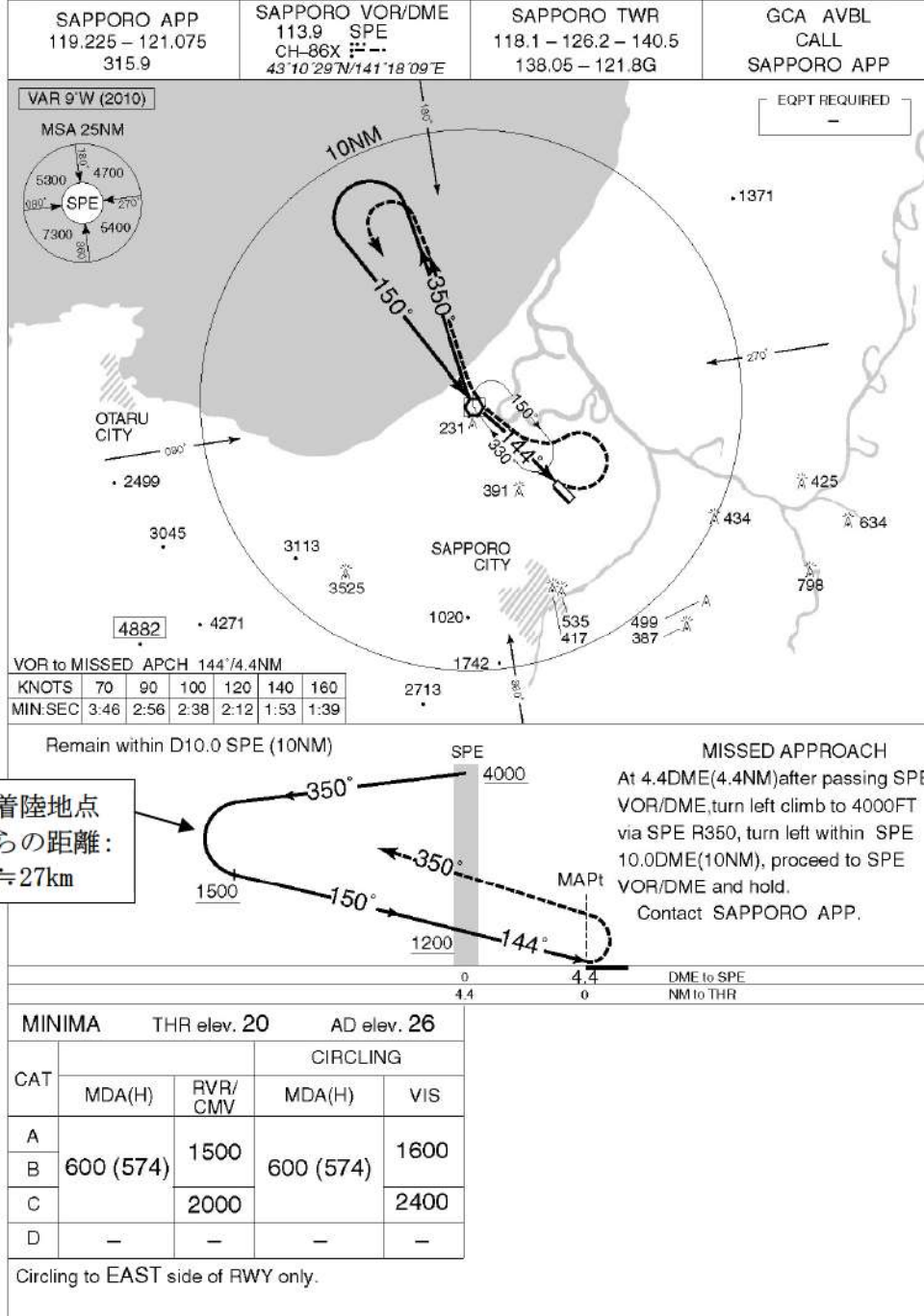
AIP Japan
 SAPPORO

→ RJCO AD2.24-IAC-1

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJCO / SAPPORO

VOR RWY14



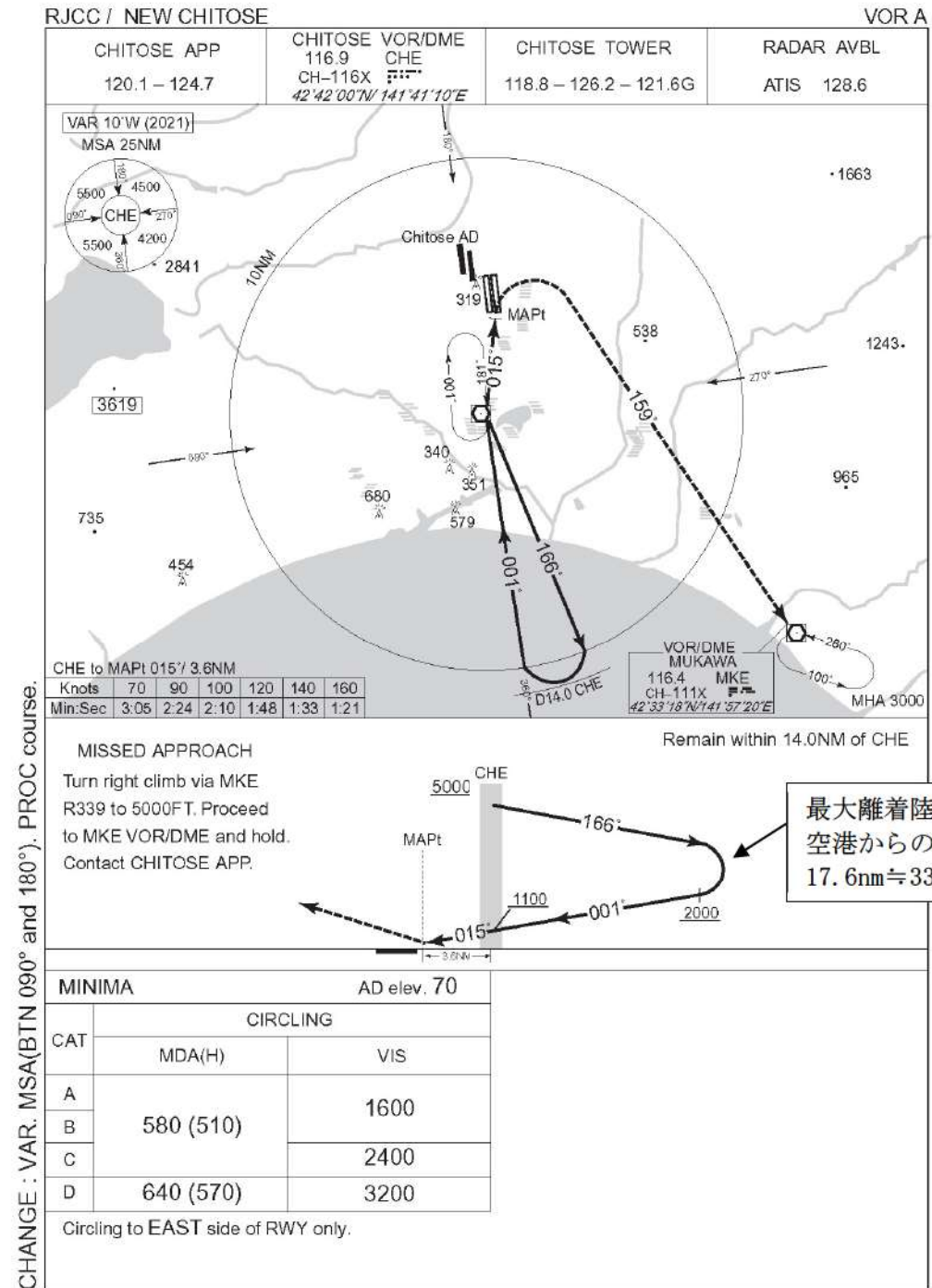
第1図 札幌空港の最大離着陸地点
 (出典：AIP-JAPAN, 国土交通省航空局)

新千歳空港の最大離着陸地点までの距離
(新千歳空港～泊発電所の距離：約 100km)

AIP Japan
NEW CHITOSE

RJCC AD2.24-IAC-15

INSTRUMENT APPROACH CHART

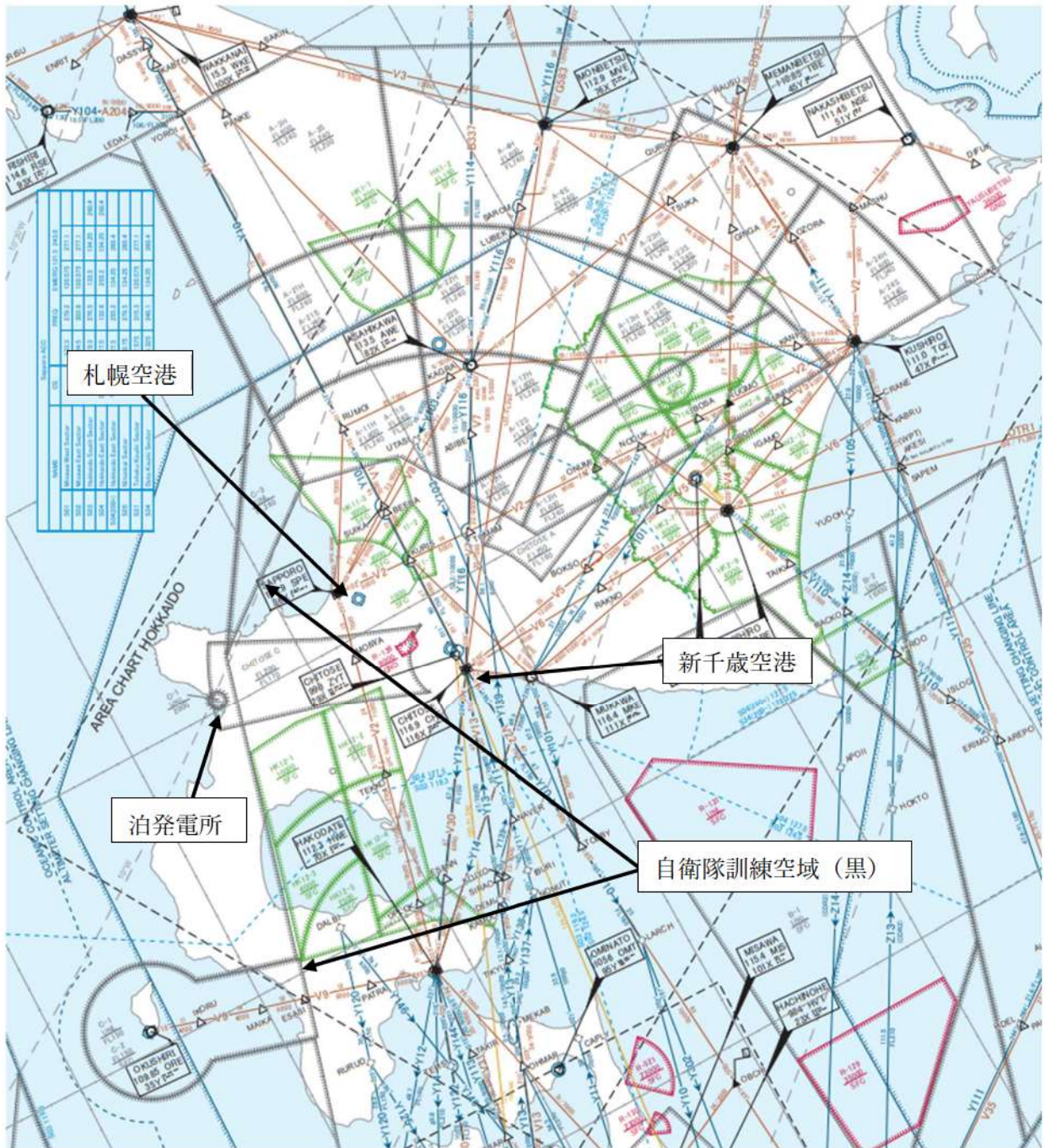


Civil Aviation Bureau, Japan (EFF: 7 OCT 2021)

9/9/21

第2図 新千歳空港の最大離着陸地点
(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局)

泊発電所周辺の航空路について



第1図 泊発電所周辺の航空路等
(出典：AIP-JAPAN, 国土交通省航空局)

「有視界方式民間航空機（小型機）」の落下事故で考慮している航空機の燃料積載量

第1表 有視界方式民間航空機（小型機）の固定翼機の燃料積載量*

	機種	燃料積載量[m ³]
固定翼機	ドルニエ Do228-200	約 2.4
	パイパー PA-42-1000	約 2.2
	セスナ 501	約 2.2
	ビーチ B200	約 2.1
	ガルフストリーム・コマンド 695	約 1.8
	セスナ 525/525A サイテーションジェット	約 1.8
	ビーチ C90A	約 1.5
	セスナ 510	約 1.5
	セスナ 425	約 1.4
	セスナ 404	約 1.3
	セスナ 208	約 1.3
	セスナ 208B	約 1.3
	ソカタ TBM700	約 1.1

※日本航空機全集より作成

第2表 有視界方式民間航空機（小型機）の回転翼機の燃料積載量*

	機種	燃料積載量[m ³]
回転翼機	ユーロコプター（アエロスパシアル）AS365N3	約 1.6
	ベル 412	約 1.5
	シコルスキ S-76A	約 1.5
	ユーロコプター EC155B/B1	約 1.4
	ベル 412EP	約 1.2
	ユーロコプター（アエロスパシアル）AS365N1	約 1.2
	ユーロコプター（アエロスパシアル）AS365N2	約 1.2
	三菱 MH2000A	約 1.1
	ベル 430	約 1.1
	シコルスキ S-76B	約 1.1
	シコルスキ S-76A+/S-76C/S-76C+/S-76C++	約 1.1

※日本航空機全集より作成

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。

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を選定した結果を示す。

火災影響を評価する機種を選定する落下事故のカテゴリは、泊発電所の上空は自衛隊機の訓練空域であること、及び米軍機の基地—訓練空域間の往復の想定内でないことを踏まえ、「訓練空域内で訓練中の落下事故」及び「訓練空域外を飛行中の落下事故」としている。

また、選定に当たっては、自衛隊が保有する主要な機種を代表とし、用途による飛行形態及び燃料積載量を考慮している。

燃料積載量については、航空機墜落による火災の燃焼継続時間の算出に必要であり、燃料積載量が多い方が火災影響評価は保守的な評価となる。

1. 訓練空域内で訓練中の落下事故

発電所周辺上空には自衛隊の訓練空域があるため、訓練中の自衛隊機による事故が評価対象となる。

以上を踏まえ、訓練空域内で訓練中の落下事故で考慮する機種を航空自衛隊千歳基地に配備された機種から選定する。選定結果を第1表に示す。

第1表 訓練空域内で訓練中の落下事故で想定する機種の選定結果

カテゴリ	機種	寸法		燃料積載量 [m ³]	選定結果
		全長	全幅		
訓練空域内で訓練中の落下事故	F-15J/DJ	19	13	約 15	○
	T-4	13	10	約 3	×
	U-125A	16	16	約 6	×
	UH-60J	16	5	約 3	×

○：評価対象 ×：評価対象外

2. 訓練空域外を飛行中の落下事故

米軍機の訓練空域は全国に一部存在するが、泊発電所は訓練空域とはなっていないため、航空機墜落評価として、米軍機は訓練空域外を飛行中の落下事故として評価する。

米軍機の機種の分類としては、機密な部分が多いため、自衛隊機の代表的なデータを用いることとした。

自衛隊機の用途としては、「連絡偵察」、「哨戒」、「戦闘」、「偵察」、「輸送」、「空中給油」、「早期警戒」等がある。代表的な自衛隊機の用途等を第2表に示す。

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、高高度で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、目的地付近では低高度での飛行となるものの、目的地までの移動は高高度での巡航を行うものと考えられる。

このことを考慮し、「空中給油」、「早期警戒」、「哨戒」及び「輸送」を用途とする機種を「空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機」として整理し、その他の用途の機種を「その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機」として整理する。

以上を踏まえ、火災影響評価の保守性の観点から、燃料積載量に着目し、代表的な自衛隊機のうち大型機について上記のカテゴリで整理し、訓練空域外を飛行中の落下事故で想定する機種を第3表に示すとおり選定した。

第2表 自衛隊機（大型固定翼機等）の用途等

所属	機種	型式	用途	寸法		燃料積載量 [m ³]
				全長	全幅	
陸上自衛隊	LR-1	小型固定翼機	連絡偵察	10	12	約 0.9
	LR-2	大型固定翼機	連絡偵察	14	18	約 2
	AH-1S	小型回転翼機	対戦車	14	3	約 1
	OH-6D	小型回転翼機	観測	7	2	約 0.2
	OH-1	小型回転翼機	観測	12	3	約 1
	OH-1H/J	小型回転翼機	多用途	12/13	3	約 0.8
	CH-47J/JA	大型回転翼機	輸送	16	4/5	約 4
	UH-60JA	大型回転翼機	多用途	16	3	約 3
	AH-64D	大型回転翼機	戦闘	18	6	約 1
海上自衛隊	P-3C	大型固定翼機	哨戒	36	30	約 35
	P-1	大型固定翼機	哨戒	38	35	KC-767 以下
	SH-60J	大型回転翼機	哨戒	15	3	約 1
	SH-60K	大型回転翼機	哨戒	16	3	約 1
	MH-53E	大型回転翼機	掃海・輸送	22	6	約 12
	MCH-101	大型回転翼機	掃海・輸送	23	19	約 5
航空自衛隊	F-15J/DJ	大型固定翼機	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼機	戦闘	19	12	約 12
	F-2A/B	大型固定翼機	戦闘	16	11	約 11
	RF-4E/EJ	大型固定翼機	偵察	19	12	約 12
	C-1	大型固定翼機	輸送	29	31	約 11
	C-130H	大型固定翼機	輸送	30	40	約 37
	KC-767	大型固定翼機	空中給油・輸送	49	48	約 145
	KC-130H	大型固定翼機	空中給油機能付加	30	40	約 37
	E-2C	大型固定翼機	早期警戒	18	25	約 6
	E-767	大型固定翼機	早期警戒管制	49	48	KC-767 以下
	CH-47J	大型回転翼機	輸送	16	4	約 4

第3表 訓練空域外を飛行中の落下事故で想定する機種を選定結果

カテゴリ	用途	機種	寸法		燃料積載量 [m ³]	選定結果
			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」	P-3C	36	30	約 35	×
		P-1	38	35	KC-767 以下	×
		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	上記以外	LR-2	14	18	約 2	×
		CH-47J/JA	16	4/5	約 4	×
		UH-60JA	16	3	約 3	×
		AH-64D	18	6	約 1	×
		SH-60J	15	3	約 1	×
		SH-60K	16	3	約 1	×
		MH-53E	22	6	約 12	×
		MCH-101	23	19	約 5	×
		F-15J/DJ	19	13	約 15	○
		F-4EJ	19	12	約 12	×
		F-2A/B	16	11	約 11	×
		RF-4E/EJ	19	12	約 12	×

○：評価対象 ×：評価対象外

3. 想定する航空機について

第1表及び第3表にて選定したとおり、訓練空域内で訓練中の落下事故についてはF-15を、訓練空域外を飛行中の落下事故については、空中給油機等の大型航空機としてKC-767を、その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機としてF-15を想定する。

航空機落下確率評価に係わる標的面積

単位：km²

発電所	号炉	原子炉建屋※1	原子炉補助 建屋※2	燃料取替用水 タンク建屋	ディーゼル 発電機	中央制御室	循環水ポンプ 建屋※5	合計	標的面積※6
泊発電所	3号炉	0.004582	0.003720	—※3	0.000420	—※4	0.002795	0.011517	0.0116

※1：炉心、安全系の機器及び使用済燃料ピットを含む

※2：安全系の機器を含む

※3：燃料取替用水ピットは原子炉建屋内に設置

※4：中央制御室は原子炉補助建屋内に設置

※5：原子炉補助機冷却海水ポンプを含む

※6：落下確率の算定にあたっては、合計を切り上げて0.0116[km²]を使用する

離隔距離の算出の考え方

1. 考え方

各評価対象施設の外壁面から等距離の離隔をとった場合の、各評価対象施設に対する航空機墜落確率 10^{-7} [回/炉・年]に相当する面積の合計値が、落下事故のカテゴリごとに求めた航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]に相当する面積(標的面積 A')と等しくなる距離を離隔距離としている。

2. 離隔距離算出方法

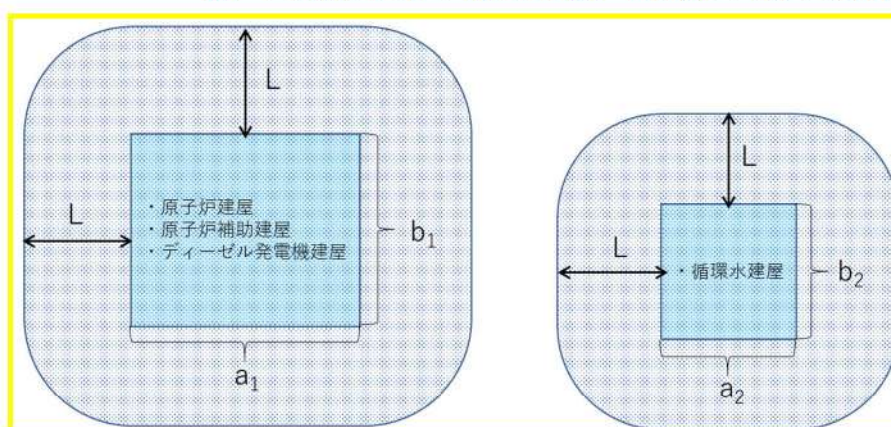
評価対象施設が矩形の場合、各評価対象施設の各辺の長さを (a_i, b_i) 、離隔距離を L とすると、当該評価対象施設近辺の航空機が墜落しない範囲(面積: S_i)は(1)式で表される。

すべての評価対象施設に対して求めた S_i の合計値が標的面積 A' となる L について解くことで離隔距離が得られる。(2)式

S_i の合計値の算出に当たっては、評価の保守性の観点から、面積が重複する部分については、それぞれの面積を積算している。

$$S_i = \pi L^2 + 2L(a_i + b_i) + a_i b_i \cdots (1)$$

$$A' = \sum S_i \\ = \{\pi L^2 + 2L(a_1 + b_1) + a_1 b_1\} + \{\pi L^2 + 2L(a_2 + b_2) + a_2 b_2\} \cdots (2)$$



第1図 離隔距離の概念図

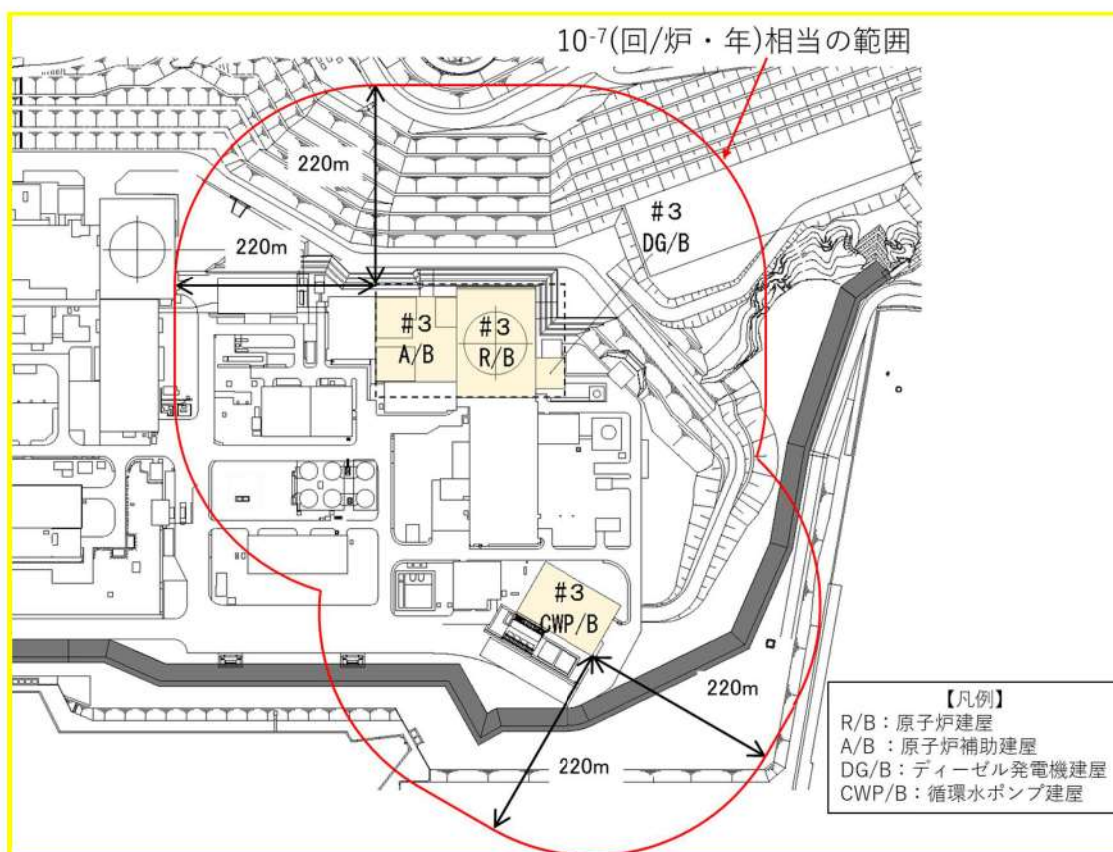
以下に、離隔距離の算出の例として、大型民間航空機の離隔距離の評価結果を示す。

大型民間航空機については、航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]に相当する標的面積 $A' = 0.49$ [km²]及び評価対象施設の寸法より、離隔距離 L は $L=220$ [m]と求められる。(第1表, 第2図)

なお、熱影響評価に当たっては、評価の保守性の観点から、評価対象施設**全体**に対する離隔距離が(2)式より求めた**各**評価対象施設に対する離隔距離より大きくなる**場合**であっても、(2)式より求めた**各**評価対象施設に対する離隔距離を用いている。

第1表 評価対処施設の寸法

評価対象施設	寸法[m]			
	横方向	a_i	縦方向	b_i
原子炉建屋	58	138	79	79
原子炉補助建屋	60		62	
ディーゼル発電機建屋	20		21	
循環水ポンプ建屋	43	43	65	65



第2図 評価対象施設の離隔距離（民間大型航空機）

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表 航空機の仕様

項目	民間航空機	自衛隊機	米軍機 (参考)
想定した機種	B747-400	F-15	KC-767
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4
燃料の最大積載量[m ³]	216.84 ※1	14.87 ※3	145.03 ※5
燃料タンクの投影面積[m ²]	700 ※2	44.6 ※4	405.2 ※6

※1：ボーイング社ホームページ“Technical Characteristics Boeing 747-400”に記載の値

※2：ボーイング社ホームページ資料「747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning」の機体図面より、主翼、主翼と交差する胴体部及び尾翼面積が燃料タンク面積と同等と想定し、これらの面積を算出した値

※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)

※4：航空ジャーナル1978別冊F-15 イーグル (昭和53年3月5日発行) 及び文献6)に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。

※5：世界の航空機年鑑2012-2013に記載の値及び燃料密度から算出した値。

※6：航空ジャーナル世界の軍用機1986に記載の機体図面より、燃料タンクの配置及び大きさを想定し、これらの面積を算出した値

2. 燃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JetA-1、JetA及びJetB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、自衛隊機又は米軍機では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JetA-1 (灯油型)、自衛隊機又は米軍機は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、JetA-1燃料に関する明確な知見がない。このため、JetA-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 の質量低下速度については NUREG-1805 における灯油の値、密度については、ASTM D1655-12a に 15°C の値として 775~840 kg/m³ と記載されているため、燃焼継続時間がより長くなる 840 kg/m³ を採用する。

自衛隊機又は米軍機の燃料 (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、「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering FOURTH EDITION」の JP-4 の値を採用する。

第 2 表 評価対象航空機の燃料物性値

項目	民間航空機	自衛隊機
燃料の種類	Jet A-1	JP-4
輻射発散度 (Rf)	50,000 [W/m ²] ^{※3}	58,000 [W/m ²] ^{※6}
質量低下速度 (M)	0.039 [kg/m ² ・s] ^{※4}	0.051 [kg/m ² ・s] ^{※7}
密度 (ρ)	840 [kg/m ³] ^{※5}	760 [kg/m ³] ^{※7}
燃焼速度 (v=M/ρ)	4.64×10 ⁻⁵ [m/s]	6.71×10 ⁻⁵ [m/s]

※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

※3：「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」の附録Bにおける灯油の値

※4：NUREG-1805 における灯油の値

※5：ASTM D1655-12a における Jet A-1 の値

※6：「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」の附録Bにおけるガソリン・ナフサの値

※7：「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering FOURTH EDITION」の JP-4 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侵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侵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及び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が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。評価対象は以下のとおり。

第 8-1 表 評価対象

分類	影響評価設備
外気を取り込む設備	原子炉補機冷却海水ポンプ
換気空調設備で給気されるエリアの設置機器	ディーゼル発電機
	安全保護系
	制御用空気圧縮機
建屋外部に開口部を有する設備	主蒸気逃し弁、主蒸気安全弁、排気筒 及びタービン動補助給水ポンプ排気管
居住性への影響	中央制御室
	緊急時対策所

3. 評価結果

3. 1 外気を取り込む設備

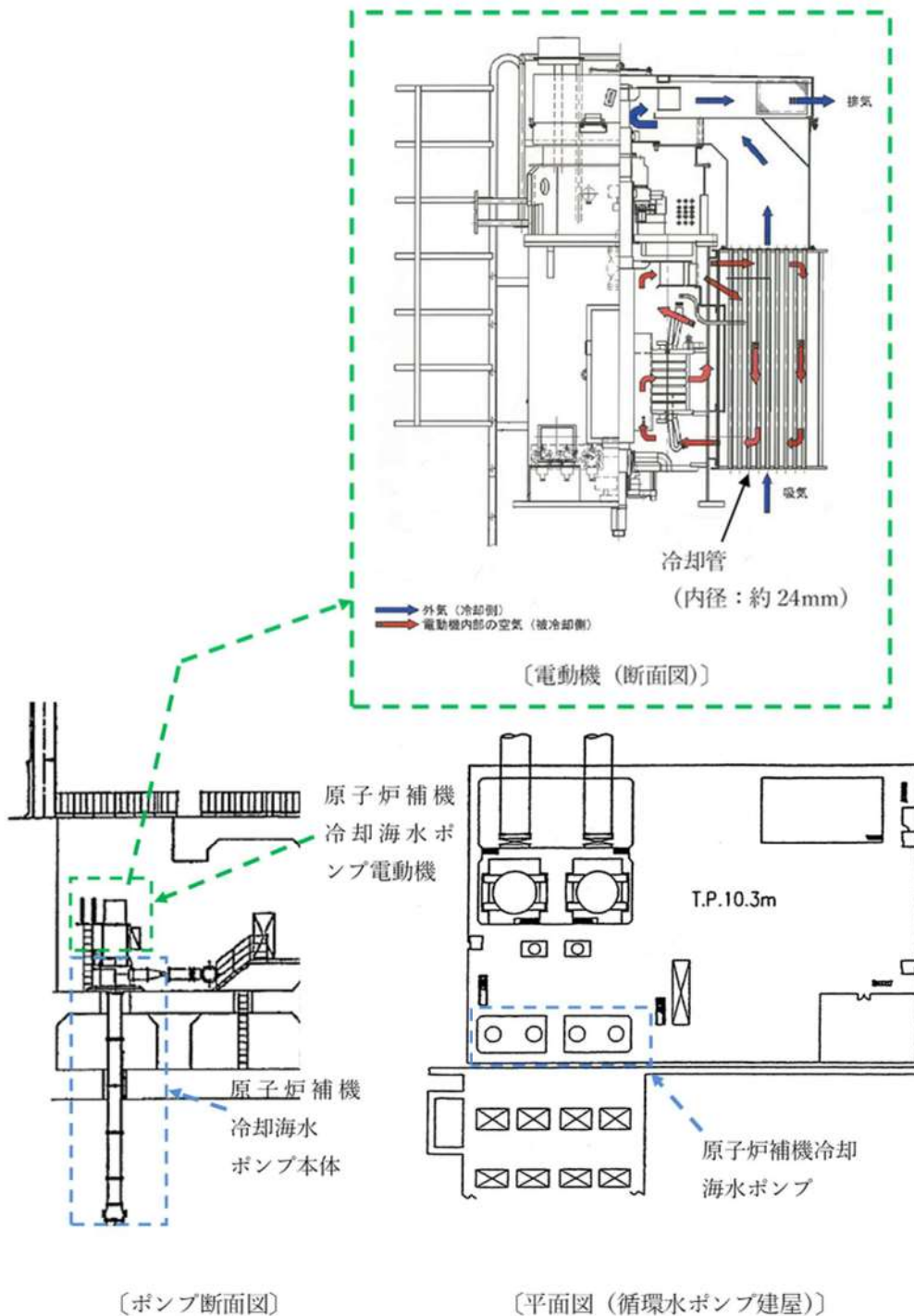
(1) 原子炉補機冷却海水ポンプ

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、外気を直接電動機の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、空気冷却器冷却管の内径は約 24mm 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、軸貫通部の上部は、端カバーラビリンスでシール構造となっており、下部は軸受内圧が大気圧よりも高いため、ばい煙粒子が軸受内部に侵入しないと考えられる。

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 8-1 図 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機の冷却方式

3. 2 換気空調設備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設備として、安全補機開閉器室、中央制御室、原子炉補助建屋、格納容器、試料採取室、制御用空気圧縮機室、ディーゼル発電機室、電動補助給水ポンプ室、タービン動補助給水ポンプ室及び主蒸気配管室の換気空調装置がある(第 8-2(a) (b) (c) 図)。

これらの換気空調装置の外気取入口には、平型フィルタ（主として粒径が $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去）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平型フィルタにより侵入を阻止できる。

上記装置のうち、外気取入ダンパを設置し閉回路循環運転への切替えが可能である中央制御室換気空調装置については、ばい煙の侵入が想定される場合には、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転への切替えを行うことにより、ばい煙の侵入を阻止できる（第8-2(d)図）。

それ以外の換気空調装置については、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止できる。

(1) ディーゼル発電機

ディーゼル発電機は、換気空調装置で給気されるエリアに設置していることから、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止できる。

吸気消音器フィルタ（粒径 $120\mu\text{m}$ 以上において約90%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、差圧が上昇し吸気消音器フィルタが目詰まりした場合は吸気消音器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口には吸気消音器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、吸気消音器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。

吸気消音器フィルタでは粒径が一定以上の粒子が捕集され、それ以下（数 μm ～ $10\mu\text{m}$ ）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8-3図）。

送気されたばい煙は粒径が小さく（数 μm ～ $10\mu\text{m}$ ）、シリンダとピストンとの間隙へ侵入することによる摩擦が懸念されるが、ばい煙粒子は軟らかいと考えられるため、摩擦が発生することはないと考えられる。

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。

(2) 安全保護系

安全保護系の計装盤が設置されている部屋は、安全補機開閉器室空調装置にて空調管理しており、本空調装置の外気取入口には平型フィルタ（主として粒径が $5\mu\text{m}$ 以上の大きい粒子を除去）を設置しているが、これに加えて下流にさらに細かな粒子を捕集可能な粗フィルタ（主として粒径が $2\mu\text{m}$ 以上の大きい粒子を除去）を設置している。このため、他の空調装置に比べてばい煙に対して高い防護性能を有している。また、必要な場合は、空調ファンを停止すること等によりばい煙の侵入を阻止可能である（第8-4図）。

なお、室内に侵入する可能性のあるばい煙の粒径は、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、計装盤等において、数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路(IC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、ばい煙が侵入することはない。

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、直ちに短絡等を発生させることはない。

したがって、万が一、細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合においても、ばい煙の付着等により短絡等を発生させる可能性はない。

(3) 制御用空気圧縮機

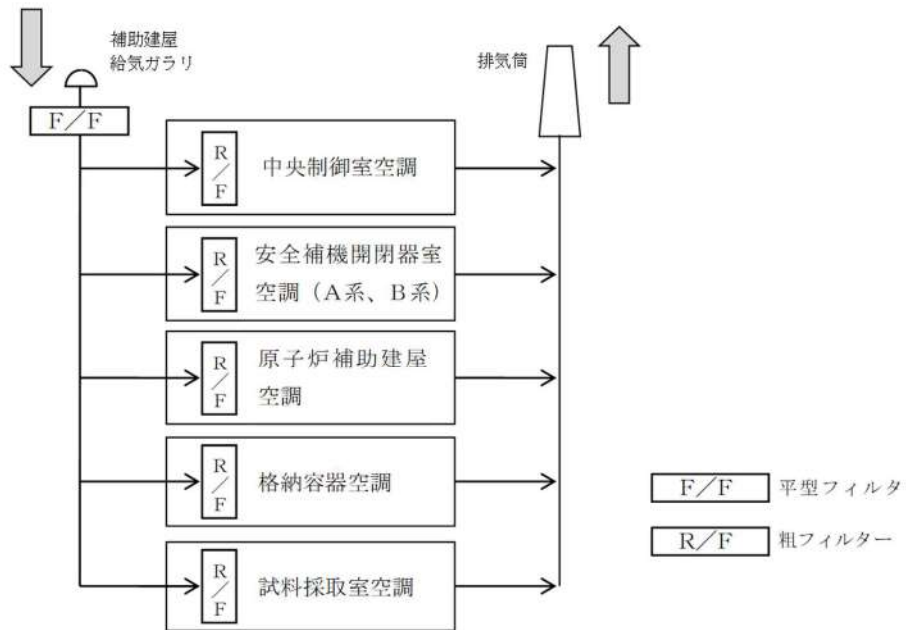
制御用空気圧縮機が設置された部屋は、制御用空気圧縮機室空調装置にて空調管理しており、本空調装置の外気取入口には、平型フィルタ(主として粒径が $5\mu\text{m}$ 以上の大きい粒子を除去)を設置している。また、制御用空気圧縮機室給気ファンの停止により、ばい煙の侵入を阻止可能である。

このため、室内に侵入する可能性のあるばい煙の粒径は、おおむね $5\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定される。

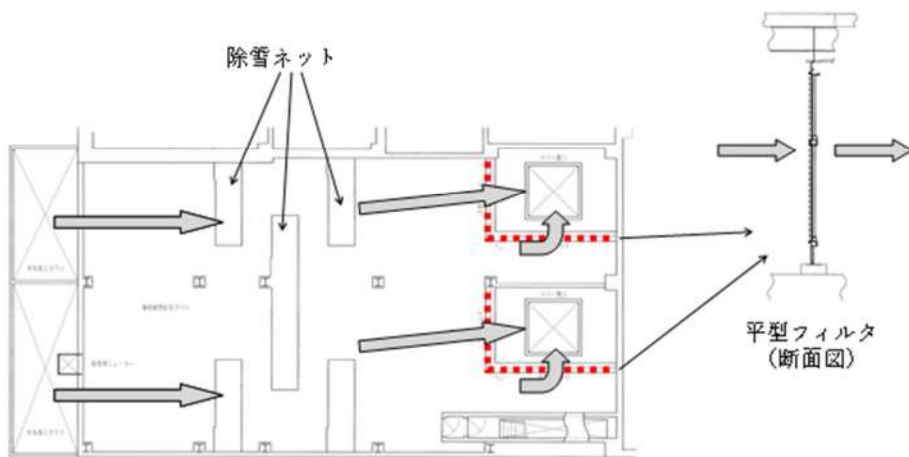
制御用空気圧縮機のシリンダライナ内面とピストンリングは直接、接触摺動している状態であり、機器内に吸入されたばい煙が、シリンダライナ内面とピストンリングの間に入った場合には摩耗発生が懸念される。しかしながら、シリンダライナは硬質クロムメッキ処理、ピストンリングはカーボンであり、これらよりばい煙粒子は軟らかいと考えられることから、摩耗が発生し、機器内を損傷させる可能性は小さい。

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、主蒸気逃がし弁、主蒸気安全弁、排気筒及びタービン動補助給水ポンプ排気管があるが、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、その機能に影響を及ぼすことはない。(第8-5図)

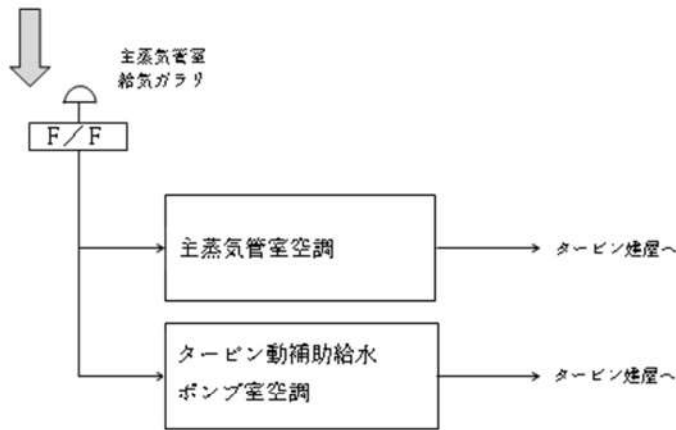
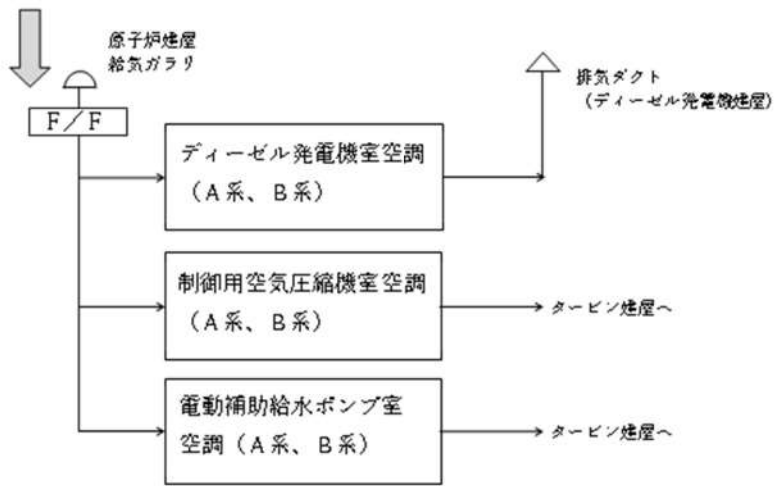


第8-2(a)図 原子炉補助建屋換気空調設備全体概要図



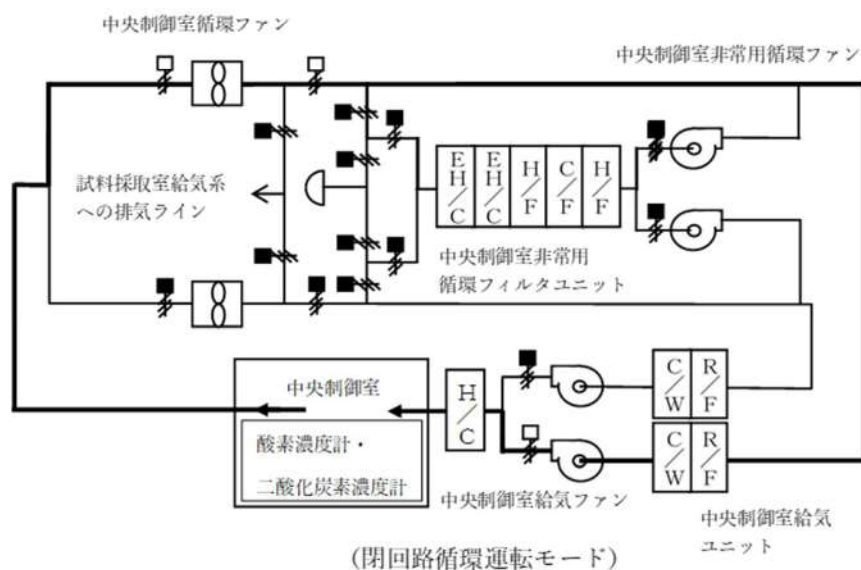
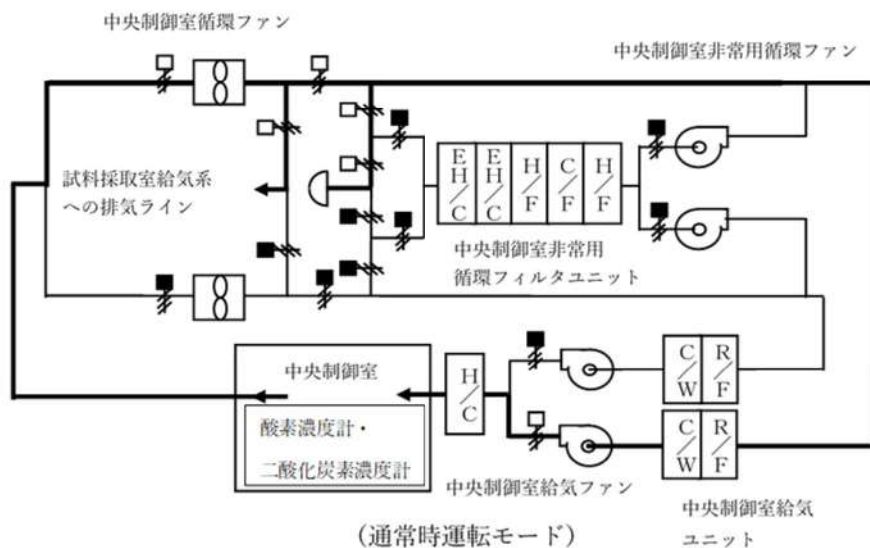
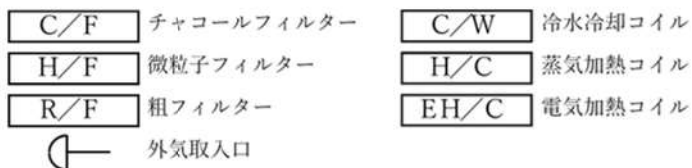
補助建屋給気ガラリ (平面図)

第8-2(b)図 安全補機開閉器室外気取入口 (補助建屋給気ガラリ) の空気の流れ

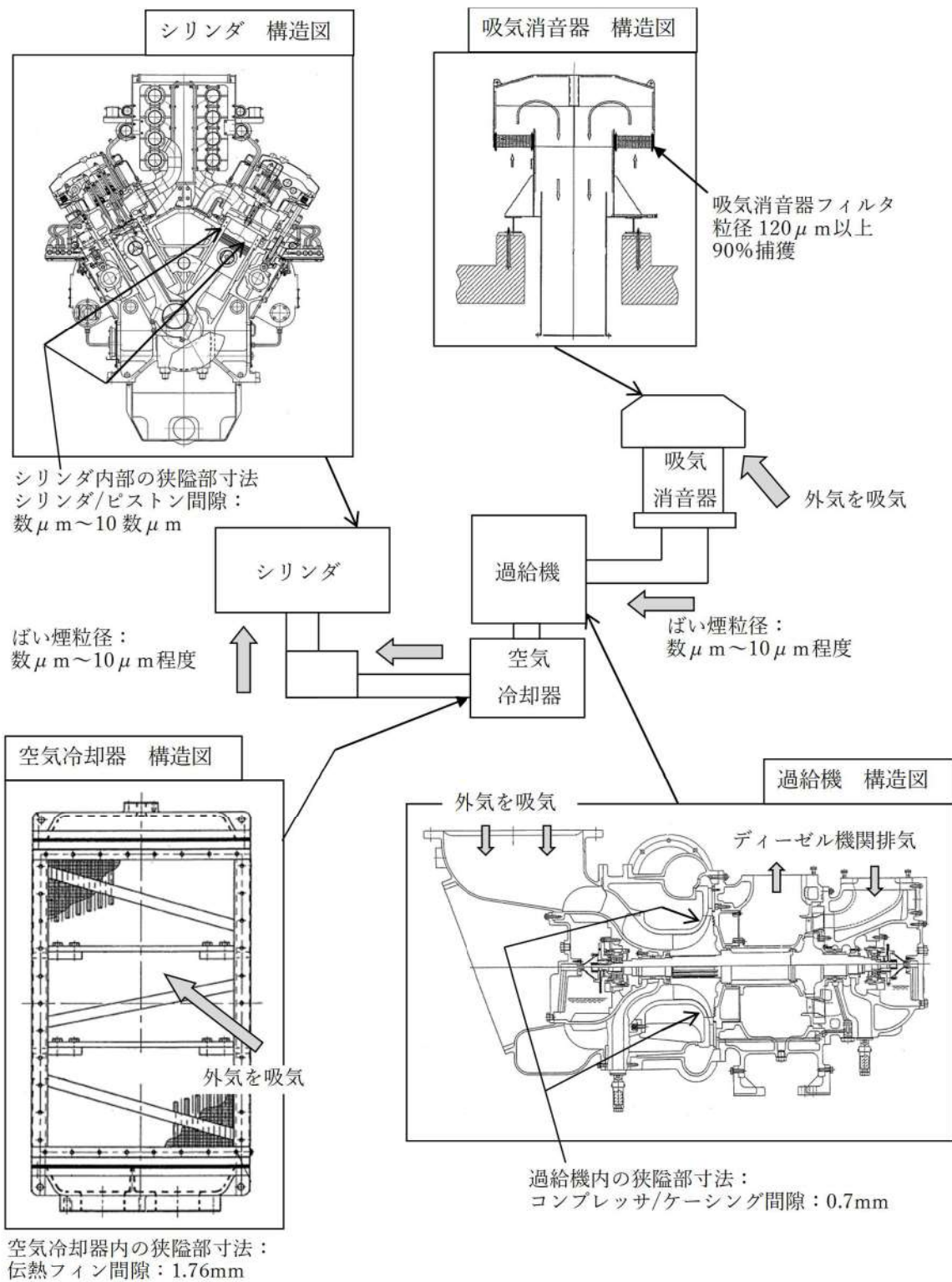


F/F 平型フィルタ

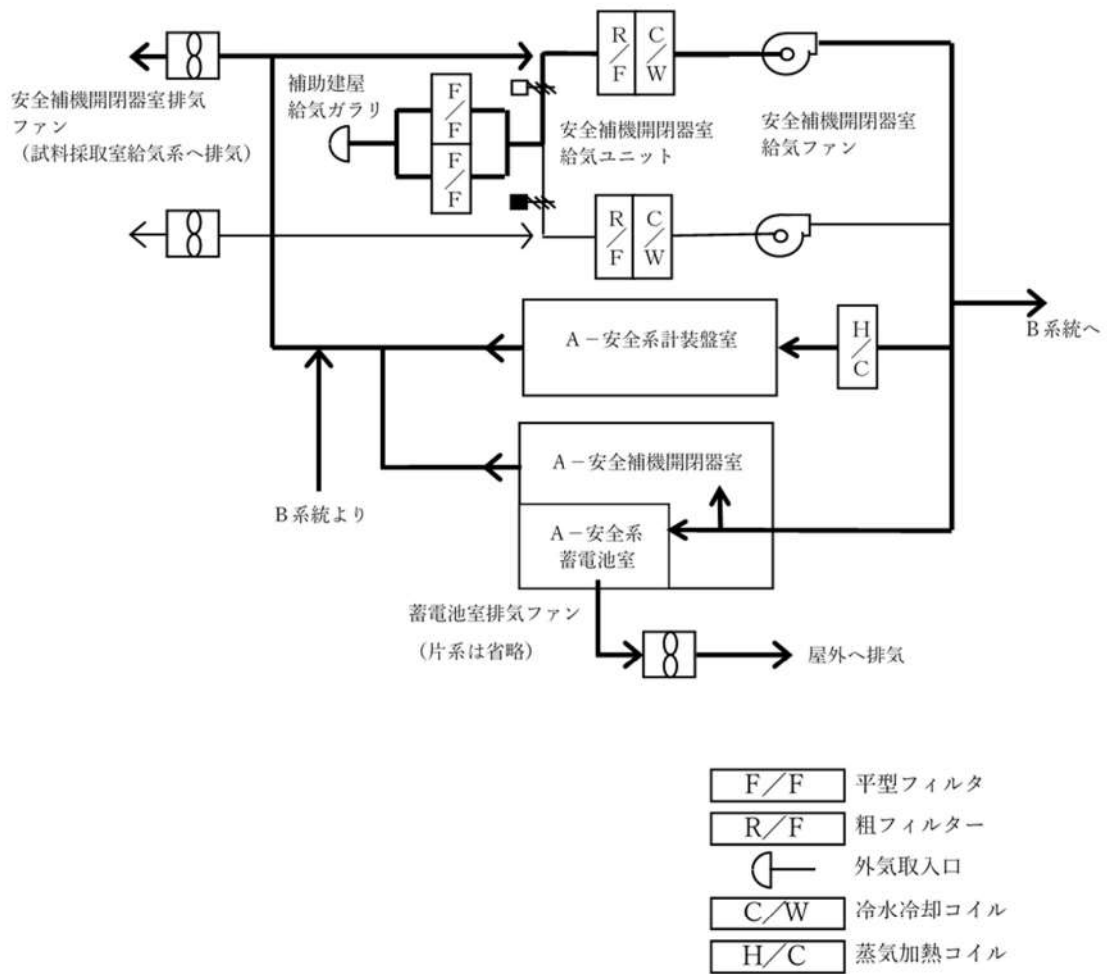
第 8-2(c) 図 原子炉建屋換気空調設備全体概要図



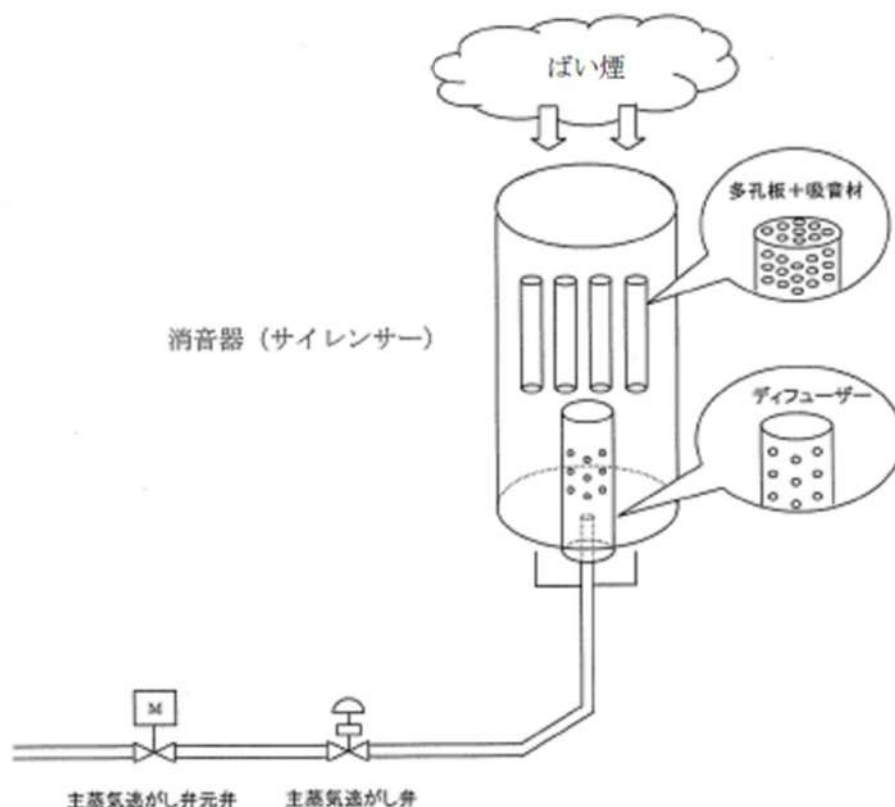
第8-2(d)図 中央制御室換気空調装置系統概要図



第 8-3 図 ディーゼル機関吸気系統概要図



第8-4図 安全補機開閉器室空調装置系統概要図



第8-5図 主蒸気逃がし弁出口配管形状及び消音器の構造

3. 4 居住性への影響

中央制御室換気空調装置は、外気を遮断し、再循環させる閉回路循環運転に切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、通常モードに切替え、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・二酸化炭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（3号炉補助ボイラー燃料タンク及び一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器）からの火災及び航空機墜落による火災を想定し、中央制御室内に侵入する有毒物質（CO、CO₂、SO₂及び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3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

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 10人^{※1}
- ・中央制御室バウンダリ内体積 3,500[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[%]
(鉱山保安法施行規則 (平成16年9月27日経済産業省令第96号, 最終改正平成30年3月30日経済産業省令第9号))
- ・評価期間は各火災の燃焼継続時間を考慮し12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、航空機墜落による火災と3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の重量を考慮すると、約7時間が火災の継続時間となることから、12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[m³/h/人]

N: 在室人員 10[人]

V: 中央制御室バウンダリ内体積 3,500[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、12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8-2表 二酸化炭素濃度の時間変化

時間	2時間	4時間	6時間	8時間	10時間	12時間
二酸化炭素濃度	0.06%	0.09%	0.11%	0.14%	0.17%	0.19%

(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 10人
- ・中央制御室バウンダリ内体積 3,500[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)
- ・初期酸素量 733.25[m³]
- ・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 19%以上
(鉱山保安法施行規則 (平成 16 年 9 月 27 日経済産業省令第 96 号, 最終改正平成 30 年 3 月 30 日経済産業省令第 9 号))
- ・評価期間は各火災の燃焼継続時間を考慮し 12 時間とする。

b. 評価結果

外気遮断時間 t[hour]での酸素濃度 C[%]

$$C = (A_0 - (M \times N \times 60 \times t \times 10^{-3})) / V \times 100$$

M: 呼吸による酸素消費量 1.092[L/min/人]

N: 在室人員 10[人]

V: 中央制御室バウンダリ内体積 3,500 [m³]

A₀: 初期酸素量 733.25[m³]

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、12 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8-3表 酸素濃度の時間変化

時間	2時間	4時間	6時間	8時間	10時間	12時間
酸素濃度	20.91%	20.87%	20.83%	20.80%	20.76%	20.72%

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、及び航空機墜落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。

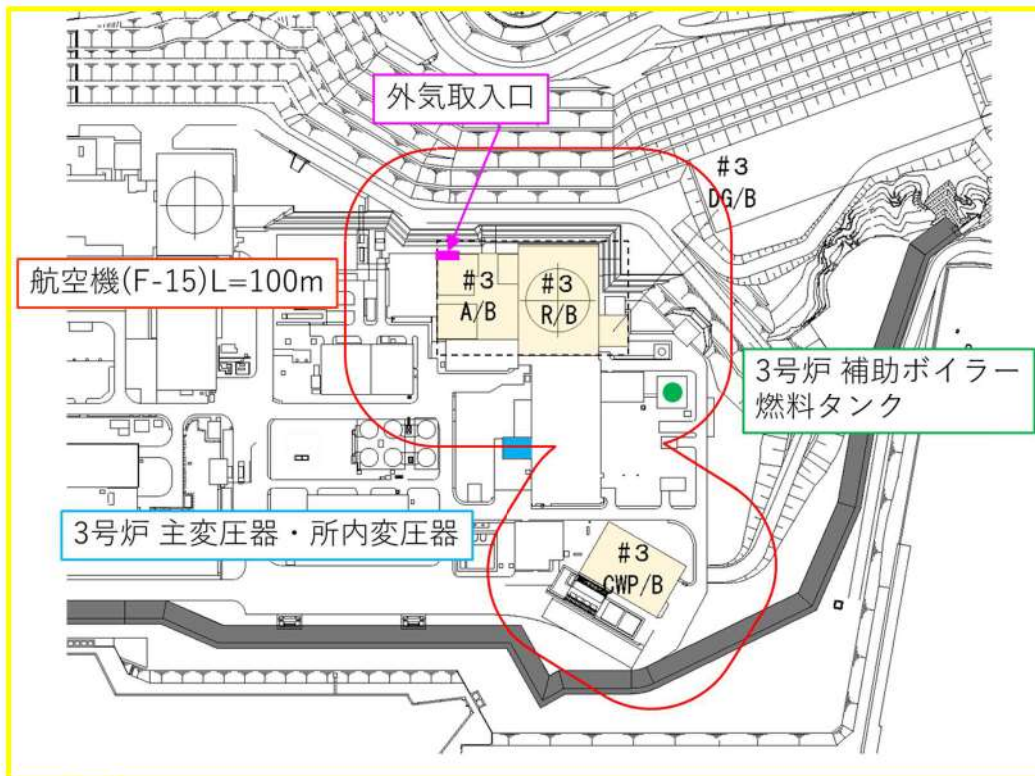
本評価では、石油コンビナートの防災アセスメント指針での判断基準と同様に、米国国立労働安全衛生研究所が定める IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) 値を採用する。この IDLH 値は、30 分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(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 3 号炉補助ボイラー燃料タンク、一体型である 3 号炉主変圧器・所内変圧器及び航空機 (F-15) を評価対象とし、第 8-4 表に評価対象施設及び評価対象施設から外気取入口までの距離を示す。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。3 号炉補助ボイラー燃料タンク、変圧器、航空機墜落位置及び外気取入口の位置関係を第 8-7 図に示す。

第 8-4 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]
3 号炉補助ボイラー燃料タンク	176	410
3 号炉主変圧器・所内変圧器	140	107.8
航空機 (F-15)	100	14.87



第8-7図 3号炉補助ボイラー燃料タンク，航空機墜落，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装置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ブルーム式を用いて、中央制御室換気空調装置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8-8図に示す。

(有風時ブルーム式)

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

(Briggs の排煙上昇過程式)

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

C_{xyz} : 濃度[ppm]

Q : 有毒ガス発生量[Nm³/s]

H_e : 有効発生高さ[m]

σ_y, σ_z : 拡散パラメータ[m]

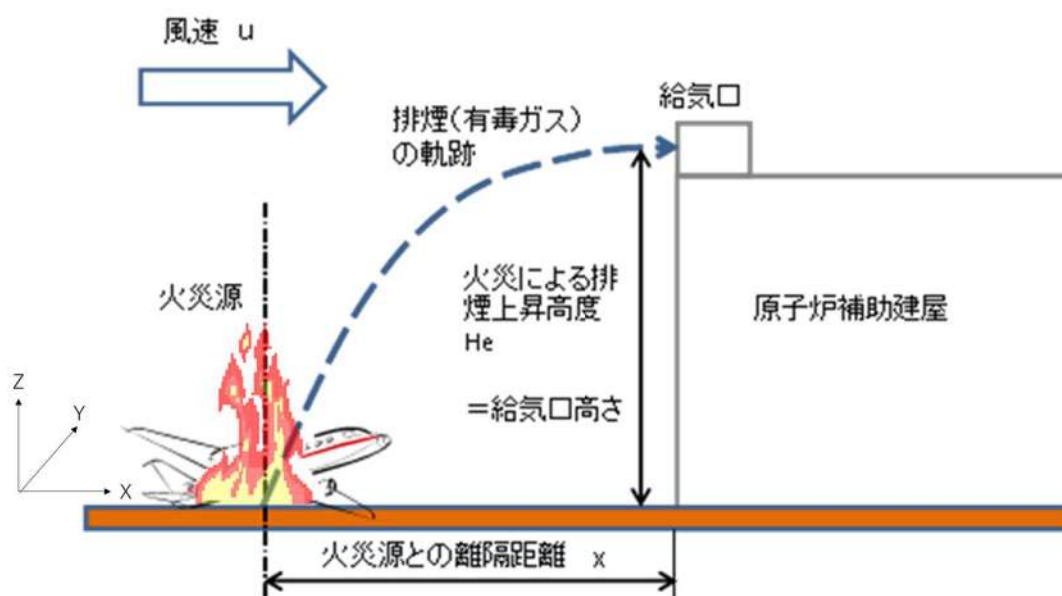
u : 風速[m/s]

F : 排熱フラックス[m⁴/s³] = $\frac{gQH}{\pi c_p \rho T} = 0.037QH$

Q_H : 排気熱量[kcal/s] = $\dot{m}A\Delta H_{c,eff}$

$\Delta H_{c,eff}$: 燃焼時発熱量[kcal/kg]
 A : 燃焼面積[m²]
 \dot{m} : 質量低下速度[kg/m²·s]
 x : 発生源と給気口との離隔距離[m]
 z : 発生源と給気口との鉛直方向距離[m]
 y : 排気プルーム軸からの距離[m]
 g : 重力加速度[m/s²]
 C_p : 定圧比熱[kcal/K·kg]
 ρ : 環境大気の平均密度[g/m³]
 T : 環境大気の平均絶対温度[K]

(出展：窒素酸化物総量規制マニュアル，公害研究対策センター)



第 8-8 図 中央制御室換気空調装置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装置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、 $H_e=Z=0$, $Y=0$ とする。

なお、Briggs の排煙上昇過程式の適用条件^{*1} は以下のとおりであり、火災源ごと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可能である。

※1：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[m⁴/s³]

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8-5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「訓練空域内（自衛隊機）」(F-15) の墜落位置を採用した。

第8-5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装置給気口	
	水平距離 [m]	高さ [m]
3号炉補助ボイラー燃料タンク	176	13.1
3号炉主変圧器・所内変圧器	140	13.1
航空機 (F-15)	100	13.1

(b) 火災発生時の有毒ガス発生量

第8-6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8-6表 燃焼特性に関するデータ

油種		重油	JP-4
有毒ガス発生量※ [kg/kg]	CO ₂	3.3050	3.0530
	CO	0.0300	0.0300
	SO ₂	0.0920	0.0006
	NO ₂	0.0069	0.0043

※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"
Aviation Emissions and Air Quality Handbook Version 3 Update 1,
Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy

(c) 評価対象及び火災源に関するデータ

第8-7表に火災源に対するデータ，第8-8表に有毒ガス発生量に関するデータを示す。

第8-7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]
3号炉補助 ボイラー 燃料タンク	重油	482.79	0.035	9,400	16.89	158,766	5,874
3号炉 主変圧器・ 所内変圧器	重油 ^{※1}	118.39	0.035	9,400	4.14	38,916	1,439
航空機 (F-15)	JP-4	44.6	0.051	10,300	2.27	23,381	865

※1：変圧器に使用している絶縁油について，変圧器の熱影響評価（添付6）と同様に重油とした。

第8-8表 有毒ガス発生量に関するデータ

想定火災源	有毒ガス発生量[Nm ³ /s]			
	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
3号炉補助ボイラー燃料タンク	28.419	0.406	0.5439	0.0568
3号炉主変圧器・所内変圧器	6.966	0.100	0.1334	0.0140
航空機 (F-15)	3.529	0.055	0.0005	0.0048

(d) 給気口に有毒ガスが到達する風速

火災によって発生する有毒ガスは燃焼によって高温となり熱浮力によって上昇する。したがって、Briggs式(排煙上昇過程式)を用いて、有毒ガス発生源と給気口との距離と高度差から、給気口に有毒ガスが到達する風速 u [m/s]を求める。

算出結果を第8-9表に示す。

第8-9表 算出結果

評価対象		給気口に直撃する風速[m/s]
中央制御室換気 空調装置給気口	3号炉補助ボイラー燃料タンク	69.2
	3号炉主変圧器・所内変圧器	37.1
	航空機 (F-15)	25.0

(e) 火災によって発生する有毒ガスの大気拡散

給気口に到達する有毒ガスの濃度は、大気拡散を考慮し有風時ブルーム式を用いて評価する。

火災地点から放出された有毒ガスは、中央制御室換気空調装置の給気口の方向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、評価対象ガスの発生量及び給気口に有毒ガスが到達する風速と有風時ブルーム式の拡散式を用いて、給気口の空気中に含まれる有毒ガスの濃度を計算する。なお、給気口での空気中の濃度は、有風時ブルーム式の放出点の高さ H_e と評価点の高さ Z において、 $H_e=Z=0$, $Y=0$ として中心軸最大濃度を計算する。計算結果を第8-10表に示す。

なお、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8-11表に示すガウスブルームモデルにおける大気拡散パラメータより $\Delta H^2/10$ を加えた値を採用した。

第8-10表 拡散パラメータの算出結果

評価対象	風速 u[m/s]	拡散パラメータ	
		σ_y [m]	σ_z [m]
3号炉補助ボイラー燃料タンク	69.2	13.496	8.556
3号炉主変圧器・所内変圧器	37.1	10.911	7.454
航空機 (F-15)	25.0	7.982	6.259

大気安定度は、発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針に記載のとおり、風速の範囲と日射や夜間の放熱の大きさによって A-G に区分されるものであり、大気安定度 A が最も拡散しやすく G が最も拡散しにくい。本評価では給気口に有毒ガスが到達するとした場合の u[m/s] の中で、拡散幅が最小となる（濃度が最大となる）より拡散しにくい大気安定度を選択する。風速と大気安定度の関係は以下のとおりであり、本評価では第8-9表に示すとおり風速は6[m/s]以上であることから大気安定度はC又はDとなり、より拡散しにくい大気安定度Dで評価を行う。

第8-11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 \geq 0.60	0.60>T \geq 0.30	0.30>T \geq 0.15	0.15>T	Q \geq -0.020	-0.020>Q \geq -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

第8-12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~
E	0.788	0.0928	0~1,000
	0.565	0.433	1,000~10,000
	0.415	1.732	10,000~
F	0.784	0.0621	0~1,000
	0.526	0.370	1,000~10,000
	0.323	2.41	10,000~
G	0.794	0.0373	0~1,000
	0.637	0.1105	1,000~2,000
	0.431	0.529	2,000~10,000
	0.222	3.62	10,000~

※ 窒素酸化物総量規制マニュアル

第8-13表 拡散パラメータ σ_z^{**}

TABLE 2. SUMMARY OF RECOMMENDATIONS FOR INTERIM CHANGES IN THE WORKBOOK VALUES OF THE DISPERSION PARAMETERS σ_y AND σ_z

For crosswind spread σ_y , irrespective of the terrain roughness, release height and sampling duration up to up to about 1 hour, use the formula*

$$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x), \sigma_\theta \text{ in radians}$$

with σ_θ † the best available estimate of the standard deviation of the wind direction fluctuation for the sampling time of interest and for the height at which \bar{u} is specified, and with values of $f(x)$ as follows:

x(km)	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10	>10
f(x)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.5	0.4	0.33	$0.33(10/x)^{1/2}$

For $x \geq 20$ km add to the square of the σ_y as obtained above the quantity $0.03\Delta\theta^2 x^2$ and take the square root to give the total σ_y , with $\Delta\theta$ the total change of mean wind direction over the depth of the plume.

For vertical spread σ_z , for any sampling time for a surface release, and say >10 min for an elevated release (see Section 2), use the existing Workbook curves with adjustment or constraint as follows:

- 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 effective mixed depth h' at the mid-time of sampling, recognizing especially its growth from very small values on stable nights, and then adopt either σ_z as given by the curves, or $0.8h'$, whichever is the smaller, for substitution in Eq (4).
- For buoyant plumes, increase the σ_z obtained from the curves by adding $\Delta H / 10$ where ΔH is the estimated plume rise.

*, † see 'Notes on Table 2'

※ F. Pasquill, ATMOSPHERIC DISPERSION PARAMETERS IN GAUSSIAN PLUME MODELING, EPA-600/4-76-03b, 1976

(f) 評価結果

各火災で発生する中央制御室換気空調装置給気口での最大となる有毒ガス濃度を第8-14表に示す。

第8-14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})
3号炉補助ボイラー 燃料タンク	1, 133	16. 18	21. 67	2. 27
3号炉主変圧器・所内 変圧器	735	10. 55	14. 08	1. 48
航空機 (F-15)	900	14. 02	0. 13	1. 23

※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、すべての評価に対し 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、再循環させる閉回路循環運転を行うことが可能であり、火災を確認・判断してから 10 分程度で中央制御室の外気取入を停止し、閉回路循環運転へ切替えることが可能である。

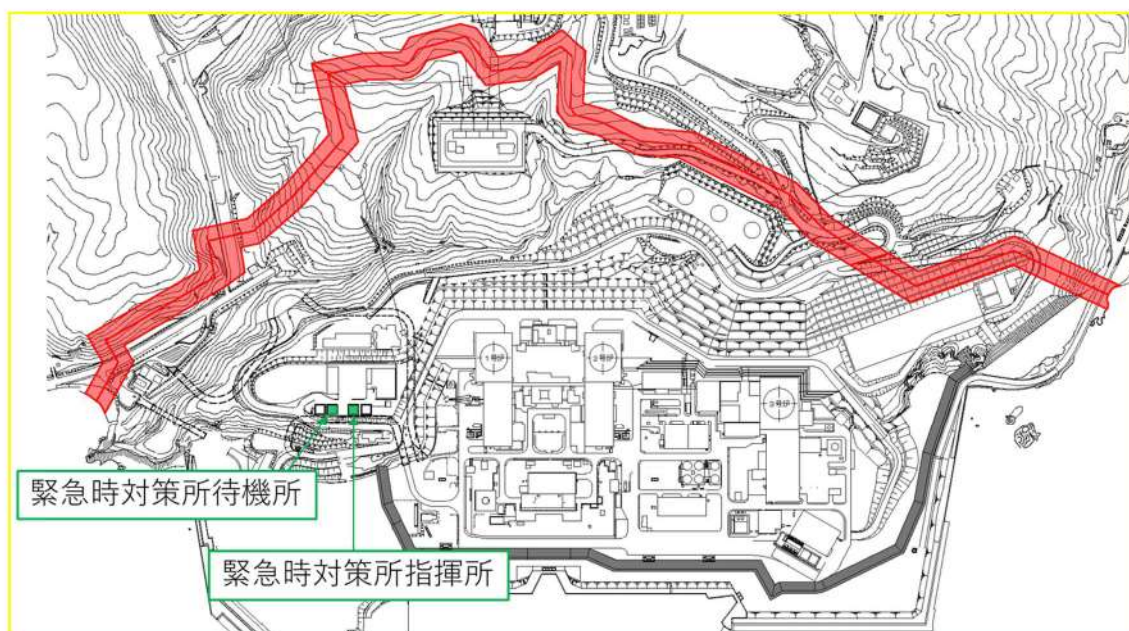
また、火災（有毒ガス）の発生は、火災感知器（3号炉補助ボイラー燃料タンク、変圧器等）、振動や衝撃音（航空機墜落）により覚知できることに加え、監視カメラにおいても屋外の状況を確認可能とし、中央制御室内で煙や異臭を確認した場合等の緊急時には、切替操作スイッチを使用し、必要な機器を同時に動作させる一括切替も可能であり、これらの覚知・判断に時間を要するものではなく、迅速に対応することが可能である。

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。

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。

緊急時対策所の位置を第 8-9 図に示す。



第 8-9 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 57 人^{※1}
- ・緊急時対策所バウンダリ内体積 519[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[%]
(鉱山保安法施行規則 (平成 16 年 9 月 27 日経済産業省令第 96 号, 最終改正平成 30 年 3 月 30 日経済産業省令第 9 号))

※1: 緊急時対策所指揮所(57 人), 緊急時対策所待機所(24 人)の想定収容人数のうち多い人数を用いる

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[m³/h/人]

N: 在室人員 57[人]

V: 緊急時対策所バウンダリ内体積 519[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、1.92 時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。緊急時対策所周圍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 1.85 時間に対して滞在可能時間が上回っており、対策要員の作業環境に影響を与えない。

第 8-15 表 緊急時対策所外気遮断時の二酸化濃度の時間変化

時間	1.00 時間	1.50 時間	1.92 時間
二酸化炭素濃度	0.54%	0.79%	1.00%

(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 57 人
- ・緊急時対策所バウンダリ内体積 519[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[%]
- ・初期酸素量 108.74[m³]
- ・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 19%以上

(鉦山保安法施行規則(平成16年9月27日経済産業省令第96号, 最終改正平成30年3月30日経済産業省令第9号))

b. 評価結果

外気遮断時間 t[hour]での酸素濃度 C[%]

$$C = (A_0 - (M \times N \times 60 \times t \times 10^{-3})) / V \times 100$$

M: 呼吸による酸素消費量 1.092[L/min/人]

N: 在室人員 57[人]

V: 緊急時対策所バウンダリ内体積 519[m³]

A₀: 初期酸素量 108.74[m³]

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、2.70時間まで緊急時対策所内に滞在可能である。

緊急時対策所周囲で発生する火災として想定される航空機墜落火災のうち、最も長い燃焼継続時間であるB747-400の約1.85時間に対して滞在可能時間が上回っており、対策要員の作業環境に影響を与えない。

第8-16表 緊急時対策所外気遮断時の酸素濃度の時間変化

時間	1.00時間	2.00時間	2.70時間
酸素濃度	20.23%	19.51%	19.00%

熱気流による影響評価について

3号炉補助ボイラー燃料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及ぼすことはない。このため、発電用原子炉施設近傍で発生する3号炉補助ボイラー燃料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

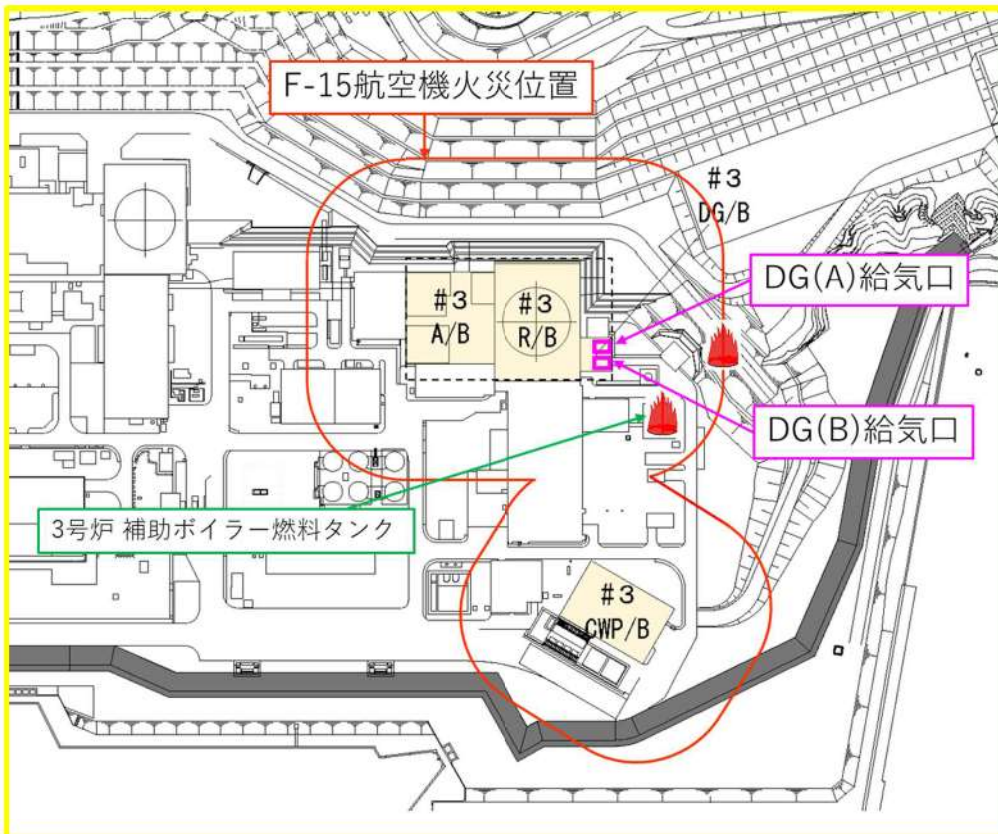
ディーゼル発電機は、外部電源喪失が発生した場合において安全機能を有する設備に電源を供給する設備であり、外気を内部に取り込む設備でもあることから評価対象とする。なお、ディーゼル発電機の給気口はディーゼル発電機建屋の屋上に設置されている。

3. 評価結果

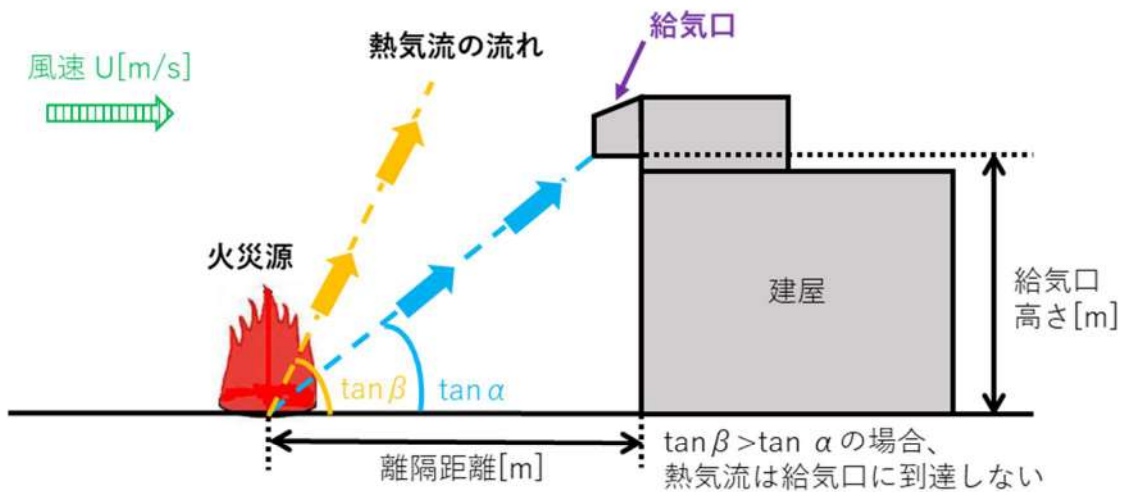
発電用原子炉施設近傍での火災を想定した場合、ディーゼル発電機の給気口から熱気流が直接取り込まれる可能性は否定できないが、熱気流の影響範囲は気象条件（風向、風速等）に大きく依存する（第1図）。

これら不確かさはあるものの泊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。

評価の結果、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災及び航空機火災において熱気流の取り込みの可能性がない結果となった。



第1図 熱気流を取り込む可能性のある給気口位置（3号炉補助ボイラー燃料タンク火災及び航空機火災）



第2図 熱気流評価概念図

第1表 必要データ

火災源	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号炉補助 ボイラー 燃料タンク	9.7	43	24.79	6.373×10^5	0.4598	0.263
航空機 F-15	9.7	100	7.54	9.400×10^4	0.5851	0.477

$$\tan \alpha = h \div L$$

$$\tan \beta = C_t \times \Lambda^{-k} \times Fr^{-o}$$

$$\Lambda = (U \times D^{1/3}) \div (Q \times g \div (C_p \times \rho \times T_0))^{1/3}$$

$$Q = (1 - x) \cdot \Delta H \cdot S \cdot M$$

$$Fr = U \div \sqrt{D \times g}$$

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),

T₀:周囲空気温度(50[°C]), U:風速(4.1[m/s]), g:重力加速度([m/s²]),

C_p:比熱([J/kg·K]), ρ:密度([kg/m³]), x:放射分率0.05^{※2} (実験定数),

ΔH:燃料の発熱量([MJ/kg])^{※3}, S:燃焼面積([m²]), M:燃料の質量低下速度([kg/m²·s])^{※3}

※1:佐賀武司,「正方形熱源の風下における温度分布」,東北工業大学紀要I 理工学編第16号,1996

※2: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

※3:THE SFPE Handbook of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION

第2表 評価結果

火災源	tan β	tan α	結果
3号炉補助ボイラー燃料タンク	0.778	0.226	> 可能性なし
航空機 F-15	0.629	0.097	> 可能性なし

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給気口に最も近い位置を設定
	給気口	火災源と給気口との間に障害物がないものとして設定
	風向	火災源から給気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	給気口位置で評価
有風時プルーム式	u : 風速	Briggs の排煙上昇過程式を用いて、有毒ガス発生源と外気取入口との距離と高低差から、外気取入口に有毒ガスが到達する風速を算出
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 $\Delta H^2/10$ を加えた値を設定
	He : 有効発生高さ	プルーム中心最大濃度とするため「0」を設定
	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	プルーム中心最大濃度とするため「0」を設定
Briggsの排煙上昇過程式	He : 有効発生高さ	火災発生源と外気取入口の高度差を設定
	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)

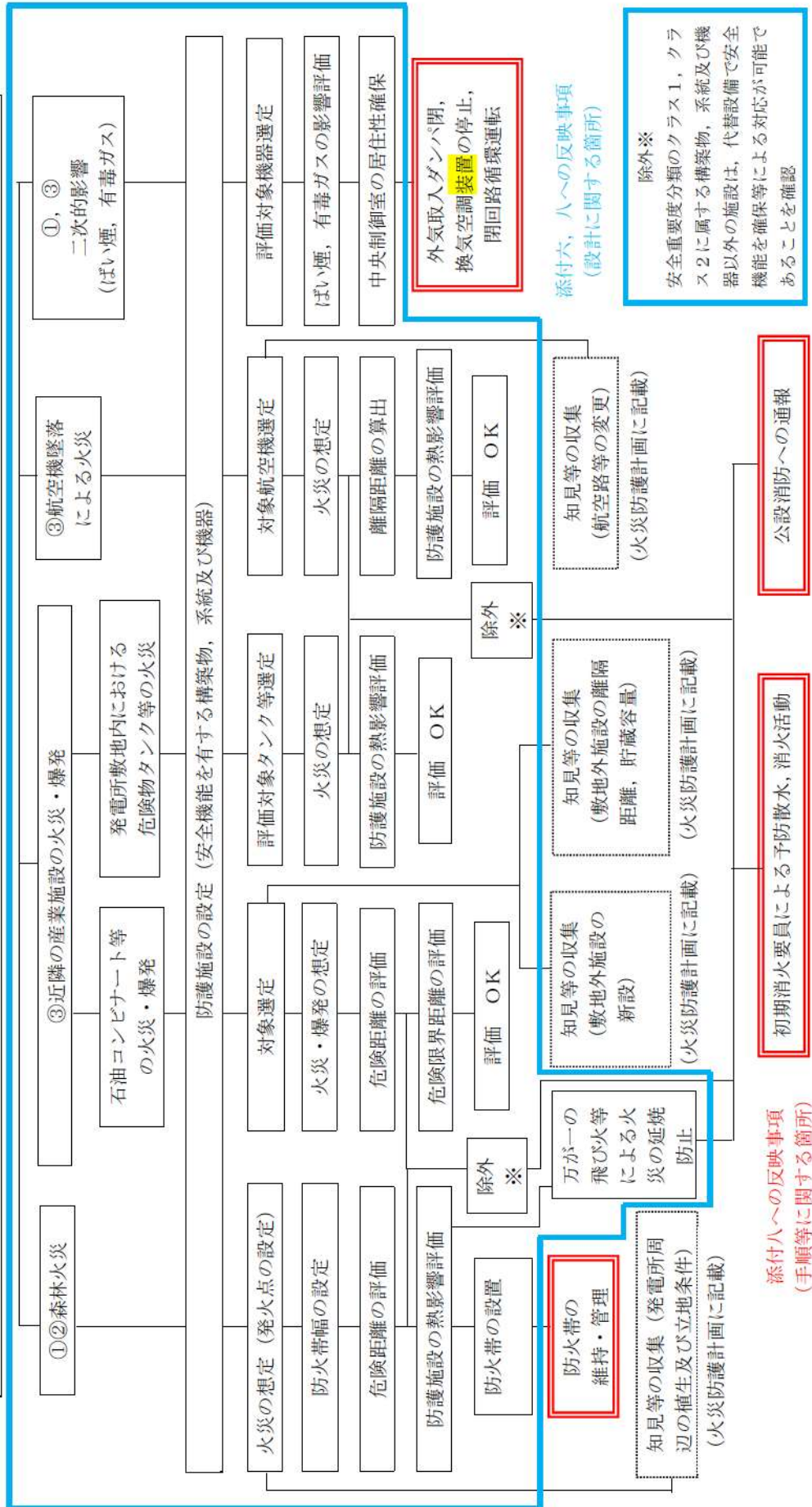
泊発電所 3 号炉

運用，手順説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

6条 外部からの衝撃による損傷の防止（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いものでなければならぬ。
- 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もの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。
- ③ 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（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。



第1表 運用, 手順に係る対策等 (設計基準)

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第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	・火災防護計画 (防火帯上への駐車禁止等の措置, 防火帯のパトロール, 防火帯を覆うモルタルの保修)
		体制	・ (担当課・室) による防火帯の維持・管理)
		保守・点検	・ 防火帯の点検・維持
	知見の収集 (発電所周辺の植生及び立地条件)	教育・訓練	・ 火災防護に関する教育 (防火帯の維持・管理の教育を含む。)
		運用・手順	・ 火災防護計画 (外部火災影響評価ガイドに伴い, 外部火災影響評価を行う。)
		体制	・ (担当課・室) 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	・ 火災防護に関する教育 (外部火災影響評価を含む)
		運用・手順	・ 火災防護計画 (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。)
	知見の収集 (航空路等の変更)	体制	—
		教育・訓練	・ 火災防護に関する教育 (外部火災影響評価を含む)
		運用・手順	・ 火災防護計画 (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。)
		保守・点検	—
		教育・訓練	・ 火災防護に関する教育 (外部火災影響評価を含む)

第1表 運用, 手順に係る対策等 (設計基準)

※：初期消火要員の体制については、添付書類八「1.8.10.2 体制」に記載

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)	初期消火要員による 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, 散水場所を初期消火要員に指示する。 ・初期消火要員は, 防火水槽等から水源をとり, ホースを展開し化学消防自動車等により予防散水を行う。
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・初期消火要員※
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・化学消防自動車, 水槽付消防ポンプ自動車の点検 ・消火設備 (消火器, 消火栓等) の点検 ・消防用資機材 (防火服, 空気呼吸器等) の点検 ・故障時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育 (初期消火活動を含む) ・初期消火要員による総合的な初期消火訓練 ・消防訓練
	公設消防への通報	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護計画 (運営課長又は当番者による公設消防への通報)
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・初期消火要員※
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> ・通報設備の点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・火災防護に関する教育 (公設消防への通報)
		運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・外気取入ダンパ閉, 換気空調装置の停止, 閉回路循環運転の手順
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・(運転員による運転操作)
外気取入ダンパ閉, 換気 空調装置の停止, 閉回路 循環運転	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 (運転員による外部火災発生時の外気取入ダンパ閉, 換気空調装置の停止, 閉回路循環運転) ・補修に関する教育・訓練 (換気空調設備) 	

泊発電所 3 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メッシュ、北海道の森林簿情報及び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泊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北海道より入手し、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、発電所を中心とする半径5kmの範囲の植生について、現場調査（写真撮影）を実施した。

現場調査にあたっては、平成17年以降国土交通省北海道開発関連業務のうち植生図作成を含む4件の業務に従事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、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。